



VOL. 33 NO.1

2025年 6月発行
(通巻第64号)

TAKUMA TECHNICAL REVIEW

タクマ技報



表紙説明

省エネルギー型 CO₂分離回収技術の実証

産業界では脱炭素社会実現への取り組みの一環として、CO₂分離回収に関する技術開発が進められている。当社でも化学吸収法による省エネルギー型 CO₂分離回収技術の開発を進めており、国立研究開発法人産業技術総合研究所（AIST）と共同で省エネルギー性能を有する非水系の吸収液を開発した。この吸収液を用いた実証試験を2024年7月からバイオマス発電施設でおこなっており、燃焼排ガスから安定してCO₂の吸収・放散が可能であることが確認された。次のステップとして、一般廃棄物処理施設においてスケールアップした試験装置による実証試験を予定しており、現在その計画を進めている段階である。

巻頭論説

明らかに becoming はじめた水環境のバイオリスクと今後の対応 1

田中宏明

解 説

商社視点から見た事業開発と低炭素燃料のメガトレンド 13

Megatrends in Business Development and Low-Carbon Fuel
from the Perspective of a Trading Company

西村 豪人 Hideto NISHIMURA

報 告

省エネルギー型 CO₂分離回収技術の実証 23Demonstration of Energy-Saving Carbon Dioxide Capture and
Recovery Technology

美濃谷 広・万ノ友 哉・巽 圭司・鎌田 全一

Hiroshi MINOYA, Tomoya MANNO, Keiji TATSUMI, Masakazu KAMADA

レーザ式排ガス分析計を用いたボイラー蒸発量の

リアルタイム予測と制御への適用 28

Real-Time Prediction of Boiler Steam Flow Rate Using Laser Gas
Analyzer and Its Application to Control

吉本 慎吾・秋山 仁

Shingo YOSHIMOTO, Jin AKIYAMA

三光株式会社殿向け潮見コンビナート廃棄物焼却発電施設
(10号炉)の運転報告 34Operation Report of the Waste-to-Energy Plant (Unit 10)
at SHIOMI KOMBINAT for SANKO Co., Ltd.

岡田 真治・引田 浩之

Shinji OKADA, Hiroyuki HIKITA

西知多クリーンセンター 運転報告 42

Operation Report of Nishichita Clean Center

伊達 友宣・臼居 諒

Tomonori DATE, Ryo USUI

札幌市西部スラッジセンター新2系焼却施設における

下水污泥焼却発電システムの運転報告 48

Operation Report of the Sewage Sludge Incinerating Power Generation
System at the New System 2 Incineration plant, Seibu Sludge Center
in Sapporo City

村岸 弘基・中西 譲・水野 孝昭

Hiroki MURAGISHI, Yuzuru NAKANISHI, Takaaki MIZUNO

学会報告

HTCPM 2024に参加して 57

古垣 孝志 Takashi FURUGAKI

[巻頭論説]

明らかに成りはじめた水環境のバイオリスクと今後の対応

信州大学工学部特任教授/京都大学名誉教授 田 中 宏 明



1. はじめに

水質環境基準設定から半世紀、わが国の水質環境は、環境基準設定、特定施設の排水規制、下水道や浄化槽による家庭排水対策などにより、大きく改善した。2022年度の水域全体のBODやCODの環境基準達成率は87.8%、特に河川においては92.4%と高い達成率を示しており、さらに人の健康の保護に係る基準は公共用水域の水質測定の99.1%を満足している¹⁾。これは、過去のわが国の深刻な健康被害の反省に立って、人の健康にかかわる環境基準項目は、水道水質基準に有害物質が追加されると同じレベルで速やかに追加がおこなわれ、また排水規制も環境基準値の1/10倍の濃度で規制がおこなわれた成果である。また、特定施設への排水規制とともに、環境基準達成を目標とした下水道整備など膨大な投資が実行された成果でもある。

しかし、住民、特に大都市の市民の身近な水環境への満足度は41%にすぎなく、上記の環境基準値の達成率と大きな乖離がでていることが報告されていることを受けて、環境省は、2011年に45年間にわたる水環境行政の成果と課題を報告書にまとめた²⁾。この中では、水質、水量、水生生物、水辺の4つの視点から多くの課題が残っていることが述べられている。特に、国民の実感に合った環境基準への見直しを進めるべきとの施策が謳われ、その中で、水浴や親水利用などによる水系感染症のリスク管理を適切におこなうため、大腸菌群数に代わる指標として、大腸菌等に関する水質環境基準を検討すべきであると指摘された。

本稿では、この提言に基づいて、環境基準での糞便指標が大腸菌へ変更見直しされ、それを受けて2025年度から排水基準が大腸菌へ変更になったことを解説し、下水道などの排水管理に及ぼす影響と課題を述べてみたい。

2. わが国の環境基準設定当時の衛生学的指標

水域に糞便汚染がある場合には、病原微生物が存在する可能性があるため、公衆衛生上の問題となる。このため、環境基準においても糞便汚染を表す衛生学的指標が取り入れられており、わが国では大腸菌群がこれまで使われてきた。腸管内に常在する通性嫌気性菌では大腸菌が最も多いが、環境基準設定当時（1970年）の培養技術では、大腸菌のみを検出する技術はなく、同定には高度な細菌学的知識と複雑な培養技術が要求されていた。そのため、大腸菌群が測定の容易さから糞便汚染の指標として用いられてきた。

わが国の生活環境基準は、自然環境保全、水道、水浴、水産などの水利用の視点から基準が定められている。環境省³⁾の資料によると、環境基準設定当時、糞便汚染がないよう水道水から大腸菌群数が検出されないことが定められたため、水道での浄水過程での大腸菌群数の除去率を考慮して、水道の原水である水質環境基準が定められた。当時、水道でおこなう塩素消毒により死滅させることのできる大腸菌群数の安全限界値を50 MPN/100 mLとし、浄水操作別に緩速ろ過で99%、急速ろ過で95%、高度浄水処理では98%除去

できることを前提に、水道水中の大腸菌群数の基準「検出されないこと」を達成できるよう1級から3級に分類した水道利用水源に対する環境基準値が設定された（表1）。

また、環境基準設定当時、水浴の視点からは、厚生省の水浴場の基準が参考にされた。厚生省は、1956年にわが国の海水浴場の現状や海外の基準の例を参考にして、水浴場の基準として大腸菌群数1,000 MPN/100 mL以下が適当であるとした。この根拠は、環境省³⁾によると米国での1968年の水浴基準設定にさかのぼる。米国環境保護庁（USEPA）⁴⁾によると1950年代、米国Public Health Serviceが水浴に関する疫学調査を実施した。Salmonellaと大腸菌群数の関係と水浴場での大腸菌群数と遊泳者が疾患にかかるリスクの関係を整理し、大腸菌群数2,300 MPN/100 mLの水質を超える水質では、非遊泳者と比べ、遊泳者に高い発症率が見られると報告したことを受け、1968年、米国National Technical Advisory Committeeが、上記の数値を半分にした大腸菌群1,000 MPN/100 mLを水浴の推薦レベルとした。さらに、USEPAでは、1976年に糞便性大腸菌群に換算した200 MPN/100 mLを水浴基準に採用している。

表1 改定前の大腸菌群の環境基準値

	類 型	利用目的の適応性	大腸菌群数
河川	AA 類型	水道1級，自然環境保全	50 MPN/100 mL 以下
	A 類型	水道2級，水浴	1,000 MPN/100 mL 以下
	B 類型	水道3級	5,000 MPN/100 mL 以下
湖沼	AA 類型	水道1級，自然環境保全	50 MPN/100 mL 以下
	A 類型	水道2, 3級，水浴	1,000 MPN/100 mL 以下
海域	A 類型	水産1級，水浴，自然環境保全	1,000 MPN/100 mL 以下
	備考1)	水産1級のうち，生食用原料カキの養殖の利水点については，大腸菌群数70 MPN/100 mL以下とする。	

(注) 1 自然環境保全：自然探勝等の環境保全

2 水 道 1級：ろ過等による簡易な浄水操作を行うもの

〃 2級：沈殿ろ過等による通常の浄水操作を行うもの

〃 3級：前処理等を伴う高度の浄水操作を行うもの

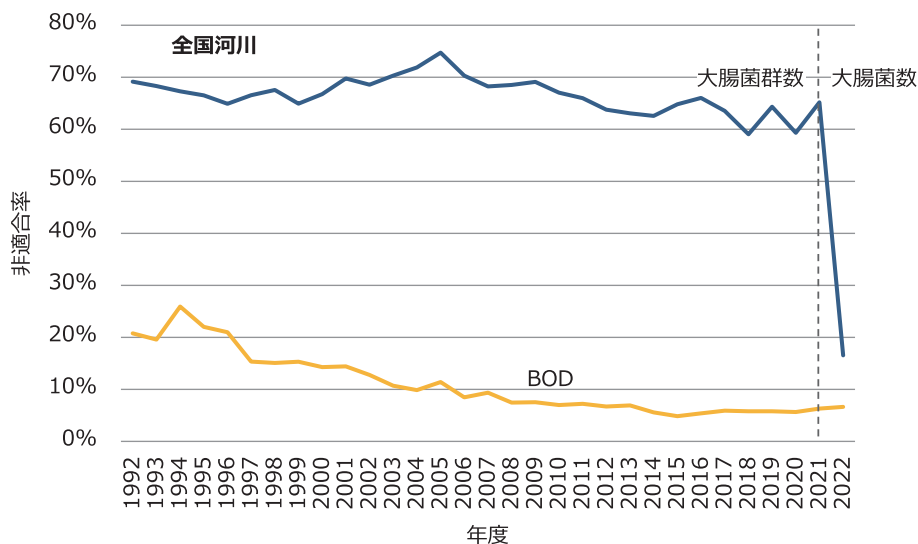
3. 環境基準設定後の水浴判定基準と水道水の衛生指標の変遷³⁾

1956年に厚生省から水浴場の基準が、また1970年には海水浴場の水質基準の判定条件が示され、その後、1972年から環境庁が水浴シーズンの水質調査を実施することとなった。その調査において、糞便に由来しない大腸菌群の存在、下水や環境水中での増殖、ウイルスや原虫類に関する指標性の問題などが指摘され、大腸菌群に代わって、より糞便汚染を強く反映する「大腸菌」を指標細菌にすることが提案された。その結果、1983年に大腸菌の代替法として「糞便性大腸菌群」が採用され、海水浴場の指標細菌が変更となった。1990年および1997年には、水浴場の判定基準の区分が見直され、現在は、「適」である二つのカテゴリー、水質AAでは糞便性大腸菌群が不検出、水質Aでは100 MPN/100 mL、「可」である二つのカテゴリー、水質Bでは400 MPN/100 mL、水質Cでは1,000 MPN/100 mLであり、1,000 MPN/100 mLを超えた場合は、「不適」と判定されている。

水道法水質基準では、微生物学的な試験項目のうち糞便指標として大腸菌群が、長年採用されてきたが、WHO飲料水水質ガイドライン⁵⁾の全面改訂にともない、わが国の水道水質基準も見直す必要性がでた。近年、大腸菌を特異的に検出できる試験方法が開発されたため、2003年に水道法水質基準の指標微生物が大腸菌群から大腸菌に変更された。

4. 公共用水域の大腸菌群の基準適合状況と基準値の見直し

図1に示すように、これまで、河川のBODの環境基準の達成が年々改善し、環境基準非適合地点が1桁のパーセントとなっているのに比べ、全国の河川で測定された大腸菌群数が環境基準値に適合していない地点の割合は60～70%と大きかった。特に河川の最上流域に当てはめられているAA類型では、達成率は10%程度と極めて低かった。



(環境省「公共用水域の測定結果」¹⁾ 他を基に作成)
適合率＝環境基準値に適合する測定検体数/総測定検体数

図1 全国公共用水域の環境基準非適合率

しかし、わが国ではこれまで環境基準の適合性が問題視されることはなかった。この理由は、大腸菌群数は人の糞便に由来する汚染だけでなく、土壌に由来する細菌を多く含むことがあり、清浄な河川においても土壌由来の大腸菌群数が環境基準値以上に存在し、環境基準値の適合性を大腸菌群数で議論することが意義を持たなかったためと考えられる。しかし、近年、病原性大腸菌 O-157 や *Cryptosporidium* (原虫) による水道での感染事故がわが国でも報告され、大きな問題となった。このため、冒頭で述べた環境省の報告書³⁾ が出されて以降、環境省で環境基準にどのような衛生学的な指標を用いるべきなのかの議論がはじまった。従来の基準の課題として、大腸菌群は糞便汚染の指標性が低く、水道水や水浴場など他法令に基づく基準等と整合していないことが指摘されてきた。

5. 新しい糞便指標と環境基準値

大腸菌群数の環境基準値は、水道、水産、水浴の利用目的の適応性の観点から検討されている。基準値設定の根拠については、1970年に開催された水質審議会に提出された「(参考) 水質環境基準の基準値の説明」と「水質汚濁に係る環境基準の項目追加について」に示されている。

大腸菌群に代わる望ましい衛生指標の検討として、現状で現実的に地方公共団体が測定できる、糞便性大腸菌群、大腸菌、腸球菌等が検討された。この結果、糞便汚染の指標としては、① 温血動物の腸管内に常在する通性嫌気性菌の中で最も数が多いこと、② 測定技術が確立され普及していること、③ 淡水域については、水道水質基準の項目が改正されたこと、④ 諸外国でも水浴基準として、淡水域に採用されている事例が多いこと、が必要な条件と考えられた。諸外国においては、海域では腸球菌が水浴基準に採用されている事例があるが、国内の海域で実施した腸球菌の調査結果をみると、検出頻度、菌数は大腸菌よりも少ない

こと、また陸域から海域への汚染源の影響を把握することが重要であるため、指標微生物の統一が望ましいこと等を理由として、大腸菌がふさわしいと考えられた。

次に、現況の類型区分にどのような大腸菌数の値を割り振るのが、大きな議論となった。環境省は、河川などの大腸菌群と大腸菌の数値を地方公共団体に依頼して採水分析してもらい、両者に相関性がないかを当初、議論した。しかし、指標変更の必要性で述べたように、両者には由来が異なるものがあり、結果的にも単純な相関関係から、大腸菌群から大腸菌に変更することは困難であるとの結論に至った。このため、改めて、水の利用用途となる、「自然環境保全」、「水浴」、「水道」、「水産」に基づいた大腸菌の数値設定が検討された。

(1) 自然環境保全

これまでの大腸菌群数の基準値設定には「自然環境保全」（自然探勝等の環境の保全）の利用目的は考慮されていない。一方、現行のBODの環境基準値設定時には、BODのAA類型の利用目的として「自然環境保全」（自然探勝等の環境の保全）が考慮されており、その考え方は「BOD 1 ppm以下の河川は、一般的にいて自然公園等はほとんど人為汚濁のない河川であり、自然景観の面からすればもっとも適しているといえる。」とされている。

大腸菌数についても「自然環境保全」（自然探勝等の環境保全）の観点から、ほとんど人為汚濁のない自然景観の面からも適した環境を目指した値を設定することには意義があることから、AA類型において環境基準値が導出された。海域A類型においても「自然環境保全」の観点から、現在自然公園等に指定されている水域の水質を保全していくことには意義があるとされた。

人為的な糞便汚染が極めて少ない地点の大腸菌数の実測値から、河川・湖沼は20 CFU/100 mL以下、自然公園等に指定されている海域の大腸菌数の実測値から、海域についても20 CFU/100 mL以下が環境基準値として導出された。AA類型は、「自然環境保全」の視点からは、最上流の人活動の影響が最も少ない地域を複数地点抽出し、「人為的汚染のない河川源流」の大腸菌数の経月変動の調査結果を踏まえるとともに、AA類型の流域に人の生活が実際にはあることも考慮し、大腸菌の実態をより多くの水域で考慮することとなった。また、基準値の判定にあたっては、大腸菌の数値が大きく変動すること、諸外国の基準の現状を考慮し、90%値で判断することが提案され、20 CFU/100 mLと定められたものである。

(2) 水浴

USEPAは1976年に定めた水浴基準を見直すため、1970年代から1980年代に疫学調査を実施し、「水浴」による疾患のリスクと指標細菌濃度との関係を求めた結果、淡水域では大腸菌あるいは腸球菌が、海域では腸球菌が指標微生物として適切と報告した。これまでの基準値では、淡水域の場合、胃腸炎を発生する過剰リスクが1,000人中8人、海域の場合は、1,000人中19人、何らかの疑いのある症状を起こすリスクが32.3人のリスクのレベルに相当することが明らかとなった。2012年にUSEPA⁴⁾は、新たな疫学データを加えて再整理した結果から、このリスクレベルは、大腸菌では幾何平均値で100 CFU/100 mL、90%値では大腸菌320 CFU/100 mLに相当するとしており、この値を水浴基準として示している（この基準では腸球菌での基準値のほか、罹患率が1,000人中36人の場合も示されている）。

「水浴」水利用目的が定められているA類型では、わが国の「人為的汚染があまりない比較的清浄な水浴場」の大腸菌のデータを踏まえつつ、水泳者の胃腸疾患等の罹患率の関係からUSEPAが水浴水質基準として導出した大腸菌数320 CFU/100 mLを参考に、300 CFU/100 mL以下が導出された。

(3) 水道

「水道」の視点からは、大腸菌群数の環境基準値は、各水道等級の浄水処理方法における水道原水の安全限界値から設定されていたが、浄水場に導入されている現状の浄水処理能力を踏まえると、同様の考え方に

よる設定は実態に即しておらず、AA 類型、A 類型、B 類型の数値は、それぞれ 1～3 級の浄水過程で、十分に水道水質を満足できると判断された。しかし、大腸菌は水道水質基準の一つの項目として位置づけられており、水道原水となりうる河川および湖沼の大腸菌の存在状況を把握する必要性は高い。水道の原水として近年問題視されている原虫やウイルスなどについては、指標の限界性から大腸菌数では把握できないが、生活環境項目として位置付けることで、河川および湖沼において大腸菌が一定のレベル以下となるよう水環境に係る施策が講じられることが期待され、これにより水道原水に係る汚濁対策の推進につながるとの意見があった。

そのため、水道 1 級相当、水道 2 級相当、水道 3 級相当の浄水処理方式を導入している浄水場原水の大腸菌数の実態（すなわち、年間集計値（90% 値））の分布から、水道 1 級は 100 CFU/100 mL 以下、水道 2 級は 300 CFU/100 mL 以下、水道 3 級は 1,000 CFU/100 mL 以下が導出された。

(4) 水産

なお、大腸菌群数の環境基準値設定時には、海域 A 類型において「水産 1 級のうち、生食用原料カキの養殖の利水点については、大腸菌群数 70 MPN/100 mL 以下とする。」とされているが、今回の大腸菌数への環境基準の見直しにあたり、実態として環境基準を参考に運用がされている事例は確認されなかったため、生食用原料カキの養殖の利水点における大腸菌数の環境基準値の設定はしないこととなった。

以上の検討結果を踏まえて、2021 年に表 2 に示す大腸菌の基準値が決定された（参考文献 6 に基づき作成）。

表 2 新たな環境基準値（大腸菌数）設定の考え方⁶⁾

類 型	新たな環境基準値案 (大腸菌数)	基準値案の考え方
河川・湖沼 AA 類型 (水道 1 級, 自然環境保全)	自然環境保全 20 CFU/100 mL 以下	自然環境保全（人為的なふん便汚染が極めて少ない地点の実態（23 CFU/100 mL））及び水道 1 級の水道原水の実態（147 CFU/100 mL）から基準値を算出。
	水道 1 級 100 CFU/100 mL 以下	
河川・湖沼・海域 A 類型 (水道 2 級, 水浴, 自然環境保全)	水道 2 級, 水浴 300 CFU/100 mL 以下	USEPA の水浴水質基準（320 CFU/100 mL）及び水道 2 級の水道原水の実態（350 CFU/100 mL）から基準値を算出。
	自然環境保全（海域） 20 CFU/100 mL 以下	海域の自然環境保全は、自然公園等に指定されている海域の大腸菌数の実測値から基準値を算出。
河川 B 類型 (水道 3 級)	1,000 CFU/100 mL 以下	水道 3 級の水道原水の実態（1,500 CFU/100 mL）から基準値を算出。

備考・水道原水及び自然環境保全の実態については、より望ましい水道を目指すため 2 桁目以下を切り捨てて基準値を導出
・年間 90% 値により評価

6. 下水道の放流水質基準と一律排水基準の大腸菌数の規制基準

わが国では、水質汚濁防止法に基づく衛生学的な排出基準は、大腸菌群数で 1 mL 中 3,000 個が定められている。この排出基準は、1938 年当時、散水ろ床法が使われていた下水処理場で塩素消毒をおこなわない放流水質の大腸菌群数を基に水道協会が放流下水の標準水質として定めたことを根拠にしている。その後、1958 年、水道協会に設けられた放流下水に関する特別調査委員会が、塩素滅菌をおこなえば、達成はさほど困難ではない値として、この大腸菌群数 3,000 個/mL 未満を報告し、1959 年の下水道施行令の無処理、簡易処理、中級処理、高級処理の放流水の水質の技術上の基準となった。1971 年に水質汚濁防止法での一律排水基準としてこの値がそのまま使われ、現在に至っている。

国土交通省⁷⁾は、環境基準の大腸菌への変更が検討されはじめたころから下水道における水系水質リスク

検討会を設置し、下水放流水基準を大腸菌に変更する検討をはじめた。下水処理場の放流水の大腸菌群数と大腸菌数の関係から、現行基準相当で設定する案、下水処理場の放流水実態を基に大部分の処理場が達成できる大腸菌数で設定する案、放流先の環境基準を達成できる大腸菌数で設定する案などが検討された。2018年、2019年に国土交通省が自治体に協力を求め、報告された全国の下水処理場の放流水中の大腸菌群数および大腸菌数の2,901試料の結果を基に、現状の消毒レベルと同等な基準とすることが検討された。検討にあたっては、放流水中の大腸菌群数3,000個/mLの基準値付近の大腸菌群数100～3,000個/mLのデータを用いて、大腸菌群数3,000個/mL相当の大腸菌数が算出された。その結果、大腸菌数/大腸菌群数の平均値は0.290となったため、大腸菌群数3,000個/mLに相当する大腸菌数は870 CFU/mLとなることから、放流水質基準は800 CFU/mLと設定された。

一方、環境省でも水質汚濁防止法で、大腸菌群数の排水基準を定める省令において3,000個/mLに設定している。排水基準は環境基準の維持・達成等を目的に設定するものであることから、環境基準と同一に管理するために排水基準の指標の大腸菌群数から大腸菌数への見直しが検討された。

排水の実態調査は大腸菌数を多く排出すると考えられる業種として、水道業（下水道関連業種）、宿泊業（旅館業）および農業（畜産業）を対象に実施するものとし、下水処理場、農業集落排水処理施設、し尿浄化槽（201人～500人槽）、宿泊業（旅館業）、農業（畜産業）でおこなわれた。今回の見直しの目的が指標の見直しであることを踏まえ、排水の実態調査による大腸菌群数と大腸菌数の存在比を大腸菌群数3,000個/mL付近の、大腸菌群数が100個/mL～3,000個/mLのデータを対象に整理した結果、平均0.28であった。この結果を基に大腸菌群数3,000個/mLに相当する大腸菌数は840 CFU/mL程度となることから、800 CFU/mLが設定された。

以上のように、下水道法と水質汚濁防止法とも、これまでの消毒レベルは変えず、放流水質、排水基準は、大腸菌数800 CFU/mLとする規制を2025年4月に施行している。

7. はじめて明らかになった糞便汚染の状況

2022年4月から環境中の大腸菌の測定がはじまり、環境省がはじめて2024年1月に2022年度公共用水域の測定結果として大腸菌数をとりまとめている¹⁾。全国河川では、2022年度は30,757検体中5,086検体で環境基準値の超過があり、適合率（環境基準値を満足する測定検体数/測定検体数）は83.5%となった。2021年度に大腸菌群を指標としていた適合率34.8%と比べて大きく改善されたとしている。全国湖沼については、2022年度は5,183検体中40検体で環境基準値の超過があり、適合率は99.2%であった。2021年度に大腸菌群を指標としていた場合の適合率71.3%と比べて大きく改善したとしている。全国海域については、2022年度は7,486検体中243検体で環境基準値の超過があり、適合率は96.8%となった。2021年度に大腸菌群を指標としていた場合の適合率96.7%と同程度であったとしている。このように、環境基準の指標を大腸菌群から大腸菌に変更したことで、糞便汚染をよりの確に評価できるようになり、大腸菌の適合率は大腸菌群数の場合よりも明らかに良くなった（表3）。

表3 改定前後の公共用水域における大腸菌群数と大腸菌数の環境基準の適合率¹⁾

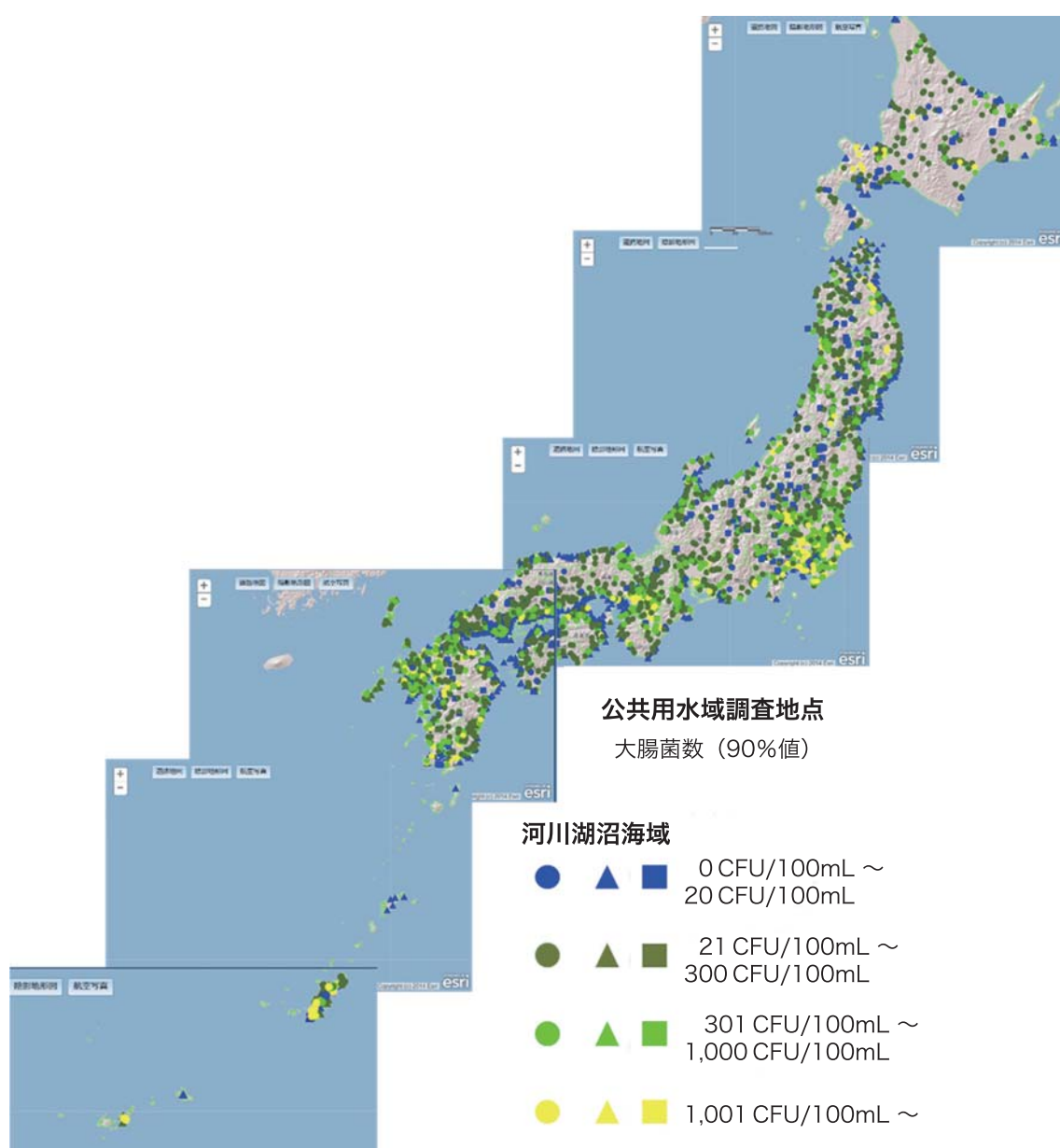
令和3年度 大腸菌群数			令和4年度 大腸菌数		
区分	総検体数	適合率	区分	総検体数	適合率
河川	31,412	34.8%	河川	30,757	83.5%
湖沼	5,512	71.3%	湖沼	5,183	99.2%
海域	7,783	96.7%	海域	7,486	96.8%

表4 2022年度公共用水域における大腸菌数の環境基準の達成率⁸⁾

水域区分		河川	湖沼	海域
調査地点数		4,475	2,434	2,535
うち類型指定地点		3,735	1,985	2,240
達成率 (%) 【地点数】	AA 類型	10.5 【52/496】	94.8 【276/291】	—
	A 類型	63.5 【1,342/2,115】	97.8 【1,589/1,625】	97.3 【1,821/1,872】
	B 類型	78.9 【597/757】	—	—

しかし、環境基準の判定は水の利用の安全性を示すことから、地点ごとの環境基準の達成の有無は、90%値（毎月1回の測定データなら最大値を除いた2番目に大きな値）で判定することとなっている。環境省がとりまとめた2022年度の全国の大腸菌数の環境基準の達成率（90%値が環境基準値を順守できている地点数を全地点数で割った比率）を表4に示している。河川の環境基準の達成率ではAA類型、A類型、B類型ともに10.5%、63.5%、78.9%と低く、特にAA類型は極めて低い結果になっている。つまり、環境基準としては達成できていない河川の水域が非常に多いということが、はじめて炙り出されたことを示している。

図2は、2022年度の全国の河川、湖沼、海域の大腸菌数の測定点の空間分布を90%値で示したものであり、環境省のデータベース⁹⁾を基に作成した。見づらくて恐縮であるが、河川のAA類型に相当するレベル（20 CFU/100 mL以下）を青、A類型に相当するレベル（21～300 CFU/100 mL）を緑、B類型に相当するレベル（301～1,000 CFU/100 mL）を黄緑、それを上回るレベル（1,000 CFU/100 mLを超えるもの）を黄色で示している。なお、○は河川、△は湖沼、□は海域を示している。大腸菌数の調査分布図をみると、AA類型、A



（環境省 水環境総合情報サイト⁹⁾から作成）

図2 2022年度公共用水域調査地点の大腸菌数（90%値）の全国分布

類型、B 類型指定の大腸菌数濃度に相当する青、緑、黄緑以外に、黄色が多くあることに気付く。この黄色の地点は、大腸菌数が河川 AA 類型、A 類型、B 類型、湖沼 AA 類型、A 類型、海域 A 類型のみでしか類型が定められていないため、黄色に相当する基準値はない。したがって環境基準値を満足していない測定地点である。また黄緑は、黄色とともに A 類型を満たしていないため、水浴のようなレクリエーション活動に不適切である地点である。都市が連続する大都市圏の中小河川での大腸菌数が多い傾向にあり、首都圏では、利根川下流部や多摩川中下流部のような河川の本川で大腸菌数が高い地点がみられる。また荒川、利根川、相模川の流域にある支川、都内や横浜市内などの都市河川にも、大腸菌数が高い地点がある。さらに利根川支川や霞ヶ浦支川などの農村部でも高い地点がみられる。また関西圏などでは、桂川下流部や大和川中下流部の本川でも黄色がみられ、排水を集める寝屋川、神崎川などでも黄色の値となっている。

全国的に大腸菌数では緑や黄緑が多く、河川上流域でも多く存在し、青は、一部の地域に限定されている。北海道では石狩川上流や豊平川下流、尻別川など、東北や九州では内陸部である大淀川、串良川、肝属川などでも、大腸菌数が黄色となっている地点がみられる。このように、都市域だけでなく、農村地域や畜産業が盛んな流域においても、大腸菌が高い水域がみられる。

8. 基準超過の原因と今後の改善対策

より糞便汚染の指標性が高い大腸菌数を新たな衛生微生物指標とすることで、よりの確に大腸菌数の検出状況を把握することが可能となり、はじめて糞便汚染状況がとらえられた。大腸菌は、ヒトや動物の糞便に由来するため、下水道、浄化槽、畜産業、あるいは野生生物等が主な排出源と考えられる。すでに 2023 年度の全国の下水道の普及率は、81.4%、合併浄化槽を含めた污水处理人口普及率は、93.3% に及ぶ。しかし、前述したように、これまでの大腸菌群数の排出基準は、放流先の大腸菌の水質環境基準を達成するために定められていたわけではなく、80 年以上前の下水处理で塩素消毒を強化しなくても達成できる技術上の基準に由来している。排水基準を定めている諸外国の中では、わが国の排水規制レベルは高くないことを知るべきであろう¹⁰⁾。

下水道や浄化槽の普及率が地域ごとに大きく違うことに加え、下水処理場や集合型浄化槽も放流先河川の希釈容量によっても、河川などの大腸菌数は大きく異なる。表 5 は、BOD (15 mg/L) と改定された大腸菌 (800 CFU/mL) の下水処理水の放流水質基準値を、放流先河川がそれぞれ AA、A、B の類型である場合に、どの程度の希釈容量が必要かを示したものである。BOD と比べ、大腸菌の場合には大きな希釈容量が必要で、例えば AA 類型の自然保全の場合には、BOD では 15 倍の希釈率に対して、4,000 倍必要である。もちろん、下水処理場や浄化槽の放流水質が十分低い場合があり、放流先での大腸菌の減衰が起こることも考えられるが、それでも大腸菌の場合には、BOD よりも大きな希釈が必要であることがわかる。処理レベルが下水道や合併浄化槽よりも低い、単独し尿浄化槽が利用されている場合には、これよりもさらに大きな希釈率が必要である。

また、流域に生息する野生動物、ペットや牧場で放牧されている家畜からも、大腸菌が排出される。畜舎で飼育されている畜産施設からも大腸菌が排出され、排水規制がかからない施設からも排出されることが考

表 5 大腸菌と BOD に関わる下水放流水質を環境基準値に低減させる希釈倍率

	河川 AA 類型 (自然環境保全)	河川 A 類型 (水道 1 級)	河川 B 類型 (水浴、水道 2 級)	河川 C 類型 (水浴、水道 3 級)
大腸菌の環境基準値	20 CFU/100 mL	100 CFU/100 mL	300 CFU/100 mL	1,000 CFU/100 mL
排水規制値を環境基準値にする希釈倍率	4,000 倍	800 倍	267 倍	80 倍
BOD の環境基準値	1 mg/L	1 mg/L	2 mg/L	3 mg/L
排水規制値を環境基準値にする希釈倍率	15 倍	15 倍	7.5 倍	5 倍

えられる。畜産施設の固形廃棄物は堆肥化が推奨されているが、堆肥化が不十分なまま農地に還元されると農地そのものも大腸菌の汚染源となる可能性も考えられる。これら動物由来の大腸菌の一部は、水環境に流出している可能性があり、特に雨天時には面源として流出する可能性がある。

そのため、環境基準値を達成していない水域では、流域ごとでの大腸菌の排出経路の追及が必要である。すなわち、排出源が何で、どこからどのような原因で大腸菌の排出が起こるのかを推定していくことが必要となる。最終的に環境基準を達成していくには、どこをどのように排出抑制していくことが合理的かをめざす計画を作るのが重要な議論になる。大腸菌は、BOD以上に下水道が対象にするヒトに由来するケースが多いエリアもあるので、流総計画として環境基準の達成を検討し、全国一律の排水基準から地域に応じた排水基準に変えるべきと考えられる。その際には雨天時の負荷排出の影響を受けることも考えるべきである。

下水道法では、公共用水域の環境基準を達成するため、流域単位で下水道整備計画を定めることとなっている。しかし、現在の対象はBOD、COD、窒素、リンにとどまっていて、衛生学的水質環境基準を達成するための放流水質の検討はおこなわれていない。今回、環境基準の項目見直しにより、大腸菌の公共用水域の測定とその達成の評価がおこなわれたため、大腸菌を対象とした下水処理場放流水の水質レベル、浄化槽を含めた排水体系の見直しを流総計画あるいはそれに類似した実行計画を立てることが必要である。

一方、大腸菌を塩素消毒したとしても、水道等で問題となる病原微生物、例えばウイルスや原虫なども影響がない適切なレベルに下げられているのかは保証されていないと思われる。わが国では下水道や浄化槽にしても消毒レベルは、排水規制がおこなわれている諸外国に比べて高くはない（図3）。わが国での排水の消毒方法は、主に塩素が経済的にも安価であることから広く用いられてきたが、消毒レベルを上げるとなると、塩素消毒槽の設計時間が15分程度と短いため、注入する塩素量を増やし、残留塩素濃度を上げる必要がある。特に、アンモニアが残留する生物処理や合流式下水道での簡易処理水などでは、通常、結合塩素消毒となるので、完全硝化や窒素除去をおこなった後の遊離塩素消毒よりも消毒効果が低くなり、大腸菌数が低くても、ウイルスなどの消毒耐性が高い病原微生物の除去が不十分となることに注意が必要である。さらに、遊離塩素が残留する場合は、放流先での水生生物へ悪影響を及ぼすことも懸念される。そのため、生物処理や消毒の前処理法を含め、より適切な消毒方法（塩素と水環境のトレードオフ、大腸菌より消毒耐性の高い病原体への効果、雨天時未処理下水を含めた効果、費用対効果）の検討が今後必要である。

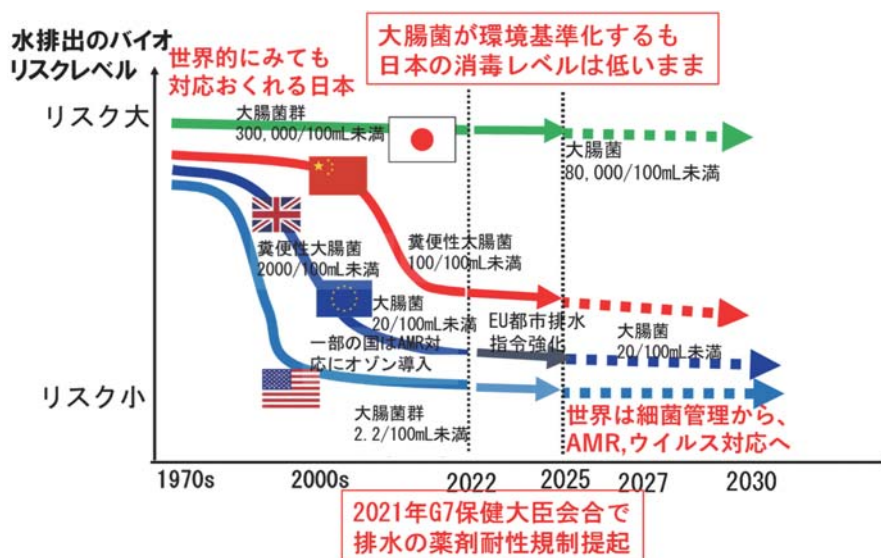


図3 諸外国と日本での水排出でのバイオリスクレベル

9. 未来社会創造事業本格研究におけるバイオリスクへの取り組み

途上国はもちろん、先進国においても病原微生物による水系感染疾患が依然問題となっており、飲料水、レクリエーション用水、下水処理水、再利用水、魚介類の安全性に注意が高まっている。わが国では、Cryptosporidium（原虫）による水道感染事故を契機に関心が高まってきたが、これまでは環境水での水系感染問題への関心が行政的に比較的低く、ようやく水質環境基準が本格的に見直された状況である。2019年に発生した新型コロナ禍を契機に、ウイルスによる感染症問題が重要な社会的課題としてようやく認識され、次に起こる新型インフルエンザなどの新興感染症の準備とともに、将来、着実にくるであろう Silent Pandemic として薬剤耐性（AMR: Antimicrobial Resistance）が重要問題として捉えられはじめた。そして、その中でヒト、動物、そして環境での状況把握と機構、それにもとづいた制御に取り組みはじめた。環境での取り組みが遅れていた日本においても、AMRの環境汚染状況と機構研究をおこなうことが、2023年度に改訂された「AMRアクションプラン」¹¹⁾に記載され、国においても調査を開始することになった。

これらの背景を基に、2022年に著者を研究代表として、JST（国立研究開発法人科学技術振興機構）未来社会創造事業本格研究「健全な社会と人を支える安全安心な水循環系の実現」の研究がスタートした¹²⁾。本研究開発により、安全安心な水環境の創出と水利用、さらに病原性微生物等による感染症に対して頑強な未来社会の構築を構想している（図4）。本研究は、人や社会と環境の間で循環する水を総合的に捉え、日常的に利用・飲食する水の安全、人や社会の活動にともない水環境へ排出される水の安全を確保し、子供から高齢者までの誰もが、無意識に水に関わるさまざまな健康リスクから衛られる社会を目指す。循環する「水」の安全レベルを科学技術によりさらに高次へと引き上げ、私たちが脅かす健康リスクの低減・制御に取り組む挑戦的課題である。

本研究課題のPOC（概念実証）は、POC1：重要管理点の明確化と人健康リスクの実態解明とPOC2：重要管理点において健康リスクを許容可能なレベルにコントロールする手法の開発を設定している。POC1では①水循環系における重要管理点の明確化とリスク実態の解明として、水循環系の中の健康リスクの発生源と拡散経路を把握し、高負荷で影響の深刻な発生源を「重要管理点」として明確化することを目指している。探索研究における成果から、重要管理点として、水供給では浄水施設、水排出では下水処理場、病院施設、畜産施設を候補とし、健康リスク実態を明らかにする。また、②下水疫学の社会実装による感染症リスクへレジリエントな社会の構築も設定している。これは、水循環系の安全安心を保つだけでなく、水（特に下水）から得られる公衆衛生情報を利用し、感染症の脅威から守られる社会の実現のため、下水疫学の社会実装を実現する。つまり既存インフラの下水道に、感染症にレジリエントな社会実現のための基盤インフラとしての新たな価値を見出すこととしている。

POC2では①具体的なモデル地域の重要管理点に高規格水処理システムを導入等し、水利用が重要な流



図4 JST 未来社会創造事業本格研究「健全な社会と人を支える安全安心な水循環系の実現」のビジョンと概念実証（POC）¹²⁾

域にある水循環系に内在する健康リスクを水利用段階で許容可能なレベルにコントロールが可能であり、かつ全国のさまざまな水環境への適用普遍性があること、これらを概念実証することを目指している。そして、重要管理点ごとに求められるリスクコントロールの考え方や方法を類型化する。また、②それらに基づき導入する新規の検出技術と水処理技術を開発し、健康リスクを許容可能なレベルにコントロールでき、それに要するコストが見合うことを示すとともに、実装時には、既存技術に比してコスト等の経済性が上回ること、あるいは、新しく技術導入するコストでインパクトある新たな公衆衛生改善の便益があることを目標としている。現在、取り組んでいる開発技術は、マイクロバブル-真空紫外線技術、超高濃度オゾン水処理技術、ナノバブルによる MBR 技術であり、既存技術に組み込むことを含めて、技術開発をおこなっている。

私たちは、水循環系のウイルス・病原性微生物・薬剤耐性菌等のバイオリスクによるさまざまな課題によって、直接・間接的に健康リスクに日々晒されている。限られた現状の水インフラシステムでは水利用にあたってリスクをゼロにすることはできないため、現在は健康リスクによる影響が顕在化する前から社会的ダメージを低減できる水インフラの再構築を目指すことが重要である。

10. お わ り に

環境基準の大腸菌群の見直しは、環境基準設定から、半世紀かかってようやくたどりついたものである。これまで述べてきたように、改定内容は、水の安全安心に完璧なものではなく、科学的にもっと詰めるべき課題が残されている。しかし、ようやく世界の先進国が問題とする課題に、わが国も議論をはじめめる段階になったと言えよう。環境基準が達成できているのかどうかの判定をおこなうことで、水域の糞便汚染が明らかになり、次にそれをどのように解決するかというサイクルに取り組みはじめてばかりである。

一方、2024 年 9 月に環境省中央環境審議会水環境・土壌環境部会の下にある生活環境の保全に関する水環境小委員会から「水質汚濁に係る生活環境の保全に関する環境基準の見直しについて」が提出された。

前述した大腸菌数の水域の類型指定の利用目的のうち、「水浴」に求める基準を水域全体に適用することは適当でない場合があり、「BOD, COD, SS, DO, 全窒素, 全リン」の項目を対象としている海外の事例は少ないことから、利用目的の適応性の欄から「水浴」を除外した上で、水浴には大腸菌数のみ位置付ける形で備考欄に記載することが適当である旨の行政手続きがおこなわれた。同時に、「水浴」は遊泳に限らずさまざまな利用用途となっていることから、水の経口摂取の可能性が高い活動として、水との触れ合い、水域でのスポーツ、レクリエーションなど広く水に触れる利用が含まれることを明記した。このことで、AA 類型や A 類型以外の水域にも「水浴」を位置づけることが可能となった。このように、新たな課題への行政的取り組みは、常に流動的に動いており、水関係者はその動向に注意を払っておくことをお勧めする。

参 考 文 献

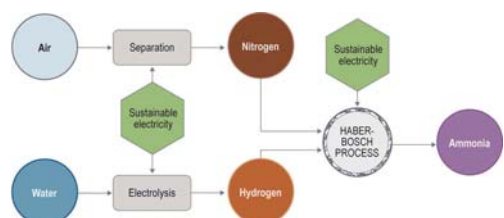
- 1) 環境省：令和 4 年度公共用水域水質測定結果及び地下水質測定結果について（2024）
- 2) 環境省：今後の水環境保全の在り方について（2011）
<https://www.env.go.jp/press/files/jp/17164.pdf>（2025 年 2 月 8 日確認）
- 3) 環境省：平成 28 年度 第 3 回 大腸菌環境基準検討会内部資料（2017）
- 4) USEPA: Recreational Water Quality Criteria, EPA-820-F-12-058（2012）
<https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-10/documents/rwqc2012.pdf>（2025 年 2 月 8 日確認）
- 5) WHO: Guidelines for Drinking-Water Quality, 3rd edition（2008）
<https://www.who.int/publications/i/item/9789241547611>（2025 年 2 月 8 日確認）
- 6) 環境省：水質汚濁に係る水質環境基準の見直しについて（概要）（2021）
<https://www.env.go.jp/content/900518009.pdf>（2025 年 3 月 7 日確認）
- 7) 国土交通省：平成 28 年度下水道における水系水質リスク検討会第 2 回内部資料（2018）
- 8) 環境省：2024 年水環境行政に関する話題，2024 年 5 月 24 日（2024）
- 9) 環境省：水環境総合情報サイト

- <https://water-pub.env.go.jp/water-pub/mizu-site/> (2025 年 2 月 8 日確認)
- 10) 田中宏明：下水・排水のリスク評価の考え方とその手法，病原性微生物のリスク評価，水のリスクマネジメント実務指針 第 7 部第 2 章第 4 節，サイエンスフォーラム (1998)
 - 11) 国際的に脅威となる感染症対策の強化のための国際連携等関係閣僚会議：薬剤耐性 (AMR) 対策アクションプラン 2023-2027 (2023)
https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/ap_honbun.pdf (2025 年 2 月 8 日確認)
 - 12) 田中宏明，松井佳彦：未来社会創造事業本格研究「健全な社会と人を支える安全安心な水循環系の実現」——全体構想と研究概要——，水道公論，61 巻，2 号，pp. 22-27 (2025)

解説

商社的視点から見た事業開発と低炭素燃料のメガトレンド

Megatrends in Business Development and Low-Carbon Fuel from the Perspective of a Trading Company



西村 豪人*

Hideto NISHIMURA

グリーンアンモニアの製造フロー

※ ICEF “Low-Carbon Ammonia Roadmap (2022)” より引用

【要 旨】 技術開発と事業開発は連続的なつながりを持つが、最終的に顧客の既存インフラ・設備の耐用年数や、受入れ可能なエネルギー価格の限界も踏まえた上で、異なる視点・発想で事業開発に取り組む必要がある。総合商社が大きな役割を果たした LNG の歴史を俯瞰し、日本が輸入を検討する有力な水素キャリアであるアンモニア、液化水素、LOHC の比較、さらに、長期的視点で、e-fuel、炭素除去技術による BECCS、DACCS の位置付けを述べる。気候条件、土地利用の制約等から日本の脱炭素は非常に厳しい条件下でおこなわざるを得ない。既に欧州で起こっているように、再エネ電力がオーバーフローした時の電力貯蔵を蓄電池だけでは対応不可能なことから、水素は大量、かつ、長期のエネルギー貯蔵手段である点を再認識する必要がある。日本が得意とする FCEV、定置用燃料電池は、末端の水素利用のアプリケーションの一つに過ぎず、今後もバッテリーの電流密度の更なる上昇とコスト低下で、厳しい競争に晒される。

キーワード：事業開発、水素キャリア、アンモニア、脱炭素、炭素除去技術

Abstract

As technology development and business development are consistently linked, it is necessary to approach business development from a variety of perspectives and ideas, ultimately taking into account the service life of the customers' existing infrastructure and facilities and the limits of acceptable energy prices. This paper outlines the history of LNG, in which general trading companies played a considerable role, and compares ammonia, liquefied hydrogen, and LOHC, which are major hydrogen carriers that Japan is considering importing. It also describes the positioning of BECCS and DACCS using e-fuel and carbon removal technology from a long-term perspective. Decarbonization in Japan must be promoted under very strict conditions due to climatic conditions and land use restrictions. As has already happened in Europe, batteries alone cannot cope with storing power in the event of a surplus of renewable energy power. Therefore, it is necessary to recognize once again that hydrogen is a means of long-term storage of large amounts of energy. FCEVs and stationary fuel cells, in which Japan excels, are just one of the applications for the end use of hydrogen and will continue to face intense competition due to further increases in battery current density and lower costs.

Keywords: business development, hydrogen carrier, ammonia, decarbonization, carbon removal technology

* MIRAI 経営戦略研究所 代表
MIRAI Management Strategy Research Institute President

1. はじめに

日本の脱炭素は非常に厳しい局面に差し掛かっている。20年前に日本のトヨタ自動車株式会社（トヨタ）、本田技研工業株式会社（ホンダ）が世界の最先端の燃料電池自動車（FCEV）を開発したが、その後のバッテリー技術の急速な進歩と部品点数の少なさでEVの成長が長期的には確実となった。現時点のEVの失速は一時的と見るべきである。

再エネ電力をEVに充電して車輪を駆動すれば、その電力は送電ロスを差し引いても70%程度がエネルギー量として活用可能である¹⁾。図1に見るよ

うに、FCEVでは車輪に伝わるエネルギーは僅か28%程度に留まる。

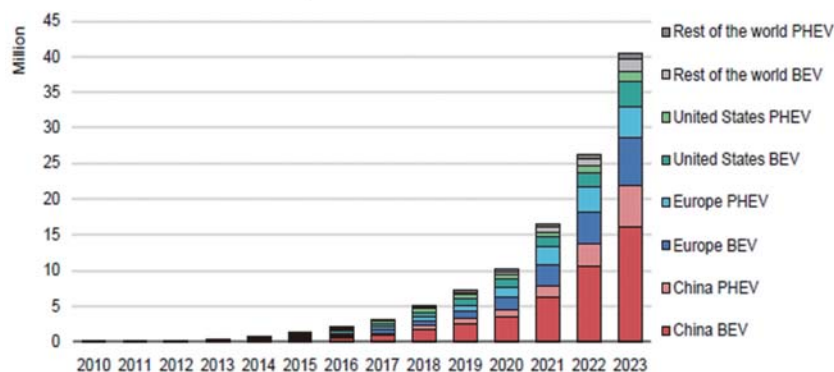
一般のFCEV乗用車は世界でほとんど売れていない。2023年時点の世界全体のEVの在庫台数が4,000万台（図2）に対して²⁾、高価なFCEVはたったの9万台に過ぎず（図3）³⁾、一般乗用車としてのFCEVに将来は望めない。今後、日本国内でも水素ステーションは、縮小の方向へと舵を切ること間違いはない。FCEVは大型トラックやバスといった特定のセグメントで生き残りをかけるが、EVに勝てる保証はない（図2、図3）。

日本ではFCEVの早期開発での成功体験が壁と



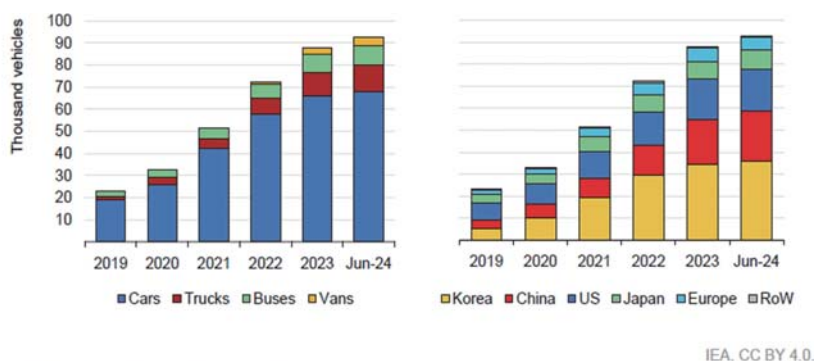
図1 BEV, FCEV, E-Fuel車のエネルギー効率の比較¹⁾

Global electric car stock trends, 2010-2023



IEA, CC BY 4.0.

図2 世界のEVの在庫台数の推移 2010-2023年²⁾



Growth in FCEVs was strongest in the truck segment for the second year in a row.

※ FCEV の成長は 2 年連続でトラック部門で最も堅調であったが、全体の在庫台数は 9 万台に過ぎず、EV に比べて不振を極める。水素ステーション設置も低迷する。

図 3 FCEV のセグメント別（左図）、地域別（右図）在庫台数 2019～2024 年³⁾

なって、本来の水素の役割が正しく理解されていない。電源構成に占める再エネ比率の高まりとともに、電力市場で供給過多となった再エネの余剰電力を一旦、水素に転換し貯蔵する役割が最も重要である。水電解で水素に転換した後は、その水素を貯蔵して必要な時にエネルギーとして活用するか、あるいは、直ぐに脱炭素用の燃料、あるいは、原料として電化が困難な分野で利用するか、のどちらかとなる。

いずれにしても、水電解での電力から水素への転換は約 3 割のエネルギー損失を被るので、再エネ電力はそのまま活用するのが望ましいことは言うまでもない。

水素は、出力変動型の再エネ電力のエネルギー需給調整機能を担うエネルギー貯蔵手段として位置付けるのが基本である。にもかかわらず、日本では液化水素船や、FCEV といった新しい技術にフォーカスが当たりがちで、エネルギーの最も重要な要素である値頃感（affordable）や、持続可能性と言った社会実装に必須な経済的な優先順位も軽視されがちである。

私は 1978 年に京都大学工学部資源工学科の修士課程を終えて総合商社に入社し、まずは、原燃料の国際貿易取引、その後、経営企画部や、エネルギー事業開発部長、海外での石油ガス開発プロジェクト、エネルギー分野のファンド関連の金融分野を含めて多様な業務に携わった。

2017 年の商社退社後は、自ら研究所を立ち上げ

て自身の新規事業立ち上げ経験とエネルギー分野でのプロジェクトマネジメント等の経験をベースに、多数の企業の新規事業開発の助言・支援、経営戦略策定等のサポートをおこなってきた。

本稿では脱炭素を前提とする場合に、商社の視点で過去の液化天然ガス（LNG）の歴史を振り返りながら、商社視点で技術研究、事業開発の本格的な商業プロジェクトとの違いや、今後の日本の低炭素エネルギーの確保という観点でエネルギーのメガトレンドを俯瞰してみたい。

2. 総合商社の業態と事業開発の関係

総合商社の個社の歴史と戦略に違いはあるものの、エネルギー、食糧・食品、鉄鋼、化学、機械、IT 等のさまざまな分野で事業活動をおこなうことから、その特徴は顧客基盤が広い点である。

広い顧客基盤をベースに徐々に事業投資や M&A に対象を広げてきたが、必ずしもすべてが収益拡大に寄与するわけではなく、また不良資産償却も珍しくなく、企業としての成長性が疑問視され、過去には商社冬の時代や氷河期などと揶揄される時期が幾度も訪れた。

私が勤めていた商社には、当時、エネルギー、金属、生活産業等の 5 つの事業グループが、そして各グループの CEO の下に本部と個別の部がぶら下がる組織となっており、それらの部に国内外の連結対

象となる数百の子会社、関連会社が連結されていた。年間純利益も低迷し、投入するリスクマネーに比べて収益性と、将来の成長性が疑問視されていた。まずは、事業のポートフォリオを入れ替えながら利益の拡大を目指そうというのが、当時のコンセンサスであった。

そういった方針のもと、各営業グループのヒト、モノ、カネの配分に対し、経営企画部が全社経営を補佐しながらセントラルコントロールをおこない、PDCA を回す経営改革に踏み込むことが決定された。

具体的には全社の事業を連結対象先を含めてビジネスモデルで切り分けて、責任者を本店のビジネスユニット・マネージャーに一元化させた。それまでの、連結先の事業会社のシニア経営層が本社側の経営改革に抵抗して、一向に経営改革が進まないという現実への反省から思い切ったものであった。

ビジネスユニットは、**拡張型ユニット**、**成長型ユニット**、**再構築型ユニット**の3分類とし、投下するリスクマネーからその資本コストを差し引いて、各ビジネスユニットの価値創造力を連結ベースで定量化した。各ビジネスユニットがその対面する事業リスクに対して十分な収益を上げているのか否かを分析し、毎年、会計年度末の事業戦略会議で各ユニットの戦略を議論した上で、事業構造改革戦略を決定する体制に移行した。

拡張型ユニットとは、当時、拡大を続ける LNG 事業のように当面稼げる事業で追加のリスクマネー投下をおこなう分野、**成長型ユニット**とは、当面、収益化は見込めず経費の負担が大きい、長期の観点で新規事業開発に取り組むユニット、**再構築型ユニット**とは、事業の現状と先行きに不安があり、他社との合併や、事業縮小、あるいは、売却の選択肢を検討する、といったメリハリのある定義付けをおこなった。

3. 商社における新規事業開発の事例

3.1 水素・燃料電池

将来、水素がエネルギーのあり方を一変させるかもしれないという当時（2002 年）の仮説に基づき、海外の水素分野に投資するベンチャーキャピタル（VC）への戦略投資や、自社が特許を保有していた

電解水素を高圧で自動発生させる水素技術の実装を目標に事業開発に取り組んだ。この事業開発においては、第一次実証には成功したが、第二次実証で技術的問題が生じ、商業化は断念した。また、大手自動車メーカーに北米のスタートアップ開発の燃料電池の発電部材を紹介し、FCEV 用としての採用の検討をおこなった。メーカーの実証予算獲得には成功したものの、実証テスト段階で期待レベルの成果が出せずに残念ながらクローズファイルとなった。

3.2 石油コークス専焼発電

新潟東港に、世界初の石油コークス専焼による 11 万 kW の発電所『フロンティアエネルギー新潟』を当時の大手エンジニアリング企業と大手石油精製販売企業と合併で設立した。本プロジェクトの目的は、電力販売ではなく、石油コークス輸入の商流の多様化による収益拡大にあった。（商社では投資にとまなう『随伴取引』という表現を用いる）世界ではじめての石油コークス専焼発電という点で話題となったプロジェクトである。2005 年に発電所が運開し、2020 年まで発電を続け、木質バイオマス混焼も実施したが、その後の脱炭素の圧力が強まる中で、2020 年にその使命を終え発電所は廃止された。

3.3 工場の CO₂ 排出量削減プロジェクト

大手飲料メーカーグループの全国工場の電力・熱源を従来の重油から一挙に天然ガスに切り替え、CO₂ 削減をおこなうオンサイト発電プロジェクトに取り組んだ。社内の機械グループが主管となり、エネルギー事業開発部が天然ガスの調達交渉・契約を担当する形で、両グループで合併会社を設立し、全工場の天然ガス転換を短期間に実現した。飲料メーカー側のバランスシート上の負担を軽減するために、オンサイト発電の資産は商社側で保有し、各工場は毎月の電力・熱の使用量に応じて支払いをおこなう当時としては、新しいビジネスモデルとして話題となった。

4. 新規事業開発で学んだパートナーリングと技術の成熟度の重要性

商社は、通常、社内で技術人員を長期的に育成する体制にはないケースが多いので、技術力、プロ

ジェクト実行能力の卓越した優良パートナーと組むことが基本となる。ただし、リスクマネーの巨額なプロジェクトとなると、技術成熟度（TRL）の高く商業化が可能な **Best Available Technology** を採用し、技術リスクを取ることはない。

また、エネルギーの供給は、長期的に手頃な（affordable）価格で、長期間（例えば20年間）需要家に対して安定供給のコミットをおこなうことが基本となる。

技術実証を目的とする投資に踏み込む場合もないとは言えないが、それなりの戦略的な目的が明確である場合に限るものであり、リスクマネーはかなり限定する。

完全に商業プロジェクトとして顧客に長期のエネルギー供給をおこなうプロジェクトの場合は、カントリートリスク、技術リスク、財務リスク、原料価格変動リスク、パートナーリスク等のあらゆるリスクケースを抽出して、おのおののリスクが生じた場合の対応策についての徹底した検討と準備が求められる。実際に発生した失敗プロジェクトを見ると、それらに共通するのは、まずは起こらないと当初判断していたリスクの複数要因が同時に発生して破綻に至るケースが思ったよりも多かった。

最近、技術を売り物にする企業が、安易にエネルギー資源ビジネスの高リターンに着目して、上流投資や商流へのビジネスに対し新規事業として興味を表明する事例が多く見受けられる。しかしながら、商品の輸送、在庫、販売等の商業経験のない企業が、それらの新規事業に新たにリスクマネーと人材を投入することには、慎重な姿勢を取ることをお勧めしている。高リターンは、裏を返せば高リスクを意味し、投下するリスクマネーが巨額であれば、最悪の場合大きな損失を負うことに繋がるからである。

一方で、メーカーの場合、新しい技術実証に成功し次の商業開発に入りたいが、追加のリスクマネーが自社にとって過大となるケースもある。その場合は、商業開発成功時の応分の成果分配を前提として、商業販売に長じたパートナーと組んで合弁企業を検討するといった方法は検討に値しよう。

5. LNG の歴史と脱炭素への貢献

20 世紀は石油の世紀と言われたが、天然ガスが大きく成長した時代でもある。通常、石油生産を目的として井戸（生産井）を掘ると、随伴ガスとして天然ガスや CO₂ も同時に生産される。体積あたりのエネルギー密度の高い原油と異なり、天然ガスは現地で大量の需要がないケースが多く、その処分と事業化が問題であった。ただし、天然ガスを -162℃ 以下に冷却すると液化天然ガス（LNG）となって、体積は気体の約 600 分の 1 になり、海上輸送が可能となることは以前から知られていた。

世界初の LNG 船舶による国際輸送は、1959 年に米国ルイジアナ州から、英国のキャンヴェイ・アイランド向けの Methane Pioneer 号によるもので、この本船は元々海軍用の船舶を改造したものであり、2,000 トンの LNG を輸送した。

日本での天然ガスの利用は、関東では東京ガス株式会社と東京電力株式会社が共同で、横浜市根岸に日本初の LNG 受け入れ基地を建設してはじまった。当時の公害問題（NO_x, SO_x, PM）の深刻化から、カロリー単価が従来比で 3 割高くなる中での LNG 導入の決定であったと、当時の関係者から聞いている。1969 年 11 月にアラスカからはじめての LNG タンカーが入港し、日本の LNG 輸入がはじまったが、Methane Pioneer 号のはじめての LNG 輸送から既に 10 年が経過していたことに注目したい。LNG を利用するには、上流のガス田開発にはじまり、ガス生産拠点から液化設備、輸出基地のあるポイントまでの天然ガスパイプラインの建設、LNG 船の開発と建造、輸入国側の LNG 受け入れ基地建設、再ガス化設備、下流でのガス導管の敷設等、LNG バリューチェーン全体でさまざまな企業に関わる巨額投資が必要であり、サプライチェーンに関与する数多くの企業と協働しながら、経済性のみならず安全・規制・環境問題等への広範な対応に長い時間と労力が必要となる点に注意が必要である。

この点は、後述する日本の水素輸入をどの水素キャリアでおこなうのか、という重大な問題を考える際にも、同様のロジックが当てはまる。

6. 何故、総合商社が LNG プロジェクトに参入できたのか？

日本の都市ガス事業は、古くは石炭を蒸し焼きにしてガスを生成し、副産物として石炭コークスを冶金用、鋳物用等のさまざまな用途に利用する時代が長く続いた。築地の魚市場の移転先の豊洲は、古くは東京ガスのコークス工場が有った跡地であった。地方ガス会社も、各地にコークス工場を保有して、都市ガスを石炭から生産し、輸送・販売していた。

このように都市ガスや発電用の原燃料も、長い歴史の中でかつての石炭から石油へ、さらには、天然ガスの時代へと変遷してきた。資源依存度の高い総合商社は石炭、石油の時代から、これらの販売を日本の顧客に対しておこない、長年、業界のエネルギートランジションに貢献してきたが、その努力が実り、LNG においてもブルネイで大手石油販売企業と組んで、液化部分で日本企業として初の投資に踏み切ったことで、LNG プロジェクトへの本格参入がはじまった。

LNG のケースも、技術成熟度 (TRL) が高い技術 (Best Available Technologies) で組み立てることに変わりがない。また、生産される LNG を確実に引き取れる顧客 (電力・ガス企業等) がオフテイク (購入先) となることで、20 年間の長期契約期間中も順調にオペレーションが継続されるという前提に立って、投資の意思決定 (FID) が為された。

今後の日本の脱炭素を目的とする水素利用は、どうなるのであろうか？

7. 日本の水素輸入は、液化水素、LOHC (液体有機水素キャリア)、アンモニアのいずれのキャリアによっておこなわれるのか、また、その理由は？

7.1 日本での脱炭素燃料としての水素

日本の太陽光、風力発電は、その気候条件の魅力が乏しいことから発電原価が高く、電解水素の競争力は乏しいと見られている。一方、回収した CO₂ の地下への貯留 (CCS) も検討されているものの、日本の置かれた地質学的条件や、既存インフラの乏しさから、経済合理性がある CCS は極めて限定的と筆者は考えている。

したがって、低炭素の水素をコストの低い海外で生産して、いかに日本へ輸送するか、ということがポイントとなる。海上輸送に適した水素キャリアには、液化水素、LOHC、アンモニアが主な選択肢となる (図 4) ので、それぞれのサプライチェーン全体のコストを試算して経済合理性のあるプロジェクトを選定する必要がある。

図 5 に見られるように、国際再生可能エネルギー機関 (IRENA)⁵⁾ は、どの水素キャリアが望ましいかを、輸送する距離と、生産する水素の数量の 2 軸で分析し、2050 年に最も経済的に優位と想定される水素キャリアを特定した。この図が示唆するのは、海外からの輸送距離が最低でも 10,000 km を超える日本では、アンモニアが最適なキャリアとなることが示されている。

	アンモニア	冷却して液化 (液化水素)	有機ケミカル ハイドライド
			
体積 (対常温・常圧水素ガス)	約 1300 分の 1	約 800 分の 1	約 500 分の 1
状態	液体 (−33℃、常圧)	液体 (−253℃、常圧)	液体 (常温・常圧)
毒性	有り	無し	合成するトルエンは毒性
特徴	既存施設を利用可能	冷却時にエネルギー消費。大規模液化施設、運搬船は技術開発途上	既存施設を利用可能。脱水素時に熱エネルギー必要

図 4 水素の大規模貯蔵・輸送の代表的な 3 方法⁴⁾

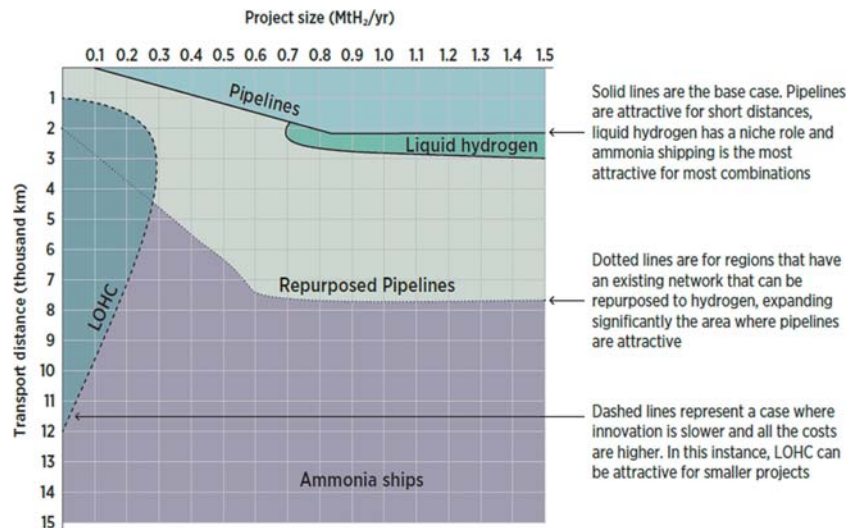


図5 プロジェクト規模（単位：水素百万トン年）と輸送距離（単位：千 km）を変数とした年の最もコスト効率の良い水素輸送の道筋⁵⁾

7.2 水素キャリアとしてのアンモニア

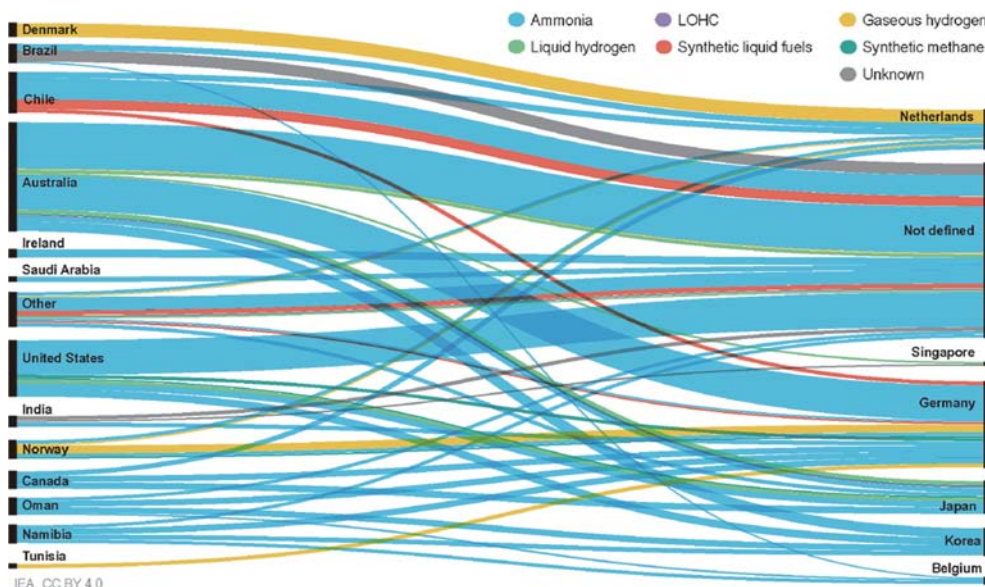
日本における水素輸入については、GX 戦略⁶⁾を取りまとめる経産省を中心として液化水素、アンモニア、LOHC を候補として、それぞれが相応の競争力を持つような情報発信が長らくおこなわれてきた。また、日本の特徴として商業レベルのプロジェクトよりも、その技術開発やイノベーションに大きな期待を寄せる方針が取られてきた。2030 年を5年後に控えて、いよいよ海外での水素、および水素派生品の大型プロジェクトの建設や、投資決定がはじまろうとしている。

国際エネルギー機関（IEA）の Global Hydrogen Review 2024³⁾（2024 年 9 月発表）によると 2030 年までに 1,600 万トン相当の水素ベースの原燃料プロジェクトが公表されており、130 件の低炭素水素の輸出志向プロジェクトがあるが、発表されているプロジェクトの生産量の約 85% がアンモニアで占められている（図 6）。その高い割合の理由のひとつは、肥料業界が既存プロセスを改修することなくそのまま使用できる原料、いわゆるドロップイン原料として低排出代替アンモニアを採用する準備ができていたことを示唆する。アンモニアは炭素を必要としないので、サプライチェーンが簡素化され、水素ベースの燃料としても魅力的な先行者となる。さらに、アンモニアは肥料業界によって確立された世界中のアンモニア輸送、貯蔵インフラの既存資産とノウハウをそのまま利用できる。ただし、アンモニアを燃料として燃焼させる場合は窒素酸化物（NO_x）と亜

酸化窒素（N₂O）の排出を最小限にする必要がある。

IEA の報告書によれば、公表済みの水素ベースの燃料プロジェクトの内、水素量換算で投資決定（FID）済み、もしくは建設中のものは僅か 5% に過ぎない。初期のプロジェクトは、再エネベースの水素と比較して、コスト的に有利な化石燃料（天然ガス）+CCUS によるブルー水素からのブルーアンモニアに焦点を当てている。電解水素からアンモニアを製造する場合、現在の資本費は生産コストの 50% を占め、特に電解槽の資本的支出（Capex）の比率が高い。

大型プロジェクトで既に投資決定（FID）が完了している代表的な案件は、サウジアラビアの NEOM プロジェクトである。太陽光、風力発電の電源と 1 モジュール 10 MW のユニットを連結させて 4 GW のアルカリ電解槽でグリーン水素を生産し、大気中の窒素とハーバー・ボッシュ法でグリーンアンモニアを合成する。20 万トンの水素をアンモニアに換算すると年間約 120 万トンのアンモニアが 2026-27 年に製造開始予定である。工業ガス大手の Air Products が全量のオフテイカーとなり、欧州のロッテルダム港、ドイツの主要港湾でアンモニアを受け入れてカーボンフリーの燃料として利用する。一部のアンモニアは分解触媒で水素に変換され、建設中の水素パイプラインにも接続される予定となっている。



※ 豪州、ブラジル、デンマーク、米国の5つの大規模プロジェクトは、発表された130の輸向け低排水素の全生産量の半分を占めている。

図6 対外発表に基づくキャリア別の潜在的な低排水素の2国間貿易フロー（2030年）

7.3 液化水素

液化水素による水素貿易は、液化プラントの規模の経済の原則から、生産国における大容量の液化プラント設置が不可欠であるが、実際にはそのような大型の液化水素製造プロジェクトは経済性の問題から存在しない。また、大容量の液化プラントに必要な積出港での液化貯蔵設備、液化水素船への投資、さらには液化水素受入国における水素の大量貯蔵・輸送インフラへの投資と、サプライチェーン全体での投資金額はアンモニアと比較できないほどの巨額となる。さらに、日本国内での液化水素のオフテイカーを先行して確保する必要性を考えると、液化水素の商業ベースでの日本への輸入は非常にハードルが高く、その時期も予想は困難である。

液化水素に比べて冷却温度が90℃近く高いLNGでさえも、世界的なプロジェクトの誕生と、市場規模の拡大には非常に長い年数を必要としてきた点が教訓となる。

液化水素の貿易取引は、輸出側、および輸入側の双方で、既存インフラの活用余地が乏しく、サプライチェーン全体での巨額投資となることから、世界の水素貿易の公表済みのプロジェクトで液化水素案件の比率が極端に低くなっている。

液化水素の貿易をおこなう前提としては、生産規模をある程度抑制する必要があるだけでなく、輸送距離が長くなるに連れて、輸送コストもアンモニア

と比べて割高となる。輸出港と輸入港の間の船舶での輸送距離は2,000～3,000 km程度でない限り、アンモニアと比較した場合の競争力の発揮が困難との指摘が、国際的なエネルギー機関（IRENA等）の分析結論として発表されている。

実際に欧州においては、ポルトガルが太陽光発電をベースとした大規模水電解で水素を製造し、それを液化して5,000トンの船型でロッテルダム港へ輸送することが過去に検討されていたが、その後の進展は報告されていない。

日本での水素輸入を前提とすると、液化水素の生産国候補は、米国、豪州、中東、南米等が想定されるが、その輸送距離は10,000～20,000 kmとなることから、液化水素の日本への商業規模での輸入は、経済的に極めてハードルが高い。

7.4 LOHC（液体有機水素キャリア）

最大の難点は、トルエン等のLOHCの担体に含まれる水素含有量は重量比4～7%と極めて低比率となる点である。すなわち、重量比で7%の水素を輸送するために93%のトルエンが必要となる。LOHCを日本で受け入れた後は、水素を取り出した後に残るトルエンを再び、輸出地に戻す必要がある。一部の日本の石油精製所で、トルエンをそのまま製油システムに投入することが検討されているようであるが、そのようなケースは、日本全体では例

外的な事例と思われる。

現在、検討中の水素キャリアのほとんどは、トルエン等のニッチな化学品であるため、スケールアップする際に困難が生じる可能性がある。例えば IRENA の前述の報告書によれば、水素を年間 1,000 万トン・2 万 km の距離で輸送するには、300 隻以上の輸送船が必要で、総在庫 3,500 万トンのトルエンが必要となる。2020 年のトルエンの世界の生産量は約 3,000 万トンであったので世界生産の 1 年分のトルエンが必要となる点を問題点のひとつとして指摘している。

ほとんどの LOHC は製品の組み合わせの一つの要素として生産される。ほとんどの LOHC は特殊製品として高い生産コストが特徴であるので、プロジェクトの総資本コストが増加する。メリットとしては輸送を従来の船舶でおこなえる点である。

8. 日本の水素輸入を支配するアンモニア

2030 年に向けて、日本、韓国、シンガポール、欧州等、世界的にアンモニアが水素キャリアとしての有力な貿易取引の手段となりつつある。

日本においては、2023 年に、三井化学株式会社、AGC 株式会社（旭硝子）がアンモニア導入による排出量削減に取り組むことを発表した。同年、UBE 三菱セメント株式会社は、セメント製造でアンモニア混焼の実証をおこない、技術を確認することを発表した。鉄鋼セクターでも、高温熱需要に対してアンモニアの導入を検討する等、いわゆる脱炭素コストが高い重厚長大産業における排出削減の手段として、海外からの低炭素アンモニア導入が有力な手段であることが発表されはじめた。

さらに、出光興産株式会社は、2024 年 2 月に米国における年産 110-120 万トンの低炭素アンモニアプロジェクトへの参画を表明した。さらには、同年 3 月には、同社の製油所において、商業用ナフサ分解炉での燃料アンモニアの混焼の実証に成功したことを発表した。

中部経済圏ではトヨタが株式会社 JERA、および愛知県と連携してアンモニアを脱炭素の手段として活用することを昨年表明している。主たる用途は高温の熱を必要とする工場でのエネルギーとしての利用と思われるが、アンモニアの直接燃焼に留まらず

に、分解触媒を利用してアンモニアから水素を生成させることで、水素をそのまま水素利用のフォークリフトや定置用燃料電池等の既存の発電設備で利用できることも選択肢の一つとしている。

かかるケースに見られるように、日本の水素輸入はアンモニアを中心に進むことが明確になってきた。化石燃料のボイラー、タービン、エンジン等においてアンモニアの直接燃焼、および分解触媒による水素生産が、その有力な選択肢になりつつある。これらの動きは海運においてもはじまっており、大型船の燃料は、長期的にメタノール、アンモニアが主な低炭素燃料として活用されることが、各種の世界的な文献で指摘されている。

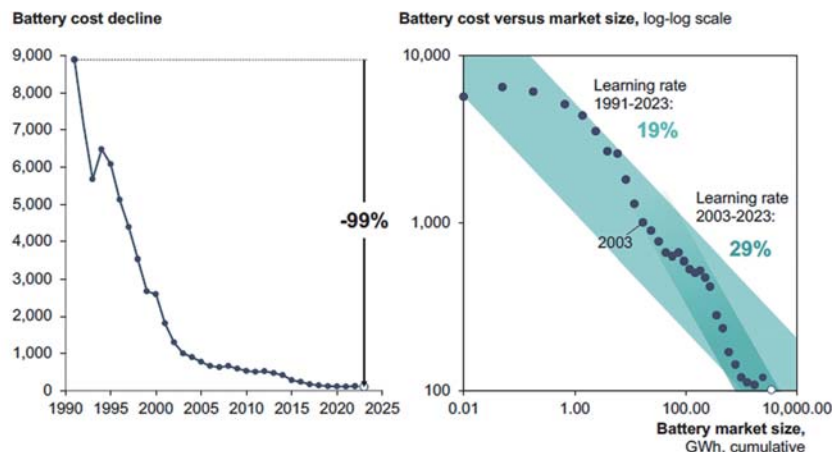
日本における水素利用が、アンモニアによっておこなわれることが明確になりつつある中、燃焼機器におけるアンモニア混焼や分解後の水素利用等のエンドユースでの検討が今後進むと思われる。

9. アンモニア後の脱炭素エネルギーについて

ゼロ金利時代と比較して、各国の金利上昇とインフレの進行から、水電解によるグリーン水素の生産コストが従来の予想よりも高騰しており、しばらくは商業プロジェクトの延期や中断がある程度続くものと思われる。しかし、2050 年にカーボンニュートラルを達成するとすれば、現在の厳しい現実とのギャップは余りにも大きい。そのことから、バックストップ・テクノロジー（最後の砦）と言われる、炭素除去技術に焦点が当たっている。

炭素除去（Carbon Dioxide Removal=CDR）とは、DAC（大気直接回収）やバイオエネルギー発電と組み合わせ、DACCS、BECCS のように CO₂ を長期にわたって地下に貯留する CCS と組み合わせるテクノロジーで、マイナスの排出量（ネガティブ・エミッション）が期待できることから、これらのプロジェクトによるボランタリー・カーボン・クレジットが既に昨年来、相当の高値で取引されている。

この現象は、現状の世界全体での脱炭素の取り組みが、IEA などの発表している 2050 年のネットゼロシナリオと比較して、あまりにそのギャップが大きく到底実現不可能と判断されることから、バックストップテクノロジーにより一層の期待が集まって



Source: Ziegler and Trancik (2021)⁸ for 1991-2014, BNEF Lithium-Ion Battery Price Survey (2023)⁹ for 2015-2023, RMI analysis

(左図：バッテリーのコスト推移 (\$/kWh), 右図：バッテリーコスト対市場規模 (GWh))

図7 リチウムイオン・バッテリーのコスト⁷⁾

いるものと思われる。

e-fuel, e-メタンにしても, EU の規定では原料とする CO₂ は, 2041 年以降, 工場地帯からの点源 CO₂ でなく, 大気からの回収 CO₂, もしくはバイオ由来の CO₂ とすることがルールとして明記されている。

また, e-fuel, e-メタンにせよ, 現在の合成燃料の商業化技術は 1 世紀前に発明された製造法である点に留意が必要である。e-fuel 生産には, フィッシャー・トロプッシュ法, アンモニア合成はハーバー・ボッシュ法, e-メタン生成のためのメタネーションはサバティエ反応で, いずれも高温, 高圧の環境下でかなりのエネルギー損失を被りながらこれら合成燃料を生産する。これらの技術の基本は, 当時世界の化学業界を牽引していたドイツ, フランスの技術であること, また過去 1 世紀の間に代わっていないことに驚かされる。

このエネルギー損失の観点からも, 再エネ電源からいかにエネルギー損失を少なくして, 効率的にエネルギーを利用するかが, 今後の商業化のポイントである。EV の量産で鍛えられたリチウムイオン電池は, さまざまなミネラル, 原料の組み合わせが可能なことから多くのイノベーションが起こり, 驚くほどの電流密度の改善とコスト削減(図7)を実現している⁷⁾。今後, 生成 AI, さらに量子コンピュータが実用化されれば, 使用する原料の組み合わせシミュレーションを極めて短期間におこなえるようになり, 従来にない速度で技術開発が進む可能性があると思われる。その意味で, EV はソフト

ウェアのアップデートと併せて, バッテリーの性能・コスト両面でさらに驚くような進化を成し, その結果再エネ併設の定置用バッテリーも普及が進むと予想される。さらに, 電力の貯蔵と利用の両面で, VPP (仮想発電所), V2G (Vehicle-to-Grid) といった電力の需給調整を利益の源泉とする企業や個人が多く出現しようとしている。

これらの状況を考えると, カーボンニュートラルは, 今後, 脱炭素コストの低い技術から徐々に高い技術へと, その投資がシフトして行くものと考えられる。

日本企業の技術力を生かしたイノベーションと, 人類の更なる英知を結集した国際協調によって, 総合的な温暖化対策が着実に進んでいくことを期待したい。

参考文献

- 1) DNV: Energy Transition Outlook 2023, Transport in Transition
- 2) IEA: Global EV Outlook 2024
- 3) IEA: Global Hydrogen Review 2024
- 4) 毎日新聞: 再エネ推進派でも意外と知らない「グレー水素」「ブルー水素」「グリーン水素」の違い, 週間エコノミスト Online, 2021 年 3 月 3 日
- 5) IRENA: Global Hydrogen Trade to meet 1.5°C Climate Goal PART II (2022)
- 6) 経産省: GX 実現に向けた基本方針, 2023 年 2 月 10 日
- 7) RMI: X-Change: Batteries, The Battery Domino Effect (2023)

報 告

省エネルギー型 CO₂分離回収技術の実証

Demonstration of Energy-Saving Carbon Dioxide Capture and Recovery Technology



美濃谷 広* 万ノ友哉*

Hiroshi MINOYA

Tomoya MANNO

巽 圭司* 鎌田 全一*

Keiji TATSUMI

Masakazu KAMADA

【要 旨】 2050 年のカーボンニュートラルの実現のためには、燃焼排ガスなどの CO₂ 排出源から CO₂ を分離回収し、貯蔵・固定化することが必要不可欠である。化学吸収法は、比較的气体量が多く CO₂ 濃度が低い燃焼排ガスからの CO₂ 分離・回収に適しているが、CO₂ 再生工程で大量の熱エネルギーを消費することが課題である。本稿では、低熱量で CO₂ の回収が可能な非水系の新規吸収液を用いた省エネルギー型 CO₂ 分離回収技術のオンサイト実証試験について報告する。

キーワード：CO₂ 分離回収，カーボンニュートラル，化学吸収法，非水系吸収液，オンサイト実証試験

Abstract

In order to achieve carbon neutrality by 2050, it is essential to capture and recover CO₂ from its emission sources, such as combustion exhaust gas, and to store and fix it. The chemical absorption method is suitable for capturing and recovering CO₂ from combustion exhaust gas with a relatively large gas volume and low CO₂ concentration. However, the issue is that a large amount of thermal energy is consumed in the CO₂ regeneration process. This paper reports on an on-site demonstration test of energy-saving carbon dioxide capture and recovery technology using a new non-aqueous absorption liquid that is capable of recovering CO₂ at a low calorific value.

Keywords: carbon dioxide capture and recovery, carbon neutral, chemical absorption method, non-aqueous absorption liquid, on-site demonstration test

* 装置技術部
Mechanical Design & Engineering Dept.

1. はじめに

2050年のカーボンニュートラルの実現のためには、燃焼排ガスなどのCO₂排出源からCO₂を分離回収し、貯蔵・固定化することが必要不可欠であると言われている。当社が主力とするごみ処理施設やバイオマス発電施設などの燃焼排ガスは、比較的ガス量が多い一方でCO₂濃度が低いことが特徴である。このような排ガスからCO₂を高純度で回収するためには、吸収液を用いた化学反応によりCO₂を吸収し、その後吸収液を加熱することでCO₂を放散・回収する「化学吸収法」が適している。しかしながら、加熱の際に大量の熱エネルギーを必要とすることからプロセスでの省エネルギー化が課題とされている。

当社では、化学吸収法におけるエネルギー消費量削減を目指して、国立研究開発法人産業技術総合研究所（AIST）と共同で、従来の吸収液より低温でCO₂を放散できるという特長をもつ新規の非水系吸収液を開発した。新規吸収液の特長を図1に示す。また、本システムの実用化に向け、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託事業における技術調査や、当社播磨工場内実験センターでの吸収液評価試験をおこなうなどの取り組みを進めてきた^{1,2)}。本稿では、稼働中のバイ

オマス発電施設からの燃焼排ガスを用いて、2024年から開始したCO₂分離回収装置の実証試験について報告する。

2. 試験装置概要

当社が2015年に納入し、現在稼働中である「真庭バイオマス発電所」（所在：岡山県真庭市）の敷地内にCO₂分離回収試験装置を設置し、バイオマス発電施設からの燃焼排ガスを用いたオンサイトでの実証試験を2024年7月から開始した。

CO₂分離回収試験装置のフローを図2、外観を図3に示す。本試験は、バイオマス発電施設のろ過式集塵装置出口の煙道から一部引き抜いた排ガスを、排ガス洗浄装置で酸性ガス成分を除去した後、CO₂吸収装置に供給するフローとした。CO₂吸収装置に供給された排ガスは吸収液と接触してCO₂が吸収液中に吸収される。CO₂を吸収した吸収液は、吸収液再生装置に送られて加熱することでCO₂を放散し再生される。再生された吸収液は、再度CO₂吸収装置に供給して循環利用される。CO₂吸収装置での排ガスと吸収液の温度は40℃程度、吸収液再生装置での再生温度は従来の吸収液よりも低い温度（水の沸点以下）として運転し、最大で500 kg-CO₂/日の分離回収が可能な装置である。

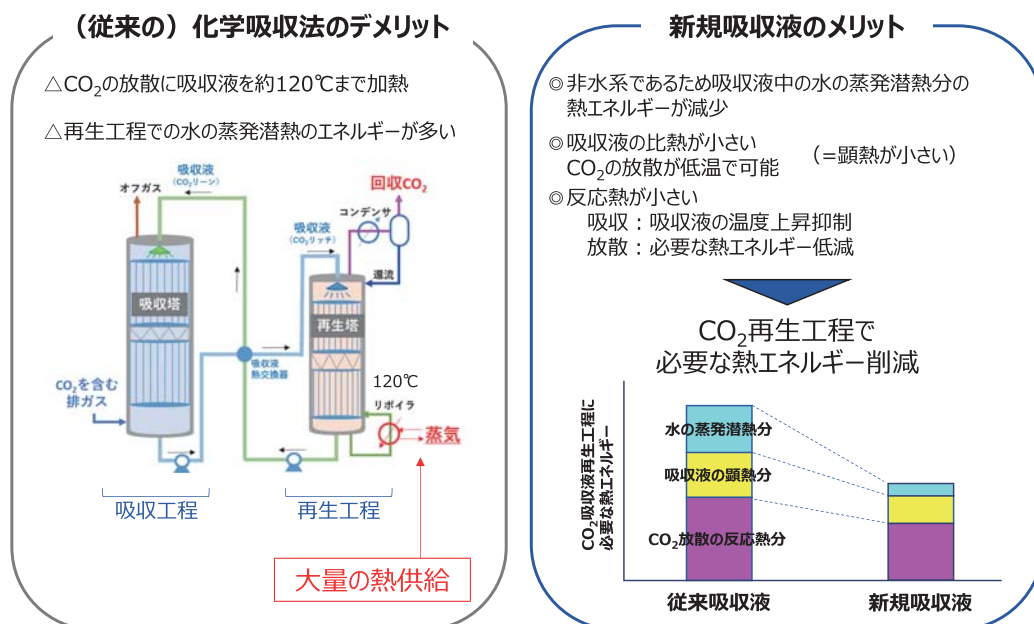
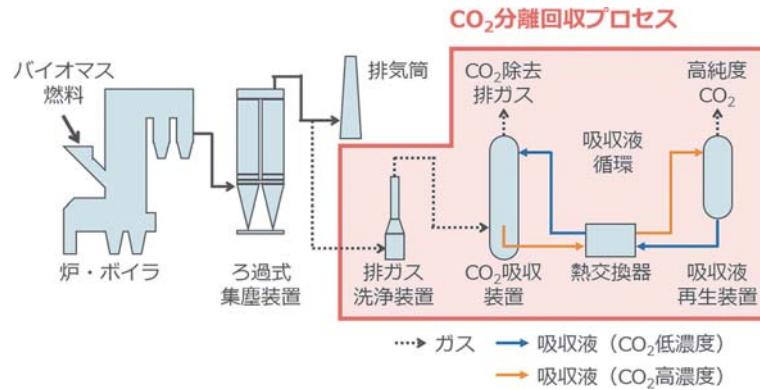


図1 新規吸収液の特長

図2 CO₂分離回収試験装置フロー図3 CO₂分離回収試験装置外観

3. 試験結果

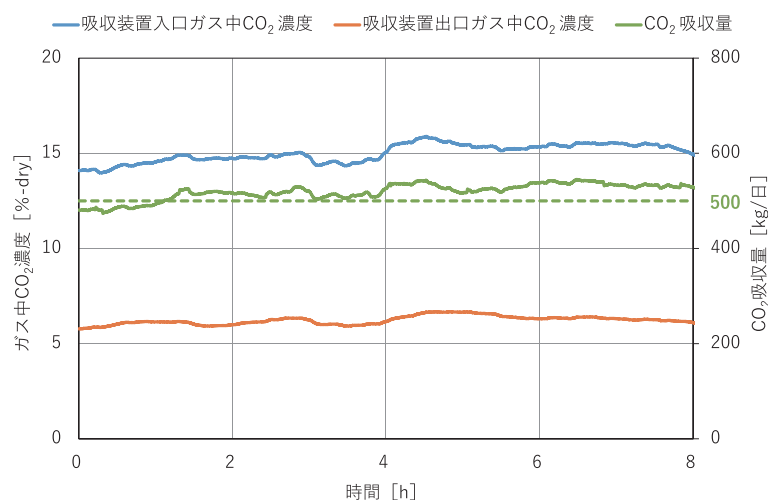
3.1 CO₂分離回収システムの最適化

本試験装置では、吸収装置への通ガス量や吸収液の循環量、吸収装置入口ガス中のCO₂濃度（排ガスを空気希釈することでCO₂濃度を調整）等の運転条件

を変更し、本システムの最適化に必要なデータを取得することを目的としている。

本試験では、実際の燃焼排ガスを用いて実証をおこない、吸収液のCO₂吸収性能が模擬ガスを用いたラボスケールの試験と同等の性能であることが確認できた。また、吸収液は、従来の吸収液よりも低い温度（水の沸点以下）でも安定してCO₂の放散が可能であり、この再生した吸収液を循環して連続運転可能であることも確認できた。

試験結果の一例として、図4にCO₂吸収量のトレンドを示す。排ガスからのCO₂吸収量は吸収装置入口のガス中CO₂濃度によって変動するが、本設備仕様となる最大で500 kg-CO₂/日以上以上の回収が可能であった。また、排ガスからのCO₂回収率は吸収装置出口のガス中CO₂濃度をどこまで低減できるかに依存することから、本システムでの吸収装置出口のガス中CO₂濃度の下限値を確認する試験を実施した。本実証設備の吸収装置高さは十分に

図4 CO₂吸収量トレンド

ないため、装置高さを十分に確保した場合の最終ゾーン付近の CO_2 濃度を模擬して本装置入口ガス中の CO_2 を 2% 程度の低濃度とし、吸収後の出口ガス中 CO_2 濃度が何 % まで到達するかという吸収能力を確認した。試験結果は図 5 に示す通り、吸収装置出口のガス中 CO_2 濃度は 1 % 程度まで低減できており、入口ガス中 CO_2 濃度が 10% 以上であれば、本システムにおいて CO_2 回収率 90% 以上を達成できることが実証された。

本装置にてさまざまな運転条件で試験をおこない、データを取得することで、本システムの実用化に向け、スケールアップした規模における吸収装置の高さや吸収液の循環量等の最適化が可能となった。なお、本システムでの吸収液の再生に必要なエネルギーは、本試験結果からの試算ではあるが CO_2 回

収率 90% で 2.5 GJ/t- CO_2 程度となる見込みであり、想定通りの省エネルギー効果が確認されている。

3.2 吸収性能の安定性評価

現在、吸収装置への通ガス量や吸収液量などの運転条件を一定として、吸収液の CO_2 吸収性能の変化の有無を確認する長期安定性評価試験を実施中である。吸収装置の入口・出口ガス中 CO_2 濃度の変動を図 6 に示す。2024 年 12 月末時点で約 1,000 時間の運転をおこなっているが、吸収装置出口のガス中 CO_2 濃度に大きな変化はなく、吸収液の CO_2 吸収性能は安定している。引き続き吸収液の長期的な CO_2 吸収性能評価を実施していく予定である。

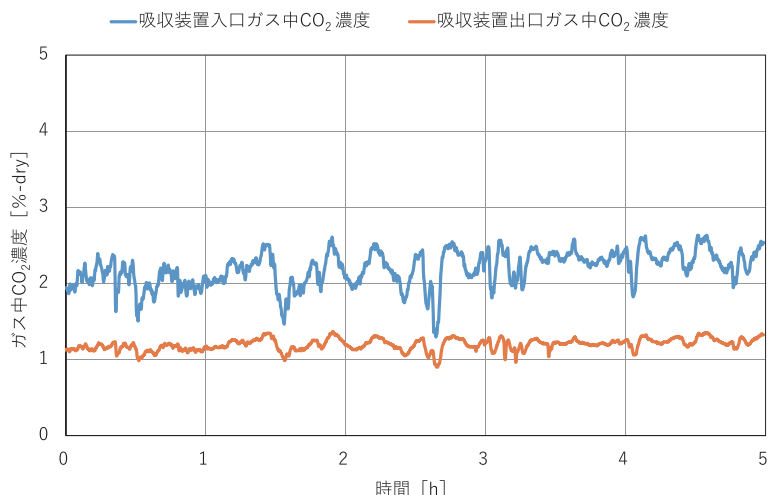


図 5 吸収装置ガス中 CO_2 濃度トレンド

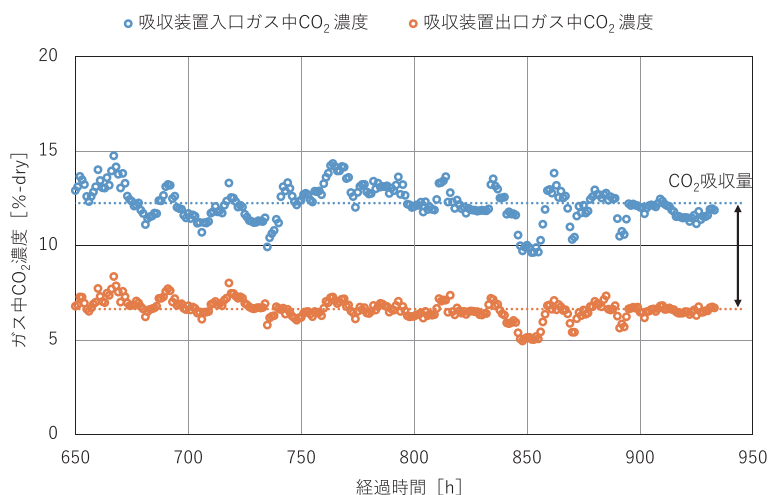


図 6 吸収装置入口・出口ガス中 CO_2 濃度の変動

4. お わ り に

新規吸収液を用いた CO₂分離回収試験装置において、稼働中のバイオマス発電施設からの燃焼排ガスに適用し、安定して CO₂の吸収・放散が可能であることが確認できた。本試験で得られた結果を基に、今後は本試験装置をスケールアップし、一般廃棄物処理施設においても実証をおこなう予定である。当社としては、カーボンニュートラル技術の実装による脱炭素社会の早期実現に貢献できるよう、CO₂分離回収技術の実用化に向けた取り組みを進める所存である。

謝 辞

本試験の実施にあたりご理解・ご協力頂いております真庭バイオマス発電所の関係各位に深く感謝申し上げます。

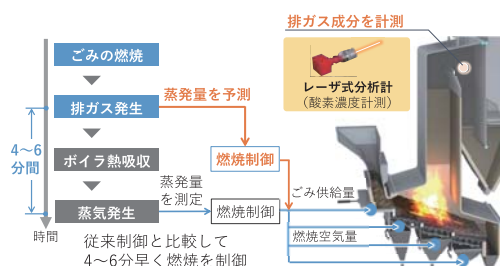
参 考 文 献

- 1) 藤川宗治，釧持恭平：省エネルギー型 CO₂分離回収技術の開発，タクマ技報，Vol. 31, No. 2, pp. 43-47 (2023)
- 2) 藤川宗治，釧持恭平，佐藤和宏，増田孝弘：省エネルギー型 CO₂分離回収技術の開発（第2報），タクマ技報，Vol. 32, No. 1, pp. 22-29 (2024)

報 告

レーザ式排ガス分析計を用いたボイラー蒸発量のリアルタイム予測と制御への適用

Real-Time Prediction of Boiler Steam Flow Rate Using Laser Gas Analyzer and Its Application to Control



吉 本 慎 吾* 秋 山 仁*
Shingo YOSHIMOTO Jin AKIYAMA

【要 旨】 燃焼室出口に設置したレーザ式排ガス分析計を用いてリアルタイム測定した燃焼排ガスの O_2 濃度と炉内に供給している燃焼空気流量の測定値を用いて、従来方法よりも簡易にボイラー蒸発量を予測できる方法を考案した。本方法によるボイラー蒸発量予測値は、従来方法と同様にボイラー蒸発量実測値に対し4~6分先行して変動を検知できる。都市ごみ焼却プラントの自動燃焼制御でボイラー蒸発量実測値の代わりに本方法によるボイラー蒸発量予測値を用いて制御をおこなった結果、燃焼安定化により実測値を用いて制御した場合と比べてボイラー蒸発量の変動幅を約40%に低減でき、従来方法によるボイラー蒸発量予測値を用いた場合と同等の結果を得た。また、排ガス再循環設備の再循環ガス流量の制御にボイラー蒸発量予測値を適用した結果、再循環ガス流量制御をおこなわない場合に比べて発生 NO_x 濃度の変動が抑制され、触媒脱硝装置のアンモニア水使用量を約25%削減できた。

キーワード：レーザ式排ガス分析計，自動燃焼制御，ボイラー蒸発量， NO_x 濃度

Abstract

We have developed a method to predict boiler steam flow rate using the O_2 concentration of combustion gas measured in real time with a laser flue gas analyzer installed at the combustion chamber outlet and the combustion air flow rate supplied to the furnace. This method is simpler than conventional methods. The boiler steam flow rate predicted by this method can detect fluctuations 4 to 6 minutes ahead of the actual measured values, as with the conventional method. We used the predicted boiler steam flow rate by this method for automatic combustion control of a municipal waste incineration plant. As a result, we were able to reduce the boiler steam flow rate fluctuation by about 40% compared to the case using the measured boiler steam flow rate. The result was equivalent to the case of using the predicted boiler steam flow rate by the conventional method. In addition, we used the predicted boiler steam flow rate to the control of the recirculation gas flow rate for the exhaust gas recirculation system. As a result, we were able to control the fluctuation of the generated NO_x concentration and reduce the ammonia water used in the catalytic denitration system by about 25% compared to the case without recirculating gas flow rate control.

Keywords: laser gas analyzer, automatic combustion control, boiler steam flow rate, NO_x concentration

* 装置技術部
Mechanical Design & Engineering Dept.

1. は じ め に

都市ごみのように雑多な燃焼物を燃焼する場合、燃焼物の成分や組成のばらつきによる発熱量の変動、形状や大きさ、比重のばらつきによる供給量の変動があり、燃焼を安定させるためには工夫が必要である。安定燃焼をおこなうことはプラントの安定操業や、燃焼にともない発生する有害ガスの抑制だけでなく、ボイラー等で燃焼排ガスから熱回収して利用する場合において発電量や熱供給量を安定させる上でも重要である。都市ごみ焼却プラントの自動燃焼制御では、燃焼排ガスから熱回収した結果であるボイラー蒸発量を測定し、蒸発量が一定となるように燃焼物の供給量と燃焼空気の供給量を増減させることで燃焼の安定化を図っていた。

近年、プラントの高効率化やコストダウン、排出される有害物質のさらなる低減が求められる中で、当社では雑多な燃焼物を低空気比で安定燃焼させるべく燃焼技術の高度化に継続的に取り組んできた。このうち燃焼制御において、燃焼状態の変化がボイラー蒸発量実測値の変化として現れるまでに時間遅れがあり、かつ、細かい燃焼状態の変化を把握することが難しいという課題があった。これに対し、レーザ式排ガス分析計を用いて燃焼室出口排ガスの O_2 濃度と H_2O 濃度をリアルタイムで測定し、その測定値から燃焼物の発熱量を演算することで、ボイラー蒸発量実測値に対し数分先行して蒸発量の変動を予測する方法（以下、従来方法と記す）を考案し、蒸発量予測値の自動燃焼制御への適用により燃焼の安定性を大幅に改善してきた^{1,2)}。しかし、従来方法ではレーザ式 H_2O 計を設置する必要があること、演算が複雑であること、クレーンによる燃焼物の投入重量の移動平均値を演算で使用することにより生じる実際の燃焼量との誤差を補正する必要があることが課題であった。

そこで、当社ではさらなる検討をおこない、 H_2O 濃度およびクレーンによる燃焼物の投入重量を用いることなく、従来方法よりも簡易にボイラー蒸発量を予測できる方法を考案した。本稿では、新たに考案したボイラー蒸発量予測方法、および本方法による蒸発量予測値を自動燃焼制御に適用した結果について報告する。

2. ボイラー蒸発量のリアルタイム予測

2.1 ボイラー蒸発量の予測方法

ボイラーの蒸発量と入熱量は正の相関があり、蒸発量を安定させるためには入熱量を安定させる必要がある。入熱量の大部分は燃焼物の燃焼熱量であるが、都市ごみのような雑多な燃焼物では、変動をとまなう燃焼物の発熱量と燃焼量をリアルタイムで測定することは難しい。しかし、理論燃焼空気量であれば取得可能な運転データを用いて容易に演算することができる。また、理論燃焼空気量は燃焼物の成分と燃焼量によりきまる値であることから、ボイラー蒸発量と理論燃焼空気量は正の相関がある。そこで、運転データから演算した理論燃焼空気量を用いてボイラー蒸発量を予測することを考えた。

理論燃焼空気量は燃焼排ガスの O_2 濃度から演算される空気比（燃焼物の理論燃焼空気量に対する供給燃焼空気量の比率）と、その時に炉内に供給している燃焼空気量の合計値（燃焼排ガスの一部を炉内に吹き込む場合のように、酸素濃度が異なるガスを炉内に供給する場合は酸素量が等価となる相当空気量に換算して加算する）を用いて演算できる。また、ボイラー蒸発量と理論燃焼空気量との相関関数を用いることで、ボイラー蒸発量を演算できる。

$$\text{空気比}[-] = 21 / (21 - O_2\text{濃度}[\%-\text{dry}])$$

$$\text{理論燃焼空気量} [m^3_N/h]$$

$$= \text{供給燃焼空気量} [m^3_N/h] / \text{空気比}[-]$$

$$\text{ボイラー蒸発量} [t/h]$$

$$= \text{関数 } F(\text{理論燃焼空気量} [m^3_N/h])$$

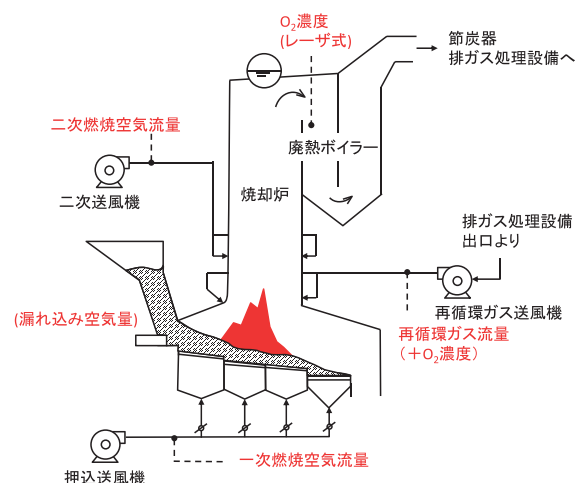


図1 ボイラー蒸発量予測演算で使用するインプットデータ

ボイラー蒸発量の演算で使用するインプットデータの概要を図1に示す。燃焼排ガスの O_2 濃度をリアルタイムで測定するため、燃焼室出口にレーザ式排ガス分析計を設け、その測定値を用いることにより実際の燃焼状態の変化に対して時間遅れなくボイラー蒸発量を演算することができ、ボイラー蒸発量実測値に対して先行して変化を予測することが可能となる。

2.2 ボイラー蒸発量の予測結果

実プラントの運転データを用いてボイラー蒸発量実測値、ならびに本方法により演算した理論燃焼空気量の変化率（グラフで示す6時間のデータの平均値を1としたときの比率）のトレンドグラフを図2に示す。理論燃焼空気量演算値はボイラー蒸発量実測値と同じ挙動を示し、かつ、ボイラー蒸発量実測値に

対し約5分先行している。また、理論燃焼空気量演算値は、燃焼している可燃分の燃焼量に応じた値であり、実際の燃焼状態の変化に応じた細かい周期の変動が見られる。

図2のデータを用いて、約5分の位相のずれを補正した後の理論燃焼空気量演算値とボイラー蒸発量実測値の相関グラフを図3に示す。両者は正の相関があり、本データから求められる相関関数を使うことにより、理論燃焼空気量演算値からボイラー蒸発量予測値を演算することが可能である。

本方法で演算したボイラー蒸発量予測値とボイラー蒸発量実測値、および比較として従来方法によるボイラー蒸発量予測値の変化率（6時間のデータの平均値を1としたときの比率）のトレンドグラフを図4に示す。本方法によるボイラー蒸発量予測値はボイラー蒸発量実測値に対し約5分先行している。ま

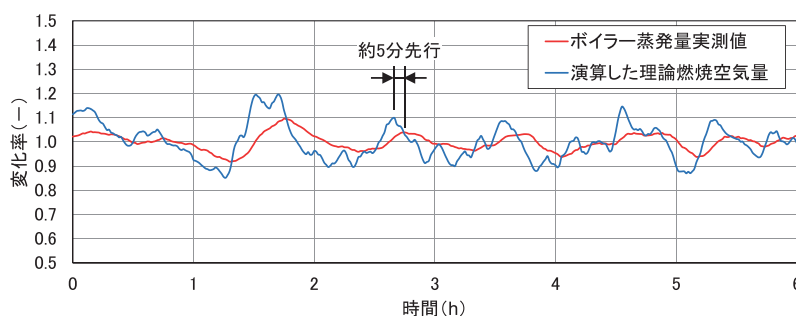


図2 ボイラー蒸発量実測値と理論燃焼空気量演算値のトレンドグラフ

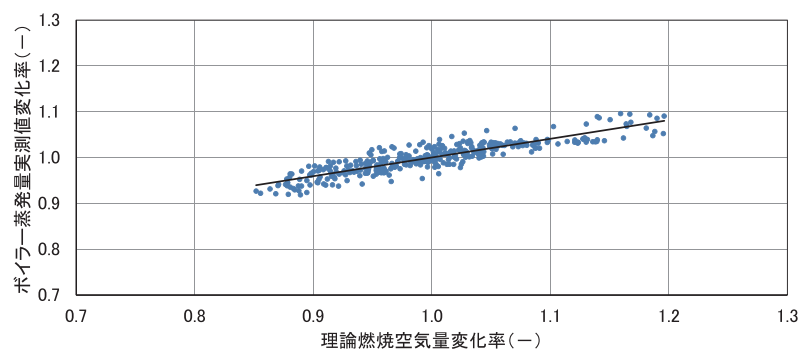


図3 ボイラー蒸発量実測値と理論燃焼空気量演算値の相関

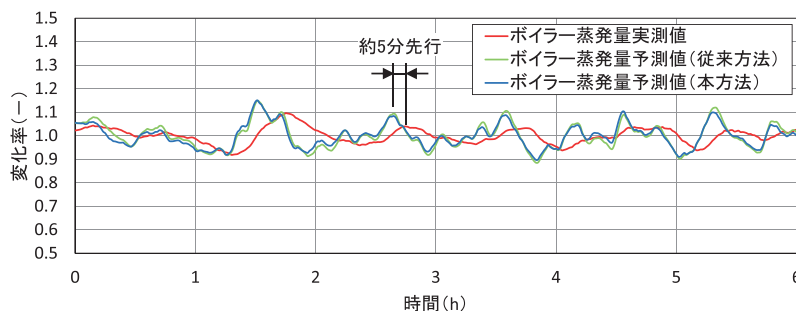


図4 ボイラー蒸発量実測値とボイラー蒸発量予測値の比較

た，従来方法によるボイラー蒸発量予測値と同じ挙動であり，本方法でも同等の予測が可能と言える。なお，ボイラー蒸発量予測値の先行性はプラントによって多少の差があり，概ね4～6分である。

3. ボイラー蒸発量予測値を用いた燃焼制御

都市ごみ焼却プラント A（処理能力 約 90 t/日・炉×2 炉）において本方法によるボイラー蒸発量予測値を燃焼制御に適用した事例を示す。

3.1 制御方法

ボイラー蒸発量予測値を用いた自動燃焼制御ブロックの概略図を図 5 に示す。ボイラー蒸発量設定

値から演算したストーカ速度や燃焼空気量の基準量に対し，ボイラー蒸発量の設定値と予測値との偏差に応じて補正し各操作端を制御する。

3.2 制御結果

ボイラー蒸発量実測値を用いて自動燃焼制御をおこなった場合と，ボイラー蒸発量予測値を用いて自動燃焼制御をおこなった場合のボイラー蒸発量のトレンドグラフを図 6 に示す。また，データ比較を表 1 に示す。いずれの場合もボイラー蒸発量設定値となるよう制御できているが，変動幅はボイラー蒸発量予測値を用いた制御の方が小さく，標準偏差はボイラー蒸発量実測値を用いた制御では 0.45 t/h であるのに対し，ボイラー蒸発量予測値を用いた制御では 0.19 t/h となり，約 40% に低減できた。

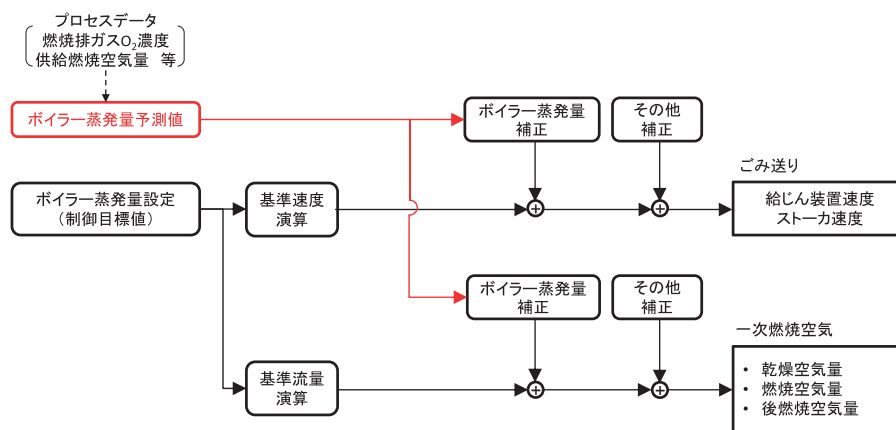
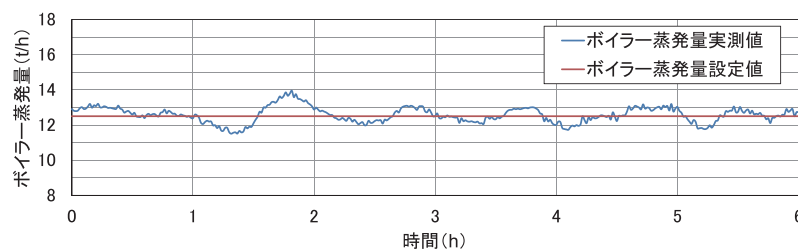
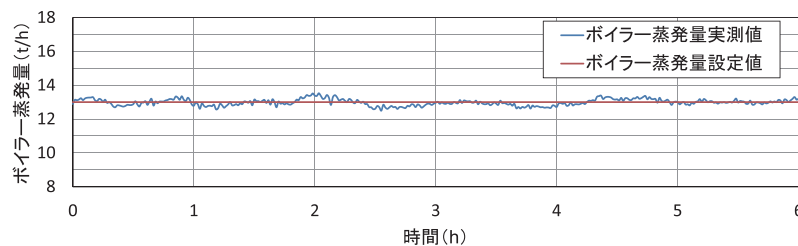


図 5 ボイラー蒸発量予測値を用いた自動燃焼制御ブロック図



(a) ボイラー蒸発量実測値を用いた自動燃焼制御



(b) ボイラー蒸発量予測値を用いた自動燃焼制御

図 6 ボイラー蒸発量制御の違いによるトレンドデータ比較

表1 ボイラー蒸発量制御の安定性比較

項目		単位	ボイラー蒸発量制御	
			実測値制御	予測値制御
ボイラー蒸発量	設定値	t/h	12.5	13.0
	平均値		12.6	13.0
	最大値		14.0	13.5
	最小値		11.5	12.5
	変動幅 (最大-最小)		2.5	1.0
	標準偏差		0.45	0.19

4. ボイラー蒸発量予測値を用いた再循環ガス流量制御

近年、低空気比燃焼をおこなうため、また、燃焼により発生する排ガス NOx 濃度を低減するために排ガス再循環³⁾を適用する施設が増えている。排ガス再循環を適用する場合において、従来方法によるボイラー蒸発量予測値を用いて再循環ガス流量を制御することにより発生 NOx 濃度の変動を抑制できることが報告されている⁴⁾。

都市ごみ焼却プラント B (処理能力 約 90 t/日・炉×2 炉) において、従来方法に代わり本方法によるボイラー蒸発量予測値を再循環ガス流量制御に適用した事例を示す。

4.1 制御方法

ボイラー蒸発量予測値を用いた再循環ガス流量制御ブロックの概略図を図7に示す。ボイラー蒸発量設定値から演算した再循環ガス流量の基準量に対し、ボイラー蒸発量の設定値と予測値との偏差に応じて補正をおこなった結果に基づき再循環ガス流量を制御する。具体的にはボイラー蒸発量予測値が上昇したときに再循環ガス流量を増やすよう制御をおこなう。

4.2 制御結果

再循環ガス流量を一定とした場合と、ボイラー蒸発量予測値を用いて再循環ガス流量を制御した場合の発生 NOx 濃度のトレンドグラフを図8に示す。

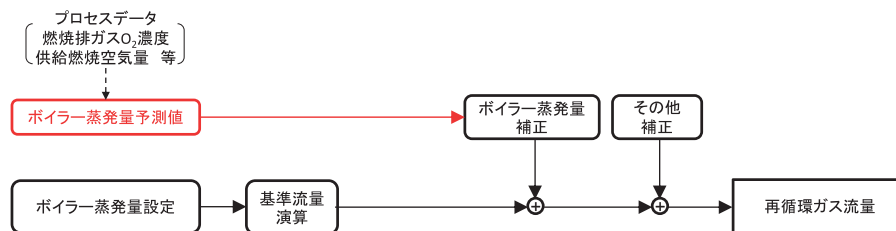
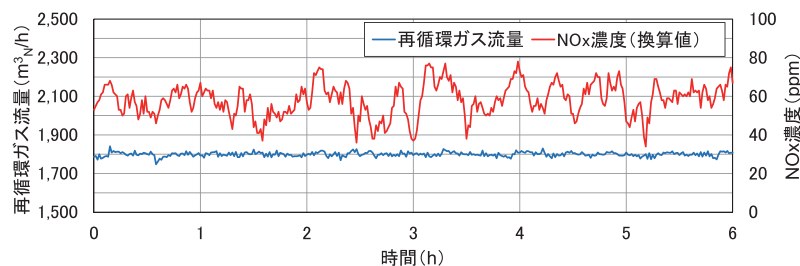
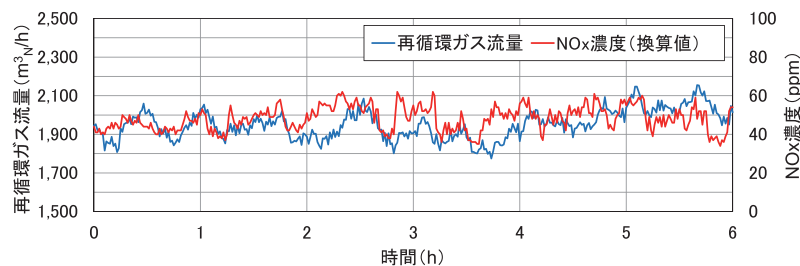


図7 ボイラー蒸発量予測値を用いた再循環ガス流量制御ブロック図



(a) 再循環ガス流量を一定とした場合



(b) 再循環ガス流量をボイラー蒸発量予測値を用いて制御した場合

図8 再循環ガス流量制御の有無によるトレンドデータ比較

表 2 ボイラー蒸発量予測値を用いた再循環ガス流量制御の効果

項 目		単位	再循環ガス 流量制御	
			一定	自動制御
再循環ガス流量	平均値	m ³ N/h	1,800	1,950
発生 NOx 濃度 (O ₂ =12% 換算)	平均値	ppm	58	48
	最大値	ppm	78	62
	最小値	ppm	34	34
	変動幅 (最大－最小)	ppm	44	28
	標準偏差	ppm	8.5	6.3
触媒脱硝装置 アンモニア水使用量	平均値	L/h	2.9	2.2

また、両者のデータおよび排ガス処理設備に設けている触媒脱硝装置のアンモニア水使用量の比較を表 2 に示す。ボイラー蒸発量予測値を用いて再循環ガス流量を制御した結果、発生 NOx 濃度の上振れを抑制でき、制御しない場合に対し発生 NOx 濃度の標準偏差は約 75% に低減された。それにより発生 NOx 濃度の平均値は 58 ppm から 48 ppm に下がり、触媒脱硝装置のアンモニア水使用量を約 25% 削減できた。

5. ま と め

燃焼室出口に設置したレーザー式 O₂ 計の測定値と炉内に供給している燃焼空気流量の測定値を用い、簡易にボイラー蒸発量をリアルタイムで予測する方法を考案した。本方法によるボイラー蒸発量予測値は実測値に対し 4～6 分の先行性があり、従来方法によるボイラー蒸発量予測値と同等の予測結果であった。本方法によるボイラー蒸発量予測値を都市

ごみ焼却プラントの自動燃焼制御に適用することにより燃焼を安定化させた結果、ボイラー蒸発量実測値を用いた制御に比べ蒸発量の変動幅を約 40% に低減できた。また、排ガス再循環をおこなうプラントにおいて再循環ガス流量の制御に適用した結果、発生 NOx 濃度の変動が抑制され、触媒脱硝装置のアンモニア水使用量を約 25% 削減できた。

当社では本方法によるボイラー蒸発量予測値を用いた自動燃焼制御を今後のプラントに積極的に適用する予定である。また、燃焼物の攪拌混合による均質化やストーカ燃焼の高効率化、炉内燃焼ガスの攪拌混合の最適化などの各種要素技術をミックスして燃焼技術のさらなる高度化を図り、熱回収効率の向上や設備容量の削減、ランニングコストの低減に取り組んでいく所存である。

参 考 文 献

- 1) 藤川博之，渡瀬雅也，坪田知也：レーザー排ガス分析計を用いたごみの低位発熱量リアルタイム演算と自動燃焼制御への適用と効果，タクマ技報，Vol. 24，No. 2，pp. 57-63 (2016)
- 2) 福間義人，藤川博之，松田吉司，渡瀬雅也，松藤敏彦：ごみ焼却施設における排ガス成分測定にもとづく発生熱量および廃棄物低位発熱量推定と燃焼制御の改善，廃棄物資源循環学会論文誌，Vol. 29，pp. 8-19 (2018)
- 3) 山崎裕貴，井藤宗親，安樂 健：ストーカ式焼却炉における排ガス再循環および無触媒脱硝による低 NOx 燃焼，タクマ技報，Vol. 23，No. 1，pp. 67-71 (2015)
- 4) 奥村拓也，永吉俊介：NOx 変動抑制のための燃焼制御の高度化，タクマ技報，Vol. 31，No. 1，pp. 56-59 (2023)

報 告

三光株式会社殿向け潮見コンビナート 廃棄物焼却発電施設（10 号炉）の運転報告

Operation Report of the Waste-to-Energy Plant (Unit 10) at SHIOMI KOMBINAT
for SANKO Co., Ltd.



岡 田 真 治* 引 田 浩 之*
Shinji OKADA Hiroyuki HIKITA

【要 旨】当社は、2024 年 8 月に三光株式会社殿に廃棄物焼却発電施設を納入した。本施設は、廃棄物を焼却処理するとともに、焼却した際の熱エネルギーを回収し、蒸気タービン発電機にて最大 1,950 kW の発電が可能となっている。発電した電力は、本施設と既存施設を含む潮見コンビナート内の電力負荷を賄い、余剰電力は周辺地域へ供給している。また、蒸気タービン排気の熱エネルギーを温水に変換し、施設内に併設された養殖設備で利用する計画となっている。本稿では、本施設の概要、特徴および運転結果について報告する。

キーワード：産業廃棄物処理、廃棄物発電、温水利用、地域循環共生圏、災害廃棄物

Abstract

In August 2024, we delivered a Waste-to-Energy Plant to SANKO Co., Ltd. This plant not only incinerates waste but also recovers the heat of combustion, and generates electricity up to 1,950 kW with a steam turbine generator. The generated electricity covers the electric load for SHIOMI KOMBINAT, including this plant and existing facilities, and the surplus electricity is supplied to the surrounding area. In addition, this plant supplies hot water to attached aquaculture facility by using the heat of steam turbine exhaust. This paper reports on the outline, characteristics, and operation performance of this plant.

Keywords: industrial waste treatment, waste-to-energy, hot water utilization,
regional circular and ecological sphere, disaster waste

* エネルギー技術 2 部
Energy Engineering Dept. 2

1. は じ め に

三光株式会社殿（以下、三光殿と記す）は、鳥取県を拠点に1980年代より産業廃棄物処理業に参入し、現在では廃棄物のコンサルティング、収集運搬、中間処理、リサイクル（RPF・バイオマス燃料の製造、下水汚泥資源化等）などの事業を展開しており、山陰地方にて複数の施設を運営している。図1に三光殿の運用施設の概要を示す。

2002年に当社にて潮見工場に納入した廃棄物焼却処理施設（ロータリーキルン+ストーカ炉：7号炉）は老朽化が進んでおり、三光殿では持続的な事業活動をおこなうため、新たな廃棄物焼却処理施設建設の事業計画がはじまった。

計画開始時の社会情勢として、第五次環境基本計画（2018年4月閣議決定）において、持続可能な社会を構築するために「地域循環共生圏」の創造を目指すことが示された。その中で、各地域が自立・分

散型の社会を形成しつつ、地域資源等を補完し支え合う取り組みが推奨されている。「地域循環共生圏」には、地域資源の活用を促進することにより、結果として低炭素も達成する概念を含んでいる¹⁾。また、国土強靱化基本計画（2014年6月閣議決定）において、災害時の廃棄物対策が重要な施策として位置づけられた。さらに、災害廃棄物対策指針（改定版）（2018年3月）では地方公共団体による災害廃棄物の対策として、民間事業者との連携検討が示されるなど²⁾、産業廃棄物処理事業者が災害廃棄物処理に果たす役割が大きくなることが予想される。

これらの社会的な背景もあり、本事業は、従来の廃棄物の焼却処理を主とした施設ではなく、産業廃棄物を地域から排出される資源として、廃棄物エネルギーの有効活用やそのエネルギーを地域内で循環利用する機能を付加する施設とした。また、災害時には災害廃棄物の受入や避難所への電力供給機能を備えることで、地域の脱炭素化や活性



図1 三光殿運用施設の概要

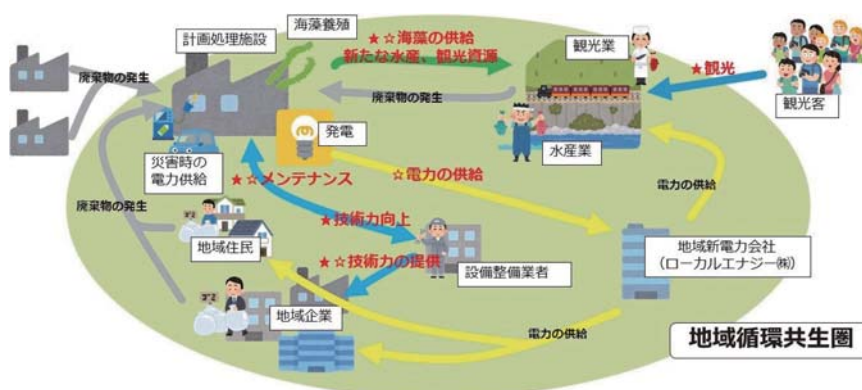


図2 本事業の全体概要³⁾

化、レジリエンス向上に資する施設となることがコンセプトに掲げられた。図2に本事業の全体概要を示す。

当社は、本事業の中核となる廃棄物焼却発電施設（10号炉）を計画・設計・施工し2024年8月に納入した。本稿では、施設の概要、特徴および運転結果について報告する。

2. 施設概要

2.1 施設概要

本施設は、鳥取県境港市の三光殿既存工場（潮見工場（7号炉）、ウェストバイオマス工場（9号炉））に隣接する敷地に新たに建設された。これら既存工場を含む3施設の総称を「潮見コンビナート」としている。

図3に廃棄物焼却発電施設（10号炉）の全景を示す。



図3 廃棄物焼却発電施設（10号炉）の全景写真

なお、本施設の建設は、環境省の令和3年度～令和6年度「二酸化炭素排出抑制対策事業費等補助金（廃棄物処理×脱炭素化によるマルチベネフィット達成促進事業）」として採択された事業である⁴⁾。

また、三光殿は、本社所在地である鳥取県境港市を含む27の団体と「緊急事態発生時における廃棄物処理に関する協定」を締結（2024年8月時点）しており、緊急事態発生時に自治体や公共団体で一般廃棄物の処理が困難となった場合に、一般廃棄物の受入、処理に協力することを表明されている⁵⁾。

2.2 焼却対象物

本施設は、産業廃棄物および一般廃棄物の処理施設として許可を受けている。産業廃棄物は20品目の内、がれき類、動物のふん尿、動物の死体、13号廃棄物を除いた16品目の許可を取得されており、特別管理産業廃棄物は、廃油、廃酸、廃アルカリ、感染性産業廃棄物、ばいじん、燃え殻、汚泥の7品目の許可を取得されている。

表1に主な焼却対象物（以下、焼却物と記す）の種類と計画処理量を示す。

2.3 設備概要

図4に施設のフローを、表2に当社が納入した主要設備の概要を示す。

表1 主な焼却対象物の種類と計画処理量

受入・供給方法による大分類	廃棄物名称	処理量	処理量割合
ピット混合物（固形物、泥状物）	燃え殻、汚泥、廃プラスチック類、紙くず、木くず、繊維くず、動植物性残さ、動物系固形不要物、ゴムくず、金属くず、ガラスくず・コンクリートくず及び陶磁器くず、鉋さい、ばいじん、一般廃棄物	69.60 t/day	74.4%
廃液（液状物）	廃酸、廃アルカリ	11.04 t/day	11.8%
廃油（液状物、泥状物）	廃油	6.96 t/day	7.4%
感染性廃棄物（容器）	感染性産業廃棄物、感染性一般廃棄物	6.00 t/day	6.4%
合 計		93.60 t/day	
低位発熱量（平均）		12,865 kJ/kg	

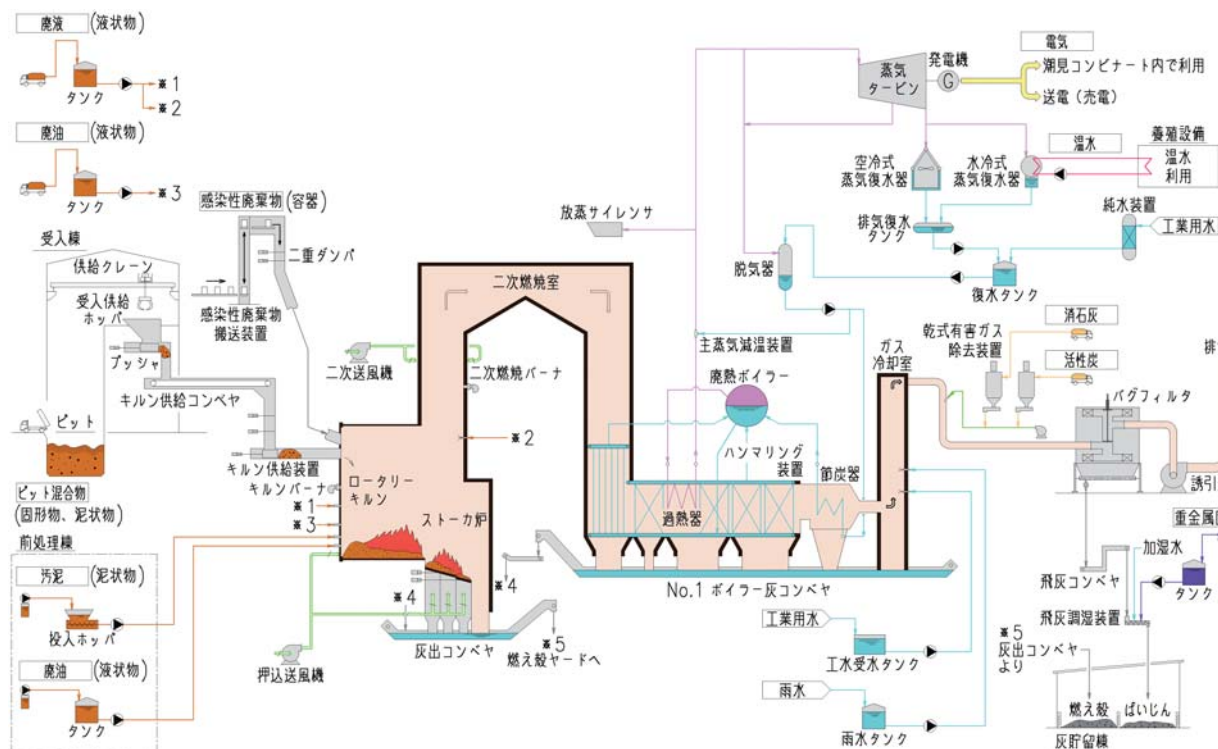


図4 施設フロー図

表2 主要設備の概要

項目	設備/仕様
受入供給設備	ピット混合物（固形物、泥状物）
	供給クレーン＋受入供給ホッパ＋プッシャ＋フラインコンベヤ＋キルン供給装置
	廃液（液状物）
	ポンプ＋ノズル噴霧
焼却設備	処理能力
	93.6 t/day×1 炉
	低位発熱量
	12,865 kJ/kg
排ガス冷却設備	炉形式
	ロータリーキルン＋ストーカ炉（直列）
	バーナ
	キルンバーナ＋二次燃焼バーナ（燃料：A 重油）
排ガス処理設備	廃熱ボイラー
	自然循環式廃熱ボイラー（テールエンド型）
	蒸気圧力（常用）
	3.0 MPa（主蒸気減温装置出口）
余熱利用設備	蒸気温度（常用）
	305℃（主蒸気減温装置出口）
	蒸発量
	14.0 t/h（最大蒸発量 16.8 t/h）
電気設備	ガス冷却室
	水噴射式（工業用水，雨水）
	形式
	バグフィルタ
電気設備	形式
	乾式有害ガス除去装置（消石灰＋活性炭吹込み）
	蒸気タービン発電機
	抽気復水タービン
電気設備	発電出力（定格）
	1,950 kW
	入口蒸気圧力
	2.8 MPa
電気設備	入口蒸気温度
	300℃
	復水方式
	空冷式＋水冷式
電気設備	温水供給（施設内）
	養殖設備へ温水供給
	受電方式
	高圧受電（6,600 V）
電気設備	非常用発電機
	ディーゼル発電機（400 kW）

3. 施設の特徴

3.1 焼却物の受入供給

産業廃棄物や一般廃棄物の性状、荷姿は多様であるため、それらに適した受入、供給設備により焼却炉へ供給する。

処理量の約74%を占めるピット混合物は、供給クレーンにてピットから供給設備（受入供給ホップ）へ移送される。移送された焼却物は、キルン供給コンベヤで搬送し、キルン供給装置にて炉内へ供給する。供給クレーンは、全自動方式とし、受入供給ホップの焼却物レベルが低くなると、焼却物を自動でピットから受入供給ホップへ移送する制御とした。また、受入供給ホップを介してプッシャでキルン供給コンベヤへの焼却物量を調整できる設備構成とすることで、焼却炉への焼却物供給の定量性を向上させ、燃焼の安定化も図っている。新たに構築したこれら焼却物供給システムは、運転員の負担軽減にも寄与している。

液状物や泥状物である廃液、廃油は、貯留しているタンクからポンプで送液し、ノズルで炉内へ直接噴霧する。これらの焼却物は、ピット混合物と比較して燃焼の応答速度が速いため、燃焼状態に応じて供給量を可変できる機能を備え、燃焼変動の抑制が可能ないようにしている。

感染性廃棄物は、受け入れた容器のままローラーコンベヤと垂直エレベータで構成された搬送装置で搬送し、二重ダンパ（投入シュート）にて炉内へ投入する。

3.2 焼却炉

焼却炉は、7号炉と同じロータリーキルン+ストーカ炉（直列タイプ）を採用した。図5にロータリーキルン+ストーカ炉の構造概略図を示す。ロータリーキルンは、内面耐火物張りの鋼板製回転体の中に焼却物を投入し、わずかな傾斜と回転によって焼却物を移動させながら攪拌し燃焼させる。ロータリーキルンの後段には階段式ストーカを設置しており、ストーカ下部から供給する空気の後燃焼させる。ロータリーキルン+ストーカ炉（直列タイプ）は、流動性の高い焼却物も処理できるという特徴があり、処理できる焼却物の適用範囲が広い炉形式である⁶⁾。

今回は、発熱量が低い汚泥や一般廃棄物の受入を

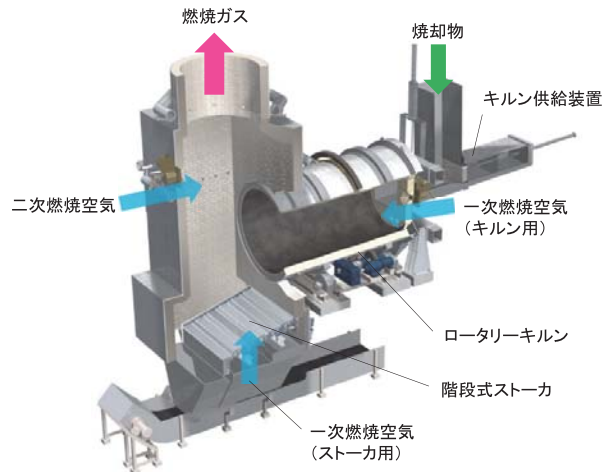


図5 ロータリーキルン+ストーカ炉の構造概略図

考慮する必要があったため、7号炉よりストーカ段数を増やし、燃焼段+後燃焼段の2段構成としている。

3.3 廃熱ボイラー

廃熱ボイラーは、二次燃焼室出口に設置した水冷パネル構造部およびテールエンド型水管群の本体部より構成されており、さらにボイラー出口に節炭器を設置して、熱回収率の向上を図っている。発生する蒸気は、過熱器により過熱蒸気（3.0 MPa, 305℃）として、蒸気タービンへ送気されている。

ボイラーのダストの除去には、打撃力を水管に加えることで水管に付着したダストを除去するハンマリング装置を採用している。

3.4 余熱利用

ボイラーから送気された蒸気により、蒸気タービン発電機で最大1,950 kWの発電をおこなう。蒸気タービンは抽気復水式（1段抽気）を採用し、タービン抽気は脱気器の加熱用蒸気に使用している。発電した電力は本施設と既存施設を含む潮見コンビナート内の電力負荷を賄い、余剰電力は周辺地域へ供給している。また、三光殿は施設内で充電可能な電動フォークリフトを導入しており、場内で使用する化石燃料の削減に取り組まれている。

蒸気タービンの排気は、空冷式蒸気復水器で復水化され、ボイラー給水ラインへ戻して循環利用しているが、本施設では、タービン排気から熱を回収し、有効利用する目的で水冷式蒸気復水器を併設している。水冷式蒸気復水器で回収された熱は、温水

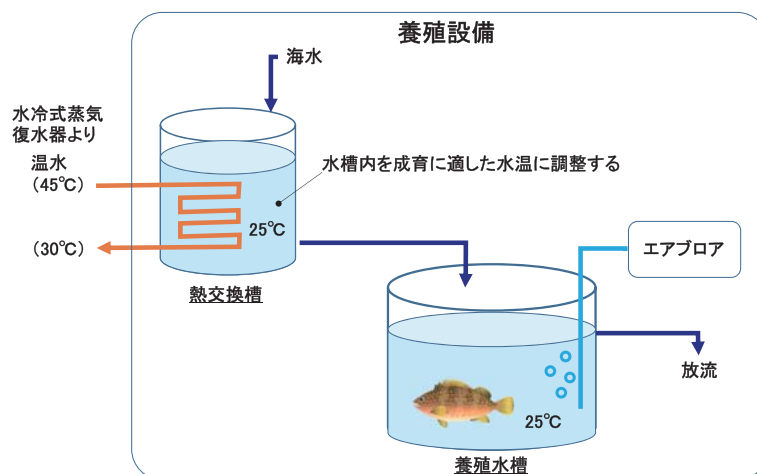


図6 温水利用の概要

(45℃)として施設内の養殖設備（三光殿にて設置）に供給され、養殖に使用する海水を魚や海藻の成育に適した水温とするための熱源として使用している。海水は、養殖設備に設置された熱交換器で間接的に加温され、熱交換器内の温水は循環利用している。図6に温水利用の概要を示す。

3.5 電気設備

10号炉で発電した電力は、三光殿所掌の高圧受電設備から潮見コンビナート全体へ電力供給し、系統事故等により外部から電力遮断された場合でも、潮見コンビナート全体が自立運転可能な電気設備構成となっている。

3.6 制御装置

制御装置には、新設の民間事業者向け産業廃棄物焼却処理施設としてはじめてとなる、当社グループ会社（タクマシステムコントロール株式会社）が開発

したPLC計装システム「TS-PAT1000[®]」を採用した。

本制御装置は、汎用PLC（Programmable Logic Controller）とパソコンおよび自社製SCADA（Supervisory Control And Data Acquisition：制御・監視用パソコンソフトウェア）の組み合わせによりプロセス制御、監視を実行するシステムである。2009年より一般廃棄物焼却処理施設の自動燃焼制御装置として導入を開始し、システム規模拡張によりDCSシステムと比較しても機能的に同等の仕様となり⁷⁾、ボイラー発電付き一般廃棄物焼却処理施設へも適用範囲を拡大している。

4. 運転結果

4.1 性能試験

図7に性能試験時の燃焼状況を、表3に環境保全項目の分析結果を示す。

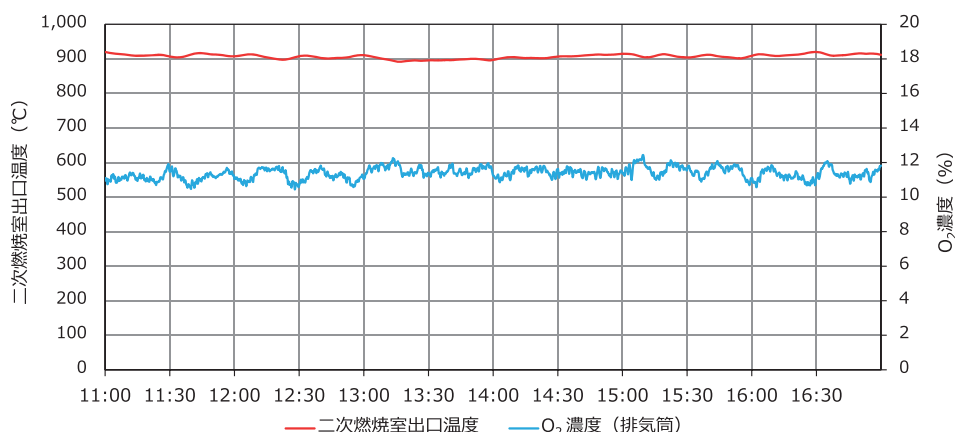


図7 性能試験時の燃焼状況

表3 環境保全項目の分析結果

項 目		単 位	自主管理値	分析結果
大気関係 (排気筒)	ばいじん	$\text{g}/\text{m}^3_{\text{N}}$	0.02 以下	<0.0009
	窒素酸化物 (NO _x)	ppm	200 以下	93
	硫黄酸化物 (SO _x)	ppm	500 以下	56
	塩 化 水 素 (HCl)	$\text{mg}/\text{m}^3_{\text{N}}$ (ppm)	175 以下 (107 以下)	120 (73)
	一酸化炭素 (CO) (1 時間平均)	ppm	100 以下	<5
	ダイオキシン類	$\text{ng-TEQ}/\text{m}^3_{\text{N}}$	1.0 以下	0.0068
	水銀	$\mu\text{g}/\text{m}^3_{\text{N}}$	30 以下	0.57
燃 焼 灰	燃え殻中の熱灼減量 (600℃×3 時間)	%	10 以下	2.4
	燃え殻中のダイオキシン類濃度	$\text{ng-TEQ}/\text{g}$	3 以下	0.20
	ばいじん中のダイオキシン類濃度	$\text{ng-TEQ}/\text{g}$	3 以下	0.97

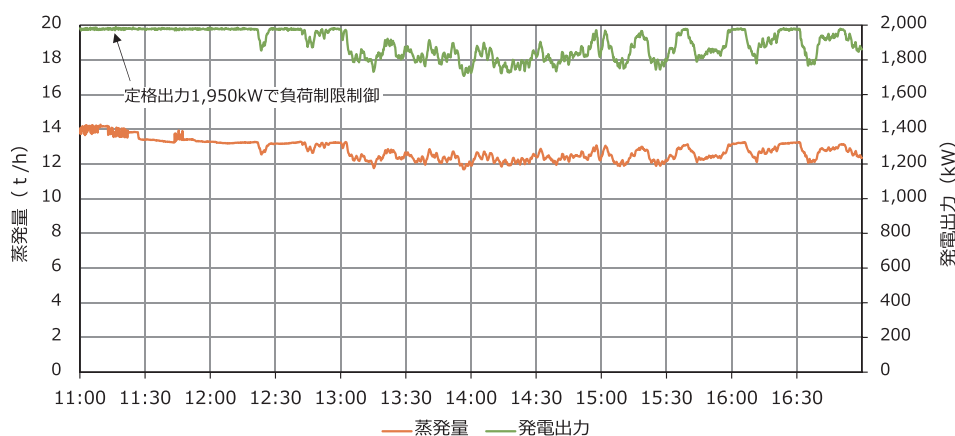
(大気関係は、乾きガス O₂=12% 換算値)

図8 性能試験時の蒸発量、発電出力

性能試験での廃棄物処理量は、許可された最大処理量 (93.6 t/day) を超過しないように運転した結果、86.9 t/day (性能試験 6 時間データを 24 時間値に換算) となり、最大処理量の 93.6 t/day に対して、約 92% の処理量となった。

図 7 に示すように、二次燃焼室出口温度は約 890～920℃で推移し、平均 907℃であった。燃焼ガスの O₂濃度 (排気筒) は、約 10.4～12.4%で推移し、平均 11.4%であった。これらのことから、本焼却炉が安定した燃焼状態にて運転できることが確認された。また、環境保全項目についても表 3 の分析結果に示すように、いずれも自主管理値を十分満足する結果であった。

図 8 に性能試験時の蒸発量、発電出力を示す。

蒸発量は焼却炉の熱負荷に応じて、約 11.7～14.3 t/h で変動しており、±10% 程度の変動幅であった。蒸気タービンは調圧制御のため、蒸発量の変動に追従して発電出力が変動し、発電出力は平均 1,870 kW であった。また、発電出力が定格の 1,950 kW

を超えないよう負荷制限制御をおこない、蒸気が余剰に発生する場合は、タービンバイパスを作動させ、空冷式蒸気復水器にて余剰蒸気を復水回収し、ボイラーへ再度給水している。

4.2 運営開始以降の運転状況

図 9 に 10 号炉運営開始以降の各月の平均電力量を示しており、それぞれ潮見コンビナートの消費電力 (7 号炉, 9 号炉, 10 号炉) と送電電力 (売電) の各月の平均値 (1 時間値に換算) を示している。送電電力 (売電) は、受電電力 (買電) 分を差し引いた値となっており、各平均値の合計値は、10 号炉蒸気タービン発電機の発電出力を示す。なお、8 月、11 月の 10 号炉計画休炉日および休炉にともなう炉立上げ日、立下げ日はデータから除外している。

10 号炉発電出力は、計画値 (1,550 kW) に対して 95～102% であり、概ね計画通りの運転が来ている。これにより、潮見コンビナート内の消費電力を賄い、余剰電力として約 510 kW (8 月～12 月平均)

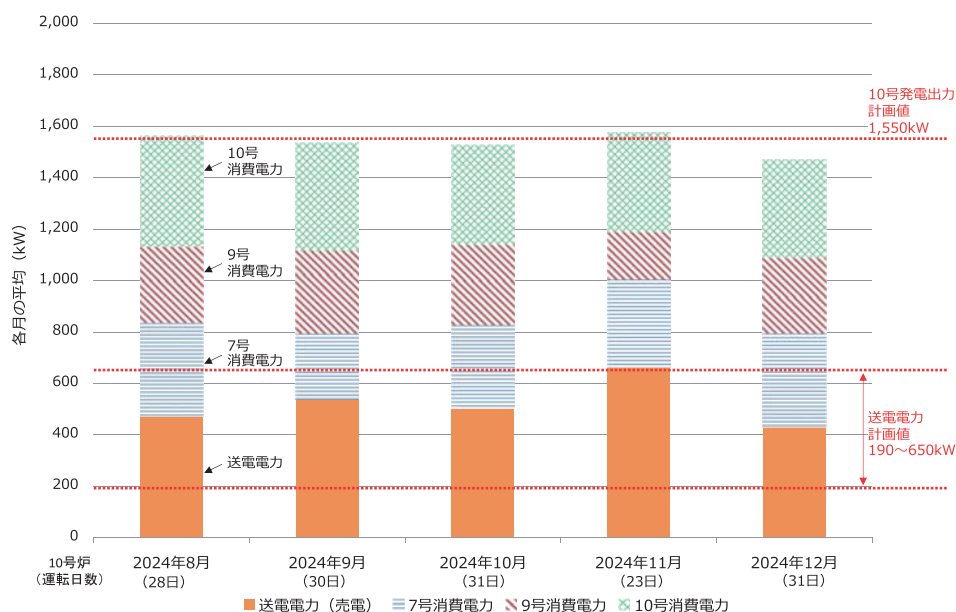


図9 10号炉運営開始以降の各月の平均電力量

を場外に送電（売電）することができている。

このように、性状が不均質な焼却物を処理する産業廃棄物焼却処理施設においても、当社が納入した設備によって安定した発電が維持できているということが確認された。

5. お わ り に

本施設は、2024年8月の施設運営開始以降、焼却処理による廃棄物の適正処理に加え、廃棄物エネルギーの有効利用として、発電した電力は潮見コンビナート内の消費電力を賄うとともに、周辺地域へも安定した電力を供給する施設運営をおこなっている。これは、本事業のコンセプトである地域の脱炭素化や活性化、レジリエンス向上に繋がり、地域循環共生圏の構築にも貢献するものである。

また、本設備の試運転においては、三光殿より既存施設で蓄積した運転ノウハウや創意工夫による種々のご助力・ご助言を頂き、それらが現在の施設の安定運転へと繋がっている。当社としても本施設から得られた多くの知見を、今後の産業廃棄物焼却発電施設の計画、設計にも活かしていく所存である。

最後に、本施設の建設、引渡しにあたり、多大なるご協力を頂きました三光殿をはじめ、関係者の方々に深く感謝致します。

参 考 文 献

- 1) 環境省：第五次環境基本計画（平成30年4月17日）閣議決定（2018）
<https://www.env.go.jp/press/105414.html>（2025年2月4日確認）
- 2) 環境省環境再生・資源循環局災害廃棄物対策室：災害廃棄物対策指針（改定版），平成30年3月
<http://kouikishori.env.go.jp/guidance/guideline/>（2025年2月4日確認）
- 3) 株式会社タクマ：地域の脱炭素化に貢献する産業廃棄物処理プラントの建設工事を受注（三光株式会社向け），2022年4月12日
<https://www.takuma.co.jp/news/2022/20220412.html>（2025年2月4日確認）
- 4) 公益財団法人廃棄物・3R研究財団：廃棄物処理×脱炭素化によるマルチベネフィット達成促進事業（うち廃棄物エネルギーの有効活用によるマルチベネフィット達成促進事業）
https://www.jwrf.or.jp/individual/prj_000224.html（2025年2月4日確認）
- 5) 三光株式会社：TANOMAI（たのまい），2024.8
<https://sankokk-net.co.jp/tanomai/>（2025年2月4日確認）
- 6) 桐山達彦：産業廃棄物処理施設の変遷，タクマ技報，Vol.17，No.2，pp.7-17（2009）
- 7) 土居一郎，亀山 豊：PLC計装システム「TS-PAT1000」の適用範囲の拡大，タクマ技報，Vol.21，No.1，pp.68-72（2013）

報 告

西知多クリーンセンター 運転報告

Operation Report of Nishichita Clean Center



伊 達 友 宣* 臼 居 諒**

Tomonori DATE

Ryo USUI

【要 旨】西知多クリーンセンターは、既存施設の老朽化にともない、東海市・知多市の2施設を統合する形で更新され2024年6月に竣工した。本施設では、最新の燃焼・運転制御技術により安定稼働を実現するとともに、高効率発電システムにより同規模施設では最高レベルの発電効率を達成し、運営事業を継続している。

本稿では、本施設の特徴と引渡性能試験結果、各種運転状況について報告する。

キーワード：ごみ処理、高効率ごみ発電、防災機能の強化

Abstract

The Nishichita Clean Center is a domestic waste treatment facility built on the same site as the Chita City Clean Center, an existing facility in the city of Chita. This facility was renewed by integrating facilities in the cities of Tokai and Chita in anticipation of the end of the service life of the existing facilities in both cities, based on the plan to promote centralized waste treatment set by the national and prefectural governments. Based on the basic policy for facility renewal, including promoting development of a recycling-oriented society and safe and stable waste disposal, the facility was built with a high-efficiency waste power generation system and enhanced disaster prevention functions, and was completed in June 2024.

This paper reports on the characteristics of this facility, the results of the performance tests for delivery, and the operation status.

Keywords: waste treatment, high-efficiency waste power generation, enhancement of disaster prevention functions

* 環境技術3部
Environmental Design Dept. 3

** 環境技術1部
Environmental Engineering Dept. 1

1. は じ め に

西知多クリーンセンター（以下、本施設と記す）は、知多市の既存施設である知多市清掃センターと同一敷地内に建設された一般廃棄物処理施設である（図1）。本施設は、国や県が定めるごみ処理の広域化計画に基づき、東海市・知多市の既存施設が耐用年数を迎える時期を見据え、両市の施設を統合する形で更新された。施設更新にあたり、循環型社会の形成の推進を目指すとともに、市民が安心して暮らすことのできるまちとするため、環境の保全に配慮し、ごみの安全・安定的な処理が可能な施設とするとの基本方針に基づき計画された。本事業はDBO（Design：設計、Build：施工、Operate：運営）方式により実施され、設計および施工は「タクマ・鴻池・シンキ・日誠・弘新特定建設工事共同企業体」、運営を「西知多ハイトラスト株式会社」がおこなっている。建設工事は2020年9月に契約・着手し、2024年6月30日に引渡しを完了、2024年7月1日より運営を開始した。運営期間は2044年6月30日までの20年間である。

本稿では、本施設の特徴、引渡性能試験結果および運転状況について報告する。



※ 写真奥の煙突と建屋は知多市清掃センター

図1 西知多クリーンセンターの施設全景

2. 施設の設計諸元

2.1 処理施設の概要

- ・ごみ処理能力 : ごみ焼却施設 92.5 t/日×2 炉
粗大ごみ処理施設 21 t/5 h
- ・破碎選別設備 : 低速・高速回転式破碎機
磁力・アルミ選別機
- ・燃焼設備 : 全連続燃焼式ストーカ炉
- ・燃焼ガス冷却設備 : 廃熱ボイラ方式
〈ボイラ蒸気条件〉
常用圧力 5.0 MPa
常用温度 430℃
- ・排ガス処理設備 : 乾式有害ガス処理方式（ろ過式集じん器）
触媒脱硝方式
- ・余熱利用設備 : 抽気復水タービンによる場内利用
蒸気タービン発電機
定格出力 5,220 kW
- ・灰処理設備 : ピット & クレーン方式
- ・排水処理設備 : プラント排水
処理後場内再利用（クロージド方式）
生活排水
処理後場外放流
- ・電気設備 : 特別高圧受電（77,000 V）
ディーゼル式非常用発電機
定格出力 1,000 kW

2.2 設計主要目

1) ごみ種別

ごみ焼却施設 : 可燃ごみ、破碎選別残さ
災害廃棄物

粗大ごみ処理施設 : 不燃ごみ、粗大ごみ

2) 設計ごみ質

表1 ごみ焼却施設の設計ごみ質

	低位発熱量	3成分		
	(kJ/kg)	水分(%)	可燃分(%)	灰分(%)
低質ごみ	6,100	53.5	36.7	9.8
基準ごみ	9,200	41.9	45.8	12.3
高質ごみ	12,400	30.4	54.6	15.0

3) 排ガス基準

施設の排ガス基準については表2に示すとおり、公害防止基準値よりも低い要監視基準値を設定し、その値を超過しないように運転監視をおこなうことで、公害防止基準値の超過防止の徹底を図っている。

表2 排ガス基準

(乾きガス O₂=12% 換算値)

項 目	単 位	公害防止基準値	要監視基準値
硫黄酸化物	ppm	20	18
窒素酸化物	ppm	30	28
ばいじん	g/m ³ _N	0.02	0.01
塩化水素	ppm	40	38
一酸化炭素	ppm (4時間平均)	30	25
水 銀	μg/m ³ _N	30	—
ダイオキシン類	ng-TEQ/m ³ _N	0.1	—

3. 処理フロー

本施設の処理フローを図2に示す。

4. 本施設の特徴

4.1 高効率発電システム

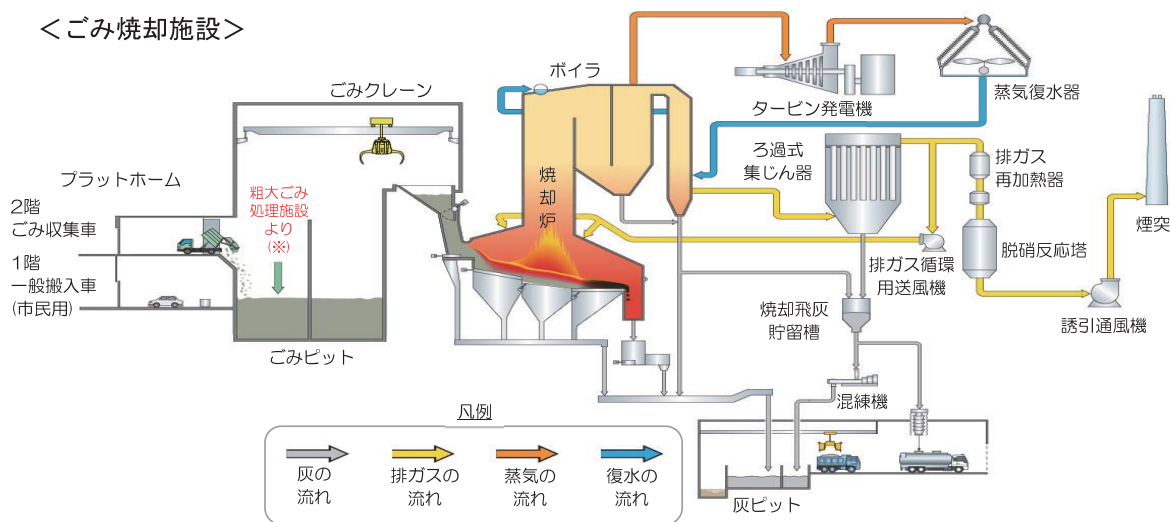
1) 低空気比燃焼

燃焼性能に優れた当社独自のハイブリットストーカや排ガス循環システム、燃焼状態をオンタイムで検知して制御をおこなう先行型燃焼制御により、低空気比 ($\lambda=1.25$) にて安定した燃焼をおこなうことができ、排ガスを最小限に抑え、排ガスによる持出熱損失を低減している。

2) 高温高压ボイラ

過熱器出口にて5 MPa、430℃に発生蒸気を高温高压化することで、タービン前後の熱落差を大きくして発電効率を向上させている。ボイラは、30年

<ごみ焼却施設>



<粗大ごみ処理施設>

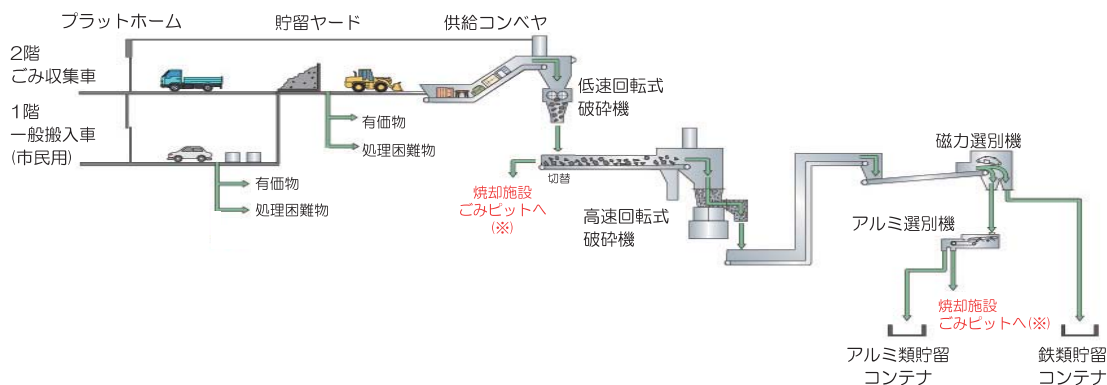


図2 処理フロー

間の施設利用を見据え、補修・更新費用等を含めたLCCが最小となるように、過熱器の母管材質や保護仕様を高耐久化するとともに、各所の排ガス・蒸気温度を長寿命化に最適な設計としている。

3) エコノマイザ出口排ガスの低温化

エコノマイザの伝熱面積を従来に比べて増やし、エコノマイザ出口排ガス温度を高質ごみ時は170℃程度、基準・低質ごみ時は165℃程度の低温とすることで、減温塔を省略しつつ排ガスからの熱回収量を増加させている。なお、プラント排水がクローズド方式であることを踏まえ、再利用水の水質を洗車用水にも使用可能なレベルとするように排水処理性能を向上させている。これらの方策により余剰水を最小化することで、炉内噴霧処理にともなう熱損失を低減している。

4) 脱硝反応塔出口排ガスの低温化

低温触媒の採用により、脱硝反応塔出口排ガス温度を通常の触媒使用時に必要な温度よりも低い175℃とし、煙突からの排ガスによる持出熱損失を低減している。脱硝反応塔の低温化にあたっては、劣化した脱硝触媒を現地で再生できるオンサイト再生システムを導入しており、触媒の劣化状況に応じて再生することで、低温化にともなう触媒性能の低下リスクを軽減している。

5) タービン抽気ポートの最適化

タービン抽気はタービンの入口蒸気量により圧力が変わるため、2炉運転時の蒸気量で抽気ポート位置を決定すると1炉運転時に必要圧力が不足する。逆に、1炉運転時に決定すると2炉運転時に必要圧力に対し過剰となり、発電量の低下につながる。そこで、本施設では2段抽気タービンを採用し、必要圧力に対して過不足ない抽気圧力となるよう1段目と2段目の抽気ポートを切り替えることで、2炉運

転時および1炉運転時の発電量をそれぞれ最大化している。

4.2 防災機能の強化

1) 液状化および高潮対策

本施設の立地は沿岸部の埋立地であり、地下水位が高く軟弱地盤である。そのため、工場棟に加えランプウェイや計量棟についても、地下20～30mの支持層からの杭による支持構造とするなど、液状化リスクを考慮した設計としている。また、高潮時は工事前の地盤レベルに対して0.5m程度の浸水が想定されているため、工場棟1階の床レベルを浸水想定高さ以上としたうえで、屋外に面する扉は防水仕様とし、シャッター等の大きな開口部には着脱可能な止水板による浸水対策をおこなっている。

2) ユーティリティや災害備蓄品の確保

災害時等の停電への対応として、非常用発電機を焼却炉1炉立ち上げ可能な容量とし、燃料についても、停電からタービン発電機での自立運転までに必要な量を常備している。用水や薬品は、災害時の立上げ後に1炉運転で14日間、外部補給がなくても運転継続可能な量を常時確保している。また、一時避難所としての機能を果たすため、80人分×3日分の非常食等の災害備蓄品を保管している。

5. 運 転 結 果

5.1 排ガス測定値（煙突）

本施設の引渡性能試験時（2024/6/3 9:00～2024/6/6 9:00）の煙突での排ガス測定結果を表3に示す。いずれの項目も公害防止基準値を十分に満足する結果が得られた。

表3 引渡性能試験時の煙突での排ガス測定結果

（乾きガス O₂=12% 換算値）

項 目	単 位	1号炉		2号炉		公害防止 基準値
		1回目	2回目	1回目	2回目	
硫黄酸化物	ppm	9.7	9.9	8.4	9.9	20
窒素酸化物	ppm	15	15	9	9	30
ばいじん	g/m ³ _N	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.02
塩化水素	ppm	11	10	9.1	12	40
水 銀	μg/m ³ _N	0.92	0.81	0.42	0.53	30
一酸化炭素	ppm (4時間平均)	8	10	9	9	30
ダイオキシン類	ng-TEQ/m ³ _N	0.000022	0.000012	0.000015	0.000016	0.1

5.2 NO_x 測定値（脱硝反応塔入口）

本施設の引渡性能試験時の脱硝反応塔入口での窒素酸化物の測定結果を表4に示す。結果はすべて計画値内かそれを下回っており、燃焼にともなうNO_xの発生が抑制されていることが示された。

5.3 O₂濃度測定値（炉出口）

引渡性能試験時の1号炉の炉出口O₂濃度とCO濃度の運転データを図3に示す。炉出口O₂濃度の平均値は1号炉：約4.2%となっていた。また、CO濃度は瞬時値でわずかなピークが見られるものの、移動平均値は安定して10ppm程度となってい

た。なお、2号炉においても炉出口O₂濃度の平均値は約4.6%となっており、各炉の空気比がそれぞれ以下のとおり求められることから、各炉とも排ガス性能を満足しつつ低空気比燃焼となる計画値（ $\lambda=1.25$ ）と同程度で運転していることがわかる。

$$1号炉：\lambda=21/(21-4.2)\div 1.25$$

$$2号炉：\lambda=21/(21-4.6)\div 1.28$$

5.4 発電効率および余剰電力量

引渡性能試験後から竣工後4か月間（2024年6月～10月）の発電効率を図4に示す。日によって入熱量や外気温、ボイラーストブロワ運転有無等の違

表4 引渡性能試験時の脱硝反応塔入口でのNO_x測定結果
(乾きガスO₂=12%換算値)

項目	単位	1号炉		2号炉		計画値
		1回目	2回目	1回目	2回目	
窒素酸化物	ppm	65	66	50	61	65～75

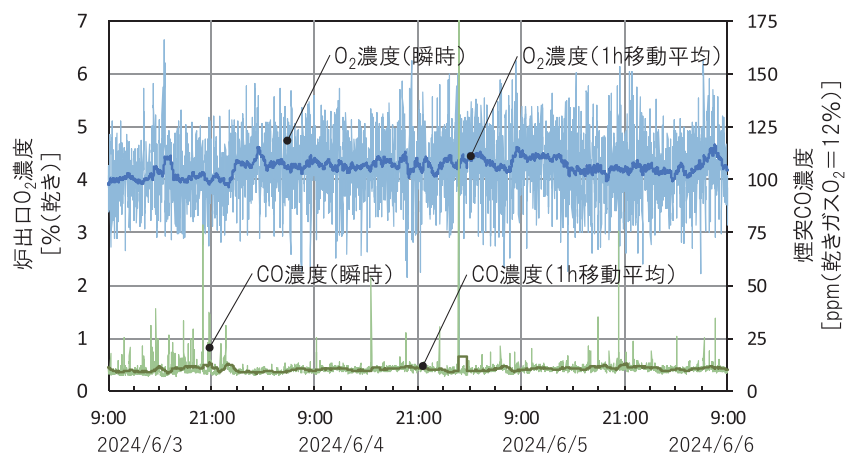
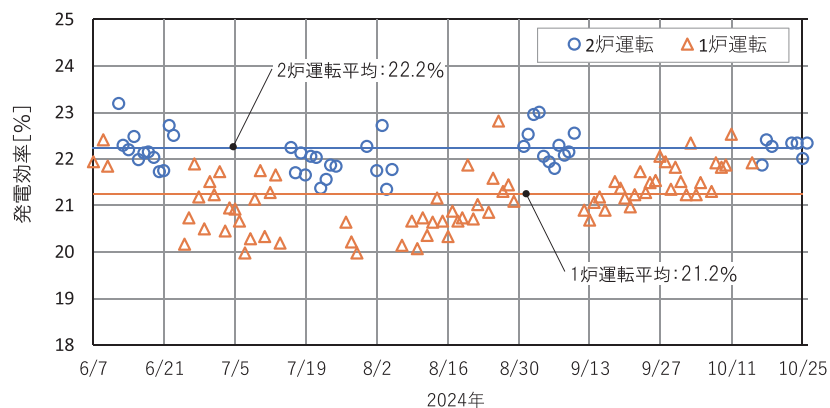


図3 1号炉運転データ（炉出口O₂濃度、煙突CO濃度）



※ 図中の1プロットは、1日の平均値を示す
 ※ 焼却炉の立上げ、立下げをおこなった日は除く
 ※ 出力抑制指令等により、発電量上限を定格出力から低下させた日は除く

図4 発電効率

表5 電力量データ

項目	単 位	実 績		計画値	
		2 炉運転	1 炉運転	2 炉運転	1 炉運転
発電	kWh/ごみ t	646	617	526～628	540～626
消費	kWh/ごみ t	133	223	130～145	200～237
余剰	kWh/ごみ t	513	394	381～498	303～426

※ 消費電力は併設の粗大ごみ処理施設分を含む

※ 計画値は実績のごみ入熱量と同等条件に合わせた値を示す

いによりばらつきはあるものの、発電効率の平均値は2炉運転時：22.2%、1炉運転時：21.2%の実績となった。なお、本施設の熱利用は発電のみのため、発電効率＝エネルギー回収率となる。本施設は、1炉運転時でも要求水準の17.5%を大きく上回るとともに、現行の循環型社会形成推進交付金要件である19.0%以上で運転できており、“4.1 高効率発電システム”で述べた方策の効果により、同規模施設では最高レベルの発電効率を達成している。

また、同期間におけるごみ処理量1tあたりの電力量に関する運転データを表5に示す。計画値の幅は、外気温の差によるものである。実績の余剰電力量は、2炉運転時：513 kWh/ごみ t、1炉運転時：

394 kWh/ごみ tとなった。これらは6～10月の運転データであり、比較的外気温が高く余剰電力量が低下傾向となる条件下であったが、計画値同等かそれを上回る余剰電力量となっていることが確認された。

6. お わ り に

本施設は、発注要件を十分に満足した、またはそれ以上の排ガス処理性能、発電性能等を発揮できしており、本事業の基本方針である循環型社会の形成の推進、環境の保全、ごみの安全・安定的な処理が可能な施設であることが運転データから示された。今後は、日常・月例モニタリング等により、長期的な性能の確認をおこなうとともに、適切な運転およびメンテナンスにより施設機能を維持することで、安定した施設の運営を引き続き実施する所存である。

最後に、本施設の建設工事にあたり、多大なるご助力を賜りました西知多医療厚生組合様をはじめ、関係者の方々に対し深く感謝致します。

報 告

札幌市西部スラッジセンター新 2 系焼却施設における 下水汚泥焼却発電システムの運転報告

Operation Report of the Sewage Sludge Incinerating Power Generation System
at the New System 2 Incineration plant, Seibu Sludge Center in Sapporo City



村 岸 弘 基* 中 西 譲*

Hiroki MURAGISHI

Yuzuru NAKANISHI

水 野 孝 昭*

Takaaki MIZUNO

【要 旨】当社は、下水汚泥焼却と焼却廃熱による蒸気発電設備を組み合わせた、省エネ・創エネ型の下水汚泥焼却発電システムを札幌市西部スラッジセンターに納入した。2021 年 8 月にしゅん功した新 1 系焼却施設に続き、このたび 2024 年 3 月に新 2 系焼却施設がしゅん功し、必要な性能を満足した上で安定的に稼働している。本システムは乾燥機、階段式ストーカー炉、廃熱ボイラ、蒸気発電機などを組み合わせることで、汚泥焼却時に補助燃料を使用することなく、低消費電力と蒸気発電により大幅な購入電力削減を実現できる。加えて汚泥を 900℃ 以上の高温で焼却することが可能なため、温室効果ガスである N₂O の排出を大幅に削減できる。すなわち、省エネ・創エネ、ランニングコスト低減、温室効果ガス削減を同時に実現する下水汚泥焼却発電システムである。

キーワード：下水汚泥焼却発電システム、階段式ストーカー炉、省エネ・創エネ、温室効果ガス削減、N₂O

Abstract

We have delivered an energy-saving and energy-creating sewage sludge incinerating power generation system, which combines a sewage sludge incineration system and a steam power generation system using waste heat from incineration, to the Seibu Sludge Center in the city of Sapporo. Following the completion of the new system 1 incineration plant in August 2021, the new system 2 incineration plant was completed in March 2024 and is operating stably while meeting the required performance. Combined with a dryer, a step grate stoker furnace, a waste heat boiler, or a steam generator, this system can drastically reduce purchased electricity due to low power consumption and steam power generation without using auxiliary fuel for sludge incineration. In addition, since this system is capable of incinerating the sludge at high temperatures above 900℃, emissions of N₂O, a greenhouse gas, can be drastically reduced. That is, it is a sewage sludge incinerating power generation system that can save energy, create energy, reduce running costs, and reduce greenhouse gas together.

Keywords: sewage sludge incinerating power generation system, step grate stoker furnace, energy saving and creation, greenhouse gas reduction, N₂O

* 水処理技術部
Sewerage Engineering Dept.

1. はじめに

札幌市は、「札幌市下水道ビジョン 2030」において、低炭素・循環型社会の構築に貢献するため、下水道における省エネルギー設備への改築などによるエネルギー使用量の削減に努めるとともに、下水道エネルギー・資源の有効利用をさらに進めることを課題として、省エネルギー設備の導入などの取り組みを引き続き実施するとともに、汚泥が持つエネルギーを利用した発電設備の導入を進めている¹⁾。

当社の省エネ・創エネ型の下水汚泥焼却発電システム（以下、本システムと記す）は、焼却廃熱のカスケード利用により汚泥の持つエネルギーを無駄なく有効に活用でき、さらに従来の焼却システムと比べ大幅な使用電力削減を実現し、札幌市が掲げる低炭素・循環型社会の構築に貢献できる。当社は、西部スラッジセンターに設置されている汚泥焼却炉（階段式ストーカ炉）の老朽化にともない、2021年8月にしゅん功済みの新1系焼却施設に続き、2024年3月にしゅん功した新2系焼却施設へ本システムを導入した。

また札幌市では、官民連携の取り組みの一環として、2012年度（平成24年度）より下水道施設の設計および工事について、2019年度（令和元年度）より改築事業の一部についても、地方共同法人 日本下水道事業団（Japan Sewage Works Agency, 以下「JS」と記す）に委託している²⁾。そのため、新1系

焼却施設は札幌市の直営工事であったが、新2系焼却施設の工事はJSへの委託工事として実施された。当社においては、JS発注の汚泥焼却施設工事における初号機の受注となる。

納入施設の概要を下記に示す。

発注者：地方共同法人 日本下水道事業団

建設場所：西部スラッジセンター（札幌市手稲区）

施設規模：100 t/日×1 炉

炉形式：階段式ストーカ炉

廃熱利用：乾燥設備, 結露防止設備, 蒸気発電設備

発電出力：140 kW（発電端）

しゅん功：2024年3月5日

2. 札幌市西部スラッジセンターの施設概要³⁾

札幌市では、従来、各水再生プラザにて個別に汚泥処理をおこなっていたが、汚泥処理の効率化を図るため、現在では市内2か所にあるスラッジセンターにおいて汚泥を集中処理している。創成川・拓北・伏古川・茨戸・豊平川・厚別・東部・新川・手稲の各水再生プラザで発生した汚泥を地中の圧送管で東西のスラッジセンターに送り、一括して脱水・焼却処理している。豊平川を境に、左岸に西部スラッジセンター、右岸に東部スラッジセンターが配

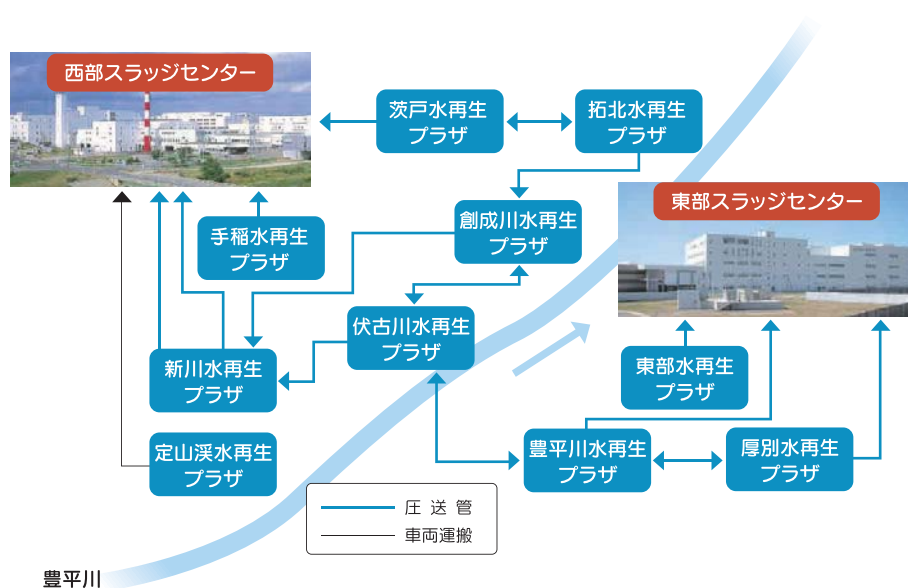


図1 処理区域³⁾

置されており（図1）、突発的な事故や災害によって一部区間で汚泥の輸送が停止しても汚泥の処理に支障が出ないように、汚泥圧送ルートの子条化やループ化をおこなっている。

西部スラッジセンターの焼却施設の概要を下記に記す⁴⁾。

- ・延床面積：40,702 m²
- ・焼却能力：550 t/日（脱水汚泥ベース）
- ・焼却方式：燃焼回収熱利用による汚泥乾燥焼却方式
- ・運転開始：
 - 3系（100 t/日）1994 年（平成 6 年）3 月
 - 4系（100 t/日）1996 年（平成 8 年）3 月
 - 5系（150 t/日）2000 年（平成 12 年）8 月
 - 新1系（100 t/日）2021 年（令和 3 年）9 月
 - 新2系（100 t/日）2024 年（令和 6 年）3 月

1系および2系焼却炉は運転開始後35年を経過していたため、老朽化にともない施設の更新を実施した。ほかの系列についても、札幌市で汚泥の有効利用の観点から最適な更新方法について検討されている⁵⁾。

3. 新2系焼却施設の概要

今回納入した新2系焼却施設の設備フロー図を図2に示す。

西部スラッジセンター内の濃縮・脱水設備にて処理された脱水汚泥は、ケーキ移送ポンプで焼却施設に送泥され、汚泥タンクに一旦貯留される。汚泥タンクから切り出された脱水汚泥は、焼却灰からの重金属類溶出抑制のための消石灰を添加した後、乾燥機に送られ含水率を40%程度に低下させてから乾燥ケーキバンカを経由して汚泥焼却炉に投入される。焼却炉では、立上げ時以外に補助燃料である重油を使用しない自然運転が可能である。

燃焼排ガスからの廃熱回収は廃熱ボイラにておこない、発生した蒸気を蒸気発電機へ供給して発電する。発電に使用した後の蒸気は、乾燥機および空気予熱器の熱源として利用する。また、蒸気発電機からの排気蒸気の一部を新1系に設置したバイナリ発電機へ供給することで、さらなる発電をおこなう。廃熱ボイラにて熱回収された後の燃焼排ガスはマルチサイクロン式集塵機で粗除塵後、冷却脱硫塔にて減湿・脱硫され、湿式電気集塵機で除塵して、排気筒より大気放出される。

新2系焼却施設のフローは新1系焼却施設を踏襲

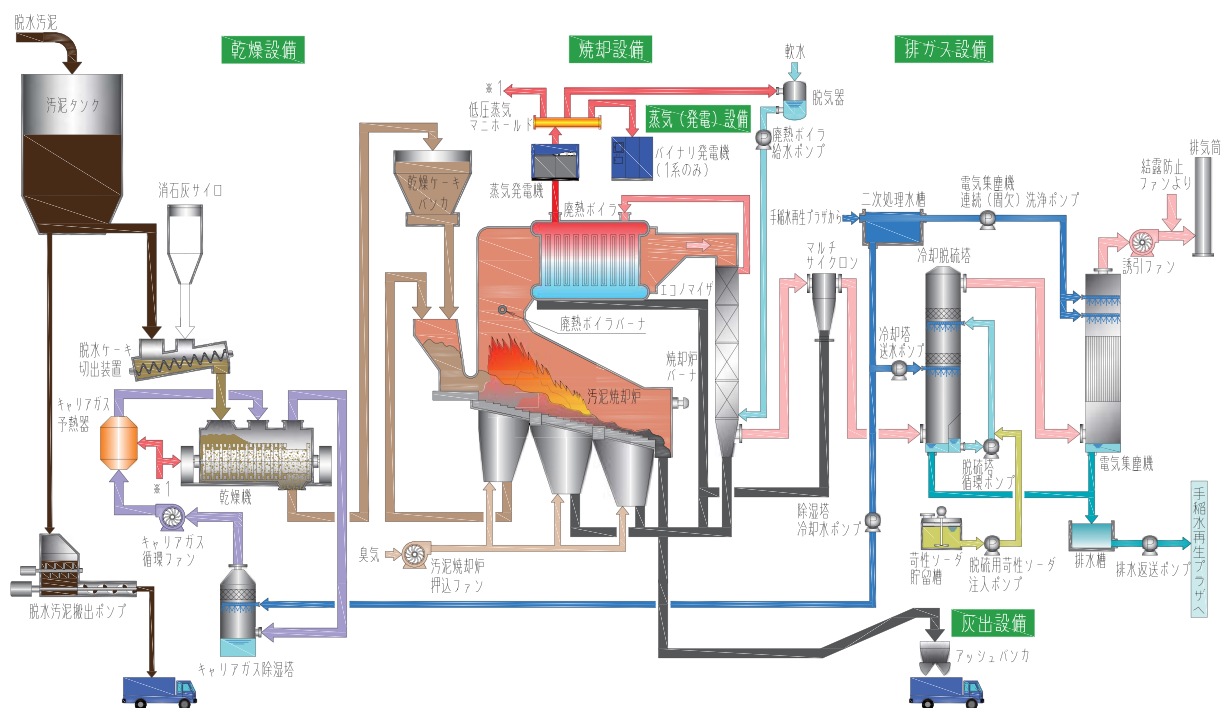


図2 設備フロー図

しているが、低圧蒸気マニホールドで新1系と新2系の蒸気を集約することで、新1系に設置しているバイナリ発電機に余剰蒸気を送気して経済的な活用を図っている。

4. 階段式ストーカ炉の特長

全国の下水处理場に納入されている下水汚泥焼却炉の多くは気泡式流動炉である。この気泡式流動炉は、含水率の高い脱水汚泥の直接焼却に適している一方で、砂層部での燃焼用空気の圧力損失が大きく、流動ブロワの電力が大きくなる。そのため、プラント消費電力も大きくなり、その削減が課題である。

それに対し、当社の下水汚泥焼却炉である階段式ストーカ炉は、燃焼部に砂層部を必要としないため、燃焼用空気の供給圧力を低くすることができ、気泡式流動炉に比べプラント消費電力が少ないことが特長であり、これまでに全国24件の納入実績を有している（2025年1月時点）。

この階段式ストーカ炉は、燃焼部が階段状の火格子（ストーカ）で構成され、前後に可動する可動火格子と固定火格子が交互に配置されている。投入された汚泥は、火格子の動きにより上段から下段へ静かに揺動・反転・移動しながら、火格子下面より送られる燃焼用空気と接触し、乾燥された後に火炎を上げて旺盛な燃焼を起こす。燃焼後の焼却灰は、ストーカ最下段から落下し排出される仕組みとなっている。階段式ストーカ炉の概略図を図3に、ストーカの構成を図4に、炉内燃焼状態を図5に示す。

5. 下水汚泥焼却発電システムの特長

図6に本システムの概略フローを示す。

本システムは、乾燥機、階段式ストーカ炉、廃熱ボイラ、蒸気発電機、バイナリ発電機などを組み合わせ導入することで、補助燃料を使用することなく汚泥を焼却でき、また発電電力により焼却施設で使用する電力を賄うことでプラント使用電力を削減できる。さらに、汚泥の高温燃焼により、温室効果ガスである一酸化二窒素（以下、 N_2O と記す）の排出量を大幅に低減することが可能である。

以下に各特長の詳細を示す。

①補助燃料不要

乾燥機を設けることで、汚泥の含水率を自燃可能な40%程度にまで低下させて炉に投入するため、補助燃料を使用せずに高温燃焼が可能となる。また、乾燥機に必要な熱源は、汚泥燃焼熱を廃熱ボイラに



図3 階段式ストーカ炉の概略図

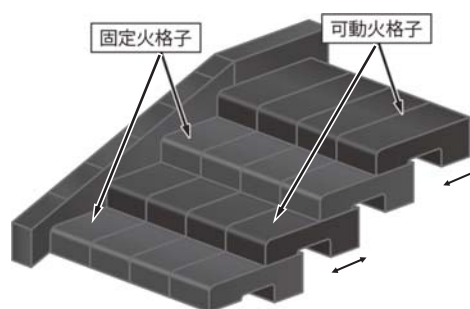


図4 ストーカの構成



図5 炉内燃焼状態

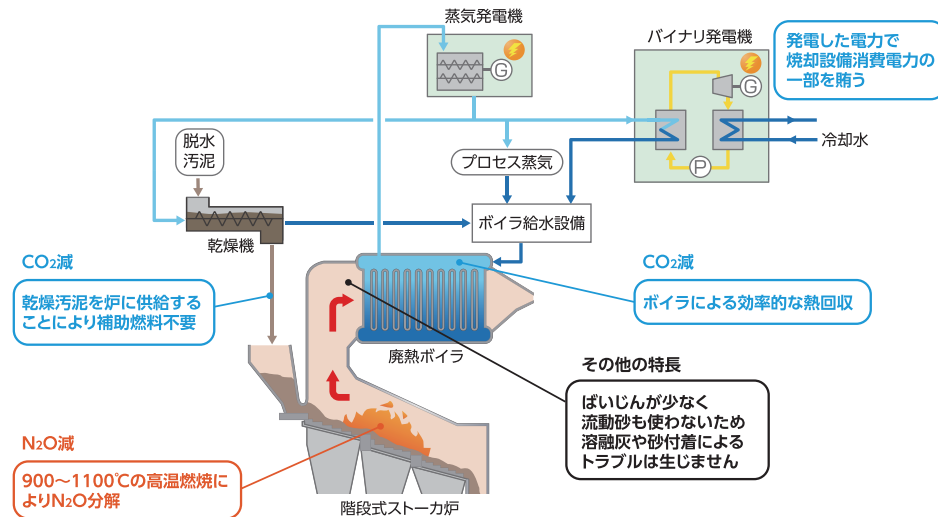


図6 システム概略図

て回収して発生させた蒸気を利用しており、こちら
も補助燃料を使用せずに必要熱量を確保できる。

②発電による施設全体での購入電力量削減

廃熱ボイラで発生した蒸気のエネルギーを、蒸気
発電機やバイナリ発電機で電力に変換し、その発電
により消費電力を賄うことで購入電力量を削減でき
る。図6に示すように、廃熱ボイラで発生した蒸気
は、蒸気発電機で発電した後にプロセス蒸気（乾燥
機、空気予熱器の熱源）とバイナリ発電機の熱源と
してカスケード利用する、焼却廃熱を最大限利用可能
なシステムとなっている。

③N₂O 排出量抑制

階段式ストーカ炉は900℃以上の高温燃焼が可能
なため、CO₂の265倍の温室効果を有するN₂Oの
排出量を、一般的な燃焼温度850℃の従来型流動炉
と比較して大幅に削減している。

6. 新2系焼却施設における下水汚泥焼 却発電システムの運転報告

6.1 設計条件および性能確認項目

乾燥機および焼却炉の設計条件を表1に示す。な
お、各数値は新1系と同じである。

また、主な性能確認項目としては下記の通りであ
る。

①乾燥機投入汚泥量 100 t/日以上

表1 乾燥機および焼却炉の設計条件

項目		単位	設計値
乾燥機	脱水汚泥処理量	t/日	95.86
	脱水汚泥含水率	%	76
	可燃分割合	%-DS	79
	可燃分組成	C	%-VS 49.1
		H	%-VS 6.9
		N	%-VS 5.0
		O	%-VS 38.1
		S	%-VS 0.9
	消石灰添加率	%-DS	18
	消石灰添加量	t/日	4.14
	乾燥機投入量	t/日	100
	乾燥機投入時含水率	%	72.9
焼却炉	乾燥汚泥含水率	%	40
	炉投入乾燥汚泥量	kg/h	1,882
	炉投入汚泥含水率	%	40
	炉投入可燃分割合	%-DS	67.1
	可燃分あたり低位発熱量	kJ/kg-VS	23,100
	炉投入汚泥あたり低位発熱量	kJ/kg-乾燥汚泥	8,222

DS: 乾燥固形物 (Dry Solids), VS: 揮発性固形物 (Volatile Solids)

②排ガス性状

硫黄酸化物	K=4.0
窒素酸化物	250 ppm 以下 (O ₂ =12% 換算)
ばいじん量	0.15 g/m ³ _N 以下 (O ₂ =12% 換算)
塩化水素	700 mg/m ³ _N 以下 (O ₂ =12% 換算)
ダイオキシン類	5 ng-TEQ/m ³ _N 以下 (O ₂ =12% 換算)
全水銀	30 μg/m ³ _N 以下 (O ₂ =12% 換算)

6.2 性能確認結果

性能試験時（3日間72時間連続運転）における主な性能確認結果として、乾燥機性能、排ガス性状、焼却主灰性状、 N_2O 排出量、補助燃料使用量を以下に示す。

6.2.1 乾燥機性能

乾燥機の性能確認結果を表2に示す。

乾燥機投入量は100 t/日以上であった。また、乾燥機投入污泥量、脱水污泥含水率、乾燥污泥含水率

の分析値および日平均値を用いて蒸発水分量を算出した結果、2,694～2,761 kg/h となり、設計値である2,285 kg/hを上回る性能であることを確認した。

6.2.2 排ガス性状

排ガス性状について排気筒入口の測定結果を表3に示す。測定結果より、本システムは、全ての項目に対し、基準値を遵守していることを確認した。

6.2.3 焼却主灰性状

焼却主灰の溶出試験結果を表4に示す。環境庁告

表2 乾燥機の性能確認結果

項 目	単位	設計値	本性能試験			
			運転結果			備 考
			1日目	2日目	3日目	
乾燥機投入量	t/日	100	101.4	100.9	102.1	運転日報より
脱水污泥含水率	%	76	79.4	79.2	78.6	計算値
乾燥機投入時含水率	%	72.9	76.2	76.0	75.5	分析結果より
乾燥污泥含水率	%	40	31.3	33.2	32.3	分析結果より
蒸発水分量	kg/h	2,285	2,761	2,694	2,715	計算値
消石灰添加量	t/日	4.14	4.05	4.06	4.05	運転日報より
消石灰添加率*	%-DS	18	20.2	20.2	19.3	計算値

* 消石灰添加率は消石灰添加前の脱水污泥固形分に対する比率で、設計値では脱水污泥含水率を76%としていることから、含水率が高い場合には添加率が高くなる

表3 排気筒入口排ガス性状結果

項 目	単 位	基準値	測定結果
			排気筒入口
湿りガス量	m^3_N/h	—	16,700
乾きガス量	m^3_N/h	—	16,500
ばいじん ($O_2=12\%$ 換算)	g/m^3_N	0.15 以下	0.002
硫黄酸化物 (K 値換算値)	ppm (—)	— (4.0)	<0.4 (0.003)
窒素酸化物 ($O_2=12\%$ 換算)	ppm	250 以下	150
塩化水素 ($O_2=12\%$ 換算)	mg/m^3_N	700 以下	2.0
ダイオキシン類 ($O_2=12\%$ 換算)	ng-TEQ/ m^3_N	5 以下	0.00023
全水銀 ($O_2=12\%$ 換算)	$\mu g/m^3_N$	30	5.3
N_2O	ppm	—	3
メタン	ppm	—	1

表4 焼却主灰溶出試験結果

項 目	基準値 (mg/L)	測定値 (mg/L)
アルキル水銀化合物	不検出	不検出
水銀又はその化合物	0.005	<0.0005
カドミウム又はその化合物	0.09	<0.01
鉛又はその化合物	0.3	<0.01
有機燐化合物	1	<0.1
六価クロム化合物	1.5	<0.05
砒素又はその化合物	0.3	<0.01
シアン化合物	1	<0.1
ポリ塩化ビフェニル	0.003	<0.0005
トリクロロエチレン	0.1	<0.01
テトラクロロエチレン	0.1	<0.01
ジクロロメタン	0.2	<0.02
四塩化炭素	0.02	<0.002
1,2-ジクロロエタン	0.04	<0.004
1,1-ジクロロエチレン	1	<0.1
シス-1,2-ジクロロエチレン	0.4	<0.04
1,1,1-トリクロロエタン	3	<0.3
1,1,2-トリクロロエタン	0.06	<0.006
1,3-ジクロロプロペン	0.02	<0.002
チラウム	0.06	<0.006
シマジン	0.03	<0.003
チオベンカルブ	0.2	<0.02
ベンゼン	0.1	<0.01
セレン又はその化合物	0.3	<0.01
1,4-ジオキサン	0.5	<0.05

示 13 号に係る規制項目について、いずれも基準値を遵守する結果である。

6.2.4 N₂O 排出量

本施設での N₂O 単位排出量を下記にて算出する。

・ N₂O 排出量 【kg/h】

$$\begin{aligned} &= Q \times C \times 10^{-6} \times \text{N}_2\text{O 分子量 (kg/kmol)} \\ &\quad \div \text{標準状態気体モル体積 (m}^3_{\text{N}}/\text{kmol)} \\ &= 16,500 \text{ m}^3_{\text{N}}/\text{h} \times 3 \text{ ppm} \times 10^{-6} \times 44 \div 22.4 \\ &= 0.097 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

Q：排気筒入口乾きガス流量

16,500 m³_N/h（表 3 より）

C：排気筒入口 N₂O 濃度

3 ppm（表 3 より）

・ N₂O 単位排出量 【kg-N₂O/t-DS】

$$\begin{aligned} &= (\text{N}_2\text{O 排出量}) \div (\text{汚泥中固形物量}) \\ &= 0.097 \text{ kg/h} \div (101.4 \text{ t/日} \times (100\% - 76.2\%) \\ &\quad \div 24 \text{ h/日}) \\ &= \underline{\underline{0.10 \text{ kg-N}_2\text{O/t-DS}}} \end{aligned}$$

汚泥中固形物量：脱水汚泥量 × (100% - 脱水汚泥含水率)

脱水汚泥量：101.4 t/日（表 2 の 1 日目の乾燥機投入量）

脱水汚泥含水率：76.2%（表 2 の 1 日目の乾燥機投入時含水率）

階段式ストーカ炉では、前述のとおり炉内で 900℃ 以上の高温燃焼域を形成するため、N₂O 濃度は 3 ppm と非常に低い。従来型流動炉の 850℃ 燃焼時の省令値⁶⁾より算出した N₂O 単位排出量 2.731

kg-N₂O/t-DS（「流動炉（高温燃焼）約 850℃」0.65 kg-N₂O/wet-t に対し、本結果では乾燥機投入時含水率を 76.2% と仮定した固形物基準）と比較して、約 96% 低減された数値であることが確認できた。このことから N₂O 排出量を大幅に削減できることが実証された。

6.2.5 補助燃料使用量

定常運転状態において、補助燃料である重油使用量は 0 L であり、安定した自燃運転が可能であることを確認した。

6.3 発電電力

バイナリ発電機を新 1 系と共用していることから、発電電力については、新 2 系焼却施設と新 1 系焼却施設を合わせた、全体の受電電力（建築付帯動力含む）と発電電力の運転監視データの平均値、およびプラント消費電力により評価する。各電力の算出値（一例）を表 5 に示す。受電電力は、消費電力から発電電力を差し引いた値である。なお、本データ取得時は新 1 系、新 2 系ともに定格負荷にて運転をおこなっている。

本施設は積雪をともなう寒冷地にあることから、建屋内に設置されることによる換気動力が必要である。それに加え、汚泥集約処理をおこなうスラッジセンターという特性もあり、下水処理場内の屋外に設置されている汚泥焼却施設と比較して、建築付帯設備や給排水にともなう消費電力が多い。新 1・2 系の施設全体の消費電力（＝受電電力＋発電電力）699 kW に対して発電電力の合計が 352 kW であることから、発電電力により施設全体の消費電力の約

表 5 電力データ（一例）

運転監視データ				新 2 系消費電力※2	
受電電力		発電電力（送電端）			
名 称	kW	発電機名称	kW	名 称	kW
新 1・2 系受電電力※1	347	新 1 系蒸気発電機	129	乾燥設備	99
		バイナリ 発 電 機	90	焼却設備	108
		新 2 系蒸気発電機	133	共通設備	65
合 計	347	合 計	352	合 計	272
発電電力量÷施設全体の消費電力（＝受電電力量＋発電電力量） ＝352÷（347＋352）×100＝50%					
新 2 系発電電力量※3÷新 2 系消費電力量＝（133＋45）÷272×100＝65%					

^{*1} 新 1・2 系の乾燥設備、焼却設備、共通設備、付帯設備などの消費電力（電灯設備は除く）から発電電力を差し引いた値

^{*2} 各機器の電流値などから積算した乾燥設備、焼却設備の消費電力を示す（洗浄水・冷却水・排水の負荷は除く）

^{*3} 新 2 系の発電電力は、新 2 系蒸気発電機に、バイナリ発電機の発電電力の 50% を足し合わせたものとする

50% を賄っていることを確認した。

また、新2系のプラント消費電力と発電電力との比較では、プラント消費電力 272 kW に対する発電電力の割合は約 65% となり、乾燥設備および焼却設備で使用する電力の 6 割以上を発電電力で賄えていることを確認した。

6.4 温室効果ガス排出量

本施設の温室効果ガス排出量について、従来の焼却システムである気泡式流動炉（発電無し）と比較をおこなう。なお、補助燃料由来の温室効果ガス排出量については、汚泥性状や使用する燃料の種類によって増減することから、本試算には含まないものとする。

6.4.1 消費電力

本施設のプラント消費電力量（新2系消費電力量から新2系発電電力量を差し引いたもの）は表5より、272 kW－(133+45) kW＝94 kW である。

従来の焼却システムのプラント消費電力量は、B-DASH プロジェクト No.27 ガイドライン（案）⁷⁾ では、下記に示す算定式が提示されている。本式に沿って本処理量に対する消費電力量を試算すると 380 kW となる。

消費電力【kW】

$$=1.12 \times \text{処理量 (t-脱水汚泥/日)} + 266$$

6.4.2 N₂O 単位排出量

従来の焼却システムでの N₂O 単位排出量は 2.731 kg-N₂O/t-DS であるが、6.2.4 で示したように本施設の N₂O 単位排出量は 0.10 kg-N₂O/t-DS となり、大幅に削減されていることが示されている。

6.4.3 従来の焼却システムとの比較

温室効果ガス削減量の試算結果を表6に示す。

温室効果ガス排出量の算出条件として、脱水汚泥処理量は 101.4 t/日（実績値）、乾燥機投入時含水率 76.2%（実績値）、稼働率は 90%（年間運転日数 328.5 日/年）、受電電力あたりの排出係数は 0.000438

表6 温室効果ガス削減状況試算値

	単 位	本システム	従来の 焼却システム	削減率
電力由来	t-CO ₂ /年	325	1,311	75.2%
N ₂ O 由来	t-CO ₂ /年	210	5,737	96.3%
合 計	t-CO ₂ /年	535	7,048	92.4%

t-CO₂/kWh（北海道電力ネットワーク（株））⁸⁾ とした。また、N₂O の地球温暖化係数は 265 (t-CO₂/t-N₂O)⁹⁾ とした。

温室効果ガス削減率は、従来の焼却システムに対して約 92% となり、温室効果ガス排出量を大幅に削減できていることが示された。

7. お わ り に

札幌市西部スラッジセンターの新2系焼却施設として納入した下水汚泥焼却発電システムにおいて、乾燥機および焼却炉の設計条件に対し、定格処理量である 100 t/日以上を連続的に安定して処理できることを確認し、排ガス性状についても十分基準値を満足するものであることを確認した。

また当社では、JS 発注の汚泥焼却施設工事における初号機の受注となり、札幌市直営とは設計や工事をおこなう中での手続きなどの違いにより戸惑うこともあった。こうした中で設計部門と工事部門、その他社内関係部門で協力しながら建設を進めた結果、JS より 2024 年度（令和 6 年度）の優良工事表彰を受けることができた¹⁰⁾。

当社が開発した本システムは、補助燃料が不要であり、温室効果ガスである CO₂ に加え N₂O の排出量も少なく、また廃熱発電により購入電力量を低減できるという環境性能面および省エネ性能面において優れた性能を有している。本システムを適用したプラントは現在 5 件受注しており、今後も継続的な受注により下水処理における省エネ、創エネ、温室効果ガス削減に貢献できるものと確信している。

最後に、今回納入した焼却施設の建設にあたり、多大なるご協力をいただきました札幌市殿、日本下水道事業団殿をはじめ、関係者の方々に深く感謝の意を表します。

引用文献

- 1) 札幌市下水道河川局：札幌市下水道ビジョン 2030, pp.21-45 (2020)
- 2) 日本下水道新聞：2022 年（令和 4 年）6 月 29 日
- 3) 札幌市下水道河川局経営管理部経営企画課：札幌市の下水道, p.5 (2024)
- 4) 一般財団法人札幌下水道公社：西部スラッジセンターパンフレット
- 5) 札幌市：札幌市下水道事業中期経営プラン 2025,

- p. 10 (2021)
- 6) 特定排出者の事業活動に伴う温室効果ガスの排出量の算定に関する省令（平成十八年経済産業省・環境省令第三号），平成 18 年 3 月 29 日公布，令和 7 年 4 月 1 日改定
- 7) 国土交通省 国土技術政策総合研究所：B-DASH プロジェクト No. 27 温室効果ガス削減を考慮した発電型污泥焼却技術導入ガイドライン（案），p. 69 (2019)
- 8) 電気事業者別排出係数（特定排出者の温室効果ガス排出量算定用），令和 6 年 11 月 8 日（2025 年 1 月 23 日確認）
- https://ghg-santeikohyo.env.go.jp/files/calc/r06_denki_coefficient_rev10.pdf
- 9) 算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧（令和 5 年 12 月 12 日更新）（2025 年 1 月 23 日確認）
- https://ghg-santeikohyo.env.go.jp/files/calc/itiran_2023_rev4.pdf
- 10) 日本下水道事業団：記者発表資料，令和 6 年度日本下水道事業団表彰について，令和 6 年 11 月 8 日（2025 年 1 月 23 日確認）
- <https://www.jswa.go.jp/topics/2024pdf/20241108kisyu.pdf>

学会報告

HTCPM 2024 に参加して

古 垣 孝 志*

Takashi FURUGAKI

1. は じ め に

2024 年 6 月 9 日から同年 6 月 14 日にフランスで開催された高温腐食に関する国際会議である HTCPM 2024 (High Temperature Corrosion and Protection of Materials 2024) に参加したので、その概要について報告する。本国際会議は、1986 年から 4 年に 1 回の頻度でフランスで開催されており、その規模はアメリカで開催される高温酸化・高温腐食の国際会議である Gordon Research Conference (以下、GRC と記す) に次ぐものである。当社は今回本会議にはじめて参加し、ポスター発表をおこなった。

2. HTCPM 2024 の概要

本会議は、南仏のトゥーロン近郊から船で渡る Les Embiez island (写真 1) の Helios hotel で開催され、主にヨーロッパを中心としたおよそ 230 名の高温酸化・高温腐食の研究者が参加した。



写真 1 Les Embiez island

本会議で扱う主な産業分野は、エネルギー変換、航空用ガスタービン、熱機関、ボイラー、焼却炉、バーナー、燃焼電池、プロセス産業 (化学、金属、セラミックス、ガラス、紙パルプ)、原子力産業などであり、トピックスとしては以下の 10 個のカテゴリに分類され、それぞれのカテゴリに対しオーラル発表およびポスター発表がおこなわれた。

- ① 高温反応の基礎
- ② モデリング、予測、シミュレーション
- ③ 複雑な雰囲気における酸化 (H_2O , CO_2 , SO_2 , 浸炭など)
- ④ 堆積物誘起腐食
- ⑤ 高温酸化の機械的側面
- ⑥ 保護皮膜 (熱遮蔽コーティング, 耐環境性コーティングを含む)
- ⑦ 新しい金属材料の酸化 (金属間化合物, 金属基複合材料, ハイエントロピー合金など)
- ⑧ セラミック, MAX 相, 高温セラミック複合材料
- ⑨ 高温酸化における積層造形の影響
- ⑩ 高度な特性評価技術

発表件数は、オーラル発表が 42 件、ポスター発表がおおよそ 140 件であり、そのうち日本からはオーラル発表が 3 件、ポスター発表が 5 件であった。

* 装置技術部
Mechanical Design & Engineering Dept.

3. 当社からの発表：廃棄物発電ボイラーの過熱管材料の高温腐食

発表題目「Breakdown Behavior of a Protective Cr-rich Oxide Scale Formed on Heat-Resistant Steels in Corrosive Gases Atmosphere with Alkali Salt Vapor」として、廃棄物発電ボイラーの過熱管に使用される耐熱鋼表面に形成する保護性酸化皮膜の破壊挙動をテーマに、以前の研究で提案した腐食モデルをラボ試験で検証した内容にて発表した。ポスター発表では多くの方と話す機会があり、提案した腐食モデルについての質問が多く、さらに研究の進め方などアドバイスをいただくことができた。

4. その他の発表

本会議は昨年度参加した GRC に次ぐ規模に相当するであろう、多くの高温腐食の専門家が集まる国際会議であり、著名な先生が多く参加されていた。GRC ではシミュレーションや分析方法、高温酸化に関する発表が多かったが、本会議ではバイオマスや廃棄物の高温腐食に関する講演も比較的多く、さまざまなことを学ぶことができた。

5. おわりに

今回で3回目の国際会議への参加になるが、自身の技術レベルも向上しているためか、本会議では高温腐食に関するさまざまな知見を深くまで得ることができ、これらの得た知見を実際の業務に活用したいと思う。また、会議以外には、バンケット（懇親会：写真2）や南仏が発祥のペタンク（写真3）大会が催された。ペタンクとは目標球（ビュット）に金属製のボールを投げ合って、相手のボールより近づけることで得点を競うというスポーツで、日本からは2チームが参加、自身もチームの一員として参加し、予選リーグでそれぞれ3試合したものの、残念ながら1勝もできなかった。このように、会議以外でも他国の方々と交流できたことは貴重な体験であり、今後も同様の機会があれば積極的に参加したい。



写真2 バンケット風景



写真3 ペタンク大会



快適な都市環境…

タクマの技術はエンドレス。

循環型社会の形成および地球温暖化防止のために、廃棄物の有効活用が求められています。発電システムや余熱利用、有価物の回収、灰の再生利用など、廃棄物の持つ潜在価値を引き出し、よりよい都市環境づくりへつなげたい…タクマは、先進の技術で、地域社会への貢献の環を広げ、豊かな社会を目指します。

ごみ焼却プラント
ごみ資源化プラント
産業廃棄物処理プラント
メタン発酵プラント
バイオマス発電プラント
水処理プラント
下水污泥焼却プラント
その他

株式会社タクマ

本社 兵庫県尼崎市金楽寺町2-2-33 〒660-0806 電話(06)6483-2609 代
大阪事務所 大阪府大阪市福島区福島7-15-26 JMFビル大阪福島01 〒553-0003 電話(06)7670-6110 代
東京支社 東京都港区芝浦3-9-1 芝浦ルネサイトタワー 〒108-0023 電話(03)5730-9200 代
支店 北海道 東北 中部 九州 台北 工場 播磨

〔編集後記〕

本号の巻頭論説は、京都大学名誉教授の田中先生に日本における水質環境基準の変遷と課題、そしてこの課題に対して先生が取り組んでおられる研究について紹介いただいた。水系感染疾患は水道設備が普及している先進国でも問題になっており、O-157やノロウイルスなど身近に存在している。日本の水系感染での死亡例は極めて少ないが、海外では開発途上国に死者数が多い。また、致死率が極めて高い脳食いアメーバ（フォーラーネグレリア）の生息域がアメリカなどで広がりを見せており、地球温暖化による水温の上昇が一因といわれている。気温上昇の影響は、暮らしの中での厳しい暑さで十分に実感させられているが、世界的には生活に欠かせない水環境にまで影響が現れはじめている。このことから、気温上昇を食い止めることの重要性がよくわかる。

解説は、MIRAI経営総合研究所の西村氏に、商社在籍時のご経験の紹介と低炭素燃料のメガトレンドを解説いただいた。カーボンニュートラル達成の方策の一つとして、日本では脱炭素燃料である水素の利用を推進しようとしているが、グリーン水素の高コストが問題となっている。将来的にはEVバッテリーで見られるように、水素においてもAIやコンピュータの発達等による技術開発によって多くのイノベーションが起こり、安価なグリーン水素が産み出されることが期待されるところだが、社会が求める水素価格となるにはもう少し時間がかかるように感じられる。

また、脱炭素技術の一つとなるCO₂分離回収技術については当社も開発を進めており、今号では当社が開発したCO₂吸収液を用いたバイオマス発電施設での実証試験について報告している。吸収液の性能や省エネルギー効果などを確認できており、今後は一般廃棄物処理施設での実証試験を予定している。そのほか今号では、一般廃棄物処理施設をはじめとした当社が取り扱う各種プラントの運転報告を掲載しているので、ぜひご一読いただきたい。(S.I)

タクマ技報編集委員

委員長 竹口英樹
リーダー 池田広司
委員 前田典生
倉田昌明(兼事務局)
増田孝弘
鎌田全一
小野徳重
山下雅英
芹澤佳代
樋口直樹
佐野泰久
事務局 印藤信哉

タクマ技報 第33巻第1号(通巻第64号)

(無断複写および転載を禁ず) 2025年6月25日 印刷

(乱丁および落丁はお取替えいたします) 2025年6月30日 発行

編集兼発行人 竹口英樹

発行所 兵庫県尼崎市金楽寺町2-2-33 (〒660-0806)

株式会社 タクマ

タクマ技報編集委員会

TEL 06-6483-2603 FAX 06-6483-2753

印刷所 京都市南区吉祥院池ノ内町10 (〒601-8316)

明文舎印刷株式会社

非売品



還つておいで

小さな仲間たち

次の世代へ伝えてやろう

ホタル・メダカ・カワトンボ

これ以上、地球を汚すことはできません。

美しい自然、住みよい環境を

次の世代へ伝えたいものです。

タクマは、水処理技術を通じて

クリーンな環境づくりをめざして

努力を続けてきました。

今後も新しい技術を開発して

かけがえのない地球をまもるために

全力をあげてとりくみます。

●技術を大切に 人を大切に 地球を大切に

株式会社 タクマ

本 社／兵庫県尼崎市金楽寺町 2-2-33
大阪事務所／大阪府大阪市福島区福島 7-15-26 JMFビル大阪福島01
東京支 社／東京都港区芝浦 3-9-1 芝浦ルネサイトタワー
支 店／北海道 電話 (011) 221-4106 東北
中 部 電話 (052) 571-5211 九州
工 場／播 磨 電話 (079) 443-6511

電話 (06) 6483-2609 FAX (06) 6483-2751
電話 (06) 7670-6110 FAX (06) 7670-6113
電話 (03) 5730-9200 FAX (03) 5730-9255
電話 (022) 222-3042
電話 (092) 717-2828

TAKUMA

主な営業品目

- ごみ焼却プラント
- ごみ資源化プラント
- 産業廃棄物処理プラント
- メタン発酵プラント
- バイオマス発電プラント
- 水処理プラント
- 下水汚泥焼却プラント
- その他

大切なものを、
次世代へ。

持続可能な社会の構築
それは、私たちの永遠のテーマです。
循環型社会と脱炭素社会を実現するため
タクマは廃棄物処理分野とエネルギー分野を通じて
健全な地球環境づくりに貢献してまいります。

技術を大切に 人を大切に 地球を大切に

株式会社 タクマ

本 社／ 兵庫県尼崎市金楽寺町2丁目2番33号
電話(06)6483-2609 FAX(06)6483-2751
大阪事務所／ 大阪府大阪市福島区福島7丁目15番26号(JMFビル大阪福島01)
電話(06)7670-6110 FAX(06)7670-6113
東 京 支 社／ 東京都港区芝浦3丁目9番1号(芝浦ルネサイトタワー)
電話(03)5730-9200 FAX(03)5730-9255
支 店／ 北海道、東北、中部、九州、台北
工 場／ 播磨

TAKUMA TECHNICAL
REVIEW

タクマ技報

