

# Subcritical Water Processing (SCW)

## Executive Summary

Subcritical Water (SCW) processing is a commercially proven, non-combustion hydrothermal waste-treatment technology that has operated in Japan for more than 20 years. It provides New Zealand with a potential destruction and transformation pathway for difficult waste streams that are currently challenging to treat domestically — including PVC, PFAS/PFOS-contaminated materials, medical waste, sewage sludge, contaminated plastics, end-of-life tyres and CCA-treated timber.

SCW uses high-temperature, high-pressure water and steam to break down and transform organic materials within a sealed reactor system. Depending on feedstock, the process can substantially reduce the amount of material requiring long-term disposal while producing a carbon-rich, high-calorific solid with potential to substitute for coal in suitable industrial applications.

Importantly, SCW does not make elemental contaminants disappear. Metals, chlorine, fluorine and other inorganic constituents can partition between the solid and aqueous process streams and may undergo changes in chemical form. Their final distribution, mobility and environmental behaviour should be established through appropriate analytical testing.

For difficult waste streams, SCW provides a treatment platform capable of:

- **Dechlorinating PVC** → chlorine transferred primarily to the aqueous phase as inorganic chloride
- **Degrading and defluorinating PFAS** → inorganic fluoride, primarily managed within the aqueous phase
- **Hydrolysing organic waste** → carbon-rich char plus aqueous organic products
- **Breaking down synthetic rubber polymers** (including SBR, BR, EPDM and butyl rubber) from tyres
- **Stabilising CCA metals** → changes in speciation and association with solid/mineral phases, with reduced mobility and leachability demonstrated where supported by testing
- **Non-combustion treatment** → avoids conventional combustion pathways for dioxin formation, HCl-containing flue gas and combustion stack emissions

Reported Japanese operating experience indicates substantial mass and volume reduction for suitable waste streams. A typical mixed-waste application may produce approximately 30% carbon-rich solid material, although the actual yield depends strongly on feedstock composition and operating conditions.

## Proposed Fully Electric New Zealand Configuration

Existing Japanese SCW installations have typically used conventional boiler systems to generate the high-pressure saturated steam required for treatment.

The proposed New Zealand configuration would instead use an **all-electric energy system**, building on the established Japanese reactor and treatment process while taking advantage of New Zealand's electricity system.

Potential advantages include:

- elimination of on-site boiler-fuel combustion
- compatibility with renewable electricity generation
- reduced dependence on imported fossil fuels
- non-combustion waste treatment
- potential integration with future low-carbon industrial energy systems

The proposed electric configuration would require detailed engineering and operating verification for New Zealand conditions, but provides an opportunity to combine established Japanese SCW technology with New Zealand's increasingly renewable electricity supply.

### Processing Throughput

Existing project information indicates electricity consumption of approximately **8 MWh/day** for the referenced standard SCW plant configuration. Actual consumption will depend on feedstock, moisture content, plant loading, heat recovery and operating conditions. A standard three-reactor SCW configuration has a nominal processing capacity of approximately **70 tonnes per day**, equivalent to approximately **25,000 tonnes per year** at continuous operation.

Potential feedstocks include:

- municipal waste
- medical waste
- sewage and wastewater sludges
- industrial organic residues
- construction and demolition organics
- contaminated and difficult plastics
- chipped end-of-life tyres
- biomass and mixed organic waste streams

Actual throughput and product yield are feedstock-dependent and should be confirmed for each proposed application.

## Char and Energy Recovery

SCW treatment can recover part of the carbon and energy contained within incoming waste as a carbon-rich solid.

Japanese analytical results demonstrate that the calorific value of SCW-derived solid material varies significantly according to feedstock, with reported dry-basis gross calorific values ranging from approximately **22 MJ/kg to 37.1 MJ/kg**.

This places suitable SCW char within an energy range potentially relevant to industrial fuel applications.

However, fuel suitability depends on more than calorific value. Moisture, ash, sulphur, chlorine, metals, combustion behaviour and other parameters must also satisfy the requirements of the intended industrial user.

The char should therefore be regarded as a **potential industrial fuel or coal substitute subject to feedstock-specific analysis and user specifications**, rather than automatically classified as a coal-equivalent fuel.

### Current State in New Zealand

New Zealand has established waste-management and resource-recovery systems, but significant treatment challenges remain for a number of difficult waste streams.

These include:

- PFAS-contaminated materials requiring effective destruction or transformation pathways
- PVC and other difficult plastics
- CCA-treated and contaminated timber
- sewage and industrial wastewater sludges
- mixed municipal and industrial waste containing combinations of organic and inorganic contaminants
- medical and clinical waste
- end-of-life tyre fractions and other difficult polymer wastes
- contaminated organic materials for which landfill remains a principal management option

Existing treatment and recovery technologies each have important roles, including recycling, landfill, cement-kiln co-processing, thermal treatment and specialised hazardous-waste management.

SCW should therefore be considered as a **potential complementary treatment technology**, particularly where conventional recycling is impractical and where chemical transformation, substantial volume reduction and resource recovery can provide an advantage over disposal alone.

The technology's relevance to New Zealand should ultimately be demonstrated through local feedstock testing, contaminant mass balance, product analysis, environmental assessment and commercial evaluation.

## SCW Char vs Biomass — Clarifying the Carbon Cycle

SCW char represents carbon recovered from material already within the waste stream. Without treatment, much of this material may ultimately be landfilled, where biodegradable fractions can contribute to methane generation and where contaminated materials may require long-term leachate and environmental management.

SCW instead converts suitable waste-derived organic material into a concentrated carbon-rich solid.

The environmental implications of using this material as fuel depend on its origin. SCW char produced from mixed waste can contain both:

- **biogenic carbon**, derived from materials such as food, paper, timber and other biomass; and
- **fossil-derived carbon**, originating from plastics, synthetic rubber and other petroleum-derived materials.

The relative proportions can be independently determined using radiocarbon analysis. This distinction is important when assessing greenhouse-gas emissions, potential industrial fuel applications and any future treatment under New Zealand's emissions-accounting framework.

SCW char should therefore not automatically be described as a renewable or emissions-neutral fuel. Its carbon composition and environmental performance should be established from the actual feedstock and final product.

## Odour and Emissions

SCW operates as a **sealed, water-based, non-combustion process**.

As a result:

- there are **no conventional combustion stack emissions from the SCW reaction itself**
- there is no conventional incinerator plume or smoke
- odour can be contained and managed within the enclosed process
- the process avoids conventional combustion pathways associated with formation of NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> and combustion-related dioxins
- PVC-derived chlorine is transferred primarily into the aqueous phase as inorganic chloride rather than being discharged through a conventional combustion exhaust stream

This distinguishes SCW from conventional incineration and other processes in which waste itself is combusted.

Nevertheless, actual gaseous and volatile outputs from the SCW process should be characterised from operating data and feedstock-specific analysis rather than described as universally zero.

## Modular and Adaptable Platform

SCW's modular architecture allows multiple reactor systems to be operated in parallel, providing a potential pathway from individual industrial applications to larger regional waste-treatment facilities.

Additional reactor capacity can potentially be added as waste volumes and applications develop.

The underlying hydrothermal platform may also provide opportunities for different operating conditions and future treatment applications. Any move to higher-temperature or alternative operating configurations should, however, be treated as a separate engineering and performance question rather than assumed to be available from the standard system.

This modular approach provides New Zealand with the opportunity to begin with a defined application, demonstrate performance using local waste streams, and expand capacity where the technical and commercial case is established.

## Summary of Benefits

- More than **20 years of Japanese commercial operating experience**
- Sealed, non-combustion hydrothermal treatment
- Capable of processing a broad range of difficult organic and mixed waste streams
- Chemical decomposition and transformation of organic contaminants
- PVC dechlorination, with chlorine transferred primarily to the aqueous phase as inorganic chloride
- PFAS degradation and defluorination capability, subject to feedstock-specific analytical verification
- Potential reduction in mobility and leachability of some metal contaminants, subject to testing
- Significant reduction in waste requiring long-term disposal
- Production of a carbon-rich, high-calorific solid with potential industrial fuel value

- Recovery of water for treatment and recirculation within the process
- Potential recovery of steel and other non-decomposable materials
- Proposed fully electric configuration for New Zealand
- Modular architecture suitable for staged or regional deployment
- Potential integration with New Zealand's renewable electricity system
- Potential alignment with New Zealand's waste-minimisation, resource-recovery and emissions-reduction objectives

## Conclusion

SCW does not replace every existing waste-management technology. Recycling, biological treatment, specialised hazardous-waste treatment, cement-kiln co-processing and appropriately engineered landfill will continue to have important roles.

SCW offers something different: a **commercially demonstrated, non-combustion hydrothermal platform capable of treating multiple difficult organic waste streams within a single system.**

It can provide chemical decomposition and transformation of organic contaminants, dechlorination of PVC, degradation and defluorination of PFAS, treatment of contaminated organic materials and production of a carbon-rich solid with potential industrial value. Inorganic contaminants are not destroyed, but can be separated, redistributed and managed through identifiable solid and aqueous process streams.

More than 20 years of commercial operation in Japan provide an established operating foundation. The proposed fully electric New Zealand configuration would build on that experience while providing an opportunity to integrate SCW with New Zealand's electricity system and its future waste-treatment and resource-recovery infrastructure.

The case for New Zealand should now be established through **independent analysis, representative local feedstock trials, contaminant mass balance and demonstrated operating performance.**

**Below:** Typical municipal waste following SCW treatment. Japanese operating experience indicates substantial reduction of the original waste, with a carbon-rich solid representing approximately 30% of the incoming mass in typical applications. Actual yield varies with feedstock. Where resulting material streams meet the applicable reuse, recovery or disposal requirements, SCW has the potential to achieve very high diversion from landfill while substantially reducing the long-term land-use, methane and leachate-management requirements associated with conventional disposal.



# 1.Introduction

Subcritical Water (SCW) processing is a hydrothermal technology that converts mixed waste streams—including plastics, sludge, biomass, medical waste, PFAS-contaminated wastes, and CCA-treated timber—into three primary outputs:

1. Carbon-rich char or ash
2. Inorganic mineral salts and dissolved ions, such as:
  - Sodium chloride (NaCl) and calcium chloride (CaCl<sub>2</sub>), which may form following PVC dechlorination and neutralisation
  - Inorganic fluoride, which is released where PFAS defluorination occurs and may remain dissolved in the aqueous phase or form mineral salts such as calcium fluoride (CaF<sub>2</sub>), depending on process chemistry
3. Recovered process water, which can be treated and recirculated within the system

Because SCW uses pressurised hot water rather than combustion as its reaction medium, it enables hydrothermal decomposition and transformation of contaminants without a conventional combustion stack or combustion-derived dioxin pathway. In a fully electric configuration, the process can also operate without direct fossil-fuel input. SCW has been commercially deployed in Japan for more than 20 years, where it treats municipal, industrial, medical, and hazardous waste streams at operating temperatures of approximately 230–265 °C and pressures of 3–5 MPa (Ishimori, 2019).

A key performance characteristic of SCW systems is substantial volume minimisation. During treatment, organic components undergo hydrolysis and carbonisation, while plastics depolymerise and lose volatile mass. As a result, the total solid residue volume is typically reduced by approximately 60–80% relative to the original mixed-waste feedstock, depending on composition. This minimisation significantly decreases the long-term landfill burden and aligns with circular-economy principles emphasised in New Zealand’s Waste Minimisation Act.

## 1.2 Definition of Subcritical Water

Water becomes *subcritical* when heated above the boiling point (100 °C) but below the critical temperature (374 °C), while kept under pressure to maintain the liquid phase. Under these conditions, water displays several unique properties useful for waste decomposition:

- **Lower dielectric constant** → behaves similarly to an organic solvent
- **Rapid hydrolysis capability**
- **Enhanced ion product (K<sub>w</sub>)** → strongly acid/base reactive
- **High diffusivity** → penetrates complex organics
- **Non-combustion, low-oxygen reaction environment** → avoids the conventional combustion pathway for dioxin formation

### SCW Operational Envelope (Typical Japanese Systems):

| Parameter   | Value                |
|-------------|----------------------|
| Temperature | 230–265 °C           |
| Pressure    | 3–5 MPa              |
| Phase       | Liquid (subcritical) |

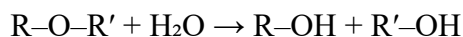
| Parameter      | Value                                                                                                  |
|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Energy Source  | Oil/char mix (typical existing Japanese systems)<br>100% electric (proposed New Zealand configuration) |
| Oxygen         | Absent                                                                                                 |
| Residence Time | 30–90 minutes                                                                                          |

(Processing System SCW\_E.pdf; Ishimori, 2019)

### 1.3 Reaction Chemistry in SCW

#### 1.3.1 Hydrolysis of Organic Matter

Chemical Reaction:



#### Plain-English Explanation Block

*What each part means:*

- ***R–O–R'***  
*A large organic molecule — such as fats, oils, cellulose, plant fibres, or other long-chain materials found in mixed waste.*
- ***+ H<sub>2</sub>O***  
*A water molecule. Under SCW conditions (230–265 °C, 3–5 MPa), water becomes highly reactive and **attacks** the long organic chain.*
- ***→ R–OH + R'–OH***  
*The reaction illustrates hydrolytic cleavage of an organic linkage, producing smaller oxygen-containing organic fragments. In real mixed waste, multiple hydrolysis and transformation reactions can occur, producing a range of smaller organic compounds.*

#### Plain-English Explanation

*In Subcritical Water, **water acts like a molecular knife.***

*The hot, pressurised water breaks long organic molecules into smaller, simpler ones. This is the first major step in turning complex waste into:*

- ***short-chain organic acids***
- ***carbon-rich residue (char)***
- ***water-soluble organics that partition into the aqueous phase for subsequent water treatment***

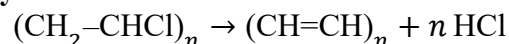
*Because this breakdown occurs within a water-based, non-combustion process:*

- *no combustion occurs*
- *no conventional combustion smoke or flue gas is produced*
- *the conventional combustion pathways associated with dioxins, PAHs, NO<sub>x</sub> and SO<sub>x</sub> are avoided*
- *the principal reactions occur within the enclosed, pressurised aqueous system*

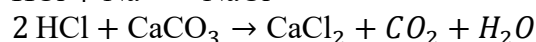
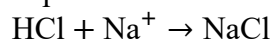
*This is one of the core reasons SCW can treat mixed organic waste, sludge, plastics additives and biological materials without relying on combustion, while gaseous or volatile process products are managed within the enclosed process system.*

#### 1.3.2 PVC Dechlorination

PVC undergoes **rapid dehydrochlorination** under SCW conditions:



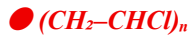
HCl is captured by alkaline species:



(Ishimori, 2019; Polymer Degradation and Stability, 2001; Soler et al., 2018; Wang et al., 2023)

### PVC Dechlorination — Plain-English Explanation Block

*What each part means:*



*This is the repeating unit of PVC (polyvinyl chloride) — a long-chain plastic made of carbon, hydrogen and chlorine. PVC is ~57% chlorine by weight.*



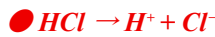
*Under SCW conditions (230–265 °C, 3–5 MPa), chlorine is removed from the PVC chain through dehydrochlorination.*

*The reaction produces: a carbon-rich backbone  $(\text{CH}=\text{CH})_n$  hydrochloric acid (HCl)*

*This is the key chemical step in the breakdown of PVC under SCW conditions.*

*What happens to the HCl?*

*In the high-temperature, high-pressure aqueous environment, HCl dissociates into hydrogen and chloride ions:*



*The released chlorine therefore exists primarily as inorganic chloride ( $\text{Cl}^-$ ) in the aqueous phase. Where suitable alkaline minerals or bases are present, acidity can be neutralised. For example:*



*This produces calcium chloride, which remains as dissolved ions in water and may form a salt upon concentration or drying.*

*Sodium ions may also be present in the process water. In that case, chloride and sodium can ultimately occur as sodium chloride (NaCl), particularly following concentration or drying.*

*Plain-English Explanation*

*In Subcritical Water, PVC does not burn — it undergoes chemical dehydrochlorination and breakdown within the aqueous process.*

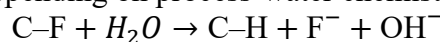
- Chlorine is removed from the PVC chain.
- The released HCl dissociates in water into  $\text{H}^+$  and  $\text{Cl}^-$ .
- The chlorine therefore moves primarily into the aqueous phase as inorganic chloride and, depending on the water chemistry, may ultimately form salts such as NaCl or  $\text{CaCl}_2$ .
- The remaining carbon-rich polymer structure undergoes further hydrothermal decomposition and contributes to the carbon-rich char.

*Because this occurs within a sealed, non-combustion hydrothermal process:*

- there is no conventional combustion flue gas
- PVC-derived chlorine is primarily managed within the aqueous process rather than through a combustion exhaust stream
- the conventional combustion pathway associated with dioxin formation is avoided
- there is no conventional combustion stack emission

### 1.3.3 PFAS Defluorination

PFAS degradation and defluorination involve hydrothermal cleavage of C–F bonds. Released fluoride enters the aqueous inorganic phase and may remain dissolved or form inorganic fluoride-containing phases depending on process-water chemistry.



(Detoxification of PFAS Using Subcritical Water\_EJ.pdf; Ishimori, 2019; Patel et al., 2024)

### PFAS Defluorination — Plain-English Explanation Block

What each part means:

#### ● C–F

This is the carbon–fluorine bond, one of the strongest bonds in organic chemistry. Its exceptional stability is a major reason PFAS are highly persistent in the environment.

#### ● + H<sub>2</sub>O

Under SCW conditions (230–265 °C, 3–5 MPa), high-temperature, high-pressure water provides a highly reactive hydrothermal environment in which PFAS molecules can undergo decomposition and defluorination.

#### ● C–F bond cleavage → F<sup>–</sup>

The critical step in PFAS destruction is cleavage of the carbon–fluorine bond, releasing fluorine from the organic molecule as fluoride ion (F<sup>–</sup>).

Once fluorine is released as inorganic fluoride, it is no longer present as part of the original PFAS molecule. SCM's stated process performance is the complete decomposition of PFAS to inorganic fluoride ions, rather than simply adsorption, filtration or concentration of the PFAS.

#### *What happens to the fluoride (F<sup>–</sup>)?*

Fluoride released through defluorination enters the aqueous inorganic phase. Depending on the process-water chemistry and the ions present, it may remain as dissolved fluoride or form inorganic fluoride salts.

For example:

#### ● 2 F<sup>–</sup> + Ca<sup>2+</sup> → CaF<sub>2</sub> (s)

Calcium fluoride may precipitate where sufficient calcium is present and the relevant chemical conditions are reached.

Sodium and fluoride ions may also coexist in the aqueous phase and can ultimately occur as sodium fluoride salts following concentration or drying.

The important distinction is that the fluorine has been converted from organically bound fluorine in PFAS to inorganic fluoride.

#### *Plain-English Explanation*

PFAS are extremely difficult to destroy because of their strong carbon–fluorine bonds.

SCM uses the high-temperature, high-pressure subcritical-water environment to decompose the PFAS molecule and break carbon–fluorine bonds, releasing the fluorine as inorganic fluoride ions.

According to the SCM process description provided by the technology developer, PFAS are completely decomposed to fluoride ions rather than merely adsorbed or concentrated.

The resulting fluoride is managed within the aqueous process and may remain dissolved or, depending on water chemistry, form inorganic fluoride salts such as CaF<sub>2</sub>.

Japanese analytical results provide evidence of PFAS degradation and fluoride formation. For application to particular feedstocks, the extent of PFAS destruction, defluorination and any residual organofluorine should also be confirmed through appropriate analytical testing.

#### *Why this is important?*

PFAS: SCM is designed to destroy PFAS rather than simply transfer it to another waste stream.

Defluorination: C–F bond cleavage releases fluorine from the organic PFAS molecule as inorganic fluoride.

Fluoride: Released fluoride enters the aqueous inorganic phase and may remain dissolved or form inorganic fluoride salts depending on water chemistry.

Char: Residual PFAS and organofluorine in the solid fraction can be independently verified analytically.

Gas phase: Japanese process analyses have reported cases in which volatile fluorine species were not detected; representative process-specific analysis can confirm this performance.

Emissions: SCW is an enclosed, non-combustion process with no conventional combustion stack.

The transformations take place within the enclosed hydrothermal process rather than through combustion.

This gives SCM an important distinction from treatment technologies that primarily capture, adsorb or concentrate PFAS without destroying the PFAS molecule.

## 1.3.4 CCA-Treated Timber Metal Stabilisation

### CCA Metal Stabilisation — Plain-English Explanation Block

#### **What each part means:**

*CCA-treated timber contains three principal preservative metals: copper (Cu), chromium (Cr) and arsenic (As).*

*Unlike organic contaminants, these metal elements **cannot be destroyed** by SCW. Instead, SCW treatment can change their **chemical form and their distribution between the solid and aqueous phases**.*

#### • **Copper (Cu)**

*Copper retained in the char may occur in mineral-associated or carbon-associated forms. These forms can substantially reduce its mobility and leachability.*

#### • **Chromium (Cr)**

*Chromium can undergo changes in chemical form during SCW treatment and may become associated with relatively stable mineral or carbon phases within the char, substantially reducing its mobility and leachability.*

#### • **Arsenic (As)**

*Arsenic may similarly become associated with mineral phases and the carbon/mineral structure of the char, reducing its mobility and potential leachability. Some arsenic may also partition into the aqueous phase depending on feedstock and process chemistry.*

*Japanese analytical testing of SCW-treated residues has reported cases in which Cu, Cr and As were not detected in the leachate under the applied JLT/JLT-type test methods.*

#### **Plain-English Explanation**

*In CCA-treated timber, the principal hazardous components are the preservative metals **copper, chromium and arsenic**.*

*Under SCW:*

- 1. The timber's organic structure is broken down by hydrothermal reactions.*
- 2. The metals are not destroyed, but their chemical forms and distribution can change.*
- 3. Metals retained in the char can become associated with mineral phases and the carbon-rich matrix.*
- 4. These associations can substantially reduce metal mobility and leachability.*
- 5. Some metals may also partition into the aqueous phase, making analysis of both the solid and water fractions important.*

*Because SCW operates at approximately 230–265°C as a **non-combustion hydrothermal process**, metal behaviour differs fundamentally from high-temperature combustion, where certain metals or metal compounds may volatilise or become concentrated in fly ash.*

*SCW therefore offers the potential to stabilise CCA metals in less mobile and less readily leachable forms, while actual retention, speciation and leachability should be confirmed for the particular feedstock by **total-metals and leachability testing**.*

## 1.4 Process Description

### Step 1 — Feed Preparation

- Feedstock is reduced to a suitable processing size where required.
- Prepared waste is loaded into the pressure vessel for batch treatment.

### Step 2 — High-Pressure Reactor

- Waste is loaded into the pressure vessel and mixed/agitated during treatment
- High-pressure saturated steam is injected directly into the vessel
- Treatment proceeds at approximately 230–265 °C and 3–5 MPa

### Step 3 — Reaction Phase

- Plastics depolymerise
- Organics hydrolyse
- PFAS defluorinate
- Metals stabilise

### Step 4 — Product / Phase Recovery

Following treatment, depressurisation and drying, the process produces:

1. Carbon-rich solid fraction

2. Recovered/condensed process water containing dissolved and suspended constituents
3. A relatively small gaseous/volatile fraction

### Step 5 — Water Treatment and Recovery

Process water is treated and recovered for recirculation within the system. The detailed treatment configuration, including any RO stage, should be confirmed from plant-specific documentation.

### Step 6 — Char Pelletisation

Optional energy product (“SCW pellet fuel”)

## 1.5 Comparative Analysis: SCW vs Incineration vs HTC

| Feature                   | SCW                                                                                       | Incineration                                                                                       | HTC                                                        |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| <b>Operating Temp</b>     | 230–265°C                                                                                 | 850–1100°C                                                                                         | 180–220°C                                                  |
| <b>Pressure</b>           | 3–5 MPa                                                                                   | Atmospheric                                                                                        | ~2–4 MPa                                                   |
| <b>Oxygen</b>             | None required for reaction                                                                | Required for combustion                                                                            | None required for reaction                                 |
| <b>PFAS Treatment</b>     | PFAS decomposition and defluorination; performance to be analytically verified            | Destruction performance depends strongly on temperature, residence time and operating conditions   | Limited; strongly condition-dependent                      |
| <b>PVC Handling</b>       | Dechlorination → chlorine transferred primarily to aqueous inorganic chloride             | HCl and chlorinated by-products require appropriate emission control                               | Dechlorination possible depending on treatment conditions  |
| <b>Metals (CCA)</b>       | Changes in speciation and partitioning; potential reduced mobility/leachability           | Metals remain in ash and/or may partition to flue-gas residues depending on species and conditions | Metals generally remain in hydrochar and/or aqueous phase  |
| <b>Dioxins</b>            | Avoids conventional combustion formation pathway                                          | Formation controlled through operating conditions and flue-gas treatment                           | Avoids conventional combustion formation pathway           |
| <b>Solid Product</b>      | Carbon-rich solid; potential industrial fuel subject to feedstock and fuel specifications | Bottom ash / fly ash                                                                               | Hydrochar; properties depend on feedstock and conditions   |
| <b>Water Recovery</b>     | Process water recovered and recirculated within the system                                | Not an inherent process feature                                                                    | Process water generated; recovery depends on system design |
| <b>Electric Operation</b> | <b>Proposed NZ configuration electrically driven</b>                                      | Generally requires combustion                                                                      | Can be electrically heated                                 |

SCW combines the treatment of persistent organic contaminants with recovery of a potentially usable carbon-rich fuel.

### 1.6 Advantages of SCW

- Non-combustion process with no conventional combustion stack emissions
- Treats difficult organic and contaminated waste streams through hydrothermal decomposition, dechlorination, defluorination and contaminant management
- Produces high-energy char
- Avoids the conventional combustion pathway associated with dioxin formation
- Proposed NZ electric configuration → compatible with renewable electricity
- Compact footprint
- Proven at full scale in Japan (20+ years)

### 1.7 References

#### Japanese Sources (Romanised + Original + English Translation)

Ishimori, K. (2019). *Arinkai shiryō: Subcritical water technical reference* [亜臨界資料：亜臨界水技術資料]. Ishimori Industry Co. Ltd.

Ishimori Industry Co. Ltd. (2018). *Tsui ka shiryō, toriatsukai chūi: Supplementary technical data* [追加資料、取り扱い注意：技術補足データ]. Internal technical manual.

Ishimori Industry Co. Ltd. (2020). *SCW system overview* [SCW システム概要]. In *SCW Reports ENGLISH* (certified analysis results).

Ishimori Industry Co. Ltd. (2021). *SCW tech and patents overview* [SCW 技術及び特許概要]. Internal engineering document.

Ishimori, K. (n.d.). Interview: “*SCW: Subcritical Water – Interviews with Kaneo Ishimori*”. Substack. Retrieved from <https://substack.com/home/post/p-165440328>

#### English / Academic Sources

Akiya, N., & Savage, P. E. (2002). Roles of water for chemical reactions in high-temperature water. *Chemical Reviews*, 102(8), 2725–2750. <https://doi.org/10.1021/cr000668w>

Kruse, A., & Dinjus, E. (2007). Hot compressed water as reaction medium and reactant. *Journal of Supercritical Fluids*, 39(3), 362–380. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2006.03.016>

Patel, S., Halder, P., Hakeem, I. G., et al. (2024). The fate of fluorine during thermal treatment of biosolids. *Energies*, 17(14), 3476. <https://doi.org/10.3390/en17143476>

Soler, A., Conesa, J. A., & Ortuño, N. (2018). Application of subcritical water to dechlorinate PVC electric wires. *Energies*, 11(10), 2612. <https://doi.org/10.3390/en11102612>

Wang, Z., Zhang, L., & Xu, F. (2023). Migration of chlorine during hydrothermal treatment of rigid PVC plastics. *Journal of Environmental Management*, 345, 118613. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10488432/>

**Polymer Degradation and Stability.** (2001). Dechlorination of poly(vinyl chloride) under high-temperature, high-pressure water. *Polymer Degradation and Stability*, 74(1), 113–117.

**Detoxification of PFAS Using Subcritical Water (EJ).** (2020). AIST Japan.

## 2.0 PVC and Chlorinated Plastics in Subcritical Water (SCW)

### 2.1 Overview

Polyvinyl chloride (PVC) is one of the most challenging plastics to manage under conventional waste systems due to its high chlorine content (57% by weight), dehydrochlorination behaviour, and potential formation of toxic by-products (e.g., HCl, dioxins) under combustion.

Subcritical Water (SCW) processing provides a non-combustion hydrothermal pathway for PVC decomposition. Under 230–265 °C and 3–5 MPa, PVC undergoes hydrothermal dechlorination, with chlorine released primarily into the aqueous phase as inorganic chloride and the remaining carbon-rich polymer structure undergoing further decomposition and carbonisation. Depending on the process-water chemistry and subsequent concentration or drying, chloride may ultimately occur in salts such as NaCl or CaCl<sub>2</sub>.

#### Plain-English Explanation Block

- PVC undergoes dechlorination and breakdown in hot, pressurised water.
- The released chlorine moves primarily into the aqueous phase as inorganic chloride rather than through a combustion exhaust stream.
- The remaining carbon-rich polymer structure undergoes further hydrothermal decomposition and contributes to the carbon-rich char..

#### PVC Management:

PVC is routinely co-processed with other wastes to maintain a buffered pH during dehydrochlorination. Where PVC concentration is elevated, operators may add mild alkaline reagents (e.g., Ca(OH)<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) to neutralise acidity associated with dehydrochlorination. The released chlorine is managed primarily as inorganic chloride within the aqueous phase and, depending on the water chemistry and downstream processing, may ultimately occur as salts such as NaCl or CaCl<sub>2</sub>. This approach has been used in Japanese SCW facilities for over 20 years with no observed corrosion or reactor degradation.

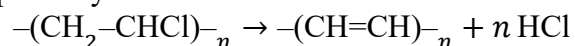
*This chapter outlines the mechanisms, reaction pathways, immobilisation processes, and safety outcomes for PVC treated in SCW.*

### 2.2 Chemical Behaviour of PVC Under SCW Conditions

At 230–265 °C in a compressed-liquid water environment, water exhibits reduced dielectric constant, elevated ionic product, and strong nucleophilic behaviour, enabling the breakdown of PVC polymer chains.

#### 2.2.1 Primary Reaction: Dehydrochlorination

The initial reaction is rapid dehydrochlorination:

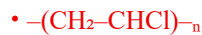


Hydrochloric acid is released directly into the aqueous phase where it is captured and neutralised.

#### Supporting References:

(Ishimori, 2019; Polymer Degradation and Stability, 2001; Soler et al., 2018)

### **Primary Reaction: Dehydrochlorination — Plain-English Explanation Block: Chemical Reaction** **What each part means**



This is the repeating unit of PVC (polyvinyl chloride) — a long plastic chain made of carbon, hydrogen and chlorine atoms.



As chlorine is removed through dehydrochlorination, an unsaturated, carbon-rich polymer structure remains and undergoes further hydrothermal decomposition and carbonisation under SCW conditions.



During dehydrochlorination, chlorine is released as hydrochloric acid (HCl). Within the high-temperature, high-pressure aqueous environment, HCl dissociates into  $\text{H}^+$  and  $\text{Cl}^-$ , with the chlorine therefore present primarily as inorganic chloride in the aqueous phase.

Why this reaction matters

Under SCW:

1. PVC undergoes dechlorination without combustion

Chlorine is removed from the PVC polymer and transferred primarily into the aqueous phase as inorganic chloride.

This means that PVC is treated without the conventional combustion pathways associated with:

- HCl-containing combustion flue gas
- smoke and combustion fumes
- combustion-derived dioxin formation
- corrosive combustion exhaust streams

2. The remaining polymer contributes to carbon-rich char

Following dechlorination, the carbon-rich polymer structure undergoes further hydrothermal decomposition and carbonisation, contributing to the resulting char.

Depending on the overall feedstock, the resulting char can have:

- high carbon content
- useful calorific value
- potential for use as an industrial fuel, subject to meeting the required fuel-quality specifications

3. SCW avoids the conventional combustion pathway for toxic chlorinated by-products

Because SCW is a water-based, non-combustion hydrothermal process:

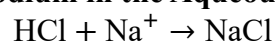
- there are no flames
- there is no conventional combustion flue gas
- the conventional combustion pathway associated with dioxin formation is avoided
- PVC-derived chlorine is managed primarily within the aqueous process as inorganic chloride

Residual chlorinated organic compounds or transformation products can be analysed where relevant to confirm treatment performance for the particular feedstock.

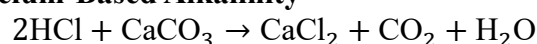
This is a fundamental distinction between SCW and conventional combustion-based treatment of PVC-containing wastes.

## **2.3 Neutralisation and Chlorine Management**

### **2.3.1 Chloride Association with Sodium in the Aqueous Phase**



### **2.3.2 Reaction With Calcium-Based Alkalinity**



These reactions transfer PVC-derived chlorine primarily into the aqueous phase as inorganic chloride, where acidity can be neutralised and chloride may subsequently occur as dissolved ions or inorganic salts depending on the process-water chemistry.

## Supporting References:

(Ishimori Industry Co., 2018; Soler et al., 2018; Wang et al., 2023)

### Neutralisation and Chlorine Management — Plain-English Explanation Block

What happens to the chlorine released from PVC?

HCl (Hydrochloric Acid)

During PVC dehydrochlorination, chlorine is released as HCl. In the high-temperature, high-pressure aqueous environment, HCl dissociates:

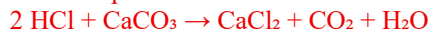


The chlorine therefore exists primarily as inorganic chloride ( $\text{Cl}^-$ ) in the aqueous phase.

Neutralisation of acidity

Alkaline compounds present naturally in the waste, or added where required, can neutralise the acidity produced during dehydrochlorination.

For example:



Calcium carbonate may be present in concrete, soil, mineral matter and other components of mixed waste, or alkaline reagents can be added deliberately where required.

Sodium ions may also be present in the process water. Depending on water chemistry and subsequent concentration or drying, sodium and chloride may ultimately occur as sodium chloride (NaCl).

### Why this matters for SCW

1. Organic chlorine is converted primarily to inorganic chloride

Dehydrochlorination removes chlorine from the PVC polymer. The released chlorine enters the aqueous phase primarily as inorganic chloride rather than remaining organically bound within the original PVC.

Depending on process chemistry and downstream water treatment, chloride may remain dissolved or ultimately occur in salts such as NaCl or  $\text{CaCl}_2$ .

2. Chlorine is managed within an enclosed aqueous process

Because SCW is a sealed, non-combustion hydrothermal process:

- PVC-derived chlorine is primarily managed within the aqueous phase
- there is no conventional combustion flue-gas pathway
- acidity can be neutralised within the process
- there is no conventional combustion stack emission

3. The conventional combustion pathway for dioxin formation is avoided

SCW does not burn the PVC. It therefore avoids the conventional combustion conditions associated with dioxin formation from chlorine-containing waste.

Where technically relevant, residual chlorinated organic compounds and transformation products can be analysed to verify treatment performance for the particular feedstock.

## 2.4 Polymer Backbone Transformation

After HCl cleavage, the polymer chain becomes unsaturated and collapses into a carbon-rich solid similar to char or coal.

### Resulting Solid:

- Carbon-rich solid residue
- Composition dependent on feedstock
- Calorific value, ash, sulphur and chlorine vary according to feedstock
- Can be pelletised for handling
- Potential industrial fuel where applicable fuel-quality specifications are met

## Supporting References:

(Ishimori Industry Co., 2018; Processing System SCW\_E.pdf; SCW Reports ENGLISH)

## 2.5 Fate of Chlorine

**Chlorine originally bound within PVC is released during dehydrochlorination and transferred primarily into the aqueous phase as inorganic chloride (Cl<sup>-</sup>).**

Depending on the process-water chemistry and subsequent concentration or drying, this chloride may remain dissolved or ultimately occur as inorganic salts such as:

- NaCl (Sodium chloride)
- CaCl<sub>2</sub> (Calcium chloride)

Chloride is subsequently managed within the process-water and water-recovery system. Because SCW is a non-combustion process, it avoids the conventional combustion pathway associated with HCl-containing flue gas and dioxin formation.

**Supporting References:**

(Ishimori, 2019; Detoxification of PFAS Using Subcritical Water\_EJ.pdf; Wang et al., 2023)

**2.6 Residue Characteristics and Safety**

**2.6.1 Solid Residue (Char)**

- Carbon-rich solid residue
- Chemically stable and readily handled
- Fuel properties depend on the processed feedstock
- Potentially suitable as an industrial fuel or coal substitute, subject to fuel-quality specifications

**2.6.2 Leachability**

Reported Japanese JLT and JLT-based analytical tests provide evidence that, for the tested SCW materials:

- Organic chlorine was not detected in the reported leaching analyses
- Chlorine was reported predominantly in inorganic forms
- Reported analyses found no detectable dioxins or vinyl chloride monomer in the samples/tests where these were examined

**Supporting References:**

(SCW Reports ENGLISH; Ishimori Industry Co., 2020)

**2.7 Comparison With Conventional Disposal Technologies**

**Incineration**

- Temperature 850–1100 °C
- Major risks: HCl gas, dioxins, fly ash contamination
- High corrosion
- High emission control costs

**Pyrolysis**

- Often fails to dechlorinate PVC fully
- Risk of chlorinated tars and oils
- High-temperature corrosion issues persist

**Subcritical Water**

- No combustion
- Avoids the conventional combustion pathway for dioxin formation
- PVC-derived chlorine transferred primarily to aqueous inorganic chloride
- Corrosion managed through process chemistry and materials selection
- Can be electrically driven → proposed NZ configuration compatible with renewable electricity

## Supporting References:

(Akiya & Savage, 2002; Kruse & Dinjus, 2007)

## 2.8 Summary

PVC, one of the most problematic plastics for traditional systems, can be treated through a non-combustion hydrothermal pathway under SCW:

- Hydrothermal dechlorination of PVC
- PVC-derived chlorine transferred primarily to inorganic chloride
- No conventional combustion emissions
- Avoids the conventional combustion pathway for dioxin formation
- Carbon-rich solid residue with potential value as fuel
- Compatible with a fully electric configuration and renewable electricity

## Japanese Sources (Romanised + Original + English Translation)

Ishimori, K. (2019). *Arinkai shiryō: Subcritical water technical reference* [亜臨界資料：亜臨界水技術資料]. Ishimori Industry Co. Ltd.

Ishimori Industry Co. Ltd. (2018). *Tsui ka shiryō, toriatsukai chūi: Supplementary technical data* [追加資料、取り扱い注意：技術補足データ]. Internal technical manual.

Ishimori Industry Co. Ltd. (2020). *SCW system overview* [SCW システム概要]. In *SCW Reports ENGLISH* (certified analysis results).

Ishimori Industry Co. Ltd. (2021). *SCW tech and patents overview* [SCW 技術及び特許概要]. Internal engineering document.

Ishimori, K. (n.d.). Interview: “[SCW: Subcritical Water – Interviews with Kaneo Ishimori](https://substack.com/home/post/p-165440328)”. Substack. Retrieved from <https://substack.com/home/post/p-165440328>

## English / Academic Sources

Akiya, N., & Savage, P. E. (2002). Roles of water for chemical reactions in high-temperature water. *Chemical Reviews*, 102(8), 2725–2750. <https://doi.org/10.1021/cr000668w>

Kruse, A., & Dinjus, E. (2007). Hot compressed water as reaction medium and reactant.

*Journal of Supercritical Fluids*, 39(3), 362–380. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2006.03.016>

Polymer Degradation and Stability. (2001). Dechlorination of poly(vinyl chloride) under high-temperature, high-pressure water. *Polymer Degradation and Stability*, 74(1), 113–117.

Soler, A., Conesa, J. A., & Ortuño, N. (2018). Application of subcritical water to dechlorinate PVC electric wires. *Energies*, 11(10), 2612. <https://doi.org/10.3390/en11102612>

Wang, Z., Zhang, L., & Xu, F. (2023). Migration of chlorine during hydrothermal treatment of rigid PVC plastics. *Journal of Environmental Management*, 345, 118613.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10488432/>

## Technical & Government Sources

AIST Japan. (2020). *Detoxification of PFAS using subcritical water* [EJ technical report].

Processing System SCW\_E. (2017). *Sub-critical water waste processing system – English brochure*. Ishimori Industry Co. Ltd.

SCW Reports ENGLISH. (2020). *Certified analysis of SCW residues* (multiple JLT-based tests).

## 3.0 PFAS Forever Chemical Destruction in Subcritical Water

### 3.1 Introduction

Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) are among the most persistent synthetic chemicals due to the strength of the carbon–fluorine (C–F) bond ( $\approx 485$  kJ/mol). Conventional waste technologies—landfilling, low-temperature incineration, pyrolysis, and composting—do **not** reliably break PFAS molecules, often redistributing them into leachate, flue gas, or residual solids.

Subcritical Water (SCW) treatment offers a hydrothermal decomposition and defluorination pathway because hot compressed water (230–265 °C, 3–5 MPa) provides:

- High ion product ( $K_w$ )
- Strong nucleophilic  $\text{OH}^-$  activity
- Rapid hydrolysis and defluorination conditions
- Fully enclosed, non-combustion reactor with no conventional combustion stack

Japanese SCW systems have treated PFAS-bearing sludge and industrial wastewater for more than a decade, with Japanese analytical results indicating PFAS degradation and fluoride formation. The extent of defluorination and any residual organofluorine should be confirmed for the particular feedstock and operating conditions.

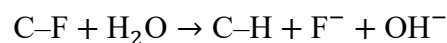
#### **PFAS Water-Phase Management:**

Where PFAS defluorination occurs, released fluorine enters primarily into the aqueous phase as inorganic fluoride. Depending on process-water chemistry, fluoride may remain dissolved or become associated with inorganic mineral phases. Subsequent treatment and concentration of fluoride-containing process water should be established from the actual Arinkai water-treatment configuration. Any concentrate, brine or residual solid should remain within the overall contaminant mass balance and be characterised appropriately.

### 3.2 Mechanism of PFAS Breakdown in SCW

#### 3.2.1 Hydrothermal cleavage of the C–F bond

Under SCW conditions:



The process begins with nucleophilic attack by  $\text{OH}^-$ , forming defluorinated organics and releasing fluoride ions ( $\text{F}^-$ ).

(Akiya & Savage, 2002; Patel et al., 2024)

### PFAS C–F Bond Cleavage (3.2.1) Plain-English Explanation Block

**What the reaction means:** *Simple Explanation*

- **PFAS molecules contain extremely strong carbon–fluorine (C–F) bonds.**  
These are among the strongest bonds in organic chemistry and are a major reason PFAS are extremely persistent in the environment.
- **Inside SCW, the hydrothermal reaction environment promotes breakdown of PFAS and cleavage of C–F bonds.**  
Breaking these bonds is the critical step in PFAS defluorination.
- **When a C–F bond is cleaved, fluorine is released as inorganic fluoride (F<sup>−</sup>).**  
The fluorine is no longer organically bound within the original PFAS molecule and enters the aqueous inorganic phase.
- **The remaining carbon structure undergoes further hydrothermal transformation.**  
As PFAS decomposition proceeds, the carbon-containing portion can undergo further reactions and ultimately partition between aqueous products, carbon-rich solids and other reaction products depending on treatment conditions.
- **OH<sup>−</sup> (hydroxide) is part of the reactive water chemistry.**

#### Why this matters

Breaking the C–F bond is a **key step in PFAS destruction and defluorination**.

According to the SCM process developer, PFAS are completely decomposed through the SCM treatment process to inorganic fluoride ions rather than simply being adsorbed or concentrated.

Once released as F<sup>−</sup>, fluoride enters the aqueous inorganic phase. Depending on the chemistry of the process water, it may remain dissolved or subsequently form inorganic fluoride salts.

For example:

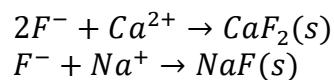
- **CaF<sub>2</sub> (calcium fluoride)** — may precipitate where sufficient calcium is present and chemical conditions favour precipitation
- **NaF (sodium fluoride)** — may occur where sodium and fluoride are present, particularly following concentration or drying

#### Ultra-simple summary

- SCW breaks down PFAS and cleaves C–F bonds.
- Fluorine is converted from **organically bound fluorine to inorganic fluoride**.
- The released fluoride is managed in the aqueous phase and may subsequently form inorganic salts.
- The remaining carbon-containing material undergoes further hydrothermal transformation.

### 3.2.2 Fate of Released Fluoride

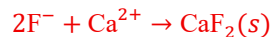
Fluoride released through PFAS defluorination enters primarily into the aqueous inorganic phase. Depending on the process-water chemistry, fluoride may remain dissolved or may form inorganic fluoride salts:



Where precipitation occurs, fluoride may be incorporated into mineral phases such as CaF<sub>2</sub>. Dissolved fluoride and any precipitated fluoride-containing solids are subsequently managed through the process-water treatment and residue-management system. (Ishimori, 2019; Patel et al., 2024)

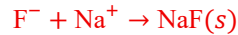
### 3.2.2 Fate of Released Fluoride — Plain-English Explanation Block

#### What the reactions mean



Fluoride ions ( $\text{F}^-$ ) released during PFAS defluorination may react with calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) present in the waste or process water.

Where chemical conditions favour precipitation, this can form calcium fluoride ( $\text{CaF}_2$ ), a naturally occurring mineral known as fluorite.



Sodium and fluoride ions may also coexist in the aqueous phase and may ultimately occur as sodium fluoride ( $\text{NaF}$ ), particularly following concentration or drying.

#### Plain-English Breakdown

- When PFAS undergoes defluorination, inorganic fluoride ions are released.
- These fluoride ions enter primarily into the aqueous phase.
- Depending on the water chemistry, fluoride may remain dissolved or form inorganic fluoride salts.
- Calcium fluoride ( $\text{CaF}_2$ ) may precipitate where sufficient calcium is present and conditions favour precipitation.
- Fluoride remaining in solution is subsequently managed through the process-water treatment and residue-management system.

**The important transformation is that fluorine is converted from organically bound fluorine within PFAS to inorganic fluoride, rather than simply being captured or concentrated as the original PFAS compound.**

### 3.2.3 Fate of carbon backbone

**Defluorinated carbon-containing products may undergo further hydrothermal reactions including:**

- Hydrolysis and transformation to smaller organic compounds
- Further decomposition and carbonisation, with some carbon potentially contributing to char
- Formation of gaseous carbon products, including  $\text{CO}_2$ , depending on treatment conditions

Reported Japanese SCW plant data indicate that gas generation is typically low, with  $\text{CO}_2$  reported at <2% in the referenced operating data. (SCW Reports ENGLISH, 2020)

### 3.3 PFAS Treatment Performance

Japanese analytical data and published hydrothermal research provide evidence that PFAS can undergo substantial degradation and defluorination under hydrothermal treatment conditions. Reported performance varies significantly with PFAS species, temperature, pressure, alkalinity, residence time and feedstock matrix.

According to the SCM process developer, the intended process outcome is complete decomposition of PFAS to inorganic fluoride ions. For feedstock-specific technical verification, however, treatment performance should be demonstrated analytically by measuring residual PFAS and fluorine across the relevant output streams.

(Japanese JIS/JLT and other analytical results are included in *SCW Reports ENGLISH*.)

- Final char / solid residue
- Treated process water
- RO concentrate or brine, where RO is used
- Other relevant solid residues

### 3.4 Comparison: PFAS Treatment Technologies

| Technology                         | PFAS Destroyed?                                                       | Risks / Issues                     | Notes                                                                 |
|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| SCW                                | <b>Yes — PFAS decomposition / defluorination → inorganic fluoride</b> | Enclosed, non-combustion process   | No conventional combustion stack; process water recovered and treated |
| Low-temp incineration              | Partial                                                               | PFAS → PFHxS, PFBA, HF gas         | Not recommended by USEPA                                              |
| High-temp incineration (>1,200 °C) | Yes (possibly)                                                        | High energy, HF scrubbers required | Expensive; compliance-intensive                                       |
| Pyrolysis                          | No                                                                    | PFAS survive                       | Creates contaminated char                                             |
| Landfilling                        | No                                                                    | Leachate contamination             | Long-term liability                                                   |
| Activated carbon                   | Adsorbs only                                                          | Must later be destroyed            | Shifts problem                                                        |
| Reverse osmosis                    | Removes only                                                          | PFAS concentrate must be treated   | Costly concentrate disposal                                           |

SCW provides a promising enclosed, non-combustion hydrothermal pathway for PFAS degradation and potential mineralisation, with performance dependent on operating conditions and feedstock.

### 3.5 Operational Outputs for PFAS-containing Waste

#### Solid Fraction (Char/Ash)

- May contain inorganic fluoride-bearing mineral phases depending on process-water and feedstock chemistry
- Available Japanese analytical data provide evidence relevant to fluorine behaviour, but the material reviewed does not establish a general finding of non-detectable organic fluorine. Representative feedstock-specific testing should include target PFAS and, where analytically practicable, total organic fluorine (TOF) or adsorbable organic fluorine (AOF) to confirm performance.
- Reported Japanese leaching tests showed non-detect or low leachability for the tested materials under the applied test conditions
- Potentially suitable for disposal or energy recovery depending on composition and applicable acceptance criteria

#### Aqueous Fraction

- Contains fluoride (F<sup>-</sup>) and chloride (Cl<sup>-</sup>) as dissolved ions
- RO/ion-exchange treatment can remove and concentrate dissolved ions from the process water
- Reported Japanese systems recover and reuse treated process water

#### Gas Fraction

- Reported Japanese operating data indicate low gas generation, with CO<sub>2</sub> reported at <2% in the referenced data
- No volatile fluorine species detected in the reported Japanese gas analyses
- No HF detected in the reported Japanese gas analyses

### 3.6 Key Advantages for PFAS Streams

SCM is designed to destroy and defluorinate PFAS rather than simply adsorb or concentrate it, with treatment performance confirmed through appropriate analytical verification.

- **No conventional combustion flue-gas treatment system required**
- **No volatile fluorine compounds detected in reported Japanese gas analyses**
- **Operates at achievable temperatures (230–265 °C)**
- **Proposed NZ electric configuration** → compatible with renewable electricity
- **Closed-loop water recovery system** → enables containment and treatment of fluoride and residual contaminants within the process-water system
- Produces carbon-rich char with potential value as fuel, subject to confirmation of residual PFAS, fluorine and other fuel-quality parameters

### 3.7 References

#### Japanese Sources

Ishimori, K. (2019). *Arinkai shiryō: Subcritical water technical reference* [亜臨界資料：亜臨界水技術資料]. Ishimori Industry Co. Ltd.

AIST Japan. (2020). *Detoxification of PFAS using Subcritical Water* [EJ technical report]. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology.

SCW Reports ENGLISH. (2020). *Certified analysis of SCW residues*.

#### English / Academic Sources

Akiya, N., & Savage, P. E. (2002). Roles of water for chemical reactions in high-temperature water. *Chemical Reviews*, 102(8), 2725–2750.

Patel, S., Halder, P., Hakeem, I. G., et al. (2024). The fate of fluorine post PFAS destruction during thermal treatment of biosolids. *Energies*, 17(14), 3476.

<https://doi.org/10.3390/en17143476>

## 4.0 CCA-Treated Timber: Metal Immobilisation in SCW

### 4.1 Introduction

Chromated Copper Arsenate (CCA) remains one of the most problematic legacy waste streams in New Zealand. Although new residential CCA use was phased down in the late 1980s–2000s, **large volumes of CCA-treated timber remain in construction and demolition (C&D) waste, landscaping materials, farm posts, and utility poles.**

#### *Note: Japan Timber Treatment*

*Subcritical Water (SCW) provides Japan with a non-combustion method for processing these legacy materials, breaking down the organic timber matrix and enabling CCA metals to be retained or redistributed into less mobile mineral- and carbon-associated forms, while organic contaminants such as creosote undergo hydrothermal decomposition.*

Conventional options—landfilling, incineration, and pyrolysis—pose long-term risks:

- **Landfills:** Cr, Cu, and As leaching over decades (MfE, 2004; MfE, 2019).
- **Incineration:** Potential volatilisation of arsenic oxides and chromium species.
- **Pyrolysis:** Metals remain concentrated in the resulting char/ash and may retain significant mobility or leachability depending on metal species and process conditions.

SCW offers a non-combustion, closed-loop process that hydrolyses organics and can stabilise heavy metals in less mobile, less readily leachable mineral- and carbon-associated forms within the solid residue.

Japanese laboratory analyses of tested SCW residues have reported no detectable leaching of Cr, Cu or As under the applied test methods. These results should not be taken as establishing identical performance for all CCA feedstocks, which should be verified by representative total-metals and leachability testing.

#### **4.2 Mechanisms of Metal Stabilisation in SCW**

CCA-treated timber contains the elements:

Copper (Cu)

Chromium (Cr)

Arsenic (As)

These metals can occur in different oxidation states and chemical forms depending on the original preservative chemistry, timber ageing and treatment conditions.

Under SCW conditions (230–265 °C, 3–5 MPa), CCA metals can undergo changes in speciation and partitioning between the solid and aqueous phases. Metals retained in the solid residue may become associated with mineral and carbon-rich phases that reduce their mobility and leachability.

##### **4.2.1 Chromium**

Chromium released from the treated timber matrix can undergo changes in oxidation state, speciation and mineral association under hydrothermal conditions. Chromium retained in the solid residue may become associated with stable oxide, hydroxide, mineral and carbon-rich phases, reducing its mobility and leachability.

Reported Japanese leachability testing provides evidence of low or non-detectable chromium leaching from the tested SCW residues under the applied test conditions.

##### **4.2.2 Copper**

Copper released during decomposition of the timber matrix can partition between the aqueous and solid phases. Copper retained in the solid residue may become associated with oxide, hydroxide, mineral and carbon-rich phases, potentially reducing its mobility and leachability.

Reported Japanese leachability testing provides evidence of low or non-detectable copper leaching from the tested SCW residues under the applied test conditions.

##### **4.2.3 Arsenic**

Arsenic can undergo changes in speciation and partitioning during hydrothermal treatment. Depending on pH, oxidation state, calcium and other mineral constituents, arsenic may become associated with mineral phases or the carbon-rich solid residue. Some arsenic may also partition into the aqueous phase, making water-phase analysis important.

Reported Japanese leachability testing provides evidence of low or non-detectable arsenic leaching from the tested SCW residues under the applied test conditions.

#### **Key Point:**

Because SCW operates at substantially lower temperatures than conventional combustion, volatilisation of CCA metals is expected to be substantially reduced. Actual metal partitioning between solid, aqueous and any gaseous/residual streams should be confirmed analytically for the relevant feedstock.

(Ishimori, 2019; SCW Reports ENGLISH)

#### 4.2 Mechanisms of Metal Stabilisation in SCW

CCA-treated timber contains three main preservative metals:

- **Copper (Cu<sup>2+</sup>)**
- **Chromium (Cr<sup>3+</sup> / Cr<sup>6+</sup>)**
- **Arsenic (As<sup>5+</sup>)**

Under Subcritical Water (SCW) conditions (230–265 °C, 3–5 MPa), CCA metals can undergo changes in chemical form and partitioning. Metals retained in the solid residue can become associated with more stable mineral and carbon phases, reducing their mobility and leachability. This potential stabilisation is an important advantage of SCW for treated-timber waste, but should be confirmed by feedstock-specific total-metals and leachability testing.

#### 4.3 Behaviour of CCA Timber in SCW

##### Step-by-step breakdown

1. Cellulose, hemicellulose and lignin undergo hydrothermal decomposition, breaking down the treated-timber matrix.
2. CCA metals are released from their original associations within the timber and can partition between the solid and aqueous phases.
3. Metal speciation can change through hydrolysis, complexation, adsorption and interaction with mineral and carbon-rich phases.
4. A proportion of the metals may become retained in more stable solid-associated forms, reducing their mobility and leachability.
5. The relative distribution of Cr, Cu and As between the solid and aqueous phases depends on feedstock and treatment chemistry and should be established through mass-balance testing.
6. The recovered process water is treated within the water-recovery system, with dissolved contaminants concentrated or removed as required before water reuse.

Reported Japanese analyses of some treated-water samples have shown Cr, Cu and As below detection under the applied analytical methods. Other reported water samples contained measurable concentrations of one or more of these metals, demonstrating that aqueous-phase partitioning is feedstock- and process-dependent. Feedstock-specific testing should therefore confirm water-phase metal concentrations and treatment performance for CCA-treated timber processed in a New Zealand system.

#### 4.4 SCW Output Characteristics for CCA Timber

##### 4.4.1 Solid Residue (Char / Mineral Fraction)

- Cr, Cu and As may be retained in the solid residue in mineral- and carbon-associated forms
- Reported Japanese JLT/JLT-based leachability testing of tested SCW residues showed Cr, Cu and As below detection under the applied test conditions
- Total metal concentrations may remain significant even where leachability is very low
- If the char is subsequently used as fuel, the fate of Cr, Cu and As during combustion must be separately assessed, including their distribution between bottom ash, fly ash and flue-gas treatment residues (See: *SCW Reports ENGLISH* and 追加資料)

##### 4.4.2 Aqueous Fraction

Japanese process-water and discharge-water analyses demonstrate that some metals can partition into the aqueous phase during processing. Reported results include measurable concentrations of Cu, Cr and As in particular samples.

- Dissolved metals may therefore require management within the process-water treatment system.

- Water treatment and recovery can separate or concentrate dissolved contaminants, but does not destroy elemental metals.
- Treated-water quality should be assessed against the applicable reuse or discharge criteria.
- Feedstock-specific analysis and mass balance are required when processing CCA-treated timber.

#### 4.4.3 Gas Fraction

- SCW operates as a closed, non-combustion hydrothermal process rather than a conventional combustion system.
- Overall gas generation is reported to be low in referenced Japanese operating data.
- The distribution of CCA metals between solid, aqueous and any gaseous or entrained particulate phases should be confirmed by feedstock-specific mass-balance testing.

### 4.5 Comparison: SCW vs Landfilling vs Incineration for CCA Timber

| Technology          | Behaviour of Cu/Cr/As                                                                                                                        | Principal considerations                                                                              |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>SCW</b>          | Metals can partition between solid and aqueous phases; solid-associated metals may occur in less mobile mineral- and carbon-associated forms | Requires verification of metal distribution and leachability; aqueous contaminants require management |
| <b>Landfilling</b>  | Metals remain in treated timber and may leach over time                                                                                      | Long-term leachate and groundwater-management risk                                                    |
| <b>Incineration</b> | Metals concentrate in ash and some metals/species may volatilise or become entrained in fly ash                                              | Requires appropriate ash and air-pollution-control management                                         |
| <b>Pyrolysis</b>    | Metals generally remain concentrated in char/residue, with distribution and mobility dependent on conditions                                 | Char may require further treatment or controlled management                                           |

SCW provides a closed, non-combustion pathway with the potential to retain CCA metals in relatively stable mineral- and carbon-associated forms, reducing their mobility and leachability compared with untreated material. Performance should be confirmed by feedstock-specific testing.

### 4.6 Importance for New Zealand

New Zealand faces significant legacy stockpiles of:

- CCA fence posts
- Landscaping timber
- Farm and orchard poles
- Industrial offcuts
- Demolition waste

SCW provides:

- Significant volume reduction
- Potential reduction in long-term leachability and landfill liabilities
- A potential pathway for processing large volumes of legacy CCA-treated timber
- A non-combustion treatment option, with a fully electric configuration proposed for New Zealand

This approach is relevant to New Zealand objectives and regulatory considerations including:

- Waste Minimisation Act 2008
- MfE hazardous-waste guidance
- Waste reduction and resource-recovery objectives
- Climate and emissions-reduction objectives
- Management of difficult and contaminated waste streams

## 4.7 References

### Japanese Sources

Ishimori, K. (2019). *Arinkai shiryō: Subcritical water technical reference* [亜臨界資料：亜臨界水技術資料]. Ishimori Industry Co. Ltd.

Ishimori Industry Co. Ltd. (2020). *SCW Reports ENGLISH* (certified laboratory analysis and leaching results).

Ishimori Industry Co. Ltd. (2018). *Tsui ka shiryō, toriatsukai chūi: Supplementary technical data* [追加資料、取り扱い注意].

### English Sources

Akiya, N., & Savage, P. E. (2002). Roles of water for chemical reactions in high-temperature water. *Chemical Reviews*, 102(8), 2725–2750. <https://doi.org/10.1021/cr000668w>

Kruse, A., & Dinjus, E. (2007). Hot compressed water as reaction medium and reactant. *Journal of Supercritical Fluids*, 39(3), 362–380.

Ministry for the Environment (2004). *Hazardous Waste Guidelines: Module 2 – Landfill Waste Acceptance Criteria*.

Ministry for the Environment (2019). *Hazardous Waste Guide*.

# 5.0 SCW char and Residue Characterisation

## 5.1 Introduction

Subcritical Water (SCW) processing produces a carbon-rich solid residue commonly referred to as **SCW char**. Unlike pyrolysis char—which is produced by thermal decomposition under oxygen-limited or oxygen-free conditions, typically at several hundred degrees Celsius—SCW char is formed through **hydrothermal decomposition and carbonisation** at approximately 230–265 °C under 3–5 MPa.

Because the SCW process occurs in a hot, pressurised aqueous environment and without conventional combustion, the resulting char:

- is produced without conventional combustion and therefore avoids conventional combustion-derived products
- contains carbon-rich material together with mineral constituents derived from the feedstock
- may retain metals in mineral- and carbon-associated forms with reduced mobility and leachability
- can have **high energy value**, depending strongly on feedstock composition
- can be dried and pelletised for handling and potential fuel use

Japanese facilities have produced SCW solid fuel over many years, with laboratory analyses demonstrating high calorific values and providing analytical data on fuel composition, water quality and selected environmental parameters.

## 5.2 Physical and Chemical Characteristics

### 5.2.1 Appearance & Handling

SCW char is typically:

- black / dark brown
- relatively dry following the drying stage
- low-odour
- granular or powder-like, depending on feedstock and processing/drying conditions

(Processing System SCW\_E.pdf; Ishimori, 2019)

This morphology reflects hydrothermal processing rather than conventional thermal cracking or combustion.

### 5.2.2 Carbon Content

SCW treatment transforms the organic fraction of the feedstock into a carbon-rich solid residue. Carbon content varies substantially according to the original waste composition, particularly the relative proportions of biomass, paper, plastics and other organic materials. Hydrothermal treatment removes water and transforms the organic feedstock, producing a carbon-rich solid whose carbon content and composition depend strongly on the original waste stream and treatment conditions.

### 5.2.3 Calorific Value (Energy Content)

Japanese certified analyses demonstrate substantial variation in SCW solid-fuel energy content depending on feedstock and operating material.

Reported values include approximately **22–25.7 MJ/kg** for Shiraoi and Shari samples, with higher values of approximately **31–37.1 MJ/kg** reported for Kitahiroshima/Hiroshima samples.

For example, the 2024 certified Shari analysis reported a gross calorific value of **25.65 MJ/kg on a dry basis**, while the Kitahiroshima analysis reported **37.13 MJ/kg on a dry basis**.

This places higher-energy SCW solid fuels within the broad energy-density range of conventional solid industrial fuels, although actual fuel suitability depends on the complete fuel specification rather than calorific value alone.

Sulphur and ash content also vary with feedstock. Japanese analyses have generally shown relatively low sulphur levels, while ash content varies substantially between samples. Suitability as an industrial fuel therefore depends on the applicable fuel specification and feedstock composition.

## 5.3 Inorganic Constituents and Salt Formation

SCW treatment can transfer halogens and other inorganic constituents from the original organic matrix into the aqueous and solid phases.

- Chlorine released during PVC dechlorination occurs primarily as **aqueous inorganic chloride**, which may subsequently occur as dissolved chloride or inorganic salts depending on process-water chemistry.
- Where PFAS defluorination occurs, organically bound fluorine is converted to **inorganic fluoride**, which primarily enters the aqueous phase and may remain dissolved or form inorganic fluoride-containing phases depending on process chemistry.
- Metals and other inorganic constituents may partition between the aqueous phase and solid residue and may become associated with mineral and carbon-rich phases.

The distribution and chemical form of these inorganic constituents depend on feedstock composition and process-water chemistry and should be confirmed through appropriate analytical testing and mass balance.

## 5.4 Metal Stabilisation and Partitioning

Metals present in treated timber, sludge and other feedstocks are not destroyed by SCW treatment. They may undergo changes in oxidation state, speciation and partitioning between the solid and aqueous phases.

Metals retained in the solid residue may become associated with oxide, hydroxide, mineral and carbon-rich phases, potentially reducing their mobility and leachability. However, the degree of stabilisation is feedstock- and condition-dependent and should be demonstrated through total-metals, leachability and mass-balance testing.

Japanese water analyses also demonstrate that some metals can occur in the aqueous phase following treatment, reinforcing the need for appropriate process-water management. For example, one reported treated-water sample contained measurable Cu and Cr, while a separate discharge-water analysis reported measurable Cr(VI) and As.

### 5.5 Leaching & Environmental Performance

Japanese laboratory reports provide analytical evidence concerning the composition of SCW solid fuels, treated water, discharge water and selected gaseous outputs.

Where leachability testing has been undertaken, results should be interpreted according to the specific sample, analytical method and detection limit used. A result reported as “**not detected**” means that the concentration was below the stated analytical quantification limit; it does not mean that the element or compound was absent from the original material.

The SCW process is non-combustion and therefore avoids the conventional combustion pathway associated with formation of combustion-derived dioxins and furans. Japanese analytical reports also include dioxin testing of process-related samples and gaseous outputs. For metals and other inorganic contaminants, environmental performance depends on their distribution between:

- the carbon-rich solid residue
- process water
- concentrated water-treatment residuals or brine
- any gaseous or entrained particulate phase

Consequently, suitability of SCW char for subsequent use should be assessed against the requirements of the intended application.

Potential pathways include:

- pelletised industrial fuel
- co-firing or boiler applications, subject to fuel specifications
- other industrial uses where the material meets applicable acceptance criteria
- controlled disposal where beneficial use is not appropriate

Where SCW char is subsequently combusted, the behaviour of metals and other inorganic constituents during combustion must be considered separately from their behaviour during SCW treatment. Metals may become concentrated in bottom ash, fly ash or air-pollution-control residues, and some metals or species may volatilise depending on combustion conditions.

### 5.6 Applications of SCW Char

#### 5.6.1 Industrial Fuel

A principal potential application for SCW char is as a solid industrial fuel.

Japanese analytical results demonstrate calorific values ranging from approximately **22 MJ/kg to 37.1 MJ/kg** in the samples examined, depending strongly on feedstock composition and resulting fuel characteristics.

SCW solid fuel can be pelletised to increase bulk density and improve storage, handling and transport characteristics.

Potential applications include:

- pelletised boiler fuel
- partial substitution for conventional solid fuels

- supplementary fuel for appropriate industrial thermal processes

Actual acceptance will depend on the requirements of the receiving facility, including calorific value, moisture, ash, chlorine, sulphur, metals and other relevant fuel-quality parameters.

### 5.6.2 Other Material Uses

The mineral and carbon-rich characteristics of SCW residue may provide opportunities for uses other than fuel.

Potential applications could include certain cement, construction or industrial-material applications, but suitability will depend on the composition of the particular residue and the technical and regulatory requirements of the receiving application.

Such uses should therefore be demonstrated through appropriate material-characterisation and leachability testing rather than assumed from the SCW process alone.

### 5.6.3 Circular Economy Role

SCW char may contribute to circular-resource objectives by:

- recovering useful energy from waste that would otherwise be landfilled
- substantially reducing the mass and volume of material requiring disposal
- potentially stabilising some contaminants into less mobile forms
- recovering a carbon-rich solid product from mixed organic waste
- enabling recovery and reuse of process water within the SCW system

The extent of these benefits depends on feedstock composition, plant configuration, product use and management of the aqueous and residual streams.

This approach is relevant to New Zealand objectives under the **Waste Minimisation Act** and broader resource-efficiency, emissions-reduction and circular-economy objectives.

### 5.7 Key Outcomes

SCW char offers the potential for:

- **High energy density:** Japanese samples have demonstrated values up to **37.1 MJ/kg**
- **Non-combustion production:** the char is produced without conventional combustion
- **Variable but generally low sulphur:** dependent on feedstock
- **Contaminant stabilisation:** some metals may become associated with less mobile mineral- and carbon-rich phases
- **Resource recovery:** potential use as industrial fuel or, where demonstrated suitable, other material applications
- **Landfill reduction:** substantial reduction in the quantity of original waste requiring disposal
- **Water recovery:** process water can be treated and reused within the system
- **Verifiable environmental performance:** solid, aqueous and gaseous outputs can be analysed to establish contaminant fate and mass balance

The SCW char pathway is fundamentally different from conventional pyrolysis or incineration because the primary treatment reactions occur within a **hot, pressurised aqueous environment rather than through combustion**. Organic contaminants can undergo hydrothermal decomposition, while inorganic constituents are redistributed between the solid and aqueous phases and can subsequently be managed through residue and process-water treatment.

### 5.8 References

#### Japanese Sources

Ishimori, K. (2019). *Arinkai shiryō: Subcritical water technical reference* [亜臨界資料：亜臨界水技術資料]. Ishimori Industry Co. Ltd.

Ishimori Industry Co. Ltd. (2018). *Tsui ka shiryō, toriatsukai chūi: Supplementary technical*

*data* [追加資料、取り扱い注意].

Ishimori Industry Co. Ltd. (2020). *SCW Reports ENGLISH* (certified analysis results).

#### English/Academic Sources

Akiya, N., & Savage, P. E. (2002). *Chemical Reviews*, 102(8), 2725–2750.

Kruse, A., & Dinjus, E. (2007). *Journal of Supercritical Fluids*, 39(3), 362–380.

Patel, S., Halder, P., Hakeem, I. G., et al. (2024). *Energies*, 17(14), 3476.

Soler, A., Conesa, J. A., & Ortuño, N. (2018). *Energies*, 11(10), 2612.

<https://doi.org/10.3390/en11102612>

Wang, Z., Zhang, L., & Xu, F. (2023). *Journal of Environmental Management*, 345, 118613.

AIST Japan (2020). *Detoxification of PFAS Using Subcritical Water*.

## 6.0 Water Treatment, RO Management, and System-Wide Fate of Contaminants

### 6.1 Introduction

A defining feature of Subcritical Water (SCW) processing is that treatment occurs within a hot, pressurised aqueous environment. As the organic feedstock undergoes hydrothermal decomposition, contaminants and reaction products can partition between the **solid, aqueous and minor gaseous phases**.

The aqueous phase can therefore contain:

- dissolved inorganic salts and ions
- hydrolysed and dissolved organic compounds
- chloride released during dechlorination of PVC and other chlorine-containing materials
- inorganic fluoride where PFAS defluorination occurs
- nutrients and nitrogen-containing compounds
- dissolved or suspended metals
- residual organic contaminants and transformation products

The process-water treatment and recovery system is therefore an integral part of the overall environmental performance of SCW.

Japanese analytical reports demonstrate that treated and discharge waters can contain measurable inorganic and organic constituents. Consequently, water quality must be assessed as part of the complete system rather than assuming that contaminants remain entirely within the solid residue.

### 6.2 Water Pathway in an SCW Facility

The general water pathway can be described as follows:

#### 1. SCW Reactor

High-pressure saturated steam is introduced directly into the reactor containing the waste feedstock. During treatment, hydrothermal reactions break down the organic matrix and transfer some soluble reaction products and inorganic constituents into the aqueous phase. Following treatment and depressurisation, steam and water are recovered for condensation and treatment.

#### 2. Separation of Solid and Aqueous Constituents

Following SCW treatment, contaminants can be distributed between:

- **solid fraction:** carbon-rich char, mineral matter and solid-associated contaminants

- **aqueous fraction:** dissolved organic compounds, inorganic ions and soluble contaminants
- **minor gaseous/volatile fraction:** depending on feedstock and treatment conditions

The relative distribution between these phases depends on feedstock composition, treatment conditions and process-water chemistry.

### 3. Process-Water Treatment

The recovered aqueous phase requires treatment appropriate to its composition.

Potential constituents include:

- chloride
- fluoride
- sodium, potassium, calcium and other dissolved ions
- dissolved organic carbon and organic acids
- nitrogen-containing compounds
- dissolved metals
- residual contaminants and transformation products

Treatment requirements therefore depend on the particular feedstock and the quality required for water reuse or discharge.

### 4. Filtration and Solids Removal

Suspended carbonaceous and mineral solids can be removed from the recovered water before subsequent treatment stages.

The precise filtration and pretreatment configuration should be determined according to the actual SCW plant design and process-water characteristics.

### 5. Reverse Osmosis and Other Water-Treatment Processes

Where Reverse Osmosis (RO) is used, it can separate a substantial proportion of dissolved ions and other contaminants from the reusable water stream.

RO does **not destroy contaminants**. Instead, it produces:

- **permeate:** the lower-contaminant water stream
- **concentrate/brine:** a smaller stream containing higher concentrations of rejected salts, metals and other contaminants

Other pretreatment or polishing stages may be required depending on process-water composition and the required water quality.

### 6. Recovered Water

Treated water can potentially be returned to the SCW system, reducing demand for fresh process water.

According to Ishimori's description of the SCM process, approximately **2,000–2,500 litres of water are used per batch**, largely independent of the mass of material treated, with approximately **1,500 litres of condensed water/released steam recovered after treatment and returned to the boiler system**.

Actual plant-wide water recovery should be established from operating data and a complete water balance rather than assumed from a generic recovery percentage.

### 7. Concentrated Residual Stream

Contaminants separated from reusable water do not disappear. They remain within concentrated liquid or solid residual streams and require appropriate management.

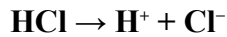
The composition and final management pathway of RO concentrate or other water-treatment residuals should therefore form part of the overall plant contaminant mass balance.

#### 6.3 Chemical Processes in the Aqueous Phase

##### 6.3.1 Chlorine Released from PVC

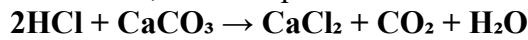
During hydrothermal dechlorination of PVC, organically bound chlorine can be released as hydrochloric acid (HCl).

In water:



The released chloride remains primarily within the aqueous inorganic phase.

Where an alkaline neutralising agent such as calcium carbonate is present, acidity can be neutralised, for example:



Depending on process-water chemistry and subsequent concentration or drying, chloride may remain dissolved or ultimately occur in inorganic salts such as NaCl or CaCl<sub>2</sub>.

### Plain-English explanation

*When PVC undergoes dechlorination in SCW, its chlorine is released into the water rather than into a conventional combustion flue-gas stream.*

*The chlorine occurs primarily as inorganic chloride in the aqueous phase. Acidity can be neutralised where necessary, while the resulting chloride is subsequently managed through the process-water treatment and recovery system.*

*This is an important distinction between SCW treatment and conventional combustion of chlorine-containing wastes.*

### 6.3.2 PFAS Defluorination and Inorganic Fluoride

Where PFAS undergoes successful defluorination, carbon–fluorine bonds are cleaved and organically bound fluorine is converted to **inorganic fluoride (F<sup>-</sup>)**.

The released fluoride enters primarily into the aqueous inorganic phase.

Depending on water chemistry, fluoride may:

- remain dissolved in the process water
- become associated with inorganic constituents
- form fluoride-containing mineral phases where chemical conditions favour precipitation
- become concentrated within a water-treatment residual stream

Calcium fluoride (CaF<sub>2</sub>) is one **possible** fluoride mineral where sufficient calcium is present and precipitation conditions are favourable. However, formation of CaF<sub>2</sub> or other specific fluoride minerals should not be assumed without appropriate chemical or mineralogical analysis.

### Plain-English explanation

*SCM is designed to break down PFAS and convert organically bound fluorine into inorganic fluoride rather than merely adsorbing or concentrating the original PFAS.*

*Once released, fluoride enters the process-water system. Its subsequent form and location depend on the chemistry of that water.*

*The environmental objective is therefore not simply PFAS disappearance, but demonstration of:*

- *destruction of the original PFAS*
- *extent of defluorination*
- *residual PFAS and transformation products*
- *fluoride distribution*
- *management of fluoride-containing water or residuals*

*These should be confirmed through appropriate analytical testing.*

### 6.3.3 Organic Breakdown Products

Hydrothermal decomposition can produce a range of dissolved organic compounds, potentially including:

- lower-molecular-weight organic acids

- alcohols, ketones and other oxygenated compounds
- dissolved carbon species
- residual or intermediate organic compounds

The precise composition depends strongly on the original feedstock and SCW treatment conditions.

These compounds form part of the process-water treatment load and should be characterised using appropriate parameters such as TOC/DOC, COD and, where relevant, compound-specific analysis.

Japanese analytical reports provide actual water-quality measurements for SCW-related samples and demonstrate that treated water should be evaluated against measured analytical results rather than assumed to be contaminant-free.

#### **6.4 Gas and Volatile Fraction**

SCW is a **non-combustion process**, and reported Japanese operating information indicates that gas generation is relatively small compared with the principal solid and aqueous outputs. The gaseous or volatile fraction can nevertheless depend on feedstock and operating conditions.

Reported Japanese analyses should therefore be described according to the compounds actually measured and their analytical detection limits rather than as evidence that all possible volatile compounds are absent.

Where necessary, representative gas analysis can be incorporated into a complete contaminant mass balance.

The absence of conventional combustion is nevertheless important because SCW does not create the conventional high-temperature flue-gas pathway associated with waste incineration.

#### **6.5 Final Water Quality and Reuse**

Following appropriate treatment, recovered process water may potentially be:

1. **Reused internally**
  - returned to the process-water/boiler system
  - used in other appropriate plant operations
2. **Discharged to sewer where permitted**
  - subject to applicable trade-waste acceptance criteria
  - based on measured water composition
3. **Otherwise managed or further treated**
  - where water quality does not meet the requirements for direct reuse or discharge

Japanese analytical reports show that some treated/discharge-water samples contain measurable metals and other constituents. For example, reported analyses include measurable Cu and Cr in one treated-water sample and measurable Cr(VI) and As in another discharge-water sample.

These results reinforce the importance of analysing the actual water stream rather than describing treated water universally as containing no detectable contaminants.

For a New Zealand installation, water reuse or discharge would need to meet the requirements applying to the particular site and receiving system. Compliance should be demonstrated through plant-specific analytical data and the applicable consent or trade-waste conditions.

#### **6.6 Advantages of Integrated SCW Water Management**

An integrated SCW water-treatment and recovery system offers several potential advantages:

- **Closed or recirculating water management** → reduces fresh-water demand and enables process-water reuse

- **Containment of PFAS-derived fluoride** → inorganic fluoride can be managed within the aqueous treatment system
- **Management of PVC-derived chloride** → chlorine is transferred primarily into the aqueous inorganic chloride phase rather than a conventional combustion flue-gas stream
- **Management of dissolved metals** → metals entering the aqueous phase can be separated or concentrated through appropriate water treatment
- **Reduced liquid discharge** → water recovery can minimise the quantity requiring external discharge
- **Measurable contaminant fate** → solid, aqueous, residual and gaseous outputs can be analysed to establish a system-wide contaminant mass balance

SCW differs fundamentally from incineration because the primary treatment chemistry occurs within a **hot, pressurised aqueous environment rather than through combustion**. This does not mean that contaminants simply disappear. Organic contaminants may undergo hydrothermal decomposition, while inorganic elements such as chlorine, fluorine and metals are redistributed between the aqueous and solid phases.

The environmental performance of the complete SCW system therefore depends on demonstrating **where contaminants go, what chemical forms they take, how readily they can leach or migrate, and how each resulting stream is subsequently managed**.

## 6.7 References

### Japanese Sources

Ishimori, K. (2019). *Arinkai shiryō: Subcritical water technical reference* [亜臨界資料].

Ishimori Industry Co. Ltd. (2020). *SCW Reports ENGLISH* (certified water analysis).

Ishimori Industry Co. Ltd. (2018). *Supplementary technical data* [追加資料].

### English / Academic Sources

Akiya, N., & Savage, P. E. (2002). *Chemical Reviews*, 102(8), 2725–2750.

Detoxification of PFAS Using Subcritical Water (AIST Japan, 2020).

Kruse, A., & Dinjus, E. (2007). *Journal of Supercritical Fluids*, 39(3), 362–380.

Patel, S. et al. (2024). *Energies*, 17(14), 3476.

Soler, A. et al. (2018). *Energies*, 11(10), 2612.

Wang, Z. et al. (2023). *Journal of Environmental Management*, 345, 118613.

# Processing Capacity, Reactor Volume and Feed Preparation

The practical mass throughput of an SCW reactor is determined not only by reactor size, but also by the bulk density and physical preparation of the incoming waste.

According to updated information provided by the technology developer, a standard reactor has a processing volume of approximately **8–10 m<sup>3</sup> per batch**. A three-reactor configuration therefore provides approximately **24–30 m<sup>3</sup> of processing volume per batch cycle**.

Because waste streams vary substantially in bulk density, reactor capacity expressed in tonnes per batch will vary according to feedstock.

For mixed municipal residual waste and construction and demolition (C&D) waste, preprocessing may include shredding, removal of recoverable metals and reduction of oversized material to produce a more uniform feed. This improves utilisation of the available reactor volume by reducing large void spaces and allows more consistent loading and treatment.

For preliminary New Zealand planning purposes, a prepared bulk density of approximately **0.5 t/m<sup>3</sup>** can be used as an indicative working assumption for suitably shredded mixed residual or C&D-derived material. This would correspond approximately to:

| Configuration  | Processing volume | Indicative prepared density | Approx. mass/batch |
|----------------|-------------------|-----------------------------|--------------------|
| Single reactor | 8 m <sup>3</sup>  | 0.5 t/m <sup>3</sup>        | 4 t                |
| Single reactor | 10 m <sup>3</sup> | 0.5 t/m <sup>3</sup>        | 5 t                |
| Three reactors | 24 m <sup>3</sup> | 0.5 t/m <sup>3</sup>        | 12 t               |
| Three reactors | 30 m <sup>3</sup> | 0.5 t/m <sup>3</sup>        | 15 t               |

Using the upper end of this indicative range, approximately **5 tonnes per reactor per batch** provides a useful preliminary design assumption for prepared mixed waste.

With three reactors operating at approximately 5 tonnes each, a complete batch cycle would process approximately **15 tonnes**. At approximately **five batch cycles per operating day**, theoretical throughput would be approximately **75 tonnes/day**, broadly consistent with the nominal commercial plant capacity of approximately **70 tonnes/day**.

At an approximately **three-hour batch cycle**, five cycles would represent approximately **15 hours of reactor operation per day**. This suggests that nominal daily throughput may be achievable without necessarily requiring continuous 24-hour reactor operation, although actual operating hours will depend on loading, unloading, preparation, maintenance, feedstock characteristics and plant configuration.

Denser feedstocks may allow higher mass loading per unit of reactor volume. Sewage sludge, industrial sludges, screened fines and other relatively dense or high-moisture materials may therefore achieve higher tonnes per batch than shredded municipal or C&D waste, subject to process and operating constraints.

Accordingly, **reactor capacity should be considered fundamentally volume-based, with practical mass throughput determined by prepared feedstock bulk density and operating conditions.**

For project development, representative New Zealand feedstocks should therefore be characterised for:

- loose and prepared bulk density;
- particle-size distribution;
- moisture content;
- recoverable metals and inert fraction;
- achievable reactor loading density; and
- resulting tonnes processed per batch.

The indicative **0.5 t/m<sup>3</sup>** and **5 t/reactor/batch** assumptions are planning values and should be verified through feedstock preparation and commercial-scale operating trials before being used as guaranteed plant-performance figures.

## Indicative Energy and Water Relationship

Existing project information indicates electricity consumption of approximately **8 MWh/day** for the referenced standard SCW plant configuration. At a nominal processing throughput of approximately **70 tonnes/day**, this corresponds to an indicative average electricity requirement of approximately **114 kWh per tonne of incoming material**.

This value should be regarded as an overall planning indicator rather than a guaranteed specific-energy consumption. Actual energy demand will depend on feedstock composition, moisture content, reactor loading, operating cycle, heat recovery, water/steam requirements and plant configuration.

Updated information from the technology developer indicates that, where process wastewater is **not reused**, approximately **2,000 litres of additional water is required from the second batch onward**. This should not be interpreted as the total amount of water circulating within the process or as a fixed net water-consumption figure. The SCW system uses high-pressure saturated steam, and recovered steam and process water may be condensed, treated and potentially returned to the process.

Accordingly, a New Zealand demonstration should record both **electricity consumption (kWh/t)** and **net fresh-water consumption (L/t)** under representative operating conditions. These measurements would allow the practical energy and water efficiency of the system to be established for different New Zealand waste streams.

## 7.0 Policy, Regulatory, and Strategic Alignment for New Zealand

Subcritical Water (SCW) processing has potential relevance across several areas of New Zealand's waste-management, environmental and climate-policy framework. In particular, the technology may provide an additional treatment pathway for difficult waste streams that are currently landfilled, exported, stored or managed through specialised treatment systems. The precise regulatory treatment of an SCW facility and its outputs would depend on the feedstocks processed, plant configuration, site, emissions and discharge characteristics, and the intended use or disposal of the resulting solid and aqueous streams. Accordingly, this section identifies areas of potential policy and strategic alignment rather than asserting regulatory approval or compliance in advance of a New Zealand installation.

### 7.1 Alignment with the Waste Minimisation Act 2008

The purpose of the Waste Minimisation Act 2008 (WMA) is to encourage waste minimisation and a decrease in waste disposal in order to protect the environment from harm and provide environmental, social, economic and cultural benefits.

The Act defines waste minimisation as including:

- reduction of waste
- reuse
- recycling
- recovery of waste and diverted material

SCW has potential relevance to these objectives because it can:

- substantially reduce the quantity of original waste requiring landfill disposal
- process organic and mixed waste streams that may otherwise have limited recovery options
- recover a carbon-rich solid with potential value as an industrial fuel, subject to fuel-quality and contaminant testing
- recover and reuse process water within the treatment system
- provide potential resource-recovery pathways for some difficult waste streams

The Act expressly includes reduction, reuse, recycling and recovery within its definition of waste minimisation. The current Act also provides mechanisms supporting activities that reduce environmental harm or increase environmental benefits.

An SCW project could therefore potentially contribute to waste-minimisation and resource-recovery objectives. However, the regulatory classification of particular SCW activities and outputs would need to be determined for the specific New Zealand project.

### 7.2 Hazardous Substances and Contaminated Waste

SCW may also have relevance to New Zealand's management of hazardous substances and contaminated waste streams, including materials containing:

- PFAS and other persistent organic contaminants
- chlorine-containing materials such as PVC
- CCA-treated timber containing chromium, copper and arsenic
- contaminated sludges and industrial residues

SCW provides a non-combustion treatment environment in which organic contaminants can undergo hydrothermal decomposition while inorganic constituents partition between solid and aqueous phases.

For particular contaminants:

- PFAS: SCM is designed to decompose PFAS and achieve defluorination, converting organically bound fluorine to inorganic fluoride. Treatment performance should be demonstrated by appropriate PFAS, fluorine and mass-balance analysis.
- PVC: hydrothermal dechlorination transfers organically bound chlorine primarily into the aqueous phase as inorganic chloride, which can subsequently be managed through the process-water treatment system.
- CCA-treated timber: chromium, copper and arsenic are not destroyed, but may undergo changes in speciation and partitioning between solid and aqueous phases. Their mobility and leachability should be demonstrated through feedstock-specific testing.
- Other hazardous organic wastes: treatment performance should be established according to the particular compounds and analytical requirements involved.

Because SCW is a non-combustion process, it avoids the conventional high-temperature combustion pathway associated with incineration. However, this does not remove the need to characterise the solid, aqueous and any gaseous or residual streams.

Regulatory acceptance would therefore depend on demonstrating contaminant destruction, transformation, partitioning and residual risk for the particular feedstocks processed.

### **7.3 Climate Change and Emissions-Reduction Objectives**

New Zealand's climate framework seeks long-term reductions in greenhouse-gas emissions and supports development and deployment of technologies capable of reducing emissions across the economy.

The Government's current emissions-reduction planning includes a technology-led approach and identifies development of lower-emissions technologies and fuel substitutes as part of the transition.

SCW may contribute to these objectives in several ways:

- the proposed New Zealand SCW configuration can be electrically powered, allowing operation using New Zealand's electricity system and potentially renewable electricity
- diversion of biodegradable waste from landfill may reduce future landfill methane generation
- SCW char can have substantial energy content and may potentially substitute for a proportion of conventional solid fuel in suitable industrial applications
- recovery of useful energy from waste may reduce reliance on virgin fossil fuels where the resulting SCW fuel meets the receiving facility's technical and environmental requirements

Japanese certified analyses demonstrate SCW solid-fuel gross calorific values ranging from approximately 22 MJ/kg to 37.1 MJ/kg, depending on feedstock and sample characteristics. The greenhouse-gas implications of using SCW char as fuel depend importantly on its biogenic and fossil-derived carbon fractions. Waste containing plastics may contribute fossil carbon, while food, timber, paper and other biomass-derived materials contribute biogenic carbon.

Accordingly, SCW should not be described as an “emissions-neutral” process or its char automatically described as a renewable fuel. Its climate performance should instead be assessed through project-specific energy, carbon and lifecycle analysis.

#### **7.4 Potential Role in Difficult Waste-Management Gaps**

New Zealand continues to face difficult management questions for waste streams including:

- PFAS-contaminated materials
- treated timber
- mixed construction and demolition waste
- difficult-to-recycle plastics
- industrial sludges and contaminated residues
- other mixed organic and hazardous waste streams

Many existing management approaches rely on landfill disposal, containment, separation, export or specialised treatment. SCW potentially provides an additional treatment pathway because a single hydrothermal process can accept a comparatively broad range of organic feedstocks.

Potential treatment pathways include:

- PVC and other chlorine-containing organics → hydrothermal decomposition/dechlorination, with chlorine transferred primarily to the aqueous inorganic chloride phase
- PFAS-containing material → PFAS decomposition and defluorination, with released fluorine transferred to inorganic fluoride where defluorination occurs
- CCA-treated timber → decomposition of the organic timber matrix, with Cr, Cu and As redistributed between solid and aqueous phases and potentially retained in less mobile solid-associated forms
- mixed organic and plastic wastes → production of a carbon-rich solid with potential energy value

This combination could make SCW relevant where existing waste-management systems have limited options for mixed or difficult waste streams.

The extent of that role in New Zealand should be established through demonstration-scale operation, feedstock-specific analytical testing and engagement with the relevant regulatory authorities.

#### **7.5 NZ ETS and Carbon Accounting**

The treatment of SCW char under the New Zealand Emissions Trading Scheme (NZ ETS) requires careful consideration because the char may contain both biogenic and fossil-derived carbon.

The proportion of each will depend on the feedstock.

For example:

- food waste, paper and untreated timber predominantly contribute biogenic carbon
- fossil-derived plastics contribute fossil carbon
- mixed municipal or construction waste may contain both

Independent radiocarbon analysis of Japanese-produced SCW char is being undertaken in New Zealand to quantify its biogenic and fossil-derived carbon fractions.

The results will provide a factual basis for discussing with the relevant New Zealand authorities how combustion or other use of SCW char should be treated for carbon-accounting purposes.

Potential climate benefits of an SCW project may include:

- avoided landfill methane from diverted biodegradable waste
- displacement of conventional fossil fuels where SCW char is accepted as an alternative fuel
- use of electricity rather than direct fossil-fuel combustion in the proposed New Zealand SCW plant configuration
- resource recovery from material that would otherwise be disposed of

However, these benefits do not automatically generate NZUs, carbon credits or ETS revenue. The applicable ETS treatment will depend on New Zealand's statutory and regulatory framework, the measured biogenic/fossil carbon fraction, the way the char is ultimately used and the obligations of the relevant participants.

Consequently, potential ETS or carbon-accounting benefits should be assessed with the relevant authorities once independent New Zealand analytical results are available.

## **7.6 Strategic Fit for National and Regional Infrastructure**

### **National-Level Potential**

SCW could provide New Zealand with an additional domestic treatment and resource-recovery pathway for difficult waste streams that are currently landfilled, stored, exported or managed through specialised treatment systems.

Potential national benefits include:

- reducing dependence on expansion of landfill capacity
- providing an additional domestic treatment pathway for difficult waste streams, including PFAS-contaminated materials, treated timber, mixed plastics and industrial residues
- recovering a carbon-rich solid with potential value as an industrial fuel, subject to appropriate fuel-quality and contaminant testing
- reducing long-distance transport of waste where treatment facilities can be located closer to waste sources
- developing domestic technical capability in hydrothermal waste treatment

### **Regional Potential**

SCW systems could potentially be located near:

- transfer stations and waste-processing facilities
- wastewater treatment plants
- industrial areas
- construction and demolition waste hubs
- forestry and timber-processing regions
- councils with constrained landfill capacity
- areas requiring treatment of disaster-generated waste

Location would depend on feedstock availability, infrastructure, electricity supply, water management, transport economics, consenting requirements and potential markets for recovered products.

## Scalability

Japanese experience demonstrates operation of SCW systems in different waste-management settings.

A modular approach could potentially allow treatment capacity to be expanded by installing additional reactor systems as feedstock volumes and commercial requirements develop.

This could support:

- distributed waste treatment
- regional resource-recovery networks
- reduced long-haul waste transport
- local employment and technical capability
- integration with appropriate industrial energy users

Actual plant capacity and modular configuration should be determined from the engineering design and demonstrated operating performance rather than assumed from a generic module size.

### 7.7 International Context and New Zealand Opportunity

SCW and related hydrothermal technologies have been developed and investigated internationally, while the SCM system described in this review has substantial operating experience in Japan.

International commercial and development activity associated with the technology has also extended beyond Japan.

New Zealand currently has no commercial SCW waste-processing facility of the type described in this review.

This creates an opportunity to independently evaluate whether the technology could complement New Zealand's existing waste-management infrastructure, particularly for difficult waste streams for which landfill disposal or containment remains a major management pathway.

Potential areas of value include:

- landfill diversion
- difficult and contaminated waste treatment
- recovery of energy-containing solid material
- reduced transport requirements through regional processing
- electrically powered waste treatment
- development of domestic hydrothermal-treatment expertise

Early evaluation and demonstration could position New Zealand to assess the technology on the basis of local operating and analytical evidence rather than relying solely on overseas data.

### 7.8 Summary of Policy and Strategic Alignment

| Policy / Strategic Area                         | Objective                                             | Potential SCW Contribution                                                                                   |
|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Waste minimisation</b>                       | Reduce disposal and increase recovery                 | Significant waste reduction and potential recovery of useful material                                        |
| <b>Hazardous and difficult waste management</b> | Reduce environmental risk from difficult contaminants | Hydrothermal treatment of organic contaminants combined with controlled management of inorganic constituents |

| Policy / Strategic Area                | Objective                                                         | Potential SCW Contribution                                                                                                     |
|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Climate and emissions reduction</b> | Reduce greenhouse-gas emissions and fossil-fuel dependence        | Electrically powered NZ configuration, landfill diversion and potential partial substitution for conventional industrial fuels |
| <b>NZ ETS / carbon accounting</b>      | Correctly account for biogenic and fossil carbon                  | Radiocarbon analysis can establish the biogenic/fossil fraction of SCW char for subsequent regulatory assessment               |
| <b>Difficult plastics</b>              | Develop alternatives to disposal of difficult-to-recycle material | Hydrothermal treatment and dechlorination of PVC and processing of other suitable organic plastics                             |
| <b>PFAS management</b>                 | Develop effective treatment and destruction pathways              | SCM is designed to decompose PFAS and achieve defluorination; performance requires analytical verification                     |
| <b>Resource recovery</b>               | Recover value from material otherwise disposed of                 | Production of carbon-rich solid material with potential industrial fuel or other applications                                  |
| <b>Regional infrastructure</b>         | Improve resilience and reduce transport dependence                | Potential deployment near significant regional waste sources                                                                   |

SCW should therefore be considered a **potentially complementary technology within New Zealand's wider waste-management system**, rather than as a replacement for all existing treatment, recycling or disposal technologies.

## 8.0 Conclusions and Strategic Recommendations

### 8.1 Overall

Subcritical Water (SCW) processing represents a **commercially demonstrated hydrothermal waste-treatment technology with more than 20 years of operating experience in Japan**.

The technology is capable of processing a broad range of organic and mixed waste streams, including materials that can be difficult to manage through conventional recycling or disposal pathways.

Potential feedstocks include:

- **PVC and mixed plastics**
- **PFAS-contaminated materials**
- **CCA-treated timber and other contaminated organic material**
- **sludges and industrial residues**
- **mixed municipal waste and other difficult organic streams**

SCW operates by exposing waste to high-temperature, high-pressure water/steam within a sealed reactor. Organic material undergoes hydrothermal decomposition, while inorganic constituents can partition between the resulting carbon-rich solid, aqueous phase and minor gaseous or residual streams.

This produces several potentially valuable outcomes:

- substantial decomposition and transformation of organic waste
- potential destruction or transformation of persistent organic contaminants
- redistribution and potential stabilisation of metals and other inorganic contaminants
- production of a carbon-rich solid with potential industrial fuel value
- recovery and reuse of process water
- substantial reduction in material requiring landfill disposal

The Japanese analytical record demonstrates that SCW solid fuel can have substantial calorific value. Reported Japanese samples range from approximately **22 MJ/kg to 37.1 MJ/kg**, depending on feedstock and sample characteristics.

At the same time, the analytical evidence demonstrates why contaminant fate must be considered across the **whole system**.

Metals cannot be destroyed and may partition between the solid and aqueous phases.

Chlorine released through dechlorination enters primarily into the aqueous phase as inorganic chloride. Where PFAS defluorination occurs, fluorine is released as inorganic fluoride and must subsequently be accounted for within the water and residual streams.

Consequently, the environmental case for SCW should not depend on claims that contaminants simply disappear. Its stronger technical proposition is that **organic contaminants can be decomposed or transformed while inorganic contaminants can be contained, separated, stabilised and managed within identifiable process streams**.

SCW is also fundamentally different from incineration because its primary treatment chemistry occurs within a hot, pressurised aqueous environment rather than through combustion.

## 8.2 Strategic Fit for New Zealand

New Zealand faces continuing challenges involving:

- dependence on landfill disposal
- management of PFAS-contaminated materials
- difficult-to-recycle plastics
- treated timber waste
- construction and demolition waste
- industrial and wastewater residues
- pressure to reduce waste-sector greenhouse-gas emissions
- demand for lower-carbon industrial energy alternatives

SCW potentially addresses several of these issues within a single treatment platform.

Its strategic attributes include:

- broad potential feedstock range
- modular and scalable plant configuration
- non-combustion hydrothermal processing
- substantial overseas operating experience
- potential resource recovery
- potential landfill reduction
- process-water recovery
- compatibility with an electrically powered New Zealand configuration
- potential production of an industrial solid fuel

However, overseas experience does not remove the need for New Zealand verification.

A New Zealand project should demonstrate performance using representative local feedstocks and establish contaminant mass balances, water-treatment performance, product characteristics, operating costs and regulatory requirements.

### 8.3 Recommended Next Steps

#### 1. New Zealand Demonstration Project

A first New Zealand installation or appropriately scaled demonstration should be used to establish local performance.

The programme should:

- process representative New Zealand waste streams
- determine mass and energy balances
- establish char yield and fuel characteristics
- assess PFAS destruction and defluorination where PFAS feedstocks are processed
- assess PVC dechlorination and chlorine distribution
- establish Cr, Cu and As distribution and leachability when CCA-treated timber is processed
- characterise process water and treatment residuals
- measure relevant gaseous outputs
- document electricity consumption and operating costs
- provide operating and analytical data for regulators, councils, industry and potential investors

#### 2. Regulatory Engagement

Structured engagement should continue with the relevant New Zealand authorities and local regulators.

Key questions include:

- regulatory classification and consenting of an SCW facility
- acceptance criteria for different waste feedstocks
- requirements for PFAS destruction verification
- management of treated process water and concentrated residual streams
- classification and permitted uses of SCW char
- requirements applying to subsequent combustion or other beneficial use of the char
- appropriate environmental monitoring and reporting

The objective should be to establish the evidence required for regulatory assessment rather than assume compliance in advance.

#### 3. Independent New Zealand Char Verification

Independent analysis of SCW char produced at the Shari facility in Hokkaido is currently being undertaken in New Zealand.

As at August 2026, analytical results are pending, including radiocarbon analysis intended to determine the biogenic and fossil-derived carbon fractions of the char. Further testing is intended to characterise fuel quality and contaminant behaviour, including calorific value, ash, chlorine, metals and leachability as appropriate.

This programme should provide an independent basis for comparison with the existing Japanese analytical data.

## 4. Industrial Fuel Evaluation

Potential industrial users should evaluate SCW char against their actual fuel specifications.

Relevant parameters include:

- gross and net calorific value
- moisture
- ash
- chlorine
- sulphur
- metals
- fixed and volatile carbon
- ash behaviour
- combustion characteristics
- biogenic/fossil carbon fraction

Where appropriate, controlled combustion trials can then establish the practical behaviour of the material within the receiving facility.

Particular attention should be paid to the fate of metals, chlorine and other inorganic constituents during combustion and their distribution between bottom ash, fly ash and air-pollution-control residues.

## 5. PFAS, PVC and CCA Verification Programme

Difficult waste streams should be tested individually to establish feedstock-specific performance.

For **PFAS**, testing should determine:

- destruction of target PFAS
- transformation products
- extent of defluorination
- inorganic fluoride generation and distribution
- residual organic fluorine where analytically practicable

For **PVC**, testing should determine:

- degree of dechlorination
- chloride distribution between solid and aqueous phases
- residual chlorine in char
- relevant chlorinated organic compounds where required

For **CCA-treated timber**, testing should determine:

- total Cr, Cu and As before and after treatment
- distribution between solid and aqueous phases
- oxidation state/speciation where relevant
- leachability of the resulting solid
- contaminant fate if the resulting char is subsequently combusted

This would allow future claims to be based on **measured New Zealand evidence**.

## 6. Regional Deployment Assessment

If the initial New Zealand demonstration establishes satisfactory technical, environmental and economic performance, regional deployment could then be evaluated according to actual waste volumes and treatment needs.

Potential locations could include regions with:

- large municipal waste volumes
- significant construction and demolition waste
- forestry and treated-timber waste
- wastewater and industrial sludges
- difficult hazardous organic waste
- high transport costs to existing disposal facilities

Rather than predetermining a fixed national network, plant capacity and location should follow demonstrated feedstock availability, economics and regional infrastructure requirements.

### 8.4 Final Assessment

SCW is **not an experimental laboratory concept**. The technology described in this review is based on an industrial system with substantial operating history in Japan.

That operating history provides a credible basis for serious evaluation in New Zealand.

At the same time, the technology should not be presented as automatically:

- zero-emission
- risk-free
- universally non-leaching
- renewable
- regulatory compliant
- suitable for every waste stream
- eligible for carbon credits
- suitable as industrial fuel without qualification

Those conclusions depend on feedstock, plant configuration, analytical results and the ultimate management or use of each output stream.

The stronger case for SCW is both more technically defensible and more useful:

**SCW provides a non-combustion hydrothermal platform capable of treating a broad range of difficult organic waste streams, recovering a potentially valuable carbon-rich solid, substantially reducing landfill requirements, and managing contaminant fate through identifiable solid and aqueous process streams.**

More than 20 years of Japanese operating experience provides the foundation.

Independent New Zealand analysis, local feedstock testing and a demonstration installation can provide the evidence required to determine how far the technology can contribute to New Zealand's waste-management and resource-recovery infrastructure.

If those results confirm the performance demonstrated in Japan, SCW could become an important component of New Zealand's future waste-treatment system — particularly where existing recycling, treatment and disposal pathways provide limited options.

## Additional Technical Notes

- **PFAS Verification:** SCM is designed to decompose PFAS and achieve defluorination to inorganic fluoride. The extent of PFAS destruction, defluorination, transformation products and residual organofluorine should be confirmed through feedstock-specific analytical testing.
- **PVC Treatment:** PVC undergoes hydrothermal dechlorination, transferring chlorine primarily into the aqueous phase as inorganic chloride. Performance should be established through chlorine mass balance and residual-char analysis.
- **CCA Timber:** Cr, Cu and As are not destroyed. They may undergo changes in speciation and partition between solid and aqueous phases. Their resulting mobility and leachability should be established analytically rather than assuming formation of particular mineral species.
- **Tyres:** SCW can break down the organic rubber fraction while steel and other non-decomposable components can be recovered from the resulting material stream. Product characteristics should be confirmed for the particular tyre-processing configuration.
- **Energy Requirements:** Existing project information indicates electricity consumption of approximately **8 MWh/day for the referenced standard SCW plant configuration**. Actual consumption will depend on plant capacity, feedstock, water content, heat recovery and operating conditions.
- **Odour and Emissions:** SCW treatment occurs within a sealed, non-combustion reactor system. Actual gaseous outputs and odour performance should be characterised from operating data rather than described as universally zero.
- **Scalability:** Multiple SCW reactor systems can potentially operate in parallel to increase treatment capacity. Final plant capacity should be based on engineering design and demonstrated operating throughput.

**Reference Material:** The analytical reports and other source information attached following the Japanese translation of the main body of this review represent a selection of the technical evidence used in preparing this document. Original Japanese documentation and additional supporting information can be made available where required.

## Proposed Pilot Trial: SCW Processing of Chipped Tyres

### Overview

New Zealand generates a substantial annual stream of end-of-life tyres (ELTs). Tyrewise has established a national product-stewardship framework intended to increase collection, processing and beneficial use of these materials.

Existing and developing pathways include tyre-derived fuel for cement manufacture, processed rubber products, civil-engineering applications and other forms of material recovery. Golden Bay Cement is already a significant user of chipped end-of-life tyres as an alternative fuel and raw-material input in cement manufacture.

Against this background, **Subcritical Water (SCW) treatment should be evaluated as a potential additional resource-recovery pathway rather than simply as an alternative to all existing tyre uses.**

A controlled pilot demonstration of **SCW processing of chipped tyres** in Japan would provide direct empirical evidence of:

- degradation of the rubber/polymer fraction
- distribution of sulphur, zinc and other tyre additives
- recovery of steel and other non-decomposable components
- composition and energy value of the resulting carbon-rich solid
- composition of the aqueous phase
- gaseous or volatile products
- overall mass and contaminant balance

The purpose of the trial would be to establish whether SCW offers a technically, environmentally and commercially useful additional pathway for New Zealand end-of-life tyres.

### **1. Why Tyres Are an Interesting Candidate for SCW**

Tyres are complex composite products containing varying proportions of:

- natural rubber
- synthetic rubbers
- carbon black and other reinforcing fillers
- sulphur and vulcanising agents
- zinc compounds and other additives
- textile reinforcement
- steel reinforcement

The exact composition varies substantially between passenger, commercial, truck and specialist tyres.

This combination makes tyres an interesting feedstock for hydrothermal treatment.

The rubber fraction consists predominantly of cross-linked organic polymers. Under SCW conditions, these organic materials may undergo hydrothermal decomposition and transformation, while steel and other inorganic constituents remain within recoverable solid or aqueous streams.

A tyre trial would therefore allow the SCW process to be assessed against a comparatively well-defined industrial feedstock with substantial resource-recovery potential.

## **2. SCW Processing Pathway for Tyres**

### **2.1 Rubber and Polymer Decomposition**

Under SCW treatment conditions, the rubber matrix is exposed to high-temperature, high-pressure water/steam.

Hydrothermal reactions can break chemical bonds within the organic polymer structure and transform the original rubber into lower-molecular-weight organic compounds and carbon-rich solid material.

The resulting products may partition between:

- carbon-rich solid residue
- dissolved organic compounds in the aqueous phase
- minor gaseous or volatile products
- undecomposed inorganic and reinforcing materials

The precise product distribution for tyres processed in the SCM system should be **measured during the proposed trial rather than assumed in advance**. This is one of the principal reasons for undertaking the trial.

## 2.2 Carbonaceous Solid

Tyres already contain a substantial carbon-black fraction in addition to carbon contained within natural and synthetic rubber.

Following SCW treatment, the resulting carbon-rich solid may therefore contain:

- original and transformed carbon black
- carbonaceous material derived from decomposition of the rubber fraction
- mineral constituents and tyre additives
- residual inorganic contaminants

The resulting material should not automatically be described as commercial **carbon black** or as a clean industrial fuel.

Instead, the trial should determine:

- gross and net calorific value
- moisture
- volatile matter
- fixed carbon
- ash
- sulphur
- chlorine
- zinc and other metals
- total elemental composition
- leachability
- combustion characteristics where fuel use is proposed

These results would determine whether the material has potential value as an industrial fuel or for another resource-recovery application.

## 2.3 Steel and Other Reinforcing Material

Steel reinforcement is not expected to undergo the same hydrothermal decomposition as the organic rubber matrix.

The trial should therefore determine:

- percentage of steel recovered
- physical condition of the recovered steel
- degree of separation from carbonaceous material
- surface contamination
- suitability for conventional scrap-metal recycling

Textile reinforcement may behave differently depending on fibre type and should also be examined rather than assumed to remain completely intact.

## 2.4 Sulphur, Zinc and Other Additives

Tyres contain sulphur compounds, zinc compounds and numerous other additives. These elements cannot be destroyed by SCW.

Instead, they may undergo changes in chemical form and partition between:

- carbon-rich solid
- aqueous phase
- mineral residue
- minor gaseous or volatile fraction

The trial should therefore establish a mass balance for key elements, particularly **sulphur and zinc**.

Testing should determine whether these constituents become concentrated in the char, enter the aqueous phase, form mineral phases, or appear in other process streams.

This is particularly important if the resulting char is proposed as an industrial fuel, because sulphur, zinc and other inorganic constituents can affect combustion performance and emissions.

### 3. Relationship to Tyre Pyrolysis

Pyrolysis is another potential thermal treatment route for end-of-life tyres and typically produces:

- pyrolysis oil
- recovered carbonaceous material
- combustible gas
- steel

Its commercial viability depends on markets and product quality, particularly for tyre pyrolysis oil and recovered carbon black.

New Zealand's lack of a domestic petroleum refinery may affect potential local markets for some tyre-derived oils, but this **does not establish that tyre pyrolysis is inherently non-viable in New Zealand**.

A proper comparison between SCW and tyre pyrolysis should instead consider:

- capital cost
- operating cost
- energy consumption
- feedstock preparation
- product yields
- oil quality and market
- recovered carbon quality and market
- steel recovery
- emissions control
- aqueous residuals
- contaminant fate
- overall lifecycle environmental performance

The potential advantage of SCW is that its primary treatment chemistry occurs within a pressurised aqueous environment and its principal potentially valuable product may be a **storable carbon-rich solid**, rather than requiring a viable market for pyrolysis oil.

Whether that represents an economic advantage should be established experimentally and commercially.

### 4. Relationship to Cement-Kiln Co-processing

New Zealand already has a significant beneficial-use pathway for end-of-life tyres through cement manufacture.

Golden Bay Cement uses chipped tyres as an alternative fuel at its Portland cement plant. The company reports substantial displacement of coal through the combined use of tyres and construction wood waste.

At the very high temperatures used in cement manufacture, the organic tyre fraction provides thermal energy, while steel and mineral constituents can contribute to the cement-manufacturing process. Golden Bay reports that tyre steel and ash are incorporated into the final product rather than becoming a separate waste stream.

This is therefore already a genuine resource-recovery pathway and should not be characterised simply as tyre disposal.

SCW could nevertheless provide a **different pathway**.

Rather than immediately releasing the tyre's energy as heat within a cement kiln, SCW potentially converts part of the tyre's organic content into a carbon-rich solid that can be stored, transported and potentially used elsewhere.

A pilot should therefore investigate whether SCW can provide:

- a useful carbon-rich solid product
- recoverable steel
- controlled management of zinc, sulphur and other additives
- flexibility in the location of tyre processing
- a product capable of supplying energy to users other than cement kilns

The comparison should ultimately be based on **economics, lifecycle emissions, resource recovery and contaminant fate**, rather than assuming either pathway is inherently superior.

## 5. Tyre-Derived Material and Roading Applications

End-of-life tyre rubber can also be used in applications including rubberised asphalt, civil engineering and manufactured rubber products.

These applications can provide beneficial material recovery and should not be dismissed as simply “hiding” waste.

However, tyre-derived materials may raise application-specific questions involving:

- long-term wear
- release of tyre-derived particles
- zinc and organic-compound leaching
- product durability
- end-of-life management
- economic competitiveness with conventional materials

These considerations should be evaluated for the particular application.

SCW provides a fundamentally different approach because it **chemically transforms the original rubber matrix** rather than retaining it as tyre crumb.

A tyre pilot could therefore establish whether SCW offers advantages for tyre fractions or regional situations where conventional material-recovery markets are limited.

## 6. Proposed SCW Tyre Pilot Trial — Japan

### Objective

Demonstrate controlled SCW processing of **chipped end-of-life tyres** and establish a complete mass, energy and contaminant balance.

The trial should evaluate:

- rubber/polymer decomposition
- carbon-rich solid yield and characteristics
- steel and other material recovery
- aqueous-phase composition
- sulphur and zinc distribution
- gaseous/volatile products
- overall energy value and potential product applications

### **Trial Feedstock**

A representative batch of chipped tyres should be selected and characterised before treatment. Where practicable, the feedstock should be sufficiently homogeneous to allow meaningful comparison between input and output.

Initial characterisation should include:

- tyre type and source
- total feed mass
- moisture
- rubber/polymer fraction
- steel fraction
- ash/inorganic content
- sulphur
- zinc
- other relevant metals and elements

The final trial quantity should be determined according to the capacity and practical requirements of the Japanese test facility rather than predetermined without reference to the available equipment.

### **Processing Conditions**

The trial should use the normal SCM operating conditions appropriate for the selected tyre feedstock, with actual temperature, pressure, residence time, water/steam input and electricity or energy consumption recorded.

### **Outputs to be Measured**

#### **Carbon-rich solid**

- mass yield
- calorific value
- moisture
- ash
- volatile matter/fixed carbon
- sulphur
- zinc
- metals
- chlorine where relevant
- leachability
- physical handling characteristics

#### **Steel and other recovered material**

- mass recovered
- percentage of original feed
- physical condition

- contamination
- potential recycling quality

### Aqueous phase

- pH
- COD/TOC or DOC
- sulphur species as appropriate
- zinc and other metals
- dissolved inorganic ions
- other significant organic compounds identified during screening

### Gas/volatile fraction

- quantity generated
- major gas composition
- relevant volatile organic compounds where appropriate
- sulphur-containing compounds where relevant

### Mass Balance

A fundamental objective should be to account for the original tyre mass across:

**Feed tyre → carbon-rich solid + recovered steel/solids + aqueous products + gaseous/volatile products**

For key contaminants and elements, particularly sulphur and zinc, a corresponding elemental mass balance should be attempted.

This would provide much stronger evidence than simply demonstrating that a tyre physically disappears inside the reactor.

## 7. Relevance to New Zealand

New Zealand already has a developing national system for end-of-life tyre recovery through [Tyrewise](#) and existing markets including cement-kiln co-processing and manufactured tyre-derived products. Tyrewise's published planning information identifies approximately **60,860 tonnes per year** as the March 2024 baseline of whole tyres and aims to increase domestic beneficial use.

SCW should therefore be investigated not because New Zealand has “**no tyre solution,**” but because it may add another useful treatment and resource-recovery option.

Potential advantages worth testing include:

- production of a storable carbon-rich material
- recovery of steel for recycling
- potential processing closer to regional tyre sources
- treatment of tyre fractions for which existing markets are limited
- controlled aqueous management of some contaminants
- integration with other difficult organic waste streams at an SCW facility
- potential industrial energy recovery where the resulting char meets required specifications

The proposed pilot would provide the evidence needed to determine whether those potential advantages actually occur in practice.

## 8. Proposed Outcome

The proposed Japanese trial should produce a documented technical dataset covering:

- feedstock composition

- operating conditions
- mass balance
- energy balance
- char characteristics
- steel recovery
- sulphur and zinc fate
- aqueous chemistry
- gaseous outputs
- contaminant leachability
- potential product specifications

The resulting data could then be provided to New Zealand stakeholders, including Tyrewise, waste-sector operators, regulators, potential industrial users and energy-sector organisations. The objective is **not to predetermine SCW as superior to New Zealand's existing tyre-recovery pathways.**

It is to answer a more useful question:

**Can SCW convert end-of-life tyres into useful, manageable output streams with sufficient environmental, technical and economic advantages to justify adding it to New Zealand's existing tyre-recovery system?**

A properly designed pilot trial can answer that question with measured evidence.

# Technical Addendum — Contaminant Fate During SCW Treatment

Integrated August 2026. This addendum updates and qualifies earlier statements in this overview where contaminant behaviour depends on feedstock, operating conditions, phase partitioning and analytical verification.

## 1. Purpose and scope

This note sets out the expected chemical fate of heavy metals and selected halogenated contaminants during subcritical-water (SCW) treatment, with particular emphasis on the distinction between total contaminant concentration and environmental mobility. It is intended as a technical basis for expert review and for designing confirmatory analytical work. It is not a substitute for feedstock-specific testing or for the detailed Japanese process documentation.

The current Recycling Oceania presentation describes the reconstructed process diagram as an overview only and identifies water processing as an integral part of the SCW system.

## 2. Heavy metals: retention, speciation and leachability

Elements such as As, Cr, Cu, Pb, Cd, Zn, Ni and Hg cannot be destroyed by hydrothermal decomposition in the way an organic molecule can. Total-metals digestion of treated char may therefore continue to detect them. Concentrations in mg/kg dry char can even increase when organic matter and water are removed while the mineral fraction is retained.

The environmentally important question is not only how much metal is present, but in what chemical form it occurs and how readily it can be released. Hydrothermal-carbonization literature shows that a large proportion of heavy metals can remain in hydrochar while treatment shifts fractions from relatively exchangeable or bioavailable forms toward more stable or residual forms. A 2024 coking-sludge study reported >90% retention of investigated heavy metals in hydrochar and greater stabilization with treatment severity.

Mechanisms can include surface complexation/adsorption on oxygen-containing functional groups; ion exchange and electrostatic interaction; precipitation or association with poorly soluble mineral phases such as carbonates, phosphates and oxides/hydroxides; and incorporation or occlusion within the developing carbon/mineral matrix. Oxidation state and ligand environment can also change.

Key formulation: SCW should not be described as destroying heavy metals. A more defensible statement is that treatment may alter metal partitioning and speciation so that metals retained in the solid occur in less mobile and less readily leachable forms. This must be demonstrated by paired total-metals and leaching analyses.

Retention is not universal. Published HTC work shows that fractions of Zn, Cd, Pb, Cr, Ni, Cu and other metals can enter process water. Partitioning depends on temperature, pH, residence time, feedstock mineralogy, competing ions and liquid-to-solid ratio. A complete assessment therefore requires a solid/liquid mass balance.

## 3. Chlorine and chlorine-containing organics

PVC contains chlorine covalently bound to its carbon backbone. In hot compressed water it undergoes dehydrochlorination. In simplified terms, chlorine is released as hydrogen chloride (HCl), which dissociates in water to  $H^+$  and  $Cl^-$ . Hydrothermal-carbonization experiments on PVC at 180–260 °C reported increasing dechlorination with temperature and almost quantitative chlorine release above approximately 235 °C in one study.

Conceptual pathway: organically bound Cl  $\rightarrow$  HCl  $\rightarrow$   $H^+$  +  $Cl^-$   $\rightarrow$  dissolved inorganic chloride / salts.

Depending on available cations and alkalinity, chloride can remain in solution or be associated with inorganic salts such as sodium, potassium or calcium chlorides. Thus chlorine can be transferred from the carbonaceous feed into the aqueous/inorganic inventory rather than remaining organically bound in char.

It is not technically justified to state that SCW automatically destroys every chlorinated organic compound, PCB, dioxin or furan without process-specific evidence. Chlorophenols, PCBs and PCDD/Fs should therefore be treated as verification targets where relevant.

## 4. Fluorine and PFAS

PFAS require particular caution because cleavage of the carbon–fluorine bond is difficult. Hydrothermal treatment is a promising destruction pathway, but degradation of a parent PFAS molecule is not synonymous with complete mineralization or complete defluorination. A 2022 review of subcritical and supercritical hydrothermal PFAS treatment reported >99% PFAS degradation and >60% defluorination under some conditions. Performance varies strongly with temperature, pressure, alkalinity, residence time, PFAS structure and matrix. It is therefore inappropriate to assume complete conversion to inorganic fluoride unless demonstrated analytically for the specific system.

Conceptual pathway: parent PFAS → transformation products / shorter-chain species → C–F cleavage → F<sup>-</sup> where defluorination occurs.

Where defluorination occurs, inorganic fluoride becomes part of the aqueous ionic inventory. Because incomplete defluorination can leave non-target fluorinated products, targeted PFAS analysis should ideally be complemented by total organic fluorine (TOF) or adsorbable organic fluorine (AOF), where suitable analytical capability is available.

## 5. Aqueous phase

SCW treatment should be considered a multi-phase conversion rather than a simple waste-to-char reaction. Hydrothermal process water can contain dissolved organic carbon, organic acids and intermediates, nitrogen and phosphorus species, chloride, fluoride, sulfate and other inorganic ions, a fraction of feedstock metals, and residual/transformation organic contaminants.

Conceptually: FEED → carbon-rich solid + process water + inorganic ions/salts + dissolved organics + gas/volatile fraction + separated foreign material.

The water-treatment section is therefore part of the contaminant-management boundary. Technical evaluation of treated timber, mixed C&D waste, PVC-containing waste or PFAS-containing feed should examine both char and aqueous treatment residues.

### 5.1 Reverse osmosis (RO) and aqueous contaminant management

Where reverse osmosis forms part of the water-treatment train, dissolved ionic contaminants are not destroyed by the membrane. Pressure drives water through a semi-permeable membrane, producing a treated permeate stream and a reject/concentrate (brine) stream. Contaminants rejected by the membrane are therefore concentrated in the reject stream and must remain within the plant contaminant-management and disposal mass balance.

RO can provide substantial rejection of many inorganic contaminants relevant to difficult waste streams, including lead, cadmium, chromium, copper, pentavalent arsenic, chloride and fluoride. However, rejection is not a universal fixed percentage. It depends on membrane type, feed-water chemistry, pH, ionic charge/speciation, pressure, recovery and pretreatment. Arsenic illustrates the importance of speciation: published EPA testing found substantially higher rejection of As(V) than As(III) in some membranes.

Accordingly, the technically appropriate pathway is: dissolved metals / chloride / fluoride / other ions in process water → pretreatment and RO → lower-contaminant permeate + contaminant-enriched concentrate/brine → further treatment, recovery,

precipitation/dewatering and/or controlled disposal, depending on the actual plant configuration.

For the Arinkai SCW system specifically, the presence and detailed configuration of RO, membrane specifications, pretreatment, recovery ratio, concentrate recirculation, and final management of the concentrate/brine should be confirmed from the original Japanese process documentation and operating data before making plant-specific performance claims.

## 6. Proposed contaminant mass-balance verification programme

The strongest verification approach is to test a representative difficult feedstock and close the contaminant mass balance across the principal outputs.

| Analyte / test                     | Feed        | Char | Process water / residue | Purpose                                                        |
|------------------------------------|-------------|------|-------------------------|----------------------------------------------------------------|
| As, Cr, Cu                         | Yes         | Yes  | Yes                     | CCA timber / mass balance                                      |
| Pb, Cd, Zn, Ni, Hg                 | Yes         | Yes  | Yes                     | Metal partitioning                                             |
| TCLP / JLT or agreed leach test    | —           | Yes  | —                       | Mobility / leachability                                        |
| Sequential extraction / speciation | —           | Yes  | Optional                | Stable vs exchangeable fractions                               |
| Total chlorine                     | Yes         | Yes  | Yes                     | Chlorine mass balance                                          |
| Chloride (Cl-)                     | —           | —    | Yes                     | Inorganic dechlorination product                               |
| Target PFAS                        | Yes         | Yes  | Yes                     | Parent / short-chain fate                                      |
| Total fluorine                     | Yes         | Yes  | Yes                     | Overall fluorine balance                                       |
| Fluoride (F-)                      | —           | —    | Yes                     | Defluorination product                                         |
| TOF / AOF                          | Yes         | Yes  | Yes                     | Non-target organic fluorine                                    |
| PAHs / phenolics                   | Yes         | Yes  | Yes                     | Transformation products                                        |
| PCBs / PCDD/Fs                     | As relevant | Yes  | Yes                     | Chlorinated-organic fate                                       |
| DOC / TOC / COD                    | —           | —    | Yes                     | Aqueous organic loading                                        |
| RO feed / pretreated process water | —           | —    | Yes                     | Establish contaminant load entering RO                         |
| RO permeate                        | —           | —    | Yes                     | Verify residual metals, chloride, fluoride, PFAS/TOF and salts |
| RO concentrate / brine             | —           | —    | Yes                     | Close mass balance and define residue management               |

## 7. Interpretation framework

A robust technical claim should combine: (1) total concentration—how much is present; (2) phase partitioning/mass balance—where it has gone; and (3) leaching/speciation—how mobile or environmentally available it is. For organic contaminants, parent-compound disappearance must also be distinguished from mineralization because transformation products may remain.

Recommended wording: “SCW does not make elemental contaminants disappear. Its potential environmental advantage is that hydrothermal reactions can redistribute contaminants between solid and aqueous phases and can convert some species into more stable, less mobile or inorganic forms. The degree of stabilization, dechlorination, PFAS destruction and defluorination must be demonstrated by feedstock-specific mass-balance, leachability and speciation testing.”

## 8. Important limitations

The cited international literature concerns hydrothermal carbonization/treatment generally. It supports proposed mechanisms but does not by itself prove performance of the specific Arinkai installation.

Metal behaviour is element- and feedstock-specific. Total concentration may increase in char while leachability decreases.

PFAS parent-compound degradation must not automatically be equated with complete defluorination or mineralization.

Chlorine removal from PVC does not establish destruction of every chlorinated organic contaminant.

Regulatory or beneficial-use claims should be based on validated methods and representative samples from the actual process.

Water-treatment and recovery performance are system-specific. Ishimori has confirmed that recovered water is recirculated to the boiler system; however, the detailed Arinkai water-treatment configuration, including any RO stage, pretreatment, recovery ratio and final management of concentrated residual streams, should be confirmed from plant documentation and operating data.

## 9. Selected technical references

1. Hydrothermal carbonization of coking sludge: Migration behavior of heavy metals and magnetic separation performance of hydrochar. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 12 (2024) 114141.
2. Research advancements in nutrients and heavy metals, its speciation and behavior during hydrothermal carbonization of sludge – A critical review. *Fuel* 352 (2023) 129082.
3. Hydrochar as a bio-based adsorbent for heavy metals removal: A review. *Science of the Total Environment* 945 (2024) 173972.
4. Process Waters from Hydrothermal Carbonization of Sludge: Characteristics and Possible Valorization Pathways. *Processes* (2020).
5. Hydrothermal carbonization of poly(vinyl chloride). *Chemosphere* 119 (2015) 682–689.
6. Kinetics study on hydrothermal dechlorination of poly(vinyl chloride) by in-situ sampling. *Journal of Environmental Chemical Engineering* (2021).
7. Hydrothermal treatment of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS). *Chemosphere* (2022). PMID 35931254; DOI 10.1016/j.chemosphere.2022.135888.
8. U.S. EPA. Reverse Osmosis Treatment to Remove Inorganic Contaminants From Drinking Water. EPA research reported high removal for many metals and demonstrated strong dependence on contaminant chemistry/speciation for arsenic, fluoride and mercury.
9. U.S. EPA WaterSense. Point-of-Use Reverse Osmosis Systems / Performance Overview. RO produces permeate and concentrate/brine streams and certified systems can demonstrate reduction of arsenic, chromium, lead and other contaminants.

**Revision status: Updated August 2026.** The contaminant-fate addendum reflects the current technical interpretation as at August 2026 and should be read together with Japanese operating data and independent analytical results. Feedstock-specific performance claims remain subject to representative testing and verification.

## Japanese Translation

# サブクリティカル・ウォーター処理 (SCW)

## エグゼクティブ・サマリー

サブクリティカル・ウォーター（SCW）処理は、日本において 20 年以上にわたる運転実績を有する、商業的に実証された非燃焼型の水熱廃棄物処理技術です。PVC、PFAS/PFOS 汚染物、医療廃棄物、下水汚泥、汚染プラスチック、廃タイヤ、CCA 処理木材など、現在ニュージーランド国内で処理が困難な廃棄物に対し、分解・変換処理の選択肢となる可能性があります。

SCW は、密閉された反応容器内で高温・高圧の水および蒸気を用いて有機物を分解・変換します。原料によっては、長期的な処分を必要とする廃棄物量を大幅に削減するとともに、適切な産業用途において石炭代替燃料として利用できる可能性を持つ、高発熱量の炭素リッチな固形物を生成することができます。

重要な点として、SCW によって元素そのものが消滅するわけではありません。金属、塩素、フッ素、その他の無機成分は、固相と水相の間で分配されるとともに、化学形態が変化する場合があります。したがって、それらの最終的な分布、移動性および環境中での挙動については、適切な分析試験によって確認する必要があります。

難処理廃棄物に対して、SCW は以下のような処理を行うことができます。

- **PVC の脱塩素化** → 塩素を主として水相中の無機塩化物へ移行
- **PFAS の分解・脱フッ素化** → 無機フッ化物へ変換し、主として水相で管理
- **有機廃棄物の加水分解** → 炭素リッチなチャーおよび水相中の有機生成物へ変換
- **廃タイヤに含まれる合成ゴムポリマー（SBR、BR、EPDM、ブチルゴム等）の分解**
- **CCA 由来金属の安定化** → 化学形態および固相・鉍物相との結合状態を変化させ、試験によって確認された場合には移動性・溶出性を低減

- **非燃焼処理** → ダイオキシン生成、HCl を含む燃焼排ガスおよび燃焼煙突排出に関わる通常の燃焼経路を回避

日本における運転実績では、適切な廃棄物について大幅な質量・体積削減が報告されています。一般的な混合廃棄物の場合、炭素リッチな固形物の生成量は投入量の約 30% となる場合がありますが、実際の収率は原料組成および運転条件によって大きく異なります。

### ニュージーランド向け完全電化型システム案

日本国内の既存 SCW 設備では、処理に必要な高圧飽和蒸気を発生させるため、一般に従来型のボイラーシステムが使用されています。

これに対し、ニュージーランド向けに提案されているシステムでは、実績のある日本の反応容器および処理プロセスを基本としながら、ニュージーランドの電力事情を活用した**全電化型エネルギーシステム**の採用を想定しています。

想定される利点には以下が含まれます。

- 設備内におけるボイラー燃料の燃焼をなくすこと
- 再生可能電力との高い親和性
- 輸入化石燃料への依存低減
- 非燃焼型の廃棄物処理
- 将来の低炭素型産業エネルギーシステムとの統合可能性

この全電化型システムについては、ニュージーランドの条件に適合した詳細なエンジニアリングおよび運転性能の検証が必要ですが、日本で確立された SCW 技術と、再生可能電力の比率が高まっているニュージーランドの電力システムを組み合わせる機会となります。

### 処理能力

既存のプロジェクト資料によれば、基準となる SCW 設備構成の電力消費量は約 **8 MWh/日**とされています。実際の消費電力量は、原料、含水率、設備負荷、熱回収および運転条件によって異なります。

標準的な 3 基反応容器構成の SCW 設備では、公称処理能力は約 **70 トン/日**で、連続運転した場合には年間約 **25,000 トン**に相当します。

処理対象となり得る原料には以下があります。

- 一般廃棄物
- 医療廃棄物
- 下水・排水汚泥
- 産業系有機残渣
- 建設・解体系有機廃棄物

- ・ 汚染された難処理プラスチック
- ・ 破砕した廃タイヤ
- ・ バイオマスおよび混合有機廃棄物

実際の処理量および生成物収率は原料によって異なるため、各用途について確認する必要があります。

### チャーおよびエネルギー回収

SCW 処理では、投入廃棄物に含まれる炭素およびエネルギーの一部を、炭素リッチな固形物として回収することができます。

日本の分析結果では、SCW によって生成された固形物の発熱量は原料によって大きく異なり、乾燥ベースの高位発熱量として約 **22~37.1 MJ/kg** が報告されています。このため、適切な SCW チャーは、産業用燃料として利用可能なエネルギー範囲に入る可能性があります。

ただし、燃料としての適否は発熱量だけでは決まりません。含水率、灰分、硫黄、塩素、金属、燃焼特性その他の項目についても、利用する産業設備側の要求仕様を満たす必要があります。

したがって、SCW チャーは自動的に「石炭と同等の燃料」とみなすのではなく、**原料ごとの分析および利用者側の仕様確認を前提とした、産業用燃料または石炭代替燃料となる可能性を持つ生成物**として評価することが適切です。

### ニュージーランドの現状

ニュージーランドには既に廃棄物管理および資源回収のための各種システムがありますが、依然として処理が困難な廃棄物が数多く存在します。

例えば以下のようなものです。

- ・ 有効な分解・変換処理方法が求められている PFAS 汚染物
- ・ PVC その他の難処理プラスチック
- ・ CCA 処理木材およびその他の汚染木材
- ・ 下水汚泥および産業排水汚泥
- ・ 有機・無機汚染物質が混在する一般・産業廃棄物
- ・ 医療・臨床廃棄物
- ・ 廃タイヤ由来材料その他の難処理ポリマー廃棄物
- ・ 現在も埋立処分が主要な管理方法となっている汚染有機物

リサイクル、埋立、セメントキルンでの共同処理、熱処理、専門的な有害廃棄物処理など、既存技術にはそれぞれ重要な役割があります。

したがって SCW は、それらを全面的に置き換えるものではなく、特に従来型リサイクルが困難で、化学的変換、大幅な減容および資源回収によって単純埋立よりも利点を得られる場合に、**既存技術を補完する処理技術**として検討することが適切です。

ニュージーランドにおける SCW の有効性については、最終的に国内原料を用いた試験、汚染物質のマスバランス、生成物分析、環境評価および商業性評価によって実証する必要があります。

## SCW チャーとバイオマス — 炭素循環の考え方

SCW チャーは、既に廃棄物の中に存在している炭素を回収したものです。

処理を行わなければ、その多くは最終的に埋立処分される可能性があり、生分解性成分からはメタンが発生する可能性があります。また、汚染物については長期にわたる浸出水管理や環境管理が必要となる場合があります。

SCW では、処理可能な廃棄物中の有機物を、炭素が濃縮された固形物へと変換します。

ただし、この固形物を燃料として利用した場合の環境影響は、その炭素の由来によって異なります。混合廃棄物から生成された SCW チャーには、次の両方が含まれる可能性があります。

- 食品、紙、木材その他のバイオマスに由来する**バイオジェニック炭素**
- プラスチック、合成ゴムその他の石油由来材料に由来する**化石由来炭素**

その割合は、放射性炭素分析によって独立に測定することができます。

この区別は、温室効果ガス排出、産業用燃料としての利用可能性、および将来ニュージーランドの排出量算定制度上どのように取り扱われるかを評価する上で重要です。

したがって、SCW チャーを自動的に「再生可能燃料」または「排出量中立の燃料」と表現すべきではありません。炭素組成および環境性能は、実際の原料および最終生成物を基に評価する必要があります。

## 臭気および排出

SCW は、密閉された水系の非燃焼プロセスです。

そのため、

- SCW 反応そのものから通常の燃焼煙突排出は発生しません。
- 通常の焼却炉のような煙やプルームは発生しません。
- 臭気は密閉されたプロセス内で封じ込め、管理することができます。

- NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>および燃焼由来ダイオキシンの生成に関わる通常の燃焼経路を回避します。
- PVC 由来の塩素は、通常の燃焼排気として排出されるのではなく、主として水相中の無機塩化物へ移行します。

この点が、廃棄物そのものを燃焼させる通常の焼却その他の処理方法との重要な違いです。

ただし、SCW プロセスから実際に発生するガス状・揮発性生成物については、一律に「ゼロ」と表現するのではなく、運転データおよび原料ごとの分析によって確認することが適切です。

### モジュール型で柔軟なシステム

SCW はモジュール型の構成を採用しており、複数の反応システムを並列運転することができます。このため、個別の産業用途から、より大規模な地域廃棄物処理施設まで段階的に展開できる可能性があります。

廃棄物量や用途の拡大に応じて、追加の反応設備を導入することも可能です。

また、この水熱処理プラットフォームには、異なる運転条件や将来の新たな処理用途へ応用できる可能性があります。ただし、より高温の処理や標準システムとは異なる運転条件については、標準設備で当然に実現可能とみなすのではなく、別途エンジニアリングおよび性能検証が必要です。

このモジュール型アプローチにより、ニュージーランドでは、まず対象用途を明確にした上で国内廃棄物による性能を実証し、技術面・商業面の妥当性が確認された段階で処理能力を拡大していくことができます。

### 主な利点

- 日本における 20 年以上の商業運転実績
- 密閉型・非燃焼の水熱処理
- 幅広い難処理有機・混合廃棄物への対応
- 有機汚染物質の化学的分解・変換
- PVC の脱塩素化、および塩素の主として水相中の無機塩化物への移行
- PFAS の分解・脱フッ素化能力（原料ごとの分析による確認が必要）
- 一部の金属汚染物質について、移動性・溶出性を低減できる可能性（試験による確認が必要）
- 長期処分を必要とする廃棄物量の大幅な削減
- 産業用燃料として利用できる可能性を持つ、高発熱量の炭素リッチ固形物の生成

- プロセス水の処理・回収・再循環
- 鉄鋼その他の非分解物の回収可能性
- ニュージーランド向け完全電化型システム案
- 段階的・地域的展開に適したモジュール構成
- ニュージーランドの再生可能電力システムとの統合可能性
- ニュージーランドの廃棄物削減、資源回収および排出削減目標との整合可能性

## 結論

SCW は、既存のあらゆる廃棄物処理技術を置き換えるものではありません。リサイクル、生物処理、専門的な有害廃棄物処理、セメントキルンでの共同処理、および適切に設計・管理された埋立処分は、今後もそれぞれ重要な役割を担います。

SCW が提供するものは、それらとは異なる選択肢です。すなわち、**複数の難処理有機廃棄物を一つのシステムで処理することが可能な、商業的に実証された非燃焼型水熱処理プラットフォーム**です。

SCW は、有機汚染物質の化学的分解・変換、PVC の脱塩素化、PFAS の分解・脱フッ素化、汚染有機物の処理、および産業的価値を持つ可能性のある炭素リッチな固形物の生成を行うことができます。

無機汚染物質そのものが消滅するわけではありませんが、識別可能な固相および水相のプロセス流の中で、分離、再分配および管理することが可能です。

日本における 20 年以上の商業運転実績は、この技術の確立された運転基盤となっています。ニュージーランド向けに提案されている完全電化型システムは、この日本での実績を基礎としながら、ニュージーランドの電力システムおよび将来の廃棄物処理・資源回収インフラとの統合を図るものです。

今後、ニュージーランドにおける導入の妥当性について、**独立した分析、代表的な国内廃棄物を用いた試験、汚染物質のマスバランス、および実際の運転性能**によって実証していくことが重要です。

## 下図

SCW 処理後の一般的な都市ごみ。日本での運転実績では、元の廃棄物量が大幅に削減され、一般的な用途では投入質量の約 30%が炭素リッチな固形物として残ることが示されています。実際の収率は原料によって異なります。

生成する各物質が適用される再利用、資源回収または処分基準を満たす場合、SCW は埋立処分量を大幅に削減できる可能性があり、従来の埋立処分に伴う長期的な土

地利用、メタン発生および浸出水管理の負担を大きく低減できる可能性があります。



## 1. はじめに

サブクリティカル・ウォーター（SCW）処理は、プラスチック、汚泥、バイオマス、医療廃棄物、PFAS 汚染廃棄物、CCA 処理木材などを含む混合廃棄物を、主として以下の3つの生成物へ変換する水熱処理技術です。

### 1. 炭素リッチなチャーまたは灰分

### 2. 無機塩類および溶存イオン

- PVC の脱塩素化および中和に伴って生成する可能性のある塩化ナトリウム（NaCl）および塩化カルシウム（CaCl<sub>2</sub>）
- PFAS の脱フッ素化が起きた場合に放出される無機フッ化物。これは水相中に溶存したまま存在する場合もあれば、プロセス水の化学条件によってはフッ化カルシウム（CaF<sub>2</sub>）などの鉱物塩を形成する場合もあります。

### 3. 回収プロセス水

- 処理後、システム内で再循環させることができます。

SCW は、燃焼ではなく加圧された高温水を主要な反応媒体として使用するため、通常の燃焼煙突や燃焼由来のダイオキシン生成経路を伴わずに、汚染物質の水熱分解・変換を行うことができます。完全電化型の構成では、化石燃料を直接投入せずに運転することも可能です。

SCW は日本において 20 年以上にわたり商業利用されており、一般廃棄物、産業廃棄物、医療廃棄物、有害廃棄物などを、約 **230～265°C**、**3～5 MPa** の条件で処理しています（Ishimori, 2019）。

SCW システムの重要な性能上の特徴の一つは、大幅な減容です。処理中、有機成分は加水分解および炭化反応を受け、プラスチックは解重合し、揮発性成分の一部を失います。その結果、混合廃棄物の組成にもよりますが、固形残渣の総体積は一般に原料廃棄物と比較して約 **60～80%削減** されます。

この減容効果は、長期的な埋立負担を大幅に軽減し、ニュージーランドの Waste Minimisation Act（廃棄物最小化法）が重視する循環型経済の考え方とも整合します。

## 1.2 サブクリティカル・ウォーターの定義

水は、沸点（100℃）を超え、臨界温度（374℃）未満まで加熱され、かつ液相を維持するために加圧された状態で、サブクリティカル状態となります。

この条件下では、水は廃棄物の分解に有用な以下の特性を示します。

- **誘電率の低下** → 有機溶媒に近い性質を示す
- **高い加水分解能力**
- **イオン積（ $K_w$ ）の増大** → 酸・塩基反応性が高まる
- **高い拡散性** → 複雑な有機物内部へ浸透
- **非燃焼・低酸素反応環境** → 従来の燃焼に伴うダイオキシン生成経路を回避

## SCW の代表的運転条件（日本の一般的システム）

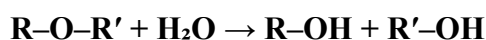
| 項目     | 条件                     |
|--------|------------------------|
| 温度     | 230～265℃               |
| 圧力     | 3～5 MPa                |
| 相      | 液相（サブクリティカル）           |
| エネルギー源 | 油／チャー混合（日本の既存システムで一般的） |
|        | 100%電気（ニュージーランド向け提案構成） |
| 酸素     | なし                     |
| 滞留時間   | 30～90 分                |

（Processing System SCW\_E.pdf; Ishimori, 2019）

## 1.3 SCW における反応化学

### 1.3.1 有機物の加水分解

#### 化学反応



#### わかりやすい解説

各部分が意味するもの：

- $R-O-R'$

脂肪、油、セルロース、植物繊維、その他の混合廃棄物に含まれる長鎖物質などの、大きな有機分子を表します。

● +  $\text{H}_2\text{O}$

水分子です。SCW 条件（230～265°C、3～5 MPa）では、水の反応性が非常に高くなり、長い有機分子鎖に作用します。

● →  $\text{R-OH} + \text{R'-OH}$

この反応式は、有機結合が加水分解によって切断され、より小さな含酸素有機化合物へ分解されることを示しています。

実際の混合廃棄物では、複数の加水分解反応および変換反応が同時に進行し、さまざまな低分子有機化合物が生成します。

### さらに簡単に説明すると

サブクリティカル・ウォーター中では、水が「分子を切断するナイフ」のように作用します。

高温・高圧の水によって、長い有機分子がより小さく単純な分子へと分解されます。これは、複雑な廃棄物を以下のような物質へ変換していく最初の重要な段階です。

- 短鎖有機酸
- 炭素リッチな残渣（チャー）
- 水相へ移行し、その後の水処理工程で管理される水溶性有機物

この分解は水を媒体とする非燃焼プロセス内で進行するため、

- 燃焼を行わない
- 通常の燃焼煙や燃焼排ガスを発生させない
- ダイオキシン、PAH、 $\text{NO}_x$ 、 $\text{SO}_x$ に関わる通常の燃焼生成経路を回避
- 主な反応は密閉された加圧水系システム内で進行

という特徴があります。

このことが、SCW が燃焼に依存することなく、混合有機廃棄物、汚泥、プラスチック添加剤、生物由来物質などを処理できる重要な理由の一つです。ガス状または揮発性のプロセス生成物についても、密閉されたプロセスシステム内で管理されます。

### 1.3.2 PVC の脱塩素化

PVC は SCW 条件下で速やかに脱塩酸反応を起こします。

生成した HCl はアルカリ性成分によって中和されます。

(Ishimori, 2019; Polymer Degradation and Stability, 2001; Soler et al., 2018; Wang et al., 2023)

## PVC 脱塩素化 — わかりやすい解説

### 各部分が意味するもの：

#### ● $(\text{CH}_2\text{—CHCl})_n$

PVC（ポリ塩化ビニル）の繰り返し単位です。炭素、水素、塩素から構成される長鎖プラスチックで、PVC は重量比で約 57%の塩素を含みます。

#### ● $\rightarrow (\text{CH}=\text{CH})_n + n \text{HCl}$

SCW 条件（230～265°C、3～5 MPa）では、脱塩酸反応によって PVC 鎖から塩素が除去されます。

この反応によって、

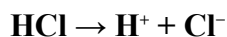
- 炭素リッチな骨格  $(\text{CH}=\text{CH})_n$
- 塩酸  $\text{HCl}$

が生成します。

これは、SCW 条件下における PVC 分解の重要な化学反応です。

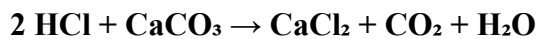
### HCl はその後どうなるのか？

高温・高圧の水系環境では、HCl は水素イオンと塩化物イオンに解離します。



したがって、PVC から放出された塩素は、主として水相中の無機塩化物（ $\text{Cl}^-$ ）として存在します。

適切なアルカリ性鉱物または塩基が存在する場合には、酸性分を中和することができます。例えば、



この反応では塩化カルシウムが生成し、水中では溶存イオンとして存在し、濃縮または乾燥後に塩として存在する場合があります。

プロセス水中にナトリウムイオンが存在する場合には、塩化物イオンとナトリウムイオンが、特に濃縮または乾燥後に塩化ナトリウム（ $\text{NaCl}$ ）として存在する場合があります。

### さらに簡単に説明すると

サブクリティカル・ウォーター中では PVC は燃焼せず、水系プロセス内で化学的な脱塩酸・分解反応を起こします。

- PVC 鎖から塩素が除去されます。
- 放出された HCl は水中で  $\text{H}^+$  と  $\text{Cl}^-$  に解離します。
- したがって塩素は、主として無機塩化物として水相へ移行し、水質条件によっては最終的に  $\text{NaCl}$  や  $\text{CaCl}_2$  などの塩を形成する場合があります。
- 残った炭素リッチなポリマー構造は、さらに水熱分解を受け、炭素リッチなチャーの一部となります。

これは密閉された非燃焼型水熱プロセス内で進行するため、

- 通常の燃焼排ガスは発生しません。
- PVC 由来の塩素は、燃焼排気としてではなく、主として水系プロセス内で管理されます。
- ダイオキシン生成に関わる通常の燃焼経路を回避します。
- 通常の燃焼煙突からの排出はありません。

### 1.3.3 PFAS の脱フッ素化

PFAS の分解・脱フッ素化では、水熱反応による C-F 結合の切断が関与します。放出されたフッ化物は水相の無機成分として移行し、プロセス水の化学条件に応じて、溶存状態のまま存在する場合と、無機フッ化物を含む相を形成する場合があります。

(Detoxification of PFAS Using Subcritical Water\_EJ.pdf; Ishimori, 2019; Patel et al., 2024)

#### PFAS 脱フッ素化 — わかりやすい解説

##### 各部分が意味するもの：

##### ● C-F

炭素－フッ素結合です。有機化学において最も強い結合の一つであり、この非常に高い安定性が PFAS の環境中での高い残留性の主な理由の一つです。

##### ● + H<sub>2</sub>O

SCW 条件（230～265°C、3～5 MPa）では、高温・高圧の水によって反応性の高い水熱環境が形成され、PFAS 分子の分解および脱フッ素化が進行します。

##### ● C-F 結合の切断 → F<sup>-</sup>

PFAS を分解する上で重要な段階は、炭素－フッ素結合を切断し、有機分子中のフッ素をフッ化物イオン（F<sup>-</sup>）として放出することです。

フッ素が無機フッ化物として放出されれば、それは元の PFAS 分子の一部として存在している状態ではなくなります。

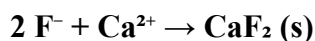
SCM の開発者が示している処理性能では、PFAS を単に吸着、ろ過または濃縮するのではなく、**無機フッ化物イオンまで完全に分解すること**を処理の目的としています。

##### フッ化物（F<sup>-</sup>）はその後どうなるのか？

脱フッ素化によって放出されたフッ化物は、水相の無機成分として移行します。

プロセス水の化学条件および存在するイオンによって、溶存フッ化物として存在する場合もあれば、無機フッ化物塩を形成する場合があります。

例えば、



十分なカルシウムが存在し、必要な化学条件が整った場合には、フッ化カルシウムが沈殿する可能性があります。

また、水相中にナトリウムイオンとフッ化物イオンが共存する場合、濃縮または乾燥後にフッ化ナトリウム塩として存在する場合もあります。

重要なのは、フッ素が PFAS 中の**有機結合フッ素から無機フッ化物へ変換されている**という点です。

### さらに簡単に説明すると

PFAS は強固な炭素－フッ素結合を持つため、極めて分解が困難な物質です。

SCM では、高温・高圧のサブクリティカル・ウォーター環境を利用して PFAS 分子を分解し、炭素－フッ素結合を切断することで、フッ素を無機フッ化物イオンとして放出します。

SCM 技術開発者によるプロセス説明では、PFAS を単に吸着・濃縮するのではなく、**フッ化物イオンまで完全に分解する**とされています。

生成したフッ化物は水系プロセス内で管理され、水質条件によっては溶存状態のまま存在するか、CaF<sub>2</sub>などの無機フッ化物塩を形成する場合があります。

日本の分析結果は、PFAS の分解およびフッ化物生成を示す証拠を提供しています。

一方、特定の原料へ適用する場合には、PFAS の分解率、脱フッ素化の程度、および残留有機フッ素について、適切な分析試験によって確認することが望めます。

### この点が重要な理由

- **PFAS**： SCM は、PFAS を別の廃棄物流へ単に移行させるのではなく、分解することを目的としています。
- **脱フッ素化**： C-F 結合を切断することで、PFAS 分子中のフッ素を無機フッ化物として放出します。
- **フッ化物**： 放出されたフッ化物は水相の無機成分となり、水質条件によっては溶存状態を維持するか、無機フッ化物塩を形成します。
- **チャー**： 固相中に残留する PFAS および有機フッ素については、独立した分析によって確認することができます。
- **気相**： 日本のプロセス分析では、揮発性フッ素化合物が検出されなかった事例が報告されています。代表的なプロセスについて分析することで、この性能を確認することができます。
- **排出**： SCW は密閉された非燃焼プロセスであり、通常の燃焼煙突を必要としません。

これらの変換は燃焼ではなく、密閉された水熱プロセス内で進行します。この点が、PFAS 分子そのものを分解せず、主として捕捉、吸着または濃縮する処理技術との重要な違いです。

### 1.3.4 CCA 処理木材に含まれる金属の安定化

#### CCA 金属安定化 — わかりやすい解説

CCA 処理木材には、主として以下の 3 種類の防腐剤由来金属が含まれています。

- 銅 (Cu)
- クロム (Cr)
- ヒ素 (As)

有機汚染物質とは異なり、これらの金属元素そのものを SCW によって分解・消滅させることはできません。その代わり、SCW 処理によって、金属の**化学形態および固相・水相間の分配状態**が変化する可能性があります。

##### ● 銅 (Cu)

チャー中に保持された銅は、鉱物相または炭素相と結合した形態で存在する場合があります。このような形態では、移動性および溶出性が大幅に低下する可能性があります。

##### ● クロム (Cr)

クロムは SCW 処理中に化学形態が変化し、チャー中の比較的安定した鉱物相または炭素相と結合する場合があります、その結果、移動性および溶出性が大幅に低下する可能性があります。

##### ● ヒ素 (As)

ヒ素も同様に、鉱物相やチャーの炭素・鉱物構造と結合し、移動性および潜在的な溶出性が低下する可能性があります。一方、原料およびプロセス水の化学条件によっては、ヒ素の一部が水相へ移行する場合があります。

日本における SCW 処理残渣の分析試験では、適用された JLT または JLT 系の溶出試験において、Cu、Cr、As が溶出液から検出されなかった事例が報告されています。

#### さらに簡単に説明すると

CCA 処理木材の主な有害成分は、防腐剤として使用されている銅、クロム、ヒ素です。

SCW 処理では、

1. 木材の有機構造が水熱反応によって分解されます。
2. 金属そのものは分解されませんが、その化学形態および分布状態が変化する可能性があります。

3. チャー中に保持された金属は、鉱物相や炭素リッチなマトリックスと結合する場合があります。
4. このような結合によって、金属の移動性および溶出性が大幅に低下する可能性があります。
5. 一部の金属は水相へ移行する場合もあるため、固相と水相の双方を分析することが重要です。

SCW は約 230～265°C で運転される非燃焼型水熱プロセスであるため、一部の金属または金属化合物が揮発したり、飛灰中に濃縮したりする可能性のある高温燃焼とは、金属の挙動が根本的に異なります。

したがって SCW には、CCA 由来金属をより移動しにくく、より溶出しにくい形態へ安定化できる可能性があります。ただし、実際の保持率、化学形態および溶出性については、対象原料ごとに全金属分析および溶出試験によって確認する必要があります。

## 1.4 プロセス概要

### Step 1 — 原料準備

- 必要に応じて、原料を処理に適した大きさに調整します。
- 調整した廃棄物を圧力容器に投入し、バッチ処理を行います。

### Step 2 — 高圧反応容器

- 廃棄物を圧力容器に投入し、処理中に攪拌・混合します。
- 高圧飽和蒸気を容器内へ直接注入します。
- 約 230～265°C、3～5 MPa で処理を行います。

### Step 3 — 反応工程

- プラスチックの解重合
- 有機物の加水分解
- PFAS の脱フッ素化
- 金属の安定化

### Step 4 — 生成物／各相の回収

処理、減圧および乾燥後、以下の生成物が得られます。

1. 炭素リッチな固形分
2. 溶存成分および懸濁成分を含む回収・凝縮プロセス水
3. 比較的少量のガス状／揮発性成分

### Step 5 — 水処理および回収

プロセス水を処理・回収し、システム内で再循環させます。

RO 工程を含む詳細な水処理構成については、各設備の仕様書・技術資料に基づいて確認する必要があります。

## Step 6 — チャーのペレット化

必要に応じて、エネルギー利用を目的とした「SCW ペレット燃料」としてペレット化します。

### 1.5 比較分析：SCW・焼却・HTC

| 特性      | SCW                                        | 焼却                                      | HTC（水熱炭化）                   |
|---------|--------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------|
| 運転温度    | 230～265°C                                  | 850～1100°C                              | 180～220°C                   |
| 圧力      | 3～5 MPa                                    | 大気圧                                     | 約 2～4 MPa                   |
| 酸素      | 反応に酸素を必要としない                               | 燃焼に必要                                   | 反応に酸素を必要としない                |
| PFAS 処理 | PFAS の分解・脱フッ素化。処理性能は分析による検証が必要             | 分解性能は温度、滞留時間および運転条件に大きく依存               | 限定的で、処理条件に大きく依存             |
| PVC 処理  | 脱塩素化 → 塩素は主として水相中の無機塩化物へ移行                 | HCl および塩素系副生成物に対する適切な排出管理が必要            | 処理条件によっては脱塩素化が可能            |
| 金属（CCA） | 化学形態・相分配が変化。移動性・溶出性が低下する可能性                | 金属は灰中に残留、または種類・条件によって排ガス処理残渣へ移行する可能性がある | 金属は一般にハイドロチャーおよび／または水相に残留   |
| ダイオキシン  | 通常の燃焼による生成経路を回避                            | 運転条件および排ガス処理によって生成を管理                   | 通常の燃焼による生成経路を回避             |
| 固形生成物   | 炭素リッチな固形物。原料および燃料仕様を満たす場合、産業用燃料として利用できる可能性 | ボトムアッシュ／飛灰                              | ハイドロチャー。性状は原料および処理条件によって異なる |
| 水回収     | プロセス水を回収し、システム内で再循環                        | プロセス固有の機能ではない                           | プロセス水が生成。回収はシステム設計による       |
| 電気運転    | NZ 向け提案構成は電気駆動                             | 一般に燃焼を必要とする                             | 電気加熱可能                      |

SCW は、難分解性有機汚染物質の処理と、利用可能性を持つ炭素リッチな燃料の回収を、一つの処理システム内で組み合わせることができます。

## 1.6 SCW の利点

- 通常の燃焼煙突排出を伴わない**非燃焼プロセス**
- 水熱分解、脱塩素化、脱フッ素化および汚染物質管理によって、難処理有機廃棄物・汚染廃棄物を処理
- **高エネルギーのチャーを生成**
- ダイオキシン生成に関わる通常の燃焼経路を回避
- **NZ 向け電化構成案 → 再生可能電力との親和性**
- コンパクトな設置面積
- 日本において 20 年以上のフルスケール運転実績

## 1.7 参考文献

### 日本語資料（ローマ字表記＋原題＋英訳）

Ishimori, K. (2019). *Arinkai shiryō: Subcritical water technical reference* [亜臨界資料：亜臨界水技術資料]. Ishimori Industry Co. Ltd.

Ishimori Industry Co. Ltd. (2018). *Tsui ka shiryō, toriatsukai chūi: Supplementary technical data* [追加資料、取り扱い注意：技術補足データ]. Internal technical manual.

Ishimori Industry Co. Ltd. (2020). *SCW system overview* [SCW システム概要]. In *SCW Reports ENGLISH* (certified analysis results).

Ishimori Industry Co. Ltd. (2021). *SCW tech and patents overview* [SCW 技術及び特許概要]. Internal engineering document.

Ishimori, K. (n.d.). Interview: “SCW: Subcritical Water – Interviews with Kaneo Ishimori”. Substack.

### 英語・学術資料

Akiya, N., & Savage, P. E. (2002). *Roles of water for chemical reactions in high-temperature water*. Chemical Reviews, 102(8), 2725–2750.

Kruse, A., & Dinjus, E. (2007). *Hot compressed water as reaction medium and reactant*. Journal of Supercritical Fluids, 39(3), 362–380.

Patel, S., Halder, P., Hakeem, I. G., et al. (2024). *The fate of fluorine during thermal treatment of biosolids*. Energies, 17(14), 3476.

Soler, A., Conesa, J. A., & Ortuño, N. (2018). *Application of subcritical water to dechlorinate PVC electric wires*. Energies, 11(10), 2612.

Wang, Z., Zhang, L., & Xu, F. (2023). *Migration of chlorine during hydrothermal treatment of rigid PVC plastics*. Journal of Environmental Management, 345, 118613.

*Polymer Degradation and Stability*. (2001). *Dechlorination of poly(vinyl chloride) under high-temperature, high-pressure water*. Polymer Degradation and Stability, 74(1), 113–117.

*Detoxification of PFAS Using Subcritical Water (EJ)*. (2020). AIST Japan.

## 2.0 サブクリティカル・ウォーター

# (SCW) による PVC および塩素系プラスチックの処理

### 2.1 概要

ポリ塩化ビニル (PVC) は、重量比で約 57% という高い塩素含有率、脱塩酸反応、および燃焼時に HCl やダイオキシンなどの有害副生成物を生成する可能性があることから、従来の廃棄物処理システムにおいて最も処理が難しいプラスチックの一つです。

サブクリティカル・ウォーター (SCW) 処理は、PVC を分解するための**非燃焼型水熱処理経路**を提供します。

230～265°C、3～5 MPa の条件下では、PVC は水熱脱塩素化を受け、塩素は主として**無機塩化物として水相へ放出**されます。一方、残った炭素リッチなポリマー構造は、さらに分解・炭化されます。

プロセス水の化学条件、およびその後の濃縮・乾燥条件によっては、塩化物は最終的に NaCl や CaCl<sub>2</sub> などの塩として存在する場合があります。

### PVC の処理管理

PVC は、脱塩酸反応時に適切な pH 緩衝状態を維持するため、通常、他の廃棄物とともに混合処理されます。

PVC 濃度が高い場合には、脱塩酸反応に伴って生じる酸性分を中和するため、必要に応じて Ca(OH)<sub>2</sub> や Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> などの穏やかなアルカリ剤を添加することがあります。放出された塩素は、主として水相中の無機塩化物として管理され、水質条件および後段の処理によっては、最終的に NaCl や CaCl<sub>2</sub> などの塩として存在する場合があります。

この方法は、日本の SCW 設備において 20 年以上にわたり使用されており、これまでに腐食または反応容器の劣化は確認されていません。

本章では、SCW による PVC 処理の反応機構、反応経路、固定化プロセスおよび安全性に関する結果について説明します。

### 2.2 SCW 条件下における PVC の化学的挙動

230～265℃の加圧液体水環境では、水の誘電率が低下し、イオン積が増大するとともに、高い求核反応性を示すため、PVCポリマー鎖の分解が促進されます。

### 2.2.1 主反応：脱塩酸反応

最初に進行する主要な反応は、急速な脱塩酸反応（dehydrochlorination）です。

塩酸（HCl）は直接水相へ放出され、そこで捕捉・中和されます。

#### 参考文献：

（Ishimori, 2019; Polymer Degradation and Stability, 2001; Soler et al., 2018）

#### わかりやすい解説

- PVCは、高温・高圧の水中で脱塩素化および分解を受けます。
- 放出された塩素は、燃焼排気を通じて排出されるのではなく、主として**無機塩化物として水相へ移行**します。
- 残った炭素リッチなポリマー構造はさらに水熱分解を受け、炭素リッチなチャーの一部となります。

## 2.3 中和および塩素管理

### 2.3.1 水相中における塩化物とナトリウムの共存

### 2.3.2 カルシウム系アルカリ成分との反応

これらの反応によって、PVC由来の塩素は主として**無機塩化物として水相へ移行**します。

水相では酸性分を中和することができ、塩化物はプロセス水の化学条件に応じて、溶存イオンとして存在するか、後に無機塩として存在する場合があります。

#### 参考文献：

（Ishimori Industry Co., 2018; Soler et al., 2018; Wang et al., 2023）

### 主反応：脱塩酸反応 — わかりやすい解説

#### 化学反応の各部分が意味するもの

##### ● $-(CH_2-CHCl)-_n$

PVC（ポリ塩化ビニル）の繰り返し単位です。炭素、水素、塩素原子から構成される長いプラスチック鎖です。

##### ● $\rightarrow -(CH=CH)-_n$

脱塩酸反応によって塩素が除去されると、不飽和の炭素リッチなポリマー構造が残ります。SCW条件下でさらに水熱分解および炭化が進行します。

##### ● $+ n HCl$

脱塩酸反応では、塩素が塩酸（HCl）として放出されます。

高温・高圧の水系環境では、HCl は  $H^+$  と  $Cl^-$  に解離するため、塩素は主として**水相中の無機塩化物**として存在します。

### **この反応が重要な理由**

#### **1. PVC を燃焼させることなく脱塩素化**

SCW では、PVC ポリマーから塩素を除去し、主として無機塩化物として水相へ移行させます。

したがって、PVC を以下のような通常の燃焼経路を伴わずに処理することができます。

- HCl を含む燃焼排ガス
- 燃焼による煙およびガス
- 燃焼由来のダイオキシン生成
- 腐食性の燃焼排気

#### **2. 残ったポリマーは炭素リッチなチャーへ寄与**

脱塩素化後、炭素リッチなポリマー構造はさらに水熱分解・炭化され、生成するチャーの一部となります。

原料全体の組成によって、生成するチャーは以下の特性を持つ可能性があります。

- 高い炭素含有率
- 有用な発熱量
- 必要な燃料品質仕様を満たした場合、産業用燃料として利用できる可能性

#### **3. SCW は塩素系有害副生成物に関わる通常の燃焼経路を回避**

SCW は水を媒体とする非燃焼型水熱プロセスであるため、

- 火炎を使用しない
- 通常の燃焼排ガスを発生させない
- ダイオキシン生成に関わる通常の燃焼経路を回避
- PVC 由来の塩素を主として水相中の無機塩化物として管理

という特徴があります。

対象原料について処理性能を確認する必要がある場合には、残留塩素系有機化合物や変換生成物について分析することができます。

これは、PVC 含有廃棄物を処理する際の、SCW と従来の燃焼型処理技術との根本的な違いです。

#### **2.4 ポリマー骨格の変換**

HCl が切り離された後、ポリマー鎖は不飽和構造となり、チャーまたは石炭に類似した炭素リッチな固形物へ変化します。

#### **生成する固形物**

- 炭素リッチな固形残渣
- 組成は原料によって異なる
- 発熱量、灰分、硫黄および塩素含有量は原料によって変化
- 取扱性向上のためペレット化可能
- 適用される燃料品質仕様を満たす場合、産業用燃料として利用できる可能性

## 参考文献：

(Ishimori Industry Co., 2018; Processing System SCW\_E.pdf; SCW Reports ENGLISH)

## 2.5 塩素の挙動

PVC に元来結合していた塩素は、脱塩酸反応によって放出され、主として**無機塩化物**（Cl<sup>-</sup>）として水相へ移行します。

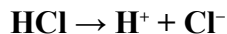
### 中和および塩素管理 — わかりやすい解説

#### PVC から放出された塩素はどうなるのか？

##### HCl（塩酸）

PVC の脱塩酸反応では、塩素が HCl として放出されます。

高温・高圧の水系環境では、HCl は次のように解離します。

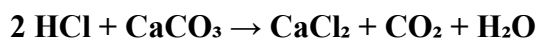


したがって、塩素は主として水相中の無機塩化物（Cl<sup>-</sup>）として存在します。

##### 酸性分の中和

廃棄物中にもともと存在するアルカリ性化合物、または必要に応じて添加するアルカリ剤によって、脱塩酸反応で生じた酸性分を中和することができます。

例えば、



炭酸カルシウムは、コンクリート、土壌、鉱物質、その他の混合廃棄物成分に含まれている場合があります。また、必要に応じてアルカリ剤を意図的に添加することもできます。

プロセス水中にはナトリウムイオンが存在する場合があります。水質条件およびその後の濃縮・乾燥によっては、ナトリウムと塩化物が最終的に塩化ナトリウム（NaCl）として存在する場合があります。

## SCW においてこれが重要な理由

### 1. 有機塩素を主として無機塩化物へ変換

脱塩酸反応によって PVC ポリマーから塩素が除去されます。

放出された塩素は、元の PVC 中に有機的に結合した状態で残るのではなく、主として無機塩化物として水相へ移行します。

プロセス水の化学条件および後段の水処理によっては、塩化物は溶存状態を維持するか、最終的に NaCl や CaCl<sub>2</sub> などの塩として存在する場合があります。

## 2. 塩素を密閉された水系プロセス内で管理

SCW は密閉された非燃焼型水熱プロセスであるため、

- PVC 由来の塩素は主として水相内で管理されます。
- 通常の燃焼排ガス経路はありません。
- 酸性分をプロセス内で中和することができます。
- 通常の燃焼煙突排出はありません。

## 3. ダイオキシン生成に関わる通常の燃焼経路を回避

SCW では PVC を燃焼させません。そのため、塩素含有廃棄物の燃焼に伴う通常のダイオキシン生成条件を回避します。

技術的に必要な場合には、対象原料について残留塩素系有機化合物および変換生成物を分析し、処理性能を確認することができます。

プロセス水の化学条件およびその後の濃縮・乾燥によっては、この塩化物は溶存状態のまま存在するか、最終的に以下のような無機塩として存在する場合があります。

- NaCl (塩化ナトリウム)
- CaCl<sub>2</sub> (塩化カルシウム)

その後、塩化物はプロセス水および水回収システム内で管理されます。

SCW は非燃焼プロセスであるため、HCl を含む燃焼排ガスおよびダイオキシン生成に関わる通常の燃焼経路を回避します。

### 参考文献：

(Ishimori, 2019; Detoxification of PFAS Using Subcritical Water\_EJ.pdf; Wang et al., 2023)

## 2.6 残渣の特性および安全性

### 2.6.1 固形残渣 (チャー)

- 炭素リッチな固形残渣
- 化学的に安定しており、取扱いが容易
- 燃料特性は処理する原料によって異なる
- 燃料品質仕様を満たす場合、産業用燃料または石炭代替燃料として利用できる可能性

### 2.6.2 溶出性

日本で報告されている JLT および JLT 系の分析試験は、**試験対象となった SCW 処理物について**以下の結果を示しています。

- 報告された溶出分析では有機塩素は検出されなかった
- 塩素は主として無機形態で存在すると報告された
- ダイオキシンまたは塩化ビニルモノマーを測定した試料・試験では、報告された分析においてこれらは検出されなかった

#### 参考文献：

(SCW Reports ENGLISH; Ishimori Industry Co., 2020)

## 2.7 従来型処理技術との比較

### 焼却

- 温度：850～1100°C
- 主なリスク：HCl ガス、ダイオキシン、飛灰汚染
- 高い腐食リスク
- 高額な排出管理設備が必要

### 熱分解

- PVC を完全に脱塩素化できない場合が多い
- 塩素系タール・油が生成するリスク
- 高温腐食の問題が残る

### サブクリティカル・ウォーター

- 燃焼を行わない
- ダイオキシン生成に関わる通常の燃焼経路を回避
- PVC 由来の塩素を主として水相中の無機塩化物へ移行
- プロセス化学および材料選定によって腐食を管理
- 電気駆動が可能 → **NZ 向け提案構成は再生可能電力との親和性を有する**

#### 参考文献：

(Akiya & Savage, 2002; Kruse & Dinjus, 2007)

## 2.8 まとめ

従来型処理システムにおいて最も処理が難しいプラスチックの一つである PVC は、SCW によって**非燃焼型水熱処理経路**で処理することができます。

- PVC の水熱脱塩素化
- PVC 由来の塩素を主として無機塩化物へ転換
- 通常の燃焼排出を伴わない
- ダイオキシン生成に関わる通常の燃焼経路を回避
- 燃料として利用価値を持つ可能性のある炭素リッチな固形残渣を生成
- 完全電化型構成および再生可能電力との組み合わせが可能

## 参考文献

### 日本語資料（ローマ字表記＋原題＋英訳）

Ishimori, K. (2019). *Arinkai shiryō: Subcritical water technical reference* [亜臨界資料：亜臨界水技術資料]. Ishimori Industry Co. Ltd.

Ishimori Industry Co. Ltd. (2018). *Tsui ka shiryō, toriatsukai chūi: Supplementary technical data* [追加資料、取り扱い注意：技術補足データ]. Internal technical manual.

Ishimori Industry Co. Ltd. (2020). *SCW system overview* [SCW システム概要]. In *SCW Reports ENGLISH* (certified analysis results).

Ishimori Industry Co. Ltd. (2021). *SCW tech and patents overview* [SCW 技術及び特許概要]. Internal engineering document.

Ishimori, K. (n.d.). Interview: “SCW: Subcritical Water – Interviews with Kaneo Ishimori”. Substack.

### 英語・学術資料

Akiya, N., & Savage, P. E. (2002). *Roles of water for chemical reactions in high-temperature water*. Chemical Reviews, 102(8), 2725–2750.

Kruse, A., & Dinjus, E. (2007). *Hot compressed water as reaction medium and reactant*. Journal of Supercritical Fluids, 39(3), 362–380.

*Polymer Degradation and Stability*. (2001). *Dechlorination of poly(vinyl chloride) under high-temperature, high-pressure water*. Polymer Degradation and Stability, 74(1), 113–117.

Soler, A., Conesa, J. A., & Ortuño, N. (2018). *Application of subcritical water to dechlorinate PVC electric wires*. Energies, 11(10), 2612.

Wang, Z., Zhang, L., & Xu, F. (2023). *Migration of chlorine during hydrothermal treatment of rigid PVC plastics*. Journal of Environmental Management, 345, 118613.

### 技術・政府関係資料

AIST Japan. (2020). *Detoxification of PFAS using subcritical water* [EJ technical report].

Processing System SCW\_E. (2017). *Sub-critical water waste processing system – English brochure*. Ishimori Industry Co. Ltd.

SCW Reports ENGLISH. (2020). *Certified analysis of SCW residues (multiple JLT-based tests)*.

## 3.0 サブクリティカル・ウォーターによる PFAS「永続性化学物質」の分解

### 3.1 はじめに

ペルフルオロアルキル化合物およびポリフルオロアルキル化合物（PFAS）は、炭素－フッ素（C-F）結合（約 485 kJ/mol）が極めて強固であるため、最も環境残留性の高い合成化学物質群の一つです。

埋立、低温焼却、熱分解、堆肥化などの従来型廃棄物処理技術では、PFAS 分子を確実に分解することができず、浸出水、排ガス、残留固形物などへ再分配される場合があります。

サブクリティカル・ウォーター（SCW）処理では、230～265°C、3～5 MPa の高温圧縮水が以下の特性を示すことから、PFAS の水熱分解および脱フッ素化経路を提供します。

- 高いイオン積（ $K_w$ ）
- OH<sup>-</sup>による強い求核反応性
- 加水分解および脱フッ素化が進行しやすい反応条件
- 通常の燃焼煙突を伴わない、完全密閉型・非燃焼反応容器

日本の SCW システムでは、PFAS を含む汚泥および産業排水を 10 年以上にわたり処理しており、日本の分析結果では PFAS の分解およびフッ化物の生成が示されています。

ただし、脱フッ素化の程度および残留有機フッ素については、対象となる原料および運転条件ごとに確認する必要があります。

#### PFAS の水相管理

PFAS の脱フッ素化が起きた場合、放出されたフッ素は主として**無機フッ化物として水相へ移行**します。

プロセス水の化学条件によっては、フッ化物は溶存状態のまま存在する場合と、無機鉱物相と結合する場合があります。

フッ化物を含むプロセス水の後段処理および濃縮については、実際の Arinkai 水処理システムの構成に基づいて確認する必要があります。

濃縮液、ブライン、残留固形物が生じる場合には、それらも汚染物質全体のマスバランスに含め、適切に分析・評価する必要があります。

## 3.2 SCW における PFAS 分解機構

### 3.2.1 C-F 結合の水熱切断

SCW 条件下では、OH<sup>-</sup>による求核攻撃が反応の一つの起点となり、脱フッ素化された有機化合物を生成するとともに、フッ化物イオン (F<sup>-</sup>) を放出します。

(Akiya & Savage, 2002; Patel et al., 2024)

### 3.2.2 放出されたフッ化物の挙動

PFAS の脱フッ素化によって放出されたフッ化物は、主として**水相中の無機成分**として移行します。

プロセス水の化学条件によっては、フッ化物は溶存状態のまま存在するか、無機フッ化物塩を形成する場合があります。

沈殿が起きる条件では、フッ化物が CaF<sub>2</sub>などの鉱物相に取り込まれる可能性があります。

溶存フッ化物および沈殿したフッ化物含有固形物は、その後、プロセス水処理および残渣管理システムの中で管理されます。

(Ishimori, 2019; Patel et al., 2024)

## PFAS の C-F 結合切断 — わかりやすい解説

### この反応が意味するもの

- PFAS 分子には極めて強固な炭素－フッ素 (C-F) 結合が含まれています。

これは有機化学における最も強い結合の一つであり、PFAS が環境中で非常に長く残留する主な理由の一つです。

- SCW 内部では、水熱反応環境によって PFAS の分解および C-F 結合の切断が促進されます。

この結合を切断することが、PFAS 脱フッ素化の重要な段階です。

- C-F 結合が切断されると、フッ素は無機フッ化物 (F<sup>-</sup>) として放出されます。

この時点で、フッ素は元の PFAS 分子に有機的に結合した状態ではなくなり、水相中の無機成分として移行します。

- 残った炭素骨格は、さらに水熱変換を受けます。

PFAS の分解が進むにつれて、炭素を含む部分はさらに反応し、処理条件に応じて、水相中の生成物、炭素リッチな固形物、その他の反応生成物へ分配されます。

- OH<sup>-</sup> (水酸化物イオン) は、反応性の高い水系化学環境を構成する要素の一つです。

### なぜこれが重要なのか

C-F 結合の切断は、PFAS の分解および脱フッ素化における重要な段階です。

SCM プロセス開発者によれば、SCM 処理では PFAS を単に吸着または濃縮するのではなく、**無機フッ化物イオンまで完全に分解すること**を処理性能として掲げています。

F<sup>-</sup>として放出されたフッ化物は水相中の無機成分となり、プロセス水の化学条件によって、溶存状態のまま存在するか、後に無機フッ化物塩を形成する場合があります。

例えば、

- **CaF<sub>2</sub>（フッ化カルシウム）** — 十分なカルシウムが存在し、沈殿に適した化学条件となった場合に析出する可能性があります。
- **NaF（フッ化ナトリウム）** — ナトリウムとフッ化物が存在する場合、特に濃縮または乾燥後に塩として存在する可能性があります。

### 最も簡単にまとめると

- SCW は PFAS を分解し、C-F 結合を切断します。
- フッ素は、有機的に結合した状態から無機フッ化物へ変換されます。
- 放出されたフッ化物は水相で管理され、その後、条件によって無機塩を形成する場合があります。
- 残った炭素含有物は、さらに水熱変換を受けます。

### 3.2.2 放出されたフッ化物の挙動 — 追加のわかりやすい解説

PFAS の脱フッ素化によって放出されたフッ化物イオン (F<sup>-</sup>) は、廃棄物またはプロセス水中に存在するカルシウム (Ca<sup>2+</sup>) と反応する場合があります。

化学条件が沈殿に適している場合には、天然鉱物の蛍石 (fluorite) としても知られるフッ化カルシウム (CaF<sub>2</sub>) を形成する可能性があります。

また、ナトリウムイオンとフッ化物イオンが水相中に共存し、特に濃縮または乾燥後にフッ化ナトリウム (NaF) として存在する場合があります。

重要なポイントは次のとおりです。

- PFAS が脱フッ素化すると、無機フッ化物イオンが放出されます。
- フッ化物イオンは主として水相へ移行します。
- 水質条件によって、溶存状態を維持するか、無機フッ化物塩を形成する場合があります。
- 十分なカルシウムが存在し、沈殿条件が整えば、CaF<sub>2</sub>が析出する可能性があります。
- 水中に残ったフッ化物は、その後、プロセス水処理および残渣管理システムによって管理されます。

重要な変換は、元の PFAS 化合物を単に捕捉または濃縮することではなく、**PFAS 中に有機的に結合していたフッ素を無機フッ化物へ変換すること**です。

### 3.2.3 炭素骨格の挙動

脱フッ素化された炭素含有生成物は、さらに以下のような水熱反応を受ける可能性があります。

- 加水分解および、より小さな有機化合物への変換
- さらなる分解および炭化。一部の炭素はチャーの構成成分となる可能性
- 処理条件によっては、CO<sub>2</sub>を含む気体状炭素生成物の形成

日本の SCW 設備について報告されている運転データでは、ガス発生量は一般に少なく、参照データでは CO<sub>2</sub>が **2%未満**と報告されています。

(SCW Reports ENGLISH, 2020)

### 3.3 PFAS 処理性能

日本の分析データおよび公表されている水熱処理研究は、水熱処理条件下で PFAS が**大幅な分解および脱フッ素化を受け得る**ことを示しています。

一方、報告されている処理性能は、PFAS の種類、温度、圧力、アルカリ度、滞留時間および原料マトリックスによって大きく異なります。

SCM プロセス開発者によれば、意図する処理結果は PFAS を**無機フッ化物イオンまで完全に分解すること**です。

ただし、特定原料に対する技術的な性能確認では、関連する各生成物流について残留 PFAS およびフッ素を測定し、分析によって処理性能を実証する必要があります。

(日本の JIS/JLT その他の分析結果については、SCW Reports ENGLISH に収録されています。)

分析対象となる主な生成物流は、

- 最終チャー／固形残渣
- 処理済みプロセス水
- RO を使用する場合は RO 濃縮液またはブライン
- その他の関連固形残渣

です。

### 3.4 PFAS 処理技術の比較

| 技術  | PFAS の分解                | リスク／課題      | 備考                        |
|-----|-------------------------|-------------|---------------------------|
| SCW | PFAS の分解・脱フッ素化 → 無機フッ化物 | 密閉型・非燃焼プロセス | 通常の燃焼煙突を必要とせず、プロセス水を回収・処理 |

| 技術                 | PFAS の分解 | リスク／課題                           | 備考               |
|--------------------|----------|----------------------------------|------------------|
| 低温焼却               | 部分的      | PFAS から PFHxS、PFBA、HF ガス等が生じる可能性 | USEPA では推奨されていない |
| 高温焼却<br>(>1,200°C) | 分解可能性あり  | 高エネルギー消費、HF スクラバーが必要             | 高コストで、規制対応負担が大きい |
| 熱分解                | なし       | PFAS が残存する可能性                    | 汚染チャーを生成         |
| 埋立                 | なし       | 浸出水汚染                            | 長期的な管理責任         |
| 活性炭                | 吸着のみ     | 最終的には別途分解処理が必要                   | 問題を別の媒体へ移行       |
| 逆浸透 (RO)           | 除去のみ     | PFAS 濃縮液の処理が必要                   | 濃縮液処分のコスト        |

SCW は、PFAS の分解および無機化の可能性を持つ、密閉型・非燃焼の有望な水熱処理経路です。ただし、その性能は運転条件および原料によって異なります。

### 3.5 PFAS 含有廃棄物処理時の生成物流

#### 固相（チャー／灰分）

- プロセス水および原料の化学組成によっては、無機フッ化物を含む鉱物相が存在する可能性があります。
- 日本の分析結果では、試験された試料について有機フッ素が検出されなかったと報告されています。代表性のある原料については、原料ごとの試験によって性能を確認する必要があります。
- 日本で報告された溶出試験では、試験対象物について、適用した試験条件下で不検出または低い溶出性が示されています。
- 組成および適用される受入基準によっては、処分またはエネルギー回収に利用できる可能性があります。

#### 水相

- フッ化物 (F<sup>-</sup>) および塩化物 (Cl<sup>-</sup>) を溶存イオンとして含みます。
- RO／イオン交換処理によって、プロセス水中の溶存イオンを除去・濃縮することができます。
- 日本で報告されているシステムでは、処理済みプロセス水を回収・再利用しています。

#### 気相

- 日本で報告されている運転データではガス発生量は少なく、参照データでは CO<sub>2</sub> が 2% 未満と報告されています。

- 日本で報告されたガス分析では、揮発性フッ素化合物は検出されていません。
- 日本で報告されたガス分析では、HF は検出されていません。

### 3.6 PFAS 含有廃棄物に対する主な利点

SCM は、PFAS を単に吸着・濃縮するのではなく、**PFAS そのものを分解・脱フッ素化することを目的として設計されています**。その処理性能については、適切な分析によって確認します。

- 通常の燃焼排ガス処理システムを必要としない
- 日本で報告されたガス分析では、揮発性フッ素化合物は検出されていない
- 実現可能な温度範囲（230～265℃）で運転
- **NZ 向け提案電化構成 → 再生可能電力との親和性**
- **クローズドループ型水回収システム** → プロセス水システム内でフッ化物および残留汚染物質を封じ込め、処理することが可能
- 炭素リッチなチャーを生成し、燃料としての利用価値を持つ可能性。ただし、残留 PFAS、フッ素およびその他の燃料品質項目について確認が必要

### 3.7 参考文献

#### 日本語資料

Ishimori, K. (2019). *Arinkai shiryō: Subcritical water technical reference* [亜臨界資料：亜臨界水技術資料]. Ishimori Industry Co. Ltd.

AIST Japan. (2020). *Detoxification of PFAS using Subcritical Water* [EJ technical report]. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology.

SCW Reports ENGLISH. (2020). *Certified analysis of SCW residues*.

#### 英語・学術資料

Akiya, N., & Savage, P. E. (2002). *Roles of water for chemical reactions in high-temperature water*. Chemical Reviews, 102(8), 2725–2750.

Patel, S., Halder, P., Hakeem, I. G., et al. (2024). *The fate of fluorine post PFAS destruction during thermal treatment of biosolids*. Energies, 17(14), 3476.

## 4.0 CCA 処理木材：SCW による金属の固定化

### 4.1 はじめに

クロム・銅・ヒ素系木材保存剤（Chromated Copper Arsenate：CCA）で処理された木材は、ニュージーランドにおいて現在も特に問題となる過去由来の廃棄物の一つです。

住宅用途における CCA の新規使用は 1980 年代後半から 2000 年代にかけて段階的に縮小されましたが、現在も建設・解体（C&D）廃棄物、造園用木材、農業用支柱、電柱などに大量の CCA 処理木材が残されています。

#### 注：日本における木材処理

サブクリティカル・ウォーター（SCW）は、日本において、こうした既存の処理木材を**非燃焼方式で処理する方法**を提供しています。

SCW では木材の有機マトリックスを分解するとともに、CCA 由来金属を、移動性のより低い鉱物相・炭素相と結合した形態として固相に保持、または各相へ再分配することが可能です。

また、クレオソートなどの有機汚染物質については、水熱分解が進行します。

従来型の処理方法である埋立、焼却、熱分解には、それぞれ長期的な課題があります。

- **埋立**：Cr、Cu、As が長期間にわたり溶出する可能性（MfE, 2004; MfE, 2019）
- **焼却**：ヒ素酸化物や一部のクロム化合物が揮発する可能性
- **熱分解**：金属は生成するチャー／灰中に濃縮して残留し、金属の種類および処理条件によっては、相当な移動性または溶出性を保持する可能性

SCW は、有機物を加水分解するとともに、重金属を固形残渣中の**より移動性・溶出性の低い鉱物相・炭素相に結合した形態へ安定化できる可能性**を持つ、密閉型・非燃焼プロセスです。

日本で実施された SCW 処理残渣の試験では、適用された分析方法において、Cr、Cu、As の溶出が検出されなかった事例が報告されています。

ただし、これらの結果をすべての CCA 原料に対して同一の性能が得られることを示すものと解釈すべきではありません。代表性のある原料について、**全金属含有量および溶出性試験**によって確認する必要があります。

## 4.2 SCW における金属安定化の機構

CCA 処理木材には、主として以下の元素が含まれます。

- 銅 (Cu)
- クロム (Cr)
- ヒ素 (As)

これらの金属は、元の木材保存剤の化学組成、木材の経年変化、および処理条件によって、異なる酸化状態および化学形態で存在する場合があります。

SCW 条件 (230~265°C、3~5 MPa) では、CCA 由来金属の**化学種 (speciation)** および**固相・水相間の分配**が変化する可能性があります。

固形残渣中に保持された金属は、鉍物相および炭素リッチな相と結合し、その結果として移動性および溶出性が低下する場合があります。

### わかりやすい説明

CCA 処理木材に含まれる主な防腐剤由来金属は、

- 銅 ( $\text{Cu}^{2+}$ )
- クロム ( $\text{Cr}^{3+}$  /  $\text{Cr}^{6+}$ )
- ヒ素 ( $\text{As}^{5+}$ )

です。

SCW 条件下では、これらの金属の化学形態および各相への分配が変化する可能性があります。

固形残渣中に保持された金属は、より安定した鉍物相および炭素相と結合することで、移動性および溶出性が低下する場合があります。

このような安定化の可能性は、処理木材に SCW を適用する上で重要な利点の一つですが、実際の性能については、対象原料ごとの**全金属分析および溶出試験**によって確認する必要があります。

### 4.2.1 クロム

処理木材のマトリックスから放出されたクロムは、水熱条件下で酸化状態、化学種および鉍物相との結合状態が変化する可能性があります。

固形残渣中に保持されたクロムは、比較的安定した酸化物、水酸化物、鉍物相および炭素リッチな相と結合し、その結果、移動性および溶出性が低下する可能性があります。

日本で報告されている溶出試験では、試験された SCW 残渣について、適用された試験条件下でクロムの溶出が低い、または不検出であったことが示されています。

#### 4.2.2 銅

木材マトリックスの分解によって放出された銅は、水相と固相の間に分配される可能性があります。

固形残渣中に保持された銅は、酸化物、水酸化物、鉱物相および炭素リッチな相と結合し、その結果、移動性および溶出性が低下する可能性があります。

日本で報告されている溶出試験では、試験された SCW 残渣について、適用された試験条件下で銅の溶出が低い、または不検出であったことが示されています。

#### 4.2.3 ヒ素

ヒ素は水熱処理中に、化学種および各相への分配が変化する可能性があります。

pH、酸化状態、カルシウムその他の鉱物成分によっては、ヒ素が鉱物相または炭素リッチな固形残渣と結合する場合があります。

一方、一部のヒ素が水相へ移行する可能性もあるため、**水相の分析も重要**です。

日本で報告されている溶出試験では、試験された SCW 残渣について、適用された試験条件下でヒ素の溶出が低い、または不検出であったことが示されています。

#### 重要なポイント

SCW は通常の燃焼よりも大幅に低い温度で運転されるため、CCA 由来金属の揮発は大幅に抑えられると考えられます。

ただし、対象原料について、金属が**固相、水相、およびガス状・その他の残留物流のどこへ分配されるか**を、分析によって確認する必要があります。

(Ishimori, 2019; SCW Reports ENGLISH)

### 4.3 SCW 処理中の CCA 木材の挙動

#### 処理を段階的に見ると

1. セルロース、ヘミセルロース、リグニンが水熱分解され、処理木材のマトリックスが分解されます。
2. CCA 由来金属が木材中での元の結合状態から解放され、固相と水相の間に分配される可能性があります。
3. 加水分解、錯形成、吸着、および鉱物相・炭素リッチ相との相互作用によって、金属の化学種が変化する可能性があります。
4. 金属の一部は、より安定した固相結合形態として保持され、その結果、移動性および溶出性が低下する可能性があります。
5. Cr、Cu、As の固相・水相間の分配割合は、原料および処理化学条件によって異なるため、マスバランス試験によって確認する必要があります。

## 6. 回収されたプロセス水は水回収システム内で処理され、必要に応じて溶存汚染物質を濃縮または除去した後、水を再利用します。

日本で報告されている処理水の分析では、適用された分析方法において Cr、Cu、As が検出限界未満となった事例があります。

ニュージーランドのシステムで CCA 処理木材を処理する場合には、対象原料ごとの試験によって同等の性能を確認する必要があります。

### 4.4 CCA 処理木材に対する SCW 生成物の特性

#### 4.4.1 固形残渣（チャー／鉍物分）

- Cr、Cu、As は、鉍物相および炭素相と結合した形態で固形残渣中に保持される場合があります。
- 日本で報告された JLT/JLT 系溶出試験では、試験された SCW 残渣について、適用された試験条件下で Cr、Cu、As が検出限界未満となった事例があります。
- **溶出性が非常に低い場合でも、全金属濃度そのものは相当量残っている可能性があります。**
- チャーをその後燃料として使用する場合には、Cr、Cu、As が燃焼時にどのような挙動を示すかについて、別途評価する必要があります。これには、ボトムアッシュ、飛灰および排ガス処理残渣への分配も含まれます。

（参照：SCW Reports ENGLISH および追加資料）

#### 4.4.2 水相

日本のプロセス水および放流水の分析結果は、処理中に**一部の金属が水相へ移行する場合がある**ことを示しています。

報告された試料の中には、Cu、Cr、As が測定可能な濃度で検出されたものがあります。

したがって、

- 溶存金属については、プロセス水処理システム内で管理が必要となる場合があります。
- 水処理・水回収工程によって溶存汚染物質を分離または濃縮することはできますが、**元素としての金属そのものを消滅させるものではありません。**
- 処理水の品質については、適用される再利用基準または放流基準に照らして評価する必要があります。
- CCA 処理木材を処理する場合には、原料ごとの分析およびマスバランス評価が必要です。

#### 4.4.3 気相

- SCW は、通常の燃焼システムではなく、**密閉型・非燃焼の水熱処理プロセス**です。
- 参照されている日本の運転データでは、全体のガス発生量は少ないと報告されています。
- CCA 由来金属が固相、水相、およびガス状成分や随伴粒子相へどのように分配されるかについては、原料ごとのマスバランス試験によって確認する必要があります。

#### 4.5 CCA 処理木材：SCW・埋立・焼却の比較

| 技術  | Cu / Cr / As の挙動                                                  | 主な考慮事項                               |
|-----|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| SCW | 金属は固相と水相の間に分配される可能性があり、固相に保持された金属は、より移動性の低い鉱物相・炭素相と結合した形態となる場合がある | 金属の分配および溶出性の確認が必要。水相中の汚染物質についても管理が必要 |
| 埋立  | 金属は処理木材中に残り、時間の経過とともに溶出する可能性                                      | 長期的な浸出水および地下水管理リスク                   |
| 焼却  | 金属は灰中に濃縮し、一部の金属・化学種は揮発または飛灰へ随伴する場合がある                             | 適切な灰処理および大気汚染防止管理が必要                 |
| 熱分解 | 金属は一般にチャー／残渣中に濃縮して残り、その分配・移動性は処理条件によって異なる                         | チャーについて追加処理または管理型処分が必要となる場合がある       |

SCW は、CCA 由来金属を比較的安定した鉱物相・炭素相と結合した形態で保持し、未処理木材と比較して移動性および溶出性を低減できる可能性を持つ、**密閉型・非燃焼処理経路**です。

ただし、その性能については原料ごとの試験によって確認する必要があります。

#### 4.6 ニュージーランドにおける重要性

ニュージーランドには、以下のような CCA 処理木材が大量に残されています。

- CCA 処理フェンス支柱
- 造園用木材
- 農場・果樹園用支柱
- 産業由来の端材
- 解体木材

SCW には、以下の可能性があります。

- **大幅な減容**
- **長期的な溶出リスクおよび埋立に伴う将来責任を低減できる可能性**

- 大量に残る過去由来の CCA 処理木材を処理するための選択肢
- 非燃焼型処理であり、ニュージーランド向けには完全電化型構成を提案

このアプローチは、ニュージーランドの以下の目的および規制上の検討事項と関連します。

- **Waste Minimisation Act 2008**
- **MfE の有害廃棄物ガイダンス**
- 廃棄物削減および資源回収に関する目標
- 気候変動および排出削減に関する目標
- 難処理・汚染廃棄物の管理

#### 4.7 参考文献

##### 日本語資料

Ishimori, K. (2019). *Arinkai shiryō: Subcritical water technical reference* [亜臨界資料：亜臨界水技術資料]. Ishimori Industry Co. Ltd.

Ishimori Industry Co. Ltd. (2020). *SCW Reports ENGLISH* (certified laboratory analysis and leaching results).

Ishimori Industry Co. Ltd. (2018). *Tsui ka shiryō, toriatsukai chūi: Supplementary technical data* [追加資料、取り扱い注意].

##### 英語資料

Akiya, N., & Savage, P. E. (2002). *Roles of water for chemical reactions in high-temperature water*. Chemical Reviews, 102(8), 2725–2750.

Kruse, A., & Dinjus, E. (2007). *Hot compressed water as reaction medium and reactant*. Journal of Supercritical Fluids, 39(3), 362–380.

Ministry for the Environment (2004). *Hazardous Waste Guidelines: Module 2 – Landfill Waste Acceptance Criteria*.

Ministry for the Environment (2019). *Hazardous Waste Guide*.

## 5.0 SCW チャーおよび残渣の特性評価

### 5.1 はじめに

サブクリティカル・ウォーター（SCW）処理では、一般に **SCW チャー** と呼ばれる炭素リッチな固形残渣が生成されます。

数百度の温度域で、酸素が少ない、または無酸素条件下で熱分解によって生成される熱分解チャーとは異なり、SCW チャーは約 **230～265°C**、**3～5 MPa** の条件下で、水熱分解および炭化によって生成されます。

SCW 処理は、高温・高圧の水系環境内で、通常の燃焼を伴わずに行われるため、生成するチャーには以下の特徴があります。

- 通常の燃焼を経ずに生成されるため、通常の燃焼由来生成物を回避
- 炭素リッチな物質と、原料由来の鉱物成分を含む
- 金属が鉱物相・炭素相と結合した形態で保持され、移動性・溶出性が低下する可能性
- 原料組成によっては高いエネルギー価値を持つ
- 乾燥・ペレット化することで、取扱いや燃料利用に適した形態とすることが可能

日本の施設では長年にわたり SCW 固形燃料が生成されており、実験室分析によって高い発熱量が確認されるとともに、燃料組成、水質および一部の環境項目に関する分析データが蓄積されています。

## 5.2 物理的・化学的特性

### 5.2.1 外観および取扱性

SCW チャーは一般に、

- 黒色または濃褐色
- 乾燥工程後は比較的乾燥した状態
- 臭気が少ない
- 原料および処理・乾燥条件によって、粒状または粉末状

となります。

(Processing System SCW\_E.pdf; Ishimori, 2019)

この形状は、通常の熱分解または燃焼ではなく、水熱処理によって生成されたことを反映しています。

### 5.2.2 炭素含有量

SCW 処理では、原料中の有機分が炭素リッチな固形残渣へ変換されます。

炭素含有量は、元の廃棄物組成、特にバイオマス、紙、プラスチック、その他の有機物がどの程度含まれているかによって大きく変化します。

水熱処理では、水分が除去されるとともに有機原料が変換されることで、炭素が濃縮された固形物が生成します。

したがって、その炭素含有量および組成は、元の廃棄物流と処理条件に大きく依存します。

### 5.2.3 発熱量（エネルギー含有量）

日本の認証分析結果では、SCW 固形燃料のエネルギー含有量は、原料および処理対象物によって大きく異なることが示されています。

報告されている値には、

- 白老および斜里試料：約 **22～25.7 MJ/kg**
- 北広島／広島試料：約 **31～37.1 MJ/kg**

があります。

例えば、

- 2024 年の斜里認証分析：乾燥ベース高位発熱量 **25.65 MJ/kg**
- 北広島分析：乾燥ベース高位発熱量 **37.13 MJ/kg**

と報告されています。

高エネルギーの SCW 固形燃料は、一般的な産業用固形燃料の広いエネルギー密度範囲に入ります。

ただし、実際の燃料適性は発熱量だけではなく、**燃料仕様全体**によって判断する必要があります。

硫黄分および灰分も原料によって異なります。日本の分析では硫黄分は一般に比較的低い値を示していますが、灰分は試料間で大きく異なります。

したがって、産業用燃料としての適否は、適用される燃料仕様および原料組成によって決まります。

### 5.3 無機成分および塩の生成

SCW 処理では、元の有機マトリックス中に存在するハロゲンその他の無機成分が、水相および固相へ移行する場合があります。

- **PVC の脱塩素化によって放出された塩素**は、主として水相中の無機塩化物として存在します。プロセス水の化学条件によって、溶存塩化物として存在する場合と、後に無機塩として存在する場合があります。
- **PFAS の脱フッ素化が起きた場合**、有機的に結合していたフッ素は無機フッ化物へ変換され、主として水相へ移行します。プロセス化学条件によって、溶存状態を維持するか、無機フッ化物を含む相を形成する場合があります。
- **金属その他の無機成分**は、水相と固形残渣の間に分配される場合があります、鉍物相および炭素リッチな相と結合する場合があります。

これらの無機成分の分布および化学形態は、原料組成およびプロセス水の化学条件によって異なります。

したがって、適切な分析試験およびマスバランスによって確認する必要があります。

### 5.4 金属の安定化および相分配

処理木材、汚泥、その他の原料中に含まれる金属元素は、SCW 処理によって分解・消滅するものではありません。

SCW 処理中に、金属は以下のような変化を受ける可能性があります。

- 酸化状態の変化
- 化学種の変化
- 固相・水相間の分配変化

固形残渣中に保持された金属は、酸化物、水酸化物、鉱物相および炭素リッチな相と結合し、その結果、移動性および溶出性が低下する可能性があります。

ただし、安定化の程度は原料および処理条件によって異なるため、**全金属分析、溶出試験およびマスバランス試験**によって確認する必要があります。

日本の水分析結果は、処理後に一部の金属が水相中に存在する場合があることも示しており、適切なプロセス水管理の必要性を裏付けています。

例えば、報告された処理水試料の一つでは Cu および Cr が測定可能な濃度で検出され、別の放流水分析では Cr(VI) および As が測定可能な濃度で報告されています。

### 5.5 溶出性および環境性能

日本の実験室報告書には、SCW 固形燃料、処理水、放流水および一部のガス状生成物についての分析データが含まれています。

溶出試験が実施されている場合、その結果は、

- 対象試料
- 分析方法
- 検出限界／定量限界

に基づいて解釈する必要があります。

分析結果で「不検出」と報告されている場合、それは対象物質の濃度が設定された分析定量限界未満であったことを意味し、元の原料中にその元素または化合物が存在しなかったことを意味するものではありません。

SCW は非燃焼プロセスであるため、燃焼由来のダイオキシンおよびフラン類の生成に関わる通常の燃焼経路を回避します。

日本の分析報告には、プロセス関連試料およびガス状生成物についてのダイオキシン分析も含まれています。

金属その他の無機汚染物質については、環境性能を評価する際に、以下の各相への分配を考慮する必要があります。

- 炭素リッチな固形残渣
- プロセス水
- 水処理によって生じる濃縮残渣またはブライン
- ガス状成分または随伴粒子相

したがって、SCW チャーの後利用の適否については、利用先の用途要件に照らして評価する必要があります。

想定される用途には、

- ペレット化した産業用燃料
- 燃料仕様を満たす場合の混焼またはボイラー用途
- 適用される受入基準を満たす場合のその他の産業用途
- 有効利用が適切でない場合の管理型処分

があります。

### チャーを燃焼利用する場合

SCW チャーをその後燃焼させる場合には、金属その他の無機成分の**燃焼時の挙動を、SCW 処理時の挙動とは別に評価する必要があります。**

燃焼条件によっては、

- ボトムアッシュ
- 飛灰
- 大気汚染防止設備の残渣

に金属が濃縮する場合があります。

また、一部の金属または化学種については、燃焼条件によって揮発する可能性があります。

## 5.6 SCW チャーの用途

### 5.6.1 産業用燃料

SCW チャーの主要な潜在用途の一つは、**固形産業用燃料**です。

日本の分析結果では、調査された試料について、原料組成および生成燃料の性状に応じて約 **22~37.1 MJ/kg** の発熱量が確認されています。

SCW 固形燃料は、かさ密度を高め、保管・取扱い・輸送性を向上させるためにペレット化することができます。

想定される用途には、

- ペレット化ボイラー燃料
- 従来型固形燃料の一部代替
- 適切な産業熱プロセスにおける補助燃料

があります。

実際に受け入れ可能かどうかは、受入施設が要求する以下の項目によって決まります。

- 発熱量
- 含水率

- 灰分
- 塩素
- 硫黄
- 金属
- その他の燃料品質項目

### 5.6.2 その他の材料用途

SCW 残渣は、鉱物成分および炭素リッチな特性を持つため、燃料以外の用途にも利用できる可能性があります。

例えば、

- 一部のセメント用途
- 建設材料用途
- その他の産業材料用途

などが考えられます。

ただし、適否は特定残渣の組成、および利用先の技術的・規制上の要求条件によって異なります。

したがって、このような用途については、SCW 処理を行ったという事実だけから適性を前提とするのではなく、**適切な材料特性評価および溶出試験によって実証する必要があります。**

### 5.6.3 循環型経済における役割

SCW チャーには、以下の方法で循環型資源利用へ貢献する可能性があります。

- 本来埋立処分される廃棄物から有用なエネルギーを回収
- 処分を必要とする物質の質量・体積を大幅に削減
- 一部の汚染物質を、より移動性の低い形態へ安定化できる可能性
- 混合有機廃棄物から炭素リッチな固形生成物を回収
- SCW システム内でプロセス水を回収・再利用

これらの利点がどの程度得られるかは、

- 原料組成
- 設備構成
- 生成物の利用方法
- 水相および残留物流の管理

によって異なります。

このアプローチは、ニュージーランドの Waste Minimisation Act、およびより広い資源効率、排出削減、循環型経済の目標と関連します。

## 5.7 主な成果・特徴

SCW チャーには以下の可能性があります。

- **高いエネルギー密度**：日本の試料では最大 37.1 MJ/kg を確認
- **非燃焼による生成**：通常の燃焼を行わずにチャーを生成
- **変動はあるが一般に比較的低い硫黄分**：原料によって異なる
- **汚染物質の安定化**：一部の金属がより移動性の低い鉱物相・炭素相と結合する可能性
- **資源回収**：産業用燃料、または適性が実証された場合にはその他の材料用途として利用できる可能性
- **埋立削減**：元の廃棄物のうち処分を必要とする量を大幅に削減
- **水回収**：プロセス水を処理し、システム内で再利用可能
- **検証可能な環境性能**：固相、水相、気相を分析することで、汚染物質の挙動およびマスバランスを確認可能

SCW チャーの生成経路は、通常の熱分解や焼却とは根本的に異なります。

主要な処理反応が燃焼ではなく、**高温・高圧の水系環境内**で進行するためです。

有機汚染物質は水熱分解を受けることができる一方、無機成分は固相と水相の間に再分配され、その後、残渣管理およびプロセス水処理によって管理することができます。

## 5.8 参考文献

### 日本語資料

Ishimori, K. (2019). *Arinkai shiryō: Subcritical water technical reference* [亜臨界資料：亜臨界水技術資料]. Ishimori Industry Co. Ltd.

Ishimori Industry Co. Ltd. (2018). *Tsui ka shiryō, toriatsukai chūi: Supplementary technical data* [追加資料、取り扱い注意].

Ishimori Industry Co. Ltd. (2020). *SCW Reports ENGLISH* (certified analysis results).

### 英語・学術資料

Akiya, N., & Savage, P. E. (2002). *Chemical Reviews*, 102(8), 2725–2750.

Kruse, A., & Dinjus, E. (2007). *Journal of Supercritical Fluids*, 39(3), 362–380.

Patel, S., Halder, P., Hakeem, I. G., et al. (2024). *Energies*, 17(14), 3476.

Soler, A., Conesa, J. A., & Ortuño, N. (2018). *Energies*, 11(10), 2612.

Wang, Z., Zhang, L., & Xu, F. (2023). *Journal of Environmental Management*, 345, 118613.

AIST Japan (2020). *Detoxification of PFAS Using Subcritical Water*.

## 6.0 水処理、RO 管理、およびシステム全体における汚染物質の挙動

### 6.1 はじめに

サブクリティカル・ウォーター（SCW）処理の大きな特徴の一つは、処理反応が**高温・加圧された水系環境内**で進行することです。

有機原料が水熱分解を受ける過程で、汚染物質および反応生成物は、固相、水相、および比較的少量のガス相に分配される可能性があります。

そのため、水相には以下のような成分が含まれる場合があります。

- 溶存無機塩およびイオン
- 加水分解・溶解した有機化合物
- PVC その他の塩素含有物質の脱塩素化によって放出された塩化物
- PFAS の脱フッ素化が起きた場合に生成する無機フッ化物
- 栄養塩および窒素含有化合物
- 溶存または懸濁した金属
- 残留有機汚染物質および変換生成物

したがって、**プロセス水の処理・回収システムは、SCW 全体の環境性能を構成する不可欠な要素**です。

日本の分析報告では、処理水および放流水に測定可能な無機・有機成分が含まれる場合があることが示されています。

そのため、汚染物質がすべて固形残渣中に残ると仮定するのではなく、**水質をシステム全体の一部として評価する必要があります**。

### 6.2 SCW 設備における水の流れ

SCW 設備における一般的な水の流れは、以下のように整理できます。

#### 1. SCW 反応容器

高圧飽和蒸気を、廃棄物原料を収容した反応容器内へ直接注入します。

処理中、水熱反応によって有機マトリックスが分解され、一部の可溶性反応生成物および無機成分が水相へ移行します。

処理および減圧後、蒸気および水を回収し、凝縮・処理します。

#### 2. 固相成分と水相成分への分配

SCW 処理後、汚染物質は以下の各相に分配される可能性があります。

- **固相**：炭素リッチなチャー、鉱物成分、固相に結合した汚染物質
- **水相**：溶存有機化合物、無機イオン、可溶性汚染物質
- **比較的少量のガス状／揮発性相**：原料および処理条件によって異なる

各相への相対的な分配は、

- 原料組成
- 処理条件
- プロセス水の化学条件

によって異なります。

### 3. プロセス水処理

回収された水相には、その組成に応じた適切な処理が必要です。

含まれる可能性のある成分として、

- 塩化物
- フッ化物
- ナトリウム、カリウム、カルシウムその他の溶存イオン
- 溶存有機炭素および有機酸
- 窒素含有化合物
- 溶存金属
- 残留汚染物質および変換生成物

があります。

したがって、必要な処理方法は対象原料、および水の再利用または放流に必要な水質によって異なります。

### 4. ろ過および固形物除去

回収水中の懸濁炭素質固形物および鉱物性固形物は、その後の処理工程に入る前に除去することができます。

具体的なろ過・前処理構成については、実際の SCW 設備設計およびプロセス水の性状に応じて決定する必要があります。

### 5. 逆浸透（RO）その他の水処理工程

逆浸透（RO）を使用する場合、再利用する水から溶存イオンおよびその他の汚染物質の相当部分を分離することができます。

ただし、**RO は汚染物質を分解・消滅させるものではありません。**

RO によって、主として以下の 2 つの水流が生成されます。

- **透過水（permeate）**：汚染物質濃度の低い水流
- **濃縮液／ブライン（concentrate/brine）**：除去された塩類、金属その他の汚染物質がより高濃度で含まれる、より少量の水流

プロセス水の組成および要求される水質によっては、その他の前処理または仕上げ処理が必要となる場合があります。

## 6. 回収水

処理した水は SCW システムへ戻して再利用できる可能性があり、新たに必要となるプロセス水量を削減することができます。

Ishimori 氏による SCM プロセスの説明では、1 バッチ当たり使用する水量は処理物の質量にほぼ関係なく約 2,000～2,500 L であり、処理後には約 1,500 L の凝縮水／放出蒸気由来水を回収してボイラーシステムへ戻すとされています。

実際の設備全体の水回収率については、一般的な回収率を一律に適用するのではなく、**運転データおよび設備全体の水収支によって確認する必要があります。**

## 7. 濃縮残留物流

再利用水から分離された汚染物質は消滅するわけではありません。

それらは濃縮された液体または固体残留物として残り、適切に管理する必要があります。

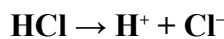
したがって、RO 濃縮液その他の水処理残留物についても、その組成および最終管理方法を設備全体の**汚染物質マスバランス**に含める必要があります。

### 6.3 水相における化学反応

#### 6.3.1 PVC から放出される塩素

PVC の水熱脱塩素化では、有機的に結合していた塩素が塩酸（HCl）として放出される場合があります。

水中では、



となります。

放出された塩化物は、主として水相中の無機成分として存在します。

炭酸カルシウムなどのアルカリ性中和剤が存在する場合には、例えば以下の反応によって酸性分を中和することができます。



プロセス水の化学条件、およびその後の濃縮・乾燥条件によっては、塩化物は溶存状態のまま存在するか、最終的に NaCl や CaCl<sub>2</sub> などの無機塩として存在する場合があります。

#### わかりやすい説明

PVC が SCW 中で脱塩素化されると、塩素は通常の燃焼排ガスへ移行するのではなく、**水中へ放出**されます。

塩素は主として水相中の無機塩化物として存在します。

必要に応じて酸性分を中和し、その後、生成した塩化物をプロセス水処理・回収システム内で管理します。

この点は、SCW 処理と塩素含有廃棄物の通常の燃焼処理との重要な違いです。

### 6.3.2 PFAS の脱フッ素化および無機フッ化物

PFAS が適切に脱フッ素化されると、炭素－フッ素結合が切断され、有機的に結合していたフッ素が無機フッ化物 ( $F^-$ ) へ変換されます。

放出されたフッ化物は主として水相中の無機成分として移行します。

水質条件によって、フッ化物は以下のような状態となる場合があります。

- プロセス水中に溶存したまま存在
- 無機成分と結合
- 化学条件が沈殿に適している場合、フッ化物を含む鉱物相を形成
- 水処理残留物流中に濃縮

十分なカルシウムが存在し、沈殿条件に適している場合には、フッ化カルシウム ( $CaF_2$ ) が形成される可能性があります。

ただし、 $CaF_2$ その他の特定のフッ化物鉱物が形成されると一律に仮定すべきではなく、**適切な化学分析または鉱物学的分析によって確認する必要があります。**

#### わかりやすい説明

SCM は、元の PFAS を単に吸着または濃縮するのではなく、PFAS を分解し、有機的に結合していたフッ素を無機フッ化物へ変換することを目的として設計されています。

フッ化物として放出された後は、それがプロセス水システムへ移行し、その後どのような化学形態を取り、どこに存在するかは水質条件によって決まります。

したがって、環境面で確認すべき点は単に「PFAS がなくなったか」ではなく、以下を実証することです。

- 元の PFAS がどの程度分解されたか
- 脱フッ素化がどの程度進んだか
- 残留 PFAS および変換生成物
- フッ化物がどこへ分配されたか
- フッ化物を含む水または残留物をどのように管理するか

これらについて、適切な分析試験によって確認する必要があります。

### 6.3.3 有機物分解生成物

水熱分解によって、以下のようなさまざまな溶存有機化合物が生成する可能性があります。

- 低分子有機酸

- アルコール、ケトンその他の含酸素化合物
- 溶存炭素成分
- 残留有機化合物または中間生成物

実際の組成は、元の原料および SCW 処理条件によって大きく異なります。

これらの化合物はプロセス水処理における負荷の一部となるため、

- TOC／DOC
- COD
- 必要に応じた個別化合物分析

などの適切な指標を用いて評価する必要があります。

日本の分析報告では、SCW 関連試料について実際の水質測定値が示されており、処理水を一律に「汚染物質を含まない水」とみなすのではなく、**実測分析値に基づいて評価すべきこと**が示されています。

#### 6.4 ガス状・揮発性成分

SCW は非燃焼プロセスであり、日本で報告されている運転情報では、主要な固相・水相生成物と比較して、ガス生成量は比較的少ないとされています。

ただし、ガス状・揮発性成分の種類および量は、原料および運転条件によって異なる可能性があります。

したがって、日本の分析結果については、**実際に測定された化合物とその検出限界に基づいて記述すべきであり、あらゆる揮発性化合物が存在しないことを証明するものとして扱うべきではありません。**

必要に応じて、代表的なガス分析を汚染物質全体のマスバランスに組み込むことができます。

一方、SCW が通常の燃焼を行わないことは重要です。SCW では、廃棄物焼却に伴うような高温燃焼排ガス経路そのものを形成しません。

#### 6.5 最終処理水の水質および再利用

適切な処理を行った後、回収されたプロセス水は以下の方法で管理できる可能性があります。

##### 1. 設備内で再利用

- プロセス水／ボイラーシステムへ戻す
- その他の適切な設備内用途に使用

##### 2. 許可される場合には下水道へ放流

- 適用される事業系排水受入基準に従う
- 実際に測定された水質組成に基づく

##### 3. その他の方法で管理または追加処理

- 水質が直接再利用または放流条件を満たさない場合

日本の分析報告では、一部の処理水／放流水試料に、測定可能な金属その他の成分が含まれていることが示されています。

例えば、報告された分析には、

- ある処理水試料における測定可能な Cu および Cr
- 別の放流水試料における測定可能な Cr(VI)および As

が含まれています。

これらの結果は、処理水を一律に「汚染物質が検出されない水」と表現するのではなく、**実際の水流を分析することの重要性**を示しています。

ニュージーランドの設備では、水の再利用または放流について、そのサイトおよび受入先に適用される要求事項を満たす必要があります。

適合性については、

- 設備固有の分析データ
- 適用される同意条件
- 事業系排水条件

等に基づいて実証する必要があります。

## 6.6 統合型 SCW 水管理の利点

SCW の水処理・回収システムを統合的に運用することで、以下のような利点が期待できます。

- **閉鎖型または循環型の水管理**  
→ 新規水使用量を削減し、プロセス水の再利用を可能にする
- **PFAS 由来フッ化物の封じ込め**  
→ 無機フッ化物を水系処理システム内で管理可能
- **PVC 由来塩化物の管理**  
→ 塩素を通常の燃焼排ガス流へ移行させるのではなく、主として水相中の無機塩化物として管理
- **溶存金属の管理**  
→ 水相へ移行した金属を、適切な水処理によって分離または濃縮
- **液体放流量の削減**  
→ 水回収によって設備外へ放流する必要のある水量を最小化できる可能性
- **汚染物質の挙動を実測可能**  
→ 固相、水相、残留物流、ガス状生成物流を分析することで、システム全体の汚染物質マスマバランスを確立可能

SCW が焼却と根本的に異なる点は、主要な処理反応が燃焼ではなく、**高温・加圧された水系環境内で進行すること**です。

しかし、これは汚染物質が単純に消滅することを意味するものではありません。  
有機汚染物質は水熱分解を受ける可能性があります、塩素、フッ素、金属などの  
無機元素は、水相と固相の間に再分配されます。

したがって、SCW システム全体の環境性能を評価するには、

- 汚染物質がどこへ移行するか
- どのような化学形態となるか
- どの程度溶出・移動しやすいか
- 各生成物流をその後どのように管理するか

を実証することが重要です。

## 6.7 参考文献

### 日本語資料

Ishimori, K. (2019). *Arinkai shiryō: Subcritical water technical reference* [亜臨界資料].  
Ishimori Industry Co. Ltd. (2020). *SCW Reports ENGLISH* (certified water analysis).  
Ishimori Industry Co. Ltd. (2018). *Supplementary technical data* [追加資料].

### 英語・学術資料

Akiya, N., & Savage, P. E. (2002). *Chemical Reviews*, 102(8), 2725–2750.  
AIST Japan. (2020). *Detoxification of PFAS Using Subcritical Water*.  
Kruse, A., & Dinjus, E. (2007). *Journal of Supercritical Fluids*, 39(3), 362–380.  
Patel, S. et al. (2024). *Energies*, 17(14), 3476.  
Soler, A. et al. (2018). *Energies*, 11(10), 2612.  
Wang, Z. et al. (2023). *Journal of Environmental Management*, 345, 118613.

## 処理能力、反応器容量および原料の前処理

SCW 反応器の実際の重量ベースの処理能力は、反応器の大きさだけでなく、投入する廃棄物のかさ密度および前処理の状態によっても決まる。

技術開発者から提供された最新情報によると、標準的な反応器 1 基当たりの 1 バッチの処理容量は、約 **8～10 m<sup>3</sup>**である。したがって、3 基構成の場合、1 バッチサイクル当たりの処理容量は約 **24～30 m<sup>3</sup>**となる。

廃棄物は種類によってかさ密度が大きく異なるため、1 バッチ当たりの処理能力を重量（トン）で表した場合、その数値は原料によって変動する。

一般廃棄物の残渣や建設・解体（C&D）廃棄物の場合、前処理として破碎、回収可能な金属類の除去、および大型物の適切なサイズへの縮小などを行い、比較的均一な投入原料とすることが考えられる。これにより、大きな空隙を減らして反応器内の有効容量をより効率的に利用できるとともに、より安定した投入および処理が可能となる。

ニュージーランドにおける初期計画上の目安として、適切に破碎された混合残渣または C&D 由来廃棄物について、前処理後のかさ密度を約 **0.5 t/m<sup>3</sup>**と仮定することができる。この場合、およそその処理量は以下ようになる。

| 構成      | 処理容量              | 想定かさ密度               | 1 バッチ当たりの概算処理重量 |
|---------|-------------------|----------------------|-----------------|
| 反応器 1 基 | 8 m <sup>3</sup>  | 0.5 t/m <sup>3</sup> | 4 t             |
| 反応器 1 基 | 10 m <sup>3</sup> | 0.5 t/m <sup>3</sup> | 5 t             |
| 反応器 3 基 | 24 m <sup>3</sup> | 0.5 t/m <sup>3</sup> | 12 t            |
| 反応器 3 基 | 30 m <sup>3</sup> | 0.5 t/m <sup>3</sup> | 15 t            |

この想定範囲の上限を用いると、前処理された混合廃棄物について、**反応器 1 基・1 バッチ当たり約 5 トン**を初期設計上の目安として使用することができる。

3 基の反応器がそれぞれ約 5 トンを処理すると仮定した場合、1 回のバッチサイクルで約 **15 トン**を処理することになる。1 日当たり約 5 回のバッチサイクルを行った場合、理論上の処理量は約 **75 トン/日**となり、公称の商用プラント処理能力である約 **70 トン/日**と概ね整合する。

1 バッチサイクルを約 **3 時間** とすると、5 サイクルで 1 日当たり約 **15 時間** の反応器運転となる。このことから、公称の日量処理能力は必ずしも **24 時間連続運転** を必要とせずに達成できる可能性がある。ただし、実際の運転時間は、投入・排出作業、前処理、保守、原料特性およびプラント構成等によって異なる。

かさ密度の高い原料では、単位反応器容量当たりの重量投入量をより多くできる可能性がある。下水汚泥、産業汚泥、選別後の微細残渣（fines）およびその他の比較的高密度または高含水率の原料については、プロセス上および運転上の制約を考慮する必要があるものの、破碎された一般廃棄物や C&D 廃棄物よりも 1 バッチ当たりの重量処理量が多くなる可能性がある。

一方、かさ密度の低い大型・嵩高な原料の場合、適切なサイズへの破碎等の前処理を行わなければ、1 バッチ当たりの重量処理量は少なくなる可能性がある。

したがって、反応器の処理能力は基本的に容量（体積）を基準として考えるべきであり、実際の重量ベースの処理能力は、前処理後の原料のかさ密度および運転条件によって決まる。

プロジェクトの具体化に当たっては、ニュージーランドの代表的な原料について、以下の項目を確認することが望ましい。

- 前処理前および前処理後のかさ密度
- 粒径分布
- 含水率
- 回収可能な金属類および無機物の割合
- 実際に達成可能な反応器への投入密度
- 1 バッチ当たりの実際の処理重量

本項で使用した **0.5 t/m<sup>3</sup>** および **反応器 1 基・1 バッチ当たり 5 トン** という数値は、現段階における計画上の参考値であり、保証されたプラント性能値として使用する前に、実際の原料前処理および商用規模での運転試験によって確認する必要がある。

## エネルギーおよび水使用量の目安

既存のプロジェクト情報では、標準的な SCW プラント構成における電力消費量は約 **8 MWh/日** とされている。公称処理能力を約 **70 トン/日** とした場合、投入原料 1 トン当たりの平均電力使用量は、目安として約 **114 kWh/t** となる。

この数値は、保証された単位処理量当たりのエネルギー消費量ではなく、全体的な計画上の参考値として捉えるべきである。実際のエネルギー需要は、原料組成、含水率、反応器への投入量、運転サイクル、熱回収、水・蒸気の必要量、およびプラント構成によって異なる。

技術開発者から提供された最新情報によると、**プロセス排水を再利用しない場合、2 バッチ目以降に追加する水の量は約 2,000 L** である。この数値は、プロセス内を循環する水の総量、または一定の正味水消費量を示すものとして解釈すべきではない。

**SCW** システムでは高圧飽和蒸気を使用し、回収された蒸気およびプロセス水は、凝縮・処理した上でプロセス内に再利用できる可能性がある。

したがって、ニュージーランドで実証を行う場合には、代表的な運転条件の下で、電力消費量 (kWh/t) および正味の補給水使用量 (L/t) の両方を記録することが望ましい。

これらを測定することにより、ニュージーランドの異なる廃棄物原料について、**SCW** システムの実際のエネルギー効率および水利用効率を確認することができる。

## 7.0 ニュージーランドの政策・規制・戦略 との整合性

サブクリティカル・ウォーター（SCW）処理は、ニュージーランドの廃棄物管理、環境政策、気候政策の複数の分野に関連する可能性があります。

特に、現在、

- 埋立処分
- 海外輸出
- 保管
- 専門的な処理システム

などによって管理されている難処理廃棄物に対して、新たな処理経路を提供できる可能性があります。

SCW 設備およびその生成物が実際にどのような規制上の取扱いを受けるかは、

- 処理する原料
- 設備構成
- 設置場所
- 排出・放流水の特性
- 生成する固相・水相の利用方法または処分方法

によって異なります。

したがって、本章では、ニュージーランドに SCW 設備を導入する前の段階で規制上の承認や適合性を断定するのではなく、**政策上および戦略上、SCW がどのような分野と整合する可能性があるか**を整理します。

### 7.1 Waste Minimisation Act 2008 との整合性

Waste Minimisation Act 2008（WMA：廃棄物最小化法）の目的は、環境への悪影響を防止し、環境的、社会的、経済的および文化的利益をもたらすために、廃棄物の最小化および廃棄量の削減を促進することです。

同法では、廃棄物最小化に以下が含まれています。

- 廃棄物の削減
- 再使用
- リサイクル
- 廃棄物および転用物の資源回収

SCW は、以下の点でこれらの目的に関連する可能性があります。

- 埋立処分を必要とする元の廃棄物量を大幅に削減
- 他の方法では資源回収の選択肢が限られる有機系・混合廃棄物を処理
- 燃料品質および汚染物質に関する試験を満たした場合、産業用燃料として利用価値を持つ可能性のある炭素リッチな固形物を回収
- 処理システム内でプロセス水を回収・再利用
- 一部の難処理廃棄物に対する資源回収経路を提供できる可能性

同法では、廃棄物最小化の定義に、削減、再使用、リサイクルおよび資源回収が明確に含まれています。また、現行法には、環境への悪影響を低減したり、環境上の利益を増大させたりする活動を支援する仕組みも設けられています。

したがって、SCW プロジェクトは、ニュージーランドの廃棄物最小化および資源回収の目的に貢献できる可能性があります。

ただし、個々の SCW 活動および生成物が規制上どのように分類されるかについては、具体的なニュージーランドのプロジェクトごとに判断する必要があります。

## 7.2 有害物質および汚染廃棄物

SCW は、以下のような有害物質および汚染廃棄物の管理にも関連する可能性があります。

- PFAS その他の難分解性有機汚染物質
- PVC などの塩素含有物質
- クロム、銅、ヒ素を含む CCA 処理木材
- 汚染汚泥および産業残渣

SCW は非燃焼型の処理環境を提供し、その中で有機汚染物質は水熱分解を受けることができる一方、無機成分は固相と水相の間に分配されます。

個々の汚染物質については、

- **PFAS：**SCM は PFAS を分解・脱フッ素化し、有機的に結合していたフッ素を無機フッ化物へ変換するよう設計されています。処理性能については、適切な PFAS 分析、フッ素分析およびマスバランスによって実証する必要があります。
- **PVC：**水熱脱塩素化によって、有機的に結合していた塩素を主として水相中の無機塩化物へ移行させ、その後プロセス水処理システム内で管理することができます。
- **CCA 処理木材：**クロム、銅、ヒ素そのものは分解・消滅しませんが、化学種および固相・水相間の分配状態が変化する可能性があります。その移動性および溶出性については、対象原料ごとの試験によって実証する必要があります。

- **その他の有害有機廃棄物：**対象化合物および必要な分析要件に応じて、処理性能を確認する必要があります。

SCW は非燃焼プロセスであるため、焼却に伴う通常の高温燃焼経路を回避します。しかし、これは固相、水相、ガス状成分およびその他の残留物流を評価する必要があります。なくなることを意味するものではありません。

したがって、規制上の受入れには、処理する各原料について、**汚染物質の分解、変換、相分配および残留リスク**を実証することが必要となります。

### 7.3 気候変動および排出削減目標

ニュージーランドの気候政策は、長期的な温室効果ガス排出削減を目指すとともに、経済全体で排出量を削減できる技術の開発・導入を支援しています。

現在の政府の排出削減計画には、技術主導型のアプローチが含まれており、より低排出型の技術および代替燃料の開発も移行の一部として位置付けられています。

SCW は、以下のような形でこれらの目的に貢献する可能性があります。

- ニュージーランド向けに提案されている SCW 構成は**電気駆動**が可能であり、ニュージーランドの電力システム、さらに再生可能電力を利用した運転が可能
- 生分解性廃棄物を埋立から転用することで、将来の埋立地からのメタン発生を削減できる可能性
- SCW チャーは相当量のエネルギーを含むことがあり、適切な産業用途では従来型固形燃料の一部を代替できる可能性
- SCW 燃料が受入施設の技術的・環境的要件を満たす場合、廃棄物から有用なエネルギーを回収することで、未使用化石燃料への依存を低減できる可能性

日本の認証分析では、SCW 固形燃料について、原料および試料特性によって約 **22～37.1 MJ/kg** の高位発熱量が確認されています。

SCW チャーを燃料として利用する場合の温室効果ガスへの影響は、その炭素が**生物由来か、化石由来か**によって大きく左右されます。

プラスチックを含む廃棄物では化石由来炭素が含まれる可能性がある一方、

- 食品
- 木材
- 紙
- その他のバイオマス由来物質

には生物由来炭素が含まれます。

したがって、SCW を一律に「排出量ニュートラル」なプロセスと表現したり、そのチャーを自動的に再生可能燃料とみなしたりすべきではありません。

気候面での性能については、プロジェクトごとの**エネルギー分析、炭素分析およびライフサイクル分析**によって評価する必要があります。

#### 7.4 難処理廃棄物における管理上のギャップへの潜在的役割

ニュージーランドでは現在も、以下のような廃棄物の管理が大きな課題となっています。

- PFAS 汚染物質
- 処理木材
- 混合建設・解体廃棄物
- リサイクルが困難なプラスチック
- 産業汚泥および汚染残渣
- その他の混合有機・有害廃棄物

現在の多くの管理方法では、

- 埋立処分
- 封じ込め
- 分別
- 海外輸出
- 専門的な処理

に依存しています。

SCW は、一つの水熱処理プロセスで比較的幅広い有機系原料を受け入れることができるため、**追加的な処理経路**となる可能性があります。

想定される処理経路には、

- **PVC その他の塩素含有有機物**  
→ 水熱分解・脱塩素化。塩素は主として水相中の無機塩化物へ移行
- **PFAS 含有物質**  
→ PFAS の分解・脱フッ素化。脱フッ素化が起きた場合、放出されたフッ素は無機フッ化物へ移行
- **CCA 処理木材**  
→ 木材の有機マトリックスを分解。Cr、Cu、As は固相と水相の間に再分配され、固相中ではより移動性の低い形態で保持される可能性
- **混合有機・プラスチック廃棄物**  
→ エネルギー価値を持つ可能性のある炭素リッチな固形物を生成

があります。

この組み合わせによって、SCW は既存の廃棄物管理システムでは選択肢が限られる混合廃棄物や難処理廃棄物に対して有用となる可能性があります。

ニュージーランドにおいて SCW がどの程度の役割を担えるかについては、**実証規模での運転、原料ごとの分析試験、および関係規制当局との協議**を通じて確認する必要があります。

## 7.5 NZ ETS および炭素会計

SCW チャーには生物由来炭素と化石由来炭素の双方が含まれる可能性があるため、New Zealand Emissions Trading Scheme (NZ ETS) における SCW チャーの取扱いについては慎重な検討が必要です。

それぞれの割合は原料によって異なります。

例えば、

- 食品廃棄物、紙、未処理木材 → 主として**生物由来炭素**
- 化石資源由来プラスチック → **化石由来炭素**
- 混合一般廃棄物または建設廃棄物 → **両方を含む可能性**

があります。

現在、日本で生成された SCW チャーについて、**生物由来炭素と化石由来炭素の割合を定量化するため、ニュージーランドで独立した放射性炭素分析を実施中です。**

その分析結果は、SCW チャーの燃焼またはその他の利用を炭素会計上どのように取り扱うべきかについて、ニュージーランドの関係当局と協議するための客観的な基礎資料となります。

SCW プロジェクトによる潜在的な気候面での利点には、

- 生分解性廃棄物の埋立回避によるメタン発生削減
- SCW チャーが代替燃料として受け入れられる場合、従来型化石燃料を代替
- NZ 向け SCW 設備案では、直接的な化石燃料燃焼ではなく電力を使用
- 本来処分される物質からの資源回収

などがあります。

ただし、これらの利点によって自動的に、

- NZU
- カーボンクレジット
- ETS 収益

が発生するわけではありません。

実際の ETS 上の取扱いは、

- ニュージーランドの法令・規制制度
- 実測された生物由来／化石由来炭素の割合
- チャーの最終的な利用方法
- 関係する制度参加者の義務

によって決まります。

したがって、ETS または炭素会計上の潜在的な利点については、ニュージーランドでの独立分析結果が得られた後、関係当局と協議して評価する必要があります。

## 7.6 国および地域インフラとの戦略的適合性

### 国レベルでの可能性

SCW は、現在、

- 埋立
- 保管
- 海外輸出
- 専門処理システム

によって管理されている難処理廃棄物に対して、ニュージーランド国内での**追加的な処理・資源回収経路**を提供できる可能性があります。

国レベルで考えられる利点には、

- 埋立容量拡張への依存を低減
- PFAS 汚染物質、処理木材、混合プラスチック、産業残渣などに対する国内での追加処理経路
- 適切な燃料品質・汚染物質試験を条件として、産業用燃料として利用価値を持つ可能性のある炭素リッチな固形物を回収
- 廃棄物発生源の近くに処理設備を設置できる場合、廃棄物の長距離輸送を削減
- 水熱廃棄物処理に関する国内技術能力を育成

などがあります。

### 地域レベルでの可能性

SCW システムは、例えば以下のような場所の近隣に設置できる可能性があります。

- 廃棄物中継施設および廃棄物処理施設
- 下水処理施設
- 工業地域
- 建設・解体廃棄物の集積拠点
- 林業・木材加工地域
- 埋立容量に制約のある自治体
- 災害廃棄物の処理を必要とする地域

実際の設置場所は、

- 原料の確保
- インフラ
- 電力供給

- 水管理
- 輸送経済性
- 許認可要件
- 回収生成物の市場

などによって決まります。

## スケーラビリティ

日本での実績は、SCW システムがさまざまな廃棄物管理環境で運転されてきたことを示しています。

モジュール方式を採用することで、原料量および商業上の要求が拡大するのに応じて、反応器システムを追加し、処理能力を拡張できる可能性があります。

これにより、

- 分散型廃棄物処理
- 地域資源回収ネットワーク
- 廃棄物の長距離輸送削減
- 地域雇用および技術能力の向上
- 適切な産業用エネルギーユーザーとの連携

を支援できる可能性があります。

ただし、実際の設備処理能力およびモジュール構成については、一般化されたモジュール容量を前提とするのではなく、**エンジニアリング設計および実証された運転性能に基づいて決定する必要があります。**

## 7.7 国際的な状況とニュージーランドにおける機会

SCW および関連する水熱技術は国際的に開発・研究されており、本レビューで取り上げる SCM システムについては、日本で相当な運転実績があります。

また、この技術に関連する国際的な商業活動および開発活動は、日本国外にも広がっています。

現在ニュージーランドには、本レビューで説明するタイプの**商業用 SCW 廃棄物処理施設はありません。**

これは、特に埋立処分または封じ込めが依然として主要な管理方法となっている難処理廃棄物について、SCW がニュージーランドの既存廃棄物管理インフラを補完できるかどうかを独立して評価する機会となります。

潜在的な価値として、

- 埋立回避
- 難処理・汚染廃棄物の処理
- エネルギーを含む固形物の回収

- ・ 地域処理による輸送量・輸送距離の削減
- ・ 電気駆動型廃棄物処理
- ・ 国内における水熱処理技術・ノウハウの育成

などが考えられます。

早期の評価および実証を行うことで、海外データだけに依存するのではなく、**ニュージーランド独自の運転・分析データに基づいてこの技術の評価することが可能になります。**

## 7.8 政策・戦略上の整合性のまとめ

| 政策／戦略分野     | 目的                    | SCW が貢献できる可能性                                    |
|-------------|-----------------------|--------------------------------------------------|
| 廃棄物最小化      | 廃棄量を削減し、資源回収を拡大       | 大幅な廃棄物削減および有用物質回収の可能性                            |
| 有害・難処理廃棄物管理 | 難処理汚染物質による環境リスクを低減    | 有機汚染物質の水熱処理と、無機成分の管理された処理を組み合わせる                 |
| 気候変動・排出削減   | 温室効果ガス排出および化石燃料依存を削減  | NZ 向け電気駆動構成、埋立回避、従来型産業燃料の一部代替の可能性                |
| NZ ETS／炭素会計 | 生物由来炭素と化石由来炭素を適切に算定   | 放射性炭素分析によって SCW チャーの生物由来／化石由来割合を測定し、その後の規制評価に利用  |
| 難処理プラスチック   | リサイクル困難物の処分に代わる選択肢を開発 | PVC の水熱処理・脱塩素化、およびその他の適切な有機系プラスチックの処理            |
| PFAS 管理     | 有効な処理・分解経路を開発         | SCM は PFAS を分解・脱フッ素化するように設計されており、処理性能は分析による検証が必要 |
| 資源回収        | 本来処分される物質から価値を回収      | 産業用燃料またはその他の用途に利用できる可能性のある炭素リッチな固形物を生成           |
| 地域インフラ      | レジリエンス向上および輸送依存の低減    | 大規模な地域廃棄物発生源の近隣への導入可能性                           |

したがって SCW は、ニュージーランドの既存の処理、リサイクル、処分技術すべてを置き換えるものではなく、より広範な廃棄物管理システムの中で**既存技術を補完する可能性を持つ技術**として検討することが適切です。

## 8.0 結論および戦略的提言

### 8.1 総括

サブクリティカル・ウォーター（SCW）処理は、日本で **20 年以上の運転実績** を持つ、商業的に実証された水熱廃棄物処理技術です。

この技術は、従来のリサイクルまたは処分方法では管理が難しいものを含め、幅広い有機系・混合廃棄物を処理する能力を有しています。

想定される原料には、以下が含まれます。

- PVC および混合プラスチック
- PFAS 汚染物質
- CCA 処理木材およびその他の汚染有機物
- 汚泥および産業残渣
- 混合一般廃棄物およびその他の難処理有機系廃棄物

SCW では、密閉された反応容器内で、廃棄物を高温・高圧の水／蒸気に曝します。

有機物は水熱分解を受ける一方、無機成分は、生成する炭素リッチな固形物、水相、および比較的少量のガス状・残留物流の間に分配される場合があります。

その結果、以下のような価値ある成果が期待できます。

- 有機廃棄物の大幅な分解・変換
- 難分解性有機汚染物質の分解または変換の可能性
- 金属その他の無機汚染物質の再分配および安定化の可能性
- 産業用燃料として利用価値を持つ可能性のある炭素リッチな固形物の生成
- プロセス水の回収・再利用
- 埋立処分を必要とする物量の大幅削減

日本の分析実績は、SCW 固形燃料が相当な発熱量を持つことを示しています。

報告されている日本の試料では、原料および試料特性によって、約 **22 MJ/kg～37.1 MJ/kg** の範囲が確認されています。

同時に、これらの分析結果は、汚染物質の挙動を **システム全体で評価する必要がある理由** も示しています。

金属元素そのものは分解できず、固相と水相の間に分配される可能性があります。脱塩素化によって放出された塩素は、主として無機塩化物として水相へ移行します。

PFAS の脱フッ素化が起きた場合には、フッ素は無機フッ化物として放出され、その後、水相および残留物流の中でどこに存在するかを把握する必要があります。

したがって、SCW の環境面での評価は、単純に「汚染物質が消滅する」という主張に依存すべきではありません。

より技術的に強い説明は、

**有機汚染物質は分解または変換できる一方、無機汚染物質については、特定可能なプロセス流の中で封じ込め、分離、安定化、管理することが可能である**  
という点です。

また、SCW は、主要な処理反応が燃焼ではなく **高温・加圧された水系環境内** で進行するという点で、焼却とは根本的に異なります。

## 8.2 ニュージーランドにおける戦略的適合性

ニュージーランドでは、現在も以下のような課題があります。

- 埋立処分への依存
- PFAS 汚染物質の管理
- リサイクル困難なプラスチック
- 処理木材廃棄物
- 建設・解体廃棄物
- 産業残渣および下水処理由来残渣
- 廃棄物分野からの温室効果ガス排出削減への圧力
- より低炭素な産業用エネルギー代替手段への需要

SCW は、これらのうち複数の課題に対して、**一つの処理プラットフォーム上で対応できる可能性**があります。

戦略的な特徴として、

- 幅広い潜在原料
- モジュール型・拡張可能な設備構成
- 非燃焼型水熱処理
- 海外での豊富な運転実績
- 資源回収の可能性
- 埋立削減の可能性
- プロセス水回収
- ニュージーランド向け電気駆動構成との適合性
- 産業用固形燃料を生成できる可能性

があります。

ただし、海外での実績があるからといって、ニュージーランドでの検証が不要になるわけではありません。

ニュージーランドのプロジェクトでは、代表性のある国内原料を使用して、

- 処理性能
- 汚染物質マスマランス
- 水処理性能
- 生成物特性
- 運転コスト
- 規制上の要求事項

を確認する必要があります。

### 8.3 推奨される次のステップ

#### 1. ニュージーランド実証プロジェクト

ニュージーランドで最初の設備、または適切な規模の実証設備を用いて、国内での実際の性能を確認する必要があります。

実証プログラムでは、

- ニュージーランドの代表的な廃棄物流を処理
- 物質収支およびエネルギー収支を測定
- チャー収率および燃料特性を確認
- PFAS 含有原料を処理する場合、PFAS 分解・脱フッ素化を評価
- PVC の脱塩素化および塩素分配を評価
- CCA 処理木材を処理する場合、Cr、Cu、As の分配および溶出性を確認
- プロセス水および水処理残留物を分析
- 関連するガス状生成物を測定
- 電力消費量および運転コストを記録
- 規制当局、自治体、産業界、潜在的投資家向けに運転・分析データを提供

することが望まれます。

#### 2. 規制当局との協議

ニュージーランドの関係当局および地域規制機関との体系的な協議を継続する必要があります。

主な検討事項には、

- SCW 設備の規制上の分類および許認可
- 異なる廃棄物原料の受入基準
- PFAS 分解を検証するための要件
- 処理済みプロセス水および濃縮残留物流の管理
- SCW チャーの分類および許容される用途
- チャーをその後燃焼またはその他の有効利用に供する場合の要件
- 適切な環境モニタリングおよび報告

があります。

目的は、適合していることを事前に仮定するのではなく、**規制評価に必要な証拠を明確にすること**です。

### 3. ニュージーランドにおける独立したチャー検証

北海道斜里の設備で生成された SCW チャーについて、現在ニュージーランドで独立分析が行われています。

**2026 年 8 月時点では分析結果は未確定**であり、チャー中の生物由来炭素と化石由来炭素の割合を測定することを目的とした放射性炭素分析も含まれています。

さらに、

- 発熱量
- 灰分
- 塩素
- 金属
- 必要に応じた溶出性

など、燃料品質および汚染物質挙動を評価する追加分析も予定されています。

この分析プログラムによって、日本の既存分析データと比較するための**独立したニュージーランド側の基礎データ**が得られることが期待されます。

### 4. 産業用燃料としての評価

SCW チャーの潜在的な産業ユーザーは、各施設が実際に求める燃料仕様に照らして評価する必要があります。

主な評価項目には、

- 高位・低位発熱量
- 含水率
- 灰分
- 塩素
- 硫黄
- 金属
- 固定炭素・揮発分
- 灰の挙動
- 燃焼特性
- 生物由来／化石由来炭素割合

が含まれます。

必要に応じて、管理された燃焼試験を実施することで、受入施設における実際の挙動を確認することができます。

特に、

- 金属
- 塩素
- その他の無機成分

について、燃焼時に、

- ボトムアッシュ
- 飛灰
- 大気汚染防止設備残渣

へどのように分配されるかを確認することが重要です。

## 5. PFAS、PVC および CCA の検証プログラム

難処理廃棄物については、それぞれを個別に試験し、原料ごとの処理性能を確認する必要があります。

### PFAS

以下を測定します。

- 対象 PFAS の分解
- 変換生成物
- 脱フッ素化の程度
- 無機フッ化物の生成および分配
- 分析技術上可能な場合、残留有機フッ素

### PVC

以下を測定します。

- 脱塩素化率
- 固相・水相間の塩化物分配
- チャー中の残留塩素
- 必要に応じた関連塩素系有機化合物

### CCA 処理木材

以下を測定します。

- 処理前後の総 Cr、Cu、As
- 固相・水相間の分配
- 必要に応じた酸化状態／化学種
- 生成固形物の溶出性
- 生成チャーをその後燃焼した場合の汚染物質の挙動

これにより、将来の技術的主張を、**ニュージーランドで実際に測定されたデータに基づいて行うことが可能になります。**

## 6. 地域展開の評価

最初のニュージーランド実証によって、技術的、環境的、経済的に十分な性能が確認された場合には、その後、実際の廃棄物量および処理需要に基づいて地域展開を検討することができます。

潜在的な候補地域として、

- 大量の一般廃棄物が発生する地域
- 建設・解体廃棄物が多い地域
- 林業・処理木材廃棄物が多い地域
- 下水汚泥・産業汚泥が発生する地域
- 難処理有害有機廃棄物を抱える地域
- 既存処分施設までの輸送コストが高い地域

などが考えられます。

全国一律の固定ネットワークをあらかじめ設定するのではなく、設備容量および設置場所については、

- 実証された原料供給量
- 経済性
- 地域インフラ要件

に基づいて決定することが適切です。

## 8.4 最終評価

SCW は、実験室レベルの研究概念ではありません。

本レビューで取り上げる技術は、日本において相当な運転実績を持つ**産業用システム**に基づいています。

その運転実績は、ニュージーランドで本格的に評価するに足る十分な基盤を提供しています。

一方、この技術を自動的に以下のようなものとして説明すべきではありません。

- ゼロエミッション
- リスクゼロ
- すべての原料について溶出しない
- 再生可能
- 規制に自動的に適合
- すべての廃棄物に適用可能
- カーボンクレジット対象
- 無条件で産業用燃料として利用可能

これらの結論は、

- 原料

- 設備構成
- 分析結果
- 各生成物流の最終的な管理・利用方法

によって異なります。

SCW について最も強く、かつ技術的に説明しやすい評価は、以下のとおりです。

**SCW は、幅広い難処理有機廃棄物を処理し、潜在的に価値のある炭素リッチな固形物を回収し、埋立処分量を大幅に削減するとともに、特定可能な固相・水相プロセス流を通じて汚染物質の挙動を管理することができる、非燃焼型水熱処理プラットフォームです。**

日本における 20 年以上の運転実績が、その基礎を提供しています。

そして、

- ニュージーランドでの独立分析
- 国内原料を用いた試験
- 実証設備

によって、この技術がニュージーランドの廃棄物管理および資源回収インフラにどの程度貢献できるかを判断するための証拠を得ることができます。

これらの結果によって日本で実証されている性能が確認されれば、SCW は、特に既存のリサイクル、処理、処分方法では選択肢が限られる分野において、**ニュージーランドの将来の廃棄物処理システムを構成する重要な一要素となる可能性があります。**

## 追加技術注記

### PFAS の検証

SCM は PFAS を分解し、無機フッ化物への脱フッ素化を達成するように設計されています。

PFAS 分解率、脱フッ素化率、変換生成物、および残留有機フッ素については、対象原料ごとの分析試験によって確認する必要があります。

### PVC 処理

PVC は水熱脱塩素化を受け、塩素は主として水相中の無機塩化物へ移行します。

処理性能については、**塩素マスバランスおよび残留チャー分析**によって確認する必要があります。

### CCA 処理木材

Cr、Cu、As そのものは分解・消滅しません。

これらは化学種を変化させ、固相と水相の間に分配される場合があります。

その後の移動性および溶出性については、特定の鉱物種が形成されることを前提とするのではなく、**分析によって確認する必要があります。**

### **廃タイヤ**

SCW はタイヤ中の有機ゴム分を分解することができ、スチールその他の分解されない構成物は、処理後の物質流から回収することができます。

生成物の性状については、実際のタイヤ処理構成ごとに確認する必要があります。

### **エネルギー要求量**

既存のプロジェクト情報では、参照されている標準 SCW 設備構成について、電力消費量は**約 8 MWh/日**とされています。

実際の消費量は、

- 設備容量
- 原料
- 含水量
- 熱回収
- 運転条件

によって異なります。

### **臭気および排出**

SCW 処理は密閉された非燃焼反応システム内で行われます。

実際のガス状生成物および臭気性能については、すべてゼロと一律に表現するのではなく、**運転データに基づいて評価する必要があります。**

### **スケーラビリティ**

複数の SCW 反応器システムを並列運転することで、処理能力を拡大できる可能性があります。

最終的な設備処理能力については、エンジニアリング設計および実証された処理量に基づいて決定する必要があります。

### **参考資料**

本レビュー本文の日本語訳の後に添付されている分析報告書およびその他の資料は、本書作成時に使用した技術的証拠の一部です。

必要に応じて、原本の日本語資料および追加の関連資料も提供することができます。

# SCW によるチップタイヤ処理のパイロット試験案

## 概要

ニュージーランドでは、毎年相当量の使用済みタイヤ（End-of-Life Tyres：ELTs）が発生しています。

Tyrewise では、これらの使用済みタイヤについて、回収、処理および有効利用を拡大することを目的とした全国的な製品スチュワードシップ制度を構築しています。

既存および開発中の利用経路には、

- セメント製造用のタイヤ由来燃料
- 加工ゴム製品
- 土木用途
- その他の材料回収

などがあります。

Golden Bay Cement では、すでにチップ化した使用済みタイヤを、セメント製造における代替燃料および原料として大量に利用しています。

このような状況を踏まえ、サブクリティカル・ウォーター（SCW）処理については、既存のすべてのタイヤ利用方法を置き換えるものとしてではなく、**追加的な資源回収経路となり得るかどうかを評価することが適切です。**

日本でチップタイヤを用いた管理された SCW パイロット試験を実施することで、以下について直接的な実測データを得ることができます。

- ゴム／ポリマー分の分解
- 硫黄、亜鉛その他のタイヤ添加剤の分配
- スチールその他の非分解成分の回収
- 生成する炭素リッチ固形物の組成およびエネルギー価値
- 水相の組成
- ガス状・揮発性生成物
- 全体の物質収支および汚染物質収支

この試験の目的は、SCW がニュージーランドの使用済みタイヤに対して、**技術的、環境的、商業的に有用な追加処理経路となり得るかどうかを明らかにすること**です。

## 1. タイヤが SCW 処理の興味深い候補となる理由

タイヤは、以下の成分をさまざまな割合で含む複合製品です。

- 天然ゴム
- 合成ゴム
- カーボンブラックその他の補強充填材
- 硫黄および加硫剤
- 亜鉛化合物その他の添加剤
- 繊維補強材
- スチール補強材

正確な組成は、

- 乗用車用
- 商用車用
- トラック用
- 特殊用途

など、タイヤの種類によって大きく異なります。

このような複合構成は、タイヤを水熱処理の興味深い原料としています。

ゴム部分は主として架橋有機ポリマーで構成されています。

SCW 条件下では、これらの有機物が水熱分解・変換を受ける可能性がある一方、スチールその他の無機成分は、回収可能な固相または水相中に残ります。

したがって、タイヤ試験では、比較的組成が明確で、資源回収ポテンシャルの高い産業原料を用いて SCW プロセスを評価することができます。

## 2. タイヤの SCW 処理経路

### 2.1 ゴムおよびポリマーの分解

SCW 処理条件下では、ゴムマトリックスが高温・高圧の水／蒸気に曝されます。

水熱反応によって、有機ポリマー構造内の化学結合が切断され、元のゴムが、

- より低分子量の有機化合物
- 炭素リッチな固形物

へ変換される可能性があります。

生成物は以下の各相へ分配される可能性があります。

- 炭素リッチな固形残渣
- 水相中の溶存有機化合物
- 比較的少量のガス状・揮発性生成物
- 分解されない無機成分および補強材

SCM システムでタイヤを処理した場合の正確な生成物分配は、あらかじめ仮定するのではなく、**今回提案する試験で実測すべき項目**です。

これがパイロット試験を実施する主要な理由の一つです。

## 2.2 炭素質固形物

タイヤには、天然ゴムおよび合成ゴム中の炭素に加え、もともと相当量のカーボンブラックが含まれています。

そのため、SCW 処理後に得られる炭素リッチな固形物には、以下が含まれる可能性があります。

- 元のカーボンブラックおよび変換を受けたカーボンブラック
- ゴム分の分解によって生成した炭素質物質
- 鉱物成分およびタイヤ添加剤
- 残留無機汚染物質

ただし、生成物を自動的に**市販カーボンブラック**または**クリーンな産業用燃料**と表現すべきではありません。

試験では以下を測定する必要があります。

- 高位・低位発熱量
- 含水率
- 揮発分
- 固定炭素
- 灰分
- 硫黄
- 塩素
- 亜鉛その他の金属
- 全元素組成
- 溶出性
- 燃料利用を想定する場合の燃焼特性

これらの結果によって、生成物が産業用燃料またはその他の資源回収用途に利用価値を持つかどうかを判断することができます。

## 2.3 スチールおよびその他の補強材

スチール補強材は、有機ゴムマトリックスと同じような水熱分解を受けるとは考えられません。

したがって、試験では以下を確認する必要があります。

- スチール回収率
- 回収されたスチールの物理状態

- 炭素質物質との分離状態
- 表面汚染
- 通常のスクラップ金属リサイクルへの適性

繊維補強材については、繊維の種類によって異なる挙動を示す可能性があるため、完全にそのまま残ると仮定するのではなく、実際に確認する必要があります。

## 2.4 硫黄、亜鉛およびその他の添加剤

タイヤには、

- 硫黄化合物
- 亜鉛化合物
- その他多数の添加剤

が含まれています。

これらの元素は SCW によって分解・消滅するものではありません。

代わりに、化学形態が変化し、以下の各相に分配される可能性があります。

- 炭素リッチな固相
- 水相
- 鉱物残渣
- 比較的少量のガス状・揮発性相

したがって、試験では、特に**硫黄および亜鉛について元素マスバランスを確認することが重要です。**

これらの成分が、

- チャー中に濃縮されるのか
- 水相へ移行するのか
- 鉱物相を形成するのか
- その他のプロセス流に現れるのか

を測定する必要があります。

これは、生成チャーを産業用燃料として利用する場合に特に重要です。硫黄、亜鉛その他の無機成分は、燃焼性能および排出特性に影響する可能性があるためです。

## 3. タイヤ熱分解との関係

熱分解（pyrolysis）は、使用済みタイヤに対する別の熱処理経路であり、一般に以下を生成します。

- 熱分解油
- 回収炭素質物質
- 可燃性ガス
- スチール

その商業的成立性は、市場および製品品質、特にタイヤ熱分解油および回収カーボンブラックの品質に大きく依存します。

ニュージーランドには国内石油精製所がないため、一部のタイヤ由来油について国内市場に影響する可能性があります。

ただし、それだけでタイヤ熱分解がニュージーランドにおいて本質的に成立しないと結論付けることはできません。

SCW とタイヤ熱分解を適切に比較するには、以下を検討すべきです。

- 設備投資額
- 運転コスト
- エネルギー消費量
- 原料前処理
- 製品収率
- 油の品質および市場
- 回収炭素の品質および市場
- スチール回収
- 排出管理
- 水系残留物
- 汚染物質の挙動
- ライフサイクル全体の環境性能

SCW の潜在的な利点は、主要な処理反応が**加圧された水系環境内**で進行し、主要な有価生成物として、熱分解油市場を必要とするのではなく、**保管可能な炭素リッチ固形物**を得られる可能性がある点です。

ただし、それが実際に経済的な優位性となるかどうかについては、実験および商業評価によって確認する必要があります。

#### 4. セメントキルンでの共同処理との関係

ニュージーランドでは、すでにセメント製造を通じて使用済みタイヤを有効利用する重要な経路があります。

Golden Bay Cement では、Portland のセメント工場でチップタイヤを代替燃料として利用しています。

同社は、タイヤと建設木材廃棄物を組み合わせて使用することで、石炭使用量を相当量削減していると報告しています。

セメント製造で使用する非常に高い温度では、

- タイヤの有機分が熱エネルギーを供給し、
- スチールおよび鉱物成分はセメント製造工程に寄与

することができます。

Golden Bay の報告では、タイヤ中のスチールおよび灰分は別個の廃棄物流になるのではなく、最終製品へ取り込まれています。

したがって、これはすでに**実質的な資源回収経路**であり、単純な「タイヤ処分」と表現すべきではありません。

一方、SCW は異なる処理経路を提供できる可能性があります。

タイヤのエネルギーをセメントキルン内で直ちに熱として放出するのではなく、SCW ではタイヤ中の有機成分の一部を、

- 保管
- 輸送
- 他の場所で利用

できる可能性のある炭素リッチ固形物へ変換します。

したがって、パイロット試験では SCW が以下を提供できるかどうかを調査すべきです。

- 有用な炭素リッチ固形物
- 回収可能なスチール
- 亜鉛、硫黄その他の添加剤の管理
- タイヤ処理施設の設置場所に関する柔軟性
- セメントキルン以外の利用者にもエネルギーを供給できる可能性のある製品

最終的な比較は、いずれかの方式が本質的に優れていると仮定するのではなく、

- 経済性
- ライフサイクル排出
- 資源回収
- 汚染物質の挙動

に基づいて行う必要があります。

## 5. タイヤ由来材料と道路用途

使用済みタイヤゴムは、

- ゴム改質アスファルト
- 土木用途
- ゴム製品

などにも利用できます。

これらの用途は有効な材料回収となり得るものであり、単に廃棄物を「隠している」とみなすべきではありません。

一方、タイヤ由来材料には用途ごとに以下のような検討事項があります。

- 長期摩耗
- タイヤ由来粒子の放出
- 亜鉛および有機化合物の溶出
- 製品耐久性
- 使用後の管理
- 従来材料との経済競争力

これらについては、用途ごとに評価する必要があります。

SCW は、元のゴムマトリックスをタイヤクラムのまま保持するのではなく、**化学的に変換する**という点で根本的に異なるアプローチです。

したがって、タイヤパイロット試験によって、従来型の材料回収市場が限られるタイヤ成分や地域に対して、SCW が何らかの利点を提供できるかどうかを確認することができます。

## 6. SCW タイヤ・パイロット試験案 — 日本

### 目的

チップ化した使用済みタイヤを SCW で管理された条件下で処理し、**完全な物質収支、エネルギー収支および汚染物質収支を明らかにすること**を目的とします。

試験では以下を評価します。

- ゴム／ポリマーの分解
- 炭素リッチ固形物の収率および性状
- スチールその他の物質回収
- 水相組成
- 硫黄・亜鉛の分配
- ガス状・揮発性生成物
- 全体のエネルギー価値および生成物の潜在的用途

### 試験原料

代表性のあるチップタイヤのバッチを選定し、処理前に特性評価を行います。

可能な範囲で、投入物と生成物を有意に比較できるように、原料は十分に均一なものとするのが望まれます。

初期分析項目には、

- タイヤの種類および発生源
- 総投入質量
- 含水率
- ゴム／ポリマー分
- スチール分

- 灰分／無機成分
- 硫黄
- 亜鉛
- その他の関連金属および元素

を含めます。

最終的な試験量は、使用可能な設備を考慮せずに事前に固定するのではなく、**日本の試験施設の容量および実務上の条件に応じて決定する必要があります。**

### **処理条件**

試験では、選定したタイヤ原料に適した通常の SCM 運転条件を使用し、

- 実際の温度
- 圧力
- 滞留時間
- 水／蒸気投入量
- 電力またはエネルギー消費量

を記録します。

### **測定する生成物**

#### **炭素リッチ固形物**

- 質量収率
- 発熱量
- 含水率
- 灰分
- 揮発分／固定炭素
- 硫黄
- 亜鉛
- 金属
- 必要に応じた塩素
- 溶出性
- 物理的な取扱特性

#### **スチールその他の回収物**

- 回収質量
- 元の投入物に対する割合
- 物理状態
- 汚染状態
- リサイクル原料としての品質

## 水相

- pH
- COD／TOC または DOC
- 必要に応じた硫黄化学種
- 亜鉛その他の金属
- 溶存無機イオン
- スクリーニングで確認されたその他の主要有機化合物

## ガス状／揮発性相

- 発生量
- 主要ガス組成
- 必要に応じた関連揮発性有機化合物
- 必要に応じた硫黄含有化合物

## マスバランス

本試験の基本的な目的の一つは、元のタイヤ質量を以下の各生成物流へ割り当てることです。

**投入タイヤ → 炭素リッチ固形物 + 回収スチール／固形物 + 水相生成物 + ガス状／揮発性生成物**

特に硫黄および亜鉛などの主要汚染物質・元素については、対応する**元素マスバランス**の作成も試みる必要があります。

これは、単に「タイヤが反応容器内で見えなくなった」ことを示すよりも、はるかに強い技術的証拠となります。

## 7. ニュージーランドとの関連性

ニュージーランドではすでに、Tyrewise を中心とする使用済みタイヤ回収の全国制度が整備されつつあり、

- セメントキルンでの共同処理
- タイヤ由来製品

などの既存市場があります。

Tyrewise の公表計画資料では、2024 年 3 月時点のベースラインとして、**年間約**

**60,860 トンの廃タイヤ**が示されており、国内での有効利用拡大を目指しています。

したがって SCW を検討する理由は、ニュージーランドに「タイヤ処理策がない」からではありません。

SCW が**もう一つの有用な処理・資源回収オプションを追加できる可能性**があるからです。

試験すべき潜在的な利点には、

- 保管可能な炭素リッチ材料の生成

- リサイクル用スチールの回収
- 地域のタイヤ発生源により近い場所で処理できる可能性
- 既存市場が限られるタイヤ成分の処理
- 一部の汚染物質を水相内で管理
- SCW 設備において、その他の難処理有機廃棄物と統合処理できる可能性
- 生成チャーが要求仕様を満たす場合の産業用エネルギー回収

があります。

提案するパイロット試験によって、これらの潜在的な利点が実際に得られるかどうかを判断するための証拠を得ることができます。

## 8. 想定される成果

日本で実施する試験では、以下を含む文書化された技術データセットを作成することが望まれます。

- 原料組成
- 運転条件
- 物質収支
- エネルギー収支
- チャー特性
- スチール回収
- 硫黄および亜鉛の挙動
- 水相化学
- ガス状生成物
- 汚染物質の溶出性
- 潜在的な製品仕様

得られたデータはその後、ニュージーランドの関係者、例えば、

- Tyrewise
- 廃棄物処理事業者
- 規制当局
- 潜在的な産業ユーザー
- エネルギー関連組織

へ提供することができます。

この試験の目的は、SCW がニュージーランドの既存タイヤ回収経路より優れているとあらかじめ結論付けることではありません。

より有用な問いは、次のとおりです。

SCW は使用済みタイヤを、有用かつ管理可能な生成物流へ変換し、ニュージーランドの既存タイヤ回収システムに追加する価値があるだけの環境的、技術的、経済的利点を提供できるのか。

適切に設計されたパイロット試験によって、この問いに**実測データ**で答えることができます。

## 技術追補 — SCW 処理中の汚染物質の挙動

2026 年 8 月統合版。

本追補は、汚染物質の挙動が原料、運転条件、相分配および分析検証に依存する場合について、本レビュー中の従来の記述を更新し、必要な限定を加えるものです。

### 1. 目的および適用範囲

本技術注記では、サブクリティカル・ウォーター（SCW）処理中における重金属および一部のハロゲン系汚染物質の化学的挙動について整理します。

特に、**汚染物質の総濃度**と**環境中での移動性**を明確に区別することを重視しています。

本資料は、

- 専門家による技術レビュー
- 確認分析プログラムの設計

のための技術的基礎を提供することを目的としています。

ただし、対象原料ごとの試験、または日本側の詳細なプロセス資料に代わるものではありません。

現在の Recycling Oceania のプレゼンテーションでは、再構築したプロセスフロー図を概要図として位置付けており、水処理を SCW システムの不可欠な一部として示しています。

### 2. 重金属：保持、化学種および溶出性

As、Cr、Cu、Pb、Cd、Zn、Ni、Hg などの元素は、有機分子のように水熱分解によって分解・消滅することはありません。

そのため、処理後チャーを全金属分解分析した場合、これらの金属が引き続き検出される可能性があります。

さらに、有機物および水分が除去され、鉱物分が固形残渣中に残ることで、乾燥チャー中の濃度（mg/kg）が処理前より高くなる場合もあります。

環境上重要なのは、単に「金属がどれだけ存在するか」だけではありません。

重要なのは、

- どのような化学形態で存在するか
- どの程度容易に溶出・移動するか

です。

水熱炭化に関する文献では、重金属のかなりの割合がハイドロチャー中に保持される一方、処理によって比較的交換性・生物利用性の高い画分から、より安定した残留性画分へ移行することが示されています。

2024 年のコーキング汚泥に関する研究では、調査対象となった重金属の **90%以上がハイドロチャー中に保持**され、処理強度の増加とともに安定化が進むことが報告されています。

考えられる機構としては、

- 酸素含有官能基上での表面錯形成／吸着
- イオン交換および静電相互作用
- 炭酸塩、リン酸塩、酸化物／水酸化物など難溶性鉱物相への沈殿または結合
- 形成される炭素／鉱物マトリックス内への取り込みまたは閉じ込め

などがあります。

酸化状態や配位環境が変化する場合もあります。

### 重要な表現

SCW を「重金属を分解する技術」と表現すべきではありません。

より技術的に妥当な説明は、

**SCW 処理によって金属の相分配および化学種が変化し、固相中に保持された金属が、より移動性・溶出性の低い形態となる可能性がある**  
というものです。

ただし、これは**全金属分析と溶出試験を組み合わせる必要**があります。

金属がすべて固相に保持されるとは限りません。

公表されている HTC 研究では、Zn、Cd、Pb、Cr、Ni、Cu その他の金属の一部がプロセス水へ移行することが示されています。

分配は、

- 温度
- pH

- 滞留時間
- 原料鉱物組成
- 共存イオン
- 液固比

などに依存します。

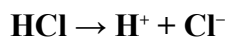
したがって、完全な評価には**固相／液相マスバランス**が必要です。

### 3. 塩素および塩素含有有機物

PVC には、その炭素骨格に共有結合した塩素が含まれています。

高温圧縮水中では、PVC は脱塩酸反応を受けます。

簡略化すると、塩素は塩化水素（HCl）として放出され、水中で、



へ解離します。

180～260℃で行われた PVC の水熱炭化実験では、温度上昇とともに脱塩素化が進み、ある研究では約 235℃ 以上で塩素の放出がほぼ定量的となったことが報告されています。

#### 概念的な反応経路

**有機結合  $\text{Cl} \rightarrow \text{HCl} \rightarrow \text{H}^+ + \text{Cl}^- \rightarrow$  溶存無機塩化物／塩類**

利用可能な陽イオンおよびアルカリ度によって、塩化物は水中に溶存したまま存在する場合もあれば、

- 塩化ナトリウム
- 塩化カリウム
- 塩化カルシウム

などの無機塩と関連した形態となる場合もあります。

したがって、塩素はチャー中に有機結合したまま残るのではなく、炭素質原料から

**水相／無機成分側へ移行**することが可能です。

一方、プロセス固有の証拠がない状態で、

- すべての塩素系有機化合物
- PCB
- ダイオキシン
- フラン

が SCW によって自動的に分解されるとするのは技術的に妥当ではありません。

したがって、必要に応じて、

- クロロフェノール類
- PCB
- PCDD/F 類

を検証対象とすべきです。

#### 4. フッ素および PFAS

PFAS については、炭素－フッ素結合の切断が難しいため、特に慎重な評価が必要です。

水熱処理は有望な分解経路ですが、**親 PFAS 化合物が分解したことと、完全な無機化または完全な脱フッ素化が達成されたことは同義ではありません。**

2022 年のサブクリティカル／超臨界水熱 PFAS 処理に関するレビューでは、特定条件下で、

- **PFAS 分解率 >99%**
- **脱フッ素化率 >60%**

が報告されています。

ただし、性能は、

- 温度
- 圧力
- アルカリ度
- 滞留時間
- PFAS の構造
- 原料マトリックス

によって大きく変化します。

したがって、個別システムについて分析的に実証されていない限り、無機フッ化物への完全変換を前提とすべきではありません。

#### 概念的な反応経路

**親 PFAS → 変換生成物／短鎖化合物 → C-F 結合切断 → 脱フッ素化が起きた場合 F<sup>-</sup>**  
脱フッ素化が起きた場合、無機フッ化物は水相中の無機イオン成分となります。

不完全な脱フッ素化では、分析対象外のフッ素系生成物が残る可能性があるため、適切な分析技術が利用可能であれば、対象 PFAS 分析に加えて、

- 全有機フッ素（TOF）
- 吸着性有機フッ素（AOF）

などを併用することが望まれます。

#### 5. 水相

SCW 処理は、単純な「廃棄物 → チャー」反応ではなく、**多相変換プロセス**として考える必要があります。

水熱処理後のプロセス水には、

- 溶存有機炭素

- 有機酸および中間生成物
- 窒素・リン化合物
- 塩化物
- フッ化物
- 硫酸塩その他の無機イオン
- 原料中金属の一部
- 残留有機汚染物質および変換生成物

が含まれる可能性があります。

### 概念的な物質収支

**原料 → 炭素リッチ固形物 + プロセス水 + 無機イオン／塩類 + 溶存有機物 + ガス状／揮発性成分 + 分離された異物**

したがって、水処理工程も**汚染物質管理の境界内**に含まれます。

処理木材、混合 C&D 廃棄物、PVC 含有廃棄物、PFAS 含有原料を技術評価する際には、チャーだけでなく**水相および水処理残留物**も評価する必要があります。

### 5.1 逆浸透（RO）および水相汚染物質管理

逆浸透（RO）が水処理工程の一部を構成する場合、溶存イオン性汚染物質が膜によって分解されるわけではありません。

圧力によって水を半透膜に通し、

- 処理済み透過水
- 排除・濃縮された濃縮液（ブライン）

を生成します。

膜によって排除された汚染物質は濃縮側に集まるため、設備全体の**汚染物質管理および処分マスマバランス**に含める必要があります。

RO では、難処理廃棄物に関連する多くの無機汚染物質について高い除去性能が得られる場合があります。

例えば、

- 鉛
- カドミウム
- クロム
- 銅
- 五価ヒ素
- 塩化物
- フッ化物

などです。

ただし、除去率は一律に固定された値ではありません。

以下によって変化します。

- 膜の種類
- 原水化学
- pH
- イオン電荷／化学種
- 圧力
- 回収率
- 前処理

ヒ素は化学種の重要性を示す例です。

EPA の公表試験では、一部の膜について As(III)よりも **As(V)の方が大幅に高い除去率**を示したことが報告されています。

したがって、技術的に適切な流れは次のようになります。

**プロセス水中の溶存金属／塩化物／フッ化物／その他イオン**

→ **前処理および RO**

→ **低汚染物質濃度の透過水 + 汚染物質濃縮液／ブライン**

→ **実際の設備構成に応じた追加処理、回収、沈殿・脱水および／または管理型処分**となります。

Arinkai の SCW システムについては、設備固有の性能を主張する前に、原本の日本語プロセス資料および運転データを用いて、

- RO の有無
- 詳細な RO 構成
- 膜仕様
- 前処理
- 回収率
- 濃縮液の循環
- 濃縮液／ブラインの最終管理方法

を確認する必要があります。

## 6. 汚染物質マスバランス検証プログラム案

最も強力な検証方法は、代表性のある難処理原料を実際に処理し、主要生成物流全体について**汚染物質マスバランスを閉じる**ことです。

| 分析項目／試験  | 原料  | チャー | プロセス水／残留物 | 目的            |
|----------|-----|-----|-----------|---------------|
| As、Cr、Cu | Yes | Yes | Yes       | CCA 木材／マスバランス |

| 分析項目／試験                | 原料     | チャー | プロセス水／残留物 | 目的                           |
|------------------------|--------|-----|-----------|------------------------------|
| Pb、Cd、Zn、Ni、Hg         | Yes    | Yes | Yes       | 金属分配                         |
| TCLP／JLT または合意した溶出試験   | —      | Yes | —         | 移動性／溶出性                      |
| 逐次抽出／化学種分析             | —      | Yes | 任意        | 安定画分と交換性画分の比較                |
| 全塩素                    | Yes    | Yes | Yes       | 塩素マスバランス                     |
| 塩化物 (Cl <sup>-</sup> ) | —      | —   | Yes       | 無機脱塩素化生成物                    |
| 対象 PFAS                | Yes    | Yes | Yes       | 親化合物／短鎖化合物の挙動                |
| 全フッ素                   | Yes    | Yes | Yes       | フッ素全体のマスバランス                 |
| フッ化物 (F <sup>-</sup> ) | —      | —   | Yes       | 脱フッ素化生成物                     |
| TOF／AOF                | Yes    | Yes | Yes       | 分析対象外の有機フッ素                  |
| PAHs／フェノール類            | Yes    | Yes | Yes       | 変換生成物                        |
| PCB／PCDD/F 類           | 必要に応じて | Yes | Yes       | 塩素系有機物の挙動                    |
| DOC／TOC／COD            | —      | —   | Yes       | 水相有機物負荷                      |
| RO 原水／前処理済みプロセス水       | —      | —   | Yes       | RO 流入汚染物質負荷の確認               |
| RO 透過水                 | —      | —   | Yes       | 残留金属、塩化物、フッ化物、PFAS／TOF、塩類の確認 |
| RO 濃縮液／ブライン            | —      | —   | Yes       | マスバランス完結および残留物管理方法の設定        |

## 7. 解釈の枠組み

技術的に強い主張には、以下の 3 つを組み合わせる必要があります。

### 1. 総濃度

→ どの程度存在しているか

### 2. 相分配／マスバランス

→ どこへ移行したか

### 3. 溶出性／化学種

→ どの程度移動しやすく、環境中で利用可能な状態にあるか

有機汚染物質については、親化合物が消失したと完全な無機化も区別する必要があります。

変換生成物が残る可能性があるためです。

## 推奨される表現

「SCW によって元素汚染物質そのものが消滅するわけではありません。SCW の潜在的な環境上の利点は、水熱反応によって汚染物質を固相と水相の間で再分配し、一部の化学種をより安定で、移動性の低い、または無機的な形態へ変換できる可能性があることです。安定化、脱塩素化、PFAS 分解および脱フッ素化の程度については、原料ごとのマスバランス、溶出性および化学種分析によって実証する必要があります。」

## 8. 重要な制約・留意点

引用している国際文献は、一般的な水熱炭化／水熱処理に関するものです。

これらは提案する反応機構を支持するものですが、**Arinkai の特定設備の性能そのものを証明するものではありません。**

金属の挙動は、

- 元素ごと
- 原料ごと

に異なります。

チャー中の総濃度が増加する一方で、溶出性が低下する場合があります。

PFAS 親化合物の分解を、自動的に完全脱フッ素化または完全無機化と同一視すべきではありません。

PVC から塩素が除去されたことだけで、すべての塩素系有機汚染物質が分解されたことを証明するものではありません。

規制上の主張または有効利用に関する主張は、**検証済み分析方法と実際のプロセスから得られた代表試料**に基づくべきです。

水処理・水回収性能もシステム固有です。

Ishimori 氏は、回収水がボイラーシステムへ循環されることを確認しています。

ただし、Arinkai の具体的な水処理構成については、

- RO 工程の有無
- 前処理
- 回収率
- 濃縮残留物流の最終管理

を含め、設備資料および運転データによって確認する必要があります。

## 9. 主な技術参考文献

1. *Hydrothermal carbonization of coking sludge: Migration behavior of heavy metals and magnetic separation performance of hydrochar.*  
**Journal of Environmental Chemical Engineering 12 (2024) 114141.**

2. *Research advancements in nutrients and heavy metals, its speciation and behavior during hydrothermal carbonization of sludge – A critical review.*  
**Fuel 352 (2023) 129082.**
3. *Hydrochar as a bio-based adsorbent for heavy metals removal: A review.*  
**Science of the Total Environment 945 (2024) 173972.**
4. *Process Waters from Hydrothermal Carbonization of Sludge: Characteristics and Possible Valorization Pathways.*  
**Processes (2020).**
5. *Hydrothermal carbonization of poly(vinyl chloride).*  
**Chemosphere 119 (2015) 682–689.**
6. *Kinetics study on hydrothermal dechlorination of poly(vinyl chloride) by in-situ sampling.*  
**Journal of Environmental Chemical Engineering (2021).**
7. *Hydrothermal treatment of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS).*  
**Chemosphere (2022). PMID 35931254; DOI 10.1016/j.chemosphere.2022.135888.**
8. **U.S. EPA. Reverse Osmosis Treatment to Remove Inorganic Contaminants From Drinking Water.**  
EPA の研究では、多くの金属について高い除去性能が報告されており、ヒ素、フッ化物、水銀については汚染物質の化学形態・化学種に強く依存することが示されています。
9. **U.S. EPA WaterSense. Point-of-Use Reverse Osmosis Systems / Performance Overview.**  
RO では透過水と濃縮液／ブラインが生成され、認証システムではヒ素、クロム、鉛その他の汚染物質の低減性能を実証することができます。

## 改訂状況

### 2026 年 8 月更新。

本「汚染物質の挙動」追補は、2026 年 8 月時点の技術的解釈を反映したものであり、日本での運転データおよび独立分析結果と併せて読む必要があります。

原料ごとの性能に関する主張については、引き続き**代表性のある試験および検証**を前提とします。

Reported by:  
KYUDEN SANGYO CO., INC  
Environmental Certified Public Measurer  
18-20, Najima, 2-Chome, Higashi-ku, FUKUOKA, 813-0043 JAPAN  
TEL +81-92-671-6071  
FAX +81-92-682-5421  
E-MAIL bunseki\_ce@kyudensangyo.co.jp

## CERTIFICATE OF ANALYSIS

The following is an analysis report of the Pellet fuels(Shari-cho, Hokkaido) received on April 8, 2024.

| Parameter             | Unit  | Basis             | Result | Quantitative<br>lower limit | Method                        |
|-----------------------|-------|-------------------|--------|-----------------------------|-------------------------------|
| Total Moisture        | %     | as received basis | 21.2   | 0.1                         | JIS Z 7302-3 appendix         |
| Gross Calorific Value | kJ/kg | as received basis | 20200  | 10                          | JIS Z 7302-2                  |
| Gross Calorific Value | kJ/kg | dry basis         | 25650  | 10                          | JIS Z 7302-2                  |
| Net Calorific Value   | kJ/kg | as received basis | 18380  | 10                          | Calculation *                 |
| Net Calorific Value   | kJ/kg | dry basis         | 24010  | 10                          | Calculation *                 |
| Hydrogen              | %     | dry basis         | 7.26   | 0.01                        | JIS Z 7302-8                  |
| Nitrogen              | %     | dry basis         | 1.11   | 0.01                        | JIS Z 7302-8                  |
| Ash                   | %     | dry basis         | 10.4   | 0.1                         | JIS Z 7302-4                  |
| Total Sulfur          | %     | dry basis         | 0.139  | 0.001                       | Combustion Ion Chromatography |
| Chlorine              | %     | dry basis         | 1.62   | 0.001                       | Combustion Ion Chromatography |

### Remarks

\* Net Calorific Value = Gross Calorific Value - ( 2512 × ( 9 × Hydrogen + Moisture ) / 100 )

Reported by:  
 KYUDEN SANGYO CO., INC  
 Environmental Certified Public Measurer  
 18-20, Najima, 2-Chome, Higashi-ku, FUKUOKA, 813-0043 JAPAN  
 TEL +81-92-671-6071  
 FAX +81-92-682-5421  
 E-MAIL bunseki\_ce@kyudensangyo.co.jp

## CERTIFICATE OF ANALYSIS

The following is an analysis report of the powdery fuel (Kitahiroshima-cho, Hiroshima) received on April 8, 2024.

| Parameter             | Unit  | Basis             | Result | Quantitative lower limit | Method                        |
|-----------------------|-------|-------------------|--------|--------------------------|-------------------------------|
| Total Moisture        | %     | as received basis | 11.2   | 0.1                      | JIS Z 7302-3 appendix         |
| Gross Calorific Value | kJ/kg | as received basis | 32970  | 10                       | JIS Z 7302-2                  |
| Gross Calorific Value | kJ/kg | dry basis         | 37130  | 10                       | JIS Z 7302-2                  |
| Net Calorific Value   | kJ/kg | as received basis | 30420  | 10                       | Calculation *                 |
| Net Calorific Value   | kJ/kg | dry basis         | 34570  | 10                       | Calculation *                 |
| Hydrogen              | %     | dry basis         | 11.3   | 0.01                     | JIS Z 7302-8                  |
| Nitrogen              | %     | dry basis         | 0.32   | 0.01                     | JIS Z 7302-8                  |
| Ash                   | %     | dry basis         | 4.9    | 0.1                      | JIS Z 7302-4                  |
| Total Sulfur          | %     | dry basis         | 0.104  | 0.001                    | Combustion Ion Chromatography |
| Chlorine              | %     | dry basis         | 2.22   | 0.001                    | Combustion Ion Chromatography |

Remarks

\* Net Calorific Value = Gross Calorific Value - ( 2512 × ( 9 × Hydrogen + Moisture ) / 100 )

**ANALYSIS AND TEST RESULTS REPORT**

Hiroshima Prefectural Environment and Health Association

〒730-8631 9-1 Hirose Kitamachi, Naka-ku, Hiroshima City

Phone: 082-293-1515

Chairman Mitsuaki Kon

Kiyo Co., Ltd.

We will report the results of the analysis and testing work you have requested.

|                               |                                   |
|-------------------------------|-----------------------------------|
| Business name                 | -                                 |
| Target of analysis            | -                                 |
| Collection location           | -                                 |
| Collection agency (collector) | Kiyo Co., Ltd. Date of collection |

| Analysis items         | Results of analysis |       |       |   | Unit  | Analysis method                    | Lower limit of quantification |
|------------------------|---------------------|-------|-------|---|-------|------------------------------------|-------------------------------|
|                        | A                   | B     | C     | - |       |                                    |                               |
| Low heat value         | 31500               | 31000 | 31000 | - | kJ/kg | Compliant with JIS Z 7302-2 (1999) | 10                            |
| Total Chlorine         | 3.42                | 2.64  | 2.71  | - | %     | JIS Z 7302-6 (1999)                | 0.01                          |
| Non-flammable Chlorine | 0.05                | 0.06  | 0.05  | - | %     | JIS M 8813 (1973) standard         | 0.01                          |
| (No Further Entries)   |                     |       |       |   |       |                                    |                               |
|                        |                     |       |       |   |       |                                    |                               |
|                        |                     |       | -     |   |       |                                    |                               |
|                        |                     |       |       |   |       |                                    |                               |
|                        |                     |       |       |   |       |                                    |                               |

|         |                                        |
|---------|----------------------------------------|
| Remarks | The analysis results showed that, on 2 |
|---------|----------------------------------------|

**ANALYSIS AND TEST RESULTS REPORT**

Kiyo Co., Ltd.

Hiroshima Prefectural Environment and Health Association

〒730-8631 9-1 Hirose Kitamachi, Naka-ku, Hiroshima City

Phone: 082-293-1515

Chairman Mitsuaki Kon

We will report the results of the analysis and testing work you have requested.

|                               |                                                      |
|-------------------------------|------------------------------------------------------|
| Business name                 | Analysis of hydrolysis, washing and drying           |
| Target of analysis            | -                                                    |
| Collection location           | Co., Ltd. Kiyo Kitahiroshima Factory                 |
| Collection agency (collector) | Kiyo Co., Ltd. Date of collection: December 14, 2013 |

| Analysis items       | Results of analysis |          |          |   | - Unit | Analysis method                    | Minimum fixed value |
|----------------------|---------------------|----------|----------|---|--------|------------------------------------|---------------------|
|                      | Sample 1            | Sample 2 | Sample 3 | - |        |                                    |                     |
| Low heat value       | 33500               | 32500    | 32000    | - | kJ/kg  | Compliant with JIS Z 7302-2 (1999) | 10                  |
| Total Chlorine       | 2.51                | 2.99     | 2.71     | - | %      | JIS Z 7302-6 (1999)                | 0.01                |
| <No further entries> |                     |          |          |   |        |                                    | -                   |
|                      |                     |          |          |   |        |                                    |                     |
|                      |                     |          |          |   |        |                                    |                     |
|                      |                     |          |          |   |        |                                    |                     |
|                      |                     |          |          |   |        |                                    |                     |
|                      |                     |          |          |   |        |                                    |                     |

# ANALYSIS RESULTS REPORT

Order number C-09-09-036-2

Issued on October 2, 2009

Mayor of Shiraoi Town, Chozo Ameya

We report on the results of analysis of the samples received on September 16, 2009, as follows:

Heat Measurement Certification Business Registration No. 501.  
Concentration Measurement Certification Business Registration No. 628  
Hokutan General Services Co., Ltd.  
Environmental Center  
Akebonocho, Tomakomai City 1-3-3

|                                 |                      |
|---------------------------------|----------------------|
| Sample name                     | No.2                 |
| Sampling location               | -                    |
| Sample collection date and time | Year Month           |
| Sampling                        | Requester collection |

| Analysis items                     | Measurement value  | Analysis method | Remarks         |
|------------------------------------|--------------------|-----------------|-----------------|
| Total Chlorine 1st Time            | 11.6(wt%)          | JIS Z 7302-6    | Waterless basis |
| Total chlorine 2nd test            | 11.2(wt%)          | JIS Z 7302-6    | Waterless basis |
| Total chlorine content<br>3rd time | 8.25(wt%)          | JIS Z 7302-6    | Waterless basis |
|                                    | No further entries |                 |                 |

# ANALYSIS RESULTS REPORT

Order number C-09-09-036-2

Issued on October 2, 2009

Mayor of Shiraoi Town, Chozo Ameya

We report on the results of analysis of the samples received on September 16, 2009, as follows:

Heat Measurement Certification Business Registration No. 501.  
Concentration Measurement Certification Business Registration No. 628  
Hokutan General Services Co., Ltd.  
Environmental Center  
Akebonocho, Tomakomai City 1-3-3

|                                 |                      |
|---------------------------------|----------------------|
| Sample name                     | No.8                 |
| Sampling location               | -                    |
| Sample collection date and time | Year Month           |
| Sampling                        | Requester collection |

| Analysis items                     | Measurement value  | Analysis method | Remarks         |
|------------------------------------|--------------------|-----------------|-----------------|
| Total Chlorine 1st Time            | 0.02(wt%)          | JIS Z 7302-6    | Waterless basis |
| Total chlorine 2nd test            | 0.03(wt%)          | JIS Z 7302-6    | Waterless basis |
| Total chlorine content<br>3rd time | 0.02(wt%)          | JIS Z 7302-6    | Waterless basis |
|                                    | No further entries |                 |                 |

# BREAKING NEWS

Mr. Yuasa, Shiraoi Town Living Environment Division

FAX: 0144:-82-4391

Thank you very much for your continued support.

We will send you the results of the Shiraoi biomass fuel facility wastewater analysis.

## Water quality measurement results List

December 2013

|                                        |              |  |
|----------------------------------------|--------------|--|
| Water sampling date: December 16, 2013 |              |  |
| Collection location                    | Drainage     |  |
| Sample time                            | 9:30         |  |
| Weather                                | Sunny        |  |
| Water temperature°C                    | 34.7         |  |
| PH                                     | 8.4          |  |
| BOD mg/l                               | 8.1          |  |
| COD mg/l                               | 2200         |  |
| SSmg/l                                 | 1            |  |
| Normal hexane mg/l                     | Not detected |  |
| Total nitrogen mg/l                    | 640          |  |
|                                        |              |  |

Hokutan General Services Co., Ltd. Environmental Center  
TEL- 0144-551171      FAX-0144-55-1172

Analysis Division

# BREAKING NEWS

Mr. Yuasa, Shiraoi Town Living Environment Division

FAX: 0144:-82-4391

Thank you very much for your continued support.  
We will send you the results of the Shiraoi biomass fuel facility wastewater analysis.

## Water quality measurement results List

2014 Year , Month   Minute

|                        |                  |  |
|------------------------|------------------|--|
| Water collection date: | January 20, 2014 |  |
| Collection location    | Drainage         |  |
| Collection time        | 9:29             |  |
| Weather                | Sunny            |  |
| Water temperature°C    | 33.4             |  |
| PH                     | 8.1              |  |
| BOD mg/l               | 8.7              |  |
| COD mg/l               | 1600             |  |
| SS mg/l                | 50               |  |
| Normal hexane mg/l     | 0.6              |  |
| Total nitrogen mg/l    | 480              |  |
|                        |                  |  |

Hokutan General Services Co., Ltd. Environmental Center  
TEL- 0144-551171      FAX-0144-55-1172

Analysis Division

Shiraoi Town Garbage Results List

|                          |                     | Shiraoi District       |                | Shadai, Tojohama, Takeura |                | Ishiyama, Hagino, and Kitayoshiwara |                |
|--------------------------|---------------------|------------------------|----------------|---------------------------|----------------|-------------------------------------|----------------|
|                          |                     | Chlorine content (wt%) | Moisture (wt%) | Chlorine content (wt%)    | Moisture (wt%) | Chlorine content (wt%)              | Moisture (wt%) |
| (1)<br>Soft Plastic      | A plastic bag       | 0.17                   | 12.0           | 0.47                      | 18.8           | 0.38                                | 23.5           |
|                          | B Packs             | 0.04                   | 3.5            | 0.84                      | 3.7            | 0.63                                | 7.3            |
|                          | C-1                 | 2.04                   | 6.9            | 0.08                      | 6.1            | 0.11                                | 10.6           |
|                          | C-2                 | 0.08                   | 21.4           | 0.04                      | 8.5            | 0.05                                | 23.4           |
| (2) Hard plastic         |                     | 0.02                   | 3.1            | 1.85                      | 2.6            | 5.00                                | 6.             |
| (07)<br>Kitchen waste    | A shell             | 0.05                   | 1.8            | 0.06                      | 5.4            | -                                   | -              |
|                          | B Other than shells | 0.68                   | 71.4           | 0.60                      | 80.4           | 0.99                                | 77.3           |
| (8) Paper                |                     | 0.03                   | 18.1           | 0.06                      | 66.4           | 0.10                                | 14.9           |
| (9) Fabrics              |                     | 0.04                   | 4.7            | 0.08                      | 15.4           | 0.25                                | 30.5           |
| (10) Wood                |                     | 0.10                   | 42.0           | 0.16                      | 48.9           | 0.17                                | 46.9           |
| 11<br>Rubber and leather | A Footwear          | -                      | -              | 23.1                      | 0.4            | 22.3                                | 1.6            |
|                          | B. Other than shoes | 0.58                   | 2.6            | 18.9                      | 26.8           | 33.1                                | 1.9            |

Chlorine content (wt%) = Anhydrous basis

Moisture (wt%) = Arrival basis

# METROLOGY CERTIFICATE

Registration No.: W1311072-09

Mayor of Shiraoi Town, Mr. Yasuhiko Toda

Metrology Certification Business Registration No. 628

Hokutan General Services Co., Ltd.

Environmental Center

Sapporo City, Shiroishi Ward, Kikusui 9-jo 3-3-6

Environmental measurement specialist Junichi Hara

|                                |                  |                  |                                           |
|--------------------------------|------------------|------------------|-------------------------------------------|
| Measurement Certificate Number | W1311072         | Issue date       | January 28, 2014                          |
| Date of sample receipt         | January 20, 2014 | Sample collector | Hokutan General Services Nishio Co., Ltd. |

We hereby certify the results of the weighing of the sample you have requested as follows:

|                                 |                                                                  |                                                |                               |                                                                                                 |
|---------------------------------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sample name                     | Drainage                                                         |                                                |                               |                                                                                                 |
| Date of sample collection       | January 20, 2014                                                 | 9:29                                           |                               |                                                                                                 |
| Collection conditions           | [Weather] Sunny                                                  | [Temperature]- 5.0°C [Water temperature]33.4°C |                               |                                                                                                 |
| Collection location             | Shiraoi Town Biomass Fuel Facility Wastewater Treatment Building |                                                |                               |                                                                                                 |
| Measurement subject             | Unit                                                             | Weighing Results                               | Lower limit of quantification | How to measure                                                                                  |
| Hydrogen ion concentration (pH) | -                                                                | 8.1                                            | 0.1                           | JIS K O102 12.1 Glass electrode method                                                          |
| Biochemical Oxygen Demand (BOD) | mg/l                                                             | 8.7                                            | 0.5                           | JIS K O102 21, JIS K O102 32.3 Diaphragm electrode method                                       |
| Chemical oxygen demand (COD Mn) | mg/l                                                             | 1600                                           | 0.5                           | JIS K O10217 Titration method                                                                   |
| Suspended solids (SS)           | mg/l                                                             | 50                                             | 1                             | Environment Agency Notification No. 59 of 1971<br>Appendix 9 Filtration weight method           |
| n-Hexane extractables content   | mg/l                                                             | 0.6                                            | 0.5                           | Environment Agency Notification No. 64 of 1974<br>Appendix 4 Extraction and Gravimetric Methods |
| Nitrogen Content                | mg/l                                                             | 480                                            | 0.1                           | JIS K O102 45.2<br>Ultraviolet spectrophotometry                                                |
| No further entries              |                                                                  |                                                |                               |                                                                                                 |

# METROLOGY CERTIFICATE

Registration No.: W131107 1 -001

Mayor of Shiraoi Town, Mr. Yasuhiko Toda

Metrology Certification Business Registration No. 628

Hokutan General Services Co., Ltd.

Environmental Center

Sapporo City, Shiroishi Ward, Kikusui 9-jo 3-3-6

Environmental measurement specialist Junichi Hara

|                                |                   |                  |                                           |
|--------------------------------|-------------------|------------------|-------------------------------------------|
| Measurement Certificate Number | W1311072          | Issue date       | January 28, 2014                          |
| Date of sample receipt         | December 16, 2013 | Sample collector | Hokutan General Services Nishio Co., Ltd. |

We hereby certify the results of the weighing of the sample you have requested as follows:

|                                 |                                                                  |                  |                               |                                                                                                 |
|---------------------------------|------------------------------------------------------------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sample name                     | Drainage                                                         |                  |                               |                                                                                                 |
| Date of sample collection       | December 16, 2013                                                | 9:30             |                               |                                                                                                 |
| Collection conditions           | [Weather] Sunny [Temperature] 2.0°C [Water temperature] 34.7°C   |                  |                               |                                                                                                 |
| Collection location             | Shiraoi Town Biomass Fuel Facility Wastewater Treatment Building |                  |                               |                                                                                                 |
| Measurement subject             | Unit                                                             | Weighing Results | Lower limit of quantification | How to measure                                                                                  |
| Hydrogen ion concentration (pH) | -                                                                | 8.4              | 0.1                           | JIS K O102 12.1 Glass electrode method                                                          |
| Biochemical Oxygen Demand (BOD) | mg/l                                                             | 8.1              | 0.5                           | JIS K O102 21, JIS K O102 32.3 Diaphragm electrode method                                       |
| Chemical oxygen demand (COD Mn) | mg/l                                                             | 2200             | 0.5                           | JIS K O10217 Titration method                                                                   |
| Suspended solids (SS)           | mg/l                                                             | 1                | 1                             | Environment Agency Notification No. 59 of 1971<br>Appendix 9 Filtration weight method           |
| n-Hexane extractables content   | mg/l                                                             | Not detected     | 0.5                           | Environment Agency Notification No. 64 of 1974<br>Appendix 4 Extraction and Gravimetric Methods |
| Nitrogen Content                | mg/l                                                             | 640              | 0.1                           | JIS K O102 45.2<br>Ultraviolet spectrophotometry                                                |
| No further entries              |                                                                  |                  |                               |                                                                                                 |

# METROLOGY CERTIFICATE

Registration No.: W1302048-002

Page 2/2

Mayor of Shiraoi Town, Mr. Yasuhiko Toda

Metrology Certification Business Registration No. 628  
Hokutan General Services Co., Ltd.  
Environmental Center  
Sapporo City, Shiroishi Ward, Kikusui 9-jo 3-3-6  
Environmental measurement specialist Junichi Hara

|                                |                   |                  |                                           |
|--------------------------------|-------------------|------------------|-------------------------------------------|
| Measurement Certificate Number | W1311072          | Issue date       | January 28, 2014                          |
| Date of sample receipt         | December 16, 2013 | Sample collector | Hokutan General Services Nishio Co., Ltd. |

We hereby certify the results of the weighing of the sample you have requested as follows:

|                                                                       |                                                                                                                                                        |                     |                               |                                                                                                                         |
|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sample name                                                           | Discharge water                                                                                                                                        |                     |                               |                                                                                                                         |
| Date of sample collection                                             | December 18, 2013                                                                                                                                      | 9:32                |                               |                                                                                                                         |
| Collection conditions                                                 | [Weather] Snow                                                                                                                                         | [Temperature] -3.0℃ | [Water temperature] 19.2℃     |                                                                                                                         |
| Collection location                                                   | Shiraoi Town Biomass Fuel Facility Wastewater Treatment Building                                                                                       |                     |                               |                                                                                                                         |
| Measurement subject                                                   | Unit                                                                                                                                                   | Weighing Results    | Lower limit of quantification | How to measure                                                                                                          |
| Cadmium and its compounds                                             | mg/l                                                                                                                                                   | Not detected        | 0.001                         | JIS K O102 55.31 Emission Spectroscopic Analysis                                                                        |
| Cyanide compounds                                                     | mg/l                                                                                                                                                   | Not detected        | 0.1                           | JIS K O102 38 1.2, 38.34 Pyridine carboxylic acid-pyrazolone spectrophotometric method                                  |
| Organophosphorus compounds                                            | mg/l                                                                                                                                                   | Not detected        | 0.1                           | Environment Agency Notification No. 64 of 1974<br>Appendix 1 GC Method                                                  |
| Hexavalent chromium compounds                                         | mg/l                                                                                                                                                   | 0.08                | 0.02                          | JISK O102 65.2.1 Diphenylcarbazine spectrophotometric method                                                            |
| Arsenic and its compounds                                             | mg/l                                                                                                                                                   | 0.022               | 0.0005                        | JISK O10 261.2 Hydride generation atomic absorption spectrometry                                                        |
| Mercury and alkylmercury and other mercury compounds                  | mg/l                                                                                                                                                   | Not detected        | 0.0005                        | Environment Agency Notification No. 59 of 1971, Appendix 1 Atomic Absorption Spectroscopy                               |
| Alkyl mercury compounds                                               | mg/l                                                                                                                                                   | Not detected        | 0.0005                        | Environment Agency Notification No. 59 of 1971, Schedule 2 GC Law                                                       |
| Polychlorinated biphenyls                                             | mg/l                                                                                                                                                   | Not detected        | 0.0005                        | Environment Agency Notification No. 59 of 1971, Schedule 3 GC Law                                                       |
| Fluorine and its compounds                                            | mg/l                                                                                                                                                   | Not detected        | 0.1                           | JISKOIO234.1 Lanthanum-alizarin complexone spectrophotometric method                                                    |
| Boron and its compounds                                               | mg/l                                                                                                                                                   | 0.06                | 0.02                          | JISK O102 47.3I CP Emission Spectroscopic Analysis                                                                      |
| Ammonia, ammonium compounds, nitrite compounds, and nitrate compounds | mg/l                                                                                                                                                   | 82                  | 0.22                          | JISK O102 42.2, 42.5, 43.1, 43.2.5 Distillation - Absorption Spectrophotometer, Absorption Spectrophotometer, IC Method |
| Dichloromethane                                                       | mg/l                                                                                                                                                   | 0.004               | 0.002                         | JISK O125 5.1 Purge-trap-GC-MS method                                                                                   |
| Carbon tetrachloride                                                  | mg/l                                                                                                                                                   | Non detection       | 0.0002                        | JISK O125 5.1 Purge-trap-GC-MS method                                                                                   |
| 1,2-Dichloroethane                                                    | mg/l                                                                                                                                                   | Not detected        | 0.004                         | JISK O125 5.1 Purge-trap-GC-MS method                                                                                   |
| 1,1-Dichloroethylene                                                  | mg/l                                                                                                                                                   | Not detected        | 0.002                         | JISK O125 5.1 Purge-trap-GC-MS method                                                                                   |
| Cis-1,2-dichloroethylene                                              | mg/l                                                                                                                                                   | Not detected        | 0.004                         | JISK O125 5.1 Purge-trap-GC-MS method                                                                                   |
| 1,1,1-Trichloroethane                                                 | mg/l                                                                                                                                                   | Not detected        | 0.005                         | JISK O125 5.1 Purge-trap-GC-MS method                                                                                   |
| 1,1,2-Trichloroethane                                                 | mg/l                                                                                                                                                   | Not detected        | 0.0006                        | JISK O125 5.1 Purge-trap-GC-MS method                                                                                   |
| Trichloroethylene                                                     | mg/l                                                                                                                                                   | Not detected        | 0.002                         | JISK O125 5.1 Purge-trap-GC-MS method                                                                                   |
| Tetrachloroethylene                                                   | mg/l                                                                                                                                                   | Not detected        | 0.0005                        | JISK O125 5.1 Purge-trap-GC-MS method                                                                                   |
| 1,3-Dichloropropene                                                   | mg/l                                                                                                                                                   | Not detected        | 0.0002                        | JISK O125 5.1 Purge-trap-GC-MS method                                                                                   |
| Thiuram                                                               | mg/l                                                                                                                                                   | Not detected        | 0.0006                        | 1971 Environment Agency Notification No. 59, Attachment 4, Solid Phase Extraction HPLC Method                           |
| Shimajin                                                              | mg/l                                                                                                                                                   | Not detected        | 0.0003                        | Attachment 5 to Notification No. 59 of the Environment Agency in 1971 (1) Solid-phase extraction GC-MS method           |
| Thiobencarb                                                           | mg/l                                                                                                                                                   | Not detected        | 0.0002                        | Attachment 5 to Notification No. 59 of the Environment Agency in 1971 (1) Solid-phase extraction GC-MS method           |
| Benzene                                                               | mg/l                                                                                                                                                   | 0.001               | 0.001                         | JIS K O125 5.1 Purge-trap-GC-MS method                                                                                  |
| Selenium and its compounds                                            | mg/l                                                                                                                                                   | Not detected        | 0.002                         | JIS K O102 67.2 Hydrogen compound generation atomic absorption spectrometry                                             |
| Remarks                                                               | *The result displayed as "not detected" in the weighing result column indicates that the amount was below the lower limit of quantitative measurement. |                     |                               |                                                                                                                         |

# METROLOGY CERTIFICATE

Registration No.: W1302048-001

Page 1 / 2

Mayor of Shiraoi Town, Mr. Yasuhiko Toda

Metrology Certification Business Registration No. 628

Hokutan General Services Co., Ltd.

Environmental Center

Sapporo City, Shiroishi Ward, Kikusui 9-jo 3-3-6

Environmental measurement specialist Junichi Hara

|                                |                   |                  |                                           |
|--------------------------------|-------------------|------------------|-------------------------------------------|
| Measurement Certificate Number | W1302048          | Issue date       | February 26, 2013                         |
| Date of sample receipt         | February 18, 2013 | Sample collector | Hokutan General Services Nishio Co., Ltd. |

We hereby certify the results of the weighing of the sample you have requested as follows:

|                                                             |                                                                                                                                                        |                      |                               |                                                                                               |
|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sample name                                                 | Treated Water                                                                                                                                          |                      |                               |                                                                                               |
| Date of sample collection                                   | February 18, 2013                                                                                                                                      | 9:32                 |                               |                                                                                               |
| Collection conditions                                       | [Weather] Snow                                                                                                                                         | [Temperature] -3.0°C | [Water temperature] 19.2°C    |                                                                                               |
| Collection location                                         | Shiraoi Town Biomass Fuel Facility Wastewater Treatment Building                                                                                       |                      |                               |                                                                                               |
| Measurement subject                                         | Unit                                                                                                                                                   | Weighing Results     | Lower limit of quantification | How to measure                                                                                |
| Hydrogen ion concentration (pH)                             | -                                                                                                                                                      | 7.7                  | 0.1                           | JIS K O102 12.1 Glass electrode method                                                        |
| Biochemical Oxygen Demand (BOD)                             | mg/l                                                                                                                                                   | 9.0                  | 0.1                           | JIS K O102 21, JIS K O102 32.3 Diaphragm electrode method                                     |
| Suspended solids (SS)                                       | mg/l                                                                                                                                                   | Not detected         | 1                             | Filtration weight method, Appendix 9 of Notification No. 59 of the Environment Agency in 1971 |
| n-Hexane extractables content                               | mg/l                                                                                                                                                   | Not detected         | 0.5                           | 1974 Environment Agency Notification No. 61, Appendix 4, Extraction and Gravimetric Method    |
| Normal hexane extracts (mineral oils and fats)              | mg/l                                                                                                                                                   | Not detected         | 0.5                           | JIS K O102 Appendix (Reference) Supplementary Extraction and Gravimetric Method               |
| Normal hexane extracts (animal and vegetable oils and fats) | mg/l                                                                                                                                                   | Not detected         | 0.5                           | JIS K O102 Appendix (Reference) Supplementary Extraction and Gravimetric Method               |
| Phenol content                                              | mg/l                                                                                                                                                   | 0.03                 | 0.01                          | JIS K O102 28.14 Aminoantipyrine spectrophotometric method                                    |
| Copper Content                                              | mg/l                                                                                                                                                   | 0.06                 | 0.04                          | JIS K O102 52.4 ICP Atomic Emission Spectroscopy                                              |
| Zinc Content                                                | mg/l                                                                                                                                                   | 0.69                 | 0.04                          | JIS K O102 53.3 ICP Atomic Emission Spectroscopy                                              |
| Soluble Iron Content                                        | mg/l                                                                                                                                                   | 6.5                  | 0.1                           | JIS K O102 57.4 ICP Atomic Emission Spectroscopy                                              |
| Soluble Manganese Content                                   | mg/l                                                                                                                                                   | Not detected         | 0.1                           | JIS K O102 56.4 ICP Atomic Emission Spectroscopy                                              |
| Chromium Content                                            | mg/l                                                                                                                                                   | 0.22                 | 0.05                          | JIS K O102 65.1.4 ICP atomic emission spectrometry                                            |
| Nitrogen Content                                            | mg/l                                                                                                                                                   | 180                  | 0.1                           | JIS K O102 45.2 Ultraviolet absorption spectrophotometry                                      |
| Phosphorus Content                                          | mg/l                                                                                                                                                   | 0.13                 | 0.03                          | JIS K O102 46.3.1 Potassium peroxyisophosphate decomposition method                           |
|                                                             | No further entries                                                                                                                                     |                      |                               |                                                                                               |
| Remarks                                                     | *The result displayed as "not detected" in the weighing result column indicates that the amount was below the lower limit of quantitative measurement. |                      |                               |                                                                                               |

# METROLOGY CERTIFICATE

Registration No.: F1301010-001

Page 1 / 2

Mayor of Shiraoi Town, Mr. Yasuhiko Toda

Metrology Certification Business Registration No. 628

Hokutan General Services Co., Ltd.

Environmental Center

Sapporo City, Shiroishi Ward, Kikusui 9-jo 3-3-6

Environmental measurement specialist Junichi Hara

|                                |                  |                  |                  |
|--------------------------------|------------------|------------------|------------------|
| Measurement Certificate Number | F1301010         | Issue date       | February 1, 2013 |
| Date of sample receipt         | January 21, 2013 | Sample collector | Requester        |

We hereby certify the results of the weighing of the sample you have requested as follows:

|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-------------------------|
| Sample name                              | Shiraoi town solid fuel (for January) |                   |                               |                         |
| Date of sample collection                | -                                     |                   |                               |                         |
| Collection conditions                    | [Weather]                             | [Air temperature] | -°C                           | [Water temperature] -°C |
| Collection location                      | Shiraoi Town Biomass Fuel Facility    |                   |                               |                         |
| Analysis items                           | Unit                                  | Weighing Results  | Lower limit of quantification | How to measure          |
| Total calorific value (water-free basis) | kJ/kg                                 | 22000             | 500                           | JIS Z 7302-2            |
| Total calorific value (water-free basis) | kcal/kg                               | 5300              | 100                           | JIS Z 7302-2            |
| Moisture Dry air base                    | wt%                                   | 3.5               | 0.1                           | JIS Z 7302-3            |
| Ash content Waterless basis              | wt%                                   | 8.3               | 0.1                           | JIS Z 7302-4            |
| Metallic aluminum, waterless base        | wt%                                   | 0.56              | 0.01                          | JIS Z 7302-5            |
| Total Chlorine Anhydrous Basis           | wt%                                   | 0.23              | 0.01                          | JIS Z 7302-6            |
| Total Sulfur, Anhydrous Basis            | wt%                                   | 0.04              | 0.01                          | JIS Z 7302-7            |
| Nitrogen on an anhydrous basis           | wt%                                   | 0.50              | 0.01                          | JIS Z 7302-8            |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |
|                                          |                                       |                   |                               |                         |

Remarks

\*Conventional units (kcal/kg) and their values are for reference only.

# ANALYSIS RESULTS REPORT

Registration No.: F1212016-00

Mayor of Shiraoi Town, Mr. Yasuhiko Toda

Metrology Certification Business Registration No. 628  
Hokutan General Services Co., Ltd.  
Environmental Center  
Sapporo City, Shiroishi Ward, Kikusui 9-jo 3-3-6  
Environmental measurement specialist Junichi Hara

|                        |                   |                  |                   |
|------------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| Report Number          | F1212016          | Issue date       | December 27, 2012 |
| Date of sample receipt | December 14, 2012 | Sample collector | Requester         |

We would like to report the results of the analysis of your requested sample as follows.

|                                          |                                                                        |                       |                               |                |
|------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-------------------------------|----------------|
| Sample name                              | Shiraoi town solid fuel (for December)                                 |                       |                               |                |
| Date of sample collection                | -                                                                      |                       |                               |                |
| Collection conditions                    | [Weather]                                                              | [Air temperature] -°C | [Water temperature] -°C       |                |
| Collection location                      | Shiraoi Town Biomass Fuel Facility                                     |                       |                               |                |
| Analysis items                           | Unit                                                                   | Weighing Results      | Lower limit of quantification | How to measure |
| Total calorific value (water-free basis) | kJ/kg                                                                  | 24500                 | 500                           | JIS Z 7302-2   |
| Total calorific value (water-free basis) | kcal/kg                                                                | 5800                  | 100                           | JIS Z 7302-2   |
| Moisture Dry air base                    | wt%                                                                    | 4.4                   | 0.1                           | JIS Z 7302-3   |
| Ash content Waterless basis              | wt%                                                                    | 6.6                   | 0.1                           | JIS Z 7302-4   |
| Metallic aluminum, waterless base        | wt%                                                                    | 0.38                  | 0.01                          | JIS Z 7302-5   |
| Total Chlorine Anhydrous Basis           | wt%                                                                    | 0.25                  | 0.01                          | JIS Z 7302-6   |
| Total Sulfur, Anhydrous Basis            | wt%                                                                    | 0.04                  | 0.01                          | JIS Z 7302-7   |
| Nitrogen on an anhydrous basis           | wt%                                                                    | 0.67                  | 0.01                          | JIS Z 7302-8   |
|                                          | No further entries                                                     |                       |                               |                |
| Remarks                                  | *Conventional units (kcal/kg) and their values are for reference only. |                       |                               |                |

# ANALYSIS AND TEST RESULTS REPORT

Environment 72 No. 25-80735

January 27, 20113

Hiroshima Prefectural Environment and Health Association

〒730-8631 9-1 Hirose Kitamachi, Naka-ku, Hiroshima City

Phone: 082-293-1515

Chairman Mitsuaki Kon

Kiyo Co., Ltd.

We will report the results of the analysis and testing work you have requested.

|                               |                                   |
|-------------------------------|-----------------------------------|
| Business name                 |                                   |
| Target of analysis            | -                                 |
| Collection location           | -                                 |
| Collection agency (collector) | Kiyo Co., Ltd. Date of collection |

| Analysis items                | Results of analysis               |       |       |   | Unit  | Analysis method                    | Lower limit of quantification |
|-------------------------------|-----------------------------------|-------|-------|---|-------|------------------------------------|-------------------------------|
|                               | A                                 | B     | C     | - |       |                                    |                               |
| Low heat value                | 31500                             | 31000 | 31000 | - | kJ/kg | Compliant with JIS Z 7302-2 (1999) | 10                            |
| Total Chlorine                | 3.42                              | 2.64  | 2.71  | - | %     | JIS Z 7302-6 (1999)                | 0.01                          |
| Non-flammable Chlorine        | 0.05                              | 0.06  | 0.05  | - | %     | JIS M 8813 (1973) standard         | 0.01                          |
| (No Further Entries)          |                                   |       |       |   |       |                                    |                               |
|                               |                                   |       |       |   |       |                                    |                               |
|                               |                                   |       | -     |   |       |                                    |                               |
|                               |                                   |       |       |   |       |                                    |                               |
|                               |                                   |       |       |   |       |                                    |                               |
| Business name                 | -                                 |       |       |   |       |                                    |                               |
| Target of analysis            | -                                 |       |       |   |       |                                    |                               |
| Collection location           | -                                 |       |       |   |       |                                    |                               |
| Collection agency (collector) | Kiyo Co., Ltd. Date of collection |       |       |   |       |                                    |                               |

| Analysis items         | Results of analysis |       |       |   | Unit  | Analysis method                    | Lower limit of quantification |
|------------------------|---------------------|-------|-------|---|-------|------------------------------------|-------------------------------|
|                        | A                   | B     | C     | - |       |                                    |                               |
| Low heat value         | 31500               | 31000 | 31000 | - | kJ/kg | Compliant with JIS Z 7302-2 (1999) | 10                            |
| Total Chlorine         | 3.42                | 2.64  | 2.71  | - | %     | JIS Z 7302-6 (1999)                | 0.01                          |
| Non-flammable Chlorine | 0.05                | 0.06  | 0.05  | - | %     | JIS M 8813 (1973) standard         | 0.01                          |
| (No Further Entries)   |                     |       |       |   |       |                                    |                               |
|                        |                     |       |       |   |       |                                    |                               |
|                        |                     |       | -     |   |       |                                    |                               |

## Shiraoi Town Garbage Results List

|                       |                    | Shiraoi District       |                | Shadai, Tojohama, Takeura |                | Ishiyama, Hagino, and Kitayoshiwara |                |
|-----------------------|--------------------|------------------------|----------------|---------------------------|----------------|-------------------------------------|----------------|
|                       |                    | Chlorine content (wt%) | Moisture (wt%) | Chlorine content (wt%)    | Moisture (wt%) | Chlorine content (wt%)              | Moisture (wt%) |
| (1) Soft Plastic      | A plastic bag 1    | 0.23                   | 17.6           | 1.23                      | 17.2           | 0.93                                | 25.1           |
|                       | A plastic bag 2    | 0.17                   | 10.7           | 0.07                      | 7.9            | 0.08                                | 27.7           |
|                       | A plastic bag 3    | 0.12                   | 8.0            | 0.12                      | 31.3           | 0.13                                | 17.8           |
|                       | B Pack 1           | 0.05                   | 5.2            | 0.02                      | 3.8            |                                     | 6.0            |
|                       | B Pack 2           | 0.03                   | 5.0            | 0.03                      | 2.4            |                                     | 7.3            |
|                       | B Pack 3           | 0.03                   | 0.4            | 2.45                      | 4.9            |                                     | 8.5            |
|                       | C-1 1              | 2.89                   | 10.0           | 0.10                      | 6.0            |                                     | 7.5            |
|                       | C-1 2              | 0.05                   | 5.0            | 0.09                      | 7.5            |                                     | 12.6           |
|                       | C-1 3              | 3.17                   | 5.6            | 0.06                      | 4.7            |                                     | 11.6           |
|                       | C-2 1              | 0.10                   | 22.7           | 0.02                      | 4.3            | 0.07                                | 31.5           |
|                       | C-2 2              | 0.04                   | 22.6           | 0.04                      | 8.4            | 0.04                                | 16.8           |
|                       | C-2 3              | 0.11                   | 18.8           | 0.07                      | 12.9           | 0.05                                | 21.8           |
| (2) Hard plastic      |                    | 0.02                   | 3.1            | 1.85                      | 2.6            |                                     |                |
| (07) Kitchen waste    | A shell            | 0.05                   | 1.8            | 0.06                      | 5.4            | -                                   | -              |
|                       | B Non-shell 1      | 0.73                   | 70.0           | 0.30                      | 84.2           |                                     |                |
|                       | B Non-shell 2      | 0.87                   | 71.5           | 0.85                      | 79.8           |                                     |                |
|                       | B Non-shell 3      | 0.45                   | 72.6           | 0.64                      | 77.2           |                                     |                |
| (8) Paper             | Paper 1            | 0.05                   | 16.5           | 0.07                      | 27.3           |                                     | 13.6           |
|                       | Paper 2            | 0.02                   | 21.6           | 0.05                      | 30.6           |                                     | 12.7           |
|                       | Paper 3            | 0.03                   | 16.1           | 0.07                      | 25.4           |                                     | 18.4           |
| (9) Fabrics           |                    | 0.04                   | 4.7            | 0.08                      | 15.4           |                                     | 30.5           |
| (10) Wood             |                    | 0.10                   | 42.0           | 0.16                      | 48.9           |                                     |                |
| 11 Rubber and leather | A Footwear         | -                      | -              | 23.1                      | 0.4            |                                     | 1.6            |
|                       | B.Other than shoes | 0.58                   | 2.6            | 18.9                      | 26.8           |                                     |                |

Chlorine content (wt%) = Anhydrous basis

Moisture (wt%) = Arrival basis

# ANALYSIS RESULTS REPORT

Cooking: No.:F1212013-002

Page 2/3

Mayor of Shiraoi Town, Mr. Yasuhiko Toda

Metrology Certification Business Registration No. 628

Hokutan General Services Co., Ltd.

Environmental Center

Sapporo City, Shiroishi Ward, Kikusui 9-jo 3-3-6

Environmental measurement specialist Junichi Hara

|                                |                   |                  |                   |
|--------------------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| Measurement Certificate Number | F1212013          | Issue date       | December 25, 2012 |
| Date of sample receipt         | December 11, 2012 | Sample collector | Requester         |

We hereby certify the results of the weighing of the sample you have requested as follows:

|                                          |                                                                        |                   |                               |                         |
|------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-------------------------|
| Sample name                              | 2012/12/11 Food waste                                                  |                   |                               |                         |
| Date of sample collection                | -                                                                      |                   |                               |                         |
| Collection conditions                    | [Weather]                                                              | [Air temperature] | -°C                           | [Water temperature] -°C |
| Collection location                      | Shiraoi Town Biomass Fuel Facility                                     |                   |                               |                         |
| Analysis items                           | Unit                                                                   | Weighing Results  | Lower limit of quantification | How to measure          |
| Total calorific value (water-free basis) | kJ/kg                                                                  | 23500             | 500                           | JIS Z 7302-2            |
| Total calorific value (water-free basis) | kcal/kg                                                                | 5600              | 100                           | JIS Z 7302-2            |
| Moisture Dry air base                    | wt%                                                                    | 3.6               | 0.1                           | JIS Z 7302-3            |
| Ash content Waterless basis              | wt%                                                                    | 11.4              | 0.1                           | JIS Z 7302-4            |
| Metallic aluminum, waterless base        | wt%                                                                    | 0.18              | 0.01                          | JIS Z 7302-5            |
| Total Chlorine Anhydrous Basis           | wt%                                                                    | 0.49              | 0.01                          | JIS Z 7302-6            |
| Total Sulfur, Anhydrous Basis            | wt%                                                                    | 0.09              | 0.01                          | JIS Z 7302-7            |
| Nitrogen on an anhydrous basis           | wt%                                                                    | 2.57              | 0.01                          | JIS Z 7302-8            |
|                                          |                                                                        |                   |                               |                         |
|                                          |                                                                        |                   |                               |                         |
|                                          |                                                                        |                   |                               |                         |
|                                          |                                                                        |                   |                               |                         |
|                                          |                                                                        |                   |                               |                         |
|                                          |                                                                        |                   |                               |                         |
|                                          |                                                                        |                   |                               |                         |
|                                          | No further entries                                                     |                   |                               |                         |
| Remarks                                  | *Conventional units (kcal/kg) and their values are for reference only. |                   |                               |                         |

## ANALYSIS RESULTS REPORT

Registration No.: A1212020-003

Page 2/3

Mayor of Shiraoi Town, Mr. Yasuhiko Toda

Metrology Certification Business Registration No. 628

Hokutan General Services Co., Ltd.

Environmental Center

Sapporo City, Shiroishi Ward, Kikusui 9-jo 3-3-6

Environmental measurement specialist Junichi Hara

|                                |                   |                  |                   |
|--------------------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| Measurement Certificate Number | A1212020          | Issue date       | December 19, 2012 |
| Date of sample receipt         | December 11, 2012 | Sample collector | Requester         |

We hereby certify the results of the weighing of the sample you have requested as follows:

| Sample name                                          | 2012/12/11 Food waste                                                                                                                                                                                                                                                                            |                      |                               |                                                                                           |
|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| Date of sample collection                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                      |                               |                                                                                           |
| Collection conditions                                | [Weather]                                                                                                                                                                                                                                                                                        | [Air temperature] °C | [Water temperature] °C        |                                                                                           |
| Collection location                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                      |                               |                                                                                           |
| Measurement subject                                  | Unit                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Results of analysis  | Lower limit of quantification | How to measure                                                                            |
| Cadmium and its compounds                            | mg/l                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 0.004                | 0.001                         | JIS K O102 55.41 ICP method                                                               |
| Pb Lead and its compounds                            | mg/l                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 0.002                | 0.001                         | JIS K O102 55.41 ICP method                                                               |
| Hexavalent chromium compounds                        | mg/l                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 0.057                | 0.005                         | JISK O102 65.2.3 Electrical heating atomic absorption spectrometry                        |
| Arsenic and its compounds                            | mg/l                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 0.004                | 0.001                         | JISK O102 61.2 Hydride generation atomic absorption spectrometry                          |
| Mercury and alkylmercury and other mercury compounds | mg/l                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Not detected         | 0.0005                        | Environment Agency Notification No. 59 of 1971, Appendix 1 Atomic Absorption Spectroscopy |
| Selenium and its compounds                           | mg/l                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Not detected         | 0.001                         | JIS K 0102 67.2 Hydrogen compound generation atomic absorption spectrometry               |
| Fluorine and its compounds                           | mg/l                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 0.12                 | 0.05                          | JIS K O1O2 34.1 Lanthanide-alizarin complexone spectrophotometric method                  |
| Boron and its compounds                              | mg/l                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 0.12                 | 0.05                          | JISK O102 47.4 ICP-MS method                                                              |
|                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                      |                               |                                                                                           |
|                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                      |                               |                                                                                           |
|                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                      |                               |                                                                                           |
|                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                      |                               |                                                                                           |
|                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                      |                               |                                                                                           |
|                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                      |                               |                                                                                           |
|                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                      |                               |                                                                                           |
|                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                      |                               |                                                                                           |
|                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                      |                               |                                                                                           |
|                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                      |                               |                                                                                           |
|                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                      |                               |                                                                                           |
|                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                      |                               |                                                                                           |
|                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                      |                               |                                                                                           |
|                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                      |                               |                                                                                           |
|                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                      |                               |                                                                                           |
|                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                      |                               |                                                                                           |
|                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                      |                               |                                                                                           |
|                                                      | No further entries                                                                                                                                                                                                                                                                               |                      |                               |                                                                                           |
| Remarks                                              | *Results displayed as "not detected" in the analysis results column indicate that the amount was below the lower limit of quantification. The test solution was prepared in accordance with the Environmental Standards for Soil Contamination (Environmental Notification No. 46, August 1991). |                      |                               |                                                                                           |

# ANALYSIS RESULTS REPORT

Cooking: No.:F1212016-00

Mayor of Shiraoi Town, Mr. Yasuhiko Toda

Metrology Certification Business Registration No. 628  
Hokutan General Services Co., Ltd.  
Environmental Center  
Sapporo City, Shiroishi Ward, Kikusui 9-jo 3-3-6  
Environmental measurement specialist Junichi Hara

|                                |                   |                  |                   |
|--------------------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| Measurement Certificate Number | F1212016          | Issue date       | December 27, 2012 |
| Date of sample receipt         | December 14, 2012 | Sample collector | Requester         |

We hereby certify the results of the weighing of the sample you have requested as follows:

|                                          |                                                                        |                  |                               |                |
|------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------------------------|----------------|
| Sample name                              | Shiraoi town solid fuel (for December)                                 |                  |                               |                |
| Date of sample collection                | -                                                                      |                  |                               |                |
| Collection conditions                    | [Weather] [Air temperature] -°C [Water temperature] -°C                |                  |                               |                |
| Collection location                      | Shiraoi Town Biomass Fuel Facility                                     |                  |                               |                |
| Analysis items                           | Unit                                                                   | Weighing Results | Lower limit of quantification | How to measure |
| Total calorific value (water-free basis) | kJ/kg                                                                  | 24500            | 500                           | JIS Z 7302-2   |
| Total calorific value (water-free basis) | kcal/kg                                                                | 5800             | 100                           | JIS Z 7302-2   |
| Moisture Dry air base                    | wt%                                                                    | 4.4              | 0.1                           | JIS Z 7302-3   |
| Ash content Waterless basis              | wt%                                                                    | 6.6              | 0.1                           | JIS Z 7302-4   |
| Metallic aluminum, waterless base        | wt%                                                                    | 0.38             | 0.01                          | JIS Z 7302-5   |
| Total Chlorine Anhydrous Basis           | wt%                                                                    | 0.25             | 0.01                          | JIS Z 7302-6   |
| Total Sulfur, Anhydrous Basis            | wt%                                                                    | 0.04             | 0.01                          | JIS Z 7302-7   |
| Nitrogen on an anhydrous basis           | wt%                                                                    | 0.67             | 0.01                          | JIS Z 7302-8   |
|                                          |                                                                        |                  |                               |                |
|                                          |                                                                        |                  |                               |                |
|                                          |                                                                        |                  |                               |                |
|                                          |                                                                        |                  |                               |                |
|                                          |                                                                        |                  |                               |                |
|                                          |                                                                        |                  |                               |                |
|                                          |                                                                        |                  |                               |                |
|                                          | No further entries                                                     |                  |                               |                |
| Remarks                                  | *Conventional units (kcal/kg) and their values are for reference only. |                  |                               |                |

# DIOXIN TESTING

No. H19TB-006  
February 5, 2007

## Analysis results report

Ecoable Co., Ltd.

Measurement Certification Business Registration No. 622  
Environmental Consultant Co., Ltd.

|                   |                                                                                                     |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sampling location | Ecoable Co., Ltd.<br>High-temperature and high-pressure sterilization and volume reduction facility |
| Sample            | Current dioxins                                                                                     |
| Testing date      | December 25, 2006                                                                                   |
| Sample collector  | This company                                                                                        |
| Weather           | -                                                                                                   |

Name of commissioned work : Dioxin inspection during high-temperature high-pressure sterilization and volume reduction facility pressurization

| Environment            | Sample name                                                                                  | Dioxins in reduced pressure |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| Dioxins                | Polychlorinated dibenzofurans TEQ (1998)<br>Total (PCDFs) (pg-TEQ/m <sup>3</sup> )           | 0.027                       |
|                        | Polychlorinated dibenzo-paradioxins (PCDDs) TEQ (1998) (pg-TEQ/m <sup>3</sup> )              | 0.021                       |
|                        | Coplanar Polychlorinated Biphenyls<br>Total Coplanar PCB TEQ (1998) (pg-TEQ/m <sup>3</sup> ) | 0.0024                      |
|                        | Total Dioxins<br>Total (PCDFs + PCDDs + Coplanar PCBs TEQ (1998) (pg-TEQ/m <sup>3</sup> )    | 0.051                       |
| Sample collection time |                                                                                              | 11:35~13:35                 |
| Remarks                |                                                                                              |                             |

# DIOXIN ANALYSIS AT GAS TREATMENT EQUIPMENT EXHAUST OUTLET

## Analysis results report

Ecoable Co., Ltd.

Measurement Certification Business Registration No. 622  
Environmental Consultant Co., Ltd.

|                   |                                                                                                     |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sampling location | Ecoable Co., Ltd.<br>High-temperature and high-pressure sterilization and volume reduction facility |
| Sample            | Current dioxins                                                                                     |
| Testing date      | October 13, 2006                                                                                    |
| Sample collector  | This company                                                                                        |
| Weather           | -                                                                                                   |

Name of commissioned work : Dioxin testing in the remains of commercial high-pressure sterilization and volume reduction facilities

| Environment            | Sample name                                                                                  | Dioxins in reduced pressure |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| Dioxins                | Polychlorinated dibenzofurans TEQ (1998)<br>Total (PCDFs) (pg-TEQ/m <sup>3</sup> )           | 0                           |
|                        | Polychlorinated dibenzo-paradioxins (PCDDs) TEQ (1998) (pg-TEQ/m <sup>3</sup> )              | 0.000032                    |
|                        | Coplanar Polychlorinated Biphenyls<br>Total Coplanar PCB TEQ (1998) (pg-TEQ/m <sup>3</sup> ) | 0.0023                      |
|                        | Total Dioxins<br>Total (PCDFs + PCDDs + Coplanar PCBs TEQ (1998) (pg-TEQ/m <sup>3</sup> )    | 0.00027                     |
| Sample collection time |                                                                                              | 13:30                       |
| Remarks                |                                                                                              |                             |

EMISSION ANALYSIS RESULTS BY THE HOKKAIDO ENVIRONMENTAL SCIENCE AND  
TECHNOLOGY CENTER

May 7, 2004

Sample Name /0403 1 3 Food retail waste ( Mixed )

Ministry Ordinance Prescribing the Criteria for Determining Industrial Waste Containing Metals, etc.  
( Showa February 1973 City Ordinance No. 5 )

| Analysis                      | Results of analysis                    | Judgment criteria<br>(reference) - E4<br>5 |
|-------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------------|
| Dioxins                       | 0.00046ng · TEQ/g                      | 3ng-TEQ/g or less                          |
| Alkyl mercury compounds       | Not detectable (less than 0.0005 mg/l) | Not detected                               |
| Mercury or its compounds      | Less than 0.005mg/l                    | 0.005mg/l                                  |
| Cadmium and its compounds     | 0.005 mg/l                             | 0.3 mg/l                                   |
| Lead or its compounds         | Less than 0.005mg/l                    | 0.3 mg/l                                   |
| Organophosphorus compounds    | Less than 0.1 mg/l                     | 1mg/l                                      |
| Hexavalent chromium compounds | Less than 0.04 mg/l                    | 1.5mg/l                                    |
| Arsenic or its compounds      | 0.009mg/l                              | 0.3mg/l                                    |
| Cyanide compounds             | Less than 0.1 mg/l                     | 1 mg/l                                     |
| PCB                           | Less than 0.00005 mg/l                 | 0.003 mg/l                                 |
| Trichloroethylene             | Less than 0.002 mg/l                   | 0.3 mg/l                                   |
| Tetrachloroethylene           | Less than 0.020 mg/l                   | 0.1 mg/l                                   |
| Dichloromethane               | Less than 0.002mg/l                    | 0.2 mg/l                                   |
| Carbon tetrachloride          | Less than 0.002 mg/l                   | 0.02 mg/l                                  |
| 1,2-Dichloroethane            | Less than 0.0002mg/l                   | 0.04mg/l                                   |
| 1,1-Dichloroethylene          | Less than 0.002 mg/l                   | 0.2mg/l                                    |
| cis-1,2-dichloroethylene      | 0.014 mg/l                             | 0.4mg/l                                    |
| 1,1,1 Trichloroethane         | Less than 0.0005 mg/l                  | 3 mg/l                                     |
| 1,1,2 Trichloroethane         | Less than 0.0006 mg/l                  | 0.06 mg/l                                  |
| 1,3-Dichloropropene           | Less than 0.0002 mg/l                  | 0.02 mg/l                                  |
| Chirium                       | Less than 0.001mg/l                    | 0.06mg/l                                   |
| Shimajin                      | Less than 0.001 mg/l                   | 0.03 mg/l                                  |
| Thiopencarp                   | Less than 0.002 mg/l                   | 0.2mg/l                                    |
| Benzene                       | Less than 0.001 mg/l                   | 0.1mg/l                                    |
| Selenium or its compounds     | Less than 0.002 mg/l                   | 0.3 mg/l                                   |
| Water Content                 | 25.2%                                  | 85%                                        |

\*1. Analysis method/Testing method for standards related to specially controlled general waste and specially controlled industrial waste (Ministry of Health and Welfare Notification No. 192, July 1992)

\* 2 .The analysis results are calculated on a dry matter basis.

\* 3. Carried out by Toho Kaken Co., Ltd. 1

\* 4: Criteria for determining whether or not industrial waste is to be disposed of in landfills

# DIOXIN TESTING

No. H19TB-006  
May 7, 2004

## Analysis results report

Gaia Clean 22 Co., Ltd.

Hokkaido Environmental Science and Technology Center Foundation

We report on the samples received on March 26, 2004 as follows:

### Record

Sample name 040313 Food retail waste (mixed)

Ministerial ordinance prescribing criteria for industrial waste containing metals, etc.

(Prime Minister's Office Ordinance Title, February 1973)

| Analysis items                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Unit             | Results of analysis |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------|
| Dioxins                                                                                                                                                                                                                                                                                          | ng-TEQ/g or less | 0.00046             |
| Judgment criteria for landfill disposal of industrial waste: 3 ng-TEQ/g or less<br>Analysis method<br>Law for the Verification of Standards for Specially Controlled Municipal Waste and Specially Controlled Industrial Waste<br>Ministry of Health and Welfare Notification No. 192, July 1992 |                  |                     |

• Analysis results are calculated on a dry matter basis.

-The analysis was carried out by Toho Kaken Co., Ltd.

# DIOXIN TESTING

July 22, 2005

## Measurement Evaluation Report

Gaia Clean 22 Co., Ltd.

Hokkaido Environmental Science and Technology Center Foundation

### 1. Measurement results of dioxin toxicity etc. in pressurized steam treatment machine exhaust gas

| Sample name                                     | Unit                    | Dioxin toxicity equivalent concentration |
|-------------------------------------------------|-------------------------|------------------------------------------|
| Pressurized steam treatment machine Exhaust gas | ng-TEQ/m <sup>3</sup> n | 0.00015                                  |

\*The toxicity weight of dioxins is calculated by taking the actual measured concentration below the lower limit of quantification as 0 (zero).

### 2. Comparison of exhaust gas standards

The result of this exhaust gas measurement was 0.00015 ng-TEQ/m<sup>3</sup>

As this facility does not fall under the category of a specific facility as defined by the Law Concerning Special Equipment for Dioxins, standard oxygen concentration conversion was not performed. However, for reference, the strictest air emission standard is 0.1 ng-TEQ/m<sup>3</sup> n, and the value obtained in this experiment was lower than this standard even if oxygen concentration conversion had been performed.

### 3. Reference <Regarding standard values>

The emission standards based on the Law Concerning Special Equipment for Dioxins, which came into force on January 15, 2000, are shown in the table below. (Waste incinerator-related portion)

| Types of specific facilities                                                            |                | Emission standards for new facilities | Already, facility emission standards |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----------------|---------------------------------------|--------------------------------------|
| Waste Incinerator hearth area 0.5m <sup>3</sup> more or incineration capacity 50kg/h or | Over 4t/h      | 0.1ng-TEQ/m <sup>3</sup> n            | 1ng-TEQ/m <sup>3</sup> n             |
|                                                                                         | 2t/h to 4t/h   | 1ng-TEQ/m <sup>3</sup> n              | 5ng-TEQ/m <sup>3</sup> n             |
|                                                                                         | Less than 2t/h | 5ng-TEQ/m <sup>3</sup> n              | 10ng-TEQ/m <sup>3</sup> n            |

Note 1) For waste incinerators, an oxygen concentration correction of 12% will be applied.

Note 2) For facilities to which the Air Pollution Control Law already applies designated substance control standards for newly constructed facilities, the emission standards for newly constructed facilities shall apply.

End of presentation

# DIOXIN TOXICITY EQUIVALENT CONCENTRATION TEST

July 22, 2005

Hokkaido Environmental Science and Technology Center Foundation

## 1. Measurement results of dioxin toxicity etc. in pressurized steam treatment machine exhaust gas

| Sample name                                     | Unit                    | Dioxin toxicity equivalent concentration |
|-------------------------------------------------|-------------------------|------------------------------------------|
| Pressurized steam treatment machine Exhaust gas | ng-TEQ/m <sup>3</sup> n | 0.00015                                  |

\*The toxicity weight of dioxins is calculated by taking the actual measured concentration below the lower limit of quantification as 0 (zero).

## 2. Comparison of exhaust gas standards

The result of this exhaust gas measurement was 0.00015 ng-TEQ/m<sup>3</sup> n

As this facility does not fall under the category of a specific facility as defined by the Law Concerning Special Equipment for Dioxins, standard oxygen concentration conversion was not performed. However, for reference, the strictest air emission standard is 0.1 ng-TEQ/m<sup>3</sup> n, and the value obtained in this experiment was lower than this standard even if oxygen concentration conversion had been performed.

## 3. Reference <Regarding standard values>

The emission standards based on the Law Concerning Special Equipment for Dioxins, which came into force on January 15, 2000, are shown in the table below. (Waste incinerator-related portion)

| Types of specific facilities                                                            |                | Emission standards for new facilities | Already, facility emission standards |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----------------|---------------------------------------|--------------------------------------|
| Waste Incinerator hearth area 0.5m <sup>3</sup> more or incineration capacity 50kg/h or | Over 4t/h      | 0.1ng-TEQ/m <sup>3</sup> n            | 1ng-TEQ/m <sup>3</sup> n             |
|                                                                                         | 2t/h to 4t/h   | 1ng-TEQ/m <sup>3</sup> n              | 5ng-TEQ/m <sup>3</sup> n             |
|                                                                                         | Less than 2t/h | 5ng-TEQ/m <sup>3</sup> n              | 10ng-TEQ/m <sup>3</sup> n            |

Note 1) For waste incinerators, an oxygen concentration correction of 12% will be applied.

Note 2) For facilities to which the Air Pollution Control Law already applies designated substance control standards for newly constructed facilities, the emission standards for newly constructed facilities shall apply.

End of presentation

# COMPOSITION ANALYSIS AND QUANTITATIVE TESTING OF PRODUCED GAS

## Result report

Ecoable Co., Ltd.

We will report the results of our analysis to you promptly.

### Sample information

Sample name: Dioxins under reduced pressure

Client name: Environmental Consultant Co., Ltd.

Client's address: 6-15-2 Chuo, Senbai-cho, Kushiro-gun, Hokkaido

Sampling date and time: December 25, 2006, 11:35-13:35.

Date of sample receipt: January 5, 2007

Sample number: A6C135001A

Sample collection location: Kan Eco Able Co., Ltd. High-temperature and high-pressure sterilization and volume reduction facility

Collected by: Environmental Consultant Co., Ltd.

How to check in: Bring your own

### Analysis method

"Environmental standards related to air pollution, water turbidity (including bottom sediment pollution) and soil pollution caused by dioxins" (Environment Agency Notice No. 68, December 1999)

"Manual for the Atmospheric Environment Survey on Dioxins" (Atmospheric Environment Division, Dioxin Countermeasures Office, General Affairs Division, Environmental Affairs Bureau, February 2006)

### Results

Dioxins (PCDDs+PCDFs+Co-PCBs)

|         | Target | measured:           | result consideration         |        |
|---------|--------|---------------------|------------------------------|--------|
| Dioxins |        |                     | 3.0pg/m <sup>3</sup>         |        |
|         |        | Toxicity equivalent | 0.051 pg-TEQ/ m <sup>3</sup> | Note 1 |

Note 1) The toxicity equivalency factor was determined using WHO-TEF (1998). The toxicity equivalent was calculated by setting the actual measured concentration at the lower limit of quantification as 0 (zero).

## MEASUREMENT RESULTS TABLE

| Measurement substance name | Measurement Results |
|----------------------------|---------------------|
| Ammonia                    | 9.0                 |
| Trimethylamine             | 0.079               |
| Hydrogen sulfide           | 0.010               |
| Methyl mercaptan           | 1.41                |
| Methyl sulfide             | 0.107               |
| Methyl disulfide           | 0.006               |
| Acetaldehyde               | 2.72                |
| Propionaldehyde            | 0.45                |
| Isoethylaldehyde           | 0.25                |
| n-Butyl aldehyde           | 0.11                |
| Isovaleraldehyde           | 0.233               |
| Normal Valeraldehyde       | 0.06                |
| Ethyl acetate              | 12.0                |
| Isobutanol                 | 15.4                |
| Methyl isobutyl ketone     | Less than 0.1       |
| Toluene                    | 8.0                 |
| Xylene                     | 0.3                 |
| Styrene                    | 0.1                 |
| Propionic Acid             | 0.009               |
| Normal butyric acid        | 0.006               |
| Valeric acid               | Less than 0.001     |
| Normal valeric acid        | Less than 0.0009    |
| Benzene                    | 67.2                |

Unit: ppm

The world's only state-of-the-art  
subcritical water reactor converts all  
organic waste, including medical  
waste, into effective renewable energy.

Subcritical Materials Co., Ltd.  
<http://arinkai.jp/>

## The overwhelming superiority of the SC system

- Small installation area
- The initial investment required to process 50 tons of waste per day is less than 1/4 of the cost of installing an incinerator
- Processing time is short, within 2 to 3 hours (7 batches per day; 15 batches are possible for ethanol and methane gas raw materials)
- Management can be done by a single boiler engineer
- No installation permit or consent from neighbors required (only notification required)
- No final disposal required (residues can be reused as fuel, fertilizer, feed, or recycled)

## Comparison of technological advantages with other companies

1. An overwhelming number of operational achievements and patents owned, including overseas

1) Number of plants installed: Overwhelmingly more than any other company (more than 38 plants in Japan)

2) Operating time: 16 years for medical waste, 11 years for urban waste (as confirmed by this company)

2. Large reaction vessels with working examples and patents can be installed according to the application.

Capacity: 3m<sup>3</sup>, 5m<sup>3</sup>, 10m<sup>3</sup>, 12m<sup>3</sup> (other companies: 2m<sup>3</sup> to 6m<sup>3</sup>)

3. Wide range of processing capabilities

Subcritical water treatment temperature is higher than other companies (230°C 3MPa, Max 250°C, other 200°C 2MPa)

Efficiently treats difficult-to-decompose materials such as polyvinyl chloride resin and FRP

4. Subcritical water treatment time is short and the treated material can be dried into powder

The unique processing and drying method allows the material to be dried and powdered in a short time, resulting in a large reduction in weight.

Other companies' devices dry and powder the waste by adding auxiliary materials (sawdust, etc.), so there is no effect on reducing the weight of the waste. However, "the SCM system decomposes the waste, dries it in a container, reduces its volume, and turns it into a completely sterilized powdered fuel."

5. Zero-emission, environmentally friendly recycling process

The unique high-temperature steam injection treatment method allows for short-time treatment and drying, so little steam is used. The condensate and drain water from the exhaust steam are reused as boiler water after waste liquid treatment, the treated materials are reused as feed, fertilizer, and fuel, and solids and metals can also be completely reused.

(If the treated material is used as boiler fuel, it is carbon neutral and CO<sub>2</sub> emissions are not counted, making it possible to support carbon pricing.)

### Characteristics of subcritical water hydrolysis

- No dioxins are produced because it is not incinerated
- CO<sub>2</sub> emissions are 1/8 of those produced by incineration (the machine itself does not emit CO<sub>2</sub>)
- Hydrolysis using subcritical water instead of pyrolysis by incineration
- Meets the WHO definition of sterilization (1 in 160,000) and sterilizes to less than 1 in 1 million
- No need to separate garbage. Discharged residue can be effectively used as fuel, fertilizer, feed, recycled, etc.

## Main equipment



The above photo shows the main body of the high-temperature, high-pressure processing machine, which is the core of the high-temperature, high-pressure processing process.

Fuel pellet calorific value: 37100kJ/kg

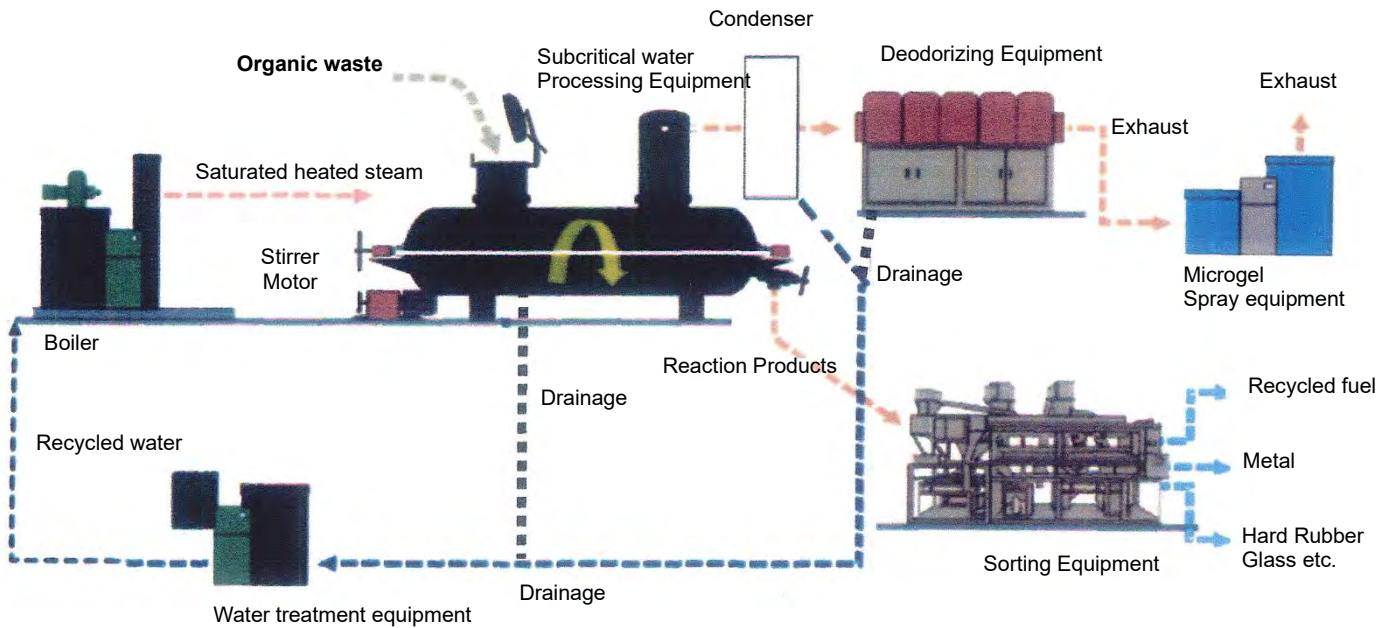
### Context:

- Typical wood pellets: ~16–19 MJ/kg
- Coal (bituminous): ~24–30 MJ/kg
- Diesel: ~45 MJ/kg
- Biochar: ~20–25 MJ/kg (varies a lot)

So at 37.1 MJ/kg, these fuel pellets are:

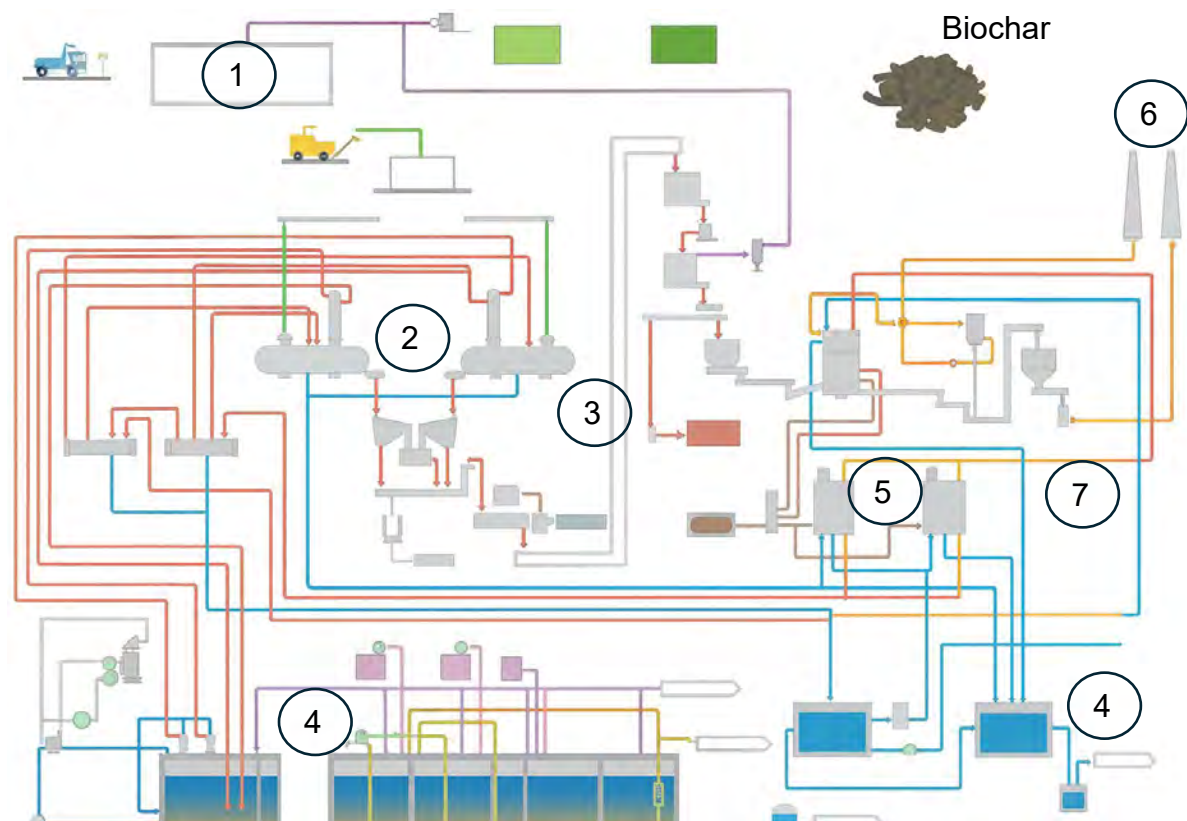
- **Much higher than wood**
- **Similar to high-quality coal**
- **Less than diesel, but still excellent**
- Ideal for high-temperature industrial processes, like SCW.

## Subcritical water treatment system flow diagram



- Exhaust gas is chemically treated so it has no effect on the outside world.
- No wastewater is discharged due to proper steam and wastewater treatment.
- After subcritical water treatment, the material is dried in a short time using heated steam.
- Since there is no incineration process, dioxins are not generated.
- Metal, glass, hard rubber, etc. are 99% recyclable. 98% of plastics can be recycled into fuel.

|                                                                                                                         |                                                                                                                                                         |                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1.Waste Reception &amp; Preprocessing</b><br>Truck reception<br>Shredding & tumbling<br>Hopper and loading conveyors | <b>2. Reactor System</b><br>Reactors (x3 assumed)<br>Heated water input<br>Discharge of processed material<br>Gas separation or venting (if applicable) | <b>3. Biochar Sorting &amp; Refining</b><br>Metal separation<br>Inorganics removal<br>Biochar cooling<br>Pelletization | <b>4.Water Circulation &amp; Recycling</b><br>Hot water collection from reactors<br>Cooling & filtration<br>Chemical treatment (neutralization, etc.)<br>Reuse into reactor input |
| <b>5. Boiler System (Electric)</b><br>Electric boiler(s)<br>Thermal energy supply loop                                  | <b>6. Emissions &amp; Scrubbing (if required)</b><br>Flue gas treatment<br>Optional odor/gas scrubbers<br>Safe atmospheric release                      | <b>7. Final Product Handling</b><br>Biochar coal storage<br>Product ready for sale (eg, Huntly or other clients)       |                                                                                                                                                                                   |



**Input**

1. Saturated steam (for preheating) is introduced into the jacket.
2. Feedstock (generally municipal solid waste) is loaded into the vessel.

**Heating & Pressurizing**

1. Saturated steam is introduced into the pressure vessel.
2. The agitator rotates to stir and knead the material while promoting hydrothermal decomposition (reforming).

**Pressure Reduction & Drying**

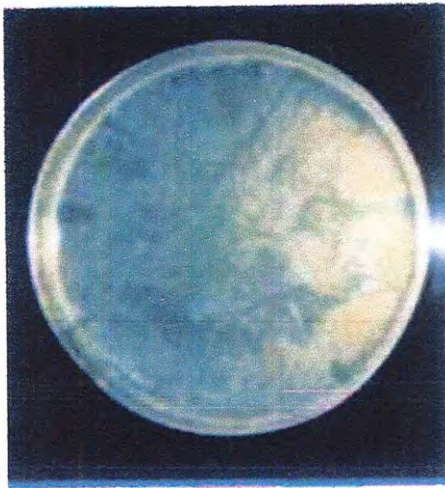
1. Pressure is released from the vessel, and steam is vented. The vented steam is processed in a condensate recovery system.
2. Residual gas is treated with an odor control device.
3. As steam is released and drying progresses, moisture content drops, and the material becomes a powder.

**Discharge**

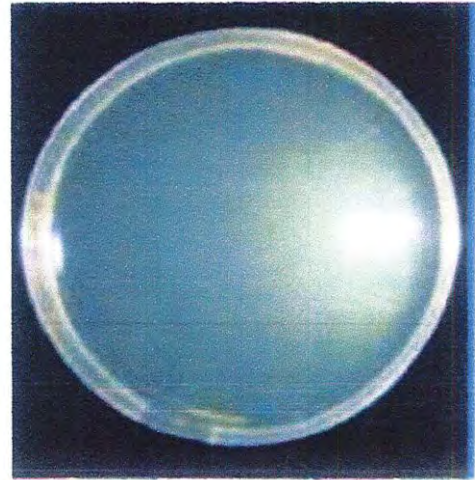
1. The agitator rotation causes the material to be discharged automatically.
2. Foreign objects near the discharge port are removed using a screen or mesh.



Use of high-temperature, high-pressure processed materials as fuel  
Results of the medical waste disposal inspection



Pre-treatment E. coli test results  
treatment E. coli test results

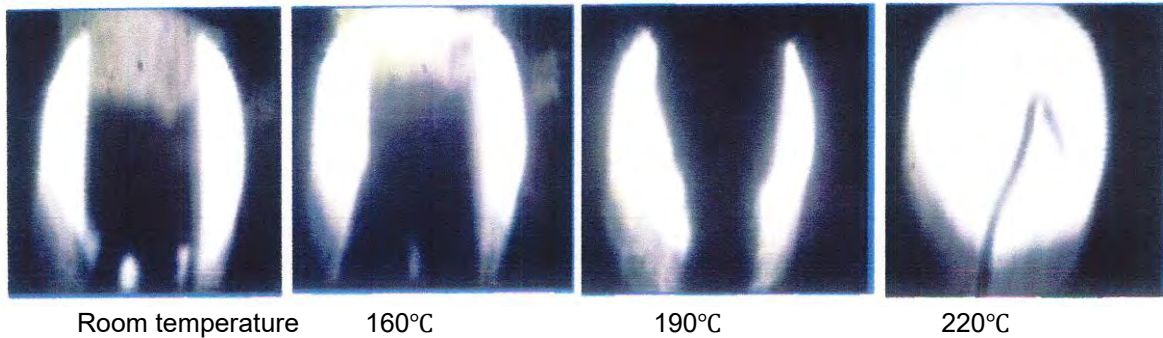


Post-

Processing materials, including viruses, can be completely sterilized

Tested at the Hokkaido Pharmaceutical Association Public Health  
Testing Center

## Decomposition state of polypropylene under subcritical conditions



Decomposition of polyethylene and polypropylene

Polymer  $\rightarrow$  Oligomer  $\rightarrow$  Monomer (partial)

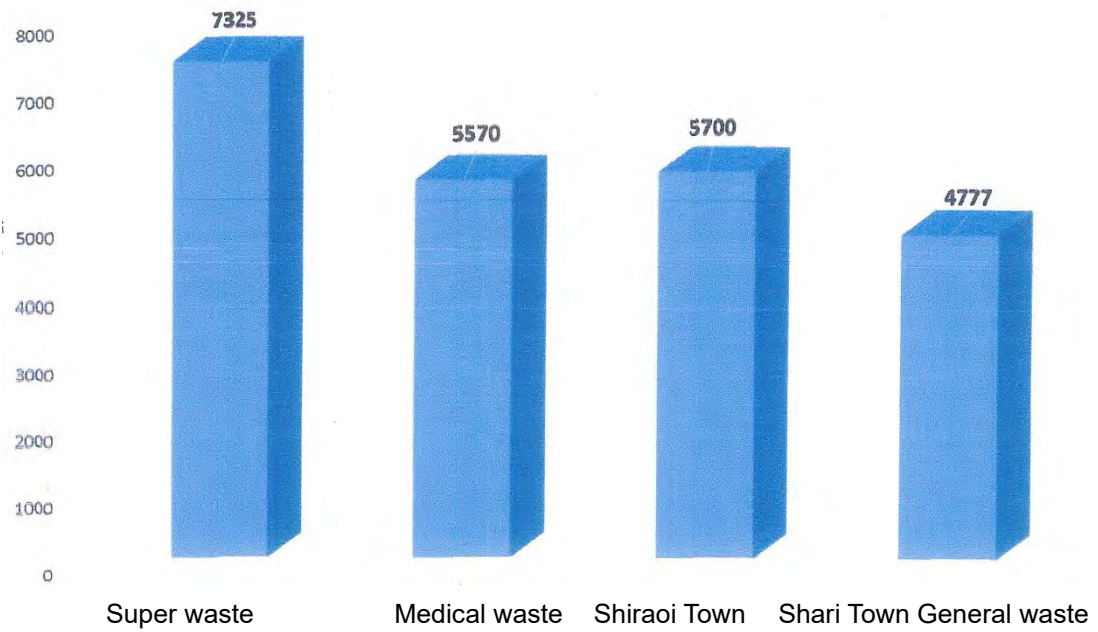
Decomposition of vinyl chloride

Polymer  $\rightarrow$  Dechlorination  $\rightarrow$  Polymerization

What happens inside the reaction vessel?

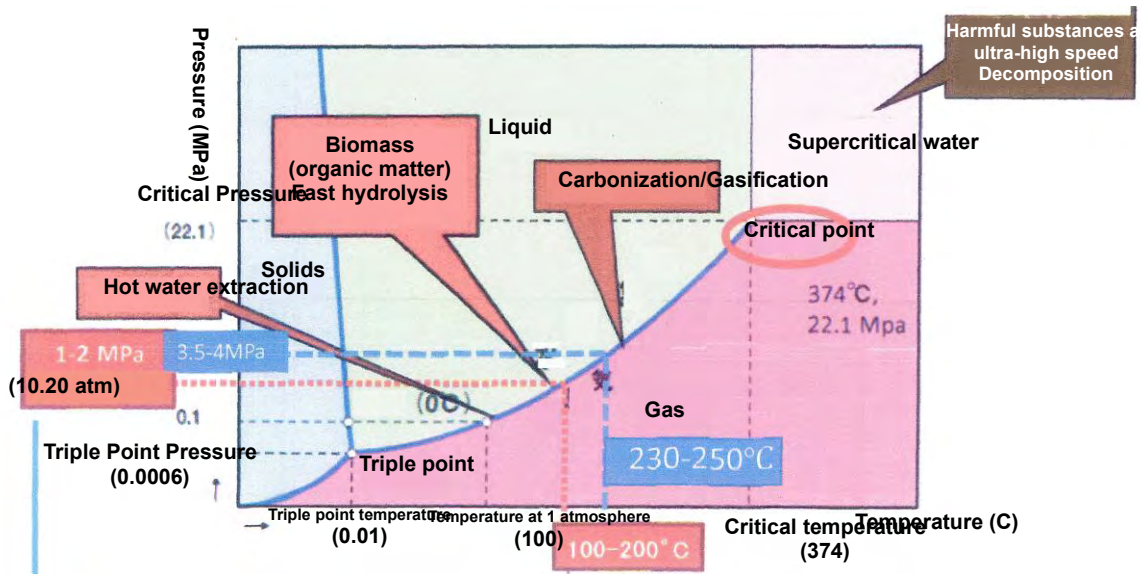
Melting of plastics, dissolution in water, hydrolysis, oxidation

## Total calorific value of fuel produced by subcritical water treatment of organic waste



## Principles and applications of subcritical water treatment technology (comparison with other companies' equipment)

The SC system processes efficiently at 230-250°C.



### Subcritical Water Technology

Utilizes subcritical water below the critical point (a temperature of 100-200°C and a pressure of 10-20 atmospheres, which is easy to handle as a guideline for commercialization). Various types of biomass (organic matter) are hydrolyzed in a short time and uniformly mixed using a horizontal shaft mixer, enabling stable and low-cost resource recycling.

### Biomass

#### Recycling of waste (example)

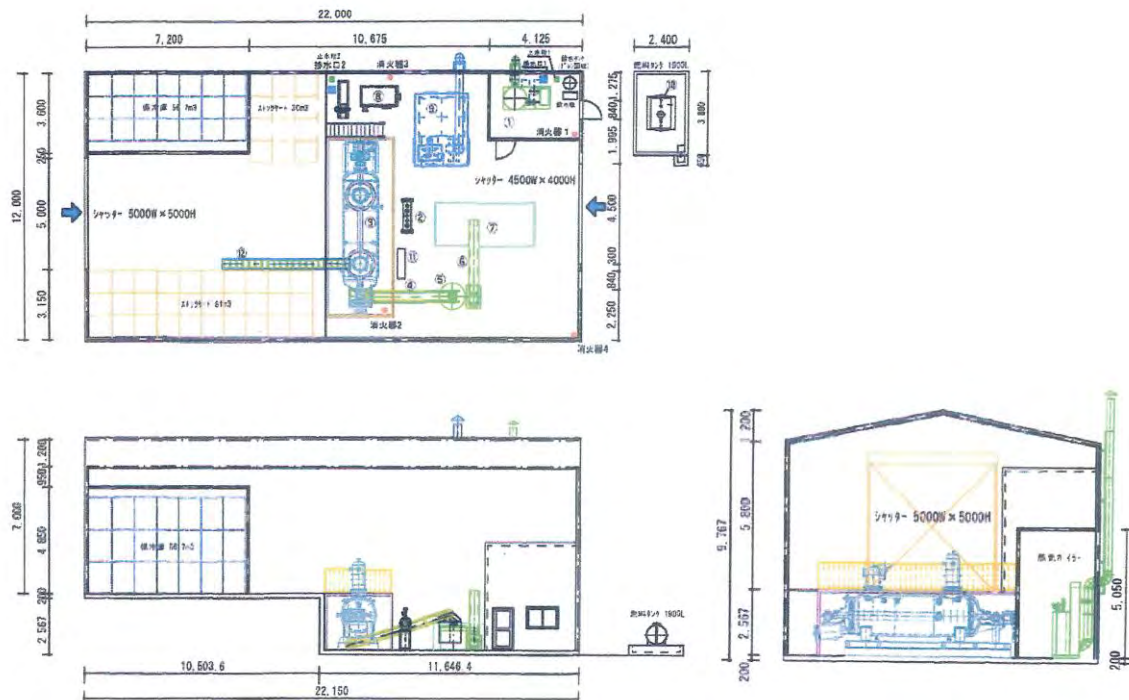
1. Rapid hydrolysis of municipal waste (raw material for composting and dry methane fermentation)
2. Producing amino acids from fish waste protein (liquid fertilizer and animal feed)
3. Roughage production from wood (by-product: fulvic acid production)

## Processing system capacity

|   |                                  | Unit    | Number |                                                                                               |
|---|----------------------------------|---------|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Operating time                   | Time    | 24     |                                                                                               |
| 2 | Operating time for one batch     | Time    | 2-3    | Ethanol raw material and methane gasification takes 1-1.5 hours                               |
| 3 | Can body capacity                | m3      | 10     |                                                                                               |
| 4 | Processing volume per batch      | m3      | 8      |                                                                                               |
| 5 | Number of batches per day        | Batch   | 7      | Ethanol methane gasification: 15 batches/day                                                  |
| 6 | Bulk density of treated material |         | 0.3    |                                                                                               |
| 7 | Processing per day               | m3/day  | 56     | The amount of waste to be processed varies depending on the type (specific gravity) of waste. |
| 8 |                                  | ton/day | 17     |                                                                                               |
| 9 | 1 lot of residue per day         | ton/day | 9      |                                                                                               |

Up to six systems are required to treat 100 tons of waste per day, but if multiple systems are installed, the boiler, deodorizing equipment, and post-treatment equipment can be shared, reducing installation costs and the space required.

SC system: Example of one unit installed in a hospital (10m3)



## Major delivery records of subcritical processing equipment

|      |                                                                                      |                                                    |                |              |  |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------|--------------|--|
| 2001 | Rumoi City, Kodaira City Nishimura Industrial                                        | Sewage Sludge Fuel Conversion                      | Old Model 5m3, | 2 Units      |  |
| 2002 | Otaru City Supermarket Shiga Supermarket                                             | Residual Feed and Fertilizer                       | New 5m3, 3m3   | 4 units each |  |
| 2003 | Mikasa City Muto Pharmaceutical Wholesaler                                           | Medical waste fuel conversion                      | New type 3m3   | 1 unit       |  |
| 2003 | Kushiro City Eco Able (hospital organization)                                        | New medical waste fuel conversion system           | 5m3            | 2 units      |  |
| 2004 | Shaseicho Hokuto Industrial                                                          | Medical waste fuel conversion                      | New type 5m3   | 1 unit       |  |
| 2005 | Hiroshima Prefecture Kurehiyo Co., Ltd.                                              | Medical waste fuel conversion                      | new type 5m3   | 2 units      |  |
| 2006 | Eniwa City Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries Animal Quarantine Station | Animal Residue Safe Sterilization/Volume Reduction | New Model 5m3  | 1 unit       |  |
| 2006 | Akita Prefecture Olympus Industrial Subsidiary                                       | Medical Waste to Fuel                              | New Model 10m3 | 5 Units      |  |
| 2008 | Shiraoi Town Shiraoi Town Recycling Center Ikuichi                                   | Refuse to Fuel                                     | New Model 12m3 | 3 units      |  |
| 2009 | Shari Town Shari Town Yumearu Municipal                                              | Waste to Fuel                                      | New Model 12m3 | 2 units      |  |
| 2012 | Otaru City Super Shiga                                                               | Super Residual Fuel                                | New Model 10m3 | 1 unit       |  |
| 2019 | Kushiro City Fuso Co., Ltd. Pacific Group Waste production                           | feed and fertilizer                                | New type 10m3  | 1 unit       |  |
| 2020 | Mikasa City Yuko Shoji Co., Ltd.                                                     |                                                    | New 10m3       | 1 unit       |  |

In addition, three 3.5m3 experimental devices and three 10m3 reaction vessels were supplied for major beverage manufacturers and five other companies.

| Code  | Name                        | Specification Summary (Simplified)                                           | Qty | Voltage (V) | Power (kW) |
|-------|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-----|-------------|------------|
| R-1   | High Pressure Reaction Tank | 10L internal, max 30 kg/cm <sup>2</sup> , temp range ~250°C, electric heater | 1   | 200         | 7.44       |
| OT-1  | Oil Tank                    | Capacity 1250 x 1250 x 1500H, electric heater, circulation system            | 1   |             |            |
| SB-1  | Steam Boiler                | Capacity 2000 kg/h, pressure 1.5 MPa, fuel oil burner, blower, pump system   | 1   | 200         | 15.1       |
| MS-1  | Mixer                       | With agitator, capacity: 70 L/min                                            | 1   | 100         | 0.15       |
| RE-1  | Soft Water Supply           | Ion exchange resin tower system                                              | 1   | 200         | 0.13       |
| RET-1 | Salt Water Tank             | Capacity 750L, 910H, heater included                                         | 1   | 200         | 0.02       |
| DO-1  | Flue Gas Absorber           | Tower system, circulation pump                                               | 1   | 200         | 0.01       |
| SH-1  | High Pressure Pump          | Up to 300 kg, discharge 2000 L/h                                             | 1   |             |            |
| GF-1  | Glass Filter                | SUS filter with pressure outlet 100A                                         | 1   |             |            |
| HE-1  | Condenser                   | Cooling water flow 470 L/min, SUS cooling coils                              | 1   |             |            |
| EF-1  | Exhaust Fan                 | Capacity 300φ x 1500L/min x 0.05 MPa                                         | 1   | 200         | 5.5        |
| HG-1  | Heat Exchanger              | Plate-type, 1500 L/h, double pipe cooling                                    | 1   |             |            |
| DD-2  | Condensate Tank             | Capacity 3500 L, pressure 0.5 MPa                                            | 1   |             |            |
| CT-1  | Cooling Tower               | Cooling range: 37°C → 32°C                                                   | 1   | 200         | 2.5        |
| GT-1  | Glycol Tank                 | Circulation flow: 5 L/min, insulation 98% or more                            | 1   |             |            |

| Code  | Name                    | Specifications                                                                                    | Qty | Phase | Voltage (V) | Power (kW) |
|-------|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-------|-------------|------------|
| DT-1  | Adjustment Tank         | PVC-resistant, 2.0m dia, 700W x 1500L x 2000H, with external soil resistance, manhole, vent, etc. | 1   |       |             |            |
| DT-2  | Drain Tank              | PVC-resistant, 1.5m dia, 700W x 1200L x 2000H, same features as above                             | 1   |       |             |            |
| DP-1  | Drainage Pump           | For DT-2, SUS corrosion-resistant hot water type, 40φ x 32φ x 80ℓ/min x 15m                       | 1   | 3     | 200         | 0.75       |
| DP-2  | Drainage Pump           | For DT-1, SUS corrosion-resistant hot water type, 40φ x 32φ x 100ℓ/min x 15m                      | 1   | 3     | 200         | 0.75       |
| CDP-1 | Cooling Water Pump      | Coiled pump, 66φ x 50φ x 470ℓ/min x 20m, with anti-leakage operation                              | 2   | 3     | 200         | 3.7        |
| WP-1  | Supply Water Pump       | Cross-flow pressurized water supply, 40φ x 100ℓ/min x 50m                                         | 1   | 3     | 200         | 1.1 x 2    |
| DE-1  | Water Purification Unit | Oxidation system filter tank, capacity 10m <sup>3</sup> /day, 5.0 x 5.0 x 2.5H                    | 1   | 3     | 200         |            |
|       |                         | Pump inside (3φ x 200V x 1.5kW x 4), with AC200V control and monitoring system                    |     |       |             |            |
| MS-1  | Magnetic Separator      | With vibration feeder, steel & stainless integration, 1000kg/h capacity                           | 1   | 3     | 200         | 2.0        |
| GS-1  | Specific Gravity Sorter | Wind & vibration type, 1700L x 1560W, max 160m <sup>3</sup> /h, 960rpm, spring-mounted            | 1   | 3     | 200         | 2.0        |
| TM-1  | Conveyor                | For solid waste input                                                                             | 1   | 3     | 200         |            |
| TM-2  | Conveyor                | For sorted waste discharge                                                                        | 1   | 3     | 200         |            |
| TM-3  | Conveyor                | For solid fuel tank input                                                                         | 1   | 3     | 200         |            |
| -     | Structure               | Steel stairs, handrail, and accessories                                                           | 1   |       |             |            |

# Detoxification of PFAS Using Subcritical Water Decomposition of Environmentally Persistent Perfluorooctanesulfonate (PFOS)

亜臨界水で有機フッ素化合物を無害化  
環境残留性のパーフルオロオクタンスルホン酸 (PFOS) を分解

Hisao Hori

h-hori@aist.go.jp

Head of the Unregulated Substances Research Group, Environmental Management Technology Department (Tsukuba Center)

In 1993, he joined the National Institute for Resources and Environment, which is part of the Agency of Industrial Science and Technology. From 1997 to 1998, he was a visiting researcher at the Max Planck Institute, and in 2001, he became a senior researcher in the Environmental Management Technology Department at AIST, following its transition to an independent administrative institution. Since May 2004, he has held his current position. He has worked on decomposing environmentally harmful substances using low-energy methods (such as photocatalysis) and converting them into value-added materials. Currently, he is focused on the decomposition and detoxification of organic fluorine compounds like PFOS and PFOA, whose risks have recently become apparent, using photocatalysis, subcritical water\*, and other methods. He is also involved in elucidating their reactivity to understand environmental behavior, as well as generating hydrogen from glycerin waste.



\* Subcritical water is water that is heated to high temperatures but kept under pressure so it remains in a liquid state.

Perfluorooctanesulfonate (PFOS) and related chemicals have been widely used as surface treatment agents, emulsifiers, and similar applications. Due to their high stability, they persist in the environment and accumulate in living organisms. PFOS is particularly concerning because of its tendency to bioaccumulate, and continuous exposure raises concerns about its potential toxicity.

We discovered that PFOS and related substances can be effectively decomposed into fluoride ions when iron powder is added to their aqueous solutions in subcritical water conditions. Moving forward, we aim to apply this method to wastewater treatment and fluorine resource recycling.

## Organic Fluorine Compounds 'PFOS'

Organic fluorine compounds, composed of carbon and fluorine atoms, possess exceptional properties such as high heat resistance, chemical resistance, the ability to foam in organic solvents, and minimal light absorption—characteristics that cannot be achieved by other substances. As a result, they have been used in various industries. Although these compounds are not used in large quantities, their extreme chemical and thermal stability often results in their persistence in the environment.

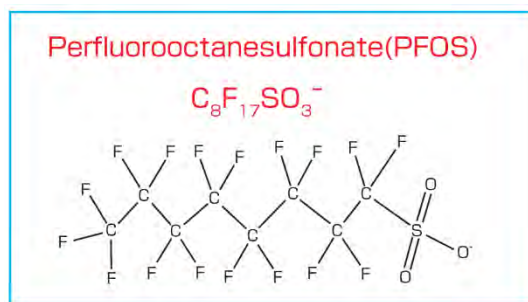


Figure 1: Chemical Structure of PFOS

PFOS (an abbreviation for Perfluorooctanesulfonate) is referred to as 'Perfluorooctanesulfonic acid' in Japanese, but strictly speaking, it refers to the anion of Perfluorooctanesulfonic acid ( $\text{C}_8\text{F}_{17}\text{SO}_3\text{H}$ ), which is  $\text{C}_8\text{F}_{17}\text{SO}_3^-$  (Figure 1). PFOS and related substances have been used in water repellents, surface treatment agents, anti-fouling agents, fire-fighting foams, and coatings. However, due to their global environmental persistence and bioaccumulation, in April 2002, the U.S. Environmental Protection Agency (EPA) imposed regulations limiting their use. In November of the same year, the Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) published the results of a risk assessment. In December, PFOS was also designated in Japan under the 'Chemical Substances Control Law' (presently categorized as a Type II Monitoring Chemical). In June 2005, at the Conference of the Parties to the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants (POPs), it was proposed that PFOS be added to the list of regulated substances, marking the beginning of international regulatory efforts.

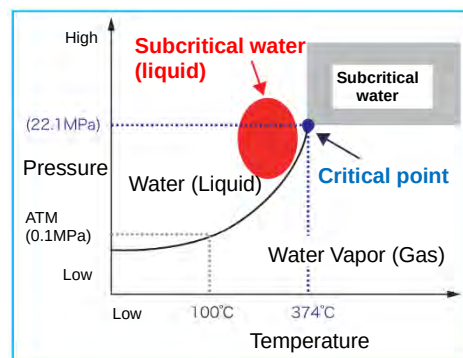


Figure 2: Water State Diagram

To prevent harmful chemicals from adversely affecting the environment and living organisms, they must be used appropriately to avoid leakage into the environment, and the resulting waste must be detoxified. However, PFOS is highly stable (the carbon-fluorine bond is one of the strongest covalent bonds formed by carbon), and incinerating it requires an enormous amount of energy. Additionally, the hydrofluoric acid gas produced during incineration can damage the walls of incinerators. Therefore, the development of a low-cost and effective method for decomposing and detoxifying PFOS has been highly desired.

PFOS and related substances are often found in water (such as wastewater) due to their various applications. If they can be decomposed into fluoride ions ( $\text{F}^-$ ), they can be converted into environmentally harmless calcium fluoride ( $\text{CaF}_2$ , fluorite) through existing wastewater treatment processes. Calcium fluoride can also be recycled, as it can be processed into hydrofluoric acid, an important industrial material.

### Characteristics of Subcritical Water

We discovered that when iron powder is added to water containing PFOS and placed in subcritical water conditions, it can be decomposed into fluoride ions. As is well known, when water at room temperature and atmospheric pressure (0.1 MPa) is heated, it boils at  $100^\circ\text{C}$  and turns into gas (water vapor) (Figure 2). When heated under higher pressure, the boiling temperature increases. At a pressure of

22.1 MPa, water boils at 374°C, but if the pressure is increased further, the boiling phenomenon no longer occurs.

The pressure at which boiling ceases to occur (22.1 MPa) and the corresponding boiling temperature (374°C) are referred to as the critical point. Water that is at a temperature and pressure beyond the critical point is called supercritical water, while water in the high-temperature, high-pressure region just below the critical point is called subcritical water. Both subcritical and supercritical water possess unique properties not found in ordinary water, such as the ability to dissolve non-polar organic compounds and hydrolyze organic compounds.



*Figure 3: Pressure Vessel for PFOS Decomposition*

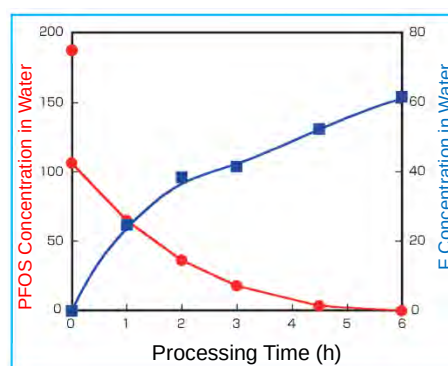


*Figure 4: Changes in PFOS Concentration During Treatment*

### PFOS Decomposition Method

The outline of the decomposition method we developed is as follows. First, PFOS-dissolved water (10 mL, PFOS concentration of 46–186 ppm) and iron powder (0.54 g) or other metal powders were placed in a stainless steel pressure vessel (internal volume of 34.3 mL) (Figure 3) in an argon gas atmosphere and subjected to subcritical water conditions at 250–350°C. After a certain period, the system was returned to room temperature, and component analysis was performed. For comparison, experiments were also conducted without the addition of metal powder, but the PFOS concentration in the water decreased only slightly (see table).

The results showed that PFOS decomposed most rapidly when iron powder was added. For example, when the initial PFOS concentration was 186 ppm, the reaction temperature was 350°C, and the pressure was 23.3 MPa, PFOS disappeared from the water within 6 hours, and fluoride ions were efficiently generated in the water simultaneously (Figure 4). The decomposition of PFOS is believed to occur on the surface of the iron. Although after 6 hours, organic fluorine compounds, either PFOS or its intermediate reaction products, were still detected on the surface of the iron, extending the treatment time resulted in the complete decomposition of PFOS into fluoride ions on the iron surface.

Using this method, it was also possible to decompose PFOS contained in surface treatment agents used in the electronics industry, as well as related compounds with carbon numbers 2 to 6 (perfluoroalkyl sulfonic acids).

| Metal  | PFOS Residual Rate in Water After Reaction (%) |
|--------|------------------------------------------------|
| None   | 90.3                                           |
| Copper | 84.7                                           |
| Zinc   | 23.1                                           |
| Iron   | 0                                              |

*Reaction conditions: Initial PFOS concentration 186 ppm, metal quantity 9.60 mmol, 350°C, 6 hours*

*Table: Effect of Metals on PFOS Decomposition*

### Future Developments

Through this research, we have developed a reaction system that effectively decomposes PFOS and related substances, for which there was previously no suitable decomposition method, into fluoride ions. Going forward, we aim to commercialize this system and expand its application to new organic fluorine materials, whose use is expected to increase. This will not only reduce the environmental risks posed by organic fluorine compounds but also contribute to the recycling of fluorine resources, which are becoming increasingly precious due to rising global demand.

# 亜臨界水で有機フッ素化合物を無害化

## 環境残留性のパーフルオロオクタンスルホン酸(PFOS)を分解

近年、表面処理剤や乳化剤などに用いられてきた一部の有機フッ素化合物が、環境水や生物中に残存していることが報告されている。PFOSはその典型で、生体での蓄積性が高く、継続的に摂取した場合の毒性の発現が懸念されている。われわれは PFOS およびその関連物質の水溶液に鉄粉を入れて亜臨界水にすると、フッ化物イオンまで効果的に分解・無害化できることを発見した。今後は、この方法を排水処理や、フッ素資源のリサイクルなどに応用していきたい。

Perfluorooctanesulfonate (PFOS) and related chemicals have been widely used as surface treatment agents, emulsifying agents and so on. Their high stability consequently results in environmental persistence and bioaccumulation. Techniques to decompose them to harmless species at stationary sources are desired. The method should involve cleavage of the C-F bonds to form  $F^-$  ions, because a waste-treatment process for  $F^-$  was already established. PFOS and other related chemicals can be efficiently decomposed to  $F^-$  ions using iron and subcritical water. This method was also effective to PFOS contained in a coating agent used in a real manufacturing process.

堀 久男 ほり ひさお  
h-hori@aist.go.jp  
環境管理技術研究部門  
未規制物質研究グループグループ長  
(つくばセンター)

1993年工業技術院資源環境技術総合研究所入所。1997-98年マックスプランク研究所客員研究員。2001年独立法により産総研環境管理研究部門主任研究員。2004年5月から現職。環境負荷物質を低エネルギーな手法（たとえば光触媒）で分解することや、付加価値の高い物質に変換することに取り組んできた。現在は PFOS/PFOA（パーフルオロオクタンスルホン酸）等のリスクが顕在化してきた有機フッ素化合物を光触媒、亜臨界水その他の方法で分解・無害化することや、環境動態把握のための反応性の解明、グリセリン廃棄物からの水素生成などに取り組んでいる。



### 有機フッ素化合物「PFOS」

炭素原子とフッ素原子で構成される有機フッ素化合物は、耐熱性や耐薬品性に優れ、有機溶媒中でも発泡できることや、光をほとんど吸収しないといった他の物質では実現できない特異的な性質を持つため多くの産業で使われてきた。これらの化合物は大量に使用されているわけではないが、化学的にも熱的にもきわめて安定なため環境中に残留することが多い。

PFOS (Perfluorooctanesulfonate の略称)は、日本語ではパーフルオロオクタンスルホン酸と呼ばれるが、厳密にはパーフルオロオクタンスルホン酸 ( $C_8F_{17}SO_3H$ ) の陰イオン ( $C_8F_{17}SO_3^-$ ) で

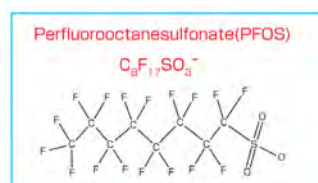


図1 PFOSの化学構造

ある(図1)。PFOSとその関連物質は、撥水剤、表面処理剤、防汚剤、消火剤、コーティング剤などに用いられてきたが、地球規模での環境残留性と生体蓄積性が明らかになったため、2002年4月に米国環境保護局(EPA)が用途を限定する規制を行い、同年11月に経済協力開発機構(OECD)がリスクアセスメントの結果を公表した。同年12月には、わが国でも「化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律(化審法)」の指定物質(現在の第二種監視化学物質)になった。2005年6月には、残留性有機汚染物質に関するストックホルム条約(POPs条約)締約国会議において対象物質に加えるように提案され、国際的にも本格的な規制が検討される段階になっている。

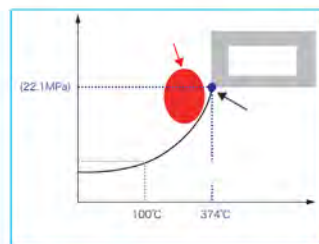


図2 水の状態図

有害化学物質の環境や生物への悪影響を防止するためには、環境に漏洩しないように適切に使用し、発生する廃棄物を無害化する必要がある。ところがPFOSは非常に安定(炭素-フッ素結合は炭素が形成する共有結合で最強)で、焼却するには膨大なエネルギーを必要とするだけでなく、生成するフッ化水素ガスが焼却炉の壁材を傷めるなどの問題もある。そこで、これを低コストで効果的に分解・無害化する方法の開発が望まれていた。

PFOSと関連物質の廃棄物は、その用途から水中(排水中)に存在する場合が多い。もしこれをフッ化物イオン(F<sup>-</sup>)まで分解できれば、既存の排水処理法によって環境に無害なフッ化カルシウム(CaF<sub>2</sub>、螢石)に変換することができる。フッ化カルシウムは、酸処理で重要な工業原料であるフッ化水素酸にできるため、再資源化も可能になる。

#### 亜臨界水の特性

われわれは、PFOSを含む水に鉄粉を入れて亜臨界水の状態にすると、フッ化物イオンにまで分解できることを発見した。周知のように、室温で大気圧(0.1 MPa)下にある水を加熱すると100℃で沸騰して気体(水蒸気)になる(図2)。より高圧の下で加熱すると沸騰温度は高くなる。圧力22.1 MPaで水を加熱すると374℃で沸騰するが、さらに高圧にして水を加熱すると沸騰現象は見られなくなる。



図3 PFOS分解用耐圧容器

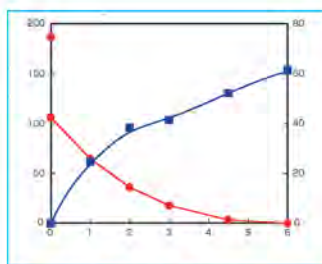


図4 処理によるPFOS濃度の変化

沸騰が起こる最後の圧力(22.1 MPa)と、その場合の沸騰温度(374℃)を臨界点と言い、臨界点を超える温度・圧力の状態にある水を超臨界水、臨界点よりもやや低い領域にある高温、高圧の水(液体)を亜臨界水と言う。亜臨界水や超臨界水は、無極性の有機化合物を溶解したり、有機化合物を加水分解するなど、普通の水にはない性質を持っている。

#### PFOSの分解法

今回開発した分解法の概略は以下の通りである。まず、ステンレス製の耐圧容器(内容積343 mL)(図3)にアルゴンガス雰囲気中でPFOSの溶けた水(10 mL、PFOS濃度46~186 ppm)と鉄粉(0.54 g)もしくは他の金属粉を入れ、250~350℃の亜臨界水の状態にした。一定時間の経過後、室温に戻し、成分分析を行った。比較のため金属粉を入れない場合についても実験を行ったが、水中のPFOS濃度はわずかに減少しなかった(表)。

結果は、鉄粉を入れた場合にPFOSは最も迅速に分解した。例えば、PFOSの初期濃度が186 ppm、反応温度350℃、圧力23.3 MPaの場合、PFOS

| 金属の種類 | 反応後の水中のPFOS<br>残存率(%) |
|-------|-----------------------|
| なし    | 90.3                  |
| 銅     | 84.7                  |
| 亜鉛    | 23.1                  |
| 鉄     | 0                     |

反応条件: PFOS初期濃度186 ppm、  
金属量9.60 mmol、350℃、6時間

表 PFOS分解に対する金属の効果

は6時間で水中から消失し、同時に水中にはフッ化物イオンが高效率で生成した(図4)。PFOSの分解は鉄の表面で起こると考えられる。なお、6時間では鉄の表面にまだPFOSまたはその反応中間体である有機フッ素化合物が検出されたが、処理時間を延長すると鉄の表面のPFOSもフッ化物イオンまで完全に分解した。この方法によれば、電子工業で実際に使用されている表面処理剤中のPFOSや、炭素数2~6の関連物質(パーフルオロアルキルスルホン酸類)の分解も可能であった。

#### 今後の展開

この研究によって、これまで適当な分解処理方法がなかったPFOSと関連物質について、フッ化物イオンまで効果的に分解できる反応システムを開発した。今後はこのシステムを実用化するとともに、その対象を、これから使用の増加が見込まれる新しい有機フッ素材料にも拡大する。そして、有機フッ素化合物の環境リスクを低減するだけでなく、世界的に需要が増加して貴重になりつつあるフッ素資源のリサイクルにも貢献していきたい。

#### 関連情報

- H. Hori et al., Environmental Science & Technology 40, 1049-1054 (2006).
- 特願 2005-127715 「フッ素系有機化合物の熱水分解法」(堀 久男)
- H. Hori et al., Environmental Science & Technology 39, 2383-2388 (2005).

**Subcritical Water (SCW) System  
Verified Installation & Laboratory Performance Documentation  
Official English Translation of Japanese Laboratory Reports**

**Document Purpose**

This document presents a complete English translation of certified Japanese laboratory reports and installation drawings relating to an operational Subcritical Water (SCW) waste processing system deployed in Japan.

The attached materials demonstrate:

- Compact facility installation layout
- Solid product (fuel/char) laboratory analysis
- Treated process water laboratory analysis
- Independent testing conducted by a licensed Japanese environmental measurement laboratory

The original Japanese documents are included in full for transparency and reference.

**Origin of Documents**

Testing was performed by:

**Hokutan General Service Co., Ltd.**

Measurement Certification Business Registration No. 628

Environmental Center – Hokkaido, Japan

All laboratory analyses were conducted in accordance with applicable **JIS (Japanese Industrial Standards)** testing methods.

Reports were issued in 2013 in relation to the **Shiraoi Town Biomass Fuel Production Facility**

**Summary of Verified Results**

**Solid Product (Fuel/Char):**

- Gross Calorific Value: 22,000 kJ/kg (5,300 kcal/kg)
- Moisture: 3.5%
- Ash: 8.3%
- Total Chlorine: 0.23 wt%
- Total Sulfur: 0.04 wt%
- Total Nitrogen: 0.50 wt%

**Treated Process Water:**

- pH: 7.7
- BOD: 9.0 mg/L
- Suspended Solids: Not Detected
- Heavy Metals: Within detection limits
- VOCs: Not detected within laboratory limits

Full analytical tables are provided in subsequent pages.

**Technical Clarification**

The system described operates under **Subcritical Water conditions** (below 374°C / 22 MPa) and produces a solid carbon-rich product.

It is distinct from **Supercritical Water Gasification**, which is designed to maximise gaseous output (hydrogen or syngas).

A technical comparison summary is included within this document.

**Translation Statement**

This document is a direct English translation of original Japanese laboratory reports and facility drawings.

Technical terminology and JIS testing references have been preserved for accuracy.

Original Japanese source documents are attached for verification.

Prepared by:

Rodney Hellyer

Japanese Solutions Ltd

Auckland, New Zealand

# Full English Translation – Installation Layout Drawing

**Original Document Title:**

Waste Treatment Facility SPP-5 (Scale 1:200)

**Drawing Description:**

The drawing illustrates a compact enclosed waste treatment installation layout including reactor vessel, material feed system, discharge area, control area, and associated equipment within a standard industrial building footprint.

**Key Features Identified on Drawing:**

| Component         | Description                                            |
|-------------------|--------------------------------------------------------|
| Reactor Area      | Primary subcritical water reaction vessel installation |
| Feed System       | Material intake and conveyor/auger system              |
| Discharge Area    | Char/product removal area                              |
| Control Panel     | Operational monitoring and control station             |
| Building Envelope | Enclosed industrial structure                          |
| Scale             | 1:200                                                  |

The layout confirms a compact installation suitable for integration within existing industrial or waste facility zoning without requirement for combustion stack infrastructure.

# Full English Translation – Laboratory Analysis Report

## Report Type:

Analysis Results Report (Pages 1–5 translated summary)

Solid Product (Fuel/Char) Analysis:

| Parameter             | Unit    | Result | Test Standard |
|-----------------------|---------|--------|---------------|
| Gross Calorific Value | kJ/kg   | 22,000 | JIS Z 7302-2  |
| Gross Calorific Value | kcal/kg | 5,300  | JIS Z 7302-2  |
| Moisture              | wt%     | 3.5    | JIS Z 7302-3  |
| Ash Content           | wt%     | 8.3    | JIS Z 7302-4  |
| Metallic Aluminium    | wt%     | 0.56   | JIS Z 7302-5  |
| Total Chlorine        | wt%     | 0.23   | JIS Z 7302-6  |
| Total Sulfur          | wt%     | 0.04   | JIS Z 7302-7  |
| Total Nitrogen        | wt%     | 0.50   | JIS Z 7302-8  |

Treated Wastewater Analysis:

| Parameter                       | Unit | Result                | Method                 |
|---------------------------------|------|-----------------------|------------------------|
| pH                              | –    | 7.7                   | JIS K 0102             |
| Biochemical Oxygen Demand (BOD) | mg/L | 9.0                   | JIS K 0102 21          |
| Suspended Solids                | mg/L | Not Detected          | JIS K 0102             |
| Phenols                         | mg/L | 0.03                  | JIS K 0102             |
| Copper                          | mg/L | 0.06                  | ICP Spectrometry       |
| Zinc                            | mg/L | 0.69                  | ICP Spectrometry       |
| Total Nitrogen                  | mg/L | 180                   | UV Absorption Method   |
| Total Phosphorus                | mg/L | 0.13                  | Molybdenum Blue Method |
| Dioxins                         | ng/L | Extremely Low (trace) | JIS method             |

Note: Many volatile organic compounds and chlorinated compounds were reported as Not Detected within laboratory detection limits. Testing performed by licensed Japanese environmental laboratory.

# Subcritical Water (SCW) System

## Installation and Verified Performance Summary

### ***Purpose:***

This document summarises verified technical data from operational Subcritical Water (SCW) facilities in Japan, including installation footprint, solid product laboratory analysis, and treated wastewater laboratory analysis.

### ***Installation Footprint:***

The system is designed for enclosed processing within a standard industrial building footprint. The example layout demonstrates a compact installation without combustion stack and with moderate land requirements, suitable for co-location within existing waste infrastructure zones.

### ***Solid Product (Char) – Laboratory Analysis:***

| Parameter             | Result                       |
|-----------------------|------------------------------|
| Gross Calorific Value | 22,000 kJ/kg (5,300 kcal/kg) |
| Moisture              | 3.5%                         |
| Ash                   | 8.3%                         |
| Chlorine              | 0.23%                        |
| Sulfur                | 0.04%                        |
| Nitrogen              | 0.50%                        |

### ***Treated Wastewater – Laboratory Analysis:***

| Parameter        | Result                        |
|------------------|-------------------------------|
| pH               | 7.7                           |
| BOD              | 9.0 mg/L                      |
| Suspended Solids | Not detected                  |
| Heavy Metals     | Low / within detection limits |
| Dioxins          | Trace / extremely low         |

Summary: The attached documentation demonstrates compact enclosed facility deployment, production of a quantified solid fuel product, and treated process water with contaminant levels measured in accordance with Japanese Industrial Standards (JIS).

# Technical Clarification Addendum

## Subcritical Water vs Supercritical Water Gasification

***Temperature & Pressure Regime:***

Subcritical Water (SCW) operates below the supercritical point of water (374°C / 22 MPa) and produces a solid carbon-rich product. Supercritical Water Gasification (SCWG) operates above the supercritical point and is designed to maximise hydrogen or methane gas production.

| Feature             | Subcritical SCW                      | Supercritical Gasification   |
|---------------------|--------------------------------------|------------------------------|
| Primary Output      | Solid char                           | Combustible gas              |
| Operating Regime    | Subcritical                          | Supercritical                |
| Reactor Conditions  | Below 374°C / 22 MPa                 | Above 374°C / 22 MPa         |
| Typical Application | Waste stabilisation & carbon product | Hydrogen / syngas production |

Analysis Results Report

Control No.: F1303008-001

Page: 2 of 6

Mayor of Shiraoi Town      Yasuhiko Toda  
Measurement Certification Business Registration No. 628  
Hokutan General Service Co., Ltd.  
Environmental Center

059-1366 - 1-3-3 Akebono-cho, Tomakomai City  
TEL: 0144-55-1171 FAX: 0144-55-1173

Head Office: 9-3-3-6 Kikusui, Shiroishi-ku, Sapporo  
Environmental Measurement Engineer:      Junichi Hara [Stamped]

|                                     |                                           |
|-------------------------------------|-------------------------------------------|
| Report No.: F1303008                | Date of Issue: April 12, 2013 (Heisei 25) |
| Date Sample Received: March 1, 2013 | Sample Collected By: Client               |

Statement:

We hereby report the results of the analysis of the sample submitted by you as follows.

|                     |                                        |                    |                       |                      |
|---------------------|----------------------------------------|--------------------|-----------------------|----------------------|
| Sampling Conditions | Weather—                               | Air Temperature °C |                       | Water Temperature °C |
| Sampling Location   | Shadai / Koito Area / Takeura District |                    |                       |                      |
| Analysis Item       | Total Chlorine Dry Basis               | — °C               | Unit:                 | wt%                  |
| Analysis Method     | JIS Z 7302-6                           |                    | Quantification Limit: | 0.01                 |

| No.     | Sample Name                                                                                 | Collection Date       | Result (wt%) |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|--------------|
| 1.      | Soft Plastic A) Poly Bags                                                                   | —                     | 0.47         |
| 1.      | Soft Plastic B) Packaging Bags                                                              | —                     | 0.84         |
| 1.      | Soft Plastic C) Other 1                                                                     | —                     | 0.08         |
| 1.      | Soft Plastic C) Other 2                                                                     | —                     | 0.04         |
| 2.      | Hard Plastic                                                                                | —                     | 1.85         |
| 7.      | Kitchen Waste A) Shells                                                                     | —                     | 0.06         |
| 7.      | Kitchen Waste B) All Except Shells                                                          | —                     | 0.60         |
| 8.      | Paper (Magazines, Newspapers (including flyers), Paper Cartons, Paper Packaging, Cardboard) | —                     | 0.06         |
| 9.      | Textiles                                                                                    | —                     | 0.08         |
| 10.     | Wood                                                                                        | —                     | 0.16         |
| 11.     | Rubber / Leather A) Footwear                                                                | —                     | 23.1         |
| 11.     | Rubber / Leather B) All Except Footwear                                                     | —                     | 18.9         |
|         |                                                                                             | - No further entries- |              |
| Remarks |                                                                                             |                       |              |

Analysis Results Report

Control No.: F1303008-001

Page: 3 of 6

Mayor of Shiraoi Town      Yasuhiko Toda  
Measurement Certification Business Registration No. 628  
Hokutan General Service Co., Ltd.  
Environmental Center

059-1366 - 1-3-3 Akebono-cho, Tomakomai City  
TEL: 0144-55-1171 FAX: 0144-55-1173

Head Office: 9-3-3-6 Kikusui, Shiroishi-ku, Sapporo  
Environmental Measurement Engineer:      Junichi Hara [Stamped]

|                                     |                                           |
|-------------------------------------|-------------------------------------------|
| Report No.: F1303008                | Date of Issue: April 12, 2013 (Heisei 25) |
| Date Sample Received: March 1, 2013 | Sample Collected By: Client               |

Statement:

We hereby report the results of the analysis of the sample submitted by you as follows.

|                     |                                        |                    |                       |                      |
|---------------------|----------------------------------------|--------------------|-----------------------|----------------------|
| Sampling Conditions | Weather—                               | Air Temperature °C |                       | Water Temperature °C |
| Sampling Location   | Shadai / Koito Area / Takeura District |                    |                       |                      |
| Analysis Item       | Total Chlorine Dry Basis               | — °C               | Unit:                 | wt%                  |
| Analysis Method     | JIS Z 7302-6                           |                    | Quantification Limit: | 0.01                 |

| No.     | Sample Name                                                                                            | Sample Collection Date | Result (wt%) |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|--------------|
| 1.      | Soft Plastic A) Poly Bags                                                                              | —                      | 0.38         |
| 1.      | Soft Plastic B) Packaging Bags                                                                         | —                      | 0.63         |
| 1.      | Soft Plastic C) Other 1                                                                                | —                      | 0.11         |
| 1.      | Soft Plastic C) Other 2                                                                                | —                      | 0.05         |
| 2.      | Hard Plastic                                                                                           | —                      | 5.00         |
| 7.      | Kitchen Waste B) All Except Shells                                                                     | —                      | 0.99         |
| 8.      | Paper (Magazines, Newspapers (including flyers), Paper Packs, Paper Containers & Packaging, Cardboard) | —                      | 0.10         |
| 9.      | Textiles                                                                                               | —                      | 0.25         |
| 10.     | Wood                                                                                                   | —                      | 0.17         |
| 11.     | Rubber / Leather A) Footwear                                                                           | —                      | 22.3         |
| 11.     | Rubber / Leather B) All Except Footwear                                                                | —                      | 33.1         |
|         |                                                                                                        |                        |              |
|         |                                                                                                        | - No further entries-  |              |
| Remarks |                                                                                                        |                        |              |

Analysis Results Report

Control No.: F1303008-001

Mayor of Shiraoi Town      Yasuhiko Toda  
Measurement Certification Business Registration No. 628  
Hokutan General Service Co., Ltd.  
Environmental Center

059-1366 - 1-3-3 Akebono-cho, Tomakomai City  
TEL: 0144-55-1171 FAX: 0144-55-1173

Head Office: 9-3-3-6 Kikusui, Shiroishi-ku, Sapporo  
Environmental Measurement Engineer:      Junichi Hara [Stamped]

|                                      |                                           |
|--------------------------------------|-------------------------------------------|
| Report No.: F1301010                 | Date of Issue: April 19, 2013 (Heisei 25) |
| Date Sample Received: April 19, 2013 | Sample Collected By: Client               |

Statement:

We hereby report the results of the analysis of the sample submitted by you as follows.

|                        |                                                  |                    |                          |                      |
|------------------------|--------------------------------------------------|--------------------|--------------------------|----------------------|
| Sample Name            | Shiraoi Town Solid Fuel<br>(January Portion)     |                    |                          |                      |
| Sampling<br>Conditions | Weather—                                         | Air Temperature °C |                          | Water Temperature °C |
| Sampling<br>Location   | Shiraoi Town Biomass Fuel<br>Production Facility |                    |                          |                      |
| Analysis Item          | Total Chlorine Dry Basis                         | — °C               | Unit:                    | wt%                  |
| Analysis Method        | JIS Z 7302-6                                     |                    | Quantification<br>Limit: | 0.01                 |

| Analysis Item         | Basis                                                                                          | Unit    | Result | Quantification Limit  | Analysis Method |
|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|--------|-----------------------|-----------------|
| Gross Calorific Value | Dry Basis                                                                                      | kJ/kg   | 22,000 | 500                   | JIS Z 7302-2    |
| Gross Calorific Value | Dry Basis                                                                                      | kcal/kg | 5,300  | 100                   | JIS Z 7302-2    |
| Moisture Content      | As-Received Basis                                                                              | wt%     | 3.5    | 0.1                   | JIS Z 7302-3    |
| Ash Content           | Dry Basis                                                                                      | wt%     | 8.3    | 0.1                   | JIS Z 7302-4    |
| Metallic Aluminium    | Dry Basis                                                                                      | wt%     | 0.56   | 0.01                  | JIS Z 7302-5    |
| Total Chlorine        | Dry Basis                                                                                      | wt%     | 0.23   | 0.01                  | JIS Z 7302-6    |
| Total Sulfur          | Dry Basis                                                                                      | wt%     | 0.04   | 0.01                  | JIS Z 7302-7    |
| Total Nitrogen        | Dry Basis                                                                                      | wt%     | 0.50   | 0.01                  | JIS Z 7302-8    |
|                       |                                                                                                |         |        | - No further entries- |                 |
| Remarks               | Note: The conventional unit (kcal/kg) and its numerical value are provided for reference only. |         |        |                       |                 |

Measurement Certificate

Control No.: W1302048-001

Page: 1 of 2

Mayor of Shiraoi Town Yasuhiko Toda  
Measurement Certification Business Registration No. 628  
Hokutan General Service Co., Ltd.  
Environmental Center  
059-1366 - 1-3-3 Akebono-cho, Tomakomai City  
TEL: 0144-55-1171 FAX: 0144-55-1173

Head Office: 9-3-3-6 Kikusui, Shiroishi-ku, Sapporo

Environmental Measurement Engineer: Junichi Hara [Stamped]

|                                         |                                                                   |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Report No.: W1302048                    | Date of Issue: February 26, 2013 (Heisei 25)                      |
| Date Sample Received: February 18, 2013 | Sample Collected By: Hokutan General Service Co., Ltd. Mr. Nishio |

Statement: We hereby report the results of the analysis of the sample submitted by you as follows.

|                     |                                                                                          |                         |                          |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Sample Name         | Treated Water                                                                            |                         |                          |
| Collection Date     | February 18, 2013                                                                        | 9:32am                  |                          |
| Sampling Conditions | Weather Snow                                                                             | Air Temperature -3.0 °C | Water Temperature 19.2°C |
| Sampling Location   | Shiraoi Town Biomass Fuel Production Facility – Inside the Wastewater Treatment Building |                         |                          |

| Analysis Item                                           | Basis                                                                                                          | Unit         | Result | Quantification Limit                                                     |
|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------|--------------------------------------------------------------------------|
| Hydrogen Ion Concentration (pH)                         | —                                                                                                              | 7.7          | 0.1    | JIS K 0102 12.1 Glass Electrode Method                                   |
| Biochemical Oxygen Demand (BOD)                         | mg/L                                                                                                           | 9.0          | 0.5    | JIS K 0102 21; JIS K 0102 32.3 (Iodometric Method)                       |
| Suspended Solids (SS)                                   | mg/L                                                                                                           | Not Detected | 1      | Environmental Agency Notice No. 59 (1971) – Filtration Method            |
| n-Hexane Extractable Substances                         | mg/L                                                                                                           | Not Detected | 0.5    | Environmental Agency Notice No. 64 (1974) – Extraction / Gravimetric     |
| n-Hexane Extractable Substances (Mineral Oil)           | mg/L                                                                                                           | Not Detected | 0.5    | JIS K 0102 Appendix (Reference) – Supplementary Extraction / Gravimetric |
| n-Hexane Extractable Substances (Animal/Vegetable Oils) | mg/L                                                                                                           | Not Detected | 0.5    | JIS K 0102 Appendix (Reference) – Supplementary Extraction / Gravimetric |
| Phenols                                                 | mg/L                                                                                                           | 0.03         | 0.01   | JIS K 0102 28.1.4 4-Aminoantipyrine Spectrophotometric Method            |
| Copper                                                  | mg/L                                                                                                           | 0.06         | 0.04   | JIS K 0102 52.4 ICP Emission Spectrometry                                |
| Zinc                                                    | mg/L                                                                                                           | 0.69         | 0.04   | JIS K 0102 53.3 ICP Emission Spectrometry                                |
| Dissolved Iron                                          | mg/L                                                                                                           | 6.5          | 0.1    | JIS K 0102 57.4 ICP Emission Spectrometry                                |
| Dissolved Manganese                                     | mg/L                                                                                                           | Not Detected | 0.1    | JIS K 0102 56.4 ICP Emission Spectrometry                                |
| Chromium                                                | mg/L                                                                                                           | 0.22         | 0.05   | JIS K 0102 65.1 ICP Emission Spectrometry                                |
| Total Nitrogen                                          | mg/L                                                                                                           | 180          | 0.1    | JIS K 0102 45 UV Absorption Spectrophotometry                            |
| Total Phosphorus                                        | mg/L                                                                                                           | 0.13         | 0.03   | JIS K 0102 46.3 Peroxodisulfate Digestion Method                         |
|                                                         |                                                                                                                |              |        | - No further entries-                                                    |
| Remarks                                                 | Note: Results indicated as “Not Detected” in the measurement result column are below the quantification limit. |              |        |                                                                          |

Measurement Certificate

Control No.: W1302048-001

Page: 2 of 2

Mayor of Shiraoi Town      Yasuhiko Toda  
Measurement Certification Business Registration No. 628  
Hokutan General Service Co., Ltd.  
Environmental Center  
059-1366 - 1-3-3 Akebono-cho, Tomakomai City  
TEL: 0144-55-1171 FAX: 0144-55-1173

Head Office: 9-3-3-6 Kikusui, Shiroishi-ku, Sapporo

Environmental Measurement Engineer:      Junichi Hara [Stamped]

|                                         |                                                                   |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Report No.: W1302048                    | Date of Issue: February 26, 2013 (Heisei 25)                      |
| Date Sample Received: February 18, 2013 | Sample Collected By: Hokutan General Service Co., Ltd. Mr. Nishio |

Statement: We hereby report the results of the analysis of the sample submitted by you as follows.

|                                                          |                                                                                          |                         |                          |                                                           |
|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Sample Name                                              | Treated Water                                                                            |                         |                          |                                                           |
| Collection Date                                          | February 18, 2013                                                                        | 9:32am                  |                          |                                                           |
| Sampling Conditions                                      | Weather Snow                                                                             | Air Temperature -3.0 °C | Water Temperature 19.2°C |                                                           |
| Sampling Location                                        | Shiraoi Town Biomass Fuel Production Facility – Inside the Wastewater Treatment Building |                         |                          |                                                           |
| Measurement Item                                         | Unit                                                                                     | Result                  | Quantification Limit     | Method                                                    |
| Cadmium and its Compounds                                | mg/L                                                                                     | Not Detected            | 0.001                    | JIS K 0102 55.3 ICP Emission Spectrometry                 |
| Cyanide Compounds                                        | mg/L                                                                                     | Not Detected            | 0.1                      | JIS K 0102 38.1.2, 38.3 Spectrophotometric Method         |
| Organic Phosphorus Compounds                             | mg/L                                                                                     | Not Detected            | 0.1                      | Environmental Agency Notice No. 64 (1974) Appendix 16C    |
| Lead and its Compounds                                   | mg/L                                                                                     | Not Detected            | 0.005                    | JIS K 0102 54.3 ICP Emission Spectrometry                 |
| Hexavalent Chromium Compounds                            | mg/L                                                                                     | 0.08                    | 0.02                     | JIS K 0102 65.2 Diphenylcarbazide Method                  |
| Arsenic and its Compounds                                | mg/L                                                                                     | 0.022                   | 0.005                    | JIS K 0102 61.2 Hydride Generation AAS                    |
| Mercury and Alkyl Mercury Compounds                      | mg/L                                                                                     | Not Detected            | 0.0005                   | Environmental Agency Notice No. 59 (1971) Cold Vapor AAS  |
| Alkyl Mercury Compounds                                  | mg/L                                                                                     | Not Detected            | 0.0005                   | Environmental Agency Notice No. 59 (1971) GC Method       |
| Polychlorinated Biphenyls (PCB)                          | mg/L                                                                                     | Not Detected            | 0.0005                   | Environmental Agency Notice No. 59 (1971) GC Method       |
| Fluorine and its Compounds                               | mg/L                                                                                     | Not Detected            | 0.1                      | JIS K 0102 34 Ion Selective Electrode Method              |
| Boron and its Compounds                                  | mg/L                                                                                     | 0.06                    | 0.02                     | JIS K 0102 47.3 ICP Emission Spectrometry                 |
| Ammonia, Ammonium Compounds, Nitrite & Nitrate Compounds | mg/L                                                                                     | 82                      | 0.22                     | JIS K 0102 12.2, 12.5, 43.1, 43.2 Spectrophotometric / IC |
| Dichloromethane                                          | mg/L                                                                                     | 0.001                   | 0.002                    | JIS K 0125 5.1 Purge & Trap GC-MS                         |

|                            |                                                                                                                |                 |        |                                                 |
|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|--------|-------------------------------------------------|
| Carbon Tetrachloride       | mg/L                                                                                                           | Not<br>Detected | 0.0002 | JIS K 0125 5.1 Purge & Trap GC-MS               |
| 1,2-Dichloroethane         | mg/L                                                                                                           | Not<br>Detected | 0.0004 | JIS K 0125 5.1 Purge & Trap GC-MS               |
| 1,1-Dichloroethylene       | mg/L                                                                                                           | Not<br>Detected | 0.002  | JIS K 0125 5.1 Purge & Trap GC-MS               |
| cis-1,2-Dichloroethylene   | mg/L                                                                                                           | Not<br>Detected | 0.004  | JIS K 0125 5.1 Purge & Trap GC-MS               |
| 1,1,1-Trichloroethane      | mg/L                                                                                                           | Not<br>Detected | 0.0005 | JIS K 0125 5.1 Purge & Trap GC-MS               |
| 1,1,2-Trichloroethane      | mg/L                                                                                                           | Not<br>Detected | 0.0006 | JIS K 0125 5.1 Purge & Trap GC-MS               |
| Trichloroethylene          | mg/L                                                                                                           | Not<br>Detected | 0.002  | JIS K 0125 5.1 Purge & Trap GC-MS               |
| Tetrachloroethylene        | mg/L                                                                                                           | Not<br>Detected | 0.0005 | JIS K 0125 5.1 Purge & Trap GC-MS               |
| 1,3-Dichloropropene        | mg/L                                                                                                           | Not<br>Detected | 0.0002 | JIS K 0125 5.1 Purge & Trap GC-MS               |
| Thiuram                    | mg/L                                                                                                           | Not<br>Detected | 0.0006 | Environmental Agency Notice No. 59 (1971) HPLC  |
| Simazine                   | mg/L                                                                                                           | Not<br>Detected | 0.0003 | Environmental Agency Notice No. 59 (1971) GC-MS |
| Thiobencarb                | mg/L                                                                                                           | Not<br>Detected | 0.002  | Environmental Agency Notice No. 59 (1971) GC-MS |
| Benzene                    | mg/L                                                                                                           | 0.001           | 0.001  | JIS K 0125 5.1 Purge & Trap GC-MS               |
| Selenium and its Compounds | mg/L                                                                                                           | Not<br>Detected | 0.002  | JIS K 0102 67.2 Hydride Generation AAS          |
|                            |                                                                                                                |                 |        |                                                 |
| Remarks                    | Note: Results indicated as "Not Detected" in the measurement result column are below the quantification limit. |                 |        |                                                 |







# 分析結果報告書

整理No. F1301010-001

白老町長 戸田 安彦 様

計量証明事業登録番号第628号

(株)北炭ゼネラルサービス

環境センター

〒059-1366 苫小牧市あけぼの町1丁目3番3号

TEL 0144-55-1171 FAX 0144-55-1173

本社 札幌市白石区菊水9条3丁目3番6号

環境計量士

原 淳

報告書番号 F1301010

発行年月日

平成25年 4月 9日

試料受付年月日 平成25年 3月 21日

試料採取者

依頼者

貴依頼の試料についての分析の結果を下記のとおり報告いたします。

|         |                        |         |          |      |              |
|---------|------------------------|---------|----------|------|--------------|
| 試料名     | 白老町固形燃料（1月分）           |         |          |      |              |
| 試料採取年月日 | －                      |         |          |      |              |
| 採取条件    | [天候] ー [気温] ー℃ [水温] ー℃ |         |          |      |              |
| 採取場所    | 白老町バイオマス燃料化施設          |         |          |      |              |
| 分析項目    |                        | 単位      | 分析結果     | 定量下限 | 分析方法         |
| 総発熱量    | 無水ベース                  | kJ/kg   | 22000    | 500  | JIS Z 7302-2 |
| 総発熱量    | 無水ベース                  | kcal/kg | 5300     | 100  | JIS Z 7302-2 |
| 水分      | 気乾ベース                  | wt%     | 3.5      | 0.1  | JIS Z 7302-3 |
| 灰分      | 無水ベース                  | wt%     | 8.3      | 0.1  | JIS Z 7302-4 |
| 金属アルミ   | 無水ベース                  | wt%     | 0.56     | 0.01 | JIS Z 7302-5 |
| 全塩素     | 無水ベース                  | wt%     | 0.23     | 0.01 | JIS Z 7302-6 |
| 全硫黄     | 無水ベース                  | wt%     | 0.04     | 0.01 | JIS Z 7302-7 |
| 窒素      | 無水ベース                  | wt%     | 0.50     | 0.01 | JIS Z 7302-8 |
|         |                        |         | － 以下余白 － |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |
|         |                        |         |          |      |              |

※従来単位 (kcal/kg) 及びその数値は参考値です。

備考



# 計量証明書

整理No. W1302048-002

Page. 2/2

白老町長 戸田 安彦

様

計量証明事業登録番号第628号

(株)北炭ゼネラルサービス

環境センター

〒059-1366 苫小牧市あけぼの町1丁目3番3号

TEL 0144-55-1171 FAX 0144-55-1173

本社 札幌市白石区菊水9条3丁目3番6号

環境計量士

原 淳



|         |            |       |                  |
|---------|------------|-------|------------------|
| 計量証明番号  | W1302048   | 発行年月日 | 平成25年2月26日       |
| 試料受付年月日 | 平成25年2月18日 | 試料採取者 | (株)北炭ゼネラルサービス 西尾 |

貴依頼の試料についての計量の結果を下記のとおり証明いたします。

|                        |                     |       |            |                                                   |
|------------------------|---------------------|-------|------------|---------------------------------------------------|
| 試料名                    | 放流水                 |       |            |                                                   |
| 試料採取年月日                | 平成25年2月18日          |       | 9時32分      |                                                   |
| 採取条件                   | [天候] 雪              |       | [気温] -3.0℃ | [水温] 19.2℃                                        |
| 採取場所                   | 白老町バイオマス燃料施設 排水処理棟内 |       |            |                                                   |
| 計量の対象                  | 単位                  | 計量の結果 | 定量下限       | 計量の手法                                             |
| 鉛及びその化合物               | mg/L                | 不検出   | 0.001      | JIS K 0102 55.3 ICP発光分光分析法                        |
| シアン化合物                 | mg/L                | 不検出   | 0.1        | JIS K 0102 38.1.2, 38.21-41 分光光度法                 |
| 有機燐化合物                 | mg/L                | 不検出   | 0.1        | 昭和49年 環境庁告示第64号 付表1GC法                            |
| 鉛及びその化合物               | mg/L                | 不検出   | 0.005      | JIS K 0102 54.3 ICP発光分光分析法                        |
| 六価クロム化合物               | mg/L                | 0.08  | 0.02       | JIS K 0102 65.2.1ジフェニルカルバジド吸光光度法                  |
| 砒素及びその化合物              | mg/L                | 0.022 | 0.005      | JIS K 0102 61.2水素化物発生原子吸光法                        |
| 水銀及びその化合物              | mg/L                | 不検出   | 0.0005     | 昭和46年 環境庁告示第59号 付表1原子吸光法                          |
| アルキル水銀化合物              | mg/L                | 不検出   | 0.0005     | 昭和46年 環境庁告示第59号 付表2GC法                            |
| ポリ塩化ビフェニル              | mg/L                | 不検出   | 0.0005     | 昭和46年 環境庁告示第59号 付表3GC法                            |
| ふっ素及びその化合物             | mg/L                | 不検出   | 0.1        | JIS K 0102 34.1フッ化水素-トリブチルアンモニウム吸光光度法             |
| ほう素及びその化合物             | mg/L                | 0.06  | 0.02       | JIS K 0102 47.3 ICP発光分光分析法                        |
| アンモニウム化合物亜硝酸化合物及び硝酸化合物 | mg/L                | 82    | 0.22       | JIS K 0102 42.2, 42.5, 43.1, 43.2.5蒸留-吸光法、吸光法、IC法 |
| ジクロロメタン                | mg/L                | 0.004 | 0.002      | JIS K 0125 5.1ページ・トラップ・GC-MS法                     |
| 四塩化炭素                  | mg/L                | 不検出   | 0.0002     | JIS K 0125 5.1ページ・トラップ・GC-MS法                     |
| 1,2-ジクロロエタン            | mg/L                | 不検出   | 0.0004     | JIS K 0125 5.1ページ・トラップ・GC-MS法                     |
| 1,1-ジクロロエチレン           | mg/L                | 不検出   | 0.002      | JIS K 0125 5.1ページ・トラップ・GC-MS法                     |
| trans-1,2-ジクロロエチレン     | mg/L                | 不検出   | 0.004      | JIS K 0125 5.1ページ・トラップ・GC-MS法                     |
| 1,1,1-トリクロロエタン         | mg/L                | 不検出   | 0.0005     | JIS K 0125 5.1ページ・トラップ・GC-MS法                     |
| 1,1,2-トリクロロエタン         | mg/L                | 不検出   | 0.0006     | JIS K 0125 5.1ページ・トラップ・GC-MS法                     |
| トリクロロエチレン              | mg/L                | 不検出   | 0.002      | JIS K 0125 5.1ページ・トラップ・GC-MS法                     |
| テトラクロロエチレン             | mg/L                | 不検出   | 0.0005     | JIS K 0125 5.1ページ・トラップ・GC-MS法                     |
| 1,3-ジクロロプロペン           | mg/L                | 不検出   | 0.0002     | JIS K 0125 5.1ページ・トラップ・GC-MS法                     |
| チウラム                   | mg/L                | 不検出   | 0.0006     | 昭和46年 環境庁告示第59号 付表4固相抽出HPLC法                      |
| シマジン                   | mg/L                | 不検出   | 0.0003     | 昭和46年 環境庁告示第59号付表5 (第1) 固相抽出GC-MS法                |
| チオベンカルブ                | mg/L                | 不検出   | 0.002      | 昭和46年 環境庁告示第59号付表5 (第1) 固相抽出GC-MS法                |
| ベンゼン                   | mg/L                | 0.001 | 0.001      | JIS K 0125 5.1ページ・トラップ・GC-MS法                     |
| セレン及びその化合物             | mg/L                | 不検出   | 0.002      | JIS K 0102 67.2水素化物発生原子吸光法                        |

※計量結果欄に不検出と表示されている結果は定量下限値未満を示します。

備考