

再生と利用

2015 Vol. 39

No. 148

主要目次

- 口絵** 置賜広域行政事務組合長井クリーンセンターの紹介
平成 26 年度下水汚泥のリサイクル推進に関する講演会
- 巻頭言** メタン発酵を中心としたバイオマスの利活用 …… 佐々木稔納
- 論説** 下水汚泥焼却灰を原料とするリン酸肥料の特性と肥効 …… 後藤 逸男
微生物燃料電池による廃水からのエネルギー回収と窒素の除去／回収 …… 本山亜友里・廣岡佳弥子・市橋 修
- 特別寄稿** 下水道事業の経営健全化と PFI/PPP 手法の活用 …… 山口 直也
- 特集** 平成 27 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の解説
- 解説** 平成 27 年度の下水道事業予算について …… 武田正太郎
農林水産省におけるバイオマスの総合的な利用推進について …… 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 …… 南山 瑞彦
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** 指標微生物の DNA 情報に基づいたメタン発酵装置の性能低下予測 …… 中崎 清彦
- Q&A** 汚泥処理の凝集剤について …… 冠城 敏之
- 現場からの声** 農家から高い評判の下水汚泥コンポストー北海道のコンポスト工場を訪ねてー …… 島田 正夫
- 文献紹介** 鉱山開発によって酸性化した土壌を改善し植物栽培を可能とするための安定処理化した都市下水汚泥の施用 …… 杉山 恵
- 講座** 講座「廃棄物系バイオマスやエネルギー系作物バイオマスの利活用について」の開設にあたって …… 編集委員会事務局
- 特別報告** 「汚泥の回収、再生利用、処理及び廃棄」の国際規格化～ISO/TC275 の活動状況と日本の対応～ …… 辻 幸志
国際土壌年についてー持続可能な農地管理への寄与ー …… 川崎 晃
- 投稿報告** 今治市下水浄化センターにおける収益のでるガス発電の検討 …… 渡部 栄治
沖縄県流域下水道におけるバイオマス発電事業について …… 谷成 圭一
豊前市における下水処理場からのリン回収の試みについて …… 飯塚 淳・谷内 英仁
- コラム** 農家がエネルギーもつくる時代を目指して …… 大津 愛梨
- 報告** 札幌市における下水熱エネルギーの活用（雪対策）… 岩本 英規
下水汚泥有効利用促進マニュアルー持続可能な下水汚泥の有効利用を目指してーの発刊（その 1. 共通編） …… 前田 明徳・高橋 幸彦
- ニュースポット** 地域バイオマスを用いたバイオガス化実証事業 …… 天海 泰成
- 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

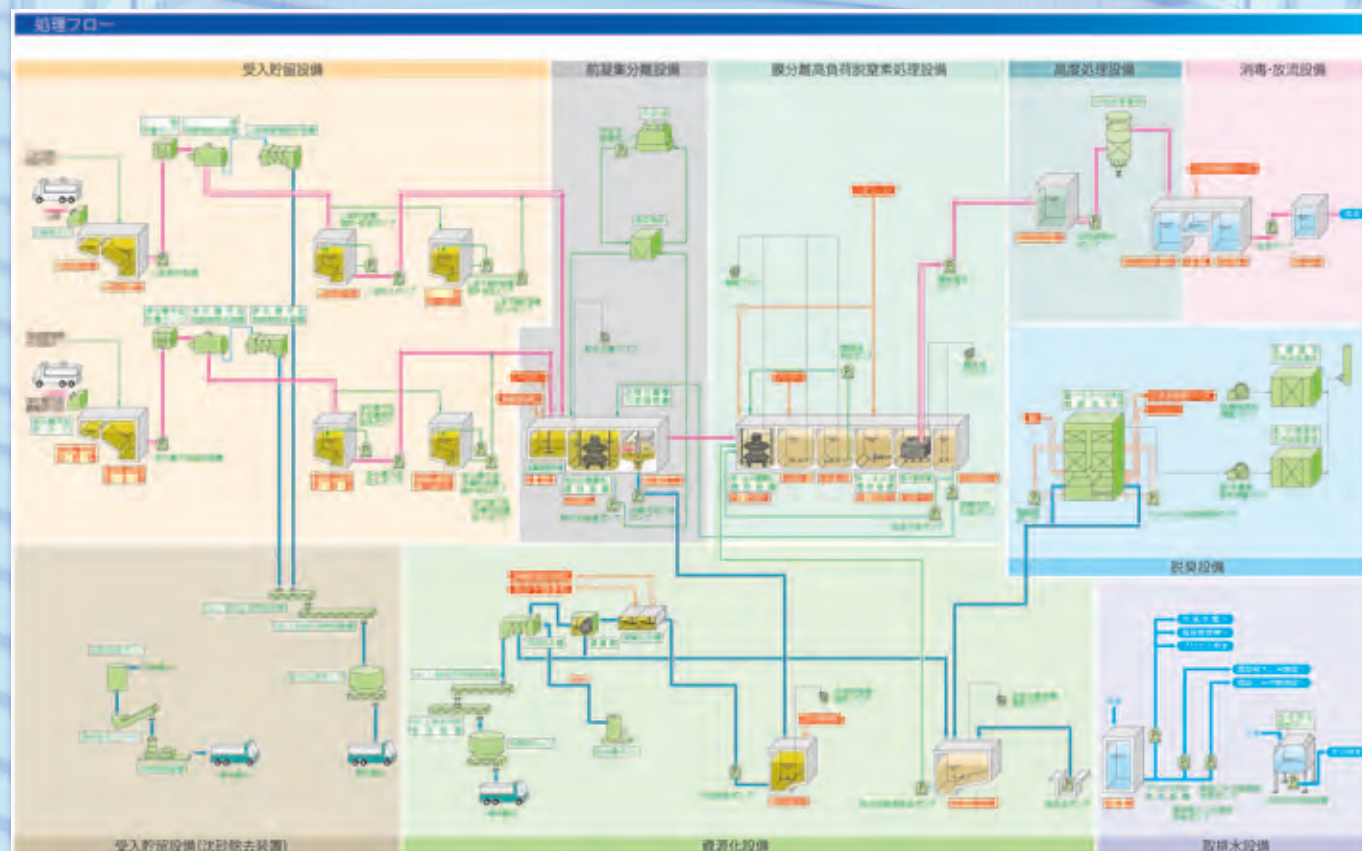
置賜広域行政事務組合 長井クリーンセンターの紹介

置賜広域行政事務組合は山形県南部の置賜 3 市 5 町から構成される一部事務組合で、圏域から発生する一般廃棄物（ごみ及びし尿等）の処理を行っており、し尿処理施設は圏域内に 3 施設あり、このうち長井市、白鷹町、飯豊町及び小国町を処理区域とする長井クリーンセンターし尿処理施設が老朽化していることから、国の循環型社会形成推進交付金を活用し汚泥再生処理施設として新たに更新しました。

処理方式は、浄化槽汚泥が増大する傾向にあることから、浄化槽汚泥比率の高いし尿処理に適した浄化槽汚泥対応型膜分離高負荷脱窒素方式とし、処理の過程で発生する脱水汚泥は脱水機によって含水率 70%以下に処理され、本組合焼却施設の助燃剤としてリサイクルしています。

施設の処理能力は 1 日あたり 65kl で処理水は活性炭により高度処理し、河川放流しています。

また、本施設は環境に配慮した処理施設であり、ハイブリット照明やソーラーパネルを用いた太陽光発電を行い機器の電源として利用しており、脱臭設備は臭気に合わせた高濃度、中濃度及び低濃度の臭気を処理する高度な設備機器を屋内に設置し、臭気を外部に出さない仕組みで、騒音・振動の少ない周辺環境に配慮した最新の設備となっています。



施設外観



汚泥資源化設備

<設計諸元>

処理方式：浄化槽汚泥対応型膜分離高負荷脱窒素方式＋高度処理
 資源化方式：助燃剤化
 処理能力：65kl／日（し尿 24kl、浄化槽汚泥 31kl、農業集落排水汚泥 10kl）

平成26年度 下水汚泥のリサイクル推進に関する講演会

青少年総合センター センター棟 平成27年1月29日

日本下水道協会では、毎年各関連団体の取組や最新技術の動向などの情報を収集し、様々な形で発信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。

その中で、本年1月に「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、下水汚泥資源からのリンの有効利用やエネルギー化技術等の取組について講演いただきました。



講師陣



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

安陪 達哉 氏

「下水道資源利用の現状と推進に
向けた取組」



東京農業大学応用生物科学部生物応用化学学科教授

後藤 逸男 氏

テーマ「下水汚泥焼却灰を原料とする
リン酸肥料の特性と肥効」



栃木県県土整備部都市整備課下水道室
下水道整備チーム係長

町田 浩章 氏

テーマ「栃木県における固定価格買取制度
を利用した消化ガス発電事業について」



北九州市上下水道局下水道部施設課計画係長

岡島 昭男 氏

テーマ「北九州市における下水汚泥
資源化の取り組みについて」

口絵

置賜広域行政事務組合長井クリーンセンターの紹介
平成 26 年度下水汚泥のリサイクル推進に関する講演会

巻頭言

メタン発酵を中心としたバイオマスの利活用 …………… 佐々木稔納 …… (5)

論説

下水汚泥焼却灰を原料とするリン酸肥料の特性と肥効 …………… 後藤 逸男 …… (6)
微生物燃料電池による廃水からのエネルギー回収と窒素の除去／回収
…………… 本山亜友里・廣岡佳弥子・市橋 修 …… (16)

特別寄稿

下水道事業の経営健全化と PFI/PPP 手法の活用 …………… 山口 直也 …… (22)

特集 平成 27 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の解説

解説

平成 27 年度の下水道事業予算について …………… 武田正太郎 …… (31)
農林水産省におけるバイオマスの総合的な利用推進について …………… 梶原 義範 …… (35)
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 …… (39)
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 …… 南山 瑞彦 …… (45)
資源循環研究部における技術開発について …………… 石田 貴 …… (48)

研究紹介

指標微生物の DNA 情報に基づいたメタン発酵装置の性能低下予測 …………… 中崎 清彦 …… (51)

Q & A

汚泥処理の凝集剤について …………… 冠城 敏之 …… (56)

現場からの声

農家から高い評判の下水汚泥コンポスター北海道のコンポスト工場を訪ねてー …… 島田 正夫 …… (57)

文献紹介

- 鉱山開発によって酸性化した土壌を改善し植物栽培を可能とするための安定処理化した都市下水汚泥の施用
..... 杉山 恵 (60)

講座

- 講座「廃棄物系バイオマスやエネルギー系作物バイオマスの利活用について」の開設にあたって
..... 編集委員会事務局 (61)

特別報告

- 「汚泥の回収、再生利用、処理及び廃棄」の国際規格化～ ISO/TC275 の活動状況と日本の対応～
..... 辻 幸志 (64)
- 国際土壌年について－持続可能な農地管理への寄与－ 川崎 晃 (69)

投稿報告

- 今治市下水浄化センターにおける収益のでるガス発電の検討 渡部 栄治 (73)
- 沖縄県流域下水道におけるバイオマス発電事業について 谷成 圭一 (81)
- 豊前市における下水処理場からのリン回収の試みについて 飯塚 淳・谷内 英仁 (85)

コラム

- 農家がエネルギーもつくる時代を目指して 大津 愛梨 (89)

報告

- 札幌市における下水熱エネルギーの活用（雪対策） 岩本 英規 (90)
- 下水汚泥有効利用促進マニュアルー持続可能な下水汚泥の有効利用を目指してーの発刊（その1．共通編）
..... 前田 明德・高橋 幸彦 (93)

ニュース・スポット

- 地域バイオマスを用いたバイオガス化実証事業 天海 泰成 (100)

資料

- おしらせ（投稿のご案内、広告掲載申込） (103)
- 汚泥再資源化活動 (106)
- 日誌・次号予告 (108)
- 編集後記・編集委員会委員名簿 (109)

※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

メタン発酵を中心とした バイオマスの利活用

京都府南丹市長
佐々木 稔納



南丹市は園部町、八木町、日吉町及び美山町の4町が合併して誕生した市で、京都府のほぼ中央に位置し、人口34,000人、総面積616km²と、京都府では京都市に次ぐ広さを有し、緑豊かな自然に恵まれた地域で、森林面積は総面積の88%を占めています。

当市では、平成20年3月にバイオマスタウン構想を公表しましたが、既に平成10年からバイオマスの利活用に取り組んでおり、家畜排せつ物をメタン発酵させ、発生するバイオガスを用いて発電を行う施設として、南丹市八木バイオエコロジーセンターを運営しています。元々は、畜産公害の解決の為に取り組みを開始しましたが、家畜排せつ物をメタン発酵させ、発生するバイオガスを用いて発電を行う大型の施設としては、当時は国内で最初の施設でした。

現在では、2基の消化槽、2基のガスホルダー、そしてバイオガス発電機が6基あり、合計で295kwの発電能力を有し、年間100万kw以上の電力を生み出し、当該施設の電力を賄う他、隣接する下水道処理施設や外部への売電も行っています。家畜排せつ物と併せて、誘致した食品工場からの残渣（おからや豆乳、豆かす、廃牛乳等）を利用した湿式メタン発酵によるバイオマス発電を行っています。また、生ごみについては、乾式のメタン発酵によるバイオマス発電を行っており、当市には、湿式と乾式のメタン発酵施設があります。

南丹市八木バイオエコロジーセンターでは家畜排せつ物等によるメタン発酵処理後の消化液が約20,000t発生しています。約5,000tは液肥として有効活用していますが、全体の約25パーセントに過ぎず、さらに利用を促進する必要があると考えております。液肥の利用拡大を推進する中で、平成21年1月28日に耕種農家、畜産農家、大学教授等の有識者、JA、農業公社、京都府及び当市が参加する南丹市液肥利用協議会を設置しました。協議会の設立以降、様々な立場で普及活動を行い、また、液肥散布計画に基づいた液肥農産物の生育状況や液肥の肥効状況などを毎年検討することで、液肥利用は年々増加してきています。液肥、堆肥の利用者を増やし、安心・安全の農産物生産による環境保全型農業を推進していくことが重要であると考えております。

バイオマス資源を利活用した事業は原料、方式、出口等が様々であり、国内での同様の事例が多くありません。そのような中でバイオガス事業の導入推進に向けて、事業者や学識経験者、関係者により、成功事例の普及や技術情報の収集・伝達、課題解決に向けた調査検討、意見交換等を行う全国的組織である「バイオガス事業推進協議会」が平成14年に設立されました。自治体、団体、大学、民間企業等様々な中、南丹市は、協議会の会長を務めさせて頂き、現在まで、関係者の皆さんと共に国内のバイオガス事業の推進を図り、国に対しましても、さまざまな提言をさせて頂いているところです。

当市のメタン発酵施設も15年以上経過し、施設の老朽化が激しく、更新、或いは、新たなバイオマス資源を含めた取り組みを検討しているところです。

その中でも、安定的に供給できるバイオマス資源として下水汚泥のメタン発酵によるガス利用や廃熱利用は、当市の今後のバイオマス資源複合プロジェクトとして大変重要であると考えております。21世紀が「環境の世紀」と言われるように豊かな自然を守り、安全で美しい快適な環境づくりを進めるため、再生可能エネルギーの活用、資源のリサイクルを進め、多種多様な廃棄物を適正に処理することにより、省資源と環境負荷低減が推進される循環型社会の構築に取り組んでいます。今後とも循環型社会のモデルとなるような、バイオマス資源の「再生・利用」の取り組みを更に進めて参りたいと思います。

論 説

下水汚泥焼却灰を原料とする リン酸肥料の特性と肥効

東京農業大学 名誉教授
後藤 逸男

キーワード：下水汚泥焼却灰・農耕地・リン酸肥料・カドミウム・ゼオライト

1. はじめに

植物が生育するには17種類の要素(元素)が必須で、その中でも窒素・リン酸・カリは肥料の三要素と呼ばれる最重要要素である。リン酸はそのひとつで、植物体内では細胞膜成分や遺伝にたずさわる核酸などの構成成分となる。また、呼吸や体内におけるエネルギー伝達に関与する、根の生長を促進し発芽や分けつ、あるいは開花や結実を促進し成熟を早めるなど重要な役割を果たしている。しかし、土壌中には0.1%程度しか含まれていないため、作物栽培では肥料として補給することが必要である。

リン酸肥料は骨粉などの有機質肥料と熔成リン肥(熔リン)や過リン酸石灰(過石)のような化学肥料に大別される。前者は、食品産業で副産される原料から製造されるが、後者は天然鉱物であるリン鉱石に化学的あるいは物理的处理を施して、土壌施用後に作物に吸収されやすいような形態のリン酸に変えた資材である。わが国にはリン鉱石が産出されないため、従来から輸入に依存してきた。1996年まではアメリカのフロリダから大量のリン鉱石を輸入していたが、資源枯渇による輸入制限を受け、その後は中国や中近東に頼ってきた。しかし、世界的なリン鉱石資源の枯渇と中国、インド、ブラジルなどの農業振興に伴う需要増加などの影響で、2008年にはリン鉱石輸入価格の高

騰¹⁾が起こり、わが国の肥料業界に衝撃が走った。

筆者らは1995年ころから下水処理場の脱水分離液と海水を原料とするリン酸マグネシウムアンモニウム(MAP)²⁾、2003年からは下水汚泥焼却灰を原料とする熔成汚泥灰複合肥料のリン酸肥効に関する研究^{3,4)}に携わってきた。どちらも、素晴らしいリン酸肥料であったが、当時は海外から安価なリン鉱石やリン酸肥料が輸入されていたため、肥料業界の関心は低かった。しかし、2008年パニックを契機として、下水や家畜排せつ物などバイオマス資源や製鋼スラグ中のリン酸に大きな関心が集まった。しかし、その後リン鉱石価格の落ち着きやモロッコでの大きなリン鉱石鉱床の発見によるリサイクル意識の低下が懸念される。

リン酸は農業生産に不可欠な肥料成分であるが、一方では水圏に富栄養化をもたらす環境負荷物質でもある。従って、リン鉱石やリン酸肥料の輸入は環境負荷物質の輸入に他ならない。そのような観点から、国内産バイオマス資源中のリン酸リサイクルを国策としてより一層推進すべきである。

2. わが国の農耕地土壌中のリン酸実態

わが国の農耕地面積は約450万haで、その54%を水田が占め、残りが樹園地や牧草地を含めた畑である。水田土壌の大部分は河川流域の沖積地に分布する低地土で、河川上流から運ばれた河川堆積物(非固結堆積

岩)を母材とする土壌である。一方、畑では、火山噴出物(火山灰)を母材とする黒ボク土が大半を占める。これらの農耕地土壌の多くは元来酸性が強く、リン酸肥沃度の低い痩せた土であったが、「土づくり」により自然の土とは全く変わってしまっている。図1は、長野県南佐久郡の未耕地と野菜畑、茨城県のキュウリハウス、それに埼玉県内の米麦地帯の水田土壌の土壌診断図(レーダーチャート)である。

作物が正常に生育するには、各成分の測定値がレーダーチャートの下限値から上限値の範囲内に収まることが望ましい。未耕地土壌では、交換性カリウムを除く成分が下限値以下で、特に低pH(H₂O)、交換性カルシウム・マグネシウムと可給態リン酸の欠乏が目立つ。可給態リン酸とは、土壌にpH3の希薄硫酸を処

理して溶出するリン酸で、通常下限値が10mg/100g、上限値が100mg/100gに設定されている。図1の未耕地土壌ではその可給態リン酸が皆無に近い。それに対して、未耕地に隣接する野菜畑の土壌では、未耕地土壌とは一変して、pH(H₂O)が7.8にまで上昇し、その他の成分も適正域あるいは上限超えとなっている。可給態リン酸は67mg/100gで、上限値内ではあるが、この畑の土壌がリン酸の効きにくい黒ボク土であることを考慮すると、もはや過剰域と見なしてよい。次に、茨城県内のキュウリハウスの土壌は一見ただけで、極めていびつな養分状態であることがわかる。pH(H₂O)が4.8と異常に低く、可給態リン酸が約700mg/100gに達している。pH(H₂O)が異常に低下した原因は土壌中に大量の硝酸イオンが蓄積している

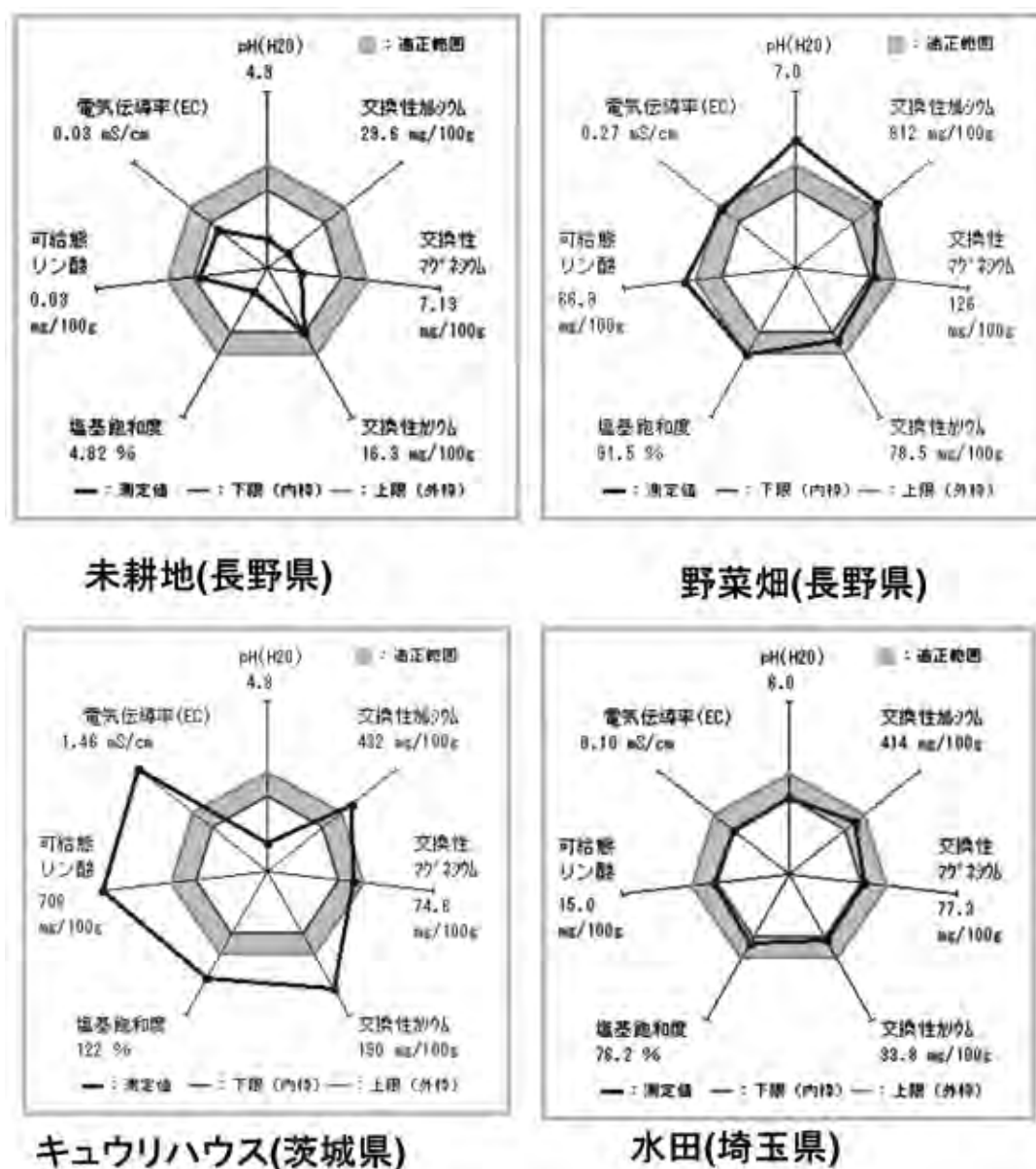


図1 わが国の農耕地土壌の土壌診断図事例

図中の下限、上限は、地力増進法による畑土壌の改善目標値に準拠して設定

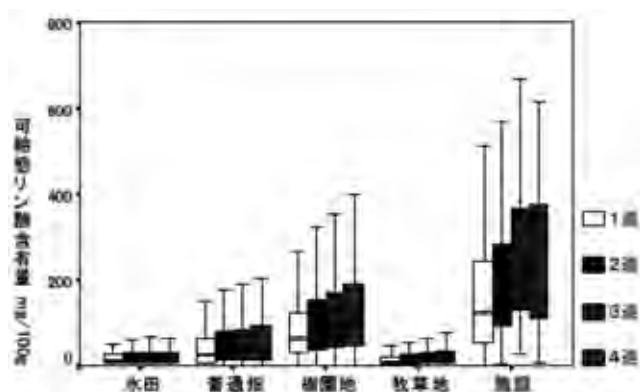


図2 地目別可給態リン酸量の経時変化
(土壌環境基礎調査結果より、農水省農産振興課)

ためである。

このように本来わが国の土壌は痩せているが、農耕地土壌では長年続けられてきた「土づくり」により、野菜や花卉の露地畑あるいはハウスでは土壌養分が過剰蓄積し、いわば「土のメタボ化」が進行している。養分過剰が最も顕著な成分がリン酸である。ただし、農耕地の全てがメタボ化しているわけではなく、水稲単作地域あるいは図1のような米麦地域（水稲の裏作に麦を作付ける地域）の水田では、やせ気味ではあるが、土壌養分バランスのとれた養分状態にある。図2は農水省が1979年から20年間をかけてわが国の農耕地土壌の実態を調査した土壌環境基礎調査結果⁵⁾の可給態リン酸に関する地目別変遷図である。この図からも地目による可給態リン酸の局在化が明らかである。

3. 今後日本農業に不可欠なリン酸資源

図2のようにすでに1970年代からハウスや樹園地での土壌リン酸蓄積実態が明らかになっているにもかかわらず、従来通りのリン酸施用を続けている農家が多い。その理由は、わが国の土壌はリン酸が効きにくいとの固定概念と土壌中のリン酸が過剰になっても作物に過剰害が出にくいためである。しかし、筆者らの研究により、土壌中にリン酸が蓄積するとアブラナ科野菜根こぶ病、ウリ科ホモプシス根腐病などの土壌病害の発生が助長される^{6,7)}ことが明らかになった。また、リン酸が蓄積した農耕地の作土が土壌浸食や風食により河川・湖沼・海に流出すれば、環境負荷にも繋がる。従って、リン酸が過剰化した農耕地では、リン酸の施用量削減あるいは施用中止を啓発すべきである。

このような状況では、下水汚泥焼却灰を原料とするリン酸肥料の用途があるのかと、心配する読者も多いと思われる。しかし、図3のように、わが国の農耕地面積約450万haの内、今後もリン酸肥料を必要とする水田が54%を占める。また、全ての畑がリン酸

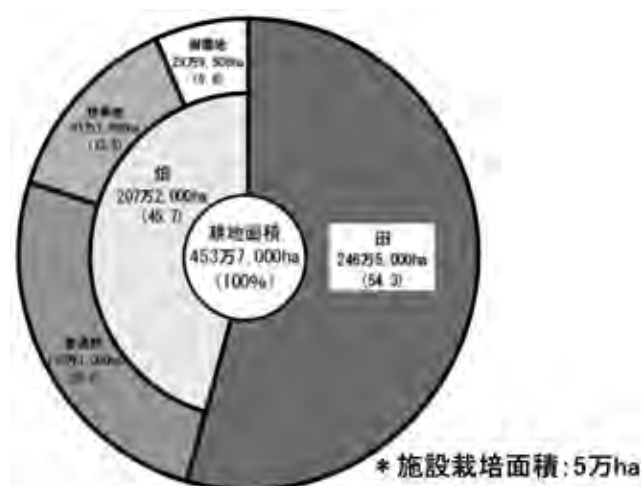


図3 わが国の農耕地面積とその割合
(資料：農水省統計データ2013)

過剰というわけではなくリン酸施用を必要とする畑地も少なくない。リン酸過剰が顕著なハウス面積は約5万haで全農耕地の約1%に過ぎない。すなわち、リン酸は、今後もわが国の農業にとって不可欠な肥料資源である。

4. 下水からのリサイクルリン酸肥料の肥効

下水からリン酸を回収する技術についてはすでに多くの手法が開発されている^{8,9)}。それらの中でリン酸マグネシウムアンモニウム(MAP)とリン酸カルシウム、それに下水汚泥炭化物がリン酸肥料あるいは土壌改良資材として実用化されている。また、実用化には至っていないが、すでに肥料取締法の公定規格が設けられている肥料として熔成汚泥灰複合肥料(エコリン)がある。これらのリサイクルリン酸肥料の肥効に関して、肥料毎には詳細なデータが紹介されているが、各肥料を同一条件で比較したデータは少ない。

そこで、上記肥料の他に、鶏ふんと茶殻の燃焼灰(鶏ふん灰・茶灰)および既存のリン酸肥料である熔リンあるいは過石のリン酸肥効をポット栽培試験により比較した。供試土壌として、リン酸肥沃度が極端に低い多腐植質黒ボク土(栃木県鹿沼市の山林から採取)、供試作物にはヒロシマナと水稲を用いた。ただし、水稲の栽培試験では資材の都合でMAPを供試しなかった。

各肥料の化学組成を表1(多量要素)、表2(微量元素)に示す。なお、ク溶性リン酸とは、2%クエン酸に溶出するリン酸で肥効の指標とされる。汚泥炭と茶灰のリン酸含有率は10%程度でク溶率(全リン酸に占めるク溶性リン酸の割合)は茶灰では66%であったが、汚泥炭では21%と低かった。他の肥料は何れもリン酸含有率が20%程度以上と高く、ク溶率も

表 1 供試肥料の化学性（多量要素）

資材名	P ₂ O ₅		K ₂ O	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂
	全	ク溶性					
	%						
エコリン	18.9	18.9	2.62	26.9	17.2	7.50	19.5
リン酸Ca	26.3	24.1	0.00	49.1	0.55	1.82	—
MAP	27.5	27.5	0.08	0.28	12.3	0.02	—
汚泥炭	12.1	2.55	0.42	3.45	0.85	4.45	11.3
鶏糞灰	17.4	15.5	10.3	54.2	5.30	0.81	5.10
茶灰	11.3	7.50	7.08	6.65	2.48	29.5	28.2
熔リン	20.4	20.2	0.39	28.8	15.3	0.92	27.0
過石	19.7	18.9	0.07	28.1	0.23	1.63	—

表 2 供試肥料の化学性（微量元素）

試験区	Cr	Cu	Zn	As	Cd	Pb
	mg/kg					
エコリン	2.00	33.6	105	0.51	0.02	3.31
リン酸Ca	4.70	15.6	40.2	12.2	1.97	15.0
MAP	0.26	1.23	2.05	0.45	0.00	0.19
汚泥炭	113	463	1331	4.99	0.16	69.1
鶏糞灰	20.0	154	737	2.83	0.39	1.74
茶灰	15.9	367	3698	5.81	0.98	33.5
過石	26.0	6.40	78.1	0.75	2.26	1.87
熔リン	893	5.92	70.8	3.96	0.04	1.88

90%程度以上であった。リサイクルリン酸肥料を利用する上で懸念されるカドミウム含有量については、リン酸カルシウムが約 2mg/kg であったが、肥料取締法で定める基準値（5mg/kg）以下で、既存肥料の過石より低かった。なお、過石中のカドミウムは原料であるリン鉱石に由来する。

ヒロシマナと水稻のポット栽培試験結果を写真 1 に示す。なお、この試験では各試験区毎にリン酸肥料を 1/5000a ワグネルポット当たり P₂O₅ として 1.0g、窒素、カリウムなど他の肥料については全ての試験区で同量施用した。リン酸肥料のみを施用していない無リン酸区では、ほとんど生育しなかったが、リン酸資材施用区では汚泥炭と茶灰を除いて、明瞭な施用効果が認められた。図 4 には、ヒロシマナ地上部の乾物生育量とリン酸吸収量を示す。生育量、リン酸吸収量共にリ

ン酸カルシウムと MAP それに鶏ふん灰は過石あるいは熔リンと同等あるいはそれ以上の肥効を呈した。熔成汚泥灰複合肥料については、明らかなリン酸肥効は認められたが、過石・熔リンにはおよばなかった。汚泥炭はリン酸吸収量が皆無に等しく、リン酸肥料としての肥効は認められなかった。茶灰の肥効は鶏ふん灰などの 1/3 程度に過ぎなかった。

次に、ヒロシマナと同一土壌を用いた水稻栽培試験におけるリン酸とケイ酸吸収量を図 5 に示す。なおこの試験では、各資材のリン酸施用量を P₂O₅ としてポット当たり 2g 施用した。水稻の生育は無リン酸区と汚泥炭を除いて良好で、外観的には顕著な区間差は見られなかったが、リン酸吸収量を比較すると、リサイクルリン酸肥料間では熔成汚泥灰複合肥料が最も良好で、過石、熔リンと同等であった。ヒロシマナではリ

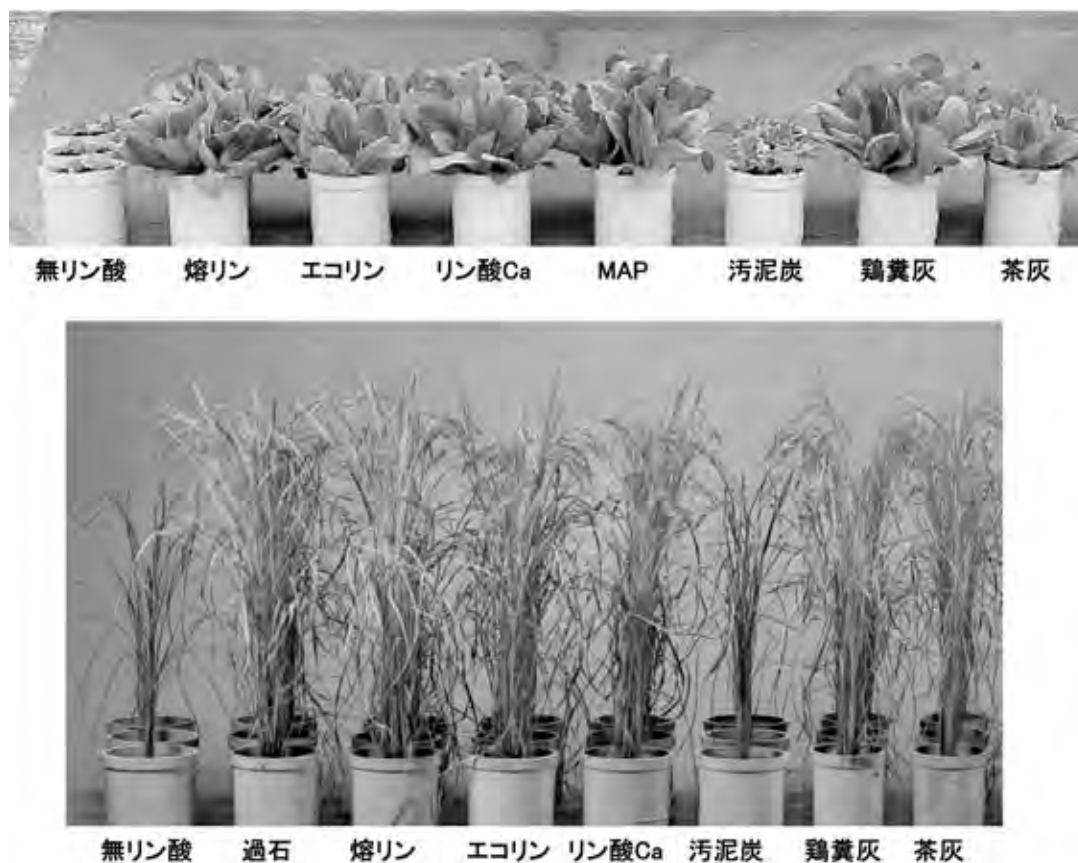


写真1 リサイクルリン酸肥料のヒロシマナと水稻に対する肥効

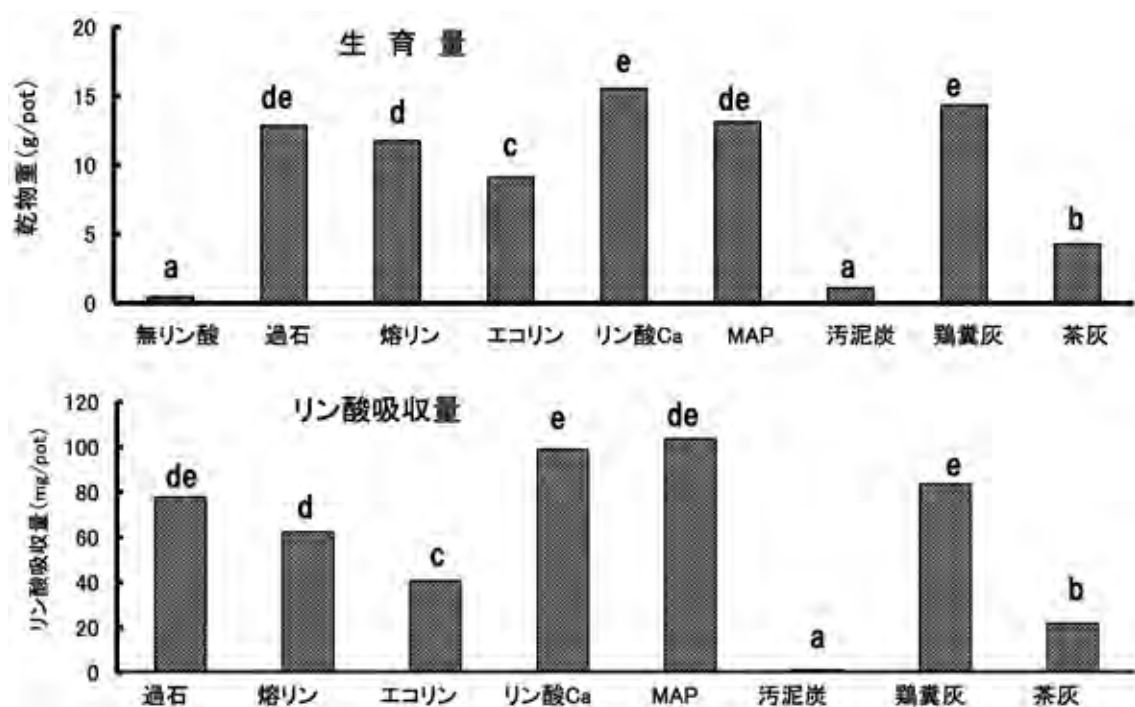
同一アルファベット間に有意差なし Tukey 法 ($\alpha=0.05$, $n=3$)

図4 ヒロシマナの生育量およびリン酸吸収量の比較

ン酸カルシウムが最も高い肥効を示したが、水稻では
 熔成汚泥灰複合肥料によらず、鶏ふん灰と同等で
 あった。ヒロシマナでは肥効の低かった茶灰がリン酸

カルシウム、鶏ふん灰と同等であった。汚泥炭のリン
 酸肥効はヒロシマナと同じように低く、リン酸肥料と
 しての効果は認められなかった。水稻では、ケイ酸が

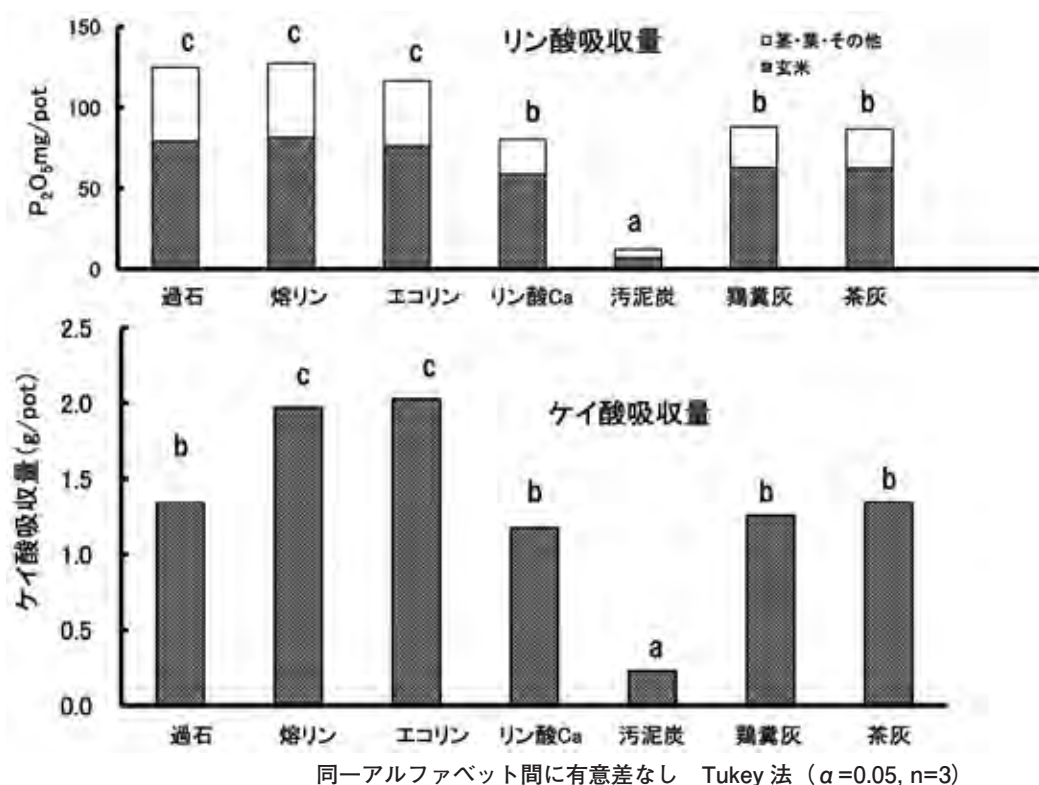


図5 水稻のリン酸およびケイ酸吸収量の比較

有用要素として重要である。ケイ酸吸収量は熔リンと熔成汚泥灰複合肥料が優り、汚泥炭を除く4肥料間では同等であった。

以上のように、リサイクルリン酸肥料の肥効は畑で栽培するヒロシマナと湛水した水田で栽培する水稻で著しく異なることがわかる。茶灰はヒロシマナであまり効かなかったが、水稻ではリン酸カルシウムと同等であった。その原因は茶灰中のリン酸がアルミニウムあるいは鉄と結合しているためと思われる。すなわち、畑土壤中ではこれらのリン酸が野菜には吸収されにくい、水稻では野菜より吸収されやすい。また、還元雰囲気の水田土壤中では鉄が還元されるためリン酸鉄の溶解度が増すことも影響していると考えられる。汚泥炭については、すでにリン酸の肥効が高い資材が焼成汚泥肥料として登録されている¹⁰⁾。汚泥炭のリン酸肥料としての肥効はその処理温度により著しく異なり、500℃程度で炭化処理ではリン酸が有効化するのに対して、本試験で供試したような800℃程度の高温炭化処理ではリン酸の肥効が消失する。ただし、カドミウムが含まれている汚泥炭では、高温処理した方が植物への移行が抑制される。従って、炭化処理に際してカドミウムなどの有害元素含有量の少ない下水汚泥では低温処理によりリン酸肥料として、有害元素が多い場合には高温処理して保水性の改善など土壌改良資材として有効利用することが望ましい。

次に、すでに岐阜市や鳥取市で実用化されているリ

ン酸カルシウムと2004年に公定規格は設定済みであるが、実用化には至っていない熔成汚泥灰複合肥料を比べてみよう。リン酸カルシウムは下水污泥焼却灰から灰アルカリ抽出法によりリン酸を分離した資材で、主成分のリン酸カルシウム以外の成分はごく少量に過ぎない。一方、熔成汚泥灰複合肥料は下水污泥焼却灰にアルカリを添加して1,400℃で熔融・水砕したガラス質のスラグで、リン酸の他にさまざまな副成分を含んでいる。ただし、両資材共に処理工程でカドミウムなどの有害元素は除去されている。リン酸の肥効は、ヒロシマナではリン酸カルシウムが、水稻では熔成汚泥灰複合肥料が優った。その原因は、リン酸カルシウムが微細な結晶質であるため、粗粒でガラス質の熔成汚泥灰複合肥料に比べてリン酸が植物に移行しやすいので、ヒロシマナなどの畑作物ではリン酸カルシウムが優った。水田では畑よりリン酸が効きやすいことに加えて、熔成汚泥灰複合肥料には副成分として20%程度のケイ酸が含まれていて水稻には好んで吸収されるためである。このように、両資材には一長一短がある。

図2のように今後リン酸肥料を必要とする農地は水田が中心であると考え、熔成汚泥灰複合肥料の実用化を期待したいところであるが、1,400℃の還元熔融電気炉での製造であるため製造経費が大きな課題となっている。ただし、その課題は熔成汚泥灰複合肥料に限ったことではなく、既存の実用化技術でも同様である。

5. 簡易な方法による下水汚泥焼却灰の肥料化

リン鉱石並みのリン酸を含むにもかかわらず、下水汚泥焼却灰に化学的処理を施して肥料化しなければならない理由が2点ある。そのひとつは、下水汚泥焼却灰中にはカドミウムなどの有害元素が含まれることである。ただし、2010年の国交省の調査によると、全国22自治体から収集した26点の下水汚泥焼却灰中53%が肥料取締法に基づく有害成分（ヒ素・カドミウム・水銀・ニッケル・クロム・鉛）の最大量をクリアし、カドミウムが超過した試料が40%、カドミウム以外の成分が超過した試料は4%であった。この結果



写真2 下水汚泥焼却灰を原料とする新規リン酸資材

から、有害成分含有量が基準値を下回る下水汚泥焼却灰であれば、それらを取り除くための処理を施さなくてもよいのではないかと考えられる。

もう一つの理由は下水汚泥焼却灰中のリン酸の主体が植物に吸収利用されにくいリン酸アルミニウムあるいはリン酸鉄となっているためである。そこで、それらのリン酸化合物を植物に有効なリン酸カルシウムに変える技術が開発されてきた。しかし、いずれも化学処理あるいは加熱などの物理的処理を施すため、プラント製造およびそのランニングに多大な経費を要する。すばらしい技術であるにもかかわらず熔成汚泥灰複合肥料が実用化されていない理由もそこにある。

筆者らこれまでに、微生物分解型緩効性窒素肥料や鶏ふんの窒素肥効をさらに緩効化するため、それらの資材に天然ゼオライトとクエン酸を混合して成型化する技術を開発した¹¹⁾。天然ゼオライトとはわが国に無尽蔵に埋蔵されるケイ酸塩鉱物で、150meq/100g内外の陽イオン交換容量を有している。これに、クエン酸を添加するとゼオライトの陽イオン交換基に交換吸着されている塩基（主にカルシウム）がクエン酸由来の水素イオンと陽イオン交換反応を起こし、固体酸としての性質をもつ酸性ゼオライトとなる。その酸性により土壤中の微生物活性が抑制され窒素の無機化が抑制されるというしくみである。

そこで、この技術を下汚泥焼却灰に使ってみた。モルデナイトを主成分とする福島県伊達郡桑折町の飯坂鉱山産ゼオライトにクエン酸発酵廃液を添加混合（ゼオライトに対してクエン酸として10%）した。こ

表3 G市の下水処理場から発生する下水汚泥焼却灰の化学組成の変動

項 目	全リン酸	ク溶性 リン酸	可溶性 リン酸	水溶性 リン酸	As	Cd	Pb	Hg	Ni	Cr	Cu	Zn
		%				mg/kg						
最小値	9.9	8.1	2.70	0.12	1.4	2.4	1.8	0.0	31.5	74.5	1365	1101
最大値	30.2	13.0	7.40	0.31	106	3.5	51.4	0.0	176	155	3175	1898
平均値	19.1	10.7	4.60	0.22	39.3	2.9	36.7	0.0	77.2	115	2433	1566
変動率(%)	28.1	14.3	29.3	22.7	73.4	10.9	29.8	190	39.7	17.7	16.8	12.1

表4 新規成型資材の化学性

項 目	全リン酸	ク溶性 リン酸	可溶性 リン酸	水溶性 リン酸	As	Cd	Pb
	%				mg/kg		
成型資材	11.3	7.4(65.4)	5.6(49.8)	0.1(0.6)	21.7	1.8	17.9
下水汚泥焼却灰	22.5	12.8(56.9)	9.5(42.2)	2.7(24.0)	43.0	3.6	36.0
汚泥肥料基準値	—	—	—	—	50.0	5.0	100.0

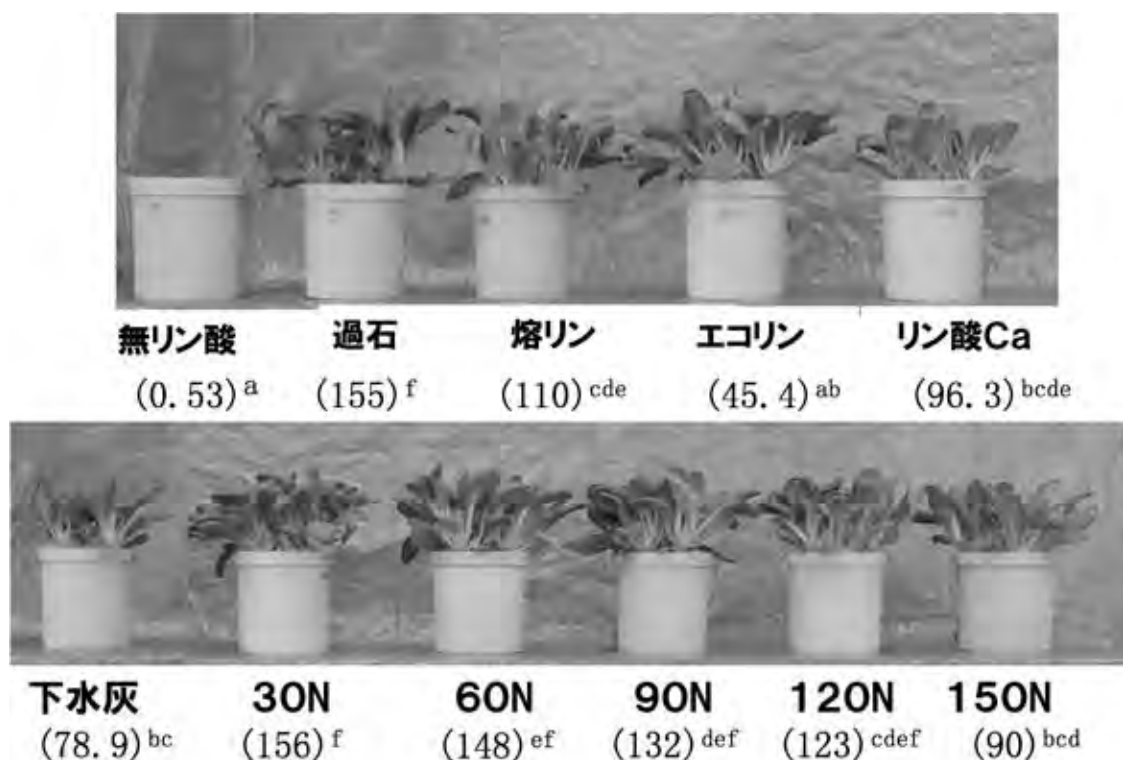
注：() は全リン酸に対する割合

れを乾燥した後に同量の下水汚泥焼却灰と混合し、ディスクペレッターにより、直径3mm、長さ5mmに成型した。この資材の写真を写真2に示す。なお、供試した下水汚泥焼却灰はG市の下水処理場から提供されたもので、2011年7月から約2年間に1ヶ月毎にリン酸と有害成分の分析を行った。その結果、表3のように有害成分含有量は全て基準値を下回っていた。特に、カドミウムは2.4～3.5mg/kg、平均2.9mg/kgであった。また、リン酸含有率は9.9～30.2%、平均19.1%で、その約60%がク溶性であった。

試作した成型資材とその原料とした下水汚泥焼却灰の分析値を表4に示す。酸性ゼオライトの混合により全リン酸含有率は原料灰の約1/2の11.3%となったが、ク溶率と可溶率は上昇した。また、原料灰の水溶性リン酸はわずか0.6%に過ぎなかったが、成型資材では24%に上昇した。一方、カドミウム含有量は希釈効果により1.8mg/kgに半減した。この成型資材をリン酸肥料として、チンゲンサイのポット栽培試験を行った。なお、供試成型資材の成型強度がリン酸肥効に及ぼす影響を調べるため、成型強度を30, 60, 90, 120, 150N（ニュートン）の5水準とした。また、対照肥料として、リン酸カルシウム、熔成汚泥灰複合肥料、過石、熔リンの他に下水汚泥焼却灰（無処理品）を供試した。リン酸施用量はポット当たり0.5g、その

他の条件は前記の栽培試験と同一とした。チンゲンサイの生育状態と生育量を写真3に、リン酸吸収量を図6に示す。試験区間では過石区の生育とリン酸吸収量共に最高であったが、成型資材の30, 60N区ではそれに匹敵し、熔リン区とリン酸カルシウム区を上回った。成型資材の強度が増す、すなわち硬くなるほど肥効が低下したが、150N区でも下水汚泥焼却灰単独区よりは優った。その原因は成型強度が増すほどペレット内部への植物根の伸長が妨げられるためと思われる。なお、本資材の成型作業では60N程度にすることが最も効率的である。熔成汚泥灰複合肥料の肥効は前記のヒロシマナと同様にリン酸カルシウムより劣り、さらに下水汚泥焼却灰単独区と同等以下であった。やはり、熔成汚泥灰複合肥料は畑作用リン酸肥料には向いていない。一方、本試験により成型資材にはおおよばなかったが、下水汚泥焼却灰単独でも明らかなリン酸肥効が認められた。ただし、図7のように、チンゲンサイのカドミウム含有量は成型資材区より高い傾向にあった。成型資材区では、成型強度の違いにかかわらず、下水汚泥焼却灰単独区およびその他の肥料より低かった。なお、無リン酸区のカドミウム含有量が特異的に高かったが、生育が極端に劣ったので、比較の対象とはならない。

以上のように、簡易な方法により既存の実用化肥料



同一アルファベット間に有意差なし Tukey 法 ($\alpha=0.05$, $n=3$)

()内の数値は新鮮重(g)

写真3 新規成型資材のリン酸肥効と成型硬度が肥効に及ぼす影響

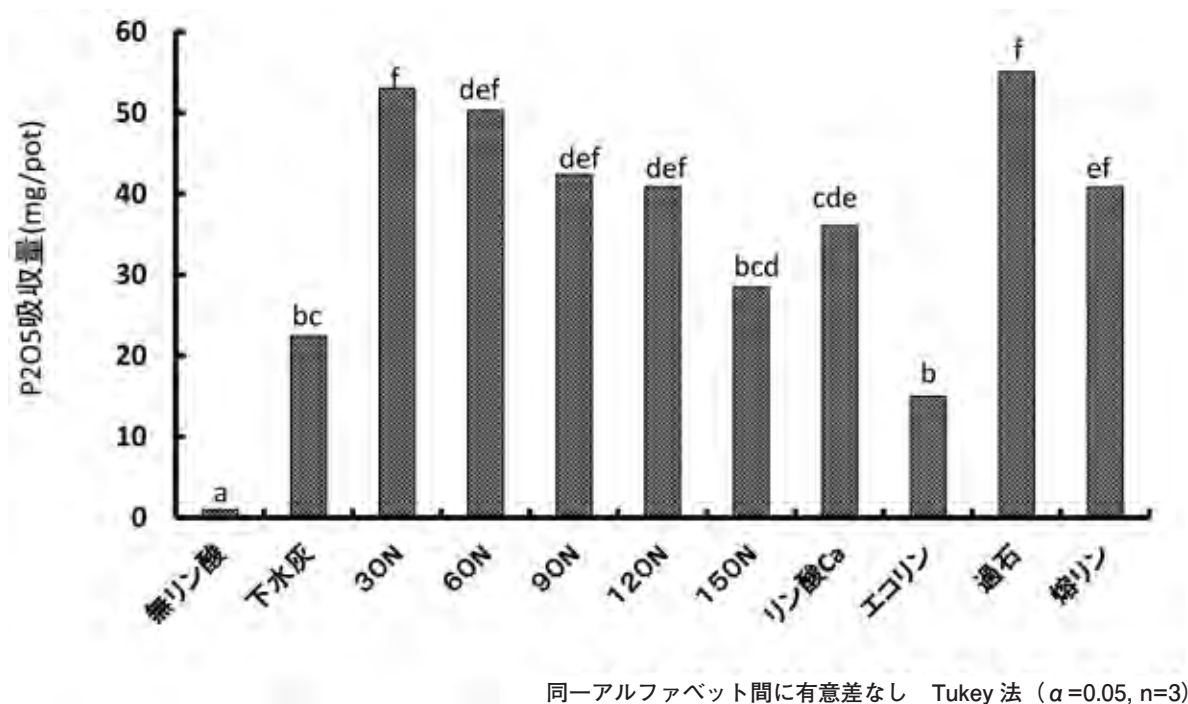


図6 新規成型資材の施用がチンゲンサイのリン酸吸収量に及ぼす影響

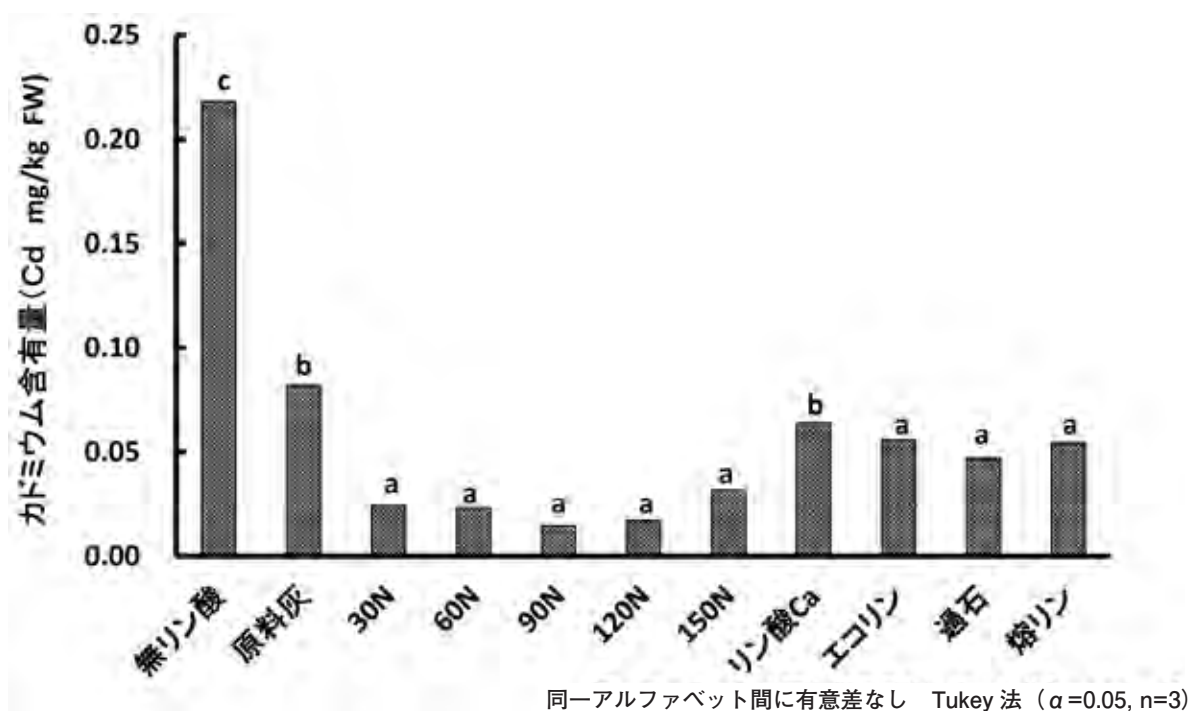


図7 新規成型資材の施用がチンゲンサイのカドミウム含有量に及ぼす影響

に匹敵するリン酸肥効を有する資材が得られた。本資材の肥効メカニズムについては、クエン酸あるいは酸性ゼオライトによりリン酸アルミニウムあるいはリン酸鉄の一部が溶解し、ゼオライト中のカルシウムと反応してリン酸カルシウムを形成したのではないかと推定している。詳細については、不明な点が残る。なお、本資材については、すでに特許申請を済ませているが、今後実用化するには、肥料取締法上の課題が残される。

6. 下水汚泥の農業利用推進に向けて

家畜排せつ物に次いで大量に発生するバイオマス資源である下水汚泥は、貴重な窒素とリン酸肥料資源である。従来、下水汚泥の農業利用といえば堆肥（コンポスト）化が主流であったが、カドミウムなどの有害元素の土壌蓄積が課題とされてきた。下水汚泥堆肥中

のリン酸は主に有機態として存在し植物には吸収されにくい、有機物補給と窒素の肥効が中心となる。しかし、堆肥は完熟化するほど汚泥中の窒素がアンモニアガスとして揮散し、窒素の肥効は低下する。そのため、悪臭を伴わないような完熟下水汚泥堆肥であれば、従来の堆肥代替物として大量に農地施用されてきた。それを長年連用すれば、カドミウムなどの有害成分が土壌蓄積することは当然である。1999 年以降、肥料取締法の改定により下水汚泥堆肥は汚泥肥料という名称の普通肥料として登録されることになったが、利用する場合にも大量施用する「堆肥」ではなく、施用する農地の土壌診断分析結果に基づいて施用量を決定する「肥料」として認識して利用することが望ましい。なお、下水汚泥中の窒素を肥料として活用するには、堆肥化処理ではなく汚泥を乾燥し、成型化することが最善であるが、臭気が課題となる。

次に、下水汚泥焼却灰の利用については、有害成分含有量の少ないものであれば、多大な経費をかけて取り除く必要があるだろうか。また、従来の資源化技術では、下水汚泥焼却灰から純粋なリン酸化合物を取り出すことに重点が置かれてきたが、下水汚泥焼却灰中にはリン酸以外にも植物生育に必須あるいは有用な成分が含まれている。亜鉛がそのひとつである。土壌中の亜鉛には環境管理基準（120mg/kg）が設けられているため、下水汚泥中に多く含まれる亜鉛も有害成分と見なされてきた。しかし、最近では人の亜鉛摂取量不足がアレルギーなどの原因となっていることが明らかになり¹²⁾、亜鉛を微量要素肥料として施用する傾向にある。ケイ素は水稻や麦には有用な元素で、水稻のポット栽培試験ではリン酸カルシウムより熔成汚泥灰複合肥料の肥効が高かった原因ともなっている。すなわち、あまり純粋なリン酸化合物とするのではなく、有用な夾雑物を残した肥料とすることが合理的と思われる。

図 2 のように、わが国でリン酸を必要としている農地は水田が中心である。最近では米需要の減少による米価下落が大きな農業問題となっている。さらに、海外からの農産物輸入増大の危機にさらされている現状においては、肥料代などの農業生産経費をいかに抑制するかが、重要な課題である。下水汚泥焼却灰中の

リン酸を肥料として有効利用するには経費をかけない資材の実用化が望まれる。

最後に、「農地は、下水汚泥の処分場ではない。」を基本理念として、下水汚泥の適切かつ合理的な農業利用の促進を期待したい。

参考文献

- 1) M. Blanco : Supply of and access to key nutrients NPK for fertilizers for feeding the world in 2050. 16p. 2011
- 2) 後藤逸男：下水道施設より回収したリンの利用技術-リン酸質肥料としての利用-、環境技術、27(6)、24-28、1998
- 3) 後藤逸男：熔成汚泥灰複合肥料の肥料効果、環境システム計測制御学会誌、14、23、2009
- 4) 久保山周子、後藤逸男：下水汚泥焼却灰の組成とアルカリ添加量が熔成汚泥灰複合肥料のリン酸の肥効に及ぼす影響、土肥誌、80-2、168-172、2009
- 5) 小原 洋、中井 信：農耕地土壌の可給態リン酸の全国的変動、農耕地土壌の特性変動（Ⅱ）、土肥誌、75、59-67、2004
- 6) 村上圭一、中村文子、後藤逸男：土壌のリン酸過剰とアブラナ科野菜根こぶ病発病の因果関係、土肥誌、75-4、453-457、2004
- 7) 大島宏行、前田良之、後藤逸男（2015）：ホモブシス根腐病の発病に対する土壌の種類、施肥リン酸、土壌 pH の影響、土肥誌、86-2、2、81-88、2015
- 8) 大竹久夫：リン資源の回収と有効利用、サイエンス&テクノロジー（株）、2009
- 9) 菅原 龍江、佐々木 昭仁、佐藤 佳之：下水道汚泥焼却灰等のリン肥料化技術調査、岩手県工業技術センター研究報告、第 17 号、2010
- 10) リン酸肥料原料を確保するための下水汚泥炭化技術に関する共同研究、下水道新技術研究所年報〔1/2 巻〕2006
- 11) 後藤逸男：造粒成形物、特開平 06-271379、1994
- 12) 渡辺和彦：ミネラルの働きと人間の健康、農文協、2011

論 説

微生物燃料電池による廃水からのエネルギー回収と窒素の除去 / 回収

* 岐阜大学大学院 工学研究科
* * 岐阜大学 流域圏科学研究センター

本山 亜友里*、廣岡 佳弥子**、市橋 修**

キーワード：微生物燃料電池、廃水処理、発電、窒素除去、アンモニア回収

1. はじめに

現在、環境問題は地球規模で深刻さを増し、地球温暖化や資源浪費の問題は国家の枠組みを超え、21世紀中に人類が克服すべき最大の課題となっている。この問題に対応するため、我が国でも平成19年6月1日に「21世紀環境立国戦略」が閣議決定され、持続可能な社会を目指すために低炭素社会、循環型社会、自然共生社会づくりの取組みを統合的に進めていく方針が示された。

このことについては、廃水処理も例外ではない。現在の廃水処理は、大量のエネルギー消費と引き換えに達成されており、低炭素化のためにはこれを削減していく必要がある。また、廃水中に含まれる有機物は潜在的にエネルギーを有しており、その量は活性汚泥法による処理に必要な電気エネルギーの9.3倍ともいわれている¹⁾。従って廃水は廃棄物系バイオマスの一種と捉えることもでき、循環型社会の構築のために、エネルギーを回収し活用していくことが求められている。

廃水からのエネルギー回収技術としては、メタン発酵が古くから知られている。メタン発酵は既に実用化されている技術であり、行政の支援のもと普及が進められているが、克服すべき課題もいくつか残されている。そこで、新しい廃水処理技術として期待されてい

るのが微生物燃料電池（Microbial Fuel Cell: MFC）である。MFCは、有機物を分解する際に電子を放出する特殊な微生物を利用し、その放出した電子を外部回路に取り出すことで発電を行う技術である。化学エネルギーを直接電気エネルギーに変換するため、カルノーサイクルの制限を受けることがなく、電気エネルギーを利用する場合の理論エネルギー効率はメタン発酵を上回る。また、理論的には有毒ガスである硫化水素の発生を伴わない、常温で運転可能でありメタン発酵のように加温のために多くのエネルギーを投入する必要がないといった特長がある。

このように多くのメリットを有するMFCであるが、廃水処理として実用化を目指す上では、有機物だけでなく栄養塩も除去できることが望ましい。なぜなら、これらの物質が残存したまま処理水が放流されると、放流先の水域の富栄養化を招くからである。近年、微生物燃料電池を用いて発電と同時にリンや窒素といった栄養塩を除去 / 回収する技術がいくつか提案されるようになってきた。そこで本稿では、MFCを用いた廃水からのエネルギー回収と窒素の除去 / 回収の両立に関する研究について紹介する。

2. 微生物燃料電池とは？

2.1. 微生物燃料電池の構造

MFCの構造には一槽型と二槽型、および底泥型が

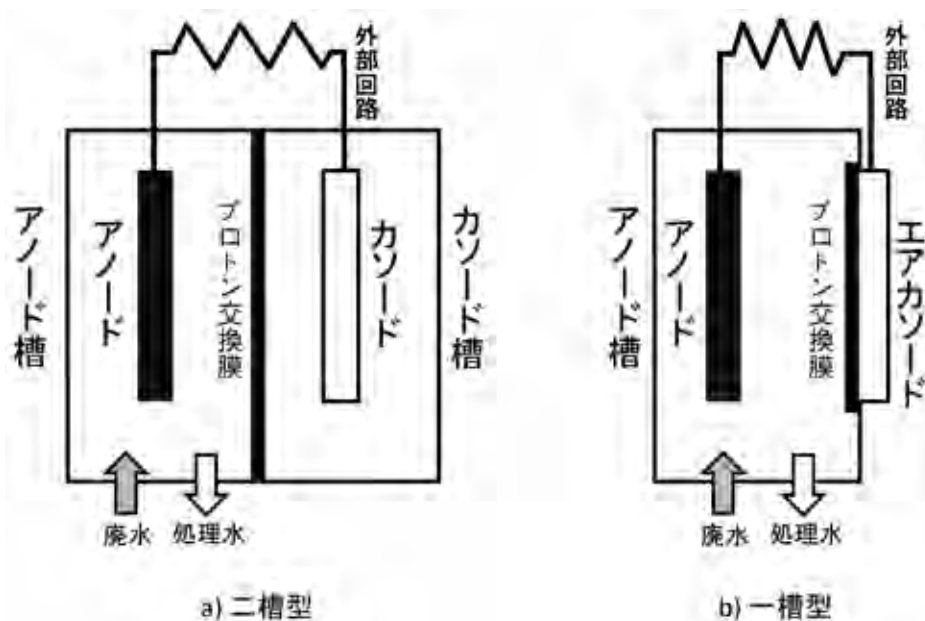


図1 微生物燃料電池の構造

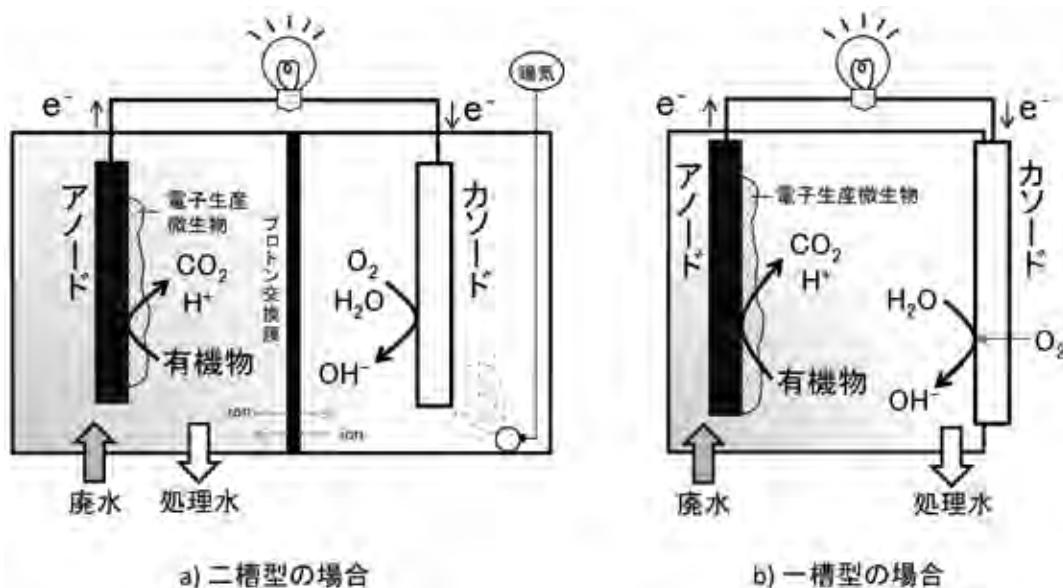


図2 微生物燃料電池における発電の原理

あるが、本稿では一槽型と二槽型のみについて解説する。それぞれの装置の概略を図1に示す。

二槽型（図1a）は負極であるアノード、正極であるカソードがそれぞれアノード槽とカソード槽の中に設置され、2つの水槽はプロトン交換膜または陽イオン交換膜などの膜で仕切られている。アノードとカソードは外部回路で繋がれており、その間には電球などの負荷が接続される。有機性廃水はアノード槽に流入し、ここで有機物の除去が行われる。またカソード槽内には、酸化剤が供給される。酸化剤として酸素が用いられる場合は、カソード槽内は曝気される。

一方、一槽型（図1b）はアノード槽のみで、カソード槽がない。カソードには、水を通さないがガスを透

過する電極（エアカソード）が用いられ、アノード槽の外壁の一部として設置される。一槽型の場合、酸化剤は酸素のみが用いられ、大気中から直接エアカソードに供給される。そのため、二槽型のような曝気は不要となり、さらに曝気よりも効率的な酸素供給が可能となっている。また、膜はアノード槽とエアカソードを隔てる形で設置することができるが、なくてもかまわない。有機物の除去がアノード槽で行われる点、およびアノードとカソードが外部回路で繋がれ負荷が接続される点は二槽型と同様である。

2.2. 微生物燃料電池における発電の原理

発電に至る基本的な原理は、一槽型と二槽型で共通

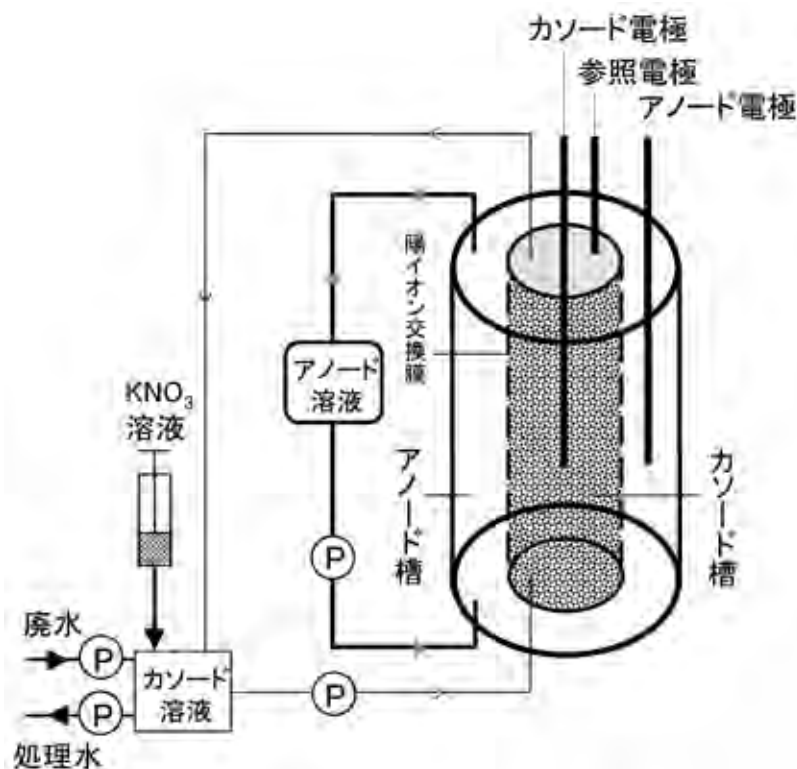
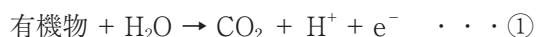
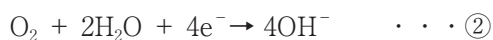


図3 Clauwaert らの二槽型微生物燃料電池の概略図

である（図2）。嫌気状態となっているアノード槽に廃水が流入し、ここで有機物が微生物によって分解され二酸化炭素とプロトン、電子となる。この半反応式を簡単に表すと以下ようになる。



上記の反応を進めるために微生物は電子を体外に放出する必要があり、電子をアノードに渡す。アノードに渡された電子は、外部回路を流れてカソードに到達する。その過程で外部回路上の負荷で仕事をするため、これをエネルギーとして回収できる。一方、カソードに到達した電子は、酸化剤（電子受容体）と反応する。酸化剤としては硝酸、フェリシアン化カリウムや酸化マンガンも使用可能であるが、環境中に豊富に存在し、製造のためのエネルギーを必要としない酸素が利用されることが多い。その場合のカソードでの半反応式は下記の通りとなり、これで一連のMFCの反応が完結する。



上記の酸素還元反応を行わせるために、カソードには白金等の触媒を用いるのが一般的である。また、前述したアノードで働く微生物は、電子生産微生物（Electrogenic microorganisms）と総称される。異化

的金属還元細菌の *Shewanella* 属や *Geobacter* 属がよく知られているが、その他多くの微生物種も報告されている。このような微生物は地球上に普遍的に存在し、海底や河川、湖沼の堆積物や、各種廃水、水田土壌、湿地など主に嫌気的な環境から採取できる。

2.3 微生物燃料電池の発電能力

MFCの発電能力は通常、電極面積あたり（W/m²）、または反応槽体積あたり（W/m³）の発電量で表され、現在世界で最も発電能力の高いもので数 W/m² 程度である。また、MFCを評価する上では、発電能力と同時にクーロン効率も重要である。これは、処理された有機物のうちどの程度が発電に使われたかを表す指標である。この値が低い場合は、電子生産微生物ではなく、メタン菌など他の嫌気性微生物や槽内に漏れこんだ酸素を利用する好気性微生物の働きなどが有機物分解の主役になっていると考えられる。

3. 微生物燃料電池による窒素除去

3.1. 二槽型微生物燃料電池による窒素除去

Clauwaertらは、二槽型のMFCを用いて、エネルギー回収と同時に窒素除去の達成を目指す研究をおこなった²⁾。この装置は2重の円筒からなり、外側の筒がアノード槽、内側の筒がカソード槽である（図3）。この二槽は陽イオン交換膜で隔てられ、両槽の内部に

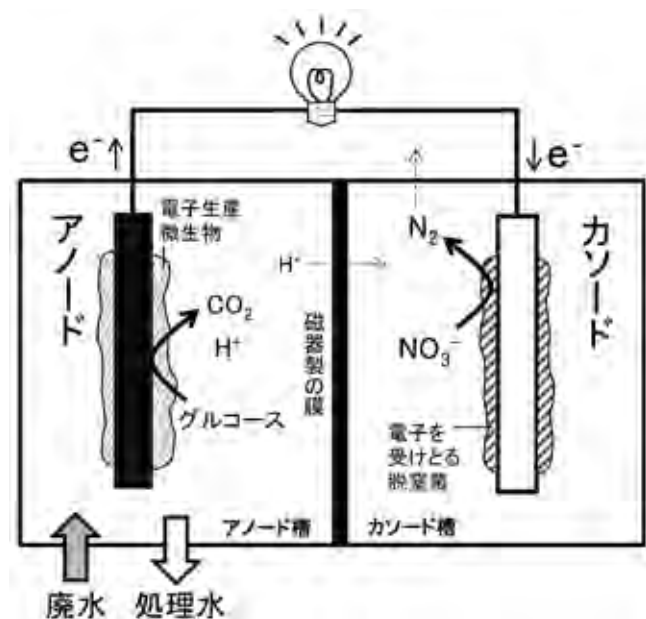


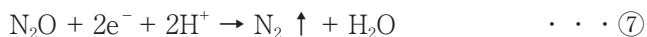
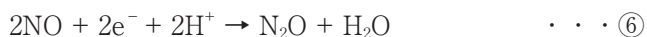
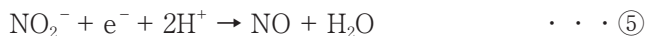
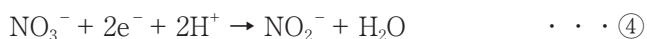
図4 Jia らの二槽型微生物燃料電池の概略図

はグラファイトグラニューールが充填されている。カソード槽は硝酸塩を主成分とする人工廃水、アノード槽は酢酸塩を有機物源とする人工廃水で満たされ、循環式の上向流で運転されている。両人工廃水は、リン酸バッファによって pH7 に調整されている。

この装置による窒素除去の原理は以下の通りである。まず、酢酸がアノード上の電子生産微生物により酸化されることで電子が生じる。



電子は、外部回路を通過してカソードに到達する。カソードでは、電極から電子を受け取ってそれを利用して NO_3^- (硝酸イオン) を還元できる微生物が働き、脱窒が行われる。この反応プロセスは下記の④→⑤→⑥→⑦を経て起こるものと考えられている。



運転の結果、カソード槽体積あたりの窒素除去速度は、最大で $0.146 \text{ kg NO}_3\text{-N} / \text{m}^3 \cdot \text{day}$ (流入負荷 $0.160 \text{ kg NO}_3\text{-N} / \text{m}^3 \cdot \text{day}$) で、このときの発電量 (電力密度) は $4 \text{ W} / \text{m}^3$ であった。また窒素除去を考慮しない場合の、この装置の最大電力密度は $8 \text{ W} / \text{m}^3$ であった。この研究により、二槽型 MFC を用いて、有機物除去及び発電と同時に窒素除去が可能であることが明らかとなった。

また、Jia らは、上記と同じ原理を用いて、形状と運転方式の異なる二槽型 MFC (図4) を運転し、人工廃水からの窒素除去を行った³⁾。カソード槽は硝酸カリウムと炭酸水素カリウムの水溶液からなる人工廃水、アノード槽はグルコースを有機物源とする人工廃水で満たされ、回分式で運転された。カソード槽とアノード槽は磁器製の膜で隔てられていた。MFC を閉回路 (電流が流れる系) と開回路 (電流が流れない系) でそれぞれ運転し、発電量と NO_3^- 減少量が調べられた。その結果、開回路の系よりも閉回路の系で NO_3^- が大きく減少し、4 回のバッチ試験における NO_3^- 減少量の合計に 2.5 倍の違いがみられた。さらに異なる外部抵抗で試験が行われた結果、カソード槽における NO_3^- の減少量は、電流量に依存することが示された。分極曲線により求められた最大電力密度は $1.7 \text{ mW} / \text{m}^2$ であった。

これまでに説明したように、二槽型 MFC での窒素除去は NO_3^- を対象として行われる。しかし、有機性廃水に含まれる溶存態窒素は、通常、主に NH_4^+ (アンモニウムイオン) として存在する。従って、これまでに紹介した方法で窒素除去を達成するには廃水中の NH_4^+ を NO_3^- に変換する必要がある。そのため、カソード槽へ流入させる前に予め曝気を行う方法⁴⁾ や、カソード槽内を曝気したりするような試みも報告されている⁵⁾。

3.2. 一槽型微生物燃料電池による窒素除去

Min らは、一槽型 MFC を用いて廃水进行处理すると廃水中の NH_4^+ 濃度が大きく減少することを報告した⁶⁾。この報告では、一槽型 MFC を用いて窒素を除去できる可能性が示され、そのメカニズムの詳細については検討されなかった。この窒素除去プロセスの仮説としては、主に「アンモニア揮散」と「硝化脱窒」が挙げられている。「アンモニア揮散」による窒素除去は、廃水中の NH_4^+ がアンモニアガス (NH_3) として大気中に放出されることで窒素が除去されるというものである。MFC では、カソードでの酸素還元反応 (②) によって水酸化イオンが生成されることで、カソード近傍の pH が局所的に上昇しアルカリ条件となることがわかっている。これにより、廃水中の NH_4^+ が NH_3 に変化する (⑧)。エアカソードは酸素以外のガスも透過するため、これを通じてアンモニアも揮散すると考えられる (図5)。



一方、「硝化脱窒」による窒素除去プロセスでは、エアカソード上の生物膜に硝化菌が生息しており、カ

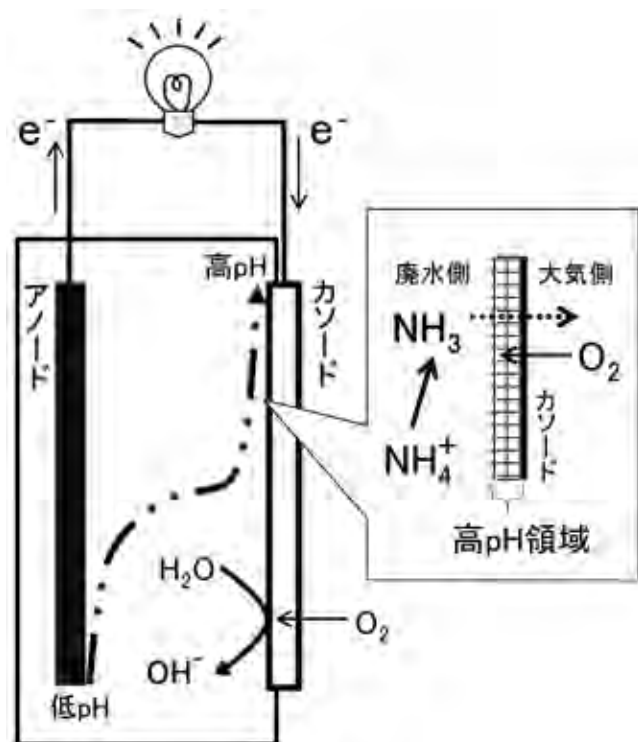


図5 一槽型微生物燃料電池における窒素除去プロセス（アンモニア揮散）

ソードから水槽内に透過してきた酸素を利用して硝化する（⑨、⑩）、さらに無酸素状態の場所に生息する脱窒菌によって、廃水中の有機物と硝化反応により生じた NO_3^- から窒素ガス (N_2) に還元（⑪）されて（脱窒反応）、窒素が除去されると考えられている（図6）。



Kim ら⁷⁾ は、一槽型 MFC で養豚廃水を処理した際に発電量の増加（電流がより流れる）に伴い NH_4^+ の除去率が増加したこと、このときの廃水中の NO_3^- 及び NO_2^- （亜硝酸イオン）濃度の変化はわずかであった。これらの結果から、硝化脱窒による窒素除去の可能性は考えられにくく、アンモニア揮散によるのではないかと推測した。そこで、微生物がいない状態で外部から電圧を印加して電流を流し、廃水中の NH_4^+ 濃度がどのくらい減少するのか実験を行なった。その結果 NH_4^+ の 28% が除去されたことから、一槽型 MFC における廃水中の NH_4^+ 濃度の減少は主にアンモニア揮散によるものではないかと結論づけた。しかしながら、エアカソードから採取したバイオフィルムからは硝化菌の遺伝子が検出され、硝化脱窒も起こっている可能性が示唆された。

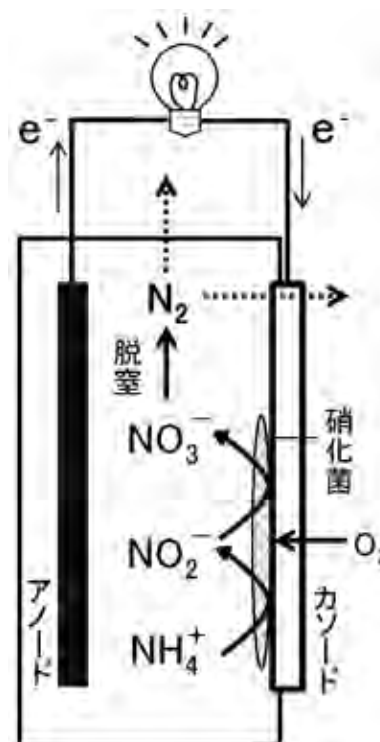


図6 一槽型微生物燃料電池における窒素除去プロセス（硝化脱窒）

Yan ら⁸⁾ は、エアカソード上に予め硝化菌を生育させることで、一槽型 MFC による窒素除去を促進できないかと考えた。そこで、硝化菌をカソード上に予め生育させた系と生育させなかった系で人工廃水（pH7.8、リン酸バッファー、有機物として酢酸ナトリウム、ビタミン、ミネラル及び塩化アンモニウムを主に含む人工廃水）を回分式で処理した場合の窒素除去率と発電量への影響についての検討が行われた。廃水中の NH_4^+ 濃度（初期濃度：104mgN/L）が、硝化菌を生育させた系では 7～31mgN/L（最大除去率 90.7%）、硝化菌なしの系では 18～63mgN/L（最大除去率 54.5%）まで減少したことから、エアカソード上の硝化菌の存在によって、窒素除去率が高まることがわかった。さらにこのときの発電量は、硝化菌を生育させた系で 0.90W/m^2 、生育させなかった系で 0.75W/m^2 であり、硝化菌を生育させた系の発電量の方が大きかった。

3.3. 微生物燃料電池によるアンモニアの回収

Kuntke ら⁹⁾ は、微生物燃料電池を用いて廃水中からアンモニアを除去するだけでなく、回収もできたと報告している。彼らは、図7のような装置を用いた。この装置は、エアカソードを用いている点で一槽型と類似しているが、アンモニアを回収するための槽を備えている。彼らの用いたエアカソードは、防水処理が十分でないため、空気側に水滴が染みだしてくる。発

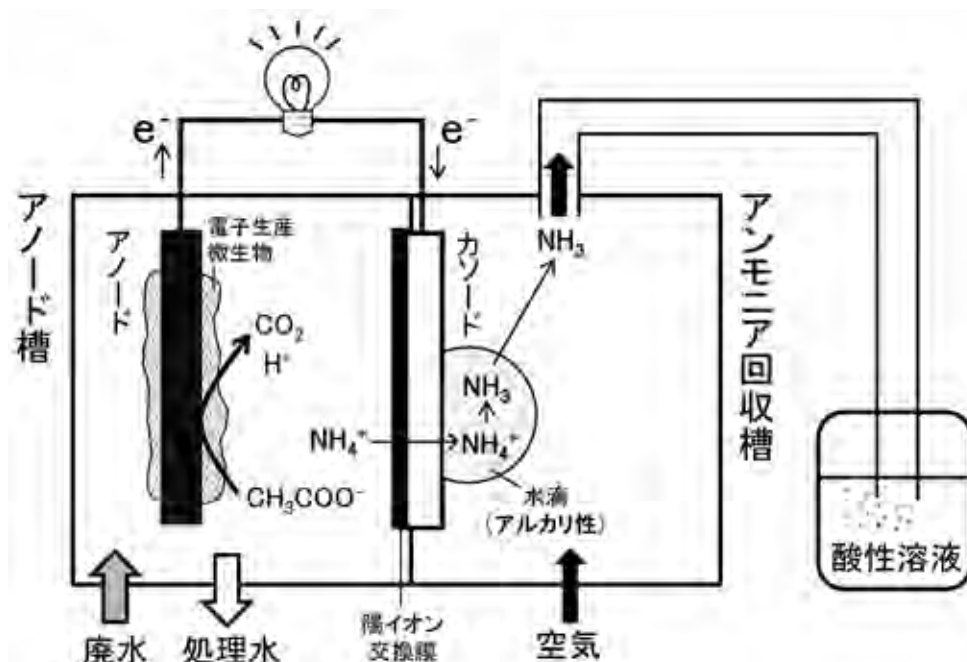


図7 Kuntke らの一槽型微生物燃料電池によるアンモニア回収の概略図

電に伴い電子がアノードからカソードに移動すると、電荷収支を保つためにアノード槽からカソードに向けて陽イオンが陽イオン交換膜を通過して移動するため、 NH_4^+ もカソード側に移動し、表面に付着した水滴内に到達する。この水滴は、カソード反応によってアルカリ性になっているために、 NH_4^+ は NH_3 になって気相に移行する。このガスを酸性の溶液に通気することで、アンモニアを回収することができる。

彼らは、この装置を用いて合成尿、および人の尿を処理し、最大回収速度： $3.27 \text{ gN/m}^2 \cdot \text{day}$ （イオン交換膜面積当たり）を得た。その時の電流密度は 0.50 A/m^2 、電力密度は 0.25 W/m^2 であった。

4. おわりに

廃水処理は我々の生活環境を快適に保ち、自然環境への負荷を軽減するために不可欠なプロセスである。近年、エネルギー問題、資源問題への関心の高まりとともに、廃水処理の省エネ化、および廃水からの資源やエネルギーの回収に強い期待が寄せられるようになってきた。しかし、資源・エネルギーの回収と、高い処理水質を同時に達成することは容易ではない。窒素やリンの除去といった高度処理との両立は、より一

層困難である。

本稿では、微生物燃料電池による廃水からの有機物除去、窒素の除去 / 回収とエネルギー回収に関する研究について紹介した。その性能はまだ実用的な水準には到達していないが、これらの研究ははじまったばかりであり、今後の発展が期待される。

参考文献

- 1) I. Shizas., *J. Energy. Eng.*, Vol.130 (2), pp. 45-53, 2004
- 2) P. Clauwaert et al., *Environ. Sci. Technol.*, 41, pp. 3354-3360, 2007
- 3) Y. Jia et al., *Bioprocess. Biosyst. Eng.*, 31, pp. 315-321, 2014
- 4) Q. Tao et al., *Bioresour. Technol.*, 164, pp. 402-407, 2014
- 5) X. Zhang et al., *Bioresour. Technol.*, 146, pp. 161-168, 2013
- 6) B. Min et al., *Water Res.*, 39, pp. 4961-4968, 2005
- 7) J. Kim et al., *Biotechnol. Bioeng.*, 99 (5), pp. 1120-1127, 2008
- 8) H. Yan, *Water Res.*, 46, pp. 2215-2224, 2012
- 9) P. Kuntke et al., *Water Res.*, 46, pp. 2627-2636, 2012

● 特 別 寄 稿

下水道事業の経営健全化と PFI/PPP 手法の活用

青山学院大学大学院会計プロフェッション研究科

山口 直也

キーワード：経営健全化、事業特性、構造変革、PFI/PPP、コンセッション

1. はじめに

下水道は、生活環境の改善（汚水の排除）、浸水の防除（雨水の排除）及び公共用水域の水質保全という3つの機能を担う、市民生活にとって不可欠な社会インフラである。

しかし、公的債務の増加、人口減少に伴う料金収入の減少、下水道施設の老朽化等、下水道事業を取り巻く環境は厳しさを増している。そのため、近年、下水道事業の効率性を高めるべく、民間ノウハウを活用する動きが広がってきた。まず、下水処理場等の維持管理における包括的民間委託が先行し、下水汚泥有効利用施設や民間収益施設併設／公的不動産有効活用事業におけるPFI（Private Finance Initiative）、DBO（Design-Build-Operate）といったPFI/PPP（Private Finance Initiative/Public Private Partnership）手法の採用も徐々に進んでいる。現在、コンセッション（Concession）の導入に向けた検討も進んでいる。

ただ、包括的民間委託やPFI/PPP手法といったPPP手法はいずれも、所与の事業規模・構造の下での効率性の向上を目指すものであり、事業規模・構造の適正化のための手法ではない。今後、深刻な人口減少に直面するおそれが高い我が国において、下水道インフラを維持し、下水道本来の機能を十分に果たすた

めには、国全体として事業規模・構造を再構築しなければならない。今後、人口減少が進む中で、都市化に歯止めがかからず、居住人口と交流人口の両面で地域間での人口格差が拡大すれば、深刻な人口減少に直面するおそれが高い基礎自治体ほど、下水道事業の深刻な財政悪化に直面する可能性が高いことから、早急な対応が求められる。

本稿は、このような問題意識に基づき、我が国における下水道事業の経営健全化に向けた方向性を提示することを目的としている。具体的には、まず、下水道事業の基本的な事業特性を概観した上で、下水道事業の経営健全化に向けたアプローチについて論じていく。その上で、PFI/PPP手法に焦点を当て、その活用にあたっての課題を論じていく。なお、本稿では、PFI/PPP手法を「PFI及びそれに準拠した官民連携による公共施設等整備・運営事業の手法」と定義し、公共施設等の整備（新規建設・大規模修繕）を伴う事業のうち、いわゆるPFI法（民間資金等の活用による公共施設等の整備等の促進に関する法律）（以下、「PFI法」とする）の規定に準拠して実施する手法を指すものとする。また、単にPPP手法という場合、PFI/PPP手法だけでなく、公共施設等の整備を伴わない事業を含む、官民連携方式による公共事業の運営方式全般を指すものとする。

2. 下水道事業の基本的な事業特性

下水道事業の基本的な事業特性としては、「市町村を単位とした事業」、「企業型事業」、「ネットワーク型インフラ事業」、「料金収入と費用の非対称性」の4つを挙げることができる。

(1) 市町村を単位とした事業

下水道事業のうち、公共下水道事業は原則として市町村が行わなければならない(下水道法第3条第1項)。しかし、市町村は、人口、世帯・事業所数、所得、住宅・事業所等の居住・操業地域の分布、下水道施設の整備時期、道路分布や交通量等、基礎的条件が大きく異なるため、下水道の普及状況や下水道事業の損益構造において大きな相違が生じている。このうち、下水道の普及状況については、2014年3月末現在、総人口に対する普及率は77.0%であるが、内訳をみると、人口100万人以上の都市(12自治体)では99.0%に達しているのに対し、5万人未満の市町村(1,134自治体)では48.7%にとどまっている(国土交通省・農林水産省・環境省(2014))。

(2) 企業型事業

下水道事業のうち、公共下水道事業は、地方財政法並びに同法施行令により「公営企業」と規定されており(地方財政法第5条第1号、同第6条、地方財政法施行令第46条第13号)、原則として独立採算により事業を運営しなければならない。独立採算ということは、サービスの受益者から料金を徴収し、料金収入をもって全費用を賄わなければならない。

実際には、地方財政措置が講じられており、都道府県が補助を行う場合もあることから、下水道事業で発生する費用のうち、国や都道府県による財政支援を受けられる部分を除いた費用を市町村自身で賄う必要がある。市町村で賄わなければならない費用のうち、雨水に係る費用については一般市町村費で、污水に係る費用については料金収入で賄うこととされている。つまり、公共下水道は、受益者からの料金収入と市町村の自主財源(一般会計繰入金)を主な財源とした企業型事業である。

下水道事業の費用構造は基礎的条件が異なる市町村間で大きな相違が存在するため、下水道料金は市町村間で違いが生じている。当然ながら、費用構造を所与とした場合、料金収入を増やせば下水道事業の経営が改善し、市町村の財政負担も軽減される。しかし、料金は利用者の負担能力に配慮して設定せざるを得ず、値上げにも限界がある。そのため、通常、料金収入は

世帯・事業所数に応じて増減し、税収も世帯・事業所所得に応じて増減することから、世帯・事業所数が、料金収入と補填力の両面で、事業の収益性と持続可能性に重大な影響を及ぼすこととなる。

(3) ネットワーク型インフラ事業

下水道施設は主に、管路施設等、水処理施設、汚泥処理施設の3つから構成される。このうち、管路施設等は、住宅や事業所等の居住・操業地域で発生した污水・雨水を処理施設(水処理施設・汚泥処理施設)や河川まで運べるように敷設されなければならない。

このことから、管路施設等の敷設総延長は居住・操業地域と処理施設との距離によって決まるため、居住・操業地域の範囲が広く、かつ分散しているほど、敷設総延長が長くなり、事業全体としての建設コストと維持管理コストが増大する。さらに、各地域における人口密度が低いほど、世帯・事業者当たりの建設コストと維持管理コストが増大する。この点について、総務省(2014)は人口規模別の污水处理原価(1m³当たり)の分布状況を公表しており、これによれば、污水处理原価は現在処理区域内人口の減少に伴い、高くなる傾向がみられる。

また、管路施設等は、鉄道事業における線路や電気事業における送電線と同様のネットワーク型インフラであることから、病院やごみ焼却施設のようないわゆる単体プラント型インフラとは異なり、一定期間ごとに完全更新するのではなく、劣化の進んだ箇所を部分的に取り替えたり、補修したりして、インフラ性能を維持していく。

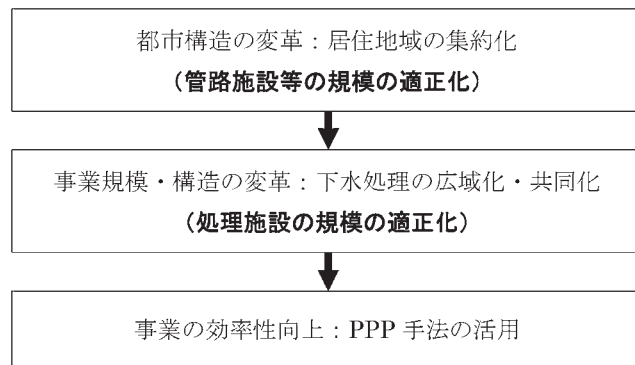
(4) 料金収入と費用の非対称性

一般に、下水道事業における料金収入は基本料金と従量料金の組合せとなっており、基本料金は世帯・事業所等の数に応じて、従量料金は污水排出量に応じて増減し、污水排出量は人口・生産量等に応じて増減する。つまり、料金収入は世帯・事業所数や人口・生産量等に応じて増減する変動収入である。一方、下水道事業における費用は、その大半が運転管理委託費、人件費、補修・修繕費といった固定費である。

このことから、現行の料金体系を所与とすれば、人口減少に伴い料金収入は減少する一方で、費用は減りにくいため、下水道事業の経営状態は悪化する。

3. 下水道事業の経営健全化に向けたアプローチ

2で概観した基本的な事業特性から、今後、深刻な人口減少に直面し、居住・操業地域の範囲が広く、かつ分散している市町村ほど、下水道事業の深刻な経営



図表1 下水道事業の健全化に向けたアプローチ

悪化に直面するおそれが高い。したがって、このような特徴を有する市町村とそうでない市町村とでは、下水道事業の経営健全化に向けたアプローチは大きく異なる。

後者の場合、既存の事業規模・構造を所与として、事業の効率性を高めるべく、包括的民間委託、従来型PFI/PPP手法、コンセッションといったPPP手法を活用することは効果的である。しかし、前者の場合、まずは下水道インフラ施設の規模を縮小し、適正化することで、住民・事業者等の支払能力と当該市町村の財政能力に見合う費用構造へと変革しなければならない。

深刻な人口減少に直面するおそれがある市町村を念頭に置いた、下水道事業の健全化に向けたアプローチを示せば、図表1の通りである。

(1) 都市構造の変革：居住地域の集約化（管路施設等の規模の適正化）

都市構造の変革とは居住地域の集約化であり、いわゆるコンパクト・シティ化である。これは、上下水道、電気、道路等のネットワーク型インフラに共通する課題である。下水道の場合、居住地域を集約することで、管路施設等の総延長を縮小することが可能となる。集約化の程度によるが、新設の抑制と既存施設等の廃止によって、建設コストと維持管理コストを削減することができるため、下水道事業の費用構造を改善することが可能となる。

但し、既存施設等の廃止については、処理施設から遠隔地にある人口密度の低い地域（過疎地域）の住民の移住を前提とするため、住み慣れた地域を離れたくない住民からの強い反対により、実現しないおそれがある。その場合、①均一に料金を値上げすることで、遠隔過疎地域で発生し続けるコストを市町村全体で支え続けるか、②遠隔過疎地域の損益構造を改善するか、のいずれかが考えられる。このうち、②については、「高コスト構造の是正」（遠隔過疎地域について公共下水

道から集落・集合・個別排水処理施設等への転換（集合処理から個別処理へ）、「収益構造の改善」（管路等系統別に料金を設定し、維持管理・運営コストがより高い遠隔過疎地域の下水道料金を値上げ（コストに見合う受益者負担の徹底））、のいずれかもしくは両方の組合せが考えられる。

(2) 事業規模・構造の変革：下水処理の広域化・共同化（処理施設の規模の適正化）

事業規模・構造の変革とは処理施設（水処理施設・汚泥処理施設）の集約化による下水処理の広域化・共同化であり、いわゆる市町村横断型のハードの統合である。複数の市町村で下水道事業を広域化し、処理施設を共同で利用することにより、老朽化した施設を廃止し、処理施設の数減らすことが可能になる。

このアプローチには、①参加市町村各々の下水道財政の独立性を維持したままハードのみ統合する方法と（ハードの統合のみ）、②下水道財政を一本化した上でハードも統合する方法（事業の統合とハードの統合）の2つが考えられる。従来は、市町村合併を機に、合併市町村内で②事業の統合とハードの統合を行うケースが多かったが、今後は、市町村の枠を越えた統合に向けた検討を進める必要がある。

但し、このアプローチは、広域化・共同化しようとする複数の市町村の地理的特性により困難な場合も考えられる。また、市町村横断的に②事業の統合とハードの統合をする場合、料金体系（共通化するか、自治体間の格差を許容するか）と一般会計繰入金（現行の繰入額を維持するか、新たな基準で各自治体の負担額を決定するか）に関する検討が不可欠である。特に、料金体系や一般会計繰入金の見直しに伴い、財政力のある自治体から乏しい自治体への実質的な補助につながるような場合、財政力のある自治体では支持されず、合意に至らない可能性がある。

(3) 事業の効率性向上：PPP手法の活用

(1)と(2)により、インフラ施設の規模を適正化した上で、包括的民間委託、従来型PFI/PPP手法、コンセッションといったPPP手法を活用する必要がある。なぜなら、これら手法はいずれも、長期間にわたり一定の範囲の業務を包括的に委託する方式であるため、先に導入してしまうと、既存の事業規模・構造が固定化してしまうからである。

(1)～(3)は、いずれも下水道事業の費用構造を変革するための取り組みである。当然ながら、企業型事業である下水道事業の経営健全化を実現するためには、使用料の適正化（値上げ）による収益構造の改善

(1) 「性能発注が困難」、「リスク分担の難しさ」

- ①ほとんどが公道下に広範囲に設置されているため、施設状況を常時監視することが困難
- ②施設状況が受託者の作業上の責によらない外的要因（交通荷过重等）により変化するため、性能基準の設定が困難
- ③重車両の通行に起因する道路陥没や調査の見落としの可能性等、原因がはっきりしない場合が存在
- ④下水処理場のように法律で定められた水質等の基準値がない
- ⑤下水道台帳等の管路施設情報や過去の点検・調査等の維持管理情報が十分に管理・蓄積されていないため、ふさわしい性能設定ができない。

(2) 民間事業者の業務遂行能力への不安

これまで作業的業務を中心に行ってきた民間事業者が、判断的業務も含む包括的民間委託に対応できるほどの成熟度を有しているか不安

（出所）管路施設維持管理業務委託等調査検討会（2009）『下水道管路施設の包括的民間委託に関する報告書』、16 ページを要約。

図表 2 管路施設における包括的民間委託導入に向けた課題

も欠かせない。また、使用料の適正化は受益者負担の観点からも重要である。使用料金を低く設定し、安易に一般会計繰入金に依存することは、便益を享受していない住民・事業所等が存在する場合に、彼らにも下水道事業の財政負担を強いることになり、望ましくない（下水道事業経営研究会（2014））。

一方で、負担能力の点から、値上げには一定の限界がある。したがって、値上げについて理解を得ながら、値上げ幅を極力抑制するためにも、費用構造の変革を実現していくことが不可欠である。

4. 下水道事業における PPP 手法活用の現状

下水道事業においては、(1) 下水処理場等の維持管理における包括的民間委託の採用、(2) 下水汚泥有効利用施設と民間収益施設併設／公的不動産有効活用事業における PFI/PPP 手法の採用、(3) コンセッションの導入に向けた検討、という流れで PPP 手法の活用もしくは検討が進んできた。

(1) 下水処理場等の維持管理における包括的民間委託の採用

下水処理場等の維持管理における包括的民間委託については、国土交通省都市計画等中央審議会基本政策部会下水道小委員会報告『今後の下水道制度のあり方について』（2000 年 12 月）及び、同報告を受けて作成された『性能発注の考え方に基づく民間委託のためのガイドライン』（国土交通省都市・地域整備局下水道部（組織名は当時のもの）（2001 年 4 月））（以下、「民間委託ガイドライン」とする）を踏まえ、国土交通省が「下水処理場等の維持管理における包括的民間委託の推進について」（国都下管第 10 号（2004（平成 16）年 3 月 30 日））を通知し、性能発注方式・複数年契約を基本とした包括的民間委託を推進したことから、着

実に導入件数が増加していった。2014 年 3 月現在では、仕様発注が全体の 9 割を占めているものの、包括的民間委託が 257 件（年間約 600 億円）実施されている（国土交通省（2014））。

但し、管路施設における包括的民間委託については、国内で数例の実績にとどまっている。この点に関連して、管路施設維持管理業務委託等調査検討会（2009）は、アンケート調査に基づき、管路施設における包括的民間委託導入に向けた課題を図表 2 のように整理している。

民間委託ガイドラインでは、性能発注のレベルをコスト縮減との関係性に基づき、以下の 3 段階に区分している。包括的民間委託は複数の業務を一括して委託することになるが、同ガイドラインでは、対象業務を「既に建設が終了した下水道施設の運転・維持管理業務（軽微な補修を含む）とする」としていることから、多くの自治体が導入している事業はレベル 2 もしくは軽微な補修を含むレベル 3 である。

レベル 1：運転管理の性能発注（運転管理のみ）

レベル 2：運転管理とユーティリティー管理を併せた性能発注（運転管理＋ユーティリティー管理）

レベル 3：補修と併せた性能発注（運転管理＋ユーティリティー管理＋補修）

(2) 下水汚泥有効利用施設と民間収益施設併設／公的不動産有効活用事業における PFI/PPP 手法の採用

下水道事業における PFI/PPP 手法は、下水汚泥有効利用施設（固形燃料化施設、バイオガス発電施設、コンポスト化施設、りん回収施設）や民間収益施設併設／公的不動産有効活用事業において採用が進んでいる（藤川（2014））。このうち、下水汚泥有効利用施設については、2014 年 3 月現在、PFI 事業 7 件、DBO

事業 14 件が実施されている（国土交通省（2014））。

下水汚泥については、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、汚泥量が年々増加し、累積処分量の増加に伴い、特に都市部において最終処分場の確保が困難な状況となっている。さらに、1996（平成 8）年の下水道法改正によって、公共下水道管理者は、下水汚泥の減量化に努めなければならないこととされた（下水道法第 21 条の 2 第 2 項）。

このため、汚泥量が多く、独立処分において規模の経済が働く大都市を中心として、下水汚泥のマテリアル利用もしくはバイオマス利用のための下水汚泥有効利用施設の整備にあたって、民間事業者のノウハウを活用するために、運転・維持管理を含む PFI/PPP 手法を採用する動きが出てきた。

下水汚泥有効利用施設において PFI/PPP 手法の採用が進んでいる理由としては、①施設が単体プラント型インフラであり、一定期間ごとに施設を完全更新（新規建設）するため、民間事業者が施設の瑕疵リスクを引き受ける必要がない（単体プラント型インフラであること）、②ほとんどの自治体にとって新たな事業であり、自治体に運転・維持管理のノウハウが乏しく、民間事業者のノウハウを活用することが有効である（新規事業であること）、③効率的な運転・維持管理のためのノウハウがプラントごとに異なるため、建設と運転・維持管理を同一事業者に委ねることが、効率性向上の点から望ましい（建設と運転・維持管理の一体型発注の有効性）、といった理由が挙げられる。

（3）コンセッションの導入に向けた検討

2011（平成 23）年の PFI 法改正により、「公共施設等運営権」が導入され、いわゆるコンセッションが可能となった。コンセッションとは、利用料金の徴収を行う公共施設等について、公共が施設等の所有権を有したまま、施設等の運営権（公共施設等運営権）を民間事業者に設定する事業方式である。

下水道事業におけるコンセッションについては、2013 年 6 月に閣議決定された『日本再興戦略』において、「立地競争力の更なる強化」に向けた方策の 1 つとして「公共施設等運営権等の民間開放（PPP/PFI の活用拡大）」が提示され、空港、上下水道、道路等についてコンセッションの導入を推進するとの政府方針が打ち出された。その後、政府方針を受け、国土交通省「下水道施設の運営における PPP/PFI の活用に関する検討会」において、下水道事業におけるコンセッションの実施に向けた課題について検討が進められ、2014 年 3 月に『下水道事業における公共施設等運営事業等の実施に関するガイドライン（案）』が公表さ

れた。

これを受け、浜松市や大阪市では、コンセッションの導入に向けた検討が進んでいる（中澤（2014）、藤川（2014））。浜松市は、コンセッション等の「管理と改築のパッケージ性能発注」の効果等について検討を行い、その成果を 2012 年 3 月に『平成 23 年度 公共下水道における包括的民間委託・公共施設等運営権活用検討業務報告書』として公表した。さらに、同市は、静岡県から 2016 年 3 月末に移管される西遠流域下水道事業について、コンセッションを導入することを決めた。

また、大阪市は、2012 年 12 月に『大阪市下水道事業経営改革～基本方針と実施計画（案）～』を公表し、今後、施設所有と運営を分離（上下分離）し、運営を担う新組織の体質を強化し、リース・コンセッション型の業務受託ができる下水道トータルシステムの運営組織として育成する方針を打ち出している。

5. 下水処理事業における PFI/PPP 手法の活用に向けた課題

下水道事業における PFI/PPP 手法の活用は、下水汚泥有効利用施設や民間収益施設併設／公的不動産有効活用事業といった、付随的性格の強い事業において先行してきた。しかし、下水道事業はインフラ型サービスであり、建設コスト、補修・修繕コストや改築・更新コストといった施設整備コストの金額の重要性が高いため、損益構造の大幅な改善を図るには、本体事業である下水処理事業の施設整備コストの低減を図らなければならない。そこで、管路施設等及び処理施設（水処理施設及び汚泥処理施設（除：下水汚泥有効利用施設））の整備（改築・更新や大規模修繕）を伴う PFI/PPP 手法の活用が検討課題となる。

現状では、運転管理については、ユーティリティー管理と軽微な補修を含む包括的民間委託の採用が徐々に増加している。その一方で、施設整備は包括的民間委託の対象外であり、その都度、仕様発注が行われてきた（都度発注・仕様発注）。施設整備が包括的民間委託の対象とならなかった主な理由は、ネットワーク型インフラであるという、下水道施設のインフラとしての性格にあると考えられる。

一般に、ごみ焼却施設や下水汚泥有効利用施設のような単体プラント型インフラの場合、一定期間ごとに施設を完全更新（新規建設）するため、民間事業者が施設の劣化リスクや瑕疵リスクを引き受ける必要がない。このため、施設整備を伴う PFI/PPP 手法を採用しやすい。

これに対し、管路施設等の場合は純粋なネットワー

ク型インフラであり、劣化の進んだ箇所を部分的に取り替えたり、補修したりして、インフラ性能を維持していく。また、処理施設についても、別の用地に移設できない場合、管路施設等と同様に、劣化の進んだ箇所を部分的に取り替えたり、補修したりして、インフラ性能を維持しなければならない。このように、稼働中の部分的更新が主となる既存施設における PFI/PPP 手法の活用にあたっては、施設の初期劣化リスク、瑕疵リスク及び期中劣化リスクの取り扱いが重要な課題となる。

既存施設の予防保全型 PFI/PPP 事業として、運営と施設整備を一括発注する場合、公共下水道管理者は、ある程度劣化の進んだ既存施設の整備を包括的に民間事業者へ委ねることになるため、施設の初期劣化リスク（PFI/PPP 事業開始時における劣化のリスク）を民間事業者が引き受けることになる。さらに、民間事業者が当該施設を最初に設計・建設した事業者と異なる場合、設計（施設設計・工法設計）や施工管理等に起因する施設の瑕疵リスクも引き受けることになる。また、事業開始後も、施設は劣化が進むため（期中劣化リスク）、民間事業者は、処理性能を維持しながら、機動的に整備を行わなければならない。

これら施設リスクの管理を民間事業者に包括的に委ねるためには、公共下水道管理者は、将来の劣化推移と整備コストについての民間事業者による予見可能性を高めるために、①発注段階において十分かつ適正な施設情報を提供するとともに、②著しく劣化が進んでいる場合には、あらかじめ大規模修繕を行っておくことが求められる。なお、当然ながら、①十分かつ適正な施設情報は、公共下水道管理者が自ら施設整備を引き続き担う場合でも、予防保全によるライフ・サイクル・コストの最適化を実現する上で必要不可欠である。

従来、下水道施設については、公共下水道管理者が自身の劣化診断に基づき、財政制約を踏まえつつ、補修・修繕のタイミング（時期）と補修・修繕すべき箇所と規模（内容）を決定し、都度発注・仕様発注に基づき、民間事業者へ発注してきた。そのため、図表 2 の (2) に示すように、多くの事業者は断片的な作業的業務しか行っておらず、ライフ・サイクル・コストの最適化に向けた予防保全の時期や内容を判断する判断的業務の経験に乏しい。このことから、予防保全型 PFI/PPP 事業においては、民間事業者が自ら判断し、適正な予防保全を遂行できるよう、①発注段階での十分かつ適正な施設情報の提供が欠かせない。

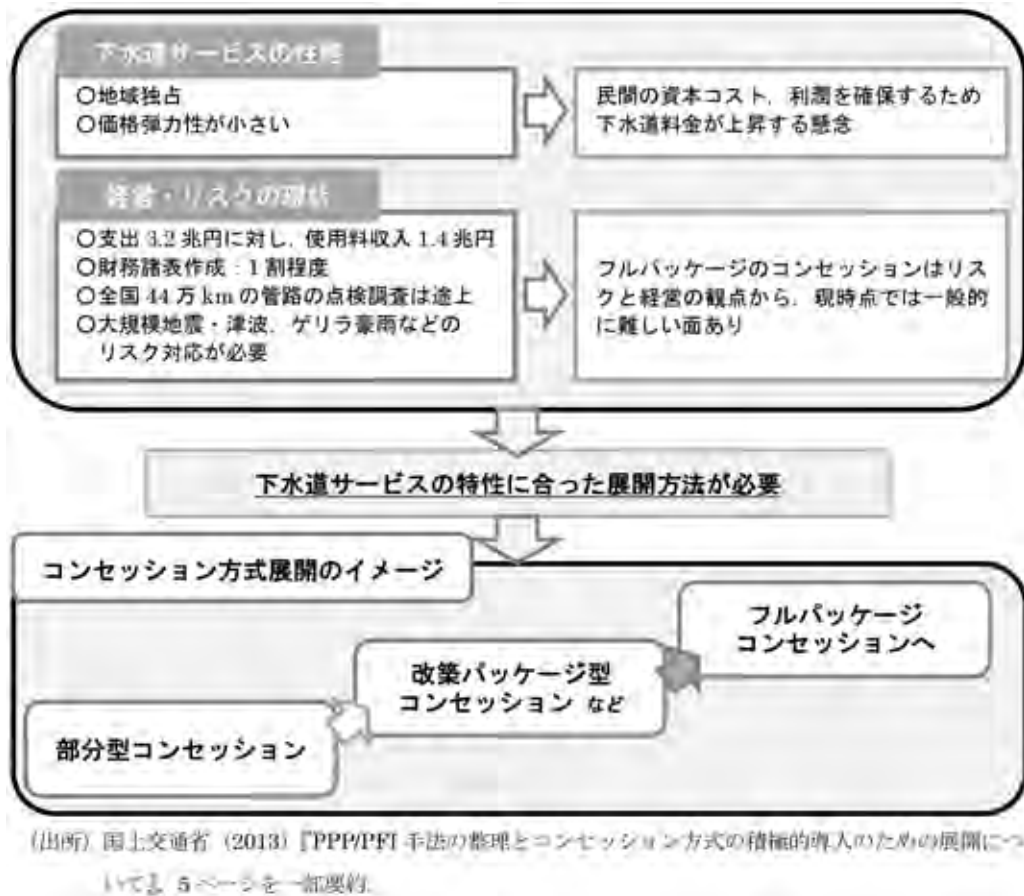
さらに、①十分かつ適正な施設情報の提供は、Akerlof (1970) による「情報の非対称性」（売り手と買い手とで情報格差が存在する）による「市場の失敗」を防ぐためにも必要である。下水処理 PFI/PPP 事業

の場合、売り手（公共下水道管理者）は本来、既存施設の劣化状況について十分に知り得る立場にあるのに対し、買い手（民間事業者）は、売り手からの十分かつ適正な情報提供がなされない限り、劣化状況を知りえない立場にある（売り手の情報優位）。

そのため、仮に、ある公共下水道管理者が、既存施設の劣化状況について、十分かつ適正な情報提供を行っていたとしても、他の多くの公共下水道管理者が適正な情報提供を怠っていると、当該管理者も適正な情報提供を行っていないのではないかという懸念が市場を支配し、その結果、リスク回避的な買い手は参加せず、リスク愛好的か、もしくはリスクに鈍感な買い手しか参加せず、競争性（量的競争性と質的競争性）が著しく低下するか、もしくは発揮されない可能性がある。PFI/PPP 手法は、部分的に市場原理を活用する手法であり、民間事業者による参加意欲を喚起することが極めて重要であることから、全国の下処理事業全体として、公共下水道管理者による十分かつ適正な情報提供が欠かせない。

提供すべき施設情報としては、施設建設時における施設情報（仕様書、建設工事請負契約書、設計図書、工事監理報告書等）、供用開始時から発注時までの施設劣化・整備状況の推移（劣化状況の動態情報）、発注段階における施設の劣化状況（劣化状況の静態情報）等が挙げられる。特に、劣化状況の動態・静態情報については、外部チェックのない公共下水道管理者自身による劣化状況報告のみでは、劣化診断が不十分であったり、財源不足による整備の先送りを隠蔽し、過度に楽観的な報告を行ったりする可能性等を排除できないことから、専門機関による劣化診断や劣化状況報告のチェックを活用し、情報の信頼性を確保しなければならない。

また、十分かつ適正な施設情報が提供されたとしても、財源不足を理由として整備を先送りした結果、著しく劣化が進んでいるような場合、劣化の発生状況（劣化発生パターン）と整備状況には重要なタイムラグが存在するため、劣化状況の動態情報の、民間事業者による整備計画策定支援情報としての有用性は著しく低下する。さらに、著しく劣化が進んでいる場合、予期せぬ大規模修繕を余儀なくされる可能性が高まる。このため、著しく劣化が進んでいる場合、将来の劣化推移と整備費用の予見可能性が低下し、事業者が過度なリスクを抱えることになりかねないため、②あらかじめ大規模修繕を行い、施設リスクを低減しておくことが求められる。但し、著しく劣化が進んだ主たる原因は財源不足にあると考えられるため、財政能力の乏しい自治体がこのような対応を取ることは事実上不可能であり、この点から PFI/PPP 手法の採用は困難であ



図表3 コンセッション方式の積極的導入のための展開イメージ

る場合が多いと考えられる。

なお、管路施設等については、図表2の(1)②に示すように、期中劣化は民間事業者がコントロールできない外的要因(交通荷过重等)によっても生じることから、民間事業者に対し、期中劣化リスクを全面的に移転することはできない点に注意が必要である。

6. 下水道事業におけるコンセッションの特性と導入可能性

政府・国土交通省は、下水道事業の経営改善に向けて、コンセッションの導入を推進している。但し、国土交通省(2013)は、下水道事業の経営とリスクの現状から、フルパッケージのコンセッションは現時点で難しいとしており、図表3に示すような展開イメージを提示している。ここで、「部分型コンセッション」は処理場等の個別施設に限定したコンセッションを、「フルパッケージコンセッション」(国土交通省(2014)では「フルコンセッション」)は処理区の全ての下水道施設の運営を委託するコンセッションを指している。また、国土交通省(2013)では、整備業務の範囲に応じて、「維持管理型コンセッション」(維持管理のみ)、「改築パッケージ型コンセッション」(維持管理

+改築)、「新築・改築パッケージ型コンセッション」(新築+維持管理+改築)の3つに分類している。

なお、内閣府が2013年6月に公表した『公共施設等運営権及び公共施設等運営事業に関するガイドライン』によれば、運営事業を実施する権利である運営権は、公共施設等の所有権から、公共施設等を運営し、収益する権利を切り出したみなし物権であり、運営権を設定する時点で存在する「物」について設定するものであるから、PFI法で規定する「運営等」には、「建設」及び「改修」は含まれないとしている。さらに、「建設」及び「改修」とは、新たな施設を作り出すこと、いわゆる新設工事及び施設等を全面除却し再整備するものを指すとしている。そのため、建設もしくは改修を伴う場合、施設整備業務については、コンセッションとは別の手法を採用する必要がある点に注意が必要である。

このように、国土交通省は、①対象施設の範囲(個別施設ごと→下水道施設全体)と②整備業務の範囲(維持管理のみ→維持管理+改築→新築+維持管理+改築)に応じてコンセッションを区分した上で、対象施設と整備業務の範囲を徐々に拡張し、施設リスクを段階的に民間事業者に移転する形でコンセッションを展開する方向性を提示している。

このことから、コンセッションについては、下水汚

泥有効利用施設や民間収益施設併設／公的不動産有効活用事業といった、付帯的性格の強い事業に限定する方式や、下水処理事業を対象とする場合であっても、いわゆる「上下分離方式」、つまり、運転管理と処理施設（水処理施設及び汚泥処理施設）の整備（上物）については民間事業者へ委託する一方、管路施設等（下物）については引き続き市町村が整備する方式など、多様な方式が想定されている。

コンセッションが、我が国における従来型 PFI/PPP 手法と大きく異なる点は、民間事業者への需要リスクの移転にある。一般に、PFI の事業形態には、「公共部門へのサービス提供型」、「独立採算型」、「ジョイント・ベンチャー型」の 3 つがあり（山口（2006））、これまで我が国で実施されてきた PFI/PPP 事業の多くが、「公共部門へのサービス提供型」であった。この方式では、公的機関がサービスの購入主体となり、利用者による実際のサービス消費量に関わらず、要求水準を満たしている限り、契約で定めたサービス対価の支払いを保証するため、民間事業者は需要リスクを負うことなく、安定した収益を得ることができる。

これに対し、コンセッションは、民間事業者が契約時に運営権対価（もしくは、運営権対価と事業期間中の利益の一部（プロフィット・シェア））を支払って施設等の運営権を取得し、事業を実施する方式であり、事業者は当該事業から得られる収益で自らの事業コストを回収しなければならない。PFI 法では、公共施設等運営権者は利用料金を自らの収入として収受すると定められている（PFI 法第 23 条第 1 項）。

但し、下水道事業におけるコンセッションには多様な方式が想定されているため、民間事業者が実際に受け取る収益は、料金収入のうち、自らの事業範囲、特に施設整備の範囲（①対象施設の範囲と②整備業務の範囲）に応じた金額となる。しかし、そもそもコンセッションは需要リスクを民間事業者に移転することで、経営健全化に向けたインセンティブを喚起する手法であり、料金収入の増減に関わらず一定の収益を保証するのであれば、従来型 PFI/PPP 手法と変わらない。したがって、民間事業者の収益が料金収入の一部にとどまるとしても、通常、料金収入に連動して設定されることから、需要リスクを負うこととなる。

下水道事業は、サービスの受益者から料金を徴収し、料金収入をもって費用を賄う企業型事業であることから、政府・国土交通省はコンセッションの導入が可能な事業と位置付けている。しかし、コンセッションによって需要リスクを移転しても、民間事業者は需要リスクを直接管理することはできない。なぜなら、下水道事業の料金収入は世帯・事業所数や人口・生産量等に応じて増減することから、機動的な料金改定が認め

られない限り、人口動態によって収益が大きく変動するが、事業者は地域の人口動態を直接コントロールすることができないからである。

実際には、将来の人口減少による減収リスクについては、運営権対価とプロフィット・シェアの設定を通じて、公共下水道管理者も部分的に共有することになる。しかし、コンセッションにおいて、第一義的に需要リスクを負う主体は民間事業者となる。

そのため、参入のインセンティブを高めるために、収益の安定性を確保することが一案として考えられる。具体的には、世帯・事業所数や人口・生産量等の減少に伴う減収を回避するために、①機動的な料金改定を可能とする、②料金収入の配分比率を変動させ、事業者の取り分を増やす（公共の取り分を放棄する）、③①と②の組合せ、をあらかじめ規定することが考えられる。ただ、このようにして収益の安定性を確保することは、民間事業者による参入のインセンティブを高めることができる一方で、収益保証が強くなるほど、経営健全化に向けたインセンティブを低下させてしまうおそれがある。

コンセッションは、需要リスクを民間事業者に移転することで、経営健全化に向けたインセンティブを喚起する手法であるという点を重視すれば、下水道事業における導入余地は、収益の安定性が高く、費用について規模の経済性が働きやすい自治体、すなわち、人口が多く、人口密度が高く、将来の人口減少が比較的緩やかな自治体に限定されるものと考えられる。将来の人口減少が比較的緩やかであれば、料金収入の減収リスクが低い。また、人口規模が大きければ、一般に施設規模も大きいため、処理施設（水処理施設・汚泥処理施設）整備上の規模の経済が働きやすく、整備費用の低減余地が大きい。さらに、人口密度が高ければ、人口比でみた管路施設等の総敷設距離が短いため、人口比での管路施設等の期中劣化リスクが低く、整備費用も少なく済む。

反対に、人口が少なく、人口密度も低く、将来の人口減少が大きく、財政能力が乏しい自治体の場合、整備費用の低減による利益増加のインセンティブに乏しく、人口減少に伴う減収リスクが高いため、収益の安定性を確保しなければ、民間事業者の参入インセンティブを高めることができない。しかし、安易な収益保証に走れば、民間事業者の経営健全化に向けたインセンティブを低下させてしまい、所期の目的を実現することができない。

7. 結語

下水道事業は、「市町村を単位とした事業」、「企業

型事業」、「ネットワーク型インフラ事業」、「料金収入と費用の非対称性」といった基本的な事業特性を有している。このことから、今後、深刻な人口減少に直面し、居住・操業地域の範囲が広く、かつ分散している市町村ほど、下水道事業の深刻な経営悪化に直面するおそれが高い。

このような特徴を有する市町村は、「都市構造の変革（居住地域の集約化）」と「事業規模・構造の変革（下水処理の広域化・共同化）」に取り組み、住民・事業者の支払能力と当該市町村の財政能力に見合う費用構造へと変革しなければならない。

その上で、事業の効率性を高めるために、包括的民間委託やPFI/PPP手法を効果的に活用することが求められる。これまで、下水道事業におけるPFI/PPP手法の活用は、付随的性格の強い事業において先行してきた。今後は、下水処理事業におけるPFI/PPP手法の活用が検討課題となる。

稼働中の部分的更新が主となる既存施設におけるPFI/PPP手法の活用にあたっては、施設リスク（初期劣化リスク、瑕疵リスク及び期中劣化リスク）の取り扱いが重要な課題となる。施設リスクの管理を民間事業者に包括的に委ねるためには、公共下水道管理者は、事業者による将来の劣化推移と整備費用についての予見可能性を高めるために、発注段階において十分かつ適正な施設情報の提供を行うとともに、著しく劣化が進んでいる場合には、あらかじめ大規模修繕を行っておくことが求められる。

さらに、コンセッションでは、事業者は、対象施設の範囲と整備業務の範囲に応じて施設リスクを負うとともに、自身が直接コントロールできない需要リスクも負うこととなる。そのため、下水道事業におけるコンセッションの導入余地は、人口が多く、人口密度が高く、将来の人口減少が比較的緩やかな自治体に限定されるものと考えられる。

今後、深刻な人口減少と過疎化の進行により、財政能力が著しく低下する可能性が高い自治体では、下水道だけでなく、道路、上水道、ごみ収集等、多くの公共サービスの財政悪化を累積的に負うことになるおそれが高い。適正な公共サービスインフラを維持し、自治体の持続可能性を確保するためには、都市構造の変革は避けて通れない課題である。

【参考文献・資料】

Akerlof, G. A., 1970. The Market for “Lemons” : Quality Uncertainty and the Market Mechanism, *The Quarterly Journal of Economics*, Vol.84, No.3, pp.488-500.
新井智明(2008)「下水道事業におけるPFI事業の現状」

『再生と利用』Vol.32、No.121、15-21 ページ。

大阪市（2012）『大阪市下水道事業経営改革～基本方針と実施計画（案）～』（建設局）。

管路施設維持管理業務委託等調査検討会（2009）『下水道管路施設の包括的民間委託に関する報告書』。

下水道事業経営研究会編（2014）『下水道経営ハンドブック 第26次改訂版（平成26年）』ぎょうせい。

公田明・中澤豊（2013）「公共インフラへのPPP/PFIの導入に向けて②：下水道施設における官民連携の方向性」『みずほ総合研究所 Working Papers』。

国土交通省（2000）『今後の下水道制度のあり方について』（都市計画等中央審議会基本政策部会下水道小委員会報告）。

国土交通省（2001）『性能発注の考え方にに基づく民間委託のためのガイドライン』（都市・地域整備局下水道部）。

国土交通省（2013）『PPP/PFI手法の整理とコンセッション方式の積極的導入のための展開について』（「下水道施設の運営におけるPPP/PFIの活用に関する検討会」第5回（平成25年7月2日）資料）。

国土交通省（2014）『下水道事業における公共施設等運営事業等の実施に関するガイドライン（案）』（水管理・国土保全局下水道部）。

国土交通省・農林水産省・環境省（2014）『平成25年度末の汚水処理人口普及状況について』。

総務省（2014）『地方公営企業年鑑第61集（平成25年4月1日～平成26年3月31日）』（自治財政局）。

内閣府（2013）『公共施設等運営権及び公共施設等運営事業に関するガイドライン』（民間資金等活用事業推進室）。

中澤豊（2014）「公共インフラへのPPP/PFIの導入に向けて⑦：上下水道分野におけるコンセッション導入に向けて～経済財政諮問会議・産業競争力会議の竹中主査の提案を受けて～」『みずほ総合研究所 Working Papers』。

浜松市（2012）『平成23年度 公共下水道における包括的民間委託・公共施設等運営権活用検討業務報告書』（上下水道部）。

浜松市（2015）「西遠流域下水道の移管に伴う新たな官民連携手法の導入について」『平成26年度 第3回 浜松市上下水道事業経営問題検討委員会資料（平成27年3月9日）』（上下水道部）。

藤川眞行（2014）「下水道事業におけるPPP/PFI事業の導入について－コンセッション方式を中心に－」『ARES不動産証券化ジャーナル』Vol.21、66-72 ページ。

山口直也（2006）『PFIの意思決定理論』溪水社。

特集：平成 27 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 27 年度の
下水道事業予算について

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 武田 正太郎

キーワード：戦略的維持管理・更新、都市の新産業社会の創出

1. 平成 27 年度下水道事業関連予算について

国土交通省における平成 27 年度予算については、「東日本大震災からの復興加速」、「国民の安全・安心の確保」、「地域の活性化」及び「成長戦略の具体化」の 4 分野に重点化し、施策の効果の早期実現を図る。具体的には、国民の命と暮らしを守り、国土強靱化の取組を推進するため、ハード・ソフトを総動員した防災・減災対策、戦略的なインフラ老朽化対策等を進める。また、活力ある地域を形成するため、豊かに暮らせる生活環境の整備を図る。

平成 27 年度予算においては、社会資本整備総合交付金及び防災・安全交付金を表 1 のとおり計上しており、下水道事業に係る費用は、それぞれの内数である。

また、下水道事業費補助等として、PPP/PFI 等民間活力を活用し、未普及対策やエネルギーの利用を推進するため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（下水道事業費補助）及び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）や下水道事業における技術開発・調査研究（下水道事業調査費）等を実施するための経費を計上している（表 2）

その他、下水道事業に関連する予算として、内閣府に一括計上されている「地域再生基盤強化交付金」、「沖縄振興公共投資交付金」及び東日本大震災により著しい被害を受けた地域の復興を進めることを目的に復興庁に一括計上されている「東日本大震災復興交付金」があり、それぞれ 431 億円（対前年度比 0.95）811 億円（対前年度比 0.87）、3,173 億円である。なお、下水

表 1 社会資本整備総合交付金および防災・安全交付金の平成 27 年度予算額

（単位：百万円）

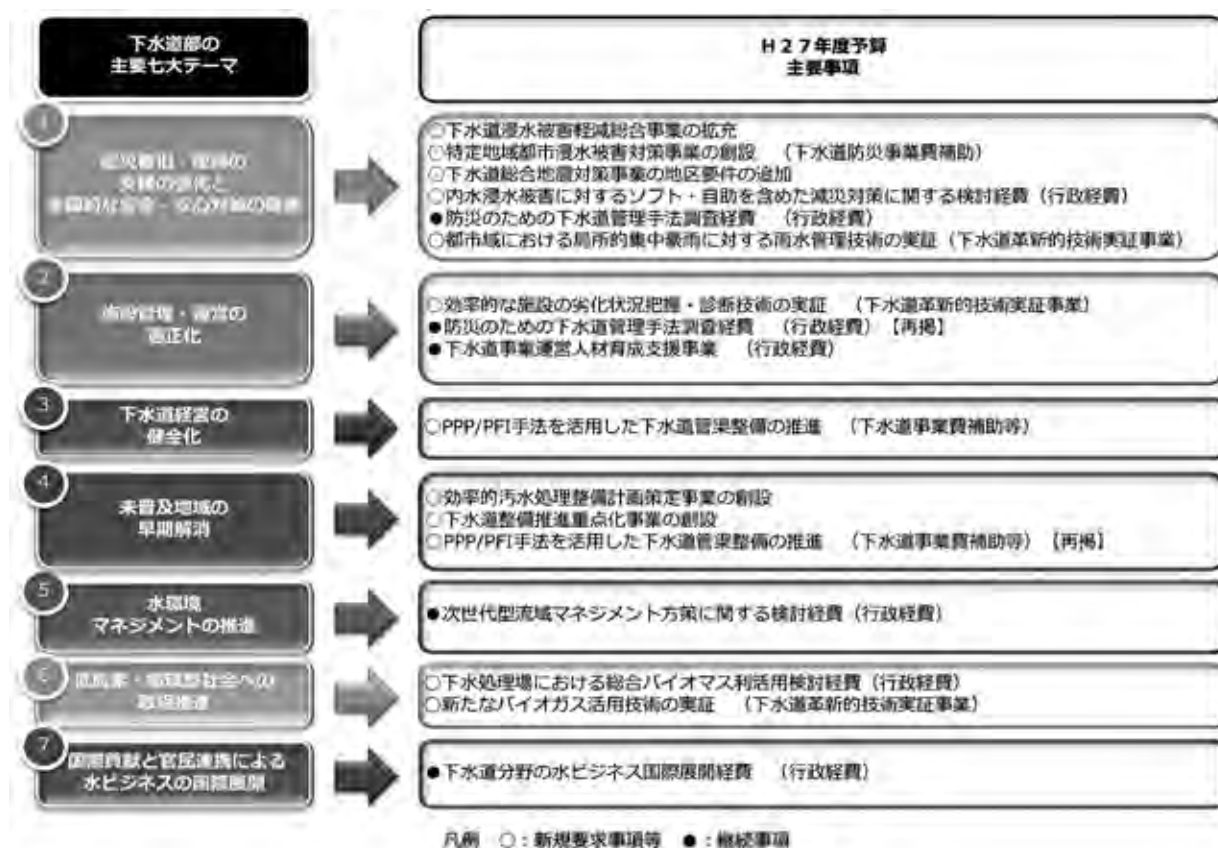
区分	平成27年度予算額 （国費）	平成26年度予算額 （国費）	対前年 度倍率 （国費）
社会資本総合整備	1,996,554	1,996,419	1.00
うち社会資本整備総合交付金	901,805	912,362	0.99
うち 防災・安全交付金	1,094,749	1,084,057	1.01

※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の平成 27 年度予算額

(単位:百万円)

区分	平成27年度予算額		平成26年度予算額		対前年度倍率 (国費)
	事業費	国費	事業費	国費	
下水道事業費補助等	2,016	1,062	1,388	720	1.48
下水道事業調査費等	4,086	4,086	4,604	4,604	0.89
下水道防災事業費補助等	400	200	0	0	皆増
合計	6,502	5,348	5,992	5,324	1.00



図－1 平成 27 年度下水道事業予算主要事項

道事業に係る費用は、それぞれの内数である。

2. 平成 27 年度下水道事業予算に関する新規事項等

国土交通省水管理・国土保全局下水道部としては、国土交通省の基本方針である前述の 4 分野に加え、下水道部として重点的に取り組んでいる 7 大テーマの各施策を効果的・効率的に推進していくために必要となる経費を計上している。(図－1)

以下に、平成 27 年度下水道事業予算の主要な内容について詳述する。

(1) 下水道事業関連主要事項

①特定地域都市浸水被害対策事業の創設 (図－2)

近年、いわゆる「ゲリラ豪雨」が頻発していることなどに対し、ターミナル駅前周辺等の都市機能が集積した既成市街地において、より一層高い浸水安全度が求められている。一方このような地区では、地下に水道、地下鉄等が輻輳していることが多く、下水道整備のみでは、早期に浸水被害を解消することが困難な場合がある。

このため、民間事業者にも一定の役割・負担を求めながら、民間貯留施設等の整備に係る費用に対する支援を行う。

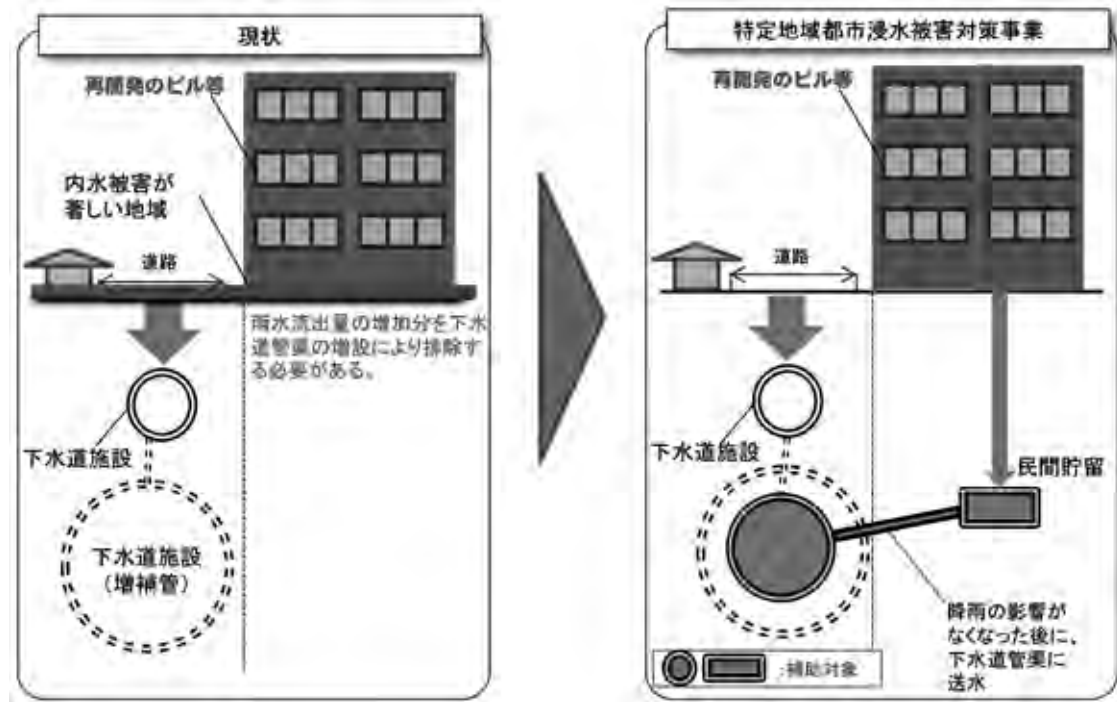


図-2 特定地域都市浸水被害対策事業のイメージ図

②下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト）

エネルギー需給の逼迫や下水道ストックの増大といった社会背景を踏まえ、下水バイオガスの利用、適切な施設管理に係る革新的技術について、国が主体となって、実規模レベルにて技術検証を行い、全国の下水道施設への導入促進を図る。

また、それら革新的技術のノウハウ蓄積や一般化・標準化等を進め、国際的な基準づくりへの反映、実証プラントをトップセールス等に活用するなど、海外普及展開を見据えた水ビジネスの国際競争力を強化する。

(2) 社会資本総合整備関連主要事項

①下水道浸水被害軽減総合事業の拡充

近年、全国各地で局地的な大雨（ゲリラ豪雨）が頻発していることを踏まえ、過去の浸水実績は無いが、浸水シミュレーション等により内水氾濫のリスクが高い地域を支援対象に追加し、事前防災・減災の観点からの総合的な浸水対策を推進するため下水道浸水被害軽減総合事業の拡充を行う。

②下水道総合地震対策事業の地区要件の追加

現行制度の地区要件に、「首都直下地震対策特別措置法」及び「南海トラフ地震に係る地震防災対策の推進に関する特別措置法」に指定された緊急対策地区・防災対策推進地域を追加する。

③効率的汚水処理整備計画策定事業の創設

汚水処理施設整備の10年概成を図るため、地方公共団体に対し、都道府県構想の見直しとアクションプランの策定を要請している。

このため、汚水処理施設の効率的整備の観点からの都道府県構想見直しやアクションプラン策定に必要な費用について平成27年度より3年間という期限を設けて支援することで、汚水処理施設未普及地域の迅速な解消を図る。

④下水道整備推進重点化事業の創設（図-3）

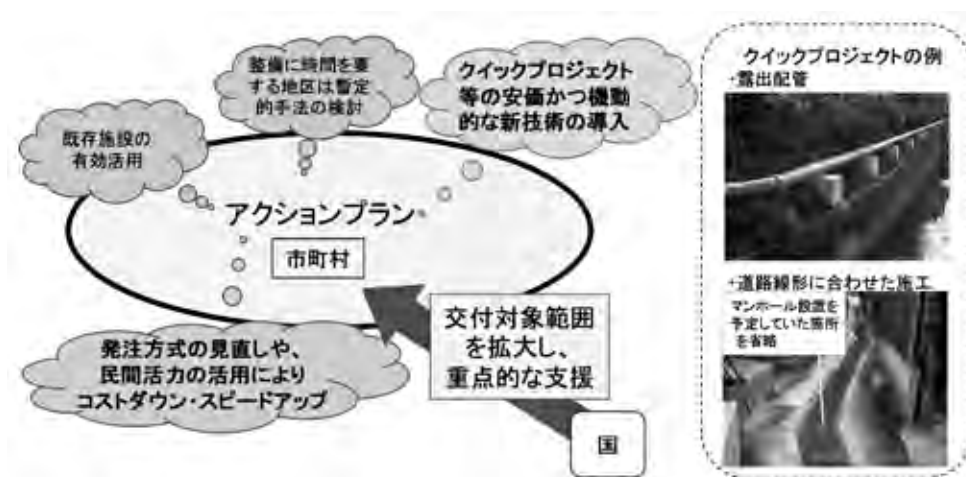
事業に要する費用の徹底的な効率化を図る地方公共団体を積極的に支援するために、一定の基準を満たすアクションプランを策定して実施する地方公共団体の下水道管渠の交付対象範囲を拡大する。

⑤ PPP/PFI 手法を活用した下水道管渠整備の推進

下水道の早期概成を推進するにあたり、管渠整備における PPP/PFI 手法の導入を推進し、民間事業者の創意工夫を後押しするため、民間事業者を直接支援するほか、管渠の交付対象範囲を民間事業者が運用しやすい制度とし、民間活力の活用を図る。

3. おわりに

東日本大震災からの復旧・復興と全国的な安全・安心対策を実施すること等が、喫緊の課題となっている。



図－3 下水道整備推進重点化事業のイメージ図

こうした課題に対応するため、平成27年度においては新規制度として、官民連携や事前防災・減災の観点を取り入れた浸水対策事業の創設や拡充、下水道施設の地震対策事業の拡充を行った。

また概ね10年程度での汚水処理の概成を実現するため、効率的な下水道事業の推進に資する創意工夫を

盛り込んだアクションプランを策定した場合に補助対象を拡充するなどの新規制度を創設した。

今後、各地方公共団体においては、それぞれの制度を十分に理解の上、積極的にご活用頂き、持続可能な下水道事業運営を進めてもらいたい。

特集：平成 27 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
総合的な利用推進について

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、再生可能エネルギー

1. はじめに

我が国におけるバイオマスに関する施策として、「バイオマス活用推進基本法」（平成 21 年法律第 52 号）に基づき「バイオマス活用推進基本計画」が平成 22 年 12 月に閣議決定され、「バイオマス・ニッポン総合戦略」の総括の上、バイオマスの活用の推進に関する基本的方針、国が達成すべき目標や施策等が示された。

こうした中、平成 23 年 3 月の東日本大震災の経験から、自立・分散型エネルギーの確保が重要な課題となり、農山漁村に豊富に存在する家畜排せつ物、食品廃棄物、林地残材等の未利用のバイオマスの有効活用が一層必要になってきた。

このような状況を踏まえ、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）の連携の下、「バイオマス活用推進基本計画」の目標達成に向けて、コスト低減と安定供給、持続可能性基準等を踏まえつつ、技術とバイオマスの「選択と集中」によるバイオマスを活用した事業化を重点的に推進し、地域におけるグリーン産業の創出と自立・分散型エネルギー（電気、熱、燃料）供給体制の強化を実現していくための指針として、平成 24 年 9 月に「バイオマス事業化戦略」が策定された。

2. バイオマス産業都市の構築

この「バイオマス事業化戦略」において、総合支援戦略としての地域バイオマスを活用した産業創出と地域循環型エネルギーシステムの構築により、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「バイオマス産業都市」（図－1）の構築が位置づけられたことから、平成 25 年度より、関係 7 府省連携の下、バイオマス産業都市の構築に向けた取り組みを開始した。

また、平成 25 年 6 月に閣議決定された「日本再興戦略」においては、2018 年までに約 100 地域においてバイオマスを活用するなど産業化とエネルギー導入を重点的に推進することとされており、同年 12 月に政府が決定した「農林水産業・地域の活力創造プラン」においても、2018 年までに約 100 地域でバイオマス産業都市を構築する目標が位置づけられたところである。

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、木質、食品廃棄物、下水汚泥、家畜排せつ物など地域の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

バイオマス産業都市

○ バイオマス産業都市とは、経済性が確保された一貫システムを構築し、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であり、関係7府省が共同で選定。

※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

イメージ



図－1 バイオマス産業都市のイメージ

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。

3. バイオマス産業都市の選定

バイオマス産業都市選定の手続きは、(図－2)に示すとおり、まずバイオマス産業都市構想の公募を行い、応募された構想について、有識者からなるバイオマス産業都市選定委員会において審査・ヒアリングが行われ、推薦案が決定される。その後関係7府省により、バイオマス産業都市が選定される。平成26年度は6地域が選定され、平成25年度に選定された16地域と併せて、関係府省の連携の下、バイオマス産業都市構想の実現・具体化に向けた取組が進められることとなる。

バイオマス産業都市の選定に当たっては、①先導性、②実現可能性、③地域波及効果、④実施体制の観点から総合的に評価している。

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

バイオマス産業都市構想の募集

- 作成主体：市町村（単独、複数）・企業共同体等
- 構想の内容：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

提案応募

バイオマス産業都市選定委員会による審査

- メンバー：バイオマス、環境、エネルギー、投資・金融等の専門家で構成
- 評価の視点：①先導性、②実現可能性、③地域波及効果、④実施体制

7府省によるバイオマス産業都市の選定

バイオマス産業都市構想の実行・具体化

- 関係府省による連携支援（事業化プロジェクト）
- ※関係府省の施策の活用には、別途当該府省の審査・採択が必要。

図－2 バイオマス産業都市の流れ

連携の下で経済性が確保された一貫システムの築が見込まれるなど、地域のバイオマスを活用した



図－3 バイオマス産業都市の選定地域

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、評価を適確に実施していくための実施体制ができていくか。

平成26年度に選定された6地域（富山県射水市、兵庫県洲本市、島根県隠岐の島町、福岡県みやま市、佐賀県佐賀市、大分県佐伯市）のバイオマス産業都市の構想（図－3）の特徴を見ると、構想の対象とする人口や面積に大きな違いがあるものの、平成24年に導入された固定価格買取制度（FIT）が契機として、農山村地域では林地残材等の木質バイオマス発電、都市地域では食品廃棄物、下水汚泥等によるバイオマス発電を含んだ構想となっている。施設規模については、地域に存在する原材料の分布、原材料調達方法に係る関係者、製造事業者の連携体制により、地域の拠点となる大規模施設を整備するもの、地域に複数の施設を

分散整備するもの等、それぞれの地域に適合した多様な構想となっている。

4. 農林水産省の支援策

バイオマス産業都市構築の円滑な推進を図るため、関係7府省による、バイオマス産業都市関係府省連絡会議を設置して、バイオマス産業都市に選定された地域の構想の実現に向けて構想の内容に応じて、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、連携して支援を行っている。

なお、関係府省の施策の活用に当たっては、バイオマス産業都市の選定手続きとは別に、各施策を所管する府省の審査・採択が必要である。

農林水産省で実施している支援策のうち、バイオマス産業都市を対象とするものとして、「地域バイオマス産業化推進事業」により、バイオマス産業都市の構築を目指す地域を対象に、地域の構想とりまとめの経費やバイオマス産業都市の構想に位置づけられた構想実現のための施設整備に対する補助を行っている（表－1）。

表－１ 地域バイオマス産業化推進事業

平成27年度予算		【751百万円】
(1) 地域バイオマス産業化支援事業		【26百万円】
① 地域段階の取組		(定 額)
バイオマス産業都市の構築を目指す地域による構想づくりを支援		
② 全国段階の取組		(定 額)
バイオマス産業都市のネットワーク化と普及のための活動(データベース構築、連絡協議会、シンポジウム開催等)支援		
(2) 地域バイオマス産業化整備事業		【725百万円】
バイオマス産業都市の選定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		(1/2以内)

5. 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上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、バイオマスの分布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参りたい。

特集：平成 27 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：微細藻類、CO₂分離・回収、省エネ型脱水機、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、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。

国土交通省においては「新下水道ビジョン」（平成 26 年 7 月策定）の中で「循環のみち下水道」の持続とともに更なる進化をめざし、地域における水・資源・

エネルギーの最適な循環、下水道施設におけるエネルギーの自立化、下水道のポテンシャルを活かした多様な主体との連携を通じ、食料、資源、エネルギー分野等の多様な分野に下水道の貢献範囲を拡大していくとしている。今年 5 月 13 日成立の下水道法一部改正で、下水道管理者における発生汚泥等の処理においては単なる脱水、焼却、再利用等による減量化だけではなく、燃料化又は肥料としての再生利用されるよう努力義務が制定されたところである。

このような背景のもと、日本下水道事業団（以下 JS という）における経営の基本方針においても、技術開発・新技術導入に関しては地方公共団体へのソ

表－1 技術開発の分野及び基本目標

分 野	基 本 目 標
省エネ・創エネシステム技術	エネルギー・資源回収を目的とした下水処理場の最適化
	汚泥中の放射性物質対策
水再生システム技術	膜分離活性汚泥法（MBR）技術の体系化
	次世代水処理技術の実用化
	改築・更新のための水処理技術の再評価・改善
サステイナブル下水道技術	管路マネジメントシステムの構築
	処理場、管路の防食手法のアップデート
	防災技術の確立

表－２ 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
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、評価及び技術的重要事項を調査審議するもの ・昭和49年度以来、理事長の諮問機関として技術評価委員会を設置
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

表－３ 新技術導入制度における分類

開発者	JS 単独又は JS の係る共同研究		JS 以外
技術の内容	処理プロセス	機器・装置	処理プロセス
新技術の分類	新技術Ⅰ類		新技術Ⅱ・Ⅲ類

※新技術Ⅰ類：JS が単独又は共同研究により開発したもの

※新技術Ⅱ類：国・自治体等の公的機関が開発に関与した技術で JS が技術確認したもの

※新技術Ⅲ類：上記以外のものが開発した技術で JS が技術確認したもの

リユース提供のための技術に重点を置き、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」に係る技術の実用化を積極的に推進することになっている。

ここでは、JS における新技術導入制度に加え、平成 27 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

JS では、技術開発・研究の基本的な方針を示す「技術開発基本計画」を策定しており、平成 23 年度に策定した「JS 技術開発基本計画」(3 次計画)においては、「技術の善循環」の円滑化と「下水道ソリューションパートナー」としての技術力の構築を目指している。このため、表－１に示す 3 つの技術分野・8 つの基本目標を設定、技術開発・研究に取り組んでいる。

また、技術開発・研究の実施スキームを表－２に示す。

JS では、優れた新技術を迅速・確実に実施設へ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、表－３に示すように、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への適用性を確認し、積極的に実施設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については、水処理技術等含めてⅠ類が 9 件、Ⅱ類が 5 件、Ⅲ類が 2 件(平成 26 年度末時点)となっている。詳しくは JS の web に公開されているので参照されたい。

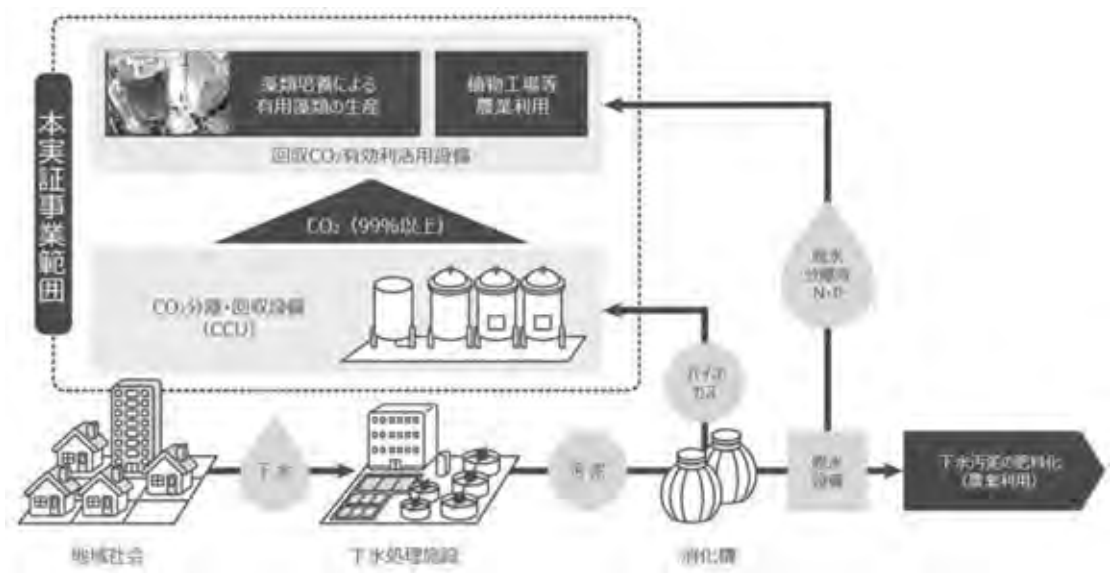
3. 今年度業務及び調査研究テーマ

3.1 受託研究

国や地方自治体等からの委託要請等により実施する研究調査業務で、汚泥の処理・有効利用に関するテーマのみでも毎年 5 ～ 10 件程度実施している。本年度の受託箇所及び実施内容については現在調整中であるが、国受託の「バイオガス中の CO₂ 分離・回収と微細藻類培養への利用技術実証事業」について紹介する。「平成 27 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事業で、(株)東芝・(株)ユーグレナ・日環特殊(株)・(株)日水コン・佐賀市・JS 日本下水道事業団の 6 者による共同研究体により実施する。

実証技術の内容は図－１に示すように、

- 1) 下水バイオガスからの CH₄ と CO₂ を効率的に分離・回収する PSA (加圧減圧吸着) 法による CCU 設備 (二酸化炭素回収装置)



図－１ 本実証事業の概要

表－４ 平成 27 年度予定している汚泥処理に係る共同研究テーマ（平成 27 年 5 月末時点）

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）
エネルギー回収型 焼却処理技術	(株)タクマ	H27	次世代型階段炉を用いた焼却廃熱発電 技術の開発（提案型）
高効率脱水処理技 術	メタウォーター (株)	H25～H27	後注入 2 液型による低含水率ベルトプ レス脱水機の開発（提案型）
省エネ型脱水処理 技術	三機工業(株)	H27	省エネ型遠心脱水技術の実用化に関す る研究（提案型）
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	鋼板製消化タンク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)東芝、(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）

2) 回収した CO₂ と脱水分離液（窒素、リンそ
他のミネラル分を豊富に含んでいる）を用いて微
細藻類を効率的に培養する微細藻類培養設備
の 2 つの設備の組み合わせによる。

これまで利用されていなかった下水バイオガス中の
CO₂ を新たな資源として分離・回収し、回収した CO₂
は微細藻類（ユーグレナ）の培養に用い、返流水中の
窒素・リンの除去性能と有用藻類の培養について実証
するもので、以下の事業効果が期待されている。

1) 分離回収した CO₂ を有効利用することで、下
水バイオガス中の CO₂ を新たな資源として位置
づけ、培養した微細藻類から飼料・肥料等新たな

高付加価値資源の生産を行うことにより地域産業
の創出を図ることが可能

2) 脱水分離液中の窒素・リン除去による返流負荷
の低減

なお、実証プラントは佐賀市下水浄化センター内に
建設し、各種実証試験を行う予定にしている。

3.2 共同研究

JS と民間企業が共同で実施する研究調査業務で、
JS が公募した研究課題について行う公募型共同研究
と、民間企業が提案してきた研究課題について行う提
案型共同研究があるが、最近は提案型が多くなってい

る。平成 27 年度実施予定の主な汚泥の処理・有効利用に係る共同研究テーマを表-4 に示す。

(1) エネルギー回収型焼却処理技術

当技術については「下水道バイオマスからの電力創出システムに関する技術実証事業」として平成 25～26 年度 B-DASH 事業により取り組んできたテーマで、二液調質型遠心脱水機+次世代型階段炉+バイナリー等蒸気発電機の組合せシステムで、その試験結果より以下の成果が得られた。

- ・低含水率化技術で含水率 70% 程度の脱水汚泥が安定して得られ、補助燃料なしで自燃が可能である
- ・上記汚泥の定格焼却量 (35t - wet/ 日) に対し所定の蒸気量 (1.5t/h) の確保ができ、また N_2O 排出量が高温対策流動床炉の 1/6 と少ない
- ・定格蒸気量において、四季を通じて 100kWh/h 以上の発電が可能である

今年度は当該実証プラントを利用するものの二液調質型遠心脱水機との組み合わせに限定せず、消化汚泥や剪定枝といった他の未利用バイオマスとの混焼など、より幅広い適用範囲を想定したエネルギー回収型焼却処理技術の開発及び FS 調査に取り組む。

(2) 高効率及び省エネ型脱水処理技術

下水汚泥の処理処分や有効利用を図る上で、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の 2 つのタイプの脱水機を対象に省エネ・低含水率化を目的とする技術開発を行い、その性能を確認してきた。今年度は昨年に引き続き、ベルトプレス型脱水機の低含水率化について共同研究と、新たに省エネ型遠心脱水機の実用化に関する共同研究を予定している。

①後注入 2 液型ベルトプレス脱水機

ベルトプレス式は性状変動に強く間欠運転にも追従し、操作性・維持管理性も良好な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。対象とする機種を図-2 に示す。2 液法によるべ



図-2 後注入 2 液型 B P 脱水機概念図

ルトプレス脱水で、ベルトの濃縮工程をろ布濃縮工程と一次脱水工程の 2 つに分け、ろ布濃縮を行った後にポリ鉄を注入し効率よく混合し、一次脱水を行うことで従来に比べ大幅に濃縮濃度が増加し汚泥量が減少する。これにより二次脱水工程でベルト速度を低下させることが可能となり、脱水時間の増加により脱水汚泥の低含水率化を目指すものである。

これまでの研究成果として、従来の 1 液法に比べケーキ含水率を 8 ポイント以上低下、難脱水汚泥の一つである消化汚泥でもケーキ含水率 75% 程度が得られており、今年度は実験機をより実機に近い脱水機に改造して実用化に向けた性能確認を行う。

②省エネ型遠心脱水機

遠心脱水機は相対的にコンパクトで大型化が可能なことから小規模から大規模処理場まで幅広く採用されているものの、消費電力が大きいという課題があった。そこで本共同研究では、エネルギーを大きく消費する汚泥および薬品の流体加速動力を独自の技術(分離液排出エネルギーの有効利用、コンベア軸径のスリム化等)により大幅に低減する省エネ脱水技術の開発を行う。図-3 に、今回共同研究を進めている省エネ型遠心脱水機の基本構造を示す。

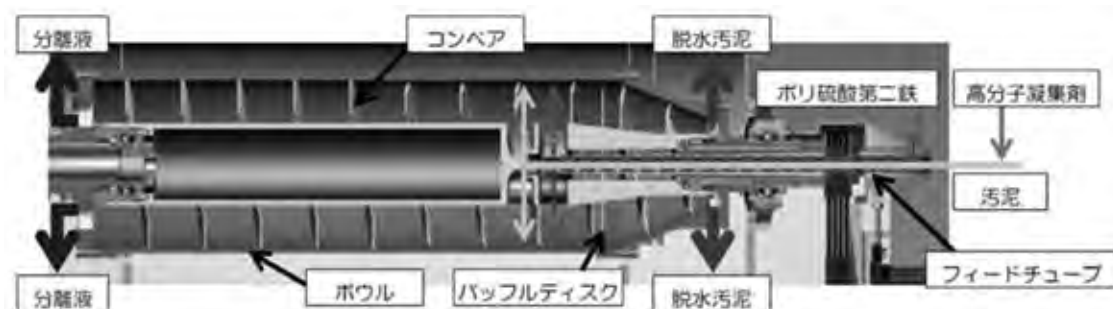
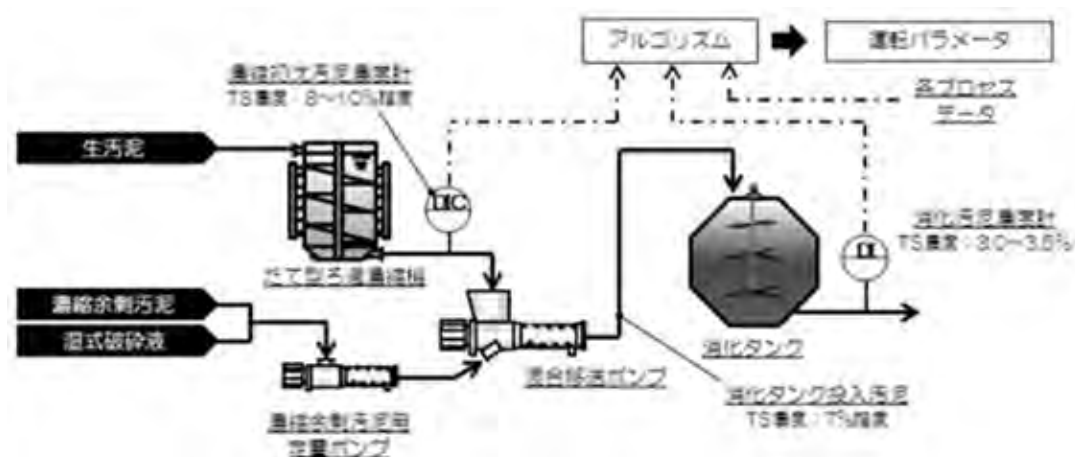


図-3 省エネ型遠心脱水機の基本構造



図－４ 分離機械濃縮・超高濃度中温消化技術の基本フロー

混合生汚泥、消化汚泥ともケーキ含水率はJS標準性能を満足させつつ、消費電力を従来タイプの約半分に相当する $1.7\text{kWh}/\text{m}^3$ 以下（目標 $1.5\text{kWh}/\text{m}^3$ ）を目指している。

(3) 分離機械濃縮による高濃度消化技術

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、図－４に示すように、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システム化し、運転方案・流量設定を最適化することを目的に研究を実施することとしている。また、場外バイオマス（生ごみ）混合消化のガス発生量等についても確認することとしている。

(4) 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。今回は 30m^3 実証用鋼板製消化タンク（写真－１）を用いて下水汚泥を対象に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（分解VS量当たり）、放熱特性等を確認することとしている。

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。



写真－１ 鋼板製消化タンクの外観

(5) CO_2 回収と微細藻類培養技術

本共同研究は、今年度新規採択された下水道革新的技術実証事業（B－DASHプロジェクト）「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事業」に対応する共同研究である。

微細藻類は陸上植物等に比べその増殖速度が極めて大きいことから、バイオマス資源原料として世界中で注目され開発が行われているが、生産コストの縮減が実用化の大きな課題となっている。そこで、これまで利用されていなかった下水汚泥消化ガス中の CO_2 や汚泥脱水ろ液中の窒素、リン等の栄養源を活用し微細藻類を低コストで効率的に培養する技術の確立を目指すものである。下水道資源の新たな利用法の開発が期待されている。

4. おわりに

米国海洋大気局（NOAA）は、世界の大气中の CO_2 がこの（2015年）3月時点で、地球温暖化の危険

水準とされる 400ppm を超えたと発表した。国連の気候変動に関する政府間パネル（IPCC）は温暖化による致命的な被害を避けるためには 450ppm までに抑える必要があるとしている。本年末にパリで開催される COP21 の会議で、2020 年以降 2030 年までの国際的な排出削減の新しいフレームワークづくりで合意を目指しているものの、現在、各国が公表している削減目標を合計すると、CO₂ 濃度の上昇を食い止めるには不十分で、一段の削減協調が求められると予想されている。

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。

下水汚泥や生ごみなどは、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 27 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) 南山 瑞彦

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。

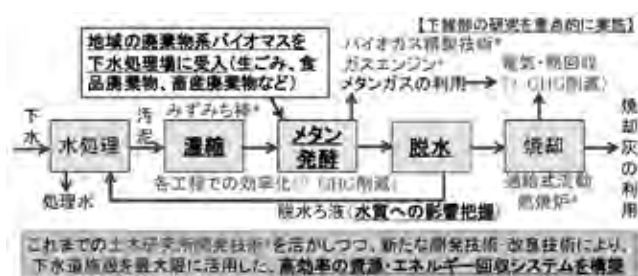
また、同じく平成 27 年 4 月に、土木研究所に先端材料資源研究センター（Innovative Materials and Resources Research Center、略称 iMaRRC、アイマーク）が設置された。iMaRRC では、コンクリートや鋼材など従来の土木材料に関する調査研究や技術開発を行うことに加え、先端的な材料を土木構造物へ適用し、社会インフラの長寿命化、耐久性の向上や、劣化検知・診断を容易にするための技術開発を行うとともに、土木材料、下水及び下水汚泥のリサイクル技術やエネルギー使用の効率化（創エネ等）技術の調査研究・技術開発を行うことにより、持続可能な社会、低炭素循環

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る。

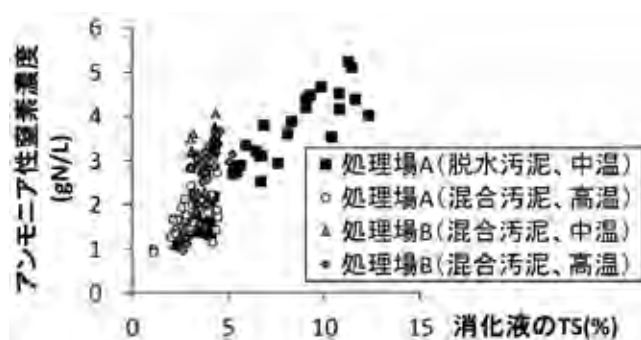
本報では、現在すすめている土木研究所の中期計画（計画期間平成 23～27 年、平成 23 年 3 月国土交通大臣及び農林水産大臣認可）で実施している下水汚泥等バイオマスの有効活用に関するプロジェクト研究について、その概要、実施状況と研究成果の社会への還元に関する活動について紹介する。

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、および、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」を実施している。



図－1 低炭素型水処理・バイオマス利用技術の開発に関する研究の概要



図－2 消化液のアンモニア性窒素濃度とTSの関係

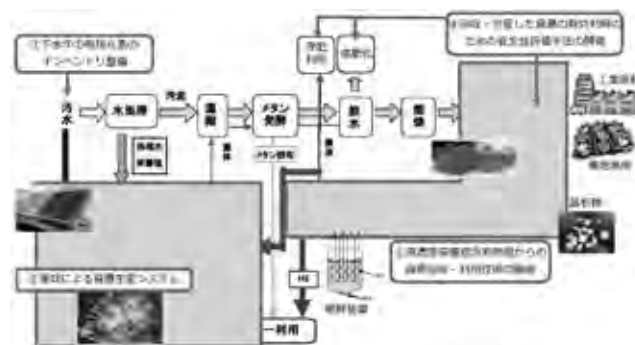
このプロジェクト研究は、バイオマスとして、下水汚泥だけではなく公共緑地から発生する刈草等も対象とし、また、都市域だけではなく、農村域も含んだ広域をバイオマス利活用システムの検討範囲として設定していることが特徴である。このプロジェクト研究の中で、下水汚泥を主な対象としたバイオマス利用について以下の3課題を実施している。

- ・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

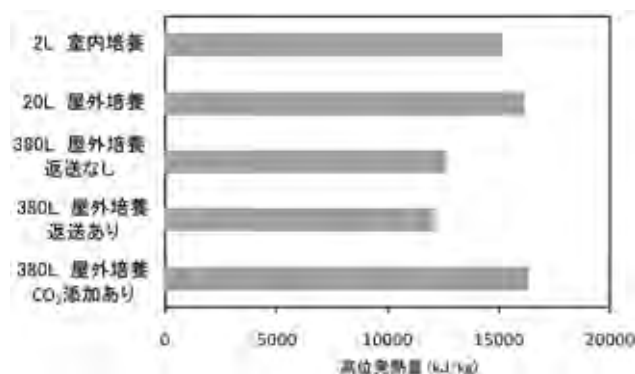
3. 低炭素型水処理・バイオマス利用技術の開発

本研究は、下水汚泥の濃縮、消化、焼却等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ている。また、これらの技術適用による水処理系への影響や温室効果ガス排出抑制効果等も評価する(図－1)。

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、実験的検討を行っている。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、



図－3 下水道を核とした資源回収・生産・利用技術に関する研究の概要



図－4 培養藻類の高位発熱量

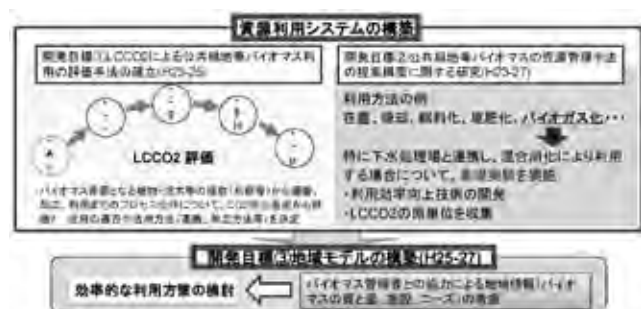
メタンガスとしてエネルギー回収することを意図している。

これまで、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%程度以下で従来と同程度のメタン回収(0.24NL-CH₄/gVS-投入程度)が可能であることを示した。また、汚泥性状が異なると、アンモニア生成率が異なることを明らかにした。(図－2)

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ている。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の研究を進めている(図－3)。

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てきた。また、下水処理場に設置した380L規模の培養水槽を利用し、下水二次処理水を



図－5 地域バイオマスの資源管理と地域モデル構築に関する研究の概要



図－6 刈草の下水汚泥混合メタン発酵実験

用いた屋外藻類培養実験を実施し、CO₂添加が培養藻類の高位発熱量を向上させることを明らかにした(図－4)。

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ている。また、望ましいバイオマス利用方策を適用するための地域モデルを構築する(図－5)。

これまでに、道路や河川の管理上生じる刈草の処理方法について、温室効果ガス排出量算定モデルを開発してきた。今後、河川管理者などの公共緑地の管理者を対象に、温室効果ガス排出量を削減可能な中間処理施設等の選択に資するマニュアルを作成していく予定である。また、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－6)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となった。

6. 研究開発成果の社会への還元

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。こうした技術の紹介と現場技術者の方々との意見交換を行うことにより、下水道の現場が抱える課題解決のヒントやアイデアを考える機会とするため「下水汚泥などのバイオマス資源有効活用技術講習会」を行っており、平成26年度も金沢市で開催した。金沢市での講習会は、石川県、金沢大学理工研究域サステナブルエネルギー研究センターとの共催で実施し、土木研究所での開発技術の紹介に加え、平成24～25年度に実施した石川県、金沢大学および民間4社との共同研究報告が行われた。基調講演として、金沢大学池本教授より、稲わらのバイオガス化、スーパーを拠点とした生ごみの回収、今後の小規模施設への提案等について、石川県水環境創造課より消化ガスの有効利用についてご講演頂いた。土木研究所からは、みずみち棒を用いた下水汚泥の重力濃縮技術について紹介した。共同研究報告では、金沢大学、石川県をはじめとする関係者より、汚泥の高濃度化による嫌気性消化の性能向上、オキシデーションディッチ法から発生する汚泥の高濃度混合嫌気性消化、バイオマスメタン発酵施設の事業化検討について、成果が紹介された。参加者との意見交換も行われ、異なる立場の関係者間での議論を通して、現場への研究成果の導入における課題の一部が明らかになった。技術の発展や普及には、こうした現場からの声を伺い、活かす活動が必要不可欠と考えており、平成27年度も引き続き同様の取組を行いたいと考えている。

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。引き続き、研究の進展に努めていきたいと考えている。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ある(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 27 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：チェーンフライト式汚泥掻寄機、省エネ型攪拌機、消化ガス発電

1. はじめに

資源循環研究部では、主として、下水汚泥のエネルギー化技術の普及・促進、地域バイオマス of 下水処理場への受け入れによる資源基地化、下水汚泥中のリン資源の活用に取り組んでいる。最近では、下水処理場の消費エネルギー調査の結果を踏まえ、水処理施設、汚泥処理施設の省エネルギー化にも取り組んでいる。

2. 民間との共同研究

今年度実施の民間との共同研究は、以下の 6 件となっている。このうち 5 件は、下水道機構が共同研究者を募集したものである。

①チェーンフライト式汚泥かき寄せ機技術に関する共同研究

わが国では、最初沈殿池や最終沈殿池の汚泥かき寄せ機として、一般にチェーンフライト式が使用されているが、材質的に金属製、セミプラスチック製、全プラスチック製に分類される他、セミプラスチック製については従来型、ノッチチェーン式、浮上型に分類される（図－1 参照）。下水道機構では、これら個々のチェーンフライト式技術について、共同研究や審査証明を行ってきたが、今回は、これらを網羅した技術資

料の作成を目的としている。また、チェーンフライト式汚泥かき寄せ機技術に関する最新の知見を反映させ、改築更新時に公共団体等の参考に資することを目的としている。

本共同研究は、以下の民間 8 社、(株)クボタ、三機工業(株)、(株)神鋼環境ソリューション、水ing(株)、月島機械(株)、日立機材(株)、前澤工業(株)、三菱化工機(株)と実施している。

②省エネ型反応タンク攪拌機の導入促進に関する共同研究

資源循環研究部では、下水処理場全体の消費エネルギーに加えて、水処理施設の消費エネルギーについても、流入水量や流入 BOD 濃度、施設能力に対する流入割合等のそれぞれの下水処理場を特徴づける項目を変数とした回帰式を作成し、標準的なエネルギー消費量を明らかにした。昨年度、標準的なエネルギー消費量に対して電力消費量の高い下水処理場をヒヤリングした結果、そのうちの多くで水中攪拌機を設置していることが判明した。水中攪拌機を用いている下水処理場の水処理施設の電力消費量の実態を以下に示す。

水中攪拌機を用いている調査処理場数 14 箇所
(実際の電力消費量/標準的な電力消費量) の平均比率 1.52

標準を超過した電力量に占める水中攪拌機の電力消費量の割合

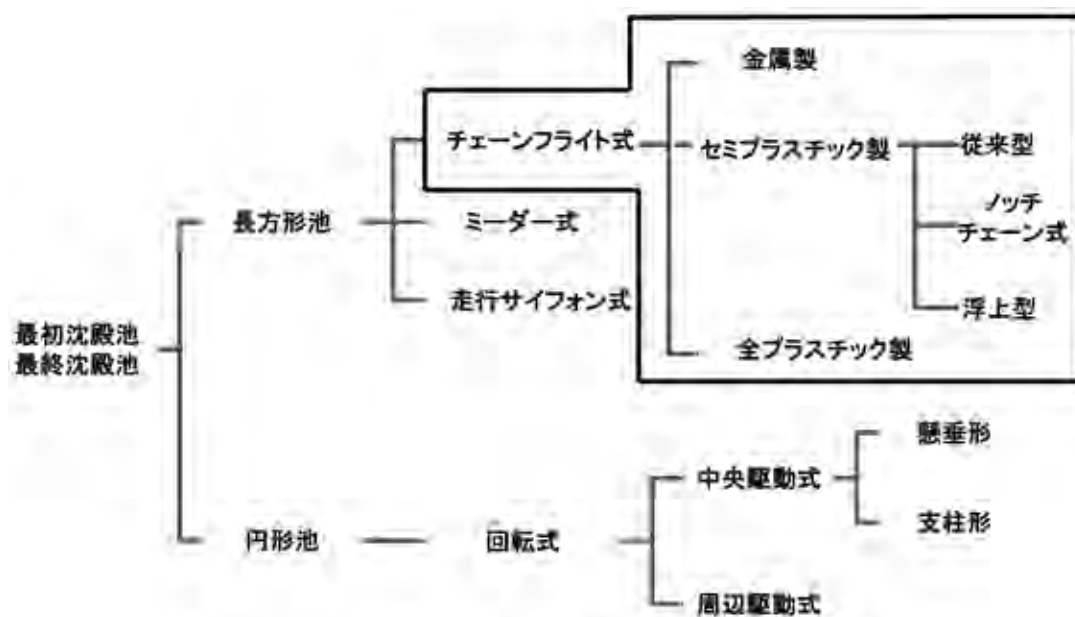


図-1 汚泥かき寄せ機

イ、水中攪拌機電力消費量の平均値 = 776 千 kWh/年
 (総定格電気容量 (kW) × 負荷率 0.7 × 24 (h) × 365 (日) で算出)

ロ、(電力消費量の平均値 - 標準電力消費量の平均値) = 1,413 千 kWh/年

イ/ロ = 55%

調査した下水処理場では、水中攪拌機の攪拌動力密度が槽容量当たり 10.8 w/m^3 であったが、下水道機構で審査証明を行った省エネ型攪拌機は $1.0 \sim 3.5 \text{ w/m}^3$ と大幅な省エネ化が見込まれる。水中攪拌機は、高度処理法に加えて標準活性汚泥法でも使用されており、省エネ型攪拌機の導入事例調査やケーススタディにより、省エネ、経済性を明らかにする予定である。

本共同研究は、以下の民間 7 社、(株) クボタ、三機工業 (株)、JFE エンジニアリング (株)、(株) 神鋼環境ソリューション、住友重機械エンバイロメント (株)、日立造船 (株)、前澤工業 (株) と実施している。

③嫌気性消化法の導入マニュアル策定に関する共同研究

嫌気性消化法は、下水汚泥のエネルギー利用の主要な技術であると同時に、エネルギー回収による地球温暖化ガス対策としても非常に有効な技術である。しかし、処理水量が $2 \text{ 万 m}^3/\text{日}$ 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、このような中小規模の下水処理場においても嫌気性消化法の導入が円滑に行われ、エネルギー利用、資源利用につなぐことができる手法を示す導入マニュアルの策定を目的としている。

本共同研究は、FS を希望する自治体 2 者 (飯能市、水見市) 及び以下の民間 11 社、(株) NJS、(株) 大

原鉄工所、オリジナル設計 (株)、JFE エンジニアリング (株)、(株) 神鋼環境ソリューション、住友重機械エンバイロメント (株)、(株) 中央設計技術研究所、(株) 東芝、中日本建設コンサルタント (株)、(株) ニュージェック、(株) 松本鉄工所と実施している。

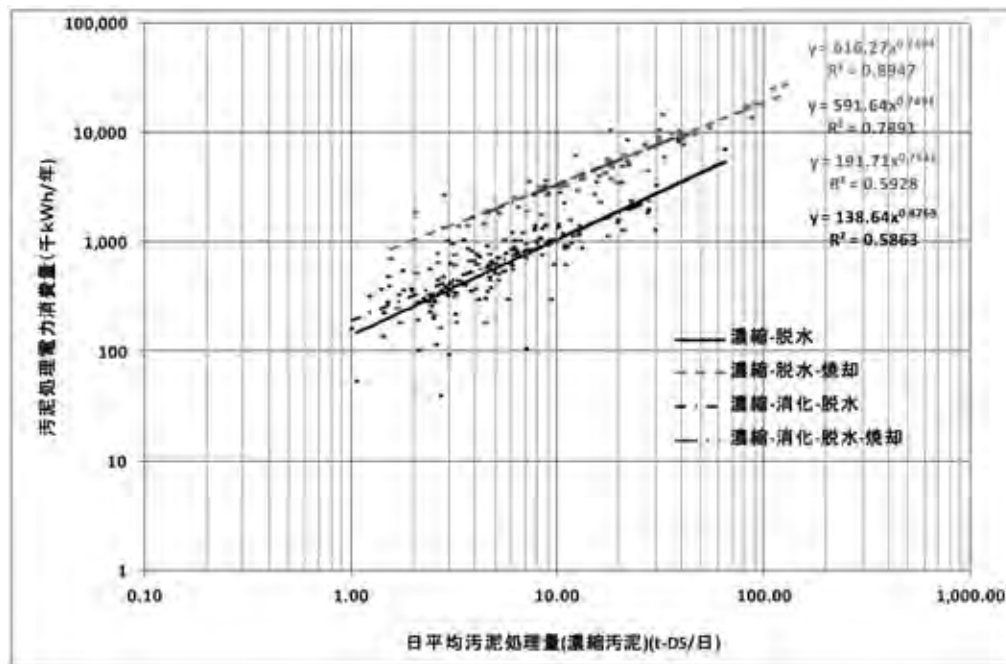
④消化ガス発電普及のための導入マニュアル策定に関する共同研究

地球温暖化ガス対策や省エネルギー対策が急がれる中で、消化ガスを産出していて発電が可能でありながら焼却廃棄している事例が少なからずある。国土交通省がこの原因を調べたところ、導入コストが高く B/C を満足できないというケースがほとんどであった。本共同研究は、消化ガスを産出している下水処理場を対象に、消化ガス発生量の規模にかかわらず、円滑に消化ガス発電設備を導入するためのマニュアルを作成することを目的とする。

本共同研究は、FS を希望する自治体 2 者 (飯能市、今治市) 及び以下の民間 13 社、(株) NJS、(株) 大原鉄工所、JFE エンジニアリング (株)、(株) 神鋼環境ソリューション、新日鉄住金エンジニアリング (株)、(株) 中央設計技術研究所、月島機械 (株)、(株) 東芝、中日本建設コンサルタント (株)、(株) ニュージェック、(株) 松本鉄工所 (株) 明電舎、メタウォーター (株) と実施している。

⑤省エネ型汚泥処理システムの構築に関する共同研究

汚泥処理施設のエネルギー消費について、汚泥処理システムの相違を踏まえて明らかにするとともに、省エネ型汚泥処理設備の導入による省エネ効果や省エネ



図－2 汚泥処理システムによる電力消費量の比較

機器導入による汚泥処理システムの改善効果等を明らかにすることを目的とする。省エネ型設備としては、濃縮、消化、脱水、乾燥、焼却の各プロセスを対象とするほか、各プロセスを組み合わせた省エネ型汚泥処理システムとしての評価も行う。

図－2は代表的な汚泥処理システムの電力消費量について、汚泥処理量との関係を示したものである。焼却プロセスが入ると電力消費量に大きな影響を与えることが分かる。したがって、焼却プロセスの省エネが非常に重要なことなどが分かる。また、消化プロセスが入っても電力消費量はあまり変わらないので、消化プロセスの導入により、エネルギー回収を行う方が有利であることなどがわかる。

本共同研究は、以下の民間9社、(株)石垣、(株)クボタ、三機工業(株)、JFEエンジニアリング(株)、(株)神鋼環境ソリューション、水ing(株)、(株)東京設計事務所、(株)日水コン、日本水工設計(株)と実施している。

⑥ OJI-MIXER による酸素供給電力削減技術に関する共同研究

プロペラと散気装置により酸素供給を行うオキシデーションデイチ法の施設に、OJI-MIXER ガス溶解装置により酸素濃度93%の酸素を供給し、ブロワ電力の削減により省エネ化を図ることを目的とする技術である。平成28年8月末までを実施期間とする予定である。

本共同研究は、王子ホールディングス(株)と実施している。

3. 国の政策支援や地方公共団体等との共同研究

国の政策支援については、国土交通省関係では、例年のとおり、下水道革新的技術実証研究(Bダッシュ)に関する支援業務等に応募を予定している。また、環境省が今年度、下水道部門の温室効果ガス排出抑制のマニュアルを作成する予定であるが、その支援業務を実施する。

地方公共団体等については、現在、神奈川県下水道公社と下水処理場の電力削減に関する共同研究を実施している。現地調査に基づき、省エネ化を図る方法や改築更新計画に省エネの観点を反映させることなどを目的としている。

4. おわりに

下水汚泥中のエネルギーを消化ガス発電などで回収することや電力消費量の大きな焼却プロセスの廃熱からエネルギー回収をすることは非常に重要である。しかし、現状の下水処理場のエネルギー消費量は十分省エネ化が図られているとはとても言えない。すなわち、分母が非常に大きい状態である。

省エネ化のいっそうの推進とエネルギー回収を促進することにより、下水処理場のエネルギー自立化を図ることが、下水道事業の経営の健全化と地球温暖化防止に大きな役割を果たすことになる。資源循環研究部では引き続きこの分野で皆様の協力を得ながら技術開発に取り組んでいきたいと考えております。

研究紹介

指標微生物の DNA 情報に基づいた メタン発酵装置の性能低下予測

東京工業大学大学院国際開発工学専攻
教授 中崎 清彦

キーワード：メタン発酵、バクテリア、アーキア、微生物叢解析、指標微生物

1. はじめに

メタン発酵は、循環型社会の形成に資する重要な技術として大きな期待が寄せられている。メタン発酵においては、装置への有機物負荷を増加させると、ある負荷量まではメタンガス発生量が増大するが、負荷量が限界に達するとその負荷量でしばらく高いガス発生量を維持した後に、突然、メタンガスが全く発生しなくなって、メタン発酵が「破綻」することがよく知られている。このメタン発酵の破綻に際しては、発酵液中で有機酸が高濃度に蓄積し、pH の大幅な低下が見られるが、これらの変化が発酵の破綻に至るまでの変化は極めて急激であり、破綻を回避するための手段を講じる時間的な余裕はない。また、一旦、メタン発酵を破綻させてしまうと、ガス発生が順調であったときの負荷にまで有機物負荷を大幅に低減しても、ガスの発生を元の状態にまで戻すことは困難である。このため、メタン発酵においては有機物負荷を上げすぎて発酵を破綻させることがないように操作することが重要であるが、有機物負荷を小さく維持し続けた安全サイドの運転ではガスの発生量が小さいままで、装置の効率を高くすることができない。メタン発酵の馴養過程で発酵の破綻を、十分な時間的な余裕をもって予測し、破綻を回避する手段を講じることができれば、格段に高効率なメタン発酵が可能になるものと期待される。

著者らはメタン発酵の破綻を予測するために、破綻の指標となる微生物の特定に取り組んだ^{1, 2}。メタン発酵は複数の微生物が複雑な相互作用を及ぼしながら共存する複合微生物の系であり、その系の中での特定の微生物の動態や役割を明らかにすることは難しいとされてきたが、近年の発展著しい分子生物学は、メタン発酵に関わる微生物の動態や役割を明らかにすることを可能にしてきている。本報ではメタン発酵の破綻の指標となる微生物を特定し、指標微生物の動態を DNA 濃度でモニターしながらメタン発酵装置の破綻を予測する、新しい手法を開発する試みについて紹介する。

2. 実験方法

わが国におけるフルーツ缶詰やフルーツ入りゼリーの製造工場においては、大量の廃シロップが排出されるため、廃水の適正処理と、エネルギー回収の観点から、廃シロップのメタン発酵が大きな期待を集めている。著者らは廃シロップを処理する実用規模 UASB メタン発酵装置を用いて、その馴養過程と過負荷運転にともなうメタン発酵の破綻にいたるまでの装置の性能を定量的に評価し、その結果を微生物叢変化と対応づけることを試みた。解析を実施したフルーツ缶詰の製造工場における廃シロップは、ショ糖が主成分でブリークス濃度は 15.2 度であった。UASB 装置の容積

は 20 m³ で最初に他の食品工場の UASB 装置から入手したグラニユー汚泥を約 15 m³ 充填した。廃シロップは、水で希釈し、最初は有機物負荷として 3.03 kg COD/m³/d のシロップ廃水として装置内に導入した。発酵開始後 49 日には、シロップ廃液に Ni²⁺ と Co²⁺ の塩をそれぞれ 1ppm の濃度で添加し³、64 日後には、尿素を添加する⁴ ことによって C/N 比を 15 に調整した。なお、有機物負荷は廃シロップの希釈程度と、滞留時間 (HRT) を 7.5 日から 3.1 日まで変化させることで次第に増加させ、最大で 30.3 kg COD/m³/d まで上昇させた。また、装置中発酵液の温度は発酵期間全般にわたって 39℃ に維持した。生成するバイオガスの体積は、発酵槽の上部に設置した流量計 (CMS0500、株式会社山武) を用いて連続的に定量し、バイオガス中のメタン濃度は 1 日に 1 度、ガスクロマトグラフィー (G1011、柳本製作所) を用いて測定した。また、発酵液の pH は、発酵槽内に設置した pH メータ (pH100、横河電機株式会社) により測定し、発酵液中の揮発性脂肪酸 (VFA) 濃度は、高速液体クロマトグラフィー (HPLC) (LC-2000 プラス HPLC システム、日本分光株式会社) を用いて定量した。

グラニユー中の微生物叢は PCR-DGGE 法を用いて解析した。グラニユーサンプルからの DNA 抽出は、ISOIL beads beating kit (No.319-06201、株式会社ニッポンジーン) を用いておこなった。抽出した DNA をテンプレートとして バクテリアとアーキアの 16rRNA 遺伝子を増幅し DGGE 解析をおこなった。バクテリアのプライマーは、357FGC、5' -CGC CCG CCG CGC GCG GCG GGC GGG GCG GGG GCA CGG GGG GCC TAC GGG AGG CAG CAG-3' および 518R、5' -ATT ACC GCG GCT GCT GG-3' とし⁵、アーキアは、最初に PRA46F、5' - (C / T) TAA GCC ATG C A (G / A) GT-3'、および PREA1100R、5' - (T / C) GG GTC TCG CTCGTT (G / A) CC-3' で増幅した後、引き続き PARC3 340F、5' (C / T) (G / C) -CGC CCG CCG CGC GCG GCG GGC GGG GCG GGG GCA CGG GGG GCC CTA CGG GG GCA CA G-3'、および PARC519R、5' -TTA CCG CGG CKG CTG-3' を用いて増幅するネステッド PCR を用いた⁶。なお、DGGE には DCodeTM Universal Mutation Detection System (Bio-Rad, Hercules, US) を用い、変性剤の濃度勾配を電気泳動方向に 30% から 60% (変性剤濃度 100% は 7 M 尿素と 40% ホルムアミドに対応) とした 0.8mm 厚さの 10% ポリアクリルアミドゲルを使用して、1.0 × Tris-acetate-EDTA (TAE) 溶液中で 60℃、200V、3.5 h の条件で電気泳動した。ゲル上で検出された特徴的な DNA バンドはゲルから抽出、精製して塩基配列を決定し、それらの

バンドに対応する微生物を同定した。

PCR-DGGE 法により検出された特徴的な細菌について、その濃度のメタン発酵過程における経時変化を測定するためにリアルタイム PCR 法を適用した。プライマーセットは、Geo F、5' -GCGGGTGCTAATATCATCTGCG-3' および Geo R、5' -GCCCAATAATTCCGAACAACG-3' とした。リアルタイム PCR には、スマートサイクラーシステム (Cepheid, US) を用いた。サンプルから抽出した DNA の 2 μL をテンプレートとし、12.5 μL の 2 x SYBR[®] premix Ex TaqTM (タカラバイオメディカル) と 0.5 μL の各々のプライマー、および 9.5 μL 超純水を混合して反応混合液とした。PCR は、初期に 95℃ で 10 sec 変性し、引き続いて 95℃ で 5 sec、60℃ で 20 sec を 40 サイクル繰り返した。

3. 結果と考察

図 1 に有機物負荷量、メタンガス発生速度の経時変化を示す。メタンガスは、シロップ廃水への金属塩添加と C/N 比調整の後、発酵開始約 66 日付近から発生し始めた。これらの結果は、金属塩の添加と C/N 比の調整がメタン発生に効果的であることを示している。その後、発酵 127 日までは有機物負荷が増加するのにもとないメタンガス発生速度が上昇し、馴養にと

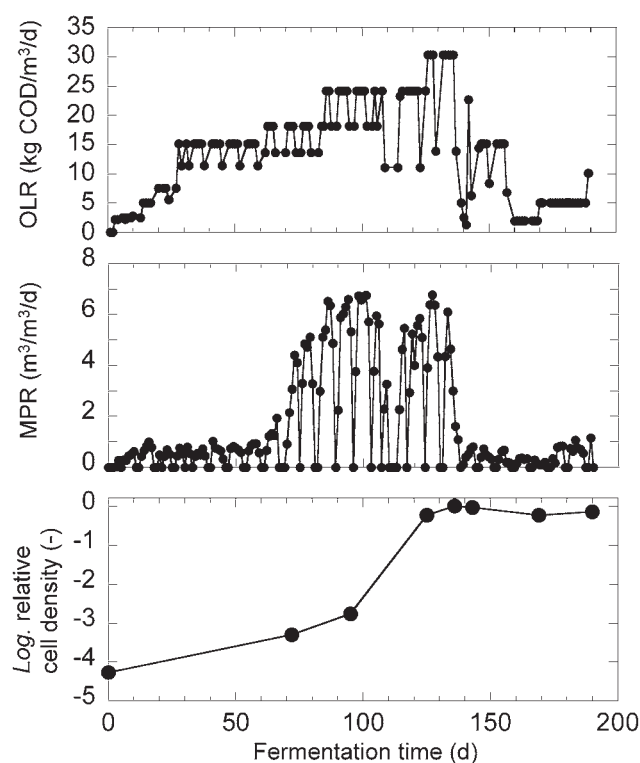


図 1 メタン発酵過程におけるメタン発生速度 (MPR)、有機物負荷 (OLR)、およびバンド B6 に対応する細菌 (*Geobacter* sp.) の相対濃度の経時変化

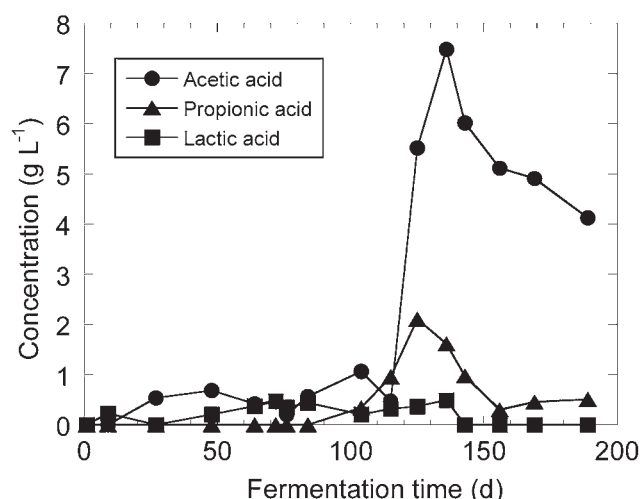


図2 メタン発酵過程における酢酸、プロピオン酸、および乳酸濃度の経時変化

もなつて装置性能が上昇することが確かめられた。しかしながら、有機物負荷を $30.3 \text{ kg COD/m}^3/\text{d}$ の高い値に維持し続けると、メタンガス発生速度は134日以降急激に減少し、メタン発酵の破綻が観察された。本研究で解析した実用規模装置においては、 $30.3 \text{ kg COD/m}^3/\text{d}$ では負荷が大きすぎて、メタンガスを安定的に発生させることができないことがわかった。なお、ここには詳細を示さないが、メタンガス発生速度が急激に減少し発酵が破綻したときには、pHの値も大幅に低下した。

図2にメタン発酵過程における揮発性脂肪酸と乳酸濃度の経時変化を示す。酢酸とプロピオン酸濃度は、発酵開始115日後には475および963 mg/Lであったが、それらは、136日後には極めて高濃度の7,480 お

よび1,610 mg/Lまで増加し、著量の酢酸およびプロピオン酸が蓄積したことが確かめられた。なお、酪酸、吉草酸などの他の揮発性脂肪酸は発酵期間全般にわたって検出されなかった。また、乳酸は、最大で400 mg/L程度蓄積するが、有機物負荷が比較的小さくメタン発生が活発なときにも同程度の乳酸が蓄積していることから、本実験で観察されたメタン発酵の破綻は主として酢酸とプロピオン酸の高濃度蓄積によるものと考えられた。なお、メタン発酵の破綻にともなつて、揮発性脂肪酸が急激に蓄積するのは、有機物負荷が増大したとき、バクテリアによって生産されるシロップの分解中間体である揮発性脂肪酸の発酵液中濃度が高くなると同時に、蓄積した揮発性脂肪酸がその分解を担うアーキアの働きを阻害することで揮発性脂肪酸がより蓄積しやすくなったためと説明された。

図3にPCR-DGGE法で測定されたメタン発酵過程における細菌叢の動的な変化を示す。B1からB8まで8つの特徴的なバンドが観察された。バンドB1はメタン発酵全般にわたって輝度が高く、バンドB1に対応する細菌はメタン発酵過程をとおして、グラニュール中細菌叢の主要な構成メンバーとなつていたと考えられた。バンドB2は、発酵開始26日から64日までの初期のみ輝度が高く、バンドB3、およびB5は発酵全般で観察された。バンドB4とB7は発酵が進むにつれて減少する傾向があつたのに対し、バンドB6は発酵125日以降に輝度が上昇し、発酵終了には最も輝度の高いバンドの1つとなつた。なお、バンドB8は発酵過程全般にわたって低い輝度で存在した。これらの8つのバンドの系統解析の結果を図4に示す。シロップ廃液のメタン発酵過程で出現する細菌の

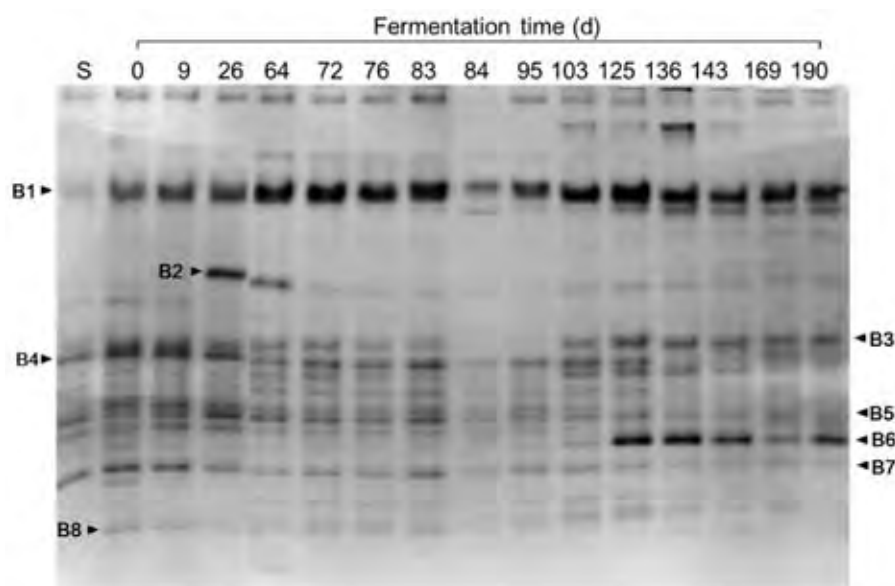


図3 メタン発酵過程におけるバクテリアのPCR-DGGEパターンの経時変化。個々のレーンの上の数字とアルファベットSは、メタン発酵の日数と種汚泥（シード）を示す

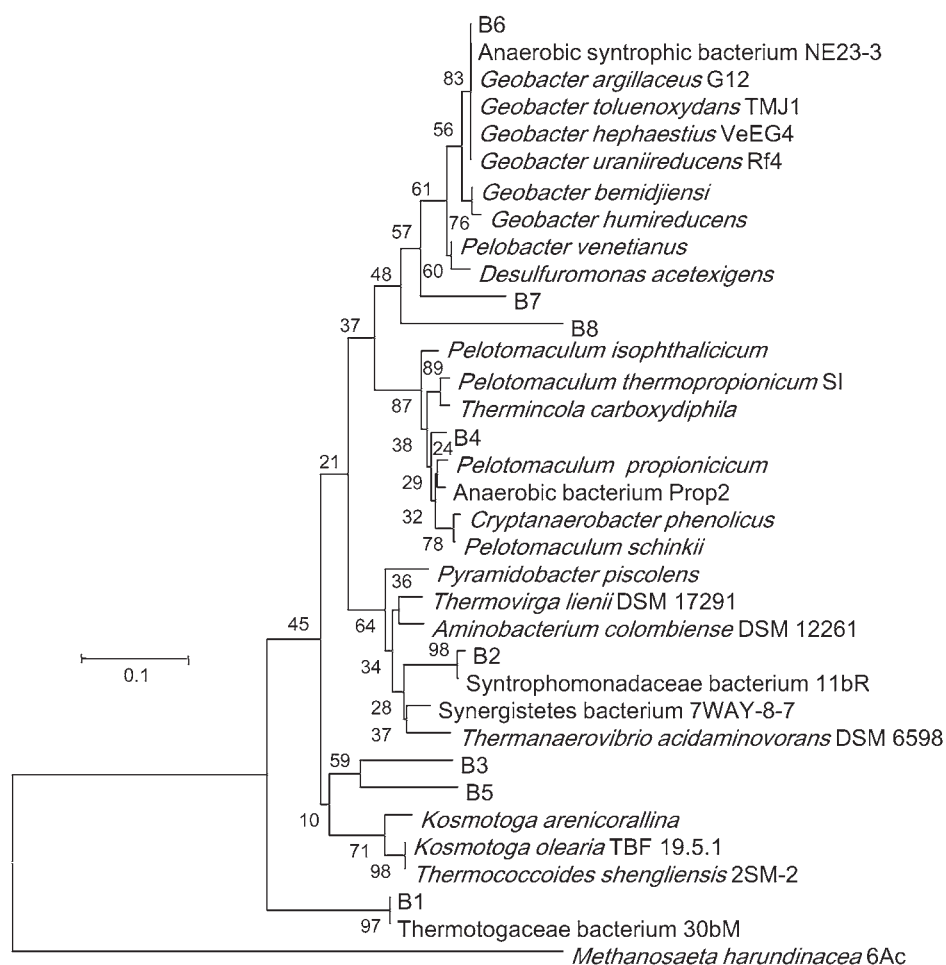


図4 メタン発酵過程で出現するバクテリアの系統樹。記号は図3に示したPCR-DGGE パターンのバンドに対応する

多様性は極めて高いことがわかった。なお、バンドB6の塩基配列の解析から、このバンドに対応する細菌がProteobacteria門の*Geobacter*属細菌と近縁であることが確かめられた。*Geobacter* sp. は、アーキアと還元力を巡って競合し、そのためにメタンガス生成を阻害したと考えられた。

一方、ここには詳細を示さないが、アーキアについてもバクテリアと同様にPCR-DGGE解析をおこなったところ、A1からA7まで7つの特徴的なバンドが観察された。メタンガスが盛んに発生しているときには、*Methanosaeta harundinacea* や *Methanosaeta concilii* のような *Methanosaeta* 属に近縁のアーキアが優勢であり、メタン発酵が破綻してしばらく経過すると *Methanosarcina* 属アーキアが相対的に優勢となった。PCR-DGGEにおけるゲル上のバンドの輝度は、そこに存在する微生物全体に占める、注目している微生物の相対的な存在度に対応しており、絶対濃度には対応していないので、メタン発酵の破綻時に *Methanosarcina* 属アーキアに対応するバンドの輝度が上昇したのは、このアーキアの濃度上昇によるもの

ではなく、他のアーキアが減少するほどには、このアーキアが減少しなかったためと説明できるかもしれない。いずれにしろ、このアーキアの顕著な変化は発酵が破綻した後であり、アーキアの菌叢変化からメタン発酵装置の急激な性能低下を予測することは困難であることがわかった。

引き続き、複数の微生物が混在するメタン発酵装置中でバンドB6に対応する細菌、*Geobacter* sp. の濃度変化を選択的に測定するために、特異的プライマーを設計し、リアルタイムPCRを実施した⁷。これまでのところ、バンドB6に対応する細菌を単離することができていないために、リアルタイムPCRでCt値が最小になった、すなわちバンドB6に対応する細菌の濃度が最大となったときの濃度を1とした相対濃度を計算して図1に書き加えた。図には相対濃度の対数を示している。メタン発酵過程における有機物負荷の上昇過程でB6細菌濃度は次第に上昇し、有機物負荷が最大になったところでB6細菌濃度は最大になった。上述したように、有機物負荷が最大になったところでメタン発酵は破綻したので、このときのB6細菌

濃度は安定的なメタン発酵にとって高すぎるということができる。そのため B6 細菌濃度に閾値を設け、それ以上の濃度にならないように有機物負荷量を制御することで安定的なメタン発酵が可能と考えられた。B6 細菌の増殖速度は遅く、濃度変化にも時間がかかるので B6 細菌の DNA 濃度をモニターし、その情報に基づいて操作条件を制御するために十分な時間を確保することができる。なお、Malin & Illmer⁸ はメタン発酵過程における発酵の破綻と微生物叢変化を対応付ける検討をおこなっており、発酵の破綻時には発酵装置内の微生物に由来する DNA 濃度が低下することを報告している。この方法は発酵の破綻を後付けで説明するのには有効であるが、破綻を予測するために用いることは困難と考えられた。本報で提案した方法は、破綻がおこった後で破綻が起こったことを確認するのではなく、破綻の予測に使用できることに特徴がある。

4. おわりに

フルーツ缶詰の製造工場から排出される廃シロップを用いたメタン発酵をおこない、有機物負荷を増大させながら馴養をおこなって、負荷を過大にしたとき特徴的に増殖し、メタン発酵の破綻の指標となる微生物として *Geobacter* 属細菌を特定することができた。また、シロップ廃液をタンパク質主体の廃液に変えたときには、アーキアと還元力を巡って競合し、メタン発酵を破綻させる微生物、*Desulfoglaeba* 属細菌を見出している。この微生物も負荷の増大にともなうメタン発生速度の増加に対応して増殖するが、増殖しすぎるとメタン発酵を破綻させることから、発酵破綻の指標微生物として使用可能であることを確かめている。指標微生物の増殖の情報からメタン発酵の破綻を、十分に余裕をもって予測し、指標細菌を増殖させすぎることがないように、メタン発酵装置に供給する有機物負荷を制御することで、可能な限りの高負荷、高効率で安定的なメタンガス生産が可能と考えられる。

近年の分子生物学の急速な発展により、メタン発酵のような複合微生物系についても微生物叢解析が盛んにおこなわれるようになっており、特に、メタン発酵のメカニズムを明らかにするための多くの有用な知見が蓄積されてきた。今後は、これらの知見を発酵装置の制御のために積極的に使用することで高性能メタン発酵が可能と考えられた。これまで、エキスパートの経験に基づいて操作されていたメタン発酵を、微生物の動態情報をもとに制御することで、エキスパートでなくてもメタン発酵装置に最大性能を実現できるものと考えられる。エキスパートの暗黙知を形式知に変えて、さらにエキスパートの暗黙知を凌駕することで、

どこでも、だれにでも高性能のメタン発酵が可能になれば、本来大きな潜在的なニーズのあるバイオマスの利活用、廃棄物処理に欠かすことのできない技術としてのメタン発酵を大きく普及させることができるものと期待された。

引用文献

1. Nakasaki, K., Kwon, S-H., Ikeda, H. Identification of microorganisms in the granules generated during methane fermentation of the syrup wastewater produced while canning fruit, *Process Biochemistry* 2013, 48 (5-6), 912-919.
2. Kwon, S-H., Nakasaki, K. Relationship between changes in microbial community and the deterioration of methane fermentation which treats synthetic peptone wastewater, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 2015, 21, 443-450.
3. Kida K, Shigematsu T, Kijima J, Numaguchi M, Mochinaga Y, Abe N, Morimura S. Influence of Ni^{2+} and Co^{2+} on methanogenic activity and the amounts of coenzymes involved in methanogenesis. *J Biosci Bioeng* 2001, 91, 590-595.
4. Zhang Y, Zhang Z, Suzuki K, Maekawa T. Uptake and mass balance of trace metals for methane producing bacteria. *Biomass Bioenerg* 2003, 25, 427-433.
5. Ueno Y, Haruta S, Ishii M, Igarashi Y. Changes in product formation and bacterial community by dilution rate on carbohydrate fermentation by methanogenic microflora in continuous flow stirred tank reactor. *Appl Microbiol Biotechnol* 2001, 57, 65-73.
6. Øvreås L, Forney L, Daae FL, Torsvik V. Distribution of bacterioplankton in meromictic Lake Sælenvannet, as determined by denaturing gradient gel electrophoresis of PCR-amplified gene fragments coding for 16S rRNA. *Appl Environ Microbiol* 1997, 63, 3367-3373.
7. Kwon, S-H. Changes in microbial community associated with the deterioration of methane fermentation by increasing organic loading rate (2014) Dr. Dissertation, Tokyo Institute of Technology.
8. Malin C, Illmer P. Ability of DNA content and DGGE analysis to reflect the performance condition of an anaerobic biowaste fermenter. *Microbiol Res* 2008, 163, 503-511.

Q & A

汚泥処理の凝集剤について

キーワード：高分子凝集剤、無機系凝集剤、高分子凝集剤の電荷

Q1 高分子凝集剤を添加する目的はなんですか。

A1 高分子凝集剤は、分散安定化した混濁物の電荷を中和し不安定化させ、長い直鎖構造による架橋作用で凝集させる役割があります。

Q2 無機系凝集剤にはどのようなものがあるのですか。

A2 無機系の薬品は、混濁物と反対の電荷をもつイオンであれば凝集剤になりますが、価数が大きいほど効果があり、安価で環境に対しての影響が少なく、毒物が低く、扱いやすい物が使用の条件となるため、ほとんど三価のアルミ系及び鉄系が選定されています。

無機系凝集剤の凝集フロックは小さく壊れやすいため、通常は高分子凝集剤と組み合わせて使用します。アルミ系で使用する人が多いものは、PAC（ポリ塩化アルミニウム）があります。鉄系の凝集剤も多く種類（ポリ硫酸第二鉄、塩化第二鉄など）があります。

Q3 高分子凝集剤にはどのようなものがあるのですか。

A3 高分子凝集剤の持っている電荷の種類（イオン性）によって、カチオン性（プラスイオン）、アニオン性（マイナスイオン）、ノニオン性（中性）に区別されます。また、両性高分子凝集剤もあります。

カチオン性高分子凝集剤は、通常分子量が数百万～千数百万程度で、混濁物のマイナス荷電の中和と架橋効果に優れており、水抜けの良い凝集物を作るため脱水の効率がよい特徴があります。カチオン性高分子凝集剤は、加水分解されやすい構造をもち、特にアルカリ性で劣化が促進されるため、硬度の高い溶解水を用いる場合は、酸などの添加で凝集剤水溶液を弱酸性に保つ工夫が必要です。

アニオン性高分子凝集剤は、通常分子量が1千万～2千万程度で、分子量が大きいことから少ない使用量でも優れた凝集効果を発揮する反面、pHの変化が凝集効果に大きな影響を与えます。中性～アルカリ性の廃水に使われています。一般に排水中の混濁物はマイナスの電荷を帯びているため、プラスの電荷をもつ無機系凝集剤で電荷を中和した後、アニオン性凝集剤で処理します。

ノニオン性高分子凝集剤は、通常分子量が数百万～千数百万程度で、酸性の排水でも凝集できるため酸性

～中性の廃水に使われています。

両性高分子凝集剤は、通常分子量が数百万～千数百万程度で、分子内にプラスとマイナスの電荷を持っています。消化汚泥や近年の有機物含有量の増加した汚泥、汚泥の腐敗等でカチオン性高分子凝集剤では十分な汚泥脱水効果が得られない汚泥など難脱水性汚泥の脱水に無機系凝集剤と両性高分子凝集剤を併用して使用します。

Q4 高分子凝集剤の使用量で凝集性に変化がありますか。

A4 高分子凝集剤を適量添加すると、混濁物に吸着した凝集剤が粒子同士の架橋作用によりフロックを形成しますが、過剰に添加すると粒子を凝集剤が覆いつくし、安定化した分散状態になり、凝集性が低下します。

Q5 凝集剤でどれくらいの荷電中和が可能ですか。

A5 無機系凝集剤と高分子凝集剤を添加した時の電荷中和率は汚泥と凝集剤のコロイド価の測定により計算できます。カチオン系高分子凝集剤を添加した場合の電荷中和率は通常10～20%程度です。無機系凝集剤と両性高分子凝集剤を併用する方法では、無機系凝集剤の添加率を高めれば100%近く電荷を中和できます。

Q6 凝集剤の焼却工程への影響はありますか。

A6 無機系凝集剤は酸性物質であり、添加量も多いので焼却設備が腐食しやすい問題が生じます。うえ、無機分により焼却灰の生成量が増加します。また、発生する酸性ガスの影響で排煙処理塔での苛性ソーダの使用量の増加や再結晶化した酸化物による排ガス測定計器の閉塞などへの対策を要する場合があります。

高分子凝集剤は有機物であり、250℃以上で可燃性ガスに熱分解され燃焼してしまいます。また、灰分となる部分が少ないため焼却灰の生成量への影響は顕著ではありません。

（東京都下水道局 計画調整部 技術開発課
技術開発担当 冠城 敏之）

【参考文献】

凝集剤使用の手引き 東京都下水道サービス株式会社

現場からの

声

農家から高い評判の下水汚泥コンポスト －北海道のコンポスト工場を訪ねて－

キーワード：下水汚泥コンポスト、施用効果

1. はじめに

畜産業の盛んな北海道では、牛糞堆肥等との競合により下水汚泥コンポストの利用者確保には苦勞しておられるのではないかとかねてから推測していました。昨年（平成 26 年）の秋、北海道内出張のスケジュール合間を利用して、札幌市に隣接する石狩市内の民間コンポスト施設を視察する機会が得られ、その運転状況や下水汚泥コンポストの需要等について営業担当者と意見交換を行い、貴重な情報が得られましたので紹介します。

2. 施設概要

私が訪れたコンポスト施設は、ジャパンサイクル株式会社石狩資源循環モデルセンターで、石狩市新港南の石狩湾工業団地内にありました。団地内の隣接敷地には㈱花王や大日本印刷㈱などの工場も構えており、

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

その中でも当コンポスト施設は写真 1 に示すように明るい色のモダンな建物からなっており、広大な敷地内の植栽も丁寧に管理され気持ちのよい雰囲気に包まれていました。

施設概要を表 1 に示します。平成 19 年 1 月に稼働して未だ 8 年を経過したばかりの比較的新しいコンポスト施設で、事務職員も含めて 12 名のスタッフで運営管理されているそうです。

3. 運営状況

受け入れバイオマス量としては、食品スーパー及び食品製造工場で発生する調理くずや野菜くずが約

表 1 石狩資源循環モデルセンターの施設概要

項 目	内 容
所在地	石狩市新港南二丁目 7 1 5 の 2
敷地面積	約 56,700m ²
稼働開始年月	2007 年（平成 19 年）1 月
処理能力	214m ³ /日（24 時間）
受け入れ原料	事業系一般廃棄物、産業廃棄物、下水汚泥（岩見沢市等 8 市町）



写真 1 石狩資源循環モデルセンターの外観



写真 2 発酵槽建屋の外観

7,000t/年と岩見沢市や恵庭市など8つの自治体処理場からの下水汚泥約5,000t/年、合計約12,000t/年(H26年度)とのことです。

下水汚泥は生ごみ(野菜くずなど)とともに一次発酵槽に投入されています。副資材の一部として以前はもみ殻を用いていましたが、畜産における敷料との競合で調達が困難になってきたため、現在は木質チップを添加していました。コスト縮減のため石狩市内で発生する剪定枝の活用を検討中とのことです。

投入翌日には発酵熱で70℃まで達し、ショベルローダで数回の切り替えしを行いながら8日で水分は50%程度になり、二次高速発酵槽に移されます。高速発酵槽は長さ80m×6槽あり、ここでも1日1回の切り替えしが行われ、1次発酵、2次発酵で合計約1ヶ月間かけて製品堆肥(コンポスト)が出来上がること。生産されるコンポスト量は約3,000t/年。写真2に発酵槽建屋の外観、写真3に出来上がった製品コンポストを示します。

4. 汚泥コンポストの施用効果と需要状況

当コンポスト施設でも芝生や野菜への試験栽培を行っているそうです。写真4は芝生への施用効果試験を行った時の散布2週間後の状況です。堆肥を散布した芝(奥)と未散布の芝(手前)の生育状況に明確な差が出ているのがわかります。

製品コンポストは現在バラ積1,000円/t程度で販売されており、当施設から約100km圏内の野菜農家を中心に広く流通しているそうです。需要期は主に4月～11月で、特に春と秋に集中し、近年はとくに評判が高くなってきており品不足状況とのこと。

写真5はビニールハウスでミニトマトを栽培している当別町の農家のHさんです。当施設のコンポス



写真 3 出来上がった製品コンポスト



写真 4 芝生への施用効果試験
(奥が施用区域、手前が未施用区域)



写真 5 当施設コンポストを用いてミニトマトを栽培している農家のHさん

トを使い始めてからトマトの甘みが格段に向上したと大変喜ばれています。このような噂が徐々に広まり、昨年も某農協より、当施設で生産しているコンポスト3,000t/年をすべて取り扱いたいとの申し込みがありましたが、これまでご利用戴いている顧客農家への供給にも影響することから、現在調整中だそうです。

5. 今後の展望

当社ではコンポスト製品の融雪剤としての効果試験も行っており、写真6に示すように大きな融雪効果が確認されています。有機質肥料としての施用効果と合わせて、融雪剤としての副次効果が期待できることから北海道のような積雪寒冷地での需要拡大も期待されています。

コンポスト製品の販売（需要量）の面では全く心配しておらず、施設の能力的にはまだ2倍ほどの余裕があることから、受け入れ量の増大を図るべく営業活動が続けているとのこと。

牛糞堆肥等との競合で苦戦を強いられているのではないかと危惧していましたが、全く心配はなく多くの農家に大変喜ばれ利用されていることを知り、改めて下水汚泥の有用性を実感した次第でした。



写真6 コンポスト散布による融雪促進試験

文献紹介

鉱山開発によって酸性化した土壌を改善し植物栽培を可能とするための安定処理化した都市下水汚泥の施用

Stabilized municipal sewage sludge addition to improve properties of an acid mine soil for plant growth

The Journal of Soils and Sediments 14 703-712 (2014)

イペリア黄鉄鉱床帯（銅、鉛、亜鉛）での採掘は金属器時代から確認されており、19～20世紀に最盛期を迎えたのち現在は鉱石の枯渇によりほとんどの鉱山が閉鎖された。この地帯の土壌は強酸性で物理性に乏しく、植物に必要な栄養素も少ないのに毒性を有するレベルの重金属が含有されているため、緑化による土壌修復を試みる前に土壌改良が必要である。安定化処理後の下水汚泥（SSL）は土壌肥沃度を大きく向上させる低コスト資材であり、その使用は経済、農業および環境にとっても有益である。この研究の目的は、鉱山開発によって深刻な汚染を受けた土壌に対して培養試験から SSL 施用が土壌特性におよぼす影響を、ポット試験から SSL 施用が異なる作物種の生長におよぼす影響を評価することである。供試土壌は砂質壤土で圃場容水量は含水率 24%、有機炭素量（OC）は 1.4%と低く、pH2.4、高い電気伝導度（EC 1.3dSm⁻¹）と有害元素濃度を示した（ヒ素 3,951、銅 694、鉛 3,976、イオウ 8,320mgkg⁻¹）。SSL はグラナダの廃水処理所から得た（pH6.9, EC 2.8 dSm⁻¹, OC 35.5%）。供試土壌の酸性矯正には市販のアルカリ資材を炭酸カルシウム 1.5%（w/w）相当添加した。酸性矯正後の土壌にそれぞれ SSL を 2.5, 10%（w/w; SSL2, SSL5, SSL10）施用した（40, 100, 200ton ha⁻¹ 相当）。対照として SSL 無施用（SSL0）を設けた。

土壌培養は圃場容水量の 40% の水分で、室温（20 ± 2℃）暗所条件下で 45 日間行った。アルカリ資材の添加で土壌 pH は 6.8、EC は 2.2dSm⁻¹ に上昇した。SSL 施用量の増加にともない土壌 pH は上昇し、特に SSL5 と SSL10 では培養時間に対して直線的に pH は上昇し、培養終了時には 7.6 と 7.7 であった。EC は SSL5 と SSL10 で培養時間に対して指数関数的に上昇し、終了時には 3.2 と 4.1 dSm⁻¹ となった。この増加は有機物が分解し低分子の有機物がイオン化した結果と考えられる。OC は SSL 施用量に比例して増加したが、培養の進行につれて SSL5 と SSL10 では減少した。土壌微生物バイオマスの指標である基質誘導呼吸（SIR）は供試土壌では重金属汚染の影響を受け低かった。SSL 施用による SIR 増加は SSL2（4.18）> SSL5 と SSL10（3.21 と 3.45）であることから、SSL 中の有機汚染物質等の毒性が原因と考えられる。土壌微生物活性を示す脱水素酵素（DHA）は培養直後 SSL の施用量に比例して増大した。培養開始 12 日以降 SSL5

と SSL10 で DHA は減少したが、OC 減少との一致から易分解性基質の減少が関連したと考えられる。各種酵素活性の平均である GMea は土壌機能の評価に使用される（García-Ruiz et al. 2008; Paz-Ferreiro et al. 2012）。GMea は SSL 施用量と正の比例関係を示したことから、SSL による土壌機能の向上が確認された。炭素と窒素とリン酸の循環にそれぞれ関与する β-グルコシダーゼとプロテアーゼとアルカリフォスファターゼは SSL 施用により増加していることから、SSL は土壌微生物に OC をエネルギー源として提供することで土壌酵素の活性を高めたと考えられる。また SSL 中の OC が土壌中の金属をキレート化し毒性を低下させたことも酵素活性の上昇に関連すると考えられる。

ポット試験ではトマト（*Lycopersicon esculentum* Mill.）とライグラス（*Lolium perenne* L.）、塊根がバイオ燃料に利用できることからクズイモ（*Pachyrhizus ahipa* (Wedd.) Parodi）を供試作物とした。土壌 250g に物理性を保持するために 4mm のガラスビーズ 40g を混合しポットに充填しライグラスは 18 日間、トマトは 1 ヶ月間、クズイモは栄養成長期まで栽培した（平均気温 21.8℃、湿度 67%）クズイモの生長に SSL 施用の影響はみられず、アルカリ資材による酸性矯正以外の土壌改良は不要であると判断した。ライグラスの生長は SSL 施用で促進され、SSL2 で乾物生産量が最も多かった。トマトは乾物生産量が SSL2 で増加し、SSL10 で平均枯死率は 73% であった。EC 4.0dSm⁻¹ は植物の生育と種子の発芽を阻害することからも（Ye et al. 2002）、SSL10 の発育不全と枯死は EC 上昇が原因と判断された。

両試験についてクラスター分析を行った結果、植物の枯死率は SSL の施用量や EC 等の土壌特性に関連した。乾物生産量はクロロフィルなどの光合成色素と関連があった。光合成色素は毒性あるいは栄養欠乏などで増加することから（Kenneth et al. 2000; Rossini Oliva et al. 2010）、植物の乾物生産量に最も関連したのは土壌や SSL 中の毒性物質であるが示唆される。さらに土壌肥沃度を示す指数である SIR は乾物生産量と光合成色素のグループとの関連がみられた。

以上の結論より本論文の著者らは、鉱山開発によって劣化した土壌の改良には酸性矯正だけではなく、多量の OC を含有する SSL が有用であり、SSL 施用は土壌の生物学的活性および微生物活性を改善し、植物の種類によっては生長を増大させると判断した。SSL に含まれる毒性物質や SSL 多量施用による植物の枯死などの問題については、今回確認された効果とともに圃場での栽培試験による確認が将来的には必要であるとしている。

（農業環境技術研究所 主任研究員 杉山 恵）

講座：廃棄物系バイオマスやエネルギー系作物バイオマスの利活用について

講座「廃棄物系バイオマスや エネルギー系作物バイオマスの 利活用について」の開設にあたって

(公社) 日本下水道協会技術研究部技術指針課
〔「再生と利用」編集委員会事務局〕

キーワード：バイオマスエネルギー、カーボンニュートラル、熱化学的変換、生物化学的変換

1. はじめに

バイオマスとは「原料・燃料として利用することのできる再生可能な生物起源の有機物」と定義することができます。法律上は新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法の政令で「動植物に由来する有機物であってエネルギー源として利用することができるもの（原油、石油ガス、可燃性ガス及び石炭ならびにこれらから製造される製品を除く）」と定められていますが、実際にバイオマスはマテリアル利用、エネルギー利用の両者の概念を含んでいると考えます。

バイオマスを利用する意義は化石燃料由来のエネルギー消費を削減できることが大きく、化石燃料は有限で枯渇性であり、またその使用により二酸化炭素を大気中に放出し地球温暖化を促進します。これに対しバイオマスは植物が光合成を行うことによって生成されるため、枯渇しない再生可能資源といえます（エネルギー利用時には二酸化炭素が放出されますが、植物の生産が維持されれば光合成で大気中の二酸化炭素を固定するため大気中の二酸化炭素を増やさないカーボンニュートラルといえます）。

世界的な情勢をみてもバイオマスのエネルギー利用は推進されており、日本においても新エネルギーの1つとして位置づけ、導入を加速しており「バイオマス・ニッポン総合戦略」を5省1府で策定して閣議決定し、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、農山漁村の活性化の4つの目的のために国家戦略としてその利用が進めら

れています。

バイオマスには様々なものがあり、光合成によって固定された植物体、これを食料または飼料として成長した動物、その糞尿、人間が動植物を食料として利用する時に発生する厨芥や食品工場廃液、人間の排泄物に起因する下水汚泥など、光合成によって合成された有機物を起点として生成する有機物は、元となる植物が再生可能であるという意味でバイオマスに分類されます。

バイオマスの、世界に存在している資源の総量は33ZJで世界の年間1次エネルギー消費量の10倍程度のエネルギー量といわれています。一方、日本におけるバイオマス資源量は狭い国土と高い人口密度のため限られており、バイオマスの利用可能量としては1次エネルギー消費量の5～10%程度の値となっております。この点で日本における資源量には限界があり、バイオマスを1次エネルギー供給の柱として位置づけるには海外のバイオマスにも依存せざるを得ないと言えます。

バイオマスのエネルギー利用にあたっては、2次エネルギー利用への変換を行うための種々の手法がとられています。従来から利用されてきた技術は、薪や炭として発熱量を高め取扱いしやすくしてこれを燃焼利用するものであります。

また近年においては、家畜排泄物などを嫌気性発酵させ、メタンを含むガスを得てこれを燃料利用することも行われています。しかしながらエネルギー利用を行う上ではより効率的な利用が求められ、各種の技術開発が行われ、実用化がなされています。

そこで、当協会においては本号よりこれら資源・エネルギーにかかる技術動向等の情報発信として講座「廃棄物系バイオマスやエネルギー系作物バイオマスの利活用手法について」を開設することとしました。

本講座は 148 号～151 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。

149 号：下水汚泥と他バイオマスの混合処理による取り組み事例等

150 号：食品残渣、木質バイオマス、焼酎粕（バイオガス発電）等の活用事例等

151 号：新技術開発（基礎研究・実証レベルも含めて）

2. 各種技術について

(1) バイオマスエネルギー利用技術

バイオマスは炭水化物、タンパク質、脂質などからなる天然高分子化合物（有機分）が主成分であります。これらは生物由来であるため含水率が高いものが多く、木質バイオマスの含水率は 30～60%、食品廃棄物 65～90%、下水汚泥 95%以上とその種類によってばらつきがあります。このためその性状、発生形態、発生規模等により、エネルギーへの変換技術も多様なものが技術開発されています。これらの技術としては物理的変換（チップ化、ペレット化、RDF 化等）、熱化学的変換（燃焼、ガス化、炭化等）、生物化学的変換（メタン発酵、水素発酵）があり、これらの技術の一覧を表 1 に示します。

ガス化技術は、バイオマスを原料として燃料ガスを得てこれを利用するものであり、ガスの燃焼は薪や炭などの固体の燃焼よりも効率よく、制御性も高く行う

ことが可能であります。バイオマスだけではガス化反応が十分に進まないので水蒸気や二酸化炭素などのガス化を促進する物質を加えることが多く、またガス化反応は吸熱反応なのでこの反応熱を原料バイオマスの一部を燃やして得るために少量の空気や酸素を加えることも一般的に行われています。これらは熱によって反応を進行させるので熱化学的変換と呼ばれています。また液体燃料を得る技術も多く検討されており、植物油は脂肪酸のグリセリンエステルですが、そのままでは粘度が高いなどの問題があるため、脂肪酸のメチルエステルに変換させることによるバイオディーゼルを得ています。これらは直接燃焼して熱を得たり、エンジンに供給して輸送用の燃料に用いるほか、輸送性を高めるのにも用いられています。直接燃焼する場合には、それほど性状に制限はなく、例えば木質系のバイオマスを 600℃程度で数秒程度加熱し、急冷すれば比較的粘性の高い油を得ることもできます。

一方でメタン発酵のように生物の力を用いるものを生物化学的変換と呼びます。生物化学的変換によるガス化には、メタン発酵の他、条件を調整することによって水素を主に生産させる菌を選択的に働かせ、水素を得る水素発酵の利用も検討されています。しかしながら水素発酵はバイオマスの利用率が低く、メタン発酵の前処理としての位置づけの開発が進められています。また自動車などのエンジン燃料に用いることを考える場合には、より細かい性状が求められ、広く用いられるのはエタノールであり、これは酒の醸造と同じ原理によって糖を酵母で発酵させる生物化学的変換で得ることができます。さらに、同じ糖を原料として別の菌を作用させるとアセトンとブタノールを得ることもできます。

表 1 バイオマスエネルギー利用技術

変換方法	名称	技術	利用技術分類	主な対象バイオマス
熱化学的変換	燃焼	直接燃焼	熱利用・発電	木質バイオマス 鶏糞、バガス
	ガス化	熱分解ガス化、部分燃焼ガス化	ガス化/熱利用・発電	下水汚泥 木質バイオマス
	炭化	熱分解炭化	固形燃料製造/利用	木屑、下水汚泥、
	BTL※1	ガス化+FT合成 ガス化+メタノール合成	液体燃料製造/利用	木質バイオマス
	BDF※2	エステル化、水素化分解	液体燃料製造/利用	廃食油
	液化	超臨界メタノール処理	液体燃料製造/利用	木質バイオマス
生物化学的変換	バイオガス化 (メタン発酵)	乾式メタン発酵、湿式メタン発酵	メタン製造/熱利用・発電	し尿+生ごみ 下水汚泥、焼酎粕
	水素発酵	水素発酵	気体燃料製造/利用	生ごみ
	ブタノール化	アセトン・ブタノール(ABE)発酵	液体燃料製造/利用	とうもろこし、サウキビ [*]
	エタノール化	エタノール発酵	液体燃料製造/利用	とうもろこし、サウキビ [*]

※1 BTL:Biomass To Liquid (バイオマスから製造される軽油・灯油に相当する石油製品)

※2 BDF:Bio Diesel Fuel (生物由来油から作られるディーゼルエンジン用燃料)

参考：新エネルギー・産業技術総合開発機構：バイオマスエネルギー導入ハンドブック（第3版）
（2010）に加筆

3. バイオマス利用にかかる課題について

今後バイオマスの導入・利用をさらに拡大していくためにはいくつかの課題があります。一つ目としてバイオマスの発生規模が小さいためバイオマス資源を実用的な規模で収集した場合には1日数tから数十t程度しか集められず、この規模では熱量として230kw～2.3Mw、発電効率を10%とすると23～230kwの発電量しか得ることができません。一方、石炭火力発電所などでは100万kwの規模で40%の発電効率を得ていますが、このような直接燃焼発電においては規模が小さいほど効率が低下し、規模が大きいほど生産エネルギーの単価は安くなります。このため発生規模の小さいバイオマスを利用する場合にはエネルギー効率が低く経済性もよくない結果となり、小規模でも安価かつ高効率にエネルギー変換を行うプラントの開発が求められると考えられます。また廃棄物系バイオマスで経済性を得ようとした場合、廃棄物の処理及び清掃に関する法律（以下「廃棄物処理法」）の適用を受けることとなります。廃棄物処理法は不法投棄の防止と大規模で安全な廃棄物の処理を前提に制定されており、比較的小規模でエネルギー回収を目的として行うバイオマス利用には適さない制約におかれています。

さらに適切な利用システムの構築もバイオマス利用にあたって重要であります。

バイオマスの利用は単により技術があるだけでは進まず、原料を安定して集め経済的に設備を運用し廃棄物を適正処理するとともに、副産物を有効利用する全体的な仕組みがあってはじめて機能します。木質バイオマスの燃焼発電では計画はあっても安定した原料の

供給が難しいため実現しない例や、原料を安定して得るために高いコストを払って集めてこななければならない例もあります。

さらにメタン発酵では発酵後の残渣の処理や廃水処理にエネルギーとコストがかかり、経済性を出しにくいのが現状であります。このため地域の特性を活かしてのネットワークを作って安定した原料の供給を得るとか、メタン発酵廃液を液肥として近くの農場で利用するなどのシステムを組んでいくことが求められています。政府ではこの目的のためにバイオマス産業都市構想等を進めており、その地域の特性を生かしながらバイオマスの導入を行うシステムを助成する仕組みを設けております。

4. 講座の開設について

バイオマスは再生可能かつカーボンニュートラルであり、今後導入を進めていくべきエネルギーであります。バイオマスの導入のためには資源量、発生規模、経済性、法整備などの課題を解決していく必要性があります。

FITをはじめバイオマスの利用促進にかかる社会要請は今後とも高まっていくものと予想され、バイオマスのエネルギー利用技術に関してはシステムの安定性や信頼性の向上及び、低コスト化等へのニーズは一層高まっていくものと考えられます。このため本講座では、これら導入促進をおこなうための情報を下水道管理者、並びに各産業界に提供できればと存じます。

参考文献：エネルギーの事典 日本エネルギー学会
タクマ技報 VOI 22 ,2014

特 別 報 告

「汚泥の回収、再生利用、処理及び廃棄」 の国際規格化 ～ ISO/TC275 の活動状況と日本の対応～

地方共同法人日本下水道事業団
辻 幸志

キーワード：国際標準化、汚泥の再利用、資源回収

1. はじめに

ISO/TC275 は、2012 年 7 月にフランスから「汚泥の回収、再生利用、処理及び廃棄」に係わる新規 TC (Technical committee：専門委員会) 設置に関する提案を受け、2013 年 2 月に ISO の TMB (Technical Management Board：技術管理評議会) において、設置が承認された TC である。これまでに、全体の会議が 2 回開催されており、既に 7 つの WG (Working Group：作業グループ) が設置され、規格案を作成している (国際規格開発に携わる組織構造は表 1 を参照)。

国内対応としては、地方共同法人日本下水道事業団

と一般社団法人日本下水道施設業協会が、日本工業標準化調査会より TC275 の国内審議団体として承認を受けて、情報の発信及び収集などを行っている。全体会議への出席者や対応方針、各 WG から提案される規格案への対応などについては、TC275 国内審議委員会を開催して検討している。

本稿では、TC275 のこれまでの経緯や現状、今後の予定などについて紹介する。

2. TC275 の概要

2.1 幹事国と参加国

TC275 の幹事国はフランスが務めている。現在、

表 1 ISO 国際規格開発に携わる組織

略語	名称	役割
TMB (Technical Management Board)	技術管理評議会	ISO 専門業務の全般的な管理を行うために設置された評議会で、新分野活動提案の承認や専門委員会活動の監視などを実施
TC (Technical committee)	専門委員会	特定の産業または包括的なテーマの国際規格等を開発
SC (Subcommittee)	分科委員会	TC が扱う専門分野における特定分野に関する国際規格等を開発
WG (Working group)	作業グループ	TC/SC の規格開発計画における規格を作成

規格開発業務に積極的に参加して投票及び会議への貢献義務を有するPメンバー（Participating member）として17ヶ国、会議には参加できるが、投票義務や専門家の派遣権利などは無いOメンバー（Observing member）として11ヶ国が参加している。日本は、TC275の設置が承認された当初から、Pメンバーとして参加している。

2.2 Scope（適用範囲）

TC275の現在のScopeは、「任意の水処理施設からの汚泥あるいは、バイオソリッドや産出物の特徴づけ、分類、前処理、処理、リサイクル、管理方法の標準化。（前半部分抜粋、日本語に仮訳）」である。下水分野の汚泥に特定されているわけではないが、これまでの全体会議の議論においては、主として下水汚泥を対象とするという議論がなされているが、結論には至っていない現状にある。

2.3 Working Group（WG：作業グループ）

WGは、2013年11月に開催された第1回全体会議において、処理プロセス別の5つのWGに、用語の定義、分析方法を加えた合計7つが設置された（詳細は3.1で述べる）。日本からは、国内で多数の導入実績があり、技術内容が世界的にも優れ、今後の国際展開に重要性が高いと考えられるWG5（熱操作）とWG7（無機物および栄養塩類の回収）の分野に専門家を派遣しており、個別に開催される会議に出席し、規格案に対する意見や項目の追加要望、日本国内の事例を紹介するなど、議論に参加している。

その他のTC275に関する情報の詳細は、ISOのホームページ（http://www.iso.org/iso/iso_technical_committee?commid=4493530）。を参照されたい。

3. これまでの全体会議等の概要

3.1 第1回全体会議

2013年11月6～8日に幹事国のフランスのパリで第1回全体会議が開催された。フランスを含めた10カ国（オーストリア、カナダ、中国、フィンランド、フランス、ドイツ、イスラエル、イタリア、日本、イギリス）から29名が参加した。フランスからの参加者が半数程度を占め、次いで、カナダ、イスラエル、日本からそれぞれ2～3名、その他の国からは1名であった（写真1）。日本からは、国内審議団体の代表者が出席した。

第1回全体会議における主な議決事項を以下に述べる。

(1) Scopeの決定

第1回全体会議の時に議論がなされたScopeの当初案と最終案を表2に示す。前半部分の文書について活発な議論がなされた。イスラエルに加えて、カナダも産業廃水汚泥も取り扱うべきと主張するが、フランスは折れることなく、下水汚泥と汚泥性状が似ている産業廃水汚泥は含めるがそれ以外については含めないと反論が続いた。紆余曲折の末に、結果としては、



写真1 第1回全体会議の様子

表2 Scope（適用範囲）の当初案と最終案（前半部分の抜粋、第1回全体会議）

	当初案	最終案
適用範囲 (Scope)	上下水道、し尿及びこれらと同様の産業排水由来の汚泥と産出物の特徴づけ、分類、前処理、処理、リサイクル、管理方法の標準化。 同様の環境や健康への影響がある全ての汚泥を含む。 (Standardization of the methods for characterizing, categorizing, preparing, treating, recycling and managing sludge and products outputs from urban wastewater collection systems, night soil, storm water handling, water supply treatment plants, wastewater treatment plants for urban and similar industrial waters. It includes all sludge that may have similar environmental and/or health impacts.)	任意の水処理施設からの汚泥あるいは、バイオソリッドや産出物の特徴づけ、分類、前処理、処理、リサイクル、管理方法の標準化。 (Standardization of the methods for characterizing, categorizing, preparing, treating, recycling and managing sludge or biosolids and outputs from their treatment and handling and products outputs from any water treatment system.)

注)日本語は仮訳

表3 WG（作業グループ）の当初案と最終案（第1回全体会議）

	当初案	最終案	コンビーナの国名
WG1	熱操作 (Thermal process)	用語の定義 (Terminology)	オーストリア
WG2	メタン生成 (Methanation - Digestion/co-digestion)	評価方法 (Characterization methods)	フランス
WG3	リン回収 (Phosphorus recovery)	消化 (Digestion)	フランス
WG4	脱水の規範 (Good practice for Dewatering)	土壌還元 (Land application)	カナダ&イスラエル
WG5	農林業利用の規範 (Good practice for reuse in agriculture and forestry)	熱操作 (Thermal process)	フランス
WG6	埋立て利用の規範 (Good practice for land reclamation)	濃縮と脱水 (Thickening & Dewatering)	イタリア
WG7	試験方法 (Inter-laboratory Test)	無機物および栄養塩類の回収 (Inorganic & nutrients recovery)	未定
WG8	評価方法 (Characterization methods)		
WG9	用語の定義 (Terminology)		

注)日本語は仮訳



写真2 ワークショップでの発表



写真3 WG5（熱操作）の会議の様子

“any water treatment system”と記載することになり、間口を広く取った表現とすることで議論が終結した。なお、「有害汚泥等を除外する」との文言は、当初案の通り残ることとなった。日本からの「畜産廃水汚泥も含まれるのか？」という質問に対しては、各国、含まれるという見解で一致した。

(2) WG の設置

WGについて、フランスが提示した当初案と議論を終えて決定した最終案（コンビーナ（議長）の国名も記載）を表3に示す。

当初案は、既存のCEN（欧州規格標準化委員会）が発行するEuropean Norm規格（EN規格、European Standards：欧州規格、以下、「CEN規格」という）を参照していたが、各国から様々な指摘がな

された。フランスは、諸外国からの意見に反対することはほとんどなく、参加した国々で対等にWGの項目及び順番の議論が進んだ。日本からは当初案に含まれていなかった濃縮の追加を要望した。最終的には、WGの数9個から7個に減り、WG1～WG7を設置する方向で議決された。なお、具体的な規格の内容については、議論されることはなかったが、TC275の幹事国であるフランスは、規格案の作成の際には、各WGの分野に該当するCEN規格を基本とする方針を示していた（CEN規格に該当する分野がない場合は各国の規格を参考）。

(3) リエゾン

リエゾンとは業務範囲の一部が相似通ったTCまたはSC（Subcommittee）間で、規格内容の重複により

表 4 ISO の規格類と文書内容

略語	名称	文書内容
IS (International standard)	国際規格	TC (Technical Committee) による検討、参加国代表による投票を受け、正式に発行された規格
TS (Technical committee)	技術報告書	ISとして合意が直ちに得られない時に暫定的に適用する前段階規格
PAS (Subcommittee)	公開仕様書	ISの完成に先立って発行される中間使用書
TR (Working group)	技術報告書	・参考データ ・ガイダンス



写真 4 WG7（無機物および栄養塩類の回収）の会議の様子



写真 5 第2回全体会議の様子

不都合な規格ができないように監視をしたり、重複回避をしたりするなどの目的で、効率的な規格開発を実施する仕組みである。具体的には、文書（情報）交換や会議への相互出席、投票時のコメント提出などが行われる。議論の結果、TC147（水質）、TC190（地盤環境）、TC224（飲料水供給システムと排水システム）、TC282（水の再利用）が対象として選定された。

3.2 第2回全体会議、各WG会議、ワークショップ

第2回全体会議は、2014年9月9～12日にカナダのトロント郊外で開催された。9日から11日午前までは各WG会議が、11日午後から12日にかけては全体会議が開催された。また、会議前日の9月8日には、「下水汚泥と生活由来有機性廃棄物の管理」に関する国際ワークショップも開催され、各国の汚泥処理に関する状況が報告された。なお、日本からは、WG5（熱操作）とWG7（無機物および栄養塩類の回収）へ派遣した専門家3名と国内審議団体の代表者2名が出席した。

以下に、それぞれの概要について記載する。

(1) 国際ワークショップ

ワークショップには、約60名が出席し、合計8カ国から11件の発表があった。日本からは、「Challenge and outlook for municipal sewage sludge management in Japan」という題名で、日本の下水汚泥処理に関する政策や具体事例、最新技術の紹介を行った（写真2）。

それぞれの発表では、自国の汚泥処理事情の紹介や、EUにおける取り組み状況、自分の職務の具体事例などを紹介していた。全体的には、汚泥の土壌利用に関する内容が多く、留意点として、重金属、PTE (Potentially Toxic Elements)、臭気、菌類（バクテリア、ウイルス）、栄養塩類（窒素、リン）が挙げられていた。また、指標として、Biodegradability（生分解性）についての議論があった。日本の関係者の関心が高い汚泥焼却に関する発表は、日本とカナダのみであった。日本の発表に対して、“日本のリン輸入量に対する下水汚泥中のリンの割合”および“建設資材

としての下水汚泥の適用先”の2点について質疑があった。

(2) 各 WG 会議

日本が関心を有する WG5 と WG7 以外の WG 会議についても、関係行政機関や国内関係者への情報共有を目的に可能な限り出席して、情報収集を行った。ここでは、WG5 と WG7 の会議結果の概要を紹介する。

< WG5 (熱操作) >

この WG には、フランス（コンビーナ含む）3 名、カナダ 1 名、イギリス 1 名、日本 3 名の合計 8 名が出席した（写真 3）。

会議では、EU 規格の CEN/TC308 (Thermal processes) の目次が提示され、これをベースに TC275 における規格の目次について議論がなされた。日本側からの「汚泥乾燥が WG5 に含まれるのか？」という質問に対して、WG5 で取り扱うという回答を得られた他に、「溶融、焼却、炭化を項目として追加すべき」という意見を述べた結果、目次に追加されることが決定された。基本的には、日本とフランスのやり取りを中心に会議は進み、フランスのコンビーナからは、日本の関連規格の情報提供を求められ、次回会議以降に対応すると日本側からは回答した。

WG5 で検討される規格について、現段階では、ISO 規格として上位から 3 番目の TR (Technical Report; 技術報告書、最上位の規格が IS (International Standard; 国際規格) であり、対象分野の成熟度や知見などにより全 4 段階) の策定を目指すことになった (ISO の規格類と文書内容は表 4 を参照)。今後における日本の対応は、国内の最新技術や事例などを TR で取り扱うよう議論を進める方針である。

< WG7 (無機物および栄養塩類の回収) >

汚泥からの資源回収技術については、世界的に実用化事例が少ないためか、出席者はイギリスから 1 名と日本から 2 名のみであった（写真 4）。会議では、両国の事例紹介を中心に情報交換を行った。日本側から、汚泥からの資源回収に関する EU 規格の CEN があるかの確認した結果、現在はないとのことであった。また、回収物の対象はリンなど限定しないことに決定した。

今後は、コンビーナ（イギリス）を中心に規格レベルや内容についても検討していくことになるが、コンビーナは日本の事例に大変興味を持っており、規格案作成に向けても日本側に強く協力を求められた。日本はリン回収の実施設が稼働していることや新技術の開

発にも積極的に取り組んでいることから、規格案に盛り込まれる各国の導入実績の好事例 (Good Practice) として取り上げる可能性が非常に高く、本邦技術の国外へのアピールの絶好の機会であり、注目も高まることが期待される。

(3) 第 2 回全体会議

まず、各 WG のコンビーナからそれぞれの WG 会議の議決内容が報告された（写真 5）。その後、Scope やビジネスプランの小幅な見直しが議論された。各 WG 会議の成果及び今後の検討予定などすべて了承された。次回の第 3 回全体会議は、2015 年 9 月にオーストラリアで開催される予定となった（現状は 2015 年 11 月に開催予定）。

なお、第 1 回全体会議でも議論になった Scope における汚泥の定義について、どの事業活動からの発生汚泥を対象とするのか、改めて多くの時間を費やし議論したが、各国の実情が異なることから今回の会議でも結論には至らなかった。

4. 第 2 回全体会議後の進捗状況と今後の予定

第 2 回全体会議以降、WG3 ～ 6 については、個別の会議の開催やコンビーナと専門家の文書のやり取りを通じて、具体の規格案の作成が続いている。WG4（土壌還元）については、世界的にはコンポスト化が主流であるために、各国の関心が高く、会議に参加する専門家の人数も多く、議論が活発に行われている。

WG4 以外については、最上位規格の IS (International Standard; 国際規格) になる可能性は低く、好事例 (Good Practice) を重要視する傾向が強い。わが国における汚泥処理技術（焼却や脱水、リン回収など）は、技術的に高い水準にあり、実績も多数あることから、世界にアピールできる絶好の機会であると思われる。

次回の第 3 回全体会議は、2015 年 11 月にオーストラリアで開催が予定されており、各 WG の会議も同時に開催される予定である。TC275 で汚泥の処理等に関する規格の議論を開始して約 2 年が経過しており、今後、規格案の作成はより具体化・活発化していく。その中で、日本が世界に強みを持つ技術がより優位となる規格案の提案や、具体の事例を可能な限り規格に盛り込めるよう、国内審議団体と国内審議委員、専門家とで連携して、TC275 の規格案作成に取り組んでいく予定である。

特 別 報 告



国際土壌年について － 持続可能な農地管理への寄与 －

国立研究開発法人農業環境技術研究所 土壌環境研究領域
川崎 晃

キーワード：国際土壌年、持続可能な農業、FAO（国際連合食糧農業機関）、GSP（地球土壌パートナーシップ）

1. はじめに

2015 年は国連が定めた「国際土壌年」にあたります。正確に言うと、FAO（国際連合食糧農業機関）に事務局をおく GSP（地球土壌パートナーシップ）の主導により、2013 年 12 月の第 68 会期国際連合総会において、12 月 5 日を「世界土壌デー」と定め、2015 年を国際土壌年とする決議文が採択されました。2014 年 12 月 5 日の世界土壌デーには、ニューヨークの国連本部、ローマの FAO 本部、タイのバンコクで国際土壌年の開始式典が開催され、わが国を含む世界各地で国際土壌年の活動が始まっています。

では、なぜ「国際土壌年」を制定する必要があったのでしょうか。国連は、毎年特定のテーマを設定し、そのテーマに関して国際社会の関心を喚起する活動を行っています。昨年（2014 年）は「国際家族農業年」でした。すなわち、昨年は家族単位の小規模農業の重要性についてアピールし、今年は農業と不可分の関係にある土壌について国際社会の関心を喚起しています。2 年連続で農業関係の「年」になった背景には、農業とそれを支える土壌の重要性が全世界的に増しているという状況があります。2015 年を国際土壌年とする国連の決議文には、次のような記述があります¹⁾。

○土壌は農業開発、生態系の基本的機能および食糧安全保障の基盤であることから、地球上の生命を維持

する要であることに留意。

- 土壌の持続性は人口増加圧力に対処するための要であり、持続可能な土壌管理について、認識し、擁護し、そして支援することが土壌の健全性を保ち、食糧の安全が保障された世界と安定的でかつ持続可能な生態系利用の実現に寄与することを認識。
- 優良な土壌管理を含めた土地管理がとくに経済成長、生物多様性、持続可能な農業と食糧の安全保障、貧困撲滅、女性の地位向上、気候変動への対応および水利用の改善への貢献を含む経済的および社会的な重要性を認識し、そして砂漠化、土地劣化および干害の脅威に対する取組は地球規模であり、かつ、これらの問題は発展途上国をはじめとする全ての国々が持続的な発展を遂げるために解決していくべき課題であることを認識。

土壌は地球上の生命維持に不可欠です。世界人口の増加に対応して農地土壌の生産性を向上させ、食糧を増産したいところです。しかし現状は、食糧生産に適した農地土壌が、砂漠化、塩類集積、干ばつなどの脅威に曝されており、一部の農地は放棄せざるを得ないところまで来ています。このようなことから、土壌が担っている役割に関して、広く一般の人にも知ってもらい、人類の英知を結集して問題に対処するというのが、国際土壌年の大きな目的になっています。本稿では、国際土壌年の目的と取り組み、下水汚泥と農地土壌の関わりなどについてまとめます。

2. 国際土壤年の目的

国際土壤年の主な目的として、FAO は以下の 6 項目を挙げています²⁾。

- 市民社会や意思決定者に対し、土壤が人々の生活のために担っている基本的な役割を周知する。
- 食料安全保障や気候変動への適応と緩和、本質的な生態系サービスや貧困撲滅と持続可能な開発において土壤が担っている大きな役割に対し十分な承認を得る。
- 効果的な政策を推進して土壤資源を持続的に管理そして保護する。
- 健全かつ持続的な土壤管理には、地域性や生態系を考慮した投資が必要であることを意思決定者に喚起する。
- ポスト 2015 年開発アジェンダにおける持続可能な開発目標に関した活動の推進。
- あらゆるレベルでの土壤情報の収集及び監視のための能力やシステムの機能向上を推進。

土壤の基本的な役割としては、地球上の生物の生活の場であることと食糧生産の場であることが挙げられます。たとえば、世界の食糧生産の 95% は直接的または間接的に土壤で生産されています³⁾。気候変動に関しては、土壤の炭素蓄積能があります。また、土壤が深く関与する生態系サービスとしては、水害の緩和、水質浄化、動植物の生育環境の提供、自然景観などがあります。このような大切な働きをしている土壤を保護し、その機能を維持しなければなりません。しかし、土壤の劣化が随所に見え始めており、FAO のレポートによると、中程度から重度な土壤劣化に直面している農地土壤は全世界の農地の約 1 / 3 であり、その原因は、水食、風食などの土壤侵食、塩類集積、圧密、酸性化、有害化学物質汚染等によると報告されています⁴⁾。

土壤浸食は、風や雨の作用で表土を失う現象です⁵⁾。長い年月をかけて生成した肥沃な表土を失うことは、生産力の低下に直結します。塩類集積は、灌漑しなければ作物生産ができない乾燥地域で発生します。乾燥地域の河川水は、一般に塩分を多く含みます。灌漑水が蒸発する際に塩分を地表面に残すため、排水設備が不十分な状況で灌漑農業を何年も継続すると、地表面が塩分で覆われてしまい、作物が生育できない土地になってしまいます⁵⁾。インダス文明などのいくつかの古代文明が減じた原因は、塩類集積によると考えられています。酸性化は、わが国のように降水量が多い地域で生じます⁵⁾。降水により土壤中の塩基が洗い流されるため、酸性に傾きます。酸性化した土壤はカルシ

ウム、マグネシウムなどの塩基が不足しがちになるため、作物生育に影響します。

話を国際連合に戻しますと、2015 年は、国連が 2001 年に「国連ミレニアム宣言」などを基に策定した国際開発目標の最終年でもあります。2001 年に策定された目標では、1) 極度の貧困と飢餓の撲滅、2) 初等教育の完全普及の達成、3) ジェンダー平等推進と女性の地位向上、4) 乳幼児死亡率の削減、5) 妊産婦の健康の改善、6) エイズ、マラリア、その他の疾病のまん延の防止、7) 環境の持続可能性確保、8) 開発のためのグローバルなパートナーシップの推進、について重点的に実施されてきました。しかし、引き続き取り組まなければならない課題については、2015 年より先の国際開発目標（ポスト 2015 年開発アジェンダ）でも取り組むことになっています。国際土壤年においても、貧困の根絶、女性への権利付与、持続的な開発に取り組むことが明記されています。

3. わが国における国際土壤年に関する取り組み

国際土壤年に関する国内の取り組みは、土壤について一般の方に関心を持ってもらう内容になっています。農林水産省では、消費者の部屋の特別展示として、「地味だけドスゴイ！ 土のヒミツをとときあかそう！ ～国際土壤年に向けて～」を 8 月 17 日～8 月 21 日に予定しています。土壤の働きや重要性についての資料が多数展示され、実感を持って学ぶ機会が提供されることと思います。

全国を巡回する取り組みも始まっています。埼玉県立「川の博物館」の主催により、2015 年国際土壤年記念巡回展「土ってなんだろう？」が 5 月下旬から開催されています。この巡回展では、土壤の断面標本（土壤モノリス、写真 1）を展示するほか、会場ごとの独自イベントも予定されており、土壤に対して興味を持っていただける内容になっています。巡回展の開催場所とスケジュールは、表 1 のとおりです。

土壤と関係する学協会の研究会、シンポジウムも企画されています。一般社団法人日本土壤肥料学会は、2015 年 12 月 5 日の世界土壤デーに合わせて、土壤に関するシンポジウムを開催する予定です。原稿執筆時点ではまだシンポジウムの内容は明らかになっていませんが、本稿の末尾に、国際土壤年の情報を掲載している web サイトをまとめておきますので、ご参照いただければと思います。

4. 環境保全と下水汚泥

下水汚泥は窒素、リンを含み、特に窒素の肥効が期



写真1 土壤モノリスの例（左から、表層腐植質黒ボク土、細粒赤色土、礫質褐色森林土、中粗粒灰色低地土）。
いずれも地表面から深さ1 mまでの断面の標本。

（写真提供：国立研究開発法人農業環境技術研究所 農業環境インベントリーセンター）

表1 2015年国際土壤年記念巡回展「土ってなんだろう？」開催予定

期間	開催場所	所在地
5月30日（土）～6月21日（日）	埼玉県立川の博物館	埼玉県寄居町
6月27日（土）～7月11日（土）	東京農工大学科学博物館	東京都小金井市
7月18日（土）～8月25日（火）	大昆虫展in東京スカイツリータウン（スペース634）	東京都墨田区
9月2日（水）～9月13日（日）	京都大学総合博物館	京都市左京区
9月19日（土）～10月18日（日）	大阪市立自然史博物館	大阪市東住吉区
10月31日（土）～11月29日（日）	兵庫県立人と自然の博物館	兵庫県三田市
12月10日（木）～12月12日（土）	東京ビッグサイト東ホール 「エコプロダクツ展」	東京都江東区
12月19日（土）～ 2016年1月24日（日）	ミュージアムパーク茨城県 自然博物館	茨城県坂東市

待できることから、緑農地利用が検討されてきました。下水汚泥等の有機質資材を肥料として利用することは、栄養塩類の循環利用の観点からも推奨されます。しかし現代の農業は、ハーバー・ボッシュ法によって空気中の窒素ガスから合成されたアンモニアを起源とする窒素質肥料を利用し、高い生産性を達成していま

す。空気中の窒素ガスは反応性に乏しく、窒素固定能を有する微生物が窒素源として利用するのを除き、そのまま安定に存在します。一方、窒素ガス以外の窒素含有化合物は反応性に富み、環境中で化合形態を変化させながら循環することから、「反応性窒素」と呼ばれています。化学肥料が登場する以前は、微生物によ

る窒素固定と、自然界で生じる脱窒とがある程度バランスしていたと考えられます。しかし、ハーバー・ボッシュ法で製造されるアンモニア量は、自然界で生じる脱窒量を遙かに上回っていることから、地球上に反応性窒素が急速に蓄積し、閉鎖系水域の富栄養化などの問題を引き起こしています。

農業生産を維持し、反応性窒素の蓄積速度を鈍化させるには、下水汚泥等の有機質資材の利用を促進する必要があります。わが国の場合、下水処理場は全国に分布しており、需要者との距離が比較的近いというメリットもあります。また、有機質資材の施用により炭素が土壤に還元されるという効果もあります。すなわち、下水汚泥の農地還元は、地力の維持、土壤炭素の蓄積に貢献できることから、その推進は、国際土壤年の目的に合致したものと言えます。

5. おわりに

今年が国際土壤年にあたることから、その制定に至る背景と土壤が直面している脅威についてみてきました。土壤は1cm生成するのに100年以上かかると言われています。土壤を上から見ても表面しか見えません。しかし、土壤を掘ってその断面を観察すると、表層とは違った状態を見ることができます。土壤の長い歴史が断面に刻み込まれているのです。表1にまとめた巡回展では、土壤の断面標本が展示されます。土壤は、その生成の歴史の違いにより、様々な横顔（プロフィール）を見せます。多くの方に土壤の断面標本を

ご覧いただき、土壤の歴史を感じ取っていただければと願っております。

謝辞：本稿をまとめるにあたり、農業環境技術研究所の小原洋氏、高田裕介氏より貴重なご助言をいただきました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 八木一行、高田裕介：国連世界土壤デーと国際土壤年、農業と環境 No.168 (2014) (<http://www.niaes.affrc.go.jp/magazine/168/mgzn16806.html>)
- 2) 国際連合食糧農業機関駐日連絡事務所 Web ページ (<http://www.fao.or.jp/publish/415.html>)
- 3) FAO : Healthy Soils are the basis for healthy food production (<http://www.fao.org/3/a-i4405e.pdf>)
- 4) FAO : Soil is a non-renewable resource (<http://www.fao.org/3/a-i4373e.pdf>)
- 5) 久馬一剛：土の科学 いのちを育むパワーの秘密、PHP サイエンス・ワールド新書 (2010)

国際土壤年に関する web サイト

- 1) FAO : <http://www.fao.org/soils-2015/en/>
- 2) Global Soil Partnership : <http://www.fao.org/globalsoilpartnership/iys-2015/en/>
- 3) 一般社団法人日本土壤肥料学会 : <http://jssspn.jp/soils2015/home.html>
- 4) 国際土壤年 2015 応援ポータル : <http://pedologyjp.sakura.ne.jp/iys2015/>

投 稿 報 告

今治市下水浄化センターにおける
収益の得るガス発電の検討

今治市上下水道部下水道管理事務所

所長補佐 渡部 栄治

キーワード：消化ガス発電、採算性、FIT

1. はじめに

下水道事業は、下水汚泥や下水熱といったカーボンニュートラルなエネルギー資源を有しており、こうした資源を有効利用することで低炭素社会の構築に向けて大きな役割を果たすことが期待できる事業である。

なかでも、消化槽から発生する消化ガスはメタン燃料として利用が可能であるため、利用汎用性の高い電気エネルギーとして取り出すことが簡易であり、下水道におけるエネルギー使用の削減や下水道事業以外の事業者への電気やガスといった形でのエネルギーの供給により、社会全体としての温室効果ガスの削減に寄与することができる。

しかし、バイオガス発電事業において、一定規模を有するものに関しては利益を上げることができるものの、中小規模では施設改造や建設などの初期投資がかさむことで、経費回収ができずにいる。全国的にも本市のような小規模な処理場においては採算面の懸念が大きく、全量利用できるシステムの構築は進んでいない。消化ガスの利用状況は汚泥処理施設での加温用の利用にとどまり、余剰ガスを焼却廃棄するところがほとんどである。

今治市下水浄化センターでも消化ガスをより有効利用するための消化ガス発電設備について導入検討をしたものの、消化ガスの発生量の規模が小さいことや既設消化槽設備とコージェネレーション利用発電とのマッチングが問題で当初の概算試算では事業性がでな

かった。このことから、ガス発電に最適な運転条件を調査し、それに合わせた最小限の設備構築を検討することで、事業性があることが確認された。一方で今治市下水浄化センターでは再構築がすすめられており、汚泥処理施設についても再構築を含めて検討を行い『収益の得るガス発電』を目指している。

2. 消化ガス発電

下水道管理者は下水処理場のバイオガス発電電力の売電で平成 24 年から固定買取制度（FIT）が適用できることになり、安定的に売電収入を得られる。また、買取価格が高値で固定されると民間が事業主体のガス発電事業も事業性がでてくる。このためガス供給で収益を得ることも可能となった。

さらに設備面でも以前は規模の大きなガスエンジン発電機しかなかったが、小規模の発電手法もさまざまなものが開発され、その例として 100kw 程度以下のガス発電機には次のようなものが登場している。（表 1）。さらに、いずれの発電機でも排熱を利用したコージェネレーション化ができ、エネルギー利用効率を上げることができるため、場内利用のみでも電力費支出を抑制するメリットが加わっている。

ガス発電形態をまとめると以下 3 タイプとなる。

- ①ガス供給事業（ガス売却収入）
→民間事業で発電（民間 FIT）
- ②ガス発電事業（公営 FIT）
→電力会社に売電（売電収入）

③ガス発電（場内系統連系）

→場内利用（省エネ 電力費削減）

なお、固定価格買取制度（FIT）とは、再生可能エネルギーを利用して発電した場合、余剰電力を電力会社が買い取る制度で、平成 27 年度現在、消化ガスで発電した場合 39 円 /kWh で売電できる。

太陽光発電などは発電設備から設備維持の電力を差し引いた余剰電力を売電とすることができる。しかしながら、消化ガスで下水道事業者が発電した場合、消化槽設備も発電事業施設の一部とみなされる。そのため、設備維持の範囲が大きくなり、売電できる電力が少なくなる。収益を得る FIT 事業の費用負担は単独費であるが、施設規模の大きい大規模処理場では発電規模も大きいので、付帯設備工事費等を売電収益でまかなうことができる。しかし、小規模施設においては既に消化槽を保有している場合でも、動力分離の工事負担や消化槽管理の動力消費が大きく、売電電力が小さいため投資以上の収益の回収が望めない。なお、下水道事業者以外が発電事業をする場合は、発電設備のみが発電事業となり、発電事業者から排熱温水供給をうけて消化槽機能を維持すれば、発生ガスの全量売却も可能である。

また制度面の支援としては、場内利用の場合の補助

制度もある。制度の概要は以下のとおりである。

国交省交付金制度

新世代下水道支援事業制度（リサイクル推進事業未利用エネルギー活用型）
下水及び下水処理水の熱やバイオマスを有効利用し、環境への負荷削減、省エネルギー等を図る。

対象

高効率発電	発電効率 40%以上
コージェネレーション	発電効率 20%以上 かつ排熱利用を含む総合効率 75%以上

補助率 5.5/10

独立型再生可能エネルギー発電システム等対策費補助金

地域再生可能エネルギー発電システム等導入促進対策事業
（一般社団法人新エネルギー導入促進協議会）

対象

バイオマス発電	バイオマス依存率 60%以上 10kw以上
---------	--------------------------

補助対象経費の 1/2 以内

1 件当りの年間の補助金額の上限額：1 億円

表 1 小規模ガス発電機

方式	マイクロガスエンジン	マイクロガスタービン	燃料電池
出力	25～60 kW	95 kW	30～105 kW
発電効率	32～34 %	28～29 %	40%
排熱回収率	46～52 %	温水:44～45 % 蒸気:27～28 %	20～50 %
排熱形態	温水	温水、蒸気	温水
総合効率	80～84 %	温水:73 % 蒸気:66 %	60～90 %
概要	レシプロエンジンでガスを燃焼させて発電を行う。	圧縮機で加圧した気体を燃料と混合して燃焼し、得られたガスでタービンを作動させ、出力を取り出し発電を行う。	電気化学反応により燃料から電気エネルギーを得る方式。 回転部がないためエネルギー損失が少ない。

（出典：H25 今治市の調査による）

3. 今治市下水浄化センター

今治市下水浄化センターは、今治平野の中心市街地の汚水を処理するため昭和 51 年に供用開始した終末処理場である（図 1）。排除方式は分流一部合流式で処理区域の 17.1%は合流である。

消化処理の主力設備を表 2 に示す。消化槽のうち 2,000m³ 槽の 2 槽（1 系）は昭和 51 年に建設し、平成 5～6 年に改築でガス攪拌設備および消化槽内の防食等を実施した。また 5,000m³ 槽（2 系）は昭和 63 年に建設し、改築を実施しないまま 27 年が経過している。そのほか主な消化処理設備も改修後 20 年以上経過している。今治市の下水処理場においては機械・電

気設備の劣化度調査は終了しているものの、土木躯体の老朽化および耐震診断はされていない。現在、老朽が顕著な電気・機械設備が多数あることから勘案すると、消化槽自体の長寿命化または新設更新は 5～10 年後以降となってくる。

汚泥処理設備のフローはつぎのとおりである（図 2）。最初沈殿池汚泥と余剰汚泥を重力濃縮後、消化槽に投入している。消化槽は 3 槽を直列接続している。当初 2 槽を 1 次槽として蒸気加温していたが、現在は後述の運転調査のため、後段槽の加温を休止、攪拌のみを実施している。2 次槽は通常、脱離液の排出を抑えており、貯留槽として利用している。なお、図 2 の運転状況は平成 24 年度当時のものを記載している。



図 1 今治市下水浄化センターの航空写真

表 2 消化処理の主力設備

設備名称		耐用年数		設置年度	改築年度	改築後の経過年数
		躯体	機器			
消化槽	1系・1,2	45年	10年	昭和51年	平成6年	21年
	2系	45年	10年	昭和63年	-	(27年)
蒸気ボイラー	No.1	-	8年	昭和51年	平成11年	16年
	No.2	-	8年	昭和51年	平成11年	16年
余剰ガス燃焼装置		-	10年	昭和51年	平成5年	22年
脱硫装置	No.1	-	10年	昭和51年	平成5年	22年
	No.2	-	10年	昭和51年	平成5年	22年
ガス攪拌ブロワ	No.1・1,1・2	-	10年	昭和51年	平成5年	22年
	No.2・1,2・2	-	10年	昭和63年	-	(27年)
ガスタンク		45年	10年	昭和51年	平成4年	23年

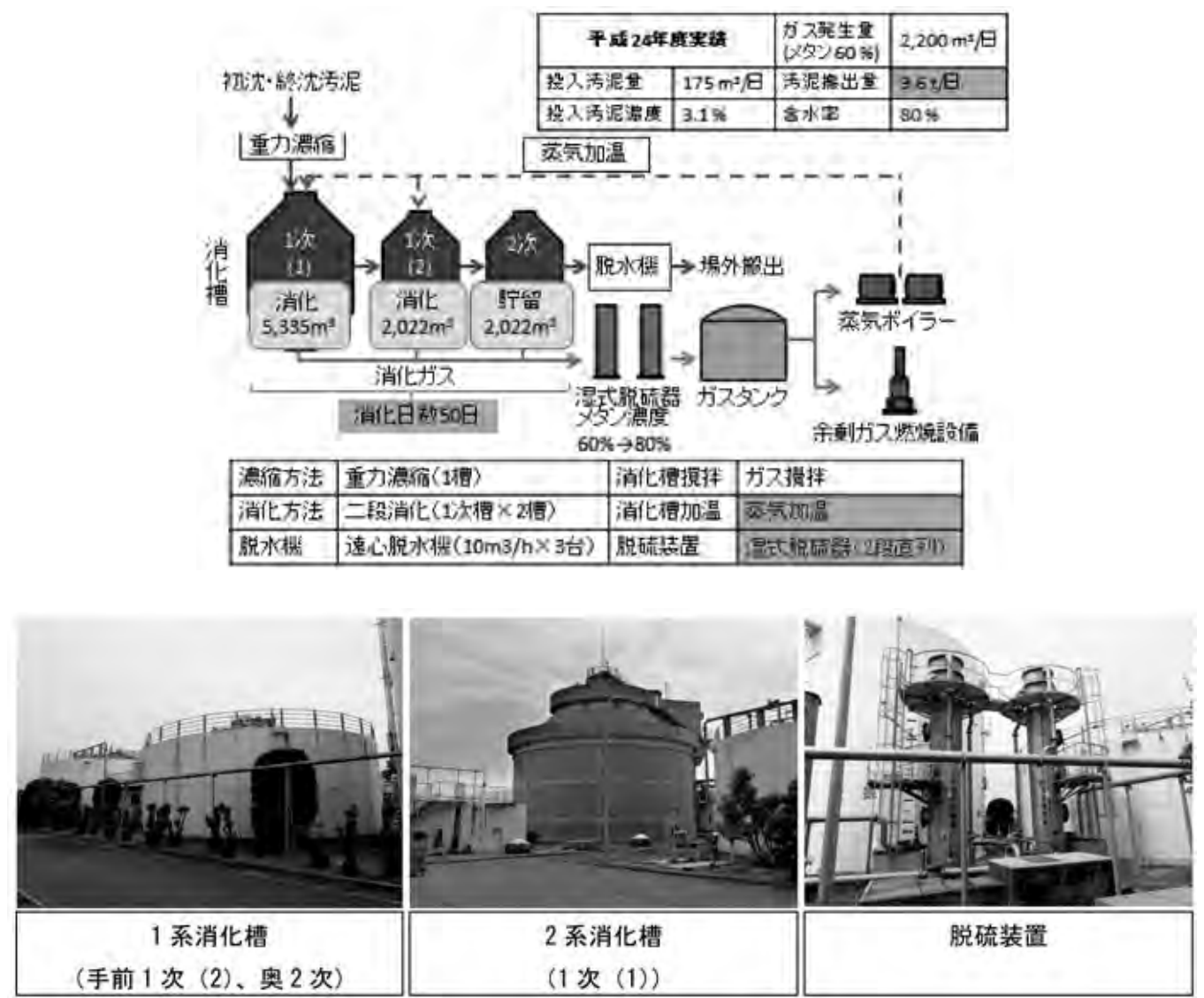


図2 汚泥処理フロー

4. 今治市下水浄化センターにおける消化ガス発電の導入効果の検討

当市においてFITによる事業検討を行ったが、概略設計ではB/Cが1を超えず事業効果なしと判断された。

便益面からみると、発電規模が小さく、消化設備に使用する電力が当事業発電電力の1/3以上あり、トータルとして売電が少ない。建設コスト面からは、既設の消化設備の動力分離工事と消化槽の温水加温への改造工事が必要となる。このため、消化槽を持つにもかかわらず収益が小さく、建設コストがかさむため、経費回収ができないと試算された。

問題点を整理すると以下のとおりとなる。
① 40,000m³/日の流入水量にもかかわらず、消化ガス量は脱硫後の計測で1,650m³/日と少ない。

- ②ガス発生量の変動が大きく、発電設備の能力の算定が難しい。設備規模を大きくすると稼働率が下がり、稼働率を上げる設備とすると、余剰ガスが増える。
- ③消化槽の加温が蒸気加温であり、コージェネレーションとするためには、温水加温に改造する必要がある。
- ④加温用ガスとして60%消費しているため、コージェネレーション化した場合、冬季に熱量不足が発生する。
- ⑤消化槽 加温槽にガス攪拌を使用しており、消費電力が大きい。

その他懸念材料として、湿式脱硫装置の性能がガス発電の要求ガス成分の仕様を満足しない恐れがあった。一般的に採用されている乾式脱硫装置は鉄系脱硫剤で硫化水素を吸着する方法で確実に除去できる。一方、湿式脱硫装置は処理水で洗浄する方法であるが、

全国的にはこの方式では十分脱硫ができていないとのことで硫化水素の安定除去が問題視されていた。また他の処理場に比べメタンが高濃度となる要因が湿式脱硫装置であり、その通年の濃度変動性など挙動については調査が必要であった。

5. 施設運用方法の変更による改善の検討

施設の運用方法の変更による改善を目的として調査・検討を行った結果、当処理場のガス発生状況については次の特徴があることが明らかとなった。(参照 参考文献¹⁾)

- ①ガス発電を行っている全国の32処理場と比較すると、ガス発生率(流入水量あたりのガス発生量) $0.054 \text{ m}^3/\text{m}^3$ は27番目と非常に少ないが、固形物収支からガス発生量を試算すると、下水処理は健全に行われていることが確認できた。
- ②ガス発生量の日変動が非常に大きく、特に雨天翌日のガス量が急増する。これは降雨時の合流管のフラッシング現象による流入SS負荷量の急増に起因している。季節や流入量に対する発生量の変動が大きく、ガス発電を行う場合には安定化が必要である。
- ③ガス発生時のメタン比率は60%程度であり、この比率については通年ほぼ変動がみられない。しかし、脱硫後のメタン比率は約80%程度と高くなっている。

これらの結果に基づきガス発電の導入を前提とした運転条件の変更により可能性の検討を行った。

消化ガス発電 + 排熱温水加温を実施した場合、冬季に熱量不足が発生するが、加温熱量を削減しても、汚泥処理に悪影響がなければよいと考え、処理場では消化日数が50日と十分にあることから、加温槽2槽

のうち後段を無加温とし、前段の加温温度の変更を行った。

調査期間は平成24年4月から平成26年3月までの2年間である。平成24年4月から平成25年10月までは2槽37℃加温、平成25年10月から平成26年10月までは1槽35℃加温とした(図3)。結果、ガス発生量は減少したが、ガスの発生量変動は小さくなり、平準化していることがわかる。また、冬季の加温ガス量の消費が削減されたため、余剰ガス量は年間を通じて安定する傾向となった。

平成26年10月からは、1槽40℃加温として調査をつづけている。現在のところ消化ガスの増産効果は期待したほど大きくなく、加温ガス消費は増加するため、低温化のほうがガス発電に対するメリットがあると推測される。

また、当市では設計ガス量 $2,500 \text{ Nm}^3/\text{日}$ に対し、容量 9 m^3 の脱硫塔が2基で接触時間は5.2min/2基である。処理水で消化ガスを接触洗浄することで、硫化水素を除去する。現在は2塔を直列で運用し、洗浄の処理水量は1段目 $1,200 \text{ m}^3/\text{日}$ 、2段目 $800 \text{ m}^3/\text{日}$ で運用している。硫化水素の除去性能を通年調査したところ、発消化ガス中の硫化水素 $1,000 \sim 3,000 \text{ ppm}$ (平均 $1,700 \text{ ppm}$) を一段目で $20 \sim 300 \text{ ppm}$ (平均 90 ppm) まで低減し、2段目では、 1 ppm 以下まで除去していることがわかった。

ガス発電検討において、脱硫装置でのメタンの濃縮がみられたことから、二酸化炭素濃度をオルザット分析計で測定し、二酸化炭素以外をメタンとして二酸化炭素の除去性能を調査した。メタン濃度は、処理前60%が初段で74%に濃縮され、2段目通過でさらに84%まで上昇している(図4)。顕著な季節変動がみられないことがわかった。処理水水温の影響は小さい

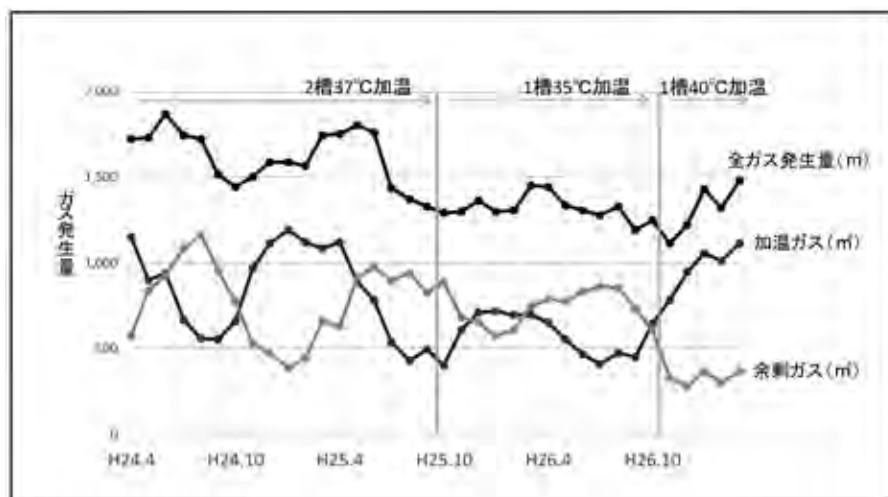


図3 加温ガス量と余剰ガス量の状況

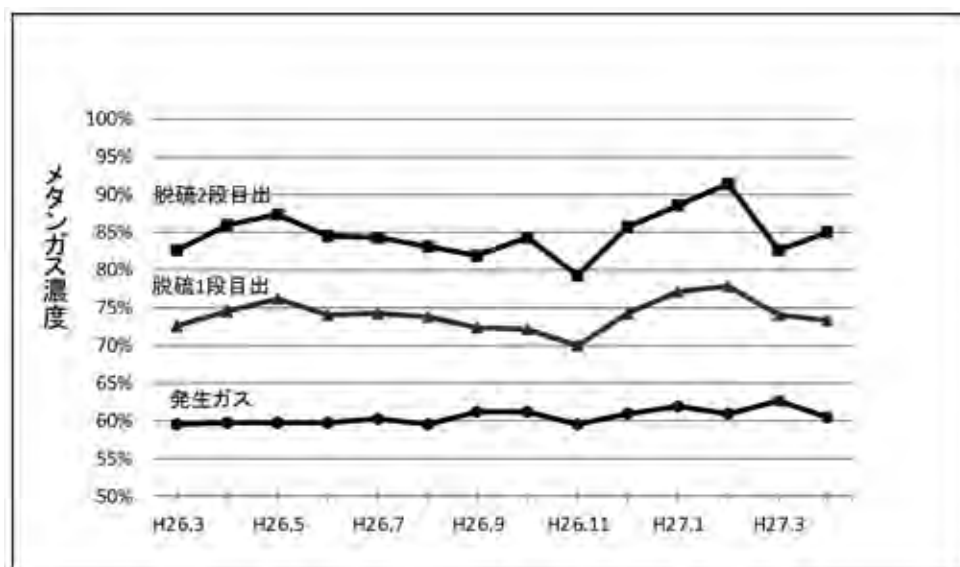


図4 湿式脱硫とメタンの濃縮効果

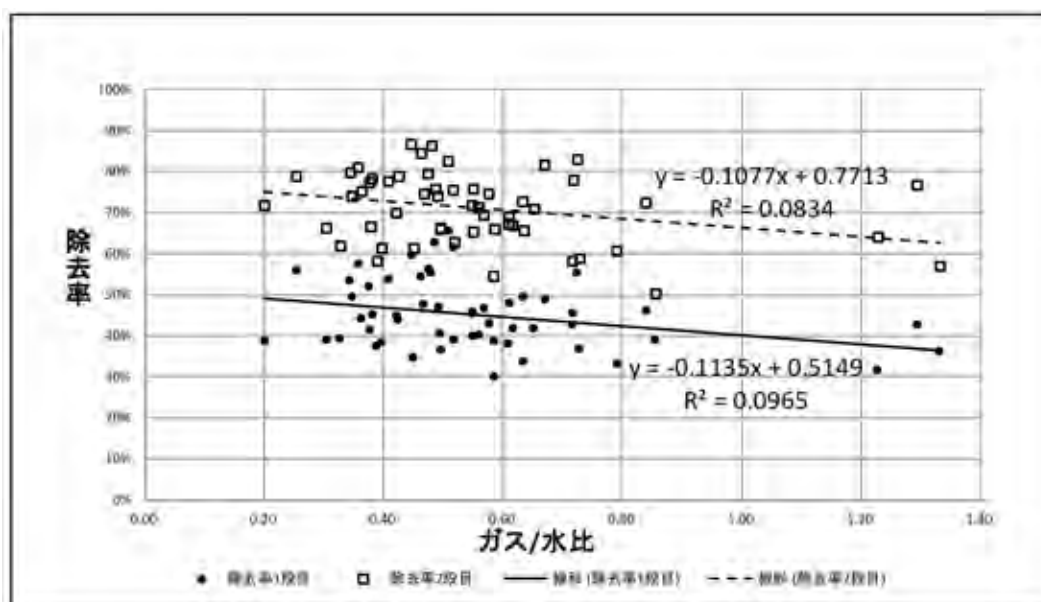


図5 発生ガス / 洗浄ガス比と二酸化炭素除去率

とみられる。

ガス水比を比較したものが図5である。除去率とガス水比の相関係数は0.1以下と相関がみられなかった。しかし、初段と2段目通過後の除去率には明らかに違いがあり、単段で50%程度除去されていた。

洗浄段数が除去率に影響することを示唆している。

消化槽は1槽の使用でも、汚泥処理の運転は確保できる。これにより加温方式をガス発電の排熱温水利用とした場合、熱交換器は1基でよい。ボイラー加温は不要であることが判明し、今後の建設費の削減が可能となった。施設検討をまとめたものが図6のとおりである。

この条件で試算するとFITでB/Cが1を越え、収

益がでることがわかった。

また、既設を改造せず、余剰ガス場内利用とした場合も、収益性があった。

6. 実施事業にむけた検討のまとめ

これまでの検討から、以下のことが明らかとなった。

- ・エネルギー利用を促進させるためには消化槽は温水加温に変更する必要がある。
- ・消化温度を低く設定するとガス発生量は減少するものの余剰ガスの安定供給が図れる。
- ・消化槽1槽と加温用ボイラーは設置する必要がない。

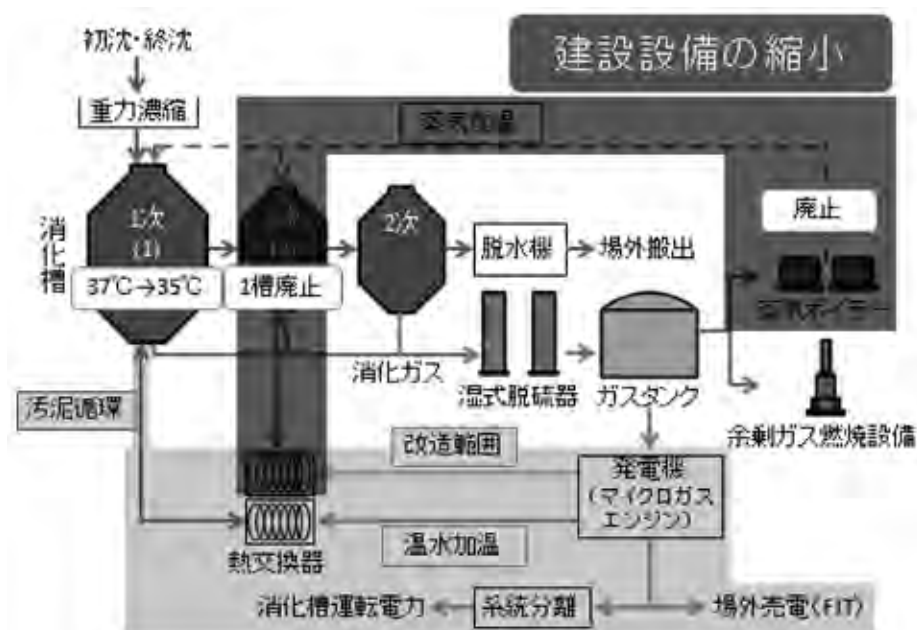


図6 消化設備の再構築（例 FIT 場外売電の場合）

表3 ガス発電の検討

	モデル	結果と備考
1	ガス供給 (民間が発電)	× (民間ヒアリングから) ・余剰ガス量では参入できない。 ・加温設備を変更しガス全量供給、温水需給なら○
2	余剰ガス FIT	× ・事業性なし。 ・発電量不足で十分な売電ができない。
3	コージェネ化 FIT	△ ・事業性あり。収益小さい。既設の消化槽1槽の休止が必要。 ・温水加温装置の追加で対応できるが、老朽した消化槽の耐用を考えると汚泥処理の改築後が妥当。 ・補助で消化槽等の長寿命化の改築更新後なら最も有利。
4	余剰ガス場内利用	○ ・事業性あり。 ・収益は少ないものの、既設改造がないためただちに実施できる。 ・再生可能エネルギー発電システム等対策費補助金を利用できる。
5	コージェネ化 場内利用	× ・事業性なし（収益で改築費をまかなえない。） ・補助で長寿命化で老朽した消化槽の改築または更新時に温水加温を導入をした後なら○ ・国交省交付金制度が利用できる。

・湿式脱硫装置は2段使用でガス発電に要求される性能をクリアしている。あわせてメタンの濃縮効果が見られる。

これまでの検討で、消化槽を1槽使用とし、加温方式をガス発電の排熱利用とした場合、FITでB/Cが1を超えることが明らかになった。また、既設を改造せず、余剰ガスの場内利用とした場合にも収益性があることが明らかとなった。

既設の改造なしと、既設改造あり（コージェネ化：コージェネレーション）で検討し、結果概要を表3としてまとめた。

現在今治市下水浄化センターでは余剰ガス場内利用によるガス発電を導入し、余剰ガスの有効利用を図る方針で事業を進めている。

おわりに

今回、消化ガス発電をテーマとして汚泥処理施設全体の再構築を検討した。現在、省エネ・効率的下水道施設への転換の第一歩として消化ガス発電の実進を進めている。平成27年度、(公財)日本下水道新技術機

構が中心となり民間企業とともにガス発電導入のマニュアル策定の共同研究がスタートした。本研究でガス発電導入のハードルが低くなり、下水道処理場設備のスタンダードとなることを期待している。

下水道事業は施設の老朽化による管理コストの増大と、人口減少による下水道収益減少が目の前にある状況である。下水道経営が今後さらに逼迫するなかで、下水道施設の維持とさらなる効率化は命題である。この課題解決のカギは、建設と管理が一体となっはじめてできる効率的な施設再構築であり、それが継続的な下水道サービスの提供につながると考えている。

本検討にあたり、知見を御提供いただきました日本下水道事業団と施設運転のデータ集積にご協力いただきましたキュウセツ AQUA 株式会社 今治事業所のみなさまにお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 村上貴樹, “40,000m³/日の処理場で収益が出るガス発電の検討”, 第51回下水道研究発表会講演集, (2014), p577

投稿報告

沖縄県流域下水道における バイオマス発電事業について

沖縄県土木建築部 下水道管理事務所

管理班 技師 谷成 主一

キーワード：固定価格買取制度、再生可能エネルギー発電事業、官民連帯、民設民営

1. はじめに

沖縄県は、島しょ性、温暖な気候、豊かな自然環境、独特の文化・風土があり、国内外から多くの観光客が訪れています。本県では、将来の観光客数1千万人の達成を目標としており、平成26年度の観光客数は、716万9,900人で初めて700万人台を突破しております。観光振興を図るうえで重要な水資源の確保に下水道事業は貢献しております。本県と那覇市が共同で実施している再生水利用下水事業がその一つです。下水処理水を高度処理してトイレの洗浄水等に活用しており、平成27年3月には55番目の供給先として那覇空港ビルディング旅客ターミナルへ供用開始しております。

本県の下水道事業は、昭和10年に那覇市で着手され、昭和13年に完成しましたが、第2次世界大戦により施設のほとんどが破壊され、供用開始には、至りませんでした。

その後、昭和35年頃から、那覇市とコザ市（現沖縄市）の急激な都市化により、市街地を流れる河川の水質は急激に悪化し、米軍施設内においても下水処理施設がなく、汚水を未処理のまま海へ放流している状況でした。

そのため、琉球列島米国民政府は昭和39年に米軍施設の集中している中南部を対象とした「沖縄中南部統合下水道計画」を策定しております。この計画は、

その後の本県の下水道事業の骨格をなすものとなり、現在の中部流域下水道に引き継がれております。

昭和44年に那覇下水処理場（現那覇浄化センター）、昭和45年には、伊佐浜下水処理場（現宜野湾浄化センター）がいずれも沈殿方式による簡易処理で供用開始しております。本土復帰（昭和47年）後の昭和51年に伊佐浜下水処理場（現宜野湾浄化センター）、昭和52年に那覇下水処理場（現那覇浄化センター）が高級処理を開始しました。

その後、昭和62年に具志川浄化センター、平成14年に西原浄化センターがそれぞれ供用を開始し、現在、流域下水道は3流域4処理場で事業を展開しております。

2. 発電事業導入の経緯

那覇浄化センターでは、昭和58年度に第1号機（270kW）、平成2年度に2号機（270kW）、平成7年度に3号機（270kW）、平成22年度に4号機（400kW）の消化ガス発電機を設置しており、平成25年度は、発生する消化ガスの89%を有効利用しており、場内で使用する電力の約40%の電力を賄っております。

他の流域下水処理場でも消化槽加温や燃焼脱臭で消化ガスを活用しておりますが、その利用率は宜野湾浄化センターで50%、具志川浄化センターでは15%にとどまっており、さらなる有効活用を考えておりました。平成24年7月から固定価格買取制度（以下、「FIT」という）が開始したことにより、この制度を活用した



図1 沖縄県流域下水道における再生可能エネルギー発電事業箇所図

沖縄県流域下水道における再生可能エネルギー発電事業箇所写真



【宜野湾浄化センター】



【具志川浄化センター】

消化ガスの有効使用方法を検討することになりました。

事業形態については、発電した電力を処理場で消費する公設公営、自治体がFITを活用した公設公営、民間事業者がFITを活用した民設民営の3つのケースを検討しました。その結果、発電設備の建設などの初期投資が不要となることや、施設停止リスク、経済リスクを事業者が負うため、リスクの低い事業形態になることから「民設民営」を採用することにしました。

3. 事業概要

3.1 目的

沖縄県流域下水道における再生可能エネルギー発電事業（以下「本事業」という。）は、民間事業者が実施する再生可能エネルギーを活用した発電事業に対し、本県がバイオマス資源である消化ガスを供給する

とともに下水道施設用地を貸与し、官民が連携して再生可能エネルギーの有効利用を推進することで、温室効果ガスの削減による地球温暖化防止、ならびにエネルギー自給率の向上に貢献することを目的としております。

3.2 概要

民間事業者が沖縄県流域下水道の処理場である宜野湾及び具志川浄化センター内においてFITを利用した再生可能エネルギー発電事業を行って頂きます。

発電施設の建設、維持管理運営等を民間事業者が行い、発電の燃料となる消化ガスを本県から民間事業者へ有償で提供します。また、発電施設の土地の使用料は民間事業者から本県へ支払って頂きます。発電した電力については、民間事業者から沖縄電力に固定価格買取制度により定められた料金（税抜で39円/kWh）



図2 事業概要図

表 1 年間推定発電量

事業箇所	宜野湾浄化センター	具志川浄化センター
発電能力	1,460kW (365kW×4 台)	360kW (60kW×6 台)
年間推定発電量	640 万 kWh	190 万 kWh
(一般家庭の) ※ 1	約 1,800 世帯分	約 540 世帯分
年間 CO ₂ 削減量 ※ 2	約 4,400 トン	約 1,300 トン

(※ 1 一般家庭の使用電力は月 300kWh として計算しております。)

(※ 2 沖縄電力の調整後排出係数、0.000692t-CO₂/kWh を用いて計算しております。)

で売電します。

3.4 主なスケジュール

平成 26 年 6、7 月：沖縄県流域下水道における発電事業者選定基準検討委員会

平成 26 年 8 月 18 日：募集要項等の公表

平成 26 年 9 月 29 日：企画提案書の提出締切り

平成 26 年 10 月 21、22 日：企画提案に係るプレゼンテーション及び優先交渉権者選定委員会

平成 26 年 12 月 12 日：基本協定の締結

平成 27 年 2 月 3 日：設備認定取得（具志川消化ガス発電事業）

平成 27 年 2 月 24 日：設備認定取得（宜野湾消化ガス発電事業）

3.5 事業開始日（予定）

宜野湾浄化センター：平成 28 年 10 月 1 日

具志川浄化センター：平成 28 年 4 月 1 日

3.6 優先交渉権者

平成 26 年 10 月 21、22 日に行われた沖縄県流域下水道における再生可能エネルギー発電事業優先交渉権者選定委員会において、下記の事業者が優先交渉権者として選定されました。

宜野湾浄化センター

優先交渉権者：東芝・日水コン・月島・月島メンテ・沖縄小堀共同企業体

代表企業：株式会社 東芝 沖縄支店

構成員：(株) 日水コン沖縄事務所、月島機械 (株) 沖縄営業所、月島テクノメンテサービス (株) 九州支店、(有) 沖縄小堀電機

具志川浄化センター

優先交渉権者：NOSA おきなわ再生可能エネルギー

発電事業共同企業体

代表企業：株式会社 西原環境おきなわ

構成員：(株) 沖縄工設、(株) しんこうエンジニアリング、(株) 安謝橋電機

3.7 期待される効果

本事業は、表 1 に示したように宜野湾、具志川浄化センター合わせて約 5,700 トンの CO₂ 削減を見込んでおり、地球温暖化防止に寄与することができると考えております。

本事業の特徴として、コンソーシアムを設立して事業に応募して頂いておりますが、複数の企業が共同で発電事業に参加することにより、それぞれの企業の得意分野を生かし、円滑に発電事業を行うことができます。

コンソーシアム内に地元企業を含めることで県内の雇用促進が期待されます。特に具志川浄化センターでの発電事業は、コンソーシアムの代表を含めすべてが地元企業で構成されており、地元企業が再生可能エネルギー発電事業の技術やノウハウを学ぶことができ、地元産業の育成に貢献することができると考えております。

事業者から本県へ支払っていただく消化ガスの料金や土地の賃借料は下水道施設の維持管理費へ充当することを考えており、維持管理に多大な費用が掛かる下水道事業の貴重な財源としての役割も本事業に期待されます。

また、発電設備は見学者などへの対応を考えており、下水道事業を少しでも身近に感じてもらえる機会になればよいと考えております。

4. 今後の課題

本事業は、事業実施に向けて基本協定を締結しておりますが、事業開始には、事業者と事業契約を締結す

る必要があります。現在事業契約については、事業者と契約締結に向け進めているところですが、事業契約締結には電力事業者と事業者が接続契約を締結することが前提になり、接続契約は、事業者と発電事業者で調整しております。

また、契約期間が20年と長期にわたるため、安定したガス量の供給やガス品質確保が求められます。

5. おわりに

本県は、地形的及び需要規制の制約による不利性を有していることから、エネルギー供給源の大部分を石炭や石油などの化石燃料に依存しており、石油依存度の低減、エネルギー源の多様化及びエネルギー自給率

の向上を図るため、再生可能エネルギーの導入は重要な課題となっています。

エネルギー自給率向上、再生可能エネルギー導入などの進展を図るための基本的な行動計画として、平成26年3月に「沖縄エネルギービジョン・アクションプラン」を策定しており、本事業は、このアクションプランに積極的に取り組むものであります。

本事業の実施にあたり、事業者選定基準の作成に貴重な意見をいただきました「再生可能エネルギー発電事業者選定基準検討委員会」委員の皆様、多くの情報や意見を提供していただきました民間事業者の皆様、本県からの突然の照会にも関わらず回答していただきました自治体様、この場を借りてお礼申し上げます。

投稿報告

豊前市における下水処理場からの
リン回収の試みについて

東北大学 多元物質科学研究所・助教 飯塚 淳
豊前市上下水道課・課長 谷内 英仁

キーワード：汚泥返送水、ヒドロキシアパタイト、リン資源回収、コンクリートスラッジ、PAdeCS

1. はじめに

豊前市は、福岡県の東南端に位置し、南に修験道の遺跡で知られる求菩提山、天然記念物「ツクシシヤクナゲ」の群生する犬ヶ岳をひかえ、ここに源を発する岩岳川を中心に豊前平野が扇状に開け、北は波静かな周防灘に面している。北九州とは北西 45 km、大分県中津市とは南東 7 km の位置関係にあり、京築地域南部の中心都市として位置している。

本稿では、豊前市の豊前市浄化センターにて 2013 年から 2014 年に掛けて行われた下水汚泥返流水からのリン資源回収の試みについて紹介する。

2. 実証実験に至った経緯

日本コンクリート工業株式会社及び東京大学・成蹊大学・東北大学のグループでは、2006 年からコンクリートスラッジの再資源化技術に関する技術開発を共同で行ってきた。この中で、コンクリートスラッジがアルカリ性のカルシウム化合物を多く含有しており、また重金属含有の問題が少ないことに着目し、廃水中のリン資源をヒドロキシアパタイト (HAP) として回収するリン資源回収材料として用いるための検討を NEDO (独立行政法人 新エネルギー・産業技術開発機構) や国土交通省の助成制度を活用して行ってきた。その中でコンクリートスラッジ由来のリン回収剤を

PAdeCS[®] と名付け、全国のコンクリートポールメーカーを中心に PAdeCS 研究会を 2012 年 5 月に立ち上げ、実用化を目指した活動を行っている。PAdeCS の最も大きな特徴として、既存のリン回収材と比較して安価で供給できる可能性が高いことが挙げられる。

豊前市では、九州高圧コンクリート工業株式会社の工場と同市の下水処理を行う豊前市浄化センターとが敷地を隣接していたことがあり、そのため実現可能性が高い適用先として各所の協力のもと下水処理場からのリン資源回収の実証実験を行った。

3. 実証試験の概要と結果

3.1. 実験方法

豊前市浄化センター (福岡県豊前市八屋) の汚泥返流水 (汚泥脱水機分離液 + 反応槽機械濃縮液) を対象として用いた。対象となる汚泥返流水の発生量は約 64 m³/日であり、リン濃度は 20 ~ 35 mg-P/L 程度である。リン回収剤としては 2 種類の試料を用いた。一方は、固体状のリン回収材 PAdeCS であり、九州高圧コンクリート工業で製造した粒径 5 mm 以下の試料 (図 1) を使用した。実証実験に使用した PAdeCS は強度の小さい粒状・粉状であり、カルシウムやケイ素等を成分としている。PAdeCS の製造方法やその性能の詳細については既存の文献^{1)~3)}に詳しい。また、コンクリートスラッジの脱水工程で発生する高アルカリ水 (水酸化カルシウム飽和水溶液) も直接、液体状

図 1 実証実験に用いた脱リン材 PAdCS[®] の外観

リン回収材として利用した。この高アルカリ水は通常のコングリートスラッジの処理工程では塩酸での中和処理等の後に海へ放流されている。

固体状リン回収材 PAdCS を用いたリン回収試験は、流通式装置（図 2-1）を用いて行った。実証実験装置では、豊前市浄化センターの地下貯水槽から水中ポンプで汚泥返流水を汲み上げ、貯留槽（500 L）に一時貯留して均一化した後、ポンプを用いて PAdCS を隙間なく充填した脱リン材充填槽（100 L）の下部から上向きに返流水を流通させた。リン回収槽には内径 450 mm、高さ 700 mm の円筒形容器を用いた。必要に応じて閉塞を防止するための碎石層を PAdCS 層間に設置した。

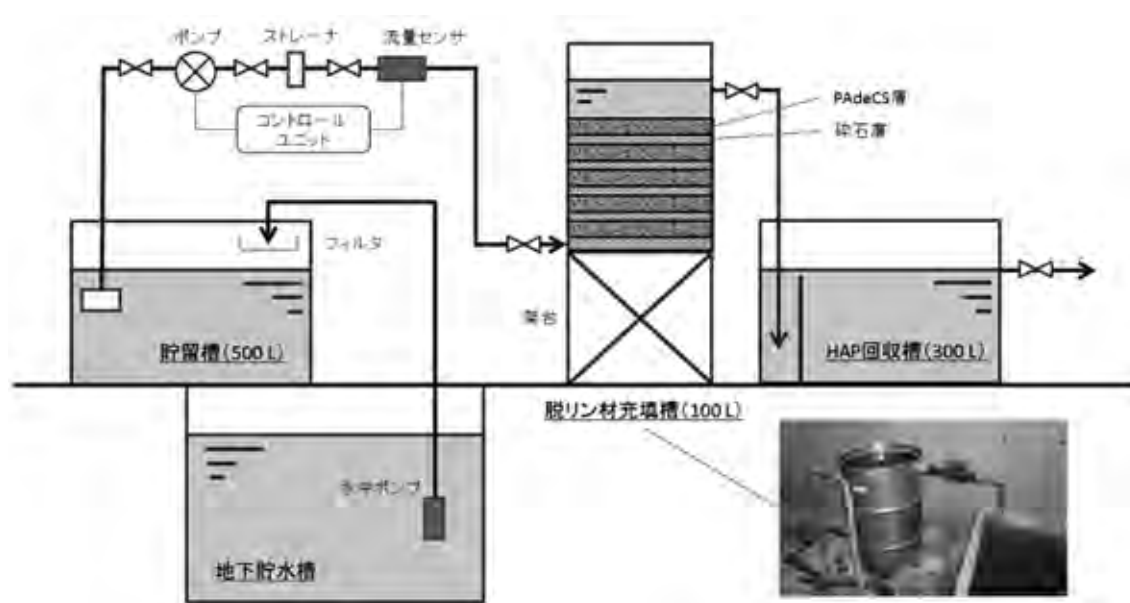


図 2-1 流通式脱リン実証実験装置模式図

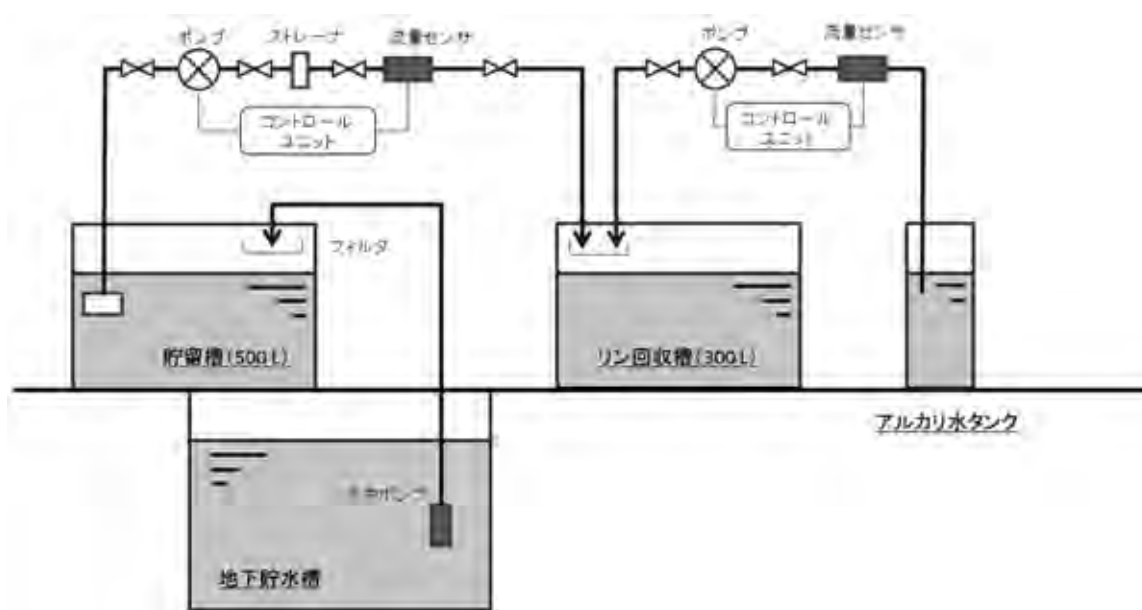
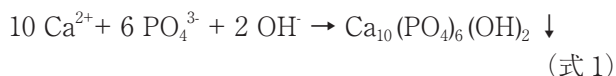


図 2-2 バッチ式脱リン実証実験装置模式図

返流水中のリン酸イオンは、脱リン材充填槽中の PAdeCS から溶出したカルシウムイオンと水酸化物イオンと反応し、ヒドロキシアパタイト (HAP, $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$) として PAdeCS 表面や返流水中で析出する。



この反応に従って返流水中のリンが除去されると共に、返流水中で析出した高純度の HAP 粒子は流れに沿って移動し、沈殿槽 (300 L) にて回収される。流通式のリン回収試験ではリン回収材の充填層高さや流通速度を変更した試験を行った。

一方、液体状リン資源回収材を用いたリン回収試験は、バッチ式の脱リン実証試験装置 (図 2-2) を用い、汚泥返流水と液体状リン回収材を所定の流量比で混合することで行った。この方式では、返流水中のリン酸イオンのほぼ全量が (式 1) の反応式によって高純度の HAP として回収可能であると期待される。

3.2. 実験結果

(固体状リン回収材 PAdeCS を用いたリン回収試験)

最もリン除去性能が高かった条件 (PAdeCS 層厚: 30 cm, 汚泥返流水流量: 400 L/h, 線流速: 2.52 m/h, 空間速度: 8.4 h^{-1}) においては、連続して 7 時間、汚泥返流水からのリン除去が可能であった。汚泥返流水中のリン濃度は平均 29.3 mg-P/L であったが、脱リン材充填層を通過した処理水中ではほぼ 5 時間の間リンは検出されず、その後 2 時間の間で緩やかにリン濃度が上昇し、約 20 mg-P/L に達した。この間の処理水の平均リン濃度は 5.7 mg-P/L であり、リンの除去率は 82.5% となった。処理水の pH は平均 9.58 であり、処理水を曝気槽へ導入しても pH の上昇の影響は少ないと予想された。懸念された処理水中のカルシウム濃度上昇の影響も少なく (返流水: 25.8 mg-Ca/L → 処理水: 33 mg-Ca/L)、配管内のスケール発生等も少ないと考えられた。通水後の溶液中の重金属については、As, Cd, Cr, Hg, Pb, Zn の測定を行ったが、いずれも排水基準を大きく下回った。図 3 に HAP 回収槽で回収されたヒドロキシアパタイトの外観を示す。回収したヒドロキシアパタイト中のリン含有量は 8.29 wt% であり、副産リン酸肥料の基準の目安であるリンの含有率 6.54 wt% (P_2O_5 換算で可溶性リンが 15 wt%) を達成していた。そのため直接リン肥料としての使用が期待される。一方、課題としては、リン除去継続時間の更なる長時間化やリン除去後の PAdeCS の処理方法の確立等が挙げられた。

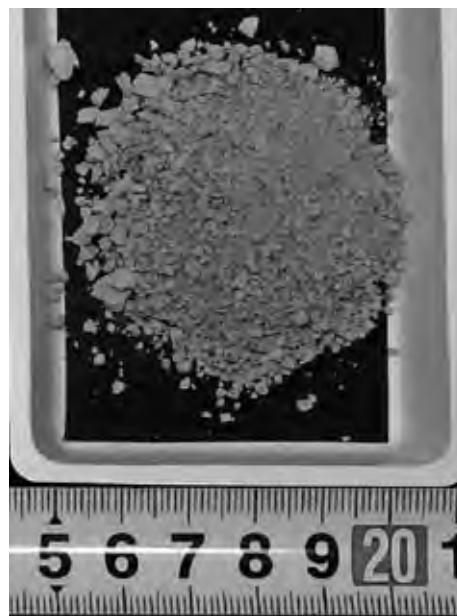


図 3 HAP 回収槽で回収されたヒドロキシアパタイト

(液体状リン回収材を用いたリン回収試験)

汚泥返流水と液状リン回収材の混合比を体積比で 4 : 1 とし、リン回収反応時間を 3 時間とした際の水中のリン濃度の推移を図 4 に示す。汚泥返流水中のリン濃度は、液状リン回収材との混合後に速やかに低下し、3 時間後のリン濃度は 1.3 mg-P/L となった。また、この時の水溶液の pH は 10.7 であった。この場合にも水溶液中で、前述の (式 1) で表されるヒドロキシアパタイトの析出が生じ、水相からリンが除去・回収されたものと考えられる。図 4 に混合後の水溶液中で生じた析出物の外観を、表 1 に析出物の元素組成を示す。析出物の主成分はヒドロキシアパタイトであり、

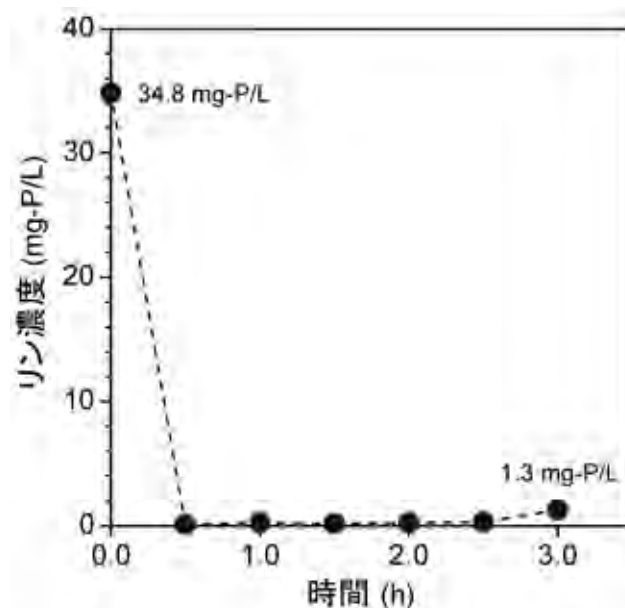


図 4 リン回収材添加後のリン濃度の推移



図5 回収された析出物（ヒドロキシアパタイト）の外観

	元素含有率 [wt%]
Al	0.09
Ca	26.2
Fe	0.14
K	0.19
Mg	3.5
Na	0.21
P	8.2
S	0.26
Si	2.7

表1 回収された析出物の元素組成

リン含有率は8.2 wt%であった。この値は P_2O_5 換算では18.8 wt%に相当する。く溶性のリン含有率は P_2O_5 換算で18.7 wt%であった。これも副産リン酸肥料の基準である15 wt%をクリアする値であった。また、重金属の溶出も基準を満たす低いレベルであった。こちらの析出物についても直接リン肥料としての使用が期待される。一方、課題として、生成するHAPの沈降性・固液分離性の向上が挙げられた。そのためには、混合比等の調整による結晶性が高い大粒径のHAP生成が必要と考えられた。

4. おわりに

豊前市浄化センターの汚泥返流水（リン濃度20～35 mg-P/L程度）を対象とし、2種類のリン回収材を用いたリン資源回収の実証試験を行った。いずれのリン回収材を用いた場合にも汚泥返流水からのリンの除去が可能であり、副産リン酸肥料の基準となる P_2O_5 で15 wt%以上のリン含有率を達成するヒドロキシアパタイトの回収が可能であった。また、重金属の溶出の問題も認められなかった。今後、下水処理場に隣接するコンクリート二次製品工場や生コン工場があれば、これら工場から下水処理場へコンクリートスラッジ由来のリン回収剤や液体状リン回収剤を供給し、非常に低コストのリン回収が実現できると考える。

謝辞

本稿で紹介した豊前市浄化センターでの取り組みは、日本コンクリート工業株式会社・技術顧問・早川康之様、環境事業部・事業部長・吉田 浩之様、研究室・本間 雅人様、九州高圧コンクリート工業株式会社・執行役員・小山 嘉雄様、技術部・次長・岩城 登様及び成蹊大学 理工学部・山崎 章弘教授との共同研究の成果である。ここに謝意を示す。

<参考文献>

- 1) Iizuka, A., Sasaki, T., Hongo, T., Honma, M., Hayakawa, Y., Yamasaki, A., Yanagisawa, Y.: Phosphorus Adsorbent Derived from Concrete Sludge (PAdeCS) and its Phosphorus Recovery Performance, Ind. Eng. Chem. Res., 51(34), 11266-11273 (2012)
- 2) 佐々木 猛, 飯塚 淳, 本間 雅人, 吉田 浩之, 早川 康之, 山崎 章弘, 柳沢 幸雄, コンクリートスラッジを用いた脱リン材 (PAdeCS) の開発とその脱リン性能, 化学工業, 2013年1月号, pp.57-62 (2013)
- 3) 佐々木 猛, 飯塚 淳, 本間 雅人, 吉田 浩之, 早川 康之, 柳沢 幸雄, 山崎 章弘, コンクリートスラッジ由来の粒状脱リン材 (PAdeCS) による流通系システムによるリン回収, 化学工学論文集, 40 (5), pp.443-448 (2014)

コ ラ ム

農家がエネルギーもつくる時代を目指して

東京育ちの私が、縁あって南阿蘇村で農業をすることになったのは13年前のこと。結婚後に夫婦そろって留学していたドイツで、「農家は食べ物もエネルギーもつくる存在」である社会を見てきた経験から、農業や農村の将来性を感じていた私たちは、「どうせいつか継がなければいけない立場にあるのなら早いうちから始めた方がいい」ということで、周囲の心配や反対を押し切って就農したのでした。就農した年の冬にはさっそく NPO 法人九州バイオマスフォーラム（以下 KBF）を設立。農家が「食べ物だけでなくエネルギーもつくる存在」にもなることは、日本でも可能なはずです。

阿蘇と言えば雄大な草原。日本一の面積を誇り、千年以上も続いてきたことによって独自の文化や景観が育まれました。ところが高齢化や有畜農家減少のため、草原の面積は減ってきています。草原は人間が利用するからこそ維持されてきたもの。これからも維持していくためには、家畜の頭数を増やしたり、若い農家を増やしたりするだけでなく、草の新たな利用方法を模索することも大切です。

そこで KBF は阿蘇市に呼びかけ、平成 17 年から全国初の「草発電」に挑戦。ところが、傾斜のきつい斜面から草を集めるのはコスト高で、結局、5 年間の実験期間終了後に稼働はストップしてしまいました。が、成果もありました。地元の農家が、「草は資源」と認識したことです。

その後、日本でも原発事故が発生し、事態が一転しました。新しいエネルギーの必要性が誰の目にも明らかになったのです。私たちは再び立ち上がりました。目指すはエネルギーの地産地消。草や生ごみや家畜糞尿を原料としたバイオマス発電は、原料の調達に費用がかかるため、成功させるには相当の工夫がいります。しかし実現すれば、農家の副収入や農村の活性化に最も貢献するエネルギー事業です。環境省の支援を受けて南阿蘇でのバイオマスエネルギー事業を3年間検討した結果、大規模の施設しか採算が合わないと言われていたものが、小・中規模でも事業化できそうな見通しになってきました。時代の変わり目と言うのはまさにこのことなのでしょう。目下、事業化に向けてハードルを1つずつ乗り越えようとしているところです。

そんな「エネルギーの地産地消」への取り組みを続けていた矢先に、女性農業者による NPO の代表という役目を仰せつかりました。TPP、農家の超高齢化、原発事故による放射能汚染…。こんな時代だからこそ、私たち女性農家が明るくみんなを照らす存在になるかもしれない。そんな思いでお引き受けしました。組織が誕生したのは20年前。コメの部分自由化により、グローバル化に耐えうる規模拡大や効率化が叫ばれていた時代です。しかし経済的な視点だけではなく、「いのちと食」という視点で農業を見つめ直すために女性農家たちが立ち上がったのがきっかけです。昨年3月に役員全員の世代交代を果たし、名称も一部変更してリニューアル（NPO 法人田舎のヒロインズ）。「ネットワークを活かした具体的なアクションへ」が当面の目標で、農家女性の発信力（＝女性目線の情報発信）と受信力（＝無理のないおもてなしによる都市農村交流）の向上に加え、農山村における再生可能なエネルギーの普及活動に取り組んでいくつもりです。再生可能なエネルギー事業が農家の副収入につながり、日本の農家が「食べ物とエネルギーをつくる存在」として頼られる存在になっていきたいと思っています。実際に農家がエネルギー供給事業に乗り出しやすくするための会社も興しました。「里山エナジー株式会社」です。どちらもまだ歩み始めたばかりですが、皆さまの温かいご指導・ご鞭撻をお願いいたします！

NPO 法人九州バイオマスフォーラム 大津 愛梨

報 告

札幌市における 下水熱エネルギーの活用（雪対策）

札幌市建設局下水道河川部下水道計画課 有効活用担当係長 岩本 英規
(現 札幌市建設局総務部総務課研修担当係長)

キーワード：雪対策、下水熱

1. はじめに

札幌市は、積雪寒冷地に位置し、190万もの人口を抱えながら、年間降雪量が6mに達する世界的に稀な都市である。札幌における「雪」は、重要な観光資源であり、また、雪どけ水は豊かな水源である。一方、市民生活にとって道路交通の障害となりうることから、これを克服するための雪対策事業は、長年にわたる重要な行政課題である。札幌市では、下水処理水および未処理下水の未利用エネルギーを活用し、融雪槽や流雪溝などの雪対策施設の整備を行ってきた。これらの施設は、雪たい積場の確保が年々難しくなっている昨今、恒久的に使用ができ、また、自然環境や都市景観に与える影響面にも優れた施設である。

本稿では、札幌市の下水道事業における、これまでの雪対策への取組を報告する。

2. 下水処理水の熱エネルギーを有効利用

下水処理水の熱エネルギーを有効利用した雪処理施設として融雪槽、融雪管および流雪溝を整備している。

(1) 融雪槽

冬期間使用しない雨水調整池などに処理水を送水し、ダンプトラックにより槽内へ投雪し、処理水の持つ熱エネルギーにより融雪する施設である。現在まで

に厚別融雪槽と新川融雪槽の2施設と近接する清掃工場の余熱利用した発寒融雪槽を整備している。融雪槽は、空気攪拌装置や造波機を用い、槽内の水を攪拌することにより融雪を促進している。

1) 厚別融雪槽

厚別融雪槽は、冬期間に流入水量変動が小さくなり、污水調整池の半分に余裕ができることから、厚別水再生プラザの下水処理水を送水し融雪槽として活用している。平成5年1月より供用を開始し、ダンプによる投雪口は6カ所、約10,000m³/日（ダンプトラック約720台）の融雪能力を有しており、下水道を利用した雪処理施設の中で最も能力の大きい施設である。

2) 新川融雪槽

汚泥処理の集中化に伴い、休止となった新川水再生プラザ内の汚泥処理槽へ、冬期間は新川水再生プラザの下水処理水を送水し、融雪槽として活用している。

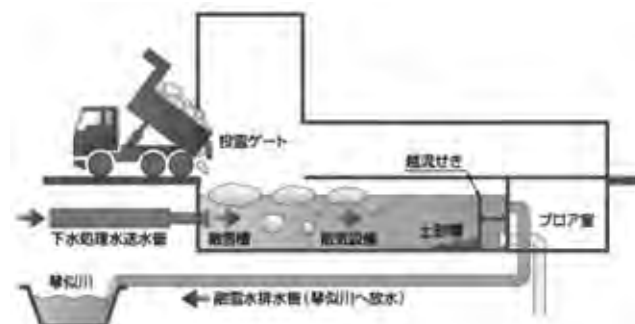
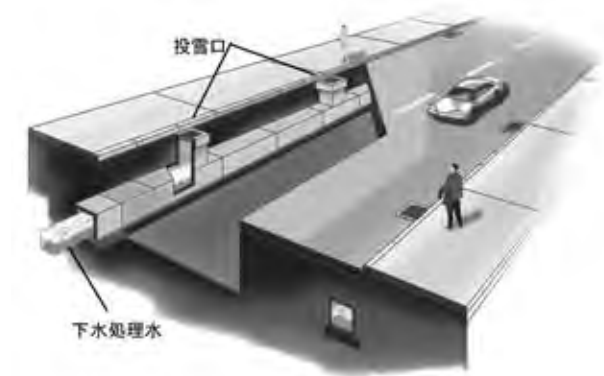


図-1 新川融雪槽



図－2 創成川融雪管



図－3 流雪溝



写真－1 融雪管投雪状況



写真－2 流雪溝投雪風景

平成 16 年 2 月に供用を開始し、約 6,000m³/日（ダンプトラック約 430 台）の融雪能力を有している。

3) 発寒融雪槽

近接する発寒清掃工場のごみ焼却により発生する余熱を熱源として融雪している。平成 7 年 2 月に供用を開始し、約 2,200m³/日（ダンプトラック約 160 台）の融雪能力を有している。

(2) 融雪管

合流式下水道の改善を目的に整備された雨水貯留管に下水処理水を送水して、ダンプトラックにより管内へ投雪し融雪する施設であり、現在までに創成川融雪管と伏古川融雪管の 2 施設を整備している。

1) 創成川融雪管

平成 9 年 1 月に第 1 投雪口が供用を開始し、平成 18 年 1 月に第 2 投雪口が供用を開始した。創成川融雪管は、用地の確保や騒音・振動などの問題から、投雪口の設置位置と雨水貯留管の距離が離れているため、送水管により投雪口まで処理水を引き込み、投入された雪は、送雪管を流れ雨水貯留管へ搬送している。また、投雪された雪は投雪口下部に設置されたロータリ設備により碎き送雪管へ投入している。約 4,200m³/

日（ダンプトラック約 300 台）の融雪能力を有しており、融雪管の処理水は、流雪溝の水源としても有効活用している。

2) 伏古川融雪管

平成 16 年 2 月に供用を開始し、約 4,000m³/日（ダンプトラック約 290 台）の融雪能力を有している。投雪口は、2 カ所ありスロープを利用し融雪管へ直接投雪している。

(3) 流雪溝

道路下に設置された流雪溝本体へ下水処理水を送水し、道路上に約 10 m 間隔で設置された投雪口から沿線住民が投雪作業を行い、雪を流下処理する施設である。送水施設を下水道事業により整備し、流雪溝本体は道路事業により整備している。下水道事業における最初の雪処理施設として、平成 2 年に安春川流雪溝の供用を開始した。現在までに 7 カ所を整備している。

流雪溝が整備されることにより、道路除雪で道路の両脇に積まれた雪がなくなり、すっきりした街並みとなるとともに、雪山による道路幅の縮小や視界不良が解消され、交通障害および安全性の確保に繋がっている。



図-4 八軒下水道管投雪施設



図-5 地域密着型雪処理施設

3. 未処理下水の熱エネルギーを有効利用

未処理下水の熱エネルギーを有効利用した雪処理施設として、下水道管投雪施設と地域密着型雪処理施設を整備している。未処理下水の利用にあたっては、下水温度の低下による水処理への影響を考慮し、投雪量や処理場までの距離を検討する必要がある。

(1) 下水道管投雪施設

既設下水道管きょに投雪口および水深確保用の堰などを設置し、運搬されてきた雪を管内に投入し、未処理下水の持つ熱エネルギーにより融雪する施設である。現在までに3施設を整備している。

1) 大通下水道管投雪施設

大通下水道管投雪施設は、札幌市の中心部である大通に整備されている。都心部において雪処理ができることから、雪たい積場までの排雪コストを大幅に削減することができる。創成川融雪管と同様にロータリ設備を用い下水道管へ投雪している。平成9年3月に供用を開始し、約1,400m³/日（ダンプトラック約100台）の融雪能力を有している。

2) 発寒下水道管投雪施設

中央分離帯に整備された施設であり、一般の通行車への影響がなく、幹線道路に設置されているため、排雪トラックの交通アクセスにも便利である。供用開始は、平成12年1月で約2,100m³/日（ダンプトラック約150台）の融雪能力を有している。

3) 八軒下水道管投雪施設

八軒下水道管投雪施設は、他の下水道管投雪施設とは異なり既設下水道管の一部を改造し投雪口を2カ所設置している。また、投雪口の上流に堰を設置し管内に下水を貯留している。流量の少なくなる夜間に堰を外し、流量を増加させることにより、融雪に必要な熱

量を確保している。平成15年2月に供用を開始し、約2,800m³/日（ダンプトラック約200台）の融雪能力を有し、未処理下水を利用した施設の中で最も融雪能力が高い施設である。

(2) 地域密着型雪処理施設

地域の雪は地域で処理することを目的として、公園などのオープンスペースなどに雪を一時たい積し、バックホーにより、近接した既設下水道管きょに設置された投雪口へ投雪し、未処理下水の持つ熱エネルギーにより融雪する施設である。平成17年3月に月寒公園が供用を開始し、伏古公園北およびアクセスサッポロが供用している。融雪能力は、約1,000m³/日（ダンプトラック約70台）である。

4. 融雪状況

平成25年度の下水道施設における雪処理量は1,643千m³であり、札幌市全体の公共排雪量の約12%を処理している。近年は、雪たい積場の郊外化や、雪の運搬排雪に必要なダンプトラックの確保に苦慮しており、下水道施設を有効活用することにより、雪の運搬費用が削減できるほか、温室効果ガス排出量の削減といった効果がある。

5. おわりに

近年、下水熱利用の機運が高まっているが、札幌市では、これまでに北国特有の課題である雪対策への取り組みを進めてきた。しかし、高齢化により流雪溝への住民による投雪が難しくなるなど、社会情勢の変化に伴い、雪処理施設の運用にあたって課題が生じている。今後は、施設の運用方法等の再検討や施設の老朽化に伴う改築費用の確保が必要となる。

報 告

下水汚泥有効利用促進マニュアル ー持続可能な下水汚泥の有効利用を目指してー の発刊 (その 1. 共通編)

下水汚泥利用促進検討調査専門委員会 事務局

日本下水道協会 前田 明徳
オリジナル設計(株) 高橋 幸彦

キーワード：マニュアル、PDCA、評価の視点、診断チェックシート（推奨例）

1. はじめに

日本下水道協会においては、過去に下水汚泥資源利用協議会等の活動を通じて、「肥料利用」においては「下水汚泥の農地・緑地利用マニュアルー2005年版ー」、「建設資材利用」においては「下水汚泥建設資材化のガイドライン（案）2001年版」、「下水汚泥の建設資材利用マニュアル（案）2001年版」、「エネルギー利用」においては「下水汚泥エネルギー利用調査報告書 平成20年版」等を刊行してきた。

しかし、既刊のマニュアル類が刊行年から相当程度経過してきたこと、過去と現在では利用形態が大きく変化してきていること及び将来に向けて下水汚泥の一層の有効利用を促進する必要があることを踏まえ、既刊マニュアルを改定する意味合いも含めて、下水汚泥有効利用促進マニュアル（以下「本マニュアル」という。）をとりまとめ、本年度上期の発刊を予定としている。

本マニュアルのとりまとめにあたり、平成25年7月に設置した「下水汚泥利用促進検討調査専門委員会」において、肥料利用、建設資材利用、エネルギー利用の3つの分野において小委員会を設置し審議を進めてきた。

本マニュアルの具体的な内容としては、近年の取組の好事例等を調査し、実用化済みまたは実用化段階にある技術内容等を盛り込むとともに、最新の利用形態

の動向、エンドユーザーのニーズ及び課題とその対応策、マーケットの拡大戦略等を盛り込んでいる。これにより、下水道が持っている様々な資源、特に下水汚泥を有効に利用することにより、環境負荷を低減し、地球温暖化対策に寄与することができるものと期待している。

本マニュアルを羅針盤のひとつとして下水道事業管理者を中心に活用いただくため、本報より4回のシリーズ（その1. 共通編、その2. 肥料利用編、その3. 建設資材利用編、その4. エネルギー利用編）に分けて、その概要内容を掲載するものとする。

2. 本マニュアルの目的

平成26年7月に「新下水道ビジョン」がとりまとめられ、下水道の長期ビジョンとして、『『循環のみち』の持続と進化』を柱と位置付け、「水・資源・エネルギーの集約・自立・供給拠点化」が大きく掲げられている。下水汚泥を有効利用することは汚泥処分費の低減に、生産したエネルギーを利用・売却することはエネルギー自立と維持管理費の低減につながり、下水道事業の経営改善にもつながるため、より一層の資源化・有効利用に取り組む必要がある。

本マニュアルでは、近年の民間や自治体の事例等を調査し、下水汚泥のさらなる利用促進に向けて、今後の取り組みの参考資料とすることができるよう、実用化や実証実験段階の技術内容等を盛り込むとともに、

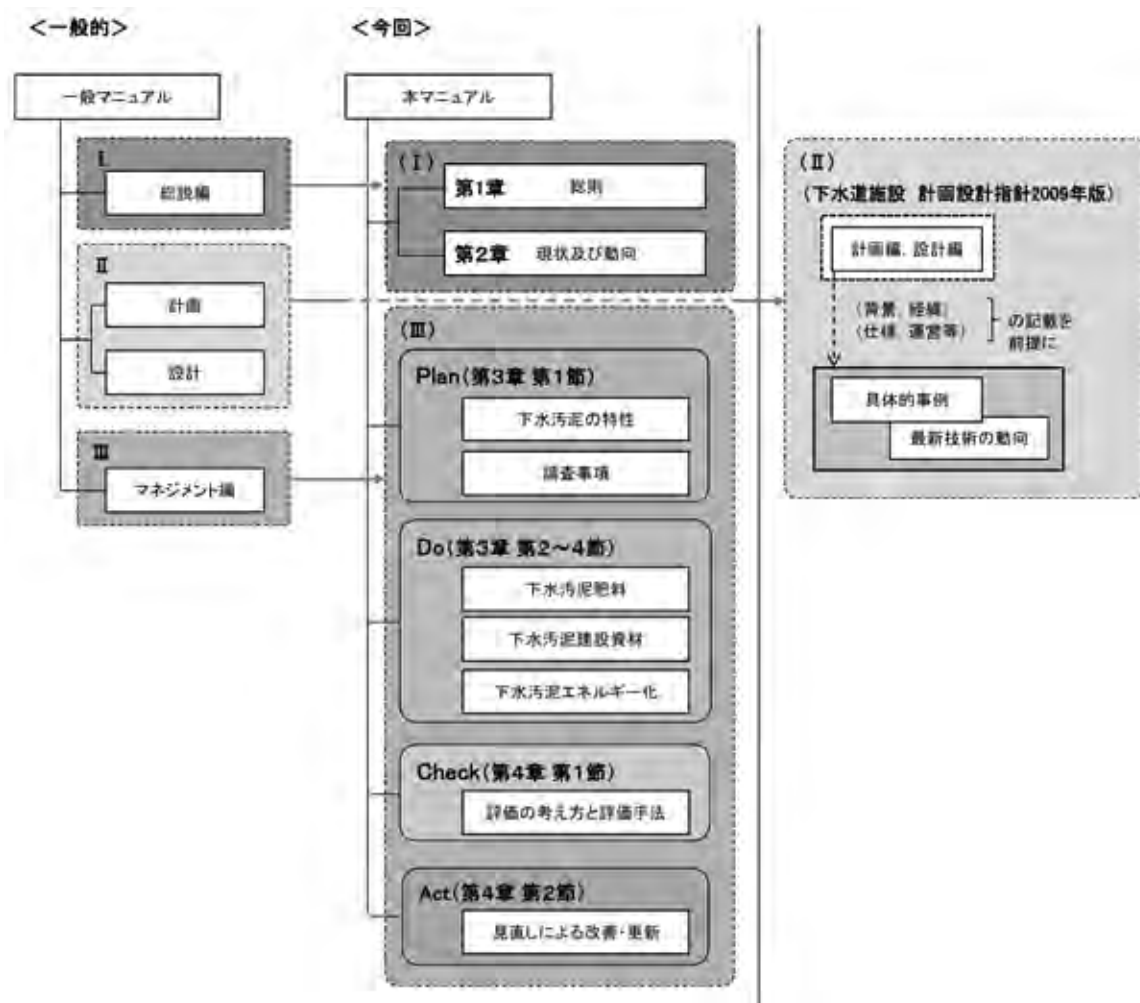


図-1 一般的な実務マニュアルと本マニュアルの構成比較

最新の動向、エンドユーザーのニーズ及び課題の解消・対応案を反映させるものとした。これにより、本マニュアルでは、PDCA サイクルに則り、具体的な導入事例の紹介、その導入した背景やその効果、更新時における評価と見直し手法等を解説する実務書としてとりまとめたものである。

3. 本マニュアルの対象技術

本マニュアルでは、下水汚泥のさらなる利用促進を図り持続可能なものとするために、下水汚泥を原料とする肥料利用、建設資材利用、エネルギー利用を対象とし、下水処理場の内外を問わず利活用されている事業事例を中心に整理するとともに、各分野技術の導入の考え方、最新動向・最新技術や具体的取組み等についても紹介している。

1) 下水汚泥肥料

- ・下水汚泥を原料とする肥料について、その種類と特徴、肥料登録方法等について示し、特に各地で行われている施肥試験結果より、肥効性について作物別・

土地別に記述した。

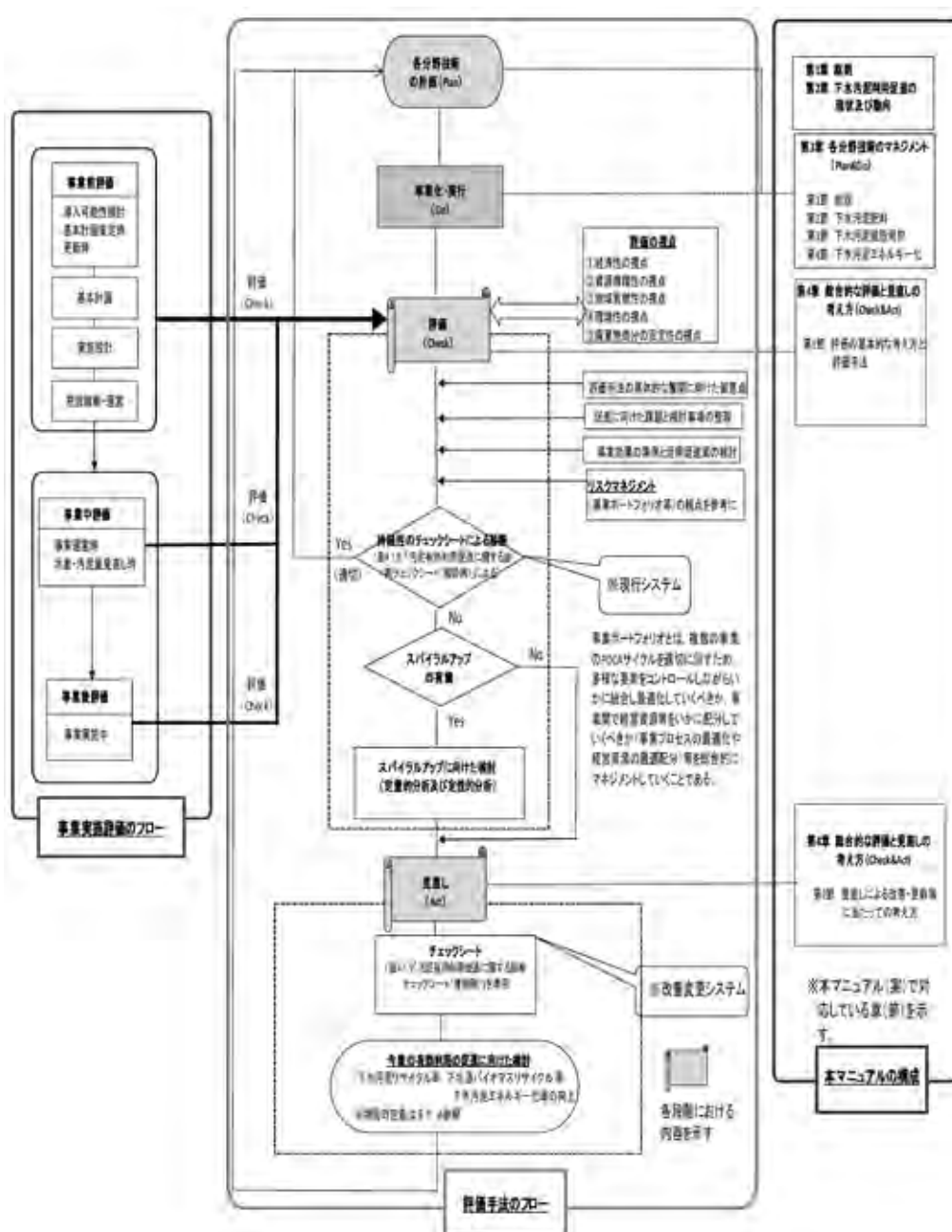
- ・エンドユーザーの目線から、求められている肥料の性質等を事例やアンケートから整理し、肥料のニーズについて記述した。また、地産地消の動向等についても整理した。
- ・自治体や製造者側に関しては、汚泥の複合的利用等、総合的な活用促進方策を含む他の利用用途との組合せ事例等を紹介し、肥料利用の促進に向けた対応策について記述した。
- ・りん回収技術の開発や他のバイオマスとの共同処理による取組み等の最新事例も記述した。

2) 下水汚泥建設資材

- ・下水汚泥を原料とする建設資材については、その種類と特徴、用途別の関連する規格や法令等について整理した。
- ・建設資材利用促進にあたって、エンドユーザーのニーズを整理するとともに、既に実績のある各自治体における取組みの好事例について記述した。
- ・汚泥の複合的利用等、総合的な活用促進方策を含む他の利用用途との組合せ事例等を紹介し、建設資材



図ー2 本マニュアルのPDCA サイクルの概略



図ー3 下水汚泥の有効利用促進技術の事業実施評価と本マニュアルにおける評価手法のフロー

利用の促進に向けた対応策について記述した。

- ・PPP/PFI 手法を導入した建設資材利用が行われていることや、自治体独自のリサイクル促進制度の導入事例等の最新事例も記述した。

3) 下水汚泥エネルギー化

- ・下水汚泥から得られる主なエネルギーについて、その種類と技術の特徴等について記述した。
- ・大規模処理場の動向とともに、中小規模処理場におけるバイオガス有効利用手法の適用事例について記述した。
- ・各自治体における下水汚泥エネルギー利用の推進にあたっては、主にエネルギーの処理場内外の利用について記述し、場外利用についてはユーザーからの視点でニーズを整理するとともに、参考となる全国の好事例について記述した。
- ・汚泥の複合的利用等、総合的な活用促進方策を含む他の利用用途との組合せ事例等を紹介し、エネルギー利用の促進に向けた対応策について記述した。
- ・エネルギー利用に関する新たな技術開発や再生可能エネルギー固定価格買取制度（FIT）等の利用促進に向けた最新事例、固形燃料の JIS 化等も記述した。なお、エネルギー利用設備のコストにかかる費用関数等の内容については「下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン－改訂版－」を参照するものとする。

4. 本マニュアルの構成と利用方法

一般的な実務マニュアルと本マニュアルの構成上の比較を図－1 に示す。

本マニュアルは、下水汚泥の有効利用促進を目指した内容とするため、最新技術等の動向については、当協会刊行の機関誌「再生と利用」（新規導入技術や新技術の開発紹介が主体）を基本資料として整理し、下水汚泥利用促進技術の計画・設計に係る部分については、当協会刊行の「下水道施設計画・設計指針と解説」を参照することを基本に、本マニュアルにおいては、直接的な記載は省略するものとし、引用に留めることとした。

また、汚泥の利用形態については、具体的事例を中心に、地域ごとの様々な利用者（エンドユーザー）ニーズを考慮したマーケティング戦略を検討し持続可能な利用を推進する必要がある。導入にあたっての事例等の調査やその評価・見直しについては、図－2 のとおり、地域特性等を踏まえた評価の視点等を勘案し、PDCA サイクル等を通じてそのスパイラルアップを検討できるようにしている。

なお、本マニュアルは4章から構成されているが、PDCA サイクルの検討とマニュアルの内容の関係に

ついては、図－2 にに対応する章（節）を四角内に示している。

さらに、図－3 において、PDCA サイクルの中での下水汚泥の有効利用促進技術の事業実施評価のフロー（左側）と本マニュアルにおける評価手法のフロー（中央）の関係を示す。評価（Check）については新設時あるいは改築（更新）時において図中に示す5つの評価の視点（経済性、資源循環性、地域貢献性、環境性、廃棄物処分の安定性）から課題の整理等を行い、表－1 の汚泥有効利用促進に関する診断チェックシート（推奨例）の適用等により、スパイラルアップに向けた有効利用手法を見い出せるようにしている。

すなわち、表－1 により汚泥有効利用状況を振り返り、現行（検討）の全体システムが適切であるとされた場合はそれで足りるとし（図－3 中の持続性チェックシートによる診断の Yes）、各分野技術の計画（Plan）に戻る。それに対し、さらなるスパラルアップが必要な場合（図－3 中の持続性チェックシートによる診断 No）は定性分析および定量分析等を行い、有効利用促進をより効果的、効率的に進めるため、現行の個々のプロセスの改善策や更新時等の全体システム変更策を検討する。

また、既存事業（全体システム）の見直し（Act）では、表－1 のチェックシートの準用により改善変更システムの取組方針を判定し、新たな利用用途（有効利用技術）に対する今後の有効利用促進に向けた検討を行う。

このような評価と見直しの考え方により、下水汚泥の有効利用の事業継続性を確保することが望ましい。

本マニュアルの目次を表－2 に示す。

5. 評価の視点と診断チェックシートの活用

下水汚泥の有効利用技術を導入するにあたり、現状の汚泥処理状況と有効利用状況、地域ニーズの状況等から下水道管理者であり下水汚泥の生産者でもある自治体等の現状の課題を整理し、その課題に対応した有効利用技術の導入効果を評価する必要がある。地域特性等を考慮し、前述した5つの視点の優先度を踏まえた上での診断チェックシート（推奨例）の活用やさらなる詳細分析として想定するプロセス・システムの強みと弱み（SWOT 分析）等の観点を考慮して、スパイラルアップを図ることができるとした。

前述した表－1 の診断チェックシート（推奨例）は、今回実施した自治体からのアンケート結果等から、汚泥有効利用促進に大きく関連しそうなキーワードを抽出し、そのキーワードについて評価の考え方を作成した。本マニュアルでは、下水道管理者等が積極的に活

表ー1 汚泥有効利用促進に関する診断チェックシート (推奨例)

視点	評価キーワード	評価内容	評価の考え方	チェック欄	参考
経済性	コスト	産廃処分コストと有効利用コスト※を比較検討しているか	産廃処分＜他の付加価値も含めて考慮することで有効利用することができる	☐ 検討していない ☐ 検討している	※生成と販売促進費用等
	民間活力との連携	多様な事業形態(BO, PFI等)を活用しているか	既存の技術力を最大限に活用することで事業の効率化等が図れないか	☐ 活用していない ☐ 活用している	
	制度の活用	電力のFIT制度※やリサイクル認定制度などの助成制度を活用しているか	公共事業等で有効利用上の制度活用を図れないか	☐ 活用していない ☐ 活用している	※固定価格買取制度
	共同研究(技術開発)	下水汚泥に関連した共同研究を実施しているか	有効利用用途の拡大あるいは効率化を図る	☐ 共同研究(技術開発)は実施していない ☐ 共同研究(技術開発)を実施している	
資源循環性	品質	品質への配慮をしているか チェック機能を有しているか	安定的な品質の供給を図る	☐ 配慮していない ☐ 配慮している	
	供給量(供給形態)	将来の供給量(供給形態)を予測しているか	供給量と利用量の整合を図る	☐ 予測していない ☐ 予測している	
	有効利用	下水汚泥リサイクル率、バイオマスリサイクル率及び下水汚泥エネルギー化率ほどの程度か	全国値に対する傾向や寄与を把握する	下水汚泥リサイクル率: % バイオマスリサイクル率: % 下水汚泥エネルギー化率: %	全国値: 78%, 23%, 13%(H22年度)
	複合利用	肥料、建設資材、エネルギーとの複数利用が行われているか	環境負荷の低減やバイオマス活用を図る	☐ 複数利用をしていない ☐ 複数利用をしている	
	利用先	製品の利用先はどの範囲が多様性かどうか	下水道事業に限らず、他の自治体事業や民間利用等を促進することで安定的な利用先の確保が図れる	☐ 下水道事業のみ ☐ 他の自治体事業や民間利用等も実施している	
	ニーズ	下水汚泥に関するニーズがあるか	ニーズの有無を確認しておくことが重要である	☐ ニーズはない ☐ ニーズがある	
	仕様書等の有無	公共事業等に有効利用を盛り込むなど、契約仕様書等※を活用しているか	公共事業等での有効利用を優先的に図れないか	☐ 活用していない ☐ 活用している	※庁内・庁外の広報誌等を含む
地域貢献性	有効利用先※1	有効利用先(利用数)はいくつか	有効利用先(利用数)が多いほど安定化とリスク分散が図れる	☐ 1箇所 ☐ 複数箇所 ☐ その他※2	※1トレーサビリティが望ましい ※2市民等の場合
	市場調査	製品の市場調査を実施しているか(自社と他社の比較を含む)	市場の動向等を把握し、将来のリスク低減を図れないか	☐ 市場調査を実施していない ☐ 市場調査を実施している	
	関連業者数	複数の業者※(利用ルート、流通・運搬ルート等)が係っているか	関連業者数が多いほど地元企業の育成等が図れる	☐ 1業者 ☐ 複数業者	※地元企業が優先されているか
	地域貢献度	有効利用の引き渡し先が地元地域内か(地産地消か)	有効利用を地元地域とすることで地域貢献が図れる	☐ 地元地域外(県内) ☐ 地元地域内 ☐ その他※	※県外広域
	認知度	一般配布や広報などのユーザー向けのPRをしているか	ユーザーの認知度向上により利用促進を図る	☐ PRをしていない ☐ PRをしている	
環境性	環境安全性	環境への配慮をし品質管理しているか	製品の安全性向上を図る	☐ 配慮していない ☐ 配慮している	
	温室効果ガス排出量	温室効果ガス排出量の削減状況	排出量、削減目標の達成状況の把握	現状の排出量: t-CO ₂ /年 削減目標: t-CO ₂ /年※	※目標達成率○%
廃棄物処分の安定性	埋立処分量の減少	現状の埋立処分量の減少状況を把握しているか	先を見据えた利用促進計画を立案する必要がある	☐ 減少状況を把握していない ☐ 減少状況を把握している	
	平常時の汚泥処理(処分)コスト	受入・利用先の変更等に対するリスクを把握しているか	突然の変更等に対するリスク低減を図る	☐ 把握していない ☐ 把握している	
	緊急時の対応	ストックヤード、搬出設備、他の処理方法を確保しているか	施設更新や非常時停止に対するリスク低減が図れる	☐ 確保していない ☐ 確保している	

※望ましい方向性を下線にて示す

表-2 下水汚泥有効利用促進マニュアル 目次

第1章 総則 § 1.1 本マニュアルの目的 § 1.2 本マニュアルの対象技術 § 1.3 本マニュアルの構成と利用方法 § 1.4 用語の説明 第2章 下水汚泥利用促進の現状及び動向 § 2.1 社会的背景 § 2.2 下水汚泥利用促進の現状及び動向 § 2.3 下水汚泥利用にかかる各種法令について 第3章 各分野技術のマネジメント (Plan&Do) 第1節 総説 § 3.1.1 総説 § 3.1.2 下水汚泥の特性 § 3.1.3 マネジメントを進めるにあたっての調査事項等 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 § 3.2.1 肥料の利用に関わる下水汚泥の特性 § 3.2.2 下水汚泥を原料とする肥料の種類と特徴 § 3.2.3 下水汚泥を原料とする肥料の施肥基準と肥効性 § 3.2.4 品質管理 § 3.2.5 肥料登録方法 § 3.2.6 流通 II 肥料化の適用事例 § 3.2.7 コンポスト・乾燥処理による肥料化の事例 § 3.2.8 焼却灰・炭化汚泥による肥料化の事例 § 3.2.9 りん回収の事例 § 3.2.10 下水汚泥肥料化技術の動向 § 3.2.11 下水汚泥肥料利用の課題と対応策 III マーケティングの充実に向けての課題と方策 § 3.2.12 マーケティングの充実に向けた取組事例 § 3.2.13 他の利用用途との組合せ事例 § 3.2.14 肥料ニーズ § 3.2.15 課題点の整理と対応策 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 § 3.3.1 建設資材の利用に関わる下水汚泥の特性 § 3.3.2 下水汚泥を原料とする建設資材の種類と特徴 § 3.3.3 品質管理 § 3.3.4 流通 II 建設資材の適用事例 § 3.3.5 セメント原料化利用の事例 § 3.3.6 土質改良材利用の事例 § 3.3.7 アスファルトフィラー利用の事例 § 3.3.8 コンクリート二次製品利用の事例 § 3.3.9 路盤材利用の事例	§ 3.3.10 その他下水汚泥建設資材利用の事例 § 3.3.11 下水汚泥建設資材利用の課題と対応策 III マーケティングの充実に向けての課題と方策 § 3.3.12 マーケティングの充実に向けた取組事例 § 3.3.13 他の利用用途との組合せ事例 § 3.3.14 建設資材ニーズ § 3.3.15 課題点の整理と対応策 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 § 3.4.1 エネルギー利用に関わる下水汚泥の特性 § 3.4.2 エネルギー化技術の種類と特徴 II エネルギー化技術の適用事例 § 3.4.3 固形燃料化技術の事例 § 3.4.4 バイオガス利用の事例 § 3.4.5 熱分解ガス化技術の事例 § 3.4.6 その他下水汚泥エネルギー化技術の事例 § 3.4.7 エネルギー化技術の開発動向 § 3.4.8 下水汚泥エネルギー利用の課題と対応策 § 3.4.9 中小規模処理場におけるバイオガス有効利用手法の検討事例 III マーケティングの充実に向けての課題と対応策 § 3.4.10 製品受入先候補とのマッチングについて § 3.4.11 他の利用用途との組合せ事例 § 3.4.12 課題点の整理と対応策 第4章 総合的な評価と見直しの考え方 (Check&Act) 第1節 評価の基本的な考え方と評価手法 § 4.1.1 総説 § 4.1.2 評価と見直しの基本的考え方 § 4.1.3 評価の視点 § 4.1.4 評価手法の具体的な展開に向けた留意点 § 4.1.5 促進に向けた課題と検討事項の整理 § 4.1.6 事業効果と活用促進策（各分野技術の持続性の評価に向けて） § 4.1.7 リスクマネジメント（事業ポートフォリオ等）の観点を参考に § 4.1.8 持続性のチェックシート § 4.1.9 スパイラルアップに向けて 第2節 見直しによる改善・更新等に当たっての考え方 § 4.2.1 評価を踏まえた見直し § 4.2.2 今後の有効利用の促進に向けて 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
--	--

用してもらうことが大切であるとの観点から、簡易な分析手法のチェックシート方式とした。地域特性等に応じて、5つの評価の視点から評価キーワードや評価内容を抽出し、評価の考え方を踏まえて、チェック欄にチェックすることにより、汚泥有効利用技術の適用可能性を判定できる。

また、診断チェックシート（推奨例）での診断にあたっての1つの留意点として、リスクマネジメント（事業ポートフォリオ等）の観点から、複数の有効利用技術を経営資源としてとらえ、いかに最適に配分していくのかを総合的にマネジメントしていく思想も重要である。

6. 今後の有効利用の促進に向けて

下水汚泥の有効利用を継続的に促進していくためには、処理方式や各分野技術において各ユーザーの下水汚泥製品に求める品質や量、需要動向等が異なるため、

様々な下水汚泥形態については地域ごとのニーズを踏まえた上で経済性、環境性等の評価の視点から、汚泥有効利用技術の適用性を検討することになる。下水道事業管理者においては、事業前・事業中・事業後の評価をする時、下水汚泥有効利用率の全国値に対する傾向や寄与の把握及びその経年的な変化を確認し、汚泥有効利用技術の適用性を検討する。

このような検討を通じて、下水道を取り巻く環境の変化などに対するリスクマネジメントを踏まえ、現行の個々のプロセスの改善および更新時等の全体システムの変更等に反映するなど、スパイラルアップに向けて検討していくことが大切である。

以上、本マニュアルの活用により、下水汚泥の有効利用を促進する下水道事業が継続的に推進されることにより、下水汚泥リサイクル率等を向上させ、資源の乏しい我が国において、低炭素・循環型社会の構築に寄与していくことを祈念してやまない。

ニュース・スポット

関係団体の動き

地域バイオマスを用いた バイオガス化実証事業

三菱マテリアル株式会社
資源・リサイクル事業本部 環境リサイクル事業部
リサイクル統括部 天海 泰成

キーワード：地域バイオマス、食品廃棄物、インフラ
活用、セメント資源化

1. はじめに

地球温暖化、エネルギー問題への対策として、再生可能エネルギーの導入が期待されています。

下水汚泥や食品廃棄物等の地域バイオマスは、現在は十分利用されずに、多くの量が焼却処理されています。これらを有効に利用する技術として、メタン発酵（バイオガス化）によるエネルギー利用が注目されています。

当社は2013年6月に、環境省補助事業『CO₂排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業（2013年度～2015年度）』の採択を受け、実証プラントによる実証試験及びバイオガス化システムの最適化、発電等のエネルギー利用まで含めた事業モデル検討を進めています。

事業化に必要な技術面・制度面に関する課題の解決策を検証するため、2014年9月に埼玉県とフィールド提供型の共同研究協定を締結し、2015年3月に実証プラント（1トン/日）を設置、2015年4月から実証試験を開始しました。

2. 実証試験について

(1) 実証試験概要

本実証試験では、下水汚泥や食品廃棄物等のバイオ

マス原料を対象にメタン発酵によるバイオガス化を行い、生成するガスや残渣の有効利用を図ります。下水処理施設等のインフラ活用や残渣のセメント工場での利用等による最適システム構築、及び排出事業者や収集運搬業者間の連携に関する仕組み構築を目指します。

特に下水処理施設との連携による環境面、経済性の面での効果を確認、検証し、必要な技術面、制度面の課題を明確化する予定です。実証試験実施にあたっては、産学官共同のバイオガス化システム研究会において、諸課題の協議、検討を進めます。

(2) 実証プラントフロー

実証プラントは、埼玉県が管理する利根川右岸流域下水道小山川水循環センター（所在地：埼玉県本庄市）に設置しています。実証プラントの外観を写真1に、概略プロセスフローを図1に示します。

＊メタン発酵方式：湿式中温方式

＊プラントの規模：1トン/日（廃棄物処理量として）
各工程の概要を以下に示します。

①受入～前処理

食品廃棄物については、前処理として破碎選別処理を行い、異物（プラ類が主）の除去を行います。

下水汚泥については、濃度調整後にメタン発酵工程（酸発酵槽）へ投入します。

②メタン発酵

メタン発酵は、湿式中温方式（35℃程度）にて実施します。

③ガス脱硫～利用

メタン発酵工程から発生するバイオガスは、硫化水素を除去後、プロセス用熱源（温水ボイラ）として利用します。また、バイオガスの量、性状を調査し、電力等のエネルギーとしてのポテンシャルを評価します。

④発酵液（消化液）処理

実証試験では、発生する発酵液（消化液）の量が少ないことから、発酵液はそのまま下水処理施設に投入、処理を行います。また、実プラントを想定し、

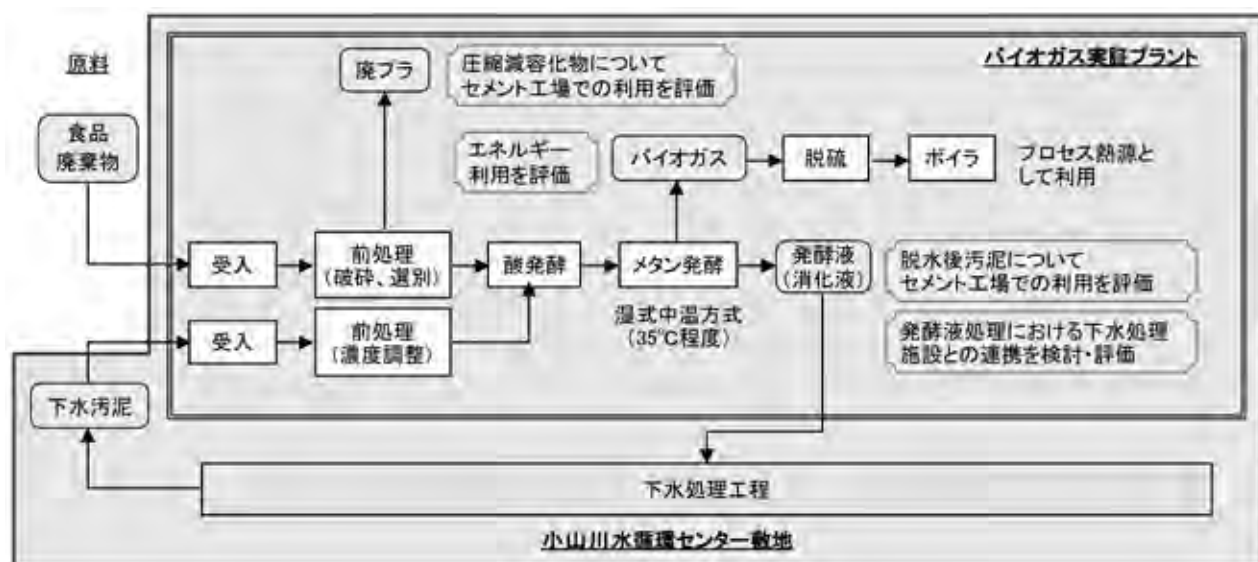


図1 概略プロセスフロー



写真1 実証プラント外観

脱水処理後のろ液、汚泥について、それぞれ下水処理施設との連携による処理プロセスの効率化、セメント工場でのリサイクルについての評価を行います。

⑤ 廃プラ処理（前処理工程からの選別後廃プラ）

食品廃棄物から選別された廃プラについては、圧縮減容化処理を想定しており、セメント工場でのエネルギー源としての利用可能性を評価します。

⑥ 脱臭工程

臭気対策のため、受入～前処理設備は建屋内に設置し、脱臭ファンにて臭気を吸引し、活性炭塔にて脱臭処理を行います。

(3) 実証試験内容

実証試験は、小山川水循環センターから発生する下水汚泥、及び埼玉県本庄市と周辺エリアの食品関連事

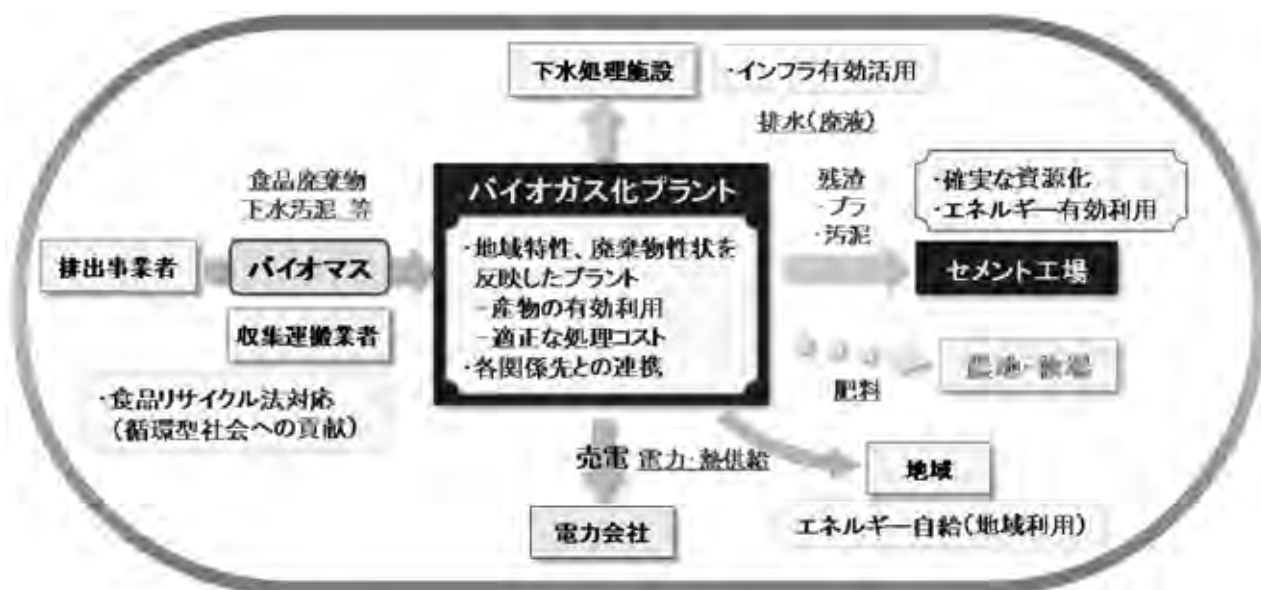


図2 当社の想定する事業モデル

業者から発生する食品廃棄物を原料として受け入れて、メタン発酵によりガス化します。

生成するバイオガスと残渣類（プラスチック、汚泥）について、量・性状を測定・調査し、有効利用できることを確認するとともに、最適なプロセスの検討・構築を行うとともに、得られる種々のデータを実プラントの設計に活用します。

試験期間としては、平成27年4月から1年間を予定しており、この間に実証試験、評価解析、考察を行います。

3. 今後の取り組み

今回の実証試験の結果を基に、下水汚泥や食品廃棄

物等のバイオマス原料をエネルギー、資源として有効利用するための最適システムの構築を行うとともに、普及可能な利用モデルを構築することを目指します。また、早期の事業化に向けての検討を進める予定です（図2：当社の想定するバイオガス化事業モデル）。

三菱マテリアルグループは、中期経営計画 Materials Premium 2016 における全社成長戦略の一つとして、「循環型ビジネスモデルの追求」を掲げており、バイオマスをはじめ廃自動車や廃家電など各種廃棄物について、当社ならではの「マテリアル・プレミアム」（複合事業体として特徴のあるシナジー）を発揮することで、新たなリサイクル技術の開発、事業化に積極的に取り組んでまいります。

お知らせ

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、こ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 A 4 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（10月発行号に掲載希望の場合は、8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149号（平成27年10月発行予定）
 - バイオガス固定価格買取制度導入事例
 - バイオマス産業都市構想の取組み報告
- 第150号（平成28年1月発行予定）
 - 第150号記念特集
- 第151号（平成28年4月発行予定）
 - 第28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 148 号「再生と利用」編集担当者会議

日 時：27 年 3 月 4 日

場 所：本会中会議室

出席者：島田、落、川崎、濱田、広武、杉江の各委員

議 題：(1) 前回議事概要の確認

(2) 第 147 号「再生と利用」編集内容について

(3) 第 148 号「再生と利用」編集方針（案）について

(4) 平成 27 年度計画、その他意見交換

概 要：

① 前回議事概要について

事務局から資料 2 のとおり報告し了承された。

② 第 147 号「再生と利用」編集内容について

事務局から資料 3 のとおり報告し了承された。

③ 第 148 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。

札幌市の下水熱利用による雪害防止及び焼却灰利用の論文投稿が可能か検討いただくとした。国際土壤年の取組みについて、農環研殿にてその投稿報告のためのスキームを検討し、執筆していただくとした。日本肥料アンモニア協会にて、最新の肥料の世界動向等について投稿可能か確認することとした。川西保健衛生センターの広域的な汚泥処理事業について投稿可能か確認することとした。また、GAIA プロジェクトで採択された藻類バイオの実証の取組みについては投稿可能か確認することとし、B-dash 事業で技術評価書が出ている案件についても投稿可能か検討すべきとの意見があった。1 月に逝去された土壌協会の古畑様に対し、当会にて本誌でも古畑様を偲んだお言葉を述べることにした。

④ 平成 27 年度計画 について

事務局から、資料 5～資料 7 のとおり説明を行った。150 号記念号の特集については歴代編集委員長に対して謝辞を述べていただくとし、「再生と利用」の変遷とともに、主たる有効利用技術の変遷も掲載することとした。150 号の記念行事については、毎年秋頃開催の下水汚泥有効利用セミナー及び、1 月開催の下水汚泥リサイクル講演会にて特別講演として組み入れることにした。

来年度のエネルギー講座については、下水汚泥以外のバイオマス（食品残渣、木質バイオマス、焼酎粕等）についても掲載することとした。エネルギー利用については、ごみ焼却施設における白防防止の取組み紹介を紹介していくべきとした。

その他、鶴岡市では堆肥化施設からのコンポストについて JA とも協力して販路を見出しており、これらの取組みについては紹介行う予定とした。

第 149 号「再生と利用」編集担当者会議

日 時：27 年 5 月 1 日

場 所：本会中会議室

出席者：川崎、南山、村上、工藤、杉江の各委員

議 題：(1) 前回議事概要の確認

(2) 第 148 号「再生と利用」編集内容について

(3) 第 149 号「再生と利用」編集方針（案）について

(4) 平成 27 年度計画、その他意見交換

概 要：

① 前回議事概要について

事務局から資料 2 のとおり報告し了承された。

② 第 148 号「再生と利用」編集内容について

事務局から資料 3 のとおり報告し了承された。

③ 第 149 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。

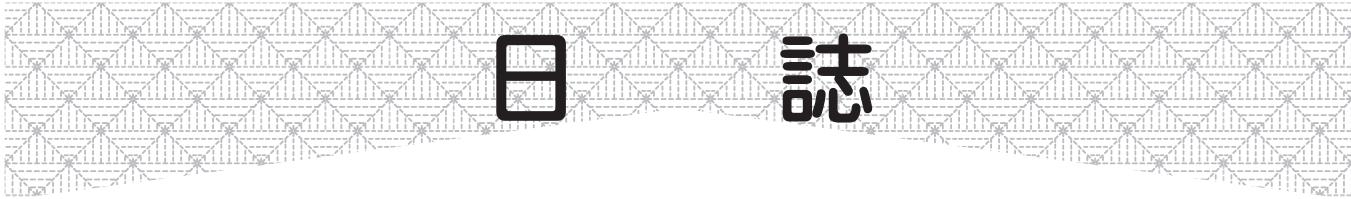
札幌市下水道公社での焼却灰利用によるク溶性効果等の論文投稿が可能か検討いただくとした。国際土壤年の取組みについて、川崎委員に執筆していただくとした。日本肥料アンモニア協会にて、最新の肥料の世界動向等について投稿可能か再度確認することとした。川西保健衛生センターの広域的な汚泥処理事業については執筆辞退の申入れがあった。ミラノ国際展覧会の報告については事務局がニューススポットで紹介することとし、B-dash の掲載テーマについては国総研とも相談しながら掲載検討することとした。

④ 平成 27 年度計画 について

事務局から、資料 5～資料 7 のとおり説明を行った。150 号記念号の年表については「再生と利用」の変遷とともに、主たる有効利用技術の変遷も掲載し、内容の承認は全体編集委員会にて審議を諮る

こととし、150号の記念行事については、毎年秋頃開催の下水汚泥有効利用セミナーあるいは、来年1月開催の下水汚泥リサイクル講演会にて歴代の編集委員長などに特別講演として組み入れる予定とした。

150号記念号の年表の掲載方法については号数ごと（1～50号、51～100号、101～150号）に振り分けるのか、歴代委員長ごとに振り分けるのか検討すべきとし、各編集委員からの感想の掲載については、各団体の歴代の委員についても幅を広げて投稿いただくとした。また投稿字数については半ページ程度以上とし、関係団体からのお祝いの言葉については、下水汚泥有効利用に関係の深い団体を事務局にてセレクトすることとした。



日誌

平成 27 年 3 月 4 日

第 148 号「再生と利用」編集担当者会議

本会中会議室

平成 27 年 5 月 1 日

第 149 号「再生と利用」編集担当者会議

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）

論 説：「下水熱利用における今後の展望」
特 集：バイオマス産業都市構想&バイオガス固定
価格買取制度の取組みについて
「松山中央浄化センター消化ガス発電の取
組み」
「鶴岡浄化センター消化ガス発電の取組み」
「南三陸町のバイオマス産業都市構想の取
組み」
「みやま市のバイオマス産業都市構想の取
組み」
「洲本市のバイオマス産業都市構想の取組
み」
「佐伯市のバイオマス産業都市構想の取組
み」

研究紹介：「水生植物の成長を加速する微生物・廃水
を肥料とするバイオマス生産」
「下水汚泥の堆肥化乾燥における乾燥速度」
講 座：「中能登町におけるバイオガス発電」
「山鹿市バイオマスセンターの取組み」
投稿報告：「秋田県における広域での汚泥集約処理」
報 告：「川崎市における下水汚泥焼却灰資源化へ
の取組み」
「下水汚泥有効利用促進マニュアルの発刊
（その2 肥料利用編）」
「鳥羽水環境浄化センターにおける太陽光
発電の取組み」
そ の 他：会報、行事報告、次号予告、関係団体の動
き

編集後記

今回の下水道法改定では、「公共下水道管理者は、発生汚泥等の処理に当たっては、脱水、焼却等によりその原料に努めるとともに、発生汚泥等が燃料又は肥料として再生利用されるよう努めなければならない。」（第21条の2）と改正されました。本誌でこれまで取り上げてきた内容について、努力義務ではありますが下水道法で示されたということで、今後も読者にとって有益な情報を提供し続けて行かなければと思っています。

肥料利用に関して、当会は、ビストロ下水道推進戦

略チームの事務局として、食と下水道の連携に向けて平成25年度から活動を進めていますが、6月17、18日には、イタリアで開催されている、ミラノ万博日本館イベント広場において、国土交通省が中心となり「下水道が生み出すチカラ－新しい“いのちの循環”－」をテーマに出展する予定です。ビストロ下水道の活動を海外でのアピールすることにより下水汚泥の肥料利用の促進に少しでも貢献できればと考えております。次号で簡単に紹介させていただければと思っています。

(M8)

「再生と利用」編集委員会委員名簿

		(順不同・敬称略)
委員長	東北大学名誉教授	野池達也
委員	日本大学生産工学部土木工学科教授	森田弘昭
	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	安陪達哉
	下水道企画課資源利用係長	
〃	国立研究開発法人土木研究所	南山瑞彦
	先端材料資源研究センター上席研究員	
〃	地方共同法人日本下水道事業団技術戦略部	島田正夫
	課長代理	
〃	(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	西田瑞彦
	東北農業研究センター水田作研究領域上席研究員	
〃	国立研究開発法人農業環境技術研究所	川崎晃
	土壌環境研究領域長	
〃	(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	村上栄一郎
	新川水処理センター管理係長	
〃	山形市上下水道部浄化センター水質係長	工藤守之
〃	東京都下水道局計画調整部	冠城敏
	技術開発課技術開発主査	
〃	横浜市環境創造局下水道施設部	広武賢一
	栄水再生センター長	
〃	名古屋市上下水道局技術本部計画部	杉江淳
	技術管理課主査(水質系技術開発)	
〃	大阪市建設局下水道河川部水環境課担当係長	島田卓
〃	広島市下水道局管理部管理課水質管理担当課長	福田佳寛
〃	福岡市道路下水道局下水道施設部施設管理課長	崎野

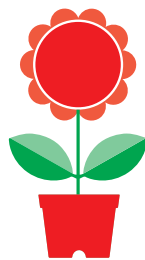
「再生と利用」

Vol. 39 No. 148 (2015)

平成27年7月31日 発行
(平成27年第1)

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



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(内神田すすいビル5～8階)
TEL03-6206-0260(代表) FAX03-6206-0265