

再生と利用

2013 Vol. 37

No. 141

主要目次

- 口絵** 東京都浅川水再生センター
ターボ型流動焼却炉による温室効果ガスの削減
下水污泥の有効利用を幅広くPR
下水道展'13東京
- 巻頭言** 下水污泥から発生する消化ガスの有効利用 上原 裕常
- 論説** 根圏微生物の多様性
根圏微生物によるバイオマスエネルギーと
ファイトレメディエーション 土肥 哲哉

特集 下水污泥と他バイオマスとの協働事例

- 解説** 恵庭下水終末処理場におけるバイオマス活用（発電等）
の取り組み 長谷 晃司
- B-DASH 神戸市東灘処理場 再生可能エネルギー生産・
革新的技術実証研究 宮本 博司・川嶋 淳
- 新潟市バイオマス産業都市構想の概要 橋本 康弘
- 乾式メタン発酵を採用した「瀬波バイオマスエネルギープラント
の概要」～地域資源の「再生」と「活用」～ 神田 真孝
- 研究紹介** 下水処理施設で稼働するバイオガスコジェネレーションシステム
の最適構成法 山田 貴延
- Q&A** 下水污泥の種類・性状及と有効利用法について 島田 正夫
- 現場からの声** 第三世代型污泥焼却システムについて 冠城 敏之
- 文献紹介** 乾燥污泥バイオマスのカドミウム結合部位とその結合機構
..... 川崎 晃
- 段階的嫌気性消化におけるプロピオン酸化細菌の動力学
および微生物叢 三宅十四日
- 講座** 下水道污泥焼却灰からのリン回収における取り組みについて
..... 山根 陽一
- 特別報告** 第9回アジア地域嫌気性消化国際会議
および下水処理における嫌気性MBRの応用 李 玉友
- 野菜類の生育収量と有機質肥料の窒素形態別画分との関連性
(その3) 古畑 哲・井上恒久
- 投稿報告** 熊本市の下水污泥固形燃料化事業について 齊田 誠治
- コラム** 下水再生水の水田への灌漑利用に対する期待 治多 伸介
- 報告** インジェクションバルブと循環システムを組み合わせた
土壌重金属の抽出装置の開発 森 勝伸
- 「下水污泥有効利用技術支援事業」の取り組みについて
..... 「再生と利用」編集委員会事務局
- ニューススポット** 原発被災地におけるメタン発酵寺子屋教室の開設 野池 達也
- 「豊川バイオマスパーク構想」トマト収穫記念式」の開催につ
いて 山本 芳嗣
- 資料** おしらせ（投稿のご案内、広告掲載依頼）、污泥再資源化活動、
日誌・次号予告、編集委員会委員名簿、編集後記

東京都浅川水再生センター

ターボ型流動焼却炉による温室効果ガスの削減

東京都下水道局では、事業活動から発生する温室効果ガス排出量を2020年度までに2000年度比25%以上の削減を目標とする「アースプラン2010」を策定・実施しています。今回、浅川水再生センターに導入したターボ型流動焼却炉は、「アースプラン2010」の重要施策の一つである“新たな燃焼方式の汚泥焼却炉の導入”に位置付けられた高温省エネ型焼却炉の一つです。

ターボ型流動焼却炉は、燃焼排ガスで過給機（ターボチャージャー）を駆動させるため、流動ブロワと誘引ファンが不要となり、使用電力量の大幅な削減が可能です。また焼却炉内の圧力を高めることで、燃焼効率が高まり、汚泥由来の温室効果ガス排出量の大幅な削減が可能となります。さらに焼却炉がコンパクトになることから、表面積が小さくなり、熱が逃げにくく燃料使用量の削減が可能です。以上のように、ターボ型流動焼却炉は、無駄なくエネルギーをリサイクルでき、地球温暖化防止に大きく貢献できる焼却炉となっており、従来の焼却炉と比べると、温室効果ガス排出量を約40%削減することができます。平成25年4月、初めて浅川水再生センターにおいて稼働しました。

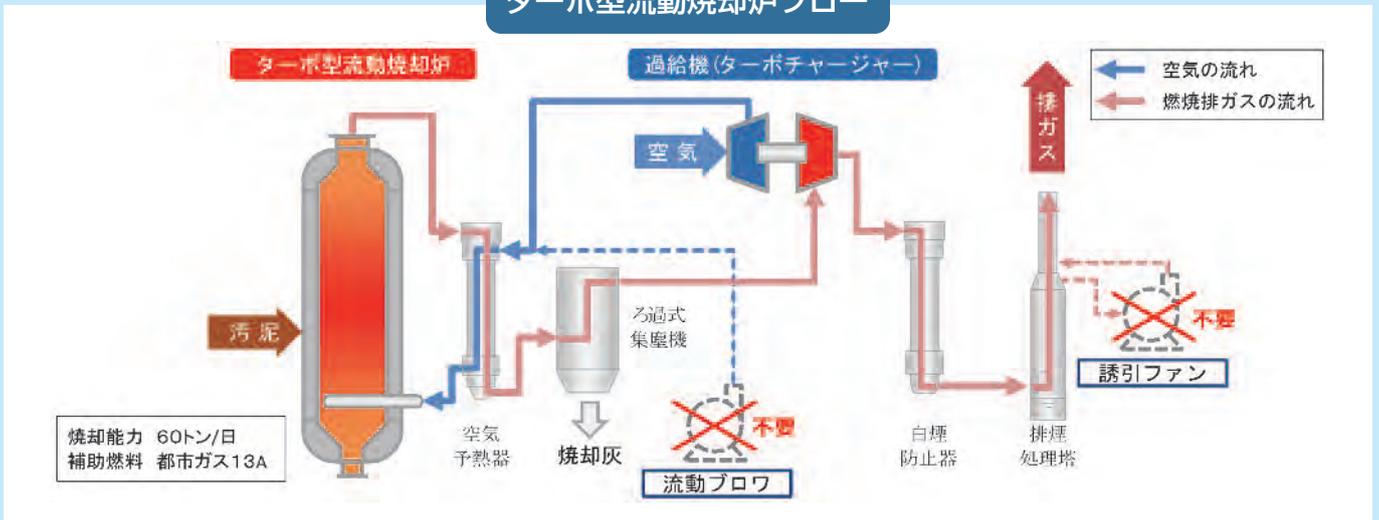
なお、過給機を使って焼却炉に圧力をかけて焼却を行うシステムの例は、ターボ型流動焼却炉以外になく、本焼却炉は世界初のシステムとなります。

ターボ型流動焼却炉全景

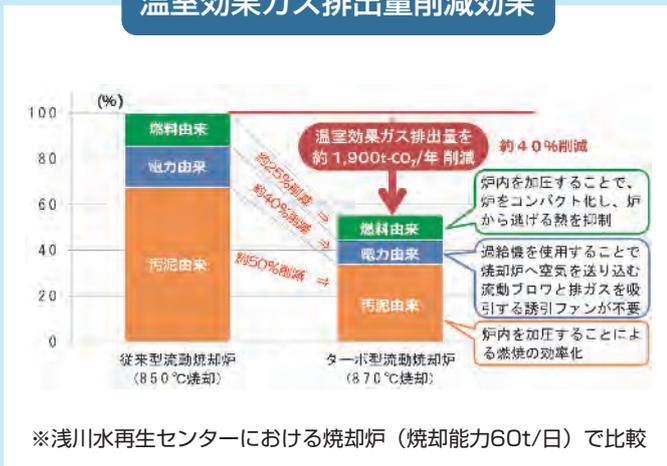


ターボ型流動焼却炉

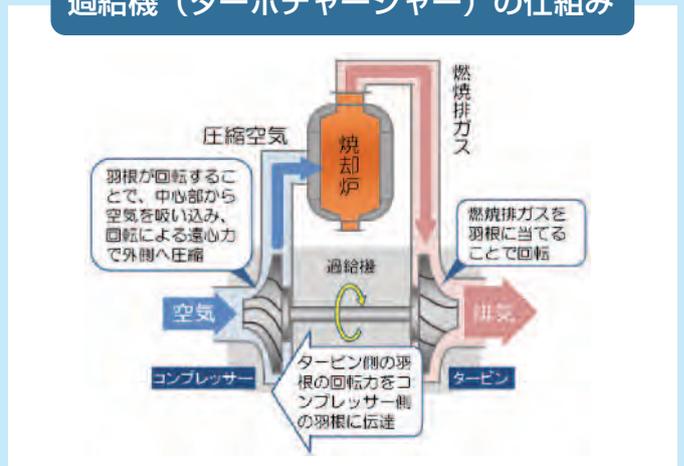
ターボ型流動焼却炉フロー



温室効果ガス排出量削減効果



過給機（ターボチャージャー）の仕組み



下水汚泥の有効利用 を幅広くPR

下水道展 '13 東京

2013年7月30日～8月2日
於：東京ビッグサイト



今年度は、(公社)日本下水道協会のブースで「下水汚泥有効利用」に関するパネルなどを展示しました。写真はブースへ来場された方へお声かけして、展示物の紹介を行っているものです。



当協会のブース来場者の方々の中には下水汚泥の有効利用手法の紹介について熱心に聞き入る方や質問される方も多数おり、改めてその関心の高さを認識させられました。

口
絵

東京都浅川水再生センター ターボ型流動焼却炉による温室効果ガスの削減
下水汚泥の有効利用を幅広くPR 下水道展 '13東京

巻
頭
言

下水汚泥から発生する消化ガスの有効利用 上原 裕常..... (5)

論
説

根圏微生物の多様性
根圏微生物によるバイオマスエネルギーとファイトレメディエーション 土肥 哲哉..... (6)

特集 下水汚泥と他バイオマスとの協働事例

解
説

恵庭下水終末処理場におけるバイオマス利活用（発電等）の取り組み 長谷 晃司..... (11)
B-DASH 神戸市東灘処理場 再生可能エネルギー生産・革新的技術実証研究
..... 宮本 博司・川嶋 淳..... (18)
新潟市バイオマス産業都市構想の概要 橋本 康弘..... (22)
乾式メタン発酵を採用した「瀬波バイオマスエネルギープラントの概要」
～地域資源の「再生」と「活用」～ 神田 眞孝..... (27)

研
究
紹
介

下水処理施設で稼働するバイオガスコジェネレーションシステムの最適構成法
..... 山田 貴延..... (33)

Q
&
A

下水汚泥の種類・性状及と有効利用法について 島田 正夫..... (40)

現
場
か
ら
の
声

第三世代型汚泥焼却システムについて 冠城 敏之..... (42)

文献紹介

- 乾燥汚泥バイオマスのカドミウム結合部位とその結合機構 …………… 川崎 晃…… (44)
段階的嫌気性消化におけるプロピオン酸酸化細菌の動力学および微生物叢 …… 三宅十四日…… (45)

講座

- 下水道汚泥焼却灰からのリン回収における取組みについて
…………… 山根 陽一…… (46)

特別報告

- 第9回アジア地域嫌気性消化国際会議
および下水処理における嫌気性MBRの応用 …………… 李 玉友…… (49)
野菜類の生育収量と有機質肥料の窒素形態別画分との関連性 (その3)
…………… 古畑 哲・井上恒久…… (55)

投稿報告

- 熊本市の下水汚泥固形燃料化事業について …………… 齊田 誠治…… (62)

コラム

- 下水再生水の水田への灌漑利用に対する期待 …………… 治多 伸介…… (68)

報告

- インジェクションバルブと循環システムを組み合わせた土壌重金属の抽出装置の開発
…………… 森 勝伸…… (69)
「下水汚泥有効利用技術支援事業」の取組みについて
…………… 「再生と利用」編集委員会事務局…… (74)

ニュース・スポット

- 原発被災地におけるメタン発酵寺子屋教室の開設 …………… 野池 達也…… (77)
「豊川バイオマスパーク構想」トマト収穫記念式」の開催について …………… 山本 芳嗣…… (80)

資料

- お知らせ (投稿のご案内、広告掲載依頼) …………… (82)
汚泥再資源化活動 …………… (86)
日誌・次号予告 …………… (88)
編集後記・編集委員会委員名簿 …………… (90)

※本文中の表題で記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
---	---	---

下水汚泥から発生する消化ガスの有効利用

糸満市長

上原 裕 常



糸満市においては、市役所庁舎への太陽光パネルの設置及び糸満観光農園での風力発電設置など、自然エネルギーを活用した環境に優しい街づくりを進めています。また、平成24年度に公用車の一部に電気自動車を導入しています。

糸満市の公共下水道は、平成25年度末で人口普及率59.7%、水洗化率が90.8%となっています。

糸満市浄化センターは昭和58年3月に供用開始し、現在一日当たり流入水量が日平均で約11千立方メートルとなっています。平成5年度に糸満市アクアパーク事業を採択し、処理場の処理水を高度処理して隣接する西崎親水公園にせせらぎ水路の水源として一日当たり約350立方メートルの処理水を供給しています。

汚泥処理に関しましては、供用開始当初は天日乾燥した汚泥を民間会社へコンポスト処理していましたが、平成6年度に汚泥処理棟を建設し、機械濃縮、機械脱水した汚泥を民間会社へのコンポスト処理となりました。その後、平成16年度に消化タンクを建設し、消化した汚泥を機械脱水し民間会社へのコンポスト処理となっています。消化タンクにおいて発生したガスは燃焼処理していました。

燃焼処理していた消化ガスの有効利用を図るため、平成24年9月13日沖縄瓦斯株式会社と「糸満市浄化センターから発生する消化ガスの処理に関する管理運営協定書」を締結し平成25年2月25日より供給開始致しました。協定の内容は、浄化センターで発生する消化ガスを沖縄瓦斯に無償で提供し、提供を受けた消化ガスを浄化センター隣接の民間工場に供給するもので、期間が平成25年1月1日から平成26年12月31日までの2年間の実証試験期間となっています。期間終了後さらに継続を行う場合は、事前に協議し再度協定を締結することとなっています。

事業主体は沖縄瓦斯株式会社で、沖縄県産業振興基金事業補助金を受け、浄化センター内燃焼施設の隣にガスを送る圧送機2機、制御装置一式、隣接事業所までの輸送管約400m、隣接事業所でのボイラー施設を設置し消化ガスの売却を行い、施設の運営、維持管理を行うものである。この事業により、浄化センターで発生していた消化ガス一日平均1,100立方メートルのうち、約8割が有効利用されています。

さらに、この事業の優位点として次の4点が挙げられます。

- ① 未使用資源の活用……消化ガスが一定量あり、これまで焼却処分していた。
- ② 立地条件……浄化センターが工業団地内に立地し、受給企業（隣接）への輸送が容易である。
- ③ 受給企業の存在……受給企業は、これまでA重油を燃料としてボイラーを使用しており、代替燃料として消化ガスの利用要望があること。
- ④ 事業の継続性……消化ガスは年々増加すると思われるが受給企業の需要が大きい。

三者の関係として、糸満市においては、硫化ガスを取り除く施設である脱硫棟の脱硫剤入替え業務を沖縄瓦斯株式会社が行うことによる維持管理費の減（約300万円/年）、未利用資源の地場産業還元、糸満市全体でのCO₂削減効果、沖縄瓦斯株式会社においては、系外供給システム確立による、県内展開普及、消化ガスの固定販売・購入単価による安定運営、消化ガス供給による環境PR効果、隣接事業所においては、購入単価の安定による燃料価格変動のリスク緩和、安価な購入価格による経営収支改善、消化ガス利用による環境PR効果となり、WIN-WIN-WINの関係となっています。

今後は、さらなる環境に優しい街づくりを目指し、海に放流している処理水の再利用（農業用水）を検討していきたいと思っております。

論 説

根圏微生物の多様性

根圏微生物によるバイオマスエネルギーと
ファイトレメディエーション一般社団法人 日本有機資源協会
土 肥 哲 哉

キーワード：根圏微生物、バイオマスエネルギー、バイオ水素、ファイトレメディエーション

1. はじめに

植物の根は茎葉部を支えたり、土の中にある水分や栄養分を吸収する働きがある。また、根は微生物の栄養源となる糖類やアミノ酸などの有機物を分泌している。根からの分泌物が及んでいる範囲は根圏 (Rhizosphere) とよばれ、非根圏 (Bulk soil) に比べると、微生物が活性しやすく生物量 (Biomass) が多いことが知られている。根圏微生物 (Rhizosphere microflora) は細菌 (Bacteria)、カビ (Fungi)、酵母 (Yeast) などの他に、トビムシなどの原生動物 (Protozoa) やウイルス (Virus) まで多種多様な微生物叢 (Microflora) で形成されている。根圏微生物を含む土壌微生物 (Soil microflora) は生態系で分解者 (decomposer) として位置づけられ、農耕地では、土壌微生物が有機質肥料や鋤き込まれた稲わらなどを分解して、窒素、リン、カリウムなどの植物の栄養源に変換する。土壌中の有機物のうち、グルコースなどの易分解性物質は短期間で分解されるが、セルロースなどの難分解性の高分子物質は多種多様な微生物種によって段階的・連続的にゆっくりと分解される。根圏微生物は植物の根から常に栄養源を供給されているため、非根圏微生物に比べ有機物分解活性が高いことが分かってきた。農耕地では、根圏微生物が作物の生育に大きな影響を及ぼすことから、根圏微生物による効

果を示す指標として根圏効果 (rhizosphere effect) がある。根圏効果は根圏細菌数 (R) と非根圏細菌数 (s) の比で表され、R/S比が1.0以上になると根圏効果があると考えられる。一般に、細菌数は培養試験のコロニー計測で算出できる。しかし、最近になり根圏細菌を含めた土壌細菌の大部分は培養が出来ない難培養性微生物VBNC (Viable But Non Culturable) に属し、培養試験で得られた微生物はこれら環境微生物のわずか1%に過ぎないことが明らかになってきた。このような背景から、最近では、微生物の培養を介さない分子生物学的手法の変性剤濃度勾配ゲル電気泳動法 (PCR-Denaturing gradient electrophoresis; PCR-DGGE) 法や蛍光 *in situ* ハイブリダイゼーション法 (Fluorescence *in situ* hybridization; FISH) 法などを用いて根圏細菌を遺伝子レベルで解明する研究が主流となっている。PCR-DGGE法では根圏中にどれくらいの微生物種が存在しているのかをDNAバンドで確認できる。また、FISH法では蛍光顕微鏡を用いて、根圏に生息している細菌の分布などを個体レベルで観察することができる。これらの分子生物学的手法を使うことで、根圏微生物の正確な評価が出来るようになった。今後は根圏そのものにおける微生物の研究とは別に、根圏微生物のなかから、工業的な生物化学的変換技術に利用できる有用種や環境浄化能を有する微生物種を検索することも重要である。石油などの資源に乏しい日本においては、微生物こそが有用資源とし

て期待され、近年注目を浴びているバイオマス利用にも活躍する可能性がある。また、水質や土壌の汚染では微生物を使った浄化方法が多くの汚染現場で検討されている。このような背景から、本稿では根圏微生物を利用したバイオマスエネルギー変換技術や環境浄化技術の可能性について紹介する。

2. 根圏微生物を利用したバイオマスエネルギー

(1) バイオマスエネルギーの背景

地球温暖化対策は最も早急に取り組まなくてはならない環境保全対策である。1997年に採択された京都議定書では地球温暖化の原因物質であるCO₂の排出抑制が各国に義務付けられ、地球規模で石油にかわる次世代のクリーンエネルギーへの転換が求められている。生物系資源からエネルギー変換を行うバイオマスエネルギー（Biomass energy）は再生可能エネルギーかつCO₂バランスを壊さないカーボンニュートラルであるため、有効な地球温暖化防止対策として期待される。バイオマスのエネルギー変換技術は物理化学的に短時間で熱エネルギーに変換する熱化学的変換と微生物を利用してガスやアルコールを生成する生物化学的変換に大別される。代表的な生物化学的変換として、メタン発酵、エタノール発酵、水素発酵がある。筆者らは（独）新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）委託研究の有機性廃棄物の高効率水素・メタン発酵を中心とした二段発酵技術研究開発：食品系廃棄物（生ごみ等）の水素・メタン発酵プロセスの研究開発に参加し、その中で根圏微生物を種菌とした用いた嫌気性水素発酵（バイオ水素）の実験を実施したのでその概要を紹介する。

(2) バイオ水素における根圏微生物利用の可能性

バイオ水素（Bio Hydrogen）とは、生物学的な水素生成技術をさす。一般には生ごみや食品系廃棄物等の有機性廃棄物から微生物を利用して水素を生成することをいう。水素を生成する微生物は嫌気性細菌、光合成細菌、緑藻、藍藻まで広く分布する。バイオ水素は嫌気発酵や光合成過程で代謝される。嫌気性細菌の場合、図1のようにグルコース1 molから水素を生成するには2つの経路が存在し、酢酸を経て水素を生成する場合では最大で4 molの水素が得られる。水素の生成にはヒドロゲナーゼ、ニトロゲナーゼなどの酵素が関与し、これらの酵素を有するバクテリアは土壌や海洋などの多岐の環境に生息していることが知られている。バイオ水素はメタンを組み合わせた二段発酵システムが主流となっている。二段発酵システムではメタン発酵の単独システムに比べエネルギー転換率が向

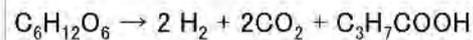
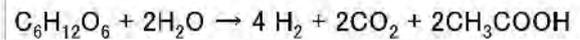


図1 嫌気発酵における水素生成菌の模式図
嫌気発酵による水素生成は2つの経路がある

上することの他、最初の水素発酵によって高負荷の有機物が短時間で水素を生成するため、後段のメタン発酵の処理を軽減する利点がある。このように、バイオ水素はバイオマス変換エネルギーと廃棄物処理を兼ね備えた優れたメリットがある。

根圏細菌を利用したバイオ水素の可能性については①水田の湛水期間における根圏土壌は還元性であり、嫌気性水素発酵の条件と同じである。②根圏土壌では植物根からの糖類供給が高いため、水素発酵の基質であるグルコースが多く存在することが推察される。③通常の水田では施肥によって窒素が豊富に存在するため、水素発酵に必要な窒素も自然に賄える。以上の条件から、水田の根圏環境と水素発酵槽内の環境の類似性が考えられる。

筆者らが行ったNEDO研究では、製パン工場の廃パンを原料とする水素-メタン二段発酵のパイロットスケールの検証実験を行った（図2）。実験では、東京大学大学院農学生命科学研究科附生態調和農学機構内の水田で栽培されたイネの根圏から採取した土壌を廃パンが含んだ培地で前培養したものの根圏細菌を種菌とした。種菌を水素発酵槽に投入・馴養後、連続水素発酵運転を行った。運転期間中はバイオガスの経時的なモニタリングと定期的に発酵槽から発酵液を採取し、発酵液中の根圏細菌叢の特徴について調査した。連続水素発酵実験の結果では、バイオ水素の生成量は102~206 [L-H₂/日]で推移し、廃棄物原料当りの最大水素生成量は16.8 [L-H₂/kg-wet]、最大水素生成収率は1.30 [mol-H₂/mol-Hexose]であった。実験開始から46日目に根圏微生物由来の素生成菌種の*Clostridium*属が確認された。根圏細菌は水素発酵の有効な種菌となることが確認された。

今後の課題は根圏細菌による水素発酵の原料の拡大や発酵過程の詳細な解明がある。

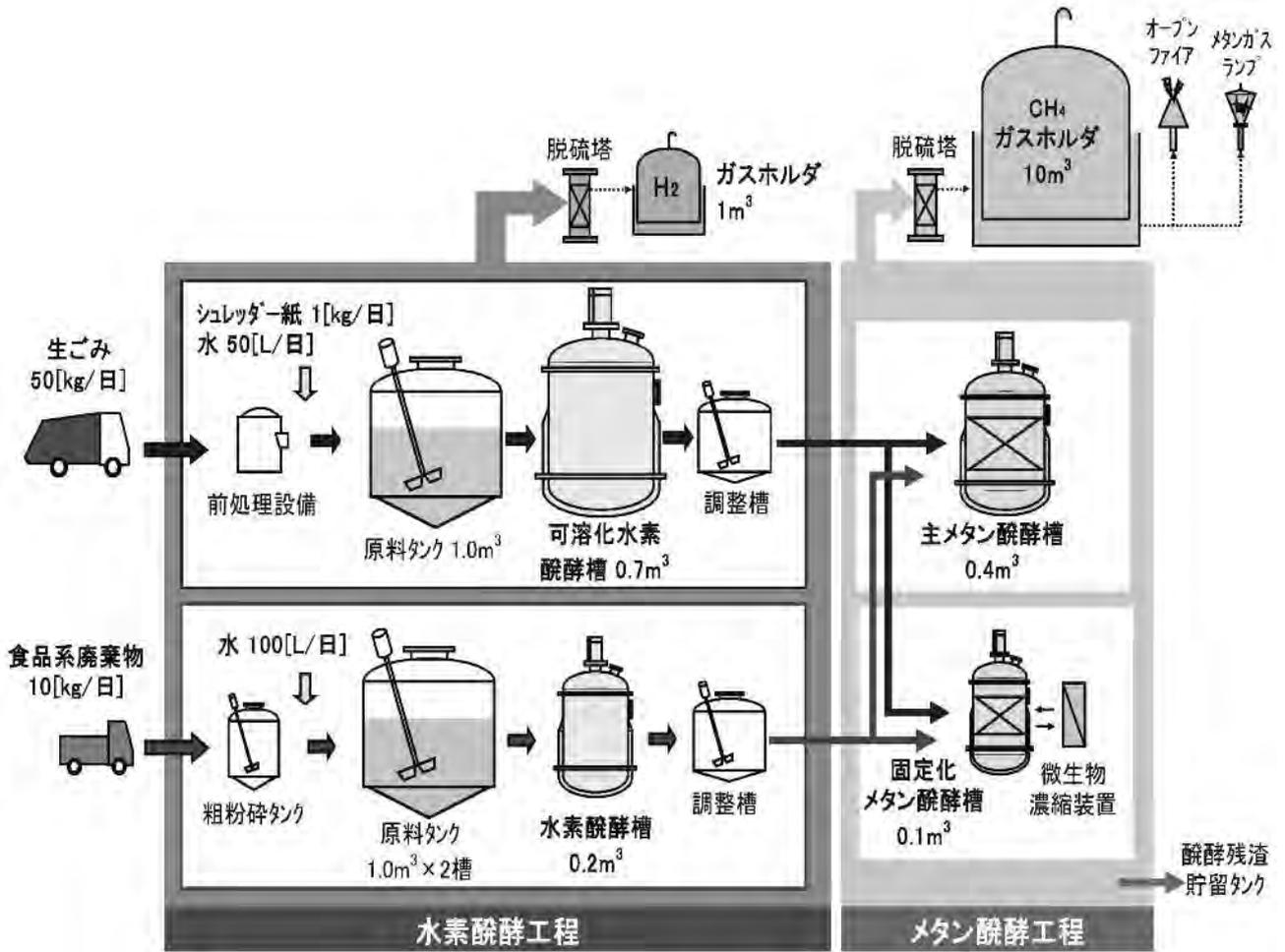


図2 水素-メタン二段発酵プラントの概要 (NEDO 2006報告書より)

3. 根圏微生物を利用したファイトレメディエーション

(1) ファイトレメディエーションとは

植物の生理機能を利用して環境汚染物質を吸収、蓄積、分解して環境浄化を行う技術はファイトレメディエーション (Phytoremediation) といわれ、環境に配慮した浄化方法として関心が高まっている。日本では2002年に土壤汚染対策法が制定され、有害な物質を製造・貯蔵していた工場の跡地などを商業地や住宅地に転用・再利用する際は必ず土壤調査を行い、土壤汚染が見つかった場合は土壤浄化の実施を義務付けている。土壤浄化は表1のような方法がある。土壤浄化方法は汚染物質区域を剥ぎ取り、場外へ搬出する方法 (場外搬出) と場外へ搬出せず、汚染区域の原位置で処理する方法 (原位置処理法) に大別される。場外搬出法は即効で浄化ができるがコストが掛かるのに対して原位置処理法ではコストは掛からないが時間は要する。原位置処理法の1つであるファイトレメディエー

ションによる浄化は最も時間を要するが広範囲の浄化を最安価で行える。ファイトレメディエーションは外搬出法やバイオレメディエーションにおける組み換え体微生物などを使った浄化 (バイオオギュメンテーション; Bioaugmentation) に比べると、浄化期間中の生態系への影響を最小限に抑えることができるので、汚染現場の周辺住民の合意を得やすい。このような背景から、ファイトレメディエーションは汚染物質で長年放置された土地 (ブラウンフィールド) の有効な浄化方法として期待されている。

(2) ファイトレメディエーションにおける根圏微生物利用の可能性

ファイトレメディエーションでは植物の根がカドミウムなどの重金属を吸収して浄化を行うことが知られている。しかし、石油やトリクロロエチレンのような有機化合物で汚染された土壤のファイトレメディエーションでも、図3のように根圏微生物が植物の根から栄養分を供給されながら活性し、有害な有機化合物を分解・無害化するライゾデグラディエーション法

表1 土壌浄化方法の種類

比較項目	場外搬出	原位置処理		
		化学的処理	生物処理	
			バイオレメディエーション	ファイトレメディエーション
対象物質	重金属 有機化合物	重金属 有機化合物	有機化合物	重金属 有機化合物
コスト	高価	高価	安価	最安価
即効性	有	有	無	無
土壌条件(温度・湿度など)が 処理能力へ及ぼす影響	受けない	受けない	受ける	受ける
広範囲に低濃度で汚染された 土地への適用	出来ない	出来ない	出来る	出来る

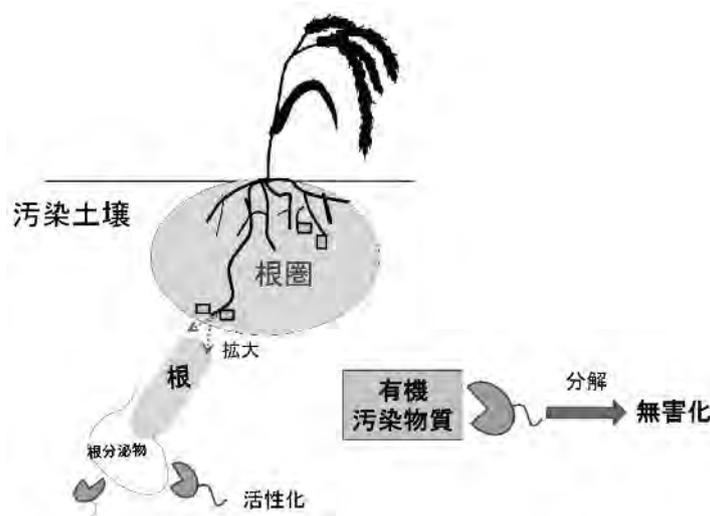


図3 根圏微生物によるファイトレメディエーション (Rhizodegradation) の概要
根圏微生物は根分泌物から栄養源を補給し、有害な有機化合物を分解・無害化する。

(Rhizodegradation) がある。Rhizodegradationではバイオマスエネルギーの場合と同様に、有害な有機化合物は根圏に生息している個々の生物種によって段階的に分解されることが考えられる。石油や有機塩素化合物におけるファイトレメディエーションではRhizodegradationに関する多くの研究事例がある。今後の課題は、汚染現場でも生育する植物の探索や汚染現場における根圏微生物の汚染物質の分解メカニズムの解明がある。

4. 今後の展開

バイオマスエネルギーシステムとファイトレメディエーションを根圏微生物で結びつけることが出来れば、図4のような融合システムが考えられる。すなわ

ち、汚染土壌に植物を栽培してファイトレメディエーションを行うとともに、植物の茎葉部をバイオマスエネルギーの原料として利活用する。このシステムが確立できれば①汚染現場は浄化期間中、バイオマスエネルギーの原料生産地として有効利用ができる②バイオマスエネルギーの原料生産は農耕地を利用しないので農作物と競合しない③水素やメタン発酵で生じた廃物は有機肥料として、ファイトレメディエーションに利用することができる④得られたバイオマスエネルギーは低炭素社会の構築に貢献できるなどが期待できる。このシステムを実現するためには、セルロース系原料の水素・メタン発酵の技術的な確立、アウトプットとして水素・メタン発酵で得られたバイオマスエネルギーの有効的な利用システムの確立、ファイトレメディエーションにおける汚染物質の流出防止と安全な栽培

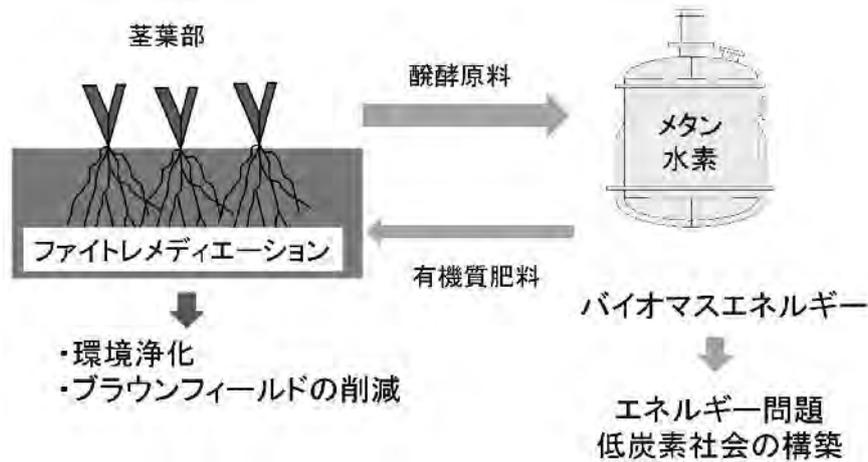


図4 バイオマスエネルギーとファイトレメディエーションの融合システム

管理技術の確立などが今後の課題として挙げられる。

5. 参考文献

- 1) Doi T, Abe J, Shiotsu F, Morita S. Study on rhizosphere bacterial community in lowland rice grown with organic fertilizers by using PCR denaturing gradient gel electrophoresis. *Plant Root* 5 : 5-16. 2011.
- 2) Colwell RR, Grimes DJ. *Nonculturable microorganisms in the environment*. AMS Press, Washington DC. USA. pp343. 2000.
- 3) Doi T., Hagiwara Y., Abe J. and Morita S. Analysis of rhizosphere bacteria of rice cultivated in Andosol lowland and upland fields using molecular biological methods. *Plant Root* 1 : 66-74. 2007.
- 4) Grubb M, Vrolijk C, Brack D. 1999. *The Kyoto Protocol - A guide and assesment -*. Earthscan, London. UK. pp. 235.
- 5) NEDO 2006. *バイオマスエネルギー高効率転換技術開発. 有機性廃棄物の高効率水素・メタン発酵を中心とした二段発酵技術研究開発成果報告書*. 財団法人バイオインダストリー協会, 東京. 480.
- 6) Doi T., Matsumoto H, Abe J., Morita S. Feasibility study on the application of rhizosphere microflora of rice for the biohydrogen production from wasted bread. *International Journal of Hydrogen Energy* 34 : 1735-1743. 2009.
- 7) 大下信子, 松本寿美, 土肥哲哉, 竹本裕, 品田司 2004. 食品廃棄物の水素発酵条件に関する研究. *用水と廃水* 46 : 1058-1064.
- 8) Doi T., Matsumoto H, Abe J., Morita S. Application of rice rhizosphere microflora for hydrogen production from apple pomace. *Journal of Hydrogen Energy* 35 (14) : 7369-7376. 2010.
- 9) 野池達也編著. 2009 *メタン発酵*. 技報堂出版, 東京. 283.
- 10) 武井義久 2010. *土壤汚染対策の現状と将来展望*. 科学技術動向. http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/jpn/stfc/stt107j/1002_03_featurearticles/1002fa01/201002_fa01.html
- 11) 池道彦・井上大介 2011. 植物による環境浄化と資源生産のCo-benefit実現を目指して. 池道彦・平田収正監修 *植物のポテンシャルを活かした環境保全・浄化技術*. CMC出版. 東京. 213-22.
- 12) Banks MK, Schwab AP, Liu B, Kulakow PA , Smith JS, Kim R. The effect of plants on the degradation and toxicity of petroleum contaminants in soil: a field assesment. *Adv. Biochem. Eng. Biotechnol.* 78: 75-96. 2003.
- 13) Anderson TA, Guthrie EA, Walton BT. 1993. *Bioremediation in the rhizosphere*. *Environ. Sci. Technol.* 27: 2630-2636.

特集：下水汚泥と他バイオマスとの協働事例

解説

恵庭下水終末処理場における バイオマス利活用（発電等）の 取り組み

恵庭市 水道部下水道課
工事担当主査 長谷晃司

キーワード：循環型社会の構築、循環資源、参加・行動・理解・協力

1. はじめに

恵庭市は、北海道の石狩平野の南に位置し、道央圏の札幌市と新千歳空港のほぼ中間にあります。本市は、東西に長く、その中央部を漁川が流れ、東部、北部に水田地帯、西部に国有林野等が広がり、市街地は南北に貫く国道36号とJR千歳線沿いに形成されています。平成25年3月末現在で行政人口は68,797人であ

り、千歳空港や苫小牧港、小樽港への交通アクセスが優れていることから、工業団地が造成され、多くの食品・住宅関連企業が生産・流通拠点を置いています。

恵庭市の下水道事業は、昭和43年に着手、昭和55年10月に恵庭下水終末処理場が完成し供用開始しました。現在の整備面積は1,814ha、汚水整備率は、認可区域面積に対し97.3%、平成24年度末における対行政人口普及率は97.2%、水洗化率は96.8%となっています。

表-1 公共下水道事業の概要

	恵庭処理区	
	全体計画	事業計画
計画面積 (ha)	1,865.2	1,865.2
計画人口 (人)	68,300	68,000
処理水量 (m ³ /日)	39,436	38,630
処理場名称	恵庭下水終末処理場	
処理方法	標準活性汚泥法	
処理能力 (m ³ /日)	47,500	47,500



写真－1 恵庭下水終末処理場全景

2. 導入目的（他のバイオマス利用の取り組み）

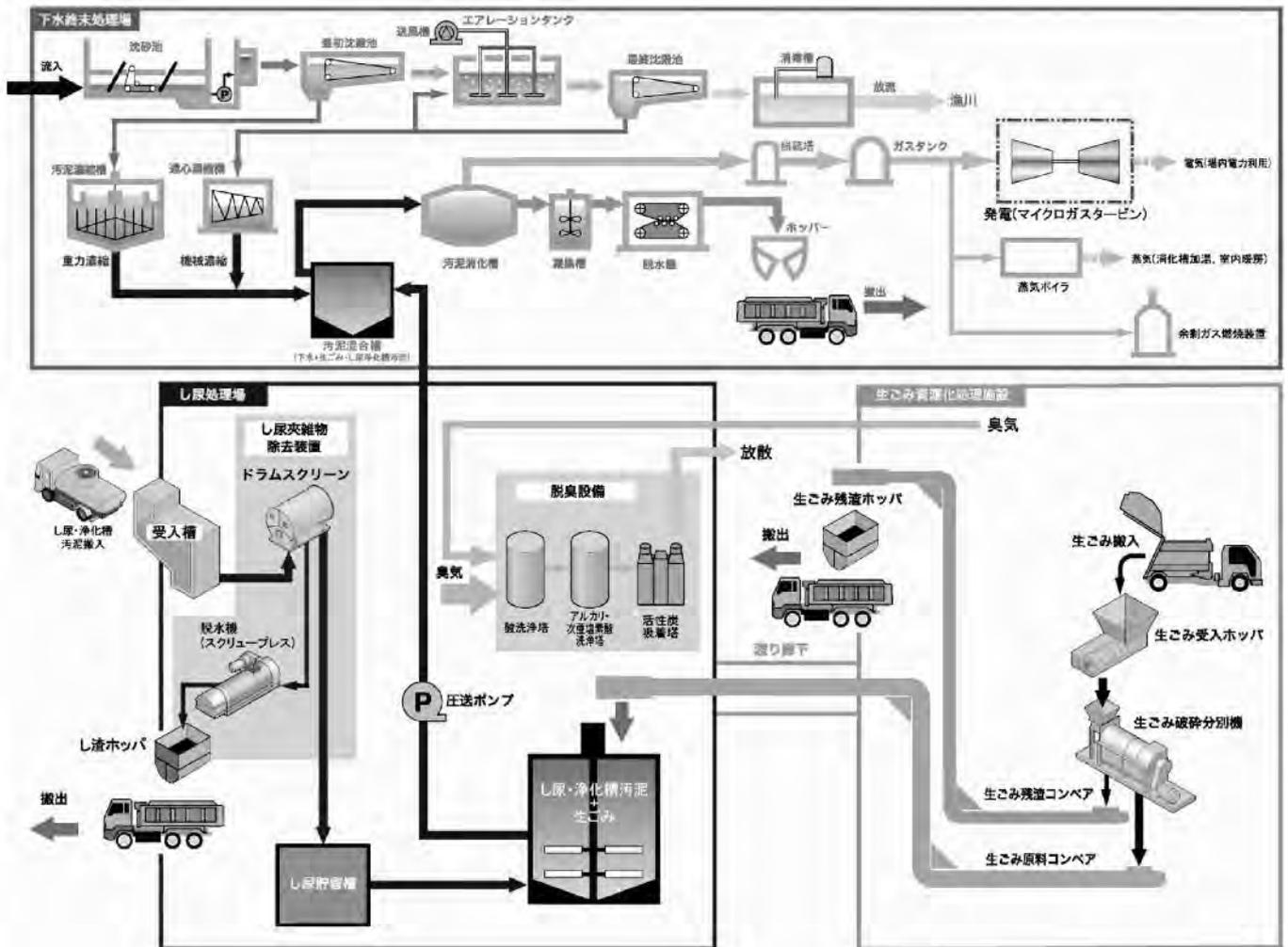
本市の生ごみは、可燃ごみの区分として分別され焼却処理されていましたが、「ダイオキシン類発生防止等ガイドライン」への対応が難しくなり、平成14年12月からは焼却施設の休止に伴い埋立処分されておりました。この可燃ごみの埋め立て処理により埋立処分場への

環境負荷が大きな課題となり、環境にやさしい循環型社会の構築に向けたごみの減量化、資源化対策が急務となりました。

このような経緯から、平成19年に公募市民、関係団体、事業者で構成される「恵庭市ごみへらし市民会議」が開催され、循環型社会の構築に向けた、ごみ減量化、資源化、適正処理を推進するための方策について提言されました。その方策の一つとして家庭ごみの

表－2 計画受入量

項 目	計画受入量 (t/日)		備 考
	H24 (供用開始時)	H34 (次期全体計画)	
下水道	243	267	人口減少を踏まえて設定
し尿・浄化槽	13	13	
小 計	256	280	
生ごみ	11	11	
合 計	267	291	



図－1 処理フロー

約3割を占める生ごみを、焼却や埋め立て処理するのではなく、すべて資源として有効利用すべきであると提案されました。

市では、その提案を基に平成20年、恵庭市循環型社会形成推進施策を策定し、生ごみを循環資源として位置づけ、生ごみから発生するバイオガスを下水終末処理場においてエネルギーとして回収し、その有効利用により天然資源の消費を抑制するとともに、施設維持管理コストの削減及び効率的な施設運営を図ることを目指しました。

3. 事業概要

(1) 事業概要

本市では、脱温暖化社会や循環型社会の構築を目指す上で、そのリサイクル・エネルギー回収の重要性は高まっており、平成20年度に策定された「恵庭市循環型社会形成推進施策」に基づき進めている恵庭市バイオマスエネルギー推進事業として取り組んでいます。

本事業では、生ごみ処理施設、し尿処理場及び既存の下水道施設を有効利用して、下水汚泥と他のバイオマス（生ごみ、し尿・浄化槽汚泥）を集約混合処理し、汚泥消化槽投入後、発生した消化ガスをマイクロガスタービンの燃料として有効利用。また、発電された電力については処理場内で利用することにより、天然資源の消費やCO₂の発生を抑制し、環境保全と持続可能な資源循環型社会の形成を構築しています。

(2) 施設概要

本施設は、下水終末処理場とし尿処理場、生ごみ処理施設の3つの施設で構成され、処理フローは、図－1のとおりです。

①受入ホッパー・生ごみ破碎分別機（し尿処理場、生ごみ処理施設内）

搬入された生ごみは、受入ホッパー（写真－2）で貯留後、生ごみ破碎分別機（写真－3）でゴミ袋等の残渣と生ごみに分離、生ごみは粉々に破碎し混合槽へ送る。この槽で、生ごみとし尿・浄化槽汚泥を



写真-2 受入ホッパ

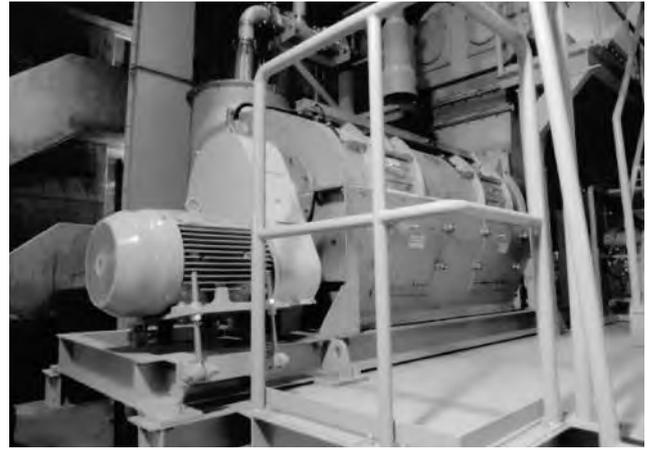


写真-3 生ごみ破碎分別機



写真-4 汚泥消化槽



写真-5 マイクロガスタービン汚泥消化槽

混合します。

②汚泥混合槽（下水終末処理場内）

前処理された生ごみとし尿・浄化槽汚泥は、圧送ポンプにより下水終末処理場内にある汚泥混合槽に送り、下水汚泥と約1対1の割合で混合され、汚泥消化槽（写真-4）へ投入します。なお、汚泥混合槽は、既設の洗浄槽を改築したものを利用しています。

③汚泥消化槽・乾式脱硫設備・ガスタンク

汚泥消化槽では、中温消化により約30日間かけて消化ガスを発生させます。発生した消化ガスは乾式脱硫設備で脱硫後、1,000m³と500m³の2基の既設ガスタンクに貯蔵します。今後、消化ガスの発生量により増設を計画しています。

④発電機

貯蔵された消化ガスを昇圧・除湿及び不純物のシロキサンを除去したものをマイクロガスタービン（95kw×2基／写真-5）の燃料としています。なお、マイクロガスタービンは、発電及び排熱を回収し蒸気として利用できるコージェネレーションシステムを採用しています。

発電した電力は、同期遮断器を介して系統連係し処理場の負荷設備に供給しています。また、発電実績を帳票装置に出力できるように監視装置を設置しています。

(3) 事業区分

国の支援事業として、生ごみ資源化処理施設整備事業については、防衛省補助「防衛施設周辺民生安定施設整備補助金」、下水道事業では、国土交通省補助の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）」及びMICS事業を活用しております。（表-3）

(4) 事業費

本施設の整備費は表-4に示します。

(5) 運転状況

平成24年度5月より試運転を開始して、生ごみの投入量を段階的に増やして行き、9月から本格稼働を行っています。

表－3 事業区分

事業名	対象施設		対象バイオマス	補助率
防衛省 防衛施設周辺民生安定施設 整備補助金 ごみ処理施設設置助成事業	受入・前処理施設	受入ホッパ (建屋含)	生ごみ	4.5/10
		破碎分別機		
	貯留設備 (既存施設改造)	生ごみ、し尿・浄化槽汚泥	4.5/10	
国土交通省 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＋ M I C S事業	汚泥調整設備	汚泥混合槽	下水汚泥、し尿・浄化槽汚泥	5.5/10
			生ごみ	1/4
	消化設備	脱硫設備	下水汚泥、し尿・浄化槽汚泥	5.5/10
			生ごみ	1/4
	ガスタンク	下水汚泥、し尿・浄化槽汚泥	下水汚泥、し尿・浄化槽汚泥	5.5/10
			生ごみ	1/4
	発電設備	MGT	下水汚泥、し尿・浄化槽汚泥	5.5/10
			生ごみ	1/4

表－4 施設建設費

施設名	主要施設	建設費
生ごみ・し尿処理場	生ごみ受入施設（建築）	112百万円
	受入ホッパ・生ごみ破碎分別機等 （機械設備）	213百万円
	受入ホッパ・生ごみ破碎分別機等 （電気設備）	47百万円
	付帯設備（外構等）	13百万円
下水終末処理場	汚泥調整設備 （建築、土木、機械設備）	319百万円
	脱硫設備（機械設備）	105百万円
	ガスタンク（H26増設予定）	342百万円
	MGT（機械・電気設備）	273百万円

その結果、平成24年度の実績については、平成23年度実績（生ごみ投入前）との比較で、余剰燃焼ガスは7割削減、受電電力量は2割削減されています。

また、平成25年度の4月から7月までの4ヶ月間の実績値を、平成23年度実績との比較で表－5～7に示しています。余剰燃焼ガスは約78%削減、マイクロガスタービンの発電により、受電電力量約37%削減及び処理場全体電気使用量の約45%が賄われています。

(6) 事業の推進にあたり

家庭系ごみの中の約3割を占める生ごみを直接埋め立てすることにより、浸出水として汚水発生やメタンガス等が発生するなど、環境負荷を増大させており、「燃やせるごみ」に含まれていた「生ごみ」を分別収集する必要がありました。本事業を推進する上で、市民に理解・協力が得られるよう、生ごみの分別収集について、担当部局である生活環境部により、丁寧かつきめ細かく説明するとともに、より多くの市民に参加していただくため、各町内会及び各種団体に協力を頂

表-5 消化ガス発生量

	単位	H23 実績	H25 実績	増 減	備 考
消化ガス発生量	m ³	417,804	610,539	192,735	+46.1%

※H23、H25実績は、4月から7月までの4ヶ月間の数値

表-6 消化ガス使用量

	単位	H23 実績	H25 実績	増 減	備 考
ボイラ使用量	m ³	219,881	261,051	41,170	+18.7%
余剰燃焼	m ³	184,048	39,813	-144,235	-78.4%
MGT発電使用量	m ³	0	308,329	308,329	
計	m ³	403,929	609,193	205,264	+50.8%
MGT発電使用量構成比			0.506		

※H23、H25実績は、4月から7月までの4ヶ月間の数値

表-7 電力量

	単位	H23 実績	H25 実績	増 減	備 考
受電電力	kwh	999,444	629,184	-370,260	-37.0%
MGT発電量	kwh	0	504,821	504,821	
計	kwh	999,444	1,134,005	134,561	+13.5%
MGT発電量構成比			0.445		
終末処理場	kwh	941,064	1,064,935	123,871	+13.2%
生ごみ・し尿処理場	kwh	58,380	69,070	10,690	+18.3%
計	kwh	999,444	1,134,005	134,561	+13.5%

※H23、H25実績は、4月から7月までの4ヶ月間の数値

き、説明会を開催しました。

説明会は、115回、延べ3,827名の多くの市民の方々に参加を頂きました。それにより、計画量に対し非常に高い達成率、分別率になっています。(表-8、9)

4. 導入効果

(1) 消化ガス発電

下水汚泥と混合することにより増えるメタンガスをエネルギーとして有効活用を図れるため、マイクロガスタービンによる発電により温室効果ガス発生量400t抑制することができ、さらに電気料約10,000千円の削減が図られました。

(2) ごみの減量化

従来、埋立て処分されていた生ごみを、下水汚泥と混合し、汚泥消化槽に投入することにより埋立処分量の減量化ができ、埋立処分場から発生するメタンガスをCO₂に換算すると年間2,600t削減されています。

また、ごみの減量化により、ごみ埋立処分場の3年程度の延命化や今後整備が予定されている焼却場規模の縮小化が図られます。

(3) 施設建設コスト及び一元管理による維持管理費節減

下水終末処理場を有効利用することで新規設備の導入が少なくなり施設建設コストや維持管理費が低減されます。

表－8 生ごみ受入量実績（H24）

	計画量	実績量	達成率
生ごみ受入量	3,953t	3,890t	98.4%

※生ごみ受入量：家庭系生ごみ（収集）＋事業系生ごみ（直接搬入）

表－9 生ごみ収集量実績（H24）

	計画量	実績量（H24）	分別率
生ごみ収集量	2,853t	2,586t	90.6%

※生ごみ収集量：家庭系生ごみ

5. 今後に向けて

(1) 他のバイオマスの受け入れ

資源消費の抑制と環境負荷の低減の観点から、その発生抑制を第一に優先し、そのうえで循環資源として有効に利活用を推進するため今後、他のバイオマス受け入れを検討する必要があります。

(2) 施設のバックアップ体制

現在、汚泥混合槽、消化汚泥貯留槽、汚泥消化槽は、1系列のみとなっており、維持管理上点検や補修の際、生ごみの受け入れを中止し埋立処分しなければならないため、バックアップ体制を整える必要があります。

ます。

(3) 市民との協働

現在、非常に高い生ごみの収集率を維持することや生ごみ以外の不適物を混入しないように、今後更なる市民への周知を継続的に行い、市民の理解・協力を得られるよう努める必要があります。

(4) 今後の方向性

循環型社会の構築に向けては、現行の再生・資源化等の取組みに満足することなく、市民の理解と行動・協力を絶対要件として、より効率的・効果的な事業の構築を目指して参ります。

特集：下水汚泥と他バイオマスとの協働事例

解 説

B-DASH 神戸市東灘処理場 再生可能エネルギー生産・ 革新的技術実証研究

株式会社神鋼環境ソリューション

技術開発センター 水・汚泥技術開発部 汚泥処理室

宮 本 博 司

川 嶋 淳

キーワード：下水道革新的技術実証事業、汚泥消化、バイオマス、下水道バイオガス利用

1. はじめに

国土交通省は平成23年度より下水道革新的技術実証事業（B-DASHプロジェクト：Breakthrough by Dynamic Approach in Sewage High technology）を開始した。当社は当該年度に神戸市との共同研究体で題記事業を提案し、採択された。

下水汚泥の嫌気性消化から発生する消化ガスはカーボンニュートラルな燃料であるため、有効利用を促進することにより、化石燃料使用量の削減や地球温暖化防止に寄与できる資源として注目されている。しかし、設備導入に係る費用が高額であること、維持管理に手間がかかること、特に中小規模の処理場では、有効利用可能な消化ガス量が少ないこと等から、国内下水処理場における汚泥消化・ガス有効利用設備の普及は停滞状況にある。

本事業では、下水処理場周辺に賦存する地域バイオマスを受入れること、これまで未利用だった下水の保有熱を活用することにより、有効利用可能な消化ガスを増量するとともに、汚泥消化に係る設備の建設コスト・維持管理コストを縮減可能な装置の導入効果を検証した。設備導入コスト縮減と消化ガス有効利用量の

増加により、国内下水処理場での汚泥消化・ガス有効利用設備の普及を促進することを目的とする。

事業の実施場所は汚泥消化ガスの有効利用に関して国内最先端の取組みを進めている神戸市東灘処理場であり、国内外への汚泥消化・ガス有効利用設備の普及に向けたショーケース機能を果たすことも重要な目的としている。

2. 実証技術の概要

今回実証を行ったシステムの全体構成図を図1に示す。本システムは、以下の4つの個別技術から構成されており、システム全体または一部技術の導入によって、汚泥消化設備、バイオガス脱硫・精製システムのコスト縮減と再生可能エネルギーであるバイオガスの生産・有効利用が可能である。

(1) 地域バイオマス受入・混合調整設備

異物を含まず、かつ、水質等の下水道の本来の機能に影響を与えないという、下水道への受け入れの好適性が確認できた地域バイオマスを受け入れ、必要に応じて前処理を行った後に下水汚泥と混合調整する設備であり、後段の消化槽からのバイオガス発生量を増加

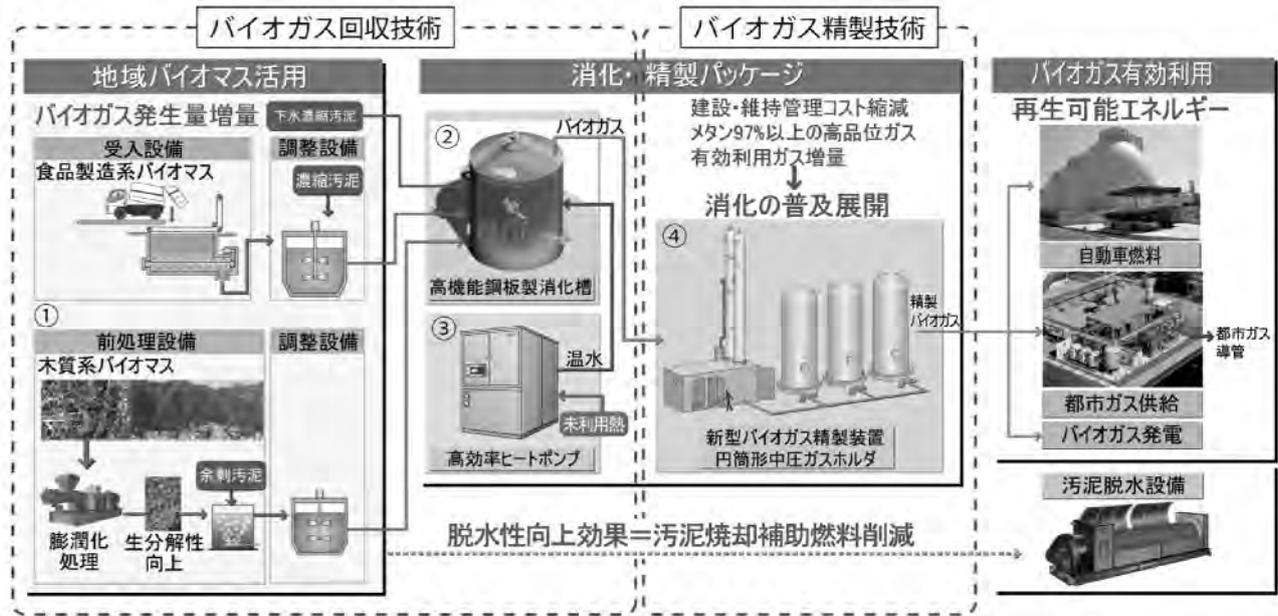


図1 システム全体構成図

させることができる。

(2) 高機能鋼板製消化槽

消化槽を鋼板製にすることによって従来のPC製卵形消化槽と比較して建設コストの縮減および建設工期の短縮が可能であり、また、低動力インペラ式かくはん機の採用による維持管理費の縮減と槽内可視化による良好な消化反応を維持する取り組みが可能な消化設備である。

(3) 高効率ヒートポンプ

下水処理場内の未利用熱を回収し消化槽等を加温するための温水を供給できるため、バイオガスの有効利用を増加させるとともに、エネルギー使用量を削減することができる。

(4) 新型バイオガス精製・貯留・圧送システム

バイオガスからメタン濃度97%以上の高品位ガスを取り出すことができる高機能な脱硫装置である新型バイオガス精製装置と、円筒形中圧ガスホルダからなるシステムであり、バイオガス量約3,000 m³/日以上規模では、従来の脱硫システム（脱硫+低圧ガスタンク+シロキサン除去・除湿・昇圧）との比較でもコスト縮減が可能である。

3. 実証施設の概要と実証研究結果

(1) 実証施設概要

神戸市東灘処理場内に設置している実証施設の主任

様を表1に示す。実証用鋼板製消化槽で下水道への受け入れの好適性が確認された地域バイオマスは、既設消化槽（有効容量10,000 m³）にも投入している。

(2) 実証結果

① 下水道への受け入れに好適な地域バイオマスの選定

受入対象の地域バイオマスは、賦存量を調査した後、下水道への受け入れの好適性を個別品目ごとに検討した上で決定した。具体的には排出元へのヒアリング・目視による異物等の確認、組成分析、ラボスケールのメタン発酵実験によって候補を絞り込んだ後、最終的に排出元との合意が得られた食品製造系バイオマス（排水汚泥、廃酸、食品残さ）および木質系バイオマス（広葉樹間伐材、高木剪定枝）を受入れ対象とした。

表1 実証施設主任仕様

① 地域バイオマス受入・混合調整設備	
食品製造系バイオマス受入能力	鋼板製消化槽 0.7 t-wet/日 既設消化槽 11 t-wet/日
木質系バイオマス受入能力	鋼板製消化槽 0.25 t-wet/日 既設消化槽 4 t-wet/日
② 高機能鋼板製消化槽	
	鋼板製全溶接円筒形 有効容量 220 m ³ × 1基
③ 高効率ヒートポンプ	
	電動スクリーチャー 加熱能力 266.4 kW × 1基
④ 新型バイオガス精製・貯留・圧送システム	
新型バイオガス精製装置	高圧水吸収法 処理能力 300 m ³ N/h × 1基
中圧ガスホルダ	円筒形 貯蔵能力 約500 m ³ N × 3基

表2 地域バイオマス投入によるバイオガス増量効果 (鋼板製消化槽)

		下水汚泥のみ	食品製造系混合	変品製造系+木質系混合
VS容積負荷 [kg/(m ³ ・日)]	下水汚泥	1.32 (100%)	1.17 (78%)	1.04 (64%)
	食品製造系	0	0.33 (22%)	0.30 (19%)
	木質系	0	0	0.27 (17%)
投入VS当たり ガス発生量 [m ³ /t-VS]	ラボ実験に基づく 推定値	517	596	570
	実測値	510	675	644
	測定値/推定値	0.95	1.13	1.11
ガス発生倍率 [m ³ /m ³]	測定値	13.1	17.8	20.9
	地域バイオマス 投入による増加率		35%	60%

②高機能鋼板製消化槽

下水汚泥との混合調整後、地域バイオマスは鋼板製消化槽に投入し、滞留日数20日、約38℃で中温消化を行った。定常状態に到達後の投入VS当たりガス発生量は、表2に示すとおり食品製造系バイオマスをVS比率で約20%投入した場合675 m³N/t-VSで、下水汚泥のみでの510 m³N/t-VSと比較したガス増量効果を確認できた。さらに、木質系バイオマスをVS比率で約20%投入した場合、ガス発生量は644 m³N/t-VSであり、ガス発生倍率では下水汚泥のみと比較して、60%の増量効果を確認できた。

③高効率ヒートポンプ

従来の温水ボイラに代えて、高効率ヒートポンプをもちいて下水放流水から回収した熱を利用して鋼板製消化槽を加温した。冬季の放流水温20℃の条件では、ヒートポンプの性能を表す指標であるCOP (成績係数：消費電力の何倍の熱量を取り出せるか) は2.7~2.8であったが、夏季の放流水温30℃の条件では、COPは3.1まで向上した。この結果、従来の温水ボイラによる消化槽加温と比較して、年間を通じてエネルギー使用量を1次エネルギー換算で20%以上削減できることを確認した。

④新型バイオガス精製・貯留・圧送システム

新型バイオガス精製・貯留・圧送システムの維持管理費について、従来精製システム (脱硫+低圧ガスタンク+従来型バイオガス精製装置) および従来脱硫システム (脱硫+低圧ガスタンク+シロキサン除去・除湿・昇圧) との比較を行った。図2にバイオガス処理量2,800 m³/日規模における比較結果を示す。新型精製・貯留・圧送システムの維持管理費は、従来精製システムだけでなく従来脱硫システムとの比較でも点検補修費の削減により同等以下となっている。また、図3に新型および同程度の規模の従来型バイオガス精製装置における消費電力原単位の通年データを示す。低動力ガス圧縮機の採用に

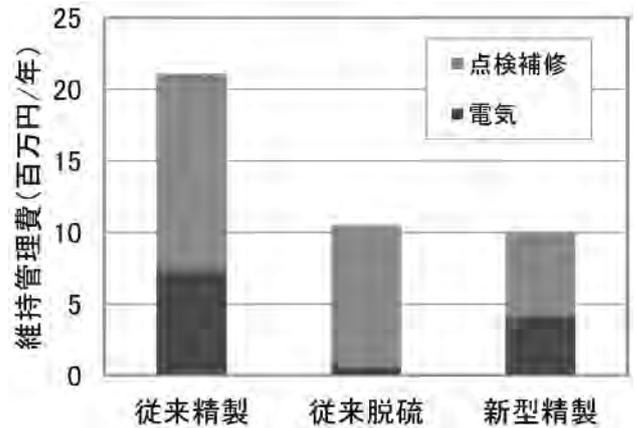


図2 バイオガス脱硫・精製システム維持管理費比較 (バイオガス処理量 2,800m³/日規模)

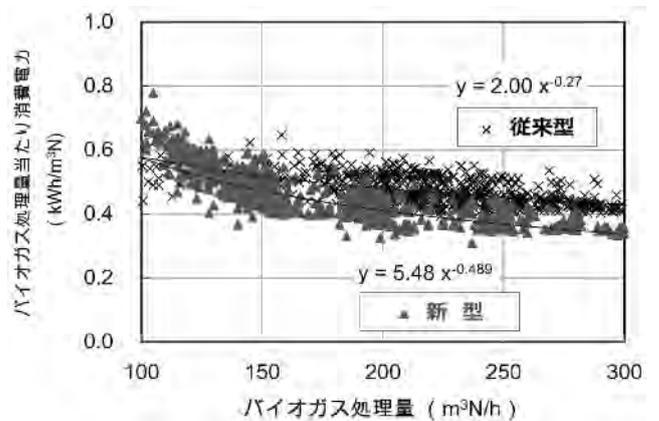


図3 バイオガス精製装置消費電力比較

よる新型バイオガス精製装置での消費電力削減効果が確認できており、バイオガス処理量250 m³N/hの条件では削減率18%であった。

4. 評価結果

以上の実証試験結果に基づいて、FSとして従来技術に対する革新的技術のコスト削減率と温室効果ガス排出量削減率についての評価を行った。評価対象の範囲および規模は、図4に示すとおりである。

革新的技術では従来技術と比較して、建設コストは年価で18% (図5) の、維持管理コストは123%の、撤去を含むライフサイクルコストは40%の削減 (図6) が、それぞれ可能であるとの結果が得られた。なお、維持管理コストの削減率が100%を超えるのは、精製バイオガスの売却量増大による増収効果を含むためである。また、ライフサイクルでの温室効果ガス排出量は、従来技術では224 t-CO₂/年の排出に対し、革新的技術では精製バイオガス供給量の増加に伴って

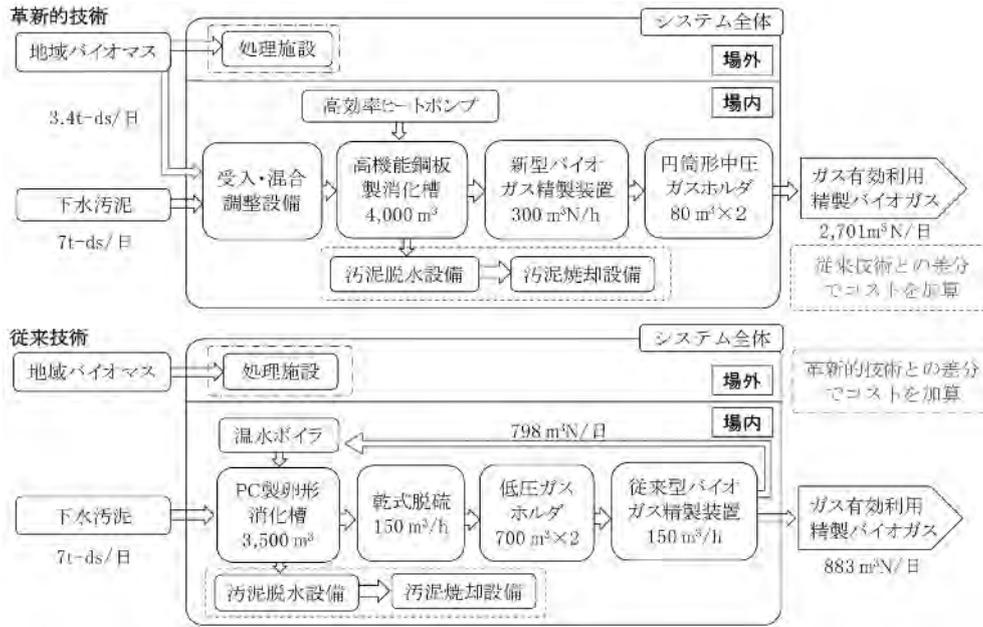


図4 評価対象範囲および規模
[革新的技術と従来技術]

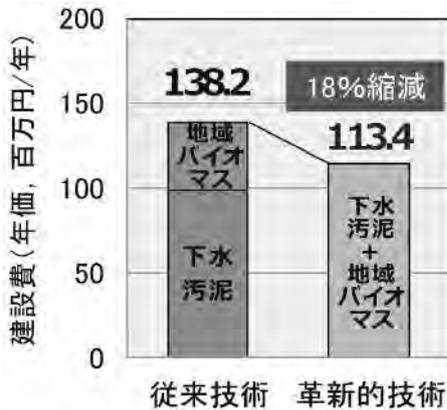


図5 コスト比較 [建設費]

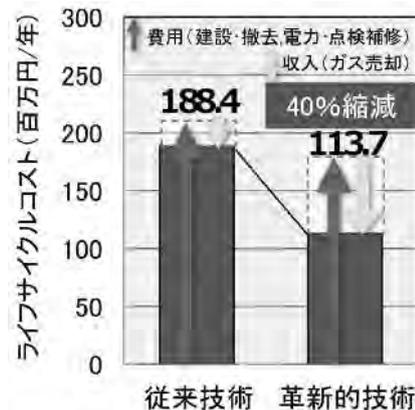


図6 コスト比較 [ライフサイクルコスト]

813 t-CO₂/年の吸収となり、大幅な排出削減が可能と試算された。

CO₂/年の吸収であり、排出削減量は1,037t-CO₂/年である。

5. まとめ

地域バイオマス受入・混合調整設備、高機能鋼板製消化槽、高効率ヒートポンプおよび新型バイオガス精製・貯留・圧送システムからなる革新的技術を、実証試験結果に基づいて下水汚泥7.0 t-ds/日+地域バイオマス3.4 t-ds/日規模でFSとして評価した結果、従来技術に対して以下の効果が認められた。

- ・建設コストは18%、維持管理コストは123%の削減がそれぞれ可能であり、撤去を含むライフサイクルコストでは40%の削減が可能である。
- ・ライフサイクルでの温室効果ガス排出量は813t-

6. おわりに

実証試験を通じて、革新的技術のコスト削減ならびに温室効果ガス排出量削減効果が確認された。これらの成果を踏まえ、国土交通省国土技術政策総合研究所にてガイドラインを作成、公表し、下水道事業者が革新的技術の導入を検討する際の参考資料として利用できるように整備を進めている。

本成果は神鋼環境ソリューション・神戸市 共同研究体が受託した、平成23年度及び24年度国土技術政策総合研究所委託研究「神戸市東灘処理場再生可能エネルギー生産・革新的技術実証研究」によるものである。

特集：下水汚泥と他バイオマスとの協働事例

解 説

新潟市バイオマス産業都市構想
の概要新潟市 下水道部 下水道計画課
係長 橋本 康弘

キーワード：混合消化、BDF

1. はじめに

新潟市は、古くから港町として、また米どころとして繁栄し、新潟港は、江戸中期ごろには日本海側最大の港町となっており、江戸末期、日米修好通商条約で開港5港の一つに指定された。

平成17年に13市町村との合併により、人口約81万人の都市となり、平成19年4月には、本州日本海側初の政令指定都市となった。

本州日本海側のほぼ中央に位置し、市域面積726.10km²、東西42.4km、南北34.9kmに広がり、地形はおおむね平坦で、日本を代表する大河の信濃川、阿賀野川が流れ、湖沼の佐潟、福島潟、鳥屋野潟など多くの水辺空間と自然に恵まれた環境にあり、農地が市域の約48%で田園が市街地を包み込むように広がっている。(図1参照)

2. 背景

本市は、恵まれた自然や田園と高次都市機能が共存する特性を活かしながら、国内外との交流を拡げるとともに、都市内分権や市民協働を推進し、これまでに

ない新しいタイプの大都市を築いていくため、「新・新潟市総合計画」を平成19年3月に策定し、その計画において、目指す都市像の一つとして「大地と共に育つ田園型拠点都市」を掲げ、バイオマス資源の有効活用を位置づけ、積極的に取り組みを進めてきた。

本市は、恵まれた自然と田園を有することより、広大な田園から排出される農業系バイオマスに加え、里山から間伐材、都市から排出される食品廃棄物や下水汚泥など、市内全体には多様で豊富な資源ストックが賦存し、これをいかに利活用していくかが今後の課題となっている。

そこで、平成19年度には、「バイオマスタウン構想」、「新潟市下水道中期ビジョン」も策定し、未利用バイオマスの利活用を推進してきたところである。

また、都市と田園の「調和ある発展」と「豊かな価値の循環」による低炭素型都市づくりを目指して、平成25年3月には、「環境モデル都市」に選定され、バイオマスを活用した低炭素型都市づくりやエネルギー確保などの対策を進めることとしたところであり(図2参照)、これらに位置付けた各政策により、一層の効率的、効果的なバイオマスの利活用を行うこととした。

さらに、平成24年度は、新潟市の下水道事業の着手から60年にあたり、再生可能エネルギーについて、新

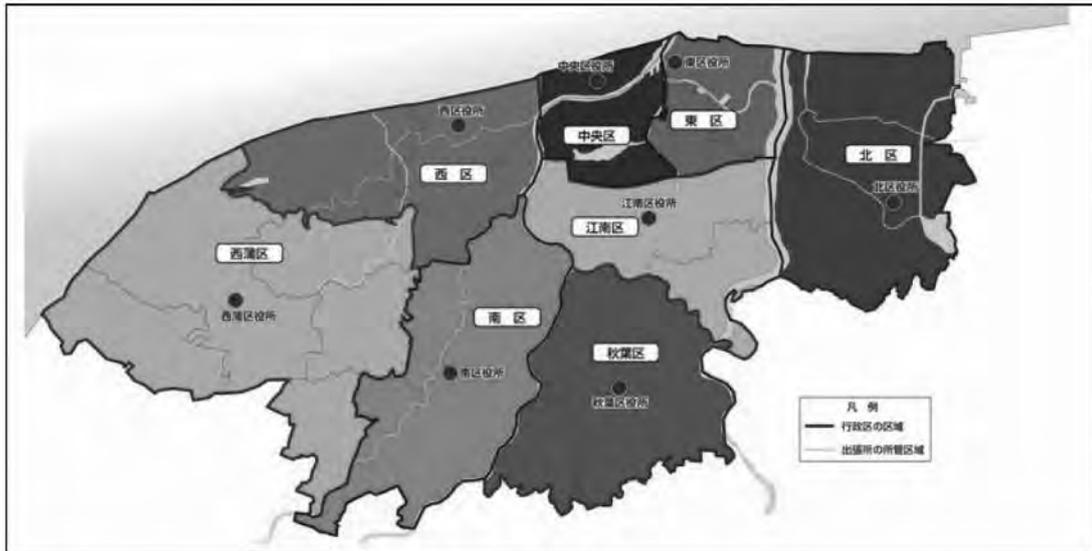


図1 行政区の位置

潟県内初の消化ガス発電が、平成25年1月に稼働したことや、太陽光発電、下水熱の活用など、様々な取り組みを始めたことより、「再生可能エネルギーの取り組み元年」と位置付けたところである。

3. 概要

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、本市としては、「環境モデル都市」で掲げた環境にやさしく、市域外調達の必要がないバイオマスを最大限活用して、温室効果ガスの削減や災害時の電力などのエネルギー確保が確実にいけるよう、本市、企業と市民とが協働しながら、先

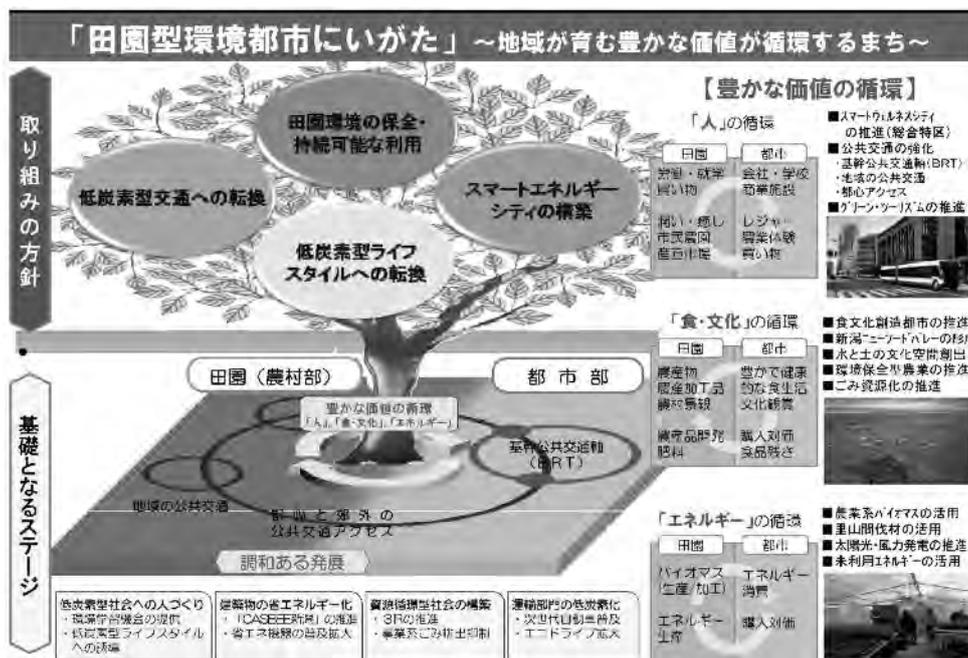


図2 「田園型環境都市にいがた」におけるバイオマスの活用イメージ

表1 事業化プロジェクト一覧

(1)	下水汚泥の利活用の拡大
(2)	し尿汚泥の利活用の拡大
(3)	植物由来廃棄物等の徹底活用
A	地域と取り組む再生可能エネルギー導入モデル事業の拡大
B	廃食用油の回収事業の拡大
C	BDF活用事業の促進
D	木質ペレット利用の拡大
E	乾燥生ごみ拠点回収事業の拡大
F	地域における生ごみ堆肥化活動支援事業の拡大
G	学校給食残渣飼料化事業の拡大
H	学校給食残渣等再生処理事業の推進
I	地域循環型バイオエタノール事業の促進

駆的な取り組みにチャレンジし、国内外へ発信できる「田園型環境都市にいがた」の実現を目指すものである。

本構想では、表1のプロジェクトを実施していく。

以下に下水道に関連する主要なプロジェクトを記載する。

(1) 下水汚泥の利活用の拡大

これまで、中部下水処理場では、下水汚泥を嫌気性

消化と脱水を行い、堆肥の原料や、セメントの原料として有効利用してきた。

温室効果ガス削減と汚泥の有効利用を図るため、平成25年1月より、嫌気性消化したときに発生する消化ガス（メタンガス）を回収し、消化ガスによる発電を開始した。

現在、利活用されていない未利用バイオマスとして公園などで発生する刈草や飲料会社で排出されるコーヒー粕などを下水汚泥と混合することにより、より多くの消化ガスを発生させて発電量の増加が期待できる。

このため、平成24年度から、下水汚泥と刈草による汚泥消化について長岡技術科学大学と共同研究を行い、平成25年度には、コーヒー粕等も調達し、より多くの消化ガスを回収する方策（混合割合、破碎方法等）について実証実験を進めている。

実証実験により得られた知見から、実用化を検討したうえで、平成26年度に法手続き、実施設計、平成27年度より着手し、平成28年度には、事業を開始する予定である。（図3参照）

(2) し尿汚泥の利活用の拡大

現在、農業集落排水事業施設で発生した脱水汚泥（し尿汚泥）は、乾燥し肥料化を行うことで、周辺畑地等へのリサイクルを図っている。

しかし、周辺農家の肥料利用量が伸びず、それ以外の汚泥は焼却等の処分を行っている。

このし尿の汚泥も嫌気性消化により、消化ガスを発

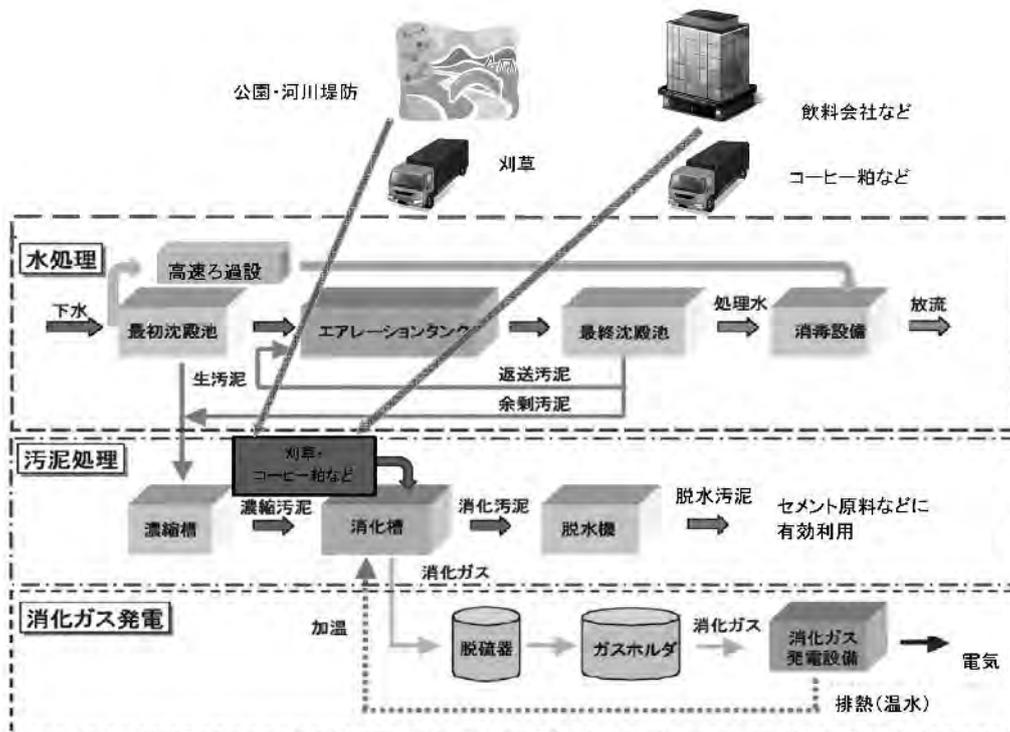


図3 刈草等の混合消化フロー

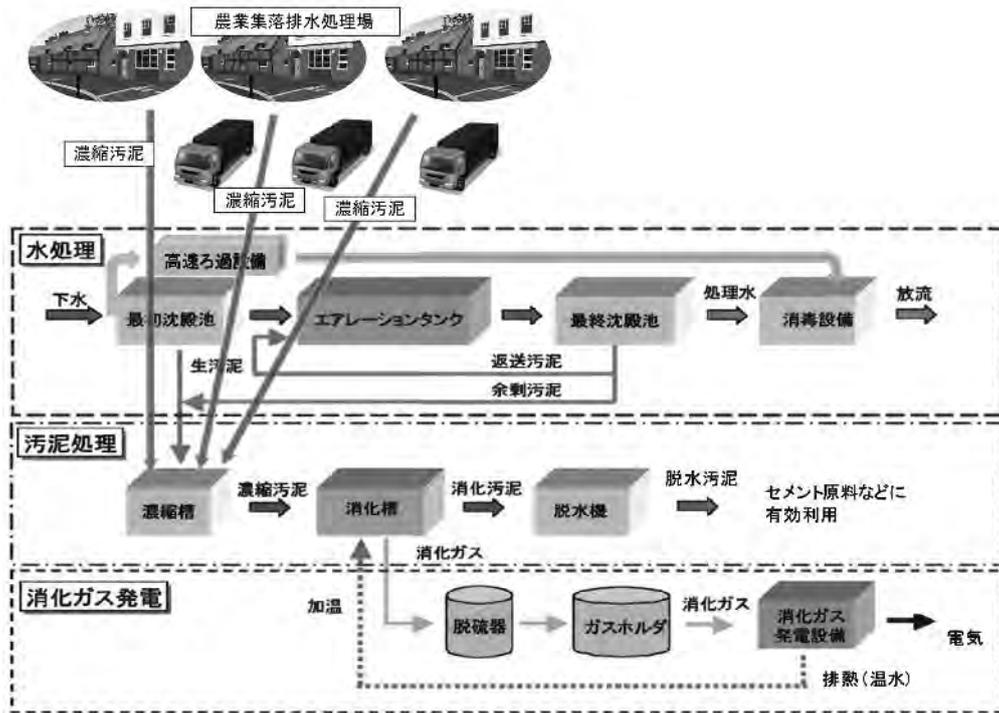


図4 し尿汚泥の利活用フロー

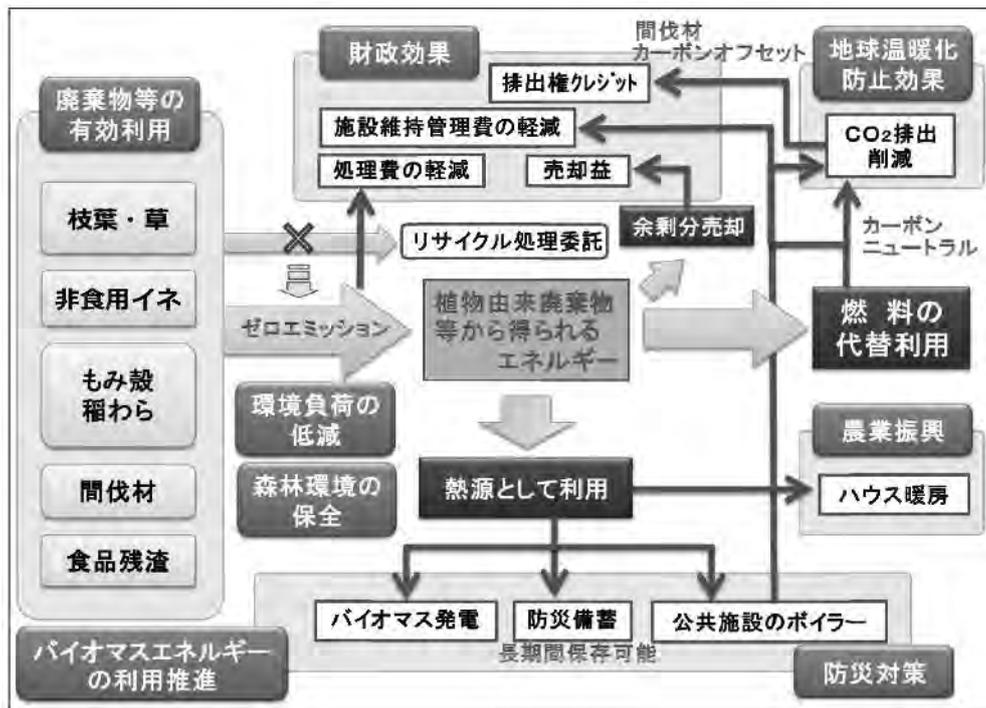


図5 豊富な植物由来廃棄物等の活用イメージ

生させることができることから、中部下水処理場へ濃縮汚泥を搬送し、消化槽へ投入して下水汚泥と混合をすることにより、さらなる消化ガスの発生量増加が可能となる。(図4参照)

平成25年度より法手続きを開始し、平成27年度には、事業を開始する予定である。

(3) 植物由来廃棄物等の徹底活用

「BDF (バイオディーゼル燃料) 活用事業の促進」

本市の特徴である広大な田園から排出される稲わら・もみ殻・剪定枝、里山の間伐材、都市から排出される食品廃棄物など、植物由来のバイオマスのうち利用が進まず、現在廃棄物として捨てられているものや

非食用イネを燃料や熱源として徹底活用する事業（図5参照）のなかで、家庭や学校給食から排出される廃食用油を回収し、軽油の代替燃料BDFに精製を行い公用車に利用しているが、ディーゼル公用車の台数も減り、利用も徐々に減少しているため、下水処理場、ポンプ場などで利用しているディーゼルエンジンに、A重油とBDFを混合し、利用を拡大していく。

平成25年度は、関係機関と調整を図りながら実証実験を行い利用の可能性を調査し、平成26年度より本格的な利用開始を目指す。

4. 効果

政令指定都市において、都市部と農村部とが連携して、バイオマスを利活用し低炭素型都市モデルを構築することは、国内でも他に例がなく、また、アジアの稲作文化圏においても都市化が進んでおり、「田園型環境都市」の先進事例としての波及効果は大きいと考える。

主に以下の効果が期待される。

(1) 温室効果ガスの排出量削減

今回のバイオマス産業都市構想で目標とする温室効果ガス削減量は、161,944 t-CO₂/年である。

(2) 災害時のエネルギー確保

汚泥消化により発生する、消化ガスを活用した発電による電力や、BDFを下水道施設で利用することにより、災害時のエネルギー確保をより確実なもの

し、市民の安全確保へと結びつくものと考えている。

(3) 地域内資源循環による資源の有効活用

地域内の汚泥、植物由来廃棄物等の未利用バイオマスを活用したエネルギーを確保することにより、これまで廃棄していた資源の有効活用が図られ、地域内資源の循環を促進することができる。

5. 終わりに

今回のバイオマス産業都市構想を実現するため、今まで以上に多くの組織と連携して実施することにより、1組織では、解決が困難な事項の解決や、多面的に物事を捉えることより、今までにはない新たな考えや発想が生まれ、業務がより効率的に進めることができると考えている。

バイオマス産業都市構想は、7府省より支援をいただいているため、当初、特例的に規制が緩和されることを期待していた。

しかし、現段階では、現行の法律、規制にのっとり構想を実施していくこととなっており、手続きのための相当な労力、コスト、時間が必要になっている。

今回の構想を実施して得られた様々な知見をもとに、規制緩和や手続きの簡素化などが実現できるように国に働きかけ、より多くの団体が、未利用バイオマスの利活用に取り組みやすくなるように努めていきたいと考えている。

特集：下水汚泥と他バイオマスとの協働事例

解 説

乾式メタン発酵を採用した 「瀬波バイオマスエネルギープラントの概要」 ～地域資源の「再生」と「活用」～

大森工業株式会社 新事業開発部

次長 神 田 眞 孝

キーワード：都市近郊、ビジネスモデル、FIT

1. はじめに

2011年3月に発生した東日本大震災以降、日本国内における再生可能エネルギーの利活用がクローズアップされている。住宅や工場、倉庫の屋根に太陽光発電のソーラーパネルが目立ってきている状況から個人や事業所での設備導入の普及・推進が伺える。

従来は「設備費が高額」「思ったほど発電しない」「メンテナンス費用や撤収費用がかかる」という実情から、最終的には設備の耐用年数以内で投資に見合う収支バランスが取れないケースが多く、これが再生可能エネルギーが日本国内で普及しなかった大きな要因の一つだと言える。

この状況を改善するため、政府は2012年7月1日から「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法」にもとづく、「再生可能エネルギーの固定価格買取制度（以下、買取制度）」を実施した。

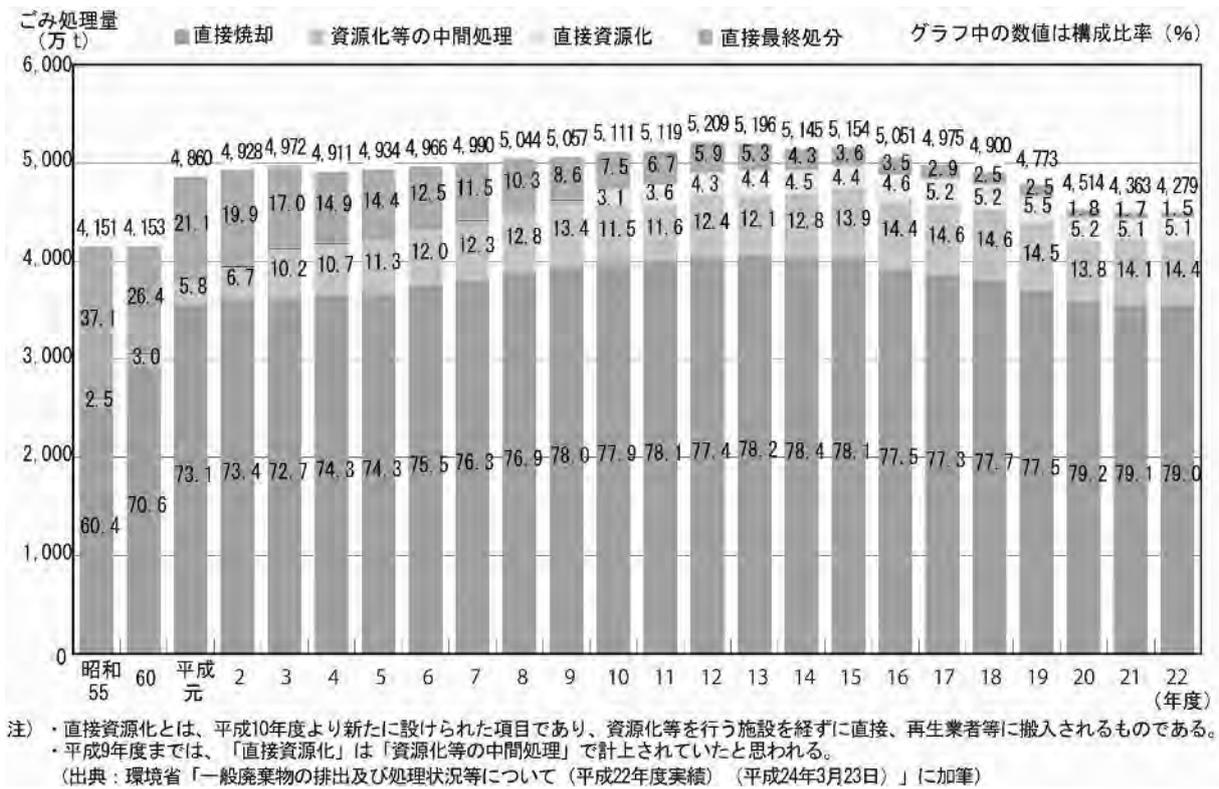
この買取制度により、太陽光発電や風力発電をはじめ、バイオマス発電や地熱発電など今まであまり注目されていなかった再生可能エネルギーについても、幅広く買取対象になり、買取価格も上がった。これによ

り再生可能エネルギーによる「売電事業」が「採算性の取れるビジネス」として見通しがついたことになる。

2. 日本におけるバイオマスエネルギーの可能性

現在、日本における一般廃棄物の年間排出量は、平成12年度の5,483万[t]をピークに減少傾向にある。（図-1）

しかし、そのうち資源化しているのは、平成22年度で全体の20[%]で1,000万[t]（生ごみ以外を含む）に満たない量である。環境省の統計では、国民1人当たりの生ごみの排出量は250[g/日]と設定されていることから、生ごみのみで年間約3,000万[t]が排出されていることになる。つまり少なく見積っても、生ごみの2/3以上の資源をまだ活用していないことになる。さらに一般廃棄物のうち、直接焼却率が常に70[%]以上占めており、図-1の統計データを見ても分かるようにその率が一向に変化が見られない状況である。この状況から生ごみによるメタン発酵にせよ、その他の一般廃棄物による固形燃料化にせよ、資源はまだ豊富にあり、『再生』が十分に可能ということである。



図一 1 ごみ処理方法の推移

3. バイオマスエネルギーの現状と課題、問題点

日本におけるメタン発酵技術の歴史は長く、下水処理場から発生する汚泥を対象とした嫌気性消化にはじまる。しかし、日本での嫌気性消化の施設は2010年度で300ヶ所以上存在するが、汚泥処理としての普及率は西欧諸国の7割程度¹⁾と²⁾と言われ、先進国としては一歩遅れを取っている。近年では、メタン発酵のみならず「木質バイオマス」から水素を抽出し、燃料電池のエネルギー源にする技術なども大手メーカーの手によって盛んに研究が行われているが、全国的に普及が進んでいないのが現状である。

これは非常に厳しい言い方かもしれないが、大半の施設において収支バランスがまだ取れない、つまり「やれば赤字になる」という商用ベースに乗れない状況にある。

その要因として、過去のバイオマス関連事業で共通して抱える課題、問題点として以下のものが挙げられる。

- ①地域資源の収集運搬の経費が予想以上に高くなる。
- ②商用ベースの高いエネルギー変換効率の設備がない。

- ③安定したエネルギー供給が出来ない。
- ④設備投資とメンテナンス費用が多額である。
- ⑤設備が大掛かりで大規模な土地取得費が必要である。
- ⑥予想した収益に満たない。(堆肥等が売れない。)

どれも「事前に分かることでは？」と思うような項目だが、「安定したエネルギー供給」「予定収益の確保」という前提条件が崩れて発生する問題点であると考えられる。

4. メタン発酵によるビジネスモデルの実現

では前段の問題点を改善し、メタン発酵エネルギーを活用して商業ベースで事業に成功させた事例を紹介する。

新潟県村上市瀬波温泉地域で「株式会社開成」が実施した雪国村上で南国果樹を生産する「瀬波バイオマスエネルギー事業」である。この事業は地域資源と地域産業を上手く直結させた「地域循環型環境エネルギーシステム」である。従来、プラント施設は郊外で設置されるケースが大半であったが、この事業では中心市街地に隣接し、かつ瀬波温泉地域内に設置されている。まさに都市近郊型であり、「国内初の民間事業所

によるメタン発酵によるビジネスモデル」と政府からも高く評価されている。

仕組みとしては、地元の瀬波温泉地域から排出される「生ごみ（食品残渣）」「下水汚泥」を地域資源として受け入れ、バイオガスを創出し、バイオガス発電を行い、「熱源は温室ハウス」「電気は売電」と使い分け、最終的に排出される「残渣は堆肥」「消化液は液肥」として自社所有の田畑や温室ハウスに投入している（図-2参照）。そして収穫された農産物は市場へ出荷され、それがまた食品残渣として地域資源となる。まさに一切の無駄がない「資源のリサイクル＝地域循環型環境エネルギーシステム」が構築されており、今まで「廃棄物」でしかなかった「地域資源」を見事に「活用」している。さらに「再生可能エネルギー固定価格買取制度（FIT）メタン発酵発電施設の国内第1号」として認定を受けており、まさにビジネスモデルとしてその存在を大きくアピールしている。

従来は「メタン発酵の事業は採算性が取れない」と言われ敬遠されてきたが、この事業は課題・問題点をどのように改善したのか。私の気が付いたポイントを以下にまとめてみた。

■瀬波バイオマスエネルギー事業における改善ポイント

- ①資源の収集運搬の経費が高くなる。
⇒地域資源（生ごみ、下水汚泥）が事業施設の半径2km以内にあり、都市近郊に設備を設置したことから地域資源の収集運搬コストを大幅に圧縮した。
- ②商用ベースの高いエネルギー変換効率の設備がない。
- ③安定したエネルギー供給が出来ない。
⇒②、③に対し、EU諸国で実績のあるドイツR社製の乾式バイオマスプラントを日本政府が実証実験を行い、エネルギー変換効率が高く、安定したエネルギー供給が可能なバイオマスプラントとして確認が取れ、国内販売が可能になった。
- ④設備投資とメンテナンス費用が多額である。
⇒簡素化されたプラントのため、設備投資・メンテナンス費ともに圧縮された。（海外、国内実証機ともに発酵トラブルの事例なし。）
- ⑤設備が大掛かりで大規模な土地が必要である。
⇒乾式メタン発酵のため、投入量が同規模の湿式メタン発酵施設の1/3程度の敷地面積があれば設置可能である。そのため大規模な土地は必要とせず、土地取得費や賃貸料が大幅に軽減される。

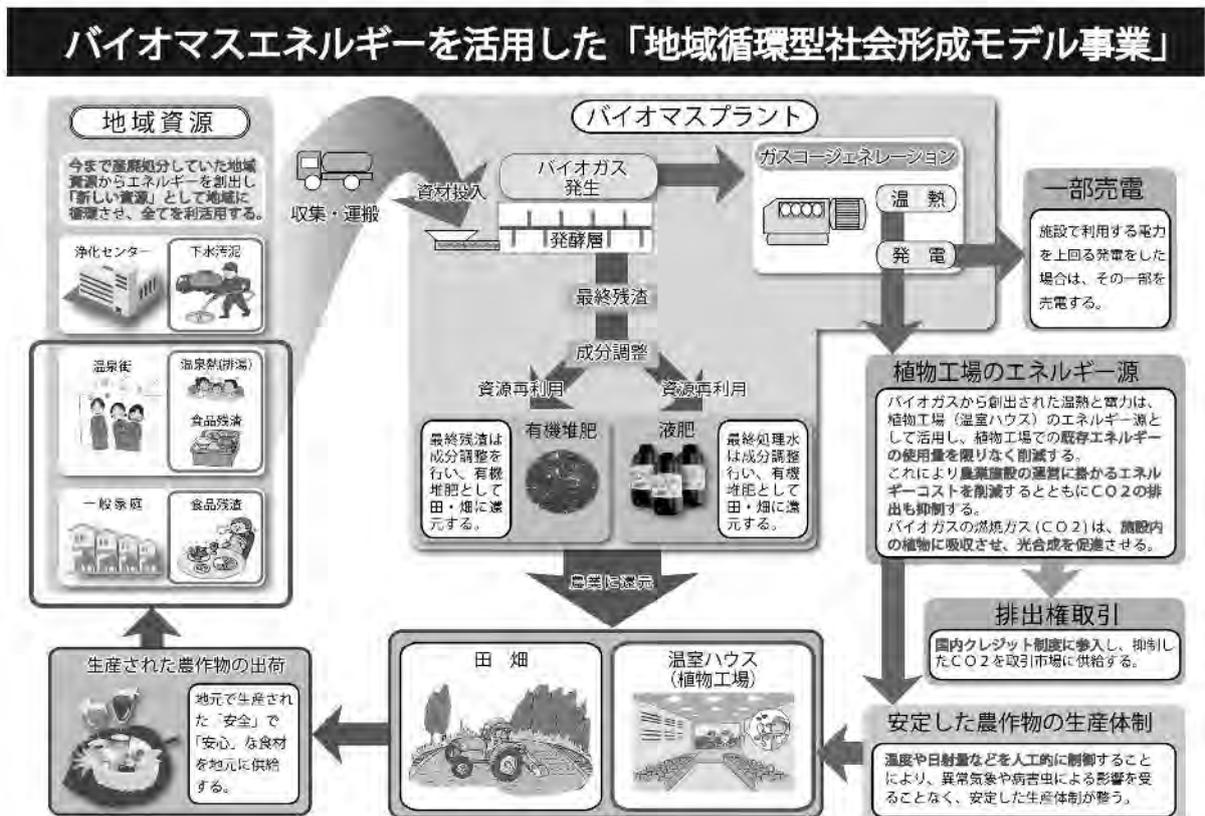


図-2 瀬波バイオマスエネルギープラント事業フロー：資料「株式会社開成」

⑥思ったより収益が上がらない。(堆肥等が売れない。)

⇒当初から堆肥等は自社所有の田畑に散布するため販売収益を見込まず、従来の燃料費(重油代)を生産される農産物の売上げのみで収支バランスを取っていた。そのため地域資源の受け入れ費用や売電収益が副産物的収益となり返済負担を大きく軽減した。また①の収集運搬コストの大幅な削減が大きく寄与した。

以上のような改善ポイントが事業を成功させたと考えている。また、この中でもっとも効果の大きいポイントは、「プラント本体が安定して稼動していること」と「都市近郊にプラントを設置できたこと」この2つの改善が、その他の課題、問題点を改善できた大きな要因である。

バイオマスプラントを都市近郊に設置した効果は非常に大きく、従来の課題、問題点を改善しただけではなく、今後のスマートシティ構想や都市再生事業において幅広い活用方法を示したと言える。

まさに「バイオマスエネルギーは都市近郊型エネルギー」と言うべき事例である。

5. 当該施設で採用したバイオマスプラント

ドイツ・R社製の乾式メタン発酵バイオマスプラントは、既にドイツ国内だけに留まらず、世界で100基以上整備されているプラントである。

長年体験してきた様々なトラブルから、トラブル回避ノウハウを独自に学んできた経緯があり、その経験からどのような局面であったとしてもガスを発生させる技術を持ち合わせている。そのような職人気質のプラントだからこそ、世界中のユーザから認められているのだと思う。

そんな世界のユーザが認めたプラントのスペックを以下に紹介する。



写真1 「瀬波バイオマスエネルギー施設」

■当該乾式メタン発酵プラントの基本性能 (5トン/日級・生ごみ投入)

- ①ガス発生量：約650 [Nm³/日]
- ②プラント稼動必要電力：30 [kwh/日]
- ③メタン発酵効率：80%
- ④発電量：約1,300 [kwh/日]
⇒年間余剰電力：420,000 [kwh/年]
- ⑤年間売電収益：1,650万円
- ⑥余剰排熱量：約5,397 [MJ/日]
⇒年間余剰廃熱：約1,781 [GJ/年]
- ⑦最終残渣の発生量：約0.5 [t/日]
⇒年間最終残渣排出量：165 [t/年]
- ⑧消化液の発生量：約4 [t/日]
⇒年間最終排出量：1,320 [t/年]

また性能とは異なるが、このプラントの使い勝手の良さとして以下の点が挙げられる。

■当該バイオマスプラントの特性

- ①実績(経験値)による安定した発酵(メタンガスの発生)
⇒安定して稼動し、バイオガスを安定供給するため、ガス発電を行い易い。
- ②密閉された発酵槽のため臭気が外部に漏れ難い。
⇒密閉された発酵槽を更に建屋で覆い被せるため、外部に臭気が漏れ難い。
- ③乾式メタン発酵による簡素化したコンパクトな設備。
⇒設置面積が小さく、土地代が軽減される。
外観も一般的なコンテナ倉庫のように見え、街中に建設しても違和感がない。
- ④簡素化による設備投資およびランニング・メンテナンスコストの削減。
⇒民間企業や個人事業主でも導入可能な費用。
5トン級で約2億5千万円(発電機付)従来の同型機の約半額である。また補助金対象設備である。(平成25年度現在)すべての導入先における発酵トラブルは1件もなく、メンテナンスコストが抑制されている。
- ⑤簡素化したシステムによる操作性の良さ。
⇒ドイツでは専門家ではなく農家などの導入者が1人で運営・稼動させている。

6. 今後の新しい課題

瀬波バイオマスプラントの事業の成功を踏まえ、以下のような新しい課題も見つかった。

1つ目は、中間産廃処理場としての位置付けである。

今回のプラントは法規上「農業用メタン醗酵設備」であるため、「廃棄物の処理及び清掃に関する法律（以下、廃掃法）」に規制されるものではないが、新潟県における環境関連の条例に「産業廃棄物（下水汚泥）を扱うもの（施設及び設備）」については環境アセスメント調査を行うものとする」と設定されており、「中間産廃処理施設」とほぼ同じ扱いになる。この環境アセスメント調査には「春と夏の臭気調査の実施」があり、申請する時期が夏を過ぎていると1年半待たなければならない状況になることから、大きなタイムロスとなる。この点について環境省では「法的に環境アセスメント調査の必要はないが、最終的な判断は各都道府県に任せている。」とのことで、今後の規制緩和が期待される。

2つ目は地域資源の収集運搬についてである。

瀬波温泉地域での収集運搬距離は、比較的短距離ではあるが、地元産廃業者にとっては大きな収入源である。そのためコストの面で折り合いがつかず、最終的に株式会社開成が独自で産業廃棄物収集運搬の「業の許可」を取得し、自社で収集運搬を行っている。

この「業の許可」についても法規的なさまざまな

ハードルがあり、簡単には取得できない環境になっている。このことから「生ごみ」「下水汚泥」は「産廃ではなく地域資源」として位置付けていくよう検討していかないと、地域資源を活用した事業は思うように普及していかないと思われる。

最後に3つ目として「環育」が挙げられる。

誰しも自分の住んでいる地域に「生ごみ」や「下水汚泥」を運び込まれると、「悪臭がする」と思い込み、「設置反対」と言われてしまう。確かに生ごみや下水汚泥を積んだ車両が通っただけで「悪臭」が漂うこともある。

しかし「その生ごみや下水汚泥は誰が出しているのか」を良く考えてほしい。今後、環境税は企業だけでなく国民一人ひとりに課税されていくことになることが予測される。当然、ごみの処理方法や環境にどれだけ貢献しているのかが問われるようになる。その際に「自分が出したものではない」と言いだしたら、感情論としては理解できるものの環境は一向に良くなることはない。

そのようなことから地域における「環境教育（環育）」をどのように進めていくのかも大事なポイントとなってくる。瀬波温泉地域で成功した影の要因として長年、村上市による地元有志との事業検討、瀬波温泉組合の生ごみ分別などの地道な取り組みが実った結果である。

ちなみに村上市にとって、この事業は平成13年度に新エネルギービジョンを策定してから、足掛け10年以上にも及ぶものであった。



廃棄物を地域資源として「再生」「利用」するバイオマスエネルギー

7. 最後に

そして前述に出てはこないが、この事業がここまで成功した隠れたポイントとして、以下の点が挙げられる。

- ①地元の村上市が「エネルギー政策」に地道に取り組み、政府の補助制度が受け易い環境にあったこと。
- ②瀬波温泉組合が協力し合い「異物混入ゼロの生ごみ」を提供してくれる基盤があったこと。
- ③株式会社開成が長年かけて品種改良したパッションフルーツの苗を生み出したこと。
- ④安定したエネルギーを供給する弊社のプラントが国内で販売できるようになったこと。
- ⑤上記4つのポイントを把握し、いち早く「地元産業と地域資源」を組み合わせ、事業の可能性を見出したコーディネータがいたこと。

上記の内容は「どこでもあることではないか」と思われる方々もいることとは思うが、実際にどれかひと

つでも欠けていたら、事業は成功しなかったと言っても過言ではないと考えている。

地元関係者の長年の努力、地元企業の熱意、的確なアドバイスが出せるコーディネータ、そして事業を可能にするアイテムの供給。これらがすべて揃ったからこそ、この事業は「国内初の民間事業所によるメタン発酵によるビジネスモデル」として高く評価されているのである。

そして、廃棄物を地域資源として「再生」し「活用」する「再生可能エネルギーのビジネスモデル」。

それが「バイオマスエネルギー事業」である

最後にこの場を借りて、本事業に携わったすべての方々に厚く御礼を申し上げる。

参考文献

- 1) 帆秋 利洋・天石 文・小嶋 令一・羽川 富夫・大原 孝彦：メタン発酵の研究開発の現状と課題、大成建設技術センター報第38号（2005）
- 2) 野池 達也：東北大学名誉教授：研究展望 地球環境の保全に対する謙気性消化法の重要性、土木学会論文集 No.657/VII-16、1-12、2000.8

研究紹介

下水処理施設で稼働する バイオガスコージェネレーション システムの最適構成法

北見工業大学 工学部 機械工学科 教授 山田 貴延

キーワード：バイオマス、コージェネレーション、消化ガス発電、下水処理、メタン発酵、排熱利用

1. はじめに

2011年突然の大災害に見舞われた我が国にとって、効率高くエネルギーを生み出ししかも永続的にこれを利用していくことは、将来を担う次の世代に残すべき大

きな責務の1つである。そんな中、世界の中で極めて限られたエネルギー事情を抱えた我が国では、再生可能エネルギーとしてのバイオマスを効率高く利用する必要性に迫られている。2010年公表されたバイオマス活用推進基本計画⁽¹⁾には、図1のとおり、各種別年間発生量では廃棄物系および未利用系バイオマスの年間発

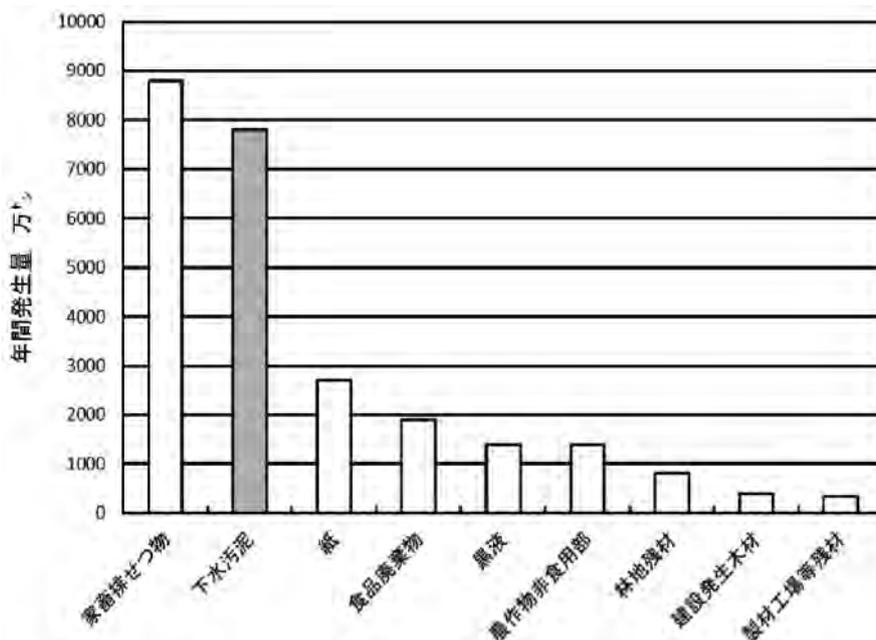


図1 バイオマス活用推進基本計画で示されている各種別年間発生量 (2010年)⁽¹⁾

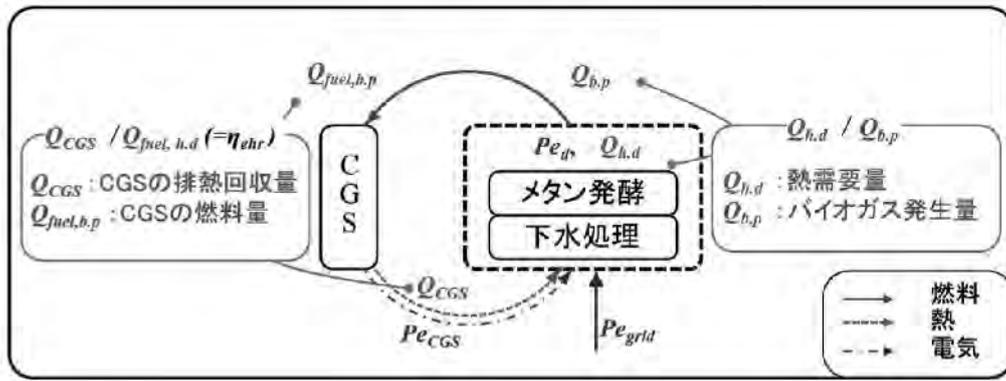


図2 下水処理施設での主なエネルギーの流れ

生量の内、家畜排せつ物について下水汚泥が7800万トンと多くを占めていることが示されている。このとき、大量の汚泥を処理する下水処理施設にあっては、一般にメタン発酵と管理棟の暖房・給湯の熱量および下水を処理するために多くの所要電力の確保が重要となる。中でも国内で冬期間の下水汚泥消化温度を中温または高温条件で維持しなければならない寒冷地においては、とくに電力の確保だけでなく消化槽加温のためにより多くの熱エネルギーを割かねばならない気温条件等への配慮⁽²⁾⁽³⁾が必要になってくる。

そこで本研究では、稼働システムの中でも投入エネルギー量に対して排熱量の割合が高くなるマイクロガスタービン (MGT) を主動力源とする分散配置型コージェネレーションシステム (CGS) に注目し、下水処理施設で発生したバイオガス全量を余剰なくかつ効率高く利用できるCGS構成法の要件について検討した。

2. 最適なCGS稼働要件の考え方

図2に、下水処理施設でCGSを導入した場合の主なエネルギーの流れを示す。下水処理施設では、処理プ

ロセスの中でポンプやコンプレッサ等種々の機器が使用され多くの電力消費を伴うことから、一般に熱需要より電力需要を満たす方により多くの期待がかけられる。それとともに、メタン発酵過程に必要な消化タンクへの加温熱量は、所要の熱エネルギー全体の中で多くを占め、寒冷地域での適用ほど一層重要となる⁽⁴⁾⁽⁵⁾。いま仮に、CGSでバイオガス全量が消費でき、そこで得られた熱量が施設の熱需要全量分を満たすことが可能となれば、外部からのエネルギーの使用を最小限にする最適なシステム構成が得られるものと思われる。そこで、このときの最適条件について客観的な妥当性を数値で示すため、本研究では、施設内でコージェネレーションを導入する際の特性値と見なせる年間平均熱需要量 $Q_{h,d}$ と年間平均バイオガス発生量 (熱量換算値) $Q_{b,p}$ の比、 $Q_{h,d}/Q_{b,p}$ およびCGSの排熱性能を表しうる排熱回収効率 η_{ehr} との間の大小関係に着目し、効率高く施設内で発生したバイオガス全量を利用できるCGSの構成条件について検討した。すなわち、施設で発生するバイオガス全量が熱エネルギーに変換される際に余剰なく利用できる条件を見極めるとともに、さらに、これ以外のケースにあってはどのようにシステム構築す

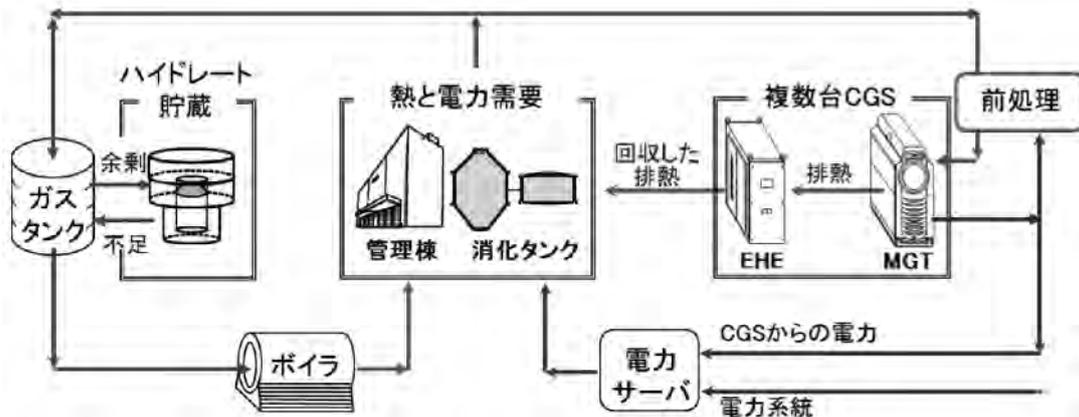


図3 解析を行う際の下水処理施設における構成機器の配置

表1 マイクロガスタービンの基本性能仕様

定格回転数	96,000 rpm
発電出力	28±2 kW
発電効率	26±2 %

表2 排熱回収機の基本性能仕様

熱交換形式	管胴形熱交換機
温度交換効率	80 %
温水流入温度	80~90 °C
排熱回収量	55 kW
排熱回収効率	0.48

表3 消化タンクの伝熱仕様 (2種)

全表面積	1115 , 816 m ²
総括熱伝達率	2.47 , 2.30 W/m ² K
発酵温度条件	37 °C

表4 施設管理棟の伝熱仕様

全表面積	1998 m ²
総括熱伝達率	4.11 W/m ² K

るべきかを探った。

3. 下水処理施設内のシステム概要と解析方法

解析対象とした下水処理施設内のコージェネレーションシステムの概要について図3に示す。また、その中心的役割を担うマイクロガスタービン発電機 (MGT) および排熱回収機 (EHE) の各基本性能を表1および表2に示す。このときのそれぞれの稼働台数は、発生したバイオガス量に応じて複数台の台数制御で変化させるとした。なお、解析では、都市人口10万人程度の地域から下水処理を施して、月平均14万m³程度のバイオガスが発生する実際例を基に計算を進めた。この基準によると、施設内の主な熱需要先は、消化タンク内汚泥の加温および管理棟の暖房・給湯であり、これらを補うために発生バイオガスをそのままCGSに供給すると仮定した。それぞれの基本的な伝熱計算初期値を表3および表4に示す。実際には、過去5年分のMGT-CGS実測データを用いて、各所の最適施設温度と外気温度との温度差から熱需要量を算出した。ただし、想定したCGSのみで熱需要全量を満たせない場合には、加温用ボイラの利用も想定した。さらに、バイオガス生成量に過不足が生じる場合には、本解析ではシステム内にメタンハイドレート (MH) 貯蔵設備の導入を新規に想定し、夏期の余剰バイオガスを一時的にMH化して貯蔵し、バイオガスが不足する冬期にこれを解離再生して利用できるものとした⁽²⁾⁽³⁾。CGSから得られる電力によっては、基本的に施設内の電力需要の一部を補う系統連系によって電力需要量を低減させるとした。 $Q_{h,d}/Q_{b,p}$ 値が異なる施設の特性を得るために、解析モデルには年間平均気温の異なる地域で利用した場合を想定し、各地域での施設の熱需要を算出してみた。ここで1つの目安として、 $Q_{h,d}/Q_{b,p} > \eta_{ehr}$ の場合には北海道東部の寒冷地域での利用を、また

$Q_{h,d}/Q_{b,p} < \eta_{ehr}$ の場合にはおよそ東京以南の温暖地域での利用を想定した。

4. 解析結果

4.1 各条件で異なる処理施設でのエネルギーバランス

本解析においては、 $Q_{h,d}/Q_{b,p}$ 値について使用した排熱回収機の排熱回収効率として実測データから算出した $\eta_{ehr} = 0.48$ を基準とする $Q_{h,d}/Q_{b,p} = \eta_{ehr}$ の場合のほか、 $Q_{h,d}/Q_{b,p} < \eta_{ehr}$ の場合では0.20および0.35の条件に、そして $Q_{h,d}/Q_{b,p} > \eta_{ehr}$ の場合では0.60の条件に値を変化させ、各場合について施設内でのエネルギー入出力のバランスを調べた。

図4は、バイオガス発生熱量に対する熱需要がちょうど排熱回収効率に等しくなる場合、すなわち $Q_{h,d}/Q_{b,p} (=0.48) = \eta_{ehr}$ の場合のエネルギーバランス結果である。夏期および冬期の結果をそれぞれ図4(a)および図4(b)に示す。図より、夏期ではバイオガスの大部分はCGSで消費され熱需要全量を賄えることがわかる。また、残りのバイオガスはMH貯蔵され、冬期に持ち越して結果的に通年で過不足なく利用できることがわかる。

一方で、図4(b)の冬期では貯蔵した分を含めて、バイオガス全量をCGSにより消費されることで熱需要全量に充当できることが分かる。したがって、夏期の余剰バイオガスをそのまま貯蔵し持ち越して冬期に改めて利用するならば、年間を通してバランスよくバイオガス全量を有効利用できることが分かる。また、通年で一連のエネルギー循環経路中にボイラ稼働による熱供給を一切要しないことが特徴である。

つぎに、 $Q_{h,d}/Q_{b,p}$ 値が排熱回収効率 $\eta_{ehr} = 0.48$ を下回る $Q_{h,d}/Q_{b,p} = 0.20, 0.35$ の場合について解析を進めたところ、夏期・冬期にかかわらず、いずれの場合であっても加温用ボイラやハイドレート貯蔵の各機器が不要

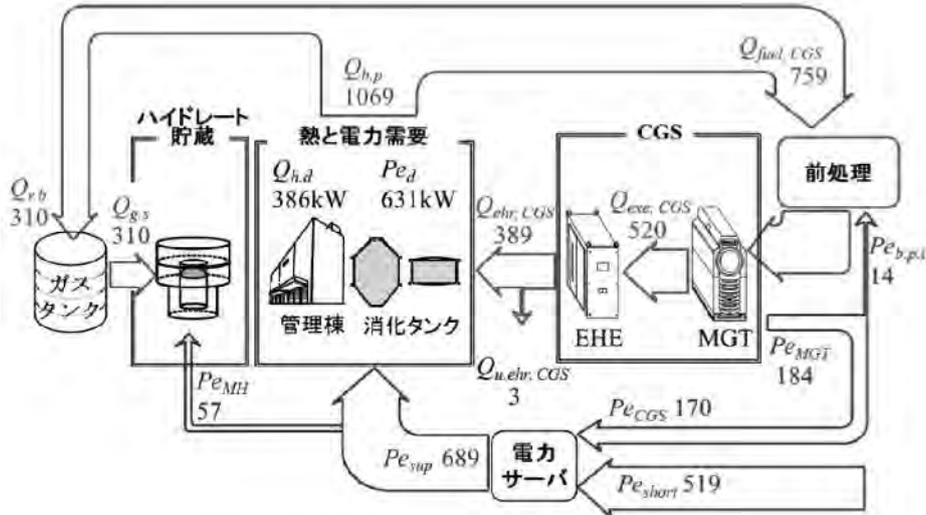


図 4 (a) $Q_{h,d}/Q_{b,p} (=0.48) = \eta_{ehr}$ で夏期を想定した場合

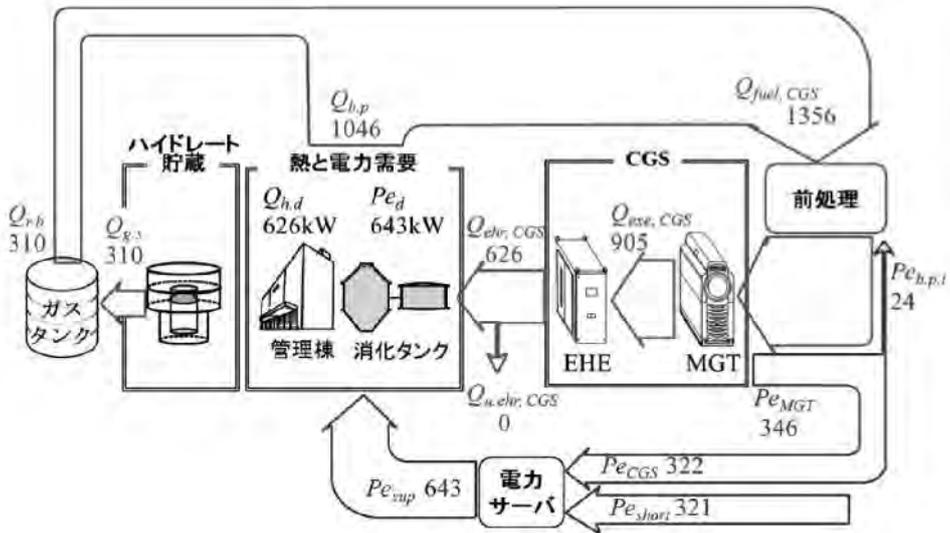


図 4 (b) $Q_{h,d}/Q_{b,p} (=0.48) = \eta_{ehr}$ で冬期を想定した場合

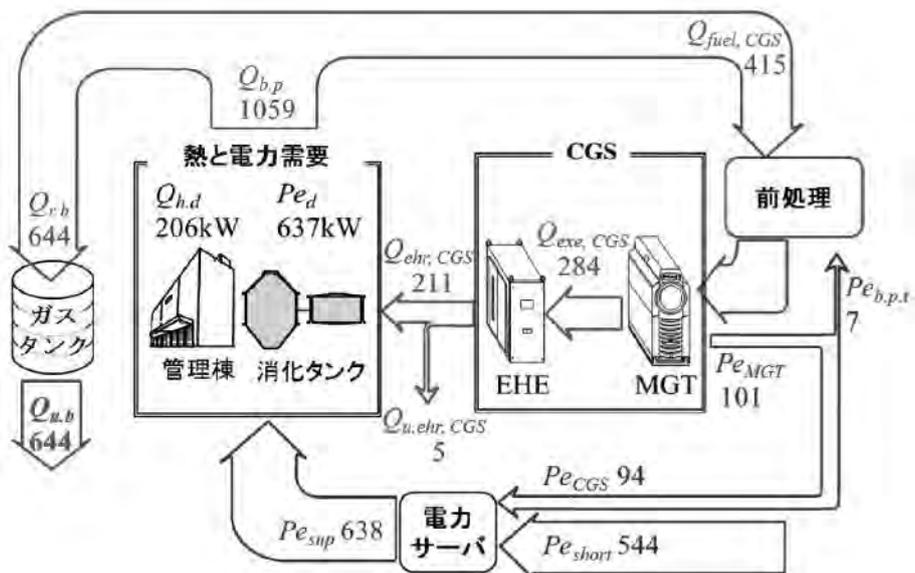


図 5 $Q_{h,d}/Q_{b,p} (=0.20) < \eta_{ehr}$ で通年を想定した場合

であることが明らかとなった。そこで、本稿では $Q_{h,d}/Q_{b,p} = 0.20$ の場合を例に挙げて説明することにする。図5にその結果を示す。図中の値は、夏期・冬期を通じての年間平均値として結果を示しており、発生したバイオガスで熱需要全量を賄えることが分かる。しかし、これと引き替えに、むしろ施設内では使い切れないバイオガスが生じることとなり、バイオガス発生量1059kWの61%にも達する量644kWは未利用のまま保持し続けるか外部へと排出されることになる。つまり、この場合、バイオガス全量は施設内の需要量の範囲では消費し切れないため、この余剰分の活用法を別に考える必要がある。

その一方で、 $Q_{h,d}/Q_{b,p}$ 値が η_{ehr} を上回る条件ではその結果は大きく異なる。図6は、地域的には極寒冷地で

の運用に相当する $Q_{h,d}/Q_{b,p} (=0.60) > \eta_{ehr}$ の条件におけるエネルギーバランスの解析結果の一例であり、夏期・冬期それぞれの場合の結果を図6(a) および図6(b) に示す。これらの場合には施設全体での熱需要が大きいため、夏期および冬期においてもCGSと共にボイラを同時稼働する必要がある。さらに、冬期での熱需要がかなり大きくなるため、夏期のバイオガスの余剰分は単純焼却することなく、可能な限り貯蔵して冬期まで持ち越してから再利用する必要がある。したがって、この条件の場合にあっては、極力、バイオガス利用上の無駄を省きその通年での平準化使用を実現するため、効率の良いガス貯蔵手段をシステム内に組み込む必要があり、ハイドレート化貯蔵法もその1つと考えられる。

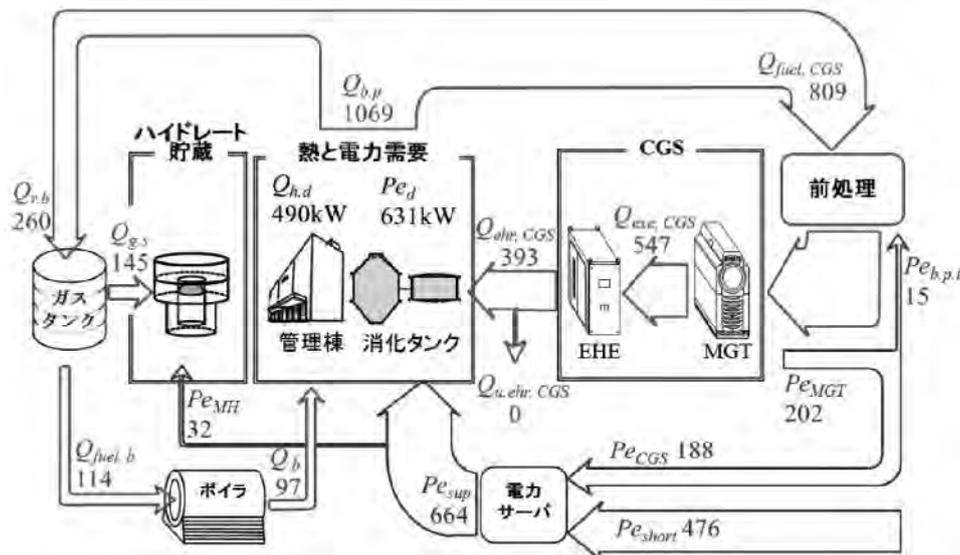


図6(a) $Q_{h,d}/Q_{b,p} (=0.60) > \eta_{ehr}$ で夏期を想定した場合

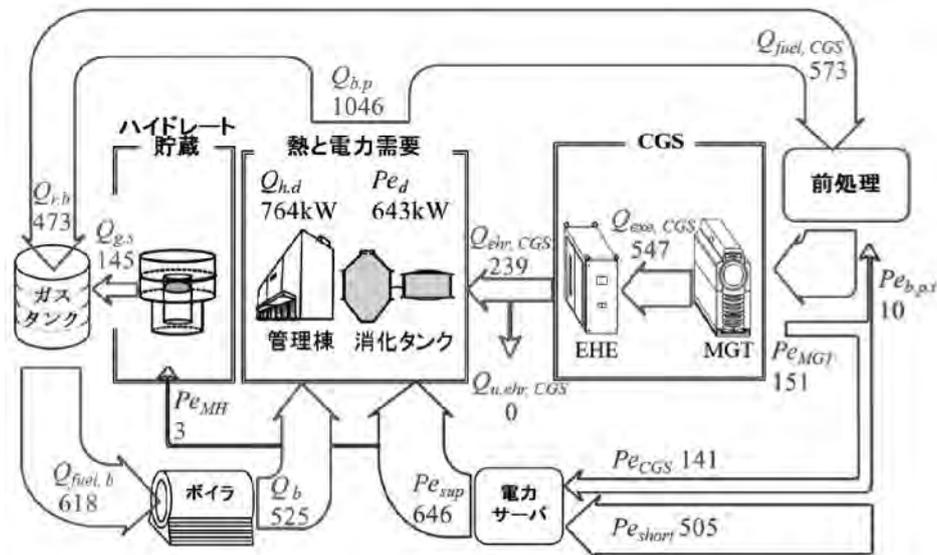


図6(b) $Q_{h,d}/Q_{b,p} (=0.60) > \eta_{ehr}$ で冬期を想定した場合

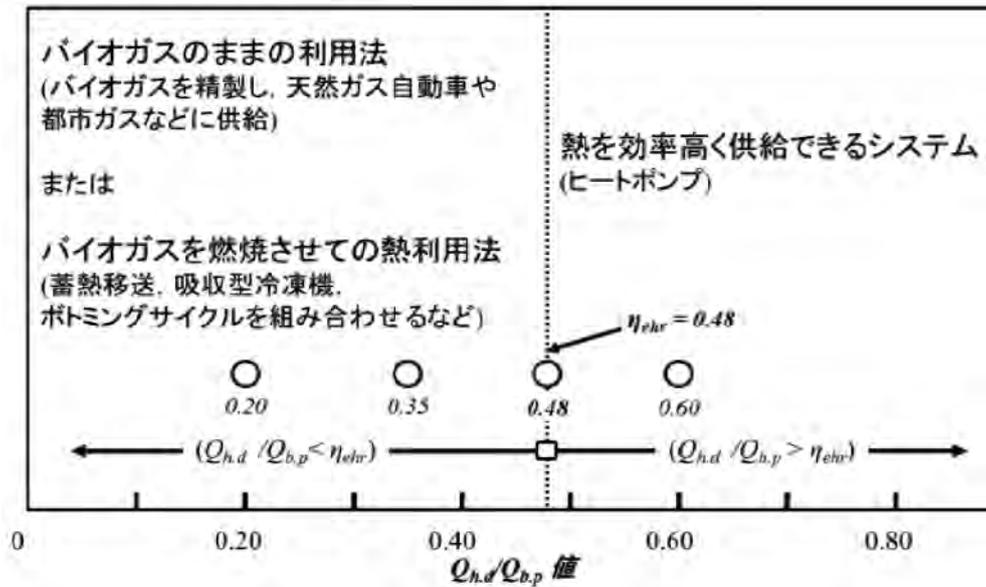


図7 $Q_{h,d}/Q_{b,p}$ 値によって分類できるシステムの最適利用法 (○印は今回計算を行った条件)

4・2 $Q_{h,d}/Q_{b,p}$ 値に対応する理想的なシステム構成と対応機器の選定

本解析で導入した $Q_{h,d}/Q_{b,p}$ 値が、コジェネレーションシステム等を中心として構成したシステムからの排熱回収効率 η_{ehr} よりも大きくなる $Q_{h,d}/Q_{b,p} > \eta_{ehr}$ の場合には、大規模な下水処理施設の範囲に限定されるかもしれないが、たとえば原動機としてMGTの代わりに熱電比が一層高くなるボイラ+蒸気タービンでの使用等が可能であれば、より高いエネルギー利用効果が期待できる。一方、 $Q_{h,d}/Q_{b,p} < \eta_{ehr}$ の場合、CGSの原動機にMGTよりも一般に熱電比が低くなる燃料電池等の使用を行えば、電力補給に重点を置いたCGSで効率高く利用することが期待できる。

また、CGSを導入する際にコストや構成規模などの点から最適な原動機を選択してシステムを構成できない場合、どのような補助機器をCGSに組み込めば、より高効率なエネルギーシステムが得られるかについてのアイデアを図7に挙げてみた。図中、熱需要が高い $Q_{h,d}/Q_{b,p} > \eta_{ehr}$ の場合には、熱を効率高く供給できるシステムが必要となるため、ボイラの代わりにCGSが生み出す電力の一部を利用したヒートポンプとの連動も視野に入ってくる。一方で、先述したように $Q_{h,d}/Q_{b,p} < \eta_{ehr}$ の場合には利用しきれないバイオガス量が増すため、施設内で発生したバイオガスを施設外でも燃料として利用する等何らかのガス余剰対策を考える必要がある。その場合の一例として、たとえば都市ガスや天然ガス車用燃料への転用が考えられる。他にも、バイオガス全量で発電を行い、余剰となった熱を蓄熱体に吸収させるなどの措置⁽⁶⁾を施し、施設外に移送して他の熱需要先で冷暖房に使用することや、ボトミング

サイクルと組み合わせて熱エネルギーの有効利用を積極的に図ること⁽⁷⁾も考えられる。

5. おわりに

下水処理施設は本来、自治体単位での運営・管理が一般的な現状にあっても、その場で生み出される未利用エネルギーの数々は、最終的には元資源としての下水を日常的に提供してくれる住民に広く還元せねばならない。もちろん、各戸毎への直接的なエネルギー還元は不可能だが、下水処理の施設運営に必要なエネルギーを地産地消、すなわち極力『自賄い』することで、その目的は間接的に達成できるのではないと思われる。

現在、再生可能エネルギーとしてのバイオガス利用は国策的な推進機運の只中であって、一層加速すべきエネルギー開拓分野である。しかし、それにも増して、下水処理施設にはまだ眠ったままになっている未利用エネルギーが隠れている気がしてならない。そもそも取り扱っている豊富な水資源の存在自体がその1つであり、また、設置されている地域によっては広大な敷地面積も、さらには降雪地に位置するのであれば莫大な量の積雪も大きなエネルギー資源として施設のエネルギー循環経路内に取り込み、その潜在的なエネルギープラントとしての能力を一層発揮していけるのではないと思われる。

参考文献

(1) 農林水産省HP、http://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/b_kihonho/pdf/keikaku.pdf (参照日2013年07月23日)

- (2) フィルダウス バスライ、山田貴延、中西喜美雄、
“寒冷条件下の下水処理施設におけるコジェネレーションシステムの性能評価”、2009年度日本機械学会年次大会、Vol.3、No.09-1 (2009)、p.153.
- (3) フィルダウス バスライ、山田貴延、中西喜美雄、
“下水処理施設におけるマイクロガスタービンコジェネレーションシステムの性能評価 (年間平均気温の異なる地域での性能解析)”、日本機械学会論文集B編、Vol.76、No.770 (2010)、p.1661.
- (4) Basrawi, F., Yamada, T., Nakanishi, K., “Effect of ambient temperature on the performance of micro gas turbine with cogeneration system in cold region”, Applied Thermal Engineering, Vol. 31, No. 6-7 (2010), p.1058.
- (5) Basrawi, F., Yamada, T., Nakanishi, K., “Analysis of the Performance of a Biogas Cogeneration System in a Sewage Treatment Plant in a Cold Region”, Journal of Environment and Engineering, Vol. 6, No. 3 (2011), p.512.
- (6) 小枝遼平、山田貴延、中西喜美雄、“寒冷地における潜熱蓄熱材の廃熱輸送に関する基礎的研究”、寒地技術論文・報告集2012、No.12-II-049 (2012)、p.376.
- (7) 柏木孝夫ほか、“サーマルマネジメントー余熱・排熱の制御と有効利用”、NTS、(2013)、p.482.

Q & A

下水汚泥の種類・性状及と有効利用法について

キーワード：汚泥成分組成、重金属含有量、メタン発酵特性、有機質肥料原料

下水汚泥を廃棄物として扱う場合、あまりその性状を気にすることなく最も安価に確実に処理・処分することのみ考えられてきましたが、資源の一つとして有効利用する場合はその性状を十分に理解して最適な処理・利用法を検討する必要があります。

今回は下水汚泥の種類・性状と有効利用法等についてQ&A方式で解説します。

Q1 下水汚泥の種類と発生量は？

A1 最初沈殿池から引き抜かれる汚泥を初沈汚泥、最終沈殿池から引き抜かれる返送汚泥以外の汚泥を余剰汚泥と呼んでいます。

汚泥の発生量（固形物量基準）は流入下水 1 m³当り 150～250gで、水質や処理場の運転方法にもよりますが、全体の約 6 割が初沈汚泥、4 割が余剰汚泥として発生します。

Q2 初沈汚泥と余剰汚泥の性状の違いは？

A2 下水汚泥固形物成分の大部分は有機分ですが、一般的な分流式処理場における有機分率は初沈汚泥で85～90%、余剰汚泥で75～85%と、最近

は初沈汚泥の有機分率が高くなっています。

成分組成の面からみると初沈汚泥は炭水化物系有機分が主体であるのに対し、余剰汚泥は微生物細胞体からなるためタンパク質主体の汚泥となっています。（図参照）

Q3 浄化槽汚泥に比べ下水汚泥中の重金属含有量はなぜ低い？

A3 下水汚泥＝工場排水＝重金属といったイメージを有している人が多いですが、下水汚泥中の重金属含有量は、工場排水を全く受け入れていないし尿浄化槽汚泥のそれよりかなり低いのが実態です。

近年の汚泥中重金属の発生源は、工場排水ではなくその大半が水道水及び食料品です。重金属類の多くは、動植物の成長や生命維持活動上の必須元素（ミネラル分）であり、米や野菜、魚介類、肉等の食材中に含まれていることから、当然下水汚泥や浄化槽汚泥中に存在しています。活性汚泥法と呼ばれている水処理法式を採用している下水処理場では、浄化槽に比べ汚泥発生割合が大きいため、結果的に下水汚泥中の重金属濃度は低くなります。

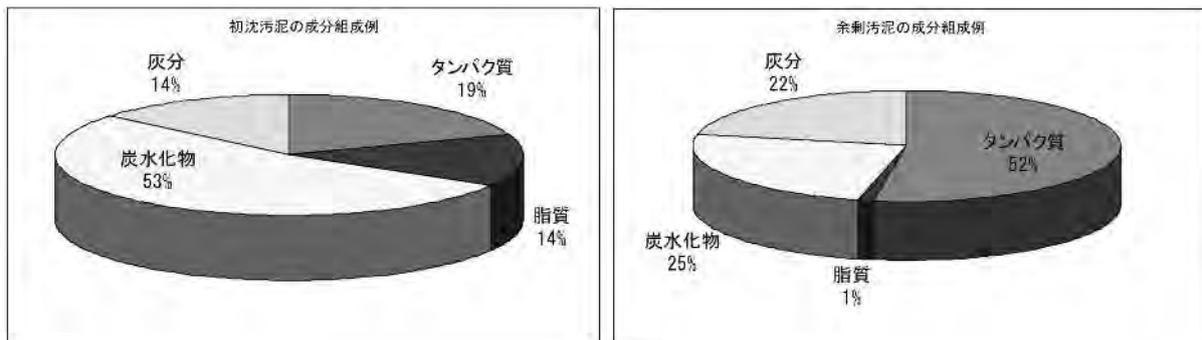


図 初沈汚泥（左）と余剰汚泥（右）成分組成の比較

Q4 メタン発酵に適している汚泥は？

A4 メタン発酵は、有機物の低分子化（加水分解）→酸発酵（腐敗）→メタン生成の順で進行します。初沈汚泥は比較的low分子の炭水化物系有機物が多いことから、微生物による分解（腐敗）が進みやすい汚泥といえます。一方余剰汚泥は、高分子有機物であるタンパク質主体であるため微生物による分解は受けにくく、放置しておいても腐敗しにくい汚泥です。したがって、初沈汚泥のほうがメタン発酵による分解ガス化が容易な汚泥といえます。

単位有機物量（VS）当りのガス発生量は、初沈汚泥で500～700L/kg-VS、余剰汚泥で200～400L/kg-VSで、初沈汚泥が約2倍ほど大きいのが実態です。

メタン発酵によるエネルギー回収を図る場合、処理場に流入する固形物（SS分）をなるべく初沈汚泥として多く回収することが重要となります。

Q5 有機質肥料原料として適しているのは？

A5 コンポスト製品など、有機質肥料の重要な品質指標としてC/N（炭素・窒素比）があり、バグ堆肥30～50、牛糞堆肥20～30、下水汚泥堆肥5～10となっています。肥料3要素のうち、作物の生育や味覚に最も大きく関係するのがN分であり、その効果を発揮するにはC/Nは10以下が望ましいといわれています。タンパク質主体の余剰汚泥のC/Nは5～7であり、窒素以外のりんや硫黄分、ビタミンなどの微量栄養素も多く含む余剰汚泥は、有機質肥料の原料とし

て特に優れています。

Q6 余剰汚泥はなぜ脱水性が悪い？

A6 余剰汚泥の主体である微生物細胞体は頑丈な細胞膜（細胞壁）で保護された細胞質（こんにゃくの詰まったテニスボールのようなもの）からなっており、物理的な圧力のみでは水分の低下は望めません。強い酸やアルカリ、または高温高压の熱化学的作用で細胞膜（壁）を破壊するなどの前処理により脱水性がある程度改善することが可能となります。併せてメタン発酵性（分解ガス化特性）の改善も期待できます。

Q7 下水汚泥有効利用の将来展望は？

A7 下水汚泥は将来にわたって安定した発生量が見込める貴重な国産バイオマス資源といえます。メタン発酵によって汚泥中有機分の約半分がバイオガスエネルギーとして取り出され、残りの消化残渣は窒素、りんをはじめ、各種ビタミンやミネラル分を豊富に含む有機質肥料原料としての利用が可能です。欧米等の先進国では既にこのような理解のもとで下水汚泥の有効利用が進められています。

資源の乏しいわが国においてこそ下水汚泥の潜在的価値を再認識し、廃棄物という発想からより積極的な有効利用への転換が望まれます。

（日本下水道事業団 島田正夫）

現場からの

声

第三世代型汚泥焼却システムについて

キーワード：第三世代型焼却システム、超低含水率型脱水機、エネルギー自立

1. はじめに

東京都下水道局は、水再生センター20か所で毎日、東京ドーム4杯分を超える532万m³の下水を処理しています。これにより、公共用水域の水質保全や雨水排除による浸水被害の軽減など、安心・安全で快適な都市環境の創出に大きく貢献しています。一方で、浸水を防ぐためのポンプの運転や水環境を改善するための水処理施設の運転などに、都内の年間電力使用量の1%に相当する電力を使用しています。事業の過程で排出する温室効果ガスの削減は、都の事務事業活動における最大の温室効果ガス排出者として、早急な対策が求められています。

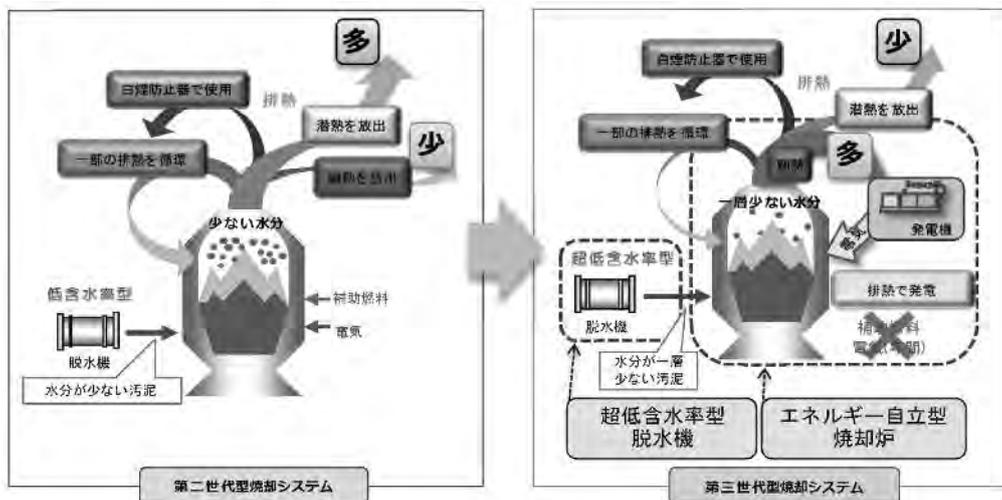
東京都下水道局 計画調整部 技術開発課

技術開発主査 冠城 敏之

2. システム導入の背景

汚泥焼却炉の温室効果ガスの削減は、高温焼却によるN₂O排出量削減と燃料削減により大きな効果をもたらしてきました（第二世代型焼却システム）。しかし、電力使用に起因するCO₂排出量は横ばい状態であり、さらなる削減が課題となっていました。

そこで、超低含水率型脱水機とエネルギー自立型焼



図一 システム概要図

却炉を組み合わせ、汚泥焼却時に買電より安価な発電を行い、汚泥焼却炉における使用電力量を発電電力量が年間で上回り、かつ補助燃料を必要としない（焼却炉の立上げ時、立下げ時を除く）第三世代型焼却システムの開発、導入を「経営計画2013」（平成25年2月策定）に掲げ、システムの重要な構成要素である超低含水率型脱水機の共同研究に着手し取り組みをスタートさせました。

超低含水率型脱水機により、汚泥中の水分が削減されたことで水分を蒸発させるための熱（潜熱）が少なくなります。その結果、補助燃料が不要となり補助燃料由来のCO₂を削減すると同時に、有効利用できる焼却排熱（顕熱）が増加します。増加した焼却排熱は、バイナリ発電機などで焼却設備全体と一部の周辺機器に電力を供給し、電力由来のCO₂が削減されます。これらの技術開発を着実に進め、汚泥の持つ再生可能エネルギーの最適な活用を目指します。

3. 技術開発の取り組み

開発する超低含水率型脱水機は、脱水汚泥の水分量を一層削減する脱水機で、年間の大部分を脱水汚泥含水率71%以下で、汚泥の性状が悪化した場合でも脱水汚泥含水率74%以下を達成できることを目標としています。汚泥性状および目標性能条件を以下に示します。

超低含水率型脱水機の開発に先立ち、当局の濃縮汚泥及び脱水汚泥の性状の分析と過去三年間の脱水機の運転状況について現場ヒアリングを行い公募の条件を設定しました。この中で、汚泥に含まれる繊維分が、脱水性に与える影響が大きいことから、共同研究の公募にあたっての汚泥性状に反映しました。汚泥性状の

指標である汚泥濃度、有機分比に繊維分を加えることで脱水対象汚泥の明確化を図りました。

共同研究実施場所は、当局でも汚泥性状が変動しやすい機場を選定し、そこでの成果を基に実機化の可否を検討することで、今後の第三世代焼却システムの導入が容易に行えるよう考慮しました。

研究期間は2年間を予定し、汚泥の四季変動に対する脱水機の追随性についてデータを収集します。また、夜間の汚泥性状変動に対して、安定した脱水性能が維持できるか確認が必要なことから、1、2週間程度の連続運転を計画しています。

超低含水率型脱水機の共同研究には複数の応募が想定されるため、現場の配置や汚泥の分配など調整が必要です。特に汚泥の支給量は、既設脱水機1台分に相当する量が必要と見込まれるため、運転管理に支障を来さないよう現場の意見を重視し準備を進めます。

4. おわりに

第三世代型焼却システムは、燃焼効率の安定化が排熱利用の経済性に大きな影響を与えるため、定格運転が可能な焼却炉への導入が適当であると考えています。汚泥量の変動に伴い投入汚泥量を調整せざるをえない焼却炉については、これまで開発してきた第二世代型焼却システムを計画的に導入します。

東京都下水道局では、下水道事業における地球温暖化防止計画「アースプラン2010」（平成22年2月策定）の取り組みを不断に継続し、地球温暖化対策を積極的に推進するために、省エネ効果の高い技術の開発、導入をこれからも進めていきます。

汚泥性状	濃縮汚泥	種別	混合汚泥		混合汚泥		
		汚泥濃度(%)	2.0以上	※1	1.3以上		※2
		有機分比(%)	88以下		90以下		
		繊維分(100mesh)(%)	15以上		4以上		
脱水汚泥含水率(%)		71以下		74以下			
目標性能条件	凝集剤	種別	カチオン系 高分子凝集剤溶液 (溶解濃度:0.2%程度)	カチオン系 高分子凝集剤溶液 (溶解濃度:0.2%程度)	※3 無機凝集剤 ポリ硫酸第二鉄 (溶解濃度:11%程度)		
		注入率(%)	1.0以下		15程度		
		固形物回収率(%)	95以上				
		消費電力(kWh/m ³)	1.5以下				

※1、※2 濃縮汚泥の種別を全て満たしている場合を指します。なお、※1及び※2両方の条件を満たしている濃縮汚泥については脱水汚泥含水率71%以下とします。

※3 高分子凝集剤のみで、脱水汚泥含水率74%以下の達成が困難な場合に無機凝集剤の添加を認めます。

文献紹介

乾燥汚泥バイオマスのカドミウム結合部位と
その結合機構

Binding sites and mechanisms of cadmium to the dried sewage sludge biomass

Sung Wook Won, Sun Beom Choi, Yeoung-Sang Yun

Chemosphere, 93, 146–151 (2013)

金属を含む廃水から重金属を除く手段として、有機物との結合を利用する方法が考えられる。特に、下水汚泥のバイオマスは量が多くて入手が容易なこと、活性炭やイオン交換樹脂よりはるかに安価なこと、吸着資材として有望なバイオマスである。バイオマスへの重金属の吸着は、金属イオンと細胞壁の官能基、たとえばカルボキシル基や水酸基との間の物理化学的な作用であり、吸着のメカニズムを理解する上で、官能基を特定することは重要な意味を持つ。吸着を説明する際のラングミュアやフロイントリッヒのモデルは有用であるが、環境が異なった場合の予測モデルとしては使えない。一方、金属イオンの吸着機構に基づく数学モデルが使われるようになり、吸着機構の予測や最適化に利用されるようになった。そこで本論文の著者らは、下水汚泥のバイオマスに吸着するカドミウム(Cd)に的を絞って、カドミウムと結合する官能基とその機構について、数学モデルを使って解析した。

下水汚泥は、生活排水を活性汚泥法で処理している下水処理場から入手した。天日乾燥させた下水汚泥を1M硝酸で処理し、水洗いの後60℃で乾燥させた。主要な官能基の同定は、汚泥バイオマス懸濁液の電位差滴定法とフーリエ変換赤外分光法 (FT-IR) によった。すなわち、電位差滴定法から官能基のタイプと量を推定し、Cd吸着前後の赤外吸収スペクトル (4000~400 cm⁻¹の範囲) から官能基を同定した。吸着試験は、汚泥バイオマス5 gに水 500 mlを加えて行った。Cdの初期濃度は 3 mmol/lとし、pH4、pH5、pH6の条件を保つように制御した。また、24時間の吸着試験におけるpH変化の測定、吸着等温線の測定も別途実施した。溶液中のCd濃度はアノーディックストリップングボルタンメトリー (ASV) で求めた。

汚泥バイオマス懸濁液の電位差滴定曲線 (平衡時のpHと水酸化物イオン添加量の関係) から、4タイプの官能基、すなわち、平衡定数 (pK_H) が 2.37 ± 0.02 の

第1グループ、 4.69 ± 0.07 の第2グループ (カルボキシル基と推定)、 6.49 ± 0.08 の第3グループ (ホスホン酸と推定)、 8.34 ± 0.05 の第4グループ (アミンと推定) の存在が考えられた。また、FT-IRにより、カルボキシル基、ホスホン酸、アミンが確認された。

バイオマス表面へのCdの吸着はpHに依存し、pH3以下ではほとんど吸着しなかった。したがって、 pK_H が2.37の第1グループは、Cdの吸着に関与していないと考えられた。pH4あたりからCdの吸着量が増え、その傾向はpH7付近まで続いた。すなわち、Cdの吸着に直接関与しているのは、第2グループのカルボキシル基と第3グループのホスホン酸と推定された。 pK_H が8.34のアミンは正電荷を持つため、Cdの吸着には関与しないと考えられた。

吸着の機構としてイオン交換と錯体形成が考えられ、イオン交換の場合は、Cdイオンを1個吸着すると2個のプロトンを放出するのに対し、錯体形成の場合は、Cdイオンを1個吸着すると1個のプロトンを放出する。今回供試した汚泥の場合、カルボキシル基とホスホン酸が吸着に関与しているので、それぞれについてイオン交換と錯体形成が考えられ、4とおりの吸着機構が想定される。pHを保った状態で吸着試験を行った結果、pHを保つために消費したアルカリの量 (Cd吸着によって放出されたプロトンの量に相当) とCdの吸着量とは1:1の関係にあり、カルボキシル基とホスホン酸のいずれについても、吸着の主たる機構は錯体形成であると考えられた。量的な関係について数学モデルを用いて解析した結果、pH5およびpH6において、吸着平衡時の液相中Cd濃度と吸着量の関係は、カルボキシル基とホスホン酸のそれぞれについて数学モデルを用いて得られた結果の和とよく一致し、数学モデルによって吸着機構が説明できることが明らかになった。

以上の結果より本論文の著者らは、バイオマスへのCdの吸着機構を考える上で、Cdイオンの吸着量とプロトンの放出量との関係を知ることは重要であり、汚泥表面での金属イオンの吸着特性に関するさらなる研究は、金属イオンとの結合における汚泥の役割を評価することにつながるとしている。

(農業環境技術研究所 川崎 晃)

文献紹介

段階的嫌気性消化におけるプロピオン酸酸化細菌の動力学および微生物叢

Biokinetics and bacterial communities of propionate oxidizing bacteria in phased anaerobic sludge digestion systems.

Mirzaman Zamanzadeh, Wayne J. Parker, Yris Verastegui, Josh D. Neufeld.

Water Research Volume 47, 1558-1569, 2013

嫌気性消化は、有機性廃棄物の安定化やバイオエネルギー生産のための技術として注目されている。嫌気性消化は、複数の微生物群の生化学反応により、粒子状物質の加水分解の後、溶解性有機物から揮発性脂肪酸、さらに酢酸および水素等の中間体形成からメタン生成となる。従来、これらの反応は、完全混合された1段階消化槽内で平行して行われてきた。2つ以上の消化槽を段階的に組合せた嫌気性消化（例えば、高温・中温）は、VS分解およびメタン生成の増加、高い病原性微生物削減等のプロセスの最適化のための柔軟性を向上させ、従来の1段階消化に比べて幾つかの利点を持つ。揮発性脂肪酸のうち、プロピオン酸は重要な中間体であり、嫌気性消化が不安定になった際にプロピオン酸が蓄積する事例が報告されている。そこで本研究では、都市下水汚泥を用いた中温および高温の段階的嫌気性消化におけるプロピオン酸酸化細菌(POB)の微生物動力学を確認し、反応過程と微生物叢を特定することを目的に、分子生物学的手法を用いた解析を実施した。

調査では、①中温M1・中温M2、②中温M1・高温T3、③高温T1・中温M3、④高温T1・高温T2の各二段法、⑤中温単段C1、⑥高温単段C2の嫌気性消化タンクを用い、消化温度は中温35℃、高温55℃、HRTは1段階3.5日、2段階14日、単段17日、有機物負荷はVS1.7kg/m³・日として嫌気性消化実験を実施した。

高温消化では、pHおよびアンモニア濃度が中温消化に比較してやや高く、アンモニアによりプロピオン

酸酸化が阻害されていた。単段および第2段階目の消化槽に比較して、第1段階目消化槽内でプロピオン酸濃度が高くなった。

遺伝子解析からは、高温消化でテルモトガ門、プロテオバクテリア門、フィルミクテス門が関与し、中温消化でバクテロイデス門、ウェルコミクロビウム門が関与していた。また、好熱性発酵細菌であるペトローガ門に分類されるペトロトガが確認され、遺伝子解析結果は、消化槽構成（温度、保持時間、槽構成）と微生物叢とを関連付けできることが示された。

POBの増殖速度は、Monod式に当てはめて推測した。段階的嫌気性消化の上流消化槽が下流消化槽に与える影響を、POB数や動力学的特徴により検討を行った。動力学的検証結果と遺伝子解析結果による微生物叢は一致していた。

二段式嫌気性消化におけるPOBの最大比増殖速度は、一段目中温槽の場合11mgCOD/mgCOD日、一段目高温槽は23.7mgCOD/mgCOD日であり、第二段目は中温6.7mgCOD/mgCOD日および高温18.6 mgCOD/mgCOD日であった。

有機物負荷が高い段階的嫌気性消化の第1槽目は第2槽目および単段嫌気性消化より高い温度依存性が認められた。

高温消化におけるPOBは、中温消化より高い増殖速度を示した。POB比増殖速度が大きい高温槽の排水では、プロピオン酸濃度が高かった。排水中のプロピオン酸濃度の上昇は、高温嫌気性消化における課題である。中温槽においては、高温・中温の二段式嫌気性消化の後段中温槽においても、他の中温槽と比較して増殖速度の変化はなく、排水のプロピオン酸濃度も低かった。これは、段階的嫌気性消化において、後段に中温槽を設置することがプロピオン酸を効果的に除去できることを実証している。

(日本下水道事業団 三宅 十四日)

Table 2 – Estimated parameters for propionate-oxidizing bacteria.

Digester	Mesophilic			Digester	Thermophilic		
	k_{max}	K_s	X_0^b		k_{max}	K_s	X_0
	mgCOD mgCOD ⁻¹ d ⁻¹	mgCOD L ⁻¹	mgCOD L ⁻¹		mgCOD mgCOD ⁻¹ d ⁻¹	mgCOD L ⁻¹	mgCOD L ⁻¹
C1	6.2 ± 0.1 ^a	69 ± 28	285 ± 21	C2	17.1 ± 0.3	281 ± 71	112 ± 17
M1	11.0 ± 1.7	210 ± 25	136 ± 33	T1	23.6 ± 1.6	504 ± 69	102 ± 20
M2	6.8 ± 0.8	99 ± 39	296 ± 13	T2	20.3 ± 1.3	398 ± 61	110 ± 12
M3	7.0 ± 0.7	75 ± 36	318 ± 17	T3	18.2 ± 0.6	282 ± 43	108 ± 18

a 95% linear uncorrelated confidence interval.

b biomass concentration.

講座

下水道汚泥焼却灰からのリン回収 における取組みについて

鳥取市 環境下水道部 下水道企画課

課長補佐兼総務係長 山根 陽 一

キーワード：リン回収

1. はじめに

リンは貴重な資源であるにも関わらず、我が国には天然資源としてリンを産出する鉱脈は存在せず、輸入に依存している。このような中、下水道には相当量のリンが流入しているが、多くは公共用水域への放流や埋立材等に利用されており、有効活用されていない状況である。

鳥取市でも周辺に処分場がないため、焼却灰を県外の施設へ搬出しており、諸手続きや費用が問題となっていた。本稿では、本市が下水道汚泥焼却灰からリン回収に至った経過並びに回収したリン酸塩の有効利用に関する取組みについて報告する。

2. 本市下水道事業の概要

本市の下水道事業は、昭和6年に鳥取城の外堀（薬研堀）を埋め立てて、下水道管を敷設する工事を行ったのが始まりである。その後、鳥取大火後の昭和28年10月に火災復興下水道事業として下水道法による事業認可を受け、約338haの区域を合流式下水道として本格的な整備に着手した。さらに昭和46年に新都市計画法による市街化区域が決定されたのに伴い、昭和47年1月に既整備区域の外周にあった既成市街地（約560ha）を分流式下水道として整備を開始した。その

後、認可区域の拡張や平成16年11月の周辺町村との合併を経て10処理区を有しており、平成25年3月末での処理人口は144,613人、処理人口普及率が約74.5%（平成25年度末）となっている。

本市が有する処理場のうち、秋里下水終末処理場は最も早く整備した施設であり、昭和43年11月に完成・供用開始した後、計画的に増設・改築等を行っている。現在、この処理場は、秋里処理区の下水処理のほか他の処理区から送られる汚泥等の処理機能も担っており、本市における下水処理の中核施設となっている。

3. リン回収に至る経過

秋里下水終末処理場では、面整備の進行とともに増加する処理汚泥量の対策として、平成17年度から焼却炉の増設を計画していた。しかし、計画を再検討したところ、焼却炉の増設よりも、消化槽の改築等による対策の方が経済的であることから計画の見直しを行った。この見直し計画に沿って、平成19年3月に消化槽を中温消化から高温消化へ改築を行い、焼却汚泥の減量化を図るとともに消化ガスの増産を可能とし、焼却炉の重油使用量の削減に努めている。この一連の改築計画の中で、汚泥脱水率の向上、放流水リン濃度の低減（リン回収）等について検討を行った（図1参照）。

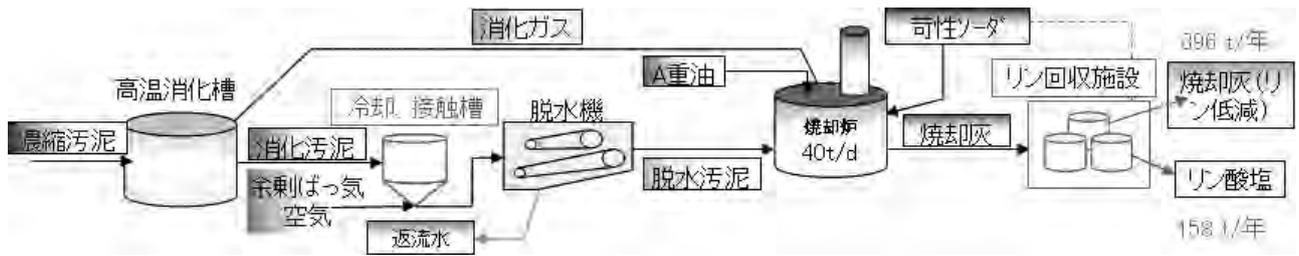


図1 汚泥処理改善プロジェクト

4. リン回収事業のメリット

この改築計画の見直しにより期待された主なメリットは、以下の点である。

(1) 焼却灰中のリン資源の有効利用

リン資源（リン酸塩）の回収 158t/年（灰:528 t/年、リン発生率30%の場合）

(2) 補助燃料使用量削減による温室効果ガス削減

▲498 t-CO₂/年（A重油原単位：2.7 kg-CO₂/L）

(3) 処分焼却灰の量削減

- ・従来 528 t/年 ⇒ 396 t/年 ▲132 t/年の削減
- ・焼却灰のリン濃度低減に伴いセメント原料としての利用の拡大

(4) 返流水移行リン回収率向上による、放流水質の改善

プラント内の返流水に含まれるリン量が従来25 kg/日であったが、リン回収により、放流水のリン濃度が改善

5. リン回収技術の概要

消化により汚泥が嫌気性となるため、返送水へリンの溶出が進み、放流水のリン濃度の上昇が懸念された。この対策として、嫌気性となった汚泥を好気性汚泥へ改質することにより返送水へのリンの溶出を抑制するとともに、適切な凝集剤の利用により脱水汚泥の含水率を低減した。この脱水汚泥（ケーキ）を焼却し、焼却灰をリン回収プラント（写真1、2参照）へ送り、灰に含まれるリンをリン酸塩として回収した。リンの回収方法は、灰アルカリ抽出法を採用している。また、従来一般廃棄物として処分していた焼却灰は、リン成分を取り除いたことにより、リン濃度が低減しているため、これまで受け入れができなかった再資源化施設への搬出も可能となる見込みである。

6. リン資源の有効利用に関する取組状況

回収プラントにより回収したリン酸塩（写真3参照）は、25%前後のく溶性りん酸を含有している。リンは、窒素やカリウムと並んで肥料の三大要素の一つであるが、国内で産出できないため、リン鉱石や肥料等の形で輸入している。一方、下水道にはリン輸入量



写真1 リン回収プラント全景



写真2 リン酸塩回収状況



写真3 回収されたリン酸塩

の約1割に相当する量が流入しているとの推計がある。こうした中で、本市では回収したリン酸塩の農業用肥料原料としての利用に取り組んでいる。現在、肥料取締法に基づく「副産りん酸肥料」として肥料登録の準備を行うとともに、その商品化、販路について関係機関と協議を行っている。

7. 課題

リン酸塩を肥料として製品化するためには、生成されるリン酸塩の量、品質の安定化が不可欠である。一方でリン回収プラントは、平成25年3月末の完成から4ヶ月（7月末現在）経過したが、様々な要因のため期待したとおりの稼働率となっていないのが現状である。今後は、リン回収プラントの安定稼働と生成されるリン酸塩の性状の安定化が急務である。

8. おわりに

前述のとおり、本市のリン回収事業は、処理場全体の改築計画の中で検討結果や、本市周辺に焼却灰の受け入れ施設が無かったことなど、本市特有の条件により取り組んできたものである。しかし、国際的にも貴重な資源であるリンの回収・再利用は、重要と考えており、下水道から回収したリン酸塩が、広く肥料として利用されるように流通ルート確保に取り組んでいきたい。

参考文献

国土交通省都市・地域整備局下水道部「下水道におけるリン資源化の手引き」平成22年3月

特別報告

第9回アジア地域嫌気性消化国際会議および下水処理における嫌気性MBRの応用

東北大学大学院工学研究科 土木工学専攻環境保全工学分野

教授 李 玉友

キーワード：嫌気性国際会議

1. はじめに

2013年6月12-13日に韓国ソウルのCoexで第9回アジア地域嫌気性消化国際会議に出席したので、ここに同会議の概要および関連の新しい話題について報告する。

2. 第9回アジア地域嫌気性消化国際会議の概要

まずアジア地域嫌気性消化国際会議の経緯について簡単にまとめる。同会議の開催は東北大学野池達也教授(当時)と韓国KAISTのHang-Sik Shin教授が提唱した日韓交流からスタートしたものである。その後、台湾、香港、中国など東アジアへ拡大し、時には欧米を含めた拡大会議として運営されている。これまで、韓国(3回)、日本(2回)、台湾(2回)、香港(1回)、中国(1回、天津)の国・地域で開催されてきており、アジア地域の嫌気性生物処理技術・人材交流に貢献してきた。回数を数えて、今回は9回目となる。

今回会議の特徴は大韓環境工学会が主催する2013 International Environmental Engineering Conferenceの関連ワークショップとして企画され、各国の代表的な研究者による講演を中心として、学生の発表は主にポスターにしているところです。内容は三つのセッションに分かれ、(1)水とエネルギーの回

収、(2)廃棄物のエネルギー化変換、(3)嫌気性技術の前処理と後処理の3つのテーマについて討論した。以下、各セッションの発表題目と発表者について紹介する。

(1) セッション1：水とエネルギーの回収

特別講演：嫌気性処理を用いた汚水からの資源回収
Perry McCarty (Stanford University, USA)

陰極生物膜による生物電気化学システムの性能と機能の促進

John M. Rogan (Penn. State University, USA)
生活排水の嫌気性MBR処理

Jae-Ho Bae (Inha University, Korea)
UASBリアクターによる乳酸生成

Dong-Hoon Kim (Korea Institute of Energy Research, Korea)

特別講演：嫌気性MBRの未来チャレンジ

David Stuckey (Imperial College London, UK)
微生物燃料電池(MFC)のスケールアップ戦略：
シリーズ接続およびモジュール化

In-Seop Chang (GIST, Korea)
新型モジュール空気陰極MFCを用いた生活排水の処理と高効率発電

Tae-Ho Lee (Korea)
アンモニア添加超高温—高温条件におけるポリラクチドと生ごみの混合嫌気性消化

津野洋 (大阪産業大学, 日本)

記念講演: 嫌気性消化の展望

Hang-Sik Shin (KAIST, Korea)

(2) セッション2: 廃棄物のエネルギー化変換

特別講演: 高塩分下水の新型嫌気性処理

Guanghao Chen (Hong Kong University of Science and Technology, China)

フェノール廃水の嫌気性処理

Herbert H. P. Fang (The University of Hong Kong, China)

バイオガス生産のための産業汚泥の混合発酵特性: 統計解析およびニューラルネットワークアプローチ

Hung-Suck Park (University of Ulsan, Korea)

食品廃棄物を水素とメタンに変換するハイブリッド発酵プロセスの開発

Mi-Sun Kim (Korea Institute of Energy Research, Korea)

特別講演: 嫌気性MBRによる都市下水の処理特性

李玉友 (東北大学, 日本)

有機物の生物学的電気化学分解に及ぼす応用電圧とCODの影響

Young-Chae Song (Korea Maritime University, Korea)

改良した嫌気性消化システムによる汚泥の最小化

安井秀斉 (北九州市立大学, 日本)

(3) セッション3: 嫌気性技術の前処理と後処理

特別講演: 多段階生物変換による高効率バイオ燃料エネルギー回収に関する総合研究

Sheng-Shung Cheng (National Cheng Kung University, Taiwan)

中空糸MBRの充填密度とモジュール設計に左右さ

れるファーリング現象の観察

Sang-Min Lee (Kongju National University, Korea)

高速水素発酵のパイロットプラント

Chiu-Yue Lin (Feng Chia University, Taiwan)

嫌気性MBRの性能とファーリング

Hyun-Woo Kim (Korea Institute of Industrial Technology, Korea)

特別講演: 都市下水から栄養塩を除去するための新しいシングルMBR

渡辺義公 (中央大学, 日本)

嫌気性UASBと好気性ABFシステムによる下水の窒素とリン除去

Hang-Bae Jun (Chungbuk National University, Korea)

養豚排水からはMAP化学沈殿

Sutha Khaodhiar (Chulalongkorn University, Thailand)

無酸素条件下におけるアンモニウムの酸化

最初に嫌気性処理の世界的第1人者であるアメリカスタンフォード大学のPerry McCarty教授の特別講演では、1960年代の若き時代の論文を紹介しながら嫌気性処理に対する先駆けの取り組みをはじめ、今後の応用可能性を力説した。また、嫌気性MBRの代表的研究者であるイギリスImperial College LondonのDavid Stuckey教授が嫌気性MBR技術を総説してその将来性を展望した。そのほかに韓国、日本、香港、台湾からそれぞれ新しい研究進捗が紹介された。

また、今回会議の主催者である韓国KAISTのHang-Sik Shin教授が本年度で定年退職を迎えるので、記念講演が企画された。講演の中で、Shin教授がライフワークとしての嫌気性技術に関する研究開発をレビューしながら、研究室から生み出した代表的研究成果および排出した博士人材を紹介した。最後にShin教授の功績を讃えることを込めて関係者の会場で関係者一同が会場で記念写真を撮った(写真1)。なお、私は東北大学の野池達也教授の後継者として来年2014年の秋に日本の東北大学で第10回アジア地域嫌気性消化国際会議を企画することを約束した。

3. 嫌気性MBRによる下水処理の性能評価

今回会議の最大注目ポイントはやはり嫌気性MBRの研究であった。筆者も嫌気性MBRにとる下水処理の可能性について講演したので、ここに嫌気性MBRの研究をレビューして、その応用課題を展望する。



写真1 Hang-Sik Shin教授(前列左3)を囲む記念撮影(筆者は前列右1)

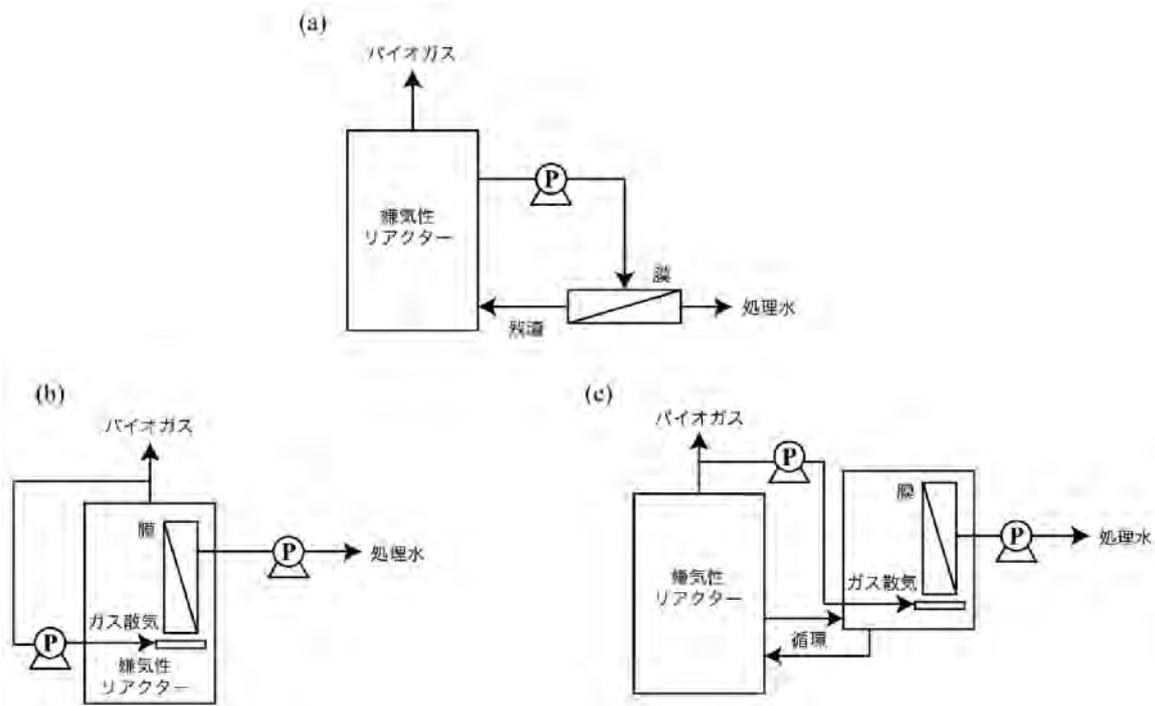


図1 嫌気性MBRの形態; (a) クロスフロー型嫌気性MBR, (b) 浸漬型嫌気性MBR (一体型), (c) 浸漬型嫌気性MBR (槽別置型)

3.1 嫌気性MBRが注目されている理由

下水は水量が多く、有機物濃度が低濃度であるため好気性処理による浄化が主流となっている。しかし、好気性処理は曝気のため多くのエネルギーを消費し、また余剰汚泥の生成量が多い等の問題点が指摘されている。低炭素社会・循環型社会を構築していくために下水処理の技術革新が求められている。そこで近年、汚泥発生量が少なく良好な水質が得られる膜分離技術と省エネルギー・創エネルギーの効果が期待できる嫌気性処理を組み合わせた嫌気性膜分離 (嫌気性MBR) 法の開発が注目を集めており、研究が進められている。

3.2 嫌気性MBRのプロセス構成

(1) リアクターの形態

嫌気性リアクターと膜の組み合わせには、一般的に図1のように3種類の形式がある。まずは、生物反応槽と膜分離部を独立して設置し、膜モジュール内部に高い圧力を加えて汚泥を流すことによりろ過を行うと同時に高い断面流速を与えて膜ファウリングを抑制するクロスフロー型MBRがある。これは、膜の洗浄や交換が単純である一方で速い流速 (高圧力) でバイオマスを循環させるため、高いエネルギーコストや膜ファウリングが起りやすいといったデメリットがある。また、ポンプの種類によってフロックの形成や粒子サイズの低下や、溶解性有機物の増加が起ることが確認されている。粒子サイズの低下や溶解性有機物

の増加は、早いフラックスの低下を引き起こす。

他の組み合わせには吸引ポンプを用いて膜分離を行う形式が存在する。この形式には、生物反応槽内に直接膜を浸漬させ、吸引ろ過によって処理水を得る浸漬型MBRの2タイプが存在し、浸漬型MBRは一体型と槽別置型がある。槽別置型は、余計にポンプが必要になるが膜の洗浄が容易に行え、多くの好気性処理施設でこの形式が使用されている。膜をリアクターに浸漬させるメリットは、ポンプによるエネルギーコストが最低限にできる一方で、膜表面を洗浄するためにリアクター内に生成したバイオガスをポンプで循環させる必要がある。これにより、膜ファウリングを防止している。それでも、クロスフロー型MBRよりコストはかからない。多くの嫌気性MBR法の研究において、浸漬型の形式が使用されている。

(2) 膜の孔径とタイプ

分離膜には膜の孔径の大きさに順に、精密ろ過 (MF; Microfiltration) 膜、限外ろ過 (UF; Ultrafiltration) 膜、ナノろ過 (NF; Nanofiltration) 膜、逆浸透 (RO; Reverse osmosis) 膜の4種類が存在する (図2)。MBRにおいて、MFとUFが最も多く使用されており、また嫌気性MBRで実際に使用されている膜はMBRで使用されている膜である。MFは0.1~10 μmの孔径を持ち、水中の懸濁物質や微生物の除去が可能である。UFはMFよりも孔径が小さい膜であり、その細孔の

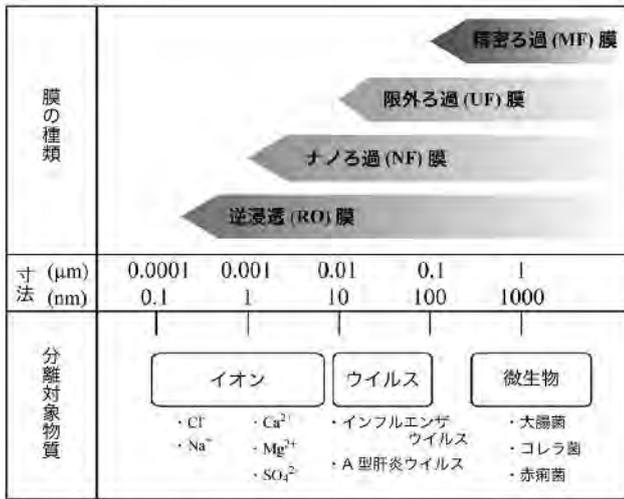


図2 膜の種類

大きさは径では表さず、分画分子量と呼ばれる阻止率が95%となる溶質の分子量で表される。膜のタイプには様々な物が存在するが、特に平膜、管状膜、中空糸膜の3種類が嫌気性MBRの研究で主に利用されている。中空糸膜は、浸漬型のMBRにおいてよく使用されている。しかし研究機関では、高い安定性を持ち、洗浄や交換が比較的容易な平膜が注目されてい

る。管状膜はいくつかのチューブをまとめたものであり、ファウリングが起こりにくいといった利点がある一方で高い圧力での運転が必要なため、エネルギーがかかる等の問題が挙げられる。

3.3 嫌気性MBRによる下水の処理実績

嫌気性MBRによる下水処理については、人工下水を用いた研究と実下水を用いた研究がある。さらに、パイロットスケールでの下水処理の研究も報告されている。表1に人工下水を用いた研究、表2に実下水を用いた研究、表3にパイロットスケールでの下水処理の研究をそれぞれまとめた。なお、実下水で使用されている廃水は、初沈後の下水や二次処理水等、浮遊物質が取り除かれている下水が利用されていた。全体を通して、浸漬型MBRに関する報告が多く見られた。また、使用された分離膜は中空糸膜及び平膜が多く、管状膜の研究はいくつか報告されていた。膜の孔径は0.1~1 μmの研究が多い。パイロットスケールでの試験においては、孔径が0.1 μm以下の膜がほとんどであった。嫌気性MBRを用いた下水処理の処理性能に影響する因子は多数存在するが、主な因子は膜の種類(タイプ、孔径、表面積)、運転温度、HRTと汚泥滞留時間(SRT)である。

表1 人工下水を用いた嫌気性MBRの既往研究

容量 (L)	膜の配置	膜 (種類, 孔径, 表面積)	運転温度 (°C)	有機物負荷率 (kg-COD/m ³ /day)	HRT (h)	流入 COD (mg/L)	流出 COD (mg/L)	COD 除去率 (%)
10	浸漬型	中空糸膜, 0.1 μm, 1 m ²	27~30	1 or 6	2 or 12	500 ± 10		TOC 90
7		平膜, 0.2 μm, 0.0387 m ²	15	0.44~0.66	16~24	440 ± 68	36 ± 21	92
4.33	浸漬型	管状膜, 0.0085 m ²	21~24	1.2	8	452 ± 35	8~18	98
12.5	クロスフロー型	管状膜, 100 kDa			4~12	350 ± 10	45~65	80
5.93	浸漬型	中空糸膜, 0.1 μm, 0.091 m ²	35	4.4~6.2	4.2~5	513	7 ± 4	99
6	浸漬型	0.45 μm, 0.118 m ²	25~30	1.1~1.65	8~12	550		99
10	クロスフロー型	平膜, UF	30	5.1	24	500	< 20	> 96
4	クロスフロー型	管状膜, 1 μm, 0.09 m ²	25	1	12	500	20	95
	クロスフロー型	10, 12 μm, 0.030 m ²	25		18	500, 1000	< 30	98
	浸漬型	平膜, 0.22 μm, 0.05 m ²	35	0.3	6	150	5~10	
4		1 μm	25	1~2	6~12	500	< 30	94
3	浸漬型	0.4 μm	35		3~24	460 ± 20	35	95
3	浸漬型	平膜, 0.4 μm, 0.1 m ²	35		6	450 ± 20	18	96
3	浸漬型	中空糸膜, 0.4 μm, 0.1 m ²	35		3~48	460 ± 20	< 45	95
		平膜, 0.4 μm, 0.1 m ²						
4.7	浸漬型	中空糸膜, 0.1 μm, 0.1 m ²	11~25	1.6~4.5	3.5~5.7	383~849		96
6	浸漬型	平膜, 0.2 μm, 0.118 m ²	25	0.22~2.12	6~48	470 ± 90	21~70	87~94
6	浸漬型	平膜, 0.2 μm, 0.118 m ²	25	0.16~1.52	6~48	360 ± 110	16~31	92~94

表2 実下水を用いた嫌気性MBRの既往研究

容量 (L)	膜の配置	膜 (種類, 孔径, 表面積)	運転温度 (°C)	有機物負荷率 (kg-COD/m ³ /day)	HRT (h)	流入 COD (mg/L)	流出 COD (mg/L)	COD 除去率 (%)
5	浸漬型	平膜, 0.45 μm, 0.118 m ²	25-30	1.02 ± 0.14	10	427 ± 59	60	86
0.442	浸漬型	中空糸膜, 0.1 μm, 0.0215 m ²	25	3.9-4.7	1.75-3.5	152 ± 27	25 ± 8	84
60	浸漬型	平膜, 0.6 m ²	30	~1.0	10	342-527	40	90
45	浸漬型	平膜, 61 μm	10-30		8	298 ± 76	105 ± 32	75
10	クロスフロー型	0.1 μm, 0.1 m ²		0.03-0.16	12-48	38-131	18-37	72
45		平膜, 61 μm	10-15	3.9-4.7	8	302 ± 88	121 ± 34	63
12.9	浸漬型	管状膜, 0.64 μm, 0.98 m ²	15-20	2.36	2.6	260 ± 344	76 ± 30	84
50	クロスフロー型	UF, 100 kDa, 1 m ²	37	0.23-2.0	15-60	685 ± 46	88 ± 6	88
50	クロスフロー型	平膜, 0.2 μm, 0.003 m ²	35		16	350-500	<30	98

表3 パイロットスケールでの嫌気性MBRの既往研究

容量 (L)	膜の配置	膜 (種類, 孔径, 表面積)	運転温度 (°C)	有機物負荷率 (kg-COD/m ³ /day)	HRT (h)	流入 COD (mg/L)	流出 COD (mg/L)	COD 除去率 (%)
2100	浸漬型	中空糸膜, 0.05 μm, 30 m ²	15-33		5-24	388 ± 95		
350	浸漬型	平膜, 0.038 μm, 3.5 m ²	20	0.52-0.81		612 ± 97	64 ± 14	94
2100	浸漬型	中空糸膜, 0.05 μm, 30 m ²	33	0.92 ± 0.14		386-431		
2100	浸漬型	中空糸膜, 0.05 μm, 30 m ²	33		6-21	445 ± 95	77 ± 33	90
350	浸漬型	平膜, 0.038 μm, 3.5 m ²	35	0.6-1.1		630 ± 82	<80	90
			20	0.5-0.9				
849	クロスフロー型	管状膜, 100 kDa, 5.02 m ²			6	425 ± 138	33 ± 8	92
849		管状膜, 100 kDa, 5.1 m ²	22 ± 3		6	445 ± 138	33 ± 8	93
1500	クロスフロー型	平膜, 0.038 μm, 3.5 m ²	無加温		16	197-553		86
	クロスフロー型	管状膜	無加温	0.3-0.9	5.5-10	58-348		81
180	クロスフロー型	中空糸膜, 0.2 μm, 4 m ²	25	1.08-4.32	4.5-12	540	65	88

既往の研究においては人工下水、実下水共に室温条件 (20~30 °C) と中温条件 (30 °C~) の研究が多く見られた。パイロットスケールでの試験においても、同様に20 °C以上の条件が主であり、低温条件の研究はわずかであった。室温・中温条件での下水処理は、標準活性汚泥並の処理水質が得られると確認されている。

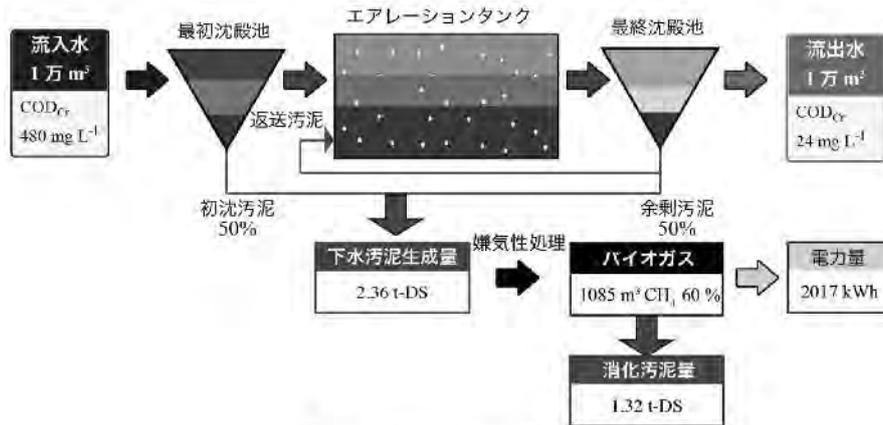
3.4 標準活性汚泥法との比較評価

図3に1万m³の下水を標準活性汚泥法と嫌気性MBR (SAMBR) で処理した場合のケーススタディを示す。下水のCOD濃度は480 mg/Lと定義した。標準活性汚泥法において、1万m³の下水を処理した際、2.36 t-DSの下水汚泥が生成されると報告されている (初沈汚泥と余剰汚泥の割合は50:50とする)。また、これらの汚泥を嫌気性処理した場合、およそ1085 m³のバイオガス (メタン、60%) が生成され、1.32 t-DS

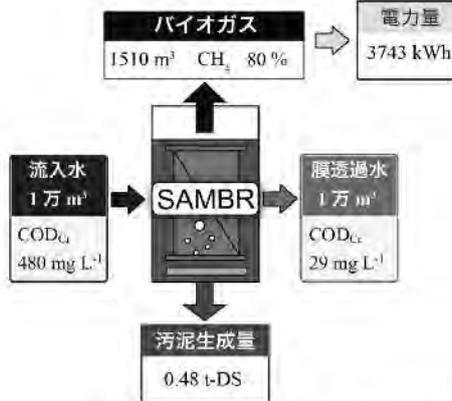
の消化汚泥が排出される。また、生成したバイオガスを電力換算すると、2017 kWhの電力に換算されることが示された (発電効率は0.30とする)。

嫌気性MBRについては筆者の実験結果に基づいて計算した。溶解性下水のSMMBRにおいて下水1万m³に対して、バイオガスが1510 m³ (メタン、80%) 生成され、汚泥が0.48 t-DS発生することが示された。SS含有系のSMMBRに関しては、下水1万m³に対して、バイオガスが1450 m³ (メタン、75%) 生成され、汚泥が0.53 t-DS発生することが示された。また、発生したメタンガスを電力換算すると、溶解性、SS含有リアクターそれぞれ、3743 kWh、3369 kWhの電力に変換されることが示された。これは、活性汚泥法で発生した下水汚泥を嫌気性処理した際に出るバイオガスから算出された電力量の1.5倍以上の値であった。嫌気性MBRを用いた場合の下水汚泥生成量は、標準活

(a) 標準活性汚泥法



(b) 嫌気性MBR (溶解性下水)



(c) 嫌気性MBR (SS含有系)

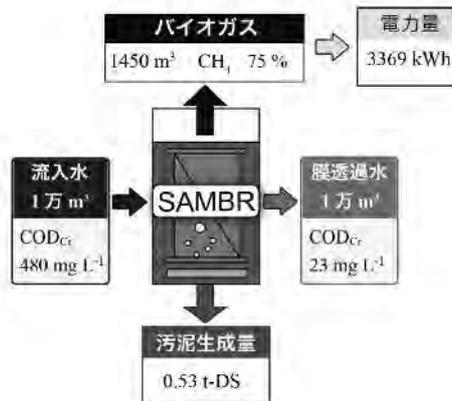


図3 標準活性汚泥法とSAMBRを用いた際の下水処理のケーススタディ

性汚泥法のおよそ1/4程度であり、汚泥生成量の削減が期待できることが示された。さらに活性汚泥法において発生した汚泥を嫌気性処理した際、1085 m³のバイオガスが生成し、1.32 t-DSの消化汚泥が排出されるのに対し、SAMBRでは生成した汚泥を処理せずにそれ以上のバイオガスが生成されることから効率良くエネルギーに変換されていることが確認できた。これらの結果から、SAMBRにより良好な水質、効率の良いエネルギー回収、汚泥生成量の削減が同時に実現する可能性が示唆された。

3.5 下水処理における嫌気性MBRの応用課題

嫌気性MBRは好気性処理と同等の処理水質を作り出すことのできる性能を持っている。また、嫌気性MBRはメタンガスのエネルギー利用、温室効果ガス削減、エネルギー回収といった点から注目を集めている。近年では、ラボからパイロットまでスケールを上げた嫌気性MBRの実証試験が始められているが、まだ解決すべき問題点が多々存在するので、今後以下の点に着目した研究が必要になるとと思われる: ① 低温条件における安定した処理方法、② 膜ファウリングの発生及び制御方法、③ 低温条件下での処理水中の溶存メタンの回収方法、④ 嫌気性MBR処理水からの窒素、リン除去プロセスの確立。

特 別 報 告

野菜類の生育収量と有機質肥料の 窒素形態別画分との関連性 (その3)

日本土壤協会

古畑 哲
井上 恒久

キーワード：タマネギ、スイートコーン、ダイコン、ゴボウ、ニンジン、コマツナ、分岐根

はしがき

従来より日本土壤協会と日本下水道協会では下水汚泥緑農地利用に関する調査活動として下水汚泥由来肥料の圃場試験を継続実施している。その中で下水汚泥類由来肥料などの有機質肥料では、主原料・副資材・製法が異なれば、作物への施用効果や、窒素の形態画分も大きく異なることがわかっている^{1)~3)}。

平成24年度は生育期間や養分吸収パターンの異なる6作物：タマネギ、スイートコーン、ダイコン、ゴボウ、ニンジン、コマツナを供試し、窒素施用量のほぼ全量を有機質肥料から充当して、有機質肥料の施用効果、野菜類の収量・品質と有機質肥料の窒素形態との関係、根菜類の分岐根発生と有機質肥料の熟成度との関連等を明らかにする。

I. 試験方法

1. 試験地・土壌

試験地：千葉県白井市の冨塚及び前原の2地点、(一財)日本土壤協会の借用圃場。両地点の土壌とも下総台地上の、透水性と通気性がやや良好な、中粒質の淡色クロボク土。

作土の化学性；

冨塚：pHが6.78と中性に近く、腐植が4.78%と少なく、陽イオン交換容量が29程度であり、交換性Caが高く、塩基飽和度が94%と高い。リン酸吸収係数は2060と高く、可給態リン酸が8.4と野菜畑としては少なめである。

前原：pHが5.6と微酸性であり、腐植が4.34%と少なく、陽イオン交換容量が27.6で、交換性塩基含量及び塩基飽和度が低い。リン酸吸収係数は2620と高い。可給態リン酸は10で冨塚の作土と同様に野菜畑としては少なめである。

2. 供試有機質肥料の性質

各有機質肥料の原材料、製法などの概要を表1に、また、三要素含有率・水分率・C/N比、窒素形態画分を表2に示す。堆肥や有機質肥料に含まれる肥料成分のうち、窒素は作物生育に最も大きく影響するが、作物に対する肥効には、速く効くものから遅く効くものまで幾つかのレベルが考えられる。ここでは、供試した有機質肥料の窒素形態を、植物の窒素化合物の分画法⁴⁾に準拠して「A：非タンパク態窒素」、「B：可溶性タンパク質」、「C：膜結合性タンパク質」、「D：細胞壁構成タンパク質」の4形態に区分した。各有機質肥料の窒素形態画分の割合を表2に示す。

A画分は水溶性で速効性、B画分は水には溶けない

表1 供試有機質肥料の概要

肥料の略称	原料別にみた有機質肥料のグループ	主要原材料(現物含有比率)および製法の特徴
甲府	下水汚泥コンポスト	高分子系下水汚泥(57%) おがくず(43%) 縦型密閉攪拌方式(一次)14日 堆積発酵(二次)60日
大玉	生ごみ堆肥	生ごみ(28%)、 牛ふん・おがくず・もみがら(72%) 横型ロータリー式発酵(一次)20日 堆積発酵(二次)80~110日
結城	し尿汚泥コンポスト	し尿汚泥(60%)、食品汚泥(19%) 乾燥し尿汚泥(7%)、コーヒー粕(9%) ゼオライト(5%) 箱型堆積発酵(一次)30日 箱型堆積発酵(二次)60日
須賀川	融合生ごみコンポスト	下水汚泥(20%)、食品汚泥(50%) 食品残さ(20%)、たばこ葉粕(10%) 攪拌発酵 25日
珠洲	乾燥汚泥肥料	下水汚泥(49%)、集排汚泥(2%) 浄化槽汚泥(26%)、し尿(21%) 生ごみ(2%) メタン発酵施設においてメタンを発生、 残さを乾燥し、ペレット化した汚泥肥料
芳賀	生ごみ堆肥	生ごみ(25%)、牛ふん(25%) おがくず・もみがら(50%) スクープ式発酵(一次)30日 堆積発酵(二次)70日、ペレット
静岡	パーク堆肥	パーク(80%)、コーヒー粕(20%) 鶏ふん(少量)、原素(少量) 堆積発酵(一次)野積み 1.5年 堆積発酵(二次)野積み 0.5年
創和	牛ふん堆肥	牛ふん(40%)、おがくず(60%) 堆積発酵(一次)45日 堆積発酵(二次)60日
境川	乾燥汚泥肥料	境川浄化センターの石灰系脱水汚泥を 乾燥ペレット化した汚泥肥料
刈谷1	境川乾燥汚泥肥料の コンポスト化試作品	下水汚泥乾燥肥料(50%) もみがら(50%) 堆積発酵 87日
刈谷7	境川乾燥汚泥肥料の コンポスト化試作品	下水汚泥乾燥肥料(66%) おがくず(33%) 堆積発酵 87日
石和生ごみ	生ごみ堆肥試作品	生ごみ(50%)、剪定枝(50%) 堆積発酵 83日
石和汚泥	し尿汚泥コンポスト試作品	し尿浄化槽汚泥(50%)、剪定枝(50%) 堆積発酵 83日
朝日	生ごみ堆肥	野菜チップ(50%)、剪定・刈草チップ (40%)、米糠・竹酢液(10%) 堆積発酵(一次)120日 堆積発酵(二次)30日

表2 有機質肥料の三要素含有率・水分率・C/N比、窒素形態画分

有機質肥料	現物当たり%			水分率 %	C/N比	非蛋白 A	可溶性 B	膠結合性 C	細胞壁 D
	窒素	リン酸	カリ						
甲府④	1.76	1.82	0.44	48.7	4.5	14.1	30.2	23.7	32.0
大玉②	1.20	1.40	1.10	47.4	8.9	11.4	10.7	39.9	38.0
結城	2.05	4.78	1.07	38.2	8.7	6.3	24.4	39.0	30.3
須賀川	3.01	2.92	2.69	44.0	9.7	3.4	16.4	30.4	49.6
珠洲	4.75	4.08	0.67	36.6	4.2	8.6	8.0	34.1	49.3
芳賀①	1.40	1.70	2.20	32.5	15.0	16.9	22.8	35.1	25.2
芳賀②	1.70	1.05	2.51	56.1	11.7	7.9	30.0	31.1	31.0
静岡①	0.64	0.33	0.20	65.3	20.0	2.7	4.9	30.5	61.9
静岡②	0.67	0.44	0.45	67.9	15.8	2.2	4.4	26.8	66.6
創和	0.87	1.02	1.90	51.6	18.1	5.8	7.3	37.0	49.9
境川	2.30	1.60	0.50	23.9	10.0	5.8	23.9	41.0	29.4
刈谷1	1.05	1.66	0.12	48.7	12.3	3.5	18.3	31.5	48.7
刈谷7	1.34	2.62	0.07	40.3	9.0	6.5	11.4	35.9	46.2
石和生ごみ	1.40	0.44	0.63	58.3	11.0	1.5	7.6	31.6	59.1
石和汚泥	1.10	0.81	0.21	67.6	10.0	1.6	2.8	31.1	64.6
朝日	1.40	0.60	1.10	52.7	16.5	11.6	23.8	31.0	33.4

が速効性、C画分は緩効性、D画分は遅効性ないし難分解性とみなされる。

II. 作物別施用試験

圃場試験を行った6作物各々の供試有機質肥料区、耕種概要を表3に示す。このほか対照区として硫酸・過石・硫加の単肥区も設けている。

1. タマネギ

秋から冬の期間中では、タマネギの伸長がほとんどみられなかったが、立ち枯れることもなく、株が確保された。3月下旬に気温と降水量の増大に伴い、草丈が伸長し始め、以後順調に生育し、葉の先端が枯れ始めた6月5日に球の収量調査を行った。

区画内の全球を抜き取り、地上部と球の根を切り

表3 各作物の栽培試験概要

作物	タマネギ	スイートコーン	ダイコン	ゴボウ	ニンジン	コマツナ
試験地	前原	富塚	富塚	前原	前原	富塚
作付期間	2011/10/31 ~6/11	4/25~7/23	5/1~6/25	4/9~10/16	8/20~12/11	①~⑤ 約1ヶ月間 ⑥ 10/17~12/7
有機質肥料	8種類	8種類	9種類	9種類	8種類	9種類
甲府④	○	○	○	○	○	○
大玉②	○	○	○	○	○	○
結城	○	○	○	○	○	○
須賀川	○	○	○	○	○	○
珠洲	○	○	○	○	○	○
芳賀①	○	○	○	○	○	○
芳賀②	○	○	○	○	○	○
静岡①	○	○	○	○	○	○
静岡②	○	○	○	○	○	○
創和	○	○	○	○	○	○
境川	○	○	○	○	○	○
刈谷1	○	○	○	○	○	○
刈谷7	○	○	○	○	○	○
石和生ごみ	○	○	○	○	○	○
石和汚泥	○	○	○	○	○	○
朝日	○	○	○	○	○	○
作物品種	キーパー	ピーターコーン	敵農青首	みとよ白肌	ハータリクテ	きよすみ
1区画大きさ	0.8m×2m 3連	3.2m×3m 反復なし	2.1m×2m 3連	2.5m×2m 2連*	0.4×2m 3連	0.71m×0.71m 反復なし
栽植密度 条幅	25cm	80cm	70cm	80cm	20cm	190粒
株間	15cm	30cm	25cm	10cm	10cm	0.5m ²
栽培経過 ・元肥施肥	10月19日	4月25日	5月1日	4月9日	有機8/3☆ 化肥8/17☆	5月14日
施肥量	12.5-25-12.5	17-17-17	15-15-15	20-20-20	20-20-20	20-20-20
施肥方法	追肥2.5-0-2.5	作業施用	畝内作業	畝内作業	全面	全面

取って球1個重を計測した。表4に各試験区のタマネギ1個当りの3反復平均重を示した。

タマネギの球の収量は全重及び1個当たりの平均重とも、単肥区が119.7gで最も高く、次いで甲府が高く、他方、静岡が最も低く、次いで芳賀が低かった。

収量と窒素形態画分との関係を見ると、収量はA+B、B+C、A+B+Cなどいずれの画分との間では特に関係がなかった。しかし、有機質肥料中の全炭素量と全窒素量との比率(C/N比)との関係は、図1に示すように、高い逆相関が認められた。

タマネギは窒素吸収の大半を4月、5月の2ヶ月に行う。C/N比の低い有機質肥料では、微生物の働きにより、前年の施肥後4月までにCやDの画分の窒素がAやBの画分に変化した割合が大きいと推定された。単肥区で収量が高かったのは、基肥施用直後にビニールマルチで覆ったために肥料の流亡が抑制され、タマネギに良く利用されたためと考えられる。

2. スイートコーン

播種後、適度の降雨があり、発芽は良く揃った。その後6月中旬までは順調に生育した。しかし、6月19~20日に台風5号の襲来があり、それにより、かなりの株が傾いたが、倒伏までには至らなかった。その後の天候によって収穫期にはほとんど立ち直っていた。

収量調査は区画内の全株を対象に雌穂部をもぎ取り、皮付きのまま成熟したものと未熟なものに分けてそれぞれの雌穂本数と重量、茎葉重を測定した。結果を表5に示す。大部分の項目の数字は1区画9.6m²当りで載せている。本数は成熟したものと未熟なものに分けている。皮なしの成熟した雌穂重は最高が甲府の12.49kg、最低が単肥の8.27kgであり、どの有機質肥料区も単肥よりも収量が勝っていた。収量と有機質肥料の窒素形態画分との間には判然とした関係がみられなかった。一方、雌穂重とC/N比との間には、図2に示すように負の相関関係が認められた。先に生育期間

表4 タマネギ球の収量調査結果

試験区	個数	区画: 0.8m × 2m		
		全重 g	平均重 g	糖度 %
甲府	38.7	4366	112.9	9.0
結城	40.0	4246	106.0	9.3
須賀川	38.3	3947	103.3	9.2
刈谷1	38.3	3495	91.1	9.4
珠洲	38.3	4204	109.4	9.5
芳賀	38.0	3136	82.1	9.0
静岡	37.0	2855	76.9	9.3
創和	40.7	3970	97.6	9.3
単肥	36.3	4385	119.7	9.4

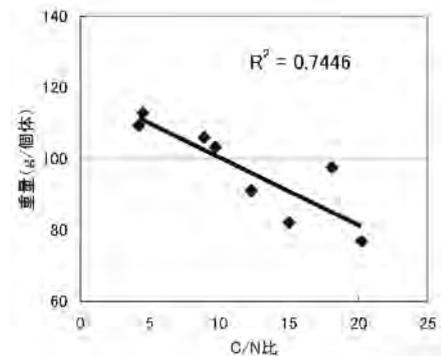


図1 タマネギ球平均重とC/N比

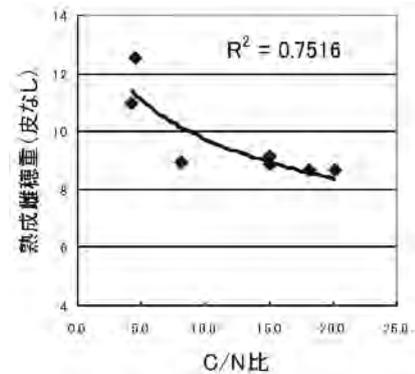


図2 コーン収量とC/N比

表5 スイートコーン収量調査結果

試験区	雌穂本数			kg/9.6m ²						kg/m ²	
				雌穂重(皮付き)			成熟雌穂重 (皮なし)	皮なし雌穂重 皮付き雌穂重	茎葉重	成熟雌穂重 (皮なし)	茎葉重
	成熟	未熟	全	成熟	未熟	全					
甲府④	38	8	45	17.1	0.92	18.03	12.49	0.730	14.63	1.30	1.52
結城	35	7	42	12.9	1.05	13.93	8.94	0.694	11.69	0.93	1.22
須賀川②	37	5	42	13.1	0.86	14.00	9.11	0.693	10.75	0.95	1.12
刈谷	38	9	45	12.2	0.31	12.47	8.63	0.710	8.61	0.90	0.90
珠洲②	37	13	50	14.9	1.60	16.47	10.96	0.737	12.56	1.14	1.31
芳賀	35	8	43	12.2	1.29	13.51	8.88	0.727	13.71	0.93	1.43
静岡③	37	1	38	12.1	0.04	12.12	8.65	0.716	10.91	0.90	1.14
創和	37	2	39	11.6	0.20	11.79	8.63	0.745	10.88	0.90	1.13
単肥	39	7	46	11.3	0.25	11.53	8.27	0.733	9.01	0.86	0.94

の短期の作物では、収量はA画分ないしA+B画分と相関関係のあることを報告したが、スイートコーンやタマネギのように生育期間の長い作物では、A+B画分はおろか、B+C画分やA+B+C画分とも関係が判然とせず、C/N比との関係が明瞭であった。

3. ダイコン

栽培期間の降水量は5月が167.5mm、6月が176mmで、平年値よりそれぞれ48mm、82mmも多かった。特に、収穫前の1週間には114.5mmと集中して降ったが、ダイコンの生育に対する影響は少なかった。発芽は良く整い、収穫期までの生育も病虫害がほとんどなく順調であった。

収量調査は区画内3畝の全株を採取し、根部と茎葉部を切り離し、個々の重量を秤量した。平均重量に近い根部を4個選び、硝酸イオンとブリックス糖度の測定に供した。結果を表6に示した。根重は甲府が最も高く、次いで単肥、大玉、朝日が続いた。他方、石

和、須賀川が低かった。

ダイコンの収量と有機質肥料の窒素形態画分の関係は、図3に示すように、根の収量はA画分あるいはA+B画分と相関のあることが認められた。施肥直後に大雨がなければ、肥料速効性の窒素成分が作土に留まり、作付期間が2ヶ月間と短いダイコンでは、速効性のA画分やA+B画分の多い有機質肥料ほど収量が高いと考えられる。

4. ゴボウ

4月9日に80cm幅の畝3本を設けて、肥料を作条施用し覆土後、株間10cmで2粒づつ播種した。発芽は各区とも斉一で、5月7日に間引きした。地上部の生育は区によって大きく異なった。中間期の生育調査は7月16日に、畝の1/4の長さ当たる50cm、1.25㎡について、収穫期には10月16日に、残り3/4の3.75㎡について、ゴボウの茎葉重、根重、T/R比、分岐根率などを調査した。図4に中間期と収穫期の根重、及び

表6 ダイコンの収量調査結果 12年春作

試験区	重量 (g/株)		T/R	糖度 %	硝酸イオン ppm	分岐根率 %
	茎葉	根				
甲府④	376	1314	0.29	4.2	1200	0
大玉②	675	1170	0.41	4.2	1100	57
須賀川	257	897	0.28	4.0	1300	25
石和生ごみ	390	818	0.48	4.5	790	5
朝日	370	1107	0.33	4.1	1400	0
珠洲	393	1060	0.37	4.2	1200	42
芳賀②	480	931	0.52	4.4	1000	60
静岡②	447	1087	0.40	4.5	1300	8
境川	501	1010	0.50	4.0	1300	64
単肥	474	1222	0.39	4.3	1400	8

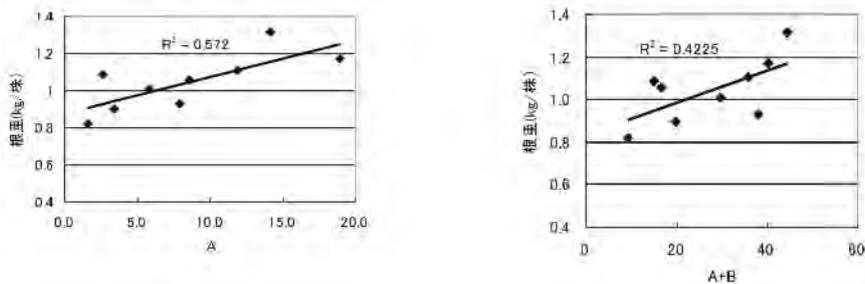


図3 ダイコン収量と窒素形態画分との関係

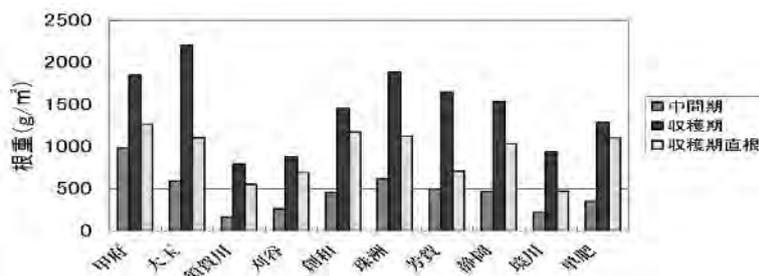


図4 ゴボウ中間期及び収穫期の根重、収穫期直根重

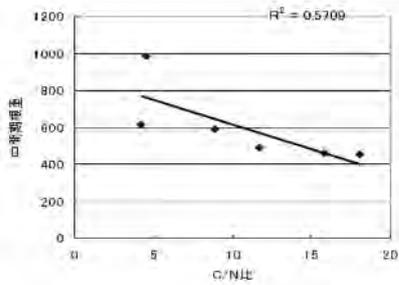


図5 ゴボウ中間期の根重とC/N比

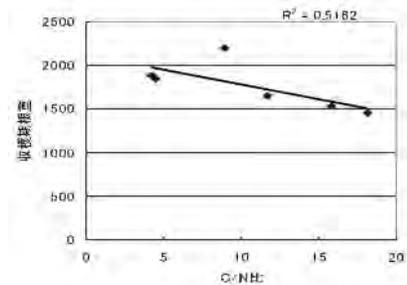


図6 ゴボウ収穫期の根重とC/N比

表7 ニンジン収穫期の調査結果

	甲府	朝日	須賀川	石和汚泥	珠洲	芳賀	静岡	創和	単肥
茎葉重 平均 g/m ²	373	218	125	226	202	276	323	308	204
根重 平均 g/m ²	1206	848	459	1050	933	1103	1025	1159	668
T/R %	31	26	27	22	22	25	32	27	31
直根本数 本/m ²	12	17	13	14	10	13	13	19	12
直根重 g/m ²	889	755	455	981	784	945	823	1033	418
直根重/根重 %	74	91	99	93	84	86	80	89	63
直根平均重 g/本	73.6	46.5	34.1	71.3	75.2	70.2	61.8	55.1	35.8
分岐根率 %	40	22	3	8	29	26	22	15	33
ブrix糖度 %	8.6	8.2	7.8	8.6	8.9	9.6	8.5	9.3	9.6
硝酸イオン ppm	1000	1300	1300	740	1000	960	910	620	1100

収穫期の直根重を示す。

商品価値のある直根の生産量 (g/m²) の高かった区は、全体の根重が高い大玉、甲府、珠洲、ならびに創和、単肥であり、一方、低かった区は全体の収量が低かった境川、須賀川、刈谷7のほか、芳賀が含まれていた。欠株率の高い区は創和、刈谷7、単肥で20%以上あり、甲府と須賀川が12%で、それ以外の区は数%以下と低かった。

ゴボウ根重と有機質肥料の窒素形態画分との関係については、肥料の窒素形態以外の要因で根重が低いと考えられた須賀川、境川、刈谷7の3区を除き、残り6つの有機質肥料区で検討した結果、中間期、収穫期ともに、根重と窒素形態画分の間には相関が認められなかった。

一方、有機質肥料のC/N比と根重の間には、ゴボウ生育の中間期、収穫期ともに、負の相関関係がみられた (図5、図6)。

5. ニンジン

8月3日に、0.4m×2mの区画に有機質肥料を全面散布し攪拌混合。8月17日に化学肥料を全面施用。8月20日、各区画内に畝幅20cm×2、株間10cmで2粒ずつ播種し、畝を稲藁束で被覆した。7月中旬から8月20日の播種日までは降雨が寡少であり、8月3日に有機質肥料を施用して作土を攪拌したことが、乾燥を進行させ発芽に悪い影響を与えたと推定された。9月27日に発芽率調査と欠株箇所にも再播種したが、その後

は各区ともほぼ順調に揃って発芽していた。収穫期の調査は12月11日に行い、調査対象は最初に播種した株に限った。収穫時の調査結果を表7に示した。根重は甲府、創和などが高く、須賀川や単肥が低かった。商品価値のある直根に限ると、m²当り重量は創和、石和汚泥、芳賀が高く、直根1本当たり平均重は珠洲、甲府、石和汚泥、芳賀が70g以上と高かった。

収量と有機質肥料の窒素形態との関係では、収量は区によって株立ちに差があったので、面積当り収量ではなく、直根の平均重を用いた。窒素形態画分のA、B、A+B、B+C、およびC画分と直根平均重の間にはいずれも相関がみられなかった。一方、有機質肥料のC/N比と収量の間には、須賀川を除く7区で、図7のように負の相関が認められた。ニンジンの場合もゴボウと同様にC/N比のほうが収量に関係することが

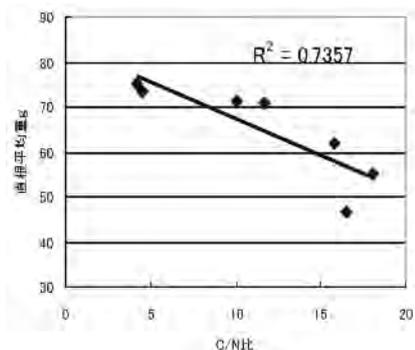


図7 ニンジン直根平均重とC/N比

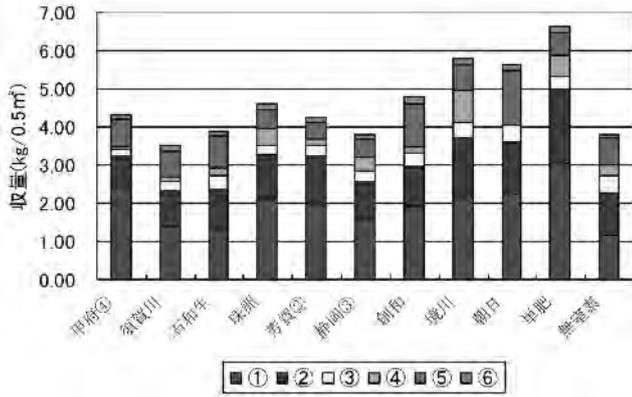


図8 コマツナの累積収量

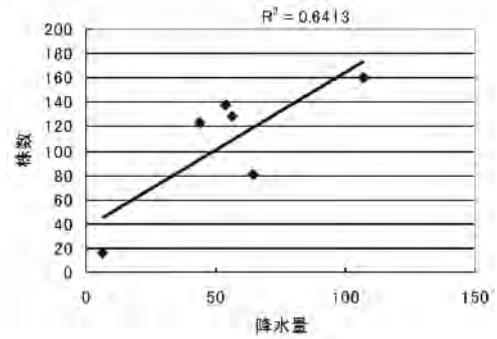


図9 コマツナ播種後10日間降水量と株数

うかがわれた。須賀川は、堆肥のコマツナ種子発芽率が不良であり、低収要因には窒素成分以外の成分の関与が考えられた。

6. コマツナ

肥料は全面に散布し、レーキですきこんでから、コマツナ種子 1 ml (約190粒相当) も全面に散布し、薄く覆土した。収穫ははさみで地上部のみ切り取り、根部を残した。2 作目以降では施肥を行わず残効をみた。収穫後の作土の表面を均してから、播種を行い、6 回連作を繰り返した。

株数は全般的に第2 作が良好で、第4 作が極めて不良であった。各作ごとの累積収量を図8 に示す。各作の平均株数と播種後10日間の降水量との関係を図9 に示す。降水量が株数に大きく影響したことが伺われる。

各作の平均収量は、①1.94kg、②1.21kg、③0.32kg、④0.29kg、⑤0.74kg、⑥0.14kgで、第1 作の収量指数を100とすると、2 作が60、3 作以降が78である。第3 作は平均株数は低くはなかったが、7 月下旬から8 月上旬に干ばつに遭遇し収量が低かった。第4 作は大半の期間が干ばつの気象下にあった。各試験区の収量は、第1 作では単肥が最高で、次いで甲府が高く、第

2 作では単肥が依然として高く、境川と朝日が続き、一方、甲府が低下していた。全6 作の累積収量は単肥、境川、朝日が際立って高かった。

有機質肥料の窒素形態画分とコマツナ各作の収量との関係について、A画分は図10に示すように、第1 作の収量とは高い相関関係があったが、第2 作の収量とは関係が見られなかった。B画分はA画分よりも低いが、第1 作の収量とは相関があり、第2 作の収量とは関係が見られなかった。C画分は図11に示すように第2 作の収量と相関が認められた。また、第3 作から第6 作までの合計収量とも相関があった。この結果、A画分とB画分は第1 作の生育に関与するが、第2 作及びそれ以降ではC画分が関与すると考えられた。

Ⅲ. 考察

供試した有機質肥料の種類と野菜の収量との関係を見ると、甲府区はコーン、ダイコン、ニンジンで1 位、タマネギ、コマツナ (1 作目) で2 位、ゴボウでは3 位と、どの作物とも高い収量を上げていた。化学肥料単肥区はタマネギとコマツナ (1 作目) は1 位、ダイコンで2 位であったが、ゴボウ、ニンジン、コー

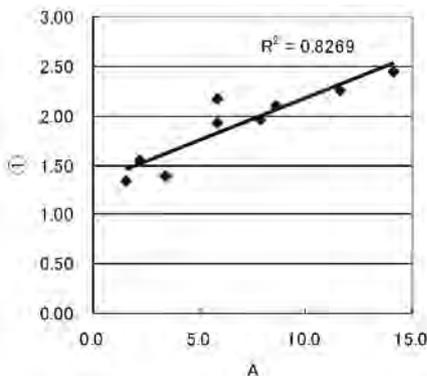


図10 窒素形態A画分とコマツナ収量①②の関係

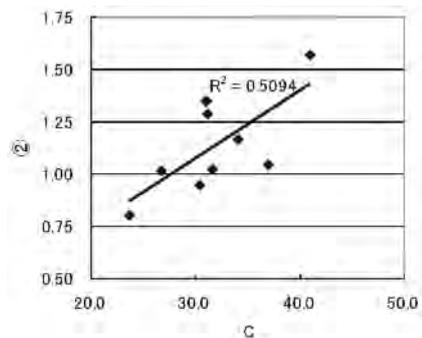


図11 窒素形態C画分とコマツナ収量②の関係

ンでは下位であり、野菜の種類によって極端に異なっていた。単肥区は、作付期間の短い野菜、あるいはマルチで被覆され、肥料窒素の流亡しない条件では有利だが、作付期間中に肥料が下層に流亡する場合は不利で追肥が必要になる。

各種の有機質肥料の窒素形態画分は、水溶性のA画分については甲府の14.1%が最高であり100%水溶性の硫酸と比べて、有機質肥料中の窒素は流亡しにくいとみなされる。作付期間が1、2ヶ月と短いコマツナやダイコンの収量は、窒素のAあるいはA+B画分と正の相関がみられた。

コマツナの連作試験ではAやBの画分は2作目以降の収量とは関係なく、C画分と正の相関がみられたが、コマツナの第2作目以降にC画分が直接利用されたのではなく、微生物の働きによるAやB画分への形態変化を介して利用されたと推定される。生育期間の短い野菜に対しては速効性の窒素肥料が効果的であり、硫酸は勿論のこと、有機質肥料ではA画分の多いほど好適であろう。タマネギ、スイートコーン、ゴボウ、ニンジンなどの生育期間が中長期の野菜では、窒素形態画分と収量との関係は判然とせず、むしろC/N比と負の相関関係がみられた。ゴボウの場合、中間期の収量も窒素形態に相関がなく、C/N比と負の相関が見られた。生育中期までにC画分も分解して利用され、窒素形態と収量との関係が薄れたと考えられる。

次に根菜類の分岐根の発生には次のような事例が確認された。第一は、発根時に根の周辺に阻害物質が存在する場合である。今回の試験では、コマツナ種子の発芽率が80%以上で良好と判定された有機質肥料であっても、ダイコンやゴボウの栽培において、分岐根の発生の著しいものがあつた。これらの有機質肥料のコマツナ発芽試験を、沸騰水による試料抽出の過程で通常の試料量の5倍を用いて試験を行うと、発芽率が不良であつた。これらの有機質肥料は根菜類に対する熟成度がまだ不十分といえる。第二は、栽植密度が密なため、生育後期に分岐根の発生したとみられるゴボウの例である。ゴボウで欠株率の多い区の方が分岐根率が少なかったのは、根の肥大に伴って隣接する根が相互に絡み合い、直根の伸長が妨げられたと考えられる。第三は、播種時以降の干ばつで、発芽不良とともに、分岐根が増えたニンジンの例である。有機質肥料を播種の17日前に先行施用することでニンジンの分岐根発生を回避しようとしたが、逆に、ダイコンやゴボウでは分岐根率が低かった単肥区や甲府区で分岐根率

が高まつた。ニンジン播種後の干天の下で、単肥区や窒素形態のA画分が多い甲府区では、他の区よりも硝酸が多く生成し、濃度ストレスにより根に障害を与えたと推定される。

今後の予定として、平成24年度は供試作物としてこれまでは取りあげていない果菜類に主体をおいた圃場試験を行うとともに、下水汚泥由来肥料等の有機態炭素の組成を検討し、野菜収量に係わるC/N比の実態を解明する。

要 約

野菜類6作目を圃場で栽培し、可食部の収量と有機質肥料の窒素形態との関係、根菜類の分岐根発生に係わる要因を検討した。

- 1) タマネギ、スイートコーン、ゴボウ、ニンジンでは、可食部の収量は窒素形態の画分との相関は判然とせず、C/N比とは負の相関関係が認められた。
- 2) ダイコンでは、根の収量はA画分あるいはA+B画分と相関関係が認められた。
- 3) コマツナは6回連作した。施肥は1作目のみ行い、2作目以降は残効をみた。1作目の収量はA画分あるいはB画分と相関があつたが、2作目の収量とはなかつた。2作目の収量はC画分との間で相関がみられた。
- 4) 根菜類の分岐根の発生要因として、有機質肥料の熟成度が不十分な場合、栽植密度が密になった場合、発芽時の干ばつが影響した場合が考えられた。

文 献

- 1) 五十嵐孝典・古畑 哲：窒素化合物の粗分画法による各種コンポストの形態別組成、再生と利用、Vol34, No.129, 72~78 (2010)
- 2) 古畑 哲・五十嵐孝典：野菜類の生育収量と有機質肥料の窒素形態別画分との関連性、再生と利用、Vol35, No.133, 68~75 (2011)
- 3) 古畑 哲・五十嵐孝典・小坂谷義：野菜類の生育収量と有機質肥料の窒素形態別画分との関連性（その2）、再生と利用、Vol36, No.137, 69~76 (2012)
- 4) 大崎 満：各種有機物成分の分析法、植物栄養実験法、p.204~217、博友社（1990）

投稿報告

熊本市の 下水汚泥固形燃料化事業について

熊本市上下水道局水再生課 審議員 齊田 誠治

キーワード：焼却炉老朽化、循環型システム、DBO、低温炭化、汚泥処理費削減

1. はじめに

熊本市は熊本県のほぼ中央、阿蘇連山と有明海の間に広がる熊本平野に位置し、水や緑など豊かな自然と、先人達が築き上げた旧城下町としての歴史的風土と文化的遺産を合わせ持つ、人口約73万人の政令指定都市である。本市は、水道の水源の全てを地下水で賄っている全国でも稀な都市であり、下水道は、使用した水を適正な浄化・水質管理のもと海・川・水路に戻すことにより、水の自然循環システムを健全に保つための重要な構成要素である。

一方、下水処理の過程で発生する下水汚泥の処理についても、有効な資源として循環型システムへの転換の必要性、さらに温室効果ガスの削減による地球温暖化防止への貢献が叫ばれる中、安定的継続的な汚泥処理計画を進めていくことが求められている。

このような中、本市では平成25年4月から九州では初となる下水汚泥固形燃料化施設の稼働を開始した。

本稿ではこの燃料化事業を実施するに至った経緯、事業内容及び期待される効果等について紹介する。

2. 下水汚泥固形燃料化事業着手の背景

(1) 下水汚泥処理の現況

熊本市の下水道は、9処理区を管理し5箇所の浄化センターを所管しており、(図1参照) 1日に約80トン、年間に約29,000トンの下水汚泥が発生している。汚泥処理処分計画の策定を開始した平成17年当時は、

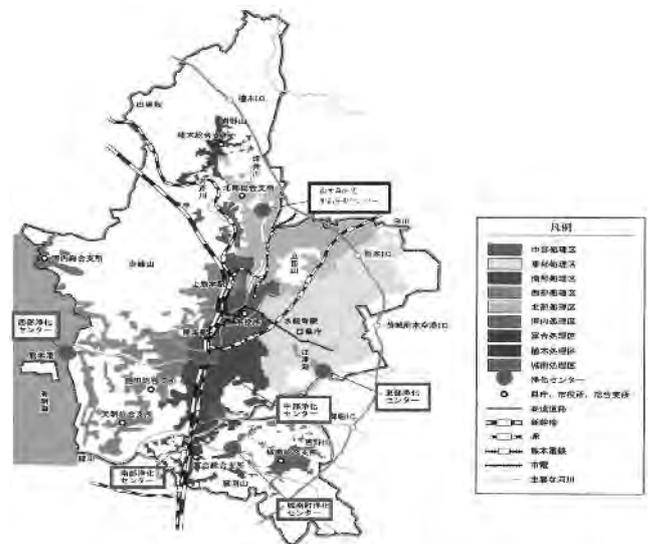


図1 熊本市の下水処理区と浄化センター



図2 下水汚泥固形燃料化事業前の汚泥処理フロー

南部浄化センターにある1号炉30t/日と2号炉50t/日の2基の汚泥専用焼却炉で焼却し、6t/日の灰を市の扇田環境センターに埋立てていたが、焼却炉の老朽化が著しく進み、次期の汚泥処理方法について苦慮していた。平成20年9月に1号焼却炉は標準耐用年数10年を過ぎ老朽化が激しいため廃止し、その分の下水汚泥については、セメントやコンポストの原料として民間委託を行い、下水汚泥のリサイクル率は約31%であった。(図2参照)

(2) 固形燃料化事業着手の理由

2号焼却炉の取扱いに関しては、老朽化が進むことから、更新はせずに平成24年度末で廃止することとし、焼却埋立処分をしていた50トンの下水汚泥については、それに替わる処分方法の検討を始めた。

当初、市の環境工場で汚泥を一般ゴミの熱源を利用して乾燥し、ゴミと併せて炉に投入する混合焼却を目指していたが、地元協議の長期化や混焼による焼却灰の有効活用策が見つからないなどの問題を抱えていた。そのような中、国が地球温暖化・エネルギー枯渇

の懸念から、下水処理の分野においても循環型システムへの転換の必要性を「下水道ビジョン2100」で示していたこと、平成20年の「ロータスプロジェクト」発足で燃料化技術が表1のように日本下水道事業団や下水道新技術推進機構との共同研究により技術的に確立されたこと、及び汚泥炭化事業が東京都を皮切りに各都市で実用化され始めたことなど、地球温暖化防止に効果のある新技術として下水汚泥の燃料化が注目を集めていた。そこで本市においても、「平成25年度から下水汚泥を再資源化し、リサイクル率100%を目標とする」こととして、平成21年11月の経営戦略会議にて「下水汚泥固形燃料化事業計画」を決定した。(図3参照)

3. 契約形態について

(1) DBO方式採用の理由

汚泥の処理処分については、安定的に継続されることが重要であり、下水汚泥固形燃料化事業は燃料化物の長期間にわたる安定した需要がなければ成り立たない。

表1 共同研究・技術評価

方式	年度	企業	共同機関
乾燥	平成19年	日立造船(株)	下水道新技術推進機構技術評価
	平成20年	新日鉄エンジニアリング(株)	日本下水道事業団共同研究
	平成21年	三菱化工機(株)	下水道新技術推進機構技術評価
炭化	平成19年	カワサキプラントシステムズ(株)	日本下水道事業団共同研究
	平成20年	電源開発(株)、月島機械(株) メタウォーター(株)、(株)ジェイベック	日本下水道事業団共同研究
	平成20年	大同特殊鋼(株)	日本下水道事業団共同研究
	平成22年	(株)東芝	下水道新技術推進機構技術評価

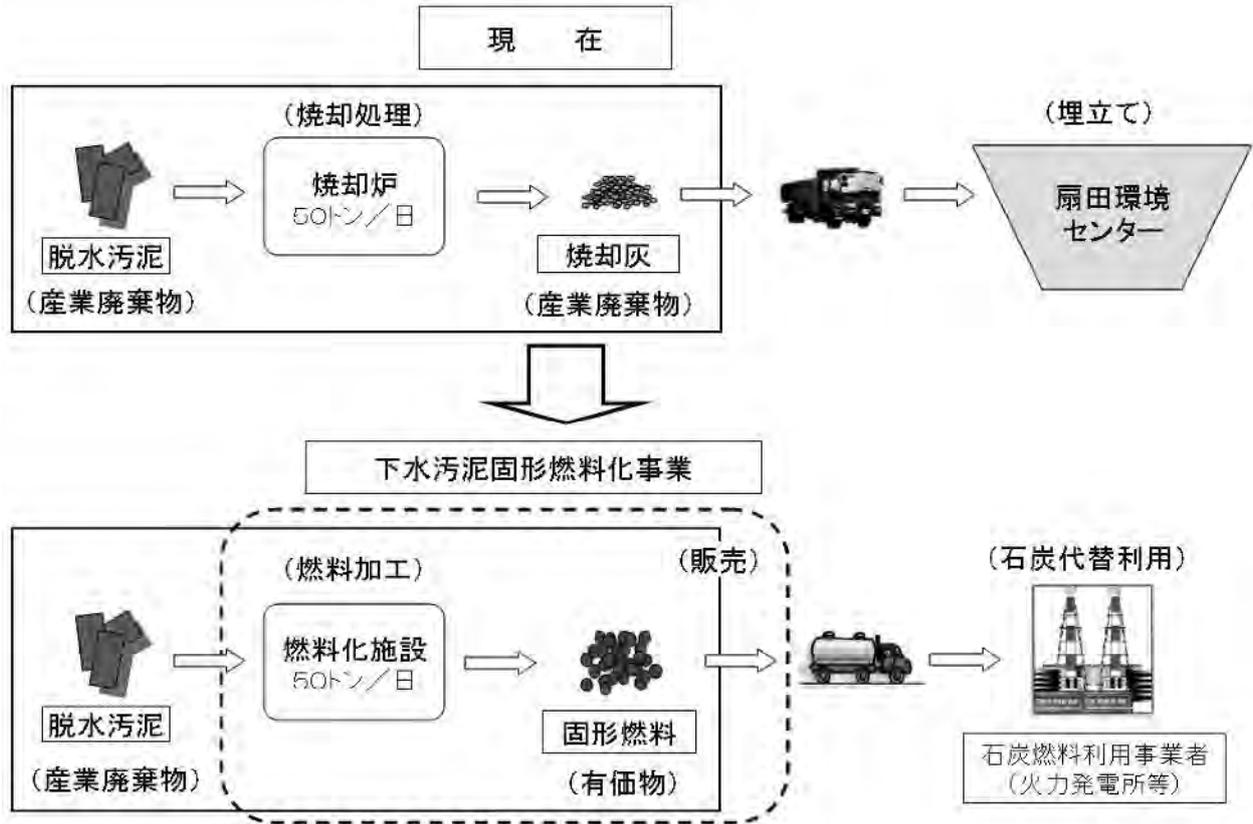


図3 下水汚泥固形燃料化事業の概要

当初、市独自で燃料化物の受入れ先の確保を試みたが、石炭ボイラーを使用している各事業者によって引き受けできる燃料の性状が異なることや、各プラントメーカーによって燃料化物の品質が異なること等、課題が多く受入れ先に対して説明ができなかった。このため、受入れ先の確保を入札参加の条件に含めることとし、応募事業者に対して20年間の燃料化物買取・利用の確約書の提出、及び入札時までに燃料化物を利用

する予定の施設がある地域の自治体の承諾を得ることを入札条件とした。さらに、民間企業の有する経営能力や技術力を活用した効率的な事業運営を図るため、設計・施工・管理運営を一括して民間委託するDBO方式を導入した。(図4参照)

PFI方式の中でも下水道関係の補助金が適用しやすいBTO方式も検討したが、資金調達コストや契約内容の検討から事業開始までの期間が2～3年と長期に

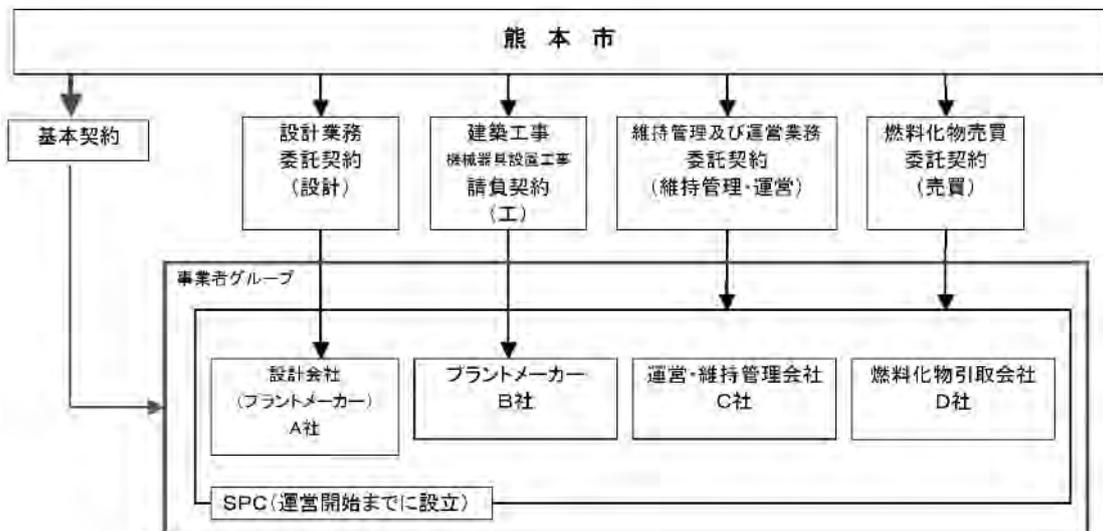


図4 事業スキーム (DBO方式)

わたり、本市の場合スケジュール的にも無理があったことに加えて、ファイナンス面でもDBOだと20%以上コストが安いという試算結果も出たことから、DBO方式を採用した。

(2) 事業者選定

入札形式は、民間企業の高い技術とノウハウを期待して「高度技術提案型総合評価方式」を採用した。本事業は燃料化方式を絞り込まず、幅広い高度な技術提案を求めるものであるが、各方式で技術が違うため、直接的な技術評価はせず、日本下水道事業団や下水道新技術推進機構の評価があれば可能として、表2にあるように共通的に評価できる環境対策など、一定水準以上の提案を総合評価の対象とした。また、一方で汚泥処理処分コスト縮減の観点も重視する必要があり、価格評価点と技術評価点の配分は1：1として公募した。

それぞれの特徴を打出した3グループの応募があったが、結果的には低温炭化方式を採用した電源開発(株)を代表企業とする5社の共同企業体を事業者として選定し、平成23年3月に基本契約を締結した。その後構成員の各社と設計業務委託・建築工事・機械器具設置工事を随意契約により締結し、平成25年3月に熊本市下水汚泥固形燃料化施設は完成した。

(3) 維持管理契約の協議

20年間の維持管理については、5社が出資するSPC(特別目的会社)である(株)バイオコール熊本南部と維持管理及び運營業務委託契約・燃料化物売買契約を結び、平成25年4月より運転を開始している。

この契約締結に際しては、今後20年間という長期間、安全で安定した管理運営を維持していくために、委託料の支払方法・年度毎の委託料見直し方法等、慎

表2 技術評価点の評価項目

評価項目		評価内容		
事業安定性	事業実施体制の安定性	受入先の安定性	長期的な汚泥処分をより安定的・確実にするため、受入施設の有効利用可能量が十分確保されていることを評価する。	
		受入先の経営状況	長期的な汚泥処分をより安定的・確実にするため、受入先の経営状況を評価する。	
		事業受託の実績	国内の上下水道分野・廃棄物処理分野におけるPFI及びDBO事業の実績数により、事業運営の安定性・確実性を評価する。	
環境	温暖化対策	製造に伴う温室効果ガスの排出量	地球温暖化防止対策として、燃料化物製造時に発生するCO2排出量を評価する。	
		有効利用に伴う温室効果ガスの削減量	地球温暖化防止対策として、燃料化物有効利用に伴うCO2削減量を評価する。	
	臭気対策	臭気排出量	燃料化施設の設置に伴い、外部排出される環境負荷(臭気)を評価する。	
		燃料化物の臭気	燃料化物そのものの臭気を評価する。	
		臭気漏洩対策	乾燥設備・炭化設備・汚泥搬送設備など、各設備からの臭気漏洩対策について評価する。	
維持管理性	エネルギーの効率性	消化槽加温熱の返還量	燃料化施設からの廃熱利用など、処理場全体のコスト縮減を図るため、消化槽加温熱の返還量・用水使用量・汚水排水負荷量を評価する。	
		汚水排水負荷量		
	変動リスク	電力・燃料使用に伴う事業費増加リスク	電力・燃料の使用量が大きいことは物価上昇による事業費増加のリスクが大きくなるため、電力・燃料使用量で事業費増加リスクを評価する。	
	配置技術者	配置予定技術者の経験年数	燃料化施設の安定した運転管理のため、総括する配置技術者の経験年数について評価する。	
社会的要請	その他	対安全	危機管理の対応	緊急時に対する体制や対応について評価する。
		地域への貢献	地域社会を活性化するための対応について評価する。	
その他	その他	事業者からの提案が事業期間において、市の財政負担低減等、効果が得られる提案について評価する。		

重な協議を要した。

4. 固形燃料化施設の概要

熊本市が採用した低温炭化方式の下水污泥固形燃料化施設は、南部浄化センターの1号焼却炉跡地（図5参照）に建設した。低温炭化方式は、低温域（炭化温度：250～350℃程度）で炭化を行うことで、燃料化物に求められる高発熱量・低臭気・低自然発火性の3大要件を同時に満足し、石炭代替燃料としての価値や適用性を高めた技術である。ここで、燃料化施設の概要（表3）とシステム（図6）を表示する。

表3 燃料化施設概要

燃料化方式	低温炭化方式
公称能力	50トン/日
污泥処理量	16,000トン/年
燃料化物生成量	2,300トン/年
稼働日数	320日/年
脱水污泥性状	水分 : 80.6%
	可燃分 : 70.3%
	発熱量 : 16.1MJ/kg
燃料化物性状	炭化固形物(粒状)
	発熱量 : 17.6MJ/kg

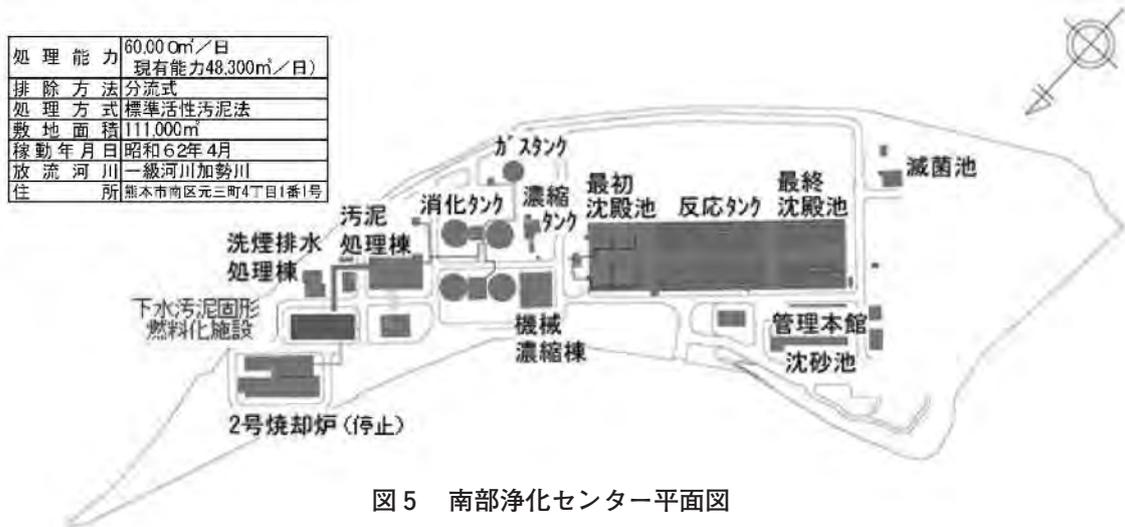


図5 南部浄化センター平面図

下水污泥固形燃料化施設システム

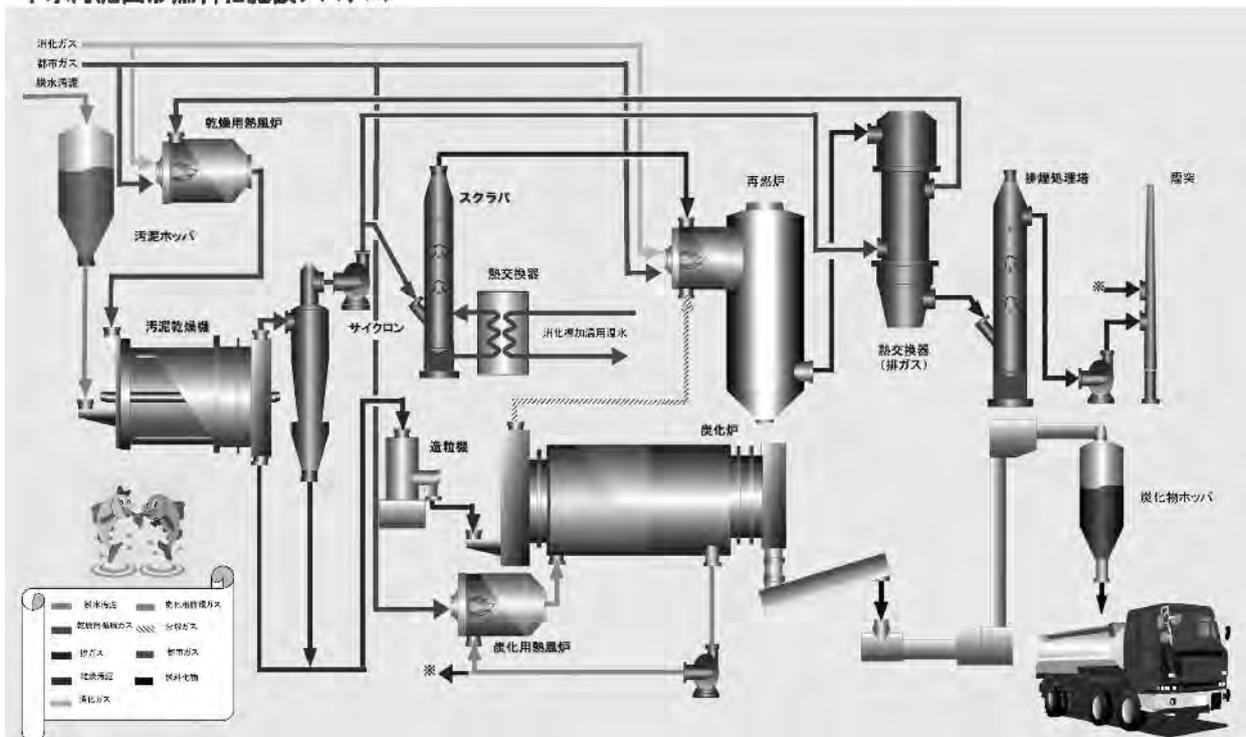


図6 下水污泥固形燃料化施設システム

5. 事業実施の効果

本市にとって燃料化事業の導入効果は、以下の3点があげられる。

①資源の有効利用

バイオマス資源である下水汚泥を燃料化物として有価で供給することになり、セメント化・コンポスト化と合わせて、下水汚泥のリサイクル率100%を達成した。

②地球温暖化防止への貢献

本燃料化施設は N_2O （亜酸化窒素）の発生が少ないため、従来の燃焼方式と比較して年間約2,900トン、火力発電所において年間約3,400トン、合計6,300トン程度の CO_2 発生が削減される。

③汚泥処理費の削減

本市の場合、汚泥処理のランニングコストが年間約8,000万円削減でき、20年間で約16億円の削減効果が生まれる。また年間約1,400トンにも及ぶ焼却灰の埋立処分が不要となったことで、埋立地の延命化にも寄与できる。

6. おわりに

本市にとってこの燃料化事業の意義は、非常に大きい。まずは、未利用の下水道資源の有効利用、地球温



写真1 燃料化施設全景

暖化防止への貢献といった環境分野での意義。次に、公営企業としての経営の基盤強化が図れる経営面での意義。そして、民間企業のビジネスチャンスの増大といった経済社会全般への意義である。

一方、本事業は九州初ということもあり、関心度も高く、視察の引き合いも増えている。今後、本市としてもこの案件を積極的に情報発信し、下水道事業の知名度アップにつなげると共に、下水汚泥のみでなく下水処理場から発生する消化ガスや処理水についても、これまで以上に積極的に再利用に取り組み、地域に根ざした公営企業として循環型社会構築に向けて貢献していきたい。(写真1)

コ ラ ム

下水再生水の水田への灌漑利用に対する期待

下水再生水の農業利用については、アメリカ、イスラエル、オーストラリアなどの様々な国で沢山の経験や知見が蓄積され、その安全かつ効率的な実施のために、国際標準化（ISO規格化）が検討される段階にある。ところが、これまでの世界の主流は、畑地への再生水利用であり、水田への利用については、日本以外の国々ではあまり実施されてこなかった。しかし、近年、地球温暖化や人口増加による世界規模の水不足などへの懸念から、中国、韓国、台湾、ギリシャをはじめとする様々な国で、水田への再生水利用への要望が高まり、それに関する研究や実務が推進されつつある。

一方、日本は、再生水の畑地への利用に関する経験は必ずしも多いとは言えないものの、水田への利用には、充実した経験と知見を有している。例えば、重金属に関しては、これまで日本全国で実施されてきた如何なる事例においても、水稲可食部での含有量が、通常栽培の水稲よりも高くなって問題視されたことはない。再生水に含まれる窒素は、畑作物の生育に対しては問題になり難いものの、水稲に対しては、過剰供給による倒伏（過度の成長）や登熟不良（充実した籾が出来ないこと）、葉の軟化による食害等の病虫害の多発、水稲可食部のタンパク含有率増加による食味悪化などの原因になることが危惧される。そのため、従来型の下水处理施設の再生水利用の際には、水田に施肥する窒素肥料量を減らしたり、再生水を河川水で希釈して窒素濃度を下げて利用するといった対応が行われ、その際に推奨される減肥量や希釈率の目安も明らかにされている。一方、近年、普及が進んできている窒素除去型の高度下水処理施設の再生水に含まれる窒素は、濃度が数mg/Lと低く、その主な形態は、水田で窒素ガスに変化（脱窒）して揮散されやすく、アンモニアよりも水稲に吸収されにくい硝酸である。従って、高度再生水中の窒素が水稲に及ぼす影響は無視できる程度であり、減肥なしの通常の営農方法のままで、再生水を無希釈で全灌漑期間（概ね4ヶ月）連続利用することが可能である。

再生水の水稲への肥料効果については、再生水中の窒素、リンは有効で、窒素、リンを除去した高度再生水であってもカリウムが高濃度で残留しているため、それを肥料として有効利用できる可能性がある。再生水に含まれる残留成分の中には、水田を通過することで土壤微生物による分解・ガス化、土壤吸着、表面湛水中での光分解などで除去されるものがある。そのような成分の代表は、窒素、リンであり、亜鉛や、一般家庭で使われる医薬品や化粧品（PPCPs：Pharmaceuticals and Personal Care Products）に含まれる微量化学成分にも、その除去作用は有効である。すなわち、再生水を水田に積極的に灌漑利用することで、再生水を水域に直接放流するよりも、河川生態系などに及ぼすリスクは更に低減できる。

ところが、残念なことに、日本で蓄積されてきた経験や知見の多くは、未だ世界で十分に認識されていない。このようなことから、日本は、水田への再生水利用の分野において、世界のリーダーとしての自覚を持って、これまでの経験と知見を積極的に世界に発信していくことが望まれる。さらに、これまで以上に、再生水の水田利用への安全・安心感を高めるとともに、再生水利用の新たな効果を発掘していくような先端研究を推進していくことが大切と思われる。このような作業は、日本国内での再生水利用はもとより、日本の関与する海外での下水道事業の発展にも大きな意義を有すると考えられる。

愛媛大学農学部 教授 治多伸介

報 告

インジェクションバルブと 循環システムを組み合わせた 土壌重金属の抽出装置の開発

群馬大学理工学研究院 准教授 森 勝伸

キーワード：土壌分析、重金属抽出、循環、自動制御

1. はじめに

現在、日本国内での農地、工場跡地等での有害な有機及び無機物質による土壌汚染は、土壌汚染対策法に基づく厳しい管理によって、ほとんど報告されることがなくなった。しかし、2011年3月に発生した東日本大震災での津波被害によって、産業廃棄物の埋立て処分場から重金属が流出する可能性が指摘され、土壌や河川水の汚染が懸念されている。また、一般ごみの焼却灰や家畜の排せつ物等は、高濃度の銅、亜鉛、カドミウム、水銀等を含んでいることがあり、適正な処分を行わなければ、これらの重金属が環境中に放出・拡散する恐れがある。そのため、埋め立て処分場の土壌分析、特に有害な重金属の溶出量及び含有量の測定は重要な管理項目となっている。

一般に、土壌中の重金属の溶出量及び含有量を調査する方法としてそれぞれ溶出試験法と含有試験法がある¹⁾。溶出試験法は、土壌が水と接触することによって重金属イオンをどの程度溶出するかを判断する方法である。一方、含有試験法は土壌中の重金属が胃の中の環境と同じ条件 (pH 1~2) において、どの程度溶解するかを調べることで、土壌が健康に害を及ぼすかどうかを評価できる方法である。

また、同じ重金属元素でもクロムの3価 (Cr^{3+}) と6価 (CrO_4^{2-}) のように化学形態によって、生態系

に対する影響が異なることがあり、このような元素を対象として調査を行う場合は化学形態別分析が必要となり、その代表的な方法として逐次抽出法²⁾がある。逐次抽出方法は、試料に対して抽出試薬を加え、攪拌した後、遠心分離を行ったときのろ液中の重金属イオンを測定し、さらにその残さに種類の異なる新たな抽出溶液を加えて順次抽出する方法である。これより、土壌や焼却灰等の固体試料からの重金属の溶出しやすさ別に3~6種類に分画することができる。ただし、逐次抽出法は遠心分離、ろ過、容器の移し替え等を繰り返し行うため、試料の汚染 (コンタミネーション) や分析精度の誤差が生じやすい。そのため、流れ分析や電気化学等の分析手法を導入し、先述の課題を軽減する試みが行われている。例えば、土壌試料の重金属の全量を蛍光X線により直接分析する方法^{3,4)}、抽出溶液に含まれる重金属を比色法及び電気化学検出法により迅速に分析する方法^{5,6)}、等が挙げられる。ただし、より高精度の土壌重金属分析を行うためには、煩雑な前処理工程の簡略化、効率化が必要であり、それに関する報告は少ない。

例えば、センサー、流路、前処理機能を集積した微小電気化学チップを用い、土壌から抽出した微量重金属を電気化学検出器によって定量するポータブルタイプの分析装置が開発されている^{5,6)}。中には、土壌試料からの重金属抽出が含まれているものもあり、高効率な微量重金属分析が実現している。ただし、これらの

方法は、法令に定められた公定法に代わるものではないため、土壤汚染調査のスクリーニングに利用されている^{7,8)}。

そこで、著者らは公定法への導入も視野に入れ、インジェクションバルブと循環システムを組み合わせたオールインジェクション分析法⁹⁾を応用した重金属抽出装置を開発した¹⁰⁾(図1)。これは自動制御により土壤からの重金属抽出を一定容積のテフロンカラム内で行う装置である。

本稿では、本抽出装置の特徴、溶出試験及び逐次抽出におけるバッチ法との比較について紹介する。

2. 土壤重金属抽出装置の特徴

従来の土壤汚染対策法に行われる土壤試料の前処理工程では、粉碎、ふるい、洗浄、抽出が行われた後に測定が行われる。また、現在販売されている土壤中の重金属の自動分析装置は、土壤試料から抽出された重金属の測定のみ、あるいは土壤試料の前処理のみであることが多い。

筆者らが開発した土壤重金属抽出装置は、粉碎とふるい以外は自動で行うことができる。さらに、本装置では抽出から測定までインラインで行うため、従来のバッチ法による重金属抽出過程で見られる試料のコンタミネーションを軽減できる。

本装置の構成を説明する。図1に示すように、抽出溶液をペリスタリックポンプを経由して4方バルブから、8方バルブに取り付けられたテフロンチューブ内

に注入する。このチューブの経路には土壤試料を充填したカラムを接続してある。次に、8方バルブのバルブポジションを切り替え、流路を変え、一本のチューブ流路内で抽出溶液を循環し、土壤から重金属を抽出する(図2)。抽出操作後、8方バルブのバルブポジションを再び切り替え、流路内の抽出液を水によって押し出し、得られた溶液を原子吸光光度計(AAS)や誘導結合プラズマ質量分析計(ICP-MS)等の検出器に移動させ重金属イオンを測定する。

以上の制御は装置に搭載されているコントロールパネルによって行われる。

3. 実験

3-1. 重金属イオンの溶出試験

本抽出装置を用い、土壤試料からの重金属イオンの溶出量を求めた。このとき、土壤試料は群馬県みどり市の底質を採取し、それぞれ乾燥、粉碎した後、2 mmφ以下のふるいにかけてものを試料し、このうち0.25 gをテフロン製のカラム(内径10 mm×長さ10 mm)に詰め、両端を孔径20 μmのメンブレンフィルターによって試料が漏れないようにした(図1)。次に溶出試験方法¹⁾の溶媒として用いられている水(超純水)1.5 mLをテフロンコイルチューブ内に充填した後、8方バルブを切替え、流速1 mL/minで1時間循環した。溶出操作後、8方バルブのバルブポジションを再び切り替え、流路内の抽出液を水によって押し出し、その溶液に含まれる銅(II)、亜鉛(II)、カドミ

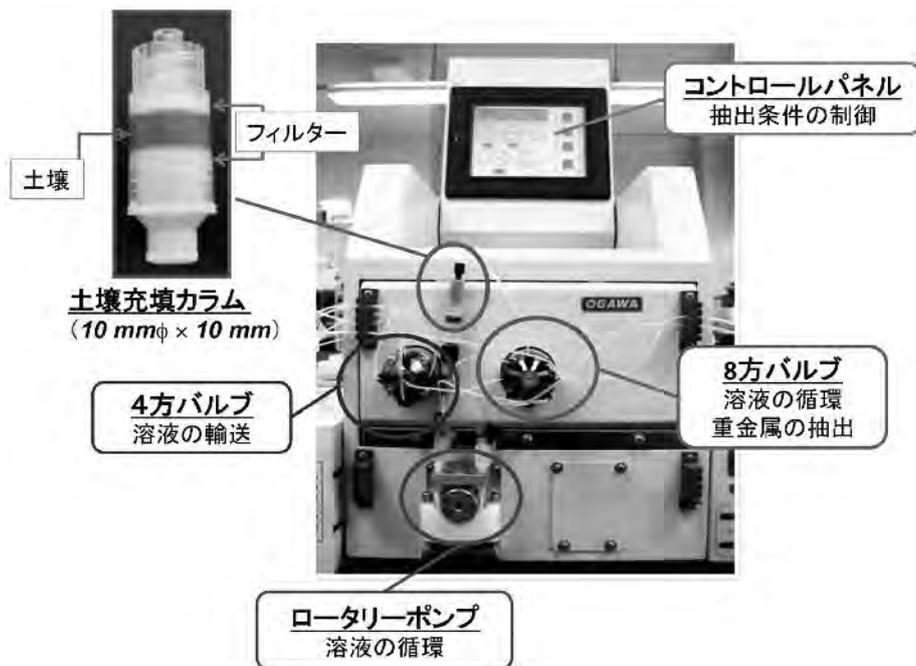


図1 インジェクションバルブ及び循環システムを組み合わせた土壤重金属抽出装置

ウム (II) 及び鉛 (II) の各イオンをAASにより測定した。

また、本装置で得られた結果を、従来の土壌管理で行われている溶出試験方法²⁾に準じて得られた重金属イオンの溶出量と比較した。操作手順は、1 Lビーカーに土壌試料 50 g (乾燥重量) と超純水を 500 mL 加え、攪拌した後、室温でジャーテスターを用いて攪拌速度 140 rpm で 6 時間攪拌溶出を行った。静置後、この上澄み液を 3000 rpm で遠心分離した後、1 μm ガラス繊維濾紙を用いてろ過した溶液中の銅 (II)、亜鉛 (II)、カドミウム (II) 及び鉛 (II) の各イオンを AAS により測定した。

3-2. 逐次抽出法による化学形態別分析

本抽出装置を、土壌試料中の重金属イオンの化学形態別分析に適用した。ここでは、溶出のしやすさに基づいた化学形態別分析を行うため、Tessier らが開発した逐次抽出法²⁾を応用した。このときのフラクションの定義及び操作は以下ようになっており、溶出のしやすい順に重金属イオンを 3 段階に分画した。

Fraction 1 (F1: イオン交換態): 抽出溶液である 1 M 塩化マグネシウム (pH 7) 1.5 mL をテフロンチューブ内に充填し、8 方バルブのバルブポジションを切り替え、1 時間循環した。抽出操作後、8 方バルブのバルブポジションを再び切り替え、流路内の抽出液を水によって押し出し、AAS に導入した。

Fraction 2 (F2: 炭酸塩態): 上記 F1 の操作後、1 M 酢酸-酢酸ナトリウム (pH 5) 1.5 mL をチューブ

内に充填し、F1 と同様の操作を行った後、その抽出液を AAS に導入した。

Fraction 3 (F3: 鉄-マンガン酸化物態): 上記 F2 の操作後、0.04 M ヒドロキシアミン塩酸塩と 25% 酢酸 1.5 mL を充填し、F1 と同様の操作を行った後、その抽出液を AAS に導入した。ただし、F3 の操作で抽出される形態が、F1 と F2 と比べて溶出されにくい形態であるため、循環時間は 3 時間とした。

また、上記の抽出結果と比較するため、従来のバッチ法による操作を以下の手順で行った。

F1: 試料 1 g に 1 M 塩化マグネシウム (pH 7) 8 mL を加え、室温で 1 時間攪拌した。

F2: F1 の残渣に 1 M 酢酸/酢酸ナトリウム (pH 5) 8 mL を加え、室温で 5 時間攪拌した。

Fraction 3 (F3): F2 の残渣に 0.04 M ヒドロキシアミン塩酸塩と 25% 酢酸 20 mL を加え、96 ± 3°C で 6 時間攪拌した。

上記のバッチ操作で得られた抽出液 (ろ液) と残さの分離は、遠心分離 (Kokusen H-200) を 10,000 rpm で 30 分間行い、得られた抽出液は 25 mL に定容し、AAS により測定した。

4. 結果

4-1. 土壌試料からの重金属の溶出試験

はじめに、図 3 に本装置とバッチ法によって求められた銅 (II) 及び鉛 (II) イオンの濃度の関係を示す。銅 (II) 及び鉛 (II) イオンのそれぞれのプロットか

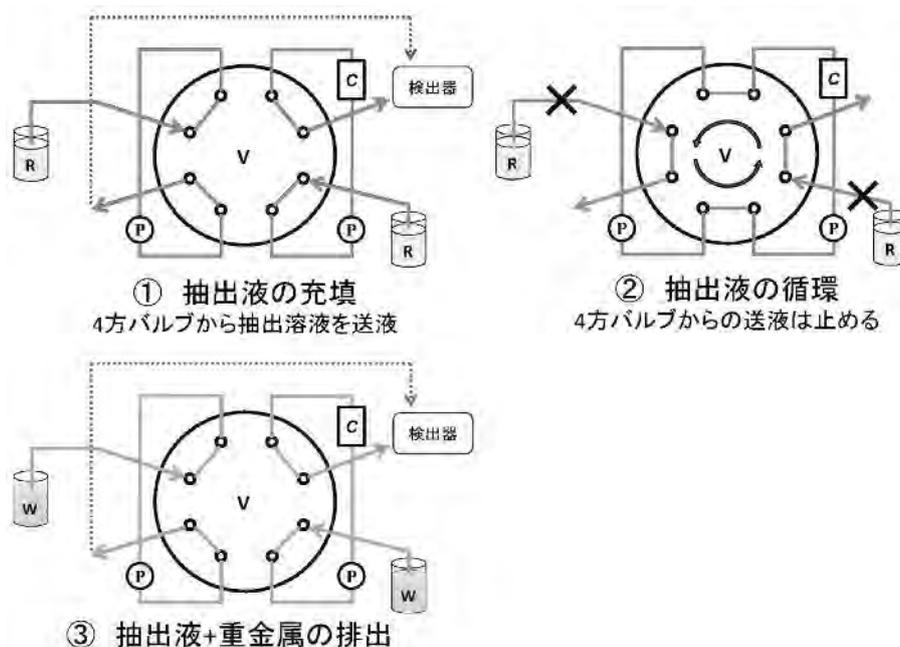


図 2 土壌重金属抽出装置内の 8 方バルブにおける土壌から重金属の抽出過程
C: 土壌充填カラム; P: ロータリーポンプ; R: 抽出溶液; W: 水; V: 8 方バルブ

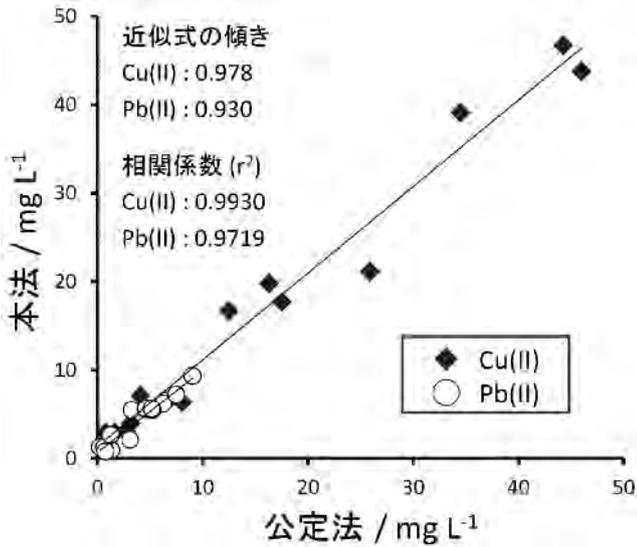


図3 本法（本抽出装置）と公定法（バッチ法）によって抽出された重金属濃度の関係

ら最小二乗法により近似式を求めたところ、相関係数 (r²) はそれぞれ0.9930及び0.9719と強い相関関係が認められた。また、近似式の傾きが銅 (II) で0.978、鉛 (II) で0.930と1に近い値を示したことから、本装置の結果と公定法であるバッチ操作での結果とがほぼ一致していることが分った。

また、抽出操作を5回繰り返したときの重金属イオン濃度の相対標準偏差 (RSD) を調べたところ、バッチ法での抽出ではCu (II) が26.3%、Pb (II) 51.3% だったのに対し、本抽出装置による抽出ではCu (II) が17.8%、Pb (II) が15.2%に改善された。これは、

表1 バッチ法及び本法による逐次抽出での各フラクションの重金属濃度のRSD値 (n = 3)

フラクション	Cu		Zn	
	バッチ法	本法	バッチ法	本法
F1	25.1	20.8	29.8	9.77
F2	26.0	16.5	21.5	12.3
F3	19.5	10.9	8.74	3.91

フラクション	Cd		Pb	
	バッチ法	本法	バッチ法	本法
F1	18.0	6.33	63.3	12.4
F2	11.4	25.2	29.7	14.7
F3	46.9	19.0	34.4	15.1

バッチ操作で見られるような容器の移し替えがなくなり、試料量誤差やコンタミネーションが軽減されたためであると考えられる。

さらに、本装置を用いた重金属の溶出試験では、公定法とほぼ一致する結果が得られるだけでなく、試料量が1/200、溶出液と試料との反応時間が1/6、使用溶液量が1/30と、いずれの条件も大きく削減することができた。

4-2. 土壌試料中の重金属の化学形態別分析

Tisserらによる土壌中の重金属の化学形態別分析²⁾では、土壌及び周辺環境でどのようなメカニズムで移動、集積しているかをイオン交換態 (Fraction 1: F1)、炭酸塩の形態 (Fraction 2: F2)、鉄-マンガン酸化物態 (Fraction 3: F3)、有機物及び粘土鉱物の

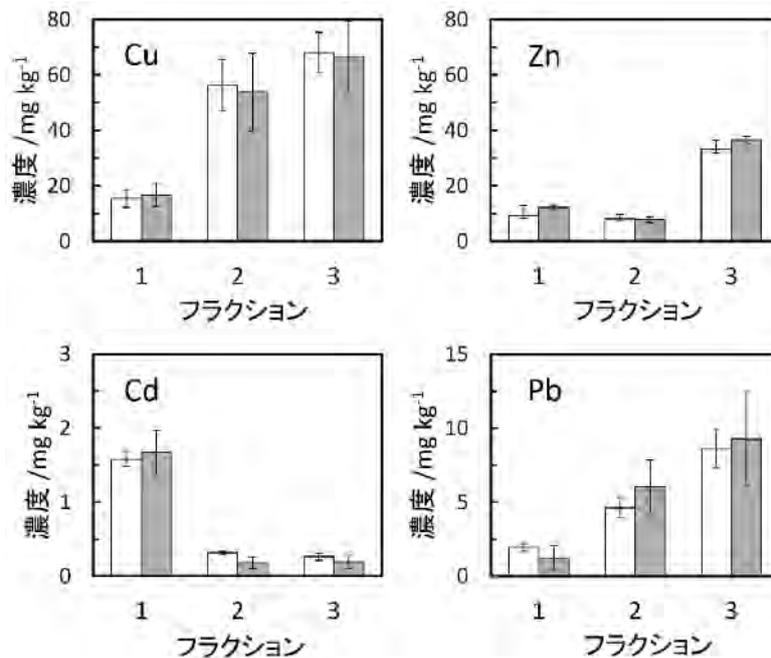


図4 土壌重金属抽出装置による渡良瀬川底質に含まれる重金属の化学形態別分析結果。各フラクションの左の白色のバーは本抽出による結果を、右の灰色のバーはバッチ操作による逐次抽出による結果を示す。

形態 (Fraction 4 : F4)、ケイ酸塩態 (Fraction 5 : F5) の5種類に分画して判断する。しかし、非常に強い酸を用いるF4及びF5での抽出操作では、抽出装置が故障する恐れがあることから、ここではF3までの抽出結果を示す。

底質試料中の重金属イオンのF1からF3の逐次抽出を本抽出装置によって行ったところ、**図4**に示されるように、バッチ操作で行った結果とほぼ一致していることが分かった。

また、抽出操作を3回繰り返したときの各フラクションでの重金属イオン濃度のRSDは、**表1**に示されるように、いずれの重金属に対しても本抽出装置による抽出法が改善していることが分かり、連続的に抽出溶液を導入し、循環した場合でも良好な再現性が得られることが分かった。

上述した逐次抽出法による重金属の化学形態別分析には、Tessierらの方法²⁾の他に、Shultzらの方法¹⁰⁾、Pueyoらの方法¹²⁾等があり、それぞれ定義されている化学形態はほぼ同じであるものの、用いる抽出試薬が異なる。しかし、本装置を用いることで、いずれの方法を適用した場合でも、バッチ操作とほぼ同程度の抽出結果が得られることが分っている。

5. まとめ

以上、本稿では、土壌試料の重金属の新たな抽出方法としてインジェクションバルブと循環システムを組み合わせた重金属抽出装置を開発し、その性能をバッチ式で行われている従来法と比較検討を行った結果を報告した。

本装置は、少量の測定試料量、少量の抽出溶液によって重金属を抽出し分析でき、抽出から分析までインラインで行うことができることから、試料の汚染がほとんどなく分析精度の向上にもつながる。今後、家畜廃棄物、工業製品樹脂、焼却灰等、様々な固体試料に対応可能になれば、本装置の需要は拡大するものと期待している。

謝 辞

今回紹介した重金属抽出装置は、公益財団法人鉄鋼環境基金第32回 (2011年度) 環境助成研究の成果であります。また、本装置の開発にご協力いただいた(株)小川商会・樋口慶郎博士並びに(有)倉橋技研様に対し謝意申し上げます。

<参考文献>

- 1) 環境省平成15年告示第18号および19号 (各々の最終校正は平成22年告示第22号) (2010)。
- 2) A. Tessier, P. G. C. Campbell, M. Bisson, Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals, *Anal. Chem.*, 51 (1979) 844 - 851.
- 3) 丸茂克美、氏家 亨、江橋俊臣、エネルギー分散型蛍光X線分析装置 (EDXRF) による土壌中の砒素・鉛含有量評価、X線分析の進歩、36、2005、17 - 36.
- 4) Thermo Scientific, Portable XRF Analyzer: <http://www.niton.com/> (2013年8月15日アクセス)。
- 5) I. Yanagimachi, N. Nashida, K. Iwasa, H. Suzuki, Evaporative concentration of a microdroplet for highly sensitive detection of trace heavy metal ions in real samples, *IEEJ Trans Elec. Electron. Eng.*, 4 (3) (2009) 365 - 371.
- 6) Z. Zou, A. Jang, E. T. MacKnight, P. -M. Wu, J. Do, J. S. Shim, P. L. Bishop, C. H. Ahn, An on-site heavy metal analyzer with polymer Lab-on-a-Chips for continuous sampling and monitoring, *IEEE Sens. J.*, 9 (5) (2009) 586 - 594.
- 7) 全自動土壌分析前処理装置、特許4492741号。
- 8) 中里哲也、土壌中重金属分析のための前処理法、*ぶんせき*、7号、2012、352- 357.
- 9) H. Itabashi, H. Kawamoto, T. Kawashima, A Novel Flow Injection Technique: All Injection Analysis, *Anal. Sci.*, 17 (2001) 229 - 231.
- 10) 重金属分析装置及び重金属の分析方法、特願2011-201816.
- 11) M. Shultz, W. Burnett, K. Inn, Evaluation of a sequential extraction method for determining actinide fractionation in soils and sediments, *J. Environ. Radioactivity*, 40 (2) (1998) 155 - 174.
- 12) M. Pueyo, G. Raurel, D. L. ck, M. Yli-Halla, H. Muntau, Ph. Quevauviller, J. F. Lopez-Sanchez, Certification of the extractable contents of Cd, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn in a freshwater sediment following a collaboratively tested and optimized three-steps sequential extraction procedure, *J. Environ. Monit.*, 3 (2) (2001) 243 - 250.

報 告

「下水汚泥有効利用技術支援事業」 の取組みについて

(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：支援事業、アンケート調査、エネルギー利用

1. はじめに

近年中小規模の下水道管理者においては、下水汚泥の処理費用や有効利用の推進及び、一般ごみ処理施設の老朽化など汚泥処理施設の整備事業に対する課題を抱えており、その対策の検討のためのニーズが増えてきている。

このような中、日本下水道協会では平成24年度より下水汚泥有効利用技術支援事業を立上げ、下水汚泥の有効利用に向けて下水道管理者に対し当該保有に資するの基本的事項について技術支援を行い促進に係る、課題解決に向けた整理に寄与するための提案業務を行っている。

本稿では昨年度実施した当協会における支援事業の取組概要について紹介する。

2. 支援事業フロー

(1) 予備調査

1) 対象自治体

アンケート(予備調査)は、汚泥有効利用率が全国平均75%未満の下水処理場を選定し、147自治体(232処理場)に対して行った。

2) 予備調査内容

対象自治体に対して、日本下水道協会の下水汚泥

有効利用支援事業(以下 技術支援)の主旨を伝えるとともに、技術支援の要望について調査を行った。

3) 予備調査結果

対象自治体147に対して、回答数109自治体であった。技術支援の要望については、10自治体より要望があり(その後2自治体が辞退)、要望自治体の延べ12処理場に対して予備調査を実施した。

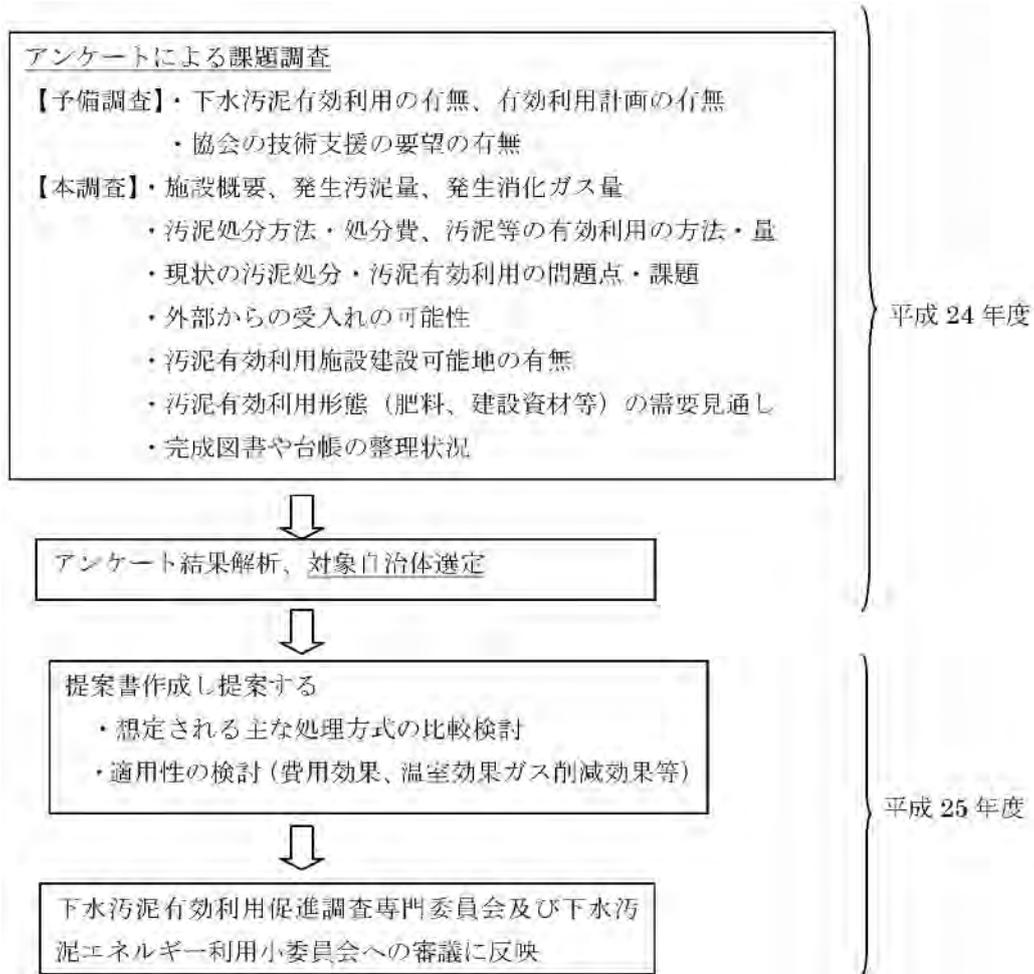
下水汚泥有効利用技術支援事業のフロー図を下記に示す。

3. 本調査

1) 対象自治体

平成24年8月に社会資本整備重点計画が改定され、下水道バイオマスリサイクル率に代わり、新たに下水汚泥エネルギー化率が指標に設定され、平成22年度実績の約13%から平成28年度には約29%に引き上げるとされた。

そこで、国全体の目標の下水汚泥のエネルギー利用の推進に寄与でき、また、特別な需要先を必要とせず、燃料として一般的に下水処理場内で利用できる消化ガス利用に支援事業のターゲットを絞った。支援事業の対象としては、比較的短期間で高い事業効果の発現への期待から、既に消化槽を保有し他のバイオマスの受入の可能性のある下水処理場とし、



事業フロー図

表 1 基本調査結果

下水処理場	機器台帳、完成図書	消化設備の有無	生ごみ、し尿等の受け入れ可能性
A 終末処理場	あり	あり	なし
B 終末処理場	あり	なし	
C 浄化センター	あり	なし	
D 浄化センター	あり	あり	なし
E 浄化センター	あり	なし	
F 浄化センター	あり	あり	なし
G 浄化センター	あり	なし	
H 浄化センター	なし		
I 浄化センター	なし		
J 浄化センター	なし		
K 浄化センター	あり	あり	あり
L 浄水苑	あり	あり	なし

(選提案した下水処理場)

その選定を目的に調査を行った。また、支援事業に不可欠な機器台帳の保管状況について同時に調査を行った。

2) 基本調査結果の評価

機器台帳の有無、消化設備の有無及び、生ごみ、し尿等の受け入れ可能性等に関する基本調査結果を表 1 に示す。その結果、K 浄化センターが全ての対象に該当したため、K 浄化センターを第一候補とした。

表2 定量的比較調査結果

項目	処理場名	K浄化センター	A終末処理場	D浄化センター	F浄化センター	L浄水苑
発生汚泥量(m3/年)		○	×	○	○	×
		1,542	1,125	5,090	3,730	581
発生消化ガス量(m3/年)		×	○	○	○	×
		129,380	206,680	699,386	854,759	19,612
有効利用率(%)	汚泥	○ 0	○ 0	○ 0	○ 0	×
	消化ガス	○ 47	×	×	○ 34	○ 0
建設可能地		○	○	×	○	×
		有	有	無	有	無
需要	肥料	○ 可能性有	×	○	×	×
	建設資材	○ 可能性有	×	○	×	○
	炭化	×	×	×	○	×
	消化ガス	○ 可能性有	○	○	○	×
評価	○の個数	7	4	6	7	2
	順位	1	4	3	1	5

3) 定量的比較調査結果の評価

上記結果よりさらに定量的な評価を行うため、K浄化センターに加えて上記処理場の内、消化設備のある処理場（A終末処理場、D浄化センター、F浄化センター、L浄水苑）について以下の項目について評価を行った。各項目においては比較検討対象の処理場の中で○×評価を付ける。定量的な評価については、比較検討対象を順番に並べて上位から3番目まで（過半数）を○、それ以降を×とした。比較調査結果を表2に示す。

【評価項目：評価の考え方】

- ①発生汚泥量：汚泥量が多い方が、スケールメリットが作用する等が考えられることから有利と判定する。
- ②発生消化ガス量：消化ガス量が多い方が、スケールメリットが作用する等が考えられることから有利と判定する。
- ③有効利用率（汚泥、消化ガス）：利用率が低い方が、有効利用を提案する技術支援の主旨に沿うことから有利と判定する。
- ④有効利用施設の建設可能地：スペースがあることを前提とした提案となることから、建設可能地有を有利と判定する。

⑤需要の見通し：需要及びその可能性があることを有利と判定する。（不明は可能性なしとする。）

※①②③については、H21～23年度の平均値を使用。

比較調査の結果、K浄化センター及びF浄化センターの○個数は同数の7個となった。

しかしながら2)の基本調査結果の評価より、全ての対象に該当しているのはK浄化センターであるため、総合的な判断からもK浄化センターが最上位とすることとした。

4. 今後の予定

平成24年度の調査結果よりK浄化センターが最上位と評価された。このため平成25年度においては当協会において、K浄化センターより発生する下水汚泥のエネルギー利用にかかる種々の技術を提案し、今年度より設置される下水汚泥有効利用調査専門委員会、及び下水汚泥エネルギー利用小委員会において審議を諮りより最適技術を提示していく所存である。また当協会においては引き続き昨年度検討対象とならなかった下水道管理者に対してもニーズ調査を行い、引き続き本支援事業を継続していく予定である。

ニュース・スポット

関係団体の動き

原発被災地におけるメタン発酵寺子屋教室の開設

日本大学大学院総合科学研究科
教授 野池 達也

1. はじめに

東日本大震災・原発事故により、再生可能エネルギーの重要性が強く認識されるようになりました。太陽光・風力発電だけでなく、生ごみ・下水汚泥、浄化槽汚泥および家畜排せつ物等の廃棄物系バイオマスに対しメタン発酵を行い、復興後の被災地域における地産地消型のエネルギー拠点とすることが期待されます。さらに、メタン発酵は、原発事故で放出された放射性汚染物質の濃縮機能をも有しております。

筆者は、ライフワークのメタン発酵を通じて、少しでも被災地の復興のために役立たせていただきたく願

い、特定非営利活動法人（NPO）再生可能エネルギー推進協会（代表佐藤茂夫日本工業大学名誉教授、URL:<http://repa-npo.com/CCP.html>）の会員に加えていただき、同NPOによる霊山プロジェクト（代表大沼豊氏）、福島県伊達市霊山町下小国地区における放射性物質で汚染されたバイオマスのメタン発酵実験に参画しております。

2. 霊山プロジェクトメタン発酵実験

2012年8月にメタン発酵実験設備を霊山町下小国地区、大沼豊氏自宅の敷地内に設置して、廃棄農産物（あんぼ柿など）、生ごみの他に、除染作業などで発生した道路脇の雑草などを使ってのメタン発酵実験が開始されました。図1は、伊達市霊山町小国地区の位置を示しております。東京電力福島第1発電所から直線距離で55km、計画的避難地域以外ではもっとも放射線量が高い地域であり、農業はほとんど行われなくなっております。祖先から継承された大切な農地は、



図1 福島県伊達市霊山町小国地区の位置



図2 霊山プロジェクトメタン発酵施設



図4 メタン発酵槽とバイオガス貯留タンク

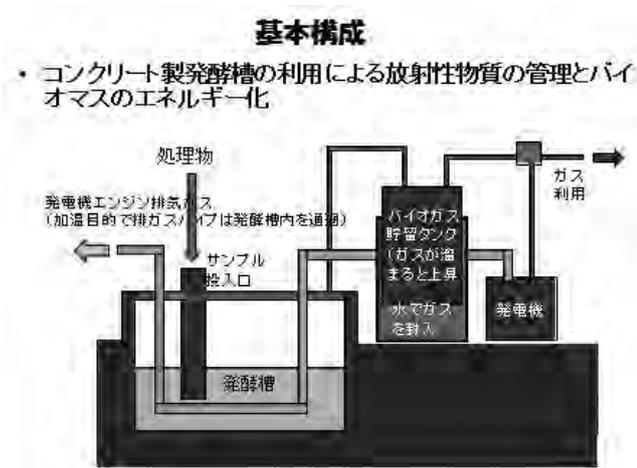


図3 実験装置フローシート



図5 メタン発酵の主な材料のあんぽ柿

雑草の生い茂る荒野と化し、地元の皆様のお苦しみは測り知れません。

図2は、霊山プロジェクトメタン発酵施設が納められている大沼氏によって建造された建屋であります。図3は、メタン発酵実験装置フローシートで、図4は、メタン発酵槽とバイオガス貯留槽を示したものであります。実験装置は、地元の遊休資材であるコンクリートU字溝等の土木資材などを有効利用し、ホームセンターで入手可能な材料で、きわめて安価なメタン発酵処理設備であり、すべて、佐藤名誉教授・現地の大沼豊氏の手造りによるものです。

毎日のメタン発酵の維持管理は、大沼豊氏の奮闘努力によって行われております。昨年夏以来、気温が高かったため冬季の前まで、加温なしでメタン発酵を行うことができました。バイオガスの生成は良好で、当地名産のあんぽ柿6個の投入により生産されるバイオガスによってお米一升の炊飯が可能であり、小型発電機によって200w電燈が明々と灯るに至ったことは



図6 バイオガス発電による点灯

(図6)、大変な喜びでありました。また、メタン発酵による放射性物質の除去機能についても測定しておりますが、放射性セシウムの含有量がわずかに基準を超



図7 メタン発酵寺子屋教室の光景

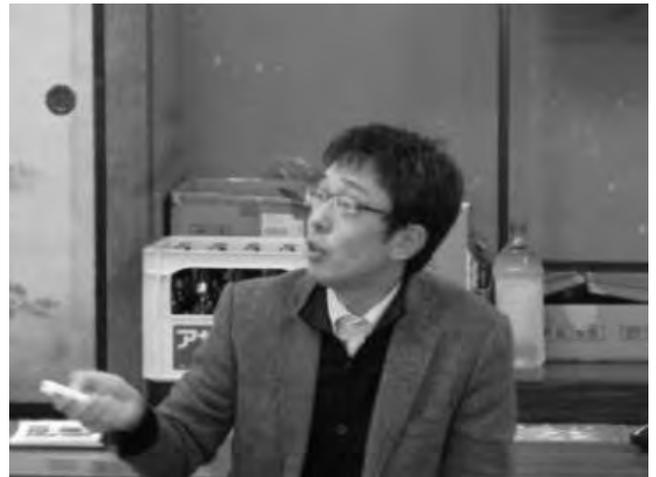


図8 長岡技術科学大学姫野准教授による稲わら・刈草のバイオガス化

すため廃棄されたあんぼ柿を使った実験では、排出する消化液中の放射性セシウム濃度は低く、液肥として農地還元が十分可能な結果も得られております。

3. メタン発酵寺子屋教室の開設

霊山プロジェクトにおける筆者の主な役割は、メタン発酵実験によるバイオガス生産を行うだけでなく、現地の農家の方々に、メタン発酵の原理やその利用事例をやさしく解説し、メタン発酵への関心を一層高めていただくことであり、そのために、公民館を会場として、メタン発酵寺子屋教室を開設しました。「メタン発酵の原理と維持管理」、「バイオガスおよび消化液の利用」、さらに「メタン発酵によるエネルギー拠点の形成」について、できる限り被災地の皆様の置かれた状況と心情をとみにさせていただき、興味をお持ちになられますように、精一杯平易にお話しさせていただきました。毎回、予想以上に多くの農家の方々が、寺子屋教室にお集まり下さり、長時間の授業を熱心にお聴き下さり、率直な質問や感想も寄せて下さいます。ことに、焼却処分し貯蔵以外に方策のない放射性物質に汚染された農業生産物からメタン発酵によってエネルギーを生産できる有効利用の在り方は、被災地の皆様に、復興への大きな希望と励ましがもたらされております。

さらに喜ばしいことには、長岡技術科学大学准教授姫野修司博士が、本寺子屋教室のために進んで来援下さり、すでに実証研究に成功された「未利用稲わら・刈草と汚泥の一括バイオガス化～取り組みと結果」について、原発被災地の荒廃した農村地帯の復興のために、非常に有益な授業の奉仕をしてくださいました。姫野博士の講義によって、メタン発酵が、わが国の農村地域の復興のための基幹施設でありますことを、強く示していただきました。



図9 霊山プロジェクトに携わるメンバー

4. おわりに

放射性物質に汚染され出荷できない農産物であっても、メタン発酵によって

バイオガスエネルギーを生産できることを直接に体験された現地の方々の喜びは尽きません。被災地における農業再開への力も起されつつあります。

メタン発酵寺子屋教室は、メタン発酵が、地産地消のエネルギー拠点に定着して行くための学びと励まし合いの場として、これからも、引き続いて行っていきたいと願っております。

謝辞

本プロジェクトは、一般社団法人東北地域づくり協会（旧東北建設協会）の助成金により遂行されております。ここに、深甚な謝意を表します。



バイオマスパーク構想の施設の写真



消化ガスから得られたCO₂により大きく成長したトマト



トマト収穫記念式は、豊橋技術科学大学学長あいさつから始まりました



榑学長（左）、大村愛知県知事（中央）、山脇豊川市長始めトマトを収穫後にトマトにかぶりつきおいしく食していただきました。

- ① 下水汚泥の高品位肥料化の実証
- ② バイオガスの有効利用方法開発
- ③ 嫌気性消化処理により発生するCO₂を用いた次世代海藻工場の実証
- ④ 発電時に発生するCO₂および熱を用いた太陽光型植物工場の実証
- ⑤ 廃棄物およびバイオマス利活用の策定と実証
- ⑥ 熱エネルギー有効活用方法の策定と実証
- ⑦ CO₂排出量低減及びカーボンオフセット事業の策定

又、研究成果を実社会のシステムに組み入れるために関係機関と検討を行い、様々な制度や規制等の課題を解消する必要がありますが、このことも本研究の重要なテーマの一つです。

3. 愛知県の下水汚泥の有効利用について

愛知県の流域下水道では、下水汚泥を民間企業に提供し、セメント原料や肥料原料など様々な用途に有効活用しており、有効利用率は99%を超えています。昨年度からは、衣浦東部浄化センターにおいて、炭化に



海藻工場の様子。
ミナミアオノリを育成しています。

よる汚泥燃料化を行い、近隣の火力発電所で石炭代替燃料として利用する取組みも始めています。

今後はさらに、「豊川バイオマスパーク構想」における、実証研究の成果を踏まえ、下水汚泥が持つ資源としての可能性を引出し、本県が進める「循環型社会の構築を推進してまいりたいと考えています。

おしらせ

民間企業の投稿のご案内

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

近年、民間企業による調査研究等が積極的に行われ、先進的かつ有用な成果が多数見受けられます。そこで、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. 本誌への投稿は、原則として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に限ります。ただし、共同執筆(4企業以内)の場合は、同上会員以外の団体を含むことができますが、主たる執筆者は会員団体でなければなりません。

(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切と考える事項について適合していること。

(原稿の作成、部数、送付先等)

4. 原稿の作成は、次のとおりとします。
 - 4.1 査読用 複写原稿2部(図表、写真を含みます)
 - 4.2 事務用 複写原稿1部(図表、写真を含みます)
5. 原稿の送付先は、下記の担当に送付して下さい。

(校正)

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

(著作権等)

7. 掲載した原稿の著作権は著者が保有し、編集著作権は、本会が所有します。

原稿登載区分

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

担当：公益社団法人 日本下水道協会 技術研究部資源利用研究課

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 03-6206-0679(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	150,000円
後付	1頁	1色	縦255×横180	金マリ菊/46.5kg	40,000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（1月発行号に掲載希望の場合は、11月20日）までに別紙「広告掲載申込書」に広告原稿又は流用広告原稿の写しを添付して、次の5に表示の申込先宛にお申し込み下さい。
- (3) 原稿をデータで提出する場合は、データ制作環境（使用OS、アプリケーション、フォント等）を明記のうえ、出力見本を必ず添付して下さい。
- (4) 広告原稿の新規作成又は流用広告原稿の一部修正を依頼する場合は、別紙「広告掲載申込書」にレイアウト案、又は修正指示（流用広告原稿の写しに修正箇所等を明記）をそれぞれ添付して下さい。その際、書体、文字の大

きを指定する等、原稿作成又は修正に必要な事項を明記して下さい。

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

4 お支払方法等

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

なお、送金（振込）手数料は、貴社負担にてお願いします。

5 申込み先及び問合わせ先

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

広告業務委託先 株式会社LSプランニング（担当：「再生と利用」広告係）
〒135-0046 東京都江東区牡丹2-2-3-105
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142号（平成26年1月発行予定）
中小規模の消化ガス発電導入事例、開発事例
再生可能エネルギー固定価格買取制度導入事例
- 第143号（平成26年4月発行予定）
第26回下水汚泥の有効利用に関するセミナー特集

「再生と利用」 広告掲載申込書

公益社団法人 日本下水道協会 御中

(該当箇所にご記入及び○印を付けて下さい。)

掲 載 希 望 号	() 号
掲載場所・サイズ	表 3 ・ 後付1頁・後付1/2頁
掲 載 料 金	円/回 (消費税込み)
広 告 原 稿	完全原稿 (データ) ・ 新規作成依頼・流用 (一部修正含む)
	※広告原稿を流用 (一部修正含む) できる媒体は、次の本会発行の図書等に限ります。 「下水道協会誌」 (年 月号) 「下水道協会会員名簿」 (年度) 「下水道展ガイドブック」 (年度) 「下水道研究発表会講演集」 (回 年度)
掲載料納入方法	該当月納入 ・ 一括前納
備 考	

上記のとおり申し込みます。

平成 年 月 日

会 社 (団 体) 名 Ⓜ

住 所 〒

担当者所属・職・氏名 Ⓜ

TEL
FAX

[広告代理店経由の場合に記入]

広 告 代 理 店 名 Ⓜ

住 所 〒

担当者所属・職・氏名 Ⓜ

TEL
FAX

汚泥再資源化活動

第131回「再生と利用」編集委員会

日 時：平成25年 6月19日（水）
 場 所：本会第1・第2会議室
 出席者：野池委員長、尾崎、姫野、西迫、津森、島田、西田、川崎、仲谷、濱田、工藤、長谷川、北折、西本、福田、崎野の各委員
 議 題：①第140号「再生と利用」編集内容について
 ②平成25年度編集体制について
 ③第141号「再生と利用」編集方針（案）について
 概 要：①第140号「再生と利用」編集内容について事務局から資料8のとおり報告し了承された。
 ②平成25年度編集計画・体制について事務局から、資料5のとおり説明を行った。第141号の特集「下水汚泥と他バイオマスとの協働事例」の中に新潟市のバイオマス産業都市構想概要の掲載を依頼する。第142号の特集「中小規模の消化ガス発電導入事例」の候補については伊勢崎市のマイクロガスタービン、山形市の燃料電池及び、広島県のロータリーエンジンの取組み等について掲載検討することとする。第142号の特集「再生可能エネルギー固定価格買取制度導入事例」の候補について神戸市のWエコ発電の掲載を検討することとする。導入事例の掲載時においては背景や導入予定箇所等の説明文面を検討する。またFIT対象の範囲別に事例紹介することが望ましいとした。下水汚泥からのリン回収・事例についてはB-DASHで採択された神戸市のリン回収技術についても掲載することとする。
 ③第141号「再生と利用」編集方針（案）について事務局から、資料9のとおり説明を行った。瀬波バイオエネルギープラントについては下水汚泥の有効利用の視点から論ずるようにする。長岡市のメタン発酵事業の掲載は来年度以降の掲載検討とする。今回、アジア地域嫌気性消化国際会議の紹介事例も含めて、今後の編集方針として海外学会の事例紹介も積極的に行うこととする。

④その他・情報交換について

野池委員長よりバイオガス事業推進協議会が実施する、バイオガス事業経営研究会の開催の紹介があった。「再生と利用」読者アンケートの結果、農業試験場関係の購読希望者は7割近くあり、今後農業関係者のニーズも考慮した編集検討を模索していく

第1回下水汚泥有効利用専門調査委員会

日 時：平成25年 7月19日（金）
 場 所：本会中会議室
 出席者：花木委員長、藤原、姫野、三宮、神山、片山、矢野、倉本、工藤、津森、山本、落、古畑の各委員
 議 題：①委員会の設置の経緯について
 ②目次構成（案）及びコンセプトについて
 ③今後のスケジュール
 概 要：①委員会の設置の経緯について事務局から資料1、資料2のとおり説明を行った。
 下水汚泥利用促進マニュアルについては計画・設計等の内容は重視せず、具体例を紹介したマネジメントを主体とすることとする。利用目的ごとに適用技術はバラバラなため本マニュアルでは技術の骨組み程度でまとめることとする。放射能の扱いとしては現在適用の基準を記載することとする。FITやB-DASHのような社会的な動向も盛り込むとする。
 ②目次構成（案）及びコンセプトについて事務局から資料3のとおり説明を行った。目次案として肥料、建設資材、エネルギーそれぞれの技術分野に分かれているが、カスケード利用や分野をまたがる利用方法等も盛り込むとする。PDCAサイクルでマニュアル構成を考える場合、CAの部分では必ずしもコスト検討にこだわる必要性はないものとする。
 ③今後のスケジュール事務局から資料4のとおり説明を行った。来年3月に中間骨子案を開示する予定である。

第142号「再生と利用」編集担当者会議

日時：平成25年7月31日（水）

場所：東京ビックサイト・東ホール商談室

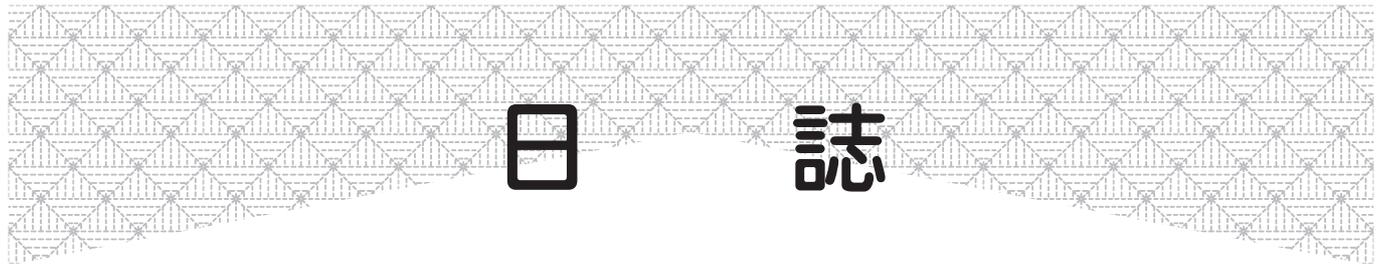
出席者：濱田、北折、福田、仲谷の各委員

議題：①第141号「再生と利用」編集内容について
 ②第142号「再生と利用」編集方針（案）について
 ③その他質疑

概要：①第141号「再生と利用」編集内容について
 事務局から、資料3のとおり説明を行った。特集テーマのバイオマス協働事例の中で、新潟市のバイオマス産業都市構想の概要を掲載することとする。投稿報告として熊本市南部浄化センターの固形燃料化を掲載することとした。また、群馬大学の森先生のオンラインによる土壤中の重金属分析装置の開発については「報告」とさせていただく。
 ②第142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。口絵は柏崎市の消化発電設備及び、土壌協会の千葉県の手場を掲載予定とした。特別寄稿は有機性廃棄物の資源・エネルギー化

として元大阪市立大学の吉田先生に依頼した。特集テーマは山形市・広島県及び伊勢崎市の消化ガス発電及び石川県、神戸市と栃木県のFITを掲載したい予定である。研究紹介では味の素のアミノ酸発酵副産物を用いた下水汚泥の堆肥化について執筆依頼予定である。特別報告では今年度採択のB-DASHについて掲載予定である。投稿報告ではIWAの報告を東北大の李先生及び京都大の天下先生の報告を掲載予定である。

③「再生と利用」の計画について
 事務局から、資料6のとおり説明を行った。今後の編集方針・体制の改革を検討しているが、「再生と利用」の発刊及びその内容については従前通りを継続していければと考えている。肥料利用については民間の小規模業者が中心に活動しているが、今後肥料利用の拡販のためには大規模業者も積極的に参入していくべきと考える。汚泥肥料の悪いイメージをなくすためには、下水道関係者ではない者が下水汚泥の使用は安全であることを主張すべきと考えており、今後「再生と利用」でも掲載検討していくものとする。



平成25年6月19日	第131回「再生と利用」編集委員会	本会第1・第2会議室
平成25年7月19日	第1回下水汚泥有効利用専門調査委員会	本会中会議室
平成25年7月31日	第142号「再生と利用」編集担当者会議	東京ビッグサイト・東ホール商談室

次号予告

(題名は執筆依頼の標題ですので
変更が生じることもあります)

特別寄稿：「有機性廃棄物及び未利用バイオマスの資源・エネルギー化」

特集：中小規模と消化ガス発電導入事例、開発事例&再生可能エネルギー固定価格買取制度導入事例

「ディスパーザー及び消化ガス発電の取組」

「山形市浄化センター燃料電池による消化ガス発電」

「太田川東部浄化センターロータリーエンジンの運転報告」

「栃木県流域・燃料電池によるFIT認定について」

「神戸市Wエコ発電の取組みについて」

「犀川左岸浄化センターにおけるバイオガス売電について」

研究紹介：「発酵副産物（P菌体）の活用に関する試験結果」

講座：リン酸肥料化への取組事例

「リン酸製造原料としての焼却灰利用の取組み」

「下水汚泥焼却灰のリン酸肥料代替効果」

投稿報告：「IWA専門国際会議（汚泥管理）」

「IWAワークショップスペイン」

特別報告：「脱水・燃焼・発電を全体最適化した革新的下水汚泥エネルギー転換システム」

「下水道バイオマスからの電力創造システム」

ニューススポット：肥料の地産地消へ研究汚泥肥料で黒豆栽培

その他：会報、行事報告、次号予告、関係団体の動き

図書案内

下水汚泥分析方法—2007年版—

—下水汚泥の緑農地利用における良質な製品の提供・円滑な流通を図るため—

2008.1 発行 A 4 版 (270頁) 価格5,500円 会員価格4,500円

本書は、下水汚泥を緑農地利用するに際し、品質管理のための分析方法をまとめた1996年版を改訂したものです。関連する肥料取締法、廃棄物の処理および清掃に関する法律および下水道法等の法改正や分析装置を含む分析方法の進歩等をふまえ、分析項目および分析方法の見直しや充実に努めています。

主な改訂を目次（追加項目を下線）にて示すと、以下のとおりです。

目 次

1. 通則	8.1 バックグラウンド	9.25.2 水素化合物発生 ICP発光分光分析法
1.1 適用範囲	8.2 干渉	9.26 セレン
1.2 原子量	8.3 ICP発光分光分析法準備操作	9.26.3 水素化合物発生ICP発 光分光分析法
1.3 質量及び体積	8.4 ICP発光分光分析法測定操作 付 ICP質量分析法	9.27 ケイ素
1.4 温度	9. 各成分定量法	9.28 スズ
1.5 試薬	9.1 アルミニウム	9.28.1 原子吸光法
1.6 機器分析法	9.2 ヒ素	9.28.2 ICP発光分光分析法
1.7 試料	9.2.3 水素化合物発生 ICP発光分光分析法	9.29 バナジウム
1.8 結果の表示	9.3 ホウ素	9.30 亜鉛
1.9 用語	9.4 炭素	10. 人為起源物質
2. 試料の採取と調製	9.5 カルシウム	10.1 PCB
2.1 試料の採取	9.6 カドミウム	10.1.1 ガスクロマトグラフ法
2.2 調製法	9.7 塩素（塩化物）	10.2 アルキル水銀化合物
3. 水分	9.8 コバルト	10.2.1 ガスクロマトグラフ法
3.1 加熱減量法	9.9 クロム	10.3 揮発性有機化合物
4. 灰分	9.10 六価クロム	10.3.1 ガスクロマトグラフ質 量分析法
4.1 強熱灰化法	9.10.1 原子吸光法	10.4 農薬類
5. 強熱減量	9.10.2 ICP発光分光分析法	10.4.1 有機リン農薬（EPN, パラチオン, メチルパラチオン） ガスクロマトグラフ法
5.1 強熱灰化法	9.11 銅	10.4.2 農薬類 ガスクロマト グラフ質量分析法
6. 原子吸光法及びICP（誘導結 合プラズマ）発光分光分析法に よる定量方法通則	9.12 フッ素	11. その他の試験
6.1 要旨	9.13 鉄	11.1 pH
6.2 金属等の測定	9.14 水銀	11.2 酸素消費量
6.3 試薬の調製	9.15 カリウム	11.3 炭素・窒素比
6.4 前処理操作	9.16 マグネシウム	11.4 電気伝導率
7. 原子吸光法による測定時の干渉	9.17 マンガン	11.5 植物に対する害に関する栽 培試験の方法
7.1 要旨	9.18 モリブデン	【参考資料】
7.2 物理的干渉	9.19 窒素	1. 幼植物試験とは
7.3 分光学的干渉	9.20 ナトリウム	2. 融合コンポスト
7.4 イオン化干渉	9.21 ニッケル	付録. 原子量表
7.5 化学的干渉	9.22 リン	巻末資料
7.6 バックグラウンド吸収	9.23 鉛	
7.7 準備操作	9.24 硫黄	
7.8 測定操作	9.25 アンチモン	
8. ICP発光分光分析法による測 定時の干渉	9.25.1 水素化合物発生 原子吸光法	

編集後記

楽しい話ではありませんが、販売された飲み物に不純物が混入したことによるリコール（製品回収）騒ぎがあります。

不純物の入る確率は0にはできません。横軸に品質管理にかかるコスト（かかる時間とほぼ同じ）を、縦軸に不純物が入る確率を描いたグラフによると、品質管理にコストと時間をかけてやっていると、その発生確率が落ちることが分かります。しかし、この曲線は横軸とはくっつきません（漸近するだけ）、（人間や機械に）ミスがないことは保証できません。

だから、不純物が入る確率が「ここまで下がったら、品質管理はOK」とするラインを決めないときりがありません。このラインを誰が決めるのか、社会で決めてほしいもの（ISO9000・22000、HACCP等）ですし、更に企業等では発生確率を下げる努力がな

されています。

なお、発生確率の下限值（0にはならない）が決められたら、残された努力はダメージを小さくすること（予防保全型管理：前もって手を打っておくこと）です。（「リスクの大きさ＝リスクの発生確率×リスクが発生した時のダメージ」ですから。）

下水道汚泥を含む「バイオマス活用」が様々な形態で進められており、今後さらなる利用促進が求められています。何事にもリスクが伴いその発生確率は0ではありません（小さくできて）から、関係者・関係団体でリスクコミュニケーションを活発に行うことが肝腎です。そこで、「再生と利用」への執筆やセミナー等の参加をお願いする次第です。

(AK)

「再生と利用」編集委員会委員名簿

(順不同・敬称略)
(25.9.1現在)

委員長	日本大学大学院教授・東北大学名誉教授	野池達也
委員	秋田県立大学生物資源科学部教授	尾崎保夫
委員	長岡技術科学大学准教授	姫野修司
委員	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
委員	独立行政法人土木研究所材料資源研究グループ上席研究員（リサイクル）	津森ジュン
委員	地方共同法人日本下水道事業団技術戦略部戸田技術開発分課長代理	島田正夫
委員	(独)農業・食品産業技術総合研究機構 東北農業研究センター水田作研究領域主任研究員	西田瑞彦
委員	(独)農業環境技術研究所連携推進室長	川崎晃男
委員	(一財)日本土壌協会参与土壌部長兼広報部長	仲谷紀男
委員	東京都下水道局計画調整部技術開発課技術開発主査	冠城敏之
委員	札幌市建設局下水道施設部豊平川水処理センター管理係長	濱田敏裕
委員	山形市上下水道部浄化センター水質係長	工藤守彦
委員	横浜市環境創造局下水道施設部栄水再生センター長	長谷川輝彦
委員	名古屋市上下水道局技術本部計画部技術管理課主査（技術開発）	北折康徳
委員	大阪市建設局下水道河川部水環境課担当係長	西本裕二
委員	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
委員	福岡市道路下水道局下水道施設部施設管理課長	崎野寛

「再生と利用」

Vol. 37 No. 141 (2013)

平成25年10月31日 発行
(平成25年第2)

発行所 公益社団法人 日本下水道協会

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