

再生と利用

2014 Vol. 38

No. 145

主要目次

- 口絵** 新潟県長岡市 生ごみバイオガス発電センター
下水道展'14 大阪
- 巻頭言** 新しい価値の創造に向けて……………福井 聡
- 論説** 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～……………藤原 拓
- 特集** バイオマス利用の事業スキーム（民間活力等の取組み）
& バイオマスを用いたカスケード利用について
- 解説** 防府市クリーンセンターごみ焼却バイオガス化複合施設の紹介……………川崎重工業（株）
下水汚泥の炭化処理による成形炭の製造について……………三輪 昌輝
下水汚泥堆肥化の取組みと利用状況について……………山田 桂子
山田バイオマスプラントの取組みについて（メタン発酵消化液の肥料としての捉え方）……………相原 秀基
施設栽培におけるメタン発酵消化液の液肥利用とキュウリにおける施用効果……………佐藤 達雄
日田市バイオマス資源化センターの取組みについて……………日田市バイオマス資源化センター
- 研究紹介** 下水汚泥焼却灰と石炭灰の混合物からの発泡多孔体セラミックの作製……………竹内 信行
下水道の資源・エネルギー循環利用技術の普及展開に関する取組み……………大西 宵平／山下 洋正／田嶋 淳／釜谷 悟司
- Q&A** ディスポーザーによる有機性資源の回収について……………津森ジュン
- 現場からの声** 名古屋市における下水処理水の再利用の現状と今後について……………杉江 享
- 文献紹介** 下水汚泥を施用した土壌への重金属の蓄積とインゲンマメ（*Phaseolus vulgaris* L.）各器官への重金属の移行……………杉山 恵
藻類バイオ燃料生産プロセスを組み込んだ下水処理に関するモデル……………岩崎 旬
- 講座** 圧力スイング法を利用したバイオガスからのメタン分離・精製技術……………泉 順
嫌気性汚泥消化の普及に寄与するパッケージ型鋼板製消化タンク……………川嶋 淳
ポリイミド製ガス分離膜を用いたバイオガスの精製技術……………中村 智英
- 投稿報告** 苓北町堆肥センターの取組みについて……………松村 保則
日田市浄化センターにおける新たな消化ガス活用の取組み……………桜井 秀二／萩谷 勝美／赤津 直樹／佐藤 亮二
- コラム** 失敗に学ぶバイオマス検討……………岩下 幸司
- 報告** ホーチミン市下水汚泥処理・処分の現状と課題……………大谷 佳史
- 資料** おしらせ（投稿のご案内、広告掲載依頼）、汚泥再資源化活動、日誌・次号予告、編集委員会委員名簿、編集後記

下水汚泥の有効利用 を幅広くPR

下水道展 '14 大阪

2014年7月22日～7月25日

於：インテックス大阪



日本下水道協会ブース

（公社）日本下水道協会では今年度の下水道展にて下水汚泥有効利用にかかる様々な催しを行いました。

特別企画セミナーの「汚泥利用から見た下水道」では京都大学松井名誉教授による基調講演をはじめ、国、自治体による具体的な取組み紹介を行い、「BISTRO下水道推進戦略会議」では石川県立大学長谷川名誉教授をはじめ、肥料利用にかかる様々な事例紹介を行いました。

また、当協会ブースにても、有効利用にかかるパネル展示物の紹介等を行いました。

これら特別企画、会合等には多数の方々に参加をいただき、下水汚泥有効利用への関心の高さを改めて認識させられました。



特別企画セミナー・「汚泥利用から見た下水道」



BISTRO下水道推進戦略会議

口絵

新潟県長岡市 生ごみバイオガス発電センター
下水道展 '14 大阪

巻頭言

新しい価値の創造に向けて 福井 聡..... (5)

論説

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～ 藤原 拓..... (6)

特集 バイオマス利用の事業スキーム（民間活力等の取組み）& バイオマスを用いたカスケード利用について

解説

防府市クリーンセンターごみ焼却バイオガス化複合施設の紹介 川崎重工業(株)..... (12)
下水汚泥の炭化処理による成形炭の製造について 三輪 昌輝..... (16)
下水汚泥堆肥化の取組みと利用状況について 山田 桂子..... (19)
山田バイオマスプラントの取組みについて（メタン発酵消化液の肥料としての捉え方）
..... 相原 秀基..... (23)
施設栽培におけるメタン発酵消化液の液肥利用とキュウリにおける施用効果
..... 佐藤 達雄..... (31)
日田市バイオマス資源化センターの取組みについて ... 日田市バイオマス資源化センター..... (37)

研究紹介

下水汚泥焼却灰と石炭灰の混合物からの発泡多孔体セラミックスの作製 竹内 信行..... (40)
下水道の資源・エネルギー循環利用技術の普及展開に関する取組み
..... 大西 宵平／山下 洋正／田嶋 淳／釜谷 悟司..... (45)

Q & A

ディスポーザーによる有機性資源の回収について 津森 ジュン..... (49)

現場からの声

名古屋市における下水処理水の再利用の現状と今後について 杉江 享..... (51)

文献紹介

下水汚泥を施用した土壌への重金属の蓄積とインゲンマメ (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) 各器官への重金属の移行	杉山 恵.....	(54)
藻類バイオ燃料生産プロセスを組み込んだ下水処理に関するモデル	岩崎 旬.....	(55)

講座

圧カスイング法を利用したバイオガスからのメタン分離・精製技術	泉 順.....	(57)
嫌気性汚泥消化の普及に寄与するパッケージ型鋼板製消化タンク	川嶋 淳.....	(62)
ポリイミド製ガス分離膜を用いたバイオガスの精製技術	中村 智英.....	(68)

投稿報告

芥北町堆肥センターの取組みについて	松村 保則.....	(71)
日立市浄化センターにおける新たな消化ガス活用の取組み	桜井 秀二／萩谷 勝美／赤津 直樹／佐藤 亮二.....	(77)

コラム

失敗に学ぶバイオマス検討	岩下 幸司.....	(81)
--------------------	------------	------

報告

ホーチミン市下水汚泥処理・処分の現状と課題	大谷 佳史.....	(82)
-----------------------------	------------	------

資料

おしらせ（投稿のご案内、広告掲載依頼）.....		(93)
汚泥再資源化活動		(97)
日誌・次号予告		(99)
編集後記・編集委員会委員名簿		(101)

※本文中の表題で記載した執筆者の所属団体・役職は、執筆当時のものです。

巻 頭 言

新しい価値の創造に向けて

大阪市建設局長

福 井 聡



本年7月に「新下水道ビジョン」が国土交通省により取りまとめられました。その中で、下水道が果たすべき使命として、下水道システムが有する膨大なストックや情報、質・量ともに安定した水・資源・エネルギーなどのポテンシャルを幅広い分野との連携を深めつつ、活かしていくことで新しい価値の創造に貢献することが掲げられています。

特にエネルギー分野に関しては、平成23年3月の東日本大震災および福島第一原子力発電所事故以降、国のエネルギー政策が大きく見直され、本年4月に公表された新しいエネルギー基本計画においても、徹底した省エネルギーの推進とともに再生可能エネルギーの導入加速化、分散型エネルギーシステムの普及拡大などの施策を進めることとされています。

下水道には都市から排出された有機物が集約されることで、バイオマスとしての下水汚泥が持続的に発生しており、これを有効利用し、再生可能エネルギーとして都市や社会に還元することは、都市インフラの中でも特に下水道に課せられた使命と言えます。同時に、下水道は電力・化石燃料を消費して大量の温室効果ガスを排出しているインフラでもあり、低炭素社会創出という面でも引き続き率先した取組みが必要であることは言うまでもありません。

大阪市では、これまで、中浜、津守の2箇所の下水処理場で消化ガスを燃料とする自家発電を実施してきました。今年度は、本市の下水道事業で発生している消化ガスの全量有効利用をめざし、さらに4箇所の下水処理場で消化ガス発電の導入を進めているところです。この取組みは平成24年7月に施行された再生可能エネルギーの固定価格買取制度（FIT）を活用するもので、電力会社へ売電することにより今後20年間にわたり安定的な収益が確保されるといったメリットもあります。消化ガス発電に限らず、FIT制度を活用した取組みが自治体や民間事業者で加速的に広がっています。エネルギー政策を推進するためには、このような制度面の整備が鍵と言えるのではないのでしょうか。

一方、平野下水処理場では、本年4月より汚泥固形燃料化事業を開始しました。老朽化した焼却炉の更新にあたり、炭化炉を採用することとし、脱水汚泥から粒状炭化物を製造し、それを石炭火力発電所でのカーボンニュートラルな代替燃料として活用するものです。下水汚泥の固形燃料化は今後、改築・更新時期を迎えていく焼却炉や熔融炉の有力な後継候補の一つと言えますが、バイオマスや希少資源を含む下水汚泥の処理方式については、時代や社会経済情勢の変化を見定めながら、常に最適な技術やシステムを模索する視点を忘れてはなりません。

津守下水処理場の消化ガス発電と平野下水処理場の汚泥固形燃料化はともに、PFI事業として実施しているところであり、現在手続き中のFIT制度を活用した消化ガス発電についても、建設から運営までを民間企業が独立採算で行う事業方式を採用しています。こうした官民のパートナーシップは今後ますます重要になると考えられ、民間企業の持つ高度で先進的な技術や資金力を活用することで、再生可能エネルギーを効率的に都市や社会に還元することが可能になります。

現在、本市では、下水そのものが持つ熱エネルギーの利用可能性についても検討を進めています。海老江下水処理場では、下水管路から熱を回収し、最寄りの下水道科学館の空調熱源として利用する実証実験を行っており、これまでの実験結果では安定した熱交換性能や運転効率が得られています。管路内を流れる下水は、都市内に身近にあって、安定的かつ豊富に存在していることから、熱需要家と需給マッチングの可能性が高く、また採熱による環境影響が小さいなど、他の温度差エネルギーと比べて、非常に有望なエネルギーと言えます。

下水道は、浸水対策や汚水処理など、人々の生命や財産、水環境を守り、都市活動を支える非常に広範で重要な役割を果たしているものの、地下に埋設され人目にふれることの少ない施設であるため、その存在が認識されにくい都市インフラと言われてきました。しかしながら、エネルギーや資源、地球温暖化対策等、持続可能な社会の構築に向けた時代の要請が高まる中、膨大なストックやバイオマス、熱エネルギーなどのポテンシャルを豊富に有する下水道が、都市における資源・エネルギーの集約・供給拠点として脚光を浴びる日が近づいてきているのではないのでしょうか。循環型社会の実現に向けた要となる都市インフラをめざし、下水道はその保有するポテンシャルを最大限に活かして新しい価値の創造に邁進していかなければなりません。

論 説

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～

高知大学教育研究部自然科学系農学部門

教授 藤原 拓

キーワード：カスケード型資源循環システム、付加価値創出、ユーザー視点、異分野連携

1. はじめに

下水道整備の進展にともない下水汚泥発生量が増加するとともに最終処分場の確保が困難となった状況を踏まえて、平成8年度に下水道法が改正され発生汚泥等の減量化の努力義務が規定された。下水汚泥は量的・質的に安定したバイオマス資源であり、図1¹⁾に

示すように従来の緑農地利用に加えて建設資材利用や燃料化等が促進されてきた結果、2010年現在で下水汚泥リサイクル率は78%に達している。しかしながら、汚泥中のバイオマス（有機物）の利用に着目すると、平成23年度現在で利用率が22.7%にとどまっており、今後は有機物としての下水汚泥の利用促進が求められる¹⁾。平成22年12月に閣議決定された「バイオマス活用推進基本計画」では、バイオガス化や固形燃料化等

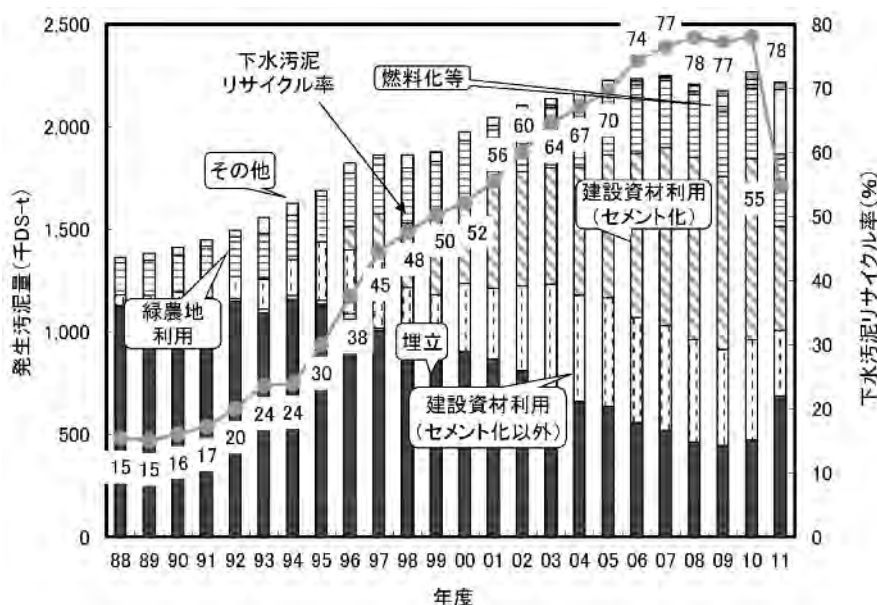


図1 下水汚泥の利用状況¹⁾

によるエネルギー化を推進することにより、平成32年に約85%の下水汚泥利用とする目標が掲げられている。このような状況を踏まえて、(公社)日本下水道協会は平成25年7月に下水汚泥有効利用専門調査委員会(委員長:花木啓祐東京大学教授)を設置し、平成26年3月には「下水汚泥利用促進マニュアル(仮称)(中間骨子案)²⁾」が公表された。本委員会には、下水汚泥由来肥料利用小委員会、下水汚泥建設資材利用小委員会、下水汚泥エネルギー利用小委員会が設置され、各分野技術の下水汚泥利用促進を評価し、持続可能な有効利用に向けたマニュアル本としての編集を平成27年3月までに行うこととされている。

著者は、上記の下水汚泥有効利用専門調査委員会および下水汚泥由来肥料利用小委員会に参加する一方で、科学技術振興機構の戦略的創造研究推進事業CREST「持続可能な水利用を実現する革新的な技術とシステム研究領域(研究総括:大垣眞一郎・水道技術研究センター理事長)」において、「気候変動を考慮した農業地域の面的水管理・カスケード型資源循環システムの構築」の代表者として研究を行ってきた。農業地域は、再生可能なエネルギー・資源としての水・バイオマスを豊富に有する一方で、施肥、家畜排せつ物、生活排水、農業系廃棄物等に起因する水質汚染に対しては、汚濁物質の排出源が面的に分散していることから対策が困難な現状にある。このような分散したバイオマスや残存肥料を水質汚濁源とすることなく、付加価値を創出する資源として回収することにより、農業地域における環境負荷削減と価値創出を同時に実現する技術・システムの開発を目指して研究を行ってきた。

本稿では、農業地域の面的水管理・カスケード型資源循環システムの研究概要を紹介するとともに、本研究を通じて著者が考えた視点を踏まえて、下水汚泥の利用促進に向けての私見を述べたい。

2. 農業地域の面的水管理・カスケード型資源循環システムの研究概要

農業地域の水質汚染の問題として、1)農耕地での施肥由来の地下水汚染(面源)、2)畜産業・生活由来の水質汚染(分散した点源)、3)農業系廃棄物による水質汚染(潜在的有価物)に着目し、これらの解決と付加価値創出を同時に実現する「農業地域の面的水管理・カスケード型資源循環システム」の構築を目的として研究を行った。図2に研究コンセプトを示す。商品作物栽培後に作土に残存する肥料、家畜やヒトから排出される糞尿・雑排水・生ゴミ、ならびに農産物の加工過程で排出される加工残渣等を品質に応じてカスケード的に資源化することにより、環境中への排出(下向きの矢印であらわす)を抑制し、創出される価値(右向きの矢印であらわす)を最大化する技術とシステムの開発を目指している。

農耕地での施肥由来の地下水汚染を抑制するシステムとして、クリーニングクロープと呼ばれる吸肥能力の高い植物による面的浄化技術の開発を行った。施設園芸ハウスにおける商品作物栽培後の残存肥料を、湛水除塩の前にクリーニングクロープで吸収除去することにより、地下水汚染と温室効果ガス(亜酸化窒素)放出の抑制を同時に実現した³⁾。また、クリーニングクロープ収穫物から高付加価値なL-乳酸を生成する⁴⁾

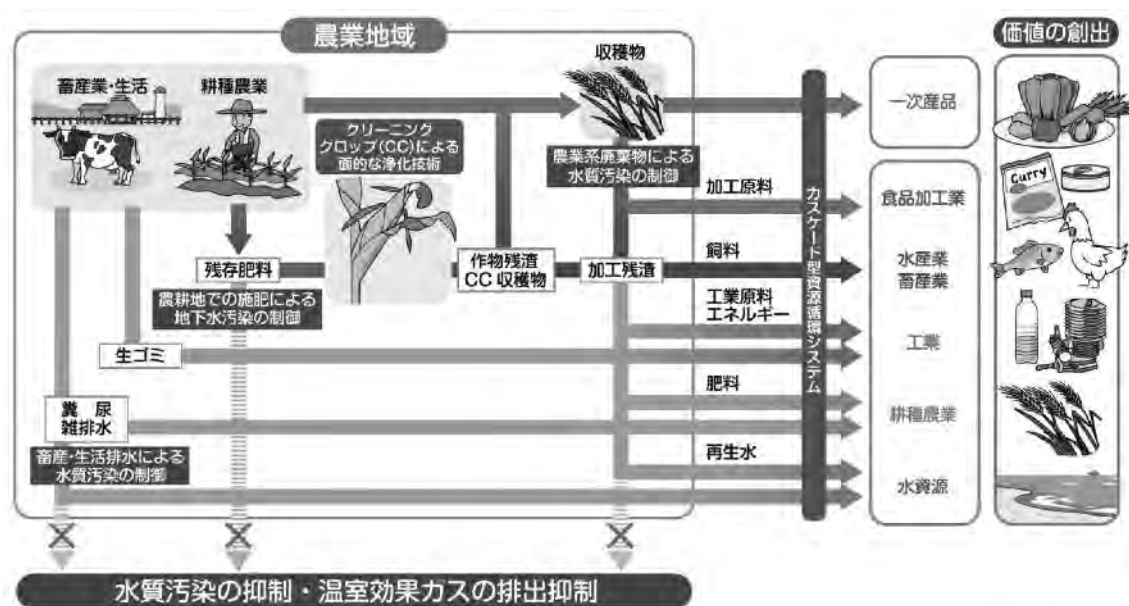


図2 農業地域の面的水管理・カスケード型資源循環システム

とともに、リン等の資源回収技術を開発する⁵⁾ ことにより、面的浄化と資源回収が一体となったシステムの構築を試みた。図3にクリーニングクロープによる面源汚染抑制システムの概念図を示しているが、単なる浄化技術の開発にとどまらず、地下水汚染の原因となる残存肥料（硝酸態窒素）を付加価値製品に変換することで、ユーザーである農家が主体的に導入できる技術となるよう研究を進めている。窒素負荷削減効果、温室効果ガス排出量、収益性についてシナリオ評価を行った結果、本システムは資源を回収し収益性のある産物を製造する技術として可能性を有することが明らかになっている⁶⁾。

畜産業や生活に由来する水質汚染に対しては、糞尿や雑排水を高度に浄化するとともに、資源・エネルギーを回収するための技術開発を行った。本研究では、資源回収の観点から糞尿分離型と糞尿混合型の技術・システムをそれぞれ開発し、水質汚染抑制、温室効果ガス排出抑制、資源循環を同時に実現する条件を検討した（図4）。糞尿分離型処理では、高度処理技術として尿中医薬品の除去技術の開発を行うとともに⁸⁾、雑排水を外部エネルギーが不要な傾斜土層システムで浄化する技術の開発を行った⁹⁾。牛島らは、この雑排水処理技術の開発に際して灌漑用水としての再利用を想定し、処理性能の評価軸として従来の環境基準という観点ではなく、作物成長への影響、灌漑設備のパイプ閉塞、農業従事者および消費者の健康リスクの観点で評価している⁹⁾。雑排水再生水の価値を認めるユーザー（農家）に製品（再生水）を届けるうえで何が必要かを検討した上で、処理性能の評価指標を設定している点で、牛島らは資源再生技術の開発に対して重要な視点を提示したと考えている。また、伊藤らは尿中の尿素から付加価値の高い緩効性肥料（ウレアホルム）の生成に成功しており¹⁰⁾、汚濁物質である尿か

ら付加価値を有する資源回収を実現した点で意義深い。糞尿混合型処理では、高品質な堆肥生産と温室効果ガス排出抑制を同時に実現する堆肥化技術の開発、エネルギー・リン回収率の増大と温室効果ガス排出の抑制を同時に実現する家畜糞焼却技術の開発を目指し研究を進めている^{11) 12)}。

農業系廃棄物による水質汚染に対しては、加工残渣等の農業系廃棄物を水質汚染源ではなく潜在的有価物ととらえ、これらを環境中に排出せずにかスケード的に循環利用することで、環境負荷削減と価値の創出を同時に実現できると考えた。図5に農業系廃棄物のカスケード利用による水質汚染抑制・高付加価値製品創出システムの一例を示す。柚子搾汁後の廃棄バイオマスである柚子果皮をペースト状にして養殖魚飼料に添加することで、ブリ幼魚の成長を損なうことなく血合肉の褐変を抑制できること¹³⁾、カツオの一種であるマルソウダの加工時に廃棄される煮汁（煮熟水）をブリ幼魚用飼料に添加することで、廃水削減とブリ養魚の成長改善を同時に実現できること¹⁴⁾が、深田により明らかにされている。このように、産業分野の垣根や場を超えて廃棄バイオマスや未利用バイオマスをカスケード的に利用することにより、廃水・廃棄物の環境への排出を削減するのみならず、付加価値の創出を実現できた。ユズ果皮の養殖魚試料への添加に関しては、現場海域での実証試験に成功し、生産されたブリが「土佐ゆずふり」として回転寿司チェーン店で販売されるという成果を得た。

上述した研究に共通するのは、水質汚染（マイナス）を取り除くことにとどまらず、そこから付加価値（プラス）を産み出すという視点である。これを実現できたのは、環境工学や衛生工学の専門家と、動脈系産業である農業や水産学の専門家による異分野連携チームで研究を行ったためと考えている。本章で紹介

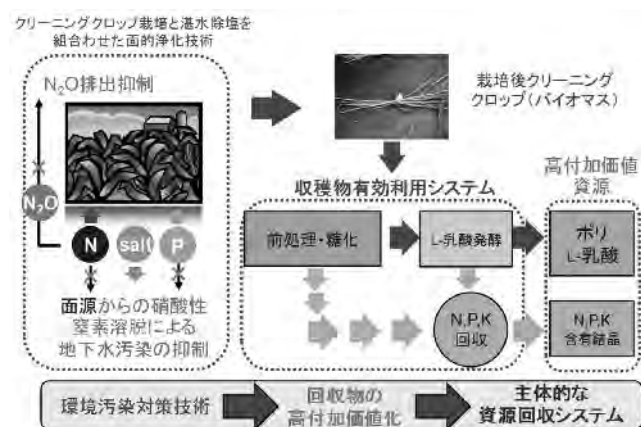


図3 クリーニングクロープによる面源汚染抑制システム⁷⁾

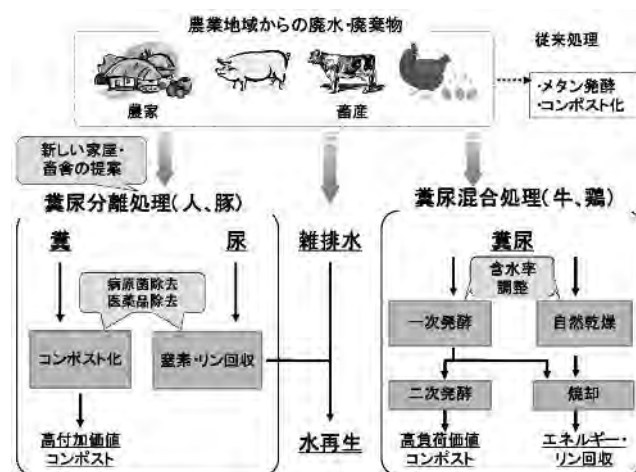


図4 畜産業・生活由来の廃水・廃棄物の高度再生システム⁷⁾

した農業地域と下水道では状況は異なるが、下水汚泥の利用促進においても、付加価値の創出、ユーザーの視点、異分野連携は同様に重要と考えることから、次章においてこれらの視点を踏まえた下水汚泥の利用促進に向けての私見を述べたい。

3. 下水汚泥の利用促進に向けて

本章では、付加価値の創出、ユーザーの視点、異分野連携の視点から下水汚泥の利用促進に向けた私見を述べたい。

下水汚泥に付加価値を付与するために、下水処理場の機能を下水や汚泥を処理する「処理場」という発想から、資源化製品を製造する「工場」という発想へ転換できないだろうか。ここで、傾斜土層システムにおける雑排水処理性能の評価軸を思い出してみたい。牛島らは灌漑用水としての再利用を想定し、処理性能の評価軸として従来の環境基準という観点ではなく、作物成長への影響、灌漑設備のパイプ閉塞、農業従事者および消費者の健康リスクの観点で評価した。これはまさにユーザーの視点から再生水製造時の品質を規定したものであり、このような考え方は下水汚泥を付加価値製品に変えて利用する上でも不可欠であろう。また、「下水処理場は資源化工場である」という発想にたてば、原料（汚泥）にはどのような品質が求められるのか、さらに遡ればどのような下水から発生した汚泥が望ましいのかを検討する必要がある。原料である下水や汚泥の質の評価を行ったうえで、その原料品質に適した製品を製造することで、「下水汚泥」と一括りで扱われていた資源化製品の付加価値が高まることを

期待している。これについては、特に緑農地利用における堆肥の高付加価値化につながると考えている。

下水や汚泥から、エネルギーや堆肥より高付加価値な製品を産み出す新規の技術開発も重要である。上記のCRESTプロジェクトではクリーニングクロープ収穫物からバイオプラスチックの原料となるポリ乳酸を生成するための研究を紹介したが、近年は製紙工場の廃水¹⁵⁾や下水汚泥^{16) 17)}からバイオプラスチックであるポリヒドロキシアルカン酸（PHA）を製造する研究が報告されている。下水処理場の本来の目的は公共用水域の水質保全にあることは不変であるが、同時に未来の下水道は「バイオリファイナー」の拠点になるという方向性が汚泥の有効利用の観点からも重要と考える。また、下水処理場を核としたイノベーションを創出するには、動脈系産業との異分野連携が重要になるであろう。

農業地域におけるカスケード型循環システムと同様に、汚泥を質により発生源で分離して使い分ける発想も重要である。下水は発生源での分離が不可能であり、かつ混合した状態で下水処理場に流入するため、農業地域のバイオマスのような多段階のカスケード利用は困難である。一方で、各家庭から自然流下でバイオマスを収集するインフラがすでに整備されている点が下水道の強みであり、この点を考慮すると下水処理場に流入直後に徹底的な固液分離を行い生汚泥を回収することで、生物処理により発生する余剰汚泥と生汚泥を分離回収することが可能となる。これについては、すでにB-DASH事業で超高効率固液分離技術により生汚泥回収量が40%増加し、生汚泥と生ごみを投入することで高効率高温消化とスマート発電の実証に成



図5 農業系廃棄物のカスケード利用による水質汚染抑制・高付加価値製品創出システム（本図作成：深田陽久）

功したことが報告されている¹⁸⁾。

下水汚泥の価値を認めるユーザーに製品をどうつなぐかも、下水汚泥の利用推進に向けて重要な視点である。古畑・井上は、野菜類の生育収量と有機質肥料の窒素形態別画分との関連性を圃場試験により検討している¹⁹⁾。作付期間が短いコマツナやダイコンの収量は、有機質肥料の窒素形態のうちA画分（非タンパク態窒素：水溶性で速効性）あるいはA+B画分（可溶性タンパク質：水に溶けないが速効性）が多いほど適していること、一方でタマネギ、スイートコーン等の生育期間が中長期の野菜では窒素形態画分と収量の関係は明らかでなく、C/N比が低いほうが可食部収量が多くなる傾向が見られたことを報告している。このことは、栽培する野菜の種類によって望ましい堆肥の質が異なることを意味している。ユーザーである農家と堆肥製造者である下水処理場が「汚泥堆肥」を一括りで扱わず、野菜種ごとに適した汚泥堆肥の質の情報を共有することで、下水汚泥の利用が一層促進されと考えられる。

4. おわりに

本稿では、「農業地域の面的水管理・カスケード型資源循環システム」の研究概要を説明するとともに、その開発研究を通じて著者が考えた視点を踏まえて、下水汚泥の利用促進に向けての私見を述べた。今後は、著者自身も上記のコンセプトを踏まえて、「価値を産み出す下水道」の実現に向けた研究開発を行っていきたいと考えている。

謝辞

本稿で紹介した「気候変動を考慮した農業地域の面的水管理・カスケード型資源循環システムの構築」はJST、CRESTの補助により遂行しているものであり、研究総括の大垣眞一郎先生に深甚の謝意を表す。また、本研究は以下の共同研究者とともに遂行している。共同研究者：[※]大年邦雄、松岡真如、深田陽久、市浦英明、山根信三、松川和嗣、安武大輔、森岡克司、筒井裕文、近藤圭介（以上、高知大学）、船水尚行、伊藤竜生、牛島健、土方野分（以上、北海道大学）、山田正人、石垣智基（国立環境研究所）、前田守弘、永禮英明（以上、岡山大学）、高岡昌輝、大下和徹（以上、京都大学）、赤尾聡史、増田貴則（以上、鳥取大学）、長谷隆仁（埼玉県）、深堀秀史（愛媛大学）、井上大介（北里大学）、横田光正（「地域・農林水産物・食の価値の繋がり」デザイン会議、AMI）（敬称略）

参考文献

- 1) 国土交通省水管理・国土保全局下水道部ホームページ http://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/crd_sewerage_tk_000124.html（アクセス日、平成26年9月10日）
- 2) 日本下水道協会、下水汚泥利用促進マニュアル（仮称）（中間骨子案）、平成26年3月31日、<http://www.jswa.jp/wp/wp-content/uploads/2014/03/manual2014-03-28.pdf>（アクセス日、平成26年9月10日）
- 3) K. Kondo, K. Inoue, T. Fujiwara, S. Yamane, D. Yasutake, M. Maeda, H. Nagare, S. Akao and K. Ohtoshi (2013) Seasonal Changes in the Performance of a Catch Crop for Mitigating Diffuse Agricultural Pollution, *Water Science and Technology*, 68(4), 776-782.
- 4) Satoshi Akao, Koutaro Maeda, Shingo Nakatani, Yoshihiko Hosoi, Hideaki Nagare, Morihiro Maeda & Taku Fujiwara (2012) Comparison of Simultaneous and Separate Processes, Saccharification and Thermophilic L-Lactate Fermentation of Catch Crop and Aquatic Plant Biomass, *Environmental Technology*, 33(13), 1523-1529.
- 5) H. Nagare, T. Fujiwara, T. Inoue, S. Akao, K. Inoue, M. Maeda, S. Yamane, M. Takaoka, K. Oshita, X. Sun (2012) Nutrient Recovery from Biomass Cultivated as Catch Crop for Removing Accumulated Fertilizer in Farm Soil, *Water Science and Technology*, 66(5), 1110-1116.
- 6) 増田貴則、松岡真如、山田正人、長谷隆仁、赤尾聡史、永禮英明、藤原拓（2014）クリーニングクロップー乳酸発酵システムの環境負荷量および収益性の評価、*土木学会論文集G（環境）*、受理
- 7) T. Fujiwara (2012) Concept of an innovative water management system with decentralized water reclamation and cascading material-cycle for agricultural areas, *Water Science and Technology*, 66(6), 1171-1177.
- 8) Fukahori, S., Fujiwara, T., Funamizu, N., Matsukawa, K., Ito, R. (2013) Adsorptive removal of sulfonamide antibiotics in livestock urine using the high-silica zeolite HSZ-385, *Water Science and Technology*, 67(2), 319-325.
- 9) Ken Ushijima, Kango Ito, Ryusei Ito, Naoyuki Funamizu (2013) Greywater treatment by slanted soil system, *Ecological Engineering*, 50, 62-68.
- 10) Ito, R., Takahashi, E., Funamizu, N. (2013)

- Production of slow-released nitrogen fertilizer from urine, *Environmental Technology*, 34(20), 2809-2815.
- 11) Hirofumi Tsutsui, Taku Fujiwara, Kazutsugu Matsukawa, Naoyuki Funamizu (2013) Nitrous oxide emission mechanisms during intermittently aerated composting of Cattle manure, *Bioresource Technology*, 141, 205-211.
- 12) K.Oshita, X.Sun, M. Taniguchi, M.Takaoka, K.Matsukawa, T.Fujiwara (2012) Emission of Greenhouse Gases from Controlled Incineration of Cattle Manure, *Environmental Technology*, 33(13), 1539-1544.
- 13) 深田陽久、古谷尚大、益本俊郎 (2012) ユズ果皮ペースト添加飼料を給与したブリ幼魚における血合筋の褐変抑制、*水産増殖 (短報)*、60(1)、135-137.
- 14) 深田陽久、河相光太郎、田所大二、森岡克司、益本俊郎 (2010) マルソウダ加工の際に廃棄される煮熟水のブリ幼魚飼料への添加効果、*日本水産学会誌*、76(6)、1035-1042.
- 15) Yang Jiang, Leonie Marang, Jelmer Tamis, Mark C.M. van Loosdrecht, Henk Dijkman, Robbert Kleerebezem (2012) Waste to resource: Converting paper mill wastewater to bioplastic, *Water Research*, 46(17), 5517-5530.
- 16) Timo Pittmann, Heidrun Steinmetz (2013) Influence of operating conditions for volatile fatty acids enrichment as a first step for polyhydroxyalkanoate production on a municipal waste water treatment plant, *Bioresource Technology* 148, 270-276.
- 17) T. Pittmann, Steinmetz (2014) Polyhydroxyalkanoate production as a side stream process on a municipal waste water treatment plant, *Bioresource Technology* 167, 297-302.
- 18) B-DASHプロジェクト No.1 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導入ガイドライン (案)、(アクセス日、平成26年9月10日) http://www.nilim.go.jp/lab/ecg/bdash/guide_line/meta_gaiyou.pdf
- 19) 古畑哲、井上恒久 (2013) 野菜類の生育収量と有機質肥料の窒素形態別画分との関連性 (その3)、*再生と利用*、37(141)、55-61.

特集：バイオマス利用の事業スキーム（民間活力等の取組み）＆バイオマスを用いたカスケード利用について

解 説

防府市クリーンセンター ごみ焼却バイオガス化複合施設 の紹介

川崎重工業（株）

キーワード：複合化施設、機械選別、バイオガス、独立過熱器、高効率発電

1. はじめに

当社は、2014年3月にごみ焼却とバイオガス化施設を組み合わせた複合施設を山口県防府市殿に納入した。

本施設は、可燃ごみ中の厨芥類を分別収集することなく、破碎及び機械選別することでバイオガス化し、そのバイオガスをごみ焼却の発電と組み合わせて、高効率な発電ができることが特徴である。また、バイオガス化施設には近隣の下水・し尿処理施設からの汚泥についても受け入れしており、下水・し尿側の汚泥処理も兼ねていることも特徴である。本稿では、複合施設のしくみ並びに運転について紹介するものである。

2. 施設概要

施設概要を表に示す。以下、本施設概要を簡単に説明する。

1) バイオガス化施設

高温乾式メタン発酵方式を採用しており、押出し流れて連続処理できる特徴を活かし、厨芥類を分別収集することなく収集された可燃ごみを機械選別にて発酵原料と不適ごみに分別し、メタン発酵槽へ投入している。また、近隣施設で発生する下水汚泥・し尿汚泥に

ついても同時に発酵処理することで有効活用している。施設規模等の概要は表1のとおりである。

2) 焼却施設

ごみ焼却の概要を表1に示す。焼却炉は、図1に示す低空気比高温燃焼条件でも低NO_x発生となるワサキアドバンスストロカである並行流式焼却炉であり、排ガス再循環（EGR）と無触媒脱硝を採用することで、低NO_x性能を発揮している。

本焼却炉での燃焼熱は廃熱ボイラーで回収し、発生した蒸気でタービン発電している。ごみ焼却の腐食性のガスに触れるボイラー過熱器は、蒸気条件は4MPa×365℃と従来より低い蒸気温度に留めている



写真 1 バイオガス化施設（メタン発酵槽）

表 1 施設概要

バイオガス化施設	
バイオガス化形式	高温乾式メタン発酵（内部温度 55℃）
処理能力	51.5t/24h（25.75t/24h×2 系列） 一般廃棄物 34.4t/24h+汚泥 17.1t/24h
発酵槽形状	円筒横型 φ6.8m×34mL
焼却施設	
焼却炉形式	全連続式焼却炉（ストーカ炉）
処理能力	150t/日（75t/日×2 炉）
ガス冷却方式	廃熱ボイラー方式 （最大蒸発量 10.9t/h、蒸気条件 4MPa、365℃）
独立過熱器	最大通過蒸気量 10.9t/h 入口蒸気 365℃、出口蒸気 405℃（高質ごみ時）
熱風発生炉	最大バイオガス燃焼量 140m ³ /h
排ガス処理設備	ろ過式集じん器+薬剤噴霧+無触媒脱硝装置
発電設備	抽気復水タービン（3,600kW）

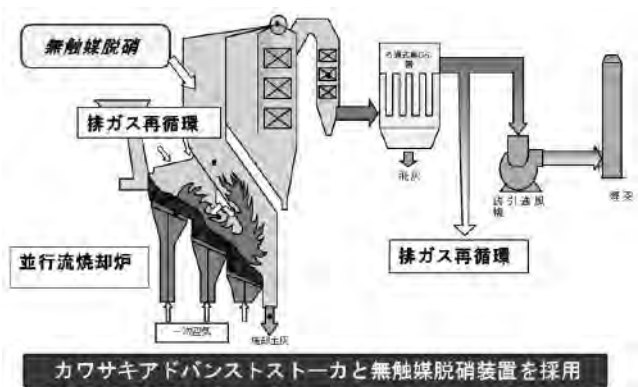


図 1 カワサキアドバンスストーカ（並行流炉）

が、バイオガス化施設発酵槽からのバイオガスを熱風発生炉で燃焼させて得られた高温ガスにより独立過熱器でさらに405℃まで過熱する。このことで従来のごみ焼却単独よりも発電効率が向上する。また、熱交換後のバイオガス燃焼排ガスは焼却炉に投入することによりバイオガスの熱量も回収している。（図 2 参照）

3. バイオガス化施設の特徴

バイオガス化施設の特徴は、分別することなく収集した可燃ごみを破碎・機械選別することによりメタン発酵できることであり、このような分別しない受入ごみを簡易な機械選別のみでメタン発酵を可能とするた

めに「異物混入に対して許容範囲が広い」高温乾式メタン発酵を採用している。また、高温乾式メタン発酵はその発酵反応速度が早く、プラグフローにより有機分の分解が連続進行、メタン発酵が効率的に行われる特徴も備えている。

表 2 に受入ごみ・選別ごみの性状、表 3 の選別ごみを投入した際の原料固形物濃度及び発酵槽の運転状況、バイオガス発生状況、バイオガス組成を表 3 に示す。バイオガス組成は、計画値に対しほぼ同等であり、熱風発生炉に必要な熱量を得られ、脱硫処理にてバイオガスの利用に支障がないことも確認できている。

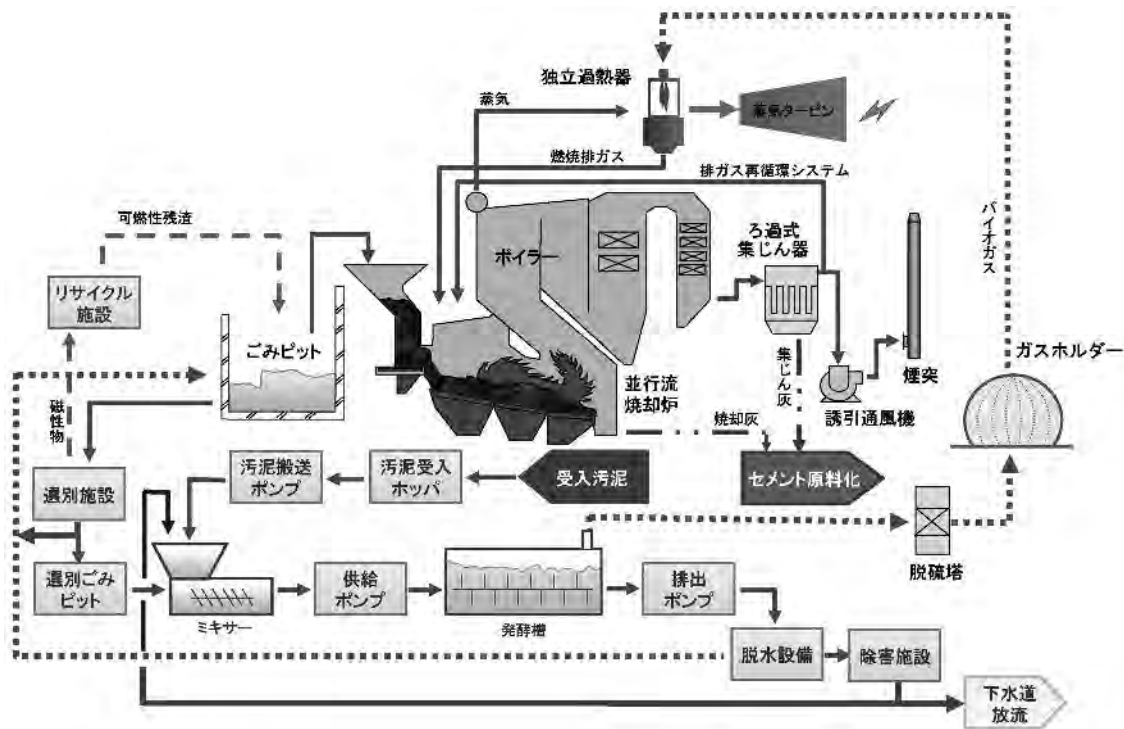


図 2 防府市クリーンセンター処理フロー

表2 受入ごみ、選別ごみの組成

種別	単位:wt%	
	受入ごみ	選別ごみ
紙類	24~32	40~57
布類	4~6	1~6
ビニール、合成樹脂 ゴム、皮革類	13~29	9~16
木、竹、ワラ類	10~39	8~23
厨芥類	4~11	3~7
不燃物類	3~7	1~4
その他	4~13	6~17

(注記) 各々はピットから個別に採取したもので組成の
大まかな傾向を示す。

表3 メタン発酵設備の試運転状況

項目		試運転状況	備考
投入原料固形物濃度		21~23wt%	
発酵槽内部温度		54~55℃	
発酵槽基質 pH (出口側)		7.5~8.0	
バイオガス 組成	バイオガス発生率	294.4m³N/選別ごみt	CH₄ 50%換算
	バイオガス発生量	4934.1m³N/日	CH₄ 50%換算
	メタン濃度	51.1~52.6%	
	硫化水素濃度 (脱硫前)	110~200ppm	
硫化水素濃度 (脱硫後)		<0.02ppm	



写真2 受入れごみ

機械選別

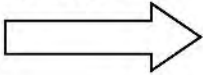
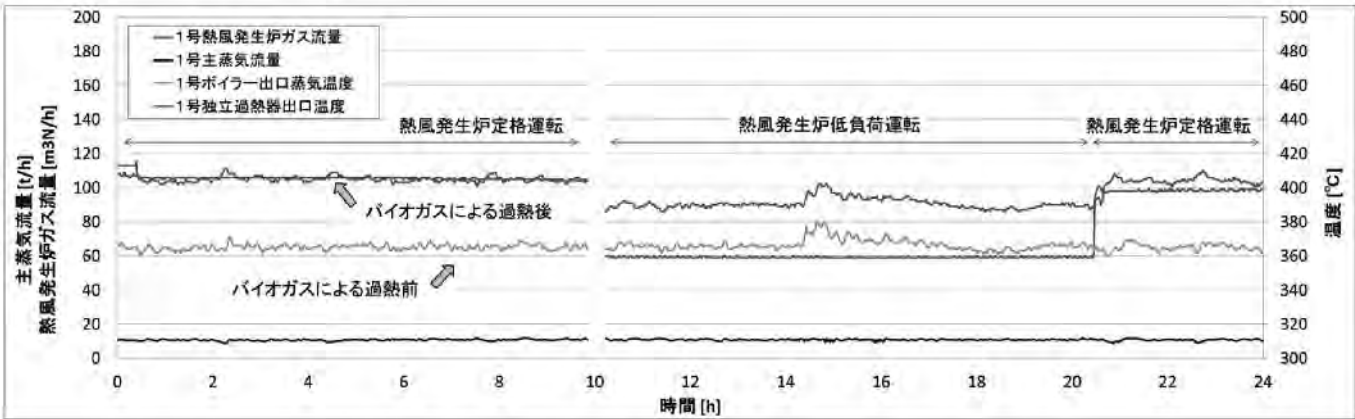


写真3 選別ごみ

4. 複合施設としてのメリット

メタン発酵ガスの有効利用例としては、ガスエンジン等による単独利用が多いが、本施設では、ごみ焼却の廃熱発電と組み合わせて発電効率の向上を図っている。そのメリットは、図3に示すとおり、発電効率を

約2%向上させることができ、かつ、バイオガス発生量が少ない低負荷運転（バイオガス最大負荷の40%程度）においても、安定したバイオガスを利用した運転が可能になることになる。また、クリーンなバイオガスを利用することでごみ焼却による過熱器腐食領域を低減することでメンテナンス費用の低減による維持費を削減している。さらに、売電収入が増加することか



発電効率	
独立過熱器 運転時	23.6%
独立過熱器 停止時	21.0%

図3 1号炉運転状況

らごみ焼却単独に比べライフサイクルコストに優れたシステムとなるよう設計している。

4. おわりに

防府市クリーンセンターは「ごみ焼却・バイオガス化複合施設」は、従来のごみ焼却施設単独での高効率化を図るだけではなく、下水・し尿汚泥の処理施設有効活用を行い、相互連携を図った施設である。

当社では、バイオガス化施設とごみ焼却の複合化により、ライフサイクルコストに優れた地球環境にもや

さしいごみ処理ができ、地球温暖化防止や脱炭素社会の実現に貢献できるものと考えている。また、メタンガスについてもFIT認定を受けており、当社方式の複合施設の可能性は更に広がると考えており、バイオガスを有効利用できる新しいシステムの構築にも取り組んでいく。

謝辞 本報に当たり多大なるご協力を頂きました防府市様をはじめ、関係者の方々に深く御礼申し上げます。

特集：バイオマス利用の事業スキーム（民間活力等の取組み）＆バイオマスを用いたカスケード利用について

解 説

下水汚泥の炭化処理による 成形炭の製造について

株式会社ウェストバイオマス

代表取締役 三 輪 昌 輝

キーワード：民間主体、高い熱回収率、高いコストパフォーマンス

1. はじめに

（株）ウェストバイオマスでは平成25年4月から下水汚泥のリサイクル事業をスタートしている。本事業では地元である鳥取県境港市を中心に、主として鳥取県西部・島根県東部のいわゆる「中海圏」の下水汚泥（人口70万人分）を収集する計画である。今回発表の機会に恵まれたので、これから我々の事業について簡単に紹介することにした。

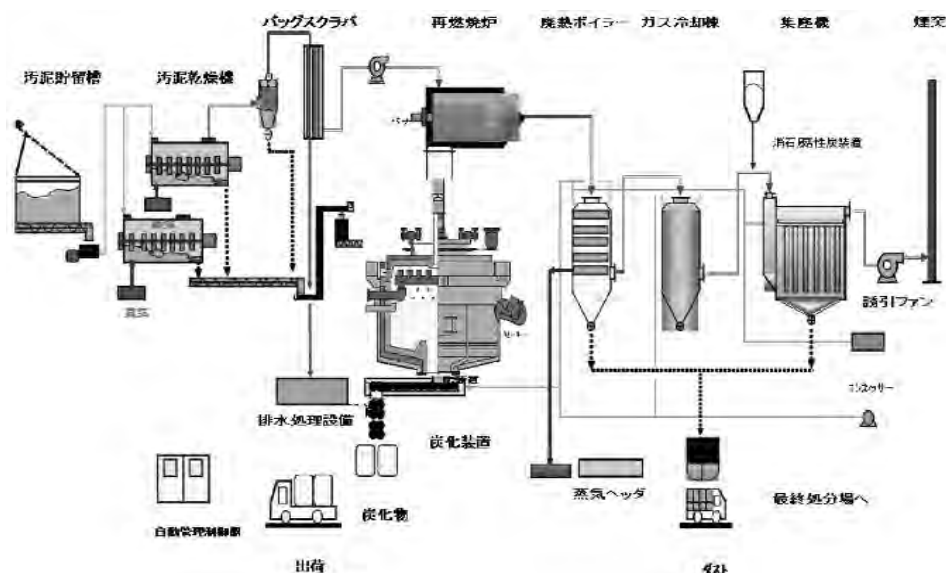


【施設全景】

2. ウェストバイオマス設立までの経緯

ウェストバイオマスの母体である三光（株）は、当初燃料油を扱っていたが、廃油の引き取りのために廃棄物処理の免許を取得し、その後時代の要請もあり、徐々に廃棄物処理業の比率が高まっていった。現在は潮見工場（2002年稼働）、江島工場（2007年稼働）と2基の焼却炉を持つ、山陰地区最大の廃棄物処理会社に成長した。江島工場の焼却炉を建設したメーカーが今回ウェストバイオマスの炭化炉を手掛けた日本臓器製薬である。日本臓器製薬は、鎮痛薬ノイロトロピンで知られる創薬メーカーであるが、国民の健康を守るため、早くから環境分野のプラントを手掛けている会社である。今回は江島工場での実績に基づく信頼関係から一緒に事業を手掛けることになった。日本臓器製薬を通じて総合商社である豊田通商も仲間入りし、2010年12月に三光単独でウェストバイオマスを設立し、その後日本臓器製薬と豊田通商が参画するという形で、ウェストバイオマスの事業開始に至った。会社名のウェストバイオマス（Waste Biomass）は、廃棄物由来のバイオマスを有効利用していくことは地域社会にとって非常に有意義であり、今後推進していかなければいけないという意志を示す造語である。

さて、鳥取県や島根県には、比較的小規模の下水処理場が多く、発生する汚泥が少量であることから処理



【設備フロー図】

施設での処理コストが割高であることや、また、その処理施設の老朽化が進んでいるところでは、これまでと同様な汚泥処理施設の更新を行うことが難しく、殆どの自治体で、下水汚泥を遠方まで運搬し、委託処理せざるを得ない状況となっていた。今回の下水汚泥炭化事業は、地元で安定した処理をという自治体からの要望に応える形で私ども民間企業が汚泥炭化処理設備を建設し、鳥取県・島根県を中心に複数の自治体から収集した下水汚泥等を乾燥・炭化させ、製鋼用資材やバイオマス燃料等としてリサイクルする、民間主体型の汚泥炭化事業。汚泥の資源化と販売・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に活用することで、下水汚泥の資源化を推進するものであると自負している。

3. ウェストバイオマスの概要

設 立：2010年12月1日

事業開始：2013年4月

事業内容：下水汚泥・有機性汚泥の炭化および炭化物の販売に係る事業

資本金：46,000千円

株主構成：三光60%、日本臓器製薬20%、豊田通商20%

雇用人数：15名（地元中心）

4. 下水汚泥リサイクル事業の概要

処 理 方 式：乾燥（蒸気パドル式）＋炭化（回転床式直接燃焼）

設備設置場所：鳥取県境港市潮見町2-2

（株）ウェストバイオマス 山陰工場

処 理 能 力：140t/日（脱水ケーキ）

リサイクル品：炭化物。製鋼用資材として販売。

処 理 工 程：水分80%～85%程度の下水汚泥を蒸気パドル式乾燥施設（70t/日×2基）で、約4時間滞留させ、水分30%程度まで乾燥致します。その後、乾燥汚泥を円筒状に造粒させ、回転床式炭化炉で低酸素雰囲気の中、直接燃焼して炭化します。

高温で炭化しており、揮発成分が少ないのが特徴です。

環境付帯設備：廃熱ボイラー（1.71MPa、3,340kg/h）：発電並びに乾燥熱源として利用。

排ガス処理施設（ガス冷却、消石灰、活性炭吹込み及びバグフィルター）

MBR式污水处理施設：汚泥乾燥蒸気を回収し、再利用水として使用。



【成形炭】

【平成25年度稼働実績】

項目	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
処理量(t)	734	779	819	1,067	913	954	1,224	1,191	1,181	858	1,094	1,411
成形炭出荷量(t)	0	20	20	6	19	32	11	14	71	27	114	119
熱回収率(%)	15%	24%	28%	29%	30%	30%	30%	28%	36%	27%	31%	28%
CO ₂ 削減量(t)	30	65	83	115	68	74	101	108	125	81	124	148

5. 施設の特長

- (1) 日本臓器製薬の炭化炉は韓国の下水处理場で既に5箇所稼働している。国内の他施設と比べコストパフォーマンスが高い(140t/日の施設で総事業費が約19億円)
- (2) 製造した成型炭は主に製鋼用資材として販売している。
- (3) 徹底した省エネに取組み、隣接する三光潮見工場の廃熱利用、中圧蒸気による発電及び熱利用という徹底した省エネにより高い熱回収率を実現。これにより環境省から「廃棄物エネルギー導入・低炭素化促進事業(廃棄物エネルギー導入事業)」に係る補助金を受けている。
- (4) 成型炭の製造工場であり、かつ地元の雇用を生み出すということで、鳥取県および境港市の企業立地補助金を受けている。
- (5) 日本政策投資銀行／山陰合同銀行／鳥取銀行によるシンジケートローン案件。
- (6) 産業廃棄物処理事業振興財団の債務保証を受けている。
- (7) 下水汚泥の民間企業による炭化処理は、国内での事例が少なく、先進的なリサイクル処理方法である。

6. 平成25年度の処理及び熱回収実績

初年度ということもあり、計画数値を割り込んだ実績となっている。現在、実績とともに受託量は増加している。また、熱回収率は、高水準にて、ほぼ計画どおりである。

7. 事業を始めてみて

ひとえに下水汚泥といえども、その性状は、地域性を微妙に反映しており、その処理に従事して初めての違いを感じることができた。また、季節による変動もある。如何に施設に投入する廃棄物を均一な性状に保つことができるかが、設備を安定稼働させるための

キーポイントであり、運転管理の醍醐味でもある。現場では苦労しつつも様々な現象に楽しみながら奮闘しているところである。

また、下水汚泥の処理は、想像以上に公共性が高く、社会的関心の高いものだということも再認識させられている。その指標として、稼働以来、関係行政、地方議員、大学生、地元経済団体、関連業界等々、様々な方面から総勢で200名以上の方に見学して頂いており、今でも続いている。更にそこでの皆様の質問の多さにも驚いている。

これらすべて我々のモチベーションに繋がっており、職場的には臭い、汚いなどの過酷な現場であるが、やりがいを保てる原動力ともなっている。

8. これからのチャレンジ

- (1) 熱利用施設
現在、熱利用施設の認定のための測定中である。
- (2) 再利用事業者
食品リサイクル法の再生利用事業者認定の申請協議中である。
- (3) リン回収技術
島根大学と連携を図り、成型炭からリンを抽出する技術を研究中である。

9. 今後に向けた課題、展望

山陰と同様な問題を抱える、地方の中小都市で単独での処理施設の運営が経済的な負担が大きい地域にあって、その地域への展開及び同様な志をもつ企業への支援についてチャンスがあれば取り組んでいきたい。海外においても同様にチャンスがあれば積極的に展開していきたい。

特集：バイオマス利用の事業スキーム（民間活力等の取組み）＆バイオマスを用いたカスケード利用について

解 説

下水汚泥堆肥化の取組みと
利用状況について

株式会社データベース

山 田 桂 子

キーワード：緑農地利用、重金属、追跡調査、堆肥化

1. はじめに

北海道南東部に位置する「十勝」は、19市町村で構成され、人口は約35万人、総面積は約1,083,124ヘクタールで、北海道全面積の13%を占めている。

十勝には一級河川十勝川が流れ、その流域には十勝農業の中心をなす、十勝平野が広がっている。

十勝平野は火山灰地のため水はけがよく、畑作に適していたが、反面肥沃な土壌ではなかったため、昭和50年頃から、有機分資源として下水汚泥を利用し、地力増進を図る取組みが始まった。

十勝の中心都市、帯広市に位置する流域下水道、十勝川流域下水道浄化センターでは、大規模農業地帯という地域特性を背景に、発生した下水汚泥の全量が、20年以上もの長期間、緑農地利用されている。

下水汚泥がもつ重金属類等有害成分に対する不安は根強いが、その負のイメージを乗り越えて長期間利用が継続されている理由の一つに、排出時の下水汚泥有害成分、肥効成分の把握だけではなく、堆肥化や利用量についての指導、利用圃場の土壌モニタリングの実施などが、機能的に行われていることがあげられる。

今回、継続してきた下水汚泥有害成分の分析結果と、下水汚泥肥料施用土壌のモニタリング結果を中心に、十勝川浄化センターにおける下水汚泥利用の現状を紹介する。

2. 施設概要

(1) 十勝川浄化センター

十勝川浄化センターは、昭和55年1月に供用開始、帯広市、芽室町、音更町、幕別町の1市3町の下水を受け入れている流域下水道である。日平均計画汚水量72,360m³/日、排除方式は分流式、水処理方式は標準活性汚泥法で、処理水は十勝川へ放流している。

発生した初沈汚泥は重力濃縮で、余剰汚泥は機械濃縮で濃縮し、嫌気性消化槽に投入している。発生した消化ガスはボイラー燃料として使用されている。消化汚泥は、脱水後、平成20年度から受け入れ開始した、帯広市公共下水道の脱水ケーキとともに、乾燥機に投入され、含水率40%程度の粒状汚泥となり堆肥化施設へ搬出されている。

弊社は供用開始以来、乾燥汚泥搬出業務を含む運転維持管理を行っており、下水汚泥緑農地利用の取組みに携わっている。

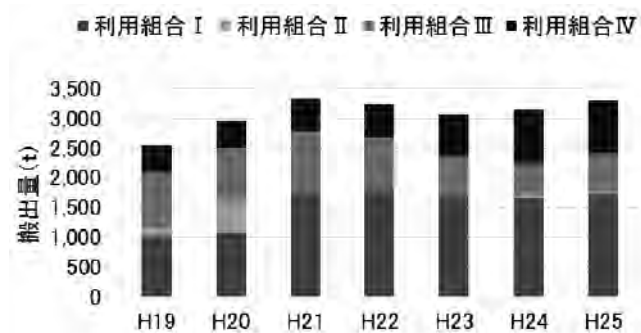
(2) 堆肥化施設

十勝川浄化センターから発生する乾燥汚泥は、一部を除き、専用の堆肥化施設をもつ4つの利用組合に搬出している。

図－1に、平成20～25年度の、4利用組合への搬出量と、その割合を示す。

搬出された乾燥汚泥は、その後牛糞麦稈堆肥と混合・切替して発酵させ、堆肥化している。切替し時期等、堆肥化工程の詳細は利用組合に一任している。

以下、図－2、図－3に、堆肥化施設について紹介する。



図－1 乾燥汚泥搬出量



図－2 下水汚泥搬入状況



図－3 混合作業中

3. 下水汚泥の有害成分

(1) 肥料登録の現状と分析回数について

肥料取締法において、肥料は普通肥料と特殊肥料に

分類される。平成12年の改正により、汚泥を原料として生産される肥料は普通肥料となり、法により含有を許される有害成分の規格が定められている。

浄化センターから発生する汚泥も、普通肥料の下水汚泥肥料として登録しており、有害成分の含有量把握のために分析を行っている。

分析は、下水汚泥の有害成分（ヒ素、カドミウム、水銀、ニッケル、クロム、鉛）について年6回、下水汚泥から溶出する有害成分（ヒ素、カドミウム、水銀、ニッケル、クロム、鉛、有機塩素化合物等24物質）について年2回実施している。

(2) 有害成分基準値と直近データ

表1に、平成26年6月11日に実施した、直近分析データを示す

肥料取締法における、含有を許される有害成分の最大値は、その肥料を100年間連用しても、土壤中の重金属濃度が許容値を超えないという水準で設定されており、直近測定値は最大値に対して、6項目中3項目が10%以下、残りの3項目も15%以下であり、十勝川浄化センターの下水汚泥は、緑農地利用において、安全性が十分確保されていることがわかる。

下水汚泥溶出試験では、直近2月の測定結果は、全項目で検出下限値だった。

表1 有害成分含有量

	含有を許される 有害成分の最大値 (mg/kg)	直近データ (mg/kg)
ヒ素	50	3.8
カドミウム	5	0.7
水銀	2	0.22
ニッケル	300	11
クロム	500	14
鉛	100	14

(3) 有害成分経年変化

十勝川浄化センターでは、長い緑農地利用の歴史とともに下水汚泥分析を行っている。

平成元年から平成25年度の有害成分含有量経年変化を、図－4（ヒ素、カドミウム、水銀）、図－5（総クロム、鉛、ニッケル）に示す。

図－4より、ヒ素は、最大で6mg/kg程度、近年5年くらいは4mg/kg程度で推移している。カドミウムは最大で2mg/kg程度、近年5年では1mg/kg以下で推移している。総水銀は、平成4年以降1mg/kg以下で推移している。

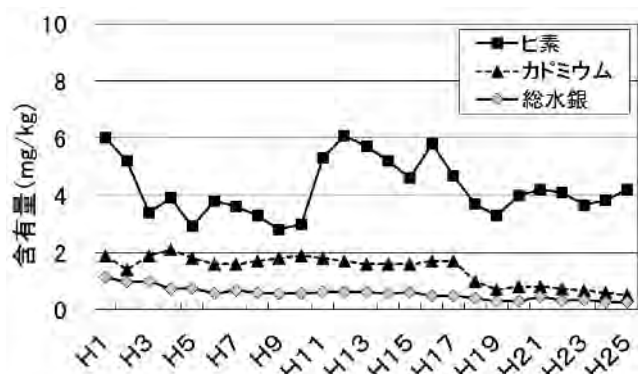


図-4 有害成分含有量①

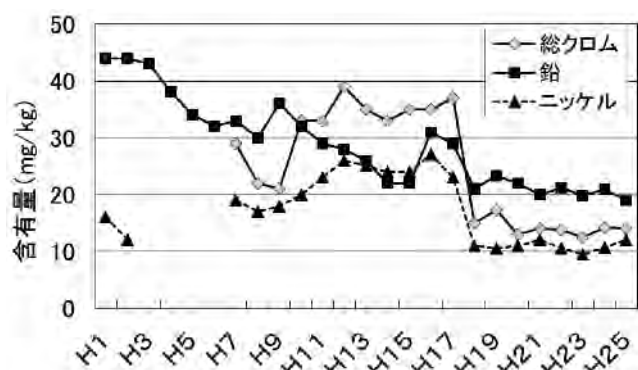


図-5 有害成分含有量②

図-5より、総クロムは、平成7年から平成17年の間20～40mg/kgで変動が大きく、平成18年に大きく低下してその後は20mg/kg以下で推移している。鉛は、平成元年から平成9年の間30～45mg/kgで変動し、その後平成12年になると25～30mg/kgと低下傾向にあり、近年5年では20mg/kg程度で推移している。ニッケルは平成7年から平成17年までは15～30mg/kg程度で推移し、総クロムと同様に平成18年に大きく低下して、10mg/kg程度で推移している。

総クロムとニッケルが平成18年に低下したことについては、接続されていた事業場（めっき工場など）の処理施設変更や事業そのものの変更があったと予想されるが、該当する届け出はなく原因は確定していない。

4. 土壌モニタリング分析結果

(1) モニタリング実施状況

下水汚泥を原料とする肥料の施用にあたっては、モニタリング等で安全性を確認しながら施用していく必要があることから、利用組合圃場において土壌分析を実施している。

平成25年度までは年1回、10か所実施、平成26年か

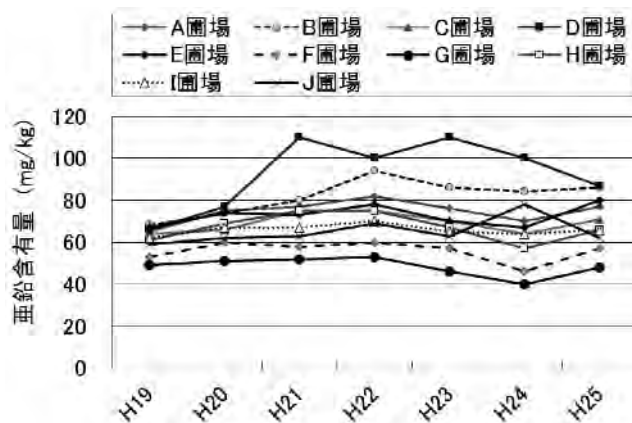


図-6 亜鉛含有量

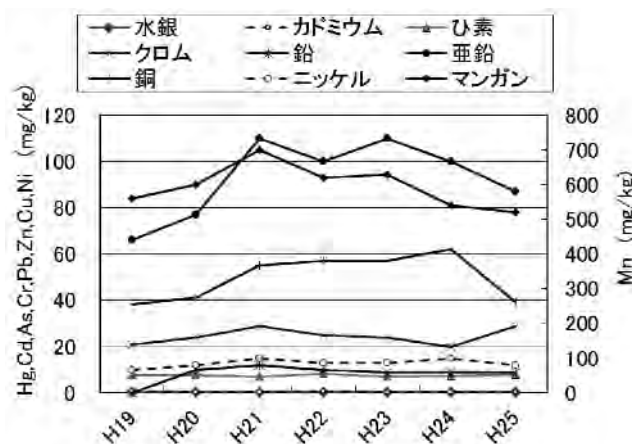


図-7 D圃場有害成分変化

らは分析対象圃場を33か所に拡大し、追跡調査の充実を図っている。

分析項目は、基準値のある亜鉛の他、有害成分（水銀、カドミウム、ひ素、クロム、鉛）、過剰な場合植物の生育に阻害作用があるとされるニッケル、マンガンについて実施している。

(2) 亜鉛含有量について

農用地における土壤中の重金属等の蓄積防止に係る管理基準として、亜鉛の基準値が定められている。亜鉛は、作物の生育に必須の成分である反面、過剰にあると阻害作用があり、土壤中での濃度変動が現れやすいために重金属の指標とされた。基準値は、土壌（乾土）1kgにつき亜鉛120mgである。

図-6に平成25年度の亜鉛分析結果を示す。10か所の圃場名を、ここではA～Jとした。

分析を行った全10圃場において、亜鉛の基準値を満たしていた。D圃場については、平成21年度から24年度、100mg/kgを超える数値が測定されていたが、平成25年度の測定値は100mg/kgを下回った。その他の圃場は40～100mg/kgで変動しているが上昇傾向はなく、亜

表3 栽培作物

	H23年度	H24年度	H25年度
A圃場	大豆	スイートコーン	小麦
B圃場	インゲン豆	小麦	馬鈴薯
C圃場	人参、ビート	大豆	小麦
D圃場	アスパラ、大豆	アスパラ、金時豆	ビート
E圃場	ビート	小豆	インゲン豆
F圃場	小麦	小麦	薬草
G圃場	小麦	小麦、ビート	ビート
H圃場	小麦	ビート	大豆
I圃場	牧草	牧草	コーン
J圃場	小麦	小麦	小麦

鉛の蓄積はないといえる。

次に、有害成分の状況である。

全10圃場において、有害成分の測定値は、全ての項目で経年変化の範囲内であった。

ここでは代表として、亜鉛測定値が高めであったD圃場の有害成分経年変化を図－7に示す。

年度ごとに変動はあるものの、蓄積が懸念されるような変化はなかった。

5. 利用状況

下水汚泥を使用した堆肥は、4利用組合圃場において様々な栽培作物に使用されている。

表3に、土壤モニタリング実施圃場における栽培作物を示す。畑作4品とよばれている、麦類、雑穀・豆類、芋類、ビートを中心に、アスパラや薬草にも使用されている。

以下、図－8、図－9は下水汚泥を利用した圃場の作物栽培状況である。

6. おわりに

安全、安心な日本の農業に対する期待は、日本国内のみならず、国際的にも高まっている。

地域の水や資源が集まる下水道は、農業に貢献できる大きなポテンシャルを有しており、有機物循環の観



図－8 B圃場：栽培作物・・・馬鈴薯



図－9 D圃場：栽培作物・・・ビート

点からも、下水汚泥の緑農地利用を推進することは重要なテーマであると考ええる。

帯広市と弊社は、これまでの十勝川浄化センターの実績をもとに、下水汚泥利用促進のため、国等が進める食と下水道の連携強化策「BISTRO下水道」に参画するなど、活動の幅を広げている。

今後も、下水汚泥分析等の取組みを継続する一方、積極的に関係機関と協力することで、安全、安心をアピールしていきたいと思っている。

特集：バイオマス利用の事業スキーム（民間活力等の取組み）＆バイオマスを用いたカスケード利用について

解 説

山田バイオマスプラントの 取組みについて （メタン発酵消化液の肥料としての捉え方）

（株）和郷 東京事業所
農業技術開発グループ
相 原 秀 基

キーワード：メタン発酵、消化液肥、有機JAS規格、COD物質収支

和郷園は、農水省のプロジェクト研究「地域活性化のためのバイオマス利用技術の開発（バイオマス利用モデルの構築・実証・評価）」に参画し、メタン発酵を軸とする山田バイオマスプラントの日常の運転管理とメタン発酵から産出される施肥試験を担当してきた。プラントは、2005年7月から稼動し、実際の運転現場での課題の明確化とそれに対する対応・改良を続けてきた。農村地域のバイオマス利活用は、循環型農

業とのリンクが不可欠で、肥料としての品質を保持する方法が重要であり、和郷園・和郷で注意して管理しているポイントを取り上げる。

1. メタン発酵と肥料生産

メタン発酵は有機物を原料として、産物は消化液とガスとなります。

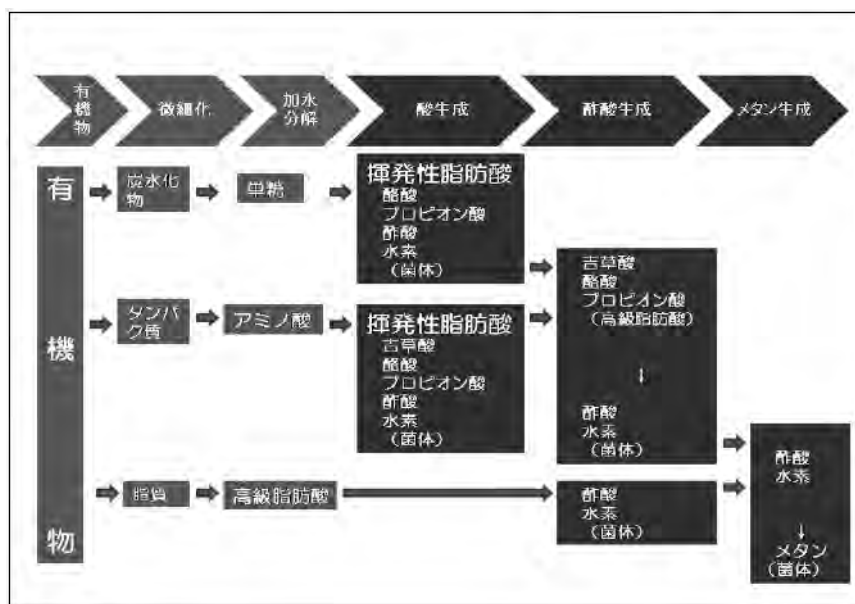


図1 メタン発酵における物質変化について

発酵プロセスの基本は、原料の有機物はC、H、O、N組成と水分により、ガス側にはメタンと二酸化炭素、消化液側にはアンモニウムイオンと重炭酸イオンが生産されます。それ以外の産物に含まれる微量な物は、原料由来のものです。

消化液は一般的にメタン発酵消化液と呼ばれ、窒素、リン、カリを含む液体肥料であり、当プラントでは肥料の生産が主な目的です。ガスは副産物として、再生可能エネルギーとして場内燃料、場内発電で利用しています。

肥料に関しましては、T-C：8510mg/L、T-N：2130mg/L、C/N=4（2011年6/3のデータ）のバイオ消化液肥（千葉県第1919号、特殊肥料、登録上はN-P-Kがそれぞれ0.5%未満）ができます。

2. 運転管理状況

安定したメタン発酵運転に関して、把握している事項は、①運転温度、②バイオガス発生量、③発酵液（消化液）pHを採用しています。

- ①温度は、発酵を担う嫌気性細菌群（特にメタン生成細菌）が温度変化に敏感であり、中温発酵には30～37℃が適し、山田バイオマスでは34～37℃を維持しています。
- ②バイオガス発生量は、適切な発酵が行われた結果、メタン約60%前後と二酸化炭素約40%前後で産出されるため、メタンガスの濃度を測定して、適切に発酵していることを確認しています（バイオガス＝メタンガス60%＋二酸化炭素40%＋微量ガスなど）。
- ③発酵液（消化液）のpHは、発酵槽内の状況に影響されます。発酵後のガスである二酸化炭素濃度と発酵後の消化液のアルカリ度が影響しあって、pHを決めています。良好なメタン発酵のpHは6.5～8.2の範囲にあることが多いと言われ、山田バイオマスでは、産出された消化液がpH 7台であるかを確認しています。

運転温度とバイオガス発生量はロガーにて自動で集計され、毎日チェックを行っています。pHは定期的にサンプリングして、pH計で確認しています。山田バイオマスでの原料は、野菜汁と牛ふん脱離液であり、野菜汁はpH4.7、牛ふん脱離液はpH7.3であり、混合された原料はpHが平均6.1（pH5.5～6.8）であり、安定的なメタン発酵後に生産される消化液はpH7.7となります。

メタン生成であるメタン発酵が適切におこなわれていない場合に、投入量を増加させると、揮発性脂肪酸の蓄積に伴ってpHの低下により酸敗がおこります。揮発性脂肪酸（有機酸）は、投入された有機性原料

が、「加水分解」を経て酸生成細菌により、酢酸、プロピオン酸、乳酸、酪酸、吉草酸が中間で産出される。とくにプロピオン酸が蓄積しやすいとの報告もあり、これらの蓄積により、pHが6.5以下を下回るとメタン生成細菌が強く阻害されるといわれています。

3. メタン発酵に要する日数について

メタン発酵に要する日数が15日である根拠は試験結果によりました。発酵槽総容積135m³に、1日に約9tの原料投入試験を2011年4月から6月に行いました。

実証規模のため、投入は基本日曜日以外で、天候・外気温により翌日に投入が延期するケースもありましたが、6日間でならして7.8t～9.2t（投入のない休みの日曜をいれた7日では、6.7t～7.9t）の投入試験を行いました。投入による発酵槽内の温度低下があるため、運転温度制御を行いました。その結果、生産された消化液の詳細な分析も良好であり、生産されるガスの発生量は正常でありました。

その後の2011年の6月から8月までの試験時においてもpHは良好な7.3～7.8を維持していました。約9t（9m³）の原料投入で適切な発酵が維持されましたので、山田バイオマスのメタン発酵に要する日数を135m³÷9m³（≒9t）＝15日としました。

4. 消化液肥の特徴

- ①化学肥料の代替となる有機物由来の速効性の液体肥料。
- ②メタン発酵でのメタンガス化により発電し、発酵槽の温度維持のためのエネルギーをなるべく自給でき、大半の臭気物質もメタンガスまで分解される利点もある肥料。
- ③一般的なメタン発酵消化液は有機JAS規格の資材としても利用できる（2012年に改正）肥料（和郷園では減農薬減化学肥料の方針のため千葉県第1919号は有機JASを取得していない）。

5. 消化液肥でのC/N比

植物の栄養となる肥料で基本的に重要とされるのは、窒素（N）、リン（P）、カリ（K）で肥料三要素とも呼ばれる成分（元素）と、微量元素です。

メタン発酵により主に変化があるのは、メタン（CH₄）と二酸化炭素（CO₂）を構成している、炭素C、水素H、酸素Oだけで、肥料としてはC/N比が変化するのみ（硫化水素（H₂S）のSはアミノ酸のシスチン、メチオニンに含まれており脱硫される）。よっ

て、肥料三要素に関しては、原料に入っている成分がそのまま反映される。

メタン発酵では、炭素（C）骨格を分解してガス化、窒素（N）を無機物として液体中に取り出すといったことが目的です。主に有機物であるタンパク質→アミノ酸→アンモニア態窒素（窒素（N））にして無機化させます。有機物が無機物へ分解されたかを判断するためC/N比（炭素率）を用います。微生物が有機物を分解が速くするには、増殖する分だけ微生物の細胞成分であるタンパク質や核酸を合成するための窒素（N）が必要となります。

たい肥は、C/N比は20であるときに土壌の無機態窒素の増減量が無いといわれます。C/N比が20を超えてしまうと、たい肥を投入した圃場の土壌中の無機態窒素を使ってしまい、作物用に施肥した窒素がつかわれてしまうこととなる。

メタン発酵消化液はC/N比が4という20未満であり、無機態窒素を土壌中に供給するような肥料に分類できる。これは、メタン発酵消化液に関する様々な試験研究の結論で述べられている、速効性の化学肥料の代替になる肥料と結論づけられている理由の1つにもなる。生産されるメタン発酵消化液は、アンモニア態窒素は消化液全体の50%含まれ、消化液全体の15%は有機態窒素が無機化し、消化液全体の65%が速効性の窒素肥料として利用でき、残りの35%のうち10%は難分解性の有機態窒素であり、土壌に蓄積されるとの試験結果がでています。

6. 肥料化（アンモニア無機化）と発酵完了（メタンガス化）の関係

メタン発酵による肥料生産だが、メタン発酵プロセス（①微細化、②加水分解過程、③酸生成過程、④酢酸生成過程、⑤メタン生成過程）の中で、「肥料化：肥料成分が分解されて無機化する段階」と「発酵完了：メタン発酵が完了した段階」は同一ではない。

「肥料成分が分解されて無機化する段階」はメタン発酵プロセスの前半となる。「③酸生成過程」段階でアンモニアは液体中にあり、肥料成分は無機化されている。この段階は、メタン発酵プロセスは途中であり、後半の『メタン生成相』の中の「④酢酸生成過程」で揮発性脂肪酸から酢酸や水素ガスとなり、「⑤メタン生成過程」でメタン菌によりメタンガスが生成される。「発酵が完了した段階」は臭気物質とされている揮発性脂肪酸が、酢酸や水素に分解され、最終的にはメタンと二酸化炭素となって分解され、pHの安定化、臭気が軽減できる。メタンガス燃料が生産され、肥料生産に用いるエネルギーの自給（補給）が可能となり、

化石燃料を使用している化学肥料と差別化ができる。（酢酸や酪酸も「土壌還元消毒法」で有効成分と言う見解もある。「発酵が完了した段階」も現時点での見解である。）

7. 原料と消化液

肥料の原料である、『牛ふん尿』、『野菜汁』は、メタン発酵により、メタン（CH₄）と二酸化炭素（CO₂）が気体として取り除かれ、液体には気体とならなかった要素がすべて入っており、肥料三大要素は、投入原料により決定される。

① メタン菌補給資材の牛ふん尿：

牛は反すう動物であるため、メタン菌との共生により結果的に草を利用できている。反すう動物の4つの胃の動きが重要で、嫌気的環境でルーメン微生物が多数生息し、繊維を安定して利用するには繊維分解菌が作り出す水素を、メタン菌により、メタンにする必要がある。

② 肥料成分の原料としての牛ふん尿：

アンモニア態の窒素やカリは原料段階でかなり分解されている。窒素に関してはふん中の原料はメタン発酵槽で再度分解される。リンは牛由来の原料では少なくなるといわれている。

牛が摂取したタンパク質はルーメン内でアミノ酸やアンモニアまで分解され、ルーメン微生物が菌体タンパク質になって小腸から吸収される。ふん中の窒素の多くは飼料由来の不消化物、微生物体、内因性窒素であるといわれる。尿中の窒素化合物は尿素が最も多い。尿中の尿素は排泄後に、ふん中の微生物由来のウレアーゼによりアンモニアへ分解される。

牛のリンの主要な排泄経路は糞中といわれる。牛によるリンの利用効率ミネラルの中で比較的高いため、摂取したリンは体内に吸収されやすく、体内代謝に有効利用される。

草食動物である牛は牧草中のカリウムを有効利用して、酸塩基平衡などの体内の恒常性維持に役立っている。牛の体内に吸収されたカリウムのほとんどは尿中に排出され、糞中への排出量は少ない。体内にはほとんど蓄積されない。

牛ふん尿では、原料段階でアンモニア態窒素が多く、リンは体内に吸収されやすく、カリは体内にほとんど蓄積されない。よって、リン（P）が少ないV字型の肥料が生産される。

③ 肥料成分の原料としての野菜汁：

窒素は野菜など植物が土壌から吸収する栄養素の中で要求量が最も多い元素です。根から吸収された、無機態窒素は同化され、アミノ酸、タンパク質、核酸、

クロロフィルなど、植物の生長に直接関係する生体物質の生合成に用いられる。余剰無機態窒素は硝酸イオンとして液胞に蓄積される。グルタミンで有機態窒素を貯留し、窒素を必要とする生体物質をグルタミンで生成、生長を維持している。

植物でのリンを含む生体化合物は、核酸、細胞膜のリン脂質、代謝に関わるヌクレオチド、糖リン酸で、細胞の主要な要素である。

カリウムは体内で不溶性の化合物は作らないで、イオンとして浸透圧調整、pHの安定化に重要な役割を果たし、細胞液中にイオン状態で含まれている。

野菜の種類で若干の肥料バランスは変化するが、肥料三要素は含まれている。よって、野菜等の成分表を目安に、品質の向上は可能である。

8. 一般的な肥料との比較と消化液肥の商品価値

肥料として、このメタン発酵消化液は、化学肥料(速効性のもの)やたい肥と比較されます。前述のように、メタン発酵消化液はC/N比が4と低く、無機態窒素を土壤中に供給するような肥料に分類でき、速効性の化学肥料の代替の肥料といわれています。逆に、C/N比が4であるため、たい肥のように若干の有機態の窒素が土壤中で分解されて遅効性(緩効性)の肥料成分も含まれており、速効性の化学肥料とも違う特徴も持っている。

有機農産物の日本農林規格(JAS規格)の見直しが行われ、2012年3月28日付けの農林水産省告示第833号にて、資材の肥料及び土壌改良資材分類で、「メタン発酵消化液(汚泥肥料を除く。)」が新たな資材として追加された。基準は「家畜ふん尿等の有機物を、嫌気条件下でメタン発酵させた際に生じるものであること。ただし、し尿を原料としたものにあつては、食用作物の可食部分に使用しないこと。」とある。

化学的に合成された肥料の代替肥料だけでなく、窒素主成分でありながら、有機農産物の日本農林規格(JAS規格)の資材として明示されている。消化液肥効も65%近くを占めるアンモニア態窒素含有量ではほぼ説明でき、好気発酵でのたい肥よりも肥効判定が明確である。それ以外の窒素も、菌体タンパク質、原料に含まれる未分解有機態窒素で、遅効性の肥料成分もある化学肥料とも異なった特徴をもつ肥料を製品の特徴としている。

有機農業促進法や有機JAS法の趣旨は「化石エネルギーの消費を抑制し有機性廃棄物に含まれる窒素を作物生産に再利用することを促進することにある」と言われ、この消化液を資材では、有機性の廃棄物由来の窒素を肥料にでき、化石エネルギーの消費抑制、作物

生産に窒素を再利用することが可能になる(和郷園では減農薬減化学肥料の方針のため千葉県第1919号は有機JASを取得していない)。

窒素(N)化学肥料の製造は、アンモニア合成の基質である水素を工業的にナフサや天然ガスから水蒸気改質法によって製造、アンモニア1tを製造する毎に二酸化炭素は1.5tが発生するといわれ、化石エネルギーを大量に使用し環境に負荷を与えているとの見解もある。よって、メタン発酵消化液の製品としての価値は、液体部分の肥料成分にだけあるのではなく、臭気の軽減、エネルギーの回収を含めて価値がある。

9. 肥料の確認方法

CODによる推定は小型プラントでは導入が困難であり、肥料成分にて肥料の確認を行う。COD-Mnについては、参考として分析を行っている。

9-1. 肥料の確認方法について

メタン発酵でのメタン生成能力の推定はCOD_{Cr}濃度と分解率を用いて推定することができると言われている。これに関しての詳細は、『メタン発酵』や『水環境保全のための生物学』などの書籍を参照していただきたい。下水汚泥の分野では一般的に用いられている。しかし、COD_{Cr}での分析は、分析後の薬品処理の難しさがあり、COD_{Mn}による分析が日本では一般的である。COD_{Mn}での分析結果は、COD_{Cr}の数値と差があり、約3倍(COD_{Mn}→COD_{Cr}、4200→12900、8010→18000、1040→3570 値はmg/L)とのデータもある(農工研中村氏消化液データより)。この他、バックテストとよばれる簡易分析によるCOD分析もあるが、色を判定する簡易分析のため、詳細な数値を明示すること難しく、詳細な推定は困難である。よって、小規模なメタン発酵施設ではCODによる詳細で、迅速な肥料の確認は困難であり、加えて肥料としての評価はN-P-Kによって判断されるため、CODによる判断は現状では現実的ではない。

よって、液体側の分析は「肥料」としての評価を明示、つまり肥料成分を明示することにより、品質の判断を行う。肥料成分中で、メタン発酵過程で変化する、窒素成分に注目して品質の判断を行う。

9-2. 有機物と窒素について

有機物由来の肥料に関して、含まれる窒素成分は直ちに植物に利用されるわけではない。肥料成分である窒素には、大きく分けて2つの「態」があり、無機態窒素と有機態窒素に分けられる。無機態窒素にはアンモニア態窒素と硝酸態窒素、亜硝酸態窒素がある。有

機態窒素には、易分解性有機態窒素と難分解性有機態窒素があるとされている。

有機物由来である消化液は、分解によってC/N比が下がっていく。

液肥に関しては、堆肥のように0.5M塩酸抽出などの操作が不要であり、測定は容易である。消化液に関しては、メタン発酵槽から排出された直後は、窒素の状態が、無機態窒素はアンモニア態窒素のみであり、硝酸態窒素は0.1mg/L以下、亜硝酸態窒素も0.1mg/L以下である。よって、無機態窒素に関しては、アンモニア態窒素のみを測定すれば、肥料効果が評価できる。

実証実験の結果の一つに、「肥料成分をECから推定することも可能である」と農工研の中村氏執筆の『メタン発酵消化液の畑地における液肥利用－肥料効果と環境への影響－』P3に記述してあります。土壌でのEC値は、硝酸態窒素含有量との間に正の相関関係がみられ、土壌中の硝酸態窒素濃度含量の推定に有効といわれるとありますが、消化液の場合、硝化される前のアンモニア態窒素のみであるため、硝酸態窒素は含まれず、アンモニア態窒素の推定が可能である。

9-3. 窒素について

全窒素 (2130 mg/L)

無機態窒素

アンモニア態窒素

(全窒素の約46.3%、986 mg/L)

硝酸態窒素 (0.1 mg/L以下)

亜硝酸態窒素 (0.1 mg/L以下)

有機態窒素

(全窒素の約53.7%、2130－986＝約1144mg/L)

易分解性有機態窒素

(全窒素の約18.7%、1144－745.5＝398.5mg/L)

難分解性有機態窒素

(全窒素の35%、上記2130 mg/Lでは745.5 mg/L)

実証実験での結果と、窒素成分のバランスに関して整理を行うと、上記のように分類が可能である。全窒素の65%が「速効性の窒素肥料」として利用できると結果があり、1384.5mg/Lが相当する。この中で、短期的に無機化する窒素を「易分解性有機態窒素」と仮定する（全窒素中の約18.7%）と、速効性の肥料は「アンモニア態窒素」と「易分解性有機態窒素」の2種類の窒素だけに由来する可能性がある。

速効性の窒素肥料成分内での割合は、「アンモニア態窒素」が71%、「易分解性有機態窒素」29%で、「アンモニア態窒素」に関してはEC値からの推定が可能で、RQフレックスによる代替分析も検討している。「易分解性有機態窒素」の即日簡易分析は手法の検討必要。

9-4. 現在の確認方法について

消化液は一般的にメタン発酵消化液と呼ばれ、窒素、リン、カリを含む液体肥料であり、当プラントでは肥料の生産が主な目的です。ガスは副産物として、再生可能エネルギーとして場内燃料、場内発電で利用しています。肥料に関しましては、T-C：8510mg/L、T-N：2130 mg/L、C/N=4（2011年6/3のデータ）のバイオ消化液肥（千葉県第1919号、特殊肥料、登録上はN-P-Kがそれぞれ0.5%未満）ができます。

消化液肥の特徴は、「1.化学肥料の代替となる有機物由来の速効性の液体肥料。」「2.メタン発酵でのメタンガス化により発電し、発酵槽の温度維持のためのエネルギーをなるべく自給でき、大半の臭気物質もメタンガスまで分解される利点もある肥料。」「3.メタン発酵消化液は有機JAS規格の資材としても利用できる（2012年に改正）肥料。」といわれます。

○メタン発酵と分解

メタン発酵では、メタン発酵槽は嫌気発酵であり、かつガスを燃料として利用するため、外気とは遮断された密閉系となっています。その結果、原料の有機物の全てが生産物である消化液とガスだけに分かれ、系外には出ません（ガス精製後に二酸化炭素が排出）。

有機物が分解されて出てくるC（炭素）は、全てガス側にメタンと二酸化炭素、消化液側に重炭酸イオンとなります。有機物は全て分解されるわけでは無く、分解されにくい有機物（難分解性有機物）があり、これらは消化液に残存し、圃場へ還元されて微細な団粒構造を構成するとも言われています。また肥料の指標ともなっているC/N比でのC（炭素）となります。有機物のタンパク質が分解されて肥料成分として必要なN（窒素）が生産されます。H₂S（硫化水素）もタンパク質由来であり、ガス側の工程で脱硫材により系外に除去されます。消化液肥に含まれるリン、カリや微量な物質は、原料由来のもので、メタン発酵では、ほぼ分解はされることなく出てきます。

○メタン発酵槽の運転管理状況

安定したメタン発酵運転に関して、把握している事項は、①運転温度、②バイオガス濃度とバイオガス発生量、③発酵液（消化液）pHを採用しています。運転温度とバイオガス発生量、バイオガスのメタン濃度はロガーにて自動で集計され、毎日チェックを行っています。pHは定期的にサンプリングして、pH計で確認し、安定的なメタン発酵後に生産される消化液はpH7.7となります。『運転温度』は、発酵を担う嫌気性細菌群（特にメタン生成細菌）が温度変化に敏感であり、中温発酵には30～37℃が適し、山田バイオマスで

は34～37℃を維持しています。『バイオガス濃度』は、適切な発酵が行われた結果、メタン60%前後と二酸化炭素40%前後で産出されるため、メタンガスの濃度を測定して、適切に発酵していることを確認しています。投入した有機物で分解されたC（炭素）はすべてガスとなるため、分解されたガスの組成と濃度、『バイオガス発生量』が解れば、有機物あたりの分解が適切に行われているかが判断できます。『発酵液（消化液）のpH』は、発酵槽内の状況に影響されます。発酵後のガスである二酸化炭素濃度と発酵後の消化液のアルカリ度が影響しあって、pHを決めています。良好なメタン発酵のpHは6.5～8.2の範囲にあることが多いと言われ、山田バイオマスでは、産出された消化液がpH 7台であるかを確認しています。原料投入量を増加させると、揮発性脂肪酸の蓄積に伴ってpHの低下により酸敗が occurs。揮発性脂肪酸（有機酸）は、投入された有機性原料が、「加水分解」を経て酸生成細菌により、酢酸、プロピオン酸、乳酸、酪酸、吉草酸が中間で産出される。とくにプロピオン酸が蓄積しやすいとの報告もあり、これらの蓄積により、pHが6.5以下を下回るとメタン生成細菌が強く阻害されるといわれています。

○メタン発酵による有機物の変化について

消化液の規格は現在存在しない。肥料としては、N-P-Kにより評価され利用されている。消化液がメタン発酵槽に入り変化するのは有機物の分解である。これによる効果は、もし原料の状態で土壤に施用した場合、土壤中で易分解性有機物が急に分解して作物に生育障害を起こす可能性があるが、メタン発酵槽で易分解性有機物が分解されることで回避できることである。メタン発酵消化液はC/N比が4と低く、無機態窒素を土壤中に供給するような肥料に分類でき、速効性の化学肥料の代替の肥料といわれています。逆に、C/N比が4であるため、たい肥のように若干の有機態の窒素が土壤中で分解されて遅効性（緩効性）の肥料成分も含まれており、速効性の化学肥料とも違う特徴も持っている。

易分解性有機物は生物化学的酸素要求量（BOD）により直接示すと言われているが、通常5日の日数が必要であることや、硝化による酸素の消費などがあり、山田バイオマスプラントの運転状況には適合できない。有機物の指標としてVS（Volatile Solids「全揮発物」）、があり、メタン発酵槽設計の際に、有機物のメタン発酵槽負荷量の計算などに用いられている。このVSとTS（Total Solids「全固形物」）を用いて、有機物の変化を分析する方法を採用した。

有機分率（全固形物であるTS量に対する、有機物であるVS量の割合）

有機分率（%）

$$= \text{VS (mg/L)} / \text{TS (mg/L)} \times 100$$

VS分解率（有機物分解率）

有機物分解率（%）

$$= (\text{投入汚泥有機物濃度 (mg/L)} - \text{消化液汚泥有機物濃度 (mg/L)}) / \text{投入汚泥有機物濃度 (mg/L)} \times 100$$

本文は、カスケード利用に着目して「肥料としての管理」を中心としているため、その他のバイオマス利用に関しては、下記の①～⑩の共著等で成果は報告されている。

- ①中村真人・柚山義人・山岡賢・折立文子・清水夏樹・阿部邦夫（和郷園）・相原秀基（和郷園）・藤川智紀：メタン発酵プラントのトラブル記録と長期運転データの解析—山田バイオマスプラントを事例として—，農工研技報，210，pp.11-36，2010.3
- ②中村真人・阿部邦夫（和郷園）・相原秀基（和郷園）・柚山義人・山岡賢・清水夏樹・折立文子：メタン発酵消化液の液肥利用に伴う温室効果ガス排出量—山田バイオマスプラントを事例として—，農業農村工学会資源循環研究部会，論文集，5，pp.1-14，2009.12
- ③阿部邦夫（和郷園）・松岡隆雄（和郷園）・相原秀基（和郷園）・中村真人・柚山義人：山田バイオマスプラントの運転とバイオマス利活用，農業農村工学会資源循環研究部会，論文集，5，pp.31-40，2009.12
- ④柚山義人・中村真人・山岡賢・清水夏樹・阿部邦夫（和郷園）：都市近郊農畜産業型のバイオマス利活用実証研究の成果と展望，農業農村工学会資源循環部会論文集，4，pp.131-147，2008.12
- ⑤柚山義人・日下部正徳（千葉県山田町）・阿部邦夫（和郷園）・中澤幸介（新建新聞社）：バイオマスタウン構築に向けてのプロローグ，農業土木学会誌，74（1），pp.7-10，2006.1.

【雑誌・口頭発表】

- ⑥望月和博（東京大学生産技術研究所）・阿部邦夫（和郷園）・柚山義人（農研機構農村工学研究所）・迫田章義（東京大学生産技術研究所）：千葉県香取市の農畜産地域バイオマス利用実証プラントにおけるマテリアルフロー，環境科学会2009年会一般公演・シンポジウム・ポスターセッションプログラム，pp.56-57（講演番号1B-1100），2009.9

【研究成果情報】

- ⑦柚山義人・中村真人・山岡 賢・阿部邦夫（和郷園）・相原秀基（和郷園）：資源の地産地消に資するメタン発酵システムの実証，平成21年度農村工学研究所研究成果情報，pp.19-20，2010年6月
- ⑧中村真人・柚山義人・山岡賢・折立文子・清水夏樹・阿部邦夫・相原秀基（和郷園）・藤川智紀（東京農業大学）：メタン発酵プラントにおけるトラブル対策の実証事例，平成21年度農村工学研究所研究成果情報，pp.21-22，2010年6月
- ⑨中村真人・柚山義人・山岡賢・清水夏樹・折立文子・阿部邦夫（和郷園）・相原秀基（和郷園）：消化液の液肥利用を行うメタン発酵システムの温室効果ガス排出量，平成21年度農村工学研究所研究成果情報，pp.17-18，2010年6月
- ⑩柚山義人・山岡賢・中村真人・藤川智紀・清水夏樹・迫田章義・望月和博・佐藤伸明・下ヶ橋雅樹（東大）・市原 昭（荏原製作所）・関 建司（大阪ガス）・若松孝彦（大阪ガスエンジニアリング）・池田雅司（中国メンテナンス）・宮嶋昌一（日東高圧）・阿部邦夫（和郷園）・金子文宜・山本二美・草川知行・中村耕士・真行寺孝・横山とも子（千葉県農総研）・渡邊晴生（千葉県畜総研）・石谷栄次（千葉県森林研セ）：バイオマス多段階利用の都市近郊農畜産業型モデル，平成18年度農村工学研究所研究成果情報，pp.15-16，2007.4.

10. 参考文献

- 『メタン発酵』野池達也編著2009
- 『水環境保全のための生物学』須藤隆一編著2004・「第5章嫌気性処理」
- 『メタン発酵消化液の畑地における液肥利用－肥料効果と環境への影響－』
中村真人 著 農村工学研究所
- 植物防疫 第64巻 第9号 2010 p569～574
土壌還元消毒における有機酸の生成と殺線虫効果
片瀬雅彦 牛尾進吾（千葉県農林総合研究センター）
- 用水と廃水Vol.18, No10, pp.79-90（1976）
「水質測定技術（1）COD」
矢木博 近藤実 小川浩 大森正男
- 日本土壤肥料学会雑誌 第83巻 第2号（2012）
P139～146
メタン発酵消化液の施用方法がアンモニア揮散および亜酸化窒素の発生に及ぼす影響
中村真人 藤川智紀 柚山義人 山岡賢 折立文子
- 農林水産技術研究ジャーナル Vol.32 No.6 2009.6
メタン発酵消化液の液肥としての利用
松中 照夫（酪農学園大学）
- 宮崎大学農学部研究報告 第56巻 平成22年2月
pp.93-101
豚ふん尿を原料としたメタン発酵消化液の液肥としての安全性に関する微生物的評価
園田亮一 赤木功 浅野陽樹 山本昭洋 佐伯雄一
- 環境技術 Vol.40 No.10 2011
アナモックス技術の展望
古川憲治
- 日本化学会誌 1993 No.3 p278～284
COD測定法における酸化力の比較
－COD（Cr）法とCOD（Mn）法－
吉永 中村 津留
- 日本土壤肥料学雑誌 2010 第81巻 第3号
乳牛ふん由来のメタン発酵消化液の施用方法がコマツナの収量と亜酸化窒素発生量に与える影響 藤川智紀 中村真人
- メタン発酵利活用施設技術指針（案）
平成17年8月
監修 農林水産省農村振興局整備部農村整備課
発行 社団法人 地域資源循環技術センター
- 日本農業集落排水協会型及び地域資源循環技術センター型施設
維持管理マニュアル（管理主体編）
平成21年度改訂版
社団法人 地域資源循環技術センター
- 農業集落排水処理施設
維持管理マニュアル
日本農業集落排水協会-Ⅲ型編
（JARUS-Ⅲ型）
平成21年度改訂版
社団法人 地域資源循環技術センター
- 日本土壤肥料学雑誌 第81巻 第4号（2010）p329～335
牛ふん堆肥・豚ふん堆肥中のリン酸マグネシウムアンモニウムの存在とその評価のための抽出法
棚橋寿彦 矢野秀治 伊藤元 小柳渉
- 日本土壤肥料学雑誌 第81巻 第4号（2010）p336～342
酸性でターゲット可溶有機物と無機態窒素を指標とした牛ふん堆肥・豚ふん堆肥の窒素肥効評価
棚橋寿彦 小柳渉
- 日本土壤肥料学雑誌 第81巻 第4号（2010）p343～349
廃白土の混合と戻し堆肥が堆肥中に存在する病害抑制Bacillus属の増殖に及ぼす影響
村上圭一 鈴木啓史 加藤直人
- 日本土壤肥料学雑誌 第81巻 第4号（2010）p383

- ～386
易分解性有機物の指標としてのAD可溶有機物の有用性
小柳 渉 棚橋 寿彦 村松 克久 小橋 有里
- 日本土壤肥料学雑誌 第82巻 第3号 (2011) p244～250
家畜ふん尿の新処理・利用技術と課題 6.牛ふん堆肥、豚ふん堆肥の新しい窒素肥効評価法
棚橋 寿彦 小柳 渉
- 日中経協ジャーナル (219) 2012.4 p22～25
メタン発酵普及のネック 液肥利用の可能性
大土井 克明
- 下水道協会誌48 (588) 2011.10 p119～126
下水処理場の水処理プロセスにおけるメタン発生量の定量化手法に関する検討
増田 周平 鈴木 俊輔 李玉 友
- 農林水産技術研究ジャーナル30 (11) 2007.11
環境保全を重視した農林水産技術革新
三輪 睿太郎
- 肥料 (通号88) 2001.2 p8～10
世紀の謎、「有機農業野菜は品質がよいのか」
三輪 睿太郎
- 下水道協会誌 49 (594) 2012.4 p97～103
下水汚泥処理場における温室効果ガスの発生源解析と発生係数の季節変動
増田 周平 鈴木 俊輔 李玉 友
- 日本作物学会記事 54 (3) 1985.08 p226～234
水稻幼植物におけるアミノ酸代謝に及ぼす有機酸の影響
林 茂一 熊沢 喜久雄
- 東京農業大学農学集報 41 (2) 1996.08
活性汚泥のバルキング時におけるグルコース、ギ酸、酢酸、プロピオン酸および乳酸の消費速度の変化
高橋 力也 麻生 清貴 本浪 由紀子
- 環境工学公式・モデル・数値集
土木学会 環境工学委員会
P110
第1編環境施設
嫌気性処理モデルに用いられる係数の値
- バイオマス技術ハンドブック導入と事業化のノウハウ
財団法人 新エネルギー財団 編者
平成20年10月
- バイオマス技術入門
発行：社団法人 地域資源循環技術センター
第6章メタン発酵技術概論
- 環境工学公式・モデル・数値集
土木学会 環境工学委員会
P110
第1編環境施設
嫌気性処理モデルに用いられる係数の値
- 低分子有機物資材が黒ボク土野菜畑土壌の化学性に与える影響
谷 昌幸 東 照雄
日本土壤肥料学会誌第67巻 第6号 P677～681
- 嫌気性消化プロセスの解析による資源化の推進
安井 英斉
「再生と利用」下水汚泥資源利用協議会誌 Vol.33 No.123 (2009) p20～26
- 地球温暖化に貢献する嫌気性消化法
野池 達也
「再生と利用」下水汚泥資源利用協議会誌 Vol.33 No.123 (2009)
- 震災復興に貢献するメタン発酵
野池 達也
「再生と利用」下水汚泥資源利用協議会誌 Vol.36 No.135 (2012) p6～19
- UASB発酵法による乳牛糞尿圧搾汁液の処理効果
梅津 一孝 大山 岸本 高橋 松本 濱本
農業施設35巻1号2004.6.p1～8

特集：バイオマス利用の事業スキーム（民間活力等の取組み）＆バイオマスを用いたカスケード利用について

解 説

施設栽培における
メタン発酵消化液の液肥利用と
キュウリにおける施用効果

茨城大学農学部附属フィールドサイエンス教育研究センター

准教授 佐藤 達雄

Key Words : application technique, leaf counts, nitrogen, organic

キーワード：施設園芸、施用方法、生育診断

1. はじめに

近年、家畜糞尿や食品・野菜残渣などの廃棄物系有機物からメタンガスを生成させて発電用エネルギーとするメタン発酵技術が実用化され、各地にバイオマスプラント設置が進んでいる。最近では乾式法が開発されている⁽¹⁾ものの、一般には原料有機物に加水、磨砕する湿式法が普及している。湿式法では窒素、リンなどを含むメタン発酵消化液（以降、「消化液」とする）が残渣として生じる。一般的には消化液は処理されて下水や河川に放出されるが、含有成分の有効利用や廃棄処理コスト低減を図るため有効利用技術の開発が求められている。消化液中に含まれる窒素成分に着目し、これを肥料として利用することが可能になれば、家畜糞尿や作物残渣など農地に由来するバイオマスを農地に還元する「地域資源の循環」が可能となる。一方で、化学肥料の中でも高度化成肥料は窒素等の成分を15%以上含有する固体であるのに対し消化液は0.2～0.3%程度のゾルである。このため成分の変動や貯蔵性、輸送性に劣るという欠点がある。しかし地域にバイオマスプラントがあれば排出される消化液をプラント周辺の農地で利用することに大きな支障はな

い。このため水田や畑地といった露地圃場では既に活用されており、そのための施用法、散布装置も開発されている。例えば遠藤・中村⁽²⁾は、畑地において専用の散布車による散布や人力によるホース移動による散布を、水田において用水路への流し肥を紹介している。いずれも作付け前に基肥として、あるいは生育期の追肥として大面積に施用することを前提とした方法である。施設園芸においても、中野・上原⁽³⁾はメロンにおける施用試験を行い、初期生育を良好に維持できることを見だし、基本的には肥料としての消化液の有効性は特に問題はないものと思われる。一方、施設園芸のような小面積での集約的栽培の利用においては、固有の問題がいくつか存在する。例えば施設果菜類のような作物では全施肥量に対して基肥の割合は一般に少なく、生育に応じたきめ細かな追肥の調節が収量や品質に大きく影響する。このため作物の生育中に消化液を正確、簡便に施用できる技術が求められる。消化液はゾル中に固形の発酵残渣物を含み、粘度も高い。成分含有量は一般の化学肥料に比べて少ないことから大量に施用する必要もある。バイオマスプラントは年間を通じて稼働しているため、定期的、周年的な需要があることはメリットである⁽⁴⁾が、それではどのようにして生育中の作物に実用的な方法で消化液を

施用できるかが検討されなければならない。

筆者らは今回、日々の灌水に消化液を希釈、混入して施用する灌水同時施肥栽培を検討した。本法は栽培期間を通して生育をリアルタイムにモニタリングし、必要量の肥料だけを水に混用して毎日、あるいは1日数回の頻度で施用する技術である。この方法で消化液を施用できれば正確、簡便な消化液の施用を周年的に行うことができる。

筆者のこれまでの調査で、キュウリでは期間あたりの葉の増加枚数を調べることによって、当該期間の吸収窒素量を推定することができることが判明した^{(5)・(6)}。これに基づいて灌水同時施肥技術による具体的な施肥管理方法も開発されている^{(7)・(8)}。本法では大面積で均一な施肥を行うことも可能である⁽⁹⁾。灌水同時施肥栽培に使う灌水チューブはドリップチューブ（点滴チューブ）と呼ばれ、チューブに一定間隔に開けられた吐出口から、水圧や水量に関係なく一定量の水が灌水される。吐出口にはエミッターと言われる一種の定流量装置が内蔵されており、水中の夾雑物が詰まりやすい。このため消化液中の粗大夾雑物除去や粘性流体の灌水への混入方法を検討する必要がある。

植物の肥料の三要素は窒素（N）、リン酸（ P_2O_5 ）、カリ（ K_2O ）であり、消化液はリン酸やカリに比べて窒素成分含量が高いため、窒素肥料としての利用が期待される。含窒素成分のうち、イネはアンモニア態窒素を好むが、多くの植物は硝酸態窒素を好むことが多い。消化液が含む含窒素成分は、より分子量の高いものが多く、植物に吸収されるまでに土壌に施用後、アンモニア、亜硝酸、硝酸の順に分解、酸化される必要がある。土壌中でこの反応がスムーズに進み、化学肥料施用時と同等の効果を現すかどうか肥料として重要である。今回はこのような点に注目し、消化液の前処理法や施用方法、栽培試験を行った結果⁽¹⁰⁾の概要をもとに紹介する。

2. 消化液の性状と前処理

本試験に供試する液肥として、厨芥ゴミならびに学校給食残渣を主原料とし、（社）地域資源循環技術センター美浦実験研修センターバイオマス利活用実証プラント（茨城県稲敷郡美浦村）でメタンガス製造副産物として生成する消化液を用いた（第1表）。性状は黒褐色の粘性流体であり、固液分離は完全ではなく未消化の粗大夾雑物や共沈剤による沈殿物を含んでいる。Total-N、K、Pの含有量はそれぞれ0.28、0.04（ K_2O として0.10）、0.05（ P_2O_5 として0.13）%であり、市販されている一般的な液肥と比較して肥料成分は十分の一から数十分の一の濃度である。この消化液をそのまま

灌水に混入し、点滴チューブに通すと、粘質物がチューブやフィルターに固着したり、チューブの吐出孔に詰まりが発生したりするなどして短時間のうちに使用不可能になってしまう。これを防止するためには、概ね0.2 mm 目合いのフィルターを通過できない夾雑物はあらかじめ除去されなければならない。このため、事前に消化液に含まれる粗大夾雑物を磨砕あるいは除去する必要がある。そこで目合い0.2 mmのブラシ洗浄式スクリーンフィルターを改造して濾過装置を試作した（第1図）。この装置では、フィルター本体を倒立して固定し、本来のフィルターのドレイン部分（装置上部）から消化液原液を投入し、スクリーン

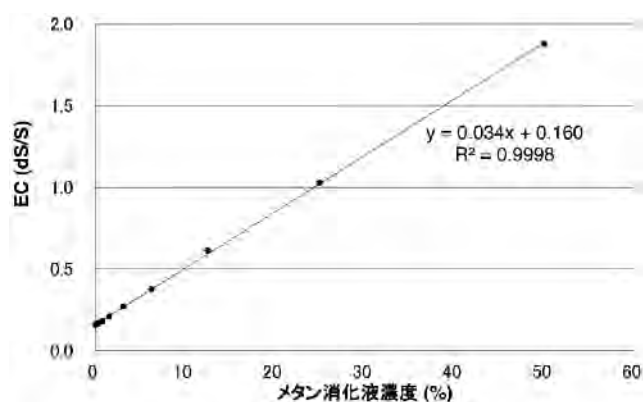
第1表 実験に用いたメタン発酵消化液原液の成分ならびに特性（原液提供：（社）地域資源循環技術センター美浦実験研修センターバイオマス利活用実証プラント）

成分	含有量	単位
NO_3-N	25	$mg \cdot L^{-1}$
Total N	2,841	
Total P	572	
Na	1,714	
Cl	1,843	
K	429	
Ca	751	
SO_4	598	
Cu	22	
Fe	54	
Al	163	
Zn	63	
Mn	24	
Ni	75	
COD	11,652	
全有機体窒素	50-3,000	$mg \cdot L^{-1}$
比重	1.01	-



第1図 メタン発酵消化液濾過装置

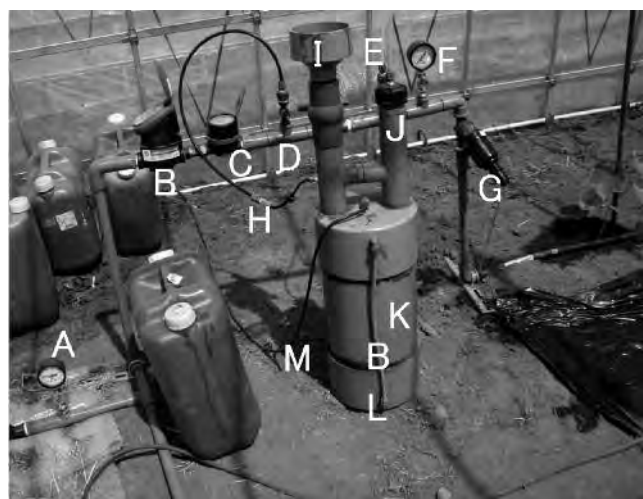
洗浄用のブラシを回転させながら夾雑物を磨砕、濾過して、濾液と残渣に分離することができた。1回の処理で7.5 Lの消化液が処理可能であった。作業速度は作業者の習熟度や消化液の性状にもよるが、10～20 L/h/人程度だった。この装置を用い、新鮮な消化液を用いて残渣量が原液の1/3以下になるまで繰り返し濾過を行った。次に消化液を段階希釈し、消化液のECと原液濃度の関係を求めたところ直線性が得られた（第2図）ことからECを測定することで希釈濃度がわかり、累積施用量を算出することができた。処理前後で成分変化は認められなかったことから、スケールアップにより、ドリップチューブで施用可能な液肥を大量に調製することが可能と考えられた。



第2図 メタン発酵消化液の濃度とECの関係

3. 消化液混入装置

第3図に消化液混入装置の構成を示した。消化液は

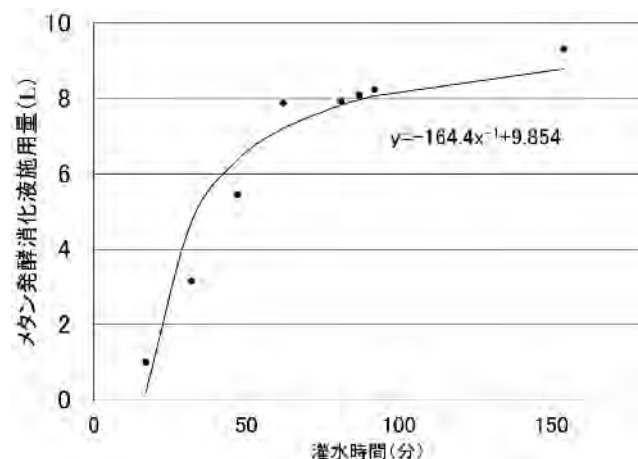


第3図 メタン発酵消化液混入装置

A: 水圧計、B: プログラム灌水タイマー、C: 量水器、D: タンク取水口、E: 消化液混入口、F: 水圧計、G: 0.2mm目合スクリーンフィルター、H: 定流量弁、I: 消化液投入口、J: 消化液送出口、K: 消化液タンク、L: 液量計、M: 排水口

投入口Iから投入され、消化液タンクK（容量15 L）にたくわえられている。灌水ラインはAの水圧計で確認しながら水圧を上限0.3 MPaに設定される。プログラム灌水タイマーBでは、灌水時刻、灌水時間等がセットされている。灌水時間の決定にあたっては、量水器Cをもとに面積あたりの必要水量を推計し適切な時間を求める。このラインから一部の水がタンク取水口Dより分取され消化液タンクに注入される。この間のチューブに定流量弁Hを挟むことにより、灌水ラインの流量の変動を受けることなく一定量を注入することができる。消化液の比重是水より重いため、タンク内で消化液が下層となる。上部から注入された水圧で、消化液混入口Eを経て灌水ラインに混入され、0.2 mm目合いフィルターGを通して送出され点滴チューブに達する。消化液混入量は水圧計AとFの差圧、水量により決定される。フィルターが詰まるなどしてタンクの水圧が上昇した場合、排水口Mからタンク上部の水が排出される。今回の実験では水圧計AとFの差圧を0.08 MPa、平均流量4.3 L/minとして液肥混入後のECを継時的に測定して消化液の施用量を求めた。

通水後、消化液タンクが満水になってから60分後まではほぼ直線的に消化液が灌水に混入された（第4図）が、その後は頭打ちとなった。これは、装置への注水量が増すにつれて消化液が徐々に希釈されて比重が下がり、やがて水と完全に混和したためと考えられた。一方、フィルターには消化液に含まれる固形物の詰まりがみられた（第5図）。事前に濾過装置で処理しているにもかかわらず粗大固形物が生成する原因としては、バイオマスプラントにおける共沈剤の添加も原因の一つと考えられる。このため数日ごとにフィルターを外して洗浄する必要があった。本試験において、この作型のキュウリの適正かん水量150 L/aに相



第4図 メタン発酵消化液のかん水同時施肥における灌水時間と累積施用量の関係



第5図 メタン発酵消化液によるフィルターの詰まり

当する灌水時間は概ね30分程度であったことから、施肥開始後3日程度でタンク内の半量以上の消化液が送出され、その後、濃度を下げつつ残りが徐々に施用されると推定された。なお、容器内の消化液層、水層の挙動を知ることはできないが、灌水時間と消化液施用量の間に逆比例回帰式を当てはめたところ、容量15 Lに対し9.85 L付近で収束する計算式が得られた（第4図）。ただし実際には、2週間後のタンクには十分に透明度の高い液体と沈殿が残存していたことから計算式よりも多くの消化液がタンクから送出されていたとみられる。

4. 消化液を用いたキュウリの栽培

キュウリの栽培においては、肥料切れを起こさないことが管理上、重要なポイントである。一方で一時に大量の肥料を施用すると肥料やけや苦み果の発生などが問題になる。そのため、かん水同時施肥栽培のシステムを用いて、過不足のない量をこまめに与えることは多収を図る上で有効である。「過不足のない量」を推定する手段として、著者らは一定期間での葉の増加枚数（葉数増分）と栽植密度から当該期間に吸収された窒素量を推定し、これに基づいて窒素施肥を行う方法を提案した⁽⁸⁾。第2表にその目安を示した。この方法では2週間に一度、1株あたりの葉の枚数を数え、前回に比べて何枚増加したかを算出し、その栽植密度に応じて当該期間にキュウリに吸収された窒素量を表から読み取る。この量を次の2週間で日割りして施用する。例えば1aあたり182株/aのキュウリが栽培されており、2週間あたり1株で葉が30枚増えた場合、この2週間でキュウリに吸収された窒素量は1aあたり459 gと推定される。したがって理論的には次の2週間で459 gの窒素を補充すれば過不足ない。窒素肥料として尿素を使う場合、尿素的窒素含有率は46 %であるので、尿素1

第2表 キュウリ半促成栽培、夏秋栽培における2週間あたりの窒素吸収量の目安

	上:3.3mあたり株数、下:栽植密度(株/a)				
	3	4	5	6	
	91	121	152	182	
2週間あたり増加葉数(枚/株)	-40	59	5	0	0
	-30	99	59	18	0
	-20	139	112	85	59
	-10	179	165	152	139
	0	219	219	219	219
	10	259	272	286	299
	20	299	326	353	379
	30	339	379	419	459
	40	379	433	486	540
	50	419	486	553	620
	60	459	540	620	700
	70	500	593	687	780
	80	540	647	753	860
	90	580	700	820	941
	100	620	753	887	1021

(g/a/2週間)

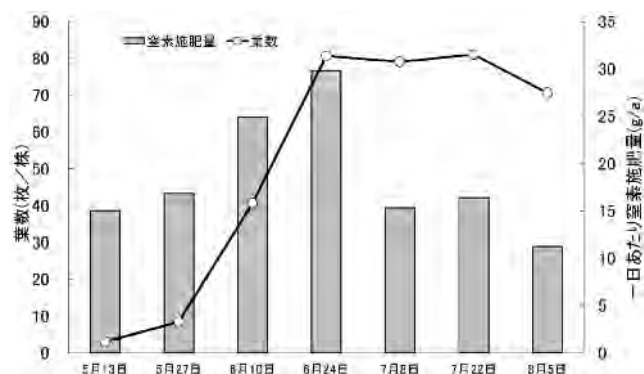
*摘心栽培での目安

*乾土分析によるチューブ直下、かん水直前の硝酸濃度が100mg/100gを越えたら施肥は中断する。

kgを14日で等分して1日1aあたり71 gを施用すればよいことになる。

今回の栽培では2週間ごとに生育中庸な個体5株を抽出して葉数を計測した。施肥方法について、窒素肥料として消化液を使用した区（消化液区）の他、対照として尿素を使用した区（尿素区）を設けた。品種にはキュウリに‘フリーダムハウス1号’、台木に‘ときわパワーZ2’を用いた。2009年5月13日に茨城大学農学部附属フィールドサイエンス教育研究センターのプラスチックフィルムハウスに苗を定植した。畦幅160 cm×株間55 cm（栽植密度101株/a）の栽植様式とした。リン酸、カリなど窒素以外の成分は処理区間で同量になるように単肥を施用した。葉数の計測により算出された窒素施用量を消化液または尿素的必要量に換算し、2週間分、それぞれメタン発酵消化液混入装置に投入し、毎日の灌水に混入して8月5日まで灌水同時施肥を行った。その後、栽培終了前の2週間は、残存した肥料成分を吸収させることを目的として水だけを灌水した。灌水量は、作期を通じて1日あたり150 L/aとした。調査日に消化液タンク内の残液を、各試験区の株元に均等に散布した。なお、2週間あたりの消化液施用量がタンク容量より多い場合は、2回に分けて消化液を施用し、残液を人力で散布した。

第6図にメタン発酵消化液を用いて栽培したキュウリの窒素施肥経過を示した。尿素を施用した場合でもほとんど同じ傾向となった。いずれの処理区においても、葉数は定植後6月24日まで増加、その後は8月5日に減少するまで一定に推移した。収量や総窒素施肥量については処理間で差は認められなかった（第3表）。このほか土壌中の硝酸態窒素濃度、pH、ECについて



第6図 メタン発酵消化液を用いて栽培したキュウリの窒素施肥経過

も両者の間に大きな差は認められなかった（データ略）。尿素、消化液はともに土壤中で無機化し、アンモニウムイオン、亜硝酸イオン、硝酸イオンを経て作物に吸収されるものと考えられるが、これには窒素源と土壤微生物の関係が影響すると考えられる。宮本⁽¹¹⁾は、茶樹での調査により、消化液の硝化速度は硫酸より速いと結論づけている。一方、宮田ら⁽¹²⁾はトマトにおける消化液の利用を検討したところ、アンモニウムイオンの硝化能力が高い畑土壌に比べ、硝化能力が低い培地ではアンモニア過剰害により生育が抑制され、栽培の成否は培地の硝化能力に影響されることを示唆している。今回の栽培では特に生育抑制は観察されなかったことから、施用した消化液は速やかに分解、硝化され、肥料としてキュウリに吸収されたものと考えられた。

神奈川県⁽¹³⁾が示したキュウリ夏秋栽培の施肥基準では、目標収量500 kg/aにおける窒素施肥基準を2.4 kg/aとしている。本試験において、消化液区では窒素1.66 kg/aで1,013 kg/a、尿素区では1.57 kg/aで933 kg/aとなったことから尿差区と消化液区の施肥効率は同等と判断された。

以上のことから本消化液は尿素と同等の肥効を持つ窒素肥料として利用可能であると結論づけられた。ただし土壌に施用後、アンモニアを経て硝化されるため、土壌の硝化能力が低い条件ではアンモニア過剰害

が生じる懸念がある。実用化に当たっては肥料効果そのものよりむしろ、フィルターやドリップチューブ詰まり防止の観点から実用的な粗大夾雑物磨砕方法の開発や、共沈剤の使用を控えるなどの方策を検討する必要があると考えられた。なお、施設栽培では雨水による成分の流亡がないことから、作物に吸収されなかった成分は土壌に集積しやすい。このため今回は調査できなかったが、長期的な連用においてはナトリウムや塩素の集積にも注意する必要がある⁽¹⁴⁾と考えられた。

引用文献

- (1) 帆秋利洋・天石 文・小嶋令一・羽川富夫・大原孝彦. 2005. メタン発酵の研究開発の現状と課題. 大成建設技術センター報. 38: 24-1-24-4.
- (2) 遠藤はる奈・中村 修. 2009. 地域農業振興としてのバイオマス利活用～九州における有機液肥利用の現場から～. JARUS. 96: 15-21
- (3) 中野明正・上原洋一. 2003. 灌水同時施肥栽培におけるコーンステーパーカーおよびメタン消化液の利用がメロンの生育および収量に及ぼす影響. 園学研. 2: 175-178.
- (4) 大土井克明. 2011. メタン発酵消化液の液肥利用体系について. JARUS. 104: 25-30.
- (5) 佐藤達雄・松浦京子・成松次郎・米山 裕. 2005c. かん水同時施肥栽培で栽培した抑制キュウリの解体調査による窒素吸収量推定パラメータの検討. 農作業研究40: 11-16.
- (6) 佐藤達雄・松浦京子・成松次郎・米山 裕. 2007a. かん水同時施肥栽培におけるキュウリの半促成作型での増加枚数による窒素吸収量の推定. 農作業研究42: 69-74.
- (7) 佐藤達雄・松浦京子・高柳りか・米山 裕. 2005d. 抑制キュウリのかん水同時施肥栽培における葉数をもとにした窒素施肥技術. 農作業研究40: 67-72.
- (8) 佐藤達雄・松浦京子・高柳りか・米山 裕. 2007b. 半促成キュウリのかん水同時施肥栽培に

第3表 メタン発酵消化液ならびに尿素を用いた灌水同時施肥栽培におけるキュウリの収量ならびに総窒素施肥量

処理	上物果				下物果		総収量		総窒素施肥量 (kg・a ⁻¹)
	曲がり2 cm未満		曲がり4 cm未満						
	果数	収量	果数	収量	果数	収量	果数	収量	
	(個・a ⁻¹)	(kg・a ⁻¹)	(個・a ⁻¹)	(kg・a ⁻¹)	(個・a ⁻¹)	(kg・a ⁻¹)	(個・a ⁻¹)	(kg・a ⁻¹)	
消化液	8,370	860	700	68	840	84	9,910	1,013	1.66
尿素	8,010	820	690	69	1,010	98	9,710	988	1.57

(1区当たり9株、3反復)

- おける葉数をもとにした窒素施肥技術. 農作業研究42: 4-10.
- (9) 佐藤達雄・古郡 透・高柳りか・米山 裕. 2005a. 葉数にもとづく窒素施肥指標によるキュウリのかん水同時施肥栽培の現地導入効果. 農作業研究40: 73-78.
- (10) 芳野未央子・佐藤達雄・アニ ウィディアストゥティ・加藤 亮・井上栄一・岩田将英・福司健治・岩下幸司・渡辺史生. 201. メタン発酵消化液を用いる灌水同時施肥装置の改良とキュウリへの施用効果. 園芸学研究. 11. 29-35.
- (11) 宮本大輔. 2008. 畜産排せつ物のメタン発酵消化液の茶樹への有効利用技術の開発. 農林水産バイオリサイクル研究－畜産エコチーム－ 2005年度～2006年度. 農林水産省農林水産技術会議事務局. 研究成果第463集. 86-91.
- (12) 宮田尚稔・池田英男. 2006. メタン発酵消化液が養液土耕におけるトマトの生育と果実収量に及ぼす影響. 土肥誌. 77: 619-626.
- (13) 神奈川県環境農政局. 2007. 平成21年度作物別施肥基準. P9.
- (14) 宮田尚稔・池田英男・小畠敬良. 2005. メタン発酵消化液が養液土耕、やしがら耕、ロックウール耕および水耕におけるトマトの生育に及ぼす影響. 土肥誌. 76: 619-627.

特集：バイオマス利用の事業スキーム（民間活力等の取組み）＆バイオマスを用いたカスケード利用について

解 説

日田市バイオマス資源化センターの 取組みについて

日田市バイオマス資源化センター

キーワード：固定価格買取制度、可溶化技術、液肥利用、悪臭対策

1. はじめに

日田市は大分県の西部、北部九州のほぼ中央に位置し、周囲を阿蘇・くじゅう山系や英彦山系の山々に囲まれ、市北部、西部は福岡県、南部は熊本県に接している。

人口は、約70,000人で市域面積666km²の82.8%が林野で占められ、地形は盆地形態の市中心部（標高90m）から市最高峰の釈迦岳（標高1,231m）まで台地や山地が連なり変化に富んでいる。気候は内陸特有の性質を示し、一日の寒暖の差、年間を通しての気温差が大きく、また、雨量も多く、四季の移ろいがはっきりしているのが特徴である。

このような環境のもと、日田市では「水郷（すいきょう）」として古くから水のエネルギー（水車）を利用した精米や小鹿田焼（民陶）の土づくりが行われ、地域特性を活かした自然エネルギーの導入にも積極的に取り組んでいる。また、太陽光発電（12の小中学校、その他3つの施設に設置）、小水力発電3か所、風力発電2基、メタン発酵発電2か所、木質バイオマス発電（民間誘致）といった多種多様な自然エネルギー発電を同一市内で見ることができ、市内のおよそ8割が林野であることや水が豊富なことから、バイオマス資源を活かした循環型社会を構築するため、2005年度にバイオマスタウン構想を策定した。

2006年度にはメタン発酵発電施設「日田市バイオマス資源化センター」を立ち上げ、本格稼働させた。市内全世帯、全事業所は生ごみを分別し、個々の責任において排出しており、広域で徹底的な分別収集を実施している。

2. 日田市バイオマス資源化センターの概要

図1～図3にバイオマス資源化センター全景、バイオマスセンターの流れ、処理フローをそれぞれ示す。バイオマス資源化センター（80t/日）では、生ごみや豚糞尿などの有機物をメタン発酵処理して、発生したバイオガス（メタンガス）で発電を行う施設であり、メタン発酵の消化液の一部は加熱殺菌処理し液肥利用するとともに、固形分は堆肥化を行っている。製造される堆肥は「循環の環（わ）」という名称で1袋（正味重量12キログラム）50円（袋詰め手数料として）で市民一人20袋までとして限定付きで販売され、一般市民に好評である。なお、液肥については無料で配布している。

また汚水は施設内で一次処理後、下水処理場（市浄化センター）で最終処理し、河川に放流している。

図4に平成22年度の月別1日あたりの平均発電量を示す。生産している電力は平成25年10月より固定価格買取制度により電力会社に全量売電を行っている。



図1 バイオマス資源化センター全景

3. 日田市バイオマス資源化センターの特徴

バイオマス資源化センターの特徴を下記に示す。

①品質の異なるバイオマスを効率的・安定的に処理するシステム

バイオマス資源化センターは豚糞尿及び生ごみ、農業集落排水汚泥を原料としており、その比率は概ね6：3：1である。湿式メタン発酵は、固形分濃度8%前後が最も適しているが、固形分濃度の高い生ご

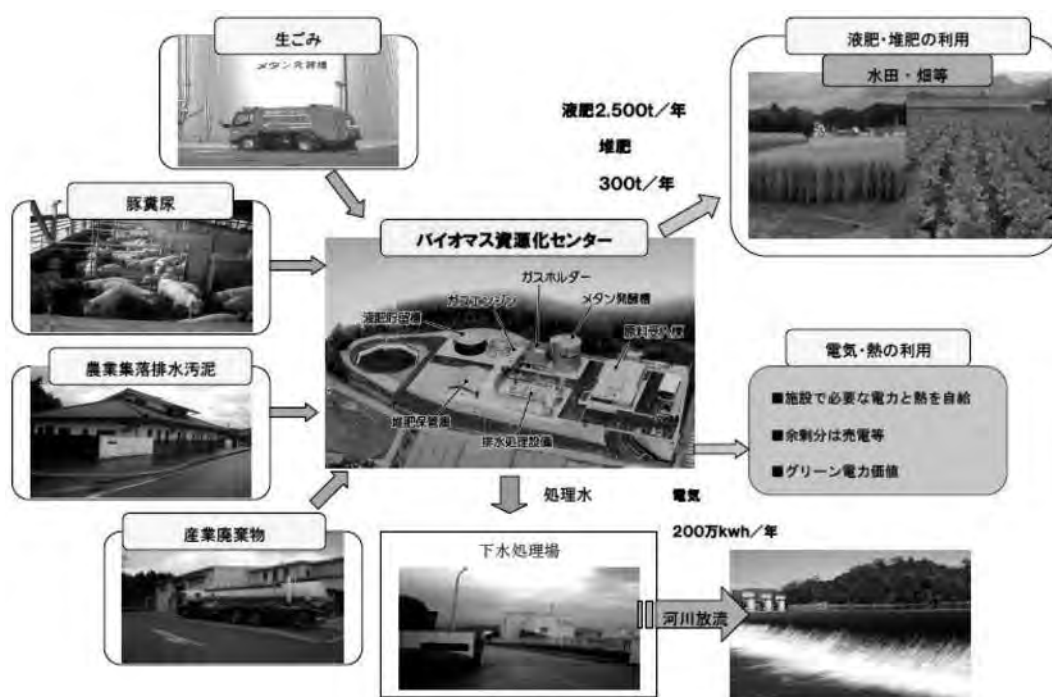


図2 バイオマスセンターの流れ

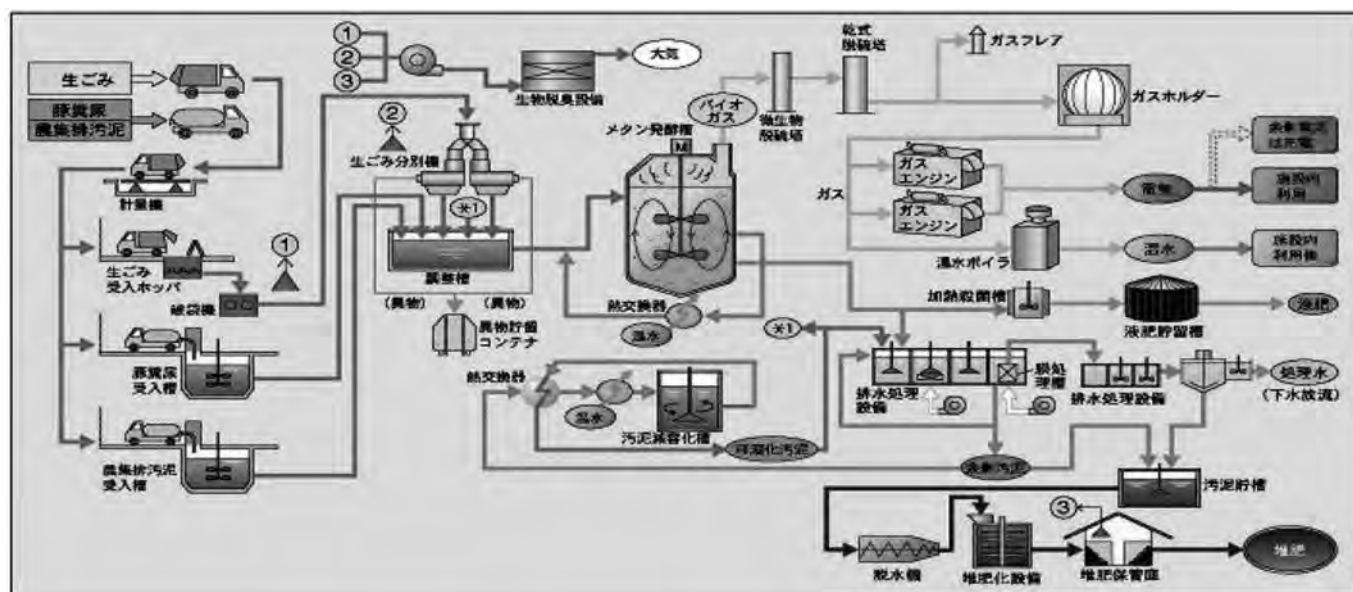


図3 処理フロー

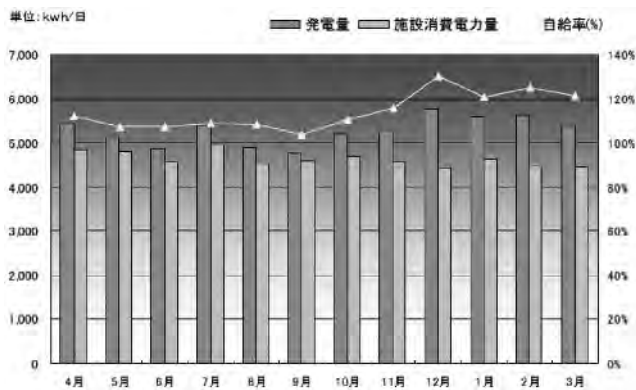


図4 平成22年度（月別1日当たり平均発電量）

みと低濃度の豚糞尿及び農業集落排水汚泥をバランスよく混合することで効率的・安定的に処理できるシステムを構築している。また、豚糞尿に生ごみを混合してメタン発酵を行うと、豚糞尿単独では分解できなかった有機物まで分解され相乗的に発酵効率が良くなるメリットも有する。

②可溶化処理によるエネルギー回収率の向上

バイオマス資源化センターで導入する可溶化技術は、好熱菌の酵素により、分解されにくい細胞壁を解体することが出来るため、他の可溶化処理法に比べ有機物の分解効率を非常に高く維持できる特長を有している。したがって、発生する余剰汚泥を農業集落排水汚泥とともに可溶化処理することでエネルギー回収率の向上が期待できる。また、本市は北部九州有数の畜産振興地域であり、酪農業をはじめ畜産全般から生産される堆肥の円滑な農地利用が重要な課題となっているが、可溶化技術により本施設から発生する堆肥の大

幅な減量化が図られ、結果として、地域における堆肥需給バランスの維持に貢献するものである。

③地域環境対策の徹底

バイオマス資源化センターは、有機性廃棄物を処理・有効利用する施設であるため、特に悪臭に対する地域環境対策を徹底し、地域住民等の信頼の確保を図る必要がある。メタン発酵そのものは、完全に密閉された円槽の中で行われ、悪臭が発生しないため、堆肥発酵法等のバイオマス利活用に比べて悪臭対策が容易であるというメリットを有する。原料受入時等の臭気対策については、設備機器の密閉化及び二重扉の設置等気密性の高い建屋構造に努めるとともに、ブローにより強制的に臭気を吸引捕集している。捕集した臭気は、水処理施設の曝気槽にて微生物処理するとともに、生物脱臭槽にて2次脱臭を行うなど、悪臭発生対策の徹底を図っている。

4. おわりに

バイオマス資源化センターでは、市内で発生する家庭系・事業系すべての生ごみ・食品廃棄物を併せて処理することで事業採算性を確保している点に特長がある。国内でメタン発酵でのバイオマスの利活用を図ろうとする地域は多々あると思われるが、消化液を全量液肥利用できる地域は北海道等ごく限られた地域であり、本施設は水処理設備を有する採算性のとれた先進的施設として整備を図っている。今後も液肥利用等、様々なバイオマスの利活用の可能性を探る試験・実証施設として、施設を最大限に活用していく方針である。

研究紹介

下水汚泥焼却灰と石炭灰の混合物からの 発泡多孔体セラミックスの作製

京都工芸繊維大学 大学院工芸科学研究科

物質工学部門 准教授 竹内 信行

キーワード：石炭灰、発泡多孔体、セラミックス、拡散反射スペクトル、電子スピン共鳴

1. はじめに

わが国において、下水道の普及率は年々増加し、それに伴って下水汚泥の発生量が増加している。下水汚泥は焼却または溶融により、減容される。焼却物や溶融物は主として、セメント原料として再利用されているが、セメント生産量が年々減少しており、再利用率も減少傾向にある。焼却物や溶融物はセメント原料以外に種々の建設材料として再利用されているが、汚泥を焼成するための設備費や燃料費の高騰により、市販品との競合に対して必ずしも優位であるとは限らない。このような現状から、下水汚泥焼却灰（以下、焼却灰と呼ぶ）の有効利用、用途開発のための高機能化が強く望まれている。

一方、石炭灰（以下、FAと呼ぶ）も石炭火力発電所から排出される廃棄物である。東日本大震災以降、原子力発電所の停止により、石炭火力発電所の増設や発電量の増加に従い、FAの排出量も増加している。FAも主としてセメントの原料や建設材料として再利用されているが、排出量の増加に対応するための新規な用途開発が要請されている。

著者らはこれまでに焼却灰焼結体の膨張現象に関して報告してきた^{1)~5)}。FAには約2 mass%の残留炭素を含んでいる。従って、FAを添加した焼却灰を焼結

させた時に、この残留炭素が焼結体内部に残存していた場合、内部でこの残留炭素を起源として、COまたはCO₂が生成して焼結体を発泡多孔体化させることが予想される。発泡多孔体セラミックスは、軽量性や断熱性などの機能を生かした応用が期待できる。ただし、発泡源となる残留炭素が高温まで残存するには、焼成雰囲気の影響が重要である。そこで、本稿では、FAを添加した焼却灰焼結体の発泡多孔体化に及ぼす焼成雰囲気の影響を焼結体中の酸化鉄の化学状態変化から検討した研究を紹介する^{6), 7)}。

2. 実験結果

2.1 見かけ密度と見かけ気孔率の変化

原料として用いた焼却灰は京都市下水道局より提供されたもので生体由来のCaOやP₂O₅を多く含み、着色源となる遷移金属としてFe₂O₃を約9 mass%含んでいる。

一方、使用したFAは、愛知県の中部電力碧南火力発電所から排出され、JIS II種フライアッシュとして市販されているものであり、SiO₂とAl₂O₃で80 mass%以上となり、次に多いのはFe₂O₃で約6 mass%、炭素が1.8 mass%含まれている。

FAを無添加の焼却灰焼結体をFA-0、FA添加量が25 mass%および50 mass%の焼結体試料をそれぞれ、

FA-25、FA-50と表記する。

N₂中焼成したFA-0、FA-25、FA-50の各試料について、焼成温度に対する見かけ密度および見かけ気孔率の変化をそれぞれ図1、図2、図3に示した。

どの試料の見かけ密度も焼成温度の上昇に伴い、減少する傾向が見られた。通常、焼成温度の上昇に伴い緻密化が進行すれば、見かけ密度は増加する。従って、これらの図に示された減少傾向から、焼成温度の上昇に伴い、内部の気孔容積が増加した、すなわち、試料内部のガス発生量が増加したことが推定される。

特にFA-50試料では、1125℃と1150℃で焼成した試料の見かけ密度はそれぞれ、0.57 g cm⁻³、0.72 g cm⁻³と著しく低くなり、水に浮く超軽量セラミックスが作製できた。

図1に示すように、FA-0試料では見かけ密度が最小値を示した焼成温度において、見かけ気孔率がほぼ0%となり、表面が緻密化したことがわかる。これは焼却灰中の残留炭素を起源としてガスが発生して低密度になったと考えられる。ただし、その気孔容積は密度低下から見積もると試料体積の40%以下であり、大きな膨張は観測されなかった。焼成温度がそれより高くなると見かけ気孔率が著しく増加し、内部の気体が外部に放出されて開気孔を形成したことが分かる。

図2に示すように、FA-25試料では1050℃から1100℃に焼成温度が上昇した時、見かけ密度が最小値まで低下し、見かけ気孔率も大きく低下した。これは、FA-0試料の場合と同様に、試料表面の緻密化により内部でガスが発生して膨張したことを示す。ただし、1100℃焼成試料の見かけ気孔率は約20%と比較的大きな値であり、内部で発生したガスが外部に放出されてことを示している。この結果から、1050℃と1100℃の間でさらに気孔率が0%に近くなり、緻密化する焼成

温度があることが推定される。

図3に示す通り、FA-50試料では焼成温度が1125℃において見かけ密度が最小となり、見かけ気孔率も0%に近かった、やはり、他の試料と同様に表面の緻密化により、内部で多量のガスが発生して膨張したと考えられる。1150℃になると見かけ密度と見かけ気孔率の両者ともに増加したことから、内部の一部のガスが放出して開気孔を形成したと推定した。

図1から図3において、見かけ密度の値が最小となる焼成温度がFA添加量の増加に伴い、高温側にシフトしたことがわかる。この原因は、FA量が少ない試料では、FAより低温で溶融する焼却灰の量が多い分、混合物試料全体の溶融温度が低下したためと推定した。

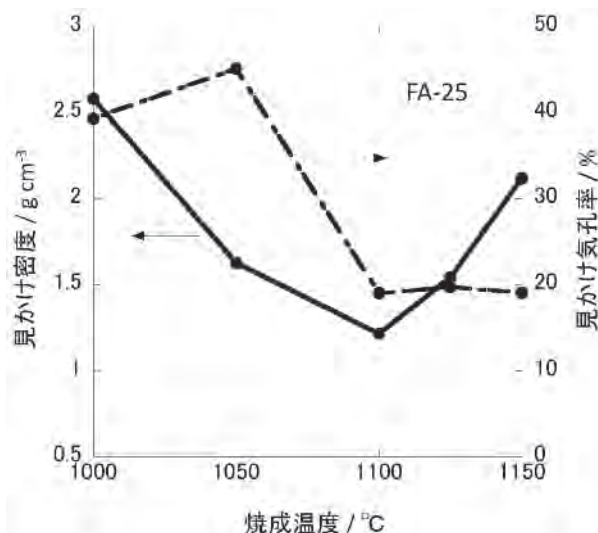


図2 FA-25試料の見かけ密度と見かけ気孔率

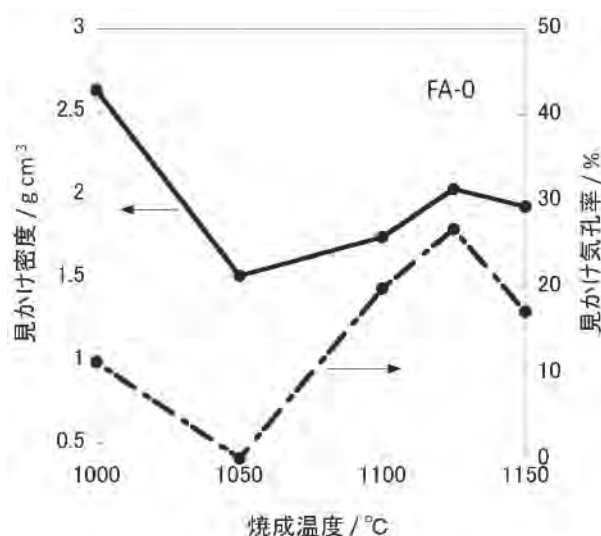


図1 FA無添加試料の見かけ密度と見かけ気孔率

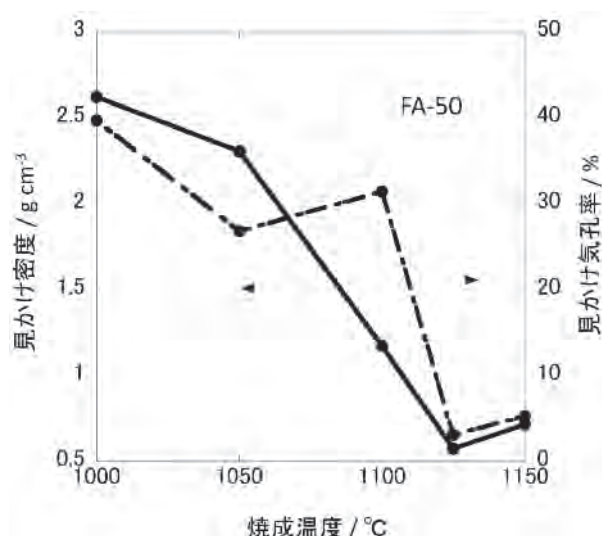


図3 FA-50試料の見かけ密度と見かけ気孔率

2.2 焼成物断面のSEM像

N₂中で焼成したFA 50 mass%試料の断面SEM像を図4に示す。焼成温度の上昇に伴って、試料内部の気孔が大きくなり、1125℃以上では直径200 μmを超える気孔が観察された。この観察結果は先の見かけ密度の結果とよく対応していた。

2.3 見かけ密度に及ぼす焼成雰囲気の影響

図5と図6に、20 mass% FA添加試料を空气中焼成した場合とN₂中焼成した場合のかさ密度および見かけ密度を示す。空气中焼成試料の場合、かさ密度、見かけ密度ともに焼成温度の上昇に伴って低下した。空气中試料と同じ焼成温度で比較すると、N₂中焼成試料のかさ密度および見かけ密度が著しく低かった。特

に、1075℃で焼成した試料の密度が最も低くなり、かさ密度と見かけ密度は、それぞれ0.81, 0.82 g cm⁻³であった。見かけ密度が1 g cm⁻³未満であることは、この試料が水に浮く発泡多孔体セラミックスであることを示す。このように、著しい低密度化が生じたのは、1050℃以上で表面が熔融した後、添加したFAに含まれていた炭素に起因するCOやCO₂が大量に生成して大きく膨張したためと考えられる。空气中焼成でこのような現象が生じなかったのは、試料表面が熔融するまでに、FAに含まれていた炭素が酸化されてほとんど消失したためと考えられる。また、N₂中焼成した試料の場合、1100℃焼成では密度が増加した。これは、1100℃で試料全体が熔融して収縮する時に、内部に大量に生成していた気体の圧力が著しく大きくなり、溶

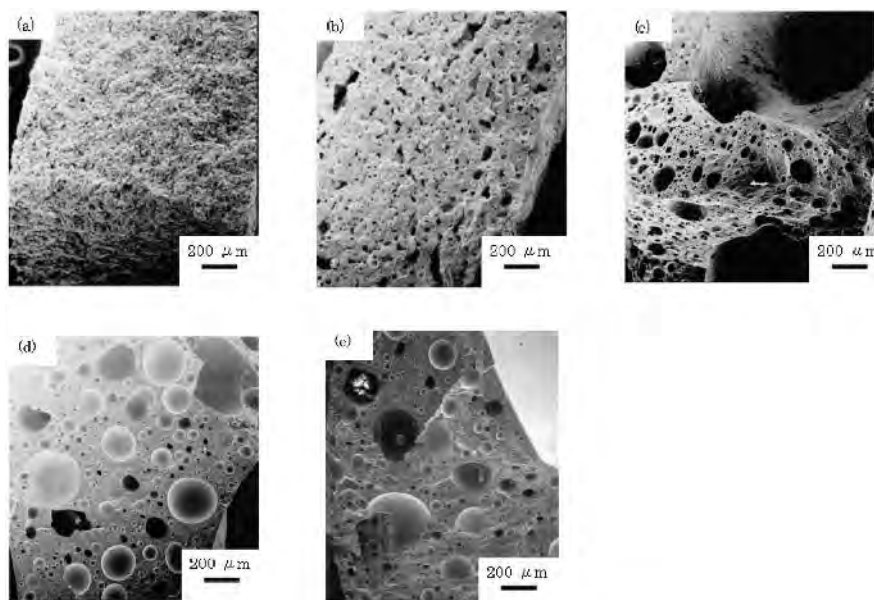


図4 FA-50試料断面のSEM像（焼成温度：(a) 1000℃、(b) 1050℃、(c) 1100℃、(d) 1125℃、(e) 1150℃）

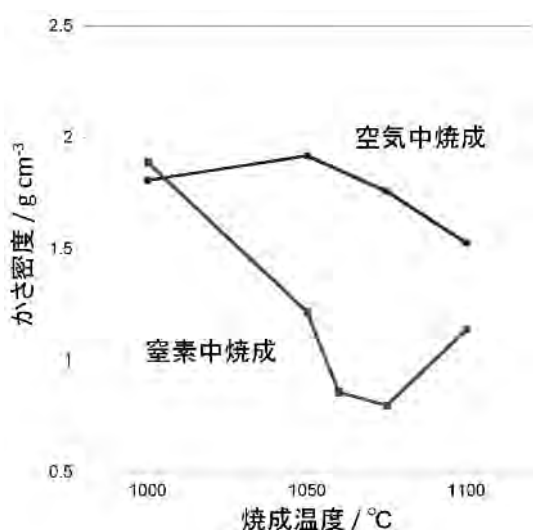


図5 FA-20試料のかさ密度

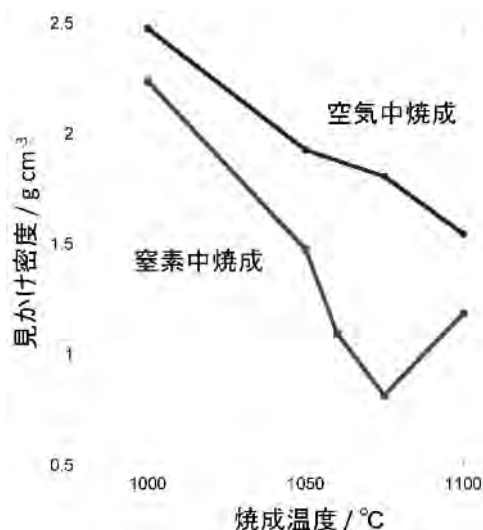


図6 FA-20試料の見かけ密度

融状態の表面から外部に放出されたためと考えられる。

2.4 鉄の化学状態に及ぼす焼成雰囲気の影響

図7と図8に焼成試料の拡散反射スペクトルを示す。空气中焼成試料の場合、600nm以下の幅広い吸収の強度が焼成温度の上昇につれて減少した。これは、焼成試料中の Fe^{3+} が減少したことを示唆する⁸⁾。一方、 N_2 中焼成試料の場合、1000℃焼成試料と1050℃以上で焼成した試料でスペクトルが大きく異なった。1000℃焼成試料では Fe^{3+} に由来する600nm以下の吸収が認められたのに対して、1050℃以上で焼成した試料ではその吸収がほとんど消失していた。これは、1050℃以上で Fe^{3+} の大部分が Fe^{2+} に還元されたことが示唆された。

電子スピン共鳴 (ESR) スペクトルの室温での測定

結果を図9と図10に示す。ほぼ全ての試料について330mT付近に幅広いシグナルが見られた。これは Fe_2O_3 -組成の凝集状態の酸化鉄によるシグナルであり、これは焼成温度が高くなるほど弱くなり、ESR吸収を示す Fe^{3+} が減少したことが分かる⁹⁾。これはどの試料においても、高温では Fe^{3+} は還元されていると考えられる。特に、大きな発泡が生じた試料においてこのシグナルが非常に弱くなり、同時にg値の増加が観測された。これも、 Fe^{3+} の還元を示唆する。また160mT付近の小さなシグナルは遊離状態の Fe^{3+} のシグナルであり、各試料の表面ガラス相中の Fe^{3+} によるシグナルであると考えられる¹⁰⁾。

3. 発泡多孔体化機構について

以上の焼成試料中の鉄の化学状態変化および酸化鉄

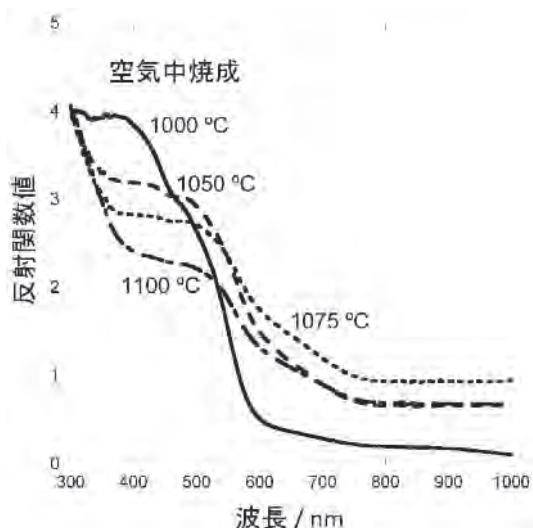


図7 空气中焼成したFA-20試料の拡散反射スペクトル

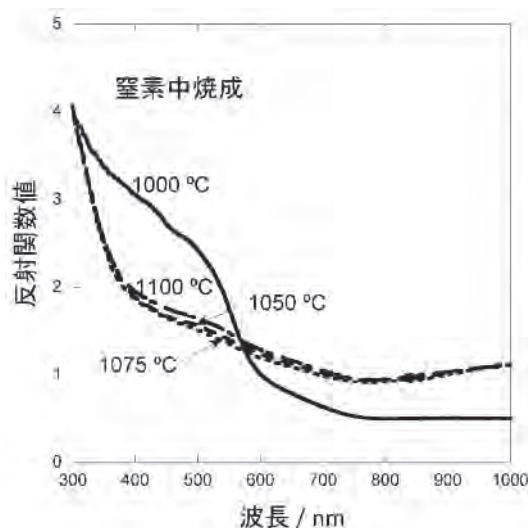


図8 窒素中焼成したFA-20試料の拡散反射スペクトル

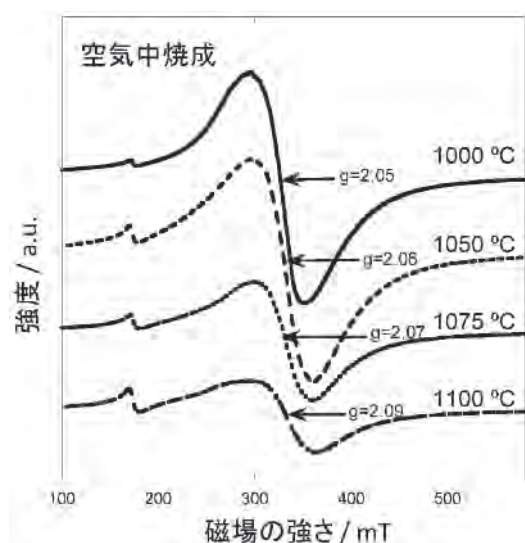


図9 空气中焼成したFA-20試料のESRスペクトル

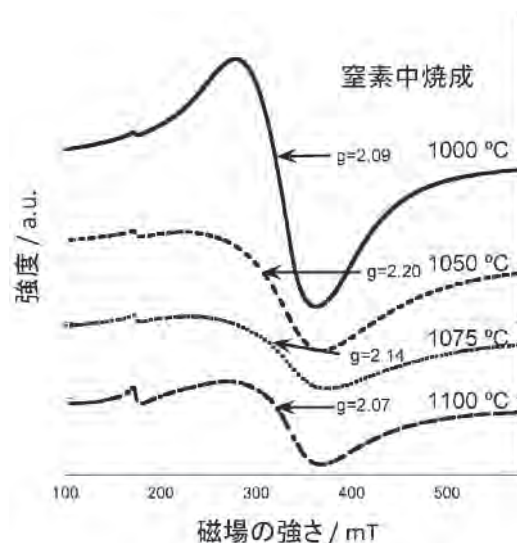


図10 窒素中焼成したFA-20試料のESRスペクトル

を含む粘土の大きな発泡に関する過去の文献11)~14)を参考にして、本研究における石炭灰添加下水汚泥焼却灰混合物のN₂中焼成試料において発泡多孔体化機構に関して次のような推定ができる。

- (1) 1050℃以上で試料表面が熔融した後、試料内部に存在する酸化鉄から酸素が脱離する。
- (2) 生じた酸素により、残留炭素が酸化され、COやCO₂が生成して試料内部に密封気孔が生成する。
- (3) 多数の密封気孔が成長して大きな発泡を引き起こす。

4. おわりに

原料に使用した下水汚泥焼却灰と石炭灰はすべて廃棄物であり、今回作成した発泡多孔体セラミックスは100%リサイクルセラミックスである。ただし、本研究では、窒素雰囲気焼成により、発泡多孔体セラミックスを作製したが、製造現場で焼成炉内を低酸素分圧に精密制御するには、かなりコストがかかると考えられる。今後は空气中焼成でも発泡多孔体を作製できるように、添加物の種類や量、および焼成条件の最適化を進めていきたい。

参考文献

- 1) H. Takahashi, S. Asada, S. Takahashi, S. Ishida, N. Takeuchi and M. Wakamatsu, "Formation mechanism of black core in sintered red brick using incinerated ash of sewage sludge", Journal of the Society of Materials Society, Japan, Vol. 46, No. 7, pp. 834-838 (1997).
- 2) H. Takahashi, S. Takahashi, S. Ishida, N. Takeuchi and M. Wakamatsu, "Influence of firing atmosphere on color of sintered body from incinerated ash of sewage sludge", Journal of the Society of Materials Society, Japan, Vol. 47, No. 6, pp.545-549 (1998).
- 3) N. Takeuchi, H. Takahashi, S. Ishida, S. Takahashi and M. Wakamatsu, "Effect of firing atmosphere on extraordinary expansion of sintered brick from incinerated ash of sewage sludge", Journal of the ceramic Society of Japan, Vol. 107, , No.6, pp.551-554 (1999).
- 4) H. Takahashi, N. Takeuchi, S. Ishida, and M. Wakamatsu, "Oxygen evolution and chemical state change of iron during firing of red clay bodies at low oxygen pressure", Journal of the ceramic Society of Japan, Vol. 108, , No.8, pp.705-709 (2000).
- 5) N. Takeuchi, T. Ohnishi and S. Ishida, "Fabrication of lightweight ceramics from fly ash and incinerate ash of sewage sludge," Journal of the Society of Inorganic Materials, Japan", Vol. 13, pp. 408-412 (2006).
- 6) N. Takeuchi, T. Nakano, H. Kobayashi, T. Yanagida, N. Kubo and T. Ryo, "Fabrication of Lightweight Ceramics by Firing the Mixtures of Incinerated Ash of Sewage Sludge and Fly Ash in Nitrogen Atmosphere", Journal of the Society of Inorganic Materials, Japan", Vol. 19, pp. 180-185 (2012).
- 7) N. Takeuchi, Y. Okamoto and H. Kobayashi, "Fabrication of Foamed Porous Ceramics from Mixtures of Fly Ash and Incinerated Ash of Sewage Sludge", Journal of the Society of Materials Society, Japan, Vol. 62, No. 6, pp. 353-356 (2013).
- 8) M. Wakamatsu, N. Takeuchi, O. Maung, S. Ishida and K. Imai, "Influence of kiln atmosphere on color and sintering properties of red clay containing iron", Yogyo-Kyokai-Shi, Vol. 93, No. 7, pp. 349-356 (1985).
- 9) S. Ishida, Y. Fujimura, K. Imai, N. Takeuchi, O. Maung, and M. Wakamatsu, "ESR study of a red clay containing iron in high concentration and its fired bodies", Yogyo-Kyokai-Shi, Vol. 92, No. 6, pp. 366-371 (1984).
- 10) N. Wakamatsu, N. Takeuchi and S. Ishida, "Effect of furnace atmosphere on color of iron glaze", Journal of Non-Crystalline Solids, Vol. 95 & 96, pp. 733-740 (1987).
- 11) F. Sandrolini and C. Palmonari, "Role of iron oxides in the bloating of vitrified", Transaction of the British Ceramic Society, Vol. 75, pp.25-32 (1976).
- 12) K. J. D. MacKenzie and C. M. Cardile, "A Fe Mossbauer study of black coring phenomenon in clay-based ceramic materials", Journal of Materials Science, Vol. 25, pp.2937-2942 (1990).
- 13) X. Elias, "The formation and consequences of black core in ceramic ware", Interceram, No. 3, pp. 380-384 (1980).
- 14) V. Beltran, A. Escardion and F. Negre "Formation of black core during the firing of floor and wall tiles", Interceram, No. 3, pp. 15-421 (1988).

研究紹介

下水道の資源・エネルギー循環利用技術の普及展開に関する取組み

国土交通省 国土技術政策総合研究所 下水道研究部 下水処理研究室

大 西 宵 平
山 下 洋 正
田 隼 淳
釜 谷 悟 司

キーワード：資源・エネルギー化技術導入検討、下水汚泥固形燃料化、消化ガス発電

1. はじめに

下水道事業で使用される電力は、我が国の総電力消費量の0.7%を占め、自治体が実施する公共事業の中でも温室効果ガスの排出量が比較的多いとされている。平成24年8月31日に閣議決定された第3次社会資本整備重点計画（平成24～28年度）では、下水道分野においても低炭素・循環型社会の実現に向けて未利用・再生可能エネルギーの利用や省エネの促進に関する指標として、H28年度末までに下水汚泥エネルギー化率（＝ガス発電等エネルギー利用された下水汚泥の有機物量）／（下水汚泥中に含まれる有機物量）を約29%、下水道に係る温室効果ガス排出削減量を約246万t-CO₂／年とすることが掲げられている。

下水道資源は集約性・安定性に優れた資源として見直されており、図-1の下水汚泥有効利用の経年変化が示すように、建設資材利用、緑農地利用等、様々な形態で下水汚泥は活用されている。しかしながら、下水汚泥のエネルギー利用技術の一つである下水汚泥固形燃料化技術が下水汚泥リサイクル率に占める割合はH24年度末で2%以下、消化ガス利用を考慮した下水汚泥エネルギー化率はH22年度末で約13%であり、全国の下水処理場が有するポテンシャルを考えると多くの下水道資源が有するエネルギーが未利用

となっており、更なるエネルギー化技術の導入が求められている。

ここでは、国土交通省国土技術政策総合研究所下水道研究部（以下、国総研）の下水処理場における資源・エネルギー化技術の普及促進にむけた研究事例を紹介する。

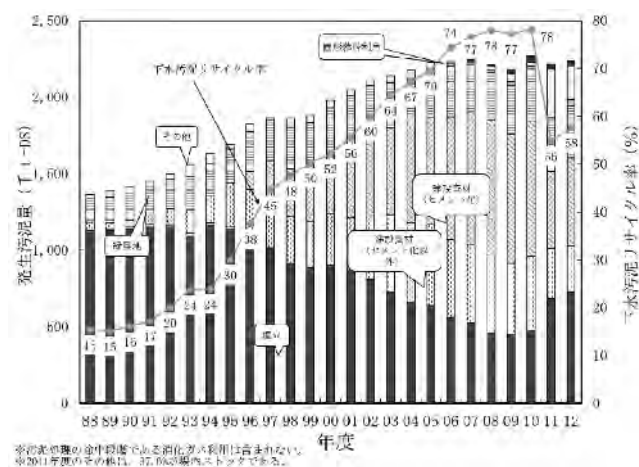


図-1 下水汚泥有効利用の経年変化

2. 下水道の資源・エネルギー循環利用技術の課題

下水道の資源・エネルギー循環利用技術の現状及び課題を把握するため、既に実施中の複数の下水道資源・エネルギー有効利用事業について分析した結果、下水道に関する資源・エネルギーの有効利用事業は図-2に示すように、大きく3つの主体（資源提供者、下水道事業者、有効利用者）によって実施されており、事業特性によって概ね以下の①～④の4つの領域に分類することができる。

- ①他の事業者が下水処理場へ生ゴミや刈草などのバイオマス資源等を提供し、下水汚泥と混合処理し、資源化・エネルギー化を図るような場合
- ②下水処理場で製造した資源・エネルギーを他の事業者が下水汚泥固形燃料や汚泥消化ガス燃料として利用するような場合
- ③下水処理場で製造した資源・エネルギーを処理場内で利用するような場合（消化ガスを消化槽加温用ボイラー燃料として利用する事業など）
- ④上記の①と②を組み合わせた事業であり、外部からバイオマス資源を受け入れ、混合処理により回収した資源・エネルギーを他の事業者が利用するような場合

また、上記の4つの領域のうち①、②の領域については、関係者が複数に及ぶことから、下記に示すような課題を有する場合が多い。（④の領域では両方の課題を含む）

a) ①の領域における主な課題

- ・廃棄物の処理及び清掃に関する法律に基づく運搬業の許可

資源提供者が排出する生ゴミ、食品残渣、刈草などのバイオマス資源の運搬に関しては、「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」の適用に留意する必要がある。収集するバイオマス資源が一般廃棄物または産業廃棄物とみなされる場合は、収集運搬業の許可を有する業者が搬入する必要がある。

- ・行政他局との調整

生ゴミなど一般家庭から排出されるバイオマス資源

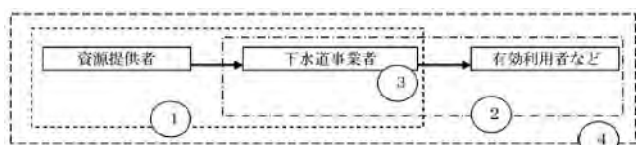


図-2 下水道の資源・エネルギー利用事業の領域図

（一般廃棄物）を収集し混合処理する場合は、当該自治体の環境部局（一般廃棄物行政）と、ごみ処理全般に係る方針について調整する必要がある。特に、家庭からの生ごみ収集量の変化は、ごみ焼却施設の運転条件への影響が懸念されることから、将来の施設整備計画についても考慮する必要がある。また、生ごみの収集経路がごみ処理施設から下水処理施設へ変更となるため、下水処理場周辺の住民の処理場へのごみ集約に対する理解を得ることが必要な場合もある。

b) ②の領域における主な課題

- ・ニーズの変化の的確な把握

下水処理場の資源・エネルギーを外部において長期的かつ安定的に有効利用していくためには、周辺地域のニーズに合致させていくことが重要である。ニーズは周辺地域の状況や経済環境によって変化していくことから、日頃から利用者側と情報交換を行うなどにより、ニーズの的確な把握及び製品の品質確保などに取り組む必要がある。

3. 下水汚泥の資源・エネルギー化技術に関する概略検討の手引き（案）の策定

資源・エネルギー化技術の導入を検討する際に自治体の下水道事業者が重要視する項目や導入する技術の効果を整理・把握し、その後の予備検討を円滑に進めることを目的として、下水汚泥の資源・エネルギー化技術に関する概略検討の手引き（案）（以下、本手引きとする。）を策定した。また、対象下水処理場の規模・条件を入力することで事業実施可能性とコスト、GHG排出量削減効果、エネルギー消費量削減効果を概略試算できる汎用的な表計算ソフトウェアを用いた検討補助ツールを開発した。

3.1 手引き及び補助ツールの目的、内容

本手引きは、汚泥固形燃料化事業、バイオガス利用事業、リン資源化事業の予備検討段階（計画立案、基本構想、基本計画）にある地方自治体の下水道事業者を対象としている。以下に本手引きの目的を示す。

- ・下水処理場における課題の把握、基本構想（導入目的、適用可能技術検討等）、基本計画（技術面、経済面での概略検討等）、必要な手続きの確認について、検討すべき項目を記載し、各種技術の導入検討を広く促すこと
- ・基本設計発注前に下水道事業者が自ら技術導入時のコスト、GHG排出量削減効果、エネルギー消費量削減効果を試算し、各種技術の導入効果を（大まかではあるが）定量的に把握できるようにすること

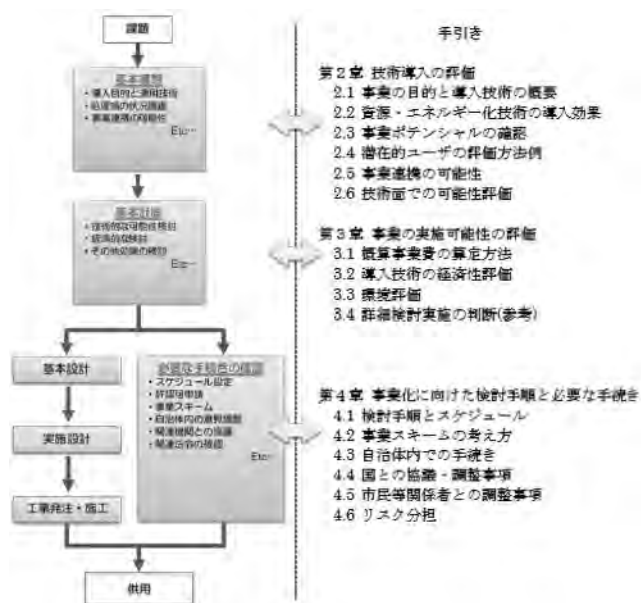


図-3 資源・エネルギー化技術導入の意思決定フローと手引きの内容との対応

3.2 本手引きの構成

本手引きは、下記の章から構成される。

- ・第1章：手引きの位置付け
- ・第2章：導入技術の評価
- ・第3章：事業の実施可能性の評価
- ・第4章：事業化に向けた検討手順と必要な手続き
- ・参考資料：各種申請書類の様式、先行事例の紹介、収益性評価手法など。

図-3に、資源・エネルギー化技術の導入に係る意思決定フローと本手引きの対応を示す。

使用者は、第2章で導入対象下水処理場の課題と導入技術の概要・目的を整理し、必要な調査項目を整理

する。

次に第3章で、事業の実現可能性を評価する。事業の評価項目としては、対象技術の事業費、環境への影響（温室効果ガス排出量、エネルギー消費量）、事業継続性等がある。本手引きでは判断の一助として、図-4のように評価項目を点数で重み付けし総合的に判断する方法を参考として紹介しているが、各自治体を取り巻く社会的情勢等によって、経済性、環境性、事業継続性などの評価項目のどれを重視するかは異なるため、重み付けの方法及び結果の解釈は使用者自らが判断することとしている。なお、概算事業費、環境影響（温室効果ガス排出量、エネルギー消費量）を概略で把握するための一助として、「下水汚泥の資源・エネルギー化技術に関する概略検討の手引き（案）検討補助ツール（以下、補助ツールとする。）」を無料ダウンロード可能としており、検討の際に活用することができる（補助ツールの詳細については後述）。

技術導入の検討を継続すると判断した場合、事業化に向けた検討手順と必要な手続きの調査、整理を行う。第4章では、検討手順とスケジュール、事業スキーム、関係法令、各種手続き等事業化を進める際の留意点の参考となる内容を示している。

なお、本手引きは、資源・エネルギー化技術導入検討の初期に下水道事業者で使用されることを目的としているため、通常、設計コンサルタントなどに設計業務委託を行うことが想定される基本設計、詳細設計等については言及していない。

3.3 補助ツールの活用

自治体の下水道事業担当者のみでは事業導入時のコスト、GHG排出量、エネルギー消費量を算出するこ

技術概要 (フロー図)	既存施設の改善・更新			新技術の導入		
	評価項目	満点	検討結果	点数	検討結果	点数
	① 経済性	50	806.7(百万円/年)	34	415.1(百万円/年)	50
	② GHG排出量	20	3,484(t-CO2/年)	0	-1,542(t-CO2/年)	20
	③ 事業継続性	20	焼却灰埋立地が2018年に容量オーバーにより使用不可能となるため、代替地を確保する必要あり	5	PF方式採用により、製造した面影部材は20年間近隣火力発電所で使用予定。	20
	④ 安全性(防災面)	5		0	被災時には、消化ガス発電による非常電源として使用可能。消化槽は非常時に汚泥貯留が可能。	5
	⑤ 維持管理性	5	施設数が少なく、維持管理が容易。	5	高濃度還流水へによる水処理への影響。運転管理の煩雑さが増大。	0
	計	100		44		85
評価	経済性、GHG排出量削減効果など重視される評価項目において、新技術導入案よりも劣るため、不適とする。			※	評価項目のほぼ全てにおいて、優位である。また、消化槽の新設により地域バイオマス受入の可能性も見込める。	

図-4 導入判断の重み付け配点結果（参考例）

A. 現況施設の改築・更新		エネルギー化	
		検討施設1	検討施設2
対象施設	下水処理施設	消化槽	バイオガス精製設備
設計	標準設計に準拠	1	1
基準		1.00	1.00
建設費 総年費	自給可能なエネルギー 供給能力(%)	消化槽(標準設計) 1.00	消化槽(標準設計) 1.00
	エネルギー削減率(%)	12.1	12.1
	削減率(%)	12.1	12.1
	削減率(%)	12.1	12.1
	削減率(%)	12.1	12.1
維持管理費	自給可能なエネルギー 供給能力(%)	12.1	12.1
	エネルギー削減率(%)	12.1	12.1
	削減率(%)	12.1	12.1
	削減率(%)	12.1	12.1
	削減率(%)	12.1	12.1
総合コスト	自給可能なエネルギー 供給能力(%)	12.1	12.1
	エネルギー削減率(%)	12.1	12.1
	削減率(%)	12.1	12.1
	削減率(%)	12.1	12.1
	削減率(%)	12.1	12.1
合計		488.5	627.8

図-5 検討補助ツール入力画面

とが難しい場合に活用できるように、補助ツール及び操作説明書を作成した。補助ツールは、Microsoft Excelで操作可能となっており、対象技術を選択し、図-5の入力画面に処理場条件を入力すると、コスト、GHG排出量削減効果、エネルギー消費量削減効果を概略ではあるが把握することが可能となっている。これにより、例えば図-6のように、設備更新時に建設費だけではなく、維持管理費を含めた評価を簡便に行うことが可能となる。

なお、本検討で紹介した手引き及びツールは、国土交通省 国土技術政策総合研究所 下水道研究部 下水処理研究室ホームページからダウンロード可能である。

4. おわりに

少子高齢化、自治体の財政収縮、電力需要の逼迫といった様々な課題に対して、低炭素・循環型社会への貢献のため、下水道事業にも大きな期待が寄せられている。

国総研では、本稿で紹介した研究の他、革新的技術の実証、普及により下水道事業におけるコスト削減や再生可能エネルギー等の創出を実現することを目的として、下水道革新的技術実証事業（B-DASHプロジェクト）に取り組んでおり、平成26年には、下水汚泥固形燃料化、下水熱利用、リン回収・利用、窒素除去等の技術分野に関して、新たにガイドラインを公表した。また、国交省下水道部においても、「下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン（案）」の改訂作業が行われており、下水汚泥を用いた省エネ・創エネ技術のさら

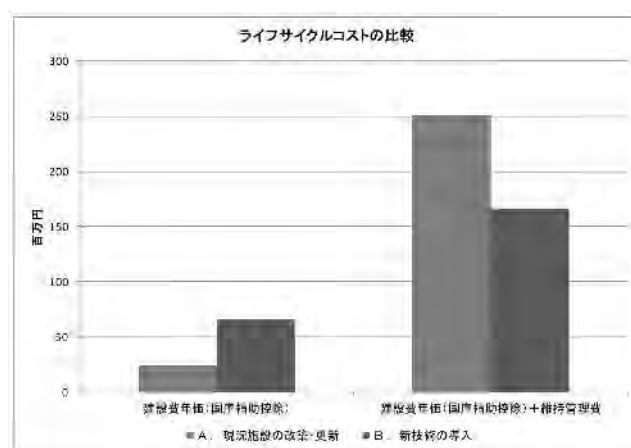


図-6 コストの算出例（参考）

なる普及展開が図られていく。

将来にわたって持続可能な下水道事業を構築し、良好な自然環境、水資源を次世代に繋いでいくため、今後も資源・エネルギー化技術の普及・促進に努めていく所存である。

参考文献

- 1) 社団法人日本下水道協会：平成23年度版下水道統計。
- 2) 国交省 都市・地域整備局下水道部：バイオソリッド利活用基本計画策定マニュアル，2006。
- 3) 国交省 都市・地域整備局下水道部：下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン（案），2011。
- 4) 国交省 都市・地域整備局下水道部：下水道におけるリン資源化の手引き，2011。

Q & A

デスポーザーによる有機性資源の回収について

キーワード：混合メタン発酵、直接投入型デスポーザー、処理槽付デスポーザー

Q1 下水汚泥と他の有機性廃棄物を混合メタン発酵し、メタンガスを発電に利用する事例が増えているようです。生ごみを集約する手段としてデスポーザーを利用している事例はありますか？

A1 家庭の台所や事業所の厨房から発生する生ごみ等を破碎し、排水とともに排出するデスポーザーは居住空間や搬出経路における悪臭や害虫の発生を防ぎ、ごみ出しの手間が無くなるなど便利なものです。2011年12月時点の調査結果によると全国445の地方公共団体で下水道に接続と認めており、何らかの制限を行っている団体が440団体、特に何も規定していない地方公共団体は364団体となっています。

2011年から黒部市では下水道バイオマスエネルギー活用施設を稼働し、直接投入型デスポーザーを導入されています。この施設は市内の農業集落排水施設と浄化槽からの汚泥、事業系食品廃棄物、デスポーザーによって収集された生ごみと下水汚泥を混合メタン発酵してバイオガスを取り出し、消化槽の加温、消化汚泥の乾燥や発電として利用し、また消化汚泥の乾燥物は肥料登録の上、富山県内の花卉生産農家に販売されています。

Q2 デスポーザーを導入する場合に下水道施設としてどのような検討を行えば良いのでしょうか？

A2 現在日本で利用されているデスポーザーには2つのタイプがあり、一つは生ごみを粉碎処理し、粉碎物をそのまま下水道に流す「直接投入型デスポーザー」と生ごみを粉碎処理した後に専用の排水処理槽で処理し下水道に流す「処理槽付デスポーザー」があります。

「処理槽付デスポーザー」は下水道へ流入する有機質負荷が増大しないことを基本としたシステムとして（公社）日本下水道協会が性能、構造等を標準化し、型式製品として規格適合評価や製品認証を進めています。このシステムの場合、家屋や建物毎に設けられる処理槽に汚泥が貯留されることになり、定期的に引き抜き運搬・処理・処分することが必要になります。こ

のため混合メタン発酵に用いる場合には運搬方法の検討が必要になります。

一方、直接投入型デスポーザーについては、2005年7月に国土交通省より下水道管理者向けの技術資料として「デスポーザー導入時の影響判定の考え方」が作成されホームページに公表されています。

この資料では、デスポーザー導入時の影響として、下水道システムへの影響のみならず、ごみ処理システムへの影響、市民生活への影響、環境への影響と経済性等について総合的に判定するために必要な検討内容が示されており、具体的には生ごみ量の調査方法や既存の調査研究から明らかになっている原単位、各種の影響推定方法や判定手順等が示されています。

Q3 デスポーザーを導入することによる市民のメリットにはどのようなものがありますか。

A3 一般的に言われているメリットとしては、家庭ごみの分別作業が軽減され、軽量化や減量化によりごみ出しの負担軽減、屋内に生ごみをためないことによる衛生面での改善、ごみ収集場でのカラスの被害や悪臭の防止が挙げられています。また地域の積雪時におけるごみ出し労力の軽減にも有効であると言われています。

Q4 下水汚泥と生ごみを混合メタン発酵した場合、メタン発生量にはどの程度効果があるのでしょうか？

A4 直接投入型デスポーザーにより生ごみを下水処理場へ集約する場合には流入汚水量の増加はわずかであり、流入汚濁負荷量は増加すると考えられています。流入下水中の生ごみ由来のSS分は沈降しやすく、ほとんど最初沈殿池の汚泥となるため、消化槽への投入濃度が高まるとの報告があります。土木研究所でメタン発酵特性を確認するために行った実験では消化ガス発生ポテンシャルは、投入VS当たり0.62m³/kgVSと下水汚泥だけの場合よりも高い値を示しました。また、発生する消化汚泥の量は、生ごみの消化率が高いことを考慮すると、その増加割合は小さいと考えられます。

比較対象として生ごみを分別回収し下水処理場へ運搬し集約する方法を想定した場合、複数の都市の下水汚泥および野菜や生ごみのメタン転換率について調べた結果からは、野菜や生ごみのメタン転換率0.8程度、下水汚泥が0.6程度であったことから、取り扱う下水汚泥量と生ごみ量の割合によっても効果は異なりますが、一定のガス発生量の増加は見込まれると考えられます。

食品廃棄物のうち家庭系の再利用割合は約6%と取り組みが遅れている現状にあり、既存インフラ施設として下水道が整っている地域では、地域の実情や再利用資源の利用可能性を考慮しながら、生ごみの再生利用に下水道システムを有効活用する方策を検討することが期待されます。

(土木研究所リサイクルチーム 津森ジュン)

参考文献

- 森田ら (2013) 全国のデスポーザー導入状況と導入地域の実態、第50回下水道研究発表会講演集、502-504
- 西田 (2014) 黒部市下水道バイオマスエネルギー活用事業について、再生と利用、38-143、14-21
- 国土交通省 (2005) デスポーザー導入時の影響判定の考え方、
http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha05/04/040727_.html
- 落 (2001) 下水道への厨芥受入が汚泥の嫌気性消化に及ぼす影響、土木技術資料、47-7、52-57
- 津森 (2014) 下水道施設を利用した下水汚泥および有機性廃棄物の有効利用に関する土木研究所の研究最前線、38-143、38-45
- 環境省 (2014) 今後の食品リサイクル制度のあり方について (とりまとめ (素案))、
http://www.env.go.jp/council/03recycle/y031-10/syoku10_01.pdf

現場からの

声

名古屋市における下水処理水の再利用の現状と今後について

キーワード：下水処理水、下水再生水、ささしまライブ24地区、費用負担

1. はじめに

名古屋市の下水道事業は、大正元年の供用開始から平成24年11月に100年の節目を迎えました。先人の財産を受け継ぎ、さらなる100年を見据えて、安心・安全で安定した下水道事業の継続を目指し、引き続き努力しているところです。

本市の下水道資源の活用の歴史は、古くは昭和8年より乾燥污泥から「名古屋産活性污泥肥料」を生産したことから始まり、最近では日本版次世代MBR技術展開プロジェクト（以下、「A-JUMP事業」という。）として導入した嫌気・無酸素・好気型膜分離活性污泥法（以下、「A₂O-MBR法」という。）による高度処理水を非灌漑期の庄内用水（農業用水路）に供給しています。これまで、本誌の「現場の声」の中で下水道資源の活用事例として、下水沈砂や下水污泥のリサイクル、空見スラッジリサイクルセンターを紹介してきましたので、本稿では下水処理水の再利用について紹介します。

名古屋市上下水道局 技術本部計画部
技術開発室

杉江 享

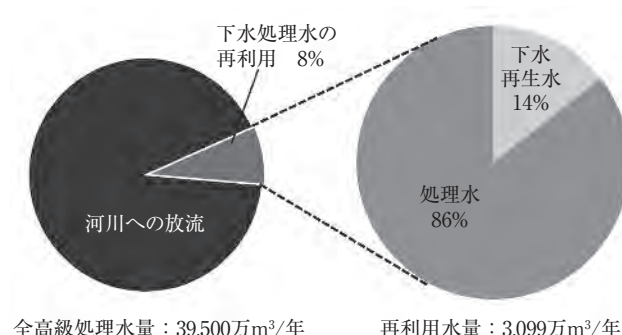
2. 下水処理水再利用の現状

下水処理水の再利用は水資源の有効利用の観点から、反応タンクの消泡用水（写真－1）、污泥焼却炉の排ガスの洗浄用水、工業用水の原水や河川等の水環境改善のための水源などとしての利用を行っています。再利用には、下水処理水をそのまま利用する場合（以下、「処理水」という。）と下水処理水をさらに高度に処理して利用する場合（以下、「下水再生水」という。）の二通りの利用形態があります。

下水処理水の再利用率は、平成24年度実績として全高級処理水（高度処理水含む）の8%（3,099万m³）です（図－1）。



写真－1 反応タンクの消泡用水



全高級処理水量：39,500万m³/年

再利用率：3,099万m³/年

図－1 下水処理水の再利用状況（平成24年度実績）

3. 主な利用用途の詳細

1) 水処理センター等での利用：年間利用量2,650万 m^3 （平成24年度実績）

15箇所の水処理センター（1箇所は全面改築中）では、処理水を反応タンク内の消泡用水、せきや沈砂池等の洗浄用水として利用しており、工業用水の原水や下水管清掃用水としての利用も含めて、平成24年度は1,540万 m^3 を利用しています。

また、3箇所の汚泥処理場（集約汚泥処理場）では、処理水を焼却炉排煙洗浄用水、脱水機などの機器洗浄用水、汚泥の希釈用水として、平成24年度は1,110万 m^3 を利用しています。

2) 水環境改善のための利用：438万 m^3 （平成24年度実績）

昭和63年度からアメニティ下水道事業として、下水処理水をさらに高度に処理をする施設の設置を行い下水再生水の利用を開始しました（写真－2）。平成24年度末現在5箇所で稼働しています。下水処理水をさらに高度に処理する設備として、凝集沈殿、砂ろ過、活性炭、精密ろ過（MF）膜、逆浸透（RO）膜などがあり、利用目的に応じた施設を設置しています。

河川等の維持用水としての利用量が一番多く、H24年度は433万 m^3 を利用しています。

4. 最近の事例紹介

1) 水環境の改善を目的とした事例

平成21年度にA-JUMP事業として守山水処理センターに導入した A_2O -MBR法による高度処理水を、非灌漑期には通水停止により水の流れが無くなる庄内用水の新たな水源として、灌漑期には堀川の水質浄化の



図－2 河川維持用水

ために供給しています（図－2）。供給水は、生物処理（ A_2O 法）によりBOD、窒素、リン等の除去を行い、精密ろ過（MF）膜によるろ過工程を経たのち供給されています。この供給水は修景用水としての水質基準（下水処理水の再利用水質基準等マニュアル 平成17年4月 国土交通省作成）を遵守し、平成24年度に約117万 m^3 を送水しています。

本事例は、名古屋市内における水環境の改善を促進することを目的に進められた事業です。実施にあたっては、河川管理部局と覚書を交わし費用負担を明確にしています。

2) 市民開放施設での利用を目的とした事例

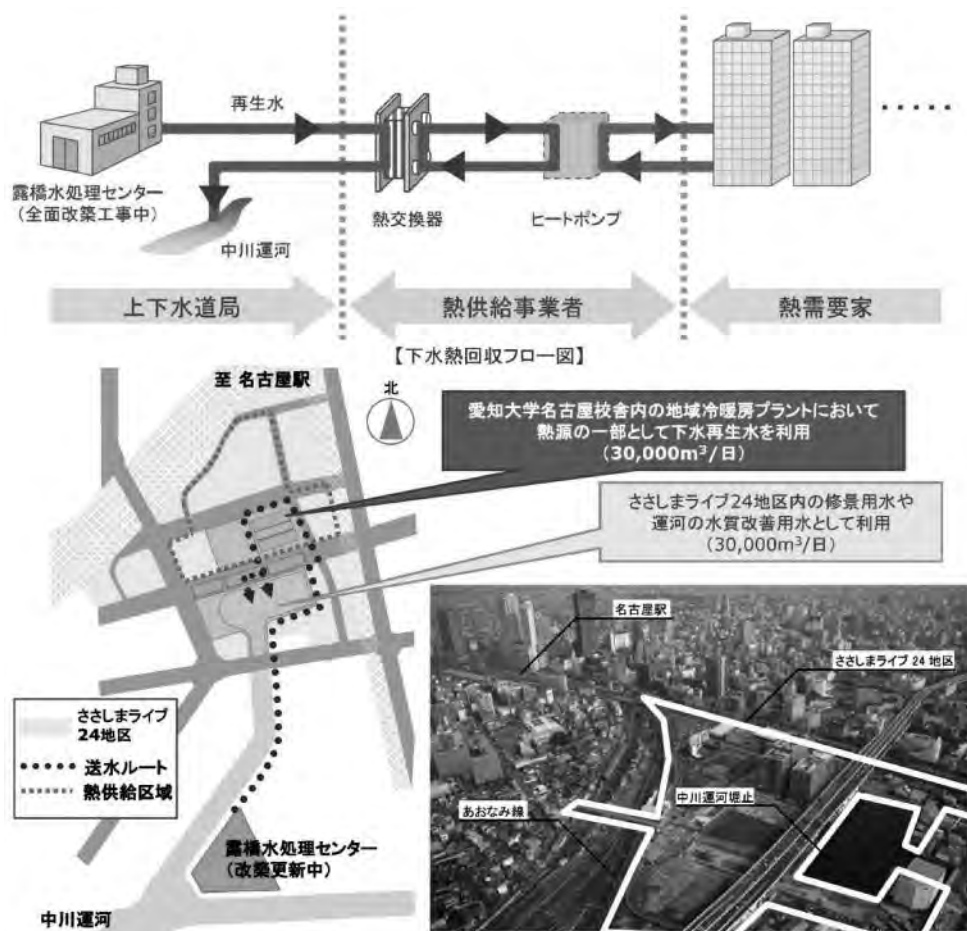
平成23年度より市民開放施設として、柴田水処理センターの高度処理施設（ A_2O 法）の上部に「みどりの清流苑」を設置しました。その施設内のせせらぎ、壁泉、植栽への散水、トイレへの利用を目的として、 A_2O 法による高度処理水を利用目的ごとにMF膜



写真－2 修景用水



写真－3 せせらぎ用水



図ー3 ささしまライブ24での下水再生水利用（国土交通省資料より）

(50m³/日) 処理またはMF膜 (50m³/日) + RO膜 (30m³/日) 処理を行った下水再生水を利用しています。平成24年度は9,100m³を供給しています（写真ー3）。

3) 今後の予定

露橋水処理センターは、現在、全面改築工事を行っており、完成後は同センターで高度処理（A₂O法+砂ろ過）された下水再生水を「ささしまライブ24地区」（以下、「ささしま地区」という。）へ、1日あたり30,000m³を送水する計画が進められています（図ー3）。

ささしま地区は、名古屋駅の南側に隣接する旧国鉄笹島貨物駅跡地の約12.4ヘクタールと中川運河掘止周辺を含む地区を指し、名古屋市の土地区画整理事業による大規模な再開発が進められています。この事業は、名古屋大都市圏の玄関口にふさわしい魅力と活気に満ちたまちづくりのための道路・公園などの土地基

盤整備を行っています。

送水される下水再生水は、環境に配慮した潤いある都市空間の創出（せせらぎ等）、隣接する中川運河の水質改善及び民間の地域冷暖房事業者に対する熱源の一部として利用される予定です。

5. まとめ

名古屋市では、名古屋市上下水道構想「みずの架け橋」の事業方針の一つとして、健全で安定した水循環を守ることを掲げています。このような方針の基に、下水道資源の有効利用に取り組んでおり、下水処理水の再利用はその一端を担うものです。今後とも、持続可能な事業としていくために、より一層の効率的な維持管理に取り組み、潤いのある環境づくりを目指します。

文献紹介

下水汚泥を施用した土壌への重金属の蓄積とインゲンマメ (*Phaseolus vulgaris* L.) 各器官への重金属の移行

Accumulation and Translocation of Metals in Soil and Different Parts of French Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Amended with Sewage Sludge
Vinod Kumar & A.K.Chopra
Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 92 103-108 (2014)

下水汚泥は、窒素リン酸カリなどの栄養素や有機物の供給源として関心を集めており、化成肥料の代替えとして農業現場で使われている。しかし、重金属も含まれているため、その利用には土壌や作物への蓄積が懸念される。インゲンマメ (*Phaseolus vulgaris* L.) は、マメ類の中でその収穫面積は大きく、乾燥子実生産のために30,411,204h (第2位)、緑色野菜 (サヤインゲン) としては1,526,663ha (11位) と世界的に重要な作物であるが (FAOSTAT 2011)、下水汚泥施用に関する知見はほとんど無い。そこで本論文の筆者らは、下水汚泥の配合率を変えて土壌に施用し緑色野菜としての *P. vulgaris* (var. Annapurna) を収穫期まで栽培することで、可食部である莢実への重金属の蓄積と移行を解析し、検討した。

供試土壌への下水汚泥の配合割合は0%、20%、40%、60%、80%、100%とし、0%を対照区とした。配合後10kgをポット (30×30cm) に充填し、*P. vulgaris* の種子を各ポットに10粒播種し4反復で栽培した。作物体と各土壌について、鉄 (Fe)、亜鉛 (Zn)、カドミウム (Cd)、銅 (Cu)、クロム (Cr) と鉛 (Pb) の重金属濃度を測定した。

下水汚泥はpH8.96、EC20.9dSm⁻¹と供試土壌 (pH7.35、EC2.63dSm⁻¹) よりも高く、硝酸とリン酸濃度、有機炭素量 (OC) は供試土壌の3～15倍、重金属濃度 (硝酸357、リン酸216、Fe20、Zn11、Cd10、Cu19、Pb9.3、Cr8.6mgkg⁻¹) 8～113倍と供試土壌よりも高かった。そのため、各試験区の土壌pHは配合率60～100%で対照区より有意に高くなった。また各試験区の土壌EC、硝酸とリン酸濃度、OC、各重金属濃度は下水汚泥配合率と正の相関がみられた。

作物体については下水汚泥配合率40%で *P. vulgaris* の茎長、根長および収量が有意に増加した。茎長、根長、バイオマスおよびクロロフィル量は下水汚泥配合率20%～40%では増加し、下水汚泥配合率60～100%で減少傾向を示した。高い汚泥配合率でクロロフィル

量が減少したのは重金属の干渉が原因だと思われる。

汚泥配合率が高くなると *P. vulgaris* の各器官の重金属濃度は高くなり、下水汚泥配合率40%以上では、*P. vulgaris* の各器官の重金属濃度は対照区よりも有意に高かった。*P. vulgaris* で濃度が高かった順はFe>Zn>Cd>Cu>Cr>Pbであった。

FeとZnが最も高い器官は葉 (配合率100%で、12.88と9.66mgkg⁻¹) で、最も低いのは莢実 (8.36と5.44mgkg⁻¹) であった。FeとZnの器官別濃度は葉>茎>根>莢実であった。Cdが最も高い器官は茎 (3.01mgkg⁻¹)、最も低いのは莢実 (1.88mgkg⁻¹) であり、茎>根>葉>莢実であった。CuとPbが最も高い器官は茎 (2.66と0.12mgkg⁻¹)、最も低いのは莢実 (0.87と0.02mgkg⁻¹) であり、茎>葉>根>莢実であった。Crが最も高い器官：根 (0.56mgkg⁻¹)、最も低いのは莢実 (0.41mgkg⁻¹) であり、根>茎>葉>莢実であった。Fe、ZnとCuは光合成に関連しており、FeとZnの濃度が葉で高かったのは光合成を担う器官であるため葉に多く移行した結果と考えられる。Cdについては、下水汚泥施用による土壌pH上昇が *P. vulgaris* のCd吸収に影響を及ぼしたと考えられる。また、*P. vulgaris* が茎にCdを蓄積させることで他の器官にCdを移行させないため莢実Cd濃度が低下した可能性がある。Crについては、Crは植物に対して有毒であり必須要素でないことから植物はCrを輸送する特定のメカニズムを有していない可能性があり、根の液胞にCrが隔離されたためではないかと考えられる。さらに、全ての重金属について最も蓄積が少ない器官が莢実であったのは、胚乳には移行に必要な導管や篩管がないことが原因と思われる。なお、Cd以外の莢実の重金属濃度はFAO/WHOの許容限界を下回っていた。

以上の結果より本論文の著者らは、土壌に負荷をかけることなく *P. vulgaris* の最大収量を得る下水汚泥配合率は40%としている。今回取り上げた重金属6種はそれぞれ異なる化学的性質を有していたため、それぞれに特有の蓄積様式がある。本論文の著者らは、重金属が植物の根から他の器官へ移行する様式を個別に明らかにすることは、重金属汚染を生物学的モニタリングする目的に適うだけでなく対象とする重金属を蓄積するあるいはそれに耐性がある植物種を選択する際に非常に有用であるとしている。

(農業環境技術研究所主任研究員 杉山 恵)

文献紹介

藻類バイオ燃料生産プロセスを組み込んだ下水処理に関するモデル

Ivy L.C. Drexler, Caryssa Joustra, Ana Prieto,
Robert Bair, Daniel H. Yeh

Water Environment Research, Volume 86,
Number 2, P163-176

1. 概要

本研究では、動的多変量マスバランスモデルのAlgaeSimを開発し、フロリダ州タンパ市の下水処理場に光バイオリアクターを組み込むことで下水からの藻類バイオマス生産を行うことについて検討した。このモデルによって、藻類の増殖及び基質除去速度の観点や、バイオマスからバイオプロダクトへ変換することに関するマクロ経済的分析の観点から、藻類培養と下水処理の相乗効果を調査した。

2. モデル化した下水処理場

フロリダ州タンパにあるハワード・F・カレン・アドバンスト下水処理場（以下HFCA下水処理場と略称、3段式生物学的窒素除去処理）をモデル化した。

この処理場で用いられている生物学的窒素除去処理は、以下の3段階の処理で構成されている。

- ①純酸素を用いたBOD除去（浮遊生物処理後に沈殿処理）
- ②散気式曝気による硝化（浮遊生物処理後に沈殿処理）
- ③無酸素フィルターにメタノールを加える脱窒（付着型）

なお、処理水量は平均で約205,000m³/日で、処理水は最終的に塩素処理及び脱塩素処理されて放流される。

リン除去プロセスは特に設置されていない。プラントの概要を図1に示す。

BODと窒素を別個の反応槽で逐次的に処理しているのは、この処理場が放流基準の変遷に対応しながら数十年に渡って整備拡張されてきたことに起因する。

なお、消化槽や汚泥処理、ベルトプレス脱水機の返流水は、このモデルには含まれていない。

3. 検討方法

一般に、下水及び汚泥は、栄養塩類に富むが光の透過性が低く、また、汚泥等の細菌が藻類を捕食すれば汚泥からの藻類の分離も困難となるため、藻類光バイオリアクターに直接下水や汚泥を投入するのは適切でない。一方、沈殿池では濁度が低下するが、大多数の生物学的窒素除去プロセスでは栄養塩類が大幅に減少している。

モデル化したHFCA下水処理場ではBOD除去と窒素除去を別個の反応槽で逐次的に行っており、各反応槽の後段にはそれぞれ沈殿池が設置されているので、モデルでは、2つの藻類バイオリアクターを設け、それぞれ沈殿池No.2と沈殿池No.3の越流水を藻類培養の原水とした。これにより透明度が高く固形物が少なく、かつ栄養塩類の豊富なポイントを藻類光バイオリアクターに提供できた。BOD除去後と硝化後の污水中の主な栄養塩類は、それぞれアンモニア及び硝酸であるため、アンモニアを好む藻類種と硝酸を好む藻類種を別個の光バイオリアクターで培養することができるという好条件にもつながった。

AlgaeSimモデルはシステム構成の柔軟性が高いこ

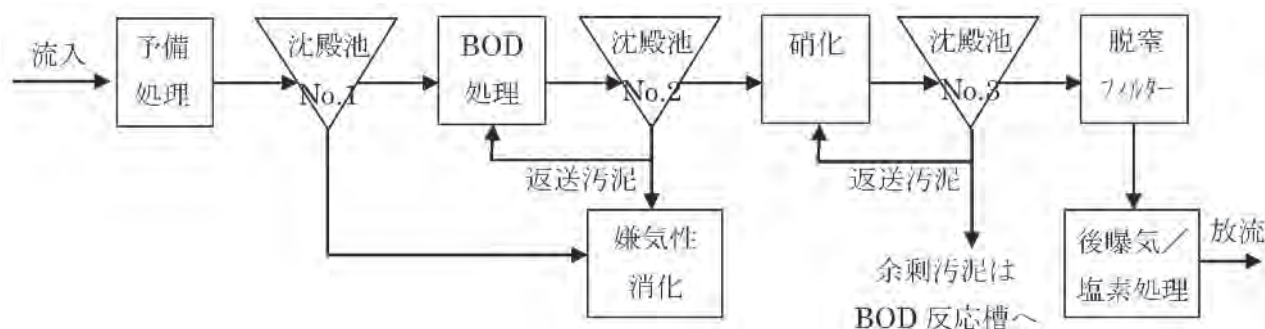


図1 HFCA下水処理場の処理フロー

とからSTELLA (ver 9.1.3 (2009))で構築した。STELLAでは、処理システム構成要素の関係性を直感的に図形操作で構築してモデルを作成する。このソフトウェアパッケージ単体で炭素、窒素、リン、バイオマスのマスバランス及びマクロ経済的アウトプットを同時に観察することができた。

4. 結果とまとめ

藻類と下水処理を統合したモデルAlgaeSimによって、藻類バイオリアクターを下水資源回収施設に組み込むことがマスバランス的に実現可能であることが示された。特定の条件下では二酸化炭素とリンが制約条件になりうるが、一般的には下水中には藻類の増殖に適切な濃度で栄養塩類と二酸化炭素が存在した。

このモデルの感度分析により、藻類を下水に適用して相乗効果を得る場合に重要となる項目を整理した。最も敏感な生物学的変数には、飽和定数、比増殖速度、バイオマス収穫の頻度と収穫量が含まれていた。栄養塩類の同化は生産係数に依存し、藻類の種類や培養環境にも左右されるようであった。このため、化学量論に基づいて基質の除去量を予測する場合にはC:N:Pの比率を測定し確認することが、重要であった。

このモデルは、他の様々な下水処理場で藻類生産の適用性を評価するツールにもなる。モデルは高い柔軟性を持っており、幅広い現場及び様々な条件に適用でき、市場の変化にも対応できる。

複数の経済的変数を同時に操作するとシミュレーション結果が大きく変化する可能性がある。下水の特性や気候、設備効率、市場価格は地理的に様々であるので、これら感度の高い敏感な変数についてベンチスケールもしくはパイロットスケールで正確に確認することが重要と思われる。

このモデルは多少の制約はあるが、栄養塩類循環とエネルギー循環の輪を閉じる手段として下水処理と藻類生産の潜在的パートナーシップを理解する最初の重要な一步である。下水は栄養塩類、水、エネルギーの潜在的な供給源である。藻類はその生態から、下水を資源に効率的に転換する有力な候補である。本研究ではマスバランス手法で、プロセスの実行可能性と今後の課題を示し、将来行うケーススタディを評価する枠組みを作成した。研究が進み技術がさらに効率的になれば、このモデルにそれらを織り込むことが可能である。

(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

圧力スイング法を利用したバイオガスからのメタン分離・精製技術

吸着技術工業（株）

泉 順

キーワード：PSA-バイオガス精製装置、メタン吸蔵容器、ゼオライト、CO₂吸着剤

1. まえがき

近年、国のバイオマスエネルギー有効利用促進政策を受け、畜産廃棄物発酵メタンガス、生ごみ発酵メタンガス、下水汚泥消化ガスなどのバイオガスを一般産業向け燃料、ガスエンジン等の燃料に使用する技術が注目されている。

下水汚泥消化ガスや生ごみ発酵メタンガスなどのバイオガスやごみ熱分解ガスをガス発電などの手段で有効利用する場合、前処理設備により硫黄化合物（H₂S、COSなど）、ハロゲン（塩素、フッ素など）ならびにその化合物、有機珪素（シロキサンなど）などの微量有害物質を化学吸収法や活性炭吸着法などにより除去することが必要である。

化学吸収法によるH₂S除去設備は、一般的に大規模処理場において採用されるが、小規模設備においては建設費が高く、更に設置スペースも大きくなる傾向にある。

また、吸着法（活性炭）によるシロキサン除去設備においては吸着剤（活性炭）を3ヶ月に1度程度交換する必要がありランニングコストが高く、活性炭交換のため設備を2系統設置するため設置スペースが大きくなる欠点がある。

同じく、固定床脱硫法（鉄系酸化物）によるH₂S、メチルメルカプタン除去設備においては脱硫剤（鉄系酸化物）を3ヶ月に1度程度交換する必要がありランニングコストが高く、またシロキサン除去と同じく脱硫剤交換のため設備を2系統設置するため設置スパー

スが大きくなる欠点がある。

そこでH₂Sやシロキサンなどの微量有害物質を吸着するゼオライトを利用したVPSA（真空式圧力スイング吸着法）により、低コストかつコンパクトなバイオガス精製設備を開発するとともに、バイオガス中のCO₂を吸着するゼオライトを利用し、バイオガス精製とCO₂除去によるガスカロリーアップ（燃料化）を同時に行う技術を開発した。

VPSAについては酸素製造、燃焼器排ガスからのCO₂回収等で実績があるが、汚泥処理プロセスから放出される消化ガスに関する気相吸着法による①CH₄-CO₂分離、②シロキサン、③メルカプタン除去については未検討である。（H₂Sについては地熱発電プラントから放出される不凝結ガスの脱硫で検討は既に行われているが、実用化はされていない。）

この為本報では、PSA-メタンに使用する、①CH₄-CO₂分離用吸着剤、②H₂S吸着剤の紹介に続いて、PSA-メタンの概要について記述する。

これにつづいて、筆者等がPSA-メタンの付帯設備として利用している、活性炭系メタン吸蔵剤を使用して1 MPa-G未満の高圧ガス保安法に抵触しない低圧で、メタンを充填してユーザーサイトに運搬する、活性炭系メタン吸蔵容器についても紹介する。

2. PSA-メタン分離・精製用各種吸着剤の選定

2.1 CO₂吸着剤

図-1a)に筆者らが使用しているNa-K-A型（以下Na-K-A）及びLi-X型ゼオライト（以下Li-X）のCO₂濃

度35vol%におけるCO₂吸着量を示す。図-1a) に示すようにSiO₂/Al₂O₃比2.0のLi-X (Li-LSX) がNa-K-Aに比べ、より大きなCO₂吸着量を示す。同じく、図-1b) に示すCO₂/CH₄分離係数の評価では、Na-K-AがLi-LSXに比べ、より大きなCO₂/CH₄分離係数を示す。ゼオライト系親水性吸着剤の中でLi-LSXが最も大きな吸着強度を持っており、このため非常に大きなCO₂吸着量を示すこととなる。しかし吸着強度強いだけに、メタンの共吸着も大きく、塔後方の高濃度メタン域でのメタン共吸着による、メタン回収率の低下が避けられない。一方Na-K-Aは、窓径を3.8Å程度に調整されたA型ゼオライトで有り、分子直径3.2Å程度のCO₂は吸着するが、分子直径が4.2Å程度のメタンは、殆ど吸着しない。このため、メタン共吸着の抑制を優先する塔後方ではNa-K-Aの使用が考えられる。

コンパクトなCO₂吸着塔を優先する場合はSiO₂/Al₂O₃比2.0のLi-LSXが望ましく、より大きなメタン回収率を優先する場合はNa-K-Aが望ましいこととなる。このため、CO₂吸着時のメタン共吸着によるメタン損失が無視できる、低濃度メタン域の塔前方部にLi-LSXを充填し、メタン共吸着によるメタン損失の大きい塔後方にNa-K-Aを充填する部分充填を行うことも試みられる。

なお、これらのデータは室温で計測したものであるが、CO₂吸着量は50℃で室温の75%程度、100℃でも50%を維持しており、PSA-メタンは60℃程度の高温

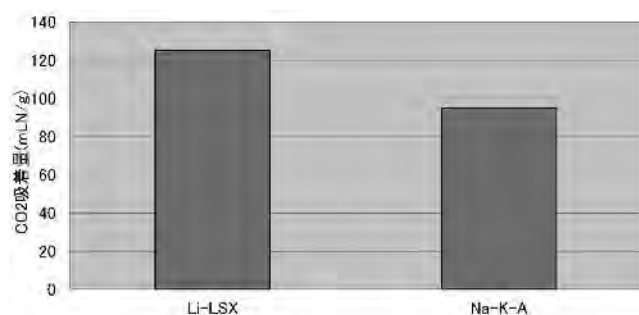


図-1a) CO₂吸着量
CO₂濃度35vol%
温度25℃



図-1b) CO₂/CH₄分離係数
CO₂濃度35vol%...

までの適用は可能である。

2.2 H₂S吸着剤

図-2に筆者らが評価した、H₂Sの吸着量を示す。図-2に示す様にUSYのH₂S吸着量が最も大きく、これに、シリカライトが続く。(H₂S濃度1vol%、吸着温度25℃) 同じシリカ系化合物でもシリカゲルのH₂S吸着量は小さい。これは本吸着量の評価が水蒸気共存下で行われたため、親水性のシリカゲルでは、水分吸着によりH₂Sの吸着が阻害されたものと思われる。又吸着に伴い吸着剤の表面に元素硫黄の析出が確認されており、長期に亘る使用は困難と思われる。シリカゲル、γ-アルミナ等の親水性吸着剤は、かなりのH₂S吸着量を有するのではあるが、吸着剤の表面への元素硫黄の析出が発生する。元素硫黄の生成が親水性吸着剤に認められることから、吸着剤細孔内のOH基が触媒活性点となってクラウス類似反応 (3.1式参照) が進行するものとも思われる。

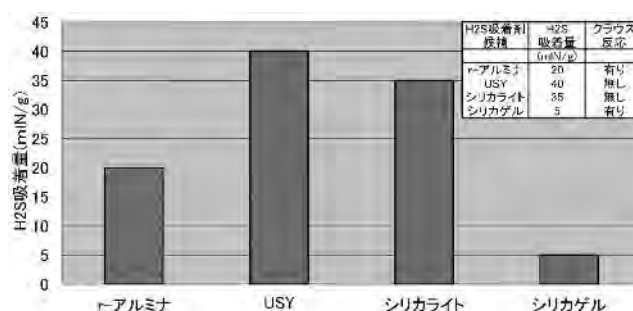
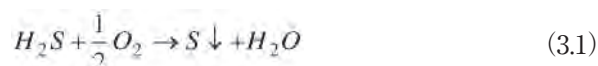


図-2 各種吸着剤のH₂S吸着量

筆者等は、クラウス類似反応の抑制を行うため高シリカゼオライトのSiO₂/Al₂O₃比を100以上として、触媒活性点の消失を図りH₂S吸着剤の性能確保を行っている。実績的には、バイオガス中H₂S濃度が200ppm以下であれば、塔最前方部に充填されたH₂S吸着剤により塔後方に充填された、水分吸着剤、CO₂吸着剤のH₂Sによる劣化は認められない。

しかし、H₂S濃度が200ppmを超える場合は、通常の脱硫装置同様、鉄系酸化物を充填した固定床脱硫を前置して、PSA-メタンの性能の長期維持を行うことが望ましい。

なお、USY (SiO₂/Al₂O₃比を100以上) を使用すると、H₂Sと同時にメチルメルカプタンと有機硫黄化合物、各種VOCの吸着除去が可能となる。

2.3 シロキサン吸着剤

図-3a)、b) に筆者らが評価した、入口シロキサン

濃度80ppmにおける、代表的シロキサンであるヘキサメチルシロキサンとデカメチルシロキサンの吸着量を示す。図-3a)、3b)に示す様にUSYのヘキサメチルシロキサンとデカメチルシロキサン吸着量が最も大きく、これに、MCM-41が続く。シロキサンの除去には、活性炭系固定床が用いられているが、PSAまたはVPSAに本シロキサン吸着剤を充填使用するとPSAまたはVPSAによるメタン精製時に、CO₂、H₂S、CH₃SHと同時にシロキサンも除去されることとなる。

3. VPSA-バイオガス分離精製装置

筆者等が製作した、真空再生型圧カスイング法

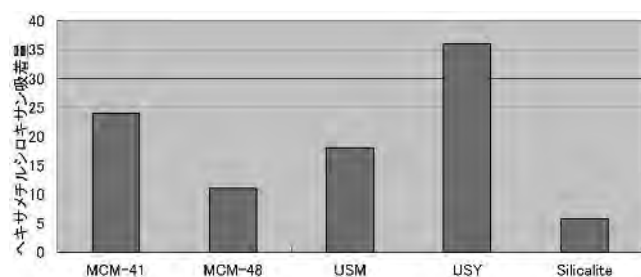


図-3a) 各種ヘキサメチルシロキサン吸着剤評価

(VPSA-メタン) のフローシートを図-4a)に示す。

図-4b)に吸着塔に充填した、CO₂、H₂S、CH₃SH、シロキサン等各種吸着剤の充填方法を示す。写真-1に、原料バイオガス量50m³N/hのVPSA-バイオガス分離精製装置の外観を示す。

装置形状は、1,200×1,200×1,800Hのコンパクトな構造となっている。

図-4a)の塔前方部の高CO₂濃度域に、Li-LSX型ゼオライトを充填し、塔後方部の低CO₂濃度域にNa-K-Aを充填した、VPSA-バイオガス分離精製装置による、バイオ発酵槽からのメタンの分離、回収装置の概要を示す。

(原料ガス組成はメタン60vol%、CO₂35vol%、水分

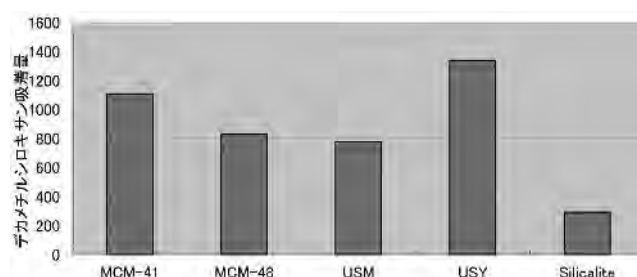


図-3b) 各種デカメチルシロキサン吸着剤評価

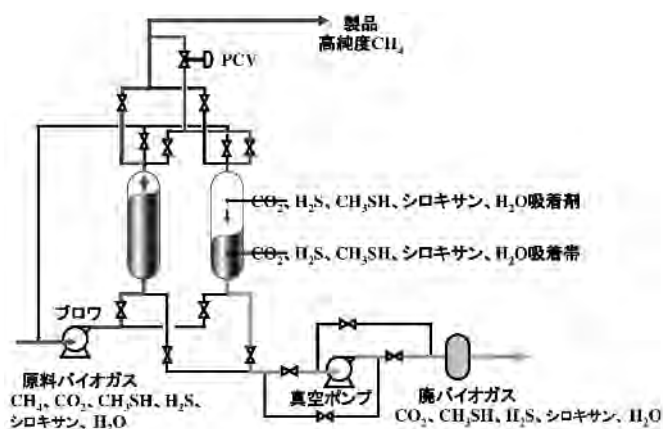


図-4a) PSA-メタン分離・精製装置フローシート

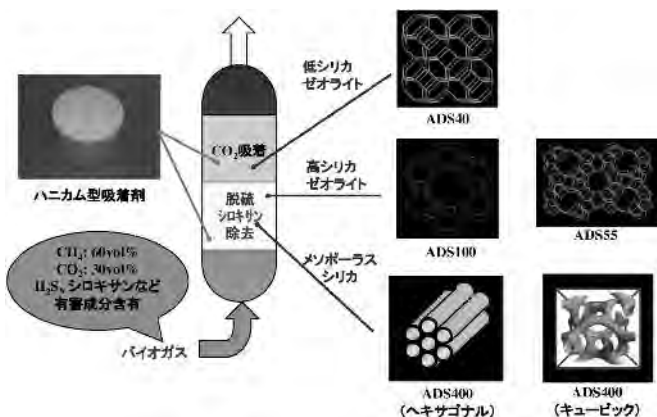


図-4b) PSA-メタン分離・精製に使用する各種吸着剤

4vol%、H₂S 200ppm、CH₃SH20ppmである。) ³⁾

消費電力、吸着剤充填量の低減の合理化の観点から2塔式1段VPSAで構成され、メタン回収率の向上とメタン精製時の消費電力の低減が図られる。

吸着塔前方の前処理層でH₂S、CH₃SHの硫化物が除去され、(シロキサンが共存する場合は、シロキサン除去層が、前処理層のH₂S吸着層の後段に充填)、シリカゲル系水分吸着層で、水分が露天-40℃以下に除湿されたバイオガスは、塔後方のCO₂吸着層に供給されてCO₂が吸着除去されて、塔後方からメタンが流過する。吸着塔がCO₂で飽和すると、塔前方から真空減圧(10kPa-abs程度)にすることで吸着したCO₂及び水分、H₂S、CH₃SH、VOC、シロキサン等が離脱除去され、脱着工程が完了する。ここで1塔の吸着工程、他塔の再生工程が完了すると、2塔の後方を結んで、吸着工程で残留したメタンを、再生工程終了時の塔に移行して、メタンの回収を図り、(塔間均圧工程)、塔を切り替えて、1塔で再生工程、他塔で吸着工程が進行する。2塔を使用することで擬似的に、バイオガスからのメタン精製が連続的に実施される。1960年代から中小容量(原料ガス量10,000m³N以下/h)でのガス分離装置として、PSA(VPSA)法は乾式、物理操作というガス分離法としては評価し得る特長を有しているため、食品工業等一般産業向けのCO₂製造装置として稼働中であり、現在、消化ガス中のCO₂除去によるメタン精製等への適用が進行している。

筆者らが製作したVPSA-バイオガス分離精製装置は、スケールアップが進行中であり原料バイオガス量50m³N/h、メタン回収率90%、回収メタン濃度95vol%の実績を有する。

上記の、最も経済的なメタン回収と評価されるバイオガスからの2塔式VPSAによるメタン・分離精製装置の装置仕様を表-1に示す。

表-1 PSA-メタン分離・回収ユニット仕様

入口ガス組成	CH ₄ 65vol%、CO ₂ 30vol%、H ₂ O 4vol%、H ₂ S 100ppm、CH ₃ SH 10ppm
入口ガス流量	5-1,500 m ³ N/h
H ₂ O、CO ₂ 、H ₂ S、CH ₃ SH、シロキサン類除去率	>90 %
メタン回収率	>80 %
H ₂ O、H ₂ S、CH ₃ SH、シロキサン類除去消費電力	0.6-60 kW
メタン回収消費電力	1-100 kW
メタン回収量	10-1000m ³ N/h (メタン濃度>90vol%)
メタン回収原単位	0.16-0.2 kWh/m ³ N-CH ₄
回収エネルギー/発電量比	約4%

4. 精製メタン吸蔵容器

国内では下水処理場の汚泥処理設備等で生成するメタンを高濃度に含有する消化ガスから回収して使用する方法も急速に普及している。大量のメタンを輸送するに当たっては、メタンを-160℃以下に冷却液化して低温タンクで輸送する方法が効率的である。しかし中小容量での輸送に当たっては、防熱構造を持つ低温貯蔵タンクでの輸送はスケールダウンに伴うコスト上昇が無視できず殆ど採用されていない。

このため中小容量での貯蔵において、10~30MPaに昇圧して高压容器に充填する方法が採用されている。(この方法は加圧天然ガス貯蔵を行うことからCNG貯蔵と呼ばれることもある。)

CNG貯蔵では圧力にほぼ比例してメタンが貯蔵できるため高压では極めてコンパクトな貯蔵が可能となる。しかし高压での貯蔵では、貯蔵に伴う圧縮動力も極めて大きく、また耐圧容器のコストも大幅に上昇する。

これを避けるために中小容量での貯蔵では、吸着剤を充填した容器にメタンを吸着させて貯蔵する方法が

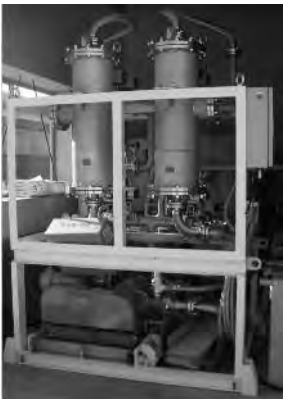


写真-1 PSA-メタン分離・精製ユニット外観
原料バイオガス量50m³N/h
原料組成CH₄ 60vol%、CO₂ 35vol%、
水分 4vol%、H₂S 200ppm、CH₃SH 20ppm

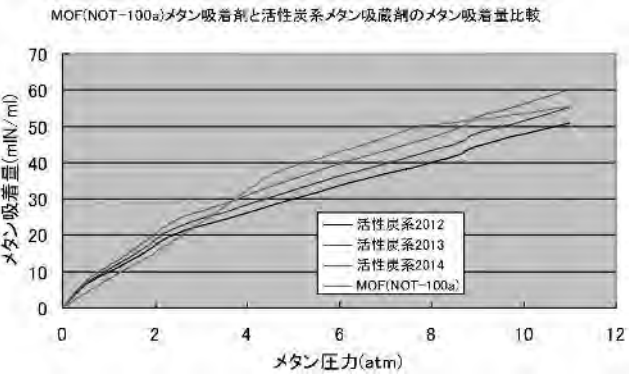


図-5 活性炭系吸着剤とMOFのメタン吸着量比較



写真-2 メタン吸蔵剤（活性炭系外観）



写真-2 筆者製作のメタン吸蔵容器
 (容量10m³、メタン450m³N充填、10トントラックに搭載)
 北日本環境エナジー（株）写真提供。

考案されている。(この方法は吸着剤を使用して天然ガス貯蔵を行うことからANG貯蔵と呼ばれることもある。)

ANG貯蔵ではCNG貯蔵ほどの高圧を使用しなくても大量のメタンが貯蔵できるが、吸蔵圧力が1MPa-Gを超えると高圧ガス保安法に抵触することとなり、ANG貯蔵の低圧貯蔵の利点が活かされないこととなる。このため筆者等は、吸蔵圧力をメタン吸蔵剤の吸蔵量の向上を図ることにより、1MPa-G未満の低圧での実用的なメタン吸蔵容器の技術確立を目指すこととした。

筆者等は、低圧メタン吸蔵用のメタン吸蔵剤の開発に2006年に着手し、継続的な性能向上を図ってきた。図-5に筆者等の2014年現在のメタン吸蔵剤のメタン吸蔵量（メタン吸蔵圧力11atm（1MPa-G）、吸蔵温度25℃）を示す。

メタン吸蔵量は経年的に上昇しており、2014年現在1m³の貯蔵容器での、1MPa-Gでのメタン吸蔵量は60m³Nに達している。

低圧でのメタン吸蔵容器の実用化を図る試みは、アメリカでも鋭意実施されており、BASFが実用化を図っているMOF系吸着剤（Metal Organic Framework）が、公表されており今後の、実用化が注目される。⁴⁾

写真-2は、筆者等が製作した10tonトラック搭載用の10m³メタン吸蔵容器である。

表-3 PSA-メタンによるバイオガス回収・精製およびメタン吸蔵容器による貯蔵運搬コスト

	諸元	単位	数量	数量
バイオガス 精製・回収 前提条件	農業廃棄物	[ton/日]	40	400
	バイオガス 発生量	[m³N/日]	1,200	12,000
	バイオガス CH₄濃度	[vol%]	65	65
	CH₄回収率	[%]	90	90
	精製CH₄濃度	[vol%]	95	95
	精製メタン 発生量	[m³N/日]	702	7,020
バイオガス精製・回収減価償却費		[千円/年]	5,497	27,828
バイオガス精製・回収変動費		[千円/年]	2,369	23,687
バイオガス充填・運搬費		[千円/年]	4,555	15,618
保守費		[千円/年]	3,054	15,460
一般管理費		[千円/年]	2,321	12,389
合計		[千円/年]	17,795	94,982
精製バイオガス製造量		[m³N/年]	256,230	2,562,300
精製バイオガス原価		[円/m³N]	69	37

10m³のメタン吸蔵容器、吸蔵温度25℃、吸蔵圧力1MPa-Gで、600m³Nのメタンの運搬が可能である。

PSA-メタンによるバイオガス回収・精製およびメタン吸蔵容器による貯蔵運搬コスト試算を、表-3に示す。

バイオガス供給量50m³N/h（1,200m³N/日）におけるバイオガス回収・精製・充填・運搬の精製メタンのコストは、69円/m³Nと試算された。

ここでバイオガス供給量を500m³N/h（12,000m³N/日）にスケールアップすると精製メタンのコストは、37円/m³Nと低減されることが予想される。

【文献】

1. 火力発電所排ガスからのCO₂分離回収技術、縄田秀夫、飯島正樹、泉順、松本曠世、光岡薫明、三菱重工技法、VOL.29, NO.4, (1992)
2. H₂S Removal and Enrichment from Off-gas of Geothermal Power Plant with using Pressure Swing Adsorption: Jun Izumi, Hiroyuki Tutaya, Akinori Yasutake, Shunji Kusaba and Kazuo Hirowatari: Elsevier p641-646, (1998)
3. ゼオライト系吸着剤の圧力スイング法（PSA）への利用、泉順、ケミカルエンジニアリング、VOL.41, NO.7 PAGE. 557-563, (1998)
4. Secondary building units, nets and bonding in the chemistry of metal-organic frameworks, David J. Tranchemontagne, José L. Mendoza-Cortés, Michael O'Keeffe and Omar M. Yaghi*, Chem. Soc. Rev., 2009

講座

嫌気性汚泥消化の普及に寄与する パッケージ型鋼板製消化タンク

株式会社神鋼環境ソリューション

技術開発センター 水・汚泥技術開発部 汚泥処理室

川 嶋 淳

キーワード：鋼板製消化タンク、汚泥消化、メタン発酵

1. はじめに

近年、化石燃料の枯渇や地球温暖化防止のため温室効果ガス排出削減が課題となっており、再生可能でカーボンニュートラルなバイオマスエネルギーの利用が促進されている。

下水汚泥は、都市内における貴重なバイオマス資源であり、そこから発生する消化ガスはカーボンニュートラルなクリーンエネルギーである。このような下水汚泥の嫌気性消化は、汚泥の減量化を図りつつ、エネルギー回収が可能な重要プロセスとの位置付けへと転換期を迎えている。

従来、下水処理における消化タンクは、一般的にコンクリートで建設されてきたが、初期投資が高いこと、建設工期が長い等の課題があった。これに対して、バイオマス利活用施設に多数の実績がある鋼板製消化タンクは、これらの課題を解決する設備である。

下水汚泥処理に鋼板製消化タンクを適用するために、当社は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。以下、下水道機構という。）と2.5年間（2010年10月～2013年3月）の共同研究を実施し、その成果として技術マニュアル¹⁾が発行された。本技術マニュアルは、「鋼板製消化タンク技術」について、概要と特徴を説明するとともに、導入の際の計画・設計・施工・試運転・維持管理の手順・留意点等を解説したものである。また、鋼板製消化タンクの実用化に向けて、千葉市南部浄化センターをフィールドにした実証施設での経済性、消化性能、エ

ネルギー使用量の低減、タンク内部の可視化などの実験・研究を通じ、その有効性を記載している^{2), 3), 4), 5)}。

さらに、本技術は2014年6月に「パッケージ型鋼板製消化タンク」として日本下水道事業団（以下、JSという。）の新技术Ⅱ類に登録されている。

2. 技術の特徴

鋼板製消化タンクは、従来のコンクリート製消化タンクと比べ、次の特徴を有している。

(1) 建設工期の短縮

コンクリート製消化タンクと比較して、建設工期を1/2以下に短縮可能である。

(2) 建設費・ライフサイクルコスト（LCC）の低減

コンクリート製消化タンクと比較して、概ね1/2以下に建設費（初期投資）低減が可能である。また、LCCは同等以下である。

(3) 保温性能

保温材としてポリスチレンフォームを採用することにより、外部放熱量がコンクリート製消化タンクと比較して同等以下である。

(4) 省エネルギー

インペラ式かくはん機の採用によって、消費電力がドラフトチューブ方式に比べ1/4以下に低減が可能である。また、 1.0Wm^{-3} の低動力で安定的な消化が可能

である。

(5)「見える化」技術の適用

センサー類、サイトグラス等の設置が容易かつ自由度が高く、内部状況の「見える化」により、運転状況の把握が可能である。

側面から超音波で堆積物の状況が測定でき、排出促進運転により堆積物を蓄積しない消化が可能である。

アンモニア濃度の連続測定を行うことによってアンモニア阻害の予防と早期対策が可能である（地域バイオマスとの共処理消化を想定）。

運転状態における流速測定が可能であり、実測値をシミュレーションに反映することで、消化タンク内部の流動攪拌状態を把握できる。

(6) 耐用年数

ビニルエステル樹脂系塗料による防食塗装で耐用年数20年以上との評価を受けている。

3. 実証研究内容

千葉市南部浄化センターに設置した鋼板製消化タン



写真1 実証実験設備外観（平成25年4月撤去）

クを建設し、実証実験（実負荷運転：2011年12月～2013年3月）を行った。

(1) 対象施設の概要

実証実験設備の外観を写真1に、フローを図1に示す。鋼板製消化タンク、インペラ式かくはん機、消化汚泥循環ポンプ、消化汚泥熱交換器から成る設備である。消化タンクの仕様は、タンク容量750m³、直径10m、高さ11mの円筒形で、2段のかくはん翼のインペラ式かくはん機を有する。

(2) 実験方法

消化タンクに機械濃縮汚泥を15m³/日、重力濃縮汚泥を15m³/日供給し、滞留日数25日、中温消化（消化温度37℃）で消化した。

また、塗装の防食性評価実験は、下水道コンクリート構造物の腐食抑制技術及び防食技術マニュアル⁹⁾に準じ、試験片をD種品質規格の耐酸性の評価方法である10%の硫酸に120日間浸漬し、剥がれ等の有無の外観検査と、硫黄侵入深さ等で評価した。

4. 実証研究の結果

(1) 建設工期の検証

実証実験設備の現地での建設工期は、基礎工事完了から70日間であった。この実績をもとにタンク容量4,000m³規模で消化タンクの全体工期を比較した結果、

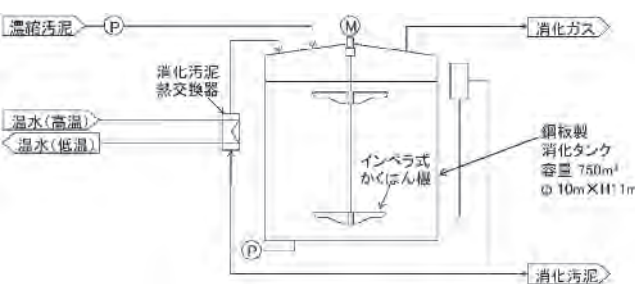


図1 実証実験設備フロー

表1 鋼板製消化タンクの経済性比較表

消化タンク容量 (m ³)		1,000	2,000	4,000	6,000
対PC卵形 ^{※1}	建設費（初期投資）	46%	52%	54%	53%
	建設費（年価）	73%	83%	87%	86%
	LCC	86%	87%	86%	83%
対RC製 ^{※2}	建設費（初期投資）	54%	55%	57%	60%
	建設費（年価）	86%	88%	93%	97%
	LCC	90%	89%	88%	86%

※1 卵形消化タンク建設費は、複数自治体の実績値に基づく費用関数を作成して算出した。
※2 RC製は、「バイオソリッド利活用基本計画策定マニュアル」⁶⁾の費用関数から算出した。

表 2 消化タンク保温材の合成伝熱係数比

消化タンク	側面材構成	合成伝熱係数 [W/(m ² ・K)]
鋼板製消化タンク (実証試験設備)	ポリスチレンフォーム 80mm	0.38
コンクリート製消化タンク1	鉄筋コンクリート 600mm ポリスチレンフォーム 15mm	1.14
コンクリート製消化タンク2	鉄筋コンクリート 700mm 空気 400mm コンクリートブロック 150mm	0.78

コンクリート製卵形消化タンクの実績工期と比較して1/2以下となり、1年以下の工期に短縮できると試算された。これより、単年度予算の建設も可能であると考えられる。

- 工期短縮の主な理由としては、以下が挙げられる。
- ①鋼板製消化タンクは機械設備工事としての一括発注が可能である。
 - ②鋼板製消化タンクは現地土木工事と鋼板製側板の工場製作を並行して進めることができる。
 - ③鋼板製消化タンクは、地下工事がなく地表面に組み立てるため、掘削、土留め、配筋、型枠の土木工事の負荷が低減できる。

(2) コスト試算

従来のコンクリート製消化タンク（PC製卵形及びRC製形状混在（算盤型、亀甲型等））と比較した鋼板製消化タンクのコスト比較表を表1に示す。表中の値は、コンクリート製消化タンクのコストを100%とした時の鋼板製消化タンクの割合を示す。

表 3 放熱量計算条件

	外気温 (°C)	汚泥投入量 (m ³ /h)		原料汚泥 平均温度 (°C)	消化汚泥 の温度 (°C)
		重力濃縮汚泥	機械濃縮汚泥		
2012年1月	4.4	0.625	0.625	16.9	36.8
2012年2月	5.2	0.625	0.625	16.8	37.0

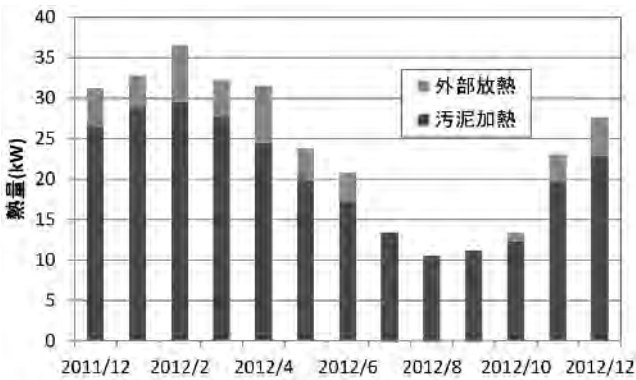


図 2 鋼板製消化タンクの熱収支の推移

建設費（初期投資）比較の結果、PC製（卵形）の建設費（初期投資）を100%としたときの鋼板製の建設費（初期投資）は46～54%の結果となり、概ね50%に低減できる。また、RC製（形状混在）と比較した場合も、ほぼ同様の結果が得られた。

建設費（年価）比較の結果、鋼板製消化タンク建設費（年価）は、PC製（卵形）に比べ73～87%となり、13～27%の削減となった。また、RC製（形状混在）に比べ86～97%となり、同等以下となった。

LCC比較の結果、鋼板製は汚泥性状によって、20年の耐用年数において防食塗装補修及び浸漬が不要であり、PC製（卵形）に比べ83～87%となり、13～17%の削減となった。また、RC製（形状混在）に比べ86～90%となり、10～14%の削減となった。

(3) 保温性能と放熱量

実証試験設備の鋼板製消化タンクの保温材には厚さ80 mmのポリスチレンフォームを使用した。その消化タンク側面材の保温性を、合成した伝熱係数を用い

表 4 外部放熱量の割合

	設計指針に基づく 計算値 外部放熱量 (Q ₂) (kW)	実証試験結果		
		所要熱量 (Q _{max}) (kW)	外部放熱量 (Q ₂ -Q ₁) (kW)	外部放熱割合 (%)
2012年1月	11.0	32.7	4.0	12.1
2012年2月	10.8	36.5	7.0	19.2

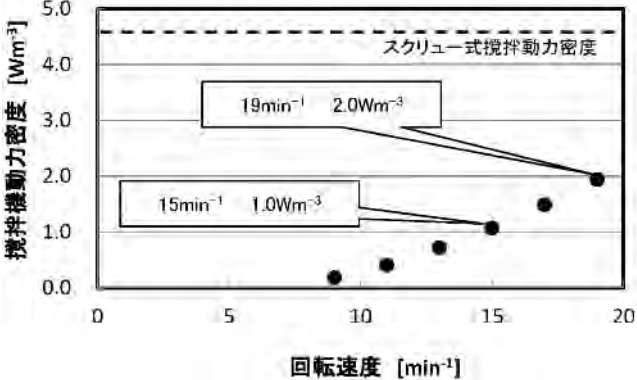


図 3 鋼板製消化タンク攪拌機動力投入密度

て、コンクリート製消化タンクの実績2例と比較した。結果を表2に示す。コンクリート製消化タンクの2例では、 $1.14 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 、 $0.78 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ になるのに対して、鋼板製消化タンクの保温材では $0.38 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ となり、それぞれのコンクリート製消化タンクに比べ、3.0倍、2.1倍保温性が優れている。保温材厚みを適切に設定することにより、保温性能の調節が可能である。

「下水道施設計画・設計指針と解説」⁸⁾に準拠し、放熱量の計算を所要発生熱量が1年間で最大となる1月および2月について実施した。

計算条件を表3に示す。外気温は気象庁ホームページより、千葉市内での月ごとの平均気温を用いた。また、地中温度は外気温に等しいと仮定した。

外部放熱量の割合を表4に示す。試験により得られた外部放熱量は、設計指針に基づく20%の外部放熱割合よりも小さくなり、鋼板製消化タンクの保温性がコンクリート製消化タンクに比べて同等以上であることが確認された。

実証試験中の熱収支を図2に示す。7月から9月にかけての高温期は、外部からの加温によってタンクが加熱されるため、月間平均の放熱量よりも吸熱量が大きくなり、見かけ上の放熱量がない結果となった。

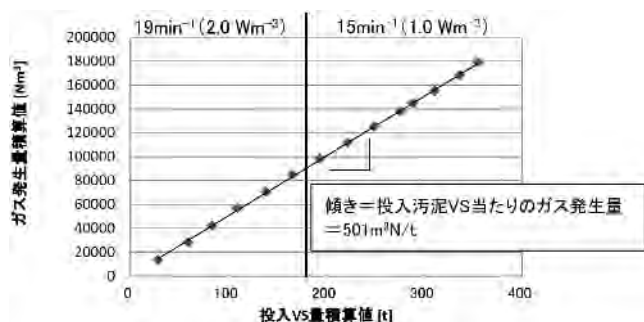


図4 投入汚泥VS当りのガス発生量の推移



写真2 超音波による堆積物測定状況

(4) 攪拌機性能及び消化性能検証

インペラ式攪拌機の回転速度と動力投入密度を図3に示す。19min⁻¹及び15min⁻¹の2条件で実証試験を実施した。回転速度15min⁻¹における動力投入密度は 1.0 Wm^{-3} であり、これは「汚泥消化タンク改築・修繕技術資料」⁷⁾の動力情報から計算したスクリュース式攪拌機の動力投入密度 4.6 Wm^{-3} に対して1/4以下であった。

鋼板製消化タンクの運転を2011年12月から2013年3月まで継続した。攪拌機回転速度は2011年12月から2012年5月末までは19 min⁻¹、それ以降は15 min⁻¹に設定した。消化性能の検証には、投入汚泥VS量当たりの積算ガス発生量を判断基準として適用した。実証試験期間における投入VS当たりのガス発生量推移を図4に示す。投入VS当たりのガス発生量は $501 \text{ m}^3 \text{ N/t}$ であり、「下水道施設計画・設計指針と解説」⁸⁾記載の一般値 ($500 \sim 600 \text{ m}^3 \text{ N/t}$) の範囲内であった。これより、 1.0 Wm^{-3} での良好な消化を確認できた。

(5) 鋼板製消化タンク内部の「見える化」技術

鋼板製消化タンクはセンサー類、サイトグラス等の設置が容易かつ自由度が高いため、コンクリート製消化タンクでは実現できなかったタンク内部の「見える化」が可能である。堆積物検知等の見える化技術は、消化タンク安定運転に反映できると考えられる。

堆積物の測定は、消化タンク壁面部から高出力型の超音波発振装置を用いて測定した。その他消化タンク内部については、上部から探触子を垂らして測定した。超音波による堆積物測定状況を写真2に示す。消化タンク内の堆積物量の推移を図5に示す。2011年12月から19 min⁻¹で消化運転を開始し、6ヵ月目まで堆積物量は上昇した。2012年5月末から回転数を15 min⁻¹に落とした後も同様に上昇し、堆積物蓄積の傾きに影響はなかった。最大値は2012年8月23日の数値で、消化タンクの約2%容量に達した。そこで、堆積物蓄積の抑制のために、攪拌機の逆回転と同期した消化液の引抜き運転を行った(図中No.2)。その結果、

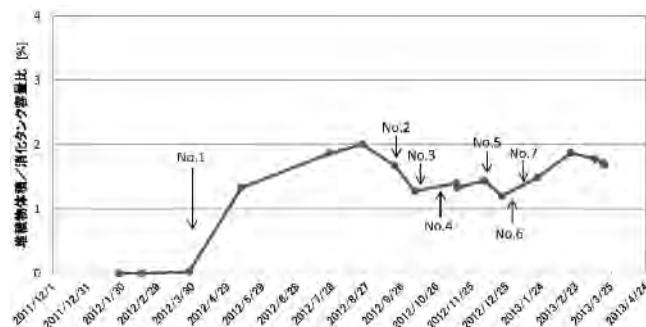


図5 鋼板製消化タンク内堆積物量の推移

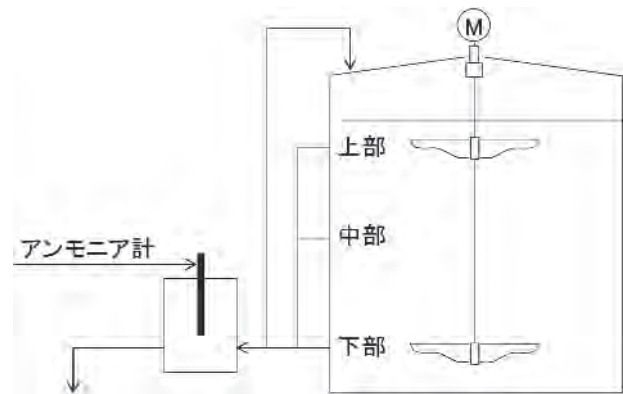


図6 アンモニア測定用循環ライン

堆積物量が減少した。その後、攪拌機点検のための停止期間（図中No.3）、続いての正回転のみの期間（図中No.4）では、再度堆積物量は上昇傾向を示した。その後逆回転の引抜き（図中No.5）を行ったところ、再び堆積物量は低下した。図中No.6で従来の運転に戻したところ、再度堆積物量が上昇した。図中No.7以降、No.5と同様の運転を続けたところ、堆積物量は上昇後低下に転じた。以上の検証より、逆回転時に引抜き運転をした場合の堆積物量低下の再現性が確認できた。同運転方法を適用することで、堆積物蓄積を抑制する運転が可能と考える。同様の円筒型のバイオマス向け消化タンク実績では、5%が堆積物の許容基準である。

下水汚泥と地域バイオマスの共処理消化を行う場合、地域バイオマスの種類によっては、アンモニア阻害が発生する可能性がある。このため、消化汚泥中のアンモニア濃度上昇の早期検出と阻害回避を目的としたアンモニア濃度計を用いた連続測定方法について検

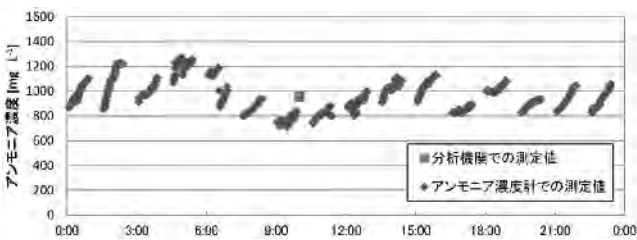


図7 アンモニア濃度計によるNH4-N測定値の変動

討した。消化タンク内の消化汚泥中のアンモニア濃度はタンク内汚泥の循環ラインにイオン選択電極式のアンモニア性窒素測定装置を設置して測定した。アンモニア濃度測定用の消化液循環ラインを図6に示す。千葉実証設備でのアンモニア連続測定事例を図7に示す。分析機関での測定値は10時時点のデータであり、一日の運転中にアンモニア濃度は±30%の範囲で上下動した。アンモニア濃度変動の把握に利用可能であると考えられる。

(6) 防食塗装仕様検証

銅板製消化タンク内面の防食塗装として、優れた耐酸性を有するビニルエステル樹脂系塗料を選定してJS防食マニュアル⁹⁾で定められた加速試験（D種品質規格試験。合格した場合10年の耐用年数を確保できる塗装仕様とされている）を実施した。試験結果を表5に示す。中温消化向け仕様は、公的試験機関によるD種品質規格試験に合格した。また、当該試験における評価項目の1つである硫黄侵入深さが検出限界未満であったことから、技術マニュアルにおいて20年の耐用年数を確保できるとの評価を受けている。

表5 防食塗装試験結果（中温消化向け仕様）

	中温消化 (30 – 40℃)	判定基準
塗装仕様	ガラスフレーク入りビニルエステル樹脂系塗料	—
結果	○ (全て合格。D種規格を満足し、10年間の耐用年数を確保できる)	—
1. 接着性	○ (結果: 4.6 N mm ⁻²)	1.5 N mm ⁻² 以上
2. 透水性	○ (結果: 0.05 g)	0.15 g以下
3. 耐酸性	○ (結果: 膨れ、割れ、軟化、溶出を認めない。)	10 %硫酸水溶液に常温で60日間浸漬しても被覆に膨れ、割れ、軟化、溶出が無いこと。
4. 硫黄侵入深さ	○ (結果: 硫黄侵入深さは2 μ m未満、侵入深さ/設計厚さは0 %) 10年の防食性を評価するための10 %硫酸水溶液120日間浸漬で硫黄侵入深さは検出限界未満であったため、下水道機構「銅板製消化タンク技術マニュアル」では20年の耐用年数を確保できるとの評価を受けた。	10 %硫酸水溶液に常温で120日間浸漬した時の硫黄侵入深さが設計厚さに対して5 %以下であること、かつ、100 μ m以下であること。

5. おわりに

日本国内約2,000ヶ所の下水処理場のうち、汚泥消化設備を導入しているのは約300ヶ所であり、消化設備の普及は進んでいない状況である。一方、今後下水汚泥の嫌気性消化法は、創エネルギーの観点からますます重要視されていくことが予想される。鋼板製消化タンクは従来のコンクリート製消化タンクの課題を解決し、将来のニーズや動向に合わせて柔軟な更新・改築を可能とする設備として普及が期待される。技術マニュアルが鋼板製消化タンクの普及展開のために広く活用されることとなれば幸いである。

[参考文献]

- 1) 下水道新技術推進機構
鋼板製消化タンク技術マニュアル
－2013年3月－
- 2) 福沢敬三、石田貴、川嶋淳
「鋼板製消化タンクによる下水汚泥エネルギー化へのアプローチ ～実証研究中間報告～」
第49回下水道研究発表会講演集（2012）p742-744
- 3) 福沢敬三、石田貴、落修一、小川裕正、三浦雅彦、川嶋淳
「鋼板製消化タンクによる下水汚泥エネルギー化へのアプローチ」
第50回下水道研究発表会講演集（2013）p928-930
- 4) 石田貴
「鋼板製消化タンク技術マニュアルの概要」
月刊下水道 Vol.36 NO.6（2013年5月）
p79-83
- 5) 石田貴
「下水汚泥リサイクルをめぐる新技術の開発動向と新たな取り組み」
月刊下水道 Vol.36 NO.14（2013年12月）
p6-9
- 6) 国土交通省都市・地域整備局下水道部、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 平成16年3月
（2004年3月）
- 7) 下水道新技術推進機構 汚泥消化タンク改築・修繕技術資料
（2007年3月）
- 8) 日本下水道協会
下水道施設計画・設計指針と解説 後編 2009年版
- 9) 日本下水道事業団
下水道コンクリート構造物の腐食抑制技術及び防食技術マニュアル 平成24年4月

講 座

ポリイミド製ガス分離膜を用いた バイオガスの精製技術

宇部興産株式会社 化学生産・技術本部
機能品開発センター ガス分離膜グループ
中 村 智 英

キーワード：ポリイミド、ガス分離膜

1. はじめに

膜分離法は、蒸留、吸着、抽出などとともに重要な分離技術の1つであり、特にガス分離の分野では、1970年代よりポリイミド等のエンジニアリングプラスチックを素材としたガス分離膜の実用化開発が、国内外の大学、研究機関、企業において進められた¹⁾。宇部興産株式会社においても、1970年代にガス分離膜の研究開発を開始し、1980年代には水素分離膜での運転を成功させ、その後も様々な分野にガス分離膜の展開を行ってきた。今回の報告では、ポリイミド製ガス分離膜について簡単に説明するとともに、ガス分離膜を用いたバイオガス精製技術の具体例を紹介する。

2. ガス分離膜について

ガス分離膜には、幾つかの種類があるが、宇部興産株式会社では、耐熱性や耐久性に優れたポリイミド製の中空糸分離膜を展開している。ガス分離膜では、種々のガスで中空糸分離膜の透過しやすさが異なる性質を利用して、混合ガスから特定のガスを濃縮・回収している。図1に中空糸分離膜を搭載したガス分離膜モジュールの概略図を示す。

また、図2に代表的なガスの透過性の序列を示すが、圧縮した原料ガス（混合ガス）をガス分離膜に供給した際に、透過しやすいガスが低圧側に濃縮され、逆に透過しにくいガスは高圧側に濃縮される。バイオ

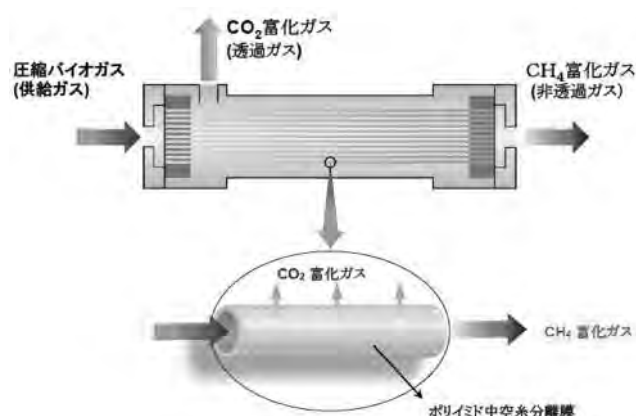


図1 ガス分離膜モジュールの概略構造

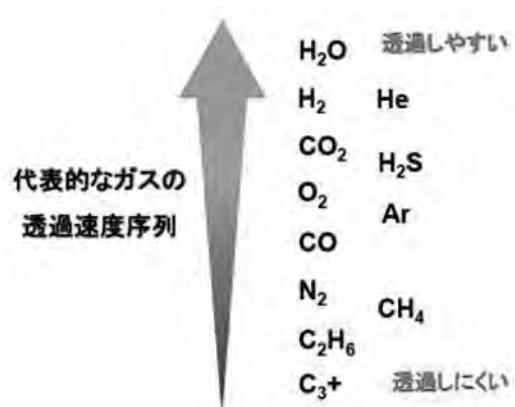


図2 代表的なガスの透過性序列

ガスに含まれる代表的な成分で例示すれば、低圧側に水分や炭酸ガスが濃縮（排出）され、高圧側に乾燥したメタンガスが濃縮されることとなる。

3. バイオガス分野における適用

ここでは、前項において説明を行ったポリイミド製ガス分離膜を、どのようにバイオガス関連分野で有効利用されているかについて具体的な事例を用いて紹介する。

3.1 バイオガスの精製

再生可能エネルギー利用への補助が手厚い欧州を中心に、バイオガス中のメタンガスを90mol%～98mol%まで濃縮して天然ガスの代替等で利用する実例が多数存在しており、数百～数千Nm³/hのバイオガスを処理するプラントも存在する²⁾。ガス分離膜は、図3に示すような2段システム、あるいは図4に示すような3段システムで運用される場合が多く、特にメタンガス回収率を99%以上などに高めに設定する場合は3段システムが有効である。

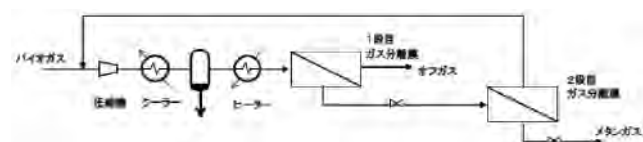


図3 メタンガス濃縮フロー例（2段システム）

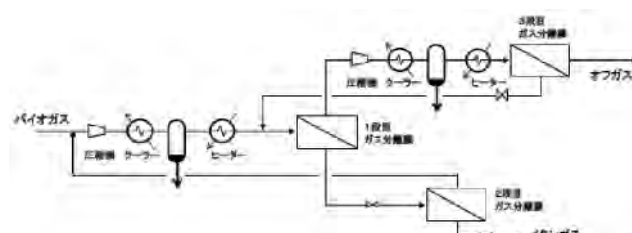


図4 メタンガス濃縮フロー例（3段システム）

3.2 水素への転換

バイオガスからのメタンガスの濃縮回収が可能なことを前項で紹介したが、更に発展させたものとして水素ガスの生産が挙げられる。水素ガスの製法としては石炭ガス化や水分解など幾つかの工業的手法が確立されているが、世界的にはおよそ50%の水素ガスが天然ガスの改質によって生産されており³⁾、メタンガスから水素ガスを生産することは工業的に十分確立された技術である。国内でも消化ガス（バイオガス）から分離膜でメタンガスを濃縮回収し、さらにメタンガスから水素ガスを生産する検討が実施されている⁴⁾。

水素ガスについては、その輸送の困難さが度々議論されるが、下水処理場と水素ステーションを併設するといったことが具体化すれば、地産地消型の水素社会の好例となろう。

3.3 炭酸ガス回収

ここまでの紹介では、バイオガス中のメタンガスを如何に有効利用できるかという主眼で具体例を紹介したが、ここではバイオガス中に約40%含まれる炭酸ガスの利用例を紹介する。炭酸ガスはドライアイスなど

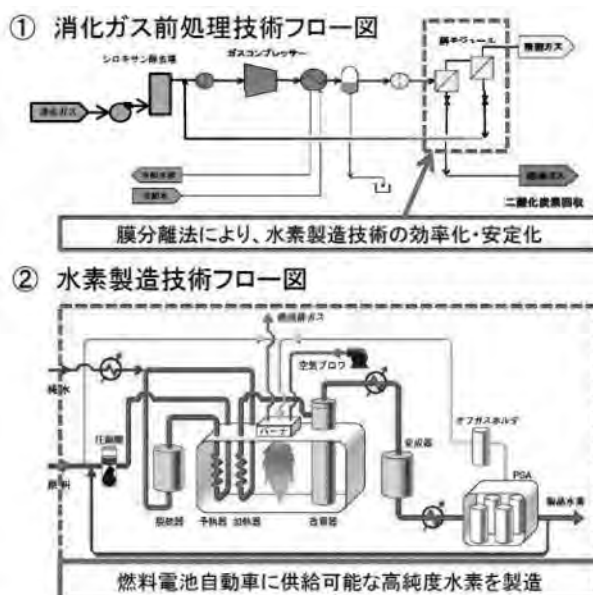


図5 バイオガスを利用した水素製造フロー⁴⁾

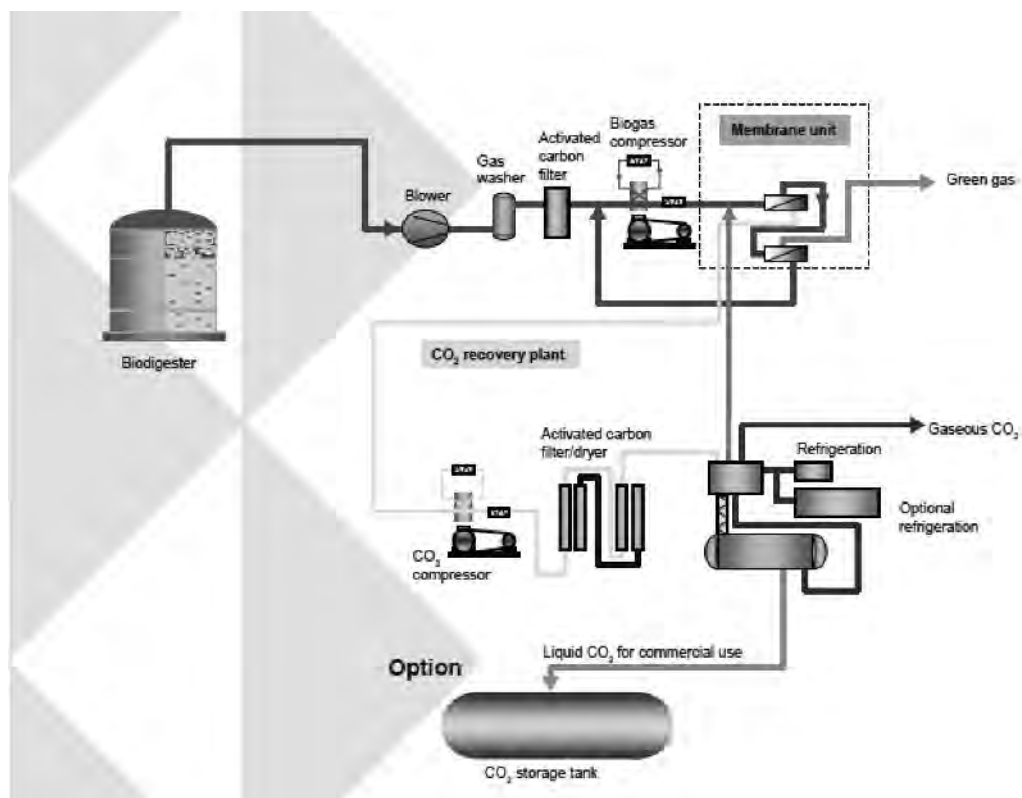


図6 メタンガス濃縮回収と炭酸ガス濃縮回収の併設例⁵⁾

の形態で多方面に利用されているが、炭酸ガスの良好な原料源となる石油精製工場の統合・合理化等により、原料不足に陥っている地域もある。

バイオガスは、主にはメタンガスと炭酸ガスにより構成されるため、バイオガス中のメタンをより高純度かつ高回収率で濃縮回収するということは、一方で炭酸ガスがより高純度かつ高回収率で副生することを意味する。

欧州では、メタンガスの濃縮回収設備に加え、副生ガスから液化炭酸ガス回収設備を併設することで、同時に2つの製品を回収するシステムの運用事例がある(図6参照)。

4. おわりに

都市部を中心とした上下水道網の発達とバイオガスの分離・回収技術の発達によって、消化ガス(バイオ

ガス)は、都市から産出される優良資源となる可能性を秘めている。今回の論文が下水道分野におけるバイオガス有効利用のきっかけ、参考となれば幸いである。

5. 引用文献

- 1) 中西俊介, ニューメンブレンテクノロジーシンポジウム, 2006
- 2) A.Petersson and A.Wellinger, IEA Bioenergy, Biogas upgrading technologies-developments and innovations, 2009
- 3) 水素社会実現の道筋とビジネスチャンス S&T出版
- 4) 国土交通省ホームページ 下水道革新的技術実証事業(B-DASHプロジェクト)資料
- 5) <http://www.haffmans.nl/resources/images/4344.pdf>

投稿報告

苓北町堆肥センターの
取組みについて

苓北町役場 水道環境課 環境班 課長補佐 松村 保則

キーワード：畜産糞尿、堆肥センター、土壌環境の改善、循環型農業

1. はじめに

本町は、熊本県天草下島の北西部に位置し総面積は67.03Km²、東西に9.76Km 南北に12.30Kmの広がりを持ち、西は天草灘、北は千々石湾に面しています。

20mから400mの山々が北から南の町境に連なり、この分水嶺を源流に4本の大きな川が海に流れ込んでいます。これらの河川はいずれも川幅が狭く、流域は比較的急傾斜のため、水の流れが速く干ばつになりやすい地形になっています。

南部山地には陶石が露出し、天草陶石として地場産業のひとつとなっています。また、北部地区は、200m以下の小高い山々からなり、畑地・みかん・びわ等の果樹園が広がっています。

平野部は、各河川の下流に広がっており中心は早期米・レタスですが、他にキュウリ・トマト等のハウス栽培も盛んに行われています。

西に突起した半島と平野部は砂州で結ばれ、半島に築かれた富岡城を形成する城下町として今もその面影が残っていますし、この北側には、自然の海流によって造られた砂嘴がありその特徴的な形から曲崎と呼ばれ、天然の入り江となっています。

町の北部と西部に連続する海岸線は、遠浅の砂嘴と小規模な岩礁により形成され、ウニ・アワビをはじめ近海魚の漁獲量も豊富で、優良な漁場となっています。



苓北町風景画像

2. 堆肥センター事業着手の背景

(1) 畜産糞尿、下水道汚泥処理の現状

畜産農家にとっては、家畜の糞尿管理にかかる環境問題や水質汚濁等の環境保全が一層重要視されている時期であり、耕種農家や果樹農家にとっては、これまで化学肥料や農薬により疲弊した地力の減退など優良な有機質の投与による地力の回復が問われている時期でした。また、町内において下水道整備が完了し、処理施設である「富岡浄化センター」の供用を開始した時期でもありましたので、発生する下水道汚泥の有効利用と処理コストの軽減が課題となっていました。

(2) 堆肥センター事業着手の理由

町の基幹産業である農業（耕種農家・畜産農家・果樹農家）の振興が大きな目標ですが、同時に環境面への対策も重要な課題です。地球規模の環境問題が懸念される今日、本町においても大気汚染や生活雑排水等による水質汚染といった身近な環境の悪化が進むなか、消費型社会を見直し、自然の持つ再生能力や浄化能力を活用しながら資源・エネルギーの循環的、効率的な利用を進め、自然界の物質循環へ影響の少ない環境型社会づくりを目指す取組みとして、堆肥センターを建設いたしました。

3. 堆肥センターの概要

当該施設は、平成12年度13年度に農林水産省所管の新村振興等農林漁業特別対策事業の採択を受け建設

を行いました。施設概要並びに事業費内訳については以下のとおりです。

「施設概要」

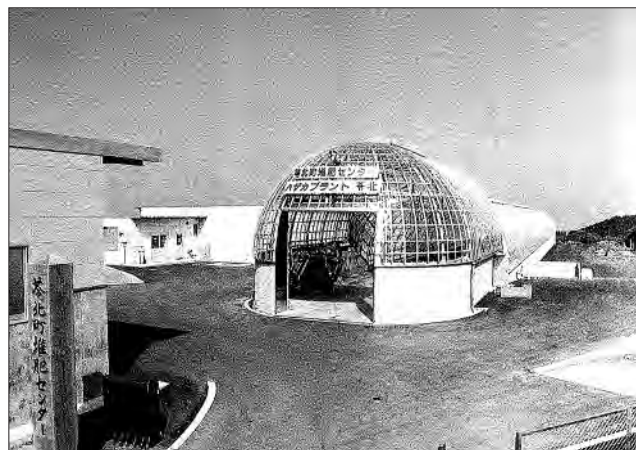
施設名称	苓北町堆肥センター		
所 在	熊本県天草郡苓北町志岐字岩井河内3091番地		
施設規模	A. 堆肥製造プラント	1,172㎡	
	B. 管理棟及び作業棟	628㎡	
	C. 混合棟	144㎡	
	D. 構内敷地面積	7,469㎡	
処理能力	20m ³ /日（原材料：牛糞・家庭生ゴミ・下水道汚泥）		

「事業費内訳」

総事業費	510,843千円
------	-----------



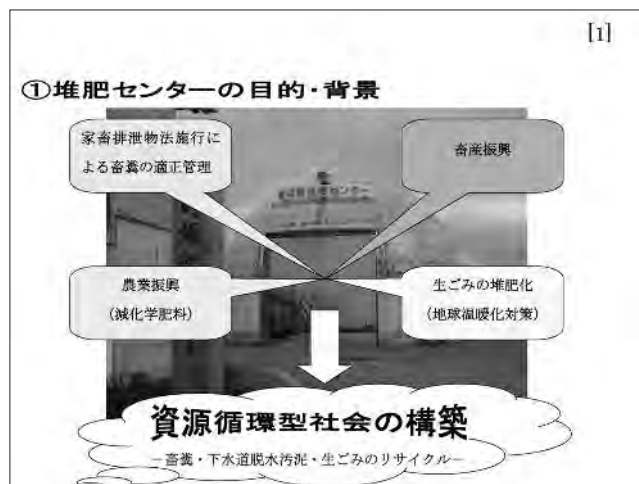
位置図



苓北町堆肥センター外観



循環フロー図



大地ができるまで (1)

③原料と副資材の混合

[7]



持ち込まれた原料と副資材を堆肥製造プラントに投入する前に混合します。毎日約40m³が混合され、その重量は約20トンになります。原料1に対して副資材1の割合で混合しています。

④堆肥の製造プラント

[8]



プラントには2台の攪拌機(かくはん機)が置かれ、堆肥を製造するレーンは長さ100m、幅3m、深さ2メートルあり、このレーンが2つあります。攪拌機は1日1回前進しながら堆肥を攪拌し、レーンの下からはプロアで24時間送風しています。25日攪拌するとさらさらした完熟堆肥が出来上がります。1日に約10トンの堆肥が生産されます。

⑤篩い

[9]



出来上がった堆肥の中には、牛ふんに混ざった石や生ごみに混ざったビニール片があるため、篩い機を使ってごみを取り除きます。生ごみの中には刺身のバラやビニール袋をよく見かけますが、スプーンなどが混ざって出されていることもあります。

⑥袋詰め

[10]



篩いにかけてた堆肥は、自動袋詰め機によって15kgに袋詰めされます。

⑦堆肥の出荷

[11]

堆肥センターでは袋詰めとバラ売りの2種類で出荷しています。

堆肥(1)特殊肥料「苅北有機大地」



成分比	
原料	牛ふん、生ゴミ
窒素	1.0%
リン酸	0.7%
カリ	1.2%
水分比	45.7%
C/N比	18
熟度判定	完熟

堆肥センター直売価格
袋詰め(15kg)298円
バラ売り 6,100円/t
バラ売りなし 5,000円/t
堆肥センター以外でも苅北町農協、フクモト、川本商店でも購入することができます。

堆肥(2)普通肥料「苅北ゆうき大地」

[12]



成分比	
原料	牛ふん、生ゴミ、下水処理水汚泥
窒素	1.0%
リン酸	0.8%
カリ	1.0%
水分比	48.0%
C/N比	16
熟度判定	完熟

堆肥センター直売価格
袋詰め(15kg) 184円
バラ売り 4,600円/t
バラ売りなし 4,100円/t
※バラ売りは数量に応じて値引きされます。
平成17年度熊本県のコンクールで特別審査員賞を受賞。

※表示している成分は、特殊肥料、普通肥料とも平成16年度～18年度までの成分分析の結果の平均値です。

大地ができるまで (2)

事業費内訳	A. 総建築工事費	381,750千円
	B. 周辺整備費	23,592千円
	C. 用地造成費	41,636千円
	D. 用地及び補償	33,839千円
	E. 測量設計委託費	3,369千円
	F. 備品購入費	25,029千円
	G. 附帯事務費	1,628千円

いては、その殆どを原材料として回収し、提供量に対応した製品を還元するという方法をとっており、一般家庭から排出される生ゴミについても回収量のすべてを原材料として搬入しています。脱水処理した下水道汚泥は、その全量を持ち込むことは困難ですが、一部を原材料として搬入しています。

(2) 地球環境問題への貢献

畜産糞尿に関しては、これまでは各農家において、畜舎周辺に様々な形態で保管され、圃場への散布等により還元されていましたが、糞尿にかかる屋外保管に厳しい規制が設けられる中、本町においては、移送用

4. 事業実施の効果

(1) 資源の有効活用

これまで、各農家で保管処理していた畜産糞尿につ

表1 原材料の搬入量及び堆肥生産量の推移

単位：(kg)

	搬入量				生産量		
	畜産糞尿	家庭生ゴミ	下水道汚泥	搬入量合計	普通堆肥 (汚泥入り)	特殊堆肥 (完熟堆肥)	生産量合計
平成23年度	1,627,890	231,890	290,610	2,150,390	1,046,845	439,185	1,486,030
平成24年度	1,604,790	230,750	255,050	2,090,590	839,500	417,750	1,257,250
平成25年度	1,620,370	240,580	219,380	2,080,330	689,195	355,235	1,044,430

注意 1. 普通堆肥とは、原材料に下水道汚泥を含み、通常の熟成期間（25日）を経て生産したものです。
2. 特殊堆肥とは、原材料に下水道汚泥を含まず、通常の熟成期間（25日）を経て生産したものです。

表2 下水道汚泥の発生量及び処分先別搬出量の推移

単位：(kg)

	発生総量	堆肥センターへ	処分業者へ (再利用)	備考
平成23年度	591.71	290.61	301.10	
平成24年度	536.25	255.05	281.20	
平成25年度	485.98	219.38	266.60	

注意 1. 処分業者へ搬出する汚泥に関しては、処理施設において汚泥肥料（堆肥）として再利用されており、町堆肥センターの処理能力及び製造スケジュールとの調整的観点と処分拠点を複数確保する観点から処理を委託している。



堆肥散布状況画像



防蟻灯画像



レタス生育状況画像

コンテナを農家へ貸出し、搬出と保管をお願いしたことから、衛生的な管理、悪臭・汚水の流入といった大気・水環境への対応も可能となりました。

一般廃棄物として収集・処理を行っていた生ゴミについては、これまでその全量を天草市の本渡清掃センターへ搬入していましたが、堆肥センターの建設により、短時間で収集と搬入が可能となり、より衛生的な

管理が可能となりました。また、生ゴミの堆肥化に併せて排出用のゴミ袋も生分解性のものに切り替え生ゴミと併せて堆肥化出来るようになったことで、ごみの減量化にも貢献出来ています。

下水道汚泥については、処理場の供用開始以降、堆肥センターの処理能力や生産スケジュールに併せて原材料として搬入を行っており、廃棄処分するものが原材料として活用されることで、循環型社会の形成に貢献出来ているものと捉えています。

製品として流通している堆肥は、有機肥料であり化学処理を一切行っていないことから、これまで化学肥料や農薬により疲弊した地力の減退など優良な有機質の投与による地力の回復によって、土壤環境の改善にも役立っています。

(3) 各分野の処理費削減

(2) にも関連しますが、生ゴミに関しては、清掃センターへの輸送コスト並びに処理費について、削減が可能となっており、衛生面での負担金の軽減に効果が出ています。余談ですが、生ゴミ用のゴミ袋は1枚当たりのコストが割高であるため、小売価格も少し高めです。このことから、なるべく生ゴミを出さない工夫も各家庭に浸透しています。

下水道汚泥については、最終処理を福岡の業者に依頼している現状もあってその輸送コストと処分費が懸念されているところですが、この点についても町内で原材料として処理出来ることから、ランニングコストの削減に貢献出来ているところです。

5. むすびに

供用開始より13年を経過し、今後直面する課題として、昨今の農業分野をとりまく情勢により、自由貿易が活発化する傾向から地域の農家に様々な形で影響を及ぼすことが考えられます。自由化により流通が活発化し農家への追い風と成れば良いのですが、コスト競争に走るあまり経営規模縮小や廃業と言った負の効果が心配されます。また、高齢化がもたらす畜産農家の減少に伴い、原材料の確保が年々困難になっていることや、人口減による購買量の低下、運用年の長期化により、年々かさむ補修・交換といった生産設備のランニングコストの増加も避けては通れない大きな課題となっています。しかしながら、私共は当初掲げた循環型社会の一翼を担い、地域環境の清浄化と地力増進を図りながら環境に配慮して、循環型農業の取り組みをさらに推進していかなければなりません。このことが農家経営の安定につながり、ひいては明るく住みよい町づくりに寄与していくことに繋がると考えております。

投稿報告

日立市浄化センターにおける 新たな消化ガス活用の取組み

日立市 上下水道部 浄化センター
 機械設備担当 桜井 秀二
 萩谷 勝美
 赤津 直樹
 電気設備担当 佐藤 亮二

キーワード：コジェネレーションシステム、ガス精製、消化ガス発電

1. はじめに

日立市は、関東平野の北端、茨城県の北東部にあり、南北25.9km、東西17.9km、面積225.55km²を有しています。西は阿武隈山脈に連なり、東は起伏に富んだ太平洋の海岸線を臨み、穏やかな気候、山・海の豊かな自然環境に恵まれています。海岸線には、6箇所の海水浴場があり、うち3箇所は、国が選定する「海水浴場百選」に認定されています。

日立市の公共下水道事業は、昭和48年4月に一部供用開始し、平成25年3月末での処理状況は、日平均41,550m³を処理し、処理区域内の人口普及率は、98.0%となっています。

2. 導入目的

当処理場の電力事情も、施設の増加により、年々処理費に占める電力料金の割合が増大し、節電が処理場運営の1つの命題となっていました。そこで、消化ガスの半分を余剰ガスとして処理していることに着目し平成3年度より重油・消化ガスの混焼方式を採用した発電機を導入して再利用してきました。

これまでも、高率的運転方法の変更を可能な限り行ってきましたが、消化槽設備の老朽化に伴い、全体のシステム再検討を行いました。その結果、消化ガスをより有効的に利用出来る消化ガス専燃発電機と発電機の排熱利用を行うコジェネレーションシステムの導

表1 污水处理計画

項 目	全体計画	事業認可計画
排除方式	分流式	分流式
行政人口 (人)	200,000	198,300
計画区域 (ha)	2203.88	2080.11
計画処理人口 (人)	96,779	89,721
1人1日当り汚水量 (ℓ/人・日)	日平均 370 日最大 570 時間最大 855	日平均 362 日最大 557 時間最大 836

入に至りました。その有効利用により天然資源の消費を抑制するとともに、施設維持管理コストの削減及び効率的な施設運営、災害による非常時の安定運転確保を図ることを目指しました。

3. 事業概要

(1) 消化ガス設備更新事業概略

旧発電設備の発電エンジンは、消化ガス+重油(10%混焼)のデュアルディーゼルエンジン(騒音100dB)でした。平成22年度に高機能脱硫装置を設置したことにより、消化ガス中のメタンガス純度が60%から97%程度の都市ガス同等に精製が可能となりました。これにより、新たな自家用発電システムは、ガス専焼の高発電効率による系統連系方式とし、さらに、都市ガスの中圧ガスを利用して、非常時の電源確保となっています。また、環境配慮型の低騒音型(騒音75dB)とし、発電設備の排熱を有効利用するコジェネレーションシステムを設置することとしました。



写真1

(2) 設備概要 [フロー図参照]

① 消化槽設備

攪拌方式は、「ガス攪拌+循環ポンプ併用型」より「スクリュウ型機械攪拌」に変更しました。また、加温方式は「蒸気直接加温式」から「廃熱の間接加温式」を採用しています

② 脱硫装置

消化ガス精製設備は、高圧水吸収法によるガス精製設備であり、消化ガス中の二酸化炭素等を分離してメタン濃度を97%以上にまで安定的に精製することが可能であり、更に硫化水素、シロキサン、水分といった不純物の同時除去を行える設備としました。

③ 消化ガス発電機

最大発電量560kwの出力を有し、受電設備・系統連系方式を採用して場内使用電力の約31%を供給しています。また、長期間の停電を伴う災害時には都市ガスの中圧ガスを利用して運転が可能なシステムとなっています。排熱は、熱交換機により回収し、消化槽内の汚泥を温め、メタン発酵を促進させています。



写真2



写真3



写真4

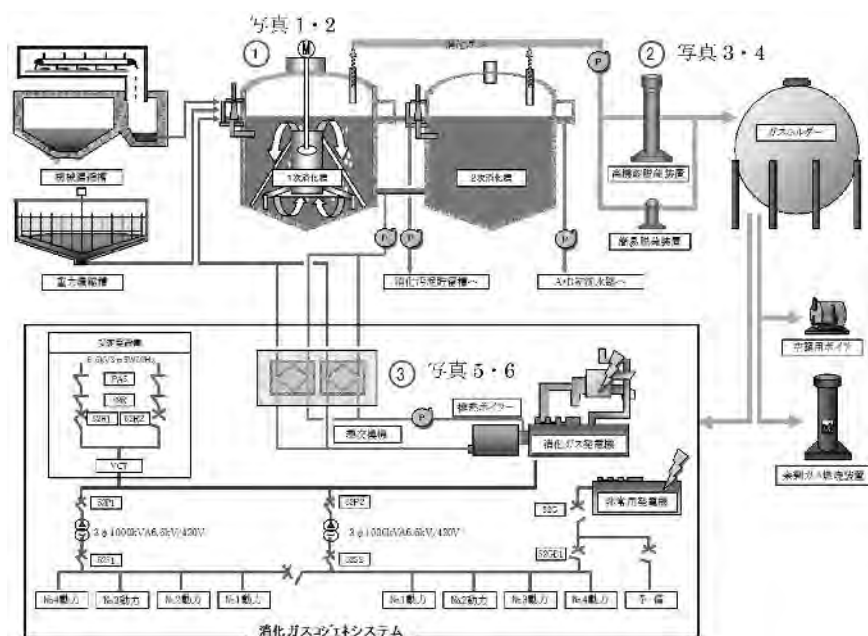


写真5



写真6

(3) システムフロー図

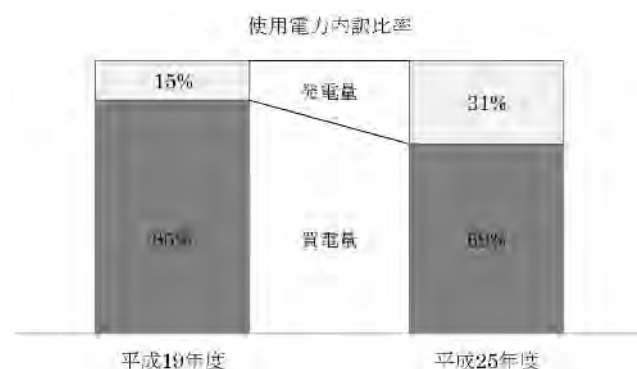
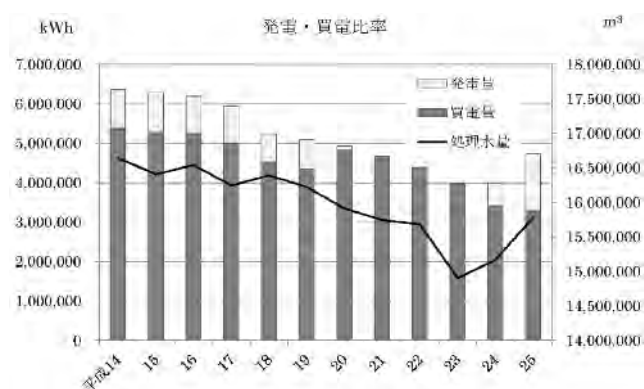


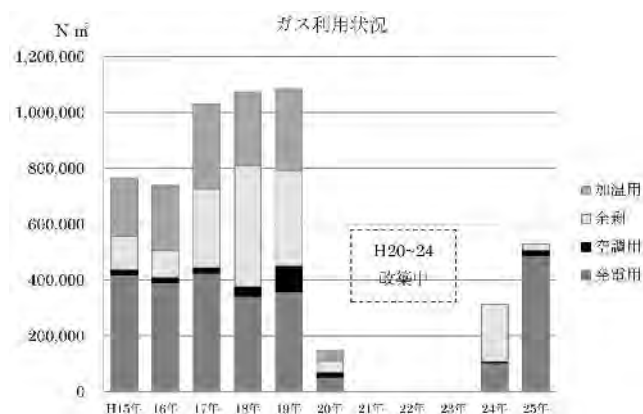
月から本格稼働を行っています。

4. 消化ガス発電装置の運転状況

平成24年度8月より試運転を開始して、平成25年4

平成25年度実績で約1,450MWhの発電を行い、電力によるCO₂搬出量を換算すると年間803tの環境負荷軽減になります。改築以前の平成19年度と比較すると買





電量も14%削減となります。

処理場で使用する電力の内訳について、平成19年度を比較してみると、約16%向上しました。今回のシステムでは、エンジン排熱を消化タンクの加温に利用しているため加温用ボイラが不要となり、発電に使用できるガス割合が増加したためです。

平成25年度の実績については、平成19年度の比較

で、余剰ガス93%削減となります。また、使用ガス量が減少しているのは、脱硫装置により消化ガスをメタンガス・二酸化炭素等の地球温暖化防止の一役を担っており、使用電力量に占める発電の自給率が上がりました。また、非常時・災害時の停電時における、最小限の処理機能を維持するための電力確保及び既設発電設備における騒音問題の恒久対策が図ることが出来ました。

5. 終わりに

平成25年度から本格稼働し、順調に消化ガスの供給が進んでおります。今回の改築において、多少ではありますが、下水道から発生する温暖化ガスであるメタンガス・二酸化炭素等の地球温暖化防止の一役を担っており、使用電力量に占める発電の自給率が上がりました。また、非常時・災害時の停電時における、最小限の処理機能を維持するための電力確保及び既設発電設備における騒音問題の恒久対策が図ることが出来ました。

今後は、下水処理施設に眠った未利用エネルギーを資源として、施設のエネルギー循環経路内に取り込み、その潜在的なエネルギープラントとしての能力を一層発揮していきたいと思っております。

コ ラ ム

失敗に学ぶバイオマス検討

一昨年策定された「バイオマス事業化戦略」で特筆すべきは、関係者の連携による原料生産から収集・運搬、製造・利用までの一貫システムの構築（技術（製造）、原料（入口）、販路（出口）の最適化）が必要との記述であろう。特に農村部において技術（製造）、原料（入口）、販路（出口）が最適化された一環システムを構築する場合、行政と民間の役割分担による協働が極めて重要である。

石垣市では、既存の石垣市堆肥センターのフル活用に加え、汚泥と生ごみや泡盛粕などを活用したメタン発酵施設の導入の検討を進めている。これら検討においては特に製造、入口、出口の最適化に重きをおいている。

石垣牛ブランドが確立している石垣市では、数年前に整備した堆肥センターが存在する。実は、この堆肥センターが製造、入口、出口が最適化されたとは言いがたい状況であった。堆肥センターの再生・フル活用なくして次のメタン発酵施設の導入には進めない状況である。堆肥センターでは家畜ふん尿が計画通りに集まらないため、堆肥の製造原価が高くなる、しかも殆どの堆肥を袋詰製品として出荷するため堆肥も売れないという悪循環に陥っていた。

この計画について、当時の石垣市の担当と民間事業者を非難する気は毛頭なく、むしろ循環の構築に向けて努力した形跡がある。しかし、バイオマス技術を知らない市の職員と、石垣の畜産や農業を知らないコンサルタント・プラントメーカーなど民間事業者との間で計画段階での連携が上手く行かなかった。市の担当は、民間事業者による他の地域では上手く行った経験をベースとした計画を鵜呑みにし、そのまま施設を建設。その運営を指定管理者に、しかも原料収集から製品（堆肥）の販売まで全てを委ねてしまい今の状況に至っている。民間事業者には、農業や農村は各地域の風土のうえにあることを謙虚に理解してほしかった。

農村部において、バイオマスを検討する際、入口である家畜ふん尿や生ごみ等の収集、出口である堆肥やメタン発酵消化液の施用等を普及するには農村社会のシステムを少し変えることが必須である。このため行政は、民間事業者の製造等に関するアドバイスを聞きながら、責任を持って、環境施策、農業施策として地域の風土に合わせて取り込むよう推進することが重要である。

さて、石垣市堆肥センター、計画段階で失敗した製造、入口、出口の最適化に取り組んでいる。入口、本年度から家畜ふん尿の収集を市の直営にした。出口、堆肥の施用にはマニュアルスプレッダやサトウキビ用に開発した堆肥筋蒔き機を導入予定である。さらに、堆肥の製造工程も少し見直した。文章にすると数行であるが、堆肥施設の指定管理者、JAや糖業の関係者、市の担当が一丸となって体制作りと農家の啓発のため、アンケートや説明会、調整等々に汗を流している。

次に、メタン発酵施設の導入検討。本年度は、汚泥、生ごみ、泡盛粕を原料とし、日量1トン程度の液肥製造が出来るメタン発酵テストプラントを自前で建設予定である。予算は1千万円強、生ごみ破碎機や発酵槽等の部材は自前で購入、プラントメーカーのOBをアドバイザーとし、市内でプラント建設の経験を有する設備会社に組み立てを委託する。

このテストプラントの主な目的は、生ごみの分別回収と消化液の液肥利用の社会実験や実証試験である。が、真の目的は、小さな失敗を積み重ねて数年後の実機の計画・設計に生かすこと。堆肥センターの計画時の失敗を繰り返さないよう、メタン発酵の実機の計画・設計・運営においては民間事業者と真の協働が出来るよう準備を進めている。

沖縄県石垣市農林水産部長 岩下 幸司

報 告

ホーチミン市下水汚泥処理・ 処分の現状と課題

(一財) 都市技術センター企画推進部事業企画課長 大 谷 佳 史

キーワード：ホーチミン、技術協力、官民連携、下水汚泥、コンポスト

1. はじめに

近年、日本の地方自治体が、海外での水ビジネスに関与しようとする動きが加速している。大阪市も例外ではなく、大阪 水・環境ソリューション機構を立ち上げ、官民連携による、海外における水・環境インフラ事業の形成、実施を目指して活動している。特に、ベトナム・ホーチミン市との技術協力関係は、非常に強固になりつつあり、筆者は、最近1年間で4回のホーチミン市出張と、4回のホーチミン市関係者の研修受入を行っており、ホーチミン市下水道の現状と課題をある程度把握できている。

本報告では、ホーチミン市と大阪市の技術協力について簡単に説明し、特に下水汚泥処理・処分に関して把握している状況と課題について記載する。

2. 大阪市とホーチミン市の下水道分野の技術協力

(1) 地方自治体の海外水ビジネスへの参加

平成21年10月に開催された経済産業省の研究会¹⁾では、表1に示すとおり、世界の水市場規模は2007年で約36兆円であったものが、2025年には約87兆円に拡大すると試算されている。

日本企業は、この成長する世界水市場を獲得するた

めに、ヴェオリアなどのいわゆる「水メジャー」やシンガポール、韓国の新興水関連企業等と競争しなければならない。水メジャーは、上水道や下水道の装置設計・組立・建設から運営・管理までを自社単独で一貫して元請けするサービスを提供できるのに対し、日本では、「部材・部品・機器製造」、「装置設計・組立・建設」及び「運営・保守・管理」が、それぞれ個別企業により事業展開されており、特に「運営・保守・管理」の知見は、地方自治体にその多くが蓄積されている。水メジャーに勝つためには、これらの分野が協力して海外展開を目指す必要があることから、地方自治

表1 水ビジネス市場の事業分野・業務分野別成長見通し

(上段: 2025年…合計87兆円、下段: 2007年…合計36兆円)

事業分野	業務分野 素材・部材供給 コンサル・建設・設計	管理・運営サービス	合計
上水	19.0兆円 (6.6兆円)	19.8兆円 (10.6兆円)	38.8兆円 (17.2兆円)
海水淡水化	1.0兆円 (0.5兆円)	3.4兆円 (0.7兆円)	4.4兆円 (1.2兆円)
工業用水・工業下水	5.3兆円 (2.2兆円)	0.4兆円 (0.2兆円)	5.7兆円 (2.4兆円)
再利用水	2.1兆円 (0.1兆円)	—	2.1兆円 (0.1兆円)
下水	21.1兆円 (7.5兆円)	14.4兆円 (7.8兆円)	35.5兆円 (15.3兆円)
合計	48.5兆円 (16.9兆円)	38.0兆円 (19.3兆円)	86.5兆円 (36.2兆円)

□: ボリュームゾーン (市場の伸び2倍以上、市場規模10兆円以上)
■: 成長ゾーン (市場の伸び3倍以上)

1) 出典: Global Water Market 2008、及び 経済産業省試算。(注: 1ドル=100円換算)

体の海外水ビジネスへの参加が求められている。

次に、もう少し遡って、「国際貢献」という合言葉が、いつの頃から「水ビジネス」に変わってきたのか、筆者の経験も交え整理したい。

筆者は、2002年2月から2004年4月までJICA下水道計画専門家としてケニア共和国で働く機会を得た。ただ、その当時は、「国際貢献」をしているという感覚は無論あったが、「海外での水ビジネス」という意識はあまりなく、逆にJICA専門家として商社等の駐在員と様々な情報交換を行うことについて、少なからず違和感があった。

一方、2007年末に、故中川昭一元財務大臣を会長とする「特命委員会水の安全保障研究会」が設置され、2009年1月に「水の安全保障戦略機構」が設立された時期から、海外の水問題解決と日本の関連企業の海外展開を結びつけた考え方が広く示されるようになり、その考え方は、2009年9月に民主党政権が誕生してから引き継がれている。

2010年6月に閣議決定された「新成長戦略」には、「日本の「安全・安心」等の技術のアジアそして世界への普及」、「環境技術において日本が強みを持つインフラ整備をパッケージでアジア地域に展開・浸透させる」などの表現が使われており、インフラ輸出が、成長戦略の重要な要素として位置づけられている。国際貢献と外需拡大との両方を目指したインフラ輸出戦略が目指すべき方向とされてきたことが分かる。再び、自民党政権が誕生した2012年12月以降も、基本的な考え方は継承されており、2013年5月には、第4回 経協インフラ戦略会議で「インフラシステム輸出戦略」が示されている。

上述したように、上水道・下水道事業は、日本では

地方公共団体が担っているケースがほとんどであり、特に政策面の知見は、国や地方自治体に蓄積されていると言っても過言ではない。したがって、ごみ処理も含め、水・環境インフラの輸出には、地方自治体の関与が求められている。全34ページの「インフラシステム輸出戦略」には、「地方自治体」という言葉が16回使用されており、「国と地方自治体とが連携したトップセールスの実施」、「早期段階からの相手国政府との連携や政策対話の実施、民間セクター、地方自治体等とも連携したマスタープランの作成を通じて、我が国の技術・ノウハウが適正に評価される環境を整備」などの案件形成の手法に関する記述や、「インフラ海外展開の担い手となる企業・地方自治体や人材の発掘・育成支援」、「中小・中堅企業及び地方自治体の優れた水処理技術等の海外展開支援」など、地方自治体の海外展開支援に関する記載などが見られる。

以上のように、地方自治体が、水・環境インフラ輸出に様々な形態で関与することが求められてきている。

(2) 大阪市の水・環境分野の海外展開について

大阪市は、これまで様々な水・環境問題を克服した経験と技術を活かし、海外諸国が抱える水・環境問題の解決に貢献できるよう取り組んできている。上下水道分野のJICA研修や専門家派遣がその典型例であり、大阪市の上下水道と環境分野のJICA研修員の受入は、2009年までの集計で1,392名であり、JICA専門家派遣は、図1に示すとおり、2012年までに上水道分野が16ヶ国59名、下水道分野が13か国36名に上る。

上述したように地方自治体に、国際貢献のみではなく、海外での水・環境ビジネスへの関与を求める社会



図1 大阪市のJICA専門家派遣実績（上水道・下水道）（2012年時点）

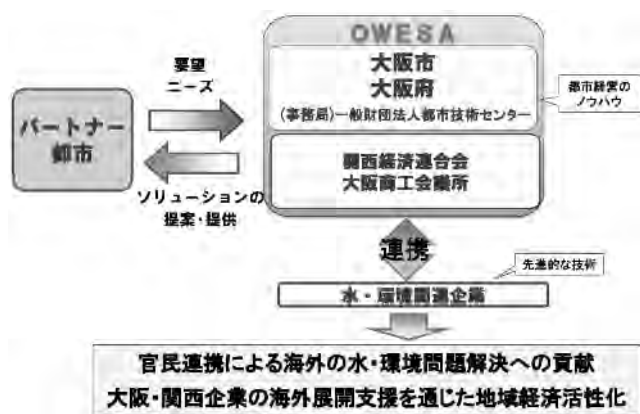


図2 大阪水・環境ソリューション機構（OWESA）の構成と目的

要請に応えるために、図2に示すとおり、平成23年4月には、「大阪水・環境ソリューション機構」（以下、機構とする）を設立した。機構の目的は、海外の水・環境問題の解決への貢献と、大阪・関西企業の海外展開支援による地域経済の活性化である。機構では、様々なニーズに対応できるよう上下水道、廃棄物をひとつのパッケージとして連携し、（公社）関西経済連合会、大阪商工会議所、平成24年8月からは大阪府も参画し、官民連携で海外展開を進める体制を構築している。

また、平成23年7月3日～9日に、近畿経済産業局、大阪商工会議所、公益社団法人関西経済連合会、関西国際空港株式会社、大阪観光コンベンション協会とともに、大阪市長が、経済発展が目覚ましいアセアン諸国を訪問しトッププロモーション活動を実施した。市長や経済界、政府機関のトップが自ら、大阪・関西が有する水・環境技術についてPRするとともに、7月7日にベトナム・ホーチミン市において、ホーチミン市人民委員会との間で、従来からの経済交流を一層強化し、環境保全・水道・都市洪水対策・下水道・廃棄物処理などに関する協力を促進していくことについて、「ベトナム社会主義共和国ホーチミン市人民委員会と日本国大阪市との主要分野における協力関係に関する覚書」（以下、「覚書」）を締結した。この中で、都市洪水対策・下水道等に関する協力促進、技術交流団の派遣・受入促進、人材育成協力を行うこととしており、覚書締結を契機に両市の関係強化を図り、官民連携による海外展開のより一層の推進をめざしている。

（3）ホーチミン市下水道事業への協力

平成23年9月より、覚書に基づく技術効力の一環として、JICA技術協力プロジェクト「ホーチミン市下水管理能力向上プロジェクトフェーズ2」の長期専門家2名を大阪市からホーチミン市洪水対策センター（SCFC）に派遣している。また、専門分野の技術移



写真1 MOU調印式（ホーチミン市にて）

転のため派遣する短期専門家もすべて大阪市から派遣している。

その他、ベトナムやホーチミン市を対象としたJICAの下水道関係の研修受入や、2013年からは、JICA草の根技術協力（地域提案型）「ホーチミン市における都市排水管理技術向上プロジェクト」を開始している。同プロジェクトは、大阪市建設局、（一財）都市技術センター、SCFC及びホーチミン市都市排水公社（UDC）が協力して実施しており、下水道施設の計画立案、建設事業を行う大阪市建設局とSCFC、下水道施設の維持管理を担当する（一財）都市技術センターとUDCの4者の間で、技術協力体制が構築されている。

今までのホーチミン市への派遣職員数は、延べ27人、受入研修員数は、延べ49人に上る。筆者は、2012年度は、大阪市建設局の担当者として、2013年度以降は、（一財）都市技術センターの担当者としてホーチミン市との技術交流に関わり、2013年度は、4回ホーチミン市を訪問した。

①ホ市下水管理能力開発プロジェクトフェーズ2（JICA）（2011.9～2014.9）

長期専門家：土木職・機械職を各1名、3年間派遣
短期専門家：土木職（3回）、電気職（3回）、化学職（3回）3週間程度／回

研修員受入：2週間×3回 計35人

②ベトナム国別下水道経営研修（JICA）（2011～）

研修員受入：2週間×3回 計30人（内、ホーチミン市から7人）

③ホーチミン市における都市排水管理技術向上プロジェクト（JICA草の根技術協力地域提案型）（2013～）

職員派遣：1週間×3回 計13人派遣

研修員受入：2週間×1回 計7人受入

④ベトナム国における本邦下水汚泥処理技術普及方策検討業務（国交省）（2013年度）

職員派遣：1週間×1回 計2人派遣

表2 下水道マスタープランに位置づけられた12処理区の概要

	処理区名	対象地区	排除方式	処理能力 (m ³ /日)	備考
1	タウフベングドイデ	1、3、4、5、6、8、10区、タンビン、ビンチャン	合流、分流	512,000：全体 469,000：2期 141,000：1期	1期2期共に円借款
2	サイゴンウエスト	12区、タンブ、タンビン、ゴヴァブ、ビンタン	合流、分流	120,000	
3	タンホアロゴム	6、8、11区、タンビン、タンブ、ビンタン、ビンチャン	合流、分流	300,000	
4	サイゴンサウス	7区、ニャペー	合流、分流	200,000	
5	サイゴンイースト	2区、チュティエム	分流	350,000	世銀
6	サイゴンノース1	チュデユック	分流	170,000	
7	サイゴンノース2	9区	分流	130,000	
8	タムルンベンキャット	12区、ビンチャン、ゴヴァブ	合流、分流	250,000	
9	ニューロックティグ	1、2、3、5、10区、ビンチャン、ゴヴァブ、プニユアン、タンビン	分流	500,000	世銀
10	ビンタン	ビンタン	分流	180,000	
11	カウズア	12区、モックモン	分流	100,000	
12	ノースウエスト	クチ、モックモン	分流	130,000	

出典：ホーチミン市における下水道 SCFC



図3 下水道マスタープランに位置づけられた12処理区の位置図

3. ホーチミン市の下水道マスタープランと下水道の概要

(1) 下水処理場の計画と現状

ホーチミン市の下水道マスタープランは、2010年1月6日付で首相決定されたもので、2025年をターゲットとしている。同マスタープランに位置づけられた下

水処理区は、表2と図3のとおりである。

下水道マスタープランの改正は、2010年で3回目になり、2001年にJICAが作成した社会経済マスタープランが基になっている。ホーチミン市主要部を12の排水区に分け、それぞれに終末下水処理場を設けるもので、計画処理能力は、全体で2,942,000m³/日となり、現在の大阪市の下水処理能力と同等程度となる。現在稼働している下水処理場は、2か所で、散気ラグーン

式のビンフンホア下水処理場（30,000m³/日）と、日本の円借款を活用して建設した、ビンフン下水処理場（第1期 141,000m³/日が稼働）である。

集水方式としては、既に都市排水施設が整備されている市街地においては、合流式（インターセプター下水道）であり、その他は、分流式で整備される予定である。

マスタープランは整備されているものの、建設資金はODAに頼るところが大きく、現在、建設資金の融資が予定されているのは、円借款によるビンフン下水処理場第2期（処理能力増強 141,000→469,000m³/日）と、世界銀行の融資が予定されているニューロックティゲ下水処理場とサイゴンイースト下水処理場（両処理場を統合して第1期 480,000m³/日を先行）のみである。

(2) 下水管網の計画と整備状況

ホーチミン市内の都市排水施設は、その機能から、表3のとおりLevel 1～4に分類される。Level 1は、

運河の一部となっており全長57kmである。運河に接続している都市排水施設（下水管）であるLevel 2やLevel 3の下水管は、全長約1,140km、残りのLevel 4の下水管は、約902kmである。なお、マスタープランでの下水管の計画総延長は、6,000kmであり、Level 2～4の下水管は、その1/3程度となる。

ホーチミン市では、Level 1～3の施設は、SCFCからの委託によりUDCが維持管理を行うが、Level 4の施設は、ホーチミン市の下行政単位である郡（District）が管理しており、下水管への各戸接続は、各Districtの役割となる。このように、下水道幹線と末端の事業所や住居等との接続の所管が分かれていることは、下水管渠網を面的に管理しづらいことから、維持管理上の障害となっている。

4. ビンフン下水処理場について

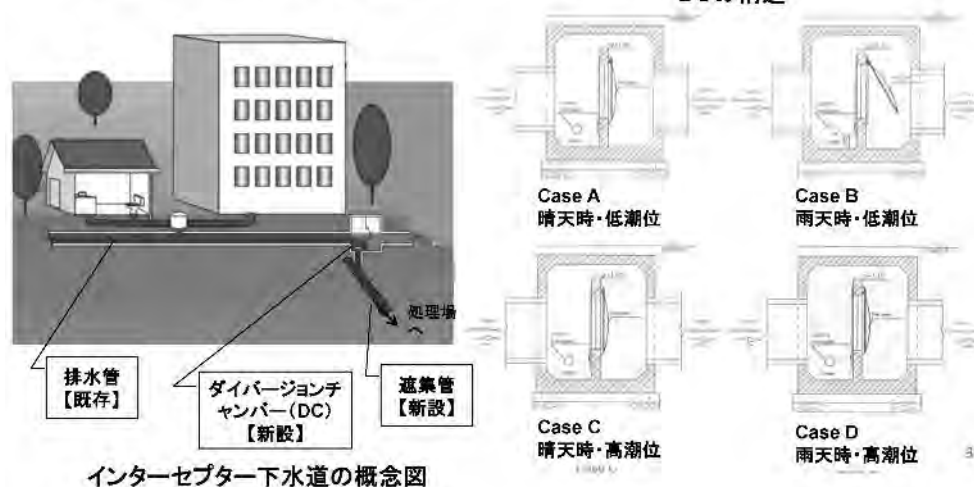
(1) ホーチミン市水環境改善事業（円借款）について
ビンフン下水処理場は、ホーチミン市水環境改善事

表3 ホーチミン市の都市排水施設の分類

	都市排水施設の分類	距離	管理主体
LEVEL 1	都市排水施設として位置づけられた運河	57km	SCFC
LEVEL 2	LEVEL 1に接続する都市排水施設	1,140km	SCFC
LEVEL 3	LEVEL 2に接続する都市排水施設		SCFC
LEVEL 4	LEVEL 3に接続する都市排水施設	902km	各District

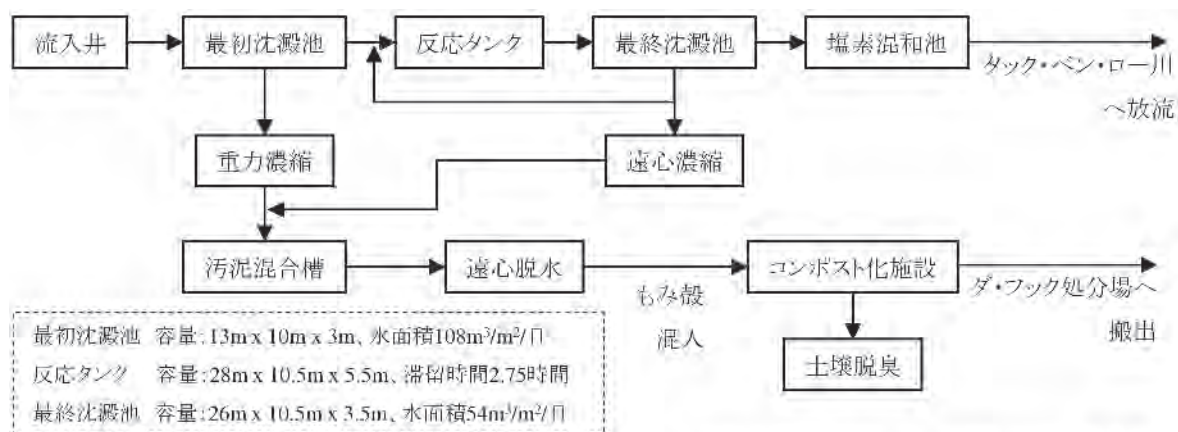
- ・ 既存の合流式下水道管渠網を利用したインターセプター下水道を採用
- ・ 既存管から汚水を分水するダイバージェンチャンパー（DC）と遮集管を建設
- ・ DCには河川水の逆流を防ぐため、フラップを設置

DCの構造



ホーチミン市下水管理能力開発プロジェクトフェーズ2 提供資料

図4 ホーチミン市のインターセプター下水道の概要



出典: JICA ホーチミン市の水環境改善事業 説明資料の一部加筆

図5 ビンフン下水処理場の処理工程

業（1期）において、ホーチミン市の中心部約915haの地域（図3①の一部）の排水を処理するために建設された終末下水処理場であり、2009年5月に通水した。ホーチミン市では、フランス統治時代から合流式で下水管網の整備が進められており、汚水は、雨水と一緒に運河や河川に放流されてきた。

図4に示すとおり、ビンフン下水処理場処理区域では、既存下水管網の末端に設けたダイバーションチャンバーにより汚水を遮集し、中継ポンプ場を経由してビンフン下水処理場に送水するしくみになっており、いわゆるインターセプター下水道で整備されている。ダイバーションチャンバーには、フラップゲートが設置されており、降雨時に開放されるようになっている。一方、し尿は、セプティックタンクで処理されており、ビンフン下水処理場が通水してからもセプティックタンクが使用されている。汚泥引抜などの維持管理を適正に行えば、セプティックタンクは、降雨時におけるし尿の河川等への流出を抑制する役割を果たすと考える。

現在、ホーチミン市水環境改善事業（2期）が準備中であり、1期と合わせて2,150haの地域の排水がビンフン下水処理場に集水され、処理能力は、約3倍強の469,000m³/日まで拡大される。

(2) ビンフン下水処理場の処理工程について

ビンフン下水処理場の水処理・汚泥処理のフローは図5のとおりであり、水処理は標準活性汚泥法（現況の運転は修正活性汚泥法）としている。汚泥処理は生汚泥、終沈汚泥を別系統で濃縮した後、遠心脱水にかけ、脱水汚泥にもみ殻を混入してコンポスト化している。

(3) 流入BOD濃度

SCFCから提供された2010～2013年の水質試験デー

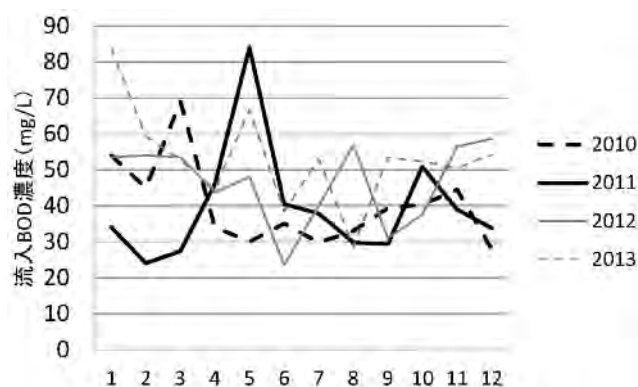


図6 ビンフン下水処理場流入BOD変化

タを基に流入BOD濃度を図6に整理した。データには、相当の変動があるものの年平均では、40～50mg/L前後であり、相当低いと言わざるを得ない。流入BOD濃度が、このように低い原因を正確に把握できているわけではないが、下水管内での有機物分解、セプティックタンクにおける有機物分解、ダイバーションチャンバーからの河川水侵入による希釈、下水道への接続不足などが想定される。

一方、流入有機物濃度が低いことから、当然ながら脱水汚泥中の有機物含有率も低く、2012年の平均で50%程度である。同じ合流式である大阪市の下水処理場では、嫌気性消化槽投入汚泥の有機物含有率は、80%程度であり、嫌気性消化や固形燃料化による下水汚泥からのエネルギー回収を考慮した場合、有機物含有率が低いことは大きなデメリットである。

(4) 固形物収支

図7は、SCFCから提供された2012年の水質試験データ、運転データを基に作成したビンフン下水処理場の固形物収支図である。設計能力141,000m³/日に対し、2012年の平均流入水量は、122,000 m³/日である。

採用している水処理方式は、修正活性汚泥法であり、現状の生物反応槽滞留時間が、3.2時間であり、標準活性汚泥法のほぼ半分程度である。しかしながら、流入汚濁濃度が低いこともあり、放流水中のBOD、SS濃度は、それぞれ、5.8mg/L、6mg/Lと低く安定している。

固形物収支図には示していないが、余剰汚泥は、沈

殿池汚泥と混合される前に遠心濃縮される（余剰汚泥濃度が高いため重力濃縮はなし）。脱水方式は、遠心脱水であり、脱水ケーキともみ殻を混合し、コンポスト処理が行われている。

なお、固形物収支試算において、余剰汚泥発生量等を推定する必要があるため、表4に示すとおりの設定条件を用いた。

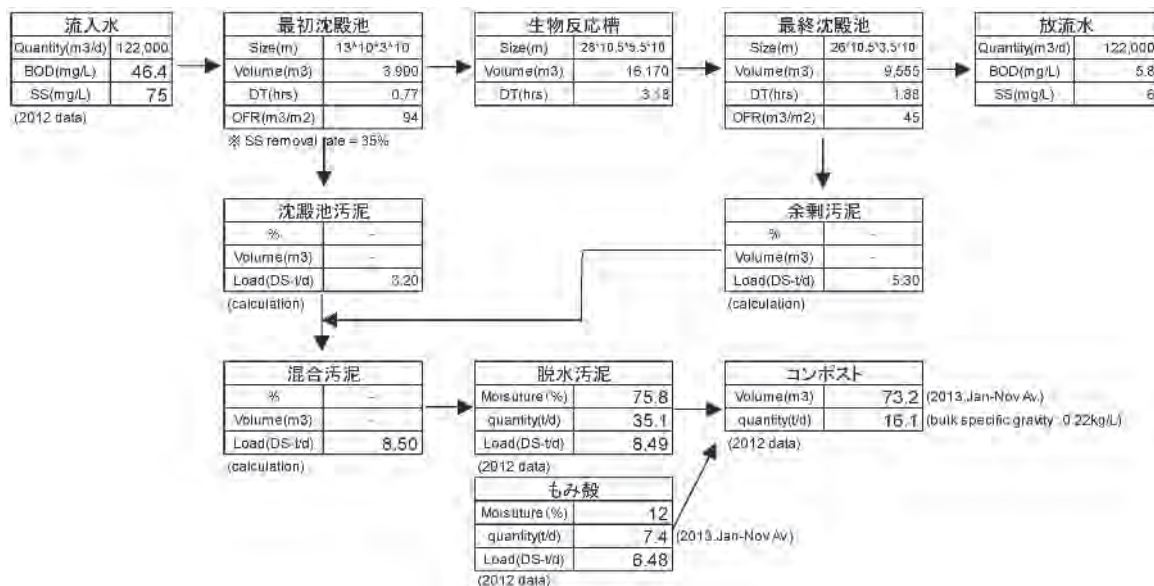


図7 ビンファン下水処理場の固形物収支試算

表4 固形物収支試算における主な設定条件

項目	数値	備考
流入水量(m³/d)	Q _{in}	122,000 2012年平均値
流入BOD濃度 (mg/L)	C _{BOD, in}	46.4 2012年平均値
流入SS濃度 (mg/L)	C _{SS, in}	75 2012年平均値
沈殿池におけるBOD除去率 (%)	r (BOD _{in})	30 設計資料参照
沈殿池におけるSS除去率 (%)	r (SS _{in})	35 設計資料参照
沈殿池固形物除去量 (DS-t/d)	ΔSS(PST)	3.2 C _{SS, in} × r (SS _{in}) / 100 × Q _{in} × 10 ⁻⁶
生物反応槽流入 BOD濃度 (mg/L)	C _{BOD, in (AT)}	32 C _{BOD, in} × (100 - r (BOD _{in})) / 100
S-BOD/BOD (生物反応槽流入)	S-BOD/BOD(AT)	0.67 設計資料参照
生物反応槽流入 S-BOD濃度 (mg/L)	C _{S-BOD, in (AT)}	22 C _{BOD, in (AT)} × S-BOD/BOD(AT)
生物反応槽流入 SS濃度 (mg/L)	C _{SS, in (AT)}	49 C _{SS, in} × (100 - r (SS _{in})) / 100
MLSS (mg/L)	X	1,550 2012年平均値
生物反応槽容量(m³)	V	16,170 28m*10.5m*5.5m*10槽
放流S-BOD (mg/L)	C _{S-BOD, out}	5.8 2012年平均放流BOD濃度と同等と仮定
放流SS (mg/L)	C _{SS, out}	6 2012年平均値
a	a	0.55 下水道施設計画・設計指針と解説(日本下水道協会)参照
b	b	0.95
c	c	0.03
余剰汚泥による固形物除去量 (DS-t/d)	ΔSS(AT)	5.3 Q _w × RSS + C _{SS, out} × Q _{in} = (a × Q _{in} × (C _{S-BOD, in} - C _{S-BOD, out}) + b × Q _{in} × (C _{SS, in} - C _{SS, out}) - c × V × X) × 10 ⁻⁶
返送汚泥比 (-)	r	0.17 2012年平均値
返送汚泥濃度 (mg/L)	RSS	10,668 X × (1 + r) / r
余剰汚泥量 (m³/d)	Q _w	497 ΔSS(AT) × 10 ⁶ / RSS
固形物除去量 (DS-t/d)	ΔSS(PST+AT)	8.5 ΔSS(PST) + ΔSS(AT)
脱水汚泥含水率 (%)	-	75.8 2012年平均値
脱水汚泥量 (t/d)	-	35.1 ΔSS(PST+AT) / (100 - 75.8) × 100

(5) コンポスト施設概要

コンポスト施設は、発酵前の副貯蔵棟（脱水汚泥ともみ殻の混合）、密閉式の1次発酵棟、開放式の2次発酵棟、及び主貯蔵棟から成る。1次発酵棟の臭気は、土壤脱臭施設により処理される。また、2次発酵棟には、噴霧式の薬剤添加装置が、周辺住民からの臭気苦情発生後に設置されている。

4. 2012年の大規模な臭気苦情発生とコンポストの仮置きについて

(1) 通水～2012年半ば

ビンフン下水処理場の水処理・汚泥処理フローは、図5のとおりであるが、2009年5月の通水から2012年の半ばまで、コンポスト製造工程において、発酵助剤となるもみ殻は添加されていなかった。もみ殻を添加しなかった理由は、経費節減である。結果として、嫌気性発酵の進行などにより想定外の臭気が発生した可

能性がある。

(2) 周辺住民からの大規模な臭気苦情

通水当時は、周辺に住居は無かったが、下水処理場へのアクセス道路沿いで住宅開発が進行し、下水処理場周辺の住民数が急速に増加した。結果として、2012年半ばにSCFCに対し大規模な臭気苦情が寄せられ、ホーチミン市人民委員会は、周辺住民に対し1か月以内の改善措置実施を約束した。

(3) もみ殻添加開始とDa Phuoc処分場への搬出

2012年6月から、もみ殻の添加（添加量：200～300t/月）を開始した。もみ殻添加後は、コンポスト製造特有の臭気は発生するものの、大規模な臭気苦情は沈静化した。表5に、2012年から2013年11月までのコンポスト搬出量を示す。もみ殻添加によるコンポスト製造開始後は、コンポストは、Da Phuoc処分場に仮置きするため搬出されている。



写真2 第1次発酵棟



写真3 第2次発酵棟



写真4 臭気対策用薬剤添加装置



写真5 土壤脱臭施設

Da Phuoc処分場では、写真7のように、コンポストが搬出、仮置きされ、2013年11月時点での累積仮置き量は、約27,000m³に上る。臭気苦情発生以前のコンポストの搬出場所あるいは有効利用実績については、SCFCから明確な情報を得ることができなかったが、ビンフン下水処理場の汚泥処理の出口であるコンポストの有効利用先を確保できていなかったことは明らかである。

5. ホーチミン市下水汚泥処理に関する調査結果

国交省下水道部が、「ベトナム国における本邦下水汚泥処理技術普及方策検討業務」を実施し、大阪市建設

局や都市技術センターも調査に参加し、受託コンサルタントを支援した。筆者も現地調査や、調査結果のホーチミン市への報告に参加した。調査期間は、平成25年12月～平成26年3月である。

(1) ホーチミン市の廃棄物処分状況

ホーチミン市で発生する事業系・生活系廃棄物の総量は、約7,500～8,000t/日であり、有価物等が回収された後、最終処分対象となるのは約6,500t/日と推定される。最終処分方法は、基本的には埋立であり、表6に示すとおり、3か所の埋立処分場で処分されている。

(有) 都市環境公社は、ホーチミン市が、100%出資

表5 ビンフン下水処理場のコンポスト搬出量

月	月	脱水ケーキ発生量(t)	搬出量(m ³)	もみ殻使用量(t)	日平均搬出量(m ³ /日)
2012	11	1,237	2,520	319	84
	12	1,261	0	189	
2013	1	1,085	1,932	287	62
	2	931	1,817	210	63
	3	1,169	2,239	229	72
	4	933	1,690	154	56
	5	1,067	1,853	175	62
	6	1,012	1,849	214	60
	7	959	2,912	266	97
	8	962	2,421	223	78
	9	956	2,617	210	87
	10	1,173	2,603	241	84
	11	1,160	2,516	252	84
	12	2,333			
2013年合計		13,740	24,448	2,461	805

出典：ホーチミン市下水道管理能力向上プロジェクトフェーズ2 提供



写真6 処理場内ストックヤード



写真7 処分場での仮置き状況

表6 ホーチミン市最終処分場の概要

埋立処分場	面積 (ha)	収容量(t/日)	稼働開始	投資者
Phuoc Hiep (第2埋立処分場)	19.7	1,500 - 2,500	2008年8月	(有)都市環境公社
Da Phuoc	128	2,500 - 3,000	2007年11月	(有)ベトナム廃棄物処理 (VWS アメリカ)
Dong Thanh	43	1,000	1992年	

出典：ベトナム国ホーチミン市における固形廃棄物の統合型エネルギー回収事業報告書

する会社であるが、(有)ベトナム廃棄物処理は、民間出資の会社である。ホーチミン市の廃棄物処理には、民間企業の参画が盛んで、民間企業が、廃棄物処分場用地となる土地開発権を各人民委員会から与えられ、各自治体からごみのティッピングフィーを受け取って廃棄物処分事業を行っている。ただし、処分方法や湧出水の排水処理などが適正に行われているか確認できていない。

(2) 運河や下水道からの廃棄物発生量

市内の運河や下水道から発生する廃棄物は、下のとおり区分される(SCFCからのヒアリングより)。

①ビンフン下水処理場から発生する脱水汚泥(35t/日)

②下水管渠や中継ポンプ場沈砂池からの浚渫汚泥(700～850m³/日)

③運河改修工事時に発生する浚渫汚泥

①の脱水汚泥量は、ベトナムの下水処理場から発生する量としては、最も多い部類に入ると考えられるが、ホーチミン市の廃棄物総量と比較すると圧倒的に少ない。一方、②に関しては、浚渫汚泥を洗浄し住宅開発等に使用しているとの情報もあり、Da Phuoc処分場における浚渫土砂の処分量と②の数値は合致していない。③については、タン・ファ・ロ・ゴム運河の

表7 ホーチミン市における将来の下水汚泥発生量試算

	ビンフン 下水処理場 (2012)	ビンフン 下水処理場 (Phase2)	ビンフン 下水処理場 (Phase3)	ビンフン 下水処理場 (Phase3) + 世銀 下水処理場	全12 下水処理場
流入水量(m ³ /d)	122,000	469,000	512,000	1,362,000	2,942,000
流入BOD濃度(mg/L)	46.4	46.4	46.4	46.4	46.4
流入SS濃度(mg/L)	75	75	75	75	75
固形物除去量(DS-t/d)	8.5	33	36	100	220
汚泥発生量(t/d)	35	135	148	415	910
コンポスト製造量(m ³ /d)	73	280	309	864	1,896
焼却灰発生量(t/d)	6.1	23	26	72	157
焼却灰発生量(m ³ /d)	7.6	29	32	90	197
乾燥汚泥発生量(t/d)	9.4	36	40	111	245
乾燥汚泥発生量(m ³ /d)	13	52	57	159	350

・コンポスト製造量について、2012年は、実績、Phase2以降は、2012年実績をベースに試算した結果。

・脱水汚泥中の有機物含有率は、2012年実績ベースの50%とする。

・焼却灰の含水率は30%、かさ比重は0.6kg/Lと仮定した(下水道施設計画・設計指針と解説(2009年版)参照)。

・乾燥汚泥の含水率は、10%、かさ比重は、0.7kg/Lと仮定した(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(H.20.3月 日本下水道事業団技術評価委員会))。

改修工事が本格化すると、大量の浚渫土砂が発生することになる。

(3) ホーチミン市での将来的な下水汚泥発生量の試算

調査の中で、現状のビンフン下水処理場固形物収支を基に、将来的な下水汚泥発生量を試算した結果を表7に示す。ビンフン下水処理場の第2期(469,000m³/日)、第3期工事(512,000m³/日)完了後、世界銀行の融資により建設が検討されている、ニューロックティゲ(500,000m³/日)及びサイゴンリバーイースト(350,000m³/日)の両下水処理場の通水後など、いくつか段階を設けて試算した。また、発生した脱水汚泥をコンポスト処理、乾燥処理及び焼却処理した場合の最終発生物量も合わせて試算した。試算においては、出来る限りビンフン下水処理場における実測データを使用した。一部、日本における既存のデータを参考にした。

試算の結果、脱水汚泥発生量は、現在の35t/日に対し、ビンフン下水処理場第2期工事後は、135t/日まで増加すると推定された。現状どおり、これにもみ殻を添加してコンポスト処理するとコンポスト製造量が、280m³/日と膨大な量となったが、乾燥処理や焼却処理を導入することにより、最終生成物量は、それぞれ52m³/日、29m³/日に減量されると試算された。

6. まとめ

(1) 大阪市としての助言の方向性

上記調査結果から、ホーチミン市において終末下水処理場の処理区域を拡大するにつれて脱水汚泥量が飛躍的に増加することは明らかであり、将来的に何らかの汚泥減容化・減量化技術の導入が必要と考えられる。この分野では、本邦企業技術の優位性がある程度確保されていると考えられることから、将来的には、本邦プラントメーカーと連携した助言を検討する必要がある。

また、地下水取水による地盤沈下と地球温暖化が原因とされている海面上昇により、ホーチミン市は、何の対策も講じなければ、将来的にかなりの範囲が水没すると危惧されている。したがって、温室効果ガス削

減に対するホーチミン市当局の関心は非常に高く、汚泥減容化・減量化だけでなく、温室効果ガス削減効果(下水汚泥からのエネルギー回収)も期待される。

減容化・減量化とエネルギー回収の両立について、その方向性が正しいことは、大阪市とホーチミン市の間で共有されているが、実際は、ビンフン下水処理場の脱水汚泥中の有機分が、50～60%程度しかなく、ホーチミン市において下水汚泥からのエネルギー回収を実施することには、課題が多い。

現在、大阪市環境局のグループとホーチミン市環境天然資源局が協力して、ホーチミン市の温室効果ガス削減実行計画を策定中であり、当該計画に下水汚泥処理・処分をどのように位置づけるか、今後、協議する予定である。

(2) ホーチミン市の下水汚泥処理改善の方向性

ホーチミン市人民委員会は、サイゴン・グリーン社という現地企業に、ビンフン下水処理場の脱水汚泥の処理・有効利用、下水管渠や運河の浚渫汚泥の処分を任せる方向で既に各方面に指示を出している。サイゴン・グリーン社は、Da Phuoc処分場内に建設する新たなコンポスト施設で、脱水汚泥を処理し、製品を市場に流通させる予定であると推察する。したがって、現状の下水汚泥処分に関して、大阪市や都市技術センターが助言するのは難しくなっている。

ただし、今まで構築してきたホーチミン市と大阪市の協力関係や、下水道技術に関する「大阪ブランド」は、かなり浸透したと自負している。大阪市の経験だけでなく、下水汚泥の処理・処分・有効利用に関する日本の行政機関や関係企業の政策や技術面での経験は、ベトナムなどでは貴重であることは疑いない。今後も、継続してホーチミン市の下水汚泥処理・処分に關し情報収集を継続し、必要な助言を継続していきたい。

(参考文献)

- 1) 「水ビジネスの国際展開に向けた課題と具体的方策」(平成22年4月水ビジネス国際展開研究会)「再生と利用」NO.145(2014年10月号)投稿

おしらせ

民間企業の投稿のご案内

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

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

投稿要領

（資格）

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

（原稿掲載の取扱い）

2. 原稿掲載の適否は、「再生と利用」編集委員会が決定します。

（掲載可否の判断基準）

3. 掲載適否の主な判断基準は、次の3. 1、3. 2、3. 3、3. 4によります。
 3. 1 単に汚泥処理に関する投稿文でなく、下水汚泥の有効利用の促進に資するものであること。
 3. 2 特定の団体、製品、工法、新技術等を宣伝することを目的とした投稿文（客観的、合理的な根拠を示すことなく、優秀性、優位性、有効性等について具体名を挙げて記述）でないこと。
ただし、次の場合は除く。
 - ①特定の団体、製品、工法、新技術等の紹介が目的であっても、優秀性、優位性、有効性等の客観性かつ合理的な根拠を明確にし、下水汚泥の有効利用の促進に資すると認められるもの。
 - ②特定の団体、製品、工法、新技術等の名称を記述しているが、単に論文の主旨をわかりやすく伝えるために用いており、投稿文の趣旨とは直接関係のない場合。
 3. 3 特定の団体、製品、工法、新技術等を誹謗中傷する内容を含む投稿文でないこと。
 3. 4 その他編集委員会が適当と考える事項について適合していること。

（原稿の作成、部数、送付先等）

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

5. 原稿の送付先は、下記の担当に送付して下さい。

（校正）

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

（著作権等）

7. 掲載した原稿の著作権は著者が保有し、編集著作権は、本会が所有します。

原稿登載区分

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

担当：公益社団法人 日本下水道協会 技術研究部技術指針課

住所 〒101-0047 東京都千代田区内神田2-10-12（内神田すいすいビル6階）

電話 03-6206-0369（直） FAX 03-6206-0796（直）

おしらせ

「再生と利用」への広告掲載方依頼について

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

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

記

1 発行誌の概要

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

2 広告掲載料・広告寸法等

掲載場所	サイズ	刷色	広告寸法	紙質	広告掲載料 （1 回当り）
表 3	1 頁	4 色	縦255×横180	アート紙	150,000円
後付	1 頁	1 色	縦255×横180	金マリ菊/46.5kg	40,000円
後付	1/2頁	1 色	縦120×横180	金マリ菊/46.5kg	25,000円

※ 表 3 は指定頁になります。原則として 2 回以上の継続掲載とします。
※ 広告掲載料は、消費税込みの金額です。

3 広告申込方法及び留意事項

- (1) 広告掲載は、本誌の内容に沿った広告に限り行います。
- (2) 広告掲載のお申込みは、掲載月の40日前（1 月発行号に掲載希望の場合は、12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 申込み先及び問い合わせ先

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）
〒135-0046 東京都江東区牡丹2-2-3-105
TEL. 03-5621-7850 (代) FAX. 03-5621-7851
Mail : info@lsweb.co.jp

(参考)

「再生と利用」特集企画予定

○第146号（平成27年1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147号（平成27年4月発行予定）

第27回下水汚泥の有効利用に関するセミナー特集

〔第27回下水汚泥の有効利用に関するセミナー開催について〕

期間・会場

開催地	期間	会場
佐賀県佐賀市	11月6日（木）～7日（金）	グランデはがくれ

「再生と利用」広告掲載申込書

公益社団法人 日本下水道協会 御中

(該当箇所にご記入及び○印を付けて下さい。)

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

上記のとおり申し込みます。

平成 年 月 日

会 社 (団 体) 名 ㊟

住 所 〒

担当者所属・職・氏名 ㊟

TEL
FAX

[広告代理店経由の場合に記入]

広 告 代 理 店 名 ㊟

住 所 〒

担当者所属・職・氏名 ㊟

TEL
FAX

汚泥再資源化活動

134回「再生と利用」編集委員会

日 時：平成26年 6 月18日

場 所：本会第1・2会議室

出席者：野池委員長、姫野、安陪、津森、島田、落、西田、川崎、仲谷、濱田、工藤、冠城、広武、杉江、福田、佐々木（代理）の各委員

議 題：（1）第144号「再生と利用」編集内容について
（2）第145号「再生と利用」編集方針（案）について

（3）平成26年度計画について

（4）その他・情報交換について

概 要：①第143号「再生と利用」編集内容について事務局から資料5のとおり報告し了承された。

②第144号「再生と利用」編集方針（案）について

事務局から、資料6のとおり説明を行った。三重県における高窒素系鶏糞堆肥の取組み及び、石川県のメタン発酵の研究取組が掲載可能であるか検討する。銅板製消化タンクの掲載可否については下水道機構にて検討することとする。また超高効率固液分離技術については次号以降に掲載することとする。

③平成26年度計画 について

事務局から、資料7のとおり説明を行った。特集テーマのFITについては、下水汚泥由来だけでなく畜産・糞尿系のバイオマス由来からの消化ガスについても事例の掲載も検討し、固形燃料由来の売電についても事例の掲載も検討することとする。福岡市では再生水事業及び、珠洲市の現状の稼働状況についての紹介を検討することとした。

④その他・情報交換について

下水処理場におけるFIT普及のポイントは価格面以外に設備認定範囲のあり方にも課題があるのではとの意見があった。また日本はメタン発酵残渣である液肥利用が遅れており、そのあたりどう進めていくのか課題があり、バイオマス産業都市構想に採択された南三陸町でも液肥利用の体制がまだない。このような中、大木町では有機農産物

を育てる手段として液肥利用の先進的な取組みを行っており、他市町村の参考となるのではないかと意見があった。

三井造船では韓国の高揚市にて250 t / 日規模のメタン発酵施設を稼働しているとの情報があつた。

第3回下水汚泥利用促進検討調査専門委員会

日 時：平成26年 7 月 4 日

場 所：本会中会議室

出席者：花木委員長、藤原、姫野、石井、中川、梶本、寺尾、津野、津森、山本、落、古畑、小池の各委員

議 題：（1）各小委員会の経過報告について
（2）目次構成（案）及び箱書き（案）について

（3）今後のスケジュールについて

概 要：①各小委員会の経過報告について

事務局から参考資料5、参考資料6、参考資料7、参考資料8のとおり説明を行った。肥料関係のアンケート結果については今後カテゴリー別にまとめることとした。建設資材利用にかかる情報ネットワーク活動に関する紹介の掲載箇所については今後検討することとした。

②目次構成（案）及び箱書き（案）について3分野技術の「課題と対応策」等を含めて書きぶりを3分野で統一することとした。エネルギー利用においては下水汚泥の特性及び、品質管理と流通も示すこととした。肥料利用にかかるコンポストの重金属に問題がないこともコメントすることとした。下水汚泥が有価で取引されるかどうかで廃棄物と有価物に分かれるため、これに関する通達も示すこととした。また利用用途に応じて、各種法令のどれに当てはまるのかを示すこととした。

放射性物質を含む利用については、クリアランスレベルの記述については見直しすることとした。

§1.1の内容にPDCAサイクル、スパイラルアップといった記述を追記することとした。5章の中で今回示した資源循環性等の5つ

の視点については、その評価手法を具体的に示すなど再度見直しを図ることとし、指標についても下水汚泥リサイクル率等、建設資材利用も含めた総合的な指標で目標を提示することとした。

③今後のスケジュールについて

事務局から資料3のとおり説明を行った。次回開催予定については5章の進捗次第で検討する。

146号「再生と利用」編集担当者会議

日時：平成26年7月24日

場所：インテックス大阪 D会議室

出席者：島田、安陪、落、川崎、濱田、広武、杉江の各委員

議題：(1) 第145号「再生と利用」編集内容について
(2) 第146号「再生と利用」編集方針(案)について
(3) 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3のとおり報告し了承された。

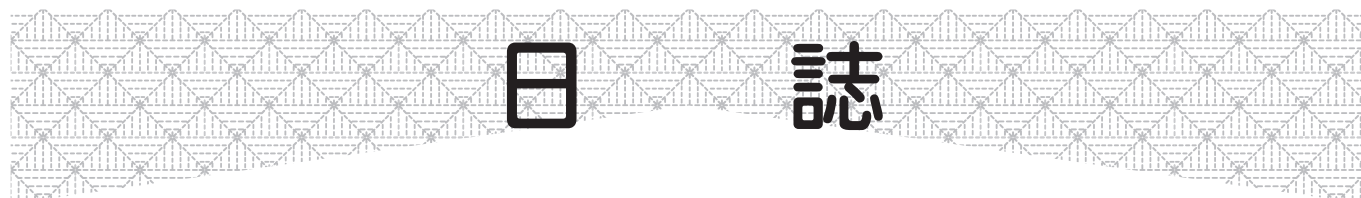
②第146号「再生と利用」編集方針(案)について

事務局から、資料4のとおり説明を行った。バイオマス産業都市連絡協議会の取組み及び、電源開発の固形燃料事業取組みについて紹介することとした。また、広島県にある「きなり村」の取組みについては事務局が取材することとした。

③その他・情報交換について

花見川処理場の焼却施設の洗煙排熱利用や下水熱等の取組み等については掲載可能か調査することとし、LNG冷熱利用のについても意見があったが、下水汚泥の凍結融解処理等も含めて今後検討していくこととした。また、国際土壌年のシンポジウム際して国際的な取組みについても掲載検討することとした。

その他、液肥利用の必要性については今後とも留意していくべきとの意見があった。



平成26年 6 月18日	第134回「再生と利用」編集委員会	本会第1・2会議室
平成26年 7 月 4 日	第3回下水汚泥利用促進検討調査専門委員会	本会中会議室
平成26年 7 月24日	第146号「再生と利用」編集担当者会議	インテックス大阪 D会議室

次号予告

（題名は執筆依頼の標題ですので
変更が生じることもあります）

論 説：「バイオマスエネルギーにかかる現状と今後の展望」
 特別寄稿：「リン資源リサイクルに関する各国の連携について」
 特 集：「久留米市固定価格買取制度を活用した消化ガス、太陽光、小水力発電取組み」
 「大村市固定価格買取制度を活用した消化ガス発電事業」
 「バイオマス産業都市構想連絡協議会について」
 「浜松市バイオマス産業都市構想について」
 研究紹介：「微生物燃料電池を用いた未利用バイオマスの燃料化」
 「JMS汚泥の農地還元検討」
 講 座：エネルギー化技術の最新動向について
 「堺市の再生水と下水熱の複合利用」
 「仙台市の下水管からの熱回収」

「赤磐市山陽浄化センターにおける小水力発電実証実験」
 特別報告：「電源開発・固形燃料化事業の取組みについて」
 「高成分堆肥と製造の利用」
 投稿報告：「ポリマー膜によるバイオガス精製技術の紹介」
 「新潟県における下水汚泥有効利用における取組み」
 報 告：「超高効率固液分離技術をエネルギーマネジメントシステム導入」
 ニューススポット：「きなり村バイオマス研究施設と循環型農園施設」
 「地域で集い憩う場、「渋谷区ふれあい植物センター」」
 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＞	主な改定点
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＞	主な改定点
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

7月22日から4日間、大阪市のインテックス大阪で「下水道展'14大阪」が開催され、入場者数85,720人を集め盛況のうちに終了しました。

下水道展最終日の25日午後には、“汚泥有効利用から見た下水道とは”と題して、下水汚泥の有効利用に関する講演会を開催し、京都大学松井名誉教授、国土交通省及び大阪市のご担当から貴重なご講演をいただきました。最終日の午後にもかかわらず、246名の非常に多くの方に参加いただき、下水汚泥有効利用促進に向けての意識の高さがうかがえました。

本号では、下水道展開催都市である大阪市の福井建設局長から巻頭言をいただき、論説では、高知大学藤原教授からは、下水汚泥の促進に向けて～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～を投稿いただきました。また、特集テーマでは、バイオマス利用の事業スキームやカスケード利用について、講座では、エネルギー化技術の最新動向について紹介しています。

さて、本年11月6日（木）～7日（金）には、第27回下水汚泥の有効利用に関するセミナーを佐賀市で開催します。セミナーでは、開催都市の佐賀市、日本下水道事業団、土木研究所や日本下水道新技術機構における下水汚泥の有効利用促進の取組のほか、京都大学松井名誉教授や九州大学の田島教授らから最新の研究事例も紹介いただく予定としております。みなさまのご参加をお待ちしております。（MH）

「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	(26.9.1現在)
委員	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
委員	国土交通省水管理・国土保全局下水道部下水道企画課資源利用係長	姫野修司
委員	独立行政法人土木研究所材料資源研究グループ上席研究員（リサイクル）	安陪達哉
委員	地方共同法人日本下水道事業団技術戦略部課長代理	津森ジュン
委員	(公財)日本下水道新技術機構資源循環研究部副部長	島田正夫
委員	(独)農業・食品産業技術総合研究機構東北農業研究センター水田作研究領域主任研究員	落修一
委員	(独)農業環境技術研究所土壌環境研究領域長	西田瑞彦
委員	(一財)日本土壌協会参与土壌部長兼広報部長	川崎晃男
委員	東京都下水道局計画調整部技術開発課技術開発主査	仲谷紀男
委員	札幌市建設局下水道施設部豊平川水処理センター管理係長	冠城敏之
委員	山形市上下水道部浄化センター水質係長	濱田敏裕
委員	横浜市環境創造局下水道施設部栄水再生センター長	工藤守一
委員	名古屋市上下水道局技術本部計画部技術管理課主査（水質系技術開発）	広武賢一
委員	大阪市建設局下水道河川部水環境課担当係長	杉江淳二
委員	広島市下水道局管理部管理課水質管理担当課長	西本裕二
委員	福岡市道路下水道局下水道施設部施設管理課長	福田佳之
		崎野寛

「再生と利用」

Vol. 38 No. 145 (2014)

平成26年10月31日 発行
(平成26年第2)

発行所 公益社団法人 日本下水道協会

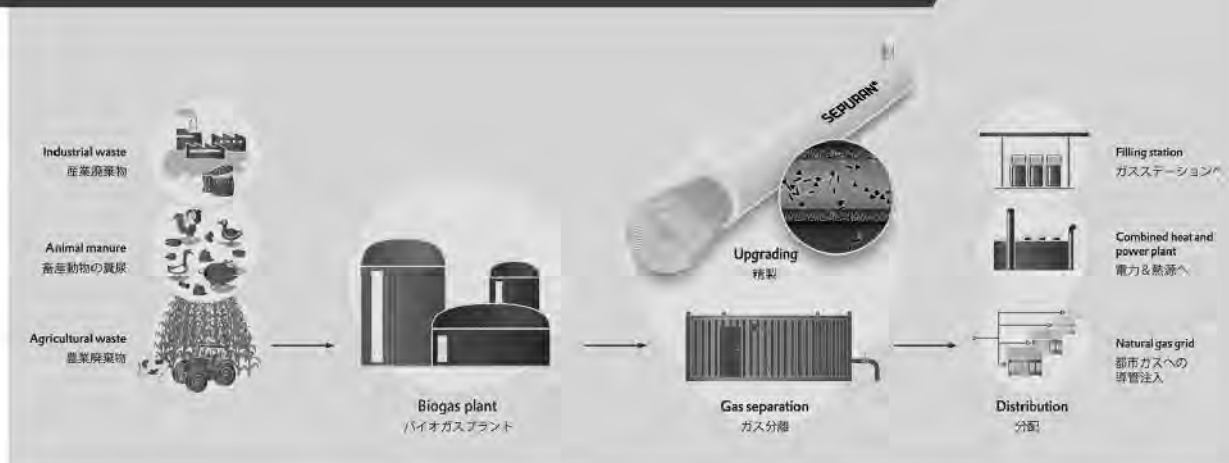
〒101-0047 東京都千代田区内神田2-10-12
(内神田すいすいビル5～8階)
電話 03-6206-0260 (代)
FAX 03-6206-0265

Turn organic waste into energy

Efficient biogas upgrading with SEPURAN® Green

有機性廃棄物からエネルギーへ

SEPURAN® Green 膜を用いて 効率良いバイオガス精製を



Biogas is one of the most underestimated energy sources.

With our energy efficient membrane technology SEPURAN® Green, you can turn organic waste into valuable energy.

- Easy to handle
- Low maintenance costs
- No auxiliaries needed

バイオガスは最も過小評価されているエネルギー源の一つである。エネルギー効率の高い SEPURAN® Green 膜を用いて、有機性廃棄物を有益なエネルギーに変える事が可能である。

- 操作が簡単で即効性
- メンテナンスコストの抑制
- 付帯品が不要

SEPURAN® Green

www.sepuran.com

Evonik. Power to create.





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