

再生と利用

2015 Vol. 39

No. 147

主要目次

- 口絵 第27回下水汚泥の有効利用に関するセミナー（佐賀市）
 巻頭言 下水道事業継続のための資源循環にむけて 吉成 潔
 論説 プロバイオティクス環境農業に貢献する下水処理場の役割 松井 三郎
 特別寄稿 下水汚泥等からの水素製造に関する研究
 —バイオマスからの水素ステーション形成の考え方— 田島 正喜

特集 第27回下水汚泥の有効利用に関するセミナー特集（佐賀市）

- 解説 【昔に帰る未来型】の社会を目指して～佐賀市下水浄化センター 馬場 慶次
 下水汚泥有効利用の現状と推進に向けた取組み 安陪 達哉
 研究紹介 土木研究所における汚泥有効利用に関する研究
 —小規模下水処理場向け高濃度混合メタン発酵技術に関する研究— 津森ジュン
 下水汚泥有効利用の課題と日本下水道事業団における取組み 島田 正夫
 下水汚泥の資源化と下水処理の省エネルギー化を目指して 落 修一
 平成25年度下水汚泥由来肥料の窒素肥効試験について 井上 恒久
 研究紹介 簡易的循環システムとしての「泥の電池」 富永 昌人／森村 茂
 電解晶析法による下水からのリン、カリウム
 および水素の同時回収 田中 恒夫
 Q&A 重力濃縮について 落 修一
 現場からの声 横浜市における消化ガス発電事業の運転実績について 保坂 幸也
 文献紹介 新鮮下水汚泥と乾燥下水汚泥からの重金属と
 アルキルフェノール化合物の溶出 杉山 恵
 有機性一般廃棄物との混合消化に前処理を付加すること
 によるバイオガス生成量増加 岩崎 旬
 講座 活性汚泥の有効利用に関する新技術 上原 春男
 下水汚泥からの新しい水素製造方法 加納 純也
 特別報告 「下水道」を身近にするコミュニケーション 大屋 洋子
 投稿報告 下水汚泥焼却灰の再資源化技術の開発 和栗 成樹
 幕張新都心における下水処理水を用いた熱利用について 高梨 大樹
 福岡市の再生水利用下水道事業 弥永 晃宏
 コラム 汚泥をバイオマス資源として地域循環 境 公雄
 報告 第27回下水汚泥の有効利用に関するセミナー
 パネルディスカッション概要 会場：佐賀市
 コーナー 「良いものは必ず売れる！」下水汚泥由来の肥料を販売
 〓朝霧牧場、 編集委員会事務局
 第9回 IWA 国際シンポジウム：農産業における廃棄物
 管理問題— AGRO' 2014 — 参加報告 編集委員会事務局
 廿日市市で BISTRO 下水道推進戦略チーム第6回会合 編集委員会事務局
 資料 おしらせ（投稿のご案内、広告掲載申込）、汚泥再資源化活動、
 日誌・次号予告、編集後記・編集委員会委員名簿

第27回 佐賀市・ホテルグランデはがくれ 平成26年11月6日(木)～7日(金)

下水汚泥の有効利用に関するセミナー



会場に詰めかけた数多くの参加者

平成26年11月6、7の両日、佐賀市・ホテルグランデはがくれを開場に「第27回下水汚泥の有効利用に関するセミナー」が開催されました。産官学の各団体から計9名の講師による講演のほか、パネルディスカッションを行い、下水汚泥の有効活用策や、それを取り巻く状況、課題などについて知見を共有しました。



開会あいさつする秀島敏行・佐賀市長



京都大学・松井三郎名誉教授による特別講演



盛り上がったパネルディスカッション



佐賀市浄化センターの視察

開催地となった佐賀市のご協力により、2日目午後は、佐賀市浄化センターの見学を行いました。

佐賀市浄化センターでは、消化ガス発電を実施しており、ガスの発生変動に応じて、発電設備の台数制御を行い、最適な発電量を供給しています。また、下水汚泥から肥料を製造し、地元農家をはじめとした市民向けに販売を行っています。実際に肥料を使った市民からは作物が大きく育った、美味しくなったなど好評を得ています。その評判が口コミで広がり、今では製造が追いつかない程、大人気の肥料となっています。

使用者のことを常に考えた取組みは「出口戦略」と呼ばれており、全国から注目が集まっています。

今回は、右表の3団体にセミナー会場内でポスター発表・展示いただき、エネルギー化技術を中心に幅広い分野での最先端の情報をご提供いただきました。

（公社）日本下水道協会では、27年度も引き続き本セミナーから先進技術の発信をさせていただければと考えておりますので、多数の皆様の参加をお願いします。

| 企業名 | 発表・展示内容 |
|---------|--|
| 熊本市 | 下水汚泥固形燃料化施設 (熊本市南部浄化センター) |
| (株)西原環境 | 槽外型消化槽機械式攪拌装置 :NAS-E 低温除湿乾燥機 : HP クリーンドライヤ 機内二液調質型遠心脱水機 :SDR インパクト |
| 月島機械(株) | 下水汚泥燃料化技術 |

口
絵

第 27 回下水汚泥の有効利用に関するセミナー（佐賀市）

巻
頭
言

下水道事業継続のための資源循環にむけて 吉成 潔 (5)

論
説

プロバイオティクス環境農業に貢献する下水処理場の役割 松井 三郎 (6)

特
別
寄
稿下水汚泥等からの水素製造に関する研究
ーバイオマスからの水素ステーション形成の考え方ー 田島 正喜 (15)

特集 第 27 回下水汚泥の有効利用に関するセミナー特集（佐賀市）

解
説【昔に帰る未来型】の社会を目指して～佐賀市下水浄化センター..... 馬場 慶次 (22)
下水汚泥有効利用の現状と推進に向けた取組み 安陪 達哉 (27)研
究
紹
介土木研究所における汚泥有効利用に関する研究
ー小規模下水処理場向け高濃度混合メタン発酵技術に関する研究ー 津森ジュン (36)
下水汚泥有効利用の課題と日本下水道事業団における取組み 島田 正夫 (43)
下水汚泥の資源化と下水処理の省エネルギー化を目指して 落 修一 (53)
平成 25 年度下水汚泥由来肥料の窒素肥効試験について 井上 恒久 (61)研
究
紹
介簡易的循環システムとしての「泥の電池」..... 富永 昌人／森村 茂 (73)
電解晶析法による下水からのリン、カリウムおよび水素の同時回収 田中 恒夫 (76)Q
&
A

重力濃縮について 落 修一 (84)

現場からの声

| | | |
|--------------------------------|-------------|------|
| 横浜市における消化ガス発電事業の運転実績について | 保坂 幸也 | (86) |
|--------------------------------|-------------|------|

文献紹介

| | | |
|--|------------|------|
| 新鮮下水汚泥と乾燥下水汚泥からの重金属とアルキルフェノール化合物の溶出 | 杉山 恵 | (90) |
| 有機性一般廃棄物との混合消化に前処理を付加することによるバイオガス生成量増加 | 岩崎 旬 | (91) |

講座

| | | |
|------------------------|-------------|------|
| 活性汚泥の有効利用に関する新技術 | 上原 春男 | (92) |
| 下水汚泥からの新しい水素製造方法 | 加納 純也 | (96) |

特別報告

| | | |
|----------------------------|-------------|-------|
| 「下水道」を身近にするコミュニケーション | 大屋 洋子 | (102) |
|----------------------------|-------------|-------|

投稿報告

| | | |
|---------------------------------|-------------|-------|
| 下水汚泥焼却灰の再資源化技術の開発 | 和栗 成樹 | (107) |
| 幕張新都心における下水処理水を用いた熱利用について | 高梨 大樹 | (111) |
| 福岡市の再生水利用下水道事業 | 弥永 晃宏 | (114) |

コラム

| | | |
|-------------------------|------------|-------|
| 汚泥をバイオマス資源として地域循環 | 境 公雄 | (119) |
|-------------------------|------------|-------|

報告

| | | |
|--|--------------|-------|
| 第27回下水汚泥の有効利用に関するセミナーパネルディスカッション概要 | 会場：佐賀市 | (120) |
|--|--------------|-------|

ニュース・レポート

| | | |
|--|----------------|-------|
| 「良いものは必ず売れる！」下水汚泥由来の肥料を販売「朝霧牧場、..... | 編集委員会事務局 | (128) |
| 第9回 IWA 国際シンポジウム：農産業における廃棄物管理問題－AGRO' 2014－ 参加報告 | 編集委員会事務局 | (131) |
| 廿日市市で BISTRO 下水道推進戦略チーム第6回会合 | 編集委員会事務局 | (133) |

資料

| | |
|---------------------------|-------|
| おしらせ（投稿のご案内、広告掲載申込） | (135) |
| 汚泥再資源化活動 | (139) |
| 日誌・次号予告 | (142) |
| 編集後記・編集委員会委員名簿 | (144) |

※本文中の表題で掲載した執筆者の所属団体・役職は、執筆当時のものです。



Portrait of Professor Tetsuo Kato, a middle-aged man with glasses, wearing a suit and tie.

論 説

プロバイオティクス環境農業に貢献する 下水処理場の役割

京都大学 名誉教授

松井 三郎

キーワード：下水汚泥、枯草菌、放線菌、乳酸菌、循環型農業

はじめに

プロバイオティクス環境農業とは、何を意味するか？下水汚泥・家畜糞尿・食品廃棄物・生ゴミ・農業廃棄物等が有機性廃棄物として処理・焼却・埋立て処分されているものを、発酵微生物を使って有用な農業肥料・資材として循環活用する農業を意味します。この方法は直接環境改善に役立つことになりませんが、その意味することの広がり、食の安全保障、日本農業の改革、地球温暖化対策、生物多様性保全等まで関係します。微生物を有効に活用することが、すなわちプロバイオティクスを意味します。この言葉の反対語は、アンチバイオテック―すなわち抗生物質であります。抗生物質は、健康に有害な細菌やカビ菌を殺菌する物質ですが、これは細菌の仲間である放線菌種が主として生産する物質で、彼らが生存競争で他の微生物を制圧する分泌物であり、人類がこの事実を医学に応用することで、多くの人命が救われたことは常識です。

しかし、世界中で家畜・養殖の餌に混入して抗生物質が濫用され、抗生物質耐性の遺伝子を獲得した悪質化した細菌・カビ菌が生まれ、水・土壌・食品汚染を通じて人に感染しており、製薬会社が新規の抗生物質を生産できないことから、多剤耐性菌による肺炎など院内感染で人への健康被害が発生しています。プロバイオティクス環境農業は、この問題解決にも挑戦する

ものでもあります。

1. 食の安全保障、日本農業の改革、地球温暖化対策、生物多様性の保全

食の安全保障は、日本国にとって最大の課題であります。エネルギーベース自給率37%が意味することを国民世論はほとんど問題視していませんが、国際情勢は食糧危機の方向に進んでいます。途上国の人口爆発に対して農業生産が追いつかず、アメリカ・ブラジル・アルゼンチン・ウクライナ等穀物輸出国の生産は限界にきています。途上国の無理な食糧増産は、森林破壊を加速化させ、地球環境悪化の根本原因です。先進国で日本だけが極端な食糧輸入依存国になっています。EU諸国は、EU圏内で輸出入を行ってEU圏内で必要な食糧生産のバランスを構築しており、自給率は相互依存で確保しています。日本は単独で自給確保しなければならない状況です。

将来の世界食糧危機に備える時に、日本農業は大きな改革が進行中です。その原因は、①農業所得が向上せず、②後継者不足、③外国産の輸入増加、④主食米消費が減少、⑤気候変動による栽培種の変化、⑥輸入肥料の価格上昇等諸原因。このままでは農業と一緒に畜産業・林業・水産業の1次産業が衰退し、地方人口減が加速して、下水処理事業自身も縮小になります。下水道事業は、地元の1次産業と連携して地方産業を

支える環境事業として、展開を考えねばならない時代となりました。

では、どのような役割を下水道事業・下水処理場が果たせるか？その原理的説明は、下水処理場は自動的（重力を使って）に水と一緒に有機・無機性物質と熱を収集します。収集することはすなわちエントロピーの縮小システムであることです。集まってきた濃縮したもの、すなわち縮小エントロピーを使って、有用物に転化しエントロピー拡大の仕事ができる有利さを使うことが考えられます。ここでは、この具体例の検討をすることになります。

一方、地球温暖化対策のために再生エネルギーの拡大、省エネルギーの努力がさらに求められています。下水道事業においても、すでにメタン発電や下水熱を使った冷暖房など実証事業が進んでいますが、さらに知恵を絞る必要があります。特に日本の農業改革と連携して下水道事業が貢献できるものは何か？研究開発する価値があります。

さらに、2010年名古屋で採択された「生物多様性条約」COP10の「愛知ターゲット」目標達成に、日本は日本固有の生物多様性保全が、当然の宿題となっています。この中で水環境の多様性を守るには、水環境改善の根幹事業として下水道事業の役割がますます重要となっています。下水放流水質は河川・湖沼・湾岸の水環境に大きな影響を与えています。放流水の水質を深く考え、保全と活用を考える時代が来ました。特に、放流水は農業・水産業と関係することから、生物多様性保全とどのような連携が考えられるか検討する価値があります。

2. 下水処理場に集まる有機物の炭素・窒素・リン・カリの農業循環

下水処理場で回収する汚水の有機物を浄化する時に、メタン発酵－発電は従来から行われてきた方法ですが、この方法もエネルギー効率の向上を図るさらなる工夫・技術開発を進める必要があります。ここでは、メタン発酵後に残る残渣・残液の活用－農業活用について検討します。下水道に排出する有機物の最大発生源は、人の糞便であり家庭厨房から出る調理残渣が続く、意外とトイレトーパーも有機物（セルロース）として多い割合を占めます。糞便の構成を見ると、1/3は食品未消化物質、1/3は脱落した小腸細胞、残り1/3は腸内細菌です。これらには、有機性窒素（タンパク質）・りん酸・カリ他ミネラル分が多く含まれていて、植物成長の栄養素が全て存在します。下水処理場の沈殿処理が固形性有機物の9割以上を回収し、その固形性有機物をメタン発酵－嫌気性消化によ

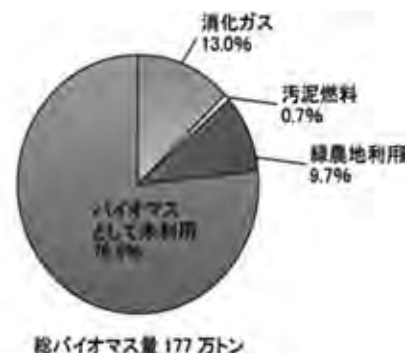


図-1 下水汚泥利用（国土交通省）

て、6割以上をメタン発酵でガス化し、残る固形残渣の最終処分を、ほとんどの下水処理場は、焼却して埋立て処分を行っています（参照 図-1 国土交通省）。

図-1に示される「バイオマスとして未利用分」は、今後どのような有効利用が考えられるか？下水処理場の規模が大きい場合は、メタン発酵－ガス発電を実施することが、最も有効であります。再生利用エネルギーの電力利用は、買取制度が始まり自明のことになっています。その場合もメタン発酵固形残渣の処理処分問題が残ります。処理場規模が小さい場合は、沈殿汚泥を直接に脱水汚泥として、固形残渣を有機性固形肥料として農業に循環させることが解決策です。図-1に示される「緑農地利用」の割合を増やすことが、求められています。では、何故農業循環が進まないのか？

これは、日本の現在の農業問題と消費者の意識が関係しています。後でこの問題の検討をします。

3. 地球温暖化を起こす窒素ガスと水の窒素とリンによる富栄養化

世界の地球温暖化ガスの種類と排出量、発生源別排出量をまとめた表-1を検討すると、農業活動に起因するメタン（CH₄）、二酸化窒素（N₂O）が着目点であ

表-1 世界の温暖化ガス排出量の内訳
（参考文献1 河瀬他 2012 より作成）

| 温暖化ガス種別% | | 排出源別% | |
|------------------|------|---------|------|
| CO ₂ | 75.5 | エネルギー起源 | 64.8 |
| CH ₄ | 17 | 土地利用変化 | 14.2 |
| N ₂ O | 5.7 | 農業 | 11 |
| フロン類 | 1.8 | 産業 | 6 |
| | | 廃棄物 | 3.2 |
| | | 溶剤 | 0.1 |
| | | その他 | 0.5 |



図-2 国別 CO₂ 排出量 (出典) EDMC / エネルギー・経済統計要覧 2014 年版)

ります (参考文献-1)。食糧増産を図る農業と土地利用変化 (森林伐採による耕作地化を含む) によって、15.2% の温暖化ガスが発生しています。農業起因の温暖化対策は、ほとんど進んでいない状態です。アジア・中南米・アフリカで進行する人口爆発に対する食糧供給の基本は、農地拡大 (森林伐採による耕作地化) と化学肥料の大量使用です。下水処理場でメタン発酵・ガス発電を行うことは、CH₄ を減らし CO₂ に変換することで温暖化影響を削減することになります。

これはガスの種類により温暖化影響に違いがあるからです。CO₂ に比べ CH₄ は 21 倍、N₂O は 310 倍、フロン類は数百～数万倍 温暖化する能力があります。国別 CO₂ 排出量は中国 26.9%、アメリカ 16.6%、インド 5.7%、ロシア 5.3%、日本 3.7%、ドイツ 2.2% の順になっています (参照 図-2)。今まで地球温暖化対策を行ってこなかった中国は、もはや開発途上国を理由に、CO₂ 発生増加の権利主張を言い続けることが、困難であることは明らかです。また PM2.5 大気汚染物質の原因は、自国石炭の大量燃焼であることは、中国市民も理解しています。

N₂O は、農業のアンモニア肥料や家畜糞尿のアンモニアが、微生物により亜硝酸・硝酸に硝化された後、土壌や河川の還元的環境で N₂O となって大気に流出します。アンモニア・亜硝酸・硝酸汚染が河川・湖沼・湾岸の富栄養化の原因となっていて、先進国は下水処理・工場排水処理において脱窒素処理をすることで、ある程度制御に成功していますが、先進国の農業排水・家畜糞尿の対応は不十分で富栄養化対策は残された課題です。同じく排水に含まれるリンも富栄養化原因となっていて、下水・工場排水処理では除去ができていても農業排水・家畜糞尿処理は問題が残されています。

日本では茶畑の地下水が硝酸塩汚染していることは、すでに指摘され過剰な窒素化学肥料の消費が問題

となっています。水田農業から排水される窒素汚染も、未だ制御が上手くいっていません。地下水汚染対策の法律は未整備です。表流水の富栄養化で生態系の大きな変化が生じていて、植物プランクトンの種類が、珪藻・緑藻から藍藻に変化して、魚種の変化を引き起こし本来の生態系が大きく変わって生物多様性が変化しています。「生物多様性条約」の目標達成には、根本的で大きな課題です。

富栄養化原因物質の一つ、リン酸は農業肥料の基本であるとともに、工業薬品として金属表面処理、食品添加剤、防錆、蛍光体、水処理剤、リチウム電池、半導体原料等多方面に使われていて、今後需要は増加する元素で、100% 輸入しています。その生産国にモロッコ・中国・アメリカ等偏りがあることと、埋蔵量が推定 100 年になっていて、回収循環利用を本格的に実施する時期にきました。現在、工場排水・下水処理場で、化学凝集の脱リン処理により排水中のリン濃度は削減できましたが、沈殿汚泥に蓄積したリン酸は回収されず、焼却埋め立てが現在の主流です。焼却灰をセメント材料に有効利用されますが、セメントの質を低下する物質であることから、混入割合には限界があり、少量で運用されているのが実態です。

このように農業活動による地球温暖化問題・生物多様性保全問題と食糧生産確保問題が矛盾構造として世界で問題になっています。しかし、地球温暖化対策の目標に窒素を組み込むことは出来ていません。先進国と途上国の対策を巡る深刻な対立構造に、窒素問題は埋没していますが、先進国である日本は自ら対策を実行すればよいことです。

4. 日本は農薬使用大国

2013・14 年は中国から輸入する農産物が農薬等で汚染されていて、食の安全性に消費者は厳しい目を向け始めました。しかし日本の農薬使用状況は、中国よりは少しマシの程度であることは、知られていません (参照 図-3)。

単位面積当たりの農薬使用量は、かつて日本は世界一位であったが、その後、韓国・中国に抜かれて、中国農産品 (主として輸出向け) 農場は、輸出価格が高いから農薬を使用してもコスト回収が可能であります。その結果、スーパーマーケットの冷凍野菜の 9 割は中国産になり、日本農業を圧迫しています。日本の消費者が余りにも農産品の虫食いや形の不揃いにこだわり、農薬漬の危険性への無理解が、農薬消費大国にしています。欧米の食の安全性を理解する消費者問題の重要性を理解して、マーケットの消費行動で変化が生じています。一方、農家は農薬使用によ

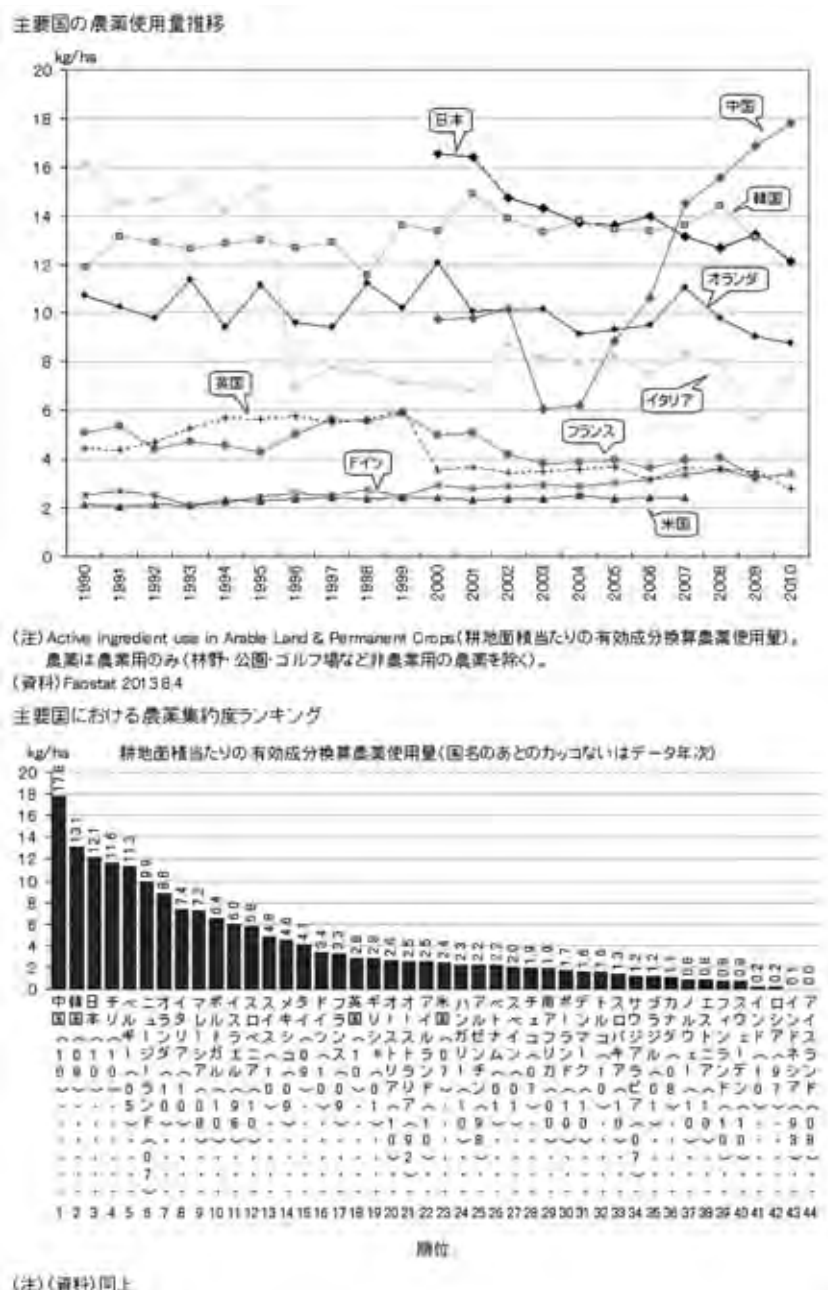


図-3 主要国の農薬使用量推移と農薬集約度ランキング

る自身の健康問題を抱えていても、農業依存の農業を継続して商品価値が虫食いと不揃いで決まる矛盾を解決できていない状況です。

日本農業が何故、農薬漬けになるか？消費者の無知に加えて、原因は多岐に渡ります。稲作で使用する農薬は、除草剤・昆虫対策・カビ病対策等になりますが、特に除草剤が、稲作の労働負担を軽減するものとして、大量使用されています。除草剤は水田の雑草(ヒエその他)の成長阻害を起こして、化学構造から見て人や哺乳動物の毒性は少ないですが、植物プランクトンに毒性があり、成長しません。その結果、プランクトン餌がなくなることミジンコ等動物プランクトンが成長できず。それを食べる水性昆虫が成長せず、そ

れを餌にする蛙やドジョウ等肉食魚類がいなくなる生態系攪乱が生じています。田植えから始まる水田に蛙が戻ってくるのは時間がかかります。美しい水田風景を良く観察すると、そこには限られた生態系が残されている状況です。この風景が、佐渡島の国鳥トキの繁殖が困難な原因であり、豊岡市が取り組んでいるコウノトリの増殖活動を難しくしている原因です。

スーパーマーケットに並ぶ野菜・果物は見事な形で整っていることは、日本の農業技術の高さを示しているようですが、実態は栽培期間中の農薬使用の多さが虫食いや、不揃いをなくしています。農薬使用の背後にある連作障害問題—同じ場所で毎年同じ植物を栽培すると、必ず起こる障害問題。基本的には、連作をや

めて輪作が解決の基本ですが、狭い農地で収穫を維持する農家にとって輪作ができずにいます。日本農業の改革には、この農薬問題・化学肥料問題を避けて進めることが困難であることが明らかになりました。

5. 「和食」ユネスコ無形文化遺産

2013年に国連教育科学文化機関（UNESCO）は、「和食—日本人の伝統的な食文化」を無形文化遺産として登録しました。京料理人達が「和食は保護が必要など危機的状況」であることから始めた運動が成果となって現れました。現在、子供の好きな給食アンケートでは、1位がカレー、2位鳥の空揚げ、3位ハンバーグになっています。ここには日本食がない状況です。日本人の食内容は、大東亜戦争敗戦後にアメリカにより導入された政策で、「西洋化」が完成してしまい、日本の伝統食が危機に瀕しています。食に関する無形文化遺産では「フランスの美食術」「スペイン・イタリア・ギリシャ・モロッコ4カ国の地中海料理」「メキシコの伝統料理」「トルコのケシケキ（麦がゆ）料理」の4件の食文化が社会的慣習として登録されています。「和食」が5件目になりました。その推薦理由は、1) 多様で新鮮な食材とその持ち味の尊重

日本の国土は南北に長く、海、山、里と表情豊かな自然が広がっているため、各地で地域に根差した多様な食材が用いられている。また、素材の味わいを活かす調理技術・調理道具が発達している。

2) 栄養バランスに優れた健康的な食生活

一汁三菜（1種類の汁物と3種類の菜からなる日本料理の基本的な膳立て）を基本とする日本の食事スタイルは理想的な栄養バランスと言われている。また、「うま味」を上手に使うことによって動物性油脂の少ない食生活を実現しており、日本人の長寿、肥満防止に役立っている。

3) 自然の美しさや季節の移ろいの表現

食事の場で、自然の美しさや四季の移ろいを表現することも特徴の一つ。季節の花や葉などで料理を飾り付けたり、季節に合った調度品や器を利用したりして、季節感を楽しんでいる。

4) 年中行事との密接な関わり

日本の食文化は、正月などの年中行事と密接に関わって育まれてきた。自然の恵みである「食」を分け合い、食の時間をともにすることで、家族や地域の絆を深めてきた。

すでに、世界で寿司、刺身を中心とする日本の食文化が広まっていて、それと一緒に日本酒の輸出が右肩上がりで行進し、酒米「山田錦」の生産が追いつかない状況です。主食米生産に代わり酒米生産を増やすこ

とは、稲作農家にとって希望が見えてきます。「和食」の登録を大きな追い風として、日本農業改革の方向を見出すチャンスが生まれました。

6. プロバイオティクス環境農業は良質の有機肥料が基礎

今まで検討してきた環境・農業・食文化の複雑に係した問題を解きほぐすには、日本農業の改革なしには達成できないことは明らかです。ではどのように行うか？答えは明確です。良質の有機肥料を生産し、農業循環—循環型社会の構築を行うことです。有機廃棄物が内包している窒素・リン酸・カリを循環させることで、化学肥料の使用を減じて窒素による大気・温暖化対策、水の富栄養化防止対策を行い、枯渇資源のリンの節約で資源利用年数を延長し、富栄養化対策を行います。では何故有機質循環ができていないか？下水汚泥・家畜糞尿・食品廃棄物・生ゴミ・農業廃棄物等の有機性廃棄物を優良な堆肥（コンポスト）に調整する技術開発が遅れたことが原因です。もし、農家がいやすく、化学肥料と農薬を減じて食の安全・安心・さらに生産した野菜・コメ・果物が美味しい、果物が甘いならば、農家は喜んで使ってくれることとなります。この農業の本質の研究開発が遅れていますが、その解決の道が明らかになりました（参考文献-2）。では、どのようにすれば良質の有機肥料が生産できるのか？

7. 有機農業 —コンポスト利用の3つの意義

有機農業の実施は、下水汚泥、農業有機系廃棄物、家畜糞、人尿、生ごみ等をコンポスト（堆肥化）して農業肥料・資材として活用することであります。資材の価値を決めるコンポストの「質」を理解する研究が遅れていますが、コンポスト利用の意義は、次の3つの側面でまとめられます。1) 有機肥料価値、2) 有機資材価値、3) 微生物活用（生菌利用プロバイオティクス）による連作障害防止と生菌が分泌する植物ホルモン利用であります（参考文献-1）。

7-1. 有機肥料価値

一般にコンポストは、窒素、リン、カリのどれかの栄養素を含みます。3種類がバランスよく含まれているのは、意外と感じるかもしれませんが人尿で、また家畜尿、鶏糞です。尿は、食べた食事が消化吸收され、栄養として利用された最終産物です。最終産物は、食事の構成物を反映しており、食事の構成はタンパク質・炭水化物・脂肪とその他ミネラルで、これら全ては、植物が生成してくれます。意外であるが人糞、動物糞

はバランスに欠けることから、窒素、リン、カリの最終成分の調整が必要で、他のものと組み合わせる必要があります。生ごみコンポストは、相対的にカリが多く、窒素リンは不足気味、したがって家畜糞などの追加が必要になります。下水汚泥は、リンが含まれているが相対的に窒素、カリは少ない。何故なら水洗トイレにより尿中のリン酸・カリは下水処理場の放流水と一緒に流出します。

一般に植物が生育するには、最初に窒素分の補給が必要で、最初から最後までリン分は持続して必要であります。最終的に果実として収穫するにはカリが必須となります。従って、生育段階にタイムリーに必要な肥料の補給がなければ、実となる収穫に繋がりません。特に窒素補給は難しく、化成肥料の尿素やアンモニア態、硝酸態の窒素補給をすると、これら溶解性で雨が降ると流出して植物が吸収する速さより流出することになり、無効になりやすい弱点を抱えています。また、窒素施肥は植物成長の初期に多量に必要、不足すると成長不良—多すぎると成長し過ぎて、植物の高さが必要以上に成長し、開花、結実が遅れる問題が発生します（稲作でコシヒカリ栽培の難しさ、コシヒカリがコケヒカリと呼ばれる）。持続的で必要な時に適量の窒素施肥を行う方法の開発課題は依然として残されていますが、有機性窒素肥料は、持続的に窒素補給が可能で優れた肥料です。さらに、有機窒素の構成成分にタンパク質が残されていると、土壌微生物が分解してアミノ酸を生成してくれると植物は、アミノ酸を吸収して葉や、実の味がアミノ酸濃度が増加して旨味を与える効果があります。

7-2. 有機資材価値

有機資材とは有機質の最終分解物が腐植質となって、土の団粒構造づくりに役立つものであります。土壌を構成する砂、粘土を結合し大きな団粒を作る結合剤が腐植質であります。腐植質は、比較的高分子有機質（分子量 1000 から数 1000 ダルトン）で、炭水化物、脂肪、蛋白質、DNA、RNA、天然ステロイド、アルカロイド等の天然有機物を微生物分解と化学的酸化還元反応の結果生成した特殊な物質といえます。いわば有機物質の最終分解産物であり、化学的には複雑な構造と多種類の分子の集合態であります。結合剤となる腐食質は、分子構造から OH 基、水素基を多数持つので水分と親和性が良くて水分保持し、かつ多数の OH 基、COO⁻ 基、NH₃ 基によりイオン交換能力を持つことから、窒素、リンの栄養素保持、またカリ、マグネシウム、カルシウム、ナトリウム、コバルト、セレン、亜鉛などミネラルをイオン交換で保持して、肥料流出を防ぎます。このように多くの栄養素を持続して供給

する優れた価値を有することから、豊かな土壌は腐植質が豊富で「黒い土」と称されます。腐食質が多い堆肥は完熟堆肥と呼ばれます。土壌が「地力」を持っているという意味は、まさにこの点が理由であります。

7-3. 連作障害を防止する微生物活用（生菌利用プロバイオティクス）のコンポスト

植物が生育する土壌中には、その植物に攻撃をかけて自身の栄養源とする無数の病害微生物、昆虫、線虫が存在します。これらを一括して連作障害生物といい、攻撃して寄生する微生物を「悪玉菌」と称します。病害を発生する微生物、昆虫、線虫の発生を抑制することが連作障害を防止し、農薬無しで栽培できる鍵を握っています。連作障害を防止するには、基本は輪作ですが、日本農業は土地に限りがあり、なかなか実行が難しいです。連作障害を起こしやすい植物は以下のものです、我々が毎日食べる野菜は全て該当します。

- ・ナス科：トマト、ジャガイモ、ピーマン、トウガラシ、薩摩イモなど
- ・ウリ科：瓜、キュウリ、スイカ、メロンなど
- ・アブラナ科：
 - 結球：白菜、キャベツ、芽キャベツ、ブロッコリー、カリフラワーなど
 - 葉菜：小松菜、シロナなど
 - 根菜：大根、ハツカダイコン、カブなど
- ・マメ科：枝豆、インゲン豆など
- ・ヤマノイモ科：ナガイモなど

ただし穀物の内、麦類やトウモロコシは連作障害が生じるが稲だけは連作障害がない優れた植物であります。

連作障害を起こす細菌・カビ菌の「悪玉菌」は、畑の土壌に餌となる有機質が残っていて、土壌の水はけが悪い条件で生息します。発酵が十分に終わっていないコンポスト、すなわち完熟していないコンポストには、「腐敗菌」と呼ばれる細菌が残存しています。「腐敗菌」は、大半が「グラム陰性菌」グループで、人や動物の腸内細菌科に属する大腸菌・サルモネラ菌・セラチア菌等です。これらが生存する条件下で、連作障害を起こす「悪玉菌」の発生を促すことになります。この生育を止めるために、コンポストを作り「善玉菌」を利用して発酵と一緒に繁殖させて、完熟したコンポストに存在している「善玉菌」を「微生物農薬」として土壌に供給することが、コンポスト使用の重要な側面であります。コンポスト産物に善玉菌を多数存在させることを生菌利用—プロバイオティクスと呼んでいます。コンポスト中には無数の土着の細菌が存在しています。コンポストの原料によって、作成方法によっても、細菌種は異なります。しかし、筆者の長年

の研究で、コンポスト発酵に多く活用されている「善玉菌」は、大別すると次の3グループにまとめられることが分かりました。他に多くの善玉菌も存在しますが、人工的に経済的で安定して増殖し、連続してコンポスト発酵に供給できるものは限られています。人工的に意図的な活用は日本のみならず世界的に見てみ遅れているのが現状です。今後の研究と開発で発展する可能性があり、この分野の技術開発こそ、地球環境保全と深く関係していると考えています。3グループは以下ようになります。

8. プロバイオティクス微生物群と植物ホルモン

プロバイオティクス微生物群の中で主たる働きは、次の3グループです。

- ① 嫌気性発酵菌（乳酸菌種）
- ② 好気性超高温発酵菌（枯草菌種）
- ③ 好気性低温発酵菌（放線菌種）

8-1. 嫌気性発酵菌

嫌気性発酵菌（主として乳酸菌属、酵母菌属を含む）は、コンポスト温度を上昇させて「悪玉菌」（病原菌）となるグラム陰性菌を殺菌することから、コンポスト産物（安定化したもの）は、「悪玉菌」である腐敗菌（グラム陰性菌）がなくなり、乳酸菌種（胞子を作るものと作らないものがある）、酵母菌種の胞子が多数存在しています。このコンポストは安全で扱いやすく、農地に資材・肥料として利用することができます。乳酸菌種や酵母菌種は、農業で使うことが可能な経済を持てば、大量に培養して使うことができます。筆者は乳酸菌でそのことが可能になって実用化している経験を紹介する。

乳酸菌、酵母菌は、野菜、果実、稲作などの生育植物に攻撃をかける「悪玉菌」となることはなく、嫌気性状態を維持することで保温を行うと発酵温度が上昇します。高温になればグラム陰性菌を殺菌できます。空気を入れる好気性になる発酵温度が上昇せず、グラム陰性菌を温度殺菌することに成功しなくなります。しかし、乳酸菌の活動で土壌のPHが低下して腐敗菌の増殖を抑制します。コンポスト中には、乳酸菌（胞子を作らないものが多い）、酵母菌の胞子が多数含まれていて、コンポストを土壌に入れると、土壌中の水分、温度とコンポストに残存する有機質栄養条件により、胞子が目覚めて増殖を開始します。増殖に伴い病原菌や、線虫、昆虫を排除する酵素や物質を分泌します。このタイプのコンポスト中にはアミノ酸、脂肪酸等有機物が残っていて、腐植質は少なく施肥した土壌中で腐植化が継続します。

ある種の乳酸菌は、増殖過程でオーキシンとサイトカイニンを分泌することを、筆者は確かめていて、この植物ホルモンが、野菜、果実の生育を早め、糖質増加で甘い味を引き出すことを立証しています。メロン・パイナップル・マンゴー・ぶどう・いちご・薩摩いも等糖度を上げる植物成長に適していて、ある程度昆虫が忌避することが確かめられています。稲作でも乳酸菌を根から吸収させてコメの味が甘くて美味しくなります。また稲作で問題となる「イモチ病」のカビ菌を抑制することが確かめられています。有機野菜が美味しい原因は、オーキシンとサイトカイニンの植物ホルモンの働きが介在しています。抗生物質濫用で水・土壌・食汚染が多剤耐性菌の状況を生み出していることを前節で説明しましたが、この対策は、乳酸菌を家畜・養殖に使って免疫効果を引き出し、ウイルス・病原菌に強い家畜・エビ栽培を実施し成功していますが、ここでは紙面の制約で割愛します。

8-2. 好気性超高温発酵菌

好気性超高温発酵菌主として枯草菌（バチルス菌、例納豆菌 *Bacillus subtilis* var *natto*）種によるコンポストで好気性発酵期間が45～120日程度で完了します。枯草菌種も多数の種が共同で動き、他の好気性細菌も連動してコンポストを作ります。有機物は完全に好気性発酵分解し「完熟」堆肥になります。選択する枯草菌の種類とコンポスト方法により45日以下に短縮可能で、北海道や韓国の厳寒期でも高温発酵が可能で実施されています。枯草菌は絶対好気生菌のため常時空気供給が必要ですが、空気を過剰供給すると外気温により温度が下がり、高温発酵が維持できません。蛋白質分解が進み、さらにアミノ酸分解能力が強く、アンモニア気散が強いのでアンモニア悪臭対策が必要であります。その方法はアンモニア臭気の回収処理であります。したがってコンポスト産物の窒素成分が少ないので、後で窒素追肥が必要となります。コンポスト産物には枯草菌の胞子が多数含まれていて、胞子が土壌中で目覚めて連作障害病原菌や、線虫、昆虫を排除することができます。例えば、線虫による芋の「根こぶ病」が起こらないなど効果が証明されています。また摂氏85℃、運転方法で100℃を超える超高温発酵により、病原菌の熱死滅、線虫、下水汚泥・人糞中、家畜糞中の腸内菌で病原菌（グラム陰性菌）、ウイルスや回虫卵などが熱死滅します。また、家畜糞に含まれる雑草植物の種子も熱殺菌が行えることから、除草剤を使わないですますことにつながります。枯草菌は胞子を生成しますので、土中で目覚めて増殖する過程で、分泌する酵素が他の病原菌、昆虫などの発生を抑制します。特に、昆虫に対して枯草菌は効果

があり、*Bacillus thuringiensis* (BT 菌) が分泌する酵素は昆虫を死滅することから、この酵素を作る遺伝子を取り出して「大豆」「とうもろこし」の遺伝子に注入したものが「遺伝子改変作物-BT 作物」と呼ばれています。アメリカ・ブラジルで栽培され、昆虫対策の農薬使用量が半減しています。「生物多様性条約」COP10 は、遺伝子改変作物の使用制限が含まれています。BT 菌は日本でも登録された「微生物農薬」です。他の枯草菌種も同様の酵素を分泌するので、昆虫対策効果があります。

枯草菌が増殖過程で「オーキシン」(インドール酢酸) を分泌し、それが植物成長を促しています。オーキシンは、人尿に存在することがオランダの科学者により 19 世紀に発見されました。これが 植物ホルモン発見の最初であり、オーキシンは植物が太陽光を求めて生長する基本化学物質であります。どの植物も自ら生産していますが、外部から与えられると成長促進、果実が大きくなり、また味が「旨い」と言われる原因となっています。有機農業—コンポストの意義はこの点にあります。オーキシンの発見が、植物ホルモンの擬似薬として除草剤の開発につながり、その延長線上で、枯れ葉剤 2, 4D 等の大量生産、大量使用が ベトナム戦争で使用され、さらに 2, 4D 合成過程で不純物中にダイオキシン類が存在してことは、農薬技術の未成熟さの典型となっています。

8-3. 好気性低温発酵菌

好気性低温発酵菌 (主として放線菌種) は、発酵温度が、低温発酵菌 65℃ 以下であります。好気性が主たる働きで嫌気性状態と混合した通性嫌気性低温発酵で、発酵期間が 150 日から 200 日 (日本では秋から冬を越すため)。日本の伝統的コンポスト発酵法は、この菌が繁殖する方法でつくられました。発酵期間が長く、この間に大半のグラム陰性菌は栄養状態が悪化して死滅しますが、回虫卵などは生存します。最終産物の中に、放線菌胞子が含まれ、それらが土壌の中で目覚めて主役になると他の微生物を攻撃して連作障害を止めています。放線菌種が現在使われている抗生物質を生産する微生物です。放線菌が分泌するキチナーゼは、「根腐萎ちょう病」や「青枯病」などを引き起こすカビ菌のフザリウム菌やピシウム菌の細胞壁のキチンを分解することで、これらの病気を抑制します。植物起源の有機物分解能力に優れ腐植質作りにも適しています。発酵過程の最初から最後まで中温発酵で、放線菌が優勢となる摂氏 60℃ 前後の中温に保つことが重要です。病気を引き起こす一部の低温菌を死滅させつつ、高温にしないことで発酵が長時間持続し、有機物の分解を促します。日本の伝統的コンポストは多

数の細菌、酵母、カビ菌が関与して発酵分解を促進しますが、必ずしも放線菌を多く含むことができない場合があります。そこで、土中で放線菌を増殖させる促進剤として、「かに」「えび」の甲羅キチンを土中に入れると、放線菌が増殖して微生物農薬として使えます。またキチンの放線菌発酵で低分子化したキトサンを野菜の葉面散布をして放線菌を集めて使うことが、有機農業家では常識になっています。さらに放線菌が分泌するサイトカイニン (ゼアチン) は、栽培する作物に植物ホルモン剤として作用し、特に発芽、細胞分裂に作用し野菜の生育が活発になり、さらに野菜果実の糖度味の向上が認められています。

おわりに ービストロ下水道を進化させるために下水処理場の役割

プロバイオティクス環境農業は、下水汚泥・家畜糞尿・食品廃棄物・生ゴミ・農業廃棄物等有機性廃棄物を、発酵微生物を使って有用な農業肥料・資材として循環活用する農業を意味します。ビストロ下水道は、プロバイオティクス環境農業の中心的活動主体になります。成功することは日本の農業改革の大きな支えとなって、地球温暖化対策、地球資源節約、生物多様性保全、富栄養化対策、「和食」ユネスコ無形文化遺産促進等に繋がる大きな目標を持った活動です。

畜産業は、アメリカから輸入するトウモロコシ・大豆や、ニュージーランド等から輸入する牧草を家畜の餌とすることで、高価な餌代を使って新鮮な牛乳・肉を消費者に届けていますが、日本の消費者が安い外国産輸入品を求めるために、経営が厳しくコスト削減を家畜糞尿処理のところに求めて、結果として排水処理不十分、抗生物質濫用、土壤汚染に食の安全性、院内感染等が繋がっています。下水処理場で糞尿処理を受けることで、地元畜産業を環境経営面で支えることができれば、地元産業衰退を防ぐことになります。さらに、農業改革の方向は、人が食べる主食米生産を自主生産へ移行し、飼料米生産に補助金を強化するものです。

これは今までの主食米 (コシヒカリ等低タンパク質米生産) から、反対の高タンパク質米に稲作方法を転換することになります。この時、飼料米生産を反当たり 700kg を目指しており、現在のコシヒカリの反当たり 500kg とは、違った目標になります。このことの意味は、水田に有機肥料—有機性窒素を増やして飼料米を生産することになり、家畜糞と下水汚泥は優れた地元肥料として受け入れられることになります。このように下水処理場の役割は、地域の農業・畜産業と連携する資源循環の基地であり、真の「地産地消」を



図-4 農業循環サイクルー地産地消

実施する公的産業と言えます（参照 図-4）。現在、政府は6次化産業政策を進めて1次産業の所得向上を目指しています。1次産業（農業・畜産・林業・水産業）に加工・商品化の2次産業を結合し、食のサービス業（3次産業）を連結して6次産業とすることで、1次産業の所得を増やす政策です。政府のこの政策に、下水道が貢献できることが未だ理解されていません。国土交通省下水道部と日本下水道協会は、農水省や環境省と連携して6次産業化構想の促進に一体化する必要があります。下水道事業・下水処理場は、今までマイナスを減ずる（環境対策）の事業という認識できたことに対して、資源循環を起こす新たな産業に変わろうとしています。それはゼロ（零）次産業としての役割を果たすことになるかと予想しています。

参考文献

1. 河瀬 玲奈, 松岡 譲「世界の2050年における温室効果ガス排出削減目標達成の可能性に関する考察」土木学会論文集 G（環境）vol.68, No.5, I33-I40, 2012
2. 松井三郎「バイオマス循環活用を可能にするプロバイオティクス農業原理」京都大学・環境衛生工学研究 vol.23, no.3, 2009

● 特 別 寄 稿

下水汚泥等からの水素製造に関する研究 －バイオマスからの水素ステーション形成の 考え方－

九州大学大学院工学研究院機械工学部門

教授 田島 正喜

キーワード：バイオマス、下水汚泥消化ガス、水素ステーション、燃料電池自動車

1. はじめに

近年、地球温暖化対策のひとつとしてカーボンニュートラルとみなされているバイオマスの利活用推進が図られているが、その利活用を妨げる要因のひとつとして、バイオマスの収集・運搬に対する経済的課題がある¹⁾。一方、化石燃料の枯渇化および地球温暖化にみられるエネルギーの環境影響への社会的要請の高まりによって、将来有効な二次エネルギー形態として、水素エネルギーが注目されている^{2)、3)、4)}。水素は自然界での賦存量はほとんどないが、様々な一次エネルギーから製造しうる。また、電力と相互変換可能な唯一のガス体エネルギーであり、燃焼しても水のみしか生成しない点、非常にクリーンなエネルギーであると言える。水素社会を構築するアプリケーションとして、燃料電池自動車(Fuel Cell Vehicle: 以下FCV)の開発が進められており、2015年より普及開始される運びとなってきた^{5)、6)}。FCVへの水素供給を考察するに、現在のガソリンスタンドが将来水素ステーションへ転換していくと想定されるが、ガソリンスタンド同様に全国に広く賦存するバイオマスをその原料にできれば、バイオマスの収集・運搬の課題は軽減されることが予想され、再生可能エネルギーの地産地消の観点でも非常に有効な活用方法と言える。加え

て、バイオマスからの水素製造は、再生可能エネルギーであるバイオマスを用いることで様々な水素製造方法に比較してLCA(Life Cycle Assessment)でみて極めて有利な手法であり、多大なCO₂削減効果が期待できる⁷⁾。ここでは、木質バイオマス、畜産廃棄物、農業残渣からの水素製造と下水汚泥消化ガスからの水素製造に関し対比しながら考察する。

2. 水素ステーション構築モデル

水素ステーションに適用するためのバイオマス収集の評価を行う。

ここに、 Q ：バイオマス利用可能量(t/y)は、

$$Q = \sum_{i=1}^n Qi \quad (1)$$

で与えられる。但し、 i はバイオマス種別を表わす。

木質バイオマスの利用可能量を Q_w とすれば(1)式は、

$$Q_w = \sum_{i=1}^4 Qi \quad (2)$$

となる。ここに、 i ：木質バイオマス種別として、林地残材、製材廃材、果樹剪定、公園剪定の4種を算入する。また、畜産廃棄物の利用可能量(Q_e)では同様に、畜産廃棄物種別として、乳牛排泄物、食肉排泄

物、豚排泄物、鶏糞の4種を算入し、農業残渣の利用可能量 (Qa) では、農業残渣種別として、稲わら、籾殻、麦わらの3種を算入、下水汚泥の利用可能量 (Qs) では、下水汚泥の1種を算入する。

以上のごとく、バイオマス種ごとの利用可能量 Q は定義される。

S: 市町村面積 (km²)

N: 現存ガソリンスタンド数 (箇所)

ρ : 水素ステーション転換割合 (-) とすると、水素スタンド1箇所あたりのバイオマス利用可能量 q (t/d) は、

$$q = \frac{Q}{360 \times N \times \rho} \quad (3)$$

で与えられる。但し、360日: 水素製造プラントの年間稼働日数 (365日 - 定期修理1日 - 年間休業4日) とした。

また、水素スタンド1箇所あたりのバイオマス収集面積 s (km²) は、

$$s = \frac{S}{N \times \rho} \quad (4)$$

となり、バイオマスの収集半径 L (km) は、

$$L = \sqrt{\frac{S}{N \times \rho \times \pi}} \quad (5)$$

で与えられる。

ここでのLとは図1のごとく、ある市町村に水素ステーションを建設する場合、バイオマス供給エリアを市町村の面積より平均分割しその半径として算出するもので、市町村内のバイオマス密度は均一と仮定している。また図1は、ある自治体に20ヶ所の既設ガソリンスタンドがあり、このうち10% ($\rho = 0.1$) に

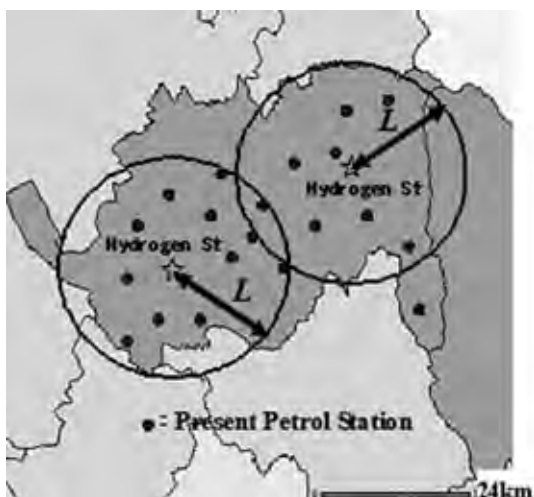


図1 バイオマス輸送距離 L

あたる2ヶ所が水素ステーションに転換された場合のLを示している。

3. バイオマスからの水素製造

木質バイオマス、畜産廃棄物、農業残渣、下水汚泥からの水素製造量を以下の式によって算出する。これらバイオマスに対して採用した水素製造方法は、現在実用化に近い技術より選定した。

3.1 水素製造計算式

(木質バイオマス)^{8), 9)}

水素製造量を Hw (Nm³/h)、木質バイオマス利用量を qw (wet-t/d) とする。

$$Hw = \frac{1}{1.4(\text{wet-t/d})} \times \frac{24h}{10h(\text{運転時間})} \times 17Nm^3/t \times qw \quad (6)$$

(畜産廃棄物)¹⁰⁾

水素製造量を Hl (Nm³/h)、畜産廃棄物利用可能量を ql (dry-t/d) とする。

$$Hl = \frac{15.4MJ / \text{dry-kg}(\text{糞尿発熱量})}{12.8MJ / Nm^3(\text{水素発熱量})} \times 0.4 (\text{メタン発酵効率}) \\ \times 0.67 (\text{水蒸気改質効率}) \times 0.8 (\text{PSA 水素回収率}) \\ \times \frac{1,000kg (\text{単位換算})}{10h (\text{運転時間})} \times ql \quad (7)$$

(農業残渣)¹¹⁾

水素製造量を Ha (Nm³/h)、農業残渣利用可能量を qa (wet-t/d) とする。

$$Ha = 150Nm^3/t (\text{ガス発生量}) \times \frac{21.5MJ / Nm^3(\text{発生ガス熱量})}{12.8MJ / Nm^3(\text{水素発熱量})} \\ \times 0.67 (\text{水蒸気改質効率}) \times 0.8 (\text{PSA 水素回収率}) \\ \times \frac{1}{10h(\text{運転時間})} \times qa \quad (8)$$

(下水汚泥)

水素製造量を Hs (Nm³/h)、水汚泥利用可能量を qs (dry-t/d) とする。

$$Hs = \frac{15.9MJ / \text{dry-kg} (\text{下水汚泥発熱量})}{12.8MJ / Nm^3(\text{水素発熱量})} \\ \times 0.4 (\text{メタン発酵効率}) \times 0.67 (\text{水蒸気改質効率}) \\ \times 0.8 (\text{PSA 水素回収率}) \times \frac{1,000kg (\text{単位換算})}{10h (\text{運転時間})} \times qs \quad (9)$$

3.2 ステーションにおける必要水素製造能力

商用化水素ステーションの必要水素製造量は、既存ガソリンスタンドにて充填するガソリン車と同量の水素充填の必要量として定義され、通常ガソリンスタンド規模を想定すると、200 ~ 300 Nm³/h 規模で採算性が取れるレベルにあるとの試算がなされている。

12)そこで平均的なガソリンスタンド規模(1ステーションあたり約1,000台の車に対する営業規模)に相対する水素ステーション能力 $200\text{Nm}^3/\text{h}$ を、以降、水素ステーション構築の基準となる必要水素製造能力として議論を進めることとする。

4. 日本全国での水素ステーション構築実現性検討

4.1 検討の前提

水素ステーションの転換割合 ρ は、 $\rho = 0.1$ (既存車の10%がFCVに転換される)とした。

地方区分として、北海道、東北、関東、中部、北陸、近畿、中国、四国、九州、沖縄の10地方域に分けて評価した。

本研究におけるバイオマス貯存量データは、新エネルギー・産業技術総合開発機構(New Energy and Industrial Technology Development Organization: NEDO)、電力中央研究所が提供する全国バイオマスデータ、「バイオマスの賦存量・利用可能量推計データ」¹⁴⁾、¹⁵⁾を、全国ガソリンスタンド数のデータは東京ガス、価値総合研究所の調査¹⁵⁾によった。

4.2 結果および考察

木質バイオマス、産廃棄物、農業残渣、下水汚泥ごとに、本結果の水素製造量と輸送距離の関係を、首都圏を代表例として、図2～図5に記す。

図中の分数表示は、水素製造量 $200\text{Nm}^3/\text{h}$ 以上を基準として、(水素ステーション構築可能自治体数)/(対象自治体数)を示している。バイオマス種ごとに対象自治体数が異なるのは、バイオマス種によっては賦存しない自治体があることによる。

下水汚泥に関しては(図5参照)、他の3種のバイオマスとは異なり、サンプル対象自治体が極端に少ないことが特徴である。それに比して、関東地方の大都市圏では多量の水素製造が期待できる自治体が多い。これは、エネルギー利活用可能な下水汚泥が、下水処理場を有する市町村のみに偏在していることを意味している。下水汚泥は収集・運搬システムが既に整っている都会型バイオマスであることを考慮すれば、その水素への利活用は他の3種のバイオマスとは別に議論する必要があるため、個別に取り上げ後述する。

地方ごとに、また3バイオマス種ごとに纏めた全国集計を図6に示す。全国で水素製造量 $200\text{Nm}^3/\text{h}$ 以上を基準とし、3バイオマス種によって異なる水素ス

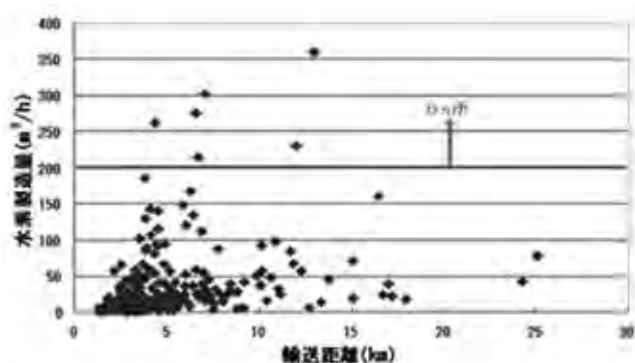


図2 水素製造量と輸送距離
(関東地方での木質バイオマス)

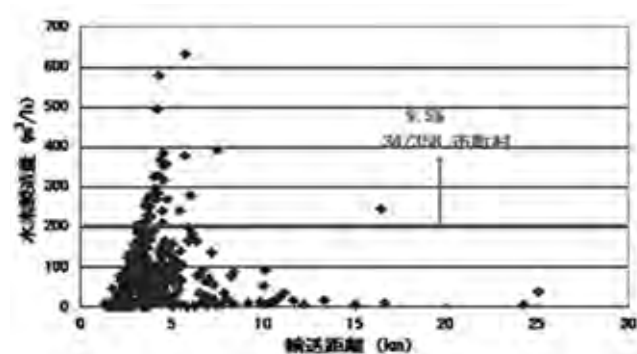


図4 水素製造量と輸送距離 (関東地方での農業残渣)

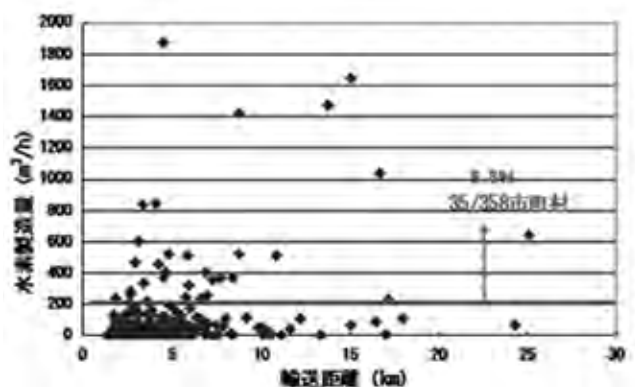


図3 水素製造量と輸送距離 (関東地方での畜産廃棄物)

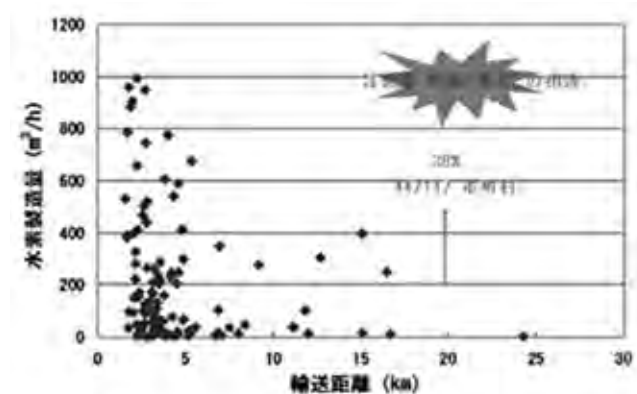


図5 水素製造量と輸送距離
(関東地方での下水汚泥、 $1,000\text{m}^3/\text{h}$ 以下の水素発生量の自治体)

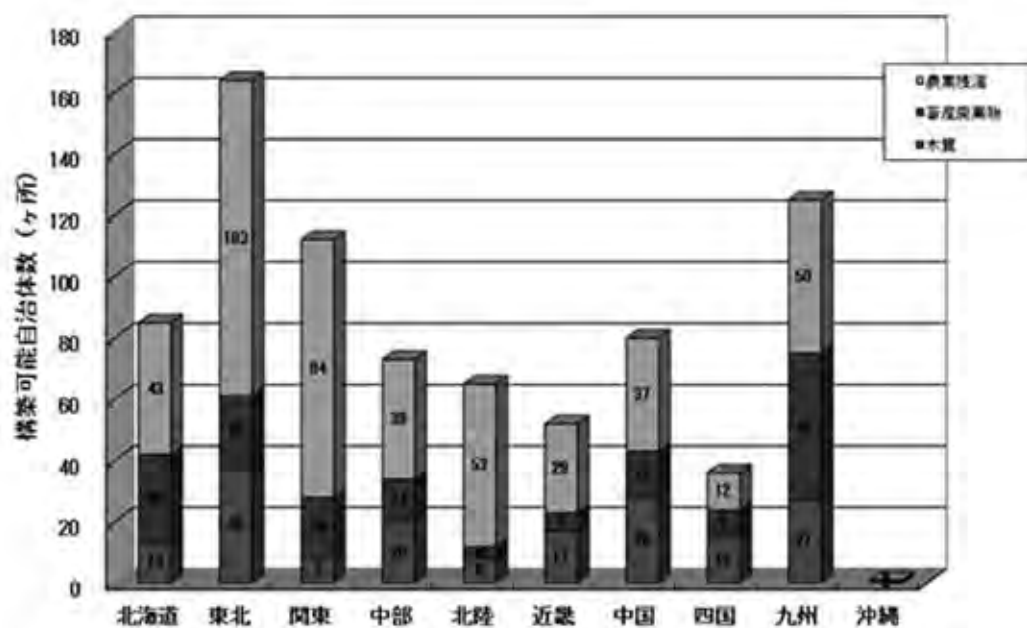


図6 水素ステーション形成可能な自治体数

テーションが同時構築可能とした場合の構築可能自治体数は529ヶ所にのぼり、評価対象自治体を2,042ヶ所(のべ自治体数6,127ヶ所/バイオマス3種÷2,042)と見積もれば、全国の約26%の自治体が、本手法によって水素ステーションを構築できることが判明した。

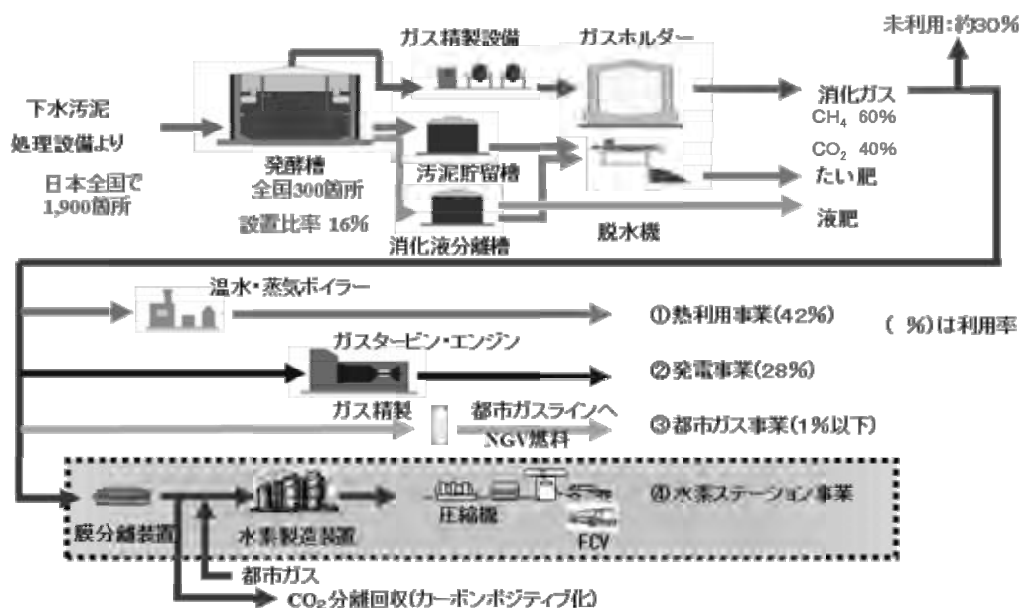
これら水素ステーションが構築可能な自治体では、3種のバイオマスともその輸送距離の平均値は10km以内であった。バイオマスのエネルギー利用の課題とされている収集運搬の問題も、水素ステーションでの

水素製造の原料としての利用を図れば、解決できる可能性がある。

5. 水素ステーション形成黎明期における下水汚泥消化ガスからの水素製造

5.1 下水汚泥消化ガスからの水素製造モデル

燃料電池実用化推進協議会(Fuel Cell Commercialization Conference of Japan:FCCJ)では、2015年よりFCVの普及を開始するという「FCVと



出展：2004 国土交通省 下水道統計資料

図7 下水汚泥からのエネルギー利用の現状と水素ステーションモデル

水素ステーションの普及に向けたシナリオ」を発表している¹⁶⁾。また、これに合わせ、水素ステーション構築事業者と自動車各社は、2015年までに4大都市圏（首都圏、中京圏、関西圏、福岡・北九州圏）を中心に100箇所程度の水素ステーションを建設することを共同発表した。都市部から普及が開始されるFCVに対して水素ステーション形成初期の段階では、石油や都市ガス等化石燃料からの製造水素を用いることが、コスト、供給安定性等から現実的とみられている。

前章までは、木質バイオマス、農業残渣、畜産廃棄物から水素ステーションを構築する可能性について議論を進めてきた。十分な可能性があることが示唆されたが、これら3種のバイオマスは、山間部や丘陵部、農村部に賦存するバイオマスであり、このコンセプトは水素ステーション形成黎明期にはあまり有効ではない。

これに対して都市型のバイオマスである下水汚泥は、首都圏を初めとする大都市部において多量の水素を製造するポテンシャルがあることを前述した。

下水汚泥消化ガスのエネルギー活用の現状と水素ステーション構築のモデルを図7にまとめる。

現状、下水汚泥の湿式メタン発酵による消化ガスシステムを採用する下水処理場は、十分に普及しているとはいえず、全国で約1,900箇所の処理場のうち、約300箇所と普及率でみて16%に過ぎない。加えて、消化を行っている下水処理場においても、その採用目的が汚泥残渣物の減容化が第一義であることから、エネルギーの十分な有効利用に至っていないのが現状である。発生した消化ガス（メタン含有率約60%）の

うち、42%が熱利用に、28%が発電利用に用いられているものの、残りの約30%は利用されずにある。

この未利用消化ガスを主に活用し、消化ガス中のメタンから水素を製造、水素ステーションによりFCVに供給できれば、水素ステーション形成黎明期における都市部でのバイオマスからの水素供給モデルが構築できる（図7中、④のケース）。加えてこのシステムは、将来的には、水素製造の際に生成するCO₂を分離回収（CO₂ Capture and Storage : CCS）すれば、カーボンニュートラルなバイオマス利活用を、さらにカーボンポジティブ化（大気中のCO₂濃度を減少させる）でき、温室効果ガスの大幅な削減に寄与する可能性を秘めている。

5.2 水素ステーション形成黎明期における下水汚泥－水素の有効性とポテンシャル

福岡県では北部九州地方を中心に、FCVの普及推進計画を作成している。普及初期の2020年時点での水素ステーション配置計画図が作成されているが、この図と九州地方での下水汚泥賦存量分布図を比較するとその配置がほぼ重なっていることが分かる（図8）。バイオマスからの水素製造手法を考察するに、下水汚泥の消化ガスを用いたこのシステムは、水素ステーション形成黎明期に特に有効なシステムであると示唆される。

また未利用の消化ガスを全てこのシステムで水素化し、水素ステーションでFCVに充填すると仮定すれば、FCV約160万台に年間供給できるポテンシャルがあると試算される。



図8 水素ステーションの配置計画と下水汚泥貯存の関係

- 4) Joseph J. Romm、水素は石油に代われるか、オーム社、15-25 (2005)
- 5) 経済産業省、燃料電池実用化戦略委員会資料、(2004)
- 6) JHFC セミナー資料、平成 19 年度 水素・燃料電池実証プロジェクト、pp15 (2008)
- 7) (財) 日本自動車研究所、JHFC 総合効率検討結果報告書、2006、33-37
- 8) NEDO パンフレット、バイオマスエネルギー高効率転換技術開発、pp3 (2005)
- 9) 山地憲治他、水素エネルギー社会、資源エネルギー学会、63-65 (2008)
- 10) (社) 日本エネルギー学会、平成 13 年度新エネルギー等導入促進基礎調査 (バイオマスエネルギー高効率転換技術に関する調査) 報告書、132-173 (2001)
- 11) (株) タクマホームページ、高温乾式メタン発酵、(コンポシステム) の特徴、<http://www.takuma.co.jp/product/waste/general/08biogas01.html> (2007.3)
- 12) (財) 日本自動車研究所・(財) エンジニアリング振興協会、固体高分子形燃料電池システム実証等研究 (第 1 期 JHFC プロジェクト) 報告書、70-71 (2006)
- 13) NEDO ホームページ、バイオマス賦存量・利用可能量の推計 GIS データベース (2008.4)
- 14) 井内正直、(財) 電力中央研究所、バイオマスエネルギー利用計画支援システムの開発－賦存量データベース及び収集コスト評価モデル－、1-7 (2004)
- 15) (株) 価値総研・東京ガス(株)、関東圏における水素インフラ展開シナリオ検討基礎調査、13-20 (2007)
- 16) 平成 21 年度 JHFC セミナー資料集、基調講演 2015 年の一般普及に向けた取組の現状と今後の課題、石谷 久、pp22 (2010)

特集：第27回下水汚泥の有効利用に関するセミナー特集（佐賀市）

解説

【昔に帰る未来型】の社会を目指して ～佐賀市下水浄化センター

佐賀市上下水道局 下水浄化センター

所長 馬場 慶次

キーワード：処理水利用、消化ガス発電・堆肥利用

はじめに

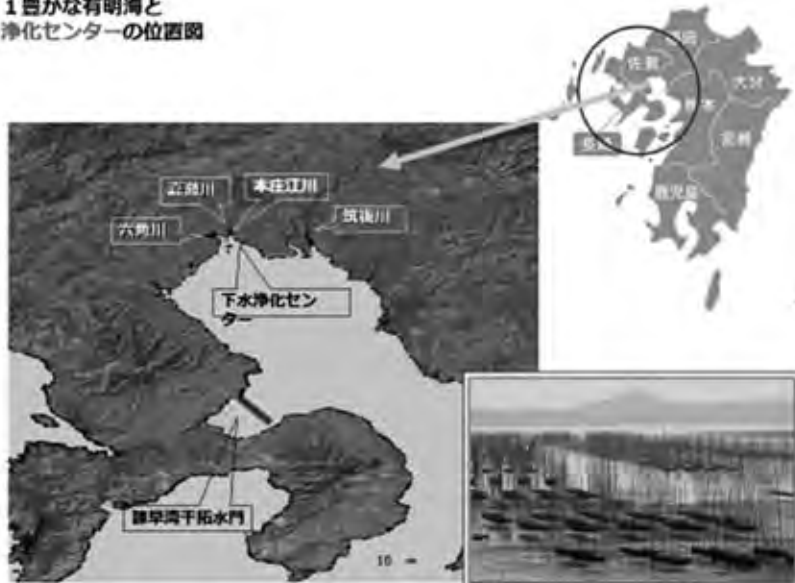
昨今、未利用バイオマスの活用を進めてエネルギーの創出、食（農業分野）との連携などの取り組みが各地で行われておりますが、私も佐賀市下水浄化センターも下水汚水処理過程で出る汚泥を利用したガス発電、肥料製造や処理水に含まれる窒素やりんなどの肥料分を海苔養殖や農業への利用を行っております。そ

の施策の根底に流れるものは「昔に帰る未来型」の社会を目指そうというものです。

われわれ佐賀者(さがんもん)は古来より隣県の人々より「佐賀者の通った後には草も生えん」と言われてきました。

このことは、佐賀者を比喻する言葉なのですが、ケチとの評価ではなく、佐賀者は田んぼに生えてる草でさえも無駄にしないとのほめ言葉だと解釈しております。

1 豊かな有明海と 浄化センターの位置図



この先人がはぐくんできた佐賀の地から出るものは、下水の汚泥や処理水であっても利用し、有用なものへと変えていくことが、先人からうけつぎ、未来の子孫に引き継ぐ精神そのものであって、環境共生を伴った「昔に帰る未来型」の社会だと思っています。

このことを基に私ども佐賀市の下水浄化センターにおける取り組みをご紹介します。

1. 佐賀市下水浄化センターの紹介

佐賀市は九州北西部の佐賀県のほぼ中央に位置し、北は脊振山系、南は有明海、東は九州一の大河である筑後川にはさまれた自然豊かな町である。

平成 17 年と平成 19 年の 2 度にわたる市町村合併により、人口 235,641 人となり、おもな産業としては、

日本一の生産高を誇る海苔養殖、たまねぎ 米麦 その他の園芸を中心とした農業など、自然の恵み豊かな産業が主体となっている。

その中で下水浄化センターは市内から出る生活污水の処理施設として、南部の有明海沿に建設された公共下水道処理施設で、昭和 53 年 11 月に供用を開始した。

2. 当浄化センター施設概要

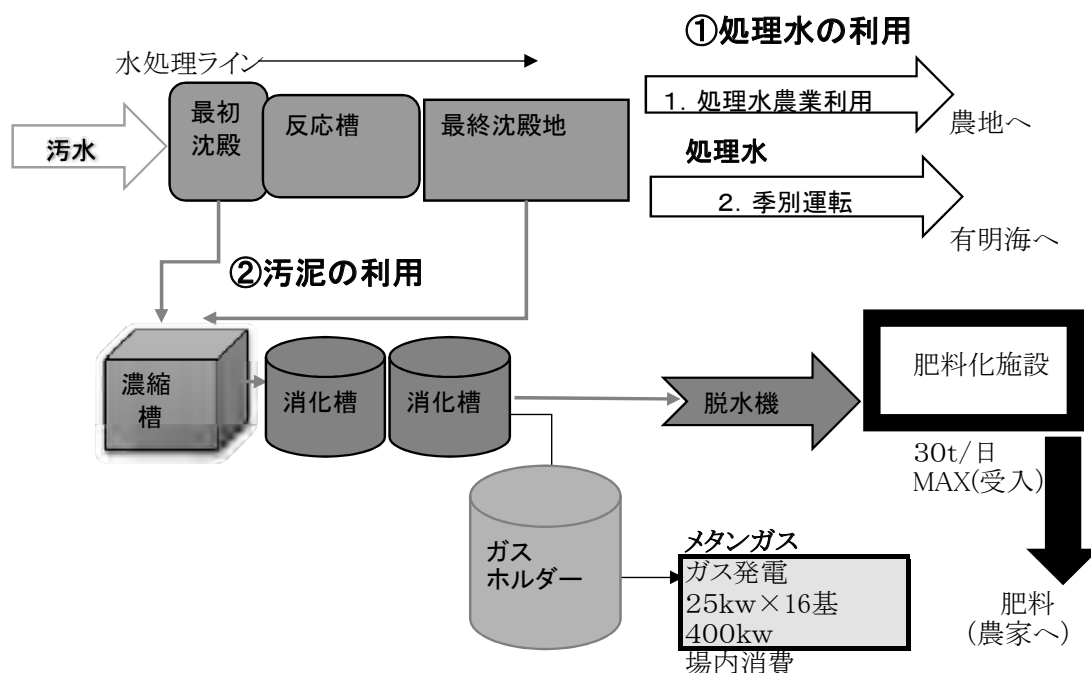
現在の処理施設概要は下表のとおり状況。

3. 下水浄化センターにおける取り組み

下水浄化センターは現在、汚泥及び処理水を有用な

佐賀市下水浄化センターの施設概要

| | | | |
|--------------|--------------------|--------|-----------|
| 全体計画 区域面積 | 3,907ha | 排除方式 | 分流式 |
| 全体計画 処理人口 | 186,000人 | 敷地面積 | 90,221㎡ |
| 認可処理 計画人口 | 186,000人 | 現流入水量 | 50,534㎡/日 |
| 認可処理 能力 | 81,500㎡ | 供用開始年月 | S53.11.26 |
| 処理方式 | 標準活性汚泥法(一部担体活性汚泥法) | | |



佐賀市下水浄化センター運転フロー

ものとして活用するための取組みを行っている。

フロー図のように污水处理を進めていく過程の中で
①の処理水の利用 と ②の汚泥の利用に分けられる。

①処理水の利用

1. 液肥としての処理水利用

処理污水の中にはまだ窒素 リンなどの植物の栄養素を含んでいるため、近隣の農家に液肥として無料提供。

大豆、ハウス園芸 麦等の農作物に利用されている。



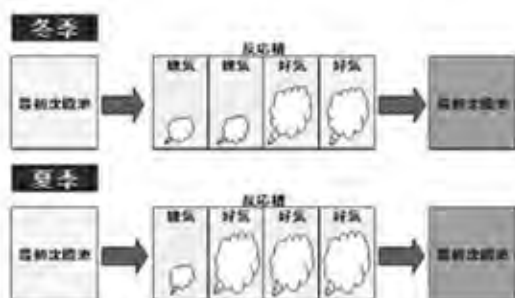
近隣の農家による処理水の大豆畑への処理水葉面散布状況

2. 下水処理の季別運転

季別運転(海苔養殖栄養源)

・ 有明海の環境とノリ養殖に配慮した下水処理

| 区分 | 期間 | 導入処理法 | 目的 |
|----------|--------|--------|----------|
| I ノリ養殖期 | 10～翌3月 | 硝化抑制運転 | 栄養塩類の供給 |
| II ノリ休漁期 | 4～9月 | 硝化促進運転 | 窒素・リンの除去 |



冬季と夏季の運転の違い

冬季の運転

冬季（海苔養殖期）には反応槽の空気（酸素）供給量を減らし、反応槽での嫌気状態を増やすことで硝化抑制運転となり、処理水中の窒素、リンの含有量を増やし、放流先の有明海海苔養殖場の栄養源（栄養塩）として供給している。

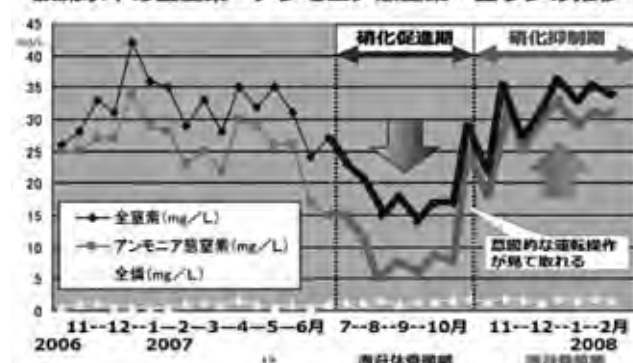
海苔養殖は日本一の生産を誇る産業だが、養殖期後半になると栄養塩としてのアンモニア性窒素、リンなどが不足し、海苔の色落ち（黄色くなる）現象や繁殖減などが現れてくる。

浄化センターが放流先の本庄江を通じ滞筋に冬季処理水を供給することでそれらの症状を緩和する。（海苔養殖のデーターで良好な結果が得られている。）

夏季の運転

夏季は反応槽の空気（酸素）量を最大限に増やし、硝化促進運転に切り替えることで窒素、リンをなるべく減少させることで、放流海域の富栄養化を抑制している。

放流水中の全窒素・アンモニア態窒素・全リンの推移



②汚泥の利用

1. 消火ガス発電への利用

もともと下水浄化センターでは多額の汚泥処理費用（焼却、産廃処分費）を軽減するため、消化槽を設け、汚泥の減量化を実施していたが、消化槽で発生する消化ガスはボイラーにより焼却していた。



このことは、主成分であるメタンガスの持つエネルギーを捨てていることになるため、そのエネルギーを回収するため、ガス発電システムを設置して運営を開始した。

◎マイクロコージェネレーション

発電能力 $25\text{kw} \times 16 \text{基} = 400\text{kw}$

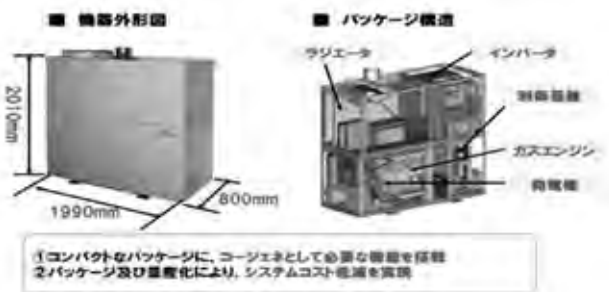
◎平成 25 年度の実績 3,351,202kw

(浄化センター年間消費電力の約 42%を賄う)

◎平成 23 年 4 月 1 日運転開始

消化槽で発生したメタンガスを一旦ガスホルダーに貯留し、ガスエンジン（レシプロ）に供給。

発電時に発生する冷却水の熱を再び消化槽に戻し、メタン反応を促進する加温に使用。
電気と熱の回収により、高効率となっている。



発電機そのものが小型のパッケージ型となっているため、台数制御が可能。

機器故障時の供給障害の影響が少ない。

2. 汚泥肥料への利用

メタン反応を終えて脱水棟に運ばれた汚泥は、脱水機にかけられ 83%まで含水率を下げられる。

その後、ベルトコンベアーにより肥料工場 醗酵棟に運ばれ醗酵が始まる。

醗酵には超高温好気性菌である YM 菌が主菌として使われ、17 槽に仕切られた醗酵槽のなかをホイルローダーにて切り返し混合を繰り返され、約 45 日で醗酵を終えて肥料となる。

懸念される臭気については、隣接する脱臭棟で生脱臭処理はされるが、充分ではないため、醗酵棟屋根に取り付けられた、シャワーにより臭気の主成分であるアンモニアガスが取り除かれ、併せて汚泥そのものにも酸性土、食品副産物などの添加し、臭気を抑える工夫を加えた。

(このことは、肥料の性質にも好影響をあたえ、アミノ酸の増加など肥料の付加価値を上げている。)



汚泥肥料工場（発酵棟）



外観
36m × 107.6m



内観



下水汚泥（脱水ケーキともよばれる）

普通肥料登録

- ・登録日:平成22年3月25日 (24年3月)
 - ・肥料の種類:汚泥発酵肥料
 - ・肥料の名称:かんどりスーパー体置
 - ・N:P:K=1.8:1.8:0.1 (2.1:4.5:0.41)
 - ・水分率:35% → (33%)
 - ・重金属類:公定規格をクリアー
 - ・平成23年4月1日から 有料 2円/1Kg
 - ・平成24年7月からP菌体添加
- ()は24年度末データー



保育園児によるイモ苗植え付け

肥料切り替えし状況



③地元への対応と連携

これまで、浄化センターのハード部分の取組みを述べてきましたが、これらの施設が順調に稼働できるのも周辺住民の理解、漁業関係者、農家などの協力があって初めてできるものと考えている。

それを得るための行動を最後に紹介する。



上下水道局関係者と地元住民で野菜の植え付
(浄水汚泥と下水道堆肥で土づくり)

上記のような農業者、市民との勉強会、下水汚泥肥料を使った野菜作りなどを通じ、下水処理への理解を深めていただいている。

また、季別運転などは、海苔養殖業への貢献として漁業者にも認識されているため、毎年開催している下水と漁業の勉強会「宝の海を守るため」には、多くの漁業関係者の参加があり、好評を得ている。

最後に

今まで浄化センターの取組みを書かせていただきましたが、当初より臭気、騒音、風評などの苦情が多く、その対応に苦慮してきましたが、粘り強く住民対応を実施してきたことにより、理解を得られるようになってきました。

これからは、地域住民の方との関係を今以上に良好な関係にもって行き、地域に貢献する処理場めざして行きたいと思います。



下水汚泥肥料を使った農業の勉強会

特集：第 27 回下水汚泥の有効利用に関するセミナー特集（佐賀市）

解 説

下水汚泥有効利用の
現状と推進に向けた取組み

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

キーワード：重点施策、B-DASH、BISTRO 下水道

1. はじめに

下水道は、生態系や自然の循環システムを健全に保つための重要な構成要素と位置付けることができる。

今後とも、拡大する諸活動を支えつつ、それに伴う環境への負荷を極力抑制することが下水道に課せられた大きな使命である。一方、下水の排除、処理の過程で下水汚泥をはじめとして、スクリーンかす、土砂などが発生する。これら発生汚泥等を適正に処理すること

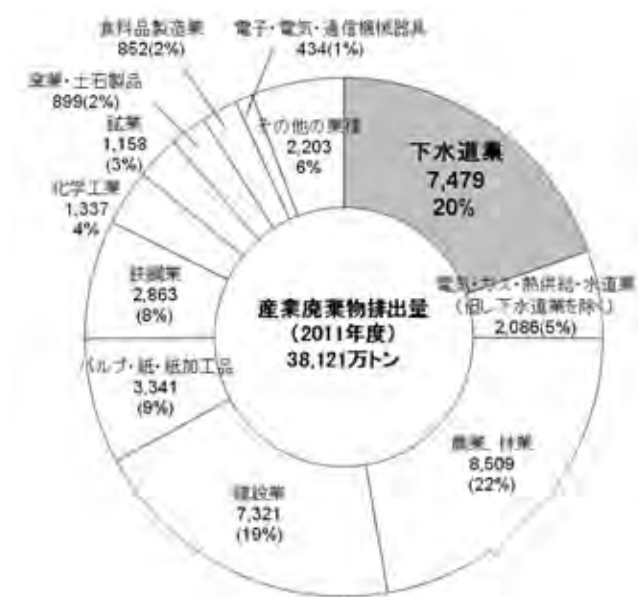


図1 産業廃棄物排出量に占める下水汚泥の割合
(単位：万トン／年)

出典：環境省「産業廃棄物排出・処理状況等（平成23年度実績）」（国土交通省にて一部加工）

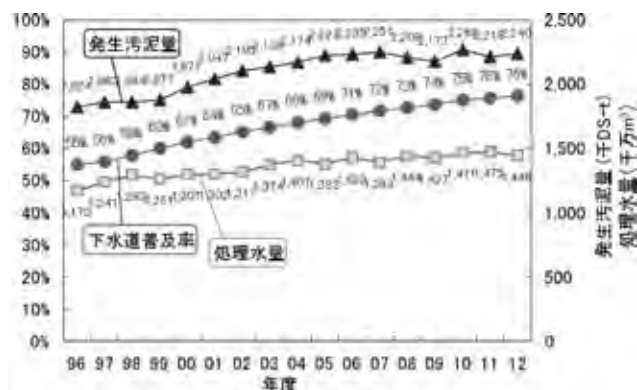


図2 下水道普及率と発生汚泥量、処理水量の推移
(下水道統計及び国土交通省調べ)

は、放流水の水質管理とともに、下水道の維持管理上最も大きな課題である。

平成23年度における全国の産業廃棄物排出量は約3億8,121万トンとなっている。そのうち約20%の7,479万トンが下水汚泥であり(図1)、その発生量は下水道の普及等に伴って今後さらに増加する見込みである(図2)。これに対し、平成24年3月31日現在の産業廃棄物最終処分場の残余年数は全国で14.9年、首都圏で5.3年となっており、廃棄物の3R(Reduce, Reuse, Recycle)の推進が急務となっている。下水道法においては、発生汚泥等の減量化に努める旨の規定が設けられており、この規定に沿った取組みがなされてきている。

また、循環型社会への転換、廃棄物処理の適正化が社会的な課題となる中で、循環型社会形成推進基本法や各種リサイクル関連法、循環型社会形成推進基本計画等が制定・改正されており、我が国における循環型社会構築に向けた取組みが各方面で進められている。

下水汚泥については、発生量が大量であること、下水道は地方公共団体という公的主体が事業者であることなどから、今後とも、廃棄物の減量化・リサイクルの推進を率先して計画的に進めていくことが必要である。

また、大量の資源・エネルギーの消費に伴う温室効果ガス排出量の増加により、地球温暖化の影響が顕在化してきており、平成17年2月の京都議定書の発効を受け、その対応は国際的な最重要課題となっている。下水道業における温室効果ガス排出量は、1990年から2012年の間に約45%増加しており、処理水量の伸び(同比約40%増加)を上回っている。

加えて、東日本大震災を契機とした東京電力福島第一原子力発電所事故によるエネルギー需給の逼迫への対応が急務となっている。下水道は我が国の年間消費電力量の約0.7%を占める電力の大口需要家であるとともに、下水道における使用電力費は下水道維持管理

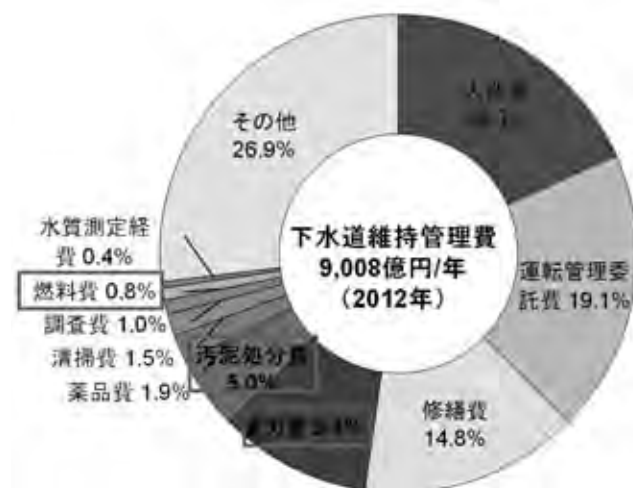


図3 下水道維持管理費の内訳
(下水道統計より国土交通省作成)

費において、全体の約9%を占め(図3)、今後、電力会社による電力料金の値上げによる下水道事業への影響に懸念もある。

こうした背景を踏まえ、平成26年4月10日に閣議決定された第4次「エネルギー基本計画」においては、「再生可能エネルギーについては、2013年から3年程度、導入を最大限加速していき、その後も積極的に推進していく。」とされている。

バイオマスである下水汚泥は、バイオガス化・固形燃料化等により再生可能エネルギーとして活用することが可能であり、温暖化対策やエネルギー構造の転換等、社会的課題の解決に貢献できるポテンシャルを有している。

また、平成22年12月には「バイオマス活用推進基本計画」が閣議決定され、下水汚泥について、バイオガス化や固形燃料化等のエネルギー利用を推進することにより、2020年には約85%が利用されることを目指すとされている。平成24年8月には新たな「社会資本整備重点計画」(計画期間:2012～2016年度)が閣議決定され、下水汚泥中の有機物がエネルギー利用された割合を示す、下水汚泥エネルギー化率(2010年度:約13%→2016年度目標:約29%)と、下水道における温室効果ガス排出削減量(2009年度:約129万t-CO₂/年→2016年度目標:約246万t-CO₂/年)が目標として掲げられている。

以上のように、循環型社会、低炭素社会の構築が求められる中、下水道事業ではバイオマスである下水汚泥といった資源を大量に有しているため、下水道管理者は、率先して、地域の特性を踏まえ、下水汚泥をバイオガスや固形燃料として積極的に活用し、下水道を資源・エネルギーの回収・再生・供給インフラとして整備することが求められている。

2. 下水汚泥の発生量と処理処分等の現状

平成 24 年度における下水汚泥の処理及び処分の状況を表 1、図 4 に示す。下水汚泥は年間約 224 万 DS-t（乾燥重量トン）が発生しており、そのうち約

58%（約 129 万 DS-t）が緑農地利用、建設資材利用、固形燃料利用等として有効利用されている。

埋立処分量は年々減少しており、下水汚泥の有効利用が着実に進展している。有効利用の内訳としては、近年セメント原料利用等の建設資材利用が進み、2012 年度では 39%が建設資材に利用されている。一方、

表 1 下水汚泥の処理及び処分状況（発生固形物量ベース、平成 24 年度）
（国土交通省調べ）

単位：DS-t/ 年

| 引き渡し先 処理後の 汚泥形態 | 最 終 安 定 化 先 | | | | | | | | 合計 | % |
|-----------------------|-------------|-----------|---------|-------------|--------|-------------|------------|-------|-----------|--------|
| | 埋立処分 | 緑農地 利用 | 建設資材利用 | | 固形燃料 | その他 有効利用 | 場内 ストック | その他 | | |
| | | | セメント化 | セメント化 以外 | | | | | | |
| 生汚泥 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0.0% |
| 濃縮汚泥 | 3 | 2 | 0 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12 | 0.0% |
| 消化汚泥 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 55 | 55 | 0.0% |
| 脱水汚泥 | 28,294 | 17,213 | 88,928 | 5,486 | 1,541 | 2,992 | 8,393 | 2,717 | 155,564 | 6.9% |
| 移動脱水車汚泥 | 0 | 399 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 399 | 0.0% |
| コンポスト | 45 | 266,119 | 0 | 514 | 0 | 120 | 0 | 0 | 266,798 | 11.9% |
| 機械乾燥汚泥 | 161 | 190 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 351 | 0.0% |
| 天日乾燥汚泥 | 2,935 | 29,858 | 10,872 | 207 | 10,884 | 0 | 26 | 0 | 54,781 | 2.4% |
| 炭化汚泥 | 4 | 3,918 | 1,695 | 334 | 29,095 | 108 | 307 | 25 | 35,487 | 1.6% |
| 焼却灰 | 692,741 | 28,180 | 466,286 | 129,770 | 129 | 26,123 | 174,729 | 6,325 | 1,524,282 | 68.1% |
| 溶融スラグ | 3,554 | 0 | 967 | 164,950 | 0 | 4,444 | 27,189 | 767 | 201,872 | 9.0% |
| 合計 | 727,737 | 345,880 | 568,747 | 301,269 | 41,648 | 33,786 | 210,645 | 9,889 | 2,239,601 | 100.0% |
| % | 32.5% | 15.4% | 25.4% | 13.5% | 1.9% | 1.5% | 9.4% | 0.4% | 100.0% | |

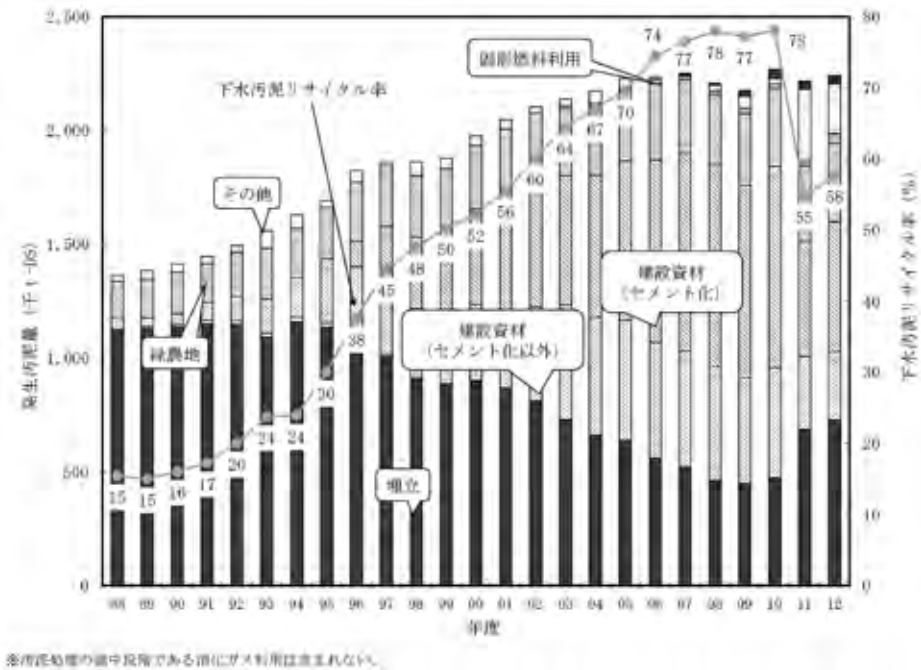


図 4 下水汚泥の最終処分・利用形態の経年変化（汚泥発生時乾燥重量ベース）
（国土交通省調べ）

下水汚泥固形燃料化等、下水汚泥のエネルギー化については依然として低い水準（2012年度時点でエネルギー化率13%）にとどまっており、より積極的な活用が求められている。なお、2011年度以降は、東日本大震災の影響により、有効利用量が減少しており、この年度の「その他」は主として処理場内で保管されているものである。

3. 下水汚泥の有効利用

セメント原料等としての建設資材利用やコンポスト等としての緑農地利用が着実に進展している一方、下水道バイオガスまたは固形燃料としてのエネルギー利用は低い水準にとどまっている。それぞれの状況を以下に概観する。

(1) 建設資材利用

下水汚泥の建設資材利用としては、セメント原料としての利用の割合が多くなってきており、平成24年度においては、乾燥重量ベースで約39%が建設資材利用されており、うち約3分の2がセメント原料としての利用となっている。建設資材としての利用形態は、大きく分けて次の二つがある。

- 1) 処理された下水汚泥（焼却灰や溶融スラグ）そのものを資材として利用するもの
（例：石灰系焼却灰の埋め戻し材、路盤材 等）
- 2) 焼却灰や溶融スラグを建設資材の原材料の一部または全部として利用するもの
（例：高分子系焼却灰のブロック及び透水性レンガ原料としての利用 等）

最近では、焼却灰と掘削残土を用いて改良土を製造する技術が実用化されているほか、下水汚泥焼却灰だけで他の材料を添加することなく、レンガやタイル等の製品を作り出す技術も開発されている。

(2) 緑農地利用

下水汚泥には、多量の肥効成分や有機物が含まれており、適正な施用を行うことによって土壤改良材や肥料として十分な効果を有することが明らかになっており、平成24年度においては、乾燥重量ベースで約15%が緑農地利用されている。

下水汚泥を緑農地に利用する場合の形態としては、コンポスト化汚泥に加え、脱水汚泥、乾燥汚泥、焼却灰等が挙げられる。このうち、コンポスト化汚泥は、汚泥が質的に改善されており、取り扱いやすく、発酵処理の際に滅菌・安定化する利点があるため、有効利用促進の観点からコンポスト化の意義は大きい。

なお、肥料の品質を保全するため肥料の規格等を定

めている肥料取締法が平成11年7月に改正されたことにより、特殊肥料とされていた下水汚泥を原料とする肥料が普通肥料に位置付けられ、「下水汚泥肥料」等を生産または輸入する場合には、農林水産大臣の登録を受けなければならないとされている。

また、最近では、全量を輸入に頼っているリンについて、その枯渇が懸念されていることや食料需要の増大及び産出国による輸出制限のため国際相場が乱高下しており、下水及び下水汚泥中に含まれるリンを回収し、肥料や肥料原料として活用する取組みが注目されているところである。そのため、国土交通省では、平成21年度に「下水道におけるリン資源化検討会」（座長：津野洋 京都大学大学院教授）を設置し、検討を行い、平成22年3月にリン資源の現状と課題、リン資源化の視点、リン資源化の検討手順等を取りまとめた「下水道におけるリン資源化の手引き」を策定した。国土交通省では、今後とも、農林水産省など関係省庁をはじめとする多様な主体と連携しつつ、下水道におけるリン資源化が推進されるよう、取り組んでいく。

(3) 下水道バイオガス利用

下水道バイオガスには、下水汚泥の嫌気性消化過程において発生するメタンを主成分とするバイオガスと、下水汚泥をガス化炉により熱分解することで発生する一酸化炭素や水素を主成分とするバイオガスの2種類がある。ガス化炉は平成22年度に東京都において、世界で初めて導入されているが、全国では主に嫌気性消化によるバイオガス化が進められている。

平成24年度の消化槽からの下水道バイオガス発生量は約3億m³であり、内訳をみると、約7割（234百万m³）が利活用されており、残り約3割（101百万m³）は焼却処分されている。また、下水道バイオガス発生量の約2割（78百万m³）はガス発電に利活用されているが、約3割（92百万m³）は消化槽の加温用としての用途にとどまっており、今後、熱と電

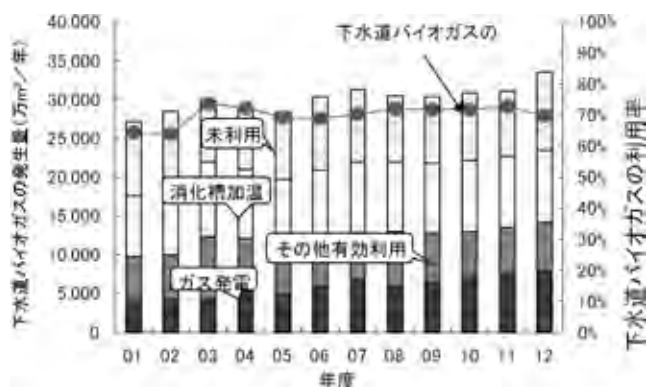


図5 下水道バイオガス利用の経年変化
(国土交通省調べ)

気を同時に発生させるコジェネレーション利用の普及が望まれる。

下水道バイオガスを用いた発電は、下水処理場の電力費の節約と資源有効利用の観点から進められている。平成 24 年度時点では、全国 47 箇所の処理場においてバイオガス発電が導入されており、総発電量は約 1.5 億 kWh/ 年に上り、全国のポンプ場及び下水処理場における年間消費電力量約 69 億 kWh(平成 24 年度)の約 2%に相当する。

将来の二次エネルギーでは、電気、熱に加え、水素が中心的役割を担うことが期待される。水素は、取扱い時の安全性の確保が必要であるが、利便性やエネルギー効率が高く、また、利用段階で温室効果ガスの排出がなく、非常時対応にも効果を発揮することが期待されるなど、多くの優れた特徴を有している。このため、第 4 次「エネルギー基本計画」(平成 26 年 4 月閣議決定)においては、“水素社会の実現”が掲げられ、例えば、「2015 年から商業販売が始まる燃料電池自動車の導入を推進するため、規制見直しや導入支援等の整備支援によって、四大都市圏を中心に 2015 年以内に 100 ヶ所程度の水素ステーションの整備をするとともに、部素材の低コスト化に向けた技術開発を行う。」といった取り組みが示されている。

下水汚泥から水素を製造すれば、バイオマス由来であるため、化石燃料由来で製造する改質水素よりも二酸化炭素排出量が少ない、需要地に近接していれば輸送コストを低減できるといった特徴を有し、貴重な水素源となる。未利用の下水汚泥消化ガスを用いて水素を製造した場合、年間約 1.5 億 m³ の製造量(燃料電池自動車 3,000 万回充填に相当 平成 24 年度末)のポテンシャルを有する。

(4) 固形燃料化利用

下水汚泥の固形燃料化の手法として、現在、炭化、油温減圧乾燥及び造粒乾燥があり、火力発電所や製紙工場のボイラーの化石燃料代替として利用する取り組みが行われている。

炭化とは、脱水汚泥を乾燥した後、低酸素または無酸素状態で蒸し焼きするもので、工程の温度に大きく依存するが、炭化汚泥は約 14～21MJ/kg¹ の発熱量(高位)を有しており(石炭は 25.7MJ/kg²)、また、ほとんど臭いがしないという特徴を有している。炭化による固形燃料化施設については、現在、東京都や広島市、愛知県等で導入されているとともに、埼玉県、横浜市等で導入に向けた具体的な取り組みが進められている。

また、脱水汚泥を廃食用油等に投入し、減圧・加熱の条件下で水分を蒸発させる油温減圧乾燥汚泥は、約 22MJ/kg の発熱量(低位)を有しており、福岡県御

笠川浄化センターでは平成 13 年度より松浦火力発電所(電源開発(株))に供給を行っている。

平成 24 年度に固形燃料として利用された下水汚泥は約 4.2 万 t-DS であり、全体の約 2%であるが、複数の自治体で事業化が検討されており、今後、固形燃料化の進展が期待される。

4. 重点施策

(1) 基本的な方針：水・資源・エネルギーの集約・自立・供給拠点化

平成 26 年 7 月にとりまとめられた「新下水道ビジョン」においては、長期ビジョンの一つの柱として、“水・資源・エネルギーの集約・自立・供給拠点化”が掲げられている。

この中では、現在、下水道の水処理技術は、公共用水域の水質改善に寄与する一方で、膨大なエネルギーを消費していることを踏まえ、今後は、有機物、栄養塩類を除去対象物質でなく資源として捉え、革新的な技術・システム等を導入し、他バイオマスを集約することで、下水処理場を水・資源・エネルギーの集約・自立・供給拠点化とすることとされている。また、下水道の有する資源・ポテンシャルを最大限活用することで、より一層の効率化、機能の高度化を促進するために、従来の下水道の枠にとらわれずに、水・バイオマス関連事業との連携・施設管理の広域化、効率化(他バイオマスの受入、水関連施設の一体的管理、取排水システムの最適化等)を実現し、広い意味での水管理システムとして進化させ、下水道が地産地消の地域づくりに貢献することとされている。

(2) 個別重点施策

今後重点的に取り組む施策は、以下のとおりである。

①下水道革新的技術実証事業(B-DASH³プロジェクト)

B-DASH プロジェクトは、平成 23 年度より開始しており、下水道の有する資源・エネルギーを徹底的に活用するとともに、コストの削減等を実現する革新的技術について、国土交通省が主体となって、実規模レベルのプラントを設置して技術的な検証を行い、ガイドラインをとりまとめ、全国の下水処理場等への導入を促進することを主な目的としている。加えて、実証

¹ 日本下水道事業団「下水汚泥固形燃料化システムの技術評価に関する報告書」(2008.3)

² 経済産業省資源エネルギー庁「2005 年度標準発熱量」

³ B-DASH : Breakthrough by Dynamic Approach in Sewage High technology

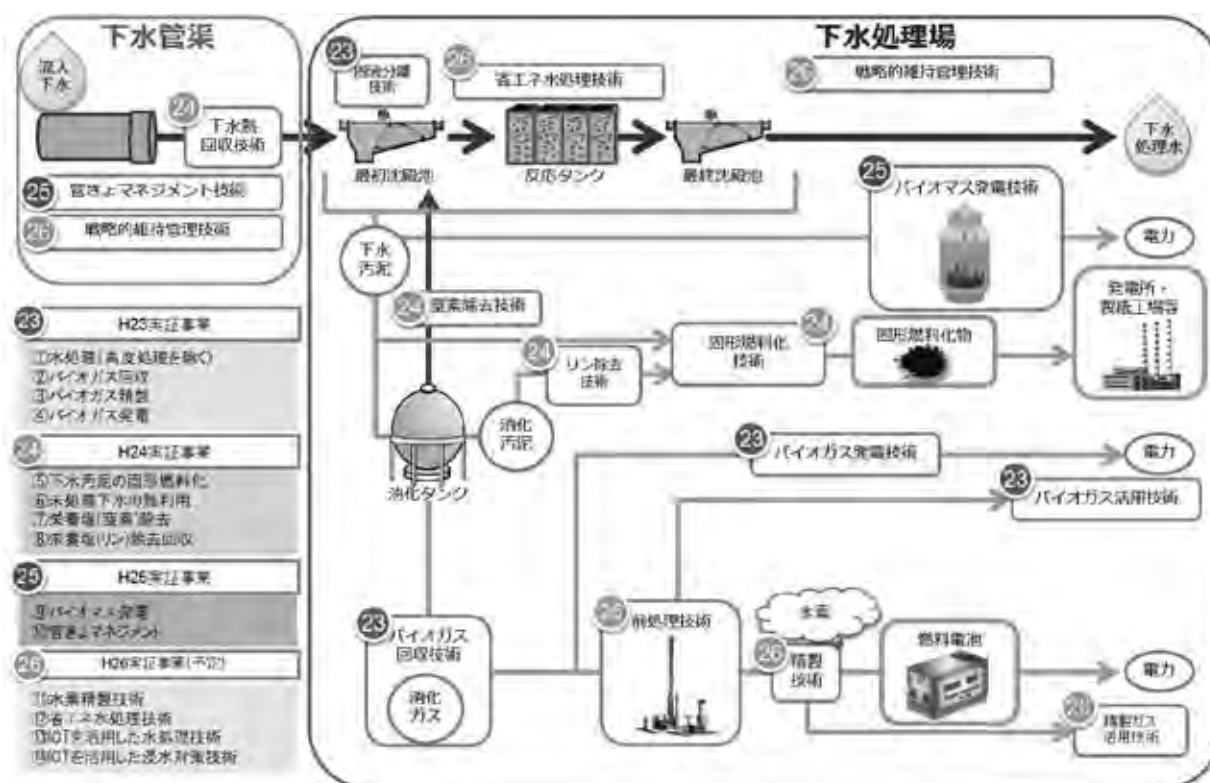


図 6 B-DASH のイメージ

ブランドは海外からの視察にも活用する等、水ビジネスの海外展開に対する支援にも活用することとしている。

平成 23 年度から平成 26 年度開始実証事業の概要について、以下に紹介する。また、平成 27 年度予算として、バイオガスを効率的に集約・活用する技術等の実証を要求中であり、今後も着実な実証事業の実施を図るとともに、実証技術の水平展開を推進していく。なお、実証が終了した技術については、順次ガイドライン化を行い、国土技術政策総合研究所のホームページにて公開しているので、ご参照いただきたい。

【平成23年度開始実証事業】

○超高効率固液分離技術を用いたエネルギーマネジメントシステムに関する実証事業

実施者：メタウォーター（株）・地方共同法人日本
下水道事業団 共同研究体

実証フィールド：大阪市中浜下水処理場

概要：徹底的な固液分離と資源回収を基本コンセプトに、省エネルギー・創エネルギー両面から下水処理場全体をマネジメントする「エネルギー自給型下水処理場」を目指し、「上向流ろ過による超高効率固液分離による省エネルギー型水処理」「担体充填型の高効率高温消化」「消化ガスと都市ガスを併用できるハイブリッド型発電機を使用したスマート発電システム」を組み合わせ、システムとして機能させる。

○神戸市東灘処理場 再生可能エネルギー生産・革新的技術実証事業

実施者：(株) 神鋼環境ソリューション・神戸市
共同研究体

実証フィールド：神戸市東灘処理場

概要：菓子類等の食品系バイオマス・剪定枝等の木質系バイオマスを下処理場に受け入れてバイオガス発生量を増加させるとともに、「センサー類を設置することにより発酵状況の見える化を図った銅板製消化槽」「パッケージ化を図った新型バイオガス精製装置」「下水処理水の熱エネルギー活用を図った高効率ヒートポンプ」等を組み合わせ、システムとして機能させるとともに、システム全体のコストダウンを図る。

【平成 24 年度開始実証事業の概要】

平成24年度開始事業については、5事業が選定され、うち4事業が下水汚泥関連である。

○温室効果ガスを排出しない次世代型下水汚泥固形燃料化技術

実施者：長崎市・長崎総合科学大学・三菱長崎機工（株） 共同研究体

実証フィールド：長崎市東部下水処理場

概要：連続式水熱反応器および高速消化槽を用いて生成した消化ガスを利用して消化汚泥を固形燃料化することによるコスト縮減効果や再生可能エネルギー創出効果等を実証する。

○廃熱利用型 低コスト下水汚泥固形燃料化技術

実施者：JFE エンジニアリング（株）

実証フィールド：松山市西部浄化センター

概要：焼却炉廃熱利用による下水汚泥固形燃料の低コスト製造や、製造燃料の焼却炉利用による補助燃料の削減等によるコスト縮減効果や省エネルギー効果等を実証する。

○固定床型アナモックスプロセスによる高効率窒素除去技術に関する技術実証事業

実施者：熊本市・地方共同法人日本下水道事業団・（株）タクマ 共同研究体

実証フィールド：熊本市東部浄化センター

概要：汚泥処理の返流水等からの窒素除去に、固定床方式を用いた高効率なアナモックス反応技術を適用させることによるコスト縮減効果や省エネルギー効果等を実証する。

○神戸市東灘処理場 栄養塩除去と資源再生（リン）革新的技術実証事業

－ KOBE ハーベスト（大収穫）プロジェクト－

実施者：水ing（株）・神戸市・三菱商事アグリサービス（株） 共同研究体

実証フィールド：神戸市東灘処理場

概要：消化汚泥からのリン除去回収技術の高効率化によるコスト縮減効果や得られたリン資源の利活用等を実証する。

【平成 25 年度開始実証事業の概要】

平成 25 年度開始事業については、5 事業が選定され、うち 2 事業が下水汚泥関連である。

○下水道バイオマスからの電力創造システム実証事業

実施者：和歌山市・日本下水道事業団・京都大学（高岡研究室）・株式会社西原環境・株式会社タクマ 共同研究体

実証フィールド：和歌山市中央終末処理場

概要：低含水率化技術（機内二液調質型遠心脱水機）＋エネルギー回収技術（次世代型階段炉）＋エネルギー変換技術（スクリュ式＋バイナリ式蒸気発電機）による、下水汚泥燃焼熱からの発電を実現し、電力自立等を目指すシステム。

○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の実証事業

実施者：メタウォーター・池田市共同研究体

実証フィールド：池田市下水処理場

概要：個別の 3 つ革新的技術から構成されており、各技術をさらに連携、システム全体として最適化することで発電量を最大化するとともに、温室効果ガス排出量、維持管理費を抜本的に低減する。

【平成 26 年度開始実証事業の概要】

平成 26 年度開始事業については、6 事業が選定され、うち 1 事業が下水汚泥関連である。

○水素リーダー都市プロジェクト～下水バイオガス原料による水素創エネ技術の実証～

実施者：三菱化工機（株）・福岡市・九州大学・豊田通商（株）

実証フィールド：福岡市中部水処理センター

概要：水素社会に向けて、分離膜設備を組み合わせた水素改質技術により、消化ガスから効率的に高品質の水素を精製するものであり、水素の安定的な供給およびエネルギー創出効果等を検証する。

②固形燃料の JIS 化

下水汚泥固形燃料の利用先は、現状では発電所やセメント工場等に限られており、固形燃料化の取り組みは、一部の自治体等に限られている。

利用拡大への課題の 1 つとして、明確な品質基準や客観的判断基準がないことが挙げられる。そのため、下水汚泥固形燃料の品質の安定化及び信頼性の確立を図ることを目的として、平成 26 年 9 月に、下水汚泥固形燃料の日本工業規格（JIS）を制定したところである。さらに、下水汚泥固形燃料利用に対し、より多くの自治体および事業者の参入・市場の形成を目指し、事業スキーム方針等の普及方策を検討するため、国土交通省と下水道協会が共同で「下水汚泥固形燃料利用幹事会」を設置し、製品受入先に想定される業界に加っていただき、議論を行っているところである。

③下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン（案）の策定

国土交通省では、下水汚泥のエネルギー利用を推進するため、「下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン

(案)」を、平成 23 年 3 月に策定した。本ガイドラインは、地方公共団体等が下水汚泥エネルギー化技術の導入を検討する際に必要となる情報を集約したもので、下水汚泥エネルギー化技術の導入事例等の基礎的情報、導入検討の考え方や導入のケーススタディ等を取りまとめている。

一方、平成 23 年 3 月のガイドライン案公表後の技術動向等を踏まえ、ガイドライン案の改訂を検討している。あわせて、下水汚泥エネルギー化導入の初期検討(特に事業採算性の概算検討)に資する検討補助ツールを検討しているところである。

④ BISTRO 下水道

平成 25 年 8 月より、国土交通省及び日本下水道協会は、下水道資源(処理水・汚泥等)の有効利用に取り組んでいる地方公共団体等のネットワークとなる「BISTRO 下水道推進戦略チーム」を設置(第一回会合)し、定期的な会合を農産地で開き、情報の共有化を図っている。

下水道展'13(東京)で開催した第一回会合においては、豊橋技術科学大学、佐賀市、岩見沢市が事例を紹介し、地方公共団体や民間企業等、多様な団体の参加のもと、食・農業分野において、より一層、下水道資源の利用推進を進めていくことを確認した。第二回会合は、平成 25 年 11 月に帯広市で開催し、同市より十勝圏で農林水産業と食を柱に産官学で地域振興を図るブランディング戦略「フードバレーとかち」が発表され、多くの参加者の関心を呼んだ。第三回会合は、平成 26 年 2 月に、地域を巻き込んだ出口戦略で注目を集めた佐賀市において開催した。海苔養殖業に貢献する処理水の放流や、調味料などの原料製造に伴って発生する副産物(菌体)を活用して肥料を製造し、販売するなどの取組みが紹介された。

こうした取組みの成果の一つとして、平成 26 年 4 月に、「BISTRO 下水道推進戦略チーム」は、下水道資源を利用して栽培した食材を用いた調理例を発掘・収集し、「BISTRO 下水道～レシピブック Ver1.0～」として取りまとめた。

5. その他の施策

前述の施策の他、下水汚泥の減量化・リサイクルの推進のため、以下のような施策を実施している。

(1) 固定価格買取制度

平成 24 年 7 月に「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」が施行され、「再生可能エネルギーの固定価格買取制度」が開始さ

れた。本制度においては、下水汚泥を含むバイオマスを用いて発電された電気も再生可能エネルギーとして買取対象となっており、今後、本制度を活用した再生可能エネルギーの導入拡大が期待される。電気事業者による買取価格・期間については、再生可能エネルギーの種類や発電設備の規模等に応じて、中立的な第三者委員会(調達価格等算定委員会)の意見を受けて、経済産業大臣が毎年度定めることとされている。

また、本制度を活用して売電するためには、当該発電設備について事前に国の認定を受けることが必要である。これまで、下水処理場における設備認定は、バイオガス(消化ガス)発電について、横浜市、石川県(増設含む)、栃木県、久留米市等計 11 件(平成 25 年度末時点)が済んだところである。

(2) 下水汚泥処理・有効利用施設整備の支援

下水道管理者が整備する下水汚泥処理施設(脱水施設、焼却施設、固形燃料化施設、消化槽等)・有効利用施設(コンポスト化施設、リン回収施設等)整備に対して支援を行うとともに、新世代下水道支援事業制度として以下の事業を実施している。

① リサイクル推進事業<再生資源活用型>

下水汚泥の建設資材利用を促進するため、モデル都市と下水道施設を選定し、その都市における下水道施設の建設事業に汚泥製品(タイル、焼却灰を混入したブロック、路盤材等)を積極的に利用することを内容とする事業について支援する。

② リサイクル推進事業<未利用エネルギー活用型>

下水汚泥とその他のバイオマスを集約して有効利用を図る事業について、下水汚泥と他バイオマスを投入する消化施設、消化ガス利用施設及びその付帯施設、下水汚泥と他バイオマスの混合・調整施設、外部利用のために下水処理場内に設置するバイオガス精製・供給施設の整備を支援する。

③ 機能高度化促進事業<新技術活用型>

下水道における新技術の開発と実用化の促進を目的としており、下水汚泥のエネルギー化技術など下水汚泥処理・有効利用等に関する新技術開発について支援する。

(3) 民間活用型地球温暖化対策下水道事業制度

下水汚泥等の資源化、流通、販売・利用を一体的に捉え、民間企業の有するノウハウを最大限活用することにより、下水汚泥等の資源・エネルギー利用を推進するため、下水道管理者が民間企業と一体となって行う下水汚泥等の循環利用に関する計画の策定や、同計画に基づき、PFI 手法等により整備される下水汚泥等の資源化施設の整備を支援する。

(4) 税制（グリーン投資減税）

下水汚泥固形燃料利用の促進のため、平成 28 年 3 月 31 日までの期間内に、下水汚泥固形燃料の貯蔵装置及び払出装置等を取得した事業者に対して、税制の特例措置を講じている。当該事業者は、取得価額の 30%特別償却（青色申告書を提出する法人または個人）または 7%税額控除（中小企業のみ）を適用することができる。

(5) バイオソリッド利活用基本計画策定マニュアルの策定

国土交通省は、平成 3 年に作成された「下水汚泥処理総合計画策定マニュアル」に代わる新しい計画手法として、都道府県が下水汚泥の広域的な処理や資源化・有効利用を進めるために策定する「バイオソリッド利活用基本計画（下水汚泥処理総合計画）」の策定マニュアルを平成 16 年 3 月に策定した。

本マニュアルは、地球環境やバイオマスをめぐる最近の動向や国の方針を反映させていることが特徴であり、具体的には、以下の 4 点を盛り込んでいる。

- 1) 下水汚泥とあわせて他のバイオマスを同時に処理するための技術的指針
- 2) 下水処理場からの温室効果ガス排出量の削減の観点からプロジェクトを評価するための指標
- 3) 汚泥やその他のバイオマスの集約化の検討等を行うための指針
- 4) 民間のノウハウと資金力の活用等を促進するため、PFI その他の民間活用事例

(6) 品質管理・PR 等の推進

下水汚泥の緑農地利用や建設資材利用については、適切な品質管理の実施により、汚泥製品の品質向上に努めるとともに、その価値を積極的にユーザーに PR していく努力が必要である。そのため、(社)日本下水道協会において策定された「下水汚泥リサイクル資材一覧」の活用等により製品の周知を図っている。また、農林水産省により、平成 22 年 5 月に「汚泥肥料中の重金属管理手引書」が策定されており、この周知を図るとともに関係省庁との連携を進め、汚泥肥料の適切な品質管理に向けた体制強化を図っていく予定である。

なお、一般廃棄物や下水汚泥から生成された溶融スラグについては、コンクリート用骨材及び道路用として用いる場合の JIS が平成 18 年 7 月に制定されており、管きよの新設・更新等の公共事業の実施にあたり、JIS に適合している下水汚泥溶融スラグ製品が優先的に利用されることが望まれる。

(7) グリーン購入法（国等による環境物品等の調達の推進等に関する法律）に基づく公共工事グリーン購入調達品目への対応

平成 13 年 4 月よりグリーン購入法が全面施行され、国等の各機関においては、「環境物品等の調達の推進を図るための方針（調達方針）」を作成し、これに基づき調達を実施することになっている。

公共工事に係る調達品目のうち下水汚泥を使用した調達品目としては、「下水汚泥を用いた汚泥発酵肥料（下水汚泥コンポスト）」、「陶磁器質タイル」、「エコセメント（都市ごみ焼却灰等を主原料とするセメント）」、「再生材料を用いた舗装用ブロック（焼成）」及び「再生材料を用いた舗装用ブロック類（プレキャスト無筋コンクリート製品）」が調達品目として指定されている。

下水汚泥の有効利用推進のため、今後も「特定調達品目」に多種多様な下水汚泥関連製品が記載されるように努力していく必要がある。ただし、2009 年度には、再リサイクル性確保の観点（製品の施工時及び使用時に加えて、廃棄後の他の用途への再利用時等も想定したライフサイクル的な視点での環境安全性の確認）から調達方針が見直されていることから、今後、下水汚泥の資源利用を推進する際に留意が必要である。

なお、各都道府県においては独自のリサイクル認定制度を策定している場合もあるため、環境部局や農政部局、他の建設部局等との連携を図ることも重要である。

6. 終わりに

下水汚泥の有効利用に関する諸課題の解決に向けて、地域特性に応じた適切な汚泥の有効利用の検討や、新技術の導入など、様々な分野における総合的な対策が進められている。

今後も引き続き、関係各位には下水道における資源・エネルギー循環の形成をはじめとした、汚泥の有効利用の推進に対し御理解、御協力をお願いする次第である。

特集：第 27 回下水汚泥の有効利用に関するセミナー特集（佐賀市）

解 説

土木研究所における汚泥有効利用に関する研究 －小規模下水処理場向け高濃度混合メタン発 酵技術に関する研究－

独立行政法人 土木研究所

材料資源研究グループ リサイクルチーム

津森 ジュン

キーワード：脱水汚泥の消化、他バイオマス利用、汚泥集約処理

1. はじめに

人口減少や高齢化の進行といった地域の課題に対し、地域の特徴を活かした自律的で持続的な社会を創生できるよう、2014年9月に「まち・ひと・しごと創生本部」が設置された。同本部における検討項目として「時代に合った地域をつくり、安心な暮らしを守る」と「地域と地域を連携する」が掲げられている。

下水道の整備と管理は市町村の固有事務である、と過去の地方自治法には定められており、このため基本的には市町村単位で整備が進められてきた。平成の市町村合併を経た現在、一つの自治体が小規模で多数の下水道施設や浄化槽など他の污水处理施設を管理する状況が見受けられるようになっている。

今後こうした地域の下水道が持続的に発展していくためには、既存施設の有効活用による処理コストの低減が求められており、具体的には地域間連携も考慮した低炭素・循環型の施設への転換が重要である。

本稿では、小規模の下水処理施設を地域の資源・エネルギーの集約・利用拠点として有効活用するため下水汚泥のメタン発酵技術に着目して、平成24、25年度の2カ年間に土木研究所、石川県、金沢大学と民間企業が取り組んだ小規模下水処理場向け高濃度メタン発酵技術に関する共同研究の成果を紹介する。

2. 下水汚泥のメタン発酵による資源利用・エネルギー利用の特徴

都市や農村において日常生活や産業活動から発生する地域バイオマスを資源やエネルギーとして利活用する方法のうち、メタン発酵（嫌気性消化）は次のような特徴を有する¹⁾。

- 1) 下水汚泥などバイオマス中の有機物をメタンとしてエネルギー回収することができ、処理場で利活用することで電力又は化石燃料の節約につながり、ひいてはCO₂排出量の削減となる。
- 2) ガス化により発酵残渣は減量化され、残渣の処理処分のための施設は小規模となる。
- 3) 残渣はコンポスト化されやすく、ウイルスや細菌の不活化が高まる。
- 4) 残渣は液肥やコンポストとして利用できる。
- 5) メタン発酵槽が貯留機能を有し、後段の処理プロセスの安定化が期待できる。

すなわち、メタン発酵は、残渣をコンポストとして農地還元することで地域の資源循環に役立つものであり、メタンガスによるエネルギー回収と利用は電力など維持管理費の節減が期待される技術である。

下水処理場においては、このような観点から、下水汚泥の嫌気性消化工程で発生するメタンガスの有効利用に期待が高まっている。しかしながら、我が国で発

小規模処理場施設に適したメタンガス 有効利用支援に関する研究

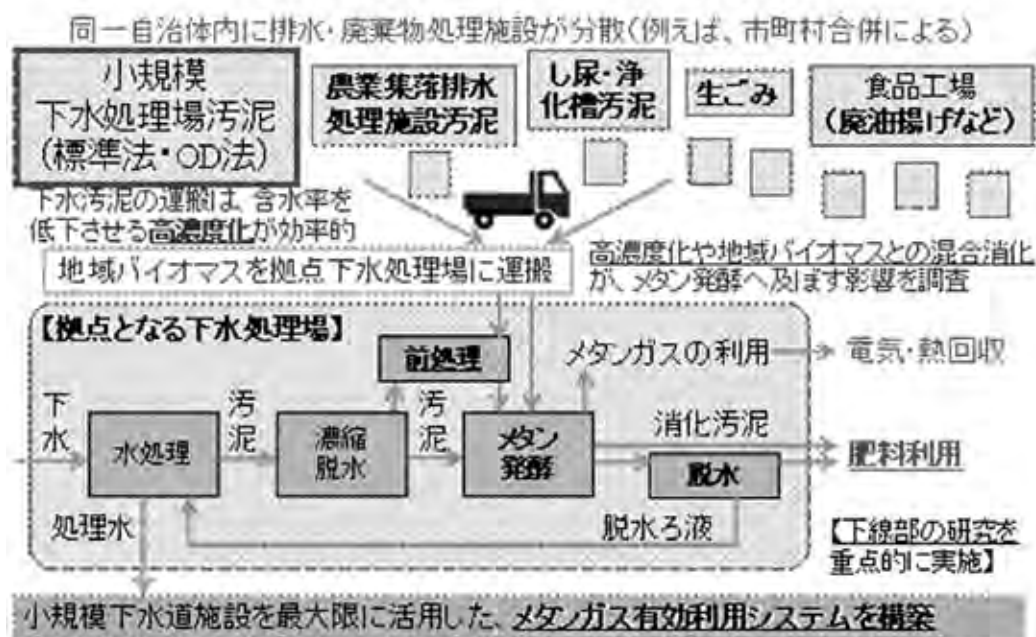


図1 小規模下水処理場におけるメタン発酵技術の導入イメージと研究内容

生する下水汚泥中の有機分総量のうち、バイオガスや汚泥燃料としてエネルギー利用されている割合は2割未満であり、より積極的な活用が求められている²⁾。メタン発酵についてみると、大規模下水道施設では発生したメタンガスが利活用されているものの、小規模処理施設ではメタンガスの利活用が進んでいない。そこで本研究では、小規模処理場に適したメタン利活用新技術を開発するため、高濃度汚泥の処理特性を含めメタン発酵に関する実験的検討を行うものである。

3. 小規模下水処理場におけるメタン発酵技術の導入方法の提案

自治体が関与し地域バイオマスを扱う施設としては下水道の他に、し尿処理施設や一般廃棄物処理施設がある。このうち、集落排水汚泥、し尿や浄化槽汚泥の受け入れは、平成24年度末現在30道府県96カ所で取り組まれている。近年、し尿処理施設の老朽化や廃棄物処理施設の改築更新時期に合わせて、生ごみ等のバイオマスを既存施設である下水処理場で受け入れ有効活用することに関心が高まっている³⁾。実際、平成19年度に稼働開始した石川県珠洲市をはじめ、北海道の北広島市や恵庭市で取り組みが始まっている。

こうした背景から、本研究では拠点となる小規模下水処理場に他の処理場から発生する下水汚泥を脱水運

搬で集約するとともに、生ごみなど地域バイオマスも合わせて集約処理し、メタン発酵による資源利用・エネルギーの回収・利用を行うシステム(図1)を提案し、その導入支援策として必要な知見を明らかにすることを目的に研究を行った。

4. 小規模下水処理場におけるメタン発酵技術の導入状況と課題

我が国の下水処理場約2,000カ所のうち、嫌気性消化を行っている処理場数300カ所程度は近年大きな変化がない。下水道統計(平成22年度版)⁴⁾より作成した、処理場規模と処理場数の関係を図2に、処理場規模ごとの現状の処理水量および電力使用量の合計を図3に示す。読者が関わっておられる下水道はこれらのどこに位置するであろうか。図2より処理場規模1,600m³/d以下の処理場数が約30%を占めることが分かる。一方、図3からは全国的に見れば処理水量が少ない施設の電力消費量が占める割合は高いことから、小規模施設でのエネルギー回収効率を高めることは有意義であり、具体的な取り組みが必要だと考えられる。

処理場規模(濃縮汚泥発生量)ごとの消化および消化ガス発電の導入実績を表1⁵⁾に示す。処理場規模が500t-DS/年以上の処理場では、消化導入率が40%を

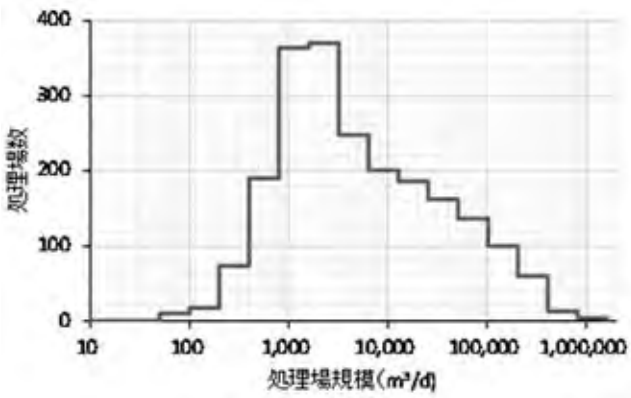


図2 処理場規模と処理場数の関係

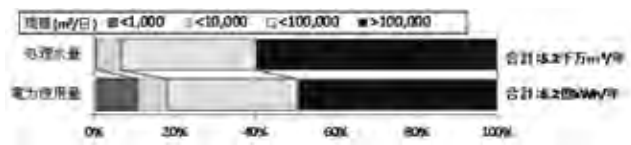


図3 処理場規模ごとの現状の処理水量および電力使用量の合計

超過しているのに対して、100～500t-DS/年の規模では16.8%、100t-DS/年未満の規模では0.6%に留まっている。メタンガスを利用した発電の導入件数も、大規模ほど多い傾向が見られ、小規模施設での採用例は

少ない。
本研究で提案する拠点小規模下水処理場への下水汚泥集約では、含水率を減らし体積を減らすことで輸送を効率的に行う必要がある。全国的には濃縮汚泥を送泥管または車両により輸送し、拠点となる下水処理場で嫌気性消化を行っている例が見られる。しかしながら、嫌気性消化槽への投入濃度よりも高濃度化した汚泥を車両で運搬し、拠点下水処理場で嫌気性消化を実施している事業例は見あたらない。

そこで本研究では、表2に示す2つの課題と4つの対処策を設定した上で、従来よりも高濃度化した下水汚泥と地域バイオマスを混合して行う嫌気性消化技術の開発を目標とした。

具体的には、室内実験による高濃度化汚泥の消化特性の把握と実処理場での通年実証試験による嫌気性消化特性の把握およびメタンガスと残渣の有効利用方法に関する事業可能性評価を実施した⁶⁾

5. 高濃度混合メタン発酵技術の研究成果

5.1 標準活性汚泥法から発生する汚泥の高濃度嫌気性消化

具体の事業例は見当たらないものの、下水汚泥処理の集約化を意図した脱水汚泥の嫌気性消化について

表1 処理場規模ごとの消化および消化ガス発電の導入実績（平成23年度実績）

| 処理場規模 (t-DS/年) | 処理場小計 | 消化実施数 | 消化導入率 | 消化ガス 発電実施数 | ガス発電 導入率 |
|-------------------|-------|-------|-------|---------------|-------------|
| 100 未満 | 1,017 | 6 | 0.6% | 0 | 0.0% |
| 100～500 | 315 | 53 | 16.8% | 0 | 0.0% |
| 500～1000 | 135 | 56 | 41.5% | 3 | 5.4% |
| 1000～5000 | 254 | 119 | 46.9% | 21 | 17.6% |
| 5000 以上 | 102 | 43 | 42.2% | 17 | 39.5% |
| 全体 | 1,823 | 277 | 15.2% | 41 | 14.8% |

※集約処理を行っている場合、送り側は処理場数には加算せず、受け側の濃縮汚泥量に加算している。

表2 本研究で取り組んだ課題と対処策

| 課題 | 対処策 |
|---|---|
| 1 中小規模の下水処理場ではそもそもの取扱い汚泥量が小さく、メタン発酵施設の採算性が低い。 | ①地域で発生する他のバイオマス（し尿、浄化槽汚泥、集落排水汚泥、事業系生ごみ、食品工場残渣など）を混合処理することで、類似処理施設の統廃合、処理の効率化などにより採算性の確保。 ②各下水処理場は脱水機を有するケースが多いと考えられ収集は脱水汚泥で行うこととし、そのため高濃度状態（含水率90%程度）での発酵槽への投入を検討する。これにより発酵槽の小型化が可能となり、建設コストの縮減が期待できる。 |
| 2 中小規模の下水処理場では大部分がオキシデーションディッチ法（以下OD法）を採用、OD法から発生する汚泥（OD汚泥）は生物分解性が低く、メタン発酵の十分な効果が得られない。 | ③OD汚泥及び混合バイオマスのメタン発酵特性について室内実験及び実証試験において明らかにする。 ④前処理法を開発することでOD汚泥を改質し、易分解性有機分を増加させ生物分解性を高める。 |

は、平成3～8年度に土木研究所汚泥研究室で実験的検討がなされている。中温（30℃恒温槽）ではTS 10%程度まで、高濃度化がガス発生に及ぼす影響が少ないことが示されている⁷⁾。高温（55℃）ではTS 10%程度でアンモニア性窒素濃度が4,000 mgN/L程度まで増加し、ガス発生量は通常の数%でしかなかったことが示されている⁸⁾。しかしながら、これらの研究は主として回分式実験や数ヶ月程度の連続式実験に限られており、長期的な連続実験による評価はなされていない。現状として我が国の現場での下水汚泥の高濃度消化はTS 5%程度までである⁹⁾。このため石川県管理の下水処理場の混合汚泥をTS10%程度まで濃縮した場合の嫌気性消化実験を行い、メタン生成特性、アンモニア性窒素の影響を調査した。具体的には、TS7.5～10%程度の下水混合汚泥を対象とした嫌気性消化の連続式実験を行い、下記の知見が得られた。

- 1) 中温条件下では安定した処理が可能であり、2.7 kgVS/(m³・d)程度の負荷率で一般的な濃度の場合と同程度のVS除去率60%程度が、高濃度化しても示された。
- 2) 中温条件下では、アンモニア性窒素濃度4,000 mgN/L程度でもCOD除去率0.5～0.6をおおむね維持していた。対して高温条件では、アンモニア性窒素濃度が2,000mgN/Lを越えると、COD除去率の低下が見られた。
- 3) 高温条件下での運転はやや不安定であった。回分式実験によりその原因を調査し、アンモニアなどの阻害物質蓄積による可能性が考えられた。

ここで実験より得られたアンモニア性窒素濃度と見かけのCOD除去率の関係を図4に示す。図には、同じ処理場の汚泥を用いた回分式実験での値を参考にあわせて示している。中温条件である反応器1では、アンモニア性窒素濃度4,000mgN/L程度でもCOD除去

率0.5～0.6をおおむね維持していた。対して高温条件である反応器2～4では、アンモニア性窒素濃度が2,000mgN/Lを越えると、COD除去率の低下が見られた。一般的にも高温条件下ではアンモニア阻害を受けやすいといわれており、下水汚泥の高濃度化や他の地域バイオマスを投入する際には窒素成分の監視に注意を払う必要性が確認できた。

5.2 OD法から発生する汚泥の高濃度嫌気性消化特性

検討対象とした下水汚泥について、組成分析やガス発生ポテンシャルを把握することおよび実証実験における諸元を検討するため、室内回分式実験（容積100ml、35℃、40日間振とう培養（150rpm））及び連続実験（容積3L、35℃、341日間振とう培養（150rpm））のメタン発酵実験を行った。

実験は、石川県A町のa下水処理場（処理能力2,700m³/日最大）で採取した脱水OD汚泥と、比較対象として標準活性汚泥法を採用しているB市b下水処理場の混合汚泥および最終沈殿池汚泥と、地域固有の代表的な地域バイオマスである廃棄油揚げ（生、乾燥の2タイプ）を用いた。

OD汚泥は混合汚泥と比較して、炭素含有率に大きな違いがなかったが、窒素含有率が大きく、余剰汚泥と同等であること、および、藤島らによれば投入汚泥の高濃度化によるアンモニア性窒素濃度の上昇も確認されている¹⁰⁾ことから、アンモニア阻害への注意が必要であることが確認された。

ガス発生量の経時変化を図5に示す。メタンガスの投入基質TS1gあたりの発生量は、混合汚泥が0.27NL/基質TS-g、最終沈殿池汚泥が0.11NL/基質TS-gおよびOD汚泥において0.09NL/基質TS-gとなった。OD汚泥のメタンガス発生率は混合汚泥に比

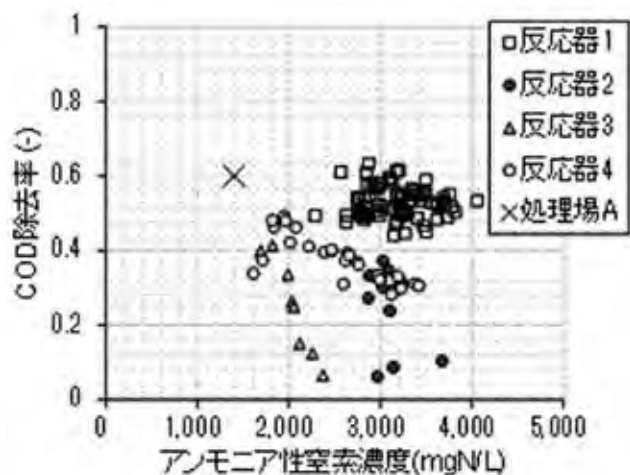


図4 アンモニア性窒素濃度とCOD除去率の関係

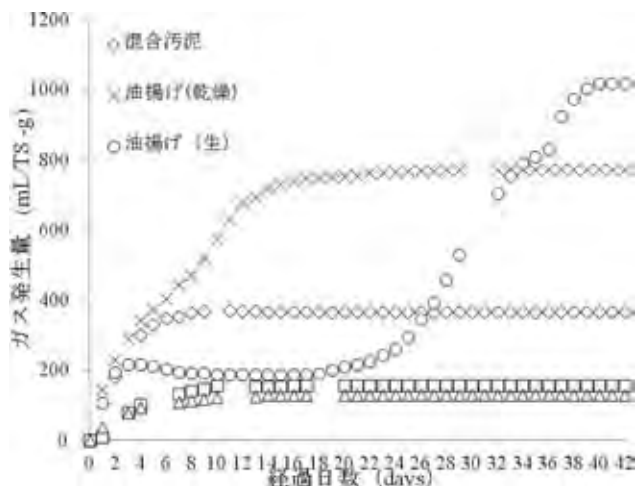


図5 ガス発生量の経時変化（回分式実験）



図6 A町a処理場に設置した実験機

べ、67%程度低い値となっているが、最終沈殿汚泥のメタンガス発生率と比べると比較的近い値となった。OD法は最初沈殿池を用いない処理方式であり、HRTが24時間～36時間と長いため、反応槽内で易分解性の有機分の多くが分解する。したがって、発生するOD汚泥中の易分解成分が少ないことが、ガス発生率が小さい要因であると考えられる。

5.3 高濃度混合メタン発酵技術の現地実証実験

管内に5つの小規模下水処理場を抱える石川県A町のa下水処理場に実証実験機を設置し（図6）、町内で排出される様々な地域バイオマスとの高濃度混合メタン発酵実験を1年間実施した。

石川県A町（人口約2万人）は、小規模下水処理場から発生するOD汚泥、接触酸化汚泥のほか、し尿、浄化槽汚泥、学校給食残渣などの事業系厨芥類や豆腐工場から発生する廃油揚げと豆腐排水汚泥などの地域バイオマスが利用可能と考えられた。拠点とする処理場はA町内で最も規模の大きなa下水処理場（処理能力2,700m³/日最大）とし、有効容積1m³の円筒型消化槽を設置し、中温条件（37℃）にて連続式実験を行った。実証実験設備のフローを図7に示す。基質投入および消化汚泥の引抜きは1日2回の頻度で、SRTが25日となるように実施した。

5.3.1 各汚泥、地域バイオマスのメタン生成ポテンシャル

回分式実験によりメタン生成ポテンシャルを確認した結果を表3に示す。接触酸化汚泥と豆腐排水汚泥以外はいずれもOD汚泥のガス発生量を上回る結果となっており、混合処理を行うことでOD汚泥単独で実

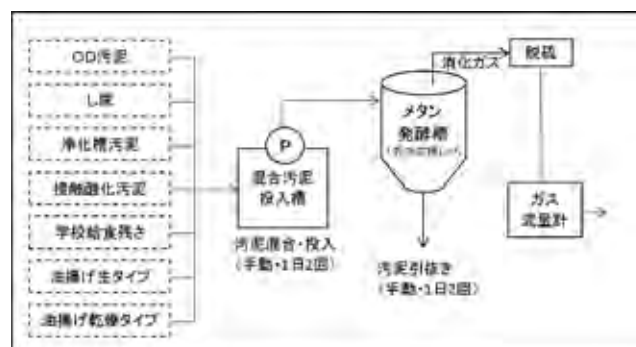


図7 a処理場に設置した実験機の処理フロー

表3 各地域バイオマスのメタン生成ポテンシャル（回分式実験）

| No. | 種類 | 投入TS1gあたりの ガス発生量 (L/g-TS) | 投入VS1gあたりの ガス発生量 (L/g-VS) |
|-----|----------|---------------------------------|---------------------------------|
| 1 | OD汚泥 | 0.13 | 0.16 |
| 2 | し尿 | 0.23 | 0.54 |
| 3 | 浄化槽汚泥 | 0.29 | 0.34 |
| 4 | 接触酸化汚泥 | 0.07 | 0.09 |
| 5 | 学校給食残さ | 0.22 | 0.23 |
| 6 | 油揚げ生タイプ | 1.00 | 1.12 |
| 7 | 油揚げ乾燥タイプ | 0.76 | 0.81 |
| 8 | 豆腐排水汚泥 | 0.11 | 0.12 |

施する場合に比べ、ガス発生量が増加することが期待される。

5.3.2 高濃度混合消化連続式実験の結果

1) 投入混合汚泥の性状

実験期間における投入混合基質の平均TSは8.8%、平均VSは7.3%、VS/TSは0.84となった。本実験では発生有機物の混合比率を固定して混合投入しており、投入混合基質TSの最小値は7.4%、最大値は10.6%、標準偏差は0.68と、発生地域バイオマスの性状変化によりやや変動したものの、比較的安定した値を示した。

2) ガス発生量

累積ガス発生量を図8に示す。本実験期間（期間V）での投入混合基質VS1kgあたりのガス発生量は、0.31m³/kg-VSとなっており、期間を通じて安定的にガスが発生した。また、実験期間中に実稼働を想定し、1週間OD汚泥のみの投入を実施したところ、ガス発生量の低下が見られたが、その後混合投入に戻したところ、すぐにガス発生量は回復した。

回分式実験で得られた各地域バイオマスのVS1kgあたりのガス発生量と、本実験での各地域バイオマス

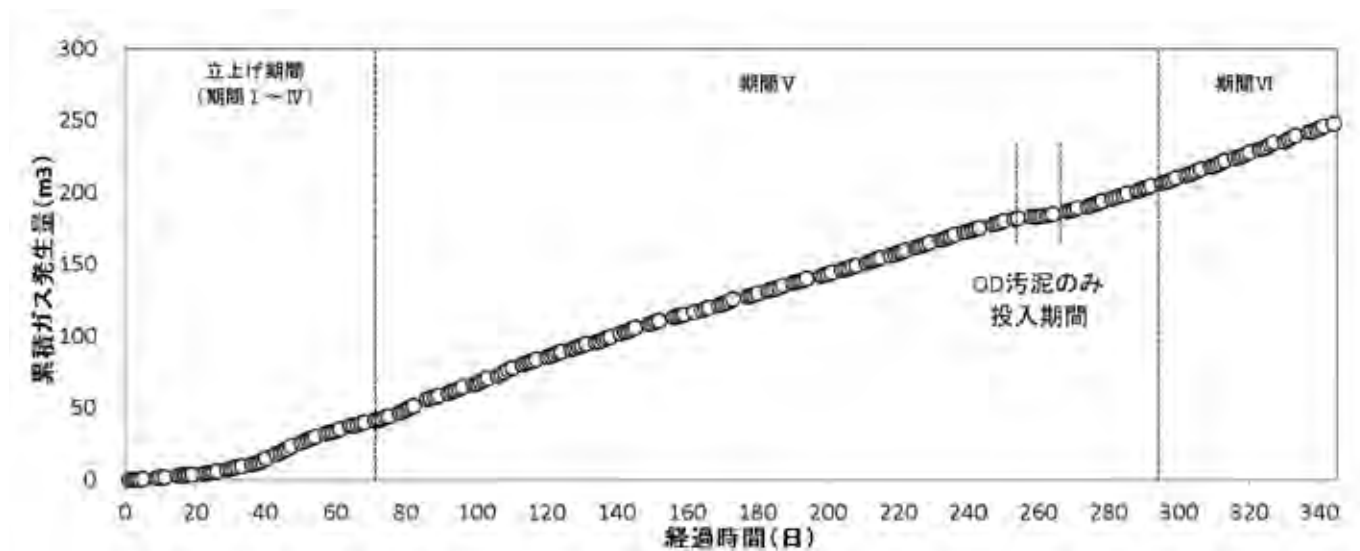


図8 累積ガス発生量

の混合比率を用いて、投入混合基質 VS1kg あたりのガス発生量を試算すると、 $0.29\text{m}^3/\text{kg-VS}$ となる。これに対して期間 V の混合基質 VS1kg あたりのガス発生量の実測値は $0.31\text{m}^3/\text{kg-VS}$ となっており、約 7% 程度の違いが見られた。これは実験期間中に発生する地域バイオマスの性状が日々変動した影響と考えられる。

なお、本実験における平均有機物負荷が $2.50\text{ kg-VS}/\text{m}^3/\text{d}$ であり、一般的な下水汚泥の中温メタン発酵での適切な有機物負荷である $2 \sim 3\text{ kg-VS}/\text{m}^3/\text{d}$ ¹¹⁾ の範囲内となった。

その他、消化汚泥の脱水性状を確認したところ、従来の OD 汚泥の脱水性状と大きな違いは見られなかった。また農地還元を想定して消化汚泥の化学分析を行ったところ、肥料取締法の有害成分項目は基準値以下であること、窒素、リンおよびカリウムともに下水汚泥単独から作成された肥料の平均値に比べて、大きな値となり、肥料として有用であることが確認された。

5.4 事業可能性の評価

1) 実証地域の地域バイオマス処理の現状

①下水処理の状況

町内には 5 つの下水処理場が存在している。下水汚泥は濃縮、脱水後に長距離運搬して民間の中間処分場に搬入しており、多大な運搬・処理経費がかかっている。

②浄化槽汚泥等処理の状況

町内のし尿・浄化槽汚泥は、一部事務組合のし尿処理施設で処理されていたが、同処理施設は供用開始から 17 年が経過し老朽化が著しく改築更新時期を迎えることとなった。しかし、事務組合は廃止され、他市

に処理委託しなければならなくなった。

③農業集落排水処理の現状

町内には 6 処理区の農業集落排水処理施設があり、それぞれ整備が完了している。5 処理区の汚泥を濃縮状態で集約し、1 処理区の施設で脱水し肥料化を行っている。

④その他地域バイオマス

町内には食品加工工場が存在し、そこから排出される油揚げの規格外品（生タイプ、乾燥タイプ）が発生している。これらは現在、バイオマスとして有効利用されていない。

2) 経済性の評価

高濃度混合メタン発酵を実施した際の経済性の評価を行ったところ、個別処理（し尿処理場を改築更新し、各バイオマスをそれぞれ処理）した場合と、高濃度混合メタン発酵を実施した場合では、年間約 32 百万円のコスト縮減が可能という試算結果となった。

3) 温室効果ガス排出量削減効果の評価

高濃度混合メタン発酵を実施した際の温室効果ガス排出量の削減効果は、個別処理（従来処理）の場合は $715.5\text{t}/\text{年}$ 、集約処理（高濃度混合メタン発酵実施）の場合は $509.3\text{t}/\text{年}$ となり、年間 206t （約 30%）の削減が可能との試算結果となった。

4) エネルギー収支の評価

メタン発酵に伴うエネルギー収支の試算を実施したところ、回収エネルギー量約 $29\text{ 万 }6\text{ 千 }6\text{ 百 Mcal}/\text{年}$ に対し、消費エネルギー量（投入汚泥の加温に必要な熱量、発酵槽の放散熱損失および配管等の熱損失）は



図9 エネルギー収支

18万9千 Mcal/年となった(図9)。

6. 今後の取り組みと新たな課題

本研究の成果も利用して、石川県は「混合バイオマスメタン発酵技術普及促進マニュアル」を作成され、新技術である高濃度混合メタン発酵技術の県下自治体への導入支援を実施される予定である。また実証実験の対象となったA町では地域バイオマスの下水処理場への集約とメタン発酵が行われ、メタンガスを有効利用した発電と発酵残渣を乾燥して農地還元を行う事業に着手される予定である。

最初に述べたように同様の小規模施設を有したり、地域条件である自治体は全国に多数あると考えられることから、今後地域バイオマスを集約し資源・エネルギー利用を図る事業の普及展開がより一層期待される。

今後の技術的課題として、地域による汚泥性状の違いが、高濃度消化特性に及ぼす影響について知見を集積し、効率的な管理手法を開発することにより、地域特性に応じた様々な種類のバイオマスを集約し経済的に処理、利活用するシステムの開発に取り組むこととしている。

参考文献

- 1) 野池達也編著：メタン発酵，技報堂出版，pp.1-2, 2009.
- 2) 安陪達哉，下水汚泥資源の平成23年度有効利用調査結果，再生と利用，Vol.38, No.142, pp.86-88, 2014
- 3) (財)下水道新技術推進機構：下水処理場へのバイオマス（生ゴミ等）受け入れマニュアル，p.17, 2011.3
- 4) 日本下水道協会，下水道統計（平成22年度版）（第67号），2012

- 5) 国土交通省 国土技術政策総合研究所：地域における資源・エネルギー循環拠点としての下水処理場の技術的ポテンシャルに関する研究，平成24年度下水道関係調査研究年次報告書集，国総研資料第773号，pp.109-114, 2014
- 6) 土木研究所，石川県，金沢大学，(株)アクトリー，(株)石垣，月島(株)，明和工業(株)，(株)柿本商会，小規模処理場施設に適したメタンガス有効利用支援に関する共同研究報告書，土木研究所共同研究報告書
<http://www.db.pwri.go.jp/pdf/D8482.pdf>
- 7) 建設省土木研究所：下水汚泥の高効率輸送システムの開発に関する調査，平成4年度下水道関係調査研究年次報告書集，土木研究所資料，第3215号，pp.221-232, 1993.
- 8) 建設省土木研究所：中小都市における広域的な汚泥処理システムの開発に関する調査，平成8年度下水道関係調査研究年次報告書集，土木研究所資料，第3528号，pp.229-234, 1997.
- 9) 日本下水道協会：下水道統計（平成23年度版）（第68号），2013.
- 10) 藤島繁樹，宮原高志，水野修，野池達也：脱水汚泥の嫌気性消化に及ぼす固形物濃度の影響，土木学会論文集，No.622/VII-11, pp.73-80, 1999.
- 11) 日本下水道協会：下水道施設計画・設計指針と解説 2009年版（後編），2009.

その他参考資料

- 1) 国土交通省・日本下水道協会：バイオソリッド利活用基本計画(下水汚泥処理総合計画)策定マニュアル，2004.
- 2) (財)下水道新技術推進機構：下水処理場へのバイオマス（生ゴミ等）受け入れの手引き，2010.3

特集：第 27 回下水汚泥の有効利用に関するセミナー特集（佐賀市）

研究紹介

下水汚泥有効利用の課題と
日本下水道事業団における取組み日本下水道事業団技術戦略部
資源技術開発課 島田 正夫

キーワード：担体充填式高速嫌気性消化、熱可溶化高効率嫌気性消化、次世代型階段炉、濃縮槽省略汚泥処理技術

1. はじめに

わが国の下水道処理人口普及率は平成 25 年度末で 77%に達し、都市部においては大部分の家庭に下水道がつながっている状況になった。下水処理過程で発生する汚泥の量も年々増加し、水処理施設からの発生量ベースで濃縮汚泥量として約 7,800 万 m³/年（乾燥固形物量として約 230 万 t/年）となっている¹⁾。

欧米などの下水道先進国では、下水汚泥はメタン発酵によるバイオガス利用及び緑農地利用など貴重なバイオマス資源として広く有効利用されているのに対し、日本では処理処分の面倒な産業廃棄物として位置づけられ、なるべく低コストで処理処分することが優先的に進められてきた。

近年地球温暖化対策や循環型社会構築の面から、平成 21 年 12 月には「バイオマス活用推進基本法」が制定されたり、再生可能エネルギー電力の固定価格買い取り制度の開始（平成 24 年 7 月）など、下水汚泥等バイオマスのより積極的な有効利用が求められるようになってきたが、必ずしも十分な利用が進められている状況とは言えない。今回は下水汚泥有効利用の現状と課題等について述べるとともに、日本下水道事業団（以下 JS という）で取り組んでいる汚泥有効利用テーマの中から、エネルギー回収を目的とする調査研究を中心に報告する。

2. 下水汚泥有効利用の現状と課題

2.1 地球環境問題と下水道²⁾

最近発表された国連 IPCC 評価報告書（第 5 次案）によれば、現状のまま化石燃料に依存した社会経済活動を継続した場合、今世紀末の地球上の平均気温は最大 4.8℃上昇し、南極等の氷が溶けたり海水の膨張等により海面は最大 82cm 上昇するというシミュレーション結果を発表している。また異常気象による未曾有の自然災害発生と食糧危機が到来されるとされており、すでにその兆候は昨年 10 月の伊豆大島や今年 8 月の広島での記録的な豪雨による大規模災害が頻発するなど、わが国においても身近な現象として現れている。

致命的な被害（人的能力では対応不可能となる気候の暴走）を避けるためには、平均気温の上昇を 18 世紀末の産業革命前の気温に対し 2℃以内に抑える必要があり、そのためには全世界の温暖化ガス排出量を、今世紀半ばまでに現在の半分以下にする必要があるとされている。日本のような先進国においては 80%以上の削減が求められている。

COP18 ドーハー会議（2012 年 12 月）において、2012 年で終了した京都議定書による温暖化ガス削減計画後の新たな法的枠組みとして 2015 年採択、2020 年発行を目指すことが決まった。2013 年 12 月ポーラ

ンドのワルシャワで開催された COP19 で、主な先進国の 2020 年までの温室効果ガス自主削減目標が発表された。基準年度に差があるが多くの国が 15 ～ 25% という削減目標を発表したのに対し、日本は 2005 年比で - 3.8% と発表、これは京都議定書の基準年度 1990 年比では + 3.5% であったことから、「削減目標ではなく増加目標」と厳しい批判を受けた。

わが国では福島原発事故以降、国民意識から原子力発電所の新設、増設は極めて困難な状況にあること、温暖化ガス排出削減における世界有数の経済大国としての責任と役割を達成する必要があることから、風力や太陽光、バイオマスなどの再生可能エネルギーのより一層の利用促進が求められている。下水汚泥はバイオマスの中でも集約性に優れ、質及び量とも安定した貴重な国産再生可能資源であり、目先の経済性 (B/C) にとらわれて安易に廃棄物として処理処分するのではなく、循環型社会構築や地球環境保全に貢献するような積極的な有効利用が望まれる。

2.2 消化ガス発電の現状と課題

(1) 消化ガス発電導入状況³⁾

図 1 に、近年のわが国における下水汚泥消化ガス発電実施箇所の推移を示した。

昭和 40 年代後半から 50 年代前半にかけての 2 度にわたる世界的石油危機をきっかけに、わが国の下水処理場においては昭和 50 年代後半から一時期消化ガス発電が積極的に導入された時があった。大部分が欧米などの海外から輸入されたガスエンジン発電機が設置されたが、エンジンシリンダの異常な摩耗や給排気弁の閉塞など原因不明のトラブルが頻発、修理部品の調達に数ヶ月を要するなどの理由で稼働率が低く、導入メリットが少ないとの理由から約 20 カ所以上は普及しなかった。

その後、トラブルの主要原因が消化ガス中に含まれる

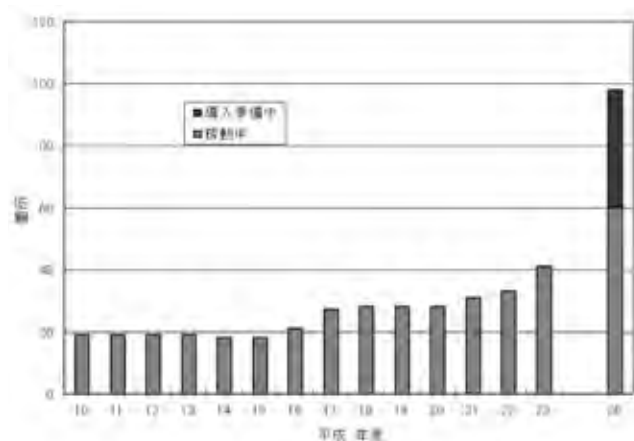


図 1 消化ガス発電設備導入箇所の推移

シロキサンであり活性炭処理で容易に除去可能であることが判明、地球温暖化問題のクローズアップ等の理由もあり再び消化ガス発電が注目されるようになった。また、幾つかの小型高性能消化ガス発電システムが開発実用化されたこともあり、平成 16 年頃から徐々に導入箇所が増え始めた。さらに先述したように、平成 24 年 7 月の再生可能エネルギー固定価格買取制度 (FIT) の開始により、平成 26 年 9 月時点では 60 箇所程度に急増、導入準備作業中も含めると約 100 箇所にも及んでいる。ただし、新規導入箇所全てが必ずしも FIT を対象とした事業ではない。

(2) FIT における電力会社の契約保留問題

再生可能エネルギー電力を FIT 制度で売買するためには、発電設備に対する経済産業省の設備認定を受けるとともに、系統接続のための契約を電力会社と締結する必要がある。電力会社は特別な事由がない限り接続契約を拒否できないことになっているが、本年 9 月以降九州電力、四国電力、東北電力、北海道電力、及び沖縄電力 (一部) において、電力需給バランスの関係で当分の期間接続契約を保留すると発表したことから、消化ガス発電導入を検討していた自治体や事業者間で混乱が生じている。

これらの電力会社管内の電力需要量は大都市圏を有する電力会社に比べ小さいことに加え、地価や立地条件的に風力やメガソーラ (大規模太陽光発電所) の導入が容易であったことから設備認定が急増した。将来これら出力の不安定な再生可能発電すべてが稼働した場合管内の電力需要を上回る結果となり、安定した送電ができなくなる恐れがあるとされている。

わが国では戦後、地域独占の大手電力会社による電力供給体制が取られてきたことから、各電力会社単位での需給の安定供給システムは整備されてきたが、電力会社間の広域系統連絡線の整備は極めて不十分であった。今後、再生可能電力を最大限活用するためには各大手電力会社間の広域送電網の整備と、わが国全体の電力需給量を総合的にかつ公平に調整管理する独立機関の設置が必要となり、現在それらに向けての事業計画、法整備なども進められている。

(3) FIT 以外の再生可能エネルギー導入支援制度

FIT はバイオガス発電など再生可能エネルギー導入を促進する魅力的な制度であるが、これ以外にもいくつかの再エネ支援制度があるので簡単に紹介する。

1) J-クレジット制度⁴⁾

J-クレジット制度は、再生可能エネルギーの利用や省エネルギー機器の導入、森林経営などの取組みに



図2 J-クレジット制度の概要図

表1 J-クレジット制度を活用している消化ガス発電事業箇所

| 都市名 | 処理場名 | ガス発電方式 | t-CO ₂ /年 | 認証予定期間 |
|-----|------------|-----------------|----------------------|----------------------|
| 柏崎市 | 自然環境浄化センター | 95kW (MGT) × 2台 | 627 | 2014.3.1 ~ 2021.3.31 |
| 金沢市 | 城北水質管理センター | 25kW (MGE) × 8台 | 567 ~ 624 | 2014.4.1 ~ 2021.3.31 |

よるCO₂などの温室効果ガスの排出削減量や吸収量を「クレジット」として国が認証するものである。本制度は、従来の国内クレジット制度とオフセット・クレジット(J-VER)制度が発展的に平成25年度に統合した制度で、国により運営されている。

本制度により創出されたクレジットは、図2に示すように低炭素社会実行計画の目標達成やカーボン・オフセットなど様々な用途に活用可能で、クレジットの取引単価(未公表が多い)は市場価格で変動するが5,000～15,000円/t-CO₂程度といわれている。

本制度を活用している下水汚泥消化ガス発電事業としては、表1に示す柏崎市水資源循環センターや金沢市城北浄化センターの事例がある。

2) グリーン電力認証制度⁵⁾

グリーン電力とは、風力、太陽光、バイオマス(生

物資源)などの自然エネルギーにより発電された電力のことである。石油や石炭などの化石燃料による発電は、発電するときにCO₂が発生するが、自然エネルギーによる発電は発電するときにCO₂を発生しないと解釈されているため、環境への負荷が小さいエネルギーとみなされている。

このように消化ガス発電や風力など自然エネルギーによる電気は、「電気そのものの価値」の他に、省エネルギー(化石燃料の節減)やCO₂排出抑制といった付加価値を持った電力といえ、これを「環境付加価値」と呼んでいる。この「環境付加価値」を、電力と切り離して「グリーン電力証書」という形で売買し、通常使用している電気と組み合わせることで、環境にやさしい価値を持つグリーン電力を使用しているとみなすことができる。

グリーン電力認証制度の概要を図3に示した。発



図3 グリーン電力認証制度の概要(日本自然エネルギー(株)HPより)

表2 グリーン電力認証制度を利用している消化ガス発電箇所⁶⁾

| 自治体名 | 処理場名 | ガス発電能力 | 運転開始年月 |
|------|------------|-----------------|----------|
| 東京都 | 森ヶ崎水再生センター | 3200kW | 2004年2月 |
| 江別市 | 江別浄化センター | 250kW (GE) × 1台 | 2004年8月 |
| 伊勢崎市 | 伊勢崎浄化センター | 30kW (MGT) × 1台 | 2005年11月 |
| 熊本県 | 熊本北部浄化センター | 100kW (FC) × 4台 | 2009年5月 |

電事業者は自然エネルギーによって発電した電気そのものを自家消費したり電力会社等に売電しても、それと切り離して環境負荷価値を「グリーン電力証書」として売却することができる。現在この制度を活用している下水汚泥消化ガス発電事業所は表2に示すように、東京都森ヶ崎水再生センター他3カ所である。

なお、グリーン電力証書システムは、自然エネルギー普及策、環境・省エネ対策として進められているが、現時点では政策上明確な位置付けが与えられたものではない等の理由から、購入者の支払う費用は、税務上、原則寄付金として扱われるという問題がある。

3) 時間帯別電力契約による消化ガス発電

平成26年4月1日施行の省エネ法改正で、従来からのエネルギー使用の合理化の強化に加え、「電力需要の平準化（ピークカット）の推進」が追加された。これによって、多くの電力会社は時間帯別契約電力料金体系を設定し、図4に示すように夜間、昼間、ピーク毎に料金単価に大きな差を設け、ピーク電力の削減に向けた対策を進めている。

下水処理場における消化ガス発電の導入検討においては、従来24時間運転で施設計画を行っている場合が多いが、ガスエンジン型発電機は間欠運転が比較的容易に行えることからピーク時や昼間のみ運転とすることで、電力需要の平準化に貢献するとともに基本電

力料金も含めた処理場電力コストの削減が可能なことから、FIT制度と同程度の経済的導入効果が期待できる。

2.3 固形燃料化の現状と課題

下水汚泥の炭化・乾燥による固形燃料化事業が、最近大規模処理場を中心に徐々に増加している。固形燃料化事業を検討する場合において、従来より課題となっていた一つに逆有償の問題があった。固形燃料の売却代金が需要施設までの運搬コストより安価な場合は、廃掃法の適用を受け、固形燃料の利用者は産業廃棄物中間処理施設としての許可が求められていた。エネルギー分野における規制・制度改革の一環として、平成25年3月の環境省事務連絡で

「引き渡し側に経済的な損失が生じて、再生利用又はエネルギー源として利用するために有償で譲り受けるものが占有者となった時点以降については、廃棄物に該当しないと判断しても差し支えない」

との見解が示されたことから、事業化のハードルが低くなったと考えられる。

また、下水汚泥固形燃料の品質の安定化及び信頼性の確立を図り、市場の活性化を目的として、下水汚泥固形燃料（略称：BSF）の日本工業規格（JIS）が平成26年9月制定された。表3に、種類と品質規格（到着ベース）を示した。総発熱量は水分を含んだ（wetベース）の値で、15MJ/kg（約3600kcal/kg）と8MJ/kg（1920kcal/kg）の2種類が規格化されている。

下水汚泥固形燃料化事業は、逆有償問題の解消やJIS規格化がなされたとはいえ、固形化すれば必ず燃料として売却が期待できるものではない。近隣で安定した需要者（石炭ボイラーを有する事業者）を確保すること、需要者からは性状の安定性とともにある程度以上の量の確保が要求される。

また、水分の多い脱水汚泥を燃料として利用できるまで蒸発乾燥するのに、化石燃料を大量に用いていたのでは、本来のバイオマス有効利用の目的に反する。ごみ焼却場等が近隣にある場合はその余剰熱を活用したり、嫌気性消化との組み合わせで消化ガスを乾燥補助燃料として利用するなどの検討が必要となる。

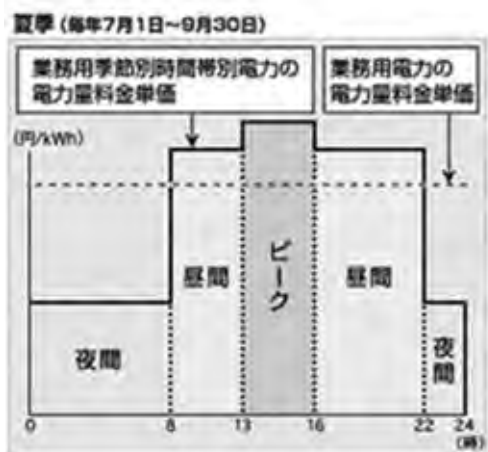


図4 時間帯別料金体系の概要図

表3 下水汚泥固形燃料の JIS 規格¹⁾

| 種類 | 総発熱量 MJ/kg | 全水分 % | 灰分・硫黄分等 |
|--------|-------------------------|-------|----------------|
| BSF-15 | 15 以上 (3,600kcal/kg) | 20 以下 | 受け渡し当事者間の協定による |
| BSF | 8 以上 (1,920kcal/kg) | | |

※総発熱量は wet（水分含有）ベースの値

2.4 緑農地利用の現状と課題

1) 下水汚泥中の重金属濃度の誤解

下水汚泥に含まれる重金属に関する一般市民の誤った認識が、下水汚泥緑農地有効利用の大きな障害のひとつになっている。重金属は工場排水にのみ含まれている特殊な物質ではなく、自然界に広く分布存在している。そして亜鉛、鉄、銅など多くの重金属類は植物や動物の成長及び生命維持活動に欠かせない必須ミネラル分でもある。したがって、生活排水等を処理して発生する下水汚泥中には、食物起源や水道水起源の重金属類が当然含まれており、工場排水を全く含まないし尿処理汚泥や浄化槽汚泥中にも重金属は含まれる。

ただし、昭和40年代から50年代の、わが国における下水道草創期には、公共用水域の水質改善を主目的に除害施設の管理の不十分な事業場排水を受け入れ処理していた下水処理場も多くみられ、それに起因する重金属含有量の比較的高い下水汚泥が一部存在していたことは事実である。しかし、下水道事業の整備普及とともに除害施設の設置・管理や行政指導が徹底されるようになるにしたがい、工場排水等に起因する汚泥中重金属含有量は大幅に改善されている。一例として、大阪市N処理場汚泥中の重金属含有率の経年変化を図5に示した。昭和50年代に比べ、重金属類含有率

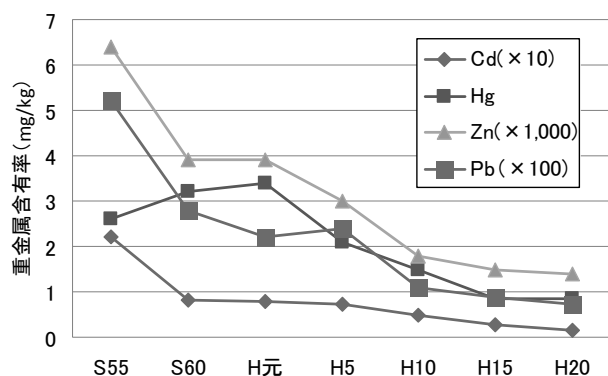


図5 大阪市N処理場汚泥における重金属含有率の経年変化⁷⁾

は1/4～1/10程度に大幅に低下している。

また、農林水産省が平成21年度に発表した全国の汚泥肥料製造工場における汚泥肥料中の重金属含有量調査結果⁸⁾の一例を、図6に示した。「肥料取締法」における汚泥肥料中カドミニウムの含有量基準は5mg/kg-DS以下となっている。し尿・浄化槽汚泥を原料としている場合と下水汚泥を原料として製造されたものを統計的に比較すると、いずれも基準値を十分に満足しているが、2mg/kg-DSを超過する製品の割合はし尿・浄化槽汚泥を原料としている場合は38.9%であるのに対し、下水汚泥を原料としている場合はわずか9.6%で、下水汚泥中の重金属含有量は工場排水を含まないし尿・浄化槽汚泥よりはるかに低レベルであることを示している。これは、汚水の処理方式の違いによるものである。

下水汚泥＝工場排水＝重金属＝有害物といった、誤った認識を改める必要がある。実際に下水汚泥肥料を利用している多くの農業者からは高い評価を得ている。

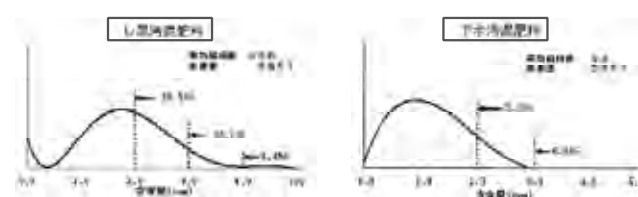


図6 し尿汚泥肥料と下水汚泥肥料におけるCd含有量の比較（農林水産省調査データ）

2) 大規模農業生産法人における下水汚泥肥料利用事例

戦後の食糧生産効率向上を目的とした化学肥料＋農薬を中心とする農業生産方式に起因して、わが国では畑地土壌劣化が深刻な問題となっている。国としても有機質肥料主体の農業生産方式への転換を推進するために、持続農業法（H11年10月施行）や有機農業推進法（H18年12月施行）を定めており、下水汚泥肥料等の積極的な活用が望まれる。

下水汚泥を乾燥又はコンポスト化して緑農地利用する場合、化学肥料に比べ施用量（2～5t/10a程度）の面から基本的には機械式散布が前提となる。TPP（環太平洋戦略的経済連携協定）問題もあって今後日本の農業も規模の拡大が進み、生産コスト縮減や農地土壌劣化対策として有機肥料主体の農業に転換していくと考えられる。既に北海道等の大規模営農が多い地区では下水汚泥肥料や家畜ふん尿堆肥は多く利用されている。

本州等でも休耕地を利用して規模の拡大を進める農業生産法人の数が増えている。写真1は、北陸地方のある地域において休耕田等を活用して約100haの農地で、下水汚泥を主体とする有機肥料を用いて農産物の生産・加工・販売までを手掛けている大規模農業生産法人の作業状況を示したものである。年間約8,000tの下水汚泥から乾燥もしくはコンポスト化により3,000～4,000tの有機肥料を生産し、一部は緑化資材としても販売しているが、その大半を自らの農場を中心に肥料として利用し家畜飼料のデントコーンや

キャベツ等の栽培を行っている。

このようなケースは、今後全国的に展開していくことが想定され、下水汚泥の有効利用促進が期待される。

3. JSにおける有効利用の取組み

3.1 高効率型脱水機の開発⁹⁾

下水汚泥の処理処分や有効利用を図る上で、脱水汚泥の低含水率化は最も重要なテーマの一つである。JSではこれまで機内二液調質型遠心脱水機、圧入式スクリュウ濃縮脱水機の二つのタイプの脱水機を対象に省エネ・低含水率化を目的とする技術開発を行い、その性能を確認してきた。今年度は昨年に引き続き、ベルトプレス型脱水機の低含水率化について共同研究を進めている。ベルトプレス式は性状変動に強く間欠運転にも追従し、操作性・維持管理性も良好なことからわが国では最も多く導入されている脱水機である。今回対象とする機種を図7に示す。2液法によるベルトプレス脱水で、ベルトの濃縮工程をろ布濃縮工程と一次



写真1 下水汚泥肥料を有効利用している大規模農業生産法人（福井エコグリーン(株)提供）（左：家畜飼料用デントコーン収穫、右：キャベツ栽培）

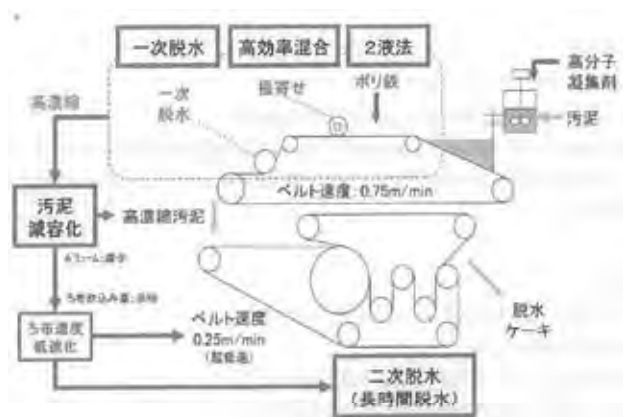


図7 後注入2液型ベルトプレス脱水機の概要図

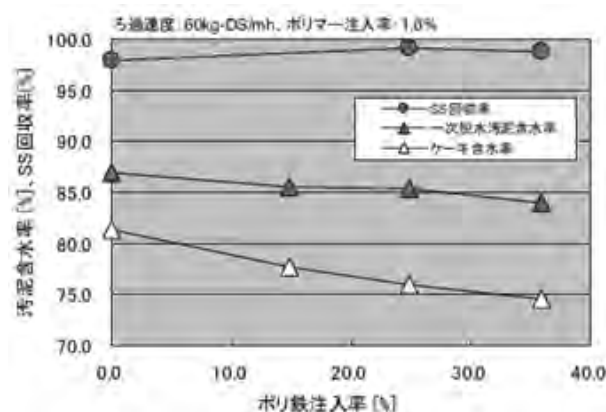


図8 ポリ鉄注入率と脱水性能（消化汚泥）

脱水工程の二つに分け、ろ布濃縮を行った後にポリ鉄を注入し効率よく混合し、一次脱水を行うことで従来より大幅に濃縮濃度が増加し汚泥量が減少する。これにより二次脱水工程でベルト速度を低下させることが可能となり、脱水時間の増加により脱水汚泥の低含水率化を目指すものである。

従来の1液法と比較してケーキ含水率を7ポイント以上低下させることを目標としていたが、難脱水汚泥の一つである消化汚泥でも図8に示すようにケーキ含水率75%程度が得られている。

3.2 高効率嫌気性消化技術の開発

(1) 担体充填式高速嫌気性消化システム

1) システムの基本原則

図9は、各種下水汚泥のメタン発酵回分試験(35℃)における分解特性をメタンガス発生速度で表したもので、ガスの発生は3～4日程度で概ね完了している。しかし、汚泥を連続して投入する従来の消化法において消化日数を3～4日で運転することはできない。従来の完全混合型浮遊式嫌気性消化法で消化日数を3日～4日で運転した場合、増殖速度の遅い(4～10日)メタン菌は消化汚泥とともにタンクから流出してしまい(ウォッシュアウト)、菌体を消化タンク内に保持することができなくなるためである。担体充填法はこの問題を解決するために、消化タンク内に設置した担体にメタン菌を付着固定化することで、増殖速度の遅いメタン菌をタンク内に保持、安定したメタン発酵が可能としたものである。本プロセスでは、特にメタン菌増殖速度の大きい高温嫌気性消化法(55℃)を採用している。

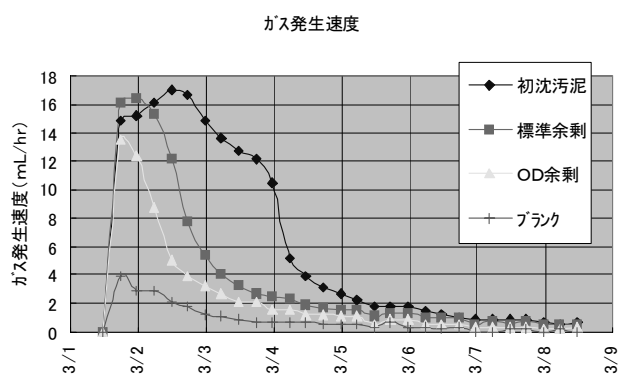


図9 各種汚泥のメタン発酵特性

2) システムの特徴

下水汚泥の中でも、初沈汚泥は炭水化物を主体とし嫌気性分解が比較的容易に行われるのに対し、余剰汚泥は生きている(活性)バイオマスであり加水分解されにくく、細胞壁を主体とする難分解性のセルロース

やたんぱく質を主成分とするため、生物分解性が低い。余剰汚泥のメタン発酵では前段の加水分解・酸発酵過程が律速となり、担体を充填してメタン菌濃度を高めても消化日数3～5日では安定したVS分解率を得ることは困難である。したがって、本システムでは原則余剰汚泥を処理対象からはずし、初沈汚泥単独若しくは初沈汚泥と同等以上にメタン発酵性に優れた生ごみとの混合汚泥を処理対象としている。

本システムは、消化タンク内に担体を充填することから、既設のコンクリート製消化タンクへの設置導入は困難である。基本的には鋼板製消化タンクとなることから、敷地スペースに余裕の少ない中小規模処理場における消化設備新設箇所をターゲットにしている。鋼板製タンクとすることで、建設期間の短縮やコストの縮減も期待されている。

3) B-DASH 実証試験の結果

本担体充填式高速嫌気性消化システムは、平成23年度国土交通省B-DASH事業「超高効率固液分離技術を用いたエネルギーマネジメントシステムに関する実証研究」のコア技術の一つとして採用された。大阪市中浜下水処理場内に実証プラントを設置し(写真2)、平成23～24年度の2カ年にわたり消化タンク容量50m³の施設で実証試験を行い良好な結果が得られている。このB-DASH実証試験結果をもとに国土技術政策総合研究所から平成25年7月に本技術導入ガイドラインが公表されている。また、本技術はJSの新技术導入促進をはかるべき技術として平成25年7月に選定されている。



写真2 担体充填高速メタン発酵実証施設(大阪市中浜処理場)

(2) 熱可溶化高効率嫌気性消化システム

1) システム構成

システム構成は図10に示すように、消化タンク設

備、汚泥脱水設備、熱可溶化タンク、蒸気ボイラよりなり、従来の嫌気性消化設備における加温設備の代わりに熱可溶化装置を付加したものである。脱水された消化汚泥を可溶化タンクにおいてスチームを吹き込み高温飽和蒸気下で一定時間保持改質を行うが、水蒸気は消化ガスを利用してボイラにより発生させる。熱改質された汚泥は消化タンクに戻し、熱源として消化タンクの加温を行うとともに一部は分解ガス化される。

消化しやすい汚泥は直接嫌気性消化し、消化し難い残渣である消化汚泥のみを熱可溶化して再度消化することにより、メタンガスの増収及び汚泥の減量化を行うものである。本システムでは、熱可溶化した高温の汚泥を消化タンクに戻すことで消化タンクの加温を行うため、可溶化のための新たなエネルギーは基本的には必要としない。

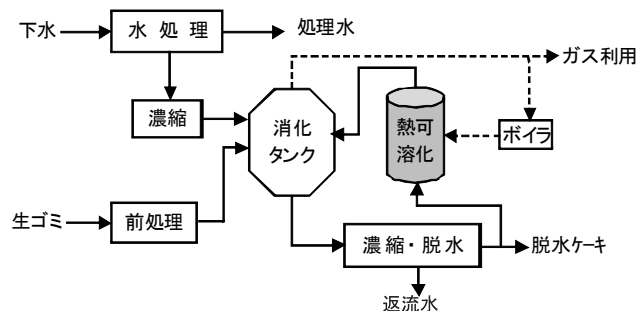


図10 熱可溶化技術のシステムフロー

2) システムの特徴

一般的な熱可溶化システムは消化タンクの前段で処理が行われるのに対し、本技術では後段で消化脱水汚泥を対象に熱可溶化が行なわれることから、次のような多くの特徴を有している。

- ①脱水汚泥を対象に処理することから、可溶化のための熱エネルギーが極めて少ない
- ②熱バランスを調整するための熱交換器を必要としない
- ③消化されずに残った汚泥のみを熱可溶化するため熱の効率的使用が可能。
- ④消化後の汚泥を加温するため、生汚泥を加温する方式に比べ臭気問題が極めて少ない
- ⑤汚泥の脱水性が大きく改善される

3) 実証試験の結果

消化タンク容量 15m³ の実証プラントを猪名川流域下水道原田処理場（大阪府豊中市）に設置し、約 1.5 年間にわたる実証試験の結果では、汚泥の有機物分解ガス化率 20～30% 高くなったほか、実規模遠心脱水機による脱水試験の結果、図 11 に示すように消化汚

泥の大幅な脱水性向上が確認された。

本技術も JS の新技術導入促進をはかるべき技術として平成 25 年 3 月に登録されている。

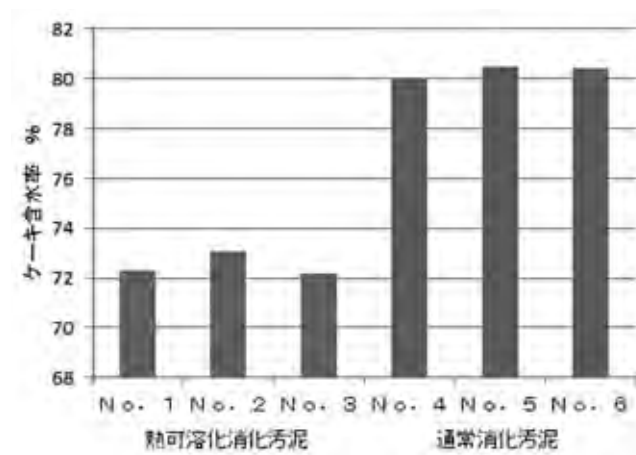


図11 熱改質による脱水性の改善効果

3.3 下水道バイオマスからの電力創造システム実証事業（H25 年度 B-DASH）

国土交通省が実施する H25 年度「下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト）」として採択された技術で、国土交通省政策技術総合研究所からの委託研究事業として和歌山市、日本下水道事業団（JS）、京都大学、（株）西原環境、（株）タクマ（共同研究体代表）の共同研究体により実施している。

本実証事業は、低含水率型遠心脱水機、次世代型階段炉及び蒸気発電機からなるもので、システムフローを図 12 に示す。実証試験プラント（35t-wet/日規模）を和歌山市中央終末処理場内に設置し、以下に示す 3 つの技術の組合せによる下水道バイオマス電力創造システムの構築を目指している。

- ①脱水汚泥の低含水率化による発熱量の大幅な向上
- ②次世代型階段炉におけるエネルギー（蒸気）回収
- ③蒸気発電機（スクリュ式発電機＋バイナリ発電機）によるエネルギー変換

1) 脱水汚泥の低含水率化

汚泥脱水機には、「機内二液調質型遠心脱水機」を



図12 実証試験プラントのシステムフロー

採用している。本脱水機は、従来の高分子凝集剤に加え無機凝集剤であるポリ硫酸第二鉄を機内薬注することで、脱水汚泥含水率を従来よりも約7～10%低減でき、従来型脱水機での汚泥含水率が約77～80%であったものが、約70%前後まで処理可能となる。その結果、炉投入汚泥の発熱量は従来の約1,700kJ/kgに対して約3,600kJ/kgと2倍となり、補助燃料なしで高温燃焼が達成でき、回収エネルギーの増加が可能である。

2) 次世代型階段炉エネルギー回収技術

焼却炉は広く普及している流動床炉ではなく、次世代型階段炉を採用し、ボイラにて熱回収を行う。次世代型階段炉は従来型階段炉の長所を生かしつつ、乾燥段の滞留時間を長くして乾燥機能を強化したものである。

- 流動床炉に比べ砂層流動の必要がなく低圧損なため、燃焼空気送風機の静圧が小さく動力を1/5程度に低減でき、焼却設備の消費電力を約40%低減できる。
- 炉内で900℃以上の高温燃焼域を持つことにより、温室効果ガスであるN₂Oの発生量も約1/6に低減できる。
- 炉内での汚泥の滞留時間は約2時間あるため、投入汚泥の質的変動に強い。また、安定した自然運転（補助燃料を使用しない運転）が可能である。
- 従来型階段炉では必須であった汚泥乾燥機を不要とし、低含水率汚泥の直接投入が可能である。

3) 蒸気発電機によるエネルギー変換

約20t-ds/日以上の大規模プラントにおいては、復水タービン方式を用いて電力回収する。復水タービン方式は、熱変換の方式の中で最も効率が良く、下水処理場では大量の処理水を冷却水として利用できるため有利となる。

9～20t-ds/日程度の中小規模のプラントでは、復

水タービンは必要蒸気量に下限があることから、低圧・少量の蒸気でも発電ができるスクリュ式小型蒸気発電機＋バイナリ発電機を採用している。

初年度（H25年度）の実証運転は3週間程度の短期間であったが

- 低含水率化技術で含水率平均70%以下
 - エネルギー回収技術で発生蒸気量1.5t/h、
 - エネルギー変換技術で発電量約120kWh/h
 - 温室効果ガス削減効果としてN₂O排出量が従来の概ね1/6
 - 焼却発電システム全体の消費電力の約6～7割を賄う
- など、良好な実証運転結果が得られている。

平成26年度は、季節変動や汚泥性状の変動に対し年間を通した長期スパンで安定した運転が可能であることを確認するとともに、他の下水処理場へ適用させるための各種データの取得を目的に実証試験を実施している。

3.4 濃縮槽省略の低コスト型汚泥処理技術¹⁰⁾

過年度の濃縮機能を具備する圧入式スクリュ濃縮脱水機の開発共同研究において、重力濃縮混合生汚泥や消化汚泥を対象とした試験で脱水性能が大幅に向上することが確認された。そこで本共同研究では、従来の汚泥濃縮プロセスを省略し図13に示すように、沈殿池引抜き汚泥を直接当圧入式スクリュ濃縮脱水機で脱水処理するシステムの開発を進めている。これにより、処理工程を簡素化し、汚泥処理プロセス全体のイニシャルコスト、ランニングコスト及びCO₂排出量の削減等が期待される。

本研究では、コスト及びCO₂排出量の削減効果を確認するとともに、汚泥性状変動に対する処理の安定性についても実証し、技術の確立を目指している。現在鎌倉市山崎浄化センターに実証設備を設置し連続運転によるデータ取得中であるが、図14に示すように濃縮槽を省略した場合でも、脱水機の処理量がやや

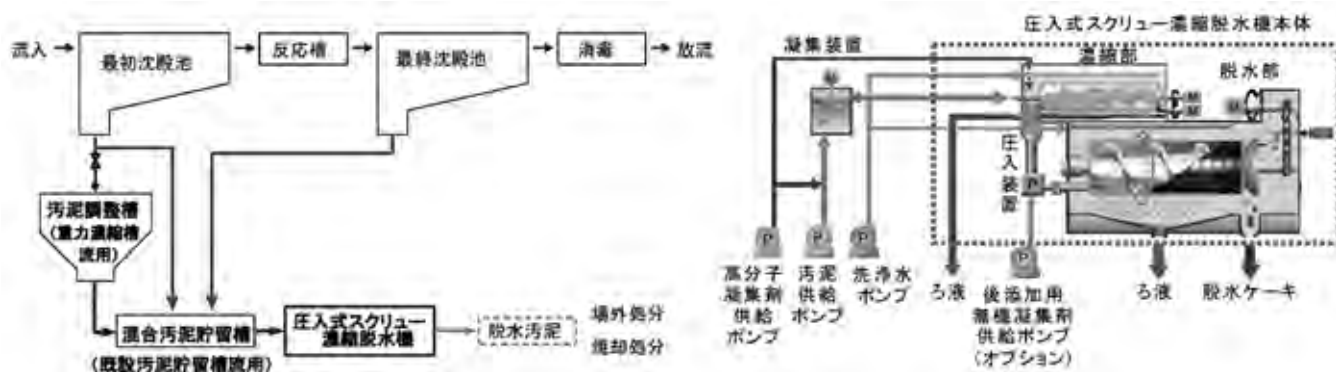


図13 濃縮工程を省略した新しい汚泥処理システムの基本フロー

低下するものの、安定した処理が可能であることが確認されている。

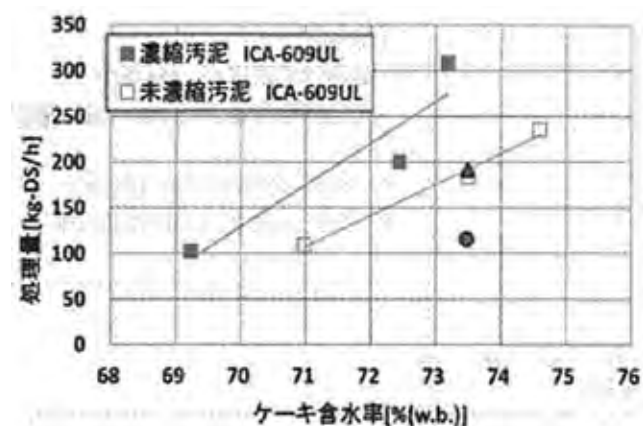


図 14 汚泥脱水性の改善効果

4. おわりに

下水道は生活環境や公共用水域水質保全に欠かせない重要な社会基盤施設の一つとなっているが、下水の搬送や処理過程において多くのエネルギーを消費していることから、地球環境へ大きな負担をかけていることも事実である。下水を処理するためにエネルギーを必要とし地球環境への負担はやむを得ないという考え方は、今後通用しなくなる。

また、わが国では家庭で発生する生ごみの大部分は可燃ごみとして焼却処分されているが、デイスポザーと下水管路網を経由して下水処理場に容易に集約

でき、下水汚泥との混合メタン発酵により効率的にエネルギー転換が可能である。下水汚泥や生ごみを目先の経済性のみで安易に「廃棄物として焼却処理」するのではなく、化石燃料に代わるバイオマス資源として利用することで下水処理場のエネルギー自給率向上、地球環境保全にも貢献することになる。

JSでは、今後とも下水汚泥のバイオマス資源としての有効活用に係る技術開発と普及促進に積極的に努めていく予定である。

<参考資料>

- 1) 国土交通省下水道部 HP
- 2) 環境省 HP
- 3) 平成 23 年度下水道統計 (公社) 日本下水道協会
- 4) 「J-クレジット制度実施要領」平成 26 年 5 月 環境省
- 5) 「グリーン電力認証制度の概要」平成 20 年 2 月 日本エネルギー経済研究所
- 6) 「グリーン電力制度を利用している事業所」平成 26 年 10 月 日本自然エネルギー株式会社
- 7) 「再生と利用」No.129 2010 p38 (社) 日本下水道協会
- 8) 「汚泥肥料の規制のあり方に関する懇談会報告書」平成 21 年 3 月 農林水産省 消費・安全局
- 9) 平成 26 年度下水道研究発表会講演集 p967 平成 26 年 7 月 (公社) 日本下水道協会
- 10) 平成 26 年度下水道研究発表会講演集 p973 平成 26 年 7 月 (公社) 日本下水道協会

特集：第 27 回下水汚泥の有効利用に関するセミナー特集（佐賀市）

研究紹介

下水汚泥の資源化と下水処理の
省エネルギー化を目指して

（公財）日本下水道新技術機構
資源循環研究部 落 修一

キーワード：乾燥、嫌気性消化、下水灰肥料、未利用エネルギー、省・創エネルギー

1. はじめに

資源やエネルギーの確保に困窮していた戦前や戦後間もない頃までは下水汚泥が資源として大いに重宝され、下水道財政の支えともなっていた。そして今日、人口大国の躍進は我が国国力の相対的な低下となって現れ、国内の資源エネルギー情勢に大きな変化をもたらしている。その中で、国内における下水汚泥の価値は今までも増して高まっている。当機構は従来より下水汚泥を資源と位置付けその有効利用のための調査研究、開発に取り組み、少しずつではあるが成果が表れてきている。我々はより一層そのスピードを上げるべく取り組んでいかなければならない。ここでは、当機構が取り組んでいる固有研究や共同研究、建設技術審査証明事業の中から下水汚泥の資源化と下水処理の省エネルギー化に係る技術を紹介する。

2. 下水汚泥の資源化

2.1 未利用エネルギー活用型乾燥技術・システムの開発

(1) 背景

我国には地方の小集落から都市部まで限なく生活排水処理システムが整備され、その数は下水道事業をはじめ農・漁業集落排水事業、コミュニティプラント

等 7,000 箇所にあふものである。しかし、そこでは、発生する汚泥の取扱いに相当のエネルギーと経費を必要とし、管理する自治体の大きな負担となっていることから何らかの対策が求められていた。

(2) 目標

開発のコンセプトは地域における未利用エネルギーの活用と乾燥産物の資源化にある。図-1 に示すように、地域に分散している污水处理プラントの汚泥を核となる下水処理場に集約し、資源化を図る。そこでは、集約された汚泥による燃焼・発電等を行い、残渣の灰は肥料や建設資材として利用することを基本に考えている。このときの課題は、集約する際の運搬エネルギー

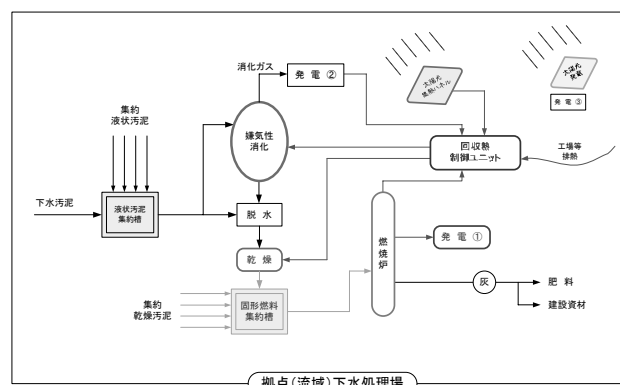


図-1 小規模下水処理場等汚泥の広域集約・資源化システム

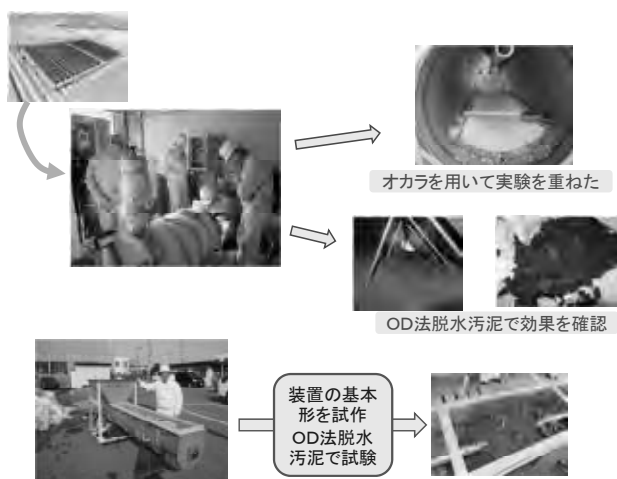


図-2 開発実験の様子

であり、これを解決するために経済的な乾燥技術が必要とされた。

(3) 開発

本乾燥技術の開発に6年が費やされた。初期は、乾燥現象の理論的な解析を行うとともに、プロセスの在り方を検討した。次に、そのプロセス化に必要な個別技術を検証するための実験を重ねた。このとき、乾燥現象そのものを把握・評価する実験では下水汚泥の代わりに“おから”を用いた。最終的にはオキシデーションディッチ法からの脱水汚泥を用いた実験により効果を確認し、乾燥技術の開発に至った。

開発技術は、主に中小規模の施設を対象とすることから、乾燥に要する時間設定を、最短で勤務時間内の6時間以内から最長では1週間までとした。また、未利用エネルギーの適用可能な温度条件について実験を重ねた結果、40℃以上であれば装置として成り立つことを確認した。また、70℃近くであれば良好なエネル

ギー源となり得ることも示された。勿論、100℃以上あれば容易に適用できるが、より高温の場合は乾燥工程における発熱・着火を避けるために、大気により希釈する方法で対応するプロセス化を図った。乾燥工程から発生する蒸発排液は、エアレーションタンクの活性汚泥液相に密閉返流させることを基本とした。開発実験の様子を図-2に示す。

2.2 嫌気性消化装置・方法の開発

(1) 背景

地方の中小自治体には地形や集落の関係から小規模污水处理施設を複数有しているところが一般的となっており、そこでは経営改善のための汚泥の集約処理や創・省エネルギーに係る技術が強く求められている。この解決手段として、嫌気性消化法の導入は非常に有効である。

嫌気性消化法は、有効なエネルギー回収技術であるにも拘わらず、施設の建設費や維持管理費が高いことから全く導入が進んでいない。特に、下水処理場の大部分を占める地方の中小施設では、経営改善や循環型社会の創造、地球温暖化対策等を目指す立場から導入が強く望まれており、早急に対応する必要がある。嫌気性消化法の普及拡充を目指した関連技術の開発に取り組んできているなかで、この実現を補完する“未利用エネルギー活用型乾燥システム”が開発できたことから、正に、安価に容易に建設できる嫌気性消化槽の実現を目指す必要がある。

(2) 目標

これまでは、日平均処理水量が概ね20,000m³/日以下の中小の下水処理場では嫌気性消化法は採算が合わないとの理由で導入が進んでこなかった。嫌気性消化法は古くより活用されている易しい技術であり、全て

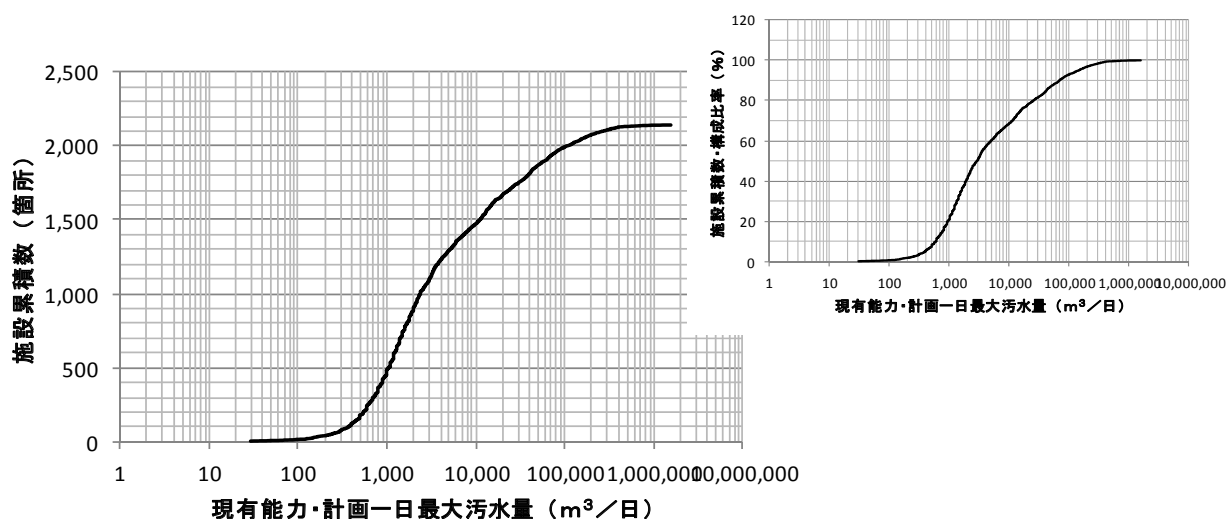


図-3 我が国における下水処理場規模の分布

の規模において導入可能であるとの前提に立ち、それを実現する技術を早急に提供する必要がある。

図-3に示す我が国における下水処理場規模の分布から分かるように、20,000m³/日以下の処理場は全体の75%、1,700箇所に及ぶ。この1,700箇所が当面の目標となる。

開発の要点として、大きく次の5つが挙げられる。

- I. 躯体は地元の企業（土木・建築工事）が容易に施工できる。
- II. 耐震化が容易に図れる。
- III. 発酵・リアクターとしての機能が十分に発揮、維持できる。
- IV. 安価に建設できる。
- V. 設備の保守・管理が容易、且つ経済的に持続できる。

(3) 開発

下水汚泥の嫌気性消化（メタン発酵）は、下水汚泥が人の生活に係わって発生し、大部分が生物活動に由来することから自らが生物資源としての価値が高く、環境を整えるだけで容易に進行するものである。従って、本法の開発は、消化槽の強度的な安定形状と槽内の流動特性を省エネルギー、省コストで達成することにあった。この観点に基づき、液体用と固体用のリアクターを検討、開発した。

汚泥の集約先の処理規模が他に比べて相当に大きく、処理の大部分を生活排水処理汚泥が占める場合は、液状汚泥のための嫌気性消化槽が適用でき、一方、地域に生活排水処理汚泥よりも未利用バイオマスが大量に存在し、且つ各排水処理施設では脱水処理までを行っている場合は、脱水汚泥と他のバイオマスのための乾式メタン発酵槽の導入が有効となる可能性が高い。

開発の一例として、液状汚泥のための嫌気性消化槽の形状に関する平面配置図の例を図-4に示す。開発

の嫌気性消化槽は、下水汚泥のみでは規模が小さすぎて適用できない場合であっても、単に汚泥の減量化・安定化を目的とするケースや、身近に未利用のバイオマスがある場合などは、十分に導入可能である。勿論、規模の大きな処理場へも可能である。

2.3 下水灰の肥料原料化技術の開発研究

本研究は、農林水産省の「農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業」により「23012 下水灰の肥料用原料化技術の開発研究」として平成23年度から25年度までの3カ年を持って取り組んだものである¹⁾。

(1) 研究の目的

ここで、下水灰は下水汚泥を燃焼した際に残る灰分のことである。この下水灰は燐鉱石に匹敵するリン酸を含有するものの、他を構成する主要成分に大きな違いがある。燐鉱石はカルシウム主体となっているのに対して、下水灰は土壌由来のケイ酸が主体となり、またアルミニウムの含有もある。このために現有の燐鉱石から肥料を製造する化学プロセスでは下水灰を燐鉱石と同等に扱うことが困難である。このために本研究では、下水灰から肥料成分を有効に引き出す、あるいは不用成分を排除・不用化する方法の開発に取り組んだ。また、下水汚泥はその利用に際して重金属の含有が問題視されてきた。それは含有量の如何に拘わらず下水灰においても同様の扱いを受け、利用が制限されている。そこで、下水灰の利用者にとって安心して取り扱える条件を整えるために、下水灰に含まれている微量の重金属を除去・制御する方法の開発に取り組んだ。

(2) 研究の方法

研究は9つの機関が図-5に示す体制のもと、個別の課題に取り組み、定期的な会合を持って成果を追求して行った。

(3) 研究結果の概要

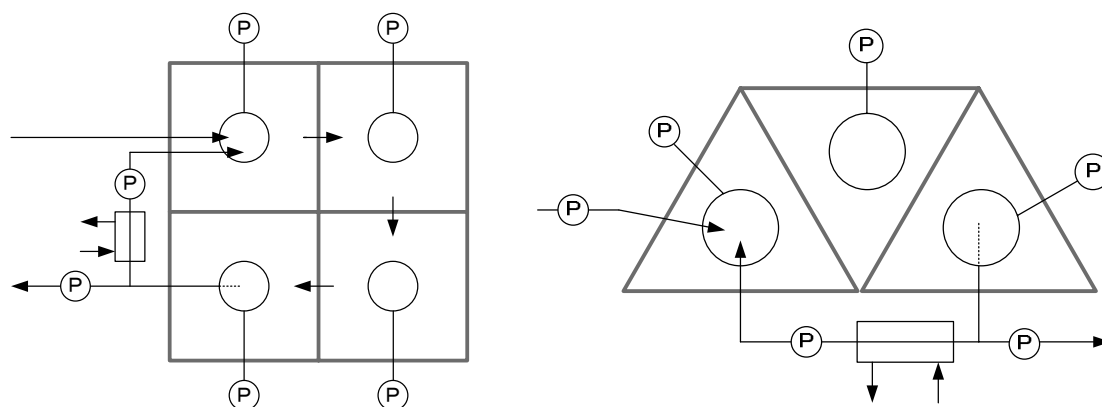


図-4 液状汚泥用リアクターの平面形状配置図の例（左：四角形の例、右：三角形の例）

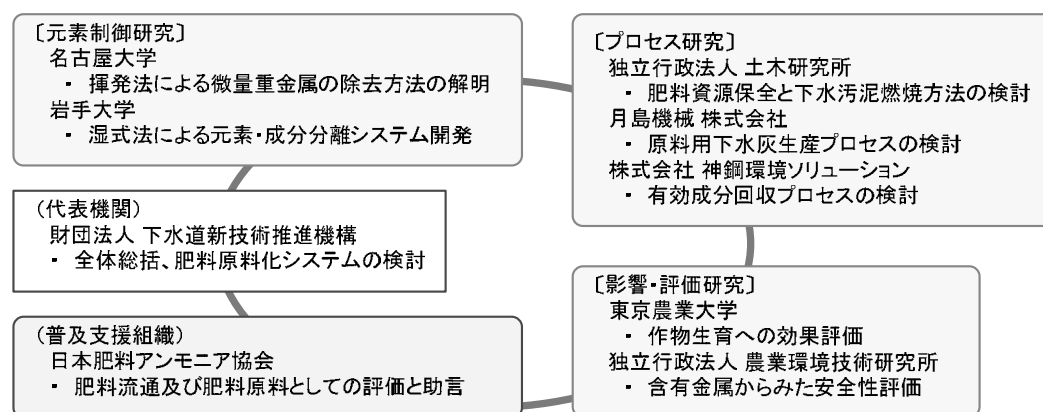


図-5 研究体制

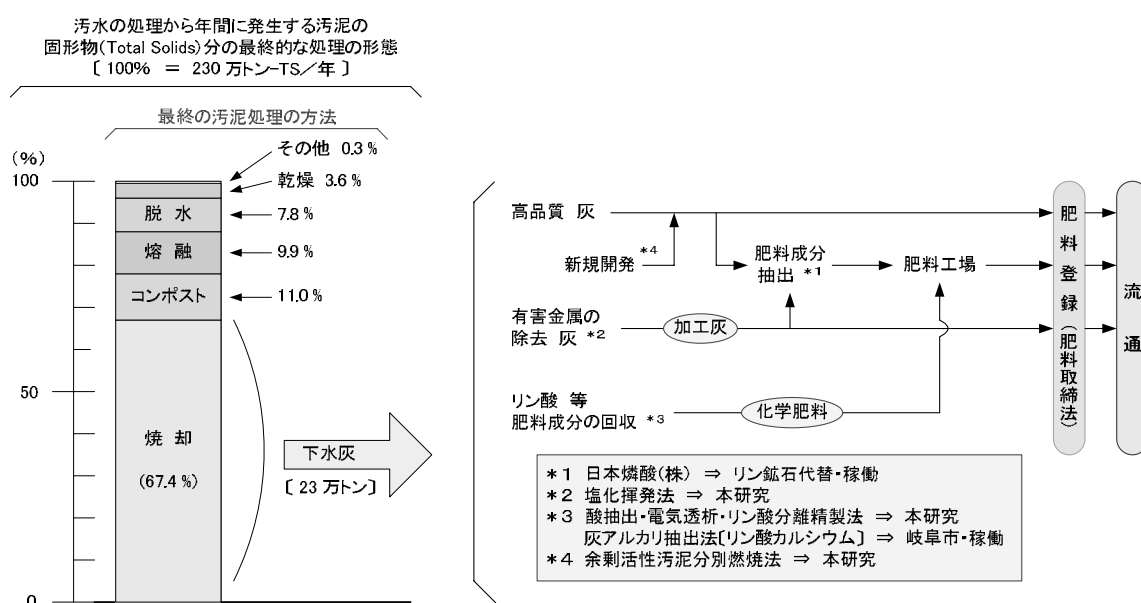


図-6 下水灰資源の肥料および肥料原料利用の手法

下水灰資源の肥料および肥料原料利用の手法を体系的に図-6に示す。なお、図中の*1は、日本燐酸(株)と当機構が近隣都県の協力を得ながら実用化に至った下水灰をリン鉱石の加工ラインでリン酸・資源化する技術であり、*3の灰アルカリ抽出法は岐阜市が実用化した技術である。

1) 塩化揮発法〔名古屋大学 窪田光宏、松田仁樹〕

塩化揮発法は、金属元素が塩化物になると気化しやすくなる性質を利用した技術で、昭和30年代に光和精鉱(株)により実用化された純国産技術である。この現象を微量重金属に適用する方法について研究した。

研究成果の一例として、塩化カルシウム添加量0、5、10wt%、温度800℃と900℃で行った塩化揮発実験の結果をPbとNiの灰中の残存率について図-7に示す。Pbは、塩化揮発法で最も分離し易い金属であった。また、Cdについても効果的に分離できることが分かった。

た。

リンに関しては、塩化揮発法での揮発は確認されず、下水灰から重金属のみを揮発させた安全なリン肥料の迅速な製造の可能性が示された。

2) 酸抽出・精製法

〔岩手大学 伊藤歩、石川奈緒、海田輝之〕

下水灰に対して、pH2以下の硫酸溶液による元素溶出を行い、溶出液から金属、中でも肥料成分の支障となるアルミニウムを分離するためのイオン交換膜とチタン・白金電極を用いた電気透析実験を行い、良好な結果を得ることができた。結果を図-8に示す。

3) 分別焼成法〔(公財)日本下水道新技術機構〕

下水灰を肥料原料、または肥料として早期に実用化する技術・方法として、下水処理場において図-9に示すとおり余剰活性污泥のみを分別焼成させ、高品質

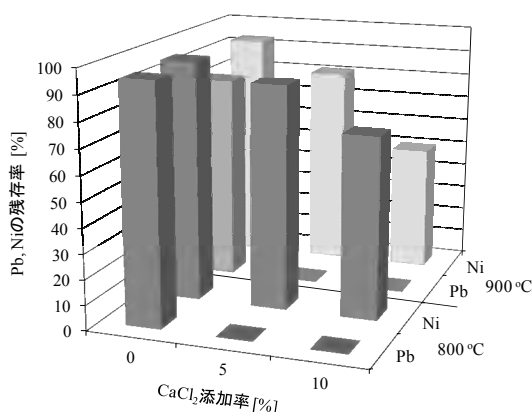


図-7 Pb と Ni に関する塩化揮発実験結果

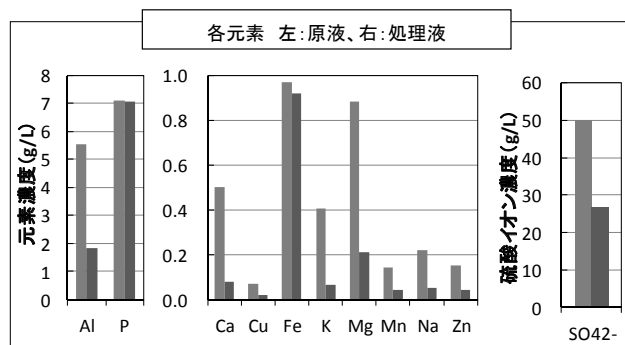


図-8 電気透析実験結果

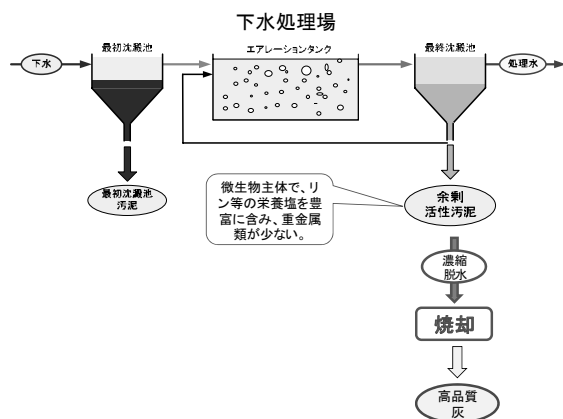


図-9 余剰活性汚泥のみを選択的に分別燃焼する方法

灰を得る方法を検討した。余剰活性汚泥の品質の良さは既知のことであり、分別燃焼法は、早期の実用化が可能と思われる。実際の処理場においては、最初沈澱汚泥のみを選択的に燃焼させる炉から得られる灰はリン含有率が低く、セメント原料として高品質の灰となる。

4) 安全性・実用化研究

日本肥料アンモニア協会〔成田義貞、用山徳美〕は、

電気透析回収リン酸
519.7 g-有姿
↓
常温
攪拌1時 ← 25%安水中和
PH 9.8 28 g-25%安水
温度15℃→25℃ (理論量の3倍量添加)
↓
冷却後、バットに移し
恒温乾燥機にて乾燥
45℃×数日間 4 日間
↓
乾燥粉 平成25年4月2日
17.8 g



図-10 回収リン酸液からリン安肥料の試作

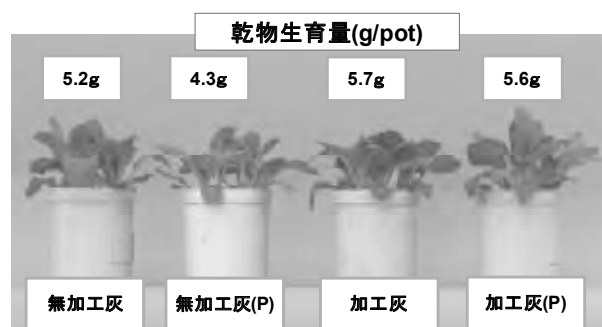


図-11 塩化揮発加工と無加工灰の幼植物試験

酸抽出・精製法からのリン酸液からリン安肥料の試作を行い良好な成績を得る(図-10)とともに、塩化揮発法で処理した灰について東京農業大学〔後藤逸男、吉田綾子〕は幼植物試験(図-11)で、(独)農業環境技術研究所〔川崎晃〕は含有カドミウムの安全性試験(図-12)で評価した。また、(独)土木研究所〔津森ジュン、井上研一郎 他〕は下水灰中金属の熱特性等を調べる(図-13)とともに、月島機械(株)〔村澤崇、片山学〕と神鋼環境ソリューション〔長谷川進 他〕は、塩化揮発法と酸抽出精製法の実用プロセス化について研究、評価した。

3. 下水処理の省・創エネルギー化技術

3.1 活性汚泥法等の省エネルギー化技術

我が国のエネルギー需給は年を追うごとに逼迫感を増してきている。このような中、大量の電力を消費している下水道においても有効な対策が求められる。これまで、水処理においてはエネルギー消費が大きいにも拘わらず、十分にまとめられた技術資料が得られていない。このために、全国に整備されてきた下水処理場の水処理施設を対象に、そこの省エネルギー化を図る有効な手法、技術について民間9社と共同研究を行い、成果を技術資料²⁾にとりまとめた。

解析、とりまとめの結果の一例を表-1と図-14に示す。

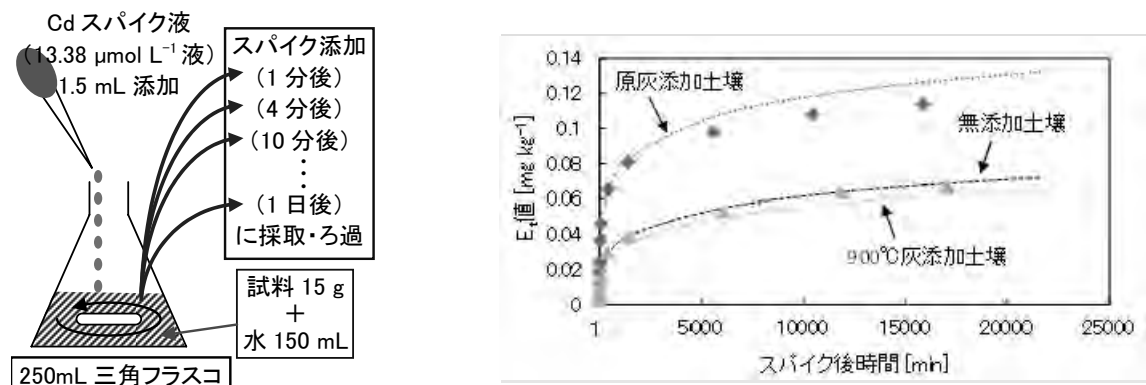


図 -12 灰中カドミウムの安定同位体希釈法による土壌中の可給性評価試験

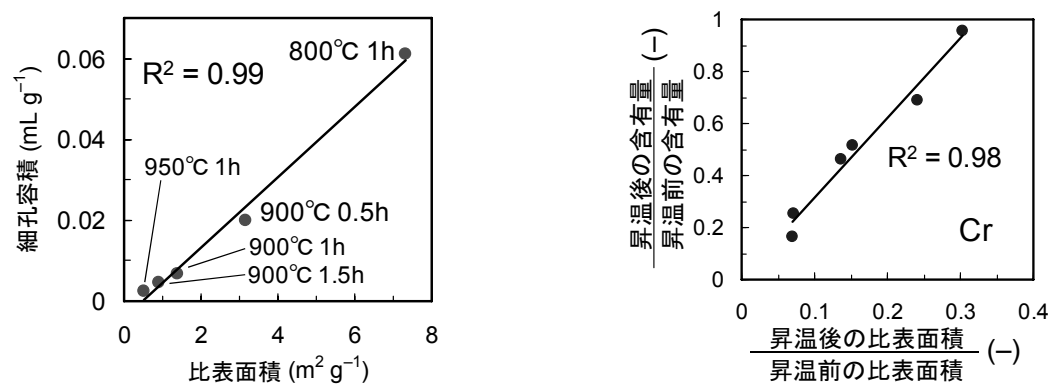


図 -13 下水灰中金属類の熱特性試験結果

表 -1 組み合わせ効果の試算結果（一例）

| 項目 | ケース | 単位 | 従来型① | 従来型② | 省エネ型③ |
|--|-----|--------|---------|---------|---------|
| 処理規模（日最大） | | m³/ 日 | 40,000 | 40,000 | 40,000 |
| 散気装置 | | — | 散気板 | 散気板 | メンブレン式 |
| 送風機 | | — | 多段ターボ | 多段ターボ | 磁気浮上式 |
| 送風量制御 | | — | 風量一定 | DO 一定 | アンモニア制御 |
| 必要送風量 | | Nm³/ 日 | 356,000 | 231,000 | 105,000 |
| 送風量削減割合 | | % | 71 | 55 | — |
| 消費電力量 | | kWh/ 日 | 7,808 | 5,886 | 2,417 |
| 電力削減割合 ※ 1 : (① - ③) / ① × 100 ※ 2 : (② - ③) / ② × 100 | | % | 69 ※ 1 | 59 ※ 2 | — |

3.2 バイナリー発電

汚泥処理プロセスからの排熱利用は、汚泥の加温や乾燥、温水熱供給等に一部が利用されているものの、焼却炉からのエネルギー回収は殆ど行われていない。このため、下水汚泥焼却施設における未利用の低品位の排熱を利用した排熱発電法の導入効果について民間1社と共同研究を行った。成果を技術マニュアル³⁾にまとめた。図-15 にシステムの概要を示す。

3.3 補助燃料ゼロを目指した脱水・焼却システム

本研究は、岐阜市と民間2社との共同研究である。岐阜市は、灰からリン酸カルシウムを生産する技術を実用化しているが、そのプロセスの中に熱を必要とする工程があり、そこに燃焼排熱を供給することと、温室効果ガス排出抑制ならびに高騰している燃料の削減を目的に〔低含水率脱水機〕、〔搬送・計測装置〕および〔高温燃焼炉〕からなるプロセス構築を目指した実験、研究を行い、目的を達成することができた。研究

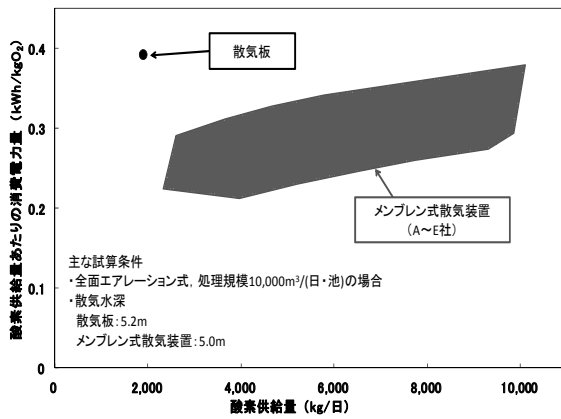


図-14 散気装置毎の酸素供給量と酸素供給量あたりの消費電力量の関係

の成果は技術資料⁴⁾にまとめた。図-16に自燃焼却システムのフローを示す。

3.4 建設技術審査証明技術

当機構は、下水道に係る建設技術審査証明事業を行い、平成 25 年度の審査証明技術の中には省エネルギー

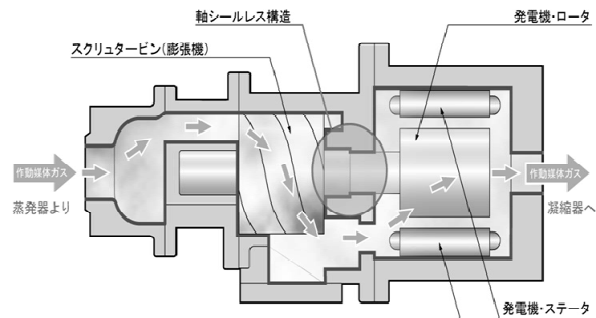
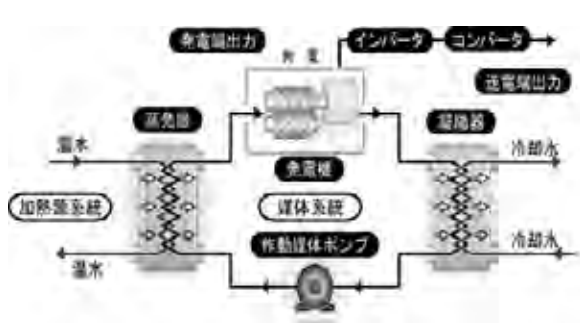


図-15 バイナリー発電機の構成と半密閉スクリュータビン方式発電機の構造

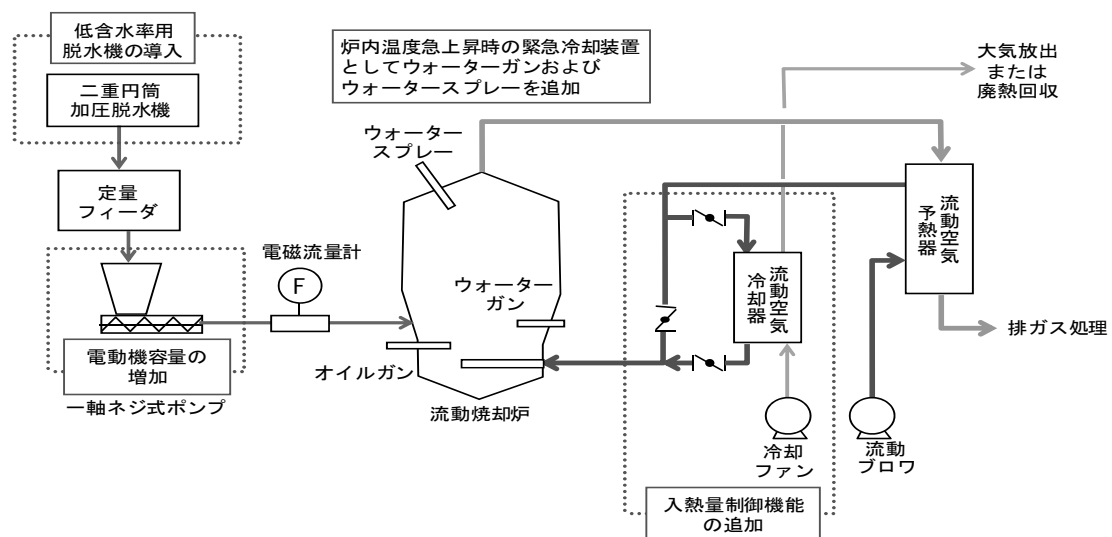


図-16 自燃焼却システムのフロー

に繋がる技術も含まれていた。これらの技術の詳細は、“建設技術審査証明（下水道技術）報告書、「・・・＜技術名称＞・・・」、2014年3月、公益財団法人日本下水道新技術機構”に見ることができる。

(1) 省エネルギーが図れる下水処理技術

技術審査証明に際して、省エネルギーに寄与できる性能を認められた技術を図-17に示す。

これらは3つの分野技術からなり、攪拌装置の「AquaDDM」と「ウィードレス V」、送風機の「K ターボグロウ」、散気装置の「ニューエアー」、「K メンブレン」、「ポーラスプレート」および「エアロウィング II」であった。

(2) その他の下水処理技術

直接的に省エネルギーを目的としていなくとも、下水の処理における性能の高度化や効率化に寄与する技術が開発されている。

〔浮上型チェーンフライト式汚泥かき寄せ機〕：フライトに取り付けたフロートの浮力により本体チェーンを緊張させている 2 軸の樹脂製チェーンフライト式汚泥かき寄せ機

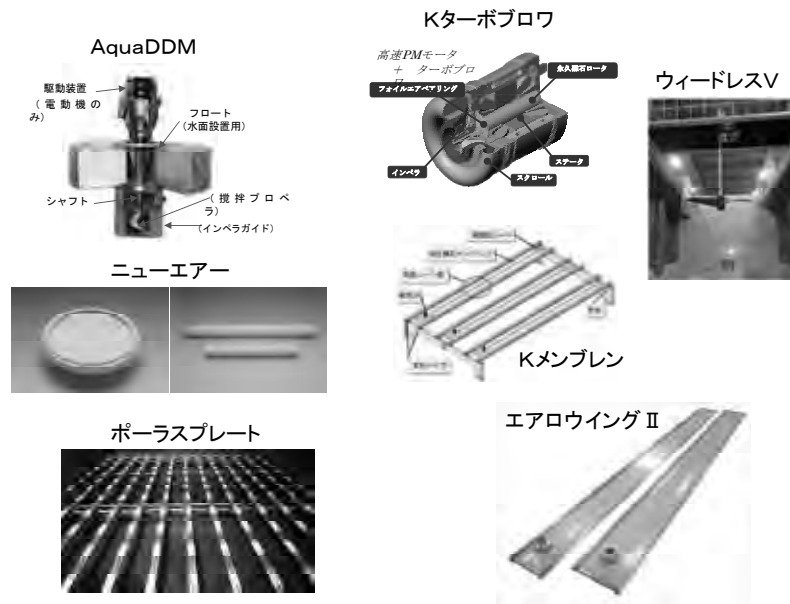


図-17 省エネルギー化が図れる下水処理用技術

〔ロータリーフィン汚泥掻寄機〕：従来の中央駆動型汚泥かき寄せ機に加え、円筒型の「回転羽根」および「二重円筒板」などの特徴的機能部品から構成される

〔3D 汚泥破碎装置〕：浮遊物質濃度 2～4% 程度の遠心濃縮余剰汚泥を、pH 調整槽にて苛性ソーダを注入・攪拌し、pH 値を 10～11 に調整後、3D ディスク内を通過させることによって、浮遊物質濃度を 30 % 以上減少させる装置

〔i-Ash〕：重金属類を溶出する下水汚泥焼却灰に、薬剤を添加・混合することにより、有害重金属を常温で不溶化することで、建設資材として利用するもの

〔エゼクタ式 2 段階揚砂装置〕：エゼクタによる真空吸引でいったん沈砂をレシーバタンク内に貯め、次に加圧水ポンプの圧力でホッパーまで圧送する 2 段階移送を行う装置

〔ディスク式高分子凝集剤急速連続溶解装置〕：固定ディスクと回転ディスクを使用した溶解機により、粉体高分子凝集剤を瞬時かつ連続的に溶解し、急速かつ安定的に溶解液を供給する装置

〔マルチメッシュスクリーン〕：細目自動除塵機では除去できない微細きょう雑物を除去対象とした、ろ面循環式微細目スクリーン

〔EKO フィルター〕：ハニカム（蜂の巣）構造の基材に高性能触媒を添着し、臭気成分と触媒とを高効率で接触させることが可能な脱臭フィルター

また、これら以外に当機構の管理者参加型共同研究制度により 1 自治体と民間 2 社で実施した標準活性汚泥法からの余剰汚泥削減技術⁵⁾もある。

4. むすび

資源に乏しい我が国は省資源、省エネルギーが従前からの大きな命題となっており、我々はさらなる取組みの強化を図っていく必要がある。下水汚泥はこの命題に答える大きな可能性を有している。技術を開発する側、技術を採用・実用化する側の関係者にお願いすることはライフサイクルアセスメントとライフサイクルコストに留意していただき、是非、LCA ≒ LCC の関係が成り立つ技術を採用して行っていただきたい。

当機構はこれからも関係機関、各位と協同して技術開発と普及に取り組んでいく所存です。ご支援とご協力をお願いします。

【参考文献】

- 1) 「下水灰の肥料用原料化技術の開発研究 (F.Y 2011～2013) 報告書」, 2014 年 3 月, (公財) 日本下水道新技術機構 他 8 機関
- 2) 「活性汚泥法等の省エネルギー化技術に関する技術資料」, 2014 年 3 月, (公財) 日本下水道新技術機構
- 3) 「下水処理場における小型バイナリー発電の導入マニュアル」, 2014 年 3 月, (公財) 日本下水道新技術機構
- 4) 「下水汚泥自燃焼却システム技術資料」, 2014 年 3 月, (公財) 日本下水道新技術機構
- 5) 「酸化剤を用いた余剰汚泥削減技術 (標準活性汚泥法) マニュアル」, 2013 年 12 月, (公財) 日本下水道新技術機構

特集：第 27 回下水汚泥の有効利用に関するセミナー特集（佐賀市）

研究紹介

平成 25 年度下水汚泥由来肥料の
窒素肥効試験について

日本土壌協会

専門職 井上 恒久

キーワード：下水汚泥肥料、窒素画分、野菜収量、食味

これまでの経緯

従来より、日本土壌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。

◎圃場試験に供試した有機質肥料

下水汚泥類由来肥料などの有機質肥料の窒素含有率

は、主原料や副資材の種類、混合割合、製造方法などによって異なる。圃場試験に供試した有機質肥料について、表 1 に原料と混合割合など例を示す。また表 2 に三要素含有率と C/N 比の例を示す。

表 1 圃場試験に供試した有機質肥料の例

| 略 称 | | 原料別にみた有機質肥料のグループ名 | 主要原材料(現物容積比率) |
|------------------|-------|-------------------|--|
| 汚 泥 由 来 | 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%) |
| | 結 城 | し尿汚泥コンポスト | し尿汚泥(67%)、食品汚泥(19%)、コーヒ粕(9%)、ゼオライト(5%) |
| | 須 賀 川 | 融合コンポスト | 下水汚泥(20%)、食品汚泥(50%)、食品残渣(20%)、たばこ葉粕(10%) |
| | 珠 洲 | 乾燥汚泥肥料 | 下水汚泥(49%)、浄化槽・集排汚泥(28%)、し尿(21%)、生ごみ(2%) |
| | 石和汚泥 | し尿汚泥コンポスト作品 | し尿・浄化槽汚泥(50%)、剪定枝(50%) |
| | 境 川 | 乾燥汚泥肥料 | 石灰系脱水汚泥をペレット化 |
| | 刈 谷 1 | 境川のコンポスト作品 | 境川(50%)、もみがら(50%) |
| | 刈 谷 7 | 〃 | 境川(66%)、おがくず(33%) |
| そ の 他 | 芳 賀 | 生ごみ堆肥 | 生ごみ(25%)、牛ふん(25%)、おがくず・もみがら(50%) |
| | 大 玉 | 生ごみ堆肥 | 生ごみ(28%)、牛ふん・おがくず・もみがら(72%) |
| | 朝 日 | 生ごみ堆肥 | 野菜チップ(50%)、剪定枝・刈り草チップ(40%)、米糠・竹酢液(10%) |
| | 石和生ごみ | 生ごみ堆肥試作品 | 生ごみ(50%)、剪定枝(50%) |
| | 創 和 | 牛ふん堆肥 | 牛ふん(40%)、おがくず(60%) |
| | 静 岡 | パーク堆肥 | パーク(80%)、コーヒ粕(20%)、鶏ふん・尿素(少量) |

表 2 供試有機質肥料の三要素含有率と C/N 比

| 有機質肥料 | 現物当たり% | | | 水分率 % | C/N比 |
|-------|--------|------|------|-------|------|
| | 窒素 | リン酸 | カリ | | |
| 甲府④ | 1.76 | 1.82 | 0.44 | 48.7 | 4.5 |
| 大玉② | 1.20 | 1.40 | 1.10 | 47.4 | 8.9 |
| 結城 | 2.05 | 4.78 | 1.07 | 38.2 | 8.7 |
| 須賀川 | 3.01 | 2.92 | 2.69 | 44.0 | 9.7 |
| 珠洲 | 4.75 | 4.08 | 0.67 | 36.6 | 4.2 |
| 芳賀① | 1.40 | 1.70 | 2.20 | 32.5 | 15.0 |
| 芳賀② | 1.70 | 1.05 | 2.51 | 56.1 | 11.7 |
| 静岡① | 0.64 | 0.33 | 0.20 | 65.3 | 20.0 |
| 静岡② | 0.67 | 0.44 | 0.45 | 67.9 | 15.8 |
| 創和 | 0.87 | 1.02 | 1.90 | 51.6 | 18.1 |
| 境川 | 2.30 | 1.60 | 0.50 | 23.9 | 10.0 |
| 刈谷1 | 1.05 | 1.66 | 0.12 | 48.7 | 12.3 |
| 刈谷7 | 1.34 | 2.62 | 0.07 | 40.3 | 9.0 |
| 石和生ごみ | 1.40 | 0.44 | 0.63 | 58.3 | 11.0 |
| 石和汚泥 | 1.10 | 0.81 | 0.21 | 67.6 | 10.0 |
| 朝日 | 1.40 | 0.60 | 1.10 | 52.7 | 16.5 |

□ C/N 比 ≥ 10

◎供試有機質肥料による野菜可食部の収量の違い

肥料成分のなかで窒素は作物の収量に最も大きく影響を及ぼす成分であり、作物の種類によって窒素の吸収特性があるため、その特性に応じて肥料から窒素が供給されることが望ましい。

そこで我々は、圃場で作物の栽培試験を行う際に、有機質肥料の窒素施用量を同一量として栽培した。その結果、窒素施用量を一定に揃えて栽培しても、作物の収量は有機質肥料によって大きく異なることが多く(表 3)、有機質肥料の肥効には大きな隔たりのあることが推定された。

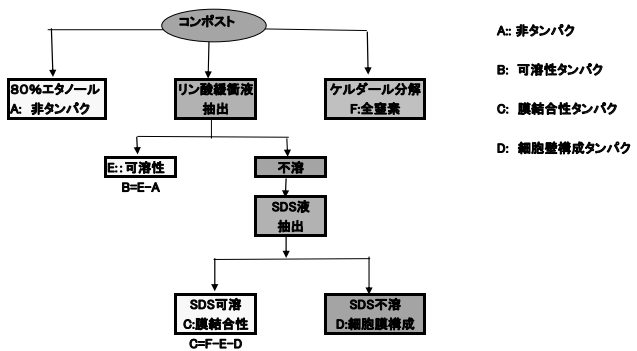
表 3 野菜可食部の収量指数 (単肥区を 100)

汚泥由来 収量1位 収量2位

| 年次 | H21 | | H22 | | | H23 | | | H24 | | | | | | H25 | |
|------------|------------------|------------------|---------------------------|------------------|---------------------------|---------------------------|------------------|------------|------------------|-------------|---------------------------|-------------|-------------|---------------------------|--------------|-----------------------|
| 作 物 | フ ダ ン 草 | ハ ク サ イ | コ マ ツ ナ | ナ ガ ネ ギ | カ ボ チ ヤ | ホ ウ レン 草 | キ ヤ ベ ツ | ダイ コン | タ マ ネ ギ | ダイ コン | コー ン | ゴ ボ ウ | ニン ジン | コ マ ツ ナ ① | ナ ス | ブ ロ ッ コ リ |
| N施用量kg/10a | 20 | 20 | 20 | 20 | 10 | 25 | 20 | 20 | 15 | 15 | 17 | 20 | 20 | 20 | 25 | 15 |
| 資材からのN | 10 | 10 | 20 | 30 | 10 | 12.5 | 10 | 10 | 12.5 | 15 | 17 | 20 | 20 | 20 | 25 | 15 |
| 単肥の 収量 | 210 g/株 | 2.05 kg/株 | 6.25 kg/m ² | 100 g/株 | 8408 g/4m ² | 6.31 kg/m ² | 2.12 kg/株 | 865 g/株 | 120 g/個 | 1222 g/個 | 0.86 kg/m ² | 164 g/本 | 35.8 g/本 | 6.12 kg/m ² | 3.29 kg/株 | 344 g/個 |
| 甲 府 | 94 | 108 | 66 | 128 | 91 | 88 | 91 | 113 | 94 | 108 | 151 | 119 | 206 | 80 | 86 | |
| 結 城 | | | | | | 81 | 71 | 104 | 89 | | 108 | | | | 103 | 78 |
| 須 賀 川 | | | 79 | 106 | 135 | 72 | 84 | 101 | 86 | 73 | 110 | 66 | 95 | 45 | | |
| 雄 武 | | | 60 | 103 | 127 | | 76 | 114 | | | | | | | | |
| 刈 谷 1 | | | | | | | | 76 | | | | 69 | | | | |
| 珠 洲 | 65 | 103 | 52 | 104 | 177 | 86 | 82 | 116 | 91 | 87 | 133 | 109 | 210 | 69 | 92 | 93 |
| 芳 賀 | | | | | | 82 | 80 | 107 | 69 | 76 | 108 | 82 | 196 | 64 | 93 | 53 |
| 大 玉 | 44 | 97 | | | | | | | | 96 | | 127 | | | | |
| 静 岡 | 38 | 90 | 37 | 86 | 124 | 89 | 83 | 112 | 64 | 89 | 105 | 100 | 173 | 51 | 89 | 48 |
| 創 和 | | | | | | 74 | 66 | 101 | 82 | | 105 | 127 | 159 | 63 | | 80 |
| 山 形 | 78 | 90 | | | | | | | | | | | | | | 81 |
| 内 灘 | 75 | 100 | | | | | | | | | | | | | | |
| ニ セ コ | 53 | 89 | | | | | | | | | | | | | | |
| 備 考 | | | | | | | | | マルチ | | | | | | マルチ | |

◎供試有機質肥料の窒素形態の違い

有機質肥料の肥効の違いを推定するために、「植物体の窒素化合物の分画法」を用いて有機質肥料の窒素形態を分析した。図 1 に示すようにエタノール、リン酸緩衝液、SDS (ラウリル硫酸ナトリウム) 溶液によって窒素化合物を A,B,C,D の 4 画分に分ける方法である。A,B の肥効を速効性～やや即効性、C を緩効性、D を遅効性ないし難分解性とみなすことが可能である。



(植物栄養実験法、p. 204～217、博友社に準拠)

図 1 植物体窒素化合物の分画法

この分画法に準拠して供試有機質肥料の窒素形態を分析した結果を図 2 に示す。甲府、芳賀は速効性ないしやや即効性の A + B 画分が比較的多く、一方静岡、創和は難分解性の D 画分が多い。

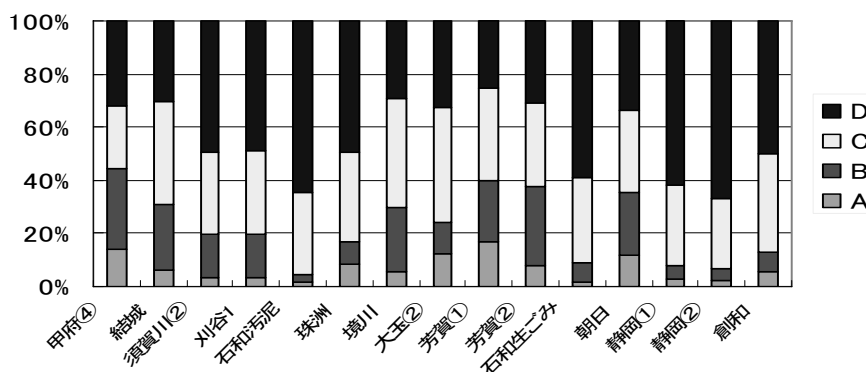


図 2 供試有機質肥料の窒素形態

◎野菜可食収量と有機質肥料の窒素形態との関係

24 年度までに行った試験において、表 3 の野菜可食部の収量と図 2 の有機質肥料の窒素形態との間で相関関係が認められたケースの例を以下に示す。

コマツナ、フダンソウ、ハウレンソウ、春ダイコンなど生育期間が 1～3 ヶ月と短い作物の収量は A あるいは A + B 画分と正の相関がみられた（図 3-1、図 3-2）。これら生育期間の短い野菜には速効性窒素の化学肥料が効果的であり、有機質肥料では A 画分が多いほど好適であろう。

タマネギ、スイートコーン、ゴボウ、ニンジンなど生育期間が 3 ヶ月以上とやや長い作物では、

可食部収量と有機質肥料の窒素画分との関係は判然とせず、C/N 比と負の相関関係がみられた（図 4-1、図 4-2）。

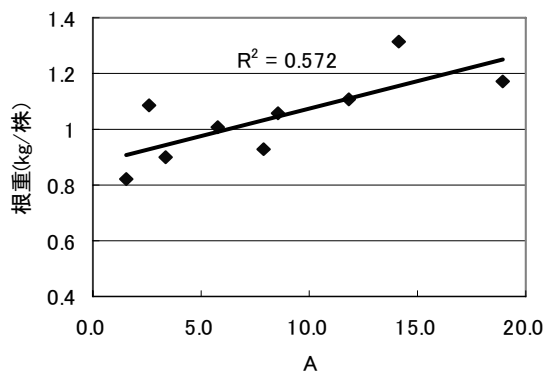


図 3-1 ダイコン収量と窒素画分の関係

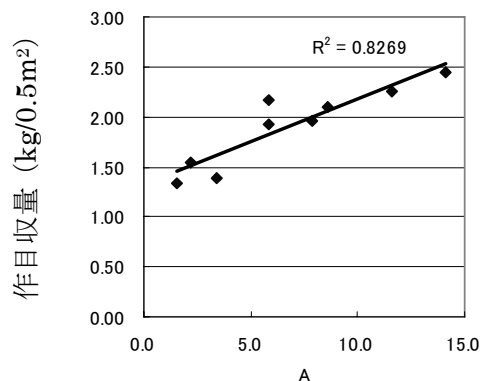


図 3-2 コマツナ①作目収量 (kg/m²) と窒素形態の関係

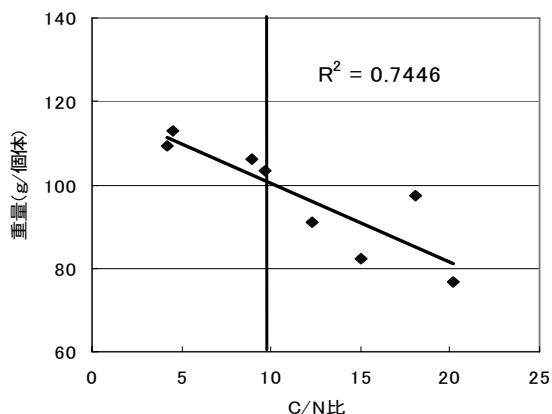


図 4-1 タマネギ球平均重と C/N 比

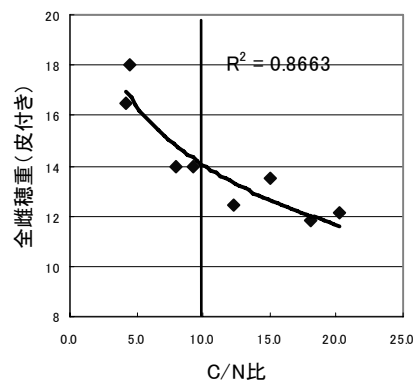


図 4-2 コーン収量と C/N 比

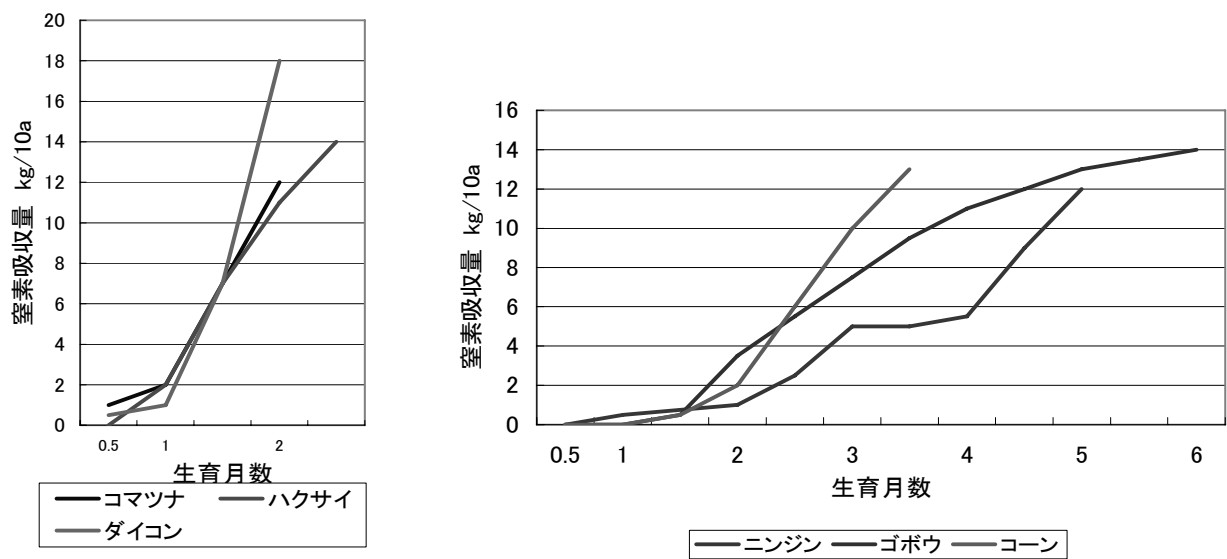


図 5 野菜の窒素吸収パターン（野菜の施肥と栽培、農文協より引用）

スイートコーン、ゴボウ、ニンジンの生育期間での窒素吸収パターンを、コマツナ、ハクサイ、ダイコンの場合と対比して図5に示す。スイートコーンなどは、植え付けてから1.5～2ヶ月後に、ようやく窒素吸収が始まるタイムラグがある。有機質肥料の速効性窒素は、施用後1ヶ月以内で硝酸態窒素に変化するので、露地では窒素吸収にタイムラグのある作物には吸収されずに、降雨により溶脱すると推定された。スイートコーン、ゴボウ、ニンジンなどは、有機質肥料の窒素を微生物がA画分やB画分にまで分解することによって、始めて肥料の窒素を利用できると考えられる。このため微生物による分解が容易なC/N比の低い有機質肥料ほど、分解された窒素を作物が利用して収量が

増加したと推定される。
以上、これまで実施した栽培試験により、野菜可食部の収量と有機質肥料の窒素形態との間で認められた相関関係を野菜品目、生育期間別に整理して表4にまとめた。

表 4 野菜可食部収量に関する有機質肥料の窒素形態

| 生育期間 | | 1～2ヶ月 | 2～3ヶ月 | 3～4ヶ月 | 4～5ヶ月 | 5～6ヶ月 | 6ヶ月以上 | 窒素吸収のタイムラグ |
|------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|
| 野菜品目 | | | | | | | | |
| 葉菜類 | コマツナ | A | | | | | | |
| | ホウレンソウ | A+B | | | | | | |
| | フダンソウ | | A+B | | | | | |
| | ハクサイ | | | A+B+C | | | | |
| 根菜類 | タマネギ | | | | | | C/N比 | 6ヶ月 |
| | ダイコン | A,A+B | | | | | | |
| | ニンジン | | | | | C/N比 | | 2ヶ月 |
| | ゴボウ | | | | | | C/N比 | 2ヶ月 |
| 果菜類 | カボチャ | | | | C | | | 1ヶ月 |
| | コーン | | | C/N比 | | | | 1.5ヶ月 |

表 5 供試有機質肥料

| 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 堆積醗酵(二次) 60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%) 箱型堆積醗酵(一次) 30日 箱型堆積醗酵(二次) 60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 | 生ごみコンポスト | 生ごみ(25%)、牛ふん(25%) おがくず・もみから(50%) スクープ式醗酵(一次) 30日 堆積醗酵(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)、尿素(少量) 堆積醗酵(一次) 野積み 1.5年 堆積醗酵(二次) 野積み 0.5年 |
| 創和 | 牛ふん堆肥 | 牛ふん(40%)、おがくず(60%) 堆積醗酵(一次) 45日 堆積醗酵(二次) 60日 |
| 山形 | 下水汚泥コンポスト | 石灰系下水消化汚泥、種汚泥 堆積醗酵、床通気、20～27日 |

表 6 有機質肥料の三要素含有率・水分率・C/N 比

| 有機質肥料 | 現物当たり% | | | 水分率 % | C/N比 |
|-------|--------|------|------|----------|------|
| | 窒素 | リン酸 | カリ | | |
| 甲府⑤ | 1.53 | 0.40 | 0.74 | 52.2 | 10.1 |
| 結城 | 2.05 | 4.78 | 1.07 | 38.2 | 8.7 |
| 結城② | 3.11 | 3.47 | 1.21 | 21.6 | 6.8 |
| 珠洲 | 4.75 | 4.08 | 0.67 | 36.6 | 4.2 |
| 山形 | 1.86 | 5.10 | 0.14 | 23.6 | 6.9 |
| 芳賀② | 1.70 | 1.05 | 2.51 | 56.1 | 11.7 |
| 芳賀③ | 1.78 | 1.62 | 1.99 | 31.1 | 13.9 |
| 静岡② | 0.67 | 0.44 | 0.45 | 67.9 | 15.8 |
| 静岡③ | 0.81 | 0.42 | 0.29 | 67.1 | 18.5 |
| 創和 | 0.87 | 1.02 | 1.90 | 51.6 | 18.1 |
| 創和② | 1.89 | 3.27 | 3.74 | 28.5 | 14.9 |

表 7 有機質肥料の窒素形態画分

| 有機質肥料 | 非蛋白 A | 可溶性 B | 膜結合性 C | 細胞壁 D |
|-------|----------|----------|-----------|----------|
| 甲府⑤ | 23.8 | 27.0 | 32.5 | 16.6 |
| 結城 | 6.3 | 24.4 | 39.0 | 30.3 |
| 結城② | 12.5 | 20.8 | 28.7 | 38.0 |
| 珠洲 | 8.6 | 8.0 | 34.1 | 49.3 |
| 山形 | 15.4 | 10.8 | 32.9 | 40.9 |
| 芳賀② | 7.9 | 30.0 | 31.1 | 31.0 |
| 芳賀③ | 6.4 | 30.0 | 43.4 | 20.2 |
| 静岡② | 2.2 | 4.4 | 26.8 | 66.6 |
| 静岡③ | 1.1 | 7.6 | 45.3 | 46.0 |
| 創和 | 5.8 | 7.3 | 37.0 | 49.9 |
| 創和② | 4.2 | 15.2 | 45.9 | 34.8 |

平成 25 年度の窒素肥効試験

平成 25 年度は、ナス、ズッキーニ、ブロッコリーについて、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などを検討した。

I. 試験方法

1、試験地・土壌

試験地は千葉県白井市の下総台地上の富塚及び前原の 2 地点で、(一財)日本土壌協会が借用している圃場である。両地点の土壌はともに透水性と通気性がやや良好で、中粒質の淡色黒ボク土に分類される。

2、供試有機質肥料

供試有機質肥料の特徴を表 5 に示す。

有機質肥料の三要素含有率、水分率及び C/N 比を表 6 に示す。下水汚泥コンポストの甲府は窒素とリン酸に比べてカリが著しく低い。し尿汚泥コンポストの結城はリン酸が極めて高い。乾燥汚泥肥料の珠洲は窒素とリン酸が極めて高くカリが低い。パーク堆肥の静岡の含有率はいずれも低い。牛ふん堆肥の創和は窒素とリン酸が低く、カリが高い。C/N 比は主原料が汚泥の肥料で低めであり、特に珠洲が 4.2 と低い。一方、静岡③、創和は 18 と高い。

有機質肥料の窒素形態画分を表 7 に示す。速効性の A + B 画分は甲府⑤が最も多く、次いで芳賀、結城、山形と続く。一方、静岡は極めて少ない。緩効性の C 画分は 26.8% から 45.9% の範囲にあるが、同じ有機質肥料でもばらつきが大きい。難分解性の D 画分は最も少ないのが甲府⑤の 17% で、最も多いのが静岡②の 66.6% であるが、同じ有機質肥料でもばらつきが大きい。

II、作物別施用試験

ナス、ズッキーニ、ブロッコリーの圃場試験の作付期間、用いた有機質肥料を表 8 に示す。

表 8 圃場試験の内訳

| 作物 | 試験地 | 作付期間 | 有機質肥料 | 前作物 |
|--------|-----|------------|---------------------------|----------------|
| ナス | 前原 | 5/14～10/3 | 甲府⑤、結城、創和 珠洲、芳賀②、静岡② | ニンジン |
| ズッキーニ | 前原 | 5/21～8/20 | 甲府⑤、結城②、創和② 珠洲、芳賀③、静岡③ | ゴボウ |
| ブロッコリー | 富塚 | 9/11～12/13 | 山形、結城② 創和② 珠洲、芳賀③、静岡③ | サイトウ (地ならし) |

1、ナス

1) 試験区の構成と耕種概要

前原圃場において、試験区の構成は、汚泥由来の肥料は甲府⑤、結城、珠洲の3つの区、生ごみ堆肥は芳賀②、バーク堆肥の静岡②、牛ふん堆肥の創和の計6区に単肥区（硫安、過石、硫加）を加えた全7区を設けた。

1区画の面積は2.5m × 2mの2畝とし、2連で行った。

5月14日に有機質肥料および化学肥料を畝幅1mの中央30cm幅に作条施用して、畝ごとシルバーマルチで被覆後、株間50cmに購入苗を定植した。品種は千両2号である。各試験区における三要素の施用量は25-25-25 (kg/10a)として、有機質肥料の各区では窒素の全量を有機質肥料で充当し、リン酸とカリの不足量を過石と硫加で補った。リン酸とカリの余剰分については調整を行っていない。

栽培期間中は、5月下旬～6月上旬、7月上・中旬及び8月上・中旬に雨量が寡少であったが、それらの生育への影響はほとんど確認されなかった。これにはマルチ被覆による土壌水分保持の効果が考えられた。

(2) 収量調査結果

果実の収穫開始は6月11日、ほぼ1週ごとに果実の採取を行い、収穫終了は10月3日であった。区画ごとのナスの収量（株当りの重量累計平均値）を図6に示す。

ナスの生育適温は22～30℃といわれているが、株

当りの重量累計の推移をみると、着果は6月中旬から各区ほぼ一斉に始まり、7月に入って平均気温が22℃以上に達した時点で増大し、また、試験区間の差異が目立つようになった。10月3日の調査終了時では結城が3.38kgと最も高く、次いで単肥、芳賀②、珠洲と続き、一方、静岡が2.75kgと最も低かった。単肥区ではマルチ被覆によって窒素成分の下方への流亡が抑制された効果があったと推定される。

有機質肥料区における調査終了時の株当たり重量累計平均値と窒素形態との関係では、重量累計平均値は図7に示すように、窒素形態画分のC画分（膜結合性タンパク）と正の相関がみられた。C/N比との関係では図8に示すように相関性が低かった。

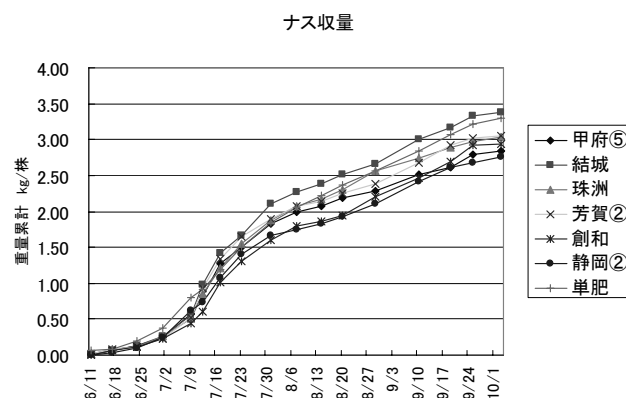


図 6 ナスの株当たり重量累計値

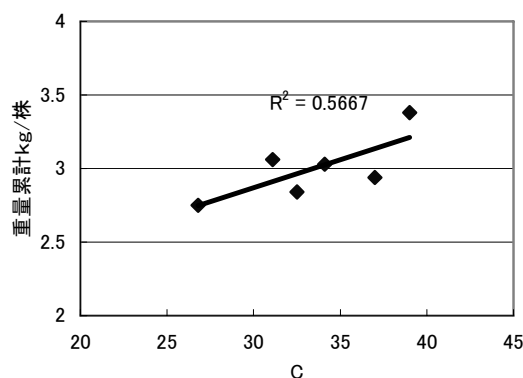


図 7 ナス重量累計値と C 画分との関係

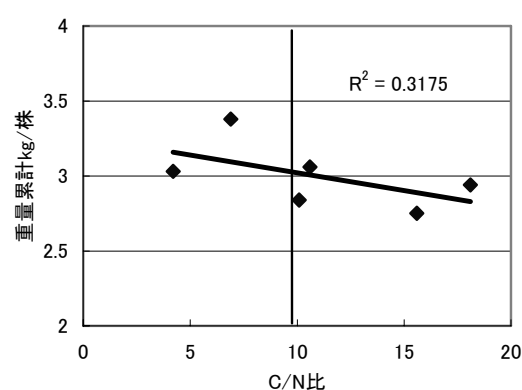


図 8 ナス重量累計値と C/N 比との関係

2、ズッキーニ

1) 試験区の構成と耕種概要

試験区は、汚泥由来肥料は甲府⑤、結城②、珠洲の3つの区、生ごみ堆肥は芳賀③、パーク堆肥は静岡③、牛ふん堆肥は創和②の計6区に単肥区（硫安、過石、硫加）を加えた全7区を前原圃場に設けた。1区画の面積は2m×2mで、2連で行った。

5月14日に有機質肥料および化学肥料を畝幅1mに全層施肥して、区画ごと自家育成の苗6株を株間60cmに定植した。各試験区における三要素の施肥量は20-20-20 (kg/10a)とし、有機質肥料施用の各区では、窒素の全量を有機質肥料から充当し、リン酸とカリの不足量を過石と硫加で補った。リン酸とカリの余剰分については調整を行っていない。

苗の周囲には稲わらを敷いた。しかし5月下旬から6月上旬、7月上・中旬及び8月上・中旬には雨量が寡少で、稲わら被覆により蒸発散防止を図ったが、水分不足気味とみられた。

2) 収量調査結果

ズッキーニ果実の収穫は7月1日に開始し、7月31日に終了した。

株あたりの果実の収量は、各区とも7月上旬に大きく増加したがそれ以降は単肥区を除いて伸びが小さかった（図9）。

試験区平均でみると、最終の株当たり重量累計は単肥区が最大の2.07kg、創和②区が最小の0.34kgで6倍の開きがあった。しかし同じ区の中でも、生育状況が大きく異なっていたため、前作ゴボウの収量との関係を調べると、ゴボウの収量が低かった区でズッキーニの収量も低かった。

前作ゴボウの収量が低かった須賀川、境川、刈谷7

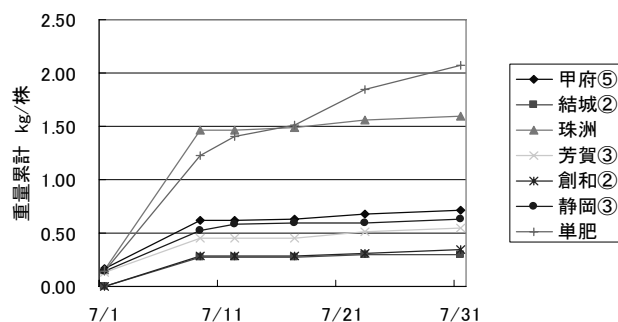


図9 ズッキーニの株当たり重量累計平均値

の有機質肥料は、いずれも腐熟度が不十分なものであった。このためゴボウに吸収されなかった未熟な堆肥が翌年春にも残存し、これに敏感なズッキーニの生育が妨げられたと考えられる。

単肥区の収量が有機質肥料の各区に比べて際立って高かったことから、ズッキーニは生育期間が短く速効性の窒素肥料の要求度が高い作物であると考えられるので、有機質肥料を用いて栽培する場合には、窒素形態画分がAないしBに富む、十分に腐熟したものを選ぶ必要がある。

3、ブロッコリー

1) 試験区の構成と耕種概要

試験区は、汚泥由来のものは山形、結城②、珠洲の3つの区、生ごみ堆肥は芳賀③、パーク堆肥は静岡③、牛ふん堆肥の創和②の計6区に、単肥区（硫安、過石、硫加）を加えた全7区を富塚圃場に設けた。1区画の面積2m×2m、2連で栽培試験を行った。

9月11日に有機質肥料及び化学肥料を畝幅1mの中央30cm幅に施用し、区画ごと株間60cmで定植し

表9 ブロッコリー花蕾の収量調査結果

| | 山形 | | 創和② | | 珠洲 | | 芳賀③ | | 静岡③ | | 結城② | | 単肥 | |
|----------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|
| | 重量g | 直径cm | 重量g | 直径cm | 重量g | 直径cm | 重量g | 直径cm | 重量g | 直径cm | 重量g | 直径cm | 重量g | 直径cm |
| I block | 450 | 15 | 105 | 8 | 360 | 14 | 205 | 9 | 160 | 7 | 125 | 6 | 220 | 12 |
| | 190 | 10 | 350 | 13 | 350 | 15 | 190 | 8 | 180 | 9 | 240 | 15 | 220 | 11 |
| | 490 | 14 | 315 | 12 | 400 | 13 | 190 | 9 | 200 | 10 | 260 | 12 | 385 | 15 |
| | 310 | 12 | 200 | 11 | 350 | 13 | 170 | 9 | 100 | 6 | 220 | 9 | 365 | 14 |
| | 400 | 15 | 260 | 12 | 265 | 11 | 180 | 8 | 80 | 5 | | | 250 | 13 |
| | 105 | 8 | 340 | 13 | | | 185 | 9 | 90 | 5 | | | 350 | 12 |
| | 220 | 11 | 330 | 14 | | | 195 | 11 | | | | | 315 | 14 |
| | 290 | 12 | 315 | 13 | | | | | | | | | | |
| Sum | 2455 | 97 | 2215 | 96 | 1725 | 66 | 1315 | 63 | 810 | 42 | 845 | 42 | 2165 | 91 |
| Ave | 306.9 | 12.1 | 276.9 | 12.0 | 345.0 | 13.2 | 187.9 | 9.0 | 135.0 | 7.0 | 211.3 | 10.5 | 309.3 | 13.0 |
| II block | 245 | 11 | 320 | 13 | 290 | 13 | 145 | 6 | 330 | 12 | 270 | 13 | 390 | 15 |
| | 270 | 11 | 150 | 8 | 325 | 12 | 140 | 8 | 190 | 10 | 300 | 12 | 470 | 17 |
| | 210 | 10 | 390 | 14 | 275 | 11 | 285 | 12 | 235 | 11 | 410 | 16 | 325 | 13 |
| | 260 | 12 | 180 | 9 | 410 | 14 | 245 | 11 | 130 | 7 | 400 | 15 | 385 | 14 |
| | 210 | 10 | 180 | 9 | 330 | 12 | 240 | 13 | 160 | 8 | 280 | 12 | 295 | 13 |
| | 310 | 12 | 320 | 12 | 185 | 9 | 185 | 9 | 140 | 7 | 330 | 15 | 335 | 14 |
| | | | 360 | 13 | 250 | 11 | 150 | 8 | 160 | 8 | 330 | 13 | 550 | 17 |
| | | | | | 300 | 12 | | | | | 300 | 13 | 280 | 11 |
| Sum | 1505 | 66 | 1900 | 78 | 2365 | 94 | 1390 | 67 | 1345 | 63 | 2620 | 109 | 3030 | 114 |
| Ave | 250.8 | 11.0 | 271.4 | 11.1 | 295.6 | 11.8 | 198.6 | 9.6 | 192.1 | 9.0 | 327.5 | 13.6 | 378.8 | 14.3 |
| 総平均 | 278.9 | 11.6 | 274.2 | 11.6 | 320.3 | 12.5 | 193.2 | 9.3 | 163.6 | 8.0 | 269.4 | 12.1 | 344.0 | 13.6 |

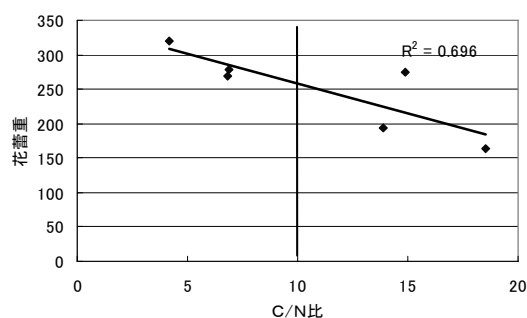


図10 ブロッコリーの株当たり花蕾重とC/N比との関係

た。各試験区における三要素の施用量は全量基肥の15-15-15 (kg/10a) として、有機質肥料の区では窒素の全量を有機質肥料で充当し、リン酸とカリの不足量を過石と硫加で補った。リン酸とカリの余剰分については調整を行っていない。

その後の生育は2度の台風にも被害がなく順調であった。花蕾の収穫は12月13日に行った。

2) 収量調査結果

花蕾の株当たり重量および直径の調査結果を表9に示す。

重量は単肥区が最も高く、次いで珠洲区が高く、以下山形、創和②、結城②が同程度で続き、さらに芳賀③が低く、静岡③区が最も低かった。花蕾の直径は重量の順とほぼ同様であった。

有機質肥料区における株当たり花蕾重量平均値と窒素形態との関係では、重量平均値は図10に示すように、C/N比と負の相関がみられた。

窒素形態画分との関係では、各画分とも特に相関は見られなかった。

Ⅲ 考察

1、野菜可食部収量と窒素形態との関係

25年度に実施した栽培試験のほかに、これまで行った試験も含めて、野菜可食部の収量と窒素形態との相関関係が認められたケースを、野菜品目、生育期間に区分して表10に示す。

ブロッコリーは、スイートコーン、ゴボウ、ニンジンなどと同様に、可食部収量と窒素画分との関係は判然とせず、C/N比と負の相関関係がみられた。これらの作物は先に述べたように、生育期間が3ヶ月以上と長く、生育初期には窒素の吸収が極めて少なくタイムラグのある作物である。ブロッコリーの場合もC/N比の低い有機質肥料ほど、微生物による分解が容易であり、分解した窒素を利用したと推定される。

ナスやカボチャは生育期間がやや長いあるいは長い、生育初期から窒素の吸収が起こり、窒素吸収のタイムラグのない作物とみなせる。これらの作物は茎葉部の伸長期は速効性の窒素であるAとB画分を当初より吸収利用したが、その後枯渇状態となり、子実部の肥大期には、代わって緩効性のC画分を主として吸収利用することになったと考えられる。

表10 野菜可食部収量に係する有機質肥料の窒素形態

| 生育期間 | | 1～2ヶ月 | 2～3ヶ月 | 3～4ヶ月 | 4～5ヶ月 | 5～6ヶ月 | 6ヶ月以上 | 窒素吸収のタイムラグ |
|------|------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|
| 野菜品目 | 葉菜類 | A | | | | | | |
| | | A+B | A+B | A+B+C | | | | |
| 根菜類 | ダイコン | | | | | | | |
| | | A, A+B | | | | C/N比 | | 6ヶ月 |
| 果菜類 | カボチャ | | | | C | | | |
| | | | | C/N比 | | C | | 1.5ヶ月 |

下水汚泥由来肥料の施用による作物の食味への影響

下水汚泥由来肥料を用いた食材の食味についての定量評価—トマトの例

作物の嗜好性の評価の指標と考えられる食味（うまみ）について近年注目されているが、このことを下水汚泥肥料及び他の化学肥料等からの収穫物について定量的に比較評価した事例は極めて少ない。

このためトマトを例に、食味を評価することを目的とする。

従来、トマトのおいしさはグルタミン酸とみなされていたが、最近、これに否定的な結果が明らかにされている。またトマトではカリウムが多くなると渋み、えぐみが強くなることが報告されている。リコピンはカロテンの一種で、トマトの赤色はこれに由来する。

試験方法

試験地：下総台地上の千葉県白井市前原、（一財）

日本土壤協会が借用している圃場

土壌：中粒質の淡色黒ボク土

供試肥料：

- ① 下水汚泥コンポスト（佐賀市下水浄化センター、以下佐賀と略称）
- ② 牛ふん堆肥（創和、市販品、以下創和と略称）
- ③ 化学肥料（硫安・過リン酸石灰・硫酸カリ、以下単肥と略称）

佐賀と創和の肥料要素の含有率を表 1 に示す。

作物：トマト（品種桃太郎、市販苗）

施肥量：窒素 25 - リン酸 25 - カリ 25 (kg/10a)、有機質肥料施用区では、窒素の全量を有機質肥料から充当し、リン酸とカリ

表 1 肥料要素の含有率

（現物当り％）

| | 水分率 | 窒素 | リン酸 | カリ | 石灰 | 苦土 |
|----|------|------|------|------|------|------|
| 佐賀 | 35.4 | 2.49 | 4.87 | 0.30 | 4.03 | 1.02 |
| 創和 | 28.5 | 1.89 | 3.27 | 3.74 | 2.05 | 1.27 |

の不足量を過リン酸石灰と硫酸カリで補う。
リン酸とカリの余剰分については調整しない。

区画：2.5m × 3m = 7.5㎡、反復なし

栽植密度：畝幅 125cm × 100cm（1 区画 6 株）

作業工程と生育経過：

5 月 14 日 耕起、畝立て、施肥、シルバーマルチ敷設、苗定植

5 月 23 日 支柱立て

7 月 2 日 摘果開始、（以降原則として毎週 1 回収穫調査）

7 月 22 日 第 1 期分析試料（第 2 花房）採取、分析試料発送

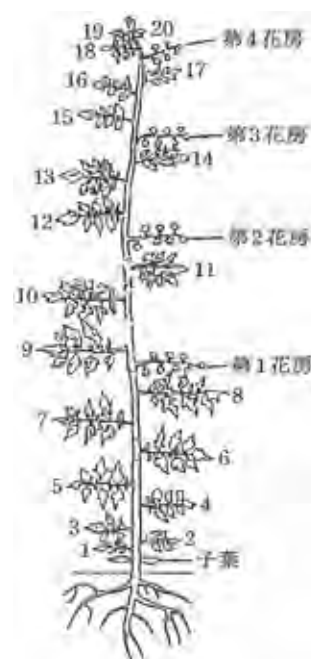
8 月 13 日 第 2 期分析試料（第 4 花房）採取、分析試料発送

9 月 9 日 摘果終了

苗定植後の生育経過は順調であった。7 月上旬台風の影響にも被害を受けることはなかった。その後の生育も特に支障がなく経過した。摘果は 7 月 2 日に開始し、以後原則として毎週、収量調査を行うこととしたが、長期間の降雨により期間を延長した時もある。



写真1 第2期分析試料採取時(8/13)



分析試料、分析項目：

トマト果実の食味・品質は、前図のように果実の着果位置により影響されると考えられる。

成分分析用の果実試料の採取は第1期として7月22日に各試験区の第2花房に限定して、200～240gの重さのものを10個選び、第2期として8月13日に各試験区の第4花房を対象に、150g前後の重さのものを5個選んだ。それらを分析依頼機関の（一財）日本食品分析センターへクール宅急便で発送した。

分析項目は水分、カリウム、総ビタミンC、リコピン、糖分、クエン酸の6項目である。

試験結果

トマトの成分分析結果を表2に示す。第1期の第2花房では、佐賀は単肥と比較して、糖分がやや高く、クエン酸、リコピンが低く、カリウムがやや低い。また、創和と比較して、糖分がやや高く、カリウム、リコピン、クエン酸が低い。佐賀のトマトは単肥や創和のトマトよりも甘味がやや高く、酸味やえぐみが少な

表2 トマト果実の成分値

| 時期 | | 第1期 | | | 第2期 | | |
|--------|---------|-----------------------|-------------------|--------------|-----------------------|-------------------|--------------|
| 試験区 | | 下水汚泥 コンポスト (佐賀) | 牛ふん 堆肥 (創和) | 化学肥料 (単肥) | 下水汚泥 コンポスト (佐賀) | 牛ふん 堆肥 (創和) | 化学肥料 (単肥) |
| 摘果日 | | 2014.07.22 | | | 2014.8.13 | | |
| 摘果部位 | | 第2花房 | | | 第4花房 | | |
| 水分 | g/100g | 92.9 | 93.0 | 93.2 | 93.2 | 92.8 | 93.5 |
| カリウム | mg/100g | 224 | 261 | 226 | 225 | 238 | 233 |
| 総ビタミンC | mg/100g | 19 | 20 | 20 | 24 | 26 | 24 |
| リコピン | mg/100g | 5.11 | 5.69 | 5.54 | 6.62 | 5.98 | 7.82 |
| 糖分 | g/100g | 4.2 | 4.0 | 4.0 | 3.9 | 3.8 | 3.5 |
| クエン酸 | g/100g | 0.42 | 0.48 | 0.47 | 0.42 | 0.41 | 0.48 |



写真2 各区のトマト果実

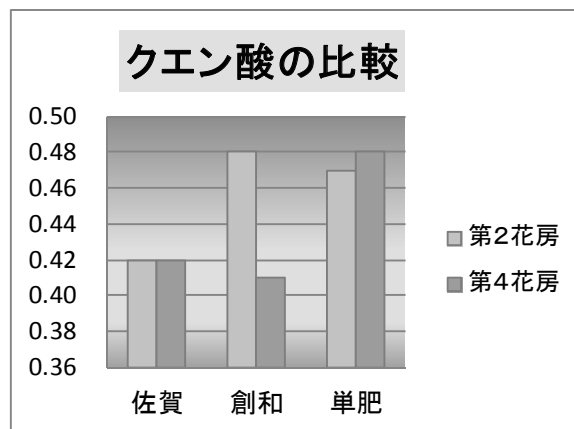
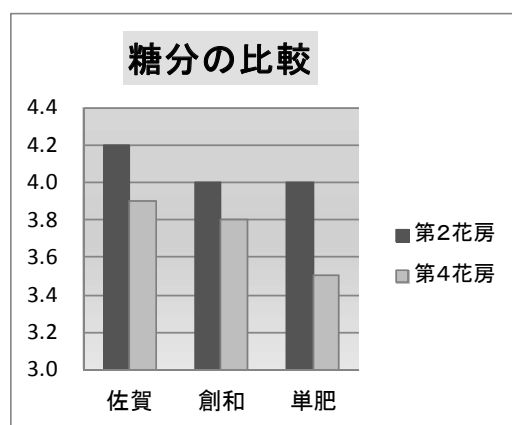


図3 果実中の主要成分の比較

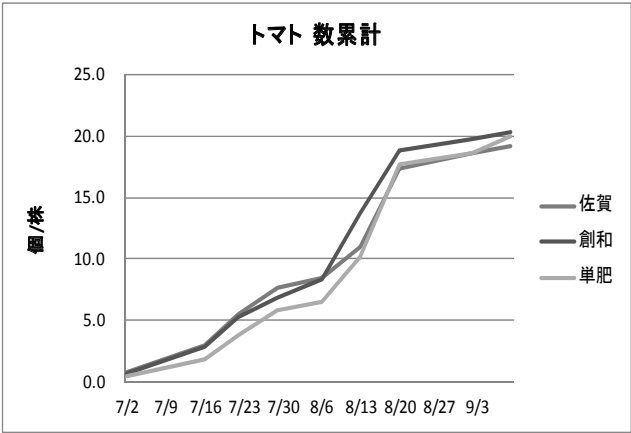


図 -4

いとみられる。第 2 期の第 4 花房では、佐賀は単肥と比較して、糖分が高く、クエン酸、リコピン、カリウムが低い。また、創和と比較してカリウムが低く、総ビタミン C がやや低く、リコピンが高い。第 4 花房の佐賀のトマトも、第 2 花房同様に単肥や創和のトマトよりも甘味がやや高く、酸味やえぐみが少ない傾向が窺われる。

食味に特に関係の深い糖分、クエン酸における区間の比較を図 3 に示した。

また、第 4 花房の果実を写真 2 に載せた。

トマトの摘果は 7 月 2 日に開始し 9 月 9 日に終了したが、その間の果実の数累計および重量累計を図 4 及び図 5 に示す。収量が高かった時期は 7 月 22 日、8 月 13 日、8 月 20 日で、それらの数日前にまとまった量の雨が降っていた。最終的な数累計及び重量累計については、ともに単肥を含めて 3 区間の隔たりは小さかった。

以上のように、第 2 花房及び第 4 花房の着果時期に果実を採取して、食味・品質関連項目の分析を行った。その結果、佐賀のトマトは 単肥や創和のトマトに比べて、甘味がやや高く、酸味やえぐみの少ないことが窺われた。

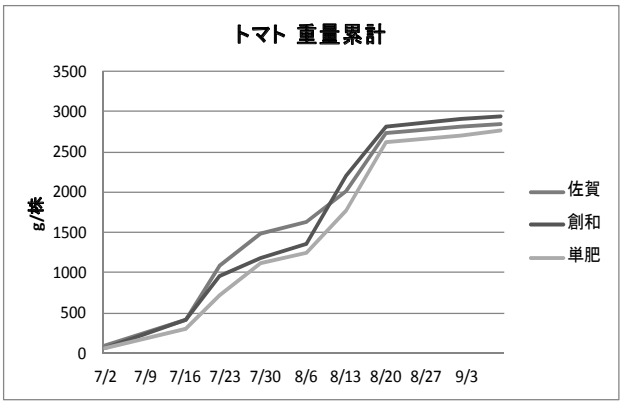


図 -5

食味の定量評価－ナスの例

本調査においては、ナスを例に食材等の収穫物から食味を評価することを目的とする。

ナスではクロロゲン酸含量が多いと渋みが強くなり、食味が低減する。

試験方法、

試験供試肥料はトマトの場合に準じた。

作物：ナス（品種千両 2 号、市販苗）

施肥量：窒素 30－リン酸 30－カリ 30 (kg/10a)、区画：2.5m × 3m = 7.5㎡、反復なし

栽植密度：畝幅 125cm × 50cm（1 区画 12 本）

作業工程：

- 5 月 14 日 耕起、畝立て、施肥、シルバーマルチ敷設、苗定植
- 5 月 23 日 支柱立て
- 5 月 30 日 防鳥ネット張り
- 6 月 13 日 摘果開始、（以降、原則として毎週 1 回収量調査）
- 7 月 22 日 第 1 期分析依頼試料採取
- 8 月 13 日 第 2 期分析依頼試料採取
- 10 月中旬 収量調査終了

分析試料、分析項目：

分析項目は水分、カリウム、糖分、クロロゲン酸の 4 項目である。

表 3 ナスの成分値

| 時期 | | 第 1 期 | | | 第 2 期 | | |
|--------|---------|-----------------------|-------------------|--------------|-----------------------|-------------------|--------------|
| | | 下水汚泥 コンポスト (佐賀) | 牛ふん 堆肥 (創和) | 化学肥料 (単肥) | 下水汚泥 コンポスト (佐賀) | 牛ふん 堆肥 (創和) | 化学肥料 (単肥) |
| 摘果日 | | 2014.07.22 | | | 2014.8.13 | | |
| 摘果部位 | | 制約なし | | | 制約なし | | |
| 水分 | g/100g | 93.3 | 93.3 | 93.2 | 92.9 | 92.3 | 92.6 |
| カリウム | mg/100g | 195 | 220 | 216 | 227 | 263 | 221 |
| 糖分 | g/100g | 2.9 | 2.6 | 2.8 | 2.7 | 2.7 | 2.8 |
| クロロゲン酸 | mg/100g | 86 | 100 | 78 | 95 | 79 | 92 |

ナスの食味・品質と成分との関係については、カリウムが多く含まれると、渋み、えぐみが強くなり、糖分は甘味に関係し、クロロゲン酸は渋みの原因物質とみられている。

試験結果

ナスの成分分析結果を表3に示す。第1期は、佐賀は創和や単肥に比べて糖分がやや高く、カリウムが低く、クロロゲン酸が中間であり、佐賀のナスの食味

は甘くてえぐみが少ないとみられる。第2期は、佐賀はカリウムが創和よりも低いのが、単肥よりわずかに高く、糖分が創和、単肥と同程度、甘味やえぐみには第1期ほどの違いがなかった。

ナスの収量については、佐賀は創和や単肥に比べて上回っている経過である。

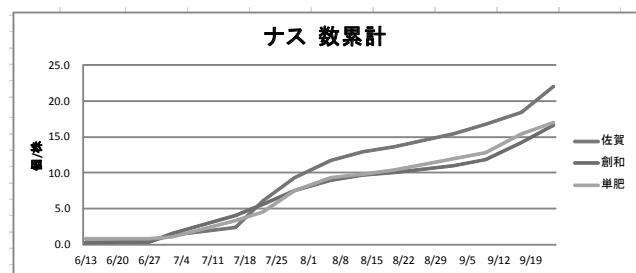


図-6 (1)

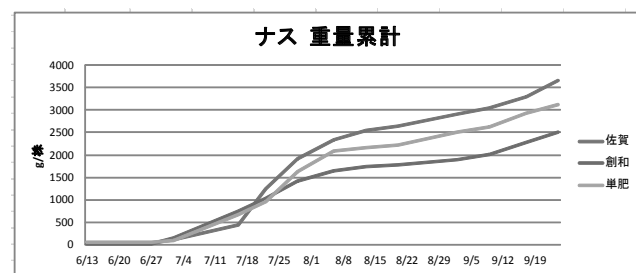


図-6 (2)



写真3 各区のナス果実

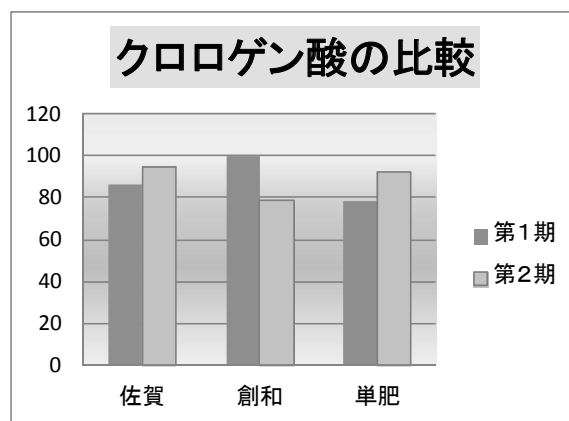
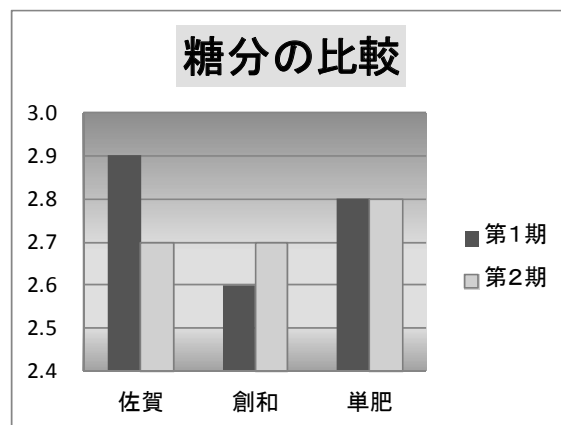


図7 果実中の主要成分の比較

研究紹介

簡易的循環システムとしての
「泥の電池」

熊本大学大学院自然科学研究科

准教授 富 永 昌 人

准教授 森 村 茂

キーワード：泥、電池、微生物、触媒

1. はじめに

下水道は国民の衛生的で快適な暮らしに多大な貢献を果たしている。400年くらい昔のヨーロッパでは下水設備が無く、汚物を路上に投げ捨て、川にはそのまま流していた。そこから、ハイヒールの原形が現在と別の意味で使われ、ペストなどの感染症も大流行した。¹⁾ 現在、日本では先人の叡智により、下水道処理人口普及率は80%に達し国内最大級の基幹インフラになった。また、汚水の収集・処理はもとより、雨水などの貯留・排除などの浸水被害から生命や財産を守る役目も下水道は果たす。日本の上下水道に関する社会インフラは昔から世界最先端である。今後、水・資源・エネルギーなどの先進的循環システムとしての期待が極めて大きい。一方で、世界に目を向けると、社会環境インフラが十分に整備された国が少ないことは、既にご承知の通りである。観光客が訪れる中心街では意識することはほとんどないが、少し市街から外れるとそのようなインフラが整備されていない地域は遙かに多い。本稿では、最近、我々が取り組んでいる「泥の電池」について紹介したい。ここでの「泥」とは、栄養物を多量に含み、微生物が無数に生息している泥状のモノである。我々の「泥の電池」は、ハイテク材料、ハイテク技術で発電効率を向上しようとする取組みで

はない。それも可能とは思いますが、コストが高くなる。社会環境インフラが十分に行き渡っていない地域で、お役に立てるものを技術開発したいと考えている。

2. 背景と原理

著者らは、グルコースを燃料としたバイオ燃料電池の研究開発として、金属ナノ粒子を触媒とした酸化極の研究開発を進めてきた²⁾。また、酵素を触媒とした酵素型バイオ燃料電池の開発のための基礎研究も進めている³⁾。いずれも、触媒は金属であり酵素である。これらの触媒にはそれぞれ一長一短はあるものの、触媒として機能するのは、原則として純粋な単一の燃料（基質）である。一方、生き物の栄養源は多種多様である。それは体内で多くの酵素が触媒として関与するためである。エネルギー源の多様性を求めるならば、反応の数だけの触媒が必要であろう。下水汚泥や干潟泥には、極めて多くのエネルギーが含まれているものの、そこからコストに見合うだけのエネルギーが取り出せないのは、エネルギー源がピュアな物質ではないためである。すなわち、エネルギーを取り出すための反応数だけの触媒が必要になり、獲得エネルギーに対してコストが極めて高くなるためである。自然界には、膨大なエネルギーが極めて薄く広がっているため、コスト的採算の理由からそのまま放置される。

ところで、触媒という観点に着目すると、生物は触媒がパッケージ化されたものと考えることができる。とりわけ微生物は、栄養源がある至る所に生息しており、低温・高温、高圧・低圧、酸性・アルカリ性などの厳しい条件をクリアーして生息するものもいる。その環境に適した生物が勝手に生息して、もしくは生息できるように微生物が進化する。微生物は、コストのかからない素晴らしい触媒パッケージである。この微生物から電気を取り出せることを示した最初の研究として、100 年ほど前のイギリスの科学者の実験が挙げられる⁴⁾。一般に、生き物のエネルギー獲得のための代謝反応は、電子供与体から電子受容体への電子の流れを伴う多数の酸化還元反応で構成される。微生物の有機物分解の代謝反応から電子を外部回路に取り出すこと（細胞外電子伝達）により、微生物を触媒として有機物の化学エネルギーから電気エネルギーを取り出すことができる。取り出された電子は、酸素の還元などで消費される。最近までは 0.1 mW/m^2 にも満たない出力密度であったが、近年の研究成果によりシュワネラ属やジオバクター属といった高効率の電流生成菌が見いだされ、 1000 mW/m^2 を越える高出力密度も報告されるようになった⁵⁾。しかしながら、微生物（ 1000 nm 程度）を触媒に例えると、その大きさが金属ナノ粒子（数 nm 程度）や酵素（ 10 nm 程度）に比べ桁違いに大きいために、さらに高密度出力を得るには、微生物の代謝の高速化と電流放速の高速化が求められる。

著者らは、冒頭に述べたように社会環境インフラが未整備の地域で広く普及可能な技術開発を目指している。そのために、コストは発電量よりも優先する。汚泥を汚水にするためにはコストがかかる。発電量が高い微生物の生息に最適な環境を与えるためにはさらにコストがかかる。それらを全部排除して、あるがままの「泥」で、あるがままの微生物で、可能なだけの出力が得られればよい、というコンセプトのもと、敢えて微生物燃料電池と言わずに、「泥の電池」と呼ぶことにしている。上記の細胞外電子伝達は、嫌氣的雰囲気環境が微生物には必要とされる。泥は酸素透過性が極めて低いので、電池には酸素透過を防ぐバリア材などは必要ない。すなわちコストがかからない。さらに「泥の電池」には、嫌氣的な泥中の汚れを好氣的微生物と同様の仕組みで分解し浄化を促進するという特徴もある。すなわち、微生物が代謝で発生した電子を体外へ破棄できる環境を整えてあげると、好氣的微生物が有機物を酸化分解するのと同じような仕組みで、嫌氣的環境において有機物を分解することを可能にしている。「泥の電池」のコンセプト図を図 1 に示す。

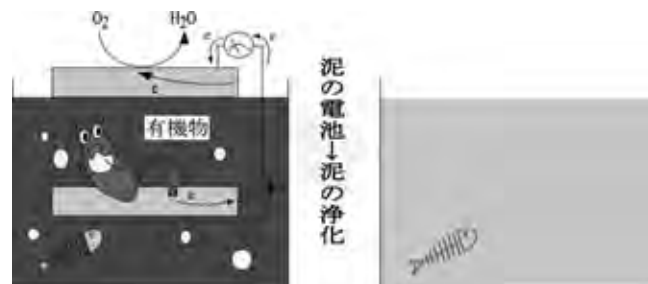


図 1 「泥の電池」の概念図
(左図：有機物と微生物を多量に含む泥、右図：有機物が浄化された泥)

3. 研究紹介

熊本大学近郊の熊本北部浄化センターから下水汚泥を入手して、ラボレベルでの「泥の電池」を作製した。本浄化センターは、メタン発酵とそれに続く燃料電池発電の設備を有する。ラボレベルでの「泥の電池」の発電量は、メタン発酵前の汚泥では 1000 mW/m^2 程度、メタン発酵後の汚泥では、 400 mW/m^2 程度であった。最大電圧にばらつきはあるが、それぞれ 570 mV 、 450 mV 程度であった（図 2）。メタン発酵後の汚泥にもかなりのエネルギーが残っていた。泥上に設置した酸素還元極の触媒効率を上げると出力も向上した。例えば、白金触媒ナノ粒子を修飾した炭素電極に交換すると、出力は 3～5 倍程度に向上した。このことから、酸素還元反応が発電律速になっていることが解る。しかしながら、コストが跳ね上がり、著者らが考えている「泥の電池」のコンセプトに合致しないため詳細は検討していない。身近な泥や泥っぽいものもいろいろと試した。例えば、米ぬか、腐葉土、猫の糞、河川敷の土、山の土、などを泥状にしたものである。これらの発電量は全く異なるが、基本的には全て「泥

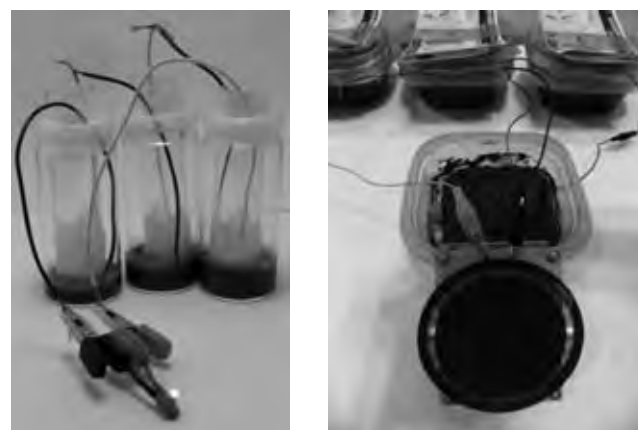


図 2 「泥の電池」による発電
(白金触媒は使用していない)
左：下水汚泥、右：干潟の泥



図3 有明海干潟での測定の様子



図5 インドネシア・スラバヤ市郊外の干潟

の電池」になった。泥の性状が変わらなければ、「泥の電池」の発電量もほぼ一定であった。その性状が変われば発電量が変わるため、環境モニターへの展開も考えられる。

有明海の干潟に電極を設置し、2週間に一度の頻度で「泥の電池」の出力測定を約2年間継続している(図3)。その最大電圧は400～650 mVで、発電量は400～1000 mW/m²であった。発電量のばらつきは季節の影響、すなわち温度の影響であった。一方で、実はそれ以外の影響もあることが判った(図4)。原因を突きとめることで環境センサへの応用展開が可能と思われる。インドネシア・スラバヤ市近郊の干潟で、有明海の干潟と同様な「泥の電池」の発電量を測定した(図5)。干潟に沿って立ち並んだ住居には下水設備がなく、その干潟からのニオイがきつかったため高い発電量を期待したが、上記の有明海の干潟と同程度の発電量であった。短期間の測定であったので結論づけることはできないが、ここでも酸素還元極が発電の律速になったのではないかと考えられた。ちなみに、バリ島の砂浜でも測定したが、当然、極めて小さな発電量であった。

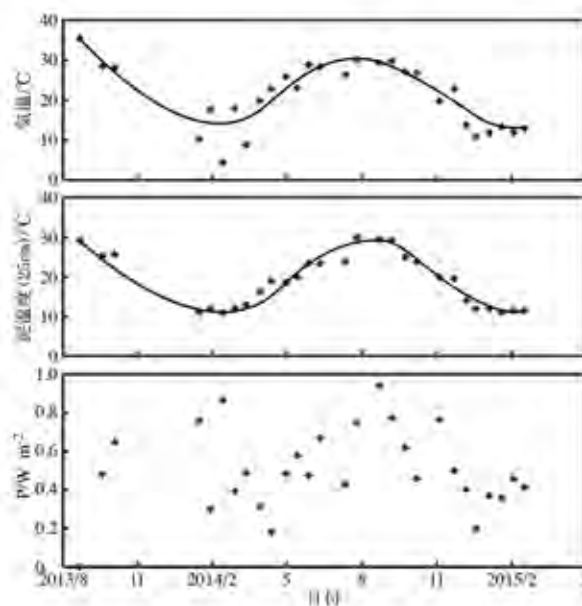


図4 有明海干潟に設置した「泥の電池」における発電量

4. おわりに

泥に含まれる有機物から電気としてエネルギーを取り出すことができれば、下水汚泥の他にも様々な不要・廃棄有機物の有効活用が可能となる。さらに浄化が促進されるのであれば一石二鳥である。経年でその蓄積が課題となっているダム底の汚泥や養殖場の海底汚泥は、酸素が透過しないため微生物の分解が進みにくく、「泥の電池」が有効に働くことが期待できる。

近年の東南アジア地域の経済発展は著しい。しかし、コストと時間を要する下水設備のような基幹インフラはまだみだである。インドネシアのように、東南アジアの諸国は島も多く、国土全体のインフラ整備には相当の時間を要するであろう。まだ社会インフラが行き渡っていない地域に、「泥の電池」が少しでもお役に立てたらこれ以上嬉しいことはない。

<参考資料>

- 1) ローズ・ジョージ, 大沢章子 (訳), 「トイレの話をしよう」, NHK 出版 (2009) .
- 2) M. Tominaga, et al. Journal of Electroanalytical Chemistry, 624, pp.1-8 (2008) ; Electrochemistry Communications, 9, pp.911-914 (2007) ; Electrochemistry Communications, 9, pp.1892-1898 (2007) .
- 3) M. Tominaga, et al., Analytical Chemistry, 86, pp.5053-5060 (2014) ; Electrochemistry Communications, 31, pp.76-79 (2013) ; Biosensors and Bioelectronics, 24, pp.1184-1188 (2009) .
- 4) M. Potter, Proceedings of the Royal Society London, Series B, 84, pp.260-276, (1911) .
- 5) B. E. Logan, Nature Review, 7, pp.375-381 (2009) .
- 6) 村井吉敬, 「エビと日本人 II」, 岩波書店 (2008) .

研究紹介

電解晶析法による下水からのリン、カリウムおよび水素の同時回収

前橋工科大学工学部 社会環境工学科

教授 田 中 恒 夫

キーワード：排水電解、MAP、HAP、MPP、水素、燃料電池、再生可能エネルギー

1. はじめに

1.1 リンとカリウムを取り巻く状況

リン、カリウムは植物の根、茎、葉の生育や生理作用の調整などに関わる主要素で、その含有量を高めた化学肥料は農業生産において必要不可欠な資材となっている。リン・カリウム肥料などの施用は穀物の単収を飛躍的に増大させるなど、食料の安定供給の確保や農業の持続的発展において極めて重要な役割を果たしてきた。

リン、カリウムは現在、それぞれの鉱石を精製して生産されている。リンなどの鉱石は世界において偏在傾向にあることから、主な生産国は数カ国に限られる。例えば、リン鉱石については、中国、米国、モロッコなどの上位4カ国で世界産出量の7割以上を占めている¹⁾。カリウム鉱石に関しても同様に、鉱物資源の市場は総じて寡占状態となっている。

化学肥料について、わが国においては、農業人口や耕地面積の減少、および環境保全型農業の導入などによりその需要量は減少傾向にある。一方、世界全体では、開発途上国における人口増加や新興国（BRICsなど）における食生活変化に伴う穀物増産あるいはバイオ燃料の生産などにより、化学肥料の需要量は年々増加している。新興国の人口増加および経済発展は今

後も継続すると予想されるため、世界における化学肥料の需要量は長期にわたって増加基調で推移すると考えられる。

上述のとおり、リン、カリウム鉱石の偏在と採掘量の急増により、特にリンに関しては世界規模で枯渇化が懸念されている。今世紀中に、現在の価格ベースでは良質のリン鉱石の採掘は困難になると予想されている²⁾。

産出国の中には、輸出量を制限（輸出関税の増税）するところも出始めており、鉱物資源市場の寡占化がさらに進行すると考えられる。

わが国は、リンやカリウムなどの肥料原料のほぼ全量を海外からの輸入に依存しており、国際市場の動向に影響されやすい構造となっている。このような状況下で、現在の農業・工業生産の持続的な発展を図っていくためには、リンやカリウムなどの鉱物資源に関して量・質ともに安定したわが国独自の資源循環システムを構築する必要がある。

1.2 リン、カリウムの回収技術

リンやカリウムは現在、主に鉱石として輸入されて肥料原料や工業用として消費されているが、それ以外にも肉類、穀物、野菜、飼料など様々な形で国内に大量に持ち込まれている。食料や飼料などの形態で持ち込まれたリンやカリウムの多くは、家庭や畜舎などを

經由して最終的に下水道や排水処理施設などに流入する。例えば、下水処理施設などに流入するリンの量は鉱石として輸入される量の実に約3割と推計されている³⁾。量的な観点から実現性は高いことから、今日では下水道は“都市鉱山”とみなされており、それらを軸とした資源循環システムの構築が多くの県や自治体などで検討されている。また、適切な回収技術を選択することにより、質的な問題もクリアできると考えられる。

排水からリンなどを除去・回収する技術として、アルミニウムや鉄などの金属塩あるいは高分子物質を用いる凝集沈殿法が代表的な方法として知られている。しかしながら、これらの方法は放流水の水質改善に重きを置いた手法であり、凝集処理の段階で発生する無機汚泥のリサイクルや最終処分などに課題を抱えている。このため近年では、リンなどの回収・資源化に適した技術、例えばリン酸マグネシウムアンモニウム(MAP)法、ヒドロキシアパタイト(HAP)法、リン酸マグネシウムカリウム(MPP)法などの晶析法、還元溶融法、炭化・コンポスト化などが注目されている。特に晶析法は、①肥料の主要素を同時に回収できる、②回収した結晶性物質は農用地などで緩効性あるいは遅効性の肥料として直接的に施用できる、③排水中の栄養塩類を結晶性物質の形で回収できるため純度は高い、④多くの排水に適用可能である、ことなどの特長を有している。現在、輸入されたリンやカリウムの多くは肥料原料として消費されていることから、肥料としてリサイクルしやすい形で排水から回収できることは極めて有意である。しかしながら、マグネシウム塩、pH調製剤、種晶などの薬品類の添加が必須であり、また結晶を形成・生長させるための煩雑な制御が求められる。

1.3 電解晶析法の開発の目的

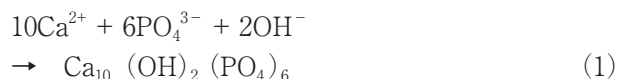
晶析法によるリン等回収システムのシンプル化・易操作性化・高効率化を目的として、そのプロセスに電解を組み込むことを提案した^{4~6)}。晶析法と電解を組み合わせることにより、アルカリ剤や種晶を添加せずにMAP、HAP、MPPなどの結晶を生成させることが可能となる。また、アルカリ剤などの添加が不要となることで、シンプルな装置と操作で排水からリンやカリウムなどの有用物質を回収することが可能となる。

2. 従来晶析法と電解晶析法の原理

2.1 従来晶析法(HAP法、MAP法およびMPP法)

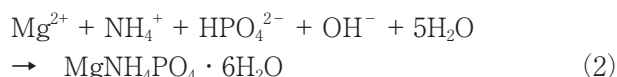
HAP法は、式(1)に示したように、リン酸塩とカルシウムイオンの反応より不溶性の $\text{Ca}_{10}(\text{OH})_2(\text{PO}_4)_6$

を生成させる方法である。



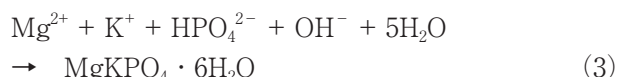
HAPの生成においては、pH制御や種晶添加などの操作が必要となる。種晶の添加により、リン含有率の高いHAP結晶の析出が可能となる。MAP法との比較では、処理水のリン濃度をより低減できることなどの特長が挙げられる。

MAP法は、排水などに存在するリン酸塩を $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ の結晶として回収する方法で、その反応は式(2)のように表される。



MAP結晶の生成において、マグネシウム、アンモニア、リンのモル比は1:1:1であること、またアルカリ剤の添加が必要であることがわかる。一般に、下水からリン酸塩をMAPとして回収する場合は、マグネシウム塩などを添加して原水の栄養塩類モル比を整える必要がある。HAP法と同様に、MAPと類似の種晶を添加することにより、MAPの成長はさらに促進される。MAP法の運転・操作は他のリン回収法と比較して決して簡単とはいえないが、排水から栄養塩類を純度の高い結晶性物質の形で回収できる方法として期待されている。

また、排水中にリンやマグネシウムに加え、カリウムが一定濃度で存在すると、式(3)のようにリン酸マグネシウムカリウム($\text{MgKPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$:MPP)の結晶が生成される場合がある。



MPPは、MAP中のアンモニアがカリウムに置換された構造となっている。しかしながら、MPPの形成については不明な点が多いため、今後詳細に検討する必要がある。

2.2 電解晶析法

MAP法やHAP法は、排水中の栄養塩類を純度の高い結晶性物質として回収できる持続可能な方法として注目されつつあるが、上述のとおり、アルカリ剤や種晶などの添加が必要であるためプロセスは比較的複雑であり、また一定レベルの回収効率を維持するためには操作の煩雑化は避けられない。アルカリ剤と種晶の添加の代わりに、電解を適用することにより上記の問題は軽減できると考えられる。

電解晶析法の原理を図1に示す。電極ユニットを排水に浸漬して数ボルト程度で通電すると、排水の電気分解が起こり、水素の発生(OH^- の生成)と同時に陰極付近のpHは上昇してアルカリ側(式(4))に、

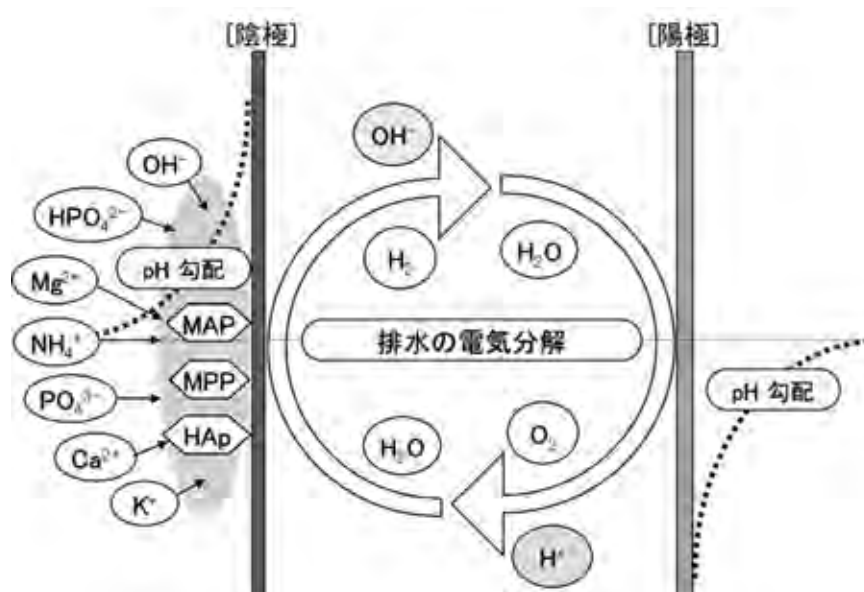


図1 電解晶析法の原理

一方、陽極付近では酸素の発生（ H^+ の生成）と同時にpHは酸性側に低下する（式（5））。



電解晶析法は、リンなどの栄養塩類の結晶化において主に陰極近傍のpH上昇を利用する。これにより、アルカリ剤を添加せずに結晶性物質を生成させることが可能となる。結晶性物質は、陰極表面（電極は種晶添加と同様な効果をもたらす）において形成され徐々に成長する。陰極に付着した結晶性物質は、ある一定の厚さまで成長した段階で極性反転により剥離する。極性反転により、式（5）に示したとおり、結晶性物質の付着面は酸性側に变化し、蓄層した結晶性物質の深部が溶解して電極から剥落する。この剥落した物質を電解槽から回収してリサイクルする。結晶性物質の剥離の際、曝気などを併用することによりその効率はさらに高くなる。

以上のように、晶析法と電解を組み合わせることにより、アルカリ剤や種晶を添加せずに排水からリンなどの有用物質を回収することが可能となる。また、必要な制御は主に電解シーケンスであるため、従来晶析法と比較してシンプルなシステムと制御で栄養塩類の除去・回収が可能になると考えられる。

3. 電解実験⁶⁾

3.1 電解システム

実験に用いた電解システムの概略を図2に示す。電解反応槽の大きさは、縦：600mm、横：800mm、深さは1700mmである。反応槽は2槽に仕切られており、右側は電極槽、左側は電解により生じる泡を処理する

ための消泡槽とした。電極槽の容量は約350リットルで、その下部に沈殿部を設けた。また、消泡槽の有効容積は約400リットルとした。電解により生じた泡は、処理水と共に電解槽から消泡槽へ溢流する。消泡槽には、その中に溜った処理水を系外へ排出するための水中ポンプを設置した。

電極槽に設置した電極ユニットの材質は、白金メッキを施したチタン板とした。電極の大きさは縦：1000mm、横：500mm、厚さ：1mmで、このサイズの電極を20枚（陽極：10枚、陰極：10枚）使用した。電極はプラスとマイナスを交互に配列し、それぞれの間隔は10～15mmとした。電極ユニットへの印加は、自動極性反転が可能な直流電源装置を用いて行った。また、グラフィックレコーダーを用いて通電時の電圧と電流を連続的に記録した。

3.2 実験の方法

3.2.1 電流、流入負荷、極性反転の影響

図2に示した電解システムを養豚現場に設置して、実畜産排水二次処理水を用いて電解実験を行った。実験条件は、栄養塩類の除去と結晶性物質の生成における流入負荷、電流および極性反転間隔の影響を検討するため、それぞれを表1に示した範囲で変化させた。流入負荷は原水供給量により制御し、供給量はRun 1-1～1-9において1.0～3.7m³/dayとした。このとき、原水の供給は電解槽の底部より行った。与えた電流は50～200Aである。また、Run 2-1～2-9では電流と供給量は一定とし、極性反転間隔のみ3～30hrの範囲で変化させた。

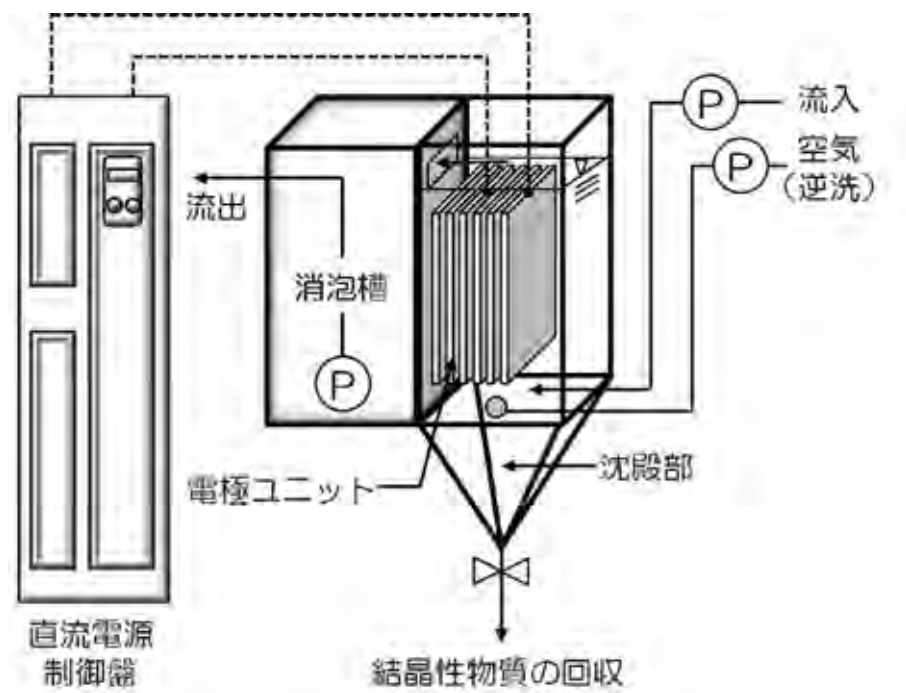


図2 電解システム

3.2.2 結晶性物質の生成量

沈殿部に沈積した結晶性物質を1週間に1回の頻度で回収し、その後、実験室において送風定温乾燥器を用いて乾燥させた。乾燥温度は105～110℃、乾燥日数は3～5日とした。なお、回収の際には電極に付着した結晶性物質を完全に剥離するため、極性反転と合

わせて空気曝気による逆洗を行った。結晶性物質の生成量は、条件ごとに回収した結晶性物質の乾燥質量を通電日数で除して求めた値とした。

3.3 分析項目とその方法

試料採取は流入ポンプ吐出口と電解槽において1週

表1 電解実験の条件

| Run No. | 電流 (A) | 供給量 (m ³ /日) | 極性反転間隔 (時間) |
|---------|--------|-------------------------|-------------|
| 1-1 | 50 | 1.0 | - |
| 1-2 | 55 | 1.0 | - |
| 1-3 | 100 | 1.0 | - |
| 1-4 | 150 | 1.0 | - |
| 1-5 | 100 | 2.0 | - |
| 1-6 | 150 | 2.0 | - |
| 1-7 | 150 | 3.3 | - |
| 1-8 | 200 | 3.7 | - |
| 1-9 | 150 | 3.7 | - |
| 2-1 | 50 | 3.7 | 24 |
| 2-2 | 50 | 3.7 | 12 |
| 2-3 | 50 | 3.7 | 6 |
| 2-4 | 50 | 3.7 | 3 |
| 2-5 | 50 | 3.7 | 12 |
| 2-6 | 50 | 3.7 | 18 |
| 2-7 | 50 | 3.7 | 12 |
| 2-8 | 50 | 3.7 | 極性反転無し |
| 2-9 | 50 | 3.7 | 30 |

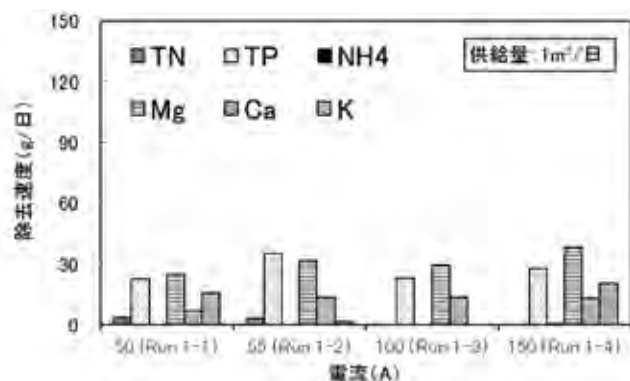


図3 電流と除去速度の関係

間に3回の頻度で行い、その都度実験室において水質分析を行った。分析の項目は、COD、全窒素 (TN)、全リン (TP)、浮遊性物質 (SS)、リン酸イオン (PO_4^{3-})、亜硝酸イオン (NO_2^-)、硝酸イオン (NO_3^-)、アンモニウムイオン (NH_4^+)、カリウムイオン (K^+)、マグネシウムイオン (Mg^{2+})、カルシウムイオン (Ca^{2+}) 濃度とした。

また、各 Run において、回収した結晶性物質の組成を把握するため元素分析を行った。元素分析は、蛍光エックス線装置を用いて行った。

3.4 実験の結果

3.4.1 電流、流入負荷、極性反転の影響

栄養塩類の除去と結晶性物質の生成における流入負荷、電流、極性反転間隔の影響は、各 Run における除去速度を求めて検討した。除去速度は、流出入濃度と供給量より算出した。

電流と除去速度の関係を図3 (供給量：一定)、供給量 (流入負荷) と除去速度の関係を図4 (電流：一定) に示す。図3より、 Mg^{2+} と Ca^{2+} の除去速度は電流の増加で上昇していることが確認できる。しかしながら、TN、TP、 K^+ の除去速度の電流依存性は特に認めら

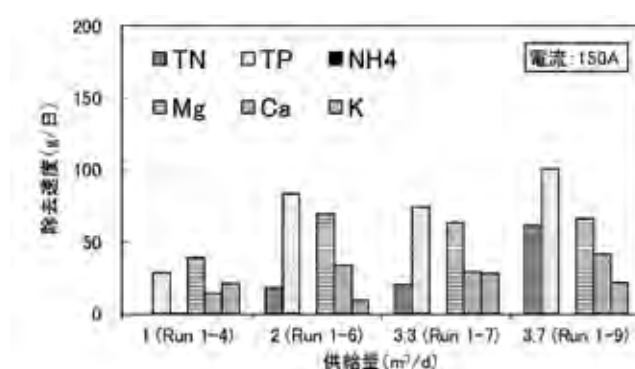


図4 流入負荷と除去速度の関係

れなかった。また、図4より、TN、TP、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} の除去速度は流入負荷の増加で何れも上昇していることが確認できる。栄養塩類の除去速度は電流と流入負荷により変化することが確認できたが、その程度は流入負荷を変化させた場合において大きかった。

極性反転間隔と除去速度の関係を表2に示す。COD と SS の除去速度は、極性反転間隔が12時間の条件で最も高かった。TP、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 K^+ の除去速度は、極性反転間隔が12～18時間の範囲で比較的高いことが確認できる。COD、SS、栄養塩類の除去速度は、極性反転を行うことにより高くなることがわかった。極性反転の適用により、結晶性物質の肥厚化が抑制され、電解生成 OH^- が栄養塩類の結晶化に有効的に利用されたため、除去速度が上昇したと考えられる。

3.4.2 結晶性物質の生成量

Run1-1～2-9における結晶性物質の生成量を表3に示す。Run1-1～1-9において、生成量は流入負荷に依存して増加し、最大負荷を与えた Run1-9 において 684g/日と最も多かった。しかしながら、Run1-1～1-4 では流入負荷は一定として電流を変化させた

表2 極性反転間隔と除去速度の関係

| Run No. | 除去速度 (g/日) | | | | | | | |
|-------------|------------|-----|----|-----|----------------------------|------------------|------------------|--------------|
| | COD | TN | TP | SS | $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ | Mg^{2+} | Ca^{2+} | K^+ |
| 2-1 【24 時間】 | 255 | 11 | 72 | 37 | 21 | 26 | 75 | 125 |
| 2-2 【12 時間】 | 103 | 0 | 82 | 14 | 12 | 52 | 25 | 162 |
| 2-3 【6 時間】 | 86 | 1 > | 39 | 1 > | 0 | 30 | 14 | 86 |
| 2-4 【3 時間】 | 113 | 10 | 49 | 67 | 0 | 43 | 6 | 51 |
| 2-5 【12 時間】 | 122 | 1 > | 84 | 128 | 0 | 52 | 30 | 112 |
| 2-6 【18 時間】 | 41 | 1 > | 81 | 25 | 0 | 63 | 15 | 26 |
| 2-7 【12 時間】 | 62 | 2 | 87 | 37 | 1 > | 75 | 12 | 1 > |
| 2-8 【反転無し】 | 78 | 15 | 54 | 67 | 1 > | 57 | 12 | 27 |
| 2-9 【30 時間】 | 69 | 2 | 37 | 80 | 1 > | 44 | 10 | 31 |

表3 結晶性物質の生成量

| Run No. | 電流 (A) | 供給量 (m ³ /日) | 極性反転間隔 (時間) | 生成量 (g/日) |
|---------|--------|-------------------------|-------------|-----------|
| 1-1 | 50 | 1.0 | — | 240 |
| 1-2 | 55 | 1.0 | — | 319 |
| 1-3 | 100 | 1.0 | — | 230 |
| 1-4 | 150 | 1.0 | — | 221 |
| 1-5 | 100 | 2.0 | — | 394 |
| 1-6 | 150 | 2.0 | — | 485 |
| 1-7 | 150 | 3.3 | — | 549 |
| 1-8 | 200 | 3.7 | — | 528 |
| 1-9 | 150 | 3.7 | — | 684 |
| <hr/> | | | | |
| 2-1 | 50 | 3.7 | 24 | 512 |
| 2-2 | 50 | 3.7 | 12 | 393 |
| 2-3 | 50 | 3.7 | 6 | 196 |
| 2-4 | 50 | 3.7 | 3 | 188 |
| 2-5 | 50 | 3.7 | 12 | 335 |
| 2-6 | 50 | 3.7 | 18 | 324 |
| 2-7 | 50 | 3.7 | 12 | 369 |
| 2-8 | 50 | 3.7 | 反転無し | 400 |
| 2-9 | 50 | 3.7 | 30 | 173 |

が、比較的高い電流を与えた Run1-4 において生成量は 221g/日と最も少なかった。電流と生成量の間に明確な正の相関は認められなかった。一方、極性反転間隔の影響 (Run2-1 ~ 2-9) については、栄養塩類や COD の除去速度は極性反転間隔が 12 ~ 18 時間の条件で最も高かったが、生成量に関してはそのような傾向は認められなかった。

回収した結晶性物質の組成を図5および図6に示す。結晶性物質の主な構成元素は、K、Ca、P、Mg の4種類であった。MAP や HAP の構成元素ではない K の含有率が比較的高いことが特徴的である。N の含有率は実験を通して 1% 未満であった。これらの結果より、電解により生成された結晶の多くは HAP で、MAP の生成は極僅かと考えられる。一方、K の

存在形態については時点では定かでないが、電極槽における NH_4^+ 濃度が非常に低かったこと、および回収した結晶性物質の中に K と Mg が一定量含まれていたことなどから MAP と同型構造の結晶である MPP が生成されたと推察される。なお、P と Mg については、溶解度積よりリン酸マグネシウム ($\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$: MP) の形として存在していた可能性もある。

3.4.3 通電効率

排水中に存在するリンやカリウムなどの栄養塩類は、陰極で生成されるアルカリと反応することで結晶化すると考えられる。電解により生成される結晶性物質の量は、その際に生じるアルカリの全てが栄養塩類の結晶化に利用され、また生成される結晶が主に

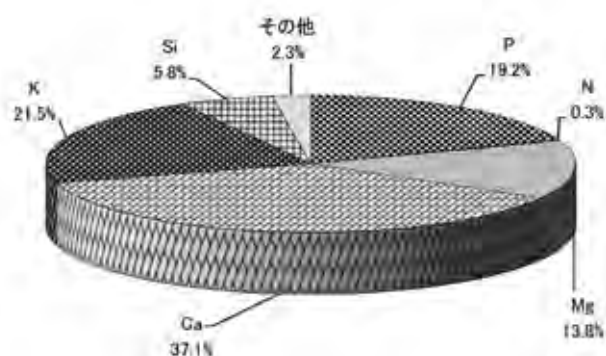


図5 Run1-1 ~ 1-9 における結晶性物質の組成

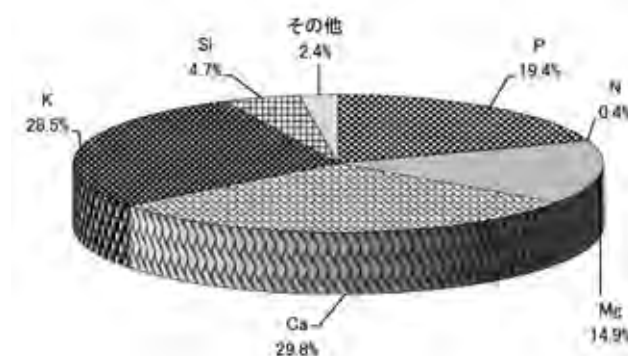


図6 Run2-1 ~ 2-9 における結晶性物質の組成

HAPと仮定する（上記の実験結果より）と、式（6）より理論的に計算できる。

$$P_{\text{HAP}} = It/2F \quad (6)$$

P_{HAP} ：HAPの生成量（mol/d）、 I ：電流（A）、 t ：通電時間（s）、 F ：ファラデー定数（96,485C/mol）である。また、HAPの実際の回収量（mol/d）を R_{HAP} とすると、通電効率（ η ）は式（7）より求められる。

$$\eta (\%) = (R_{\text{HAP}}/P_{\text{HAP}}) \times 100 \quad (7)$$

式（7）より、表3に示した回収量に対する通電効率を求めると1.3%となる。また、印加電圧を3Vとした場合の消費電力は0.013kWh/g-HAPと計算される。

式（7）より計算できる通電効率、および印加電圧と電流より求められる消費電力は決して高いとはいえない。電解により生成されるアルカリの利用効率の向上や電解電圧の低下など、通電効率の改善に向けてさらに検討する必要がある。

3.4.4 水素の生成量

式（4）からわかるように、排水電解時にはアルカリの生成と同時に水素が発生する。その量を把握するため、電極槽と消泡槽において水素メーターを用いて濃度を測定した。電極槽上部で水素濃度は3～7%、消泡槽では3～5%と全体的に低かったものの、水素の生成は確認できた。水素濃度が低かった原因としては、気密性の低い電解槽を用いたことによる、水素の漏出や空気の浸入などが考えられる。

なお、電解生成ガスの回収を目的として、実養豚排水二次処理水を用いて実験室内にて行った回分実験では、電解による水素生成量はファラデー則に基づく理論量の約7割で、また陰極付近より回収したガスの85%以上は水素であった⁷⁾。したがって、電極槽を気密性の高い構造へと改良することにより、リンやカリウムなどの栄養塩類に加え、水素も同時に回収できるようになると考えられる。

4. 電解晶析装置の下水処理システムへの適用

電解晶析装置は、下水処理システムへの組込・付加も可能である。晶析法により排水から栄養塩類を回収する場合、その濃度は高い方が有利で、これは電解法においても同様である。下水処理システムにおいて、濃縮や脱水などの汚泥処理工程からの排水の栄養塩類濃度は、水処理工程において発生する排水のそれより一般的に高い。ここでは、電解晶析装置を下水処理システムの汚泥処理工程に組み込んだ場合の効果について考えてみる。

電解晶析装置の適用例を図7に示す。電解槽の大きさは、これまでの実績を踏まえて滞留時間を基本として決定し、電極面積（枚数）は電解槽の有効容量に対する比表面積より求める。濃縮・貯留・脱水工程から生じる、栄養塩類濃度の高い排水を調整槽へ送水し、そこから一定の滞留時間となるように流量を調整して電解晶析装置へ供給する。初期の印加電圧・電流は、排水供給量とその濃度（流入負荷）により決定する。

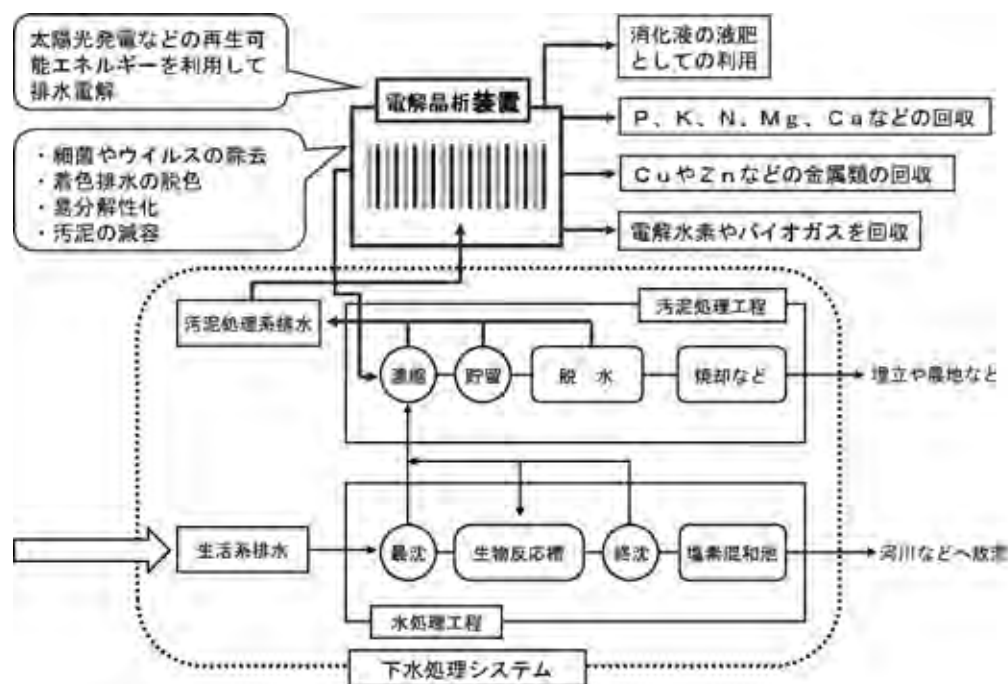


図7 電解晶析装置の下水処理システムへの適用

電源は、太陽エネルギーや風・水力などの再生可能エネルギーの使用が可能と考えられる。決定した電流で汚泥処理工程からの排水を電解することにより、その中に溶解している栄養塩類は不溶化・結晶化し、電解槽から HAP、MAP、MPP などの結晶を回収できるようになる。加えて、印加電圧を制御することにより、銅などの金属類も回収できるようになる。排水電解と同時に水素が発生するが、回収・貯蔵して燃料電池の燃料などとして利用する。電解槽へ濃縮汚泥などを供給した場合は、電解水素に加えバイオガスの発生・回収も期待できる。さらに、電解槽内の排水や汚泥は、電解により細菌・ウイルスの除去や難分解性物質の易分解性物質への変化が期待できるため、より安全に農用地などに還元できるようになると考えられる。

上記のように、電解晶析装置を下水処理システムに適用することにより、下水処理施設は本来の役割に加え、資源（鉱物資源）と水素エネルギーの供給ステーションにもなり得ると考えられる。鉱物資源とエネルギーの殆どを海外からの輸入に依存しているわが国においては、今日の複雑に絡み合った世界情勢を考慮すると独自の資源・エネルギー循環システムを早急に構築する必要がある。その際、下水道を軸とすることにより、極めて実現性・持続性の高い循環システムの構築が可能になると考えられる。

5. おわりに

晶析法によるリン等回収システムの易操作化および高効率化などを目的として、そのプロセスに電解を組み込むことを提案し、その可能性について検討した。晶析法と電解を組み合わせることにより、アルカリ剤や種晶などを添加せずに排水中のリンやカリウムなどの栄養塩類を純度の高い結晶性物質として回収できるようになることがわかった。電解により生成された結晶は、HAP、MAP、MPP あるいは MP の混合物と推察された。ただし、結晶性物質の生成に対する通電効率は決して高いとは言えず、更なる効率化に向けて電極形状や電極充填率などの見直しが必要と考えられた。

また、排水電解時には水素が槽内に蓄積することがわかった。水素の生成量は、ファラデー則に基づく理論生成量の 70% を超え、排水電解時の水素発生率は高いことがわかった。HAP 結晶などの生成時に同時に発生する

水素は、適切に貯蔵することによりエネルギー資源として有効利用できると考えられた。

電解晶析法開発の当初目的は従来晶析法の易操作化と高効率化、すなわち排水からリンやカリウムなどの有用物質を高効率で除去・回収することであったが、同時に水素も高効率で生成され、その回収も可能であることがわかった。例えば、電解晶析装置を下水処理システムに適用することにより、下水処理施設は本来の役割に加え、鉱物資源と水素エネルギーの供給ステーションにもなり得ると考えられる。

参考文献

- (1) Abelson, P. H.: A potential phosphate crisis, Science, Vol. 283, p.2015, 1999.
- (2) Gilbert, N.: The disappearing nutrient, Nature, Vol.461/8, pp.716-718, 2009.
- (3) 村山勝男: 排水中のリン除去とリサイクル、資源環境対策、Vol.28, No.12, pp.1099-1106, 1992.
- (4) 田中恒夫、小池範幸、佐藤孝志、新井忠男、平靖之: 電解法による畜産排水からのリン酸塩の回収、水環境学会誌、Vol.32, No.2, pp.79-85, 2009.
- (5) Tanaka, T. and Takahashi, A.: Simultaneous Recovery of Phosphate and Potassium from Wastewater by Electrolysis Method, 4th IWA-ASPIRE Conference and Exhibition, Japan, sr119H00608DIS, pp.1-8, 2011.
- (6) 田中恒夫、宮本豊尚: 電解晶析法による畜産排水からのリンとカリウムの同時回収、土木学会論文集 G (環境)、第 69 巻、第 1 号、pp.1-9, 2013.
- (7) 鈴木辰哉、田中恒夫: 排水の電気分解特性、前橋工科大学、社会環境工学科卒業研究概要集、pp.101-102, 2010.

Q & A

重力濃縮について

キーワード：重力濃縮、濃縮汚泥、遮蔽盤、みずみち棒

Q1 重力濃縮法の成績が思わしくありません。昨今の重力濃縮槽の設置状況はどうなっていますか。

A1 汚泥処理プロセスの最前段に配置される濃縮工程は、その出来、不出来が後続工程の成績を大きく左右します。例えば、濃縮成績の悪化は直近の嫌気性消化工程の消化率、ガス発生量の低下を、また、脱水工程では脱水汚泥の含水率の低下を招きます。当然のことながらこれらの後続プロセスは更に大きな影響を受けることになります。これらは現在重要視されている下水汚泥のエネルギー利用や資源化利用に大きな影響を及ぼすもので、私たちにとって濃縮プロセスは非常に重要な工程と言えます。表-1は、平成24年度下水道統計¹⁾に基づき集計した濃縮プロセスの方式別の設置台数です。重力濃縮の成績が上がらなかったり、悪化してきたために、様々な濃縮法が開発され、採用されています。しかし、現在でも主流は重力濃縮法であり、多くの基数が稼働しています。

表-1 濃縮方式別の設置基数

| 濃縮方式 | 基 数 |
|-----------|-------|
| スクリーン 式 | 9 |
| スクリュウ 式 | 25 |
| ベルト 式 | 170 |
| 遠心 式 | 524 |
| 重力 式 | 2,140 |
| 造粒 式 | 59 |
| 加圧浮上 式 | 88 |
| 常圧浮上 式 | 178 |
| その他（混合計上） | 8 |
| 計 | 3,201 |

Q2 重力濃縮法の処理成績はどうなっていますか。

A2 図-1は、重力濃縮槽に投入した汚泥種別の処理成績を得られた濃縮汚泥濃度¹⁾の累積箇所数で表したものです。濃縮汚泥濃度は、最初沈澱池汚泥で中央値が約3%-TS、余剰活性汚泥で15%-TS、混合汚泥で約2%-TSとなっています。皆様の施設ではどうなっていますか。これらの結果は決して満足するものではありません。全てにおいて4%-TS以上、少なくとも3.5%-TS以上には持っていきたいものです。

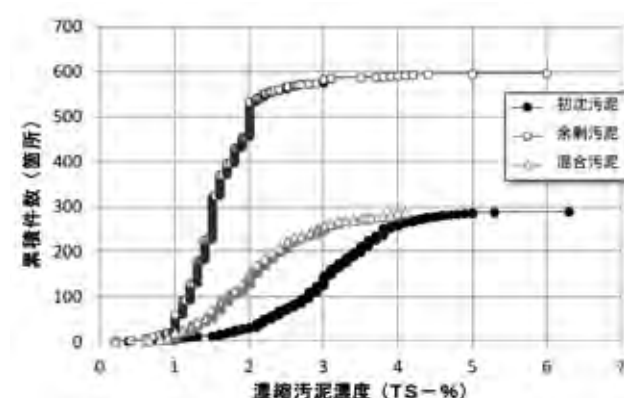


図-1 重力濃縮槽改良の模式図

Q3 上手く行っていない理由と改善方法を教えてください。

A3 最も大きな原因と考えられるのが、槽の底部に濃縮された汚泥の引抜き方法です。引抜ポンプの1回当たりの引抜き量とその引抜き速度が、槽の底部に集められた汚泥を選択的に引き抜くようになっていないことにあります。特に引抜ポンプが短時間で所定量を引き抜くように設定されているために、作動時に汚泥相の上部にある上澄液までを引き抜くことになります。これを防ぐ方法としてポンプ作動の影響を受けずらくする「遮蔽盤」を設けることです。これらの現象を模式的に図-2に示しましたので参考にして下さい。

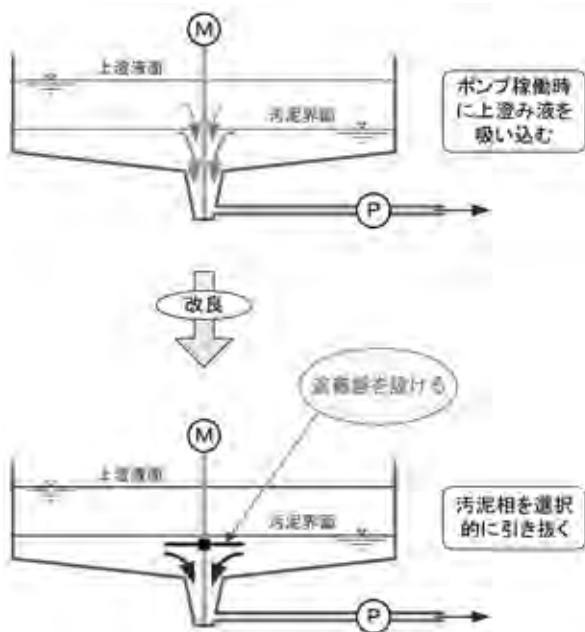


図-2 重力濃縮法の処理成績分布

Q4 さらに良くする方法がありますか。

A4 重力濃縮における汚泥粒子の濃縮機構は、全て沈降、沈澱で行われます。このために、槽の底部に積み重なるように沈降し、沈澱していくことが最も効果的と言えます。しかし、下水汚泥の場合は、水処理施設から引き抜かれる際に粒子の個数密度が相当に高くなっているために個々の粒子の円滑な沈降が生じずらくなっています。これを解決する方法の一つとして「みずみち棒」があります。これは、沈降過程にある粒子群の間隙水を円滑に排除する機能を有するもので、その詳しい解説は独立行政法人土木研究所のホームページ²⁾に見ることができます。「みずみち棒」はどのような汚泥、スラリーにも適用可能です。

Q5 このような技術情報は新しいものですか。どのようにすれば普及しますか。

A5 ここで説明した内容は、18年ほど前の下水道協会誌「講座・汚泥処理—汚泥濃縮」³⁾にも見ることが出来ます。図-2に示した改良方法は全国の自治体の町工場、鉄工所等で容易に施工できます。また、「みずみち棒」の施行も図-2よりも多少施工量は多くなりますが、これも町工場などで施工可能です。出来れば近隣の自治体と一緒にまとめて取り組み、施工し、濃縮成績を把握・共有されていくのも一法と思います。広く知らしめるためには当協会の設計指針等への掲載があります。いずれにしても省・創エネルギー、汚泥資源化に寄与していく重要なプロセスとして積極的な取組みを期待します。

((公財) 日本下水道新技術機構 落 修一)

【参考文献】

- 1) 「平成24年度版 下水道統計」, 第69号, 公益社団法人日本下水道協会
- 2) 独立行政法人土木研究所 材料資源研究グループ リサイクルチーム ホームページ
(<http://www.pwri.go.jp/team/recycling/index.htm>)
- 3) 落修一; 「講座・汚泥処理—汚泥濃縮—」, 下水道協会誌, Vol.33, No.406, pp.89～94 (1996)

現場からの

声

横浜市における消化ガス発電事業 の運転実績について

キーワード：消化ガス発電、PFI

1. はじめに

横浜市では昭和 37 年に中部下水処理場（現在の中部水再生センター）の稼動により本格的な下水道事業に着手し、現在は 11 箇所の水再生センターが稼動しています。当初、下水処理の過程で発生する汚泥は各下水処理場で個別に処理をしていましたが、昭和 62 年に北部汚泥処理センター（現在の北部汚泥資源化センター）、平成元年に南部汚泥処理センター（現在の南部汚泥資源化センター）が稼動し、パイプライン（送泥管）による汚泥集約処理を開始しました（図-1）。汚泥処理の過程で発生する消化ガスはガス発電や汚泥焼却における補助燃料に、焼却灰は土質改良材や建設



図-1 横浜市の下水汚泥集約処理システム

横浜市環境創造局下水道施設部
北部下水道センター

資源化担当 保坂 幸也

資材として有効利用や資源化への取組みを進め、現在は汚泥の燃料化事業に取り組んでいるところです。

今回は平成 21 年に PFI 事業によって更新した北部汚泥資源化センターガス発電設備（5 台）の 5 年間の運転実績について紹介します。

2. 北部汚泥資源化センターの施設概要

北部汚泥資源化センター（以下『センター』という）は、横浜市内の北部方面 5 箇所の水再生センターから送られた年間約 266 万 m³（平成 25 年度実績）の汚泥を、濃縮→嫌気性消化→脱水→焼却の順に処理しています。嫌気性消化は卵形消化タンクによって行われ、横浜の汚泥処理のシンボルとなっています（図-2）。また、この処理過程で発生する消化ガスを燃料とした



図-2 卵形消化タンク（北部汚泥資源化センター）

消化ガス発電は昭和 62 年から行われており、センター内の電力を賄うと共に、隣接する北部第二水再生センター・資源循環局鶴見工場と電力系統が一体となっており、余剰電力を電力会社に売却しています。

3. PFI 事業の概要と特徴

(1) 導入の背景

汚泥集約処理開始当初から稼動している4台（10～40号機）は国土交通省の定めた標準的耐用年数（15年）を超過し、老朽化が著しく修繕費などが嵩み、維持管理に支障を来していたため更新が必要となっていました（表-1）。そこで、消化ガスのさらなる効率的な有効利用による環境負荷の軽減、建設・維持管理にかかるコストの縮減を目的としてPFI方式による更新を行いました。

表-1 更新前ガス発電設備概要

| | | | | | |
|------|-------------|------|------|------|---------|
| | 10号機 | 20号機 | 30号機 | 40号機 | 50号機 |
| 電 圧 | 6.600V | | | | |
| 出 力 | 920kW | | | | 1,100kW |
| 稼動開始 | 昭和62年度～63年度 | | | | 平成8年度 |
| 更 新 | 対象 | | | | |

(2) 事業スキーム

- ・ 事業方式：ＢＴＯ方式
- ・ 事業形態：消化ガス発電によるサービス購入型
(図-3)
(事業者は市から無償で提供された消化ガスを利用し、市へ電力および温水を供給)
- ・ 事業期間：平成 20 年 8 月 29 日～平成 42 年 3 月 31 日
(全面供用開始は平成 22 年 1 月 1 日、運営期間 20 年間)
- ・ 契約金額：8,253,714,000 円（税込み）

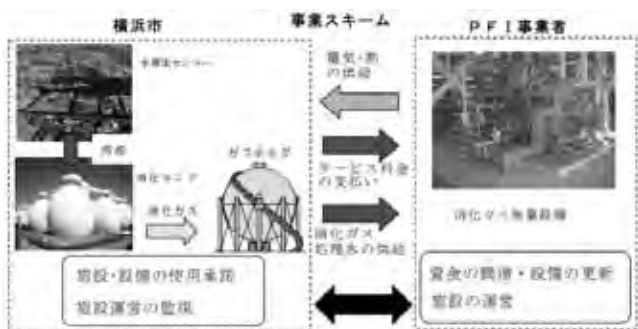


図-3 PFI 事業スキーム

(3) 事業形態

- ・ 契約者 株式会社 bay eggs (図-4)

横浜市における消化ガス発電事業の運転実績について

代表企業：JFE テクノス株式会社（現：JFE エンジニアリング株式会社）

構成員：株式会社東芝

- VFM : 8.5%



図-4 特別目的会社 (SPC)

(4) ガス発電設備

本事業では、消化ガスの想定日最大使用量、標準供給量、維持管理の観点などから出力 900kW のガス発電設備を5台導入しました（表-2）。さらに、廃熱から温水を供給するコージェネレーションシステムとなっています（図-5）。ガス発電設備はエンジンの燃費および効率向上のために①ミラーサイクル②高効率過給機③EMSによる最適化などの技術を導入しています（表-3、図-6）。

表-2 更新後ガス発電設備概要 (1 - 5号機)

| エンジン 型式 | 出力 | 消化ガス 使用量 | 発電効率 | 廃熱回収 効率 |
|------------|-------|-------------|-------|------------|
| AGP1000 | 900kW | 378m³N/h | 39.0% | 34.4% |

表-3 導入技術

①ミラーサイクル
吸気行程においてバルブの開閉タイミングを変更することで、実質的な圧縮比を低くしたサイクル。
ノッキングの発生を抑制し、高い熱効率を得ることが出来る。

②高効率過給機
過給機：排気ガスを用いて吸入する空気の圧力を大気圧以上に高める装置の総称。
排気ガスの背圧を最小限化することで、給排気の圧損であるポンピングロスを減少させている。

③EMSによる最適化
Engine Management Systemの略。点火タイミング制御、ガバナ制御、空燃比制御、保護装置等を
統括するシステムで運転モードの最適化を図る。

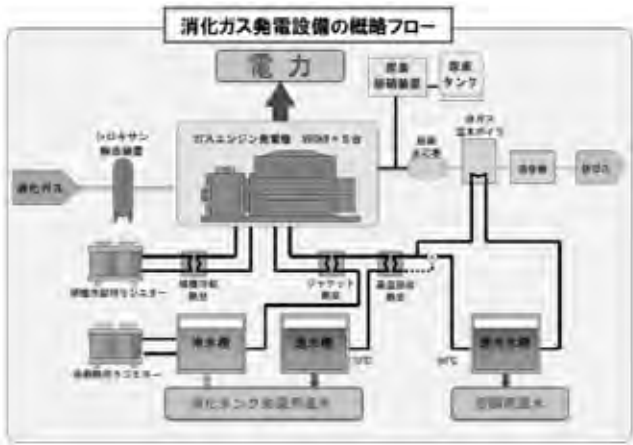


図-5 消化ガス発電設備の概略フロー

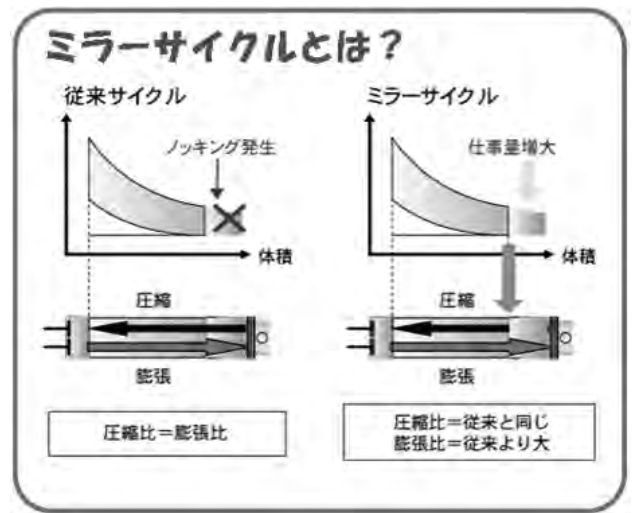


図-6 ミラーサイクル

4. 運転実績

更新した5台の発電機は、平成21年8月に2台、平成21年12月に3台が運転を開始し、年間約12,000千m³Nの消化ガスを利用して安定した発電を行っています（表-4）。各ガス発電設備は整備状況によって年度ごとに多少運転時間に差異はあるものの、平成22年度以降は、概ね年間6,500時間程度運転しており、稼働率は約75%となっています（表-5）。

また、これまでに設備の停止を伴う故障は①シリンダヘッドガスケット破断②エンジン潤滑油漏洩による発火③ピストン損傷などが発生しています（表-6）。

表-4 PFI 事業運転実績

| | 取引電力量 【kWh】 | 消化ガス使用量 【m ³ N】 | 供給熱量 【MJ】 | 加温温水 【MJ】 | 空調温水 【MJ】 |
|--------|----------------|-------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| 平成21年度 | 13,515,000 | 5,939,924 | 31,700,902 | 29,008,344 | 2,692,558 |
| 平成22年度 | 27,938,838 | 12,328,334 | 58,371,897 | 55,933,988 | 2,437,909 |
| 平成23年度 | 27,301,604 | 12,128,026 | 57,997,034 | 56,418,194 | 1,578,840 |
| 平成24年度 | 25,921,381 | 11,623,297 | 54,301,583 | 52,849,008 | 1,452,575 |
| 平成25年度 | 25,782,167 | 11,694,666 | 55,297,018 | 53,910,011 | 1,387,007 |

表-5 PFI 事業運転時間

| 運転時間 【時間】 | 1号機 | 2号機 | 3号機 | 4号機 | 5号機 | 稼働率【%】 （平均） |
|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|----------------|
| 平成21年度 | 2,352 | 2,408 | 2,466 | 5,433 | 5,379 | 41.2 |
| 平成22年度 | 7,148 | 7,324 | 6,729 | 6,367 | 6,842 | 78.6 |
| 平成23年度 | 6,176 | 7,070 | 7,028 | 6,777 | 6,379 | 76.3 |
| 平成24年度 | 6,597 | 6,388 | 5,461 | 7,034 | 6,641 | 73.1 |
| 平成25年度 | 5,977 | 6,548 | 6,012 | 6,706 | 6,520 | 72.5 |
| 累計 | 28,250 | 29,738 | 27,696 | 32,317 | 31,761 | |

表-6 故障履歴

| |
|---|
| ①シリンダヘッドガスケット破断 |
| 停止期間 約1週間 |
| 概要 L8シリンダが失火したことで、全シリンダの内圧が上昇。 L1シリンダのガスケットが破断し、ジャケット冷却水が燃焼室に噴出。 |
| 復旧・対策 シリンダヘッドの交換、新ガスケットの開発。 |
| ②エンジン潤滑油漏洩による発火 |
| 停止期間 約2週間 |
| 概要 潤滑油配管継ぎ手の破損によって潤滑油が噴出し、排気管に接触し発火。 |
| 復旧・対策 漏洩配管の交換（高耐圧）・復旧、発電機の工場整備を実施。 |
| ③ピストン損傷 |
| 停止期間 約1週間 |
| 概要 ノッキング異常発生後に重大故障でエンジンが停止。 異音がするシリンダヘッドを調査したところ、ピストン本体にクラックを発見。 |
| 復旧・対策 ピストン本体、ピストンライナー交換。 ピストン損傷の原因は調査中。 |

5. エネルギーの活用状況

更新後のガス発電設備（1～5号機）では、更新前のガス発電設備（50号機を含む。）で使用していた消化ガスの全量（5年間の平均値、約11,468千m³N）以上を使用しています（表-7、表-8）。そのため、センター内で使用する消化ガスのうち、ガス発電設備で使用する消化ガスの割合は増加しました（図-7、図-8）。また、発電原単位（発電電力量【kWh】／消化

表-7 消化ガス使用量（更新前）

| 消化ガス使用量 【m ³ N】 | 10-40号機 | 50号機 | 焼却炉 | その他 | 計 |
|-------------------------------|-----------|-----------|-----------|---------|------------|
| 平成16年度 | 7,757,631 | 3,247,262 | 4,557,106 | 663,382 | 16,225,381 |
| 平成17年度 | 8,276,178 | 3,240,211 | 4,783,472 | 475,978 | 16,775,839 |
| 平成18年度 | 8,479,829 | 3,486,657 | 4,847,517 | 316,502 | 17,130,505 |
| 平成19年度 | 8,162,107 | 3,127,044 | 5,560,469 | 147,836 | 16,997,456 |
| 平成20年度 | 8,235,274 | 3,329,255 | 5,032,899 | 364,589 | 16,962,017 |
| 平均（更新前） | 8,182,204 | 3,286,086 | 4,956,293 | 393,657 | 16,818,240 |

表-8 消化ガス使用量（更新後）

| 消化ガス使用量 【m ³ N】 | 1-5号機 | 50号機 | 焼却炉 | その他 | 計 |
|-------------------------------|------------|-----------|-----------|---------|------------|
| 平成22年度 | 12,328,334 | 1,491,412 | 3,784,400 | 777,946 | 18,382,092 |
| 平成23年度 | 12,128,026 | 2,366,629 | 3,871,361 | 104,541 | 18,470,557 |
| 平成24年度 | 11,623,297 | 2,648,339 | 3,066,207 | 33,180 | 17,371,023 |
| 平成25年度 | 11,694,666 | 2,294,832 | 2,690,090 | 53,913 | 16,733,501 |
| 平均（更新後） | 11,943,581 | 2,200,303 | 3,353,015 | 242,395 | 17,739,293 |

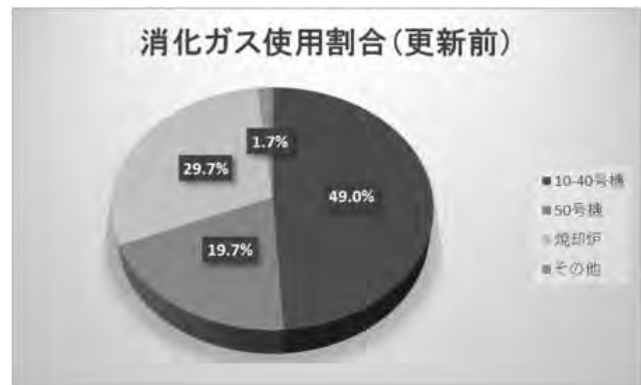


図-7 消化ガス使用割合 (更新前)

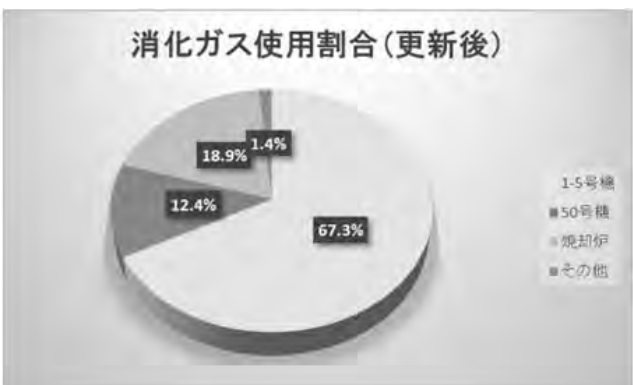


図-8 消化ガス使用割合 (更新後)

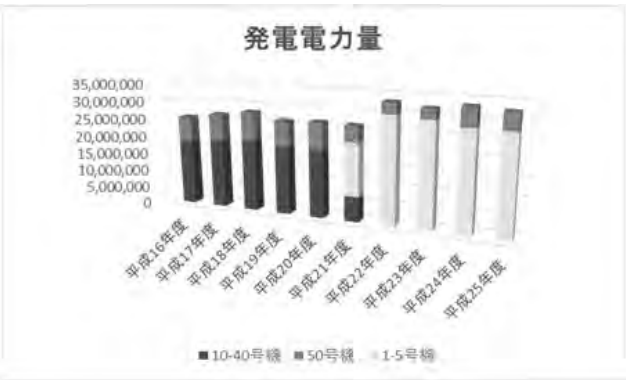


図-9 発電電力量の推移

表-9 使用電力量とガス発電量

| 電力量 | 使用電力量 【kWh】 | ガス発電量 【kWh】 | 買電電力量 【kWh】 | 発電比率 【%】 |
|--------|----------------|----------------|----------------|-------------|
| 平成20年度 | 30,780,130 | 23,578,800 | 7,201,330 | 76.6 |
| 平成21年度 | 30,757,420 | 24,219,010 | 6,538,410 | 78.7 |
| 平成22年度 | 30,950,060 | 31,020,446 | -70,386 | 100.2 |
| 平成23年度 | 34,649,200 | 31,920,701 | 2,728,499 | 92.1 |
| 平成24年度 | 38,453,740 | 30,901,657 | 7,552,083 | 80.5 |
| 平成25年度 | 39,222,350 | 30,173,672 | 9,048,678 | 77.1 |

ガスの使用量【m³N】）を更新前後で比較すると、2.36 → 2.41kWh / m³N 上昇しており、より効率的に発電できるようになっています。

消化ガスの発生量が増加する冬季には更新対象外であった既設 50 号機を運転することで、消化ガスの有効利用を図り発電電力量はさらに増加しています（図-9）。そのため、平成 22 年度にはセンター内の使用電力量をガス発電量が上回る結果（発電比率 100% 以上）となりました（表-9）。平成 23 年度以降、発電比率が 100% を下回っているのは、汚泥処理工程で発生する分離液を処理する施設が新規稼動したため、使用電力量が増加したからです。

6. おわりに

ガス発電設備を高効率なものに更新することで、センター内で使用している電力を 100% 近く賄うことが出来るようになりました。今後は設備の稼働時間に見合った大規模な点検や金利の見直しによる基本料金の見直しなどが予定されています。また、物価の上昇に伴う購入電力単価の見直しも想定されます。安定した発電事業を継続していくためにも PFI 事業者との緊密な連携及びモニタリングが必要だと考えています。また、質、量ともに安定した消化ガスの供給のためには、発電事業だけでなく、安定した汚泥処理を継続していく必要があります。

文献紹介

新鮮下水汚泥と乾燥下水汚泥からの重金属とアルキルフェノール化合物の溶出

Leaching of heavy metals and alkylphenolic compounds from fresh and dried sewage sludge
Jelena Milinovic & Miquel Vidal & Silvia Lacorte & Anna Rigol
Environmental Science and Pollution Research
212009-2017 (2014)

欧州連合 (EU) では、都市廃水処理に関する閣僚理事会指令 91/271/EEC の実施により下水処理場から排出される下水汚泥の量が増加し続けている。スペインを含む上位 5 カ国が排出する汚泥量は EU 全体の約 72% を占める。農地へ有機肥料としての汚泥が再利用される割合は EU 内で大きく異なるが、スペインでは 67% (2015 年) と高い。汚泥の農地への再利用は有益であるが、重金属や有機汚染物質の中・長期的汚染にかかわる懸念が残る。2000 年 EU では、1986 年に設定した重金属の最大許容値の引き下げとともにいくつかの有機汚染物質、例えば内分泌攪乱作用を有するアルキルフェノール化合物 (APCs) に対しては 50mgkg^{-1} の最大許容値が提案された。本論文の著者らは、汚泥の環境へのリスクを明らかにするために、重金属と APCs の溶出について汚泥の性質が、また乾燥処理がおよぼす影響評価を行った。

北東部の 5 下水処理場から採取した汚泥を均質化処理をしたものを新鮮汚泥とし、これを重量が一定になるまで 40°C で乾燥したものを乾燥汚泥とした。汚泥中の Hg や Cd などは定量限界値未満だった。他の重金属 (Cu, Ni, Pb, Zn, Cr) は 2000 年に提案された最大許容値よりも低かった。APCs は、オクチルフェノール (OP) : $0.3 \sim 14.9\text{mgkg}^{-1}$ 、ノニルフェノール (NP) : $3.8 \sim 187\text{mgkg}^{-1}$ 、ノニルフェノールモノエトキシレート (NP1EO) : $3.2 \sim 56\text{mgkg}^{-1}$ であった。嫌気性消化処理を行っている下水処理場から採取された汚泥は NP 濃度が高かった。これは APCs から強親油性分解生成物、特に生分解への耐性をもつ NP が生成されたことによる。汚泥溶出液中の懸濁有機炭素 (POC) は、全有機炭素 (TOC) と溶存有機炭素 (DOC) の差から求めた。溶出液は汚泥 (乾物当たり) : 純水 = 1 : 10 を振盪 (24 時間、60 rpm、暗所)、遠心分離 (30 分間、 450g) より得た。

新鮮汚泥溶出液の pH は $7.6 \sim 7.8$ 、DOC : $12,200 \sim 35,800\text{mg kg}^{-1}$ であった。乾燥汚泥溶出液の pH : $6.0 \sim 7.1$ 、DOC : $21,300 \sim 70,000\text{mg kg}^{-1}$ であった。DOC が新鮮汚泥 < 乾燥汚泥であったのは、乾燥処理で構造がより単純で疎水性がより低いアミノ酸や炭水化物含量が多くなり、微生物分解が増大したことによる。乾燥汚泥溶出液中の DOC と pH は負の相関 ($R^2=0.94$, $P=0.01$) を示し、乾燥処理による水溶性有機化合物濃度の上昇が溶出液 pH の低下の原因であ

ることが確認された。新鮮汚泥では溶出液中の pH と DOC の間に相関は無かった。新鮮汚泥では溶出液中の TOC は DOC よりも明らかに多く (比例定数 : 2.1, $R^2=0.89$, $P=0.02$)、POC/TOC は 50% 以上であった。一方乾燥汚泥溶出液中の TOC と DO 値はほぼ同じであった (比例定数 : 1.0, $R^2=0.95$, $P=0.01$)。フーリエ変換赤外分光計の分析から、新鮮汚泥では疎水性 CH- グループが、乾燥汚泥では親水性の CO- 官能基が多いことが判明した。GC-MS の分析から、新鮮汚泥には APCs が多量に存在することが示された。

重金属では Ni が最も高い溶出率を示した (新鮮汚泥 : 13.1%, 乾燥汚泥 : 43.4%)。pH が低いと金属と有機物間の親和性が低下することから、pH が低い乾燥汚泥溶出液中に Ni が多く溶出したと判断された。また DOC が金属の可溶性に参与したことも考えられた。Cu は溶出率が最も低く (0.4% 未満)、溶出パターンは Ni と同様に新鮮汚泥 < 乾燥汚泥であった。この類似性は、過去に報告された有機物への Cu の親和性 (Dijkstra et al. 2004)、Cu と DOC 間で可溶性複合体が形成され金属の再移動を容易にすること (Bolan et al. 2003) と一致する。Pb、Zn と Cr の溶出率 (5% 以下) と乾燥処理の間に相関はみられなかった。

溶出液中の APCs は新鮮汚泥では OP と NP が同じ溶出パターンを示した。NP1EO の溶出率は嫌気性消化を行っていない下水処理場で採取した汚泥で高いことから、処理場での生物学的処理過程が大きく影響することが示唆された。新鮮汚泥溶出液中の高い POC 含量と APCs 溶出率に相関関係 (OP : $R^2=0.30$, NP : $R^2=0.79$, NP1EO : $R^2=0.55$) がみられたことから、新鮮汚泥で APCs 溶出率が高いのは溶出液中に多く存在する懸濁有機物に APCs が結合しているため容易に抽出されたことに因る。これとは対照的に、乾燥汚泥では、溶出液中の POC 量少ないため APCs の溶出率は小さく、APCs は汚泥の固相に残っていると判断される。

以上の結果から本論文の著者らは、乾燥処理は汚泥中の有機物の特性に、ひいては汚染物質の溶出に影響を与えると結論づけた。乾燥処理は有機物をより単純な分子化合物に分解させ DOC の増加をもたらし、Cu と Ni のような重金属の溶出増加に関与すると考えられたが、汚泥中の重金属総濃度は最大許容値を下回っていることから、乾燥処理がもたらす環境への二次的影響は無視できるとしている。また、汚泥の乾燥処理は POC の寄与を減少させ、劇的に OP、NP と NP1EO の溶出率を低下させること、そしてまだ規制されていない有機化合物の溶出率低下も期待できると指摘し、乾燥汚泥が環境へのリスクが小さい改良資材であると判断している。

(農業環境技術研究所 主任研究員 杉山 恵)

文献紹介

有機性一般廃棄物との混合消化に前処理を付加することによるバイオガス生成量増加

Chenxi Li, Pascale Champagne and Bruce C. Anderson
Water Science & Technology 69.2, 2014, IWA

1. 研究の背景と目的

一般廃棄物に含まれる油脂類（脂質、潤滑油、グリース）を補基質として混合消化に用いることで、メタン生成量の増加を期待できることが様々な既往研究で示された。また、熱化学的前処理によってメタン生成量が増加することも多くの既往研究で報じられた。しかし、これらを組み合わせた手法については、あまり報告事例がない。

本研究では、油脂類との混合消化を行う 2 段式嫌気性消化に、熱化学的前処理を付加した実験装置で準連続試験が行われ、バイオガス生成量等について調査された。

2. 実験方法

実験に用いた消化槽実験装置の馴致には、実際の下水処理場の消化槽汚泥が用いられた。実験で処理する汚泥には最初沈殿池汚泥が用いられた。油脂類にはクイーンズ大学構内のレストラン廃油槽から回収して 4℃ で保管された廃油が用いられた。

実験は、前処理をもつシステム I と、前処理を持たないシステム II で行われた。

システム I では、pH を 10 程度に調整された基質が前処理槽（PR0）で温度 $55 \pm 2^\circ\text{C}$ 、水理学的滞留時間（HRT）24 時間のもとに処理され、その後消化槽第 1 槽（PR1）、次に消化槽第 2 槽（PR2）で処理された。

システム II では、基質は pH 調整及び前処理なしで消化槽第 1 槽（R1）に投入され、その流出汚泥が第 2 槽（R2）にて処理された。

全ての消化槽（PR1、PR2、R1、R2）の HRT は 24 時間で、 $55 \pm 2^\circ\text{C}$ で運転された。システム I、システム II はどちらも処理量 500ml/日、有機物負荷 $1.83 \pm 0.09\text{gTVS}/(\text{l} \cdot \text{日})$ で、油脂類 15ml/日が混合消化された。

3. 実験結果

(1) 前処理の効果

システム I では前処理で TVS 濃度が 16% 減少した。これは、前処理で基質中の固形有機物の可溶化によって TVS が減少するとした既往文献の観察結果と合致するものであった。

TVS が減少する一方で、前処理では通常、加水分解の中間生成物として溶解性有機物が増加する。本実験でも PR0 の前後で COD 濃度はほぼ不変であったのに対し溶解性 COD（SCOD）濃度は 50% 増加した。COD の可溶化は嫌気性消化効率の主要な予測因子であることから、システム I はシステム II よりも高い消化効率が予測された。

前処理によって揮発性脂肪酸（VFA）は 25.1mg/l

から 835mg/l に増加し、pH が 10 から 9.1 程度に低下した。

以上から PR0 での前処理で、加水分解が進行したと考えられた。

(2) 前処理の有無による 2 段消化でのバイオガス生成量

バイオガス生成量は、システム I の PR1 とシステム II の R1、R2 で、運転 15 日以降安定した。

安定期では、R1 のバイオガス発生量は 16.0l/日程度、メタン濃度 67.6% 程度であったが、R2 は R1 よりバイオガス生成量が少なかった。PR1 ではバイオガス生成量 21.7l/日、メタン濃度 70.2% で、PR2（3.44l/日、69.9%）より大幅に大きかった。

第 1 槽と第 2 槽では、第 1 槽の方がバイオガス発生量は多く、また PR1 と R1 では、PR1 の方が多くのバイオガス生成を得られた。また、COD、SCOD、TS、TVS 除去率は PR1 の方が R1 よりも大きく、より良好な有機物除去が行われた。

システム I、システム II 共に第 2 槽でのバイオガス生成量が第 1 槽よりも少ないのは、第 2 槽へ流入した汚泥の有機物負荷や SCOD、SCOD/COD 比、TVS が第 2 槽で低かったことに起因すると考えられた。

バイオガス生成安定期において酢酸は、VFA の中でバイオガス生成とメタン濃度に影響を与える主要要素であることが既往文献で報じられている。両システムとも第 1 槽からは酢酸が検出されたが、第 2 槽からはほとんど検出されなかったことから、嫌気性消化が可能な有機物の殆どが第 1 槽でバイオガスに変換されたことが分かった。

システム I とシステム II の結果比較により、前処理の実施で、バイオガス生成量が 34.8% 増加し $25.1 \pm 2.14 \text{ l/日}$ となり、メタン含有濃度は 1.2% 増加し $70.2 \pm 1.40\%$ を得た。また、有機物除去量が増加し、COD 除去率が $53.3 \pm 0.12\%$ 、SCOD 除去率が $87.1 \pm 0.72\%$ となった。

4. まとめ

・下水汚泥に油脂類を混合し、有機物負荷 $1.83 \pm 0.09\text{gTVS}/(\text{l} \cdot \text{日})$ で 2 段消化を行う準連続実験で、熱化学的前処理（pH10、 55°C ）の有無による効果が調査された。

・熱化学的前処理により SCOD/COD 比と中間生成物の VFA を増加させ、加水分解を促進させることができた。

・熱化学的前処理を行うことで、2 段消化システム（ 55°C 、24 日×2 槽）のバイオガス生成量が 34.8% 増加し $25.1 \pm 2.14 \text{ l/日}$ となった。メタン含有濃度は若干増加し $70.2 \pm 1.40\%$ となった。また、有機物除去量が増加し、COD 除去率が $53.3 \pm 0.12\%$ 、SCOD 除去率が $87.1 \pm 0.72\%$ となった。

（日本下水道事業団技術戦略部

資源技術開発課課長代理 岩崎 旬）

講座：エネルギー化技術の最新動向について

活性汚泥の有効利用に関する新技術

株式会社 GEC

代表取締役 上原 春男

キーワード：活性汚泥、炭化炉、賦活炉、バイオオイル、活性炭

1. はじめに

人間をはじめ、家畜、動物、植物など全ての生命あるものは、何らかのエネルギー源を体内に取り入れねばならない。しかし、生命を保つには、必ず、取り入れたエネルギーの一部を体外に排出せねばならない。これは、生物の大原理である。

生命維持のために、取り入れるエネルギー源は、生物の種類によって異なる。人間は、エネルギー源として、食料（穀類、魚、肉）を取り入れ、これを有効エネルギーにするためには、水と空気と光を取り入れねばならない。人間が一日に取る食事は、約 1000g、酸素は 500ℓ、水は 2.3ℓといわれる。

一方、人間が排出するものは、尿と汗 2.3ℓ、糞 200～300g、二酸化炭素 480ℓといわれている。この人間が排出する尿と糞は、一般には汚い物（汚物）とかクソといわれ忌み嫌われていた。

しかし、文明文化の発達とともにこの汚物をきちんと処理している国は文化程度が高いとの評価がなされるようになって、下水道処理施設の整備がなされるようになった。

ところが、近年になって、「汚物」として忌み嫌われていた生物の排出物にも価値があることが認識されるようになり、下水汚泥の有効利用技術が急速に開発され出した。

本報告は、著者が、考案した活性汚泥の有効利用技術の概要を述べたものである。

2. 活性汚泥と新有効利用法

下水道の普及率は、年々上昇してきている。1996年には55%であったが、2011年には76%になっている。生活排水の処理は下水道が進まない地域では合併浄化槽が設置されている。これら下水道や合併浄化槽で発生する下水汚泥の量は、年々増加しており、年に約8000万トンと推定される。この膨大な下水汚泥を処理するために、これまでは膨大なエネルギーを使用して来た。しかし、最近のエネルギー価格の高騰と地球温暖化対策の高まりにより、省エネルギーで二酸化炭素の排出量を減少し得る技術が求められている。

図1は、著者が考案した活性汚泥の有効利用を目的としたシステムの略図である。

図1に示すように、乾燥炉、炭化炉、賦活炉と、それらを加熱するボイラ、ヒーター、及び凝縮器などから成り立っている。

図1にそって、各工程ごとに概略説明する。

第1工程 乾燥工程

乾燥炉に活性汚泥を投入する。活性汚泥は、水分を約60～80%を含んでいるので、乾燥炉にて、水蒸気加熱する。すると、活性汚泥に含まれている水蒸気と揮発性の物質が蒸発する。その蒸気を凝縮器に入れ、冷却水で冷却して液化すると、少し赤みをおびた液体が取れる。これは、農業に利用できるもので、タンクにためておく。

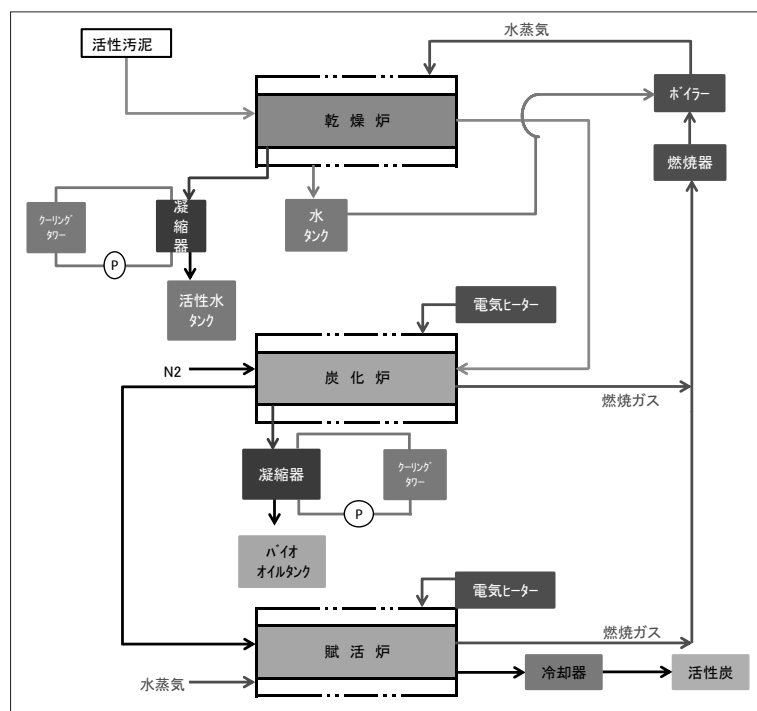


図1 活性汚泥 有効利用システム

第2工程 炭化工程

第1工程の乾燥工程で大部分の水分を失った活性汚泥を第2工程である炭化炉に入れる。そこで、加熱すると、活性汚泥に含まれる酢酸などのオイル成分が蒸発する。その蒸気を凝縮器に導き、冷却水で冷却すると、バイオオイルが取れる。

第3工程 賦活工程

第2工程で炭化した炭化物を賦活炉に投入し、水蒸気を加えながら加熱して賦活する。すると、比表面積 $200\text{m}^2/\text{g}$ の活性炭ができる。これは下水道などに利用できる可能性がある。また同時に燃焼ガスも発生する。

各炉には凝縮器やセンサー、データロなどがついて

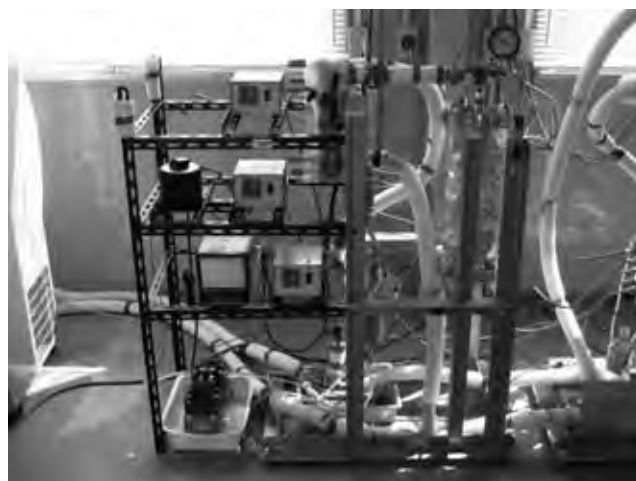


図2 乾燥炉



図3 炭化炉



図4 賦活炉



図5 伊万里市の活性汚泥

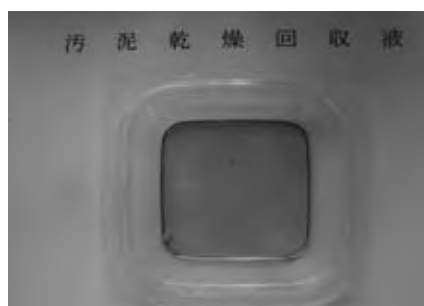


図6 乾燥の際に発生した液体

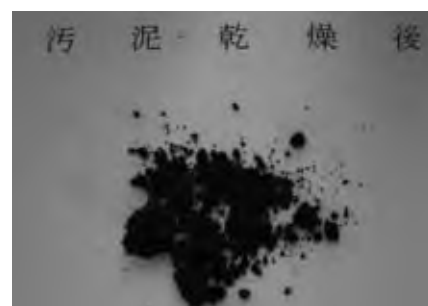


図7 乾燥後の活性汚泥

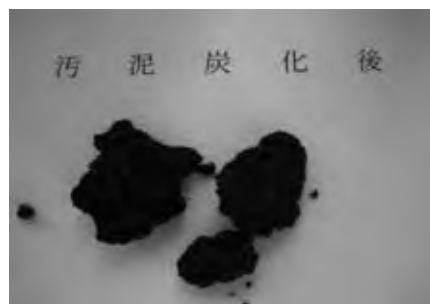


図8 炭化物

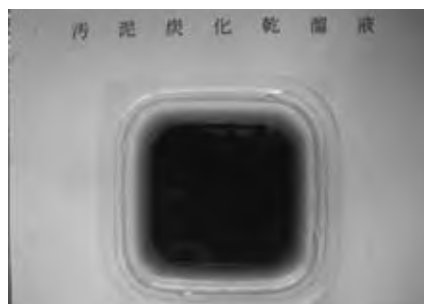


図9 炭化の際発生したバイオオイル



図10 活性炭

3. 実験装置と実験結果

図5は、伊万里市の下水道処理プラントより運んで来た活性汚泥である。

図6は、図2の乾燥炉で乾燥した際に発生した蒸気を凝縮させて得た液体である。水だけだと無色透明であるが、液は多少黄ばんでいる。なんらかの成分が入っているものと考えられる。

図7は、活性汚泥を乾燥したものである。図5の原活性汚泥に比べるとサラサラしている。

図8は図3の炭化炉で図7の汚泥を炭化させた後の汚泥の炭化物である。

図9は、炭化の際に発生した蒸気を凝縮して得たバイオオイルである。炭化の際には窒素ガスを入れ、酸素を混入させないようにする。

表1はバイオオイルの分析結果である。

表1に示すように、図9に乾溜液に含まれるのは、水分と酢酸とマロン酸がほとんどである。これらは、農業用としても使用できるが、若干の工夫をすると、燃料として利用できる可能性がある。

図10は賦活炉で図8の炭化物を賦活した活性炭である。炭化物を賦活する際には、賦活炉に純度1～3 μ S/cmの純水を蒸発器で蒸発して得た水蒸気を賦活炉に入れる。この水蒸気の量と入れ方によって、活性炭の特性が大きく異なる。

この活性炭の場合、比表面積は、200 m^2/g であった。

表1 バイオオイルの分析結果

1. 分析結果

1-1. 無機測定(定性半定量) ICP

検出元素

| 単位(mg/L) | | | 単位(ppm) | |
|----------|-----|-------|---------|-------|
| 残渣 | 油分 | 水分(%) | Si | S |
| 28,000 | 490 | 97.15 | 7.8 | 137.0 |

1-2. 有機物測定(定性半定量) 液体クロマト

| 測定希釈 | 検出有機物 | | |
|-------|-----------|---------|------------------------|
| 1/100 | ② マロン酸 | ⑩ 酢酸 | 15, 16, 17, 21 若干検出 |

図11(a)(b)と表2に活性炭に含まれる炭素量と金属の量を蛍光X線で測定した結果を示す。

4. むすび

伊万里市の下水道処理プラントで発生した活性汚泥を当社で開発した活性汚泥用有効利用プラントで実験し、結果の一部を報告した。このシステムは、今後活性汚泥の有する物質及びエネルギーの有効利用に貢献する可能性があると考えている。著者は、このシステムのパイロットプラントを建設し、さらに詳細なデータの蓄積をすべきであると考えている。

定量分析結果報告書

| ■ 試験情報 | | | | | | | | | |
|----------|----------------------------|------------|---------------------|------|---------------|--------------|---------------|---------------|--------|
| 元件名 | 活性素 | 測定日時 | 2014/07/31 13:46:07 | | | | | | |
| ターゲット | Pro.1 - 伊万里下水道汚泥 | 測定・対象 | バルク / 粗面 | | | | | | |
| コメント | | | | | | | | | |
| ■ 測定条件 | | | | | | | | | |
| 測定範囲 | 4 θ | 標準値 | RX7000 - 702161RX | | | | | | |
| フィルター | 電用 | Real Time | 100 sec. | | | | | | |
| 露出部 | 大気 | Live Time | 87 sec. | | | | | | |
| 電圧 | 50 kV | Dead Time | 13.3 % | | | | | | |
| 電流 | 1000 μ A (自動) | 判定文書 | 個別指定 | | | | | | |
| 定量方法 | バルク法 (標準試料あり)・標準試料: 活性素-4P | | | | | | | | |
| ■ 成分結果 | | | | | | | | | |
| 成分 番号 | 元素名 | 種 | 面積佔有 [cps] | z | 待出濃度 [ppm] | 試料 [ppm] | 濃度基準 [ppm] | 精度基準 [ppm] | 判定 |
| 1 | C (樹脂成分) | | | | 943262.02 | ± 0.00 | | | パラス2成分 |
| 26 | Fe (鉄) | K α | 1693.61 | 4.74 | 37818.90 | ± 205.61 | 0 | ± 0 | 基準値未入力 |
| 29 | Ca (カルシウム) | K α | 1864.08 | 1.59 | 10910.92 | ± 450.67 | 0 | ± 0 | 基準値未入力 |
| 19 | K (カリウム) | K α | 20.61 | 0.73 | 5903.09 | ± 401.32 | 0 | ± 0 | 基準値未入力 |
| 22 | Ti (チタン) | K α | 39.48 | 0.80 | 2090.36 | ± 107.00 | 0 | ± 0 | 基準値未入力 |
| 30 | Zn (亜鉛) | K α | 297.53 | 1.92 | 1244.59 | ± 23.19 | 0 | ± 0 | 基準値未入力 |
| 29 | Ca (カルシウム) | K α | 135.15 | 1.31 | 709.12 | ± 22.11 | 0 | ± 0 | 基準値未入力 |
| 40 | Zr (ジルコニウム) | K α | 153.57 | 1.26 | 61.01 | ± 2.10 | 0 | ± 0 | 基準値未入力 |
| 25 | Mn (マンガン) | K α | 0.00 | 0.51 | 0.00 | ± 0.00 | 0 | ± 0 | 基準値未入力 |

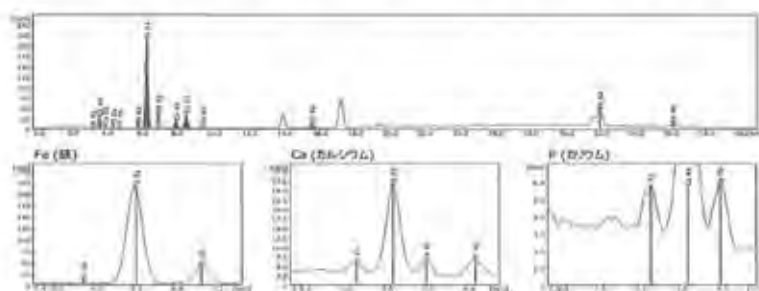


図 11 (a) 活性炭に含まれる金属

定量分析結果報告書

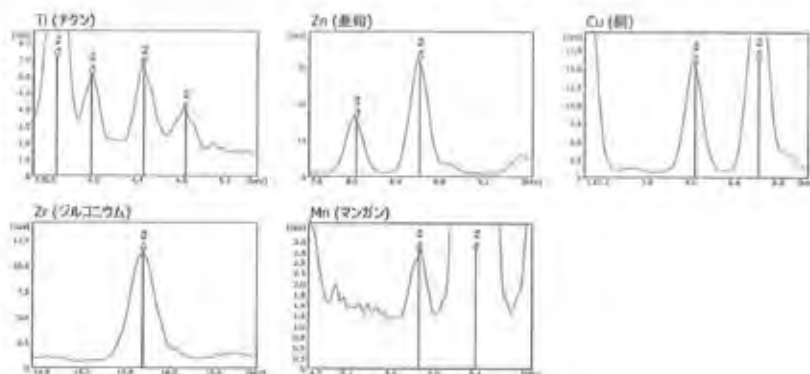


図 11 (b) 活性炭に含まれる金属

表2 賦活の際発生する有機ガス

1-2 分軌條件

供与試料よりシリンジでガス採取し、測定した。

カラム: UA-6 20.0 \pm 0.25 \pm 0.25 μ m

膜厚条件: 40°C ~ 320°C (1min, 5min)

スキャン(マスキング) 20-650 インターフェイス320°C

1-3. 試験結果(別紙チャート参照)

| 試料名 | 検出元素 |
|----------------|--|
| 6/18伊万里湾泥炭化時ガス | イソブタン、メタン、エーテル、イソブチルアルデヒド、エーブタン、2-メチルブタン、 2-メチルプロパン、アルデヒド、2,5ジメチルフラン、ジメチルジメチルエーテル、 エーテル、ヘキサメチルシクロトリシロキサン |
| 6/20伊万里湾泥炭化時ガス | ベンゼン |
| 6/18伊万里湾泥炭化時ガス | メタン、エーテル、エーブタン |

講座：エネルギー化技術の最新動向について

下水汚泥からの 新しい水素製造方法

東北大学多元物質科学研究所

教授 加納 純也

キーワード：水素、水酸化カルシウム、水酸化ニッケル、メカノケミカル法

1. はじめに

東日本大震災を経験し、安全で安定的供給が可能なエネルギー、安全に輸送ならびに貯蔵できるエネルギーの確保が強く望まれるようになった。また、地球温暖化抑制の観点からは、化石燃料を原料としないエネルギー、使用しても二酸化炭素を排出しないエネルギーが求められている。これらに該当するエネルギーとしては、水素エネルギーが挙げられる。水素は、輸送・貯蔵することができ、必要なときに必要な分だけ使用することができる。平成26年4月に発表されたエネルギー基本計画¹⁾においても、“水素社会”の実現に向けた取り組みを加速することを明記している。トヨタ自動車は、2014年に水素を燃料とする燃料電池車を発売し、水素ステーションの建設も始まっており、水素が今後の二次エネルギーのあり方の一つとして重要な位置を占めるようになってきた。水素をエネルギーとして使用しても、水しか発生しない点では、環境保全に貢献しているが、水素を製造するための原料はほとんどが天然ガスなどの化石燃料であり、その製造過程では二酸化炭素が排出されている。したがって、現在、製造されている水素を使用すると、間接的に二酸化炭素を排出していることになる。環境保全に貢献するためには、原料を化石燃料から再生可能なエネルギーに変更する必要がある。再生可能なエネルギーには、太陽光、風力、水力、地熱、バイオマスがあり、固定価格買取制度が始まったことにより、電気エネルギーへの変換が急速に進んだ。バイオマスには、

畜産資源、林産資源、食品資源、下水汚泥などがあり、林産資源はバイオマス発電の原料としても使用されているが、バイオマスの確保や収集、コストが高いことが課題となっている。一般的に畜産資源、森林資源、食品資源などのバイオマスは、広く浅く分布し、それを集めるだけでバイオマスが持っているエネルギーを使用してしまうこともある。一方、下水汚泥は、インフラが整っていることから、特定の箇所に必然的に集約され、約90%の有機成分と約10%の無機成分から構成されており、その成分は年間を通して大きく変動することはなく、質・量とも安定している。無機成分の約70%は、建築材料や路盤材等に再利用されている。一方、有機成分は、浄化センターの約300カ所で消化ガスとして、その他農緑地、炭化などで利用されてはいるが、約76%は未利用である²⁾。

水素製造をカーボンニュートラルであるバイオマスの一つである下水汚泥から行えば、地球温暖化の抑制と水素社会の構築に貢献できるもの考えられる。下水汚泥から水素を製造する方法として、嫌気性発酵により消化ガスを生成し、それを水蒸気改質・水性ガスシフト反応による方法³⁾や超臨界水を利用する方法^{4,5)}が提案されている。著者らは消化ガスを経由しないで、下水汚泥から水素を常圧下で製造する方法を考案した。そこで本稿では、下水汚泥から直接的に水素を製造する方法ならびに木質バイオマス、プラスチックを原料とした場合の水素の製造方法を紹介する。

2. バイオマスなどの有機物からの水素直接製造プロセス

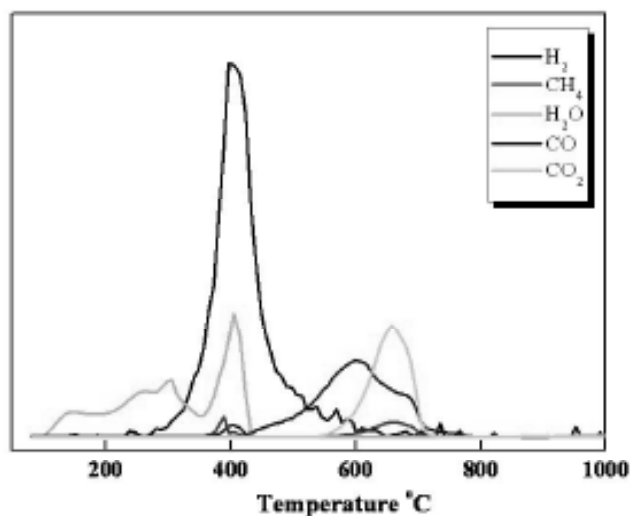
バイオマスなどの有機物からの水素直接製造プロセスは、二つのステップから構成されている（図1）。まず、バイオマスとガス化剤、触媒をメカノケミカル法により混合粉碎し、その後、600℃程度の水蒸気雰囲気下で加熱し、水素を製造する⁶⁻¹⁰⁾。ガス化剤には、水酸化カルシウム、触媒としては、水酸化ニッケルを用いている。メカノケミカル法は、粒子を微細化、微細均一混合、粒子表面の化学的活性化を促す方法であり、一般的には、いわゆる粉碎装置が使用される。本研究では、遊星ボールミルを用いている。加熱温度は、水蒸気改質反応で必要となる約900℃に比べ低く、600℃程度であるという特徴がある。



図1 バイオマスからの水素直接製造プロセス

2.1 木質系バイオマスからの水素製造

木質系バイオマスの主成分の一つであるセルロースを対象とした水素製造実験に関して、まず紹介する。図2 (a)、(b) に、セルロースのみのマススペクトルならびにセルロースに水酸化カルシウム、水酸化ニッケルを加えて遊星ボールミルにより粉碎混合した試料のマススペクトルを温度の関数として示す。セルロー



(a) セルロースのみ

スのみの場合は、一酸化炭素、二酸化炭素、水のためのピークが観察され、水素の発生は認められなかった。一方、セルロースに水酸化カルシウム、水酸化ニッケルを混合粉碎した試料のマススペクトルでは、水素が約300℃から立ち上がり、約400℃でピークを示し、約600℃まで発生することがわかる。その他にメタン、水、600℃以上の高温で一酸化炭素、二酸化炭素の発生が認められるが、最も大きなピークは、水素であることがわかる。

図3はセルロースに水酸化カルシウムと水酸化ニッケルを加えて2時間粉碎混合した試料とそれをアルゴンガスをキャリアガスとして、525℃で加熱した試料のXRDパターンである。粉碎混合試料のXRDパターンには、原料として混合した水酸化カルシウムと水酸

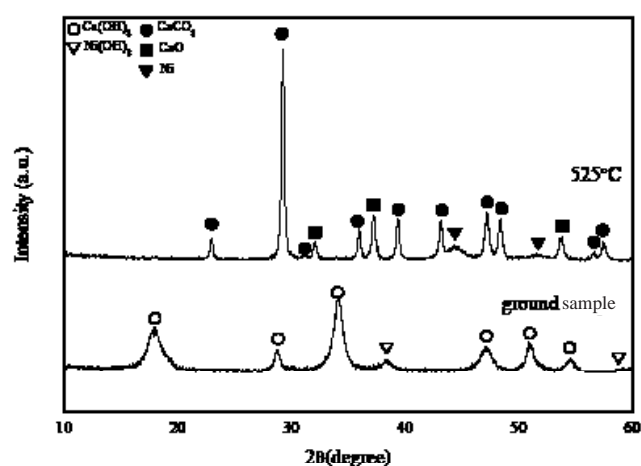
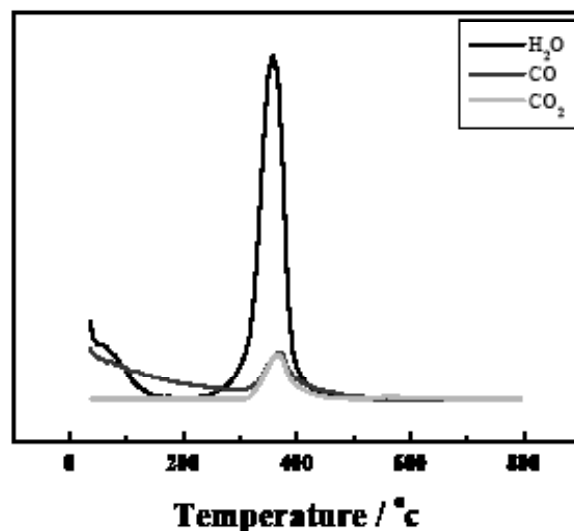


図3 セルロースに水酸化カルシウムと水酸化ニッケルを2時間粉碎混合した試料とそれを525℃で加熱した試料のXRDパターン



(b) 粉碎混合した試料

図2 温度とマススペクトルの関係

化ニッケルのピークのみが観察され、粉碎過程における化学反応は認められない。一方、その試料を加熱すると、炭酸カルシウム、酸化カルシウム、ニッケルのピークがXRDパターンに観察される。これは、加熱中に、水酸化カルシウムの脱水、水酸化ニッケルの脱水と還元などの化学反応が起きたものと推定される。

図4に加熱前後の試料の写真を示す。粉碎後（加熱前）の試料は、白い色をしており、それを加熱すると黒い色へと変化する。これは、加熱後の試料のXRDパターンによって確認されている炭酸カルシウム、酸化カルシウム、ニッケルは、いずれも黒色ではないので、セルロースの一部がチャーになったものと推察される。

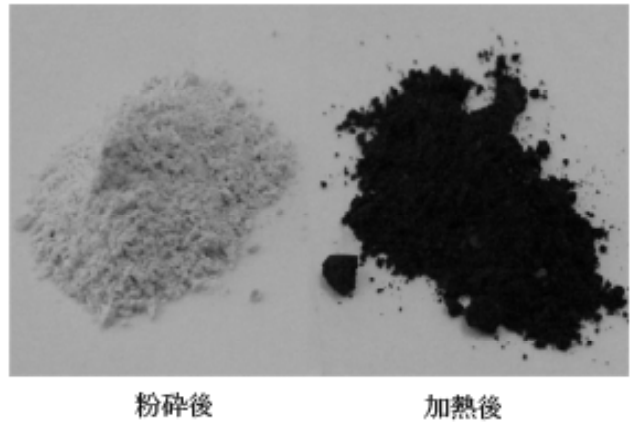


図4 混合粉碎後(加熱前)(左)と加熱後(右)の写真

加熱過程で生成したガスの組成を表1に示す。約93 mol% 以上の水素が生成、その他に若干のメタン、一酸化炭素、二酸化炭素が生成されることがわかる。

表1 生成ガスの成分

| H ₂ | CH ₄ | CO | CO ₂ |
|----------------|-----------------|-----------|-----------------|
| 93.5mol% | 6.38 mol% | 0.08 mol% | 0.03 mol% |

以上の結果から以下の反応が起きているものと推定される。

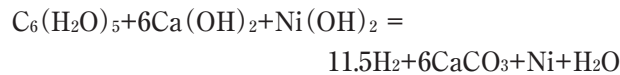


図5に水素の生成に及ぼす粉碎混合時間の影響を示す。粉碎混合を行わないとほとんど水素が生成されず、その時間を増加させるとピーク強度が高くなり、水素の生成量が増えていることがわかる。セルロースを水素エネルギーに変換するプロセスであるので、粉

砕混合に必要なエネルギーを最小限にし、水素の生成が最大になる条件を見出す必要がある。

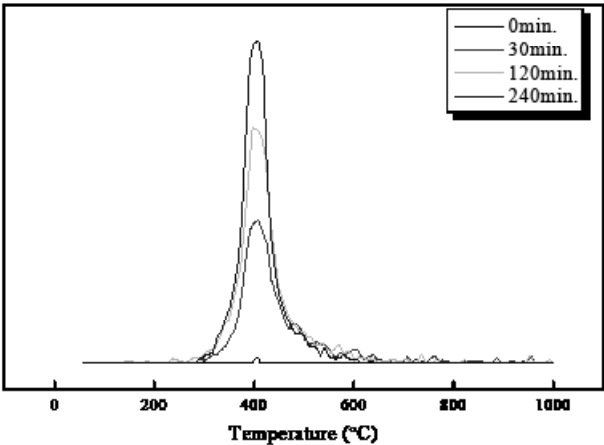


図5 水素の生成に及ぼす粉碎混合時間の影響

ここで、セルロース（1 モル分子量 = 162g）1kg 当たりの水素の発生量は理論的には61.7gであるが、実際には59.9g（発生率 = 97.1%）となった。

図6にはセルロース試薬の他に稲わら、印刷用紙、コーヒー滓、杉材を原料とした場合の水素の発生量を示す。いずれの原料においても、水酸化カルシウムと水酸化ニッケルを粉碎混合し、その試料を加熱することにより水素が生成することがわかる。水素の発生量は、本来のバイオマスの組成やその性状にも依存しているものと考えられる。

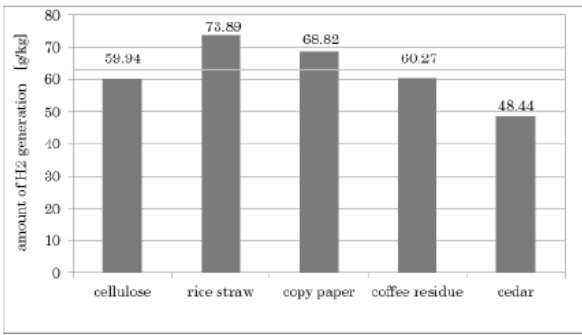


図6 水素の発生量

2.2 プラスチックからの水素製造

これまでのプラスチックからの水素製造方法として、約700℃以上の温度での熱分解ガス化の研究がある¹¹⁾。生成ガスは、原料樹脂の種類や温度条件に依存し、H₂、CH₄、C₂H₄、C₃H₆、ベンゼン、トルエンなどである。これら生成ガスから水素を選択的に回収するには、ガス分離操作が必要である。

これに対して、プラスチックを出発原料にして、水素リッチなガスを製造する新しい方法が見出された¹²⁻¹⁴⁾。

その手法は図 1 に示すバイオマスからの水素製造プロセスにおいて、バイオマスをプラスチックに置き換えるのみである。原料として、ポリエチレン (PE)、ポリ塩化ビニル (PVC)、ポリビニルアルコール (PVA)、ポリスチレン (PS) を使用し、これに水酸化カルシウムと水酸化ニッケルを混合して混合粉碎し、その混合物をアルゴンガス雰囲気中で 400 ～ 450℃ 程度に加熱すると、水素リッチなガス発生する。生成ガスの組成を表 2 に示す。PE で水素濃度は 76% であるが、その他の樹脂では 94% 以上である。以上のように、バイオマスだけではなく、プラスチックからも本法によって水素を製造することが可能であることがわかる。

表 2 生成したガスの組成

| | H ₂ | CH ₄ | CO | CO ₂ |
|-----|----------------|-----------------|------|-----------------|
| PE | 76.1 | 23.7 | 0.16 | 0.01 |
| PVC | 94.5 | 4.0 | 1.15 | 0.37 |
| PVA | 98.7 | 1.00 | 0.30 | 0.0 |
| PS | 95.8 | 3.1 | 1.0 | 0.3 |

2.3 下水汚泥からの水素製造

基本的に水素を製造するプロセスは、木質バイオマスとプラスチックの場合と同じであるが、下水汚泥はすでに微粒子になっているので、微細化を必要とせず、水酸化カルシウムと水酸化ニッケルを混合するのみであり、プロセスに必要なエネルギーの低減が可能である。原料の下水汚泥は、青森県弘前市岩木川浄化センターより提供いただいた。その試料の元素分析結果は、以下の表 3 の通りである。この組成は、セルロースと類似している。

表 3 元素分析

| 炭素 | 水素 | 窒素 | 酸素 | 硫黄 |
|--------|-------|-------|--------|-------|
| 44.62% | 6.69% | 4.80% | 30.80% | 0.49% |

また、含水率は約 80% である。水素製造実験では、再現性を考慮して、120℃ で 12 時間乾燥した試料を使用した (図 7)。空気雰囲気での下水汚泥の熱分析の結果を図 8 に示す。約 300℃ で質量の減少と鋭い発熱ピークが観察され、下水汚泥が燃焼していることがわかる。

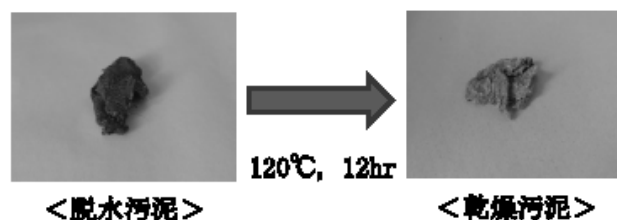


図 7 本実験で使用した脱水汚泥とそれを乾燥した汚泥の写真

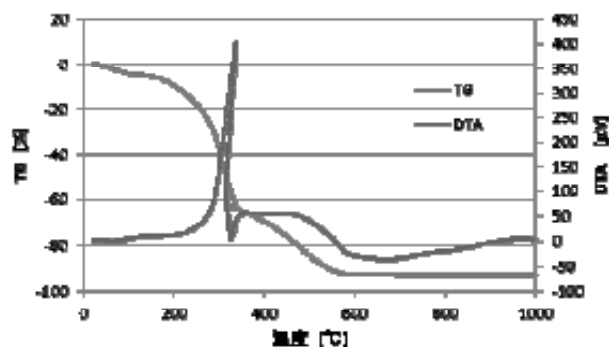


図 8 乾燥汚泥の熱分析の結果

乾燥下水汚泥の組成がセルロースに近いことから、下水汚泥をセルロースと見なして、水酸化カルシウムと水酸化ニッケルの混合比をモル比で、1:6:1 で混合し、その試料を加熱した際のマススペクトルを図 9 に示す。約 400℃ から 600℃ にかけて水素の生成に伴うピークが観察され、下水汚泥からも水素が生成することが確認できる。下水汚泥に水酸化カルシウムと水酸化ニッケルを混合した試料を水蒸気雰囲気中で加熱したときに生成したガスの濃度を表 4 に示す。セルロースの場合とほとんど同じであり、水素リッチなガスが生成していることがわかる。なお、このときの水素の発生量は、乾燥下水汚泥 1kg に対して、70.9g である。加熱前後での XRD パターンとその写真を図 10 と図 11 に示す。加熱前では、混合した水酸化カルシウムと水酸化ニッケルのみのピークが明確に観察され、下水汚泥由来のピークが観察されなかった。加熱によって水素を回収した後の残さの XRD パターンには、炭酸カルシウム、水酸化カルシウム、酸化ニッケル、ニッケルに相当するピークが観察される。また、加熱後の試料は、明らかに黒くなっており、チャーが生成しているものと考えられる。以上より、以下のような反応が起きているものと推定される。

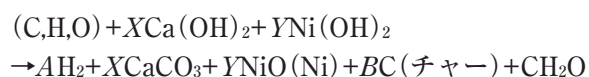


表 4 生成ガス濃度 (mol%)

| H ₂ | CH ₄ | CO | CO ₂ |
|----------------|-----------------|------|-----------------|
| 95.79 | 1.00 | 2.34 | 0.86 |

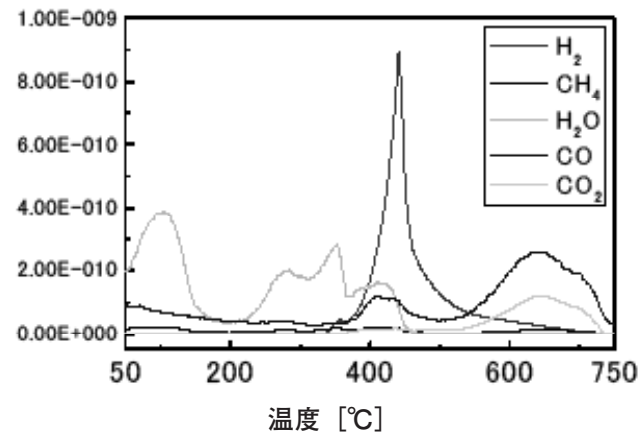
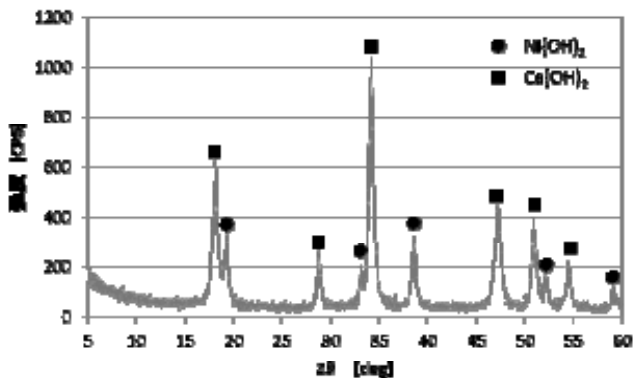
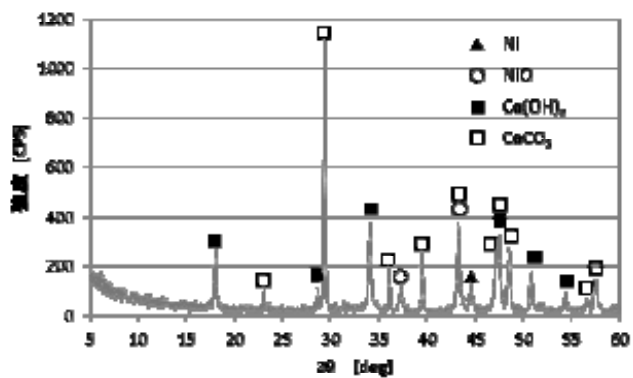


図 9 下水汚泥に水酸化カルシウムと水酸化ニッケルを混合した試料を加熱した際のマススペクトル



(a) 加熱前



(b) 加熱後

図 10 加熱前後の試料の XRD パターン



(a) 加熱前



(b) 加熱後

図 11 加熱前後の試料の写真

3. おわりに

下水汚泥やバイオマス、プラスチックに水酸化カルシウムならびに水酸化ニッケルを混合（粉砕）し、それを加熱することにより水素リッチなガスが生成する。これは、すべての有機物に対して適用できるもの

であると推定できる。水素の生成量は、乾燥下水汚泥 1kg あたり、70.9g である。この量は、乾燥下水汚泥 1 トンあたり、70.9kg であり、2014 年 12 月にトヨタが発売した MIRAI に 14 台分充填できる水素の量である。日本では、約 2200 カ所の浄化センターがあり、年間約 220 万トンの乾燥下水汚泥が発生している。一部は、消化ガスなどとして利用されているが、それ以

外は、焼却処分されている。本法は焼却処分されている下水汚泥の新たな有効利用方法になるものと期待できる。

参考文献

- 1) http://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/pdf/140411.pdf
- 2) <http://www.mlit.go.jp/common/000161273.pdf>
- 3) 公益社団法人日本下水道協会「下水汚泥のリサイクル推進に関する講演会テキスト」2015年1月29日
- 4) M. Gong, Q. Zhu, H.W. Zhang, Q. Ma, Y. Su, Y.J. Fan: International Journal of Hydrogen Energy 39, 19947-19954 (2014)
- 5) Yunan Chen, Liejin Guo, Wen Cao, Hui Jin, Simao Guo, Ximin Zhang: International Journal of Hydrogen Energy 39, 12991-12999 (2013)
- 6) 特開 2009-018955「水素ガスの製造方法」
- 7) Q. Zhang, I.C. Kang, W. Tongamp, F. Saito, *Bioresource Technol.* 100, 3731-3733 (2009)
- 8) Q. Zhang, I. Honda, W. Tongamp, I.C. Kang, F. Saito, *High Temp. Mater. Proces.*, 29, 435-445 (2010)
- 9) Q. Zhang and F. Saito, *Waste Biomass Valorization*, 1, 41-46 (2010)
- 10) K. Kumproa, A. Nuntiya, Q. Zhang, J. Kano, F. Saito: International Journal of Hydrogen Energy 39, 17554-17562 (2014)
- 11) プラスチック化学リサイクル研究会監修、「プラスチック化学再資源化技術」(CMC 出版) 2005 年出版
- 12) W. Tongamp, Q. Zhang and F. Saito, *Fuel Processing Technology* 90, 909-913 (2009)
- 13) W. Tongamp, Q. Zhang and F. Saito, International Journal of Hydrogen Energy, 33, 4097-4103 (2008)
- 14) W. Tongamp, Q. Zhang and F. Saito, *Journal of Hazardous Mater.* 167, 1002-1006 (2009)

特 別 報 告

「下水道」を身近にする コミュニケーション

(株) 電通 ビジネス・クリエーション・センター 部長
電通総研 研究主幹 「食生活ラボ」 主宰
大屋 洋子

キーワード：非日常感の演出、脱・既成概念、「場の正解」になる

1. はじめに

「トイレを気にしすぎ」

— これは、韓国ソウル出身で、モバイルゲームやコンテンツ事業をアジアで展開するロケットスタッフ株式会社 CEO 高榮郁（コウヨンウ）氏が、この年初に『NIPPON 在住の、NIPPON 通による、NIPPON のこれからのための、キーワード』というテーマで書かれた言葉です。ご本人の直筆による書とメッセージは Web 電通報※に掲載されているので、そちらでご覧頂きたいと思いますが、言わんとするところは、“トイレが汚いから”という理由で海外に行きたがらない日本の若者へのアンチテーゼ。日本の快適すぎるくらい快適な暮らしに固執し、スケールが小さくなっている日本の若者へもっと大胆さを持ってほしいという想いがこめられています。

この言葉からもわかるように、日本のトイレ事情、下水道環境は世界でも指折りの素晴らしいものです。日本の若者が海外に行かない理由の一つとなるくらい、日本のトイレは快適なんですね。下水道のインターフェイスは、洗面所やシンクの蛇口などトイレがすべてではありませんが、トイレがこれだけ意識的に顕在化している一方で、その先にある下水道についてはほとんど意識されていないのが現状です。インフラである以上、整っているのが当たり前。しかも、上水道と

違って地下に潜りこんでいるために、目にも留まらない。そう考えると仕方がないことではありますが、日本の生活者における下水道事業への意識が高まり、もっと理解が進めば、日常生活において水を大切にするという動きが出てくるでしょうし、おそらく関連技術の向上発達や関連事業の雇用の創出にも繋がるでしょう。最終的には税収面でもいい影響があるはずで、では、今の日本の生活者にとって「下水道」をもっと身近なものにするためにはどうすればよいのか。ここでは、それについて少し考えてみたいと思います。

※ Web 電通報：<http://dentsu-ho.com/>

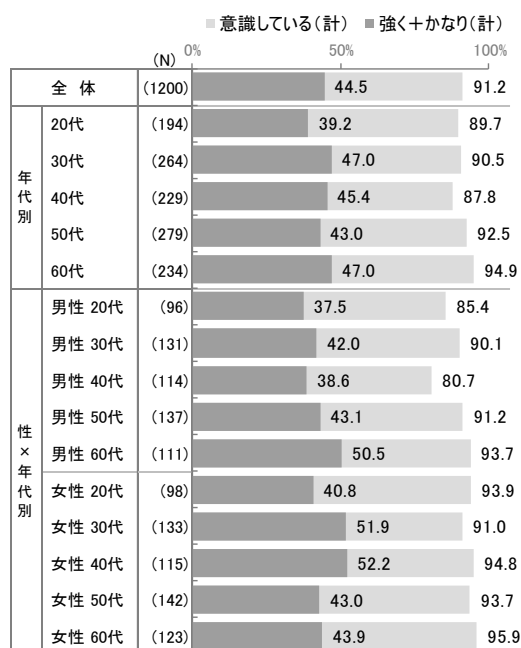
該当ページ URL：<http://dentsu-ho.com/articles/2109>

2. 欲しいのは「手が届く非日常」

東日本大震災から4年。被災地では建物などのハードの復旧に伴い一見復興が進んでいるように見えながらも、実際にそこに暮らす方々の心に残った爪痕はそう簡単には消えていないのも実情でしょう。大震災は広く日本に住む人の心持ちにも、少なからず影響を与えました。昨年12月、電通総研が全国の20代～60代を対象に実施した調査によると、「日ごろの生活で節約を意識している」人は91%（図①参照）。その一

図①

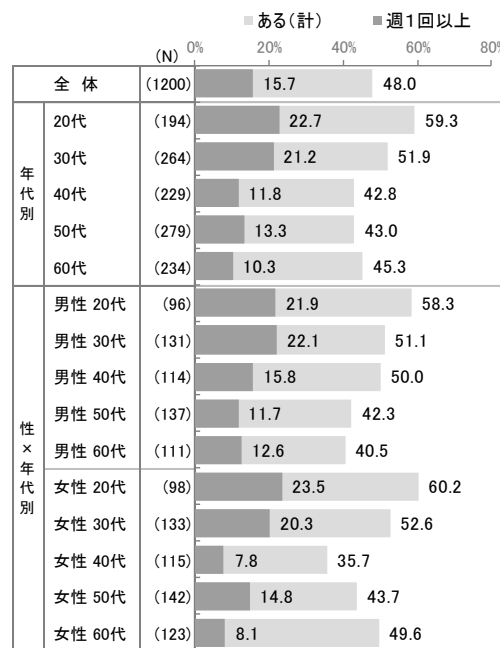
Q あなたは日ごろの生活の中で
「節約すること」を、意識していますか。
(SA)



※「意識している(計)」＝「強く意識している」＋「かなり意識している」
＋「やや意識している」
「強く+かなり(計)」＝「強く意識している」＋「かなり意識している」

図②

Q あなたは節約のことを気にせずに、ちょっと
贅沢な気分を味わうためにお金を使うことが
ありますか。(SA)



※「ある(計)」＝「よくある」＋「ときどきある」＋「たまにある」
「週1回以上(計)」＝「よくある」＋「ときどきある」

【出典】電通総研「第8回消費マインド調査」

調査対象: 全国の20～69歳 男女個人(学生は対象外)1200名
調査時期: 2014年12月13(土)～14(日)

方で、約半数は「節約のことを気にせず、ちょっと贅沢な気分を味わうためにお金を使う」ともしています(図②参照)。

人は、先行きの不透明感が強まるほど、日々の生活を大切にしたいという気持ちが強くなる傾向があります。ふだんの生活ではできるだけ無駄を省き、節水、節電などの節約を心がけなければならない。でも、一方で日常の中のささやかな幸せを大事にしたい、非日常的な気持ちになれる時間や場所を作っておきたいというメリハリ消費の傾向は、こと震災後に顕著に見られた結果ですが、それは4年経った今でも続いています。

では、今の生活者はちょっとした贅沢気分を味わうためにどんなお金の使い方をしているのでしょうか。調査では、1位が「家族での外食」、2位が「生ケーキや生菓子を買う」、3位は「ふだんは手が出ない高級な食べものを買う」でした。ここ数年、スーパーなどで気軽に買えるスナック菓子やチョコレート菓子のプレミアム版が百貨店で限定発売されると長蛇の列ができるほどの人気となり、あっという間に完売してしまうのも、『手が届く範囲の贅沢感・非日常感』を味わいたいという気持ちの表れでしょう。

ちょっと気持ちをアゲてくれる。思わず人に伝えたいくなる。日常的にありそうでなかなかの稀少性(「〇〇初」「〇〇限定」「〇〇オリジナル」などを含む)がある。そんな付加価値のあるコトやモノに、今の生活者はささやかな幸せを感じ、思わずお金を払いたくなると言えます。大事なものは、それが手が届かないような特別で贅沢なものではなく、あくまでも日常＋αの非日常感であること。そして、それは必ずしも自分のためだけではなく、社会に貢献している気持ちになれるコトやモノも含まれます。

3. 脱・既成概念

アベノミクスの3本の矢「成長戦略」で、「女性が輝く日本」と題して女性の社会進出が重要課題の一つに挙げられてから、女性が結婚や出産で仕事を辞めずに働き続けることがいよいよ国の政策として推し進められる時代がやってきました。2012年に電通総研が全国の独身女性を対象に結婚・出産後の生活イメージについて聞いた調査によると、半数近くの人が「結婚しても、出産しても、働き続けると思う」と回答。「出産後一時的に仕事を辞めて、いずれ復職する」という

36.2%の人を合わせると、なんと 84.3%の人が働き続けるイメージを持っています。世の中の流れからも、女性自身の意識からも、これからの夫婦・家族世帯は「夫が働き家計を支え、妻が家を守る」というスタイルではなくなくなっていくことは必至。「夫婦で働き、子どもも夫婦で育てる」「妻が働き、夫が家を守る」など、様々なスタイルの家族像が生まれ、これが当たり前というスタイルは描きにくい時代となるでしょう。

これに限らず、IT化による劇的な情報量の増加や価値観の多様化によって、これまで常識だとか当たり前だと思われていた既成概念は、様々なシーンで崩壊しつつあります。女子化する男子、親父（おやじ）化する女子。食生活においても、今や7割の人が食事を抜くことがあり、朝食がガムだけ、チョコレートやケーキなど腹持ちすれば「食事」とし、刺身とジュースやパンと味噌汁など食べ合わせは気にしない、といった実に自由な食実態が調査からは垣間見られます。かつてはタブーとされた「できちゃった婚」も、今や「授かり婚」と呼ばれ珍しいことではなくなりました。

となると、当然これからの生活者に向けたコミュニケーションは、これまでのいったん既成概念を取り払わなければなりません。これまではあり得ないと思っていたターゲット設定を試みる、これまでは真逆だと思われた組み合わせにトライする。広報PR戦略は、そのようなことも視野に入れることが必要となります。

4. 「場の正解」が正解

IT化が進化により、もうひとつ大きく変わったことがあります。それは、人と人とのコミュニケーションの在り方です。携帯・PHSの出現でこれまで家族に1台だった電話が1人1台となり、1to1のパーソナルなコミュニケーションが容易になりました。メールによって、相手の生活時間を気にせずいつでも自由に相手にメッセージを送れるようになりました。スマホやタブレットの出現はツイッターやフェイスブックといったSNSをあっという間に浸透させ、不特定多数の人と緩く繋がるというコミュニケーションの形態を生み出しました。それによって、今の生活者はこれまで以上に他者の目線を気にするようになり、「空気を読む」ことを極端に意識するようになりました。

こうなってくると、おのずと人がコミュニケーションで発信する内容も、「自分の伝えたいこと」ではなく「他人が『いいね!』と言ってくれること」を発信するようになります。選択基準も、「自分の好み」より「場の正解」であるかどうかが必要になっているのが、今の傾向です。

「場の正解」とは、世の中がOKを出してくれるもの。ハズさないもの。具体的には、ランキングで1位とか売上げNO.1といった、“みんな”がいいと言っていることがわかるものだったり、歴史や根拠がある、腑に落ちるリアリティがあるといった“みんな”が認めざるを得ないもの、と言えるでしょう。最近のテレビ番組でランキングものが人気なのも、塩麹や塩レモンなどの発酵ブームや売れ筋商品の定番回帰なども、そういう傾向によるものと私は思っています。

言い換えれば、今後必要とされるコミュニケーションのポイントは、崩壊しつつある過去の既成概念を取っ払った上で、今の“世の中の総意”といったものを集約していくことだと言えそうです。

5. 「トイレ」に学ぶ

ここまできて、またちょっと話を「トイレ」に戻したいと思います。なぜなら、今の「トイレ」のポジションは、下水道にとって学ぶことも多く、また下水道が向かうべき方向性を示唆しているとさえ思うからです。

トイレは、かつては「便所」とか「厠」と呼ばれ、なんとなく「暗い」「汚い」「寒い」といったネガティブなイメージを持たれていた場所でした。ところが今はどうでしょう？ 若者を日本に留まらせるほどのパワーをもった快適性。世界に誇る日本ならではの技術。海外からの来日観光客で、お土産にトイレの便座を購入して行く人も少なくありません。そして、日本ならではのおもてなしの心も、今の日本のトイレでは表現されています。

経営コンサルタントで未来学者の川口守之助氏の「TED × Tokyo」における Toilet Talk は世界中で40万回再生という異例の反響を得ており、Yahoo Tapanの動画サイトでは世界の傑作プレゼンテーションのベスト5に選出、また「100人の東大生が選ぶ、大学生が見ておくTED動画10選」にも入るほどです。このプレゼンテーションでは、日本のトイレの素晴らしさが、10分間でわかりやすく面白く解説されていますが、この拡散力たるやものすごいパワーではないでしょうか。

かつてならアンダーグラウンドなイメージの強かったトイレの話題が、これだけ堂々と、しかも世界中に向けてプレゼンテーションされるとは、まさに「脱・既成概念」と言えるでしょう。しかも、誰もが毎日数回は行う、日常の最たるものとも言える“用を足す”という行為が「非日常感」や「楽しさ」を伴ったものに変換されている。海外の人がわざわざ日本に来てトイレを買い自国に持ち帰る現象は、まさに海外からも

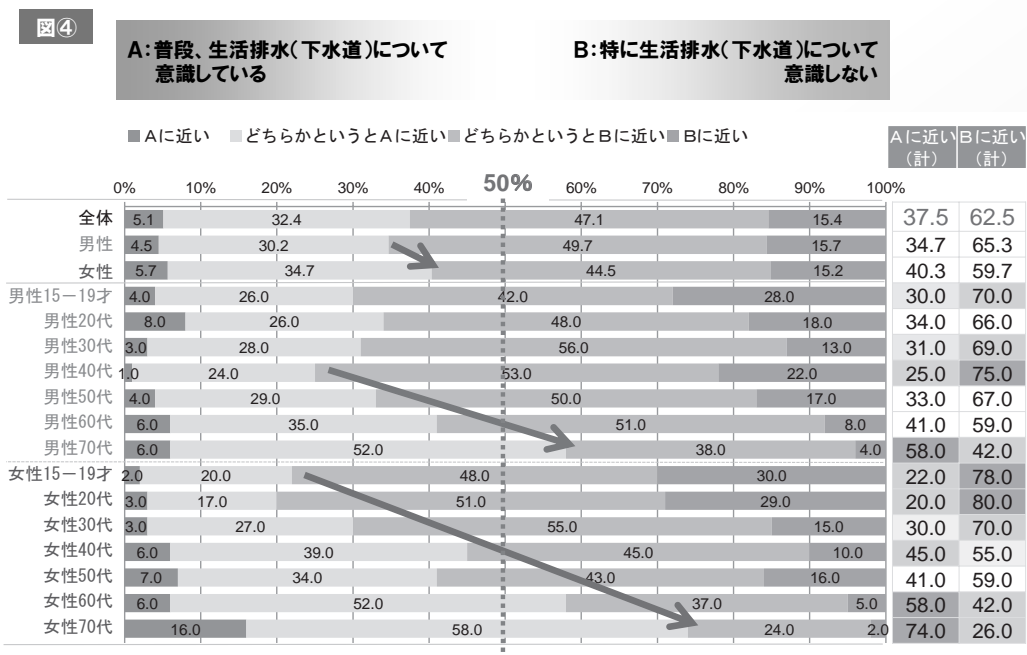
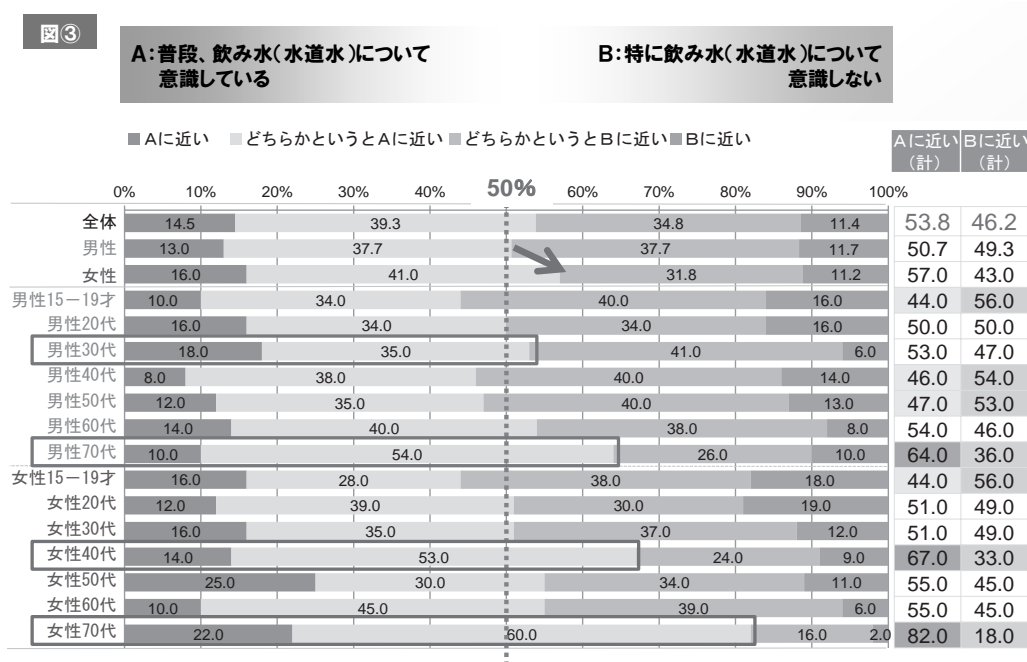
認められるほど日本のトイレは最高なんだという“総意”が形成されているとも言えます。

6. 「下水道」が身近なものになるために

「下水道」もまた、私たちの生活においてなくてはならない日常の存在でありながら、ふだんはなかなか意識されることがありません。仮に意識にのぼったとしても、かつてのトイレのように「暗い」「汚い」といったイメージを伴っていることもあり、話題にのぼることはほとんどないと言ってもいいでしょう。ましてや、どんなに日本の下水道設備が素晴らしく、高度な技術

が生かされていたとしても、それを世界中に向けてプレゼンテーションする人は、残念ながら今のところは現れなさそうです。

「上水道」は、実際に自分の口に入れるものでもあるため下水道に比べると意識されていますが、それでも全国10代～70代の男女個人を対象に実施した調査では、「意識している」とした人は全体で5割強にとどまりました(図③参照)。世界でも、日本のように蛇口から直接水が飲める国はそう多くないことから、日本の水道水の良さについては折り紙つきと言えるような気はするものの、やはり今の生活者にとってはそれが当たり前になっているためかあまり強く意識され



ている様子が見られません。

一方、「下水道」について「意識している」とした人は4割弱(図④参照)。調査では、生活者にとって「上水道」「下水道」という言葉が心理的にあまり身近でないことから、あえて「飲み水(水道水)」「生活排水(下水道)」という表現にしていますが、それでも反応は高いとは言えない結果です。また、この数字をけん引しているのは60代～70代で、“下水道が整備されていることが当たり前ではなかった時代”を経験している可能性の高い層とも言えます。「ない」時代を知っているからこそ、「ある」ことの有難みがわかる。それは、上水道にも共通している傾向です。

「ビストロ下水道」の取り組みについても同様の調査を実施したところ、決して前向きではない結果でした(図⑤参照)。この設問でも、AとBどちらの方が自分の気持ちに近いかを対象者に聞いているのですが、A「味がおいしいのであれば、下水泥から作られた有機肥料で育てられた野菜を食べてみたい」よりも、B「味がおいしくても下水泥から作られた有機肥料で育てられた野菜は食べたくない」の方が、全体で15%ほど上回っています。しかもこの設問文では、3か所意識したポイントがあります。1つは、「味がおいしい」ことを前提としていること。2つめは「有機肥料で育てられた野菜」としていること。この2つは、

一般的にポジティブな意味合いを持つため、プラスに作用するはずで、ある意味では恣意的な表現です。そして3つめは、あえて「下水汚泥」という言葉を使うことを避け、「汚」という漢字を抜いた「下水泥」という表現に変えたことです。これも、調査対象者にとってネガティブな印象を少しでも払拭するための恣意が働いているわけですが、それでも結果はすでに示した通りです。特に女性での拒否感は強く、いかに「下水」という語感が与える影響が大きいかわかります。

図③～⑤【出典】電通「食生活ラボ調査」
調査対象：全国15歳～79歳男女個人1200名
調査時期：2013年9月21日～24日

「下水道」を身近なものにしていくためには、この現状をどうプラスの文脈に変換していけるかが鍵となってくるでしょう。+αの「非日常感」をどうしたら演出できるか、またこれまでの既成概念的な「下水」のネガティブイメージをどう脱するか、そして「下水道」への意識と理解が高まることで、税金がその整備等に使われることや世界に誇れる日本の技術への投資が今後「場の正解」感を伴っていけるか。今、下水道広報においても戦略的な取り組みが必要な時代がきています。



投稿報告

下水汚泥焼却灰の再資源化技術の開発

五洋建設(株) 土木本部 環境事業部

部長 和栗 成樹

キーワード：下水汚泥焼却灰、重金属類不溶化

1. 技術の概要

現在、下水汚泥焼却灰の多くは、セメントの原料に再利用されている。しかしながら中長期的に展望した場合、セメント生産量の落ち込み等も予想される。また、セメント会社への処理費も高騰している。下水汚泥焼却灰には、ヒ素・セレン・フッ素・ホウ素等の重金属類溶出量が、土壤環境基準を超過するものが多く、そのままでは再利用が難しく、下水汚泥焼却灰を安価で安全に再生利用するための技術が求められている。本技術「i-Ash」は、処理工程が単純で加熱等の過大なエネルギー消費を必要とせず、常温での処理により、再資源化することを目的として開発した。

「i-Ash」は、焼却灰に含有する鉱物と添加薬剤の反応により、これらの重金属類を常温で土壤環境基準以下に不溶化し、建設材料として再資源化する技術である。処理後物を、粒状化すれば埋戻し材として利用でき、粉状とすれば流動化処理土の原料として利用が可能となる。さらに、製紙汚泥焼却灰（以下 PS 灰）と混合すると、高含水泥土の改質処理材や汚染土壌の重金属類不溶化材として利用できる。

本技術を活用することにより、各自治体から排出される下水汚泥焼却灰を、セメント原料化に比べ安価に処理および活用しリサイクルすることができる。また、下水汚泥焼却灰の排出事業者または民間処理事業者が、本技術を用いて安価に各製品を製造し、地域内工事に供給することにより、下水汚泥焼却灰処理費と

もに、泥土処理工事費や汚染土壌対策工事費の削減に寄与し、地域内循環を確立することも可能となる。

下水汚泥焼却灰(高分子系)の主成分

- ・シリカ成分
- ・アルミ成分
- ・リン成分

添加薬剤の主成分

- ・カルシウム成分
- ・硫酸成分

重金属類不溶化に必要な成分

- ・シリカ成分
- ・アルミ成分
- ・カルシウム成分
- ・硫酸成分

2. 技術の内容

(1) 再生砂への利用

下水汚泥焼却灰に適当量の水と薬剤を添加し、造粒ミキサーを用いて造粒固化を施す。

養生後の再生砂は添加水や薬剤の調整で以下の性能の確保が可能であり、埋戻し材・盛土材として適する土木資材となる。土木資材としての主な性状を以下に示す。

- ・土のコーン指数 800 kN/m² 以上
- ・最大粒径 100 mm 以下
- ・4,760μフルイ通過量 25 ~ 100 %
- ・74μフルイ通過量 0 ~ 25 %
- ・塑性指数 10 以下

(2) 流動化材への利用

ボックスカルバート側面等、狭小地への埋め戻しに用いる流動化処理土に利用する。流動化処理土に使用する流動化材に、下水汚泥焼却灰の再資源化物を用いる。下水汚泥焼却灰に薬剤を添加混合した粉体物を、流動化材として再資源化する。

流用土や砂に、流動化材・セメント・ベントナイト・水を適当量添加混合することで、以下に示す流動化処理土としての性能の確保が可能となる。

- ・一軸圧縮強度(7日後) 200kN/m² 以上
- ・フロー値 160 mm 以上
- ・処理土の密度 1.5 t/m³ 以上
- ・ブリージング率 1 % 未満

(3) 泥土改良材への利用

焼却灰の吸水性を利用した再資源化方法である。

下水汚泥焼却灰に、薬剤と PS 灰（吸水補助材）を添加混合した粉体物を、泥土改良材とする。泥土改良

材を軟弱泥土に添加混合することで、改良材が泥土中の水分を吸収し、泥土を土（改良土）として土木資材に利用することが可能となる。

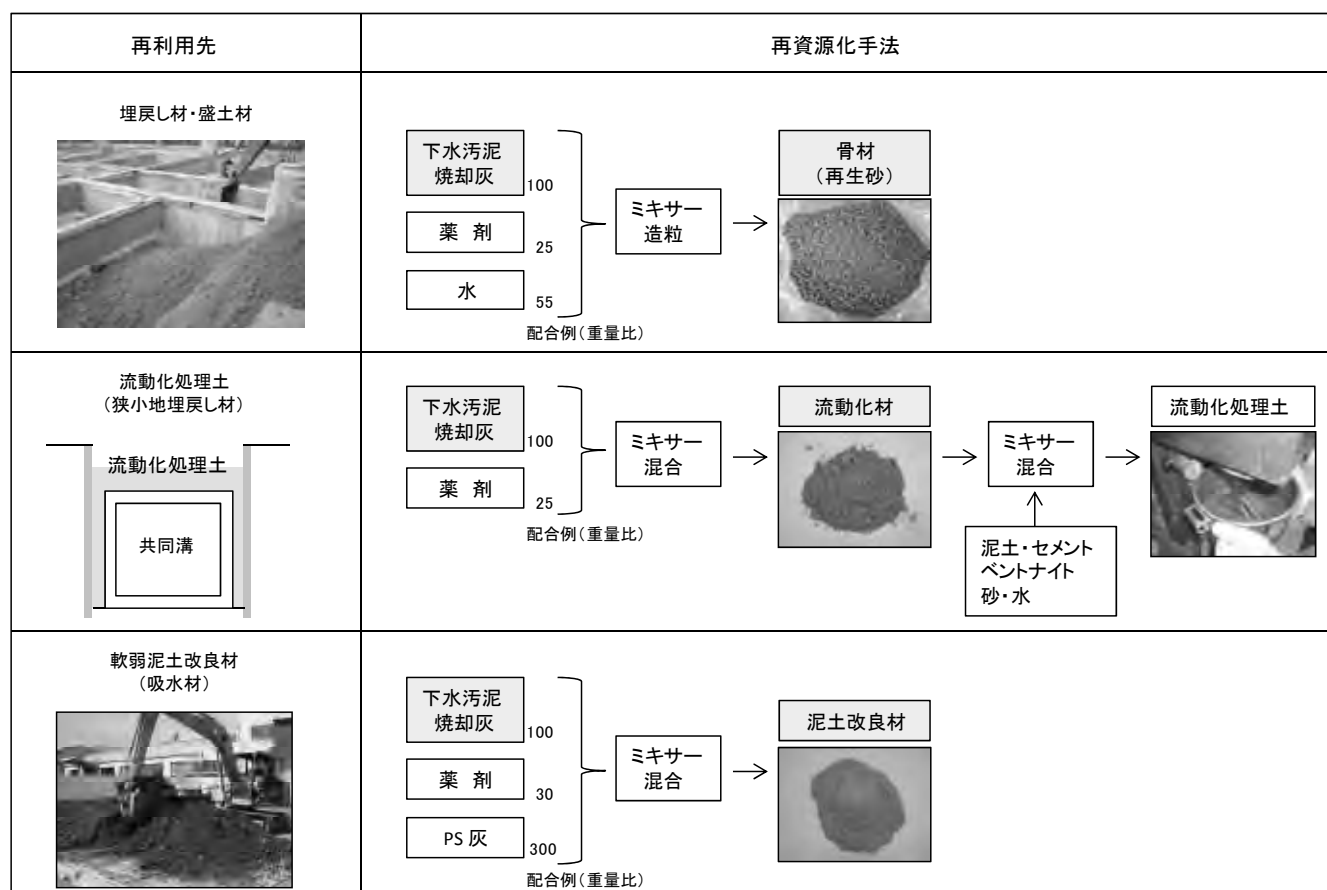
泥土改良材の添加率や養生期間を調整し、改良土の利用目的に応じた所要強度を確保する。表-1 に各再資源化手法のフロー図を示す。

(4) 従来技術との比較

従来の下水汚泥焼却灰に含まれる重金属類を不溶化する技術は、硫化物を主成分とした薬剤による吸着作用を利用した不溶化技術や、焼却灰に硫酸第一鉄とチオ硫酸ナトリウムを添加後加熱し水和鉄に重金属類を固定する技術等が提案されている。

本技術の不溶化原理は特徴があり、下水汚泥焼却灰自体の主要構成成分（シリカ、アルミ、リン）と薬剤の相互反応によるアルカリ鉍物塩の形成により、重金属類を固定している。従って、下水汚泥焼却灰に含まれる成分自体が不溶化反応に作用するので、添加する薬剤のコストダウンが図れる。

表-1 処理フロー図



3. 環境安全性

下水汚泥焼却灰の重金属類溶出量は土壤環境基準を超過するものが多い。土木資材としての利用は、重金属類を土壤環境基準以下に不溶化する必要がある。本技術検討では、環境庁告示 46 号溶出試験に加え、社団法人土壤環境センターが提唱する酸・アルカリ添加溶出試験（Ⅰ）を実施し、長期的難溶性を確認した。

酸添加溶出試験は、酸性雨への暴露状況を模した試験、アルカリ添加溶出試験は、セメント等のアルカリ環境への暴露状況を模した試験である。

環境庁告示 46 号溶出試験結果を表-2 に、酸添加溶出試験（Ⅰ）結果を表-3 に、アルカリ添加溶出試験（Ⅰ）結果を表-4 に示す。再資源化物はいずれも土壤環境基準を満足する結果となっている。

表-2 環境庁告示 46 号溶出試験結果

単位:mg/L

| | 下水灰 | 再生砂 | 流動化材 | 泥土改良材 | 土壤環境基準 |
|-------|----------|----------|----------|----------|----------|
| カドミウム | 0.001未満 | 0.001未満 | 0.001未満 | 0.001未満 | 0.01以下 |
| 全シアン | 検出せず | 検出せず | 検出せず | 検出せず | 不検出 |
| 鉛 | 0.001未満 | 0.001未満 | 0.001未満 | 0.001未満 | 0.01以下 |
| 六価クロム | 0.005未満 | 0.018 | 0.005未満 | 0.005未満 | 0.05以下 |
| ヒ素 | 0.099 | 0.001未満 | 0.001未満 | 0.001未満 | 0.01以下 |
| 総水銀 | 0.0005未満 | 0.0005未満 | 0.0005未満 | 0.0005未満 | 0.0005以下 |
| セレン | 0.24 | 0.003 | 0.002 | 0.001 | 0.01以下 |
| フッ素 | 3.7 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.8以下 |
| ホウ素 | 1 | 0.08 | 0.21 | 0.01 | 1以下 |

表-3 酸添加溶出試験（Ⅰ）結果

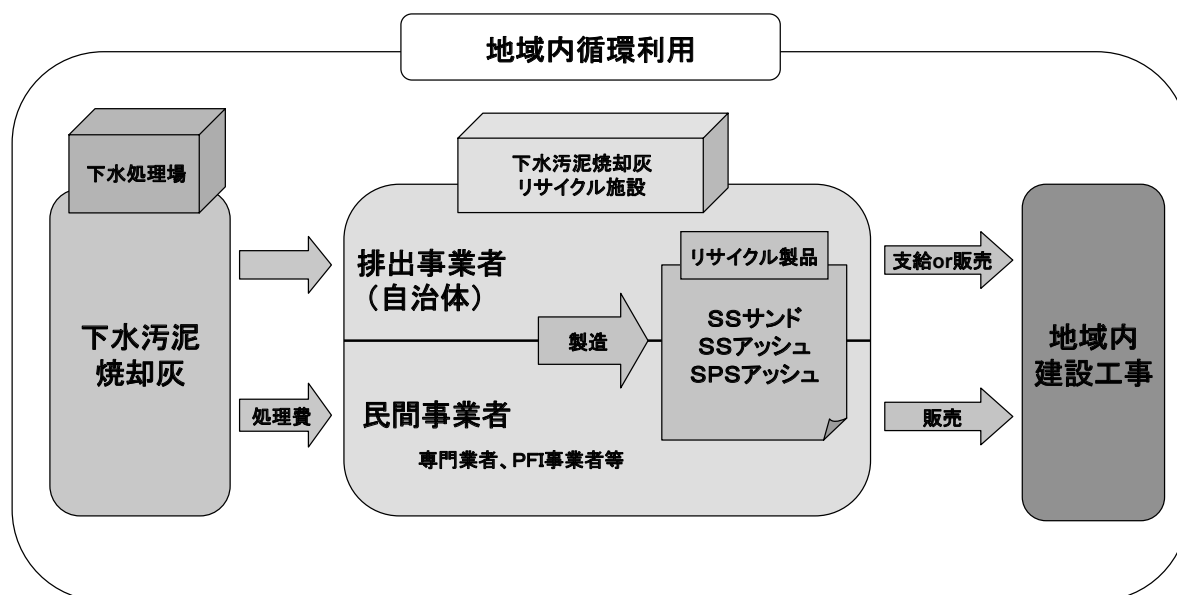
単位:mg/L

| | 下水灰 | 再生砂 | 流動化材 | 泥土改良材 | 土壤環境基準 |
|-------|----------|----------|----------|----------|----------|
| カドミウム | 0.001未満 | 0.001未満 | 0.001未満 | 0.001未満 | 0.01以下 |
| 全シアン | 検出せず | 検出せず | 検出せず | 検出せず | 不検出 |
| 鉛 | 0.001未満 | 0.001未満 | 0.001未満 | 0.001未満 | 0.01以下 |
| 六価クロム | 0.005未満 | 0.014 | 0.005未満 | 0.005未満 | 0.05以下 |
| ヒ素 | 0.099 | 0.001未満 | 0.001未満 | 0.001未満 | 0.01以下 |
| 総水銀 | 0.0005未満 | 0.0005未満 | 0.0005未満 | 0.0005未満 | 0.0005以下 |
| セレン | 0.24 | 0.004 | 0.003 | 0.001未満 | 0.01以下 |
| フッ素 | 3.7 | 0.1未満 | 0.1未満 | 0.1 | 0.8以下 |
| ホウ素 | 1 | 0.08 | 0.19 | 0.01未満 | 1以下 |

表-4 アルカリ添加溶出試験（Ⅰ）結果

単位:mg/L

| | 下水灰 | 再生砂 | 流動化材 | 泥土改良材 | 土壤環境基準 |
|-------|----------|----------|----------|----------|----------|
| カドミウム | 0.001未満 | 0.001未満 | 0.001未満 | 0.001未満 | 0.01以下 |
| 全シアン | 検出せず | 検出せず | 検出せず | 検出せず | 不検出 |
| 鉛 | 0.001未満 | 0.001未満 | 0.001未満 | 0.001未満 | 0.01以下 |
| 六価クロム | 0.005未満 | 0.012 | 0.005未満 | 0.005未満 | 0.05以下 |
| ヒ素 | 0.099 | 0.001未満 | 0.001未満 | 0.001未満 | 0.01以下 |
| 総水銀 | 0.0005未満 | 0.0005未満 | 0.0005未満 | 0.0005未満 | 0.0005以下 |
| セレン | 0.24 | 0.003 | 0.002 | 0.001未満 | 0.01以下 |
| フッ素 | 3.7 | 0.1未満 | 0.1未満 | 0.2 | 0.8以下 |
| ホウ素 | 1 | 0.08 | 0.19 | 0.05 | 1以下 |



4. おわりに

本技術の活用により、各製品を製造し地域内工事に供給することで、下水污泥焼却灰処理費の低減や、骨材等の調達費の削減による地域内工事費の低減に寄与することが期待できる。これにより、トータルコスト

削減も含めた地域内資源循環利用の達成が可能と考える。

なお、本技術は平成20年度の財団法人下水道新技術推進機構（現：公益財団法人日本下水道新技術機構）殿実施の建設技術審査証明（下水道技術）において、「i-Ash」の名称で審査を通過したものである。

投稿報告

幕張新都心における下水処理水を用いた熱利用について

千葉県印旛沼下水道事務所

管理課 高梨 大樹

キーワード：熱

1. 幕張新都心について

千葉県では、臨海部と内陸部の均衡のとれた産業構造の実現を目指す「千葉新産業三角構想」を昭和58年に策定しました。この構想を基に、海浜幕張地区に新宿新都心の6倍という約440haの広さを持った新都心が建設されました。

幕張新都心には、幕張メッセを中核として先端技術を用いた業務・商業・教育・住宅など多機能な施設が配置されており、その一角の先端企業が集まる約49haのハイテク・ビジネス地区で下水処理水を熱源とした地域冷暖房事業が行われています。(図1、写真参照)



図1. 千葉新産業三角構想

2. クリーンで快適な再利用システム

限られた資源の有効活用が求められている現在、河川水や地下水の熱、工場やビルからの排熱など、さまざまな未利用エネルギーの活用は重要な課題となっております。

幕張新都心ハイテク・ビジネス地区においては、未



写真. 幕張新都心 (供給先)

利用であった下水処理水の熱と蓄熱式ヒートポンプを活用した地域熱供給システムにより省エネルギーが実現し、建物ごとの空調熱源設備が不要となることによるビルスペースの有効活用によって快適な都市空間が創設されました。また、地域熱供給システムには、燃焼設備がないため二酸化炭素の排出がなく、低炭素社会にも貢献しています。

3. 地域冷暖房事業について

本事業の建設は、(財)千葉県都市公社(現:(公財)千葉県下水道公社)を事業主体とし、第三セクター等が実施する公共事業を対象としたNTT株売り払い収入による無利子貸付金(NTT-A型)を活用して実施されました。

千葉県印旛沼流域下水道の花見川終末処理場と花見川第二終末処理場を結ぶ送水管(豊砂幹線)に地域熱

供給事業者である東京電力(株)(現:東京都市サービス(株)に継承)が熱源水管を接続しています。下水処理水は送水管から熱源水管を經由して熱供給センターまで送水され、熱供給センターで熱交換された後は、送水管に返送され河川に放流されています。また、熱供給センターのヒートポンプで、温水は47℃、冷水は7℃に製造され、需要家に供給されています。(図2、3参照)

下水処理水は、年間を通じてほぼ一定の水温での供給が可能であり、また、外気温に比べて、冬は暖かく、夏は冷たい特性があることから、効率の良いエネルギー源となり、それを利用することで省資源化が図れ、低廉で安定した熱供給となります。(グラフ1参照)

なお、本事業は、下水処理水再利用事業として本来の下水道事業から独立して運営されており、事業に要する維持管理費は、全て受益者である東京都市サービス(株)からの資金によって賄われています。



図2. 幕張新都心供給地区

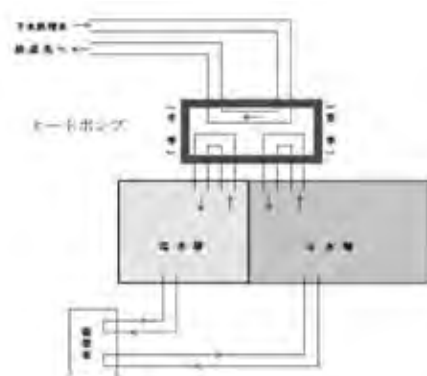
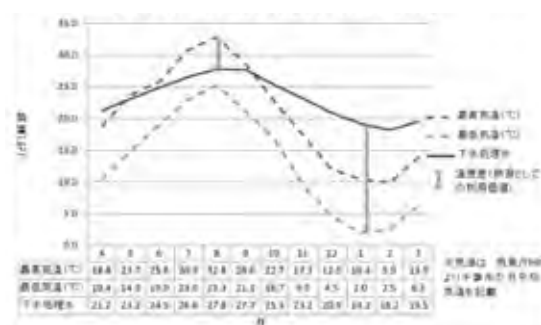


図3. ヒートポンプ



グラフ1. 下水処理水温度と外気温との比較
(平成25年度)

4. 事業概要

①事業主体

千葉県

(公財) 千葉県下水道公社

②事業目的

下水処理水を再利用して地域冷暖房事業の熱源とし、下水処理水の有効利用を図る。

③供給区域

幕張新都心地区の一部

約 49ha

④供給時期

通年、24 時間

⑤事業費

送水管等建設事業費

約 69 億円

処理場間の送水管

φ 1,350mm、延長約 4km

送水施設一式

⑥事業年度（建設）

昭和 63 年度～平成 3 年度

⑦供用開始

平成 3 年度

⑧処理水使用量

送水実績 91,876m³

(平成 25 年度日最大)

⑨送水能力

200,000m³ (計画日最大)

5. 下水処理水の温度及び送水量

下水処理水の水温は、冷房の需要が高い 4～11 月では熱供給センターのプラント出口水温がプラント入口水温より高くなり、暖房の需要が高い 12 月～3 月では、逆の状況となります。(表 1 参照)

また、熱供給センターへ送られる下水処理水は、夏季に多くなっています。(グラフ 2 参照)

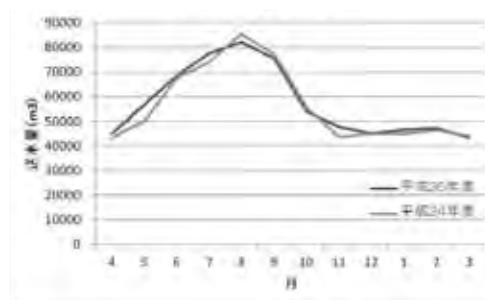
送水量は、平成 3 年 6 月の供用開始から順調に増えていましたが、需要家の省エネが進んだせいか、平成 6 年から 8 年をピークに減少してきました。(グラフ 3 参照)

※平成 7 年度は施設の故障により熱供給が出来ない期間があり、送水量も減少しました。

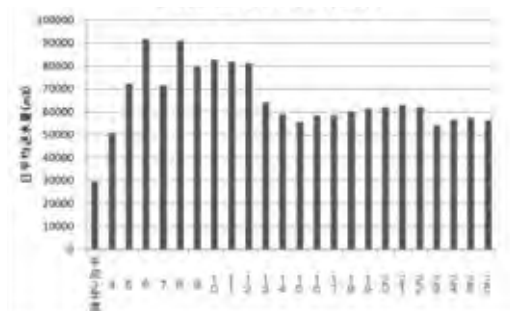
表 1. 水温測定結果の推移

| 年度 | 季節 | A | B | B-A (℃) |
|------------|----|-----------------|-----------------|------------|
| | | プラント入口 水温(℃) | プラント出口 水温(℃) | |
| 平成 21年度 | 春季 | 21.8 | 25.5 | 3.7 |
| | 夏季 | 26.3 | 33.2 | 6.9 |
| | 秋季 | 25.0 | 30.1 | 5.1 |
| | 冬季 | 20.0 | 19.9 | -0.1 |
| 平成 22年度 | 春季 | 21.0 | 23.4 | 2.4 |
| | 夏季 | 27.1 | 34.2 | 7.1 |
| | 秋季 | 25.5 | 30.7 | 5.2 |
| | 冬季 | 20.1 | 19.8 | -0.2 |
| 平成 23年度 | 春季 | 21.3 | 22.8 | 1.5 |
| | 夏季 | 26.6 | 33.1 | 6.5 |
| | 秋季 | 25.7 | 30.4 | 4.7 |
| | 冬季 | 19.8 | 18.0 | -1.8 |
| 平成 24年度 | 春季 | 21.7 | 23.9 | 2.2 |
| | 夏季 | 26.5 | 32.7 | 6.2 |
| | 秋季 | 25.8 | 30.0 | 4.2 |
| | 冬季 | 19.6 | 17.8 | -1.8 |
| 平成 25年度 | 春季 | 21.9 | 23.7 | 1.6 |
| | 夏季 | 27.2 | 33.8 | 6.6 |
| | 秋季 | 25.7 | 29.8 | 4.1 |
| | 冬季 | 19.9 | 18.4 | -1.5 |

(春季: 3～5月、夏季: 6～8月、秋季: 9～11月、
冬季: 12～2月)



グラフ 2. 送水量実績



グラフ 3. 年ごとの日平均送水量推移

6. 最後に

下水処理水再利用事業は、地域冷暖房事業と一体となり、省エネルギーで安全・快適な都市環境づくりに貢献しています。

現在、供用開始から 23 年が経過し、送水施設の老朽化も顕著になってきたことから、計画的な維持管理・修繕を適切かつ着実に実施し、送水施設の保全に万全を期し、今後とも継続的な熱供給が出来るように努めてまいります。

投稿報告

福岡市の再生水利用下水道事業

福岡市道路下水道局 下水道施設部
施設管理課 再生水推進係

いよなが あきひろ
弥永 晃宏

キーワード：再生水、大渇水、節水型都市づくり、日本初、日本一、条例

1. はじめに

福岡市は、一級河川がないなど地理的に水資源に恵まれていない都市である。昭和53年には、かつてない少雨により、ダムは完全に干上がり、287日間の給水制限を経験した（写真-1、2）。当時の福岡市は、通称「福岡砂漠」とまで呼ばれる大渇水に見舞われ、水不足による甚大な被害を受けた。

この大渇水を教訓に福岡市では、水は限られた資源であることを強く認識し、昭和54年（渇水の最中）に、市民の代表である市議会と一体となり「福岡市節水型水利用等に関する措置要綱」（以下、「節水要綱」という）を制定するとともに、市民・事業者・行政が一体となった、「節水型都市づくり」に取り組んできた。

この取り組みの一つとして、下水処理水を雑用水に再利用する建設省（現在の国土交通省）の「下水処理水循環利用モデル事業」（現名称は「再生水利用下水道事業」（以下、「再生水事業」という）の採択を受け、昭和55年6月に日本で初めて、再生水を市役所や警察署など公共施設のトイレ洗浄用水として供給を開始した。（現在、再生水の利用用途はトイレの洗浄用水と公園街路等の樹木への散水用水として利用。）



写真-1 市域を代表する河川（那珂川）上流のダム



写真-2 給水制限時には給水車が出動

2. 節水型都市づくり

福岡市が取り組んだ、「節水型都市づくり」は、4つの柱から構成される（図-1）。



図-1 節水型都市づくり

(1) 節水型機器の普及

衛生陶器メーカーと節水便器の研究等を行い、1回あたりの洗浄水量10リットル以下の節水便器を開発し、1回あたりの使用水量も10リットル以下と指定基準を定めた。また、節水コマの無償提供などにより節水効果を図った。

(2) 水道水の効率的供給

昭和56年に水道局で水管理センターの運用を開始し、流量調整や水圧コントロールにより漏水の抑制・効率的な水運用を行った。現在では国内トップレベル（97.2%）の有効率を誇っている。

(3) 節水意識の高揚

小中学校向け副読本を作成し、節水教育を授業に取り入れた。他にも、水道局ホームページで節水方法、貯水量等の情報提供や広報誌「水だより」の全戸配布を行い、節水意識の啓発を行っている。

(4) 雑用水道の普及

大型建築物等のトイレ洗浄用水として雑用水道の設置指導を行い雑用水道の普及による節水に取り組んだ。なお、当初の雑用水道の位置づけは次のとおりとなっていた。

1) 広域循環型雑用水道（再生水）

下水処理場において処理された下水処理水を原水と

して、再生処理施設でさらに高度処理し、雑用水道として特定の地域に供給。

2) 個別循環型雑用水道

事務所ビルなど1つの建物の中で、その建物内で発生する生活雑排水を自家処理して雑用水道として循環利用。

3) 地区循環型雑用水道

比較的まとまった狭い地域（大規模な集合住宅や市街地再開発地区など）で、複数の建物から発生した排水を1箇所に集めて処理し、雑用水道として利用。

現在では、建築物の屋上等から集めた雨水や地下の井戸水をろ過処理や滅菌処理し、雑用水道として利用する、非循環型雑用水道も採用されている。

3. 再生水供給区域

昭和54年に日量400m³の再生処理施設を中部水処理センター内に建設し、翌昭和55年には当初の供給先として福岡市の中心部にあたる、天神の公共施設12箇所を対象に再生水の供給を開始した。平成元年からは天神・渡辺通り地区、シーサイドももち地区を供給区域と定め民間の大型ビル等を含め再生水の利用拡大を図った。

再び大渇水を経験した平成6年の翌年からは博多駅周辺地区、都心ウォーターフロント地区を加え、さらに平成15年からは香椎地区、アイランドシティ地区を対象に、東部水処理センター内に建設した再生処理施設から再生水の供給を開始した。

平成26年4月には、現在、再生水を供給している裁判所や検察庁の移転先となる九州大学六本松キャンパス跡再開発地の六本松地区を新たに計画供給区域に追加した。

平成26年度現在の再生水供給区域は1,421haとなっている。以下に現在の再生水供給区域を示す（図-2）。




図-2 再生水供給区域

4. 再生処理施設

再生処理施設は中部・東部水処理センターの2箇所に設置しており、各々の地区に再生水管を布設し、利用先の需要量に合わせ、加圧ポンプの圧力制御で供給を行っている。以下に再生処理施設の概要を示す（表-1）。

表-1 再生処理施設

| | 中部再生処理施設 | 東部再生処理施設 |
|-------|---|---|
| 施設外観 |  |  |
| 供用開始 | 1980年6月1日 | 2003年7月7日 |
| 施設能力 | 現有能力 8,500m ³ /日 認可能力 10,000m ³ /日 | 1,600m ³ /日 1,600m ³ /日 |
| 処理フロー | 凝集沈殿→ろ過→オゾン→塩素消毒→仕上げろ過 | 凝集沈殿→オゾン→生物ろ過→塩素消毒 |

ここでは、中部再生処理施設の処理方式を代表して説明する。嫌気好気活性汚泥法による二次処理水を原水として、①凝集沈殿処理（ポリ塩化アルミニウム添加による不純物の除去）、②前繊維ろ過（繊維ろ材により不純物をろ過）、③オゾン処理（オゾンの酸化力による脱色・脱臭）、④塩素消毒（次亜塩素酸ナトリウムによる消毒）、⑤仕上げ繊維ろ過（繊維ろ材と目幅32ミクロンのスクリーンを通して不純物を最終ろ過）をして供給するシステムとしている。以下に中部再生処理施設の再生処理フローを示す（図-3）。

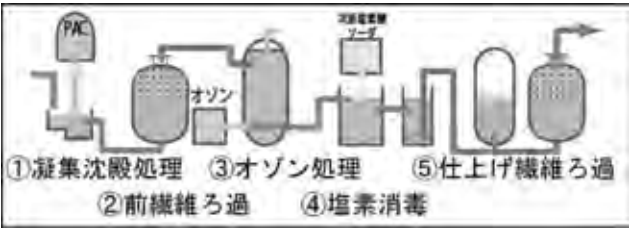


図-3 再生処理フロー（中部）

再生水事業は国土交通省の補助金と利用者からの料金収入により運営を行っており、再生水管は利用者からの要請に合わせ布設し、再生処理施設の整備は送水量の伸びに合わせて段階的に増強するなど効率的且つ効果的な整備を行っている。

中部再生処理施設は平成26年度末に能力を10,000m³/日とすべく、整備を行っているところであり、以下に中部の施設能力増強の推移を示す（図-4）。

再生処理施設の段階的な増強にあたっては、単に能力アップを行ってきた訳ではなく、利用者からの要望に応じてシステムの見直しなどを行いながら水質の向上も図ってきた。

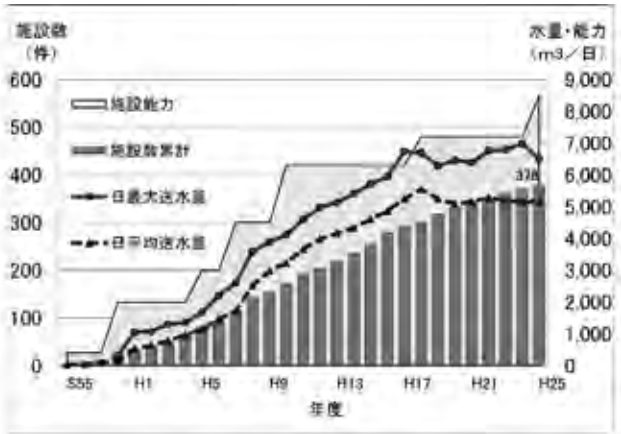


図-4 中部再生処理施設能力増強の推移

昭和55年度から「砂ろ過」+「オゾン」+「塩素消毒」により供給を開始した処理システムであるが、供給区域の拡大や利用者の増加に伴い、処理能力の増強を行ってきた。

水質的な対策としては、平成11年度に、「オゾン」と「砂ろ過」を入れ替えて、溶解性の鉄とマンガンをおゾンの強力な酸化力により不溶性とし、砂ろ過で除去することにより再生水の着色対策を実施した。その後、平成13年度には、再生水の原水を安定化させるために、「凝集沈殿」処理を追加した。また、平成19年度には不快害虫対策として「仕上げ繊維ろ過」を追加した。現在、将来的な再生水需要量に対応するために、砂ろ過器を繊維ろ材ろ過機に変更し、「凝集沈殿」+「前繊維ろ過」+「オゾン」+「塩素消毒」+「仕上げ繊維ろ過」により増強を行っている。

以下に中部再生処理施設の変遷を示す（表-2）。

この様に利用者からの理解も得ながら段階的に増強をしてきた福岡市における「再生水事業」の平成25

表-2 中部再生処理施設の変遷

| 年代 | 処理フロー | 能力 (m ³ /日) | 対 策 |
|-----|---|------------------------|-----------------|
| S55 |  | 400 | |
| ? |  | →2,000 | |
| H10 |  | →3,000 | |
| | 砂ろ過+オゾン+塩素 | →4,500 | |
| | | →6,300 | |
| H11 |  | 6,300 | ※鉄・マンガ ン着色対策 |
| H12 |  | | |
| | オゾン+砂ろ過+塩素 | | |
| H13 |  | 6,300 | ※原水安定化 |
| ? |  | →7,200 | 水質向上 |
| H18 |  | | |
| | 凝沈+オゾン+砂ろ過+塩素 | | |
| H19 |  | 7,200 | ※仕上げろ過 |
| ? |  | | 不快害虫対策 |
| H24 |  | | |
| | 凝沈+オゾン+砂ろ過+塩素+仕上げろ過 | | |
| H25 |  | 8,500 | ※システム最適化 |
| |  | →10,000 | 能力アップ |
| | 凝沈+前ろ過+オゾン+塩素+仕上げろ過 | | |

年度末現在の送水量は中部東部地区を合わせて、日平均で約5,364m³、供給箇所数は406箇所(日本一)となっている。以下に供給箇所数と送水量の内訳を示す(表-3)。

表-3 供給箇所数と送水量の内訳

| (平成25年度末) | | | |
|---------------------------|-------|------|-------|
| | 中部地区 | 東部地区 | 計 |
| 供給箇所数 | 377 | 29 | 406 |
| 日平均送水量(m ³ /日) | 5,216 | 148 | 5,364 |
| 日最大送水量(m ³ /日) | 6,505 | 454 | — |

5. 再生水管

再生水を水処理センターから離れた市街地で使用するには、水道同様にパイプが必要になる。

現在、再生水管はφ75mm～350mmのダクタイル鋳鉄管を公道に布設しており、その総延長は100kmを超えている。

再生水の供給区域内では、同じ道路の中に再生水管と水道管が混在する形となるので、再生水管は一目で再生水とわかるように、管の外面に黄色の塗装を施し、外面の腐食防止と識別を兼ねた黄色のポリエチレンスリーブを巻き、道路掘削の際にも再生水管を破損させないように上部に標識テープを入れて布設している。以下に再生水管布設状況を示す(写真-3)。



写真-3 再生水管布設状況

6. 条例化

当初、「節水要綱」による節水型都市づくりの一環として始めた「再生水事業」は平成元年からの民間ビルへの再生水供給を皮切りに「下水処理水循環利用モデル事業実施要綱」(後に、「福岡市再生水利用下水道事業実施要綱」(以下、「再生水要綱」という。))により、需要者と契約書を取り交わして供給を行ってきた。

しかし、①市民と一体となった節水のさらなる推進(地区循環がなくなり、雨水利用等新たな視点での対

応が必要となった。)②法的根拠の明確化、普及促進(建築基準法の改定に伴う民間の指定機関での建築申請が可能になり要綱での指導が困難になった。)③地方自治法の改正(地方分権一括法の施行により、“義務を課し、又は権利を制限するときには、条例によらなければならない”と規定された。)などから、「節水要綱」を条例化しなければいけない状況となった。併せて、「再生水要綱」も同時に条例とすることとし、平成15年12月1日付けで日本初となる雑用水道の設置を義務付けるなどの「福岡市節水推進条例」と再生水利用に関する手続き、料金等を明記した「福岡市再生水利用下水道事業に関する条例」(以下、「再生水条例」という。)を施行した。

「再生水条例」に規定する料金は、利用者が水道水と再生水を併用利用する際に、水道水のみ利用より2～4割程度安価になるように基本料金無しの3段階従量料金制として、イニシャル・ランニングコストを回収できる料金設定とした。以下に水道料金と再生水料金の比較を示す(図-5)。

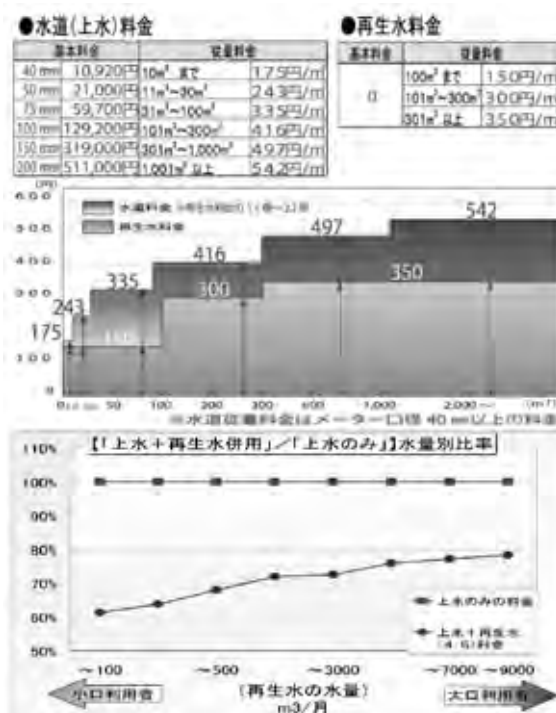


図-5 水道料金と再生水料金の比較

7. 国際協力

世界的に水資源不足が大きな課題となっている中、下水処理水を都市の新たな水源として活用する再生水事業は大いに注目を集めている。

福岡市は平成24年4月に国土交通省が発足させたWES Hub、下水道技術の国際拠点として登録(図-6)されており、再生水事業に関しても多くの海外

視察者が訪れている。

また、海外からの視察に対応するため、日・英・中・韓の4か国語のパンフレット及び見学説明用の4か国語対応パネル看板（写真-4）を作成し対応している。



図-6 WES Hub（国土交通省 HP より）



写真-4 見学説明4カ国語パネル看板

8. 市民へのPR

再生水を利用している施設のトイレには、それまで「注意この便器には、処理水を使っています。」と表記した市販のシールを貼っていた。再生水のイメージアップのため、平成18年から現在のデザイン



図-7 再生水シール

（図-7）に変更し、再生水の利用者に無料で配布し表示を義務付ける事により再生水利用の注意喚起とPRを同時に実施している。

また、その他の積極的な市民へのPRとして、道路下水道局のホームページでの紹介や、出前講座、ポス

ターの掲示（図-8）などを行っている。

毎年、夏休みに「課外事業 in キャナルシティ」と題して開催している下水道フェア（図-9）の特設ステージでは、職員が講師となって再生水の授業を行っている。



図-8 庁舎内掲示再生水ポスター



図-9 下水道フェア福岡2014

9. おわりに

福岡市の再生水事業は、昭和55年の供給開始から35年以上を経過し、再生処理施設の変遷でもふれたように、様々な課題を乗り越えながら、現在に至っている。

また、事業収支としても、平成5年度に単年度黒字、平成8年度からは累計でも黒字計上をしており、現在も安定した運営を行っている。

福岡市における再生水事業は、今後も積極的に推進していく必要があり、既存建築物の建替え計画や再開発等による土地利用計画の見直し等を注視し、区域の拡大や将来の需要見込みに合わせた管網整備、再生処理施設の増強や最適化を行うことにより、効率的且つ効果的に事業を実施していく。

コ ラ ム

汚泥をバイオマス資源として地域循環

福岡県大木町では、町内から発生する生ゴミ・し尿・浄化槽汚泥をメタン発酵させ、バイオガスを回収して発電などのエネルギーとして利用し、発酵した後の消化液を有機質の肥料として、町内農家や家庭菜園などで活用している。以前では当たり前だった、生ゴミ・汚泥等の地域循環を現代版に置き換え、町ぐるみで取り組んでいる。「おおき循環センターくるるん」という循環施設は平成 18 年 11 月から稼動を始め、約 8 年半が経過するが、生ゴミ分別・プラントの稼動・液肥の利用など、町の循環システムは順調につながっている。この施設の最大の特徴は、従来では迷惑施設として町外れに設置されるべき施設を町の中心部に設置し、誰でも見学できるオープンな施設にしたこと。レストランや直売所を併設した道の駅を一体施設として整備し、多くの来場者が訪れており、まちの自慢の施設となった。周りは野菜畑に囲まれ、町の基幹産業である農業や農産物・食をテーマにした交流拠点になっている。毎年全国から 4,000 人程度の見学者も訪れている。

大木町は平坦地で集落が点在し掘割が縦横に走っていることから、排水対策として公共下水道などの集合処理施設には頼らず、戸別処理の合併処理浄化槽の普及を推進してきた。各家庭の排水を合併処理浄化槽できれいにし掘割に流すことが効率的で効果も早く、町の財政負担も少ない。しかし、浄化槽の維持管理が設置者任せになることで設置者の負担が大きくなるなどのデメリットがあったため、設置者の組合組織として一般社団法人大木町合併処理浄化槽維持管理協会を立ち上げた。町はこの組織をサポートすることで、町全体の合併処理浄化槽の適正管理や設置者の負担軽減を目指している。

排水対策として合併処理浄化槽を普及して、町ぐるみの維持管理システムを立ち上げ、清掃汚泥は生ゴミと一緒に「くるるん」でメタン発酵させて有機質の肥料を作り、農作物の栽培や家庭菜園の肥料として使ってもらおう。その肥料で作った野菜やお米は食卓に帰り、生ゴミとし尿や汚泥をまた活用する。排水対策を組み合わせた効率的な循環システムは全国でも珍しいのではないかと自負している。



大木町環境課長 境 公雄

報告

第27回下水汚泥の有効利用に関するセミナー パネルディスカッション概要

会場：佐賀市



座長

島田 正夫

日本下水道事業団技術戦略部資源技術開発課 課長代理

安陪 達哉

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

馬場 慶次

佐賀市上下水道局下水浄化センター所長

パネラー

津森ジュン

(独) 土木研究所材料資源研究グループリサイクルチーム上席研究員

落 修一

(公財) 日本下水道新技術機構資源環境研究部副部長

井上 恒久

日本土壌協会 広報部 専門職

※パネラーは発言順。
所属・役職は開催当時のもの。

■ 下水汚泥のエネルギー利用

○島田 下水汚泥資源の有効利用策は、大きくエネルギー利用と建設資材利用それに緑農地利用に分けられますが、今回はエネルギー利用と緑農地利用を中心にディスカッションを進めたいと思います。パネラーの討議を中心に進めますが、ぜひ会場の皆さまからもご質問・ご意見などいただければと思います。

まずエネルギー利用を見ると下水汚泥の炭化や乾燥による固形燃料化と、もう一つはメタン発酵によるガス利用の二つに分けられるかと思っています。最初に国土



島田座長

交通省の安陪さんにエネルギー利用について国の基本的な考え方等についてご説明いただきたいと思います。

○安陪 地球温暖化対策やエネルギー問題などを背景とし、現在、国土交通省では下水汚泥のエネルギー利用に力を入れています。全国的に見ると下水汚泥のエネルギー利用の割合は約13%にとどまっており、今後この数値を29%まで引き上げていきたいと考えています。

達成に向けた取組みとして、平成23、24年度の下水道革新的技術実証事業(B-DASH)でもバイオガス利用技術や固形燃料化技術などを採択しています。23年度は神戸市でバイオガス



安陪講師

利用、大阪市で燃料電池や都市ガスなどの利用を組み合わせたスマート発電、24 年度は松山市で排熱を利用した低コストの下水汚泥固形燃料化技術、長崎市で水熱反応を利用した固形燃料化技術が実証されています。実証が終了したものはガイドラインを公表しています。

それから、固定価格買取制度についてですが、再生可能エネルギーがいろいろとある中でも、太陽光や風力といった不安定なものと比較しても、バイオマス利用は発電量が安定しており、こうしたものを分けて考えるべきではないかといったご意見も出ているというふうにお聞きしております。

○**島田** 佐賀市の馬場さんから、講演のなかでもバイオマスの発電利用についてお話がございましたけれども、何か補足的なコメントをいただけたらと思います。

○**馬場** 佐賀市では小型のガス発電機を 16 基設置して消化ガス発電を実施しています。私どもは売電という方法をとらずに、場内で電力を消費しており、現在のところ順調に稼働しております。



馬場講師

発電機についてですが今後も増設する計画があるのですが、規模が大きいものを

を設置する方が良いのか、規模が小さいものを複数台設置するのがいいのか、どちらも一長一短がありますから、悩んでいるところです。

○**島田** ここで会場の方からのご質問、ご意見等を伺いたいと思います。長野県生活排水課の方でご説明よろしく願いいたします。

○**質問者** 下水汚泥の固形燃料化は有効利用策として最近の流行ですが、北九州市、大阪市などでは製造した固形燃料が地元の製鉄所や電力会社などで利用いただけていると思います。しかし、こうした箇所での消費が見込みづらい場合、安定的な消費構造の構築に向けてどういったことを検討していったらよいのか、知見があれば、御教授いただければということでお話をお願いしたいと思います。

○**島田** 製造した固形燃料の利用先とか、販売先を安定的に確保するための対策や検討をどのように進めたらいいかというご質問ですが、何かアイデア、アドバイスがありましたら、どなたかパネラーの先生方でコメントいただけないでしょうか。

○**津森** 固形燃料化を進められているところは、近くに需要先があるところです。火力発電所があって石炭の代わりにしたり、もしくは自前の発電所を持ってい

るような大規模な工場であったり、そういうところで受け入れられている事例があります。

そうではないところの事例として、東北では工場ではなく、木質バイオマス発電を行われている民間企業があって、そういうところに受け入れてもらえないかと検討されている事例があります。今、固形燃料として受け入れている多くは電力関係が多いのですが、再生可能エネルギー関係として木質バイオマス発電が広がっているのも、そうした需要先を検討されている事例もあります。

○**島田** 落さんの方で何かコメントをいただければと思うのですが。

○**落** 津森さんがいわれましたけれども、木質バイオマス用の小さなボイラーというのもできていますので、そういうものに適用して、灰をそのまま肥料として使って行けますから、一番手っ取り早いのは、そちらになります。その次が、一つの流域なら流域の処理



津森講師



落講師

場で炉を持っているところは、そこに持って行って燃やす、そして発電する。これは B-DASH でも実施していますので、できないという理由はないです。しかも、さっきも言いましたけれども、灰がきれいであれば、そのまま農業利用まで持っていけますので全然問題なくやっていけます。その時に何か問題があるとしたら、やりたくないとか失敗するかもとか、いろいろな理由が出てくると思いますが、やることを前提に考えれば、すごく簡単なことです。明日からでもできます。そういうことで取り組んでいただければと思います。

○**島田** ありがとうございます。いろいろなケースが考えられると思うのですが、どうしても電力会社みたいな大きな会社ですと、1 日 5 トン、10 トンでは、なかなか相手にされません。数十トン、50 トン以上の固形燃料が発生する場合ですと対応してくれる可能性はあると思うのですが、規模が小さい場合は、近隣で少量でも利用してくれる事業者を根気よく探し出すことが必要かなと思います。

■ 小規模自治体での取組み

○**島田** それでは、もうお一人の方ですね、鳥取県日吉津市さま、小規模施設の自治体の取組み事例についてというようなことですが、質問のご趣旨を簡単にお願いたします。

○**質問者** 鳥取県日吉津村の松島です。大山町、南部町、日吉津村で移動脱水車によるコンポスト化施設を共同運営しております。日吉津村は人口 3500 人という小さな村でございますけれども、以前には双子の下水処理場といった建設を国交省と農林省の事業でやりました経験もあります。

どうしても小規模ですと、職員の数も限られ相談する人もいないため、現在やっていることが正しいのか間違っているのかも判断できない状況です。そういう中で、2 万人規模以下とか、5,000m³ / 日以下あるいは 2,000m³ / 日以下とかいった小規模自治体では実際どういうふうにやっているのかというのを教えていただければと思います。

それから、そこにもう一つ、有効利用を進めるに当たっていろいろな基準や法律等がたくさんあります。中にはものすごくハードな基準もあり苦慮しています。汚泥の有効利用を促進するうえで、もっとやりやすいように基準や規制の緩和が是非必要と思います。

○**島田** ありがとうございます。ただいまのご質問というのは、小規模自治体では体制も限られている中で、いろいろな法的な規制とかが厳しくあり、なかなか進めようにも進められないというのが実態であるということですが、その辺りについて、国土交通省の安陪さんの方からコメントをいただけますか。

○**安陪** 日本では下水道、それから浄化槽、集落排水と污水处理行政が複数にまたがっておりまして、なかなか連携が難しいところもあるというところは思っております。いまお話しがあったように、小規模な自治体さんは、そういう下水道なり浄化槽なりが複合してあるといったような状態だと思いますので、そういった取組みが円滑に取り組むように考えていきたいというふうには思っております。

○**島田** ありがとうございます。今のご質問について、津森さんからもコメントをいただけたらと思います。

○**津森** 今日ここで発表させていただいたのは、石川県の取組みです。石川県は、ここ 2、3 年検討会を設置されています。石川県では一つの担当課で下水道も集排も浄化槽も全部同じ面倒を見られているので、そこで議論されて調整されています。鳥取県はどういう状況になっているのかわからないですけれども、一つの方向性として、おそらく小規模の自治体が単独で検

討するのは非常に大変だと思いますので、県の力を借りることが重要だと感じています。石川県の場合は、県が音頭をとられて廃棄物の担当部局も入って、どのような手続きを進めていくか、とか、技術的な検討事項については、我々も参画していますし、下水道機構も入っているというような形で、いわば他人の力を借りるということをされています。また具体的に知りたいことがあるならば、それこそ落さんが先ほどおっしゃったように、お手伝いをさせてもらえればと思います。私が感じているのは、やはり県の力というのが非常に重要なイニシアチブで、大事だと思っています。結構、市町村で、いろいろ困っていらっしゃるのだけれども、どうも行政的な情報とか、技術的な情報や他自治体の取組みとかが流通をしていないなと感じています。そこをまた国の方でいろいろ整備局が主体となって、そういう情報が流通する枠組み、今ご発言のあった手続きに関することなどについては整備されることに期待をしたいと思っております。

■ 汚泥の緑農地利用

○**島田** それでは次の課題に進んでまいりたいと思います。次は汚泥の緑農地利用についての話題に移りますが、これについても安陪さんから補足的にコメントいただきたいと思います。

○**安陪** 現在、国交省ではビストロ下水道を展開しておりまして、先ほどお話ししましたけれども、利用していただいている方との連携というのが一番重要だというふうに思っております。そういう意味で、先ほど佐賀市からご発表あったような農家の方々の使い勝手を考慮したものなのか、あるいは職員の方が一緒になって勉強会を開催されるようなことは非常に良いことなのだなというふうに思っております。

その中でもリンについては、私もいろいろお話を伺っていますけれども、世界的にリン鉱石が枯渇していて、さらにリン鉱石自体の質が悪くなってきてると、むしろ下水汚泥から抽出するリンの方が、質が良いという話や、リンが、世界的に戦略物質となっているという話を聞いています。

○**島田** 馬場さんからも補足的なコメントがありましたらお願いします。

○**馬場** 事業化をするにあたっては、話の中でも出ていましたけれども、下水汚泥を発酵させて肥料をつくるために未利用バイオ資源も用いています。これは各食品メーカーさんの残渣というか副産物なのですから、その中に有用なアミノ酸が多量に含まれるということで補足させていただきます。

まず一つの効能として、どうしても発酵する段階で

アンモニアの発生があります。それが臭気として表れてくるわけなのですが、それでも中和させる効果があるということ。次に多量に含まれるアミノ酸があります。そのアミノ酸の効果は平成 24 年の 7 月から 25 年 7 月の 1 年間、食品メーカーさんと一緒にうちの肥料で作った野菜のアミノ酸含有調査を実施しました。また 食味調査もあわせて実施しましたところ、糖分よりもうま味成分が増し、食味も非常によい結果が得られました。

次に私は、もともと設備屋でして、機械設備の維持管理の問題があります。

堆肥化施設はコンクリートで仕切って、あとはプロワールおよび脱臭床などの単純な設備となっておりますが、一番活躍するのが、発酵中の切り返すホイルローダーです。切り返し作業で一週間の平均で日あたり 7 時間ほど稼働しており、365 日の平均でも通常の土木機械の 2 倍から 3 倍となっておりますので、かなり機械内部の消耗というものが、今後も続くということです。そういうような維持管理というのを全く無視できないというような状況になってきております。

それと話をしましたが、肥料というのは、あくまでもお客さんがあっての肥料です。私どもと NPO 法人は各イベントの中で宣伝、それと食べてもらう努力をやっていきます。NPO 法人さんの相当な努力のおかげで、今はすべて完売ということがここ 2、3 年続いております。今後もそういうようなことをやっていくつもりなのですが、最初に出口を確保するというのが、いま一番大事ではないかと重ねて申し上げたいと思っております。

○島田 井上さんは、汚泥肥料の有効利用に係る調査研究を長年されてきたと、先ほどご説明をいただきましたが、何か補足的にコメントをいただけないでしょうか。

○井上 最初に私の講演の中で、使った下水汚泥肥料の種類と、それから成分の量とか申しましたが、下水汚泥肥料と一言で言っても、その品質にはかなり差があるということです。ですから佐賀市のものは、今回、具体的に良い効果があったわけですが、そういうような製造方法を含めて、ユーザーの農家さんからみて、良い品質のものを作ることが大事ではないかということを強調したい。

それから、もう一つは、いま佐賀市では肥料が完売していると言う話ですが、農家側からみて使っ

た結果が大変良かったという事例報告をもっと公の場で PR するべきです。私どもは今回、品質のテストを始めるときに、いろいろな文献を調べたのですが、農家の方と下水道の方では分野が違うということもあって、なかなか文献が手に入らなかったのも、そういう意味でお互い協力して、これから書き物としてアピールしていただけたらと思っております。

■ 汚泥由来堆肥の安全性

○島田 ここで会場の皆さま方からのご意見を賜りたいと思います。先ほどのアンケートで東広島市の方からは、コンポストの基本的な処理についてのご質問がでておりますので、主旨説明を簡単にお願ひ致します。

○質問者 当市では委託により全量堆肥化を行っていますが、今年になって大量在庫をかかえていることが判明しました。今日のお話を聞く中で、やはり良い品質の肥料製造を心がけるのが大事であり、第 2 に先ほどもありましたように、市も委託するだけではなく、利用促進の宣伝を積極的にしていく必要があると思います。ただ、宣伝をしていく中で、今日の講演の中であったように重金属についての安全性、それは確保されているという、それは当然、市が責任を持ってやっていくべきことだと思いますけれども、一般家庭から排出される界面活性剤とか蛍光剤といった環境ホルモンも出るのではないかと聞かれます。

今日も、こういう有益な菌もあるとのことですが、それらが無害化されるのがどうなのかということをお教えいただきたい。よろしくお願ひいたします。

○島田 肥料を処理するにあたって重金属の問題はともかくとして、界面活性剤等の環境ホルモンの問題についてどうなのかというご質問なのですが、これについて、馬場さんの方から何かコメントをいただけますか。

○馬場 下水由来の脱水汚泥を対象にコンポスト製品を作っていますが、あまりそんなに気にはしていませんし、分析結果はいつも問題ない状態です。

○島田 津森さんのところで環境ホルモンの調査を以前やっていたかと思いますが、環境ホルモンについては何か。

○津森 うちでは昔々やっていましたけれども、まずは測ることが一番だと思います。先ほどご紹介したように、下水試験法というものがある中で、その程度は測定方法を定めています。ただ簡単には測定できないかもしれませんので、東広島市さんですよね？そうすると広島大学に尾崎先生という専門家がいらっしゃいますのでご相談されると良いかと思ひます。我々もいろいろな情報交換をさせていただいていま



井上講師

す。

ただ一般的にはそんなに出ないですね。会場にいらっしゃる松井先生にコメントを求めてしまう私も悪いのですけれども、もし何か最新の知見があるようでしたらお願いできませんか。

○松井 最新の知見というと、私の後輩の京都大学の田中先生が精力的に研究をやっています。いまわれわれが問題点の分析をして把握しておく必要があると思っているのが、人が使う医薬品です。われわれが毎日使っていますね。これについては下水の活性汚泥で分解しているものと、分解をしていないものがあります。分解していないものが、ある部分はたぶん汚泥の方には移行しているだろう。それから分解できなかったものは、そのまま川へ流れているだろうと。こういうように分析結果が分かっているのですけれども、いずれにしても濃度が非常に低いですね。

医薬品類というのは、われわれの血液中の医薬品の濃度と比べると、人間が排泄をして、おしっこで出して、下水までいって薄まって、下水処理場であるものは分解されるとか、希釈されるというのを追っかけていきますと、濃度は1ケタ、2ケタ、3ケタと下がっていくわけです。ですから医薬品については、例えば水道水にもう一度入ってきたとすると、極めて濃度が低いか、これは医薬品という効果は、たぶんないだろうというように理解されています。その問題で一番神経を使っておられるのが、大阪ですね、大阪市と大阪府の水道で、これは上流の滋賀県、京都府の下水が流れてきますから、よく対応をされていて、大阪府、大阪市の水道は高度浄水処理をやっています。水道水の標準の処理に対して、オゾンと活性炭を加えてやっています、その処理をしたあと、家庭の蛇口で出てくる水道水の中には、いま申しました分析できる医薬品が100種類ありますけれども、これもほとんど残っていないです。そういう意味で、人間に対する影響という点では、ほとんどわれわれも問題には考えていません。

それから下水汚泥にこういう医薬品類、化学物質が吸着されて残っているのですが、これは、じゃあ佐賀市の場合に考えたらどうなるかということ、先ほど馬場さんがおっしゃったように、ほとんどNG値になるというのは、これはどういうことかということ、発酵堆肥というのは、汚泥そのものをだいたい9割を分解してしまうのです。汚泥そのものを9割分解してCO₂に変えていますので、ですから分解能力がものすごく強い処理方法なのです。このコンポストはおそらく、この汚泥中に吸着されたものの9割近くは全量に対し減っていますから、それに比例して、ほとんど分解するだろうというように、現在は、私は考えております。

これを科学的に確かめる手段としては、京大でしか測れない装置を持っております。ただ、私の経験からしますと、このコンポストが9割ほど減量しますから、たぶん分解されているのは間違いないと私は十分に安全だと思っています。

■ 法律関係の取り扱い

○島田 貴重なコメントをありがとうございました。そういうことで、田坂さん、よろしいでしょうか。それでは、会場で次の方、姫路市の方はおられますでしょうか。堆肥化施設をつくる場合の法律関係等についての扱いをどのようにするかというご質問ですが、簡単に主旨説明をお願いします。

○質問者 私は姫路市の長崎と申します。うちの市でも議会等から下水汚泥有効利用、特に肥料化の検討をいわれています。一部民間の産業廃棄物業者に委託して肥料化はしているのですが、佐賀市さんのように自前で肥料化処理施設を造る場合に、法的な手続きをどうしているのか、特におがくずのような副資材を受け入れる場合の廃掃法上の手続き、解釈についてお聞きしたいと思います。

○島田 自前の処理場内でコンポスト化施設を造る場合ですと、通常、下水道の関連施設ということで廃掃法上の手続きは不要になりますが、他の有機物とか木屑などを受け入れる場合は法律が適用されるのではないかとご質問かと思うのですが、馬場さん、佐賀市の場合についてのコメントをお願いします。

○馬場 うちの施設については、下水の施設でございまして、すべて全量を下水道由来ということで、使用していますので必要ないと考えております。それでも有価販売ということで、脱水での段階で委託業者さんの方に一応販売店というかたちをとっております。そのままの委託です。それを無料化し、外からいろいろなものを持ってこられるということになると、一般的にそれが産業廃棄物等の手続き、受け入れ施設とか、そういうものが必要になってくると思いますので、そこについては廃棄物対策課とか、そういうようなところにご相談されるのが必要になってくるのではないかと考えています。

○島田 今の件で、落さんからも何かコメントいただけないでしょうか。

○落 珠洲市の立上げにかかわったのですが、その時、技術は簡単なのです。おっしゃる通り、そういう関係省庁の法律とか手続が大変で、それでも一生懸命やっていたら、それが現状なので、それに対しては安陪さんに聞いていただきたいと思います。いま国交省では、エネルギー化ガイドラインというものを改定され

ようとしています。その中で現在バイオマスを受け取られている、具体的には今申しました珠洲市がありますし、北海道の方には北広島市、恵庭市、あと黒部市があって、前年の有効利用セミナーがあった黒部市でして、そこは例えば、コーヒー工場からの粕を受け入れています。そのような中で、どういう点に苦労されましたかというのを聞いて、今度の委員会、ガイドラインの中に留意事項としてまとめようとしています。基本的にはやはり処理施設としての手続きが必要ということになります。

基本的にはできるのですね。ただ手続きに、先ほど日吉津村の方もおっしゃったように、やはり県の担当者も初めてなので、なかなかいろいろな苦労もされているみたいです。そもそも、そのようなものを扱ったこともないから分からない。それで、そのような手続き等の整備を国交省の方でされていますが、それを待つのではなくて、案があれば、どんどん相談されていくのが良いと思います。

ここは皆さんに、共通認識として持っていただきたいと思うのが、下水道法の中である程度の、大部分に関しては実施できる。廃掃法に係わる部分は特別だと思っていただければいいですね。ですから下水処理場の中でやることについては、廃掃法の適用ではなくて下水道法できちんと対応します。そのために処理の基準とかも決まっていますし、それから指針もあります。ただ、繰り返しになりますが、下水道だけではなくて、やはりこれからどんどん連携ということで、いろいろと引き受けていくことになりますので、今後、制度などもより良い方向に改善されるのだろうと思っています。皆さんも期待していただきたいと思います。

○島田 安陪係長の方から特に追加説明がありましたらお願いします。

○安陪 下水処理場に持ってこられるもの、その受け入れられるものが廃棄物かどうかというのが、まず判断の一つになります。今、恵庭とか珠洲といったところは、ゴミとして持ってきて、利用するということです。佐賀市などは、資材として受け入れられているのではないかなと思いますし、廃棄物ではないというようなことだろうと思っています。

受け入れるものが廃棄物かどうかはそのものを見ないとわからないということでもありますので、それぞれの関連部署と手続きをしていただくということにならざるを得ないのかなと思います。それぞれの考えがありますが、既存の施設を使って有効利用を図っていくということは、より良い方法だというふうに思っておりますので、できるだけそれが円滑にしていきたいというふうには思っております。

○津森 追加です。おがくずではないのですが、実はこの前、栃木県のある生ごみ堆肥化施設を見学させてもらったところ、もみ殻がコンポストに非常に有効な効果を生むそうでした。民間事業者や他の施設と取り合いになっていて、計画的に調整しないと手に入らない事態にまでなっているというお話がありましたので、これは情報として伝えておきます。民間肥料会社や、自治体のコンポスト、それは生ごみも下水道のコンポストもあるかもしれません、取り合いにまでなるそうです。いろいろな資材がありますので、そこでいろいろな選択をされるといいのではないかなと思います。

○島田 よく下水汚泥だけでつくったコンポストというと、農業サイドは少し毛嫌いするのですが、もみ殻を副資材として受け入れてつくったコンポストなどですと、農家や農協サイドが使用に積極的に取り組んでくれるというケースもあります。

■ 佐賀市での取組み

○島田 もう 1 件、会場からの質問がでております。株式会社水 ing の方はおられますか。

○質問者 佐賀市さんからお話がありました件ですが、超高熱、高温細菌を利用されているということですが、菌としてどれくらいの量を添加されているのかをお伺いします。

○馬場 お答えしたいと思います。もともと毎回種菌を入れているわけではありませんで、現在は、例えば、1t の混合物をつくるというときは、私どもの原料である脱水汚泥が 3 分の 1 程度に対し、その倍以上の 3 分の 2 程度を製品になっている生産物を使います。その中に多量の菌が含まれますので、そういうようなものと、あと混合物をいくら入れられるかということで、一応、混合して発酵にかかるということをしております。

例えば、私どもの脱水汚泥が 1 だとしします。それに対してもうでき上がった肥料なのですから、1 対 2 の割合で混合しているということですね。そしてあとですね、脱臭のために混合物を入れています。その混合比については委託業者さんとのからみもありますので、混合比については言えませんけれども、P 菌体などを入れて独自に発酵しています。ですから種菌と私どもの脱水汚泥については 2 対 1 と言えます。そういうような手法でやっています。

○質問者 あと、先ほどの話で、ホイルローダーで切り替えしをされているということですが、たぶん発酵層の中はすごいアンモニア雰囲気の中だと思うのですが、その運転されるその運転席は密閉されてい

るとか、何か工夫しているのでしょうか。

○馬場 特別仕様になっておりキャビン仕様で完全に密封されています。そうして、脱臭機能も備えていまして、特別仕様になるかっこうです。そんなに極端な特別仕様ではないのですけれども、そういうような方式でありながら一番活躍するのが、ホイルローダーです。

特別仕様で若干値段もあがる場所があるのですけれども、密閉型のキャビンで、環境性を備えたルールでやっているというところですよ。

○質問者 あと臭気対策として水を散布され、その排水を初沈に戻されているというお話でしたが、それによる窒素負荷、水処理の方に対する影響は如何でしょうか。普通よりもたぶんかなり高めだと思いますが。

○馬場 返流水のことですね。散水して空気中に拡散されたアンモニアも回収するわけですが、それだけでやっているわけではございません。当然、生物脱臭もしてから全体的に初沈に戻すということではありますけれども、極端な大きな負荷にはなっていないと思います。

○津森 明日見学してもらおうのがたぶん一番ですけれども、臭気については実際そんなに気になりませんでした。おそらく切り替えしている作業状況の中で、かつ密閉した状態で見学させてもらえばやはり気にはなるかもしれませんが、今年（平成26年）2月ぐらいに現地を見た際には、その現場の中を歩いていて、そんなに、私などは逆に慣れているせいかもしれませんけれども、気にはならないと驚いたぐらいです。

佐賀市の場合は、いろいろ改良をされているそうにして、以前かなり遠くの方にまで、広がり地元の方から気になるというお話があったので、シャワーリングをして落として効果が上がっているということは、お話を聞いてはいます。せっかくですから、ここで議論するよりは直接行かれた方が一番確実だと思います。質問者 堆肥について非常に品質がいいというお話だったのですけれども、堆肥に関して、何をもちて品質がいいという、何か基準みたいなものはあるのでしょうか。

○馬場 私どもは、自分自身で品質がいいとはいったことは1回もありません。それだけは誤解のないように。私どもに出入り業者さんも、さっきも言いましたNPOなどのおかげで、かなりの農家に来ていただいております。当然のことながら、成分検査などはしているのですけれども、農家さんと話すときに成分検査を閲覧にしても農家さんは承知しないのです。結局、大事なのはつくったやつ（野菜）を自分が食べたり、販売したりしてこの肥料は良いとか悪いとかを農家さんが判断するわけです。ですから私どももこの肥

料は良いとか悪いだとか、いくら主張しても最終的に判断するのは、農家さんとか市民の皆さまですから。

そこでリピーターとして買いに来てこられるように、その意見を取り入れるということにしています。当然、成分検査等は必要です。窒素がいくらだというのは当然必要です。ただし、それを判断するのは我々ではなくて、農家の皆さんとか市民だと。逆に評判が悪ければ、いくら成分が良くても、全然売れなければゴミと同じではないかというふうに私共は考えております。

○質問者 わかりました。ありがとうございます。

○島田 時間もあと5分ほどとわずかになってきました。建設資材利用については時間の関係もありディスカッションしなかったのですが、全体含めて、この際、ぜひご質問やご意見がありましたら伺いたいと思いますが、どなたかございませんでしょうか。では津森さん、追加説明をお願いします。

○津森 私、全国をまわってコンポスト利用が成功しているところのお話を聴く機会があるのですけれども、まずは下水道管理者側と農家の方の距離が非常に近いところが多いなと感じています。それが成功している理由の一つかと考えています。また、佐賀市さんが進んでいる点は、今もおっしゃったようにコンポストの品質がどうこうというよりは、そのコンポストを使って作物ごとにいろいろと農家さんが、どういう割合で土に混ぜたらいいとか、どういう使い方をしたらいいのかということをいろいろ試されているそうです。そしてそれに協力されているNPOの方がいらっしゃって、勉強会をやって作物ごとの使い方をいろいろ皆で情報共有することによって広まっていると聞いております。

逆に他の地域では進んでいるのだけれども、農家の競争心が強くて、自分が上手くやっている方法を他には教えないということも十分にあるそうです。ただ我々も下水汚泥のコンポスト利用を普及しようと関係者でいろいろ議論したりしていますけれども、ある程度、作物ごとにいろいろな使い方、経営者さんによってもどれくらい入れたか、いろいろな基準というのがあるそうです。農家の方、農協サイドの方と下水道管理者の方でそうした情報を共有して連携できているところは取組みが進んでいると思います。ではそれをどうやって自分たちの地域で進めていったらいいのかということについては、個別にいろいろ考えていかなければならないし、どうやったらいいのか、なかなか一つの答えがないのでしょう。繰り返しになりますが、農地利用が進んでいるところは、農業関係者、行政も含め、農家の方、下水道管理者の連携が上手くいっているということは間違いないと感じています。

■ 下水道マンとして自信を

○**島田** ディスカッション時間が今回は 1 時間ということで、予定の時間がきてしまいました。最後に各パネラーの方に下水汚泥の有効利用についてのご意見を一言ずついただいて締めたいと思います。井上さんからお願いできますか。

○**井上** 現場が非常に良い作物を作るということで、私どもの試験よりも進んでいると知ったわけですが、そういうお話があったように、私どもは試験する側の目で見ますし、いろいろな行政の立場の方とか、そういう方とこれからも協力してやっていきたいと思っています。

○**落** 私は実際にメタン発酵をやっている所に紹介していますが、消化ガス発電ができないという理由は全くありません。どのように小さな所でも必ずできますので、そういうつもりで取り組んでいただきたいと思います。

それと下水道も相当に進んできている中で、一つ、日本の環境問題の一番の課題が畜産の糞尿なのです。そちらの方にも各自治体の皆様方は関わっていらっしゃると思いますが、その大きな原因は、輸入穀物です。飼料の輸入穀物が一番の大元になっていますので、それを自給していくというシステムを創っていききたい。そこに、私達の下水道が貢献して行ける一つの大きな使命だと思っています。飼料穀物をつくるために使っていきたいというのが私の夢で、皆様に協力していただければと思っています。

○**津森** 私の方からは、協会に代わってのご案内ですが、日本下水道協会から年間 4 回、「再生と利用」という雑誌を発行しております。これは昭和 50 年代からやっています、各自治体は、それぞれ届いているはずですし、協会の賛助会員の方である企業さんのところにも届いているということになります。それに、いっぱい情報が詰まっていますので、ぜひとも読んでいただいてアイデアを膨らませて欲しいのと、またわからないところがあれば、編集委員会がありますのでそちらに問い合わせをしていただければと思います。

○**馬場** 私の方からは少しだけ。成分分析するというお話をさせてもらいましたが、国交省の方から、ビストロ下水道の会合の話もありましたが、その中で、最終的には汚泥肥料というのは、食と結びつく訳です。ですから、肥料の評価をしてもらうのではなくて、そこで採れた野菜を評価してほしいと。ただ残念なことに、私どもも 1 日何万トンの量を生産するような大きな施設ではございません。地産地消でございまして、細々やっていくところがございまして、皆さんに食

べてもらいたいと思っても、なかなか手に入らないのですけれども、機会がありましたら、佐賀の野菜を食べてみてください。そしてマズければマズいで評価をいただきたいと思っております。

○**安陪** 皆さん、下水汚泥の有効利用にご関心を持っておられると思いますけれども、過去の下水道が従来は汚水ですとかを処理して流すだけという考え方から、そこで発生する財産としての汚泥、ただ処理するだけではなくて、新たに役立つ利用の仕方というのを工夫されているということで、下水道は資源の宝庫であるという発想の転換が非常に重要ではないかなというふうに思っております。

またその中に利用する資源を利用していただくということについては、下水道だけではなくて、いろいろな方との連携、理解というのが重要だと思っております。我々、国土交通省の方でそういうような協力をしたいと思っております。

○**島田** 各パネラーの方から一言ずつ最後のお言葉をいただいたところですが、最後に突然で申し訳ないのですが松井先生からも締めの一言いただけたらと思います。

○**松井** 突然で驚きました。私は初めてここに参加させていただいてずいぶんそれぞれ皆さんのご努力が着実に実ってきて、下水を活用するというより、資源として活用するという方向に、しっかり進んでいるなと思って、非常に喜んでおります。明日、この現場を見ていただき、それで今までの誤解を解いていただいて、自信を持って皆さま方の管理される下水道処理場での活用、これから大いに使っていただきたいと思うのです。

私の講演で申しましたように、日本が抱えている問題点、大変な問題をわれわれは抱えております。それを解決していくのに、下水道というのは、ものすごい縁の下の方の力持ちなのです。やはり私ども下水道マンとしては、自信を持ってこれからも進んでいきたいと思っております。今日は、参加させていただきまして、ありがとうございました。

○**島田** ありがとうございました。以上を持ちまして、予定していた時間がまいりました。最後に皆さまにご紹介したいのですが、現在、日本下水道協会の方で編集を進めております下水汚泥有効利用促進マニュアルは、建設資材化、肥料化、エネルギー化などについて最新のデータ・情報をまとめたものです。平成 27 年の春先に発刊し皆様のもとにお届けできる予定です。

では以上を持ちまして、パネルディスカッションを終わらせていただきます。つたない座長でしたが、皆さまのご協力のおかげで無事に終わることができました。ありがとうございました。

ニュース・スポット

関係団体の動き

「良いものは必ず売れる！」
下水汚泥由来の肥料を販売 〆朝霧牧場。

編集委員会事務局

キーワード：下水汚泥の搬入、堆肥化、機能性と工夫、
土壌の健康

朝霧高原は静岡県富士宮市北部の富士山西麓の標高700-1,000 m 地点に広がる高原で、国立公園に指定されています。(有)朝霧牧場は富士山頂上を真近に仰ぐ、その富士山の中腹にあります。約10ヶ所の下水処理場からの下水汚泥を受け入れて、肥料化並びに販売事業の取組みを行い、そして資源循環型農業等の推進を実施しています。

そこで社長の簗威頼（みの・たけより）氏に、これまでの取組みやご苦労されている点、下水汚泥への思いなどをお伺いしました。



富士山の中腹にある工場



簗威頼社長

1. 牧場から肥料化事業に

——名前になぜ牧場とあるのですか。

昭和40年に酪農業として創業しました。当初は乳牛を飼育し、生乳の搾乳・販売事業を経営していました。生乳は叔父が朝霧乳業という生乳加工・販売業を経営していたため、そこに卸していました。朝霧乳業は現在もサービスエリア等で牛のマークの牛乳を販売しています。

昭和の終わるころに、牛肉・オレンジ輸入自由化の影響を受けて苦境に立たされました。それまでも牛糞堆肥をつくっていた経緯から、先代社長の友人の大手コーヒー焙煎工場の工場長のアドバイスで、コーヒー豆の焙煎時に出る皮を肥料化する事業を皮切りに、平成2年に現在の事業に変更しました。現在は食品汚泥や、下水汚泥などを原料に利用した肥料化を事業として取り組んでいます。

——下水汚泥の受け入れは。

平成13年に汚泥発酵肥料において特殊肥料から普通肥料への届け出制が認可制へ変更したのに伴って、初年度から普通肥料登録し下水汚泥の受け入れを実施

しています。当初は1日2～3トン程度を受入れてでしたが、現在は平均42～45トンを受け入れています。昨年1年間の実績では約1万5,000トンを受け入れています。現在の下水汚泥排出先は富士宮市、秦野市、富士市、三島市、伊勢原市、御前崎市、掛川市、田原市、静岡市など9自治体10事業場です。

しかし肥料原料は下水汚泥だけではありません。食品工場の食品汚泥、工業汚泥、動植物性残渣、また牛糞、鶏糞といった動物の糞尿などもあり、それら原料を配合し、汚泥発酵肥料を製造しています。肥料原料の割合について要望があれば、農家などの利用者に公開しています。試行錯誤の結果、現在は下水汚泥が6割程度、食品汚泥が約12%、工業汚泥が6%、動植物性残渣が22%、動物の糞尿は0.3%となっています。

——肥料の販売先は。

肥料を用途ごと数種類製造し、販路としては大きく分けて五つ分類されます。まずは果樹向けの肥料で、これは木質チップやバーク(樹皮を破碎した物)が入った商品。次に稲作向けの肥料で、これは小さな粒状だけの商品となっています。ゴルフ場やサッカー場向けの肥料も同様にチップやバークが入っておりません。あとは都市農業向けの肥料。都市農業というのは畑の隣がすぐ住宅といった地域向けの肥料で、においの苦情に対応した商品です。最後に都市緑地対応の肥料はいわばビル屋上の緑化用です。公共施設の緑地帯や百貨店の屋上緑化、各国大使館の庭園などで使用されています。各商品とも実績は、代理店を通じ北は秋田から西は鹿児島まで全国各地に出荷しています。

2. 需要と供給のバランス

——苦労されている点は。

肥料は年間通じて安定して出荷されるというもので



下水汚泥などの原料を混ぜ合わせたもの



はありません。出荷量が多い時期向けにストックする必要がある、需要と供給のバランスを取ることが事業継続の一番の留意点となっております。

東日本大震災のときを例に挙げますと、下水汚泥中の放射性セシウム含有問題で、コンクリート会社が原料としての下水汚泥の受入を一時停止しました。当時当社では、放射性セシウムのベクレル数値が測定できるポータブル測定器で下水汚泥を検査し、農水省の規定である100ベクレル/kg以下なら受け入れる旨、各自治体にアナウンスしました。すると、受け入れ先の下水汚泥の大多数を受け入れる状況になりました。また、それまで取引のない自治体から問い合わせが増加しました。幸い地理的要因に恵まれ、静岡県下では原料の下水汚泥の放射性セシウム測定値が10ベクレル以下の検出下限値以下がほとんどでした。このようにスポットで原料汚泥が増加すると製造した肥料の需要と供給のバランスを取ることが大変になります。

——製品自体はどのようなPRをしていますか。

下水汚泥から製造された肥料など、なかなかリサイクル製品は目に触れる機会がありません。またPRし



粒状でのおいの少ない成果品

ないと各種事業などで肥料利用をしてもらうのに理解してもらえないことが多々ありました。

最初は富士市のイベントで、平成12年ごろから市民に汚泥発酵肥料（2kg袋）の無償配布を行うようになりました。このイベントが好評で、200袋ずつ2回に分けて行っているのですが、現在では整理券を配布しても5分程度で配布終了となっています。他の自治体のイベントでも同様な配布活動を実施しています。

下水汚泥を利用した発酵肥料と明記して配布していますので、自治体でも「下水汚泥が肥料となり、リサイクルの取組みを実施しています」と市民にPRできます。そして、処理場内のパネル設置などによりリサイクルの啓発活動をしています。

民間企業の有機汚泥の肥料化のケースでも、肥料化の取組み活動が企業のISO14001環境活動報告書に使用していただけるようになっていきます。そして肥料を使用した市民の方に当社の肥料の効能を理解いただければ、20kg袋の肥料を購入いただけるようになるため、当社にもメリットが出てきます。

3. ニーズに合うものを地道に

——下水汚泥による肥料については。

肥料製造の際、微生物の部分（発酵行程等）で試行錯誤が最も重要なのは確かですが、やはり売れるためには、工夫が必要です。農家向けの肥料は粒状にしているのも理由があります。これまで化成肥料をまいていた散布機を、そのまま使用できるように商品の調整をしました。残念ながら農業従事者の高齢化は進んでいます。そのため、時代に合った使いやすい商品を製造し、化成肥料と比較して肥料の施肥量が増えても機械に乗って簡単に散布できれば、土づくりのため、農業従事者は汚泥発酵肥料を使用してくれます。逆にそういう商品を製造しなければ購入していただけないのが現状です。さらに機能性を持たせて、乾いた土の時は保水、雨が多いときは吸水、乾いてきたときに離水するという物性を持たせ、土壌の団粒構造をつくりやすい状態にして健康な土壌を維持できれば、農薬の使用量を削減することも可能になります。



種類別に積み上げられた肥料

有機質を用いた肥料による土づくりの効果には即効性がありません。2～3年と時間をかけて土づくりを行えば、おのずと土壌が変化し作物の収穫量が増えるため、安定的に使用していただける商品になります。下水汚泥を使った商品でも作物に良い商品ならば、時間は掛かるかもしれませんが、必ず認められると思います。そして、下水汚泥含有の汚泥発酵肥料の利用促進方法としては、ニーズに合った良い商品づくりを地道にしていくことであると私は考えます。

——ありがとうございました。



袋詰めされ、出荷間近の商品

ニュース・スポット

関係団体の動き

第9回 IWA国際シンポジウム： 農産業における廃棄物管理問題 － AGRO' 2014 － 参加報告

編集委員会事務局

キーワード：ビストロ・ジャパン、食と下水道の連携

1. はじめに

平成26年11月24日から26日までの3日間にわたり、農業の盛んな高知県・高知市において、第9回 IWA 国際シンポジウム：農産業における廃棄物管理問題－AGRO' 2014－が開催されました。農業関連産業からの廃水・廃棄物による環境問題の解決や農業・畜産による水質汚染対策を目的として、現在まで8回の会議が開催されましたが、第1回の会議は1989年にトルコ・イスタンブールで開催されたものです。日



写真 -1 会場入口

本で開催されるのは2001年以来2回目で、3日間にわたり講演やポスター展示で研究成果を発表し合うものです。

国土交通省下水道部と日本下水道協会は、共同して、「ポスターセッション」に参加しましたので、その概要を報告します。

2. 会議情報

- (1) 会議名：9th IWA International Symposium on Waste Management Problem in Agro-Industries
- (2) 期間：平成26（2014）年11月24日～26日
- (3) 会場：ザクラウンパレス新阪急高知（高知市本町4丁目）
- (4) 主催：AGRO' 2014 組織委員会
- (5) 共催：日本環境学会、高知大学、後援：国土交通省下水道部、日本下水道協会
- (6) 主要なテーマ：廃水・廃棄物の生物学的処理、廃水・廃棄物の化学的処理、栄養塩除去および回収、資源回収と再利用、高度処理プロセスおよび革新的処理技術の適用、モデリングと設計の協働、汚泥の安定化・利用・処分、畜産廃棄物の処理と利用、農地からの汚濁流出とその制御、農業地域の水・廃棄物管理を革新する様々な技術やシステム、農業関連産業における気候変動への緩和・適応策
- (7) 藤原拓組織委員会委員長※の挨拶

第9回目となる本会議では、農業関連産業からの廃水・廃棄物処理に関する従来の課題に加えて、農業地域の革新的な水・廃棄物管理システム、農業関連産業における気候変動への緩和・適応策、畜産廃棄物の処理と利用、農地からの汚濁流出とその制御など、農業地域の水・廃棄物管理を革新する様々な技術やシステムが、産官学のあらゆる専門家により議論されるものと期待しております。

※藤原先生（高知大学教育研究部自然科学系教授）は、下水道協会の下水汚泥有効利用促進検討調査

写真-2 ポスターと
のぼり旗

写真-3 聴講者の様子



写真-4 質疑の様子



写真-5 質疑の様子

専門委員会委員（下水汚泥由来肥料利用小委員会主査）を務めていただいています。

(8) 参加者等

25カ国から大学や企業、政府の研究者ら約300人が参加しました。農業肥料に含まれる窒素が地下水を汚染することは日本全体の課題として、藤原教授のチームの研究発表は、地中に留まっている窒素を吸収する飼料用トウモロコシ等を育て、さらにそれを資源として活用しようとするものです。

3. パネル展示の概要

日本では都市ごとに、下水道資源の有効利用の促進に向けて様々な取組が進められていますが、全国的にそれらの情報を交換する場がなく、好事例が水平展開し難い状況にあります。

こうしたことから、平成25（2013）年8月から国土交通省下水道部と日本下水道協会は、次の主目的の達成を目指して、地方公共団体等のネットワークとなる「BISTRO 下水道推進戦略チーム」を設置しています。

＜主な目的＞①下水道資源を栄養源として利用した食材の農産地の特徴（好事例）、②好事例を日本全国に水平展開、③食と下水道の連携による地域振興、④世界の水分野における「水・エネルギー・食糧の連環（NEXUS）」への日本の貢献（海外展開）

また、「下水道資源（処理水・汚泥等）の有効利用の概要」として、肥料利用では「高知県のイチゴ」、処理水利用では「熊本市の稲」、バイオガス利用では「愛知県のトマト」を紹介し、「肥効特性（食味分析）」として、佐賀市の汚泥肥料を用いたトマトにおける食味（うまみ）の化学肥料を用いたケースとの比較（糖度）を説明しています。下水汚泥由来肥料で栽培したトマ

トは、化学肥料で栽培したものに比べ、甘味が高いのです。

さらには、日本の下水道界最大のイベントである「下水道展'14 大阪」において、下水道資源利用して栽培した食材を用いた料理の提供やクッキング教室の開催の取組状況を紹介しました。

また、下水汚泥有効利用促進、下水道展・研究発表会2015等のリーフレットが入ったエコバッグを配布しました。

共同で展示したポスターとのぼり旗は、写真-2のとおりです。小さなレストランの「ビストロ・ジャパン」ですが、北海道から九州まで全国で、下水道資源を使って育てた食材を用いた美味しい料理の提供に貢献しています。

このポスターの展示は、エントランスに設けていただいたこともあり、受付や休憩時間等では多くの聴講者が往来し（写真-3）、熱心に質問される方々がいらっしゃいました（写真-4、5）。

4. おわりに

本会議は、高知城の目の前に位置するホテルの会場でセッティングされたもので、海外からの多くの聴講者とくつろいだ雰囲気の中で情報交換することができました。

オーラルの発表とともに、多数のパネル展示の周辺では盛況なディスカッションがなされており、「水・エネルギー・食の連環（water-energy-food nexus）」が大きなテーマであることを再認識できました。

高知の素晴らしい水環境を感じることも、高知の恵まれた農産物・水産物を想像することもでき、また事務局のスタッフの皆さんのホスピタリティを感じたところです。今後も、このネクサスを大切にIWAの国際会議に参加できればと考えています。

ニュース・スポット

関係団体の動き

廿日市市で BISTRO 下水道 推進戦略チーム第6回会合

編集委員会事務局

キーワード：汚泥の有効利用、食との連携事例、きなり村と広島堆肥プラントの見学

本会は国土交通省とともに平成27年1月15、16の両日、広島県廿日市市内で BISTRO 下水道推進戦略チームの第6回会合を開きました。初日の会合では自治体をはじめとした行政機関や大学、民間団体からの出席者が議論を通じて、汚泥の有効利用や食との連携事例などの知見を共有することができました。

会合では、事務局よりこれまでの BISTRO 下水道推進戦略チームの活動概要について説明がありました。その後、8件の事例紹介とワークショップによる意見交換を実施しました。事例紹介では高知大学の藤原拓教授が「下水汚泥の利用促進に向けて～農業地域の面的水管理・カスケード型資源循環システムから考える～」と題して、土に残る肥料や家畜糞尿、農業系廃棄物など水質や環境汚染の原因となる物質を資源と

して利用して価値を創出する自身の研究について知見を披露しました。

廿日市市の佐々木博康・建設部下水道経営課水質管理担当課長からは「廿日市市の下水汚泥有効利用」と題し、同市の下水道事業の概要の説明があったほか、汚泥の有効利用として堆肥化とセメント化を行っていることを紹介しました。

岩見沢市からは斎藤貴視・水道部下水道課下水道維持係長が、同市における下水汚泥肥料の農業利用について解説し、続いて岩見沢市と共同で下水汚泥肥料を地域農家への散布を行っている岩見沢地区汚泥利用組合の峯淳一・副組合長が、これまでの取り組みを紹介しました。

会合の後半にはワークショップが行われ、BISTRO 下水道のさらなる発展のため▽地域住民や農業従事者への認知に向けての検討▽配合研究、圃場試験、実地見学等の手法のあり方検討▽勉強会等、地域活性に向けた連携手法の検討▽広報手法(インセンティブ手法)の検討▽社会的に認知されやすい名称(キーワード)の検討——の各テーマについて議論を交わし、結果を発表しました。発表では BISTRO 下水道の新たな名称として「宝の水のおくりもの」「下水道大収穫プロジェクト」などといった案が提案されました。

2日目には施設見学を実施しました。一行は広島県



初日の会合の様様



循環型農業を行っている「きなり村」(2日目)



堆肥化を行っている「広島堆肥プラント」(2日目)

内で循環型農業を行っている「きなり村」、堆肥化を行っている「広島堆肥プラント」を訪れました。

今回会合に参加した団体は次の通りです。▽岐阜市▽神戸市▽佐賀市▽鹿児島市▽国交省▽十勝環境複合事務組合▽岩見沢市▽愛知県▽広島県▽広島市▽廿日

市市▽東広島市▽沖縄県▽日本下水道新技術機構▽土木研究所▽日本下水道施設管理業協会▽データベース▽共和化工▽京都大学▽高知大学▽岩見沢地区汚泥利用組合▽カンサイ▽きなり▽広島堆肥プラント▽トラグリーン

お知らせ

民間企業の投稿のご案内

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

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

投稿要領

（資格）

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

（原稿掲載の取扱い）

2. 原稿掲載の適否は、「再生と利用」編集委員会が決定します。

（掲載可否の判断基準）

3. 掲載適否の主な判断基準は、次の3. 1、3. 2、3. 3、3. 4によります。
 3. 1 単に汚泥処理に関する投稿文でなく、下水汚泥の有効利用の促進に資するものであること。
 3. 2 特定の団体、製品、工法、新技術等を宣伝することを目的とした投稿文（客観的、合理的な根拠を示すことなく、優秀性、優位性、有効性等について具体名を挙げて記述）でないこと。
ただし、次の場合は除く。
 - ①特定の団体、製品、工法、新技術等の紹介が目的であっても、優秀性、優位性、有効性等の客観性かつ合理的な根拠を明確にし、下水汚泥の有効利用の促進に資すると認められるもの。
 - ②特定の団体、製品、工法、新技術等の名称を記述しているが、単に論文の主旨をわかりやすく伝えるために用いており、投稿文の趣旨とは直接関係のない場合。
 3. 3 特定の団体、製品、工法、新技術等を誹謗中傷する内容を含む投稿文でないこと。
 3. 4 その他編集委員会が適当と考える事項について適合していること。

（原稿の作成、部数、送付先等）

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

5. 原稿の送付先は、下記の担当に送付して下さい。

（校正）

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

（著作権等）

7. 掲載した原稿の著作権は著者が保有し、編集著作権は、本会が所有します。

原稿登載区分

| 登載区分 | 原稿量（刷上り頁） | 内容 |
|------|--|--------------------------|
| 研究紹介 | 8 頁程度（原稿制限頁数は A 4 判により 1 頁 2,300 文字（1 行 24 文字横 2 段）） | 独創性があり、かつ理論的または実証的な研究の成果 |
| 報 告 | 6 頁程度（原稿制限頁数は、同上） | 技術導入や経営等に関する検討・実施 |

担当：公益社団法人 日本下水道協会 技術研究部技術指針課

住所 〒101-0047 東京都千代田区内神田 2-10-12（内神田すいすいビル 6 階）

電話 03-6206-0369（直） FAX 03-6206-0796（直）

おしらせ

「再生と利用」への広告掲載方依頼について

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

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

記

1 発行誌の概要

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

2 広告掲載料・広告寸法等

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

※ 表 3 は指定頁になります。原則として 2 回以上の継続掲載とします。

※ 広告掲載料は、消費税込みの金額です。

3 広告申込方法及び留意事項

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

きを指定する等、原稿作成又は修正に必要な事項を明記して下さい。

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

4 お支払方法等

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

なお、送金（振込）手数料は、貴社負担にてお願いします。

5 申込み先及び問合わせ先

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

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

（参考）

「再生と利用」特集企画予定

- 第148号（平成27年7月発行予定）
平成27年度下水汚泥資源利用等に関する予算及び研究内容と方針の解説
- 第149号（平成27年10月発行予定）
バイオガス固定価格買取制度導入事例
バイオマス産業都市構想の取組み報告
- 第150号（平成28年1月発行予定）
第150号記念特集
- 第151号（平成28年4月発行予定）
第28回下水汚泥の有効利用に関するセミナー特集

「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 | 印 |
| 住 所 〒 | |
| 担当者所属・職・氏名 | 印 |
| TEL FAX | |

[広告代理店経由の場合に記入]

| | |
|-------------|---|
| 広 告 代 理 店 名 | 印 |
| 住 所 〒 | |
| 担当者所属・職・氏名 | 印 |
| TEL FAX | |

汚泥再資源化活動

第3回下水汚泥固形燃料利用幹事会

日 時：26年12月8日

場 所：本会第三会議室

出席者：姫野主査、山口、大森、寺尾、村岡、松尾、
斎藤、岩岡、渡辺の各幹事

- 議 題：(1) 前回議事概要の確認
(2) 下水汚泥利用促進マニュアル等への記載案について
(3) 今後の課題（案）について
(4) パンフレット内容（案）について
(5) その他・意見交換

概 要：

- ① 前回議事概要の確認
事務局から資料1のとおり報告し了承された。
- ② 下水汚泥利用促進マニュアル等への記載案について
事務局から資料3のとおり説明を行った。
事業形態におけるDBOは3年程度で全て起債してイニシャルコストを補うため、当初にかかるコストが大きいとのことであり、建設費と運営費に分けて記載すべきとの意見があった。
VFMの種類（意思決定時、事業方式選択時、運営時）及び、PFIの事業形式等についてはマトリックスにして示すべきとの意見があった。
実績事例の紹介についてはPFIに加えてDBOの事例についても掲載することとした。
固形燃料の測定項目（有機分、発熱量、塩素量、重金属）については「しなければならない」の表現は避けて「望ましい」等の表現で記載することとした。
事業期間の表現（20年間や7年間）については受入保証期間が短い場合は、次の受入先を探す表現を入れることとした。災害協定については「協力」ではなく「協定」の表現に改め、施設性能等の要求水準書で取り決めることとした。
固形燃料物の混焼やポリ鉄の発熱性等の課題はエネルギー化技術ガイドラインで掲載することとした。
- ③ 今後の課題（案）について
事務局から資料5のとおり報告し了承された。

- ④ パンフレット内容（案）について
事務局から資料6のとおり報告し了承された。
- ⑤ その他・意見交換
各炭化技術は温度帯によってその性能が異なり、有効利用マニュアルではこのあたりの特性について明記すべきとの意見があったが、この件についてはオーソライズされていないので見送るべきとの意見があった。

136回「再生と利用」編集委員会

日 時：26年12月11日

場 所：本会中会議室

出席者：尾崎、姫野、島田、落、西田、川崎、濱田、
工藤、広武、杉江、西本、佐々木（代理）の各委員

- 議 題：(1) 第146号「再生と利用」編集内容について
(2) 第147号「再生と利用」編集方針（案）について
(3) 平成27年度計画について
(4) その他・情報交換について

概 要：

- ① 第145号「再生と利用」編集内容について
事務局から資料4のとおり報告し了承された。
- ② 第146号「再生と利用」編集方針（案）について
事務局から、資料5のとおり説明を行った。
幕張新都心の下水熱の掲載区分は講座から投稿報告とすることとした。
ニューススポットにAGRO2014の参加報告及び、1月に廿日市市で行われるビストロ下水道会合を掲載することとした。
- ③ 平成27年度計画について
事務局から、資料8及び資料9のとおり説明を行った。
150号記念号の特集については歴代編集委員長に対して謝辞を述べていただくとし、「再生と利用」の変遷とともに、主たる有効利用技術の変遷も掲載することとした。また、150号については先駆的に下水汚泥の有効利用に取り組んできた自治体に掲載を依頼することとし、年表については次回委員会までにたたき案を作成することとした。

150 号の記念セミナーについては、同時期において汚泥有効利用セミナーが開催されるため今回案ではその棲み分けが難しいものと考え、農業関係者等にも講演をいただくなど目玉が必要との意見があった。またセミナーの参加予定人数が少ない感があり、現地視察会やシンポジウムなどの別名称への変更の検討も必要との意見があった。このため本セミナーのあり方については事務局にて再検討行うこととした。

その他、トピックスについて、ミラノ万博の報告は6月以降の予定であり、国際土壌年の取組みにあたっては関係委員に掲載の相談をさせていただくこととした。

④ その他・情報交換について

来年度以降、福岡市では平成27年度のB-dashテーマである水素ステーションの実証事業及び、平成32年度に固形燃料化事業が予定されているため、その計画概要についても掲載はできるとした。事務局では朝霧牧場に赴き、堆肥化施設の見学を行い、そこでの要望としては公定規格の名称から「下水汚泥」をとってほしいこと及び、下水汚泥由来肥料についても有機JASとして認証してほしいなどの要望をいただいた。これらの報告については147号のニューススポットで掲載行う予定とした。

第1回下水汚泥利用促進検討調査専門委員会・打合せ

日 時：26年12月16日

場 所：本会中会議室

出席者：寺尾、津森、山本、落、岡、菅原（良）、菅原（博）、細川、大森、碓井の各委員

議 題：（1）各小委員会の経過報告について
（2）箱書き（案）について
（3）下水汚泥固形燃料利用幹事会について
（4）今後のスケジュールについて
（5）その他・意見交換

概 要：

- ① 各小委員会の経過報告・箱書き（案）について
事務局から資料1～3のとおり説明を行った。
事務局より前回委員会からの主な変更点として5章を2節から3節の区分にしたと報告した。2章と3章は一つの章にまとめることとした。下水汚泥利用促進の現状に東日本震災前後の変化についても記述することとした。エネルギー化率へ焼却排熱を追記する表現については再検討することとした。全体的に箱書きのイメージは下水道管理者が読むことを前提として書くこととし、参考文献

は出典基がわかるよう詳細に記述することとした。下水道事業運営方式については図表のタイトルと内容を修正するとともに、事業事例では事業類型及び事業期間を加筆することとした。炭化汚泥の事例では大曲市の事例を追加することとした。B/Cを検討した熊本県下の処理場の都市については匿名とすることとし、コンポスト汚泥の安全性についてはあえてそのコメントを削除することとした。今回の指標としてベンチマークという表現は改めることとし、PDCA サイクルや評価と見直しのフローはわかりやすく一本化して示すこととした。また5章の2節の適用（Apply）の節はなくし、5章は3節から2節にすることとした。マニュアルタイトルの副題はPDCA 目指すことを主題にした方がいいのではないかと意見があった。その他用語集には「マネジメント」や「カスケード」も記載してほしいとの意見があった。その他、総じての意見として事業計画のフロー、評価手法のフロー、及びマニュアルの目次のそれぞれがどのような関係となっているのかわかりやすくなるように一つの図にまとめて示すこととした。

② 今後のスケジュールについて

事務局から資料5のとおり説明を行った。

最終の下水汚泥利用促進検討調査専門委員会については2月12日（木）10時～12時に開催することと連絡した。

③ その他・意見交換

特になし

第4回下水汚泥利用促進検討調査専門委員会

日 時：27年2月12日

場 所：本会第一・二議室

出席者：花木委員長、石井、服部、姫野、前田、中川、寺尾、山本、津森、落、引地の各委員

議 題：（1）委員会議事報告
（2）下水汚泥有効利用促進マニュアル最終案について
（3）今後のスケジュールについて
（4）その他・意見交換

概 要：

- ① 委員会議事報告について
事務局から参考資料1～2について説明を行った。
B-dash 事例以外に東京都などの独自の技術開発の事例も盛り込むとした。有効利用技術の導入の評価と見直しでの5つの視点は地域特性に応じて選定でき、フロー図の作業内容も必要に応じ

簡略化ができるものとした。またマニュアル発刊時には CD - ROM を付録とし、法令、事業実施事例、診断チェックシートを入れることとした。

- ② 水汚泥有効利用促進マニュアル最終案について事務局から資料 1 ～ 2 のとおり説明を行った。下水汚泥由来肥料の窒素画分の違いによる収量データは有意義な資料となるとした。建設資材の利用については環境省告示の溶出基準が厳しいため、製品時の使用に併せて評価すればよいという記述とした。固形燃料化において事業形態の選択は使用する人の立場を意識して記述を行うようにした。課題と対応策においては事業前、事業中、事業後のどの段階かわかるようにすることとした。本マニュアルにおいては「下水汚泥の処分」という表現は避けることとした。土壤改良時の使用においても肥料登録が必要か確認することとした。SWOT や AHP 分析等はあくまで選定した汚泥有効利用手法が向上したかの確認手法とすることとした。固形燃料利用については石炭の代替にはなるが、石炭と同等の発熱量であることの表現は割愛することとした。また「代表的な汚泥処理プロセス」のフロー図名称は変えた方がいいという意見があった。
- その他国交省より、下水道法改正により汚泥有効（エネルギー、肥料）利用の努力義務がなされたとの紹介があった。
- ③ 今後のスケジュール
3 月中に読み合わせを完了し、技術委員会承認後 5 ～ 6 月に発刊予定とした。
- ④ その他・意見交換
特になし



日誌

| | | |
|-------------------|-------------------------|----------|
| 平成 26 年 12 月 8 日 | 第 3 回下水汚泥固形燃料利用幹事会 | 本会第三会議室 |
| 平成 26 年 12 月 11 日 | 第 136 回「再生と利用」編集委員会 | 本会中会議室 |
| 平成 26 年 12 月 16 日 | 第 1 回下水汚泥有効利用専門調査委員会打合会 | 本会中会議室 |
| 平成 27 年 2 月 12 日 | 第 4 回下水汚泥有効利用専門調査委員会 | 本会第一・二議室 |

次号予告

（題名は執筆依頼の標題ですので
変更が生じることもあります）

論 説：「下水汚泥焼却灰の肥料用原料化技術の研究について」

特別寄稿：「下水事業にかかる PPP/PFI 形態の手法について」

特 集：「平成 27 年度下水道事業予算について」
「農林水産省におけるバイオマスの総合的な活用について」

「日本下水道事業団における汚泥の処理・有効利用に関する業務及び調査概要」

「土木研究所における下水汚泥等バイオマス利用に関する研究」

「資源循環研究部における技術開発について」

研究紹介：「微生物の NDA 情報に基いたメタン発酵の制御」

「下水処理からの発電及びリン回収技術」

講 座：廃棄物系バイオマスやエネルギー系バイオマスの利活用手法について

特別報告：「ISO/TC275 汚泥回収の国際規格化について」

「札幌市における下水熱エネルギーによる雪害対策」

投稿報告：「下水処理場で収益がでるガス発電の検討」
「沖縄県におけるバイオガス発電事業について」

「コンクリートスラッジの再資源化に関する技術開発」

ニューススポット「地域バイオマスを用いた熱と電力生産のバイオガス実証事業」

そ の 他：会報、行事報告、次号予告、関係団体の動き

図書案内

「下水試験方法－2012年版－」（上巻・下巻）

上巻 A4版 頁数：819頁 CD-ROM付 頒価：16,500円（日本下水道協会会員頒価：11,000円）
 下巻 A4版 頁数：562頁 CD-ROM付 頒価：11,500円（日本下水道協会会員頒価：7,500円）
 上下巻セット 頒価：28,000円（日本下水道協会会員頒価：17,000円）

本書は「下水試験方法－1997年版－」を改定したものです。

「第1編 共通事項」には、これまで有機物の理化学試験、重金属の理化学試験に記載のあった機器分析法や生物学的試験にあった器具類をまとめて記載したほか、高速液体クロマトグラフ質量分析法、キャピラリー電気泳動法を追記するとともに、自動計測機器、簡易分析についても記載しました。「下水試験方法－1997年版－」の第2編第3章「活性汚泥試験」、第4章「一般汚泥試験」、第5章「下水ガス試験」と第5編第2章第2節「汚泥含有量試験」、第3節「汚泥溶出試験」を、各試験の特徴を踏まえて「第4編 反応タンク試験」、「第5編 汚泥・ガス試験」に再編しています。

生物学的試験は分冊の要望が多かったため、下巻第6編として独立させました。「資料」には、規制項目と検定方法の関係、関係法令、関係JISの一覧等が収めてあります。

| ＜上 巻 目 次＞ | 主な改定ポイント |
|--|--|
| 第1編 共通事項 | 委託時の精度管理，LC/MS，流れ分析，水質事故の対応の追加，自動分析機器，簡易分析の整理・充実等。 |
| 第2編 一般及び有機物等の水質試験 | 節ごとに試験法一覧表を表示，1,4-ジオキサン，ダイオキシン類の追加，内分泌攪乱化学物質の充実等。 |
| 第3編 重金属等の理化学試験 | 前処理手法の充実，銀，ウラン，タングステン，ビスマスの追加。 |
| 第4編 反応タンク試験 | 反応タンク内混合液の溶存酸素，総括酸素移動容量係数の充実。 |
| 第5編 汚泥・ガス試験 | 汚泥沈降試験，汚泥処理返流水の試験，硫化水素，シロキサン，一酸化二窒素の追加。 |
| CD-ROM （フローチャート，下水試験方法（追補暫定版） 内分泌攪乱化学物質編-2002年版-，資料） | 水質試験の代表的フローチャート，内分泌攪乱化学物質編（追補暫定版）及び下巻の「資料」を収納。 |

| ＜下 巻 目 次＞ | 主な改定ポイント |
|------------------------|--|
| 第6編 生物学的試験 | 顕微鏡観察による検索方法，大腸菌試験の詳細，同化性有機炭素(AOC)試験の追加，分子生物学的試験の充実。 |
| 資 料 | 制定・改正された関係法令等の追加，JISとの対応の明確化。 |
| CD-ROM（生物処理に関与する微生物図鑑） | 形態，環境条件，名前で検索できる微生物図鑑に写真，動画を収録。出現環境と対策についても記述。 |

なお、正誤表を協会ホームページ（<http://www.jswa.jp/publications/correction>）に掲載しております。併せてご参照下さい。

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

編集後記

本号の巻頭言では、ビストロ下水道推進戦略チーム第5回会合を開催させていただいた北海道岩見沢市吉成水道部長に投稿いただきました。岩見沢市では、農業従事者と一体となり下水汚泥由来肥料の利用促進に努めておられますが、このような好事例がビストロ下水道の活動等を通じて少しでも広がればと思います。

本号は、昨年11月6日～7日に佐賀市で開催した、「第27回下水汚泥の有効利用に関するセミナー」を特集しています。セミナーに参加いただけなかった皆様には是非セミナー特集をご覧ください、参考にしていただければと思います。講師の方やご参加いただいた

方にはあらためて御礼申し上げます。

最後に本誌「再生と利用」の60号～91号（平成5年～13年）の編集委員を務められた古畑哲氏（（一社）日本土壤協会参事県営農推進部長）が1月に急逝されました。古畑氏は、本誌編集委員のほか、「下水汚泥の農地・緑地利用マニュアル」の編集はじめ下水汚泥由来肥料の利用促進に継続的に携わっていただきました。近年では、ビストロ下水道にも参画され、下水汚泥由来肥料の食味向上の効果を分析されていました。

ここに古畑氏のご功勞に感謝申し上げますとともに、謹んで哀悼の意を表します。

「再生と利用」編集委員会委員名簿

| | | |
|-----|---------------------------|-------------|
| | | (順不同・敬称略) |
| 委員長 | 日本大学大学院教授・東北大学名誉教授 | (27.3.1 現在) |
| | 秋田県立大学生物資源科学部教授 | 野 池 達 也 |
| 委員 | 長岡技術科学大学准教授 | 尾 崎 保 夫 |
| | 国土交通省水管理・国土保全局下水道部 | 姫 野 修 司 |
| 〃 | 下水道企画課資源利用係長 | 安 陪 達 哉 |
| | 独立行政法人土木研究所 | 津 森 ジュン |
| 〃 | 材料資源研究グループ上席研究員（リサイクル） | 島 田 正 夫 |
| | 地方共同法人日本下水道事業団技術戦略部 | 落 修 一 |
| 〃 | 課長代理 | 西 田 瑞 彦 |
| | (公財) 日本下水道新技術機構資源循環研究部副部長 | 川 崎 晃 |
| 〃 | (独) 農業・食品産業技術総合研究機構 | 仲 谷 紀 男 |
| | 東北農業研究センター水田作研究領域主任研究員 | 濱 田 敏 裕 |
| 〃 | (独) 農業環境技術研究所土壌環境研究領域長 | 工 藤 守 之 |
| | (一財) 日本土壤協会参与土壌部長兼広報部長 | 冠 城 敏 |
| 〃 | 札幌市建設局下水道施設部 | 広 武 賢 一 |
| | 豊平川水処理センター管理係長 | 杉 江 淳 |
| 〃 | 山形市上下水道部浄化センター水質係長 | 西 本 裕 二 |
| | 東京都下水道局計画調整部 | 福 田 佳 之 |
| 〃 | 技術開発課技術開発主査 | 崎 野 |
| | 横浜市環境創造局下水道施設部 | |
| 〃 | 栄水再生センター長 | |
| | 名古屋市上下水道局技術本部計画部 | |
| 〃 | 技術管理課主査（水質系技術開発） | |
| | 大阪市建設局下水道河川部水環境課担当係長 | |
| 〃 | 広島市下水道局管理部管理課水質管理担当課長 | |
| | 福岡市道路下水道局下水道施設部施設管理課長 | |

「再生と利用」

Vol. 39 No. 147 (2015)

平成27年4月30日 発行
(平成26年第4)

発行所 公益社団法人 日本下水道協会

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



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