

TSK 技報

2017
December

No.20

月島機械株式会社

TSK 月島機械株式会社
www.tsk-g.co.jp

特集 鹿沼市における
新技術開発と官民連携事業

目次

4	巻頭言 技術の進化について	執行役員 寺腰 和由
6	特集 鹿沼市における新技術の開発及び官民共同事業の取組み	
8	特集 論文 中小規模処理場向け下水汚泥脱水乾燥システムの開発	中村 友二
14	特集 技術紹介1 下部コーン型鋼板製消化タンク	澤原 大道・橋本 悠司
18	特集 技術紹介2 混合消化を目的とした食品系バイオマスの前処理技術	澤原 大道・橋本 悠司
24	特集 製品紹介1 吸着蓄熱材を使用した廃熱活用鹿沼実証試験	高砂熱学工業(株) 池田 昌弘・元田 治
28	特集 製品紹介2 消化ガスを燃料としたガスエンジン発電ユニット	青柳 健一
30	特集 紹介1 廃棄物処理事業とそれに伴う創エネルギー事業について	サンエコサーマル(株) 鈴木 陽
32	論文2 酵素法によるバガスからのバイオエタノール製造	小川 綾子・早川 智基・水野 秀明
38	製品紹介3 TSKコンテナ® ~流量制御機能付計量コンテナ~	吉田 修二
40	製品紹介4 海外現地法人の活動 ~マレーシアでの現地法人ビジネス展開と現地事情~	月島エンジニアリングマレーシア(株) 南 茂樹
44	研究所紹介 Part-2 下水処理施設に関連する分析事例の紹介	鈴木 健治
46	解析 G紹介 Part-1 解析グループの技術紹介	今井 淳一
48	コーヒーブレイク 水素の話	
50	会社概要・編集後記	

TSK 技報

No.20 2017

CONTENTS

4	Foreword	TERAKOSHI Kazuyoshi, Executive Officer Solution Technology Dept. Environmental Business Division
6	Feature Introduction Flow	Development of new technology and efforts of public and private joint project in Kanuma City
8	Paper	Development of the dewatering and drying system for sewage sludge in small- and medium-scale plants NAKAMURA Yuji
14	Technology Introduction1	Cone-bottomed steel digestion-tank SAWAHARA Hiromichi / HASHIMOTO Yuji
18	Technology Introduction2	Pretreatment for co-digestion of food waste and sewage sludge SAWAHARA Hiromichi / HASHIMOTO Yuji
24	Product1	Demonstration test of waste heat utilization using adsorbent storage in Kanuma city IKEDA Masahiro / MOTODA Osamu, Takasago Thermal Engineering CO., Ltd.
28	Product2	Gas engine power generation unit using digested gas as fuel AOYAGI Kenichi
30	Introduction1	Waste treatment and energy-creation business SUZUKI Akira, SUN ECO THERMAL CO., Ltd.
32	Paper2	Bioethanol production from sugarcane bagasse using an enzyme method OGAWA Ayako / HAYAKAWA Tomoki / MIZUNO Hideaki
38	Product3	“TSK container” Discharge flow rate controllable weighing container YOSHIDA Shuji
40	Product4	“Business report”Challenge to lead a success of overseas affiliate's business in Malaysia MINAMI Shigeki, Tsukishima Engineering Malaysia Sdn Bhd
44	Introduction of R&D Center Part2	SUZUKI Kenji
46	Introduction of CAE Group	IMAI Junichi
48	Coffee Break	
50	Corporate Profile / Editor's Note	

表紙の写真



紅葉の鬼怒川とライン下り
(栃木県日光市)

技術の 進化について



月島機械は1905年の創業以来110有余年にわたり、産業の基盤となる装置やプラント設備、人々の生活に欠かせない上下水道設備、さらには環境保全設備など、社会とそこに暮らす人々に技術をもって応えてまいりました。会社の歴史とともに先人である諸先輩方の叡智により、常に技術を進化させながら現在に至っております。

技術の進化と考えますと、技術は積み重ねが効くものであるという基本原理があり、常に進歩し続けることができるものだと思います。世の中の技術は日進月歩で進化しており、月島機械も時代のニーズに遅れぬように切磋琢磨を繰り返しながら現在に至っています。また、技術の進化には失敗を伴う場合も多く、失敗からの改善により進化を得ている場合が多いのではないのでしょうか。失敗の積み重ねが進化につながっていると言っても過言では無いと思います。失敗に躊躇すれば進化が遅れ、ビジネスチャンスを失うことも多々あり、技術者は勇気を持って挑戦し、進化を勝ち取ってもらいたいと思います。

月島機械においては保有技術の改良を主体とした技術開発が主流で、徐々に領域を広げてきました。まったく違った発想や新しい考え方によるイノベーションは非常に稀なことであり、こつこつと小さな進化を積み重ねてきたものが保有技術の大半であります。立ち止まること無く、地味でも常に進化を重ねることが重要で、この積み重ねによる技術進化により顧客へ付加価値を生み出したから110有余年にわたり存続することが出来たのだと思います。

以前は化石燃料の枯渇や温室効果ガスの排出増加による地球温暖化抑制に着目したエネルギー問題が議論されてきました。東日本大震災を契機に原子力発電の依存への疑問が生じ、再生可能エネルギーの利用推進がより望まれている社会環境に変化してきました。

今回の技報の内容も再生エネルギー活用推進に付随するテーマがほとんどであり、市場のニーズを鑑みた技術開発が推進されていると言えるのかもしれませんが。また月島機械らしく地味ながら、保有技術に新たな技術を積み重ねた技術進化例が紹介されています。今後これらの技術が市場に出され、市場からの厳しい評価を受けることになります。たとえ厳しい評価を受けても評価は変えることが出来るので、更に進化を加え高い評価を勝ち取るまで関係者はあきらめずに継続することを望みます。

覇権主義が見え隠れする大国の動向、EUや温暖化防止協定の離脱、民族問題に起因する移民問題、不安定な朝鮮半島情勢、脱化石燃料依存からの水素や電気自動車の普及、AIやIOTの急速な進化など世界情勢は常に変化しております。AIの急速な発展により代替化が進み、人がやるべき仕事は大きく変わってくると予想されます。大局を踏まえながら身近なニーズの追求や顧客とのコミュニケーションから、我々に必要な技術進化の種を見極める事が常

に求められています。市場のニーズは常に流動しており、市場のニーズにマッチするよう技術を進化させることが、常に月島機械の技術者に課された命題であると再認識した次第です。

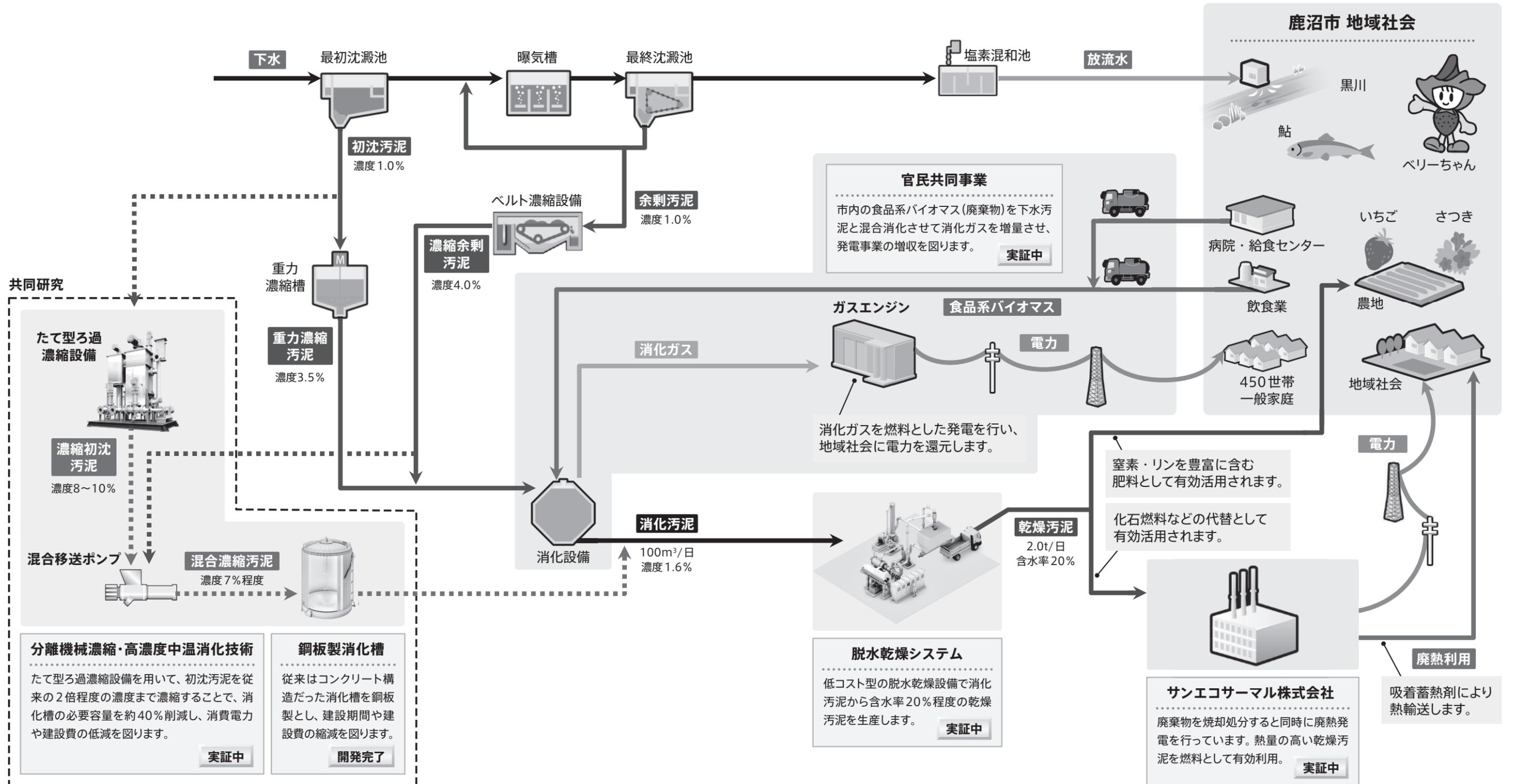


寺腰 和由

執行役員
水環境事業本部
ソリューション技術部担当役員

鹿沼市における 新技術の開発及び官民共同事業の取組み

月島機械では栃木県鹿沼市黒川終末処理場において、新しい汚泥処理技術の開発や官民共同事業など、様々な取り組みを行っております。まず、従来の消化設備の低コスト化及び高効率化を図る技術として、日本下水道事業団殿と『分離機械濃縮・高濃度中温消化技術』と『鋼板製消化槽』を開発しています。更に、消化汚泥の処理技術として、脱水機と乾燥機を一体化した『脱水乾燥システム』を国土交通省国土技術政策総合研究所の委託研究であるB-DASHプロジェクトとして実証しております。また、消化槽から発生する消化ガスを燃料とした発電事業に加え、地域の食品系バイオマス(廃棄物)を消化槽へ投入し、ガスの増量を図る取り組みを、鹿沼市殿と官民共同事業として実施しております。



中小規模処理場向け下水汚泥脱水乾燥システムの開発

Development of the dewatering and drying system for sewage sludge in small- and medium-scale plants



中村 友二
NAKAMURA Yuji
水環境事業本部
ソリューション技術部
新事業グループ

Abstract

A dewatering and drying system combined with centrifugal dehydrator and circulated flush dryer was developed. This system was developed for sewage sludge in small- and medium-scale plants. Through a demonstration test in the last fiscal year, some points as follows were revealed. Dried sludge, with moisture content of 10 % to 50%, is obtained by changing the temperature of the hot gas supplied to the dryer. This system can be controlled automatically, such that dried sludge with small range of moisture content is obtained by continuous test. The dried sludge can be applied to both fertilizer and bio-fuel. Thus, the dried sludge can be used efficiently. Through a feasibility study for applying this system to small- and medium-scale sewage treatment plants, the life cycle cost of this system was found to be lower than that of conventional dewatering systems and dewatering plus drying systems. In addition, a scale-up method for the circulated flush dryer is described.

中小規模の処理場向けに機内二液調質型遠心脱水機と円環式気流乾燥機を組み合わせた脱水乾燥システムを開発した。昨年度実施した実証試験により、本システムでは熱風温度を変えることにより、乾燥汚泥の水分を10%から50%と広範囲で調整することが可能であることが示された。本システムは自動制御ができ、連続運転においても安定した性状の乾燥汚泥を得ることができた。本システムで得られた乾燥汚泥は、燃料用途、肥料用途の両方に適しており、下水汚泥の有効利用ができることが明らかになった。また中小規模処理場向けの導入検討において、従来の脱水設備および脱水設備プラス乾燥設備と比較し、ライフサイクルコストで十分な削減効果が得られるという試算結果が得られた。乾燥機のスケールアップ手法についても紹介する。

キーワード：下水汚泥処理、円環式気流乾燥機、機内二液調質型遠心脱水機、肥料化、燃料化
Keyword: Sewage sludge treatment, Circulated flush dryer, Centrifugal dehydrator, Sludge fertilizer, Bio-fuel

1. はじめに

下水汚泥のバイオマス資源としての利活用促進が「新下水ビジョン」(2014年7月策定)や改正下水道法(2015年7月)にて、国家的な施策として掲げられている。近年、下水汚泥の燃料利用として大規模処理場を中心に燃料化事業が普及しつつある。一方、中小規模処理場では事業規模が小さく、燃料化事業が成立しにくいいため、大部分の処理場では脱水汚泥を外部委託処分しており、その処分費が維持管理費用の約4割を占め、財政上の大きな負担となっている。中小規模処理場での有効利用の促進には、低コスト型の設備を用い、汚泥の用途を特定の用途に限定しない、季節、社会情勢に合わせた多様な有効利用を組み合わせたスキームの確立が急務となる。このような背景を鑑み、月島機械(株)、サンエコサーマル(株)、日本下水道事業団、鹿沼市、(公財)鹿沼市農業公社で構成する共同研究体は、機内二液調質型遠心脱水機と円環式気流乾燥機を組み合わせた、建設・維持管理

費が低減でき、乾燥汚泥水分の調整により多様な有効利用に対応できる脱水乾燥プロセスの実証事業を開始した。

本プロセスは国土交通省下水道革新的技術実証事業(以下、B-DASHプロジェクト)の2016年度採択事業として、国土交通省国土技術政策総合研究所の委託研究により実規模レベルの実証設備を設計・建設し、設備の性能評価および乾燥汚泥の有効利用について評価を行なっている。本稿では、脱水乾燥システムの開発経緯、技術概要、実証試験で得られた結果、および実設備の導入検討結果について報告する。

2. 開発経緯

機内二液調質型遠心脱水機から排出される脱水汚泥は、従来の脱水機から排出される脱水汚泥と比較し、水分が低い、形状が細粒状である、付着性が低いといった特長を有している。これらの特長を生かし、

従来とは異なる乾燥機が適用できないかという視点と、中小規模向けに安価な乾燥機が適用できないかという二つの視点から、2014年度より乾燥機の選定がスタートした。

機内二液調質型遠心脱水機の特長を生かした乾燥機という点では、複数のタイプの乾燥機が検討候補にあがった。月島機械の主力製品であるスチームチューブドライヤでも乾燥試験を行い、水分%までの乾燥が可能であることは確認できたが、乾燥汚泥の水分を10%から50%で変化させること、中小規模処理場向けの安価な乾燥機という点で、試験のみでとどめることとなった。安価な間接加熱式の乾燥機として1軸のディスク乾燥機でも試験を実施したが、送り羽根で汚泥を練ることで塊を形成し、粒状という特長を生かせないことが判明したため、ディスク乾燥機も除外した。

次に直接熱風と被加熱物とを接触させて乾燥する直接加熱方式として、気流乾燥機が検討対象となった。脱水汚泥の乾燥機として実績はあるが、設備には解砕機が必要であり、メンテナンス費用がかかるといった難点があるため、広くは普及していない。しかし、機内二液調質型遠心脱水機から排出される脱水汚泥の細粒状かつ付着性が低いという特長を生かし、解砕機が不要になると考えられたため、種々の気流乾燥機の中から小型化が可能な、トナーなどの微粉やスラリーの乾燥で実績のある^{1,2)}円環式気流乾燥機の適用を検討することとした。

円環式気流乾燥機を脱水汚泥に適用すべく、研究所での小型試験機による乾燥機構造の検討に始まり、プロト機による脱水機との組み合わせ試験を経て、2016度B-DASHプロジェクトに採用され、実証試験を行うに至った。

3. 技術概要

3.1 全体フロー

脱水乾燥システムの概要を図1に、またシステム構成を記した実証設備フローを図2に示す。

脱水乾燥システムは大きく分けて、脱水設備と乾燥設備から構成されている。脱水設備は、機内二液調質型遠心脱水機、汚泥・高分子凝集剤・無機凝集剤供給ポンプ、振分コンベヤおよび排水槽から構成されている。乾燥設備は、円環式気流乾燥機、サイクロン、熱風炉、燃焼空気ブロワ、循環ブロワ、スクラバ、循環ポンプ、排気ブロワから構成されている。

処理対象となる汚泥(汚泥固形物濃度1.6%から1.8%程度)は高分子凝集剤、無機凝集剤とともに遠心脱水機に供給され、機内の遠心場において固液分離作用を受け、水分78%程度の脱水汚泥として排出される。脱水汚泥は振分コンベヤを介して、乾燥処理に適した性状であれば乾燥機へ、不適切な性状であれば排水槽へと搬送される。分離液は排水槽を介して排水配管に移送される。

振分コンベヤから供給された脱水汚泥は円環式気流乾燥機において、熱風炉から供給された250℃から500℃程度の熱風と直接接触し、空気輸送にて円環内を循環しながら乾燥されていく。乾燥された汚泥は排気とともに空送され、サイクロンにて固気分離される。サイクロンで排気と分離された乾燥汚泥は、冷却振分コンベヤ、乾燥汚泥

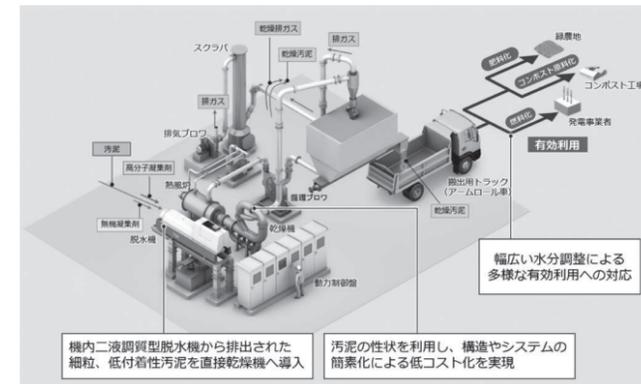


図1 脱水乾燥システム概要
Fig.1 Outline of dewatering and drying system

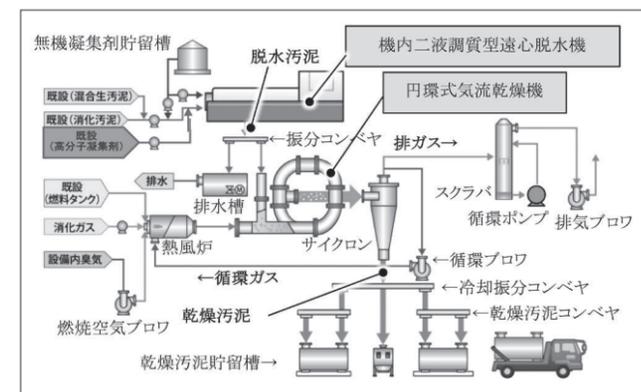


図2 実証設備フロー
Fig.2 Schematic flow of demonstration plant

コンベヤを介して乾燥汚泥貯留槽に貯留される。サイクロンで乾燥汚泥と分離された排気は、一部がスクラバに送られて冷却された後、排気ブロワを介して大気開放される。残りの排気は循環ブロワを介して熱風炉に送られる。熱風炉では消化ガスや重油といった燃料を燃焼させ、燃焼空気ブロワから供給される外気と循環ブロワから供給される排気を所定の温度まで上げ、乾燥に必要な熱風を発生させる。

以上のように、脱水と乾燥をダイレクトに組み合わせることにより、機器点数が少ない低コストかつシンプルなプロセスを実現させることができた。

3.2 機内二液調質型遠心脱水機の特長³⁾

機内二液調質型遠心脱水機の構造を図3に示す。従来の遠心脱水機による二液調質脱水は汚泥と無機凝集剤であるポリ鉄を事前に混合し、脱水機に汚泥+無機凝集剤と高分子凝集剤を供給する方式であった。それに対し機内二液調質型脱水は脱水機に汚泥と高分子凝集剤を供給し、無機凝集剤は機内の途中で添加する方式であり、無機凝集剤の添加位置・順番が異なる。なお実証設備では、無機凝集剤を機内だけでなく、脱水機前で汚泥に供給するラインも有している。

機内二液調質遠心脱水機の脱水汚泥は、前述したように従来の脱水汚泥より水分が低い、形状が細粒状である、付着性が低いといった

気流乾燥に適した特長だけでなく、SS回収率の向上、一時的な臭気の抑制、分離液中のリン除去率の向上といった特長も有している。

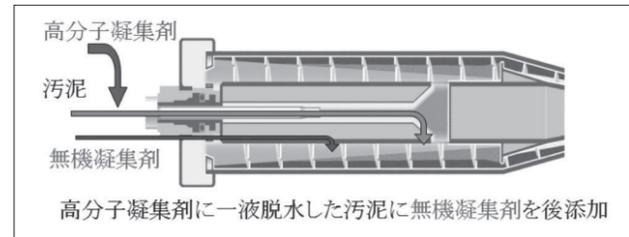


図3 機内二液調質型遠心脱水機の構造
Fig.3 Structure of centrifugal dehydrator with two flocculants

3.3 円環式気流乾燥機の特長

円環式気流乾燥機の構造を図4に示す。円環式気流乾燥機は前述のとおり、従来はトナーなどの微粉やスラリーの乾燥に適用されてきた。脱水汚泥の乾燥に適用するために、熱風の吹き込み方など工夫を要する点がいくつかあった。乾燥機本体は広く流通している一般の配管材料の組合せで構成されており、非常にシンプルな構造となっていることが大きな特長である。

乾燥機内に供給された脱水汚泥は、熱風に直接さらされることで表面が乾燥し、付着性が低減される。供給されたばかりの汚泥は乾燥機内を循環している汚泥よりも水分が高く、比重も大きいので、乾燥機内のより外側を循環する。汚泥は乾燥機内を循環しながら乾燥が進む。乾燥した汚泥は新たに供給される脱水汚泥に押し出されるように徐々に乾燥機内の内側を循環するようになり、やがて円環の内側に設けられた排出口より排気とともに排出される。

具体的に水分が何%以下まで乾燥したら、もしくは比重が幾つ以下になったら乾燥機から排出されるということではなく、相対的に軽くなり、乾燥機内に保持できなくなった分が排気の気流に乗って、乾燥機から排出されると考えられる。よって供給する熱風の温度が低く蒸発速度が遅い場合や脱水汚泥量が多い場合は、乾燥汚泥の水分が高くて乾燥機から排出され、反対に熱風温度が高く蒸発速度が速い場合や脱水汚泥供給量が少ない場合は、乾燥汚泥の水分が低くても乾燥機内にとどまることになる。このことを利用して乾燥汚泥の用途に応じて10%以下という低水分から50%以上という高水分まで、同一の乾燥機で対応できることがこの乾燥機の大きな特長と言える。

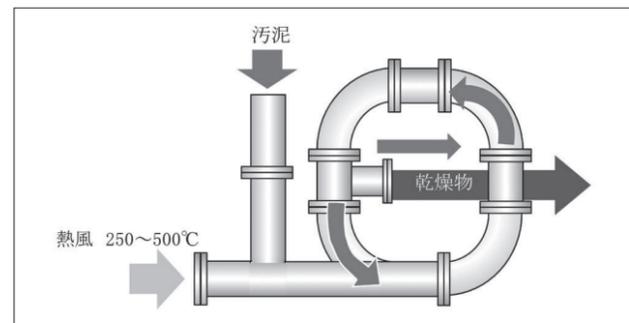


図4 円環式気流乾燥機の構造
Fig.4 Structure of circulated flush dryer

排気とともに乾燥機外へ排出された乾燥汚泥は、サイクロンで固気分離される。乾燥機から排出される乾燥汚泥のほとんどがサイクロンで分離できるサイズであることも、特長の一つと言える。

4. 実証試験

4.1 実証フィールド

今回実証設備を設置した栃木県鹿沼市黒川終末処理場(1976年6月供用開始)は、水処理方式として標準活性汚泥法を採用し、現有的水処理能力は34,000 m³/日(日平均29,260 m³/日:2016年3月末現在)である。汚泥処理では消化設備を有し、100 m³/日の消化汚泥を脱水し、10t/日の脱水汚泥を外部委託処分しており、その費用が大きな課題となっている。

4.2 実証設備概要

実証設備仕様を表1に示す。実証設備は脱水乾燥設備、汚泥貯留設備及び排ガス処理設備から構成されており屋外配置である。ただし、脱水乾燥設備は非常にコンパクト(5m×7m×5mH)であり、既設脱水機と同等のスペースで屋内配置が可能である。汚泥発生量が従来の1/5程度に低減できることから、乾燥汚泥貯留槽は搬送と貯留の機能を兼ねたアームロールコンテナを採用したが、既設のホッパを流用することも可能である。動力制御盤にて全ての機器が単独/連動運転可能であり、中央監視室においても同様の操作ができるようなシステムを構築している。

表1 実証設備仕様
Table1 Specification of demonstration plant

項目	内容
汚泥処理量	消化汚泥 4.2m ³ /h(100m ³ /日)
凝集剤注入率	高分子:2.4%、無機:25%
脱水汚泥水分	78%
稼働時間	24時間連続運転
乾燥汚泥発生量	2.0t/日(水分20%として)
乾燥汚泥水分	10~50%

4.3 研究内容

4.3.1 各種運転調整の影響調査

脱水においては脱水機の調整因子(遠心力、堰板設定)及び高分子凝集剤注入率の影響調査を実施した上で、無機凝集剤注入率と熱風温度の影響調査を実施した。

4.3.2 自動制御による連続運転調査

上記で確認された運転条件を元に、様々な有効利用を図る上で必要とされる乾燥汚泥水分10%、30%、50%において自動制御による連続運転を行い、処理の安定性を評価した。

4.3.3 肥料利用

肥料として第三者に複数回配布するためには、肥料取締法に定められた肥料登録が必要である。本実証設備で製造した汚泥の肥料

登録のため、①成分量の分析、②有害成分の分析、③汚泥原料の溶出試験、④植害試験を行い、肥料として有効利用できるかを確認した。

4.3.4 燃料利用

脱水乾燥システムから発生した乾燥汚泥を燃料として利用する場合、2014年9月に制定された下水汚泥固形燃料のJIS規格(JIS Z7312)より燃料化物の発熱量や水分が重要な要素となる。そのため、実際に得られた乾燥汚泥の性状分析を行い、JISへの適合性について評価を実施した。

5. 調査結果

5.1 各種運転調整の影響調査

表2に調査条件、図5に乾燥汚泥水分と熱風温度及び汚泥1 m³当たりの処理費用(電力、凝集剤、燃料費)の関係を示す。無機凝集剤注入率は10%以上で気流乾燥に適した性状が得られた。5%でもほぼ運転は可能ではあったが、脱水汚泥の性状変動により、乾燥機の安定運転が困難になるケースも認められた。調査では5%、10%、20%注入率において熱風温度の影響を評価した。全ての注入率条件において熱風温度を250℃から500℃にすることで乾燥汚泥水分10から50%に調整できた。一方、無機凝集剤注入率が低いほど処理費用が抑えられ、気流乾燥に適した汚泥性状が安定的に得られる範囲で注入率が低いほうが、優位であると言える。

表2 調査条件
Table2 Condition of research

項目	内容			
汚泥	種類	消化汚泥		
	性状	TS:1.8%、VTS:79.8%、繊維状物:100Me' 9.4%		
機種	脱水乾燥システム		既存脱水機	
汚泥処理量	4.2m ³ /h(100m ³ /日)		定格	
凝集剤注入率	高分子	2.4%	3.0%	
	無機	5%	10%	20%
脱水汚泥水分	79.9%	78.9%	77.9%	83.5%

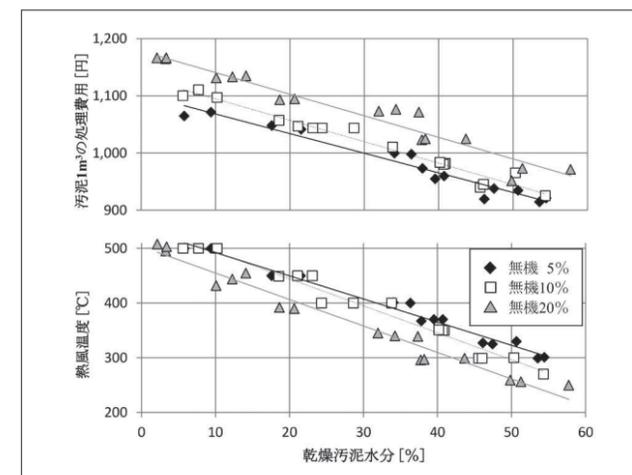


図5 乾燥汚泥水分と熱風温度・汚泥処理費の関係
Fig.5 Relation between moisture content of drying sludge and hot gas temperature, sludge treatment cost

5.2 連続運転調査

表3に連続運転調査条件・結果を、図6に連続運転結果(汚泥濃度、脱水汚泥水分、熱風温度及び乾燥汚泥水分の経時変化)を示す。期間中、汚泥濃度としては1.65%から1.90%程度で変動し、脱水汚泥水分としても76%から79%程度の変動が認められたが、自動制御を用いた同システムの連続運転には支障が無く、安定した性能が確認された。なお、今回の運転では5.1で得られた結果を基に、目標乾燥汚泥水分になる熱風温度を設定し、運転中はこの熱風温度を一定に保持するよう自動制御を行った。この結果、乾燥汚泥水分は目標値±2%(24h平均)以内であり、汚泥を有効利用する上で問題の無い範囲であると言える。以上より、自動制御においても汚泥濃度、水分、熱風温度の変動幅が小さいことから、安定した乾燥性能が確認できた。また、連続運転中は水分30%運転のみ温度の微調整を行ったが、安定運転は十分できており、運転員の省人化にも期待ができる。

表3 連続運転調査条件・結果
Table3 Condition and result of continuous operation test

目標乾燥汚泥水分	10%	30%	50%
汚泥処理量	4.2m ³ /h		
凝集剤注入率	無機:20%、高分子:2.4%		
熱風温度設定	480℃	395℃	265℃
乾燥汚泥水分	平均 8.2%	平均 30.4%	平均 51.5%
総合動力	52kW	52kW	53kW
重油使用量 (原単位 ^{注1})	22.5L/h (54L/t-wet)	19.5L/h (47L/t-wet)	13.9L/h (33L/t-wet)

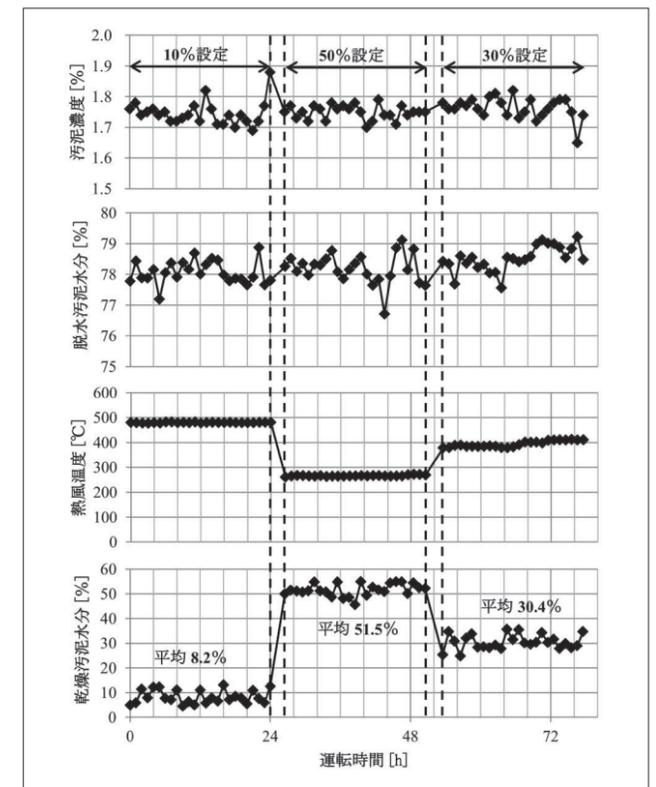


図6 連続運転結果
Fig.6 Results of continuous operation test

5.3 肥料利用

表4に保証成分量の分析結果、表5に有害成分の分析結果を示す。成分量は乾燥汚泥肥料⁴⁾と比較して遜色ないことが確認された。有害成分分析および汚泥原料の溶出試験結果では、全て肥料取締法で定められた許容値・基準値以下であった。また、植害試験の結果では植物の生育に異常は見受けられなかった。以上から、本設備で乾燥した汚泥は肥料として植物の成長を阻害することなく、肥料登録が可能である性状を有していることが確認された。

表4 保証成分量の分析結果
Table4 Analysis of fertilizer component

項目	単位	分析結果	
		乾燥汚泥肥料 ⁴⁾	本実証設備
窒素	%	4.01	6.19
リン	%	3.62	4.26
加里	%	0.29	0.20
C/N比	—	6.53	5.91

表5 有害成分の分析結果
Table5 Analysis of harmful component

項目	単位	許容値・基準値	分析結果
カドミウム	mg/kg	5	< 1
水銀	mg/kg	2	0.48
ヒ素	mg/kg	50	4.2
ニッケル	mg/kg	300	22
クロム	mg/kg	500	27
鉛	mg/kg	100	< 1

5.4 燃料利用

表6に乾燥汚泥の燃料としての性状評価を示す。熱風温度440℃では、BSF-15として規定されている水分20%以下および発熱量15 MJ/kg-wet以上を満足しており、燃料として利用できていることが確認できた。

表6 乾燥汚泥の燃料としての性状評価
Table6 Characteristics of dried sludge as Bio fuel

分析項目名	単位	結果		目標	
		脱水汚泥	440℃での乾燥汚泥		
水分	%	78	11	20以下 (JIS Z7312)	
灰分	%	18.2	18.4	—	
有機分組成	C	43.5	43.4	—	
	H	6.33	6.15	—	
	N	7.15	7.17	—	
	S	mg/kg	12,000	13,000	—
	O	%	23.6	23.6	—
	Cl	mg/kg	330	330	—
高位発熱量	Dryベース	MJ/kg-dry	19.2	19.4	
	Wetベース	MJ/kg-wet	4.2	17.3	15以上 (JIS Z7312 BSF-15 準拠)
固定炭素	% dry	15.8	17.1	—	
かさ比重(ゆるめ)	kg/m ³	—	0.56	—	
かさ比重(のため)	kg/m ³	—	0.48	—	

6. 実設備導入検討

6.1 導入効果試算

本システムは中小規模下水処理場への普及展開を目的としており、同処理場条件に導入した場合のライフサイクルコスト(以降、LCC)の評価を行った。評価対象としては従来の脱水設備(以降、従来脱水)及び従来の脱水設備と乾燥設備(以降、従来脱水+乾燥)とした。なお、従来技術の建設費、維持管理費についてはバイオソリッド利活用基本計画策定マニュアル⁵⁾から費用関数により試算し、脱水乾燥システムについては今回の実証で得られた結果をもとに、建設費、維持管理費(修繕、燃料、電力、凝集剤、人件費)を試算した。

脱水汚泥量が8.5t/日(水分83.5%)程度発生する中小規模処理場を対象として、本システムの導入効果を試算した。表7に設備導入検討条件、図7にLCC評価結果を示す。従来脱水と比較した場合、建設費は上昇するが汚泥処分費の低減効果によりLCCで24%の削減効果が得られた。なお、燃料に消化ガスが使用できる場合は更なる低減効果が期待できる。従来脱水+乾燥に対しては建設費が50%以上低減でき、維持管理費も低減できることからLCCで43%の削減効果が得られた。

表7 設備導入検討条件
Table7 Condition of feasibility study

項目	内容	
消化汚泥発生量	最大 1.70t-ds/日 (平均 1.36t-ds/日)	
水処理	標準活性汚泥法	
汚泥処理	分離機械濃縮 ⇒ 消化	
単価	汚泥処理 外部委託	16,000円/t
	有効利用	4,000円/t
	薬品	高分子:1,000円/kg、無機:40円/kg
	電力	15円/kWh
	A重油	70円/L

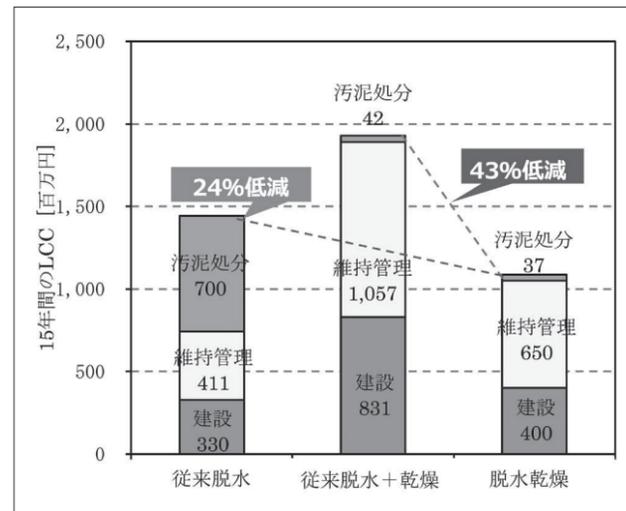


図7 LCC評価結果
Fig.7 Evaluation of life cycle cost

6.2 乾燥機スケールアップ方法

円環式気流乾燥機のスケールアップの基本的な考え方は、単位容積当たりの交換熱量をベースに、入口出口の対数平均温度差の関数式から求めている。

$$\Delta Q = ha \cdot V \cdot \Delta T \ln$$

ここで、 ΔQ : 脱水汚泥の乾燥に必要な熱量 [kJ/h]
 ha : 乾燥機の熱容量係数 [kJ/m²h℃]
 V : 乾燥機の有効容積 [m³]
 $\Delta T \ln$: 乾燥機入口出口の対数平均温度差 [℃]

である。

乾燥機の熱容量係数は被乾燥物の性状(形状、水分)、乾燥後の水分などにより異なる値をとる係数であり、これまでの試験で得られたデータや試験結果から推算される値を用いる。

乾燥機の有効容積は型式ごとに想定されており、熱風温度が250℃から500℃の範囲で運転する条件(処理量の変動幅、脱水汚泥および乾燥汚泥水分の変動幅)から最適なサイズの乾燥機を選定することとなる。

7. まとめ

実証研究より、以下の4点が示された。

- ①対象となる消化汚泥を脱水乾燥し、熱風温度の調整により乾燥汚泥の水分を10%から50%に調整できた。これにより、単一設備で幅広く有効利用できる乾燥汚泥を製造可能であることが示された。
- ②自動制御による連続運転においても安定した乾燥性能が確認され、省人力化の可能性が見出された。
- ③本システムで得られた乾燥汚泥は肥料や燃料としての有効利用が可能であることが示された。
- ④中小規模処理場への導入検討では、従来脱水+乾燥に対してLCCで43%の削減効果が得られ、十分に導入効果があり、「コストの低減」と「有効利用」の両立が可能であることが示された。

以上から、本技術は下水汚泥の多様な有効利用に対応した低コスト型の汚泥処理技術として期待できる。今後は、運転の長期安定性および他の汚泥種への適用、他の脱水機と円環式気流乾燥機の組み合わせについて検討予定である。

8. 謝辞

本研究を行なうにあたり、B-DASH プロジェクトに採択および研究を委託していただきました国土交通省様、国土交通省国土技術政策総合研究所様、そして共同研究者である、日本下水道事業団様、サンエコサーマル株式会社様、鹿沼市様、公益財団法人鹿沼市農業公社様に深く感謝の意を表させていただきます。

参考・引用文献

- 1) 株式会社平岩鉄工所ホームページ <http://www.hiraiwa.ne.jp/index.html> (2017年8月現在)
- 2) 株式会社セイシン企業ホームページ <http://www.betterseishin.co.jp/> (2017年8月現在)
- 3) 日本下水道事業団 JS技術開発情報メール No.133 「技術情報」 機内二液調質型遠心脱水機, 2012
- 4) 公益社団法人日本下水道協会 下水汚泥有効利用促進マニュアル-持続可能な下水汚泥の有効利用を目指して- 2015年版
- 5) 公益社団法人日本下水道協会 バイオソリッド利活用基本計画(下水汚泥処理総合計画)策定マニュアル 2004年

下部コーン型鋼板製消化タンク

Cone-bottomed steel digestion-tank



澤原 大道
SAWAHARA Hiromichi
水環境事業本部
ソリューション技術部
下水グループ



橋本 悠司
HASHIMOTO Yuji
水環境事業本部
ソリューション技術部
下水グループ

Abstract

Cone-bottomed steel digestion-tank was created from a collaboration of Tsukishima Kikai Co.,Ltd and Japan Sewage Works Agency(JS). In Japan, traditionally, almost all digestion-tank for sewage sludge have been made of concrete. Compared with concrete digestion-tank, steel digestion-tank has advantages as follows. i)Energy saving: electric power consumption of the digestion facility can be reduced by installing the impeller agitator and the automatic control system. ii)Shortening site work periods: concrete digestion-tank requires huge amount of underground work, but steel digestion-tank does not require any underground structures. iii)Cost saving: the cost(annual value) of steel digestion-tank is about 83% of concrete digestion-tank. Tsukishima Kikai Co.,Ltd won a contract for construction four 9,000m³ steel digestion-tanks with Saitama prefecture(contractee:JS).

下部コーン型鋼板製消化タンクは、日本下水道事業団(JS)と月島機械の共同研究によって開発された。従来、国内の下水汚泥消化タンクはコンクリート製であったが、鋼板製消化タンクはコンクリート製と比較して次のメリットがある。1)省エネ：インペラ式かくはん機や自動制御システムの導入により電力消費量が削減される。2)現地工事期間の短縮：コンクリート製消化タンクは大規模な掘削工事を伴うが、鋼板製消化タンクは地下構造を要しない。3)コスト削減：鋼板製消化タンクの建設費(年価)はコンクリート製の83%程度である。月島機械はJSより埼玉県向け9,000m³鋼板製消化タンク4槽を受注した。

キーワード：下水汚泥、消化、鋼板製、下部コーン、省エネ
Keyword: Sewage sludge, Digestion, Steel, Cone-bottomed, Energy saving

1. はじめに

近年、循環型社会への転換が求められており、下水道事業においても、下水汚泥を集約されたバイオマスと捉え、資源・エネルギーとして活用・再生するシステムの構築が期待されている。

下水汚泥の嫌気性消化工程は、下水汚泥を安定化・減容化するとともに、CH₄を60%程度含むバイオガスを生産する有望な技術と位置付けられており、本稿にて紹介する下部コーン型鋼板製消化タンク(以下、「本技術」という)は今後の下水汚泥消化工程の普及促進に資する技術として開発された。

2. 開発技術

本技術は、従来、コンクリート製であった汚泥消化タンクを鋼板製とし、省動力で稼働実績が豊富なインペラ式攪拌機と組み合わせたものである。消化性能はコンクリート製消化タンク(以下、「従来技術」という)と同等であり、図1に示すように従来技術の基本構成を踏襲することにより、従来システムの改造・変更を伴うことなく、本技術の導入が可能である。構造設計では、主要構造を「JIS B 8501 鋼製石油貯槽の構造(全溶接製)」に準拠することにより安全性を確保している。なお、JIS B 8501は原案作成委員会に月島機械も参画しており、長年にわたって蓄積された月島機械のタンク設計技術が本技術に反映された形となっている。

本技術は、平成27年5月から開始した日本下水道事業団様(以下、「JS」という)との共同研究を経て、平成28年9月8日付でJS新技術I類に選定された。

表1に本技術の適用範囲を示す。

3. 特徴

1) 下部コーン構造による沈降抑制

タンク底板を浅い下部コーン構造(図2参照)にすることにより、より簡便な構造である平底タンクと比較して、攪拌機の下降流がタンク底部で効率的に機能し、沈降抑制に必要な消化汚泥流速の確保が容易となる。これは、攪拌機が下降流に与えるエネルギーが一定であるのに対し、タンク底部の容積が小さいほど、単位容積あたりに与えられる流動エネルギーが大きくなるためである。

2) 汚泥水平引抜きによる沈降物の堆積抑制

タンク内で沈降物が発生した場合、下部コーン構造によってタンク底部中央に誘導・集約され、タンク中央近辺からタンク外部へ向かって

設置された水平引抜き配管から消化汚泥と共に槽外へ効率的に排出される。ここで、「水平」とは、従来技術のようなタンク内に上向きの抜出管ではないことを意味する(図2参照)。下部コーンの角度は、インペラ式攪拌機を有する汚泥貯留槽で堆積物が発生しないことが確認された運転実績から決定した。堆積した沈降物が消化汚泥と共に水平引抜き配管から排出可能であることは後述の実証試験において確認¹⁾されている。

3) スカム・発泡発生およびMAP析出への対応

汚泥表面に発生する泡状のスカム(汚泥やきょう雑物等に微細な気泡が付着し浮上したもの)については、インペラ式攪拌機に複数段設置された羽根のうち、最上段の羽根が生み出す下降流にスカムを巻き込むことにより、発生が抑制される。汚泥表面での急激な泡立ち(発泡)が発生した場合には、タンク上部に設置したセンサーで泡表面の上昇を検知すると共に、タンク上部からの散水、消泡剤の注入、タンク側面に

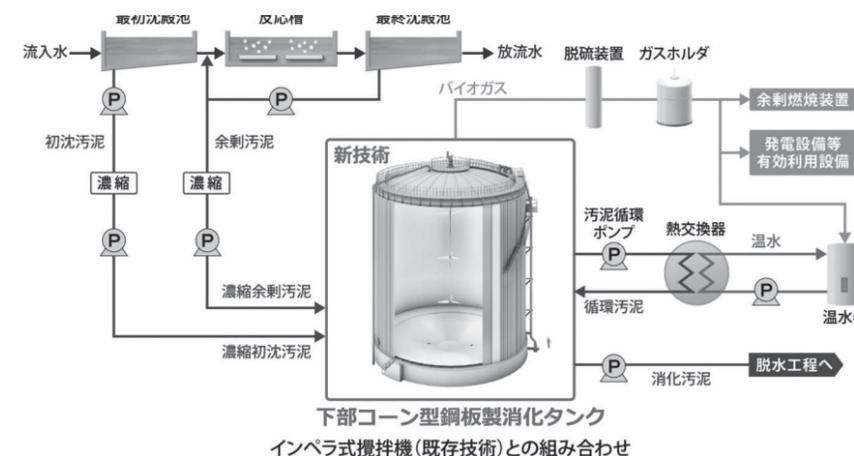


図1 汚泥処理工程における開発技術の位置付け
Fig.1 The orientation of developed digestion tank in sludge treatment process

表1 本技術の適用範囲
Table1 Applicable scope

最大容量	・1槽あたり 9,000m ³ 以下
消化条件	・中温消化 (35~40℃) ・設計消化日数 20 日
投入汚泥	・下水汚泥(初沈汚泥、余剰汚泥)、し尿、浄化槽汚泥、農集排汚泥、生ごみ等場外バイオマス(発酵不適物を含まないもの)など
その他	・投入汚泥の固形物濃度が6%を超えるなど、消化汚泥の粘度が高くなる条件では、インペラ式攪拌機の設計に留意する必要がある ・沿岸部では、外面塗装、外装板等に塩害対策を検討 ・原則として、設置場所条件(気温、地盤、周囲環境)、荷重条件(風、積雪、地震)に関する制限はない

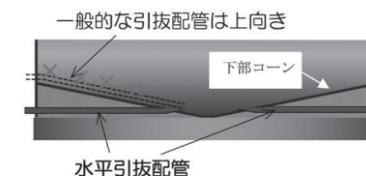


図2 水平引抜き配管
Fig.2 Horizontal drain piping

設置したオーバーフロー管からの排出で対応する。

消化汚泥配管の閉塞を引き起こすMAP（リン酸マグネシウムアンモニウム）析出については、消化汚泥配管の閉回路形成と薬品浸漬洗浄で対応する。

4) タンク本体の耐用年数35年

従前は、鋼板製消化タンクの耐用年数が明確に設定されていなかったが、JS共同研究において、以下の理由から、タンク本体の耐用年数が35年に設定できることを確認した。

①「汚泥等受入タンク(鋼板製)」の標準耐用年数が35年

- ・汚泥処理設備のうち「汚泥等受入タンク(鋼板製)」は標準耐用年数が35年に設定されている。
- ・汚泥を受け入れるという機能面、鋼板製タンクであり、かつ、攪拌機を有するという構造面で本技術と「汚泥等受入タンク(鋼板製)」は同等といえる。

②内面防食塗装の標準耐用年数は10年

- ・本技術の内面塗装については、気相部はD種相当、液相部はA種相当の品質規格※に適合していれば、従来技術と同等の品質を担保しているといえる。
- ・防食塗装の標準耐用年数は10年に設定されていることから、適切な維持管理で防食塗装を更新すれば、タンク本体の機能維持が可能である。

③類似の鋼板製タンクに40年以上の稼働実績がある

- ・鋼板製のガス貯留タンク設備は標準耐用年数が15年に設定されているが、月島機械製の消化ガス貯留タンク設備には、防食塗装の更新や鋼材補修など適切な維持管理により最長48年の稼働実績がある。

※「下水道コンクリート構造物の腐食抑制技術及び防食技術マニュアル 平成24年4月」(JS)

4. 導入効果

1) 消費動力の低減

図3に示すインペラ式攪拌機の採用により、従来技術の標準であるドラフトチューブ式攪拌機と比較して、攪拌機の消費動力が大幅に低減される。低動力であってもインペラ式攪拌機が生み出す循環流がドラフトチューブ式攪拌機と比較して非常に大きいため、従来技術で必須とされていた汚泥循環ポンプによる攪拌のアシストがインペラ式の採用により不要となる。

一方、汚泥循環ポンプの消費動力は消化タンク設備の過半を占めるため、汚泥循環ポンプの間欠運転が消化設備の消費動力を大きく削減する。上述のように沈降物の堆積が抑制されることから、タンク側壁面に設置する消化汚泥温度計が堆積物に埋没するリスクが低減されて測定値の信頼性が向上するため、当該測定値を用いた自動制御運転(図4参照)が可能となり、消化設備全体の消費動力が最小化される。



図3 インペラ式攪拌機 Fig.3 Impeller agitator

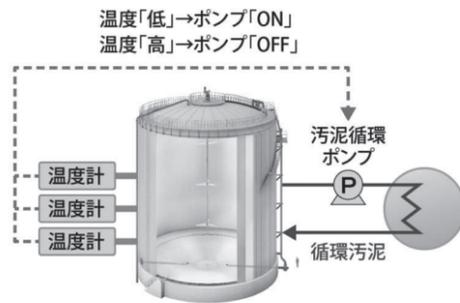


図4 自動制御運転 Fig.4 Automatic control system

2) 現場建設期間の短縮

本技術は、タンク本体やポンプ類等機械設備が全て地上に設置される。基礎床版、基礎杭の設置は必要であるが、地下室、管廊などの地下構造物が不要となり、土木工事の工期、費用が大幅に縮減される。ポンプ、温水器、熱交換器などを屋外設置することにより、建築工事の縮減も期待される。

タンク本体の工場制作と土木工事の並行作業が可能であることから、現場建設期間が短縮され、9,000m³タンクの場合、従来技術(実績)が23ヶ月に対し、本技術は16ヶ月と見込まれる。

3) 建設費年価の削減

本技術の建設費年価は、表2に示すとおり、平均で従来技術の83%程度と試算される。

試算条件は次の通り。

- ・試算範囲は、本体、攪拌機、管廊、ポンプ室、階段室、基礎床版、基礎杭の工事費。
- ・攪拌機は、鋼板製、コンクリート製共にインペラ式。
- ・コンクリート製9,000m³タンクはPC製卵形を想定。
- ・鋼板製ではポンプ室、階段室が存在せず、管廊10mが含まれる。

- ・コンクリート製の管廊長さは30mとする。
- ・年価計算における利率は2.3%、耐用年数は、コンクリート製本体45年、鋼板製本体35年、攪拌機10年、土木建築50年、防食塗装10年。
- ・年価は以下の係数を乗じて算出する²⁾。

$$(1-p) \left\{ i + \frac{i}{(i+1)^n - 1} \right\}$$

ここで、

- p : 残存割合(10/100)
- i : 利率
- n : 耐用年数

表2 年価比較 Table2 Cost comparison

タンク容量	1,000m ³	2,000m ³	4,000m ³	6,000m ³	9,000m ³
年価比較 (鋼板製/コンクリート製)	85%	81%	80%	84%	84%

5. 実証試験

栃木県鹿沼市の黒川終末処理場に設置した、22m³タンク(図5参照)を用いて、消化日数20日、中温(37℃)の条件で一年間の汚泥消化実証試験を実施し、所定の性能(消化率50%以上、消化ガス転化量0.5~0.6m³/kg-投入VS)を満足することが確認された。



図5 実証試験設備 Fig.5 Pilot plant

6. おわりに

2017年8月、JSより埼玉県中川流域中川水循環センター向け9,000m³鋼板製消化タンク4基を受注した。今後、鋼板製消化タンクは、省エネルギー、コスト削減の観点から、低炭素社会の構築に向けて大きな役割を果たすことが期待される。

7. 謝辞

試験フィールドをご提供頂いた鹿沼市様、研究をご指導頂いた日本下水道事業団技術戦略部様に厚く御礼申し上げます。

参考・引用文献

- 1) 橋本ら：下部コーン型鋼板製消化タンクにおける沈降物堆積対策の検証，第54回下水道研究発表会講演集，pp.1051-1053(2017)
- 2) 下水道技術開発プロジェクト(SPIRIT21)委員会：下水汚泥とバイオマスの同時処理方式によるエネルギー回収技術に係る技術評価書，p.9 (2007)

混合消化を目的とした食品系バイオマスの前処理技術

Pretreatment for co-digestion of food waste and sewage sludge



澤原 大道
SAWAHARA Hiromichi
水環境事業本部
ソリューション技術部
下水グループ



橋本 悠司
HASHIMOTO Yuji
水環境事業本部
ソリューション技術部
下水グループ

Abstract

In Japan, the Fundamental Plan for Establishing a Sound Material-Cycle Society was endorsed by the Cabinet (September 2013), so that co-digestion of food waste and sewage sludge has been a focus of constant attention. Tsukishima Kikai Co., Ltd has developed co-digestion and pretreatment for co-digestion of waste and sewage sludge, and have constructed several plants relating to that. Since 2016, Tsukishima Kikai Co., Ltd has developed a business of electric power selling by Feed-in Tariff and co-digestion of food waste and sewage sludge with Kanuma city and Sun Eco Thermal Co., Ltd (SET) in Kurokawa sewage plant. Food waste is collected as slurry from school lunch center and SET, and pumped to the digestion tanks.

我が国では、「循環型社会形成推進基本計画」が平成25年5月に閣議決定されたこともあり、食品系バイオマスと下水汚泥の混合消化が注目を集めている。月島機械は混合消化や混合消化を目的としたバイオマスの前処理技術に取り組んでおり、設備の納入実績がある。また、2016年からは、鹿沼市、サンエコサーマルと共に固定価格買取制度に基づく売電と下水処理場における混合消化を行う共同事業に着手した。給食センターやサンエコサーマル工場から黒川終末処理場へスラリー状の食品系バイオマスを輸送し、既設の消化槽へ投入している。

キーワード：下水汚泥、消化、バイオマス、分別機、スラリー
Keyword: Sewage sludge, Digestion, Biomass, Separator, Slurry

1. はじめに

我が国では、「循環型社会形成推進基本計画」(平成25年5月閣議決定)において、バイオマス系循環資源を肥飼料化や再生可能エネルギー等として地域内で循環利用する取り組みを支援することが示されている。

下水道事業においては、国土交通省が「新下水道ビジョン」(平成26年7月)を策定し、下水処理場を「水・資源・エネルギーの集約・自立・供給拠点化」することを目標として掲げている。具体的には、「下水処理場における地域バイオマス活用マニュアル -2017年3月-」が公表され、下水処理場における食品系バイオマスと下水汚泥の混合消化プロセスがクローズアップされている状況にある。

そこで、本稿では、月島機械が鹿沼市で行っている食品廃棄物の前処理(スラリー化)と下水処理場での混合消化について紹介する。

ここで、混合消化とは、下水汚泥消化プロセスの消化タンクへ下水汚泥と共に前処理した場外バイオマスを投入し、同時に嫌気性消化(メタン発酵)させる技術である。図1に一般的な混合消化プロセスを示す。

本技術の導入により、廃棄物として焼却されていた生ごみからエネルギーとなる消化ガスを生産することが可能となる。

2. 混合消化の事例

下水処理場における混合消化の既存事例を、表1に示す。

全ての事例において、バイオマス受入・前処理設備は下水処理場敷地内もしくは下水処理場に隣接する汚泥再生センター(し尿・浄化槽汚泥の処理場)に建設された。

表1に示す事例のうち、月島機械は恵庭市様向け設備(生ごみスラリーの受入、混合消化、消化ガス発電の各機械設備)および新潟市様向け設備(刈草前処理、消化タンクへの投入、消化汚泥から残渣を分離するスクリーンの各機械設備)を納入した実績がある。

3. 混合消化の課題と現状

3.1 課題

LOTUS Project¹⁾や表1に示す珠洲市の事例を契機として、下水処理場における混合消化の導入検討が始まったが、その導入は十分に進んでいるとはいえない状況にある。

その理由として、下記のような様々な要因から事業化までに多大な労力と長い期間を要していると考えられる。

- ・廃棄物基本計画の見直しや一般廃棄物処理施設の新規建設など、地方自治体の核心的業務に関わる内容が多い。
- ・下水処理場における業務の質や量が大きく変化する。
- ・各種設備更新のタイミングが合わない。

3.2 現状

2012年の再生可能エネルギー固定価格買取制度(以下、「FIT」という)の施行により、消化ガスから製造した電力は39円/kWh(2019年度現在)で電力事業者へ販売できるようになった。食品系バイオマスは消化ガスの優良な原料となることから、FITによる現金収入が混合消化の導入を後押しする可能性がある。

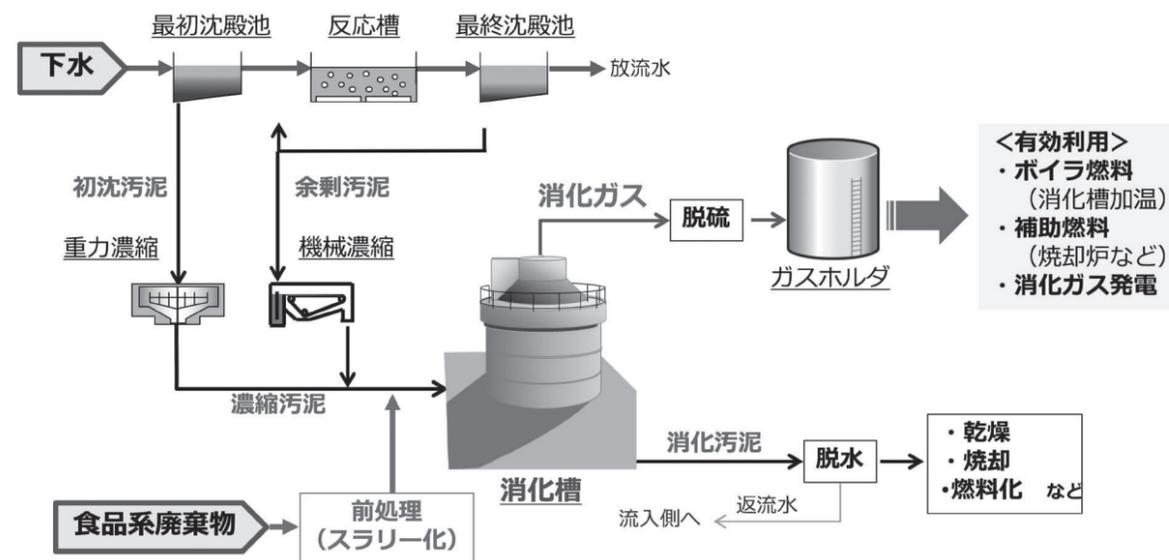


図1 一般的な混合消化プロセス
Fig.1 Major example of co-digestion process in sewage treatment plant

表1 下水処理場における混合消化
Table1 Mixed digestion in domestic sewage treatment plant

地方公共団体	供用開始	受入バイオマス
珠洲市 (石川県)	2007年8月	し尿、浄化槽汚泥、集排汚泥、生ごみ (事業系)
北広島市 (北海道)	2011年4月	し尿、浄化槽汚泥、集排汚泥、生ごみ (家庭系、事業系)
黒部市 (富山県)	2011年5月	浄化槽汚泥、集排汚泥、生ごみ (ディスプレイ)、コーヒー粕
恵庭市 (北海道)	2012年9月	し尿、浄化槽汚泥、生ごみ (家庭系、事業系)
新潟市 (新潟県)	2016年4月	刈草等
中能登町 (石川県)	2017年4月	し尿、浄化槽汚泥、集排汚泥、生ごみ (事業系)、食品廃棄物
豊橋市 (愛知県)	2017年9月	し尿、浄化槽汚泥、生ごみ

4. 月島機械の取り組み

4.1 LOTUS Project¹⁾

下水道事業における種々の課題の中で特に重点的に技術開発を推進すべき分野について、民間主導による技術開発を誘導・推進するとともに、開発された技術の早期かつ幅広い実用化を目的とした産学官の強力な連携による技術開発プロジェクトとして「SPIRIT21 (Sewage Project, Integrated and Revolutionary Technology for 21st Century)」が2002年3月～2007年3月まで実施された。SPIRIT21の第一弾は国土交通省の指定した合流改善であり、月島機械も参画した。

月島機械は、SPIRIT21の第二弾として実施された「LOTUS Project (Lead to Outstanding Technology for Utilization of Sludge Project: 下水汚泥資源化・先端技術誘導プロジェクト)」にも参画し、「消化ガス発電コストが9.32円/kWh以下。プロセスが既設汚泥処理工程および水処理影響に悪影響のないこと。」を目標とした技術開発を実

施し、技術評価を受けた。

上記目標の具体的な実現手法は、「食品系廃棄物を下水処理場で混合消化させ、処理手数料を収入にすると共に、消化ガス増量による発電のスケールメリットを得る」こととした。下水汚泥と食品系バイオマスの混合消化については、実地での知見がなかったため、2006年1月～2007年1月に、横浜市南部汚泥資源化センター、猪名川流域下水道原田処理場(原田水みらいセンター)において「生ごみの前処理」および「下水汚泥との混合消化」に関する実証試験を行った。

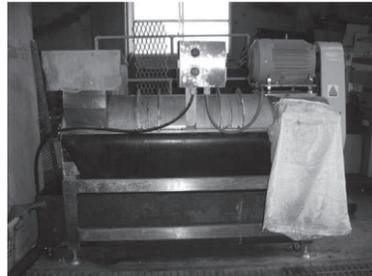
図2にLOTUS Projectの写真、破碎後生ごみの粒度分布データを示す。

実証試験の結果、図2d)に示す粒度に生ごみが破碎していれば、混合消化に支障ないことが明らかとなった。すなわち、生ごみは目開き5,560 μm の篩上残分の重量が全体の約10%以下であることが求められる。また、生ごみ1t-wetから179m³の消化ガスが発生することが長期の混合消化試験により確認された。

a) 実証試験装置



b) 破袋分別機



c) 分別後の生ゴミ



d) 投入混合物の粒度分布

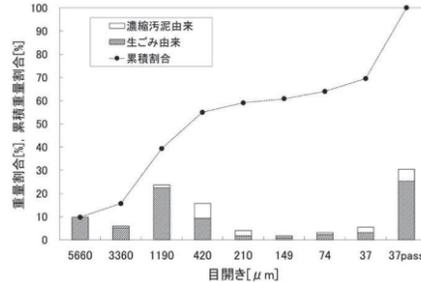


図2 LOTUS Project (横浜)
Fig.2 LOTUS Project in Yokohama city

4.2 鹿沼市殿との共同事業

2015年6月より、月島機械およびサンエコサーマル株式会社(以下、「SET」という)は、鹿沼市殿とFITに基づく売電および混合消化を共同で実施している(以下、「共同事業」という)。図3に共同事業の概念を示す。

共同事業の中で、月島機械は食品系バイオマスをスラリー化するための設備を整備し、運用を行っている。2016年度には、鹿沼市学校給

食共同調理場の敷地内に湿式破碎機を、2017年度にはSET敷地内に湿式破碎機および実証用の破袋分別機を設置した。図4および図5に共同事業関連の設備を示す。湿式破碎機については、予め市川研究所にて食堂の食品残渣を用いた事前試験を実施し、約30分の破碎によって図2d)と同等の粒度分布が得られることを確認している。

鹿沼市学校給食共同調理場では、給食の食べ残しを職員の方に投入して頂いている。

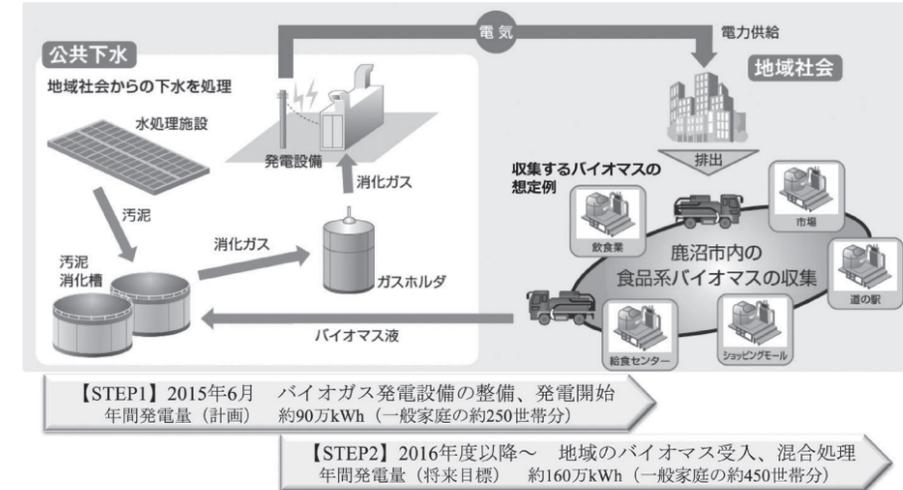


図3 鹿沼モデル²⁾
Fig.3 Kanuma model

a) 調理場の湿式破碎機



b) SETの破袋分別機



c) SETの破袋分別機と湿式破碎機



d) 湿式破碎機への投入



e) 破袋分別機への投入



f) 生ごみスラリー



図4 鹿沼共同事業 (SET)
Fig.4 Kanuma project in SET

SETでは、一般廃棄物処理業者であるSETが処理を請け負う形で鹿沼市内の事業所から発生する食べ残しを集約している。

市内での収集と図4d) e)に示す投入作業は月島機械から地元的一般廃棄物収集業者へ委託し、スラリーの回収、黒川終末処理場への移送、消化タンクへの投入はSETが実施している。

現在は、事業として混合消化を継続しつつ、長期運転データを採取しているところである。

5. おわりに

下水処理場における食品系バイオマスの混合消化は、下水処理インフラの活用によって地方自治体の廃棄物処理コストを低減させ、かつ、消化ガス有効利用量の増大により温室効果ガス排出量を大幅に削減することが期待できる。

月島機械は、今後も食品系バイオマスの混合消化を推進・提案していく所存である。

6. 謝辞

共同事業において、多大なるご支援を頂き、鹿沼市様、サンエコサーマル株式会社様へ厚く御礼申し上げます。

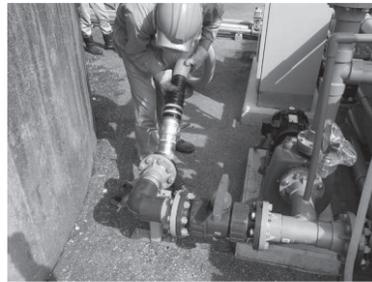
参考・引用文献

- 1) 下水道技術開発プロジェクト(SPIRIT21)委員会：下水汚泥とバイオマスの同時処理方式によるエネルギー回収技術に係る技術評価書(2007)
- 2) 月島機械ホームページ

a) 接続ノズル



b) スラリー投入ノズル取付作業



c) 吸引車からのスラリー移送作業



d) 消化タンクへの投入配管



図5 鹿沼共同事業(黒川終末処理場)
Fig.5 Kanuma project in Kurokawa sewage treatment center

一般向け配布資料

官民連携による創エネルギー・廃棄物処理事業

バイオガス発電設備 バイオガスエンジンコージェネレーション

バイオガスを電気と熱エネルギーに変換 いま求められる長期・安定的な地域エネルギー循環

下水汚泥処理の過程で発生するバイオガス(消化ガス)は、再生可能エネルギーのひとつであり、カーボンニュートラルな燃料として、地球温暖化対策の推進のため、積極的な有効利用が求められています。

この「バイオガスエンジンコージェネレーションシステム」により、再生可能エネルギーの有効利用を図り、地球温暖化防止ならびに長期・安定的な地域エネルギー循環の実現に大きく貢献できます。

事業の特色 - 官民連携の事業 -

鹿沼市がバイオガスを月島機械に供給するとともに、地域の未利用バイオマスの収集体制を構築し、バイオマスと下水汚泥の混合処理を行います。サンエコサーマルは、地域の未利用バイオマスの収集運搬と処理場への投入を行います。月島機械はバイオガスを利用して発電し、電気を電気事業者に売却します*。それぞれ得意分野を役割とすることで、長期安定的な事業を実施します。鹿沼市が当事業により得られる収入は、皆様下水道設備をより良くするなど、下水道事業に役立てています。また、発電するときに発生する廃熱を消化槽(大型の発酵槽)の加温に有効利用しています。

*再生可能エネルギー固定価格買取制度を活用して20年間継続します。

TSK 月島機械株式会社 **鹿沼市** **サンエコサーマル株式会社**

吸着蓄熱材を使用した 廃熱活用鹿沼実証試験

Demonstration test of waste heat utilization using adsorbent storage in Kanuma city



池田 昌弘
IKEDA Masahiro
高砂熱学工業(株)
事業革新本部
新規事業開発部



元田 治
MOTODA Osamu
高砂熱学工業(株)
事業革新本部
新規事業開発部

Abstract

The main objective of this paper introduces a demonstration test to utilize effectively the energy which is discharged into the atmosphere as waste heat (unused heat). Waste heat side and demand side had to be connected by piping and duct to transfer those heat, hence there was distance restriction. In contrast to the distance restriction by the conduit and duct, as a result, the heat is possible to interchange over a wide area by the tank using an adsorption heat storage material capable of heat accommodation.

A demonstration test of waste heat utilization has been started to collect incineration waste heat of Sun Eco Thermal Co., Ltd., waste-disposal site in Kanuma City Tochigi Prefecture and then to supply its waste heat to the Deainomori elderly welfare center, the hot bathing facility in Kanuma City, and the heated pool in Kanuma sports park.

This system is configured that Zeolite, which is an adsorption heat storage material as of desiccant, is crammed into a metallic tank. High temperature and low humidity air has been supplied by admitting moist air at demand side to desorption (drying) of adsorption heat storage material by waste heat at Sun Eco Thermal Co., Ltd. The adsorption heat storage material moisture content is saturated and the adsorption performance is deteriorated, then transported to Sun Eco Thermal Co., Ltd. again and desorbed (dried) so that it is recycled repeatedly.

In comparison with piping cost, it will be challenge reducing transportation cost between waste heat side and demand side. On demand side, high temperature and low humidity air can be supplied only by a tank and a fan if there is moist air, thus it will be suitable for drying processes.

大気中に排出されている廃熱(未利用熱)に着目し、このエネルギーを有効活用する実証試験を紹介する。2017年1月より栃木県鹿沼市の産業廃棄物処理場であるサンエコサーマル(株) 殿の焼却廃熱を回収し、鹿沼市の温浴施設である出会の森高齢者福祉センターと鹿沼運動公園内温水プールに、その廃熱を供給する廃熱活用の実証試験を開始した。

システムは乾燥剤などにも使用される、吸着材であるゼオライトを金属性のタンクに詰め使用している。サンエコサーマルの廃熱で吸着材を脱着(乾燥)させたものに、需要家で湿り空気を供給することで、吸着発熱させ、高温低湿の空気として供給している。湿分が飽和して吸着性能が低下した吸着材は、再びサンエコサーマルに運び、脱着(乾燥)することで繰り返し再生利用させる。

今まで廃熱源と、需要家を熱導管やダクトで接続しなければならなかったため、距離の制約があった。吸着材蓄熱技術を使用したシステムは、吸着材をタンクで移動可能であるため、広域での熱供給が可能となった。熱導管敷設のコストに対して、廃熱源と需要家の輸送コストの低減が課題となる。需要家では、湿り空気があれば、タンクとファンだけの設備で、高温低湿空気を供給出来るので、乾燥工程などに適している。

キーワード: 吸着材蓄熱、廃熱活用、地域エネルギー、乾燥、蓄熱
Keyword: Adsorbent storage, Utilization of waste heat, regional energy, drying, heat storage

1. はじめに

CO₂削減に関するパリ協定は2016年11月に発効され、日本として2030年までに、2013年比で26%温室効果ガス(CO₂を含む)を削減することが目標とされている。省エネ、CO₂削減の更なる推進が必要とされる中、特に一次エネルギーが十分に利用されずに大気中に排出されていることに着目し、この廃熱(未利用熱)エネルギーを有効活用するための、吸着材蓄熱技術を使った実証試験を紹介する。

2. 吸着材蓄熱技術の原理

吸着材蓄熱技術の動作原理を図1に示す。図1の(a)は、吸着材を使用した蓄熱時のフローで、高温廃熱で吸着材を乾燥させる水分脱着のことを蓄熱という。図1の(b)に示す放熱時とは、水分を含んだ湿り空気を吸着材に供給することで、吸着材を吸着発熱させ、高温低湿の空気を製造する水分吸着のことをいう。今回の実証試験では汎用品のゼオライトを使用しているが、ゼオライトより蓄熱密度が高く、より低い温度域での蓄熱(水分脱着)が可能な吸着材である「ハスクレイ®」を、新エネルギー・産業技術総合研究開発機構(NEDO)殿の助成を受けて、国立研究開発法人産業技術総合研究所(AIST)殿、石原産業(株)殿、大塚セラミックス(株)殿、森松工業(株)殿、日野自動車(株)殿と弊社で共同開発している。^{1,8)}

*ハスクレイ®は、国立研究開発法人産業技術総合研究所の登録商標。

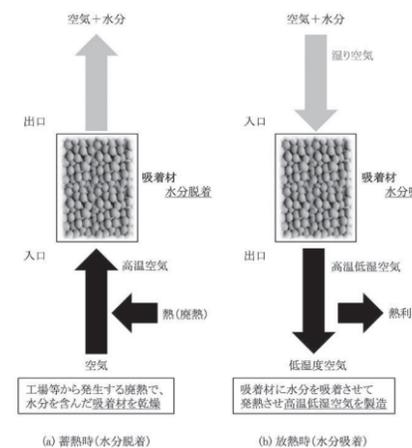


図1 吸着材蓄熱技術
Fig.1 Adsorbent storage technology

3. 鹿沼実証試験⁸⁾

3.1 取組み

2017年1月より、栃木県鹿沼市の産業廃棄物処理場であるサンエコサーマル(株) 殿の焼却廃熱を回収し、約10km離れた鹿沼市の温浴施設である出会の森高齢者福祉センターと、鹿沼運動公園内の温水プールに供給する実証試験を開始した。実証試験は、高砂熱学工業(株)、月島機械(株)殿、サンエコサーマル(株) 殿の3社で取り組んでいる。

3.2 システム概要

図2に実証試験のシステム概要を示す。サンエコサーマルの廃熱で吸着材を脱着(乾燥)させ蓄熱し、需要家へ運搬し、湿り空気を供給することで、吸着発熱させ、高温低湿の空気を供給している。湿分が飽和して吸着性能が低下した吸着材は、再びサンエコサーマルに運び、脱着(乾燥)することで繰り返し再生利用することができる。なお、吸着材は、吸着、脱着場所が離れているため、金属性のタンク(以降、吸着材入りタンクをタンクと呼ぶ)に詰めて、タンクごと運搬している。

3.3 廃熱回収設備の概要

産業廃棄物を焼却した時の排ガスの廃熱で、熱交換器を介して外気を昇温、タンク内に導入し、ゼオライトを脱着(乾燥)させ蓄熱している。設備システムを図3に示す。サンエコサーマルの廃熱回収設備を図4に示す。図4のマーク部拡大を図5(左:タンク、右:熱回収設備)に示す。



図2 システム概要
Fig.2 System overview

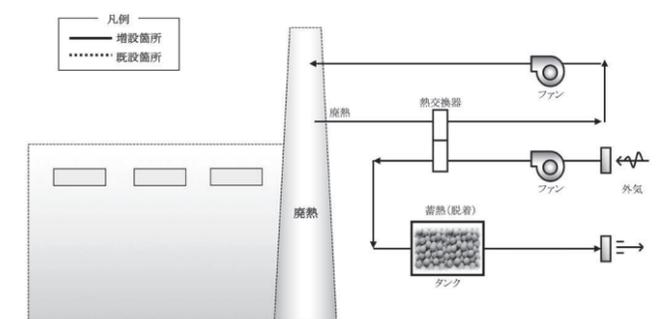


図3 脱着(乾燥)工程システム
Fig.3 Desorption (drying) process system



図4 サンエコサーマル廃熱回収設備全況
Fig.4 Waste heat recovery facility of Sun Eco Thermal



図5 ストレージタンク
Fig.5 Storage tank

3.4 需要家の概要

3.4.1 鹿沼市出会いの森高齢者福祉センター

出会いの森高齢者福祉センターの建物外観を図6に、需要家設備を図7に示す。施設内浴室の湿り空気を、サンエコサーマルから運搬したタンクに供給し、発生した高温低湿空気を利用し、熱交換器を介して温泉源泉を昇温させ、あわせて滴下気化式加湿にて、加湿冷却し脱衣室等に供給している。システムフローを図8に示す。

3.4.2 鹿沼運動公園温水プール

温水プールを図9に、需要家設備を図10に示す。温水プールの昇

温は、日中太陽光集熱パネルで温水を製造し、蓄熱槽に貯めて使用している。冬季曇天時や夜間は蓄熱が十分ではないため、ボイラで追い炊きしている。出会いの森高齢者福祉センターと同様、温水プール内湿り空気をタンクに供給し、加熱乾燥した空気を利用している。冬季は熱交換器を介して温水プールの温水を昇温し、あわせて営業時間中に、更衣室、トイレの暖房と乾燥をおこなっている。冬季以外は、営業終了後に更衣室、トイレを乾燥している。システムフローを図11に示す。



図6 出会いの森高齢者福祉センター
Fig.6 Deainomori elderly welfare center



図7 需要家設備
Fig.7 Customer facility

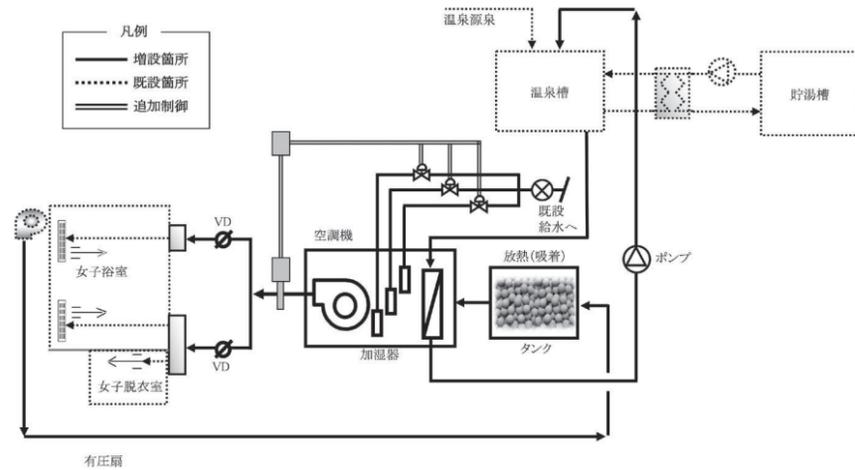


図8 出会いの森設備システムフロー図
Fig.8 System flow chart of Deainomori elderly warfare center



図9 運動公園温水プール
Fig.9 Heated pool in Kanuma sports park



図10 需要家設備
Fig.10 Customer facility

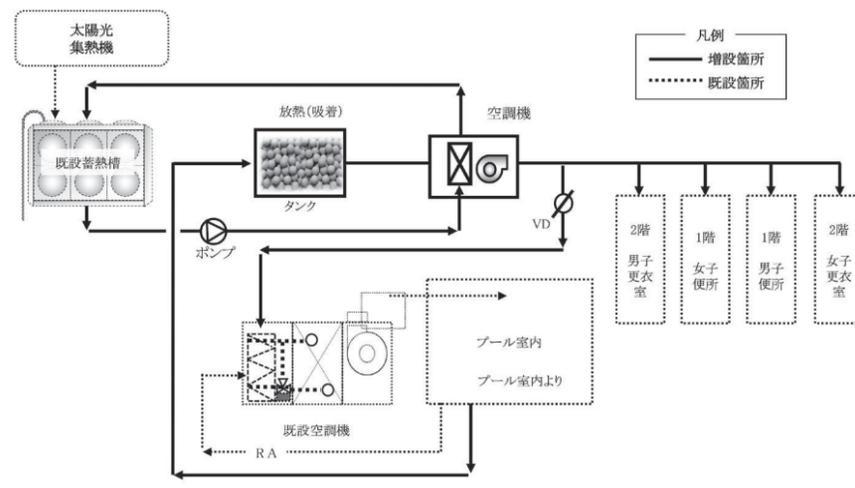


図11 運動公園設備システムフロー図
Fig.11 System flow chart of Kanuma sports park

4. 運用状況

実証設備は、事業化する場合の数分の一程度の規模であるが、冬季、春季、夏季の蓄熱量などの実証データは、事前のシミュレーション通りの結果が得られている。特に運動公園温水プールでは、更衣室、トイレの内部結露が解消され、今までにない付加価値を提供でき、市職員や利用者からは高い評価を得ている。連続供給すれば、除湿によるカビ防止などにも役立つと想定される。

5. まとめ 今後の展開

今まで廃熱源と需要家は、導管やダクトで接続しなければならないため、距離の制約があった。吸着材蓄熱技術を使用したシステムは、他の蓄熱材と比較し、放熱ロスが少なく、吸着材をタンクで移動可能なため、広域での熱供給が可能となる。熱導管等の敷設コストに対して、廃熱源と需要家間の輸送コストの低減が課題となる。需要家側では、湿り空気があれば、タンクとファンだけの設備で、高温低湿空気を供給出来るので、乾燥工程がある製造業などに適する。

今回の実証試験で得られた知見を、地産地消型エネルギーシステム、分散型エネルギーインフラである地域エネルギーシステム構築に生かしていきたい。地域エネルギーシステムのイメージを図12に示す。再生可能エネルギーで、電気・熱エネルギーを供給し、季節、時間で需給バランスが崩れることによる余剰熱や、下水道、焼却熱などの廃熱(未利用熱)を、地域全体で効率的にリサイクルするシステムに吸着材蓄熱技術の導入を検討している。なお、鹿沼市の実証試験は、見学も受け付けているので、是非鹿沼市へお越し頂きたい。

6. 謝辞

本実証試験に際し、主旨を理解していただき快く協力して頂いた栃木県鹿沼市の関係者の皆様に心から感謝します。本当にありがとうございました。

参考・引用文献

- 1) 電気新聞「低温排熱で高効率蓄熱」,2016.8.17.
- 2) Sorption Thermal Storage System by using Exhaust Heat of International Linear Collider (国際リニアコライダー排熱利用の吸着材蓄熱システム),リニアコライダー国際会議LCWS2016(企業展示ブース/ポスター発表),盛岡,2016.12.6-8.
- 3) NEDO ニュースリリース「100℃以下の廃熱を利用可能なコンパクト型高性能蓄熱システムを開発—低温度熱を工場間でオフライン輸送する実用化検証試験を開始—」,2017.3.13.
- 4) 山内一正,馬込英明,井守正隆,川上理亮,谷野正幸:100℃以下の廃熱利用可能な吸着材蓄熱システムの開発,自動車技術,(公社)自動車技術会,2017.7.
- 5) 川上理亮,鎌田美志,大山孝政,鈴木美穂,谷野正幸,宮原英隆,平井恭正,川村正行,小室匠,名和博之,丸毛謙次,山内一正,馬込英明,井守正隆,鈴木正哉,森本和也,松田聡,鈴木善三,永井恒輝:100℃以下の廃熱を利用可能なコンパクト型高性能蓄熱システムの開発,クリーンエネルギー,日本工業出版,2017.8.
- 6) 川上理亮,鎌田美志,鈴木美穂,谷野正幸,大山孝政,宮原英隆,平井恭正,川村正行,小室匠,名和博之,丸毛謙次,山内一正,馬込英明,井守正隆,鈴木正哉,森本和也,松田聡,鈴木善三:100℃以下の低温廃熱を利用可能な吸着材蓄熱システムの開発,建築設備と配管工事,日本工業出版,2017.8.
- 7) 谷野正幸:排熱回収技術,先端加速器科学技術推進協議会(AAA)グリーンILC・WG,2017.5.17.
- 8) 小久保孝,吉岡正和:吸着材蓄熱技術を活用したILCの排熱利用の提案,第14回日本加速器学会年会,WEP139,(2017.8.1-3).

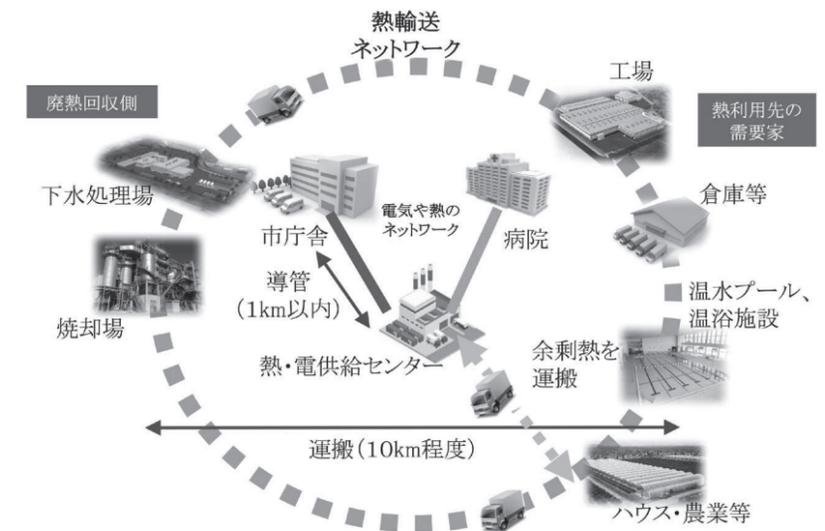


図12 地域エネルギーシステムとして目指す社会のイメージ
Fig.12 Image of society targeting for regional energy system

消化ガスを燃料としたガスエンジン発電ユニット

Gas engine power generation unit using digested gas as fuel



青柳 健一
AOYAGI Kenichi
水環境事業本部
ソリューション技術部
新事業グループ

Abstract

Digestive gas generated during the process of reducing the volume of sewage sludge is a renewable energy source in the form of a combustible gas, that primarily consists of methane. Conventionally, a sewage plant utilizes the generated digestive gas as a fuel for heating boilers in digestion tanks, and the remaining gas is incinerated by combustion devices. However, introduction of the Japanese feed-in tariff system (FIT system) that came into effect on July 1, 2012, has pushed nation-wide movements to actively use digestive gas as a renewable power source as a method of generating digestive gas. In addition to the conventional method of consuming generated power in the field, power plant owners can choose to sell generated power to a power company by utilizing the FIT system. Given this background, Tsukishima Kikai Co., Ltd. proactively promotes the implementation of digestive gas cogeneration units as a viable business proposal towards various sewage plants. To date, Tsukishima Kikai Co., Ltd. has achieved the implementation of 25 units for digestive gas from the sewage plant, and two units for biogas from source other than sewage plants, for a total of 27 implementations under the FIT system.

下水汚泥の減容化処理の過程で発生する消化ガスは、再生可能エネルギーの一つであり、メタンを主成分とする可燃性ガスである。従来、下水処理場ではこの消化ガスを下水汚泥消化槽の加温用ボイラの燃料として利用し、余ったガスは余剰ガス燃焼装置にて焼却処理しているのが一般的である。しかし、2012年7月1日に施行された固定価格買取制度(以下、FIT制度)により、再生可能エネルギーである消化ガスを発電用途として利用する動きが活発化し、下水処理場における消化ガスの発電手法として、従来の発電電力を場内で消費する手法に加え、FIT制度を活用して発電電力を電力会社に売電する選択も可能となった。このような背景の下、月島機械は下水処理場における消化ガス発電設備の事業展開を積極的に図っており、これまでにFIT制度の追い風を受けて下水処理場の消化ガス向けに25台(月島機械保有(民設FIT事業)の発電機台数を含む)、下水処理場以外のバイオガス向けに2台の合計27台の実績を積み重ねている。

キーワード: 消化ガス、ガスエンジン、コージェネレーション、発電
Keyword: Digested gas, Gas engine, Cogeneration, Power generation

1. はじめに

下水処理場では下水汚泥の減溶化処理の過程で発生するメタンを主成分とする消化ガスを下水汚泥消化槽の加温用ボイラの燃料として利用し、余ったガスは余剰ガス燃焼装置にて焼却処理しているのが一般的である。従来から消化ガスを用いた発電は行われていたものの、事業採算性が低いため普及が進んでいなかった。しかし、2012年7月1日に施行された固定価格買取制度(以下、FIT制度)の施行により、再生

可能エネルギーである消化ガスで発電した電力は本制度の下で売電が可能となり、事業採算性が向上し下水処理場における消化ガス発電が急速に普及した。月島機械は、消化ガス発電の需要に応えるため、これまでに木質バイオマスのガス化発電設備で採用していたガスエンジン発電ユニットを、消化ガスを燃料とした発電ユニットとして転用し、2014年度に実証試験を経て製品化した。本稿では下水処理場で発生する消化ガスを燃料としたガスエンジン発電ユニットをメインとした消化ガス発電設備について紹介する。

2. 下水処理場における消化ガス発電設備の概略フロー

下水処理場における一般的な消化ガス発電設備の概略フローを図1に、また消化ガスエンジン発電設備を構成している各ユニットの役割を以下に示す。

2.1 ガスエンジン発電ユニット

ガスエンジン発電ユニットは、MAN社製ガスエンジンにStamford社製発電機を組み合わせたガスエンジン発電機であり、その他補機類としてガスエンジン冷却水ポンプ、冷却水クーラ、排ガス熱交換器、温水熱交換器など一式をパッケージ化した発電ユニットである。ラインナップは50Hzと60Hz毎に表1に示す100～500kW級で4種類を揃えている。外観は図2に示すコンテナタイプで、防音仕様のコンテナ内にガスエンジン発電機が収納されている。また、ガスエンジン排熱からは、排ガス熱交換器および温水熱交換器で蒸気または温水の形態として熱回収を行うことが可能であり、電気と熱を同時に取り出すことができるコージェネレーションシステムである。下水処理場においては、排熱を温水として取り出し、消化槽の加温用の熱源として利用するのが一般的な熱の利用用途である。中温消化では発生した消化ガス量の全量を発電し、その排熱で消化槽の加温熱量の全量を賅うことができるため、加温設備での燃料使用量をゼロにすることが可能である。

発電効率および熱回収率は、ガスエンジンの規模や燃料性状で幅はあるが、実運用上の発電効率は33～37%、温水回収率は43～50%である。

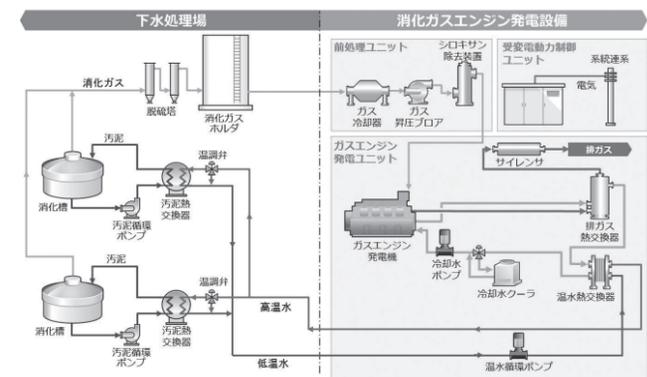


図1 消化ガス発電設備概略フロー
Fig.1 Flowchart of digestion gas power generation system

表1 定格発電出力(kW)
Table1 Power generation output (kW)

	CES100M	CES220M	CES370M	CES550M
50Hz	104	210	357	530
60Hz	104	238	374	558

2.2 前処理ユニット

消化ガス中にはシランや化粧品等に由来するシロキサン(有機ケイ素化合物)が微量に含まれており、燃焼すると酸化して固体であるシリカ(SiO₂)となり、点火プラグやシリンダ内部に付着・蓄積してトラブルの原因となる。このため、前処理ユニットでは、消化ガスに含まれるシロキサンを、消化ガスの冷却除湿と活性炭による吸着処理の組み合わせ(特許取得)でシロキサンを除去した後、ガスエンジン発電ユニットへ消化ガスを供給する。

2.3 受変電動力制御ユニット

変圧器、系統連系のための保護装置、補機類への配電、制御盤や遠隔監視装置等をキュービクル盤としてユニット化したものであり、売電または下水処理場での場内利用などの電力利用用途によって最適なシステムを構築する。

3. 運転実績

本ガスエンジン発電ユニットの初号機は、栃木県鹿沼市殿との官民共同事業として実施した、FIT制度を活用した発電事業での採用であり、鹿沼市黒川終末処理場に250kW×1台を設置し、2015年6月より発電事業が開始された。

鹿沼市殿での初号機を皮切りに、現在では6案件14台が稼働済みであり、6案件13台が今後稼働予定である。(2017年10月現在)

稼働開始当初は初期トラブルにより設備が停止することもあったが、対策および改善を継続し、他施設の水平展開を図ることにより、2年が経過した現在ではトラブルも減少し安定した運転が行えるようになった。

4. おわりに

本ガスエンジン発電ユニットは、下水道由来の消化ガスを燃料とした発電ユニットとして着実に実績を積み重ねており、その経験とノウハウの蓄積により、さらに完成度の高い発電ユニットにすべく改善を進めている。今後は、下水道由来の消化ガスだけでなく、他のバイオガスを燃料とした発電ユニットとして活躍の場を広げ、再生可能エネルギーの普及拡大に貢献していきたい。

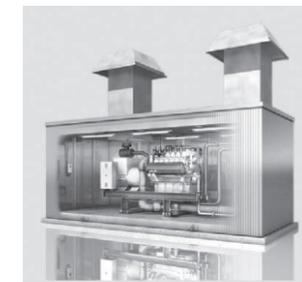


図2 ガスエンジン発電ユニット
Fig.2 Gas engine power generation unit



図3 鹿沼市黒川消化ガス発電所
Fig.3 Kurokawa digestion gas power plant

廃棄物処理事業とそれに伴う創エネルギー事業について

Waste treatment and energy-creation business



鈴木 陽
SUZUKI Akira
サンエコサーマル(株)
営業部 営業課

Abstract

Proper disposal of waste generated by our daily living and industrial activities is essential to 3R (Reduce, Reuse, Recycle) activities from the viewpoint of enriching our living environment and conserving the global environment. It can not be done.

Sun Eco Thermal Co., Ltd., a group company of Tsukishima Kikai Co., Ltd., is engaged in not only reducing waste and stabilizing waste-treatment by incineration, but also recovering heat from the exhaust gas generating electricity (thermal recycling) as its core business. We would like to introduce about our core business and new business that the company started recently.

私たちの日常生活や産業活動によって生じる廃棄物の適正処理は、私たちの生活環境を豊かにし、地球環境を保全していく観点からも、3R (Reduce, Reuse, Recycle) 活動と併せ欠かすことのできないものである。

月島機械のグループ会社であるサンエコサーマル株式会社は、廃棄物を焼却処分により減量化・安定化させるにとどまらず、焼却時に発生する排ガスから熱を回収し、発電を行う事業(サーマルリサイクル事業)を中核としている。今回はサンエコサーマルの上述の中核事業に加え、昨今新たに始めた事業についてご紹介したい。

キーワード: 廃棄物処理
Keyword: Waste treatment

1. はじめに

月島機械のグループ会社であるサンエコサーマル株式会社は、廃棄物を焼却処分により減量化・安定化させるにとどまらず、焼却時に発生する排ガスから熱を回収し、発電を行う事業(サーマルリサイクル事業)を中核としている。「廃棄物を利用して発電することにより、自家消費電力を賄い余剰電力は社会に供給する」「社内で発生する汚水は、全て燃焼・無害化し排水を出さない」という環境に優しい廃棄物処理事業を展開している。

2. ビジネス区分

サンエコサーマルの企業概要と事業構成は、以下の通りである。

2.1 企業概要

表1 企業概要
Table1 Company Outline

資本金	91,600,000円
所在地	栃木県鹿沼市下石川737番地55
廃棄物処理設備	一般廃棄物焼却設備 (134.64t/d)
	産業廃棄物焼却設備 (92.67t/d)
	蒸気タービン発電設備 (2,400kW)
創エネルギー事業	太陽光発電設備 (750kW)
	バイオガス発電設備 (250kW) *1
市との協定	災害時における廃棄物等の処理に関する協定

*1 鹿沼市及び月島機械との共同事業に関する設備

2.2 事業構成

2.2.1 廃棄物処理事業

サンエコサーマルは焼却設備を一般廃棄物専焼炉及び産業廃棄物専焼炉の計2基設置している。一般廃棄物焼却設備では、各自治体で運用している清掃センターでは処理が困難、もしくは、余剰となる一般廃棄物を処分受託して焼却し、産業廃棄物焼却設備では、廃油・汚泥・廃プラスチック類・紙屑・木屑・繊維屑・動植物性残渣を焼却処理している。排ガス処理には、バグフィルタ後段に触媒塔を設置し、ダイオキシン類を化学分解させ無害化、系外へ排出される排ガスを基準値以内に処理している。また、施設内で発生する排水は、二次燃焼炉内で高温噴霧処理することで、施設外に排出させないクローズドシステムを採用し、周辺環境にも配慮した設計がなされた廃棄物処理設備としている。焼却処理後の燃え殻に関しては、複数の協力企業と委託契約を締結したうえで75%を路盤材等へリサイクルしており、循環型社会の構築に貢献している。

2.2.2 サーマル発電事業

サンエコサーマルでは、廃棄物から熱エネルギーを回収している。廃棄物の焼却熱を熱源として、廃熱ボイラーで蒸気を発生させ、タービンを稼働させることで発電している。最大発電能力は2,400kWであり、発電した電力は約1,000kWを施設内で使用し、余剰の1,400kWを電力会社へ送電している。顧客から処理委託された廃棄物を適正処理するとともに熱エネルギーに変換し、電力として地域に供給している。

2.2.3 太陽光発電事業

上述の廃棄物処理事業に加えて、2014年10月より太陽光発電事

業も開始した。発電出力は約750kWで年間発電量は約80万kWh、再生可能エネルギーの固定価格買取制度(FIT)を活用し、全量を電力会社へ売電している。この年間発電量は一般家庭の年間消費電力量の約220世帯分に相当するものである。

2.2.4 バイオガス発電事業

サンエコサーマルは、月島機械とともに、鹿沼市と官民連携による「バイオガス発電」の官民共同事業協定を締結し、創エネルギー・廃棄物処理事業(以下、「本事業」という。)を展開している。本事業は、鹿沼市の下水処理場に既に設置されている汚泥消化タンク(下水汚泥を発酵させ処理するタンク)から発生する、再生可能エネルギーである「バイオガス」を燃料として発電する事から始まり、鹿沼市内の給食センター・病院・コンビニ等から発生する「食品系バイオマス」を2016年6月から黒川終末処理場の汚泥消化タンクで混合処理することで効率的な廃棄物処理を実現している。本事業では、未利用の地域資源を活用しバイオガスを増量・発電することで、安定的な地産地消の再生可能エネルギーを生み出している。

2.2.5 各種実証事業の展開

■B-DASHプロジェクト(下水道革新的技術実証事業)

※詳細は本誌P8を参照

月島機械・サンエコサーマル・日本下水道事業団・鹿沼市・公益財団法人鹿沼市農業公社の5者からなる共同研究体は、国土交通省が実施するB-DASHプロジェクトへ応募・採択され国土交通省国土技術政策総合研究所の委託研究により、中小規模の下水汚泥処

理場を対象とした脱水乾燥システムを実証している。本プロジェクトの中でのサンエコサーマルの役割は、乾燥汚泥の燃料利用の検証であり、今後の安定した利用方法確立を目指している。

■吸着剤蓄熱システム

※詳細は本誌P24を参照

鹿沼市・月島機械・サンエコサーマル・高砂熱学工業株式会社は、産業廃棄物焼却炉の排ガスの熱を取り出し、蓄熱システム内の吸着剤(汎用ゼオライト)へ供給・乾燥させた後、吸着剤を鹿沼市内の温浴施設や温水プールへ運搬し、放熱させ昇温補助として得られた熱を利用している。低温廃熱の新しい活用技術であり、焼却設備からの熱回収効率を向上させる一環として実証試験を継続している。

3. 終わりに

月島機械グループは、その事業方針として「環境・エネルギー分野への注力」を掲げている。その方針に基づき、グループ全体で省エネルギー・創エネルギー事業の展開をしている中、サンエコサーマルは地域に根ざした複合的な廃棄物処理とともに再生可能エネルギーを活用した創エネルギー事業を展開する中核企業である。「環境技術で世界に貢献する」企業である月島機械グループの一員として、これからも効率的な廃棄物処理と創エネルギー事業を両立していくことで、社会に貢献していきたい。

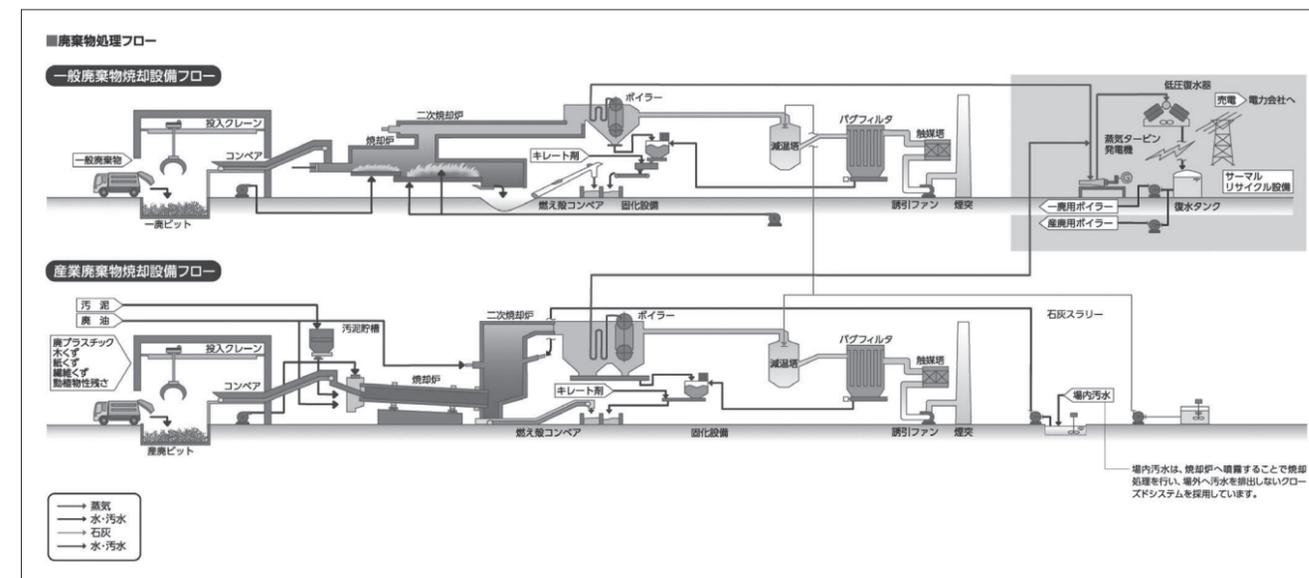


図1 一般/産業廃棄物焼却設備フロー
Fig.1 General/Industrial waste incineration system flow

酵素法によるバガスからのバイオエタノール製造

Bioethanol production from sugarcane bagasse using an enzyme method



小川 綾子
OGAWA Ayako
産業事業本部
プラント計画部
プロセス第2グループ



早川 智基
HAYAKAWA Tomoki
産業事業本部
機器拡張推進室



水野 秀明
MIZUNO Hideaki
産業事業本部
プラント計画部
プロセス第2グループ

Abstract

A demonstration of bioethanol production was conducted in Thailand. The raw material for the bioethanol was sugarcane bagasse from a sugar factory. Our technology includes four processes: bagasse pretreatment, enzyme production, simultaneous saccharification and fermentation (SSF), and refining. One of the most important technologies is on-site enzyme (cellulase) production using *Talaromyces cellulolyticus* strain C-1, which is owned by Tsukishima Kikai. The demonstration plant was constructed and demonstration operation started in 2015. Through 18 months of operation, seasonal fluctuation of bagasse composition was investigated. Performance reached targets for enzyme production and the SSF process through a year, by conditioning pretreatment according to bagasse fluctuation. The on-site produced enzyme cost was calculated as one-tenth lower than the manufactured enzyme's market price, which enables our bioethanol process to be economically feasible.

タイにおいて製糖工場から排出されるサトウキビの搾りかす（バガス）を用いたバイオエタノール製造技術の実証試験を行った。この技術には、バガス前処理工程、酵素生産工程、糖化発酵工程、精製工程が含まれる。最大の技術的特徴は、月島機械保有の酵素生産菌 *Talaromyces cellulolyticus* C-1 株を用いて酵素（セルラーゼ）をオンサイト生産することである。タイに実証設備を建設し、2015年より実証運転を開始した。約1年半の運転を通して、バガス組成の季節変動を把握し、適切な前処理を組み合わせることで、年間を通して酵素生産・糖化発酵とも設計ベースの能力を達成できた。オンサイト生産酵素は市販酵素価格の1/10のコストで生産できることが示され、その結果、セルロースからのバイオエタノール生産コストを実用化可能なレベルまで下げることができた。

キーワード：バイオエタノール、セルロース、バガス、セルラーゼ、水熱処理、発酵
Keyword: Bioethanol, cellulose, bagasse, cellulase, hydrothermal treatment, fermentation

1 はじめに

1.1 背景

タイは世界有数のサトウキビ生産国であり、製糖業が一大産業となっている。製糖過程で出る廃糖蜜（モラセス）は、キャッサバとならんでタイにおけるバイオエタノールの主要な原料となっている。また、タイではバイオエタノール混合ガソリンの普及が進んでおり、2012年末にはエタノールを含まないレギュラーガソリンの販売が禁止された。以降バイオエタノールの需要は順調に伸び、近年ではバイオエタノールの生産能力が逼迫してきている。そのため、新たな原料からのバイオエタノール製造技術が求められている。

月島機械は新たなバイオエタノール製造技術として、セルロース系原料からのバイオエタノール製造技術を確立した。セルロース系原料は非可食バイオマスであるため、従来のバイオエタノール原料（トウモロコシや糖蜜など）のように食糧とは競合せず、原料価格や供給が安定しているというメリットがある。セルロース系原料からのバイオエタノール製造における大きなハードルの一つは市販の酵素（セルラーゼ）の価格が高いことである。市販酵素を使用すると、デンプン・糖質原料から製造する従来技術と比較してエタノール生産コストが数倍高くなり、燃料用エタノールの市場取引価格を大きく上回る。この課題を克服するために、独自の微生物によるオンサイト酵素生産を適用したのが当社技術の最大の特徴である。

本稿では、タイに建設した実証設備におけるバガス（サトウキビの搾りかす）からのエタノール製造技術の実証成果について報告する。

表1 実証設備の生産能力
Table1 Capacity of demonstration plant

原料受入量	18t/バッチ(50%水分)
エタノール生産量	2kL/バッチ
年間バッチ数	最大50バッチ



図1 実証設備の外観
Fig.1 Photo of demonstration plant

1.2 実証設備の概要

Thai Roong Ruang Energy Co., LTD (TRE) 殿のバイオエタノール工場はタイ中部のサラブリー県にある。隣接する製糖工場からモラセスやバガスを受け取りバイオエタノールの原料としている。¹⁾ 今回、バガスからのバイオエタノール製造実証設備をTRE 殿工場内に建設し、2015年9月から約1年半、実証試験を行った。生産能力を表1に、実証設備の外観を図1に示した。実証設備は、前処理工程、酵素生産工程、糖化発酵工程、精製工程、および付帯設備からなる。

2 実証技術の概要

2.1 全体

TRE 殿既設の設備²⁾ および実証設備には、前処理の異なる二通りのバガスエタノール製造プロセスがある。希硫酸法プロセスおよび水熱法プロセスである(図2)。希硫酸法プロセスは、バガス中に含まれるヘミセルロース(主な糖はC5糖のキシロース)を加水分解し、得られたC5糖を組換え大腸菌 KO11 株を用いてアルコール発酵させる。残渣に含まれるセルロース(主な糖はC6糖のグルコース)はセルラーゼで糖化し酵母発酵させる。今回の実証試験ではC6発酵工程のみを実証対象とした。水熱法プロセスは、高温高压の水蒸気で処理したバガスをセルラーゼで糖化し、C6糖のみ利用して酵母発酵させる。希硫酸法プロセスの方がC5糖・C6糖の両方を発酵原料とするためエタノール生産量は多い一方で、プロセスが複雑である。

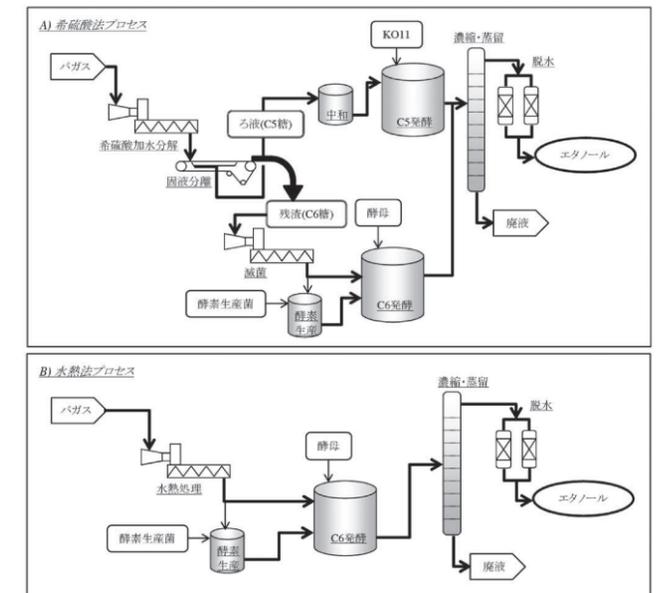


図2 バガスからのエタノール生産プロセス((A)希硫酸プロセス、(B)水熱法プロセス)
Fig.2 Bioethanol production processes from bagasse

2.2 前処理工程

原料の前処理は、セルラーゼのセルロースへの作用効率を上げることを目的としている。今回の実証試験では希硫酸法と水熱法を比較した。希硫酸法は、希硫酸によるヘミセルロースの加水分解工程をセルロース利用のための前処理と兼ねている。水熱法は、高温高压の水蒸気で処理を行い、主にヘミセルロースを分解することでセルラーゼの作用効率を上げる。希硫酸法の方がエタノール生産量は多い一方で、プロセスが複雑・希硫酸への腐食対策が必要・硫酸中和による塩生成とスケリング、といったデメリットがある。水熱法はエタノール生産量では希硫酸法に劣るものの、これらのデメリットを持たない。実証試験を通して両プロセスの経済性を評価し、優位性の高いプロセスを決定した。

2.3 酵素生産工程

前処理バガスを用いて酵素(セルラーゼ)を生産する工程である。本実証技術の最大の特徴は、市販酵素を使わず独自の微生物を用いて酵素をオンサイト生産することである。月島機械は国立研究開発法人産業技術総合研究所との共同開発において、酵素生産菌 *Talaromyces cellulolyticus* のセルラーゼ生産能力を野生株の約7倍にまで高めることに成功した^{3),4)}。この菌株(*T. cellulolyticus* C-1株)は非組換え菌で、カビ毒も検出されていないため⁵⁾、同株の生産したセルラーゼは食品・飼料などへの用途拡大も期待されている。*T. cellulolyticus* C-1株の顕微鏡写真を図3に示した。月島機械はこれまでに10m³規模の酵素生産実績がある⁶⁾。今回の実証設備ではそれと同等規模である12.5m³槽にて酵素生産を行った。

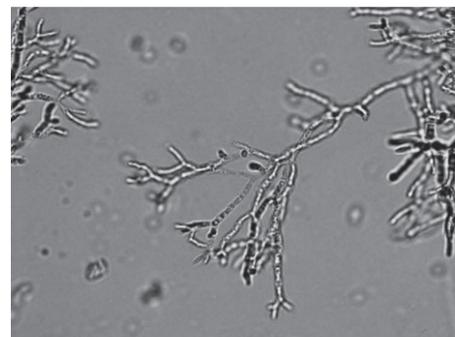


図3 *Talaromyces cellulolyticus* C-1株の顕微鏡写真
Fig.3 Microscope photo of *Talaromyces cellulolyticus* strain C-1

2.4 糖化発酵工程

オンサイト生産したセルラーゼを用いてバガス中のセルロースを糖化し、酵母によりC6糖(グルコース)の発酵を行う工程である。本実証技術では酵素糖化と発酵を同時に行う同時糖化発酵方式(Simultaneous Saccharification and Fermentation, SSF)を採用している。同時糖化発酵方式は、酵素糖化により生成したグルコースが速やかに酵母に消費されてエタノールになるため、常に糖濃度が低く保たれて雑菌汚染リスクが低い、また糖濃度が低く保たれるため酵

素糖化速度を高く保つことができる、といったメリットがある。一方で、酵素糖化と酵母発酵は至適条件が異なるため、両者の中間的な条件で運転することになるというデメリットもある。このデメリットを克服するために、酵母 *Saccharomyces cerevisiae* GK-3株は開発された。GK-3株は、酵素糖化の至適温度・pHに近い条件下でも高い発酵能力を持ち、かつバガス由来の阻害成分(有機酸・フラン類など)への高耐性も併せ持つ。

実証設備では50m³の発酵槽にて発酵を行い、高濃度バガスラリーのハンドリング性などを確認した。

2.5 精製工程

糖化発酵を終えた液(もろみ)は、もろみ塔にて固形分を分離し、エタノールを留出液として濃縮・回収する。留出液は既設の精製工程へ送られて、蒸留・脱水を経て製品となる。実証設備では、リグニンやタンパク質などを含むもろみの発泡性や付着性といったもろみ塔内でのハンドリング性の確認、および蒸留不純物の同定・定量を行った。

3 実証運転結果

3.1 原料の変動

サトウキビは例年、12月から収穫が始まる。翌年の4月頃まで収穫が行われ、その間製糖工場にサトウキビが持ち込まれて搾汁される(クラッシングシーズン)。搾りかすのバガスは野積みになされ、翌シーズンまで山を崩しつつボイラ燃料などに使われる。保管中にバガスの腐敗が進行して組成や性状は変化するため、実証試験において、バガスの季節変動の把握とそれに対応した運転方法の確立は大きな目的のひとつであった。

図4に、クラッシング開始直前(1年弱かけて腐敗が進行)と直後のバガスの見た目の違いを示した。クラッシング開始直後のバガスは色が明るく、繊維がよく残っている。一方でクラッシング開始直前のバガスは色が黒ずんでいるのが分かる。図5にバガスの組成変化の様子を示した。クラッシングシーズンはキシロースの含量が高く、30%前後を推移している。5月頃までは組成に大きな変化はないが、6月頃から徐々にキシロースの含量が低下し、相対的にグルコース・リグニンの含量が高くなっていった。酵母発酵の対象であるグルコースは、1年を通して40~50%程度を保っていた。

3.2 前処理工程

前処理においては希硫酸法と水熱法におけるグルコースの固形物中への回収率データを得た。腐敗の進行したバガス(OLDバガス)とクラッシングシーズンのバガス(FRESHバガス)の代表的な結果を図6に示した。希硫酸法での回収率は約80%、水熱法では原料の状態にもよるが90~100%と高い値になった。

3.3 酵素生産工程および糖化発酵工程

酵素生産工程は、糖化発酵工程に比べて求められる無菌レベルが高い。酵素生産工程は、好気培養であり多種多様な雑菌が増殖可能で、また生産物が酵素(タンパク質)であるため培地自身が栄養

豊富だからである。実証運転では、前処理を経たバガスの搬送工程の無菌性維持の検討を行った。搬送機器の洗浄方法を改良することにより、雑菌混入レベルを検出限界以下に抑えることができた。一方、糖化発酵工程は雑菌に強く、酵素生産に比べて粗放な管理でも問題なくエタノール生産できた。酵素生産および糖化発酵の経時変化の代表データを図7に示す。

3.4 精製工程

本技術におけるもろみは、酵素由来のタンパク質やバガス由来のリグニンなどを多く含み、もろみ塔内での付着や発泡が懸念されていた。もろみ塔の缶出液中の固形物濃度(不溶性、溶解性を含む)は最大

で15%近くになったが、運転中のもろみ塔トレイへの堆積・閉塞や付着といった問題は生じなかった。また、停止時にアルカリ洗浄を行うことで汚れは容易に落ちた。一方で発泡性は高く、もろみ塔への供給開始時には注意が必要であった。

もろみ塔留出液を採取し、GC/MSを用いて不純物の同定を行った。セルロース原料由来のアルコール発酵の蒸留不純物に関する文献情報は無いに等しく、不純物の同定と定量は今回の実証運転における大きな目的のひとつでもあった。蒸留不純物の組成例を図8に示す。本技術において特徴的なのは、有機酸やフラン類などバガス由来成分が多いことであった。



図4 クラッシング開始直前(右)と直後(左)のバガスの写真
Fig.4 Photo of bagasse (Right: old and degraded bagasse. Left: newly crushed and fresh bagasse.)

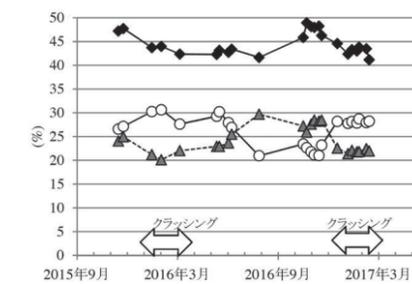


図5 バガスの組成変化の様子 (グルコース・キシロースはモノマー換算)
Fig.5 Seasonal fluctuation of bagasse composition

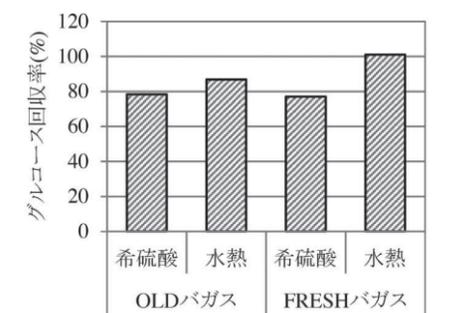


図6 前処理におけるグルコース回収率
Fig.6 Glucose recovery at pretreatment process

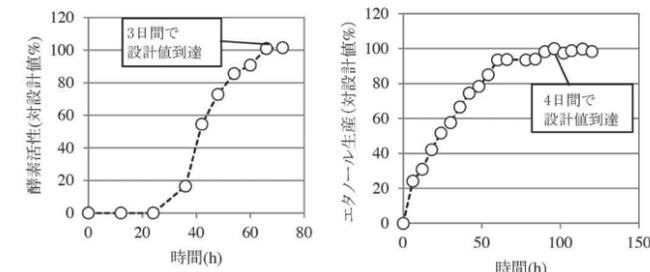


図7 酵素生産および糖化発酵の代表的な経時変化
Fig.7 Typical trend graphs of enzyme production and SSF

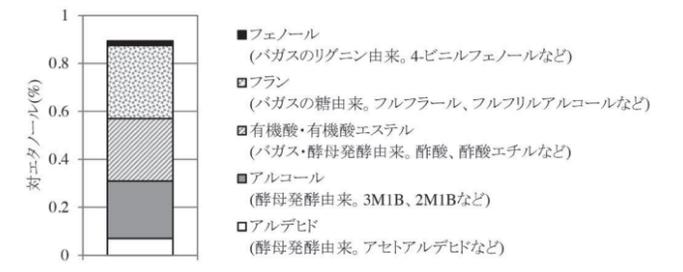


図8 蒸留不純物の組成例
Fig.8 Typical composition of distillate impurity

4 プロセス評価

4.1 前処理プロセスの決定

希硫酸法と水熱法におけるエタノール生産量バランスを図9に示した。これを見ると、希硫酸法の方が水熱法よりもエタノール生産量は多い。これはC5糖からもエタノール生産できるからである。しかし、希硫酸法の方が水熱法よりも圧倒的に多いという結果にはならなかった。希硫酸法では原料からの糖回収率が低く、また糖からのエタノール生産効率も低いことが分かる。これは、希硫酸法では糖の過分解反応も触媒してしまうことや、固液分離等の工程を含むため糖のロスが多いことがあげられる。一方で、水熱法では効率よく糖を回収でき、また回収された糖は希硫酸法に比べて酵素分解に適した状態であったと言える。

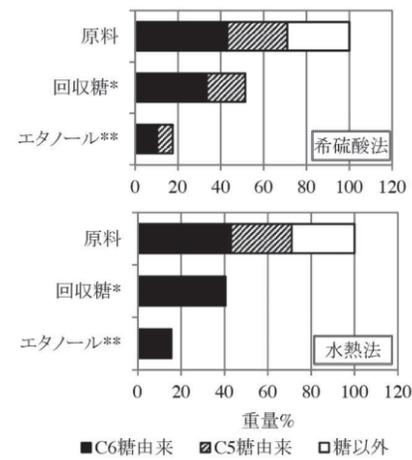


図9 希硫酸法と水熱法のエタノール生産量比較
(原料乾物量を100とした場合の発酵における生産量)
(*回収糖は、C5糖は液分中への、C6糖は固形分への回収量を示す)
(**アルコール発酵の化学反応式 $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2$ において、糖からのエタノール収量は理論上0.51g/g-糖)
Fig.9 Comparison of ethanol recovery from two different pretreatment processes

実証運転結果から得られたエタノール生産量および製造コストを表2にまとめた。エタノール生産量は希硫酸法の方が多いが、製造コストを比較すると水熱法の方が低コストでエタノールを生産できることが分かる。

表2 希硫酸法と水熱法のエタノール生産量・製造コスト
Table2 Ethanol production and cost of two different pretreatment processes

	希硫酸法	水熱法
エタノール生産量(kL/年)	16,300	14,400
製造コスト(THB/L)	21.5	20.2

(年間バガス使用量150,000として算出)

(1THB=3.22JPY 製造コスト算出時点)

以上の結果より、水熱法の方がより優位性の高いプロセスであると結論付けた。

4.2 オンサイト酵素の優位性評価

実証運転の結果から、オンサイトでの酵素生産にかかるコストを算出し、市販酵素との比較を行った。その結果、オンサイト生産酵素コストは市販酵素価格の1/10以下に低減させることができ、バイオエタノール生産原料にデンプン・糖質を用いる従来技術に匹敵するエタノール製造コストを実現した。

一方で市販酵素の価格は、2010年頃と比べてほとんど変化がないのが現状である。市販酵素の需要増加と価格低下は、バイオエタノール生産原料のセルロース系原料への転換とともに進むことが予想されていた。この転換は米国主導で進むと考えられていたが、実際にはセルロース系原料への転換はあまり進んでいない。その理由として、技術開発の遅れやシェールガス革命による原油生産量の増加、輸送燃料の需要が増加しないことなどがあげられる。その結果、市販酵素の需要も増えず、価格低下や生産拠点の増加は進んでいない。大手酵素メーカーによるセルラーゼ生産拠点はアジア地域にはなく、タイ国内で市販酵素を入手する場合は欧米から輸入することになる。そのため、価格面においても安定供給という点からも、セルラーゼはオンサイト生産するほか選択肢がないのが実情である。

タイでは燃料用エタノールの需要は年々増加しており、セルロース系原料の利用に対して意欲的である。同国において、セルラーゼのオンサイト生産に成功した意義は非常に大きい。

5 今後の展望

今回建設した実証設備はTRE殿にて継続運転中である。TRE殿の技術理解と実証設備の継続運転が、バガスからのバイオエタノール製造の商業化への第一ステップであると考えている。TRE殿と同様、製糖工場から排出されるモラセスからエタノール製造を行っている工場において、モラセス・バガスエタノール製造プロセスのハイブリッド化など、本技術の適用範囲の拡大を探っていく。また、今回実証した酵素生産技術を用いると市販酵素に比べて格段に安く酵素を提供できることが示された。バイオエタノール用途に限定せず、セルラーゼを必要としている食品・飼料メーカーへのオンサイト酵素生産技術の適用も検討する。

6 謝辞

本プロジェクトは、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)殿の実証事業「酵素法によるバガスからのバイオエタノール製造技術実証事業(タイ)」においてJFEエンジニアリング(株)殿と月島機械(株)が共同実施したものである。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 平成20年度成果報告書「製糖工場におけるモラセス・バガスエタノール製造モデル事業(タイ)に係る技術普及事業」 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構(2009)
- 2) 早川智基、鈴木健治、佐藤正則、製糖工場におけるモラセス・バガスからの燃料用エタノール製造技術、TSK技報No.14、21-27 (2010)
- 3) Yamanobe, T., Mitsuishi, Y., Takasaki, Y., Isolation of a cellulolytic enzyme producing microorganism, culture conditions and some properties of the enzymes, Agric Biol Chem, Vol.51 No.1 65-74 (1987)
- 4) 特許第4025848号 セルロース原料の分解方法(登録2007年)
- 5) 平成22年度成果報告書 技術実証事業FS「酵素法によるバガスからのバイオエタノール製造技術実証事業(タイ)」 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構(2011)
- 6) 茂木 健男、加藤 綾子、鈴木 健治、奥田 直之、佐藤 正則、*Acremonium cellulolyticus*によるバイオエタノール製造用セルラーゼの生産、日本生物工学会大会講演要旨集 Vol.62 p153 (2010)

TSK コンテナ® ~流量制御機能付計量コンテナ~

“TSK container” Discharge flow rate controllable weighing container



吉田 修二
YOSHIDA Shuji
産業事業本部
プラント計画部
プロセス1グループ

Abstract

The TSK Container is the main equipment of Container Handling System applied to powder plants, and functions as the feeder for the powder weighing process. The flow rate of the powder discharged from this container can be controlled by varying the opening ratio of the bottom corn-type valve, without using other powder feeders such as rotary valves. Furthermore, by improving the powder discharge system in 2016, the application of the TSK container was expanded into low-fluidity powders, and higher-accuracy weighing also was achieved. This article introduces the structure and features of the TSK container, including the weighing results of some powders.

TSK コンテナは、粉体工場に適用するコンテナハンドリングシステムの主要機器の一つであり、粉体計量のための切出機能を持つコンテナである。コンテナからの粉体排出流量は下部コーンバルブの開度を制御することで調整することが可能であり、ロータリーバルブなどの機械を用いずに粉体計量が可能である。さらに2016年に改良した排出機構によって、難流動性粉体へと適用物質を拡大し、より高精度な計量も実現した。本稿ではTSK コンテナの構造や特長を計量実績例とともに紹介する。

キーワード：コンテナ、粉体ハンドリング、計量
Keyword：Container, Powder handling, Weighing

1 はじめに

月島機械では粉体工場における原料の貯蔵、計量、混合、充填のハンドリングをコンテナで行う生産設備としてコンテナハンドリングシステムを製品展開している。コンテナハンドリングシステムは、各工程間の搬送もコンテナによる容器搬送で行うバッチシステムであるため、品種の切替え時の洗浄作業が容易であり、多品種少量生産設備と相性が良い。さらに機械由来のコンタミリスクも低く、生産ロット管理もコンテナ単位で実施可能であるため、食品や電池業界などの近年特に品質意識が高まっている粉体プロセスにも適したシステムである。

その中で粉体切出機能をもつTSK コンテナは、月島機械のコンテナハンドリングシステムの要の機器である。さらに2016年度の改良により、適用物質の拡大と計量精度の向上を実現したので、以下にその設備概要と特長を紹介する。

2 TSK コンテナ概要

2.1 コンテナ構造

前述のとおりコンテナハンドリングシステムは多品種生産設備と相性が良く、コンテナの排出バルブは形状がシンプルで洗浄性の良いコーンバルブが用いられることが多い。TSK コンテナも図1に示すようにコンテナ下部にコーンバルブを有し、コーンバルブのシャフトがコンテナ天井中央部を貫通している。

シャフトを有するバルブ構造により、バルブはコンテナ上部からの昇降となる。この「上部駆動」システムは、月島機械独自の技術であり、後述3項に記載する特長の基となっている。

また、TSK コンテナの主仕様を表1に示す。

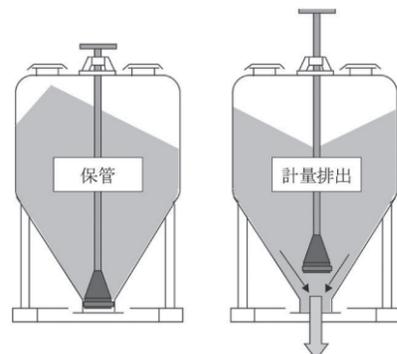


図1 TSK コンテナ
Fig.1 TSK Container

表1 TSK コンテナ仕様
Table1 The specification of TSK Container

仕 様		
コンテナ容量	~2000L	
排出バルブ仕様	材質	SUS304
	サイズ	φ250,φ150,φ100
計量仕様	範囲	数百g~数百kg
	精度	±数g~数百g

2.2 計量ステーション

工場内を動くコンテナに対し、コンテナからの計量やコンテナ混合のための付帯機器は固定の各ステーションに設置される。計量ステーションの一例を図2に示す。

バルブ開閉装置はコンテナ上部に設置され、昇降はACサーボモータにより行うため、バルブ開度（昇降高さ）を0.1mm単位で制御することが可能である。計量時は計量器の実測値と設定計量重量値を比較して、バルブ開度を段階的に絞っていくことで粉体切出流量を調整し、最終的にバルブを閉じて計量を完了する。

さらに新たに開発したパイプレータの自動着脱機構によって、コンテナ自体を振動させながら、内部粉体を排出することも可能である。(図3)

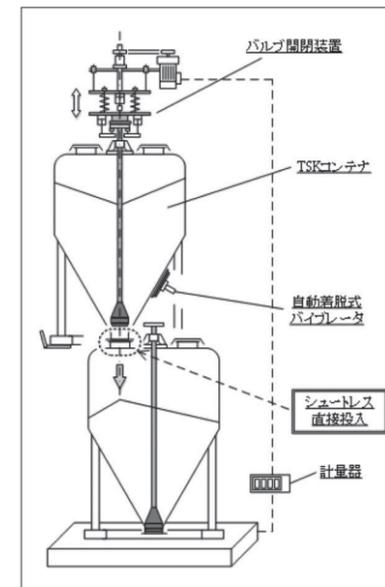


図2 計量ステーション
Fig.2 Weighing Station

(3) 難流動性物質を排出可能

自動着脱式パイプレータにより、工場内を動き回るコンテナに対しても直接振動をさせることが可能であり、難流動性物質への適用時に発生しやすいブリッジやラットホールへの対策も可能となった。

特にφ100mmのような小口径排出バルブのTSK コンテナからの排出に有効であり、高精度と難流動性物質の排出を両立し、適用物質の大幅な拡大を実現した。

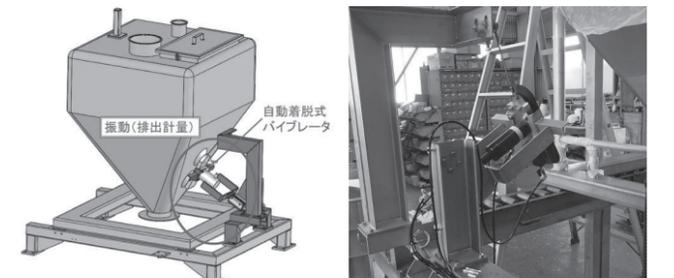


図3 自動着脱式パイプレータ
Fig.3 Automatically furnished vibrator system

4 計量事例

排出バルブ径φ100mmのTSKコンテナでの計量例を表2に示す。酸化チタンをはじめ平均粒径が数μm程度で、安息角が50度程度の一般的に流動性が良くないと言われる性状の粉体に対しても、計量精度±数グラムの実績がある。

5 おわりに

本稿で紹介したTSK コンテナの特長である高精度計量やシュートレス直接供給機能は月島機械独自のものである。さらに月島機械はコンテナ混合やコンテナ洗浄の各テスト機も保有しており、システム全体のエンジニアリングが可能である。今後このTSK コンテナを核として積極的にコンテナハンドリングシステムの拡販を進めていく所存である。

表2 計量例
Table2 The result of weighing test

物質	計量値 [kg]	計量精度 (3σ) [g]	計量時間 [秒]	平均粒径	安息角	嵩比重
				[μm]	[度]	(動的)[-]
酸化チタン	0.4	±5	約30	0.9	49	0.55
硫酸バリウム	1	±3	約30	11	55	1.78
珪酸ナトリウム	2	±7	約40	4	56	0.45
硫化マンガ	7	±10	約60	4.9	55	1.31

3 TSK コンテナ特長

(1) 高精度計量

バルブ開閉装置が上部に設置されるためコーンバルブを小径化することが可能で、要求計量精度に応じてサイズを自由に選択することが可能である。表1に記載のとおり、現在の最小径はφ100mmとなっており、高精度が要求される場合には小径のものを選択する。

さらに排出バルブの精密な多段階開度制御と組み合わせることで、グラムオーダーの計量精度を実現した。

(2) コンタミレス

バルブ上部駆動のため、コンテナ下部にはバルブ動作のための付帯機器が不要である。そのため、計量コンテナから別のコンテナ、もしくはポットへのシュートレス直接供給が可能である。(図2)

シュートレスのため品種切替え時のクロスコンタミの発生リスクが無く、手間のかかるシュート部の洗浄も不要である。

海外現地法人の活動

～マレーシアでの現地法人ビジネス展開と現地事情～

“Business report”

Challenge to lead a success of overseas affiliate's business in Malaysia



南 茂樹
MINAMI Shigeki
月島エンジニアリングマレーシア(株)

Abstract

Business activities of Tsukishima Engineering (Malaysia), i.e., TEM, who is the Tsukishima Kikai (TSK) affiliate in Malaysia, are introduced. Malaysia had a close and friendly relationship with Japan over many years, where about 1,400 Japanese companies are in operation now. To serve industrial manufacturers in Malaysia, TEM started the business in February, 1991. Since then, TEM worked in supplying and fabricating process equipment for the chemical and food industries at first, and nowadays, for extending TSK's business in Malaysia, TEM also works as the on-shore EPC contractor in Malaysia of plant and factory construction project in the chemical, food and environmental fields. In this article, author reports on the characteristics and noted points on Malaysian business, and he also mentions some remarkable business fields in which TSK group companies may find opportunities to explore business using TSK's core technologies.

本稿では、月島機械のマレーシア現地法人である月島エンジニアリングマレーシア社(TEM社)のビジネス活動について紹介する。マレーシアは、長年にわたって日本と親密な関係を持つ国で、現在は約1,400社の日本企業が進出している。そのマレーシアで、TEM社は1991年2月に設立され、現地の製造業を顧客として活動している。創業以来、TEM社は現地の化学や食品産業へプロセス機器を製造・供給し、さらに最近では、化学・食品・環境分野のプラントや工場建設プロジェクトで、現地側EPC契約者として、マレーシアに於けるTSKビジネス展開の一翼を担っている。マレーシアでビジネスを推進する際の特徴や留意点、またTSK要素技術のビジネス展開が期待されるいくつかの分野についても解説する。

キーワード：マレーシア、海外現地法人、現地事情、ビジネスモデル
Keyword：Malaysia, Overseas affiliate, Local condition, Business model

1 はじめに

月島エンジニアリングマレーシア(TSUKISHIMA ENGINEERING (MALAYSIA) SDN. NHD.、以下はTEM社)は、月島機械(以下はTSK)で二番目の海外現地拠点として、26年前の1991年2月に設立された。設立以来TEM社は、マレーシアの日系製造業や、現地系、欧米系製造業などを顧客とし、TSK製品の販売や、ケミカル・食品・環境保全分野のプラントエンジニアリングなどを業務としている。

最近の数年は、A社やT社など日系製造業顧客の工場建設プロジェクトに、多くのTSK技術者が参加するためにマレーシアを訪問し、TEM社の活動を知るTSK社員も増加している。しかし、マレーシアやTEM社に馴染みのない人達も未だ多いと予想する。

本稿では、マレーシアでのTEM社のビジネス活動について、日本とは異なる現地事情などを紹介して、TSK海外現地法人としてのTEM社を理解していただくための一助としたい。

2 マレーシア概況

マレーシアは、北緯1度から7度に位置し、マレー半島の南部地域(西マレーシア)とボルネオ島の北部沿岸地域(東マレーシア)の2地域から国土を構成される熱帯の国である。図1にマレーシア全図を、また、表1、表2にマレーシアの基本情報を示す。首都はクアラルンプールで、TEM社はその中心部にオフィスを置いている。半島部の西マレーシアには人口の約80%が居住し、半島の西側はマラッカ海峡に、また、東側は南シナ海に面している。半島の中央部には、山脈が南北に縦断する。当社の顧客である化学や食品工業会社の多くは、この西マレーシアに所在して、さらにその多くは、マラッカ海峡に面する半島西側のクアラルンプール、ペナン、イポ、マラッカ、ジョホールバルなどの都市部やその近郊で操業している。一方、人口密度が低い東マレーシア

では、天然ガスや石油が産出し、その多くは日本へ輸出されている。経済発展を示す国民一人当たりGDPは約1万ドルで、東南アジアではシンガポール、ブルネイに次いで所得が高く、近い将来の先進国入りを目指す中進国である。

マレーシアと日本との関係は古く、マラヤ連邦が英国から独立した1957年に、日本は同国を承認して大使館を設置した。80年代には、マハティール首相がルックイースト政策(東方政策)を提唱して、日本との交流や貿易がますます盛んで密接となり、また多くの留学生が日本の大学に留学している。その効果で、日本語を話せるマレーシア人も多い。東南アジアの中でも特に親日的な国で、治安が比較的良いことも重なり、近年はリタイヤした人達が海外居住するセカンドホームでも、マレーシアは日本人に人気No.1の国となっている。また、今年は日馬修好60周年に当たり、様々な記念行事が予定されている。



図1 マレーシア全図
Fig.1 Map of Malaysia

表1 ビジネスに必要なマレーシア基本情報(その1)
Table1 Outlines of Malaysia (1)

国土の構成	面積：33万100km ² (※日本の約87%) ・ マレーシア(マレー半島)：13万1,700km ² ・ 東マレーシア(ボルネオ島)：19万8,400km ²
気候	海洋性熱帯雨林 ・ 平均気温は26°C ・ 一年を通して温度変化が少なく、昼は暑い ・ 夜は涼しい
人口(2016年)	約3,170万人(※日本の約1/4) ・ 人口の約80%は西マレーシアに居住 ・ 平均年齢は28歳(※日本は45歳：2015年)
民族と宗教(2015年)	多民族多宗教国家 ・ マレー系と先住民：62%、華人系：21%、インド系：6%、その他と外国人等：10% ・ マレー系と先住民系の多くは国教のイスラム教徒、中華系の多くは仏教徒、インド系の多くはヒンドゥー教徒
言語	国語はマレー語だが、英語重視の教育で仕事では英語が中心

表2 ビジネスに必要なマレーシア基本情報(その2)
Table2 Outlines of Malaysia (2)

GDP(2016年)	・ 名目GDP：2,964億ドル(※日本：49,386億ドル) ・ 一人当たりGDP：9,390ドル(※日本：38,917ドル) ・ 実質GDP成長率：4.2%(※日本：1.0%)
日本からの製造業投資	1980年～2016年の投資額：RM105,512百万 ※日本はマレーシア製造業投資金額で第1位
日本からの主要輸入品目	①電気・電子関連機器、②一般機械
日本への主要輸出品目	①液化天然ガス、②電気製品
マレーシア進出日系企業	1,396社(2016年)
在留邦人	23,693人(2016年)

3 マレーシアビジネスの特徴と留意事項

マレーシアには約1,400社の日本企業が進出し、TSKの顧客である化学・食品分野の日系企業も多数が工場を稼働させている。

マレーシアに限らずこの国でも、海外で仕事をする上で、その国の習慣や実情を認識して理解することが、スムーズに仕事を進める上で大切なことである。TEM社がビジネスの相手としている顧客の多くは日系の製造業だが、製品や部品の製作や購入、施工工事、役所に提出する認可用の書類や図面などは、マレーシアローカル企業と仕事する。また最近では、日系製造業の多くもローカル化を進めていて、親会社も日系でも現地ではローカルスタッフと仕事することが多い。

3.1 英語の国

マレーシアビジネスでの魅力の一つは、国民の英語力が高いことである。公用言語はマレー語で、官庁の書類や通達などはマレー語の書類だが、日常ビジネスではイギリス英語が広く流通して利用されている。学校教育でも、理科系の科目などは英語授業のため、英語が日常に使われている。ショッピングなどでの日常会話に限らず、プラント建設の労働者などとも英語での会話が可能である。英語は、我々日本人も中学校から学習している言語なので、流ちょうでなくても、英語の技術単語を並べる程度のカタコトで、現場の技術者や労働者とコミュニケーションが可能だ。これは、仕事を進める上で大きなメリットである。また、機械設備などの標準規格は国際標準の英国BS規格で、法律の基礎も英国法に準拠で明解といわれる。独自の言語、規格、法律などで、理解が困難で不安な諸外国の中では、外国企業にとって安心してビジネスを進めやすい国である。

3.2 多民族多宗教の国

マレーシアは、イスラム教徒で約60%強のマレー系、約20%で仏教徒が主な中華系、約6%でヒンドゥー教徒が主なインド系、その他10%の外国人等から構成される多民族多宗教国家である。国の宗教はイスラム教だが、信教の自由は憲法で保障されていて、飲酒の可能な店も多い。日常生活への宗教行事の影響が比較的希薄な我々日本人にとっては、各宗教に基づいた日常の行事が濃厚で、かつ民族によって宗教が異なるマレーシアは、異質の国である。加えて、性格や日常生活も人種によって異なる(ように感じる)。新年の行事は宗教毎に時期が異なるので、顧客へ発送する新年の挨拶状は異なる時期に3度も送付する。同じ国なのに、土曜/日曜が休日の州と金曜/土曜が休日の州がある。このように人々の生活習慣もまちまちなので、ビジネスのスケジュール設定や約束、ビジネスミーティングなどでも、人種や宗教への考慮が非常に重要である。また、会社の運営でも、社員の採用時などに、人種的な影響の考慮が必要となる。

3.3 その他の留意事項

どこの国でも国内企業の保護が優先で、外資系企業への規制は必ず存在する。マレーシアは、多くの分野で100%外資が認められていて、周辺国よりも外資規制は少ないが、隠れた障壁は各所にある。機械設

計規格の相違も重要で、圧力容器はASME準拠なので、日本規格のTSK製品を直接輸入できないことも多い。建設や設備の設置工事には、現地の資格を持つコンサルタントのサポートが不可欠である。食品工場の建設工事では、通常の衛生管理規格に加えて、イスラム教の食品安全規準への考慮が不可欠で、例えば、ブタ毛製のペンキブラシやブタ革製の作業手袋は厳禁である。

海外の国では、TSKは外国企業である。海外で仕事をする上で日本との相違点を認識して対処することも大切な留意事項である。

4 マレーシアでのビジネスチャンス

ここマレーシアでTSKグループは、石油化学、無機/有機化学工業、食品、環境、などの様々な分野で仕事をさせていただいている。マレーシアの石油/天然ガスは、マレーシアの基幹産業の一つで、国営石油会社のペトロナスを中心に、多くの日系や欧米系の化学会社も石油化学製品を製造している。一方で、木材、天然ゴム、パームオイル産業など、赤道直下の豊富な太陽光エネルギーを利用したバイオマス産業も、重要な基幹産業の一つである。さらに、独立以降に政府が力を入れて外国企業誘致に努めた電気/電子産業は、60年代の半ばから日系企業が相次いで進出して、今や輸出品目の第一位を占める。

発展を続けるマレーシアやその周辺諸国で、製造業を支えるTSK技術の活用は、以下のような分野でビジネスチャンスの拡大を期待している。

- (1) 自動化技術: マレーシアに限らず、発展を続けるASEAN諸国では、毎年数%以上も物価が上昇して、人件費も増加している。生産プロセスへの自動化技術の採用は、人件費の削減に加えて、製品の品質向上やコンタミ防止の効果も期待が大きい。電子産業などでの材料の純度向上は、要求が年々厳しくなっている。
- (2) バイオマスリサイクル技術: パームオイルなどのバイオマス生産では、未だ多くのバイオマス材料が未利用で、その多くは廃棄物として放置されている。例えば、パームオイルの収量は、原料であるオイルパーム果房 (FFB) 重量の約21%で、他の多くは未利用となっている。再利用化への転換コストを十分に考慮した技術開発とビジネスモデルに知恵を絞り、TSK要素技術の改良開発でチャンスの構築を模索している。
- (3) 環境保全技術: マレーシアやその周辺諸国では、急速な産業発展が優先して、環境保全への整備は未だ不十分である。一方、各国政府は厳しい環境保全法規を立法化している。TSKの先進技術と豊富な技術蓄積を活用提案できるチャンスだが、コストを含め現地事情に整合させたビジネスモデルの立案とローカル化が不可欠である。
- (4) 海外顧客向けの機器類製造・輸出: 石油/天然ガス産出国のマレーシアは、石油産業で要求される国際規格に対応可能な機器製

作工場が多数ある。過去に、TSKや月島環境エンジニアリング(株)の中東向けの石化プロジェクトでは、マレーシアで機器類を製作して中東向けに輸出した。機器類の製造では、TEM社のローカルスタッフが工場での製造監理を担当した。

5 TEM社のビジネス

TEM社のビジネス活動を図2に示す。TEM社は、設立の当初は、製造業顧客へTSKプロセス機器の納入・製作・設置工事、設備の点検・補修・改造、予備品の納入などを主な業務としてきた。近年はこれらに加えて、マレーシアでのEPCプロジェクトへの入札や受注後のオンショア業務に、TSKやTSKEと共同で参画している。代表的な最近のTEM社業績実績を表3に示す。

約25年のマレーシアビジネス活動を通じて得たノウハウを生かし、技術面でのサポートに加えて、工場建設に不可欠な関係官庁・機関への許認可書類の準備や手順、スケジュールの助言など、現地情報

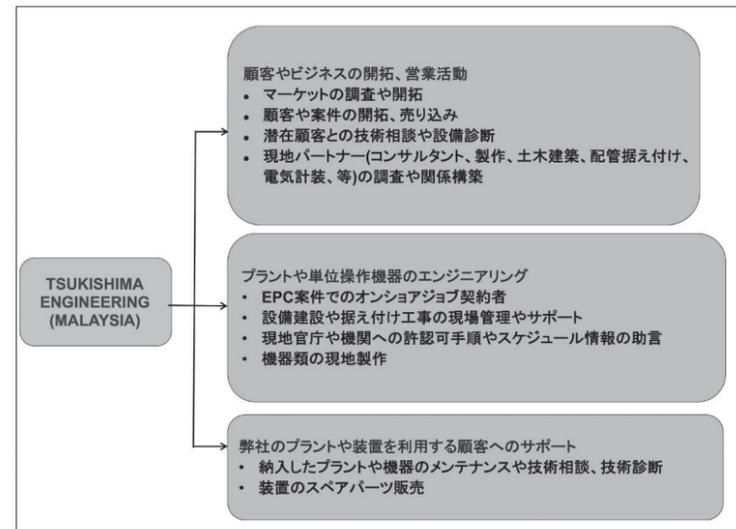


図2 TEM社のビジネス Fig.2 Business outlines of TEM

表3 最近のTEM社 主な業績内容 Table3 Major projects of TEM in recent years

年度	業務名称	場所	備考
2011年	TP社化学品用球形ガスタンク	マレーシア国ペナン州	タンク建設EPCプロジェクト 容量: 4,000m ³
2012年	SW社有害産業廃棄物焼却プラント	マレーシア国サラワク州	プラント建設EPCプロジェクト TSKE社との共同実施案件
2013年	A F社食品製造工場	マレーシア国ジョホール州	工場建設EPCプロジェクト TSK社との共同実施案件
2015年	TA社化学品製造工場	マレーシア国トレンガヌ州	工場建設EPCプロジェクト TSK社との共同実施案件
2015年	RP社向け圧力容器	マレーシア国パハン州	加圧フィルター用外殻容器製作 納入、Bokela社との共同実施案件
2017年	DC社工場廃水処理プラント	マレーシア国ペナン州	プラント建設EPCプロジェクト

に不慣れな客先にも総合的なビジネス提案が可能な体制を整備して、現地事情に則したビジネスモデルの提案を可能にしている。

6 おわりに

日本の製造業企業の海外展開は増加傾向にあり、TSKもそれらの顧客へアジアを中心に世界各国で仕事を進めている。日本から見ると皆、類似の国に見えるが、国ごとに文化や習慣が相違して、ビジネスでの人との付き合い方や仕事の進め方も大きく異なる。多くのTSK社員が仕事で海外の国々を訪問し、各国への理解をさらに深めていただきたい。今後もTSKグループの一員として、マレーシアやその周辺諸国で、ビジネスチャンスの拡大に取り組んでいく。

参考文献

- 1) JETRO: マレーシア情報 (2017)
- 2) マレーシア日本人商工会議所: マレーシアハンドブック (2017)

下水処理施設に関連する分析事例の紹介

分析グループ 鈴木 健治

1. はじめに

「月島機械 百年の技術」によれば、1960年代からテスト機による改良開発や適用開発が本格的に取り組み、それまでの化学・食品分野に加え上・下水処理関連分野への開発が進められました。それに合わせて分析評価の体制が整い、月島機械の50年余りの分析技術の歴史が始まりました。その間、下水道分野での様々な技術開発や装置開発に取り組みされており、最近では燃料化技術や過給式流動焼却システム、FITを活用した消化ガス発電事業、さらには消化ガスからの水素製造技術などが技術開発の中心となっています。これらの技術には常に分析がかかわっており、今回の技報では下水関連施設の論文が特集とされていることから、昨年のPart1に続き下水分野に関連する分析事例を紹介致します。

2. 下水処理施設に関連する分析

表1に下水処理施設に関連する分析項目について工程別に示します。また表に示す幾つかの分析技術について取り上げ、紹介致します。

表1 下水処理工程に関連する分析項目
Table1 Analysis items for sewage treatment process

下水処理工程	試料	分析項目
下水処理	流入水	pH、SS、BOD、COD、TOC、T-NP、油分など流入負荷推定に関する分析
	活性汚泥	pH、MLSS、MLVSS、SVなど曝気槽管理に関する分析
	砂ろ過水 放流水	残留塩素、SS、COD、BOD、T-NP、フェノール類、重金属、有害物質など
汚泥処理	生汚泥	pH、TS、SS、VTS、繊維状物、粗浮遊物、砂分、アルカリ度、アニオン度、粗蛋白質、粘度、CST、有機酸など汚泥性状全般
	余剰汚泥	
	消化汚泥	
汚泥消化工程	消化ガス	メタン、CO ₂ 、N ₂ 、O ₂ 、H ₂ S、シロキサン、水分など消化ガスの有効利用に関する分析
乾燥工程 燃料化工程	脱水汚泥 乾燥汚泥、 燃料化物	水分、灰分、発熱量、燃焼性-S・Cl、元素分析(CHNS、ICP発光分光、原子吸光、蛍光X線分析)、示差熱分析など対象物の特性を把握する分析
焼却・溶融工程	焼却灰 スラグ	灰分、元素分析(ICP発光分光、原子吸光、蛍光X線分析)、結晶構造解析(XRD)、粒度分布、融点測定など灰やスラグの特性を把握する分析
	燃焼排ガス	流速、水分、CO、CO ₂ 、SOx、SO ₃ 、NOx、N ₂ O、HCl、Hgなど炉の運転状況や排ガス法規制に関する分析
有効利用	燃料化物 焼却灰	重金属含有・溶出試験など組成分析や有効利用に関する分析全般

2.1 汚泥分析(生汚泥、余剰汚泥、消化汚泥)

汚泥性状分析は基本的に手分析が多いのですが、CSTメーター、粘度計や有機酸は高速液体クロマトグラフィー(HPLC)を使用して分析しています。基本は下水試験方法に従い分析しますが、分析項目によっては食品分析法や試料分析法などを取り入れて最適な手法を選択して分析しています。

2.2 消化ガス

消化ガスの分析は主に図1に示すガスクロマトグラフィー(以下GC)を用いて分析し、ガスの組成により二種類の検出器を使用します。

- ①CO、CO₂、O₂、N₂、CH₄… 検出器：TCD(熱伝導度型検出器)
- ②H₂S… 検出器：FPD(炎光光度検出器)

近年は分析装置の精度が向上し機器分析における誤差は大変小さくなっています。一方でサンプリング時の誤差が大きく、特にガスの採取には注意を要します。図2に代表的なガス採取用のバッグの一例を示します。一般に消化ガスの場合、低分子のガスが透過しない様にアルミニウム製のバッグを使います。また空気の混入を防止するため、ガス置換を充分に行うことが重要となります。

消化ガスはガスエンジンの燃料や精製して水素を製造する原料として使用されるなど、その利用の幅を広げています。利用に際しては原料としての要求品質が設けられていますので、純度管理のためにGCやガスクロマトグラフィー質量分析計(GC/MS)を使用した機器分析が行われます。

2.3 燃料化物

下水汚泥の燃料化物の分析で重要な分析項目に元素分析(CHNS)と発熱量分析があります。元素分析によるCHNSの組成比率は燃料化物の炭化度を管理するもので、適正な比率を保つ様に設備の運転条件を調整します。

発熱量はポンプ式発熱量計を用いて発熱量を実測するもので、燃料のCHONSの組成比率と関係があります。代表的な理論発熱量の推定式であるDulongの式を以下に示します。

$$Hh = 339.4 \times C + 1435.1 \times (H - O/8) + 94.3 \times S$$

Hh：高位発熱量(KJ/Kg)

C：炭素、H：水素、O：酸素、S：硫黄(wt%)

分析結果の一事例として、下水汚泥の実測した発熱量とDulongの式から算出した推定発熱量の関係を図3に示します。CHNS分析の結果から推算した発熱量が実測した発熱量と高い精度で相関しており、組成分析により発熱量が推算できることが分ります。

2.4 排ガス分析

焼却炉や燃料化設備において、炉出口や煙突で排ガス分析を行います。図4は煙突での排ガス分析の様子で各設備の排ガス処理能力を確認します。水俣条約の発効により平成30年4月より排ガス中の水銀濃度が規制対象となり、今後は各処理場での対応が必要となります。



図1 消化ガス分析用ガスクロマトグラフィー
Fig1 Gas chromatography for digestion gas analysis



図2 消化ガスサンプリング用バッグ(上：樹脂製、下：アルミニウム製)
Fig2 Sampling bags for digestion gas.
(Upper: made of resin, Lower: made of Aluminum)

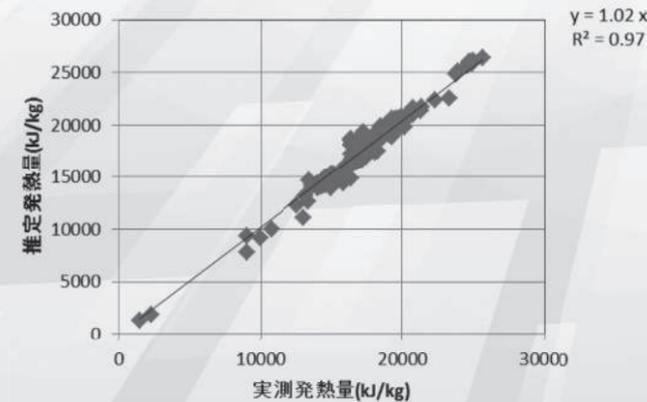


図3 下水汚泥の実測発熱量とDulongの式を用いた推定発熱量の関係
Fig3 Relationship between measured calorific value of sewage sludge and estimated calorific value using Dulong's equation.



図4 排ガスサンプリングの様子
Fig4 Work scenery of flue gas sampling

3. まとめ

今回、下水処理施設に関する分析方法や装置の一部を紹介しました。分析グループでは長年にわたる分析技術の蓄積とともに、分析データのデータベースを構築していますので、これを活用することが出来ます。例えば下水汚泥のリン濃度の長年にわたる推移や、合流式と分流式の汚泥性状の違いの把握など、幅広い目的での活用が可能です。

分析グループでは分析結果からの推定にとどまらず、依頼者と依頼の背景や目的について検討し、課題に踏み込むことで開発・装置設計・トラブル対応などに迅速かつ確に結果を反映できると考えています。また海外、特に東南アジアでは汚泥分析に限らず、分析技術力や精度の面で十分に要求に応えられない場合があります。今後は汚泥技術の海外展開にあわせて、汚泥分析技術の指導や技術移転も視野に入れた技術対応を進める所存です。

解析グループの技術紹介

開発本部 研究開発部 解析グループ
今井 淳一

1. 解析技術

月島機械の構造解析の事例が増え始めた90年代、社内で解析技術を知っているのは数人の設計者という状態でしたが、次第に認知されるようになり、今では様々な部門の技術担当者から解析依頼を受けるようになりました。世の中全体でも、研究機関はもとより、産業機器、建設、自動車、航空宇宙、エネルギー、医療といった分野に至るまで幅広く活用されています。また、解析も含めたコンピューター支援エンジニアリングを意味するCAE (Computer Aided Engineering) という言葉が多種多様な場面で頻繁に使

れるようになっていきます。なお、経済産業省の2017年版ものづくり白書においては、我が国ものづくり産業が直面する課題と展望として「モデルベース開発」¹⁾が取り上げられ、機器の開発を短期間で実施する上で有用なツールとしてCAEが挙げられています。

解析技術は産業界で実用のレベルにまで発展してきましたが、各種分野でさらに複雑な実現象の再現を目指した研究は盛んに続けられており、今後も技術革新の可能性に満ちた技術であると言えます。

2. 解析グループの業務内容

月島機械の解析グループでは、主に次の解析を実施しています。

構造解析

材料力学などをベースに有限要素法 (Finite Element Method: FEM) により主に機器に荷重や温度等の荷重が作用した際の応力、変形、温度、動的応答などを解析。

<主な分野・機能>

- ・線形静的解析
- ・非線形静的解析 (材料・幾何学的・接触)
- ・動的解析 (固有値、周波数応答、時刻歴応答)
- ・疲労解析
- ・座屈解析
- ・伝熱解析

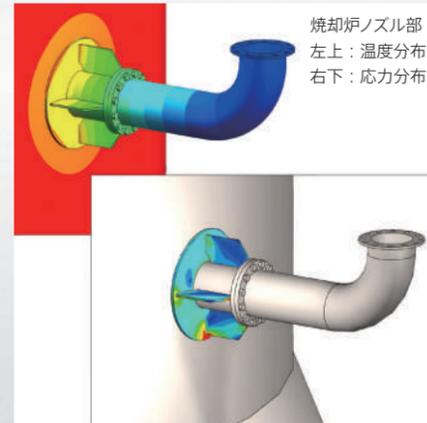


図1 構造解析例
Fig.1 Example of finite element analysis

流体解析

流体力学などをベースに有限体積法 (Finite Volume Method: FVM) により主に機器内部の気体や液体の速度、圧力、温度の分布、排ガス中のダスト軌跡、散気装置による液流れ、スプレー噴霧によるガス冷却などを解析。

<主な分野・機能>

- ・2次元 (平面、軸対称、軸対称+スワール考慮) / 3次元
- ・定常 / 非定常
- ・圧縮性 / 非圧縮性
- ・層流 / 乱流
- ・ニュートン流体 / 非ニュートン流体
- ・熱伝導、熱伝達、熱輻射
- ・多孔質媒体
- ・混相流 (気液、固気、固液)
- ・化学種

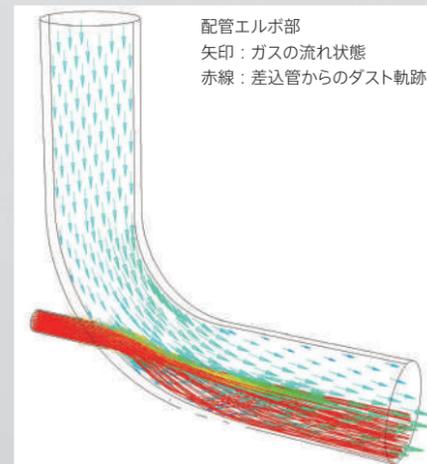


図2 流体解析例
Fig.2 Example of fluid analysis

粉粒体シミュレーション

粉体の構成粒子に作用する力をニュートンの運動方程式で解いて運動を予測する離散要素法 (Discrete Element Method: DEM) により、粉体プロセス内部の挙動をシミュレーション。

<主な分野・機能>

- ・混合、分級・選別、輸送・供給、貯留・充填、集じん、造粒、伝導伝熱、流動層などの粉体プロセス
- ・乾いた粉から濡れた粉、大きなペレットから難流動性の微粒子まで、様々な粉粒体の特性を模擬可能
- ・可視化、混合度、分散度、装置動力、粉体応力などのほか様々な物理量を評価可能



図3 粉粒体シミュレーション例
Fig.3 Example of DEM simulation

騒音シミュレーション

プラント設備において、エンジンやポンプなどから発生する騒音が周辺エリアにどのように伝搬していくかを予測計算する音響シミュレーション。

<主な分野・機能>

- ・工場立地に伴う騒音予測
- ・計算手法: 建設工事騒音予測手法「ASJ CN-Model 2007」, 「ISO 9613-2」他
- ・入力機能: 地形データの取り込み
- ・出力機能: 水平面・鉛直面の騒音レベル等高線、騒音対策前後の変化量表示、設備の3次元描画

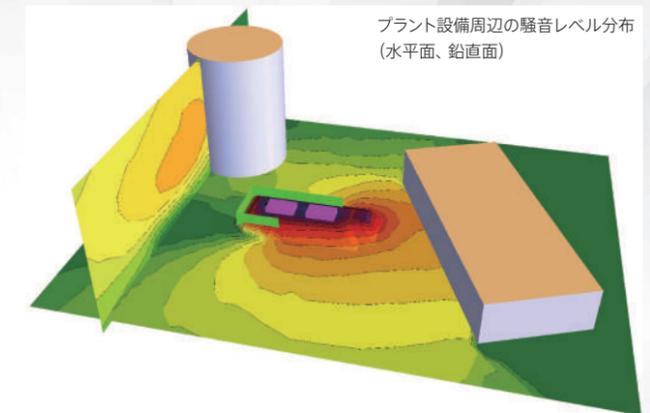


図4 騒音シミュレーション例
Fig.4 Example of noise simulation

プロセスシミュレーション

新しいプロセスの開発、既存プロセスの最適化や省エネ化検討、プラント設計の仕様検討のため、物質/熱収支をシミュレーション。

<主な分野・機能>

- ・ソフト内に物性データベースや物性推算法を内蔵
- ・石油化学系を始めとした有機物質の定常、非定常計算
- ・電解質物質の定常計算
- ・蒸留、反応、固液分離などの単位操作の計算

蒸留塔設備シミュレーション

左上: 結果表 右下: フロー図

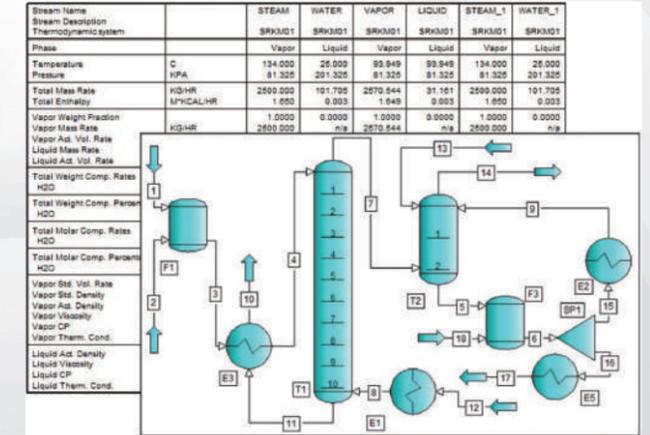


図5 プロセスシミュレーション例
Fig.5 Example of process simulation

¹⁾モデルベース開発とは、実機による試験を繰り返して最適化を目指すのではなく机上開発することを指しており、開発対象のモノ (部品と組立品の両方を含む)、モノの利用者 (身体と脳の働き)、モノを取り巻く環境 (世界中の市場) をモデル化した上で、CAE (Computer Aided Engineering) などのデジタルツールを使って性能や特性などの各種シミュレーションを行いながら、実機での試行錯誤に頼らずに開発を進める手法のことである。(2017年版ものづくり白書 (2017年6月6日発表) より抜粋)

水素の話

1. 水素とは

(1) 物質特性

水素分子(以下、水素)の物性、特長は表1のとおりである。水素原子は、周期表の先頭に位置し、地球上で最も軽いという特徴から、馴染み易く、ポピュラーな元素の1つである。

表1 水素の物性と特長¹⁾

化学式	H ₂
分子量	2.016
密度	0.0899g/L
沸点	-252.6℃ @常圧
融点	-259.2℃ @常圧
特長	無色無味無臭 可燃性ガス 最も軽い気体 地球上に大量に存在

(2) 身近な水素

私たちは、小学校で水分子を構成する元素として水素原子の存在を知る。中学の理科で、生成した水素に火をつけると、『ボン』という音をだす水の電気分解実験の印象が残っている人もいるかもしれない。また、昨今図1に示す燃料電池車(以下、FCV)や水素水が市販されており、水素というワードを目にする機会が増えている。



図1 ミライ²⁾、水素水³⁾

2. 水素サプライチェーン

FCV燃料としての水素を例にとり、図2に示す水素の流通ルート(サプライチェーン)を紹介する。

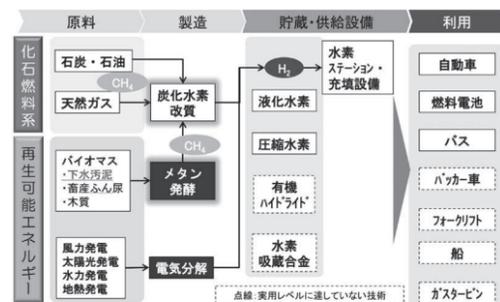


図2 水素サプライチェーン

技報13号より身近な食品を取り上げて性質、製法について紹介してきた。今回はこれまでの食品とは異なり、<究極のエネルギー>と言われている『水素』について紹介する。

(1) 原料・製造

水素は、石炭・天然ガスを始めとする化石燃料、バイオマス由来のメタン、地球上に多く存在している水といった多様な原料から製造することができる。

製造方法は主に、化石燃料中の炭化水素やバイオマス由来のメタンを用いた『炭化水素改質』と、風力・太陽光を始めとする再生可能エネルギー(以下、再エネ)由来の電気を用いた『水の電気分解』の2つに分類できる。

(2) 輸送

製造した水素は、主に『圧縮水素』もしくは『液化水素』として使用先まで輸送されている。使用箇所、使用量等の諸条件により、最適な輸送方法が選ばれている。

(3) 利用

還元用のキャリアガスや樹脂生成のための添加剤としての『産業用ガス』、エネファームに代表される『定置型燃料電池(以下、定置型FC)の燃料』、前述の『輸送用車両の燃料』として幅広く利用されている。

現在定置型FC・FCVはそれぞれ20万台・0.2万台販売されており、2030年には定置型FC・FCVはそれぞれ530万台、80万台の普及が見込まれている。⁴⁾⁷⁾(図3参照)

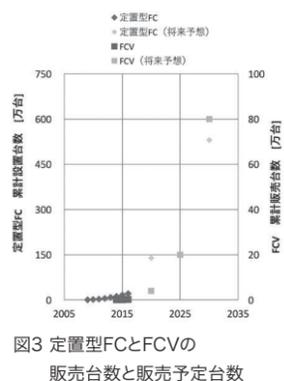


図3 定置型FCとFCVの販売台数と販売予定台数

3. なぜ今、水素なのか

背景には、日本のエネルギー政策がある。日本は、COP21で締結されたパリ協定で、2030年の温室効果ガス(以下、GHG)排出量は2013年比26%減を約束している。また、経産省が発表した「長期エネルギー需給見通し」では、再エネが22~24%を占めており、その内天候等に応じて変動する電源(太陽光等)が約4割にあたる8.7%となる想定である。これら変動する再エネ由来の電力を水素として水素吸蔵合金に貯蔵しておけば、夜間でも、水素を燃料電池に供給して発電でき、昇圧すればFCVにも直接

供給できる。この電気と比較して大容量にかつ長期間貯留できる点、そして不安定電源となりうる再エネとの親和性が高い点が、水素を政府が後押しする大きな理由である。現在、FCVの航続距離がガソリン車並みであるのに対し、電気自動車の航続距離はガソリン車の3分の1程度であるのもこれに起因する。また、ガソリン車と比べて、再エネ由来水素FCVでは約10分の1までGHG排出量を縮減可能との報告がある。FCV(水素利用部分)において二酸化炭素の排出が無く、水素製造部分でも再エネを利用できれば二酸化炭素の排出量を大幅に抑えられる。

その他に、火力発電所と比べ燃料電池の高い発電効率(省エネルギー)、海外からのエネルギー資源の輸入に依存する必要がなくなること(エネルギー供給安定性の向上)、エネルギー資源の調達費用の低減・水素関連の新技術や新産業のフロントランナーとして海外進出(産業振興・経済活性化)、最後に全国に点在する再エネから水素製造ができれば地産地消のエネルギーとして水素を活用できること(地域活性化)、等様々な意義がある。

こうした背景から、全世界の主要国の政府、行政機関、大学・研究機関、民間のあらゆる分野・業界から『究極のエネルギー』として注目されている。今日までに、各ステークホルダーが調査、開発、実証を行っており、水素化社会への着実な一歩を歩み始めている。

将来目指すべき水素化社会の一例を図4に示す。従来型の『化石燃料』『電気グリッド』に『水素グリッド』を追加することによって、より安定的で、より環境に配慮した社会の実現が可能となると考える。

4. 水素化社会実現に向けた課題と現状

GHG削減に大きな期待のかかる再エネ由来水素は、大量製造ができず製造コストが既存の水素価格と比較して高価となっており、普及が進んでいない。さらに、FCV普及のカギである水素ステーションにおける厳しい法規制(ex. 高圧ガス保安法)、社会受容性向上の難しさ、FCV等の水素需要の不確かさ等も解決しなければならない課題である。

これらの障壁を打開し、水素化社会を実現させるべく、官庁ではロードマップの策定・規制緩和の検討・補助金による導入支援等を行い、民間では各技術開発の推進、水素ステーションの建設、異業種間の連携等が進められている。

5. 水素化社会における当社の目指すべき立ち位置

2015年の下水道法の改正により、下水汚泥の有効利用が、下水道管理者の“責務”として定められた。これを踏まえて、当社の主戦場の1つである「下水処理場」の中の「消化ガスの有効利用技術」に、「下水消化ガスからの水素製造技術」を加えることが重要であると考えられる。その上で、水素需要(川下)を抑えているガス事業者

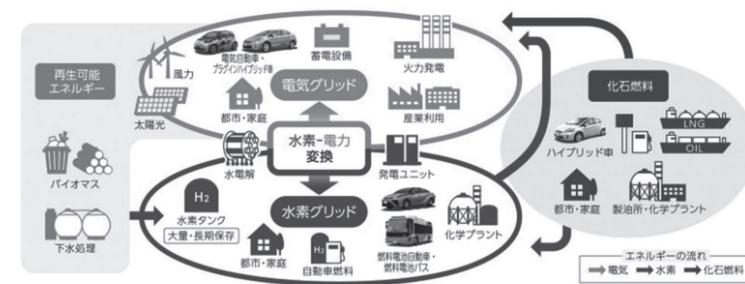


図4 水素化社会のイメージ²⁾

との連携を深め、地域ごとに川上から川下までの水素サプライチェーンを網羅することで、再エネ(下水消化ガス)からの水素製造技術を核とした独自の地産地消モデルを構築できると考えている。

6. 月島機械の取り組み

平成27年より埼玉県と下水汚泥消化ガスより水素を製造する共同研究を実施している。メタン濃縮技術にて、メタンの高回収率での高濃度化を達成できる高圧水吸収方式を採用することで、高効率な水素製造を実現している。再エネである消化ガスから、カーボンフリー水素を製造する本技術を通して、水素化社会の実現に貢献していきたいと考えている。



図5 実証試験設備

参考文献

- 1) 水素の辞典：水素エネルギー協会、2014
- 2) トヨタ自動車(株)HP, <https://toyota.jp/> 2017年8月現在
- 3) (株)伊藤園HP, <https://www.itoen.co.jp/> 2017年8月現在
- 4) 水素・燃料電池戦略ロードマップ改訂版：経済産業省資源エネルギー庁、2016
- 5) 一般財団法人 コージェネレーション・エネルギー高度利用センター HP, <https://www.ace.or.jp/> 2017年8月現在
- 6) 一般社団法人 次世代自動車振興センター HP, <http://www.cev-pc.or.jp/> 2017年8月現在
- 7) 日本経済新聞、2017.4.12
- 8) 長期エネルギー需給見通し：経済産業省、2015
- 9) 財団法人日本自動車研究所：総合効率とGHG排出の分析報告書、2011

会社概要

名称	月島機械株式会社	資本金	66億4680万円
	(TSUKISHIMA KIKAI CO.,LTD.)	従業員数	660名(グループ2,356名)(平成29年3月末現在)
代表取締役社長	山田 和彦	売上高	単体：381億円 連結：698億円(平成29年3月期)
創業	明治38年8月		

事業所

本社	〒104-0053 東京都中央区晴海3-5-1 TEL.03-5560-6511 FAX.03-5560-6591	市川事業所(工場)	〒272-0127 千葉県市川市塩浜1-12 TEL.047-397-6111 FAX.047-397-3354
東京支社	〒104-0053 東京都中央区晴海3-5-1 TEL.03-5560-6541 FAX.03-5560-6593	(研究所)	〒272-0127 千葉県市川市塩浜1-12 TEL.047-359-1651 FAX.047-359-1661
大阪支社	〒541-0045 大阪市中央区瓦町3-6-5(銀泉備後町ビル) TEL.06-6229-1331 FAX.06-6229-1415	〈海外〉	
札幌支店	〒060-0807 札幌市北区北七条西4-1-2(KDX札幌ビル) TEL.011-726-0510 FAX.011-726-0520	TSKムンバイ駐在員事務所 Tsukishima Kikai Co.,Ltd.Mumbai Liaison Office 602 B, Excel Ark, Mercy Nagar, Ramdev Park Road, Mira Road (E), Thane - 401 107, Maharashtra, India TEL. +91-9967645572	
仙台支店	〒980-0014 仙台市青葉区本町1-11-2(SK仙台ビル) TEL.022-227-9267 FAX.022-223-0316	TSKハノイ駐在員事務所 Tsukishima Kikai Co.,Ltd.Hanoi Representative Office Unit 13-03A, Prime Centre, 53 Quang Trung Street, Hai Ba Trung District, Hanoi, Viet Nam TEL. +84-(0)24-3766-9965/9967/9968 FAX. +84-(0)4-3766-9969	
横浜支店	〒231-0015 横浜市中区尾上町4-47(リスト関内ビル) TEL.045-651-7331 FAX.045-664-5086	TSKジャカルタ駐在員事務所 Tsukishima Kikai Co.,Ltd.Jakarta Representative Office Setiabudi Atrium 2nd Floor, Unit 207 Jl. HR. Rasuna Said Kav. 62, Kuningan, Jakarta 12920, Indonesia TEL. +62-21-521-0491/0492 FAX. +62-21-521-0490	
名古屋支店	〒045-0003 名古屋市中村区名駅南1-17-29(広小路ESビル) TEL.052-581-2378 FAX.052-581-1624	TSKヨーロッパ駐在員事務所 Tullastraße 64 76131, Karlsruhe, Germany TEL. +49-721-9-64-56-783 FAX. +49-721-9-64-56-10	
広島支店	〒730-0015 広島市中区橋本町10-10(広島インテス) TEL.082-227-3093 FAX.082-223-8771		
福岡支店	〒810-0062 福岡市中央区荒戸2-1-5(大濠公園ビル) TEL.092-741-5736 FAX.092-761-4806		
沖縄営業所	〒901-2131 沖縄県浦添市牧港2-54-2(沖縄土木設計ビル) TEL.098-874-5793 FAX.098-874-6262		
関西グループ (産業事業本部 営業部)	〒530-0053 大阪市北区末広町3番3号(大同パークサイドビル) TEL.(06)7739-7226 FAX.(06)6312-6626		

関連会社

月島テクノメンテサービ ス (株)	〒135-0031 東京都江東区佐賀1-3-7 月島機械永代ビル TEL.03-5245-7150 FAX.03-5245-7155	〈海外関連会社〉	
サンエコサーマル(株)	〒322-0017 栃木県鹿沼市下石川737-55 TEL.0289-72-0371 FAX.0289-72-0381	TSKエンジニアリングタイランド(株) TSK ENGINEERING (THAILAND) CO., LTD. 〈TET〉 United Center Building 14th Floor, Room1404, 323 Silom Road, Bangrak, Bangkok 10500, Thailand TEL. +66-2-231-1726~30 FAX. +66-2-231-1731	
月島環境エンジニアリング(株)	〒104-0053 東京都中央区晴海3-12-1 (KDX晴海ビル) TEL.03-6758-2310 FAX.03-6758-2324	月島環保機械(北京)有限公司 TSK ENGINEERING CHINA CO., LTD Unit2205, Block A, ZhuBang 2000 Business Center No.100 Balizhuang Xili, Chaoyang District, Beijing 100025, P.R.China TEL. +86-10-8590-6595 FAX. +86-10-8590-6593	
月島マシンセールス(株)	〒135-0031 東京都江東区佐賀1-3-7 月島機械永代ビル TEL: 03-5621-5911 FAX: 5621-5912	BOKELA Ingenieurgesellschaft für Mechanische Verfahrenstechnik mbH Tullastraße 64 76131, Karlsruhe, Germany TEL. +49-721-9-64-56-0 FAX. +49-721-9-64-56-10	
月島ビジネスサポート(株)	〒104-0053 東京都中央区晴海3-5-1 (月島機械(株)内) TEL.03-3533-4824 FAX.03-3536-0968	月島エンジニアリングマレーシア(株) TSUKISHIMA ENGINEERING MALAYSIA SDN. BHD. 〈TEM〉 月島エンジニアリングシンガポール(株) TSUKISHIMA ENGINEERING SINGAPORE PTE. LTD. 〈TES〉 SUITE16, 04-05, 16th Floor, Wisma Mca, 163 Jalan Ampang, 50450 Kuala Lumpur, Malaysia TEL. +60-3-2162-8679 FAX. +60-3-2162-8377	
大同ケミカルエンジニアリング(株)	〒530-0053 大阪府大阪市北区末広町3-3 大同パークサイドビル TEL.06-6312-6621 FAX.06-6312-6626	TSKエンジニアリング台湾(株) TSK ENGINEERING TAIWAN CO., LTD. 〈TETA〉 6th Floor, No.24, Min Sheng, W.Road, Taipei, Taiwan R.O.C. TEL. +886-2-2523-6975~6 FAX. +886-2-2521-1429	
三進工業株式会社	〒210-0861 神奈川県川崎市川崎区小島町4番4号 お問い合わせ先： TEL.(044)266-0272 FAX.(044)266-0271		
寒川ウォーターサービス(株)	〒253-0106 神奈川県高座郡寒川町宮山4058番6他 (寒川浄水場内) お問い合わせ先： 月島機械株式会社 水環境事業本部 PPP事業推進室 TEL.(03)5560-6540 FAX.(03)5560-6584		
尾張ウォーター&エナジー(株)	〒450-0003 愛知県名古屋市中村区名駅南1-17-29 (月島機械株式会社名古屋支店内) お問い合わせ先： 月島機械株式会社 水環境事業本部 PPP事業推進室 TEL.(03)5560-6540 FAX.(03)5560-6584		



編集後記

村澤 崇

今回から副編集委員長を拝命しました。

今回は鹿沼特集として、一連の事業を紹介させていただきました。これらは新しい技術の実証であると同時に、これまでご縁の薄かった団体殿・企業殿との新たな事業構築も大きな柱となっております。今後の月島機械の発展のためには、さまざまな事業者殿との協力体制の構築も重要な要素の一つと考えております。

Editor's Note

TSK技報 NO.20 2017

発行日:2017年12月1日

問い合わせ先:gjho@tsk-g.co.jp

発行:月島機械株式会社 技報編集委員会

総責任者:中島 和男

編集委員長:福沢 義之

副編集委員長:田中 一穂 村澤 崇

編集委員:大塚 正弘 左 淳 栗田 新平

津崎 裕也 谷口 智彦 上田 厚志

根尾 航太郎 高部 洋一 鈴木 健治

荒井 健 越智 崇 高尾 ひろ子

17121700A