

再生と利用

2016 Vol. 40

No. 152

主要目次

- 口絵** 平成 27 年度下水汚泥のリサイクル推進に関する講演会
佐賀市上下水道局 ビストロ下水道作物販売会 編集委員会事務局
- 巻頭言** 原点 森田 弘昭
- 論説** 廃棄物系バイオマスを活用する水素エネルギー産業都市の
新しい技術展開 市川 勝
- 特集** 平成 28 年度下水汚泥資源利用等に関する予算及び
研究内容と今後の方針
- 解説** 平成 28 年度下水道事業予算の概要について 見正 大和
農林水産省におけるバイオマスの総合利用推進の方針について 梶原 義範
日本下水道事業団における汚泥の処理・有効利用に関する調査
研究の概要 島田 正夫
国立研究開発法人土木研究所における下水汚泥等バイオマス利
用に関する研究 植松 龍二
資源循環研究部における技術開発について 石田 貴
- 研究紹介** 小規模下水処理場に適したメタン発酵技術の開発 池本 良子
- Q&A** 膜分離活性汚泥法について 杉江 享
- 現場からの声** 広島市西部水資源再生センター消化ガス発電事業 上原 洋平
- 文献紹介** 農業用肥料としての利用を目的とした異なる種類の下水汚泥に
関する安全性の確認：水生および土壌の環境指標生物への生態
的影響 杉山 恵
余剰活性汚泥の嫌気性消化における低 pH 条件でのリン溶出の
促進 北條 俊昌
- 講座** リサイクルシステムの検証：「資源の回収」又は「エネルギー
の回収」について 編集委員会事務局
- 特別報告** 多環ムスク化合物の下水処理場における動態とコンポスト肥料
中への残留 石橋 康弘、中村 勝、有園 幸司、中道 隆広
- 投稿報告** 滋賀県における汚泥燃料化への取組みについて 一色 一平
- コラム** グリーンインフラの時代へ 福岡 孝則
- 報告** 下水道に集約されるリン資源量の最近の動向
..... 佐藤 和明、南山 瑞彦、大竹 久夫、常田 聡
JIS 規格に適する下水汚泥固形燃料の製造方法の確立と下水汚
泥固形燃料の高品質化に関する取組み 平田 毅
- ニューススポット** 国交省・汚泥由来肥料「旨み」を科学的実証、観葉植物と
“好相性” 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

平成27年度 下水汚泥のリサイクル推進に関する講演会

国立青少年総合センター センター棟 平成28年2月9日

日本下水道協会では、毎年各関連団体の取組みや最新技術の動向などの情報を収集し、様々な形で発信しておりますが、その一環として下水汚泥のリサイクル推進に関するセミナーや講演会を実施しています。

2月9日は「下水汚泥のリサイクル推進に関する講演会」を開催し、4人の講師陣により、下水汚泥利用促進に向けた、被災地における下水汚泥利用の展望、消化ガス発電事業や肥料利用などの取組みについて講演していただきました。



講師陣



テーマ「下水汚泥有効利用の動向と
今後の課題について」

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 氏



テーマ「被災地における
下水汚泥有効利用の展望」

東北大学名誉教授
野池 達也 氏



テーマ「岩見沢市の下水汚泥
リサイクルについて」

岩見沢市水道部下水道課課長
寺田 智勝 氏



テーマ「『民設民営』方式による
消化ガス発電事業固定
価格買取制度(FIT)の活用」

大村市上下水道局下水道施設課課長
丸田 和博 氏



大賑わいのビストロ下水道ブース

佐賀市上下水道局では1月22日から3日間、福岡県粕屋町のイオン福岡店で行われた佐賀うまいもんフェアに出店し、ビストロ下水道の活動の一環として下水道肥料由来の作物を販売しました。イオン福岡店での販売はNPO循環型環境農業の会と協力して行われ、昨年に引き続き今年で2回目となります。

初日、販売の説明員として参加した金丸正之上下水道事業管理者は「昨年はいへん好評を得たので、今年も出店した。下水道事業はなかなかPRする機会が少ないが、市民の方々に環境にやさしい商品を食べてもらいたい」と市民の反応に期待をのぞかせました。

また前田純二同局環境政策調整監は「午前中で苺とハウレンソウが完売し、売れ行きは上々。下水道について、こんなにすばらしい資源になることを市民県民の方々に伝えていきたい」と抱負を述べました。



店頭立つ金丸正之管理者（写真右）



お客様に丁寧に説明する前田純二調整監（写真左）

口
絵

平成 27 年度 下水汚泥のリサイクル推進に関する講演会
佐賀市上下水道局 ビストロ下水道作物販売会

巻
頭
言

原点 森田 弘昭 (5)

論
説

廃棄物系バイオマスを活用する水素エネルギー産業都市の新しい技術展開 市川 勝 (6)

特集 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今後の方針

解
説

平成 28 年度下水道事業予算の概要について 見正 大和 (14)
農林水産省におけるバイオマスの総合利用推進の方針について 梶原 義範 (18)
日本下水道事業団における汚泥の処理・有効利用に関する調査研究の概要 島田 正夫 (23)
国立研究開発法人土木研究所における下水汚泥等バイオマス利用に関する研究 植松 龍二 (31)
資源循環研究部における技術開発について 石田 貴 (34)

研
究
紹
介

小規模下水処理場に適したメタン発酵技術の開発 池本 良子 (38)

Q
&
A

膜分離活性汚泥法について 杉江 享 (45)

現
場
か
ら
の
声

広島市西部水資源再生センター消化ガス発電事業 上原 洋平 (48)

文献紹介

- 農業用肥料としての利用を目的とした異なる種類の下水汚泥に関する安全性の確認：水生および土壌の環境指標生物への生態的影響 …………… 杉山 恵 …… (52)
- 余剰活性汚泥の嫌気性消化における低 pH 条件でのリン溶出の促進 …………… 北條 俊昌 …… (53)

講座

- リサイクルシステムの検証：「資源の回収」又は「エネルギーの回収」について …………… 編集委員会事務局 …… (54)

特別報告

- 多環ムスク化合物の下水処理場における動態とコンポスト肥料中への残留 …………… 石橋 康弘、中村 勝、有蘭 幸司、中道 隆広 …… (61)

投稿報告

- 滋賀県における汚泥燃料化への取り組みについて …………… 一色 一平 …… (66)

コラム

- グリーンインフラの時代へ …………… 福岡 孝則 …… (69)

報告

- 下水道に集約されるリン資源量の最近の動向 …………… 佐藤 和明、南山 瑞彦、大竹 久夫、常田 聡 …… (70)
- JIS 規格に適する下水汚泥固形燃料の製造方法の確立と下水汚泥固形燃料の高品質化に関する取り組み …………… 平田 毅 …… (74)

ニュース・スポット

- 国交省・汚泥由来肥料「旨み」を科学的実証、観葉植物と“好相性” …………… 編集委員会事務局 …… (77)

資料

- おしらせ（投稿のご案内、広告掲載申込） …………… (79)
- 汚泥再資源化活動 …………… (82)
- 日誌・次号予告 …………… (83)
- 編集後記・編集委員会委員名簿 …………… (84)

※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

原点

第五代「再生と利用」編集委員長
日本大学生産工学部 土木工学科
教授 森田 弘昭



熊本地震でお亡くなりになられた方々のご冥福をお祈りするとともに被災された方々には心からお見舞い申し上げます。また、復興に尽力されている皆様には安全に留意され活動されることを願っております。

幸いなことに熊本の資源循環を担う主要な施設の一つである熊本市南部浄化センターの固形燃料化施設は順調に稼働を続けていると伺っています。

さて改めてバイオマス資源の利用推進方策について考えてみたいと思います。まずは、バイオマスの特徴を利用という観点から俯瞰してみると、バイオマスは有望な再生資源として期待されていますが多くのバイオマスは広く薄く分布しているという実態があります。そのために資源としての価値に対して輸送コストが高つくというデメリットがあります。また、多量の水分を含むバイオマスが多く、資源として質の安定性に欠けるきらいがあります。一方でこれらのデメリットはメリットと表裏一体の関係にあると考えられます。すなわち広く薄い分布は、どこにおいてもバイオマスを資源として利用できるというメリット、水分が多く変質しやすいというデメリットは、バイオマスを利用しやすい資源形態に転換できるというメリットにつながります。

次に、バイオマスの存在する地域を見てみたいと思います。昨年、関係7府省によってバイオマス活用推進基本計画の見直し検討のために設置されたバイオマス活用推進専門家会議ではバイオマスを九つの分野に分けて賦存量と利用量を推計しています。このデータを見ますとバイオマスの賦存量（炭素含有量ベース）は、家畜はいせつ物を筆頭に地方部に多い実態が伺えます。更にデータを分析してみると都市部に多いと思われる下水汚泥、紙、食品廃棄物、建設発生木材の4つのバイオマスのうち下水汚泥と建設発生木材は利用率が高く、今後、量的に再生利用を推進しなければならない分野は食品廃棄物と紙ということが見て取れます。両者とも家庭から発生する部分が、集中利用が困難な広く薄く分布しているバイオマスと思われる。このうち食品廃棄物は、ディスポーザーを用いてキッチンで微粉碎し都市部に完備されている下水道管渠に流入させることによって下水汚泥のリサイクルルートに乗せることが出来、輸送コスト高と水分が多いというデメリットをメリットに変えて利用出来る可能性があると考えられます。

農産物非食用部と林地残材が地方部に存在する利用率の低いバイオマスですが、これらは広く薄く分布するというデメリットが大きな障害となって利用が進んでいないと考えられ将来の革新的な利用技術や合理的で経済的な社会的支援システムの登場を待たなければならない分野と考えられます。

当面の利用方策として、この二つの分野のバイオマスについては地域単位の小規模なコミュニティの資源循環活動に期待することが有効な手段ではないかと考えています。コミュニティから発生するし尿や生ごみなどの水分の多いバイオマスからバイオガスを取り出し発電したり、コミュニティ周辺の山林から林地残材を回収して活動拠点の建設材料や燃料として活用することは量的には僅かですが、バイオマス利用の実体験を積んだ将来につながる人材を育てる大きな効果があると思います。

利用が進まないバイオマスは、ある日劇的に利用が進むとは考えづらく、少しずつ新技術の開発や社会的支援システムの導入が進んでいくものと思いますが、その過程では多くのバイオマスサポーターの協力が必要です。実行力・指導力のあるバイオマスサポーターの養成のためにはコミュニティでの実体験は極めて重要な要素と思います。利用が進まないバイオマスは、強い臭気があったり取り扱いが難しかったり実務としての成功体験が無いとなかなか取り組みにくい面があります。

バイオマス利用推進のための技術開発という観点からは、画期的な新技術の開発も必要ですが、これらの小さなコミュニティでも簡単に導入できる安価で取り扱いやすい装置の開発が必要ではないかと考えます。ドラム缶を改良した発酵装置やガス捕集装置などは地域の大学と地域の町工場で開発に取り組めると思います。

最後にこのような取り組みは途上国における今後のバイオマス利用支援にもつながるのではないかと考えています。バイオマス利用に立ちはだかる二つのデメリットは、どの途上国でも同じ状況ではないかと思っています。

バイオマス利用は、昨今の人間活動のグローバル化や地球規模の環境問題を考えるとルールに基づく国際的な取り組みが必要であり地域単位としても一定のルールや協働が必要になると思いますが、バイオマス利用推進行動の原動力は、個人個人の情熱と実体験が原点と考えています。

論 説

廃棄物系バイオマスを活用する 水素エネルギー産業都市の新しい技術展開

工学院大学 先進工学部 機械理工学科 客員教授（北海道大学名誉教授）

市川 勝

キーワード：廃棄物系バイオマス、水素エネルギー産業都市、高度利用触媒技術

1. はじめに

水素エネルギー社会の到来が現実味を帯びてきた。二酸化炭素（ CO_2 ）による地球温暖化が深刻になる中で、石炭や石油などの炭素燃料に代わって CO_2 排出ゼロのエネルギー源が水素である。特に水素が酸素と結合して水となる際に高効率で電気と熱を発生する燃料電池の実用化開発が注目されている。また水素をタービンエンジンで直接燃焼する水素発電の技術開発も着々と進む一方で、エネルギー燃料である水素の製造や貯蔵・運搬インフラ技術の開発が大きな問題となっている^{1,5)}。

通常、水素は石油精製所や製鉄所石炭ガス化炉で製造され、国内水素生産量は年間 200 億 Nm^3 超える大規模産業である。最近では、風力や太陽光発電の電力を利用する水電解技術やニュートラル炭素源である発酵メタンや木質バイオマスのガス化プロセスで得られる CO_2 排出ゼロの「グリーン水素」製造に関心が高まり、バイオマス資源を活用する水素エネルギー産業都市構想が国家プロジェクトとして注目されている^{6,7)}。国内や海外のバイオマス資源を利用して製造される CO_2 フリー水素を経済的に製造して、電力や熱を取り出して暮らしに取り入れる水素エネルギー社会の幕開けである。

ここでは、上下水汚泥や農業・産業廃棄物などの廃

棄物系バイオマス資源を用いる新しい水素創成ガス化技術と水素とベンゼンを併産するバイオ MTB 技術を活用する革新的な水素・エネルギー産業都市の開発動向と将来展望について紹介する。

2. 水素製造の課題： CO_2 フリー水素のすすめ

工業的な水素製造は、石炭・石油・天然ガスなどの炭素燃料、それらから得られるメタノールや LPG（液体石油ガス：プロパン）などを用いた水蒸気改質技術によって行われる。この場合の水素製造では、大量の CO_2 が生成する。水素は温暖化を防ぐクリーン化の切り札であるにも関わらず、その水素を製造するのに CO_2 が排出されるのは望ましくない。最近では、例えば太陽光、風力や水力発電を利用する CO_2 排出が少ない「グリーン水素」の製造法に関心が高まっている。また、 CO_2 を出さない原子力発電の電力や高温原子炉熱を利用する原子炉水素の検討も進められている^{1,4)}。一方、生物起源のバイオマスはカーボンニュートラルの特性（燃焼等で CO_2 が排出されても再び森林などに生物固定される炭素であり、これが均衡する限り地球温暖化には寄与しない）を有しており、発酵メタンや木質バイオマスを利用して得られる CO_2 フリー水素の製造技術と応用に関心が高まっている⁸⁾。図 1 に示すように、一般乗用車の CO_2 排出量についてガソリン自動車を 1 とした場合、電気自動車や燃料電池自

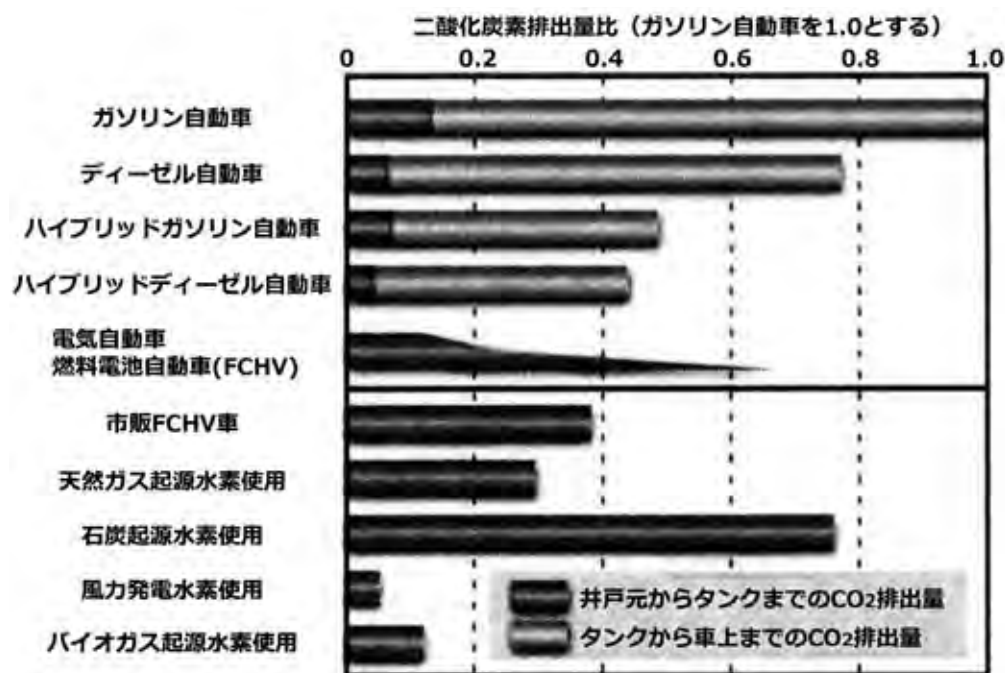


図1 燃料に由来する電気自動車や燃料電池自動車の炭酸ガス排出量の比較、Well to Tank（井戸元からタンク）と Tank to Weel（タンクから車上）までの総合 CO₂ 排出量比（ガソリン自動車を1とする）

動車（Fuel Cell Vehicle, 以下 FCV という）においても、CO₂ 排出量は、使用する電気や水素の製造法と燃料に依存することがわかる。

驚くべきことに、石炭や天然ガス起源の電気や水素を用いる電気自動車や燃料電池自動車の CO₂ 排出量はディーゼルエンジン自動車なみであり、CO₂ 削減効果は有効に働かない。発電や水素製造の過程での炭素原料に起因する CO₂ 排出が原因である。一方、風力、水力発電やバイオマス起源で得られる電力や水素をエネルギー源とする電気自動車や燃料電池自動車は、最も CO₂ 排出量を低減できるグリーンな輸送システムである。最近には、大規模なグリーン水素の製造プラント建設と 20～100KW 級水素発電所の実用化開発が国内外で進められている。水素エンジン発電や燃料電池を利用してグリーン水素を取り入れる暮らしが、地球にやさしい理想的な水素エネルギー社会といえよう。

3. バイオマス資源を活用する水素・エネルギー産業都市の開発

再生可能エネルギーには太陽光や風力発電、バイオマス発電など各種あるが、特に期待されるのが、森林バイオマスや上下水汚泥や農業・産業廃棄物などの廃棄物系バイオマス資源を活用する水素製造と水素エネルギー産業都市に向けた高度利用技術の展開である。

森林廃材、また家庭から排出される大量の上下水汚泥、稲わら・サトウキビ残渣などの農業廃棄物や古紙・廃プラ・建築廃材など産業廃棄物は、生物由来の炭素資源（バイオマス）である。最近、森林バイオマスや廃棄物系バイオマスを利用する効率的な改質ガス化炉が開発されて、ガス燃料（H₂, CO, CO₂ やメタンの混合ガス）の大規模な生産設備の市場導入が検討されている。これら木質バイオマスを用いる既開発のガス化炉を以下に紹介する⁸⁻¹⁰⁾。1) 長崎総合科学技術大学坂井らが開発した農林バイオマス 3 号ガス化炉は、1 トンの木材・稲わらの粉体原料を用いて 900℃ 以上の高温水蒸気を反応させて 1500Nm³ のバイオガス（47%H₂, 25%CO, 20%CO₂, CH₄ 7%）をガス化率 85% で製造する優れた外熱・浮遊式改質ガス化炉である⁹⁾。高いガス化効率と後処理に負担がかかるタールや木酢の副生は数%以下である優位点が評価される。（図2に農林バイオマス 3 号ガス化炉外観と内部構造を示す）2) 石川播磨重工業（IHI）が開発する 2 塔式ガス化炉（TIGAR®）は褐炭や木質バイオマスベレットを流動床で高温スチームと反応させてガス化改質を行い、ガス化率 85% でガス燃料（51%H₂, 18%CO, 19%CO₂, 9%CH₄）を生産する。3) ㈱高橋製作所、㈱テスナエナジーが開発した炭化方式ガス化炉は、木質バイオマスの高温処理で得られる炭化物（バイオコーク）を取り出して、高温水蒸気との改質反応でバイオガス（58%H₂, 25%CO 15%CO₂）を製造する炭化

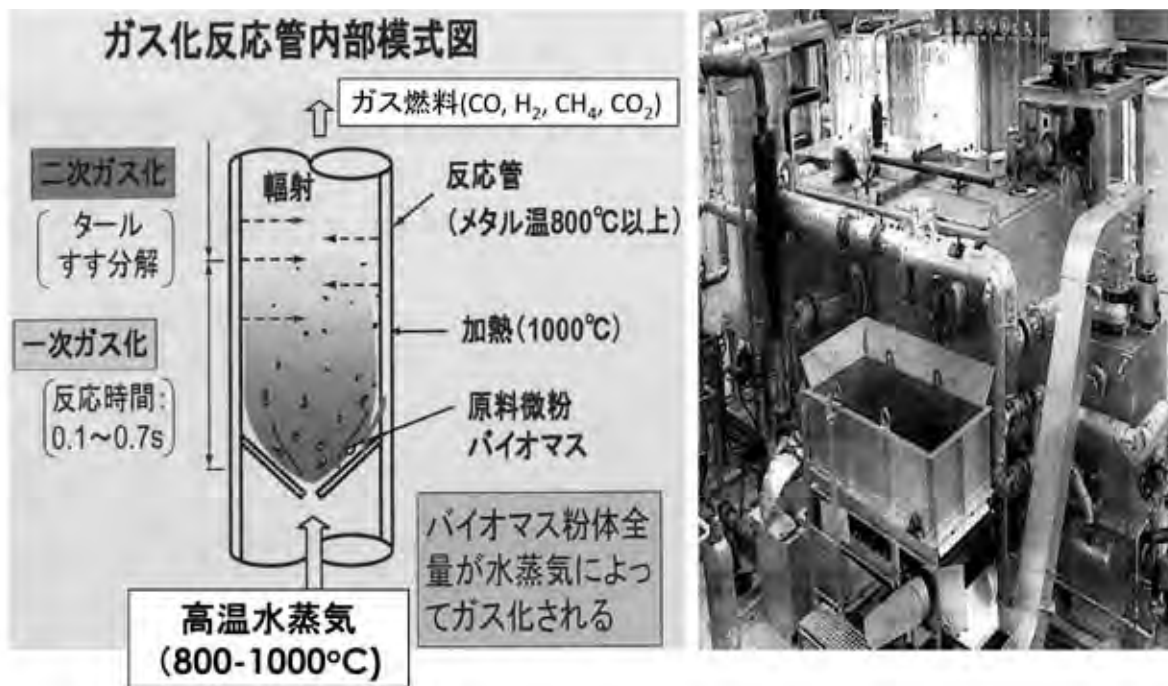


図2 廃棄物系バイオマスを用いて高効率でガス燃料を製造する高温水蒸気改質ガス化炉（農林バイオマス3号機）
ガス化反応炉の外観とガス化反応器の基本構造

ガス化炉が実用化に向けて開発されている。

最近には、森林バイオマスや廃棄物系バイオマスを原料にしてこうしたガス化炉で得られるガス燃料を用いてガスタービン発電で電力と熱を取り出すだけでなく、ガス燃料をさらに水蒸気改質して水素を高収率で製造する水素製造プラントの技術開発が進められている^{8,10,11)}。図3に示すように、建築廃材や家庭排水汚泥を廃棄物系バイオマス原料に用いて高温水蒸気ガス化炉でCOと水素を主成分とするガス燃料が製造される。ガス燃料中の触媒毒となる硫黄成分などを除去精製した後、ガス化炉に連結するトルエンの水素化反応装置で水素をメチルシクロヘキサン（MCH）に化学貯蔵する。MCHなどの有機ハイドライドは常温・常圧で液体の水素貯蔵材である。高圧ボンベや液体水素での輸送に比べて、安全で経済的に水素輸送ができる。ガソリンや石油スタンドなど既存の燃料輸送インフラを活用できることが有機ハイドライドの優れた特徴である^{3,12)}。

家庭排水の汚泥を利用する醗酵メタンの水蒸気改質や古紙や建築廃材など産業廃棄物のガス化反応炉で得られるグリーン水素を、有機ハイドライドに変換してタンク備蓄する。バイオマス資源から得られるCO₂フリー水素は、燃料電池自動車の普及に伴う水素ステーション用や大規模な水素発電所（10～100MW）に活用できる。具体的には、2020年の東京オリンピック・パラリンピックに向け、燃料電池・水素社会の実

現を目指した有機ハイドライド（MCH）を利用する水素サプライチェーンの取り組みが川崎重工と千代田化工^{13,14)}を中心に東京都、川崎・横浜市で推進されている。加えて、地域木質バイオマスの複合利用のための、電力・熱に加えて水素を家庭や工場に供給するトリジェネ・バイオマスエネルギー施設の実用化技術開発が注目されている。特に、図4に示すような、都市型の家庭・産業廃棄物を活用する電力・熱・水素トリジェネシステム事業の展開が有望である^{8,11)}。安価で大量に搬出する建築廃材を原料にして、高温改質ガス化炉でCO、H₂、メタンおよびCO₂から成るガス燃料（熱量約2600Kcal/Nm³）が生産される。このガス燃料を用いてガスタービン発電して得られる電力は13円/KWhで売電される。一方、同じガス燃料から図3に示す水蒸気改質反応＋トルエン水素化反応工程で有機ハイドライドに水素貯蔵して水素ステーションで燃料電池自動車に供給する。この場合、2030年における燃料電池自動車用のNEDO目標水素価格である35-50円/Nm³で市場に水素販売が可能である。仮に年間2万トンの建築廃材を利用すると日量30,000Nm³の水素が製造されて、毎日600台の燃料電池車に水素供給できる規模のバイオ水素製造事業である。一方、改質ガス化炉で製造されるガスの燃料の体積比60%をガス発電に40%を水素利用とした場合、電力利用のみに比べて少なくとも収益は1.5倍向上する。高温ガス化炉などの排熱や副生バイオコークの利用を加

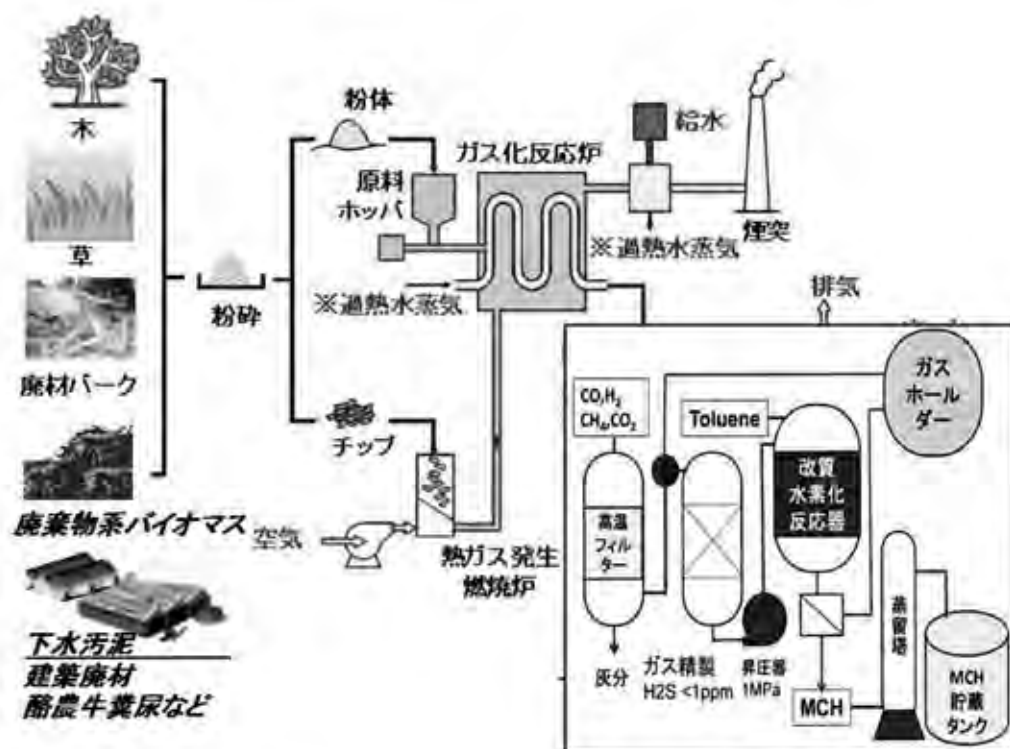


図3 木質バイオマスや廃棄物系バイオマスを用いた改質ガス化炉で発生する水素を水素化反応装置で有機ハイドライド貯蔵するグリーン水素の製造と有機ハイドライド貯蔵システム



図4 廃棄物系バイオマスを活用する地域エネルギー自立型の電力・熱・水素を供給する産業都市システムの事業化モデル

えると、さらに増益する経済試算が得られている。森林廃材や家庭・農業廃棄物などの廃棄物系バイオマスを地域特性に応じた適正規模において、経済的に地域に電力・熱・水素を供給するトリジェネエネ施設の実用化開発が期待される。

4. 発酵メタンから水素と石油化学原料を併産する MTB 触媒技術と実用化開発

最近、天然ガスや廃棄物系バイオマス起源の発酵メタンを用いて水素とベンゼン、トルエンなどのプラスチック化学原料を製造する革新的な触媒技術が開発された。Mo や Re などの複合金属を担持する特異な細孔の ZSM-5 や MCM-22 ゼオライト触媒を用いてメタンからベンゼンと水素を製造する“MTB (Methane to Benzene) 触媒技術”^{15,16)}である。

天然ガスや発酵メタンを利用する水素とベンゼン等の石油化学製品の併産プロセスと応用について図5に示した。新しく開発された複合モリブデンゼオライト触媒1キログラムを用いると1～5気圧の低圧で750～850度Cで1時間当たり水素8Nm³とベンゼン2Kgが製造される。現状の開発では、多くの触媒探索と反応器システムの改良により触媒性能の改良が進められて、実用化に向けた MTB 技術開発が国内外の企業において行われている。2005年には三菱化学は石炭高

炉ガス炉で発生する高炉ガス (COG) のメタンを活用するベンゼンと水素の併産 MTB プロセスの商業化構想の新聞公表があり¹⁷⁾、最近には、三井化学、米国シェル社、サウジアラビア SABIC 社では天然ガスや発酵メタンからの水素とベンゼン併産 MTB 技術の事業化検討の情報がある。

5. 下水汚泥や畜産糞尿を利用する水素・エネルギー産業都市の展開

都市部の生活排水の汚泥処理や酪農地帯の畜産糞尿処理に関連して、発酵メタンすなわちバイオガスをガス発電のみならず水素や石油化学原料に利活用する技術開発が進められている。発酵メタンの利活用は都市部の生活廃棄物処理とともに畜産農村地域の急務の課題である。バイオガス (メタン 60%、CO₂ 40%) 中のメタン濃度を濃縮して、硫化物、窒素成分の精製・除去を行えば、バイオガスはまさに有用なメタン資源である。MTB 触媒技術を応用すると発酵メタンから、バイオ水素とバイオベンゼンなどバイオの冠のついた石油化学原料を生産できる。メタンから製造されるグリーン水素はガスタービン発電と燃料電池自動車に供給でき、またベンゼンは、ポリスチレン、フェノール樹脂やナイロンなどの化学繊維製造に利用できる。2003～2006年に牛の糞尿など畜産廃棄物由来のバイ

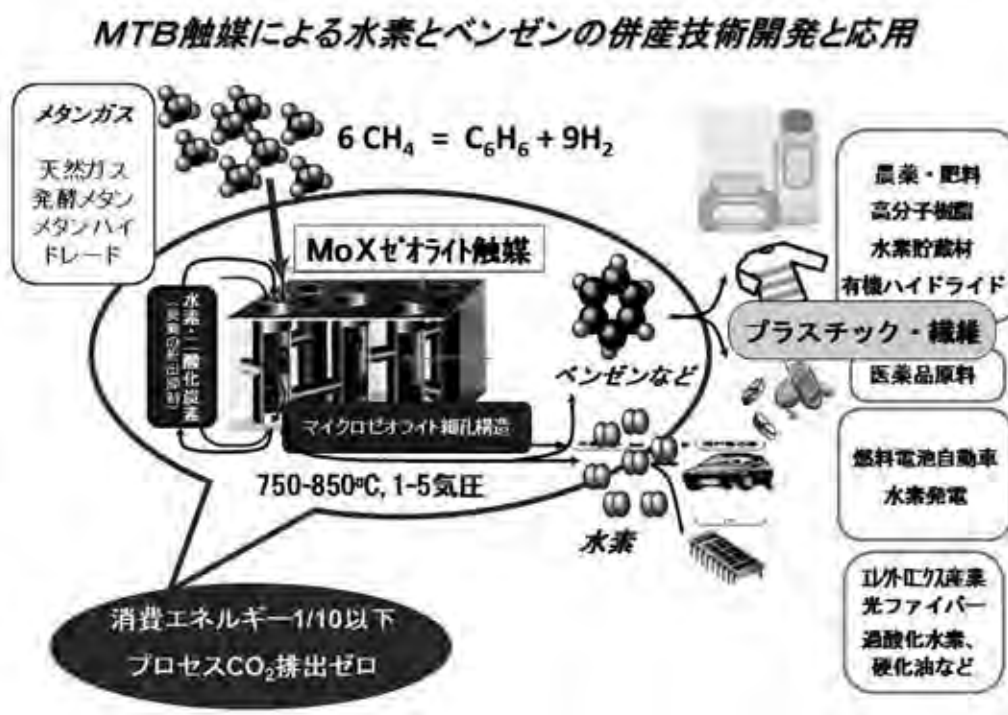


図5 各種のメタン資源を活用するMTB触媒による水素とベンゼンの併産技術と応用開発の事業化展開



図6 発酵メタンを活用するバイオMTB技術の実証試験でのMTB触媒反応装置およびバイオメタンホルダーと水素・ベンゼン貯蔵タンク

オメタンを用いた MTB 触媒技術で、水素とベンゼンを製造する実証試験が北海道開発土木研究所の別海資源循環利用施設において実施された¹⁸⁾。北海道開発土木研究所では、乳牛から排出する糞尿の発酵で得られるバイオメタン（日量 200Nm^3 ）を用いて、図7に示すバイオMTB触媒プラントを稼働して水素（ $240\text{m}^3/\text{日}$ ）とプラスチックの原料となるベンゼン（ $90\text{kg}/\text{日}$ ）を製造する長時間の連続試験が行われた。北海道別海町で行われた実証試験に基づいて、牛糞尿由来の発酵メタンを用いるバイオMTB技術を活用する農村地域の水素・燃料電池インフラ技術の展開やエネルギー自立化社会に関するFS評価などが進められた¹⁹⁾。畜産農家から排出する糞尿の発酵メタンをバイオMTB技術で製造されるグリーン水素とベンゼンなどの石油化学原料を利用する農村地域の循環型水素エネルギー産業都市モデルを図7に示した。まず、バイオガス中に含まれる硫化水素（ H_2S ）などの硫黄成分やアンモニアなどの窒素化合物を精製除去して、メタン99%と1% CO_2 を含むバイオガスを取り出して、図6で示すMTB触媒技術を利用したメタンからベンゼンと水素を併産するMTB触媒プラントに供給される。MTBプラントは発酵メタン（あるいは副生水素やプロパンガスを使用）燃焼で加熱する6本の反応器にMTB触媒ペレットが充填されている。750～820度C、1～5気圧の反応条件でガス循環式MTB反応炉のメ

タン利用率は40%以上に高められる。未反応のメタンはさらに水蒸気改質反応装置で水素を製造してメタン利用率は95%以上に向上できる。製造された水素は、MTB反応炉で併産されるベンゼンやトルエンを用いて有機ハイドライドであるシクロヘキサンやメチルシクロヘキサンとして水素化貯蔵される。メチルシクロヘキサンの脱水素工程で生成する大量の水素は、糞尿を提供する酪農農家に設置されたPEM型燃料電池で電力と熱利用される。酪農地域で大量に排出する糞尿の発酵メタンからグリーン水素とベンゼンなどのアロマ石油製品を製造するほか、有機ハイドライド技術を利用して水素エネルギーを年間安定に備蓄し活用する。農村地域の冬場に必要な電気や熱を畜産農家に供給する地域エネルギー自立化モデル事業のデータ収集と経済性に関するシミュレーション評価等の検討が行なわれている²⁰⁾。牛糞尿など厄介な廃棄物処理費用を活用して、畜産農家の多角的な水素・燃料電池を活用する地域エネルギー自立化のための水素や灯油代替燃料を地産地消する農村地域でのエネルギー自立化社会に向けての重要な廃棄物系バイオマスの高度利用技術として評価できる。北海道別海町での水素・燃料電池を活用する資源循環型利用の実用化検討が近い将来、国内外に技術移転されて、革新的な農村地域のみならず都市における都市部の生ゴミ、食品廃棄物の循環利用として水素エネルギー産業都市の形成に重要な

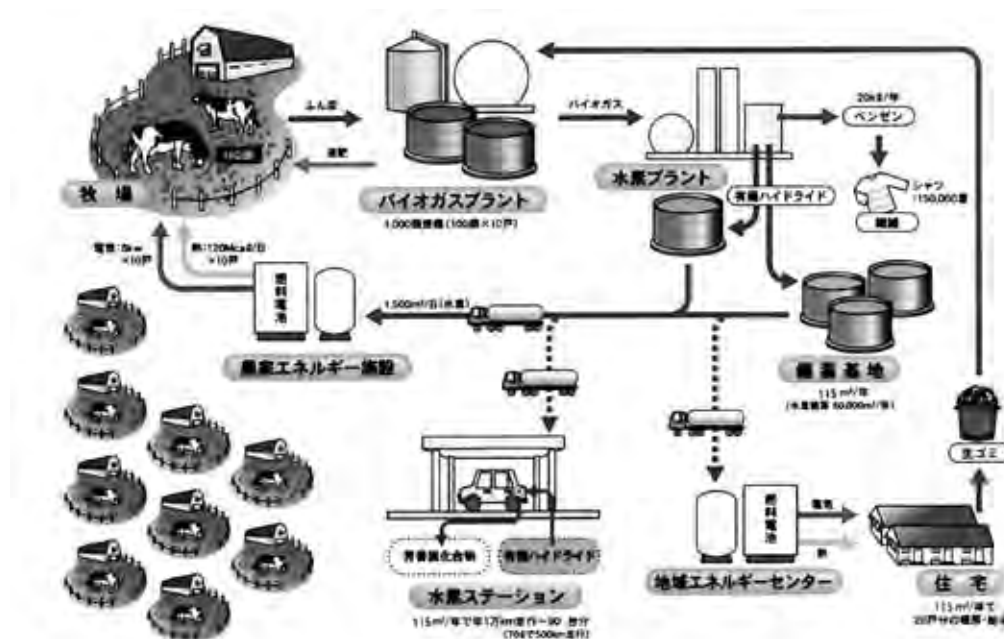


図 7 家畜糞尿の発酵メタンを活用する農村部でのバイオ M T B 技術開発と地域循環型エネルギー自立化産業都市モデル

技術開発として展開されよう。

図 8 に示すように、国内で発生する畜産廃棄物、上下水汚泥、や都市食品廃棄物など様々な廃棄物系バイオマス総量は年間 2.4 億トンと推定される。これから廃棄物バイオマスの醗酵で作りに出される年間 225 億 Nm^3 バイオメタンを用いると MTB 触媒プラントでバイオ水素 270 億 Nm^3 とバイオベンゼン 1120 万トン（石油換算 2000 万 KL）が製造できる試算である。石油原料の輸入に頼る日本にとって、バイオジーゼル燃料やプラスチック製品などの石油化学原料あるベンゼンやトルエンを製造できる。CO₂ 排出ゼロのグリーン水素を用いて水素発電や燃料電池で得られる電力は年間 1 億 8700 MWh に達する。国内の都市や農村地域から排出する廃棄物系バイオマスを活用する水素エネルギー産業都市の開発が近い将来に実現することが期待される。

6. まとめ

バイオマス資源を利用する水素・エネルギー産業都市に必要な実用化開発の要件を考えてみよう。まず、バイオマス由来のガス原料の品質を整えて、経済的にかつ安定に大規模供給する工業原料化技術の開発が重要である。決まった品質の原料ガスであれば、バイオマス原料を用いて生産される水素やバイオプラスチック、アルコールやバイオ Diesel 燃料について、コスト面での経済性や、従来の石油由来の製品に対する競争力などの事業性評価ができる。一方、上下水汚泥由

来の発酵メタンや農業・都市廃棄物バイオマスへのガス化プラントでのガス燃料の生産コスト試算や流通システムの整備も重要な課題である。従来のバイオマス利用では、製材端材などの木質バイオマスの直接燃焼と、畜産排せつ物の湿式メタン発酵によるガス発電が先行しているが、コストの壁から十分な広がりを見せていない。湿式メタン発酵の場合、消化液処理と並んで、発電設備及び受配電や系統連係などの電力付帯設備の価格が高コストの原因となっている。また、系統連係の障壁がバイオマス発電事業そのものの参入障壁となっている事例が多い。このため、製造した発酵メタンやガス燃料をガス発電にのみ回すことなく、一部を水素に変換して有機ハイドライドとして水素貯蔵すなわち電力備蓄することができる。さらに、発酵メタンから水素やベンゼンなどのバイオ化学原料を生産するバイオ MTB 技術の実用化が確立されると、廃棄物バイオマス資源の商業利用に向けた大きな経済的な課題の一つが解決される。国内や海外で得られる安価なCO₂フリー水素を運んで、燃料電池自動車をはじめとして、家庭や工場において水素エンジン発電で電力や熱に変換して、水素を暮らしに取り入れる水素エネルギー社会を実現することも可能になってくる。水素エネルギーを活用する大規模な水素発電や民生用燃料電池システム、例えば携帯電話、パソコン、ロボットなど水素電化製品の普及を進めて2050年のCO₂排出50%削減目標達成に向けた「持続可能な低炭素・水素社会」の実現が望まれる。

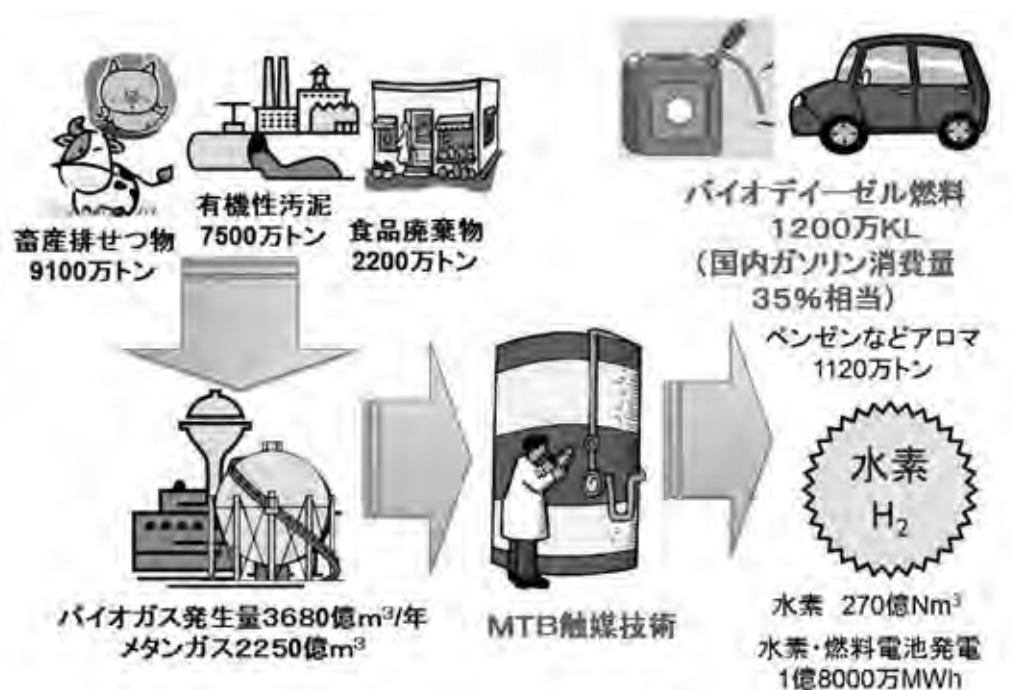


図8 国内の廃棄物系バイオマスを活用してバイオMTB触媒技術で製造される水素とベンゼンなどのアロマ由来バイオディーゼル燃料の生産事業モデル図

参考文献

- 市川 勝：『水素エネルギーがわかる本』オーム社出版（2007）。
- 柏木 孝夫，監修「スマートコミュニティ」時評社（2012）。
- 市川 勝：自動車技術、69(4), 39(2015); エネルギー学会誌、85, 517 (2006)
- 文部科学省科学技術政策研究所科学同行研究センター編著「図解水素エネルギー最前線」工業調査会（2003）
- 北海道開発局、「平成 15,16 年度水素。燃料電池を活用する水素社会形成調査報告」
- 梶原 義範、再生と利用、39(148) 35(2015)
- 足永 晴信、生活と環境、61(1), 18 (2016)
- 市川 勝、生活と環境、61(1),27(2016)
- 坂井 正康:「地球を救うバイオマス・エネルギー」(株)かもがわ出版（2001）
- 市川 勝、監修「バイオマスリファイナリー触媒技術の新展開」シーエムシー出版（2011）
- 市川 勝「バイオマス由来の水素を活用」Solvisto, 5月号、p41（2015）
- 市川 勝 監修「有機貯蔵材料とナノテク技術」シーエムシー出版（2007）
- 岡田 佳巳：水素エネルギーシステム、31(2), 8(2006); 35(4), 19(2010)
- 岡田 佳巳、安井 誠、化学工学 77(1),466(2009)
- 市川 勝、監修「メタン高度化学変換技術集成」シーエムシー出版（2008）
- 市川 勝、日本エネルギー学会誌、86,466(2009)
- 化学工業日報、2005 年 9 月 25 日掲載記事
- (独) 北海道開発土木研究所「地球温暖化対策に資するエネルギー地域自立型実証研究報告書」(2004-2006)
- 市川 勝、資源環境対策、86 (2005)、週刊農林、1914 号 4-7(2005)
- Y. Shudo, T. Ohkubo, Y. Hideshima, T. Akiyama, J. Hydrogen Energy, 34 (10) ,4500(2009)

特集：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今後の方針

解 説

平成 28 年度の 下水道事業予算の概要について

国土交通省 水管理・国土保全局 下水道部 下水道事業課 事業係長
見正 大和

キーワード：下水道事業予算，効率的雨水管理，下水道ストックマネジメント

1. 平成 28 年度国土交通省予算の基本方針

激甚化する気象災害や切迫する巨大地震等に備えるための防災・減災対策、高度成長期以降に整備されたインフラの老朽化対策は、喫緊の課題となっている。また、個性豊かな活力ある地域の形成や成長戦略の具体化による「強い経済」の実現が強く求められている。

こうした認識の下、平成 28 年度国土交通省予算については、「東日本大震災からの復興加速」、「国民の安全・安心の確保」、「豊かで利便性の高い地域社会の実現」及び「日本経済の再生」の 4 分野に重点化し、施策効果の早期発現を図ることとしている。

2. 平成 28 年度下水道事業関連予算

下水道事業については、国土交通省全体の方針を踏まえ、防災・減災対策、民間活力の導入、老朽化対策等を含むアセットマネジメント、再生可能エネルギー等の利用、未普及地域の早期解消、水ビジネスの国際展開といった施策の推進に必要な経費を盛り込んでいく。

平成 28 年度下水道関連予算については、下記に詳述する。

①社会資本整備総合交付金および防災・安全交付金
地方公共団体が行う社会資本整備について、基幹的

表－1 社会資本整備総合交付金及び防災・安全交付金予算額（単位：百万円）

区分	平成 28 年度予算額	平成 27 年度予算額	対前年度 倍率
	国費	国費	
社会資本総合整備	1,998,566	1,996,554	1.00
うち 社会資本整備総合交付金	898,332	901,805	1.00
うち 防災・安全交付金	1,100,234	1,094,749	1.01

※下水道事業に係る費用は、この内数である。

表－２ 下水道事業関連予算額

(単位：百万円)

区分	平成 28 年度予算額	平成 27 年度予算額	対前年度 倍率
	国費	国費	
下水道事業費補助	1,091	1,062	1.03
下水道事業調査費等	4,084	4,086	1.00
下水道防災事業費補助	200	200	1.00
合計	5,375	5,348	1.01

な事業や関連する社会資本整備、効果を促進する事業等を一体的に支援するものである。

また、防災・安全交付金により、「防災・安全」に対して重点的な支援を実施しており、下水道事業においては、主に①地震対策、②浸水対策、③老朽化対策、④合流改善対策を支援している。

平成 28 年度における社会資本整備総合交付金及び防災・安全交付金は、表－１のとおりであり、下水道事業に係る費用は、それぞれの内数である。

②下水道事業関連予算

- ・ PPP/PFI 等民間活力を活用し、未普及対策やエネルギー利用を推進するための民間事業者に直接支援する民間活力イノベーション推進下水道事業、日本下水道事業団による代行制度（下水道事業費補助）
- ・ 国が自ら技術実証を行う下水道革新的技術実証事業（下水道事業調査費）
- ・ 官民連携して地域の浸水対策を進めるため民間事業者を直接支援する特定地域都市浸水被害対策事業（下水道防災事業費補助）

等の推進を図るために必要な予算を表－２のとおり計上している。

③沖縄振興公共投資交付金（内閣府）

沖縄振興特別措置法に基づき、沖縄の実情に即した事業の的確かつ効果的な実施をはかるため、平成 24 年度に創設され、内閣府に計上している。下水道事業のうち、対象となる事業は、県の流域下水道の一部および市町村の公共下水道の一部である。平成 28 年度予算は 807 億円（国費）計上しており、下水道事業に係る費用はその内数である。

④東日本大震災復興交付金（復興庁）

東日本大震災により著しく被害を受けた地域の復興を進めるため、平成 23 年度第 3 次補正予算より創設され、復興庁に計上している。下水道においては、地盤沈下に伴う雨水排水施設の整備、新たなまちづくりに伴う管渠整備等が主な交付対象事業である。

平成 28 年度予算として、1,477 億円（国費）計上しており、下水道事業に係る費用はその内数である。

⑤その他

前述の各予算以外にも、下水道に関する他府省計上予算として地方創生推進交付金※ 1,000 億円（内数）がある。

※まち・ひと・しごと創生総合戦略に基づき、地方創生の深化のため新型交付金として創設。予算の一部は、地域再生基盤強化交付金（污水处理施設整備交付金）からの再編。

3. 平成 28 年度下水道事業予算に関する新規事項等

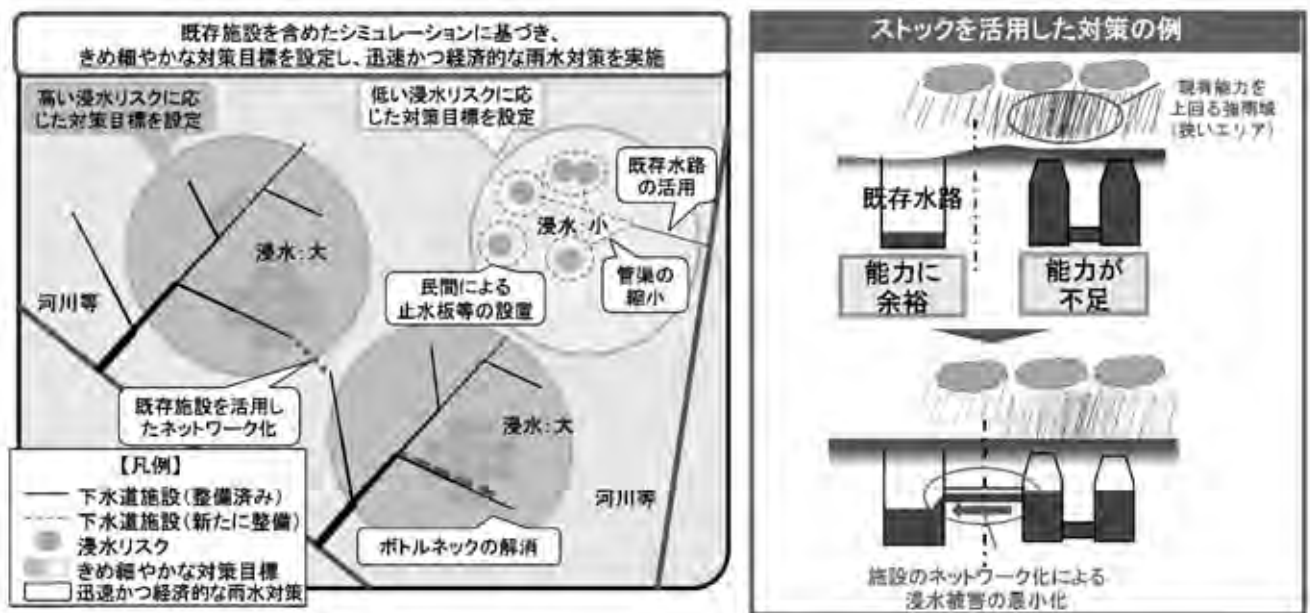
(1) 社会資本整備総合交付金および防災・安全交付金

①効率的雨水管理支援事業制度の創設

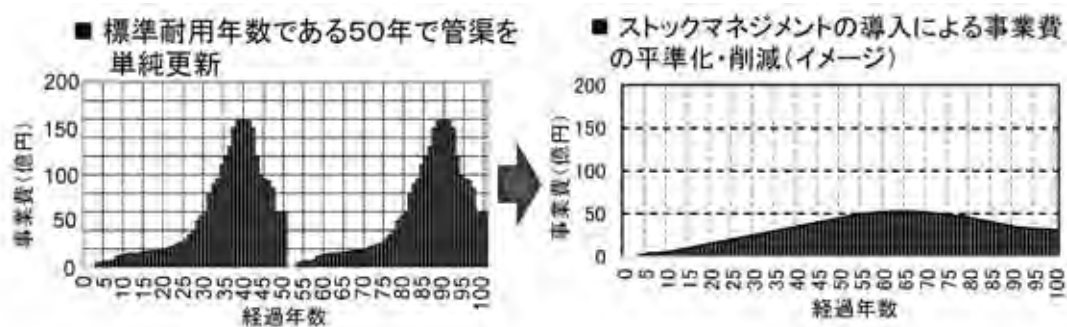
浸水被害が頻発している一般市の住宅地等において、浸水リスクに応じたきめこまやかな目標設定と、迅速かつ経済的な対策を実施するための、浸水シミュレーション等に基づく計画の策定、既存施設を最大限活用した下水道整備や止水板の設置等を支援する。

②下水道ストックマネジメント支援制度の創設

下水道施設全体を一体的に捉えたストックマネジメント計画の策定とそれに基づく点検・調査、改築を支援し、施設全体の持続的な機能確保及びライフサイクルコストの低減を図る。



図－１ 効率的雨水管理のイメージ



図－２ 下水道ストックマネジメントの導入イメージ

③下水道整備推進重点化事業の拡充

効率的な下水処理の整備・運営管理推進の観点から、既設の下水処理場を他の下水処理場へ統合する場合に必要な経費への支援を拡充し、地方公共団体の下水処理の効率化を促進する。

④市町村合併支援制度の延伸

公共下水道管渠の交付対象範囲は市町村規模ごとに定められているため、下水道事業を実施している市町村が合併による不利益を生じることのないよう、交付対象の特例措置を受けることができる期間を延伸する。延伸期間は、合併が行われた日から起算して10年を経過する日の属する年度の末日まで、もしくは平成31年度末までのどちらか短い方とする。

(2) 下水道事業費

①民間活力イノベーション推進下水道事業の拡充

【予算額：下水道事業費補助の内数】

下水道法の改正により、民間事業者が下水管渠に熱交換器を設置できるようになったことを受け、民間事業者が管渠の改築事業と一体的に下水熱利用のための熱交換器をDB方式で設置する場合等において、民間事業者に直接支援できるように拡充することで、下水熱利用及び民間活力を用いた効率的な改築の促進等を図る。

②下水道革新的技術実証事業(B-DASHプロジェクト)

【予算額：下水道事業調査費等の内数】

エネルギー需要の逼迫等の社会背景や、下水道事業の計画的かつ効率的な推進を図る観点から、革新的エネルギーによるエネルギー利活用の推進や、既存施設を有効に活用した処理施設のコンパクト化等を図る必要がある。

そこで、下水道における革新的な技術について、国が主体となって、実規模レベルの施設を設置して技術的な検証を行い、ガイドラインを作成し、民間企業の



図－3 下水熱を利用した車道融雪技術の調査技術例

ノウハウや資金を活用することで、全国の下水道施設への導入促進を図っている。

平成 28 年度からは、実規模レベルの前段階として、導入効果などを含めた普及可能性の検討や技術性能の確認を行う、「予備調査」を開始している。

4. おわりに

防災・減災対策、老朽化対策、未普及対策等、下水道事業が抱える課題は多岐にわたり、これらの課題を早期に解消し、持続的な下水道事業の運営を実現することは、国民の安全・安心を確保し、豊かな生活環境を創出するために極めて重要である。

国としてもこれらの課題に対応するため、平成 27 年 5 月に下水道法を改正したところであるが、さらにこの改正を受けた取り組みを促進していかなければならないと考えている。そのため、平成 28 年度予算においては、法改正も踏まえ下水道事業のニーズに応える制度要求を行った。平成 28 年度予算に関しては対前年と比べ増額となったものの、措置状況は非常に厳しくなっており、引き続き効率的な事業に予算を重点化する必要がある。また、下水道事業の必要性について各方面に発信し、住民をはじめ関係者に対して下水道への理解を深めていただけるよう努めてまいりたい。

特集：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今後の方針

解 説

農林水産省におけるバイオマスの 総合利用推進の方針について

農林水産省食料産業局バイオマス循環資源課

バイオマス事業推進室長 梶原 義範

キーワード：バイオマス、産業化

1. はじめに

バイオマス・ニッポン総合戦略で全国レベルでのバイオマスの利活用の方針が示されてから 10 数年が経過した。当初はバイオマス由来輸送用燃料の導入やバイオマス製品・エネルギーの利用の増進が推進されてきた。その後、食料供給との競合の顕在化、そして東日本大震災の発生等バイオマス利活用を取り巻く情勢の変化に伴い、バイオマス利活用手法等も変化し、現在は固定価格買取制度を活用した売電の取組が大きく伸長している。

本稿では、バイオマスの活用推進に係る施策の推移とともに、平成 25 年から推進しているバイオマス産業都市の構築について、その考え方や選定された地域の概要、支援策等について述べることにしたい。

2. バイオマス活用推進に関する施策

(1) バイオマス・ニッポン総合戦略

バイオマスに関する施策として、平成 14 年 12 月に「バイオマス・ニッポン総合戦略」が閣議決定され、バイオマスの利活用による地球温暖化防止、循環型社会形成、競争力のある新たな戦略的産業の育成、農林漁業・農山漁村地域の活性化に向けた方針等が示された。

その後、京都議定書の発効を受け、実効性のある地球温暖化対策の必要性や、バイオマスの利活用状況の検証等を踏まえ、平成 18 年 3 月に同戦略が改定され、国産バイオ燃料の導入や、林地残材などの未利用バイオマスの活用等により、バイオマスタウン構想の加速化を図る施策を推進してきた。

(2) バイオマス活用推進基本法及びバイオマス活用推進基本計画

平成 21 年 6 月に、バイオマスの活用の推進に関する施策を総合的かつ計画的に推進することを目的として、バイオマス活用推進基本法(平成 21 年法律第 52 号)が制定された。

同法で政府におけるバイオマスの活用の推進に関する基本的な計画の策定が規定されたことから、平成 22 年 12 月にバイオマス活用推進基本計画(以下「基本計画」という。)が閣議決定された。基本計画では、バイオマス・ニッポン総合戦略の総括を行った上で、バイオマスの活用の推進に関する施策の基本的な方針や国が達成すべき目標が定められるとともに、目標の達成に向け、バイオマスの活用に必要な基盤整備、バイオマス製品等を供給する事業の創出、研究開発、人材育成等、政府が講ずべき施策が策定された。

基本計画は策定後 5 年ごとに検討を行うべきことが法律に定められている。策定から 5 年が経過したことから、平成 27 年 9 月より基本計画の改定に向けた検

討を進めているところである。

(3) バイオマス事業化戦略

バイオマスは、廃棄物系、未利用系、資源作物、藻類など多種多様なものがあり、利用技術も実用化されているものから研究・実証段階のものまで様々である中で、どのような技術とバイオマスを利用すれば事業化を効果的に推進できるかが明らかでなかった。

このような中、平成23年3月に東日本大震災が発生し、自立・分散型エネルギー供給体制の強化を図ることが重要な課題となり、地域の未利用資源であるバイオマスの利用を一層推進することが必要となった。

このため基本計画の目標達成に向け、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を図るとともに、震災後課題となっている自立・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」が平成24年9月に策定された。

同戦略では、「基本戦略」「技術戦略」「出口戦略（需要の創出・拡大）」「入口戦略（原料調達）」等7つの戦略が掲げられ、その中の1つである「総合支援戦略」の中に、バイオマス産業都市の構築が盛り込まれている。

また、現時点で事業化推進に重点的に活用する実用化技術は以下のとおりである。

○技術：メタン発酵・堆肥化、直接燃焼、固体燃料化等

○バイオマス：木質、食品廃棄物、下水汚泥、家畜排せつ物

3. バイオマス産業都市構築の推進

バイオマス産業都市とは、バイオマスの活用に重点をおいたバイオマスタウン構想を更に発展させ、バイオマスを活用した産業化に重点を置いた取組である。具体的には、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、地域のバイオマスを活用した産業創出と地域循環型のエネルギーの強化により、地域の特色を活かした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・むらづくりを目指す地域をいう（図1）。選定後に毎年の達成状況の報告を義務づけ、目標達成に向けたフォローアップを行うこともバイオマスタウン構想と異なる特徴である。

バイオマス産業都市構想の作成主体は、市町村（単独又は複数）、市町村と民間団体等との共同体等である。

構想の内容として、目指すべき将来像・目標、事業化プロジェクト、地域波及効果、実施体制等を盛り込むものとしている。事業化プロジェクトについては、事業計画の実現性（導入技術の妥当性、事業費の適正性、施設計画の妥当性、原料調達及び販路の確保、事業収支の妥当性、利害関係者との調整等）及び事業実施体制等を十分に検討し、事業の的確かつ持続的な実施が必要である。



図1 バイオマス産業都市について

4. バイオマス産業都市の選定

バイオマス産業都市の選定の流れを図2に示す。まず、バイオマス産業都市構想の公募を行い、応募された提案は、有識者からなる選定委員会におけるヒアリング・審査を経て、推薦案が決定され、この推薦案を基に関係7府省（内閣府、総務省、文部科学省、農林水産省、経済産業省、国土交通省、環境省）が共同で地域の選定を行っている。

選定にあたっては、①先導性、②実現可能性、③地域波及効果、④実施体制の評価の視点に基づき、応募があった構想の総合的な評価が行われている。

- ①先導性：バイオマス産業都市が目指す将来像と目標を実現し、全国モデルとなるような取組であるか。
- ②実現可能性：自治体・事業者等の地域の関係者の連携の下で経済性が確保された一環システムの構築が見込まれるなど、地域のバイオマスを活用した産業創出と地域循環型のエネルギーの強化の実現可能性が高いか
- ③地域波及効果：地域のバイオマスの利用促進、地域循環型のエネルギーの強化、地域産業振興・雇用創出、温室効果ガス削減などの地域波及効果が高いか
- ④実施体制：自治体・事業者等の地域の関係者の連携の下でバイオマス産業都市構想の具体化、評価等を的確に実施していくための体制ができているか。

5. バイオマス産業都市選定地域の事業化プロジェクト

これまで4回（平成25年度は2回）の公募を行い、平成25年度に16地区、平成26年度に6地区、平成27年度に12地区が選定され、平成27年度末現在34地区（52市町村）がバイオマス産業都市として選定されている（図3）。選定された34地域における事業化プロジェクトの概要は表に示すとおりである。

平成24年に導入された固定価格買取制度が契機となり、地域に存在する廃棄物系や木質系のバイオマスを活用した発電の取組が多くみられる。例えばバイオマスの種類ごとにみると、北海道十勝地域や別海町のような酪農地帯では家畜排せつ物を原料としたバイオガス発電、岡山県真庭市、山梨県甲斐市等では林地残材等の木質バイオマスを原料とした発電、愛知県大府市、宮城県南三陸町等では食品廃棄物を原料としたバイオガス発電、新潟県新潟市、福岡県宗像市等では、下水汚泥等を原料にしたバイオガス発電を主体とした構想が作成されている。

発電以外の取組として、バイオガス発電に伴い発生する消化液の利用（北海道十勝地域をはじめとした酪農地帯における産業都市、福岡県みやま市等）や木質バイオマスの熱利用の取組（北海道下川町、山形県最上町等）、下水汚泥の燃料化・肥料化（京都府京丹後市）、廃食用油のBDF化（茨城県牛久市、京都府南丹市等）、二酸化炭素の農業利用（佐賀県佐賀市）等、地域に賦存するバイオマスを活用する様々なプロジェクトが構想に盛り込まれている。



図2 バイオマス産業都市選定の流れ

バイオマス産業都市の選定地域



平成25年度選定地域の構想概要(一覧)

【平成25年度一次選定(H25.6月)】

地域名	主な取組
北海道十勝地域	バイオガス発電・熱利用(家畜排せつ物等)、木質バイオマス発電・熱利用(剪定枝等)、BDF(廃食用油)
北海道下川町	木質バイオマス発電・熱利用(林地残材等)、ペレット燃料化・BDF(ヤナギ・ススキ)
北海道別海町	バイオガス発電・熱利用(家畜排せつ物、水産廃棄物等)
宮城県東松島市	バイオガス発電・熱利用(食品廃棄物等)、木質バイオマス発電(間伐材等)
茨城県牛久市	BDF(廃食用油)、堆肥化(食品廃棄物)、ペレット燃料化(剪定枝等)
新潟県新潟市	バイオガス発電・熱利用(下水汚泥、食品廃棄物等)、ペレット燃料化(間伐材等)、BDF(廃食用油)
愛知県大府市	バイオガス発電・熱利用(食品廃棄物、し尿等)
香川県三豊市	堆肥化・燃料化(食品廃棄物等)、木材化(竹)

【平成25年度二次選定(H26.3月)】

地域名	主な取組
北海道釧路市	バイオガス発電・熱利用(家畜排せつ物、食品・水産系廃棄物)、木質バイオマス発電・ペレット燃料化(林地残材等)、BDF(廃食用油)
北海道興部町	バイオガス発電(家畜排せつ物、食品・水産系廃棄物)、木質バイオマス発電(林地残材)
宮城県南三陸町	バイオガス発電・熱利用(食品廃棄物、下水汚泥)、ペレット燃料化(林地残材等)
静岡県浜松市	木質バイオマス発電・熱利用(間伐材等)、バイオガス発電(食品廃棄物、下水汚泥)
三重県津市	木質バイオマス発電・熱利用(林地残材等)、バイオガス発電・熱利用(有機性汚泥・食品廃棄物)、燃料化(間伐材、下水汚泥等)
島根県奥出雲町	ペレット燃料化、炭材(林地残材等)
岡山県真庭市	木質バイオマス発電(林地残材等)、BDF(廃食用油)、堆肥化(食品廃棄物等)
岡山県西栗倉村	木質バイオマス熱利用(林地残材等)

平成26年度選定地域の構想概要(一覧)

地域名	主な取組
富山県射水市	堆肥化(樹皮、剪定枝等)、混合燃料化(廃食用油)、熱利用・肥料化・木材化等(もみ殻)、木質バイオマス発電(間伐材等)
兵庫県洲本市	BDF(廃食用油)、バイオガス発電(下水汚泥、食品廃棄物、廃玉ねぎ等)、燃料化・マテリアル化(竹)、燃料化・発電(BTL)(可燃ごみ、木質・農産物残渣)、マテリアル化(複合繊維)
島根県隠岐の島町	マテリアル化(間伐材等)、ペレット燃料化(間伐材等)、木質バイオマス発電(間伐材等)、バイオガス熱利用(食品廃棄物、間伐材等)
福岡県みやま市	バイオガス発電・熱利用(食品廃棄物、し尿汚泥等)、資源化(紙おむつ)、BDF(廃食用油)、堆肥化(廃棄物等)、木質バイオマス熱利用(剪定枝等)
佐賀県佐賀市	二酸化炭素農業利用(食品廃棄物、ごみ等の焼却排ガスを回収)、チップ・ペレット燃料化、熱利用(林地残材等)、バイオガス発電(食品廃棄物、下水汚泥等)、マテリアル化(複合繊維)
大分県佐伯市	木質バイオマス発電・熱利用(林地残材等)、バイオガス発電(下水汚泥、食品廃棄物等)

平成27年度選定地域の構想概要(一覧)

地域名	主な取組
北海道平取町	熱利用(間伐材等)
宮城県大崎市	熱利用(間伐材)、バイオガス発電(家畜排せつ物等)、BDF(廃食用油)、ペレット燃料化(ヨシ)
山形県最上町	木質バイオマス発電・熱利用(間伐材)、バイオガス発電(家畜排せつ物、食品廃棄物等)、固形燃料化(もみ殻)
栃木県茂木町	ペレット化(間伐材、堆肥)、熱利用(木質ペレット)・資材化(竹)、BDF(廃食用油)
山梨県甲斐市	木質バイオマス発電・熱利用(間伐材)、液肥化、堆肥化(生ゴミ)
京都府京丹後市	バイオガス発電(食品廃棄物)、燃料化・堆肥化(下水汚泥)、マテリアル化(間伐材、竹)
京都府南丹市	熱利用(間伐材、剪定枝)、BDF(廃食用油)、バイオガス発電・熱利用(食品廃棄物、下水汚泥、家畜排せつ物)、飼料化(穀類等)
鳥取県鹿野町	堆肥化(家畜排せつ物、間伐材)、熱利用(間伐材、竹)、バイオガス発電・熱利用(生ゴミ、下水汚泥)
岡山県津山市	木質バイオマス発電(間伐材)、パルプ化、マテリアル化(製材残材、間伐材)
福岡県宗像市	バイオガス発電(下水汚泥、食品廃棄物)、堆肥化(消化汚泥、食品廃棄物、剪定枝)、BDF(廃食用油)
大分県臼杵市	木質バイオマス発電・熱利用(間伐材)、バイオガス発電(食品廃棄物)
宮崎県小林市	バイオガス発電(家畜排せつ物、食品廃棄物)、炭化(堆肥)、木質バイオマス発電・熱利用(間伐材、製材残材)

図3 バイオマス産業都市の選定地域と構想概要

6. バイオマス産業都市に対する支援策

バイオマス産業都市として選定された地域に対しては、構想実現に向けて、関係府省の施策の活用、各種制度・規制面での相談・助言などを含め、関係府省が連携して支援を行うとともに、選定後5年間は構想の進捗状況等についてフォローアップすることとしている。

例えば、農林水産省が実施している地域バイオマス産業化推進事業の主な支援内容は以下のとおりである。

- ①ソフト事業：産業都市の構築を目指す地域（市町村・企業連合等）による構想づくりを支援
- ②ハード事業：産業都市として選定された地域におけるプロジェクトの推進に必要な施設整備を支援。

なお、関係府省の施策の活用に当たっては、別途当該施策を所管する府省の審査・採択が必要になる。

バイオマス産業都市構想の作成を検討している自治体等におかれては、農林水産省食料産業局バイオマス循環資源課若しくは地方農政局食品企業課にご相談いただきたい。

7. おわりに

バイオマスの活用の推進は、太陽、大地、海等の自然の恩恵によってもたらされる資源をはじめとする、枯渇することのない資源の活用を図ることが化石資源の乏しい我が国にとって経済社会の持続的な発展を実現するうえで極めて重要である。

さらに、バイオマスが小規模に散在し、バイオマスの分散状況をはじめとする自然的経済的社会的諸条件が地域ごとに異なり、各地域による創意工夫を生かした取組を進める必要があり、そのため、バイオマス産業都市を成功事例としてバイオマス利活用のモデルケースを構築し、これらの取組を全国に普及させていく必要がある。

今後とも、関係府省と連携してバイオマス産業都市の構築の取組を支援するとともに、地域の雇用創出や活性化に貢献してまいりたい。

特集：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今後の方針

解 説

日本下水道事業団における汚泥の処理・有効利用に関する調査研究の概要

日本下水道事業団技術戦略部 資源エネルギー技術課
島田 正夫

キーワード：階段炉、下水汚泥由来繊維、藻類培養、円環式気流乾燥、高濃度消化

1. はじめに

地球温暖化の顕在化や世界的な資源・エネルギー需要の逼迫が懸念され、循環型社会への転換、低炭素社会の構築が求められており、下水道分野においても従来の下水を排除・処理する一過性のシステムから、集めた物質等を資源・エネルギーとして活用・再生する循環型システムへと転換することが必要となってきた。

このような背景のもと、日本下水道事業団（以下 JS という）における技術開発・新技術導入に関する基本目標としては、都市の低炭素化・資源循環型都市の形成へ寄与する「下水道からの創エネルギー、資源

回収」、「温室効果ガスの削減」を掲げており、これらに係る技術の開発・実用化を積極的に推進している。

ここでは、JS における新技術導入制度に加え、平成 28 年度に予定している下水汚泥の有効利用・処理技術に関する業務、および調査研究テーマの概要について報告する。

2. 技術開発・研究及び新技術導入制度について

2.1 技術開発・研究の実施スキームと新技術導入制度

JS における技術開発・研究の実施スキームとしては表-1 に示すように、固有研究、受託研究、共同研究及び技術評価がある。

表-1 技術開発・研究の実施スキーム

区 分	実 施 内 容
固有研究	下水道事業において緊要と考えられる全体的な課題について、JS が研究の目的を定めて実施する調査研究
受託研究	下水道事業を進める上で必要な技術的諸問題を解決するため、国や地方自治体からの委託要請等を受けて実施する調査研究
共同研究	新技術の早期実用化を図るために、民間企業等と実施する調査研究
技術評価	実用化の段階に達していると判断される新技術を積極的に導入していくために、外部委員による評価及び技術的重要事項を調査審議するもの

また JS では、優れた新技術を迅速・確実に実施設備導入することを目的に、平成 23 年度から「新技術導入制度」を実施している。本制度における新技術の分類として、JS が単独又は共同研究により開発された新技術を「新技術Ⅰ類」と位置付けている。また、JS 以外で開発された新技術を「新技術Ⅱ類」もしくは「新技術Ⅲ類」と位置付け、開発者の申請に基づき実施設備への適用性を確認し、積極的に実施設備への導入を図ることにしている。

これまでに「新技術」として登録された技術のうち汚泥処理に係るものとして、Ⅰ類が 7 件、Ⅱ類が 4 件、Ⅲ類が 1 件（平成 28 年 5 月末時点）となっている。表-2 に、汚泥処理関係のⅠ類登録技術の概要を示した。

ここでは、平成 28 年 5 月に新たにⅠ類に選定登録

された「階段炉による電力創造システム」の概要を紹介する。

当技術は「下水道バイオマスからの電力創造システムに関する技術実証事業」として平成 25 年度採択の B-DASH 事業により取り組んできた階段炉＋廃熱ボイラと蒸気発電機の組合せで電力回収を行うシステムをベースにしている。省エネ型焼却炉である階段炉（電力消費は流動炉の約 4 割減）の採用と、小型で高性能な蒸気発電機・バイナリー発電機が開発されたことから、これらの組合せにより比較的小規模でも焼却廃熱からの電力創造（発電）が可能となった。

当技術は焼却炉に投入する脱水汚泥のタイプとして低含水率（68～72%）汚泥を対象とする TYPE-B と、通常含水率（76～80%）汚泥を乾燥機で乾燥後に投入する TYPE-D の 2 つがある。

表-2 JS 新技術導入制度に選定・登録されている汚泥処理関係Ⅰ類技術（H 28 年 5 月末）

選定日	技術名	開発者	技術概要
H24.7.20	循環型多層燃焼炉	JS、メタウォーター㈱	焼却炉の燃焼部を 3 つのゾーンに分け、空気量を制御することで燃費、N ₂ O ガスを削減する技術
H25.3.26	熱改質高効率嫌気性消化システム	JS、三菱化工機㈱	消化汚泥を水熱反応で改質することで汚泥のガス発生量の増加、汚泥脱水性の改善による大幅な減量化を図る技術
H25.7.26	担体充填型高速メタン発酵システム	JS、メタウォーター㈱	消化タンク内に担体を充填しメタン菌濃度を高める等で、わずか 5 日間の日数で安定したメタン発酵を行う技術
H25.7.26	圧入式スクリープレス脱水機（Ⅲ型）	JS、㈱石垣	前濃縮部で凝集汚泥の高濃度化及び脱水部を長くすることで低含水率化と処理の安定化を図った脱水技術
H27.6.26	圧入式スクリープレス脱水機（Ⅳ型）による濃縮一体型脱水法	JS、㈱石垣	スクリープレス脱水機の前濃縮部を強化することで、水処理施設で発生する汚泥を重力濃縮槽等を経ずに直接脱水する技術
H27.11.4	後注入 2 液型ベルトプレス脱水機	JS、メタウォーター㈱	従来の高効率ベルトプレス脱水機にポリ鉄を添加する独立した一次脱水機構を設けることで低含水率を図った脱水技術
H28.5.31	階段炉による電力創造システム	JS、㈱タグマ	省エネ焼却炉である階段炉と低含水率脱水機又は乾燥機及び蒸気発電機を組み合わせた創エネ型焼却発電技術

図-1 に TYPE-B の基本フロー、図-2 に焼却量と創エネルギー量の関係を示した、導入効果のイメージを示す。FS 調査における試算結果によれば、10t-DS/日規模以上で焼却設備電力消費量を上回る電力エネルギー自立運転が可能で、規模が大きくなるほど創エネルギー効果も大きくなる。焼却量 24 t-DS / 日規模では発電した電力により、処理場全体の電力消費量の約 30% の電力削減が可能という結果が得られている。さらにライフサイクルコストの面でも、図-3 に示すように従来方式（高温流動炉）に比べ、TYPE-B では 30% 程度の削減が見込まれる。

またコスト面の有利性に加え N_2O 排出量が高温流動炉の 1/6 程度と少ないこと、また省エネ・創エネが可能なシステムであることから、焼却を採用している処理場における温室効果ガス排出量の削減が可能で、図-4 に示すように従来方式（高温流動炉）に比べ、TYPE-B、TYPE-D とともに大幅な削減が見込め、今後の幅広い普及が期待できる。

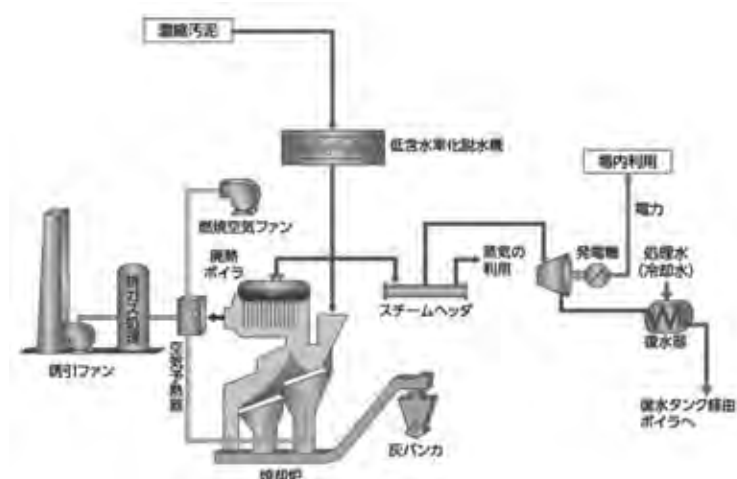


図-1 電力創造システム (TYPE-B) の基本フロー

2.2 技術評価関係

共同研究等により JS で開発した新技術のうち、JS 理事長が諮問する下水道に関する新技術の実用化のための評価を学識経験者、国や地方公共団体の下水道を所掌する部局の長等から構成する日本下水道事業団技術評価委員会にて行うもので、汚泥処理技術に関するものとして近年では「汚泥固形燃料化技術 (H20 年 4 月)」「エネルギー回収を目的とした嫌気性消化プロセス (H24 年 4 月)」などがある。H27 年度から新たなテーマ「下水汚泥由来繊維利活用システムに関する技術」について技術評価専門委員会（委員長：李 玉友 東北大学教授）を設置して技術評価を実施しているのでその技術概要を紹介する。

下水汚泥由来繊維利活用システムに関する技術評価

汚泥中繊維分含有率が脱水性に大きく関係することは以前から知られており、古紙や合成繊維分を脱水助材として添加する方式は既に一部の処理場で実施されている。JS と(株)石垣は脱水機の効率化を図る共同研

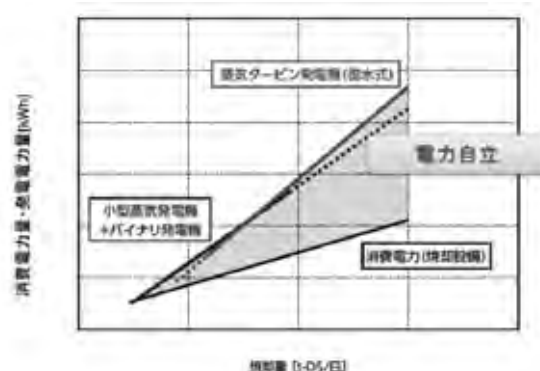


図-2 導入効果のイメージ (TYPE-B)

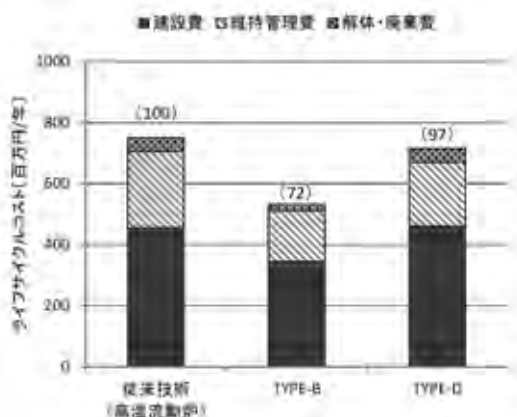


図-3 LCC の比較 (24t - DS/ 日規模)

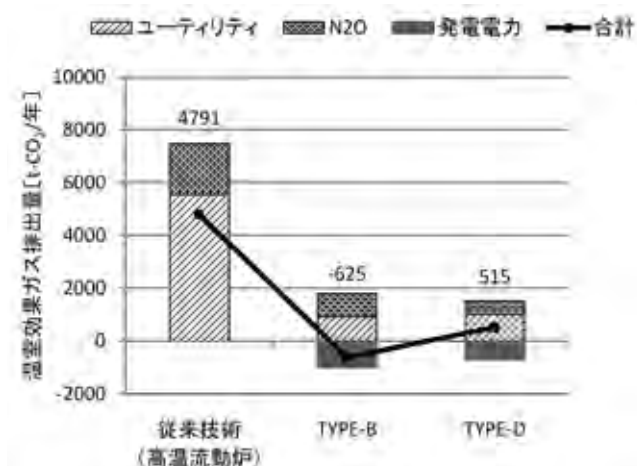


図-4 温室効果ガス排出量の比較 (24t-DS/ 日規模)

表-3 今年度予定されている国受託のテーマ概要（平成 28 年 5 月末）

テーマ名	期間 (予定)	備 考
バイオガス中の CO ₂ 分離・回収と微細藻類培養への利用技術実証研究	H27 ～H28	H27 採択 B-DASH プロジェクト
脱水乾燥システムによる下水汚泥の肥料化、燃料化技術実証研究	H28	H28 採択 B-DASH プロジェクト

写真-1 CO₂回収・藻類培養実証施設の全景

バイオマスは化石資源代替の再生可能資源として活用が可能であり、各種バイオマス（草木類等）のなかでも微細藻類は極めて高い成長（増殖）速度を有することから、世界的に燃料化やサプリメント、飼料利用等の実用化研究が進められている。藻類培養の事業化においては低コスト化が大きな課題となっているが、従来下水道では有効利用されてこなかった下水バイオガス中の CO₂ や脱水分離液（窒素、リンその他のミ

ネラル分を豊富に含んでいる）を活用することで低コストで効率的な藻類培養システムを実証することになっている。さらに水処理施設への窒素・リンの返流水負荷低減も期待される。

平成 27 年度は実証試験施設の設置と冬季における試験を実施した。今年度は年間を通じたシステムの安定性、性能効果の確認を行うことにしている。

②脱水乾燥システムによる下水汚泥の肥料化、燃料化技術の実証研究

本実証研究は「平成 28 年度下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト）」として採択された国土交通省国土技術政策総合研究所からの委託研究で、月島機械(株)、サンエコサーマル(株)、鹿沼市農業公社、鹿沼市、JS の 5 者からなる共同研究体により実施する。

実証技術の概要を図-7 に示す。本技術は、中小規模の下水処理場を対象とした脱水乾燥システム（機内二液調質型遠心脱水機＋円環式気流乾燥機）を用いて乾燥汚泥を製造し、下水汚泥の肥料化、燃料化などの多様な有効利用に対する適応性や設備の性能、ライフサイクルコスト削減等を実証するものである。栃木県



図-7 脱水乾燥システム実証事業技術の概要

鹿沼市黒川終末処理場内に脱水処理能力 4 m³/hr の実証試験機を設置する計画である。

本技術では、機内二液調質型遠心脱水機から排出される汚泥の性状（低付着性および細粒状）を利用し、機器構造やシステムをシンプルにすることにより、安価な設備とすることが可能となる。また乾燥汚泥含水率の調整範囲が広く、単一の設備において多様な有効利用の用途確保が期待される。

本実証研究においては、肥料化と燃料化を組み合わせたスキームの確立を目的としており、特に肥料化については、ユーザーの立場から鹿沼市農業公社にて実際の農地での発芽・生育調査などを行い、下水汚泥を原料とした肥料の有用性の評価を行うことが大きな特徴である。産業廃棄物の収集運搬、中間処理および廃熱を利用した発電事業のノウハウを保有するサンエコサーマル(株)との連携を図ることで、燃料としての利用を含め、下水汚泥の地産地消のスキーム構築を目指している。

3.2 地方受託

地方自治体からの要請で、下水汚泥の処理・有効利用等に関する様々なテーマで実施している。今年度の具体的受託内容については調整中であるが、近年は汚泥のエネルギー利用を目的に新たに嫌気性消化プロセスの導入検討に関する業務の要請が増えている。消化



写真-2 JSの連続メタン発酵試験装置

槽に投入する汚泥性状によって消化ガスの発生量や有機分の分解率は大きく異なることから、JS では、当該処理場で発生する汚泥の基本性状試験や連続メタン発酵試験等（写真-2）によって汚泥の嫌気性消化特性を把握し、より効率的な消化プロセスの設計手法や運転管理手法の提言を行う業務を今年度も数か所の自治体からの要請で実施する予定となっている。

また、下水熱の有効利用等に関する検討業務なども予定されている。

3.3 共同研究関係

表-4 に、今年度予定している汚泥処理、資源回収利用に関する共同研究の概要を示した。

表-4 平成 28 年度予定している汚泥処理に係る共同研究テーマ（H 28 年 5 月末）

テーマ区分	共同研究企業	期間 (予定)	研究内容の概要（共研方式）
高濃度消化技術	月島機械(株)	H26 ～H28	分離機械濃縮による高濃度中温消化技術の開発（提案型）
鋼板製タンクによる嫌気性消化技術	月島機械(株)	H27 ～H28	鋼板製消化におけるより低運転コスト技術の開発（提案型）
CO ₂ 回収と微細藻類培養技術※	株式会社、(株)ユーグレナ、日環特殊(株)	H27 ～H28	汚泥バイオガスからの CO ₂ 回収と、それを用いた微細藻類培養（提案型）
中小向け脱水乾燥システム※	月島機械(株)	H28 ～H33	低コスト型脱水乾燥による汚泥の肥料化、燃料化技術の開発（提案型）
ベルトプレス脱水機の高効率化	住重エンバイロメント(株)	H27 ～H28	前濃縮工程、圧縮工程等の改良による高効率脱水機の開発（提案型）
新型多重板型スクレーププレス脱水機	アムコン(株)	H27 ～H28	プレ濃縮、テーバースクリューの採用等による改良型脱水機の開発（提案型）
水素製造システム	神鋼環境ソリューション(株)	H28 ～H29	高圧ガス吸収法による低 LCC 型高機能水素製造プロセスの開発（提案型）

※B-DASH 事業関連の共同研究テーマ

(1) 嫌気性消化プロセスの高効率化、低コスト化に関する研究

① 高濃度消化技術

消化槽に投入する汚泥濃度を高くすることは、消化槽容量の縮減のみならず投入汚泥の加温に要するエネルギーを削減する効果が期待される。一方、汚泥の濃度によっては攪拌条件やメタン発酵性能への影響も懸念されることから、本共同研究では、濃度コントロールに優れたたて型ろ過濃縮機を生汚泥（初沈汚泥）の濃縮に適用し8～10%まで高濃度化する濃縮技術、高濃度化された非流動性汚泥の移送に優れた混合移送ポンプなどの新技術を組合わせた消化システム構築を目指し、昨年度に引き続き栃木県鹿沼市黒川終末処理場内に設置した実証試験プラント（写真-3）で研究を実施している。

② 鋼板製タンクによる嫌気性消化技術

鋼板製消化タンクは、コンクリート製に比べ建設工期が短く初期導入コストが低く抑えられる等の理由で最近注目されている。前述の鹿沼市黒川終末処理場内に設置した22m³実証用鋼板製消化タンク（写真-3）



写真-3 高濃度消化・鋼板製消化タンク実験プラントの外観

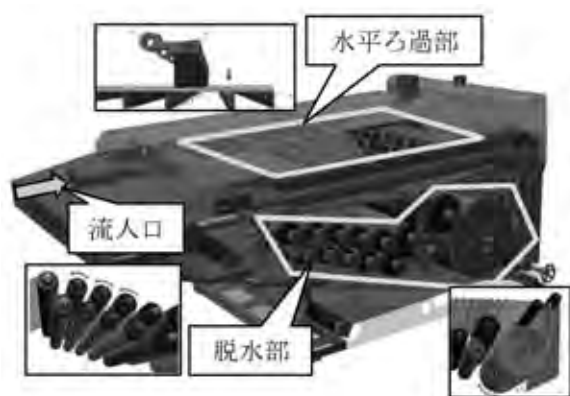


図-8 高効率ベルトプレス脱水機の構造

を用いて長期消化試験を実施し、消化特性（有機分分解率、ガス発生量）、消費電力量、放熱特性等を確認することになっている。

また、鋼板製消化タンクの防食塗装技術の確立を図るため、実証機気相部で採用する塗装種およびその他複数の塗装種を用いて、試験片の硫酸浸漬試験を実施し、硫黄侵入深さの解析等から、耐久性についても確認する。

(2) 汚泥脱水プロセスの高効率化に関する研究

下水汚泥の処理処分や有効利用を図るうえで脱水汚泥の低含水率化は最も重要な課題となる。JSではこれまで機内二液調質型遠心脱水機、圧入式スクリー濃縮脱水機、ベルトプレス脱水機に関する省エネ化・低含水率化の技術開発を進めてきており既に一部は実用化されている。今年度は昨年度に引き続きベルトプレス型脱水機（H 27 年度 I 類登録したものとは別タイプ）及び多重板型スクリープレス脱水機についての研究開発を進めることにしている。

① 高効率ベルトプレス型脱水機

ベルトプレス型脱水機は汚泥性状の変動に強く間欠運転の追従性も高いなど、操作性・維持管理性が良いことからわが国では最も多く導入されている脱水機である。

図-8 に、現在共同研究を進めているベルトプレス脱水機の構造図を示す。長い重力濃縮部による高濃縮化と多数のローラーによる脱水機構を有するのが特徴で、高分子凝集剤で凝集された汚泥に無機凝集剤であるポリ鉄を効果的に注入、混合することで効率的な脱水が達成される。

これまでの研究では、図-9 に示すように難脱水性である嫌気性消化汚泥を対象とした場合でも高分子凝集剤の注入率 2.3%、ポリ鉄の注入率 20%、ろ過速度 70kgDS/(m・h) の運転条件下で脱水機ケーキ含水率 76%程度という結果が得られている。

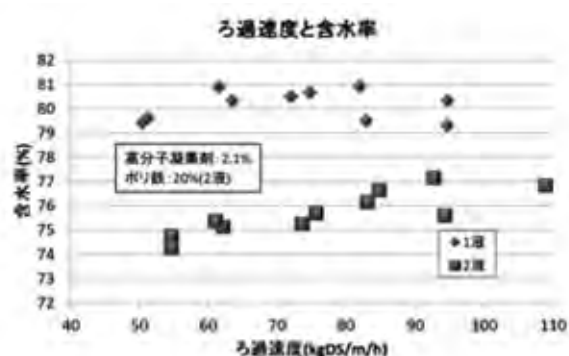


図-9 脱水機試験結果の一例（ろ過速度と含水率）

②新型多重板型スクリープレス脱水機

従来の多重板型スクリープレス脱水機は処理能力が低いことから小規模処理場向けに限定され、またスクリーの構造上ケーキ含水率が比較的高く投入汚泥の濃度変動に対する処理の安定性に課題がみられた。

これらの対策として図-10に示すように、濃縮シリンダーを有する濃縮システムを凝集混和槽内に新たに追加し、脱水シリンダーに投入前に汚泥濃度を事前濃縮することで大容量処理を実現するとともに、スクリーをテーパー状にすることでシリンダー内の圧力を高め低含水率化、処理の安定化を図るものである。

標準活性汚泥法の混合生汚泥に対し一液（高分子凝集剤添加率1%以下）で脱水ケーキ含水率73%以下、2液（ポリ鉄添加率15%程度）でケーキ含水率71%以下を目標に研究を進めている。



図-10 新型多重板型スクリープレス脱水機

4. おわりに

昨年12月にパリで開催されたCOP21において、すべての国が参加する2020年以降の地球温暖化対策の新たな国際的な枠組み「パリ協定」が採択された。日本は、温室効果ガスを2030年度までに2013年度比で26%削減するという目標を掲げた。これを達成するために部門別の目標として、オフィスビルや下水処理場などの「業務その他部門」では40%の削減が求められている。

EU諸国を始め、世界の環境先進国では再生可能エネルギーの明確な導入目標を定め、温室効果削減に積極的に取り組んでいるものの、わが国の取り組みは、国際的には必ずしも十分なものとしては評価されていない。

下水汚泥や生ゴミなどは、多くの国で貴重なバイオマス資源とみなされメタン発酵によるバイオガス化や有機質肥料資源として積極的に有効利用されているのに対し、わが国では廃棄物としてその多くが焼却処分されている。下水汚泥を貴重なバイオマス資源として有効利用し循環型社会の構築、地球環境保全に少しでも貢献しようと取り組む自治体に対し、ソリューションパートナーとして、JSでは今後も積極的に支援することになっている。

特集：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今後の方針

解 説

国立研究開発法人土木研究所における 下水汚泥等バイオマス利用に関する研究

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 (iMaRRC)

材料資源研究グループ 上席研究員 (資源循環担当) 植松 龍二

キーワード：バイオマス、エネルギー回収、温室効果ガス、高濃度消化

1. はじめに

国立研究開発法人土木研究所は、国の研究機関であった国土交通省土木研究所が、平成 13 年 4 月に国の機関（国土技術政策総合研究所）と独立行政法人とに再編されたことにより発足した研究機関のうち、独立行政法人土木研究所が、平成 27 年 4 月から国立研究開発法人となったものである。国土技術政策総合研究所が政策の企画立案に関する研究等を行うのに対し、土木研究所は、土木技術に関する先端的・基礎的な研究開発と技術指導を行う機関として位置づけられていることに加え、国立研究開発法人化に際し、これまで以上の研究成果の最大化を目指していくこととしている。

また、同じく平成 27 年 4 月に、土木研究所に先端材料資源研究センター (Innovative Materials and Resources Research Center、略称 iMaRRC、アイマーク) が設置された。iMaRRC では、コンクリートや鋼材など従来の土木材料に関する調査研究や技術開発を行うことに加え、先端的な材料を土木構造物へ適用し、社会インフラの長寿命化、耐久性の向上や、劣化検知・診断を容易にするための技術開発を行うとともに、土木材料、下水及び下水汚泥のリサイクル技術やエネルギー使用の効率化（創エネ等）技術の調査研究・技術開発を行うことにより、持続可能な社会、低炭素循環

型社会の構築に貢献することを目的としている。これに伴い、下水道施設に関わる材料の調査研究や技術開発に順次取り組んでいくこととなるが、独立行政法人土木研究所リサイクルチームとして進めてきた嫌気性消化技術の高度化や下水処理システムにおける藻類培養技術の開発など下水道資源の有効利用や再生可能エネルギーの利用技術、下水中に排出されるノロウイルス等の分析方法や対策技術など病原微生物に関する研究も、iMaRRC で引き続き実施されている。

本報では、土木研究所の第 3 期中長期計画（計画期間平成 23～27 年度）における下水汚泥等バイオマスの有効活用に関するプロジェクト研究の成果等を中心に紹介する。

2. 下水汚泥等バイオマスの有効活用に関するプロジェクト研究

都市や農村に広く、薄く存在しているバイオマスを資源やエネルギー源として地域で有効活用するため、バイオマスの効率的回収、生産、利用技術及びバイオマスの地域循環型利用システムについて検討するプロジェクト研究として、「再生可能エネルギーや廃棄物系バイオマス由来肥料の利活用技術・地域への導入技術の研究」を実施した。

このプロジェクト研究は、バイオマスとして、下水汚泥だけではなく公共緑地から発生する刈草等も対象

とし、また、都市域だけではなく、農村域も含んだ広域をバイオマス利活用システムの検討範囲として設定していることが特徴である。このプロジェクト研究の中で、下水汚泥を主な対象としたバイオマス利用について以下の3課題を実施した。

- ・低炭素型水処理・バイオマス利用技術の開発
- ・下水道を核とした資源回収・生産・利用技術
- ・地域バイオマスの資源管理と地域モデル構築

3. 低炭素型水処理・バイオマス利用技術の開発

本研究は、下水汚泥の濃縮、消化のプロセスの効率化、省エネルギー化等をさらに促進するための技術開発を行うとともに、これと一体的なバイオマス利用技術を開発することを目的とした。また、これらの技術適用による温室効果ガス排出抑制効果等も評価した。

研究内容の一つとして、高濃度の下水汚泥のメタン発酵技術について、実験的検討を行った。これは、小規模下水処理場で発生する汚泥を、拠点となる下水処理場に効率的に輸送・集約して嫌気性消化を行い、メタンガスとしてエネルギー回収することを意図している。

脱水汚泥を用いた投入固形物 (TS) 5～20% 程度の嫌気性消化実験を実施し、TS10% 以下に相当するアンモニア性窒素濃度 3,000mgN/L 程度までであれば、アンモニアによる障害が生じず、従来と同程度のメタン回収が可能であることを明らかにした。また、汚泥性状が異なると、アンモニア生成率が異なる (図1)。

このため、実際の施設設計にあたっては、汚泥性状 (窒素含有率) ごとに、アンモニア生成率をもとに、投入 TS、すなわち、限界負荷率等を算出することが可能であることを示した (図2)。

さらに、上記の集約型嫌気性消化、重力濃縮効率を向上させる「みずみち棒」を導入した場合において、温室効果ガス排出抑制効果を検証した。石川県 A 町において、下水汚泥、食品廃棄物、浄化槽、し尿等を個別に処理している現状と1箇所の処理場において集約・処理し、エネルギー利用する場合を比較したところ、約30%の温室効果ガス排出量削減効果が明らかになった。

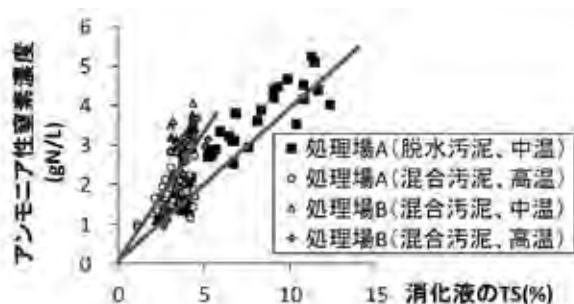


図1 消化液のアンモニア性窒素濃度と TS の関係

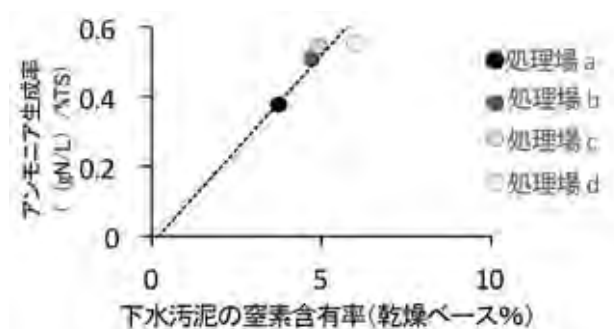


図2 下水汚泥性状とアンモニア生成率の関係

4. 下水道を核とした資源回収・生産・利用技術

本研究は、下水処理場の有する資源に着目し、バイオマスとして利用価値の高い藻類の培養などにより、高度な資源回収、生産を行うための技術開発を行うことを目的とした。また、回収、生産資源の利用可能性や安全性を検証し、最適な資源利用方法の提案を行うために実施した。

このうち、藻類による資源生産システムの検討では、下水流入水および下水二次処理水を用い、室内や屋外で藻類培養実験を行い、藻類中の脂肪酸や発熱量の定量から下水培養された藻類バイオマスのエネルギー利用の可能性を示した。下水処理場に設置した 380 L 規模の培養水槽を利用し、下水二次処理水を用いた屋外藻類培養実験を実施した。培養水槽への CO₂ 添加により、培養藻類の高位発熱量が 16.4MJ/kg と添加前と比較して 36.7% 増加し、CO₂ 添加効果を示した。

さらに、標準的な下水処理システムにおける培養藻類のエネルギー利用について、脂肪酸メチルエステル化、固形燃料化、嫌気性消化の3ケースを検討し、嫌気性消化が最もエネルギー収支上優位であることを明らかにした (図3)。

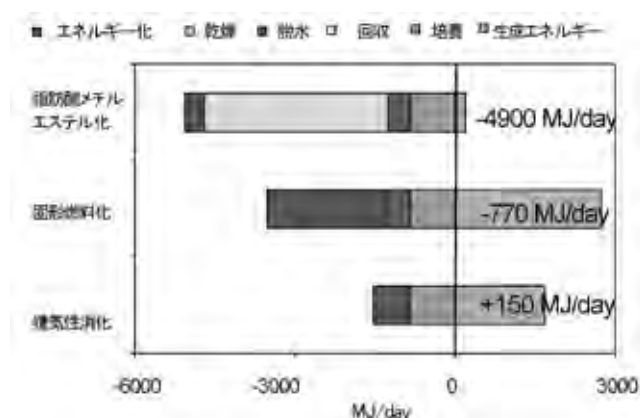


図3 下水処理場での藻類培養・エネルギー生産システムにおけるエネルギー収支

5. 地域バイオマスの資源管理と地域モデル構築

本研究は、公共緑地管理に由来するバイオマスについて、各種利用技術のCO₂排出量を評価する手法を確立するとともに、バイオマスの有効な利用方法を提案することを目的とした。

バイオマスの有効な利用方法として、下水汚泥との混合消化について検証した。刈草と下水汚泥の混合物を用い、中温(35℃)、高温(55℃)での連続消化実験(図4)を行った結果、高温条件で、安定したメタン転換が実現することが明らかとなった。さらに、回分式実験により、超高温(80℃)前処理でメタン転換率が向上することが示唆された。爆砕を施した木質チップ(コナラ)と下水汚泥の混合物を用いた実験も行い、従来(213℃)よりも低温(178℃)の爆砕処理でメタン転換が可能であることが明らかになった(図5)。



図4 刈草の下水汚泥混合メタン発酵実験

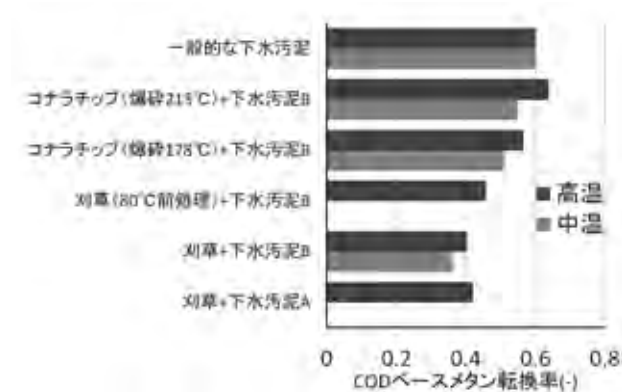


図5 刈草及びコナラチップのメタン転換率(下水汚泥との混合消化時は下水汚泥のみのメタン転換分を除いた値)

さらに、上記成果も踏まえ、河川の管理上生じる刈草の処理方法について、敷地面積1,000m²の除草(刈草発生量334kg)を下水処理場に運搬し、下水汚泥と混合消化するケースについて、温室効果ガス排出量算定を行った。処理場から31km以内の刈草であれば、下水処理場において、混合消化しエネルギー利用することが、温室効果ガス削減の観点から優位であることを明らかにした。

6. 研究開発成果の社会への還元

「再生可能エネルギーや廃棄物系バイオマス由来肥料の利活用技術・地域への導入技術の研究」の成果は、土木研究所として、論文、土研刊行物として公表するのみならず、下水汚泥、他の廃棄物系バイオマス消化におけるメタン転換率などは、「下水汚泥有効利用促進マニュアル」(2015年版、日本下水道協会)に反映されている。土木研究所の担当職員は、本マニュアルの作成のための委員会委員に参画するのみならず、作成後、全国で開催された説明会にも講師として参加した。

また、本研究結果も踏まえ、一部の地方公共団体において、下水汚泥・食品廃棄物等、あるいは河川の刈草を、下水処理場で集約、混合消化する事業が開始された。

さらに、土木研究所では、自治体や民間企業との共同研究による技術開発も行っており、既に下水道事業で活用されている技術も少なくない。例えば、土木研究所と大学・民間企業が共同開発した、小型化することでコスト削減を図り中小規模施設にも導入可能な「消化ガスエンジン」については、平成27年度10月、新潟市において、実機導入現場見学、本技術の紹介、意見交換等を行った。

今後とも、研究開発成果の社会への還元を図るため、様々な取組を行う所存である。

7. おわりに

土木研究所 iMaRRC(資源循環担当)では、下水汚泥等バイオマスの処理・有効利用について対象範囲を広げて研究を実施しており、これにより、地域における有効なバイオマス利用システムの構築を目指している。平成28年度から始まる第4期中長期計画においても、河川等の管理に由来する草木類の資源利用、藻類等を活用した下水からの有用資源・エネルギー回収技術に関する研究等を実施することとしている。

技術上の相談があれば、下記宛ご連絡いただければ幸いです(土木研究所 iMaRRC(資源循環担当)メールアドレス recycle@pwri.go.jp)。

特集：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今後の方針

解説

資源循環研究部における 技術開発について

公益財団法人 日本下水道新技術機構

資源循環研究部長 石田 貴

キーワード：エネルギー自立化、太陽光集熱技術、OD 法省エネ技術

1. はじめに

下水道機構では、今年度、中期事業計画を定めており、この中で資源循環研究部は下水処理場のエネルギー自立化を究極の目標として、未利用の地域バイオマス（生ごみ等）の受け入れによるエネルギー回収の増大と下水処理場の消費エネルギー 50%削減を目指して調査研究に取り組んでいる。また、自然エネルギーの活用や消化工程のローコスト化により小規模処理場における創エネルギー化技術の導入促進に取り組んでいる。

2. 民間との共同研究

今年度実施の民間との共同研究は、継続 2 件、新規 1 件を予定している。

①嫌気性消化法の導入マニュアル策定に関する共同研究

平成 28 年 4 月に環境省が下水道部門の温室効果ガス排出抑制等指針を定めたが、嫌気性消化法は消化ガス発電等によるエネルギー回収によって、温室効果ガス削減に非常に有効な技術である。

しかし、処理水量 2 万 m³/日以下の比較的規模の小さな下水処理場ではコスト面で導入が困難な状況にある。本共同研究は、B/C 改善のため、鋼板製のガス

タンクや消化タンクの長寿命化によるライフサイクルコスト削減などに取り組んでいる。管理者参加型共同研究として飯能市や氷見市が参加する他、民間 11 社（NJS、大原鉄工所、オリジナル設計、JFE エンジニアリング、神鋼環境ソリューション、住友重機械エンバイロメント、中央設計技術研究所、東芝、中日本建設コンサルタント、ニュージェック、松本鉄工所）で実施している。

②高効率酸素溶解装置による酸素供給電力削減に関する共同研究

PSA により得られた高濃度酸素ガスを流入下水と同時に OIL-MIXER に供給し、気体と液体の膨張の違

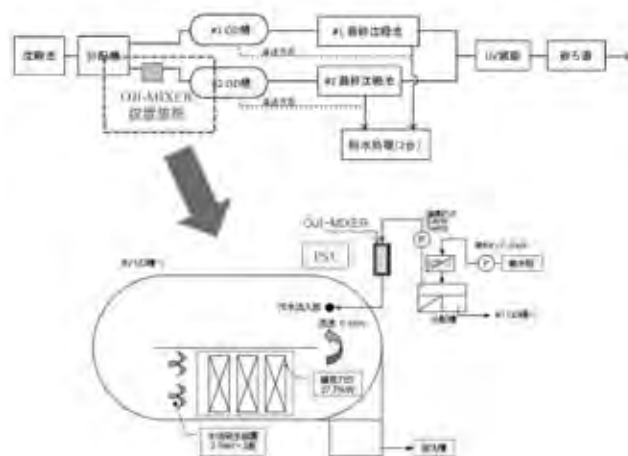


図-1 OJI-MIXER 設置状況

いとジェット噴流が作り出す渦を利用して400ナノメートルのナノバブルを作り出し、これを反応タンクに供給し、省エネ化を図ることを目的とした技術である。プロペラと散気装置により酸素供給を行っているオキシデーションディッチ法の施設で実証試験を行っている（図-1参照）。本共同研究は王子ホールディングスと昨年度より実施している。

③オキシデーションディッチ法の省エネ技術に関する共同研究

今年度より下水道部門も地球温暖化対策の推進に関する法律に基づく温室効果ガス排出抑制等指針に位置付けられ、下水道管理者は排出抑制の義務を負うことになるが、小規模下水道の代表的な水処理方式であるオキシデーションディッチ法については、エネルギー消費量削減の有効な手段がまとめられていないのが現状である。そこで、市内に6か所のOD法の水処理場を持つ岡山市の参加した管理者参加型共同研究として、民間7社（ウォーターエージェンシー、JFEエンジニアリング、住重環境エンジニアリング、中央設計技術研究所、日水コン、フソウ、前澤工業）と調査研究を開始したところである。

「平成25年度版下水道統計」によれば、OD法を採用している下水処理場は1,032箇所あるが、図-2に示すように、日平均処理水量2,000m³/日以下が88%を占める。また、現有施設能力（日最大）に対する日平均処理水量の割合を流入比率とすると、図-3に示すように、日平均処理水量が小さいほど流入比率50%以下の割合が大きい傾向を示している。

これらの小規模下水処理場では、人口減少により更なる流入水量の低下が想定され、省エネの観点でその

対応策を明らかにする必要がある。一方、2,000m³/日以上、OD法施設の流入比率は比較的大きく、今後は地域の生活排水処理施設の統合の核となる可能性があり、流入水量の増大に対して省エネ化を図る必要があると考えられる。

3. 固有研究

資源循環研究部では、今年度、以下の3件の固有研究を実施している。

①下水灰の肥料利用のための基礎的研究

昨年度に引き続き、焼却灰中のリンの肥料価値を高める研究を行っている。焼却灰中のリンは、リン酸アルミニウムの形態で存在している比率が高いと推察されている。灰の肥効性を高めるためには、このリンとアルミニウムの分離を図る必要があり、効率的な分離のための基礎的な実験を行っている。

②太陽光集熱技術に関する基礎的研究

小規模下水処理場への適用を想定して、太陽熱を利用した汚泥乾燥に関する基礎的研究を昨年度に引き続き実施している。脱水汚泥の発生量が1日0.8トンに満たない下水処理場へ適用可能な汚泥乾燥機の開発を目指している。実験用集熱器を試作して太陽光集熱実験を実施し、実用機的设计諸元を求めるための基礎データを収集している。

③地域バイオマスの活用に関する調査研究

下水処理場の周辺には、地域バイオマスとして、し尿や生ごみの他、公園等の剪定枝、河川堤防等の刈り草、竹、稲わら、畜産関係の糞尿等が存在する。これらを下水処理場に受け入れ、嫌気性消化タンクで有機物を分解しエネルギー回収を行う場合、その分解性や発生消化ガス量、残渣物の下水処理場への影響等を明らかにする必要がある。本研究では、文献調査やヒヤリングによりこれらに関する知見をまとめる予定である。

下水汚泥のみから発生する消化ガスによる発電では、下水処理場の消費エネルギーの30%～40%程度を賄うに過ぎない。地域バイオマスの受け入れによりエネルギー回収率を高めることと次項で述べる下水処理場の消費エネルギー50%削減により下水処理場のエネルギー自立化を図ることが可能となる。

4. 下水処理場の消費エネルギー50%削減

「下水道における地球温暖化対策マニュアル」（環境省・国土交通省、平成28年3月）によれば、下水処理場におけるエネルギー起源のCO₂排出量は、標準法の処理場か、窒素除去を行っている高度処理法を採

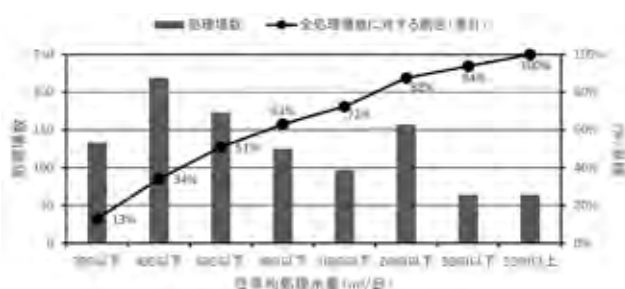


図-2 OD法処理場の日平均処理量の分布

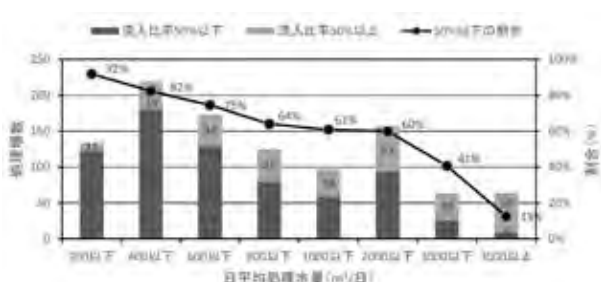


図-3 OD法処理場の日平均処理水量と流入比率の相関

用する処理場か、汚泥焼却を行っている処理場かなどのカテゴリーによって大きく異なる。表-1はそれぞれのカテゴリー別に処理規模と電力換算の消費エネルギーとの関係を示したものである。標準法と比較すると高度処理や焼却を行っている場合の消費エネルギーが非常に大きいことがわかる。

また、「省エネ型汚泥処理システムの構築に関する技術マニュアル」(下水道機構、2016年3月)によれば、表-2に示すように、施設別のエネルギー消費は、全処理場を対象とした場合と汚泥焼却を行っている処理場とで水処理施設と汚泥処理施設の消費エネルギーの割合は大きく異なる。焼却にかかるエネルギー消費が大きいので、焼却を有する処理場では水処理よりも汚泥処理の消費エネルギーのほうが大きくなっている。しかし、いずれにしても、水処理と汚泥処理を合わせた消費エネルギーは全体の8割程度と大部分を占めているので、水処理、汚泥処理の省エネ化にまず取り組む必要がある。

表-1 カテゴリー別、規模別消費エネルギー

単位(千kWh/年)			
	2万m ³ /日	5万m ³ /日	10万m ³ /日
標準法	3,070	6,330	10,970
高度処理法	4,680	8,940	14,590
汚泥焼却	—	10,910	17,950

表-2 施設別エネルギー消費量の割合

	水処理	汚泥処理	ポンプ	管理等
全処理場平均	49%	28%	14%	9%
焼却有る処理場平均	38%	45%	13%	4%

①これまでの主な成果

水処理施設の省エネルギーに関する調査研究

・「活性汚泥法等の省エネルギー化技術に関する技術資料」(下水道機構、2014年3月)

水処理施設で最も消費エネルギーが大きい送風機は、高効率送風機と高効率散気装置の組み合わせが最も効果大きい。モデル設計により従来の送風機と散気板との組み合わせの場合と比較すると、処理水量1万m³/日で27%、4万m³/日で47%、10万m³/日で48%の電力量削減率が得られる。導入事例では、25% (処理水量15万m³/日)、32% (処理水量11万m³/日)、40% (処理水量14.4万m³/日)であった。導入事例の削減効果が低いのは、モデル設計では水量・水質が一定として電力消費量を算出しているのに対し、導入事例では水量・水質の時間変動があり、必要酸素量の変動に対し送風量が追従しきれていないためと考えられる。

アンモニアの硝化には必要酸素量が大きいので、流入アンモニア濃度の時間変動をアンモニアセンサで計

測し送風量の制御を行った実証実験の結果によれば、送風量の30%～40%を削減することが可能であった。実際の処理場では水量・水質の時間変動が必ずあるので、アンモニアセンサ等による送風量制御により、モデル設計で得られる電力量削減率に近づけることが重要である。

・「省エネ型反応タンク攪拌機の導入促進に関する技術マニュアル」(下水道機構、2016年3月)

標準活性汚泥法の反応タンク前端部や高度処理法の嫌気槽や無酸素槽では水中攪拌機が設置されていることが多い。共同研究に先立って、下水道機構で調査したところ、水中攪拌機の攪拌動力密度は14か所の平均で11.3W/m³と大きく、表-1に示したように、高度処理法の処理場が標準法の処理場に比べて消費エネルギーが大きくなる理由の一つになっていることが分かった。

写真-1に、下水道機構の建設技術審査証明を得ている省エネ型反応タンク攪拌機8機種を示す。既設の反応タンクに水中攪拌機が設置されている槽に上記8機種を適用した場合、4つのケーススタディの平均攪拌動力密度は、11W/m³が2.3W/m³と79%の削減となることが分かった(図-4参照)。導入事例6箇所の平均でも11.2W/m³が2.6W/m³と77%の削減が図れていることが分かった。



写真-1 省エネ型反応タンク攪拌機の例

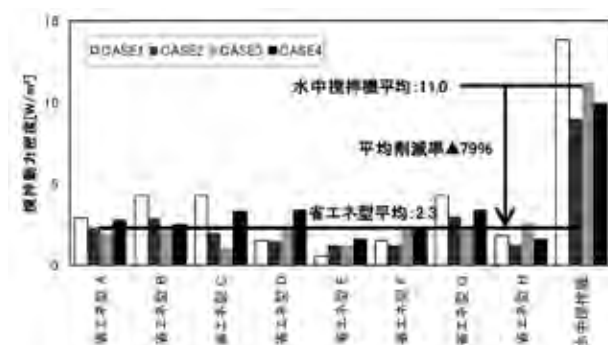


図-4 省エネ型反応タンク攪拌機による攪拌動力密度削減効果

汚泥処理施設の省エネルギーに関する調査研究

・「省エネ型汚泥処理システムの構築に関する技術マニュアル」(下水道機構、2016年3月)

本研究では省エネ技術を15(濃縮3技術、消化2技術、脱水4技術、焼却2技術、プロセスの組み合わせ4技術)取り上げ、既存技術と比較して、エネルギー削減効果、温室効果ガス削減効果、建設費及びLCCの削減効果を明らかにしている。例えば、機械濃縮については差速回転型スクリュウ濃縮機、ベルト型ろ過濃縮機(ステンレスベルト)、ベルト型濃縮機(樹脂製ベルト)の3技術を既設の遠心濃縮機の代わりに導入した場合、関連する設備全体で消費エネルギーの削減率はそれぞれ75%(処理規模7万 m^3 /日)、69%(処理規模10万 m^3 /日)、63%(処理規模2万 m^3 /日)となる。

また、省エネ型脱水機としてハイブリッド型圧入式スクリュウプレス脱水機、高効率型二軸スクリュウプレス脱水機、直胴型遠心脱水機、省エネ型遠心脱水機の4技術について従来型遠心脱水機の代わりに導入した場合の削減効果を示している。一例として、高効率型二軸スクリュウプレス脱水機の場合、消化を行っている処理規模3万 m^3 /日の下水処理場で75%、処理規模20万 m^3 /日の生汚泥の脱水で82%の消費エネルギー削減効果が見込まれる。図-5はこの時の脱水設備としての電力消費量の内訳を示すが、脱水機本体の電力消費量の大幅な削減により相対的に附属機器の電力消費量の割合が非常に大きくなることが分かる。従来型遠心脱水機を省エネ型の遠心脱水機に変える場合でも処理規模20万 m^3 /日の生汚泥の脱水で47%～53%の消費エネルギー削減効果を見込むことができる。

プロセスの組み合わせ技術として、例えば、ダイレクト型圧入式スクリュウプレス脱水機を、処理規模1万 m^3 /日で余剰汚泥の遠心濃縮と遠心脱水を行っていると導入した場合、濃縮プロセス及び脱水プロセスで34万 kWh /年の電力消費量が13万 kWh /年へと62%の削減効果を見込むことができる。

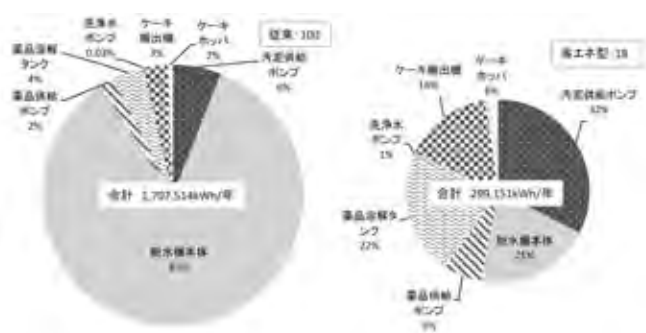


図-5 電力消費量の内訳の比較

②今後の予定

水処理施設の省エネルギーに関しては、上述したように、処理規模1万 m^3 /日の送風機消費エネルギー削減率は27%と処理規模5万 m^3 /日以上に比べて非常に小さい。また、OD法のように、処理規模1万 m^3 /日以下の処理場に対する有効な省エネ対策が求められている。下水道機構としては、民間との共同研究等によりこれら中小規模の処理場の省エネ化技術の開発が必要と考えている。また、水処理施設の消費エネルギー50%削減には、返送汚泥ポンプや脱臭設備などの省エネ化も必要である。

汚泥処理施設については、濃縮プロセスや脱水プロセスについては大幅な消費エネルギー削減の可能性を示すことができた。本体機器の省エネ化によって汚泥貯留槽攪拌機や汚泥投入ポンプなどの補機類の消費エネルギーが大きいたことが明らかとなり、今後この方面の省エネ化の必要がある。焼却については、従来型気泡式流動炉を過給炉や二段燃焼炉に代えることにより、消費エネルギー削減率は20%～30%となるが、低含水率脱水機との組み合わせによる補助燃料の大幅な削減や小型蒸気発電機やバイナリー発電機などによるエネルギー回収を行うことにより、焼却炉のエネルギー自立化に向けた取り組みを行う必要がある。

神奈川県下水道公社とは、昨年度より省エネルギーに関する共同研究を実施しており、さまざまな省エネ対策を盛り込んだ施設改築計画の提案を行う予定である。

5. おわりに

中国等の景気減速による原油価格の急落等があり、エネルギー価格への危機感は一時的に緩和されているが、開発途上国を中心とした人口増による資源需要の増大という傾向は今後も続くことはいうまでもない。電力費などのエネルギー価格の変動の影響を受けにくい持続的な下水道経営を実現するためにも、改築更新時に省エネ機器の積極的な採用を図り、ガス発電等のエネルギー回収に取り組むことで下水処理場のエネルギー自立化に一步でも近づく努力をすることが私たちに求められている。

研究紹介

小規模下水処理場に適した メタン発酵技術の開発

金沢大学
池本 良子

キーワード：混合メタン発酵、小規模下水処理場、オキシデーションディッチ汚泥、廃油揚げ

1. はじめに

污水处理人口普及率は約 90% に到達し、小規模市町においても広く普及するに至っており、水質改善に大きく貢献している一方で、多くの小規模市町は、深刻な人口減少の問題に直面しており、污水处理施設等の持続的な運営が大きな課題となっている。特に、市町村合併により、複数の下水処理場や農業集落排水処理施設、し尿処理場を抱え非効率な運営となっている自治体も多い。これらの污水处理施設から発生する汚泥は、個別に脱水した後、外部委託処理をしている場合が多く、その処理費用が大きな負担となっている。

これまで、減容化、無害化、安定化の目的で導入されてきた下水汚泥のメタン発酵技術は、近年エネルギー回収技術として再注目されている。しかし、全国 2141 か所の下水処理場のうちの 1214 か所を占める処理水量 5000m³/日以下の下水処理場においては、発生汚泥量が少ないことから、ほとんどメタン発酵の導入事例はない。また、小規模処理場 1214 か所のうちの 900 か所がオキシデーションディッチ法（OD 法）を採用しており、この処理法では、最初沈殿地を有さず、反応槽での滞留時間が長いことから、発生する汚泥の分解性が低いことも、小規模処理場へのメタン発酵が進んでいない要因の一つである。

近年、下水処理場におけるエネルギー自立化を目指

し、下水処理場に各種バイオマスを集約したメタンガス回収が試みられるようになってきた。小規模自治体においても、複数の污水处理施設から発生する汚泥を 1 か所に集約するとともに、様々な地域バイオマスの受け入れができれば、有効なエネルギー回収技術となりえるだけでなく、汚泥処理費用の削減や、処理施設の統合等のメリットがある場合が多いと考えられる。

そこで、小規模下水処理場へのメタン発酵の導入を促進するために、石川県と共同で、「メタン活用いしかわモデル」を提案するとともに、そのコア技術の開発を行ってきた。その結果、平成 29 年度に石川県中能登町において、実施施設の導入が決定した。ここでは、その経緯について、紹介する。

2. 「メタン活用いしかわモデル」の概要

平成 22 年度より、石川県において、金沢大学、土木研究所、日本下水道新技術機構及び県内企業などと連携し、小規模下水処理場※におけるメタン発酵技術の普及に向けて、下水道汚泥等の混合バイオマスのメタンガスの利活用について検討を開始し、平成 24 年 3 月には、「混合バイオマスメタン発酵技術普及促進マニュアル」（以降、「普及促進マニュアル」と記す。）を作成した。本マニュアルは、小規模下水処理場における混合バイオマスメタン発酵技術の普及を図るため、法律、制度、文献値の整理、小規模下水処理場に

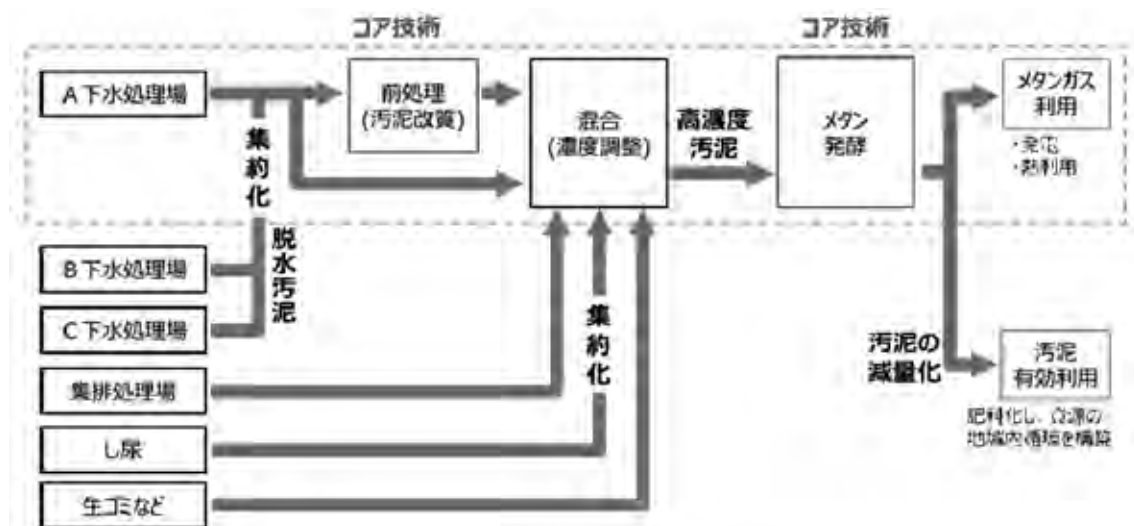


図-1 メタン活用いしかわモデルの概要

適した費用関数等の設定、温室効果ガス排出係数の提示を行い、自治体による混合バイオマスメタン発酵施設の導入効果の検討を可能としたものである。しかし、これまで、オキシデーションディッチ法（以降、「OD法」）を採用している小規模下水処理場へのメタン発酵の導入事例は、石川県珠洲市のみであり、課題も多いことから、小規模下水処理場に適用可能な技術の開発が不可欠であった。そこで、平成24年4月より、OD法から発生する脱水汚泥及びその他バイオマスを対象に、メタン発酵槽への投入汚泥を最大で固形物濃度（TS）10%程度まで高濃度化し、メタン発酵する技術の開発を行った。これらの知見は、平成26年3月に普及促進マニュアルを改訂し反映するとともに、平成27年3月に「メタン活用いしかわモデル導入の手引き」¹⁾の作成を行った。

ここでの「いしかわモデル」とは、複数の下水処理場から発生する脱水汚泥と、し尿やその他の地域バイオマスを一カ所の処理場に集約し、混合メタン発酵を行う小規模下水処理場に適した効率的で低コストのメタン発酵システムであり、①脱水後の汚泥集約による運搬コストの縮減、②投入汚泥の高濃度化によるメタン発酵槽の小型化、③し尿、生ゴミ、廃棄物等の地域バイオマスの混合によるガス発生量の増大を目指したものである。その中のコア技術として、前述の①高濃度条件下の混合バイオマスメタン発酵技術、および②発酵促進のための汚泥改質技術を位置づけている。

3. 技術開発の経緯

3.1 対象地域および対象バイオマスの選定

本システムを導入するにあたって、モデル地域として、石川県中能登町を選定した。中能登町は、2005年に3町が合併して誕生し、平成28年2月の人口は18697人である。污水处理施設普及率は99%と高く、5箇所の下水処理場と、6箇所の農業集落排水処理施設を有している。下水道汚泥は、それぞれ脱水した後、中間処理施設へ運搬し処理されているが、近隣に汚泥処理施設がないことから、長距離運搬となり、運搬処分費が高く、また運搬に伴う温暖化ガス排出量が多いことも課題であった。さらに、広域処理されているし尿処理施設の老朽化が進行し、し尿処理の見直しが求められていた。

一方、町内に、主に油揚げを製造する豆腐工場が存在しており、大量の規格外商品と排水処理汚泥が廃棄物として発生していた。生ゴミに関しては、堆肥化により自家処理している割合が高く、収集は困難であったが、給食残さは、給食センターに集約させていることから利用可能であった。

そこで、污水处理施設からの汚泥とこれらの廃棄物を集約処理するメタン発酵施設の導入可能性について様々な側面から検討した結果、ある程度の可能性が示されたことから、モデル地区として検討するに至った。

3.2 対象バイオマスのメタン生成ポテンシャルの測定^{2), 3)}

表-1 は、回分実験により求めたバイオガス生成ポテンシャルを示したものである。比較のために、標準法を採用している金沢市城北水質管理センターの最終沈殿池汚泥および混合汚泥（最初沈殿池汚泥と最終沈殿池汚泥を混合したもの）のポテンシャルを示してある。オキシデーションディッチ法から発生する汚泥（以下 OD 汚泥）のガス発生ポテンシャルは、標準活性汚泥法で発生する混合汚泥と比較するときわめて低く、最終沈殿池汚泥と比較してもやや低いことがわかる。先に述べたように、本方式では、最初沈殿池を持たず、負荷の低い運転を行うために、汚泥中の有機物の多くが分解性の悪い微生物体であるためと推定できる。浄化槽汚泥は、比較的ポテンシャルが高かったが、収集ごとにばらつきが大きかった。豆腐工場排水処理汚泥については、OD 汚泥と同程度のポテンシャルであり、発生量が非常に大きいことから、メリットは少ないと判断し、今回集約するバイオマスからは除くこととした。一方、油揚げは、生タイプ、乾燥タイプともに、ポテンシャルが高く、有用なバイオマス資源であることがわかる。しかし、脂質を多く含むためか、回分実験では途中でガス発生が停止し、その後、回復するという現象が認められたことから、連続実験が必要であると考えられた。

3.3 投入汚泥濃度の高濃度化と廃棄物系バイオマスの混合の影響の検討（室内実験）²⁾

図-2 に示すようなメタン発酵槽を 35℃ の恒温室内に設置し、滞留時間 25 日に設定して試験を行った。Run 1 には汚泥のみを添加し、段階的に汚泥濃度を増加した。Run 2 には、モデル地区の発生比率に合わせて、汚 OD 汚泥:乾燥油揚げ:生油揚げ = 1 : 0.39 : 0.06 の比率で油揚げを混合して、投入した。表-2 はその結果をまとめたものである。Run 1 (OD 汚泥単独消化) では投入基質濃度を 10.0%（有機物槽負荷 3.4kg-VS/m³/d）に増加しても安定したメタン発酵反応が進行した。廃油揚げと混合した Run 2 でも、メタン発酵の阻害は認められず、投入基質濃度 10.1%（有機物槽負荷 3.5kg-VS/m³/d）までは安定したメタン発酵反応が進行した。しかし、投入基質濃度 14.5%（有機物槽負荷 5.0kg-VS/m³/d）まで増加すると、溶存態有機炭素が蓄積しガス発生量の低下が生じた。消化汚泥の脱水性状を確認したところ、両者ともに従来の OD 汚泥の脱水性状と大きな違いは見られなかった。

これらのことから、OD 汚泥単独消化、油揚げとの混合消化いずれにおいても、10.0%（有機物槽負荷 3.4kg-VS/m³/d）程度までになら、高濃度化することが可能であり、処理槽の小型化につながる事が示された。

表-1 各種バイオマスの発生量とメタンガス生成ポテンシャル

	発生量 (w-t)	発生量 (dry-t)	C/N	メタンガス生成 量 (Nm ³ /g-VS)
下水汚泥	1256	214	6.3	0.11
し尿	602	9	6.0	0.38
浄化槽汚泥	869	13	-	0.27
農集排汚泥	42	8	14.3	0.07
給食残渣	48	10	15.5	0.18
油揚げ(生)	26	41	11.5	0.83
油揚げ(乾燥)	45	14	10.9	0.58
豆腐工場汚泥	300	39	-	0.11
標準法混合汚泥*			8.4	0.31
標準法最終沈殿池汚泥*			4.7	0.14



図-2 室内メタン発酵槽

表-2 室内メタン発酵試験の結果

	Run 1				Run 2			
	期間 I	期間 II	期間 III	期間 IV	期間 i	期間 II	期間 III	期間 IV
投入基質のTS (g/L-投入基質)	30.0	50.0	100.0	70.0	43.4	72.4	144.7	101.3
有機物槽負荷(kg-VS/m ³ /d)	1.0	1.7	3.4	2.4	1.5	2.5	5.0	3.5
投入基質C/N比	5.6	5.6	5.6	5.6	6.6	6.6	6.6	6.6
OD汚泥VS1g当たりのCH ₄ 発生量(NL)	-	0.07	0.08	0.07	-	-	-	-
油揚げVS1g当たりのCH ₄ 発生量(L)	-	-	-	-	-	0.63	0.42	0.57
平均メタン濃度 (%)	67.9	67.2	64.3	64.8	62.4	63.3	59.9	62.9
平均VS分解率 (%)	-	39.8	31.1	31.1	-	56.4	46.1	50.0

※Run 1の50～53日,71～95日,111～116日,193～224日,262～291日はガス捕集不可

※Run 2の176～188日,198～211日はガス捕集不可

※期間 I については期間日数が短いため、ガス発生量およびVS分解率は算出しない

3.4 7種混合バイオマスの混合消化実証試験³⁾

油揚げがメタン発酵に有効なバイオマスであることと、限界の負荷量が明らかになったことから、中能登町鹿島クリーンセンター内に図-3に示す実証試験機を設置し、7種のバイオマスを用いた実証試験を行った。バイオマス混合比率は、中能登町で収集可能なバイオマスの比率に従った。

表-3は、実証試験の結果を示したものである。222日間の定常運転期間中（期間1）、安定したガス発

生が認められ、投入混合基質 VS1kgあたりのメタンガス発生量は、0.19Nm³となった。これは、それぞれの基質のガス発生ポテンシャルから求めた理論値とほぼ一致した。また、実験期間中に実稼働を想定し、OD汚泥のみの投入を1週間行ったところ、ガス発生量の低下が見られたが、混合投入に戻すことにより回復した。消化汚泥の有害成分含有率、肥効成分含有率の分析を行ったところ、肥料としての有用性が高いことが確認された。

	項 目	内 容
	発酵温度	中温 (37℃) ・
	滞留日数	25 日
	発酵槽有効容積	1 m ³
	種汚泥	金沢市城北水質管理センター消化汚泥
	対象バイオマス	① OD 汚泥 (22kg/日) ② し尿(15.0 kg/日) ③ 浄化槽汚泥(10.2 kg/ ④ 接触酸化汚泥 (0.7kg/日) ⑤ 学校給食残さ(0.7 kg/日) ⑥ 油揚げ (生) (0.4 kg/日) ⑦ 油揚げ (乾燥) (0.8 kg/日)
	投入バイオマス濃度	平均 TS 8.8% (最大 10.6%) 平均 VS 7.3% (最大 9.1%)

図-3 メタン発酵実証試験装置

3.5 マイクロ波による汚泥改質技術の開発⁴⁾

OD 汚泥のガス発生量が低いことから、マイクロ波照射により汚泥を改質し、ガス発生量を増加することを試みた。まず、マイクロ波照射オーブンをを用いて OD 汚泥にマイクロ波を照射したところ、バイオガス発生量は 7%～ 60%増加し、最大のバイオガス発生量は 262.0NmL/g-VS となった。そこで、図-4 に示す連続照射装置を中能登町に設置し、マイクロ波照射によるガス発生量の増加を確認した。図-5 はマイクロ波照射後温度とガス発生増加量の関係を示す。マイクロ波照射によってガス発生量は最大 1.6 倍増加し、また、照射後の汚泥温度が大きいほどガス発生増加量は大き

な値となる傾向が見られ、室内回分式実験と同様の傾向となった。次に、前述の 7 種混合汚泥消化試験において、OD 脱水汚泥にマイクロ波照射を行って投入を開始した（期間 2）。バイオガスは安定して発生し、揮発性有機酸の蓄積や、アンモニア性窒素の蓄積などの発酵阻害も生じることはなかった。混合汚泥からのバイオガス発生量は 0.25 NL/g-TS から 0.28 NL/g-TS に増加した。その他のバイオマスからのガス発生量を一定として試算すると、OD 脱水汚泥へのマイクロ波照射により混合汚泥からのバイオガス発生量が 42% 増加したことになる。

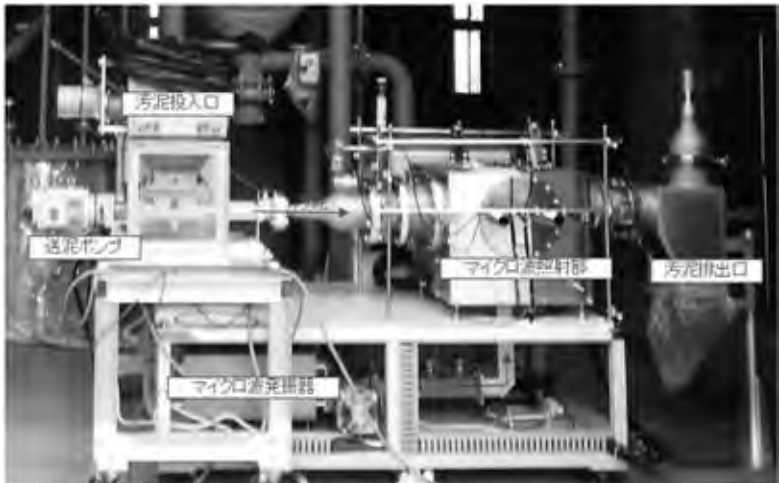


図-4 マイクロ波連続照射装置

表-3 実証試験の結果

	期間 1 (未処理)	期間 2 (MW 前処理)
日数	222	52
混合汚泥平均 TS (%)	8.8	8.3
混合汚泥平均 VS (%)	7.3	7.1
平均有機物負荷 (kg/m ³ /day)	2.5	2.4
バイオガス発生量 (NL/g-TS added)	0.25	0.28
CH ₄ 発生量 (NL/g-VS added)	0.19	0.21
平均 VS 除去率 (%)	37	40
平均 CH ₄ (%)	65	64

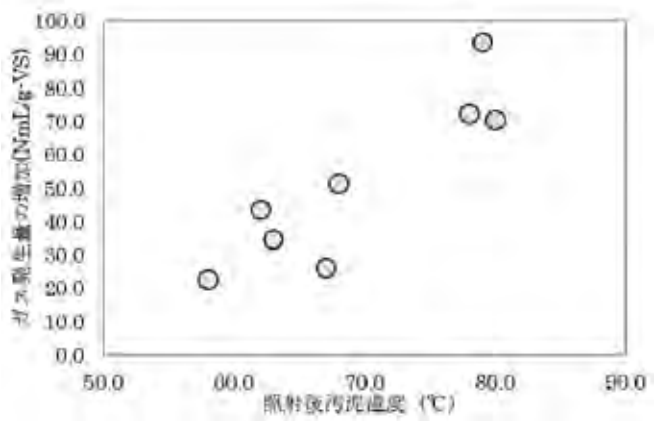


図-5 出口温度とガス発生量増加量の関係

3. 6 高濃度消化汚泥条件下における攪拌条件の検討⁵⁾

実証試験では、容積 1 m³ の発酵槽を用いたが、実機に拡張した場合に、良好な攪拌状態を保つためには、攪拌装置の開発が不可欠であった。そこで、石川県犀川左岸水質管理センターから脱水後の消化汚泥を採取し、汚泥濃度 5.7% (粘度 10Pa・s 未満) に調整して、写真に示す 30m³ 試験槽に投入し、新規に開発した攪拌翼の性能試験を行った。攪拌翼の回転数、羽根形状・パターン・面積・回転径・枚数・角度を変化させて試験を実施した結果、消費電力、攪拌回転数ともに低い数値に収まり、一定条件下で槽内流速は 0.1m/s を確保しており、十分な攪拌効果確認することができた。最後に塩化リチウムを用いたトレーサー試験を行った結果、槽内が良好な攪拌状態が保たれていることが示された。

4. おわりに

小規模自治体の污水处理システムの課題は、それぞれの地域によって異なっており、地域で発生するバイオマスもそれぞれ異なっている。上記に紹介した中能登町では、廃油揚げという良質で安定的に発生するバイオマスが存在したことが、大きなメリットであり、実機導入にこぎつけることができた。一方、農業地帯では、稲わらや麦わらなどが大量に発生する。これらは、良好なバイオマス資源であるだけでなく、稲わらの水田への鋤き込みが温暖化ガス発生原となっていることから、メタン発酵への活用が望まれる。このような炭水化物系のバイオマスの利用ができれば、高温消化によりさらに処理槽の小型化が可能である。地域の実情に応じた小規模メタン発酵施設の導入が進むことを期待したい。

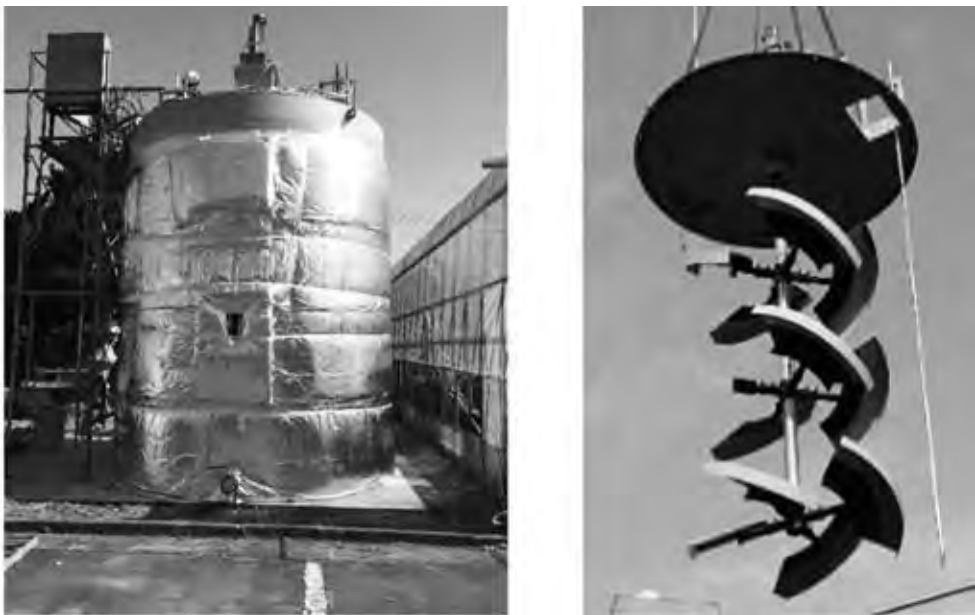


図-6 攪拌実験装置

参考文献

- 1) 「メタン活用いしかわモデル導入の手引き」石川県,
2015
http://www.pref.ishikawa.lg.jp/mizukankyo/gesui/documents/00zentai_2.pdf
- 2) オキシデーションディッチ汚泥と廃油揚げを用いた高濃度混合嫌気性消化,土木学会論文集 G(環境) Vol.69,2013, pp. III 597-603,2013 年 11 月:戸茱丈仁,池本良子,中木原江利,中出貴大,古婷婷,本多
了
- 3) OD 汚泥と廃油揚げを主体とする 7 種の廃棄物系バイオマスの高濃度混合消化,土木学会論文集 G(環境) Vol.70, 2014, pp. III 425-432,2014 年 12 月:戸茱丈仁,池本良子,古婷婷,小野紘,日高平,津森ジュン,柳井敦,木野下裕茂,清水浩之
- 4) Effects of microwave pretreatment of dewatered sludge from an oxidation-ditch process on the biogas yield in mesophilic anaerobic digestion, Journal of Water and Environment Technology, 掲載決定: Taketo Togari, Ryoko Yamamoto-Ikemoto, Hiroshi Ono, Kengo Takashima, Ryo Honda, Kojiro Tanaka

Q & A

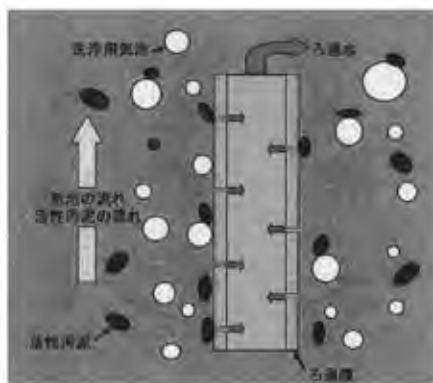
膜分離活性汚泥法について

キーワード：膜分離活性汚泥法、精密ろ過膜、UCT方式、膜の目詰まり

01 膜分離活性汚泥法はどのようなものですか。

A1 膜分離活性汚泥法は、活性汚泥法の反応タンクに精密ろ過膜（孔径 $0.1 \sim 0.4 \mu\text{m}$ ）を浸漬し、活性汚泥混合液から直接ろ過水を得る方法です。

膜分離活性汚泥法は、一般的に無酸素タンクと好気タンクからなります。ただし、生物処理による窒素・リンの同時除去法としての A₂O 型膜分離活性汚泥法も国内で一か所だけ稼働しています。



※下水道への膜処理技術導入のためのガイドライン〔第二版〕より引用

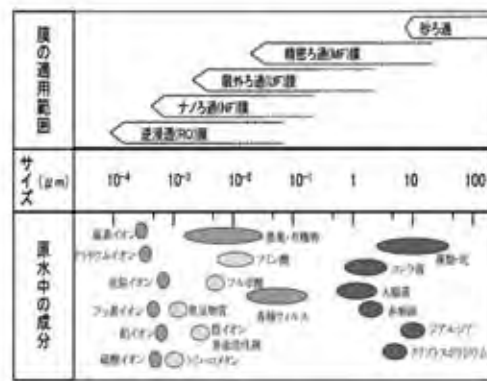


図-1 膜による固液分離の概念図

図-2 膜の種類と分離対象物質

Q2 従来の活性汚泥法との処理フローの違いはどのようなのですか。

A2 膜分離活性汚泥法は最終沈殿池が不要であることが大きな違いになります。



圖-3 標準活性污泥法

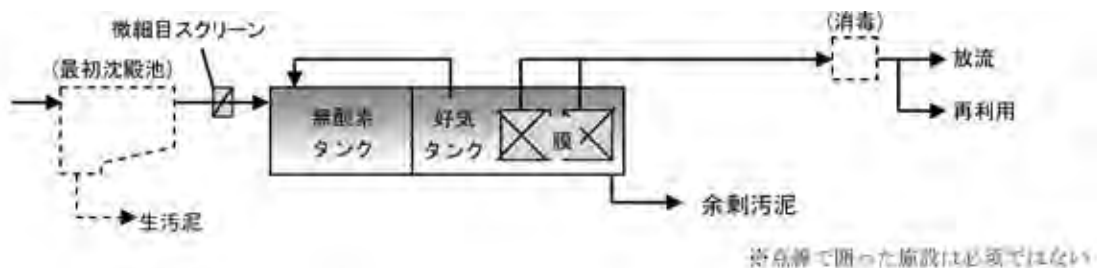


図-4 膜分離活性汚泥法

Q3 A_2O 型膜分離活性汚泥法はどのようなものですか。

A3 これまでの膜分離活性汚泥法は無酸素槽と好気槽による硝化＋脱窒の処理が一般的であり、リンを除去する場合は凝集剤添加を行っています。膜分離活性汚泥法において、生物処理による窒素・リ

ンの同時除去法として、UCT (The University Of Cape Town) 方式による A_2O 型膜分離活性汚泥法があります。この方式は、A – JUMP (日本版次世代MBR 技術展開プロジェクト) により名古屋市で実証実験として導入され、実運転されています。



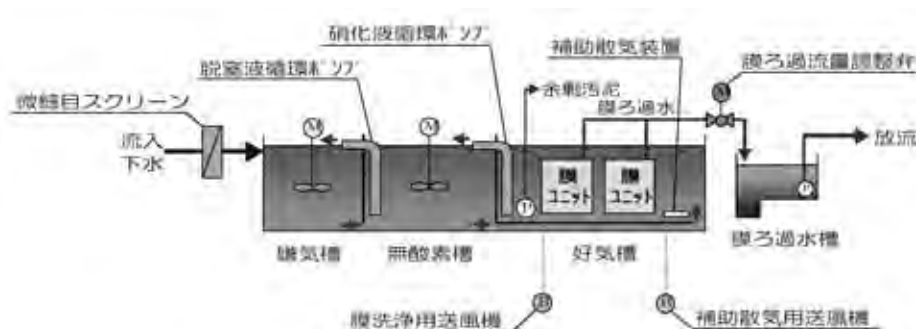
※株式会社クボタより提供

図－5 A_2O 型膜分離活性汚泥法 (UCT 方式) の立体図

Q4 UCT 方式とはどのようなシステムですか。

A4 UCT 方式は、無酸素槽から嫌気槽への脱窒液の循環を行う仕組みのことを表しています。水の流れとしては、流入水は嫌気槽→無酸素槽→

好気槽へと送られ、循環液は好気槽→無酸素槽、無酸素槽→嫌気槽へと送られます。名古屋市では循環液の移送にエアリフト方式を採用し、省エネを図っています。



図－6 A_2O 型膜分離活性汚泥法 (UCT 方式) (名古屋市の事例)

Q5 膜の種類はどのようなものがありますか。

A5 材質により有機膜と無機膜に区分できます。有機膜は、主なものとしてPE (ポリエチレン)、PVDF (ポリフッ化ビニリデン) などがあり、無機膜としては、セラミックがあります。



写真－1 膜ユニット

Q6 膜分離活性汚泥法の長所はなんですか。

- A6**
- ①最終沈澱池は不要です。(最初沈澱池を不要とする場合もあります)
 - ②反応タンクの MLSS 濃度が高い (10,000mg/L 前後) ため、短時間で処理ができます。
 - ③処理水中に SS は検出されず、透視度が高く清澄な処理水が得られます。
 - ④大腸菌群はほとんど含まれないため、消毒施設は不要です。

- ⑤処理水は再生水としての使用ができます。
- ⑥余剰汚泥の発生量が少なくなります。

Q7 膜分離活性汚泥法の短所はなんですか。

- A7** ①膜の目詰まりを抑制するために膜を洗浄するための空気が大量に必要となり、この洗浄空気を供給するためのブロアによる電力費が高みます。
- ②膜の目詰まりを解消するために、定期的な薬液洗浄が必要です。
- ③流量変動に対する対策が必要です。
- ④膜の保護、目詰まり抑制のために、微細スクリーンなどの夾雑物除去のための施設が必要です。

Q8 膜が目詰まりした場合の対処方法はどのようなものですか。

A8 次亜塩素酸ナトリウムにより膜の内側から洗浄します。また、年に1回程度はシュウ酸による洗浄も必要となることもあります。

Q9 膜分離活性汚泥法を導入する意義はなんですか。

A9 早くから下水道整備を行ってきた都市において、高度処理を導入する際に新たな用地を確保することが困難な場合でも、膜分離活性汚泥法の導入により既存の敷地の中で高度処理を行うことが可能となります。

(名古屋市上下水道局技術本部計画部主査 杉江 享)

現場からの

声

広島市西部水資源再生センター 消化ガス発電事業

キーワード：消化ガス発電、民設民営

1 はじめに

広島市は、太田川河口部に形成されたデルタに位置する人口約 119 万人の水と緑に恵まれた自然豊かな都市で、「水の都ひろしま」とも呼ばれています（写真-1）。

本市では、「水の都ひろしま」にふさわしい水環境を創出するために、本格的に下水道事業を開始した昭和 26 年以降、積極的に下水道事業を進め、平成 27 年度末の汚水処理人口普及率は 95.4% となっています。

処理区域の拡大に伴い、処理する下水の量も増大し、処理する過程で発生する汚泥の量は、年間約 5 万 8 千トンとなっており、これらの汚泥は、下水道資源の有効利用の観点から、現在、約 20% を肥料化に、約 30% をセメント化に、約 50% を西部水資源再生センターにおける汚泥燃料化事業（写真-2）の固形燃料

広島市下水道局施設部計画調整課

上原 洋平

の原料として有効利用しています。

当センターは本市人口の約 6 割の下水を処理する本市最大の終末処理場で、本市で唯一汚泥消化工程を有しており、消化ガスの有効利用を図るとともに、平成 24 年度からは汚泥燃料化事業を開始しています。

本稿では、当センターにおいて、再生可能エネルギーの有効利用を図るとともに、新たな財源を確保するために平成 30 年度から導入を予定している固定価格買取制度※（以下 FIT と称す）を利用した消化ガス発電事業について紹介します。

※再生可能エネルギーで発電した電気を、電力会社が一定期間、一定価格で買取ることを国が保証する制度。平成 28 年度の買取価格は、下水汚泥などのメタン発酵ガスの場合 39 円 / kWh（税抜）。



写真-1 広島市全景



写真-2 汚泥燃料化施設全景

2 事業の導入背景

西部水資源再生センターは、昭和 56 年 10 月 1 日に全体計画の 1/9 (57,300m³/日) で処理を開始し、以降下水道整備区域を拡大し、平成 27 年 4 月 1 日から全体計画の 6/9 (307,200m³/日) で運転しています。

消化工程で発生する消化ガスは脱硫後で約 21,400m³/日であり、①約 44%を汚泥燃料化施設の汚泥乾燥工程及び炭化工程の燃料、②約 32%を消化槽加温ボイラの燃料、③約 21%を消化ガス発電(写真-3)に利用しており、残り 3%は未利用(焼却処分)となっています(図-1)。③の消化ガス発電で発電した電気は場内で利用し、電気代の削減を図っていますが、平成 12 年に設置した消化ガス発電設備は老朽化が進み、購入電力量の削減費は維持管理費とほぼ相殺している状況です。このため、消化ガス発電設備を更新して事業を継続するか、FIT を利用した売電事業を実施するか検討を行いました。

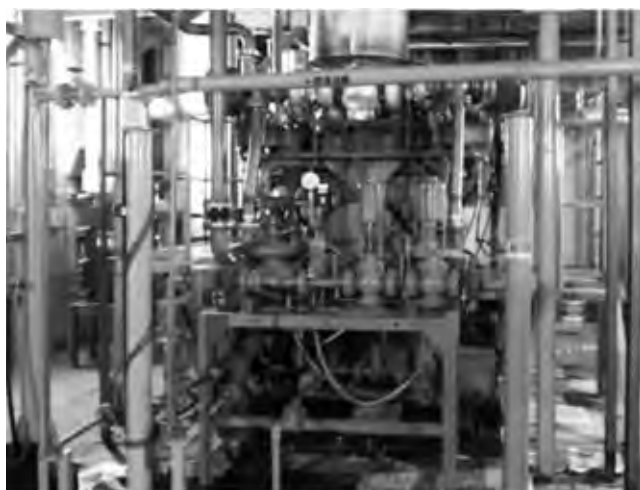


写真-3 既設消化ガス発電機

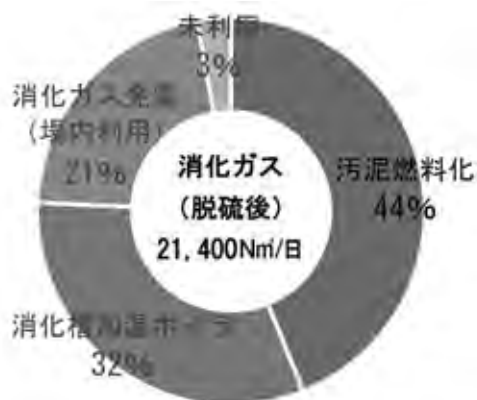


図-1 消化ガス有効利用状況

3 事業スキームの検討

(1) 既設消化ガス発電設備の更新

既設の消化ガス発電設備を更新する場合、これまでと同様、発電によって場内で使用する購入電力量の削減ができますが、設備更新費と維持管理費が大きいこと、電力自由化により購入電力の単価が下がっていることから、費用対効果が小さいという試算結果となりました。

(2) 公設公営と民設民営方式の比較

公設公営では自治体が建設工事費、維持管理費を負担する必要があるほか、FIT 関連の申請手続きを電力会社、経済産業省に行う必要があります。それに対し、民設民営の場合、自治体は民間事業者が発電事業を行う土地を提供し、消化ガスを売却して収益を得ることから、建設工事費、維持管理費が発生せず、FIT 関連の申請手続きも必要としないというメリットがあります。

(3) 公設公営と民設民営方式による収益の試算

導入検討時の収益試算に当たっては、消化ガス発電設備からの廃熱を回収しないことを前提に試算しました。理由としては、本市の場合、汚泥燃料化施設の廃熱を温水として回収し消化槽の加温に利用しており、消化ガス発電設備から廃熱回収を行う場合、既設設備を改修する必要が生じ、汚泥燃料化施設の運転に支障が出る可能性があると考えたためです※。

民設民営の場合、事業者が設置した発電機等の発電設備のみが設備認定範囲となり、発電した電気を全て売却することが可能ですが、公設公営の場合、発電に関する設備認定範囲は、汚泥消化関連設備までとなり、汚泥消化関連設備で使用する電気は全て消化ガス発電機で賄う必要があります。この場合、公設公営の売電量は民設民営の売電量の約 72%となり、建設工事費、維持管理費等を含めた総合的な収益試算(表-1, 2)

表-1 民設民営の収益試算内訳

費目	内訳
収入	①土地使用料
	②消化ガス売却益
経費削減	③既設消化ガス発電設備の更新費
	④既設消化ガス発電設備の維持管理費
支出	⑤既設消化ガス発電設備の発電停止による補填電気代

表-2 公設公営の収益試算内訳

費目	内訳
収入	①電力売却益
経費削減	②汚泥消化設備の使用電力 ③既設消化ガス発電設備の更新費 ④既設消化ガス発電設備の維持管理費
支出	⑤消化ガス発電設備の設置費 ⑥消化ガス発電設備の維持管理費 ⑦汚泥消化設備の受変電工事 ⑧既設消化ガス発電機の発電停止による補填電気代

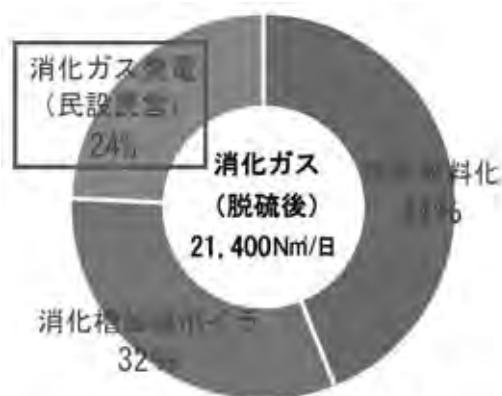


図-2 消化ガス有効利用計画

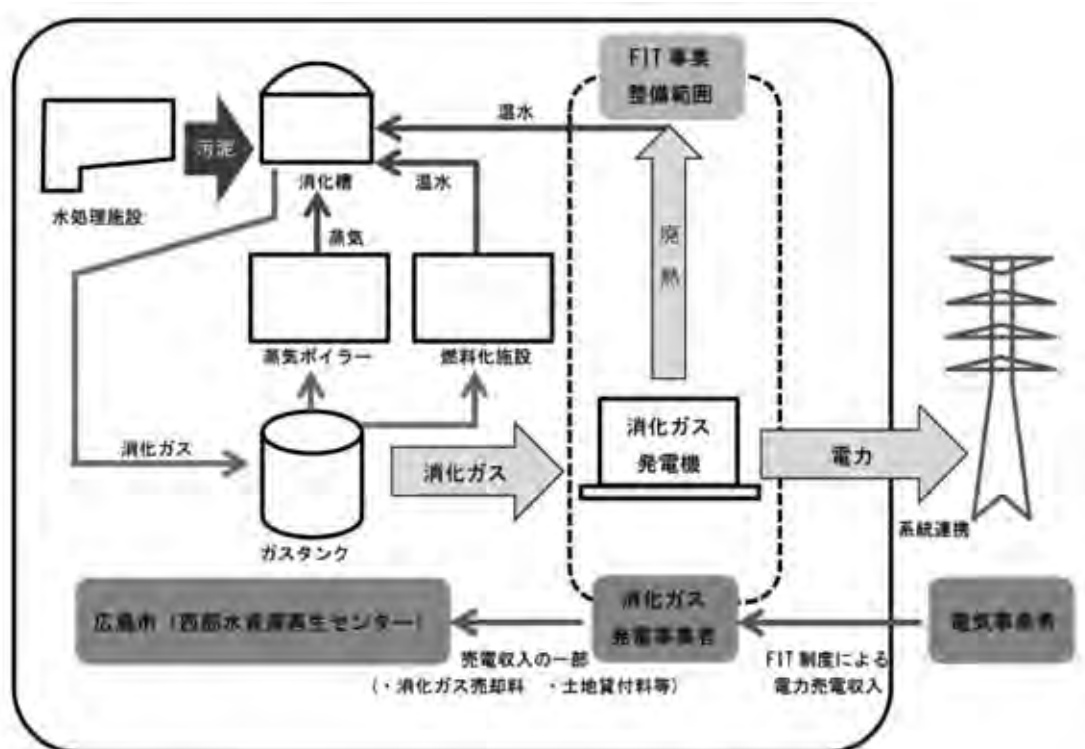


図-3 消化ガス発電事業の概要図

としては民設民営の方が高い収益を得られるという結果となったため、民設民営方式による消化ガス発電事業の導入を決定しました（図-2, 3）。

※詳細検討の結果、燃料化施設の運転への影響を最小限に抑えて廃熱回収を行うことが可能であることが判明したため、廃熱回収を行うこととしました。

4 事業の概要

- 消化ガス供給量 約 5,200Nm³/日
- 事業期間 平成30年度から平成49年度までの20年間
- 収益見込 約 8 億円（20 年間）
- 事業化スケジュール
 - 公募：平成 28 年 7 月
 - 契約：平成 28 年 11 月
 - 設計・建設：平成28年11月から平成30年3月末まで
 - 事業開始：平成 30 年 4 月

5 事業者の特定

本事業はプロポーザル方式により事業者を公募することとしており、本年6月14日に公募を開始しました。

事業者の特定に当たっては、本市下水道局幹部職員で構成する「審査委員会」を設置し、提案される技術的事項などを客観的に評価したうえで事業者を特定することとしていますが、この「審査委員会」での評価の妥当性について、より客観的に評価するため、専門的な立場から意見を聴くことを目的として、学識経験者等で構成する「検討会議」を設置しています。

なお、学識経験者は、①消化ガス発電設備の騒音や振動、排ガス等の環境分野、②廃熱回収システム等の熱工学分野、③事業者の経営状況の3点を客観的に評価するために大学教授2名、公認会計士1名の計3名としています。

6 おわりに

本市では下水道資源の有効利用として、これまで消化ガス発電（場内利用）や汚泥燃料化事業に取り組んできました。消化ガスの有効利用率は現在97%ですが、今回、消化ガス発電を民設民営方式に切り替えることで、消化ガスの有効利用率は100%となる予定です。

昨今では下水熱の有効利用や消化ガスから水素を作り出す技術が確立されるなど、下水道資源が有する潜在エネルギーの利用価値が高くなっています。このため、本市としてもこうした新エネルギーの活用を含め、下水道資源の更なる有効利用に今後とも積極的に取り組んでいきたいと考えています。

文献紹介

農業用肥料としての利用を目的とした異なる種類の下水汚泥に関する安全性の確認：水生および土壌の環境指標生物への生態的影響

Toxic potential of different types of sewage sludge as fertilizer in agriculture: ecotoxicological effects on aquatic and soil indicator species
Nadja Rastetter & Almut Gerhardt
The Journal of Soils and Sediments 15 565-577 (2015)

下水汚泥は欧州のリン酸需要の約 20% を担うことができると考えられている。しかし、規制などで分析が義務付けられている重金属や有機汚染物質の濃度は、混合物である汚泥が環境に与える影響を十分には明らかにしていない。そこで、3つの環境、水、水と底質、土壌そしてそれぞれの環境に対する指標生物に注目し、様々な物質が複雑に混合したものである汚泥の潜在的毒性の評価を試みた。

実験には3種類の汚泥 (S1, S2, S3) を用いた。S1とS2は同じ下水汚泥処理場で生物脱リン処理され、S2はさらにポリアクリルアミドで脱水処理もされた。S3は第二鉄リン酸塩などを用いた化学的脱リン処理をされた脱水汚泥である。3汚泥試料の全窒素、リン酸とCaOの含量はほぼ等しく、MgOはS2が、K₂OはS1が高かった。有機汚染物質の含量はS1で高かった。S3の銅(乾物当たり748 μ g/g)以外の重金属濃度は法的閾値よりもはるかに低かった。S3は鉄(120 μ g/g)も高かった。汚泥試料から水に溶出する有機汚染物質はS2とS3で、銅はS3で高かった。水環境について水生植物コウキクサ *Lemna minor* の生長阻害をISO 20079 (2005) に従って評価した。施用7日後の50%阻害濃度(EC50)はS1, S2, S3で45.7, 30.5, 31.7g/Lであった。水及び底質環境についてヨコエビ *Gammarus fossarum* の行動と死亡率をアメリカ合衆国環境保護庁の生態影響試験ガイドライン(1996)に従って評価した。施用4日後の50%致死濃度(LC50)はS1, S2, S3で17.9, 5.1, 5.3g/Lであり、9~45g/Lでは試験終了を待たずに運動活性は40~20%と激しく低下した。土壌環境についてシマミミズ *Eisenia fetid* の回避行動をISO17512-1 (ISO 2008) に従って評価した。S1での回避行動は濃度依存的線形関係を示した。S1, S2, S3でEC50は13.4, 48.1, 49.8g/L、毒性(ミミズの回避行動が80%を超えた場合)は $\geq 22, \geq 91, \geq 94$ g/kgであった。ベンゾトリアゾールのヒドロキシル基は、有機物の化学的結合に関与する部位であり、有機汚染物質濃度が高いS1では土壌からそれらを直接摂取したシマミミズで大きく影響が顕れたと考えられる。S2は水に溶出するカルバマゼピンとTCPの濃度が高く、これらの物質が水生植物やヨコエビのような端脚類に対する高い毒性の原因だと

考えられた。第二鉄で脱水したS3は鉄の含量が多く、溶出重金属濃度は鉄と銅が高かった。S3がコウキクサとヨコエビに対して高い毒性を示した原因はS2と異なり鉄と銅である可能性が高いと思われた。単独汚染物質について同様の試験を行った文献から、本研究で観察された汚泥による影響は銅単独でも起こることが解った。しかし他の文献が示す銅単独のLC50を超過したのはヨコエビに対するS3だけであった。他に単独で毒性を示す汚染物質はカドミウム、亜鉛、鉄、有機汚染物であるベンゾトリアゾール、カルバマゼピンとジクロフェナクであったが、本研究のEC50/LC50は、これら文献の示す値よりも有意に低く、汚泥試料の毒性は特定の汚染物質によるものではないと判断された。ドイツの廃棄物と下水汚泥に関する規制§6では3年以内に施用できる汚泥は乾燥重量で5ton/ha未満であることから、汚泥の最大許容施用量6.0g/kgとなる(施用の影響を受ける土壌の深さと比重を5cmと1.5g/cm³とし1haの土壌を750tonと換算)また、リン酸要求量が高い草地に対してリン酸含量が非常に低い土壌に推奨されているリン酸施用量220kg/haから算出される農学的に適正な汚泥の施用量はS1, S2, S3で3.3, 2.9, 3.0g/kgとなった。最大許容施用量も農学的に適正な施用量も、実験室条件下でのシマミミズのEC50 (S1, S2, S3: 13.4, 48.1, 49.8g/kg)よりもコウキクサとヨコエビのEC50/LC50値よりもはるかに低かった。

以上の結果より筆者らは、試験した3汚泥試料はリン肥料として圃場に施用しても、生物に対する急性毒性効果は無いと判断している。しかし、農地では下水汚泥が均一に散布される保証が無いこと、金属と有機物間の複合毒性効果は両方の容量比に依存するだけでなく時間にも依存する傾向があることから、水-底質-土壌環境間で毒性が異なって発生する可能性があること、繰り返し汚泥を施肥することによって土壌中に汚染物質が蓄積される可能性があるため、ミミズまたは他の陸生生物が慢性的に影響を受ける可能性を排除できないことを指摘した上で、下水汚泥の安全な使用を保証するためには、以下の研究がさらに必要であるとしている。(1) 気象条件によって表面流去水が発生している土壌に汚泥を施用するリスクに関する研究、(2) 汚泥中の全混合物についてその効果が相加的なのか相乗的なのかを明らかにする研究、(3) 汚泥の繰り返し施用による急性および慢性毒性に関する研究、(4) 汚泥を実際に施用した現場で環境が受けた影響を明らかにする研究

(農研機構・農業環境変動研究センター 杉山 恵)

文献紹介

余剰活性汚泥の嫌気性消化における
低 pH 条件でのリン溶出の促進

Low pH anaerobic digestion of waste activated sludge for enhanced phosphorous release
Muhammad A. Latif, Chirag M. Mehta, Damien J. Batstone
Water Research, 81 (2015) 288-293

嫌気性消化槽内においてリンは有機態リン、無機態リン、溶存態リン（オルトリン酸塩）の形で存在している。嫌気性消化過程での有機物の分解に伴い有機態リンの一部が槽内に放出されるが、この放出されたリンや溶存態リンは Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Al^{3+} 、 Fe^{2+} などの陽イオンと結合して沈殿物を形成し、槽内に堆積したり管路やポンプ、バルブの閉塞を引き起こすなどの問題が生じる。またリン酸鉄やリン酸アルミニウムは生物学的利用が難しくリンを多く含むバイオソリッドの農業利用性を低下させる。従って消化槽の運転管理と経済的な理由から消化槽内においてリンの溶解性を向上させることが重要である。

消化槽内でリンの沈殿物を減らす方法には EDTA などの薬品を添加する方法と温度や pH などの運転条件を制御する方法がある。EDTA を用いる方法はカルシウムやマグネシウムとリン酸塩の結合を抑制し簡単に結晶体の沈殿物を減らせるものの、薬品が高価でありリンの溶出が少ないなどの課題がある。温度制御に関しては効果がないまたは限定的であると報告されている。一方 pH を 6 以下の酸性条件にすることでリンの溶出を進めることができる。しかし低い pH はメタン生成と COD の除去、固形物の加水分解に影響を与えることが知られているが、特に活性汚泥の嫌気性消化におけるそれらの影響に関する定量的、複合的な評価はなされていない。そこで本稿ではバッチ試験により低 pH 条件におけるリンの溶出と嫌気性消化特性について評価した。

実験基質および植種汚泥にはブリスベンの下水处理場から冬と夏に採取した余剰活性汚泥（TS 濃度 3%、実験前にさらに濃縮して使用）および中温消化汚泥を用いた。160mL（有効容量 100mL）の血清フラスコに植種汚泥と基質を VS 比が 1.6 となるように入れ、2M の塩酸を用いて pH を 5、5.7、6.5（バッチ試験 1）、5、5.7、7、7.2（バッチ試験 2）に調整した系について $37 \pm 1^\circ\text{C}$ の条件下で生物化学的メタン生成ポテンシャル（BMP）試験を行った。また実験開始 35 日目に消化液の微生物群集の解析を行った。

バッチ試験の結果からメタン生成ポテンシャルに及ぼす pH の影響を検討した。pH が 5.7 以下の条件では pH が 7 以上の条件に比べて 33% のメタン生成ポテンシャルが低下した。従来の報告では余剰活性汚泥の嫌気性消化では pH の低下によって加水分解が影響を受けるとされてい

たが、本研究では pH によって加水分解速度定数に差は見られなかった。一方で低 pH 条件では揮発性脂肪酸（VFA）や溶解性 COD の蓄積が見られた。残存した溶解性 COD の最大値は 1320mg L^{-1} （pH 5.62）、その大部分が VFA、特に酢酸（pH 5.62 で 312mg L^{-1} ）であり、これがメタン生成ポテンシャル低下の原因と考えられる。

各実験系における微生物群集を解析した結果、いずれも *Methanosaeta* 属が 40～80% で優占している結果となった。また主成分分析の結果から pH は槽内の微生物群集を変化させる主要因であることが明らかとなった。植種汚泥の中には多様な微生物が存在していたが、優占種の一つである *Bacillus aquimaris* は pH が 7 以下になるとほとんど見られなくなった。また pH の低下により多様であった微生物叢が *Clostridium* 属などにシフトするなど多様性の低下が見られた。これらの結果から pH によって主なメタン生成古細菌（*Methanosaeta* 属）は pH の影響を受けず、低 pH でメタン生成ポテンシャルが低下した要因は微生物群集の多様性の低下が原因であると考えられる。

一方、槽内の pH と溶解性リン濃度には強い相関関係が見られた。初期条件（pH 6.8）における全リンおよび溶解性リン濃度（それぞれ $1060 \pm 90\text{mg L}^{-1}$ 、 215mg L^{-1} ）に対して、pH が 5.25 のフラスコ内の溶解性リン濃度は最大の 799mg L^{-1} （全リンの 75%）であり、中性の pH 条件時に比べてリンの溶出量は 3.6 倍に増加していた。今回の結果は従来の報告に比べてリンの溶出量が高く、最適な pH 条件によっては全てのリンを液相に溶出させることも可能であると考えられた。また pH が 5.6 の時の溶解性 Ca 濃度および溶解性 Mg 濃度は 244.6mg L^{-1} 、 262mg L^{-1} と高く（全 Ca の 44%、全 Mg の 96%）、低 pH によるリンの溶出量の増加は Ca-P および Mg-P 化合物の溶解に関係していることも示された。ただし半分以上の Ca はリン酸カルシウムの形で存在している可能性も考えられ、低 pH におけるカルシウムの溶出はまだ不十分でありリンの溶出量を増加させるための後処理方法を考える必要がある。

本研究結果により低 pH で嫌気性消化槽を運転することで槽内でのリンの溶出量を増加させることが可能であり、リンと陽イオンによる沈殿物形成を抑えることが可能であることが示された。一方で pH が低いことで槽内の微生物群集の多様性が失われメタン生成ポテンシャルが 33% 低下したが、多段階型消化プロセスを導入し後段の消化槽でメタン回収を行うことで対応可能であると考えられる。またバイオガス中の CO_2 を回収し槽内に吹き込むことで薬品を使用しないで槽内の pH を低く制御する手法についても検討が必要であると考えられる。

（東北大学大学院工学研究科 北條 俊昌）

講座：リサイクルシステムの検証

「資源の回収」又は 「エネルギーの回収」について

(公社) 日本下水道協会
「再生と利用」編集委員会事務局

キーワード：持続的社會、下水汚泥資源化、ごみ資源化、汚泥再生処理センター

1. はじめに

我が国においては1960年代に産業公害問題が発生しましたが、1967年に制定された公害対策基本法に併せ、集中立地型の産業公害問題を官民一体の対策により解決していき、これら公害問題は沈静化の方向に向かいました。

しかしながらその反面、その後の都市化、モータリゼーションの進行と産業構造の変化、経済のグローバル化などによって環境汚染の原因となる物質は多様になり、環境問題は複雑化、多様化、広域化してきました。それにより地球温暖化やオゾン層の破壊、砂漠化などの地球環境問題、 SO_x 、 NO_x 、酸性雨、光化学オ

キシダントなどの大気環境問題、公共用水域における水質汚濁負荷などの水質(富栄養化等)、土壤環境問題、廃棄物問題、化学物質問題等が顕在化してくようになりました。

2. 環境問題の変遷

図1に産業活動の変化による環境問題の変遷を示します。

図1に示しますように様々な産業が製品・サービスを供給しておりますが、上流にあるのが石油、石炭、鉱物資源、農作物などを採掘、採取し、素材を製造しており、電力は重油、石炭、天然ガスをボイラーで燃焼しており、大量のエネルギーが消費されます。これ

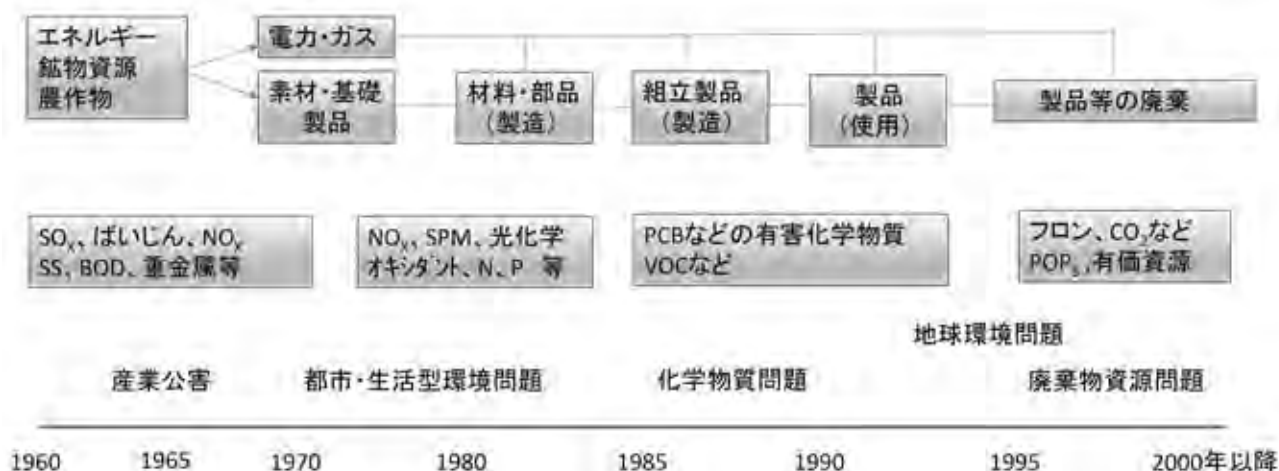


図1 産業活動の変化による環境問題の変遷

らの素材は材料、部品、産業に移動し原料として使用され製品となりますが、 SO_x 、 NO_x 、ばいじんなどが様々な事業所で排出されることとなります。そして最も下流に位置するのが製品の廃棄であり、大量の廃棄物を発生しており、ダイオキシン類や重金属などの有害物質も含めて環境影響を最小化していく必要性があります。また時間軸につきましては1960年代の産業公害に始まり、都市型環境問題を経て現在では地球環境問題も含めた廃棄物資源問題への対応が求められています。

また図2に人間の空間・時間感覚における環境問題について示します。

ここでは地球環境問題は空間的にも時間的にも自己から遠い位置にあり、身近に意識することが難しいものと考えます。

3. 人間社会と環境問題

図3に人口の増加、工業・農業生産の拡大により生じた環境問題を示します。

人口増加による生活水準の維持のため、これに必要なエネルギーは石油、石炭に依存しており、耕地面積0.2%度の鈍化に対し、一人当たりの食料生産量を維持できたのは化石燃料資源を使用して生産している肥料、農薬、水などの資材投入によって単位面積当たりの増産を行えたからであります。

上記のようにエネルギー、材料、食料、気候などの分野の課題解決に向けては今後さらなる効率的な技術開発が望まれます。

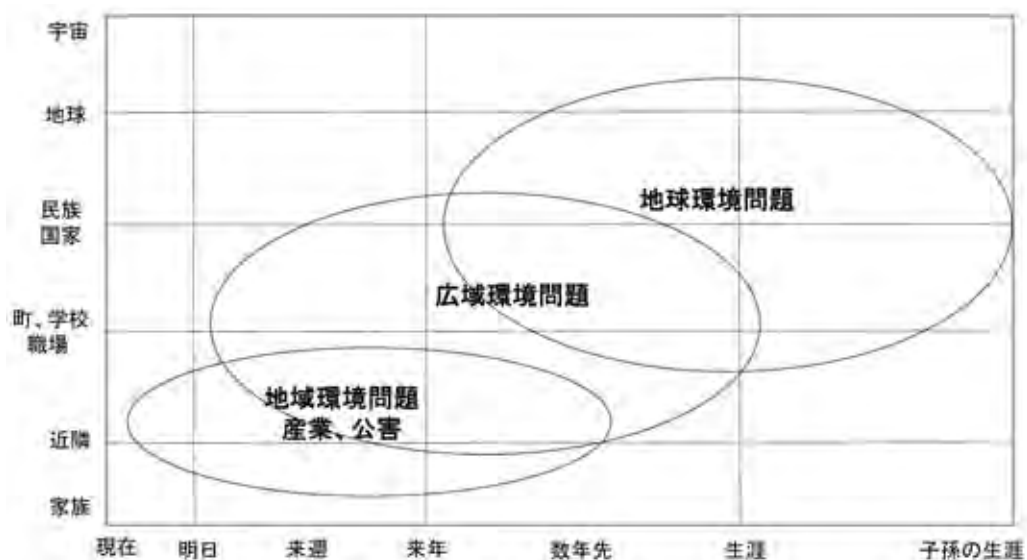


図2 人間の空間・時間感覚における環境問題

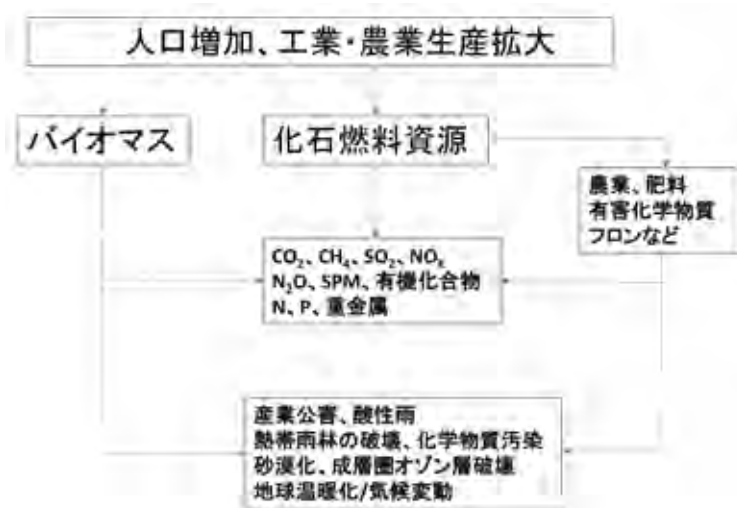


図3 人口の増加、工業・農業生産の拡大により生じた環境問題

4. 講座開設に向けて

前述してきた環境負荷物質の多様化、排出源の分散化、影響の広域化さらに地球環境問題にも対応するため、環境基本法が1993年に制定されました。この中の法第15条では政府全体の環境保全施策の総合的かつ、計画的な推進を図るため総合的かつ、長期的な施策の大綱をまとめた環境基本計画を策定しています。

この中で2012年に閣議決定された第4次環境基本計画では環境行政の究極目標である持続可能な社会を「低炭素」「循環」「自然共生」の各分野を総合的に達成することに加え「安全」がその基盤として確保される社会であると位置づけています。図4にこれら4つの社会で構成される持続的社会的概念図を示します。

以上より、上記に揚げた環境基本計画などにおける背景もふまえ、今後廃棄物からの「低炭素」に向けたエネルギー回収や「循環」に向けた資源回収（マテリアル利用）の重要性は一層増してくるものと考えられます。このため今年度におきましては講座「リサイクルシステムの検証；「資源の回収」又は「エネルギーの回収」について」を開設することとしました。

本講座は152号～155号にかけて掲載し、本号では講座を開設した背景について報告し、本号以降は次の内容について掲載する予定です。

153号：バイオマスからの資源回収にかかる取組み事例

154号：バイオマスからのエネルギー回収にかかる取組み事例

155号：新技術開発（基礎研究・実証レベルも含めて）

5. 各種技術について

（1）下水汚泥資源化技術について

下水道の普及・拡充による処理水量の増大、処理水質の向上、高度処理の拡大に伴い、水処理から発生する汚泥量は年々増加する傾向（下水汚泥は水処理で生成された副産物であり、SS等を高除去率で処理すること、好氣的条件下では消化しにくいこと、凝集剤を添加することなどが、汚泥発生量が増加する主な要因）にあるが、将来的に污水处理人口の減少に対応して汚泥発生量が減少することが考えられるため、汚泥処理施設の統廃合や事業間・都市間連携による汚泥処理の広域化・集約化、更新時等での効率化を検討する必要があります。

下水汚泥は、下水処理において必然的に発生するものであり、組成として無機物と有機物で構成されるため、エネルギー源の観点から、最終利用形態にいたる前に有機物をエネルギーを取り出して利用し、無機物はセメント原料と同様の成分であることから、セメント原料に利用されリサイクル化を進める等の複合的利用が可能です。一方、経済性その他の要因で下水汚泥の有効利用ができない場合には、安定化、減量化に努め、焼却・埋立処分することになりますが、下水汚泥や焼却灰からりんを回収し、りん鉱石の代替品として肥料原料に利用する取組みも行われています。

なお、環境問題や経済性等から地域的には複数の施設から発生する汚泥を一括的に有効利用した方が有利な場合もあるため、各都道府県では「バイオソリッド利活用基本計画（下水汚泥処理総合計画）」を策定し、合理的・経済的な汚泥処理施設の整備を進めています。

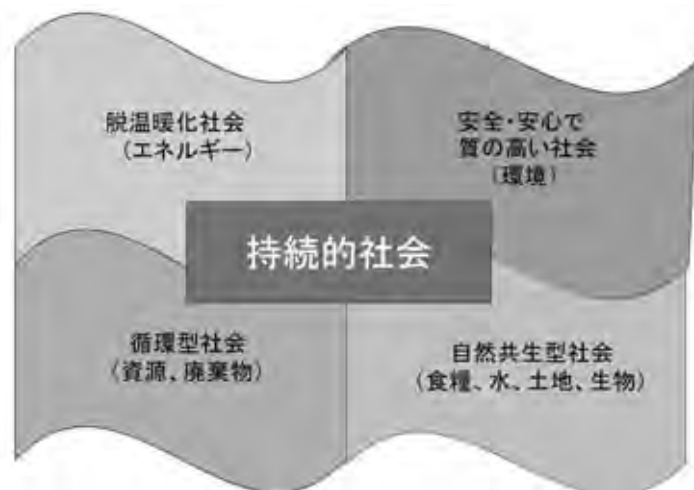


図4 四つの社会で構成される持続的社會

また、複数の市町村が、共同して効率的な下水道事業を展開するための「特定下水道施設共同整備事業（スクラム下水道）」（平成5年度）及び、農業集落排水や合併処理浄化槽等から発生する汚泥と下水汚泥を処理する施設等を下水道事業として整備する「污水处理施設共同整備事業（MICS）」（平成7年度）、公共下水道から発生する下水汚泥を流域下水道から発生する下水汚泥とまとめて処理する「流域下水汚泥処理事業」（平成8年度）が創設されており、汚泥処理についても積極的な活用が望まれています。

さらに、他のバイオマスとの混合処理により持続可能な循環型社会の構築に貢献する必要があることから、平成15年に創設された「バイオマス利活用事業」への取組みが求められています。

汚泥処理の方法には、濃縮、消化、脱水、乾燥・炭化、焼却、溶融等のプロセスを種々組み合わせて用いますが、この組み合わせは、汚泥の有効利用や埋立等、最終的な利用・処分、地域特性を勘案して、それに適合した方法とすることが望ましいと考えます。その選択は、汚泥処理量や汚泥性状、有効利用の形態、処理技術の動向、環境条件、地域の地理的条件、将来性及び安定性等から評価することが重要であります。代表的な汚泥処理プロセスと汚泥有効利用用途を図5に、汚泥有効利用方法を表1に示します。

（2）ごみ資源化技術について

ごみの資源化は、廃棄物処理法の基本理念ある廃棄物の抑制、減量、再生などを実現するために大変重要なテーマであります。資源化は大きく物質回収とエネルギー回収とに大別できますが、さらに図6のように細分化されています。焼却施設に限らず、ごみ処理の中間処理施設を計画する場合において、どのような資源化技術を採用するかは非常に大切であります。また逆にどのような資源化を推進したいかによって中間処理の内容が限られてきます。いかなる中間処理方式をとるにせよ、何らかの資源化を盛り込まない中間処理施設は考えられないので、技術的、経済的、社会的な面での慎重な検討が必要であります。以下に物質回収とエネルギー回収の留意点について示します。

①物質回収

物質回収方式を採用するためには、次の諸条件の検討が必要であります。

- ・物質回収を行う場合は、固々分離、固液分離などさまざまな単位操作が必要となりますが、これらの技術の中には実用上問題なものもある。
- ・処置課程での資源化不適物及び処理残渣について、最終処分の対策を確立する必要がある。また火災、爆発などに対して安全対策を確立することが重要である。

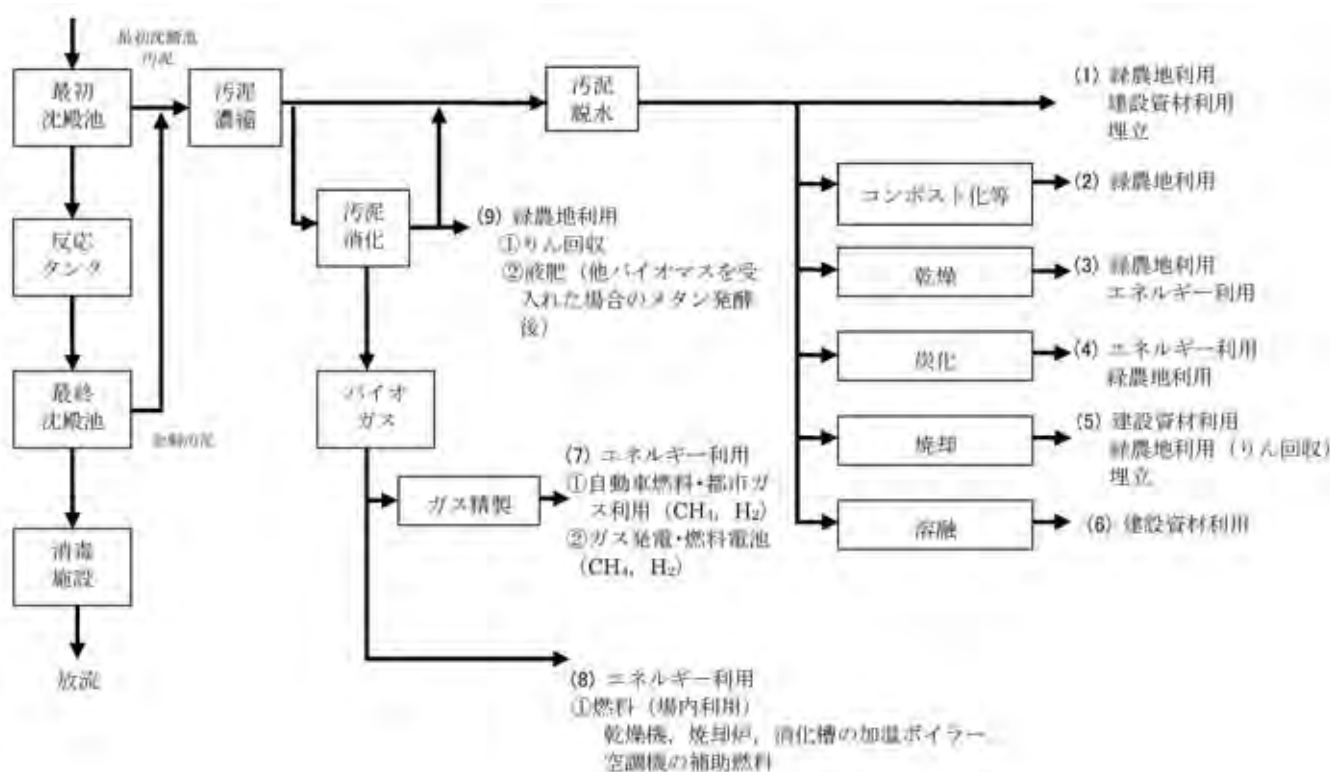


図5 代表的な汚泥処理プロセスと汚泥有効利用用途

日本下水道協会：下水汚泥有効利用促進マニュアル より

表 1 汚泥有効利用方法

日本下水道協会：下水汚泥有効利用促進マニュアル より

図5の 利用用途		原料汚泥 形態	処理工程	生成物	有効利用方法	備考
肥料利用						
(1)	緑農地利用	脱水汚泥	—	脱水汚泥	脱水汚泥のまま緑農地への利用をする。	緑農地利用については、簡便で安価なメリットはあるが、細菌等の安全性の問題があるため、消化工程を導入して質的安定化を図ることが望ましい。また、臭気の発生や輸送に係る問題もあるため、周辺環境の配慮が必要である。
(2)	緑農地利用	脱水汚泥	発酵	コンポスト	脱水汚泥を安全性や取扱い性を良くするため発酵（コンポスト化）させ、肥料として緑農地へ利用する。	—
(3)	緑農地利用	脱水汚泥	乾燥	乾燥汚泥	脱水汚泥を天日または加熱処理により乾燥させ、粉状または粒状化して、緑農地へ利用する。	—
(4)	緑農地利用	脱水汚泥	炭化	炭化汚泥	脱水汚泥を無酸素状態で蒸し焼きすることで炭化させ、緑農地へ利用する。	—
(5)	緑農地利用（りん回収）	焼却灰	りん回収	りん酸塩	焼却灰からりんを回収し、りん鉱石の代替品として肥料原料に利用する。	—
(9)	① りん回収	消化汚泥	りん回収	りん酸塩	消化汚泥からりんを回収し、りん鉱石の代替品として肥料原料に利用する。	—
	② 液肥	濃縮汚泥	消化	消化液	濃縮汚泥を消化した後の消化液を液肥として緑農地利用する。	消化液を液肥として利用しない場合は、通常の処理を行う。 他バイオマスを受入れた場合に、メタン発酵後の液肥を有効利用している事例がある。
建設資材利用						
(1)	建設資材利用	脱水汚泥	—	脱水汚泥	脱水汚泥をセメント焼成炉へ直接投入する。もしくは、脱水汚泥に生石灰を主成分とした凝集剤を加えて、乾燥粉粒体（カンブレン）を生成し、セメント製造過程で代替原料として利用する。	—
(5)	建設資材利用	脱水汚泥	焼却・溶融	焼却灰・溶融スラグ	脱水汚泥を焼却し、灰を建設資材等として有効利用する。	溶融スラグは建設資材としての品質価値が高いため、有効利用することが望ましい。
(6)	建設資材利用	脱水汚泥 焼却灰	溶融	溶融スラグ	脱水汚泥または焼却灰を溶融し、スラグを建設資材として有効利用する。	—
エネルギー利用						
(3)	エネルギー利用	脱水汚泥	乾燥	乾燥汚泥	脱水汚泥を乾燥させて、水分を蒸発させ、燃料として利用する。造粒乾燥、油温減圧乾燥、改質乾燥等がある。	炭化温度により、低温炭化、中温炭化、高温炭化がある。 下水汚泥はカーボンニュートラルな性質を持つバイオマス資源であることから、脱水汚泥を乾燥処理・炭化処理し固形物燃料とすることにより有効利用する方法等、エネルギー資源としての利活用が期待され、採用が増えつつある。
(4)	エネルギー利用	脱水汚泥	炭化	炭化汚泥	脱水汚泥を無酸素状態で蒸し焼きすることで炭化させ、燃料として利用する。	
(7)	① 自動車燃料・都市ガス利用	濃縮汚泥	消化・精製	バイオガス（CH ₄ 、H ₂ ）	バイオガスを都市ガスと同等レベルの品質に精製・調整して、天然ガス自動車の燃料として利用する。もしくは、都市ガス導管に直接導入して、都市ガスとして需要家に供給する。 もしくは、バイオガスを水素に改質して燃料に用いる。	—
	② ガス発電・燃料電池	濃縮汚泥	消化・精製	バイオガス（CH ₄ 、H ₂ ）	バイオガス中の硫化水素やシロキサン等の微量不純成分を除去し、ガス発電や燃料電池の燃料として利用する。	—
(8)	① 燃料	濃縮汚泥	消化	バイオガス	バイオガスを乾燥機、焼却炉、消化タンクの加温用ボイラー、空調用熱源機器等の燃料として利用する。	—

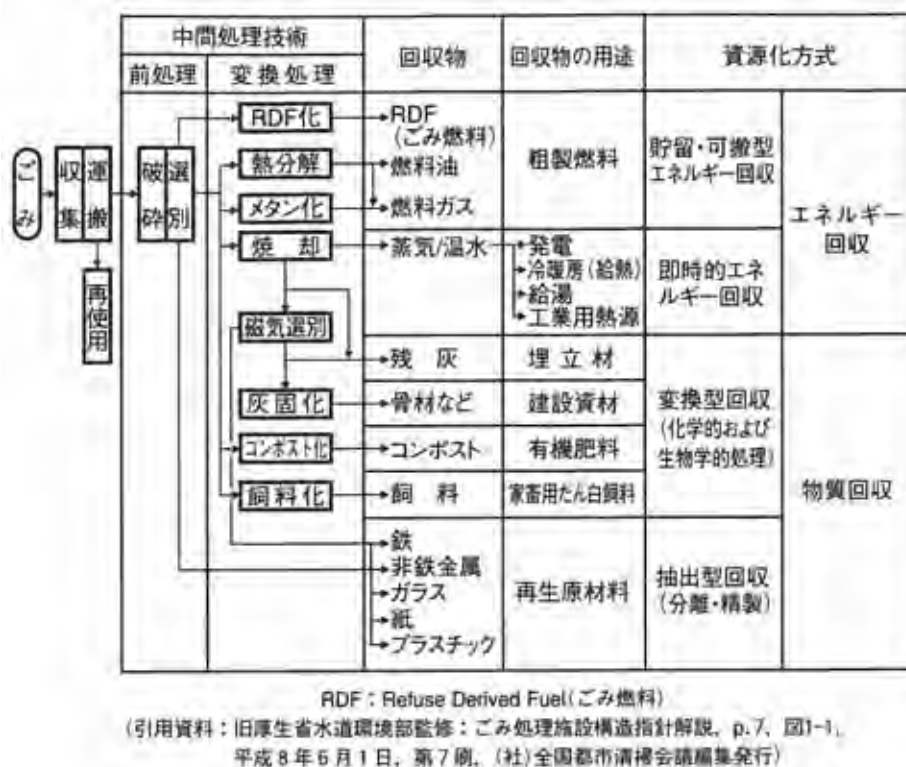


図6 ごみ資源化の分類

タクマ環境技術研究会編: ごみ焼却技術 絵とき基本用語 より

- ・処理経費を抑制し回収効率を向上するために、分別収集の徹底や手選別を組み込んだシステムの採用を考える。
- ・再生品は価格変動が生じるので、安定的な需要見通しや取引先を確実にする。また経済効果を過大に見込まないことが大切である。

②エネルギー回収

エネルギー回収には直接的な熱回収と間接的な燃料回収とがあります。

また、熱回収は発電と熱利用とに分けられます。

- ・排ガスの性状をよく検討して、ボイラーなどの熱交換器に高温及び低温腐食が起きないよう、構造、温度などを適切に設計する。
- ・発電については熱効率の低いことが問題であるので、効率の向上に努める必要がある。但し、熱利用とのバランスを考慮して低温域の廃熱利用をさらに推進する必要がある。
- ・電気や熱の利用先をあらかじめ検討し、経済的に問題が生じないようにする。そのためには施設の立地条件が非常に重要である。
- ・燃料回収（油、ガス、RDF（Refuse Derived Fuel））は、その構造や運搬にエネルギーが必要である。また、一般に純度も劣るので使用先の確認が必要である。

(3) 汚泥再生処理センター資源化技術について

①資源化への対応について

一般的な汚泥処理については、現状では焼却処理が多数を占めていますが、し尿処理施設についても資源化を行うことにより循環型社会への移行に対応することが求められています。後述するように汚泥再生センターの国庫補助要件も資源化設備として、メタン発酵・堆肥化だけでなく、リン回収や汚泥助剤燃料化にも拡大されており、これらを積極的に活用することにより、循環型社会形成に寄与することが期待されます。

循環型社会形成への動きに対応して、平成9年度よりし尿や浄化槽汚泥の他に有機性廃棄物も併せて処理するとともに資源化を行う汚泥再生センターが国庫補助事業として開始されました。

本システムは図7の構成システムに示すように、受け入れ対象をし尿や浄化槽汚泥だけではなく、生ごみ等の有機性廃棄物を加え、さらに機能として衛生処理するのみならず資源化を行うことを前提としたものがあります。すなわち従来のし尿処理施設を水処理施設として位置づけ、し尿処理施設の汚泥処理設備に代わって新たに資源化設備を備えたものとしています。

本システムの性能は水処理については窒素除去型のし尿処理方式に準じた放流水質（日間平均値でBOD10mg/L以下、COD35mg/L以下、SS20mg/L以

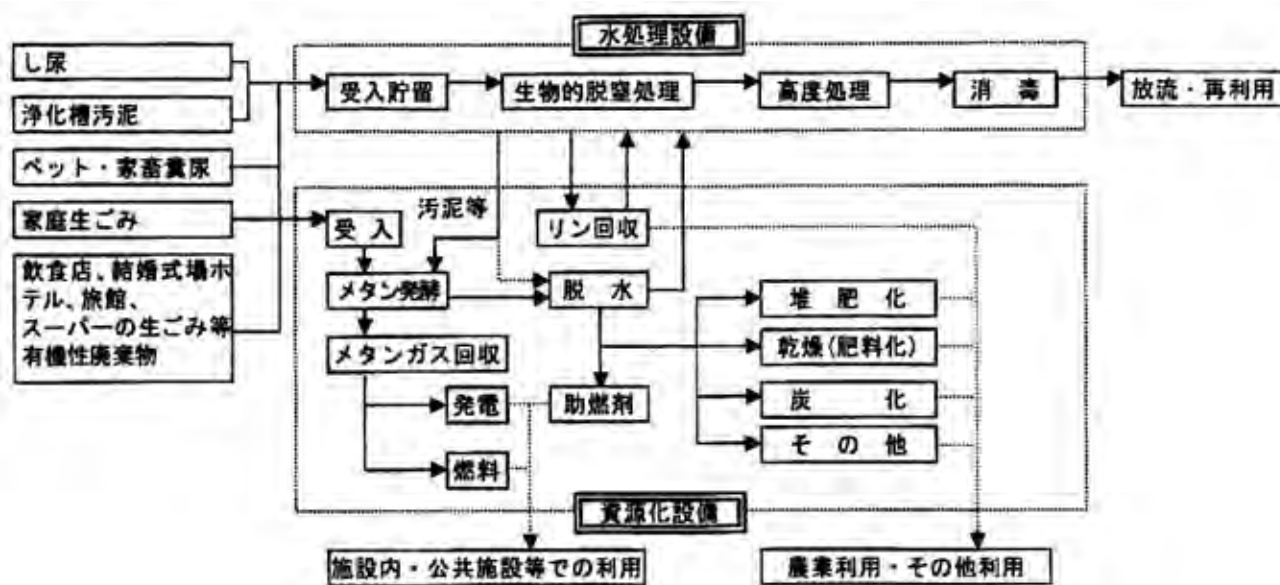


図7 汚泥再生処理センターの構成システム

「し尿処理施設から汚泥再生処理センターへのリニューアルの手引書」の発刊 より

下、 $T - P1mg/L$ 以下）が得られることとされています。資源化についてはメタン回収、堆肥化、炭化などの実用化技術が挙げられています。

平成 15 年度には汚泥再生センターから発生する汚泥を低含水率化することで、ごみ焼却施設での混焼を可能とする汚泥の助燃剤化設備が性能指針の資源化設備に加えられました。また、し尿及び浄化槽汚泥中に含まれるリンを有価物として回収するリン回収設備も、新たに国庫補助対象の設備として認められることとなりました。

汚泥の助燃剤化とは次の 2 項目を満足した資源化技術であります。

- ① 汚泥再生センターから発生する汚泥の含水率が 70% 以下であること
- ② ごみ焼却施設で一般の可燃ごみと混焼する場合に補助燃料を使用する必要がないこと。

含水率 70% の脱水汚泥を標準的なごみとごみ焼却炉で混焼した場合、混焼比率は 15% 以下のケースでは補助燃料を使わず焼却可能との計算結果もあります。汚泥の含水率を 70% 以下とするために、一般的には汚泥脱水機として加圧脱水機（フィルタープレス等）を用いますが、含水率は汚泥の性状により異なるため、汚泥調質装置、汚泥脱水機の機種選定には注意を要すると考えます。

またリン回収技術については、従来は無機凝集剤で固定し、凝集汚泥として焼却・埋立処分する例、あるいは乾燥汚泥やコンポストとして利用する例が主流でした。これに対して排水中のリンを有価物として回収する技術が実用化されています。代表的なリンの回収

方法には、リン酸カルシウム化合物として回収する HAP 法、及びリン酸マグネシウムアンモニウム化合物として回収する MAP 法があります。

6. おわりに

廃棄物資源化の目的は循環型社会、さらには持続可能な発展を支えるためであることを十分に認識し、資源化そのものが目的とならないようにするべきであると考えます。廃棄物資源化を実行するにあたっては経済的な視点とともに資源化による環境負荷の低減を上回る資源やエネルギー消費がないかの目配りが必要と考えます。

我が国は無資源国であり、廃棄物資源は有効にすなわち効率よく循環的に利用することが基本であり、循環型社会構築に向けキーマテリアルの一つになることも考えられます。一方、現状では廃棄物資源化は既存の化石エネルギーと比較すればコスト高になるケースが多々あるものと思われます。しかしながら地域産業の活性化、雇用の促進、地域環境の保全、地球規模での環境改善に貢献することは明らかであり、経済性の低さを何らかの政策的な支援策で補完する社会の充実化が重要と考えており、本講座がこれらの情報源の一助となれば幸いです。

参考文献：環境化学の事典

新・公害防止の技術と法規 2016

入門 環境の科学と工学

特 別 報 告

多環ムスク化合物の下水処理場における
動態とコンポスト肥料中への残留

熊本県立大学大学院環境共生学研究科

石橋 康弘、中村 勝、有蘭 幸司

長崎総合科学大学総合情報学部

中道 隆広

キーワード：合成香料、コンポスト肥料、AHTN、HHCB、HHCB-lactone、OTNE

1. はじめに

近年、持続可能な社会の構築のために、廃棄物を資源化し、環境負荷を低減する循環型社会への転換が求められている。2013年度の我が国における廃棄物等の発生量は598百万トンであり、そのうち、一般廃棄物が45百万トン（8%）、し尿・浄化槽汚泥が21百万トン（4%）、産業廃棄物が385百万トン（64%）、廃棄物統計外の鉱さい、金属スクラップ、紙くず、稲わら、もみがら等が134百万トン（22%）と報告され、廃棄物量は、近年、微増減を繰り返している¹⁾。また、1999年の家畜排せつ物法の制定および2000年の食品リサイクル法の制定に伴い、家畜糞尿の適正管理および食品廃棄物の排出規制、資源化が求められることとなった。我が国の家畜糞や生ゴミ、汚泥などの有機廃棄物の総排出量は2.8億tに達しており、これら有機廃棄物に含まれる窒素やリン酸等の肥料成分は年間、窒素で約130万t、リンで約25万tに達し、年間あたりの化学肥料消費量の2倍以上となっている²⁾。これら増大する有機廃棄物はその排出量削減と資源の有効活用のために、堆肥化（コンポスト化）され、農地などへ還元・活用されている。コンポストは、土壌の物理性を改良する機能、土壌微生物の活性化・多様化、土壌病原菌の被害を抑制する機能、多くの微量成分の含有および含有される肥料成分が有機態で緩効性であること等の利点があげられ²⁾、緑地への応用が試みら

れている³⁾。

近年、医薬品や化粧品等のパーソナルケア製品（Pharmaceutical and Personal Care Products：PPCPs）に含まれる化学物質が環境中から検出されている。PPCPsに含まれる化学物質は体内において代謝後、代謝物として放出され、下水処理場で処理されることとなるが、下水処理場で処理されなかったり、活性汚泥中の生物により代謝された化学物質が河川を通して最終的に海域等の環境中に放出される。これらPPCPsは多様な生理活性をもち、内分泌かく乱作用をもつ物質もあり、野生生物への影響は不明の部分も多く、研究成果の蓄積が急務である。

多環ムスク化合物（PCMs）である6-accdetyl-1, 1, 2, 4, 4, 7-hexamethyl tetraline（AHTN）、1, 3, 4, 6, 7, 8-hexahydro-4, 6, 6, 7, 8-hexamethyl cyclopenta- γ -2-benzopyran（HHCB）および[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8-octahydro-2, 3, 8, 8-tetramethyl-naptalen-2yl] ethan-1-one（OTNE）は、家庭用品の芳香化合物として広く利用されており⁴⁻⁷⁾、代表的なPPCPsであるといえる。AHTN、HHCB、HHCBの代謝物であるHHCB-lactoneおよびOTNEが下水処理過程において汚泥への吸着および分解により除去されることや下水汚泥に高濃度で蓄積していることを見出され、下水処理場を介してその多くが環境中へ放出されていることが報告されている。

2012年度の日本における下水汚泥の発生量は、産業廃棄物全体の約2割を占め、濃縮汚泥量として年間

7,605 万 t に達している。現在、そのうち、乾燥重量として約 58% にあたる 129 万 t が有効利用され、そのうち 35 万 t がコンポストとして利用されている⁸⁾。循環型社会の形成の観点から、下水汚泥の有効利用が求められており、今後、下水汚泥のコンポスト化が推進されると考えられる。コンポスト肥料中の化学物質の含有についての調査が急務である。われわれの研究グループは、多環ムスク化合物の下水処理場における動態と市販のコンポスト肥料中の合成香料の残留調査を行っており、その結果について解説する。

2. 多環ムスク化合物の下水処理場における動態⁹⁾

熊本市内の下水処理場（流入推量：7,835 m³/day、処理方式：標準活性汚泥法）への流入水および処理後の放流水、下水処理過程における下水汚泥（初沈汚泥、活性汚泥、余剰汚泥、返送汚泥、消化汚泥および脱水ケーキ）をサンプリング（2009 年 10 月、週 1 回 4 週）し、多環ムスク化合物の分析を行った。

表 1 に熊本市内の下水処理施設への流入水、放流水および汚泥処理過程における AHTN、HHCB、HHCB-lactone および OTNE の検出結果を示した。

PCM は流入水において、それぞれ AHTN が $2.3 \pm 0.1 \mu\text{g/L}$ 、HHCB が $4.8 \pm 0.2 \mu\text{g/L}$ 、HHCB-lactone が $1.2 \pm 0.04 \mu\text{g/L}$ 、OTNE が $5.4 \pm 0.1 \mu\text{g/L}$ 、放流水では、AHTN が $0.7 \pm 0.04 \mu\text{g/L}$ 、HHCB が $0.9 \pm 0.03 \mu\text{g/L}$ 、HHCB-lactone が $0.9 \pm 0.1 \mu\text{g/L}$ 、OTNE が $0.7 \pm 0.04 \mu\text{g/L}$ であった。流入水と放流水を比較すると、AHTN と HHCB は放流水が低濃度であり、両物質は下水処理過程において除去または分解されていることが示唆された。一方、HHCP の代

謝物と考えられる HHCB-lactone は、流入水と放流水においてほぼ同等の濃度で検出され、下水処理場の処理過程で除去されているにもかかわらず、新たな生成も示唆された。また、OTNE は下水処理施設の流入水および処理水において日本国内で初めて確認され、同じ下水処理場で検出された AHTN と HHCB と同等であった。

下水処理場の各処理過程の汚泥中すべてから PCM の検出が確認された。その濃度は、AHTN が 3.0 ~ 6.3 mg/kg、HHCB が 3.9 ~ 11.7 mg/kg、HHCB-lactone が 1.8 ~ 3.4 mg/kg および OTNE が 2.0 ~ 9.3 mg/kg の範囲であった。各処理過程において AHTN、HHCB および OTNE は、活性汚泥、余剰汚泥、返送汚泥に比べ、初沈汚泥、消化汚泥、脱水ケーキ中で高濃度を示した。一方、HHCB-lactone の濃度は、下水処理過程を通じて濃度の大きな変動はみられなかった。

下水処理場内での PCM の動態については、流入水含量の 33 ~ 39%（AHTN：39%、HHCB：33%、OTNE：38%）が下水処理場内で分解消失していた。また、PCM の環境中への負荷としては、AHTN および HHCB では下水汚泥と放流水はほぼ同レベルであること、また、OTNE では初沈汚泥の除去率が高いことが確認された。

下水処理場の下水汚泥を各処理 6 過程から採取して PCM の分析した結果、表 1 に示したように各処理過程において濃度に大きな差がみられた。これら各処理過程での PCM の濃度は、流入水と比較すると 1,000 倍以上高い濃度であり、下水処理過程での PCM の除去は、汚泥への吸着によるものが大きいことが示された結果となった。

表 1 下水処理過程における多環ムスク化合物検出結果

試料		化合物			
		AHTN	HHCB	HHCB-lactone	OTNE
水	流入水	2.3±0.1	4.8±0.2	1.2±0.04	5.4±0.1
	放流水	0.7±0.04	0.9±0.03	0.9±0.1	0.7±0.04
汚泥	初沈汚泥	6.3±0.2	9.1±0.1	2.7±0.2	9.3±0.1
	活性汚泥	3.5±0.1	4.6±0.04	2.5±0.2	2.4±0.1
	余剰汚泥	3.1±0.1	3.9±0.2	2.3±0.05	2.1±0.1
	返送汚泥	3.0±0.03	4.1±0.1	1.8±0.1	2.0±0.03
	消化汚泥	5.9±0.1	11.7±0.2	3.4±0.1	9.1±0.1
	脱水ケーキ	5.3±0.2	10.8±0.2	2.1±0.1	9.1±0.4

単位) 水サンプル: $\mu\text{g/L}$ 、汚泥サンプル mg/kg dry weight

各処理工程についての考察によると、下水処理場に流入した AHTN、HHCB および OTNE は、初沈汚泥と消化汚泥や脱水ケーキの含有量が高く、カナダオンタリオ州の下水処理場の報告¹⁰⁾と同等の値および動態を示していた。これは余剰汚泥に初沈汚泥が混合されることで濃度が高くなったためと考えられ、消化汚泥や脱水ケーキの含有量の多くがこの初沈汚泥由来であると考察された。

一方、活性汚泥、余剰汚泥および返送汚泥の処理過程においては、それぞれの処理過程で AHTN、HHCB および OTNE は、新たに汚泥に吸着するとともに、好気的な処理条件により、分解も同時に進行している可能性が示唆された。消化汚泥や脱水ケーキの処理過程では、活性汚泥処理過程とは異なり、好気的な処理条件ではないために、AHTN、HHCB および OTNE の分解は進行していないと考えられる。これらのことから、最終的に下水処理場から搬出される脱水ケーキには、AHTN、HHCB および OTNE など高濃度の合成香料の残留が危惧される。

3. コンポスト肥料中の残留合成香料関連化合物の検出¹¹⁾

表2に示した下水汚泥由来、工業汚泥由来、家畜糞尿由来の市販のコンポスト肥料計8種を分析対象とし、種類ごとにメッシュサイズ1mmの篩によって篩い分けを行ったものを試料として、多環ムスク化合物の分析を行った。

表3に示したように、市販のコンポスト肥料8種中において、下水汚泥を原料に含む5種類のコンポスト肥料から多環ムスク化合物である AHTN、HHCB、HHCB-lactone および OTNE が検出された。

それぞれの物質の濃度については、AHTN は N.D. ～ 5.3 mg/kg、HHCB は N.D. ～ 4.2 mg/kg、HHCB-lactone は、N.D. ～ 14.2 mg/kg、OTNE は N.D. ～ 2.1 mg/kg 程度検出された。コンポスト-1 が最も高い結果となり、AHTN が 5.3 mg/kg、HHCB が 4.2 mg/kg、HHCB-lactone が 14.2 mg/kg および OTNE が 0.9 mg/kg と

表2 下水汚泥と固形廃棄物から製造されたコンポスト肥料の原料成分

	主成分	副成分
コンポスト-1	下水汚泥	データなし
コンポスト-2	下水汚泥	産業排水汚泥、豆腐排水
コンポスト-3	下水汚泥	データなし
コンポスト-4	畜糞	発酵液、食糞産業汚泥、下水汚泥
コンポスト-5	牛糞	下水汚泥、生ごみ
コンポスト-6	食品産業汚泥	鶏糞
コンポスト-7	製油工場汚泥	大豆油粕、アミノ酸排水、産業排水汚泥、鶏糞
コンポスト-8	製油工場汚泥	データなし

表3 コンポスト肥料中の香料分析結果

	AHTN	HHCB	HHCB-lactone	OTNE
コンポスト-1	5.3	4.2	14.2	0.9
コンポスト-2	2.1	1.6	3.9	0.4
コンポスト-3	2.6	2.1	7.1	2.1
コンポスト-4	0.7	1.0	2.3	0.4
コンポスト-5	0.3	0.7	0.6	0.1
コンポスト-6	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
コンポスト-7	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
コンポスト-8	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

単位：mg/kg、N.D.：not detected

いう結果であった。以下、コンポスト－2については、AHTN が 2.1 mg/kg、HHCB が 1.6 mg/kg、HHCB-lactone が 3.9 mg/kg、OTNE が 0.4 mg/kg、コンポスト－3については、AHTN が 2.6 mg/kg、HHCB が 2.1 mg/kg、HHCB-lactone が 7.1 mg/kg、OTNE が 2.1 mg/kg、コンポスト－4については、AHTN が 0.7 mg/kg、HHCB が 1.0 mg/kg、HHCB-lactone が 2.3 mg/kg、OTNE が 0.4 mg/kg、コンポスト－5については、AHTN が 0.3 mg/kg、HHCB が 0.7 mg/kg、HHCB-lactone が 0.6 mg/kg、OTNE が 0.1 mg/kg 検出された。コンポスト－6～8については、いずれも検出されなかった。

EU では AHTN や HHCB の最終的なリスク評価を報告し^{12) 13)}、香料として化粧品への使用されている観点からヒト皮膚への毒性とその使用量から今のところさらなる情報やリスク低減のための対策の必要性はないと結論づけられている。しかしながら、AHTN、HHCB、HHCB-lactone および OTNE の難分解性および生物濃縮性の観点から考えると、これらは環境中や生体内に蓄積することが示唆され、その濃度によっては生態毒性が憂慮される。

下水汚泥を原料に含む 5 種類のコンポスト肥料から今回調査対象とした多環ムスク化合物である AHTN、HHCB、HHCB-lactone および OTNE が検出され、特に、下水汚泥由来コンポスト肥料に高い合成香料の含有が確認された。この事実から、下水汚泥に高濃度で蓄積した合成香料は下水汚泥を原料としたコンポスト肥料に高濃度で残留することが明らかとなった。

コンポスト肥料の製造では、発酵段階で肥料内部の温度が高くなるため香料の多くが揮発すると考えられる。しかし、今回調査した下水由来コンポスト肥料 AHTN、HHCB および OTNE 濃度は先に報告した⁸⁾ 下水汚泥中の濃度より低い濃度であり、コンポストの製造過程の発酵段階における揮発による提言であることが示唆された。また、AHTN (0.068 Pa)、HHCB (0.073 Pa) に比べ、蒸気圧が高い OTNE (0.2 Pa) の濃度が特に低くなっていることから、OTNE に関しては前述したコンポストの製造時の発酵過程における揮発による消失が特に大きく寄与しているものと考えられる。

下水汚泥中では HHCB の 0.1 ～ 1 倍の濃度で検出されていた HHCB-lactone¹⁰⁾ が、今回のコンポスト肥料中では HHCB の 1 ～ 3 倍以上の値を示した。最も高濃度の HHCB-lactone を含んでいたコンポスト－1は脱水ケーキを約 1 ヶ月間好気性発酵させ堆肥化したものであった。下水由来コンポストは、特に、嫌気発酵（一次発酵）と好氣的発酵（二次発酵）を経ることが必要とされており、HHCB-lactone が下水由来コン

ポスト肥料の製造過程において HHCB から新たに生成されている可能性が示唆される。AHTN に関しては光分解や菌による様々な代謝物が報告されている¹⁴⁾ が、今回の調査においても AHTN の分解物や代謝物と思われるピークは見られたが、その化合物を特定するには至らなかった。今後、下水汚泥等の中に含まれる AHTN や OTNE の代謝物に関して詳細に調査する必要があると思われる。

Chen らによる reed bed によると、下水汚泥中の化学物質の分解試験において、AHTN、HHCB、HHCB-lactone は 3 年でもほとんど分解されず土壤中における分解が困難であることが報告されている¹⁵⁾。一方で、高濃度のこれらの合成香料を含む下水汚泥由来のコンポスト肥料の使用は、土壤汚染とともに農作物の汚染につながる可能性も懸念される。今後、資源循環の観点から、多様なコンポスト肥料が製造され、農作物等の食糧生産の現場への活用やこれら農作物由来の飼料によって飼育される家畜の増加が考えられる。これら農作物や食肉の安全性を確保するためには、これらコンポスト肥料の安全性を確保が必要であり、そのための詳細な調査研究が望まれる。

4. まとめ

多環ムスク化合物の下水処理場における動態と下水汚泥を原料としたコンポスト肥料中の残留についての調査結果により、多環ムスク化合物の下水処理場における動態が明らかにされ、脱水ケーキの中への高濃度の残留が危惧され、下水汚泥を原料として製造されたコンポスト肥料から合成香料の AHTN、HHCB、HHCB-lactone および OTNE の残留が確認された。

コンポスト肥料の使用については、その由来に起因する様々な微量環境汚染物質や製造過程で非意図的に生成する化学物質等による土壤汚染が憂慮される。今後、これら化学物質による環境汚染を未然に防止し、食の安全性を確保するため、コンポスト肥料中に含有する化学物質についての調査が必要であり、コンポスト原料の処理方法やその製造過程に繋げなければならないと考える。

引用文献

- 1) 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部：平成 27 年度 廃棄物の広域移動対策検討調査及び廃棄物循環等循環利用量 実態調査報告書：2016
- 2) 生物系廃棄物リサイクル研究会：生物系廃棄物のリサイクルの現状と課題：1999
- 3) 堀江典子、萩原清子：有機性廃棄物の循環からみた都市緑地のあり方に関する考察、環境システム

- 研究論文集：31, 101-109, 2004.
- 4) Plassche V., Balk F.: Environmental risk assessment of the polycyclic musks AHTN and HHCB according to the EU-TGD; Report no. 601503008, Norway: National Institute of Public Health and the Environment, 1997.
- 5) Rimkus G. G.: Polycyclic musk fragrances in the aquatic environment. *Toxicology Letters*: 111, 37-56, 1999.
- 6) Reiner L. J., Kannan K.: A survey of polycyclic musks in selected household commodities from the United States. *Chemosphere*: 62, 867-873, 2005.
- 7) Gautschi M., Bajgrowicz J. A., Kraft, P.: Fragrance chemistry-milestones and perspectives. *Chimia*: 55, 379-387, 2001.
- 8) 環境省：平成 27 年版環境・循環型社会・生物多様性白書，200, 2015
- 9) 日高佑紀，森大樹，吉赫哲，川上茂樹，一川暢宏，有蘭幸司：多環ムスク化合物の下水処理場における動態と環境負荷量の推定. 環境と安全：5 (1)、28-34、2014.
- 10) Yang J. J., Metcalfe CD. : Fate of synthetic musks in a domestic wastewater plant and in an agricultural field amended with biosolids. *Science of the Total Environment* : 363, 149-165, 2006
- 11) 日高佑紀，森大樹，中道隆広、石橋康弘、篠原亮太、有蘭幸司：コンポスト肥料中に残留する合成香料関連化合物の検出：環境と安全：5 (1)、35-39、2014.
- 12) European Union. European Union Risk Assessment Report: 1,3,4,6,7,8,-Hexahydro-4,6,6,7,8,8 Hexamethyl cyclopenta- γ -2-benzopyran (HHCB) . 2008.
- 13) European Union. European Union Risk Assessment Report: 1-(5,6,7,8-Tetrahydro-3,5,5,6,8,8-hexamethyl-2-naphthyl) ethan-1-one (AHTN) . 2008
- 14) Balk F., Ford R. A.: Environmental risk assessment for the polycyclic musks, AHTN and HHCB. I. Fate and exposure assessment. *Toxicology Letters*: 111, 57-79, 1999.
- 15) Chen X., Pauly U., Rehfus S., Bester K.: Personal care compounds in a reed bed sludge treatment system. *Chemosphere*: 76, 1094-1101, 2009.

投稿報告

滋賀県における 汚泥燃料化への取組みについて

滋賀県下水道課建設第二係

一色 一平

キーワード：汚泥燃料化施設、温暖化ガス削減、DBO方式

1. はじめに

滋賀県は昭和44年に大津市が終末処理場（大津市水再生センター）の運転を開始したのを皮切りに、昭和57年に県内の流域下水道では初となる湖南中部浄化センター、昭和59年には湖西浄化センター、平成3年には東北部浄化センター、平成9年には高島浄化センターが供用を開始した。下図1-1を参照のこと。



図1 滋賀県処理区位置図

県内のいずれの処理場とも琵琶湖の富栄養化防止に貢献するため高度処理を導入しており、窒素・リンの除去を行っている。また、新規増設・改築更新分から処理方法を凝集剤添加ステップ流入式多段硝化脱窒法により整備をしている。

また、汚泥の処理方法についても環境に配慮できるよう模索をしており、平成28年1月より湖西浄化センターにて県内で初の汚泥燃料化施設の本格運転を開始した。

2. 湖西浄化センターの汚泥処理の歴史

(1) 汚泥燃料化施設以前の汚泥処理について

湖西浄化センターは1984年（昭和59年）より供用を開始したが、当初汚泥は脱水工程を経て、最終処分場にて埋立処分を行っていた。試験的に汚泥の一部を業者に引き取ってもらい肥料化（コンポスト化）を行っていた。

年度の経過に伴い、最終処分場の確保が困難になってきたため、汚泥の有効利用の目的で2001年（平成13年）より焼却溶融炉施設により溶融スラグの生成を開始した。

が、2013年（平成25年）1月末には、溶融スラグの販売ルートの確保が厳しい現状、生成コストが高い、CO₂排出量が高い等の理由から溶融施設を停止し、焼却施設のみ運転し生成される焼却灰を最終処分場で埋立処分をすることになった。

湖西浄化センターの汚泥処理の歴史									
	年号	1980	1990	2000	2010	2020	2030	2040	
設備機械									現在
焼却溶融炉				2001(H13)			2015(H27)		
燃料化炉					2015(H27)				
処理方法									2036(H48)
埋立処分 (一部肥料化)		1984(S59)			2001(H13)				
溶融スラグ				2001(H13)		2011(H25)			
焼却灰					2013		2015		
燃料化物					2015(H27)			2036(H48)	

図2 汚泥処理の歴史

(2) 汚泥燃料化施設の決定

焼却施設が標準耐用年数10年を迎えたこと、また大津市が運営する下水処理場（大津水再生センター：大津市由美浜）の汚泥を焼却していた大津市汚泥焼却施設（大津市大石）が耐用年数を迎え、地元協議により施設を解体・廃止することになり、その汚泥処理を湖西浄化センターが受けることになったことから、新たな焼却施設を建設する計画が立ち上がった。

2009年1月（平成21年）に汚泥の処理方式について検討するための委員会が発足し、検討の結果、経済性、環境性を考慮し「汚泥燃料化方式」が採用となった。発注の方式はDBO方式（設計建設維持管理一括方式：設計から工事、維持管理までを一つの業者が行う）を採用した。

平成24年度に契約をし、設計業務を経て2015年（平成27年）9月に工事が完了し、10月より試運転を開始している。2016年（平成28年）1月には本格運転を開始した。

なお、本業務は平成28年3月31日までの維持管理業務が含まれている。

3. 汚泥燃料化施設の工程

脱水汚泥はまず汚泥乾燥機に送られる。汚泥の水分は約79%あり、この工程ではその含水率をさらに約20%にまで落とす。乾燥には系統内の排熱を利用するため、補助燃料は必要としない。

引き続き炭化炉へ送られる。炉内温度を500℃程度にし、粉状の炭化物を生成する。高温の砂を炉内で巻き上げるにより、より効率よく炭化物を生成する。乾燥汚泥の一部が炉内で燃焼することにより燃料の削減を図っている。

そして次の工程である炭化サイクロンにて粉状の炭化物とガスを遠心力により分解し、粉末状の炭化物を回収する。

次の造粒機では、粉の炭化物を運搬・使用しやすくなるため、加湿・造粒を行う。

そして炭化物ホッパーにて完成した炭化物を一時貯留する。安全性を考慮し、ホッパー内の蓄熱防止のため、定期的に循環させる。

再燃炉では炭化炉の炉内温度は焼却炉と比較して低いため、排出されるガスの二次燃焼および燃焼脱臭を行う。高温で熱することで臭気や有害物質を分解する。炉内の温度は850℃以上を保つ。

今回排煙処理系統は建設費用を抑えるため、既存施設を流用している。

表1 燃料化施設概要一覧表

所在地	滋賀県大津市苗座三丁目
汚泥処理能力	80t/日×1系列
汚泥処理量	約21,500t/年(約80t/日)
下水汚泥炭化物製造量	約2,150t/年(約8t/日)
燃料化方式	熱風直接乾燥方式＋流動床式高温炭化方式
契約方式	DBO方式(設計・施工・維持管理一括発注)
契約業者	メタウォーター株式会社
契約期間	平成25年3月25日～平成28年3月31日

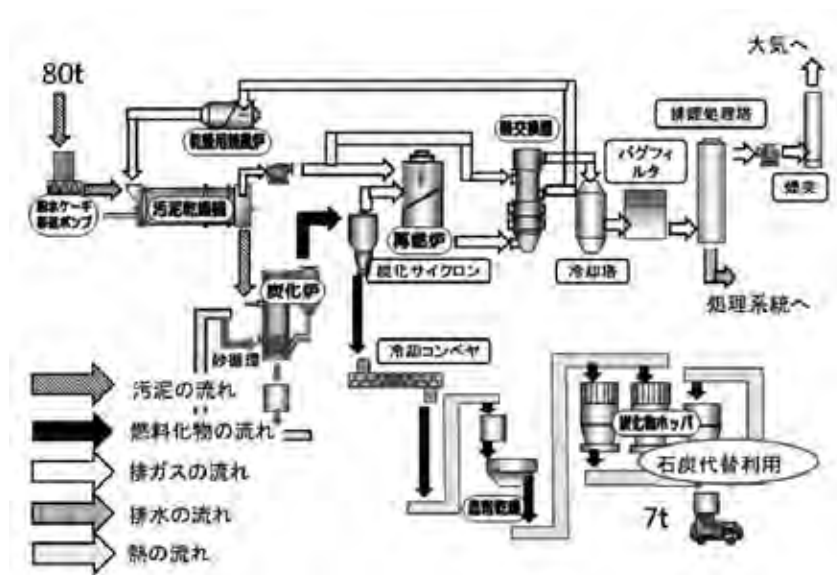


図3 燃料化施設フロー図

4. 運転実績

平成28年12月に行った性能試験の各数値をまとめてみた。技術提案時との数値の比較を行い、考察をする。なお、以下の測定結果は82.75t/日の脱水ケーキを処理した際の数値である。

まず炭化物の低位発熱量は12,600kJ/kgとなった。要求水準値の10,000kJ/kg以上を満足しており、石炭の所有熱量の約半分程度の熱量を持っていることが分かる。

温室効果ガスの排出量については、場内においては1,206t-CO₂/年となった。焼却+溶融設備の9,916t-CO₂/年、焼却設備の7,863t-CO₂/年と比較して大幅な削減ができた。

煙突出口の排ガス基準においては、硫黄酸化物K=0.007、窒素酸化物11ppm、ばいじん<0.002g/m³N、塩化水素<1mg/m³N、ダイオキシン1.4×10⁻⁶ng/m³N、悪臭指数10未満といずれも基準を満足することができた。

平成28年1月～4月までの実績を集計してみた。汚泥投入量は5,533t（平均約67t/日）、電気使用量1,148,858kWh（平均約13,842kWh/日）、都市ガス使用量94,290m³N（平均約1,136m³N/日）であった。

焼却施設を運転していた平成26年度（平成26年4

月～平成27年3月）では、汚泥投入量15,479t（平均約42.4t/日）、電気使用量2,311,600kWh（平均約6,300kWh/日）、都市ガス使用量535,588m³N（平均約1,500m³/日）。都市ガス使用量にて約半分の削減が出来た。燃料化施設が本格稼働して間もないため、この数値は運転日数が経過していくごとに改良されていくものと思われる。引き続きデータの蓄積作業を行う。

建設・維持管理について、燃料化施設と既存の焼却施設とを比較してみた。燃料化施設の維持管理費が約7,000円/tに対して、焼却施設は約14,000円/tとなっている。また、建設費に対しても、燃料化施設が16億円に対して、焼却施設が55億円となっている。この費用は電気・機械設備のみの費用である。建設費の大幅なコスト削減ができたのは、既存の排煙施設系統を流用するためである。

5. まとめ

本格運転からのまだ間もなく、実績データが少ないため、これから温室効果、ガス・電気使用量などデータを蓄積していき、従来の焼却溶融施設との比較検討を行っていかねばいけないと思う。また、より効率的な運転を目指すため、年間を通しての汚泥の性状変化に合わせた運転操作を見つけていく必要がある。

コラム

グリーンインフラの時代へ

グリーンインフラとはグリーンインフラストラクチャー（Green Infrastructure）の略語で、国内外の多領域の研究者や実務者の間ではグリーンインフラに関する情報・意見交換等が活発に行われているが、一般的にはまだ馴染みのない言葉である。これからはグリーンインフラの時代になると私は考えている。

グリーンインフラを直訳すると緑の社会基盤であるが、一体何を指すのだろうか？グリーンインフラという言葉は、自然の力や仕組みを活用しながら社会基盤の整備や国土管理を行う考え方を指す。ここでいう自然の力や仕組みとは多機能型、自律的な回復力や持続性のことで、少し乱暴に説明すると今までのグレーインフラ（下水道、道路、河川等）が単一機能、静的に固定された基盤であるのに対して、グリーンインフラは多機能型で自然の力を活かした動的な基盤であるのが特徴である。特にわが国においては、縮退・人口減少時代の国土管理において山村の荒廃問題、ダムや道路・下水道などインフラの更新問題、気候変動等にもともなう災害、都市周縁部の空地問題などにグリーンインフラというビジョンとアプローチが適用できるのではないかと議論が始まっている。

例えば、一つ例を挙げてみよう。従来の雨水管理では、一滴の雨が地上に降るとできるだけ早く雨水管に流して、一極集中型の管理で「処理する」のが一般的である。多くの自治体は、近年頻発するゲリラ豪雨などによって引き起こされる水災害を防ぐために、より容量の大きい調整池や地下施設の建設などで課題解決をはかっている。一方、グリーンインフラの考え方を適用した「持続的雨水管理」では、緑地や土壌が本来持つ力を活かして雨水を一時的に貯留・地中に浸透させ流出量の削減と流出速度の緩和を可能にし、植物を通じた蒸発散などによる微気象の緩和も期待されている。1990年代の半ばに合流式下水道による洪水問題に頭を悩ませていた米国で広まったこの概念が、2010年にはヨーロッパでも定義づけられ、今まさにグリーンインフラの時代が始まったところだ。

グリーンインフラはここ数十年の間に突然現れた特別な技術ではなく、日本でも工業化以前の国土のいたるところで存在していた。例えば水源を涵養する森林や治水機能をもつ水田、災害をいなく減災機能をもつ川の堤、生態技術を応用した護岸などその土地の環境に適応したインフラは、人間と自然との調停関係の上に成り立っていた。ここで私は既存のグレーインフラをグリーンに、と主張しているのでは決してない。老朽化したグレーインフラを更新する代わりに、グリーンインフラの考え方をうまく活かす「ハイブリッド型の解決」でインフラの建設費用を抑えることができるし、何よりもグリーンインフラは「ソフトインフラ」であるので人間がアクセスし、使うことができるのが大きな特徴だ。例えば、通常時は市民のレクリエーション公園が、降雨後は遊水池として機能するなど、日々の生活に織り込まれた新しいインフラの形は世界中で模索されてきている。

ところで、今月フランスで開催された都市と水の国際学会でまた新しい発見があった。本来は下水道や水文学の研究者や実務者が集まる会議（水質、水量のコントロールやモデリング研究が中心）であったそうだが、近年参加者の1/3は都市計画やランドスケープから持続的雨水管理に取り組む人たちである。議論が集中していたのは気候変動、今後頻発すると予測される水災害や都市内でのインフラ更新に関する話題だ。予測不可能困難な時代の計画、多機能型のインフラとその評価、多領域の専門家の協働、集中型から分散型の雨水管理、縦割り行政に横串をさす手法、都市内インフラのレトロフィットなど多くの課題が議論されていたのが非常に印象的であった。縮退時代の日本では、今後このようなオプションを検討せざるを得ない状況が目前に迫っているのは間違いない。不確実な未来に向けてグリーンインフラを通じた研究や実践が今後のインフラへの考え方を変えていくだろう。グリーンインフラの時代へ向けて、私たちの新しい価値観と挑戦が今求められている。

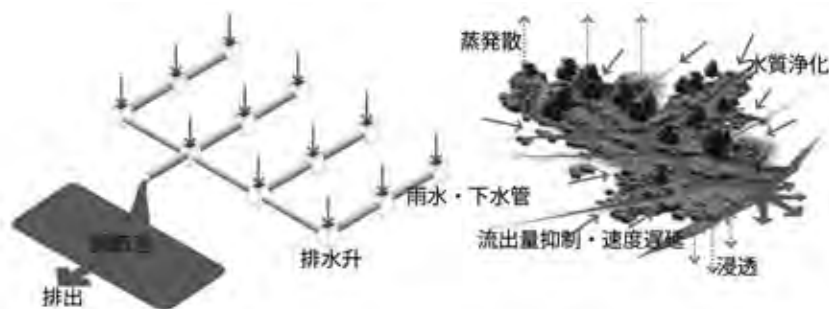


図 グレーインフラ（左）と持続的雨水管理を核としたグリーンインフラの概念図（右）

（出典：LID Low Impact Development Design Manual by University of Arkansas に著者が加筆）

報 告

下水道に集約されるリン資源量の最近の動向

早稲田大学リンアトラス研究所	招聘研究員	佐藤	和明
国立研究開発法人土木研究所	上席研究員	南山	瑞彦
早稲田大学リンアトラス研究所	客員教授	大竹	久夫
早稲田大学リンアトラス研究所	所長	常田	聡

キーワード：リン資源、下水道負荷量、生活排水負荷、産業排水負荷

1. はじめに

下水中のリン成分は、一般に BOD で表せられる有機物及び窒素とならんで、下水中の主要成分と認識されている。最近、このリンについてリン鉱石の価格が高騰するという事態が生じたこともあり、リン鉱石資源を持たないわが国にとって、重要な戦略的物質であるとの指摘がなされている¹⁾。下水あるいは下水汚泥からのリン回収にも関心が寄せられるようになってきており、下水道に集約されるリン資源量の現状、将来動向を明らかにする必要がある。佐藤の既報²⁾では、2002 年度の下水道統計を用い、わが国の下水道に集約されるリン量を集計し、流入負荷量 52 千 tP/年、流出負荷量 15 千 tP/年であることが示されている。そこで、既報の調査手法を踏まえ、下水道に集約されるリン負荷量について 2005 年度から 2012 年度の下水道統計のデータを集計し、その現状、動向に関する知見を得たので報告する。

2. 調査方法

下水道統計に示される、各下水処理場の年間処理水量に、処理場流入水および放流水の全リン（T-P）の水質値（年間平均値）を乗ずることにより、各下水処理場でのリンの流入負荷量、流出負荷量を求めた。下

水道統計には年間処理水量は全処理場の数値が示されるものの、水質試験成績の全リンのデータに対しては欠損がみられる箇所がある。この欠損データのある箇所については、まずその数値をゼロとして積算を行い全体の流入、流出負荷量を求めた。また、これに加えて、この数値に処理水量比の補正係数（全処理場の年間処理水量集計値 / T-P データのある処理場の年間処理水量集計値）を掛けて全体の流入、流出負荷量を算出した結果も算出した。今回、こうした補正值も同時に算出したのは、2011 年の東日本大震災の影響で規模の大きな処理場についても、とくに流入水質データの欠損が目立ったという状況があった。2002 年度の下水道統計に基づく作業では、データ欠損箇所は小規模処理場が主であるので、全体の集計には大きな影響は出ないとしてデータ欠損箇所はゼロ集計としていたが²⁾、そうした“割り切り”では集計数値と現況とが大きく乖離することが予想されたためである。

3. 調査結果

3.1 集計データ数

表-1 にリン流入負荷量、リン流出負荷量について、水質データの集計ができた箇所数を示す。処理場総数より集計箇所数が多いケースがあるが、これは同一の処理場内で合流分流の処理区別、あるいは a 系 b 系の処理系列別に流量および水質のデータが記載されて

表-1 リン負荷量集計箇所数

年度	下水処理場数	流入負荷算出箇所数	流出負荷算出箇所数
2005	2,039	1,649	2,041
2006	2,076	1,799	2,209
2007	2,099	1,851	2,197
2008	2,120	1,892	2,257
2009	2,136	1,919	2,262
2010	2,145	1,960	2,318
2011	2,134	1,324	2,329
2012	2,141	1,566	2,352

いることによるものである。2010年度までは流入負荷、流出負荷、双方とも算出可能な処理場数が伸びてきていたが、2011年度ではとくに流入水の水質データ欠損のため、流入負荷データが得られない箇所数が数百箇所に上ったことが示されている。

3.2 リン負荷量の集計結果

表-2にわが国の下水処理場に集約されるリン負荷量を示す。左側にはT-P水質値が欠損している箇所について負荷量をゼロとした集計数値、右側には水質

値欠損箇所についてこれを補正した集計数値を示した。この表には前述の2002年度の集計値も参考のため記載した。国土交通省の「下水道におけるリン資源化の手引き」³⁾では、下水道には2006年度で年間約5.5万tP/年のリンが流入していると整理されている。2006年度の今回の集計結果もそれに近い数値を示した。

今回の集計結果をグラフ化したものを図-1に示す。2002年度から2006年度までの期間については処理水量の伸びと連動して流入負荷量が増加しているように見える。しかしながら、2006年度以降の流入負荷量については頭打ちの傾向を示している。また、流出負荷量については2010年度ごろまで漸減という状況が示されている。汚泥のリン資源量という観点からは流入負荷量から流出負荷量を差し引いた値が検討の対象となる。2002年度の38千tP/年から2005、2006年度の43千tP/年に増加しているが、その後42千tP/年近くの値となっている。

以上の負荷量の関係を、処理水量で割り戻して流入リン濃度、流出リン濃度の経年変化をみたものが図-2である。このグラフより、リン濃度としては流入

表-2 下水道への流入・流出リン負荷量集計結果

年度	下水接続人口 人	年間水量 m ³ /年	流入負荷量 kg-P/年	流出負荷量 kg-P/年	流入データが欠損 箇所の年間水量 m ³ /年	欠損データを補正 した流入負荷量 kg-P/年	流出データが欠損 箇所の年間水量 m ³ /年	欠損データを補正 した流出負荷量 kg-P/年
2002	75,470,115	13,163,076,961	52,219,600	15,071,820	12,828,548,423	53,581,324	13,042,406,648	15,211,267
2005	90,709,091	13,663,917,693	53,718,604	12,797,106	12,142,716,231	55,844,677	13,457,933,576	12,992,976
2006	82,538,990	14,085,254,763	54,452,878	12,912,465	13,667,405,135	56,157,491	13,975,013,763	13,023,564
2007	84,107,932	13,690,890,771	53,613,511	12,729,498	13,351,383,048	54,976,830	13,591,842,198	12,822,168
2008	85,502,484	14,175,741,210	52,259,363	12,482,572	13,830,391,399	53,564,298	14,059,855,296	12,585,995
2009	86,903,967	14,169,692,188	52,711,220	12,060,741	13,806,653,939	54,097,232	13,999,503,466	12,207,561
2010	87,950,560	14,384,102,409	53,322,428	12,367,356	14,025,358,722	54,666,321	14,295,393,910	12,444,100
2011	88,948,485	14,439,249,525	43,081,392	12,464,099	11,173,958,625	55,670,728	14,219,259,932	12,568,543
2012	90,842,949	14,166,092,549	45,536,935	12,112,016	11,927,656,976	54,092,745	13,924,510,947	12,322,152

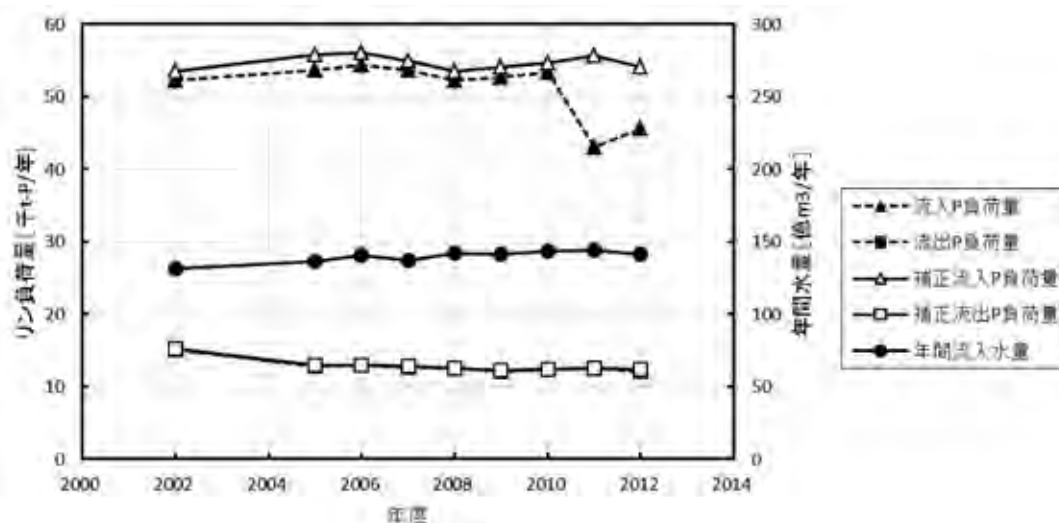


図-1 流入リン負荷量、流出リン負荷量の経年変化

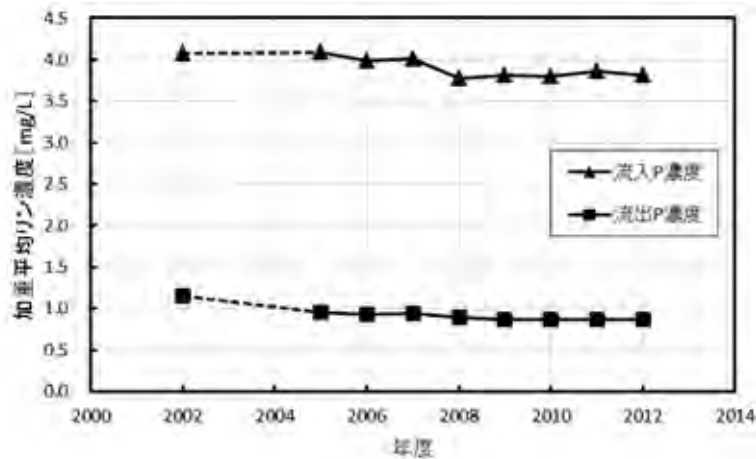


図-2 流入下水、処理水のリン濃度の経年変化

水については4.1mg/Lから3.8mg/Lへ、処理水についても1.1mg/Lから0.9mg/Lへと、この期間、漸減していることが伺える。

4. 負荷量変化に関する考察

上述のように、2002年度から2012年度の期間について、わが国全体では下水処理水量が漸増すると同時にリン負荷量も漸増するという関係が前半の2006年度まではみられたが、その後はリン負荷量の増加は明確ではなかった。この間下水道普及率は、着実に伸びており、下水道接続人口も表-2に示したように同時に伸びている。生活排水のリン負荷量の原単位は、流域別下水道整備総合計画指針が改定される度、その数値が検討されてきたが、最近では1999年版で1.2g/人/日から1.3g/人/日に、2015年版で1.4g/人/日という変遷をたどっている^{4~7)}。よって、リン負荷量が上昇しない理由として考えられるのが下水道に集約される産業排水負荷の動向である。2002年度を対象とした集計結果では、全体の流入負荷52千t-P/年の内、38千t-P/年が生活排水起源、残りの14千t-P/年が業務、産業用負荷と見積もられた。その後のリン流入傾向を考察するため、今回全国集計したリン負荷量から、東京都と大阪府の集計結果を抽出し図-3に示す。これらの下水道先進都府では21世紀に入った期間での下水道整備率は既に85%以上となっているので、リン負荷量の動向に関し生活排水に起因する負荷変動の影響は少ないと考えられたためである。図から、両者ともに流入負荷量がこの期間明確に減少していることがわかる。流出負荷量も減少しているが、これは高度処理実施率が2002年度末から2013年度末の数値^{8) 9)}で、東京都8%→36.2%、大阪府37%→67.3%というように、上昇してきたことも要因の一つ

であると考えられる。

下水道への業務・産業用負荷が減じたのは種々のことが考えられるが、その一つとして水質総量規制制度の適用の影響が考えられる。水質総量規制制度はCOD指標を基に東京湾、伊勢湾、瀬戸内海の3海域に関係する地域を対象に1980年より適用されている。この水質総量規制制度は2002年の第5次の段階でN,P項目が加えられ、広く産業排水とともに下水道にもその規制がかかることとなった。下水道でも排水基準を遵守するため、高いリン濃度の排水を排出する特定事業所については前処理施設の設置を義務づけることとした。今回、下水道に集約されるリン負荷量を検討した期間がこうした水質規制強化の期間と重なるので、水質規制施策の進展も要因の一つではないかと思われる。

5. まとめ

下水道に集約されるリン負荷量について2005年度から2012年度の下水道統計のデータを集計した。これらのデータとともに先行して実施した2002年度の結果も加えて、その動向を調べた。その結果、下水道への流入水量は漸増しているものの、流入水の平均的リン濃度の漸減がみられ、わが国の下水道に集約されるリン量は2006年の56千t-P/年程度の数値でほぼ留まるような傾向であることが示された。同様に汚泥のリン資源量計算値も42～43千t-P/年の値に留まっている。このことについて、下水道整備の進んでいる東京都、大阪府のリン負荷量を調べた結果、明らかなリン負荷量の減少が確認され、産業排水起源のリン負荷量が減少していることが、わが国の下水道へのリン負荷の集約量に影響しているものと考えられた。

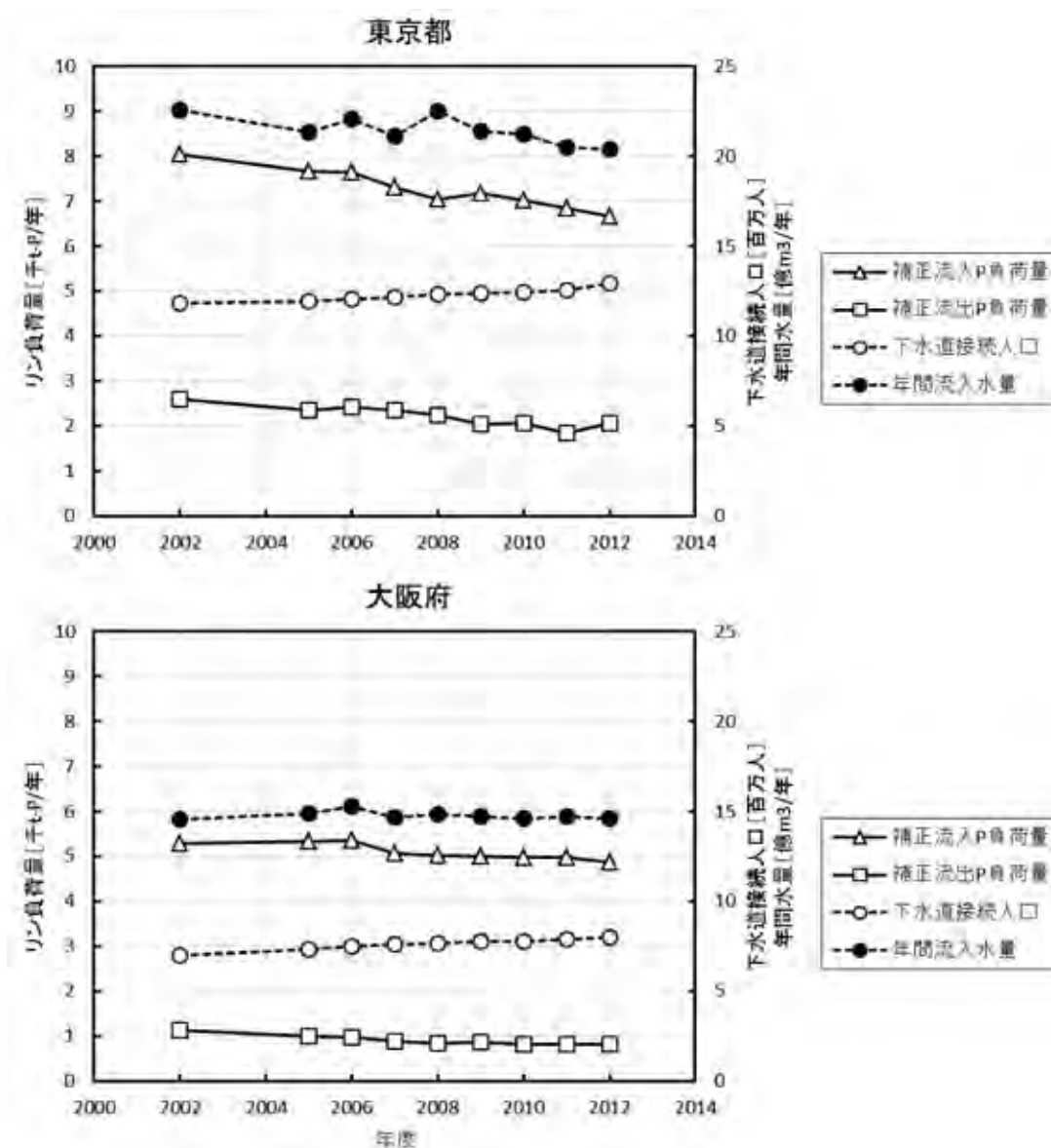


図-3 東京都、大阪府における下水道リン負荷量の動向

参考文献

- 1) 大竹久夫編著：リン資源枯渇危機とはなにか、大阪大学出版会 2011 年。
- 2) 佐藤和明：下水道を介する窒素・リン負荷量の集計－平成 14 年度下水道統計より－、下水道協会誌、Vol.45、No.550、2008/08、pp.78-85.
- 3) 国土交通省都市・地域整備局下水道部：下水道におけるリン資源化の手引き 平成 22 年 3 月、p.11.
- 4) 建設省都市局下水道部監修：流域別下水道整備総合計画調査 指針と解説 平成 8 年版、p.29、(社)日本下水道協会。
- 5) 建設省都市局下水道部監修：流域別下水道整備総合計画調査 指針と解説 平成 11 年版、p.33、(社)日本下水道協会。
- 6) 流域別下水道整備総合計画制度設計会議編：流域別下水道整備総合計画調査 指針と解説 平成 20 年 9 月、p.34、(社)日本下水道協会。
- 7) 国土交通省水管理・国土保全局下水道部：流域別下水道整備総合計画調査 指針と解説 平成 27 年 1 月、p.38.
- 8) 国土交通省都市・地域整備局下水道部監修：平成 15 年 日本の下水道、p.248、(社)日本下水道協会、2003 年 12 月。
- 9) (公社)日本下水道協会：平成 26 年度 下水道白書 日本の下水道、資料編 p.12、(公社)日本下水道協会、2015 年 2 月

その他、平成 17 年度版から平成 24 年度版 下水道統計 (日本下水道協会)。

報 告

JIS 規格に適する下水汚泥固形燃料の製造方法の確立と下水汚泥固形燃料の高品質化に関する取組み

株式会社 アースコーポレーション

経営企画部 経営企画課 情報企画係兼研究分析係 係長 平田 毅

キーワード：下水汚泥固形燃料・燃料化・発熱量・水分量・全塩素

1. はじめに

株式会社アース・コーポレーション（以下、当社）では有機性廃棄物（下水汚泥、工場汚泥やグリストラップ）の乾燥処理に特化し、年間2万トンを超える有機性廃棄物を処理している。乾燥物（含水率5～20%）は堆肥原料やセメント燃原料として出荷し、循環利用されている。一昨年9月には下水汚泥固形燃料（BSF; Bio-Solids Fuel、以下BSF）の日本工業規格JIS（以下、JIS）が制定され、燃料としての認知と利用先の拡大が期待できることもあり、当社ではJIS認定の取得に向け取り組んでいる。このJIS認定に必要な項目（数値）は最低限であり、より必要とされるバイオマス燃料を生産するため、これまで蓄積した自社乾燥汚泥の性能、

他の廃棄物リサイクル燃料（RPF、RDF）のJISを考慮し、自社の目標数値（管理目標数値）を定めて高品質化を目指すこととした。

今回の取組みは、当社として単に燃料を売るだけでなく『廃棄物の処理』から『燃料の製造』へ転換する有意義なプロセスであると考えている。

2. 下水汚泥のリサイクル状況及びエネルギー価値

国土交通省の公開資料（バイオマス利活用に関する国土交通省の主な取組み）によれば、平成20年度の下汚泥発生量は、約221万DS-t/年であった。その内78%程度（総量177万トン）がリサイクルされており、高いリサイクル率である（図1）。リサイクルの内訳については、ほとんどが建設資材化（セメント

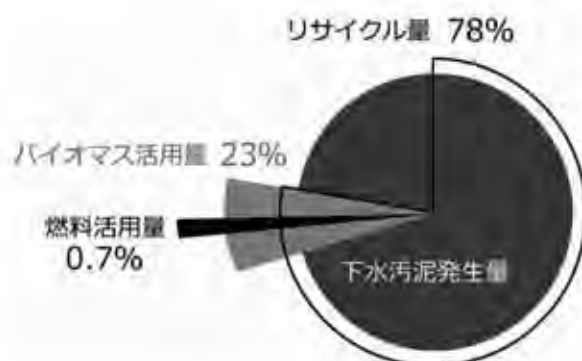


図1 下水汚泥発生量とリサイクル量（平成20年度データより）

原料、骨材等)として利用され、バイオマスとしての利用は約 23%にとどまっている。さらにエネルギー(汚泥燃料)としての利用実績は、約 12,530 トン(0.7%)で最も低い利用率に留まっている。

下水汚泥のエネルギーとしてのポテンシャルについて着目すると発熱量 19 MJ/kg(石炭の発熱量半分)、発生総量約 221 万トン/年であれば、約 42×10^9 MJ/年となり、108 万 kL の原油に相当するエネルギー価値となる。下水汚泥のエネルギー利用は消化ガス化も有効な方法であるが、有機分(炭素)を二酸化炭素として揮散してしまうこと、発酵残さの処理を考慮すると、直接のエネルギー化(燃料化)が汚泥の持つポテンシャルを有効に利用できると推す。

3. 下水汚泥の燃料利用促進への社会的動向

下水汚泥バイオマスの利活用を促進する政策・法律については、2010 年 12 月に「バイオマス活用推進基本計画」が閣議決定され、2020 年では下水汚泥の約 85%をバイオガス化、固形燃料化等のエネルギー利用とすることを目的として掲げている。また非化石エネルギー源の利用促進に向けて、2009 年 7 月に「エネルギー供給事業者による非化石エネルギー源の利用及び化石エネルギー原料の利用の促進に関する法律」が制定され、一定規模以上のガス・電気事業者等エネ

ルギー供給事業者は、経済産業大臣が定める非化石エネルギー源の利用目標に対し、調達計画の策定を義務化されている。さらに、平成 26 年 9 月に下水汚泥固形燃料の工業規格が制定され、下水汚泥を熱源として積極的に利用される社会的な土壌が形成されつつあると感じる。

4. 下水汚泥固形燃料の JIS 認証取得への取組み

4.1 原料となる下水汚泥の分析及び選定

燃料の主要素である発熱量、発熱量と相関があると考えられる灰分量について、当社に搬入している下水汚泥に対し測定を行った(結果は表 1 参照)。排出先(浄化センター)ごとの下水汚泥の発熱量及び灰分量は、一ヵ所につき 5～20 個のデータを測定し、それぞれのバラつき(偏差)についてデータを得た。発熱量をみると JIS の基準値に対して、測定結果の最低値基準であっても BSF では一ヵ所以外、BSF-15 であれば半数が基準を満たす結果となった。また、灰分量と発熱量の相関としては、灰分量が 15% 以下であれば、ほとんどの下水汚泥が 15 MJ/kg 以上となった。よって灰分量を測定し、原料の可否を推定に利用できる可能性があると考えられる。測定結果の中から、発熱量及び灰分量の数値が良く、搬入量が多いものについてさらに詳しい分析を実施した。

表 1 搬入下水汚泥の測定結果(水分量、灰分量及び発熱量)

排出先	水分量					灰分量					発熱量(MJ/kg)				
	データ数	平均	標準偏差	最大値	最小値	データ数	平均	標準偏差	最大値	最小値	データ数	平均	標準偏差	最大値	最小値
浄化センターA	13	84.0%	1.1	86.0%	83.1%	10	13.5%	0.8	14.7%	12.0%	7	18.2	0.5	19.1	17.6
浄化センターB	22	73.6%	2.7	78.4%	63.9%	21	31.9%	8.2	45.4%	25.3%	18	11.3	2.7	19.0	7.5
浄化センターC	20	77.3%	6.7	95.3%	62.6%	24	9.4%	1.2	12.8%	6.9%	15	18.8	1.5	22.1	14.6
浄化センターD	20	82.9%	4.7	90.3%	69.7%	20	13.8%	1.8	16.2%	7.4%	15	18.3	2.0	20.8	12.4
浄化センターE	12	82.0%	0.6	82.8%	81.0%	19	22.7%	9.1	24.2%	20.8%	9	16.7	0.3	17.1	16.2
浄化センターF	23	78.0%	4.6	90.3%	65.2%	23	10.4%	2.4	13.3%	0.2%	14	18.2	1.2	19.5	15.2
浄化センターG	17	84.2%	0.5	85.2%	83.7%	18	13.7%	1.1	15.7%	11.1%	12	17.8	0.6	18.0	15.8
浄化センターH	8	81.8%	4.5	85.6%	72.2%	12	8.0%	5.0	13.9%	6.2%	9	18.1	1.6	19.1	13.7
浄化センターI	14	83.1%	3.6	90.2%	75.5%	16	11.3%	5.7	18.3%	10.7%	6	17.8	0.5	18.8	16.9
浄化センターJ	18	75.6%	9.8	79.8%	60.9%	18	8.3%	1.7	11.8%	6.2%	13	18.2	0.7	20.3	16.2
浄化センターK	7	82.4%	0.7	83.4%	81.4%	7	10.9%	9.2	20.7%	15.1%	1	19.6	0.0	19.6	19.6
浄化センターL	13	85.6%	1.9	88.0%	82.7%	12	12.7%	2.0	15.6%	9.9%	9	18.3	1.5	20.7	16.5
浄化センターM	3	88.4%	0.1	88.5%	88.2%	3	14.7%	0.3	15.1%	14.4%	3	18.3	0.2	19.4	18.1
浄化センターN	22	84.0%	3.1	87.1%	71.3%	22	14.1%	4.0	25.8%	2.9%	12	18.8	1.4	19.2	13.4
浄化センターO	22	83.6%	29.4	84.8%	77.3%	18	10.2%	1.4	13.0%	7.8%	14	18.3	1.3	19.7	15.4
浄化センターP	3	65.7%	2.4	67.6%	62.8%	3	17.7%	0.6	18.3%	18.0%	3	15.7	2.2	17.5	12.5
浄化センターQ	12	88.6%	3.8	89.8%	85.2%	18	10.1%	1.3	12.3%	7.3%	6	18.2	2.3	19.8	13.1
浄化センターR	8	97.0%	1.5	98.0%	96.0%	6	16.0%	1.3	18.3%	14.2%	6	17.2	1.9	18.3	13.0
浄化センターS	13	85.2%	2.7	93.1%	82.0%	12	17.6%	1.1	19.3%	15.1%	6	18.4	8.0	25.6	11.7
浄化センターT	8	67.8%	6.0	62.9%	75.6%	6	15.9%	0.8	16.7%	14.5%	6	18.4	0.4	18.8	17.6
浄化センターU	1	87.9%	0	87.9%	87.9%	3	2.3%	1.8	11.1%	8.9%	0	0	0	0	0
浄化センターV	8	82.0%	0.6	83.2%	81.2%	6	12.6%	0.7	13.7%	11.2%	6	17.0	2.7	19.1	12.1
浄化センターW	3	85.6%	0.0	85.6%	85.6%	3	13.4%	0.8	12.2%	10.3%	3	18.8	0.3	19.1	18.4
浄化センターX	9	84.7%	2.5	87.8%	81.2%	9	18.2%	0.7	19.1%	19.0%	6	16.7	0.2	16.8	16.4
浄化センターY	6	84.0%	1.0	85.0%	82.8%	6	13.6%	1.2	16.3%	11.3%	3	18.2	0.2	18.4	18.0
浄化センターZ	7	85.8%	0.1	85.7%	85.6%	7	10.2%	0.4	11.0%	9.9%	4	17.4	2.1	19.8	14.3

4.2 自社目標値の策定による高品質化

BSFの製造業者は、購入者へ発熱量、水分量及び灰分に加えて、窒素及び硫黄分について実施し、購入者へ試験結果の報告を行うと定められている。当社では窒素及び硫黄分に加えてBSFの販売先として有力であるセメント会社の選定基準に含まれる全塩素についても管理数値を定め、より厳しい基準を設けた。塩素分は、リサイクル燃料であるRPFの等級（A～C）であれば最も品質が良い、A級品（0.3%）と同様の数値を設定した（表2参照）。

窒素・硫黄分・全塩素についてJIS M 8813（高温燃焼法）、Z 7302-6（全塩素分試験方法）で数回測定し、検体は発熱量及び灰分量の数値が良い、10箇所の浄化センターとした。窒素及び硫黄分については、全てにおいて自社管理目標数値を上回っていた（窒素：5.0～8.7%、硫黄分：0.59%～1.2%）、全塩素では一カ所以外0.1%以下となり、自社管理目標数値をクリアしていた。窒素・硫黄分の試験結果は目標数値を原料段階で超えており、今後改善方法を検討していく。

4.3 今後の課題

現状では、BSF（発熱量8 MJ/kg、水分量20%以下）を満たす製品の製造は可能である、しかし、発熱量に加え、硫黄分、窒素等などの数値においても自社管理目標数値を満たす製品が生産できるとしても非常に少量になる。この問題に対しては、当社に搬入するバイオマス（廃棄物由来）を有効活用し、自社管理目標数値をクリアし、より多くの製品が製造できるよう取り組んでいく。また、原料中のイレギュラー検出や半製品の品質確認を短時間に確認する方法として、蛍光X

線分析装置を導入し、下水汚泥の元素組成と発熱量・灰分量・硫黄分・全塩素の相関性についてデータを蓄積し、製品の管理に役立てる。

5. おわりに

『廃棄物』の中でも不均一で、不定形な汚泥に対し、様々な測定・評価を実施しました。その結果は発熱量や灰分等の性状が一定であることを確認することができました。下水処理場では当然ながら、排水に対し一定の処理を行っており、その発生汚泥も性状に規則性を持つことは想像できますが、データとして得られたことは有意義であったと考えています。『廃棄物＝ゴミ』の分析に対して、過大な装置・投資ではありますが、『廃棄物＝ゴミ』の認識を変えるためにも、自社の品質管理をさらに充足させ、魅力ある燃料を製造できればと考えております。そして『廃棄物の処理』から『燃料の製造』へシフトすることで、同業者との差別化を図り、企業価値の向上に繋がることを期待しております。また、当社の取り組みを知り、どこにでも必ず存在するバイオマス（地域バイオマス）である下水汚泥の有効利用に少しでも寄与することに繋がれば幸甚と存じます。

最後に当社の下水汚泥固形燃料の高品質化を実現するに向けて、公益財団法人産業廃棄物処理振興財団様より廃棄物処理助成事業の採択を賜り、2年に亘りご支援いただきました。現在も事業を継続しておりますが、助成事業運営委員会の皆様、事務局の皆様には多くの意見や情報を提供していただいたこと、この場を借りて御礼申し上げます。

表2 JIS Z 7312(2014) Bio-Solids Fuelの基準値及び自社の目標数値

	品質（基準値）	
	JISにおける数値	自社管理目標数値
総発熱量 (MJ/kg)	BSF-15 15以上 BSF 8以上	15以上
水分量(%)	20%以下	8%以下
灰分量(%)		30%以下
硫黄分(%)		0.5%以下
窒素(%)		5.0%以下
全塩素(%)		0.3%以下

ニュース・スポット

関係団体の動き

国交省・汚泥由来肥料「旨み」を科学的実証

編集委員会事務局

キーワード：汚泥堆肥、肥沃度、トマト

国土交通省下水道部は、下水汚泥由来肥料栽培の科学的根拠等の確立を目的に、建設技術研究所（CTI）などに、下水汚泥由来肥料を用いた作物の試験栽培を委託している。

下水道資源を用いて栽培された作物は「旨みが増した」と好評だが、科学的根拠を示すことで、下水汚泥由来肥料のさらなる普及拡大につなげることがねらい。

1月21日には関係者による現地視察が、CTIグ

ループの新規事業開発を担うCTIフロンティアが保有する農場（久喜市）で行われた。

試験栽培は土壌量に対して1%の下水汚泥堆肥（鶴岡コンポスト）を施肥した農地と化学肥料のみを施肥した農地でニンジン、カブの2品目の作物を栽培し、土壌の状況や作物の収穫量・味等の比較を行うもの。

その結果、ニンジンは化学肥料と比較し、収量は増加、味はほぼ同程度、カブは現在分析中となった。土壌については、下水汚泥由来肥料で微生物が活性化し、肥沃度を高める効果が見られた。

このほか、下水汚泥由来肥料で栽培したトマトについての分析を日本下水道協会とともに日本土壌協会に委託して実施している（平成26年度～）。白井市内の畑で行われている栽培試験では、佐賀市下水浄化センター製の下水汚泥由来肥料と化学肥料を用いて栽培したトマトの収量、食味成分（リコピン、糖分、クエン酸など）を比較分析。今年度は下水汚泥由来肥料栽培トマトがより赤くなる傾向が見られたと言う。



農場での現地視察の様様

ニュース・スポット

関係団体の動き

汚泥由来肥料 観葉植物と`好相性、

編集委員会事務局

キーワード：花卉、pH、有機態窒素

下水汚泥から精製した肥料・堆肥で、花卉を栽培・生産する東京都東久留米市・秋田緑花農園の秋田茂良代表が育てた「ヒューケラ」（ユキノシタ科）が、園芸業界から注目を集めている。

秋田代表は、下水汚泥を主とする発酵肥料を用いてヒューケラを栽培。葉の彩りが優れ、葉のサイズが通常より大きく枚数が多いことに加え、暑さに弱い植物ながらも夏越しで栽培できたことから、生花店の高い評価を得た。2月16日には、秋田代表が国土交通省下水道部を訪れ、同部にヒューケラを寄贈するとともに同部の加藤裕之流域管理官（当時）に成果を報告した。

秋田代表は、花の美しさを育む土壌の微生物の特性を長年にわたり研究。植物の特性に応じた微生物の適応について研究する中で、微生物の作用に特長を有する下水汚泥肥料による栽培を手掛けた。栽培を通じた観葉植物との「相性の良さ」を強調し、有機態窒素が作用して定常的に栄養分を供給できる特性が観葉植物に求められる「みずみずしさ」を育むと分析。

また、園芸分野での用途拡大に期待を示し「汚泥肥料の pH 値の高さに適応する植物選定が課題。植物に応じた微生物の配合レシピが多様化すれば、活用の可能性はさらに広がる」と指摘。「花が持つ力強さと美しさは、人の心を癒し、生きる活力にもなる。有機物資源の理想の循環を農家レベルでの実現を目指したい」と循環型農業の実現に意気込みを語った。

下水汚泥肥料は食の分野で脚光を浴びてきたが、「美」の分野にも活躍の幅を広げた。加藤管理官は、新たな分野の成果に関心を示し、下水汚泥肥料の多角的な応用と品質向上を図る研究の推進に意欲を見せた。



加藤管理官に寄贈する秋田代表（左）



葉の枚数と彩りが高評価を得たヒューケラ

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す。

つきましては、本誌に広告を掲載して頂きたい、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い合わせ先は、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
- 第155号（平成29年3月発行予定）
第29回下水汚泥の有効利用に関するセミナー特集

汚泥再資源化活動

第 140 回「再生と利用」編集委員会

日 時：平成 28 年 3 月 4 日

場 所：本会中会議室

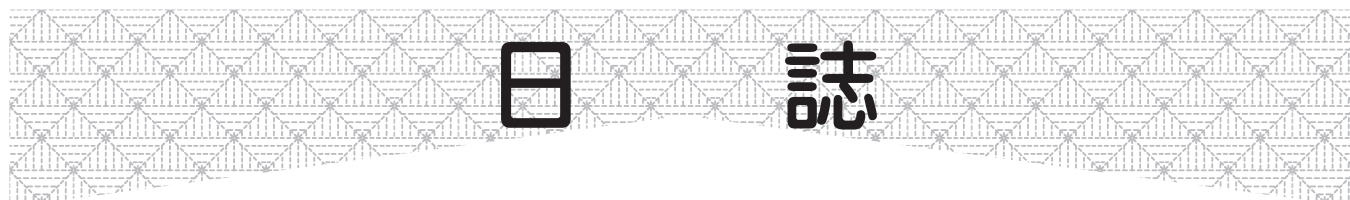
出席者：野池、森田、姫野、島田（正）、落、川崎、
西田、工藤、広武、杉江、福田、三浦（代理）
の各委員

議 題：（１）前回議事概要の確認
（２）第 151 号「再生と利用」編集内容につ
いて
（３）第 152 号「再生と利用」編集方針（案）
について
（４）平成 28 年度計画、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 3 のとおり報告し了承された。
- ② 第 151 号「再生と利用」編集内容について
事務局から資料 4 のとおり報告し了承された。
- ③ 第 152 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
や、B-dash や GAIA 等に関わる投稿依頼への意
見があった。また愛知県の豊川浄化センターにお
ける下水処理水の熱を利用したトマト栽培への投
稿依頼の意見があった。152 号への執筆依頼中の
コンポスト肥料中の合成香料の評価については、
その内容を読者に対し誤解を与えないようするよ
う意見があり、下水道資源（コンポスト、養殖の
餌）等からの病原菌リスクを研究している先生が
いるのか今後模索した方がよいのではないかと
の意見もあった。また下水汚泥系のコンポスト化し
たものが敷料やデントコーンなどで使用されてい
る状況にあるため、今後の動向に注目していくべ
きとの意見もあった。

- ④ 平成 28 年度計画について
事務局から、資料 5 のとおり説明を行った。
農協では下水汚泥コンポストを受け入れるケー
スが少なく、このため N, P, K 以外にミネラルが豊
富であるとか、野菜の日持ちがよいなどもっと
PR すべきとの考えや、トマトの味比べなどの紹
介をしてみてもどうかとの意見があった。
- ④ その他・情報交換について
本誌の論文では PDF 公開時にはカラー化してみ
てはどうかや、下水道協会誌のように現場におけ
る工夫事例を示してみてもどうかとの意見があっ
た。また自治体に対しての送付先はもう少し吟味
してもいいのではないかと意見もあった。



平成 28 年 3 月 4 日

第 140 回「再生と利用」編集委員会

本会中会議室

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）

特 集：「糸満市浄化センターにおける消化ガス高度
利用化への取組み」
「高松市東部処理場における消化ガス発電
事業」
「川田水再生センターにおける消化ガス発
電事業」
「八重田浄化センターにおける消化ガス発
電事業」
「飯南町におけるバイオマス産業都市構想」
「宗像市におけるバイオマス産業都市構想」
研究紹介：「焼却灰からのセシウムの分離」

講 座：「法面緑化の歴史」「本分野での下水汚泥
肥料活用可能性」
「上下水汚泥からの資源回収」
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」
「下水汚泥焼却残渣の汚染土壌浄化工法に
おける分散剤への利用」
報 告：「省エネ型汚泥処理システムの構築の研究」
「第 2 回 IWA コンファレンスの報告」
そ の 他：会報、行事報告、次号予告、関係団体の動
き

編集後記

今年度から本季刊誌の編集を担当することになり、下水道事業に係わる資源の再生や利用についての最新の知見、技術情報に触れられるなど、下水道事業の根幹をなす分野、特に下水処理の最終工程に相当し、この工程が円滑かつ効率的に実施されなければならない分野について改めて考える機会を与えて頂き、大変有難く思っています。他方、読者に適時適切に役立つ情報を発信しなければならない重責もひしひしと感じているところです。

さて、本号は平成28年度における国や各関連団体の研究部署による取組み方針を特集しています。それぞれの部署が下水汚泥資源の利用等に関して1年間どのように取り組むかを示す重要な内容であり、各自治体や他の関係団体にとって参考になる情報と考えています。

また、口絵やニューススポットには「ビストロ下水道」に関する記事を掲載しています。食と下水道の連携強化に向けた取組みを推進するため平成25年8月に結成された「ビストロ下水道推進戦略チーム」の活動等により、この「ビ

ストロ下水道」の名称も全国的に一定程度定着しているように感じています。併せて、地道な継続した活動により徐々に下水汚泥の農業利用に係わる人々の輪がさらに広がりをを見せているのではないかと思います。この度、この活動の一環として下水道展に合わせ7月28日（木）午後に「ビストロ下水道シンポジウム」を開催します。今回は初めての試みとして佐賀市長による基調講演を始め、行政だけでなく農業利用に係わる流通団体、肥料メーカー、農業者など一連の方々による講演を予定しています。行政の視点に加え、ユーザーの視点からの意見や考えを聞く貴重な機会ですので、日頃利用を促進する際に課題をお持ちの方や今後利用を検討される方など多くの方々に参考にして頂けるよう、皆さまのご来場をお待ちしております。さらに、12月に秋田県においてチームの定例会合を予定しており、様々なユーザーの方々との意見交換を行い、役立つ情報を収集しその模様を改めて情報発信したいと考えておりますので、乞うご期待下さい。（HM）

「再生と利用」編集委員会委員名簿

		(順不同・敬称略) (28.5.31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	島田正夫
〃	(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)日本土壌協会参与土壌部長兼広報部長	仲谷紀男
〃	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	工藤守之
〃	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
〃	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. 152 (2016)

平成28年7月31日 発行
(平成27年第4)

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
(内神田すいすいビル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

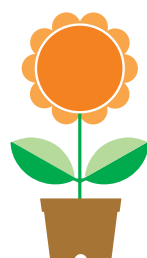
- 第 4 節 下水汚泥エネルギー化
 - I 下水汚泥を原料とするエネルギーの基本事項
 - II エネルギー化技術の適用事例
 - III マーケティングの充実に向けての課題と対応策
 - 第 4 章 総合的な評価と見直しの考え方
 - 第 1 節 評価の基本的な考え方と評価手法
 - 第 2 節 見直しによる改善・更新等に当たっての考え方
- CD-ROM の添付内容 (目次)
- 1. 下水汚泥・有効利用にかかる主な各種法令一覧
 - 2. 公共事業における利用促進の具体事例 (マニュアル記載以外の事業実施事例)
 - 3. 汚泥有効利用促進に関する診断チェックシート

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