

令和元年度環境省委託業務

令和元年度中小廃棄物処理施設における  
先導的廃棄物処理システム化等評価・検証事業  
＜低温脱硝システムによるエネルギー使用量の削減＞  
委託業務  
成果報告書

令和2年3月

日立造船株式会社

# 概要

## 1. 検証システムの概要

環境省では、2030 年度に温室効果ガス排出量を 2013 年度比で 26.0%減の水準にする目標を踏まえ、「廃棄物の減量その他その適正な処理に関する施策の総合的かつ計画的な推進を図るための基本的な方針」を平成 28 年 1 月 21 日に変更し、廃棄物エネルギー利用の観点での目標値を設定するとともに、エネルギー源としての廃棄物の有効利用、廃棄物エネルギーの地域での利活用等の取組を進めている。

しかしながら、中小規模（特に 100t/日未満）の一般廃棄物処理施設（以下「中小廃棄物処理施設」という）については、現時点では多くが発電設備を持たない焼却処理施設となっており、廃棄物エネルギーの有効活用（CO<sub>2</sub> 排出量削減）は十分に行われていない。このため、中小廃棄物処理施設での廃棄物エネルギーの有効活用に向けて、先導的な技術システム化等の導入が求められている。

本業務では、中小廃棄物処理施設における廃棄物エネルギー有効活用と CO<sub>2</sub> 排出量削減を促進するため、排ガスを蒸気で加熱し 200℃程度で運転している脱硝システム（以下「従来式」という）を、脱硝触媒の改良することによって 150℃で運転できる脱硝システム（以下「提案式」という）に変更し、加熱に利用される分の蒸気を発電分に利用できるように目指し、必要な評価・検証を行う。図 1 は、廃棄物処理施設のフロー図及び提案技術の適用箇所を示す。

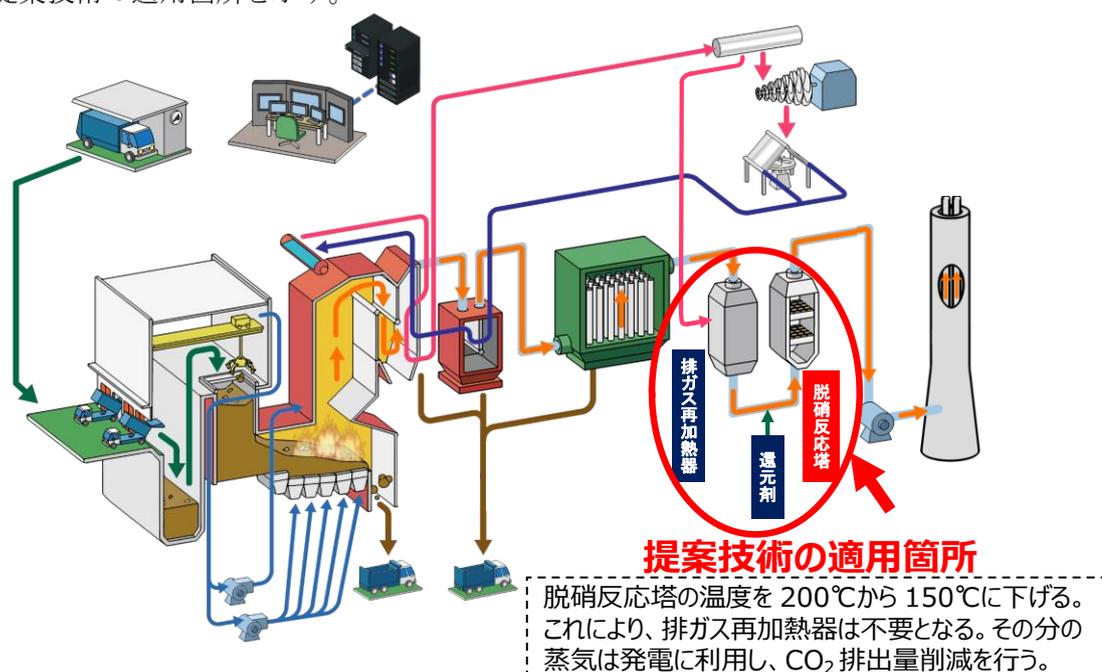


図 1 廃棄物処理施設のフロー図及び提案技術の適用箇所

本業務は2カ年で計画を進め、令和元年度は実証試験に向けた課題の抽出、対策の立案を行う。令和2年度は、廃棄物処理施設の排ガスを用いて150℃での脱硝性能を評価し、その評価結果からエネルギー起源CO<sub>2</sub>の削減効果を試算により実証し、提案式システム全体の評価・検証を行う。

## 2. 業務と結果の概要

本業務は、日立造船株式会社が実施主体となり、当該技術研究所がシステム評価を行うものである。システム評価を行うにあたり、触媒の晒し試験では、田村広域行政組合の田村西部環境センターに御協力頂いた。令和元年度の目標は、試験用触媒の再生評価と令和2年度に行う実証試験に向けた課題の抽出、対策の立案とした。本業務の主要実施事項と結果を以下に示す。

### (1) 試験装置の設計と設置

試験用触媒を排ガスに晒すことができる試験装置を設計、製作し、田村西部環境センターに設置した。試験装置は、煙道から290Nm<sup>3</sup>/hの排ガスを抜き出し、触媒に通気することができるように設計した。

### (2) 触媒製造

(1)の装置に使用する触媒の初期性能、脱硝反応の副生成物及び再生への影響を確認して、最適な触媒組成や製造方法を選択するために、組成や製造方法を変えた触媒を10種類以上製造した。

### (3) 晒し試験（田村西部環境センターにて実施）

(2)において製造した触媒の晒し試験を実施した。試験は令和2年1月～2月の間に実施し、50時間通気を行い、再生評価を行うための触媒を準備した。試験実施時のガス条件（流量、温度、硫黄酸化物(SO<sub>x</sub>)、窒素酸化物(NO<sub>x</sub>)、一酸化炭素(CO)、塩化水素(HCl)、水分、酸素(O<sub>2</sub>)、ばいじん、の各濃度)を測定した。

#### (4) 性能・再生評価

(2) において製造した触媒の初期性能評価を実施した。還元剤のアルコールと NO<sub>x</sub> のモル比 (以下「モル比」という) を変化させて評価した。結果は、モル比が 4 の時の脱硝率は 60%、モル比が 2 の時の脱硝率は 40%であった。

(3) の晒し試験後の触媒の性能評価、触媒への付着物の確認、再生評価を行った。付着物の量は、塩素成分 (Cl) を確認した。再生の方法は加熱再生を用い、加熱再生後の性能及び Cl 量と初期の性能及び Cl 量を比較し再生を評価した。結果は、加熱再生後に減少した Cl 量が多いほど、加熱再生後の性能は、初期性能同等になった。

触媒の性能評価中には、脱硝反応の副生成物の濃度を把握するために、出口ガスのアルコール、アルデヒド、CO 及び CO<sub>2</sub> の測定を行った。結果は、アルコール濃度は規制値以下であった。一方で、アルデヒド濃度、CO 濃度は反応器入口のモル比が 2 から 4 に大きくなるほど多くなり規制値を上回った。

#### (5) 実証試験に向けた課題の抽出

(2) において製造した触媒の初期性能評価、脱硝反応の副生成物、及び試験後触媒の再生結果について比較した。その結果、令和元年度での触媒組成の候補は 6 種類とした。

令和 2 年度の実証試験に向けた課題の抽出を行い、対策案について検討した。

##### ① 触媒の初期性能評価

課題：初期性能は、モル比 4 で脱硝率 60%、モル比 2 で脱硝率 40%であった。

モル比 2 の脱硝率が低いことが課題である。

対策：モル比 2 の時、脱硝率 60%の目標に向けて、触媒の活性向上あるいは触媒量の最適化を行う。

##### ② 脱硝反応の副生成物

課題：出口ガスの測定の結果、副生成物のアルデヒドと CO が規制値を越えた。

対策：副生成物の量を低減するため、触媒の活性向上を行い、モル比を低減させて規制値以下となることを目指す。

##### ③ 触媒の再生評価

課題：再生後の性能は、触媒組成により初期性能同等にならない組成があった。

対策：再生後に初期性能と同等にするため、加熱再生の条件を最適化する。

## (6) CO<sub>2</sub>削減効果

提案式の CO<sub>2</sub> 削減効果は、単純焼却、従来式、提案式の 3 パターンについて CO<sub>2</sub> 発生量を試算し、比較することで検証した。ここで、単純焼却、従来式、提案式の 3 パターンの試算に用いた前提条件は以下の通りである。

① 単純焼却

ボイラ、蒸気タービンがなく、熱回収を行わない。

② 従来式

ボイラ、蒸気タービンがあり、熱回収を行う。

150℃の排ガスを運転温度の 200℃へ昇温するために蒸気を使用する。

③ 提案式

ボイラ、蒸気タービンがあり、熱回収を行う。

150℃の排ガスは、そのまま運転に使用できるため、排ガスを昇温するための蒸気は不要である。なお、提案式では、半年に 1 回再生を行うこととした。

CO<sub>2</sub> 発生量の試算結果を比較すると、単純焼却に比べ、従来式は 52%減、提案式は 54%減となり、提案式が従来式より CO<sub>2</sub> の発生量を抑えられ、CO<sub>2</sub> 削減効果が得られる結果となった。

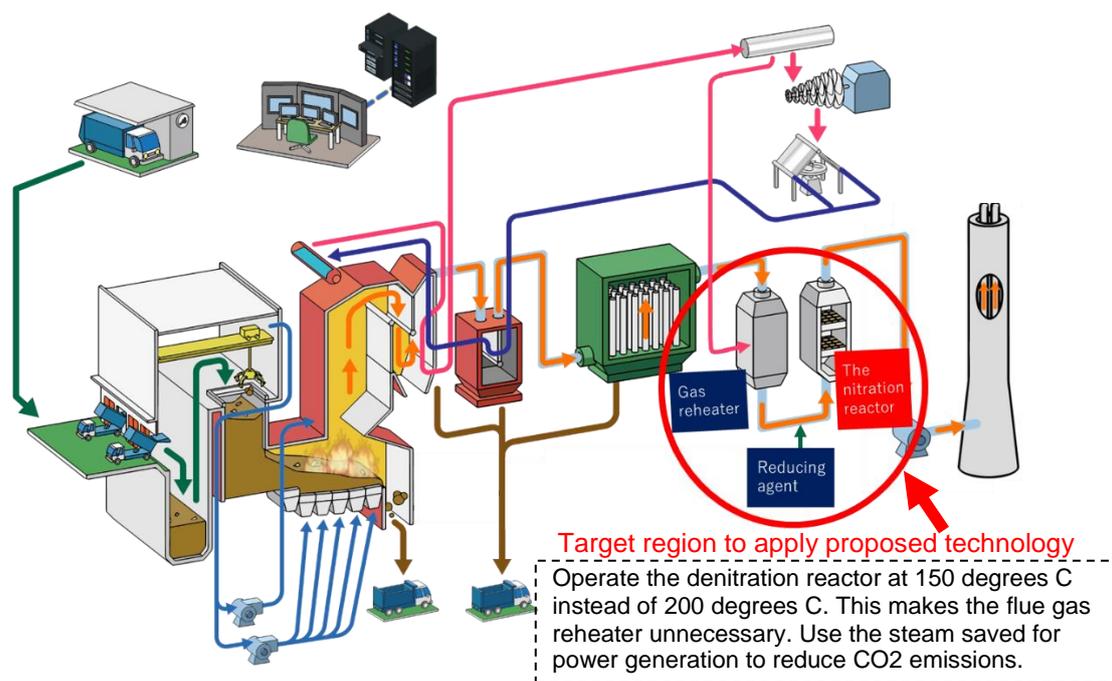
## Summary

### 1. Outline of Verification System

To achieve the goal of reducing CO<sub>2</sub> emission by 26.0% by FY 2030 compared with FY 2013, the Ministry of the Environment amended the ‘Basic Guideline for the Comprehensive and Systematic Promotion of Waste Reduction Measures and Other Appropriate Treatments’ on January 21, 2016. The ministry sets target values from the viewpoint of utilization of energy recovery from waste, moving forward with activities such as effective use of waste as energy sources and utilization of energy recovery from waste in a given area.

However, many small and medium-sized municipal solid waste treatment facilities (especially those handling less than 100 tons/day, hereinafter called small and medium waste treatment facilities) do not have any power generation facilities currently, therefore utilization of energy recovery from waste (reduction of CO<sub>2</sub> emissions) has not been sufficiently implemented. Consequently, in order for these facilities to utilize energy recovery from waste, pioneering introduction of technological systems is necessary.

In order to prompt effective utilization of energy recovery from waste and reduction of CO<sub>2</sub> emissions, this project changes the DeNO<sub>x</sub> system. It is changed from the conventional method of heating flue gas by steam and operating the equipment at a temperature of around 200 degrees C to a proposed method capable of operating at 150 degrees C using an improved DeNO<sub>x</sub> catalyst. This project aims at converting the use of the amount of steam used for heating into power generation, conducting necessary evaluation and verification. **Figure 1** shows the schematic of this waste treatment facility and the target region to apply the proposed technology.



**Fig. 1** Schematic of waste treatment facility and target region to apply proposed technology

This project will take two years to bring forward, identifying problems and drawing measures in FY 2019 toward the experiment for verification. In FY 2020, flue gas from the waste treatment facility will be used to evaluate the denitration performance at 150 degrees C. The reduction effect of the CO<sub>2</sub> emissions from energy sources will then be estimated and demonstrated based on the evaluation results, evaluating and verifying the entire proposed system.

## 2. Outline of Project and Results of FY 2019

This project is mainly implemented by Hitachi Zosen Corporation (below, Hitachi Zosen) and the system evaluation is conducted by the company's technology institute. In conducting the system evaluation, Hitachi Zosen received cooperation from the Tamura West Environment Center of the wide-area administration Tamura union in the catalyst exposing test. The goal of FY 2019 was to evaluate the regeneration of the catalyst and to identify problems and draw measures toward the demonstration test scheduled in FY 2020. The major implementation items and results of this project are as follows:

### (1) Design and Installation of Test Equipment

Hitachi Zosen designed and assembled test equipment capable of exposing the testing catalyst to flue gas, and installed it at the Tamura West Environment Center. This equipment was designed so that flue gas of 290 Nm<sup>3</sup>/h can be extracted from the flue gas duct.

### (2) Catalyst Production

Hitachi Zosen confirmed the initial performance, by-product from denitration reaction, and influence on regeneration for the catalyst used for the equipment in paragraph (1). In order to select the optimal catalyst composition and production method, more than ten types of catalysts with different compositions and production methods were then produced.

### (3) Exposing Test (conducted by the Tamura West Environment Center)

An exposing test of the catalyst produced in paragraph (2) was conducted. This test was implemented from January to February 2020, exposing the catalyst for 50 hours and preparing a catalyst to evaluate regeneration. The measured items of gas condition when the test was conducted were flow rate, temperature, and concentration of sulfur oxides (SO<sub>x</sub>), nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>), carbon monoxide (CO), hydrogen chloride (HCl), moisture, oxygen (O<sub>2</sub>), and dust.

### (4) Evaluation of Performance and Regeneration

The initial performance of the catalyst produced in paragraph (2) was evaluated. Hitachi Zosen evaluated the performance by changing the reduction agent's molar rate of alcohol to NO<sub>x</sub> (hereinafter called molar rate). The results show that the denitration rate was 60% and 40% when the

molar rate was four and two, respectively.

After the exposing test in paragraph (3), the performance of the catalyst was evaluated, adhered substances on the catalyst were checked, and regeneration was evaluated. In order to check the amount of adhered substances there were any adhered substances, the quantity of chloride component (Cl) was analyzed. The heat regeneration was evaluated by comparing the performance and the amount of Cl after applying heat regeneration with those at the initial stage. As a result, the performance after applying heat regeneration became equivalent to the initial performance as the amount of Cl decreased after regeneration was larger.

During the performance evaluation of the catalyst, Hitachi Zosen measured the alcohol, aldehydes, CO, and CO<sub>2</sub> contained in the outlet gas to learn the concentration of the by-product of the denitration reaction. The results showed that the alcohol concentration was below the regulation value. On the other hand, the concentration of aldehydes and CO exceeded the regulation value according to the increase of the molar rate at the reactor inlet from two to four.

#### (5) Problem Identification Toward Demonstration Experiment

Hitachi Zosen compared the evaluation of the initial performance of the catalyst produced in paragraph (2), by-products from the denitration reaction, and the results of the post-test catalyst regeneration, determining six candidate catalyst compositions for FY 2019.

Problems regarding the demonstration experiment scheduled in FY 2020 were identified and measures to deal with them were considered.

##### [1] Initial performance evaluation of catalyst

Problem: As initial performance, the denitration rate was 60% and 40% at molar rates of four and two, respectively. It is therefore important that the denitration rate at a molar rate of two is small.

Measure: Toward the goal of 60% denitration rate at a molar rate of two, improve catalyst activity or optimize catalyst amount.

##### [2] By-product of denitration reaction

Problem: As a result of measuring the outlet gas, it was detected that the amount of by-products aldehydes and CO, exceed the regulation values.

Measure: Hitachi Zosen aim to reduce amounts of by-products to below regulation values by improving the activity of the catalyst in reducing the molar rate.

##### [3] Evaluation of catalyst regeneration

Problem: The post-regeneration performances were different for each catalyst composition, not equivalent to the initial performance, depending on the catalyst composition.

Measure: In order to achieve performance equivalent to initial performance after applying regeneration, optimize the condition of heat regeneration.

## (6) Effect of CO<sub>2</sub> Reduction

The CO<sub>2</sub> reduction effect of the proposed method was verified by estimating and comparing the amount of CO<sub>2</sub> emissions on the three patterns of simple incineration, conventional method, and proposed method. The preconditions used for this estimation are currently as follows:

### [1] Simple incineration

The equipment has neither heat recovery boiler nor steam turbine, not thermal recycling.

### [2] Conventional method

The equipment has a heat recovery boiler and a steam turbine, thermal recycling.

Use steam to heat flue gas from 150 degrees C to 200 degrees C, the operating temperature of the denitration reactor.

### [3] Proposed method

The equipment has a boiler and a steam turbine, thermal recycling.

Flue gas at 150 degrees C are usable to operate the equipment as it is without heating it, so no steam to heat them is necessary. As the condition for estimation, it was determined to implement regeneration biannually.

Compared to simple incineration, the conventional and proposed methods reduced CO<sub>2</sub> emissions by 52% and 54%, respectively. The proposed method can therefore reduce CO<sub>2</sub> emissions more than the conventional method, creating a CO<sub>2</sub> reduction effect.

## < 目 次 >

1. 業務概要 .....	1
1.1 背景 .....	1
1.2 業務の概要・目的 .....	2
1.2.1 従来式の脱硝システム .....	3
1.2.2 従来式の具体的課題 .....	4
1.2.3 提案式の技術 .....	5
1.2.4 提案式の適用箇所と利用例 .....	5
1.3 業務の実施体制 .....	7
1.4 田村西部環境センターの概要 .....	7
1.5 目標 .....	8
1.6 業務スケジュール .....	9
2. 業務実施状況 .....	10
2.1 試験装置の設計と設置 .....	10
2.2 評価委員会からのコメント対応状況 .....	15
2.3 触媒製造 .....	16
2.4 晒し試験 .....	17
2.4.1 試験の概要 .....	17
2.4.2 ガス条件 .....	17
2.5 性能・再生評価 .....	17
2.5.1 性能評価 .....	17
2.5.2 再生評価と付着物の確認 .....	20
2.5.3 副生成物の確認 .....	22
3. CO <sub>2</sub> 削減効果 .....	23

3.1	試算条件の設定と前提条件	23
3.1.1	前提条件：単純焼却	23
3.1.2	前提条件：従来式と提案式	23
3.1.3	試算条件の設定	25
3.2	CO <sub>2</sub> 発生量と削減効果	25
3.3	コスト試算	31
3.4	費用対効果	34
4.	実証試験に向けた課題の抽出と対策案	36
4.1	実証試験に向けた課題の抽出と対策案	36
4.2	令和2年度の実施内容と目標	37
5.	事業の横展開可能性及び終了時の出口戦略	38
5.1	事業終了後の横展開の可能性	38
5.1.1	経済的及び技術側面から見て将来的な展開の可能性	38
5.1.2	廃棄物処理施設での展開	38
5.1.3	船用への展開	39
5.2	終了時の出口戦略	39
6.	まとめ	40

# 1. 業務概要

## 1.1 背景

廃棄物処理施設は、1960年代に公衆衛生の向上のために整備方針が定められたことにより導入が促進された。その後、廃棄物処理施設の目的に生活環境の保全が加わり、1990年代以降は、循環型社会を形成するため3Rの推進も含めた政策が実施されてきた。現在は、CO<sub>2</sub>の排出量削減やエネルギー利用の目的で、余熱利用に対する取り組みがなされている。

余熱利用の一つとして、廃棄物を焼却するときに発生する高温の排ガスが持つエネルギーをボイラで回収し、発生させた蒸気でタービンを回して発電を行う方法が行われている。しかし、施設規模が小さくなるにつれ中小規模（特に、100t/日未満）の廃棄物処理施設では、発電などの余熱利用が行われなくなる（図 1-1）。これは、現在の廃棄物発電の主流であるボイラ+蒸気タービン方式では、100t/日未満の施設では効率が低下する課題があるためである。

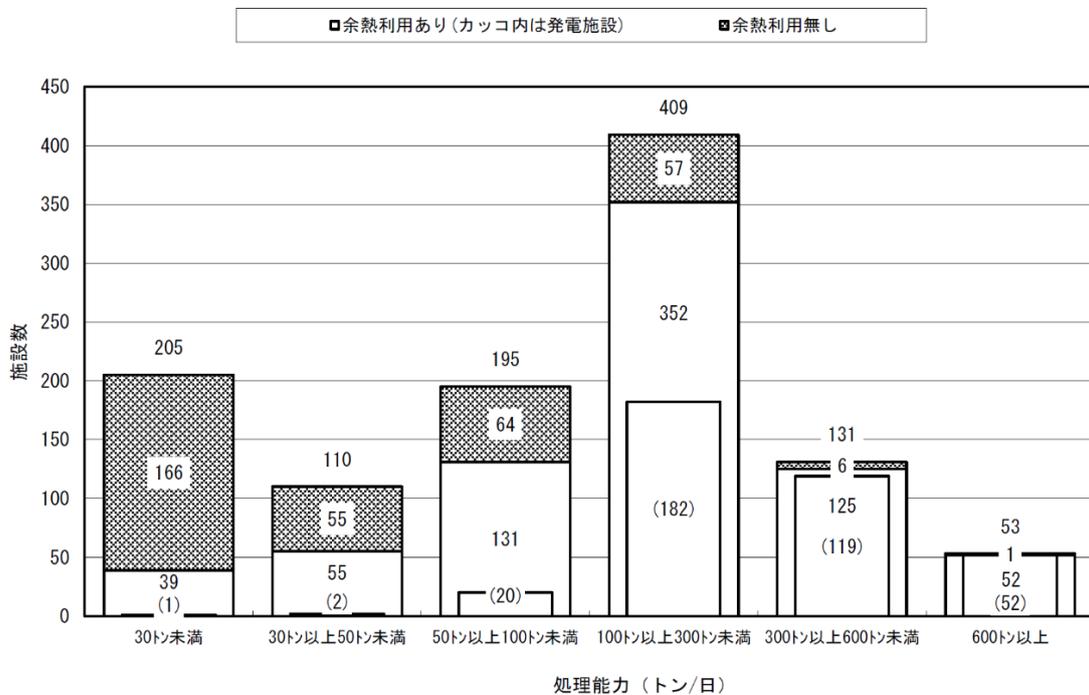


図 1-1 廃棄物処理能力別の余熱利用状況（平成 29 年度実績）

出典：日本の廃棄物処理 平成 29 年度版

表 1-1 に発電効率向上に係る技術的要素・施策について示す。蒸気を効率的に利用する技術の有望な一つに低温触媒脱硝があり、本業務はこれに着目したものである。

表 1-1 発電効率向上に係る技術的要素・施策

概要	具体的な技術
より多くの熱を蒸気として回収するための技術（熱回収能力の強化）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・低温エコノマイザ</li> <li>・低空気比燃焼</li> </ul>
より多く蒸気を蒸気タービンへ供給するための技術・施策（蒸気の効率的利用）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・<b>低温触媒脱硝</b></li> <li>・高効率乾式排ガス処理</li> <li>・白煙防止条件の設定なし、あるいは白煙防止装置の運用停止</li> <li>・排水クローズドシステムの導入なし</li> </ul>
より効率良く電気に変換するための技術（蒸気タービンシステムの効率向上）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高温高圧ボイラ</li> <li>・抽気復水タービン</li> <li>・水冷式復水器</li> </ul>

出典：高効率ごみ発電施設整備マニュアル 平成 30 年 3 月改訂

## 1.2 業務の概要・目的

環境省では、2030 年度に温室効果ガス排出量を 2013 年度比で 26.0%減の水準にする目標を踏まえ、「廃棄物の減量その他その適正な処理に関する施策の総合的かつ計画的な推進を図るための基本的な方針」を平成 28 年 1 月 21 日に変更し、廃棄物エネルギー利用の観点での目標値を設定するとともに、エネルギー源としての廃棄物の有効利用、廃棄物エネルギーの地域での利活用等の取組を進めている。

しかしながら、中小規模（特に、100t/日未満）の一般廃棄物処理施設（以下「中小廃棄物処理施設」という）については、現時点では多くが発電設備を持たない焼却処理施設となっており、廃棄物エネルギーの有効活用（CO<sub>2</sub>排出量削減）は十分に行われていない。このため、中小廃棄物処理施設での廃棄物エネルギーの有効活用に向けて、先導的な技術システム化等の導入が求められている。

本業務では、中小廃棄物処理施設における廃棄物エネルギー有効活用と CO<sub>2</sub>排出量削減を促進するため、排ガスを蒸気で加熱し 200℃程度で運転している脱硝システム（以下「従来式」という）を、脱硝触媒の改良することによって 150℃で運転できる脱硝システム（以下「提案式」という）に変更し、加熱に利用される分の蒸気を発電分に利用できることを目指し、必要な評価・検証を行う。

### 1.2.1 従来式の脱硝システム

燃料の燃焼などで、空気中の窒素と酸素が高温で接触すると、窒素酸化物が生成し、光化学スモッグや酸性雨などの原因となる。このため、排出規制が設けられ、規制に対応するために各種技術が適用されている。窒素酸化物を低減する有効な技術の一つに、排ガスを脱硝触媒で処理する脱硝システムがある。

図 1-2 に、脱硝反応の概要を示す。窒素酸化物 (NO<sub>x</sub>) を、脱硝触媒上でアンモニア (NH<sub>3</sub>) と反応させて窒素 (N<sub>2</sub>) と水 (H<sub>2</sub>O) に分解し無害化する。これにより、NO<sub>x</sub> の排出量を低減する。

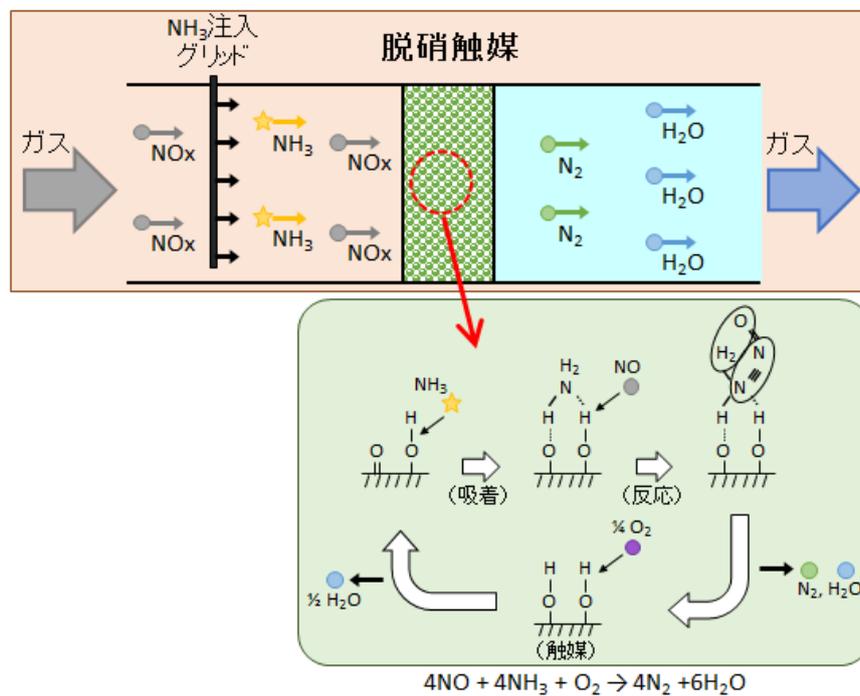


図 1-2 脱硝反応の概要

出典：弊社ホームページ

この方式の脱硝技術を弊社は、1973 年から実用化し、廃棄物処理施設、火力発電プラント、船用の脱硝システムに約 550 基納入した実績がある。図 1-3 に、弊社の脱硝システム納入例を示す。



火力発電プラント



船用脱硝システム搭載船

図 1-3 弊社の脱硝システム納入例

出典：弊社ホームページ

### 1.2.2 従来式の具体的課題

従来式の課題は、蒸気を排ガスの再加熱に使用し、発電量を増やすことが出来なかったことである。従来式では、排ガス中に含まれる硫黄酸化物が、脱硝触媒上で還元剤のアンモニアと反応し、硫酸や酸性硫酸が生成する。硫酸により被毒されると触媒は性能低下を起こす。また運転温度が下がると硫酸の生成量は増加し、反応器腐食や触媒閉塞を起こす。更には圧力損失上昇を招き施設運転に支障が出る。これらのリスクは運転温度を高くすることで軽減できるが、排ガスの再加熱用の熱源として高圧蒸気を用いるため、再加熱温度には上限がある。これらの諸条件により、脱硝反応塔は 200～220℃程度で運転されることが多い。

図 1-4 に、弊社のハニカム型脱硝触媒の例を写真で示す。(a)は新品触媒、(b)は過去に各種ガス条件を検討した際に硫酸が析出した触媒の写真である。析出した硫酸により、触媒のセル（ガス流通部）を閉塞させている様子が分かる。このようになると圧力損失上昇を招き、施設運転に支障が出る。また、硫酸の析出が触媒上だけでなく、反応器の内壁にも広がると反応器の腐食を招く問題が生じる。

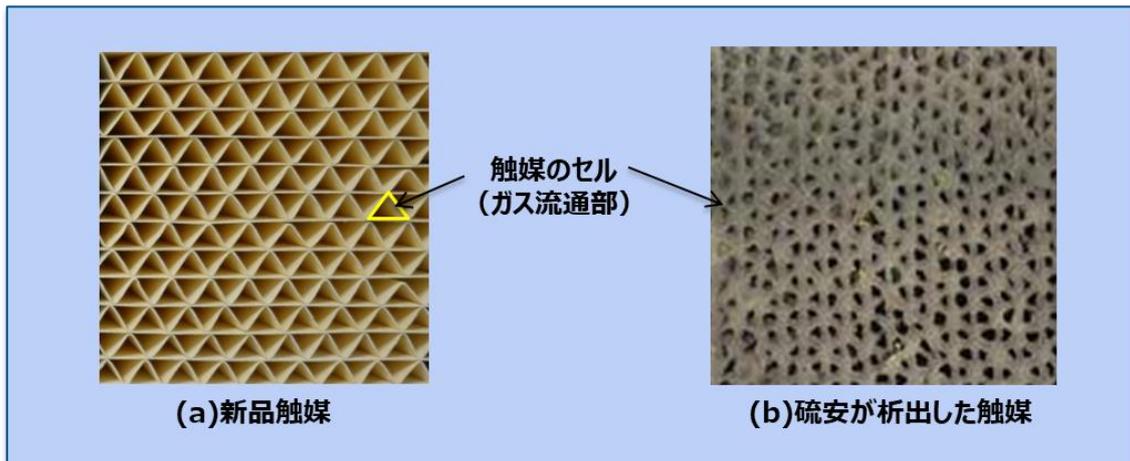


図 1-4 弊社のハニカム型脱硝触媒の例

### 1.2.3 提案式の技術

従来式の 200℃よりも低温の 150℃で運転する提案式を提供するため、従来式の触媒から新しい触媒に変更し、還元剤のアンモニアはアルコールに変更する。還元剤をアルコールとしたシステムでは、硫酸や酸性硫酸が生成せず、従来式で課題となった触媒閉塞や反応器の腐食は回避される。

### 1.2.4 提案式の適用箇所と利用例

提案式は、従来式同様に触媒上で排ガス中の窒素酸化物を窒素と水に分解して無害化する。温度は従来式の 200℃より低い 150℃であり、これにより、エネルギー使用量を削減し、エネルギー起源 CO<sub>2</sub> 削減に取り組む。

図 1-5 に廃棄物処理施設のフロー図を示す。従来式では排ガスは、排ガス再加熱器で加熱された後、還元剤とともに、脱硝反応塔へ導入される。

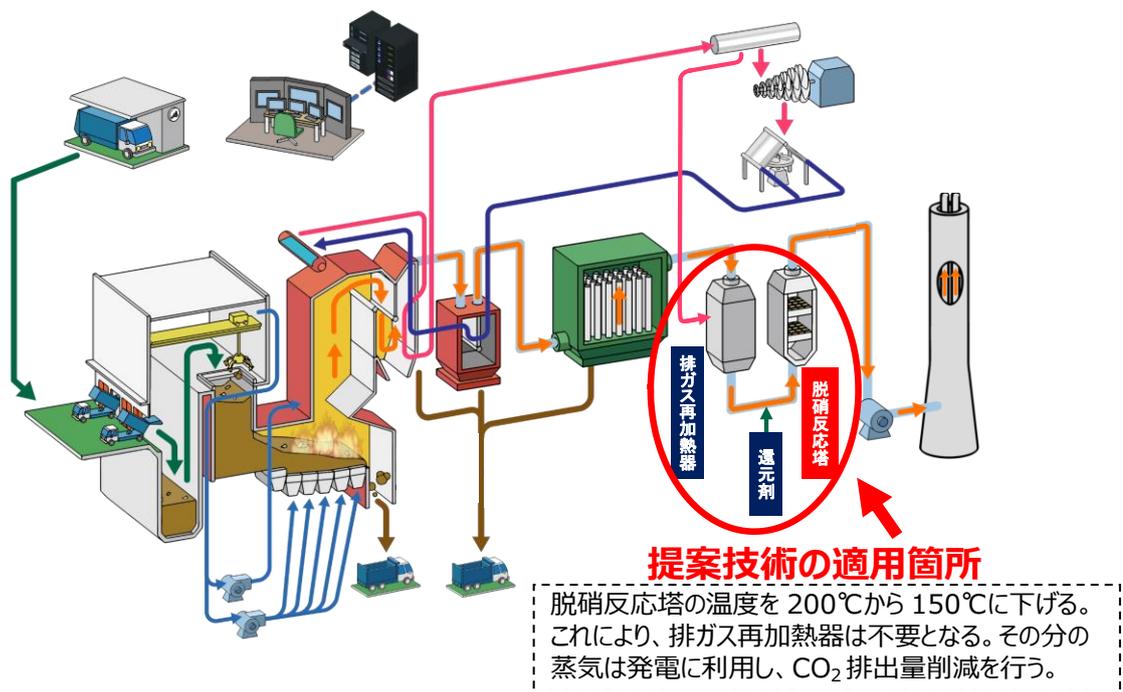


図 1-5 廃棄物処理施設のフロー図及び提案技術の適用箇所

提案式 (150℃) は、従来式 (200℃) より昇温幅を 50℃下げられる。これにより、50℃分の蒸気を発電に利用してエネルギーを創る。

下記には、提案式の利用例を 2 通り示す。

① 乾式排ガス処理、バグフィルタ後に脱硝反応塔がある場合

従来式は、乾式排ガス処理後に排ガス再加熱器で 150℃から 200℃へ昇温して運転している。提案式の採用により 150℃で運転し、排ガス再加熱器に使用していた蒸気量を削減し、発電に利用してエネルギーを創る。

② 湿式排ガス処理、湿式洗煙塔後に脱硝反応塔がある場合

従来式は、湿式洗煙塔後の排ガスを約 60℃から 200℃に昇温して運転している。提案式の採用により、150℃に昇温することで運転が可能となり、昇温幅を 140℃から 90℃に低減する。これにより、排ガス再加熱器に使用していた蒸気量を削減し、発電に利用してエネルギーを創る。

### 1.3 業務の実施体制

本業務は、環境省から委託を受け、日立造船株式会社が実施主体となり、当該技術研究所がシステム評価を行った。

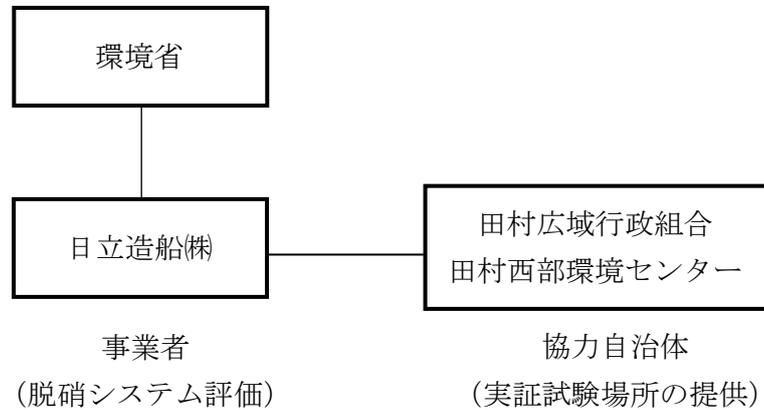


図 1-6 業務の実施体制

### 1.4 田村西部環境センターの概要

図 1-7 に田村西部環境センターの概要と外観を示す。

所在地：福島県田村郡三春町大字富沢細内 1 番地  
ごみ焼却炉処理能力：40t/日



図 1-7 田村西部環境センター外観

出典：田村広域行政組合ホームページ

## 1.5 目標

令和元年12月の現状と各年度末の最終目標を示す。

表 1-2 本業務の目標

	項目	現状	最終目標	本年度の目標
0	全体目標	<ul style="list-style-type: none"> <li>150℃での脱硝システムについて、CO<sub>2</sub>削減効果を試算済み。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>150℃での脱硝システムを確立する。</li> <li>排ガスを用いて、脱硝性能が出ることを実証する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>試験後触媒の再生評価を行う。</li> <li>実証試験のための課題を抽出し、対策を検討する。</li> </ul>
1	試験装置の設計と設置	<ul style="list-style-type: none"> <li>試験実施場所は田村西部環境センターに決定。</li> <li>試験装置の設計を実施中。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>実機の1/10～1/20倍の排ガスを抜き出して、アルコールを用いた試験ができる装置の設計、製作を実施し、試験場所へ装置を設置する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>煙道から290Nm<sup>3</sup>/hの排ガスを抜き出し、触媒に通気することができる試験装置の設計、製作を実施し、試験場所へ装置を設置する。</li> </ul>
2	晒し試験	<ul style="list-style-type: none"> <li>排ガス中の硫黄酸化物に対する耐性確認済み。</li> </ul>	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>組成や製造方法を変えた触媒を使用して、試験を実施する。</li> <li>試験実施時のガス条件を測定する。</li> </ul>
3	性能・再生評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>還元剤としてアルコールを用いた脱硝性能評価済み。</li> </ul>	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>製造した触媒の初期性能を評価する。</li> <li>晒し試験後の触媒の性能評価、触媒への付着物の確認、再生評価等を実施する。</li> <li>脱硝反応の副生成物の濃度を確認するために、出口ガスの分析を実施する。</li> </ul>
4	実証試験に向けた課題の抽出	—	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>初期性能、脱硝反応の副生成物、及び試験後触媒の再生について比較し、最適な触媒組成の候補を挙げる。</li> <li>実証試験に向けた課題の抽出を行い、対策について検討する。</li> </ul>

## 1.6 業務スケジュール

本業務のスケジュールを表 1-3 に示す。本業務は 2 カ年で計画を進め、令和元年度は実証試験に向けた課題の抽出、対策の立案を行う。令和 2 年度は、廃棄物処理施設の排ガスを用いて 150℃での脱硝性能を評価し、その評価結果からエネルギー起源 CO<sub>2</sub> の削減効果を試算により実証し、提案式システム全体の評価・検証を行う。

表 1-3 業務スケジュール

令和元年度	12 月	触媒製造 <sup>Ⓐ</sup> 装置製作
	1 月	装置設置 初期性能評価、副生成物の確認 <sup>Ⓑ</sup> 晒し試験 <sup>Ⓒ</sup> 再生評価、付着物確認 <sup>Ⓓ</sup> 課題の抽出
	2 月	CO <sub>2</sub> 削減効果とコスト試算 成果報告書（案）の提出
	3 月	評価検討会での最終報告 成果報告書の提出
令和 2 年度	4 月	課題対応、改善
	11 月	実証試験用触媒製造 装置製作
	1 月	実証試験
	2 月	成果報告書（案）の提出
	3 月	評価検討会での最終報告 成果報告書の提出

表 1-3 に示したスケジュールのうち、令和元年度の試験については、図 1-8 に示す実施手順と実施場所で行った。

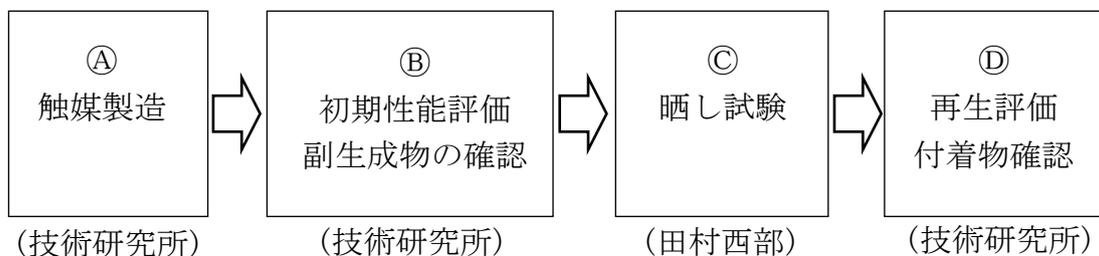


図 1-8 令和元年度の試験実施手順

## 2. 業務実施状況

### 2.1 試験装置の設計と設置

図 2-1 に、田村西部環境センターに設置した令和元年度試験装置のフロー図を示す。田村西部環境センターのバグフィルタと誘引ファンの間にあるフランジ部からバイパス試験ラインを分岐し、触媒層へ通気した後、再度同じ主煙道へ戻すよう設計した。

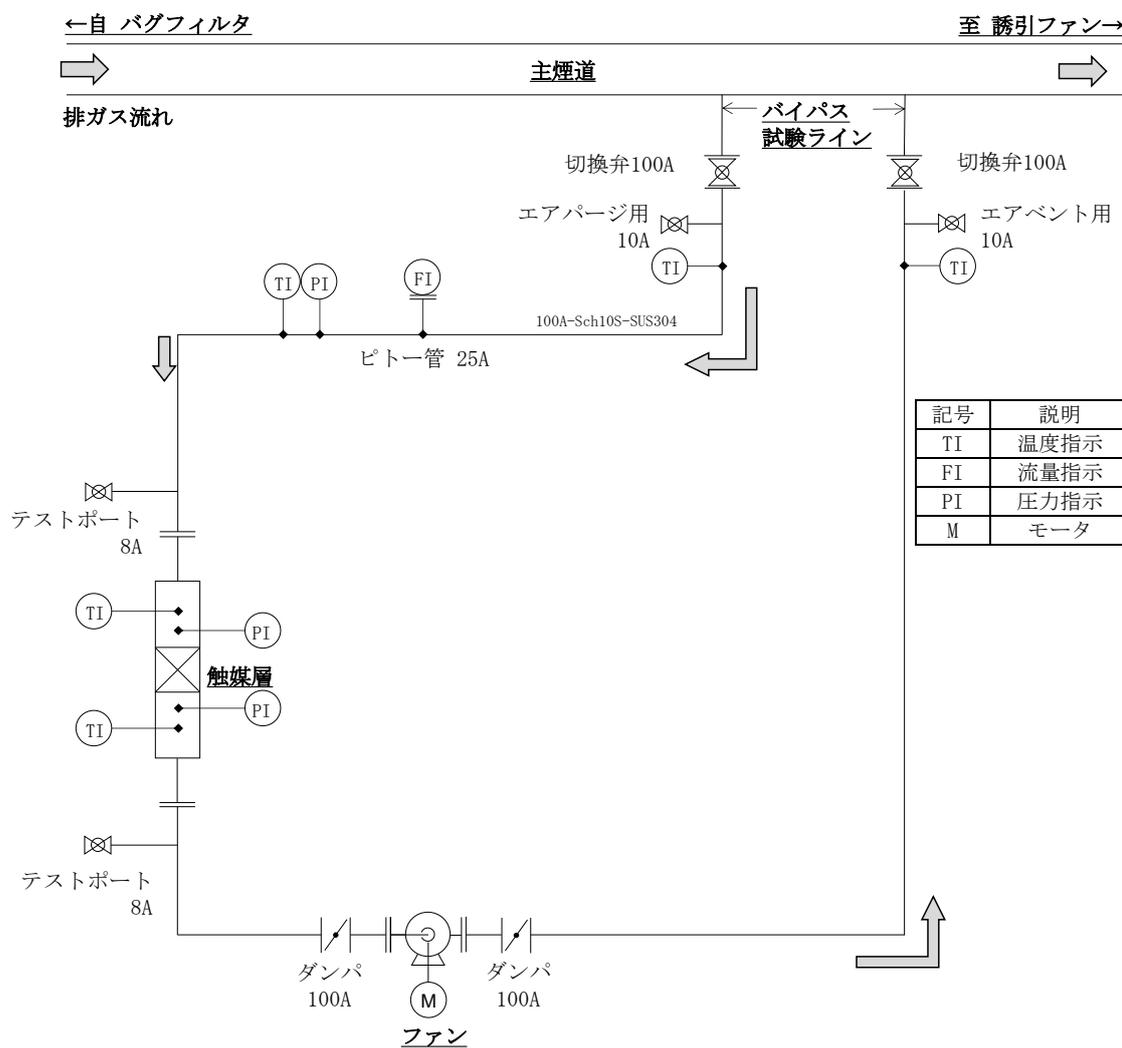


図 2-1 令和元年度試験装置のフロー図

令和元年12月末から部材を搬入した。

図2-2に試験装置の荷降ろし、図2-3に資材搬入の写真を示す。



図2-2 試験装置荷降ろし

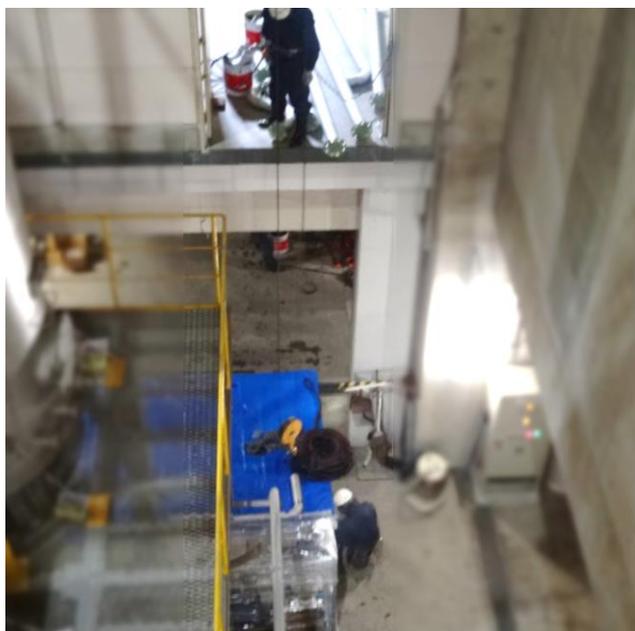


図2-3 資材搬入

図 2-4 に、試験装置及び配管に使用した部品、図 2-5 に電気工事の材料検査の写真を示す。



図 2-4 試験装置及び配管に使用した部品



図 2-5 電気工事の材料検査

図 2-6 に試験装置及び制御盤設置前、図 2-7 に設置後の写真を示す。



図 2-6 試験装置及び制御盤設置前



図 2-7 試験装置及び制御盤設置後

図 2-8 に田村西部環境センター内に設置した試験装置及び制御盤を示す。  
試験装置は、バイパス試験ラインとライン内に設置したファンにより、主煙道から  
290Nm<sup>3</sup>/h の排ガスを抜き出し触媒層へ通気した後、同じ主煙道へ戻すよう設計、設置し  
た。また、流量、温度管理を行うための制御盤も製作した。

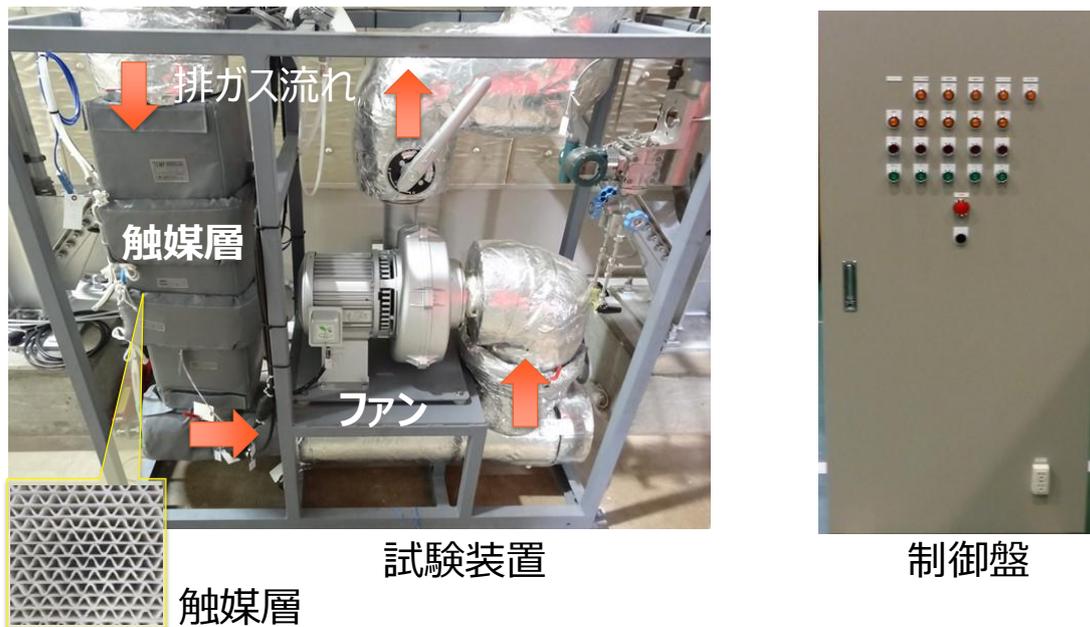


図 2-8 田村西部環境センター内に設置した試験装置及び制御盤

## 2.2 評価委員会からのコメント対応状況

評価委員会からのコメント対応状況の概要を表 2-1 に示す。

表 2-1 委員会からのコメント対応状況

No.	コメント	検証方法	詳細記載
1	触媒の初期性能評価	触媒組成の違いによる影響をモル比を変えて比較した。	2.5.1
2	再生評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 晒し試験後の性能、触媒への付着物の確認で再生評価を行った。</li> <li>・ 再生時の出口ガスの分析は令和 2 年度確認予定である。</li> </ul>	2.5.2
3	副生成物の確認 アルコール アルデヒド CO、CO <sub>2</sub>	脱硝反応の副生成物の濃度を確認するために、出口ガスの分析をした。	2.5.3
4	コスト削減 CO <sub>2</sub> 削減効果試算	単純焼却、従来式、提案式で試算を実施した。	3.2 3.3 3.4
5	ダイオキシンの確認	令和 2 年度確認予定	-
6	耐久性の確認	令和 2 年度確認予定	-

### 2.3 触媒製造

触媒の原料となるスラリーは、所定量の金属塩を溶解させた溶液に、ゼオライトと無機バインダーを入れて、混合し製造した。これを基材であるガラス繊維ペーパーに塗布、乾燥後、焼成し、触媒とした。図 2-9 には触媒スラリーを混合した状況を、図 2-10 には触媒スラリーをガラス繊維ペーパーに塗布した状況を示す。

金属塩の種類や量、無機バインダーの種類、ゼオライトの種類、製造方法を変えた触媒を 10 種類以上製造した。



図 2-9 触媒スラリーを混合した状況



図 2-10 触媒スラリーをガラス繊維ペーパーに塗布した状況

## 2.4 晒し試験

### 2.4.1 試験の概要

令和2年1月～2月の間に3回、晒し試験を実施した。

試験時の流量は290Nm<sup>3</sup>/h、触媒層の温度は150℃であることを確認した。

田村西部環境センターにて、晒し試験を50時間実施後、技術研究所に持ち帰り、触媒の性能評価、付着物の確認、及び再生評価を行った。

### 2.4.2 ガス条件

試験に用いた排ガスを触媒層手前で採取し、ガス分析を行った結果を表2-2に示す。

表 2-2 ガス分析結果

測定項目	濃度	測定方法
水分 [vol. %-wet]	20.7	JIS Z 8808-7.1(2013)
O <sub>2</sub> 濃度 [vol. %-dry]	10.6	JIS K 0301-8(2016)
ばいじん濃度 <sup>(*)</sup> [g/m <sup>3</sup> ]	< 0.001	JIS Z 8808(2013)
SO <sub>x</sub> 濃度 [vol. ppm-dry]	< 2.0	JIS K 0103-7.1(2011)
NO <sub>x</sub> <sup>(*)</sup> 濃度 [vol. ppm-dry]	110	JIS K 0104-8(2011)
CO <sup>(*)</sup> 濃度 [vol. ppm-dry]	2.3	JIS K 0098-8(2016)
HCl <sup>(*)</sup> 濃度 [vol. ppm-dry]	15	JIS K 0107-7.1(2012)

\*1:酸素濃度12%換算

## 2.5 性能・再生評価

### 2.5.1 性能評価

表2-3に性能評価条件を示す。廃棄物処理施設用で用いる標準的な条件を用いた。

表 2-3 性能評価条件

温度	[°C]	150
N <sub>2</sub> 濃度	[vol. %-wet]	Balance
O <sub>2</sub> 濃度	[vol. %-dry]	10
水分	[vol. %-wet]	22
NO <sub>x</sub> <sup>(*)</sup> 濃度	[vol. ppm-dry]	153
AV <sup>(*)</sup>	[Nm/h]	6.0

\*1:酸素濃度 12%換算

\*2:面積速度 AV (Area Velocity) [Nm/h] = ガス流量 [Nm<sup>3</sup>/h] / 触媒表面積 [m<sup>2</sup>]

図 2-11 は、研究所の性能評価装置の模式図を示す。性能評価条件のガス組成となるように、空気、N<sub>2</sub>、NO を混合し蒸発器へ導入した。また、水とアルコールは混合して、所定の水分、モル比になるように、ポンプにて蒸発器に導入した。蒸発器にて水とアルコールが蒸発することにより全てのガスが混合し、反応器に導入した。反応器の中には触媒が設置されており、反応器の入口と出口の NO<sub>x</sub> 濃度を NO<sub>x</sub> 計にて測定した。

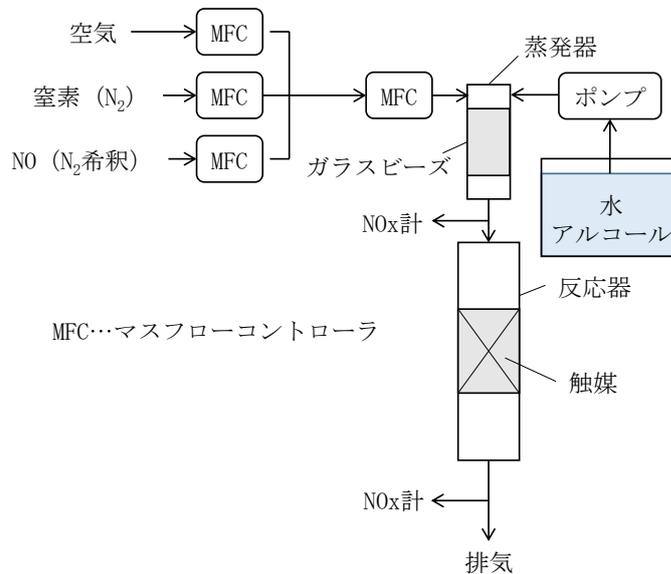


図 2-11 性能評価装置の模式図

NOx 計は、**図 2-12** に示すヤナコテクニカルサイエンス株式会社製の ECL-88A0 Lite を使用した。



**図 2-12 NOx 計の写真**

出典：ヤナコテクニカルサイエンス株式会社のホームページ

触媒の性能を示す脱硝率は、NOx 計の測定値から、**式 1** より算出した。

$$\text{脱硝率}[\%] = \frac{(\text{反応器入口の NOx 濃度} - \text{反応器出口の NOx 濃度})}{\text{反応器入口の NOx 濃度}} \times 100 \quad (\text{式 1})$$

10 種類以上製造した触媒のうち、性能良好な組成 A～F を令和元年度での触媒候補に選択した。性能評価は、モル比を変えて確認した。

**表 2-4** に性能評価結果を示す。

**表 2-4 性能評価結果**

組成	脱硝率[%]	
	還元剤/NOx モル比	
	4	2
A	60	35
B	51	25
C	48	28
D	33	15
E	45	32
F	55	40

モル比 4 では、組成 A が脱硝率 60%と良好であった。モル比を 4 から 2 に変化させた場合、全ての触媒の脱硝率が下がったが、組成 F はモル比 2 において脱硝率 40%と良好であった（モル比が小さくなるほど、ランニングコストは削減できる）。以上のことから、後述の「3. CO<sub>2</sub>削減効果」では、性能が良好であった組成 A、F を用いて試算した。

令和 2 年度に、モル比 2 の条件で、脱硝率 60%の目標に向けて、触媒の活性向上あるいは触媒量の最適化を行う。

### 2.5.2 再生評価と付着物の確認

晒し試験を行った触媒について、加熱再生による性能の変化を確認した。性能評価は、表 2-3 の条件にて行った。

加熱再生の方法は、触媒を空気流通下、室温から 5°C/min. で 300°Cまで昇温し、300°Cを 3 時間保持後、室温まで降温した。

また、加熱再生前後に付着物の量に差があるか、蛍光 X 線分析装置を用いて表 2-5 の条件で測定した。付着物の量は、塩素成分 (Cl) に着目して分析した。塩素に着目した理由は、これまで弊社で実施してきた模擬ガスによる劣化検討から、従来式触媒で性能劣化を引き起こす硫黄酸化物には、提案式触媒は耐性があり、一方で塩化水素 (HCl) は劣化要因となる結果であったためである。

蛍光 X 線分析装置は、株式会社日立ハイテクサイエンス製の SEA1200VX を使用した。



図 2-13 蛍光 X 線分析装置の写真

出典：株式会社日立ハイテクサイエンスのホームページ

蛍光 X 線の C1 の分析条件を表 2-5 に示す。

表 2-5 C1 の分析条件

励起電圧 [kV]	15
管電流 [ $\mu$ A]	150
フィルター	C1 用
雰囲気	真空

表 2-6 に再生評価結果を示す。「性能相対値」は値が 1 に近いほど、再生品の性能が初期性能同等に回復していることを示す。 $\Delta$ C1 量は、晒し品が再生後に、どの程度 C1 量が減ったかを示している。組成が異なるため、一様に扱うことはできないが、 $\Delta$ C1 量が多いほど、性能相対値は 1 に近づき初期性能と同等になった。

ただし、触媒組成により性能相対値が 0.72 から 0.96 と差があり、再生度合いに差が見られるため、加熱再生の条件を最適化する。

表 2-6 再生評価結果

組成	性能相対値	$\Delta$ C1 量[wt%]
	再生品の性能/初期性能	晒し品の C1 量-再生品の C1 量
A	0.72	0.05
B	0.88	0.21
C	0.96	0.26
D	0.94	2.08
E	0.78	0.16
F	0.88	0.05

### 2.5.3 副生成物の確認

初期性能評価時に、出口ガスのアルコール、アルデヒド、CO、及びCO<sub>2</sub>濃度の分析を実施した。各地域での規制値と性能評価時のガス分析結果を表2-7に示す。

結果は、出口ガスのアルコール濃度は規制値以下であった。一方で、アルデヒド濃度、CO濃度は反応器入口のモル比が2から3、4と大きくなるほど高くなり規制値を上回った。

令和2年度の検討では、モル比を低減した条件で脱硝率向上を行い、規制値以下となることを目指す。

表2-7 規制値とガス分析結果

項目		入口ガス		出口ガス			
		モル比 (*1)	アルコール [mg/m <sup>3</sup> ]	アルコール [mg/m <sup>3</sup> ]	アルデヒド [mg/m <sup>3</sup> ]	CO(*2) [ppm]	CO <sub>2</sub> (*2) [ppm]
規制値	東京都	-	-	800(*3,4)	70(*3)	30(*6)	なし
	大阪府	-	-	なし	51.5(*5)	30(*6)	なし
	田村西部	-	-	なし	なし	30(*6)	なし
分析値 (*7,8)	組成A	3	739	343	102	65	65
		2	483	186	56	38	49
	組成F	4	992	715	104	40	49
		2	522	315	58	20	49

\*1:モル比は、入口NO<sub>x</sub>モル量に対するアルコールモル量の比率を表示

\*2:COとCO<sub>2</sub>は規制値、測定値ともに酸素濃度12%換算

\*3:出典「都民の健康と安全を確保する環境に関する条例」(環境確保条例)、第六十八条、別表第七

\*4:メタノール、イソアミルアルコール、イソプロピルアルコール、アセトン、メチルエチルケトン、メチルイソブチルケトン、ベンゼン、トルエン、キシレン、トリクロロエチレン、テトラクロロエチレン、酢酸メチル、酢酸エチル、酢酸ブチル、ヘキサンの合計。

\*5:出典「大阪府生活環境の保全等に関する条例施行規則」、第七条、別表第五、付表第一をもとに、東淀工場の条件で計算した濃度

\*6:出典「ごみ処理に係るダイオキシン類発生防止等ガイドライン」

\*7:初期性能評価時に反応器出口でガス分析した結果

\*8:測定方法

アルコール濃度：JIS K 0095:1999、JIS K 0114:2012

アルデヒド濃度：JIS K 0303(2012)-8.1

CO濃度：JIS K 0098(2016)-7.1

CO<sub>2</sub>濃度：JIS K 0304(1996)-6.2

### 3. CO<sub>2</sub>削減効果

単純焼却、従来式、提案式の3パターンについてCO<sub>2</sub>発生量を試算し、単純焼却に対する従来式、提案式のCO<sub>2</sub>削減効果を比較した。

#### 3.1 試算条件の設定と前提条件

##### 3.1.1 前提条件：単純焼却

単純焼却はボイラ、蒸気タービン発電機がなく、熱回収を行わない場合とした。図3-1に単純焼却のフロー図を示す。

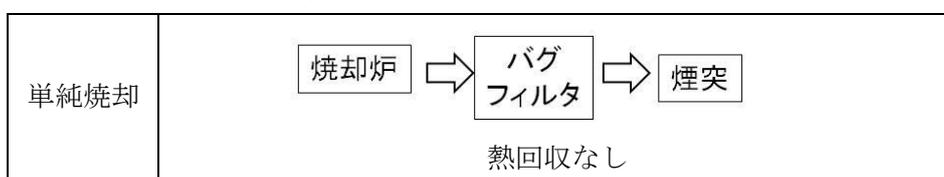


図3-1 単純焼却のフロー図

##### 3.1.2 前提条件：従来式と提案式

従来式と提案式は、ボイラ、蒸気タービン発電機があり、熱回収を行い、かつ脱硝システムを有する場合とした。

提案式(150℃)は、従来式(200℃)より昇温幅を50℃下げられる。よって、その分の蒸気を発電に利用する場合とした。なお、提案式では、半年に1回再生を行うこととした。

図3-2、図3-3に廃棄物処理施設で利用される2通り(乾式排ガス処理、湿式排ガス処理)のフロー図を示す。

図3-2には、乾式排ガス処理で、バグフィルタ後に脱硝反応塔がある場合について、従来式と提案式のフロー図を示す。従来式では、乾式排ガス処理後に排ガス再加熱器で排ガスを150℃から200℃に昇温するが、提案式では再加熱が不要となり、蒸気使用量を削減し、発電を促進し、エネルギー起源CO<sub>2</sub>の排出量削減を行う。

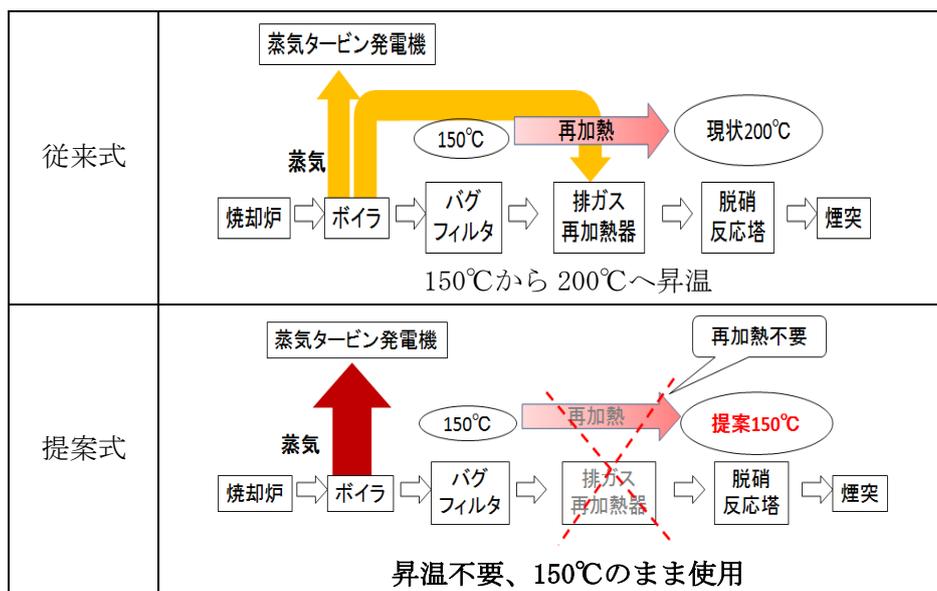


図 3-2 バグフィルタ後に脱硝反応塔がある場合のフロー図

図 3-3 には、湿式排ガス処理で、湿式洗煙塔後に脱硝反応塔がある場合について、従来式と提案式のフロー図を示す。提案式では湿式洗煙後の排ガスを約 60°Cから 200°Cではなく、150°Cへ昇温するだけでよく、昇温幅を 90°Cに低減し、エネルギー使用量の削減を行う。

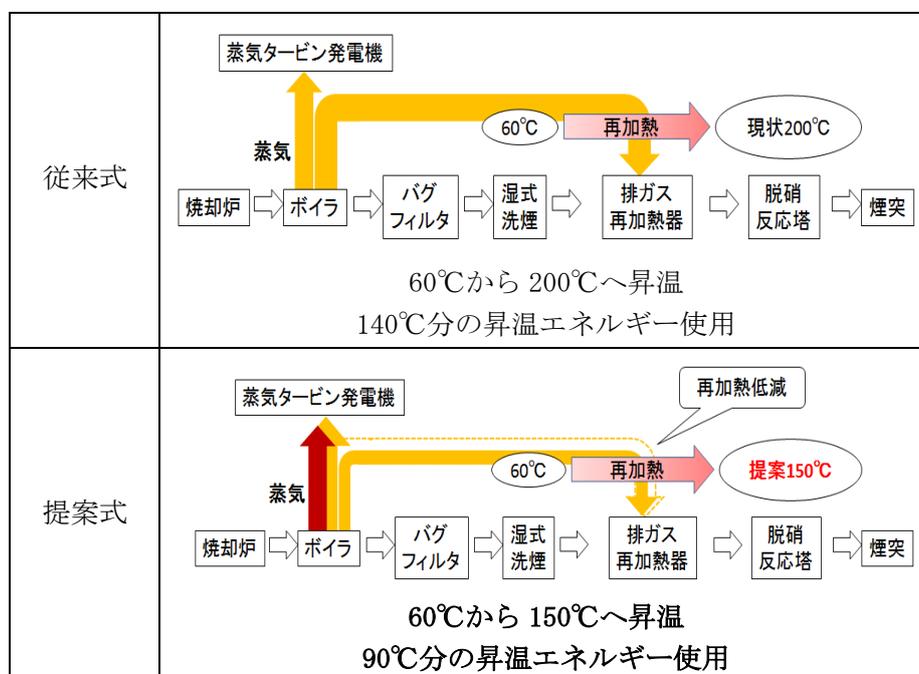


図 3-3 湿式洗煙塔後に脱硝反応塔がある場合のフロー図

### 3.1.3 試算条件の設定

脱硝反応塔を有し、かつ発電を行っている 89t/日の実施の基本数値を用いて、100t/日 (=50t/日×2 炉) の施設に換算し、従来式、提案式での CO<sub>2</sub> 発生量を試算した。中小廃棄物処理施設では、**図 3-2** 乾式排ガス処理、バグフィルタ後に脱硝反応塔がある場合の採用が多いため、その条件での試算を行った。

試算に用いた基本数値を**表 3-1**に示す。1 炉運転時、2 炉運転時の発電量は、排ガス再加熱器を無しとする提案式の方が、従来式より多くなった。

**表 3-1 基本数値**

項目		提案式	従来式	計算式ほか
施設規模 [t/日]		89		
発電量原単位 [kWh/ST 呑込蒸気量]		130		1 炉運転、2 炉運転平均値
1 炉 運転時	ST 呑込蒸気量 [t/h]	6.06	5.74	冬場の高質ごみ時を採用
	発電量 [kW]	787.8	746.2	呑込蒸気量×発電量原単位
2 炉 運転時	ST 呑込蒸気量 [t/h]	12.15	11.52	冬場の高質ごみ時を採用
	発電量 [kW]	1,579.5	1,497.6	呑込蒸気量×発電量原単位

### 3.2 CO<sub>2</sub>発生量と削減効果

各パターンにおける CO<sub>2</sub> 発生量は、**表 3-2** 及び**(a)～(g)**の数値を用いて、下記のように算出した。単純焼却、従来式、提案式、いずれも施設規模は 100t/日 (=50t/日×2 炉) を前提とした。運転日数は、1 炉及び 2 炉合計運転日数が 358 日/年 (全停 7 日)、1 炉あたりの運転日数が 280 日/年となるように、1 炉運転日数 156 日/年と 2 炉運転日数 202 日/年を設定した。

単純焼却の CO<sub>2</sub> 発生量

= (プラ焼却に伴う CO<sub>2</sub> 発生量)

+ (単純焼却施設稼働による使用電力に伴う CO<sub>2</sub> 発生量)

= (a) + (b)

従来式の CO<sub>2</sub> 発生量

$$\begin{aligned}
 &= (\text{プラ焼却に伴う CO}_2 \text{ 発生量}) \\
 &\quad + (\text{施設稼働による使用電力に伴う CO}_2 \text{ 発生量}) \\
 &\quad - (\text{従来式の脱硝システム及び発電に伴う CO}_2 \text{ 削減量}) \\
 &= (a) + (c) - (d)
 \end{aligned}$$

提案式の CO<sub>2</sub> 発生量

$$\begin{aligned}
 &= (\text{プラ焼却に伴う CO}_2 \text{ 発生量}) \\
 &\quad + (\text{施設稼働による使用電力に伴う CO}_2 \text{ 発生量}) \\
 &\quad - (\text{提案式の脱硝システム及び発電に伴う CO}_2 \text{ 削減量}) \\
 &\quad + (\text{還元剤からの CO}_2 \text{ 発生量}) \\
 &\quad + (\text{触媒の加熱再生に伴う CO}_2 \text{ 発生量}) \\
 &= (a) + (c) - (e) + (f) + (g)
 \end{aligned}$$

表 3-2 CO<sub>2</sub> 発生量の試算条件

項目	数値	計算式ほか	
施設規模 [t/日]	100	応募の留意事項内の指示値 (50t/日×2 炉)	
1 炉運転日数 [日/年]	156	応募の留意事項内の指示値 280 日/年 (全停 7 日と仮定)	
2 炉運転日数 [日/年]	202		
稼働日数 [h]	6,720	280 日/年×24 h/日	
単純焼却	1 炉運転時消費電力 [kW]	588	弊社実績値から換算
	2 炉運転時消費電力 [kW]	669	
従来式 提案式	1 炉運転時消費電力 [kW]	383	弊社実績値から換算
	2 炉運転時消費電力 [kW]	416	
電力係数 [t-CO <sub>2</sub> /kWh]	0.000579	応募の留意事項内の指示値	
プラ焼却に伴う CO <sub>2</sub> 排出係数 [t-CO <sub>2</sub> /規模 t]	2.77	応募の留意事項内の指示値	

プラ焼却に伴う CO<sub>2</sub> 発生量

$$\begin{aligned}
 &= (\text{施設規模}) \times (\text{稼働日数}) \times (\text{プラスチックごみ比率}) \\
 &\quad \times (\text{プラ焼却に伴う CO}_2 \text{ 排出係数}) \\
 &= 100 \text{ [t/日]} \times 280 \text{ [日/年]} \times 15 \text{ [\%]} / 100 \times 2.77 \text{ [t-CO}_2 \text{/規模 t]} \\
 &= 11,634 \text{ [t-CO}_2 \text{/年]} \dots (a)
 \end{aligned}$$

単純焼却施設稼働による使用電力に伴う CO<sub>2</sub> 発生量

$$\begin{aligned} &= (\text{施設稼働に伴う使用消費電力}) \times (\text{電力係数}) \\ &= \{(588 \text{ [kW]} \times 156 \text{ [日/年]} \times 24 \text{ [h/日]}) \\ &\quad + (669 \text{ [kW]} \times 202 \text{ [日/年]} \times 24 \text{ [h/日]})\} \\ &\quad \times 0.000579 \text{ [t-CO}_2\text{/kWh]} \\ &= \mathbf{3,153 \text{ [t-CO}_2\text{/年]} \cdots \cdots \mathbf{(b)}} \end{aligned}$$

従来式及び提案式施設稼働による使用電力に伴う CO<sub>2</sub> 発生量

$$\begin{aligned} &= (\text{施設稼働に伴う使用消費電力}) \times (\text{電力係数}) \\ &= \{(383 \text{ [kW]} \times 156 \text{ [日/年]} \times 24 \text{ [h/日]}) \\ &\quad + (416 \text{ [kW]} \times 202 \text{ [日/年]} \times 24 \text{ [h/日]})\} \\ &\quad \times 0.000579 \text{ [t-CO}_2\text{/kWh]} \\ &= \mathbf{1,998 \text{ [t-CO}_2\text{/年]} \cdots \cdots \mathbf{(c)}} \end{aligned}$$

従来式の脱硝システム及び発電に伴う CO<sub>2</sub> 削減量

$$\begin{aligned} &= (\text{脱硝システムを有する施設稼働での使用}) \times (\text{電力係数}) \\ &= \{(1 \text{ 炉及び} 2 \text{ 炉運転時の発電量} \times \text{運転日数}) \\ &\quad \times (100 \text{ [t/日]}/89 \text{ [t/日]})\} \times (\text{電力係数}) \\ &= \{(746.2 \text{ [kW]} \times 156 \text{ [日/年]} \times 24 \text{ [h/日]}) \\ &\quad + (1,497.6 \text{ [kW]} \times 202 \text{ [日/年]} \times 24 \text{ [h/日]})\} \\ &\quad \times (100 \text{ [t/日]}/89 \text{ [t/日]}) \times 0.000579 \text{ [t-CO}_2\text{/kWh]} \\ &= \mathbf{6,541 \text{ [t-CO}_2\text{/年]} \cdots \cdots \mathbf{(d)}} \end{aligned}$$

提案式の脱硝システム及び発電に伴う CO<sub>2</sub> 削減量

$$\begin{aligned} &= (\text{脱硝システムを有する施設稼働での使用}) \times (\text{電力係数}) \\ &= \{(1 \text{ 炉及び} 2 \text{ 炉運転時の発電量} \times \text{運転日数}) \\ &\quad \times (100 \text{ [t/日]}/89 \text{ [t/日]})\} \times (\text{電力係数}) \\ &= \{(787.8 \text{ [kW]} \times 156 \text{ [日/年]} \times 24 \text{ [h/日]}) \\ &\quad + (1,579.5 \text{ [kW]} \times 202 \text{ [日/年]} \times 24 \text{ [h/日]})\} \\ &\quad \times (100 \text{ [t/日]}/89 \text{ [t/日]}) \times 0.000579 \text{ [t-CO}_2\text{/kWh]} \\ &= \mathbf{6,900 \text{ [t-CO}_2\text{/年]} \cdots \cdots \mathbf{(e)}} \end{aligned}$$

還元剤からの CO<sub>2</sub> 発生量(f)は、表 3-3 のように試算した。

表 3-3 還元剤からの CO<sub>2</sub> 発生量

項目	数値	計算式ほか
排ガス量 [Nm <sup>3</sup> /h-wet]	20,000	100t/日 (=50t/日×2 炉) の施設あたり
水分量 [vol. %-wet]	15	
窒素酸化物 (NO <sub>x</sub> ) 濃度 [vol. ppm-dry]	150	
[mol/h]	114	= 排ガス量[Nm <sup>3</sup> /h -dry] × (NO <sub>x</sub> 濃度/10 <sup>6</sup> ) / (22.4 × 10 <sup>-3</sup> )
モル比 [mol/mol]	2.0	
還元剤分子量 [g/mol]	32.04	
還元剤使用量 [kg/h]	7.3	= NO <sub>x</sub> 濃度[mol/h] × モル比 × 還元剤分子量 × 10 <sup>-3</sup>
還元剤からの CO <sub>2</sub> 発生量(f) [t-CO <sub>2</sub> /年]	67.4	= (還元剤使用量 × 10 <sup>3</sup> ) / 還元剤分子量 × CO <sub>2</sub> 分子量(44.01g/mol) × 6,720h / 10 <sup>6</sup>

また、触媒の加熱再生は熱源に電気ヒーターを用いるものとし、加熱再生に伴う CO<sub>2</sub> 発生量(g)は 50t/日 1 炉で再生 1 回あたりの電力量(h)から試算した。

電力量を試算するために、始めに放散熱量を表 3-4 の値を用いて下記のように算出し、表 3-5 の通りとなった。

$$\begin{aligned} \text{放散熱量[kW]} &= \text{表面積 [m}^2\text{]} \times (\text{平均内部温度 [}^\circ\text{C]} - \text{大気温度 [}^\circ\text{C]}) \\ &\quad / (\text{保温材厚み [m]} / \text{保温材熱伝導率 [W/(m} \cdot \text{K)]}) \\ &\quad + 1 / \text{表面熱伝導率 [W/(m}^2 \cdot \text{K)]}) / 10^3 \end{aligned}$$

表 3-4 放散熱量に関する基本数値

項目	数値
表面積 [m <sup>2</sup> ]	24
大気温度 [°C]	0
保温材厚み [m]	0.05
保温材熱伝導率 [W/(m · K)]	0.044
表面熱伝導率 [W/(m <sup>2</sup> · K)]	12.886

表 3-5 放散熱量

工程	温度 [°C]		平均内部温度 [°C]	放散熱量 [kW]
	開始	終了		
昇温	0	300	150	2.97
保持	300	300	300	5.93

次に、加熱再生 1 回に使用する電力量を表 3-5 及び表 3-6 の値を用いて下記のように算出した。なお、昇温時間は 5 時間、保持時間は 3 時間とした。また、安全係数は 1.5 とした。

表 3-6 電力量算出に使用する設備質量と比熱

	設備質量 [kg]	比熱 [kJ/(kg・K)]
脱硝反応塔	1,541	0.5
触媒モジュール	4,152	0.8372
ダンパ	370	0.5
煙道	1,593	0.5

$$\begin{aligned}
 & 50\text{t/日 (1 炉) の加熱再生 1 回に使用する電力量 [kWh]} \\
 & = (\text{昇温時の電力量 [kWh]} + \text{温度保持時の電力量 [kWh]}) \times \text{安全係数 1.5} \\
 & = \{(\text{設備質量 [kg]} \times \text{比熱 [kJ/(kg・K)]}) \\
 & \quad \times (\text{終了温度 [°C]} - \text{開始温度 [°C]}) / 3,600 \text{ [s/h]} \\
 & \quad + \text{放散熱量 [kW]} \times \text{昇温時間 [h]} \\
 & \quad + (\text{放散熱量 [kW]} \times \text{保持時間 [h]})\} \times 2 \text{ 炉} \times 2 \text{ 回/年} \times \text{安全係数 1.5} \\
 & = \{[(1,541 \times 0.5 + 4,152 \times 0.8372 + 370 \times 0.5 + 1,593 \times 0.5) \\
 & \quad \times (300 - 0) / 3,600 + 2.97 \times 5] + (5.93 \times 3)\} \times 1.5 \\
 & = 702 \text{ [kWh]} \dots (\text{h})
 \end{aligned}$$

上記の結果から、100t/日 (=50t/日×2 炉) で加熱再生を年に 2 回 (=半年に 1 回×2) 行う場合の CO<sub>2</sub> 発生量(g)を下記のように算出した。

$$\begin{aligned}
& 100\text{t/日} (=50\text{t/日} \times 2 \text{ 炉}) \text{ の加熱再生に伴う } \text{CO}_2 \text{ 発生量 } [\text{t-CO}_2/\text{年}] \\
& = 50\text{t/日} (1 \text{ 炉}) \text{ の加熱再生 1 回に使用する電力量 } [\text{kWh}] (h) \\
& \quad \times 2 \text{ 炉} \times 2 \text{ 回/年} \times \text{電力係数 } [\text{t-CO}_2/\text{kWh}] \\
& = 702 \times 2 \times 2 \times 0.000579 \\
& = 1.63 [\text{t-CO}_2/\text{年}] \dots (g)
\end{aligned}$$

各パターンでの CO<sub>2</sub> 発生量と削減効果は、表 3-7 の通りとなった。

図 3-4 には、表 3-7 で示した各パターンでの CO<sub>2</sub> 発生量をグラフで示す。単純焼却と比較し、従来式は 52%、提案式は 54%の CO<sub>2</sub> 発生量が抑えられた。

表 3-7 CO<sub>2</sub> 発生量と削減効果

パターン	CO <sub>2</sub> 発生量 [t-CO <sub>2</sub> /年] (i)	計算式	削減効果 [t-CO <sub>2</sub> /年]
単純焼却	14,787	= (a)+(b)	0
従来式	7,091	= (a)+(c)-(d)	7,696
提案式	6,801	= (a)+(c)-(e)+(f)+(g)	7,986

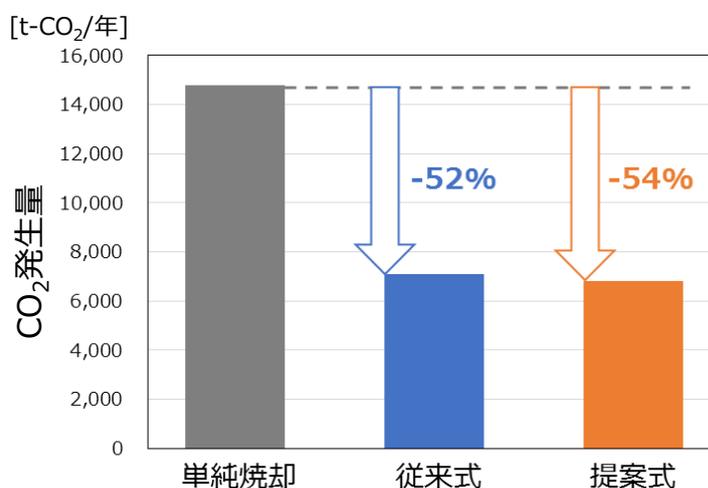


図 3-4 CO<sub>2</sub> 発生量比較

### 3.3 コスト試算

脱硝率 60%における従来式及び提案式の触媒費用は表 3-8（初期）、3-9（量産時）、還元剤費用は表 3-10 のように試算された。

ここで、「初期」とは販売初期を意味し、50t/日×2 炉に相当する触媒量を製造する場合を示す。一方、「量産時」とは本技術が普及した場合を意味し、600t/日の炉の 38 炉分に相当する触媒量を製造する場合を示す。また提案式では、脱硝率が良好であった組成 A と組成 F にて試算を行った。

提案式の触媒費用は、初期は従来式の 2～3 倍に嵩む（表 3-8 の触媒費用）が、量産時には 1.2～1.4 倍まで低減することができる（表 3-9 の触媒費用）。一方、提案式の還元剤費用（表 3-10）は従来式よりも 0.75 倍にまで抑えることができる。

表 3-8 触媒費用（初期）

項目	提案式		従来式	計算式ほか	
	組成 A	組成 F			
排ガス量 [Nm <sup>3</sup> /h-wet]	20,000			100t/日 (=50t/日×2 炉) の施設あたり	
AV [Nm/h]	4.0				
触媒比表面積 [m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> ]	720		770		
触媒量 [m <sup>3</sup> ]	6.95		6.50		
触媒単価 [k¥/m <sup>3</sup> ]	2,751	2,946	1,200		
触媒費用(j)	[M¥]	19.1	20.5	7.8	= 触媒量[m <sup>3</sup> ]×触媒単価[k¥/m <sup>3</sup> ]×10 <sup>-3</sup>
	[M¥/年]	5.3	5.7	2.2	= 触媒費用[M¥]/24,000h <sup>(*1)</sup> × 6,720h

\*1:触媒耐用時間を 24,000h とした

表 3-9 触媒費用 (量産時)

項目	提案式		従来式	計算式ほか	
	組成 A	組成 F			
排ガス量 [Nm <sup>3</sup> /h-wet]	20,000			100t/日 (=50t/日×2 炉) の施設あたり	
AV [Nm/h]	4.0				
触媒比表面積 [m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> ]	720		770		
触媒量 [m <sup>3</sup> ]	6.95		6.50		
触媒単価 [k¥/m <sup>3</sup> ]	1,326	1,520	1,200		
触媒費用(j)	[M¥]	9.2	10.6	7.8	= 触媒量[m <sup>3</sup> ]×触媒単価[k¥/m <sup>3</sup> ]×10 <sup>-3</sup>
	[M¥/年]	2.6	3.0	2.2	= 触媒費用[M¥]/24,000h × 6,720h

表 3-10 還元剤費用

項目	提案式	従来式	計算式ほか
排ガス量 [Nm <sup>3</sup> /h-wet]	20,000		100t/日 (50t/日×2 炉) の施設あたり
水分量 [vol. %-wet]	15		
窒素酸化物 [vol. ppm-dry]	150		
(NO <sub>x</sub> )濃度 [mol/h]	114		= 排ガス量[Nm <sup>3</sup> /h-dry] × (NO <sub>x</sub> 濃度/10 <sup>6</sup> ) / (22.4 × 10 <sup>-3</sup> )
モル比 [mol/mol]	2.0	0.7	
還元剤分子量 [g/mol]	32.04	17.03	
還元剤濃度 [wt. %]	100	25	
還元剤使用量 [kg/h]	7.3	5.4	= NO <sub>x</sub> 濃度[mol/h] × モル比 × 還元剤分子量 / (還元剤濃度/100) × 10 <sup>-3</sup>
還元剤単価 [¥/kg]	45	80	
還元剤費用(k) [M¥/年]	2.2	2.9	= 還元剤単価 × 還元剤使用量 × 6,720h × 10 <sup>-6</sup>

上記で算出した数値を用いて試算したCO<sub>2</sub>を1t削減するのに必要なコストを表3-11に示す。

図3-5には、表3-11に示した初期と量産時におけるCO<sub>2</sub>削減コストをグラフで示す。提案式の触媒が量産時に従来式と同等までCO<sub>2</sub>削減コストを低減できることが分かる。

表3-11 CO<sub>2</sub>を1t削減するのに必要なコスト

項目	提案式				従来式
	初期		量産時		
	組成A	組成F	組成A	組成F	
触媒費用(j) [M¥/年]	5.3	5.7	2.6	3.0	2.2
還元剤費用(k) [M¥/年]	2.2		2.2		2.9
(触媒+還元剤)合計費用 [M¥/年]	7.5	7.9	4.8	5.2	5.1
提案式と従来式の差分費用(1) [M¥/年]	2.4	2.8	-0.3	0.1	-
CO <sub>2</sub> 発生量(i) [t-CO <sub>2</sub> /年]	6,801		6,801		7,091
提案式と従来式の差分CO <sub>2</sub> 発生量 [t-CO <sub>2</sub> /年]	-290		-290		-
CO <sub>2</sub> を1t削減するのに必要なコスト [k¥/t-CO <sub>2</sub> ] <sup>(*)</sup>	8.3	9.7	-1.0	0.3	0

\*1: [k¥/t-CO<sub>2</sub>] = 提案式と従来式の差分費用(1) × 1,000 / 提案式と従来式の差分CO<sub>2</sub>削減量

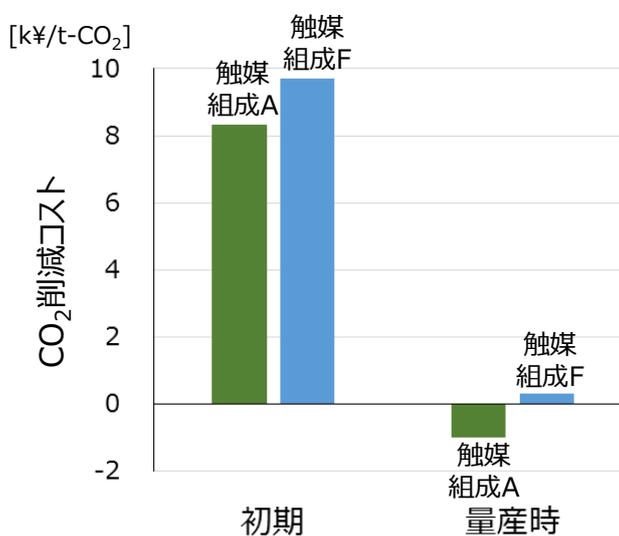


図3-5 CO<sub>2</sub>削減コスト比較

### 3.4 費用対効果

従来式（200℃）から提案式（150℃）に換わることにより排ガス温度が 50℃低くなる場合の売電収入増加量(m)は、表 3-12 のように試算された。

表 3-12 売電収入増加量

項目	数値	計算式ほか
発電増加量 [kWh/年]	621, 125	= (提案式発電量－従来式発電量) × (100[t/日]/89[t/日])
売電単価 [¥/kWh]	12	
売電収入増加量(m) [M¥/年]	7.5	= 売電単価 × 発電増加量 × 10 <sup>-6</sup>

一方、触媒の加熱再生コスト(n)は、下記のように算出した。

$$\begin{aligned}
 \text{加熱再生コスト [M¥]} &= \text{加熱再生に使用する電力量 [kWh] (g)} \\
 &\quad \times \text{電力単価 [¥/kWh]} \times 10^{-6} \\
 &= 2,808 \times 12 \times 10^{-6} \\
 &= 0.034 \text{ [M¥]} \cdots (n)
 \end{aligned}$$

以上をもとに、触媒のイニシャルコスト、還元剤及び加熱再生のランニングコストを試算した結果を表 3-13 に示す。

提案式は従来式に対して、触媒のイニシャルコスト（触媒費用）は 1.2～3 倍に高くなるが、ランニングコスト（還元剤費用と加熱再生コスト）は 0.75 倍までに抑えることができる。

表 3-13 触媒のイニシャルコスト、還元剤及び加熱再生のランニングコスト

No.	パターン	触媒のイニシャルコスト [M¥/年] (j)		ランニングコスト [M¥/年]			
		初期	量産時	還元剤 (k)	加熱再生 (n)	合計	
1	単純焼却	0	0	0	0	0	
2	従来式	-	2.2	2.9	0	2.9	
3	提案式	組成 A	5.3	2.6	2.2	0.034	2.2
		組成 F	5.7	3.0	2.2	0.034	2.2

各パターン<sup>①</sup>の費用対効果は、表 3-14 のようになった。提案式は従来式に対して、売電収入が増加し、費用対効果が得られる。

表 3-14 売電による費用対効果

No.	パターン	① 売電収入 増加量 <sup>(*)1</sup> [M¥/年]	② 加熱再生 コスト [M¥/年]	③ CO <sub>2</sub> 削減のための 追加コスト[M¥/年]		①-②-③ 費用対効果 <sup>(*)2</sup> [M¥/年]	
				初期	量産時	初期	量産時
1	単純焼却	-	-	-	-	-	-
2	従来式	0	0	0	0	0	0
3	提案式	7.5	0.034	2.4	-0.3	5.1	7.8
	組成 F			2.8	0.1	4.7	7.4

\*1：売電単価 12 円/kWh で算出

\*2：費用対効果 = ①売電収入増加量 - ②加熱再生コスト - ③CO<sub>2</sub>削減のための追加コスト

## 4. 実証試験に向けた課題の抽出と対策案

### 4.1 実証試験に向けた課題の抽出と対策案

令和元年度の計画通り、課題を抽出し、対策の立案を行った。

表 4-1 課題の抽出と対策

No.	項目	結果と課題	対策案
1	触媒の初期性能確認	結果：モル比 4 で脱硝率 60% モル比 2 で脱硝率 40% 課題：モル比 2 で脱硝率が低い	モル比 2 で脱硝率 60%を目標として、触媒の活性向上、あるいは触媒量の最適化を行う
2	再生確認	結果：300℃加熱再生後の性能は、初期性能に比べて性能の相対値が 0.72-0.96 となった 課題：触媒組成により再生度合いに差がある	候補触媒組成にて加熱再生条件を最適化する
3	副生成物の確認	結果：アルデヒド、CO は、モル比が高くなるほど多くなった 課題：規制対象成分が規制値を超える	触媒の活性向上を行い、モル比を低減させて、規制値以下での試験条件を確立する  排ガスと還元剤共存下の性能測定時、再生前、再生時に出口ガス分析を実施する

## 4.2 令和2年度の実施内容と目標

表4-1より、令和2年度の実施内容と目標を表4-2のように定めた。

表4-2 令和2年度の実施内容と目標

No.	項目	実施内容	目標
1	触媒の初期性能確認	還元剤の低減、脱硝率の向上	モル比 2、脱硝率 60%を目標として、触媒の活性向上、あるいは触媒量の最適化を行う
2	再生確認	実機で再生確認	加熱再生後に性能が初期同等となることを確認する
3	副生成物の確認	排ガスと還元剤共存下での排ガス分析	規制対象成分が規制値以下であることを確認する
4	耐久性	排ガスと還元剤共存下での耐久性確認	連続運転により、耐久性を予想するために必要なデータを取得し触媒量を試算する（脱硝率 60%を確認する）
5	ダイオキシンの確認	実機でのガス分析確認	ダイオキシン濃度が増加していないことを確認する
6	コスト試算 CO <sub>2</sub> 削減効果試算	実機での性能を確認し、その結果から試算を行う	提案式の利用例 2 通り（乾式排ガス処理後、湿排ガス処理後）について CO <sub>2</sub> 削減量、コスト試算ができている
7	製造	量産条件の確認	量産設備で触媒を製造できる

## 5. 事業の横展開可能性及び終了時の出口戦略

### 5.1 事業終了後の横展開の可能性

事業終了後は、以下の様な対象施設を念頭に置き、普及向上に努める。

#### 5.1.1 経済的及び技術側面から見て将来的な展開の可能性

提案式は、導入のための追加費用負担より大きな売電収入が得られるため経済的に成り立つ。また、設備的には触媒部分を従来式から提案式へ置き換えるだけで大幅な改造は不要であり、その点を提案し採用頂くことを目指す。

#### 5.1.2 廃棄物処理施設での展開

##### (1) 国内での展開

100t/日以下の中小廃棄物施設で発電設備をもつ8施設、その後、段階的に施設規模を大きくし、発電設備をもつ国内の75施設への普及を目指す。

また、高質ごみで蒸気タービン発電の容量を計画し、現在は容量に余裕のある施設も対象として提案していくことに努める。

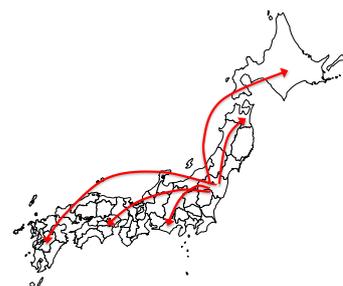


図 5-1 国内展開のイメージ図

##### (2) 海外での展開

環境規制が厳しくなっている中国の既設 120 施設及び新設 160 施設を、また、EU では BREF による規制値強化によって基幹改良が必要となる施設を適用先候補として採用頂くことを目指す。

### 5.1.3 船用への展開

廃棄物処理施設用で実績を作り、国際海事機関（IMO）のNOx規制に対応できる船用の脱硝システムとしても提案し、普及促進を図ることを目指す。

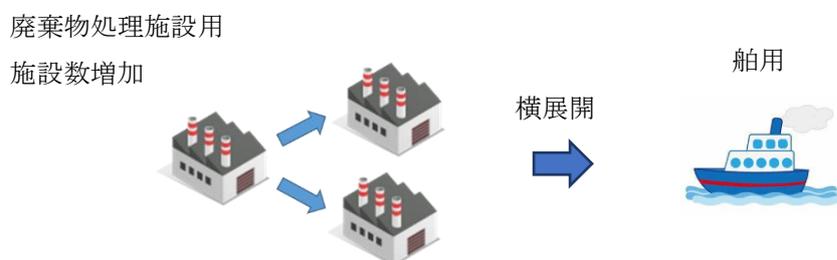


図 5-2 廃棄物処理施設用から船用への横展開イメージ図

## 5.2 終了時の出口戦略

事業化の見込み時期及び事業化に至るまで、下記予定でスケールアップを行い目標通りのコストと脱硝性能が出るか確認していく。

本事業で 2020 年に実証後、実機で実証、2022 年から普及拡大に努める。

国内中小での実証：2021 年  
国内大型での実証：2022 年  
海外での実証：2023 年

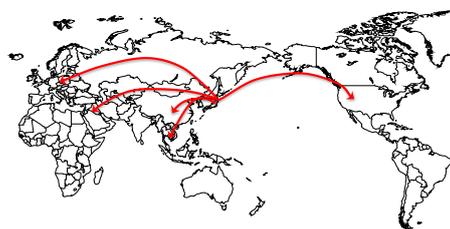


図 5-3 国内から海外へ展開のイメージ図

## 6. まとめ

本業務は、日立造船株式会社が実施主体となり、当該技術研究所がシステム評価を行うものである。システム評価を行うにあたり、触媒の晒し試験では、田村広域行政組合の田村西部環境センターに御協力頂いた。令和元年度の目標は、試験用触媒の再生評価と令和2年度に行う実証試験に向けた課題の抽出、対策の立案とした。本業務の主要実施事項と結果を以下に示す。

### (1) 試験装置の設計と設置

試験用触媒を排ガスに晒すことができる試験装置を設計、製作し、田村西部環境センターに設置した。試験装置は、煙道から 290Nm<sup>3</sup>/h の排ガスを抜き出し、触媒に通気することができるように設計した。

### (2) 触媒製造

(1) の装置に使用する触媒の初期性能、脱硝反応の副生成物及び再生への影響を確認して、最適な触媒組成や製造方法を選択するために、組成や製造方法を変えた触媒を 10 種類以上製造した。

### (3) 晒し試験（田村西部環境センターにて実施）

(2) において製造した触媒の晒し試験を実施した。試験は令和2年1月～2月の間に実施し、50時間通気を行い、再生評価を行うための触媒を準備した。試験実施時のガス条件（流量、温度、硫黄酸化物（SO<sub>x</sub>）、窒素酸化物（NO<sub>x</sub>）、一酸化炭素（CO）、塩化水素（HCl）、水分、酸素（O<sub>2</sub>）、ばいじん、の各濃度）を測定した。

### (4) 性能・再生評価

(2) において製造した触媒の初期性能評価を実施した。還元剤のアルコールと NO<sub>x</sub> のモル比（以下「モル比」という）を変化させて評価した。結果は、モル比が4の時の脱硝率は60%、モル比が2の時の脱硝率は40%であった。

(3) の晒し試験後の触媒の性能評価、触媒への付着物の確認、再生評価を行った。付着物の量は、塩素成分 (Cl) を確認した。再生の方法は加熱再生を用い、加熱再生後の性能及び Cl 量と初期の性能及び Cl 量を比較し再生を評価した。結果は、加熱再生後に減少した Cl 量が多いほど、加熱再生後の性能は、初期性能同等になった。

触媒の性能評価中には、脱硝反応の副生成物の濃度を把握するために、出口ガスのアルコール、アルデヒド、CO 及び CO<sub>2</sub> の測定を行った。結果は、アルコール濃度は規制値以下であった。一方で、アルデヒド濃度、CO 濃度は反応器入口のモル比が 2 から 4 に大きくなるほど多くなり規制値を上回った。

## (5) 実証試験に向けた課題の抽出

(2) において製造した触媒の初期性能評価、脱硝反応の副生成物、及び試験後触媒の再生結果について比較した。その結果、令和元年度での触媒組成の候補は 6 種類とした。

令和 2 年度の実証試験に向けた課題の抽出を行い、対策案について検討した。

### ① 触媒の初期性能評価

課題：初期性能は、モル比 4 で脱硝率 60%、モル比 2 で脱硝率 40%であった。

モル比 2 の脱硝率が低いことが課題である。

対策：モル比 2 の時、脱硝率 60%の目標に向けて、触媒の活性向上あるいは触媒量の最適化を行う。

### ② 脱硝反応の副生成物

課題：出口ガスの測定の結果、副生成物のアルデヒドと CO が規制値を越えた。

対策：副生成物の量を低減するため、触媒の活性向上を行い、モル比を低減させて規制値以下となることを目指す。

### ③ 触媒の再生評価

課題：再生後の性能は、触媒組成により初期性能同等にならない組成があった。

対策：再生後に初期性能と同等にするため、加熱再生の条件を最適化する。

## (6) CO<sub>2</sub>削減効果

提案式の CO<sub>2</sub>削減効果は、単純焼却、従来式、提案式の 3 パターンについて CO<sub>2</sub>発生量を試算し、比較することで検証した。ここで、単純焼却、従来式、提案式の 3 パターンの試算に用いた前提条件は以下の通りである。

- ① 単純焼却  
ボイラ、蒸気タービンがなく、熱回収を行わない。
- ② 従来式  
ボイラ、蒸気タービンがあり、熱回収を行う。  
150℃の排ガスを運転温度の 200℃へ昇温するために蒸気を使用する。
- ③ 提案式  
ボイラ、蒸気タービンがあり、熱回収を行う。  
150℃の排ガスは、そのまま運転に使用できるため、排ガスを昇温するための蒸気は不要である。なお、提案式では、半年に 1 回再生を行うこととした。

CO<sub>2</sub> 発生量の試算結果を比較すると、単純焼却に比べ、従来式は 52%減、提案式は 54%減となり、提案式が従来式より CO<sub>2</sub> の発生量を抑えられ、CO<sub>2</sub> 削減効果が得られる結果となった。