

◆ 神鋼環境ソリューション

神鋼環境ソリューション 技報
Vol.10 No.1 (通巻19号)



神鋼環境ソリューション 技報

Vol.10 No.1 (通巻19号)

KOBELCO ECO-SOLUTIONS ENGINEERING REPORTS

目次	CONTENTS
----	----------

- | | | |
|----|---|---|
| 1 | <巻頭言>
メタン発酵法とグリーンガス | |
| 2 | 神戸市東灘処理場
再生可能エネルギー生産・革新的技術
実証研究 (B-DASH プロジェクト)―第2報― | Demonstration Research on Renewable Energy Production
and Innovative Technologies at Higashinada Treatment
Plant in Kobe City (B-DASH Project), second report |
| 7 | コークス炉廃水処理への分子生物学的手法の適用
その2 | Application of Molecular Biological Techniques for the
Operation of Coke-Oven Wastewater Treatment Plant No.2 |
| 12 | 下水汚泥向けヒートポンプ式低温ベルト乾燥機 | Heat Pump Type Low Temperature Belt Dryer for Sewage
Sludge |
| 16 | フジッコ(株)鳴尾工場向
第二世代高負荷型嫌気性処理システム
「PANBIC-EC」の納入実績紹介
―処理安定性を飛躍的に高めた新システム― | New Anaerobic System "PANBIC-EC" for Fujicco Naruo
Plant
~ Enhance the Stability of Treatment System ~ |
| 22 | 神鋼リードミック(株)向
水リサイクル装置における運転評価事例紹介 | Evaluate Operation Data and Support for Wastewater
Recycling Plant in Shinko Leadmikk Co. LTD. |
| 27 | レーザー式ガス分析計を用いた廃棄物高効率発電
への取組み | Approach for High Efficiency Waste Power Generation using
Laser Gas Analyzer |
| 31 | 相模原市南清掃工場
電力需要ピークに合わせた余剰電力増加の取組み | Maximization of Surplus Electric Power in Peak Power
Demand at Sagami-hara City Minami Waste to Energy &
Recovery Plant |
| 35 | 施設・技術紹介 | |
| 37 | 製品・技術紹介 | |
| 39 | TOPICS | |
| 42 | 2012年度社外発表目録 (2012年4月～2013年3月) | |
-

メタン発酵法とグリーンガス



東北大学大学院 工学研究科 土木工学専攻

教授 ^リ李 ^{ギョク}玉 ^{ユウ}友

Yu-You Li

「メタン発酵 (Methane fermentation)」は嫌気性微生物の代謝作用を応用して有機物質をメタン (約60%) と二酸化炭素 (約40%) に変換するプロセスであり、下水道および廃水・廃棄物処理の分野において広く応用され、「嫌気性消化 (Anaerobic Digestion)」や「嫌気性処理 (Anaerobic treatment)」と呼ばれている。近年、低炭素・循環型社会の構築、バイオマス利活用およびバイオエネルギー生産のための重要な要素技術として、メタン発酵システムの重要性が増している。

まず産業廃水の処理における応用を見てみよう。好気性処理法である活性汚泥処理法に比べ、嫌気性処理法は曝気が不要であり、余剰汚泥の発生量が少なく、またメタンガス生成によるエネルギー回収ができるといったメリットがあるので、中高濃度の有機性廃水の低コスト・低炭素・創エネルギー型廃水処理法として広く応用され、普及されてきた。最近、低温・低濃度廃水または従来適用が難しいと考えられてきた化学産業への適用も注目されるようになってきており、関連の技術開発が進められているところである。

下水道では、嫌気性消化は下水汚泥の減量化・安定化技術として古くから採用されてきた技術であり、日本国内では約300カ所の下水処理場で応用されている。消化ガス発電を行っているところも35カ所ある。これまでの実績では、有機物の分解率が50%程度、消化発電で得た電力が処理場所用電力の50~70%を自給できる。もっと効率を上げる方法としては二つ提案され実践されている。一つは熱処理などによる加水分解の促進と組み合わせることで分解率の向上を図る方式であり、世界ですでに20数カ所の実績がある。もう一つの方法はMBRの代わりに嫌気性MBRを応用することである。私の研究室の最新研究結果によれば、嫌気性MBRによる下水処理では、二次処理の効果を実現できるとともに、1 m³の下水から0.12 m³のメタンを生成でき、従来の方法より60%以上向上できる。こうすれば下水処理場エネルギーの完全自給も考えられる。

また廃棄物系バイオマスについては、食品廃棄物、畜産排泄物からのメタン生成ポテンシャルがさらに高く、全体量はそれぞれ下水汚泥の3倍ほどある。さらに草木系未利用バイオマスや資源作物まで考えると、メタン発酵によるバイオガス生成の潜在力は実に大きくて、重要な再生可能エネルギー源である。欧州ではこれを「バイオメタン」または「グリーンガス」として定義し、エネルギーインフラに積極的に組み入れようとしている。

東日本大震災の後、昨年施行されたFIT制度によってバイオガスを使った発電の売電価格が上がり、またこの2月にバイオガスの都市ガスへの導入に関する技術基準が整備されたので、今後バイオメタンが「グリーンガス」または「バイオ天然ガス」としていっそう活用されるだろう。それを支えるために、バイオガスの精製技術をはじめ、消化液処理技術などの周辺技術を含めたトータルシステムの合理化が必要であると考えている。

神戸市東灘処理場 再生可能エネルギー生産・革新的技術 実証研究（B-DASH プロジェクト）－第2報－

Demonstration Research on Renewable Energy Production and Innovative Technologies at Higashinada Treatment Plant in Kobe City (B-DASH Project), second report



川嶋 淳*
Jun Kawashima



宮本博司*
Hiroshi Miyamoto



豊久志朗**
Shiro Toyohisa

B-DASH (Breakthrough by Dynamic Approach in Sewage High technology) プロジェクトとは、国土交通省が主導する下水道革新的技術実証事業であり、下水汚泥のエネルギー利用の高効率化を図るとともに、建設・維持管理コストおよび温室効果ガス排出量を大幅に削減する革新的技術について、実規模レベルのプラントを設置して実証を行うことを目的とした研究である。本研究は国土交通省国土技術政策総合研究所の委託研究として神戸市と当社からなる共同研究体を実施しており、2011年度の実証研究において、地域バイオマス受入れによるバイオガス回収増量効果ならびに鋼板製消化槽および新型バイオガス精製・貯留・圧送システムの導入による建設・維持管理コスト縮減効果等の革新的技術について実証することができた。本稿では、2012年度に実施した継続研究において得られた実証研究結果について報告する。

B-DASH Project led by MLIT is the research, using commercial-scale sewage treatment plant, aiming to demonstrate the innovative technologies which can increase energy recovery rate from sewage sludge and reduce capital expenditure, operating expenditure and greenhouse gas emissions significantly. This research has been conducted by the consortium consisting of Kobe City and Kobelco Eco-Solutions Co., Ltd. as NILIM contract research since 2011. The results of the research in FY2011 showed that biogas production can be significantly increased by co-digesting suitable biomass with sewage sludge. Moreover, CAPEX and OPEX of the sewage treatment facility can be reduced by using digestion tank made of carbon steel and/or by using new type of biogas upgrading system. This paper reports the research findings on the innovative technologies in FY2012.

Key Words :

汚 泥 消 化	Sludge digestion
メ タ ン 発 酵	Methane fermentation
バ イ オ マ ス	Biomass
バ イ オ ガ ス	Biogas
精 製	Upgrading

【セールスポイント】

- ・下水道への受入れに好適な地域バイオマスの受入れ：
食品製造系バイオマス，木質系バイオマスと下水汚泥との共処理消化
- ・高機能鋼板製消化槽：
建設・維持管理コスト縮減と内部可視化を実現
- ・高効率ヒートポンプ：
下水放流水からの回収熱による消化槽加温によりバイオガス有効利用率アップ
- ・新型バイオガス精製・貯留・圧送システム：
従来型よりコンパクト化・低動力化された新型バイオガス精製・貯留・圧送システム

ま え が き

神鋼環境ソリューション・神戸市共同研究体が提案し、下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト）に採択された題記実証事業において、2011年度の実証研究の結果として、下水処理場周辺に賦存する地域バイオマスの受入れおよび未利用熱の活用による有効利用可能なバイオガスの増量，建設・維持管理コストの縮減ならびに温室効果ガス排出量の削減が可能であることが示された^{1)~3)}。2012年度も引続き国土技術政策総合研究所の委託研究として継続研究を行ったので、当該研究結果を報告する。

1. 実証技術の概要

今回実証を行ったシステムの全体構成図を図1に示す。本システムは、以下の4つの個別技術から構成されており、システム全体または一部技術の導入によって、汚泥消化設備，バイオガス脱硫・精製システムのコスト縮減と再生可能エネルギーであるバイオガスの生産・有効利用が可能である。

1.1 地域バイオマス受入・混合調整設備

異物を含まず，かつ，水質等の下水道の本来の機能に影響を与えないという，下水道への受入れの好適性が確認できた地域バイオマスを受入れ，必要に応じて前処理を行った後に下水汚泥と混合調整する設備であり，後段の消化槽からのバイオガス発生量増加につながる。

1.2 高機能鋼板製消化槽

消化槽を鋼板製にすることによって従来のPC製卵形消化槽と比較して建設コストの縮減および建設工期の短縮が可能であり，また，低動力インペラ式かくはん機の採用による維持管理費の縮減と槽内可視化による良好な消化反応を維持する取組みが可能な消化設備である。

1.3 高効率ヒートポンプ

下水処理場内の未利用熱を回収し消化槽等を加温するための温水を供給できるため，バイオガスの有効利用量を増加させるとともに，エネルギー使用量を

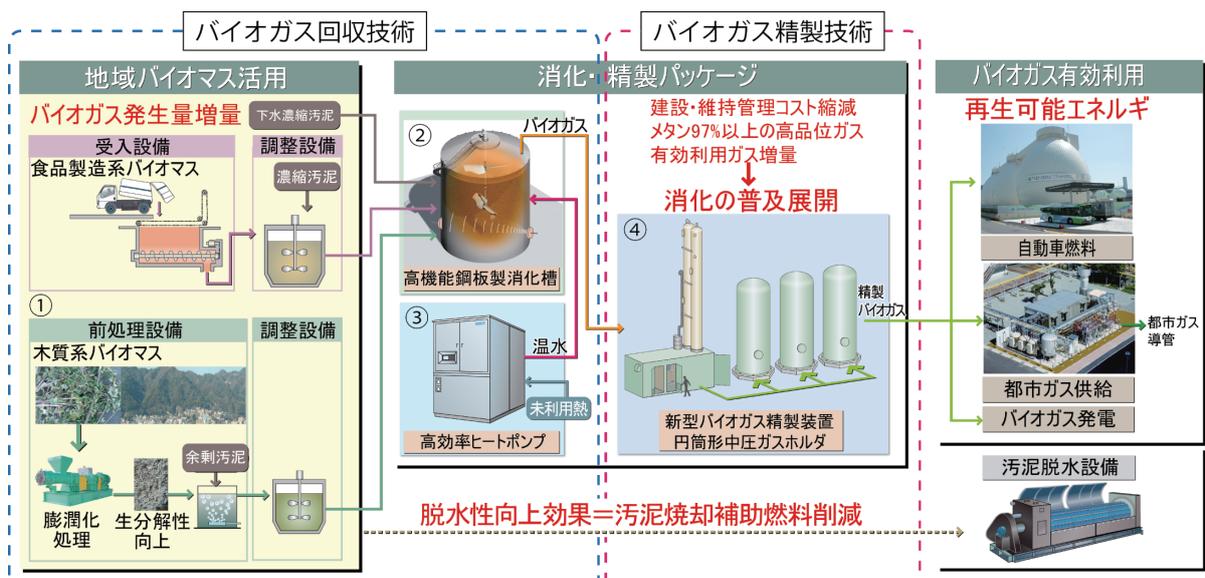


図1 システム全体構成図

削減することができる。

1.4 新型バイオガス精製・貯留・圧送システム

バイオガスからメタン濃度97%以上の高品位ガスを取り出すことができる高機能な脱硫装置である新型バイオガス精製装置と円筒形中圧ガスホルダからなるシステムであり、バイオガス量約3000 m³_N/d以上の規模では、従来の脱硫システム（脱硫+低圧ガスタンク+シロキサン除去・除湿・昇圧）との比較でもコスト縮減が可能である。

2. 実証施設の概要と実証研究結果

2.1 実証施設概要

神戸市東灘処理場内に設置している実証施設の仕様を表1に示す。実証用鋼板製消化槽で下水道への受入れの好適性が確認された地域バイオマスは、

表1 実証施設仕様

①地域バイオマス受入・混合調整設備	
食品製造系バイオマス受入能力	鋼板製消化槽 0.7 t-wet/d 既設消化槽 11 t-wet/d
木質系バイオマス受入能力	鋼板製消化槽 0.25 t-wet/d 既設消化槽 4 t-wet/d
②高機能鋼板製消化槽	
	鋼板製全溶接円筒形 有効容量 220 m ³ × 1基
③高効率ヒートポンプ	
	電動スクリーチャー 加熱能力 266.4 kW × 1基
④新型バイオガス精製・貯留・圧送システム	
新型バイオガス精製装置	高圧水吸収法 処理能力 300 m ³ _N /h × 1基
中圧ガスホルダ	円筒形 貯蔵能力 約500 m ³ _N × 3基

既設消化槽（有効容量10000 m³）にも投入している。

2.2 実証結果

2.2.1 下水道への受入れに好適な地域バイオマスの選定

受入対象の地域バイオマスは、賦存量を調査した後、下水道への受入れの好適性を個別品目ごとに検討した上で決定している。排出元へのヒアリング・目視による異物等の確認、組成分析、ラボスケールのメタン発酵実験によって候補を絞込んだ後、排出元との合意が得られた地域バイオマスとして、食品製造系バイオマス（排水汚泥、廃酸、食品残さ）および木質系バイオマス（広葉樹間伐材、高木剪定枝）を、2012年度末時点で受入れ対象としている。

2.2.2 高機能鋼板製消化槽

下水汚泥との混合調整後、地域バイオマスは鋼板製消化槽に投入し、滞留日数20日、約38℃で中温消化を行った。定常状態に到達後の投入VS当たりガス発生量は、表2に示すとおり食品製造系バイオマスをVS比率で約20%投入した場合675 m³_N/t-VSで、下水汚泥のみでの510 m³_N/t-VSと比較してガス増量効果を確認できた。さらに、木質系バイオマスをVS比率で約20%投入した場合、ガス発生量は644 m³_N/t-VSであり、ガス発生倍率では下水汚泥のみと比較して、60%の増量効果を確認できた。

2.2.3 高効率ヒートポンプ

従来の温水ボイラに代えて、高効率ヒートポンプをもちいて下水放流水から回収した熱を利用して鋼板製消化槽を加温した。冬季の放流水温20℃の条件では、ヒートポンプの性能を表す指標であるCOP（成績係数：消費電力の何倍の熱量を取出せるか）は2.7~2.8であったが、夏季の放流水温30℃の

表2 地域バイオマス投入によるバイオガス増量効果（鋼板製消化槽）

		下水汚泥のみ	食品製造系混合	食品製造系+木質系混合
VS容積負荷 [kg/(m ³ ・d)]	下水汚泥	1.32 (100%)	1.17 (78%)	1.04 (64%)
	食品製造系	0	0.33 (22%)	0.30 (19%)
	木質系	0	0	0.27 (17%)
投入VS当たり ガス発生量 [m ³ _N /t-VS]	ラボ実験に基づく 推定値	537	596	579
	実測値	510	675	644
	測定値/推定値	0.95	1.13	1.11
ガス発生倍率 [m ³ _N /m ³]	測定値	13.1	17.8	20.9
	地域バイオマス 投入による増加率	-	36%	60%

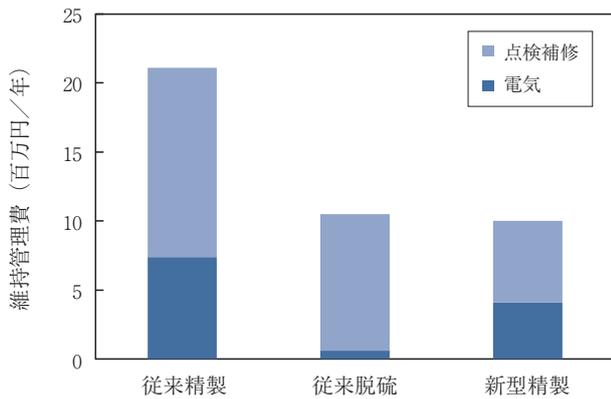


図2 バイオガス脱硫・精製システム維持管理費比較 (バイオガス処理量2800 m³_N/d 規模)

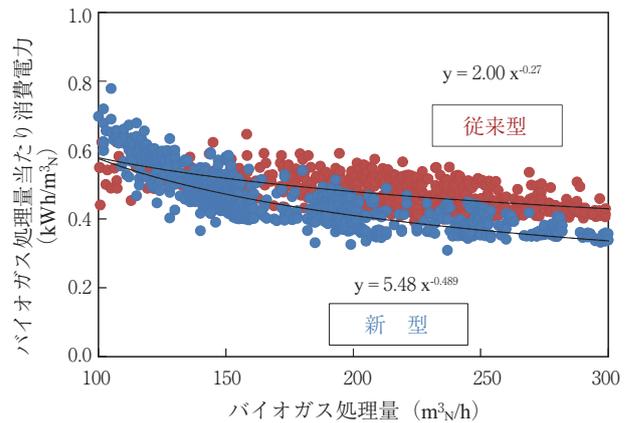


図3 バイオガス精製装置消費電力比較

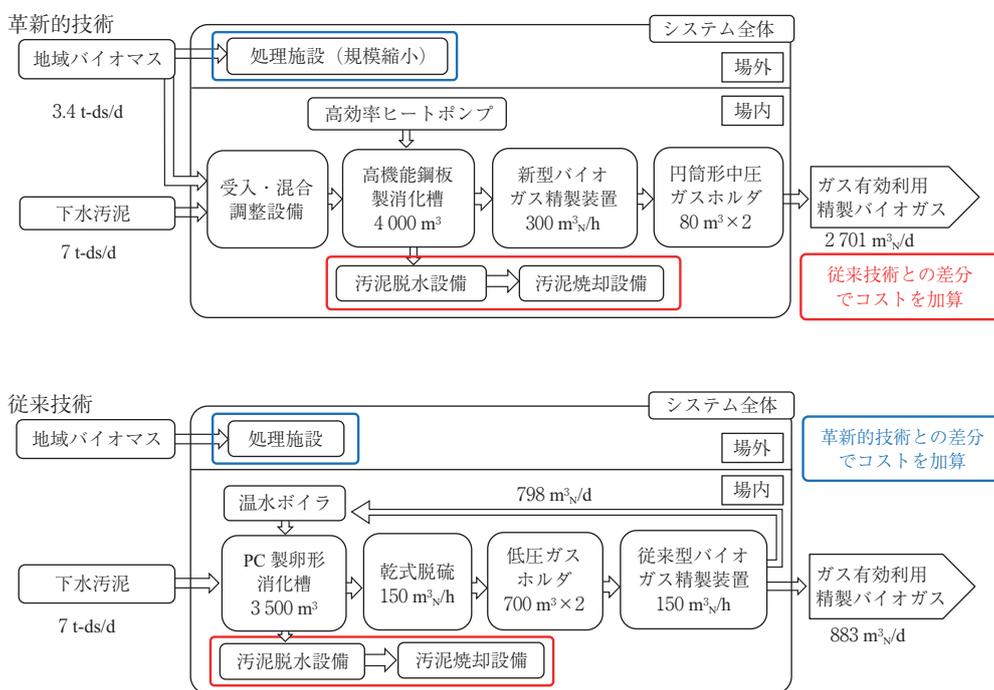


図4 評価対象範囲および規模 [革新的技術 (上) と従来技術 (下)]

条件では、COPは3.1まで向上した。この結果、従来の温水ボイラによる消化槽加温と比較して、年間を通じてエネルギー使用量を1次エネルギー換算で20%以上削減できることを確認した。

2.2.4 新型バイオガス精製・貯留・圧送システム

新型バイオガス精製・貯留・圧送システムの維持管理費について、従来精製システム（脱硫+低圧ガスタンク+従来型バイオガス精製装置）および従来脱硫システム（脱硫+低圧ガスタンク+シロキサン除去・除湿・昇圧）との比較を行った。図2にバイオガス処理量2800 m³_N/d 規模における比較結果を示す。新型精製・貯留・圧送システムの維持管理費は、従来精製システムだけでなく従来脱硫システム

との比較でも点検補修費の縮減により同等以下となっている。また、図3に新型および同程度の規模の従来型バイオガス精製装置における消費電力原単位の通年データを示す。低動力ガス圧縮機の採用による新型バイオガス精製装置での消費電力削減効果が確認できており、バイオガス処理量250 m³_N/h の条件では削減率18%であった。

3. 評価結果

以上の2012年度実証試験結果に基づいて、FSとして従来技術に対する革新的技術のコスト縮減率と温室効果ガス排出量削減率についての評価を行った。評価対象の範囲および規模は、図4に示すとおりである。

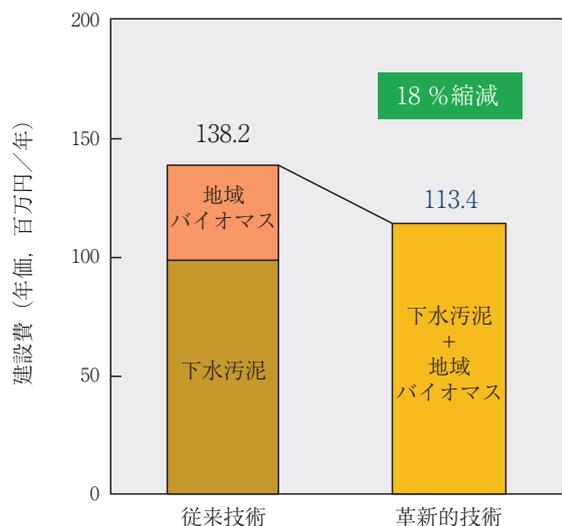


図5 コスト比較 [建設費]

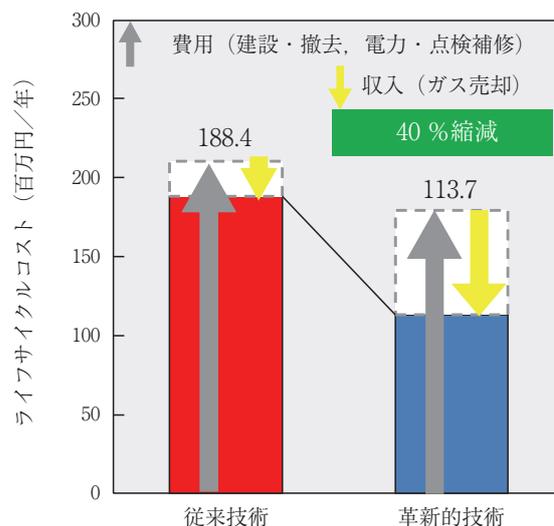


図6 コスト比較 [ライフサイクルコスト]

革新的技術では従来技術と比較して、建設コストは年価で18% (図5) の、維持管理コストは123% の、撤去を含むライフサイクルコストは40% (図6) の縮減が、それぞれ可能であるとの結果が得られた。なお、維持管理コストの縮減率が100%を超えるのは、精製バイオガスの売却量増大による増収効果を含むためである。また、ライフサイクルでの温室効果ガス排出量は、従来技術では224 t-CO₂/y の排出に対し、革新的技術では精製バイオガス供給量の増加に伴って813 t-CO₂/y の吸収となり、大幅な排出削減が可能と試算された。

むすび

地域バイオマス受入・混合調整設備、高機能鋼板製消化槽、高効率ヒートポンプおよび新型バイオガス精製・貯留・圧送システムからなる革新的技術

を、実証試験結果に基づいて下水汚泥7.0 t-ds/d + 地域バイオマス3.4 t-ds/d 規模でFSとして評価した結果、従来技術に対して以下の効果が認められた。

- ・建設コストは18%、維持管理コストは123%の縮減がそれぞれ可能であり、撤去を含むライフサイクルコストでは40%の縮減が可能である。
- ・ライフサイクルでの温室効果ガス排出量は813 t-CO₂/y の吸収であり、排出削減量は1 037 t-CO₂/y である。

[参考文献]

- 1) 瀧村・坂部・堀江, 第49回下水道研究発表会講演集, pp.157-159, (2012).
- 2) 豊久・宮本・川嶋, 第49回下水道研究発表会講演集, pp.160-162, (2012).
- 3) 川嶋・宮本・豊久, 神鋼環境ソリューション技報, Vol. 9, No.1, pp.6-10, (2012).

*技術開発センター 水・汚泥技術開発部 汚泥処理室 **技術開発センター 水・汚泥技術開発部

コークス炉廃水処理への分子生物学的手法の適用その2

Application of Molecular Biological Techniques for the Operation of Coke-Oven Wastewater Treatment Plant No.2



榎本周一*
Shuichi Enomoto



赤司 昭**
Akira Akashi
医学博士

コークス炉廃水は、アンモニアの他に、フェノールやシアン化合物等の活性汚泥に毒性の高い成分を含む。したがって、その処理のための活性汚泥プロセスの運転管理がもっとも困難な廃水の一つである。コークス炉廃水処理においては、硝化反応は硝酸まで進行せず、亜硝酸生成で停止することが知られている。したがって、硝化反応が起こると高濃度の亜硝酸が生成し、処理水質の悪化や活性汚泥の不調等重大な事象を引き起こす。我々は、分子生物学的手法を活用して、亜硝酸の生成を事前に予測する手法を確立した。

Coke-oven wastewater contains ingredients with high toxicity for activated sludge other than ammonia, such as phenol and cyanide. Therefore, the operation management of an activated sludge process is difficult. In coke-oven wastewater treatment, it is known that the nitrification reaction will stop at the stage of nitrite formation, and the next reaction (nitrate formation) does not occur. Therefore, when the nitrification reaction occurs, highly concentrated nitrite is formed and it causes critical events like aggravation of treatment water quality and the malfunction of activated sludge. We have established the prediction method of the formation of nitrite, using the molecular biological technique.

Key Words :

コークス炉廃水
活性汚泥プロセス
分子生物学的手法
PCR

Coke-Oven Wastewater
Activated Sludge Process
Molecular Biological Techniques
Polymerase Chain Reaction

【セールスポイント】

コークス炉廃水処理における重要な課題の一つである「亜硝酸の生成による処理水質の悪化」の運転管理指標を構築した。これにより、亜硝酸の生成を予測し、事前に対策を講じることが可能になった。

まえがき

製鉄において鉄鉱石に含まれる酸化鉄を還元するために使用されるコークスは、石炭をコークス炉で乾留（蒸し焼き）して製造される。石炭乾留時に発生するガス（コークス炉ガス：COG）は、精製設備で不純物の除去を行い、有効成分の回収が行われ

る。COGの冷却工程で発生する凝縮水（安水やコークス炉廃水ともいわれる。以下、コークス炉廃水と称する。）には、アンモニアのほかにフェノール、シアン化合物、硫化水素、油分などが含まれている。

コークス炉廃水は、物理化学処理と活性汚泥プロセスの組み合わせで処理されることが多いが、フェ

ノールやシアン化合物等の活性汚泥にとって有害な成分を含むため、水質浄化細菌の阻害が起こりやすく、運転管理が難しい廃水といわれている。したがって、コークスメーカー各社はその運転管理に苦慮しているのが現状である。コークス廃水処理もほかの廃水と同様に、COD (BOD)-MLSS 負荷を指標にした運転が行われているが、オペレータの五感に頼ることが多く、活性汚泥が好調なときと不調なときの差異が何に起因しているか不明のまま運転されることもあった。このような特殊な成分を含む廃水処理装置の運転は、機能の異なった多種の細菌から構成される活性汚泥をひと塊としてとらえ、それを指標にした MLSS 負荷管理では限界がある。つまり、アンモニア、フェノールやチオシアンなどの個々の物質の処理に関わる個々の細菌に着目し、これらの細菌を指標にした管理を行うことにより精度の高い管理が可能になり、安定した処理につながるものと期待される。

コークス炉廃水処理プロセス（活性汚泥法）の運転には以下の二つの課題があり、それらの解決策が求められている。

- (1) 従来から用いられてきた COD-MLSS 負荷による管理には限界があり、今以上の安定運転を行うことは困難である。したがって、新しい管理指標の設定が課題である。
- (2) 窒素除去が行われていない処理プロセスにおいては、硝化反応が起こると高濃度の亜硝酸が生成し、処理水質の悪化や活性汚泥の不調を引き起こす。したがって、硝化抑制運転が容易に行える、あるいは亜硝酸の生成が予測できる管理指標の設定が課題である。

そこで我々は、コークス炉廃水処理に係る管理者と協力しながら、分子生物学的手法という最新の技術を用いて、活性汚泥に生息する各種細菌の状況を明らかにし、それらのデータを用いた新しい運転管理手法を構築した。上記課題(1)については、すでに

神鋼環境ソリューション技報にて報告した¹⁾。

本稿では上記(2)の課題の解決策について紹介する。硝化反応は、図1に示す工程で進行する。すなわち、アンモニアはアンモニア酸化細菌（Ammonia-oxidizing bacteria, 以下 AOB と省略する）により亜硝酸に酸化され、さらに亜硝酸酸化細菌（Nitrite-oxidizing bacteria, 以下 NOB と省略する）により硝酸に酸化される。コークス炉廃水処理においては、硝化反応は亜硝酸で停止し、硝酸は生成しにくいことが知られている²⁾。したがって、脱窒プロセスを持たない処理施設にとって、亜硝酸の生成は、処理水質の悪化（COD 濃度の上昇）だけでなく、活性汚泥の活性低下による処理水質の低下に繋がる恐れがある。従来、亜硝酸生成を予測できる適切な管理指標がなかったため、対策が後手に回ることもあった。亜硝酸の生成は AOB が担っているため、AOB 数を指標にした亜硝酸生成の運転管理が可能になるのではと推察される。そこで、処理水の亜硝酸態窒素（NO₂-N）濃度と活性汚泥の AOB 数の関係を解析した。

1. 方法

1.1 解析の対象とした活性汚泥プロセス

A 社および B 社のコークス工場で稼働中の活性汚泥プロセス、ならびにラボ実験装置を対象に本研究を実施した。コークス炉廃水は、工水と海水で適宜希釈、あるいは無希釈のまま曝気槽に投入されている。また、活性汚泥プロセス処理水は、凝集沈殿後、砂ろ過処理等を行い放流されている（図2）。

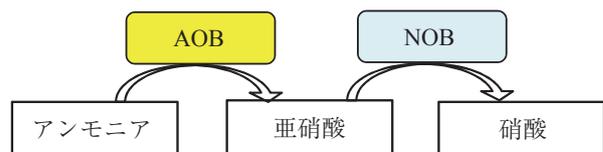


図1 硝化工程とそれに関与する細菌
AOB：アンモニア酸化細菌
NOB：亜硝酸酸化細菌

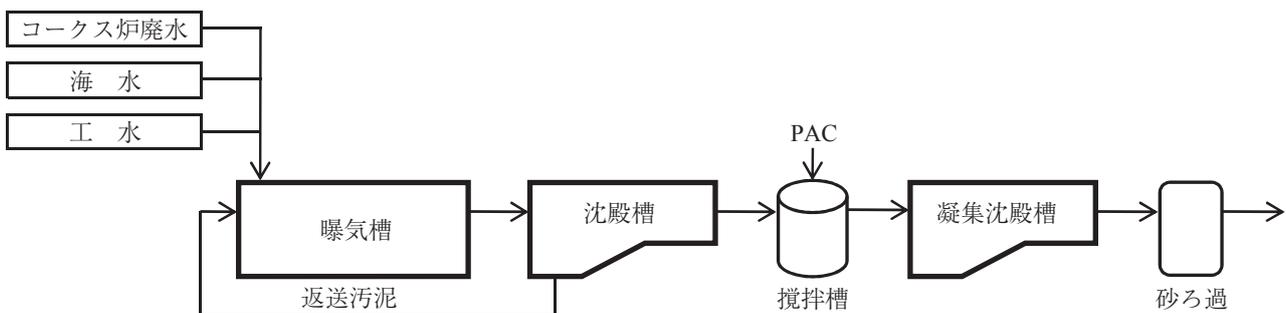


図2 コークス炉廃水処理プロセスの概略フロー

表1 アンモニア酸化細菌の定量に使用したプライマ/プローブセット

標的細菌	ターゲット遺伝子	プライマ/プローブ	プライマ/プローブ配列 (5' → 3')	文献
アンモニア酸化細菌 (AOB)	AOB 16S rDNA	CTO 189fA/B	GGAGRAAAGCAGGGGATCG	3)
		CTO 189fC	GGAGGAAAGTAGGGGATCG	
		RT1r	CGTCCTCTCAGACCARCTACTG	
		TMP1	FAM-CAACTAGCTAATCAGRCATCRGCCGCTC-TAMRA	

1.2 水質等の測定

本活性汚泥プロセスの処理水質の亜硝酸態窒素 (NO₂-N) 濃度の測定は、下記1.3項の活性汚泥中の AOB 数の定量実験と同じ日に実施した。

1.3 活性汚泥中のアンモニア酸化細菌 (AOB) 数の定量

コークス工場の活性汚泥プロセスおよびラボ実験装置から採取した活性汚泥0.7~0.8 mg (乾燥重量) から FastDNA SPIN Kit for SOIL (Qbiogene 社製) を用いて DNA を精製し、定量 PCR の鋳型とした。AOB の存在数量を測定するための定量 PCR は、表 1 に示す PCR プライマ/プローブセット³⁾ を用いて実施した。

2. 結果と考察

2.1 各コークス工場廃水処理設備における処理水 NO₂-N 濃度と AOB 数の関係

コークス炉廃水は、高濃度のアンモニアを含むこと、また、コークス廃水に含まれるチオ硫酸により硝化反応が亜硝酸で停止することが知られている²⁾。したがって、脱窒プロセスを持たない処理施設にとって、亜硝酸の生成は、処理水質の悪化 (COD 濃度の上昇) だけでなく、活性汚泥の活性低下による重大な処理水質の低下に繋がる恐れがある。

図 1 に示したように、亜硝酸は AOB によって生成される。そこで、AOB 数を指標にした処理水 NO₂-N 濃度の予測が可能になるとの仮定のもと、AOB 数と処理水の亜硝酸濃度の関係を解析した。解析は、A 社コークス炉廃水と廃水処理設備の活性汚泥を利用して立ち上げたラボ実験装置、A 社および B 社のコークス炉廃水処理実設備を対象に実施した。

2.1.1 ラボ実験装置

図 3 に A 社コークス炉廃水と活性汚泥を用いて立ち上げたラボ実験装置の AOB 数と処理水 NO₂-N 濃度の関係を示す。ラボ実験装置においては、活性汚泥 1 mL あたりの AOB 数がおおむね 10⁷ を超えたあたりから処理水の NO₂-N が検出され始めた。ま

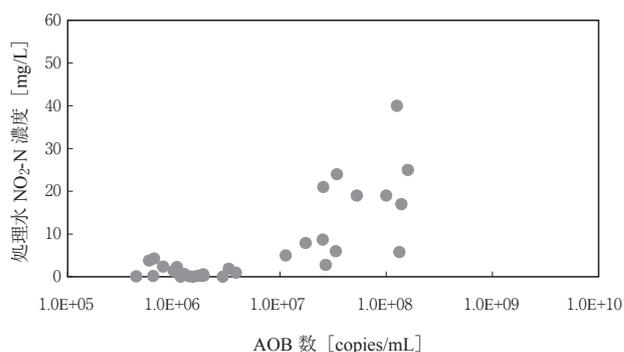


図3 ラボ実験装置における AOB 数と処理水 NO₂-N 濃度の関係

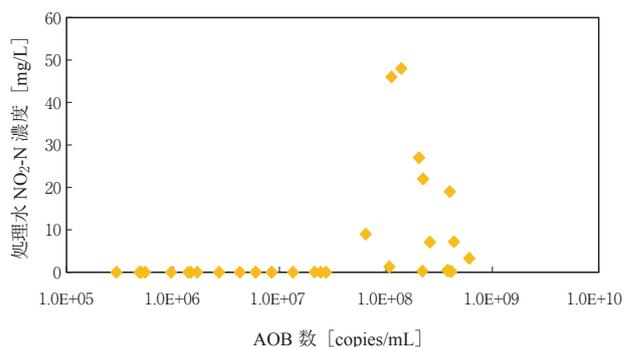


図4 A 社コークス炉廃水処理活性汚泥プロセスにおける AOB 数と処理水 NO₂-N 濃度の関係

た、AOB 数の増加に伴い処理水 NO₂-N 濃度も増加する傾向が見られた。

2.1.2 A 社コークス炉廃水処理活性汚泥プロセス

図 4 に A 社コークス炉廃水処理実設備の AOB 数と処理水 NO₂-N 濃度の関係を示す。ラボ実験装置と同様に、A 社の実装置においても活性汚泥 1 mL あたりの AOB 数が 5 × 10⁷ を超えたあたりから処理水の NO₂-N が検出される割合が高くなった。

2.1.3 B 社コークス炉廃水処理活性汚泥プロセス

図 5 に B 社コークス炉廃水処理実設備の AOB 数と処理水 NO₂-N 濃度の関係を示す。B 社のコークス炉廃水処理設備は複数の曝気槽 (AT) から構成されているため、それぞれの曝気槽ごとに両者の関

係を解析した。図5に示すように、B社の実装置においては、処理水に亜硝酸が生成し始めるAOB数は上記二つの例より低く、活性汚泥1mLあたりのAOB数が 10^6 を超えたあたりから処理水の $\text{NO}_2\text{-N}$ が検出される割合が高くなった。

ラボ実験装置、A社実装置およびB社実装置におけるAOB数と処理水 $\text{NO}_2\text{-N}$ 濃度の関係を一つにまとめた結果を図6に示す。ラボ実験装置と実機の違い、同じ工場内での曝気槽の違い、あるいはコークス工場の違いに関係なく、活性汚泥中のAOB数と処理水 $\text{NO}_2\text{-N}$ 濃度には相関がみられ、活性汚泥1mLあたりのAOB数が $10^6 \sim 10^7$ を超えると、処理水の $\text{NO}_2\text{-N}$ が検出された。

以上の結果から、曝気槽のAOB数は亜硝酸生成の指標として有効であること、また、AOB数を活性汚泥1mLあたり 10^7 以下、より好ましくは 10^6 以下にすることにより、亜硝酸の生成は大幅に抑制されることが分かった。従来は、処理水に亜硝酸が検出されて初めて対策を講じていたため、後手に回る

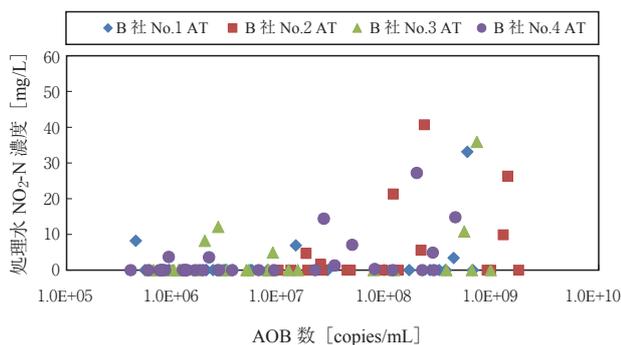


図5 B社コークス炉廃水処理活性汚泥プロセスにおけるAOB数と処理水 $\text{NO}_2\text{-N}$ 濃度の関係

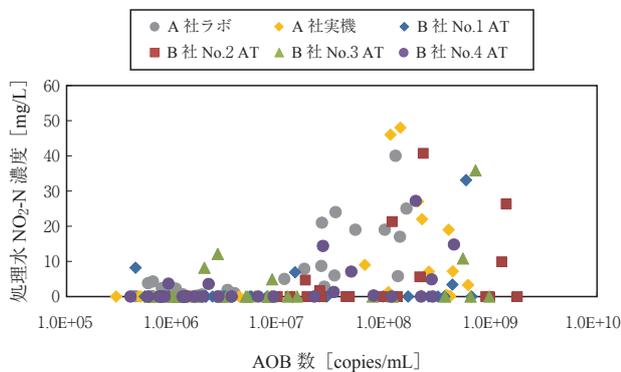


図6 ラボ実験装置、A社活性汚泥プロセス、およびB社活性汚泥プロセスにおけるAOB数と処理水 $\text{NO}_2\text{-N}$ 濃度の関係

ことも少なくなかった。定期的にAOB数を測定することにより、事前に亜硝酸の生成を予測することが可能になった。

2.2 硝化抑制剤の添加による処理水 $\text{NO}_2\text{-N}$ 濃度とAOB数の推移

即効性が期待できる亜硝酸生成の抑制方法として、硝化抑制剤の使用が考えられる。今までは、硝化抑制剤の効果の判定は、処理水の亜硝酸や硝酸濃度を指標に行われるのが一般的であり、硝化に関与するAOB数を指標にした判定例はないようである。そこで、上記ラボスケールの活性汚泥プロセスを活用し、散気風量を増大することにより亜硝酸を生成させ、そこに硝化抑制剤を添加することによりその効果を検証した。

図7に硝化抑制剤添加前後の処理水の $\text{NO}_2\text{-N}$ 濃度(図7a)と曝気槽の活性汚泥中のAOB数(図7b)の推移を示す。本実験装置は、散気量を増やし、過曝気状態で運転することにより亜硝酸の生成を促した。そのため、2月7日以降 $\text{NO}_2\text{-N}$ 濃度は徐々に上昇し、2月22日に約75 mg/Lまで上昇したため、硝化抑制剤の添加を開始した。硝化抑制剤の投入に伴い処理水の $\text{NO}_2\text{-N}$ 濃度は低下し、投入開始10日後には2.9 mg/Lに、そして15日後には0.1 mg/L未満まで低下した。一方、活性汚泥1mLあたりのAOB数は、硝化抑制剤を添加する前はおおむね $1 \times 10^8 \sim 2 \times 10^8$ で推移していたが、硝化抑制剤を投入した2月22日以降は減少に転じ、3月8日には、安全領域の 10^6 台まで減少した。

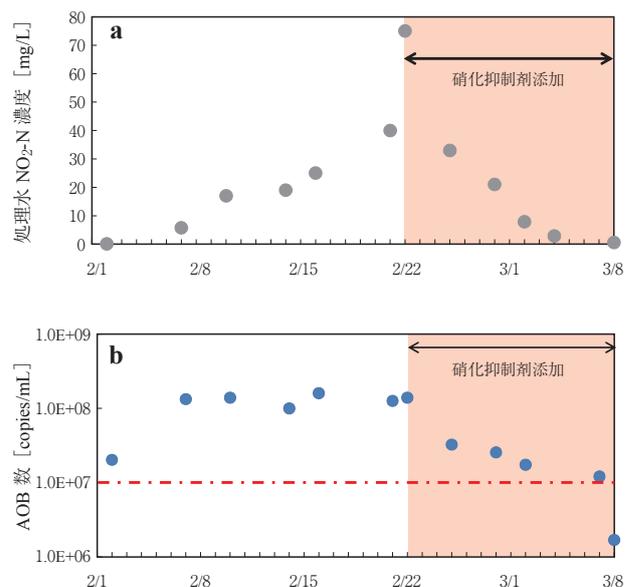


図7 硝化抑制剤の添加による処理水 $\text{NO}_2\text{-N}$ 濃度(a)とAOB数(b)の推移

以上より、コークス炉廃水処理における亜硝酸生成の抑制方法として硝化抑制剤の添加が有効であることを見出した。また、硝化抑制剤の効果を AOB 数の増減、すなわち分子生物学的観点からも確認することができた。

む す び

コークス炉廃水処理における重要な課題の一つである「亜硝酸の生成による処理水質の悪化」に対する対応策を検討し、AOB 数と処理水の NO₂-N 濃度の関係解析から、活性汚泥 1 mL あたりの AOB 数が 10⁶~10⁷以上になると亜硝酸が生成されやすくなることを見出した。AOB 数を管理指標とすることで亜硝酸の生成による処理性能の悪化の予測と回避

が可能になった。さらに緊急対応策として、硝化抑制剤の投入により AOB 数と亜硝酸が速やかに減少することを確認した。

今後もコークス炉廃水処理に係る現場の方々との連携をより一層強めながら、「現場で役立つ技術開発」を推進していく所存である。

[参考文献]

- 1) 赤司 昭ほか：神鋼環境ソリューション技報 Vol.8, No.2 (2012), pp.2-7.
- 2) 田中秀治：東京大学大学院新領域創成科学研究科環境学専攻社会文化環境コース 平成17年度修士論文
- 3) Hermansson, A, Lindgren, P-E. : Appl. Environ. Microbiol. 2001, 67, 972-976.

下水汚泥向けヒートポンプ式低温ベルト乾燥機

Heat Pump Type Low Temperature Belt Dryer for Sewage Sludge



佐藤朋弘*
Tomohiro Sato



谷山拓生**
Hiroki Taniyama



高橋 円**
Madoka Takahashi



西村泰宏***
Yasuhiro Nishimura



齋藤典久****
Norihisa Saito



和泉一也*****
Kazuya Izumi

当社ヒートポンプ式低温ベルト乾燥機の下水汚泥への適用を検討した。下水汚泥向けに改良した実験設備を下水処理場内に設置し、脱水汚泥の乾燥実験を実施した結果、含水率20%までの乾燥が可能で、除去水量あたりの消費電力量は0.32 kWh/kgであった。これは水の蒸発潜熱の半分以下に相当する。また、本実験結果をもとに熱風式乾燥機との経済性比較を行った結果、脱水汚泥発生量10トン/日未満の処理場において有利であることがわかった。余剰熱源が無く、脱水汚泥を場外搬出しているような小規模処理場での汚泥処分・運搬コスト削減、搬送先での焼却補助燃料としての利用が期待できる。

We have applied our improved heat pump sludge dryer for drying sewage sludge. As the result of drying tests at a sewage plant, dewatered sludge was dried down to 20 % of water content, and power consumption was 0.32 kWh/kg-removed water. This corresponds to less than half of the evaporative latent heat of water. Further, the economic valuation showed that this dryer would be advantageous for a small plant that has no surplus heat resource and discharges 10 tons per day or less of dewatered sludge. By introducing this dryer in such plants, we can expect the reduction of sludge disposal/transportation cost and usage of dried sludge as auxiliary fuel for incineration.

Key Words :

下 水 汚 泥	Sewage sludge
ヒ ー ト ポ ン プ	Heat pump
低 温	Low temperature
ベ ル ト 乾 燥 機	Belt dryer

【セールスポイント】

- ・ヒートポンプ利用により省エネである。
- ・乾燥に用いる空気が40-50℃と低温で低臭気である。
- ・電気式で操作が簡単である。
- ・ワンユニット設計で付帯機器が不要である。
- ・下水汚泥にも対応できる。

まえがき

下水脱水汚泥の乾燥は、減量化による運搬・処分費の削減や、高カロリー化による焼却時の燃料消費量の削減などの効果があるため、下水汚泥処理の省エネ、省コスト化の有効な手段の一つといえる。しかし、従来の汚泥乾燥機では、水分の蒸発潜熱分に加え、熱風炉や蒸気ボイラでのロスを補うため、多くのエネルギーが必要で、とくに利用できる熱源のない小規模処理場ではメリットが少なかった。そこで、省エネを特長とする当社ヒートポンプ式低温ベルト乾燥機の下水汚泥への適用を検討した。本乾燥機は主に無機汚泥向けで多くの実績を有するスイス Watropur 社の製品で、2011年度に販売提携契約を締結し、2011年12月には神戸製鋼所真岡製造所殿に1号機を納入したものである。これを下水汚泥向けに改良した実験設備を試作し、明石市大久保浄化センター内にて脱水汚泥の乾燥実験を実施した。

1. 実験装置と方法

ヒートポンプ式低温ベルト乾燥機は、ヒートポンプを利用した除湿乾燥を原理とする汚泥乾燥機で、以下のプロセスで乾燥を行う（図1）。

- ① 送風ファンによってベルト乾燥室に送られた乾き空気は、ベルトコンベア上の汚泥中の水分を取込み湿り空気となる。
- ② 乾燥空気発生装置に戻った湿り空気は、クーラで冷却され、空気中の水分が凝縮除去される。
- ③ 水分除去された空気はヒータで昇温され、再び乾き空気となる。（以上繰り返し）

空気の加熱・冷却は冷媒との熱交換により行われる。乾き空気が40～50℃と低温であることや、ヒ-

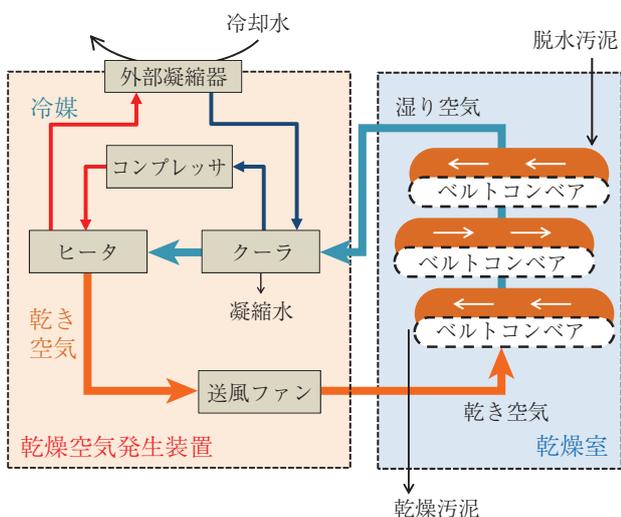


図1 乾燥原理

トポンプ利用により省エネである、ワンユニット設計で付帯機器が不要であるなどの特長がある。

脱水汚泥は、ベルトコンベアで搬送されながら乾燥され、スクリーコンベアで排出される。投入から排出までの乾燥時間は、汚泥性状や目標含水率によって決まり、およそ4～6時間である。

下水汚泥向け試作機（写真1）では通気性を高めるため、脱水汚泥を麺状に成形した状態で乾燥機に投入する。また、空気と汚泥の接触時間を長くするため、ベルトコンベアの段数を従来の2段から3段に増やした。また、使用冷媒の見直しも行い省電力化を図った。さらに、臭気・腐食対策として、シール性の強化や腐食性ガス／機器類の隔離構造の採用等を実施した。

2. 実験結果

2.1 受入量と排出量

図2に脱水汚泥受入量と乾燥汚泥排出量週ごとの実績を示す。運転日数（0～5日／週）、運転時間（0～8時間／日）が異なるため変動があるが、期間全体では脱水汚泥15.5トンを受入れ（うち1.3トン未処理）、乾燥汚泥3.7トンを排出した。したがって、約1/4に減量化した計算となる。水分が除去され高カロリー化した乾燥汚泥は焼却処分した。

2.2 乾燥性能

投入量を変化させることで、様々な排出汚泥含水率における乾燥性能データを取得した。乾燥性能は水1kgの除去に要する電力量で評価した。図3に示すように、排出汚泥含水率で10%以下まで乾燥させると除去水量あたり消費電力量は、急激に上昇する傾向があるが、20%までであれば、ほぼ一定



写真1 乾燥機外観
（概寸 L：D：H = 2m：2.5m：2m）

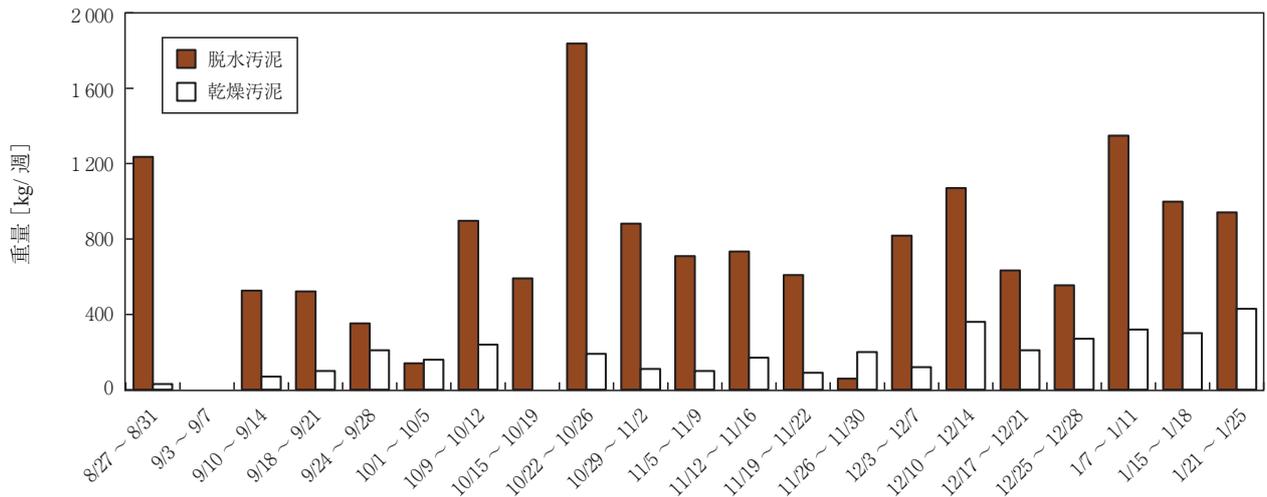


図2 脱水汚泥受入量と乾燥汚泥排出量

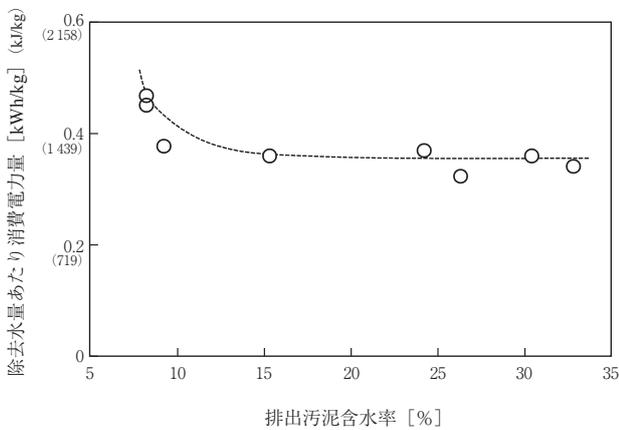


図3 乾燥性能

値を維持できることが確認された。

汚泥層厚みや風速などを最適化した結果、表1に示すように、除去水量は1 190 kg/日（脱水汚泥投入量にして約1.6トン/日）、消費電力量は0.32 kWh/kg（1 150 kJ/kg）という性能が得られた。実験機の規模を1ユニットとし、処理量を増やす場合は、複数ユニットを連結することになる。

また、含水率の低い明石市朝霧浄化センターの脱水汚泥で実験を行ったところ、除去水量は1 412 kg/日（脱水汚泥投入量にして約2.0トン/日）、消費電力量は0.27 kWh/kg（970 kJ/kg）とさらに省電力化が可能であった。含水率が低い脱水汚泥は硬いため、麺状に成形された状態を乾燥機内で維持しやすく、高い通気性が確保されるためと考えられる。

2.3 汚泥、凝縮水成分

表2に乾燥前後の汚泥分析値を示す。低温による乾燥のため熱量の損失がほとんどなく、含水率20%換算で低位発熱量は15 000 kJ/kg（3 600 kcal/kg）

表1 乾燥性能

項目	大久保	朝霧
脱水汚泥含水率 [%]	79.9	76.8
除去水量 [kg/日]	1 190	1 412
除去水量あたり消費電力量 [kWh/kg (kJ/kg)]	0.32 (1 150)	0.27 (970)

表2 汚泥分析値

項目	脱水汚泥	乾燥汚泥
含水率 [%]	79.4	13.7
灰分 [%・dry]	7.6	8.5
揮発分 [%・dry]	77.3	78.6
固定炭素 [%・dry]	15.1	12.9
低位発熱量 [kJ/kg・dry]	19 000	19 000
大腸菌 [個/g-wet]	1 600	<10

表3 凝縮水分析値

項目	凝縮水
pH	4.2 (12℃)
BOD ₅ [mg/L]	2 300
COD _{Mn} [mg/L]	280
SS [mg/L]	<1
T-N [mg/L]	96
NH ₄ -N [mg/L]	88
T-P [mg/L]	<0.1

であった。また、大腸菌数が定量下限以下にまで減少することが確認された。さらに、含水率20%程度の乾燥汚泥はダイス式押出成形装置による造粒も可能であった（写真2右）。したがって、造粒によるハンドリング性の向上も図ることができる。

表3に示す凝縮水成分では有機物濃度が高いが、



脱水汚泥投入後



乾燥汚泥



乾燥造粒汚泥

写真2 汚泥外観

表4 経済性試算結果

汚泥処理量		トン/日	1	3	5	10	20
イニシャル	ヒートポンプ式	百万円	55	92	179	315	570
	熱風式	百万円	61	130	184	296	476
ランニング	ヒートポンプ式	百万円/年	2	5	9	17	35
	熱風式	百万円/年	4	10	15	28	52
LCC	ヒートポンプ式	百万円/15年	89	168	316	570	1088
	熱風式	百万円/15年	116	271	406	709	1252

低温で揮発する低級脂肪酸等の易分解性物質が主成分と考えられ、脱水分離液とともに水処理設備に返送可能である。

3. 経済性試算

熱風式乾燥機との比較において汚泥処理量別の経済性を試算した(表4)。たとえば汚泥処理量3トン/日では、熱風式に比べ設備費は約3割減、運転費は約半分となり、15年LCCが熱風式の約4割減という大幅な低減となった。ただし、処理量が増えると差を出しにくく、また、消化ガスや焼却炉の廃熱が利用できる処理場では、熱風式が有利になるケースもある。適用先としては、余剰熱源が無く脱水汚泥を別の集約処理場に運搬・処分しているような小規模処理場(10トン/日未満)がターゲットといえる。

むすび

ヒートポンプ式低温ベルト乾燥機実証実験の結果、

- ① 乾燥により重量が約4分の1と大幅な減量化が可能であることを確認した。
- ② 乾燥性能は排出汚泥含水率約20%まで維持

され、除去水量あたりの消費電力量は0.32 kWh/kg (1150 kJ/kg)であった。これは水の蒸発潜熱(20℃において2451 kJ/kg)の半分以下に相当する。さらに、低含水率(77%)の脱水汚泥の場合0.27 kWh/kg (970 kJ/kg)であった。

- ③ 乾燥汚泥、凝縮水の分析値より、低温乾燥のメリットが確認された。

上記、実験結果をもとに熱風式乾燥機との経済性比較を行った結果、

- ④ 余剰熱源が無く脱水汚泥を別の集約処理場に運搬・処分しているような小規模処理場(10トン/日未満)においてメリットが大きいことがわかった。

焼却炉を保有しておらず、他処理場での集約処理あるいは最終処分のため、脱水汚泥を場外搬出している処理場は全国に千箇所以上ある。こうした処理場に本乾燥機を導入することで、汚泥減量化による処分・運搬コストの削減、発熱量アップによる焼却補助燃料としての利用が期待できる。

*技術開発センター 開発企画室 **技術開発センター 水・汚泥技術開発部 水処理室 ***公益財団法人 日本下水道新技術機構 研究第一部 研究員
****水環境事業部 ER推進部 第一グループ *****水環境事業部 資源循環技術部 焼却グループ

フジッコ(株)鳴尾工場向 第二世代高負荷型嫌気性処理システム「PANBIC-EC」の 納入実績紹介

New Anaerobic System “PANBIC-EC” for Fujicco Naruo Plant
～ Enhance the Stability of Treatment System ～
—処理安定性を飛躍的に高めた新システム—



山口裕哉*
Yuya Yamaguchi

嫌気性処理とは、嫌気性環境下にて有機物をメタン、および炭酸に分解する処理方法である。フジッコ(株)鳴尾工場に当社は第二世代高負荷型嫌気性処理システム「PANBIC-EC」を納入することとなった。「PANBIC-EC」はグラニュールリークを徹底的に抑制した水質負荷変動に強い設備であり、性能確認において当社は、グラニュールリークが少なく、安定的に排水を処理できたことを確認した。

Anaerobic treatment is the biological treatment method by which an organic matter is decomposed to methane and carbon dioxide under anaerobic environment in 2012 and 2013, we built up our new product “PANBIC-EC” which is new anaerobic treatment system in Fujicco Naruo Plant. With “PANBIC-EC”, the amount of granule leak is suppressed and the waste water with a water quality load change can stably be treated. In the performance check, we confirmed that the amount of granule leak was stably few and the waste water with a load change was stably treated.

Key Words :

嫌気性処理	Anaerobic treatment
グラニュール	Granule
負荷変動	Load change
安定性	Stability

まえがき

エネルギー資源を海外から依存する日本にとって、2011年の東日本大震災に伴う電力需給の逼迫も伴い、エネルギーの安定供給が重大な課題となっている。

そこで注目されているエネルギーが再生可能エネルギーであり、バイオガスを活用する嫌気性処理の重要性がますます高まってきている。

当社商品「PANBIC-H」(EGSB: Expanded Granu-

ar Sludge Bed) は、GSS (Gas-solid Separator) を装備せず、流出グラニュールを後段の分離槽で沈降分離し、ポンプでリアクタに返送する構成となっている。

これにより GSS 部分として占めるべき容積を反応部分として有効活用でき、装置のコンパクト化を図ることができた。¹⁾

EGSB 法は高負荷型嫌気性処理システムとして装

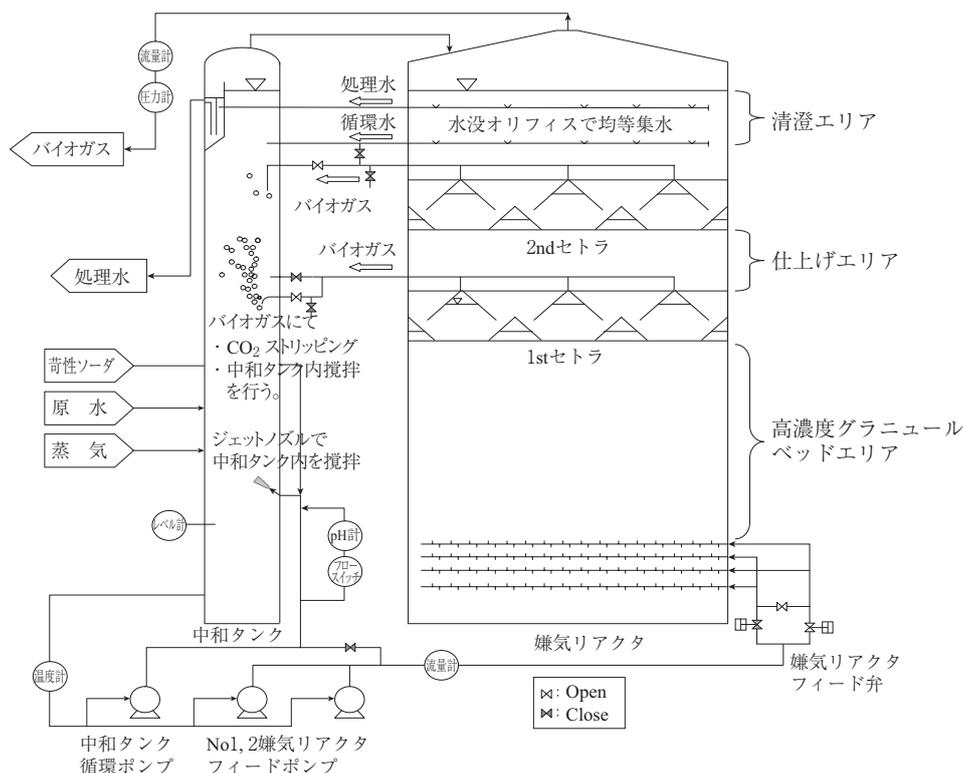


図1 PANBIC-ECリアクタと中和タンクの概略図

置のコンパクト化を図れるものの、「急激な排水の濃度、基質変動に対する追従性」、「リアクタ内でのグラニューール保持性」の2点について、UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) と比較して不安定であり運転管理に手間が掛かる一面がある。

つまり、リアクタ内部にグラニューールを保持し多量に流出させないことは、高負荷型嫌気性処理システムを安定的に運転管理する上で非常に重要な要素となる。

当社ではグラニューールの保持能力を大幅に高めた新型嫌気設備をラインナップと加えるべく、嫌気性処理の技術先進国であるオランダ HydroThane STP 社より技術導入し、第二世代高負荷型嫌気性処理システム「PANBIC-EC」をフジッコ(株)鳴尾工場に日本1号機として納入した。

現在、同工場においては旧型と新型嫌気設備の両方で排水処理を行っている。

1. 第二世代高負荷型嫌気性処理システム「PANBIC-EC」の特長

EGSB法である「PANBIC-H」に対して、「PANBIC-EC」はECSB法(External Circulation Sludge Bed)と位置付けている。

リアクタ内に2つのセトラ(GSSに相当)を持

ち、原水、循環水、アルカリ剤、蒸気、発生バイオガスを受入れる中和タンクを外部に設け、リアクタと中和タンクの間で外部循環を行うことで、1)～6)の特長を有する。

- 1) 高濃度グラニューールベッドエリアでは、高LVとバイオガスにて激しい流動を伴い、有機物とグラニューールを積極的に接触させて有機物の分解を図る。
- 2) 1stセトラにてバイオガスを中和タンクへ送ることで仕上げエリアでは乱流が抑制され、グラニューールの流出を抑制する。
- 3) 中和タンク内でバイオガスと内液を接触させ、CO₂ストリッピングを促しアルカリ剤添加量を低減させる。
- 4) 循環水分離部分のさらに上方に処理水越流ラインを設けることで、清澄エリアで低LVを実現し、グラニューール流出を抑制する。
- 5) 全面を覆う2つのセトラにて、絞り部による上昇流増加を極力無くし、グラニューール流出を抑制する。
- 6) 中和タンク循環ポンプによる循環攪拌を行うため、バイオガス発生量低減による攪拌不足の心配が無い。

1) から6) の特長から分かるように、「PANBIC-EC」は徹底的にグラニューール保持安定性を追求した設備であり、従来であれば流出してしまう小粒径のグラニューールを保持することができる。

つまり、新たなグラニューール生成に必要な微細化グラニューールを保持することで、安定的にグラニューールを保持・増加させることができる。

2. 排水処理設備概要

2000年度に鳴尾工場に旧型嫌気性処理システム「PANBIC-H」を2基納入した。

2000年度の納入以降、鳴尾工場の生産ライン増強に伴い、排水負荷も増加傾向となり、2013年度の新工場棟建設にあわせて排水処理設備も増強すること

となった。²⁾

これに伴い、以下の1), 2) の増強工事を行った。

1) 「PANBIC-H」2基の内、1基をグラニューール貯槽に転用

2) 能力不足分に対して「PANBIC-EC」を導入

嫌気原水的设计仕様、および改訂工事前後の処理変更点については図2, 3, 表1参照のこと。

3. 試運転結果

3.1 試運転内容

「PANBIC-EC」の立上として、水運転、グラニューール投入、馴養、性能確認という手順を踏んで試運転を行った。

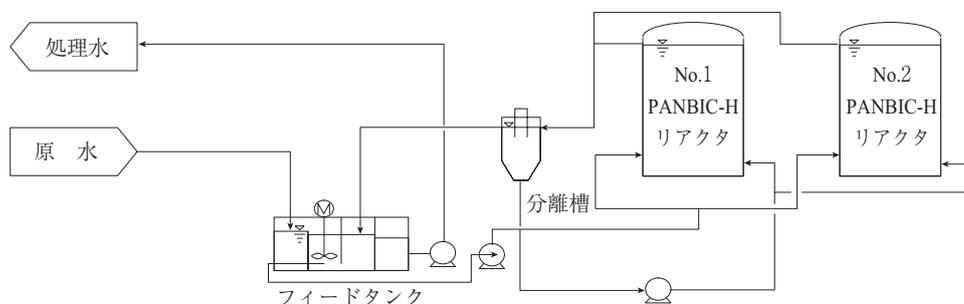


図2 嫌気性処理設備の処理フロー（増強工事前）

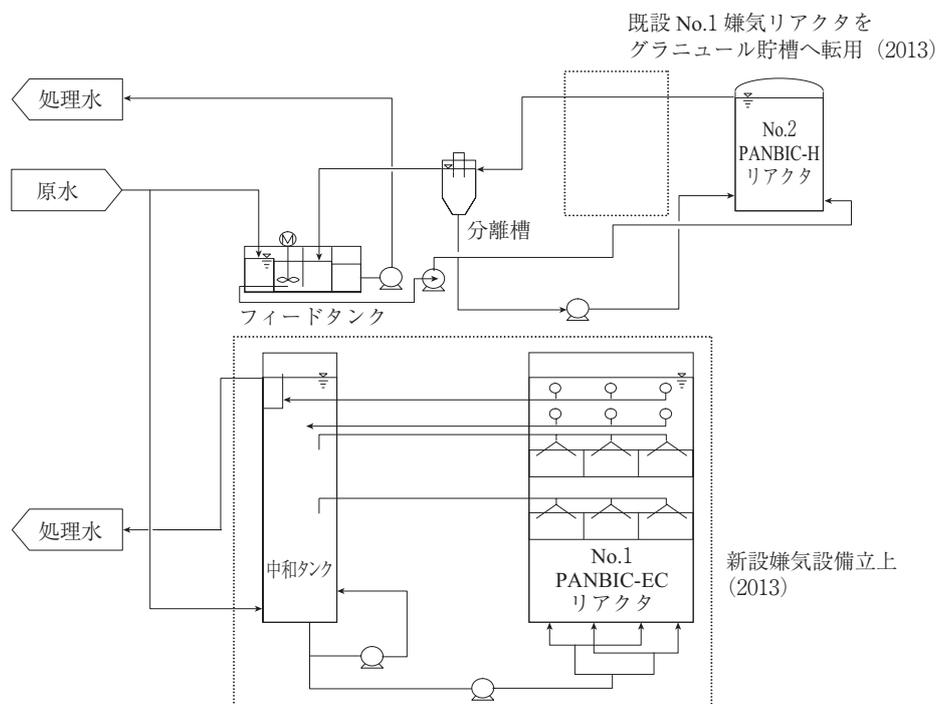


図3 嫌気性処理設備の処理フロー（増強工事後）

表1 2000年度, および2013年度のフジッコ鳴尾工場の嫌気原水の設計仕様

年 度	嫌 気 設 備	流 量		濃 度		総 量	
		m ³ /d	m ³ /h	BOD	CODcr	BOD	CODcr
				mg/L	mg/L	kg/d	kg/d
2000	PANBIC-H ×2	455	19.0	5 843	10 050	2 659	4 573
2013	PANBIC-EC	685	28.5	5 444	9 364	3 729	6 414
	PANBIC-H	231	9.6	5 561	9 565	1 285	2 209

※) CODcr 濃度は, CODcr/BOD が1.72と仮定して算出

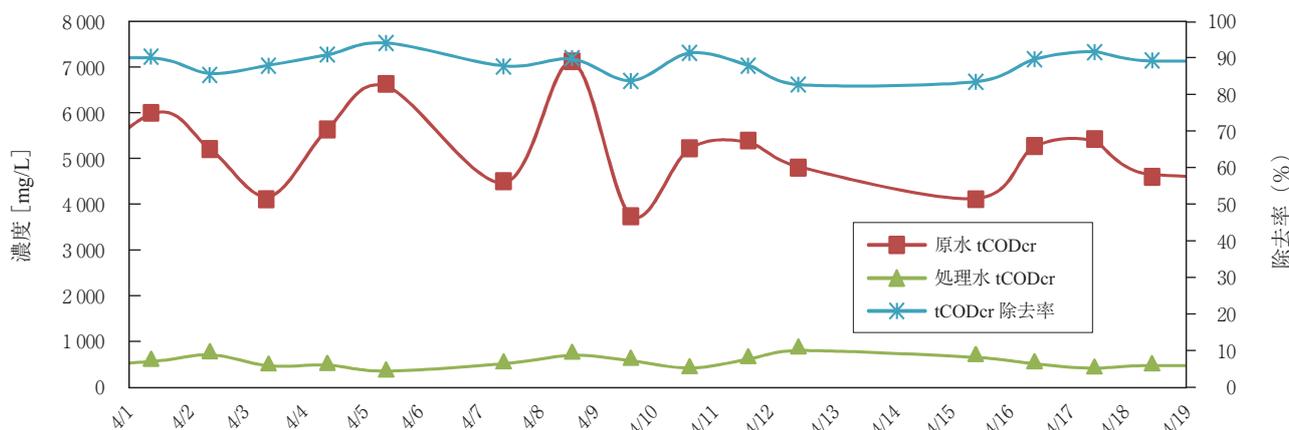


図4 「PANBIC-EC」のCODcr除去率

表2 「PANBIC-EC」の原水, および処理水CODcr濃度の平均値, 標準偏差 (2013/4/1~4/18)

項 目	COD 濃度	
	平均値 mg/L	標準偏差 mg/L
原 水	5 198	881
処 理 水	573	121

表3 「PANBIC-EC」のCODcr除去率の平均値, 標準偏差 (2013/4/1~4/18)

項 目	平均値%	標準偏差%
CODcr 除去率	89	3

試運転期間は2013年2月20日~4月18日までであり, 馴養は2013年3月31日に終了した。

馴養終了後, 2013年4月1日~4月18日にかけて設計流量28.5 m³/hを流して設備能力を確認した。

ただし, 4月8, 9日のみ工事上の都合のため, 原水流量を23 m³/hに落とした。

3.2 CODcr 除去結果

2013年4月1日~4月18日にかけて「PANBIC-EC」の原水, および処理水のCODcr濃度をHACH

社製 DR/850を用いて分析を行った。

分析結果については図4と表2, 3にまとめて記載する。

図4より水質変動がある排水に対して, 安定的に有機物を除去していることが確認された。

3.3 グラニュールリーク量結果

グラニュールリーク量は, 嫌気処理水10 Lに対して0.25 μmのメッシュにてふるいをかけ, そこで捕捉されるグラニュール容量と定義する。

「PANBIC-H」および「PANBIC-EC」のグラニューールリーク量の測定結果を図5に記載する。

また、「PANBIC-H」および「PANBIC-EC」の、2013年4月12日～18日の平均負荷を予想したので表4に記載する。

グラニューールリーク量は20 mL以下であれば問題無し、という1つの指標があり「PANBIC-EC」は「PANBIC-H」より排水負荷が高いにも関わらず、指標を十分満たしていることが確認された。

3.4 グラニューール増加量結果

リアクタの各サンプリング管から内液を1L採取し、内液中の汚泥が占める体積割合からリアクタ内のグラニューール量を予想した。

グラニューール投入以降、適宜「PANBIC-EC」のグラニューール量を測定したので、結果を図6に記載する。

リアクタ内のグラニューール保持量が着実に増加していることが確認された。

表4 予想平均負荷 (2013/4/12～18)

項目	単位	PANBIC-EC	PANBIC-H
流量	m ³ /h	28.5	2.5
CODcr 濃度	mg-CODcr/L	4 800	4 800
グラニューール量	m ³	109	30
グラニューール VSS 濃度	mg-VSS/L	50 725	21 800
予想汚泥負荷	kg-CODcr/kg-VSS/h	0.025	0.018

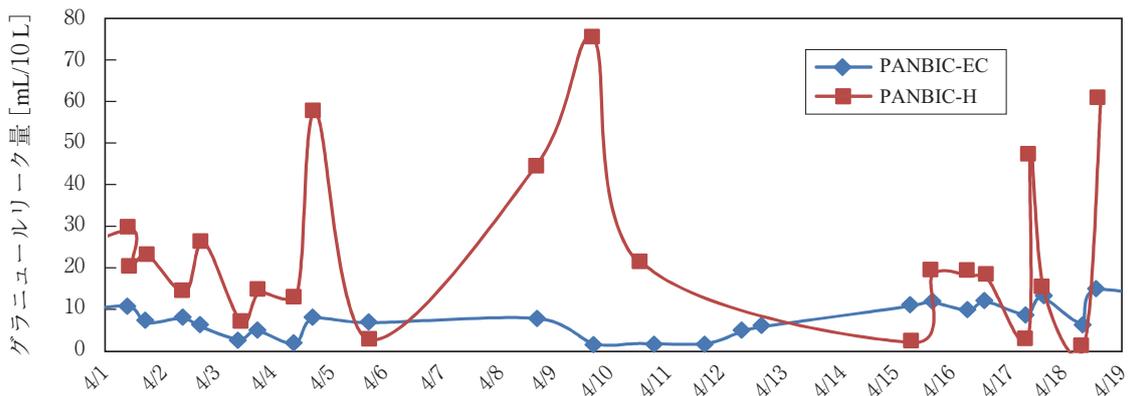


図5 「PANBIC-H」および「PANBIC-EC」のグラニューールリーク量

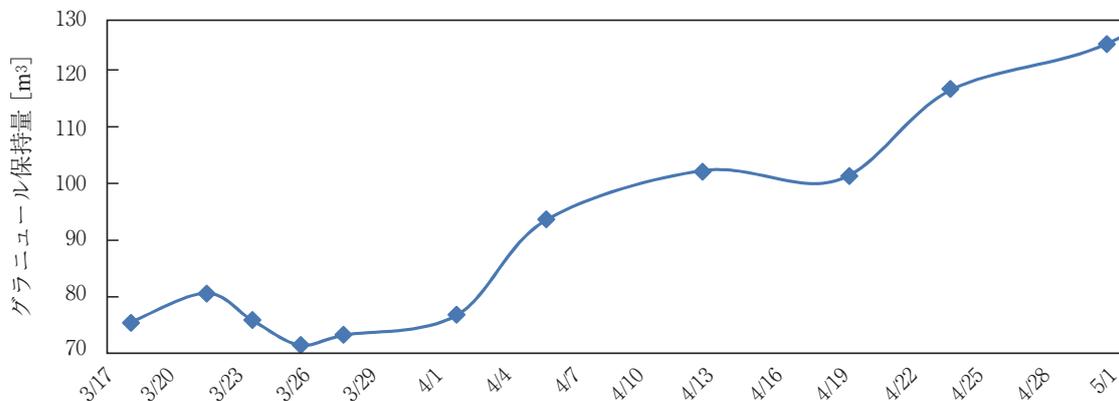


図6 「PANBIC-EC」のグラニューール保持量

3.5 試運転結果まとめ

「PANBIC-EC」の立上試運転を通じて、次の3点が確認された。

- 1) 水質変動を持つ原水に対して安定有機物を除去できた。
- 2) グラニューールリーク量は安定して少なかった。
- 3) リアクタ内のグラニューール保持量は着実に増加していった。

む す び

「PANBIC-EC」のリアクタ内のグラニューール保持量が着実に増えていること、およびグラニューールリーク量が安定的に少ないことが確認された。

このことから「PANBIC-EC」はグラニューール保持安定性に優れた原水水質変動に強い設備であるといえる。

化石燃料による環境問題は長らく指摘され続けている。

原子力発電においては、並外れた危険性から、安定的な電力供給以前に繊細な問題を抱えている。

このような背景から再生可能エネルギーが注目されているが、フジッコ(株)鳴尾工場は積極的にバイオマス活用し、地球環境へ貢献するという社会的使命を果たしており、当社としても「PANBIC-EC」を納入することで、一旦を担うことができたことについて大きな誇りを持つ所存である。

最後に、本稿執筆に当たりご協力頂いたフジッコ(株)、および Hydrothane STP 社の関係者各位に紙面を借りて感謝の意を表します。

また、「PANBIC-EC」立上において現場等で様々なご協力、ご指導等を頂きましたフジッコ(株)鳴尾工場の中村主任様、武村様、Hydrothane STP 社の Mr. Albert Mulder, Mr. Robbie van Bree, Mr. Arend Diels にはさらなる感謝の意を表します。

[参考文献]

- 1) 隅見彦他:神鋼パンテック技報, Vol.44 No.1 (2000/8) pp.30-32
- 2) 「フジッコ(株)HP ニュースリリース」(2013/5/13アクセス)

*水環境事業部 水リサイクル部 技術室 基本計画 Gr

神鋼リードミック(株)向

水リサイクル装置における運転評価事例紹介

Evaluate Operation Data and Support for Wastewater Recycling Plant in Shinko Leadmikk Co. LTD.



安友邦彦*
Kunihiko Yasutomo



松林高志**
Takashi Matsubayashi



大朝 功***
Isao Otomo
技術士（上下水道部門）

当社より神鋼リードミック株式会社殿へ水リサイクル装置を2012年10月に納入し、現在稼働中である。この設備は同社にて製造されているリードフレームにおけるメッキ排水を処理対象とし、処理水は製造工程その他用水に再利用されている。供用開始後およそ10カ月の稼働であり、この間の処理性能としては脱塩率99%，平均透過水電導度3 mS/mである。当社では安定運転のため、遠隔監視装置（当社商品名：WaterEye）によって収集された運転データからその健全性を評価、顧客にアドバイスし、未然のトラブル防止に貢献している。

Kobelco Eco-maintenance Co.,Ltd. supplied the Wastewater recycling plant for Shinko Leadmikk Co., Ltd. in October 2012. And it has been operating under the specific and good performance continuously. Raw water of this plant is drainage from plating process for Lead-frame plant and the treated water is reused for the production line. The operation of the plant started 10 month ago. The rejection rate of the salt is more than 99 %, resulting that the electric conductivity of permeate shows 3 mS/m in average. We take the operating data by WaterEye which is monitoring system for water treatment plants. WaterEye contributes stable operation and it is useful to forecast the plant condition and avoid troubles.

Key Words :

水リサイクル装置	Wastewater recycling plant
めっき排水	Drainage from plating process
精密ろ過	Micro filtration
逆浸透	Reverse osmosis

【セールスポイント】

遠隔監視装置（WaterEye）によって収集されたデータをもとに、水リサイクル装置の運転健全性の評価を行い、それに基づきトラブル発生時も迅速な処置方法をアドバイスできる。

まえがき

近年、多くの企業が「企業の社会的責任 (Corporate Social Responsibility)」の中で「地球環境の保護」をキーワードの一つに掲げており、その中には水資源の有効活用と環境負荷削減 (低コストによるクローズドシステム) に関する内容も含まれることが多い。

また、地理的に水資源 (用排水費) が高コストの場合、工場での製造コストに占める用排水費の比率が高くなる。そのために場内で水をまわす (クローズドシステムの活用) というニーズも潜在し、これらの背景から、神鋼ソリューショングループではこの水リサイクルの潜在ニーズに着目し、その掘り起しとメニューの拡充に努めている。

当社の水リサイクル装置はおおむね除濁用の精密ろ過 (MF) 装置、逆浸透膜 (RO) 装置から構成される。導入に当たっては、イニシャルコスト (設備導入費) もさることながら、メンテナンスフィーを含むランニングコストを抑えることが求められる。言い換えれば、設備建造費と、膜交換も含めたランニングコストを現状の用排水費と比較した場合、いかに早くこれを回収し、かつ目標以上にランニングコストを抑制させるかがキーポイントとなる。膜処理におけるエレメントの交換サイクルはランニングコストに直結しており、交換周期が短くなればそれだけランニングコストが上昇する。したがって、ランニングコストの抑制には MF、RO の差圧管理と適切な洗浄処置およびトラブル対処が不可欠である。

本稿では、2012年に当社が納入した、神鋼リードミック(株)向水リサイクル (排水回収) 装置 (以下「本設備」という) における運転データの評価と処置事例について紹介する。

1. 装置概要

1.1 装置の構成と特徴

めっき工程から出される排水は、主として酸洗や水洗に代表される素地のエッチング前後の洗浄排水である。通常、これらの排水は酸性・アルカリ凝集沈殿法やろ過法、中和操作などにより含有する金属類や微粒子成分を除去し、工場排水として下水などに排出されるケースが多い。

本設備では、下水放流前の排水を原水として受け入れている。図1に本設備のブロックフローを、写真1に設備の全景を示す。本設備では、主要処理工程となる膜処理設備に加え、膜モジュールの洗浄装置と洗浄排水の中和装置を備えている。対象原水は一度 MF 原水槽に受入られ、MF 装置によって原水中の懸濁成分を除去したのち RO 装置によって硬度成分等の除去を行い、透過水は、リサイクル水として製造工程に戻される。洗浄装置とは MF および RO の各モジュールを、酸またはアルカリによって洗浄するための装置である。本設備では運転員の膜洗浄作業負荷低減のため、薬品調合、循環浸漬、洗浄排水の排出から中和、排出までの一連動作を開始押釦のワンタッチ操作によって全自動で行えるよう設計されている。

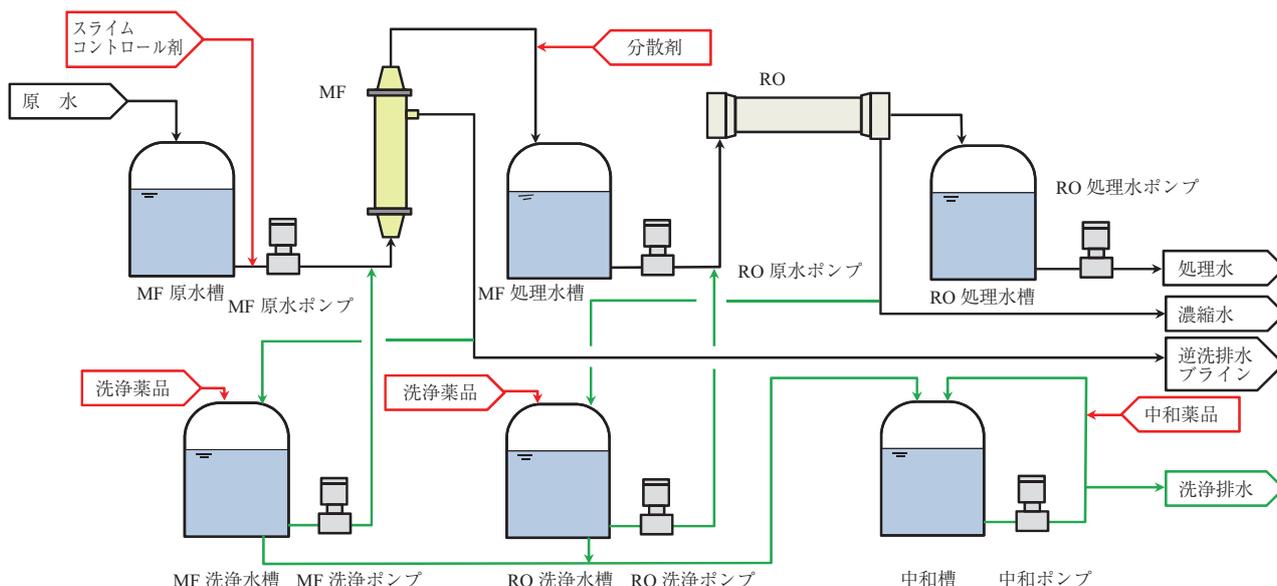


図1 水リサイクル装置 ブロックフロー



写真1 水リサイクル装置全景



写真2 WaterEye 現場設置機器姿

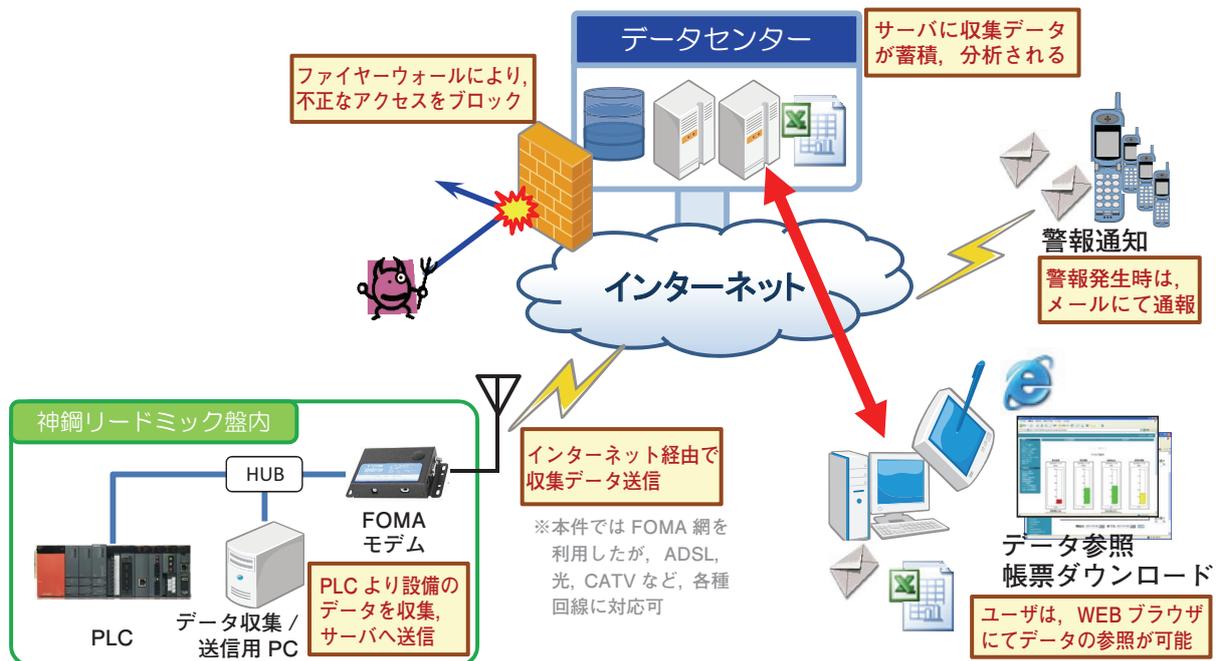


図2 WaterEye 基本概念図

1.2 設計条件

本設備での計画受入水量は240 m³/dであり、このうち120 m³/dをリサイクル水として回収する。装置における水回収率は50%である。この回収率は実機導入前におよそ1年半にわたり、テストプラントによる実証試験を行い、得られた結果から設定している。

テストプラントでは実機より小スケール（小処理水量）ではあるものの、使用したMF膜、RO膜は実機に採用を予定していたものを使用した。実機で得られる処理水質の想定値や、MF膜およびRO膜の閉塞状況（差圧の上昇）、洗浄周期想定に対する評価をなるべく正確に得るためである。

2. 運転データの収集方法

図2に本設備で用いた遠隔監視装置「WaterEye」の基本概念図を、写真2に現場設置機器（小型コンピュータ）姿を示す。

WaterEyeはインターネットを利用した水処理設備専用の遠隔監視装置であり、現場制御盤内にデータ仮保管およびデータ転送用プログラムを組込んだ小型コンピュータと当社WaterEyeサーバから構成される。

運転データを採取したい箇所（たとえば、流量や圧力などを計測する箇所）にあらかじめアナログ信号出力可能な工業計器を設置しておき、その出力信号を現場操作盤内のPLCを経由して一定時間間隔

で現場小型コンピュータにいったん蓄積する。あらかじめ設定された通信周期に応じ、現場小型コンピュータと WaterEye サーバがインターネット経由で接続され、現場で蓄積したデータは本社サーバに転送される。

対象装置の監視者は本社サーバ内のデータをインターネット経由で閲覧することで、現場装置の運転状況を確認することができる。現場とサーバ間の通信には ADSL や光通信に代表される常時通信型高速情報網のほか、FOMA といった携帯端末用通信回線も使用可能である。WaterEye はアナログ信号のほかに警報といった接点信号、モータなど負荷類の運転中／停止中といった状態信号も採取可能であり、現場で起こっているほぼすべての状態を把握することが可能である。また、各監視対象設備向にデータの集計方法、図表化方法をカスタマイズすることが可能であり、運転評価のためのデータまとめが容易に行える特徴がある。

3. 運転評価について

3.1 MF 装置における運転評価

MF 装置の運転方法は、MF 処理水量は、MF 処理水流量計の信号により MF 原水ポンプのインバータ周波数を変えることで一定値に制御するというものである。ラインの流量については定流量弁で一定化されている。図3に MF 装置の運転データを示す。

RO 膜処理の前処理である MF 膜処理による除濁は、本水リサイクル装置の前段においてアルカリ凝集沈殿処理が良好に行われていることと、MF 膜の前段に懸濁物質の粗取りを行うストレーナを設置していることがあいまって、通常は大きな差圧の上昇も見られず処理水濁度も安定している。これはテストプラントでも同様の結果を得ていた。

ただし、実機運転中に数回 MF 入口圧が上昇する傾向がみられた（図3中①～③のポイント）。入口圧の上昇傾向や原水の状況、事象発生前後の運転状況などから推測し、本件は MF 逆洗時に使用する次亜塩素酸ソーダの注入不良によるものと判断し、現場でポンプ周り薬品配管内エア抜きの実施を客先に依頼することとした。その結果、MF 膜の逆洗は正常化され、入口圧は徐々に低下しおむね問題発生前の状態に戻すことができた。

このまま問題を放置すれば MF 入口圧は限界まで上昇したあと処理流量が徐々に低下していき、処理流量バランスが取れない状況に陥るばかりか、MF 膜の閉塞が進行し洗浄もしくは交換に至る可能性があった。運転監視によるデータ解析によりトラブルが未然に防げたものといえる。

3.2 RO 装置における運転評価

RO 装置の運転方法は MF と同様に、RO 処理水量を RO 処理水流量計の信号により RO 原水ポンプのインバータ周波数を変えることで一定値に制御することとしている。図4に RO 装置の運転データを示す。なお図4では比較のためにテストプラントによる実証運転データを併記している。実証試験では運転中の差圧上昇が顕著に発生しており、比較的短い運転期間（1カ月～2週間に1回程度）での薬品洗浄を実施せざるを得なかった。それを踏まえ、実機ではテストプラントで行った逆流洗浄、空気洗浄を一部自動化し組込んでおり、通水時の Flux 等も見直している。

実機稼働後の運転状況は前述図に示すとおりであり、差圧上昇の傾向はみられず安定した運転が行われている。WaterEye を用いた運転評価により適切な洗浄時期を提案する予定であるが、今のところ薬

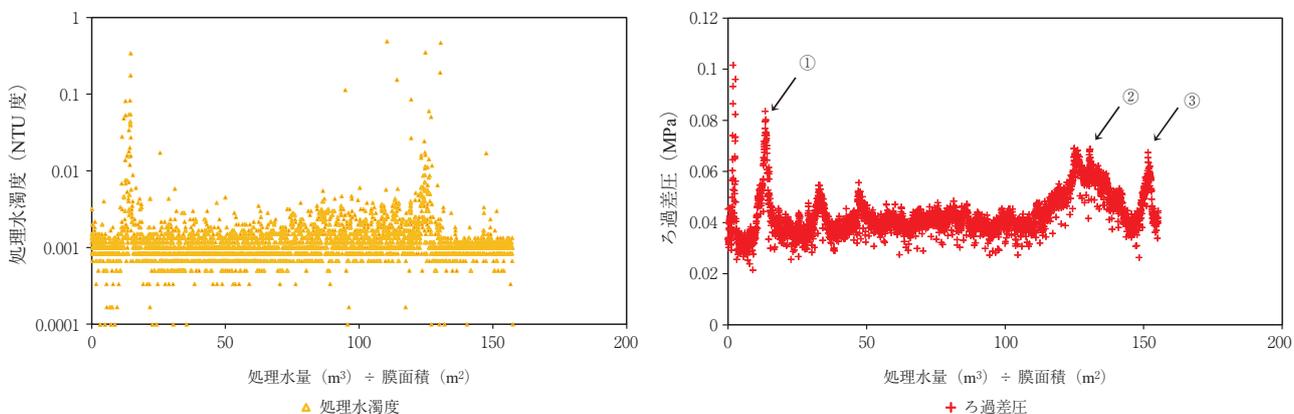


図3 水リサイクル装置 MF 運転データ

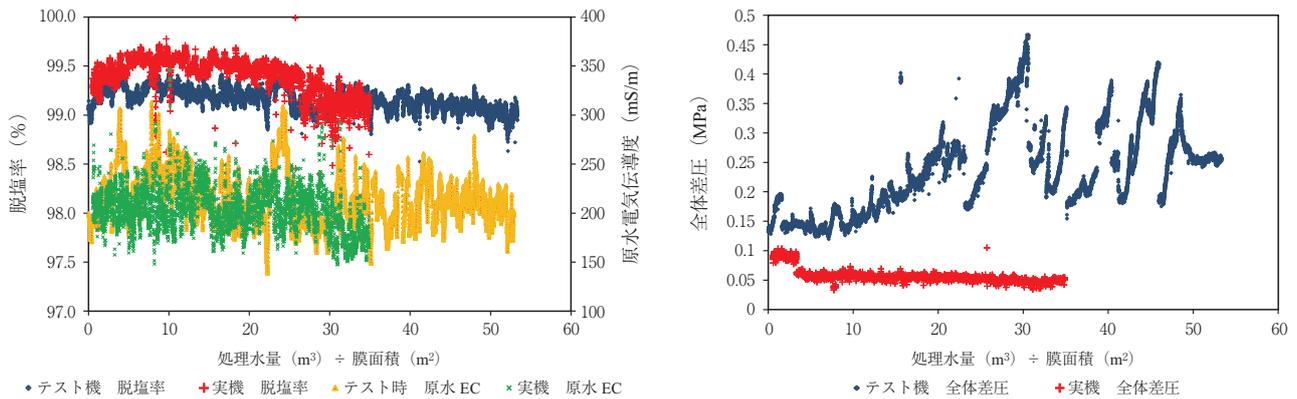


図4 水リサイクル装置 RO 運転データ

品洗浄は初回の実液自動洗浄動作調整のみ行っただけである。RO の運転状況は今後も注目し、運転監視と評価を継続していく予定である。

むすび

本稿では神鋼リードミック株式会社に納入した水リサイクル装置の装置概要と遠隔監視および運転評価事例について紹介した。

水リサイクルに用いる膜処理方式については近年の技術革新や、膜利用拡大によるマस्पロ化により膜単体価格の低下が進んでいるものの、まだまだ工業用水ならびに水道水の造水単価には及ばない。しかし社会の環境負荷低減ニーズの高まりや、水資源

の枯渇傾向から水リサイクルはますます求められると予想され、当社としても、そのニーズに応えるべく、遠隔監視システムと組み合わせ、運用面からの技術的アドバイスを適切なタイミングで行える技術ノウハウの蓄積が肝要であると考えます。

最後に、本設備の建設、試運転に多大なご協力をいただいた神鋼リードミック株式会社の関係各位に深く感謝の意を表す。

[参考文献]

- 1) 塩田憲明：神鋼環境ソリューション技報, Vol.8 No.1 (2011), pp.36-40.
- 2) 細谷仁人ほか：神鋼環境ソリューション技報, Vol.7 No.1 (2010), pp.16-22.

*神鋼環境メンテナンス㈱ 水処理本部技術部 第三技術室 **神鋼環境メンテナンス㈱ 水処理本部技術部 技術サービスグループ
 ***神鋼環境メンテナンス㈱ 水処理本部技術部

レーザー式ガス分析計を用いた廃棄物高効率発電への取組み

Approach for High Efficiency Waste Power Generation using Laser Gas Analyzer



砂田浩志*
Hiroshi Sunada



渡邊 圭*
Kei Watanabe



細田博之*
Hiroyuki Hosoda



小野雄基**
Yuuki Ono

2011年3月11日に発生した東日本大震災以降、再生可能エネルギーに注目が集まっている中、廃棄物発電の高効率化は重要なテーマである。廃棄物高効率発電の取組みの一環として、バグフィルタ温度の高温化と低温触媒の採用による蒸気式再加熱器を不要とするプロセスの検討を行い、バグフィルタ高温化の際における消石灰の脱塩性能ならびにダイオキシンの除去性能を確認した。レーザー式HCl計を用いた消石灰吹込み制御を行うことで、バグフィルタの高温化による消石灰使用量の増加を抑制しつつ、発電量を向上させることができる。

Renewable energy is gaining attention and high efficiency waste power generation has been an important topic, especially after The Great Eastern Japan Earthquake. A process adopting a high temperature at bag filters and a low temperature DeNOx catalyst can achieve high efficiency waste power generation. The authors confirmed efficient dioxin removal and HCl removal by $\text{Ca}(\text{OH})_2$ at a higher entrance temperature at bag filters. Though a high temperature at bag filters increases the $\text{Ca}(\text{OH})_2$ usage to neutralize the HCl, adjusting $\text{Ca}(\text{OH})_2$ injection rate with a hydrochloride laser gas analyzer minimizes the $\text{Ca}(\text{OH})_2$ usage and improves energy generation efficiency.

Key Words :

廃 棄 物 発 電
レ ー ザ 式 HCl 計
消 石 灰

Waste power generation
Hydrochloride laser gas analyzer
Hydrated lime ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)

【セールスポイント】

バグフィルタ温度の高温化と低温触媒の採用により、蒸気式再加熱器が不要となり発電効率向上が可能となる。バグフィルタ温度の高温化により消石灰の脱塩効率が低下し使用量が増加するが、レーザー式HCl計を用いた消石灰吹込み制御を行うことで、その増加量を抑えることが可能である。

まえがき

2011年3月11日に発生した東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所の事故の影響を受け、日本のエネルギー政策の見直しが進められている。効率化、省エネ化などによりエネルギー消費そのものを減らす取組みがなされている一方、発電施設の発電高効率化

も強く推し進められている。

廃棄物処理施設の役割は元来、最終処分場の用地確保の観点からそれらの減容・減量化と、公衆衛生の観点から安定化・無害化することであるが、近年は廃棄物焼却余熱を用いた「発電所」としても位置付けられており、廃棄物処理施設においても発電高

効率化のニーズが高まっている。具体的には表1のような技術要素の取組みがなされている¹⁾。

このような背景のもと、当社では膜処理技術を用いて排水を適正処理・再利用することで減温塔の噴霧水量を大幅に削減できる水リサイクルシステムを開発し、排水クローズドシステムでも発電効率の向上に貢献できることを報告した²⁾。

今回は、バグフィルタ温度の高温化を図り、脱硝触媒の前段に設置している蒸気式再加熱器を不要とするプロセス(図1)について検討した。

本報告では、そのプロセスにおけるバグフィルタ高温化の際の脱塩性能の確認と、レーザ式HCl計を用いて消石灰使用量の削減に取組んだ結果について報告する。

1. バグフィルタ高温時の脱塩性能データの取得

1.1 試験方法

既設の流動床式ガス化溶融炉において、バグフィルタの前段に設置してある減温塔の噴霧水量をコントロールし、バグフィルタ入口温度を170℃、190℃

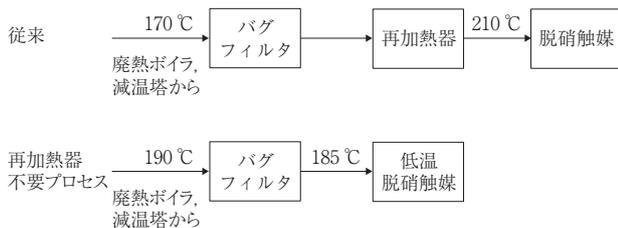


図1 蒸気式再加熱器不要プロセス

に調整した。消石灰は高反応性消石灰を使用し、バグフィルタ入口から供給した。

1.2 試験結果

図2にHClの除去性能を示す。HCl除去率とモル比および温度との関係は、従来からよく知られた関係のとおり、消石灰当量比の増加や温度の低下によって、HCl除去率が増加する傾向が見られた。仮にHCl除去率が80%の場合、バグフィルタ入口温度を170℃から190℃にすることで、消石灰使用量は約1.8倍との試算となる。

また、今回の試験に併せてダイオキシンの除去性能についても確認した。バグフィルタ入口温度が190℃の際のバグフィルタ入口、出口のダイオキシン濃度を表2に示す。活性炭の吹込み量は約30 mg/

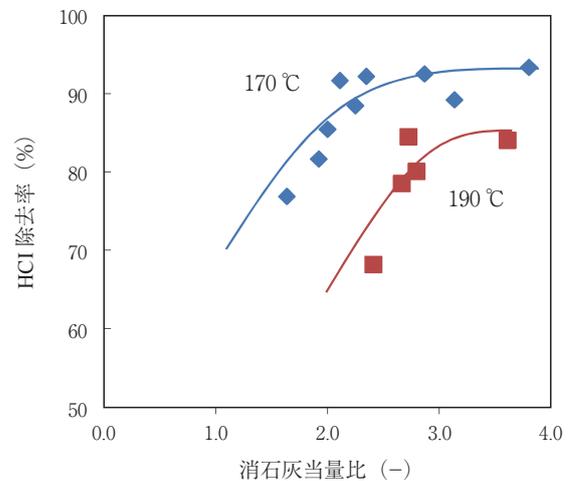


図2 HCl 除去性能

表1 高効率発電の技術要素と向上効果

発電効率向上に係る技術的要素・施策		発電効率向上効果	発電効率比較条件
熱回収能力の強化	① 低温エコノマイザ	1%	ボイラ出口排ガス温度：250℃→190℃
	② 低空気比燃焼	0.5%	300 t/d 燃焼空気比 1.8→1.4
蒸気の効率的利用	① 低温触媒脱硝	1～1.5%	触媒入口排ガス温度：210℃→185℃(再加熱なし) ※白煙防止の運用停止との組合せ
	② 高効率乾式排ガス処理	3%	湿式排ガス処理→高効率乾式処理
	③ 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	0.4%	白煙防止条件：5℃, 60%→条件なし
	④ 排水クローズドシステムの導入なし	1%	ボイラ出口排ガス温度：250℃→190℃
蒸気タービンシステムの効率向上	① 高温高圧ボイラ	1.5～2.5%	蒸気条件：3 MPaG × 300℃→4 MPaG × 400℃
	② 抽気復水タービン	0.5%	脱気器加熱用蒸気熱源：主蒸気→タービン抽気
	③ 水冷式復水器	2.5%	タービン排気圧力：-76 kPaG → -94 kPaG

1) 「廃棄物系バイオマス利用発電技術」(環境技術)より抜粋

表2 ダイオキシン除去データ

BF 入口	ダイオキシン濃度	0.223 ng-TEQ/m ³ N
BF 出口	ダイオキシン濃度	0.0038 ng-TEQ/m ³ N
ダイオキシン除去率		98 %

m³Nとした。バグフィルタ入口温度が190℃でも、ダイオキシン除去率は98%以上であり、十分なダイオキシン除去率を得られることが確認できた。

2. レーザ式 HCl 計を用いた消石灰吹込み制御

前述のとおり、バグフィルタの高温化により消石灰使用量が増加する。イオン電極式 HCl 計を用いた従来の消石灰吸込み制御では、HCl 測定に時間遅れがあるため、規制値を満足するためには、消石灰を過剰に供給する必要がある。それを削減するためにレーザ式 HCl 計を使った制御により消石灰使用量の削減を図った。以下にレーザ式ガス分析計の特徴とあわせてレーザ式 HCl 計による制御運転の結果について報告する。

2.1 レーザ式ガス分析計の特徴

レーザ式ガス分析計の概略を図3に示す。発光器ユニットから測定対象ガスが流れる煙道内にレーザ光を入射させ、反対側に設置してある受光器ユニットに送られる。吸光度 $\log(I_0/I)$ は、対象とする吸収媒体濃度と光路長に比例するため（Lambert beer 法則）、その吸光度を測定することで、排ガス中の対象ガス濃度を測定することができる。

$$\log(I_0/I) = \epsilon \cdot C \cdot L \quad \text{式①}$$

I_0 : 入射光強度

I : 透過光強度

ϵ : ガス吸収係数

C : ガス濃度

L : 光路長

レーザ式ガス分析計の一般的な特徴³⁾を次にまとめる。

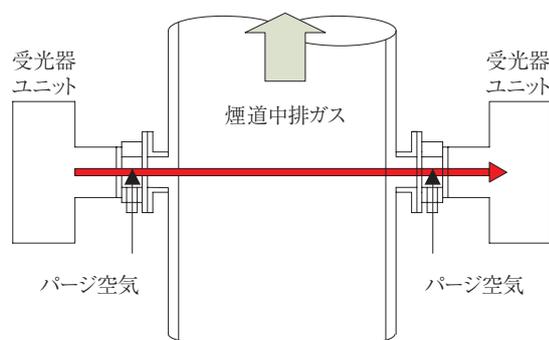


図3 レーザ式ガス分析計の概略

- ・分析計が直接排ガスと接触しないため高温域でも安定した測定ができる。
- ・排ガスを吸引せずに測定できるため、ダストによる詰まりなどの問題が発生しない。また排ガスを吸引するために生じる分析時間の遅れがない。
- ・単一吸収線吸収分光法を採用しているため、共存ガスの干渉がない。

またダスト濃度が高い測定箇所では、必要に応じてパージガスを流入させることで、より安定した測定が可能となる。

2.2 消石灰吹込み制御の概要

今回、レーザ式 HCl 計を用いた消石灰吹込み制御システムの概要を図4に示す。

消石灰はバグフィルタ入口から吹込まれ、SO_x、HCl と中和反応する。今回の試験では高反応性消石灰を使用した。消石灰吹込み量は、バグフィルタ後段側に設置したレーザ式 HCl 計にて計測した HCl 濃度が一定値になるようフィードバック制御することで決定した。

2.3 実炉でのガス濃度測定結果

図4に示すレーザ式 HCl 計とほぼ同じ位置に設置してあるイオン電極式 HCl 計（既設）との測定性能を比較した。ちなみにイオン電極式 HCl 計は、吸引式であり煙道から検知器まで加熱導管にて接続されている。

レーザ式 HCl 計とイオン電極式 HCl 計の HCl 濃度のトレンドグラフを比較したものを図5に示す。両者を比較すると、イオン電極式 HCl 計による測定ピークの2～3分前に、レーザ式 HCl 計による測定ピークが測定された。これはレーザ式 HCl 計では、煙道中のガスを直接測定し、時間遅れがないことによるものである。また絶対値に関しては、イオン電極式 HCl 計で平均29.1 ppm に対して、レーザ式 HCl 計で平均29.6 ppm と測定値にほとんど差が見られず、精度良く測定することが可能であることが確認できた。

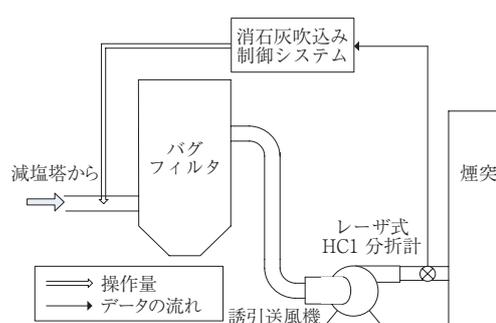


図4 制御システムの概要

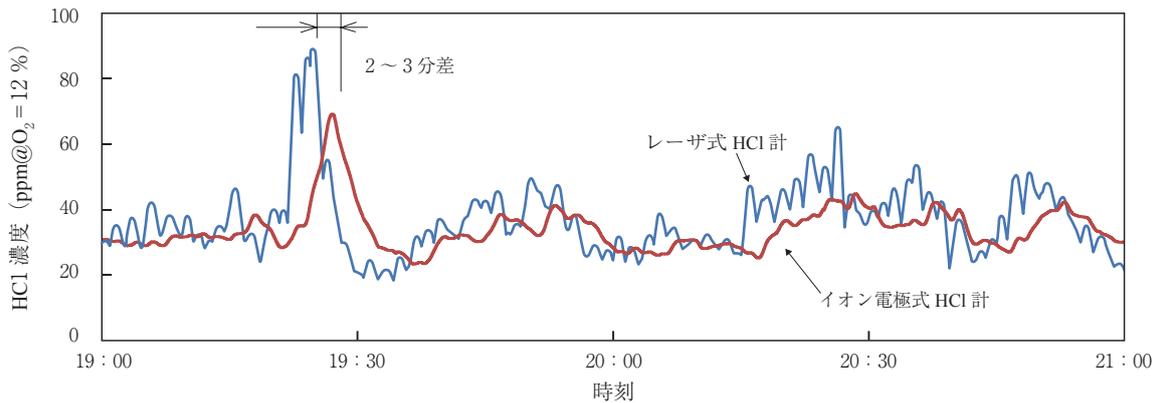


図5 従来のイオン電極式 HCl 計とレーザ式 HCl 計の HCl 濃度トレンド

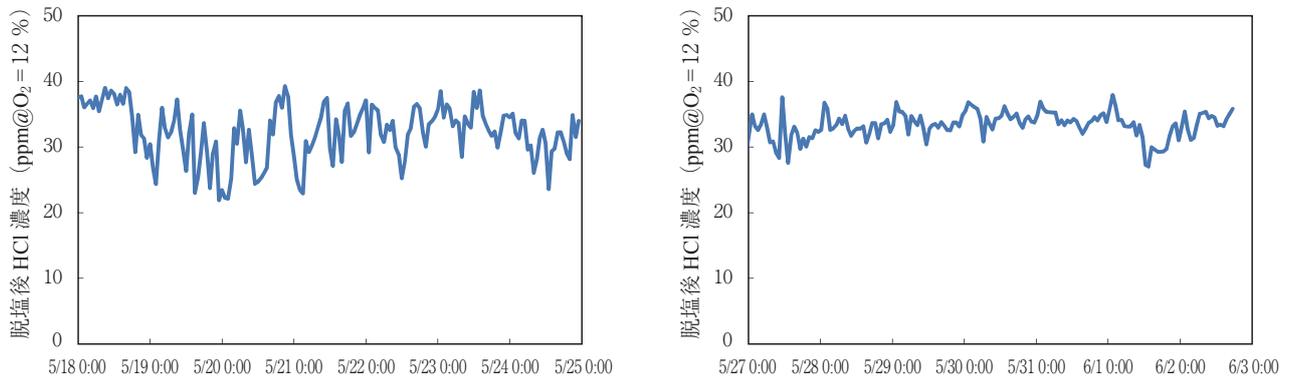


図6 脱塩後の HCl 濃度トレンド (左: イオン電極式 HCl 計, 右: レーザ式 HCl 計)

2.4 制御試験結果

イオン電極式 HCl 計による制御とレーザ式 HCl 計による制御を比較した試験結果を図6にまとめた。バグフィルタ出口 HCl 濃度が40 ppm 以下になるよう制御した。バグフィルタ入口温度を190℃にした際のデータである。試験期間は約7日間で評価した。

レーザ式 HCl 計による制御は、イオン電極式 HCl 計による制御に比べて脱塩後の HCl 濃度のバラツキが小さいことから、レーザ式 HCl 計による制御は、発生 HCl 濃度の変動に応じて応答よく消石灰の吹込み制御が可能であることが確認できた。結果、消石灰は過不足なく供給することができ、4.0 kg/ごみ t から3.1 kg/ごみ t と24%削減できる結果を得た。

今回レーザ式 HCl 計を用いて消石灰使用量の削減を図ったが、さらなる制御方法の高度化や、飛灰の循環などの方法を用いてさらなる削減に取り組んでいきたい。

むすび

バグフィルタの高温化を図り、脱硝触媒の前段に設置している蒸気式再加熱器を不要とするプロセスについて検討した。バグフィルタ入口温度を170℃から190℃に上げることで消石灰使用量は増加するが、レーザ式 HCl 計を用いた消石灰吹込み制御を行うことで、その増加量を抑えることが可能であることが確認できた。まだ消石灰使用量の削減の余地はあると考えられ、発電効率の向上とあわせてランニングコスト削減も視野に入れてプロセスの改善を図っていく所存である。

[参考文献]

- 1) 秩父薫雅, 小林英正: 廃棄物系バイオマス利用発電技術, 環境技術, Vol.42, No.6, pp.349-354 (2013)
- 2) 平井友希子ほか: 廃棄物焼却施設における水リサイクルシステムの確立, 神鋼環境ソリューション技報, Vol.7, No.1, pp.36-42 (2010)
- 3) 日本工業新聞新社: 明日を拓く「新・環境技術」京都電子工業の「レーザガス分析計 KLA-1」塩化水素濃度計中心に廃棄物処理炉などへ拡販, 月刊地球環境, Vol.40, No.5, pp.86-87 (2009)

*技術開発センター プロセス技術開発部 廃棄物処理室 **技術開発センター 知的財産室

相模原市南清掃工場

電力需要ピークに合わせた余剰電力量増加の取組み

Maximization of Surplus Electric Power in Peak Power Demand at Sagami-hara City Minami Waste to Energy & Recovery Plant



山形成生*
Naruo Yamagata
技術士(衛生工学部門)



浅野政則**
Masanori Asano

東日本大震災後、電力供給政策等の見直しにともない、ごみ処理施設は地域の発電所(分散型電源)として位置づけられ送電量の最大化が求められるようになっていく。相模原市南清掃工場では、流動床の持つ負荷追従性を活用し、電力需給のピーク時である昼間に蒸発量設定を上げることで、よりごみ供給量を増加させ積極的に発電を実施した。これにより従来と比較して昼間の売電電力量を42%アップすることができた。

After the 2011 east Japan earthquake, a municipal solid waste treatment plant is required to maximize surplus of generated electric power as one of distributed power sources in order to compensate for a power shortage. Sagami-hara City Minami Waste to Energy & Recovery Plant supplies surplus electric power to the line, which is maximized especially in summer daytime peak power demand by controlling incineration load. This resulted in 42% increase of surplus electric in summer daytime in comparison with before.

Key Words :

都 市 ご み
ガ ス 化 溶 融
ご み 発 電

Municipal solid waste
Gasification and melting
Waste to energy

【セールスポイント】

流動床式ガス化溶融炉は、負荷変動への追従性が高く、電力需要に応じて発電量設定を容易に変更できるシステムである。

ま え が き

一昨年の東日本大震災に端を発した電力需給の逼迫により、節電をはじめとして電気を大切かつ上手に使うための取組みがなされている。ごみ処理施設においても例外ではなく、施設の省エネルギーに加え、地域の電力事情を鑑みた「運転管理の最適化」が図られている。

相模原市は、東京電力管内に位置し、深刻な電力不足に陥ったため、電力需要ピーク時である昼間の

節電に徹底して取り組むことになった。2011年度は、電気事業法27条による電気の使用制限(7~9月にかけて前年比で15%の削減が義務付けられた)が発動されたが、市自らが率先して節電に取り組むため「相模原市節電対策基本方針」を定め、市内の全公共施設を対象として政府の使用制限を上回る20%減が目標として設定された。

相模原市南清掃工場(写真1)(以下、南清掃工場と記す)は発電設備を有しており、施設での使用

電力を超える余剰電力は売電していたため、需要抑制の対象とはならなかったものの、本件はオール相模原市で取組むべき緊急課題であるとし、厳しい節電要請に加え、発電の最大化による余剰電力の供給増加に取り組んだ。以下では、南清掃工場における発電高効率化のための設備面での特長に加え、2011年度に実施した電力需要ピークに合わせた発電量および余剰電力量増加の取組みについて紹介する。

1. 施設の概要

南清掃工場は、都市ごみ向け流動床式ガス化溶融炉では国内最大規模であり、2010（平成22）年3月



写真1 相模原市南工場全景

竣工以来順調に稼働している。本施設は、「環境負荷の低減」に加え、「資源回収」と「熱回収」の最大化に取り組んでいる。とくにエネルギーの有効利用の観点から、エコノマイザによる燃焼排ガスからの熱回収量の最大化、高温高压ボイラ・二段式抽気復水タービンを採用し、発電量の最大化を図っている。本施設のフローおよび概要は、以下のとおりである。

- 1) 炉型式 流動床式ガス化溶融炉
- 2) 施設規模 525 t/d (175 t/24 h × 3 炉)
- 3) 蒸気条件 4 MPa × 400 °C
- 4) 発電設備 2 段抽気復水式タービン (10 000 kW)
- 5) 熱供給 場内給湯、場外(温室、温水プール)への蒸気供給

2. 流動床式ガス化溶融炉の特長

当社は、相模原市南清掃工場(525 t/d)を含む国内14施設・海外2件を受注・稼働させている。またその間に国内最長連続運転308日を達成する等、受注実績・安定稼働実績ともにトップランナーである。

本方式の特長は、ガス化、燃焼、溶融処理および排ガスからのエネルギー回収を同時に行えることである。ガス化炉に投入されたごみは、500~600 °Cの

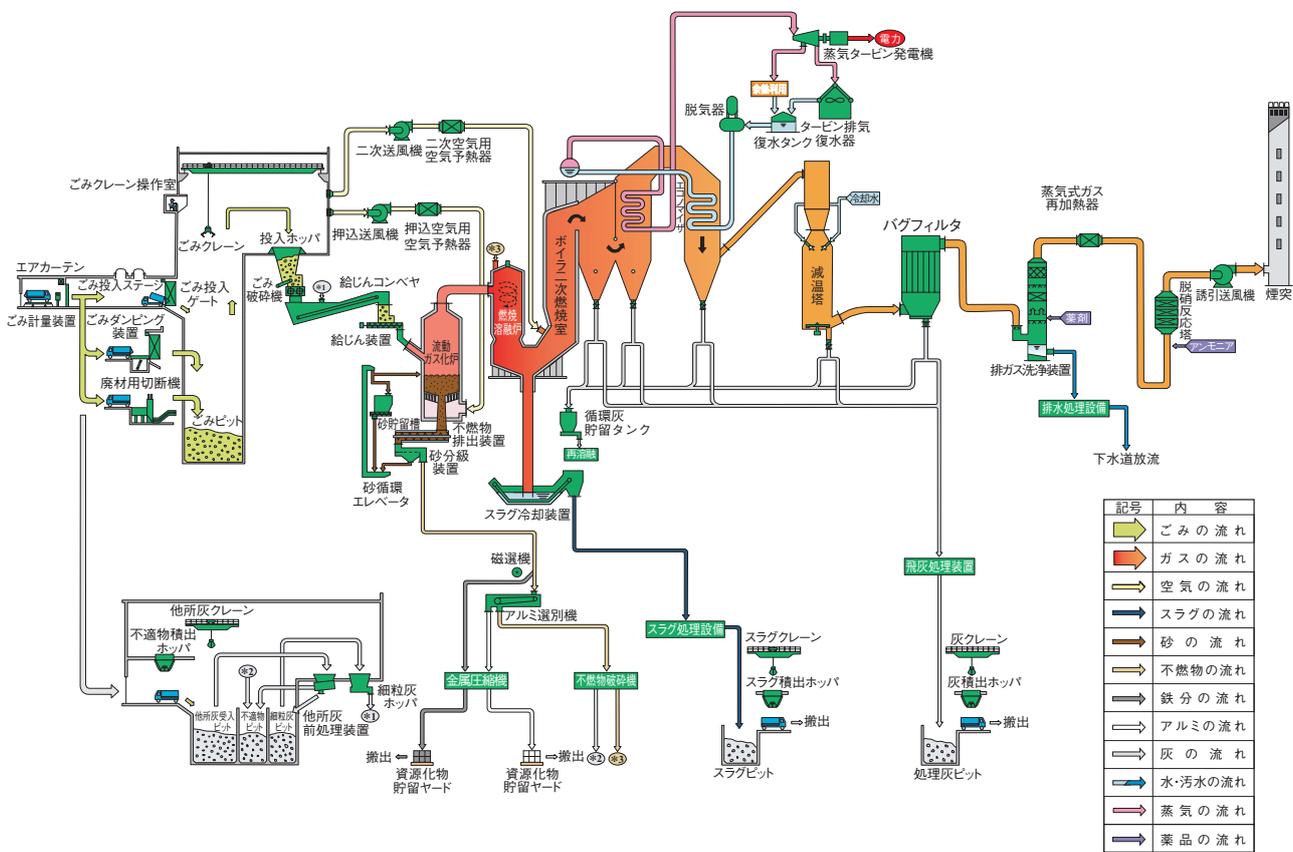


図1 相模原市南清掃工場フローシート

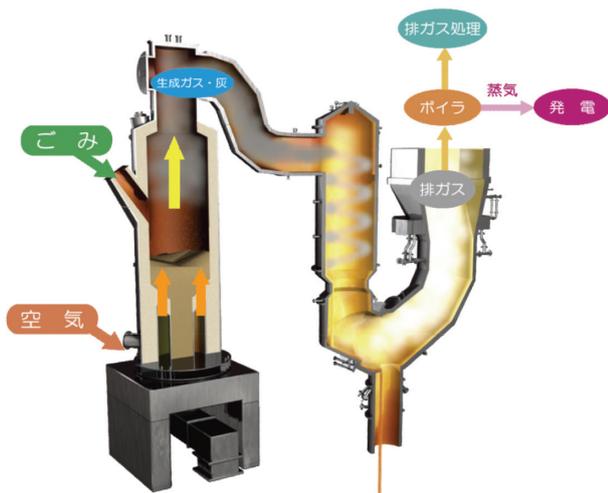


図2 流動床式ガス化溶融炉の概要

砂層中で乾燥および熱分解され CH_4 、 H_2 などを主体とした熱分解ガスに変換される。ガス化炉は円筒型を採用し、砂層中央部から連続的に不燃物を排出する構造となっているため、低空気比でも安定した砂の流動状態を保つことができ効率的なガス化が可能である。

溶融炉では熱分解ガスと空気を混合・燃焼させ、その燃焼熱を用いて灰を溶融しスラグを回収する。固体燃料である雑多なごみをガス化炉で気体燃料に変換することで燃焼しやすくなるため、低空気比で 1250°C 以上の高温燃焼が可能となる。

上記のとおり流動床式ガス化溶融炉は、ごみをガス化炉砂層中において比較的短時間で燃焼性の良い熱分解ガスに変換し、後段の旋回流溶融炉で完全燃焼するシステムであるため、マスバーンと比較して応答性がよく、操業条件の変更に対しても柔軟に対応できるという特長がある。

3. 発電高効率化のための設備面での取組み

3.1 熱回収量の最大化

3.1.1 ボイラ型溶融炉

排ガス温度がもっとも高温となる溶融炉は、ボイラ構造とし、積極的な熱回収を図っている。

3.1.2 低温エコノマイザ

エコノマイザは、ボイラ本体の下流側に配置され、排ガス低温部から熱回収する。従来の施設では、エコノマイザ出口温度として $220\sim 250^\circ\text{C}$ 程度に設定されることが一般的であった。南清掃工場では、エコノマイザを大型化し 170°C 程度まで排ガスを減温し、積極的な熱回収を図っている。

ボイラ型溶融炉と低温エコノマイザの組合せにより、ボイラ効率は約86%まで向上できている。

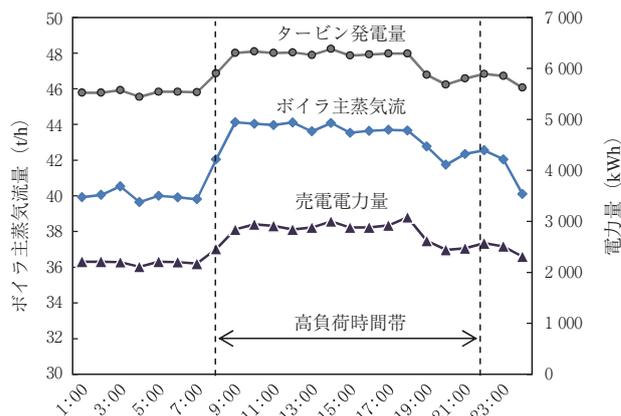


図3 負荷調整運転時の運転トレンド

3.2 蒸気の効率的利用

3.2.1 給湯用給水予熱器

従来、給湯用熱源としては蒸気または電気を用いる場合がほとんどであるが、南清掃工場では未利用エネルギー源であるタービン排気から熱回収を行うことで、それらの使用量を削減すべく、水冷式タービン排気熱交換器による予熱システムを採用している。

3.3 蒸気タービンシステムの効率向上

3.3.1 高温高压ボイラ

蒸気圧力と温度のバランスにもよるが、蒸気条件を高温高压化することによりタービン内部効率が向上するため発電効率のアップが可能である。南清掃工場では、現在のごみ焼却施設では最高水準である $4\text{ MPa} \times 400^\circ\text{C}$ を採用している。

3.3.2 2段抽気復水式タービン

南清掃工場では、2段抽気復水式タービンを採用している。第1段目抽気蒸気は、脱気器加熱、燃焼空気予熱、場内および場外予熱供給として利用している。また、第2段目抽気蒸気は、脱気器給水加熱として利用し、システム効率の向上を図っている。

4. 発電量および余剰電力量増加のための取組み

4.1 取組み内容

この流動床式ガス化溶融炉の柔軟性を活用し、南清掃工場では、1日の定格処理量は守りながら、昼夜でごみ焼却負荷を調整し、電力需要が高まる昼間(8~22時)に積極的に発電し、夜間は負荷を下げた運転を行った(図3)。負荷変更にあたっては、ボイラ主蒸気流量制御の設定値の変更のみで対応可能であり、煩雑な操作は不要である。

また、消費電力量削減対策については、「照明の

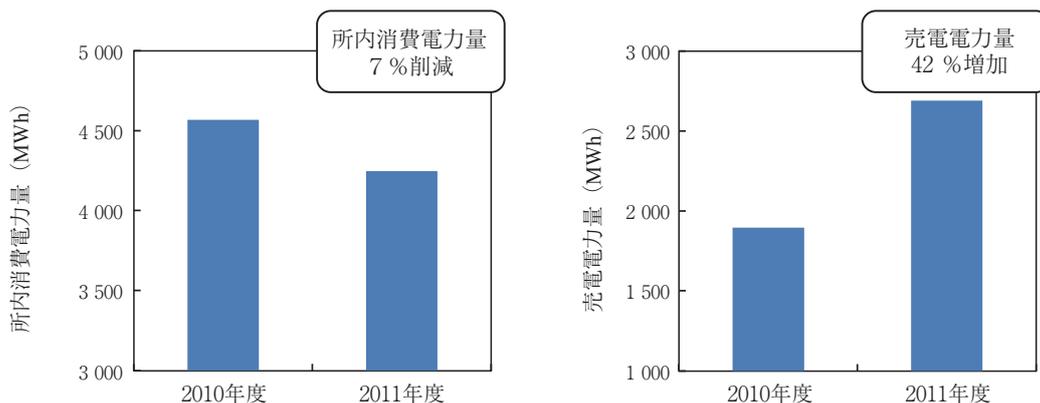


図4 2011年度夏期（7～9月）のごみ焼却負荷調整の効果

減灯やこまめな消灯]、「空調温度設定」など管理棟部での対策に加え、「炉室換気設備のスケジュール運転」、「運転最適化による送風機類や冷却塔消費電力量の削減」および「灰処理やボイラーストブローの夜間運転への変更」を実施した。

4.2 改善効果

この焼却負荷調整運転をはじめとする運転管理面での種々の工夫と施設内の徹底した節電対策により、2011年度夏期（7～9月）における所内消費電力量は前年度比で7%減、昼間の売電電力量は同42%の増加と大きな改善効果を得ることができた（図4）。これは、一般家庭5,800世帯の使用電力量に相当する。

相模原市では、日頃の事務を考え、改善し、また新しいアイデアを提案することで、より一層の市民サービスや職員の意欲および能力の向上を図ることを目的として、「1係1改善1提案以上」を目標に改善活動（事務改善報告・提案制度）が推進されている。この制度では、市内の事務所・事業所等より多くの報告や改善・実績報告や改善提案が提出され、その報告・提案数は2009（平成21）年度～2012（平成24）年度実績で150～200にも上っている。2011（平成23）年度には、173件の改善・実績報告が提出

されたが、南清掃工場における余剰電力量増加の取組みは、その高い改善効果が認められ、最優秀賞を受賞した。

さらに、2012（平成24）年3月に大分市で開催された第6回全国都市改善改革実践事例発表会「百花繚乱カイゼン合戦」において「節電・売電でもうかったで將軍」を受賞するなど、全国的にも高い評価を得ることができた。

むすび

当社では、様々な高効率ごみ発電技術の開発とそれを適用した新規施設の建設に取り組んでおり、2014（平成26）年3月には2件の高効率ごみ発電施設が竣工予定である。くわえて、南清掃工場での今回の取組みを通して運転管理面のごみ発電高効率化ノウハウを習得できた。今後も、施設建設と運転管理を両輪としたごみ発電の高効率化に取り組む、流動床式ガス化溶融炉の高付加価値化を図っていく所存である。

最後に、本稿作成にあたりまして資料提供を頂くとともに、運転管理においてもご指導いただきありがとうございます相模原市南清掃工場の職員の方々にお礼申し上げます。

*環境プラント事業部 プラント技術部 設備技術室 **環境プラント事業部 操業技術部 第一技術室

「あべのハルカス（近鉄）」における都心型バイオガスシステム ーメタン発酵設備ー

1. 設備概要

本設備（厨房除害設備）はバイオガス発生設備、および中水処理設備から成り、デスポーザ排水として流入する厨芥（生ゴミ）、厨房排水のSS、雑排水由来の余剰汚泥を混合して効率よく安定的にバイオガスを発生させる設備である。発生したバイオガスはガス精製・利用設備（空調設備・衛生設備）に供給され、ビル内の熱源および電源としてエネルギー回収する。また、厨芥および厨房排水のSS、雑排水由来の余剰汚泥をビル内で処理することにより、廃棄物の外部搬出が不要となるメリットを持ち合わせている。（図1）

創エネルギーの源となるバイオガス発生設備とは、百貨店やホテルの厨房で発生する厨房排水を下水道放流可能なレベルにまで処理するとともに、厨芥（発生場所にてデスポーザで破碎したのちポンプ圧送される）をメタン発酵してバイオガスを発生させる設備をいう。また、中水処理設備とは、ホテル、オフィス、百貨店からの雑排水（便水、厨房排

水を除く）を中水として再利用可能なレベルにまで処理し、水資源を有効に活用する設備をいう。

2. 処理設備（設置場所は地下5F）

2.1 処理目的および方法

1) 目的

厨芥ゴミの減量、厨房排水・雑排水のBOD、SS処理、および再利用

2) 方法

メタン発酵、流動床式生物膜法
膜分離活性汚泥法

2.2 処理能力

1) バイオガス発生設備

(1) 流入水：デスポーザ排水、厨房排水

(2) 流入水量：デスポーザ排水 27 m³/d
(最大270 L/min)

厨房排水 700 m³/d

(3) 発生バイオガス：

発生するバイオガスは投入される厨芥量の成分・量により変化することが予想されるが、発生させるバイオガスは成分としてメタンガス約

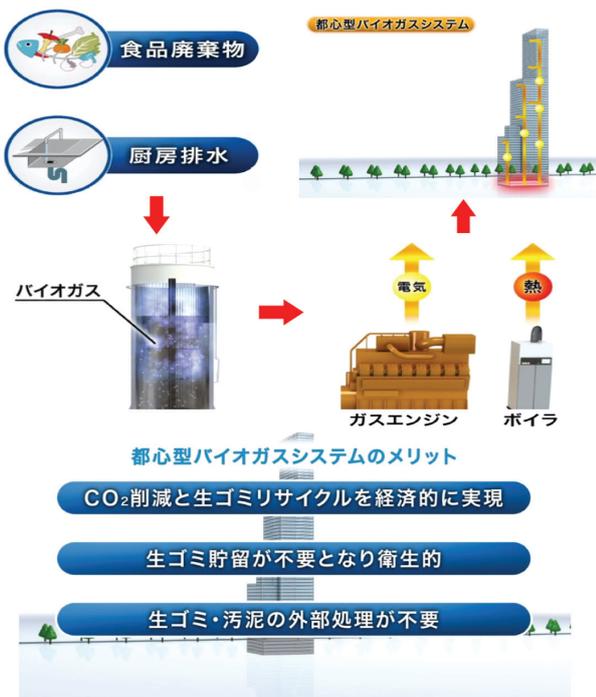


図1 都心型バイオガスシステム



写真1 あべのハルカス（高さ300 m, 60階）

60 %，炭酸ガス約40 %にて，発生量約540 Nm³/dとする。

2) 中水処理設備

- (1) 流入水：雑排水
- (2) 流入水量：雑排水 550 m³/d

2.3 処理の流れ

1) フロー（処理方式）（図2）

2) 都心型バイオガスシステムの特徴（図1）

(1) 【従来のビルの生ゴミ処理】

- ① 地階に生ゴミを運搬し冷蔵保存
- ② 車で外部処理施設に運搬
- ③ 外部処理作業にともないエネルギーを消費し，焼却等によるCO₂が発生

(2) 【都心型バイオガスシステム】

- ① 百貨店やホテル，レストランから発生した生ゴミは，主要階に設置したディスポーザに投入
- ② 粉碎された生ゴミ等はメタン発酵槽の中で微生物によって分解されバイオガスを発生
- ③ ボイラなどのガス利用機器を通じて電気・熱エネルギーに変換
- ④ あべのハルクス全体でエネルギーとして有効利用
- ⑤ 廃棄物の外部搬出減少に伴い，CO₂排出量を軽減

むすび

本システムは2014年春に全面開業予定の高さ日本一となる複合ビル“あべのハルクス”（写真1）（建築主：近畿日本鉄道㈱）において，日本で初めて超高層ビルにおける実設備として導入。（㈱竹中工務店と共同開発）

2013年6月13日に百貨店部分が先行オープンし，2013年6月より本設備（写真2）は稼働。全面グランドオープンは2014年春の予定であり，本設備の本格稼働による環境負荷低減並びにエネルギー創出効果を目の当たりにできるのも間近である。



写真2 厨房除害設備外観（B5F）

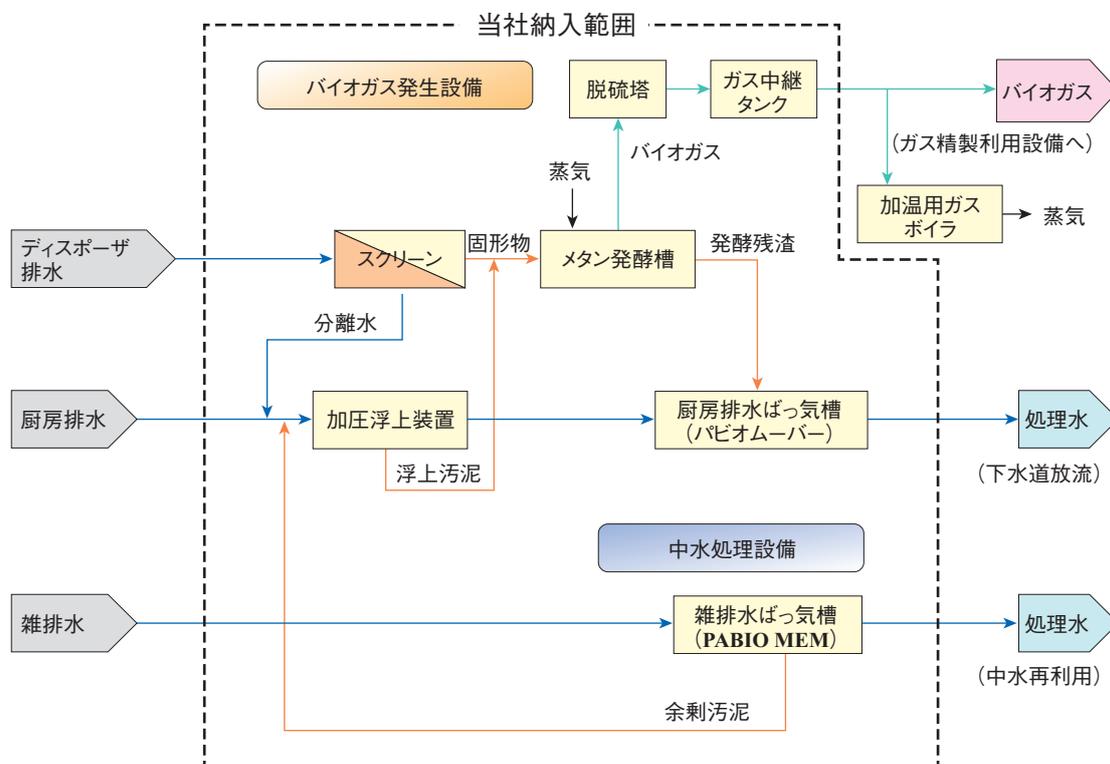


図2 処理フロー

低溶出ガラス「#9500」

ガラスライニング（GL）機器は耐食性が求められる石油化学，医薬品等の生産プロセスで長年にわたり多数使用されてきました。また近年，半導体製造プロセスで使用されるレジスト・封止材・CMP スラリなどの電子材料の生産プロセスにも数多く使用されるようになっていきます。

しかし現在，この電子材料分野では，半導体回路の微細化，高集積化に伴い，極微量の金属イオンのコンタミネーションが問題となっており，生産に使用される GL 機器に対しても，ガラスから溶出する金属イオンの低減が求められています。

このような金属イオン溶出の低減化要求に応え，当社では低溶出ガラス「#9500」を開発しました。「#9500」は，ガラスの組成をアルカリ金属を低減した配合に見直しを図ることによって耐食性を向上させ，金属イオンの溶出を低減したガラスです。

低溶出ガラス「#9500」の主な特長は以下のとおりです。

- ① 低溶出性（図 1）
 - ・ Na 溶出量を標準ガラス「#9000」の約1/10に低減
 - ・ Na, Li, Ca 以外の金属イオン溶出は検出限界以下
- ② 高耐食性（表 1）
 - ・ 耐水性は標準ガラスの 3 倍に向上
 - ・ 耐酸，耐アルカリ性は標準ガラスと同等

このような性能を備えた #9500 をご使用いただくことにより，GL 機器からの金属イオン溶出によるコンタミネーションを低減することが可能です。また耐食性も標準ガラスと同等以上であり，厳しい腐食環境下でご使用いただくことも可能です。

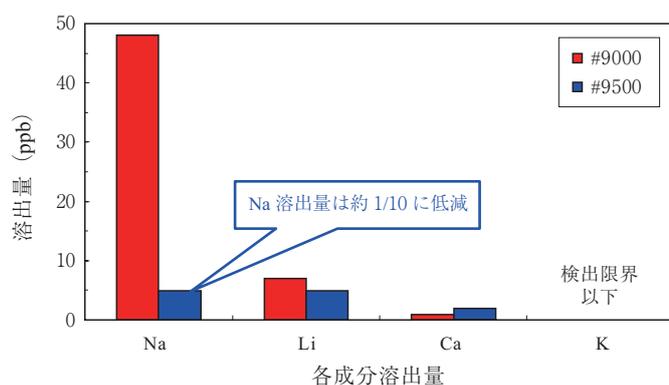


図 1 #9500の溶出性

表 1 #9500の耐食性

ガラス種類	耐食性 (標準ガラスの年間腐食率を 1として)		
	20% 塩酸	純水	4%水酸化 ナトリウム
#9000 (標準ガラス)	1	1	1
#9500	1	0.3	1

オンサイト型水電解式 小型水素発生装置「H₂ BOX」(水素ボックス)

当社はオンサイト型水電解式水素発生装置「HHOG」をパッケージ化した「水素サーバー」(1~10 Nm³/hr)を、高純度水素ガスを利用する各種工業分野に100台以上販売し、水と電気から安全で手軽に高純度の水素がオンサイトで得られることで評価を頂いてきました。

今回、研究開発機関等の実験室での高純度水素の使用を想定し、スペース上の制約がある、あるいは高圧ガスとしての水素ボンベの取扱いが困難なケースを視野に、設置面積比で60%、容積比で75%と大幅にダウンサイジングした新機種「H₂ BOX」を開発しました。

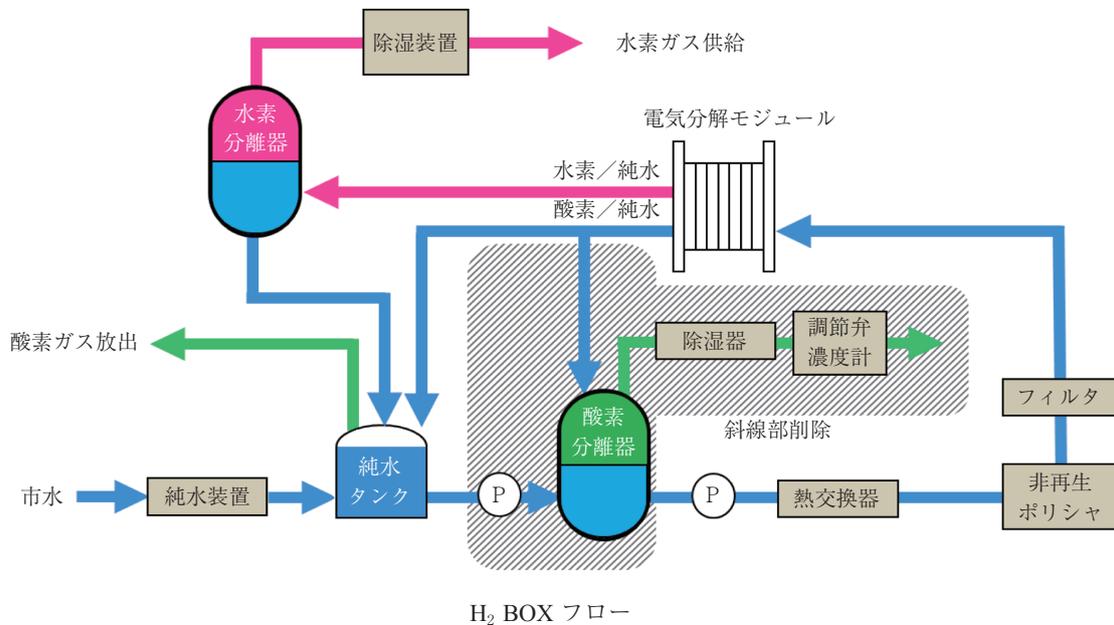
「H₂ BOX」の主な特長は以下のとおりです。

- ① 安全・手軽に高純度の水素ガスがオンサイトで得られる
- ② 水素ガスの発生量を使用量に応じて0—100%まで自動コントロール可能
- ③ 原料は水と電気のみでアルカリ等の薬品が不要
- ④ 圧縮機を使用せず0.7 MPaG、純度99.999%、大気圧露点-70℃の高純度水素が得られる
- ⑤ スタート、ストップが容易で負荷追従もきわめて早くボンベと同じ感覚で使用可能
- ⑥ コンパクトで軽量(幅600mm×奥行1000mm×高さ1260mm、約350kg(運転時))



H₂ BOX

水素サーバー



今後も各種工業分野におけるユーティリティとしての水素供給、研究・開発分野における水素供給に安全・手軽な「HHOG」を提案・拡販していくとともに、来たるべき水素利用社会に「HHOG」で貢献していきます。

「第9回 国際水素・燃料電池展 (FC EXPO)」

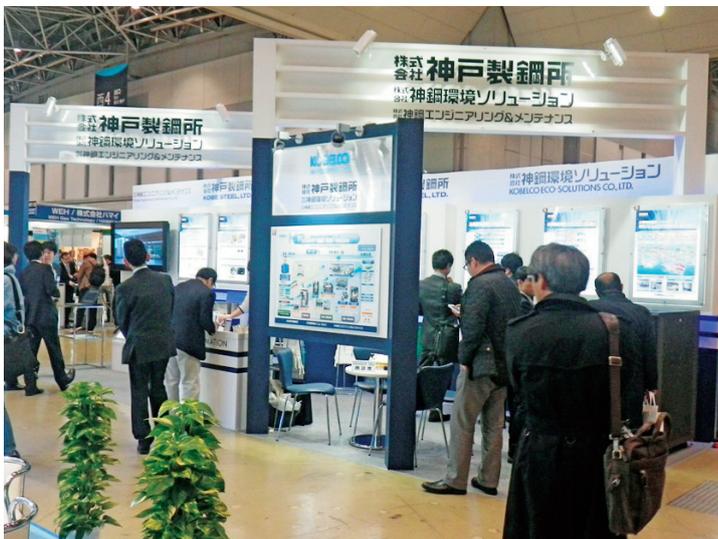
2013年2月27日から3月1日まで、東京ビッグサイトにて開催された「第9回 国際水素・燃料電池展」に高純度水素酸素発生装置「HHOG」を出展しました。本展示会は、燃料電池ならびにその周辺技術を含む国際総合展示会として、同時開催の太陽電池展や二次電池展などの関連技術の展示会とともに、スマートエネルギー Week 2013として開催され、この分野の展示会としては国内最大規模を誇っています。

さらに2015年からは、日本でもいよいよ燃料電池自動車の市販が本格化し、水素ステーションの整備が順次行われることから、本展示会も昨年以上に盛況でした。

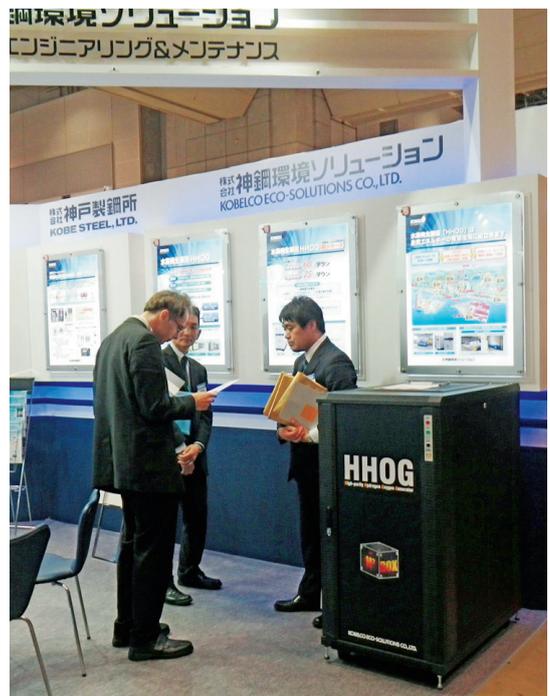
また今回は神戸製鋼所グループとして水素関連製品を纏めて出展したことにより、当社単独で出展した昨年度を上回る多くの方に来場頂き、水素関連分野での神戸製鋼所グループの存在感を実感しました。

今回当社はコンパクト型 HHOG の新製品「H₂ BOX」(水素ボックス)を実機展示するとともに、自然エネルギー(太陽光、小型水力)で発電した電力(変動電力)を水素として貯蔵し活用するシステムの実証事例や、水素ステーションへの納入事例をパネルにて紹介しました。

「H₂ BOX」は、これまでの HHOG に比べて大幅なダウンサイジングを実現し、筐体のデザインも従来の機種とは異なる趣きであることから、多くの来場者の方のご意見や問い合わせ、引合を頂くなど、新製品「H₂ BOX」への来場者の興味の深さを感じた展示会でした。



神戸製鋼所グループブース風景



「H₂ BOX」実機展示

デュッセルドルフ事務所の活動紹介

デュッセルドルフ事務所は2010年1月に開設し、欧州における情報収集・発信拠点および「Waste to Energy」案件を中心とするマーケティングを行うことからスタートしました。その後、2011年3月に2名増員し、当社の認知度向上および環境先進地域である欧州の関連技術収集のための活動を強化し、①新規メニュー・事業創出、②既存事業競争力強化のためのパートナー発掘、③欧州先進技術の導入、ベンダ発掘、④欧州環境ビジネス情報の収集・発信に努めています。

デュッセルドルフ事務所では上記活動を通じて、海外で通用する人材への成長の場、欧州の人脈形成の場としての役割を持ちつつ、

- ・日本で開発した当社技術を世界へ
- ・欧州パートナーと共同研究開発した技術を世界へ
- ・欧州パートナーと構築したビジネスモデルを展開して世界へ

を当社が実現するための拠点となることを目指し、日本の関連事業部、センターと密接な連携をとって活動



ライン川からのデュッセルドルフ市遠景



事務所ビル外観



事務所受付



事務所内

しています。欧州の大学、研究機関では環境・エネルギー関連の様々な研究が行われており、その基礎的な研究成果と当社の所有するエンジニアリング能力と合わせて協業することで早期の商業化・事業化の実現を目指しています。

これまでの具体的活動は以下のとおりです。

- ・当社ガス化技術の欧州参入のための市場調査活動
- ・欧州のガス化技術、付帯設備技術に関する情報収集
- ・VTT Technical Research Center（フィンランド）との新技術共同開発テーマ探索協議開始（2013年3月新聞発表）
- ・欧州内各種展示会出展および展示会・カンファレンスでの情報収集
- ・メーカー、大学、研究機関との情報交換、協業
- ・バイオマスガス化発電の欧州実証実験支援

デュッセルドルフ事務所概要

住 所 Berliner Allee 55, 40212 Düsseldorf, Germany
 （神戸製鋼所と同じフロア、神商ヨーロッパと同じビル）

活動範囲 欧州全域

駐在員数 3名

デュッセルドルフ市概要

デュッセルドルフ市は古くから工業地帯として栄えたドイツ北西部のラインルール地域のノルトライン＝ヴェストファーレン（NRW）州の州都で、600社を超える日本企業が活動しており、家族を含め約6,000人の日本人が生活しており、日本人学校、日本語の通じる医療機関、理美容室、日本食品スーパー、和食レストラン等日本人のための生活インフラが充実しています。また、人口が約60万人の中規模都市であり、事務所、家からの空港へのアクセスも20分以内で、欧州内主要都市へのフライトも2時間以内と欧州内での出張に便利なビジネス環境にあります。



デュッセルドルフの位置（出典：デュッセルドルフ国際空港資料）