

再生と利用

2016 Vol. 40

No. 153

主要目次

- 口絵** BISTRO 下水道 in 下水道展 '16 名古屋
- 巻頭言** 「循環のみち」のこれから 江藤 隆
- 論説** リサイクル製品の環境負荷の評価 佐伯 孝
- 特集** 消化ガスの有効利用にかかる様々な導入事例&バイオマス産業都市構想の取組み
- 解説** 消化ガスの有効利用にかかる現状について 編集委員会事務局
消化ガスの高度利用化による炭素回生システムの開発 瀬名波 出
高松市東部下水処理場におけるバイオマス発電設備について 三好 克己
川田水再生センターにおける消化ガス発電事業の取組み 江連 伸也・菊池 淳
八重田浄化センターにおける消化ガス発電事業について
～民設民営型のFIT制度を活用した消化ガス発電事業～ 木村 龍太
バイオマス産業都市構想の現状について 編集委員会事務局
宗像市バイオマス産業都市構想概要 宗像市市民協働環境部環境課
飯南町におけるバイオマス産業都市構想の取組み 田村 剛
- 研究紹介** 塩化揮発法を用いた下水汚泥焼却灰からのセシウム除去 窪田 光宏・長野 泰久・松田 仁樹・落 修一
- Q&A** 嫌気性消化を評価する有機物指標について 岡安 祐司
- 現場からの声** 札幌市西部スラッジセンターの階段式ストーカー炉と蒸気発電 山崎 昇
- 文献紹介** 下水泥施用の内における土壤中ビスフェノールAの消長に関する経時的傾向と評価の研究 杉山 恵
亜硝酸化-アナモックスプロセスを行う固定床型生物膜式活性汚泥法の実証規模および実規模反応槽における窒素除去性能と微生物の分布 北條 俊昌
- 講座** バイオマスからの資源回収にかかる取組み事例
「法面緑化分野での下水汚泥肥料活用の可能性」について 小柳津倫生
下水汚泥処理工程からのカリウム回収技術～肥料の三要素を下水処理場から回収する基礎研究～ 中尾 賢志・西尾 孝之
- 特別報告** 下水汚泥固形燃料の取組みとJISの活用について 和田 直樹
- 投稿報告** 複合バイオマス受入れと汚泥可溶化によるメタン発酵の可能性について 新川 勝樹・小針 伯永・青木 功
下水汚泥由来固形物の汚染土壌浄化工法における分散剤への利用 太田 琢磨・遠藤 正人・野崎 順兵・友口 勝
- コラム** アースオープンとビオトープ 神谷 博
- 報告** 消化ガス発電普及のための導入マニュアル 小野 基巳
スウェーデン・マルメで開催された包括的な汚泥管理に関する国際会議報告 大下 和徹・佐藤 和明・高岡 昌輝
- ニュースレット** 九州下水協 先進技術研修会・ビストロ下水道 in 九州 編集委員会事務局
- 資料** おしらせ（投稿のご案内、広告掲載申込）、汚泥再資源化活動、日誌・次号予告、編集後記・編集委員会委員名簿

BISTRO下水道 in 下水道展 '16 名古屋



「循環」は地域創生のキーワード

■基調講演	佐賀市長	秀島 敏行 氏
■事例報告／パネルディスカッション	北海道大学教授	船水 尚行 氏
	国土交通省下水道部流域管理官	井上 茂治 氏
	愛知県建設部下水道課長	水野 正幸 氏
	佐賀市上下水道局環境政策調整監	前田 純二 氏
	兵庫六甲農業協同組合 木尾さやか 氏、	児玉 充弘 氏
	有限会社 ネスパ	菅原 誠 氏
	株式会社 カンサイ	川本 義勝 氏

7月26～29日に名古屋市・ポートメッセなごやで開催された年に一度の下水道の祭典「下水道展」では、下水道と食の連携プロジェクト「BISTRO下水道」に関連したさまざまな取り組みが展開されました。28日にはシンポジウムが開かれ、佐賀市をはじめとする全国のビストロ先進都市と協働事業者が成功の秘訣を語るとともに、今後の展望を議論しました。また会期中、下水道と食の連携に取り組む6自治体等が下水道展に特設ブースを出展し、ビストロ食材の試食・販売とともに地域の情報発信を行ったほか、名古屋市内の飲食店で「下水道由来」の食材となごやめしのコラボメニューを提供する「でらうまBISTRO」が行われました。

シンポジウムの基調講演に登壇した佐賀市の秀島市長は「人と人とのつながりが佐賀市の活力です！」をテーマに、下水処理場を迷惑施設から、ノリ養殖に適した処理水、下水汚泥由来肥料、エネルギー等の「宝」を産む歓迎施設に変貌させた佐賀市下水浄化センターの取り組みや同市のバイオマス産業都市構想を解説しました。秀島市長とパネルディスカッションに登壇した前田氏は、今や全国から注目を集める事業の成功の秘訣を「人と人とのつながり」と述べ、多くの人との連携が地域活性化に不可欠な要素であることの重要性を強調しました。

事例報告では、船水教授がバイオマス資源回収の最新技術動向、水野課長が豊川バイオマスパーク構想、菅原氏が鶴岡市で進める下水道肥料を用いた茶豆の生産、木尾氏と児玉氏は神戸市で行う再生リンを用いたスイートコーンの栽培、川本氏は広島県内の循環型農園施設「きなり村」の概要を紹介しました。パネルディスカッションでは、船水教授がコーディネーターを務め、それぞれの事例の概要とBISTRO下水道の普及拡大に向けた意見を交わしました。



秀島市長



船水教授



井上管理官

BISTRO下水道 in 下水道展 '16 名古屋

ブース出展

下水道資源が創造する地域の活力を発信

下水道展の会場内に、6自治体（青森県鶴田町、愛知県、岐阜県海津市、兵庫県神戸市、佐賀県佐賀市、鹿児島県霧島市）がブースを構えたほか、4自治体（北海道岩見沢市、秋田県、山形県鶴岡市、高知県）がパネルや物産品等を出展し、ビストロ下水道が創出する地域の活力と食材の魅力を発信しました。

鶴田町は下水汚泥由来肥料で生育したニンニクなどを販売、愛知県は処理場から排出される二酸化炭素や熱を回収利用して生育するトマトをジュースの試飲を通じてPR、海津市は下水汚泥由来肥料を用いた農業事業をグリーンパイアなどを出品し紹介、神戸市は回収リンで育成したスイートコーンを来場者に抽選で配布、佐賀市は海苔の販売等を通じてバイオマス産業都市の取り組みを幅広く発信、霧島市は鹿児島高専と協働で取り組むきのこ栽培の取り組みを紹介しました。

パブリックブースに訪れた多くの一般来場者が足を止め、下水道資源が創造する循環型農業に理解を深めていました。



9自治体のビストロ食材が名古屋に



抽選でスイートコーンを配布した神戸市ブース



ビストロ下水道ブースを訪れた宮内国交政務官（右）

でらうまBISTRO下水道

なごやめしとコラボ 飲食店にビストロメニューが登場

下水道展と同時開催で下水道研究発表会が開かれたウインクあいちの地下にある飲食店「つくね屋本舗名駅店」では、7月27～29日の3日間、ビストロ下水道の食材を提供するイベント「でらうま BISTRO 下水道」が行われました。下水道展に先立ち、20日に開催された記者発表会には愛知県の大村秀章知事が来賓として参加するなど開催前から注目を集め、全国から集まった多数の下水道関係者と一般客で賑わいました。限定で提供した8品目のメニューはほぼ全品が完売となる盛況ぶりでした。

開催した飲食店からも「おいしさだけでなく食材そのものにストーリーがあることが BISTRO 下水道食材の強み。そのストーリーは自然の摂理に適い、身近で納得できるもの。全国各地から特徴ある食材を提供することも魅力」と好評でありました。



提供された「なごやめし」の例



【写真左】 7月20日の記者発表会には愛知県の大村知事とミス日本水の天使の須藤櫻子さんが参加

【写真右】 国交省の森岡部長（中央）が開店を宣言、多くの下水道関係者と一般来場者がビストロ下水道なごやめしに舌鼓を打った

- 【右手前】 「どて煮」には、長崎市の汚泥由来肥料で生産されたジャガイモを使用
- 【右奥】 「とり味噌串カツ」には、佐賀市の汚泥由来肥料で生産された玉ねぎとアスパラガスを使用
- 【左】 「天むす」には、大阪府の下水処理水で生育した「なぎさ米」と佐賀市の季節運転の処理水で生育した海苔を使用

口絵

BISTRO 下水道 in 下水道展 '16 名古屋

巻頭言

「循環のみち」のこれから 江藤 隆 (5)

論説

リサイクル製品の環境負荷の評価 佐伯 孝 (6)

特集 消化ガスの有効利用にかかる様々な導入事例 & バイオマス産業都市構想の取組み

解説

消化ガスの有効利用にかかる現状について 編集委員会事務局 (12)
消化ガスの高度利用化による炭素回生システムの開発 瀬名波 出 (13)
高松市東部下水処理場におけるバイオマス発電設備について 三好 克己 (19)
川田水再生センターにおける消化ガス発電事業の取組み 江連 伸也・菊池 淳 (22)
八重田浄化センターにおける消化ガス発電事業について
～民設民営型の FIT 制度を活用した消化ガス発電事業～ 木村 龍太 (25)
バイオマス産業都市構想の現状について 編集委員会事務局 (30)
宗像市バイオマス産業都市構想概要 宗像市市民協働環境部環境課 (31)
飯南町におけるバイオマス産業都市構想の取組み 田村 剛 (36)

研究紹介

塩化揮発法を用いた下水汚泥焼却灰からのセシウム除去
..... 窪田 光宏・長野 泰久・松田 仁樹・落 修一 (40)

Q & A

嫌気性消化を評価する有機物指標について 岡安 祐司 (46)

現場からの声

札幌市西部スラッジセンターの階段式ストーカ炉と蒸気発電 山崎 昇 (48)

文献紹介	下水泥施用の内における土壌中ビスフェノールAの消長に関する経時的傾向と評価の研究 杉山 恵 (52)
	亜硝酸化-アナモックスプロセスを行う固定床型生物膜式活性汚泥法の実証規模および 実規模反応槽における窒素除去性能と微生物の分布 北條 俊昌 (53)
講座	バイオマスからの資源回収にかかる取組み事例 「法面緑化分野での下水汚泥肥料活用の可能性」について 小柳津倫生 (55)
	下水汚泥処理工程からのカリウム回収技術～肥料の三要素を下水処理場から回収する基礎研究～ 中尾 賢志・西尾 孝之 (63)
特別報告	下水汚泥固形燃料の取組みと JIS の活用について 和田 直樹 (68)
投稿報告	複合バイオマス受入れと汚泥可溶化によるメタン発酵の可能性について 新川 勝樹・小針 伯永・青木 功 (72)
	下水汚泥由来固形物の汚染土壌浄化工法における分散剤への利用 太田 琢磨・遠藤 正人・野崎 順兵・友口 勝 (76)
コラム	アースオープンとビオトープ 神谷 博 (84)
報告	消化ガス発電普及のための導入マニュアル 小野 基巳 (85)
	スウェーデン・マルメで開催された包括的な汚泥管理に関する国際会議報告 大下 和徹・佐藤 和明・高岡 昌輝 (91)
ニューススポット	九州下水協 先進技術研修会・ビストロ下水道 in 九州 編集委員会事務局 (99)
資料	おしらせ（投稿のご案内、広告掲載申込） (100)
	汚泥再資源化活動 (103)
	日誌・次号予告 (104)
	編集後記・編集委員会委員名簿 (105)

※本文中の表題で掲載した執筆者の所属団体・役職は、執筆当時のものです。

巻	頭	言
---	---	---

「循環のみち」のこれから

公益財団法人 日本下水道新技術機構
理事長 江藤 隆



私の下水汚泥の処理処分問題や資源利用との関わりは、昭和51年に建設省下水道企画課係員として採用された時に始まる。当時、下水道整備が急速に進展する中で維持管理問題が顕在化しつつあり、特に、下水道整備に伴い発生する汚泥量が年々増加する中、その大部分は産業廃棄物として埋立処分されていたが、新たな埋立地の確保が困難な大都市も多くあった。その年に、行われた「下水道の整備と維持管理について」の行政監察の中で、下水汚泥処理処分の適正化を図るようにとの勧告がなされた。

私は、当時、先輩方から「下水処理は、汚泥処理が適正になされて始めて完結する。それがいい加減だと汚染源になりかねない重要な問題だ。」とよく聞かされ、それが汚泥処理処分や資源利用への取り組みの始まりとなった。

そのような中で、翌年、下水汚泥資源利用協議会（以下「汚泥協」）が設立されたが、本省の中でも設立に向け精力的に取り組まれていたことを覚えている。

汚泥協の初代会長であった岡崎岡山市長（当時）は「下水汚泥利用者と生産者が手を握りあって、共同の目的を追求することは、まさに明治維新の薩長土の連合に比すべき出来事である。」と「再生と利用」で述べている。

今にして思えば、下水汚泥の農地での施用効果や安全性等が必ずしも明らかになっていない中で、農業関係者にも参加してもらい、下水汚泥の資源利用の研究や討議に取り組んでいく場が、よくぞ出来たものだと考える。汚泥協の設立総会のあいさつや「再生と利用」の創刊号の文章の中に、「下水汚泥は資源として利用できるものというより利用しなければならないものである。」や「再生と利用は、汚泥が物質循環を構成することを意味し、そのことが生活環境を永遠に保証する重要な要素となる。」などとあり、当時の関係者の意識の中に、下水汚泥の再生利用を物質循環としてとらえるべきとの思いがあり、また私もその考え方が自然と身についていたのではないかと考える。その後も、建設省、地方公共団体、下水道事業団、下水道新技術機構と色々な職場に勤務する中でも、下水汚泥の処理処分問題や資源利用に携わり続けた。

その後、平成17年に国交省下水道事業課長として下水道ビジョン2100「循環のみち」の原案作成にあたったが、それまでの下水汚泥資源利用への取り組みから、必然的に「循環のみち」の考え方につながっていったのではないかと考える。

これまでの下水汚泥の資源利用の進展は、多くの調査研究の成果が「再生と利用」に凝縮され、汚泥協の様々な活動を通して積み上げられてきたものであり、これまで活躍してこられた多くの先輩方のご尽力に心より敬意を表する次第である。

ここで、さらに「循環のみち」を進めていくためには何が必要かを考えてみたい。下水道ビジョン作成当時の「循環のみち」は、環境への負荷削減や循環型社会の形成といった環境面、社会面の価値に重きをおいていたが、今日の地域の人口減少や社会経済状況、あるいはそこでの下水道の経営環境を考えると、「循環のみち」が目指すのは地域の持続的な発展であり、それには下水道機能の持続性確保が必要であって、資源循環の経済的な価値を高める取り組みが鍵を握るものと考えられる。

現在、サーキュラー・エコノミー（循環型経済）の概念が世界的に広がりつつある。世界的な人口増加と経済成長に伴い、地球温暖化の顕在化や資源の枯渇が問題となる中で、持続可能な経済成長を実現していくためには、経済活動を循環の視点から見直していく必要があると、資源の有効利用、再生活用を通して新しい経済成長と雇用創出の機会を確保することが重要との認識が広まっている。サーキュラー（循環）を形成することがコストではなく、大きなビジネスチャンスにつながり、富を生み出すという考え方である。

下水道の有する資源を地域の資源として循環利用することが、環境負荷の削減や資源の確保という環境面、社会面の機能のみならず、富を生み、地域の雇用や経済発展に貢献し、地域の活性化につながる可能性を有しており、また、そのような取り組みが求められている。加えて、公的機関のみならず民間企業の力が不可欠で、地域ごとに多様な主体が有機的に連携し共存共栄していくエコシステムが形成され、資源利用が経済的な価値を生み出す取り組みになることが望まれる。

真に、地域の持続可能な社会形成に貢献できるよう、下水道関係者の「循環のみち」のより一層の取り組みを期待するとともに、そのために諸先輩の志を受け継ぎ、下水協の活動が引き続き発展していくことを願ってやまない。

リサイクル製品の環境負荷の評価

富山県立大学 工学部 環境工学科

佐伯 孝

キーワード：リサイクル製品、環境負荷評価、ライフサイクルアセスメント

1. はじめに

平成 24 年度に定められた第四次環境基本計画において目指すべき持続可能な社会を「低炭素」「循環」「自然共生」の各分野を統合的に達成することに加え、その基盤として「安全」を確保した社会と位置づけている。また、優先的に取り組む重点分野の中に「物質循環の確保と循環型社会の構築」が挙げられている。廃棄物対策あるいは天然資源消費抑制策による循環型社会の構築と地球温暖化対策による低炭素社会の構築はトレード・オフの関係にあるケースもあり、バランスのとれた対策が必要である。

以前より多くの道府県において、廃棄物対策として循環資源（廃棄物等）を原料として使用した製品を認定し、有効利用を促進するリサイクル製品認定制度が運用されている。現在、このリサイクル製品認定制度を運用している自治体は、リサイクル製品認定制度情報サイト¹⁾によると 39 道府県である。この制度は、リサイクル製品を道府県が認定することにより、公共事業等での利用の促進を図り、循環資源の循環的な利用、廃棄物の減量化を目的としている。この制度によってどのくらいの量の廃棄物が循環利用されているかについて、著者らが以前に各自治体に対し 2008 年にアンケート調査を行った結果から、24 道府県のリサイクル認定製品の販売量として 870 万 t であり、そのリ

サイクル認定製品に使用される循環支援は 560 万 t と推計²⁾している。これら 870 万 t のリサイクル認定製品の製造によってどのくらいの環境負荷が削減されたかを本稿で紹介するライフサイクルアセスメントを用いて評価した結果、アスファルト製品、コンクリート二次製品、インターロッキングブロックの 3 製品のみであるが、温室効果ガス排出量として約 4 万 t の削減量と報告している。全国では約 66 万 t の温室効果ガスが削減可能であると推計している。

リサイクル製品は、循環資源を原料として使用するため、製造工程において新たな工程の付加が必要となる場合や循環資源の輸送距離が長くなる場合等があり、リサイクル率は向上するが、製造時の温室効果ガスの排出量が増加する可能性が考えられる。循環型社会と低炭素社会の構築を両立させためには、リサイクル製品の利用による温室効果ガス排出量を把握することが必要である。

そこで本稿では、環境負荷の評価手法であるライフサイクルアセスメントを用いたリサイクル製品の環境負荷の評価についてインターロッキングブロックを例に紹介する。

2. リサイクル製品の環境負荷の評価

2.1 評価方法

ライフサイクルアセスメント (Life Cycle Assessment :

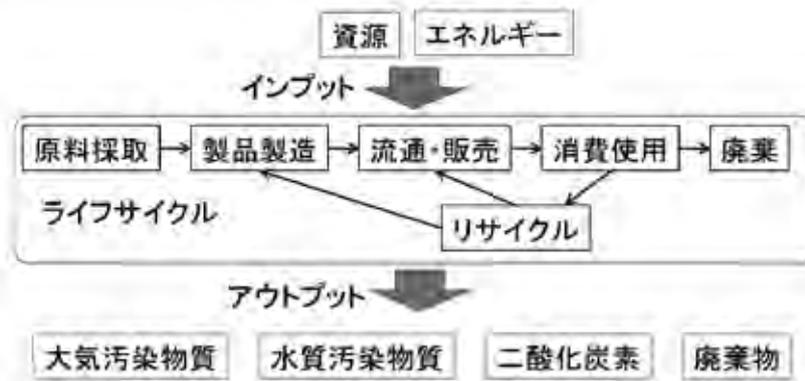


図1 LCAの概念図

LCA) の概念は図1に示すように、ある製品を対象に素材の採取から製造、使用、廃棄、リサイクルされるまでのすべての段階（ライフサイクル）を通して、環境にどんな影響を与えたのかを評価する方法である。LCAでは、ライフサイクルの各段階における環境への影響が把握できることから、環境調和型製品の開発等に多く利用されている。リサイクル製品のLCAを行う場合、リサイクル製品単体の評価ではリサイクル製品によって環境負荷が削減されたかを把握することができない。そこで、リサイクル製品とリサイクル製品が代替する通常製品のLCAを行い、双方の結果を比較することでリサイクル製品が環境負荷を削減しているかを把握することが可能となる。

本稿で紹介するリサイクル製品と通常製品のLCAの比較の評価対象範囲を図2に示す。LCAは評価対象のライフサイクル全体を対象とした評価手法であるが、評価目的に応じて評価範囲を限定することも可能

である。リサイクル製品、通常製品ともに全プロセスを対象とすることも可能であるが、共通のプロセスは対象外とすることで迅速な評価が可能となる。

リサイクル製品と通常製品において製品製造以降の使用、廃棄、再使用の工程は同じであるとした。リサイクル製品に使用する循環資源は、熔融スラグのように製造時にエネルギーが必要なものもあるが対象とせず、天然資源の代替材として利用するために必要な破碎などの工程からを対象とした。リサイクル製品では、循環資源によって天然資源が代替されることにより天然資源の使用量が削減される。そのため、天然資源を採取し原材料の品質に加工・調製するまでに発生する温室効果ガスの排出量が代替分だけ削減されることになる。通常製品の評価においては、機能単位をそろえるために、リサイクル製品で使われる循環資源がリサイクルされない場合の取り扱いを仮定し、その分の負荷を加算する必要がある。今回は循環資源がリサイク

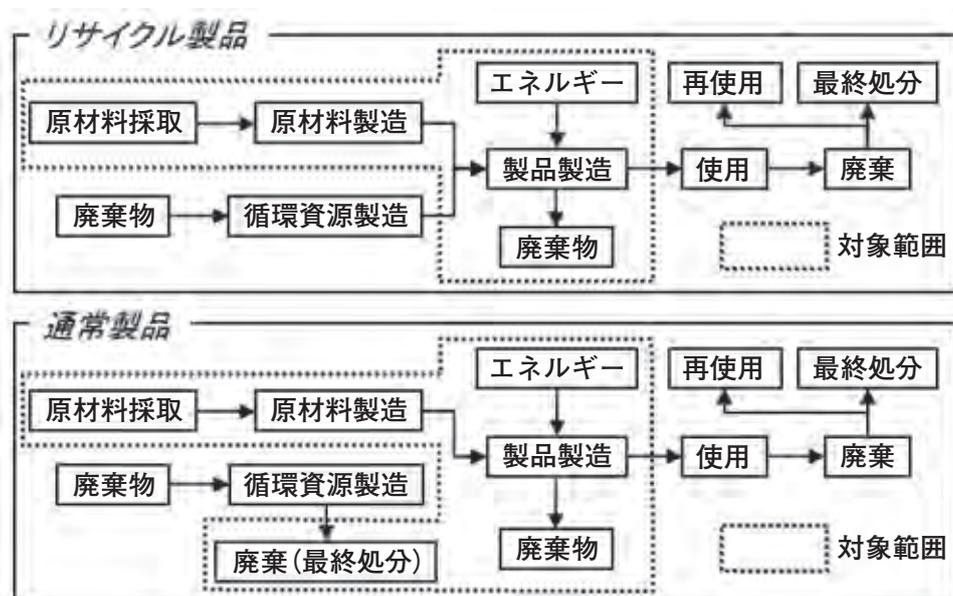


図2 評価対象プロセスのフロー図

ル製品に使用されない場合には、他の用途で使用されることなく埋立処分されるとし、循環資源の製造場から埋立処分場までの輸送と埋立処分の負荷を評価した。

2.2 評価条件

溶融スラグを配合したリサイクル製品 A と石炭灰やプラスチック、瓦等から製造した人工砕石を配合したリサイクル製品 B を通常のインターロッキングブロックとの比較を行った。各製品の材料配合率を表 1 に示す。

原料に関する条件として、石炭灰、スラグについては破碎などの前処理なしで原料として利用し、廃プラスチック、FRP は前処理として破碎されるとした。顔料や減水剤等は評価対象外とした。

輸送に関する条件として、原料の輸送は 10 tトラック、廃棄物の処分場への輸送は 2 tトラックを利用し、廃プラスチック、FRP は 10 tトラックに 3.5 t積載し、その他の原料は 10 t積載するとした。原料を輸送したトラックは空荷で出発地点まで戻るとした。輸送距離は、実際の工場間の距離を Google マップの経路案内機能を用いて算出した。

ユーティリティに関する条件として、各製品の製造工場において電力、軽油使用量等を計測し、単位製品あたりのエネルギー消費量を算出することとした。

通常製品の場合に使用されない廃棄物に関する条件として、石炭灰、スラグ、廃プラスチックは他の用途で有効に利用されるとし、二酸化炭素の排出、相殺ともにカウントしないこととした。FRP と瓦は最終処分されるとし、最終処分における温室効果ガス排出をカウントした。

リサイクル製品に使用される各循環資源は砂を代替するものとした。

2.3 評価結果

各製品の LCA の結果を図 3 に示す。図の横軸は製品 1 t 製造する際に発生する温室効果ガスを地球温暖化係数によって二酸化炭素に換算したものを示している。0 を基準としてプラスは二酸化炭素の排出分を示し、マイナスは二酸化炭素の相殺分を示している。リサイクル製品の 2 製品では余剰循環資源と天然資源の削減により二酸化炭素が相殺分として計上されていることがわかる。各製品においてライフサイクルにおける二酸化炭素排出量は、プラスの排出分からマイナス

表 1 各製品の原料配合率 (%)

材料	セメント	砂	玉砂利	人工砕石			瓦	スラグ
				石炭灰	廃プラ	FRP		
通常製品	16.7	55.7	27.5	0	0	0	0	0
リサイクル製品A	16.7	17.5	2.7	0	0	0	0	63.1
リサイクル製品B	16.7	0	0	2.9	8.8	2.9	68.6	0

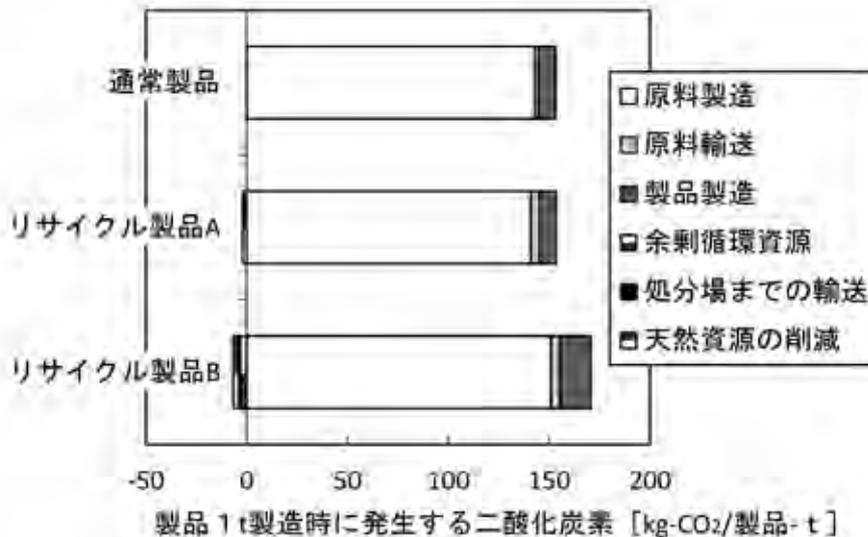


図 3 インターロッキングブロックの評価結果 (重量基準)

の相殺分を引いた値が製品の二酸化炭素排出量となる。製品 1t 製造時に発生する二酸化炭素は、通常製品：153.2kg、リサイクル製品 A：151.7kg、リサイクル製品 B：164.1kg となった。溶融スラグを配合するリサイクル製品 A は通常製品に比べ二酸化炭素の排出量が約 1%削減されるが、人工砕石を配合するリサイクル製品 B では、約 7%増加する結果となった。リサイクル製品 B では、人工砕石の原料である廃棄物を利用可能な状態にするための破碎による前処理に多くの電力が使用されていることが二酸化炭素排出量の増加要因である。原料の輸送に着目すると、通常製品に比べリサイクル製品の原料は長距離輸送されることが多いため、輸送に関する環境負荷の増加が懸念されるが、ライフサイクル全体における原料輸送が占める排出量の割合は低いことがわかる。著者が評価した他のリサイクル製品の多く場合において輸送の比率は低い傾向があった。

製品 1t 製造時に発生する二酸化炭素ではリサイクル製品 B が通常製品よりも二酸化炭素排出量が 7%増加する結果となったが、製品の比重が軽く、輸送や施工が簡単というのリサイクル製品 B の特徴である。実際の各製品の比重は通常製品：2.24、リサイクル製品 A：2.22、リサイクル製品 B：1.5 であり、リサイクル製品 B の比重が他の製品に比べ小さいことがわかる。このことより、インターロッキングブロックを実際に施工する際には、同じ枚数の施工をしても各製品の使用重量が異なることから体積を基準とした評価が必要である。

体積を基準とした評価を行う際の追加条件として、製造工場から施工場所へ 20km 輸送する。輸送には 2 t トラックを使用し、空荷で製造工場に戻る。施工面

積は 100m² とし、使用する製品厚は 60mm とした。これらの条件で必要な各製品の重量は、通常製品：13.4 t、リサイクル製品 A：13.3 t、リサイクル製品 B：9 t となる。以上の条件を基に、体積基準で評価した結果を図 4 と表 2 に示す。各製品が排出する二酸化炭素は、通常製品：2150kg、リサイクル製品 A：2110kg、リサイクル製品 B：1540kg となり、リサイクル製品 B は通常製品に比べ、二酸化炭素排出量を約 30%削減できる結果となった。リサイクル製品 B は他の製品に比べ比重が軽いいために同じ面積を施工する場合、少ない製品重量で施工が可能のため、削減効果が大きくなったことがわかる。これらの結果より、通常製品とリサイクル製品の使用工程以降を同じであると仮定し、製造工程までの比較をする方法では、通常製品とリサイクル製品の比重が同じ場合は適正な評価が可能であるが、軽量化を実現したリサイクル製品では適正な評価ができず、施工面積当たりの評価が必要であることが明らかとなった。

著者が以前に調査し LCA 評価によりリサイクル製品の、循環資源の平均配合率と製品 1 t 製造時の二酸化炭素削減量を表 3 に示す。アスファルト混合物、コンクリート二次製品①②、砕石①は二酸化炭素削減量が正の値になっていることが分かる。しかし、砕石②と砕石③では、負の値となっていることが分かる。

アスファルト混合物では、溶融スラグや廃ガラスなどが細骨材の砂の代替材として配合されており、配合率が低いため二酸化炭素の削減量も小さな値となっている。コンクリート二次製品の 2 製品が溶融スラグや石炭灰等を配合している製品であるが、2 製品の違いは循環資源の大部分は砂を代替するが、循環資源の一部がセメントを代替することで差が生じている。セメ

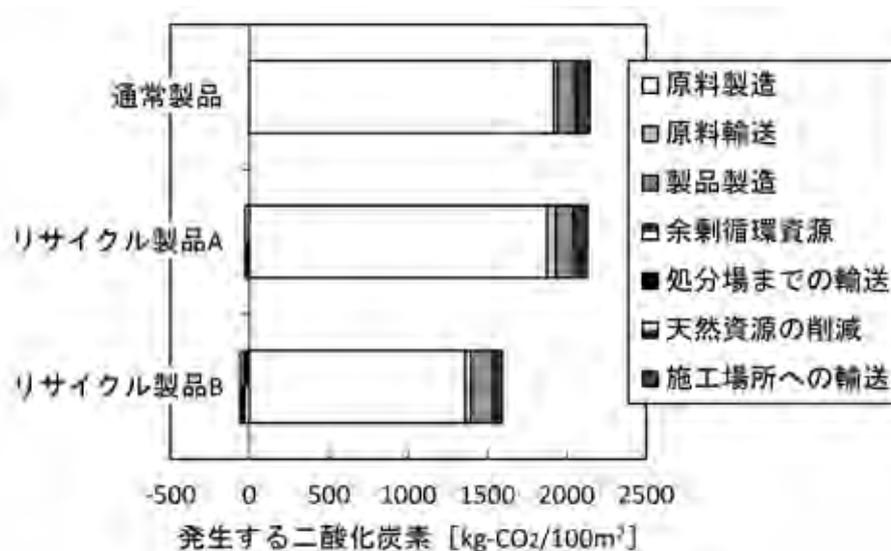


図 4 インターロッキングブロックの評価結果 (体積基準)

表2 インターロッキングブロックの評価結果（体積基準）

	二酸化炭素[kg]		
	通常製品	リサイクル製品A	リサイクル製品B
原料に関するもの	1920.8	1878.5	1359.9
原料の輸送に関するもの	24.9	55.8	38.6
ユーティリティに関するもの	112.6	111.6	137.2
使用されない廃棄物の利用	0	0	-27.9
処分場までの輸送	0	0	-8.1
天然資源の削減	0	-25.6	-22.8
施工先への輸送	89.8	89.0	60.1
合計	2148.1	2109.2	1536.8

表3 リサイクル製品の循環資源配合率と二酸化炭素削減量

リサイクル製品の品目	循環資源の配合率	製品 1t 製造時の二酸化炭素削減量 [kg-CO ₂]
アスファルト混合物	8%	3.4
コンクリート二次製品①	10%	3.8
コンクリート二次製品②	23%	66
砕石①	100%	7.1
砕石②	100%	-62
砕石③	83%	-100

ントの二酸化炭素排出量はセメントの種類によっても異なるが、セメント 1 t 製造する際に排出される二酸化炭素は約 500kg³⁾ であり、循環資源がセメントを一部でも代替することにより二酸化炭素削減量が大きくなっている。

砕石①は、コンクリート廃材などを破碎・分離することで天然の砕石の代替するものであり、破碎・分離処理に電力等のエネルギーが必要となるが、天然の砕石にも破碎・分級等の処理が必要であることから、削減効果が認められる。

砕石②と砕石③では、循環資源として石炭灰やスラグを利用しているが、砕石とするため砕石②では製造工程として蒸気による養生を行い、砕石③では原料にセメントを用いている。これらの追加的な工程や原材料によって天然の砕石に比べ二酸化炭素の排出量が多くなっている。これらの製品について、養生工程の条件やセメント使用量、セメント種類等の見直しによ

て二酸化炭素排出量の削減の余地はあると考えられる。

3. まとめ

ライフサイクルアセスメントの手法を用いたリサイクル製品の環境負荷の評価とリサイクル製品が代替する通常製品の評価と比較することによるリサイクル製品の環境負荷の削減効果について紹介した。リサイクル製品は、廃棄物を原料として利用しているため、廃棄物の性状によって破碎や粒度の調整、乾燥など様々な前処理が必要となってくる。このような前処理は通常製品の製造時には必要なく、リサイクル製品の製造時に追加されることから、環境負荷の側面で不利になってくる。前項で挙げたインターロッキングブロックでも人工砕石の製造にエネルギーが消費されていたため、重量基準で比較すると環境負荷が増加する

結果となった。筆者が評価した他のリサイクル製品の中にも、廃棄物の前処理や製造工程で消費されるエネルギーの増加が原因で、リサイクル製品の環境負荷が通常製品よりも大きくなっている例がいくつか見られた。

リサイクル製品の環境負荷が通常製品よりも大きいからといって、リサイクル製品を製造しない方が良いということではなく、LCAによってどの工程が多く環境負荷を排出しているかを把握し、対策を講じる必要があるということである。

リサイクル認定制度を運用している自治体においてもリサイクル製品の廃棄物の配合率だけでなく、環境負荷の削減量についても評価や把握を行い、環境負荷の削減量の少ないリサイクル製品に対する指導や、廃棄物の配合率、環境負荷の削減量の双方ともに高い製品を積極的に公共工事に利用していくなどの積極的な取り組みが望まれる。

リサイクル製品の製造業者において、LCAを用いたリサイクル製品の環境負荷の評価を実施することは、ISOやエコアクション21を取得している事業者では可能であるが、中小規模の事業者では、対応できる時間的、人的余裕がなく困難な場合が多い。筆者は、以前に簡単にリサイクル製品の環境負荷削減効果を把握できるソフトを作成し公開⁴⁾しているが、品目の拡大、情報の更新が出来ていないのが現状である。今後は簡易評価ソフトの改良を進めるとともに、様々なリサイクル製品の環境負荷量や環境負荷削減効果について評価を進めていきたい。

[参考文献]

- 1) リサイクル製品認定制度情報サイト、<http://recycle-nintei.eco.coocan.jp/> (回覧日：2016.8.29)
- 2) 佐伯孝、山口直久、大迫政浩：道府県リサイクル認定製品の環境負荷の評価に関する研究 - 建設資材系製品を対象とした温室効果ガス排出削減効果 -、廃棄物資源循環学会論文誌、Vol.22、No.3、pp.167-177 (2011)
- 3) 算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧、<http://ghg-santeikohyo.env.go.jp/files/calc/itiran2015.pdf> (回覧日：2016.8.29)
- 4) リサイクル製品環境負荷簡易評価ツール (EATRP ver 1.0)、<http://recycle-nintei.eco.coocan.jp/eatrp.html> (回覧日：2016.8.29)

特集：消化ガスの有効利用にかかる様々な導入事例 & バイオマス産業都市構想の取組み

消化ガスの有効利用にかかる 現状について

編集委員会事務局

「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法」の施行により、「再生可能エネルギーの固定価格買取制度」（以下 FIT 制度）が開始されました。本制度は、①エネルギー安定供給の確保、②地球温暖化問題への対応、③環境関連産業の育成を目的としたもので、再生可能エネルギー源（太陽光、風力、水力、地熱、バイオマス）を用いて発電された電気を、電気事業者に一定の価格・期間で買い取れることを義務付けるものであります。

また、電気事業者が買取に要した費用は、原則として使用電力に比例した賦課金によって回収することとされています。

これまで、再生可能エネルギー源による発電は、一般的に他の電源と比べてコストが高いことが課題となり、導入が進みにくかったですが、本制度によって、再生可能エネルギー発電事業者におけるコスト回収の見込みが立てやすくなり、新規導入を促進することが可能となりました。

買取価格・期間については、再生可能エネルギー源の種類や発電設備の規模等に応じて、中立的な第三者委員会（調達価格等算定委員会）の意見を受けて、経済産業大臣が毎年度定めることとされています。買取価格については、施行後3年間は、集中的導入を図るため、再生可能エネルギー発電事業者の利潤に特に配慮することとされています。

また、本制度を活用して売電するためには、当該発電設備について事前に国の認定を受けることが必要です。

このような中、FIT 制度の施行以降、下水道分野における FIT 発電は急速な広がりを見せており、導入済または予定している下水処理場は全国で 42 箇所にはのぼっています。（平成 28 年 7 月現在）

これらの導入箇所は、発電事業者が自治体（下水道管理者、公設公営）か民間事業者（民設）かで 2 つに大別できます。42 箇所のうち発電事業者が自治体のケースは 12 箇所、民間のケースは 30 箇所となっています。民設民営方式は民間事業者が資金調達から設備認定などの手続き、施設の設計・建設、長期間の運転管理まで事業の大半を担うもので、自治体は事業者が発電施設の建設用地と発電の燃料となる消化ガスを提供してその対価を得るというスキームであります。民間事業者からすると複数年契約により安定的な収入が確保できる観点からメリットが大きく、自治体にとっても施設の設備投資や運転管理などのリスク・負担が小さいため、近年その採用実績が増えてきています。

本誌においては既に、栃木県、横浜市、石川県、神戸市、久留米市、大村市、鶴岡市、松山市における FIT 制度の取組みについて寄稿をいただいております。今回の特集では新たに青森市、宇都宮市、高松市の 3 都市より寄稿いただき、紹介させていただくとともに、FIT とは別の切り口で、糸満市のバイオガス有効利用の取組みについても併せて紹介をさせていただきます。

特集：消化ガスの有効利用にかかる様々な導入事例 & バイオマス産業都市構想の取組み

解 説

消化ガスの高度利用化による
炭素回生システムの開発琉球大学工学部
准教授 瀬名波 出

キーワード：消化ガス、二酸化炭素回収、メタンガス高濃度化、海洋バイオマス、炭素回生システム

1. はじめに

大気中への二酸化炭素（以下 CO₂ と略記）の拡散削減については種々の対策が検討されている。その効果的な方策として火力発電所、ゴミ焼却施設などの CO₂ 排出濃度が高い集中発生箇所において CO₂ を適切に分離回収する処理が挙げられる。琉球大学工学部機械システム工学科の当研究室では、高濃度 CO₂ 発生源として汚泥メタン発酵処理で生ずる消化ガス中に含まれる CO₂ をその消滅対象とした。消化ガスとは下水処理場で下水汚泥をメタン発酵（嫌気性消化）により減容化した際に発生するバイオガスである。一般に消化ガスの組成はメタン:CO₂ = 6:4 の割合である。この消化ガス中の CO₂ を回収して高濃度メタンガスを作ることができれば、CO₂ 削減対策のみならず消化ガスを未利用再生可能バイオガスエネルギーとして利用することも可能となる。

さらに本研究室では上述のように消化ガスからの CO₂ 回収に加えて、その CO₂ の再利用技術として植物に吸着固定させること、およびその植物の工学的利用まで含めた「炭素回生システム」の開発を最終的目的として研究を進めている。その概略を図 1 に示す。すでに実験室内での基礎実験においては消化ガスおよび火力発電所排ガスからの CO₂ 回収実験を行い、さらに回収した CO₂ を用いた海藻培養実験について高

い効果を得ている。また海藻からのバイオエタノール生成にも成功している⁽¹⁾。

一方、最終的目標である炭素回生システム構築においては、個々の要素技術が確立に加えてそれらを連携させることそのものが 1 つの課題である。さらにシステム実証化の現場では意図せぬ問題が生じることが多々起こりうる。今回、これらの一連の実験を実際の消化ガス発生およびその利用現場においての課題発見および解決方法を確認するため実証実験を行った。実証実験は、炭素回生システム適用の最適現場と考えられる沖縄県糸満市浄化センターで発生する消化ガスの高度有効利用実証事業現場で行った。消化ガスからの CO₂ 分離回収技術および CO₂ 利用についていくつかの有効な知見が得られたので、その結果について報告する。

2. 実験概要

消化ガスはメタン濃度が約 60% 程度と燃料として利用するにあたってはその濃度が低いことから、あまり有効利用されずに単純に燃やしてしまっているケースが多い。糸満市浄化センターにおいても発生する消化ガスの効果的な有効利用策がなく長らく焼却処理をしてきた。このような状況を鑑み、沖縄ガス（株）は 2012 年度沖縄県産業振興基金事業補助金を受けて、（株）青い海、糸満市と三者で消化ガスの有効利用事業を手がけた。これはガス事業者である沖縄ガスが糸



図1 「炭素回生システム」概略

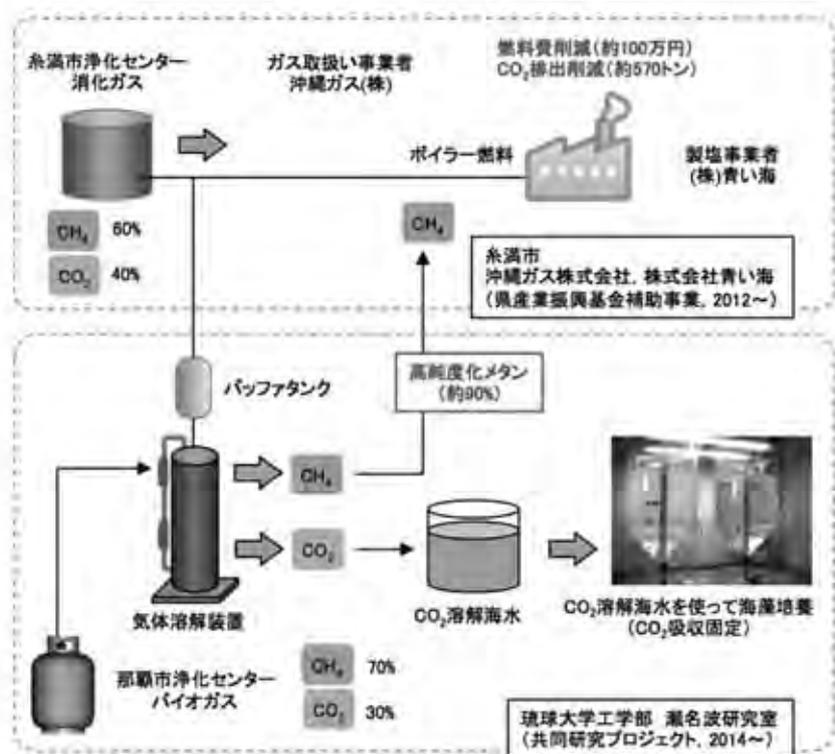


図2 消化ガス有効利用実証実験概要

糸満市浄化センターから発生する消化ガス供給の運営および維持管理を一括して行い、浄化センターに隣接する製塩会社である青い海にボイラー用ガス燃料として提供することで消化ガスの利用を図るものである。2013年3月に運用を開始、現在までトラブルなく運転中である。なお消化ガスをこのように浄化センターの系外でボイラー燃料などに直接利用するのは国内初の事業である。今回の実証実験はこの消化ガス有効利用事業現場で行った。

本実証実験の全体概要を図2に示す。糸満市浄化センターから発生する消化ガスを、沖縄ガスが隣接する製塩会社の青い海にボイラー用燃料として供給する配管から一部消化ガスを分岐させ取り出し、その消化ガス中CO₂の分離回収および消化ガス中メタンの高濃度化の実証実験を行った。また比較のために那覇市浄化センターで発生した消化ガスについてもボンベ詰めしたものを搬送し、それについても併せて実験を行った。

3. 実験装置および実証実験方法

本研究では消化ガス中からのCO₂回収に直径100mm、高さ800mm程度の吸収塔方式の小型気体溶解装置を用いた。その概要を図3に示す。ガス溶解の仕組みは小型気体溶解装置加圧タンク内にガスを充填させ圧力をかけ、その中に水を通過させることで液体中にガスを効率よく溶解させるものである⁽²⁾⁽³⁾。本装置を実際の現場に導入し、消化ガスからのCO₂回収実証実験を行った。

実験装置要素および実験条件①②を記載したCO₂の溶解回収実験概要を図4に示す。那覇市浄化処理センターのバイオガスを使用する実験では、下水処理場で高圧ボンベに充填して糸満市の実験現場に輸送し、溶解装置のガス供給管にレギュレータを介して接続した。その際、高圧ボンベ内消化ガスを溶解装置に



図3 小型気体溶解装置

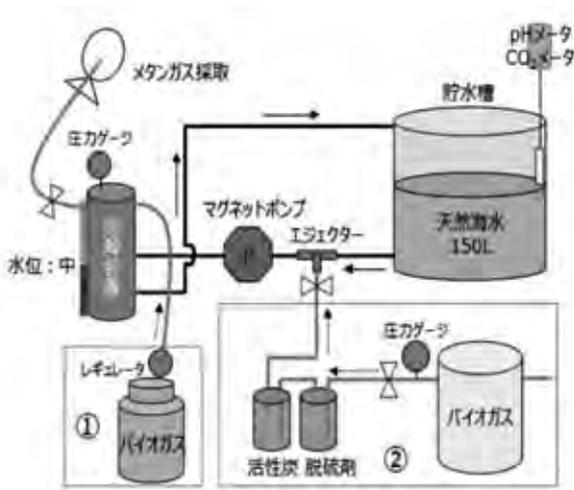


図4 CO₂溶解実験概略

【実験①：直結方式、実験②エジェクター方式】

レギュレータを介して直結した。【直結方式：実験①】

一方、糸満市の消化ガスを使用する実験では、浄化センターからのガス送圧が大気圧と同程度と低かったために上述の高圧ボンベからのガス配管と同様な方法での溶解装置への直結はできなかった。このことは今回の実証実験によって確認された課題である。この課題解決のためにもし実験①の高圧ボンベ内消化ガスと同程度の圧力まで加圧することを行う場合には、可燃性ガス加圧用の非常に高価な特殊コンプレッサーが必要となる。そこでより簡易かつ安価な解決策として消化ガスをバッファタンクに貯留し、それをエジェクターを介して吸引し海水とともに溶解装置内に送り込む方式を採用した【エジェクター方式：実験②】。なお消化ガスには主成分であるメタンガスとCO₂以外に微量成分として有害な硫化水素とシロキサン類を含んでいる。実験①の那覇浄化センター由来のガスでは両方とも除去されているのに対し、実験②糸満市浄化センター由来のガスでは硫化水素のみが除去されている。そこで実験②では脱硫剤および活性炭を充填した簡易洗浄槽を設置した。

CO₂溶解実験はガス溶解の溶媒となる天然海水を150L貯水し、実験①についてはあらかじめバイオガスを装置内に充填してからマグネットポンプを稼働させて海水を注入管を通じて注入、実験②についてはマグネットポンプを稼働させてからエジェクターのガス側バルブを開けることによって開始した。消化ガス中のメタンガスの濃度は装置上部のガス排出管から一部をサンプリングし、ポータブルメタン濃度計 (XP-3140、新コスモス電機) を用いて測定した。また海水のpHおよびCO₂濃度についてはそれぞれポータブル炭酸ガス濃度計 (CGP-31、TOADKK)、ポータブルpH計 (HM-20P、TOADKK) を用いて測定した。

4. 実験結果および考察

実際に那覇市のバイオガスを使って150Lの海水中にCO₂を溶解・分離することによってバイオガス中のメタンガス濃度を高めるバイオガス高品質化試験を実施した。直結方式である実験①およびエジェクター方式である実験②の結果を示す。

4.1 実験①那覇浄化センター由来消化ガスを用いた溶解実験

那覇浄化センターでは硫化水素の除去に湿式の脱硫装置を採用しており、脱硫の際に水に対する溶解度が高いCO₂ガスも同時に少量取り除かれるので消化ガス中のCO₂初期濃度は約30%に低下し、同時にメタンガスの初期濃度は約70%に高まっている。気体溶

解装置内に消化ガスを約 0.12MPa で圧入した後に海水を循環させることで CO₂ を溶解・分離させた。図 5 に海水中の CO₂ 濃度の変化を示す。溶解開始から速やかに CO₂ 濃度が上昇し、約 30 分間ではほぼ最大値の 17.5mg/L に達した。ポンペ内に圧入した消化ガスは約 5.5L であり、その 30% (1.65L) を占める CO₂ ガスが 150L の海水 (25℃) にすべて溶解すると計算上は 19.5mg/L になる。本実験結果を比較すると溶解効率は 90% であり、実際の消化ガスからも高い効率で CO₂ ガスを溶解することが可能である。

図 6 に溶解装置内に残留する消化ガス中のメタンガス濃度を経時的にサンプリングした結果を示す。溶解時間 3 分でメタンガス濃度は最大値の 91% を示し、それ以降は次第に低下した。これは、溶解時間の延長にしたがってタンク内の残存 CO₂ が次第に低下してメタンガス濃度が相対的に上昇した結果、メタンガスの海水への溶解が進んだこと、ならびに海水中に溶存していた窒素や酸素が逆に消化ガス中に放散されたこ

とが原因である。このことからメタンガスの高品質化を目的とする場合、CO₂ 溶解時間の延長はかえってメタンガス濃度の低下を引き起こし、消化ガス由来メタンガスの高品質化プロセスに悪影響をおよぼす点に留意する必要がある。解決策として適切な CO₂ 溶解時間を用いること、または予め溶媒である海水中の窒素や酸素を脱気しておくなどが挙げられる。

4.2 実験②糸満市浄化センター由来消化ガスを用いた溶解実験

つぎにエジェクター方式で気体溶解装置に消化ガスを連続供給した場合の CO₂ 溶解実験結果について述べる。図 7 に海水中の CO₂ 濃度の変化を示す。本実験の場合、実験①に比べて気体溶解装置内の消化ガス圧力は低く大気圧と同程度であったが、溶解開始からほぼ直線的に CO₂ 濃度が上昇した。

図 8 に消化ガス中のメタンガス濃度の変化を示す。メタンガス濃度約 60% の消化ガスを連続供給してい

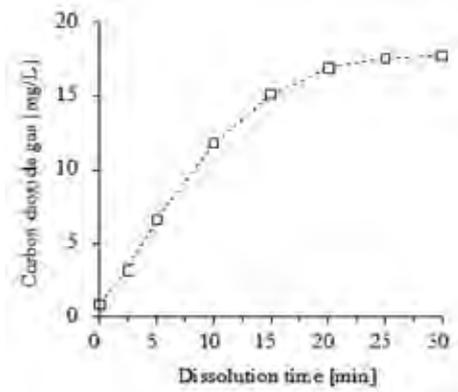


図 5 溶媒海水中の CO₂ 溶解濃度の変化 (那覇市浄化センター由来消化ガスの場合)

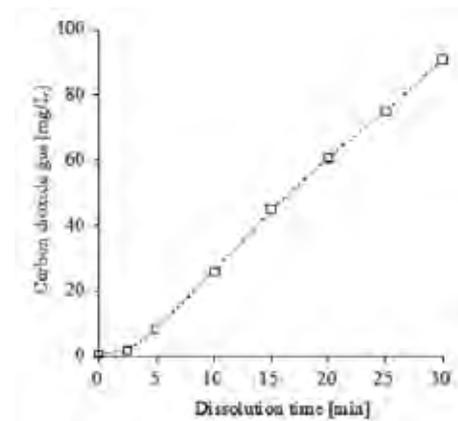


図 7 溶媒海水中の CO₂ 溶解濃度の変化 (糸満市浄化センター由来消化ガスの場合)

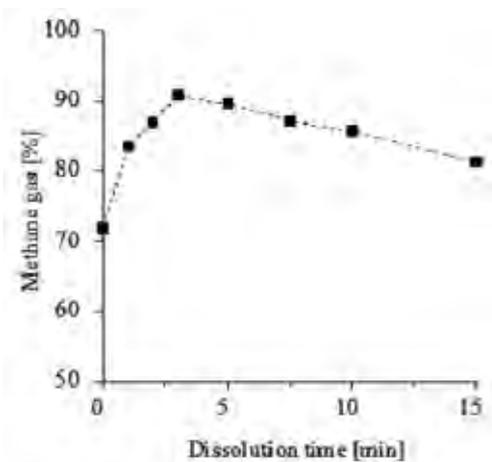


図 6 気体溶解装置タンク内消化ガス中のメタン濃度の変化 (那覇市浄化センター由来消化ガスの場合)

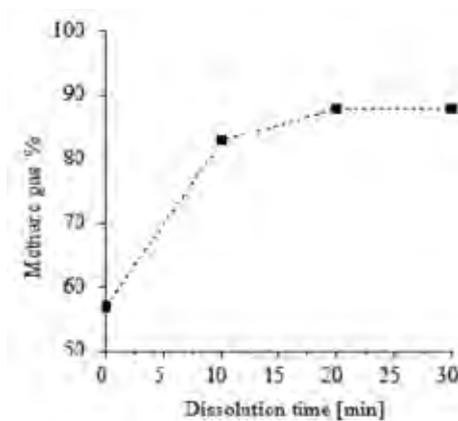


図 8 気体溶解装置タンク内消化ガス中のメタン濃度の変化 (糸満市浄化センター由来消化ガスの場合)

るため、実験①の場合に比べてメタンガスの高濃度化は難しいのではと思われたが、溶解装置中のメタンガス濃度 88% まで高めることができた。連続的に消化ガスを注入しているため実験①の直結方式に比べてメタンガス高濃度化に時間を要するが、予め高圧の消化ガスを手に入れない場合においても本方式を採用することでメタンガス高品位化が可能であることが示された。



図 9 海藻ミリンの培養の様子

4.3 二酸化炭素溶解海水による大型藻類培養実験

次に上述した消化ガスから分離回収した二酸化炭素を溶解した海水を用いて大型海藻類であるミリン（紅藻）の培養実験を行った。培養試験体である海藻ミリンは藻体片 3g ずつ切り出し初期重量をそろえた状態で培養実験に使用した。培養海水として前述の 2 種類のバイオガス、すなわち糸満市と那覇市の消化ガスより調製した CO₂ 溶解海水（Carbon dioxide dissolved in sea-water：以下、CSW と記載）を使用した。海水の CO₂ 濃度は 15 ~ 20mg/L (pH6.8 ~ 6.7) になるように気体溶解装置を使って調製した。これは自然の海水中に含まれる二酸化炭素濃度の約 25 ~ 38 倍にあたる。そこにミリンの藻体を所定量投入し、液体肥料を規定量添加して培養を開始した。なお培養水槽はプレハブ内に設置しており室内の空調機器を使って水温が約 26℃ ~ 28℃ の範囲で一定になるように調整した。（図 9）照明には白色蛍光灯を使用し、光合成有効量子束密度が水槽の中央部で約 100μmol m⁻² s⁻¹ になるように水槽側面から照射した。海水交換は 3 ~ 4 日間隔で行った。また比較対象として同じ培養条件で天然海水（Natural Sea-water：以下 NSW と記載）を使用して培養し、CSW および NSW のそれぞれにおける生長性を調べた。

図 10 および図 11 に糸満市浄化センターおよび那覇浄化センターそれぞれからの消化ガス由来の CSW で培養した結果を示す。まず図 10 に示すように今回の糸満市バイオガス由来の CSW で培養した結果についてだが、自然海水 NSW に比べて生長性は低くほとんど生長しなかった。一方、図 11 に示すように那覇市バイオガス由来の CSW で培養した結果においては 7 日間の培養期間で CSW のほうが自然海水の場合より約 2.2 倍以上も高く成長する結果となった。なお大学実験室内におけるビーカーサイズでの那覇浄化センター由来の CSW を使った同様の培養実験をした場合においても、やはり約 2 倍以上の高い生長促進効果を示すことが確認されている。また両方の培養実験とも比較対象の NSW では同程度に良好の生長をしていることから、今回の実験においては糸満市由来消化ガス中には何らかの生長阻害物質が含まれている可能

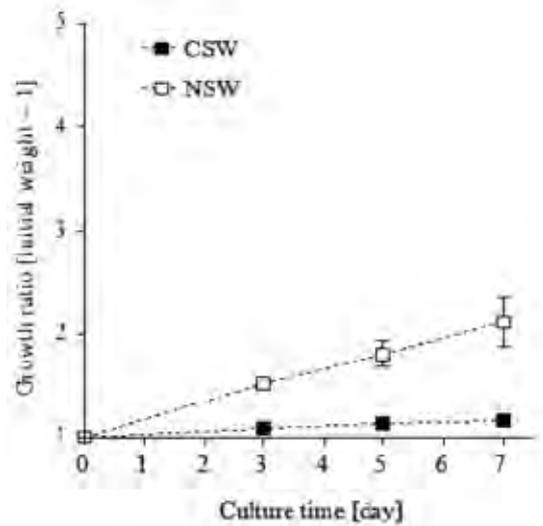


図 10 CO₂ 溶解海水による海藻の重量変化（糸満市浄化センター由来消化ガスの場合）

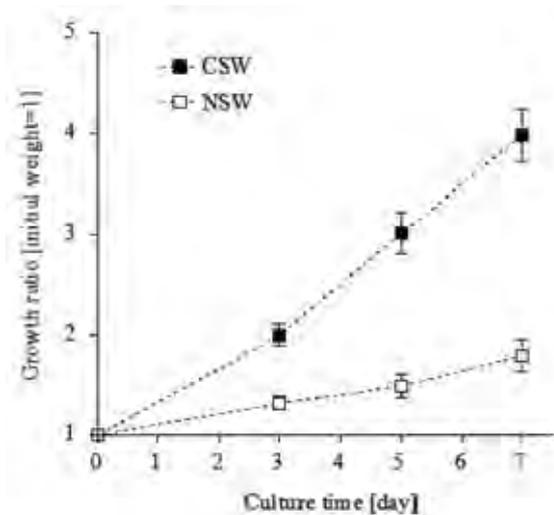


図 11 CO₂ 溶解海水による海藻の重量変化（那覇市浄化センター由来消化ガスの場合）

性が示唆される。両方の消化ガスを比較すると、その生成過程において那覇浄化センターにおいては消化ガス中のシロキサンを除去しているが、糸満市浄化センターでは残存したままとなっている。現状ではこのシロキサン除去の有無が最も大きな要因ではないかと推測される。しかしながら、この生長阻害が本実験で使用した海藻ミリンに特異的なものなのか、あるいはその他の藻類でも認められる現象であるのかについては原因物質を特定した上でさらなる培養実験が必要である。なお発電設備や作業環境に悪影響をおよぼすシロキサンや硫化水素などの有害物質の除去・低減技術は今後ますます進展していくことが予想される。

5. まとめ

消化ガスからのCO₂回収に加えて、さらにそのCO₂の再利用まで含めた「炭素回生システム」の開発を目的とした実証実験を行った。その結果、気体溶解装置を用いて消化ガス中のCO₂を海水中に速やかに溶解・回収できると同時に、消化ガス中のメタンガス濃度を88～90%まで高濃度化できた。その際、供給消化ガス圧力が低い場合でもエジェクター方式を用いることでCO₂を溶解・回収できることを確認した。またそのCO₂を用いた海藻の培養実験で自然海水での培養の場合より2倍以上の成長効果が確認された。ただし消化ガスの生成方法によってはその残留成分が海藻成長の阻害要因になることも確認された。

下水汚泥由来の消化ガスを再生可能なエネルギー資源として利用する取り組みはガス発電などを中心として年々増加している。エネルギーの確保とならんで食糧の確保も人類にとって大きな課題であり、本技術開発が消化ガス利用によってエネルギー環境への負担の軽減化に加えて食料問題の解決にも同時に寄与できるようさらなる研究・実証化を進めていきたい。

文 献

- (1) 平成20年度経産省:低炭素社会に向けた技術シーズ発掘・社会システム実証モデル事業、「海洋バイオマス利用によるCO₂排出削減・新エネルギー創出の実証モデル事業」報告書
- (2) 瀬名波出、大城邦夫、消化ガスからの小型二酸化炭素吸収装置の開発、日本機械学会第21回環境工学総合シンポジウム、講演論文集11-8, pp.119-120, 2011.
- (3) 瀬名波出、大城邦夫、消化ガスからの二酸化炭素削減およびその利活用方法開発、日本エネルギー学会バイオマス部門・第7回バイオマス科学会議、バイオマス科学会議発表論文集(7), pp.210-211, 2012.

特集：消化ガスの有効利用にかかる様々な導入事例 & バイオマス産業都市構想の取組み

解説

高松市東部下水処理場における バイオマス発電設備について

高松市上下水道局下水道施設課
三好 克己

キーワード：固定価格買取制度、コジェネレーション、長寿命化対策

1. はじめに

高松市の東部下水処理場は、昭和 57 年に供用開始した、標準活性汚泥法による日最大 83,330 立方メートルの処理能力を有する、高松市の基幹下水処理場で、東部処理分区の分流地区と中部処理分区の合流地区の下水を処理している。

消化槽は単段 3 槽を有し、ここから平成 23 年度には 151 万立米の消化ガスが得られており、これまでもこの有効利用について様々な検討を行ってきたが、消化槽の加温や管理棟の冷暖房用ボイラーの燃料として利用するに留まっており、残りの 7 割は余剰ガス燃焼装置により焼却処分していた。

高松市の地球温暖化対策実行計画でも、下水処理場における消化ガスの有効利用が大きな柱として掲げられる中、平成 23 年度に公営企業法を全部適用した下水道事業は、一般会計からの基準外繰入れが膨らんでいることから事業の採算性が問題となり、なかなか有効利用が図れない状況であった。

このような中、平成 24 年に国の「再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法」が施行され、この消化ガスを燃料として発電し、発電施設内で消費する電力を除いた全量を固定価格で電力会社に売却することにより、得られた売却益を下水道施設の維持管理費に充当することで、十分な投資効果が期待できると

の結論に至り、平成 25 年秋に事業化することとなる。

(図 1 費用対効果分析参照)

平成 28 年 2 月から発電開始することになった事業について、実績報告を行うとともに今後の問題点について考察する。

2. 設備認定から系統連携までの手順

下水処理場の消化ガスを燃料とした発電設備は、全国に多数の実施例があったが、今回の事業は、固定価格買取制度を利用して電力会社に売却し、その売却益を下水道事業の維持管理費に充当するというスキームで、発電設備としての国の設備認定を受けることが大きなハードルであった。

計画書作成段階では、事業の採択も決まっていなかったことから予算もなく、電気専門の職員が資源エネルギー庁と協議をしながら作成することになった。

当時、再生可能エネルギー固定価格買取制度の平成 26 年度買取価格の適用を受けるためには、平成 27 年 3 月 31 日までに経済産業大臣による設備認定を受けるほか、電力会社に接続契約申込みを完了させる必要があったため、時間的な余裕のない中、約 3 ヶ月で「東部下水処理場バイオマス発電設備計画」を取りまとめることができたベテラン技術者が居たことが、この事業が実現した大きな要因であったと考える。

この計画書では最大出力 500kw のコジェネレー

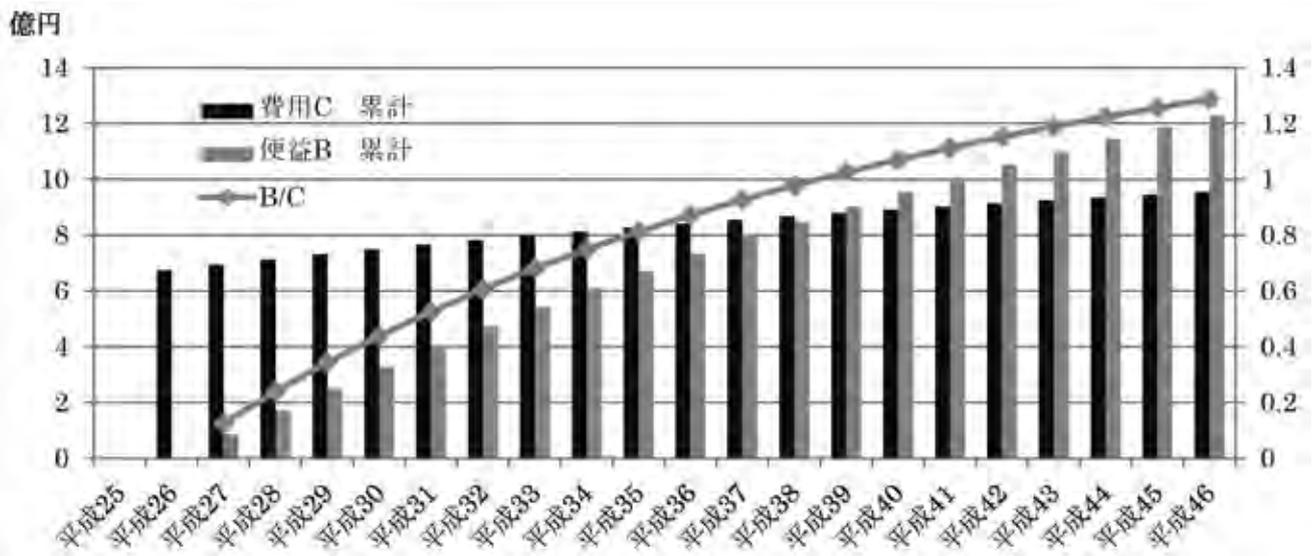


図1 計画当初の費用対効果分析

ションシステムを整備することで、全体事業費が7億、設備の稼働率が75%で年間約9千8百万の売電収入が見込めることから、費用対効果分析を行った結果、設備稼働から11年目にB/Cが1を超えることから、市のまちづくり戦略計画の重点取り組み事業として採択されたものである。

あらかじめ電力会社に事前相談の申込みを行ったのが平成25年5月で、7月1日に容量面から評価した最大受電電力に対する連系制限がないという回答が得られた。

これを受けて、資源エネルギー庁に再生可能エネルギー発電設備認定申請書を提出するのだが、申請を受ける側も前例が少ないことから、本省との協議に日時を要し、最終的に平成26年2月に申請書が受理された。

この際に、発電機についてはその型番まで含めた情報が必要であったことと、消化槽関連の既存設備についても発電設備として認定する範囲に含まれるため、電氣的に完全に既設受電系統から分離し、発電設備で生み出した電力により稼働することが求められた。

認定範囲などについて、機器一つ一つについて、資源エネルギー庁に問い合わせしながら書類の修正となるため、日時を要したもので、平成26年8月22日に認定の通知を受けることができた。

しかし、9月に九州電力が再生可能エネルギー電気の系統連系について受付を保留する旨の発表があり、その後、地元の四国電力でも同様の措置が取られることとなったことは、既に発電設備工事の契約が9月3日に終わっていた我々にとっては晴天の霹靂であり、事業の実施責任者としても先行きが見えず困惑した。

その後、バイオマス発電設備については、平成26

年12月18日に回答保留が解除され受付が再開したため、接続検討の申請を行ったわけだが、電力会社から求められる追加資料等が整った平成27年1月22日に、接続検討の申込みが受理され、検討手数料を納付した。この電力会社側の検討に約三ヶ月を要し、平成27年5月1日に接続可能である回答を受け取る。

発電設備工事の受注者から、発電設備で使用する機器の承認願いが出た同年6月24日に、電力会社にこれらの情報も含めた系統連系の申込みをおこない、8月25日には高圧受電の申込みと認定発電設備の需要場所についての特別措置適用確認書を提出した。

この後、電力会社の技術部門との詳細な協議にも三ヶ月あまりを要し、11月19日に発電設備の送電系統への連系及びアンシラリーサービス契約の申込みを行い、12月3日に電力側系統連系工事が完了し、同日系統連系覚書が締結された。

電力の自由化ということを受け、売電先を決定する入札手続きを経て、平成28年2月1日より売電を開始することができた。

3. 設備の稼働状況

平成28年3月の稼働状況は、図2のとおりであり、平均稼働率が85%で、24万2600kwを売電し、売電収入は、約940万円(税抜)となっている。

これは年間を通じて一番消化ガスの発生量が多い時期であったことや、設備が新しいことからメンテナンス等の停止期間がなかったことによると考えている。

今後は年間を通じて安定的に当初想定稼働率が維持できるよう努めていく。

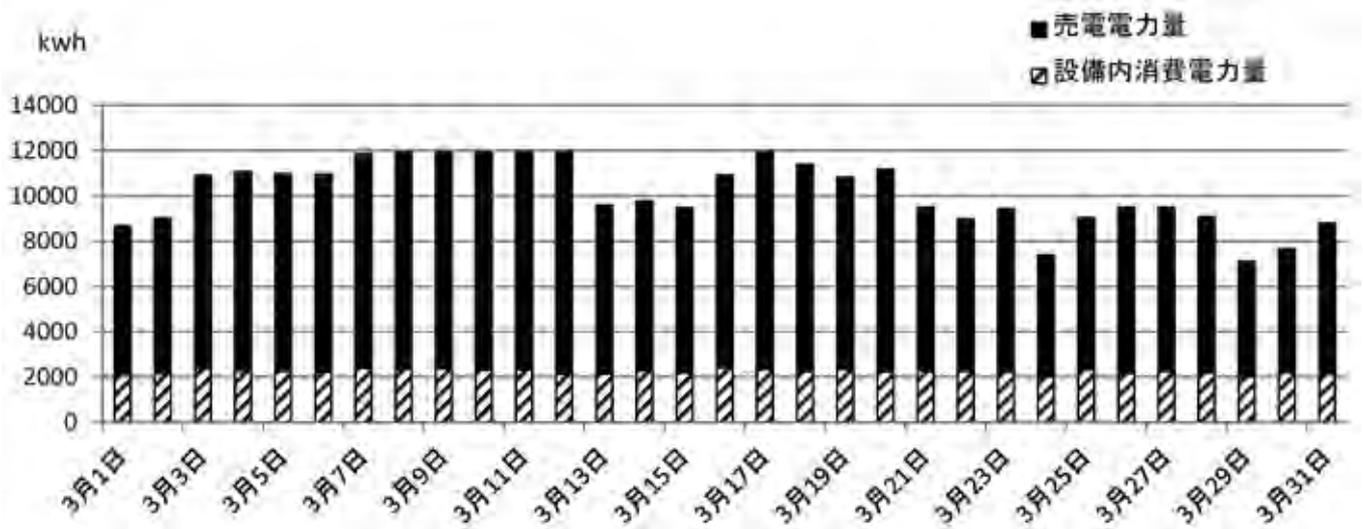


図2 発電設備稼働状況

コージェネレーションにより、回収した温水で消化槽の加温を行うが、消化槽の加温状況も、従来から行ってきた中温消化に十分な熱供給がされ、消化槽の汚泥の温度は38度前後で安定している。

4. 今後の課題と問題点

昭和57年に供用開始した東部処理場は、供用開始からすでに30年以上経過しており、施設の長寿命化が喫緊の課題となっていることから、消化槽についても平成26年秋ごろより内部調査を実施した。

供用開始後初めての調査であり、内部に堆積した砂等の浚渫や老朽化の状況を把握する目的であったが、内部のコンクリートには硫化水素による劣化等、重大な問題点はみられなかった。

今後は、補機類の長寿命化対策と併せて、消費電力の大きい現在のガス攪拌からより消費電力の小さな攪拌方式に改築することも検討したいと考えている。

また、東部下水処理場では平成26年に実施した汚泥濃縮設備の長寿命化対策で、遠心型から差測スクリーマー型に更新した際、高分子材の注入の影響から有機物の回収率が上がり、消化槽に投入する濃縮後の汚泥のVTS（強熱減量物）が上昇傾向にあり、これに伴い脱水機供給汚泥のVTSも上昇している。

VTSの増加は嫌気性消化が十分でないとも考えられ、汚泥の脱水性能に影響するため、脱水時の高分子材の選定に苦慮している一方、発電設備からみれば、燃料となる有機分が残っていることでもあることから、さらなる消化反応の促進をめざし、中温消化から大阪市などで実績のある高温消化への移行も今後の課題として研究していきたい。

5. おわりに

この処理場では平成28年10月からいわゆるMICS事業の試運転が始まることもあり、施設を取り巻く環境がどんどん変化していることから、従来からの方式にとらわれることなく、常に新しい情報を取り入れながら最適な運転管理が求められる。

少子高齢化社会をむかえ、下水道使用料収入の伸びが望めない中で、下水道事業は非常に高度な経営感覚を持ちながら、無駄を徹底的に排除しながら、今回のように新しい事業にも積極的に取り組むことが必要であると考えます。

そのためには、ベテラン技術者から、次世代を担う技術者に、できるだけたくさんの技術力を継承していけるよう、様々な機会に研修を実施して、維持管理を担えることはもとより、新しい時代の変化に対応できる職員を育成しなければならないと考えている。

問い合わせ先：高松市上下水道局下水道施設課
 TEL 087 - 842 - 5421
 E-mail katsumi4919@city.takamatsu.lg.jp

特集：消化ガスの有効利用にかかる様々な導入事例 & バイオマス産業都市構想の取組み

解説

川田水再生センターにおける 消化ガス発電事業の取組み

宇都宮市上下水道局 下水道管理課 施設グループ
係長 江連 伸也
主任 菊地 淳

キーワード：固定価格買取制度、燃料電池、コジェネレーション

1. はじめに

栃木県宇都宮市は関東平野の北部、県のほぼ中央に位置する。平成 28 年 8 月 1 日現在、世帯数は約 22 万世帯、人口は約 52 万人の農業・商業・工業ともバランスのとれた北関東の中核都市として発展してきた。

本市の下水道は、戦後の経済成長による下水処理の必要性から、昭和 40 年に中心市街地の汚水と雨水の処理を開始し、昨年 8 月には 50 周年を迎えた。

今回紹介する川田水再生センターは、市街地の拡大に伴う処理区の見直し等を経て、現在では、市内で発生する下水の約 7 割を処理する重要な基幹施設である。



写真 川田水再生センター全景



※宇都宮市は、大正5年の水道給水開始から100年
昭和40年の下水処理開始から50年を迎えた。

川田水再生センター施設概要	
所在地	: 宇都宮市川田町 240 番地
敷地面積	: 9.72 ヘクタール
処理方式	: 標準活性汚泥法
排除方式	: 分流式 (一部合流式)
処理能力	: 159,300 m ³ /日
放流河川	: 田川 (一級河川)
計画処理面積	: 5,913 ヘクタール
計画処理人口	: 253,700 人
運転開始	: 昭和 53 年 6 月

川田水再生センターに建設した消化ガス発電施設は、汚泥処理過程で発生する消化ガスを活用した施設である。

消化ガスは、可燃性であるため、これまで汚泥焼却炉の補助燃料等として有効活用してきたが、老朽化による汚泥焼却炉の停止に伴い、新たな消化ガスの活用方法を検討し、平成28年3月に燃料電池を用いた消化ガス発電施設が完成した。

2. 消化ガスとは？

発電の燃料となる消化ガスは、日常の市民生活から排出される「下水」から生み出されるため、枯渇する心配が無く、24時間365日安定して発生する有効なエネルギー資源である。

(1) 消化ガス発生メカニズム

消化ガスは、汚泥の減容化と安定化のための消化工程で発生するもので、下水処理で発生した汚泥を濃縮後、汚泥消化槽（酸素の無いタンク）で約30日間、約36℃に加温・攪拌することで、槽内の嫌気性微生物（メタン生成菌等）の働きにより、汚泥に含まれる炭水化物・脂肪・たんぱく質等の有機物が分解し、消化ガスが発生するものである。

(2) エネルギー資源としての消化ガス

川田水再生センターで発生する消化ガスは、今後20年間の平均で1日あたり9,100N・m³の発生が見込まれ、その成分の約60パーセントがメタンで構成される。

消化ガス発電は、カーボンニュートラルなエネルギー資源であり、再生可能エネルギーの「バイオマス発電」に分類される。

今回の発電事業では、再生可能エネルギーとしての価値を最大限に高めるため、経済産業省の「再生可能エネルギー固定価格買取制度」を活用し事業を進めることとした。

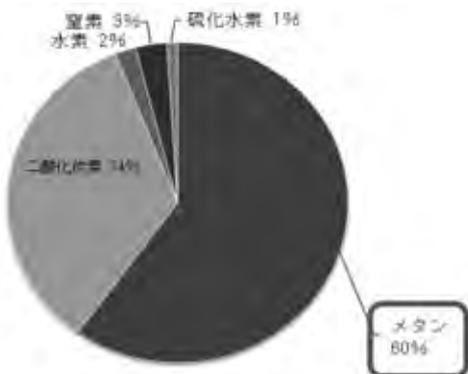


図 川田水再生センター 消化ガスの成分

3. 発電施設の概要

建設工事の発注方式は、「設計施工一括発注公募型プロポーザル方式」により行い、川田水再生センターに最適な設備構成・運用方法を選定し、建設費・20年間の維持管理費及び売電収入、環境負荷等を総合的に勘案し、発電効率の良い燃料電池発電装置を提案した事業者と契約した。

(1) 燃料電池とは？



図 燃料電池の原理

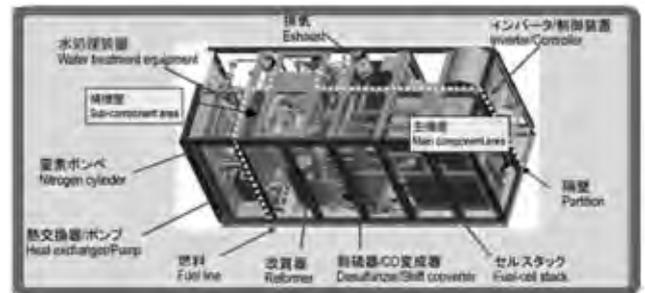


図 燃料電池の内部

発電方式	: リン酸形燃料電池
発電容量	: 105 kW
寸法	: 2.2m (D) × 5.6m (W) × 3.4m (H)
質量	: 15t
熱出力	: 50kW (90℃【出】 / 80℃【入】)
環境性能	
騒音	: 65dB (A) 以下
NOx	: 5ppm (O ₂ 0%)
SOx	: 検出限界以下
製造者	: 富士電機(株)

図 燃料電池の主な仕様

(2) 建設工事の概要

発電方式	: リン酸形燃料電池
発電能力	: 105 kW × 8台 = 840 kW
計画発電電力量	: 約 717 万 kWh / 年
工事費	: 1,738,800,000 円
施工業者	: メタウォーター・協新・美工建設共同企業体

【川田水再生センター消化ガス発電施設の特徴】

◆国内最大級の燃料電池発電施設

燃料電池を使用した消化ガス発電施設としては国内最大級であり、発電能力 105kW の燃料電池発電装置を 8 台設置し、最大発電能力としては 840 kW、発電電力量は年間最大約 717 万 kWh を計画している。これは、宇都宮市の一般家庭の年間消費電力に換算して約 2,000 世帯分に相当する。

◆コージェネレーションシステム

燃料電池の発電の仕組みは化学反応であり、その際に発生する熱を回収し、汚泥消化槽の加温に利用することでコージェネレーションシステムを構築している。

4. 事業の効果

① 新たな収入源

これまで場内で有効利用してきた消化ガスだが、電気エネルギーを作り出し、「再生可能エネルギー固定価格買取制度」により売電を行うことで、安定した新たな収入源として経営基盤の強化を図ることが可能となった。

計画発電電力量は年間最大 717 万 kWh であり、この電力を売電することで、約 2 億 6 千万円の収入が見込まれる。

② 汚泥消化槽の加温燃料の経費削減

これまで汚泥消化槽の加温には、重油を燃料としたボイラーを使用していたが、コージェネレーションシステムでの加温により、重油の調達が必要なくなるため、重油削減量は年間約 31 万リットル、経費にして約 2 千 1 百万円の削減が見込まれる。



写真 消化ガス発電施設全景
(平成 28 年 2 月撮影)

③ 二酸化炭素排出量の削減

環境面では、消化ガス発電による電力量を一般電気事業者が発電した場合と比較し、二酸化炭素削減量は年間約 2,500 t であり、宇都宮市の一般家庭の年間二酸化炭素排出量に換算して約 360 世帯分に相当する。

5. おわりに

近年、下水道は資源の宝庫として注目を集めている。宇都宮市では、50 年前の「水の再生」から始まり、これまで「下水汚泥の資源化利用」の推進や、「消化ガス発電」の導入と革新的な技術を取り入れてきた。

今後も持続可能な循環型社会の形成に貢献できるよう、時代と共に変化するお客様ニーズへの対応、より一層のサービス向上に努め、企業努力による経営基盤の強化を図り、信頼され続ける上下水道事業を目指し、職員一丸となって努力していく。



写真 消化ガス発電起電式
(平成 28 年 3 月撮影)

特集：消化ガスの有効利用にかかる様々な導入事例 & バイオマス産業都市構想の取組み

解説

八重田浄化センターにおける 消化ガス有効利用事業について ～民設民営型の FIT 制度を活用した 消化ガス発電事業～

青森市環境部 八重田浄化センター
施設管理チーム 主幹 木村 龍太

キーワード：消化ガス発電、官民連携、民設民営、FIT

1. はじめに

青森市は、平成 17 年 4 月に旧浪岡町と合併し、中核市に移行しました。青森県のほぼ中央に位置しており、北は陸奥湾、南は八甲田連峰と雄大な自然に囲まれています。平成 28 年 4 月 1 日現在において、行政区域面積は約 82,461 ha、行政人口は 290,721 人、下水道普及率は 80% となっています。(写真 1、表 1 参照)

青森地区(旧青森市)の下水道処理施設は、旧青森市の中心市街地から東側一体を処理区とする八重田浄化センター(昭和 48 年 4 月供用開始)と、市街地の西側一体を処理区とする新田浄化センター(昭和 61 年 11 月供用開始)の 2 箇所に分かれており、浪岡地区(旧浪岡町)においては、流域関連公共下水道として処理されています。

八重田浄化センターは、昭和 48 年に合流式下水処理場として供用開始しましたが、その後、平成 12 年に分流式の汚水処理施設が増設され、現在は日最大処理量 94,000m³ (合流 64,000m³ + 分流 30,000m³) の処理能力を有しています。(表 2 参照)

水処理方式は、合流、分流ともに標準活性汚泥法を採用し、汚泥処理は、重力濃縮、機械濃縮、嫌気性消化、脱水の過程を経て処理され、最終的に発生する脱水汚泥は民間委託によりコンポストの原料としてリサイクル処理されています。



写真 1 八重田浄化センター全景

表 1 下水道普及率 (平成 28 年 4 月 1 日現在)

処理区	行政人口 (人)	処理人口 (人)	普及率 (%)
八重田処理区	178,526	155,030	86.8
新田処理区	93,632	64,270	68.6
小計	272,158	219,300	80.6
浪岡処理区	18,563	13,278	71.5
合計	290,721	232,578	80.0

表 2 各浄化センターの処理能力

処理場名	現有処理能力 (m ³ /日)	処理水量 平均 (m ³ /日)	脱水汚泥 処分量 (t-Wet/年)
八重田浄化センター	94,000	83,349	9,411
新田浄化センター	26,400	16,991	2,672
合計	120,400	100,427	12,083

2. 消化ガス発電に取り組んだ経緯

下水道資源の一つとして処理場内の汚泥処理過程で発生する消化ガスは、バイオガスの一種であり、主成分がメタン（濃度約 60%）であることから、ボイラー等の燃料として処理場内で以前から利用されてきましたが、その発生量の約 6 割は単に焼却処理されており、エネルギーとしては捨てられていたものです。

この未利用エネルギーを有効に活用するため、青森市では、まず、比較的施設の新しい新田浄化センターにおいて消化ガスを利用した発電事業に着手することとしました。

(1) 新田浄化センターへの消化ガス発電設備の導入

新田浄化センターは処理能力 26,400m³/日の分流式標準活性汚泥法の処理場です。発電施設の建設は、平成 23 年度に市が事業主体となって建設工事を行い、25kW のマイクロガスタービン発電機を 3 台導入しました。発電施設は平成 24 年 7 月に完成し、

発電電力は全て処理場内の電力の一部として利用されています。

平成 27 年度の実績によると、消化ガス発生量が約 60 万 m³/年、発電電力量が約 58 万 kWh/年となり、発電機導入前と比較して約 25% の電力購入量が削減されています。また、二酸化炭素に換算して約 320t-CO₂/年の温室効果ガスの削減に寄与しています。

(2) 八重田浄化センターにおける消化ガス有効利用事業の検討

八重田浄化センターでは、これまで場内で発生する消化ガスは、消化槽加温用の温水ボイラーの燃料として約 4 割を利用し、残りは余剰ガスとして焼却処理していました。また、消化ガスの発生源となる汚泥処理施設として、ガス攪拌方式の消化槽 2 槽と分離槽 1 槽を有していましたが、機器の老朽化に伴い、平成 21 年度から平成 24 年度にかけて、消化槽 2 槽を機械攪拌式へ改築し、更に分離槽を消化槽へと機能改造しました。これによって、消化容量と消化率が向上し、消化ガス発生量も 17% 程増加しています。

当初、八重田浄化センターにおける消化ガス発電の事業化は、消化槽の改築工事完了後に、新田浄化センターと同様の方式で行う予定でしたが、改築工事が完了した年の 7 月から固定価格買取制度（FIT 制度）が開始されたことに伴い、事業方式について検討の余地が広がり、新たためてコスト比較を行い導入方式を再検討することとしました。



図 1 事業スキーム

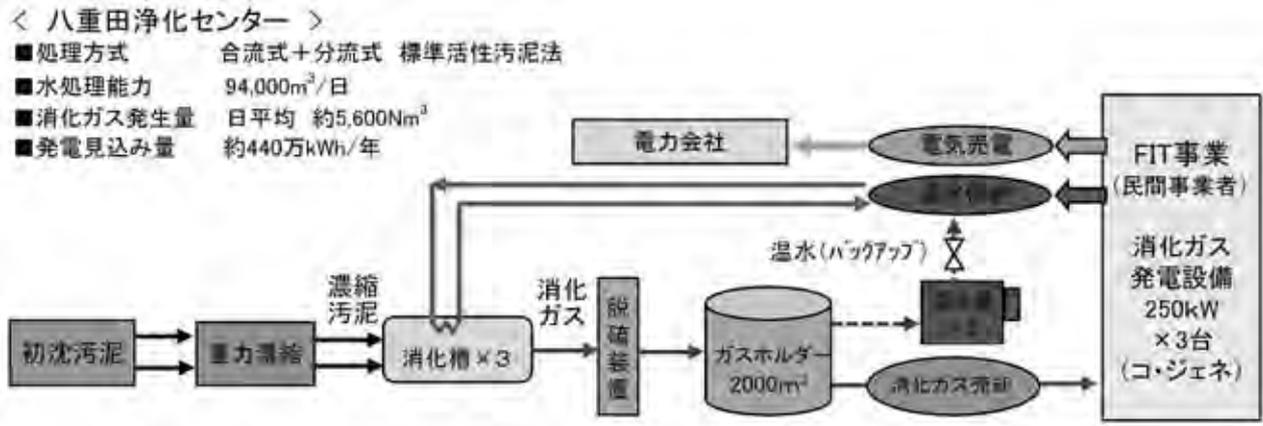


図2 八重田浄化センター消化ガス発電イメージ図

3. 事業方式の再検討

FIT 制度の開始に伴い、改めて事業方式を比較検討した結果、

- ①設計期間の短縮が図れること、
- ②建設・維持管理費の低減が図れること、
- ③事業認定範囲を縮小できること、
- ④他の再生可能エネルギーと比較して買取価格が高く採算性が高いこと、
- ⑤環境性能の高い再生可能エネルギーを利用した電力の地域供給が実現できること、

などの利点があることから、FIT 制度を活用し、事業主体を民間事業者とした方が優位性があるとの判断に至ったものです。事業化の方針として、事業者へ燃料として消化ガスを提供（売却）し、FIT 制度を活用して発電事業を行う民設民営型の方式を採用することとし、平成 26 年度に、コンサル会社による発電事

業の可能性調査を経て、公募型プロポーザルを実施したものです。（図 1、図 2 参照）

4. 公募型プロポーザルの実施

FIT 制度の調達価格は毎年度末に見直しが行われることから、事業効果を最大限生かすために、年度内に事業認定を取得するべくスケジュールを検討し、公募型プロポーザルの実施により優先交渉権者を選定し、基本協定の締結後、事業者が事業認定の取得及び電力会社との系統連系協議を進め、平成 26 年度内に FIT 調達価格の決定に至ったものです。

また、平成 27 年 4 月には優先交渉権者である月島機械(株)と消化ガス売買契約及び行政財産の貸付（土地貸借）契約を締結し、同年 8 月に着工、平成 28 年 3 月下旬に完成し、完成と共に発電（売電）及び消化ガスの売却を開始しました。（写真 2、3、4 参照）



写真 2 消化ガス発電施設全景①



写真 3 消化ガス発電施設全景②

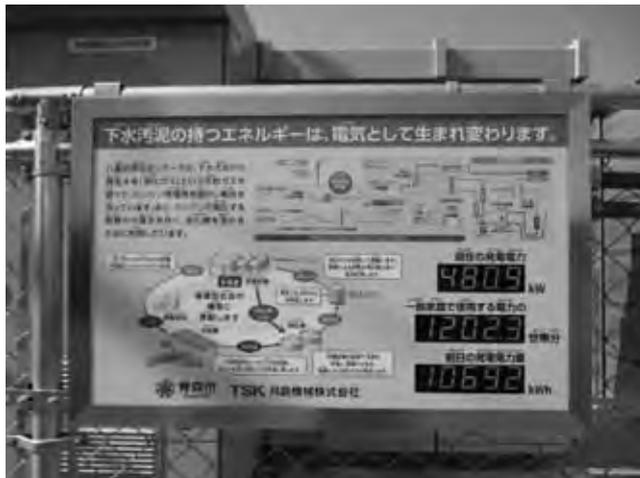


写真 4 発電表示パネル

益は、下水道事業の経営健全化のために有効に活用されます。また、環境面においては、再生可能エネルギーによる発電電力を年間で約 440 万 kWh 供給することが可能となります。これは、一般家庭の電力使用量に換算すると約 1,200 世帯分の年間の電力使用量に相当するものです。また、これに伴う二酸化炭素排出量の削減効果は年間約 2 千 4 百 t-CO₂ の排出抑制に貢献するものです。(表 5 参照)

表 3 消化ガス発電施設概要

項目	仕様
発電機種別	ガスエンジン発電機
発電出力・台数	250kW×3台
発電効率	36.2%
燃料消費量	約 120Nm ³ /h
回収可能熱量(温水)	約 1,200MJ/h
排熱回収効率(温水)	47.3%
付帯設備	<ul style="list-style-type: none"> ・消化ガス昇圧ブロワ 3台 ・シロキサン除去装置 2基 ・循環温水増圧ポンプ 3台 ・温水ボイラー(熱交換) 3台 ・発電表示パネル 1台 ・高圧受変電設備 1式
事業用地貸付面積	262.2m ²

5. 導入システムの概要

導入システムの内容は、プロポーザル方式による事業者からの提案を採用しており、発電機の仕様や設置台数、運転方案、維持管理計画、監視体制を含め、事業期間 20 年間にわたる収支計画を提案書として提出して頂いたものです。また、消化槽の加温用として、温水を供給してもらうことを条件付けしており、電気と熱の両方を有効に利用するシステムとなっています。

青森市は降雪量が多く、海に面した処理場であることから、冬季間の積雪や凍結防止を考慮したうえで、各機器の凍結防止や温水配管の保温などの対策を施し、排熱回収効率の高いガスエンジンの採用が提案されたものです。また、ある程度の消化ガス量の変動に対応するため、発電機の台数は常用で 2 台運転、消化ガス発生量が多い時は 3 台運転と、ガスホルダーのレベルによって運転台数を制御する仕様となっています。(表 3、表 4 参照)

6. 導入効果

本事業を官民連携事業とし、それぞれの得意分野を役割としたことにより、短時間で効率的に事業を進めることが出来ました。民設民営型としたことで、インシヤル・ランニングコストが不要となり、市自らが事業主体となる場合に比べ採算性が高いのが一番のメリットになります。

本事業で見込まれる効果として、財政面においては、消化ガスの売却により年間 4 千万円程度の収益が 20 年間にわたり安定的に見込まれるものであり、この収

表 4 消化ガス供給条件

項目	仕様
消化ガス供給見込み量	約 210 万 Nm ³ /年
消化ガス低位発熱量	22MJ/Nm ³ 程度
消化ガス供給圧力	1~3kPa 程度
メタン濃度	60±2%程度
硫化水素濃度	10ppm 程度
シロキサン濃度	0.5mg/Nm ³ 程度

表 5 発電状況 (H 28 年度実績)

月	発電量	消化ガス売却量
4月	320,332kWh	161,395Nm ³
5月	353,033kWh	180,350Nm ³
6月	363,921kWh	186,600Nm ³
7月	331,471kWh	175,350Nm ³

7. 今後の展望

今回の消化ガス有効利用の事業化により、消化ガス全量を電力供給へのエネルギーとして利用することとなり、従来から行われてきた脱水汚泥のコンポスト化及び処理水を利用した融雪などと併せ、下水道資源の有効活用が一層図られることとなりました。

今後は、20年間という長期間、安定的に消化ガスを供給して行くことが重要であり、パートナーである発電事業者との協力の下、安定的な事業の継続に努めて行くことが大切になります。

消化ガスを利用した発電電力は、24時間通年で供給可能なベースロード電源となるものであり、下水道資源をエネルギーとして活用する新たな付加価値が加わることによって、下水道の持つインフラ機能が拡大し、社会的重要度が高まることとなります。

近年は、新たな技術開発により消化ガスから水素、二酸化炭素を分離して活用する手法や、消化ガスの発生を増加させるための他のバイオ資源との混合処理なども研究が進んでいることから、今後も、新技術の動向を注視し、将来の下水処理場が持つべき機能や役割、その実現の可能性について検討を続けて参ります。

特集：消化ガスの有効利用にかかる様々な導入事例 & バイオマス産業都市構想の取組み

バイオマス産業都市構想の 現状について

編集委員会事務局

我が国は農村部・都市部等において下水汚泥、木質、食品廃棄物、家畜排せつ物などの豊富なバイオマスを有しており、地域のバイオマスをエネルギーやマテリアルとして創意工夫を活かして活用する産業の展開は地域に新たに付加価値を創出し雇用と所得を確保するとともに、活力あるまちづくりにつながるものと期待されます。

このため我が国においてはバイオマスニッポン総合戦略に基づくバイオマスタウン構想やバイオマス活用推進基本法が施行されました。また、地域推進計画の円滑な策定に資するため「バイオマス活用推進基本法に基づく都道府県及び市町村によるバイオマスの活用の推進に関する計画の策定の推進について」及び「都道府県・市町村バイオマス活用推進計画作成の手引き」が作成されました。

さらにバイオマスについてはその利用技術の到達レベルの横断的な評価に基づき、関係7府省・自治体・事業者が連携し、コスト低減と安定供給、持続可能性基準を踏まえつつ、技術とバイオマスの選択と集中によるバイオマス活用の事業化を重点的に推進し、地域におけるグリーン産業の創出と自立・分散型エネルギー供給体制の強化を実現していくための指針として「バイオマス事業化戦略」が策定されました。

この事業化戦略においては関係の連携により木質、食品廃棄物、下水汚泥、家畜排せつ物などの地域バイオマスの原料生産から収集・運搬・製造・利用までの

経済性が確保された一貫システムを構築し、バイオマス産業を軸とした環境にやさしく災害に強いまちづくり・むらづくりを目指す「バイオマス産業都市」の構築を推進することとされ、関係7府省が共同でバイオマス産業都市の構築を目指す地域を選定し、支援していくこととしています。

バイオマス産業都市づくりには、バイオマスの生産から収集・運搬・製造・利用まで関係者が多数存在すること、地域全体での取組みであることから、地域の実情に応じて以下の3ケースの主体がバイオマス産業都市構想を作成するものとします。

- ① 市町村（単独又は複数）
- ② 市町村（単独又は複数）と当該市町村が属する都道府県の共同体
- ③ ①又は②と民間団体（単独又は複数）との共同体

このような中、平成27年度には12地域が新たに選定され、平成26年度までに選定された22地域と合せて合計34地域がバイオマス産業都市構想の実現・具体化に向けた取組みが進められることとなりました。

本誌においては既に、新潟市、津市、浜松市、南三陸町、洲本町、みやま市、佐伯市よりバイオマス産業都市構想の取組みについて寄稿をいただいております。今回の特集では新たに宗像市、飯南町の2都市より寄稿をいただき、紹介をさせていただきます。

特集：消化ガスの有効利用にかかる様々な導入事例 & バイオマス産業都市構想の取組み

解 説

宗像市バイオマス産業都市構想概要

宗像市市民協働環境部環境課

キーワード：バイオマス、堆肥事業、地産地消

1. はじめに

宗像市は、人口約9万6千人程度、北の海岸線一帯は玄海国定公園に指定され、好漁場である玄界灘に面し、七夕伝説発祥の地と言われる県内最大の島・筑前大島があり、沖合60キロには「『神宿る島』宗像・沖ノ島と関連遺産群」として世界文化遺産に推薦されている海の正倉院・沖ノ島がある。

また、土地の1/3以上が山林であり、平坦地の多くは田畑として利用されているが、政令市である福岡市と北九州市の中間に位置し、JR鹿児島本線や国道3号及び国道495号が通過するなど、両都市への交通アクセスが充実している。

その便利の良さから活気あふれる学術・文化都市として学童保育、医療費補助などの子育て支援や、教育・文化の充実、インフラ面の生活基盤も整備されており、人口は微減を想定している。

宗像市の産業構造は、一次産業の就業者は1.2%と少なく、三次産業の就業者は86.3%と大部分を占めており、産業分類では「卸売業、小売業」が24.2%と最も多くなっている。

宗像市では豊かな自然環境や歴史的建築物等の環境資源を活用し、市民のみなさんと協働でまちづくりを行えるように、平成17年に「第1次宗像市総合計画」を策定し、「後期基本計画(平成22年度～平成26年度)」

に従い、さまざまな事業を行ってきた。

しかし、少子高齢化による生産年齢人口の減少、再生可能エネルギー利用拡大や地方分権による地域ブランド力の確立等の新たな課題が発生した。

これら現状を踏まえ、宗像市の自然環境の保全、及び限られた地域資源の有効活用を推進しながら、地域の自主性と自立性を保てる持続的な発展ができるように、利用されずに焼却されているバイオマスを活用し、温室効果ガス排出量削減や再生可能エネルギー創出等の環境負荷を減らす体制を構築する宗像市バイオマス産業都市構想の策定を行った。

2. バイオマス利用の現状と課題

宗像市のバイオマス賦存量と現在の利用状況を以下に示す。

宗像市の農業は、水稻と麦類を主として、キャベツやいちごなど多様な品目が栽培され、鶏(ブロイラー)や肉牛の畜産も行われており、表1より、バイオマス賦存量は牛及び鶏の家畜排せつ物が最も多く、次に食品廃棄物、汚泥及び農業系バイオマスが発生していることがわかる。

これらのバイオマスの内、家畜排せつ物や農業系廃棄物(稲わら・麦わら等)、し尿汚泥については、既に堆肥化が実施されているが、家庭系に比べて分別が容易な事業系厨芥類や、剪定枝・刈り草については、

一部が堆肥化やBDF化等で利用されているものの、ほとんどが焼却処理されている。

また、下水に関しては処理中に発生するメタンガスについて約2割を温水ボイラー燃料として利用しているが、残りのガスは焼却処分しており、発生する汚泥

についても全量を焼却している。

以上のことから宗像市の課題として、利用されずに焼却されているバイオマスを有効利用し、温室効果ガス排出量削減や再生可能エネルギー創出等の環境負荷を減らす体制を構築することがあげられる。

表 1

【貯存量】					【利用状況】			
項目	分類	把握項目	有無	発生量 (t/年)	把握方法例	変換・処理 方法	利用量 (t/年)	利用率 (%)
家畜 排せつ物	牛	乳牛(ふん)	○	845	頭数×発生原単位	堆肥化	845	100.0
		乳牛(尿)	○	202	頭数×発生原単位	堆肥化	202	100.0
		肉牛(ふん)	○	21,671	頭数×発生原単位	堆肥化	21,671	100.0
		肉牛(尿)	○	7,268	頭数×発生原単位	堆肥化	7,268	100.0
	馬	採卵	○	4,866	羽数×発生原単位	堆肥化	4,866	100.0
		ブロイラー	○	13,229	羽数×発生原単位	堆肥化	13,229	100.0
食品廃棄物	一般廃棄物系 厨芥類	家庭系	○	8,145	ごみ組成等より算出	焼却	0	0.0
		事業系	○	945	アンケート、ヒアリング	焼却	0	0.0
	廃食用油	家庭系	○	75	世帯数×発生原単位	BDF化、 焼却	8	10.6
		事業系	○	34	多量排出事業所※1 アンケート調査	BDF化、 焼却	7	20.6
木質 廃棄物	剪定枝	家庭系	○	1,000	他自治体発生量の人口按分	焼却	0	100.0
		事業系	○	189	H24年度実績からの推計値※2 (公園系+街路樹系)	チップ化、 焼却	94	50.0
	刈り草	家庭系	○	500	アンケート、ヒアリング	チップ化	500	100.0
		事業系	○	267	H24年度実績からの推計値※2	チップ化、 敷き藁	133	50.0
汚泥	下水処理・ 集落排水汚泥	下水処理・ 集落排水汚泥	○	4,600	施設維持管理データ	焼却	0	0.0
	し尿処理・ 浄化槽汚泥	し尿処理・ 浄化槽汚泥	○	1,300	施設維持管理データ	堆肥化	1,300	100.0
農業系未利用 バイオマス	稲わら・麦わら	稲わら	○	5,422	作付面積×発生原単位	敷き込み (土壌還元)	5,422	100.0
		麦わら	○	2,030	作付面積×発生原単位	敷き込み (土壌還元)	2,030	100.0
	もみ殻・ふすま	もみ殻	○	1,547	稲取穫量×発生原単位	敷き込み (土壌還元)	1,547	100.0
		ふすま	○	367	麦取穫量×発生原単位	敷き込み (土壌還元)	367	100.0
切捨て間伐材・ 林地残材	雑木・竹		○	160	H24年度10月までの実績 から推計	チップ化、 敷き込み (土壌還元)	160	100.0

3. バイオマス産業都市認定に至るまで

先に述べた現状と課題を解決するために、宗像市では平成 25 年に有識者やコンサルタントを含んだ宗像市バイオマス産業都市構想検討委員会を発足し、利用するバイオマスの種類、処理方法や条件等について協議し、その効果を想定した。

この検討委員会の中で平成 25 年度農山漁村 6 次産業化対策事業費補助金の交付を受け、「宗像市バイオマス産業都市構想」を作成し、平成 26 年度にパブリックコメントを実施して市民への周知を行い、意見を聴取した。

そして平成 27 年度に「宗像市バイオマス産業都市構想図」を作成し、国のバイオマス産業都市募集に応募し、東京で関係 7 府省の方とのヒアリング等を経て平成 27 年 10 月に認定を受けた。

4. 宗像市の構想 4 つの柱

宗像市バイオマス産業都市構想において、宗像市は以下のような 2 つの区分に分けて合計 4 つの柱で構成した。

5 年以内に実現させる事業

- (1) 消化ガス発電事業
 - (2) バイオマス堆肥化事業
- 10 年以内に実現させる事業

- (3) バイオガス発電事業
- (4) BDF 製造事業

この 4 つの柱について (1)、(2) は現在実現に向けて計画を進めている段階であり、(3) (4) につい

ては、今後の技術革新に合わせて対象となるバイオマスや手法を見極め、柔軟に対応していく計画としている。

(1) 消化ガス発電事業

対象となる原資は下水処理で発生する「メタンガス」であり、現状の利用方法から、公設公営でマイクロガスエンジンを導入し、発電を行う方式とする。

導入機器の確定については、他市町村で実績のある「マイクロガスエンジン」、「ロータリー式ガスエンジン」、「マイクロガスタービン」、「燃料電池」の 4 機器について経済性、温室効果ガス削減量、導入実績、ガス発生変動への対応の観点から比較検討し、当機器が優位であると判断したためである。

発電した電力については、施設の電气的分離の観点や初期工事費用、温室効果ガス削減目標等の要素を検討した結果、売電は行わず、全て施設内での電力として使用する。

導入効果としては、購入電力量の約 23% を減量、費用として年間約 2,300 万円の削減となる。

また、温室効果ガス削減量について着目すると公設公営の場合年間約 600t の削減となり、宗像市の減量目標の 2 倍を達成することができる。

(2) バイオマス堆肥化事業

対象となる原資は「下水・し尿汚泥」「事業系厨芥類」「剪定枝・刈り草」「海岸漂着した藻」とし、将来的に「家庭系厨芥類」「家畜排泄物」についても検討する。

堆肥化方式は環境影響や設置面積を考慮した結果、密閉型好気性発酵方式で公募し、宗像市が土地を提供して民設民営で行うこととする。

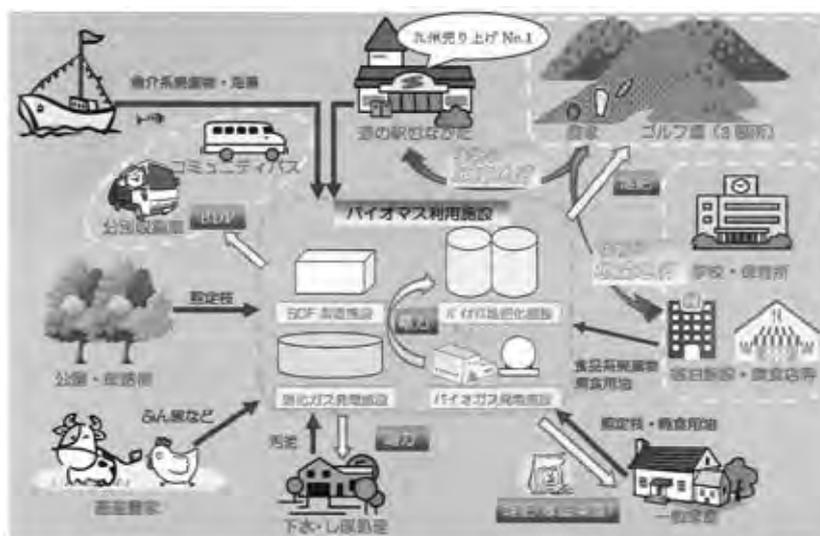


図 1 宗像市バイオマス産業都市構想図

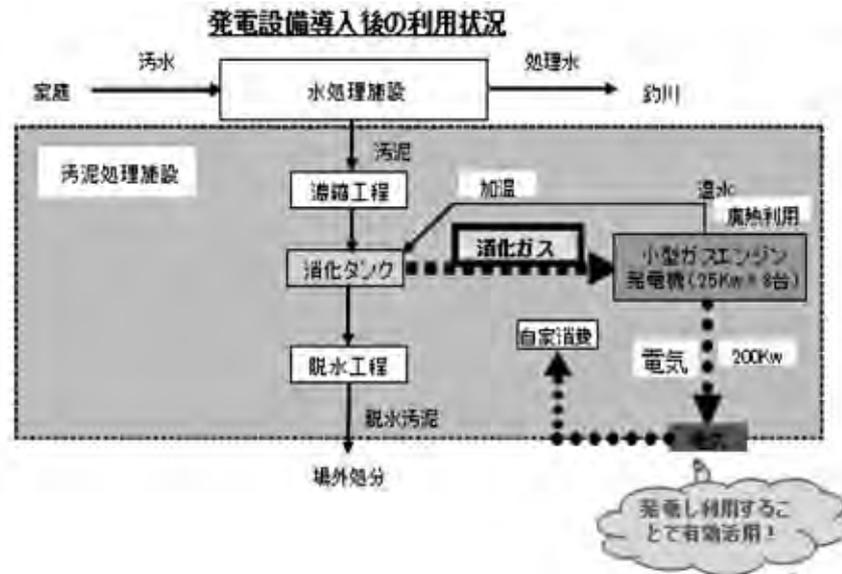


図2 処理フロー

民設民営で行う理由は、継続的で健全な経営を必要とすること、運用に柔軟性を持たせること、新たな雇用を創出すること等が理由として挙げられるが、完全な民間事業者任せではなく、行政としても原資の確保や、市内事業所に施設の利用を促し、また成果物である堆肥の出口を確保するために、積極的に係っていく。

なお、このバイオマス堆肥化施設に投入する原資は、表1 から考えそれぞれ年間表2 を利用目標としている。

これらの資源の焼却処分量を減量すると、以下のような処理費用の削減へ繋がる。

また、対象資源である「事業系厨芥類」について、事業所が厨芥類を分別する必要がある。このことについて、平成18年に「観光振興を目指す食と農の循環研究会」を発足し、収集方法や処理方法、処理後のぼかし肥料の成分調査などの研究を行い、平成20年度から一部地域の事業所で生ごみの分別収集を行い、ぼかし肥料の製造を行った。

表2

下水汚泥	4,600 t (全量)
し尿汚泥	1,000 t (全量)
事業系厨芥類	300 t (約30%)
剪定枝・刈り草	1,600 t (約80%)
海岸漂着した藻	100 t (全量)

表3

品目	数量	単価	金額
下水汚泥	4,600 t/年	14,000 円	64,400 千円
し尿汚泥	1,000 t/年	6,500 円	6,500 千円
一般廃棄物厨芥類	300 t/年	14,000 円	4,200 千円
剪定枝・刈り草	1,600 t/年	14,000 円	22,400 千円
海岸漂着した藻	100 t/年	14,000 円	1,400 千円
合計	7,500 t/年		98,900 千円

この取組みは平成20年度にリサイクル協力事業者数9者、9.4tの生ごみ収集から始まり、研究期間の終期である平成22年度には、リサイクル協力事業者数15者、59.2tの生ごみ収集を行うことができた。

そして、平成23年度からは「観光振興を目指す食と農の循環研究会」のメンバーである事業所が継続しており、成果品であるぼかし肥料は九州で一番の売り上げを誇る「道の駅むなかた」の出品農家の方から好評を博している。

これらの実績から、事業系厨芥類の分別収集は一部地域だけでなく市内全域へ発展させることができ、実現可能性は高いと考えられる。

次に、「剪定枝・刈り草」について、現在では造園業者等から排出される大量のものについては市内に処理可能な場所がなく、自己処理をしてもらっている。

このことからバイオマス堆肥化施設を市内に設置し、「剪定枝・刈り草」の受入れ先をつくることはごみの適正処理につながり、地域に貢献できるものと考えられる。

以上のことからバイオマス堆肥化施設を設置することは、第一に大きなごみ減量施策となり、合わせてごみ処理経費の削減、そして製造した堆肥を農家へ販売することで地産地消のまちづくりへと繋がる。

(3)、(4) バイオガス発電事業、BDF 製造事業

これらの事業に関しては、前述したとおり今後の技術革新を見て事業採択をしていく。

5. 事業の現状と予定

(1) 消化ガス発電事業

平成27年6月に工事を発注し、国土交通省の社会資本整備総合交付金で補助金を受けて建設を行っている。

使用機器はマイクロガスエンジン25Kwの発電機を8台導入し、合計200Kwでの運転を計画しており、平成28年10月より操業を開始する予定としている。

(2) バイオマス堆肥化事業

平成27年10月に新たに宗像市バイオマス検討会を発足し、その中でバイオマス堆肥化施設用地の候補地を選出し、平成28年2月に候補地を庁議決定をした。

今後は設置に向けて地元自治会との調整を行い、合意を得られ次第都市計画の変更等設置に向けた事務手続きを行う。

また、宗像市関係部署に有識者やコンサルタントを加え、新たに事業者の選考委員会を発足し、バイオマス堆肥化施設の設置・運営を行う事業者の公募要領を作成し、平成28年度中に決定する予定である。

次に、決定した事業者の事業計画書に基づき、平成29年度中に施設用地の造成工事と、上下水・電気等のインフラ整備を行う。

そして、地域バイオマス産業化支援事業等の適切な補助メニューを利用し、平成30年度に民間事業者で、バイオマス堆肥化施設の設置工事を行い、平成31年度より操業を開始する予定としている。

また、平成31年度の操業に向け製造する堆肥の出口の確保や、事業系厨芥類の分別収集協力事業者確保のための事業者訪問等を積極的に行っていく。

6. おわりに

バイオマス産業都市における温室効果ガス削減や循環型社会構築の課題は、宗像市だけに限られるものでなく全国規模の課題となっている。

そこで、この宗像市バイオマス産業都市構想を宗像市のみで完結させるのではなく、当構想の特徴である民設民営の柔軟性を存分に生かし、広域的で効率的な処理等ができるよう近隣市町村と協力し循環型社会を構築していくことが将来的に必要であると考えられる。

特集：消化ガスの有効利用にかかる様々な導入事例 & バイオマス産業都市構想の取組み

解説

飯南町における バイオマス産業都市構想の取組み

飯南町産業振興課
田村 剛

キーワード：第1次産業、飯南ブランドの構築、地域内雇用の創出

1. はじめに

平成17年に旧赤来町と旧頓原町が合併して発足した飯南町は、鳥根県の中南部に位置し、広島県との県境をなす中国山地の豊かな自然に育まれた地域である。町内には琴引山や大万木山など標高1,000m前後の山々があり、平坦部でも標高が約450mと高く、県内でも代表的な高原地帯である。



昭和35年に13,000人を超えていた人口は、その後減少の一途を辿り、現在では5,104人（H28.7時点）となり、ピーク時の4割にまで減少している。

総面積は242.88km²、そのうち山林面積が約90%を占め、豊富な森林資源に恵まれている。しかしながら、木材価格の低迷や過疎化の進行により林業従事者は減少し、林業は衰退傾向にある。そのため、ナラ枯れ、竹林荒廃、間伐での未利用材放置など山林の荒廃が進み、それに伴って有害鳥獣出没による農作物への被害の増加などへも波及し問題となっている。

本町では「里山再生」を町の重点施策として掲げ、平成20年度に策定した「飯南町バイオマスタウン構想」に基づき、林業再生とあわせて木質バイオマスの

利活用推進に取り組み、平成27年度には「飯南町バイオマスタウン構想」をより進歩させた「飯南町バイオマス産業都市構想」を策定した。（図1）

2. バイオマスの利用状況と課題

(1) 家畜排泄物

本町で最も多いバイオマスは家畜排泄物である。町内の2箇所の堆肥センターや畜産農家の所有施設で全量堆肥化され、水田の基肥や野菜栽培の土壌改良材として利用されている。

しかし、近年は農家の経営が逼迫し、家畜排泄物処理としての堆肥化のコストが削減され、副資材の使用量不足、水分調整不足による発酵不良、それに伴うヒエの発生が問題となっている。そのため、堆肥利用量の減少や米収穫量の減少、米の食味低下への影響が懸念されている。

(2) 家庭および事業ごみ

本町から発生するごみは、家庭ごみ・事業ごみを問わず、雲南市・飯南町事務組合が管理運営する「いいしクリーンセンター」に集約されている。飯南町から排出されるごみの量は1,519 t / 年（平成25年度実績）であり、約18%をリサイクルしている。

全収集ごみの72%を占める可燃ごみは、いいしクリーンセンター内で圧縮梱包処理したものを、大型ごみ焼却施設を有する出雲市へ搬送し、焼却処分を委託

している。しかしながら、平成33年度まで稼動して廃炉になることが決まっていることから、新たなごみ処理手法への転換に向けて早期の方針決定が必要に迫られている状況である。

(3) 下水汚泥

2箇所の公共下水道施設があり、町人口の約5割の汚水を処理している。その下水汚泥は最終的に全量堆肥化され肥料として販売されている。

下水汚泥の発生量は0.5 t /日程度で非常に少ない。

(4) 林地残材

平成22年度より「緑の分権改革」推進事業に取り組み、木質バイオマス利用に関する調査および町営施設への導入可能性を検討するための実証試験を行ってきた。また、平成23年度には、「飯南町新エネルギー設備導入促進事業補助金」を創設し、個人又は事業所に木質バイオマス熱利用設備(木質ペレットストーブ、薪ストーブ、木質ペレットボイラー又は木質チップボイラー)を設置する場合の補助金制度を開設した。

平成26年10月には「飯南木質バイオマスセンター」が竣工し、木質バイオマス利用が本格的に始動したことを受け、「い〜にゃん森の恵み」林活プロジェクトと題し、林地残材収集システムの運用を開始した。平成27年度には4,300m³のおが粉の売り上げがあった。

(5) 稲わらおよび籾殻

稲わらは、家畜飼料や敷料としての利用が期待できるが、現状としてそのほとんどが稲刈りと同時に短く裁断され農地に散布されている。そのため、稲わらの収集においては耕種農家の協力とそれだけの労力が必要となり、飼料や敷料としての利用拡大は難しい。

籾殻は、燻炭にして水田に散布するなど昔ながらの方法で利用されている。ライスセンターから発生する籾殻については、畜産農家の敷料として利用されている。また、町内企業がストーブ燃料としてモミガライトの販売を開始した。安定的な需要の確保が必要である。

(6) 竹

竹は4年に1度の間伐が必要といわれるほど再生が早く、安定した資源供給が計画できることからバイオマス資源としての利用が期待されている。その反面、切り出しと破碎に手間が掛かり燃料としての販売価格が林地残材よりも高くなることから、積極的な利用に至っていないのが現状である。

本町には118haの竹林があるが、手付かずの竹林が多く点在し荒廃が問題となっており、町内企業が切り出した竹をチップ化して燃料として使用するハウス園芸用加温装置の開発を進めている。



図1 飯南町バイオマス産業都市構想概要

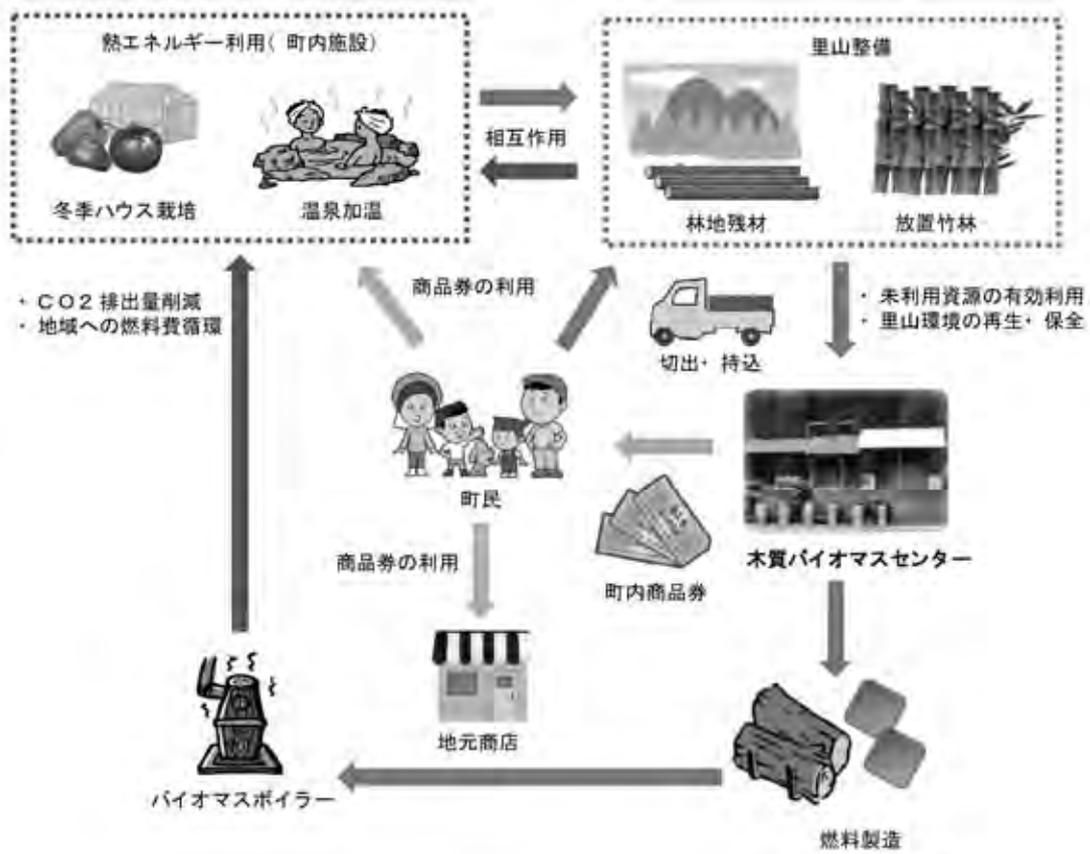


図3 木質バイオマス利用促進プロジェクト

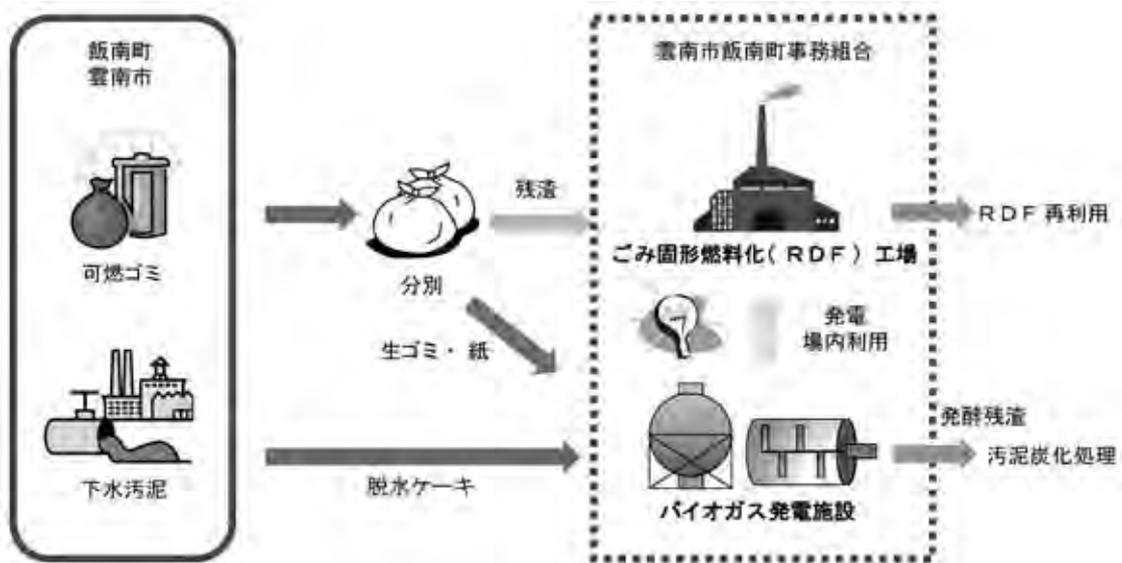


図4 可燃ごみエネルギー利用促進プロジェクト

6. おわりに

本構想は、1次産業を中心とする構想のため、JA、森林組合をはじめ、先に示した推進体制により、情報共有を図りながら事業の進捗に努めていくことが重要

となっている。また、本構想の長期的戦術性を活かしての新産業創出や新規参入など、新たな取り組みに対する意欲向上につなげることにより、バイオマス活用によるエネルギー生産を契機として地場産業並びに新規産業の発展による地域経済波及効果の拡大に向けて進んで参りたい。

研究紹介

塩化揮発法を用いた 下水汚泥焼却灰からのセシウム除去

名古屋大学 大学院工学研究科 エネルギー理工学専攻
窪田 光宏、長野 泰久、松田 仁樹

日本下水道新技術機構 資源循環研究部
落 修一

キーワード：セシウム、塩化揮発、ポルサイト

1. はじめに

下水汚泥処理プロセスで生じる下水汚泥や下水汚泥焼却灰について、我が国では従来からの埋立処理を行いつつ、セメント原料化をはじめとする建築資材利用や緑農地利用などの再資源化を促進した結果、リサイクル率は着実に向上していき、2010年には78%にまで達した¹⁾。しかし、2011年3月11日の東日本大震災に伴う原子力発電所からの放射性元素の放出により状況は一変した。放射性元素により汚染された下水汚泥、下水汚泥焼却灰は行き場を失い、国の管理基準に基づき一時保管されている。東日本大震災から5年を経て、半減期の短い放射性ヨウ素 (^{131}I 、半減期 8.04 日) の影響は小さくなりつつあるが、半減期の比較的長い放射性セシウム (^{134}Cs 、半減期 2.06 年、 ^{137}Cs 、半減期 30.2 年) については、未だ汚染の影響が深刻である。たとえば、横浜市では平成 27 年のピーク時に約 38,000 トンの下水汚泥焼却灰を保管していた。その後、徐々に処分が進みつつあるものの、本年 8 月末現在、なお約 35,000 トンの汚泥焼却灰を保管せざるを得ない状況にある²⁾。この汚染汚泥焼却灰中の放射性物質濃度は、東日本大震災直後に極めて高い値を示して以降低下していき、現在は国の基準である 8,000Bq/kg を下回っている。しかし、今後、さらに汚泥焼却灰の再利用を進めていくには、放射性元素を 100Bq/kg (ク

リアランスレベル) 以下にまで低減することが必要とされ、汚染汚泥焼却灰からの放射性元素、特に放射性セシウムの安全・効率的な除去技術に関する潜在的な要求は今も存在している。

本稿では、上述した背景の下、我々が取り組んできた下水汚泥焼却灰中のセシウムの存在形態として推定されるポルサイトからのセシウムの塩化揮発除去に関する研究成果について、概要を紹介する³⁾。

2. 放射性セシウム除去技術としての塩化揮発法

下水汚泥焼却灰中の放射性セシウムの除去技術としては、これまでに酸抽出、洗浄処理をはじめとする湿式法、ならびに高温焼成処理を中心とする乾式法の検討がなされてきた⁴⁻⁶⁾。

湿式法である酸抽出、洗浄処理は汚泥焼却灰中に保持されている放射性セシウムを酸溶液や水を用いて溶出し、プルシアンブルーやゼオライトなどに吸着させて除去する技術である。本法はセシウムの選択的な分離・回収が可能とされる一方、廃酸・廃液の排水処理プロセスを要する点、吸着材の長期安定性などが課題とされている。

一方、乾式法である高温焼成処理は汚泥焼却灰を高温下で溶融あるいは焼成し、セシウムを気化させて分離・回収する技術である。本法は高い除染率の達成が可能という利点を有する一方、気化を促進する反応促

進剤や気化したセシウムおよび反応促進剤から発生する塩素ガスなどの排気処理プロセスを要する点、濃縮されたセシウムを含む放射性廃棄物の回収・管理などが課題とされている。

このように、さまざまな放射性セシウムの除去技術が検討されている中、我々は塩化揮発法を用いた下水汚泥焼却灰からのセシウム除去に着目している。塩化揮発法は前述した高温焼成法の一つであり、反応促進剤として CaCl_2 、 HCl 、 Cl_2 などの塩化物を用いる。本手法では、金属や金属酸化物が塩化物化すると生成物の融点や沸点が低下することを利用し、金属類の揮発除去をより低温で実現する技術である。塩化揮発法を用いた金属類の揮発除去に関して、我々は平成 23～25 年度に農林水産省「農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業」の助成を受け、下水汚泥焼却灰のリン肥料原料化に関する検討を行った⁷⁾。本助成研究では、汚泥焼却灰を肥料原料化する際に許容値が定められている鉛、ニッケル、クロムなどの重金属類について、 CaCl_2 添加および Cl_2 流通を用いた塩化揮発による分離・除去に関する実験的検討を行い、重金属類の塩化揮発特性を明らかにするとともに、その有効性について検証した。

これまでの知見を踏まえ、我々は下水汚泥焼却灰からの放射性セシウムの除去技術として塩化揮発法の適用を試みた。図 1 に本技術のイメージ、図 2 に酸化セシウム (Cs_2O) および塩化セシウム (CsCl) の蒸

気圧曲線の比較を示す。後述するように、下水汚泥焼却灰中でセシウムはポルサイトなどのセシウムアルミノシリケートの形態で存在すると推定されるため、酸化セシウムとの比較は適切さを欠く面はあるが、同一蒸気圧で比較すると CsCl の方が Cs_2O より低温側に位置しており、塩化物化により低温域での揮発が促進されることが期待される。

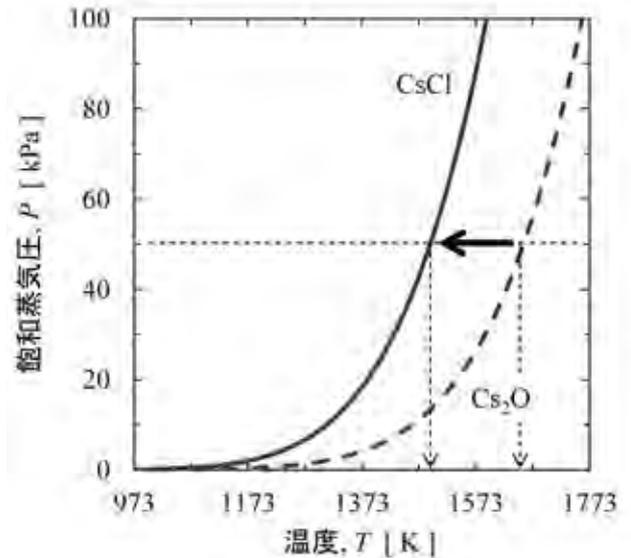


図 2 飽和蒸気圧曲線から見た塩化揮発法の優位性

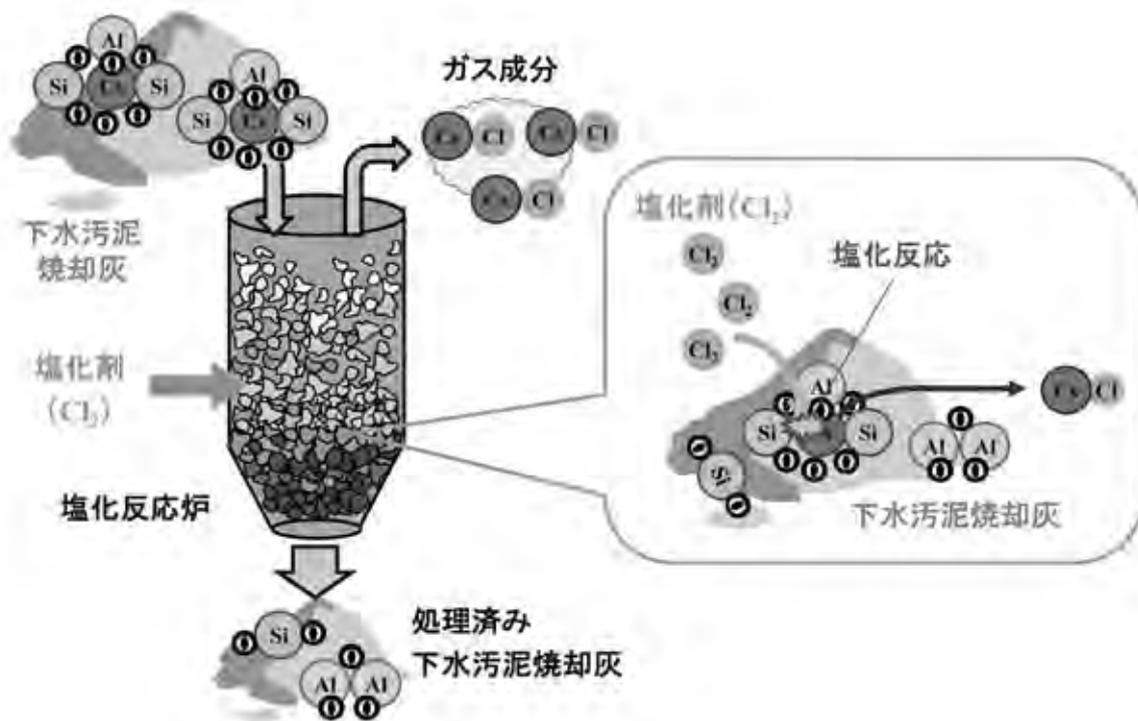


図 1 塩化揮発法による下水汚泥焼却灰からの放射性セシウム除去のイメージ

3. 下水汚泥焼却灰中のセシウム存在形態を想定したポルサイトからのセシウムの塩化揮発実験

3.1 実験試料（ポルサイト）の選定と調製

下水汚泥焼却灰からのセシウムの塩化揮発実験を行うにあたり、まず実験試料の選定を行った。汚泥焼却灰中の放射性セシウムの存在形態は完全には解明されていないが、国立環境研究所による熱力学化学平衡計算や逐次抽出試験法の結果から、汚泥焼却灰中のセシウムは、そのアルミノシリケートであるポルサイト ($CsAlSi_2O_6$) として存在すると推定されていた⁸⁾。そこで、本実験でもポルサイトを選定し、自ら合成して実験試料として用いた。合成方法は 1.0mol/l の $CsNO_3$ (純度 99.9%, 和光純薬) 溶液と Al_2O_3 ゼル (日産化学工業: アルミナゼル 200)、 SiO_2 ゼル (日産化学工業: スノーテックス O) をモル比で $Cs_2O : Al_2O_3 : SiO_2 = 1 : 1 : 4$ となるように混合し、473 K で 3 時間乾燥した。この乾燥試料をマッフル炉で 873K、空気雰囲気中で 24 時間仮焼成した後、焼成物を乳鉢にて粉碎したものを 1373K、空気雰囲気下で本焼成を行った。その後、焼成物を乳鉢で粉碎、ふるい分けを行い、粒子径を 45-63 μm とした。

3.2 実験装置および方法

本実験では、図 3 に示す炭化ケイ素製の発熱体を備えた水平管状電気炉 (モトヤマ: MTSR-430、最高温度 1,873K) にアルミナ製反応管 (ニッカトール: SSA-S チューブ、外径 50mm ϕ × 内径 42mm ϕ × 長さ 1000mm) を挿入した装置を用いた。反応管の両端にはガス配管を接続し、入口側からはガス調整部で濃度を調整した塩素ガスが反応管に流通する仕組みとし

た。また、反応管出口側には硝酸水溶液 (濃度: 5wt%) を入れたバブリング容器を設置し、塩化物化に使用されずに反応管から流出した塩素ガスの吸収を行った。

実験では、45-63 μm に分級したポルサイト 1.0g をアルミナ製試料ポート (ニッカトール: SSA-S ポート 5B、外寸法: 20mm × 13mm × 102mm) に充填した後、所定の加熱温度に保持された反応管の中心部に設置して 5 分間加熱を行うことにより、ポルサイトを加熱温度まで昇温した。この際、反応管内には窒素ガスを流量 300ml/min (流速: 0.36cm/s) で流通させて窒素雰囲気とした。5 分間の加熱後、反応管内の流通ガスを窒素から N_2-Cl_2 混合ガスに切り替えることにより、ポルサイトの塩化物化を開始し、この時間を反応開始時間と定めた。所定時間ポルサイトの加熱を行った後、アルミナポートを反応管中心部から 200mm 離れた位置に移動して 10 分間予冷を行った。さらに、アルミナポートを反応管端部まで押し出して反応管から取り出し、デシケーター中で常温まで冷却した後、試料の分析を行った。なお、本実験では加熱温度を 1173 ~ 1473K、塩素ガス濃度を 0.05 ~ 10% に変化させて、ポルサイトからのセシウムの塩化揮発を行った。

3.3 セシウムの定量方法および評価指標

塩化揮発処理後のポルサイト中のセシウム量の定量は、酸抽出および発光分光分析により行った。具体的には、ポルサイト 0.5g に王水 40ml を加えた後、493K に加熱したホットスターラー上で 1 時間攪拌してセシウムの抽出ならびに試料溶液の濃縮を行った。得られた溶液を常温まで冷却した後、No. 5C の濾紙によりポルサイトと試料溶液を分離した。さらに、試料溶液をイオン交換水で適度な濃度まで希釈した後、ICP 発光分光分析装置 (Agilent technologies: VISTA-MPX) により溶液中のセシウム濃度の定量を行った。前述した手法により決定されたポルサイト中のセシウム量から、本研究では次式に示すセシウム揮発率, X_{Cs} を定義し、評価指標として用いた。

$$X_{Cs} = \frac{W_{Cs,i} - W_{Cs,r}}{W_{Cs,i}} \times 100 \quad (1)$$

本式において、 $W_{Cs,r}$ は所定時間加熱後のポルサイト中のセシウム含有量 [kg-Cs/kg]、 $W_{Cs,i}$ は初期セシウム含有量 [kg-Cs/kg] である。なお、 $W_{Cs,i}$ はポルサイトの試料量から計算されるセシウム量とした。

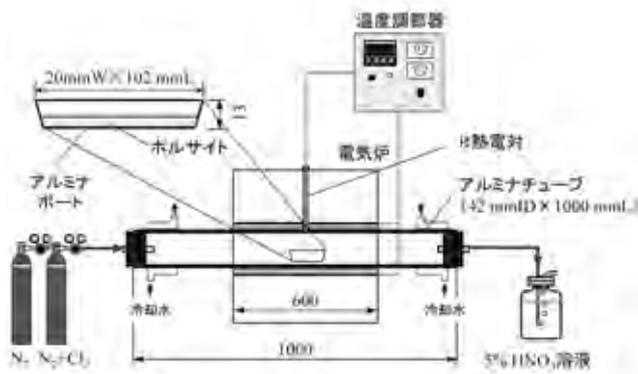


図 3 実験装置図

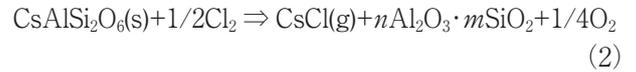
3.4 実験結果および考察

実験結果の一例として、塩素ガス濃度ならびに加熱温度をパラメータとした際のポルサイトからのセシウム揮発率の経時変化を図4および図5に示す。両図において、塩素ガス濃度を変化させた場合は加熱温度を1273Kに固定し、逆に加熱温度を変化させた場合には塩素ガス濃度を1vol%に固定している。なお、図には参考として、窒素のみを流通させてポルサイトの加熱処理を行った際のセシウム揮発率も併示した。

両図より、塩素ガスを流通しない場合は全ての条件で揮発率がほぼ0となっており、ポルサイト中のセシウムは窒素雰囲気下の加熱では揮発しないことが確認された。

これに対して、塩素ガス流通時には、いずれの加熱温度、塩素ガス濃度条件においても時間経過に伴いセシウム揮発率が上昇しており、塩化揮発を用いたポルサイトからのセシウム除去の可能性が示された。これは、加熱下の反応管に塩素ガスを流通させると、ポルサイト中のセシウムと塩素ガスが反応して塩化セシウムが生成し、さらに加熱温度がCsClの融点(918K)以上であるため、セシウムの揮発が生じたものと考えられる。ここで、塩化揮発処理時の実験試料についてXRD分析を行ったところ、セシウムの揮発が進行しつつある加熱時間帯の試料ではポルサイトのピークのみが確認され、CsClやポルサイトの構成成分であるAl₂O₃、SiO₂などのピークは観察されなかった。一方、セシウムの揮発がほぼ完了した試料ではアルミニウム

とシリカの複合酸化物のピークが観察された。以上より、セシウムと塩素ガスの反応で生成するCsClは速やかに揮発して試料表面に残存せず、AlやSiは複合酸化物などの形態で残存するものと考えられ、最終的に式(2)のようにCsClの揮発が生じたものと推察された。



また、両図より、塩素ガス濃度、加熱温度の増大に伴ってセシウム揮発速度も増大する傾向が見られる。より詳細に塩素ガス濃度の影響について見ると、0-1vol%の範囲内では塩素ガス濃度の上昇とともに揮発速度も大きくなるのに対し、1-10vol%の範囲では塩素ガス濃度の上昇による揮発速度の増大効果が小さくなることが明らかになった。なお、本傾向は他の加熱温度でも同様に見られた。次に、加熱温度の影響について、塩素ガス濃度1vol%の場合、加熱開始12時間後のセシウム揮発率は1173Kで43%、1273Kで85%、1373K以上で99%以上となっている。さらに、1373Kでは揮発率がほぼ100%に達するのに12時間を要する一方、1473Kでは1時間以内と、100Kの加熱温度の違いで反応完了時間が1/10以上にまで短縮されており、ポルサイトからのセシウムの塩化揮発では加熱温度の影響がきわめて大きいことが明らかになった。

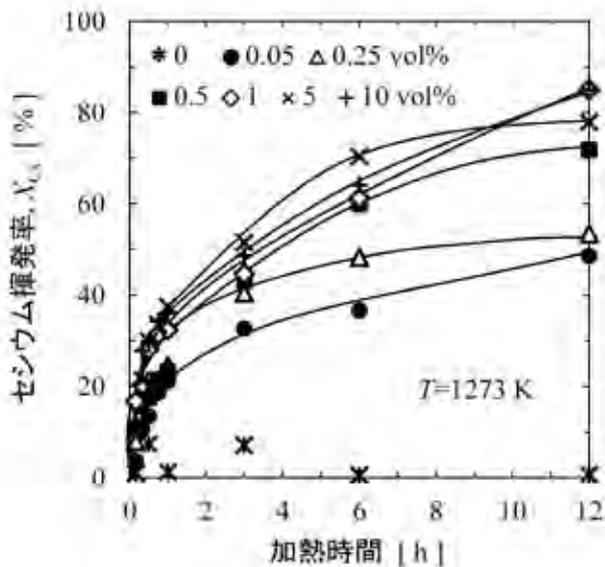


図4 セシウム揮発に及ぼすCl₂濃度の影響

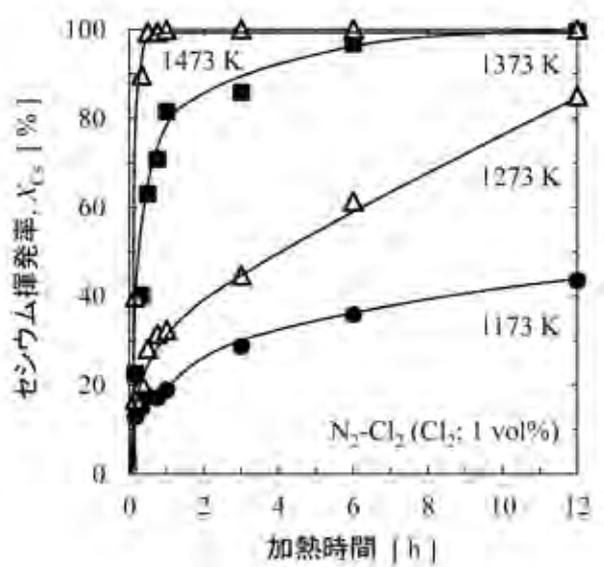


図5 セシウム揮発に及ぼす加熱温度の影響

最後に、本研究における全実験条件について、加熱3時間後および12時間後のセシウム揮発率と加熱温度および塩素ガス濃度との関係を図6にまとめる。本図より、加熱時間、処理条件によらず、塩素ガス濃度に比べて加熱温度のセシウムの揮発率に対する影響が大きい傾向が見て取れる。また、ポルサイト中のセシウムをほぼ完全に揮発除去できる処理条件に着目する

と、処理時間を12時間と想定した場合、塩素ガス濃度0.25vol%以上、加熱温度1373K以上で完全な揮発除去が可能である。さらに、実プロセスを想定して処理時間を3時間と仮定すると、塩素ガス濃度0.5vol%以上、加熱温度1473K以上の塩化処理条件が必要であることが実験的に明らかになった。

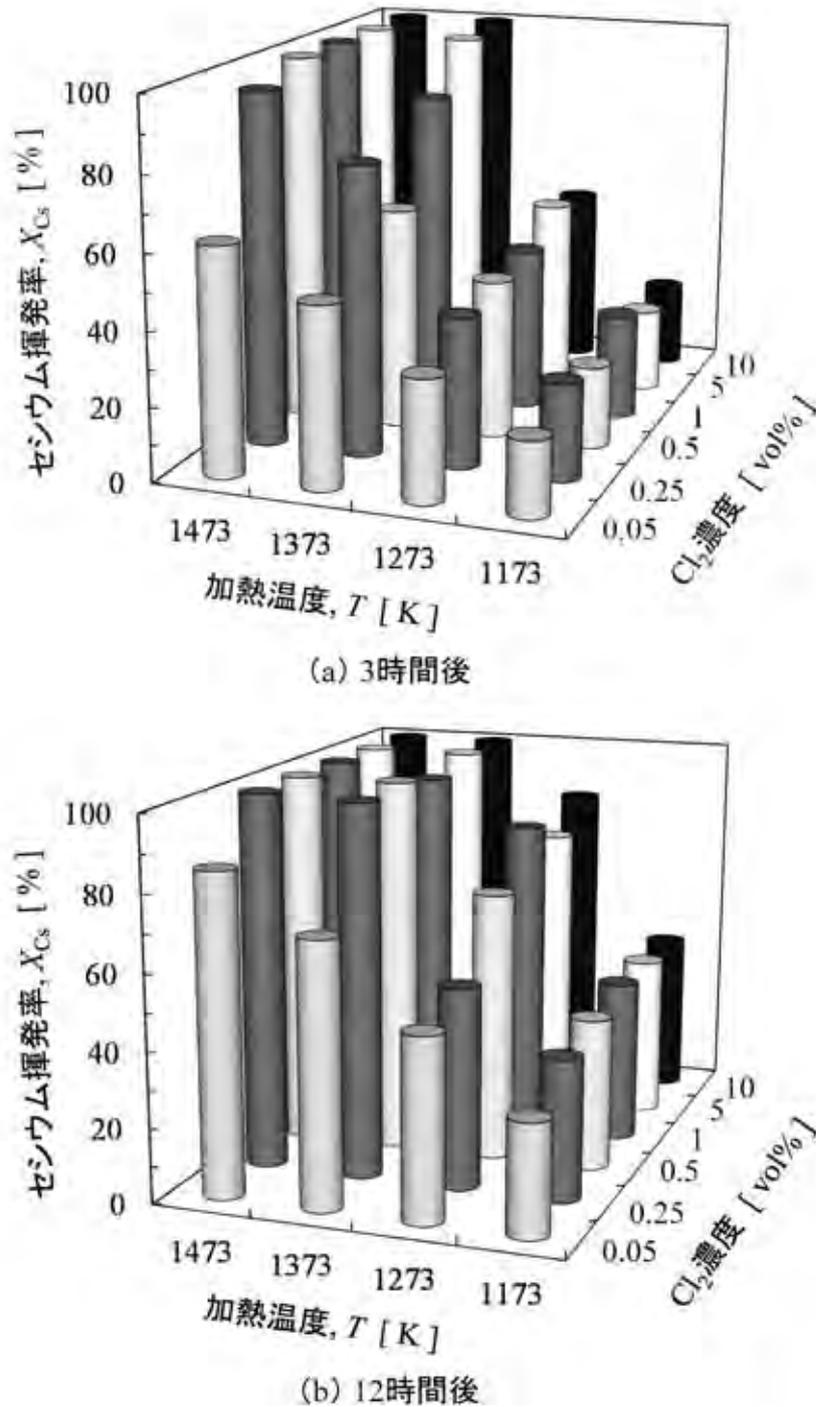


図6 セシウム揮発率に対する加熱温度、Cl₂濃度の影響

4. おわりに

本稿では、放射性元素に汚染された下水汚泥焼却灰からセシウムを除去するための候補技術の一つと考えられる塩素ガスを用いた塩化揮発処理について、その基本概念から実験的基礎検討で得られた成果の概要を紹介した。汚染汚泥焼却灰の場合、時間経過に伴い放射性物質濃度は確実に低下していくが、セシウムの場合でも半減期を迎えるまでに30年以上の長い期間を要するため、能動的にセシウム除去を行わざるを得ない状況も生じるものと考えられる。この際、高い除染率はもちろんのこと、極めて高い安全性が担保されたプロセスが不可欠である。本稿で紹介した塩化揮発法によるセシウム除去は未だ初歩的な基礎検討の段階であり、プロセスの実現に向けては放射性セシウムへの適用性の評価、揮発したセシウムを安全・高捕集率で回収する技術の開発、塩素ガスによる装置の腐食対策や排ガス対策など解決しなくてはならない課題が多い。今後、地道な研究によって塩化揮発処理を放射性セシウム除去の有力な候補技術の一つとして成長させていく必要があると考えている。

参考文献

- 1) 国土交通省：下水道 資源・エネルギー循環の形成
http://www.mlit.go.jp/mizukokudo/seweraage/crd_seweraage_tk_000124.html (閲覧日 2016年9月16日)
- 2) 横浜市環境創造局：下水道・浸水対策 下水汚泥等の放射性物質濃度
<http://www.city.yokohama.lg.jp/kankyo/gesui/housyaseibussitsu/images/20160908.pdf> (閲覧日 2016年9月16日)
- 3) 長野泰久、窪田光宏、松田仁樹、落修一：下水汚泥焼却灰に含まれるセシウムの乾式除去を目的とするポルサイトからのセシウムの塩化揮発特性、廃棄物資源循環学会論文誌、Vol. 27、pp. 16-22 (2016)
- 4) 環境省中間貯蔵除去土壤等の減容・再生利用技術開発戦略検討会(第1回)資料5-2 減容技術の現状と課題について (2015)
http://josen.env.go.jp/chukanchozou/facility/effort/investigative_commission/pdf/proceedings_150721_05_02.pdf (閲覧日 2016年9月16日)
- 5) 川本徹、伯田幸也、田中寿、高橋顕、保高徹生、于涓、南公隆：下水汚泥等に含まれるセシウムの低減化に関する業務、産業技術総合研究所年報(平成23年度実績)、pp. 492 (2012)
- 6) 本間健一、高野博幸、三浦啓一、佐々木忠志、木村武、万福裕造：放射性セシウムで汚染された土壤からの熱処理によるセシウムの除去、粘土科学、第52巻、第2号、pp. 71-73 (2014)
- 7) 落修一、窪田光宏、伊藤歩、成田義貞：下水灰の肥料用原料化技術の開発研究、農業と科学、第663号、pp. 7-12 (2014)
- 8) 国立環境研究所：東日本大震災後の災害環境研究の成果 (2013)
http://www.nies.go.jp/shinsai/saigaikenkyu_all.pdf (閲覧日 2016年9月16日)

Q & A

嫌気性消化を評価する有機物指標について

キーワード：強熱減量、VS、化学的酸素要求量、COD_{Cr}、メタン転換率、回分式実験

Q1 我が国の下水処理場での汚泥の嫌気性消化の維持管理では、有機物量の指標として、蒸発残留物強熱減量（VS）が広く用いられています。一方、北米や欧州を含む海外の多くの国では、有機物量の指標として、酸化剤としてニクロム酸カリウムを用いる化学的酸素要求量「COD_{Cr}」が用いられており、国際水協会の嫌気性消化モデルなどにおいても、COD_{Cr} が用いられます。下水汚泥の VS と COD_{Cr} の指標値の間の関係はどのようになっているのでしょうか。

A1 全国の9か所の下水処理場を対象として、消化工程の投入汚泥と消化汚泥の性状を調査した結果では、図-1に示すように、投入汚泥、消化汚泥とも COD_{Cr}/VS 比は 1.7 程度で、おおむね一定でした。

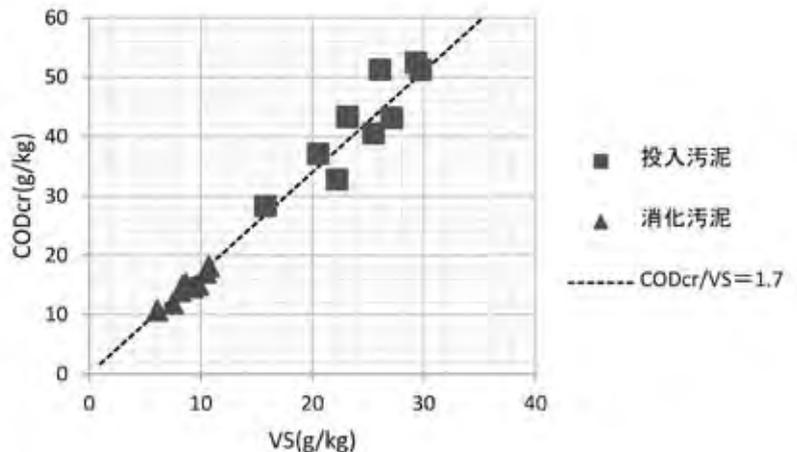


図-1 投入汚泥及び消化汚泥の VS と COD_{Cr} の関係

Q2 嫌気性消化に加えて、消化ガス発電を行っている下水処理場では、発電量が増加することが期待されるため、下水汚泥以外のバイオマスを受け入れる事例が増えつつありますが、これらのバイオマスの VS と COD_{Cr} の指標値の間の関係はどのようになっているのでしょうか。

A2 下水道への受け入れが想定される畜産系廃棄物、食品廃棄物、木質廃棄物の性状を調査した結果を表-1に示します。調査した試料の中では、和菓子食品工場からの食品廃棄物の COD_{Cr}/VS 比は、下水汚泥に比べて大きかったですが、それ以外のバイオマス試料では、COD_{Cr}/VS 比は、下水汚泥に比べてやや小さい傾向が見られました。

表-1 廃棄物系バイオマスの VS と COD_{Cr} の関係の例

	VS (g/kg)	COD _{Cr} (g/kg)	COD _{Cr} /VS (-)	備考
(畜産廃棄物の例)				
牛糞尿	143	155	1.08	
豚糞尿	194	268	1.38	
(食品廃棄物の例)				
キャベツ	87.5	116	1.32	可食部も含めた破砕物
じゃがいも	171	179	1.05	可食部も含めた破砕物
にんじん	89.7	114	1.27	可食部も含めた破砕物
おから	243	378	1.56	食品工場からの実廃棄物
豆皮	366	457	1.25	食品工場からの実廃棄物
和菓子	415	1072	2.58	食品工場からの実廃棄物
(木質廃棄物の例)				
爆砕コナラチップ A	246	285	1.16	1MPa、60 分間で蒸煮爆砕処理
爆砕コナラチップ B	436	628	1.44	2MPa、15 分間で蒸煮爆砕処理

Q3 我が国の下水処理場での汚泥の嫌気性消化の維持管理では、嫌気性消化におけるメタン転換率を評価する指標として、投入VSあたりのメタン発生量が広く用いられています。一方、学術研究などで物質収支を議論する際には、COD_{Cr}による評価がなされます。それぞれの指標で評価した際の、下水汚泥や下水道へ受け入れるバイオマスのメタン転換率の関係はどのようになっているのでしょうか。

A3 下水汚泥に一定割合の畜産系廃棄物、食品廃棄物、木質廃棄物を混合した混合汚泥を基質として長期間連続的に培養した消化汚泥に対して、10%程度の割合で対象となるバイオマスを投入し、消化ガス発生が停止するまでの間に発生したガス量を測定する、投入バイオマスのメタン転換特性を把握する

回分式実験において、投入バイオマスに対するメタン転換率を、投入VSあたりのメタン発生量とCOD_{Cr}ベースでの転換率の双方で整理した結果を表-2に示します。なお、下水汚泥を用いた回分式実験での投入VSあたりのメタン発生量は、我が国における下水汚泥メタン発酵の平均性能¹⁾(中温条件0.513m³/kg-VS、高温条件0.606m³/kg-VS)に比べるとやや小さい結果となりました。回分式実験では、連続的に基質が投入される条件に比べて、メタン発生量がやや低く評価される傾向があると推定されます。

(参考)メタン1mol(標準状態22.4L)のCOD_{Cr}当量は、酸素分子2mol(64g)であることから、メタンのCOD換算値は、22.4L/64g-COD_{Cr} = 0.35L/g-COD_{Cr}となります。

表-2 回分式実験で測定した下水汚泥、バイオマスのメタン転換率

	中温消化		高温消化	
	投入VSあたりのメタン発生量(m ³ /kg-VS)	COD _{Cr} ベースの転換率	投入VSあたりのメタン発生量(m ³ /kg-VS)	COD _{Cr} ベースの転換率
下水汚泥	0.36	0.58	0.41	0.66
(畜産廃棄物の例)				
牛糞尿	0.29	0.76	0.23	0.60
豚糞尿	0.30	0.61	0.26	0.53
(食品廃棄物の例)				
キャベツ	0.36	0.77	0.39	0.83
じゃがいも	0.30	0.82	0.32	0.88
にんじん	0.36	0.80	0.33	0.75
おから		(未検討)	0.24	0.44
豆皮		(未検討)	0.22	0.51
和菓子		(未検討)	0.57	0.63
(木質廃棄物の例)				
爆砕コナラチップA	0.21	0.51	0.23	0.56
爆砕コナラチップB	0.28	0.55	0.32	0.64

(国立研究開発法人土木研究所 先端材料資源研究センター材料資源研究グループ 資源循環担当 岡安 祐司)

参考文献

- 1) 野池達也 (2009) メタン発酵、技報堂出版 p.141-143
- 2) 公益社団法人日本下水道協会 (2015) 下水汚泥有効利用促進マニュアル：p238-242
- 3) 日高平、王峰、内田勉、鈴木穰 (2013) 回分式実験による下水汚泥と有機性廃棄物の嫌気性消化特性調査、土木学会論文集G(環境)、Vol. 69、No. 7、III_605-III_614

現場からの
声

札幌市西部スラッジセンターの 階段式ストーカ炉と蒸気発電

キーワード：ストーカ炉、蒸気発電、エネルギー自立

一般財団法人 札幌市下水道資源公社下水道事業課
西部事業所長 山崎 昇

1 はじめに

札幌市では、昭和 42 年創成川水再生プラザ、43 年伏古川水再生プラザが相次ぎ運転を開始し、本格的な下水処理が始まった。

昭和 46 年には、全国に先駆けて豊平川水再生プラザの汚泥処理において、直接加熱方式のポーチヤス式熱処理法による前処理を行い、脱水後に焼却処分する方式を導入した。

昭和 58 年には、手稲下水汚泥焼却センター（現西部スラッジセンター）が建設され、その後焼却施設の増設により平成 8 年には市内で発生する脱水汚泥全量

の焼却処分が可能となった。

現在では、図-1 に示す汚泥集中処理フローのとおりに各水再生プラザで発生した汚泥を圧送管により集め、東西 2ヶ所のスラッジセンターにおいて集中処理（脱水・焼却）している。

2. 西部スラッジセンターの焼却施設概要

西部スラッジセンター焼却施設フローを図-2 に示す。

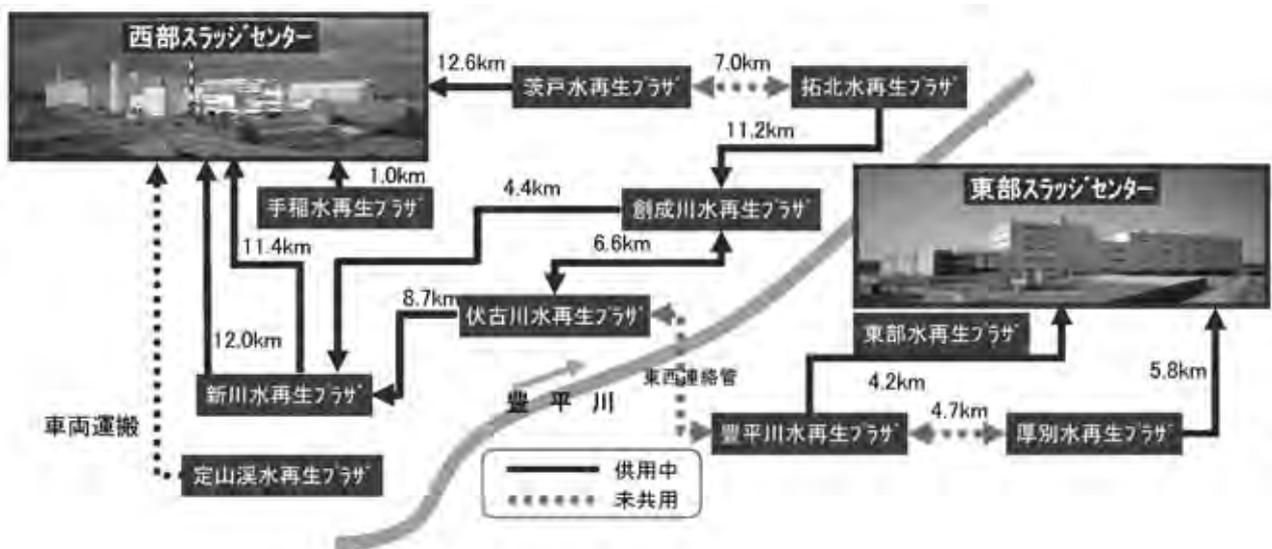


図-1 札幌市汚泥集中処理フロー

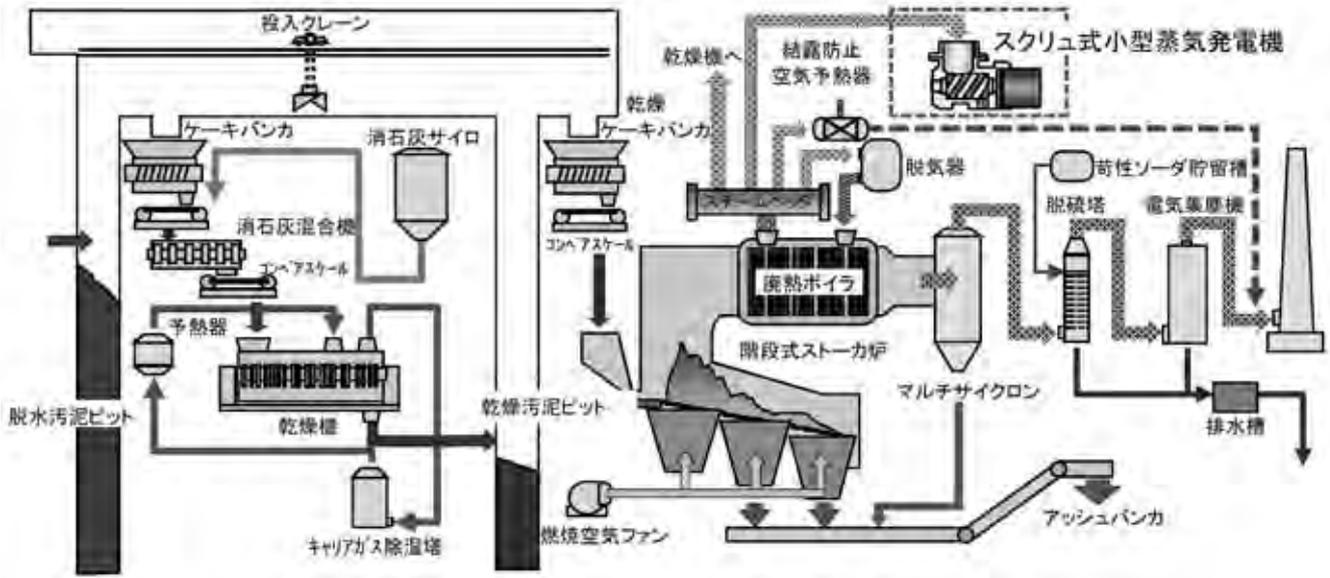


図-2 焼却施設フロー

西部スラッジセンター焼却施設は、脱水汚泥を蒸気間接加熱式乾燥機で乾燥汚泥としたのち補助燃料を使用することなく階段式ストーカ炉で焼却処理している。

- ・乾燥機 伝熱面積 180m² 4基、200m² 2基
- ・焼却炉 階段式ストーカ炉 100t/日 4基、
150t/日 1基
- ・廃熱ボイラ 蒸気発生量 5t/h 2基、6t/h 2基
9t/h 1基
- ・蒸気発電機 スクリュ式小型蒸気発電機
400V 160kW

2-1 階段式ストーカ炉

階段式ストーカ炉は、炉内が階段状の火格子(ストーカ)で構成される。

火格子は可動段と固定段とが交互に配置されており、乾燥汚泥は焼却炉投入ホッパから火格子最上段に一定量供給され、火格子の前後動により上段から下段へ静かに揺動・反転・移動しながら火格子前面より送られる空気と接触し、燃焼する。

燃焼排ガスに含まれる廃熱は、階段式ストーカ炉と一体化の廃熱ボイラにて蒸気として熱回収される。炉と一体構造の廃熱ボイラを具備することで、炉の内部は水冷壁構造による熱吸収が可能となるため耐熱性が高く、900℃以上の高温焼却が可能である。このため、温室効果ガスのN₂Oを大幅に低減することができる。また、主灰は炉の下部より排出されることから、排ガス中のダスト濃度が低く、クリンカの発生が抑えられる。

2-2 スクリュ式小型蒸気発電機

従来の蒸気エネルギーを駆動源とする蒸気タービン方式は、比較的少量の蒸気を必要とするが、近年、低圧・少量の蒸気により発電が可能なスクリュ式小型発電機などが商品化され、蒸気タービン方式に必要な蒸気量が得られない規模においても発電が可能になっている。

平成27年3月に設置したスクリュ式小型発電機は、圧力差がそのまま回転力となるため小型発電機でも高効率を得られ、インバータ制御により蒸気量変動に合わせて、広範囲に無段階で発電できる。

設計値は、供給蒸気量3.1 t/h、発電機の定格出力160kWで、年間の稼働日数320日、平均1時間当たり発電量110kWhを想定し、年間発電量は、約84万kWhとなっている。

3. 施設運転実績

平成27年度施設運転実績を表-1に示す。

豊平川の左岸地区にある6ヶ所の水再生プラザから圧送される汚泥量は年間3,776,064m³、処理実績は脱水汚泥量が146,858t、焼却量が153,748t、発生する焼却灰が17,183tで、焼却灰は半溶融軟質クリンカ状で取扱い性が良く、土木資材やセメント原料として全量有効利用している。

また、重油使用量は、焼却炉立上げ時に使用するのみで、年間8,167Lとなっている。

表-1 平成27年度運転実績

	西部スラッジセンター	5系焼却炉(内数)
受入汚泥量	3,776,064 m ³	-
濃縮汚泥引抜量	1,261,955 m ³	-
脱水汚泥量	146,858 t	-
系外搬入量	7,886 t	-
焼却受入量	154,744 t	-
焼却量	153,748 t	51,204 t
焼却灰	17,183 t	6,957 t
蒸気発生量	180,012 t	51,883 t
蒸気使用量	163,115 t	71,996 t
発電電力量	883,221 kWh	883,221 kWh
動力電力使用量	10,740,473 kWh	3,191,393 kWh
(内)買電電力量	9,857,252 kWh	2,308,172 kWh
発電割合	8.2 %	27.7 %
重油使用量	8,167 L	1,070 L

表-2 平成27年度プロセス用蒸気収支

蒸気発生量	180,012 t
蒸気使用量	163,115 t
キャリアガス予熱器	7,295 t
乾燥機	117,261 t
燃焼空気予熱器	1,251 t
結露防止空気予熱器	15,271 t
蒸気発電機系給蒸気量	22,037 t
蒸気回収量	6,994 t
大気放出量	9,903 t

3-1 蒸気発電

汚泥焼却に伴う排ガスの熱エネルギーは、廃熱ボイラで蒸気として回収し、乾燥機や空気予熱器などの各プロセスの熱源として使用しているほか、暖房・給湯にも利用しているが、一部は余剰蒸気として大気中に放出している状況にあった。

そこで、図-3に示す蒸気フローのとおり、大気中に放出している余剰蒸気を利用した発電を行い、発電した電気は場内で使用している。

なお、各系列の蒸気配管を連通管で接続し、不足蒸気を他系列から供給できるようにしている。

平成27年度蒸気発生量・蒸気使用量を表-2に示す。

蒸気発生量は180,012t、各プロセスでの蒸気使用量は163,115tで、その内発電機で22,037t使用し、表-1に示すとおり883,221kWhを発電している。

また、発電電力量は、焼却施設動力電力使用量の8.2%となっている。

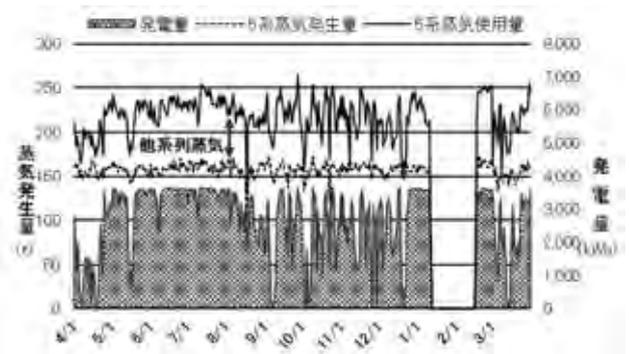


図-4 5系蒸気発生量と発電実績

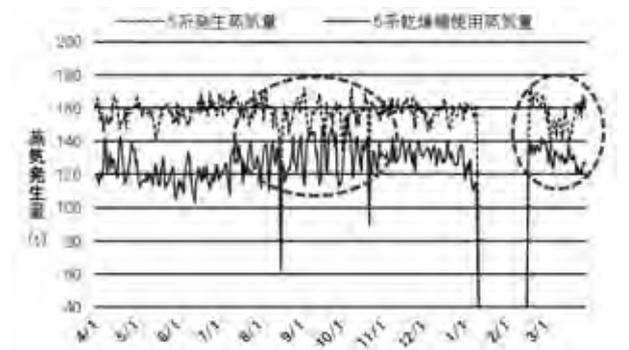


図-5 5系蒸気発生量と5系乾燥機使用蒸気量

1年間の5系蒸気発生量と発電実績を図-4に示す。発電量は、降雨期の秋期と融雪時期に落ち込む結果となった。

原因は、図-5に示すとおり、この時期乾燥し難い汚泥が流入することにより乾燥機に使用される蒸気量が増え、発電に廻る蒸気量が低下することによる。

なお、5系焼却炉は定期整備のため平成28年1月12日から2月15日まで運転を停止している。

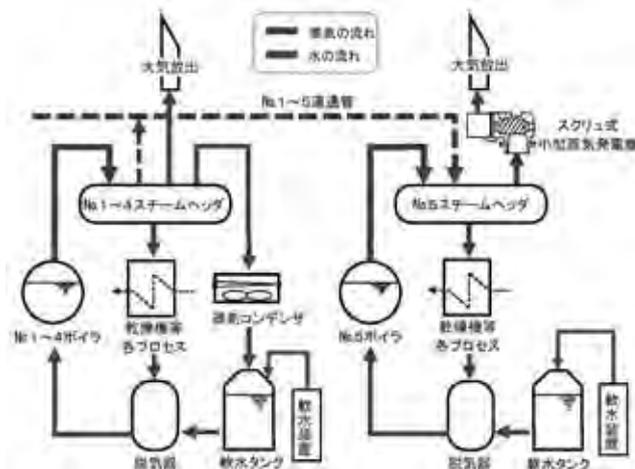


図-3 蒸気フロー

4. 今後の課題

今後の課題としては、安定した蒸気供給を行うため、蒸気使用量の7割を占める乾燥機の効率的運転や結露防止空気予熱器など蒸気を使用しない対応の検討を行い、発電設備への蒸気量を増やし安定した発電量を確保して行きたい。

併せて発電後に大気放出されている蒸気の活用を図って行く必要がある。

5. おわりに

札幌市では、西部スラッジセンター1,2系焼却炉が、運転開始から30年を超え、更新時期を迎えたことから炉の改築計画を進めている。

また、国が示す「新下水道ビジョン」では、下水道が膨大なエネルギーを消費していることを踏まえ、バイオマスや再生可能エネルギーの活用により、下水道施設のエネルギー自立が目標とされている。

札幌市下水道資源公社は、施設を運営維持管理することに留まることなく、積極的に省エネルギー、省力化を図って行くと同時に創エネルギー・エネルギー自立及び温室効果ガス排出をゼロに向けた調査研究にも取り組んでいきたいと考えている。

参考文献

- 1) 札幌市：「札幌市の下水汚泥処分の歴史」1999年5月
- 2) (株) タクマ：タクマ技報 VOL.22 2014年6月
- 3) 神鋼商事(株)：スクリュ式小型蒸気発電機技術説明書

文献紹介

下水泥施用農地における土壤中ビスフェノール A の消長に関する経時的傾向と評価の研究

A study on temporal trends and estimates of fate of Bisphenol A in agricultural soils after sewage sludge amendment
Science of The Total Environment 515-516, 1-11 (2015)

キーワード：環境ホルモン、長期連用

ビスフェノール A (BPA) は内分泌攪乱化学物質 (EDC)、いわゆる環境ホルモンに分類されているが、エストロンなどの女性ホルモンに比較してエストロゲン受容体の結合親和性が低い事は多くの研究で報告されている。しかし BPA は環境中に、天然に存在する女性ホルモンよりも遙かに高い濃度で存在し、下水汚泥からも検出されている ($0.1 \sim 3.2 \times 10^7 \mu\text{g/kg}$)。BPA は世界的消費量が 550 万 ton を超過し (2011 年)、ここ数十年間に環境へ放出され遍在したと考えられる。この研究の目的は、短期あるいは長期間下水汚泥を施用した土壤の BPA 濃度の経時的傾向を比較し、土壤中 BPA の消長を明らかにすることであり、また、下水汚泥を施用した牧草地に放牧された羊への BPA の蓄積および作物への蓄積を評価することである。短期試験 (Glensaugh, Aberdeenshire, UK) と長期試験 (Lanarkshire, Hartwood, UK) はそれぞれ海拔 120 ~ 450m と 150 ~ 300m で行われ、年間平均降雨量など気象条件はほぼ等しかった。処理区に下水汚泥ペレットを年 2 回 (秋と春) 2.25ton/ha 相当量、対照区に無機化学肥料を窒素で同量 (150kg/ha) 施用した。短期試験では研究期間を秋期と春期の 2 つに分け、羊は放牧せず羊による摂食を模して 7 ~ 10 日おきに牧草を刈り取り牧草の高さ約 4cm を維持し、刈り取った牧草は系外に持ち出した。長期実験は 13 年間下水汚泥あるいは無機化学肥料を連用した圃場を用いた。現行法 (Great Britain Parliament, 1989) で放牧が禁止されている下水汚泥施用直後 3 週間以降は通常の飼育密度で羊を放牧した。土壤中での BPA の挙動を推定するために、土壤の気相と土壤孔隙の毛管に保持される毛管水 (液相) と固相の三相への BPA 分配を化学平衡論で表すフガシティーモデルを用いた (Level I fugacity model, MacKay, 2001)。根圏に BPA を含有する水が存在するならば植物に吸収され BPA は人間の食物連鎖に入るかもしれない可能性については、定

常状態の植物吸収モデル (Trapp and Legind, 2011) を用い調査した。

下水汚泥ペレットの BPA 濃度は乾物当たり 636ng/g であった。対照区の土壤 BPA 濃度は短期試験、長期試験それぞれ 3.02、3.22ng/g と非常に近い値であった。短期試験では汚泥施用による土壤 BPA 濃度上昇がみられたが、汚泥施用による影響が有意であったのは秋期のみであり、また秋期と春期との間で土壤 BPA 濃度に有意な差はなかった。長期試験では汚泥施用区の土壤 BPA 濃度は 62.67ng/g あり、対照区の 10 倍以上であった。同じ下水汚泥を用いた短期試験の施用区 (4.41ng/g) よりもはるかに高く、下水汚泥を長期連用した圃場では土壤に BPA が蓄積していることが示された。モデリングから BPA のほとんどが土壤に強く吸着され (~96%)、土壤毛管水には 4%、気相には 1% 未満であると推定された。土壤毛管水にある BPA 画分は生物学的に利用可能であり作物に吸収されるとし作物の BPA 吸収を予測した結果、葉菜類 (3.12 ~ 75.5ng/g) > 根菜類 (1.28 ~ 31.0ng/g) > 穀類 (0.62 ~ 15.0ng/g) であった。作物の吸収量から人間が受ける BPA の曝露量を換算・推定することは可能である。

以上の結論より本論文の著者らは、土壤中の BPA には嫌氣的分解に対して抵抗性を持つ、あるいは生物学的に利用可能ではない難分解性の画分があり、これは下水汚泥の長期連用によって土壤に蓄積すると判断した。土壤と難分解性 BPA 画分との結合が強固であり、土壤液相にわずかに分配された BPA が速やかに生分解されるのならば植物が BPA を吸収するリスクは低く、理論上もっとも BPA の曝露を受ける生物は土壤中に生息する、あるいは放牧された羊のように牧草とともに直接土壤を摂食する生物としている。放牧された動物が冬期に摂食する量 (乾物) の 80% が土壤であること、放牧された羊が 5 ~ 11 月に体重 1kg 当たり 400g の土壤を摂食することから、土壤は羊にとって BPA 汚染源となりえることを指摘している。よって、下水汚泥施用後 3 週間放牧を禁じている現在の法律は、長期連用圃場でなければ有効かもしれないが、さらなる研究がスコットランドの天候と土壤条件での生分解性 BPA 画分の分解速度を決定するために必要であるとしている。

(農研機構・農業環境変動研究センター 杉山 恵)

文献紹介

亜硝酸化-アナモックスプロセスを行う固定床型生物膜式活性汚泥法の実証規模および実規模反応槽における窒素除去性能と微生物の分布

Nitrogen removal performance and microbial distribution in pilot- and full-scale integrated fixed-biofilm activated sludge reactors based on nitrification-anammox process
Liang Zhang, Shujun Zhang, Yongzhen Peng, Xiaoyu Han, Yiping Gan
Bioresource Technology, 196 (2015) 448-453

キーワード：一槽式アナモックス、生物膜法、活性汚泥法

嫌気性アンモニア酸化（アナモックス）プロセスは従来の硝化脱窒法に代わる窒素除去技術として注目されている。アナモックス細菌は亜硝酸を利用してアンモニアを酸化し窒素ガスと硝酸を生成するため、窒素含有排水へのアナモックスプロセスの応用にはその前段階に亜硝酸化プロセスが必要となる。現在稼働している実プラントでは増殖速度が遅いアナモックス細菌と好気性のアンモニア酸化細菌（AOB）の槽内での共存を可能とする生物膜法やグラニュール汚泥法を用いた一槽式アナモックスプロセスが普及している。著者らは近年開発された固定床型生物膜法と活性汚泥法を組み合わせた IFAS (Integrated Fixed-biofilm Activated Sludge の略) システムが亜硝酸化-アナモックスプロセスに適していることに着目し、実証規模および実規模の IFAS 反応槽での亜硝酸化-アナモックスプロセスによる高濃度窒素含有合成排水および消化汚泥脱水ろ液の処理を試み、運転性能の把握と窒素除去性能に及ぼす因子の検討および定量 PCR や微生物活性試験を行い反応槽内における微生物分布について調査した。

本研究で使用した実証規模反応槽はスチール製、有効容積 12m^3 である。反応槽は5つのエリア（各エリアのサイズは $0.8\text{m} \times 0.8\text{m} \times 3.75\text{m}$ ）に分かれており、第1槽目を無酸素槽として機械攪拌を行った。他の4槽はスチールワイヤーにより反応槽に固定されたポリエステル製のスポンジ担体を投入した。実規模実験は 500m^3 のプラグフロー型反応槽を用いて行った。実験に用いた合成排水は下水をベースとして pH を 8.1 ~ 8.4 に調整したものであり、COD および $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度はそれぞれ $108 \sim 311\text{mg/L}$ 、 $173 \sim 1490\text{mg N/L}$ であった。消化汚泥脱水ろ液の COD および $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度はそれぞれ $252 \sim 5640\text{mg/L}$ 、 $255 \sim 705\text{mg N/L}$ であり、

SS 濃度が $68 \sim 5800\text{mg/L}$ と変動が大きかった。

実証規模反応槽のスタートアップは担体充填率を 3% として合成排水を用いて行った。まず流入窒素負荷を $0.05 \sim 0.3\text{kg N}/(\text{m}^3 \text{d})$ 、DO 濃度を 2.0 ± 0.5 とすることで完全硝化を達成した後、窒素負荷を $0.6\text{kg N}/(\text{m}^3 \text{d})$ としたところ急激な亜硝酸の蓄積が見られた。さらに DO 濃度を $0.5 \sim 1.0\text{mg/L}$ 、温度を 28.5°C に制御することで窒素除去率が 70% となった。このスタートアップ期間に担体の表面にアナモックス細菌特有の赤みを帯びた生物膜の付着が観察された。SEM 観察においても多孔質の担体の表面や内部に球状の微生物が確認された。担体充填率を 15% にしたところ、担体投入により一時的に窒素除去率が低下したものの、次第に回復し $1.2\text{kg N}/(\text{m}^3 \text{d})$ の窒素除去速度が得られた。素早いスタートアップには流入窒素負荷の増加と DO 濃度の制御が有効であると判断している。

スタートアップ後 180 日目の定常運転時に浮遊汚泥と担体付着生物膜について定量 PCR および活性試験を行い槽内の微生物の分布を明らかにしている。定量 PCR を行った結果、浮遊汚泥において全細菌の 54.6% が AOB であり、アナモックス細菌は 2.6% であった。一方で生物膜においては全体の 87.8% がアナモックス細菌であり、AOB は 2.4% であった。生物膜はアナモックス細菌が増殖するのに十分な滞留時間を与え、内部への DO 供給を阻害するため AOB の増殖を阻害すると同時にアナモックス細菌を阻害から守ると言われており、本研究においても生物膜にアナモックス細菌が優占し、AOB は浮遊汚泥に存在するという結果が得られている。活性試験の結果からも同様の傾向が示されている。一方で流入アンモニア負荷の増加に伴う遊離アンモニアによる阻害および低い DO 濃度の制御により IFAS 反応槽では亜硝酸酸化細菌の抑制が効果的に行われたことも確認された。

引き続き実証規模反応槽では脱水ろ液の処理が行われた。HRT 約 1.0 日、運転温度約 30°C の条件で窒素除去率は 85% 程度を維持していたが、流入 SS 濃度が高い場合、一時的に槽内アンモニア濃度が増加し、AOB の活性の低下およびシステム全体の効率に影響を及ぼすことが確認された。

実規模反応槽は生物膜付着担体の充填率が 3% とな

るように（全担体の充填率は20%）実証プラントの担体を用いて立ち上げた。汚泥返送も行い槽内のMLSS濃度は3000mg/Lとし、流入窒素負荷を0.35～0.5kg N/(m³ d)とした。また脱水ろ液のSSを除去するために前処理として凝集沈殿を行い、流入SS濃度を約30mg/Lとして運転を行っている。運転開始後、窒素除去率は2週間で32%から80%以上に増加し、最終的に流入窒素負荷0.5kg N/(m³ d)の時、84%の窒素除去率と0.48kg N/(m³ d)の窒素除去速度が得られた。以上の結果から流入SSをコントロールすることにより実規模反応槽において安定した脱水ろ液の処理が継続できることを示している。

これらの結果から著者らはIFAS反応槽では異なる微生物グループを浮遊汚泥と生物膜に分けることで窒素除去率が促進され、また亜硝酸化の活性は活性汚泥濃度により調整できるためシステム全体の運転の安定性を改善できると述べている。さらに標準活性汚泥法から担体を投入することでIFAS反応槽に簡単に改良することができるため亜硝酸化-アナモックスプロセスへの応用に多くのメリットがあるとしている。しかし流動床やグラニュール法に比べて流入SSの影響を受けやすいことや最適なDO濃度範囲が低いため曝気制御方法に課題があるなどの問題点を挙げている。

（東北大学大学院工学研究科 北條 俊昌）

講座：バイオマスからの資源回収にかかる取組み事例

「法面緑化分野での下水汚泥肥料活用の可能性」 について

特定非営利活動法人日本エコサイクル土壤協会
小柳津 倫生

キーワード：下水汚泥の肥料化、法面緑化、国内需要

1. はじめに

当協会は、「国内リサイクル業界の技術水準の向上」「製品の品質向上」「循環型まちづくり」「国際協力」などの公益の増進に寄与することを目的とし、平成9年に設立した。現在会員35名、支援企業20社にて構成され、主として活動する分野は「緑化事業」であり、この事業で用いる「土壤改良材、肥料、人工土壤、腐植酸物質」を国内廃棄物から製造し、流通、活用方法の指導から実際の施工までを行う団体として活動をしている。国内廃棄物は有機性廃棄物を主とし、木材産業からの廃棄物である樹皮、オガクズ、公園街路樹維持管理で発生する剪定枝、畜産産業からの廃棄物である糞尿、下水処理場で発生する下水汚泥などを用いている。また無機性廃棄物である浄水場発生土なども有効に活用している。これらの廃棄物を、現在日本国内にある50以上の製造拠点でリサイクル再資源化を行っている。リサイクル再資源化量は総量で年間50万t以上であり、これは日本最大規模である。当協会では「緑化事業」において、リサイクル製品を製造する業者とそれを活用する施工業者の両者が参画し、協会の活動結果が直接リサイクル製品の活用に繋がられることを特徴としている。

「緑化事業」は、植物の発芽を促し、健全に生長させ、維持する状態に導く業務である。植物は土壤中に伸ばした根で、呼吸、肥料の吸収、老廃物排出などを行い、根が伸張できる環境を整えることが植物を健全に生育させる源となる。緑化事業は大きく「農業」「家庭園芸」

「造園」「法面緑化工」の4部門に分類できる。対象となる植物を健全に生育させることで、目的である「農業：作物の回収、家庭園芸、造園：景観の維持、法面緑化工：防災」を達成することができる。

当講座ではこの中から「法面緑化工」分野における取組みで、施肥に下水汚泥肥料を用い、日本国内における新たな需要創造と国内リサイクルの構築の実例をご紹介します。

2. 日本国内の法面緑化工事業

昭和30年代より高度成長期に入り社会資本の充実が急がれるようになると、機械施工による大規模造成が盛んに行われるようになった。日本は急峻な地形が多く、道路や宅地といった開発行為で平坦面を得る為には土の造成行為が必要となる。基本は図1の様に山側を急勾配に切り開き、発生する土を谷川に緩く積み上げ、生じた平坦面を活用することとなる。切り開いて生じる斜面のことを「法面」といい、平坦面を安全かつ快適に空間確保するために適切な保護を実施する必要がある。特に、豪雨、豪雪また昨今頻発する地震などにより法面が崩落し被災する事例が多い現状に対応すべく、法面保護の対策は図2の通りに位置付けられている。

この中で「法面緑化工」は比較的安定した条件で用いられる。植物の根が伸張する範囲は草で50cm程度迄であり、表層を固定することだけで安定を図れる範囲である。法面緑化工の開発当初、植物で法面の表層を保護する手法として日本古来からあるノシバを人力



図1 日本での代表的な開発行為事例



図2 法面工（盛土法面を除く）・斜面安定工の分類
（道路土工 切土工・斜面安定工指針より）

で植えつける筋芝工や張芝工が用いられていたが、重機による造成の速度に人力施工が追いつかず、長期間放置した法面が崩壊する事態が生じ、昭和40年頃より機械での種を吹付散布する施工が発達し、勾配などにより3種類の吹付工法が成立した。平成6年には、建設省（当時）の市場単価方式にこの吹付工法が採用され、日本全国どこでも用いられる汎用工法となっている。

法面保護工は造成工事に付随する工種であり、主として公共工事により生じる。その需要は図3の通り公共工事の発注量に左右されるが、最近では一定量の

需要が継続している。

自然界では、立地、空間を優先する植物は年月により移り変わり、これを遷移と呼ぶ。法面緑化工でも同様であり、施工時に導入する植物は図4で示す通り年月の経過と共に移り変わっていくことが明らかになっている。遷移が進むことが前提であるため長期的な視野に立って取組むべきものであるが、重要な点は施工当初に導入する植生が確実に成立しなければ遷移が進行しないことにある。法面は斜面であり雨水により地盤が流亡する危険性が高いため、早期に植物を生育させ、土壌表層の流亡を抑えなければならない。そ

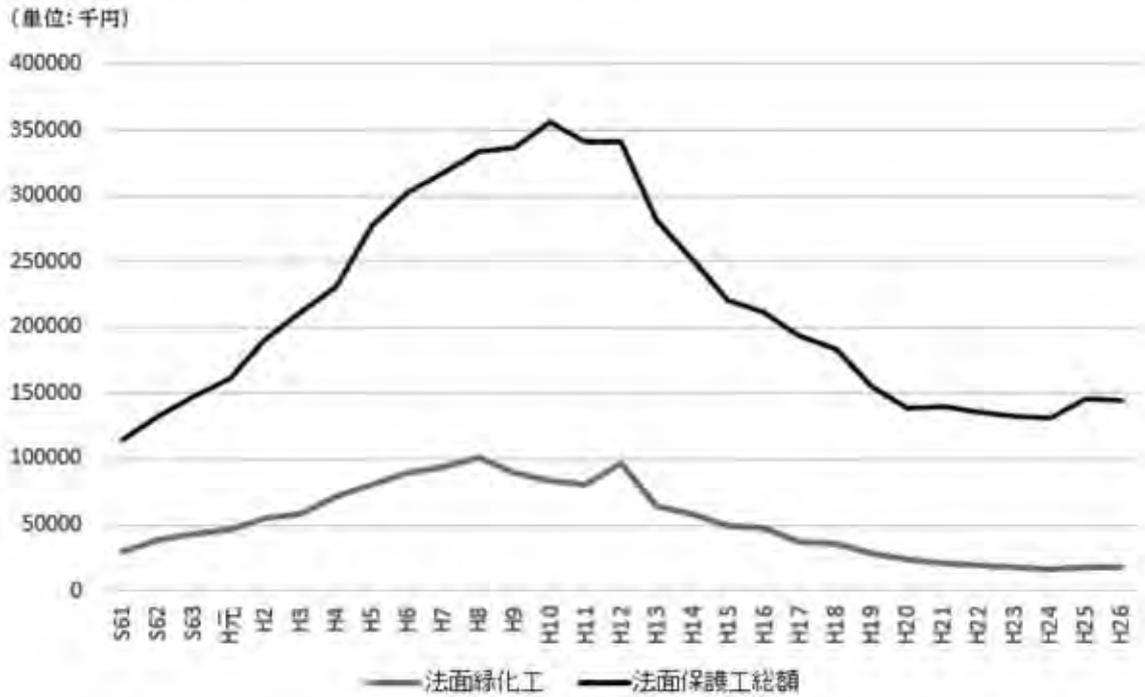


図3 法面保護工の施工額
(一般社団法人 全国特定法面保護協会資料より)

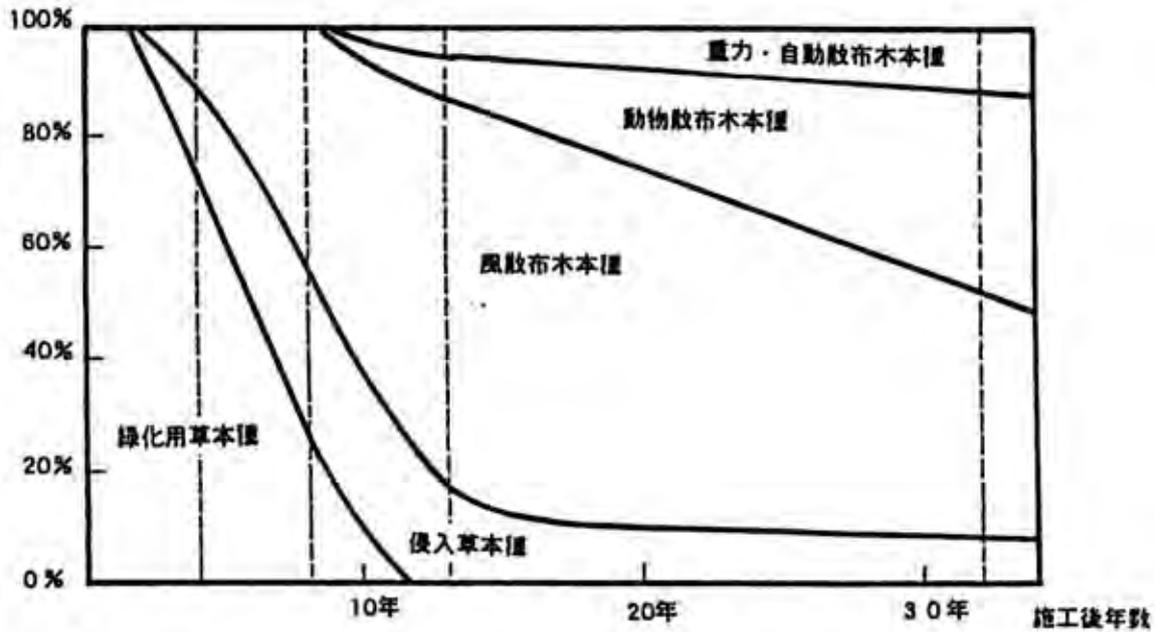


図4 時間の推移にともなう遷移のポテンシャルの推移
(星子隆 高速道路のり面における木本植物の侵入と種子散布様式に関する研究より)

の為図5の通り、導入した植生が確実に成立することを法面緑化工の成績判定の目安としている。植物が生長する為には、根から吸収する肥料成分が必要不可欠である。そのため法面緑化工では工種開発当初より化学肥料を用い、現在でも同様に活用している。化学

肥料は農業分野で必要とされたため日本全国に製造工場が既にあり、法面緑化工を各地で施工する際に供給しやすかった背景がある。また植物が必要とする各成分量が高く、少ない投入量で大きな成果を挙げ易いことも、その理由として考えられる。

目標及び対象	評価	施工3か月後の植生の状態	対応策
播種工	木本群基盤型	可 植被率が30～50%であり、木本類が10本/m ² 以上確認できる。	
		可 植被率が30～50%であり、木本類が10本/m ² 以上確認できる。	
		判定保留 草本類に70～80%覆われており、木本類が1本/m ² 以上確認できる	翌年の春まで様子を見る
	不可	所々に発芽が見られるが、法面全体が裸地状態に見える。	判定時期が春期、夏期の場合は1～2ヶ月、秋期、冬期の場合には翌春まで様子を見る
		生育基盤が流亡して、植物の成立の見込みが無い。	再施工をする
		木本類の発芽が確認できない。	木本種子を播種する
草地型	可 法面から10m離れると、法面全体が「緑」に見え、植被率が70～80%以上である		
	判定保留 1m ² あたり10本程度の発芽はあるが、生育が遅いまた植被率が50～70%程度である	判定時期が春期、夏期の場合は1～2ヶ月、秋期、冬期の場合には翌春まで様子を見る	
	不可 生育基盤が流亡して、植物の成立の見込みが無い植被率が50%以下である	再施工をする	

図5 法面緑化工の成績判定の目安
(道路土工 切土工・斜面安定工指針より)

3. 法面緑化工での施肥の活用と効能

市場単価に指定された法面緑化工法のうち、植生基材吹付工(厚層基材吹付工)について話を展開する(国内採用面積と施工金額が一番大きい為)。当該工法は昭和50年頃に開発され、以後法面緑化工の主軸として取扱われている。45度以上の急傾斜地でも緑化を行えることで、特に急峻な山岳地帯での造成現場で導入が進んでいる。施工は図6、図7のように、堆肥を主体とした人工土壌を厚さ3cm以上で斜面に高圧力で圧密させ吹付造成する手法である。人工土壌と一緒

に種子、肥料を配合し早期に発芽させることで、植物の根の緊縛力により法面の表層の保護を行うことを可能としている。施工を行う資材の配合は図8の通りである。早期緑化を図るべく即効性の肥料を主体とし、その後必要となる肥料成分は長期間肥効が持続する緩効性肥料で賄うこととしている。速効性肥料のみと速効性肥料に緩効性肥料を組み合わせた場合、図9のように同時期に発芽生長して倍以上の生育の差が生じる結果となる。初期緑化が必要な法面緑化工では、早期に肥効を発揮するだけでなく、数ヶ月間効果が持続する事が重要である事が確認できる。

図8の配合では現在外来生物法の関係で輸入種子

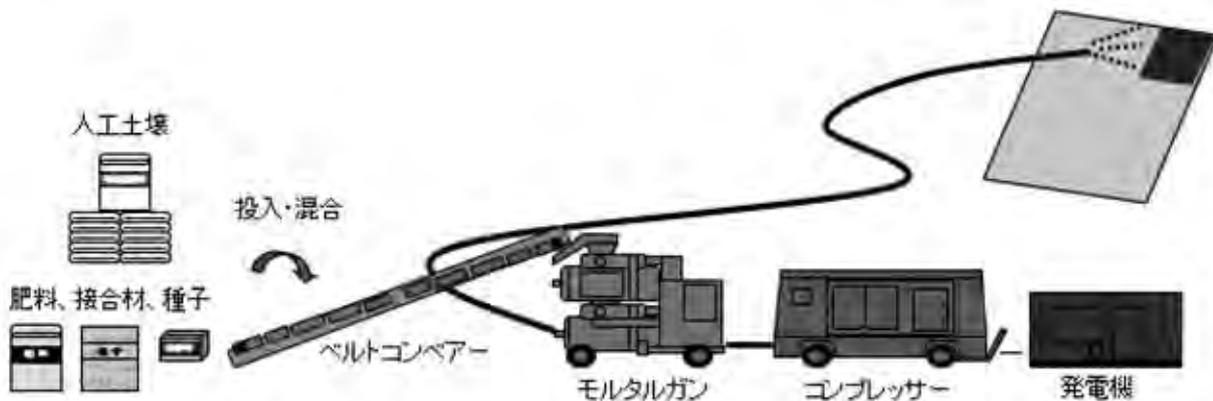


図6 植生基材吹付工(厚層基材吹付工)施工模式図



図7 植生基材吹付工（厚層基材吹付工）施工状況

資材名	必要量	摘要
人工土壌（堆肥）	2,000 リットル	
粘結剤（液体）	4 kg	
肥料（速効性）	4～6 kg	肥料成分N-P-K = 15-15-15 肥料効果1ヶ月以内
肥料（緩効性）	0～4 kg	肥料成分 N-P-K = 10-18-15 等 種類により肥料効果3～12ヶ月
種子	配合に応じて	

図8 法面緑化工（厚層基材吹付工）の配合例

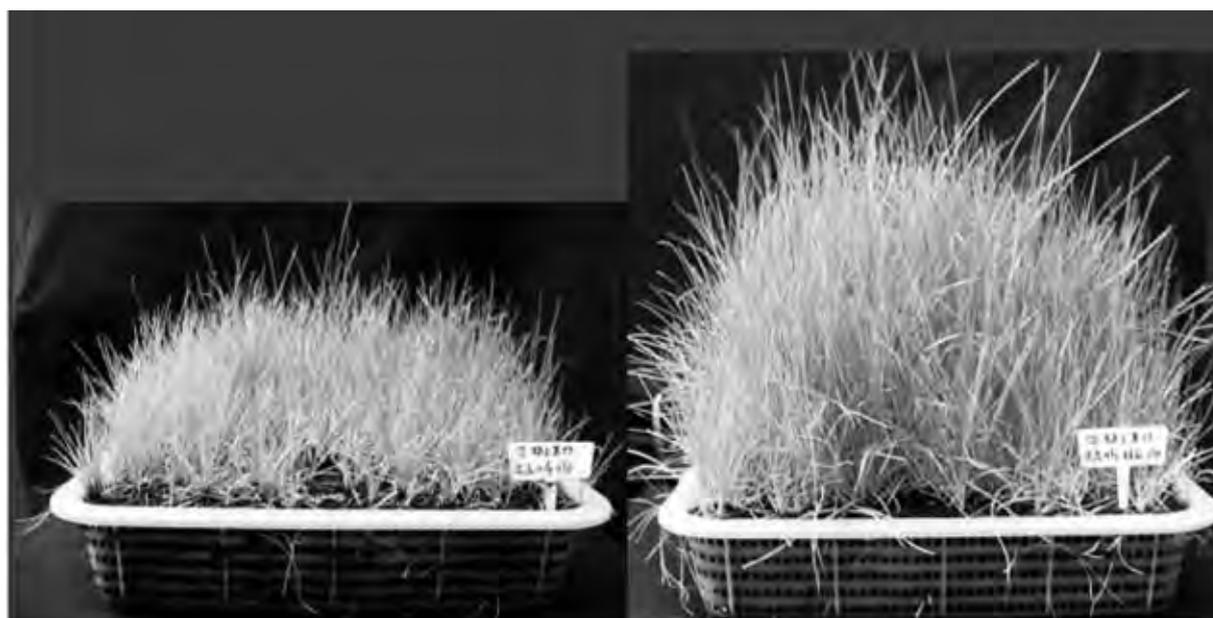


図9 肥料による生育の違い 【左】速効性肥料のみ 【右】速効性肥料+緩効性肥料
(播種3月中旬, 撮影10月中旬)

の取り扱いに配慮する事があり、種子の種類に変化と導入量の大きな減少が見られるが、他資材では工法開発当初より大きな変革が無い。種子の導入量が大きく減少した理由は、**図 4** で示す遷移をいち早く進めることを望む指針が出たことが大きな理由である。種子の種類と量に変動があったにもかかわらず、用いる肥料の種類と量に変動は見られていない。その背景として、平成 6 年の市場単価方式採用後で汎用化されたことと、平成 10 年頃よりの著しい需要減少に伴い、肥料選択の技術革新が止まっているものと推察する。

4. リサイクル性の高い「下水汚泥肥料」選択と実証

化学肥料は主要成分として窒素、リン酸、加里を合成して製造している。この成分のほとんどを輸入に頼っており、また天然素材の採掘から多くの素材を得ることで自然破壊問題が指摘されている。前述の農業、家庭園芸、造園分野では輸入する化学肥料に頼らない方向性が徐々にではあるが進んでいるが、法面緑化工だけは施肥を化学肥料にほぼ全量依存している。

当協会では、法面緑化工に活用する化学肥料を下水汚泥肥料に置き換える活動を 20 年来進めている。当協会が取扱う下水汚泥肥料は、肥料効果、土壌改良効果、環境に対する安全性など 9 項目を財団法人都市緑化開発機構にて審査し、平成 16 年 5 月に建設技術審査証明書を受け、農林水産省の普通肥料登録を行った製品である。発端は、伐採現場内で樹木の根株や枝葉を粉碎チップ化し、施工現場内で法面緑化工の人工土壌として活用する際、下水汚泥肥料を副資材として用いたことである。この手法は「W チップエコサイクル」

工法とし平成 14 年 3 月に建設技術審査証明書を受けている。

下水汚泥肥料は、畜産系の肥料と比較し緩やかで穏やかな施肥効果があることが確認できている。また適度な粘りがあり、法面緑化工である植生基材吹付工で吹付造成した基盤が滑落しにくくなる効果も発揮できている。**図 10** は法面緑化工で下水汚泥肥料を用いた際、肥料効果の程度を確認した試験である。5 月中旬に播種し 1 ヶ月後の 6 月中旬に撮影したものである。配合量は人工土壌の容積に対し % で決定している。下水汚泥肥料の配合量を上げると導入した植生の生育に差が生じたことが確認できる。また下水汚泥肥料を施肥した際、1 ヶ月で充分な生育を見せることから、速効性肥料として用いることができることが確認できた。本試験により、配合量 5% が妥当であると当協会では判断している。

図 11 は従来配合である化学肥料と下水汚泥コンポストを施肥とし生育試験を行った結果である。右に位置する下水汚泥肥料を加えた試験区は、施用後 1 ヶ月で従来配合と同等の生育であり、8 ヶ月経過で従来配合の 90% 以上の生育となり、充分化学肥料の代替として活用できると確認できた。

図 12 は実施工で 2 年経過した事例である。平成 24 年に長野県佐久地方での道路整備工事において、下水汚泥肥料を配合した法面緑化工を実施した。本地域は寒暖の差が激しく、また降水量が極端に少ないことで、植生成立が困難な地域であり、同時期に施工を実施した諸現場で緑化不成立が相次いでいる。確実に緑化成立を図るべく、人工土壌に下水汚泥肥料を 5% 配合し施工した結果良好な結果を得ることができた。現在 4 年経過しているが全面的緑化が維持されている。

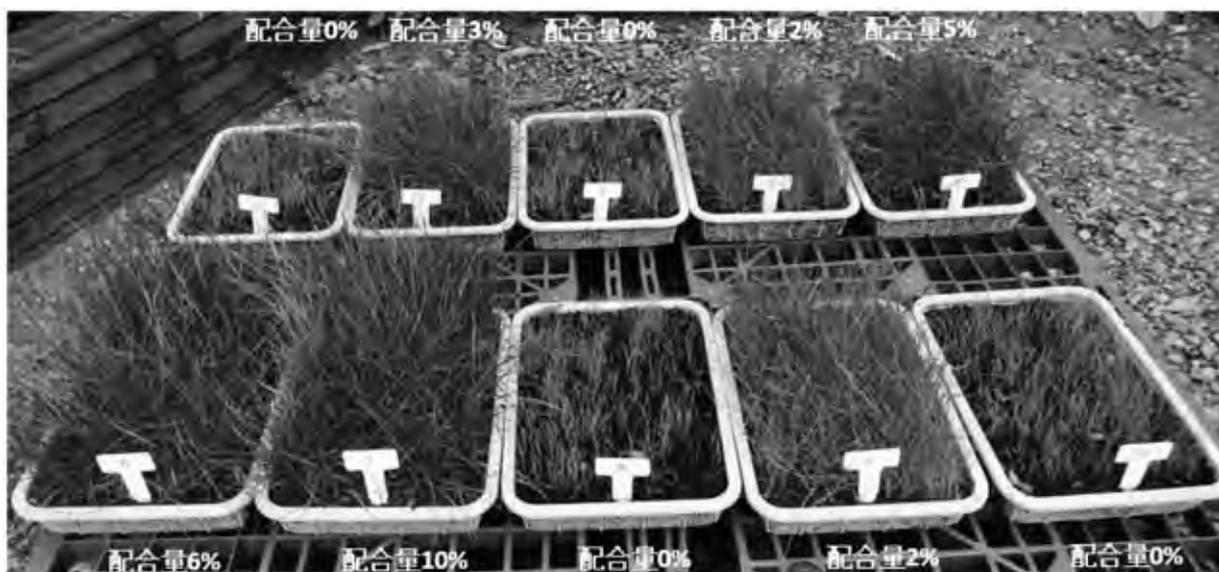


図 10 下水汚泥肥料の配合量を変化した植生試験

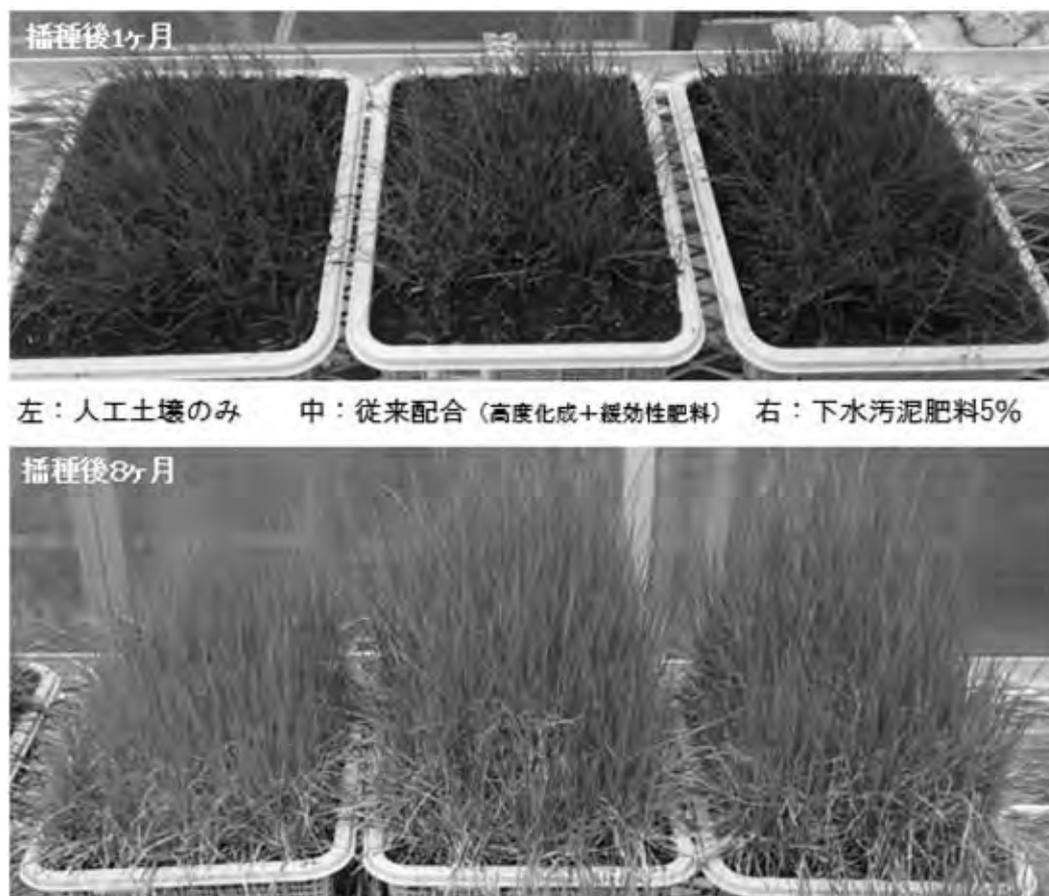


図 11 従来配合との肥効比較試験



図 12 下水汚泥肥料を配合し施工した法面緑化工

5. おわりに

法面緑化工の日本国内需要は、年間 200 万 m² 以上であると当協会では推察している。この面積全てで下水汚泥肥料を導入した場合、7 万 t 以上の下水汚泥肥料を活用することが可能となる。法面緑化工は日本国内で 50 年間かけて進化をし、汎用化され全ての都道府県で実施されており、日本各地で下水汚泥肥料の需要を喚起できる利点がある。当協会では 3 年程前より九州地区を中心に法面緑化工の施肥に下水汚泥肥料を用いる取組みを進め、年間 5 万 m² 以上で導入している。

下水汚泥は、再生可能な有機性資源であるので、1) カーボンニュートラル、2) 人間生活に伴い発生し、質・量とも安定、3) 都市部（エネルギー需要地）付近で発生する等の特性がある、生活環境に最も近いバイオマス系循環資源とされている。平成 27 年 7 月には、下水道法第 21 条の 2 第 2 項で「公共下水道管理者は、発生汚泥等の処理に当たっては、脱水、焼却等によりその減量に努めるとともに、発生汚泥等が燃料又は肥料として再生利用されるよう努めなければならない。」と発生汚泥等の燃料又は肥料としての再生利用に係る努力義務が追加規定され、下水汚泥の積極的な利用促進が期待されている。

当協会では、日本で化学肥料を使い続ける最後の緑化事業である法面緑化工での下水汚泥肥料活用の働きかけを発注者、コンサルタント、施工業者に行い、循環型社会形成の一助となるべく努めていく所存である。

引用、参考文献

- 1) 公益社団法人日本下水道協会編 「下水汚泥からの緑農地利用」
- 2) 財団法人都市緑化開発機構 平成 16 年 5 月に建設技術審査証明書
- 3) 特定非営利活動法人日本緑化工協会 「緑化工技術」
- 4) 星子隆 : 高速道路のり面における木本植物の侵入と種子散布様式に関する研究、日本緑化工学会誌、Vol25(2) 102-114
- 5) 道路土工 切土工・斜面安定工指針（平成 21 年度版）
- 6) 一般社団法人全国特定法面保護協会 「のり面と環境（2016, No.44）」

講座：バイオマスからの資源回収にかかる取組み事例

下水汚泥処理工程からのカリウム回収技術 ～肥料の三要素を下水処理場から 回収する基礎研究～

大阪市立環境科学研究所

中尾 賢志・西尾 孝之

キーワード：下水汚泥分離液、リン、カリウム、MAP、MPP

1. はじめに

2008年の世界的な肥料高騰は農業関係者をはじめとして総合商社を巻き込み、今となっては“パニック”の様相を呈していた感がある¹⁾。近年は落ち着きを取り戻しつつあるものの、リン鉱石の「08年の生産量は、中国(30%)、米国(19%)、モロッコ(17%)の3か国で全体の3分の2を占めている」²⁾うえに、中国や米国といったリン鉱石生産量トップ2の輸出制限は続いており、日本は主にモロッコに頼らざるを得ない状況に変わりはない。

カリウムについては「りん酸と同様、我が国には加里鉱石の鉱山は存在せず、塩化加里の全量を輸入に依存している。(中略)我が国は主にカナダ、ロシアから輸入しており、カナダだけで全量輸入の8割を占めている」³⁾状況であり、リンとカリウムは全量輸入に頼らざるを得ない。

こういった状況にあって日本のリン回収技術は主に下水処理場を舞台として急速に発展した。近年では下水処理場でリン回収事業を行う自治体が増えてきており、技術的にはほぼ完成の域に達している。しかしながら、カリウムは回収目的とするには下水中の濃度が低い(10～30mg/L⁴⁾)ことから、研究者にとって下水中からのカリウム回収技術の研究は敬遠されがちであり、世界的なリンとカリウムの同時回収研究はカリウム濃度が比較的高い畜産排水⁵⁾やし尿分離トイレの尿⁶⁾を想定したものが多い。しかしながら我々は広く普及した下水道からのリンとカリウムの同時回収

の可能性に着目し、カリウムが下水よりも濃縮されている「下水汚泥分離液」からのMPP(リン酸マグネシウムカリウム)回収を目指し研究を行なっている。

2. MAP(リン酸マグネシウムアンモニウム)とMPP

MPPはMAP(リン酸マグネシウムアンモニウム)のアンモニウムがカリウムに置換された構造を持つ結晶物(写真1)であり、その化学的性質が最初に報告されたのは1963年である⁷⁾。まずMAPについて詳しく述べると、アンモニウムを含むMAPは古くから下水処理における「邪魔者」として米国ロサンゼルス市の下水処理場で報告⁸⁾があって以降、多くの研究がなされており、その化学的性質や生成条件等については広く知られている。「邪魔者」とされる具体的な事例は、MAPは下水汚泥の嫌気性消化工程から発生する高濃度のリンとアンモニウムがpH9～10の条件下で、例えば海水由来のマグネシウムと反応し生成する。このことから、MAPが下水処理場の配管内や機械類に付着し、意図しないトラブルを引き起こして下水処理に携わる技術者を長年悩ませてきた。この対策として鉄塩やアルミニウム塩を下水汚泥処理工程に添加し、リン濃度を低下させMAP生成を抑制するといった方策がよくとられる。

近年では、この「邪魔者」であったMAP生成を逆手にとって下水汚泥分離液にマグネシウムを人為的に添加し、MAP生成を制御してリン回収を行なう方法(晶析法)が一般的となっている(写真2)(他にはリ

ン酸カルシウムや HAP（ヒドロキシルアパタイト）として回収する方法も存在する。

MPP としてのリンとカリウムの同時回収については世界的にみて実用化したという報告⁹⁾は存在するが、その詳細な生成条件は明示されておらず、まだまだ研究の余地を残した結晶物である。

3. 研究の経緯

当初、我々は下水汚泥分離液からの MPP 生成を目指して研究を開始した訳ではなかった。というのは、大阪市が管理・運用している海面埋立廃棄物処分場の内水に植物プランクトンが発生し、炭酸同化作用により pH が上昇して排水基準を超過する可能性があった。そういった経緯から植物プランクトンの発生を抑制するためにリンを吸着する能力をもつ浄水発生土（浄水場から発生する汚泥）を利用できないか、という研究を行っていた。さらに、リンを吸着した浄水発生土からリンを回収する方法について検討した¹⁰⁾。リンはアルカリを用いて浄水発生土から溶出させたが、その際にカリウムもともに溶出することが分かった¹¹⁾。そこでリンとともにカリウムも同時に回収することができれば「一石二鳥」であると検討をしたのがそもそもの始まりである。結果的には浄水発生土に多く含まれるアルミニウムが主な原因で MPP 回収には至らなかったが、当時畜産廃水からの MPP 回収に取り組んでおられた県立広島大学の原田教授の研究グループの研究⁵⁾からヒントを得て、我々は下水汚泥分離液からの MPP 回収（図 1）に焦点を定めて研究を開始した。

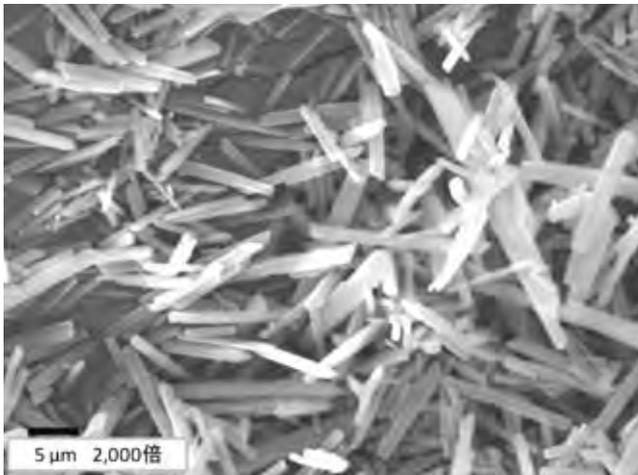


写真 1 MPP の SEM 画像

4. カリウム回収技術・研究

表 1 に主に排水や下水からのカリウム回収技術・研究についてまとめた。現時点では（1）晶析法、（2）電解晶析法、（3）吸着・生物濃縮法の 3 手法が存在する（各名称は筆者が独断で名付けたものである）。

各回収方法を以下に説明する。

（1）晶析法

比較的高濃度のリンとカリウムを含む排水に適用できると考えられており、マグネシウム塩を加えることにより写真 1 のような結晶を生成させることができる。基本的には現在広く普及している汚泥分離液からの MAP 回収方法の一つである晶析法と同じである。ただ、MAP とは生成 pH 帯が異なる。

（2）電解晶析法

詳細は田中¹²⁾によるが、「晶析法と電解を組み合わせることにより、アルカリ剤や種晶を添加せずに MAP、HAP、MPP などの結晶を生成させることが可能となる」¹²⁾。本法は陰極近傍の pH 上昇を利用するため、水酸化ナトリウムなどのアルカリ剤が不要となることから、従来の晶析法よりもコストがかからず、ナトリウムがカリウムに置換した結晶物である MSP（リン酸マグネシウムナトリウム）といったいわゆる「不純物」が生成しないという利点があると考えられる。

（3）吸着・生物濃縮法

詳細は中山ら¹³⁾によるが、本法は陽イオン交換機能をもつゼオライトによって排水中のカリウムを吸着し、塩化ナトリウム溶液に溶脱させ、さらに好塩古細菌によるカリウムの高濃度蓄積作用を利用する。菌体



写真 2 回収された MAP

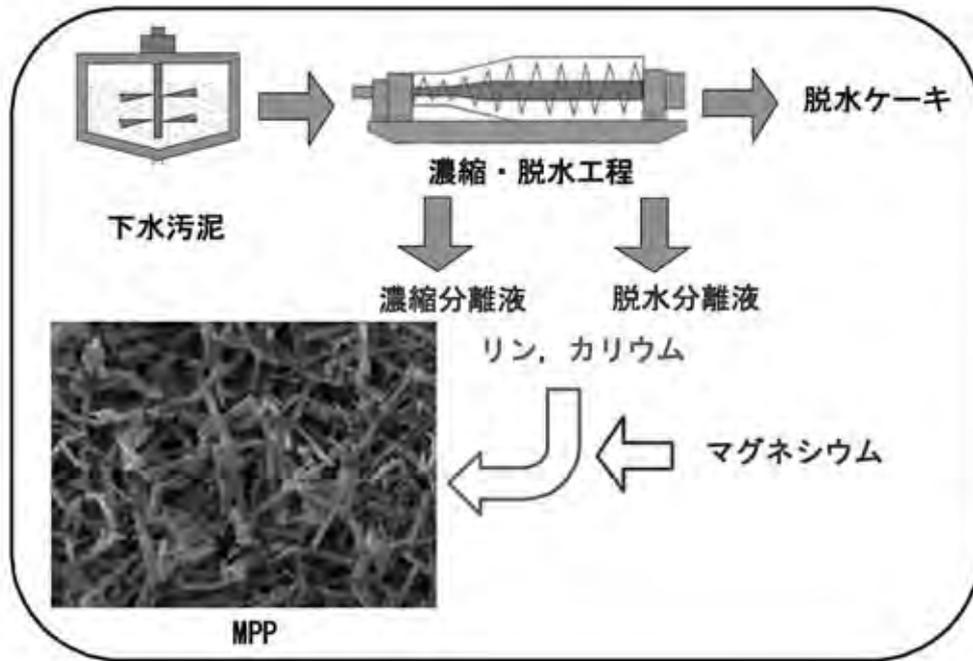


図 1 研究イメージ図

からのカリウム回収が課題であるが、菌体を焼却し、その焼却灰を母液に溶解して冷却・析出させ、ろ過分離して回収する。

いずれも研究段階であり、すぐには実用化できる技術ではないが、今後こういった技術が一般化され、リン回収技術のように広まる可能性はある。日本においてはここ数年の間に登場してきた技術もあり、今後各種学会発表や論文において「カリウム回収」をキーワードで眺めてみれば新たな技術開発が見つかるであろう。

5. 晶析法における MPP 回収の課題

我々が研究を進めている「晶析法」による MPP 回収はいくつかの課題を抱えている。

- (1) 狭い生成至適 pH
- (2) 生成阻害元素、物質
- (3) アンモニウムとの競合
- (4) マグネシウム添加
- (5) K/P 比

表 1 主なカリウム回収研究

回収方法	晶析法	電解晶析法	吸着・生物濃縮法
回収対象	畜産排水, 尿, 下水汚泥分離液	下水汚泥分離液	下水, (海水)
回収物	MPP	MPP	塩化カリウム
特徴	アルカリおよびマグネシウムの添加を要する	電解による陰極での晶析	ゼオライトによる吸着および好塩古細菌によるカリウム濃縮
文献	例えば寺中ら ⁵⁾	例えば田中 ¹⁾⁵⁾	例えば中山ら ⁷⁾⁸⁾

順を追って説明すると、まず(1)であるが、MPPが生成する最も効率の良いpHは11.5である。これは既往研究⁵⁾や我々の実験結果でも同様であった。また化学シミュレーションの結果ではpH 11.6が最もMPPが生成しやすいという結果を得ている。これに比べてMAPは至適pHが広く、pH 9.5～11.5で容易に生成する。この点、MPPはpH 11.5を外れると生成率は極端に低くなる。

次に(2)であるが、我々の研究結果からMPP阻害元素として鉄やアルミニウムが挙げられる^{14, 15)}。また、有機成分も生成阻害を起こす要因となりうることから、晶析法によるMPP生成は分離液の前処理が必要となる。

(3)は濃度にもよるが、アンモニウムが存在するとMPPではなく、MAPを形成してしまう可能性が高いということである。この分野で先行するオランダの研究者によると、アンモニウム共存下ではMPP生成は難しいとのことであり、アンモニアストリッピング法等でアンモニウムを除去する必要がある、とのことであった。

(4)のマグネシウムの添加であるが、マグネシウムは決して低廉な金属ではないのでコストの問題がまずある。また、MAPを回収している下水処理場を見学した際のことであるが、マグネシウムを下水汚泥分離液に添加してMAPを生成させる工程の外にマグネシウムが入り込み、意図しないMAP生成が生じて処理場の運転に支障をきたしている処理場が存在した。この辺は実用化に際しての課題である。

最後に(5)であるが、我々の研究結果からカリウムがリンよりも過多でないとMPPは生成しないことが分かっている。これはMAPも同様でアンモニウムが過多でないとMAPは生成しない。原因は特定されていないが、精緻な反応制御を要すると思われる。

6. おわりに

我々の研究結果では、一般的な下水汚泥分離液中のリンとカリウム濃度はMPP生成の条件を必ずしも満足しておらず、特にカリウム濃度の低さが問題となる。しかし、し尿を受け入れている下水処理場や植物系バイオマスと下水汚泥を混合嫌気消化している汚泥分離液ではリンとカリウムの濃度はおのずと高くなることが考えられる。また、近年MAPによるリン回収システムが下水汚泥処理工程に導入されるにつれて、MAP生成の阻害となる鉄やアルミニウム系の無機凝集剤の使用を控えるといった方策がとられるようになってきている。将来的にはMPPとMAPの生成を人為的に制御できる高度な技術開発を目指す。これにより、

下水処理場からリンと窒素、カリウムといった肥料の三要素を自在に回収することが可能になると考えている。

謝辞

本稿で取り上げた筆者らが行った研究は、すべて大阪湾広域臨海環境整備センター平成24・25・26・27年度「廃棄物・海域水環境保全に係る調査研究費助成制度」の助成を受けて実施したものである。ここに記して謝意を示す。

参考文献

- 1) 世界で急騰するリンとカリ ニッポン農業の肥料はどうなる?、農業経営者 2008年7月号、pp18-32 (2008)
- 2) 清水徹朗、化学肥料原料の資源問題と食料安全保障、農中総研 調査と情報、20, pp.4-5 (2010)
- 3) 農林水産省、肥料原料の安定確保に関する論点整理 (http://www.maff.go.jp/j/seisan/sien/sizai/s_hiryo/senryaku_kaigi/pdf/siryu.pdf) (2010)
- 4) Arienzo, M., Christen, E.W., Quayle, W., Kumar, A., A review of the fate of potassium in the soil-plant system after land application of wastewaters. *J. Hazard. Mater.* 164, pp.415-422 (2009)
- 5) 寺中遼太、原田浩幸、上本誠悟、リン、カリウムの同時回収に関する研究、第12回環境技術学会年次大会予稿集、pp.16-17 (2012)
- 6) Wilsenach, J.A., Schuurbiers, C.A.H., van Loosdrecht, M.C.M., Phosphate and potassium recovery from source separated urine through struvite precipitation. *Water Res.* 41, pp.458-466 (2007)
- 7) Taylor, A.W., Frazier, A.W., Gurney, E.L., Solubility products of magnesium ammonium and magnesium potassium phosphates. *Trans. Faraday Soc.*, 59, pp.1580-1584 (1963)
- 8) Borgerding, J., Phosphate Deposits In Digestion Systems. *J. Water Pollut. Control Fed.* 44, pp.813-819 (1972)
- 9) Peter Piekema and Andreas Giesen, PHOSPHATE RECOVERY BY THE CRYSTALLISATION PROCESS: EXPERIENCE AND DEVELOPMENTS, paper presented at 2nd International conference on Phosphate Recovery for Recycling from Sewage and Animal Wastes, Noordwijkerhout, The Netherlands, Mar. pp.12-13 (2001)

- 10) 中尾賢志、西尾孝之、改質浄水発生土を用いた海面埋立処分場内水のリン除去および回収、用水と廃水、55(9)、pp.675-685 (2013)
- 11) 中尾賢志、西尾孝之、浄水発生土によるリン回収過程における各種元素の挙動と KMP としての回収可能性、平成 24 年度 大阪市立環境科学研究所報告 調査・研究年報、75、pp.45-49 (2013)
- 12) 田中恒夫、電解晶析法による下水からのリン、カリウムおよび水素の同時回収、再生と利用、39 (147)、pp.76-82 (2015)
- 13) 中山翔太、高橋正宏、佐藤久、深澤達矢、森康弘、中川晴菜、カリウム回収の仕上げ工程としての塩化物混合物からの塩化カリウムの分離、第 52 回下水道研究発表会講演集、pp.449-451 (2015)
- 14) 中尾賢志、西尾孝之、下水汚泥処理工程からのリンとカリウムの同時回収の試み、第 26 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演集 pp.241-242 (2015)
- 15) 中尾賢志、西尾孝之、MPP (リン酸マグネシウムカリウム) 生成におけるアルミニウムの阻害、第 15 回環境技術学会年次大会予稿集、pp.94-95 (2015)

特別報告

下水汚泥固形燃料化の取組みと JIS の活用について

国土交通省水管理・国土保全局下水道部下水道企画課
資源利用係長 和田 直樹

キーワード：下水汚泥固形燃料化、JIS Z7312、焼却施設代替、下水汚泥エネルギー化

1. はじめに

平成 27 年 7 月に施行された改正下水道法において、下水道管理者は「発生汚泥等が燃料又は肥料として再生利用されるよう努めなければならない」とされた。下水汚泥のエネルギー化については、平成 23 年に制定された固定価格買取制度（FIT 法）の影響もあり、

汚泥を消化して得られるバイオガスによる発電や、汚泥を他の廃棄物等と共に焼却して発電（廃棄物発電）を行う等の取組みが増加している。

一方で、単に発電し電力とするのではなく、下水汚泥を固形化し燃料として活用する取組みも近年増加しつつある。本稿では、下水汚泥固形燃料化の取組みの現状について示す。



図 1 下水汚泥固形燃料化の実施状況

2. 下水汚泥固形燃料化への取組状況

(1) 下水汚泥エネルギー化の現状

2014 年度の発生汚泥中の有機物について、エネルギー利用は約 15%、緑農地利用は約 10%、一方で、焼却（焼却灰等のマテリアルリサイクルを含む）や埋立等によりバイオマスとしての再利用が行われなかった割合は約 75%であった。

下水汚泥固形燃料化を現在実施している地方公共団体を図 1 に示す。現在、全国で 13 の処理場において固形燃料化が行われており、今後さらに横浜市・静岡市・豊橋市等においても事業化に向けた取組みが行われている。

3. 下水汚泥固形燃料化技術の概要

下水汚泥を固形燃料として利用する技術としては、汚泥炭化技術と汚泥乾燥技術に大別される。

各技術の概要を以下に示すとともに、得られる製品の主な特徴を表 1 にまとめた。

(1) 汚泥炭化技術

無酸素状態で下水汚泥を加熱することにより、汚泥中に含まれる分解ガス（乾溜ガス：生成ガスやタール、水分等）を放出させ、汚泥を熱分解し燃料化汚泥を製造する技術。温度帯により低温炭化（250～350℃程度）、中温炭化（400～600℃程度）、高温炭化（700℃以上程度）と分類する場合もある。高温炭化は炭化が

表 1 各固形燃料化技術により得られる製品の特徴

炭化	<ul style="list-style-type: none"> ・ 粒径が φ2～3 mm 程度の粒状固形物で、ハンドリング性は良好 ・ 乾燥汚泥と比較して、臭気が少ない ・ 発熱量は乾燥汚泥と比較して低い ・ 空気中の酸素と反応し発熱する自己発熱特性を有する
造粒乾燥	<ul style="list-style-type: none"> ・ 鼠色で φ2～5 mm 程度の均一な粒状、ハンドリング性に優れる ・ 含水率は 6～10% 程度、生汚泥に比べ臭気が少なく、吸湿しない条件で長時間貯留しても変質せず貯留性に優れる ・ 石炭の 2/3 程度の低位発熱量を有し、炭化製品に比べ発熱量が高い
油温減圧乾燥	<ul style="list-style-type: none"> ・ 黒色で平均粒径は φ1 mm 程度のペレット状であり含水率は 3% 以下 ・ 高温処理による殺菌性により、製品の安全性に優れる。 ・ 油分を約 30% 含み、石炭と同程度の低位発熱量（21MJ/kg・DS 程度）を有する ・ 放熱性の悪い環境や酸素リッチな環境下では、自己発熱特性を有する
改質乾燥	<ul style="list-style-type: none"> ・ 含水率は 5～10% で φ3 mm 以下の粒体 ・ かさ比重は 0.8 g/cm³ 程度で石炭に近い ・ 発熱量は、石炭の 70% 程度であり、脱水汚泥と同等以上 ・ 製品の安全性については、他の炭化燃料製品や乾燥燃料製品と同程度で、粉塵爆発の可能性は低い
表面固化乾燥	<ul style="list-style-type: none"> ・ 表面に固化層が形成されるため粉状乾燥汚泥の飛散が抑制され、ハンドリング性に優れる ・ 低温乾燥のため、揮発性有機物を最大限残留させ（90% 以上、消化汚泥はほぼ 100%）、発熱量を確保できる ・ 可燃性ガスの発生、粉塵爆発の可能性は低い

進行しているため炭化物の発熱量は少ないが、廃熱利用量が大きく必要な補助燃料消費量は少ない。一方、低温炭化は炭化物の発熱量は大きい、補助燃料消費量は多くなる。

(2) 汚泥乾燥技術

1) 造粒乾燥

造粒乾燥は、汚泥の粘着性を利用し、乾燥粒子（核粒子）に汚泥を薄膜状に塗布し、転動造粒した汚泥を熱風で乾燥させる方法。水分を蒸発させる操作のため、基本的に脱水汚泥中の有機物は分解されない。

2) 湯温減圧式乾燥

油温減圧式乾燥は、脱水汚泥と廃食用油を混合し、減圧下で加熱することにより下水汚泥中の水分を高効率で急速に蒸発させる方法。乾燥過程で発生する蒸発水分は、ミストキャッチャーで捕捉され、乾燥機の加温に再利用される。

3) 改質乾燥

改質乾燥は、下水汚泥を高温・高圧の条件下（例えば 200℃～230℃、1.6MPa～2.9MPa）で脱水性の高い状態に改質した後、乾燥させる技術。改質乾燥システムは、主に改質・冷却装置、脱水・乾燥装置及び排水処理装置で構成される。投入された脱水汚泥は、改質器で高温スチームによる水熱反応を受け液状化し、同時に有機成分の一部が分解し、酸素が離脱して改質される。その後、脱水・乾燥を経て含水率 10% 以下の粒状の燃料製品となる。また、脱水機において発生するろ液を嫌気性処理槽（UASB 法）で処理してメタンガスを回収し、改質用ボイラの補助燃料として利用することができる。

4) 表面固化乾燥

表面固化乾燥は、汚泥成型機によって脱水汚泥を断面約 1 cm の角柱状に成型し、表面固化乾燥装置にて比較的低温（約 200℃）な乾燥空気汚泥を乾燥させる技術。表面固化乾燥システムは、汚泥成型

機、乾燥熱風炉、乾燥熱交換器、抽気処理装置で構成され、乾燥熱交換器では焼却設備等の外部廃熱を回収し、燃費の向上が図られている。

(3) B-DASH プロジェクトにおける固形燃料化技術

国土交通省が実施する下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト）においても、複数の固形燃料化技術の実証が行われてきた。以下にその技術を示す。

- 温室効果ガスを排出しない次世代型下水汚泥固形燃料化技術（平成 24・25 年度）
- 廃熱利用型 低コスト下水汚泥固形燃料化技術（平成 24・25 年度）
- 脱水乾燥システムによる下水汚泥の肥料化、燃料化技術（平成 28 年度～）
- 自己熱再生型ヒートポンプ式高効率下水汚泥乾燥技術（平成 28 年度～）

4. 下水汚泥固形燃料に関する JIS (JIS Z7312)

(1) JIS Z7312 の概要

下水汚泥固形燃料の品質の安定化及び信頼性の確立を図り、安心して事業に活用してもらうことで、市場の活性化を促進することを目的として、平成 26 年 9 月に下水汚泥固形燃料に関する工業標準（JIS Z7312）が制定された。制定にあたっては、（公社）日本下水道協会が事務局となり「下水汚泥固形燃料 JIS 原案作成委員会」（委員長：津野洋大阪産業大学教授）が設置され、作成された JIS 原案に基づき日本工業標準調査会の審議を経て制定された。

JIS の概要は表 2 の通りである。

(2) JIS 取得の手続き

下水汚泥固形燃料製造者や販売者が JIS を利用するには、国により認定された JIS 登録認証機関による

表 2 下水汚泥固形燃料 JIS (JIS Z7312) の概要

種類	総発熱量 ^{a)} (MJ/kg)	全水分の質量分率 ^{a)} (%)	灰分・全硫黄・窒素の質量分率 (%)
BSF-15	15 以上	20 以下	— ^{b)}
BSF	8 以上		

a) 到着ベース、すなわちロットの受渡しの状態（すなわち、全水分含有の状態）における分析値のベースとする。
 b) 規定値は定めないが、試験した到着ベースによる値を報告する。その他の項目は、受渡当事者間の協定による。



図2 JIS 認証取得の手順 (出典：経済産業省ホームページ)

審査を受けることによって認証を取得する必要がある。JIS 認証の取得にかかる手順を図2に示す。

JIS Z7312 の認証を行うことのできる登録認証機関は、2016年9月現在以下の2機関が登録されている。

- ・一般財団法人日本品質保証機構 (JQA)
- ・一般財団法人建材試験センター (JTCCM)

本規格認証への申請のための事前準備については、以下の点に留意する必要がある。

- ・品質管理責任者の確保：JIS 製品認証の取得にあたっては、原則として製造部門から独立した強い権限を持つ品質管理責任者の確保が必要となる。任命にあたっては、JIS Q1001 一般認証指針に示される一定の資格要件をクリアする必要がある。
- ・社内標準化：製品製造、品質管理に関する社内標準化が必要となる。JIS を満たすよう定められた社内規格に基づき製造された製品が、認証審査の対象となる。

その他、申請にあたっては、審査に必要な申請図書の作成、社内標準化に基づく一定期間の生産実績が要求されることから、事前に十分な時間の余裕をもった準備が必要となる。申請や審査にかかる手続き・費用等の詳細については、各登録認証機関に問い合わせいただきたい。

5. 終わりに

本稿では、下水汚泥固形燃料化に関する現状と技術概要、また一昨年制定された JIS Z7312 の活用に向けた情報等を紹介した。下水汚泥エネルギー化の推進に向けては、下水汚泥固形燃料化の他にも、バイオガスや水素利用、焼却排熱の効率的利用など、様々な方法があるが、固形燃料化のメリットは焼却施設代替として導入することで処理場施設の簡素化を図ることができ、また燃料化後に汚泥や灰等の処分が不要な点にあると考えられる。各処理場の実態に合わせて適切な技術を選択していただきたい。

投稿報告

複合バイオマス受入れと 汚泥可溶化による メタン発酵の可能性について

日本水工設計 (株)

新川 勝樹、小針 伯永、青木 功

キーワード：メタン発酵、複合バイオマス、汚泥可溶化

1. はじめに

佐賀県唐津市は、新たなエネルギーミックスの実現に向けて、再生可能エネルギーの導入やエネルギーの合理的な使用を推進するため、平成 24 年 6 月に「唐津市再生可能エネルギーの導入等による低炭素社会づくりの推進に関する条例」を制定し、この条例に基づき、再生可能エネルギーによる産業振興を図り、低炭素社会づくりを進めるため、「唐津市再生可能エネルギー総合計画」を策定した。

唐津市では、唐津市浄水センターとその他公共下水

道の脱水汚泥量は年間 5,000 t に達し、漁業・農業集落排水汚泥、し尿浄化槽汚泥、ならびに給食センターから排出される生ごみも含め多額の廃棄物処理費を要している。これらの廃棄物を地域で発生する有用なバイオマスとして活用することで、低炭素社会づくりを推進するとともに、かかるコストを低減できる可能性がある。

本報告では、唐津市浄水センターでの複合バイオマス受入れと、新しい汚泥処理のひとつとして開発された汚泥可溶化によるメタン発酵の導入の可能性について検討した結果を報告する。

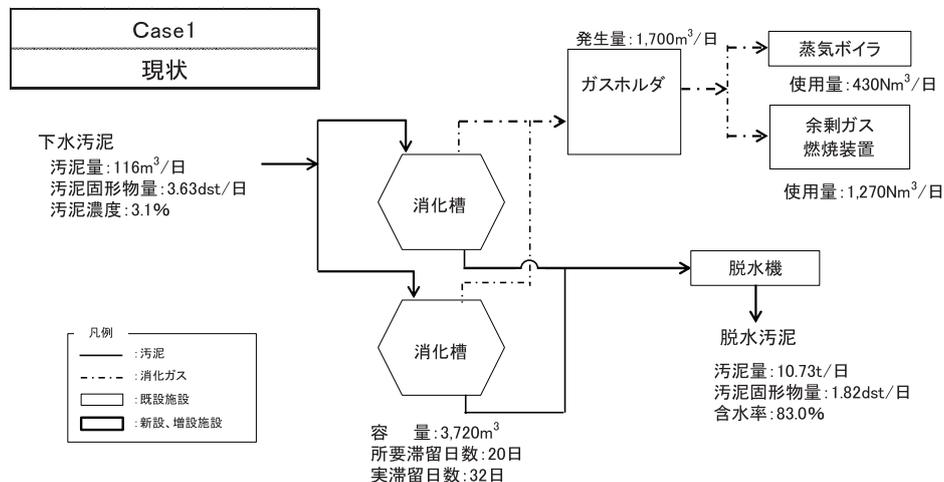


図1 唐津市浄水センターの汚泥処理状況 (現状)

2. 唐津市浄水センターの状況

唐津市浄水センターの汚泥処理状況を図1に示す。処理方式は、水処理は標準活性汚泥法、汚泥処理は分離濃縮+消化+脱水である。平成25年度現在、日平均汚水量は18,767m³/日であり、これに対し、消化ガス発生量は約1,700Nm³/日、脱水汚泥量は10.7t/日である。

消化ガスは消化槽加温用ボイラの燃料として利用されているが大半は余剰ガスとして燃焼処理されている。また、脱水汚泥はコンポスト業者により肥料として有効活用されている。

3. 検討方法

複合バイオマス受入れ、汚泥可溶化の導入可能性検討は、マテリアル収支を求め、現状に対してライフサイクルコスト(以下、LCC)、温室効果ガス排出量(以下、GHG排出量)(但し、いずれも廃棄を除く)を削減できるかどうかを算定することによるものとする。

(1) 検討対象技術

1) 複合バイオマスの受入れ

複合バイオマス受入れは、今まで廃棄物として処理してきたし尿浄化槽汚泥、生ごみ等を有用なバイオマスとして下水処理場で受入れ、下水汚泥と混合したのち消化することでエネルギー(消化ガス)を増産する。下水処理場だけではなく廃棄物処理にかかるLCC、GHG排出量を削減し、トータルでの導入効果を期待するものである。

表2 検討ケース

	バイオマス受入	可溶化施設
Case 1 (現状)	無	無
Case 2	有	無
Case 3	有	有

表3 利用するバイオマス量

	汚泥量	濃度	固形物量
	m ³ /日	%	t/日
下水汚泥	116	3.1	3.63
漁業・農業集落排水汚泥	5.9	3.0	0.18
生し尿	74	1.5	1.11
浄化槽汚泥	56	1.0	0.56
生ごみ	0.11	22	0.02
合計	252	2.2	5.5

2) 汚泥可溶化

汚泥可溶化は、消化タンクへ投入するバイオマスの難分解性有機物を改質し、消化率を引き上げるものであり、本報告においては、B-DASH プロジェクト、日本下水道事業団との共同研究がなされた、汚泥を高圧高温下で水熱反応を起こす、熱により可溶化する技術を検討対象としている。消化率向上による固形物量の減量化、消化ガスの増産、また消化日数の短縮、消化汚泥の脱水性を向上するが、返流水負荷の増加、処理水COD濃度の上昇等を伴うため、水・汚泥処理全体での検証が必要である。

(2) 検討ケース

バイオマスの受入れ、汚泥可溶化の導入可能性を検証するため、ここでは表2のケースを検討する。なお、Case 2, 3においては、消化ガス発電を行うこととしている。

(3) 検討条件

- 1) 唐津市内で発生する下水汚泥、漁業・農業集落排水汚泥、生し尿、浄化槽汚泥、ならびに給食センターの生ごみを受入れ対象(表3参照)とした。利用するバイオマスのうち1/3が受入れによるものとなる。またこれに伴い、市内の衛生処理センターを廃止するものとした。
- 2) 消化ガスで発電した電力は場内で使用することとした。(固定価格買取制度による売電ではない。)
- 3) かかるコストは、マニュアル等1),2)に掲載されている費用関数、メーカーヒアリング等により算定した。
- 4) LCCにおける建設費の年価は、施設は標準耐用年数で更新するものとして算出した。
- 5) GHG排出量は、マニュアル等1),3)に掲載されている排出係数等により算定した。

4. 検討結果と考察

(1) マテリアル収支計算結果

マテリアル収支計算結果を図2に示す。消化ガス発生量は、図1に示した現状Case 1の1,700Nm³/日に対し、Case 2は2,260Nm³/日、Case 3は2,750Nm³/日まで増産され、この内汚泥加温と汚泥可溶化に用いる消化ガスを差し引いてもCase 2は1,900Nm³/日、Case 3は2,100Nm³/日を発電に利用することができる。また、脱水汚泥量は、現状Case 1の10.7t/日に対し、バイオマス受入れ後のCase 2は17.9t/日まで増加するが、Case 3は11.5t/日と微増にとどまる。汚泥可溶化により固形物量が減少したこと、脱水性が良くなり含水率を下げることに起因する。

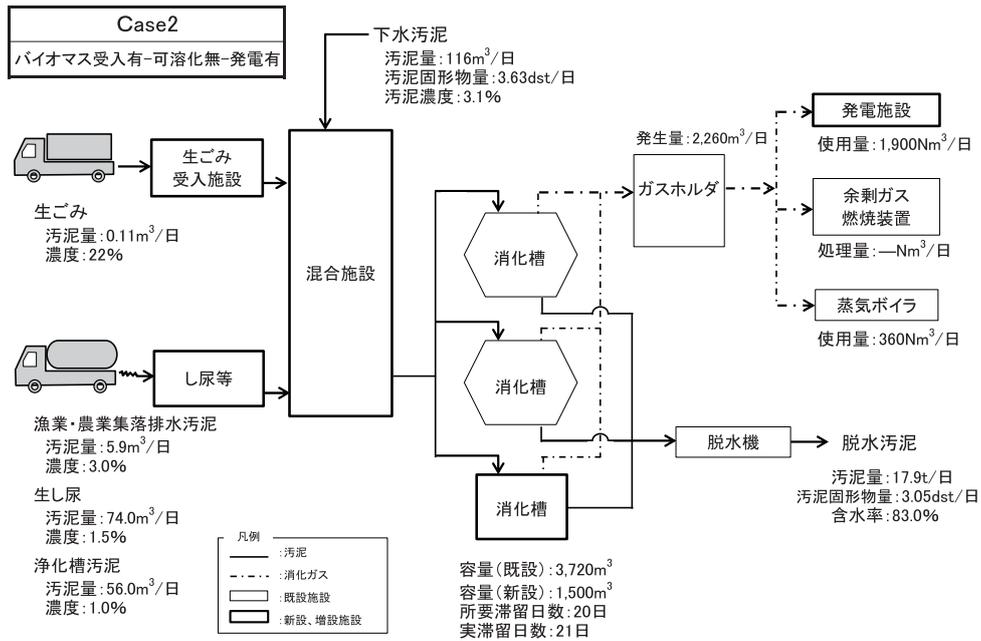


図 2-1 Case 2 マテリアル収支計算結果

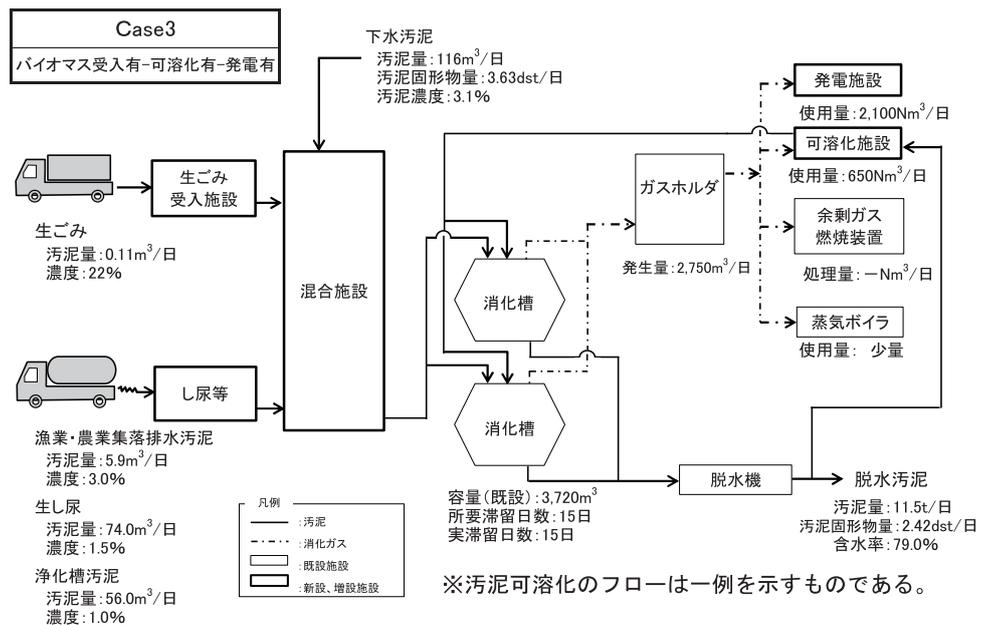


図 2-2 Case 3 マテリアル収支計算結果

(2) LCCの削減効果

Case 2, 3のLCC算定結果 (Case 1を0とする) を図3に示す。いずれのLCCも現状から大幅に削減されており、複合バイオマス受入れの効果が認められる。また、Case 3はCase 2よりもさらにLCCが削減される結果となった。主な理由は以下の通りである。

1) Case 2, 3ともに、し尿等処理費 (衛生処理センター運営費等) が不要となるため、大幅に市内

の汚泥等処分経費が削減される。

2) Case 3は、汚泥可溶化を導入することで消化日数は中温消化20~30日を15日に縮小することができ、消化槽を増設することなく市内のバイオマス全量を受け入れることができる。

3) Case 3は、消化率向上による固形物量の減量化、消化汚泥の脱水性を向上するため、利用するバイオマスが増えても脱水汚泥量は現状と比べて微増である。

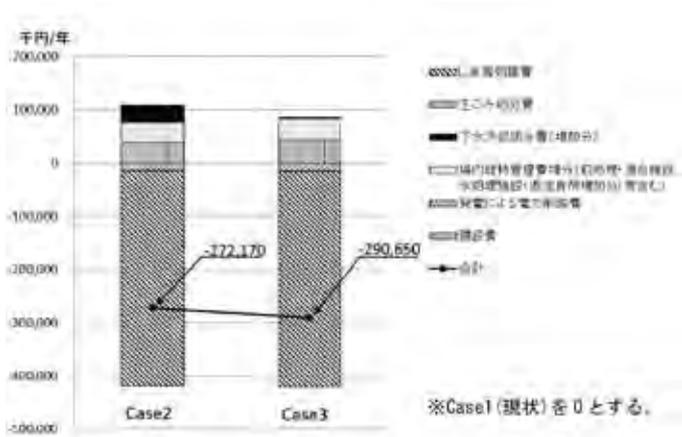


図3 LCC削減効果

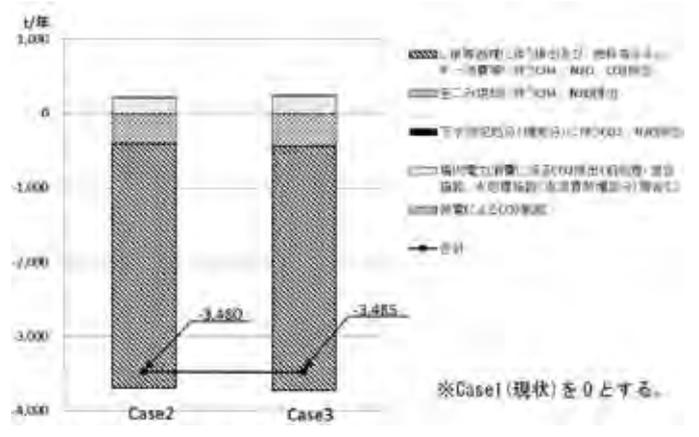


図4 GHG排出量の削減効果

なお、本検討においてはLCCにおける建設費の年価は、施設は標準耐用年数で更新するものとして算定しているが、施設を延命化させることでより大きな導入効果を得ることができる。

(3) GHG排出量の削減効果

Case 2, 3のGHG排出量算定結果(Case 1を0とする)を図4に示す。複合バイオマスを全量唐津市浄水センターで受け入れることにより、GHG排出量が大幅に削減される結果となった。主な理由は以下の通りである。

- 1) し尿等の処理による電力、燃料等エネルギー消費に伴う排出量が大幅に削減される。
- 2) バイオマスを受入れ、消化ガスを増産し発電することで場内使用電力量を削減することができる。

5. おわりに

唐津市浄水センターでの複合バイオマス受入れと汚泥可溶化によるメタン発酵の導入の可能性を検討した結果、し尿等受入れに伴う衛生処理センターの廃止と汚泥可溶化導入によりメタン発酵効率を高め既存消化槽によるバイオマス利用を最大化することが可能となり、低炭素社会づくりの推進とコスト縮減を同時に期待できる結果を得た。唐津市は、平成28年3月に「唐津市下水道バイオマス事業化推進協議会」を発足し、本検討結果を踏まえた上で議論を開始され、今年度中を目途に方向性を決定したいとしている。

類似の条件下において他の下水処理場においても同様に導入効果が得られる可能性がある。バイオマス有効活用の気運が高まる中、本報告がより積極的な導入検討を進めるための一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) 下水処理場へのバイオマス(生ごみ等)受入れマニュアル
- 2) 下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン(案)
- 3) 下水道における地球温暖化防止推進計画策定の手引き

投稿報告

下水汚泥由来固形物の 汚染土壌浄化工法における 分散剤への利用

メタウォーター株式会社 太田 琢磨、遠藤 正人
DOWA エコシステム株式会社 野崎 順兵、友口 勝

キーワード：下水汚泥、土壌浄化、有効利用

1. はじめに

下水汚泥を処理して有効利用する方法には、汚泥から炭化物を製造し燃料利用する方法、汚泥を焼却して生じる焼却灰を土木資材等に利用する方法がある。しかし炭化物の燃料利用には、製造時に補助燃料として使用される化石燃料量が焼却方式と比較して著しく増加することが課題である。一方、焼却灰の土木資材利用では、焼却灰に含まれる成分（重金属等）が利用にあたっての基準（利用先による）を上回る場合があり、課題となっている。特に、有効利用先として多くの割合を占めるセメント利用では、下水汚泥焼却灰は増量材の位置づけで利用されているが、焼却灰が含有するリンの影響でむしろその利用量を制限される場合がある。そこで、下水汚泥由来固形物（炭化物、焼却灰）の持つ特有の物理的・化学的性質を活用する新たな利用方法の開発が求められている。本報告では、上述の課題を解決するため、下水汚泥由来固形物の新たな利用方法として、汚染土壌処理工法の一つである乾式磁力選別工法（Dry Magnetic Extraction Method、以下DME工法）の分散剤（半水石膏の代替）への利用を検討した。具体的には、下水汚泥由来固形物が持つ低水分で小粒径な特性が、どのように分散剤としての性能に影響するのかを、基礎的試験と実証試験から明らかにした。

2. 技術概要

2.1 DME工法への下水汚泥由来固形物の利用

DME工法とは、汚染土壌に添加した鉄粉に重金属を吸着させ、その鉄粉を磁力選別することで土壌を浄化する乾式土壌浄化技術である⁽¹⁾⁽²⁾。従来この工法では、土壌の分散性（水分、粒径等により左右される）を改善し、鉄粉の磁力選別効率を上げるための分散剤として中性の無機物（半水石膏等）を利用している。この分散剤として下水汚泥由来固形物の利用を検討した。図1にDME工法への下水汚泥由来固形物の利用フローを示す。

下水処理場より発生した下水汚泥由来固形物（炭化物、焼却灰）は、分散剤として土壌改良機に投入され、土壌、鉄粉と混合される。混合された分散性の高い土壌はコンベアでドラム磁選機に運ばれ、濃縮土（磁着物）と浄化土（非磁着物）に分離される。

2.2 分散剤に求められる特性

DME工法の分散剤に求められる特性は、土壌の分散性（水分、粒径等）を改善し、鉄粉の磁力選別効率を上げることである。本特性を満たすために必要な物理的・化学的性質を表1に示した。

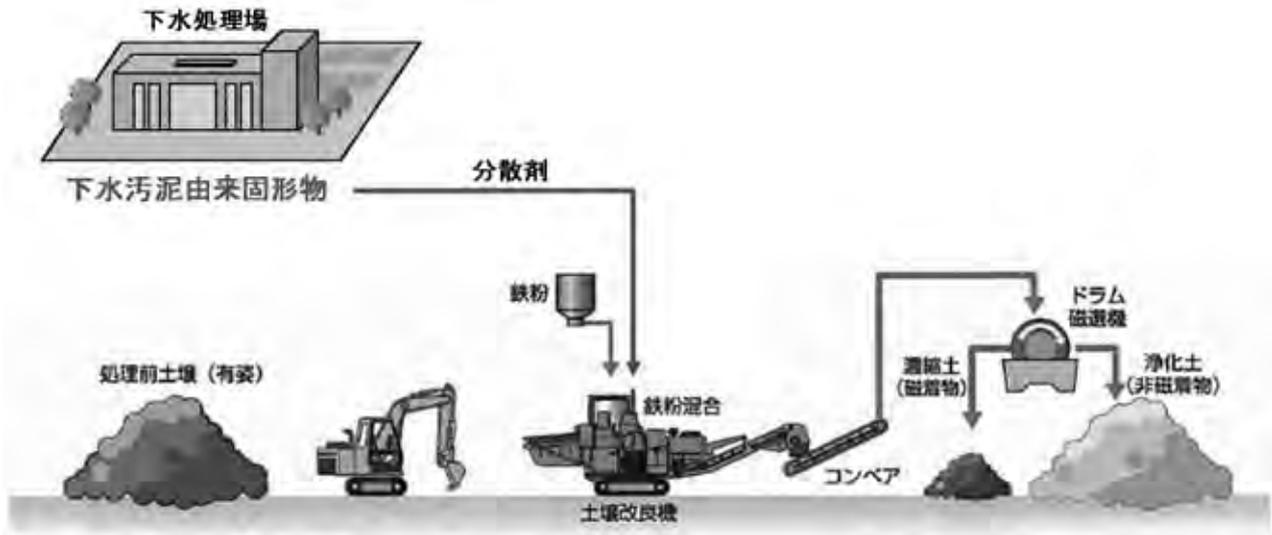


図1 DME工法への下水汚泥由来固形物の利用フロー

表1 DME工法の分散剤に必要な物理的・化学的性質

項目	目標値	必要な理由
含水率	≤1 %	団粒化した土壌の水分を調整し、団粒を細分化 磁着物回収量の増大
粒径 (D50)	≤100 μm	
pH	中性	土壌 pH を著しく変化させず、環境負荷を与えない アルカリは、鉄粉の局部電池反応による重金属吸着能を抑制するため、不適。
重金属濃度	土壌溶出量基準 (環境省告示第 18 号) 土壌含有量基準 (環境省告示第 19 号) を満足	土壌汚染対策法上の土壌溶出量および含有量基準を満足し、環境影響を与えない

3. DME工法の分散剤に適する下水汚泥固形物の製造方法

前述したように、DME工法の分散剤として適するよう、下水汚泥由来固形物は、小粒径かつ吸湿性を有していることが望ましく、また、重金属含有量は、土壌汚染対策法上の基準値を満たすだけでなく、極力低減することが望ましい。さらに極力低コストで製造することが実設備の運営において必要である。

そこで、上記を達成するために、流動炭化-高温集塵技術により製造した流動炭化物の利用を検討した。

(図2)

本技術は、高温で比較的高い空気比 (m = 0.8 ~ 0.9) で炭化を行うことで、燃料化を目的とした炭化よりも燃料使用量を削減可能である。また流動炭化物は、低沸点のヒ素やセレン等が揮発した状態にある高温下 (750℃ ~ 800℃) でサイクロンにより集塵されるため、重金属含有量が少なく吸湿性を有し、かつ低コストで得ることができる。

本技術は、通常の焼却処理では分散剤としての特性や環境基準を満たせない汚泥に対しても、DME分散剤としての適応可能性を広げ、受け入れ可能とすることが期待できる。

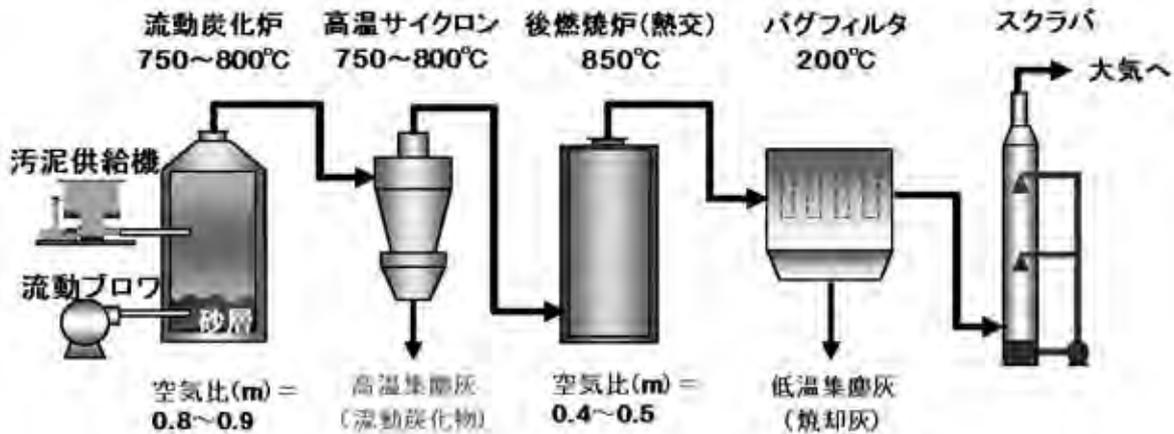


図2 下水汚泥流動炭化—高温集塵フロー

4. 基礎的試験

4.1 試験試料と分析結果

はじめに机上試験において、下水汚泥由来の固形物がDMEの分散剤として利用可能か確認を行った。試験試料には、下水汚泥由来固形物として一般的な下水汚泥焼却灰（A処理場）、炭素含有量の異なる2種類の流動炭化物（細粒化や炭素含有による分散性の向上と吸湿性を狙うため、B処理場、C処理場）、および比較として半水石膏を用いた。

各試料の物理的・化学的性質、主要成分分析結果を

表2に示す。物理的・化学的性質は、全ての試料で目標値と同等であり、DMEの分散剤として利用可能であることが確認された。また、炭化物は焼却灰と比較して平均粒径（D50）が小さく、より土壌分散効果が高いと考えられる。

4.2 試験結果

① 吸湿試験

添加する分散剤の吸湿性が高いほど、土壌の含水率が低減され、団粒が崩壊することで、土壌の分散性は向上する。そこで、各試料の分散剤としての特徴を確認するため吸湿試験を実施した。

表2 各試料の性質と成分分析結果

項目		単位	A 焼却灰	B 炭化物	C 炭化物	半水石膏	目標値
性 質	平均粒径 (D50)	μm	33.2	19.7	23.3	9.4	≤100
	pH	—	3.8	7.8	7.6	—	中性
	含水率	%	0.3	0.3	—	—	≤1
	炭素含有量	%	0.2	27.9	7.8	—	—
成分 分析	酸化鉄 (III)	%	32.2	29.5	8.1	—	—
	酸化ナトリウム	%	0.5	0.9	0.0	—	—
	酸化カルシウム	%	5.4	5.5	9.8	—	—
	酸化マグネシウム	%	2.3	2.9	3.2	35.0	—
	酸化カリウム	%	2.0	4.1	3.3	—	—
	三酸化硫黄	%	1.4	2.0	1.2	50.0	—
	酸化アルミニウム	%	7.8	8.0	10.1	—	—
	二酸化珪素	%	12.8	12.4	20.7	—	—
五酸化リン	%	33.0	32.2	40.4	1.5	—	

下水汚泥由来固形物の吸湿試験として、JIS M8811-1976「石炭類及びコークス類のサンプリング方法並びに全水分・湿分測定方法」(旧JIS規格)を実施し、結果を半水石膏と比較した。

各試料の吸湿試験結果を図3、図4に示す。

図3より、概ね全ての下水汚泥由来固形物は半水石膏以上の吸湿割合を示した。また、吸湿割合はB炭化物が最も多く、次いでC炭化物、A焼却灰であった。なお、半水石膏の吸湿割合は概ねA焼却灰と同等であった。また、下水汚泥由来固形物は半水石膏と比較して、1日目で吸湿割合が高く安定し、吸湿速度が速い特性を有していた。

図4に8日目における各試料の炭素含有量と吸湿割合を示す。炭素含有量と吸湿割合は概ね比例関係を示しており、吸湿割合及び吸湿速度の違いは、炭素分の有する多孔質な構造に水分が吸湿されているためと

推測される。

以上より、下水汚泥由来固形物の物理的性質は半水石膏と同等以上の吸湿割合、速度を有しており、DME分散剤として適すと考えられる。特に炭化物は、他の試料と比較して水分を素早く多量に吸湿するため、DME分散剤として優れている。

② 土壌への分散剤添加試験

本試験では、下水汚泥由来固形物の土壌分散効果を評価するため、土壌 200 g に対して各試料を 3 ~ 10wt% 添加し、細分化した団粒状態の土壌を篩分けすることで得られる試料について、通過質量百分率が 50% となる平均粒径 (D50) を測定した。測定結果を図5に示す。

図5より、試料添加率と土壌の平均粒径 (D50) は反比例の関係を示し、下水汚泥由来固形物は、概ね全

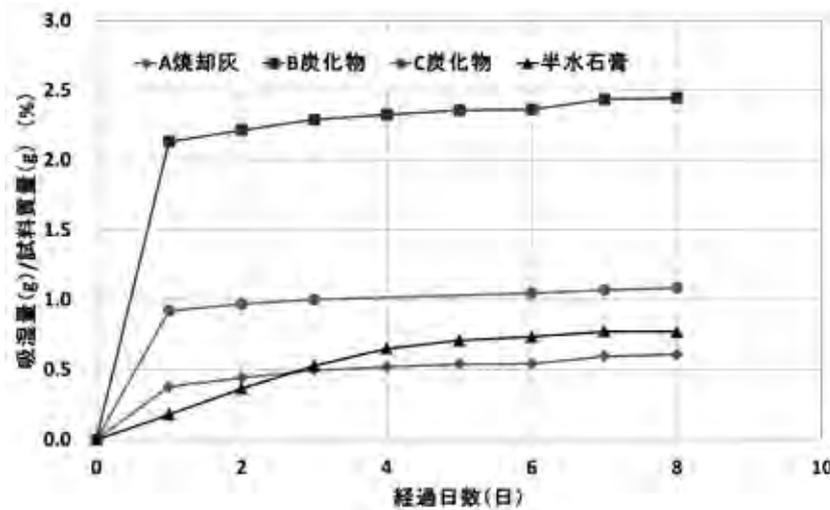


図3 吸湿量の経時変化

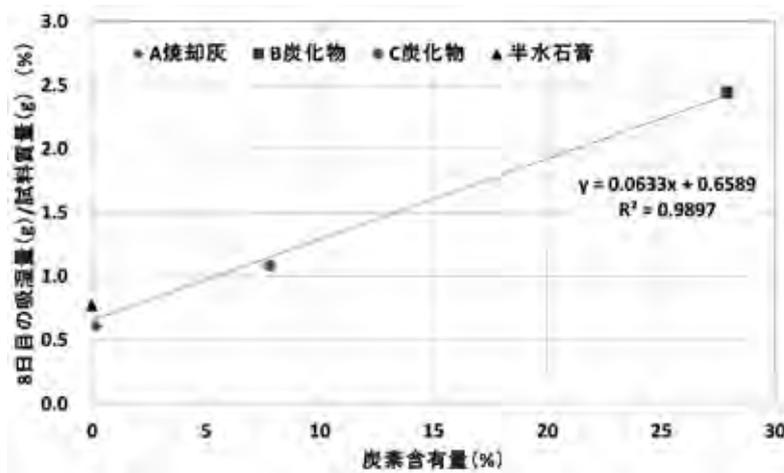


図4 8日目における炭素含有量と吸湿量

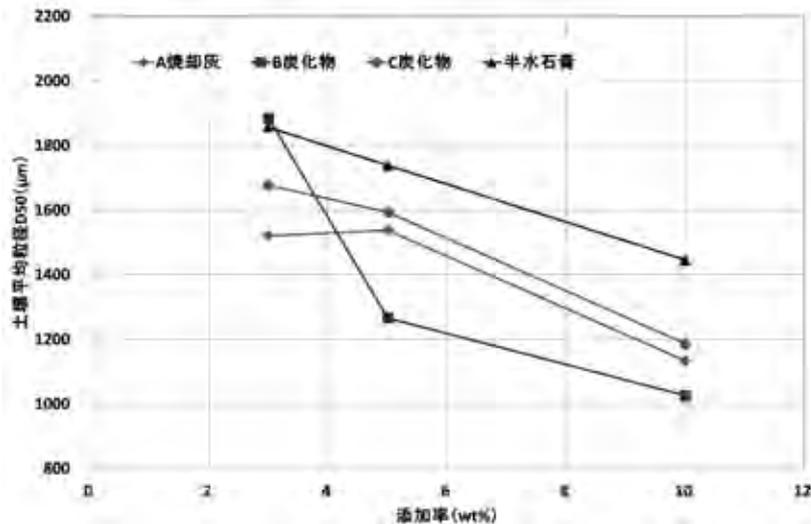


図5 試料添加後の土壌平均粒径 (D50)

での添加率で半水石膏よりも平均粒径 (D50) が小さい傾向を示した。これは、下水汚泥由来固形物の吸湿割合と吸湿速度が半水石膏より優れているためと考えられ、全ての試料の中で最も高い吸湿割合を示したB炭化物は、最も高い分散性を示している。更に、半水石膏自体の平均粒径 (D50) は他の試料と比較して1/3～1/2倍程度小さいが、同添加率 (例えば10wt%) での下水汚泥由来固形物の土壌平均粒径 (D50) は半水石膏よりも2/3以下に小粒化している。

以上より、下水汚泥由来固形物は半水石膏と比較してDME分散剤としてより適することを確認した。

5. DME 実証試験

吸湿試験、土壌への分散剤添加試験結果を踏まえ、下水汚泥由来固形物 (とりわけ流動炭化物) が実設備でも土壌の分散剤として効果を有し、環境基準を満たした浄化土が得られることを確認するため、実証試験を行った。

5.1 試験要領

① 試験場所

- ・エコシステム花岡株式会社 (外観を図6に示す。)



図6 DME 設備外観

② 試験試料

・下水汚泥由来固形物：

運転条件（炭化炉空気比 = 0.4、炭化温度、集塵温度 = 600℃）は異なるが、**図 2** に示した下水汚泥流動炭化 - 高温集塵フローで製造された炭化物。

実際に炭化汚泥肥料として販売されている下水汚泥流動炭化物（B炭化物）を購入し用いた。

・試験対象土壌：

ヒ素の土壌溶出量基準不適合（0.067mg/L：環告 18号分析）の土壌を用いた。

③ 試験方法

試験では、**表 3** に示す条件で、汚染土壌に対して下水汚泥流動炭化物（分散材）を 8.5wt% 添加し、得られた混合物の団粒化状態の粒度を評価した。また、DME 工法の処理後に得られた浄化土壌（非磁着物）及び濃縮土（磁着物）に対し、重金属の含有量や溶出量の測定を行った。

④ 分析項目

表 4 に分析項目一覧を示す。

表 3 試験条件一覧

項目	重量 (t)
汚染土壌量	25.0
鉄粉添加量	0.1
流動炭化物添加量	2.1
合計	27.2

表 4 分析項目一覧

試料	分析項目	分析内容および方法
汚染土壌（元土）	Pb、As、Se、F、Cr6+、 CN ※DME 処理での許可項目	溶出量分析：環境省告示第 18 号 含有量分析：環境省告示第 19 号
下水汚泥流動炭化物（分散剤）		
浄化土壌（非磁着物）		
濃縮土壌（磁着物）		



図 7 汚染土壌（処理前）



図8 浄化土（非磁着物）



図9 濃縮土（磁着物）

5.2 DME 実証試験結果

① 試料添加後の土壤粒度分布測定結果

図7、8、9に汚染土壤およびDME工法にて処理・回収された浄化土、濃縮土の外観写真を示す。外観でも汚染土壤にB炭化物を添加することで、土壤の分散性が改善されていることが分かる。

団粒化した汚染土壤の平均粒径（D50）は、添加前が約6000 μm に対し、添加後は約3000 μm まで減少した。以上より、下水汚泥流動炭化物は実プラントにおける汚染土壤処理で利用した場合においても、分散剤として良好な性能を示すことが実証された。

② 土壤の重金属溶出量分析結果

表5に示す通り、試験によって得られた浄化土のヒ素（As）溶出量は、元土壤の1/10以下まで低減し、土壤溶出量基準に適合した。また、その他の項目も土壤溶出量基準に適合した。土壤含有量も表6に示す通り、すべての項目が基準に適合した。

以上のことから下水汚泥流動炭化物を使用した場合においても、他の資材と同様にDME処理によって、土壤溶出量基準および土壤含有量基準を満たす浄化土を得ることが可能であることが確認された。

表5 土壌溶出量分析結果一覧

	土壌溶出量 (mg/L) (環告 18号)					
	Pb	As	Se	F	Cr6+	T-CN
元土壌	—	0.067	—	—	—	—
浄化土 (非磁着物)	<0.01	0.004	<0.001	0.2	<0.005	不検出
濃縮土 (磁着物)	<0.01	<0.001	<0.001	0.3	<0.005	不検出
炭化物	<0.005	0.008	<0.002	<0.1	<0.01	不検出
土壌溶出量基準	<0.01	<0.01	<0.01	<0.8	<0.05	不検出

表6 土壌含有量分析結果一覧

	土壌含有量 (mg/kg) (環告 19号)					
	Pb	As	Se	F	Cr6+	T-CN
浄化土 (非磁着物)	<10	<10	<10	<10	<10	<10
濃縮土 (磁着物)	<10	<10	<10	<10	<10	<10
炭化物	19	<15	<15	<400	<25	15
土壌含有量基準	<150	<150	<150	<4000	<250	<50

6. まとめ

本検討により下水汚泥由来固形物が汚染土壌の乾式処理方法である DME 工法の分散剤として有効であることが実証された。

これにより、土壌処理のような新たな分野での下水汚泥由来固形物の利用拡大が期待されるが、そのためには下水汚泥由来固形物中に含まれる重金属を揮発させるため、その含有量のより低減可能な流動炭化物の高温集塵技術の普及が必要である。今後もより良い有効利用方法の拡大に向けた技術の開発、新規分野への応用を検討したい。

以上

【参考文献】

- (1) 友口勝・鎌田雅美・日野成雄・野崎順兵・吉俊輔
乾式磁力選別による重金属含有土壌の処理について、第21回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会 (2015年) p450
- (2) 友口勝・鎌田雅美・日野成雄・野崎順兵・吉俊輔
乾式磁力選別を用いた重金属含有土壌の中規模処理試験結果について、第21回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会 (2015年) p34

コ ラ ム

アースオーブンとビオトープ

アースオーブンとは土窯のことである。私の家の庭に第一号をつくってから、各地に10基ほどつくった。もともと中東などで発達したパン焼き窯であるが、これを発展させているいろいろなものが調理できるようにした。年に2回か3回、アースオーブンパーティを開く。ピザをはじめ、大きな魚や鳥1羽、塊の肉、など普通の調理器具では焼けないものも調理できる。魚肉ソーセージやトウモロコシなども格別の味になる。遠赤外線と炭火焼と燻煙処理が一体になった調理法なので独特の風味となる。石窯に比べると土窯は遠赤外線の波長がやや長く柔らかく仕上がる。火力が落ちてきたら燻製をつくることもできる。一つの窯で火力に応じて様々な調理ができる。

この土窯をつくったのは、ビオトープをつくる際に発生する土の処理をどうするかという問題があったからである。その泥を練って石灰を入れて混ぜ、雨で戻らないようにセメントも少し加えて泥団子をつくり、これを積んで窯をつくる。泥団子が固まるまでに一日、これを積むのに1日、乾燥した後、内外部を仕上げるのに1日、これが乾くまでに1日、その後に火入れをして焼き締めて出来上がり。人手もたくさん必要なので、イベントとしてつくる。泥団子づくりは子供でもできて楽しいが、この方法は世界共通の左官の伝統技法でもある。

燃料は薪である。焚き付けは秋に出てくる庭木の剪定枝を冬場に乾燥させておく。丁度よい太さの薪は都市内では手に入らないので、山に出かけた時に入手する。何でもよいというわけではなく、ナラやブナなどの落葉広葉樹を2年以上乾燥させたものがよい。針葉樹は樹脂分が強く、調理には向かない。燻製などの香り付けをする際にはサクラなどを用いる。土窯は燃料を贅沢に選ぶのである。

薪という燃料はバイオマスそのものである。かつてはどこの山にも薪炭林があった。今では放置されて萌芽更新もできないほど木が育ってしまっている。燃料としての効率は石炭や石油にかなわないが、効率だけではない良さがある。手間暇かかるが、その分いろいろな楽しみを味わうことができる。災害時の備えにもなる。2口のへっついを一緒に作ると、へっついでご飯とみそ汁、土窯でおかずをつくることができる。防災炊き出しセットである。これにビオトープをセットでつくと環境教育ツールになる。へっついも土窯とは違う便利さがあり、燃料も焚き付けの細かい粗朶だけで充分である。木灰がたまったら植物の肥料として土に戻す。

ビオトープは雨水を集めて循環させる。私のところではソーラーを用いて自動的に循環させている。雨水は敷地からすぐに流すのではなく、一時敷地内に留めることが大事である。ゲリラ豪雨対策などは下水道や河川では対応できないので、オンサイトで皆が雨の循環系を制御する必要がある。水を溜めればこれも防災に役立ち、また多くの生き物たちに潤いの場を与えることができる。小さな水場でも四季折々、昼夜、様々な生き物たちが利用する。これをかい間見るのも楽しいものである。

昨年、グリーンインフラが国土形成計画と社会資本整備重点計画の中に盛り込まれ、国策となった。グリーンインフラを一言でいえば、自然の力を賢く使う、ということである。当たり前のことがようやく見直されて取り組まれる時代になってきた。防災、減災、生物多様性、雨水管理、などなど、幅広く統合的な概念であるが、地球環境時代の生き方の戦略でもある。しかし、その実践は一人一人の小さな取り組みが基盤となる。アースオーブンやビオトープもそうした小さな取り組みとして見直すことができるように思う。

法政大学兼任講師 神谷 博

報告

消化ガス発電普及のための 導入マニュアル

公益財団法人日本下水道新技術機構
資源循環研究部 小野 基巳

キーワード：消化ガス発電設備、導入マニュアル、B/C

1. 研究目的

再生可能エネルギーの利用、温室効果ガスの削減が望まれ、下水汚泥は主要なバイオマス資源のひとつとして一層のエネルギーとしての活用が期待されている。汚泥処理プロセスにおけるエネルギーの活用方法として、消化ガスの利用、炭化や乾燥による汚泥の燃料化、下水汚泥焼却過程からの排熱の利用が有望とされている。その一方で、消化ガス発電設備の建設投資費用が高く B / C (Benefit/Cost) が 1 以上とならないため、消化ガスを焼却処分している事例が多く存在する。

(公財) 日本下水道新技術機構では、既に消化設備が稼働している処理場が消化ガス発電設備を円滑に導入していくために、消化ガス発電設備導入のケーススタディおよび導入効果の診断手法に関する検討を行った。

2. 研究内容

本研究では、既に消化設備が稼働している処理場が消化ガス発電設備を円滑に導入していくため、消化ガス発電設備導入による経済効果の予備診断手法および参考となるケーススタディについて検討を行い、導入マニュアルとしてとりまとめた。

3. 研究結果

3.1 規模別（仮想処理場）におけるケーススタディ (1) 消化ガス発電設備の概要

図-1 に消化ガス発電設備の一例としてガスエンジン方式のシステムフローを示す。消化槽で発生した消化ガスを脱硫した後、ガスホルダで貯留し、ガス供給装置により昇圧してシロキサンを除去した後、ガスエンジン発電装置に供給する。ガスエンジン発電装置からの排熱を利用するコジェネレーションシステムの場合は、排熱回収装置と温水循環装置により熱を消化槽に供給する。

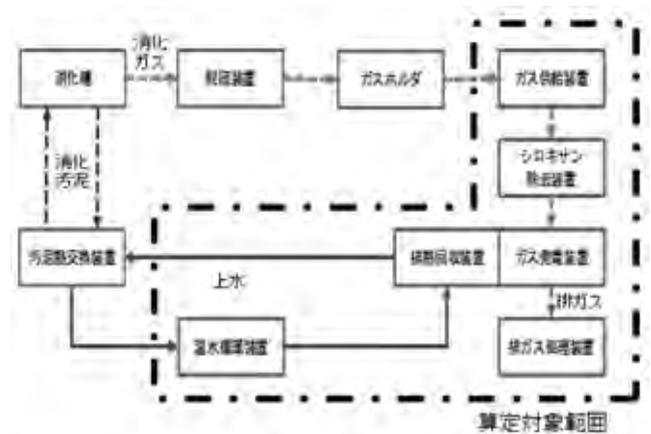


図-1 消化ガス発電設備のシステムフロー

(2) 仮想処理場におけるケーススタディ

1) コスト算定範囲・条件

仮想処理場におけるケーススタディは以下の条件等で行った。

①便益

発電した電力を処理場内で利用することによる電力従量料金の削減を対象とした。電力単価は10、15、20円/kWh(税抜)の3ケースを設定した。また、参考にFIT(固定価格買取制度)を利用したケースについても検討を行った。

②コスト

コストは消化ガス発電設備の建設費と維持管理費の合計とした。

a) 建設費

建設費は、**図-1**に示す算定対象範囲の建設費と、電気設備の改造(受変電設備への接続)を対象とした。なお、建設費をできるだけ削減するために、消化ガス発電設備の監視は専用の簡易操作パネルによる監視を想定し、既設中央監視設備の改造は含まない条件で試算を行った。

b) 維持管理費

維持管理費は、シロキサン除去装置や上水等のユーティリティ費および点検修繕費を対象とした。運転管理は既存の人員で対応可能と想定し、新たな人件費は考慮していない。

③消化ガス性状等の諸元

本ケーススタディにおける対象発電方式や消化ガスの性状等の諸元を**表-1**に示す。

2) 導入効果の算定方法

①熱収支の確認

消化槽の加温に必要な熱量と消化ガス発電設備における排熱回収量を試算し、年間変動を考慮して熱収支の確認を行った。消化槽への投入汚泥量は、**図-2**に示す消化ガス発生量と投入汚泥量の関係よ

り、投入汚泥量を設定した。また、消化槽加温必要熱量については、以下の式により算出し、排熱回収量との大小を確認した。

$$\begin{aligned} & \text{消化槽加温必要熱量 [MJ/日]} \\ & = \text{消化槽投入汚泥量 [m}^3/\text{日]} \times (\text{消化温度 [}^\circ\text{C]} - \text{投入汚泥温度 [}^\circ\text{C]}) \times 4.186 / 0.8 \end{aligned}$$

②FIT利用による便益の算出

FITを利用した便益は以下の式により算出した。

$$\begin{aligned} & \text{売電収入 [円/kWh]} \\ & = \text{年間発電量 [kWh/年]} \times \\ & \quad \text{FIT買取価格 [円/kWh]} \end{aligned}$$

※FIT買取価格:39円/kWh(平成27年度税抜)
 なお、FIT利用時は消化設備における電力使用量を発電量より賄う必要があることから、消化設備の電力使用量を次式により算出し、発電量から差し引いた。

$$\begin{aligned} & \text{消化設備の電力使用量 [kWh/日]} \\ & = \text{投入汚泥量 [m}^3/\text{日]} \times \\ & \quad \text{消化日数 25 [日]} \times 0.1 \text{ [kWh/m}^3 \cdot \text{日]} \end{aligned}$$

③発電量あたりの総コストの算定

発電設備の導入目安として、発電量当りの総コストを次式より算定した。

$$\begin{aligned} & \text{発電量あたりの総コスト [円/kWh]} \\ & = (\text{発電設備建設年価} + \\ & \quad \text{発電設備年間維持管理費}) \div \text{年間発電量} \end{aligned}$$

※建設年価は建設費を耐用年数で除して求めた。

※年間発電量は自己消費分を除いた値とした。

3) 導入効果の算定

①B/Cについて

3つの電力従量料金別およびFIT利用時における、発電利用消化ガス量とB/Cの関係を**図-3**に示す。

B/Cは消化ガス利用量の増加に伴って改善する傾向であった。また、電力従量料金15円/kWhの場合、B/C>1となる最小の消化ガス利用量は

表-1 消化ガスの性状等の諸元

項目	内容
対象発電方式	モノジェネレーション コジェネレーション
消化ガス年間変動比	春、秋 : 1.0 夏 : 0.8 冬 : 1.2
メタン濃度	60%
硫化水素濃度	10ppm(脱硫後)
投入汚泥温度	15℃
消化温度	35℃

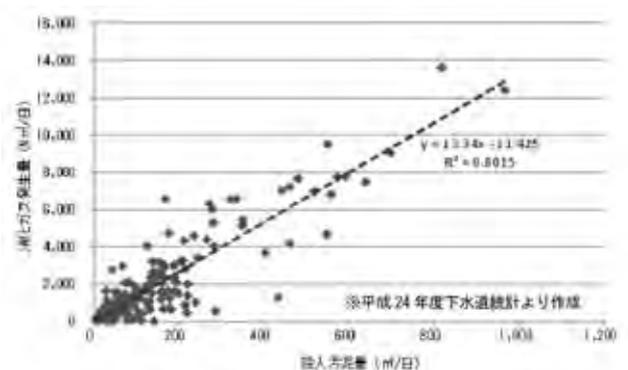


図-2 消化ガス発生量と消化槽投入汚泥量

600m³/日であった。電力従量料金をパラメータとした本ケーススタディにより、B / C > 1となる発電利用消化ガス量の範囲を明らかにした。

FITを利用した場合はB / Cが大幅に改善する傾向であり、B / C > 1となる最小の消化ガス利用量は300m³/日であった。

なお、コジェネレーションシステムの場合は消化槽の加温に必要な熱量が排熱回収によって賄えることを確認している。

②発電量あたりの総コストについて

発電利用消化ガス量と発電量あたりの総コスト（建設費と維持管理費の合計）の関係を図-4に示す。図-4は、発電電力を場内利用する条件において、B / C > 1となるプロットを採用して作成したグラフとなっている。また、建設費への国庫補助が有る場合についてグラフにプロットを併記している。発電利用消化ガス量の増加に伴って総コストが低下する傾向にあった。

3.2 導入効果の予備診断

図-4に示す発電利用消化ガス量と総コストの関係より、消化ガス発電設備の導入効果を簡易的に判断し、導入効果の予備診断を行うことができる。

簡易判定の方法は、消化ガス発電設備に利用できる消化ガス量を図-4の曲線と照らし合わせ、発電量あたりの総コストを把握する。総コストが発電設備導入対象の地域電力単価より安価であれば、B / Cが1以上となる。

上記の予備診断の結果、導入効果が期待できない場合でも、便益を高める工夫、コストを下げる工夫、事業スキームの工夫等で導入効果が改善する場合もあるため、予備診断の結果だけで事業化の可否を判断せず、必要に応じて詳細な検討を行うことが望ましい。また、予備診断でB / Cが1を下回っても、FITを適用することで導入効果の向上が期待される。

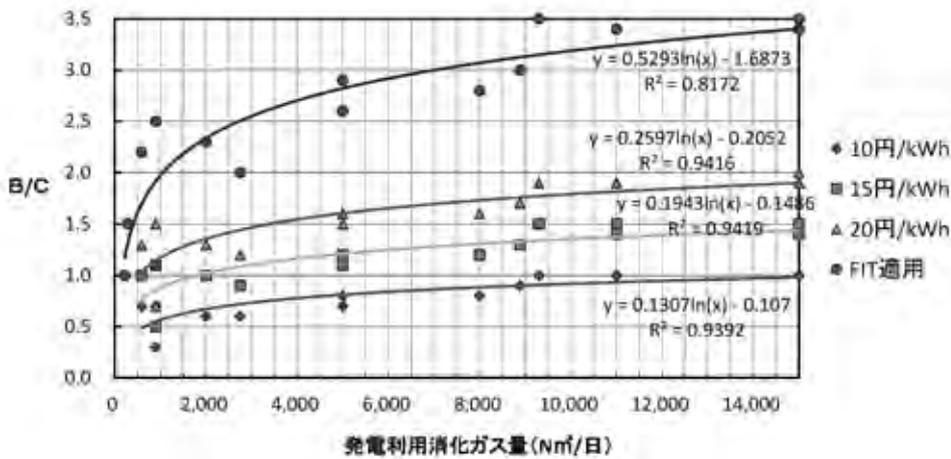


図-3 発電利用消化ガス量とB / Cの関係

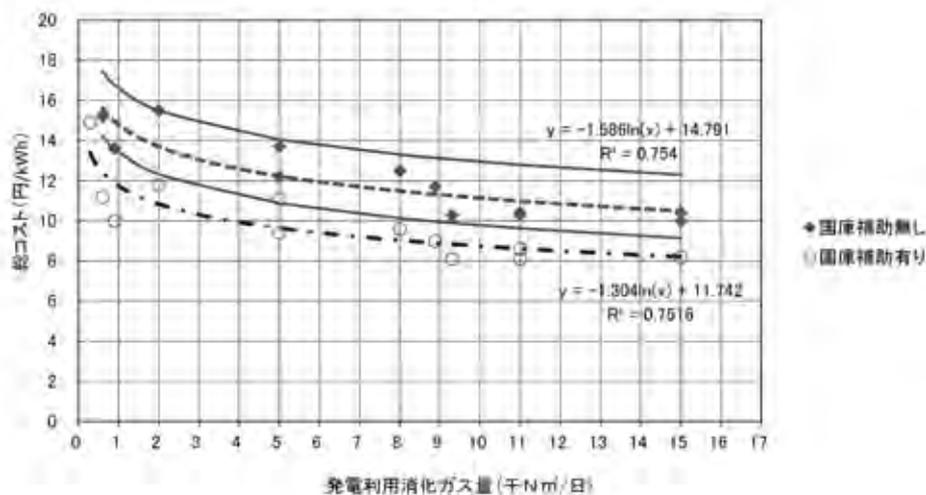


図-4 発電利用消化ガス量と総コストの関係

3.3 今治市、飯能市におけるケーススタディ

今治市下水浄化センターおよび飯能市浄化センターをフィールドとしてケーススタディを実施した。

(1) ケーススタディの諸元、便益の項目

1) 諸元

各ケーススタディの諸元を表-2に示す。また、本ケーススタディで検討したケースを図-5に示す。

2) 便益の項目

仮想処理場におけるケーススタディの便益の項目に加え、電力基本料金の削減分と発電による温室効果ガス排出量削減の貨幣価値換算を考慮した。それぞれ以下の式によって算定した。

$$\begin{aligned} & \text{電力基本料金の削減 [円/年]} = \\ & \text{発電機定格出力 [kW]} \times (\text{設置台数} - 1) \times \\ & 0.8(\text{安全率}) \times \text{契約基本単価 [円/kW/月]} \times \\ & 12 [\text{月/年}] \end{aligned}$$

※契約基本単価は、今治市：1,783 [円/kW/月]、飯能市：1,269 [円/kW/月]とした。

$$\begin{aligned} & \text{温室効果ガス削減による削減 [円/年]} = \\ & \text{年間発電量 [kWh/年]} \times \\ & \text{CO}_2 \text{ 排出量原単位 [t-CO}_2\text{/kWh]} \times \\ & \text{CO}_2 \text{ 貨幣価値 [円/t-CO}_2\text{]} \end{aligned}$$

※ CO₂ 貨幣価値 = 2,890 円/t-CO₂

参照：下水道事業における費用効果分析マニュアル(案)(追補版)

(社団法人日本下水道協会、平成20年4月)
公共事業評価の費用便益分析に関する技術指針(共通編)

(国土交通省、平成21年6月)

3) コストの項目

今治市下水浄化センターの消化加温方式は蒸気吹込式のため、発電排熱で加温を行うケース2および3については排熱を回収する媒体として蒸気を利用

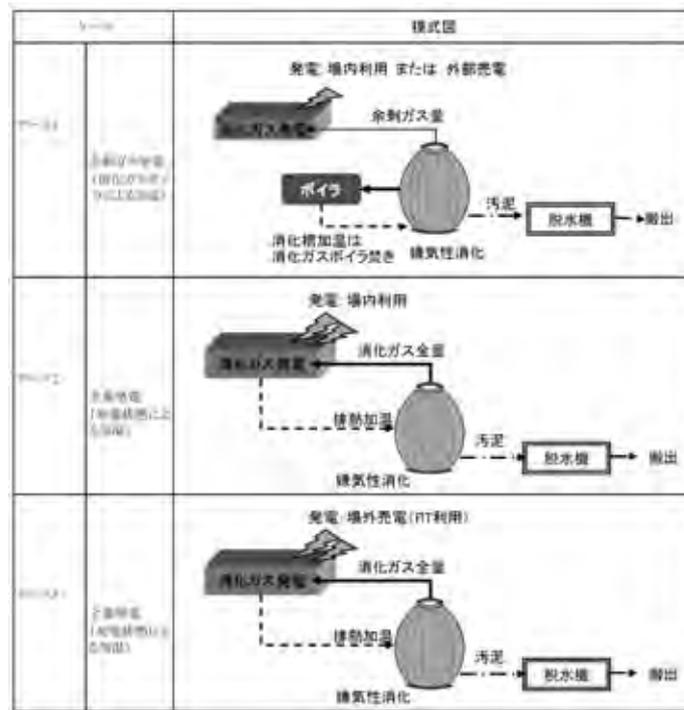


図-5 ケース設定

表-2 ケーススタディ諸元

項目	単位	今治市	飯能市
流入水量	m ³ /日	20,244	36,295
消化ガス発生量	Nm ³ /日	1,325	2,400
加温設備での消化ガス使用量	Nm ³ /日	572	1,095
余剰ガス	Nm ³ /日	753	1,305
消化ガスメタン濃度	%	76	60
消化槽攪拌方式	—	ガス攪拌	ガス攪拌
消化槽加温方式	—	直接加温(蒸気吹込)	直接加温(蒸気吹込)
電力単価	円/kWh	12	20

するか、もしくは蒸気加温方式から温水加温方式への改造費を積算する条件で試算を行った。

飯能市浄化センターの消化加温方式も蒸気吹込式であるが、温水加温方式への変更を別途検討しており、本ケーススタディでは温水加温が可能である条件で試算を行った。

(2) ケーススタディ検討結果

1) 今治市下水浄化センター

① 予備診断

今治市下水浄化センターの消化ガス発生量と電力単価を図-4の発電利用消化ガス量と総コストのグラフに照合した結果を図-6に示す。図-4の総コストはメタン濃度60%の条件で試算した結果であり、一方で、今治市下水浄化センターの消化ガスのメタン濃度は76%である。メタン濃度が高い方が発電設備の効率が上がり発電量あたりの総コストが下がる可能性がある。

② B / C 試算結果

B / C の試算結果を図-7に示す。ケース2および3については、いずれの発電設備も排熱が温水供給になるため蒸気加温システムには適さず、また温水加温への消化設備改造費用を積み上げた場合はB / Cが低下したため、ケース1（余剰ガスに対する発電）のみの検討となった。なお、今回は国庫補助を考慮しない条件でB / Cの試算を行った。

本試算では、電力従量料金に加えて基本料金削減分も加味するとB / C > 1となるケースが出てくる結果となった。

2) 飯能市浄化センター

① 予備診断

飯能市浄化センターの消化ガス発生量と電力単価を図-4の発電利用消化ガス量と総コストのグラフに照合した結果を図-8に示す。予備診断グラフを大幅に上回っており、導入可能性が高いと判断された。

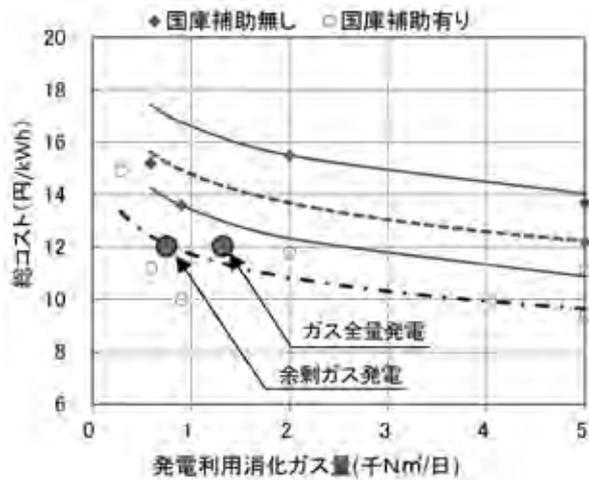


図-6 予備診断（今治市下水浄化センター）

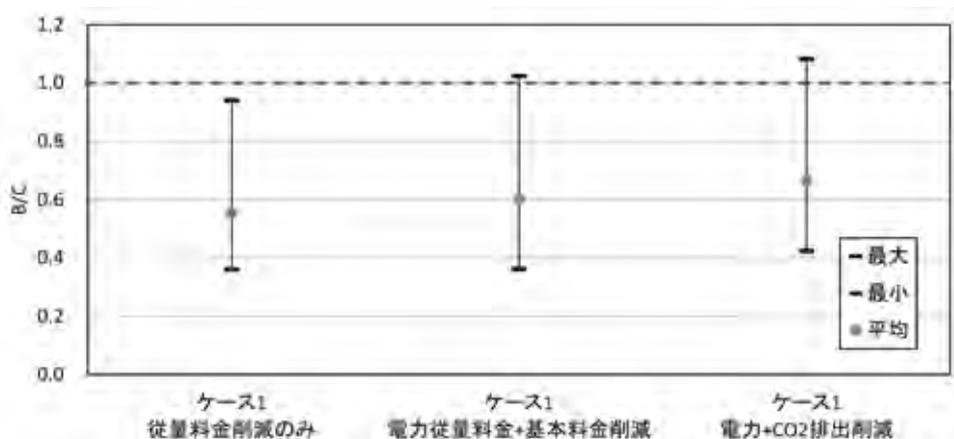


図-7 B / C 試算結果（今治市下水浄化センター）

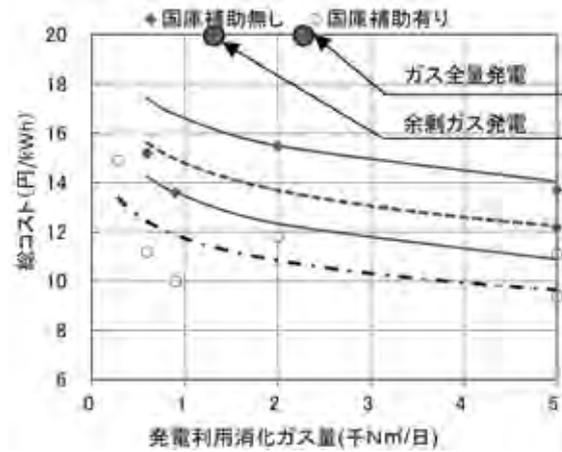


図-8 予備診断 (飯能市浄化センター)

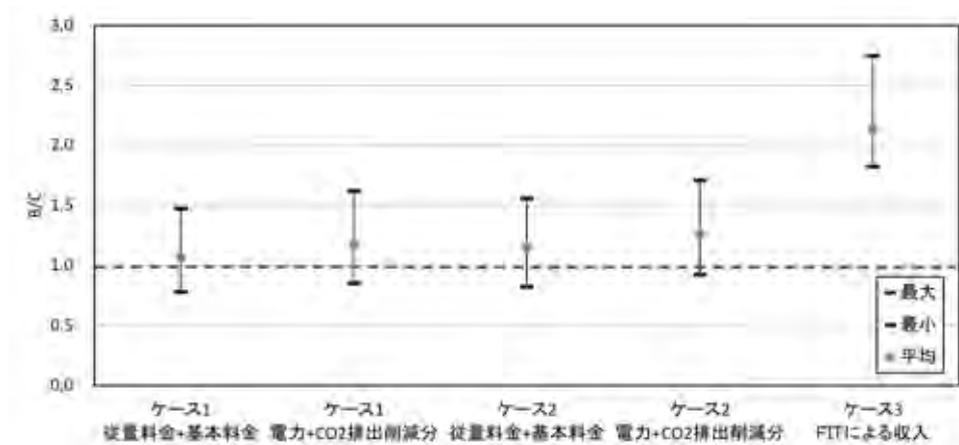


図-9 B / C試算結果 (飯能市浄化センター)

②B / C試算結果

B / Cの試算結果を図-9に示す。なお、今回は国庫補助を考慮しない条件でB / Cの試算を行った。

本試算では、全てのケースでB / C > 1となる結果となった。ケース1と2を比較するとケース2の方がB / Cが若干高い試算結果であるが、温室効果ガス削減の面では、発電量の多い全量発電の方が優位である。

4. おわりに

本研究の成果を「消化ガス発電普及のための導入マニュアル」としてとりまとめた。本導入マニュアルは、

消化ガス発電設備を円滑に導入していくために、上記のケーススタディの検討結果、及び導入効果の予備診断手法を提示したものである。併せて、計画、設計、施工、維持管理の手法等について提示したものである。

下水汚泥エネルギー化率の向上、地球温暖化対策および下水道事業の経営支援に貢献できる消化ガス発電の更なる普及に向けて、本導入マニュアルが一助となれば幸いである。

報 告

スウェーデン・マルメで開催された 包括的な汚泥管理に関する国際会議報告

京都大学大学院地球環境学堂 准教授 大下 和徹

NPO21 世紀水倶楽部 理事 佐藤 和明

京都大学大学院地球環境学堂 教授 高岡 昌輝

キーワード：IWA、包括的な汚泥管理に関する国際会議

はじめに

2016年6月7日－6月9日の3日間、スウェーデンのマルメ（Malmö）において、第二回包括的な汚泥管理に関する国際会議が開催された。主催はSweden Water Research社、Biofos社、IWA（International Water Association: 国際水協会）と、現地の Lund（Lund）大学等であり、会議名称は、“2nd International IWA Conference on Holistic Sludge Management”である。本会議は、IWAの汚泥管理（Sludge management）、嫌気性消化（Anaerobic digestion）、および栄養塩除去・回収（Nutrient

Removal and Recovery）の3つの専門家グループが合同で開催した2回目の会議であり、1回目は、2013年に同国のヴェステロースで開催された。その主旨は、タイトルにある”Holistic”という言葉に集約されている。すなわち、扱うテーマとして、汚泥処理を中心に、その上流側に位置する下水処理での栄養塩の除去・回収や有害物質の除去から、嫌気性消化で発生するバイオガスの有効利用、および処理汚泥の農地への還元などを広く扱うものであり、それらの関係性に主眼を置くことを目指すものである¹⁾。

開催都市であるスウェーデン、マルメ市は、スウェーデン最南部の都市であり、人口は約30万人と国内第3位の都市である。エーレスンド橋（写真-1）と呼ば



写真-1 エーレスンド橋

れる橋を隔てた西側はデンマーク・コペンハーゲンであり、本会議への海外からの参加者のほとんどが、コペンハーゲンから鉄道でマルメにやってくる。会議はマルメ市の南西部に位置するコンベンションセンター、Malmömässan で開催された（写真-2）が、後述するテクニカルツアーは、マルメ市及びコペンハーゲン市で実施された。

筆者・高岡、大下らの研究グループは、IWA 汚泥管理（Sludge management）専門家グループを中心に近年、国際研究活動を展開しており、本会議は、本専門家グループが中心になって関与した会議として16回目に当たる（表-1）。筆者・高岡は2007年のMoncton（カナダ）会議以降、東アジア（中国を除く）代表理事を務めている。



写真-2 会場となったコンベンションセンター、Malmömässan

表-1 IWA 国際汚泥会議の開催履歴

回	開催年	都市	国	理事長	備考
1	1997	Bari	イタリア	P. Balmer (スウェーデン)	
2	1997	Chestochowa	ポーランド	P. Balmer (スウェーデン)	
3	1999	Fremantle	オーストラリア	P. Balmer (スウェーデン)	
4	1999	Athens	ギリシャ	P. Balmer (スウェーデン)	
5	2001	Taipei	台湾	P. Balmer (スウェーデン)	
6	2001	Acapulco	メキシコ	P. Balmer (スウェーデン)	
7	2003	Trondheim	ノルウェー	L. Spinosa (イタリア)	
8	2004	Singapore	シンガポール	L. Spinosa (イタリア)	
9	2005	Johannesburg	南アフリカ	L. Spinosa (イタリア)	
10	2006	Moscow	ロシア	L. Spinosa (イタリア)	
11	2007	Antalya	トルコ	Steven K Dentel (USA)	
12	2007	Moncton	カナダ	Steven K Dentel (USA)	
13	2009	Harbin	ハルビン	Steven K Dentel (USA)	
14	2013	Västerås	スウェーデン	Steven K Dentel (USA)	3SG 共催
15	2015	Washington	USA	Banu Örmeci (カナダ)	Water and Energy (WEF)共催
16	2016	Malmö	スウェーデン	Banu Örmeci (カナダ)	3SG 共催

表-2 参加者の国別内訳

国名	参加者数
スウェーデン	84
デンマーク	28
ドイツ	10
カナダ	8
日本	6
オーストラリア	5
インド	5
チリ	4
ベルギー	3
シンガポール	3
ノルウェー	2
イギリス	2
USA	2
ベトナム	2
メキシコ	1
ポーランド	1
フランス	1
オーストリア	1
ギリシア	1
台湾	1
中国	1
フィンランド	1
スロベニア	1
スイス	1
クロアチア	1
計	173

参加者の概略を表-2に示す。参加者は、25ヶ国から、173名であり、前回（第1回）とほぼ同数であった。内訳としては、全体の半分が開催国スウェーデンからの参加者であったうえ、ヨーロッパ諸国からの参加者が大半を占めており、アジア圏からの参加者は全体的に少なかった。アジア圏では、日本は最も多く6名の参加者があり、大学関係者が4名、民間企業から1名、NPO法人から1名の参加者であった。なお、日本からの発表数は5件であった。日本からの参加者は、第1回目の6名と同数であり、日本から遠方であることも一要因であるかもしれないが、今後、さらに発表・参加の呼びかけを積極的に行うことが重要であると考えている。

オープニング、基調講演

最初に、この会議の組織委員長である VA SYD 副理事長の Aspergen 氏（VA SYD: マルメ市を含む広域水組合）よりスウェーデンにおける水資源問題、栄養塩リサイクル問題の概要が紹介され、本会議の開催意義に言及されるとともに歓迎の辞が述べられた。

続いて3名の演者による基調講演と討議が行われたが、本報告では、まず、最初の講演「スウェーデン、スカンジナビア諸国、欧州の視点からみた HSM」の内容を主に紹介することとした。

「スウェーデン、スカンジナビア諸国、欧州の視点からみた HSM」

スウェーデン上下水道協会 Mr. A. Finsson

スウェーデンでは水のサイクルと共に栄養塩のサイクルも環境保全、あるいは次世代へのサステナビリティの観点から重要な課題としている。すなわち農業への栄養塩のリサイクル、下水汚泥中のリン、窒素、有機物の利用を促進していくことが正しい方向である

と認識している。それ故、処理場に入ってくる下水には生物分解が不可能な、あるいは生物蓄積する物質を含まないということが前提となる。こうした有害物の流入源対策（ソースコントロール）は極めて重要である。

スウェーデンの環境庁（EPA）は、当面の目標として2018年まで少なくとも下水中の40%のリンと10%の窒素を、汚染問題のないかたちで農地へ利用、リサイクルしていくことを決定している。栄養塩をリサイクルしていくための好ましい戦略計画は、同時に毒性のない環境づくりの推進力になる。リサイクルに代わって焼却による解決法では、これまで多くの自治体や事業者が実施してきた毒性のない環境づくりの基となるソースコントロールを失うこととなる。本来の解決は、リサイクルを妨害する毒性物質をなくすことであり、その毒性物質によってリサイクルをやめることではない。これには時間がかかるかもしれないが、焼却がこれにとって代われば栄養塩（リン以外も含めて）のリサイクルの道は更に遠いものになるであろう。

スウェーデンでは Revaq (Renare vatten - bättrekretslopp 英訳すると Clearer water - better recycling) という名称で、下水処理場をリサイクル施設として認証するシステムを導入している。これはスウェーデンの上下水道協会に加えて農業者連盟、食料連盟、食料保存連盟によって運営され環境保護庁の後援も受けて実施されている。Revaq 認証システムの目標は、①流入下水水質の改良の原動力となること、②下水汚泥の生産と成分の透明性の確保、③汚泥生産工程および汚泥の品質のチェック、である。長期目標としては流入水質についてその金属濃度や有害有機物濃度がトイレ排水のそれを超えないこととしている。図-1に Revaq 認証下水処理場から発生する汚泥量と農業利用される汚泥量の推移を示す。現在の農業利用

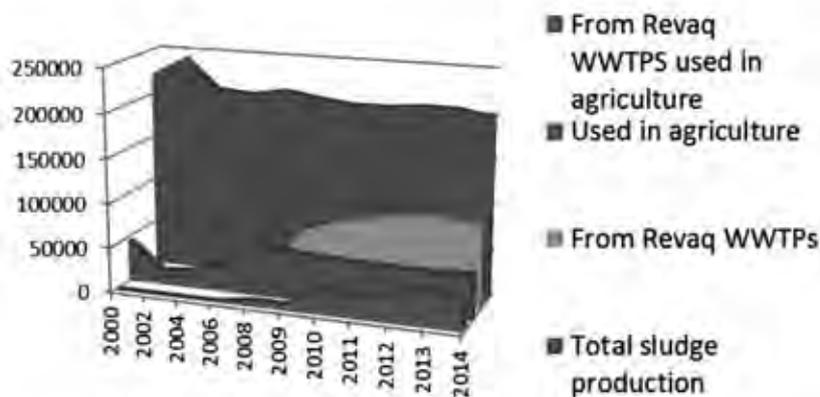


図-1 スウェーデンにおける Revaq 認定下水処理場と汚泥の農業利用の動向 (2000-2014)

される汚泥の割合は約2割であるが、近年その大部分はRevaq認証下水処理場の汚泥が対象となっていることが示されている。

次にSludge Management専門家グループのリーダーを務めているカナダCarleton大学のÖrmeci教授より、「バイオソリッド管理の新しい動向と研究のニーズ」の講演があった。新しい動向とその研究ニーズについては、ナノ粒子とくに銀のナノ粒子、内分泌かく乱物質等の微量有害有機物質とその処理技術としての分子インプリントポリマー、病原性微生物の処理プロセスおよび汚泥施用フィールドでの検出定量技術、汚泥脱水プロセスでの凝集剤ポリマーの最適注入制御プロセス等について詳しい説明がなされた。脱水ポリマーの最適注入制御については経済性という観点と同時にポリマーの外界環境影響を最小にするといった観点も含まれている。

次にカナダのブリティッシュ・コロンビア大学、資源・環境・サステナビリティ研究所のÖberg教授より「汚泥管理がまともにならないこと」と題して講演がなされた。事業施策プロセスに関する考察検討の報告が非常に限られており、汚泥の農業利用の実施で遭遇する多くの問題の解決に十分参考となっていない。事業施策をうまく進めることは、以下の項目を十分実施する能力如何にかかっている。①明快で実施可能な目標が提示されている、②何が問題であるのか特定されている、③目標の階層化がなされている、④透明なプロセスを用いる。そして、汚泥利用問題の解決には、関係者間における戦略的リスクコミュニケーションが必要であり、この手法をうまく使っていく能力を高めることが重要であると指摘された。

講演の後で、講演者間および会場を交えて質疑応答が行われた。その一端を紹介する。

コミュニケーションが事業施策問題の解決で重要な手法となるが、リスクコミュニケーションで、科学者は一般市民にコメントをする立場にいる。汚泥問題は必ずしも一般市民の関心事ではないが、安全な食料ということでは市民の意識は高い。一般市民からの汚泥利用に対する反対意見は強いが、賛成意見は少ないのが実情である。農業者からの汚泥利用の支持が重要なポイントになる。

また基調講演は2日目の午前中にも3件実施された。そのうち興味深かった一件について紹介する。

「法的フレームワークからみたドイツの汚泥管理」

デュースブルク＝エッセン大学 Prof. Karl-Georg Schmelz

ドイツでは、下水汚泥は、2000年以降農地利用の割合は漸減してきており、2014年の時点で、約6割が焼却され、残りが主に農地利用されていた。ところが、

2013年の11月に、下水汚泥の直接的な農地利用をやめ、リンやそのほかの栄養塩を積極的に回収すべきとの国内合意がなされた結果、2015年には、焼却割合が94.2%まで上昇した。すなわち、ドイツは、下水汚泥処理の方針を、下水汚泥焼却+焼却灰からのリン回収へ大きく転換したことになる。2015年に出された、ドイツにおける下水汚泥の条例案では、主に、次のようなことが示されている。

- ・10年の新体制への移行期間の間に汚泥の直接的農地利用は禁止する。
- ・2%以上のリン濃度を含む汚泥からはリン回収を義務づける。
- ・2026年までに、すべての汚泥は焼却する体制に移行する（小規模：処理人口1000人以下は例外）
- ・汚泥単独焼却で得られる灰は、直接リン肥料として利用する、あるいはリン回収プロセスに供する、もしくは、他の廃棄物とは別に埋立を行う（備蓄する）
- ・石炭や一般廃棄物、セメントとの混焼は汚泥中のリン濃度が2%以下の場合に実施可能とする。

以上のように、ドイツでは汚泥の最終処分について、大きな転換期を迎えている。このような原因は、汚泥の農地直接利用に対して、汚泥中の有害物質：重金属だけでなく、マイクロプラスチックや、残留性有機化合物などが懸念されてきた経緯があるとのことであった。焼却に対する考え方として、前述したスウェーデンとドイツでは大きな違いがあり、この点が大変興味深い点である。

なお、基調講演に使用されたスライド資料は2016年9月1日現在、PDF形式で、本国際学会のウェブサイトからダウンロード可能となっている。以下にアドレスを示しておくので、興味を持たれた方は参照いただければ幸いである。

<http://www.hsm2016.se/>

口頭発表・ポスター発表・ワークショップ

口頭発表では、プログラムにて開催された。表-3に発表プログラムの一覧を示す。発表件数は一般口頭発表が52件であった。一方、ポスター発表は9件で、ショートプレゼンテーションを含めたハイブリッド形式で実施された。また、汚泥の最終処分に関する意思決定に関するワークショップ、および下水・汚泥処理におけるカーボンフットプリントの評価に関するワークショップも同時開催され、前者では、筆者：高岡から、日本の汚泥処理・有効利用の現状についての報告をおこない、意見が交わされた（写真-3）

表-3 プログラムの概要

内容		件数
KEY NOTE SPEECH		6
セッション 1	ENERGY RECOVERY BY ANAEROBIC DIGESTION	12
セッション 2	SLUDGE REUSE AND DISPOSAL	6
セッション 3	INCINERATION OF SLUDGE AND HANDLING OF ASHES	3
セッション 4	MICROBIAL COMMUNITIES INFLUENCE ON HOLISTIC SLUDGE MANAGEMENT	3
セッション 5	HOLISTIC SLUDGE MANAGEMENT	6
セッション 6	RECYCLING OF MATERIALS AND ENERGY	6
セッション 7	RECYCLING OF NUTRIENTS	5
セッション 8	SLUDGE MINIMISATION DEWATERING	3
セッション 9	TOXIC ASPECTS OF SLUDGE RE-USE	2
セッション 10	SLUDGE MANAGEMENT IN A GERMAN PERSPECTIVE -THE ERWAS PROJECT	3
セッション 11	REVAQ - SWEDISH WWTP CERTIFICATION SYSTEM FOR SLUDGE ON FARMLAND	3
セッション 12	POSTER SESSION	9
ワークショップ1	DECISION MAKING FOR FINAL SLUDGE DISPOSITION	4
ワークショップ2	EVALUATION OF CARBON FOOTPRINT FOR WASTEWATER AND SLUDGE HANDLING	2
合計		73



写真-3 ワークショップ（汚泥の最終処分に関する意思決定）での筆者：高岡の発表風景

日本の参加者による発表

日本からの発表は5件であった。首都大学東京の山崎先生は、小笠原諸島の父島で実施されている浄水汚泥の下水処理への投入による処理水質の高度化と余剰汚泥の沈降特性の改善について報告をおこなった。具体的には PAC に由来するアルミニウムを多く含む汚

泥の下水への投入により、エアレーションタンクへのアルミニウム投入量が 4-6kg の時に最も水質が改善され、最適な汚泥濃縮性を得るためには、汚泥中のアルミニウム増加量が 5mg/g-DS が妥当であるとし、浄水汚泥の下水に対する混合割合の基準を示した。

筆者：佐藤は、近年下水・汚泥処理に求められる、温室効果ガスの抑制や、炭素 / 栄養塩の回収に関する包括的な役割をまとめた。これまでの下水処理場の役割が、衛生的な下水・汚泥処理、かつ富栄養化や DO 低下の防止であったのに対し、現在は、メタン発酵による汚泥のエネルギー利用や、汚泥中栄養塩の農地利用などの有効性について、これまでの自身の研究成果を引用しつつとりまとめた。

筆者：高岡は下水処理場と都市ごみ焼却炉の連携として、下水汚泥と都市ごみとの混焼に関する報告をおこなった。既に混焼が行われている施設へのアンケート結果、および各施設の日本全国における位置情報や処理実績のデータから、汚泥と都市ごみの混焼により、日本で発生する汚泥の 15.3%（乾燥汚泥ベース）が、混焼処理可能であり、混焼が汚泥の単独焼却よりも、ランニングコストや温室効果ガス排出量の点で優れていることを報告した。

筆者：大下は、汚泥中に含まれるヒ素の汚泥乾燥時における化学形態変化を X 線吸収分光分析法により

動的にとらえ、汚泥中のヒ素の多くは5価で存在していること、また乾燥により、特に未消化汚泥中のヒ素が毒性の高い3価に還元される傾向にあり、乾燥-肥料化には注意が必要であることを報告した。消化汚泥ではこの傾向はあまりみられず、乾燥時におけるヒ素の還元には、未消化汚泥中の揮発性有機分の影響があると推測した。

また、筆者高岡らのグループに所属する京都大学のマハズン・ヤフヤーは、下水汚泥からのエネルギー回収の最大化を目指して、合流式下水道の終末処理場における流入水、最初沈殿池流出水、最初沈殿池汚泥を粒径別に分画し、各画分の元素濃度や、発熱量を示差熱分析により明らかにすることで、粒径別元素・発熱量分布を明らかにした。これにより、粒径ごとに発熱量はあまり変化がなく、最初沈殿池汚泥として回収できるエネルギーには、粒径分布が直接的に大きく影響し、流入水中粒子の有する全エネルギーの約80%が回収できていることを示した。

テクニカルツアー

テクニカルツアーは最終日3日目の午後に実施され、会場のロケーションもあり、スウェーデンサイド(A)、デンマークサイド(B)の2コースが用意された。

Aコース：マルメ近郊のPetersborg 下水汚泥長期施用試験区

20数名で汚泥試験区の見学をした(写真-4)。説明をしていただいたのはこのプロジェクトに長年かかわっている農村経済と農業協会のAndersson氏であった。試験区の全体の広さは120m×36m、これが

20m×6mの36区画に分けられ、汚泥施用ではA：無施用、B：1t/ha/年、C：3t/ha/年の3種類、化学肥料施用では0：無施用、1：NPK(2：1：1)、2：NPK(1：1：1)の3種類、これらの組み合わせで9種類、試験区内で1種類の施用条件に対して4区画が割り当てられている。施用汚泥はマルメ市の消化脱水汚泥で、近郊の農家の助力を得て1981年より継続して汚泥施用を実施している(実際は2～4年の間隔で上記施用量を投入している)。作物は冬小麦、甜菜、大麦で今年は大麦の年になっている。

これまでの試験結果のまとめとして以下の整理をしている。

収量は汚泥施用区で平均7%の増量となる。

畑地の金属濃度はCu, Hg, Znで若干の増加が認められたが、その他の項目では認められなかった。汚泥の品質はこの試験期間で表-4に示されるように大幅に改善された。



写真-4 テクニカルツアー Aコース Petersborg 汚泥試験施用区の見学

表-4 汚泥の金属含有量の改善 (Petersborg)

Year	mg/kg DS						
	Pb	Cd	Cu	Cr	Hg	Ni	Zn
1981	180	3.5	1100	135	4.5	24.5	1000
1985	103	2.8	1028	406	2.4	25	747
1989	120	2.2	1300	49	3.7	25	810
1993	75	1.7	1550	38	2.4	30	655
1997	82	3.1	2000	29	2	26	840
2001	53	1.7	610	32	1.4	19	630
2005	49	0.53	660	31	0.61	25	620
2009	30	1.4	590	29	0.84	-	800
2013	17	0.89	360	28	0.98	16	680

汚泥施用効果としてはリン成分が大きいと考えられるが、窒素成分と有機成分の寄与効果も認められ、有機肥料としての汚泥性状が収量増大に寄与している可能性大である。

B コース：デンマーク・コペンハーゲン近郊の Avedøre 下水処理場における Power to Gas プロ ジェクトと汚泥焼却システム

約 30 名で、Avedøre 下水処理場における各施設を見学した。本下水処理場は合流式下水道の終末処理場であり、計画処理人口は 40 万人の規模である。中温メタン発酵に加え、消化汚泥は脱水されて、流動床焼却炉で焼却されている。

処理場全体のエネルギーバランスの特徴としては、電力、熱、燃料で年間 54,590kWh の投入に対し、バイオガスの導管注入やガスエンジン発電、焼却排熱の地域熱供給により、年間 81,959 MWh のエネルギーを産出しているところにある。アウトプットで大きな割合を占めるのが、焼却施設からの地域熱供給であり、全体の約半分を占めていた。この点に関しては、我が

国と大きな違いである。また焼却は、消化汚泥の乾燥を経て、850℃ 以上で燃焼されていたが、我が国で大きな関心を寄せている亜酸化窒素 (N_2O) の排出に関しては、全く留意されていないようであった。

また、本処理場では、Power to Gas としてのバイオメタネーションによるバイオガスのアップグレードに関するパイロットプラントが稼働しており、視察をおこなった (写真 -5)。Power to Gas とは、近年注目されている新たなエネルギー有効利用の概念である。これまで、風力発電や、太陽光発電など、気候に変動されやすい再生可能エネルギーに起因する電力が、好条件の際に余剰になる場合、電力は容易にかつ大量に蓄積できないため、無駄になるケースが多かった。バイオメタネーションでは、この余剰電力を用いて水を電気分解し水素を生成し、バイオガス中の利用できない CO_2 と生物的に反応させてメタンを生成し、結果的にバイオガス中のメタン濃度を上昇させ、より貯蔵しやすい形態に変化させるプロセスである。太陽光や風力発電など、再生利用可能エネルギーの導入が進んでいる欧州に特徴的な技術ではあるものの、将来的には我が国における適用も視野にいれるべきであると考えられた。なお、本施設はパイロットプラントであるため、水の電気分解 (水素の供給) は余剰電力ではなく、通常の電力を用いて行われていた。

今後の動き

IWA 汚泥管理専門家グループのメンバーやその関係者が関連する会議の次回の予定としては、2017 年 7 月には、ロンドン・インペリアル大学南ケンジントンキャンパスにて、Sludge Tech 2017 が開催予定である。詳細を以下に示す。

開催時期：2017 年 7 月 9 日 (日) ~ 13 日 (木)

会議名：The IWA Specialist Conference on Sludge Management: SludgeTech 2017

主催：Steering Committee of Sludge Tech and IWA Sludge Management Specialist Group

本会議は、イギリスで 2015 年から毎年行われている SludgeTech と IWA の汚泥専門会会議が合同で開催するものである。講演申し込み等の情報は明らかになっていないが、是非ウェブサイト (<http://www.sludgetech.com/sludgetech-2017/>) をチェックされたい。

IWA 汚泥管理専門家グループの会議は、最近ではヨーロッパでの開催が続いており、近い将来、日本での開催も検討中である。



写真 -5 Power to Gas：バイオメタネーションのパイロットプラント、(手前) 水の電気分解ユニット、(奥) 消化ガス由来の CO_2 と水素の生物反応塔

おわりに

今回の包括的な汚泥管理に関する国際会議は、前回2013年から3年ぶりに、3つの専門家グループ合同で実施された。近年 IWA の国際会議が単独の専門家グループ主催で開催されることは少なくなってきたおり、むしろ、他のグループや他の団体と共同で開催されることが多くなってきている。次回第3回の包括的な汚泥管理に関する国際会議は2019年にカナダで実施することが決定されている。

我が国からの参加者・発表者は、依然として少なく、特に民間企業からの参加者、発表者は皆無に近い。本専門家グループに積極的に関与している筆者らも、事前周知や広報について、反省すべき点がある。世界的にも不景気中ではあるが、わが国の各自治体や民間企業では、様々な汚泥処理・有効利用技術の開発が行

われている上、B-DASHのような先進的な技術の実証プロジェクトも国土交通省が主体となって実施されている。また、本分野における日本の国際的な評価は非常に高く、特に汚泥の熱処理に関しては世界的にも注目されている。現在、汚泥処理のISO規格化(TC275委員会)が動いていることもあり、日本の技術のアピールを行う時期にある。直近では2017年の会議が対象となるが、民間企業からの発表も含め、産官学で、日本の汚泥処理を世界に発信していくことができると考えている。

参考文献

- 1) 木下和徹、高岡昌樹:スウェーデン・ヴェステロースで開催された包括的な汚泥管理に関する国際会議報告、再生と利用, Vol.38, No.142, pp.71-76 (2014)

ニュース・スポット

関係団体の動き

九州下水協 ビストロ下水道 in 九州
 先進技術研修会 佐賀市の秘訣学ぶ
 編集委員会事務局

キーワード：ビストロ下水道、堆肥化、バイオマス産業都市

九州地方下水道協会は8月9、10日、下水道先進技術研修会～ビストロ下水道 in 九州～を佐賀市内で開いた。協会正会員を中心に50人が参加し、講演を通じて国交省の施策展開の方向性とビストロ下水道先進都市・佐賀市の取り組みに触れるとともに、現場視察を通じて、牽引する行政官および現場を担う維持管理者、農家の声に触れ、ビストロ下水道の本質とも言える「下水道から地域を元気にする秘訣」を学んだ。

9日は、国土交通省下水道部の井上茂治流域管理官が「食と下水道との連携について」と題して、佐賀市上下水道局水循環部の前田純二環境政策調整監が「人と人がつながったBISTRO下水道で笑顔もひろがった」と題して講演。井上管理官は、BISTRO下水道の政策目的を説明し、下水道の利害関係者との協働を図る上で、地域の生活と文化に密着する「衣・食・

住」の視点から下水道の多様な価値を新たに創造していくことの重要性を示し、地方発のアイデアに関する国との協働を呼びかけた。前田調整監は、佐賀市が取り組む下水処理施設とごみ処理施設を活かしたバイオマス産業都市構想の全体像を示した上で、ビストロ下水道関連施策の狙いを解説。このうち汚泥肥料の製造・流通の工夫について、肥料品質の向上を図るための地元工場を有する味の素との連携、農家との勉強会などの取り組みを紹介し「成功の秘訣は人と人とのつながり。佐賀市の取り組みは産業振興と雇用創出を目指すもの」と話した。

10日の現場視察では、ビストロ下水道の中核施設・佐賀市下水浄化センターを訪れ、参加者は、海苔養殖業者に配慮した水処理のポイント、DBOで運営する堆肥化施設の工夫、同センターの消化ガス発電施設の説明を受け、食だけではなく水・エネルギーと一体で捉えた施策の意義と現場の工夫を学んだ。また、アスパラガスを生産する高橋恵子さんの畑を訪れ、農家の視点で捉えたビストロ下水道成功の秘訣に耳を傾けた。

開催にあたりあいさつした佐賀市の田中泰治上下水道事業管理者は、全国から注目を集める佐賀市が取り組むビストロ下水道を含むバイオマス産業都市構想について、改めて関係者の協力に感謝を述べるとともに、研修を通じた施策の広がりに期待を示した。



写真＝（左）堆肥化技術を学ぶ（右）アスパラガス生産農家を視察

おしらせ

民間企業の投稿のご案内

「再生と利用」(公益社団法人 日本下水道協会 発行)は会員並びに関連団体に向けて、下水汚泥の有効利用に関する技術や事例等幅広い情報を発信し、一層の利用促進に寄与することを目的に発行しています。

近年、民間企業による調査研究等が積極的に行われ、先進的かつ有用な成果が多数見受けられます。そこで、それらの情報を掲載するため、投稿要領を次のとおり決めましたので、積極的な投稿をお待ちします。

投稿要領

(資格)

1. 本誌への投稿対象は、下水汚泥の有効利用に携わる民間企業のうち公益社団法人 日本下水道協会の会員となります。しかしながら非会員の場合でも、当会が会員と同等の調査研究の技術力を有する団体と特に認めるものであれば投稿対象とします。

(原稿掲載の取扱い)

2. 原稿掲載の適否は、「再生と利用」編集委員会が決定します。

(掲載可否の判断基準)

3. 掲載適否の主な判断基準は、次の3.1、3.2、3.3、3.4によります。
 - 3.1 単に汚泥処理に関する投稿文でなく、下水汚泥の有効利用の促進に資するものであること。
 - 3.2 特定の団体、製品、工法、新技術等を宣伝することを目的とした投稿文(客観的、合理的な根拠を示すことなく、優秀性、優位性、有効性等について具体名を挙げて記述)でないこと。
ただし、次の場合は除く。
 - ①特定の団体、製品、工法、新技術等の紹介が目的であっても、優秀性、優位性、有効性等の客観性かつ合理的な根拠を明確にし、下水汚泥の有効利用の促進に資すると認められるもの。
 - ②特定の団体、製品、工法、新技術等の名称を記述しているが、単に論文の主旨をわかりやすく伝えるために用いており、投稿文の趣旨とは直接関係のない場合。
 - 3.3 特定の団体、製品、工法、新技術等を誹謗中傷する内容を含む投稿文でないこと。
 - 3.4 その他編集委員会が適当と考える事項について適合していること。

(原稿の作成、部数、送付先等)

4. 原稿の作成は、次のとおりとします。
 - 4.1 査読用 複写原稿2部(図表、写真を含みます)
 - 4.2 事務用 複写原稿1部(図表、写真を含みます)

5. 原稿の送付先は、下記の担当に送付して下さい。

(校正)

6. 印刷時の著者校正は、1回とし、著者校正時の大幅な原稿の変更は認めません。

(著作権等)

7. 掲載した原稿の著作権は著者が保有し、編集著作権は、本会が所有します。

原稿登載区分

登載区分	原稿量(刷上り頁)	内容
研究紹介	8頁程度(原稿制限頁数はA4判により1頁2,300文字(1行24文字横2段))	独創性があり、かつ理論的または実証的な研究の成果
報告	6頁程度(原稿制限頁数は、同上)	技術導入や経営等に関する検討・実施

担当：公益社団法人 日本下水道協会 技術研究部技術指針課
 住所 〒101-0047 東京都千代田区内神田2-10-12(内神田すいすいビル6階)
 電話 03-6206-0369(直) FAX 03-6206-0796(直)

おしらせ

「再生と利用」への広告掲載方依頼について

日本下水道協会では、下水汚泥発生量の増加、埋立処分地の確保、循環型社会の構築等の課題に対して、地方自治体における下水汚泥の効率的な処理、有効利用を推進する観点から、「再生と利用」を発行しており、下水汚泥の有効利用に関する専門情報誌として、各方面から高い評価を得ています。本誌は地方公共団体を始めとする多くの下水道関係者のみならず、緑農地関係者にも愛読されていることから、広告掲載は情報発信として非常に効果的であると思われまます。

つきましては、本誌に広告を掲載して頂きたく、下記のとおり広告掲載の募集を行います。

記

1 発行誌の概要

発行誌名	再生と利用
仕様	A4判、本文・広告オフセット印刷
総頁数	本文 約100頁
発行形態	年4回発行（創刊 昭和53年）
発行部数	1,500部
配布対象	地方自治体 関係官庁（国交省、農水省等） 研究機関 関連団体（下水道、農業等）

2 広告掲載料・広告寸法等

掲載場所	サイズ	刷色	広告寸法	紙質	広告掲載料 (1回当り)
表3	1頁	4色	縦255×横180	アート紙	154,000円
後付	1頁	1色	縦255×横180	金マリ菊/46.5kg	41,000円
後付	1/2頁	1色	縦120×横180	金マリ菊/46.5kg	25,000円

※ 表3は指定頁になります。原則として2回以上の継続掲載とします。

※ 広告掲載料は、消費税込みの金額です。

3 広告申込方法及び留意事項

- (1) 広告掲載は、本誌の内容に沿った広告に限り行います。
- (2) 広告掲載のお申込みは、掲載月の40日前（7月発行号に掲載希望の場合は、5月20日）までに別紙「広告掲載申込書」に広告原稿又は流用広告原稿の写しを添付して、次の5に表示の申込先宛にお申し込み下さい。
- (3) 原稿をデータで提出する場合は、データ制作環境（使用OS、アプリケーション、フォント等）を明記のうえ、出力見本を必ず添付して下さい。
- (4) 広告原稿の新規作成又は流用広告原稿の一部修正を依頼する場合は、別紙「広告掲載申込書」にレイアウト案、又は修正指示（流用広告原稿の写しに修正箇所等を明記）をそれぞれ添付して下さい。その際、書体、文字の大

きを指定する等、原稿作成又は修正に必要な事項を明記して下さい。

- (5) 広告原稿の新規作成及び流用広告原稿の一部修正費（デザイン、修正料等）は、広告掲載料とは別に実費をご負担いただきます。
- (6) 本会発行の図書等に掲載した広告に限り、その原稿を流用して掲載することができます。その場合は、別紙「広告掲載申込書」に当該図書名、掲載年月、掲載号等を明記のうえ、原稿の写しを必ず添付して下さい。
- (7) 広告掲載場所は、指定頁以外は原則として申し込み順とさせていただきます。
- (8) 広告申込掲載期間終了後は、その旨通知いたしますが、それ以降の掲載についてご連絡ない場合、または広告申込掲載期間中でも広告掲載料の支払いが滞った場合には、掲載を中止させていただきます。

4 お支払方法等

本誌発行後、広告掲載誌をお送りするとともに、「広告掲載料」及び「広告原稿作成費（広告原稿新規作成及び修正等の場合）」を請求させていただきますので、請求後、1箇月以内にお支払い願います。

なお、送金（振込）手数料は、貴社負担にてお願いします。

5 申込み先及び問合わせ先

広告掲載のお申込み及びお問合わせ先は、下記の広告業務委託先までお願い致します。

広告業務委託先 (株)LSプランニング (担当: 「再生と利用」広告係)
〒135-0033 東京都江東区深川2-12-4-201
TEL. 03-5621-7850 (代) FAX. 03-5621-7851
Mail : info@lsweb.co.jp

(参考)

「再生と利用」特集企画予定

- 第152号 (平成28年7月発行予定)
平成28年度下水汚泥資源利用等に関する予算及び研究内容と方針の解説
- 第153号 (平成28年10月発行予定)
消化ガス設備導入事例
バイオマス産業都市構想の取組み報告
- 第154号 (平成29年1月発行予定)
地産地消へ向けた取組み事例他

汚泥再資源化活動

第 141 回「再生と利用」編集委員会

日時：平成 28 年 6 月 28 日

場所：

出席者：森田、姫野、和田、植松、島田、落、村上(英)、
工藤、村上(勝)、池田、鈴木、花尾、佐藤
の各委員

- 議題：(1) 前回議事概要の確認
(2) 第 152 号「再生と利用」編集内容について
(3) 第 153 号「再生と利用」編集方針(案)について
(4) 「再生と利用」現状の課題について、その他意見交換

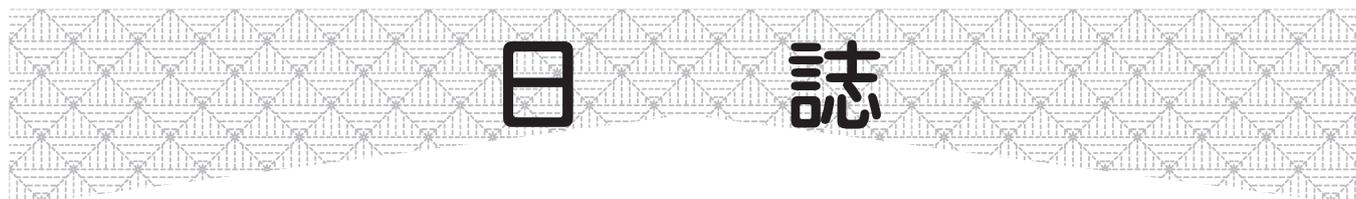
議事概要

- ① 前回議事概要について
事務局から資料 2 のとおり報告し了承された。
- ② 第 152 号「再生と利用」編集内容について
事務局から資料 3 のとおり報告を行った。
文献紹介の題名で「毒性」という言葉は再検討すべきである。
- ③ 第 153 号「再生と利用」編集方針(案)について
事務局から、資料 4 のとおり説明を行った。
大分県日田市の下水道に豚糞を受入れる取組みについては、日田市に確認することとした。
バイオマス産業都市構想選定都市においては下水汚泥有効利用に取り組んでいる都市の数が、林業や畜産業に比べて少ない傾向にあり、汚泥利用に関する記事が少ないのではとの意見があった。国交省からは固形燃料化の JIS 認証や長井市のエネルギーの取組みについては投稿可能であるとのことであった。

コンポスト化について、自治体直営の取り組みが少ない理由として B/C が合わないことが大きいと考えられるため、どこでコストがかかっているのか模索すべきとの意見があった。

その他、横浜市へハノイ市の汚泥処理計画の投稿及び、下水汚泥からの水素有効利用の特集等を検討すべきとの意見があった。

- ④ 「再生と利用」現状の課題について
事務局から、資料 8 のとおり説明を行った。
今後は農業利用者にも直接投稿してもらってほしいかとの意見があり、それにより農業サイドにも読んでもらえるような内容になるのではとの意見があった。また濃縮・脱水プロセスもからめた総合的な技術も紹介すべきとの意見もあった。編集委員への取材依頼については具体的な取材場所を事務局より提示していくこととした。



平成 28 年 6 月 28 日

第 141 回「再生と利用」編集委員会

本会第 1・2 会議室

次号予告

(題名は執筆依頼の標題ですので
変更が生じることもあります)

論 説：「低炭素社会構築に対する水素の貢献の可能性」
特 集：「岩見沢市における下水汚泥肥料の農業利用について」
「日田市におけるバイオマス有効利用の取り組み」
「法面緑化での下水汚泥肥料活用実例、その追跡調査結果」
研究紹介：「堆肥中のリン酸肥料効果」
「堆肥中の窒素動態の肥料効果」
講 座：「ビルにおける生ごみや厨房排水処理汚泥を利用したバイオガス発電」

「三浦バイオマスセンターにおける取り組みについて」
投稿報告：「下水汚泥の「リン分離システム」の開発」
報 告：「省エネ型汚泥処理システム」
ニューススポット：
「バイオマス活用推進基本計画について」
「バイオマス産業都市佐賀の取り組み」
「蘭東処理場 FIT 事業について」
そ の 他：会報、行事報告、次号予告、関係団体の動き

編集後記

前号の編集後記で案内した「ビストロ下水道シンポジウム」を下水道展に併せて7月28日に開催し、200名を超える聴衆を迎え、盛況に実施することができました。本号ではその様子を口絵に掲載しています。

シンポジウムは、基調講演、事例報告及びパネルディスカッションで構成し、基調講演では佐賀市長から「人と人とのつながりが佐賀市の活力です～ビストロ下水道in佐賀～」と題し、本号の特集でもあるバイオマス産業都市と位置づけ、産業振興や雇用創出に繋ぐ取組みの一環として下水処理施設を迷惑施設から歓迎施設、資源やエネルギーを創出し宝を生む施設に転換する取組み等を熱く語り、その熱気が会場全体に伝わったように感じました。

事例報告では北海道大学の船水教授により、今後の厳しい下水道経営に向け、農民に明確なメリットを示し、排水やし尿が貴重な個人の財産、処理により価値が高められた排水やし尿は農業資源と位置付け、この資産に投資してもらおうといった価値連鎖を構築する必要性についてご

講演頂いたのを始め、愛知県、JA、肥料メーカー及び農業者の方々から講演して頂きました。

また、パネルディスカッションではビストロ下水道を推進する上でのポイントとして、汚泥肥料の長期的な安全性、安定性、担当者のやる気（利用者との日常的付き合い等）、活動による喜び、キーマンの関係構築、価値連鎖によるビジネスの構築、売る物から必要な物への転換、食農教育による推進、学校給食への採用、首長によるリーダーシップ、三省連携等、様々な視点からご提案を頂きました。

今回のシンポジウムを通じて感じたことは、ビストロ下水道を推進し、持続していくためには、生産、流通、利用、消費の段階での関係者がWIN-WINとなる仕組みをいかに構築し、生産から消費までの輪をしっかりと繋ぐかが重要であり、そのためには、関係者の理解と熱意が必要不可欠であるということです。本誌もその一助になればと願って止みません

(HM)

「再生と利用」編集委員会委員名簿

		(順不同・敬称略) (28.8.31 現在)
委員長	日本大学生産工学部土木工学科教授	森田 弘 昭
委員	長岡技術科学大学准教授	姫野 修 司
〃	国土交通省水管理・国土保全局下水道部 下水道企画課資源利用係長	和田 直 樹
〃	国立研究開発法人土木研究所 先端材料資源研究センター上席研究員	植松 龍 二
〃	地方共同法人日本下水道事業団技術戦略部 資源エネルギー課長代理	鳥田 正 夫
〃	(公財)日本下水道新技術機構資源循環研究部副部長	落 修 一
〃	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 東北農業研究センター水田作研究領域上席研究員	西田 瑞 彦
〃	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 農業環境変動研究センター有害化学物質研究領域長	川崎 晃
〃	(一財)日本土壌協会参与営農推進部長	日高 伸
〃	札幌市建設局下水道施設部 新川水処理センター管理係長	村上 栄一郎
〃	山形市上下水道部浄化センター副所長兼水質係長	工藤 守
〃	東京都下水道局計画調整部 技術開発課技術開発主査	冠城 敏之
〃	横浜市環境創造局下水道施設部 北部下水道センター担当課長	村上 勝 吉
〃	名古屋市上下水道局技術本部計画部 技術開発室主査(土木系技術開発)	池田 征 史
〃	大阪市建設局下水道河川部水環境課担当係長	鈴木 隆 司
〃	広島市下水道局管理部管理課水質管理担当課長	花尾 裕 士
〃	福岡市道路下水道局下水道施設部施設管理課長	佐藤 浩

「再生と利用」

Vol. 40 No. 153 (2016)

平成 28 年 10 月 31 日 発行
(平成 28 年第 2)

発行所 公益社団法人 日本下水道協会

〒101-0047 東京都千代田区内神田 2-10-12
(内神田すすいビル 5~8 階)
電話 03-6206-0260 (代)
FAX 03-6206-0265

新刊案内

「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～

平成 27 年 7 月 日本下水道協会発行

頒布価格 (CD-ROM 付) 26,000 円

員頒布価格 (CD-ROM 付) 13,000 円

本書は下水汚泥由来の資源・エネルギーの一層の有効活用に向けた時代ニーズに応えるため、これまでの下水汚泥有効利用関連の図書を 1 冊に統合したマニュアルです。

これまで、「下水汚泥の建設資材利用マニュアル(案) 2001 年版」、「下水汚泥の農地・緑地マニュアル 2005 年版」、等を刊行し、一部の修正・見直しを行ってきました。

このような中、肥料利用においては汚泥由来の有機質肥料について調査を行い作物への施用効果の知見が蓄積されてきており、建設資材利用においては 1 部リニューアルを行ってきましたが、直近における民間や自治体の事例等を新たに調査し提供していく必要があり、またエネルギー利用においては近年バイオガスや固形燃料化などの有効利用技術手法も多様化しております。

そこで、肥料利用、建設資材利用、エネルギー利用の 3 分野の技術を統合し、会員等の地域ニーズに適合した総合的な活用手法等を提供するため、最新の動向及び技術を盛り込んであります。

マニュアル目次構成

- 第 1 章 総則
- 第 2 章 下水汚泥利用促進の現状及び動向
- 第 3 章 各分野技術のマネジメント (Plan&Do)
 - 第 1 節 総説
 - 第 2 節 下水汚泥肥料
 - I 下水汚泥を原料とする肥料の基本事項
 - II 肥料化の適用事例
 - III マーケティングの充実に向けての課題と方策
 - 第 3 節 下水汚泥建設資材
 - I 下水汚泥を原料とする建設資材の基本事項
 - II 建設資材の適用事例
 - III マーケティングの充実に向けての課題と方策

- 第 4 節 下水汚泥エネルギー化
 - I 下水汚泥を原料とするエネルギーの基本事項
 - II エネルギー化技術の適用事例
 - III マーケティングの充実に向けての課題と対応策
- 第 4 章 総合的な評価と見直しの考え方
 - 第 1 節 評価の基本的な考え方と評価手法
 - 第 2 節 見直しによる改善・更新等に当たっての考え方

CD-ROM の添付内容 (目次)

1. 下水汚泥・有効利用にかかる主な各種法令一覧
2. 公共事業における利用促進の具体事例 (マニュアル記載以外の事業実施事例)
3. 汚泥有効利用促進に関する診断チェックシート

問合せ先 (公社) 日本下水道協会 技術研究部技術指針課
電話 03-6206-0369
FAX 03-6206-0796



再生と利用

公益社団法人 日本下水道協会

〒101-0047 東京都千代田区内神田2-10-12(内神田すいすいビル5～8階)
TEL03-6206-0260(代表) FAX03-6206-0265