

再生と利用

2013 Vol. 37

No. 138

主要目次

- 口絵** 第25回下水汚泥の有効利用に関するセミナー（広島市）
- 巻頭言** 発想の転換 - 「集まる」から「集める」へ 曾小川久貴
- 論説** 下水処理場における消化ガス発電の最適化に向けて 藤田 正憲 / 刑部 忠彦
- 特別寄稿** 水田から下水処理場までの一貫体系の構築による下水汚泥と稲わらの混合消化技術の開発 渋川 洋 / 姫野 修司 / 小松 俊哉 / 藤田 昌一
- バイオマス事業化戦略の概要について 山田 耕士

特集 平成24年度下水道革新的技術実証事業(B-DASHプロジェクト)

- 解説** 平成24年度下水道革新的技術実証事業（B-DASHプロジェクト）の概要 西迫 里恵
- 温室効果ガスを排出しない次世代型下水汚泥固形燃料化技術について 円城寺 清 / 篠原 信之
- 廃熱利用型低コスト下水汚泥固形燃料化技術 山口 真人 / 小倉 秀夫 / 木原 泰彦
- 管路内設置型熱回収技術を用いた下水熱利用に関する実証事業について 水窪 俊博
- 固定床型アナモックスプロセスによる高効率窒素除去技術に関する技術実証研究
 …… 熊本市・地方共同法人日本下水道事業団・株式会社タクマ 共同研究体
- 神戸市東灘処理場 栄養塩除去と資源再生(リン) 革新的技術実証事業 - KOBEハーベスト(大収穫)プロジェクト -
 …… 瀧村 豪 / 坂部 敬祐 / 東真 昭彦 / 内海 秀人
- 研究紹介** 農業集落排水汚泥の利活用実証事業の紹介 …… 福田 和吉 / 五十嵐春子
- 岩手県内で排出される下水汚泥焼却灰および廃酸を用いたリン回収プロセスの検討について 工藤 洋晃
- Q&A** 下水汚泥溶融スラグの有効利用の現状 西本 裕二
- 現場からの声** 広島市の下水汚泥燃料化事業について 松谷 朗
- 文献紹介** 高温嫌気性消化による下水汚泥中のPCBと重金属の形態の変化 川崎 晃
- 米国シカゴにおけるエネルギー自給に向けた消化ガス利活用総合計画の策定 三宅十四日
- 講座** 下水汚泥等の有機性廃棄物の肥料利用とカドミウムの挙動 …… 川崎 晃
- 特別報告** 農産物の生産段階におけるカドミウムのリスク低減技術の現状と課題（総説） 三浦 憲蔵
- 中部地方初の汚泥炭化施設稼働 愛知県衣浦東部浄化センターでの下水汚泥燃料化事業について 太田 雅暢
- 「21世紀になって、下水汚泥の資源化は…」 - 懸賞論文を振り返って - 中村 永秀
- コラム** 大切な水と農業をつなぐポリシリカ鉄浄水発生土 …… 伊藤 豊彰
- ニュースレット** 「2012日立市下水道フェア」の実施について 吉田 俊幸
- 豊橋市における下水道のPRについて ～下水道の日に関連して～ 竹内 泰子
- 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

第25回 広島市・鯉城会館 平成24年11月1日(木)～2日(金)

下水汚泥の有効利用に関するセミナー

11月1日・2日の両日、広島市中区の鯉城会館を会場に「第25回下水汚泥の有効利用に関するセミナー」が開催されました。行政・研究機関など各分野の講師7名による講義のほか、講師各氏をパネラーとするパネルディスカッションも行われ、会場を埋めた参加者との質疑応答や意見交換が活発に繰り広げられました。

パネルディスカッションの様様については、次号(第139号)にて詳しくお伝えいたします。



開会挨拶をする
広島市下水道局・倉石雅基次長



会場に詰め掛けた数多くの参加者



広島大学大学院・
西尾尚道特任教授による特別講演



パネルディスカッションのパネラー陣



広島市西部水資源再生センターの視察



広島県太田川流域東部浄化センターの視察

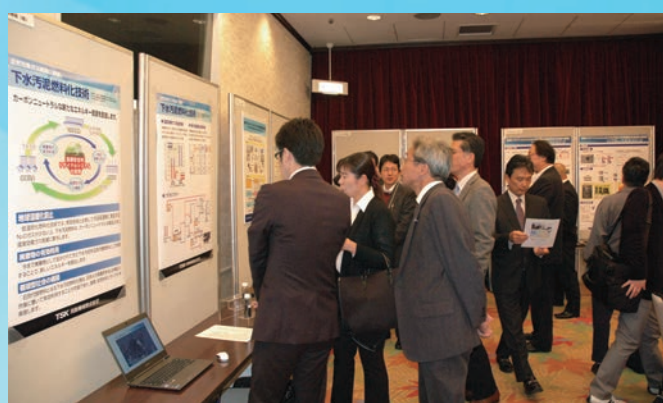
今回の開催地となった広島市および広島県のご協力により、2日目の午後は、広島市西部水資源再生センターと広島県太田川流域下水道東部浄化センターの視察を行いました。

西部水資源再生センターでは、低温炭化技術によって炭化汚泥燃料を製造し、石炭火力発電所の石炭代替燃料に利用する事業がDBO方式で進められています。訪れた参加者は、市担当者の詳しい説明を聞きながら、昨年4月に本格運転を始めたばかりの燃料化プラントの内部を隅々まで見て回る機会に恵まれました。

東部浄化センターでは、以前から消化ガスによるガス発電を行っていましたが、平成23年度には新たに「ロータリーエンジン発電設備」を、全国の下水処理場としては初めて導入しました。また、廃石膏を活用し、汚泥脱水ろ液からリンを効率的に回収する実証実験の説明も参加者の関心を集めていました。

参加団体によるポスター展示

企 業 名	発表・展示内容
月島機械(株)	低温炭化燃料化システム (下水汚泥燃料化)
水King(株)	汚泥消化技術 (黒部市での事業紹介、ガス発電など)
(株)金沢舗道	下水汚泥焼却灰の安定化処理と アスファルトフィラー化等
メタウォーター(株)	悪臭バリアフィルムによる 下水汚泥の無臭燃料化技術



企業ポスター展示

今回は、上表の4社にセミナー会場内でのポスター発表・展示にご参加いただき、汚泥燃料化技術や建設資材化技術などの分野で最先端の情報をご提供いただきました。

(公社)日本下水道協会では、来年度も本セミナーをより充実して実施していきたいと考えていますので、多数の参加をお願いします。

口絵

第25回下水汚泥の有効利用に関するセミナー（広島市）

巻頭言

発想の転換 ―「集まる」から「集める」へ― ……曾小川久貴……(5)

論説

下水処理場における消化ガス発電の最適化に向けて ……藤田 正憲／刑部 忠彦……(6)

特別寄稿

水田から下水処理場までの一貫体系の構築による下水汚泥と稲わらの混合消化技術の開発
 ……洪川 洋／姫野 修司／小松 俊哉／藤田 昌一……(12)

バイオマス事業化戦略の概要について ……山田 耕士……(19)

特集 平成24年度下水道革新的技術実証事業（B-DASHプロジェクト）

解説

平成24年度下水道革新的技術実証事業（B-DASHプロジェクト）の概要……西迫 里恵……(29)

温室効果ガスを排出しない次世代型下水汚泥固形燃料化技術について
 ……円城寺 清／篠原 信之……(33)

廃熱利用型低コスト下水汚泥固形燃料化技術 ……山口 真人／小倉 秀夫／木原 泰彦……(38)

管路内設置型熱回収技術を用いた下水熱利用に関する実証事業について ……水窪 俊博……(42)

固定床型アナモックスプロセスによる高効率窒素除去技術に関する技術実証研究
 ……熊本市・地方共同法人日本下水道事業団・株式会社タクマ 共同研究体……(45)

神戸市東灘処理場 栄養塩除去と資源再生（リン） 革新的技術実証事業
 ― KOBEハーベスト（大収穫）プロジェクト―
 ……瀧村 豪／坂部 敬祐／東真 昭彦／内海 秀人……(50)

研究紹介

農業集落排水汚泥の利活用実証事業の紹介 ……福田 和吉／五十嵐春子……(55)

岩手県内で排出される下水汚泥焼却灰および廃酸を用いたリン回収プロセスの検討について
 ……工藤 洋晃……(61)

Q & A

下水汚泥熔融スラグの有効利用の現状 ……西本 裕二……(67)

現場からの声

広島市の下水汚泥燃料化事業について松谷 朗.....(69)

文献紹介

高温嫌気性消化による下水汚泥中のPCBと重金属の形態の変化川崎 晃.....(72)
米国シカゴにおけるエネルギー自給に向けた消化ガス利活用総合計画の策定
.....三宅十四日.....(73)

講座

下水汚泥等の有機性廃棄物の肥料利用とカドミウムの挙動川崎 晃.....(74)

特別報告

農産物の生産段階におけるカドミウムのリスク低減技術の現状と課題（総説）
.....三浦 憲蔵.....(79)
中部地方初の汚泥炭化施設稼動 愛知県衣浦東部浄化センターでの下水汚泥燃料化事業について
.....太田 雅暢.....(85)
「21世紀になって、下水汚泥の資源化は…」－懸賞論文を振り返って－中村 永秀.....(92)

コラム

大切な水と農業をつなぐポリシリカ鉄浄水発生土伊藤 豊彰.....(98)

ニュースポット

「2012日立市下水道フェア」の実施について吉田 俊幸.....(99)
豊橋市における下水道のPRについて ～下水道の日に関連して～竹内 泰子... (102)

資料

おしらせ（投稿のご案内、広告掲載依頼）(104)
汚泥再資源化活動(108)
日誌・次号予告・編集委員会委員名簿(109)
編集後記(111)

曾小川 久 貴



順調に推移してきた汚泥の有効利用率も原発事故の影響により、一時的な停滞が懸念されるが、「下水道ビジョン 循環のみち」実現には、A-JUMPやB-DASHプロジェクト、民間技術開発等を通して、地球温暖化対策やリン資源はじめ希少資源の確保など、一層の技術開発が不可欠である。「集まる」から「集める」という、新たなフェーズへの不連続な飛躍に向け、下水道関係者の挑戦が求められる。

論 説

下水処理場における 消化ガス発電の最適化に向けて

大阪大学名誉教授

藤 田 正 憲

大阪バイオエネルギー研究会

刑 部 忠 彦

キーワード：消化ガス発電、発電効率、排熱回収、エネルギー自給率

1. はじめに

21世紀は地球環境の世紀とも言われ、地球温暖化対策としてCO₂が発生しない自然エネルギーの利用が求められている。さらに、平成23年3月11日の東日本大震災後は、自然エネルギーの有効利用に本格的に取り組むべき気運が高まってきている。

下水処理場は、汚水を処理し、生活環境の改善と公共用水域の水質保全を図ることが本来の目的であるが、下水処理場の流入水には有機物を主体とするバイオマスエネルギーが含まれ、これを有効利用する試みがこれまでもなされてきた。特に嫌気性消化槽を備えた処理場では、発生した消化ガス（メタンガス含有率が約60%）を利用した発電は、場内で消費される電力を直接供給することができる有効な方法として注目されている。しかし、導入に当たっては発電機に関する知識が必要であるとともに、施設の運転管理にも下水処理場の運転管理とは別の技術が要求され、それが下水処理場での消化ガス発電普及の課題となっていた。

大阪市津守下水処理場では、このような課題に対してPFI事業で消化ガス発電を民間事業者に任せる手法で対応した。平成19年10月から消化ガス発電の運転を開始し、すでに5カ年が経過しているが民間事業者の創意工夫により順調に消化ガス発電が行われているとともに、省力化、最適化などの取り組みも行われている。本報告では、平成20年1月から平成23

年12月までの4カ年の運転実績をもとに、消化ガスの有効利用、発電の効率化の観点を中心にこれまでの知見をとりまとめている。これが今後、他処理場での消化ガス発電の導入や運転管理に役立つことを期待している。

2. 津守下水処理場及び消化ガス発電設備の概要

(1) 津守下水処理場の概要

消化ガス発電設備が設置されている津守下水処理場は、昭和15年4月に供用を開始した大阪市の中でも初期に稼働した処理場のひとつである。処理区域は大阪市の中心部約1,962 haであり、合流式下水道となっている。水処理方式は当初の標準活性汚泥法から嫌気好気活性汚泥法に変更され、大阪湾の水質保全に貢献している。処理場の水処理能力は日最大約

表－1 津守下水処理場の概要

処理面積	1,962 ha（合流式）
水処理能力	363,000 m ³ /日
水処理系統	1系、2系、3系の3系統
水処理方式	嫌気好気活性汚泥法
汚泥処理能力	562,000 m ³ /日（下水量換算）
	市岡・千島下水処理場の汚泥も処理
汚泥処理方式	濃縮→消化→舞洲へ送泥
濃縮方式	重力濃縮と遠心濃縮の分離濃縮
消化方式	高温高濃度消化
通水年月日	昭和15年4月

363,000 m³/日であるが、汚泥処理は隣接処理区の市岡下水処理場と千島下水処理場の生汚泥及び余剰汚泥を受入れ、一括処理しているため汚泥処理能力は下水水量換算で562,000 m³/日となっている。

汚泥処理方式は、重力濃縮と遠心濃縮を組み合わせた分離濃縮のあと、50℃で高温高濃度消化しており、消化汚泥は舞洲スラッジセンターへ送泥し溶融処理されている。表－1に津守下水処理場の概要を示す。

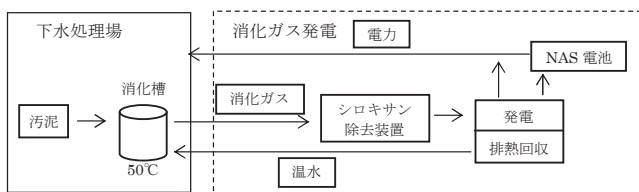
(2) 消化ガス発電設備の概要

消化ガス発電設備は、大阪市が公募したPFI事業（運転期間20年間）として、大阪バイオエナジー株式会社により運転されている。大阪市より供給された消化ガス（脱硫後）は、活性炭を用いたシロキサン除去装置でシロキサンが除去されたのち、793kW×3台の発電機（ガスエンジン）により消化ガス発電に利用される。発電された電力は津守下水処理場で使用され、処理場での電力需要変動に対応するため1,500kWのNAS電池がバックアップ設備として設置されている。

一方、処理場の消化槽を50℃に加温するため、発電機からはジャケット熱交換器により、排ガスからは、排熱回収温水ボイラにより熱を回収し、温水を処理場へ送水している。温水供給は、夏場の高温期は発電に伴う熱回収でまかなえるが、冬場の低温期には不足するため、消化ガスを温水器で燃焼させ熱量を確保している。なお、消化ガスが不足するときの対策として、温水器では灯油を燃焼させることも可能となっている。発電のために設置された主要設備とフローを表－2、図－1に示す。

表－2 消化ガス発電設備の概要（主要設備）

ガスエンジン	793kW×3台
シロキサン除去装置	2台
ジャケット熱交換器	3台
排熱回収温水ボイラー	3台
温水器	2台
NAS電池	1500kW
運転開始	平成19年10月



図－1 消化ガス発電設備フロー

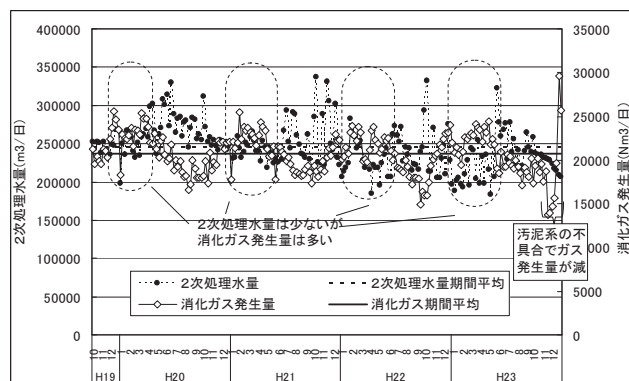
3. 消化ガス発電の運転状況

(1) 消化ガス発生量及び消化ガス濃度

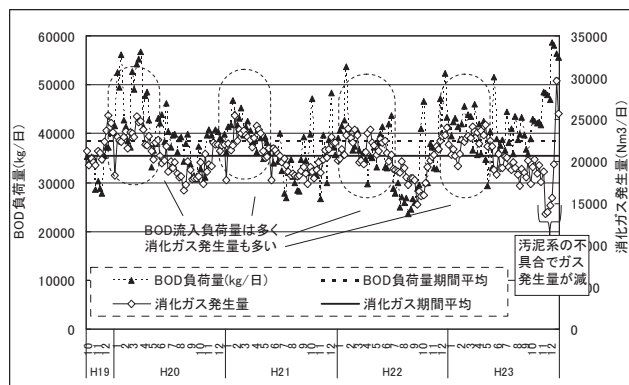
消化ガス発生量は図－2、図－3に示すように季節変動があり、平成20年1月～平成23年12月の4カ年の消化ガス発生量の平均は約20,600 m³/日である。

図－2には、消化ガス発生量と津守下水処理場の流入水量の変動を示したが、12月～4月の冬期に消化ガス発生量が多くなるのに対して、2次処理水量は夏期に比べ冬期のほうが少なく、消化ガス発生量と2次処理水量の相関は見られなかった。

一方、図－3には消化ガス発生量と津守下水処理場のBOD流入負荷量の変動を示したが冬期のほうが流入水のBOD濃度が高く、BOD流入負荷量も冬期のほうが多くなっており、消化ガス発生量はBOD流入負荷量と相関が見られた。なお、消化ガス発生量は、市岡、千島下水処理場からの汚泥も含めた発生量であり、BOD流入負荷量は津守下水処理場の流入分だけであるが、3処理場を合計した流入負荷量のうち津守下水処理場の割合は約80%と高く、津守下水処理場の寄与率が高いので、相関が見られたといえる。



図－2 消化ガス発生量と2次処理水量との関係
(2次処理水量は津守下水処理場の値)



図－3 消化ガス発生量とBOD流入負荷量との関係
(BOD流入負荷量は津守下水処理の値)

消化ガス発生量には季節変動があるが、消化ガス中のメタン濃度は図-4に示すように、ほぼ一定であり、平成20年1月～平成23年12月の4カ年平均は59.5%、最大は約61.3%で最小は約57.4%であった。

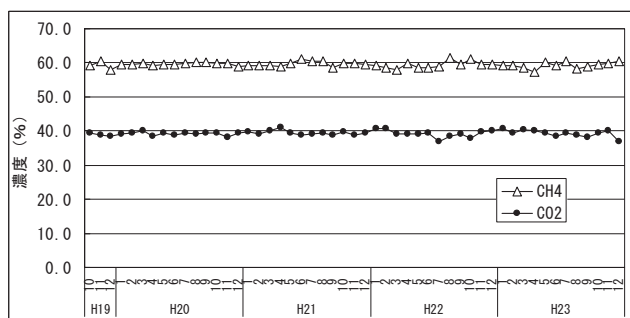


図-4 消化ガス中のメタン濃度

(2) 消化ガスの利用内訳及び消化ガス発電量

発生した消化ガスは、主にガスエンジンで発電に利用するが、消化槽加温用に温水器にも利用する。一方、処理場側では、ガスタンクレベルが一定以上に上昇した場合は余剰ガスとして燃焼させている。このガスエ

ンジン及び温水器での利用量及び余剰ガス燃焼量の毎月の値を図-5に示す。平成21年末までは消化ガス発生量の変動に対して運転台数制御（2台または3台のフル運転）で対応しており、ガスエンジンが2台運転のときは消化ガス利用量が約16,000 m³/日に、3台運転のときは消化ガス利用量が約24,000 m³/日になる。そのため、その中間の発生量のときは余剰ガスとして燃焼したので、ガスの利用効率は低くなった。

平成20年1月～平成21年12月の2年間の総消化ガス発生量の約8.8%を余剰ガスとして燃焼させた。これに対して、平成22年からは、ガスエンジンを原則3台運転し、消化ガス発生量の変動に対しては、出力制御で対応するように変更したため、余剰ガス量は減少し、平成22年4月～平成23年12月の2年間の総消化ガス発生量のうち余剰ガスとして燃焼したのは、わずか1.4%となった。

なお、温水器に利用する消化ガスは冬期に多くなり、日最大では消化ガス発生量の約32%となるが、年間では消化ガス発生量の2.9%程度となっている。消化ガス発電量を図-5にあわせて示すが、ガスエンジンの消化ガス利用量の変動とほとんど同じである。

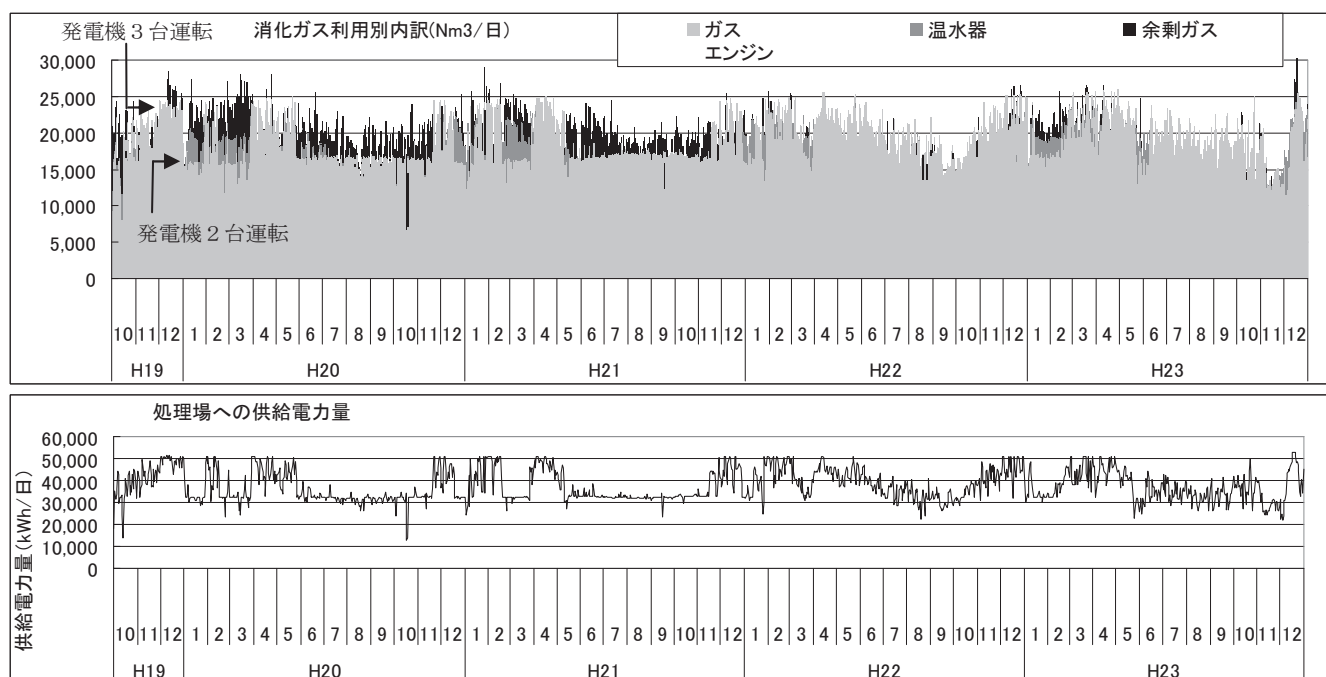


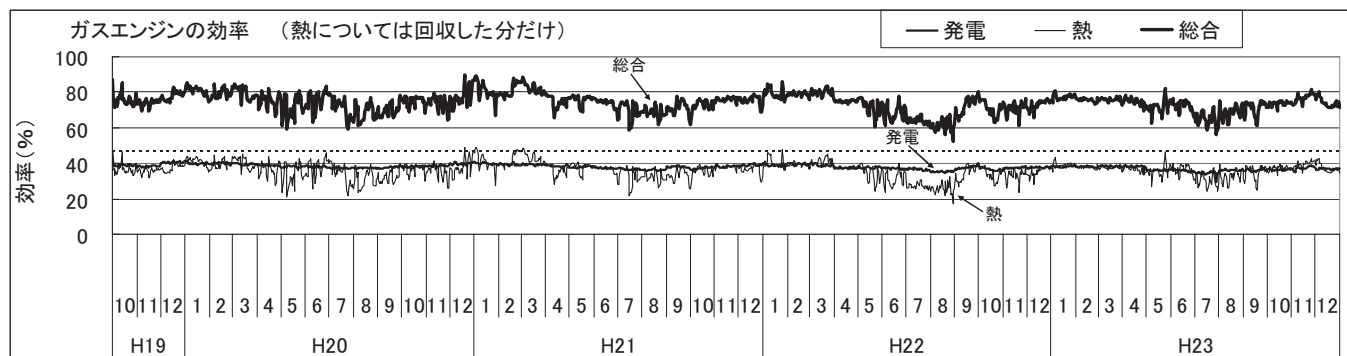
図-5 消化ガスの利用量内訳（上図）及び消化ガス発電量（下図）

(3) 消化ガス発電の効率（低位発熱量ベース）

消化ガス中のメタンの燃焼エネルギーのうち、発電に利用されたエネルギーの比率（発電効率）と温水として熱回収されたエネルギーの比率（熱効率）及び発電と熱を合計した総合効率の変動を図-6に示す。

発電効率は、機器仕様の効率38.7%に対して平均で37.8%と安定した効率を発揮している。

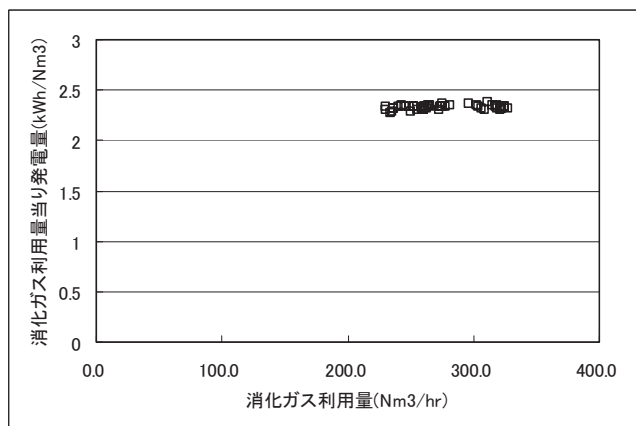
一方、熱効率は回収した熱量分のみに対して効率を計算しているため、機器仕様の効率41.6%に達しているときもあるが、平均では36.0%であり、夏期に消化



図－6 発電機の発電効率・熱回収効率・総合効率

槽加温用の必要熱量が少なく、熱を大気へ放出しているときは低くなっている。総合効率は機器仕様の効率80.3%に対して平均で73.8%であり、コジェネレーションとして十分な効率となっている。

発電効率に関しては、平成22年から出力制御運転を行っているが、出力を絞ったときの効率の一例を図－7に示す。消化ガス利用量をフル運転時の約2/3の約220 Nm³/hrに落とした場合でも、消化ガス1 Nm³当りの発電量は2.3～2.4 kWhとほとんど変化なく出力制御運転を行っても効率は落ちていないことが確認できている。

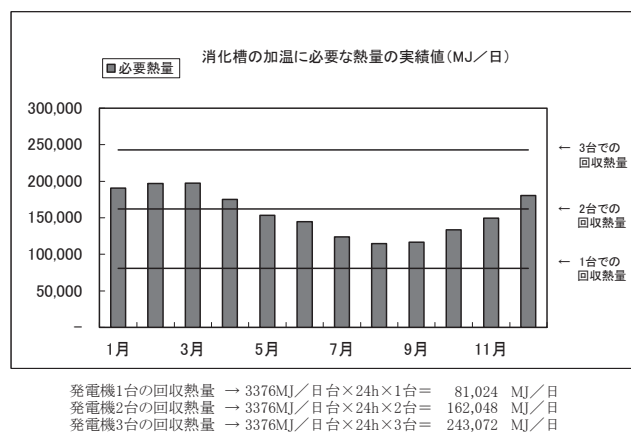


図－7 出力制御運転での効率

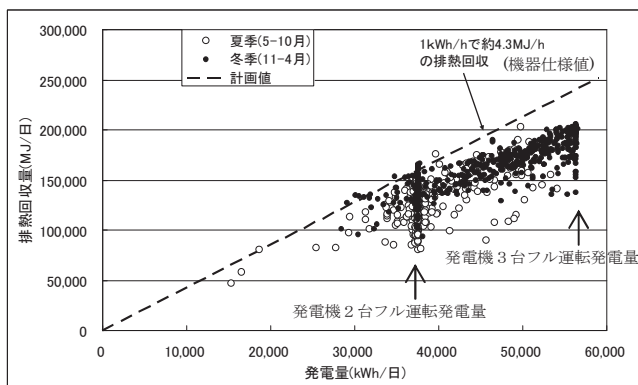
(4) 消化ガス発電での熱回収

消化槽加温用の熱供給は消化ガス発電設備側が受け持っており、必要な消化槽加温熱量に対応した運転をしなければならない。消化槽加温に必要な熱量は、投入する汚泥の温度が反応タンクの水温とほぼ同じであるためこれを50℃まで加温する熱量と、放熱に対して補給する熱量が主なものであり、季節変動がある。図－8に消化槽加温に必要な熱量の季節変動を示すが、3月は8月の1.7倍以上の熱量が必要となる。図－8には発電機1台ごとの回収熱量も示したが、夏

期は発電機2台運転でも熱量が余り、冬期では2台運転では不足する。発電機を3台運転すれば計算上は冬期でも熱量は満足するが、図－9に示すように実績では発電機を3台運転した場合は機器仕様上の熱回収には至っておらず、冬期熱量が不足する場合は発電機2台運転での熱回収+消化ガスの温水器での燃焼による熱供給で対応している。冬期に必要な熱量が多くなるが、冬期は消化ガス発生量も多くなるため、熱供給には有利に働いている。



図－8 消化槽の加温に必要な熱量の実績(月平均値)



図－9 発電機排熱回収量及び発電量

(5) 処理場でのエネルギー利用量

津守下水処理場では、水処理が1系、2系、3系の3系統にわかれており、3系統とも運転している場合と1系と2系が運転し、3系が停止している場合で電力使用量が異なる。しかし、それぞれの場合に分けてみると、2次処理水量の季節変動にかかわらず図-10(上図)に示すように、電力使用量は、ほぼ一定である。一方、消化槽加温用の熱量は、汚泥処理施設の運転状態により特異な変動をしている日もあるが、夏期は少なく、冬期は多くなる傾向がはっきりしている。

(6) 処理場でのエネルギー自給率(市岡下水処理場と千島下水処理場からの汚泥も含む)

津守下水処理場での使用電力と消化槽加温用の熱に対する消化ガス発電による供給率(処理場にとっての自給率)を図-11に示す。電力の自給率は平成20年1月～平成23年12月の平均で約39.8%、最大では約60%になることもある。

一方、消化槽加温用の熱量の自給率は、灯油の使用による熱供給がわずかだがあるため、平均で99.5%で

あり、電力と熱を合計した総合自給率は平均で58.3%となった。なお、平成22年以降は発電機を台数制御ではなく、出力制御で運転し無駄なく消化ガスを利用しているため、平成22年～平成23年の電力の自給率は約41.9%に、総合自給率も約60.2%にアップした。現在もこれを踏襲し、最適化を図っている。

4. まとめ

津守下水処理場における平成20年1月～平成23年12月の4カ年の消化ガス発電の運転実績から次のような知見が得られた。

- ・ 消化ガス発生量は冬期に多く、夏期に少ないという季節変動があり、消化ガス発生量の変動に応じた運転方法が求められた。
- ・ 消化ガス発生量の変動に対しては、発電機をフル運転下で台数制御で運転した場合は余剰ガスが多くなったが、3台の発電機を出力制御で運転すれば余剰ガスがほとんどなくなることから、最適運転条件を見出した。なお、出力制御した場合、

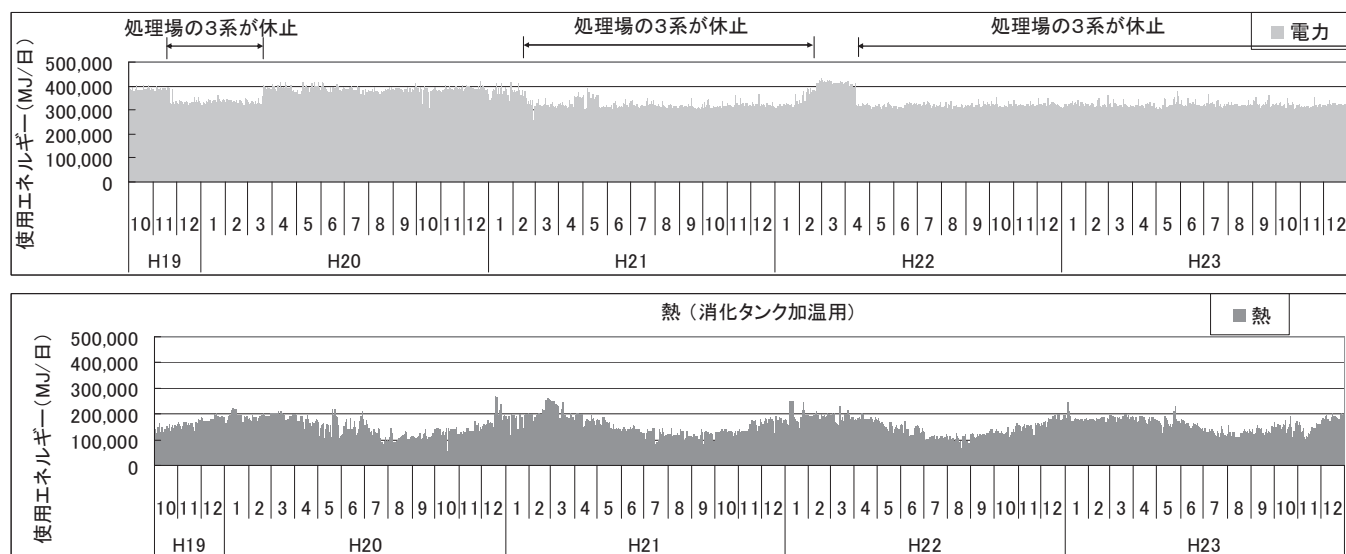


図-10 処理場での使用電力量(上図)及び消化タンク加温用熱量(下図)

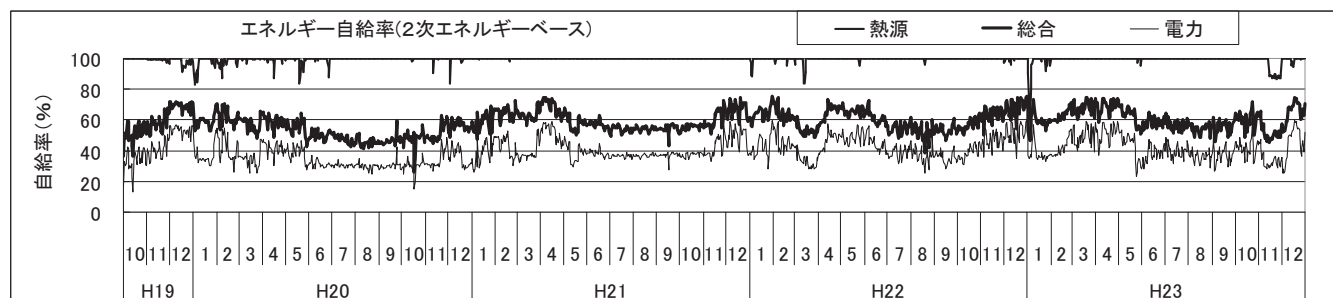


図-11 消化ガス発電による処理場でのエネルギー自給率

部分負荷運転となるが、メタンガス 1 Nm³当りの発電量は、ほとんど変わらず発電の効率は確保できていた。

- ・ 消化槽加温用の必要熱量は冬期には夏期の1.7倍程度になるが、冬期のほうが消化ガス発生量が多く、消化ガスの一部を温水器で燃焼させれば冬期の必要熱量も確保できることが分かった。なお、設備の点検時などでは一時的に供給熱量が不足するため、灯油の燃焼によるバックアップ施設は必要である。
- ・ 消化ガス発電により、津守下水処理場での使用電力の約40%を自給できており、処理場でのバイ

オマスエネルギー利用の効果は十分発揮されていた。

汚泥量の変化による消化ガス発生量の変動、また施設の老朽化などの課題が考えられるが、民間事業者の創意工夫により、一層の省力化、最適化あるいは設備の延命などを追及し、課題解決されること期待している。

なお、本報告は「大阪バイオエネルギー研究会」(委員長: 藤田正憲、学識経験者: 大阪大学 池道彦、大阪大学 下田吉之、大阪市、大阪バイオエナジー株式会社、株式会社関電エネルギーソリューション) の資料をもとに作成したものであり、ご協力いただきました関係者に厚く感謝いたします。

特 別 寄 稿

水田から下水処理場までの 一貫体系の構築による下水汚泥と 稲わらの混合消化技術の開発

長岡技術科学大学 環境・建設系

渋川 洋・姫野 修司
小松 俊哉・藤田 昌一

キーワード：稲わら、未利用バイオマス、バイオガス

1. はじめに

バイオマスエネルギーの利用は化石燃料の消費量削減やエネルギーセキュリティの確保、および廃棄物量の削減・有効利用の面からも、今後の導入・普及が重要といわれている。2012年7月から、再生可能エネルギーの固定価格買取制度が始まり、バイオマス等の再生可能エネルギーを用いて発電された電気を、一定価格で電気事業者が買い取ることが義務付けられた。この制度により、バイオマスを燃料とした発電コストの経済性が改善され、発電設備の導入・普及が進むと期待されている。

しかし、これまでに検討されたトウモロコシ等を用いたバイオ燃料の利用については、食糧と競合する等の問題もある。今後は、バイオマスの中でも食糧と競合しない稲わらやもみ殻などの未利用バイオマスを主体とした利活用技術の開発が必要である。稲わらは、農業残渣のうち最も発生量の多いバイオマスで、国内では年間約900万t発生している¹⁾。新潟県内では年間約65万tの稲わらが発生しており、県内バイオマスの20%を占めている²⁾。しかし、大部分の稲わらは鋤き込まれており³⁾、その利活用は未だ不十分である。また、排水不良田での稲わら鋤き込みは、根腐れ等の生育阻害や大気へのメタン放出を起こすことが知られて

おり、特に後者は地球温暖化を助長する⁴⁾。このため、有効な稲わら利活用が期待されている。

一方、下水道分野では、下水汚泥と他のバイオマスとを嫌気性消化槽内で混合消化し、バイオガスを増加させる混合嫌気性消化法がある。バイオマスの中でも下水汚泥は下水処理場へ集約されるため、その収集は比較的容易である。消化設備を持つ下水処理場は、全国に約300ヵ所存在し、地方都市では周囲が水田地帯である下水処理場も少なくない。このような下水処理場では、下水汚泥と稲わらの混合消化によるエネルギー増産が期待できる。稲わらの収集、運搬体制の確立を要するという課題はあるが、混合嫌気性消化における稲わらの利用は、水田からのメタン放散抑制による地球温暖化抑制、および廃棄物系バイオマスである下水汚泥と未利用バイオマスである稲わらからの再生可能エネルギー利用による地球温暖化抑制を可能にし、さらに地域での稲わらの有効活用に寄与すると考えられる。

本研究グループでは、新潟県内における稲わら利活用促進および再生可能エネルギー増産を目的に、下水汚泥と稲わらの混合嫌気性消化による一括バイオガス化技術の開発を目指し、稲わら収集・運搬実証試験や、パイロットスケールでの混合嫌気性消化試験を行っている。本報告では、これまでの研究結果により得られた知見を報告する。

2. 稲わらの収集・運搬方法の実証

2.1 稲わらの収集・運搬

これまでに稲わらと下水汚泥の混合嫌気性消化の基礎試験を実験室レベルで行い、下水汚泥と稲わらの固形分 (TS) の混合重量比は1:0.50~1:1程度が望ましいと考えられた。その後、信濃川下流流域下水道長岡浄化センター（流入水量43,000 m³/日 以下、浄化センター）にて0.5 m³の消化槽を用いたパイロットスケールでの混合嫌気性消化試験（下水汚泥と稲わらとの固形分混合重量比1:0.50~1:1）を行い、実機レベルに適用可能な稲わら由来バイオガスの生産性の評価を行っている。仮に浄化センターにて下水汚泥と稲わらを固形分重量混合比1:0.5で常時混合嫌気性消化を行う場合には、年間約1,500 tの稲わらが必要と計算された。わら収量を5.5 t/haと仮定すると、1,500 tの稲わら確保に必要な水田面積は、およそ280 haとなる。浄化センター周辺は水田地帯のため、センター周辺2 km以内の水田面積約700 haで稲わらは十分確保できる。稲わらは、かさ密度が小さいため、通常は圧密され直方体状またはロール状に成形されている（以下、ロールと略記）。

稲わら収集・運搬の流れを図1に示す。まず、圃場内で、テッダにより地表の稲わらを攪拌し、起こしてわらを風乾させる（反転工程）。次いで風乾わらをレーキで列状に集め（集草工程）、列上をロールペーラが走行し稲わらは圧縮成形される（梱包工程）¹⁾。通常、ロールは畜産農家の飼料や敷きわら用として作成され、畜産農家がロールを水田まで引き取りに来ることが多い。このため、本研究では、代わりに浄化センターまでのロール運搬が必要になる。作成したロールをロールグラブでトラックに積込み、浄化センターまで（2 km以内）運搬した後、稲わら貯蔵庫にロールを貯蔵することとなる。濡れた稲わらは貯蔵中に腐敗しやすく、通常は含水率を20%以下に抑え回収するため、稲わら収集・運搬作業の実施には3日以上は無降雨日が必要とされている。新潟県内の稲わら収集可能な期間は9~10月だが、この時期の北日本地域の日本海側は降雨日が多いため、太平洋側の地域と比べて当地域の収集可能日は比較的少なく、実質的な収集可能期間の確保は大きな課題となる。

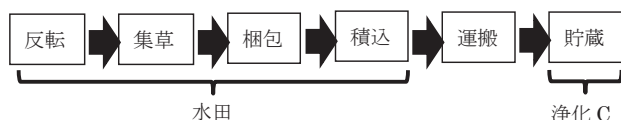


図1 稲わら収集・運搬の流れ

2.2 稲わら収集実態調査

年間1,500 tの稲わら確保には、効率的な稲わら収集・運搬体系（以下、改良体系）の確立が不可欠である。我々は長岡地域で稲わらを収集している複数の農家の収集時間を計測し、各作業時間および収集可能回数の把握を試みた。まず、図2に当地域の9~10月における無降雨日が3日続く回数（直近10年間）のヒストグラムを示す⁵⁾。最も頻度が高かったのは7回で、6~8回の年の頻度が多かった。また、これまでの調査から、刈わら長10~15 cmのわら（以下、長わら）がロール作成に適していることや、ラッピングしたロールの屋外保管に比べて、ラッピングしないロールの屋内保管の方がメタン転換率は20%高く、屋内保管が優れていること等が明らかになった。このことから、本年度は長わら無ラッピングを想定し、稲わら収集実態調査を行った。表1に農家Aにおける稲わら収集実態調査の結果を示す。農家Aは2人で稲わらを収集しており、1人が反転工程（午前）と集草工程（午後）を、もう1人が梱包工程（午後）を担当した。運搬工程はロー

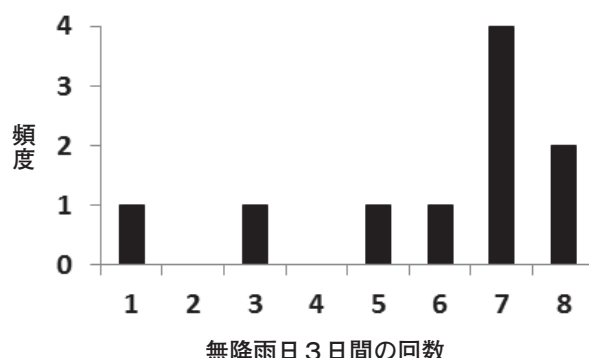


図2 直近10年間の無降雨日が3日続く回数（9~10月、長岡観測所）

※前日降水量2mm/d以下。無降雨日が6日間続いた場合は2回と数える

表1 農家Aにおける稲わら収集実態調査（H24.9）

作業速度 (h/ha)	反転	集草	梱包
	0.34	1.76	1.69
稲わら収量 (t/ha)	5.0		
平均収集面積 (ha)	2.0		
収集回数	5		

※速度は全収集回の作業時間を総計したものを総収集面積で除して求めた。

※全収集回とも作業日数1日、反転工程・集草工程1人、梱包工程1人とした。

ルの購入者が行うため、農家は運搬工程を行わなかった。調査日は風通しが良く、作業は1日で完了した(稲わらが著しく濡れている場合は、1日目に反転工程を行い、2日目は再度反転工程を行った後、集草、梱包工程を行うなど、調整が必要となる)。作業速度は、反転工程で0.3 h/ha、集草工程で1.8 h/ha、梱包工程で1.7 h/haであった。また、1人で稲わら収集をする別の農家Bでは、反転工程は省略され、集草したわらを1日放置乾燥後、翌日に梱包していた。このように農家による作業体系の違いがみられたが、農家Aの体系は作業者2人で行われており比較的効率のよい収集体系と考えられた。また、効率的な改良体系には運搬工程も含めるため、改良体系は複数の作業者が必要となる。以上のことから、改良体系には農家Aの作業体系を基にすることとした。

これまでの飼料用稲わらや稲わらからのバイオエタノール製造を想定した稲わら回収モデルの研究では、稲わら収量を3.4 ha、圃場からの稲わら回収率を70%とした時の集草工程および梱包工程の速度は、それぞれ0.8 h/ha、1.7 h/haという報告がある⁶⁾。今回の実態調査における稲わら回収率は未測定のため明確には言えないが、集草工程における実態調査と文献値との速度差は、主として稲わら収量の差による可能性が考えられた。

2.3 改良体系の実証

実態調査の結果から、長岡地域で実行可能な稲わら収集体系を整理し、これに本技術に適用するための積込、運搬および貯蔵の工程を含めた以下の改良体系の確立を試みた。

①集草工程と梱包工程に時間を要するため、収集日

数は2日間とし、1日目に反転工程、2日目に集草工程から貯蔵工程まで行う、②集草工程開始後、レーキ台数を2台にして集草速度を高めることで、梱包工程の時間を長く確保でき、収集面積を増加させる、③運搬工程を4 tトラック1台で行う場合は、積込、運搬および貯蔵の各工程は同時進行しないため、この3工程は1人で行う。これらを反映させた改良体系を再構築し、収集面積5 haでの実証試験を試みた。表2に改良体系実証試験における各工程の所要時間を示す。作業者は3名とした。作業者Aは1日目に反転工程、2日目に集草工程を担当した。作業者Bは2日目に集草工程を1.5時間(約1 ha)行った後、積込、運搬および貯蔵の工程を担当した。作業者Cは2日目に梱包工程を担当した。稲わら収集は2日間で終了し、改良体系の適用可能性が示された。しかし、稲わら収量は3.5 t/haで、実態調査の5.0 t/haに比べ少なかった。これは、今回の試験は稲刈りから約3週間後に行われたため、試験日まで長雨の影響で地表と密着した稲わらが多く、一部の稲わらは反転されないことによる。

改良体系は2日間で17.7 tの稲わら収集・運搬を可能にした。改良体系における作業者(1日目1人、2日目3人)および農業機械(テッダ1台、レーキ2台、積込用ローラグラブ1台、4 tトラック1台および貯蔵用ローラグラブ(浄化センター常駐)1台)は、長岡地域で稲わらを収集する際の最小構成ユニットとみなせた。今後は、収穫直後の8月末から9月における改良体系による稲わら収集を実施した上で、混合嫌気性消化に必要な稲わら収集の最小構成ユニットを明らかにし、10月末までに複数回の回収が可能かを調査することが必要である。

表2 改良体系実証試験における各工程の所要時間(H 24.10)

	1 日 目	2 日 目				
工程名	反 転	集 草	梱 包	積 込	運 搬	貯 蔵
必要台数	1	2	1	1	1	1
所要時間 (h)	2.05	6.87	5.87	2.95	0.83	0.92
作業速度(h/ha)	0.41	1.36	1.17	0.59	-	-
作業者	A	A, B	C	B		
稲わら収量(t/ha)	3.5					
収集面積(ha)	5.0					

3. パイロットスケール実証実験

3.1 実験概要

下水汚泥と稲わらとの混合嫌気性消化技術の実証のために、浄化センターにパイロットスケール実験施設を設置して2011年9月から連続実験を継続している。メタン発酵装置（消化槽）は容積0.5 m³を有し、汚泥単独系、可溶化稲わら混合系（以下「稲わら系」）、酵素可溶化稲わら混合系（以下「酵素稲わら系」）の3系列を設置した。

現在までの連続運転における条件の概要を表3に示す。本実証実験での主な目標は、比較対照系として汚泥単独系において安定した消化率（50～60％）を示すことと、稲わら混合系において稲わらのメタン転換率が下水汚泥と同程度以上を達成することである。本

設備では、前者については常に達成することが確認されている。しかし、後者については、混合比1:0.25のRun Iで稲わらのメタン転換率は60％を達成したが、混合比1:0.50のRun IIではその転換率は約40％に低下した⁷⁾。Run IIにおいてメタン転換率が低くなった一因として、過去のメタン発酵回分実験の結果から、稲わらの破碎径が細かすぎるとメタン転換率が低くなる結果が得られており、実証実験での破碎機は破碎径がかなり細かいことが考えられた。本報では、混合比1:0.50で稲わら破碎条件を変更したRun IIIの結果について報告する。

3.2 運転方法

図3に本実証実験フロー（Run III）を示す。稲わらの可溶化槽（写真1）は全2系列（稲わら系、酵素稲わら系）で運転した。可溶化槽はステンレス製の円筒

表3 消化槽の運転条件の概要

Run	運転期間(週)	下水汚泥:稲わら(TS 比)	主な運転条件の変更
I	9 週	1:0.25	
II	10 週	1:0.50	
III	10 週	1:0.50	稲わら破碎機の刃を交換

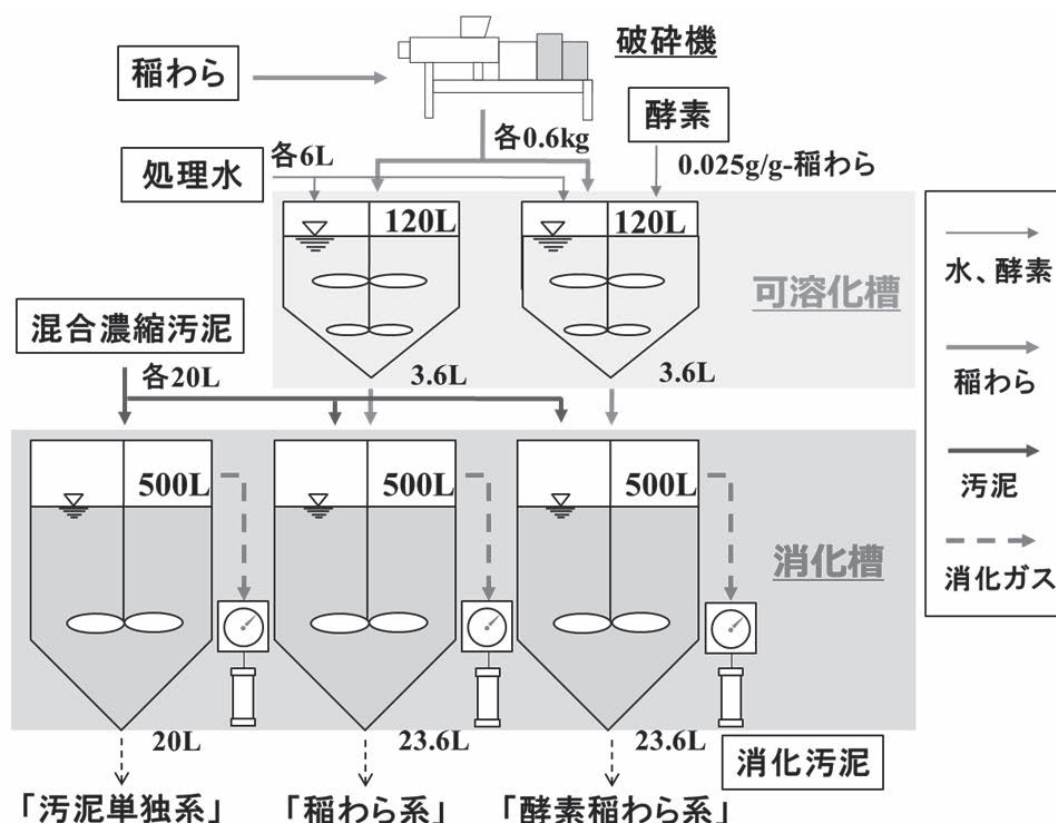


図3 実証実験のフロー

型の反応槽となっており、有効容量は120 L、槽内温度は37℃である。投入稲わらは、ロール状で屋内保管した稲わらを実証破砕機により破砕したものである。稲わら系では破砕した稲わら0.6kgと下水処理水6 Lを1日1回投入し（固液比1:10、流入TS約10%）、同量の可溶化稲わらを引抜いて可溶化日数を20日とし、その一部（3.6 L）を消化槽に投入している。酵素稲わら系では、処理水に加えて、セルラーゼ系酵素を



写真1 可溶化槽



写真2 消化槽

酵素量0.025 g/g-稲わらで添加した。なお、以上の可溶化条件は、実験室レベルで決定した可溶化条件⁸⁾に基づき、実証実験に向けて種々の因子を再検討して決定したものである。

消化槽（写真2）はステンレス製の円筒縦型の反応器となっており、全3系列で中温消化（37℃）の運転を行った。上部に設置された基質投入口より下水汚泥と可溶化稲わらを投入する。基質の投入時に同量の消化汚泥を各系後部の汚泥引抜口から引抜く。汚泥単独系は濃縮下水汚泥（初沈汚泥と余剰汚泥の容量比2:1）のみを投入し消化日数を約30日とし、稲わら系と酵素稲わら系は、下水汚泥に加えて各可溶化槽からの可溶化稲わらを投入した。

10週間のRunⅢの運転期間中は可溶化槽、消化槽ともに、基質の投入・混合液の引抜きは日曜以外の週6回行い、消化汚泥の固形物量TS・有機物量VSは週3回、消化汚泥のpH・発生ガス量は週6回、発生ガスのメタン濃度・消化汚泥の溶解性COD、アンモニア性窒素は2週に1回測定した。汚泥単独系と比較した稲わら投入の影響および酵素処理の効果を中心にプロセス評価を行った。

3.3 実験結果

RunⅢでの消化槽の運転条件と投入基質の性状を表4に示す。滞留日数は稲わらを投入した分、稲わら系が若干短くなっている。

週別の発生バイオガス量の推移を図4に示す。連続実験開始直後から稲わらを投入した系列が汚泥単独系を上回った。稲わらを投入した系列で比較すると、3～4週目は稲わら系の方が酵素稲わら系よりも高かったが、5週目からは酵素稲わら系が逆転した。

RunⅢの消化成績として、発生ガス量や消化汚泥の性状等（安定していた後半7週の平均値）を表5に示す。pH、TS・VSは安定していた。ガス量は、汚泥単独系に比べて稲わら系では23%、酵素稲わら系では26%増加した。

COD基準のメタン転換率も汚泥単独系が約66%な

表4 消化槽の運転条件と投入基質性状

		汚泥単独系	稲わら系	酵素稲わら系
滞留日数	日	29.2	24.7	24.7
TS	%	3.73±0.40	4.69	4.69
VS	%	3.35±0.36	4.03	4.03
COD	g/L	50.3	52.5	52.7
VS 負荷	kg-VS/日・m ³	1.15	1.63	1.63

のに対し、稲わらのメタン転換率は稲わら系で58%、酵素稲わら系で63%（下水汚泥の転換率が汚泥単独系と等しいと仮定、酵素のCODも考慮）と稲わら投入系も汚泥単独系に近い値となった。以上よりパイロットスケールでの実験においても、混合比1:0.50の条件下で下水汚泥と同程度の稲わらのメタン転換率を達成することができた。また、酵素の可溶化効果も確認された。消化汚泥の上澄み成分に関しては、汚泥単独系と比べて溶解性CODは30%程度高くなる一方、アンモニア性窒素は25%程度低くなっていたが、脱水工程の脱離液性状にも顕著な変化は及ぼさないと考えられる。

以上から、稲わら混合により、消化特性に大きな影響を与えることなく発生ガス量を増大できることが実証され、エネルギー源としての稲わらの有用性が示された。一方で、稲わら混合により消化汚泥の量が増

加するため、今後は消化汚泥の脱水性や、さらなるエネルギー利用の検討に向けて汚泥の発熱量を評価していく予定である。

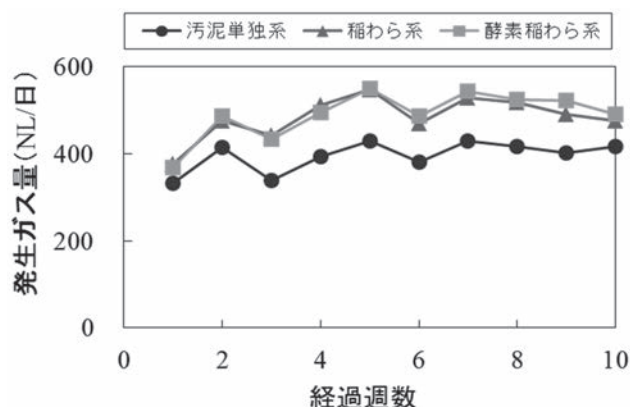


図4 バイオガス発生量の推移

表5 安定期間における平均消化成績

			汚泥単独系	稲わら系	酵素稲わら系
pH		—	7.54	7.41	7.42
TS・VS	TS	%	1.72±0.12	2.34±0.12	2.37±0.17
	VS	%	1.33±0.09	1.63±0.09	1.64±0.11
分解率	TS	%	54	50	49
	VS	%	60	60	59
バイオガス発生量		NL/day	409±86	505±111	515±110
メタン含有率		%	56.7	55.3	55.3
メタン転換率(COD 基準)		%	66	64	65
稲わらのメタン転換率		%	—	58	63

4. おわりに

稲わらは広く薄く分布し、かつ分布の地域間差は小さいことから、稲わら収集・運搬体系は、日本海側の北日本地域に比較的容易に適用できると考えられる。残念ながら現在は、稲わらは資源バイオマスとして十分利用されるとは言えない。このことから、効率的な稲わら収集・運搬体系および稲わらと下水汚泥によるバイオガス生産技術の確立により、未利用稲わらによるエネルギー生産が期待できる。また、稲わら以外にも下水汚泥との混合嫌気性消化に利用できるバイオマスは多いが、稲わらのように常温で長期保存できるものは少ない。このため、混合嫌気性消化によるバイ

オガス発電等を導入する場合には、稲わらのように貯蔵性および貯蔵コストに優れたバイオマスは、安定したバイオガスの増産に不可欠である。

本研究から、稲わら収集・運搬の最小ユニットや、パイロットスケールでの稲わらバイオガス発生量は明らかになりつつある。稲わら収集・運搬体系の実用化には、稲わら収量の圃場間差や、収集時期による稲わら回収率の差、混合嫌気性消化では消化汚泥のエネルギー利用等といった検討すべき課題は多いが、未利用稲わらの有効活用に向けてこれらの課題を克服してゆくことが肝要である。また、それらの課題解決に対して地域の下水道施設が中核として機能することで新たな展開が期待できるものと確信している。

謝 辞

本研究は農林水産省平成22～24年度新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業「未利用稲わらと汚泥の一括バイオガス化技術を核とした稲わらの階層的エネルギー利用システムの実装」として行われた。ここに記して深謝申し上げる。

また、本研究の遂行にあたり、長岡市農政課、新潟県下水道課、新潟県下水道公社および新潟県長岡地域振興局には多大な協力、支援を頂いた。ここに記して謝意を表す。

<参考文献>

- 1) 佐賀清崇、芋生憲司、横山伸也、藤本真司、柳田高志、美濃輪智朗：バイオエタノール生産に向けた稲わら等の収集運搬作業体系に関する研究 エネルギー・資源学会誌、29 (6)、8-13 (2008)
- 2) 新潟県農林水産部農業総務課政策室、バイオマスにいがた構想 (2004)
- 3) 農林水産省生産局畜産部畜産振興課、飼料作物関係資料、p84 (2006)
- 4) A. Watanabe, Y. Satoh, and M. Kimura: Estimation of the increase in CH₄ emission from paddy soils by rice straw application. Plant Soil, 173, 225-231 (1995)
- 5) 気象庁、気象統計情報、気象庁HP
- 6) 加藤仁、金井源太、小林有一、竹倉憲弘、薬師堂謙一：システムダイナミックス手法による稲わら回収モデルの研究、農作業研究46 (4)、(2011)、179-187
- 7) 高松量、小松俊哉、姫野修司、井上明大、石川進、澤原大道：下水汚泥と稲わらの混合嫌気性消化のパイロットスケール連続実験、第49回下水道研究発表会講演集、568-570、2012
- 8) 小松俊哉、工藤恭平、姫野修司：酵素可溶化処理を施した稲わらの下水汚泥との混合嫌気性消化に関する研究、下水道協会誌、Vol.44、No.531、pp.139-150、2007

特 別 寄 稿

バイオマス事業化戦略の概要について

農林水産省 食料産業局 バイオマス循環資源課

バイオマス事業推進室長 山田 耕士

キーワード：自立・分散型エネルギー供給体制、実用化技術、一貫システム、地域循環型バイオ燃料、
バイオマス産業都市

1. はじめに

平成22年12月、バイオマス活用推進基本法（平成21年法律第52号、以下「基本法」という。）に基づき、「バイオマス活用推進基本計画」（以下「基本計画」という。）が閣議決定され、バイオマスの活用の促進に関する施策についての基本的な方針、国が達成すべき目標、技術の研究開発に関する事項等について定められた。

この基本計画では、バイオマス供給者である農林漁業者、バイオマス製品の製造事業者、地方公共団体、関係府省等が一体となって、バイオマスの最大限の有効活用を推進することとし、2020年までに600市町村においてバイオマス活用推進計画を策定すること、バイオマスを活用する約5,000億円規模の新産業を創出すること、炭素量換算で約2,600万トンのバイオマスを活用すること等の目標を定めた。

東日本大震災・原子力発電所の事故を受け、本年末を目途に新たなエネルギー政策及び地球温暖化対策が策定される予定であるが、グリーンイノベーションによる新たな産業の創出と地域の未利用資源であるバイオマスを利用した自立・分散型エネルギー供給体制の強化を図ることが国を挙げての課題となっている。

平成24月6日、基本法に基づき設置されている「バイオマス活用推進会議」において、「バイオマス事業化戦略」（以下「本戦略」という。）が策定されたところであるが、本戦略は、基本計画に定められた目標の達成、及び地域におけるグリーン産業の創出と自立・分散型エネルギー供給体制の強化を実現するための指針である。

本戦略は、農林水産省、経済産業省、環境省、国土交通省、文部科学省を共同の事務局とし、内閣府と総務省を加えて7府省が連携して有識者による検討チームを立ち上げ、平成24年2月から計9回の会合を重ね取りまとめたものである。

本稿では、本戦略の概要及び本戦略に位置付けられている「バイオマス産業都市構想」について紹介する。

2. バイオマスエネルギーのポテンシャル

基本計画では、炭素量換算で年間約2,600万トンのバイオマスを利用することを目標とするとともに、現状の利用率及び2020年までに達成するバイオマスごとの利用率目標が示されている。

バイオマスの種類ごとに年間発生量と現状の利用率から、利用可能量（未利用量）を炭素量換算で示すと図1のとおりである。

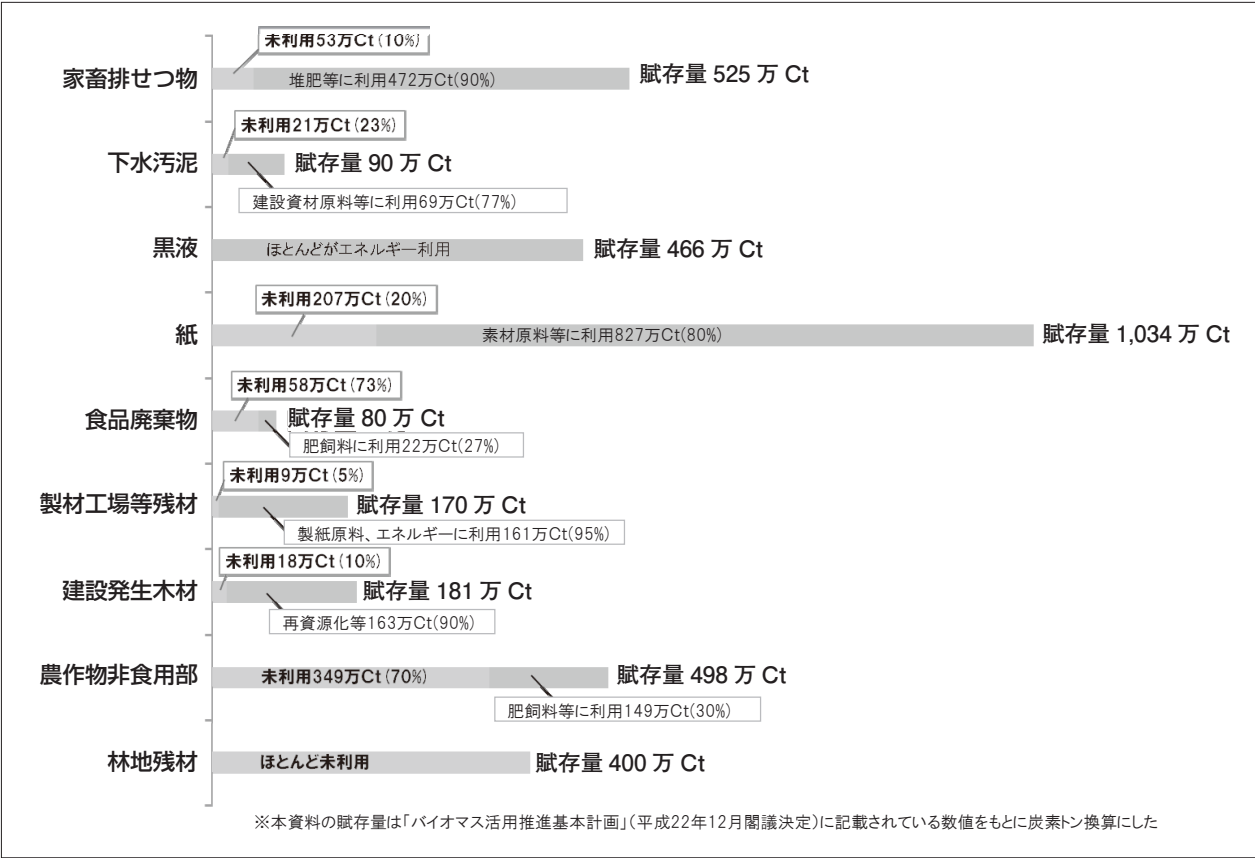


図1 バイオマスの賦存量と利用可能量

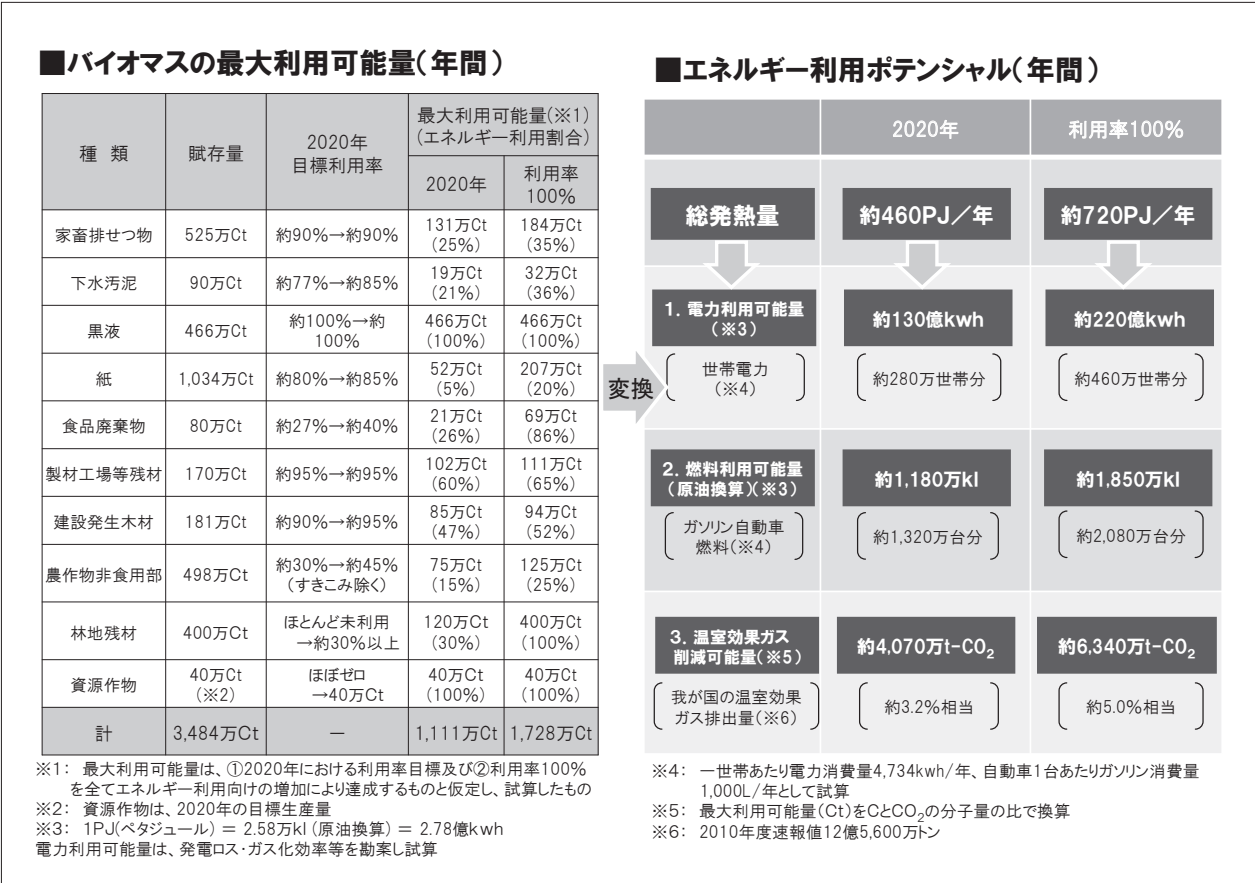


図2 バイオマスのエネルギー利用のポテンシャル(試算)

次に、基本計画で設定された利用率目標について、カスケード利用を考慮した上で、全てをエネルギー利用により目標達成すると仮定すると、そのポテンシャルは図2のとおりである。

未利用バイオマスのポテンシャル（年間）は、電力利用可能量で約130億キロワット時、燃料利用可能量（原油換算）で年間約1,180万KLとなる。さらに林地残材などの未利用分まで含めると、ポテンシャルは電力利用可能量で年間約220億キロワット時にもなる。

2月 2日	バイオマス活用推進会議（検討チームの設置）
2月10日	第1回検討チーム（検討チームの立上げ、関係府省からのヒアリング）
2月27日～ 4月11日	第2回～第5回検討チーム（関係者からのヒアリング（関係府省・研究機関・企業・自治体））
4月27日	第6回検討チーム（技術ロードマップのとりまとめ）
5月29日	第7回検討チーム（事業化戦略の課題と方向）
6月27日	第8回検討チーム（事業化戦略（案）について）
8月 9日	第9回検討チーム（事業化戦略（案）のとりまとめ）
9月 6日	バイオマス活用推進会議（事業化戦略の決定）

図3 バイオマス事業化戦略チーム（検討経過）

この大きなポテンシャルを最大限に活用するための課題をどのようにクリアするかが本戦略の主要なテーマである。

3. バイオマス事業化戦略検討チームの設置

平成24年2月、バイオマス利用技術の到達レベルの横断的な評価と事業化に向けた戦略を検討するため、バイオマス活用推進会議の下に、バイオマス政策に関わる7府省（内閣府、総務省、文部科学省、農林水産省、経済産業省、国土交通省、環境省）が連携して、8月9日の第9回会合で戦略（案）を取りまとめ、9月6日のバイオマス活用推進会議においてバイオマス事業化戦略を決定した。

検討経緯及び検討チームの構成は図3及び図4のとおりである。

4. バイオマス利用技術の現状とロードマップ

バイオマスの利用技術には、直接燃焼などの単純なものから糖化・発酵、ガス化・再合成などの高度なものまで様々なものがあり、その技術の到達レベルも、基礎研究段階のもの、基礎研究を終え実証段階にあるもの、すでに実用化されているものなど様々である。

（五十音順 敬称略）

（大学・研究機関）

五十嵐 泰夫 東京大学生物生産工学研究センター長、東京大学大学院農学生命科学研究科教授
大原 誠資 (独)森林総合研究所 研究コーディネータ
神谷 勇治 (独)理化学研究所 バイオマス工学研究プログラム連携促進コーディネーター
坂西 欣也 (独)産業技術総合研究所 イノベーション推進本部上席イノベーションコーディネータ
迫田 章義 東京大学生産技術研究所教授
◎塚本 修 東京理科大学特命教授（座長）
徳岡 麻比古 (独)新エネルギー・産業技術総合開発機構 新エネルギー部統括主幹
中村 一夫 (財)京都高度技術研究所 バイオマスエネルギー研究部長
野村 充伸 地方共同法人 日本下水道事業団 技術戦略部長
薬師堂 謙一 (独)農業・食品産業技術総合研究機構 バイオマス研究統括コーディネーター
横山 伸也 鳥取環境大学環境学部教授

（関係企業）

小山 洋介 味の素(株) イノベーション研究所 基盤技術研究所 所長
澤 一誠 三菱商事(株) 新エネルギー・電力事業本部 アジア・太平洋事業ユニット
バイオ燃料第二チームシニアマネージャー
幡多 輝彦 JFEエンジニアリング(株) 専務執行役員 海外本部長
八村 幸一 鹿島建設(株) 環境本部 環境施設グループ長
山田 良介 新日鉄エンジニアリング(株) 代表取締役副社長
吉田 正寛 JXホールディングス(株) 執行役員

（地方自治体）

堀 寛明 京都市環境政策局 循環企画課 バイオマス担当課長

図4 バイオマス事業化戦略チーム（検討チームの構成）

このため、9回にわたる検討チームの会合の中で、最初に行った議論が多種多様なバイオマス利用技術の到達レベル、技術的な課題及び実用化の見通しの評価であり、関係省庁、研究機関、企業による横断的な評価として技術ロードマップ(図5-1・図5-2・図5-3)として取りまとめた。技術の到達レベルは、現状(2012年)、概ね5年後(2017年頃)、概ね10年後(2022年頃)、概ね20年後(2032年頃)のタイムフレームの中で、研究、実証、実用化の3段階で評価したものである。ここで、実用化とは、技術的な観点からの評価であり、事業化のためには原料調達、販路等を含む事業環境を整備する必要がある。

今後、関係省庁、研究機関、企業は、この技術ロードマップを産学官共通の技術評価のプラットフォームとして、研究段階にある技術は研究開発を重点に行う、技術開発の進展状況に応じてラボレベル、ベンチレベル、パイロットレベルのように段階的にスケールアップしながら、研究・実証を進める、実証を終え実用化された技術は事業化に活用するなど、限られえた人的・資金的リソースを効率的に活用していく必要がある。

5. 重点的に活用する技術・バイオマスと事業化モデル

この、現時点で事業化に活用する技術をメタン発酵・堆肥化、直接燃焼、固体燃料化、液体燃料化の4つに絞り、バイオマスとしては木質、食品廃棄物、下水汚泥、家畜排せつ物を対象とした。

また、上記の実用化技術とバイオマスを利用したバイオマス活用の事業化モデルの例(タイプ、事業規模等)を、事業化を重点的に推進するに当たっての参考として提示した。(図6-1・図6-2)

6. バイオマスを活用した事業化のための戦略

(1) 検討チームにおける主要な論点

検討チームの会合では、技術のほか、原料調達(入口)、需要の創出と拡大(出口)、個別バイオマスの効果的な活用、バイオ燃料の普及、政策支援のあり方、海外戦略の進め方など幅広い議論が行われた。会合での主要な論点は、以下のとおり。

	技術	原料	製造物	技術レベル				技術の現状	技術的な課題
				現状	5年後	10年後	20年後		
物理的変換	固体燃料化	木質系、草本系等	チップ、ペレット等	実用化				○ 木材を切断・破砕したチップ、粉砕後圧縮成型したペレット、厨芥類を原料とするRDF(Refuse Derived Fuel)、下水汚泥を乾燥成型したバイオソリッド等があり、技術的には実用化段階。 ○ 木質、下水汚泥等のバイオマスを直接燃焼して熱として利用する、又はボイラー発電を行う技術で、技術的には実用化段階。	○ チップ・ペレット等の製造コストの削減 ○ 規格・標準化の推進 ○ 燃焼灰の有効利用技術の開発
	直接燃焼(専焼、混焼)	木質系、草本系、鶏ふん、下水汚泥、食品廃棄物等	熱・電気	実用化					○ エネルギー利用効率の改善 ○ バイオマス混焼率の向上のための粉砕、脱水、混合の技術開発 ○ 燃焼機器の低価格化 ○ 燃焼機器の高性能化(熱効率の向上、利用可能な燃料の含水率の向上等) ○ 燃焼灰の有効利用技術の開発
	固体燃料化(①炭化・②半炭化・③水熱炭化)	木質系、草本系、下水汚泥等	固体燃料、バイオコークス	① 実用化 ② 実証(一部実用化) ③ 実証	実用化	実用化	実用化	①炭化:木質等のバイオマスを、酸素供給を遮断又は制限して400℃～900℃程度に加熱し、熱分解により炭素含有率の高い固体生成物を得る技術で、技術的には実用化段階。 ②半炭化:木質等のバイオマスを、酸素供給を遮断して200℃～300℃程度の炭化する手段の中低温領域で加熱・脱水し、エネルギー密度や耐水性が高い固体生成物を得る技術で、技術的には実証段階(下水汚泥は実用化)。 ③水熱炭化:木質等のバイオマスを300℃程度の加圧水で脱水、脱酸素、圧密作用を行って炭化し、さらにスラリー化(液体化)することにより、高密度で高カロリーの液体燃料を得る技術で、技術的には実証段階。	○ 炭素含有率の高い固体燃料化技術の開発 ○ 製造コストの削減 ○ バイオマス原料発生地での簡易・移動式製造機の開発 ○ 副生物の改質濾液(木酢液と類似組成)の利用技術の開発(水熱炭化)
	ガス化(発電・熱利用)	木質系、草本系、下水汚泥等	ガス・熱・電気	実証(一部実用化)	実用化			○ 木質等のバイオマスから高温下(650℃～1,100℃)で、水蒸気・酸素等のガス化剤を利用してガスを発生させ、発電や熱利用を行う技術で、技術的には実証段階(下水汚泥は実用化)。 ○ ガス化炉は大別して固定床、流動床、噴流床があるが、高温になるほどガス(CO、H ₂)発生量が多くなり、タールやチャーの発生量は少なくなる。また、水蒸気・酸素等のガス化剤の使用によりタールやチャーの発生を抑制できる。	○ エネルギー利用効率の改善 ○ タール等の抑制・除去・利用技術の開発 ○ 小型高性能ガス化炉の開発 ○ ガス化原料調整のための効率的なバイオマス粉砕技術の開発 ○ 高耐久・高効率なガス利用設備(ガスエンジン等)の開発
	水熱ガス化	木質系、草本系等	ガス・熱・電気	研究・実証	研究・実証	実証	実用化	○ 超臨界水中(374℃、220気圧)で加水分解反応が迅速に進行し、有機物が効率よく分解されることを利用して、食品廃棄物等のバイオマスをガス化する技術で含水率の高いバイオマスを有効利用することが可能。技術的には研究・実証段階。	○ エネルギー利用効率の改善 ○ 安定操業性の確立 ○ 加圧装置及び加水分解反応器等の低価格化による製造コストの削減
	ガス化・液体燃料製造(BTL)	木質系、草本系等	液体燃料(メタノール、ジェット燃料等)	研究・実証	研究・実証	実証	実用化	○ 木質等のバイオマスを水蒸気・酸素等のガス化剤によってガス化し、生成したガスから触媒を用いて液体燃料(メタノール、ジメチルエーテル、ガソリン代替燃料、ジェット燃料等)を得る技術。有機性化合物であれば、木質系、草本系、厨芥類等幅広いバイオマスに利用可能。技術的には研究・実証段階。	○ 製造コストの削減(高効率・高選択性の触媒開発、低圧合成技術開発、効率的なガス精製技術開発等) ○ 合成に適したガスの生成制御技術の開発 ○ タール、硫化物等触媒を被毒する不純物の発生抑制・除去技術の開発
	液体燃料製造(エステル化)	廃食用油、油糧作物	バイオディーゼル燃料(BDF)	実用化				○ 廃食用油や植物油にメタノールとアルカリ触媒を加えてエステル交換する等の方法で、バイオディーゼル燃料である脂肪酸メチルエステル(FAME)を得る技術で、技術的には実用化段階。	○ 製造コストの削減 ○ グリセリンの利用・除去技術の開発 ○ 貯蔵安定性の確保 ○ 新型ディーゼル車両(DPFやNOx除去装置)との適合性の確保

図5-1 主要なバイオマス利用技術の現状とロードマップ①

	技術	原料	製造物	技術レベル				技術の現状	技術的な課題
				現状	5年後	10年後	20年後		
熱化学的変換	急速熱分解液化	木質系、草本系等	液体燃料（バイオオイル、BDF等）、化学品	研究・実証	実証	実用化		○ 木質等のバイオマスを500℃～600℃程度に加熱して急速に熱分解を進行させ、油状生成物を得る技術。生成物はエネルギー密度が低く酸性であるが、液化燃料として熱や発電に利用できるほか、水素化等により輸送用燃料や化学品原料を製造することが可能。瞬間加熱には熱砂、赤外線、マイクロ波などが用いられる。技術的には研究・実証段階。	○ 熱分解炉の低価格化 ○ 油状生成物の変換・利用技術の開発 ○ 高付加価値製品の製造技術の開発
	水熱液化	木質系、草本系等	液体燃料（バイオオイル、BDF等）	研究・実証	実証	実用化		○ 木質等のバイオマスを高温高圧の熱水で改質することにより液状生成物を得る技術で、生成物は高い粘性があり酸性である。技術的には研究・実証段階。	○ 製造コストの削減 ○ 副生する廃液の抑制・利用技術の開発 ○ 油状生成物の改質・利用技術の開発
	水素化分解	油糧種子（カメリナ、ジャトロハ等）	軽質炭化水素燃料（ジェット燃料、灯油、軽油等）	実証	実用化			○ カメリナ、ジャトロハ等の油糧種子の油脂分を原料として、高温高圧の水素ガス環境下で触媒を用いた分解、水素化、異性化、脱硫等の化学反応を行い、ジェット燃料、灯油などの軽質炭化水素を製造する技術で、技術的には実証段階。	○ 低コスト化・低エネルギー化技術の開発 ○ 水素製造設備の低コスト化
生物化学的変換	メタン発酵（湿式、乾式）	下水汚泥、家畜排せつ物、食品廃棄物等	ガス・熱・電気	実用化（一部実証）				○ 下水汚泥、家畜排せつ物、食品廃棄物等のバイオマスを微生物による嫌気性発酵によってメタンガスを発生させる技術で、液状原料を利用する湿式と水分80%程度の固形原料を利用する乾式がある。メタンガスは熱や発電利用のほか、都市ガスや自動車燃料等に利用可能。技術的には実用化段階（乾式及び小型設備は実証段階）。	○ 廃棄物回収システムの改良・効率化（異物除去等） ○ 高効率で安価な発酵・メタン精製連続装置の開発 ○ 効率的な複数原料の混合発酵技術の開発 ○ アンモニア抑制・除去技術の開発（乾式等） ○ 消化液・乾式残さの利用技術開発（肥料・飼料等） ○ メタンの利用方法の拡大（未精製ガスの利用技術の開発、都市ガス向け安価な精製技術の開発等）
	水素発酵	食品廃棄物等	ガス・熱・電気	研究（一部実証）	研究・実証	実証	実用化	○ 食品廃棄物等のバイオマスを可溶化して水素発酵した後に、メタン発酵することによりエネルギーと水素を回収する技術で、技術的には研究段階（一部実証段階）。	○ 二段発酵のエネルギー回収率の向上 ○ 原料の変化に対応した微生物管理技術の開発
	糖質・澱粉質系発酵（第1世代）	余剰・規格外農産物・食品廃棄物（甜菜、米、小麦等）	エタノール、化学品	実用化				○ 糖質・澱粉質系原料を酵素で糖化し、酵母、細菌等によりエタノール発酵させることにより、エタノールを生成する技術で、技術的には実用化段階。	○ 安価で効率的な栄養源供給（窒素源等） ○ 一貫プロセスの効率化・低コスト化と環境負荷の低減（糖化・発酵、副産物利用等） ○ 原料の低コスト化・多様化への対応
	セルロース系発酵（第2世代）	①ソフトセルロース（稲わら等） ②ハードセルロース（間伐材等）	エタノール、化学品	① 研究・実証 ② 研究・実証	① 実用化 ② 実証	② 実用化		○ 木質系、草本系のセルロース原料を加圧熱水や酸、アルカリ、糖化酵素等を利用して前処理・糖化した上でエタノール発酵を行う技術で、技術的には研究・実証段階。	○ 製造コストの削減 ○ セルロース構造改変等の前処理技術の開発 ○ 高効率かつ低コスト化の酵素開発 ○ 多様な糖質の同時発酵、使用微生物の高温発酵性向上及び固体発酵技術等の開発 ○ 最終製品に適合した良質な糖を得るための糖化・精製技術の開発 ○ 一貫プロセスの効率化・低コスト化と環境負荷の低減（前処理・糖化・発酵・蒸留・副産物利用等） ○ リグニンを利用した高付加価値製品の製造技術の開発 ○ 酢酸発酵と水素化分解による次世代セルロース系発酵技術の開発
	ブタノール発酵	糖質・澱粉質系、草本系等	ブタノール	研究・実証	実証	実用化		○ 主に糖質・澱粉質系原料から、クロストリジウムなどの偏性嫌気性細菌を用いて、アセトン及びブタノールを作る発酵技術（ABE発酵）を基本とするが、現在は欧米において遺伝子組換え酵母、日本では遺伝子組換えコクサ菌によるイソブタノールの製造技術の開発が進んでいる。日本では技術的には研究・実証段階（米国では実証から実用化段階に移行中）。	○ 製造コストの削減 ○ 発酵効率の改善 ○ 糖質・澱粉系以外の原料を使用した発酵技術の開発

図5-2 主要なバイオマス利用技術の現状とロードマップ②

技術	原料	製造物	技術レベル				技術の現状	技術的な課題
			現状 → 5年後 → 10年後 → 20年後					
藻類由来 液体燃料製造 (第3世代)	微細藻類、 大型藻類	液体燃料 (軽油代替、ジェッ ト燃料等)	研究	研究・ 実証	実証	実用化	○ 油分生産性の高い藻類を大量培養し、油分の抽出・精製等によって軽油代替、ジェット燃料を製造する技術で、技術的には研究段階。	○ 生産性の高い藻類の探索・育種 ○ 自然光での微細藻類の大規模栽培技術の確立 ○ 光エネルギー変換効率が高く安価な培養槽の開発 ○ 藻体残渣の低減・利用技術の開発(飼料・肥料、他) ○ 低コスト化のためのプロセス一貫システム(培養・回収・収集・乾燥)・油分抽出・精製の確立
バイオマテリアル	①糖質・澱粉質系 ②リグノセルロース系 ③セルロースナノファイバー	バイオプラスッ ク・素材	① 実用化 (一部 研究・ 実証)	② 研究 実証	③ 実証 (一部 実用化)	実用化	① 各種バイオマスからポリ乳酸やプラスチック・素材を製造する技術で、とうもろこし等糖質・澱粉質系は実用化(木質等リグノセルロース系は研究・実証段階)。 ② 紙パルプ製造工程や木質バイオマス変換工程で発生するリグニンを活用し、付加価値の高い樹脂・化学原料等を製造する技術で、技術的には研究・実証段階。 ③ 木質バイオマスからセルロース繊維を精製し、ポリオレフィン等の樹脂と複合化し、各種部材を製造する技術で、技術的には研究・実証段階。	○ 製造コストの削減(化石資源由来プラスチックと競合) ○ 量産化技術の開発 ○ 各種バイオマス由来のリグノセルロース等を効率的に発酵性糖質に変換する技術の確立 ○ 低コストで高機能のポリ乳酸やプラスチック・素材を製造する技術の確立 ○ 新規芳香族化合物の探索(原料バイオマス中のリグニンの有効利用法に資するため)
バイオリファイナリー	糖質・澱粉質系、 木質系、 草本系等	バイオマス由来物質を基に多様な 化学品・エネル ギーを生産	研究 実証	実証	実用化		○ 各種バイオマス由来の発酵性糖質等を基に多様な化学品・エネルギー物質(アルコール、有機酸、アミノ酸、ポリマー原料、輸送用燃料等)並びに熱・電気などのエネルギーを効率的に併産する総合技術システムで、個々の単位技術の現状と課題は、それぞれの技術によって異なるが、総合的利用技術の開発は研究・実証段階。 ○ バイオマス原料の前処理と糖化技術にセルロース系発酵(第2世代)と同等技術が利用可能。	○ 各種バイオマス由来のリグノセルロースを効率的に発酵性糖質に変換する技術の確立 ○ 新規芳香族化合物の探索(原料バイオマス中のリグニンの有効利用法に資するため) ○ 発酵阻害物質を含まない糖質の生産・発酵阻害を起こさない発酵技術の開発 ○ バイオマス構成成分、代謝物等を総合的・効率的に既存あるいは新規の有用物質に変換する技術の開発 ○ 高付加価値な長炭素鎖を持つモノマー生産のための植物・微生物のバイオプロセス改変技術の確立
資源・収集運搬	木質系、 草本系等	①資源開発 ②収集・運搬・保管	① 研究・ 実証	② 研究・ 実証	実証	実用化	① 資源用作物・植物の開発は研究・実証段階。 ② 木質・草本系資源の効率的な生産・収集・運搬・保管システムの開発は研究・実証段階。	○ 高バイオマス量・易分解性の資源用作物の開発と生産コストの削減 ○ 稲わら、籾殻、エリアンサス、早生樹等各種バイオマスの効率的な生産・収集・運搬・保管システム、減容圧縮技術等の開発 ○ 早生樹等の木質系資源と林地残材等の未利用木質系資源の低コストで効率的な収集・運搬システムと一体的利用技術の確立 ○ 遺伝子組換え作物・植物の実用化(野外植栽)に向けた基準の明確化

図5-3 主要なバイオマス利用技術の現状とロードマップ③

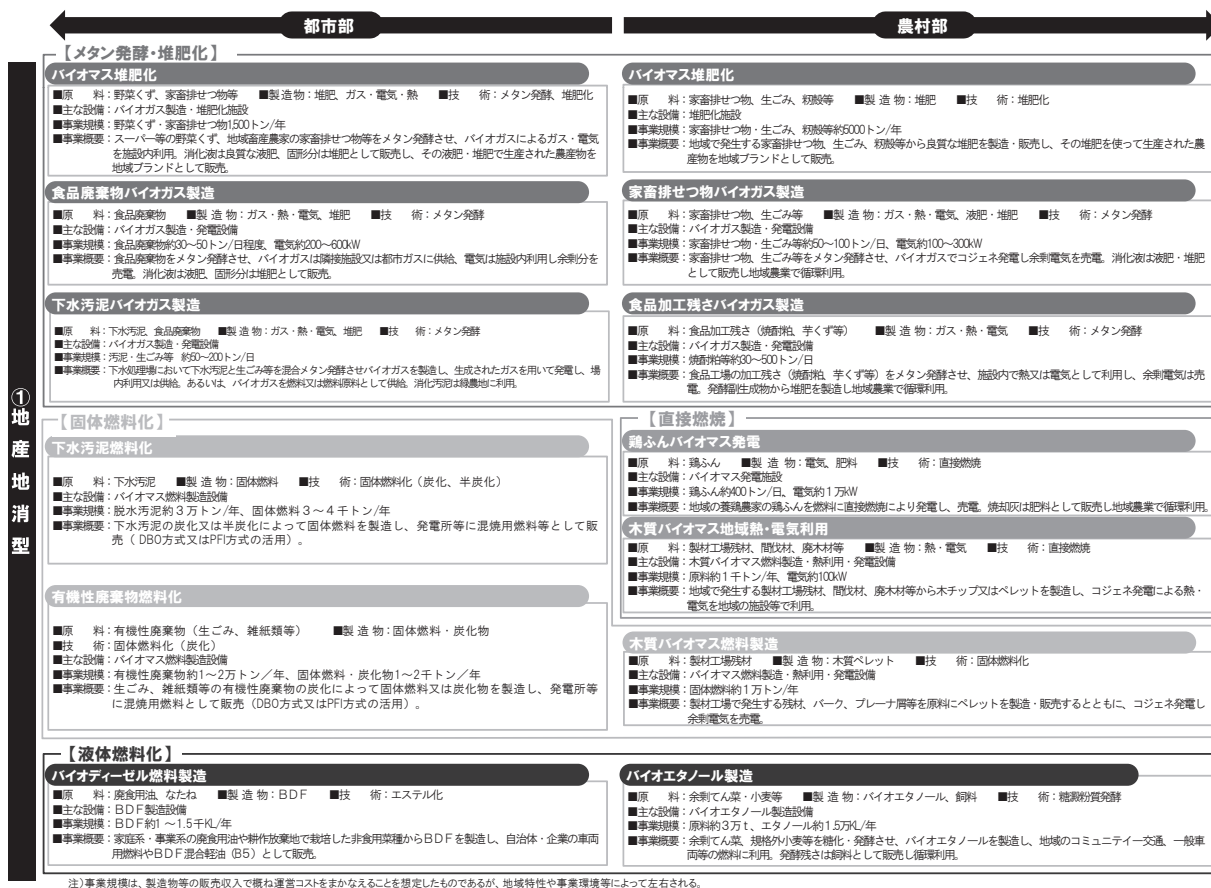


図6-1 バイオマス活用の事業化モデル(例)①



図6-2 バイオマス活用の事業化モデル(例)②

ア 全般

- 入口から出口までの一貫システムの構築
- 実現可能な事業化モデルの提示

イ 原料

- 廃棄物系バイオマスの効率的な収集・運搬システムの構築
- 間伐材等未利用バイオマスの有効な活用方策の構築
- 廃棄物系バイオマスの徹底利用と多様なバイオマスの混合利用

ウ 出口

- バイオマスの高付加価値利用の取り組み

エ バイオ燃料

- 国産バイオ燃料の地産地消燃料、地域分散型燃料としての位置づけ
- バイオディーゼル燃料の低濃度利用の普及策

オ 個別バイオマス

- 食品廃棄物については、分別収集の強化、バイオガス化の活用
- 下水汚泥については、下水処理場の地域のバイオマス利活用拠点としての位置づけ、バイオガス化事業の可能性
- 家畜排せつ物については、利用推進のための対策、消化液の活用
- 木質バイオマスについては、効率的な収集運搬システムの構築、川上の林業者へのインセンティブの付与

カ 政策支援

- 化石燃料とのコスト差に対する政策的な支援のあり方
- 採算性の低い事業に対する施設整備への支援
- 安定した事業収入の確保にインセンティブの付与
- 廃掃法上の有価物性の判断基準の緩和
- 再生エネルギーの導入目標量の達成に向けたバイオマスエネルギーの位置づけ
- バイオマスの目的生産物別の数量目標の設定
- 電力の固定価格買取制度における長期的な買取期間の設定

キ 海外展開

- アジアを中心とする海外展開とアジア型ビジネスモデルの構築
- 開発輸入のための技術開発の推進
- 官民一体となった戦略の構築

(2) バイオマス事業化戦略の概要

検討チームにおける上記論点に係る議論の結果、取りまとめられた本戦略の概要は以下のとおり。

《戦略1》基本戦略

- ・コスト低減と安定供給、持続可能性基準を踏まえつつ、技術とバイオマスの選択と集中による事業化の重点的な推進
- ・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）
- ・地域のバイオマスを活用した事業化推進による地域産業の創出と自立・分散型エネルギー供給体制の強化
- ・投資家・事業者の参入を促す安定した政策の枠組みの提供

《戦略2》技術戦略（技術開発と製造）

- ・事業化に重点的に活用する実用化技術の評価（概ね2年ごと）
- ・産学官の研究機関の連携による実用化を目指す技術の開発加速化（セルロース系、藻類等の次世代技術、資源植物、バイオリファイナリー等）

《戦略3》出口戦略（需要の創出・拡大）

- ・固定価格買取制度の積極的な活用
- ・投資家・事業者の参入を促すバイオマス関連税制の推進
- ・各種クレジット制度の積極的活用による温室効果ガス削減の推進
- ・バイオマス活用施設の適切な立地と販路の確保
- ・高付加価値の製品の創出による事業化の推進

《戦略4》入口戦略（原料調達）

- ・バイオマス活用と一体となった川上の農林業の体制整備（未利用間伐材等の効率的な収集・運搬システムの構築）
- ・広く薄く存在するバイオマスの効率的な収集・運搬システムの構築（バイオマス発電燃料の廃棄物該当性の判断の際の輸送費の取扱等の明確化等）
- ・高バイオマス量・易分解性等の資源用作物・植物の開発
- ・多様なバイオマス資源の混合利用と廃棄物系の徹底利用

《戦略5》選択されたバイオマスの個別戦略

①木質バイオマス

- ・FIT制度も活用しつつ、未利用間伐材等の効率的な収集・運搬システム構築と木質発電所等でのエネルギー利用を一体的・重点的に推進
- ・製材工場等残材、建設発生材の製紙原料、ポー

ド原料やエネルギー等への再生利用を推進

②食品廃棄物

- ・ FIT 制度も活用しつつ、分別回収の徹底・強化と、バイオガス化、他のバイオマスとの混合利用、固体燃料化による再生利用を推進

③下水汚泥

- ・ 地域のバイオマス活用の拠点として、FIT 制度も活用しつつ、バイオガス化、食品廃棄物との混合利用、固形燃料化による再生利用を推進

④家畜排せつ物

- ・ FIT 制度を活用しつつ、メタン発酵、直接燃焼、食品廃棄物等との混合利用による再生利用を推進

⑤バイオ燃料

- ・ 品質面での安全・安心の確保や石油業界の理解を前提に農業と一体となった地域循環型バイオ燃料利用の可能性について具体化方策を検討
- ・ バイオディーゼル燃料の税制等による低濃度利用の普及や高効率・低コスト生産システムの開発
- ・ 産学官の研究機関による次世代バイオ燃料製造技術の開発加速化

《戦略6》総合支援戦略

- ・ 地域のバイオマスを活用したグリーン産業の創出と地域循環型エネルギーシステムの構築に向けたバイオマス産業都市の構築（バイオマスタウンの発展・高度化）
- ・ 原料生産から収集・運搬、製造・利用までの事業者の連携による事業化の取組を推進する制度の検討（農林漁業バイオ燃料法の見直し）
- ・ プラント・エンジニアリングメーカーの事業運営への参画による事業化の推進

《戦略7》海外戦略

- ・ 国内で我が国の技術とバイオマスを活用した持続可能な事業モデルの構築と、国内外で食料供給等と両立可能な次世代技術の開発を進め、その技術やビジネスモデルを基盤にアジアを中心とする海外で展開
- ・ 我が国として、関係研究機関、業界との連携の下、持続可能なバイオマス利用に向けた国際的な基準づくりや普及等を積極的に推進

7. 事業化戦略の工程表

上記の7つ戦略について、2020年までの工程を図7-1・図7-2に示す。

8. バイオマス産業都市構想

総合支援戦略としてバイオマス産業都市構想の推進を行うこととしている。これは関係府省が連携して地域のバイオマスを活用したグリーン産業の創出と地域循環型エネルギーシステムの構築を支援するもので、平成25年度予算において概算要求を行っており、特に計画づくりについては、農林水産省で支援することとしている。本構想のイメージを図8-1・図8-2に示す。

本構想における計画主体は、複数の市町村による広域連合、あるいは市町村と企業による連合を想定している。ポイントは事業化と産業化であり、原料調達を持続性や販路の確保のためには、広域化が必要であり、一貫システムの構築のためには、市町村を軸とした企業間の連携も不可欠と考えるところである。

また、メタン発酵・堆肥化、直接燃焼、固形燃料化、液体燃料化などの実用化技術を組み合わせて、エネルギー効率の高い複合システムの構築も不可欠と考えるところである。

9. おわりに

本戦略においては、基本戦略の一つに、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を求められている。バイオマス利活用事業において、複数の事業者により、一つのシステムを運営していく場合が多いものと思われるが、システム全体でその経済性を確保することが不可欠であり、複数の事業者が関わる事業であっても、例えば共同企業体のような経営の仕組みの導入など、バイオマス事業における経営のあり方についても、検討が必要である。事業の持続性の確保に向けて、今後とも一つ一つ、課題の解決に取組む所存である。

おわりに、バイオマス活用推進会議の下に設置した「バイオマス事業化戦略検討チーム」の先生方には9回に及ぶ会合の中で、活発な議論を展開していただいた。本誌上において改めてお礼申し上げる。

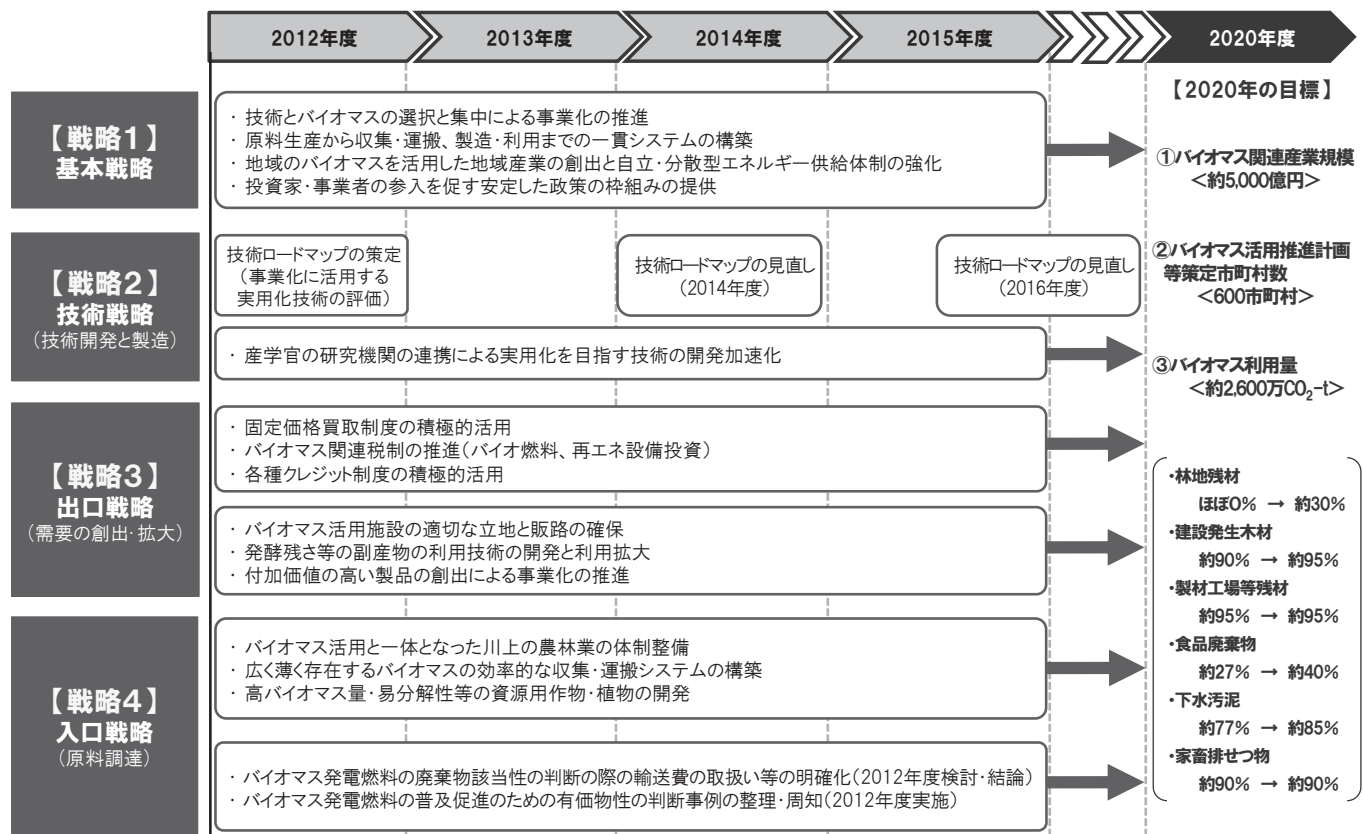


図7-1 「バイオマス事業化戦略」工程表①

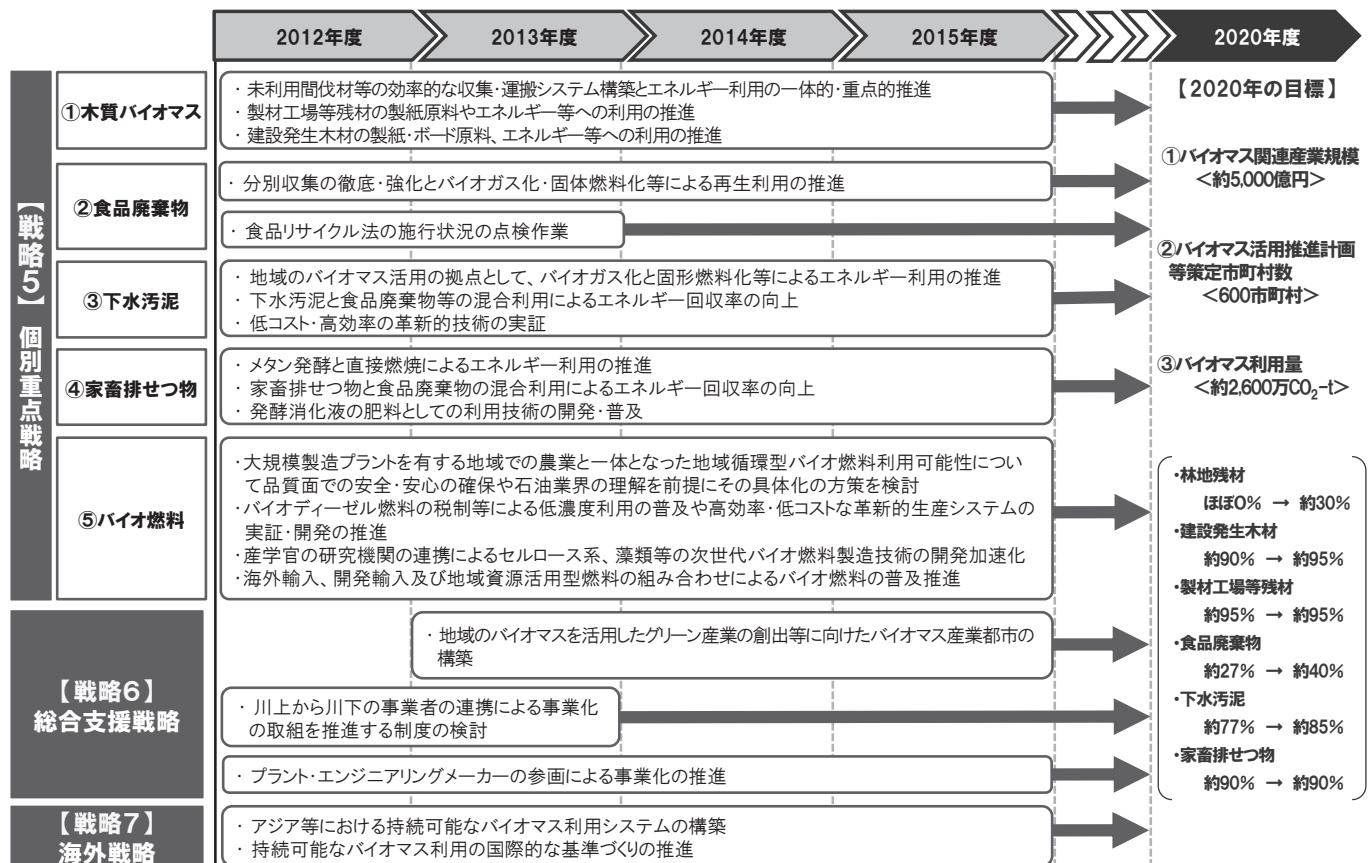


図7-2 「バイオマス事業化戦略」工程表②

- 関係府省が連携し、地域のバイオマスを活用したグリーン産業の創出と太陽光、小水力等を組み合わせた地域循環型エネルギーシステムの構築を支援。
- これにより、バイオマス産業を軸とした環境にやさしく災害に強いまちづくり・むらづくり(バイオマス産業都市)の構築を推進。

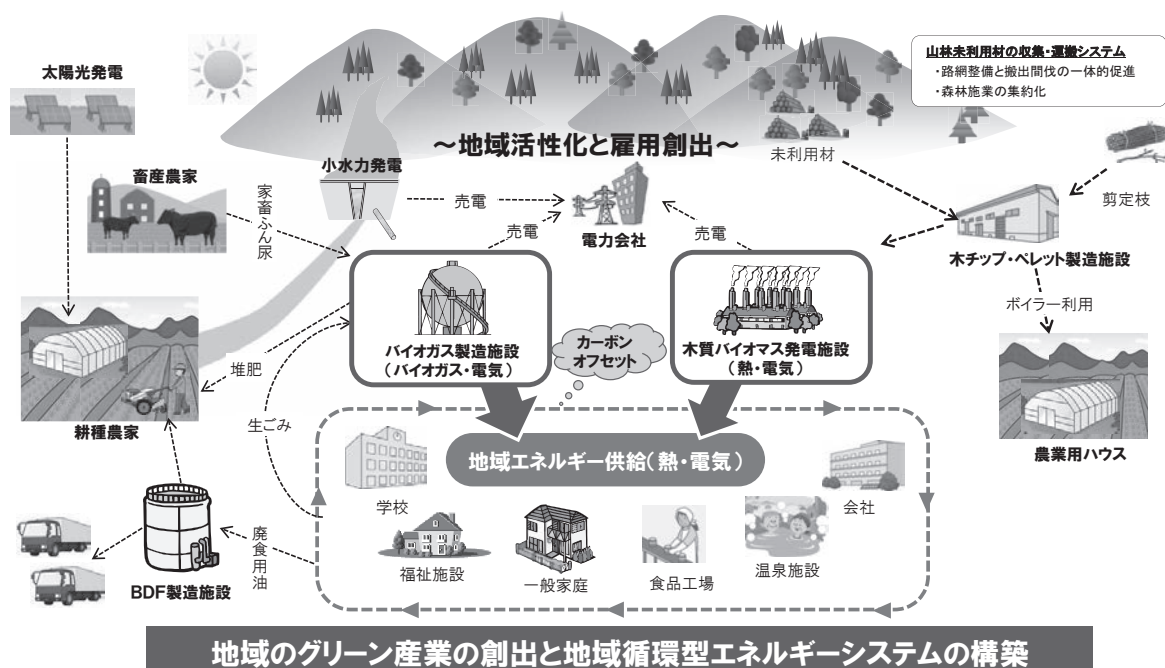


図8-1 バイオマス産業都市の構築①

バイオマス産業都市の構築と連携支援(案)

バイオマス活用推進会議

(関係7府省の担当政務で構成)

バイオマス産業都市選定委員会(仮称)
(バイオマス、ファイナンス等の専門家から構成)

※7府省:内閣府、総務省、文科省、農水省、経産省、国交省、環境省

提案



選定



連携支援

バイオマス産業都市推進計画

(市町村・企業連合等)

- ① バイオマス事業化プラン(事業計画、収支見直し等)
- ② 地域経済効果(雇用創出、所得増加等)
- ③ 目標:産業創出規模、エネルギー自給率、バイオマス利用率等

※ バイオマス産業都市の選定・連携支援の仕組みは今後7府省で調整。

図8-2 バイオマス産業都市の構築②

～バイオマス産業を軸とした環境にやさしく災害に強いまちづくり・むらづくり～

特集：平成24年度下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト）

解 説

平成24年度 下水道革新的技術実証事業 (B-DASH プロジェクト) の概要

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 西 迫 里 恵

キーワード：革新的技術、固形燃料化、下水熱利用、リン回収

1. はじめに

我が国の下水道処理人口普及率は76%¹⁾に到達し、下水道は巨大な社会基盤である。下水道事業は、大量のエネルギーを消費しており、電力使用量は72億kWh（全国の使用電力量の0.8%）にのぼる。一方、下水道は再生可能エネルギーとして利用可能な下水汚泥、未利用エネルギーである下水熱、貴重な資源であるリン等

を有している。

我が国においては、電力需給の逼迫や地球温暖化は喫緊の課題であり、徹底した省エネルギー対策と再生可能エネルギーの大量導入が求められている。加えて、資源ナショナリズムの台頭による資源確保に係る競争が激化しており、農業や工業で利用されるリン資源についても例外ではない。

このため、下水道における省エネ・創エネ対策、リン回収等によって、上述のような社会的課題に対応し

ポテンシャルの区分	賦 存 量		利用状況
下水汚泥	下水汚泥発生量 約220万トン/年 (乾燥ベース)	発電可能量:36億kWh/年 →約100万世帯の 年間電力消費量に相当	エネルギー利用 された割合は約1割 (消化ガス発電:約30箇所)
下水熱	下水処理量 約140億m ³ /年	7,800Gcal/h →約1,500万世帯の 年間冷暖房熱源に相当	下水熱を利用した 地域熱供給は3箇所
リン	流入するリン 約6万トン/年	我が国の年間のリン 輸入量の約1割に相当	利用されたリンの 割合は約1割

図1 下水道における資源・エネルギーのポテンシャルと利用状況

ていくことが求められている。財政状況が厳しい中、これらの課題を解決するためには、従来の技術よりも革新的で、低コスト・高効率な技術が必要である。

このような背景を踏まえ、国土交通省においては、平成23年度から「下水道革新的技術実証事業（B-DASHプロジェクト²⁾）」を実施している。本事業では、下水道に係る革新的技術について、国土交通省が主体となって実規模レベルでの技術実証を行い、ガイドラインをとりまとめ、当該技術の全国的な普及を図ることを目的としている。さらに、実証技術を国際的な基準に反映したり、実証プラントをトップセールスの場として活用すること等により、世界の水ビジネス市場における市場拡大に寄与することも期待されている。

本稿においては、平成24年度に開始した実証事業を中心に紹介することとしたい。

- 1) 平成23年度末の値。岩手県、福島県の2県においては、東日本大震災の影響により調査不能な市町村があるため公表対象外。
- 2) Breakthrough by Dynamic Approach in Sewage High Technology Project

2. 平成24年度開始実証事業の概要

平成24年度に開始した実証事業の分野は、①下水汚泥固形燃料化技術、②下水熱利用技術、③栄養塩（窒素・リン）除去技術の3つである。「下水道革新的技術実証事業評価委員会」による採択審査を経て、3つの分野に沿った実施事業を5件採択した。本実証事業では、建

設及び維持管理に係るコスト削減効果、並びに省エネ・創エネによる温室効果ガス排出削減効果を実証する。

(1) 温室効果ガスを排出しない次世代型下水汚泥固形燃料化技術

○実 施 者：長崎市・長崎総合科学大学・三菱長崎機工(株) 共同研究体

○実証フィールド：長崎市東部下水処理場

○事 業 概 要：

下水汚泥と地域バイオマス（商品とにならない規格外の野菜）を連続式水熱反応器により加水分解し、有機物の低分子化を図り、担体充填型的高速消化槽を用いて消化ガスを生成させる。この生成された消化ガスを固形燃料化設備及び水熱反応器の熱源として利用する。これにより、大幅な省エネを図ることができるとともに、脱水汚泥の減量化、固形燃料の燃料と肥料の両用利用、消化槽のための用地面積の縮減が期待される。（図2）

(2) 廃熱利用型低コスト下水汚泥固形燃料化技術

○実 施 者：JFEエンジニアリング(株)

○実証フィールド：松山市西部浄化センター

○事 業 概 要：

松山市西部浄化センターでは、重油を補助燃料として利用することによって下水汚泥を焼却しているが、JFEエンジニアリング(株)の技術を活用し、当該焼却炉からの廃熱を利用して、低温（200～300℃）で下水汚泥を固形燃料化する。さらに、製造された燃料を焼却炉の補助燃料として利用することによ

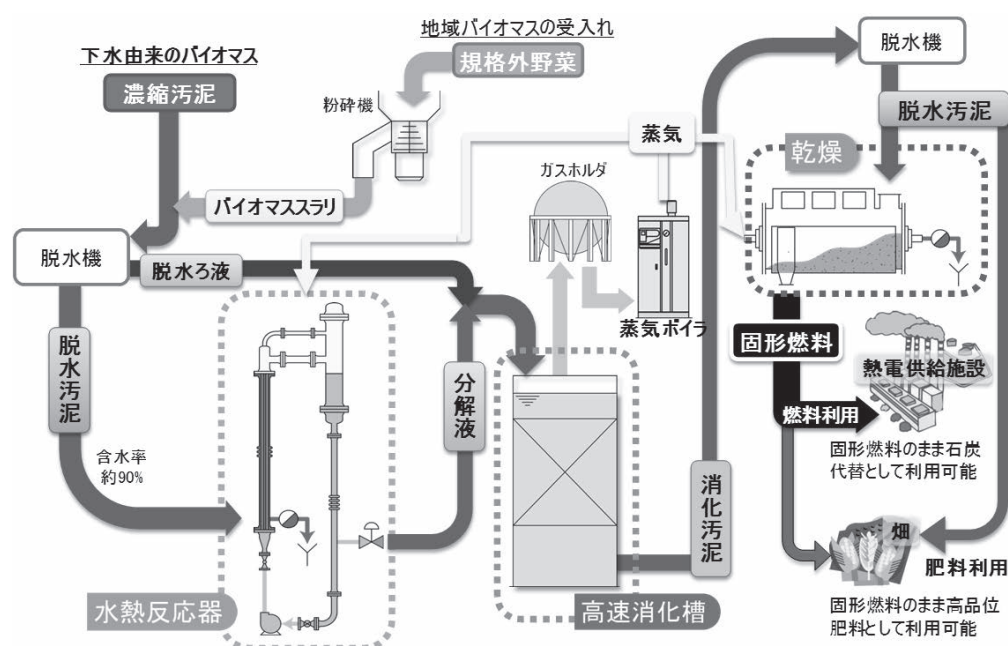


図2 温室効果ガスを排出しない次世代型下水汚泥固形燃料化技術

て、焼却炉における重油の使用量を低減することが期待される。(図3)

内での熱交換により未処理下水で課題となる夾雑物対策が不要となる利点が期待される。(図4)

(3) 管路内設置型熱回収技術を用いた下水熱利用に関する実証事業

○実 施 者：大阪市・積水化学工業(株)・東亜グラウト工業(株) 共同研究体

○実証フィールド：大阪市海老江下水処理場

○事 業 概 要：

管更生組込方式の管路内設置型熱回収技術は、下水管路の改築更新や耐震化のために行う管路更生とあわせて、管路内に熱交換器を設置して、管路内を流れる未処理下水から熱を回収・利用するものである。下水熱は外気に比べ温度変動幅が小さいため省エネルギー化を図ることができるとともに、管路

(4) 固定床型アナモックスプロセスによる高効率窒素除去技術に関する技術実証事業

○実 施 者：熊本市・地方共同法人日本下水道事業団・(株)タクマ 共同研究体

○実証フィールド：熊本市東部浄化センター

○事 業 概 要：

汚泥処理の返流水（嫌気性消化汚泥脱水ろ液）には高濃度の窒素等の栄養塩類が含まれるが、本事業では固定床方式のアナモックス反応技術を適用する。これにより、曝気量の削減、容積当たりの反応速度の増加、汚泥発生量の減少等、効率的な窒素除去が期待される。(図5)

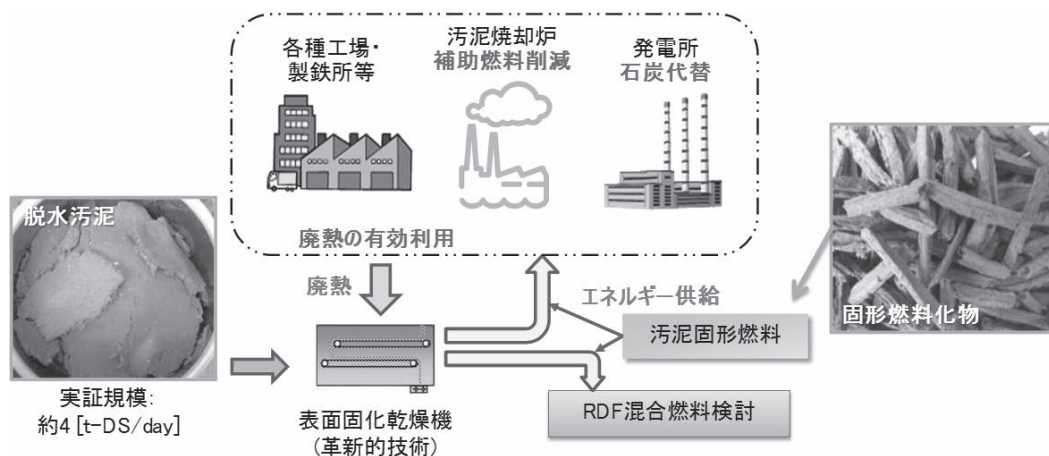


図3 廃熱利用型低コスト下水汚泥固形燃料化技術

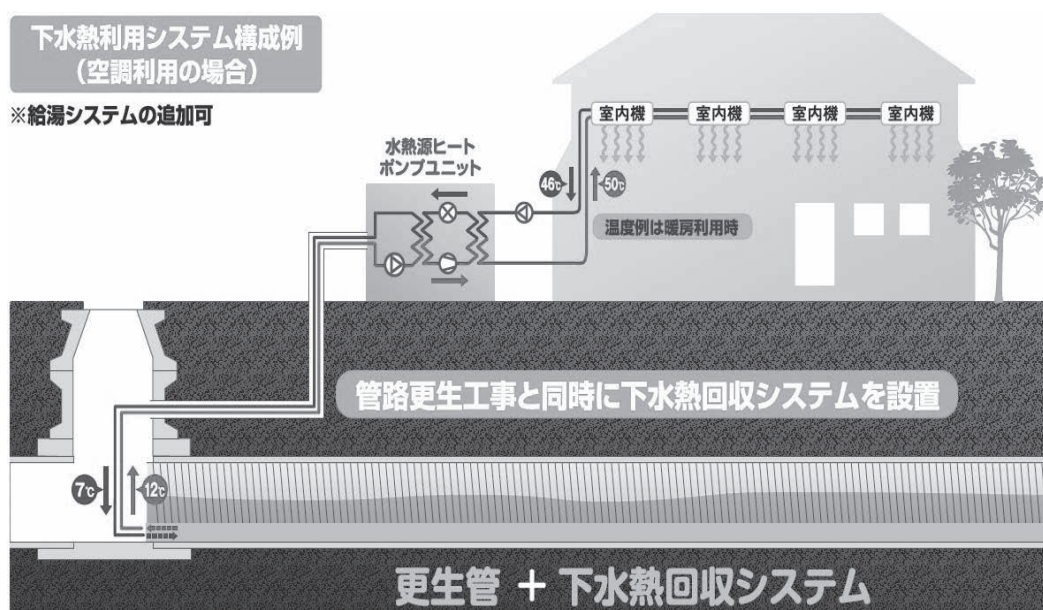


図4 管路内設置型熱回収技術を用いた下水熱利用に関する実証事業

(5) 神戸市東灘処理場 栄養塩除去と資源再生（リン） 革新的技術実証事業

－KOBEハーベスト（大収穫）プロジェクトー

○実 施 者：水ing(株)・神戸市・三菱商事アグリ
サービス(株) 共同研究体

○実証フィールド：神戸市東灘処理場

○事 業 概 要：

本事業では、消化汚泥からのリン除去回収の実証を行う。本技術は従来の消化汚泥脱水ろ液を対象としたリン除去回収技術と比較して、回収困難な細かいMAPの生成を抑制する等によって、リン回収量の増加、薬品添加率の削減等、高効率な運転が期待される。(図6)

3. おわりに

小資源国の我が国にとっては、下水道が有する資源から再生可能エネルギーを創り、また、リン回収等、新たな資源として再利用することが、今後ますます重要となる。また、水ビジネスの市場は、2025年には約100兆円規模になることが見込まれており、我が国の優れた技術の開発・普及により、市場の拡大を図ることが期待されている。国土交通省としても、引き続き、下水道革新的技術実証事業の実施及び水インフラの国際展開により、国内外一体となった技術実証及び当該技術の普及を推進していきたい。

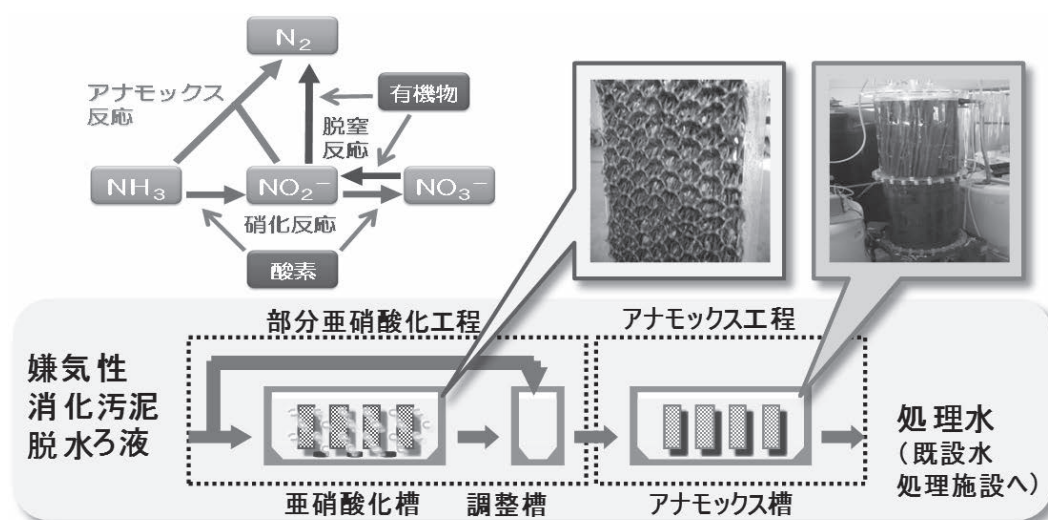


図5 固定床型アナモックスプロセスによる高効率窒素除去技術に関する技術実証事業

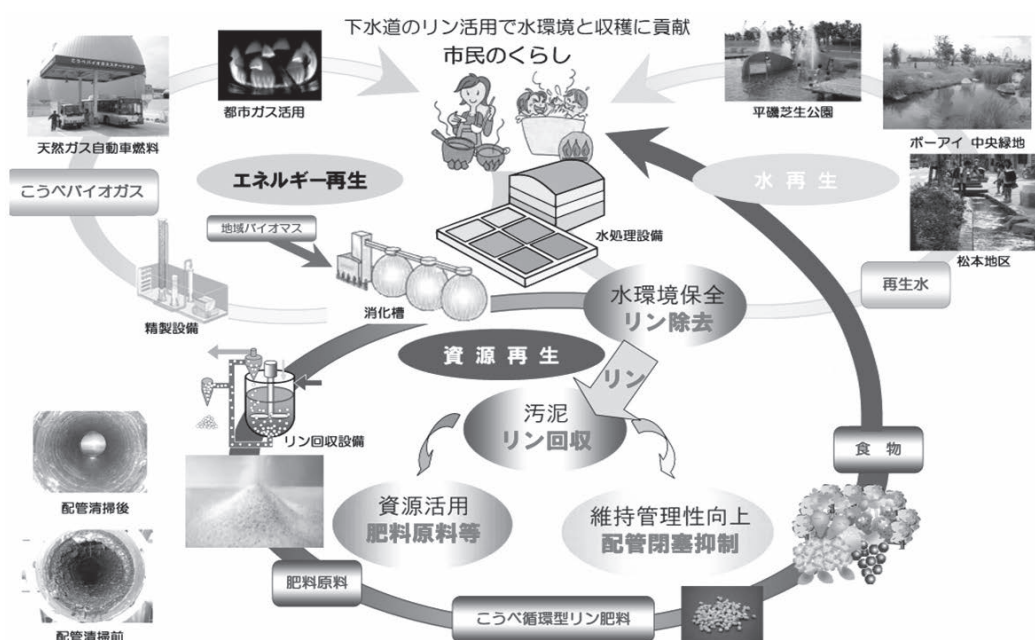


図6 神戸市東灘処理場 栄養塩除去と資源再生（リン）革新的技術実証事業

特集：平成 24 年度下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト）

解 説

温室効果ガスを排出しない 次世代型下水汚泥 固形燃料化技術について

長崎市上下水道局 事業部 下水道施設課長 円 城 寺 清
三菱長崎機工株式会社 環境プラント部長 篠 原 信 之

キーワード：温室効果ガス、次世代新技術、エコタウン

1. はじめに

長崎市は、日本の西端に位置する人口約44万人の都市で、その歴史は、元亀元年（1570年）、ポルトガル人宣教師により開港が要請され、翌年、領主大村純忠が海外貿易港として開港を許可したことに始まる。

鎖国後も中国、オランダなどとの海外貿易の中心として栄え、安政6年（1859年）の開国までの約300年間、日本の貿易、文化の窓口として重要な役割を果たしてきており、その歴史的遺産は現在の長崎に有形無形で残っており、他都市にはない独特の町模様を映し出している。

さて、長崎市の下水道は、昭和27年に下水道事業に着手し、昭和36年の中部下水処理場の完成に伴い、市内中心部の供用開始を皮切りに、区域の拡大を行うとともに5箇所の処理場を建設するなど、事業を積極的に推進してきた。更に、平成の大合併により、平成17年及び平成18年に周辺7町（香焼・伊王島・高島・野母崎・外海・三和・琴海）との合併を経て、現在は14処理区となっており、5処理場と6浄化センターの11処理施設で処理を行っている。平成23年度末現在

における人口普及率は90.9%である。

一方、長崎市の汚泥処理は、民間活力を利用した処分委託を行っており、焼却処分による建設資材や堆肥化による普通肥料などのリサイクルを行っているが、下水道整備の進展に伴って下水汚泥の発生量は年々増加の傾向にあり、下水汚泥の減量化を図るとともに、資源の利活用の面から下水汚泥の有効利用の推進が喫緊の課題となっている。

このような背景の下、下水道革新的技術実証事業（通称B-DASHプロジェクト）の対象事業の1つとして、三菱長崎機工株式会社を代表者とし、長崎総合科学大学、長崎市との産・学・官連携による共同研究体により提案した「温室効果ガスを排出しない次世代型下水汚泥固形燃料化技術」が採用されたので、実証事業の内容について紹介する。

2. B-DASHプロジェクト概要

国土交通省では、新技術の研究開発及び実用化を加速することにより、下水道事業における温室効果ガス排出量及び建設コストの大幅削減を実現し、併せて、本邦企業による水ビジネスの海外展開を支援するた

め、下水道革新的技術実証事業を実施した。

本事業は、三菱長崎機工㈱が開発した高性能連続式水熱反応器による水熱前処理メタン発酵プラント（次世代型新技術）を長崎市東部下水処理場（標準活性汚泥法）（図1）に建設し、この処理場から排出される下水汚泥の全量（DS換算で2.8t/日）と、隣接する中央卸売市場より「規格外野菜」を地域バイオマスとして日量100kg～1t受け入れて同時に処理し固形燃料を製造するものである（図2）。

製造された固形燃料は、同じ地域内のごみ焼却熱電併給施設で利用し、発電量の1%UP（15kw）に寄与する予定である。ちなみに長崎市全体の汚泥を本方式で処理をすると、さらに発電量が12%（180kw）増加する試算である。

なお、写真1は、建設中のプラントである。

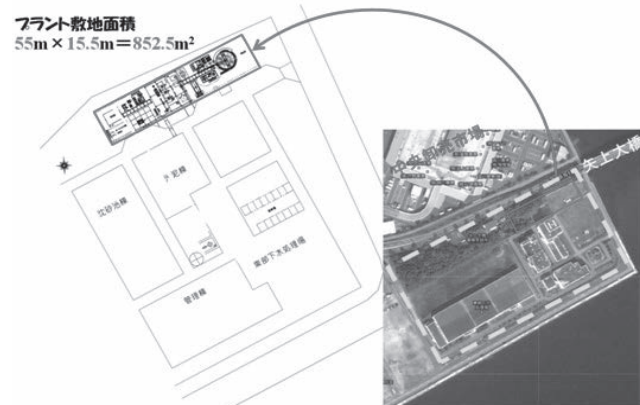


図1 東部下水処理場内建設予定地



写真1 建設中のB-DASHプラント

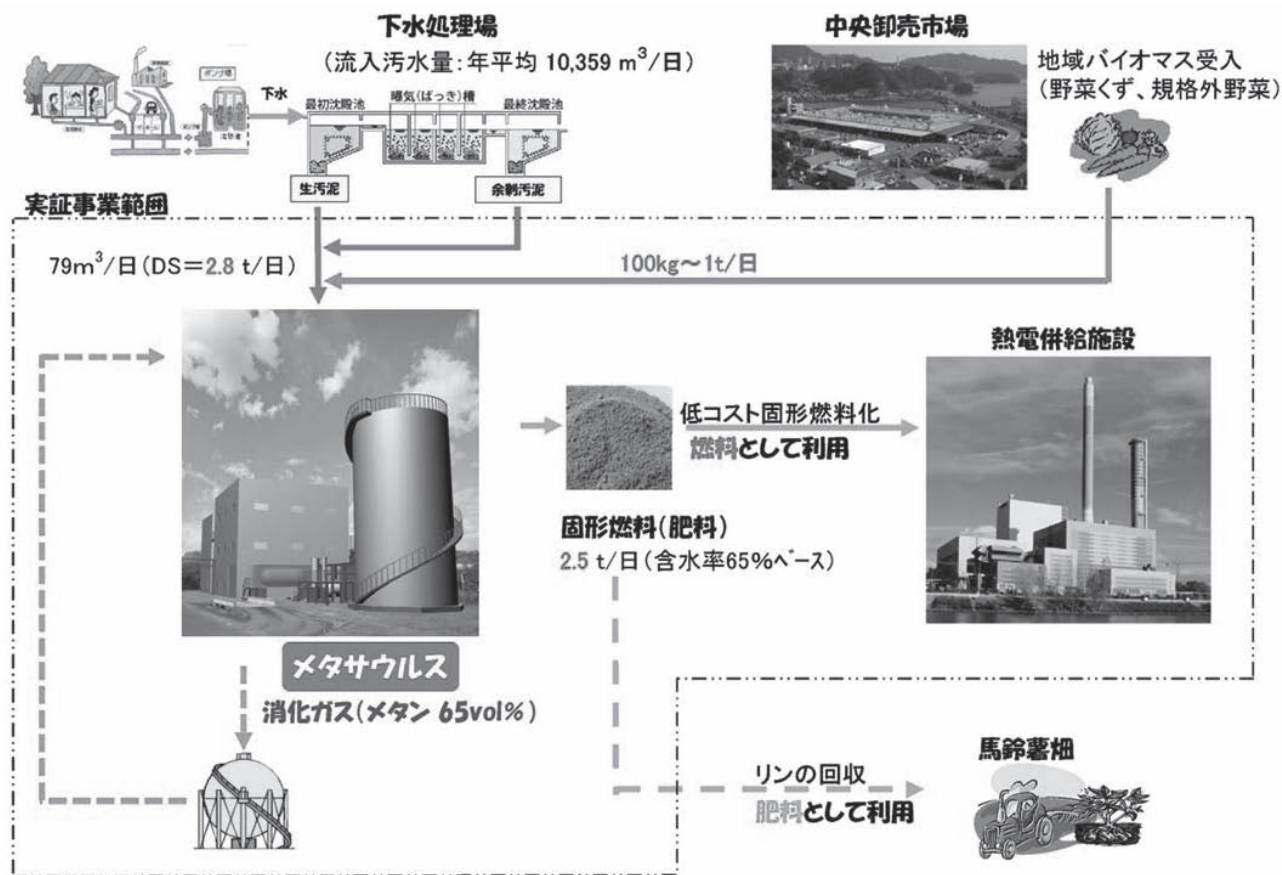


図2 平成24年度 B-DASHプロジェクト概要

4. エネルギーと温室効果ガス収支

図5に、焼却処分、低温炭化技術、弊社技術の、エネルギー収支比較(図5左)と、温室効果ガス排出量収支比較(図5右)を示している。計算に用いた条件は、脱水汚泥90 t/日(含水率78%、有機分率80%)のものである。なお、焼却処分と低温炭化技術の数値は、(財)下水道新技術推進機構と、大阪ガス(株)にて実施された共同研究のエンジニアリングレポート¹⁾内グラフ数値からの読み取りであるため、参考としてご覧願いたい。

この図からも判るように、従来の低温炭化技術では、

焼却処分に比べれば、炭化燃料を製造している分、エネルギー消費量は少なくなっているものの、生成創出したエネルギー量以上のエネルギーを消費しているため、その収支はエネルギー消費側である。同様に、温室効果ガス排出量も大幅に削減されているが、やはり排出側である。

これに対し、本次世代型新技術では、化石燃料を殆ど使用しないため、エネルギー収支は、生成創出側であり、温室効果ガス排出削減収支は、削減側である。

このことは、下水汚泥中の有機物が元々保有している潜在的エネルギーを最も有効に利活用している技術であると言える。

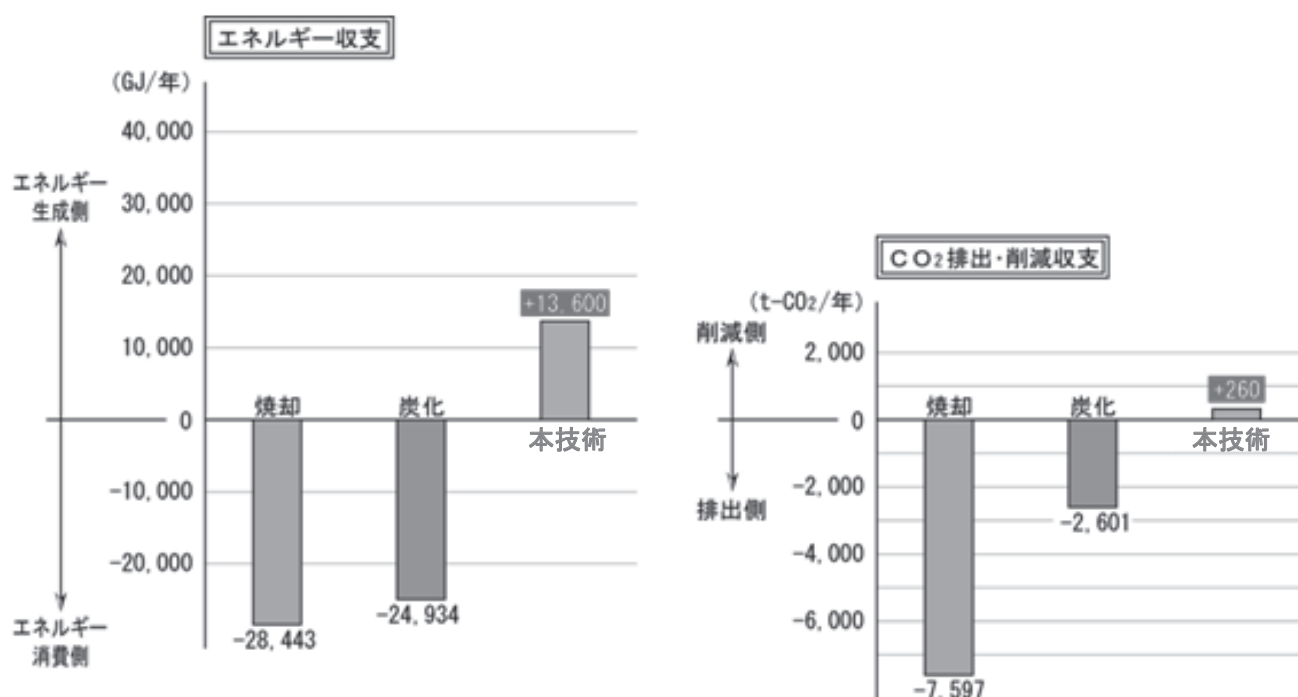


図5 エネルギー収支及び温室効果ガス排出・削減収支

5. 東長崎エコタウン構想

B-DASHプロジェクト実証事業では東長崎地区という同地域内の中央卸売市場から、販売する事ができない「規格外野菜」を下水処理場に受け入れ、下水汚泥と共に本技術で処理を行って固形燃料を製造する。これを同じ地域内の熱電併給施設へ送り、燃料として再生させ発電する。まさに「バイオマスリサイクル」を具現化するモデル地域になる(図6)。

また肥料利用も視野に同じ地域内の広大な畑に施肥して馬鈴薯を生産し、これを中央卸売市場へ入荷。各家庭へ供給していくという循環も成立するであろう。人が暮らすところには下水処理場、市場、ごみ処分場、田畑は必ず必要であり、この普段の暮らしに密着に関わる新しい施設により循環型社会が構築され、この実現が「エコタウン」である。今、日本では東日本大震災からの復興街づくりモデルが種々検討されているが、ここで具現化するモデル都市がそのヒントになればと考えている。



図6 東長崎エコタウン構想

6. おわりに

今回の固形燃料化技術を下水処理場に採用するにあたっては、まだまだ解決しなければならない多くの問題を抱えている。

また、今般の厳しい財政状況の中で、下水汚泥の固形燃料化技術を導入するには、費用対効果を見極めることが重要であり、現在行っている民間活力を利用した処分委託よりも経済性で有利でなければならず、安定して継続的な有効利用先の確保が必要である。

今後のスケジュールとしては、今年中に実証プラントを設置し、平成25年1月より汚泥を受け入れ、実証実験を行う予定としている。

<参考文献>

- 1) 下水道機構情報 2009年7月 夏季号 エンジニアリングレポート1「下水汚泥のガス化、燃料化等についての必要エネルギー等についての研究」(財)下水道新技術推進機構 資源循環研究部 総括主任研究員 内田 賢治

特集：平成 24 年度下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト）

解 説

廃熱利用型低コスト
下水汚泥固形燃料化技術

JFEエンジニアリング株式会社 都市環境本部

アクア事業部 プラント技術部	山	口	真	人
アクア事業部 課長	小	倉	秀	夫
主 席	木	原	泰	彦

キーワード：下水汚泥固形燃料化、表面固化乾燥、廃熱利用、低コスト、補助燃料削減

1. はじめに

福島第一原子力発電所の事故を契機としてエネルギー基本計画の見直しが行われる中、再生可能エネルギーへの注目が高まっている。再生可能エネルギーの主なものに、バイオマス、風力、水力、地熱、太陽光などが挙げられるが、バイオマス資源の中でも、特に下水汚泥は集積性や性状の安定性に優れ、かつ賦存量の多い純国産資源として高いエネルギーポテンシャルを有している。この資源を燃料化し、化石燃料の代替とすることで、地球温暖化の防止、資源循環型社会の構築、エネルギー安全保障の強化などへの寄与が期待されている。

このような背景の下、国土交通省は下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト）を実施している。B-DASH プロジェクトとは、下水道に関する新技術の研究開発及び実用化を加速させ、下水道事業におけるコスト縮減や再生可能エネルギー創出の実現を目指す事業である。

本稿では、平成 24 年度の B-DASH プロジェクトに採択された「廃熱利用型低コスト下水汚泥固形燃料化

技術」（実証フィールド：松山市西部浄化センター）について、革新的なコア技術の概要と実用化により期待される効果を紹介する。

2. 技術の概要

2-1 原理と構造

本システムのコア技術である表面固化乾燥機を図 1 に、乾燥工程の概念図を図 2 に示す。表面固化乾燥機は汚泥成形機とバンド乾燥機から構成されている。脱水汚泥は、乾燥の前工程として、独自の成形機によって棒状に分割成形される。この分割成形によって乾燥に寄与する汚泥の表面積が増大する。乾燥機前段の「表面固化乾燥ゾーン」では、約 200℃ の温風にて短時間で脱水汚泥の表面のみを固化乾燥させる。これにより、汚泥固形燃料の臭気特性が大きく改善される。後段の「仕上げ乾燥ゾーン」では、160 ± 20℃ の温風で汚泥を内部まで乾燥させる。前段の表面固化により、汚泥同士が互いに付着しないので仕上げ乾燥の段階でバンド上に汚泥が堆積しても乾燥効率が落ちない。

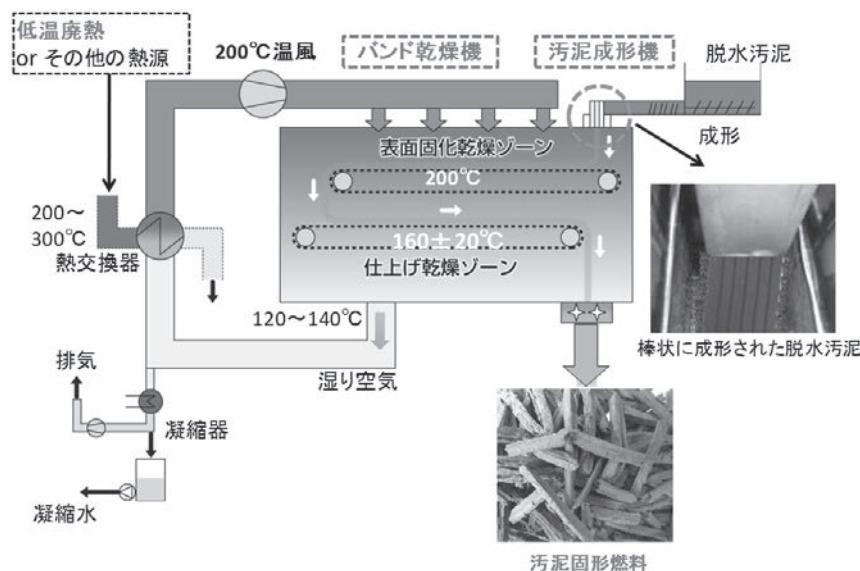


図1 表面固化乾燥機

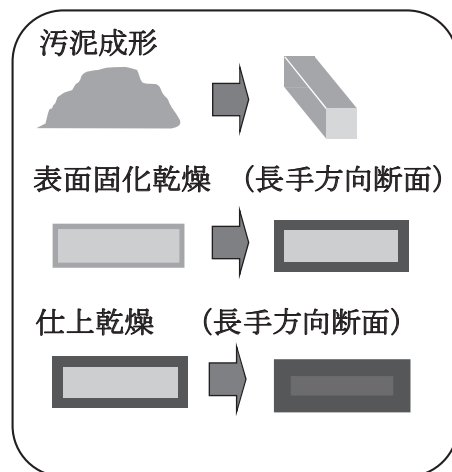


図2 乾燥工程の概念図

2-2 特徴

基礎研究における成果から得られた本技術の特徴は以下の通りである。

- ①利用されずに捨てられることが多かった低温廃熱（200～300℃）を熱源として利用できる。そのため燃料化に必要なエネルギー消費量を大幅に低減させることが可能である。
- ②燃料化効率が高い。低温乾燥により揮発性有機物の放散を抑え、脱水污泥が有している熱量の90%以上（消化污泥の場合、ほぼ100%）を燃料に残留させることができる。
- ③粉塵の発生が少ない。棒状に成形した後、乾燥機内部で低速で走行させながら静かに乾燥させるので粉塵の発生が極めて少ない。

- ④悪臭の抑制。乾燥前段での固化膜形成効果により悪臭の発生を抑制できる。

2-3 污泥固形燃料の特性

污泥固形燃料を使用する上でポイントとなる主要要素は、「保有熱量」と「ハンドリング性」である。「保有熱量」は燃料代替による経済性に関する指標となり、「ハンドリング性」は污泥固形燃料を使用する際の利用特性の指標となる。

污泥固形燃料は、乾燥燃料と炭化燃料の2つに大別される。一般的に乾燥燃料は保有熱量が大きいですが、臭気などのハンドリング性に劣り、炭化燃料は保有熱量が小さいが、臭気は少ないという特徴を有している。このように乾燥燃料は炭化燃料に比べてハンドリング

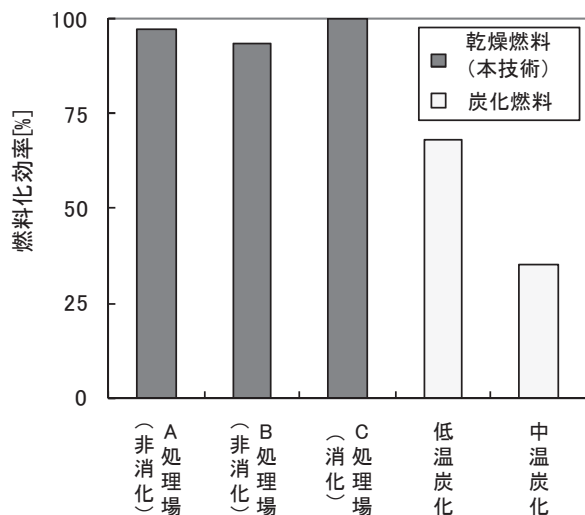


図3 燃料化効率

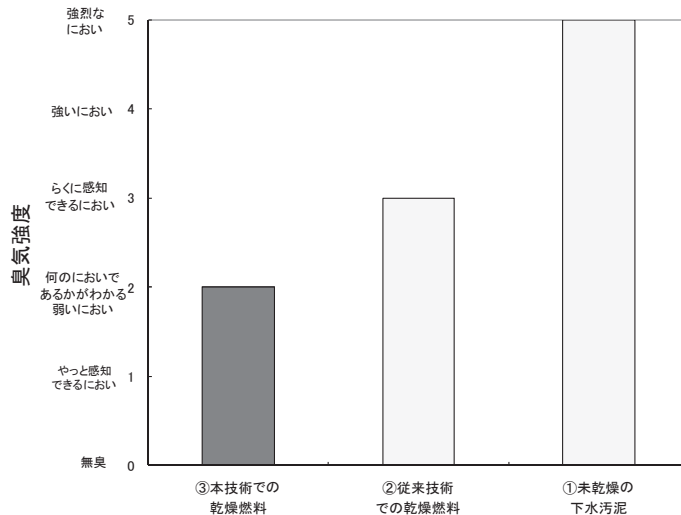


図4 臭気強度

性に劣ることが課題であったが、本技術により製造した乾燥燃料は、臭気が少なく、粉塵の混入率も小さい。

製造した代表的な汚泥固形燃料の燃料化効率（＝乾燥燃料の熱量／原料汚泥の熱量×100）を図3に示す。燃料化効率は原料が保有する熱量が、どの程度汚泥固形燃料に残留するかを表した数値であり、高めれば高いほど原料の熱量が有効に使われていることになる。図3に示すとおり、本技術で製造した燃料はすべて90%以上、消化汚泥の場合はほぼ100%となっており、高い燃料化効率を実現している。臭気強度を比較した結果を図4に示す。①未乾燥の下水汚泥、②従来技術による乾燥燃料が臭気強度3以上であるのに対し、③本技術での乾燥燃料は臭気強度2以下を達成している。汚泥固形燃料の輸送、貯留、切出などのハンドリングにおいては燃料の形状が重要である。本技術では、汚泥が成形された後、乾燥機内部で静かに温風乾燥されるので、粉塵発生量が少なく、粒径1mm以下の粉塵の混入率は1%以下である。（出典：建設技術審査証明報告「表面固化式汚泥乾燥装置 カリット」）

3. 実用化による効果

3-1 補助燃料削減

本技術を汚泥焼却炉に適用し、補助燃料を低減することによって大きなコストメリットとCO2削減効果が実現できる。図5に従来技術と本技術の概略の比較を行う。排ガス及び消化ガスの熱によって脱水汚泥から乾燥燃料を製造し、全量を補助燃料であるA重油代替として焼却炉へ投入する。図5の試算例では、本技術の適用により、白煙防止用空気と消化ガスから約70 GJ/日の熱を利用することによって、含水率約83%の消化汚泥の1/3程度を乾燥して乾燥燃料を製造できる。この乾燥燃料を焼却炉に投入することによって、補助燃料の使用量を大幅に削減できると期待している。

表1に、A重油、石炭（一般炭）、汚泥固形燃料の価格とCO2排出量を示す。

汚泥固形燃料が処理場外部で販売、利用されてい

る例はまだ少ないが、取引価格は2000円/t程度である。A重油は発熱量あたりの価格が石炭の約5倍、汚泥固形燃料の約15倍であり、汚泥固形燃料を処理場内においてA重油の代替として使用する方法は、燃料の外部販売や石炭代替としての利用よりも経済的なメリットが大きい。

また、汚泥固形燃料はバイオマス由来の燃料なので燃焼時のCO2排出量は0とカウントされるため、汚泥固形燃料を使用することで、A重油、石炭に比べてCO2を削減できる。

3-2 廃熱を利用した下水汚泥リサイクル

本技術は、廃熱があるサイトにおいて省エネ、省コストのメリットを最大化できる。我々はこれを「下水汚泥によるエネルギーリサイクル」と位置づけている。具体的には、次の3ステップでリサイクルを形成する。

〔ステップ1〕「焼却炉や発電設備を有する下水処

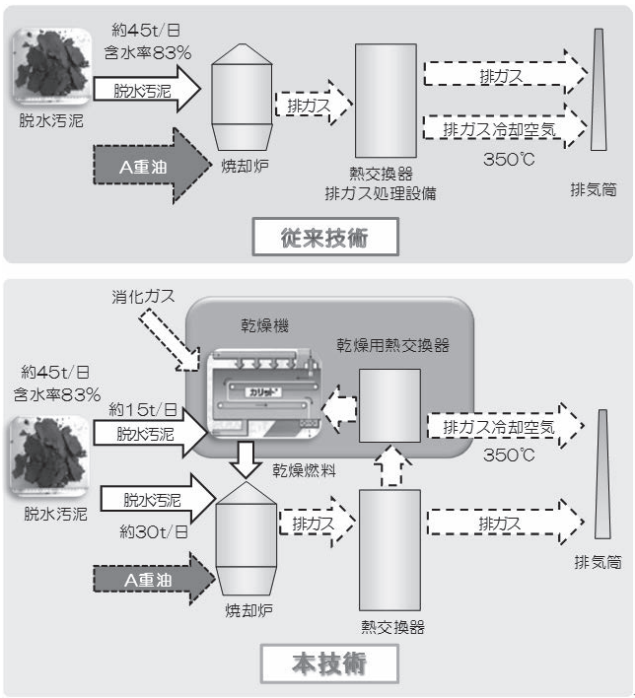


図5 従来技術と本技術の概略

表1 燃料価格とCO2排出量

燃料の種類	発熱量	価格	価格 (円/MJ)	CO ₂ 排出量
A重油	39 MJ/L	80,000 円/kL	2.05	2.71 kgCO ₂ /L
石炭(一般炭)	26MJ/kg	10,000 円/t	0.38	2.41 kgCO ₂ /kg
汚泥固形燃料	16MJ/kg	2,000円/t	0.13	0

理場」、「ごみ焼却施設」、「発電所」、「製鉄所」、「製紙工場」などの未利用の熱エネルギーを回収する。これらのエネルギーは低質なエネルギーであるため、殆どは廃熱として大気に捨てられている。

【ステップ2】 回収したエネルギーを用いて下水污泥を燃料化する。燃料化の際に化石燃料を使用しないので、製造時のエネルギーコストが低く、環境にも優しい。

【ステップ3】 各種工場において化石燃料の代替として污泥固形燃料を使用する。その際に下水污泥固形燃料由来の廃熱が発生するので、その廃熱を再び回収することでリサイクルが完結する。

図6に下水污泥リサイクルのイメージを示す。

3-3 燃料の利用用途拡大

污泥固形燃料の利用用途拡大を目指して、地域のバイオマス資源である生ゴミ系RDFと本技術で製造した污泥固形燃料の混合燃料化を検討する。RDFには塩素濃度が高いという問題があり、ボイラーなどの腐食の原因となっている。したがって、塩素濃度の低い污泥固形燃料と混合燃料化することで、高カロリーかつ低塩素濃度の燃料を製造することを目指す。図7にRDF製造フローを示す。乾燥ごみ(塩素濃度0.5%程

度)と污泥固形燃料(塩素濃度0.1%以下)を成形機にて混合し、混合燃料(塩素濃度0.3%程度)を製造する。このようにRDFと污泥固形燃料を混合し、一体成形することによって新たな付加価値を生み出し、污泥固形燃料の利用用途拡大を図る。

4. おわりに

地球温暖化の顕在化や世界的な資源エネルギー需給の逼迫が懸念され、循環型社会への転換、低炭素型社会の構築が求められている。そのような中で、下水道には処理過程で大量のエネルギーを消費し、温室効果ガスを排出する施設という負の側面と地域のバイオマス資源の集積場という正の側面がある。循環型・低炭素型社会の構築には、下水道における負の側面の最小化(省エネ)と正の側面の最大化(創エネ)が求められる。

当面の目標は下水処理場のエネルギー自立であるが、最終的には地域内にエネルギーを供給する施設として位置づけられるべきである。未利用廃熱を利用した下水污泥固形燃料化技術は、その一翼を担う技術として期待されると考えている。

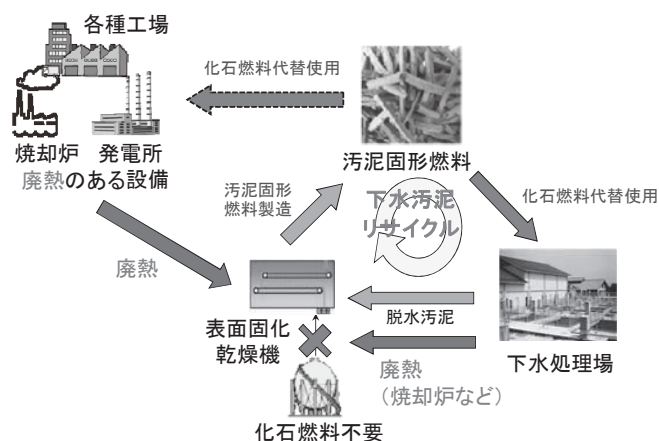


図6 廃熱を利用した下水污泥リサイクル

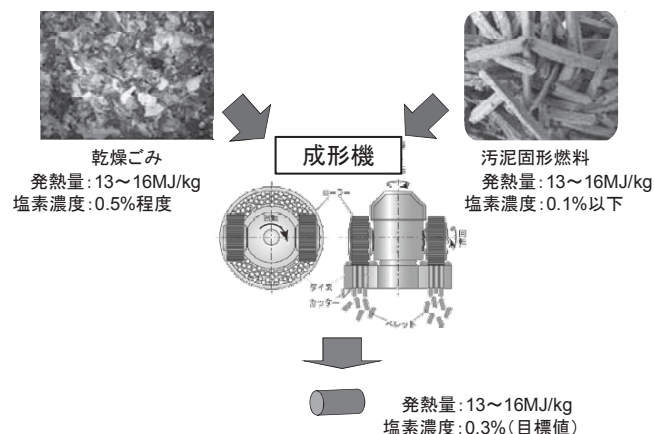


図7 污泥固形燃料との混合RDF製造フロー

特集：平成 24 年度下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト）

解 説

管路内設置型熱回収技術を用いた
下水熱利用に関する
実証事業について

大阪市建設局 下水道河川部

水環境課担当係長 水 窪 俊 博

キーワード：下水熱利用、未処理下水、管更生工法

1. はじめに

東日本大震災の発生以後、災害に強い安定したエネルギー供給が求められている。

下水道施設は市民生活に必要な都市インフラの一つであるが、非常に多くの電力を消費する施設でもある。大阪市において下水道施設は、市の全部局で使用する電力量の約 2 割を使用する大口の電力使用者であることから（平成 22 年度）、省エネルギー・創エネルギー対策の推進や、再生可能エネルギーのより一層の利活用が求められている。

このような状況のなか、本市では下水道におけるエネルギー対策の方向を示すものとして、「大阪市下水道・スマートエネルギーシステム基本構想」を掲げており、下水道施設における設備の改築・更新に併せた省エネルギー対策を推進するとともに、創エネルギー対策の推進として未利用エネルギーの有効利用の取組みを拡大するために、調査実験などを推進することとしている。

下水熱利用技術は、このようなエネルギー対策の一つとして注目されつつあるが、本市で実施している、下水道革新的技術実証事業の取組みについて紹介する。

2. 下水道革新的技術実証事業の取組みについて

下水道革新的技術実証事業（以下、B-DASH プロジェクトと言う。）とは、下水道施設のコストを大幅に低減するとともに、省エネルギー、創エネルギー効果の増大に寄与する革新的技術について実規模レベルの施設を設置して実証を行い、併せて本邦企業による水ビジネスの海外展開を促進することを目的として、国土交通省が実施するものである。

本市では、積水化学工業株式会社、東亜グラウト工業株式会社と共同して、国土交通省が公募した B-DASH プロジェクトのうち、「下水熱利用技術」について事業応募を行い、採択された。この採択を受け、本実証事業は国土技術政策総合研究所の平成 24 年度委託研究として実施するものである。

- | | |
|--------|---|
| ■実施事業名 | 管路内設置型熱回収技術を用いた下水熱利用に関する実証事業 |
| ■実施者 | 大阪市・積水化学工業株式会社・東亜グラウト工業株式会社 共同研究体（研究代表者は積水化学工業株式会社） |

■実証フィールド 大阪市海老江下水処理場

■事業概要 管更生組込方式の管路内設置型熱回収技術によるコスト削減効果や省エネルギー効果等を実証する

(1) 本実証事業の目的

本実証事業は、管路内設置熱交換器による熱回収・利用技術のコスト削減効果、省エネルギー・CO₂排出削減効果、および管路更生工事との同時施工による効果を実証することを目的としている。実証施設としては、下水処理場内に下水管路を敷設し、その中に管更生および熱交換器を設置することで、下水熱を回収し、空調用熱源として利用する(図-1)。これにより、省エネルギー、CO₂削減、およびコスト削減の効果を期待しており、その実証を行う。

共同研究体の各々の役割としては、積水化学工業株式会社は下水熱回収技術の実証を担当し、東亜グラウト工業株式会社は下水熱利用技術の実証を担当し、また本市は維持管理に関する技術的な検証を担当する。各々が持つ技術的なノウハウを有機的に連携・活用し、結集して本実証事業を実施していく。

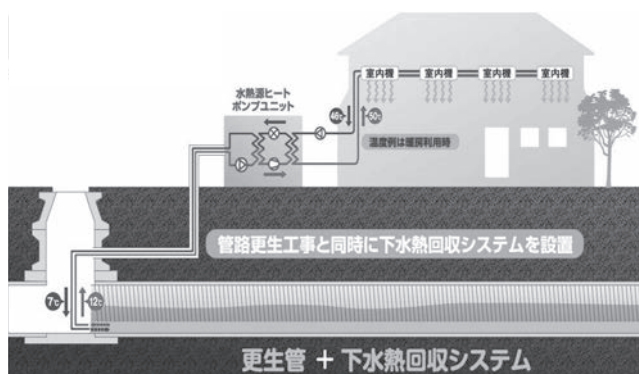


図-1 下水熱利用技術の施設イメージ

(2) 本実証事業の技術的特徴

本実証事業は、下水管路の改築更新や耐震化対策で用いられている更生工法を活用し、更生工事と同時に管路内に熱交換器を設置して、管路内を流れる未処理下水から熱を回収する技術について実証を行うこととしている。

更生工法の構造形式としては、複合管（製管工法）を対象としており、複合管は既設管路と更生材が構造的に一体となって耐荷能力などを有し、更生材は表面部材などや充填材から構成されている。今回は、熱交換器が直接下水に接するよう表面部材であるかん合部材に熱交換器を組込めるような構造とすることで、熱交換性能をより高める工夫を行う(図-2)。

また、かん合部材に熱交換器を組込むため、既設管

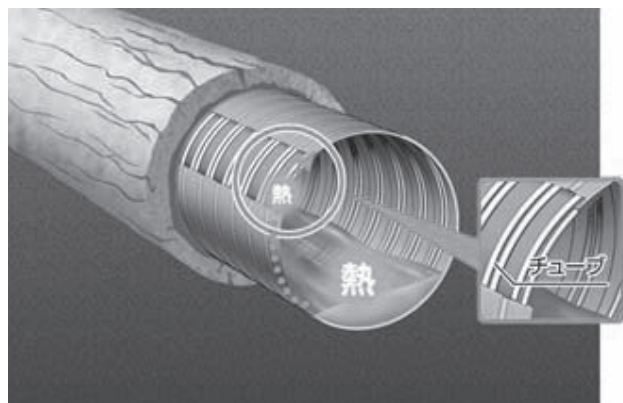


図-2 実証実験に用いる下水熱回収システム

路の流下性能の確保や、熱交換器の強度的な懸念が少ないという合理的な技術仕様となっている。

(3) 実証フィールド

実証フィールドである海老江下水処理場は、市内の中心市街地である大阪駅周辺を含む約1,215 haを処理区としており、昭和15年より通水を開始している本市で最も古い下水処理場の一つである(図-3)。

同下水処理場では、管理棟（建設局北部方面管理事務所）および隣接する下水道科学館において、下水処理水をすでにヒートポンプ熱源として空調などに利用しており、既存施設の設備を有効に利用できることなどから、同処理場をフィールドとして実証事業を実施することとした。なお、回収した熱の利用先としては、下水道科学館を予定している(写真-1)。

(4) 本実証技術の期待される成果

本実証事業での熱回収技術に期待される成果としては、以下が挙げられる。



図-3 海老江下水処理場の位置図



写真－１ 下水道科学館

- ①年間を通して温度や流量が安定した未処理下水から直接熱を回収することが可能となる。
- ②下水管路は都市部に面的に布設されており、熱需要のある建物近傍からの熱回収が可能となる（図－４）。
- ③専用の取水設備などを必要とせず、管路外方式と比較して建設費や維持管理費などのコスト縮減が達成される。

また近年の下水道業界では、エネルギー問題に加えて、下水道施設の改築更新や耐震化対策が重要な課題となっている。本市でも、総延長約4,900kmもの下水管路を整備済みであるが、今後、急速に耐用年数を超える管路の増大が見込まれており、管路の改築更新は重要な課題となっている。今回の実証事業の成果を踏まえて、下水管路の改築更新や耐震化対策として実績のある管路更生と、熱交換器を設置することによる下水熱利用とが、同時に実現されることにより、建設コ

ストの低減を図りつつ管路の改築更新と同時に熱インフラの整備を推進することが可能となる。

欧州では、未処理下水から下水熱を利用する技術開発は進んでいるものの、管路更生工法と同時に熱交換器を設置する技術はまだ実用化されていない。そこで、本邦発となる本実証事業成果が、将来的に本市はもとより国内外での下水熱利用の普及拡大・社会浸透につながるものと期待される。

3. 今後の課題など

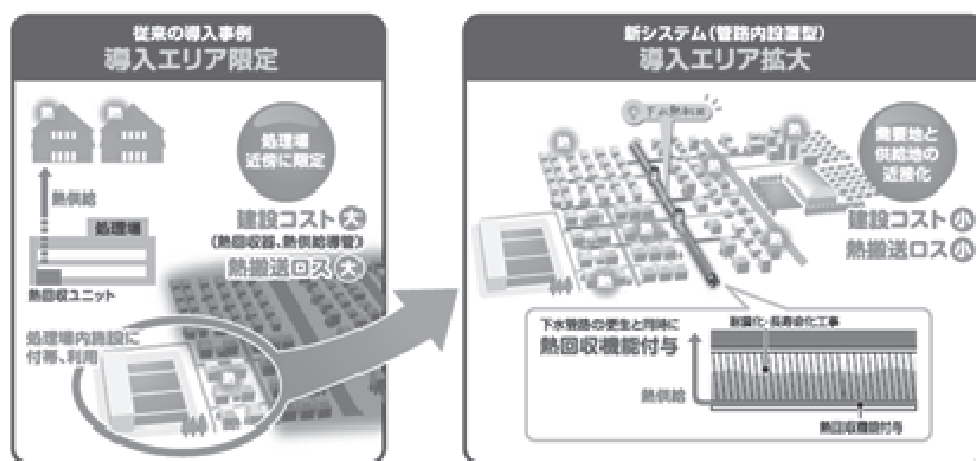
未処理下水を用いた下水熱利用技術は、自治体による利用だけでなく、民間事業者等の利用を促進することにより、普及拡大することが期待されている。

「都市の低炭素化の促進に関する法律」が公布されたことにより、民間事業者が未処理下水を利用するための法的環境は整備されてきている。今後は、技術的な検討に加えて、維持管理までを含めたコスト検討や、場所に応じた供給可能熱量の把握、および実施の具体的枠組みなどの検討が必要である。

4. おわりに

下水管路から合理的かつ経済的に熱エネルギーを回収できる技術が確立されれば、面的に整備された下水管路から場所の制約を受けることなく熱エネルギーを利用でき、下水管路は有益なエネルギー供給源になり得ると思われる。

本市としても、今後も未利用エネルギーである下水熱利用に関する各検討を進め、エネルギー対策として有益になるような取組みを推進していきたい。



図－４ 下水熱利用のエリア拡大イメージ

特集：平成 24 年度下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト）

解 説

固定床型アナモックスプロセス による高効率窒素除去技術 に関する技術実証研究

熊本市・地方共同法人日本下水道事業団・
株式会社タクマ 共同研究体

キーワード：アナモックス、嫌気性消化、返流水個別処理、窒素除去

1. はじめに

国土交通省では、下水道事業における大幅なコスト縮減や再生可能エネルギー創出を実現し、併せて、本邦企業による水ビジネスの海外展開を支援するため、平成 23 年度から「下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト；Breakthrough by Dynamic Approach in Sewage High Technology Project）」を実施している。本実証事業は下水道施設のコストを大幅に低減し、省エネルギー・創エネルギー効果の増大に寄与する革新的技術について、実規模レベルの施設を設置して実証を行なうことを目的としている。平成 24 年度事業として、①下水汚泥固形燃料化技術、②下水熱利用技術、③栄養塩（窒素）除去技術、④栄養塩（リン）除去技術が対象とされ、熊本市、地方共同法人日本下水道事業団（以下、JS）、株式会社タクマの共同研究体は、低コストで省エネルギーな栄養塩（窒素）除去を図る「固定床型アナモックスプロセスによる高効率窒素除去技術に関する技術実証研究」を提案し、平成 24 年度事業として採択された。なお、本実証事業は国土交通省国土技術政策総合研究所の委託研究である。

本稿では、提案技術である新しい窒素除去技術「アナモックスプロセス」について解説するとともに、当該 B-DASH 実証事業の概要を紹介する。

2. 下水汚泥嫌気性消化の現状と返流水対策

わが国では、約 2,100 箇所ある下水処理場のうち汚泥の嫌気性消化を導入しているのは約 300 箇所¹⁾、その数はこの十数年概ね横ばいの状況にある。しかしながら、近年、下水道施設においても省エネルギー・創エネルギーが強く求められるようになり、下水汚泥をバイオマスとして活用しエネルギーを回収する技術として、嫌気性消化プロセスが再び注目されている。一方で、嫌気性消化の過程で発生する消化脱離液または消化汚泥の脱水ろ液などの汚泥処理返流水（汚泥処理施設から水処理施設へ返流される脱離液や分離液を総合して返流水と呼ぶ）は高濃度の窒素やリンを含んでおり、水処理施設に直接返流された場合、放流水質の悪化や処理コストの増大を招く恐れがあることが嫌気性消化の普及を難しくしている課題の一つである。さらに、汚泥集約処理施設の返流水を受け入れる処理場ではその影響が相対的に大きくなるた

め、返流水対策の必要性はさらに高くなる。

返流水対策としては、高濃度の窒素を含む消化脱離液または消化汚泥の脱水ろ液を個別に処理することが有効とされ、それにともない水処理施設の処理の安定化や放流水質の向上が期待される。従来、排水からの窒素除去には、微生物による硝化・脱窒反応を利用した生物学的方法が広く用いられてきたが、この方法では、硝化反応を行なうために多量の空気供給が必要であり、また脱窒反応を行なうために、特に消化汚泥の脱水ろ液のように窒素濃度に対して有機物濃度が低い排水（C/N比が小さい排水）の場合はメタノールなどの有機物を多量に添加する必要があり、処理コス

トが増加する。

近年、新しい窒素除去技術として、アナモックス細菌の反応（アナモックス反応）を利用したアナモックスプロセスが注目されている。アナモックスプロセスは有機物を必要とせずに窒素除去を行なうことができるため、C/N比が小さい排水に対する適用が期待されている。汚泥処理返流水（嫌気性消化汚泥脱水ろ液）の個別処理にアナモックスプロセスを適用する（図1）ことで、効率的かつ低コストで省エネルギーな窒素除去が可能となり、下水道施設における処理の安定化や放流水質の向上が期待される。

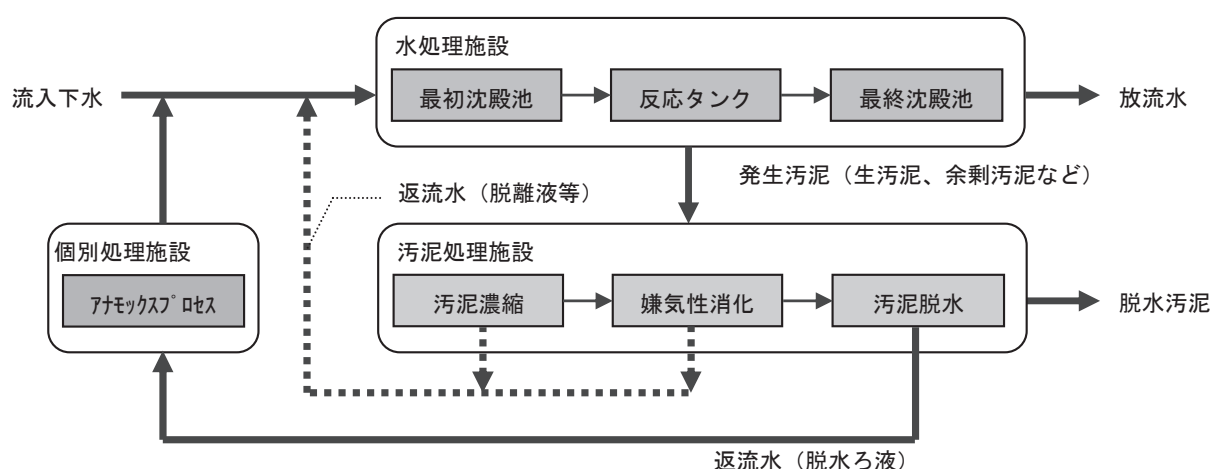


図1 下水道施設におけるアナモックスプロセスの導入イメージ

3. アナモックス細菌を利用した窒素除去技術

(1) アナモックスプロセス

アナモックスは1990年代にオランダで発見された微生物による窒素変換反応で²⁾、「anaerobic ammonium oxidation；嫌気性アンモニア酸化」の頭文字に基づく造語である。この反応を担うアナモックス細菌は独立栄養性の細菌で、深い赤色を帯びているのが特徴であ

る。従来の硝化・脱窒反応による窒素変換経路とは全く異なり、アナモックス反応ではアンモニア性窒素（ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ）と亜硝酸性窒素（ $\text{NO}_2^-\text{-N}$ ）が酸素の存在しない条件で窒素ガス（ N_2 ）に変換される（図2）。下記の実験式に基づけば、1 molの $\text{NH}_4^+\text{-N}$ に対して1.32 molの $\text{NO}_2^-\text{-N}$ が反応し、1.02 molの N_2 ガスと0.26 molの硝酸性窒素（ $\text{NO}_3^-\text{-N}$ ）を生成する。従来の従属栄養性の脱窒反応とは異なり、有機物を必要としない窒素除去が可能である点が大きな特長である。

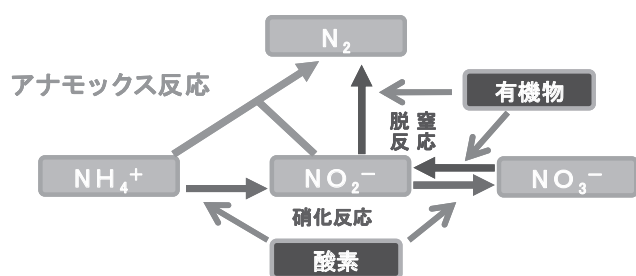
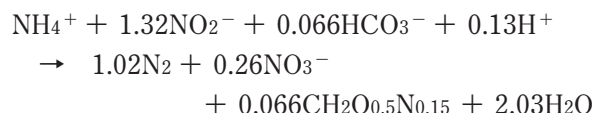


図2 窒素変換プロセス



窒素成分として $\text{NH}_4^+\text{-N}$ を主体とする排水に対してアナモックスを適用する場合は、図3に示すように、排水中の $\text{NH}_4^+\text{-N}$ の約半量を $\text{NO}_2^-\text{-N}$ へ変換する「部分亜硝酸化工程」が必要で、これと「アナモックス工程」を組み合わせることでアナモックスプロセスが

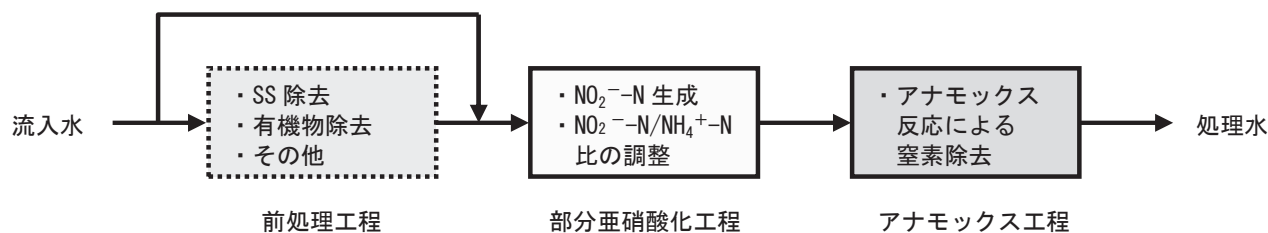


図3 アナモックスプロセスの処理フロー

成立する。排水の性状によっては別途「前処理工程」を設ける場合がある。

(2) アナモックスプロセスの特徴

従来の生物学的硝化脱窒法では、硝化反応のために多量の空気供給が必要であり、またC/N比が小さい排水の場合は脱窒反応のために外部からメタノールなどの有機物を添加しなければならないことから、電力費および薬品費が大きなコスト要因となる。これに対して、アナモックスプロセスでは以下の効果が期待できる³⁾。

①空気供給量の削減

従来の硝化反応では排水中に含まれる $\text{NH}_4^+\text{-N}$ の全量を $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 経由で $\text{NO}_3^-\text{-N}$ まで酸化しなければならないのに対し、アナモックスプロセスでは $\text{NH}_4^+\text{-N}$ の約半量を $\text{NO}_2^-\text{-N}$ に酸化すればよいことから、空気供給量は従来の1/2以下となる。

②メタノール添加が不要

従来の脱窒反応では従属栄養性の細菌を用いることから、排水中に十分な有機物がない場合はメタノールなど有機物の添加が必要であるが、アナモックス細菌は独立栄養性の細菌であるため、有機物を必要とせずに窒素除去できる。

③設備の省スペース化

部分亜硝酸化工程では流入する $\text{NH}_4^+\text{-N}$ の約半量を $\text{NO}_2^-\text{-N}$ に酸化すればよいこと、またアナモックス槽ではアナモックス細菌の高密度化により窒素容積負荷を高く設定できることから、反応槽容量を大幅に縮小できる。

④余剰汚泥発生量の削減

独立栄養性のアナモックス細菌は、従属栄養性の脱窒細菌に比べて増殖収率が小さいため、余剰汚泥の発生量が大幅に少なくなる。

一方で、アナモックス槽の立ち上げに2～3ヶ月の期間を要することや、30～40℃の温度域での適用が主体であることなどが課題とされている。

以上の特徴から、アナモックスプロセスは、窒素濃度に対して有機物濃度が低い（C/N比が小さい）、水温が高い、などの特徴を持つ排水への適用が有利と考えられ、下水道施設の汚泥処理返流水をはじめとして、畜産排水、ごみ処分場浸出水、一部の工場排水からの窒素除去が主たる適用対象として想定される。またアナモックス反応では中間代謝物として温室効果ガスである亜酸化窒素（ N_2O ）の生成がないことから、低コスト、省エネルギーとともに、環境負荷の小さい窒素除去技術を構築できる可能性がある。

(3) 開発状況

アナモックスプロセスの研究はヨーロッパの研究グループが先行しており、2002年にはオランダ・ロッテルダムのDokhaven下水処理場で汚泥処理返流水からの窒素除去施設として実機が稼働している⁴⁾。現在では、アジアや北中南米を含めて世界中で研究・開発が行なわれており、わが国においても、一部の大学や民間企業により活発に研究が行なわれている⁵⁻⁸⁾。JSとタクマは、平成17年度から20年度にかけて本プロセスの開発に関する共同研究を実施し、ベンチスケールの実験プラントを用いて実下水処理場の嫌気性消化汚泥脱水ろ液を対象とした実証試験を実施した。この成果は、平成21年度にJS技術評価委員会が実施した「アナモックス反応を利用した窒素除去技術の評価」において、評価対象技術の一つとして纏められている⁹⁾。

4. 実証事業の概要

(1) 事業概要

本実証事業は国土交通省国土技術政策総合研究所の委託研究である。実規模レベルに近い処理能力50 m^3 /日の実証プラントを熊本市東部浄化センター内に設置して、嫌気性消化汚泥脱水ろ液を対象に固定床型

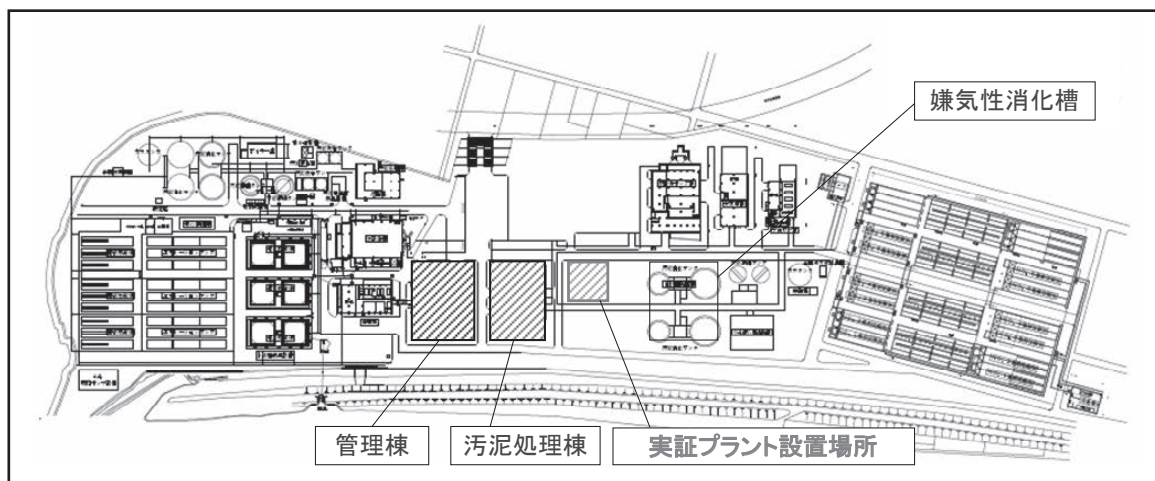


図4 熊本市東部浄化センター全体配置図

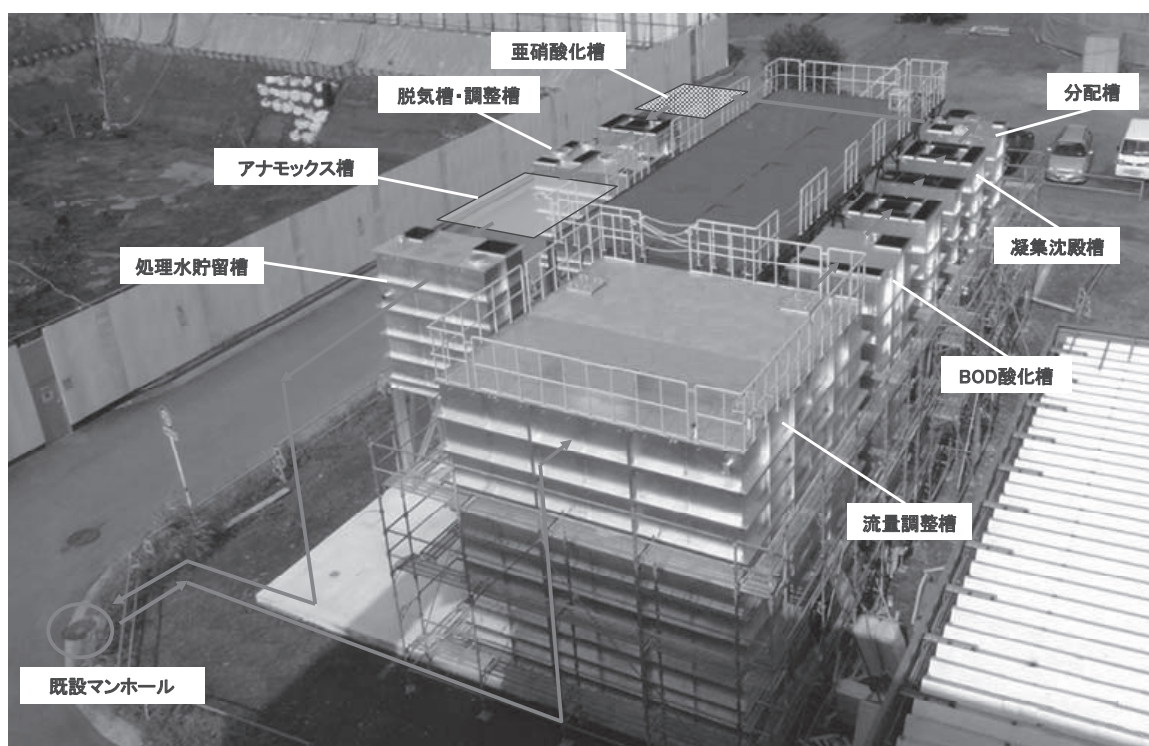


図5 実証プラント設置状況全景（平成24年9月18日時点）

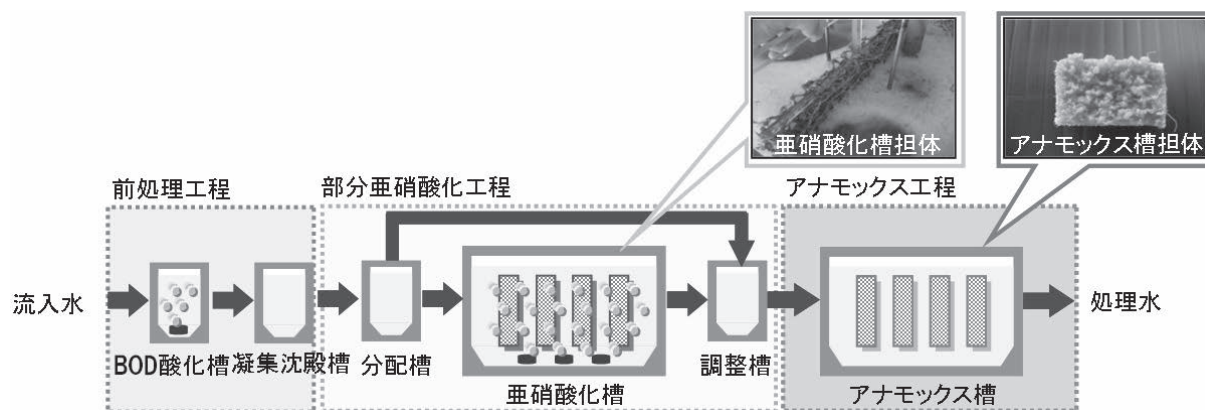


図6 固定床型アナモックスプロセスの処理フロー

アナモックスプロセスの適用性、有用性を実証・評価する。なお、本実証プラントは、アナモックスプロセスとしては国内で最大規模となる。

平成24年11月下旬時点で、実証プラントはほぼ完成し、試運転および各槽の立ち上げを実施している。年内に立ち上げを完了させ、平成25年1月から定格処理水量での連続運転・データ収集を予定している。

(2) 固定床型アナモックスプロセス

本実証事業で使用する「固定床型アナモックスプロセス」は、図6に示すように、前処理工程、部分亜硝酸化工程、アナモックス工程を経て、排水からの窒素除去を行なうもので、流量調整槽、BOD酸化槽、凝集沈殿槽、分配槽、亜硝酸化槽、調整槽、アナモックス槽で構成される。亜硝酸化槽およびアナモックス槽は、固定床担体を利用した生物膜反応槽を使用することで、菌の高密度化により安定した立ち上げが可能で、かつ負荷変動に強いという特徴を有する。また、部分亜硝酸化工程では、亜硝酸化濃度に応じてバイパスさせる水量を調整し、アナモックス反応に必要な NO_2^- -N/ NH_4^+ -N比を所定値に容易に制御することができる「バイパス方式」を採用している。本プロセス全体について技術的実証を行なうことで、省エネルギーで効率的な窒素除去技術の確立を図る。

5. おわりに

水質汚濁防止の観点から、排水処理において窒素やリン除去などのさらなる高度処理の推進が必要とされ、さらに地球温暖化防止対策として省エネルギー・創エネルギーが強く求められている今、アナモックスプロセスは次世代の窒素除去技術として大きな期待を背負っている。この画期的な生物反応が発見されてまだ20数年であるが、多くの研究者の尽力により海外ではすでに実用段階に入っており、国内でも普及に向けての検討が進められている。そういった意味で、今回の実証事業はその技術普及において大きなインパクトになり得ると確信している。本プロセスの技術的確立により、省スペース・低コストの返流水対策が可能となることは、嫌気性消化を主体とした省エネルギー・創エネルギー型汚泥処理プロセスのわが国での普及促進に大きく資するものである。

6. 参考文献

- 1) 日本下水道協会編, 平成22年度版下水道統計
- 2) Strous M., Heijnen J.J., Kuenen J.G., Jetten M.S.M., The sequencing batch reactor as a powerful tool for the study of slowly growing anaerobic ammonium-oxidizing microorganisms, *Applied Microbiology and Biotechnology*, **50**, 589-596, 1998.
- 3) 古川憲治, 嫌気性アンモニア酸化 (anammox) の発見とその後の研究開発動向, *水環境学会誌*, **27**(7), 442-447, 2004.
- 4) Abma W.R., Mulder J.W., van Loosdrecht M.C.M., Strous M., Tokutomi T., Anammox demonstration on full scale in Rotterdam. In: *Proceedings of the 3rd Leading Edge Conference on Water and Wastewater Treatment Technologies*, 6-8 June 2005, Sapporo, Japan, 2005.
- 5) Furukawa K., Rouse J.D., Imajo U., Nakamura K., Ishida H., Anaerobic oxidation of ammonium confirmed in continuous flow treatment using a non-woven biomass carrier, *Japanese Journal of Water Treatment Biology*, **38**(2), 87-94, 2002.
- 6) Isaka K., Date Y., Sumino T., Tsuneda S., Ammonium removal performance of anaerobic ammonium-oxidizing bacteria immobilized in polyethylene glycol gel carrier: anammox bacteria immobilized in gel carrier, *Applied Microbiology and Biotechnology*, **76**(6), 1457-1465, 2007.
- 7) Tsushima I., Ogasawara Y., Kindaichi T., Satoh H., Okabe S., Development of high-rate anaerobic ammonium-oxidizing (ANAMMOX) biofilm reactors, *Water Research*, **41**, 1623-1634, 2007.
- 8) Takaki K., Okuda M., Itokawa H., Nakazawa H., Furukawa K., Potential of a combined nitrification/anammox process using fixed-bed reactors for nitrogen removal from reject water in a municipal wastewater treatment plant, *Japanese Journal of Water Treatment Biology*, **48**(1), 1-11, 2011.
- 9) 日本下水道事業団技術開発部, アナモックス反応を利用した窒素除去技術の評価に関する報告書, 技術開発部技術資料10-003, 2010.

特集：平成24年度下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト）

解 説

神戸市東灘処理場 栄養塩除去と資源再生（リン） 革新的技術実証事業 －KOBEハーベスト（大収穫）プロジェクト－

神戸市建設局 下水道河川部 保全課

瀧 村 豪・坂 部 敬 祐
東 真 昭 彦・内 海 秀 人

キーワード：リン回収、都市リン鉱山、MAP、神戸ブランドの循環型リン原料、B-DASH プロジェクト

1. はじめに

神戸市は、面積55,283 ha、人口約154万人で、南は大阪湾に面し市街地の背後には六甲連山が迫る自然豊かな都市である。本市では、昭和33年に下水処理を開始し、平成23年度末では下水道人口普及率98.7%に達しており、市内6ヶ所の処理場において、1日平均約52万 m^3 の下水を処理している。

下水処理施設には様々な資源が集約されており、その代表的なものとして処理水や消化ガスなどがある。本市では処理水を処理場内での機械用水や雑用水に利用するほか、ポートアイランドや六甲アイランドでは、処理水をさらにオゾン処理した再生水を、島内の学校や商業ビルなどのトイレ用水や植栽の散水に利用している。また、山の中腹に位置する鈴蘭台処理場からの高度処理水は、放流する際の有効落差約65 mと日量16,000 m^3 の水量を活用して、85 kWの小水力発電を実施している。さらに発電に利用した水は、その後、阪神淡路大震災で被災した松本地区のせせらぎに送られ、平常時には都市に潤いを与えることで快適性を向上させ、火災などの非常時には防火用水として利用するこ

とで安全性の向上を図っている。

一方、汚泥処理の過程で発生するメタンを主成分とした消化ガスについては、一般的に場内で消化槽を加温する燃料や空調の熱源に活用されているが、さらに本市においては、全国に先駆けて、この消化ガスを高度に精製し、「こうべバイオガス」として天然ガス自動車の燃料や都市ガス導管への注入を実施している。また、平成23年度からは、国土交通省の下水道革新的技術実証事業（B-DASHプロジェクト）に、「神戸市東灘処理場 再生可能エネルギー生産・革新的技術実



写真1 リン回収・再生設備の建設

証事業「KOBEGREEN・スイーツプロジェクト」を(株)神鋼環境ソリューションとの共同研究体で提案のうえ採択され、国土技術政策総合研究所の委託研究として実施している。本プロジェクトでは、木質系（グリーン）と食品製造系（スイーツ）の下水道に好適な地域バイオマスを下水汚泥と混合することでバイオガス発生量を増加させることを目的としている。

これら処理水や消化ガスの活用のほか、本市においては、新たに下水汚泥に含まれるリンの除去・回収という資源再生への取り組みを進めている。下水道にはリンが多量に流入しており、汚泥配管の閉塞や放流水域の富栄養化の原因となっている。一方で、リンは肥料の三大要素の一つであり、国際的に枯渇が懸念されている。下水道にはリン鉱石として輸入されるリンの約4～5割に相当するリンが流入しているとの推計もある¹⁾。

食糧生産に不可欠な貴重資源であるリンを「都市リン鉱山」ともいえる下水道から効率的に回収する技術が求められているなか、本市では、国土交通省の平成24年度B-DASHプロジェクトに「神戸市東灘処理場 栄養塩除去と資源再生（リン）革新的技術実証事業－KOBEGREENハーベスト（大収穫）プロジェクト」が採択され、消化汚泥から直接リンをリン酸マグネシウムアンモニウム（MAP）として回収し、肥料として有効かつ循環利用することを目的とした実証事業に着手した。

2. リン資源の動向

リンは生体の必須元素であり動植物に多く含まれている。また、肥料の三大要素の一つでもあり、農産物の育成に不可欠な成分でもある。工業的な出発原料はリン鉱石であり、日本には P_2O_5 を30%以上含むリン鉱石がなく、全量輸入に依存している。リン鉱石の最大の生産国は中国、次いで米国、モロッコ、ロシアであり、主要原産国である中国等の輸出規制の影響等もあって、国際取引価格はここ数年で乱高下してお

り、長期的かつ安定的なリン資源の確保が懸念されている（図1）。

日本のリン輸入量は2010年ベースでリン鉱石31万t、リン酸肥料10万t、複合肥料57.1万tのほか、工業製品用途として輸入されている。これらの応用製品として、リン酸肥料27万t、複合肥料209.7万tが国内で出荷されている²⁾。

経済的に採掘可能なリンの埋蔵量は180億tと推定され、このうちの約半分が今後60年から70年の間に消費されるであろうとの予測もある¹⁾。このような状況下で、下水道により下水処理場に集約されてくるリンは貴重な未利用資源であり、効率的に回収、利用していくことが求められる。

3. KOBEGREENハーベスト（大収穫）プロジェクト

3.1 概要

本市は、国土交通省が公募した平成24年度下水道革新的技術実証事業（B-DASHプロジェクト）の栄養塩類除去技術部門に「神戸市東灘処理場 栄養塩除去と資源再生（リン）革新的技術実証事業－KOBEGREENハーベスト（大収穫）プロジェクト」を提案のうえ平成24年3月30日に採択され、国土技術政策総合研究所の委託研究として実施している。本プロジェクトの実施に際しては、処理施設の運営調整等を行う神戸市、革新的技術実証設備の建設・運転・データ分析・解析等を行う水ing(株)、肥料化検討を行う三菱商事アグリサービス(株)が共同研究体を結成している。

本プロジェクトでは、リン濃度が高い消化汚泥からの高効率なリン回収、肥料製造に適した形状のリン回収、さらに配管閉塞等の原因の一つであるリンを除去することによる水処理・汚泥処理の維持管理性の向上を目指している。これらの検討により、技術の革新性・安定性と共に建設コストや維持管理コストの削減を実証し、国内外への普及展開に貢献することを目的としている。回収したリンを「神戸ブランドの循環型リ

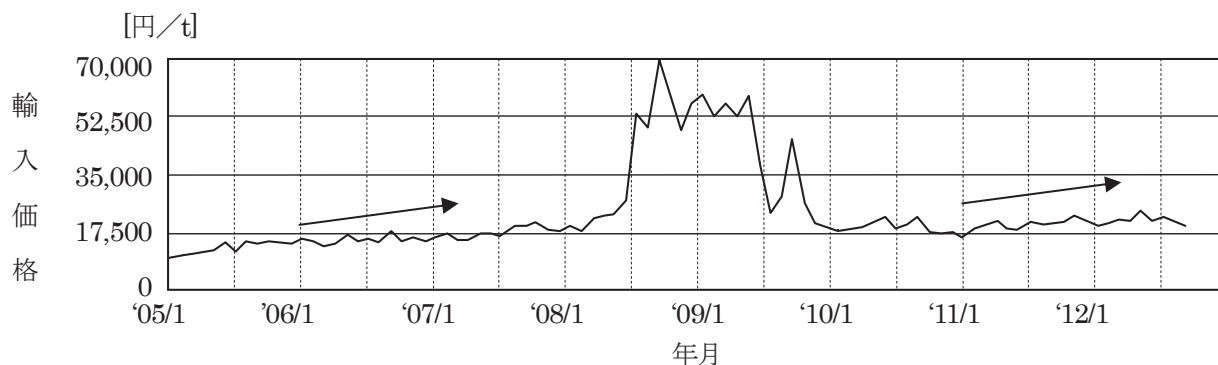


図1 リン鉱石の輸入価格

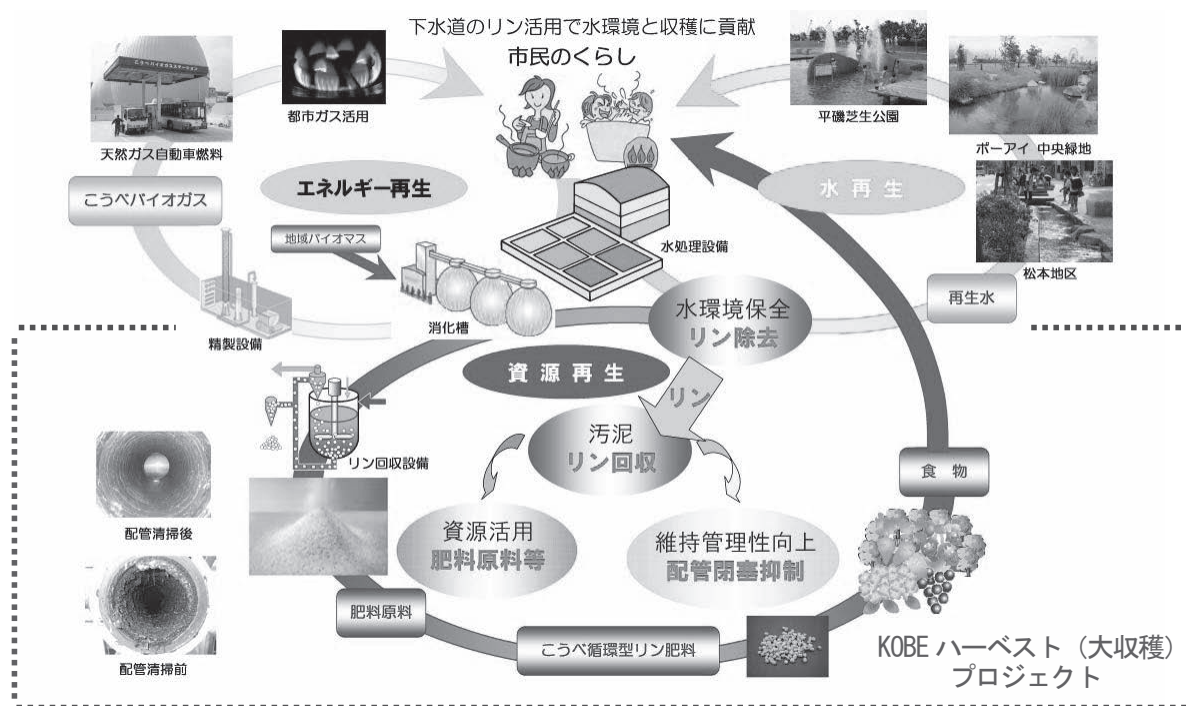


図2 資源再生の取り組み

ン原料」として供給することで、資源の宝庫である下水道からの「大収穫」が期待できる。

現在は、実規模レベルの実験設備を東灘処理場に建設中であり（平成24年12月現在）、平成25年1月からリンの回収を開始する予定である。年度内には、回収したリンの性状評価、肥料の試作および評価を実施する。

3.2 リン資源化システム

図3に本実証事業で用いる消化汚泥からのリン除去・回収フローを示す。消化汚泥をリン除去・回収装置（リアクタ）に投入し晶析を行い、生成されたMAPを定期的に回収する。回収MAPは洗浄・乾燥することで、肥料原料として利用可能となる。処理液は処理汚泥として脱水機に送られる。本実証事業では、高効率・高濃度晶析リアクタによるリン除去・回収技術を

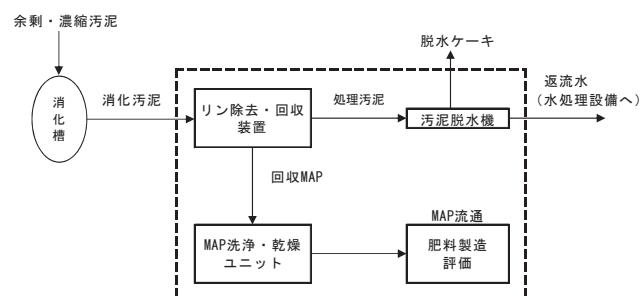


図3 消化汚泥からのリン除去・回収フロー

用いており、次の特性を確認するために実施する。

- (1) 高濃度のリンを含有している消化汚泥から直接リンを除去・回収

消化汚泥中に含まれる高濃度の $\text{PO}_4\text{-P}$ のほか、消化槽内で自然に生成したMAPを回収することができるため、同じ薬品添加量でリン回収量が増加する。従来法は消化汚泥の脱水ろ液中からMAPを回収するため、消化槽で生成したMAPは、ほとんどが脱水ケーキとして系外に排出され、回収することができない。また、消化槽内で自然に生成したMAPは脱水機のスケールトラブルを誘発するが、脱水前に回収されるこ

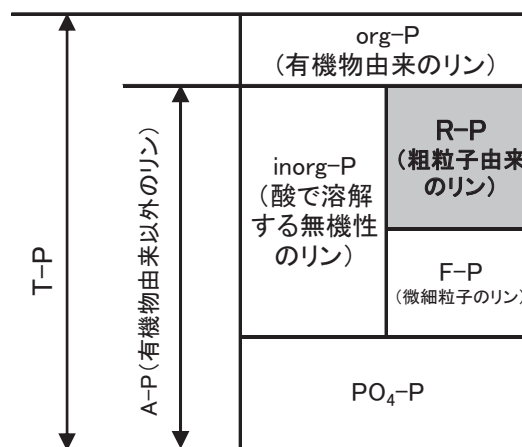


図4 消化汚泥のリンの形態

とによってトラブルの抑制効果が期待できる。さらに、従来は脱水汚泥中に移行していたMAPが回収されることに伴い脱水汚泥量の削減も期待できる。

(2) 肥料原料に適した回収MAP

完全混合による均一な晶析反応の進行とMAP種晶が分離用サイクロンを連続的に通過することで、回収MAPは100～200 μm 程度の粒形となり、角が取れて丸みをおびた顆粒状になる。これは肥料製造の際のハンドリング性と造粒性に優れた形状である。

3.3 実証研究項目

(1) リン回収ならびに除去効果の実証

- ・脱水ろ液のT-Pを80%削減
- ・MAP回収量が従来型の脱水ろ液からのリン回収方式よりも40%以上増加
- ・脱水ケーキとして排出される固形物排出量の約3%削減

(2) 建設、維持管理にかかるコスト縮減効果および温室効果ガス排出量試算

(3) 既存施設（汚泥処理系）へ与える影響確認

(4) 実証技術導入効果の試算

(5) 肥料原料化検討

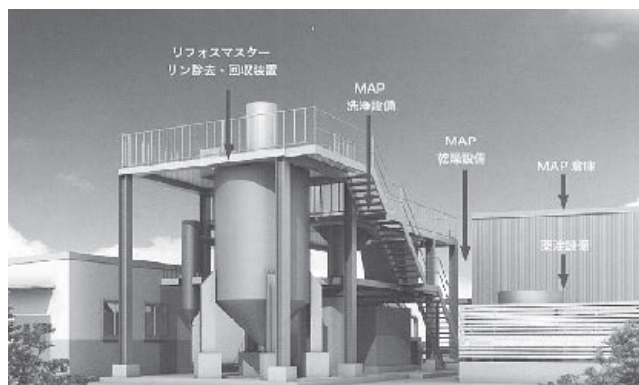


図5 リン回収・再生設備イメージ

4. パイロット試験

4.1 方法

神戸市西部処理場にパイロット試験装置を設置し、消化汚泥（未洗浄）を原汚泥としてパイロット試験を行った。パイロット試験装置は、図3と同様、リン除去・回収装置（リアクタ）、MAP回収部、MAP洗浄部、汚泥脱水機から構成される。前章の実証研究ではMAP回収工程中也含めて連続処理が可能であるが、本試験は、以下に示す回分方式により行った。

原汚泥をリアクタに投入し、 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ を注入して

晶析反応を進行させる。リアクタ内は、連続的に攪拌するとともに、pHが8程度となるよう調整する。所定時間経過後に薬液の注入を停止し、リアクタ内汚泥をMAP回収部に連続投入する。MAP回収部から分離した濃縮MAPはMAP洗浄部で洗浄してから回収する。また、MAP回収後の処理汚泥は汚泥脱水機に送られる。ここで、主な処理条件としては、処理汚泥量5または10 $\text{m}^3/\text{d} \cdot \text{回}$ 、晶析時間6 $\text{h}/\text{回}$ 、種晶濃度2%、反応pH 8.0である。この条件で10回の試験を行った。

4.2 結果

リン除去・回収装置で回収可能なリンの形態は、主に数十 μm 以上の粒子であり、図4のうち粗粒子由来のリンが該当する。 $\text{PO}_4\text{-P}$ が結晶化することにより粗粒子由来もしくは微細粒子由来のリンとなるが、微細粒子由来のリンになった場合は回収不可能である。パイロット試験結果による処理性能を表1に示す。リン結晶化率を(1)式により算出した結果86.8%となり、晶析により、リン酸が除去されていることを確認した。

また、全リンの除去量($\text{T-P}_{\text{in}} - \text{T-P}_{\text{out}}$) 255 mg/l が $\text{PO}_4\text{-P}$ が結晶化して回収できたリンの量($\text{PO}_4\text{-P}_{\text{in}} - \text{PO}_4\text{-P}_{\text{out}}$) 203.2 mg/l を上回っていることから、反応したMAPが微細な結晶になることなく良好に種晶表面で結晶化したことに加え、消化槽で自然発生したMAPも同時に回収できたと考えられる。

$$\text{結晶化率} [\%] = \frac{\text{PO}_4\text{-P}_{\text{in}} - \text{PO}_4\text{-P}_{\text{out}}}{\text{PO}_4\text{-P}_{\text{in}}} \times 100 \quad (1)$$

表1 パイロット試験結果

	原汚泥 (in) [mg/l]	処理汚泥 (out) [mg/l]
全リン (T-P)	802	547
粗粒子由来のリン (R-P)	66	26
$\text{PO}_4\text{-P}$	234	30.8

表2 回収MAP成分分析結果

項目	分析値 [%]	最大含有主成分1%あたり	
		分析値 [%]	肥料取締法許容値 [%]
主成分			
アンモニア性窒素	5.2	—	—
く溶性りん酸	27.3	—	—
く溶性苦土	15	—	—
有害成分			
硫酸酸化物	0.05未満	0.002未満	0.005
ひ素	0.00004	0.000001	0.002
亜硝酸	0.05未満	0.002未満	0.02
ピロリ性窒素	0.005未満	0.0002未満	0.01
スルファミン酸	0.001未満	0.00004未満	0.005
カドミウム	0.00005	0.000002	0.000075
ニッケル	0.00009	0.000003	0.005
クロム	0.00005	0.000002	0.05
チタン	0.003	0.0001	0.02
水銀	0.00008	0.000003	0.00005
鉛	0.0005	0.00002	0.003

4.3 肥料成分分析

簡易試験により回収されたMAPを洗浄し、自然乾燥させたものについて肥料成分分析を行った結果、アンモニア性窒素 (N) 5.2%、く溶性りん酸 (P_2O_5) 27.3%、く溶性苦土 (MgO) 15%であった。なお、砒素やカドミウムなどの有害金属は、いずれも肥料取締法で定められた化成肥料の有害金属含有量の許容値以下で、問題ない結果であった(表2)。

4.4 リン回収による汚泥処理設備の維持管理性向上

表1に示すように、リン除去・回収装置では消化汚泥に含まれる全リンの32%が回収できた。実規模の装置では、 $PO_4\text{-P}$ の結晶化率がさらに上がることが見込まれ、全リンの回収率向上が期待できる。また、消化汚泥中の全リンを回収することで、汚泥配管の閉塞を抑制し、維持管理性の向上も期待できる。

5. おわりに

東灘処理場では、今回紹介した「リン回収」のほか、水再生や「こうべバイオガス」をはじめとした再生可能エネルギーの取り組みのショーケースとしての機能を発揮している。この東灘処理場を中心に、本市は平成24年4月に国土交通省から「水・環境ソリューションハブ」(下水道技術の国際戦略拠点)の認定を受けた。

今後、阪神・淡路大震災から得た教訓への取り組みや、「リン回収」「こうべバイオガス」を代表とする水・資源の循環型下水道の取り組み等を、国内外に発信することで「国際貢献」「地域経済の活性化」「技術・技能の継承」に資する活動を展開していく。

下水道は水再生と共に、今後ますます重要性が高まる資源再生や再生可能エネルギー供給拠点として循環型社会の形成を目指し、さらなる大きな役割を果たすことができる。



写真2 回収MAP

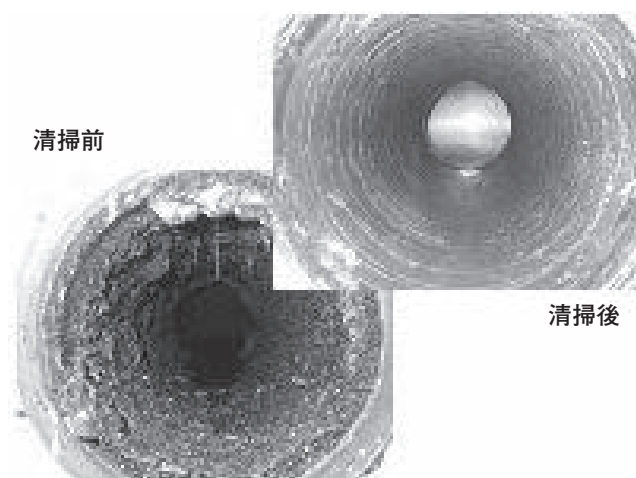


写真3 汚泥配管の清掃前後

<参考文献>

- 1) 国土交通省都市・地域整備局下水道部 “下水道におけるリン資源化の手引き” 平成22年3月
- 2) 独立行政法人 石油天然ガス・金属鉱物資源機構 “マテリアルフロー 2011”

研究紹介

農業集落排水汚泥の 利活用実証事業の紹介

(社)地域環境資源センター バイオマス技術部

主任研究員 福田 和 吉

研 究 員 五十嵐 春 子

キーワード：農業集落排水、農業者、意識、農地還元

1. 農業集落排水汚泥の再利用の現状

農村地域では、農業用水路が生活排水の受入先となっていたが、生活様式の変化に伴い排水の内容が大きく変わり、食の安全・安心を確保し、農業生産の安定を図るためには、水質汚濁による農業被害の解消や農村生活環境の改善を図ることが不可欠である。

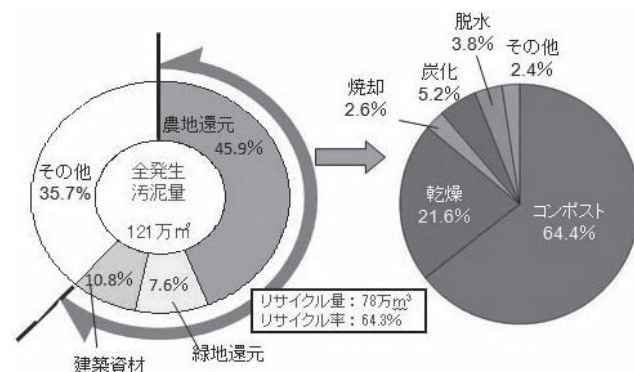
農地の面的な広がりの中に集落が散在し、農道が生活道路としても利用されるなど、生産と生活の場が一体不可分の関係となっている農村地域では、農業基盤と一体的に污水处理施設を整備することが有効である。

農業集落におけるし尿や生活雑排水等を処理する農業集落排水施設は、農業振興地域において水質汚濁による農業被害の解消等を図るため、事業発足以来、平成21年度末には、全国で約5,200地区が供用され、整備人口は約360万人となっており、農村地域で欠かすことのできない大きな役割を果たしている。

農業集落排水事業では、農業集落排水施設の周囲が農地であることが多いため、発生する汚泥は肥料として窒素やリン酸等を有効活用するとともに、処理水は農業用水として再利用することにより、水資源・有機

資源のリサイクルを推進している。

農業集落排水施設は、整備計画人口が平均で約1,000人と比較的小規模であることから、農業集落排水施設からの発生汚泥量が少ないこと、施設の周辺には農地が広がっており、農地還元が地理的に有利であること、古来農村ではたい肥等の利用実績を持っていることなど、汚泥の利用について有利な条件がある。平成21年度において全国の農業集落排水施設から発生する汚泥121万㎡のうち農地に還元されているものは約46%にとどまっている。なお、建設資材や緑地還元を含むリサイクル率は約64%となっている。



平成21年度の農業集落排水汚泥の
リサイクル状況と農地還元の内訳
(H21年度末 農林水産省農村振興局調べ)

平成24年3月30日に閣議決定された土地改良長期計画では、平成28年度を計画目標年とし、人口普及率を約76%とすることと併せて、農業集落排水施設から発生する汚泥のリサイクル率を約70%とすることが明示された。

土地改良長期計画（平成24年3月閣議決定）

－抜 粋－

第4 事業の種別ごとの目標、事業量

【政策目標7】

小水力発電等の自立・分散型エネルギーシステムへの移行と美しい農村環境の再生・創造

－略－

- ・ 農業集落排水汚泥のリサイクル率
約64%（平成22年度）→約70%（平成28年度）
- ・ 農業集落排水処理人口普及率
約68%（平成21年度）→約76%（平成28年度）

<事業量>

－略－

- ・ 個性豊かで活力ある農村づくりに向け農村地域における資源循環の促進を図るため、農業集落排水汚泥のリサイクルを新たに約370地区で実施
- ・ 農業用排水の水質汚濁を防止し、健全な水循環に資するため、農業集落排水施設の整備を約600地区で実施

当センターでは、平成28年度までに農業集落排水施設から発生する汚泥（以下、「集排バイオ泥」と呼ぶこととします。）のリサイクル率を約64%から約70%とする目標に貢献するだけでなく、前述の有利な条件を踏まえ、汚泥の農地還元を普及拡大させるための支援として、集排バイオ泥の農地還元について、これから始めようとする地区や始めたばかりの地区、全国8地区を実証地区として選定し、地域住民の意向調査や作物栽培実証調査、集排バイオ泥肥料のPR活動等内容とする実証調査事業を平成23年度から3カ年間の計画で実施している。

なお、この事業は平成23年度から農林水産省の実施する集落排水資源利活用実証事業（集排汚泥利活用実証事業）の補助金を受けて実施している。

※ 平成23年度及び平成24年度は、それぞれ単年度の補助金を受けており、平成25年度は未定。

（参考：処理水の再利用について）

農業集落排水施設からは年間約3.5億m³の処理水が

放流されており、そのうち約2.7億m³（77.6%）が農業用水として再利用されている（平成21年度末、農林水産省農村振興局試算）。

本事業では、処理水の再利用に係る実証調査も実施しており、処理水の再利用実証地区として山口県山口市秋穂西地区、愛媛県今治市瀬戸崎地区を選定し、それぞれ水稻、柑橘を対象に栽培実証調査を実施している。

2. 実証調査事業の概要

本実証調査事業では、集排バイオ泥肥料を活用しようとする8地区において、集排バイオ泥肥料の利活用による効果と安全性を実証し、それらの成果を地域内だけでなく他地区へも情報発信し、より広い地域で循環型社会の実現に向けた取組が広まることを目的としている。

このため、集排バイオ泥肥料の適切な利活用手法の検討、集排バイオ泥肥料の利活用による効果の実証、集排バイオ泥肥料の安全性の実証及び実証結果のとりまとめと情報の発信を行うこととし、地区により若干の違いはあるが、概ね次のような調査を実施している。

（1）初年度目（平成23年度）

これから集排バイオ泥肥料の利用を始めようとする地区も多いことから、集排バイオ泥肥料を利用することに対する農業者等の意識の把握、農地を利用した栽培実証調査の実施にあたっての基礎諸元の把握を中心に調査した。

- ・ 集排バイオ泥肥料に対する地域関係者の意識に関する調査（アンケート調査）
- ・ これから集排バイオ泥肥料を製造する地区においては、集排バイオ泥肥料の試作
- ・ 集排バイオ泥肥料の成分の把握
- ・ 栽培実証ほ場の土壌分析

（2）二年度目（平成24年度）

各地区とも地域の主要農作物等の中から2作物を選定し、化学肥料のみを用いた場合と、化学肥料のチッ素分のうち、全部もしくは半分を集排バイオ泥肥料で置き換えた場合の作物の収量や食味に対する影響や土壌に対する影響を調査するための栽培実証を行うとともに、集排バイオ泥肥料成分の季節変動の有無についての確認を実施している。また、地区によっては、初年度目（平成23年度）に実施した集排バイオ泥肥料に対する農業者等の意識に関する補足調査を

実施している。

- ・作物の栽培実証調査
- ・季節毎の汚泥肥料成分の把握
- ・集排バイオ泥肥料に対する地域関係者の意識に関する調査（聞き取り調査等）

(3) 三年度目（平成25年度）の予定

これまでの調査結果を踏まえ、集排バイオ泥肥料の普及拡大に向けた活動を実施。

- ・PRツール（パンフレットやパネル等）の作成
- ・施肥効果等をPRするための展示栽培
- ・イベントや研修会を利用した普及活動の実施

3. 実証地区の概要

本実証調査事業における実証地区8地区の概要は次のとおりである。



集排バイオ再利用実証地区位置図

(1) 北海道初山別村

初山別村は北海道の北西部に位置し、総面積280km²で、大部分が林野で農用地は1割弱である。気候は、海洋性の気候の為、冬は積雪が多く、季節風が強いが、日本海を流れる対馬暖流の影響により内陸に比べて冬の冷え込みは厳しくない。

村の基幹産業は農業・漁業で、豊かな自然に恵まれ、主要作物は、もち米（はくちょう米）、小麦、豆類、甜菜となっている。

人口は1,378人で世帯数は591世帯である（H24年3月末現在）。

対象処理施設数：2施設（初山別地区、豊岬地区）
対象計画人口：1,819人
発生汚泥量：461.2m³（H23年度）

肥料の種類別：汚泥堆肥肥料

（※現在は汚泥乾燥肥料を利用中。）

栽培実証作物：ハスカップ、かぼちゃ

(2) 山形県舟形町

舟形町は山形県の東北部に位置し、総面積119km²で、大部分が山地に囲まれ、7割が山林で農用地は1.3割である。気候は、内陸性で夏季冬季の寒暖の差が大きく冬季には積雪が2mを超えることもある。

町の基幹産業は農業で、耕地面積の90.8%が水田であるが、赤大豆やヤーコンの産地ともなっている。

人口は6,107人で世帯数は1,899世帯である（H24年3月末現在）。

対象処理施設数：5施設

対象計画人口：4,390人

発生汚泥量：1,197.9m³（H23年度）

肥料の種類別：汚泥発酵肥料

栽培実証作物：だいこん、はくさい、せいさい

(3) 千葉県山武市

山武市は千葉県の東部に位置し、総面積146km²、山林が3割、農用地が4割を占めている。気候は、年中温暖で雪が積もることはほとんどない。

肥沃な土壌と温暖な気候に恵まれ、農産物の生産に適した環境である。そのため、米や麦などの穀物に加え、葱、大根、玉蜀黍、人参、エシャロット、ニラ、イチゴ等多様な品種の野菜や果物が栽培されている。

人口は56,296人、世帯数は21,689世帯である（H24年7月1日現在）。

対象処理施設数：4施設

対象計画人口：7,590人（H24年3月31日時点）

発生汚泥量：27,145.6m³（H23年度）

肥料の種類別：汚泥発酵肥料（3地区）、
汚泥乾燥肥料（1地区）

栽培実証作物：ねぎ

(4) 岐阜県関ヶ原町

関ヶ原町は岐阜県の西端に位置し、総面積49km²、山林が8割を占める。気候は、日本海側気候で若狭湾からの季節風により、雪が降りやすく、豪雪地帯である。

稲作、野菜の生産が多く、米の他に、なすやブロッコリーの生産が盛んである。

人口は8,082人、世帯数は2,838世帯である（H24

年7月1日現在)。

本事業の対象である今須地区では、平成23年度に供用を開始し、汚泥発酵肥料の製造に着手した段階であり、肥料登録もこれからである。

対象処理施設数：1施設
対象計画人口：1,417人
発生汚泥量：— m^3 (H23年度)
肥料の種類別：汚泥発酵肥料
栽培実証作物：水稻、ブロッコリー

(5) 滋賀県日野町

日野町は滋賀県の南東に位置し、総面積118 km^2 、山林が5割、農用地が1.7割を占めている。気候は、温暖な瀬戸内型気候に属しており、琵琶湖沿岸部に比べるといくぶん内陸性で、冬には降雪がある。

稲作、野菜の生産が多く、伝統野菜である日野菜の産地である。

人口は22,812人、世帯数は7,799世帯である (H24年1月1日現在)。

日野町では、今後、移動式脱水乾燥車を導入し、汚泥乾燥肥料を製造する計画である。

対象処理施設数：8施設
対象計画人口：5,998人
発生汚泥量：508.3 m^3 (H23年度)
肥料の種類別：汚泥乾燥肥料
栽培実証作物：日野菜

(6) 島根県浜田市

浜田市は島根県西部の日本海を望む位置にあり、総面積690 km^2 、山林が8割を占める。気候は、対馬海流の影響で比較的温暖であり、冬季の積雪も少なく、自然環境に恵まれた地域である。

稲作、野菜、果実の生産が多く、柿や梨の生産も盛んである。

人口は61,713人、世帯数は24,972世帯である (H22年10月1日現在)。

対象処理施設数：12施設 (漁業集落排水3施設を含む)
対象計画人口：10,342人
発生汚泥量：3,339.9 m^3 (H23年度)
肥料の種類別：汚泥発酵肥料 (8地区)、
汚泥乾燥肥料 (4地区)
栽培実証作物：お茶、大豆

(7) 徳島県美馬市

美馬市は徳島県の西部にあり、総面積367 km^2 、山林が8割を占める。気候は、瀬戸内型気候で、比較的温暖であるが、山間部では寒暖の差が大きい地域である。

稲作、野菜 (人参、ブロッコリー、レタス等)、果実、スイートコーン等が美馬市の推奨作物として多く栽培されている。

人口は32,150人、世帯数は12,889世帯である (H24年7月1日現在)。

対象処理施設数：1施設
対象計画人口：2,400人
発生汚泥量：178.9 m^3 (H23年度)
肥料の種類別：汚泥発酵肥料
栽培実証作物：スイートコーン、水稻

(8) 大分県日田市

日田市は大分県の西部にあり、総面積666 km^2 、山林が8割以上を占めている。気候は、盆地である為に夏は暑く最高気温が35℃を超える猛暑日が続く。冬は寒く、積雪も多い地域である。

日田杉の産地として知られている他、梨、スイカ、梅、わさびは全国的に有名である。

人口は71,054人、世帯数は26,916世帯である (H24年6月末現在)。

日田市では、集排バイオ泥を生ゴミや豚ふん等と混合してメタン発酵による発電を行っている。メタン発酵により発生する残渣 (メタン発酵消化液) の液肥利用を拡大しようとしている。

対象処理施設数：2施設
対象計画人口：4,150人
発生汚泥量：1,011.7 m^3 (H23年度)
肥料の種類別：メタン発酵消化液
栽培実証作物：飼料米、はくさい

これら8地区では、現在、栽培実証調査を実施中もしくは調査データのとりまとめを行っている段階であり、結果を今回の報告の中では紹介することができないことは残念ですが、次に機会がありましたら、是非、報告させていただきます。

4. 汚泥肥料に対する農家等の意識

平成23年度に実証地区7地区 (北海道初山別村、山形県舟形町、千葉県山武市、岐阜県関ヶ原町、滋賀県

日野町、島根県浜田市及び徳島県美馬市) で実施したアンケート調査を基に、汚泥肥料の利用等に対する農業者の意識を分析した。

※ 日田市地区では、集排バイオ泥を生ゴミ等と混合しメタン発酵を行い、その残渣であるメタン発酵消化液の農地還元を行うものであり、今回の分析の対象からは外した。

また、山形県舟形町では汚泥肥料の利用者に限定して調査を実施したことから、汚泥肥料に対する認識等においては、分析の対象外とした。

(1) 汚泥肥料に対するイメージ

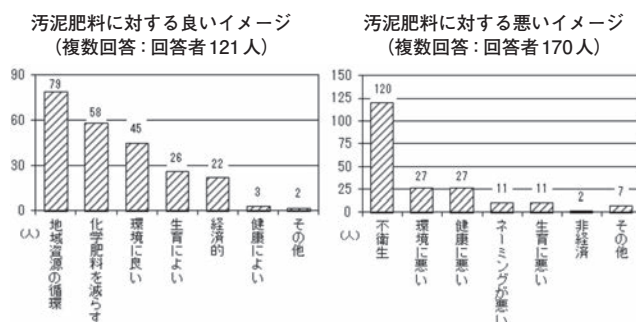
① 農業者515人のうち、汚泥肥料を知っている人は244人と半数を下回っており、汚泥肥料の利用をこれから開始しようとしている地区が含まれているものの、汚泥肥料に関するPRは不足しているものと考えられる。

② 汚泥肥料に対するイメージは、汚泥肥料を知っている人では、「良い～比較的良い」、「悪い～比較的悪い」、「どちらとも言えない」が、それぞれ1/3と同程度となっている。

一方、汚泥肥料を知らない人では、「悪い～比較的悪い」とした人が4割を超え、「良い～比較的良い」とした人の2倍以上となっており、汚泥肥料という言葉が与えるマイナスのイメージが強いものであることが伺えるとともに、汚泥肥料への悪いイメージを払拭するためには、幅広く情報提供を行い、汚泥肥料を良く知ってもらうことが重要と考えられる(表1参照)。

③ 汚泥肥料に対する良いイメージとしては、「地域で発生する資源の循環的利用でよい」が最も多く、次いで「化学肥料の使用量を減らすのでよい」、「環境によい」となっている。

④ 汚泥肥料に対する悪いイメージとしては、「し尿処理により生じた不衛生なもの」が極めて多く、次いで「環境に悪い」、「健康に悪い」、「汚泥」というネーミングが与えるイメージが悪い」の順に多く、その他の中では「洗剤等の影響」や「肥料効果」への不安があるといった声がある。



(2) 汚泥肥料の利用に対する意識

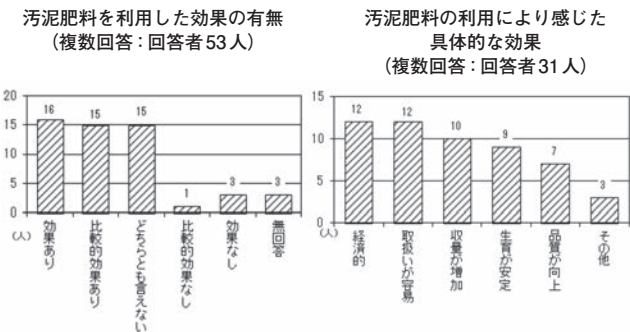
① 汚泥肥料の利用を開始したばかりの地区、これから汚泥肥料を利用しようとしている地区を対象とした調査であるため、これまでに汚泥肥料を利用したことがある人は、汚泥肥料を知っている人(244人)のうち、わずか31人(12.7%)であった。

② 汚泥肥料を利用したことがある人(山形県舟形町の汚泥肥料を利用している農家22人を含む53人)のうち、半数以上の31人(58.5%)が「経済性」、

表1 農業者の汚泥肥料に対するイメージ

	良い	比較的良い	どちらとも言えない	比較的悪い	悪い	無回答	左の合計
汚泥肥料を知っている 244人 47.4%	(8.2%) 20人 うち5人は 利用経験有	(25.0%) 61人 うち9人は 利用経験有	(32.0%) 78人 うち9人は 利用経験有	(26.6%) 65人 うち6人は 利用経験有	(4.1%) 10人 うち1人は 利用経験有	(4.1%) 10人 うち1人は 利用経験有	(100.0%) 244人 うち31人は 利用経験有
	81人 (33.2%)			75人 (30.7%)			
汚泥肥料を知らない 267人 51.8%	(4.1%) 10人	(13.6%) 33人	(37.2%) 90人	(34.3%) 83人	(7.9%) 19人	(2.9%) 7人	(100.0%) 242人
	43人 (17.8%)			102人 (42.1%)			
無回答 4人 0.8%		(75.0%) 3人				(25.0%) 1人	(100.0%) 4人
計	(6.1%) 30人	(19.8%) 97人	(34.3%) 168人	(30.2%) 148人	(5.9%) 29人	(3.7%) 18人	(100.0%) 490人

「取扱い易さ」、「収量増加」、「生育の安定」、「品質向上」等の効果を感じている。



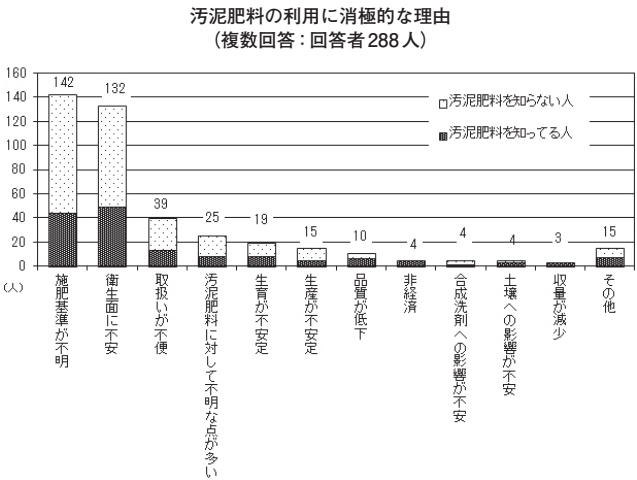
③ 汚泥肥料を利用したことがない480人のうち118人(24.6%)は、今後、汚泥肥料を利用したいと考えており、汚泥肥料を知っている人の方が、知らない人よりも利用したいと考えている人の割合が高い(表2参照)。

このため、汚泥肥料の利用者の増加を図るためには、まずは多くの人に汚泥肥料を知ってもらうことが有効と思われる。

④ 汚泥肥料の利用に消極的な人は、「施肥基準」及び「衛生面」に不安を持っている人が特に多い。「施肥基準」、「経済性」、「取扱い性」、「肥料効果」等については、栽培実証調査により効果を明らかにするだけでなく、汚泥肥料を利用したことがある人の多くが効果を感じているものであるため、利用者の声を集めることも重要であると考えられる。

また、土壌への影響や合成洗剤の影響、衛生面

の不安を払拭するためには、栽培実証調査と並行して土壌や汚泥肥料の分析を行うことが必要と考えられる。



5. 来年度(平成25年度)調査の実施に向けて

平成25年度には、これまでの調査結果を基に、実証展示ほ場の設置や、各種イベント等への参加により集排バイオ泥肥料の普及拡大に向けた情報発信を行うことを調査の中心とする考えである。

また、全国各地の集排バイオ泥や集排バイオ泥肥料の成分等に関する補足調査を行う考えである。補足調査では、本実証調査事業の実証地区(8地区)以外の地区についても、情報提供をお願いすることがあろうかと考えています。その際には、関係者の方々にはご理解を頂き、ご協力頂きますようお願い申し上げます。

表2 汚泥肥料の利用に対する未利用者の意識

	利用したい	わからない	利用しない	無 回 答	合 計
汚泥肥料を知っている	(36.6 %) 78 人	(38.5 %) 82 人	(20.2 %) 43 人	(4.7 %) 10 人	(100.0 %) 213 人
汚泥肥料を知らない	(15.0 %) 40 人	(43.1 %) 115 人	(36.0 %) 96 人	(6.0%) 16人	(100.0 %) 267人
合 計	(24.6 %) 118 人	(41.0%) 197 人	(29.0 %) 139人	(5.4 %) 26人	(100.0 %) 480人

研究紹介

岩手県内で排出される 下水汚泥焼却灰および廃酸を用いた リン回収プロセスの検討について

岩手大学 三陸復興推進機構

特任研究員 工 藤 洋 晃

キーワード：リン回収、廃酸、イオン交換

1. はじめに

リンは幅広い分野で必要とされる資材であり、特に、農業においては必要不可欠である。現在、リン資材は主として天然資源（リン鉱石）から加工されており、わが国ではその材料であるリン鉱石の全量を輸入に依存している。一方、世界的なリン鉱石の需要の高まりによる価格高騰に加え、今世紀後半には天然資源の枯渇が予想されており¹⁾、リン鉱石の戦略物資化が進んでいる。わが国では、リン鉱石（肥料原料）の価格高騰に対し、①効率的な施肥方法への転換による肥料コストの低減、②肥料価格抑制に向けた取組、③肥料原料の安定確保、という政策を決めた²⁾。上記③では国内の未・低利用資源からのリン回収が挙げられている。

国内においても、リン資源確保へ向けた未・低利用資源の活用が検討され、多くの研究成果が報告されている。地域のリン回収の取組として、岩手県では（地独）岩手県工業技術センターを中心に「いわて発戦略的地産地消型リン資源循環システムの研究」と題した研究事業が発足し、大規模な産学官連携が展開されている。岩手大学農学部はこの研究事業の中で、県内企業排出の廃酸活用方法について検討を行ない、事業参画を果たしている。当該事業は地域のリン含有産業廃棄物利用による新たなリン資源循環システムについて提案

するものであり、本稿は其中で成果を挙げた「下水汚泥焼却灰および廃酸利活用によるリン回収技術」について紹介する。

2. いわて発戦略的地産地消型リン資源循環システムの研究

本研究事業は、環境省「循環型社会形成推進科学研究費補助金」（現：環境省「環境研究総合推進費補助金」）の支援を受け、平成22年から平成24年にかけて実施している（3カ年計画）。現在、リン資材はリン鉱石から加工され、様々な分野で消費された後、回収（有効利用）されずに廃棄されるという一方通行が主流である。

そこで本事業では、地域で排出されるリン含有廃棄物を調査し、それらの中からリン含有量の高い代表的なサンプルを抽出した。さらに、効率よくリンを抽出するため、それらを「都市系」、「工業系」、「農業系」、「食品系」の4種類に分類し（表-1）、それぞれの特性に合わせたリン抽出方法を検討した。

一方、本事業の特徴として、地域で排出される廃酸および廃アルカリ（特別管理産業廃棄物）を調査し、リン含有廃棄物からのリン抽出資材として活用する手法を検討している点が挙げられる。これはリン抽出に使用する薬品コストの低減、特別管理産業廃棄物の

表－１ 本研究事業で整理したリン含有廃棄物の種類と具体例

廃棄物の区分	具体的に着目した廃棄物
都市系	下水汚泥焼却灰
工業系	塗装スラッジ
農業系	鶏糞、家畜糞
食品系	醤油かす



図－１ 産業廃棄物の多重有効利用による資源循環の概念図

消費、さらには産業廃棄物の多重利用による資源循環を図るという意義がある。廃棄物を積極的に消費することで、産業廃棄物排出量の低減を果たし、自治体の産業廃棄物処理対策費の低減も目指している。加えて、リンを抽出した残渣の有効利用も検討しており、廃棄物の包括的有効利用を目指している。

このように本事業では、資源問題と産廃処理問題を同時に解決し、国際的なリン資源の戦略物資化の流れからいち早く脱却するための取り組みに注力している。その中から本稿では、「都市系」リン含有産業廃棄物に分類した下水汚泥焼却灰（表－１）を活用し、酸（廃酸）利用によるリン抽出方法を中心に紹介する。

3. 下水汚泥焼却灰からのリン回収

下水汚泥焼却灰はリンを豊富に含み（P換算で十数%）、リン資源として有望な材料の一つと言える。さらに、下水汚泥は焼却工程を経ることで、リン濃縮の他、細菌および有機性有害成分の除去が可能である。この下水汚泥焼却灰は、土壌に直接施用した場合も肥効を発揮し、肥料として利用可能である。しかし、有害重

金属も含まれていることが多く、例えば農地のカドミウム汚染源としてもしばしば指摘される³⁾。さらに東日本大震災以降は、放射性物質汚染も明らかとなり、下水汚泥焼却灰のリン資源としての利活用を阻む要因となっている。

これらの制限要因を解決する手段として、再資源化技術による下水汚泥焼却灰からのリン回収を筆者は推奨したい。下水汚泥焼却灰をそのまま素材とするリサイクル方法（堆肥化など）は成分組成上の要因により用途が制限される。一方、抽出リン資材は精製工程を経由することで成分組成上の制限要因を排除できるばかりでなく、工程次第で幅広い用途への応用が期待できる。

下水汚泥焼却灰からのリン抽出において、有害重金属の溶出に注意が必要である。リンは溶解過程において様々なイオン形態を有し、広いpH領域において安定的に存在が可能である。このリンの特性を活かし、下水汚泥焼却灰からのリン抽出方法として「アルカリ抽出法（「灰アルカリ法」ともいう）」を採用する例が多い。この方法は、両性元素以外の有害重金属元素の溶出を抑制することが可能である。ゆえに、①有害重金属の水酸化物とリン抽出液の分離が容易、②下水汚泥焼却灰からリン抽出をしたアルカリ溶液の再利用が可能、などのメリットがある。ただし、リン抽出効率を高めるために高濃度のアルカリ溶液を要し、さらに加熱を必要とするほか、それにより両性元素の溶出量が増えるといった課題がある。

本稿で紹介する酸抽出法は、有害重金属の溶出抑制が困難であるため敬遠されることが多いが、リン抽出効率が良いとあり、ほぼ全量抽出するために加熱などの工程を必要とせず、リン抽出の省エネルギー化や抽出時間短縮といったメリットがある。

4. 廃酸を用いた下水汚泥焼却灰からのリン回収プロセス

上述の通り、酸抽出法は下水汚泥焼却灰からのリン抽出効率が極めて良好であるが、リン以外の成分について溶出抑制は難しい。抽出に用いる酸の種類により、不溶解性塩を形成させ溶出を抑えられる元素もあるが、ケイ素成分、酸化チタン等の不溶解成分以外の大部分の重金属類はほぼ溶解しイオンとして存在する。そこで、酸処理によりリンを抽出した後にリン以外の成分を除去する工程を検討した（図－２）。

ここでは、陽イオン交換樹脂を用いたイオン交換法を採用した。酸抽出法により下水汚泥焼却灰から溶出される有害重金属の多くは陽イオンを形成する。ゆえに、陽イオン交換樹脂を用いたイオン交換法により除

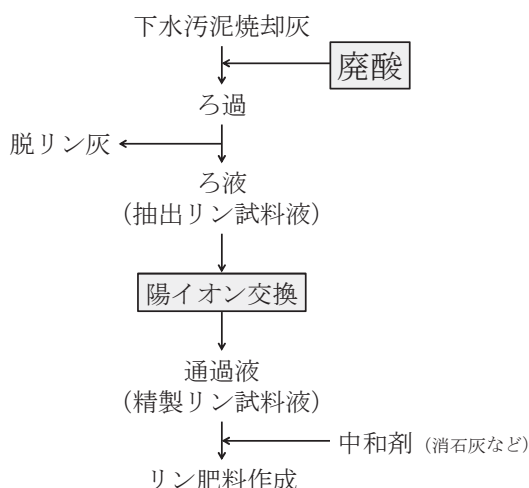


図-2 廃酸を用いた下水汚泥焼却灰からのリン回収プロセスの概要

去（回収）可能である。さらに、リンは抽出液中で陰イオンを形成し陽イオン交換樹脂には吸着しないことから、陽イオン交換法による精製工程上の損失がほとんどない。

下水汚泥焼却灰の酸処理については、岩手県内の企業から排出される廃酸（特別管理産業廃棄物）の利用を検討した。廃酸を活用することで、リン抽出工程上の薬品コストの低減が可能である。さらに、岩手県内企業の多くが廃酸を排出しており、廃酸活用方法の検討を求める声が大きい。また、下水汚泥焼却灰には様々な元素が含まれることから、リン抽出資材に純度の高い薬品を利用する必要がそもそも無い。このことから、下水汚泥焼却灰からのリン抽出に廃酸を利用（消費）することで、地域企業および自治体の廃棄物処理経費低減も目指している。

廃酸を用いた酸処理による、下水汚泥焼却灰からのリン回収プロセスについて、取り組み例を以下に記述する。

(1) 供試材料

下水汚泥焼却灰は、岩手県の浄化センター2事業所より発生するものを用いた。両者とも流動床式焼却炉で燃焼した飛灰であり、流入下水の排除方式は分流式（一方は一部合流式）となっている。

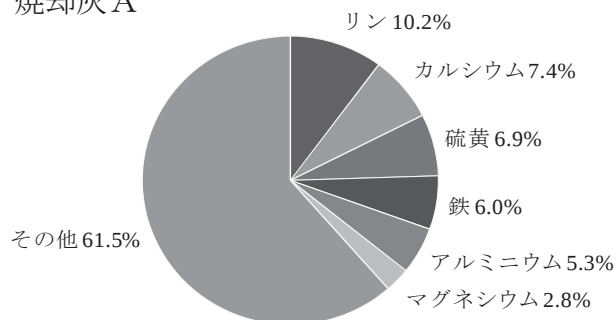
浄化センターAより採取した下水汚泥焼却灰（以降、焼却灰A）は鉄含有量が高く赤褐色を呈する。これは、汚泥処理工程におけるポリ硫酸第二鉄の添加に起因する。一方、浄化センターBより採取した下水汚泥焼却灰（以降、焼却灰B）は灰色である。

それぞれの焼却灰について、熱王水抽出法（肥料分析法）およびICP発光分光分析法による全リン含有

量および主要成分の含有量を図-3に示した。焼却灰AおよびBの主要成分含有量は、多少の違いは認められたものの、両者で類似した。リン含有量は10-12%（P換算）であり、次いでカルシウム、硫黄、アルミニウムの含有量が高かった。焼却灰AおよびBの主要成分において鉄含有量のみおよそ3倍の差が認められた。

このように、下水汚泥焼却灰の成分は地域によって特徴が異なる。尚、焼却灰Aの主要な物性については、佐藤らの報告がある⁴⁾。

焼却灰A



焼却灰B

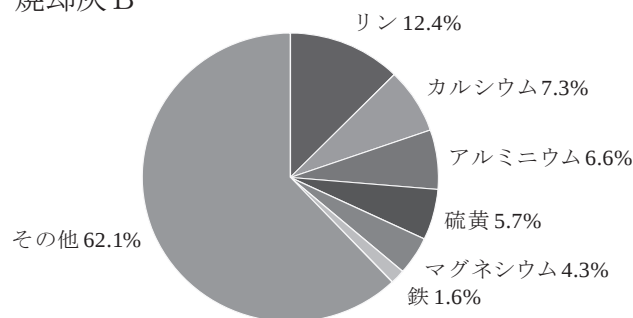


図-3 下水汚泥焼却灰における熱王水可溶性の主要元素組成（工藤ら、土肥誌 第83巻 第3号、2012より再編集）

(2) 酸抽出法によるリン抽出

酸抽出法による下水汚泥焼却灰からのリン抽出効果を確認するため、市販の硫酸を用いたリン抽出試験を行なった。焼却灰AおよびBの主要成分のうち、硫酸抽出によるリン、アルミニウム、および鉄の回収率を図-4および図-5に示す。

焼却灰AおよびBにおいて、0.5 mol L⁻¹硫酸抽出によりリンおよびアルミニウムの回収率はほぼ最大となり、硫酸濃度、静置温度、および静置時間を変えてもこれらの元素の回収率へほとんど影響しなかった（図-4および図-5）。鉄回収率において、焼却灰Aは硫酸濃度および静置温度を高めることで増加が認められた（図-4）。

このように室温（25℃）条件下において、下水汚泥

焼却灰へ0.5 mol L⁻¹硫酸を加え、1-3時間静置することで、リン回収率が60-90%と高い値を示したことから、酸抽出法は下水汚泥焼却灰からのリン回収工程として有効である。また、リン抽出の省エネルギー化を考慮すると、下水汚泥焼却灰からのリン抽出条件として室温条件下で0.5 mol L⁻¹程度の硫酸を用い、1時間程度の酸処理が適当と考えられる。

酸抽出法において、有害無害に関わらずリン以外の元素も容易に溶出する点は課題である。高濃度の酸の使用および高温条件下の静置はリン以外の元素の溶出を促進させることから、上述したリン抽出条件を支持する。

市販の硫酸を用いた抽出試験結果を基に、岩手県内の企業A社が排出する廃酸を用いた酸抽出検討を行った。供試した廃酸は、濃い青色を呈した硫酸およ

び過酸化水素の混合廃液であり、酸度は1-3 mol L⁻¹、銅含有量が41 g L⁻¹と高い値を示した。この廃酸を用い下水汚泥焼却灰のリン抽出を実施した結果を図-6に示す。

リン、アルミニウム、鉄の回収率については、0.5 mol L⁻¹の市販硫酸を用いた場合と同様であり、酸抽出法による下水汚泥焼却灰からのリン抽出工程において、市販硫酸の代替として廃酸の適用が可能であると言える。

本検討に用いた廃酸は高濃度の銅を含み、抽出リン溶液への銅の持ち込みが認められた(図-6)。ゆえに、抽出リンの肥料化のために、銅の除去工程が必要であった。

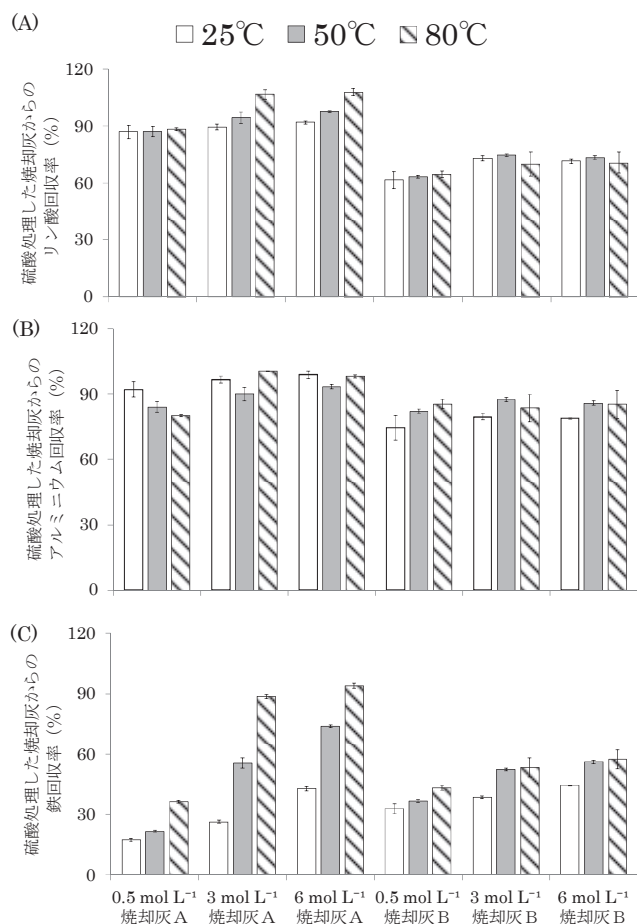


図-4 市販硫酸を用い硫酸濃度および静置温度を変えて実施した酸抽出(3時間静置)による、下水汚泥焼却灰からの(A)リン、(B)アルミニウム、(C)鉄の回収率(工藤ら、土肥誌 第83巻 第3号、2012)
※熱王水可溶性画分に占める回収率として表示

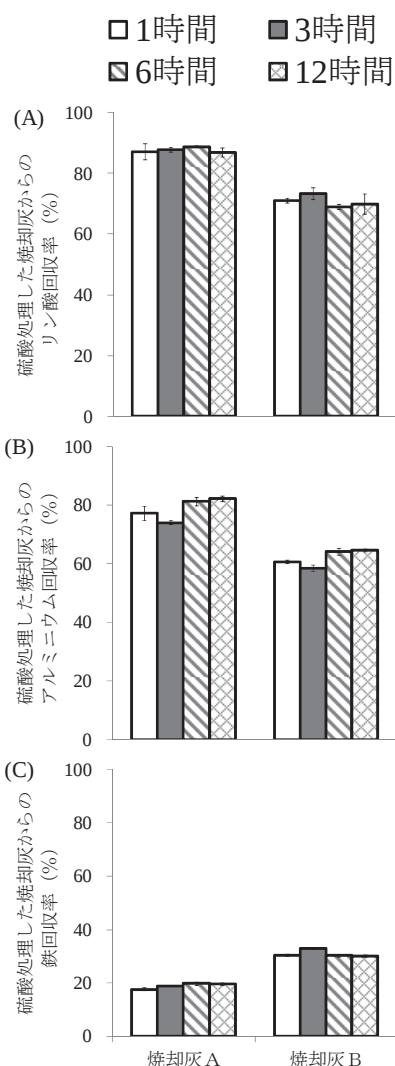


図-5 0.5 mol L⁻¹硫酸(市販品)を用いて静置時間を変えて実施した酸抽出による、下水汚泥焼却灰からの(A)リン、(B)アルミニウム、(C)鉄の回収率(工藤ら、土肥誌 第83巻 第3号、2012)
※熱王水可溶性画分に占める回収率として表示

(3) 陽イオン交換法によるリン以外の成分の除去

酸抽出法による下水汚泥焼却灰からのリン抽出液について、抽出液中の不純物（リン以外の元素）除去方法として、陽イオン交換法を採用した。回収リンの肥料化において問題となる有害重金属（カドミウムや鉛など）等、リン以外の元素の多くは溶液中で陽イオンを形成するため、陽イオン交換法により容易に除去できる。

下水汚泥焼却灰および市販硫酸、または下水汚泥焼却灰および廃酸の組み合わせによりリン抽出液を作成し、陽イオン交換カラムに流下して得られた精製液（通過液）中のリンおよび銅を測定した（図-7）。

陽イオン交換カラムに流下したリン抽出液は、流下前後でリン濃度に変化は認められなかった（図-7）。一方、アルミニウムおよび鉄などの陽イオンは、通過液からはほとんど検出されなかった。また、廃酸由来

の高濃度の銅を含有する試料液を流下した場合、流下した銅の99%以上が陽イオン交換により除去された（図-7）。ただし、高濃度の銅を陽イオン交換カラムに流下した場合、イオン交換樹脂が青く染まり、樹脂の陽イオン交換能の急速な低下が認められた。

このことから、イオン交換樹脂への負荷を軽減するために、陽イオン交換カラムにリン抽出液を流下する前に、廃酸中の銅を除去する必要がある。廃酸を用い、下水汚泥焼却灰から抽出したリン抽出液の中和による銅の除去を検討したが、中和処理により銅のみならずリンも沈殿（共沈）し、ろ過分離によりリンの回

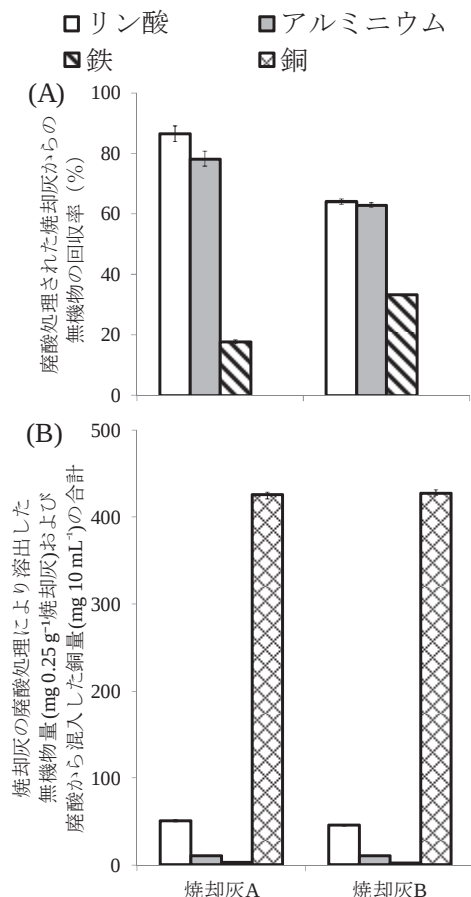


図-6 廃酸を用いた酸抽出により (A) 下水汚泥焼却灰から抽出されたリン、アルミニウム、鉄の回収率および (B) 下水汚泥焼却灰からの抽出されたリン、アルミニウム、鉄、および廃酸から持ち込まれた銅の量（工藤ら、土肥誌 第83巻 第3号、2012）

※ (A) の値は熱王水可溶性画分に占める回収率として表示

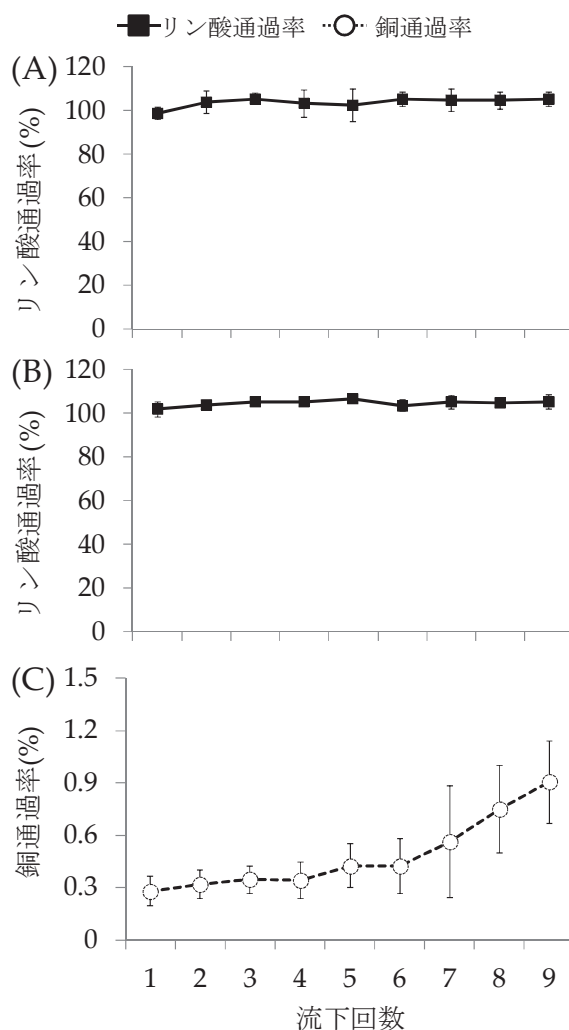


図-7 下水汚泥焼却灰から (A) 市販硫酸を用い抽出した回収リン試料液を陽イオン交換カラムに流下した通過液中のリン通過率、および、廃酸を用い抽出したリン含有試料液を陽イオン交換カラムに流下した通過液中の (B) リンおよび (C) 銅の通過率（工藤ら、土肥誌 第83巻 第3号、2012）

※陽イオン交換カラムに流下した試料液中の濃度およびカラムの通過液中の濃度から、目的元素の通過率を算出

収率が著しく低下した。よって、下水汚泥焼却灰酸処理の前処理として、廃酸に含まれる銅の予備除去を果たし、リン抽出工程に利用することが求められる。尚、銅の除去方法として電解析出法を応用し、廃酸からの銅回収に既に成功している。

このように、陽イオン交換法はリン以外の成分（金属イオンなど）のほとんどを確実に除去できることから、高い純度が求められる製品において、最終精製工程として極めて有効である。

5. まとめ

農業に限らず、リンを必要とする産業分野は幅広い。リン資材の原料となる天然資源は今後100年以内に枯渇すると言われており、将来的に未利用資源からのリン回収が必要となることが予想される。本稿で取り上げた下水汚泥焼却灰は、現代社会におけるリン元素循環の終着点の一つであり、他のリン含有廃棄物と比較してリン含有量および排出量が安定していることから、リン回収の原材料として有望である。

本稿では、廃酸を活用した酸抽出法による下水汚泥焼却灰からのリン回収の取り組みを紹介した。ここで紹介した一連の工程は、リン資源の確保、産業廃棄物の多重有効利用、および産業廃棄物の積極利用による産廃処理量低減など、リン資源確保および産廃処理という、一見すると分野の異なる複数の課題に対し、同時に解決案を提案することができる。

一方、下水汚泥焼却灰には、リン資材への混入抑制が求められる有害重金属も含まれる場合が多い。下水汚泥焼却灰からのリン回収においては、リン抽出時の有害重金属溶出を抑えるために、アルカリ抽出法が採

用されることが多い。アルカリ抽出法によるリン抽出の高効率化を果たすためには、高濃度の加熱アルカリ溶液を要する場合が多く、さらに抽出したリン含有溶液に不純物が混入した場合のリン精製手法が限られる。本稿で紹介した酸抽出法は有害重金属等の溶出抑制は困難であるが、リン抽出高効率化のために高濃度の酸の使用や加熱操作を必要とせず、リン抽出液中の不純物除去方法として陽イオン交換法への展開が容易であるなどのメリットが大きい。

このように、高効率でリンを抽出し、かつ回収リン資材への有害重金属等の混入を確実に排除するリン回収工程として、酸抽出法と陽イオン交換法を組み合わせるという発想を提案したい。これにより、資源循環および産廃有効利用の両方の円滑化に貢献できれば幸いである。

<参考文献>

- 1) 黒田章夫、滝口昇、加藤純一、大竹久夫、リン資源枯渇の危機予測とそれに対応したリン有効利用技術開発、J. Environ. Biotechnol., 4, pp 87-94, 2005.
- 2) 農林水産省生産局、肥料価格の現状等について、http://www.maff.go.jp/chushi/seisan/hiryou_koutou/pdf/hiryounogenjyou.pdf, 2008.
- 3) Smith S.R. A critical review of the bioavailability and impacts of heavy metals in municipal solid waste composts compared to sewage sludge, Environ. Int., 35, pp 142-156, 2009.
- 4) 佐藤佳之、小山田哲也、羽原俊祐、佐々木昭仁、岩手県の下水汚泥焼却灰の基礎性状およびアスファルト混合物用フィラーとしての適用性、J. MMIJ, 128, pp 519-525, 2012.

Q & A

下水汚泥溶融スラグの有効利用の現状

キーワード：スラグ、有効利用

大阪市は現在、6基の汚泥溶融炉が稼働しており、おおよそ年間1万1千トン（平成23年度）の下水汚泥溶融スラグが生産されています。今回は、本市の取り組みを交えながら説明します。

Q1 溶融スラグにはどんな種類があるのですか？

A1 スラグは、大きく2種類（金属製造工程起源スラグ、廃棄物加熱溶融起源スラグ）に分類されます。前者は、鉄鋼、ステンレス鋼および銅等の製造工程で発生したものを指します。一方、後者は、下水汚泥又はその焼却灰を溶解させたものや一般廃棄物（ごみ）の処理過程で発生した焼却灰を溶解させたものを指します。

Q2 2つのスラグの違いはなんですか？

A2 金属製造工程起源スラグは、主成分としてカルシウムやケイ素のほか、鉄、アルミニウム、マグネシウム等の金属成分を含んでおり、砂よりも比重が重く、金属鉄が多いと表面に赤さびが発生するなどが特徴です。また、製造時の石灰石の有無によって水と接触するとアルカリ性を呈する場合があるので、貯蔵には注意が必要です。

一方、廃棄物加熱溶融起源スラグは受け入れ溶融対象物の性状によって特性が異なります。下水汚泥溶融スラグの場合、ケイ素や鉄が主成分であるものの鉄成分はリン酸鉄として存在するため表面が変色しません。また、比重が砂よりも軽く、アルカリ性を呈色しないなどの特徴があります。

Q3 溶融スラグはどのようなものに有効利用されていますか？

A3 一般的には、建設資材としてコンクリート用骨材、アスファルト混合物用骨材、埋め戻し材や覆土材、およびインターロッキングブロックなどのコンクリート二次製品など、砂や石の代替品として利用されています。しかし、平成20年に某生コン業者

が、レディーミクストコンクリートのJIS規格（JIS A 5038）に適合しないスラグ入りコンクリートをJIS製品として納入、打設した物件でポップアウトが発生した事件が発生しました。本事案では、下水汚泥溶融スラグの品質やJIS A 5031（一般廃棄物、下水汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固化したコンクリート用溶融スラグ骨材）に対しての問題が指摘されたわけではありませんが、その後、風評被害からスラグの使用を中止する建設現場が増加し、コンクリート骨材としてのスラグの民間需要は落ち込みました。

現在、本市では下水道開削工事の埋め戻し材や管基礎材として、公共工事に利用しています。なお、平成24年度は年間製造量の2割程度の有効利用を見込んでいます。

Q4 溶融スラグは安全なのですか？

A4 溶融スラグは炉内で約1300℃で溶解させたもので、ダイオキシン類や農薬などの有機物は全て分解・無害化されます。重金属や有害物質はケイ素分が融けて固まったガラス質結晶体に取り込まれているため、溶出せず安定しています。本市では年4回の頻度で溶融スラグの含有量試験と溶出量試験を実施していますが、これまで土壤汚染対策法に基づく指定区域の指定に係る基準値（含有量基準）ならびに土壤の汚染に係る環境基準（溶出量基準）を超過したことはありません。

Q5 溶融スラグを有効利用する上での課題はありますか？

A5 本市は水砕冷却方式においてスラグを製造していますが、冷却固化後の破碎が不十分の場合や、出さい口に溶融物が溜まるとスラグが塊状になって排出されるため、建設資材として有効利用出来ないような大きな粒や破片がスラグ製品中に混入することがあります。

溶融スラグを有効利用する上で最も重要なのは、スラグ品質の安定化です。関係担当者においては、溶融

スラグを廃棄物処理工程の副産物として捉えるのではなく、リサイクル可能な資源を製造するという視点を持つことが重要と思われます。

Q6 溶融スラグを有効利用する上で、どのようなことが必要ですか？

A6 主に以下の3点について留意する必要があります。

- 1) 製造された溶融スラグでも有効利用は可能ですが、建設資材として汎用的に利用するためには、磨砕、ふるい分け及び粒度調整や混合などの後処理を施すことが必要です。
- 2) 一般的な建設資材と同様に、製造業者が容易にスラグを入手出来ることも重要です。特に公共工事で使用する場合は、スラグの需要が時期によって大きく変動するため、年間発生量をカバーするなど、ある程度の需要に対応できるストックヤードの確保が必要です。
- 3) 溶融スラグを製品として出荷するには品質検査が必要です。特に溶融を受け入れる物の性状や運転条件が変更される場合には、別ロットとして管理する必要があります。十分なストックヤードが確保できず、スラグの出荷前に検査結果を確認できない場合は、定期的な試験頻度を設定することが必要です。

Q7 溶融スラグを有効利用した場合のコストはどうか？

A7 本市の有効利用における考え方について説明いたします。

現在、埋め戻し材については、溶融スラグを加工業者に販売し溶融スラグ混合改良土として本市工事の請負業者が購入しています。改良土に溶融スラグを混合させる手間や運搬費が計上されるため、再利用品は流通している改良土よりかなり割高になっていますが、この工事費の増加分は溶融スラグ処分費と比較してはるかに低額なため、下水道事業全体としては事業費削減に繋がると考えております。

また、管基礎材については、溶融スラグを単独で使用するため販売は行わず、工事の際に支給する扱いとしています。この場合、従来購入していた砂（管基礎材）の材料費が不要になり、工事費は縮減できるものと考えております。

Q8 溶融スラグは産業廃棄物なのですか？

A8 平成17年3月25日付 環境省通知によると、「再生利用するために有償でスラグを引き渡す際、販売側が輸送費を負担し、輸送費が売却代金を上回る場合は産業廃棄物の収集運搬に該当する。ただし、加工業者がスラグを購入し、スラグの占有者となった時点以降については、廃棄物に該当しない」としています。

廃棄物か否かの判断については、「再生利用をするために有償で譲り受ける者による当該再生利用が製造事業として確立・継続しており、売却実績がある製品の原材料の一部として利用するものであること」としており、スラグを原料とした建設資材については、製品としての販売実績が必要になります。

そのため、販売実績がない場合、溶融スラグは産業廃棄物として見なされるため、事業場外で保管する際は、「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」における届出が必要となります。

本市においては、溶融スラグ混合改良土をグリーン購入法に基づく「大阪市グリーン調達方針」で定めた、特定調達品目に選定しており、公共工事において建設資材としての利用促進を図っています。

なお、下水処理場など現地引き渡しでスラグを販売する場合、その運搬中は産業廃棄物には該当しません。しかし、工事材料としてスラグを支給する場合、使用する上では産業廃棄物には該当しませんが、工事現場まで請負業者が輸送する際は産業廃棄物に該当するので、注意が必要です。

あとがき

本市では現在、アスファルト合材、インターロッキングブロック骨材や敷砂に使用できるよう道路管理者と連携・協議し、検討を進めております。

導入に関しては製造コストが課題になると予想されますが、溶融スラグを下水道工事の材料だけでなく、道路資材へ展開することで、道路管理者や他事業者（ガス、水道など）においても利用範囲が拡大し、溶融スラグのさらなる有効利用が図れるものと期待しています。

（大阪市建設局下水道河川部水環境課 西本裕二）

現場からの

声

広島市の下水汚泥 燃料化事業について

キーワード：低温炭化、燃料化、地球温暖化対策

1. はじめに

本市では、水と緑の豊かな住みよい都市「広島」を次世代に引き継いでいくため、災害に強いまちづくりと快適な生活環境の整備を推進するとともに、持続可能な循環型社会の構築に向けて、下水道資源の有効活用に取り組んでいる。

今回、下水汚泥を低温炭化し、火力発電所の燃料として有効利用する事例として、平成24年4月より運営開始した下水汚泥燃料化事業（以下「燃料化事業」という。）について、これまでの経緯と現状を報告する。

2. 事業の導入背景

本市の下水汚泥の処理は、肥料化、セメント化及び焼却埋立処分の3通りの方法で行ってきた。

下水汚泥の燃料化事業の導入検討を開始した平成19年度の下水汚泥量は、脱水汚泥ベースで約58,000 t/年発生したが、このうち、約31,000 t/年をコンポスト化及びセメント化により資源化し、残りの約27,000 t/年は焼却埋立処分を行った。

下水汚泥の処分には、将来に亘って安全かつ安定的な方法が求められるが、本市においては次の課題を有していた。

- (1) 焼却埋立処分は温室効果ガスの面から環境への負荷が大きく、また、埋立処分場の確保も困難である。
- (2) 焼却施設は耐用年数を大幅に超過し、老朽化しているため、更新するには多額の費用が必要となる。

広島市下水道局 管理部 西部水資源再生センター

管理担当課長 松谷 朗

- (3) 肥料化及びセメント化については、需要の面で将来的に安定した処分ができるか不透明である。

これらの課題への対応策として、焼却埋立処分に替えて、下水汚泥の有効利用が可能になる燃料化事業を新たに実施することとした。

3. 事業の概要

燃料化事業は、西部水資源再生センターで発生する脱水汚泥から燃料化物を製造し、燃料として売却するもので、施設の設計・施工及び運営を一括委託し、20年間にわたって安定的な汚泥処理を行うものであり、契約事業者は製造した燃料化物を全量買い取り、発電用の燃料に利用するもので、事業の概要は以下のとおりである。（図－1 参照）

- (1) 事業内容
燃料化施設の設計、施工及び運営業務
- (2) 事業方式
D B O方式
(Design：設計、Build：施工、Operate：運営)
- (3) 事業期間
ア 設計・施工
平成21年3月27日～平成24年3月31日
イ 運営
平成24年4月1日～平成44年3月31日

(4) 事業費

約92億円

(5) 契約事業者

電発・月島・メタウォーター・月島メンテ広島
市下水汚泥燃料化事業共同企業体
(運営開始後は、契約に係る権利義務を(株)パイ
オコール広島西部に承継)

(6) 脱水汚泥処理量

約28,000 t / 年 (運営期間中の年平均量)

(7) 施設規模

50 t / 日 × 2 系列

(8) 施設配置

施設は独立した2系列の配置とし、中央通路
(メンテナンススペース)を設けて、維持管理や
設備更新に配慮している。(図-2 参照)

4. システムの概要

本市は、平成20年度に「電発・月島・メタウォーター・月島メンテ広島市下水汚泥燃料化事業共同企業体」と契約を締結し、脱水汚泥から燃料化物を製造するための技術として低温炭化システムを採用した。

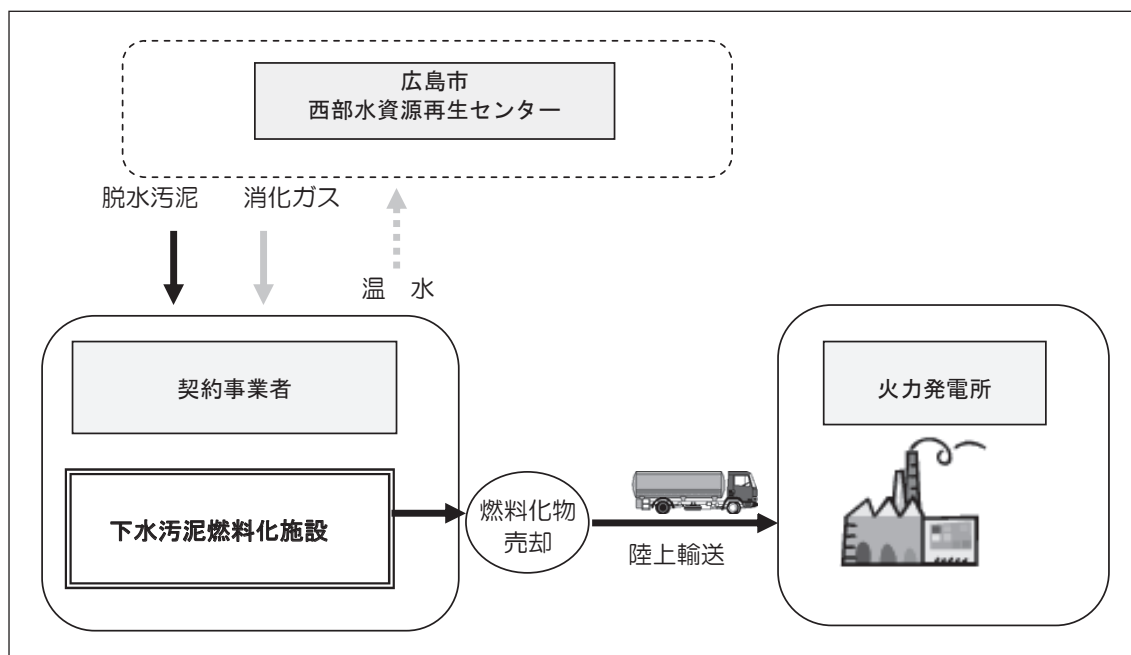


図-1 燃料化事業の概要

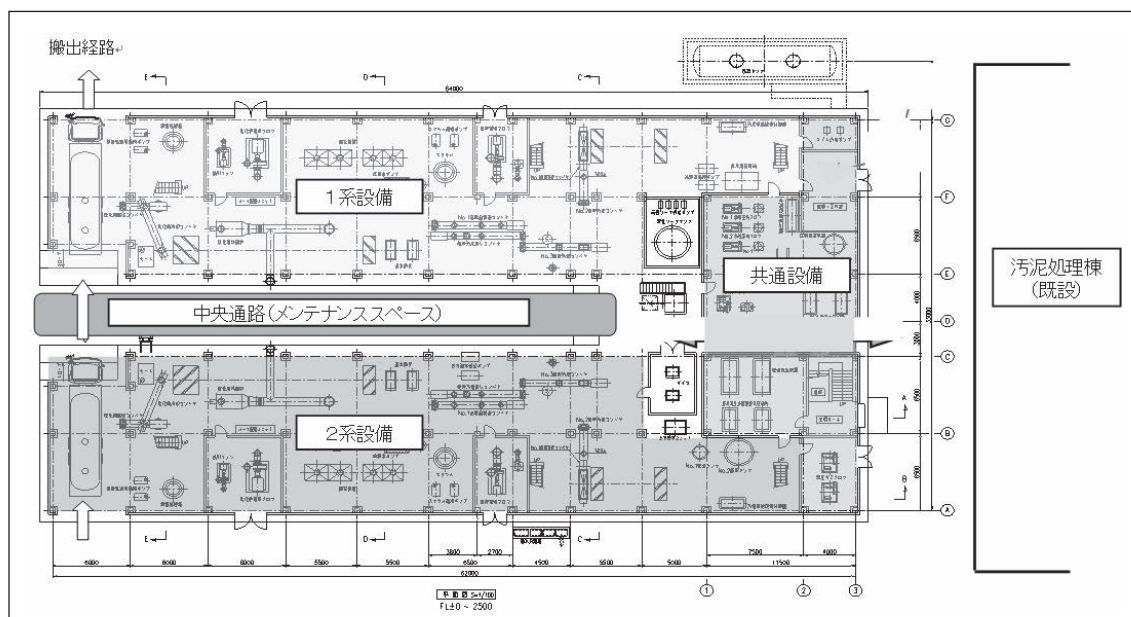


図-2 施設配置

この低温炭化システムは、平成16年度より電源開発(株)、月島機械(株)、メタウォーター(株)の三者が共同で開発を進め、日本下水道事業団との共同研究を経て、平成19年度に技術評価委員会による評価が完了したものである。

下水汚泥を石炭火力発電所の燃料として有効利用するためには、「高発熱量」、「低自然発火性」、「低臭気」の3要素を満足する必要があるが、低温炭化システム(図-3参照)は、250～350℃の低温域で炭化を行うことで、炭化物の「高発熱量」化を図るとともに、炭化装置内への窒素添加や炭化前造粒により、「低臭気」及び「低自然発火性」を実現できる燃料としての適性を有している。

5. 温室効果ガスの削減効果

下水汚泥はカーボンニュートラルなバイオマス資源であり、燃焼に伴って発生する二酸化炭素(CO₂)は温室効果ガスの発生量としてカウントされない。

一方で、下水汚泥は他の廃棄物と比較して窒素分を多く含んでおり、二酸化炭素の310倍の温室効果がある一酸化二窒素(N₂O)を燃焼時に多く発生するため、地球温暖化に与える影響は大きい。

しかし、低温炭化システムは下水汚泥に含まれる窒素分が排ガスへ移行する比率が低いことが確認されており、低温炭化におけるN₂O排出量は、焼却処理と比べ、大幅に低減されている。

また、燃料化施設の熱源として西部水資源センター

で発生する消化ガスを活用することで、温室効果ガス排出量はCO₂換算で約8,700t-CO₂/年の削減となる見込みであり、その削減量は本市の下水道事業における排出量の約12%に相当する。

さらに、燃料化物の利用先である石炭火力発電所でも約6,400t-CO₂/年の削減を見込んでおり、合計で約15,100t-CO₂/年の削減効果となる。

6. 施設の稼働状況

本年4月より運営を開始し、9月末現在で脱水汚泥を約14,000トン処理し、炭化燃料を約2,300トン売却しており、処理は順調に行われている。

また、熱利用にあたっては、西部水資源再生センターで発生した消化ガスを燃料化施設へ供給する一方で、燃料化施設より熱回収した温水を消化タンクの加温に利用し、効率化を図っている。

消化ガスの使用割合は、燃料化施設が約50%、消化槽加温ボイラーが約30%、消化ガス発電が約20%となっている。

7. おわりに

本市では燃料化事業の導入により、下水汚泥の100%有効利用と温室効果ガスの削減を図っている。

今後、下水汚泥燃料化事業の安全かつ安定的な事業展開を進め、循環型社会の構築及び地球温暖化対策に貢献したいと考えている。

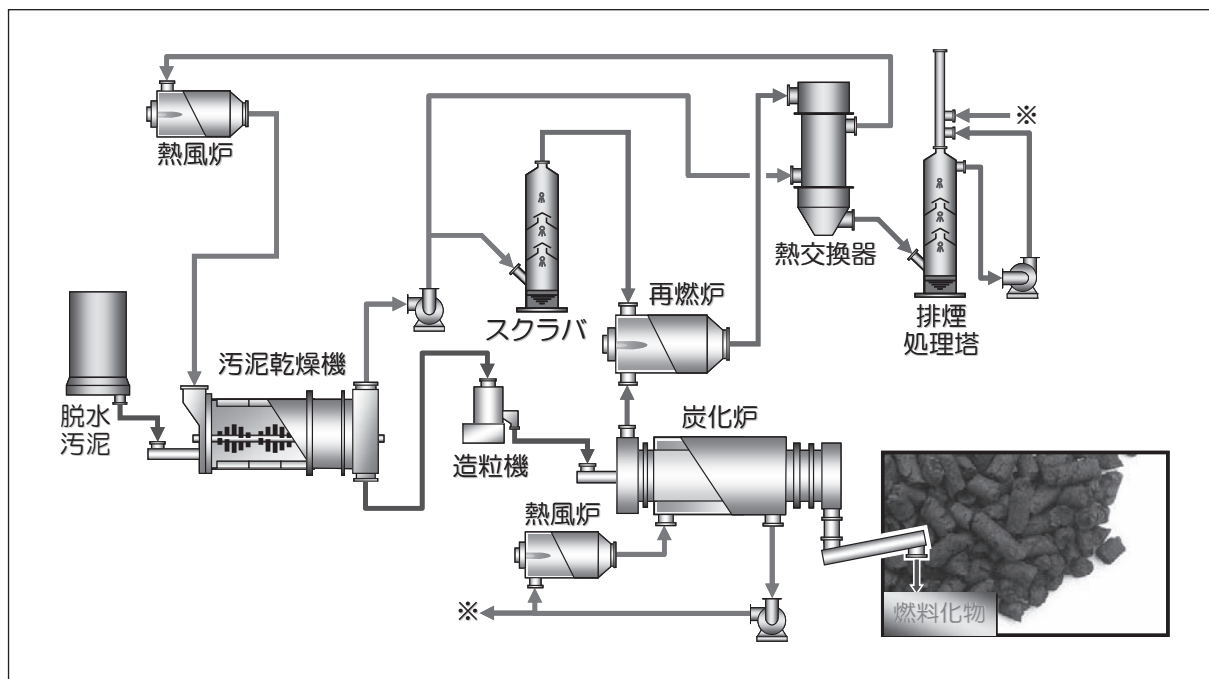


図-3 低温炭化システムフロー

文献紹介

高温嫌気性消化による
下水汚泥中の PCB と重金属の形態の変化

Change of PCBs and forms of heavy metals in
sewage sludge during thermophilic anaerobic
digestion

Lidia Dąbrowska and Agata Rosińska
Chemosphere, 88, 168–173 (2012)

下水汚泥中の PCB を低減するための手段の一つとして、嫌気性消化が考えられる。現在用いられている嫌気性消化の多くは中温の消化であり、汚泥の衛生面からは不十分な温度である。高温の嫌気性消化を行えば、汚泥の安定のみならず、衛生面でも効果が大きい。しかしながら、高温消化した際の汚泥中の PCB 類の変化や、重金属の形態変化についての情報があまり得られていない。そこで本論文の著者らは、高温で汚泥を消化したときの PCB 類の定性的、定量的変化と、Zn、Cu、Ni、Pb、Cd、Cr 濃度および形態の変化について調べた。

試験には下水処理場の初沈汚泥と余剰汚泥の混合物を用いた。採取した汚泥を乾燥し、3 mm のふるいを通した後、よく混和して均一化した。高温嫌気性消化は、1000 ml の反応槽内で行った。反応槽の温度は 55 °C、期間は 14 日間とした。消化前の汚泥と、消化後 3、7、10、14 日目に取り出した汚泥を分析に供試し、全固形分、強熱減量、全有機炭素 (TOC)、アルカリ分、揮発性脂肪酸 (VFA) などを測定した。汚泥からの PCB の抽出はヘキサンで行い、カラムクロマト (C18 カラム) で精製した後、GC-MS (DB-5 カラム) で定量した。測定対象は、PCB 28、PCB 52、PCB 101、PCB 118、PCB 138、PCB 153、PCB 180 とした。汚泥中の Zn、Cu、Ni、Pb、Cd、Cr 全量は、汚泥を王水分解した後、原子吸光法で定量した。精度管理には認証標準物質 (CRM031-040、下水汚泥) を利用した。重金属の形態分析は、逐次抽出法 (BCR 法) で行った。逐次抽出で得られた各画分の総和と王水分解—原子吸光法で求めた全量とを比較し、整合性を確認した。

汚泥の TOC は、消化前が 653 mg/L であったが、消化 3 日目に 952 mg/L まで上昇し、その後は漸減して消化 14 日目には 866 mg/L になった。アルカリ分 (炭酸カルシウム換算) は消化により上昇し、消化前の 2000 mg/L から消化 14 日目には 4050 mg/L になった。

全固形分 (消化前 26 g/L) と強熱減量 (消化前 18 g/L) は消化が進むにつれて減少し、14 日目にはそれぞれ 18.8 g/L、10.8 g/L となった。VFA (酢酸換算、消化前 643 mg/L) は消化直後に急増したが、消化 14 日目には 317 mg/L まで減少した。

測定した 7 種の PCB 同族体の合計量は、消化前が 31 µg/kg で、塩素数の少ない PCB 28 (7.8 µg/kg) と PCB 52 (4.6 µg/kg) の存在比率が高かった。消化 3 日目は消化前とほとんど変わらなかったが、PCB 153 のみ 10 分の 1 以下に減少した。消化 10 日目になると、塩素数の少ないもの (LCB、塩素数 4 個以下の PCB 28 と PCB 52) の割合が増え、塩素数の多いもの (HCB、塩素数 5 個以上の PCB 101、PCB 118、PCB 138、PCB 153、PCB 180) の割合が減少した。消化前と消化後 7 日目までは、LCB : HCB は 4 : 6 程度の比率であったのに対し、消化後 10 日目には 7 : 3、14 日目は 6 : 4 程度の比率になった。また、消化 14 日目においても 7 種の PCB 同族体は存在したが、合計量は 16.4 µg/kg まで減少した。すなわち、高温嫌気性消化により汚泥中の PCB が減少し、塩素数の多い HCB の顕著な減少傾向が示唆された。

14 日間の消化により、汚泥の液相中の Zn 濃度は 0.16 mg/L から 0.57 mg/L に、Cu 濃度は 0.05 mg/L から 0.10 mg/L に増加し、Cr 濃度は 0.09 mg/L から 0.06 mg/L に減少した。Ni、Pb、Cd はそれぞれ 0.10 mg/L、0.04 mg/L、0.01 mg/L 程度であった。逐次抽出による汚泥中の形態分析によると、どの重金属においても有機物および硫化物と結合している形態の割合が高い傾向にあった。交換性画分の重金属濃度は、消化の前後でほとんど変化せず、消化は重金属の易動性にあまり影響しないことが示された。消化後の汚泥において、全濃度に対する交換性画分の割合は、Zn、Cu、Pb、Cd、Cr それぞれ、12.6、0.3、7.5、8.5、0.1 % であったが、Ni は 36 % と高い傾向にあった。最も不活性な残渣画分の割合は、Pb が 46 % で最も高く、Cr が 10 %、Zn、Cu、Cd、Ni は 6 % 未満であった。

以上の結果より本論文の著者らは、汚泥の高温消化により HCB が LCB に変換されて PCB 総量が減少すると推察している。また、重金属に関しても易動性の画分に変化がないことから、高温消化は重金属の安定化に寄与していると結論している。

(農業環境技術研究所 川崎 晃)

文献紹介

米国シカゴにおけるエネルギー自給に向けた消化ガス利活用総合計画の策定

Development of a comprehensive plan for utilization of digester gas moves towards energy self-sufficiency in Chicago, USA.

Thomas E. Kunetz, Jarek Fink-Finowicki, Steve McGowan and Eric Auerbach.

Water Science & Technology Volume 66 Number 1, 2012.

大シカゴ都市水再生公社 (MWRD) の Stickney 処理場 (SWRP) は処理水量 2,800 千 m^3 /日、約 27 km 北に位置する北部処理場 (処理水量 950 千 m^3 /日) の生汚泥及び余剰汚泥を受け入れ、汚泥は世界最大級の嫌気性消化槽 (汚泥処理量約 390 乾燥 t/日、ガス発生量 96 千 m^3 /日) で処理する。発生バイオガスは消化槽加温及び建物の冷暖房に利用するが、夏季は需要が少なく余剰ガスは燃焼廃棄する。SWRP ではインホフタンクを利用して、生汚泥中の易分解性有機物が減少し消化槽投入汚泥の VS は 55-65% と低いことから、インホフ槽の最初沈澱池への更新及び重力濃縮槽設置等のプロセス改善プロジェクトを実施中である。将来の施設改造および負荷増大を考慮して開発したガス発生量予測モデルにより、変動項目に流入状況、最初沈澱池の固形物回収 (50%)、嫌気性消化槽の有機物減少 (VSR=45%)、バイオガス発生量 (1.0 m^3 /kg VSR) を用い、検討年次 2040 年のガス発生量を現在の約 2 倍 (190 千 m^3 /日、熱的価値 49 MW 相当) と予測した。

SWRP の消費エネルギーの把握はバイオガス有効システムの適切規模や目的決定に重要である。エネルギー利用形態及び需要理解のため、エネルギーバランスを調査した。直近 3 か年の運転データを用い、SWRP のオンサイト発電設備導入の最大規模を 32 MW/日と想定した。熱需要は消化槽加温及び冷暖房用で冬季 35 MW/日、夏季 16 MW/日、年平均 26 MW/日であった。システム改善等により消化槽投入汚泥量は約 25% 増加し、2040 年次の年平均の消化槽加温熱需要を 9.5 MW/日、同建物冷暖房は 16.4 MW/日と想定した。

熱電供給 (CHP) システムの評価には、季節変動を含む施設の熱需要や熱供給形態の理解が重要である。季節変動、熱回収温度、利用手法、天然ガス・電気料金の多様性を考慮したバイオガス利用可能性のシミュレーションモデルを開発した。バイオガス利用として消化槽加温及び建物冷暖房用既設ボイラー、場内の汚泥乾燥施設 (ペレット製造)、CHP システムの 3 つの

主プロセスを評価した。第三者へのバイオガス売却は含めなかった。ガス精製技術として硫化水素除去用生物酸化、シロキサン除去用の冷却及び吸着材を加えた。モデルでは各プロセスへのバイオガスの優先配分順位に多様性を持たせた。シナリオにより天然ガス活用やガス精製技術の有無、汚泥乾燥施設及び CHP 施設からの熱回収を設定し、熱需要の季節変動を考慮して夏季及び冬季条件でモデル計算した。

経済指標として維持管理費、資本費 (耐用年数 20 年、利率 6%)、天然ガス購入費、発電によるコスト削減を含む年価を用いた。環境指標は GHG 発生量を用い、発電所での発電量削減や処理場の天然ガス燃焼減による削減、及びガス精製装置の運転等による電力や天然ガス使用増による増加を見込んだ。また未利用エネルギーは、余剰ガス燃焼や汚泥乾燥施設や CHP からの未回収熱等、シナリオで利用されなかったエネルギーとした。

電力のエネルギー単価が他よりも高いため、CHP にバイオガスを優先的に供給して発電量を最大とし、熱を回収するシナリオが、CHP 及びガス精製装置の建設および維持管理費を加えても経済的に有利な傾向となった。CHP システム間では、スチームタービンはコスト削減効果が高く、レシプロエンジンはバイオガスの発電効率が高く GHG 削減効果が高かった。

電気及び天然ガスの価格設定はモデル検証結果に重要な影響を与える。この分析では電力料金 0.08 US\$/kwh 及びガス料金 8 US\$/mmBtu を用いたが、料金変動の影響の感度分析の結果、CHP システムにバイオガス供給を優先したシナリオで天然ガスよりも電力価格の変動に感度が高く、またスチームタービンよりレシプロエンジンの感度が高かった。天然ガス価格を一定とし、電力料金 0.07-0.08 US\$/kwh ではスチームタービンが最も経済的であったが料金上昇によりエンジンの経済性が勝った。

シナリオの最終選択の一助としてトリプルボトムライン分析を用いた。評価項目として経済面 (重み 50、項目: コスト低減総額及び感度)、環境面 (重み 30、項目: GHG 削減量及び大気汚染)、及び社会面 (重み 20、項目: 操作性、保全性及び実現可能性) とし、各シナリオを得点付した。コスト低減総額、感度及び GHG 削減量にはエネルギーフローモデルの結果を、大気汚染の項目には大気汚染規制物質排出量の個別分析を、社会面の項目には製造者データや施設オペレーターへのインタビュー、装置の視察等を得点付に用いた。

(日本下水道事業団 三宅 十四日)

講座

下水汚泥等の有機性廃棄物の 肥料利用とカドミウムの挙動

独立行政法人農業環境技術研究所

連携推進室長 川崎 晃

キーワード：カドミウム、可給性、安定同位体トレーサー

1. はじめに

下水汚泥は窒素、リンなどの肥料成分を含んでいるが、肥料として利用されている割合は下水汚泥全体の15%程度に留まっている。肥料利用が伸びない原因の一つは、下水汚泥の施用に伴って重金属が農地に持ち込まれることを懸念するからであろう。下水汚泥の重金属に関しては、今回の講座の1回目でも触れられているように、最近の十数年間に漸減しており、現在では、し尿汚泥とほぼ同レベルと考えられる¹⁾。このことは、下水汚泥中の重金属は人の生活に由来するものであることを示唆している。リン酸を輸入に依存しているわが国においては、下水汚泥が貴重なリン資源であることは疑う余地がなく、資源としての下水汚泥の有効活用が望まれる。

しかしながら、以下の節で紹介するように、下水汚泥などの有機性廃棄物を原料とする肥料を施用した場合、農地土壌のカドミウム (Cd) 負荷量は、収穫に

伴うCdの持ち出し量よりも多い傾向にある。一方、汚泥肥料の施用は、土壌中でCdを吸着保持する有機物や鉄・マンガン酸化物なども持ち込むため、施用土壌中でのCdの挙動は、土壌の種類や施用される汚泥等の有機物の性質によって異なると考えられる。そこで今回の講座では、下水汚泥等の有機性廃棄物に由来する肥料の施用に伴う農地土壌のカドミウム負荷に関する最近の成果を紹介するとともに、安定同位体を利用したCd測定の結果から、肥料中のCdの作物吸収と有機性廃棄物に由来する肥料の施用が土壌中のCdの形態に及ぼす影響について述べる。

2. 下水汚泥等の施用に伴う農地土壌のカドミウム負荷

有機性廃棄物に由来する肥料のCd濃度は、その主たる原料により大きく異なる。たとえば、水産系廃棄物の中には、ホタテ中腸腺のようにCd濃度が20 mg/kgに達するものもあるため、水産系廃棄物を原料の主体

とする堆肥（以下、水産系堆肥）はCd濃度が高くなりやすい。比較的最近とりまとめられたデータ²⁾と比較すると、水産系堆肥のCd濃度が最も高く、その中央値は1.7 mg/kg、次いで下水汚泥肥料が1.2 mg/kg、鶏ふん堆肥が0.7 mg/kg、豚ふん堆肥が0.4 mg/kg、牛ふん堆肥が0.2 mg/kgであった（図1）。平均的な畑土壤中のCd濃度は0.239 mg/kgである³⁾ことから、鶏ふん堆肥、下水汚泥肥料、水産系堆肥のCd濃度は土壤よりも高い傾向にあるといえる。このような有機性廃棄物を原料とする肥料を5年間連用した試験によると、Cdの持ち込み量が多い順に、水産系堆肥、下水汚泥肥料、生ゴミを原料の主体とする堆肥であり、いずれの肥料を施用した場合においても、収穫によるCdの持ち出し量を上回るCdが持ち込まれた²⁾。一方、作物可食部中のCd濃度は、有機性肥料施用の有無にかかわらず同程度で

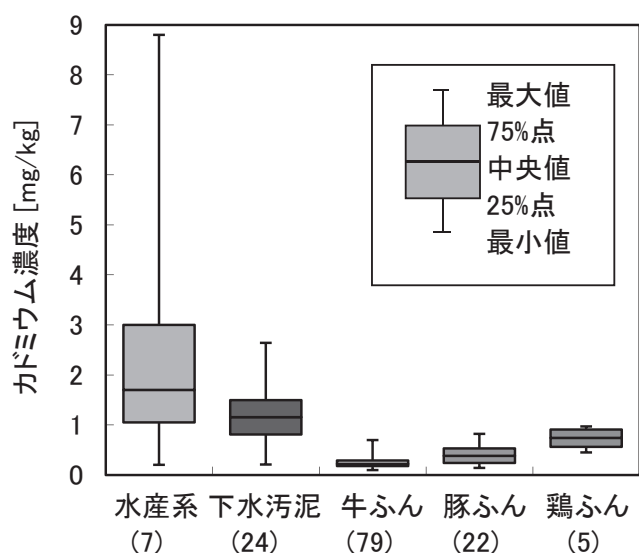


図1 有機性廃棄物を原料とする肥料中のカドミウム濃度²⁾
() 内は分析点数

あり、5年間程度の連用は、作物のCd濃度に影響しないと考えられた²⁾。

有機性廃棄物を原料とする肥料を施用し土壤の有機物含量が高まると、重金属を保持する容量が増加する。たとえば、Cd汚染土壤に汚泥肥料を施用することにより、Cdの可給性が低下するという現象が認められており、その要因は、汚泥肥料中の有機物がCdを吸着することによると考えられている⁴⁾。汚泥肥料施用土壤のCd濃度の変化をモデル化してシミュレートした結果によると、汚泥肥料施用土壤のCdの挙動に大きく影響するパラメータは、土壤のCd吸着係数、汚泥肥料のCd吸着係数と汚泥中の無機物のCd吸着係数への寄与、汚泥肥料のCd濃度であることが示されている⁵⁾。上述したように、下水汚泥肥料等を5年間程度連用しても作物のCd濃度に影響しないが、長期間にわたって利用することを考慮すると、現実想定される条件で、土壤の可給性Cd濃度に及ぼす有機性肥料の影響に関するデータを蓄積していく必要がある。

下水汚泥肥料中の重金属の形態、すなわち重金属とその周りの固相との間の結合力の強さについての情報は、作物による重金属の吸収を考える上で必要な情報である。ここでは形態別分析の一例として、Tessierら⁶⁾の連続抽出法に準拠して測定した結果を示す（図2）⁷⁾。この分析方法で得られる形態情報は、分析操作上の定義に基づく形態と位置づけられるが、土壤中では溶解しやすいかどうかの尺度になる。下水汚泥肥料ごとのばらつきが大きい、最も土壤中では溶けやすいと考えられる交換態は多いものでは30%近くに達し、土壤中では溶けない残渣は5~20%程度であった。同じ方法で調べた土壌（黒ボク土）の場合、交換態は10%未満、残渣は50%程度⁷⁾であったことから、下水汚泥肥料中のCdは、溶けやすい形態のCdを高い割合で含んでいると考えられる。

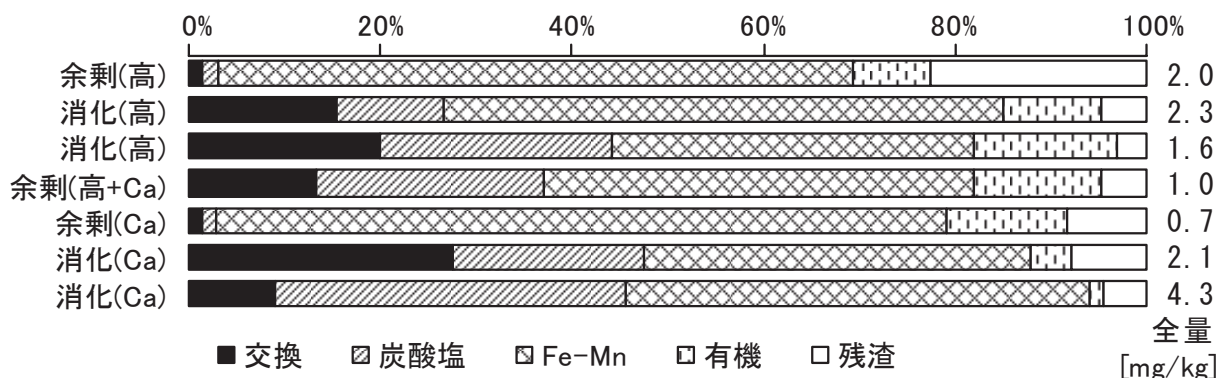


図2 下水汚泥のカドミウムの形態別存在割合⁷⁾
(高) は高分子系凝集剤、(Ca) は石灰系凝集剤を用いた汚泥。

3. 安定同位体を使った肥料中カドミウムの作物移行性評価

肥料等の施用によって持ち込まれたCdの作物移行性を評価する場合、Cdの安定同位体で標識した肥料を用いると正確に測定できる。下水汚泥肥料から少し離れるが、ここでは化成肥料中のCdを標識した試験の結果を紹介する。筆者らが試作した標識肥料は、肥料成分10-10-10の高度化成肥料に安定同位体Cdが89mg/kg含まれている。このCd濃度は通常肥料の約40倍に相当するが、土壌および作物中での挙動が追跡できるように高めに設定した。この条件で水稻を湛水栽培すると、イナワラ中のCd濃度のうち、0.22mg/kgが土壌に含まれていたCdであり、肥料に由来するCdは0.05mg/kgであった⁸⁾。玄米中では、0.06mg/kgが土壌由来、0.01mg/kgが肥料由来であった。これを1haあたりの水稻地上部の吸収量に換算すると、土壌由来が1.65g/ha、肥料由来が0.35g/haとなった。標識肥料の施用によって持ち込まれたCd量は89g/haであることから、水稻地上部は肥料中のCdの0.39%しか吸収していないことが示された⁸⁾。節水的に栽培すると、水稻地上部のCd吸収量は湛水栽培よりも顕著に増加し、土壌由来が21.6g/ha、肥料由来が2.6g/haとなり、水稻地上部は肥料中Cdの2.9%を吸収していた。標識肥料中のCd濃度が通常肥料より40倍高いことを勘案すると、通常の肥料であれば、地上部のカドミウム吸収にほとんど寄与しないと考えられた。

4. 安定同位体を使った土壌中の可給性カドミウムの評価

土壌中のCdの可給性には、土壌のCd収脱着特性の他、強度因子として土壌溶液中のCd濃度、容量因子として土壌中の可給性Cdの総量が関与している。これらを総合的に解析する手段として、Cdの同位体を使った評価法が提案されている⁹⁾。この方法が用いられはじめた時期は、土壌懸濁液にCdの放射性同位体を添加し、土壌液相の放射能を測定して同位体交換に関与する重金属量を算出していた。この同位体交換に

関与する重金属量は、土壌の固相と液相との間を自由に往来できる形態であることから、可給性Cdの総量(可給性Cdのプール)と考えることができる。Grayら¹⁰⁾はこの手法(同位体希釈法)を化学肥料施用土壌と汚泥施用土壌に適用し、同位体交換に関与するCd量とその交換速度を解析している。同位体交換速度の速いCd量(同位体添加後1分以内に交換するCd量)は、化学肥料施用土壌が全Cdの21%、汚泥施用土壌が全Cdの13%であり、両者で顕著に異なっていた。このことは、りん酸質肥料は下水汚泥よりCdの負荷量は汚泥より少ないものの、可給性の高いCdの割合が高いことを意味している。一方、潜在的可給性Cdと考えられる同位体添加後1分以降24時間以内に交換するCd量は、汚泥施用土壌が全Cdの42%であるのに対し、化学肥料施用土壌が全Cdの25%であった。この形態のCdは、土壌溶液中のCdが作物吸収あるいは溶脱等により減少した際に、それを補充する形態とみなせることから、汚泥施用土壌のCdは、可給性のポテンシャルが高いことが示唆されている。

近年の質量分析法の進歩により、放射性同位体に代わり、安定同位体を利用して同位体希釈法を実施できるようになった。そこで筆者らは、Cd濃度が低い土壌においても適用可能な同位体希釈法を確立し¹¹⁾、たい肥を連用した土壌をの可給性Cdのプールを測定した¹²⁾。土壌の可給性Cdのプールとみなせる安定同位体添加後15日目の値(E_{15d})は0.25~0.26mg/kgであり、全Cdの約半分で、0.1M塩酸可溶性Cdより多かった。また、処理区によらずほぼ同じ値を示したことから、堆肥の施用は土壌の可給性Cdのプールに影響しないと考えられた。一方、交換速度の速いCd量は処理区間差が認められ、添加後1分の値(E_1)は、対照区が0.028mg/kg、堆肥区が0.022~0.024mg/kgであった(表1)。堆肥4t区では、pH、陽イオン交換容量(CEC)、全炭素が対照区より高かったことから、pHの上昇と有機物量の増加が E_1 を低くした要因と考えられた¹²⁾。

さて、上記のたい肥連用土壌の結果について、Grayら¹⁰⁾と同様のコンパートメントによる解析を行った¹²⁾。すなわち、添加後1分以内に交換される量(E_1)、1分から1日で交換される量($E_{1d}-E_1$)、潜在的可給性では

表1 堆肥連用土壌のpH、陽イオン交換容量、全炭素と E_t 値

処理区	pH	CEC [cmol _c /kg]	全炭素 [%]	E_t 値 [mg/kg]			
				E_{15d}	E_1	$E_{1d}-E_1$	$E_{15d}-E_{1d}$
対照区	6.0	63	7.0	0.26	0.028(11.0%)	0.14 (54.0%)	0.090 (35.0%)
堆肥2t区	6.3	60	7.8	0.26	0.024 (9.2%)	0.15 (55.0%)	0.095 (35.8%)
堆肥4t区	6.5	72	8.5	0.25	0.022 (8.9%)	0.14 (54.0%)	0.093 (37.2%)

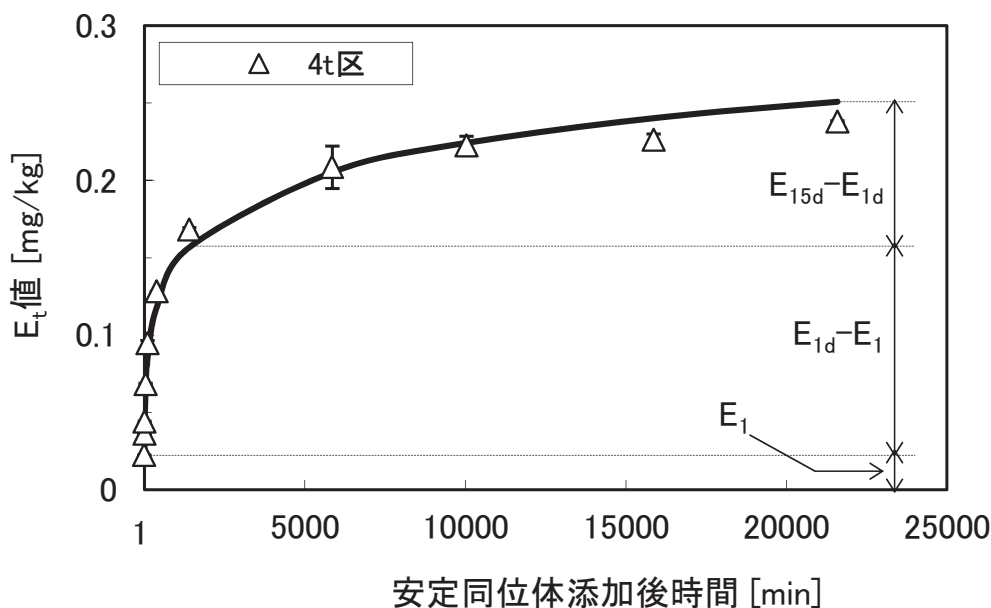


図3 E_t 値の実測値 (Δ 、堆肥4 t 区)と実測値からパラメータ計算して補間した曲線¹²⁾
右端の区分は、 E_{15d} を E_1 、 E_{1d} を境界にして3つに分けたときの区分。

あるが交換速度の非常に遅い量 ($E_{15d} - E_{1d}$) の3つに区分し、それぞれの濃度と E_{15d} に対する割合を算出した(図3、表1)。供試土壌の E_1 は0.022~0.028 mg/kg、 E_{15d} に対する E_1 の割合は8.9~11%であり、上述のとおりに堆肥区で低かった。 E_1 は土壌の固相表面から土壌溶液へ速やかに供給されるCdであり、土壌の水溶性Cdより2桁程度高い値であることから、作物のCd吸収に影響することが考えられる。 $E_{1d} - E_1$ の割合は54~55%であり、処理区間差が認められなかった。一方、 $E_{15d} - E_{1d}$ の割合は35~37.2%であり、堆肥区において高い傾向にあった。すなわち、堆肥の連用によって土壌中の有機物量が増加したことにより、 E_1 すなわち土壌溶液へ速やかに供給されるCdが減少し、より安定な状態で土壌固相に保持されることが示唆された。

5. おわりに

今回はCdに焦点を絞り、肥料等と共に農地に持ち込まれたCdの作物吸収やたい肥の施用が土壌の可給性Cdに及ぼす影響に関する成果を紹介した。しかしながら安定同位体を利用した可給性Cdの評価法は、現時点では分析できるところに限られていることから、同位体を利用して得られた結果とうまく対応する簡便な土壌診断技術の開発が求められる。また、下水汚泥をりん酸資源として捉えた場合、下水汚泥焼却灰を利用する技術が盛んに開発されており、合わせて重金属を除去する方法なども検討が加えられている。現時点では土壌診断を活用しながら下水汚泥肥料を利

用することが望ましいが、近い将来、Cd等の懸念をすることなく、下水汚泥を利用できる等になることが期待される。

謝 辞

本稿で紹介した成果の一部は、農林水産省委託プロジェクト研究「農林水産生態系における有害化学物質の総合管理技術の開発」と、日本肥料アンモニア協会の委託研究によるものです。

<参考文献>

- 1) 再生と利用編集委員会事務局 (2012)「下水汚泥の緑農地利用」講座開設にあたって、再生と利用, 36 (136), 41-44
- 2) 川崎 晃、箭田 (蕪木) 佐衣子、三島慎一郎、駒田 充生、細淵幸雄、中本 洋、乙部裕一、松本武彦、古館明洋、柿内俊輔 (2008) 有機性廃棄物の施用に伴うカドミウムの農地負荷量と作物中カドミウム濃度への影響、研究成果情報, 24: 36-37, 農業環境技術研究所
- 3) 浅見輝男・久保田正垂・南沢 究 (1988) 重金属の自然界値, 日本土壌肥科学雑誌, 59, 197-199
- 4) Shuman L. M., Dudka S. and Das K. (2002) Cadmium forms and plant availability in compost-amended soil, Commun. Soil Sci. Plant Anal., 33, 737-748
- 5) Bergkvist P. and Jarvis N. (2004) Modeling organic carbon dynamics and cadmium fate in

- long-term sludge-amended soil, *J. Environ. Qual.*, 33, 181-191
- 6) A. Tessier, P. C. G. Campbell and M. Bisson (1979) Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals, *Anal. Chem.*, 51, 844-851
- 7) 川崎 晃、木村龍介、新井重光 (2001) 廃水処理汚泥中の微量元素の存在形態、*農環研資料*, 25, 1-94
- 8) Kawasaki, A., Arao, T., Yada, S., and Oda, H. (2007) Uptake of cadmium from ^{113}Cd -labeled fertilizer by rice plants. Zhu Y. G. et al., *Biogeochemistry of trace elements: environmental protection, remediation and human health*, p.980-981. Tsinghua University Press, Beijing.
- 9) E. Gérard, G. Echevarria, T. Sterckeman and J. L. Morel (2000) Cadmium availability to three plant species varying in cadmium accumulation pattern, *J. Environ. Qual.*, 29, 1117-1123
- 10) C. W. Gray, R. G. McLaren, D. Günther and S. Sinaj (2004) An assessment of cadmium availability in cadmium-contaminated soils using isotope exchange kinetics, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 68, 1210-1217
- 11) 川崎 晃、箭田 (蕪木) 佐衣子 (2009) 安定同位体を用いて植物に吸収されうるカドミウムの最大量を評価する, *研究成果情報*, 25: 24-25, 農業環境技術研究所
- 12) 川崎 晃、箭田 (蕪木) 佐衣子、柿内俊輔 (2009) 安定同位体希釈法による堆肥連用土壤中の可給性カドミウム量の評価, *廃棄物資源循環学会第20回研究発表会講演論文集*

特 別 報 告

農産物の生産段階における カドミウムのリスク低減技術の 現状と課題（総説）

(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 生産環境研究領域

上席研究員 三 浦 憲 蔵

キーワード：カドミウム、水稻、野菜、大豆

1. はじめに

カドミウム濃度の高い食品を長年にわたり摂取すると、カドミウムが体内に蓄積され、腎機能障害を引き起こす可能性がある。富山県神通川流域では、骨軟化症を典型的な症状とするイタイイタイ病が1955年に初めて報告され、1968年に日本最初の公害病として認定された¹⁾。イタイイタイ病の原因物質は、神岡鉱山から長年月にわたり大量に排出されたカドミウムであり、これが過去において神通川流域の水田土壌を汚染し、水稻、大豆等に吸収され、また、井戸水を汚染し、住民に食物や水を介して摂取されたとされる。数十年にわたってカドミウムが体内に蓄積されると、慢性中毒により腎臓障害を生じ、次いで骨軟化症をきたし、これに栄養不足などが誘因となって中高年以上の女性に多く発症するが、低濃度のカドミウムの摂取で発症することはないと考えられている。

1970年、厚生省は食品衛生法に基づくカドミウムの規格基準を「玄米中のカドミウム濃度1.0mg/kg未満」と定め、それ以降、1.0mg/kg以上のカドミウムを含む玄米の流通・販売を禁止するとともに、農林省はカドミウム濃度0.4以上1.0mg/kg未満の玄米（カドミウム含有米）を買入れ、非食用に処理してきた²⁾。さらに、1971年以降、農用地土壌汚染防止法によっ

て、「当該農用地で生産される玄米中のカドミウム濃度が1.0mg/kg以上である地域またはそのおそれが著しい地域」は対策地域として指定され、客土工事や住宅地への転用などの対策が行われてきた³⁾。一方、食品中カドミウム濃度の国際的な基準値（上限許容値）については、1998年からコーデックス委員会（FAO/WHO 合同食品規格委員会）で検討され、2005年に小麦、野菜等の基準値案、2006年に精米（0.4mg/kg）の基準値案がそれぞれ最終採択された⁴⁾。また、大豆はカドミウムに関する主要な摂取源ではないため、基準値は必要ないとの理由から、検討が中断された。

2009年、食品安全委員会は国内の疫学調査結果に基づき、人の健康に悪影響を及ぼさないカドミウム摂取量は体重1kg当たり1週間7 μ g以下であると評価し、これを耐容週間摂取量として設定した⁵⁾。わが国において食品からのカドミウム摂取量は耐容週間摂取量の約4割に当たり、一般的な日本人におけるカドミウム摂取が健康に悪影響を及ぼす可能性は低いと考えられるが、米はカドミウム摂取量の約4割を占め、寄与率が最も高い。そこで、米について、国内の含有実態に「ALARA (As low as reasonably achievable) の原則（合理的に達成可能な範囲でできる限り低く設定するとの考え方）」を適用し、国際規格に準じて基準値を0.4mg/kgに改定することとされた。また、生産量や寄与率が低い米以外の品目については、農林水産

省を通じて関係者に引き続きカドミウム低減対策を講じるよう要請するとともに、一定期間経過後にその実施状況について報告を求め、必要に応じて規格基準の設定等について検討することとされた。

厚生労働省は2010年4月に食品衛生法に基づくカドミウムの規格基準を「玄米および精米中に0.4mg/kg以下」と改正し、2011年2月末日に施行した²⁾。また、この規格基準の改正を受け、環境省は2010年6月に農用地土壌汚染対策地域の指定要件を「玄米中のカドミウム濃度が0.4mg/kgを超える地域またはそのおそれがある地域」と改正し、即日施行した³⁾。

2. 米のカドミウム濃度低減対策技術

農用地土壌汚染防止法に基づき、都道府県知事によって指定された農用地土壌汚染対策地域では、対策計画が策定され、都道府県によって客土等の対策が実施され、玄米中のカドミウム濃度低減が図られている。農用地土壌汚染対策の進捗状況については、2009年度末でカドミウムの基準値以上検出地域6,945 haのうち、約89%で対策事業が完了していた⁶⁾。しかし、2010年度末では、農用地土壌汚染対策地域の指定要件が玄米中カドミウム濃度1.0mg/kg以上から0.4mg/kgを超える地域に改正されたことによって未指定の地域は88 ha増加し、基準値以上検出地域は7,033 haとなったため、対策進捗率は約88%とわずかに低下した⁷⁾。今後とも基準値以上検出地域は増加することが懸念され、対策が求められる。一方、1970年以降、食糧庁はカドミウム含有米を買入れて非食用に処理してきたが、2004年度から、(社)全国米麦改良協会が米流通安心確保対策事業によりカドミウム含有米を買入れてきた²⁾。しかし、この事業は食品衛生法に基づく規格基準改正の施行(2011年2月末日)をもって廃止された。したがって、都道府県等が各地域の実態に応じて低減対策を指導し、推進することが今後ますます重要となることから、農林水産省は、農家に営農指導する立場にある者を対象として、「コメ中のカドミウム濃度低減のための実施指針」⁸⁾を作成した。ここでは、この指針を参考として、水稻のカドミウム低減対策技術の主要なものについて特徴を述べる。

(1) 客土

客土はカドミウムで汚染された農地に非汚染土で盛り土等を行うことによって土壌中のカドミウム濃度を低下させる対策であり、一般には、汚染土の上に非汚染土を上乗せする工法が行われてきた(図-1)。

客土は玄米カドミウム濃度が1.0mg/kg以上となる水田での対策としてこれまで実施されてきた。水稻の

根の大部分は地表から20cm以内に存在するため、客土の厚さを20cm以上とすれば、汚染土が検出されることはないが、実際の工事では厚さ25~30cmを標準としている。客土の厚さ25~30cmは10a当たり250~300トンの土壌量に相当する。客土に伴い、水路、農道等の整備も必要となるため、コストは10a当たり500万円程度と高い。また、粘土を適量を含む客土材を多量に確保することは容易ではないこと、肥沃度の低い山土を客土材とするため、施工に伴う地力低下、客土材の多量採取に伴う環境破壊などの問題がある。そのため、今後、やむを得ない場合を除き、客土以外の対策を実施することが望ましい。

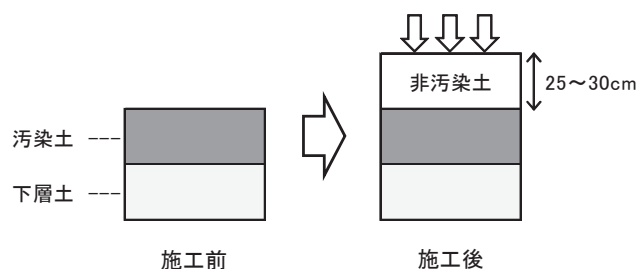


図-1 客土施工のイメージ

(2) 湛水管理

湛水管理は出穂期の前後3週間にわたり水田を湛水状態に保ち(図-2)、還元状態として、土壌中のカドミウムを水に溶解しにくい化学的状态に変化させ、水稻が根からカドミウムを吸収することを抑制する対策である。湛水管理を実施すれば、玄米中のカドミウム濃度を60~90%程度引き下げることが可能である。

湛水管理は玄米カドミウム濃度が0.4~1.0mg/kgとなる水田での対策であり、地域によっては用水費等が必要となるが、低コストで実施できる。湛水管理の実施に当たっては、必要な用水量を確保することが重要であるが、農業用水の不足や水田の減水深が大きいことなどの理由から、出穂期の前後の期間に湛水状態が保たれない場合、玄米中のカドミウム濃度が上昇する。湛水管理によるカドミウム濃度の低減効果が得られない場合または湛水状態の維持が困難な場合、植物浄化または客土を実施することが必要である。

(3) 植物浄化

植物浄化とは、カドミウム吸収能が高い植物(浄化植物)を栽培し、土壌中のカドミウムを吸収した浄化植物を収穫した後、カドミウムを大気等の環境中に拡散させずに回収可能な施設で焼却処理することにより、農地を浄化する対策である。現在、カドミウム吸収量が大きい稲品種である「長香穀」、「IR-8」のいず

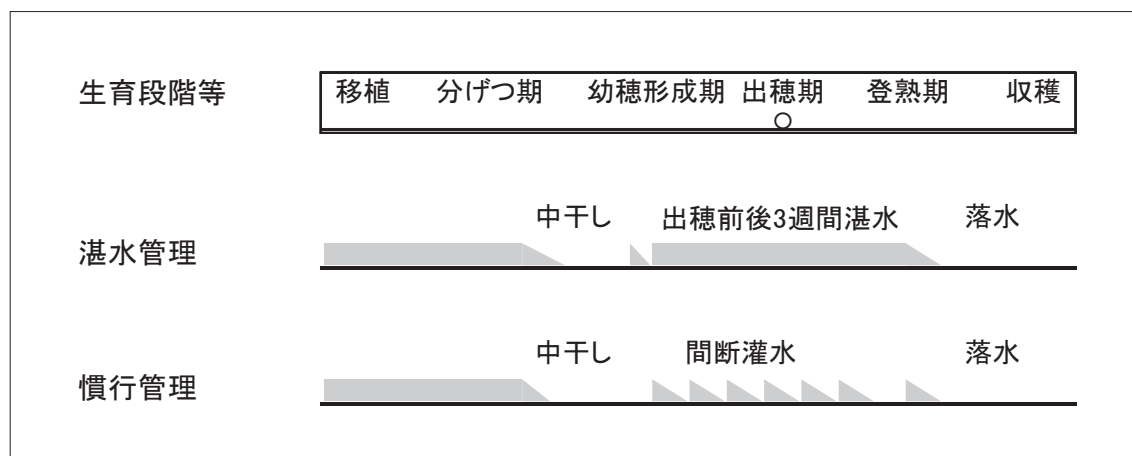


図-2 水田における湛水管理と慣行管理の比較

れかを用いた技術体系が存在する。

植物浄化では、適切に栽培管理を行えば、1回の作付で土壤中のカドミウム濃度を10%程度低下させることが可能であり、原則として3カ年にわたって実施する。焼却処理を含む費用は20～30万円/年であり、客土と比べて低コストである。しかし、浄化植物の生育不良や農地の水分含量が低い状態を維持できない等の場合、浄化植物のカドミウム吸収量が低下し、土壤中のカドミウム濃度が十分に低下しない可能性があるため、カドミウム吸収量を高める栽培管理を徹底する必要がある。また、土壤中のカドミウム濃度が低下しにくい原因が不明あるいは原因は明確でも改善が困難な場合、植物浄化を中止し、客土を実施する必要がある。さらに、植物浄化を行った水田で食用品種を栽培し、玄米中のカドミウム濃度が基準値を超えるような場合、コストを勘案して、植物浄化期間の延長、植物浄化の中止（客土）のいずれかを選択する。

3. 米以外のカドミウム濃度低減対策技術

食品中のカドミウムの規格基準の一部改正についての審議において、米以外の規格基準の設定は見送りとなったが、カドミウム濃度低減対策を引き続き講じることとされている⁵⁾。転作作物として水田で生産される大豆、麦、野菜等については、植物浄化等の対策を推進し、また、畑で生産される大豆、麦、野菜等については、対策が必要な地域の絞り込みを行うとともに、カドミウム低吸収性品種・品目への転換や土壌改良資材（アルカリ資材等）の施用等の対策を推進し、併せて、植物浄化技術の畑への適用や新たな低吸収性品種の開発等の対策の実用化に向けた研究開発を進めることとされている。

こうしたことを踏まえ、東北農業研究センターで

は、野菜等のカドミウム濃度低減のための個別技術の開発と技術の体系化に取り組んでいる。ここでは、その取り組みの一端について紹介する。

(1) 野菜等の可食部カドミウム濃度の推定

土壤中のカドミウム濃度から野菜等の可食部カドミウム濃度を予測することができれば、それに基づいて対策の要否を判定することができる。野菜等の可食部カドミウム濃度を推定するため、これまでに多くの土壌抽出法が提案されているが、その中から最適な土壌抽出法を選定するとともに、現地圃場における適用性を検証することが必要である。

大豆については、ポット栽培試験における子実カドミウム濃度と各種土壌抽出法によるカドミウム濃度との関係を比較検討し、子実カドミウム濃度の推定に利用可能な抽出法を明らかにした⁹⁾。すなわち、大豆の成熟期の土壌試料を用いて9種の土壌抽出法を比較したところ、塩化カルシウム抽出法によるカドミウム濃度と子実カドミウム濃度との相関係数はいずれの土壌群でも比較的高かったが、他の抽出法における相関係数は土壌群によって異なった。また、塩化カルシウム抽出法は、中性塩による抽出法の中で抽出率が比較的高く、抽出液中のカドミウム濃度が高いため、分析誤差が小さいと考えられた。したがって、塩化カルシウム抽出法は大豆子実カドミウム濃度の推定に適すると判断したが、今後、異なる品種や現地圃場での適用性について検証を行うことが必要である。

野菜（エダマメ、チンゲンサイ、レタス、ニンジン、キャベツ、ハクサイ、ブロッコリー）については、ポット栽培試験における各品目の可食部カドミウム濃度と各種土壌抽出法によるカドミウム濃度の関係について検討し、選定した土壌抽出法の現地圃場試験における適用性を検証した¹⁰⁾。すなわち、ポット栽培試験

の収穫後の土壌試料を用いて9種の土壌抽出法の正確度と精度を評価したところ、野菜の可食部カドミウム濃度予測に適した抽出法として塩化カルシウム抽出法が選択された。また、現地圃場試験の栽培前土壌を用いた塩化カルシウム抽出法による予測値は、その土壌pHを収穫時まで維持した場合の可食部カドミウム濃度とみなすことができ、リスク低減対策に活用できる可能性を示した。

以上より、塩化カルシウム抽出法を用いれば、作付前の土壌を供試して、大豆および野菜の可食部カドミウム濃度を適切に推定できると考えられる。今後、現地圃場における検証を進めて、多くのデータを収集し、塩化カルシウム抽出法による正確な評価を行うことが必要である。

(2) 野菜のカドミウム吸収における品目間差異

野菜可食部カドミウム濃度の低減対策として、カドミウム低吸収性品種・品目への転換、アルカリ資材施用による土壌pH上昇、植物浄化等が想定される。しかし、これらの対策技術の開発には、各品目における可食部カドミウム濃度に対する土壌pHおよび土壌中カドミウム濃度の影響に関する基礎的な情報が必要となる。そこで、エダマメ、チンゲンサイ、レタス、ニンジン、キャベツ、ハクサイ、ブロッコリーを対象として、カドミウム濃度が異なる土壌を用い、目標pHを2～3段階に設定してポット栽培試験を行った¹¹⁾。その結果、日本の畑土壌の平均的条件(土壌pH6.1、土壌カドミウム濃度0.21 mg/kg)における可食部カドミウム濃度は、高い方から、ニンジン、チンゲンサイ、エダマメ、レタス、ハクサイ、ブロッコリー、キャベツとなった。また、全品目の可食部カドミウム濃度に対する土壌中カドミウム濃度と土壌pHは、それぞれ正と負の影響があることが認められた。さらに、土壌中カドミウム濃度が1.9から0.5 mg/kgの低下により、ニンジン、

レタス、キャベツの可食部カドミウム濃度は約7割、ブロッコリーは約6割、エダマメ、チンゲンサイ、ハクサイは約5割の低減が予測され、土壌pH5.5から6.5の上昇により、キャベツの可食部カドミウム濃度は約8割、エダマメ、ブロッコリーは約6割、ハクサイ、レタスは約5割、チンゲンサイは約4割、ニンジンは約3割の低減が予測された。したがって、例えば、ニンジン、レタス、キャベツについては、土壌中カドミウム濃度の低下による可食部カドミウム濃度低減における品目間差異は小さいが、土壌pHの上昇による可食部カドミウム濃度低減における品目間差異は大きいことが認められた(図-3)。

今後、他品目についてこうしたデータを蓄積するとともに、各品目の特徴に基づき、低吸収性品目への転換対策、アルカリ資材施用による吸収抑制対策、植物浄化対策等を適切に講じることが必要である。

(3) 土壌pH上昇による野菜等のカドミウム吸収抑制

アルカリ資材を施用して土壌pHを上げれば、土壌へのカドミウム吸着量が増加し、土壌溶液中のカドミウム濃度が低下して、野菜等のカドミウム吸収を抑制できる可能性がある。しかし、野菜の場合、品目・品種が多数存在し、さらに作型や生育期間は多様であるため、アルカリ資材施用による野菜のカドミウム吸収抑制に関する知見は限られており、対策技術は確立していない。また、大豆の場合、アルカリ資材を用いた土壌pH矯正によってカドミウム吸収が抑制されることが報告され¹²⁾、アルカリ資材施用の有効性が示された。一方、水田転換畑など土壌pHが低い場合、土壌pHを上昇させるために多量のアルカリ資材が必要となり、生産コストが高まる。そこで、施用量を削減してもカドミウム吸収を抑制できる技術の開発が必要

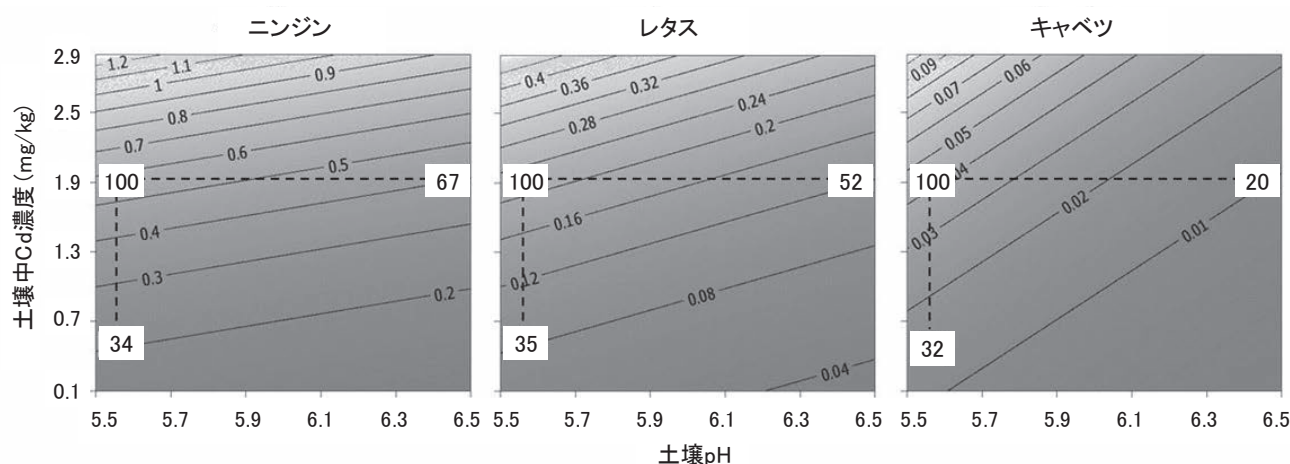


図-3 ニンジン、レタス、キャベツの可食部カドミウム濃度推定値の等高線図

である。東北農業研究センターで開発された「うね内部分施用技術」はキャベツ、ハクサイ等の露地野菜作における化学肥料の削減を可能とし、省資源で環境にやさしい野菜作を実現する¹³⁾。この技術では、専用作業機（2～4条用）を利用し、うね中央部の定植位置付近に化学肥料等資材を帯状に土壌と混和して施用する。著者らは、この技術に着目し、生産段階のカドミウムのリスク低減のための新たな技術の開発を進めている。

野菜については、うね内部分施用が従来の全面全層施用と比べて可食部カドミウム濃度低減の効果が高い要因を調査するため、コンクリート枠圃場において、ブロッコリー、ハクサイ、キャベツを栽培した¹⁴⁾。その結果、部分施用区（幅20・30cm×深さ20cm）のブロッコリーおよびハクサイ可食部のカドミウム濃度は全面施用区（深さ10cm）よりも低減し、これは深さ10～20cmの水溶・交換性カドミウム濃度が部分施用区で低かったためと考えられた。また、収量については部分施用の幅の違いによって異なる可能性があるため、各品目について適切な施用幅を明らかにすることが必要である。

大豆については、アルカリ資材の部分施用による子実カドミウム濃度の低減効果を明らかにするため、現地実証試験を行った¹⁵⁾。すなわち、うね中央部の播種位置付近の幅20cm・深さ20cmの範囲に苦土石灰と化成肥料を同時に帯状に施用すると（図－4）、従来の全面施用と比べて子実のカドミウム濃度を同等程度またはそれ以下に低減することが可能となり、施用量を6割程度削減できた。この現地試験の例では、部分施用によって苦土石灰および化成肥料の施用量をそれぞれ約6割削減できるため、10a当たり資材費は1年間に

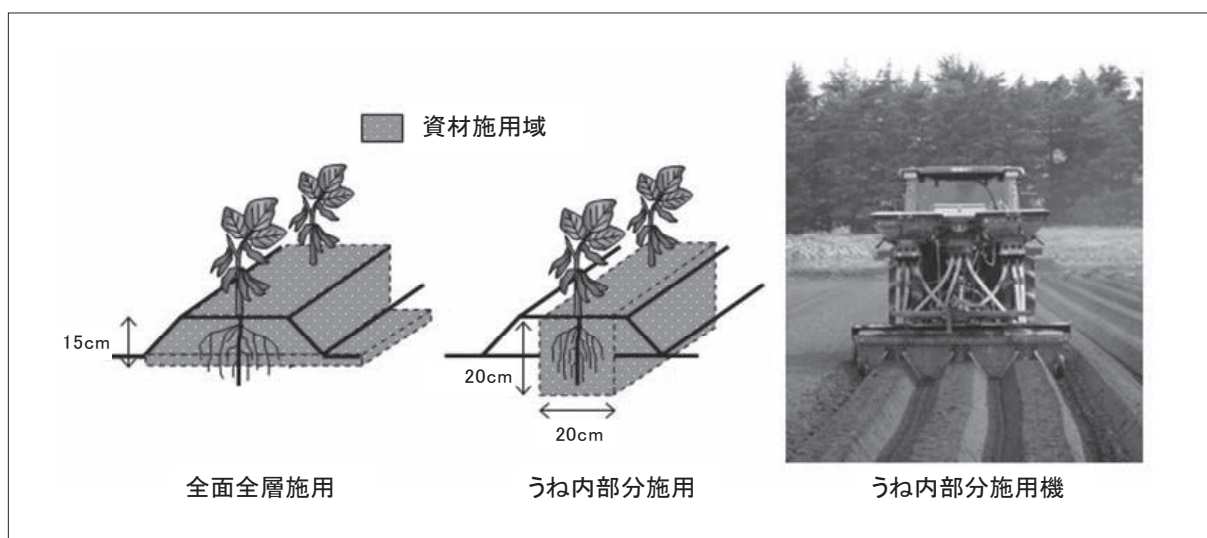
に約10,000円の低減となり、施用機の価格を100万円とすれば、3.3ha導入の場合、3年間で機械費を回収できると試算された。今後、各地で現地実証試験を行い、本技術の適用範囲を明らかにするとともに、必要に応じて技術の改善を図ることが必要である。

4. おわりに

近年、水田土壌のpHは全国的に低下傾向にあることが指摘され、生産段階におけるカドミウムのリスクが高まってきていると推察される。米については、カドミウム濃度低減のための対策技術がほぼ確立されていることに加えて、低吸収性品種の育成が進展している状況であり、今後、玄米中カドミウム濃度のさらなる低減の可能性が高い。一方、大豆等の転作作物の場合、水田転換畑の土壌pHを改善してカドミウム吸収抑制を図ることが最も実用的であると考えられ、技術開発が進められている¹⁶⁾。また、大豆等についても低吸収性品種の育成が進められ、普及が期待される。水田転換畑等における土壌pHの改善は転作作物のカドミウム吸収抑制だけでなく、生産性向上にも寄与するため、今後、アルカリ資材施用の重要性が増すと考えられる。部分施用は資材施用量の削減により省資源で環境にやさしく、低コストなどの特長があるため、水田転換畑等における標準的な技術として位置付けられることが期待される。

<引用文献>

- 1) 厚生省、水質汚濁、厚生白書（昭和43年版）、
<http://www.hakusyo.mhlw.go.jp/wp/index.htm>
- 2) 農林水産省、食品中のカドミウムに関する国内



図－4 うね内部分施用における資材施用域

- 基準値、http://www.maff.go.jp/j/syouan/nouan/kome/k_cd/kizyunti/country.html
- 3) 農林水産省、農用地の土壌の汚染防止等に関する法律に基づく対策、http://www.maff.go.jp/j/syouan/nouan/kome/k_cd/taisaku/horitu.html
 - 4) Codex Alimentarius Commission, Codex General Standard for Contaminants and Toxins in Food and Feed, Codex Standard 193-1995, pp.26, 2010
 - 5) 薬事・食品衛生審議会 食品衛生分科会 食品規格部会、資料：食品中のカドミウムの規格基準の一部改正について、pp.1-8、2009
 - 6) 環境省水・大気環境局、平成21年度農用地土壌汚染防止法の施行状況、pp.1-14、2010
 - 7) 環境省水・大気環境局、平成22年度農用地土壌汚染防止法の施行状況、pp.1-14、2011
 - 8) 農林水産省消費・安全局、コメ中のカドミウム濃度低減のための実施指針、pp.1-22、2011
 - 9) 吉住佳与、戸上和樹、工藤一晃、青木和彦、三浦憲蔵、ダイズ子実カドミウム濃度の推定に適する土壌抽出法の検討、日本土壤肥科学雑誌、83巻1号、pp.52-55、2012
 - 10) 戸上和樹、吉住佳与、工藤一晃、青木和彦、三浦憲蔵、Bland-Altman分析による土壌pHを考慮した野菜可食部カドミウム濃度予測のための土壌抽出法の検証、日本土壤肥科学雑誌、83巻5号、pp.564-573、2012
 - 11) 戸上和樹、吉住佳与、工藤一晃、青木和彦、三浦憲蔵、線形混合モデルによる野菜のカドミウム吸収における品目間差異の推定、日本土壤肥科学雑誌、82巻3号、pp.191-199、2011
 - 12) 雄川洋子、稲原 誠、アルカリ資材を用いた土壌pH矯正によるダイズのカドミウム吸収抑制、日本土壤肥科学雑誌、80巻6号、pp.589-595、2009
 - 13) 屋代幹雄、松尾健太郎、武蔵孝仁、藤沢佳行、三浦憲蔵、化学肥料を大幅に削減できる露地野菜向け「うね内部分施用技術」の開発、農林水産技術研究ジャーナル、32巻3号、pp.38-41、2009
 - 14) 工藤一晃、吉住佳与、戸上和樹、青木和彦、三浦憲蔵、苦土石灰のうね内部分施用による野菜可食部のカドミウム濃度低減化の要因、日本土壤肥科学雑誌、82巻1号、pp.41-44、2011
 - 15) 三浦憲蔵、吉住佳与、戸上和樹、工藤一晃、青木和彦、屋代幹雄、松尾健太郎、苦土石灰と化成肥料のうね内部分施用によるダイズカドミウム濃度の効率的低減、東北農業研究センター 2010年度普及成果情報、<http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/tarc/2010/tohoku10-04.html>
 - 16) 本間利光、大峽広智、大山卓爾、0.1 M塩酸抽出カドミウム濃度および土壌pHからのダイズ子実カドミウム濃度の推定、日本土壤肥科学雑誌、82巻1号、pp.7-14、2011

特 別 報 告

中部地方初の汚泥炭化施設稼動 愛知県衣浦東部浄化センターでの 下水汚泥燃料化事業について

愛知県 建設部 下水道課

主査 太 田 雅 暢

キーワード：減量化、炭化燃料、官民連携、温室効果ガス

1. はじめに

愛知県衣浦東部浄化センターでは、平成24年4月から汚泥燃料化施設が稼動を開始した。この施設は下水汚泥をもとに炭化燃料を製造するものである。創られた燃料は隣接する中部電力㈱の碧南火力発電所で石炭代替燃料として使用されている。

同様の汚泥燃料化施設は自治体としては東京都に次

ぎ、同じく本年度から稼動を開始した広島市とともに全国で2番目の取り組みであり中部地方では初となる。

本稿ではこの燃料化事業を実施するに至った経緯、事業内容と期待される効果等について報告する。

2. 衣浦東部浄化センターについて

衣浦東部浄化センターは愛知県の碧南市、安城市、高浜市を処理区にもつ流域下水道として平成8年度に供用開始しており、施設管理を県知立建設事務所が、運営管理を指定管理者である(財)愛知水と緑の公社が行っている。なお、全体計画汚水量は約75,000 m³/日であり県内では比較的小規模の流域下水道である。

供用初期は発生する汚泥が少ないことから、汚泥は



図1 愛知県内における衣浦東部浄化センターの位置



写真1 汚泥燃料化施設全景

脱水ケーキによる場外搬出とし、セメント原料や肥料等に有効活用していたが、その後平成18年度には汚泥発生量が4,831 t/年(13.2 t/日)となり場内において焼却施設等の汚泥減量化を検討する段階にきていた。

この浄化センターは図2に示すように中部電力㈱の碧南火力発電所に隣接する好立地条件であったため、炭化汚泥による石炭火力発電所での混焼の可否について検討することとなった。

なお、碧南火力発電所は石炭火力発電所としては国

内最大であり、世界でも最大級の出力410万kWの火力発電所である。平成3年の1号機運転開始以降、平成14年には5号機まで完成しており、ここで使用される石炭は約3万t/日となっている。

3. 混焼に向けた中部電力との共同調査

調査は中部電力㈱と共同調査の協定を締結した上で平成18年度と19年度の2年度にわたって実施した。それぞれの役割は、愛知県は商品生産者として、安全で品質の良い汚泥燃料の製造から供給部分の調査、中部電力㈱は燃料の利用者として、発電ボイラーでの石炭との混焼による影響調査とした。なお、愛知県は共同調査の一部を日本下水道事業団に委託している。

具体的には、脱水汚泥を実証プラント（H18年度石川県七尾市西部水質管理センター、H19年度愛知県半田市NGK水環境システムズ実験場）に持ち込みの上、製造試験を行い、試験焼却炉（兵庫県相生市のIHI相生工場内D&Dパーク）等で表1に示すような



図2 衣浦東部浄化センターと碧南火力発電所の位置関係

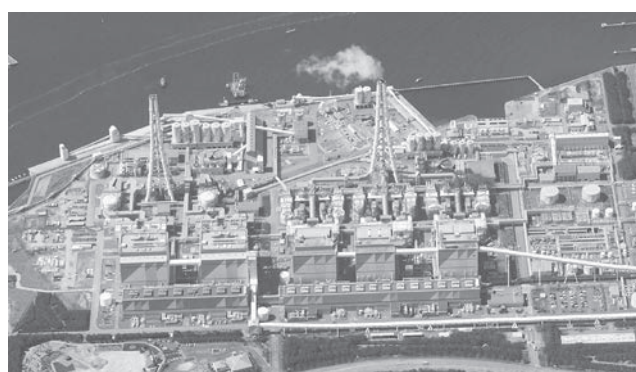


写真2 碧南火力発電所

表1 共同調査の試験項目

項目	目的	試験概要
(1)炭化燃料製造試験	炭化燃料の性状把握と一定期間炭化燃料の製造をすることにより燃料性状の安定性について評価。平成18年度と平成19年度で異なるシステムを用いることで、製造方法による燃料性状の違いを把握。	炭化実証プラントによる炭化燃料製造試験
(2)粉碎・燃焼試験	製造した燃料と石炭との混焼試験を実施し、石炭専焼時と比較することで、燃料の影響や利用可能性について評価	試験燃焼炉による粉碎試験 燃焼試験
(3)ハンドリング性試験	炭化燃料の取り扱い性を評価	粉塵爆発試験 粉塵飛散性試験
(4)安全性試験	炭化燃料の発熱性や人体への影響等を評価	発熱特性試験 急性毒性試験 皮膚感作性試験

製造物の各種試験、分析を行った。

その結果、①性状の安定した炭化物を連続して製造可能、②適切な対策を行うことで、炭化物を安全に取り扱うことが可能、③石炭火力発電所等で一定の混焼率において、石炭代替燃料として利用可能である、ということが確認出来たため、事業化に向け進むこととした。

なお、燃料製造試験によって得られた炭化物の分析概要は表2のとおりである。炭化物の発熱量は石炭と比較して5割～7割程度を確認している。

表2 製造試験における炭化物分析結果

	石炭	炭化物 H18製造	炭化物 H19製造
発熱量 (J/g)	27,900	13,765	18,903
含水率(%)	4.3	49.6	0
灰分(%)	12.4	54.3	38
揮発分(%)	51.5	6.6	23.5
燃料比	1.4	5.9	1.6
嵩比重	-	0.43	0.41
HGI	50	134	113.7



写真3 製造試験で製造された炭化物

4. 事業スキームはDBO、SPCはAKB

中部電力(株)と共同調査を実施したものの、汚泥の燃料化という新しい事業の実施にあたり、入札の公平性を保ち、客観的な評価の下で効率的な事業スキームを構築する必要があった。

炭化燃料の利用は石炭ボイラーのある施設に限定されると想定され、利用者の求める品質に見合う燃料製造が効率的である。また、燃料化システムはメーカーにより様々な特徴があることから、施設の設計・施工から維持管理、燃料の利用までを一体化して民間にゆだねることが望ましいと判断した。

そこで入札形式は、民間企業の高い技術とノウハウを期待し、「高度技術提案型総合評価方式」を採用した。

具体的には表3にあるように設計・施工から維持管理、燃料買い取りまでのそれぞれの段階において、性能面での評価(安定性の向上等)、社会的要請面での評価(環境維持等)を行うとともに、総合的なコスト面での評価も加えてバランスよく評価する項目とした。

事業スキームはDBO(Design, Build + Operate)とし、入札説明書で落札者に対して①技術提案等に基づき設計・施工を一括発注、②落札者もしくは適切な第三者に維持管理運転及び燃料化物売買に関する契約。これらを条件付けした。

施設は平成21年度より設計を開始し、平成23年度末に完成試運転を行った。平成24年度からは愛知県が工事請負者【メタウォーター(株)】と炭化燃料利用者

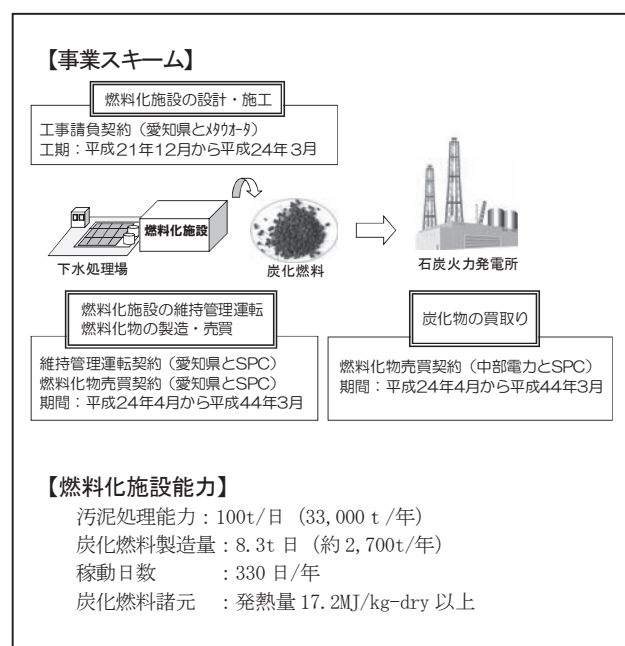


図3 事業概要

表3 総合評価の項目

段階	大項目	中項目	小項目	評価内容
燃料化物の燃料としての利用に関する事項	工事的性能・機能	安定性の向上	事業の安定性	利用者の受入事業所 利用者の経営指標 利用者の燃料化物の潜在需要
			運搬時CO2排出量の削減	燃料化物運搬に伴い発生するCO2排出量
	社会的要請	環境の維持	環境への配慮	受入事業所における環境負荷削減に対する努力
			設計・施工計画	設計・施工期間
設計・施行に関する事項	工事的性能・機能	安定性の向上	臭気対策	設計上への配慮
			製造時CO2排出量の削減	燃料化物製造に伴うCO2排出量
	社会的要請	環境の維持	燃料化物の石炭代替CO2削減量	石炭代替利用に伴うCO2削減量
			設計・施工期間	期間の短縮
維持管理に関する事項	工事的性能・機能	性能の持続性	修繕計画	20年間の機能維持のための修繕計画
			燃料化物の安全管理	貯蔵時の発熱、発行特性に適合した安全管理計画
	社会的要請	安全対策	危機管理の対応	緊急時の体制や対応
			維持管理費	維持管理費
コストに関する評価	総合的なコスト	コストの低減	燃料化物の買取り	燃料化物の買取価格

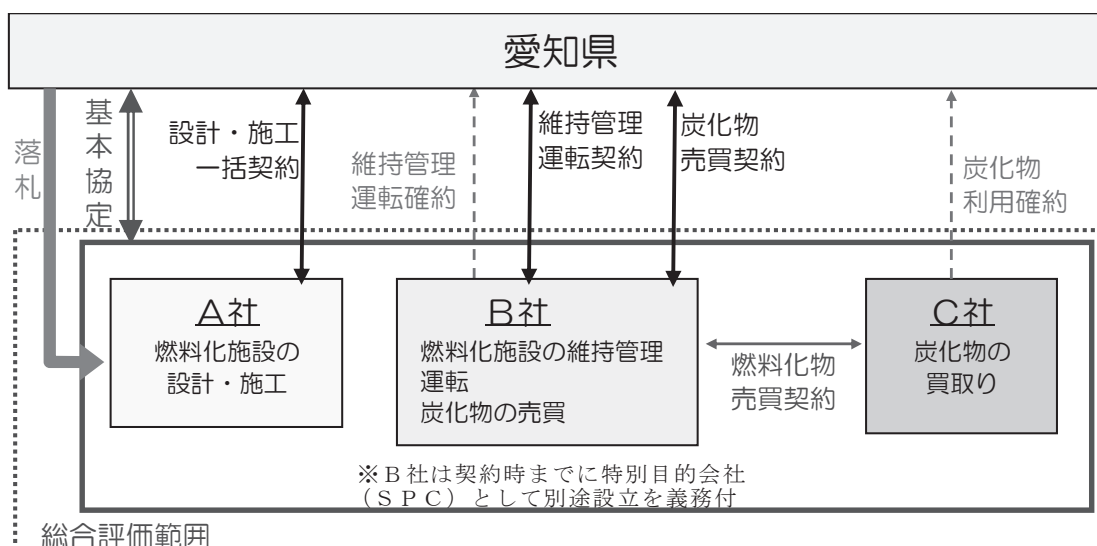


図４ 事業スキーム

【中部電力㈱】が出資するＳＰＣ（特別目的会社）【愛知衣浦バイオ㈱（英語名 AKB Co., Ltd）】と20年間の維持管理運転契約及び炭化燃料の売買契約を結び運転を開始している。

5. 100 t/日进行处理する炭化炉

燃料化施設は長さ60m×幅35m×高さ20m程で衣浦東部浄化センターの汚泥棟に隣接して設置し、脱水汚

泥を乾燥し造粒成型した後に炭化するシステムである。

施設の汚泥処理能力は100 t/日（脱水ケーキベース）で、定期修繕等を除いた330日/年、24時間/日を稼動する計画としており、8.3 t/日の炭化燃料を製造可能である。具体的な工程は次のとおりである。

- ①【ケーキ受入ホッパ、ケーキ貯留ホッパ】燃料化施設には含水率74%～79%の条件で脱水ケーキを搬入。
- ②【乾燥機】脱水ケーキは乾燥機に投入され、含水率20%～30%程度に乾燥。
- ③【造粒機】乾燥汚泥は粉塵抑制のためφ5～6mm×長さ約10～15mmに成型。
- ④【炭化炉】造粒された乾燥汚泥は炭化炉内に送り込まれた約500℃の熱風により滞留時間1時間程で炭化处理。
- ⑤【再燃炉】炭化炉内での熱分解により発生したガ

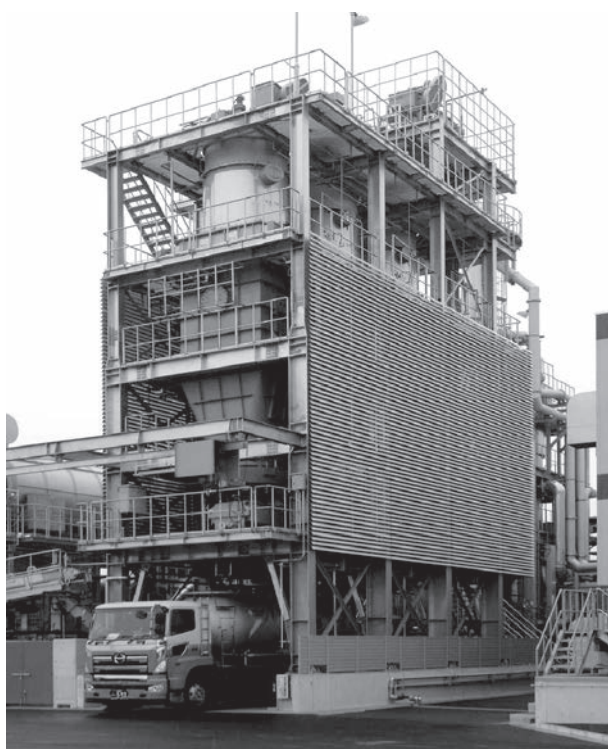


写真４ 炭化物ホッパ（衣浦東部浄化センター内）



写真５ 炭化燃料受入れサイロ（碧南火力発電所内）

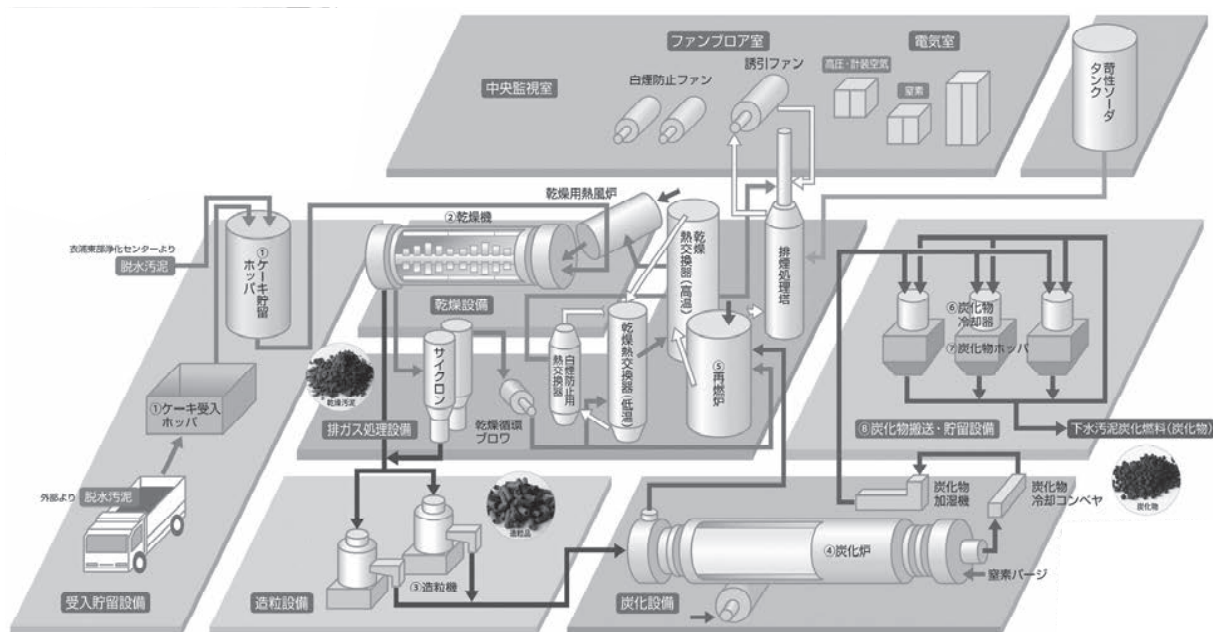


図5 燃料化施設設備フロー



写真6 炭化燃料

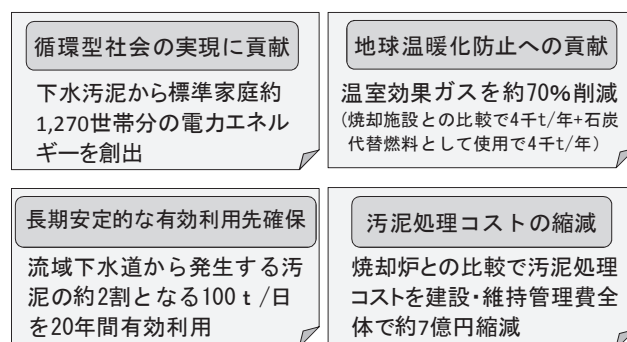


図6 施設稼動の主な効果

スは、再燃炉において850℃以上の高温により滞留時間2秒以上で完全燃焼。燃焼ガスは熱交換器、排煙処理塔を通して排煙。

⑥【炭化物ホッパ (写真4)】製造された炭化物は冷却コンベヤにて冷却後、加湿機にて水分10%に調湿する等により安定化の上最終的に炭化燃料としてホッパ内に貯留。

以上の工程を経て、1日1回程度碧南火力発電所へジェットパック車にて運んでいる。

発電所内には、炭化燃料受け入れのためのサイロ(写真5)が設置してあり、石炭を貯炭場からボイラーまで搬送するコンベヤの上に炭化燃料を投入している。

6. 施設稼動による効果

燃料化施設の稼動による主な効果としては図6に示すように①循環型社会の実現に貢献、②地球温暖化

防止への貢献、③長期安定的な有効利用先の確保、④汚泥処理コストの縮減の4点があげられる。

施設の汚泥処理能力は年間33,000 tでありこの場合に得られる定量的な効果として、それぞれ次のように見込んでいる。

①循環型社会の実現に貢献

持続的に再生可能な資源である下水汚泥により創出された燃料による発電量は年間約4,600,000 kWhとなり、これは標準家庭1,270世帯の年間使用電力に相当する。

②地球温暖化防止に貢献

従来の焼却処理との比較で温室効果ガスを約4,000 t削減、更にカーボンニュートラルな下水汚泥の石炭代替燃料としての削減量約4,000 tを加えると、全体

として約8,000 t (約70%) の温室効果ガス (CO₂換算) 削減となる (図7)。これは標準家庭約1,500世帯が年間に排出する温室効果ガスに相当する。

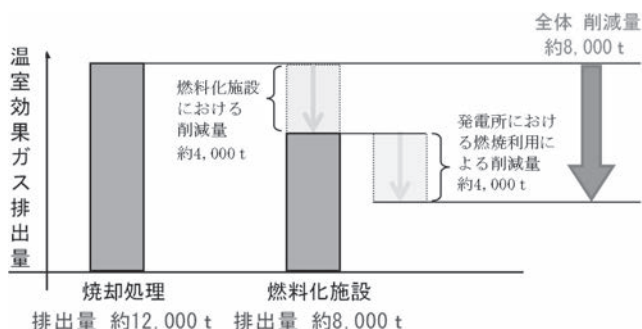


図7 温室効果ガスの年間削減量 (CO₂換算)

燃料化施設における、温室効果ガス削減のポイントは、炭化炉にある。炉内では酸素不足の状態で熱分解が行われるため、焼却と比べて汚泥中の窒素が酸素と結びつきにくくなり、N₂Oが抑制される。汚泥焼却炉においても850℃以上の高温燃焼によりN₂Oの抑制となるが、炉内において汚泥を直接燃焼させるため、抑制のための効率的な燃焼方法が課題とされている。温室効果ガス排出係数で両者を比較すると高温焼却炉においては、0.645 kg N₂O/t *であるが、本施設においては、0.130 kg N₂O/t となっている。

(※特定排出者の事業活動に伴う温室効果ガスの排出量に関する省令の値)

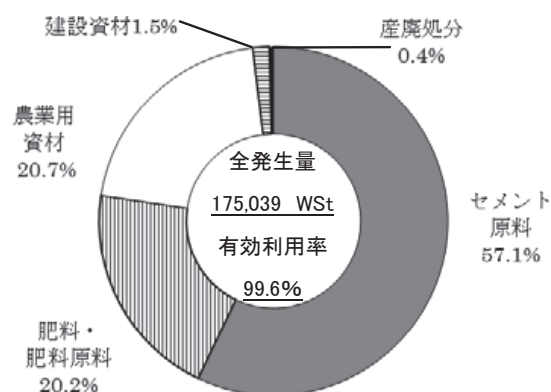
③長期安定的な有効利用先の確保

20年間の維持管理契約と燃料化物売買契約を結び、100 t/日の汚泥について長期安定的な処理・処分先を確保した。100 t/日は県内の流域浄化センターから発生する汚泥の約2割を占め、安定した有効利用率の向上や処分先の多角化による不測の事態における処分不能リスクの軽減に大きく寄与することとなる。

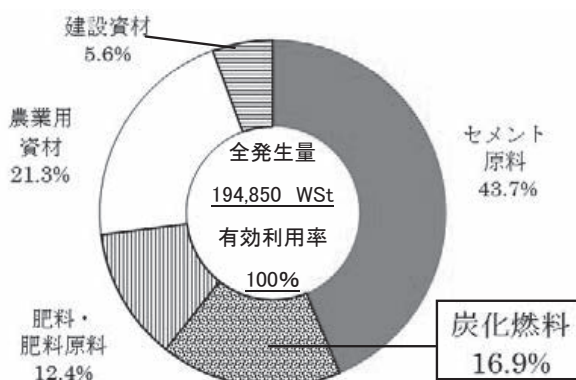
愛知県の汚泥有効利用率は、民間公募による利用先の積極的な開拓により99.6% (平成23年度) であるが、目的別の内訳は図8に示すようにセメント原料、肥料利用、農業用資材で大半を占めている。特にセメント依存が高めであったが、今回の炭化燃料が加わることで、特定の需要に依存するリスクが軽減出来る。

④汚泥処理コストの縮減

汚泥燃料化事業の経済性は同規模の焼却炉建設との比較で行っており、特に産業廃棄物としての汚泥処理費用が不要となったことによる便益が大きく、維持管理費を含む20年間での縮減額は約7億円を見込んでいる。なお、炭化燃料の売却単価は工事請負の入札説明書において下限額を100円/tとして設定し、総



平成23年度 (実績)



平成24年度 (計画)

図8 汚泥の有効利用状況 (愛知県内流域下水道)

合的な評価の中で決定しているが、事業費に占める割合は小さい。

7. おわりに

燃料化施設は本年度4月からの供用であり、事業の評価をするには早計であるが、ほぼ計画通りの性状で燃料を製造出来ており、火力発電所に供給している。

分析結果の一例として4月からの炭化燃料発熱量の状況を図9に示した。各月とも工事請負者の技術提案による設計目標を満足している。温室効果ガスについても、再燃炉からの排ガスを分析したところN₂O排出係数は0.0232 kg N₂O/t となっており、設計目標0.130を大幅に達成していた。

事業スキームについては、本県流域下水道事業において初めてDBOを導入した。近年のいわゆる官民連携による枠組みでの事業であるが、事業検討段階においては責任分界点や要求水準の定め方、民間事業者との契約締結後においてはその運用について、関係者で十分な検討・協議を行うことの重要性を改めて実感している状況にある。

本事業においても様々な状況を想定し関係者を交えた検討会を経て施設供用を開始しているが、想定外の事態や細部の運用について不明確な部分も顕在化している。発生した問題によっては、迅速な対応が必要な場合もあることから、日頃から民間事業者や指定管理

者と十分に連携しておくことが非常に重要である。

大切なことは官と民が責任分界点における境界条件を遵守しつつ、お互いの立場をよく理解して、浄化センターにとっての最適な管理を行うことであり、それを心がけてこれから20年間つきあっていく所存である。

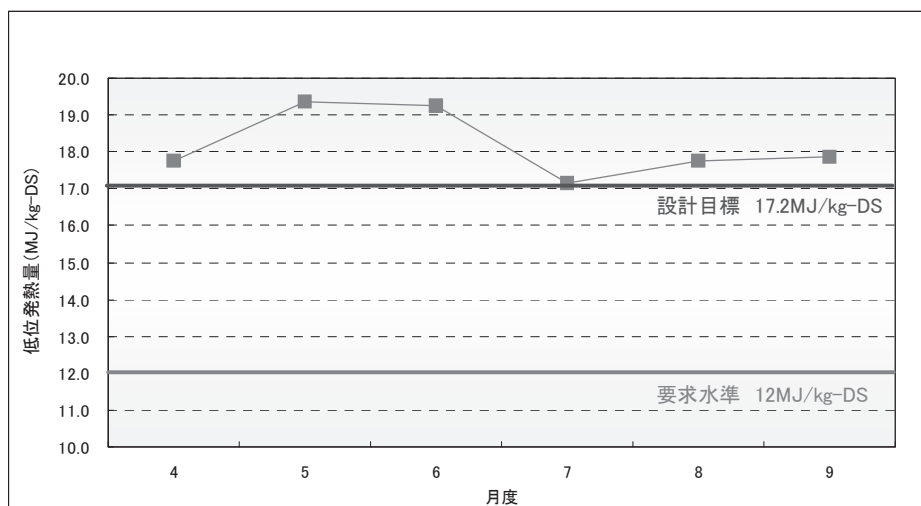


図9 炭化燃料の発熱量分析結果（各月）



衣浦東部浄化センター
イメージキャラ
「きぬかめくん」



特 別 報 告

「21 世紀になって、 下水汚泥の資源化は…」 —懸賞論文を振り返って—

横浜市環境創造局 下水道計画調整部

下水道事業推進課長 中 村 永 秀

キーワード：懸賞論文、21 世紀、資源化技術、制度の整備、夢

1. はじめに

平成 5 年 1 月 29 日に発行された「再生と利用 (1993, Vol16, No.58)」は、下水汚泥資源利用協議会（以下協議会）設立 15 周年を特集し、各方面の方々が協議会の今後や 21 世紀に向けた汚泥処理をテーマに、ご意見を述べられています。そして、協議会設立 15 周年を記念して実施した懸賞論文、「21 世紀、そこでの下水汚泥の資源化は」も併せて掲載されています。

この懸賞論文は、横浜市下水道局（現横浜市環境創造局）の有志で構成された「下水資源利用研究会」が投稿したもので、当時、筆者は汚泥有効利用等を調査研究する技術開発担当の一員として、この論文執筆に中心的な役割を担わせて頂きました。

21 世紀になって既に 10 余年を経過し、また放射能問題など、この論文を作成したときには予想もしなかった事態に直面するなど、下水汚泥の処理だけでなく、その有効利用についても、まだまだ解決しなければならない課題が多く存在していると痛感しています。

今回は、21 世紀の下水汚泥の資源化を夢見ながら執筆した懸賞論文を元に、21 世紀を既に迎えて実施している下水汚泥の資源化状況について考え、さらに今後の汚泥処理や有効利用について、更なる「夢」を含めて述べさせて頂きたいと思います。

2. 1993 年、平成 5 年という年

21 世紀を 8 年後に控えた 1993 年（平成 5 年）は、どのような年であったでしょうか。

アメリカでは、ビル・クリントン氏が大統領に就任し、日本では歴史的と称された政権交代で、細川護熙氏が首相に就任されました。また、北海道では M7.5 の「北海道釧路沖地震」が発生し、インドでも地震によって多くの方が亡くなりました。経済については、1982 年から 52 ヶ月間続いた「平成景気」が前年の 1992 年 2 月に終了しましたが、まだこの余韻が色濃く残っている年で、流行語としては、「規制緩和」「天の声」「お立ち台」「ナタデココ」などがありました。横浜のランドマークタワーが完成したのもこの年です。日本一高いビルの座は、間もなく抜かされそうですが、まだその座を守っています。

3. 横浜市下水道事業と懸賞論文

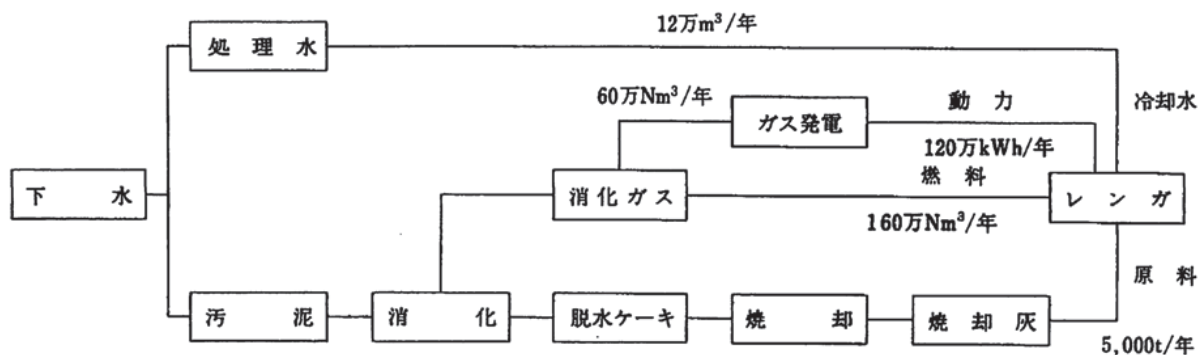
現在、横浜市下水道事業は環境創造局が所管しています。平成 17 年に環境施策を総合的に推進するために、「水」「緑」そして水・土壌・大気などの「環境保全」をキーワードに、下水道局、緑政局そして環境保全局が統合しました。論文を投稿した当時は、下水道局が

下水道事業と河川事業を実施し、技術開発担当は事業計画課（現下水道事業調整課）の一員として、下水道の新技术について調査・研究・開発により、事業の推進に寄与していました。

横浜市は、市内11箇所の下水処理場（現在は水再生センターと呼んでいる）で発生する汚泥を、臨海部（工業専用地域）に設置した2箇所の汚泥処理センター（現在は汚泥資源化センターと呼んでいる）に、パイプラインを経由し圧送し、集約的に処理を行う「集約汚泥処理」を全国ではじめて稼働させるなど、ユニークな取り組みを行っていました。このことは、スケールメリットを十分に生かした事業ができることを意味し、事実、消化プロセスから多量に発生するガスを利用し発電した電気を有効に活用すること、その排熱で消化タンクを加温すること、隣接する下水処理場の処理水を洗浄水に活用することなど、効率的な事業運営を既に実施していました。併せて、排出された焼却灰を活用し、下水管きょ工事で発生する建設残土を良質な埋

め戻し土とする「改良土プラント」の運営や、焼却灰からレンガや園芸培土製造の研究開発では、下水処理の過程で発生する様々なユーティリティの活用についての研究を行うなど（図－1）、有効利用を進める施策提案を行い、事業化するものもありました。園芸培土の製造法、それを用いた画期的なシクラメン栽培法、下水汚泥から紙や吸音材、溶融スラグを用いたパステルカラーのインターロッキングブロックの研究によって、数々の特許を取得したのもこの時期です。

このように、水処理技術等の調査研究も実施してきましたが、とりわけ、汚泥処理や有効利用技術について注力していたので、技術開発担当の各職員に「汚泥処理・有効利用の横浜市」というイメージが高く存在したのも事実です。このような中、下水汚泥資源利用協議会から汚泥の資源化に関する懸賞論文の募集があり、「われら横浜市職員が投稿しなくて良いのか!!」という気運が高くなり、その結果として、一席を頂く論文を投稿できたものです。



図－1 資源自立型レンガ製造 (5,000 t/年 規模) の例

4. 21世紀の下水汚泥の資源化、夢を抱いて…

懸賞論文では、ある特定の技術や考えをハイライトするのではなく、汚泥処理について真正面から議論するという立ち位置で望みました。汚泥有効利用の現状を分析し、21世紀の汚泥有効利用技術を展望し、そこから望まれるであろう技術を抽出しました。そして、各々について議論を深め、それを実現するための方策について示すという、オーソドックスな構成としました。その各々の項目について、今、振り返ってみると、実現に向けた様々な取り組みがなされていると感じるところです。

21世紀の社会を「地球規模での環境保全」「省資源・省エネルギー推進」というキーワードで整理し、ど

のような活動であっても「地球環境」と照らし合わせて考える社会と位置づけました。言い換えると、下水道事業だけでクローズすることができない社会ということです。このような観点で、代表的な技術等について示しました。

(1) 無害化技術

汚泥の無害化技術では、資源化利用の大きな障害として有害物質を含有すること、すなわち、産業廃棄物という規制物質であるということを上げ、これを除去することにより、利用の拡大に繋げようという考えです。これにより、官が商いをせず、民の広範なアイデアや技術開発に委ねるとしました。侍商法にならないようにするものです。実は、このアイデアは、先に述べた「改良土プラント」の生産

物である改良土について、規制部局から重金属等の溶出に関する追跡調査を義務付けられ、産業廃棄物の枠をはずしたいという希望が局内にあり、これを解決するという思いの表れだったのです。

(2) エネルギー利用

下水道事業に限らず、多くの機械は電気という二次エネルギーの形態で利用されます。このことから、単に実施している消化ガス発電を是認する議論ではなく、より環境に良い方法を念頭に、メタンガスを液化化することを提案しました。例えばアルコールのように常温で液状となれば、ハンドリングが良くなり、発電利用だけでなく用途が拡大します。

また、エネルギーとして廃熱の存在を忘れてはなりません。これを有効に活用すれば、総合効率が上昇し、結果的にエネルギー使用量を削減できます。しかし、廃熱が使用できない理由もあり、また、利用できたとしても、その利用先を確保することが課題です。そこで、低温腐食に耐える材料の開発と利用先の例として植物工場の加温熱源とし、併せて、そこでは排ガスに含まれる二酸化炭素の活用や汚泥肥料の利用も提案しました(図-2)。

この提案は、維持管理費のかかる消化ガス発電から脱却するために、ガスの利用先拡大の研究が必要であり、当時実際に、この観点で利用先を検討して

いました。改質技術として、PSA法や吸収法といった従来法ではなく、有効利用のウイークポイントの一つであるコストの削減を念頭に、膜分離法を調査し、2箇所の汚泥資源化センターで発生する消化ガスのエネルギーとしてのポテンシャルが、市が有する交通局のバス、資源循環局のごみ収集車を全て動かすことができるという試算をしていたことも、このアイデアにつながりました。また、植物工場は当時「バイオフィーム構想」として、各種の調査を行っていましたが、その関連提案でした。

ガスを液化化するには、高い圧力が必要で、それを封じ込める圧力容器が必要となります。併せて充填するための装置が必要となります。そこで、単に液化化するのではなく、方法が思いつかなかったこともあり、「地球上のどこかに存在するのではないか」という思い込みにも似た考えを背景に「メタノール生成細菌」と勝手に名づけた細菌にお出ましいただき、メタノールに変化させるというストーリーを書き込んだものです。

(3) 有価物の回収

有価物として特に金属類を想定し、その分離技術について考えたものです。重金属が分離できれば、先に述べた無害化技術にもつながり、大歓迎な技術です。本市が設置した卵形消化タンクは二段消化が

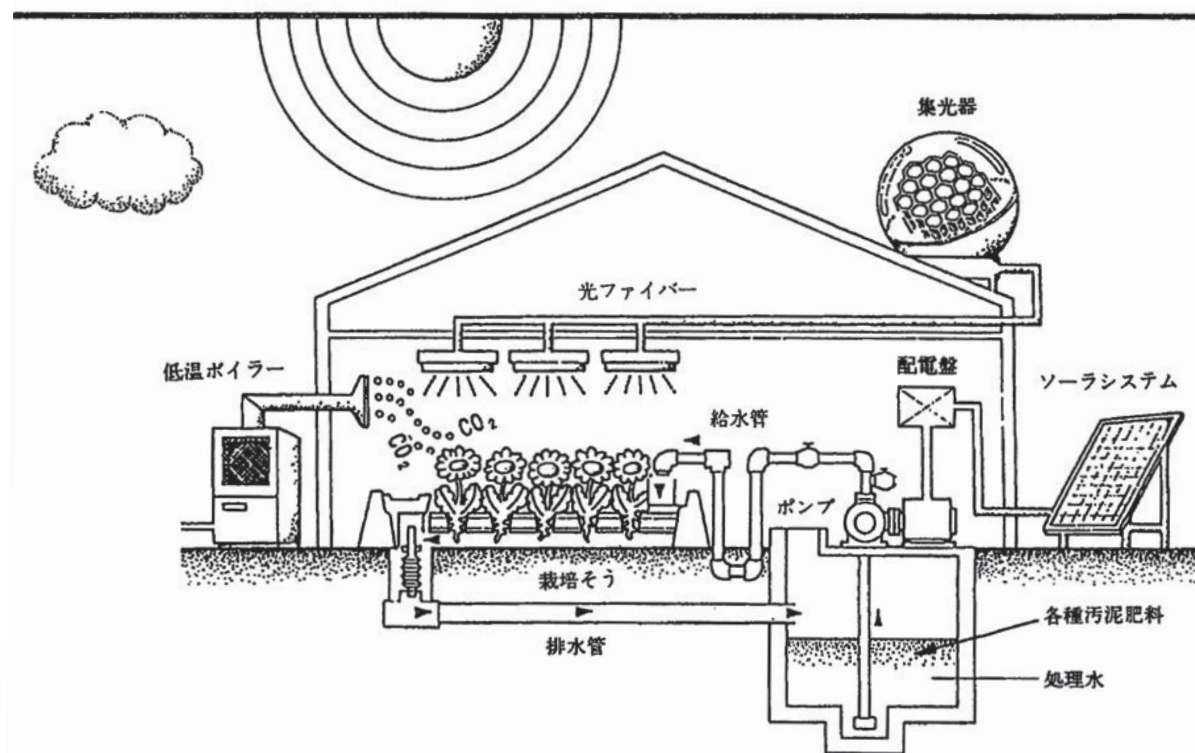


図-2 排熱エネルギー等の利用例

可能な施設となっております。また1槽が6,400～6,800 m³ありますが、この中に「硫黄酸化細菌」や「鉄酸化細菌」（こちらは世に存在する）のお力を拝借し、一段目の槽でこれらの細菌が精製する硫酸等により金属類を溶かし、脱離液側に金属類を移行させた後、二段目の槽でメタン発酵をさせようというアイデアです。二段のプロセスとしなくても可能なかもしれませんが…。

この他、有価物として下水に含まれる窒素やりんに着目した技術についても、記述しております。特にりんについては、多くを海外からの輸入に頼っていること、数十年で枯渇が危惧されていたこともあり、有価物の回収のひとつとしてハイライトしたものです。ただし、脱水ろ液をpH調整しアルカリ性とした上で回収するという提案にとどめておりますが、汚泥中のりんも含めりん回収に対する技術開発の重要性はしっかりと示させていただきました(図-3)。

このように、21世紀における汚泥の資源化に関する代表技術を選び、検討を加えたわけですが、これらの技術はとりもなおさず、横浜市の技術開発で日々議論を重ね、一部は実際に検討していたテーマの延長に

あるものでした。調査研究は、不可能を可能にすること、分からなかったことを分かるようにする活動であり、先輩たちの努力の成果としての過去があって、それを引き継ぎながら今の調査研究があり、一部若しくは全部を実施に移し、更にこれらの結果を将来につなげるということではないかと考えます。

5. 実現させるために必要なこと

様々な技術を根付かせていくためには、その技術の優位性だけでなく、その技術が活用される仕組みづくりも重要なファクターです。そこで、制度や間接的ですが事業効果を促進するポイントについて、論文では考えを示させていただきました。そのポイントとしては、法律など制度の整備、更なる有機物回収への取組、有効利用を促進するための下水道システムの多様性の確保、他事業との複合化による高効率システムの構築です。

(1) 制度の整備

天然の資源を活用する場合と比較し、廃棄物の有効利用を行う場合は、大量のエネルギーを必要とするなど、コスト面で厳しい状況となるほか、悪いイ

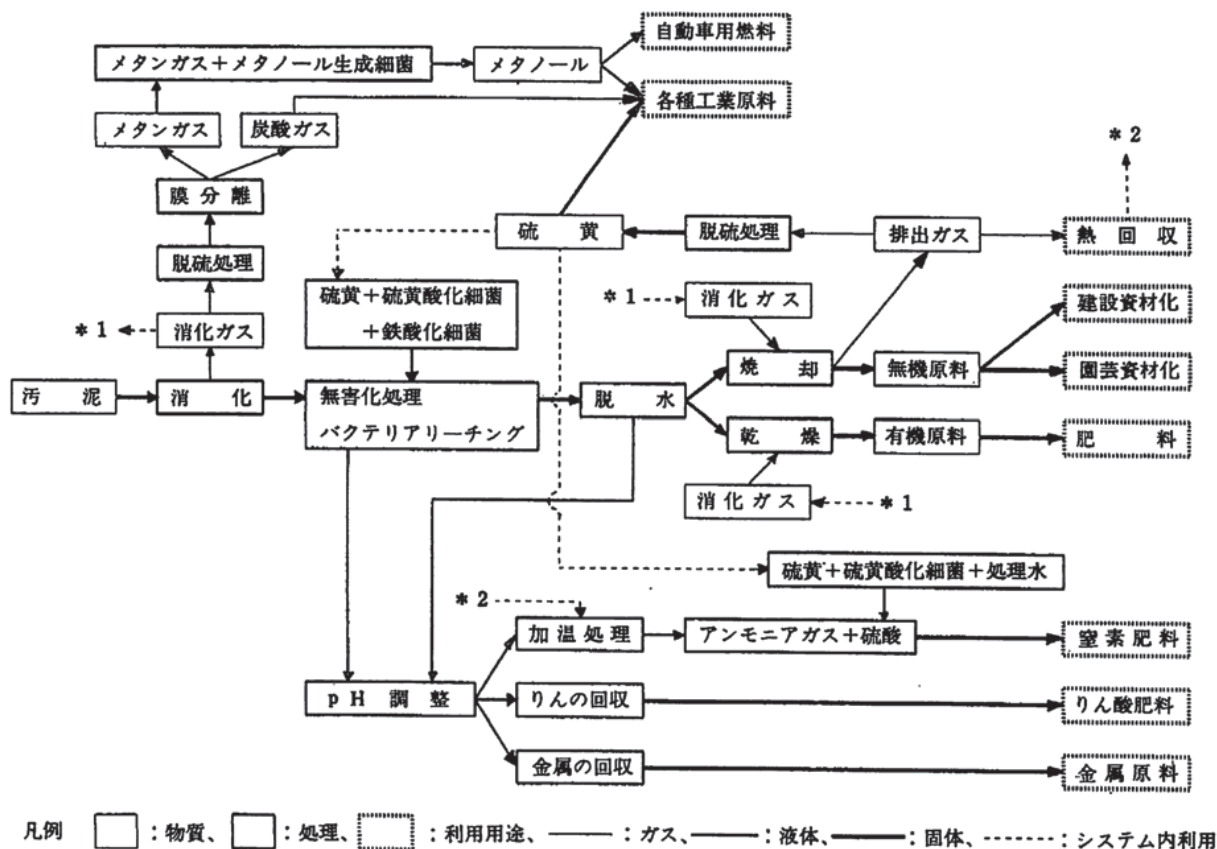


図-3 21世紀における下水汚泥資源化利用

メージを払拭する必要があります。これを補完する上でも、優先的な利用を促す制度や税の優遇を行うなど制度面からのサポートが重要です。これは直接的な支援と捉えることができます。一方、有効利用を円滑に進めるためには、コストの削減や安全性の向上も大きく関係してきます。例えば、有効利用の阻害をなすような物質を、下水へ今以上に排出させない取組も重要と考えられます。これを実施することにより、有効利用の促進に対して、間接的な支援ということもできると思いますが、一方で、これにより生活様式の変更を余儀なくされることも想定できます。しかし、このような間接的な支援も実施されるべきと考えたものです。

平成5年ごろ、横浜市下水道局は、ドイツハンブルグ市下水道局と技術交流を行っていました。卵形消化タンクを建設するに当たり、攪拌方式を決めるために、職員が調査に赴いたのがきっかけです。当時、環境対策の進んでいるドイツは、廃棄物の資源化利用についても積極的に取り組んでおり、消化ガスの都市ガス導管への注入も既に行っていました。この技術交流を通じて様々な先進事例を学びましたが、その中で、ドイツが制度の整備についてもしっかり実施していることを知り、このことも、21世紀の資源化の状況を考えるキーワードとしたものです。

(2) 積極的な有機物の回収

この項は、明らかにディスポーザーの普及という状況を、有機物量の増加に伴う消化ガス量の増加対策と捕らえて示したものです。昭和61年当時、国はディスポーザーの導入について「最終的には自治体が判断すべきこと」というスタンスを取っており、その後も、このスタンスを変えていませんでした。このことから、自治体がどのような判断材料を用いて判断するかということの例を示させていただいたものです。それは、都市の環境衛生上の観点や、消化ガスをより多く獲得し有効利用すること、更に、少子高齢化を念頭に、利便性の向上に活用することです。併せて、導入に対する課題も存在することを示した上で、資源利用型の社会を実現するための施策のひとつとなることを示しました。

(3) 複合施設による高効率化システムの構築

効率を改善するためには、同じ施設内での効率化だけでは十分に図れない場合が多くあります。そこで、同じ環境行政を行うごみの焼却施設とのコラボを検討したものです。平成2年に横浜市北部に位置する北部汚泥資源化センターに隣接する敷地に、ご

みの焼却工場が建設着工したことから、施設の複合化による効率化を考えたものです。併せて、液状化するかどうかは別として、消化ガスを自動車燃料とした場合のユーザーにごみ収集車を考慮すると、多くの収集車がごみ焼却工場に集まるので、燃料供給の点で絶好の立地となることが考えられました。併せて、ごみの焼却時に発生する多量の熱を利用し発電した電気を融通できれば、更なる効率化につながると考えたものです。

このように振り返ってみると、様々な検討が、日々の議論や情報収集の延長線上にあることがお判りだと思います。

6. 一体、どれが実現したか？

21世紀ではどのように資源化がされているかということ考えた論文であることから、当然、21世紀になって、「何が、どうなった」ということが気になります。21世紀といっても100年の単位ですから、初年度と最終年度では、進捗や実現状況も大きく異なると思います。ですから、現時点でこじつけも含めて確認してみましょう。

まず、「下水汚泥の無害化技術」です。この無害化ですが、これをメインテーマとして実用化し実施しているプラントはまだないと思います。しかし、間接的であっても無害化できるプロセスが実用化されています。それは、焼却灰からりんを回収する技術です。焼却灰からりんを抽出する処理の過程で重金属が焼却灰から分離除去され、結果として、焼却灰に含まれる重金属の濃度が土壌環境基準以下となり、無害化されたことになります。有価物であるりんを獲得しかつ焼却灰が無害化できるのですから、コスト的にも機能的にも願ってもないプロセスだと思います。このことから、無害化技術は○（実現）と評価したいと思います。

次に、「下水汚泥のエネルギー利用」です。この中のメタンガスの液状化ですが、消化ガスのメタンをメタノールに変換し利用する実施施設はありませんので、×（現時点で実現せず）となります。しかし、論文に記載した自動車燃料への利用ということであれば、国土交通省の新世代下水道支援事業として神戸市で実施されており、手前味噌で△という評価をいただければありがたいのですが... f(^_>)

「有価物の回収技術」についてですが、先の「無害化技術」のところで述べたように、焼却灰からりんを回収するプラントが実用化しています。汚泥処理の過程で発生する返流水のりん除去対策として、ぐるっと見渡しただけでもMAP法などを適用した事例がありま

す。併せて、りんを多く含む生成物を肥料として販売している例もあります。しかし、バクテリアリーチングなどを採用して、重金属を含む金属類を回収しているシステムの実用化例はないと思われます。そこで、本市で実施したバクテリアリーチングの調査結果を簡単に記載させていただきます。

バクテリアリーチング法を用いて汚泥中の重金属を除去する調査研究は、懸賞論文を投稿した翌年度、平成6年度から平成8年度まで、予備調査を含め3か年実施しました。その結果の概要ですが、硫酸による溶出法と比較し、重金属の溶出は、同等若しくはそれ以上の溶出効果を確認しました。とりわけ、カドミウムの溶出率に顕著な差が確認されました。これは、細菌が生成する硫酸による効果だけでなく、何らかの形で細菌が関与しているのではないかと考えられます。肥効成分である窒素、りん、カリウムについては、特にりんの溶出量が多くなります。ただし、バクテリアリーチング法を施した汚泥の脱水について、凝集剤の選定など課題があり、この検討が必要です。

次は、制度についてです。有効利用促進につながるような「規制緩和」の流れと共に、再生可能エネルギーの固定価格買取制度やエネルギー供給構造高度化法が施行され、とりわけ固定価格買取制度の対象となる消化ガス発電は、条件が合えば魅力的な事業となりました。この点を考慮すれば、利用促進のための制度が整備されたこととなります。しかし、論文では利便性のある程度許容しても有効利用を進める社会を想定しているので、少し違っているとも考えられます。

「積極的な有機物の回収」について、直投式ディスポーザーの普及という点で考えると、大都市では、まだまだ普及しておりません。合流式を採用する都市はなおさらです。しかし、ディスポーザーではありませんが、他のバイオマスを消化タンクに投入し消化ガスを増やそうという取組は、各方面で調査検討されているようです。本市でも、生ごみだけを分別回収し、送泥管経由で消化タンクに投入する調査を実施しました。評価は約900世帯を対象としたため、生ごみの量が少なく、汚泥処理プロセスへの影響評価というより

も、市民協働による分別回収の可能性に関する調査といえます。

「複合施設による高効率化システムの構築」として、ごみ焼却工場との各種ユーティリティー活用でのコラボです。先に述べた鶴見工場は、平成7年に稼動しました。協議を重ね、平成8年度よりごみ焼却により発電した電気を受けております。また、ごみ焼却炉の立ち上げ時に使用する燃焼ガスに消化ガスを活用すると共に、ごみ収集車の洗浄などに処理水を活用しています。ごみ収集車の燃料としての供給はできていませんが、複合化による効率化は、21世紀を待たずして実施できました。なお、その後21世紀に入ってもなく稼動したごみ焼却工場も南部汚泥資源化センターに隣接していることから、当初より同様のシステムになっています。

7. 22世紀に向けて

地球上に人類が存在する限り廃棄物の処理という課題はなくならないと思います。解決策として、奇想天外なものでも平凡なものでもよいですが、一歩ずつ着実に確実に解決できる策が望まれます。それには、各方面の様々な方々の継続した努力が重要だと思います。

22世紀に向けて、新たな課題を含め少しでも多く解決できていればいいと感じます。月に人類が降り立つ映像を見て、人類に不可能なことはないと感じた20世紀、人口増加による食料問題や環境破壊など複雑化する様々な課題に対処していかなければならない21世紀、解決法・対処法はきっとあると信じます。懸賞論文では、美しい地球を守り、将来にわたる繁栄を、全ての生物が享受できることを願い、暖めておいした次のフレーズで締めくくっております。私はこれを願って止みません。

「長い年月をかけ築き上げられた地球のリズムと生命の営みのメロディーに、われわれ人類が美しいハーモニーを合わせ、奏でることができると信ずる」

コ ラ ム

大切な水と農業をつなぐポリシリカ鉄浄水発生土

普段の生活の中で水がとても大切であることを感じることは少ないが、海外に行くと、水道水を安心して飲むことができる国は珍しいことを痛感する。わが国の上下水道関係者に、感謝したいと思う瞬間である。浄水場で水道水を製造する際に浄水発生土が排出される。これは、河川水などの原水の浮遊物質（土壌や有機物）を凝集剤の添加によって沈殿させ、脱水したものである。わが国ではアルミニウム系凝集剤（ポリ塩化アルミニウムや硫酸アルミニウム）がほとんどの浄水場で使用されている。浄水発生土の多くが埋め立て処分され、リサイクル利用はわずか40%弱で、有効な資源化方法が模索されている。浄水発生土は園芸培土や育苗培土の増量材として農業分野で利用されているが、凝集剤由来のアルミニウムはリン酸との反応性が高く、施肥したリン酸が吸着・固定されることには注意しなければならない。水処理用の新しい凝集剤として塩化第二鉄と高分子の重合ケイ酸を成分とするポリシリカ鉄凝集剤（Polysilicate-Iron：PSI）がわが国で開発され、一部の浄水場において試験的に導入されている。PSIを用いた浄水発生土（PSI浄水発生土）は、原水に由来する比較的分解しやすい有機物が含まれるので、農業利用する場合は窒素供給効果が期待できる。アルミニウム系凝集剤を用いた発生土と大きく異なる特徴は、凝集剤に由来する酸化鉄とケイ酸を多量に含むことである。ケイ酸はイネの重要な養分で、十分量吸収した場合、特に実りの季節が高温で推移した時に、収量とともに品質も向上する。イネの葉や茎の表面にケイ酸の衣を着ることにより無駄な水分損失が抑制され、イネ体内の水利用効率が高まる（気孔を開いて、多くの二酸化炭素を取り入れることができる）ためである。また、このケイ酸の衣は、最大病害のイモチ病菌の感染を抑制し、害虫被害も緩和する役割もしてくれる。また、水田は強力な温室効果ガス・メタンの主要な発生源の一つである。酸化鉄は、水田のように湛水され、空気が遮断された土壌では酸素のような役割（電子を受け取ることができる）をするため、強い還元状態で生成するメタンの発生を抑制することが知られている。私たちの研究室では、PSI浄水発生土を水田農業資材として活用することによって環境にやさしく、安定生産が可能になることを実証しつつある。現在、PSI普及協会とJA全農が協力して、この発生土によるケイ酸供給能の高い水稲用床土の開発が進められている。

農業は人が生きるために不可欠な食料を生産する営みであり、私たちはこれまで以上に農業を大切にしなければならぬ。同時に、水田農業は美しい田園風景を作り、水を貯留し、洪水を防ぎ、土と水田をすみかにする身近な生きものを守る役割をしていることも心にとめておきたい。近年、ケイ酸肥料が水田に施用されなくなったことに加えて、ダム貯水などによって河川水のケイ酸濃度が低下し、水田へのケイ酸供給量が減少していることが明らかにされている。温暖化等で不安定性が高まっているコメの収量・品質を安定化させ、温室効果ガス発生を抑制し、同時においしい水作りができれば、私たちにとって大切な水と農業が一つの環境技術によってつながることになる。その橋渡し技術として、このPSI浄水発生土の農業利用技術に期待したい。

東北大学大学院 農学研究科
准教授 伊藤 豊彰

ニュース・スポット

関係団体の動き

「2012日立市下水道フェア」の実施について

日立市企業局上下水道部下水道課

副参事 吉田 俊幸

イベント名称：「2012日立市下水道フェア」

日 時：平成24年9月8日(土)～9月9日(日)
午前9時30分～午後4時

(9日は午後3時まで)

場 所：池の川処理場

(茨城県日立市東成沢町2-16-1)

主 催：日立市下水道フェア実行委員会

(日立市企業局内)

主なイベント：①集客施策：かみね動物園による「移動動物園」、移動朝市による新鮮野菜即売、スタンプラリー（先着300名に来場粗品）や、その他4施策

②事業啓発施策：処理場見学ツアー、活性汚泥（微生物）の顕微鏡観察、下水道維持管理状況のパネル展示、東日本大震災における下水道災害復旧状況、下水道促進週間コンクール応募作品の展示、浄水場育成ラベンダーの配布、上下水道何でも相談コーナーや、その他10施策

③官民連携施策：管更生工法の実演、管渠内調査TVカメラの操作・綱引き、ゲリラ豪雨体験コーナー、雨水貯留タンクの展示、災害時緊急マンホールトイレの展示、旧型～新型マンホール鉄蓋の展示、模型による新技術推進工法の紹介や、その他10施策

その外に、かき氷、金魚・スーパーボールすくいや水道蛇口輪投げなどを実施

来 場 者 数：約2,000人

日立市企業局では、「9月10日の下水道の日」における運動の一環として、池の川処理場の施設を一般公開し、見学会等をはじめとする各種PRイベントを通じて、多くの市民に下水道事業について理解と関心を一層深めていただくことを目的に、局内職員による実行委員会を立ち上げて下水道フェアを毎年実施しております。今年の開催で4回目を迎え、災害時応援協定を締結している本市の下水道維持管理協議会・管工事協同組合や、下水道に関係する各団体等の協力を得まして、2日間で延べ約2,000人の来場者で賑わいました。

この下水道フェアは、市中心部にある池の川処理場において実施しておりまして、この処理施設の上部は覆蓋施設で処理水を修景用水とした「せせらぎ」が流れる公園となっております。ここでは市民が愉快地楽しめるイベントを集中させ、半纏を着用した係員が対応にあたるなどしてお祭りムードが漂う、にぎやかな会場づくりになっております。

一方、管理棟内部の通路や会議室等では、下水道週間応募作品の展示をはじめとする下水道に関する展示等を行い、下水道事業効果をアピールするとともに、下水道の処理過程や仕組み、そして下水道の必要性を分かり易く学べる会場づくりになっております。その中の「汚泥について分かり易く説明」するコーナーでは、下水処理で行われている活性汚泥法の主役である微生物の顕微鏡観察や発生した汚泥の有効利用について紹介を行いました。また、「下水道いろいろ実験」コーナーではティッシュペーパーとトイレットペーパーの水溶性の違いを分かっていたいただくための簡単な実験を行ったり、砂と乳酸飲料の容器を使って液状化現象を再現するなどして、小学生にも下水道に関する大事な事を楽しく学んでいただくことが出来ました。

また、来場者が出入りをする玄関前広場では、下水道維持管理協議会により、最新技術紹介として大がかりな管路更生工法の実演や、各種の管路維持管理用T

Vカメラを実際に操作させるなどして、日常目にする
ことの無い維持管理状況に触れることができ、下水道
とはどのようなものなのか大変興味を持っていただ
けたのではないかと考えております。

主なイベントは、前記をしましたように、集客施策・
事業啓発施策・官民連携施策を併せると、40を超え
たイベントコーナーがあり、小さなお子様からお年寄
りまで、年齢を超えて楽しむことができる内容となっ
ております。

何といてもこのフェアの目玉は「ゲリラ豪雨体験
コーナー」で、市管工事協同組合の技術力をお借りし、
本物の臨場感を出すために試行錯誤の末、せせらぎの
上に単管足場パイプをくみ上げゲリラ豪雨に匹敵す
る時間雨量100mmの体験コーナーを創り上げました。
本市でも時間雨量80mmを超える集中豪雨を経験して
いることから、このような雨を実際に体験することに
より防災意識を高め、災害に備えていただけるよう
に、このコーナーの設置を考えました。なお、豪雨と
いうリアル感を出すために、勢いよく降らせる雨は、
本市企業局の加圧式給水車が最適であることが分か
り、このときばかりは歓迎される出動で、近くの消火
栓と会場を忙しく往復し、体験を待つ子供たちで大賑
わいでした。今年の9月上旬はまだまだ暑く、子ども
たちは傘なしで豪雨体験を行う人気で、いつの間にか

納涼体験にもなっていました。

また、今年は新たにラベンダーの配布を行いました。
これは、本市企業局内の浄水場敷地に約6,000株
が育成されており、事業PRを兼ねて刈り取ってきた
ものを配布しました。この周りには、育成状況写真の
展示と共にプランターを配置し、ラベンダー畑の雰
囲気を醸し出させたところすこぶる好評で、2日間分
用意したラベンダーは初日のお昼ごろには底をつき、
慌てて明日の分を刈り取りに行く忙しさでした。

日立市の下水道の整備状況は、人口普及率で約
98%を推移しており、これまで整備・建設を中心に構
築された事業運営の仕組みから、施設の更新や維持・
機能管理を中心に据えた、新たな事業運営の仕組みを
構築していかなければなりません。

このような時期だからこそ、これまでは、見えにに
くく分かりにくい下水道から、見えやすく分かり易い
下水道にしていくため、市民と下水道事業者を直接結
ぶこの下水道フェアの位置付けは重要なことではな
いと考えております。

今後も、いろいろと創意工夫をしながら、より一層、
市民の理解が得られるよう、ライフラインとして持続
的に安定した良好なサービスの提供を目指した事業
展開を推進していきたいと考えております。



大人気の「ゲリラ豪雨体験コーナー」



熱心に顕微鏡を覗く「微生物観察コーナー」



ゆるキャラと一緒に「いろいろ実験コーナー」



管渠内調査TVカメラと「綱引きコーナー」



維持管理協議会による展示コーナー



「処理場見学ツアー」出発前説明



排水設備の勾配を利用してゲームに



フェアの状況は、すぐにCATVで放送

ニュース・スポット

関係団体の動き

豊橋市における下水道のPRについて ～下水道の日に関連して～

豊橋市上下水道局 給排水課

主査（広報担当） 竹内 泰子

1. はじめに

豊橋市では、なかなか目に触れることがなく身近に感じる事が少ない下水道についてその役割を伝え、正しく使っていただけるよう次のような事業を実施しています。

2. 下水道の日に関連した事業

下水道出前講座

平成元年から実施している事業で、当初は下水道整備区域の小学校を対象にしていたが、現在は市内ほとんどの小学校で実施しています。小学4年生の社会科の授業に出向き、下水道の役割・しくみ、正しい使い方、閉鎖性水域である三河湾浄化への貢献などを中心に講義をしています。このとき「五感での体験があると印象が強く残る」ということで4種類の水（流入下水・最初沈殿池・反応タンク・処理水）の臭い体験と顕微鏡を使った水質浄化微生物の観察を盛り込んでいます。また、下水汚泥をリサイクルした肥料「のんほいユーキ」も各クラスに持参して、学校の花壇や畑で使ってもらいます。

子どもたちが最も盛り上がるのは顕微鏡による反応タンクの微生物の観察で、クマムシを見つけると思わず歓声があがります。普段意識することのなかった下水道について驚きと共に関心も高めてくれるようです。

平成24年度の状況は、全市立小学校52校のうち48校と県立聾学校1校で実施し、受講者は計49校115クラス3,506人となっています。

夏休み 水の教室

夏休みを利用して、小学4年生から6年生までの児童とその保護者（合計50人）を対象として見学会を開催しています。水道施設や下水道施設を見学し、国や県の協力のもと三河湾の船上観察も行います。

親子や友達同士で楽しく参加し、水の循環や下水道の役割についての理解を深めています。また、多くの参加者が出前講座で知識を得てから参加しているので、より一層効果が高まっているように感じます。

「下水道の日」ポスター配布

毎年、下水道の啓発ポスターを作成し、下水道の日にあわせて小中学校、金融機関等に掲示依頼しています。今後、掲示場所の拡大を図っていく予定です。

「530のまち環境フェスタ」へのブース出展

豊橋市は「自分のゴミは自分で持ち帰りましょう」を合言葉に始まった「530（ゴミゼロ）運動」発祥の地です。地球環境に配慮した生活スタイルづくりのきっかけとして開催する「530のまち環境フェスタ」に下水道ブースを出展して、下水道ポスターコンクールの入賞作品の展示、顕微鏡による微生物観察、リサイクル肥料「のんほいユーキ」の無料配布、子ども向けゲーム等を実施し、PRを行っています。

3. おわりに

豊橋市の下水道広報は、子どもを通じた啓発活動が特徴になっています。現代っ子にとって下水道は「使えることがあたりまえ」で普段意識するものではないのかもしれませんが、しかし、さまざまな方法で驚きや体験を通して子どもの「興味」を引き出すことはその子の下水道への関心を高めるだけでなく、子どもを通じて各家庭の意識を向上させる効果もあると期待して実施しています。

【下水道出前講座】



積極的に授業を受ける小学4年生



流入下水から処理水までを臭いで比較

【夏休み 水の教室】



船上から三河湾を観察



川の水と採取した海水を透視度計で観察

【530のまち 環境フェスタ】



顕微鏡で水質浄化微生物を観察



「のんほいユーキ」の無料配布

おしらせ

民間企業の投稿のご案内

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

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

投稿要領

（資格）

1. 本誌への投稿は、原則として下水汚泥の有効利用に携わる民間企業のうち公益社団法人 日本下水道協会の会員に限ります。ただし、共同執筆（4企業以内）の場合は、同上会員以外の団体を含むことができますが、主たる執筆者は会員団体でなければなりません。

（原稿掲載の取扱い）

2. 原稿掲載の適否は、「再生と利用」編集委員会が決定します。

（掲載可否の判断基準）

3. 掲載適否の主な判断基準は、次の3.1、3.2、3.3、3.4によります。

3.1 単に汚泥処理に関する投稿文でなく、下水汚泥の有効利用の促進に資するものであること。

3.2 特定の団体、製品、工法、新技術等を宣伝することを目的とした投稿文（客観的、合理的な根拠を示すことなく、優秀性、優位性、有効性等について具体名を挙げて記述）でないこと。

ただし、次の場合は除く。

①特定の団体、製品、工法、新技術等の紹介が目的であっても、優秀性、優位性、有効性等の客観性かつ合理的な根拠を明確にし、下水汚泥の有効利用の促進に資すると認められるもの。

②特定の団体、製品、工法、新技術等の名称を記述しているが、単に論文の主旨をわかりやすく伝えるために用いており、投稿文の趣旨とは直接関係のない場合。

3.3 特定の団体、製品、工法、新技術等を誹謗中傷する内容を含む投稿文でないこと。

3.4 その他編集委員会が適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 技術研究部資源利用研究課

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

電話 03-6206-0679（直） FAX 03-6206-0796（直）

おしらせ

「再生と利用」への広告掲載方依頼について

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

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

記

1 発行誌の概要

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

2 広告掲載料・広告寸法等

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

※ 表 3 は指定頁になります。原則として 2 回以上の継続掲載とします。

※ 広告掲載料は、消費税込みの金額です。

3 広告申込方法及び留意事項

- (1) 広告掲載は、本誌の内容に沿った広告に限り行います。
- (2) 広告掲載のお申込みは、掲載月の40日前（1月発行号に掲載希望の場合は、11月20日）までに別紙「広告掲載申込書」に広告原稿又は流用広告原稿の写しを添付して、次の 5 に表示の申込先宛にお申し込み下さい。
- (3) 原稿をデータで提出する場合は、データ制作環境（使用 OS、アプリケーション、フォント等）を明記のうえ、出力見本を必ず添付して下さい。
- (4) 広告原稿の新規作成又は流用広告原稿の一部修正を依頼する場合は、別紙「広告掲載申込書」にレイアウト案又は修正指示（流用広告原稿の写しに修正箇所等を明記）をそれぞれ添付して下さい。その際、書体、文字の大きさを指定する等、原稿作成又は修正に必要な事項を明記して下さい。

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

4 お支払方法等

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

なお、送金（振込）手数料は、貴社負担にてお願いします。

5 申込み先及び問合わせ先

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

広告業務委託先 (株)LSプランニング（担当：「再生と利用」広告係）
〒135-0046 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139号（平成25年4月発行予定）
第25回下水汚泥の有効利用に関するセミナー特集
- 第140号（平成25年7月発行予定）
平成25年度下水汚泥資源利用等に関する予算及び研究内容と今後の方針の解説
- 第141号（平成25年10月発行予定）
下水汚泥と他バイオマスとの協働事例
- 第142号（平成26年1月発行予定）
中小規模の消化ガス発電導入事例、開発事例
再生可能エネルギー固定価格買取制度導入事例

「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です。 「下水道協会誌」(年 月号) 「下水道協会会員名簿」(年度) 「下水道展ガイドブック」(年度) 「下水道研究発表会講演集」(回 年度)
掲載料納入方法	該当月納入 ・ 一括前納
備 考	

上記のとおり申し込みます。

平成 年 月 日

会 社 (団 体) 名 (印)

住 所 〒

担当者所属・職・氏名 (印)

TEL

FAX

[広告代理店経由の場合に記入]

広 告 代 理 店 名 (印)

住 所 〒

担当者所属・職・氏名 (印)

TEL

FAX

汚泥再資源化活動

第129回「再生と利用」編集委員会

日 時：平成24年9月11日（火）

場 所：本会第1・第2会議室

出席者：野池委員長、尾崎、姫野、西迫、内田、島田、田村、川崎、仲谷、粕谷、濱田、奥出、長谷川、北折、西本、福田の各委員と崎野委員代理古賀氏

議 題：①第137号「再生と利用」編集内容について
②第138号「再生と利用」編集方針（案）について

概 要：①事務局から、資料4により第137号「再生と利用」の編集内容の説明を行い了承された。主な説明では、報告の再生可能エネルギーによる発電電力の固定価格買取制度について、経済産業省に電気事業法の規制の解説の執筆を依頼したが辞退となった。また、口絵は稚内市の生ごみと下水汚泥の混合メタン発酵を先に掲載し、次に下水道展'12神戸の状況を掲載することとした。

②事務局から、資料5により第138号「再生と利用」編集方針（案）について説明を行った。主な意見や質問は、特集テーマについて、「平成24年度下水道革新的技術実証事業（B-DASHプロジェクト）」から、「管路内設置型熱回収技術を用いた下水熱利用に関する実証事業」と「固定床型アナモックスプロセスによる高効率窒素除去技術に関する技術実証事業」並びに「神戸市東灘処理場 栄養塩除去と資源再生（リン）革新的技術実証事業－KOBEハーベスト（大収穫）プロジェクト」の3事業を追加して5事業とする提案があった。

③その他の意見交換では、野池委員長から「バイオマス事業化戦略」決定の資料提供があり、内容について説明をいただいた。これに関連して、「バイオマス事業化戦略」の概要を農林水産省バイオマス循環資源課に執筆を依頼することとした。

第139号「再生と利用」編集担当者会議

日 時：平成24年11月21日（水）

場 所：本会第3会議室

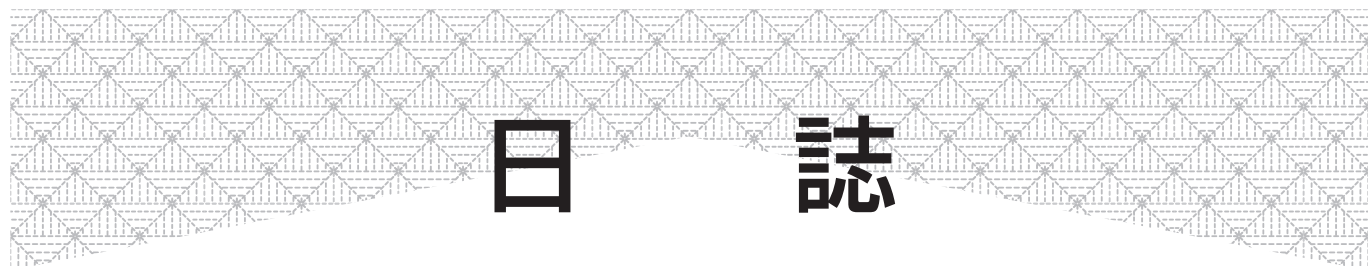
出席者：川崎、粕谷、奥出、西本の各委員と崎野委員代理三浦氏

議 題：①第138号「再生と利用」編集内容について
②第139号「再生と利用」編集方針（案）について
③平成25年度計画（案）について

概 要：①事務局から資料3により、「再生と利用」第138号の編集内容の説明を行った。主な説明では、口絵は11月1日・2日に広島市で開催した、第25回下水汚泥の有効利用に関するセミナーの状況を、次号の特集記事に先駆けて掲載することとした。特集テーマの平成24年度下水道革新的技術実証事業（B-DASHプロジェクト）では5つの事業全てを掲載することとした。また、「バイオマス事業化戦略」の概要を特別寄稿で紹介することとした。

②事務局から資料4により第139号「再生と利用」編集方針（案）の説明を行った。主な意見として、口絵に掲載を予定している胎内市について、炭化導入の経緯など論文投稿をいただきたい。また、新居浜市の下水処理場では、平成20年度から汚泥処理の時に発生する消化ガスを近接の火力発電所の燃料として有効利用している報告があった。

③資料5及び資料6並びに資料7により事務局から平成25年度計画（案）について説明を行った。主な意見では、特集テーマの142号の再生可能エネルギー固定価格買取制度導入事例については、導入状況によりテーマを再検討する。講座の②近年の自治体によるリン回収利用事業例について、事業例ではなく研究事例としてはどうかという意見があった。③の緑農地でのリンの収支動向は他の3件と話題が異なるので、焦点を絞った方がよい。リン酸の肥効に着目した新しい資材が検討されているので、そのような具体例を示してはどうか、との意見があった。



平成24年9月11日

第129回「再生と利用」編集委員会

本会第1・第2会議室

平成24年11月21日

第139号「再生と利用」編集担当者会議

本会第3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: 余剰脱水汚泥等の乾式アンモニア・メタン二段
発酵による減量化及びエネルギー回収

特 集: 第25回下水汚泥の有効利用に関するセミナー
特集

(解 説) 「広島市の下水汚泥燃料化事業について」
「下水汚泥資源利用の動向と今後の施策につ
いて」

(研究紹介) 「下水汚泥有効利用の課題と日本下水道事業
団における取組み」

「下水汚泥及び有機性廃棄物の有効利用に関

する土木研究所リサイクルチームの研究展開」
「エネルギー消費に関するベンチマーク指標
とエネルギー回収技術について」

「廃石膏を用いた消化汚泥脱水ろ液からのリ
ン回収」

講 座: 「これからの下水汚泥の緑農地利用」について
報 告: 「第25回下水汚泥の有効利用に関するセミナー
総合討議概要」

文献紹介: 2編

そ の 他: 会報、行事報告、次号予告、関係団体の動き

「再生と利用」編集委員会委員名簿

(順不同・敬称略)

(24.12.1現在)

委 員 長	日本大学大学院教授・東北大学名誉教授
委 員	秋田県立大学生物資源科学部教授
委 員	長岡技術科学大学准教授
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
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(リサイクルチーム)
委 員	地方共同法人日本下水道事業団技術戦略部戸田技術開発分室長代理
委 員	独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構東北農業研究センター畑作園芸研究領域長
委 員	独立行政法人農業環境技術研究所連携推進室長
委 員	一般財団法人日本土壌協会参与土壌部長兼広報部長
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(課長補佐)
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
委 員	山形市上下水道部次長兼浄化センター所長
委 員	横浜市環境創造局下水道施設部北部第一水再生センター長
委 員	名古屋市上下水道局技術本部計画部技術管理課主査(技術開発)
委 員	大阪市建設局下水道河川部水環境課担当係長
委 員	広島市下水道局管理部管理課水質管理担当課長
委 員	福岡市道路下水道局下水道施設部施設管理課長

野 池 達 也
尾 崎 保 夫
姫 野 修 司
西 迫 里 恵
内 田 勉
島 田 正 夫
田 村 有希博
川 崎 晃
仲 谷 紀 男
粕 谷 誠
濱 田 敏 裕
奥 出 晃 一
長谷川 輝 彦
北 折 康 徳
西 本 裕 二
福 田 佳 之
崎 野 寛

図書案内

下水汚泥分析方法 —2007年版—

—下水汚泥の緑農地利用における良質な製品の提供・円滑な流通を図るため—

2008.1発行 A4版(270頁) 価格5,500円 会員価格4,500円

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

主な改訂を目次（追加項目を下線）にて示すと、以下のとおりです。

目 次

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

編 集 後 記

本号の論説について、大阪大学名誉教授 藤田先生と大阪バイオエネルギー研究会 刑部様から、下水処理場における消化ガス発電の最適化運転の研究について、投稿いただきました。民間技術を活用するPFI手法による消化ガス発電事業が維持管理運営の時期に入ってから、下水処理場で必要な電力・熱エネルギーの自給率向上に向けた研究・取組を紹介いただいております。

近年、消化ガスや下水汚泥固形燃料をエネルギー源として活用する事業について、PFIやDBOで契約期間が長期にわたる事例が増えています。PFIやDBOでは、民間に一定の責任と裁量を付与することで、従来型の公共事業では限定的であった民間の技術、ノウハウを活用することが期待できます。このような事業について、契約締結時や施設の稼働時にはその話題性から、下水道の専門誌や業界紙などに取り上げられる機会が多いです。一方、民間の技術、ノウハウを活用できるのは、施設の設計時と建設時に限りません。例えば、本論説の消化ガス発電事業の維持管理運営期間は約20年間です。この長期にわたる維持管理運営期間での創意工夫を含めて、民間技術を活用できる期間であると認識しますし、この期間の創意工夫が、新たな事業計画や設計にフィードバックされることで、コスト面などのため事業化が困難な下水汚泥有効利用についても、道が開けると考えています。

愛知県建設部下水道課太田様からは、平成24年4月に施設が稼働した愛知県衣浦東部浄化センターの下

水汚泥燃料化事業についての投稿をいただきました。現在、下水汚泥の固形燃料化事業については、施設が建設段階である、または事業計画を持たれている自治体があり、今後も増えていくと考えています。この愛知県の契約でも官民連携の枠組であるDBOを採用されています。投稿の中では、官民連携の事業では、事業契約後の施設の運用においての関係者による検討・協議の重要性を指摘されています。平成24年7月から開始された再生エネルギー固定価格買取制度も追い風になり、下水汚泥のエネルギー利用が注目されていますが、事業契約後の長期にわたる関係者の地道な創意工夫、協議の大切さの意識を持ち続けたいと考えております。

最後になりますが、先の11月1日(木)～2日(金)に広島市で第25回下水汚泥の有効利用に関するセミナーを行いました。大きなトラブルもなく無事に開催できましたこと、お力添えを頂きました開催都市の広島市の皆様や講師の方々にこの場をお借りしまして、改めて御礼申し上げます。セミナーにつきましては本号の口絵にて紹介していますが、総合討議などの詳細につきましては、次号での掲載を予定しております。来年度も黒部市において本セミナーの開催を予定しておりますので、本年度同様に多数の皆様のご参加をお待ちしております。

(HY)

「再生と利用」 Vol.37 No.138 (2013)

平成 25 年 1 月 15 日 発行
(平成 24 年第 3)

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

日本土壌協会は、土壌の健全な維持と 環境保全型農業の推進に貢献します。

- ・ 堆肥等資材の特性評価試験、施用効果試験
- ・ 農作物の生育、収量、品質を対象とした土壌調査
- ・ 土壌医検定・資格と研修事業の実施
- ・ 土づくり推進フォーラム開催等の情報提供活動
- ・ 「土づくりとエコ農業（年6回発行隔月）」等、刊行物の出版
- ・ エコファーマーネットワーク化への推進



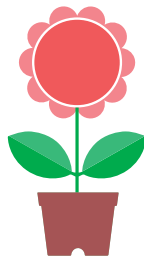
本誌「土づくりとエコ農業」
（年6回発行隔月）

一般財団法人 **日本土壌協会**
<http://www.japan-soil.net>

〒101-0051

東京都千代田区神田神保町1-58 パピロスビル6階

TEL.03-3292-7281 FAX.03-3219-1646



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