



神鋼環境ソリューション **技報**

Vol.15 No.2 (通巻30号)

KOBELCO ECO-SOLUTIONS ENGINEERING REPORTS

目次	CONTENTS
1 <巻頭言> こころ豊かな社会と環境価値の創造	
2 新たに提供できる環境関連技術の紹介	Newly added Environmental Technologies and Products
9 甲府・峡東クリーンセンター 流動床式ガス化溶融炉の安定稼働実績	Stable operation record for Gasification and Melting furnace in Kofu-Kyoto Waste to Energy Plant
14 安芸クリーンセンター基幹的設備改良工事による 機能改善	Functional improvement of Revamping Work at Aki Clean Center
20 本山浄水場での MF 膜モジュールの 新規薬品洗浄法の検討と膜の長寿命化実証	Study of Combined Chemical Cleaning and Verification of Life Time Extension for Micro-Filtration Membrane Module of Motoyama Drinking Water Treatment Plant
25 トリハロメタン低減を目的とした U-BCF [®] の 運用事例	An Operation Case of U-BCF [®] to Reduce Trihalomethane
33 攪拌式凍結乾燥機の開発	Development of Mixer-type Freeze Dryers
38 TOPICS	
40 施設・技術紹介	

こころ豊かな社会と環境価値の創造



東北大学大学院環境科学研究科 教授
廃棄物資源循環学会 会長

吉岡 敏明

Toshiaki Yoshioka

地球規模での温暖化・エネルギー問題、自然環境の劣化や資源の供給リスクといった課題が我々の生活の脅威となっています。持続可能な社会の実現に向けては、低酸素社会、自然共生社会や循環型社会の実現が不可欠であることは、もはや多くの人の共通認識となっていることは言うまでもありません。国内的にも国際的にもこれまで多くの取組みが進められてきましたが、問題解決には未だに大きな壁があると言えましょう。環境に対する価値観や何を社会課題と捉えるかという認識が、人や国、生活環境によって異なっているため、持続可能な地球環境と従来の価値観に基づく“豊かな”人間社会の理想像が分断されていることも大きな要因となっています。例えば地球温暖化問題は、問題の大きさに比べて、対策の在り方や解決の思考が近視眼的になり、経済的・社会的な利害関係の側面からの対策に終始する小ぶりの思考に陥っているのではないのでしょうか。持続可能な地球環境と心豊かな人間社会という理想を統一的に結像させるには、暮らし方や社会の在り方に関する価値観の大変革が必要となります。また、地域で醸成されてきた固有な文化をも強力かつ有効な指標として捉え直し、地球環境と共生できる心豊かな人間生活の基盤となる「新しい環境価値観」創造を中心的な目標として持続可能な社会への確かな道筋が必要となります。そのためには、新たな価値観の創造が必要です。

蓄積された高度な研究や技術成果を社会に役立てるため、提供者や享受者の「知る価値」としてのインターフェース機能を社会に成熟させねばなりません。現状では社会・経済活動の外側にある自然資本が、資源の再生可能性資本として価値評価に組込む仕組みを構築し、かつ人々の認識を変革する必要もあるでしょう。エネルギーにおいても、量的価値、質的価値や時間応答性というこれまでの価値基準に社会受容性という人々の受入れ方に関わる基地基準を加えたエネルギー価値を創生することも必要になってきます。

我々は、研究や技術の成果を社会実装する過程で浮かび上がって来る諸問題を現実的側面と科学に求められる社会的使命の両面から捉え直し、新たな環境価値を求め、それを社会实践として少しでも早く具現化する時期に来てしまったといえましょう。

新たに提供できる環境関連技術の紹介

Newly added Environmental Technologies and Products



成澤道則*
Michinori Narisawa

現在廃棄物焼却炉は、焼却工程で排出される焼却灰中に熱灼減量として残存する未燃分を除いて、廃棄物の持つ化学的なエネルギーを約99%の燃焼効率で熱エネルギーへ変換できる高効率な燃焼装置となっている。国内では様々な廃棄物が排出されているが、一般廃棄物の場合、1年間で焼却処理される量は、熱量換算で天然ガス生産量の約2.6倍に相当する。天然ガスは国内消費量の97.6%が輸入され、廃棄物は100%国内で確保されている自給エネルギー資源であるが、“廃棄物燃料”という言葉は使われない。廃棄物は化石燃料と比較すると燃焼ガス中に腐食性ガスが混合しているなど同様に扱うことはできない厄介な燃料であり、燃料利用対象として軽視されるのはやむを得ない。しかし、地球温暖化対策としてのCO₂削減や低水準で推移するエネルギー自給率向上のためには、この扱いにくい燃料である廃棄物の高効率利用はますます重要になってくる。当社は流動層技術を基盤として、ガス化溶融技術とガス化燃焼技術を確立し、廃棄物のみならず木質バイオマスを燃料とした発電所へその技術を適用し、高効率発電普及への貢献も社会的使命と位置付けている。当社は2019年1月1日より、株式会社IHIのグループ会社で廃棄物処理関連の事業領域を担当してきた株式会社IHI環境エンジニアリング(IKE)と事業統合した。IKEの保有技術を引継ぎ、技術を融合させることで、両社が得意とする技術分野をさらに充実させ、両社が補完し合うことで競争力を強化する体制を構築した。本稿では新たに当社の製品メニューとなったIKEの技術について紹介する。

Presently, excluding combustible matter in ash that remains after the incineration process, the chemical energy of waste can be converted into thermal energy with combustion efficiency of 99% in highly efficient waste incinerators. There are many types of waste produced in Japan but, for general waste, the amount of heat generated in one year by incineration is approximately equivalent to 2.6 times the amount of natural gas produced in Japan. 97.6% of natural gas consumed in Japan is imported. Although domestic waste is a self-supplied energy resource, the word “waste fuel” is not used. When comparing waste with fossil fuels, gas produced through waste incineration contains corrosive elements so it cannot be used the same way, which has caused the opinion of waste produced gas as energy to be low. As a countermeasure for global warming, in order to achieve reduction in CO₂ concentration within the atmosphere and the improvement of the currently low rate of self-sufficiency energy, waste will become a further important energy source. We are applying the gasified ash melting furnace and the gasified combustion furnace with fluidized bed combustion to waste and the biomass-fired power boilers to contribute to the dissemination of highly efficient energy as, one of our important missions. As of January 1st, 2019, IHI Environment Co., Ltd. (IKE), which had supplied products related to waste disposal in IHI, has merged with us. By inheriting the technologies of IKE and merging them with ours, we can improve our technological specialties and complement each other to improve competitiveness. This paper describes our new environmental products and technologies of IKE.

Key Words :

回転ストーカ式焼却炉
ドラム缶破碎混合輸送装置
小規模分散型熱利用装置
粉体燃料供給装置
配管洗浄剤

Rotary stoker type incinerator
Drum Shredding-Mixing-Pumping system
Water heater for distributed small scale
Pulverized fuel injection system
Plant derived scale solvent

まえがき

機械の省エネや高効率化が世の中に浸透し、低炭素燃料への代替など根本からCO₂削減を狙った低炭素化も進められているが、国連環境開発会議（地球サミット）が開催されてから四半世紀が経過した2015年には世界の大気平均CO₂濃度はいよいよ400 ppmを超え¹⁾、増加のスピードは減速するどころか若干速まっているように見える。一方、太陽から受ける地球のエネルギー収支として、地表や大気に残るエネルギーは、入射エネルギーの内わずか0.17%との結果²⁾もありCO₂濃度増加と温暖化への影響については、議論の余地がある。しかしこのような大気中CO₂濃度の変化は、温暖化など大気環境への影響に止まらず、海洋酸性化や長い年月を掛けた地球規模の循環により海洋環境への影響も懸念されている³⁾。CO₂対策は、排出量削減だけではなく、積極的に回収、利用するなど濃度削減を進めるべき岐路に立っている。

こうした社会的な背景から、SDGsへの取り組みやESG投資への動向が注目され、国内では石炭火力の新設計画停止や化石燃料からバイオマス燃料への転換もCO₂削減策として選択されるケースも見られる⁴⁾。大規模なバイオマス燃料利用の発電所では、燃料を国内で全て確保できず海外から輸入している場合もあり、国内に存在するバイオマス燃料を十分活用して、低水準のエネルギー自給率⁵⁾を向上させることも依然として課題となっている。

廃棄物は価値が無いものとして生活環境保全の目的で焼却などの方法で処理されるが、燃やせば熱を発生し決して良質な燃料ではないものの、使い方によっては国内で確保できる貴重なエネルギー資源である。平成28年度実績で、一年間に国内で排出される一般廃棄物の量は4100万tである。その内80%に相当する3294万tが直接焼却処理されている⁶⁾。廃棄物の低位発熱量を8.5 MJ/kgに見積もると、焼却工程で発生する熱量は約280 PJ/年となる。参考として国内で生産される天然ガス量は28億 m³⁷⁾で、消

費量の2.4%に相当する。天然ガスの低位発熱量を38.3 MJ/m³⁸⁾とすると107 PJ/年となり、一般廃棄物は天然ガス生産量の約2.6倍の熱量を有していることになる。発電利用を考えた場合、廃棄物燃焼は燃焼ガス中に腐食性ガスを含むため発電効率が低いと言う欠点はあるが、国内に存在するエネルギー資源としての十分なポテンシャルはある。

SDGsについて機械学会としてもっとも取り組むべきテーマについてアンケートを行っている⁹⁾。集計によればもっとも関心が高かったのは「NO.9産業と技術革新の基盤を作ろう」で33%、続いて「NO.7エネルギーをみんなにそしてクリーンに」で17%となっている。廃棄物処理場は、自国で発生する廃棄物を適正に処理することによって生活環境を清潔に維持するだけでなく、産業活動の最終工程を担い産業の基盤を支える役割を果たしている。また焼却処理工程で発生する熱エネルギーを適正に活用することで電気や熱を周囲へ面的に供給する役割も担っている。正に関心が高いSDGsへの具体的な取り組みと言える。このような廃棄物処理場に対する処理拠点とエネルギー供給拠点の役割に加え、最近では多発する豪雨などの災害対策の観点から、防災拠点としての役割も期待されている。今後は直面しているエネルギー問題や環境問題への対応として、廃棄物処理施設に対する期待や役割は高まるものと考えられる。廃棄物から利用可能なエネルギーへの変換効率の向上やLCCの低減に関わる技術開発、さらに少子高齢化への対応からさらなる省力化の技術開発も進めて行かねばならない。こうした中2019年1月1日より当社は株式会社IHI環境エンジニアリング(IKE)と事業統合し、IKEの保有する技術は当社で受継がれることになった。これまで当社が得意として来た流動層炉関連の技術とIKEが保有するストーカ技術、また両社が培ってきた施設の維持管理などサービス事業を有機的に融合することで、高度化する廃棄物処理技術と施設の長期的な安定操業維持へ対応する。本稿ではIKEの保有する廃棄物関連の技術と、

オープンイノベーションにより専門技術を有する他社と協力して開発を進め実用化ステージにある周辺技術についても紹介する。

1. 新たな製品メニュー

1.1 回転ストーカ式焼却炉

IKEは当社と同様に流動層炉専門メーカーと言われて久しいが¹⁰⁾、1977年の初号機以降、独自の回転ストーカ式焼却炉も手掛けている。その堅牢な構造を特長として、一般廃棄物だけでなく産業廃棄物の焼却処理分野や海外でもその技術は活かされている。回転ストーカ式焼却炉は、円筒を横置きにした構造で、鋼製の水管とフィン状の板を交互に溶接により接合して円筒炉壁を構成する。主燃焼領域の炉壁に耐火物を使用しないことが特長である。炉壁を構成する水管には、図1に示すように高温（約250℃）のボイラ水を循環させる。回転ストーカ式焼却炉は単独で強制循環ボイラとして機能し、燃焼熱量の10～20%を収熱し蒸気を発生することができる。ボイラ水循環構造により炉壁は一定の温度に保たれ、低温腐食（約150℃以下）と高温腐食環境（約350℃以上）から保護される。これが廃棄物焼却工程の厳しい腐食環境下でメンテフリーの鋼製炉壁を実現する原理である。炉壁をボイラ水管で構成する利点は、腐食対応だけではなく幅広い廃棄物の性状に適応することにも役立っている。廃プラの混合割合が多いなど発熱量が高い廃棄物を焼却する場合は、火炎からの輻射伝熱が高い一次燃焼領域において炉壁が収熱することで、水噴霧冷却などの手段を用いることなく燃焼温度の平準化が行われる。逆にピット底のように発熱量が低い廃棄物进行处理する場合は、火格子である炉壁の過加熱を心配することなく高温の予熱空気を導入して、積極的に乾燥を行うことができる。

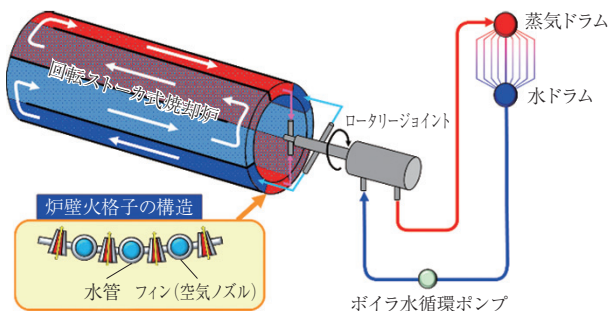


図1 回転ストーカ式焼却炉のボイラ循環水系統 (2胴式の例)

円筒炉壁の下部には、中心軸方向と円周方向にそれぞれ複数に分割された風箱が配置されている。風箱に供給された燃焼空気は、炉壁を構成する板に開けられた無数の空気孔から炉内へ導入され、回転する炉壁が火格子の役割をすることから回転ストーカ式と呼ばれている。図2は国内最大級（φ3.6 m）の回転ストーカ式焼却炉が現地へ搬入された状況である。

図3に回転ストーカ式焼却炉を一次燃焼装置に採用した場合の排熱ボイラ付き焼却炉を示す。廃棄物はプッシュ式の給じん装置によって炉内へ供給され、上流から下流に向かってなだらかな斜面となる廃棄物層を形成する。炉内へ供給された廃棄物は、1時間に1回転程のゆっくりとした炉壁の回転によって下流へ送られ、給じん装置側となる上流側から乾燥、熱分解、一次燃焼が順次進行するマス燃焼が



図2 回転ストーカ式焼却炉搬入状況

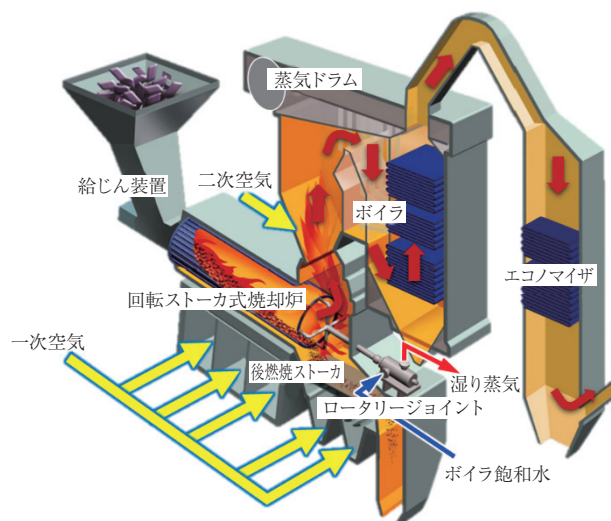


図3 回転ストーカ式焼却炉

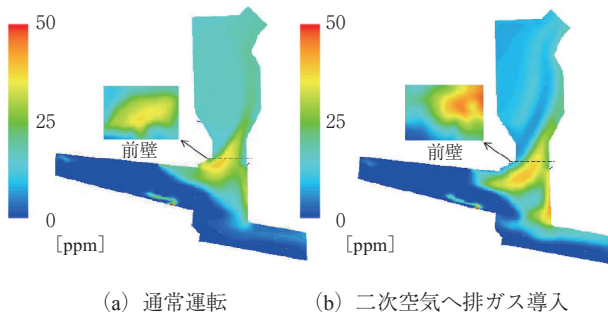


図4 排ガス再循環によるNO濃度への影響

行われる。高温の一次燃焼領域を円筒炉の最下流側に形成することで、上流の乾燥、熱分解領域から排出される水分、熱分解ガス、さらに余剰の空気は一次燃焼領域を通過する過程で速やかに混合燃焼するため、余剰空気の少ない低空気比燃焼が行われる。廃棄物燃焼の場合、もっとも排気ガス滞留時間の長い燃焼領域となる二次燃焼室の雰囲気温度は900℃程度である。そのためNO_x排出量におよぼすサーマルNO_xの寄与は小さく、ほとんど廃棄物中窒素起源のフューエルNO_xである。一次燃焼領域での低空気比燃焼は、排ガス量の低減によるボイラ効率の向上以外にも、燃料中窒素分の酸化を抑制し、低NO_x化へ効果的に作用する。図4は通常運転（空気比1.5）と二次空気供給位置へ排ガスを導入した場合（空気比1.3）のNO濃度の燃焼解析結果である。いずれの条件でも回転ストーカ炉内でのNO生成は低く、低NO_x燃焼が行われている。二次空気供給位置で生成されるNOについても排ガス循環により低NO_x化が図られ、二次燃焼室内のNO濃度は低減していることがわかる。

回転ストーカ式焼却炉の燃焼機構は、回転による廃棄物の送りと、廃棄物層への適切な燃焼空気の導入で制御される。きわめて単純な燃焼機構を採用していることから、運転が容易なことも特長であるが、早くから高度化された燃焼制御を取入れており¹¹⁾、安定した廃棄物発電の実現や省力化が図られている。

近年急速に普及が進むIoT技術を活用したプラントの遠隔監視・運転支援システムの運用も開始している¹²⁾。本システムは、各施設で運用されている中央制御システムをモニタ監視できる機能を、図5に示すように遠隔地である監視拠点（例えば、本社）に設ける。現場と監視拠点間で、運転データ、画像を共有することで、遠隔地でも運転状態を速やかに把握でき強力に運転支援することが可能となった。本システムの特長としてプラント診断・故障予測機



図5 遠隔監視室の様子

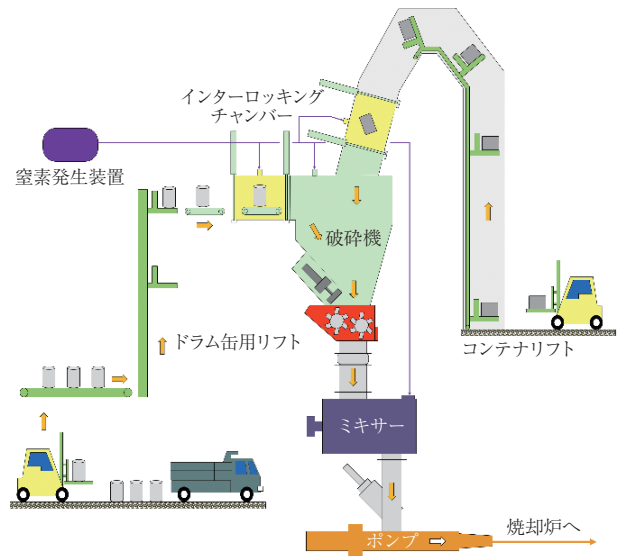


図6 ドラム缶破碎システム

能を有し、様々な運転データから通常時と異なる状況を見出し故障予防することは、計画的な操業の支援に有効である。今後はさらにデータを蓄積し予測機能を充実させていく。

1.2 ドラム缶破碎システム

産業廃棄物処理場においては、排出形態として比較的ドラム缶が多く、ドラム缶廃棄物の処理工程における安全性の確保と省力化が課題であった。ドラム缶廃棄物は性状が多岐に渡るだけでなく、時には上面が蓋になっているオープンドラム缶で天地を反転しても内容物が排出されず手間がかかるなど、可燃性で取扱いに注意が必要な場合がある。このようなドラム缶廃棄物を焼却炉へ供給する前に、安全に破碎混合し焼却炉へ供給する前処理装置が、ドラム缶破碎システムである。

本装置は図6に示すように、破碎機、ミキサーおよびピストンポンプの主要機器から構成されてい

る。本装置では器内に窒素を供給することにより、酸素濃度の低い可燃限界以下の雰囲気中で、内容物入りのドラム缶を処理することを特長としている。低酸素雰囲気の器内と大気は、破碎機入口に設けられた二重ゲート式のインターロッキングチャンバーで仕切られている。破碎機にはこのほか、一斗缶やペール缶、建設廃棄物などのバラ物も供給できるように別系統でインターロッキングチャンバーが装備されている。大気環境で待機中のドラム缶は、ローラコンベヤによりインターロッキングチャンバー内へ送られ、チャンバー内へ窒素を供給することで、破碎機内と同様の低酸素雰囲気が形成されると、破碎機へ移動する。破碎機へ導入されたドラム缶は、低酸素雰囲気で内容物入りのまま細かく破碎処理される。様々な性状からなる破碎物は後段のミキサーで混合され、ピストンポンプによって配管を通過して炉内へ供給される。ミキサー内での性状を均一に保つことが、後段のピストンポンプによる輸送工程の安定性に影響する。試運転当初は、破碎されたドラム缶片と内容物が分離する輸送不適現象を招くこともあったが、現在は安定輸送が可能となっている。ミキサー内の混合物の輸送性の指標として、ミキサー攪拌機の動力とミキサー重量から算出されるミキサー係数を独自に導入し、長距離輸送と安定操業を実現させている。長距離輸送が可能になったことで、既設の焼却設備において、利用可能な空間へ併設することができる。このような装置の特長が評価され、現在は国内の3施設で稼働を続けている。この内2施設は既設の焼却設備へ後付けで併設されている。図7は本システムの全景であり、写真手前はドラム缶が待機しているローラコンベヤである。

1.3 小規模分散型熱利用装置

平成22年12月にバイオマス活用の推進を図るため政府によって策定された「バイオマス活用推進基本計画」は、5年後の平成28年9月に見直しされている¹³⁾。廃棄物系バイオマスの中で農作物非食用部であるもみ殻や稲わらは、年間の発生量は林地残材よりも多いが、5年間の内ですき込みを除いた利用率が30%から32%とほとんど進んでいないことが明らかになっている。これらの農業廃棄物系バイオマスは、身近に存在する物であり、燃料として有効活用できれば化石燃料使用量の削減と地産地消によるエネルギー自給に繋がる。しかしもみ殻を例にしてバイオマス排出側の状況を見ると、これらは広大な土地から広く分散して発生している。もみ殻は比重も軽い大量使用に当たっては輸送システムの整備

も課題となり、現状では少量利用が現実的である。温浴施設やハウス加温など身近な熱需要側から見ると、熱出力の小さい化石燃料を利用した小型燃焼装置が多く利用されている。このような農業廃棄物系バイオマス資源の排出側と熱需要側を満足させる装置として、バイオマス資源を粉体燃料化しバーナ燃焼可能な小規模分散型の熱利用装置(KoCona-Series)をラサ工業株式会社と開発した。図8は、農業ハウスへ設置した小型熱利用装置の実証試験時の様子である。

もみ殻などのバイオマス燃料は、小型の粉碎機で粉碎し粉体燃料とする。粉体化することで比重は3倍となり輸送・貯蔵性が改善し、燃焼性も飛躍的に向上する。もみ殻は揮発分が多く、粉体化されることで炉床が不要なバーナ燃焼を実現し、従来の小型燃焼装置において液体燃料からバイオマス燃料への



図7 ドラム缶破碎システム全景

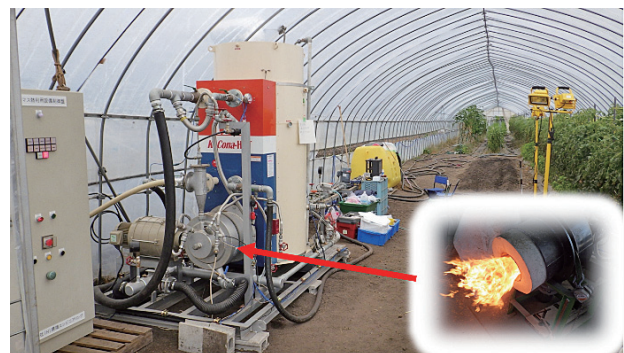


図8 小規模分散型熱利用装置 (KoCona-HOT)

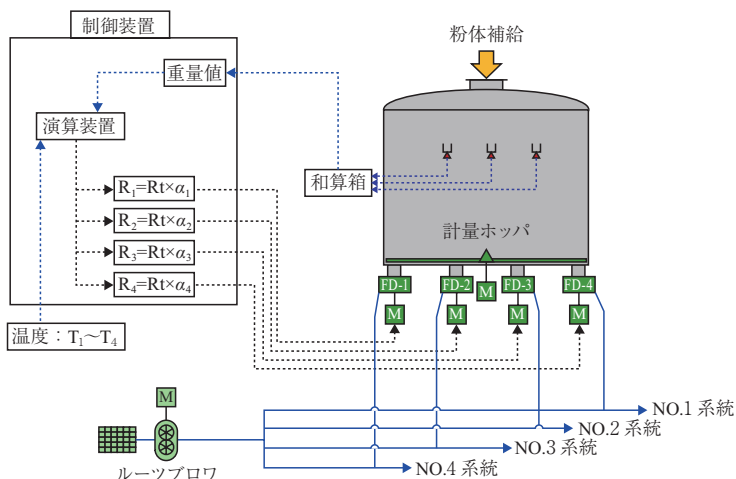


図9 粉体燃料供給装置



図10 粉体廃プラ燃料（プラコール）

転換が可能となった。小型の燃焼装置へ利用されている液体や気体の化石燃料とバイオマス燃料との大きな違いは、燃焼後に灰が排出されることである。もみ殻はバイオマス資源の中でも灰分割が高く、20%にもなる。もみ殻燃焼灰の主成分は、 SiO_2 である。もみ殻灰中 SiO_2 は、燃焼環境下で長時間高温に保たれると呼吸器への障害が懸念されているクリストバライトへ結晶化されることが明らかになっている。もみ殻を燃焼利用する場合には、燃焼灰の非結晶化対策も課題となるが、本装置では、粉体燃料を燃焼させることでこの課題を解決している。本装置では煙管式温水発生装置の入口でバーナ燃焼を行い、バーナから噴出する燃焼ガスは燃焼灰を含んだ状態で煙管内にて急速冷却される。バーナによる急速燃焼とボイラでの急速冷却により、高温保持時間を短くすることで SiO_2 の結晶化が回避される。非結晶質の燃焼灰は、融雪剤として利用できるだけでなく、多孔質性を活かして土壌への混合など農業資材としても利用可能である。この熱利用装置は、農業ハウスでの実証試験を経て現在販売を開始し、東北地方の温浴施設への導入を予定している。

新たな農業廃棄物系バイオマス資源への適用拡大として、アグリル株式会社も加わり、採卵鶏糞の燃料化も進めている。採卵鶏糞は粉体化しても、もみ殻と燃料性状が異なり固定炭素が多く、同様なバーナでは燃焼することはできない。現在流動層付きの新型バーナの開発を行い、採卵鶏糞の燃料化も可能となっている。今後は本技術による小規模発電や空調利用など熱の多目的利用への要望に応えたいと考えている。

1.4 粉体燃料供給システム

多量の熱を消費する各種製造装置では、燃料費削減のため固体燃料である石炭やコークスを微粉化して利用される場合がある。大型の燃焼装置では、複数の系統から燃料が供給される。時々刻々と変化する炉内状況に応じて、燃焼炉として必要な総熱量を保ちながら系統毎に燃料供給量を制御する必要がある。固体燃料の場合は、制御弁などの摩耗により、液体や気体燃料のように系統毎に個別の流量制御をすることは難しい。本システムでは一つのホッパに複数台の定量供給機を取付け、ホッパ重量の変化量から供給量を算出し、燃焼炉として必要な燃料供給の総量は供給機の回転数 (Rt) を操作することで制御する。各供給機の操作入力値には、炉内温度などの運転指標を基に炉況に応じた重み付け係数 (α_i) を Rt に乗じることで、系統毎に供給量を変化させることが可能となる。本制御機構を組込んだ粉体燃料供給システムのフローを図9に示す。本システムは、大型の焼成炉で粉体オイルコークスの供給装置として利用されている。

粉体燃料関連では、固体燃料 (RPF) を製造する株式会社関商店とともに、廃プラ原料から高品位の粉体廃プラ燃料 (プラコール[®]) の製造と熱利用技術開発に取り組んでいる。図10に示すプラコールは粒径1.5 mm 以下、低位発熱量38 MJ/kg の粉体燃料である。焼却炉の二次燃焼室において空間燃焼が可能で、廃液を燃焼させる際のA重油等の代替となることが確認されている。国内で生産される高品位の廃棄物燃料として、燃料多消費産業での燃料コスト削減に貢献してまいりたい。

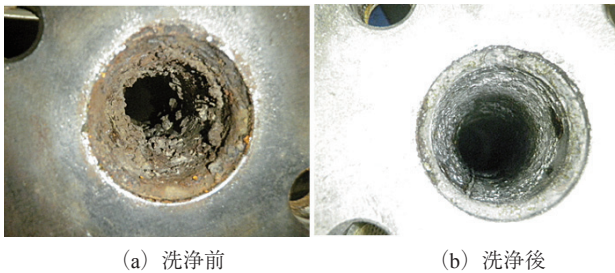


図11 配管洗浄剤の効果

1.5 配管洗浄液

各種工場や製造プラントの機器冷却水は、薬剤によって水質管理されているが、経年的にスケールや錆が冷却水配管内に付着成長することがある。配管付着物は、希釈塩酸水などの薬剤で除去されるが、古い設備では除去作業中に薬剤が漏洩する恐れもあり、周辺の立入制限や機械を停止させるなど対策が必要となる。

当社で扱っている配管洗浄・溶解剤（Batten）はpH1.6程度の強い酸性を示すが、植物由来の成分で構成された安全な液である。塩酸のような強い反応で短時間にスケールを根こそぎ除去する訳ではなく、穏やかにスケールを溶解除去するため塩酸除去よりも作業時間は掛るが、スケール除去作業中に万が一漏洩しても周囲が汚染されることがなく、安全に作業を進めることができる。当社では、熱負荷の高い冷却装置などの冷却水流路洗浄に活用している。図11の配管洗浄例から、スケールが除去されていることが確認できる。

むすび

現在、廃棄物の焼却処理は、安定操業を実現し我々の生活や産業活動を底辺から支えており、その意味で成熟した技術と言える。成熟技術の中でも、近く到来する少子高齢化による労働力不足への対応として省力化の技術開発はもちろんのこと、廃棄物を処理しながら全て資源として有効活用する究極の廃棄物処理技術も夢から現実へ近づけたいと考えている。1990年～2005年に稼働開始した焼却炉の調査によれば¹⁴⁾、当社の占める国内シェアは件数別と処

理能力別でそれぞれ5%と4%である。IKEとの統合後は件数別で8%、処理能力別で7%となり、文献記載23社の内7番目の位置から新たにスタートすることになるが、さらに社会から必要とされる企業へと成長することで統合効果を証明してまいりたい。本稿での技術紹介が読者の皆様の興味を掻き立て当社への期待となり、ともにイノベーションを創出し新たに社会貢献できる技術や製品を提供し続けるパートナーとして相応しいと評価頂けるように果敢にチャレンジしていく所存である。これまで同様、新生、株式会社神鋼環境ソリューションへご愛顧を賜れば幸いである。

[参考文献]

- 1) 気象庁：地球全体の二酸化炭素の経年変化，
https://ds.data.jma.go.jp/ghg/kanshi/ghgp/co2_trend.html
- 2) NASA：The New 2016 Revision 7 Earth'S Energy Budget Lithograph.
- 3) 木元克典：海洋酸性化と生物影響，日本機械学会誌，Vol.121，No.1199，2018，p.18.
- 4) THE SANKEI NEWS: 石炭火力の撤退加速 強まる「訴訟リスク」
<https://www.sankei.com/west/news/181013/wst1810130006-n2.html>.
- 5) 資源エネルギー庁：国内エネルギー動向，エネルギー白書2018，p.136.
- 6) 環境省：一般廃棄物の排出及び処理状況等（平成28年度）について。
- 7) 資源エネルギー庁：国内エネルギー動向，エネルギー白書2018，p.152.
- 8) 環境省：平成12年9月環境庁温室効果ガス排出量算定方法検討会資料・燃料報告書。
- 9) 日本機械学会：JSME Graphics，日本機械学会誌，Vol.121，No.1199，2018，p.9.
- 10) 環境施設：大手ストーカ炉メーカー流動床炉に進出，NO.57，1994，p.20.
- 11) 石森敬三，木通秀樹，斎藤俊明，成澤道則：石川島播磨技報，回転ストーカ炉のインテリジェント制御，NO.40-6，2000，p.315.
- 12) 富浜宗三，坪谷徹史，小寺宏和，奥野輝幸，小林淳，中森慎太郎：プラント運転監視・運転支援システムの運用と活用事例，第38回全国都市清掃研究・事例発表会講演論文集，p.67.
- 13) 農林水産省：バイオマス活用推進基本計画，平成28年9月。
- 14) 環境施設：焼却炉，7万トンの老朽化対策を追い更新・新設，基幹改良工事・延命化工事で4万トン超，NO.153，2018.9，p.34.

甲府・峡東クリーンセンター 流動床式ガス化溶融炉の安定稼働実績

Stable operation record for Gasification and Melting furnace in Kofu-Kyoto
Waste to Energy Plant



山下康貴*
Koki Yamashita



島 孝一**
Koichi Shima



平井恭兵***
Kyohei Hirai



梅村禄朗****
Rokuro Umemura

甲府・峡東クリーンセンターは平成29年3月に竣工し、運営開始以降安定した稼働を継続している。発電効率は国内最高水準である22.8%を達成し、2018年5月から11月の期間において163日の長期連続運転を達成した。

Kofu-Kyoto Waste to Energy Plant was completed in March 2017 and it has continued stable operation. The power energy conversion efficiency has achieved the highest standard in Japan at 22.8%. From May to November of 2018, the facility achieved 163 days of stable continuous operation.

Key Words :

都 市 ご み	Municipal solid waste (MSW)
ガ ス 化 溶 融 炉	Gasification and melting furnace
高 効 率 発 電	High efficiency power generation
ごみ処理発電施設	Waste to Energy (WtE) plant
安 定 連 続 運 転	Stable continuous operation

【セールスポイント】

- ・都市ごみを処理するガス化溶融施設において、溶融炉のボイラ構造などの最新設備を導入することで、国内最高水準である発電効率22.8%を達成した。
また、163日の安定した長期連続運転を達成した。

ま え が き

甲府・峡東クリーンセンターは、甲府・峡東地域ごみ処理施設事務組合の構成4市（甲府市、笛吹市、山梨市、甲州市）から発生するごみの処理を担う施設として平成29年3月に竣工した。本施設は、エネルギー棟（流動床式ガス化溶融炉、123 t/d × 3炉）およびリサイクル棟（破砕36 t/d、選別31 t/d、保管22 t/d）で構成されている。エネルギー棟は、

高効率ごみ発電施設整備マニュアル（平成21年3月）に記載された発電高効率化の種々の施策を取入れ、国内最高水準の発電効率を達成した。平成29年4月の運営開始後速やかに全系列とも90日以上連続運転を達成し、順調に稼働している¹⁾。加えて、2018年5月末から11月初旬まで163日の長期連続運転を実施した²⁾。本報ではその安定稼働状況について報告する。

1. 甲府・峡東クリーンセンターの施設概要

1.1 エネルギー棟

施設概要を表1に、エネルギー棟の処理フローを図1に示す。本施設は、流動床式ガス化溶融炉を採用しており、ガス化炉で発生した熱分解ガスを溶融炉で高温燃焼させるとともに、飛灰を溶融してスラグとして回収している。

また、「ボイラ構造の溶融炉」、「低温エコマイザ」を採用することによる熱回収量の最大化、「高効率乾式排ガス処理」、「低温触媒」による蒸気の効率的な利用に加え、「高温高圧ボイラ」、「二段式抽気復水タービン」によるシステム効率の向上を組合わせた国内最高水準の高効率発電施設（発電効率：22.8%、3炉基準ごみ時において）である。

さらに、流動床式ガス化溶融炉の持つ助燃料を使用せず多種多様なごみを処理可能という特長を生かして、し尿汚泥や隣接するリサイクル棟から発生するリサイクル残渣の処置も行っているとともに、将来的には、掘起こしごみも処理する計画である。

さらに、流動床式ガス化溶融炉の持つ助燃料を使用せず多種多様なごみを処理可能という特長を生かして、し尿汚泥や隣接するリサイクル棟から発生するリサイクル残渣の処置も行っているとともに、将来的には、掘起こしごみも処理する計画である。

1.2 リサイクル棟

リサイクル棟の処理フローを図2に示す。リサイクル棟は、破碎（36 t/d）、選別（31 t/d）、保管（22 t/d）の三設備で構成され、破碎設備：2ライン、2品目（不燃ごみ、不燃粗大ごみ）、選別設備：5ライン、8品目（缶、びん、ペットボトル、ミックスペーパー、プラスチック製容器包装、白色トレイ、紙製容器包装、有害再生物）、保管設備：7品目（新聞、雑誌、布類等）と、多様な対象物の処理、保管を行っている。選別設備のうち、ペットボトルと白色トレイ、紙製容器包装とミックスペーパーは処理ラインを兼用しており、運転時間を変えて処理を行っている。

表1 施設概要

施設名称	甲府・峡東クリーンセンター
処理能力	369 t/d (123 t/d × 3 炉)
処理方式	流動床式ガス化溶融炉
受入供給設備	ピット & クレーン方式
燃焼ガス冷却設備	廃熱ボイラ方式 (蒸気条件: 4 MPa, 400 °C, 最大蒸発量: 16.7 t/h)
排ガス処理設備	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 定格: 7 700 kW

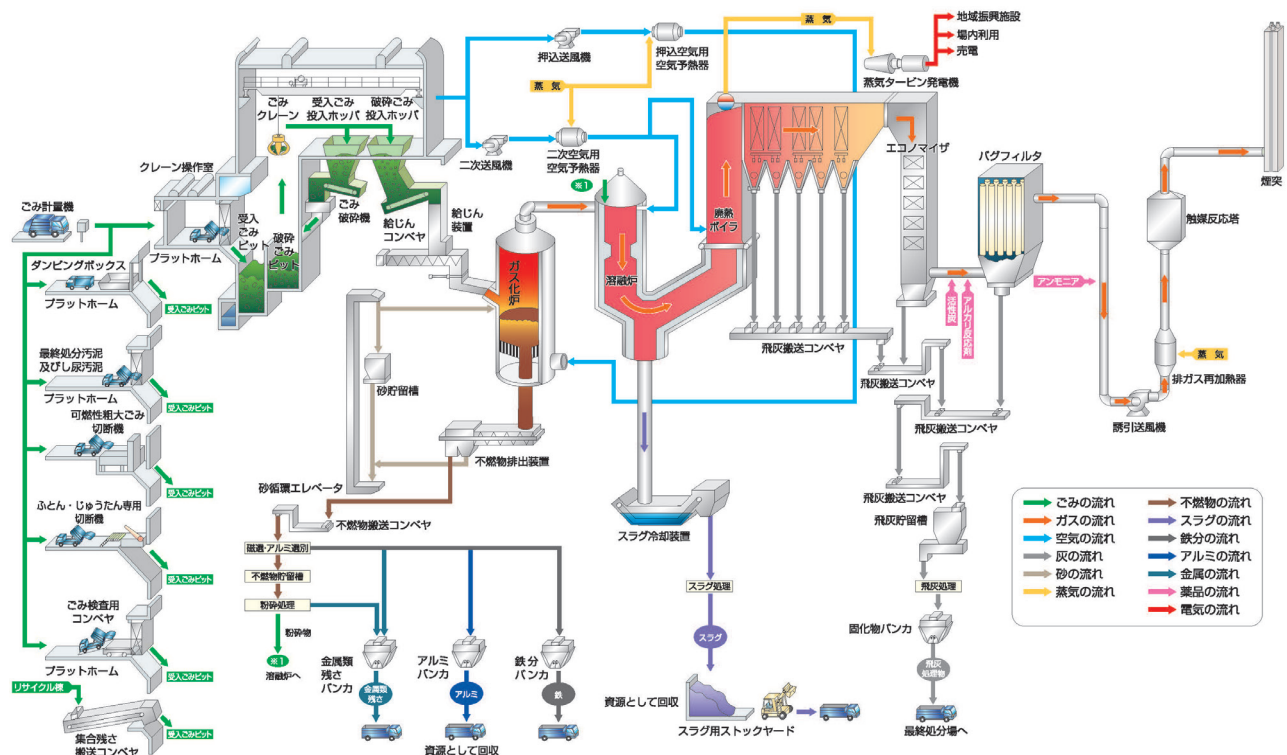


図1 施設処理フロー（エネルギー棟）

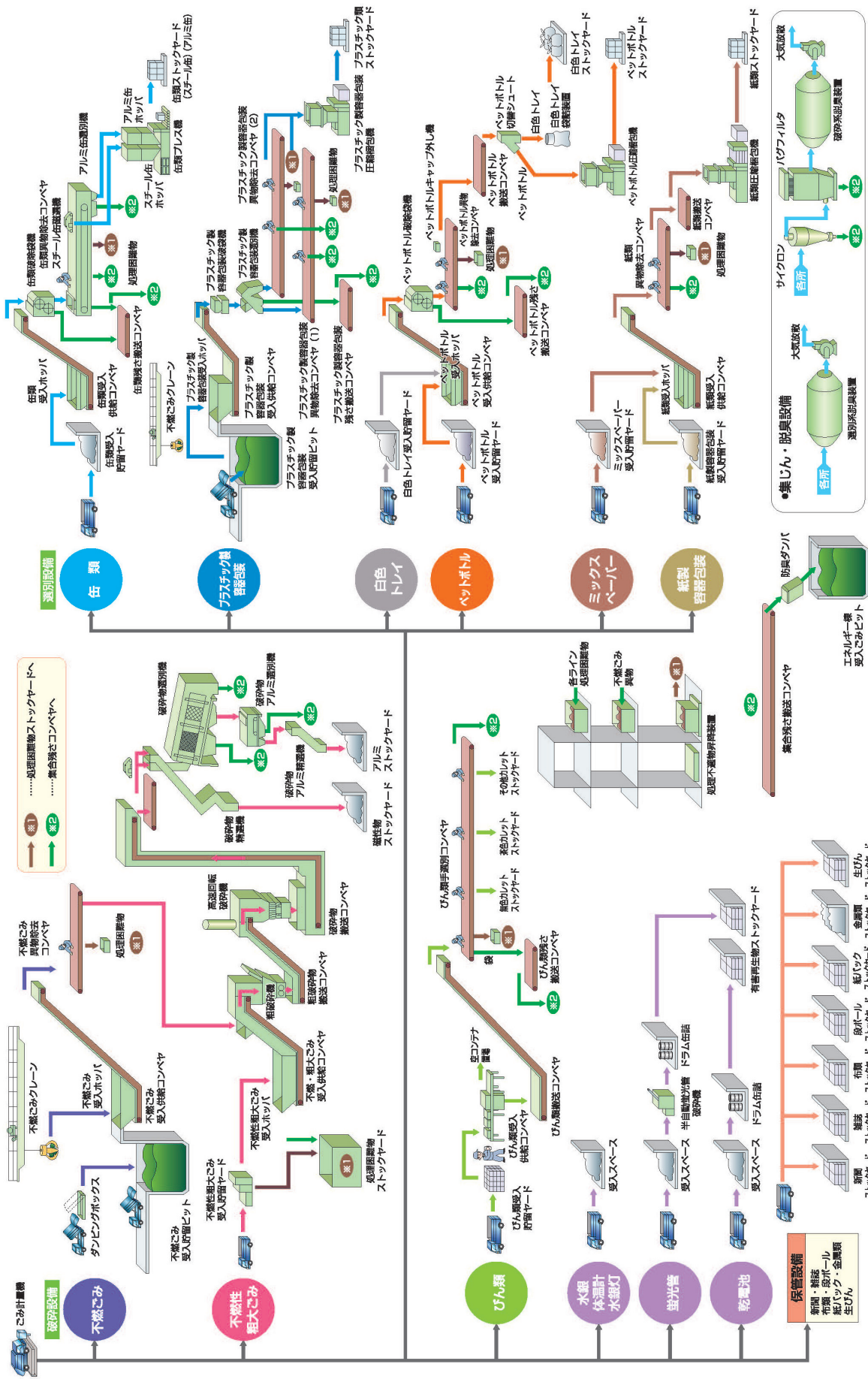


図2 施設処理フロー (リサイクル棟)

2. 稼働実績

2.1 ごみ質

運営開始後の2017年4月～2018年10月までのごみ発熱量の推移を図3に示す。実績で約9 500～11 500 kJ/kg（平均10 400 kJ/kg）（DCS 熱精算値）であり、夏季、冬季で変動はあるものの、年間を通じて高質ごみ（10 300 kJ/kg）付近で推移している。

2.2 連続稼働実績

2017年4月の運営開始以降でのエネルギー棟稼働実績を表2に示す。2018年度は、操炉計画に基づき、5月の共通休炉以降、2号系において163日の連続運転を達成した。

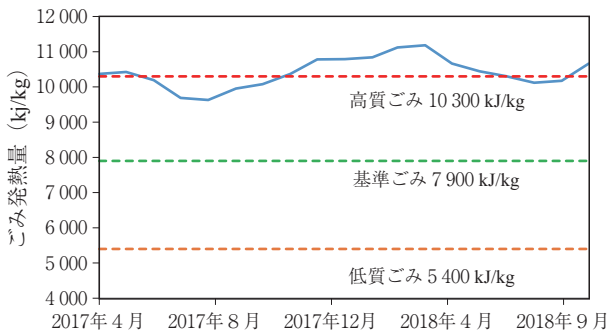


図3 発熱量推移（DCS 熱計算値）

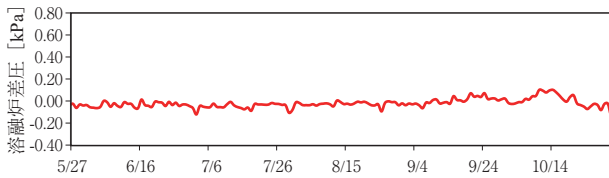


図4 溶融炉差圧実績データ

溶融炉の長期安定運転のための一つの指標として溶融炉内の差圧の安定性があり、その実績データを図4に示す。溶融炉の燃焼・温度制御および塩基度調整剤により溶融炉差圧はほぼ一定で、長期連続運転において安定的に運転されていることがわかる。

共通休炉以降で、1回の停止を挟み、165日程度の運転をベースに操業することで年間330日程度の運転日数とすることができ、年間の立上げ回数を3回から2回に低減することが可能となり、立上げ時の助燃量の削減が見込める。また、炉の立下げ回数を低減することで、立下げに伴う温度変化による耐火物へのヒートショックによる耐火物損耗リスクを低減し、長寿命化に伴って大幅なLCC低減が実現される。

2.3 ごみ処理実績

運営開始以降のごみ処理実績を図5に示す。共通系定期点検による全炉停止期間のあった5月を除き、平均約9 000 t/月と安定的に処理を行うことができています。

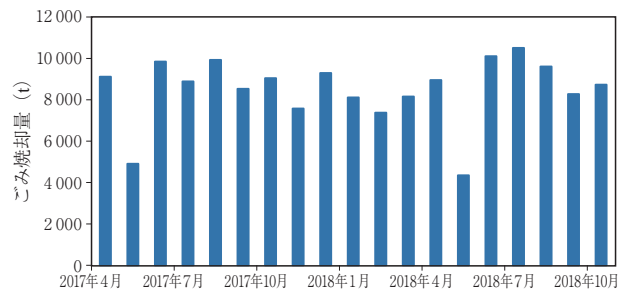


図5 ごみ処理実績

表2 エネルギー棟の稼働実績

	2017年										2018年										
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
3炉運転	20	11	28	15	24	14	17	8	23	13	12	15	23	14	30	31	22	13	13	11	31
2炉運転	10	7	2	16	6	16	14	22	8	18	16	16	7	0	0	0	9	18	18	19	0
1炉運転	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
共通休炉	-	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	-	-	-	-	-	-	-
1号系	94日間連続運転										127日間連続運転										
2号系	92日間連続運転										121日間連続運転										
3号系	92日間連続運転										103日間連続運転										
											123日間連続運転 (1/16まで運転)										

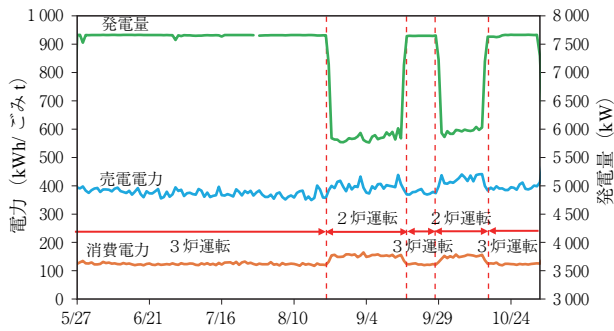


図6 発電電力および消費電力

2.4 電力収支

本施設における、発電電力および消費電力の実績を図6に示す。発電量は、3炉運転時7700kW（最大値）、2炉運転時5800～6100kW（発電効率：平均21%）であり、売電電力は夏季において350～480kWh/ごみtであった。一方、エネルギー棟のプラント消費電力（建築動力除く）は、3炉運転時平均約120kWh/ごみt、2炉運転時平均約150kWh/ごみtであり、溶融スラグ化をしながらも省エネルギーが図れている。これにより、前述の高効率発電とあわせて、安定した送電ができています。なお、ごみ質が高質ごみ付近で推移しているため、3炉運転時は余剰蒸気が発生している。プラントのエネルギー効率向上によるCO₂排出量の削減とSPCの収益改善を見据え、タービン発電機定格出力増強によるさらなる送電量アップを検討中である。

2.5 環境負荷の低減

本施設のもう一つの特長として、アルカリ反応剤に重曹を用いた高効率乾式排ガス処理システムの採用があげられる。煙突出口におけるHCl濃度のトレンドを図7に示す。制御目標値7ppmに対して、±0.5ppmの変動で安定した排ガス処理ができています。なお、アルカリ反応剤吹込み量の制御にはレーザー式HCl濃度計を採用しており、従来のイオン電極測定方式と比べて応答性に優れている特長を生か

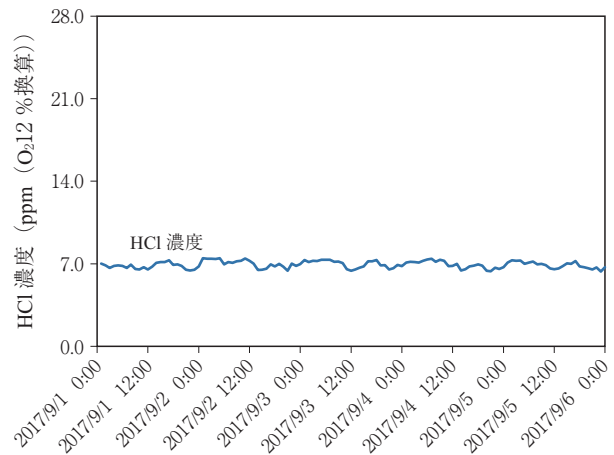


図7 煙突出口HCl濃度（1号系）

し、アルカリ反応剤使用量の削減を図っている。従来、HCl濃度規制値が厳しい場合は湿式洗浄塔が採用されていたが、排ガス再加熱用蒸気の使用量が増大するなど発電量向上とトレードオフの関係にあった。本施設では、高効率乾式排ガス処理システムを用いることで環境負荷の低減と発電量の向上を両立している。

むすび

甲府・峡東クリーンセンターは、2017年4月の運営開始以降、安定稼働を継続している。今回の長期連続運転にて得られた知見をもとに、長期ベースでの操業における安定・安全運転を継続し、維持管理費低減に取り組みながら、さらなるCO₂排出量、最終処分量の低減に寄与し、循環型社会構築を担える施設として貢献していく所存である。

最後に、本発表にあたり、ご協力をいただきました甲府・峡東地域ごみ処理施設事務組合をはじめ、関係者各位に深く感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 田中ら、第39回全国都市清掃研究・事例発表会講演論文集 P197-199 (2017)
- 2) 島ら、第40回全国都市清掃研究・事例発表会議講演論文集 P170-172 (2018)

安芸クリーンセンター基幹的設備改良工事による機能改善

Functional improvement of Revamping Work at Aki Clean Center



品川和明*
Kazuaki Shinagawa



田中信祐**
Shinsuke Tanaka



岡田公利***
Hirotohi Okada



松尾真幸****
Masaki Matsuo



岩本益幸*****
Masuyuki Iwamoto



松本祐磨*****
Yuma Matsumoto

安芸クリーンセンターは稼働後13年以上経過しており、施設の延命化とCO₂排出量削減を目的として、基幹的設備改良工事を行った。本施設では、押込送風機のインバータ化やバグフィルタをシングル化することで消費電力の削減を図り、CO₂排出量を最大14.4%削減することができた。また性能改善を目的に、溶融炉水冷化による耐火物の長寿命化、ガス冷却室大型化による灰付着量低減を図り、安定した操業を継続している。

Aki Clean Center has been in operation for more than 13 years. In order to extend the life of the facility and reduce CO₂ emissions, major renovations were completed. In this facility, CO₂ emission was reduced by 14.4% as a measure to reduce power consumption by changing the Fluidizing Air Blower to an inverter type and by reducing the number of Bag Filters. Stable operations continue and, with the goal of improving functionality, the Melting Furnace had its durability increased through the addition of water cooling and the Gas Cooling Chamber was made larger to reduce the amount of ash adhesion.

Key Words :

流動床式ガス化溶融技術
基幹的改良工事
CO₂ 排出量削減

Fluidized-Bed Gasification and Melting Technology
Revamping Work
CO₂ Emission Reduction

【セールスポイント】

・基幹的改良工事によって、施設の延命化、CO₂削減に加え、さらなる安定運転が可能となる。

まえがき

安芸地区衛生施設管理組合が運営する安芸クリーンセンターは、広島県安芸郡の府中町、海田町、熊野町、坂町の4町から発生するごみの処理を担う施設として2002年11月に竣工した(写真1参照)。

竣工後13年経過し、各設備の経年劣化が進んでいる状態であることから、15年間の施設延命化を目的とし、2015年6月から2018年3月までの約2年9カ月をかけて基幹改良工事を行い、設備を改修した。

操業しながら工事を行うという厳しい制約ながら予定通り完了したので、その機能改善の効果について報告する。



写真1 施設全体写真

1. 施設概要

安芸クリーンセンターの施設概要を表1に示す。

炉は流動床式ガス化溶融炉で、処理量65 t/d・炉×2系列、ボイラ仕様は3 MPa × 300 ℃、蒸気発生量8.1 t/h・炉で発電量は1 360 kWである。排ガスを上向流のガス冷却室で冷却した後、バグフィルタ、触媒反応塔にて排ガス処理を行う。

2. 改良工事内容の概要

循環型社会形成推進交付金を活用した基幹改良工事の主要な改造内容を図1に示す。交付要件であるCO₂削減率3%以上を達成するため、主に以下の改造工事を行った。

(1) 安定運転の実現

- ・溶融炉構造を断熱構造から水冷構造に改良（耐火物の延命化）
- ・ガス冷却室の大型化（灰付着量の低減）

(2) 消費電力量の低減

- ・バグフィルタのシングル化によるヒータ、誘引送風機の消費電力低減
- ・押込送風機のインバータ化
- ・更新機器の高効率モータ化

(3) 発電量の増強

- ・タービン発電機定格発電量の増強

その他、交付金対象外工事として、コンベヤ他老朽機器の更新工事を実施した。

3. 改良工事内容の詳細

(1) 安定運転の実現

(ア) 溶融炉の水冷化

- ・耐火物の長寿命化を図るため、溶融炉絞り部の下流側から二次燃焼部までを、断熱構造から水冷構造に改造した（図2参照）。
- ・水冷構造はより均等な冷却効果が得られるように、冷却水の均一な流れに配慮した構造を採用した。
- ・水冷範囲が増加するため、新たに冷却水ポンプ、冷却塔、配管を追加した。
- ・大型機器の更新となるため、搬入可能なように、分割構造にて製作、搬入した。

施設名称	安芸クリーンセンター
処理能力	130 t/d (65 t/d × 2 炉)
処理対象物	一般ごみ、可燃性粗大ごみ
受入供給設備	ピットアンドクレーン方式
熱分解・溶融炉設備	流動床式ガス化炉＋旋回流溶融炉方式
燃焼ガス冷却設備	廃熱ボイラ＋水噴霧方式
排ガス処理設備	バグフィルタ＋触媒反応塔
余熱利用設備	蒸気タービン1 300 kW⇒1 360 kW

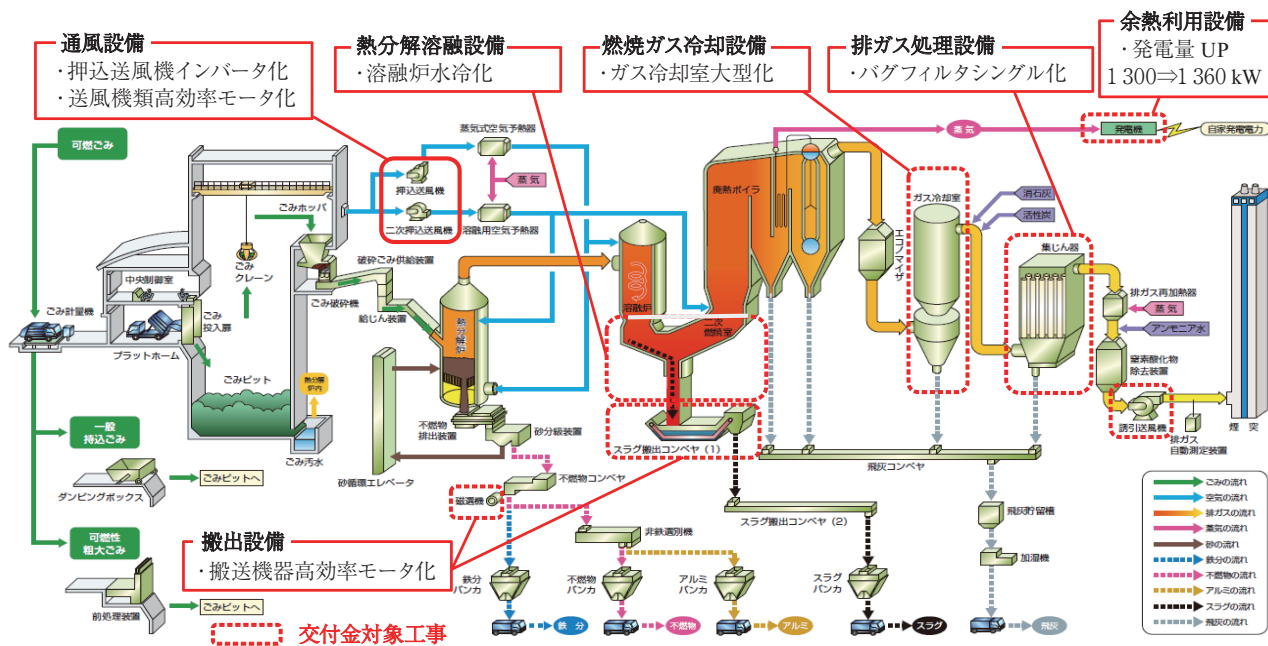


図1 処理フローおよび基幹改良工事概要

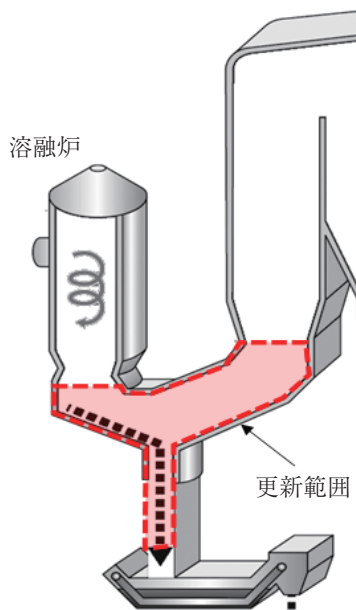


図2 溶融炉更新範囲

(イ) ガス冷却室の大型化

- ・上向流式ガス冷却室の灰付着量軽減のため、場内の空間的制約の範囲でガス冷却室を大型化し全面更新した。
- ・大型機器の更新となるため、搬入可能なように、分割構造にて製作、搬入した。

(2) 消費電力量の低減

(ウ) バグフィルタのシングル化

- ・元々循環灰返送システムを採用しバグフィルタを2段設置としていたが、消費電力低減によるCO₂削減を優先し、バグフィルタをシングル化した。(後段のバグフィルタはダクトにてバイパス)
- ・バグフィルタが一台となることで本体ヒータが1台分になるとともに、複数ルートあった灰搬出設備を1本化した。
- ・バグフィルタ1台分の圧損を削減することで、誘引送風機の消費電力を低減した。

(エ) 押込送風機のインバータ化

- ・熱分解炉へ吹込む押込空気の制御方法をダンパ制御から回転数制御に変更し、負荷に応じて回転数を変化させることで消費電力を低減した。

(オ) 高効率モータ化

- ・更新機器のモータを高効率モータに変更することで、消費電力を削減した。

(3) 発電量の増強

(カ) タービン発電機定格発電量の増強

- ・蒸気タービンの加減弁を改造し、タービンの最大入口蒸気量を8.9 t/h から9.3 t/h に増やすことで、発電量を60 kW 増強した。

4. 基幹改良工事特有の工事制約とその対策事例

本工事では操業を通常通り継続し、ごみを外部処理しない方針で基幹改良工事を計画した。そのため、時間的・空間的制約が生じたが、以下に示す対策により工事を完遂した。

(1) 時間的制約対策

【制約】

1系列でごみを処理しながらもう1系列を停止し、その間に工事を実施するものである。理想的には1系列を数カ月間停止して工事するのが望ましいが、ごみ搬入量と処理量から必要な運転日数を確保すると、停止期間は最大30日間であった。

さらに、全炉停止期間は7日間、その他中小規模の工事についても、炉停止の合間の短期間で工事を行った。

【対策】

◇系列機を改造する場合においても、共通系の機器・配管・DCSの改造をとともなう場合があり、事前の全炉停止期間に共通系設備の工事を漏れなく完了するよう計画した。

例えば、溶融炉を水冷構造へ改造するにあたり、溶融炉冷却設備の増設が必要であったため、初年度の全炉停止期間に工事を行った。

◇とくに大きな工事である溶融炉更新、ガス冷却室更新においては、停止期間30日間の制約の中、多数の工事が輻輳するため、綿密な詳細工事工程を立案し、各社と調整のもと実施した。

◇刻一刻と変化する現場の状況に対し、関係者と円滑なコミュニケーションを図って情報を共有し綿密な調整を行った。

◇限られた工期であるため、現場作業が最小となるように極力事前準備を行った。とくに溶融炉やガス冷却室等の大型機器は、細かく分割した缶体を現場で組立てる複雑な工事である。そのため、据付工事業者を工場仮組検査に立会わせ、現地組立のイメージを掴ませるとともに、必要な吊り治具等を工場で追加することで、現場でのスムーズな組立てを実現した。

◇大規模工事では24時間工事や夏場の暑い時期の工事があったが、リスクを見込んだ念入りな準備により、熱中症もなく無事故無災害で工事を完遂した。

(2) 空間的制約対策

【制約】

工事中もごみの搬入は通常通り行われ、敷地内はパッカー車のごみ搬入に加え、薬品等の搬入、スラグ等の搬出、その他宅配等の動線に支障がないように計画する必要があった(図3参照)。

工場棟内においては1系列を運転しているため、

操業、整備に必要なスペースを確保しながら、限られた敷地のなかで、工事エリアと機器の搬出入経路を確保する必要があった。

【対策】

◇場内動線の制約があるため、搬出入経路を通過できるように、撤去品、新規品は細かく分割して搬出入を行った(写真2、3参照)。

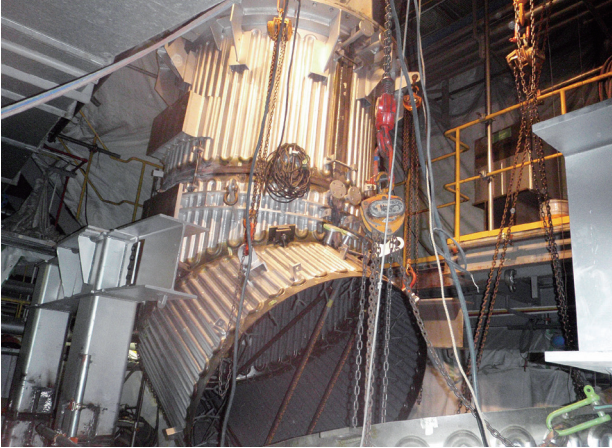


写真2 溶融炉現地組立の様子



写真3 ガス冷却室分割搬入の様子

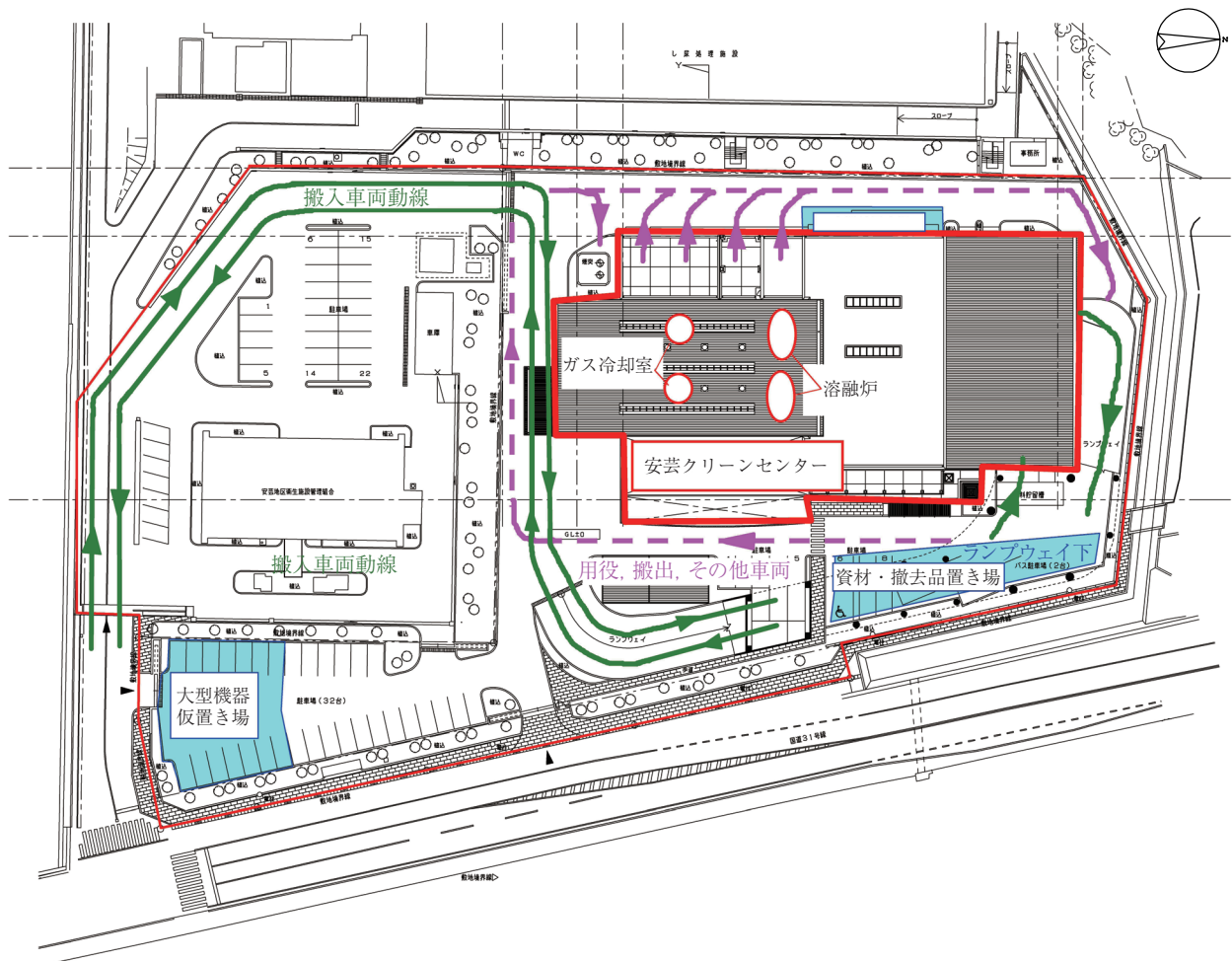


図3 全体敷地動線図

◇さらに、工事の作業エリア、搬出入経路を確保するため、停止機器を工事前に撤去した。

◇作業エリアや搬出入動線での作業中に、機器や配管に接触して破損させたり操業を停止させたりしないよう、また運転員の作業動線に支障がないように確実な養生を行い、事故を防止した。

(3) 老朽化設備のリスク対策

【制約】

設備の老朽化により突発的な設備停止のリスクが高まっている中、停止期間が計画からずれ更新機器や工事業者が準備できないことによる工事の中止や停止期間の延長を防止し、計画通りの運転を実現する必要があった。

【対策】

◇老朽化した給じんコンベヤ等、故障に伴い系列が即停止する可能性の高い重要機器については、工事時期を前倒した。

その他の機器についても、早期に交換部品の工場製作を完了し、故障した場合に部品が即納入できるように備えた。

◇操業計画通りの運転が実現できるよう、工事期間中も設計者が現地常駐し、日頃から運転状況を監視して運転を支援した。

◇各系停止期間中に少しずつ機器を更新するため、改良毎に運転方案を変更し、段階的にDCSソフトを改造し、その都度、運転班への教育として座学、実機操作を含めて丁寧説明した。

◇本工事では、無負荷試運転後に即操業開始となり、実運転による負荷調整となる。このため、ごみ処理を優先し運転を継続する必要があった。改造後の運転調整およびトラブルに対しても設計者と運転員の協力体制のもと適宜対応して運転を継続し、次の停止時に設備改善に取り組んだ。

5. 基幹改良工事の効果

基幹改良工事を完了し、以下3つの効果が得られた。

(1) CO₂削減率の保証性能達成

2018年2月に2日間の引渡性能試験を実施し、保証性能達成を確認した。年間CO₂排出量は、稼働に必要な電力消費量と灯油などの補助燃料使用量から求められる¹⁾。本設備は発電設備を備えており、発電なしの場合に対し、改良前の段階で-531t-CO₂/年のCO₂を削減できていた。これに対し改良後は、燃料の削減、消費電力の低減、発電量の増強により、-1282t-CO₂/年まで大幅に改善された。これによりCO₂削減率は保証値3%を大幅に上回る14.4

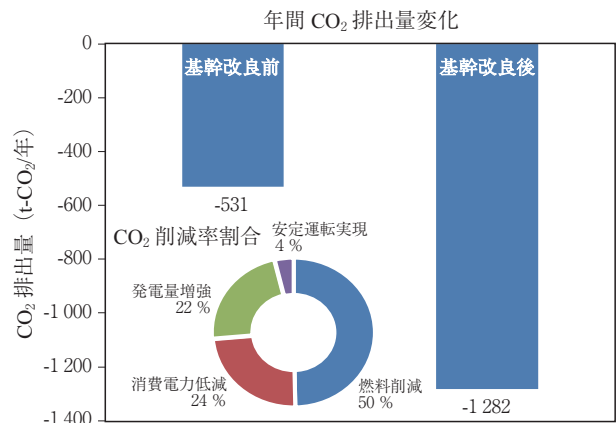


図4 CO₂排出量の変化および削減率の内訳

%を達成し、交付金要件を満たした。

なお14.4%の内訳は50%が運転調整による燃料削減、24%が消費電力の低減（押込送風機インバータ化、誘引送風機負荷低減、機器構成シンプル化、高効率モータ採用等）、22%が蒸気タービン改良による発電量増強によるものである（図4参照）。

またCO₂削減率については、通常運転時においても8%を安定的に超えている。

さらに売電量については、基幹改良前が5000~6000 kWh/dのところ、改良後は8000 kWh/d程度に増加している。

(2) 安定運転の実現

熔融炉の水冷化に伴い、負荷の高い部位でも耐火物寿命はおおむね5年以上に改善された。またガス冷却室の大型化により灰付着量が低減され、さらなる安定連続運転が容易となった。

また、熔融炉更新、ガス冷却室更新、バグフィルタシングル化による燃焼設備から排ガス処理設備までの大規模な改造において、表2に示すとおり、排ガス基準値を十分満足していることを確認した。

その他、システムの簡素化、不要機器の撤去により、安定運転が容易となった。

(3) 避難所としての機能強化

基幹改良工事の一環で、停電時に備え、テレビを非常用発電機の負荷とする改造を行った（写真4参照）。

当施設では2018年7月6日に西日本を中心に発生した「平成30年7月豪雨」により近隣で土砂災害が発生し、最大約130名の近隣住民の方々が避難された。7月8日には豪雨の影響で坂変電所配電地絡により施設の停電が発生したが、非常用発電機を起動し設備は安全に停止した。また、復電まで約10時間

表2 引渡性能試験時の排ガス測定結果

分析・試験項目	単 位	1系	2系	基準値
ばいじん濃度	g/m ³ N	0.003	0.004	≦0.01
硫黄酸化物濃度	ppm	0.8	0.7	≦20
塩化水素濃度	ppm	10	6	≦50
窒素酸化物濃度	ppm	20	9	≦50
CO濃度（4時間平均）	ppm	3	1	≦30
ダイオキシン類濃度	ng-TEQ/m ³ N	0.00072	0.00085	≦0.1



写真4 非常用電源に接続改造した研修室のテレビ

を要したが、その間、非常用電源に接続改造したテレビによって災害情報を受信でき、避難者の方への情報提供に貢献できた。

む す び

安芸クリーンセンターでは基幹改良工事として、溶融炉更新、蒸気タービン改良等を行い、CO₂排出量を低減した。設備の延命化に寄与し今後15年安心して操業いただけるよう、引続き支援していく。

類似の施設においてもニーズに応じた改良、改修メニューを取りそろえ、老朽化したごみ処理施設のライフサイクルコストの低減やCO₂排出量の削減に貢献していく所存である。

最後に、基幹改良工事にあたり多大なご協力をいただきました。安芸地区衛生施設管理組合の方々、関係各位に深く感謝申し上げます。また、豪雨災害に対し心よりお見舞い申し上げますとともに、一日も早い再興をお祈りしています。

[参考文献]

- 1) 廃棄物処理施設の基幹的設備改良マニュアル, ごみ焼却施設, し尿処理施設 平成22年3月 p.1-14

本山浄水場での MF 膜モジュールの新規薬品洗浄法の検討と膜の長寿命化実証

Study of Combined Chemical Cleaning and Verification of Life Time Extension for Micro-Filtration Membrane Module of Motoyama Drinking Water Treatment Plant



田中裕大*
Yasuhiro Tanaka



隅 晃彦*
Akihiko Sumi
技術士 (上下水道部門)



三浦雅彦*
Masahiko Miura
農学博士



長谷川進**
Susumu Hasegawa
工学博士・技術士 (上下水道部門)



松山秀人**
Hideto Matsuyama
工学博士

膜ろ過による浄水システムにおいて、新規薬品洗浄法による膜の長寿命化に関する検討を行った。従来クエン酸のみで洗浄していたところを、次亜塩素酸ナトリウムとクエン酸の組合わせによる新規薬品洗浄をした結果、従来法のクエン酸のみの場合と比して膜ろ過抵抗の低減効果が高まった。さらに、洗浄廃液を分析した結果、有機物と無機物の両方が膜に付着していることが分かり、その両方が新規薬品洗浄法では除去できていたことが分かった。これらのことから、新規薬品洗浄法が膜の長寿命化に有効であることが示された。

In this study, we have investigated the combined chemical cleaning method for the micro-filtration membrane. The conventional cleaning method only used citric acid to remove inorganic matter but this combined cleaning method added sodium hypochlorite to remove organic matter. As a result, inorganic and organic foulants that covered the membrane were removed from the membrane by the cleaning. Hence, it can be shown that the combined chemical cleaning was more effective for life time extension of the membrane than the previous one.

Key Words :

浄水	Water purification
生物接触ろ過	Biological contact filter
精密ろ過	Microfiltration
膜ファウリング	Membrane fouling

【セールスポイント】

- ・薬品洗浄として次亜塩素酸ナトリウムを併用することで MF 膜における膜ファウリングが軽減されることが明らかとなり、MF 膜が長寿命化した。

まえがき

浄水方式としての膜ろ過法は、従来の急速ろ過法に比べ、設置面積が小さい、処理水質が良好であるといった特長を有し、近年浄水場への採用件数が増加しており¹⁾、今後のさらなる普及にも期待が寄せられている。浄水分野における膜ろ過では、精密

ろ過 (Microfiltration : 以下, MF) 膜をはじめとする多孔膜を用いるのが一般的である。

膜ろ過設備の運転における最大の課題は、運転に伴い発生する膜ファウリング (目詰まり) であり²⁾、これへの対応としては、逆圧洗浄 (以下, 逆洗) やエアバブリングに代表される物理洗浄を定期的に実

施するのが一般的である。物理洗浄で解消することができない膜ファウリングについては薬品洗浄で対応しており、膜ファウリングを抑制し膜の交換頻度を低下させることで膜交換費を下げるような技術開発が求められている。本検討の対象とした本山浄水場では、薬品洗浄として無機物の除去を目的としてクエン酸による酸洗浄が行われてきた。膜ファウリングを引起す要因について、近年、バイオポリマー*（以下、BP）と呼ばれる画分の溶解性高分子有機物が注目を集めている^{3, 4)}。クエン酸のみで洗浄した実施設の使用済み膜モジュールに対して膜ファウリングに関する検討をした結果、有機物と無機物の両方が堆積しており、その両方が膜ファウリングに影響を及ぼすことが分かっている⁵⁾。

そこで、本検討ではクエン酸による薬品洗浄に加えて、有機物を除去するために次亜塩素酸ナトリウムによる薬品洗浄を併用した新規薬品洗浄法を実施することとし、その膜ろ過抵抗の低減効果と、長寿命化について試算した結果を報告する。

1. 検証方法

1.1 対象設備と運転方法

本検討で対象とした神戸市本山浄水場（処理量：2 000 m³/d、水源：住吉川表流水）の処理フローを図1に示す。取水された原水は調整池を經由し、生物接触ろ過（BCF[®]; Bio Contact Filter）、MF膜ろ過が行われる。その諸元と洗浄方法を表1に示す。BCF[®]は臭気やアンモニア性窒素の除去を目的として前処理として設置されている。

薬品洗浄について、クエン酸は無機物の除去、次亜塩素酸ナトリウムは有機物の除去を目的として用い、各薬液を13時間浸漬させて静置した後、薬液を排出している。

本設備では、膜の逆圧洗浄時に配管の殺菌を目的として逆洗水に次亜塩素酸ナトリウムを注入しているが、結果的に膜も次亜塩素酸ナトリウムによって洗浄されることになるため、定期的な薬品洗浄として無機ファウラントの除去を目的としたクエン酸洗浄を実施していた。しかしクエン酸洗浄のみでは膜

表1 本山浄水場 MF 膜諸元と洗浄方法

項目	仕様	
材質	ポリフッ化ビニリデン (PVDF)	
形状	中空糸	
孔径	0.1 μm	
ろ過形式	外圧式	
物理洗浄	30分ごとに1回 逆洗（次亜 3 mg/L）+エアバブリング	
簡易薬品洗	頻度	2週間に1回
	薬品種	①クエン酸0.3%×13時間浸漬 ②次亜塩素酸ナトリウム 500 mg/L×13時間浸漬
	従来法	①のみ サイクル（①, ①, ①, ①, ①, ①…）
新規法	①と②を併用 サイクル（①, ①, ②, ①, ①, ②, …）	

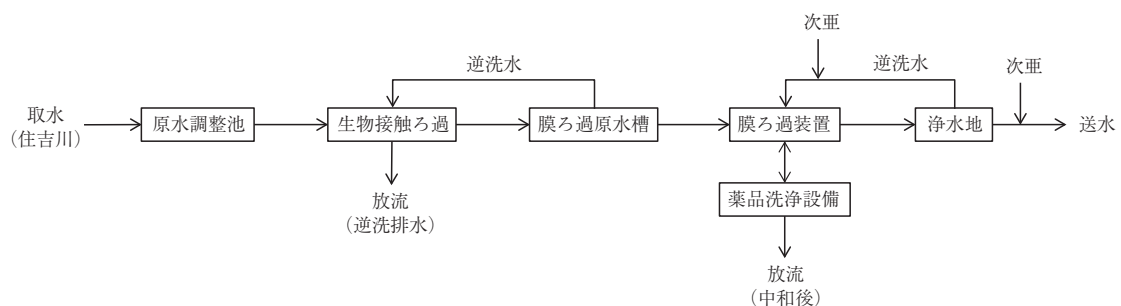
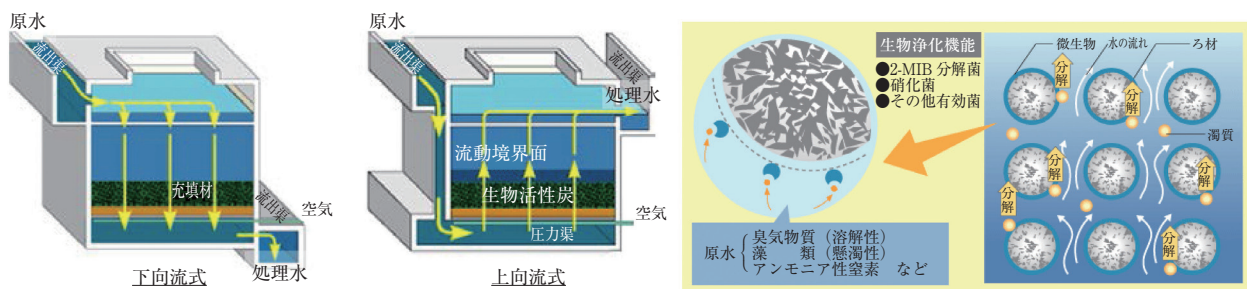


図1 BCF[®]概略図（上部）および本山浄水場の処理フロー（下部）

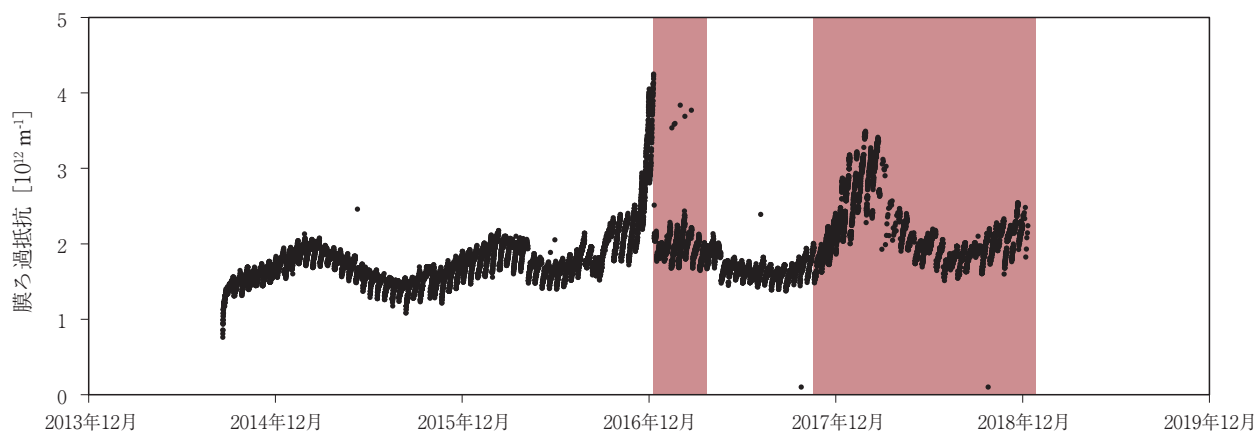


図2 (2)膜の膜ろ過抵抗の推移と次亜洗浄追加の効果

表2 本山浄水場使用膜の洗浄履歴

系列		2013	2014	2015	2016	2017	2018
1系	(1-a)膜		----->				
	(1-b)膜				----->		----->
2系	(2)膜		----->				----->

-----> : 夏季、冬季にともにクエン酸洗浄のみ

-----> : 夏季はクエン酸のみ、冬季はクエン酸+次亜洗浄

(2)膜は2018年度より夏季もクエン酸+次亜洗浄

ろ過抵抗が徐々に上昇する傾向が認められたため、膜表面に付着するファウラントを分析したところ⁵⁾、有機ファウラントの蓄積が明らかとなり、逆洗の次亜塩素酸ナトリウムでは有機物の除去が不十分と推察された。そこで、薬品洗浄に次亜塩素酸ナトリウムによる洗浄を追加した。詳細な各系列の洗浄履歴を表2に示す。

1.2 膜ファウリング進行の評価方法

水温による粘度の変動によって膜間差圧が受ける影響を排除するために、膜間差圧ではなく膜ろ過抵抗 R を指標として検討した。膜ろ過抵抗値は以下の式により算出した。

$$R = \frac{\Delta P}{\mu \cdot J} \quad (1)$$

ここで、 R : 膜ろ過抵抗 [m^{-1}]、 ΔP : 膜間差圧 [Pa]、 J : ろ過流速 [m/s]、 μ : 粘度 [$\text{Pa} \cdot \text{s}$] である。

膜ファウリング物質の堆積度合いと膜ファウリングの進行度合いは、それぞれ薬品洗浄後の膜ろ過抵抗 R_{base} [m^{-1}] と日当たりの膜ろ過抵抗の上昇速度 r [m^{-1}/day] によって評価した。

1.3 膜ろ過抵抗のシミュレーション方法

クエン酸のみまたは次亜塩素酸ナトリウム併用洗浄方法に対して薬品洗浄後の膜ろ過抵抗と膜ろ過抵抗の上昇速度を各運転年に応じて整理した上で、関係式をそれぞれ線形近似、指数近似にて整理した。各運転年毎の膜ろ過抵抗の計算値は下記のようにして求めた。

$$R = R_{\text{base}} + dr \quad (2)$$

ここで、 d : 薬品洗浄までの運転日数 [day] であり $d = 13$ である。さらに、季節変動による膜ろ過抵抗の変化を表現するために、各月ごとの関係式の係数は、もっとも膜ろ過抵抗が大きくなる季節である2月と小さくなる8月における係数を算出の上、線形で補完した値を用いた。

2. 実験結果および考察

2.1 新規薬品洗浄による洗浄効果の検証

図2に2014年8月から2018年12月までの(2)膜(4年間運転)の各期間の膜ろ過抵抗を示す。薬品洗浄について着色部の期間はクエン酸と次亜塩素酸ナトリウムを併用した場合、その他はクエン酸のみを使用した場合を示している。

クエン酸のみで洗浄している場合、3年目の2016年12月に急激な膜ろ過抵抗の上昇が見られた。そこで、クエン酸のみではBPなどの有機物の除去が不十分であると考え、薬品洗浄3回につき1回を次亜塩素酸ナトリウムにて洗浄する新規薬品洗浄を実施したところ膜ろ過抵抗の低減効果が見られた。さらに4年目運転となる2017年度冬季においても同様に新規薬品洗浄を継続したことで従来の本山浄水場の実績の3年を超えて4年運転を達成し、現在5年目の運転を継続中である。

さらに、図3でもっとも膜ろ過抵抗が高くなる2月について、表2に記載の膜の運転年数と膜ろ過抵抗 R_{base} 、上昇速度 r の関係を整理した。薬品洗浄後の膜ろ過抵抗と膜ろ過抵抗の上昇速度は、次亜塩素酸ナトリウムを併用した場合、クエン酸のみの場合と比較して低く抑えられた。この理由としては、クエン酸によって無機物は十分に洗浄されていたが、逆洗水に含まれる次亜塩素酸ナトリウムだけでは有機物の除去が不十分であったため、次亜塩素酸ナトリウムによる簡易薬品洗浄を併用することで十分に有機物が除去できたためであると考えられる。

2.2 膜ろ過抵抗のシミュレーションによる膜寿命の予測

新規洗浄法による膜寿命（膜交換頻度）の延長効果について検討するために、クエン酸のみの従来法

と次亜塩素酸ナトリウムを併用する新規法の膜ろ過抵抗の予測を行った。その結果を図4に示す。(1)式の薬品洗浄後膜ろ過抵抗 R_{base} と上昇速度 r についてはそれぞれ図3の関係をを用いた。従来法の薬品洗浄では、

- ① (1-a) 膜はクエン酸のみで3年間の運転実績
 - ② (2) 膜は3年目の冬期（2017年2月）に、膜ろ過抵抗が膜交換の目安に達した（図4）
- といったことから膜寿命は3年と推定された。

一方で、次亜塩素酸ナトリウムを併用する新規洗浄法では、

- ③ 実設備での4年間運転を達成した（図2）
 - ④ 5年目の冬期2019年2月に、膜ろ過抵抗の計算値が膜交換の目安に達する（図4）
- といったことから膜寿命は5年と推定された。

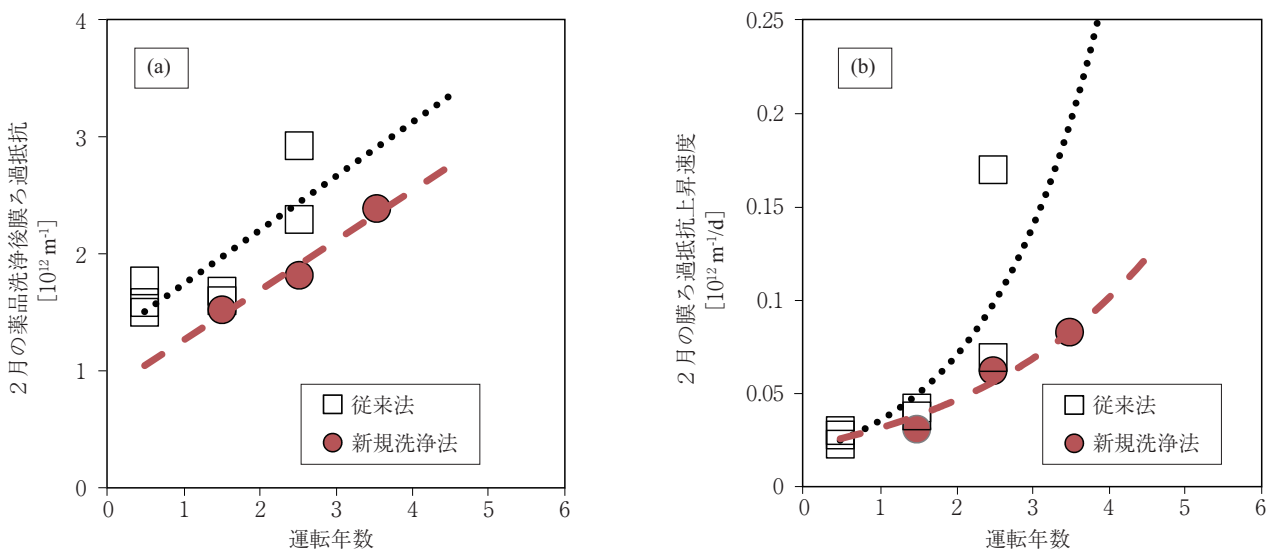


図3 2月度における運転年数ごとの薬品洗浄後の膜ろ過抵抗と膜ろ過抵抗の上昇速度

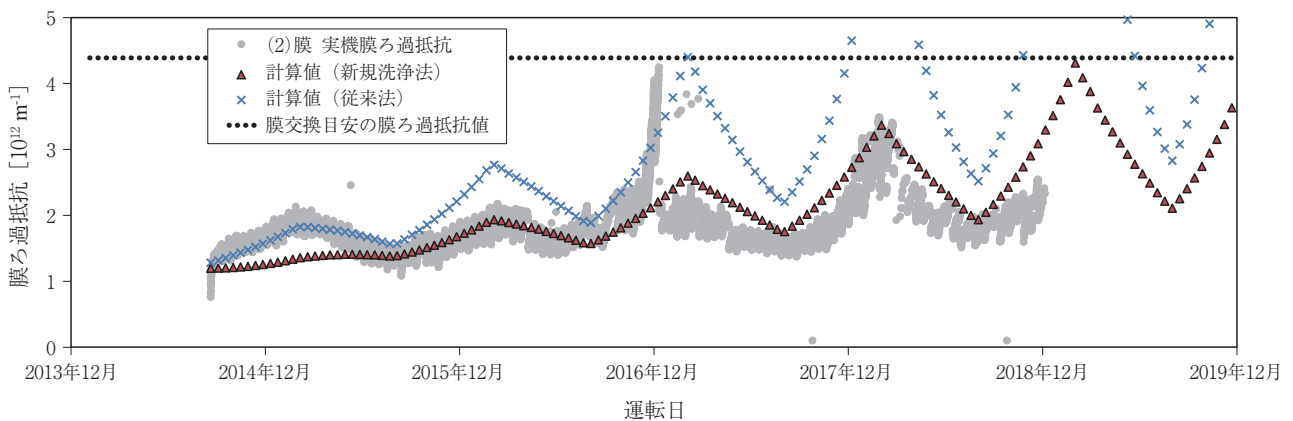


図4 実機の膜ろ過抵抗と各薬品洗浄ごとの膜ろ過抵抗の計算値との比較

これらのことから、次亜塩素酸ナトリウムによる洗浄を併用することで膜寿命を3年から5年に延ばす見込を得て、膜交換費用の低減が可能という結果となった。

さらに、冬季のみの次亜塩素酸ナトリウム併用洗浄法から推定した計算値よりも、2018年度冬季において(2)膜実機膜ろ過抵抗が小さくなっていることが読み取れる(図4)。これは、2018年度は夏季にも次亜塩素酸ナトリウムを併用して洗浄したことで、膜の洗浄効果が高まったためと考えられる。本報より、冬季のみの次亜塩素酸洗浄の併用で膜寿命は5年と推定されるが、夏季にも次亜塩素酸ナトリウムを併用して洗浄することで、さらなる膜の延命が期待できる。

むすび

次亜塩素酸ナトリウムを併用する新規薬品洗浄法が膜寿命に与える影響を評価することを目的とし、実設備による洗浄効果の検証、膜寿命推定のための膜ろ過抵抗のシミュレーションを実施し、以下の結果が得られた。

- 1) 3年目の膜ろ過抵抗の急上昇に対しても膜ろ過抵抗の低減効果が見られ、洗浄の継続により従来の実績を上回る4年間運転を達成した。
- 2) 膜モジュールには有機物と無機物の両方が付着していると考えられるが、逆洗水に含まれる次亜

塩素酸ナトリウムだけでは有機物が除去しきれないことが明らかとなった。このことから、次亜塩素酸ナトリウムの薬品洗浄を併用することで有機物の除去効果が高まることが示唆された。

- 3) 膜寿命について推定したところ、クエン酸のみの従来法では3年であるのに対し、冬季のみ次亜塩素酸ナトリウムを併用する新規洗浄法では5年と約1.7倍に増加する試算結果となり、膜交換頻度低減に効果があることが分かった。

今後は、ファウラントの詳細、薬品洗浄の頻度などを追究することで膜寿命のさらなる延長を目指し、BCF[®]と膜処理を組合わせた浄水システムの安定運転に資する知見を蓄積してゆく所存である。

最後に、本検討は、神戸市水道局よりご提供いただいたサンプルと運転データを用いて実施いたしました。関係各位に深く感謝いたします。

[参考文献]

- 1) 水道技術研究センター,
<http://www.jwrc-net.or.jp/jigyuu/gijyutsu-shien.html>
- 2) 中尾真一, 日本海水学会, 62 (2008) p.234-237.
- 3) Huber ほか, *Water Res.*, 45 (2) (2011) p.879-885.
- 4) 木村克輝ほか, *Water Res.*, 49 (2014) p.434-443.
- 5) 小野田草介ほか, 神鋼環境ソリューション技報, 14 (1) (2017) 2-7.

* LC-OCD 分析で検出される分子量約10 kDa 以上の溶解性高分子有機物の総称。

トリハロメタン低減を目的とした U-BCF[®] の運用事例

An Operation Case of U-BCF[®] to Reduce Trihalomethane



林 祥一*
Shoichi Hayashi



森藤昭博*
Akihiro Morito
技術士（上下水道部門）



佐藤良太*
Ryota Sato
技術士（上下水道部門）



藤本瑞生*
Mizuki Fujimoto



石丸 豊*
Yutaka Ishimaru
技術士（総合技術監理
部門，上下水道部門）

明石市鳥羽浄水場では、上向流式生物活性炭接触ろ過設備（以下 U-BCF）納入翌年以降、本装置によるトリハロメタン生成能除去率が減少した。そこで、本装置の各池活性炭の一部を交換しトリハロメタン生成能除去率改善を試みた。結果、トリハロメタン生成能除去率改善に加え、浄水場内各地点でのトリハロメタン生成能・トリハロメタン濃度の推移等、給水栓末端トリハロメタン濃度を抑制していくための新しい知見が得られた。

The removable rate of Trihalomethane by U-BCF at Toba water treatment plant in Akashi city has decreased since one year after U-BCF installed. Therefore, a part of activated carbon in each volume was exchanged to improve the removal rate. As a result, the removal rate was improved and some new knowledge, the shift of Trihalomethane and Trihalomethane forming potential on each point in water treatment plant etc., was discovered.

Key Words :

U-BCF

生物活性炭

トリハロメタン

消毒副生成物

Up-Flow Bio-Contact Filter

Biological-Activated carbon

Trihalomethane

Disinfection by-product

【セールスポイント】

- ・マンガン、カビ臭物質等の溶解性物質を原水段階で U-BCF により処理することで、これら物質を効率的に抑制。
- ・粒状活性炭の一部（20 %）のみを交換することで、新炭相当のトリハロメタン前駆物質除去率を確保。
- ・粉末活性炭の使用量の低減および、物理吸着と生物処理の併用による相乗効果が期待できる。

まえがき

明石市鳥羽浄水場は、表流水（貯水池）および地下水（深井戸）を主な水源とし、昭和46年10月から共用開始したが、近年の水源水質悪化、地下水塩化等により水質管理に苦慮している。とくに給水末端での総トリハロメタン低減に注力しており、オゾン・活性炭、活性炭吸着処理との比較実証実験を行

い、処理性改善を検討した。原水の特徴として有機物や臭化物イオンが含まれる。有機物の処理には活性炭吸着やオゾン・活性炭が適しているが、オゾン処理による臭素酸生成の懸念があった。そこで、近年総トリハロメタン低減の有効性が確認され、採用する事業者も出てきた生物活性炭接触ろ過処理をこれらと比較検討した結果、優位性が確認された

め、これまでアンモニアやカビ臭対策として原水処理に適用されていた U-BCF を導入、平成22年10月より運用を開始した。トリハロメタン生成能の除去率が2年目以降低下傾向を示したことから、夏場上昇する総トリハロメタンおよびトリハロメタン生成能の抑制、粉末活性炭注入量低減のため、平成28年に U-BCF のろ層（粒状活性炭）の一部を新炭へ交換し、効果の検証を行った。その結果、運用開始時程度まで除去率が改善し、他の知見も得られたため以下に報告する。

1. 施設概要

明石市鳥羽浄水場フローを図1、同浄水場施設諸元を表1に示す。原水は河川（明石川）から導水され、一旦貯水池（野々池）に貯留される。その後導水ポンプで浄水場へ送られ、U-BCF に流入する。生物処理に必要な溶存酸素が夏場に低下するため流入側で曝気を行っている。U-BCF 処理後に別水源の地下水が着水井で混合され、凝集沈殿・急速ろ過

にて浄水処理後、浄水池へ送られる。給水末端の総トリハロメタン濃度は0.07 mg/L を上限として管理されているが、夏場上昇する傾向があり、粉末活性炭を注入して総トリハロメタン除去率の維持を図っている。回収率を上げるため、U-BCF の洗浄排水は上澄水を U-BCF 流入側へ、沈殿池汚泥の濃縮後の上澄水および急速ろ過池洗浄排水は U-BCF 後の混和池へ返送している。

2. 施設の特徴

(1) 水源水質

U-BCF 処理を行う河川原水は、河川から導水された後、一旦貯水池に貯留される。濁度や鉄、マンガン、有機物などは低く安定した挙動を示すが、pH は8～9と若干高い。塩化物イオン、臭化物イオン（トリハロメタン構成成分）は実証実験時と比べ大きな変化はないものの年々微増している。U-BCF の後に流入する地下水は原水量の約40%を占め（平成28年度実績）、鉄およびその化合物濃度

表1 施設諸元

設備全体	計画浄水量	51 000 m ³ /d
	水源	表流水, 地下水
生物活性炭接触ろ過設備	仕様	上向流式
	池数	4池
	通水速度	358 m/d (26 050 m ³ /d)
	ろ材構成	石炭系粒状活性炭（破碎炭）
	洗浄方法	水, 空気による洗浄
凝集沈殿池	仕様	脈動式高速凝集沈殿（傾斜管付）
	池数	3池
急速ろ過池	仕様	自己逆流洗浄式
	池数	24池
排水処理設備	設備構成	排水槽（1池）, 排泥池（1池）, 濃縮槽（1次, 2次）, 脱水機（1台）
薬品注入設備	注入薬品	PAC, 次亜塩, 粉末活性炭

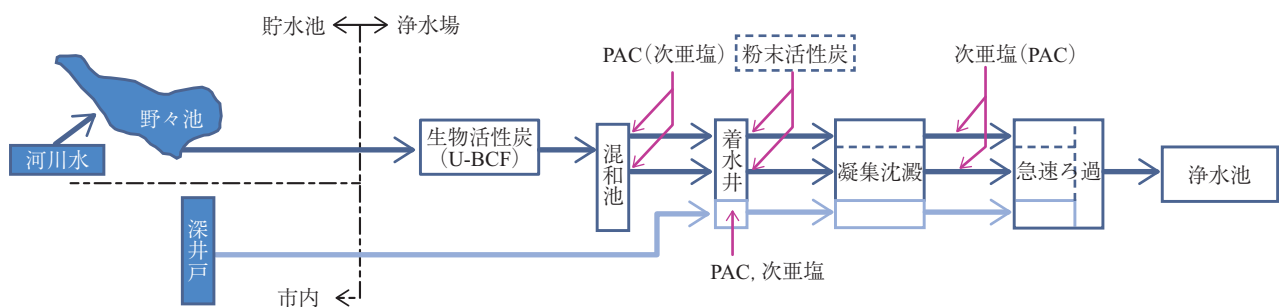


図1 浄水場フロー

表2 原水水質

項 目		生物活性炭 (U-BCF) 入口 (H28~H29)			地 下 水 (H28~H29)			水質基準
		平均	最大	最小	平均	最大	最小	
濁度	度	4.1	6.2	2.6	6.4	9.1	3.1	2
鉄およびその化合物	mg/L	0.2	0.5	0.1	8.6	9.8	7.7	0.3
マンガンおよびその化合物	mg/L	0.05	0.12	0.02	0.70	0.93	0.56	0.05
塩化物イオン	mg/L	29	39	25	146	190	110	200
臭化物イオン	mg/L	0.37	0.46	0.31	0.53	0.78	0.39	—
電気伝導率	μS/cm	283	309	261	600	766	510	—
全有機炭素 (TOC)	mg/L	2.50	2.90	2.00	0.25	0.30	0.20	3
トリハロメタン生成能	mg/L	0.092	0.108	0.076	0.008	0.008	0.007	—

注) 地下水トリハロメタン生成能は実証実験時の値

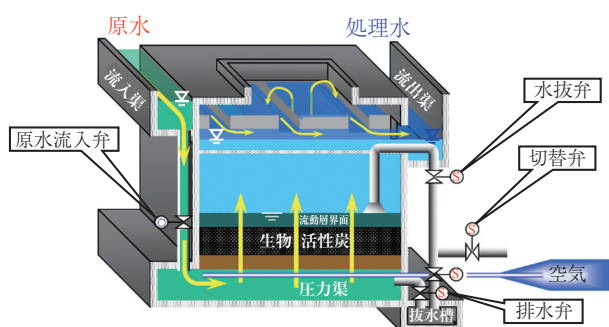


図2 U-BCFの構造

が高い。塩化物イオン、電気伝導率は塩水化の影響で増加傾向にあるが、トリハロメタン生成能は表流水より低い（表2）。

(2) U-BCF（上向流式生物活性炭接触ろ過設備）

鳥羽浄水場に採用された当社のU-BCFは、一般に浄水施設の活性炭吸着設備で使用される粒状活性炭をろ層（微生物担体）として用い、原水に含まれるカビ臭、アンモニア態窒素、溶解性金属（鉄、マンガン）等を、微生物による自然浄化作用を用いて上向流で処理するものである。原水を処理するため、微生物の生息に必要な栄養成分は常に補給され、ろ層内は自然界の川床のような状態が維持される。また上向流のため、ろ層は常に展開し、濁質負荷による閉塞を避けることができる。さらにU-BCFでは、水・空気およびその併用により、ろ層および支持層の洗浄効果を高めている。

ろ層に用いる粒状活性炭は多孔質であり、表面積が大きいため、粒状活性炭の物理吸着能は通水に従い低下するが、微生物は繁殖・維持されやすく、効率的な処理が行える。図2にU-BCFの構造を示す。

また粒状活性炭は微生物担体の位置付けとしており、基本的に交換不要と考えていたが、鳥羽浄水場

に採用されたU-BCFを経過観察したところ、運用開始1年程維持されていたトリハロメタン生成能除去率が、2年目以降低下傾向を示したため、とくに夏場のトリハロメタン生成能を抑制する目的で活性炭の一部交換を行い、この交換の効果検証を行った。

3. 活性炭一部交換の効果検証

(1) 検証の条件

U-BCF内活性炭の交換量は、費用対効果を考慮し15%とした。ただ、設置基準高さ以上を確保した結果、既設の目減りもあり最終的に約20%となった。活性炭は既設と同仕様とし、交換時期はトリハロメタン生成能濃度および総トリハロメタン濃度が夏場に上昇傾向を示すことを踏まえ、5月に交換を実施した。交換後は通常運転を行い、1回/週の採水データを元に効果の検証を行った。

(2) 活性炭一部交換の効果

交換前後におけるU-BCF入出口トリハロメタン生成能濃度を図3に示す。運用開始の平成22年度は20%程度の除去率だったが、約1年後から低下、以降10~20%で推移した。平成28年5月に一部活性炭交換後、平均除去率は運用開始時の20%程度まで改善、交換直後の6~8月は23%程度となり（新炭吸着効果と想定）、一部交換した効果が見られた。また、入口濃度が上昇すると除去率も上昇する傾向が見られた。

一般にトリハロメタン生成能の指標とされる紫外線吸光度について図4に示す。トリハロメタン生成能と同様に活性炭一部入れ替えにより平成28年度以降は低減率が向上、また入口濃度が上昇すると、低減率も向上する傾向があった。

(3) トリハロメタン生成能各成分の傾向

入口の成分比率は年度通じて大きな変化はなく、クロロホルム・ブromoジクロロメタン生成能（塩素

系とする)：プロモホルム・ジブロモクロロメタン生成能(臭素系とする) = 5 : 5~7 : 3で推移している。塩素系トリハロメタン生成能の除去率が比較的高く、臭素系は低い。プロモホルム生成能の除

去率をもっとも低く、一部微増している(表3)。また年度により変動はあるが、塩素系は夏場に濃度が高く、冬場に低い。臭素系は夏場に低く、冬場に高い傾向があった。

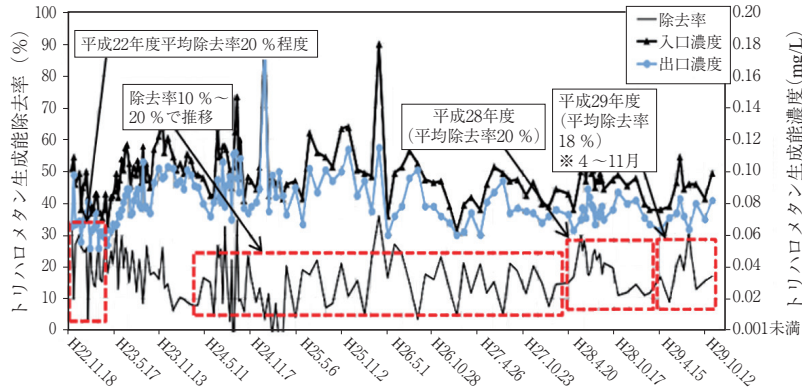


図3 U-BCF 入出口のトリハロメタン生成能濃度

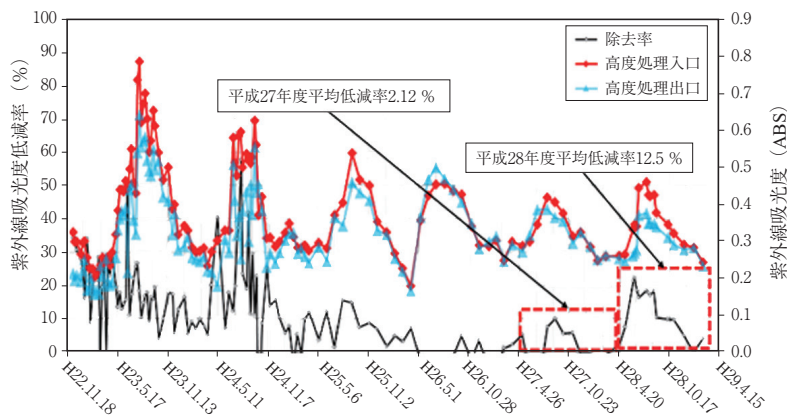


図4 U-BCF 入出口の紫外線吸光度

表3 年度別 THMPF の各成分 (平均値)

	平成22年度		平成23年度		平成24年度		平成25年度		平成26年度		平成27年度		平成28年度		
	濃度 (mg/L)	除去率	濃度 (mg/L)	除去率	濃度 (mg/L)	除去率	濃度 (mg/L)	除去率	濃度 (mg/L)	除去率	濃度 (mg/L)	除去率	濃度 (mg/L)	除去率	
臭素系	プロモホルム生成能	0.009	—	0.008	—	0.008	—	0.004	—	0.007	—	0.006	—	0.006	—
	ジブロモクロロメタン生成能	0.033	—	0.033	—	0.035	—	0.026	—	0.031	—	0.030	—	0.031	—
	プロモジクロロメタン生成能	0.028	—	0.035	—	0.038	—	0.037	—	0.033	—	0.033	—	0.035	—
	クロロホルム生成能	0.017	—	0.025	—	0.025	—	0.036	—	0.027	—	0.020	—	0.023	—
	塩素系 計	0.087	—	0.101	—	0.106	—	0.103	—	0.098	—	0.089	—	0.095	—
生物活性炭入口	プロモホルム生成能	0.008	8%	0.008	-16%	0.008	-1%	0.005	-33%	0.008	-6%	0.006	-19%	0.007	-10%
	ジブロモクロロメタン生成能	0.027	19%	0.030	7%	0.031	11%	0.025	1%	0.031	-47%	0.028	4%	0.028	7%
	プロモジクロロメタン生成能	0.021	25%	0.027	23%	0.031	15%	0.031	17%	0.027	18%	0.028	19%	0.027	23%
	クロロホルム生成能	0.013	24%	0.017	29%	0.021	11%	0.026	26%	0.013	32%	0.016	29%	0.014	36%
	計	0.069	22%	0.082	19%	0.091	12%	0.087	15%	0.079	18%	0.078	15%	0.076	20%

※除去率は、上表の平均値を用いたものではなく、各年度の各データそれぞれの“除去率の年平均値”を示す。

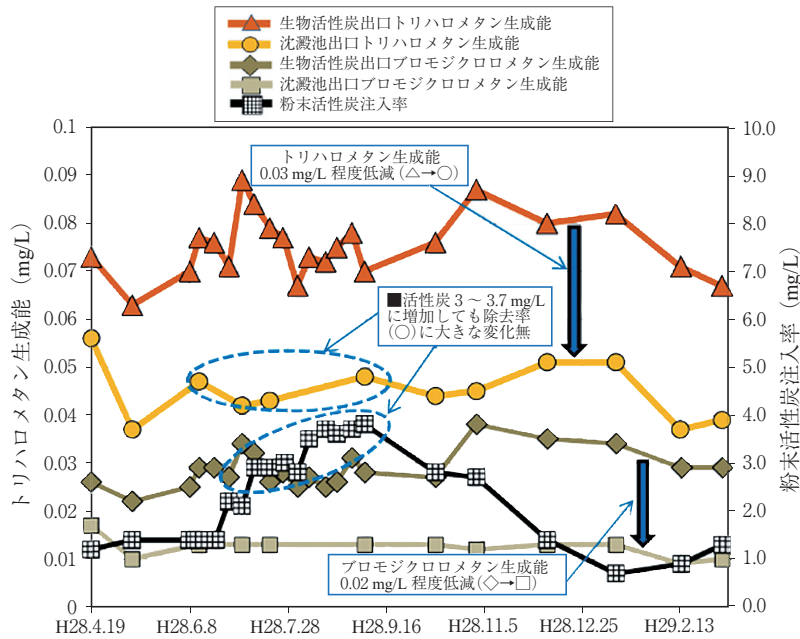


図6 沈殿池出口トリハロメタン生成能と粉末活性炭注入率の関係

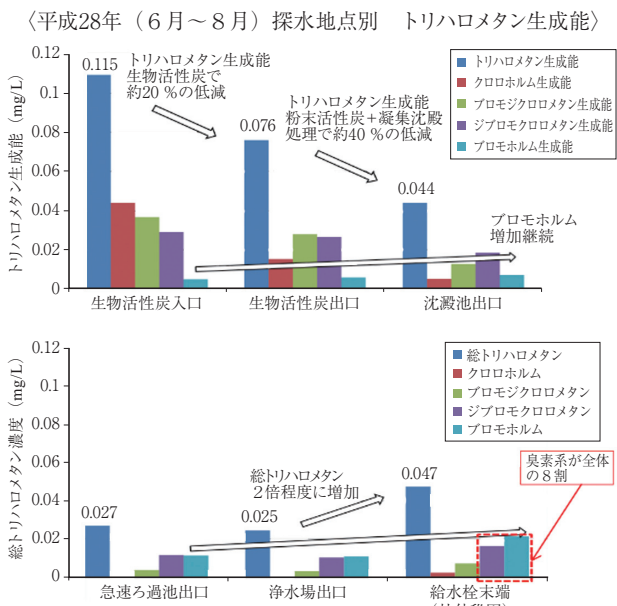


図5 各地点の総トリハロメタンおよび生成能の処理状況 (平成28年度)

(4) 各地点の総トリハロメタンおよびトリハロメタン生成能濃度

活性炭一部交換後の総トリハロメタンおよびトリハロメタン生成能の処理状況を図5に示す(平成28年6~8月)。U-BCF入口から浄水場出口まで、総トリハロメタンおよびトリハロメタン生成能は減少する。これはU-BCF出口で残留(0.069~0.091 mg/L)するトリハロメタン生成能濃度が、凝集沈殿、急速ろ過でも除去されていることを示す。しかし浄水場出口から給水末端に至る間に、配管内で滞留す

ることによって反応が進み、2倍程に増加していた。各トリハロメタン成分別に見てみると、塩素系に比べ臭素系の増加率が高い。とくにブromoホルムは浄水場入口(U-BCF入口)から給水末端まで増加し続けている。これらの結果、U-BCF入口から給水栓末端までを俯瞰すると、塩素系トリハロメタン濃度と臭素系トリハロメタン濃度の大小関係が逆転するという現象が生じた。

(5) 粉末活性炭注入との関係(沈殿池出口)

U-BCF処理後の平成28年度のデータでは、U-BCF後段に粉末活性炭を注入することで、沈殿池出口のトリハロメタン生成能は0.03 mg/L程度除去、とくにプロモジクロロメタン生成能が0.02 mg/L程度除去されており、トリハロメタン生成能低減に寄与している。また夏場に粉末活性炭を増量してもトリハロメタン生成能除去率に大きな変化はなかった(図6)。その他、浄水場出口において、粉末活性炭注入率を増加(1→3 mg/L程度)すると総トリハロメタンのピークが下がったが、その後夏場3 mg/L→3.7 mg/Lに増やしても大きな変化はなかった。冬場に向け注入率を下げてもプロモジクロロメタンの低減率はほぼ変化がないため、粉末活性炭よりも凝集沈殿による除去効果が高い可能性がある。

(6) 粉末活性炭との関係(浄水場出口)

トリハロメタン生成能濃度および総トリハロメタン濃度は、浄水場出口および給水栓末端で夏場に高い傾向を示す。粉末活性炭は着水井へ注入されているが、平成23年、24年の注入率1 mg/Lから平成27

年に5 mg/Lへ増加した結果、大幅な低減はないがピークは抑えられた。また、総トリハロメタンはブロモホルムの増減に連動する傾向があった。

粉末活性炭の増減に関わらずクロロホルムはほぼ0 mg/Lとなり、浄水場においておおむね除去されていることが分かった(図7)。これはU-BCF出口で残留(0.013~0.026 mg/L)するクロロホルムが後段の粉末活性炭だけでなく、凝集沈殿、急速ろ過でも除去されていることを示す。

(7) 給水末端の管理手法

給水末端の総トリハロメタン濃度には水温との相関が見られ、水温20度以上で0.05 mg/Lを超えることがあった。また、原水における表流水の割合が大きくなると、総トリハロメタン濃度がやや高くなる傾向があった。また、浄水場出口におけるジブロモクロロメタン濃度と水温を掛けた値が0.18 (°C・mg/L)を超えると総トリハロメタン濃度が0.05 mg/Lを超える傾向があった(図8)。給水末端の総トリハロメタンの管理値としての適用が検討できる。また、本グラフを見たところ、給水栓末端のトリハロメタン濃度が一定値に向かって収束しているように見える。これは、実際の原水のトリハロメタン生成能濃度にはある程度の幅があるため、給水栓末端のトリハロメタン濃度の上限収束が発生したものと考えられる。本グラフを用いた予測方法は、水温と給水栓末端のトリハロメタン濃度との単純な比例関係による予測に比べ、より精度の高い原水水質の変動に追従可能な予測方法となりうる。

4. 保全計画

平成28年5月に活性炭の一部交換後、1年後(H29年度)においてもトリハロメタン生成能濃度除去率は18%程度(4~11月)、夏場(6~8月)は23%程度を維持している(図3)。この結果から、

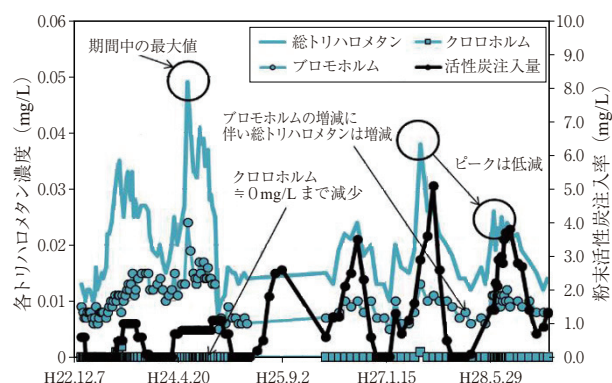


図7 浄水場出口総トリハロメタン濃度と粉末活性炭注入率

活性炭は2年周期で20%交換するとした。また毎年6月より水温が上昇し、給水末端の総トリハロメタン濃度も上昇するため、5月末までに交換作業を完了し、新炭による吸着能によって夏場のトリハロメタン生成能濃度低減を図ることとした。

5. 検証の継続

さらなるデータ収集・水質改善・コスト削減に向けた取組みとして、平成30年5月に4池中2池のみを20%交換し、その効果を検証中である。図9に平成28, 30年の夏季6~8(9)月におけるトリハロメタン生成能、総トリハロメタンの処理状況を示す。平成28, 30年度ともトリハロメタン生成能、総トリハロメタンの各地点での除去状況は同等、また平成30年度については、4池中2池のみ活性炭を交換したが、4池交換した平成28, 29年度と同等の除去率を示している。平成30年度の夏場のU-BCF運用は、給水末端の総トリハロメタン抑制のため野々池処理を減らし4池中2池を通水、かつ活性炭交換の有無各1池ずつとしたため、活性炭交換率は10%と仮定した。図10に活性炭交換有無の差によるU-BCFでのトリハロメタン生成能の除去率の差異を示す。活性炭を20%交換した池の方がおおむねトリハロメタン生成能の除去率が高く、活性炭一部交換が寄与していると考えられる。

ただし、平成28年と平成30年の6月1日から9月15日の生物接触ろ過池前後での水質データを比較する場合、運転池数、活性炭交換の有無により、処理水質への活性炭入替の影響が変わることに留意する必要がある。運転条件が平成28年度と異なるため、給水栓末端トリハロメタン濃度抑制をしながら更なる活性炭交換頻度の抑制を図るには、平成30年度の検証に加えて今後とも検証を続けていく必要がある。

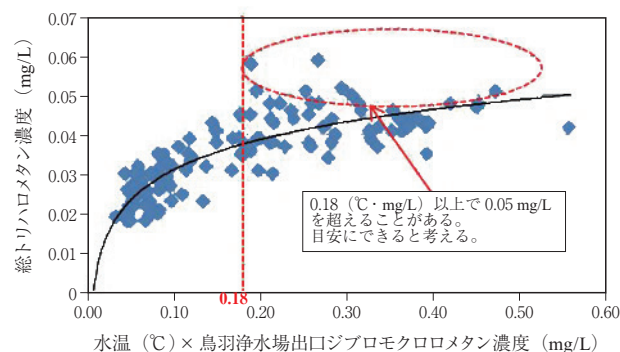


図8 浄水場出口の水温・ジブロモクロロメタン濃度と給水栓末端総トリハロメタン濃度

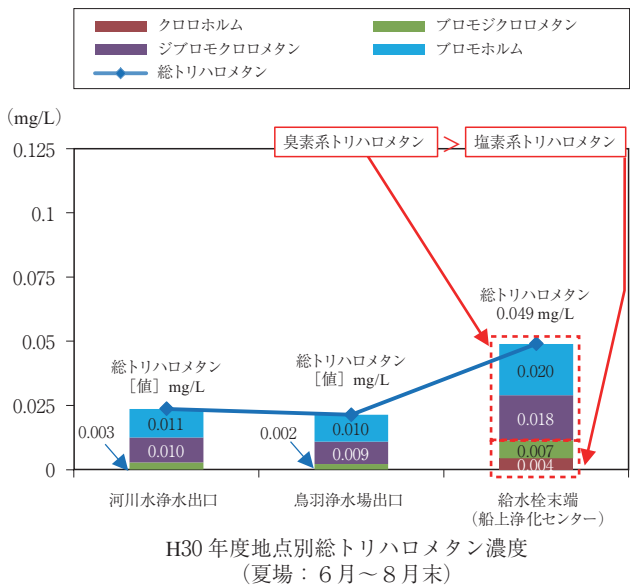
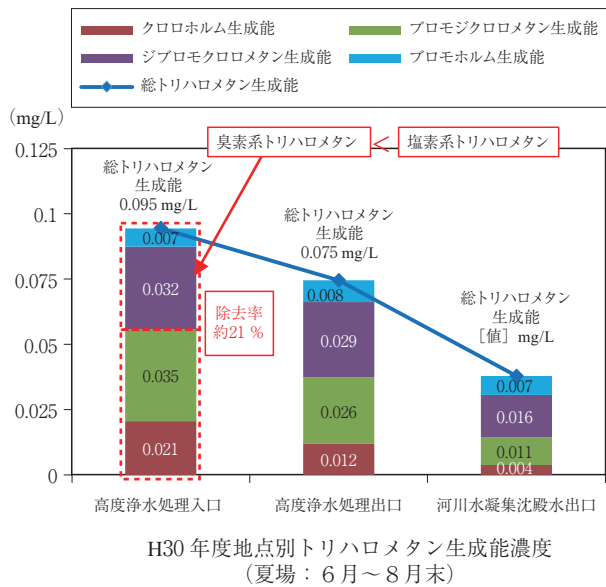
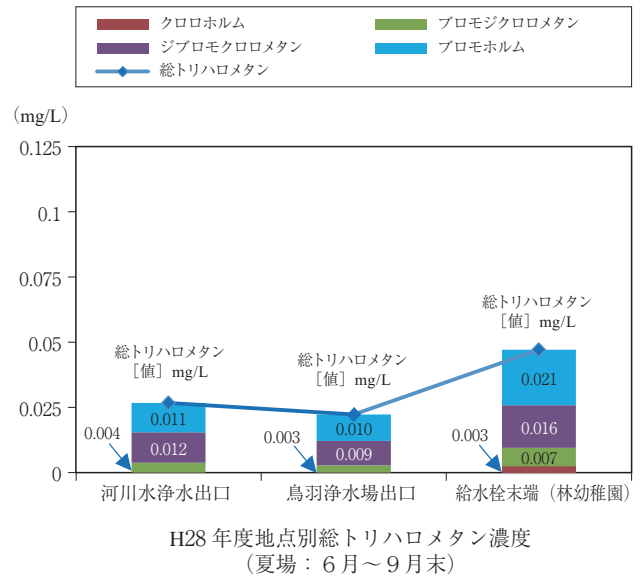
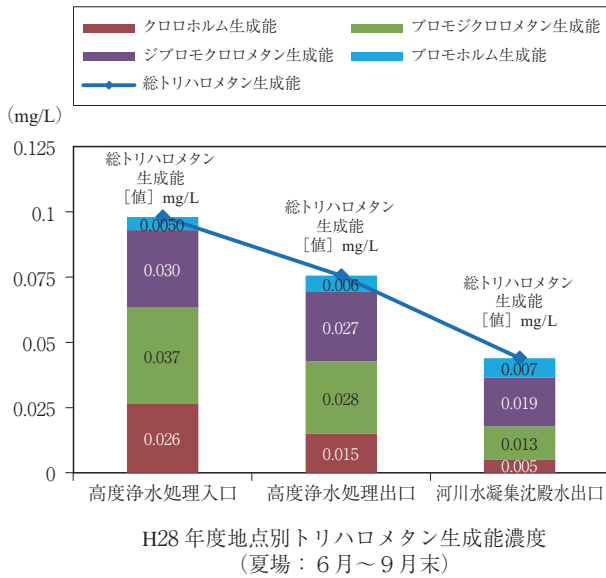


図9 採水地点別のトリハロメタン生成能、総トリハロメタンの推移 (平成28、30年)

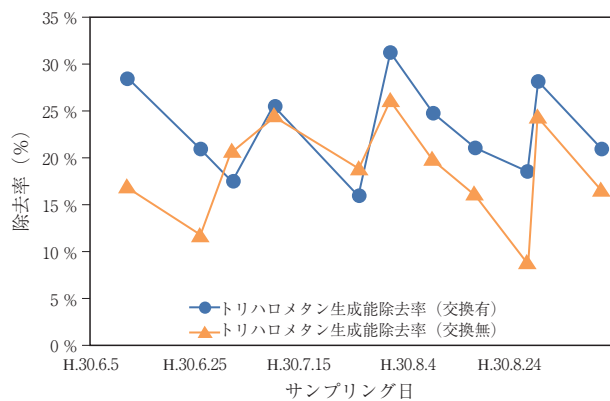


図10 活性炭交換有無の差による THMFP 除去率の比較

6. 保全計画の見直し

平成30年度夏場のデータを踏まえ、平成28年度に提案した保全計画について以下のとおり見直しを検討している。

- ・活性炭交換量：20% (平成28年度と同じ)
- ・活性炭交換頻度：4池を対象に1回/2年 または2池を対象に1回/年
- ・交換時期：5月末までに実施 (平成28年度と同じ)
 なお、冬場を含む通年データが取れ次第、改めて見直す予定である。

7. 今後の課題

(1) ハロ酢酸濃度

本検証ではトリハロメタンに焦点を絞り、活性炭一部交換により U-BCF によるトリハロメタン生成能除去率の改善という成果を上げることができた。しかしながら、トリハロメタンと同様に消毒副生成物となるハロ酢酸に関しては、本検証においてはデータを収集していない。ハロ酢酸もトリハロメタンと同様に発がん性物質として注視すべき項目であり、水道法に基づく水質基準にも定められている。今後、ハロ酢酸についても検討していきたい。

(2) 浄水場における迅速な給水栓末端トリハロメタン濃度把握手法の模索

浄水場出口におけるジブロモクロロメタン濃度を迅速に把握することができれば、本検証にて導出した給水栓末端トリハロメタン濃度予測方法をより簡便に用いることが可能となる。本予測方法が実際に使用可能となれば、より柔軟な給水栓末端トリハロメタン濃度制御に繋がる可能性がある。そのためにも、浄水場出口におけるジブロモクロロメタン濃度を迅速に把握する手法の模索についても今後検討していきたい。

むすび

U-BCF でのトリハロメタン生成能除去については、まだ不明確な点も多い。しかし、本検証においては定期的交換を前提とする粒状活性炭による吸着処理や、ランニングコストが高み臭素酸など副生成物の懸念があるオゾン処理の代わりに、生物活性炭による効率的なトリハロメタン生成能の除去と給水末端の総トリハロメタンの抑制を行える見通しが得られたと考えている。

明石市においては、今後も本検証業務を継続するとしている（次回で3年度目）。当社が引き続き協力することで、今回得られた知見を元に検証を深化し、原水を生物活性炭接触ろ過設備（U-BCF）を用いて処理することによるトリハロメタン生成能の抑制、給水末端の総トリハロメタン抑制手法を見極めていきたい。

謝辞

本検証を行うにあたり、データ提供や運転管理に配慮頂いた明石市水道局関係者の皆様に謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 「平成28年度鳥羽浄水場水質保全支援業務委託」平成29年3月31日 明石市水道部／神鋼環境ソリューション 編

攪拌式凍結乾燥機の開発

Development of Mixer-type Freeze Dryers



小川智宏*
Tomohiro Ogawa



前背戸智晴*
Tomoharu Maeseto
博士 (工学)

凍結乾燥は長期保存が可能な製品を得る方法として知られており、熱劣化防止や有効成分保持にも有効である。棚式凍結乾燥機は食品や医薬品の製造に利用されている。しかしながら、乾燥時間が長い、設備コストや運転コストが高い、また製品回収性等に問題があり、その利用用途は限定されている。

当社では乾燥効率と粉体のハンドリング性が良好な攪拌式真空乾燥機を製作しており、これを応用した凍結乾燥プロセスの生産性向上を検討している。現在、容器回転型真空乾燥機 N-CDB を元にした攪拌式凍結乾燥機のパイロット装置を製作し検証を行っており、果物の凍結粉碎原料について粉末状の乾燥製品が得られ、回収性も非常に良好であることが確認された。またその乾燥時間については、真空乾燥機と同じ方法でスケールアップ可能であることを確認した。

Freeze drying is well known as a process for creating dried products that can be stored for long periods of time and it also can prevent thermal deterioration and preserve active ingredients. Shelf-type freeze-drying devices are used in the production of foods and pharmaceuticals. However, the market for the freeze-drying process seems to be limited because of the costly equipment and high running cost, long drying time and its low collection ratio for products. We are investigating the applicability of our vacuum dryers, which offer good drying efficiency and powder handling as a way to improve the productivity of the freeze-drying process. At present, we have manufactured pilot-scale equipment of a mixer-type freeze dryer based on our vessel rotary mixing dryer N-CDB, and have been investigating its performance. Regarding cryogenically ground fruit materials, we confirmed that the collection ratio for powder products from the mixer-type freeze dryer was very high. Regarding the drying time, we also confirmed that the mixer-type freeze dryer is able to be scaled up in the same way as our vacuum dryers.

Key Words :

凍	結	乾	燥	Freeze drying
真	空	乾	燥	Vacuum drying
攪	拌	式		Mixer-type
伝		熱		Heat transfer

まえがき

凍結乾燥は、製品の保存性、熱劣化防止、有効成分保持が可能な乾燥方法であり、食品分野や医薬品分野で利用されている技術である。凍結乾燥には、棚式（静置式）凍結乾燥機が一般的に用いられているが、乾燥時間の長期化、機器や運転コストの高さ、製品回収性や洗浄作業性に問題があり、その利用用途は限定されている¹⁻⁴⁾。

既報¹⁾では生産性の向上を目指した当社真空乾燥機を用いた攪拌式凍結乾燥の可能性について紹介した。当社では現在、真空乾燥機コニカルドライヤN-CDBを元にした攪拌式凍結乾燥機のパイロット装置を製作し検証を行っている。本稿ではこの攪拌式凍結乾燥機のパイロット装置、および検証内容の一例を紹介する。

1. 凍結乾燥

1.1 凍結乾燥の原理とその用途

凍結乾燥は、固体（水）から気体（水蒸気）への状態変化（昇華）を利用した乾燥方法である。水の状態図を図1に示す。水の沸点は1気圧（約 10^5 Pa）で 100°C であるが、減圧することで低下する。凍結乾燥は三重点以下の高真空領域・低温下にて、固体（水）から液体（水）を経ずに、気体（水蒸気）に昇華させる乾燥方法である。凍結乾燥は乾燥製品が多孔質で復水性に優れることなどから保存食品の乾燥に、また熱劣化や組織破壊が少なく成分保持が可能なことから注射製剤やバイオ医薬品、生菌・酵素・タンパク質といった弱熱性製品の乾燥に用いられている技術である^{1, 5-7)}。

1.2 棚式凍結乾燥機

凍結乾燥には現在、一般的に棚式凍結乾燥機が用いられている。棚式凍結乾燥機は、熱媒循環等により加熱可能な棚板上に原料トレイを乗せて熱伝導により加熱する棚板式、原料トレイの上面または上下

面にヒータ等の熱源を設置し輻射熱にて加熱する輻射式に大別される。

棚式凍結乾燥機における昇華状態の概念図を図2に示す。乾燥に必要な熱は加熱棚もしくは上下面に設置されたヒータ等から凍結原料に供給される。乾燥によって生じた昇華蒸気は乾燥に伴って内部から外部へ拡散するため、乾燥層が蒸気の拡散抵抗となる（図2-b）。昇華速度 \gg 拡散速度の状態では乾燥が進むと、昇華蒸気が製品内部で局所的に滞留し、圧力が三重点を超えて製品が再融解する可能性が高まる。これはコラプス（Collapse）と呼ばれる現象で、凍結乾燥の速度が制限される要因となる（図2-c）¹⁾。

棚式（静置式）凍結乾燥は古くから用いられている技術ではあるが、乾燥条件等のノウハウ化、プログラム化された運転管理が必要な「難しい」乾燥方法であり、乾燥時間が長い、製品回収作業性が悪い

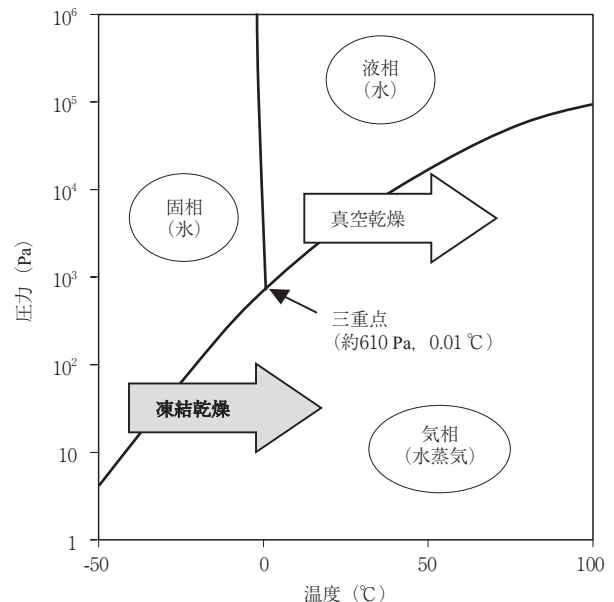


図1 水の状態図

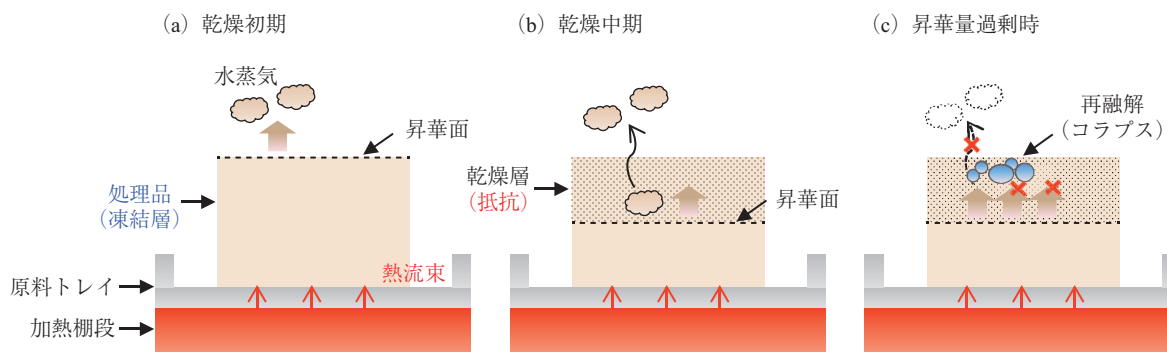


図2 棚式凍結乾燥機における昇華状態の概念図（棚板式の例）

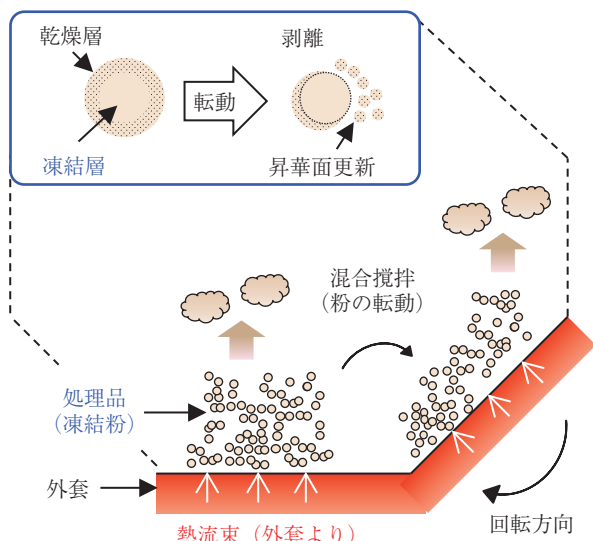


図3 攪拌式凍結乾燥機における昇華状態の概念図

ことやトレイの洗浄作業性に改善要素を抱える他、機器や運転コストの高さが指摘されている^{1, 8, 9)}。

2. 攪拌式凍結乾燥機

2.1 攪拌式凍結乾燥方式

当社では、医薬品粉体乾燥用に開発した容器回転型真空乾燥機 N-CDB の構造をベースに攪拌式凍結乾燥機の開発を行っている。

攪拌式凍結乾燥機における昇華状態の概念図を図3に示す。凍結粉体を混合・攪拌しながら乾燥することで、

- 1) 粒子表面からの乾燥
- 2) 伝熱面更新による伝熱促進
- 3) 昇華蒸気の拡散抵抗低減
- 4) 製品の均質化

を図るものである¹⁾。

棚式凍結乾燥機では、乾燥が進むにつれて乾燥層が抵抗となり昇華面の圧力が上昇する。それに対し、攪拌式凍結乾燥機では、混合・攪拌により乾燥層が剥離することで昇華面が常に粒子表面に晒されるため、直接昇華面に熱を加えることができ、さらに伝熱面が常に更新されることで伝熱が促進され、乾燥時間の短縮化、また攪拌による製品の均質化を図ることができる。

攪拌式凍結乾燥機はコールドトラップ側への原料流入を防止するためフィルタを備えており、フィルタ圧損を考慮する必要があるが、乾燥層が昇華蒸気拡散の妨げになることがなく、缶体内圧力 (= 昇華面圧力) や缶内試料温度 (= 粒子表面温度 = 昇華面温度) を常時モニタリングできるので、製品状態の把握やコラプス防止の制御もし易く、また乾燥後は



写真1 攪拌式凍結乾燥機パイロット機ユニット

粉末状の製品が得られるため、粉碎工程が不要といった利点がある。その他、真空乾燥機が有する優れた洗浄性により、バッチ間の洗浄作業時間を短縮することが可能である¹⁾。

2.2 攪拌式凍結乾燥パイロット装置

当社ではこの度、攪拌式凍結乾燥機のパイロット装置を製作し、実証テストを行っている。その外観、プロセスフロー、仕様を写真1、図4、表1に示す。乾燥機内に温度センサおよび圧力センサを設置し、外套温度や真空配管部圧力等と合わせて常時モニタリングすることで、乾燥機内の製品状態を常に把握することができる。

3. 攪拌式凍結乾燥機の検証

3.1 攪拌式凍結乾燥機による乾燥例

この度、大阪ガスリキッド株式会社より凍結原料を提供頂き、攪拌式凍結乾燥機パイロット装置にて乾燥試験を実施した。その試料と試験条件を表2に示す。試験では事前に冷却した乾燥機内に試料を投入した後、真空ポンプで排気を開始し、凍結乾燥を開始した。攪拌条件は試料の混合状況を観察して調整し、加熱条件はモニタリングしている各温度、各圧力の指示値を見ながら調整した。

試験結果を表3に示す。ブルーベリーはレモンよりも糖質が多く含まれるためコラプス温度が低く、試験では初期外套温度も低く設定し、投入量も少なくして乾燥を実施したが、いずれの試料も目標含水率まで乾燥粉末化することができることが確認できた。また乾燥後の機器壁面には殆ど付着もなく、乾燥後の試料を容易に回収することが可能であった。

試験中の経過時間に伴う各温度、圧力の計測結果の一例を図5に示す。いずれの試験においても缶内試料温度が外套温度に、缶内圧力が真空配管圧力に漸近していく様子から、乾燥終点を精度良く見極めることができることが確認されている。今回試験に

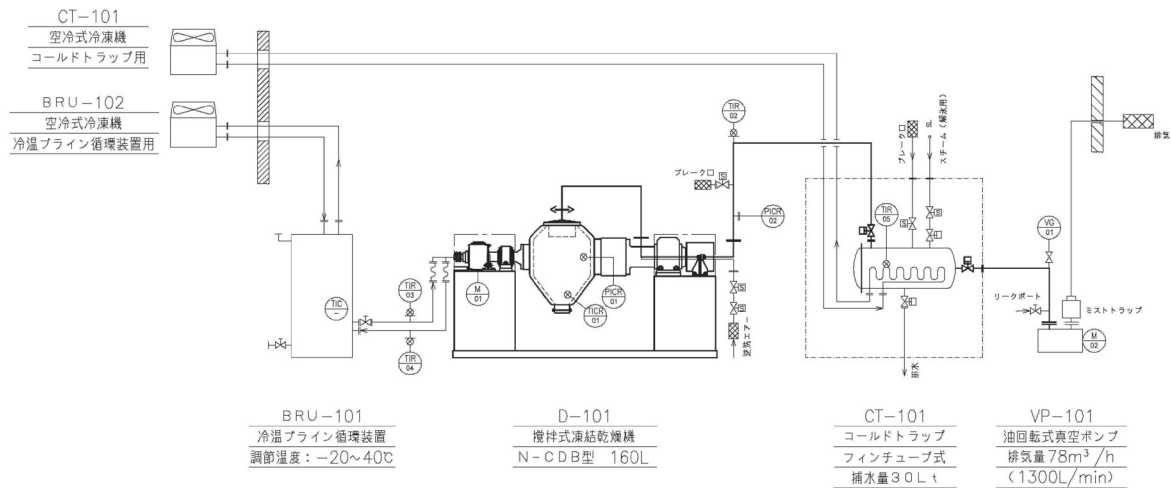


図4 プロセスフロー

表1 攪拌式凍結乾燥パイロット機ユニットの仕様

項目	機器仕様
乾燥機	160 Lt N-CDB タイプ
温調設備	冷温ブライン循環装置 (-20℃~40℃)
コールドトラップ	フィンチューブ式 (-45℃, 捕水量30L)
真空排気系	2.2kW 油回転式真空ポンプ (排気量1300 Lt/min.)

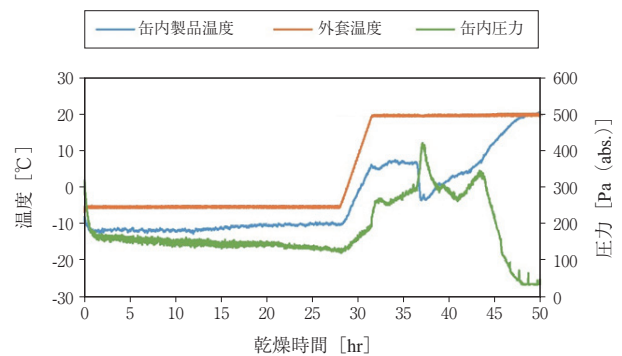


図5 各測定データ (レモン30 kg 乾燥時)

表2 パイロット機ユニット試験条件

試料種類	レモン	ブルーベリー
原料水分率 (wt%)	86.9	87.6
処理量 (kg)	30	10
加熱温度 (℃)	-5~20	-10~20
試験時間 (hr)	50	71

表3 パイロット機ユニットによる凍結乾燥試験結果

試料		レモン	ブルーベリー
機器内部の 写真	乾燥前		
	乾燥後		
乾燥後水分率 (wt%)		13.7	13.2

用いた試料はいずれも二次凝集しやすい性質があり、乾燥初期からφ50~100 mm程度の塊の存在が確認された。その塊は乾燥が進むにつれて徐々に小さく解砕され、最終的には粉末化されたが、塊の内側には熱が伝わり難いため乾燥時間が長くなる要因となっており、今後の課題である。今後、二次凝集の防止による塊の低減、また攪拌条件や加熱条件の最適化により、さらなる乾燥時間の短縮化の検討を進めていく。

3.2 攪拌式凍結乾燥機スケールアップによる乾燥時間推定

当社の攪拌式凍結乾燥機は外套から内部原料粉体を加熱する間接加熱方式で、当社真空乾燥機と全く同じ方式であり、同様のスケールアップ式が適用できると考えられ、その適用性について検討した。

間接加熱方式は外套の熱媒体から内部粉体への伝熱係数の影響を受ける。その値は総括伝熱係数 U と呼ばれ、原料粉体、乾燥条件 (攪拌方法) によって異なるもっとも重要なファクターである。単位時

間当たりの内部粉体原料に与えられる熱量 Q および総括伝熱係数 U はそれぞれ下記式 (1), 式 (2) で表される。

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T + q \quad (1)$$

$$U = (h_i^{-1} + h_w^{-1} + h_j^{-1})^{-1} \quad (2)$$

ここで、

A : 伝熱面積

ΔT : 平均温度差

q : 攪拌熱

h_i : 缶内側境膜伝熱係数

h_w : 壁面伝熱抵抗

h_j : 外套側境膜伝熱係数

である。この単位時間当たりの内部粉体原料に与えられる熱量 Q は原料粉体に含まれる氷の昇華と温度上昇に費やされ、下記式 (3) で表される。

$$Q = \frac{m\lambda + MC_p(T_2 - T_1)}{\theta} \quad (3)$$

ここで、

θ : 乾燥時間

λ : 氷の昇華潜熱

m : 昇華される氷の重量

M : 原料粉体重量

C_p : 原料粉体の平均比熱

T_1 : 初期粉体原料温度

T_2 : 乾燥後粉体原料温度

である。以上の式 (1), 式 (3) より、乾燥時間 θ は下記式 (4) で表される。

$$\theta = \frac{m\lambda + MC_p(T_2 - T_1)}{U \cdot A \cdot \Delta T + q} \quad (4)$$

総括伝熱係数 U は粉体性状や攪拌方法、加熱方法によって異なる値となることから、真空乾燥機においては、小型テスト機などで総括伝熱係数 U を求め、実機乾燥時間の設計を行う¹⁰⁾のが一般的である。

今回、攪拌式凍結乾燥機についてもパイロット装置にて仕込量を変化させて乾燥を実施したところ、上記式 (4) による推定乾燥時間と良く一致する結果が得られており、真空乾燥機と同様の方法で乾燥時間の推定が可能であることが確認されている。

また既報にて検証に使用した 3 Lt テスト機により、パイロット機と同じ原料について乾燥を実施し乾燥時間を確認したところ、上記式 (4) による推定乾燥時間よりも長くなる結果となった。式 (3) から

3 Lt テスト機における蒸発量を算出したところ真空配管内において配管径が細いため昇華蒸気速度が音速を超える計算結果となった。実際には音速の臨界状態 (チョーク流れ) となり配管における蒸気流量が律速となる。これが原因で式 (4) による推定乾燥時間よりも長くなったと考えられる。凍結乾燥では三重点以下の高真空操作において昇華蒸気の容量が非常に大きくなるため、チョーク流れが発生しないように蒸気配管径の設計にも注意が必要といえる。

むすび

本稿では攪拌式凍結乾燥機のパイロット装置、および検証内容等について紹介した。検証試験により、攪拌式凍結乾燥が攪拌式真空乾燥と同様の考え方でスケールアップが可能であることを確認した。攪拌式凍結乾燥機により乾燥時間の短縮化、回収作業性や洗浄作業性の向上、後粉碎工程不要等、生産コスト低減が可能になるものと考えられる。また当社真空乾燥機 PV ミキサーを、自己凍結による凍結原料作製から凍結乾燥までを 1 台で実施可能な凍結乾燥機として適用することを検討しており、今後、小型テスト機やパイロット装置を用いた検証を継続し、攪拌式凍結乾燥機のメリットを生かしたプロセスや新たな分野への適用に挑戦していきたい。

最後に検証用の試料として凍結原料を提供頂いた大阪ガスリキッド株式会社にはこの紙面を借りて深くお礼申し上げます。

[参考文献]

- 1) 椿野直樹ほか: 凍結乾燥への攪拌式真空乾燥機の適用, 神鋼環境ソリューション技報, Vol.14 (2017), p.32-37
- 2) 相良泰行: フリーズドライ技術の発展 フリーズドライ食品の開発と最適加熱温度条件の探索法, 月刊フードケミカル, Vol.31 (2015), p.18-29
- 3) 中川究也: 凍結乾燥の基礎と実務への応用 プロセスの最適化に向けた数学モデルの解法と使い方, 情報機構 (2016)
- 4) 大竹聡敏ほか: 凍結乾燥 創薬への応用 (前編), *Pharm Tech Japan*, Vol.30 (2014), p235-246
- 5) Julia Christina Kasper *et.al*: Recent advances and further challenges in lyophilization, *Eur J Pharm Biopharm*, Vol.85 (2013), p162-169
- 6) Robert H. Walters *et.al*: Next Generation Drying Technologies for Pharmaceutical Applications, *J Pharm Sci*, Vol.103 (2014), p2673-2695
- 7) 阿部秀飛: フリーズドライ技術の発展 フリーズドライ乳酸菌の特性とその製造方法, 月刊フードケミカル, Vol.31 (2015), p42-45
- 8) 中村孝士: 真空凍結乾燥について, 日本醸造協会誌, Vol.99 (2004), p93-99
- 9) 林弘通: 食品の乾燥 (3) 真空凍結乾燥と噴霧乾燥の特長と問題点, 調理科学, Vol.25 (1992), p172-181
- 10) 小川智宏: 医薬向けの新しい超乾燥技術, 化学装置, Vol.47 (2005), p52-57

オンサイト型水電解式水素発生装置「HHOG シリーズ」 「スキッドマウントタイプ」をリニューアル

当社は、固体高分子電解質膜を利用した水電解式水素発生装置「HHOG」シリーズの内、水素ガス供給量が毎時20~60 Nm³の「スキッドマウントタイプ」のブラッシュアップを図り、「新型スキッドマウントタイプ」として2018年10月から販売を開始した。

この「新型スキッドマウントタイプ」は、従来機のフローおよびスキッド内の機器配置の見直しを行うとともに、消費電力を低減した当社新開発の電解モジュールを採用した。その結果、水素ガス供給量が毎時60 Nm³の装置の場合、従来機と比較して約30%のイニシャルコスト低減、約20%の設置面積削減、約10%の消費電力低減を達成した。

なお、水素発生量、水素圧力、水素純度などといった基本仕様および、安全に対する各種インタロック機構、水素デマンドに対するクイックな応答、操作しやすいマン・マシンインターフェイスなど従来機が具備する機能はそのまま引き継いでいる。

当社では引き続き、時代やお客様のニーズに合った技術開発を行い、水素社会の実現に貢献できる装置を提案できるよう取り組んでいく。

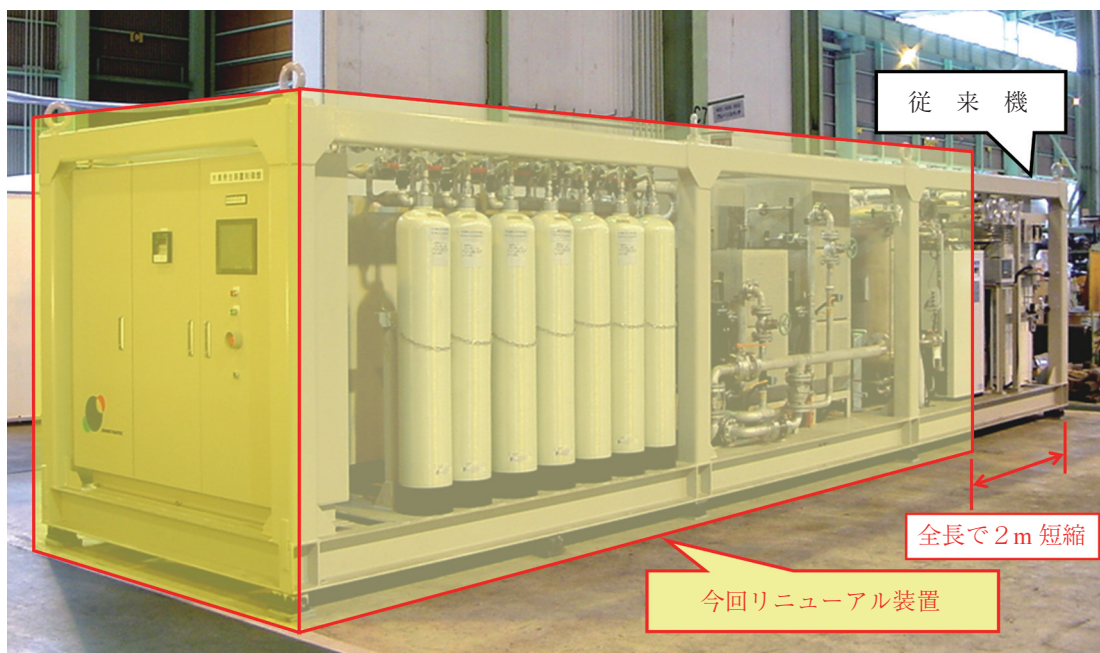


写真 新旧比較イメージ (SH-60D の場合)

表1 従来機との比較
(SH-60 D (水素ガス供給量60 Nm³/h, 高圧型) の場合)

項目	従来機	新型機	備考
水素ガス供給量	60 Nm ³ /h		
水素供給圧力	0.82 MPaG		
水素純度	99.999 %		
水素露点	-70 ℃		大気圧換算
装置概略寸法 全長×幅×高さ (m)	10×2.2×2.5	8×2.2×2.7	
設置面積 (m ²)	22	17.6	
設置容積 (m ³)	55	47.5	
装置乾燥重量	約17 t	約17 t (予定)	
消費電力 (従来機に対する割合)	1	約0.9	定格運転時

表2 HHOG の特長

操作性	<ul style="list-style-type: none"> ・装置の起動/停止がスイッチ1つの操作で可能 ・装置の起動と同時にガスを発生 (ウォームアップ不要) ・使用量に応じガス発生量を0~100%で自動制御
安全性	<ul style="list-style-type: none"> ・電子式, 機械式インターロック機構を各種装備 ・装置内でのガス保有量が少なく水素と酸素の混合を防止 ・危険物, 有害物資を一切使用しない, また排出しない
性能	<ul style="list-style-type: none"> ・純水を直接電気分解するため不純物量が少なく高純度 (5N) ・純水を直接電気分解するため不純物元素が少ない ・CO など燃料電池触媒を被毒する不純物を含まない
その他	<ul style="list-style-type: none"> ・点検は年1回, 消耗品交換はお客様での実施も可能 ・高圧ガス保安法に抵触しない1 MPa 未満の水素発生圧力 ・中東, アジア周辺諸国への納入実績も有り

英国初の廃棄物発電プラントを受注 ～ Hooton Bio Power Project ～

当社は、三井 E&S ホールディングスの100 %子会社であるデンマークの Burmeister & Wain Scandinavian Contractor A/S (BWSC) より都市ごみ等廃棄物発電プラントの基本設計、主要機器（ガス化炉・溶融炉・ボイラ等）供給、および、据付・試運転指導員の派遣業務を受注しました。本件は、当社にとってタイ国 SCG 案件に続く海外4件目、英国では初めての受注となります。

本案件は、英国 Hooton Bio Power Ltd が BWSC と EPC、および、O&M 契約を結ぶとともに、処理システムとして当社のガス化溶融プロセスが採用されております。今回採用された「流動床式ガス化溶融炉」は、当社が独自に開発した技術であり、国内トップの実績に裏付けられた高い安全・安定性を誇ります。また、ごみの保有エネルギーを最大限に回収し、高効率な発電を実現、経済性にも優れています。

当社は、流動床式ガス化溶融技術を核とした海外展開に取り組んでおり、英国においても、廃棄物発電案件の発掘・対応に注力してまいりました。英国では、埋立て処理の軽減を目指し、また、CfD 制度（英国版 FIT：固定価格買取制度）の継続により、廃棄物発電施設の建設需要が続いております。当社は、本件を契機に英国でのビジネス拡大を図るとともに環境保全、循環型社会の実現に貢献してまいります。

[案件の概要]

- 案 件 名：Hooton Bio Power Project
- 契 約 先：Burmeister & Wain Scandinavian Contractor A/S (BWSC)
- 業 務 内 容：基本設計、主要機器供給、据付・試運転指導員の派遣
- 処 理 能 力：流動床式ガス化溶融炉 600 (t/d) (300 t/24 h/炉 × 2 炉)
- 建設予定地：South of the Wirral, North West England



完成予想図 (BWSC 社提供)



建設予定地



現地工事の進捗状況 (出典：<https://www.cogenuk.com/projects>)

タイ国で廃棄物処理関連事業の基本設計業務を受託 ～ SCG Map Ta Phut New 8MW IWPP Project ～

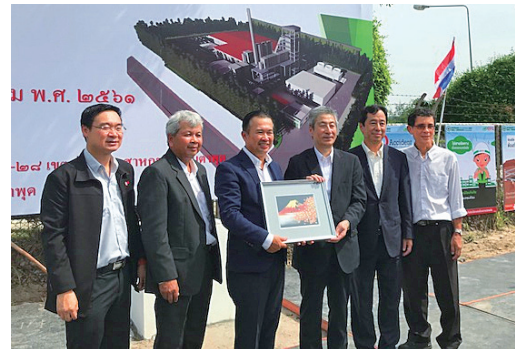
当社は、Cementhai Energy Conservation Co., Ltd.（2019年2月1日付でSCG CEMENT CO., LTD.に吸収合併）より廃棄物発電プラントの基本設計業務等を受託しました。本件は、当社にとりまして海外の廃棄物処理プラント分野において韓国における案件（Pangyo, Paju）に続く3件目、タイ国では初めての受注となります。本件における当社の所掌は、基本設計、据付・試運転指導員の派遣になります。

当社は、流動床式ガス化溶融技術を核とした海外展開に取り組んでおりますが、タイ国をはじめ、東南アジア地域は、経済発展に伴い廃棄物発生量が増加しており、廃棄物発電施設の建設需要が高まると想定されます。当社は、本件を契機にタイ国ならびに東南アジアでのビジネス拡大を図るとともに環境保全、循環型社会の実現に貢献してまいります。



[案件の概要]

- 案 件 名：SCG Map Ta Phut New 8MW IWPP Project
- 契 約 先：SCG CEMENT CO., LTD.
- 業 務 内 容：基本設計および据付・試運転指導員の派遣
- 処 理 能 力：流動床式ガス化溶融炉
65 000 t/年、発電規模 8 MW
- 建設予定地：ラヨン県マプタプット工業団地



起工式の様子



完成予想図（SCG 社提供）

国内最高水準のごみ発電と最終処分場負荷“ゼロ”を実現 八王子市向け (仮称) 新館清掃施設整備および運営事業

八王子市（東京都）から、2018年12月に受注した本事業は、同市から排出されるごみを処理するもので、施設の設計・施工を当社と大豊建設株式会社（東京都）の共同企業体が実施し、引続き当社出資による特別目的会社が、20年6カ月におよぶ運営・維持管理業務を行うものです。

今回採用した「流動床式ガス化燃焼炉」は、従来の流動床式焼却炉をベースとして、「流動床式ガス化溶解炉」で培ったガス化・気体燃焼技術を織込むことで、低空気比での安定焼却と高効率発電を可能とした次世代型焼却炉です。本施設では、さらに高温高圧ボイラ（6 MPa × 450 °C）を採用し、国内最高水準の発電効率（25.2 %）を発揮します。また、流動床式ガス化燃焼炉では未酸化で資源価値の高い鉄・アルミを回収でき、これに加えて焼却残渣・焼却飛灰をエコセメント化することにより、最終処分場負荷“ゼロ”を実現します。

事業の概要

- 事業名：【設計建設】神鋼・大豊建設特定建設工事共同企業体
【運営維持管理】株式会社八王子環境サービス（当社出資による特別目的会社）
- 事業方式：DBO方式（Design：設計 Build：建設 Operate：運営）
- 事業期間：【設計建設期間】2018年12月から2022年9月までの3年9カ月間
【運営維持管理期間】2022年10月から2043年3月までの20年6カ月間

施設の概要

- 焼却施設 ごみ処理能力：160 t/d（80 t/24 h × 2 系列）



施設完成イメージ図

本 社 / 〒651-0072 神戸市中央区脇浜町1丁目4-78 ☎ (078)232-8018 FAX(078)232-8051
〒651-0086 神戸市中央区磯上通2丁目2番21号(三宮グランドビル) ☎ (078)232-8018 FAX(078)232-8051
技術研究所 / 〒651-2241 神戸市西区室谷1丁目1-4 ☎ (078)992-6500 FAX(078)997-0550
東 京 支 社 / 〒141-0033 東京都品川区西品川1丁目1番1号(飯島町駅前ビル) ☎ (03)5931-3700 FAX(03)5131-5700
大 阪 支 社 / 〒541-8536 大阪市中央区備後町4丁目1-3(御堂筋三井ビル) ☎ (06)6206-6751 FAX(06)6206-6760
九 州 支 社 / 〒812-0012 福岡市博多区博多駅中央街1-1(新幹線博多ビル) ☎ (092)474-6565 FAX(092)441-4440
北 海 道 支 店 / 〒060-0004 札幌市中央区北四条西5丁目1-3(日本生命北門館ビル) ☎ (011)241-4647 FAX(011)241-5759
東 北 支 店 / 〒980-0811 仙台市青葉区一番町1丁目2-25(仙台NSビル) ☎ (022)716-6651 FAX(022)263-2049
名 古 屋 支 店 / 〒451-0045 名古屋市西区名駅2丁目27-8(結露乃イメントビル) ☎ (052)581-9876 FAX(052)563-2313
播 磨 製 作 所 / 〒675-0155 兵庫県加古郡播磨町新島19 ☎ (079)436-2500 FAX(079)436-2506
室 蘭 SD 製 造 所 / 〒050-0055 室蘭市崎守町387-25 ☎ (0143)50-3036 FAX(0143)50-3066
テックビル事務所 / Berliner Allee 55, 40212 Düsseldorf Germany ☎ +49-211-7792-0430 FAX+49-211-7792-0450
プノンペン事務所 / Soma Tower, 1st Floor, #2C, street 120, Sangkat Phsar Thmey II, Khan Daun Penh, Phnom Penh, Kingdom of Cambodia
☎ +855-23-210-301 FAX+855-23-210-309

神鋼環境ソリューション技報 2018年度 Vol.15 No.2 通巻30号

〈本社〉株式会社神鋼環境ソリューション 〒651-0072 神戸市中央区脇浜町1丁目4-78

〈編集発行〉〒651-2241 神戸市西区室谷1丁目1-4 株式会社神鋼環境ソリューション 技術開発センター(神鋼環境ソリューション技報編集委員会事務局)

☎ (078)992-6527 FAX (078)992-6504 <http://www.kobelco-eco.co.jp>

〈編集委員〉編集委員長/田頭成能 委員/高橋円・細田博之・小川正浩・酒井耐治・丸山智裕・荻野行洋・青木勇・菊池雅彦・須田龍生・松本勝生

〈発行〉2019年3月15日印刷 2019年3月20日発行 年2回発行(禁無断転載)《発行人》隅晃彦《印刷所》中村印刷株式会社



 神鋼環境ソリューション

この用紙は、パルプを漂白するときに塩素ガスを使わない
「無塩素漂白(ECF)」という方法で作られています。