

再生と利用

2015 Vol. 39

No. 149

主要目次

- 口絵** 九頭竜川浄化センターの消化ガス発電設備の紹介／公益財団法人福井県下水道公社
下水道展'15 東京／ビストロ下水道推進戦略会議
- 巻頭言** 資源・エネルギーへの再生を担う下水道 …………… 大熊 洋二
- 論説** 下水熱利用普及へ向けて…………… 中尾 正喜
- 特集** バイオマス産業都市構想の取組み報告& バイオガス固定価格買取制度導入事例
- 解説** バイオガス産業都市構想の現状について …… 編集委員会事務局
洲本市バイオマス産業都市構想の概要 …… 洲本市農林水産部農政課
みやま市バイオマス産業都市構想取組報告 …… 副島 智夫
佐伯市におけるバイオマス産業都市の取組みについて…………… 佐伯市地域振興部商工振興課
南三陸町バイオマス産業都市構想について…………… 宮城県南三陸町環境対策課
固定価格買取制度の現状について…………… 編集委員会事務局
松山市中央浄化センターにおける消化ガス発電導入と固定価格買取制度による売電…………… 小嶋 徹也
「鶴岡バイオガスパワー」官民連携で取り組むF I Tを活用した消化ガス発電事業…………… 松浦 正也
- 研究紹介** 堆肥化乾燥における汚泥の乾燥…………… 小林 信介
廃水を肥料とするバイオマス生産技術の夜明け…………… 森川 正章・遠山 忠・田中 靖浩・森 一博・玉木 秀幸
清 和成・黒田 真史・三輪 京子・鎌形 洋一・池 道彦
- Q&A** B-DASH プロジェクト「水素リーダー都市プロジェクト～下水バイオガス原料による水素創エネ技術の実証～」について…………… 津野 孝弘
- 現場からの声** "下水汚泥"を利用した美味しい野菜類生産への道のり…………… 仲谷 紀男
- 文献紹介** 洗浄剤として下水汚泥堆肥由来の腐植物質は土壌から銅とカドミウムを効果的に除去できるのか…………… 杉山 恵
超臨界水による下水汚泥ガス化からの水素生成における、水酸化ナトリウムとニッケル触媒の影響…………… 金澤純太郎
- 講座** メタン活用いしかわモデルー中能登町における高濃度混合バイオマスメタン発酵ー…………… 武藤栄治郎
山鹿バイオマスセンターの取組と施設協力を受けて行ったバイオガス実証事業…………… 岡本 曉宗
- 投稿報告** 秋田県における広域での汚泥集約処理について…………… 工藤 守
鳥羽水環境浄化センターにおける太陽光発電の取組みについて…………… 玉川 昭雄
潜熱蓄熱技術を用いた低温排熱の利用技術…………… 岩井 良博
- コラム** リノベーションは暮らしの再生…………… 小野由記子
- 報告** 下水汚泥有効利用促進マニュアルー持続可能な下水汚泥の有効利用を目指してーの発刊（その2. 肥料利用編）…………… 前田 明德・亀田由季子
川崎市における下水汚泥焼却灰資源化に向けた調査（報告）…………… 原 周平
- ニュースレポート** ミラノ国際博覧会…………… 林 幹雄
- 資料** おしらせ（投稿のご案内、広告掲載申込）、汚泥再資源化活動、日誌・次号予告、編集後記・編集委員会委員名簿

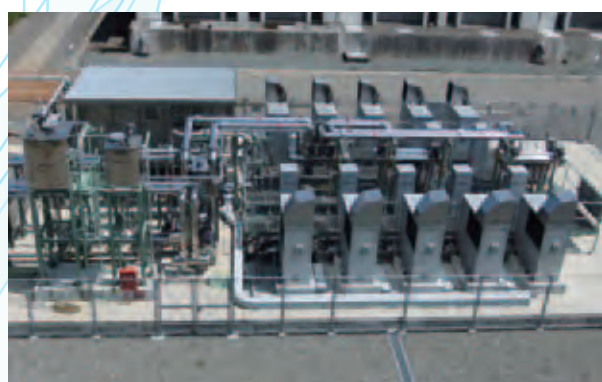
九頭竜川浄化センターの消化ガス発電設備の紹介

九頭竜川浄化センター（日最大処理能力 76,200m³/日）は福井県北部に位置し、福井市、あわら市および坂井市の約 13 万人の污水（平成 26 年度 約 1,685 万m³）を処理しています。

本センターでは、平成 26 年 3 月に汚泥処理過程で発生する消化ガスを利用して発電する、消化ガス発電設備（定格出力 25kW × 10 台）を導入しました。

消化ガス発電設備で発電した電力はセンター内で利用するとともに、発電の際に発生する熱を回収し、消化タンクを加温するための熱源として利用しています。

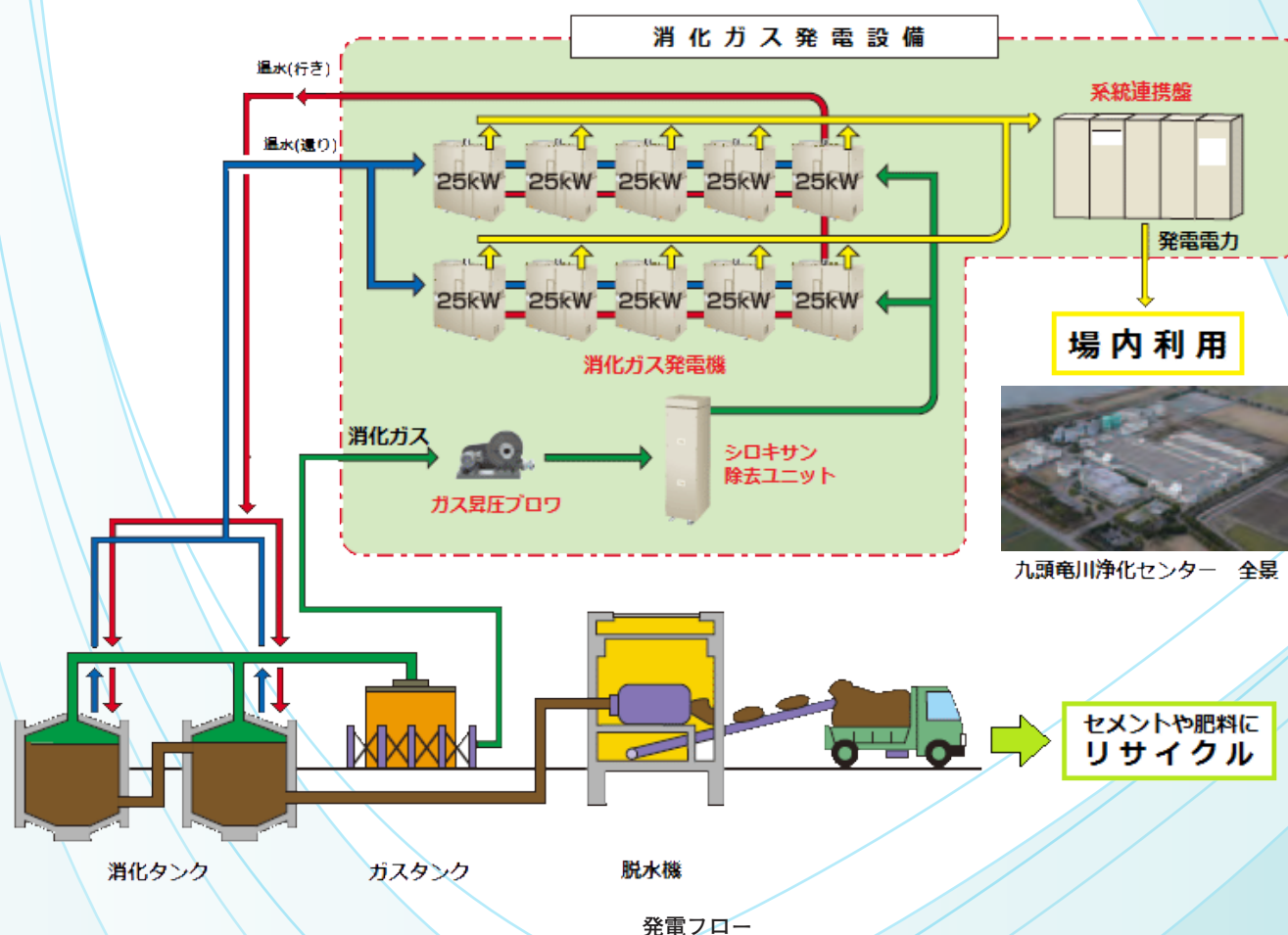
平成 26 年度は、202 万 kWh の電力を発電することにより、約 1,300t の二酸化炭素排出を削減し、地球温暖化防止に貢献しました。



消化ガス発電設備

（施設緒元）

名 称	型 式	台数
消化ガス発電機	消化ガスマイクロシステム コージェネレーション	10 台
シロキサン除去ユニット	活性炭吸着除去方式	10 台
ガス昇圧ブロワ	ターボブロワ	3 台



下水汚泥の有効利用 を幅広くPR

下水道展'15東京

2015年7月28日～7月31日

於：東京ビッグサイト



「ビストロ下水道」ブースに多くの来場者



BISTRO 下水道推進戦略会議

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

「BISTRO 下水道推進戦略会議」では下水道資源を活用した事例について、自治体や有識者らと、汚泥の有効利用や食との連携事例などの知見を共有しました。またゲストスピーカーに松井三郎・京都大学名誉教授が招かれ、「今後の食と環境の新しい関係」と題した講演が行われました。

パブリックブースに設置された「ビストロ下水道」では、多くの来場者に下水由来肥料作物などの紹介を行いました。

口絵

九頭竜川浄化センターの消化ガス発電設備の紹介／公益財団法人福井県下水道公社
下水道展'15 東京／ビストロ下水道推進戦略会議

巻頭言

資源・エネルギーへの再生を担う下水道 …………… 大熊 洋二 …… (5)

論説

下水熱利用普及へ向けて …………… 中尾 正喜 …… (6)

特集 バイオマス産業都市構想の取組み報告 & バイオガス固定価格買取制度導入事例

解説

バイオガス産業都市構想の現状について …………… 編集委員会事務局 …… (16)
洲本市バイオマス産業都市構想の概要 …………… 洲本市農林水産部農政課 …… (17)
みやま市バイオマス産業都市構想取組報告 …………… 副島 智夫 …… (22)
佐伯市におけるバイオマス産業都市の取組みについて …………… 佐伯市地域振興部商工振興課 …… (26)
南三陸町バイオマス産業都市構想について …………… 宮城県南三陸町環境対策課 …… (30)
固定価格買取制度の現状について …………… 編集委員会事務局 …… (34)
松山市中央浄化センターにおける消化ガス発電導入と固定価格買取制度による売電
…………… 小嶋 徹也 …… (35)
「鶴岡バイオガスパワー」官民連携で取り組むF I Tを活用した消化ガス発電事業
…………… 松浦 正也 …… (39)

研究紹介

堆肥化乾燥における汚泥の乾燥 …………… 小林 信介 …… (43)
廃水を肥料とするバイオマス生産技術の夜明け …………… 森川 正章・遠山 忠・田中 靖浩・
森 一博・玉木 秀幸・清 和成・黒田 真史・三輪 京子・鎌形 洋一・池 道彦 …… (50)

Q & A

B-DASH プロジェクト「水素リーダー都市プロジェクト～下水バイオガス原料による水素創エネ技術の実証～」について …………… 津野 孝弘 …… (54)

現場からの声

"下水汚泥"を利用した美味しい野菜類生産への道のり …………… 仲谷 紀男 …… (56)

文献紹介

- 洗浄剤として下水汚泥堆肥由来の腐植物質は土壌から銅とカドミウムを効果的に除去できるのか
..... 杉山 恵 (61)
- 超臨界水による下水汚泥ガス化からの水素生成における、水酸化ナトリウムとニッケル触媒の影響
..... 金澤純太郎 (62)

講座

- メタン活用いしかわモデルー中能登町における高濃度混合バイオマスメタン発酵ー
..... 武藤栄治郎 (70)
- 山鹿バイオマスセンターの取組と施設協力を受けて行ったバイオガス実証事業 岡本 暁宗 (75)

投稿報告

- 秋田県における広域での汚泥集約処理について 工藤 守 (86)
- 鳥羽水環境浄化センターにおける太陽光発電の取組みについて 玉川 昭雄 (89)
- 潜熱蓄熱技術を用いた低温排熱の利用技術 岩井 良博 (92)

コラム

- リノベーションは暮らしの再生 小野由記子 (97)

報告

- 下水汚泥有効利用促進マニュアルー持続可能な下水汚泥の有効利用を目指してーの発刊
(その2. 肥料利用編) 前田 明德・亀田由季子 (98)
- 川崎市における下水汚泥焼却灰資源化に向けた調査(報告) 原 周平 (105)

ニュース・スポット

- ミラノ国際博覧会 林 幹雄 (109)

資料

- おしらせ(投稿のご案内、広告掲載申込) (111)
- 汚泥再資源化活動 (114)
- 日誌・次号予告 (116)
- 編集後記・編集委員会委員名簿 (117)

※本文中の表題で掲載した執筆者の所属団体・役職は、執筆当時のものです。

巻 頭 言

資源・エネルギーへの
再生を担う下水道横浜市環境創造局長
大熊 洋二

下水道は、家庭や工場・オフィスなどから排出された下水を処理場に集約し、きれいな水に再生して川や海に還元することで、健全な水環境を維持しています。また、取り除いた汚れである汚泥を、資源やエネルギーとして再生することで、循環型社会の形成にも貢献しています。

近年、この下水から生み出される資源やエネルギーに注目が集まり、下水道管内の熱エネルギーの活用事例や、下水汚泥を肥料にした農作物、下水バイオガスから創り出す水素などがメディアで紹介されるなど、暮らしを支える下水道に脚光が当たり始めています。

下水を資源やエネルギーとして活用する取組は、自治体などの下水道事業者が各地域に応じた手法を検討し、様々な形で展開されており、国や自治体間での情報交換等を通じて全国的に拡大してきました。

横浜市の下水道事業は、昭和 37 年に下水処理場の供用を始め、以降、人口急増に対応するために集中的に整備を進めました。現在では、約 370 万人の市民生活を支える重要な都市基盤の一つとなっています。横浜市の下水道は、汚水を市内 11 カ所の水再生センターで処理し、発生した汚泥は 2 カ所の汚泥資源化センターに集約して処理するという、汚泥集約処理システムを採用しており、下水汚泥の効率的な処理と資源・エネルギー化を図っています。

平成元年から全面的に供用を開始したこの汚泥集約処理システムは、卵形消化タンクによる消化工程で下水バイオガスを発生させており、発生量は国内最大です。横浜市では、この下水バイオガスを貴重な資源ととらえて、汚泥集約処理の計画段階から活用方法を検討し、発電機の燃料や汚泥焼却の補助燃料などとして利用してきました。

現在、ほぼ 100% の下水バイオガスをエネルギーとして有効に活用しており、発電においては一般家庭の約 13,000 世帯分に当たる、年間約 4,500 万 kWh の電力を生み出しています。発電した電気は、場内で利用していますが、平成 25 年 3 月からは、一部を再生可能エネルギーの固定価格買取制度により売電することで利益を生み出し、経営改善にもつなげています。

このほか、消化後の汚泥を焼却した灰は、土質改良材などの建設資材の原材料に活用しています。また、工業地帯から発生する一部の汚泥からは、金・銀等の貴金属を回収できることから、汚泥の売却という形での活用も開始しました。さらに、汚泥を石炭代替燃料に資源化する事業にも着手しており、平成 28 年度から燃料化施設の運転を開始する予定です。

最近、燃料電池自動車の市販開始や、商用水素ステーションの開設、法規制の緩和など、国を上げて取組んでいる「水素社会の実現」を加速する動きが相次いでいます。水素は、使用時に温室効果ガスを排出しないエネルギーとして、地球温暖化対策としても大きな注目を集めています。下水バイオガスなどの再生可能エネルギーを利用することで水素製造時においても、温室効果ガスの排出抑制につながることから、その実用化が期待されています。

横浜市では現在、下水バイオガスを活用したマルチエネルギー創造の研究を民間企業と連携して進めています。これは、下水バイオガスから、水素、電気、熱、メタンという多様なエネルギーを、社会的需要に合わせて製造するシステムの実現に向けた研究で、実用化できれば水素需要の少ない時期には他のエネルギーをつくるなど、効率的な創エネシステムとなります。すでに他都市でも、下水バイオガスから水素を創り出す取組が進んでおり、下水道事業が水素社会の実現に貢献する先進事例となっています。

下水道が公衆衛生の向上、水環境の保全、浸水対策というこれまでの役割に加えて、下水を資源・エネルギーに再生する役割も担っていくことで、社会に貢献するとともに、持続可能な下水道事業運営の一助につながることを願っています。

論 説

下水熱利用普及へ向けて

大阪市立大学 特命教授 複合先端研究機構

中尾 正喜

キーワード：下水熱、下水管路、給湯・暖房、ヒートポンプ、熱交換器、スクリーン、ポテンシャルマップ

1. これまでの下水熱利用

我が国の最終エネルギー消費量（2010）の内、給湯・暖房用の温熱消費量が業務部門の34%、家庭部門の55%を占めており、その殆どが化石燃料で賄われている。私の試算によると、業務部門と家庭部門の給湯・暖房用に消費される化石燃料を発電に振り向けるとすれば、一般電気事業者の年間発電量の約2割を賄うことができるほどの量である。給湯・暖房用の熱を生産するために大量の化石燃料を消費している現実から脱却しなければならない。

下水熱は身近に存在する上に、時間変動が太陽光や風力に比べて小さい点で優位性を持つ優秀な再生可能エネルギー源であり、ヒートポンプを使用して給湯・暖房用熱源として活用できる。筆者の試算によると、2千m²程度の比較的小規模な宿泊施設では、下水熱を利用することにより、給湯用の一次エネルギー消費量（エネルギーを熱量換算した値であり、電気については、電気そのものの熱量ではなく、発電所で投入する化石燃料の熱量）がボイラと比較して約半分になる。下水熱は我が国の化石燃料使用量を大幅に低減できるポテンシャルを持った資源である。

このように魅力的な下水熱利用は東京都の落合水再生センター（1986年度）に始まる30年の歴史があり、大規模な下水熱利用事業は、全国3カ所の地域冷暖

房事業、ソニーシティ（ソニー本社）などの実績がある（図1）。1990年4月1日から供給開始した幕張新都心ハイテク・ビジネス地区の熱供給事業は日本で初めての下水処理水の持つ熱を利用した事業である。東京都の芝浦水再生センターに隣接するソニーシティは最近の処理水利用の成功例である。一般に下水処理場は熱需要密度の高いエリアから離れているが、芝浦水再生センターは再開発により高度業務集約地域に隣接することとなったことが幸いしている。一方、下水道施設管理者が実施した処理水の熱利用は、ほとんどが処理施設内建物の冷暖房利用に限られ小規模なもの



図1 全国の下水熱の利用マップ

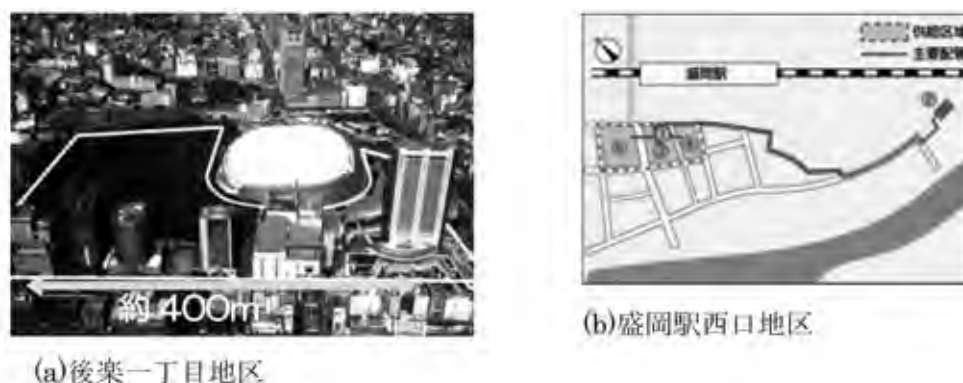


図2 ポンプ場における熱利用事例

出典：日本熱供給事業協会 HP (<http://www.jdhc.or.jp/area/tokyo/45.html>) 掲載図に加筆

である。これは下水処理場が熱需要密度の高いエリアから離れていることに起因する。

一方、未処理水の熱利用は後楽一丁目地区と盛岡駅西口地区の地域熱供給事業で導入されており、ポンプ場において下水熱交換器を用いて採熱している。この二つの事例は処理場より需要地に近いポンプ場での熱利用であるため、後楽一丁目地区では下水を熱源とする地域熱供給プラントから最大熱需要施設までの冷温水導管長が 400 m、盛岡駅西口地区ではポンプ場で下水と熱交換した熱源水を地域熱供給プラントまで輸送する導管長が 1000 m であり、導管を処理場から敷設するより短くなっている。にもかかわらず、これらの導管敷設長さでは導管建設費が熱供給事業建設費の約 1/2 を要していると推察される。

2. 今後の下水熱利用

下水熱利用の三つの採熱場所、①下水処理場、②ポンプ場、③下水管路を図3に示す。処理水の利用は熱導管の建設費の制約により下水処理場周辺に限られ

るため、処理水利用は処理場に近い熱需要密度の高い地域以外では見込めない。ポンプ場については、下水処理場に比べ都市内に分散して設置されているため、今後とも熱需要地近くに立地するポンプ場を調査し、未処理水熱利用を検討すべきである。ポンプ場の敷地に余裕があれば、後楽一丁目地区のように下水熱を利用する地域熱供給プラントを併設することも可能である。都市内、特に高密度な熱需要地内のポンプ場はその利用可能性を洗い出してみると、価値あるプロジェクトが構想できよう。

下水管路で熱利用する場合、下水管路は熱需要建物の近傍にあるため、採熱場所から熱需要建物敷地内に熱を輸送する距離を他の方式と比べて極めて短くでき、配管敷設費の点で著しく有利になる。

最近の動きとして、管路における下水熱利用技術の開発成果が得られたことがあげられる。具体的には B-DASH 事業の成果（積水化学工業による管更生工法に熱交換機能を組み込む方式の実用化）や NEDO 事業の成果（管路内設置タイプの熱交換器の実用化、管路外設置熱交換器とマンホール内設置スクリーンの

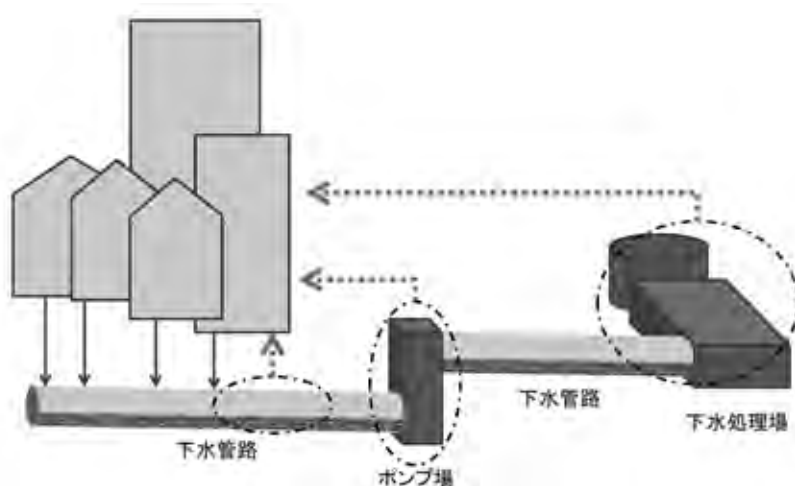


図3 下水道における採熱場所



図4 都市内下水幹線における下水熱利用ポテンシャルの試算例

実用化)がある。また、環境省と国土交通省の共同事業として下水熱ポテンシャルマップの作成手法が整備された。この下水熱ポテンシャルマップは管路における下水熱の利用可能量を示すものであり、作成マニュアルは下水熱利用の機会を向上させ、企画設計を支援するツールとして、今後各自治体で大いに活用頂きたい。

図4は検討イメージを示すための試算例に過ぎないが、地域熱供給事業の約1/4の下水熱ポテンシャルを持つ下水幹線が大阪市域で約250kmあることを示している。より低いレベルの下水熱ポテンシャルを持つ管路まで含めると、管路近傍施設で利用する可能性は高いと言えよう。

3. 下水熱利用のための下水流量・温度の調査

3.1 下水温度の調査例

図5に、大阪駅北側のエリアにある合流式幹線管路における、年間(2011年3月1日から2012年2月28日)の下水温度、大阪管区気象台の気温と降水量データを示す。降水時には一時的に下水温度が低下しており、冬期2月には最大10℃程度低下するが、降水終了後、数時間で回復することが観測されている。

降水時には夏期には2℃程度、冬期には3℃程度日変動している。下水温度と気温の月平均値を比較すると、下水温は夏期2、3℃程度気温より低いこと、冬期気温より10℃から12℃程度高いことが示されている(図6)。この観測事例では、夏期昼間は気温より6、7℃程度低くなるため、冷房熱源としての利用は夏季昼間に限られる。冷却塔を冷房熱源として利用する場合と比較すると、下水温度は外気の湿球温度より高いため下水熱源ヒートポンプの成績係数(効率を意味する)は冷却塔利用のヒートポンプに比べて不利となる。図7は冬期2月(大阪市内ポンプ場)の下水温と気温の時刻別平均値である。よく知られていることではあるが、冬期、下水を熱源とするヒートポンプが空気を熱源とするヒートポンプより、成績係数の点で優位にあることが理解できる。

以上より、当該管路の下水温度の場合、冷房用途より、暖房や給湯用途に適していると言える。もちろん下水温度は、地域性があるため具体のプロジェクト検討時には、対象建物近傍における下水管路の下水温度計測または推定が必要である。なお、夏期に冷房用として冷却塔使用に劣ることを述べたが、冷却塔の場合必要となる補給水が不要であるため、水道料金の節約になる。

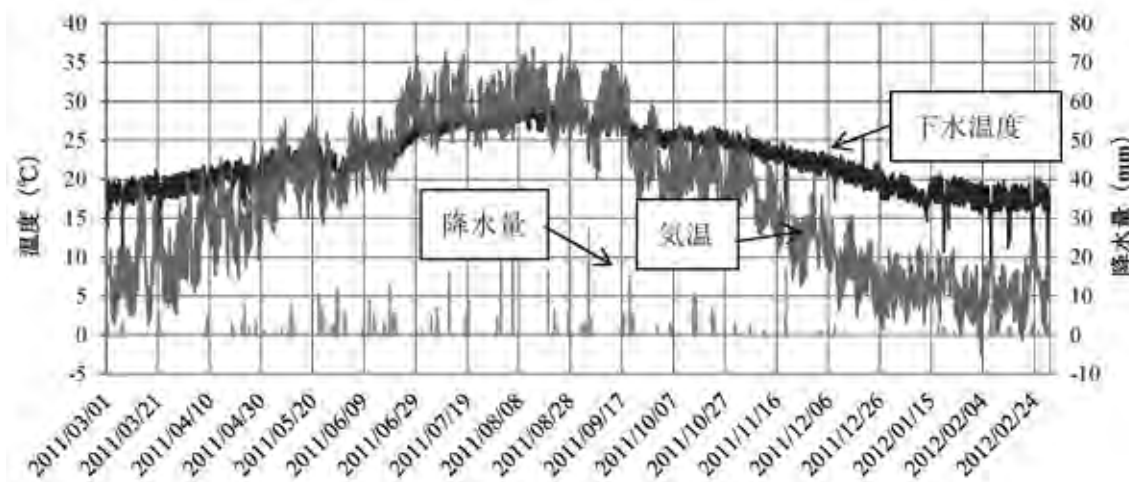


図5 下水温度、気温、降水量の関係（大阪海老江処理区内管路データ）

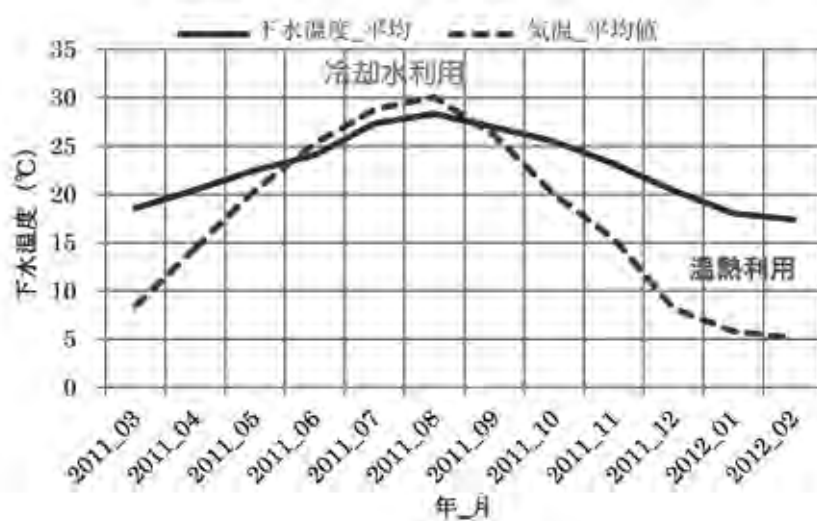


図6 下水温度・気温の月別平均温度（大阪海老江処理区内管路）

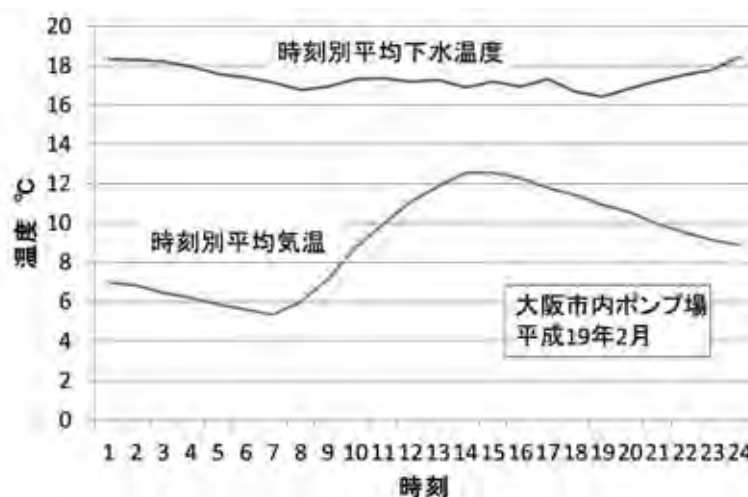


図7 大阪市海老江処理区内の下水管温度計測値（時刻別月平均値、晴天日）

3.2 下水流量の調査例

図8は下水管路流量の日変動を計測した事例である。日変動パターンは年間を通して似ており、早朝最低値に達し、昼間のピークの40～50％程度である。年間最大値の30％程度の季節変動がある。1、2月に最低流量を示している。

深夜電力時間帯に熱利用する場合には、早朝の最低流量に配慮して、採熱量あるいは取水量を決める必要がある。また、取水量を下水流量と同程度とすると、取水地点と還水地点間で下水の夾雑物が堆積する恐れがあることに配慮し、取水量を下水流量より少なくする。このように、下水熱利用システムの設計者側は日平均流量や日最低流量の情報を必要としている。

4. 下水管における下水熱利用ヒートポンプシステムの基本構成

下水は夾雑物や有機物を含有するので、ヒートポンプの熱交換器（蒸発器）に直接導入することは避ける。このため、ヒートポンプの熱源となる水（熱源水）に下水から熱を伝えるための熱交換器が必要となる。下水管における下水熱利用方式は熱交換器の設置位置により下水管内熱交換方式と下水管外熱交換方式に分けられる。

(1) 管路内熱交換方式（図9）

管路内に採熱用の熱交換器を付加する方式である。

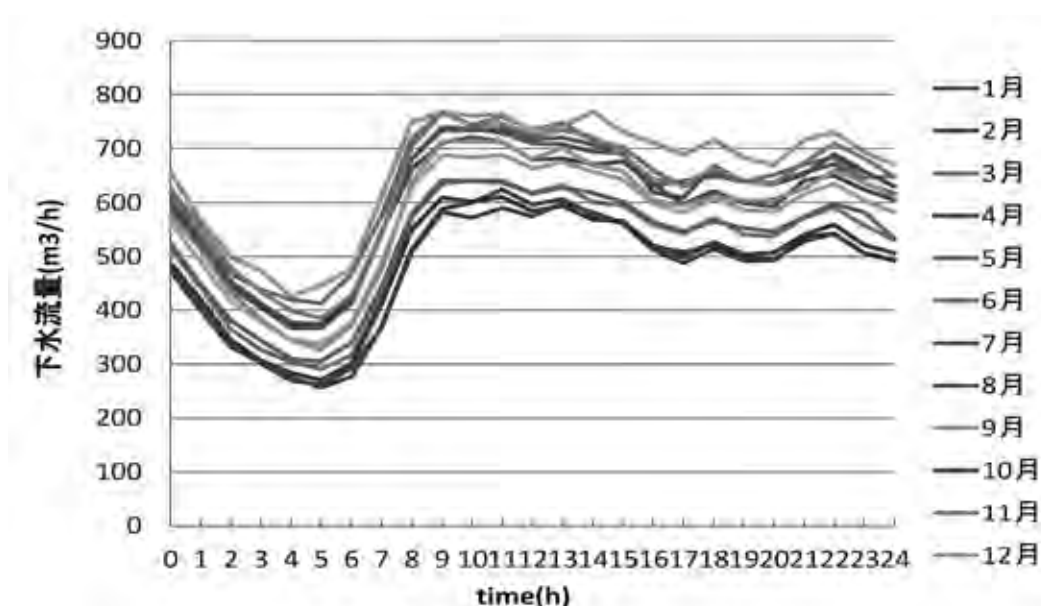


図8 下水管流量の計測例（月別時刻毎平均値、晴天日、大阪海老江処理区内管路）

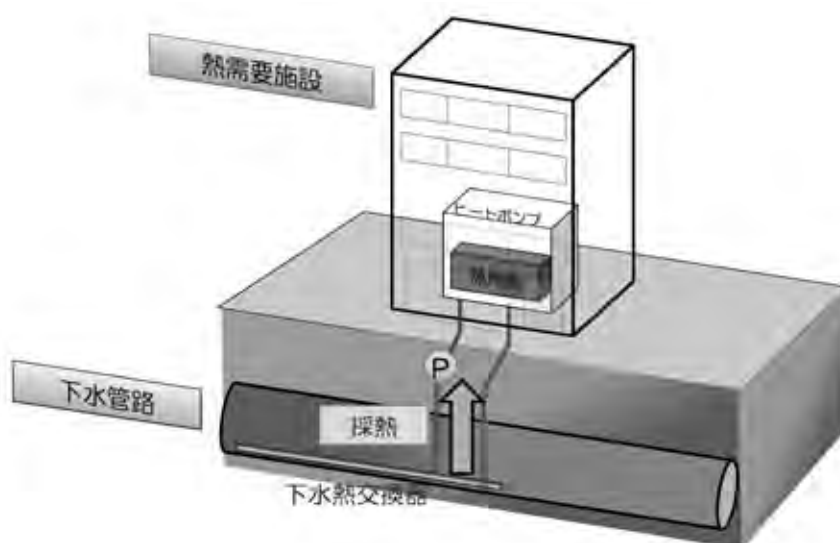


図9 下水管路で採熱（下水管路内熱交換方式）

熱交換器内の熱源水は凍結防止のため通常不凍液（ブライン）が使用される。ドイツ、スイスでは既存管路底部に敷設するタイプの平板型熱交換器が実用化され導入事例がある。我が国では NEDO 事業で開発された低コストの熱交換器（図 10）が実証試験を終了し、製品化が現在進められている。本年の下水道法の一部改正（平成 27 年 7 月 20 日施行）により熱供給事業者等は、公共下水道の排水施設の暗渠部分又は流域下水道の施設に量水標等又は熱交換器を設置することができることとなった。熱利用を目的として民間事業者が下水道事業者と協議し、民間事業者が熱交換器を投資できることとなったわけである。また、老朽化管路の長寿命化を図るため、管更生工法に熱交換機能を付加する方式が実証試験を経て、導入されている。

管路内熱交換方式は下水管路長さあたりの採熱量が 0.5 ～ 2kW/m であるため、管路外熱交換方式と比較

して 500kW 程度までの小中規模の熱利用向きである。ドイツやスイスで導入事例はあるが、500kW 程度の採熱規模では数百 m に及ぶ下水管路に熱交換器を敷設する必要がある。

（２）管路外熱交換方式（図 11）

本方式は下水管路から取水して管路外に設けた熱交換器に下水を導き熱交換後、下水に戻す方式である。下水の流下阻害の懸念が無い点に、管内に熱交換器を敷設する方式と比べて優位性がある。

本方式は、後楽一丁目地区や盛岡駅西口地区のように下水熱を利用した地域熱供給事業において採用されている方式と同様な方式である。これまでのポンプ場における熱利用は大規模であるため夾雑物対策用のスクリーンや熱交換器は下水処理事業等で使用されるスクリーンや一般的なシュルアンドチューブと呼ばれる

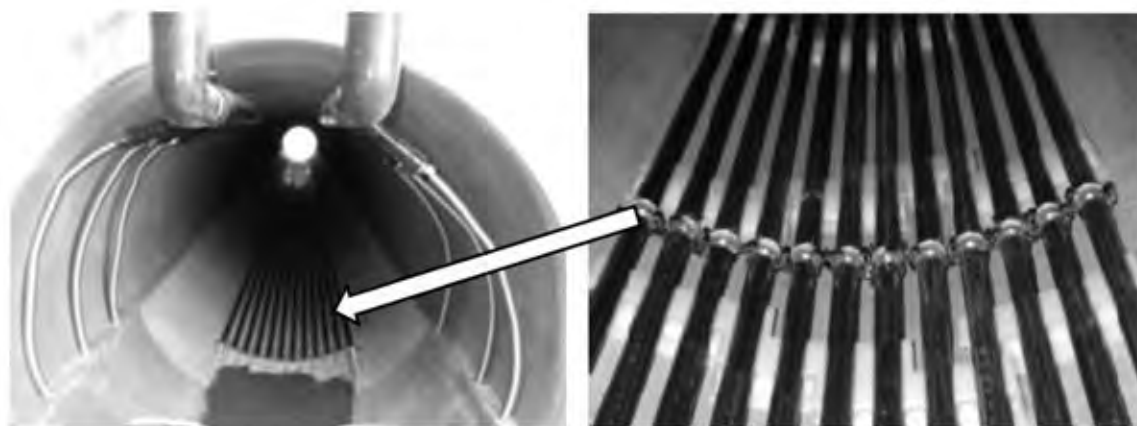


図 10 下水管底に設けられた熱交換器（採熱のためヒートポンプの熱源水が管内を流れる）

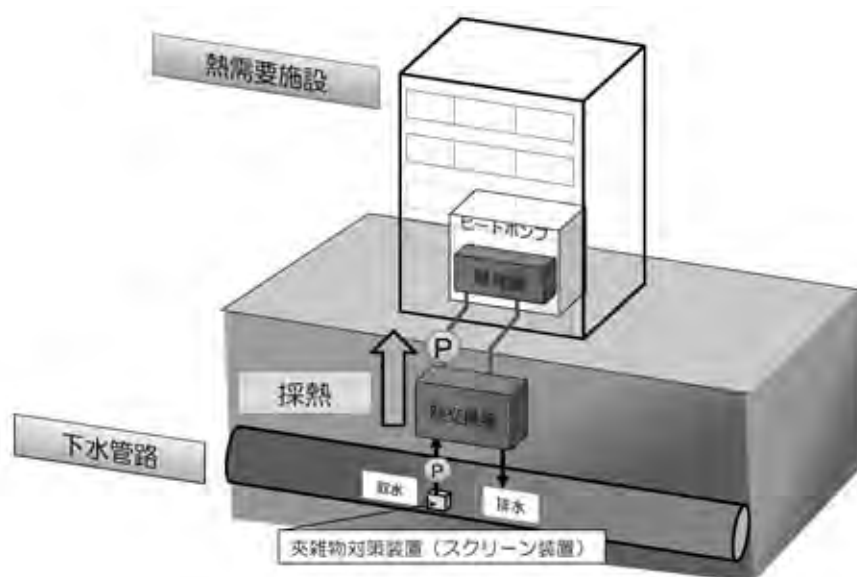


図 11 下水管路外熱交換方式

熱交換器が使用されている。下水道幹線で地域熱供給規模の熱利用を行う場合でも、管路外熱交換方式は後楽一丁目地区の事例のように、一般的なスクリーン、熱交換器の組み合わせで実現できる。

また、保守体制の整備が可能なので、スクリーンやシェルアンドチューブ熱交換器の定期洗浄などを実施することができる。

しかし、下水熱をより低流量の下水道管で利用する場合、このような規模では、地域熱供給事業のようなスケールメリットが狙えないため、夾雑物対策装置(スクリーン)と熱交換器の低コスト化、維持管理費の低減対策が普及のポイントとなる。NEDO 事業では徹底した低コスト化を狙って開発を進めた。

開発事例として内径 1200 φ のマンホールに設けた



図12 マンホール底部に設けた洗浄機能付きスクリーン(マンホール上部から見下ろした写真、約500世帯の給湯を賄える取水能力。別途に設けた熱交換器で採熱する方式)

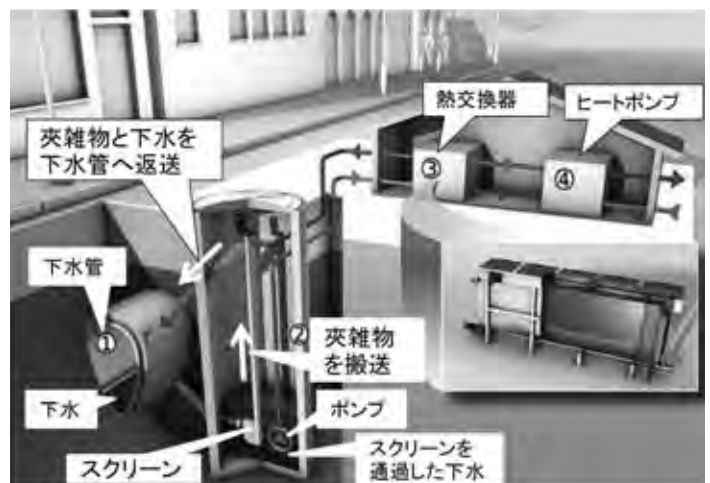


図13 スクリーン装置の例 (HUBER 社資料に加筆)

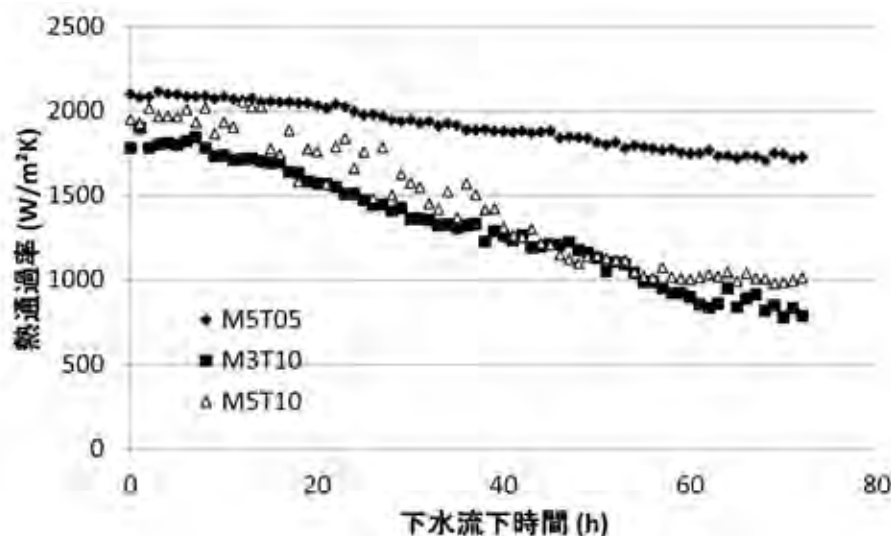


図14 下水熱用熱交換器の熱交換性能(熱通過率)の経時変化(流下液膜熱交換器の実測例、洗浄しない場合)

ルムが生成することにより、伝熱面からの熱の伝達性能（対流熱伝達率）が低下する。性能低下例として、**図 14** に流下液膜式熱交換器の性能（熱通過率）の経時変化を示す。これ以上詳しい説明は避けるが、三つのデータは伝熱面表面の下水の流速・温度などが異なっていることにより性能低下に差異が生じることを示している。この熱交換器の性能低下傾向に応じて、洗浄や機械的な掻き取りにより伝熱性能を回復しなければならない。伝熱性能を回復する直前の最低レベルによって熱交換器の規模（伝熱面積）を設計するため、性能低下傾向は熱交換器のコストにとって重要である。洗浄や掻き取りの頻度を高くすると、熱交換器の性能低下を防げるが維持費は高くなる。伝熱性能の最低レベルはコストと維持費を総合して判断する。

6. 下水熱利用の普及へ向けて

下水熱利用の普及に向けて、より一層取り組むべき事項を示したい。

①機器メーカーの参入

下水熱利用に必要な機器の製品化が進むことを期待したい。NEDO の事業成果を活用して、多くのメーカー（熱交換器、スクリーン、ヒートポンプなど）に参入してもらいたい。ヒートポンプについては、空気熱源の給湯ヒートポンプ並みの価格で、水熱源の給湯ヒートポンプが市場に供給されることを望む。問題は機器量産の前提となる初期台数をどのように確保するかである。出荷台数により価格が左右されるが故に、補助事業などにより初期台数を確保することが必要となる。

このため、自治体の保有施設など公共施設への率先導入を期待する。

②下水道事業者によるポテンシャルマップの公表

第二の課題は下水道事業者によるポテンシャルマップ作成とその公表である。環境省と国土交通省の共同事業で作成された下水熱ポテンシャルマップの作成手法「下水熱ポテンシャルマップ（詳細ポテンシャルマップ）作成の手引き」を用いて、自治体の下水道部門がマップ作成に着手し、管路下水流量、下水温度などのマップ情報を作成し、公表することを期待したい。

③低炭素まちづくり計画の作成

低炭素まちづくり計画の策定のため、民間施設・建物の所有者と自治体の都市計画部門、環境部門、下水道部門が協力して計画策定に取り組む必要がある。都市計画部門のリーダーシップ、下水道部門の意欲、環

境部門の支援を期待したい。

新たな開発エリアについても下水熱利用を低炭素化対策として検討すべきである。自治体は、その保有する施設を対象に下水熱利用を盛り込んだ低炭素まちづくり計画を策定して頂きたい。

④下水道部門による下水流量・温度調査への協力

国土交通省下水道部の策定した下水熱利用のガイドラインに示されているように、民間事業者からの下水熱利用の求めに応じて、自治体の下水道部門は下水流量・温度の調査や情報提供に協力しなければならない。民間事業者は通常、デベロッパー、建物オーナー、建築設計事務所、建築設備設計事務所など多岐にわたるが、自治体側の関連部局も多いので、具体的な手続きを進めるための窓口を、是非一本化して頂きたいものである。

7. 市場開拓への期待

①集合住宅市場の重要性

大規模な新規開発プロジェクトでは大きな低炭素化効果と、短い投資回収年数が期待できるが、案件は限られていよう。国レベルで大きな低炭素化効果を狙うには既存の建物・施設を対象とした市場への普及が必須となる。下水熱のマーケット（民生部門）は、初期段階では既存の宿泊施設や温浴施設がターゲットであるが、機器コストが低下する普及段階では、集合住宅がターゲットとなる。大阪府のケースでは集合住宅の給湯熱需要が全給湯熱需要の 35% あるのに対し、宿泊施設は 2% に過ぎない。集合住宅への普及が下水熱利用普及にとって必須であることが理解されよう。集合住宅への普及を目指して、公営住宅への率先導入や都市開発を担う事業体の積極的な取り組みをお願いしたい。

②新たな市場開拓

最後に、道路融雪など交通分野を始め、農業分野など新たな下水熱市場開拓を目指すことを提言したい（**図 15**）。例えば、比較的内地にある市街地から農業地帯を経由して臨海部に設けられた下水処理場に達する下水幹線があれば、この幹線上にある温室は格好の下水熱利用施設である。

産業部門のマーケット開拓も必要である。40℃ から 60℃ 程度の比較的低い温度レベルの熱需要のために、ボイラを使用している産業では、下水熱利用効果が高い。食品工場など 100℃ 以上の熱需要がある分野では、下水熱による予熱方式が有望である。

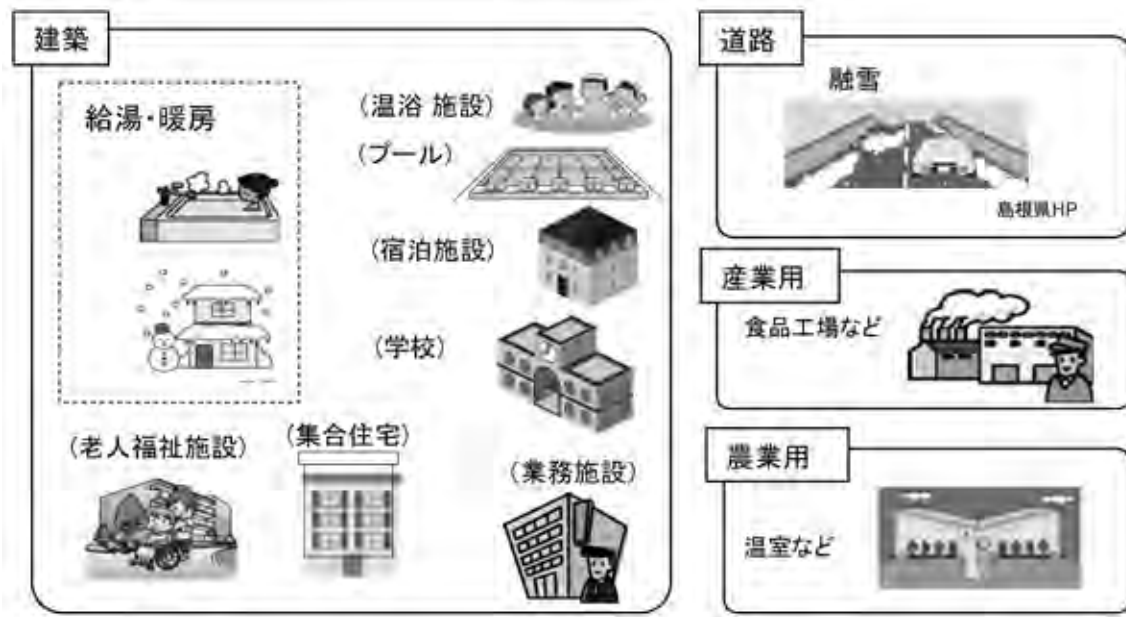


図 15 下水熱利用の対象となる施設

③下水熱の普及に伴う都市排熱の注入

これから普及させていこうという段階であるにも関わらず、少々気が早いかもしれないが、普及段階で下水道施設管理者が考えなければならないことを述べておきたい。

下水熱のポテンシャルは、浴室排水、調理の排水などの由来から推察すると、給湯熱需要の30%～40%を賄う程度（採熱により下水温度が上水温度レベルまで下がると仮定）である。したがって、給湯への下水熱利用が下水熱ポテンシャルを上回るほど普及すると、下水熱を利用した幹線の下水温度は、上水温度より低下する。この下水温度低下に伴い、冬期に下水処理場のバイオ処理能力が低下することが懸念される。バイオ処理能力低下を心配しなければならないほど普及した段階では、都市内施設の排熱を積極的に下水に注入することが必須となる。都市内施設として、データセンターのような年間冷房施設、変電所などが候補となる。下水道管理者は下水流量・温度の状態を把握し、下水熱を最大限利用できるような管理が必要となろう。

下水温度の低下が問題になるほど下水熱利用が普及し、都市内の排熱を下水へ注入する時代が来ることを願っている。

参考文献：

- ・B-DASH事業：4), 6), 7)
- ・管路における流量・温度推定手法の研究：8), 9), 10)

- ・海外の動向：11)
- ・スクリーンや熱交換器の開発：12)～18)
- ・省エネ効果等企画段階の参考情報：19), 20), 21)
- ・ポテンシャルマップ作成等の手引き：22), 23), 24)

- 1) 中尾 正喜：今後の下水熱利用に期待すること，下水道協会誌 49-598 (2012-08-01)，pp.4-7
- 2) 山本 博之：下水熱利用推進施策について，下水道協会誌，49-598 (2012-08-01)，pp.8-11
- 3) 中尾 正喜：足元の熱エネルギー利用，第9回建築設備シンポジウム「環境建築の新たな展開に向けて」，日本建築学会，(2013-10-25)
- 4) 松橋 学：下水道革新的技術実証実験(B-DASH プロジェクト)による未利用下水熱活用技術の実証研究について，下水道協会誌，49-598 (2012-08-01)，pp.15-18
- 5) 仁平 幸男：東京都における下水熱活用プロジェクト，下水道協会誌，49-598 (2012-08-01)，pp.25-28
- 6) 仲道 雅大：仙台市における管渠からの下水熱利用検討について，下水道協会誌，49-598 (2012-08-01)，pp.33-35
- 7) 水窪 俊博，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，再生と利用 2013 Vol.37，No.138，42～44
- 8) 三毛 正仁他：下水管路における流量・温度推定のための下水流量・温度の実測，空気調和・衛生工学会論文集，No.202 (2014-01)，pp.11-21

- 9) 鍋島 美奈子他:下水温度推定方法(下水管路における下水熱利用技術の開発), 日本下水道協会, 第51回下水道研究発表会(N-4-3-1)(2014-07-24), pp.544-546
- 10) 三毛 正仁他:下水熱利用のための下水管路における晴天日下水流量推定法の提案, 空気調和・衛生工学会論文集, No.204(2014-03), pp.47-55
- 11) 金澤 純太郎:海外における下水熱利用の動向について, 下水道協会, 49-598(2012-08-01), pp.19-24,
- 12) 小高 康生他:夾雑物捕捉スクリーンの開発(下水管路における下水熱利用技術の開発), 日本下水道協会, 第51回下水道研究発表会(N-4-2-3), (2014-7-24), pp.532-534
- 13) 澤部 孝一他:管路外熱交換システムの性能試験(下水管路における下水熱利用技術の開発), 日本下水道協会, 第51回下水道研究発表会(N-4-2-5), (2014-7-24), pp.538-540
- 14) 西岡 真稔他:流下液膜式熱交換器の実験結果(下水管路における下水熱利用技術の開発), 日本下水道協会, 第51回下水道研究発表会(N-4-2-4), (2014-7-24), pp.535-536
- 15) 江川 真一他:管路内熱交換器の開発(下水管路における下水熱利用技術の開発), 日本下水道協会, 第51回下水道研究発表会, (N-4-2-2), (2014-7-24), pp.529-531
- 16) 瀬川 勇輝他:下水熱回収熱交換器の熱通過率に関する実験(第1報)管周壁採熱型下水熱交換器の熱通過率に関する基礎的検討, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 空気調和・衛生工学会, (2013-09-25), pp.225-228
- 17) 崔 林日他:下水熱回収熱交換器の熱通過率に関する実験(第2報)下水熱回収熱交換器の汚れに関する基礎的検討, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 空気調和・衛生工学会, (2013-09-25), pp.229-232
- 18) Craig Farnham 他:下水熱回収熱交換器の熱通過率に関する実験(第3報)管内設置方熱交換器性能把握について, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 空気調和・衛生工学会, (2013-09-25), pp. 233-236
- 19) 梅野 良枝他:下水熱利用の省エネルギー効果(下水管路における下水熱利用技術の開発), 日本下水道協会, 第51回下水道研究発表会, (N-4-2-6), (2014-7-24), pp.541-543
- 20) 三毛 正仁他:下水熱利用可能量の推定(下水管路における下水熱利用技術の開発), 日本下水道協会, 第51回下水道研究発表会, (N-4-2-8), (2014-7-24), pp.529-531
- 21) 中曾 康壽他:下水熱利用技術の普及に向けて(下水管路における下水熱利用技術の開発), 日本下水道協会, 第51回下水道研究発表会, (N-4-3-3), (2014-7-24), pp.550-552
- 22) 下水熱ポテンシャルマップ(詳細ポテンシャルマップ)作成の手引き, 平成27年3月, 環境省総合環境政策局 国土交通省水管理・国土保全局下水道部
- 23) 民間事業者による下水熱利用手続ガイドライン, 平成24年12月12日, 国土交通省水管理・国土保全局下水道部
- 24)「下水熱利用プロジェクト推進ガイドライン(案)」, 下水熱利用推進協議会, 第5回協議会資料, 平成26年2月27日, 国土交通省水管理・国土保全局下水道部

特集：バイオマス産業都市構想の取組み報告&バイオガス固定価格買取制度導入事例

バイオマス産業都市構想の 現状について

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

我が国は農村部・都市部等において下水汚泥、木質、食品廃棄物、家畜排せつ物などの豊富なバイオマスを有しており、地域のバイオマスをエネルギーやマテリアルとして創意工夫を活かして活用する産業の展開は地域に新たに付加価値を創出し雇用と所得を確保するとともに、活力あるまちづくりにつながるものと期待されます。

このため我が国においてはバイオマスニッポン総合戦略に基づくバイオマスタウン構想やバイオマス活用推進基本法が施行されました。また、地域推進計画の円滑な策定に資するため「バイオマス活用推進基本法に基づく都道府県及び市町村によるバイオマスの活用の推進に関する計画の策定の推進について」及び「都道府県・市町村バイオマス活用推進計画作成の手引き」等が作成されました。

さらにバイオマスについてはその利用技術の到達レベルの横断的な評価に基づき、関係7府省・自治体・事業者が連携し、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バイオマス活用の事業化を重点的に推進し、地域におけるグリーン産業の創出と自立・分散型エネルギー供給体制の強化を実現していくための指針として「バイオマス事業化戦略」が策定されました。

この事業化戦略においては関係機関の連携により木質、食品廃棄物、下水汚泥、家畜排せつ物などの地域バイオマスの原料生産から収集・運搬・製造・利用ま

での経済性が確保された一貫システムを構築し、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・むらづくりを目指す「バイオマス産業都市」の構築を推進することとされ、関係7府省が共同でバイオマス産業都市の構築を目指す地域を選定し、支援していくこととしています。

バイオマス産業都市づくりには、前述したようにバイオマスの生産から収集・運搬・製造・利用まで関係者が多数存在すること、地域全体での取組みであることから、地域の実情に応じて以下の3ケースの主体がバイオマス産業都市構想を作成するものとします。

- ① 市町村（単独又は複数）
- ② 市町村（単独又は複数）と当該市町村が属する都道府県の共同体
- ③ ①又は②と民間団体（単独又は複数）との共同体

このような中、平成26年度には6地域が新たに選定され、平成25年度までに選定された16地域と合せて合計22地域がバイオマス産業都市構想の実現・具体化に向けた取組みが進められることとなりました。

本誌においては既に、新潟市、津市、浜松市よりバイオマス産業都市構想の取組みについて寄稿をいただいております。今回の特集では新たに南三陸町、洲本市、みやま市、佐伯市の4都市より寄稿をいただき、紹介をさせていただきます。

特集：バイオマス産業都市構想の取組み報告 & バイオガス固定価格買取制度導入事例

解 説

洲本市バイオマス産業都市構想の概要

洲本市役所農林水産部農政課

キーワード：バイオガス、竹資源、BTL、微細藻類

1. 洲本市の紹介

洲本市は、兵庫県南部の淡路島中央部に位置しており、人口4.6万人（平成27年7月現在）、総面積182.4km²。市内には、三熊山や先山など、瀬戸内海国立公園の指定地域として、豊かな自然環境が維持されている。

市中央部には、先山（標高448m）を中心とした山地が続き、その東側に平野が広がり、島内でも有数の流域面積を誇る洲本川が流れ、その下流域に洲本市街地が形成されている。西側にはなだらかな丘陵地帯が広がり、田園地帯を形成している。市の南部は洲本市の水源である論鶴羽山地が南あわじ市へと続き、森林地帯が広がっている（図1）。

また、古来より朝廷の食膳の糧を奉る国として「御食つ国（みけつくに）」と呼ばれ、古くから農林水産業の先進的地域として発展してきた。今日においても、温暖な気候の下、自然条件に恵まれた農業の盛んな地域として知られており、水稻、野菜、果樹、花き、酪農、肉用牛等多様な農業生産が営まれている（図2）。

平成22年には「あわじ環境未来島構想」を策定し、「エネルギーの持続」、「農と食の持続」、「暮らしの持続」に向けた総合的な取組みを淡路島全体で進めている。翌平成23年には「あわじ環境未来島特区」の指定を受け、島全体の環境未来島づくりに向けて、エネルギー

の地産地消や再生可能エネルギーの創出等、複数のプロジェクトが稼働している。このなかで本市は、先進的な技術を導入した「エネルギーの持続」を目指す重要地区として位置づけられている。

2. バイオマスに関するこれまでの取り組み

◇家畜ふん尿の堆肥化事業

本市は県下有数の酪農・畜産地帯であり、個別又は複数の農家により中小規模の堆肥舎を整備してきたほか、洲本市酪農農業協同組合（現淡路島酪農農業協同組合）においては、処理能力18t/日の大規模共同堆肥化施設である「洲本市有機資源センター」を平成17年度より運営している。良質な堆肥の供給によって、耕畜連携による土づくりを推進している。

◇菜の花・ひまわりエコプロジェクトおよびBDF・B5燃料製造事業

本市では、平成13年度から、休耕田を活用した菜の花、ひまわりの栽培・搾油による食油利用を実践している。また、平成15年度からは、使用済みの食用油（廃食用油）を原料としたBDF（バイオディーゼル燃料）の精製を、平成24年度には、新たなBDF精製設備（酵素触媒法BDF精製設備）の導入およびB5燃料製造設備を導入し、実証事業を進めている。



図3 洲本市バイオマス産業都市構想が目指す将来像

らせる地域の形成」の3つの重点方向を定め、本市固有の魅力を生かしたまちづくりを進めている。

また、「あわじ環境未来島構想」における「暮らし・エネルギー・農と食の持続」をスローガンとした取り組みの一環として、バイオマスの利活用を推進し、事業化（産業化）による循環型社会の形成、新たな産業の育成、農林漁業の活性化等に取り組んできた。

今後一層のバイオマス利活用促進のため“バイオマスでつながる環境未来の里・すもと”を将来像のキャッチフレーズとして『洲本市バイオマス産業都市構想』を平成26年3月に策定（同年11月に洲本市はバイオマス産業都市に認定（近畿初））。市民の積極的な参加を得ながら構想を推進することにより、バイオマス資源の有効利用による地域活性化と、人と自然が共生する健やかで安心できるまちづくりの実現を目指す。

4. 事業化プロジェクト

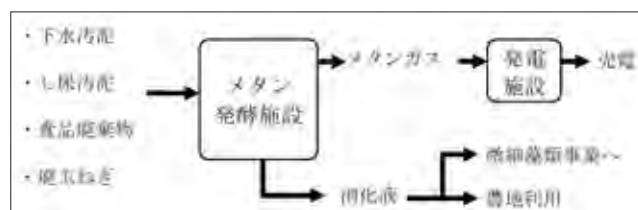
①菜の花・ひまわりエコプロジェクトおよびBDF、B5燃料事業の拡大

平成13年度から取り組みを継続している菜の花、ひまわりエコプロジェクトは、本市を代表する環境活動のひとつとなっている。また、廃食用油のBDF化ならびにB5燃料化については、平成25年度より実

証事業を実施している、酵素触媒法BDF精製設備およびB5燃料製造設備を最大限活用し、菜の花・ひまわりエコプロジェクトおよびBDF、B5燃料の更なる利用拡大を図る。

②バイオガス発電事業

「高速メタン発酵によるエネルギー回収システム事業化可能性調査（平成22年度）」等これまでの調査・検討結果を踏まえ、下水汚泥、し尿汚泥、食品廃棄物、廃玉ねぎ等を原料とするバイオガス発電事業の実現を目指す。

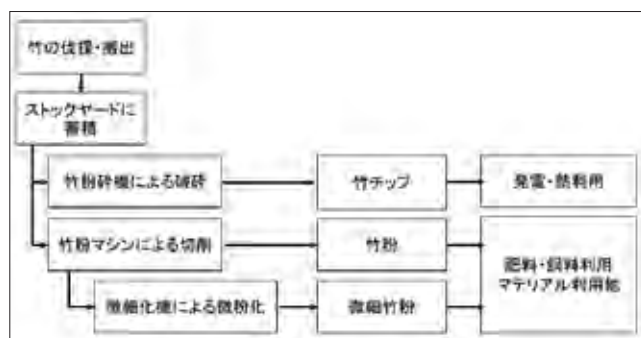


③竹資源の有効利用事業

さまざまな利用可能性を検討し、地域に見合った効率の良い伐採・加工方法と、費用対効果を考慮した、竹資源の有効利用事業の実現を目指すとともに、竹林の適正管理によって、有害鳥獣による農業被害の軽減および里山の保全を図る。

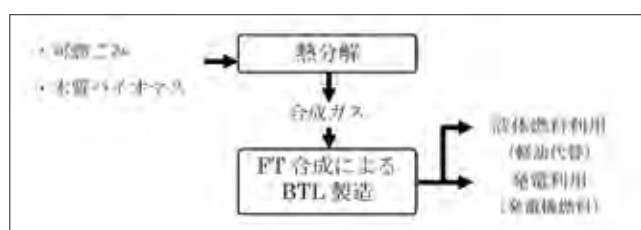


図4 菜の花・ひまわりエコプロジェクト概念図



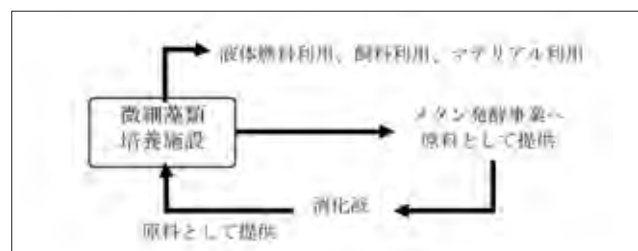
④ BTL 製造事業

「淡路地域におけるドライ＆ウェットバイオマス共有ガス化発電 事業可能性調査（平成25年度）」を踏まえ、可燃ごみや木質系バイオマス等を原料とした合成ガスやBTL（Biomass to Liquid）を精製し、液体燃料利用ならびに発電、熱利用事業の実現を目指す。



⑤ 微細藻類の有効利用事業

育成が早く、液体燃料の原料、飼料原料等として期待されている微細藻類の培養・育成・加工によるエネルギー・マテリアル利用事業の実現を目指す。



⑥ その他のバイオマスの有効利用

すでに取り組んでいる牛ふん尿の堆肥化事業、稲わら、もみ殻の敷料・飼料利用については、維持・継続するとともに、今後のバイオマス変換技術の発展により利用が期待できる技術等は積極的に導入する。

5. 構想推進による地域波及効果

- バイオマス利用量の向上：現状 110,461t/年（利用率 56%）から 157,750 t/年（利用率 80%）へ
- 雇用の創出：35人

- エネルギー自給率向上：約 3.7% 向上
- 温室効果ガス削減：2,935-CO₂/ 年の削減
- 廃棄物削減：11,791 t/ 年の削減
- 地域における利益の共有化：洲本市地域再生可能エネルギー活用推進条例の理念に基づく地域貢献・市民参加を組み込んだ事業化
- 環境教育の広がり
- エネルギーセキュリティの強化（災害時のエネルギー確保）
- 産学官連携（域学連携）の深化
- 森林環境の保全
- 持続可能なまちづくりのための基盤形成とブランド化

6. 今後の展望

市、市民、事業者、有識者等、関係者が連携しながら構想を推進するため、平成 26 年 12 月に「洲本市バイオマス産業都市構想推進協議会」を設立。各事業化プロジェクトについて確認、助言、評価を行うとともに、その結果を踏まえ、実施体制、実施方法等を改善し、必要に応じて構想を見直すための体制を構築した。

各事業化プロジェクトについては、それぞれで進捗状況に差はあるものの、関係事業者数社が中心となって、事業化に向けた具体的検討が産学連携により進められている。市としては構想推進と企業誘致の観点から、これら関係事業者との協働体制を取っている。

特集：バイオマス産業都市構想の取組み報告 & バイオガス固定価格買取制度導入事例

解 説

みやま市バイオマス産業都市構想 取組報告

みやま市環境衛生課 循環型社会推進係

主事 副島 智夫

キーワード：生ゴミ・し尿・浄化槽汚泥発酵発電、し尿処理場、液肥利用、ごみ分別回収、海苔資源化

1. 経緯

東日本大震災による原発事故を受け、再生可能エネルギーに関する関心が高まり、再生可能エネルギー導入調査を行った結果、みやま市における最も有効な再生可能エネルギーとして「生ごみ・し尿・浄化槽汚泥メタン発酵発電を利用した資源循環プロジェクト」が効果的であると判明した。平成 25 年度からメタン発酵発電施設の導入可能性について詳細な検討を行い、

市内のし尿処理場が更新時期にあることなどから、現在のし尿処理場を廃止し、メタン発酵発電・液肥化施設を導入する方法が、効果が高いことが明らかになった。平成 26 年度からは環境衛生課の中に「循環型社会推進係」を新設し、体制を整え、平成 26 年 11 月、「バイオマス産業都市」として認定された。

2. みやま市のバイオマス構想

バイオマス	概要	備考
メタン発酵発電 液肥化施設	生ごみ、し尿・浄化槽汚泥のバイオガス化(発電・熱による施設自立運動)と消化液の農業利用	平成 30 年度稼働予定
紙おむつリサイクル	紙おむつに使用されている良質パルプを水曜が処理し再生パルプとして耐火ボード等建築資材に再利用	平成 27 年 10 月開始
BDF 製造	廃食用油から BDF を製造し、メタン発酵施設内の運搬車両等の燃料利用。	回収は平成 15 年度より開始済み
はたき海苔資源化	色落ちした生の海苔(原藻)から堆肥・飼料を製造し、農業利用。	研究中
木質バイオマス利用	域内の木質資源を燃料とした木質ボイラによる熱利用	検討中

3. 取り組みの紹介

(1) 生ごみメタン発酵発電施設

●施設建設

H30 年度の稼働を目指し、候補地の選定、アセスメ

ント等の準備を進めている。

●液肥

メタン発酵施設で液肥を製造しても、利用が進まず液肥が余ってしまうと、経費をかけて水処理をしなければならない。農家の方々が納得して自ら進んで液肥を使ってくれるような体制を整えていく必要がある。そこで現在、福岡県大木町の液肥を使い、定期的に説明会や散布会（写真1）、食べくらべ会（写真2）を開



写真1 液肥散布見学会

き、PRをしている。さらに、「液肥利用研究会」への参加を呼びかけている。高菜やナスなど市の主要農産物の多くの栽培部会が参加をしており、実際に液肥を使って栽培して判断してもらう。（写真3）（写真4）

こうしたPR活動、市民の方々と農協の協力、大木町の影響もあってか、「液肥を使いたい」という声は多く、「どうやって使っていただくか」という課題は、「どう配分するか」という課題に変化している。



写真2 液肥栽培作物の食べ比べ会



写真3 液肥で栽培した菜の花から採れた菜種油



写真4 道の駅で売られる液肥で育ったスイートコーン

●分別

施設に生ごみを供給するために、市内の生ごみ賦存量に対してどの程度の収集が見込まれるのかを調査す

るモデル事業を実施している。毎年9月から11月までの3か月間、市内3地区で、10世帯あたりに1個の収集バケツ設置し、週2回の回収を行っている。（写真5）

	平成25年度	平成26年度
世帯	183世帯	310世帯
収集量	4,580 kg	8,120 kg
1世帯当たり年間収集見込	100 kg/年・世帯	104.7 kg/年・世帯
本市全体への換算	1,400 t/年	1,481 t/年
賦存量に対する収集割合	65%	69%

平成 26 年度は前年よりも収集量が増加し、賦存量(2,146 t)に対して7割ほど収集が見込めた。しかしメタン発酵施設の稼働年度である平成 30 年度の目標は1,600 トン／年であるので、今後さらに分別に関して理解・関心を深めていく。

アンケートでは「生ごみ資源化という市の方針についてどう思うか」という問いに「良い」「どちらかと言えば良い」と答えた方が95.4%に達した。「燃やすごみを出す回数が週2回から1回に減った」「三角コーナーをバケツに入れるだけなのでとても楽」といった好意的な意見が多く、計画推進の後押しとなっている。



写真5 生ごみ分別モデル事業

●モデル事業 アンケート

生ごみ資源化についてどう思うか

良い	どちらかといえば良い	無回答	あまり意味がない
77.1%	18.5%	2.9%	1.5%

燃やすごみの出し方に変化はあったか

軽くなった	回数が減った	あまり変化なし	無回答
39%	33%	15.5%	12.5%

生ごみを週2回の回収で、燃やすごみを週1回の回収にするのは可能か

可能	難しい	無回答	その他
62%	20%	13.1%	4.9%

(2) 紙おむつリサイクル

平成 26 年度の2か月間、分別モデル事業を実施。紙おむつを使用している60世帯に参加して頂いた。市内3地区各6か所の回収ボックスを設置し、1,810 kgの紙おむつが集まり、217kgの再生パルプに資源化された。(写真6, 7)

アンケートでは、臭いについての問いに、「やや臭いが気にならない」「まったく気にならない」と答え

た人が90%に達し「計画を実施してほしい」と82%の人が答えた。また、「紙おむつだけでも燃やすごみはかなり軽くなった」「いままではしばらく家に置いとかなければいけなかったが、24時間いつでも出せて衛生的」といった意見も聞かれ、大変好評であった。そこで、市は準備を急ぎ、新しい分別ごみ袋の準備を進め、平成 27 年 10 月、事業を開始した。



写真6 紙おむつ分別箱



写真7 紙おむつ分別箱中身

●紙おむつモデル事業 アンケート

回収ボックスの臭い

まったく臭わなかった	やや臭うが気にならなかった	とても臭いが気になった	無回答
48%	42%	7%	3%

燃やすごみの出し方に変化はありましたか

燃やすごみが軽くなった	燃やすごみを出す回数が減った	あまり変化がなかった
70%	18%	12%

市全域で分別収集する計画について

実施してほしい	無回答	その他
85%	8%	7%

(3) BDF製造

廃食用油回収

平成15年度より市内各地180ヶ所に廃食用油の回収タンクを設置し、回収された廃食用油はリサイクル業者により資源化されている。(写真8)現在平均5,500kg/年を回収しているが、賦存量の10%程度である。生ごみや紙おむつと共に分別の協力を呼びかけ、回収の拡大を図る。



写真8 廃食用油回収

(4) はたき海苔

本市の主要水産物である海苔の養殖において発生するはたき海苔(品質劣化海苔)は多額の費用をかけて処分されている。そこで、福岡有明海漁業協同組合連合会では平成24年度からはたき海苔の有効利用の研究をはじめ、堆肥化実験や成分分析、生育試験などを行った。生育も十分という結果が出て、肥料登録までされ

た。この研究に基づき、みやま市、柳川市、県漁連、県リサイクル総合研究事業センター、有明生活環境施設組合及び県水産海洋技術センター有明研究所で共同研究協定を締結し、回収方法、保存方法、コスト面など様々な課題を検討している。

(5) 木質バイオマス

平成27年4月からは粗大ごみ木質部分の資源化を開始した。

4. おわりに

これまで廃食用油回収、ごみ袋有料化、プラスチック分別、粗大ごみ有料化など施策を打ち出し、ごみ量は少しずつ減ってきている。さらにバイオマス構想も周辺自治体やバイオマスを推進している自治体、農協、市民等々、多くの方々に協力して頂きここまで順調に進んでいる。特に大木町というメタン発酵の先進施設が隣にあることで、「メタンプラント施設は臭いのでは」「液肥は本当に使えるのか」といった疑問にすぐに実物を使って対応できている。みやま市の計画は、大木町を参考にしつつ、3倍ほどの規模で、はたき海苔の資源化や事業系生ごみも受け入るなどさらに発展したものであり、二酸化炭素削減、ごみ量減少、ごみ処理費用削減だけでなく、農業振興や雇用創出、地域活性化まで図る。様々な団体と情報交換や研究をし、それを活かし、地方創生の大きな一歩となるよう推進している。

特集：バイオマス産業都市構想の取組み報告 & バイオガス固定価格買取制度導入事例

解 説

佐伯市におけるバイオマス産業都市の取組みについて

大分県佐伯市 地域振興部商工振興課

キーワード：地域資源の有効活用、エネルギーの産業化、地産地消の推進

1. はじめに（バイオマス産業都市を目指した背景）

佐伯市は、平成21年3月に様々なバイオマスを利用することで農山漁村の発展を図りながら地球温暖化防止や循環型社会の構築することを目的に、地域に存在するバイオマスの総合的な利用方法を定めた「佐伯市バイオマスタウン構想」を策定しました。

一方、その後発生した東日本大震災と原子力発電所事故に伴うエネルギー需給の逼迫化に端を発した国のエネルギー政策の転換等バイオマスを取りまく状況は、ここ数年で大きく変化しています。

以上を受け本市は、既存の「バイオマスタウン構想」をより進歩させた「佐伯市バイオマス産業都市構想」（以下、「本構想」とします。）を策定することとしました。本構想で目指したところは「単にバイオマスを利用すること」から「エネルギーの産業化」、「エネルギーの地産地消の推進」へと施策の方向を転換するこ

とです。本構想の実現によって、環境に優しくかつ災害にも強い地域づくりを進め、併せて、新しい地域産業となるクリーンエネルギー産業を創出し、併せて雇用機会を生み出します。

2. 将来像と目標

環境に優しく、かつ地域内で確保可能なバイオマスを最大限に活用することにより「豊かな自然環境を次世代に引き継ぐまち」、「安全で住みよいまち」、「産業を振興し、仕事と地域を誇れるようなまち」の3点を実現化しながら地球温暖化防止にも貢献します。さらに市・企業・市民が協同して新たな取り組みを行い、国のエネルギー供給体制の分散化の一翼を担いながらクリーンエネルギー産業を創出することで、本市が抱える課題を解決し、最上位計画の「佐伯市総合計画」において目指すべき将来像として定める「九州一の広大なやさしさ 佐伯市」の実現を目指します。

<本市が目指す方向性>

- ◎地球環境への思いやりを持ち自然環境の保全に取り組むこと
→「豊かな自然環境を次世代に引き継ぐまち」の実現化
- ◎環境に優しいクリーンなまちをつくること
→「安全で住みよいまち」の実現化
- ◎意欲を持って仕事ができるよう、佐伯の特性・資源をいかした企業活動の環境整備や支援を行うこと
→「産業を振興し、仕事と地域を誇れるようなまち」の実現化

3. 達成すべき目標

本構想では、次表のとおりバイオマス利活用を推進することで、全体賦存量の利用率 84.9%（バイオマスタウン構想策定時利用率 60.3%）の達成を目指します。

バイオマス賦存量(全体)と今後の活用目標(バイオマスタウン構想ベース)								
バイオマスの種類		賦存量(t/年)		変換・処理 方法	利用量(t/年)		方向性	目標 利用率 (%)
		湿潤量	炭素換算量		湿潤量	炭素換算量		
廃棄物系バイオマス(A)		96,547	11,343		93,080	10,320		91.0
家畜排せつ物	肉用牛	8,734	521	堆肥	8,734	521	農地還元	100.0
	乳用牛	5,505	328	堆肥	5,505	328	農地還元	100.0
	豚	12,007	716	堆肥	12,007	716	農地還元	100.0
	採卵鶏	4,964	296	堆肥	4,964	296	農地還元	100.0
	ブロイラー	10,131	605	堆肥	10,131	605	農地還元	100.0
	(計)	41,341	2,466		41,341	2,466		100.0
生ごみ		1,359	60	焼却	0	0		0.0
廃食用油	家庭系	128	91	焼却	0	0		0.0
	学校給食	10	7	BDF	10	7	燃料	100.0
	(計)	138	98		10	7		7.1
製材工場残材		28,335	6,311	エネルギー化	28,335	6,311	発電燃料	100.0
建設廃材		3,153	1,388	チップ化等	1,173	516	ボイラ燃料	37.2
公園剪定枝		143	32	エネルギー化	143	32	発電燃料	100.0
汚泥	下水汚泥	2,007	193	エネルギー化	2,007	193	バイオガス	100.0
	集落排水汚泥	1,659	159	エネルギー化	1,659	159	バイオガス	100.0
	し尿・浄化槽汚泥	1,283	123	エネルギー化	1,283	123	バイオガス	100.0
	(計)	4,949	475		4,949	475		100.0
食品廃棄物		5,296	234	エネルギー化	5,296	234	バイオガス	100.0
焼酎かす		11,833	279	エネルギー化	11,833	279	バイオガス	100.0
未利用バイオマス(B)		22,842	5,506		17,197	3,977		72.2
農業系	稲わら	5,184	1,484	飼料、敷料、 堆肥等	1,451	415	農地還元 飼料化等	28.0
	もみ殻	1,392	399	堆肥、敷料	854	245	農地還元 飼料化等	61.4
	果樹剪定枝	1,374	306	焼却、放置	0	0		0.0
	(計)	7,950	2,189		2,305	660		30.2
林業系	木材生産林地残材	12,510	2,786	エネルギー化	12,510	2,786	発電燃料	100.0
	間伐林地残材	2,382	531	エネルギー化	2,382	531	発電燃料	100.0
	(計)	14,892	3,317		14,892	3,317		100.0
合 計 (A)+(B)		119,389	16,849		110,277	14,297		84.9

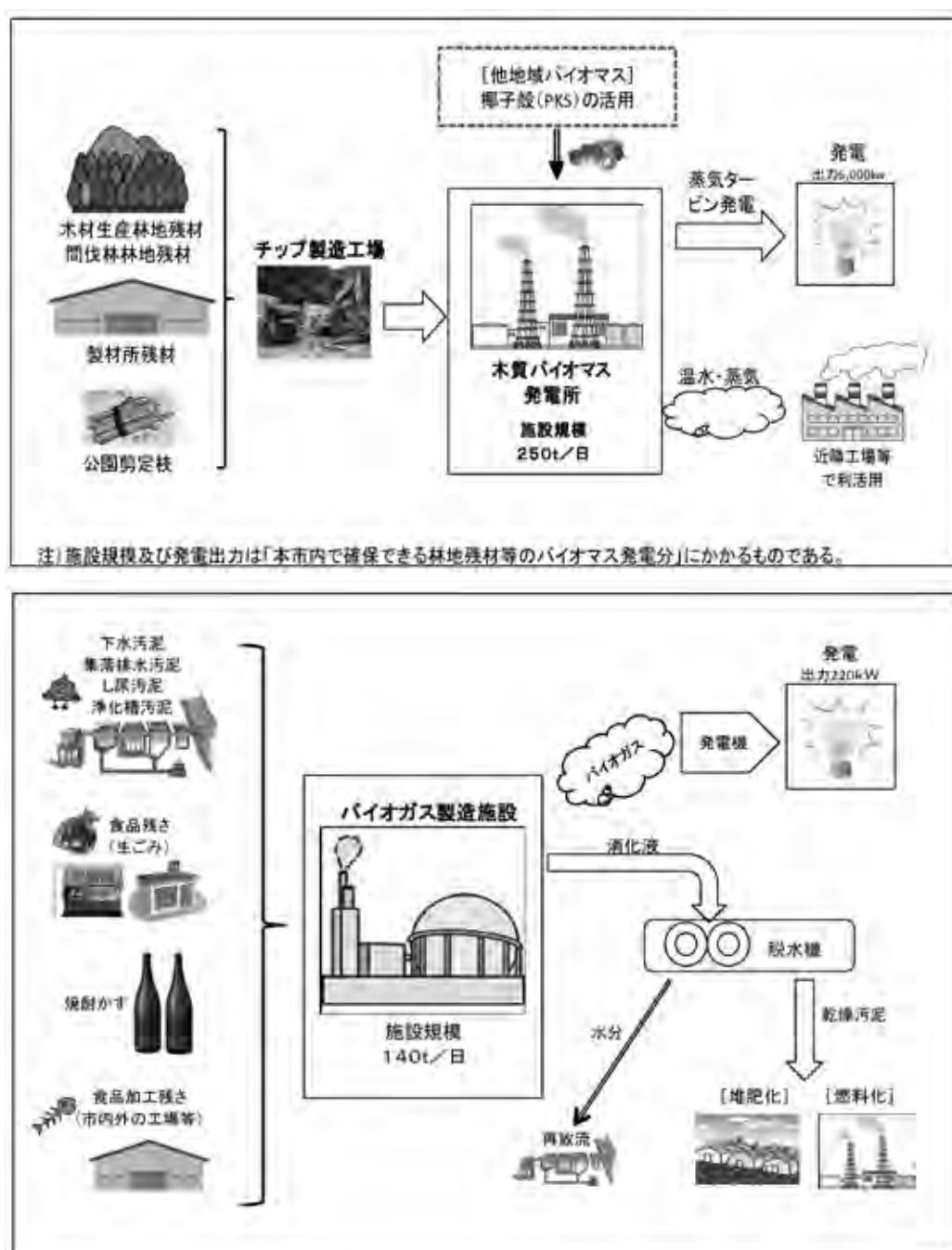
4. 事業化プロジェクト

本構想では活用するバイオマスについて「産業化に可能な量が確保できること」、「既に収集運搬方法が確立されていること」、「他のバイオマスとの混合利用が可能なこと」等を念頭に置き、さらに「産業化に取り組むバイオマス及び活用する技術の選択と集中」の考え方を基本として策定いたしました。

産業化の可能性が高いバイオマスは、従来のマテリアル中心の利用からエネルギー利用化への変換を図ります。活用する技術は、既に各地で導入が進み、技術

も確立されている「直接燃料方式(蒸気タービン発電)」と「メタン発酵方式」を採用し、2つの技術の導入により、本市の特徴を生かしたバイオマスプロジェクトが次のとおり展開可能と判断しました。

- ①九州一広大な面積と豊かな山林(やま)を有する佐伯の特長を生かした取り組み → 直接燃焼方式による『木質バイオマス発電』
- ②都市(まち)、農村(さと)、漁村(うら)とバラエティーに富んだ地域を有する佐伯の特長を生かした取り組み → 『バイオガス製造』



(1) 木質バイオマス発電

ボイラータービン発電により、電力、温水、蒸気を生み出し、電力は固定価格買取制度を活用して電力会社へと売却します。温水や蒸気は発電施設内で再利用するほか、近隣の工場等での活用を検討します。また、椰子殻等地域外バイオマスとの混焼による発電事業を誘致することで、地域の林地残材等をより効率的にエネルギー化する地域バイオマスの高付加価値化を目指します。

(2) バイオガス製造

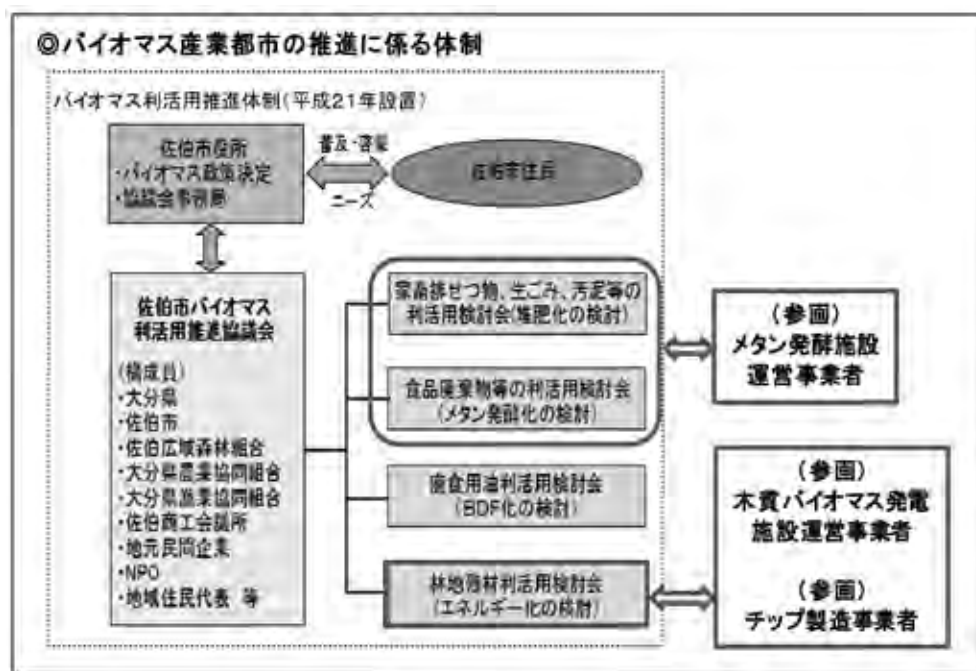
下水汚泥始めとする湿系のバイオマスをメタン発酵させ、発生する「バイオガス」のエネルギー利用化を進めます。発生したバイオガスは、ガスエンジン発電の燃料として活用し、電力、温水、蒸気を生み出します。電力は、固定価格買取制度の活用又は下水処理場等近隣施設での使用を検討し、温水や蒸気は隣接する下水処理施設で再利用し、エネルギー消費量を削減します。発生する乾燥汚泥は堆肥や燃料としての活用を進めます。

5. 構想の推進体制

本構想の主旨は、既存の「バイオマスタウン構想」をより発展させることです。よって、バイオマスタウン構想を策定した際に地域のバイオマス利用の具体的な推進を目的に設置され、地域の主要な関連各署で構成する「佐伯市バイオマス利活用推進協議会」を中心として、地域内のバイオマス事業の展開を図ります。

また、今後のバイオマス利活用施設の整備は、企業誘致の手法を基本に進めますが、市民、団体や企業、そして行政が共同して行う地域のバイオマスを生かす取り組みに、産業化の核となる「バイオマス利活用施設の誘致」を加えることで、バイオマス産業都市化の実効性をより高めます。

バイオマスの活用状況等を定期的に「佐伯市バイオマス利活用推進協議会」や「佐伯市環境審議会」へと報告し、両会議の助言や進言を受けながら、取り組み状況の確認及び評価作業を行います。そして、各層の意見を受けながら適宜実施方法の改善等を行うことで、より一層の地域バイオマス活用を推進します。



特集：バイオマス産業都市構想の取組み報告 & バイオガス固定価格買取制度導入事例

解 説

南三陸町バイオマス 産業都市構想について

宮城県南三陸町環境対策課

キーワード：地域循環型のまちづくり

1. はじめに

本町は、宮城県北東部に位置し、馬蹄形の形はリアス式海岸特有の猛々しい風光を有する南三陸金華山国定公園（現三陸復興国立公園）の一角を形成している風光明媚な町であったが、平成 23 年 3 月に発生した東北地方太平洋沖地震とそれに伴う大津波により、甚大なる被害を受けた。電気、ガス、上下水道などのライフラインのほとんどが断たれたことにより、厳しい寒さの中、暖をとるのも困難となり、このことが生命活動に甚大な影響を及ぼしたことは忘れえぬことである。

この経験から学んだ教訓は多岐にわたるが、その中の一つに、生命活動に必要な最低限のものは、できる限り地域内で賄えるよう備えるべきであろうということである。

2. バイオマス産業都市を目指す背景や理由

森里海の恵みが豊かな本町には、本来、食料も水もエネルギーも豊富にあるはずであるが、東日本大震災では、それらを入手するのに困難を伴った。特に外部に依存していた電気、石油、ガスの入手は困難を極めた。

地域にあるバイオマス資源を有効活用するシステム



を整え、人と環境にやさしく災害に強いまちづくりを進めることは本町の急務である。

(1) 災害からの復興

本町にとって現在の最大の課題は、震災からの復興である。当面は、復興という大きな目標を実現するため、あらゆる施策に優先して行うこととした南三陸町震災復興計画を策定し、震災から 10 年後の 2021 年を目標年次とし、町の再建に向け優先的に取り組んでい

る。計画においては基本理念を「自然・ひと・なりわいが紡ぐ安らぎと賑わいのあるまち」とし、三つの柱を目標として掲げている。

【目標1】：安心して暮らし続けられるまちづくり

【目標2】：自然と共生するまちづくり

【目標3】：なりわいと賑わいのまちづくり

その中でバイオマスを含む自然エネルギーの活用や環境保全の取り組みについては、次のような具体的な取り組みを挙げているところである。

○災害に強いライフラインの整備（自然エネルギー等の活用を含めて）（目標1）

○エコタウンへの挑戦（目標2）

- ・太陽光や木質バイオマスなどの再生可能エネルギーの導入促進によるエネルギーの自給
- ・廃棄物の減量とリサイクルの推進による環境負荷の少ない生活スタイルの確立

○し尿・合併浄化槽汚泥、水産物残さ等を一緒に処理するバイオマス処理施設の整備（目標2）

○復興事業における木材の活用や木質バイオマスの活用による林業の振興（目標3）

（2）森里海のポテンシャル

本町は面積の77%が森林で占められており、木質

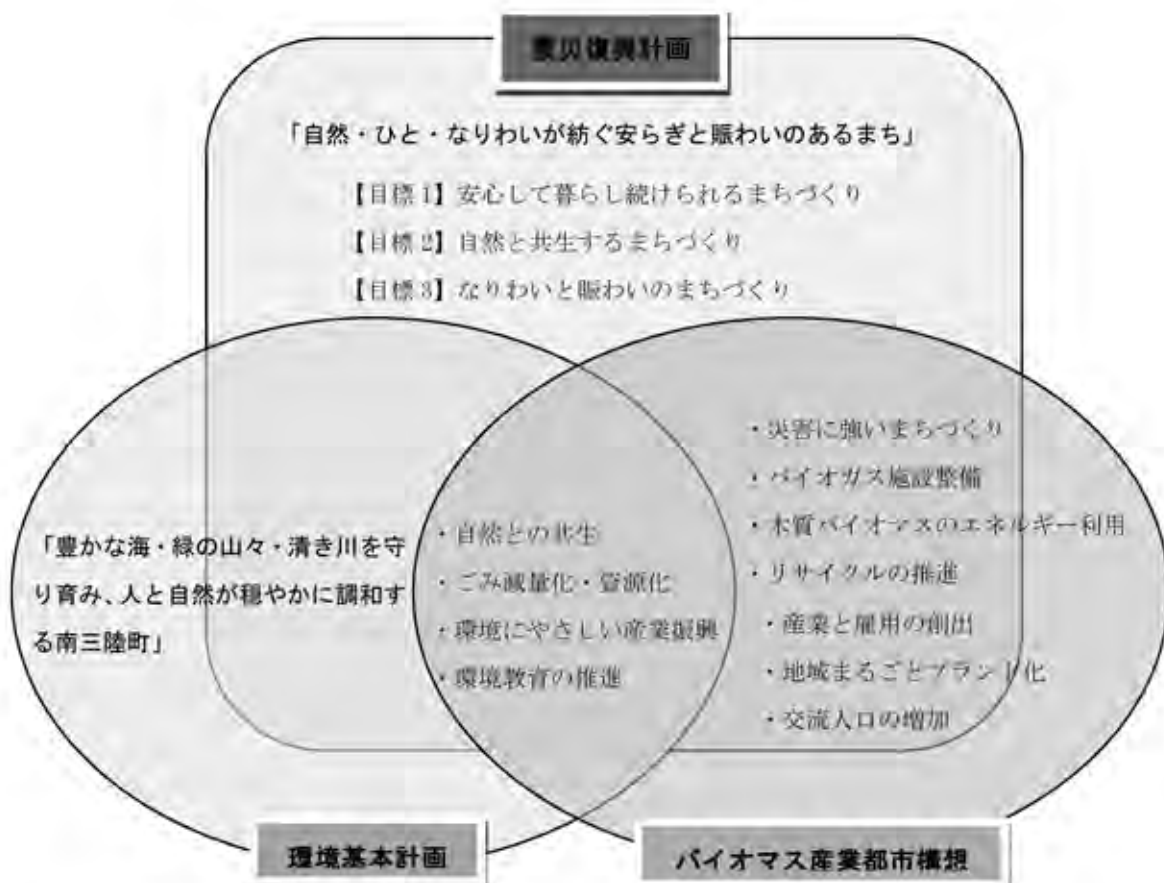
バイオマスが豊富に存在する町である。これを木質ペレットに加工すれば全町のおよそ18%の世帯の暖房・冷房・給湯の熱源をまかなうことができることとなる。

（3）廃棄物処理

本町には、ごみ焼却施設がなく、隣接する自治体に可燃ごみの焼却を委託している状況である。また、市街地を処理区域とする公共下水道の区域は、東日本大震災により壊滅的に被災し、その殆どを災害危険区域に指定し住宅建築を規制した。このことから高台にあった処理施設は津波による被災を免れたものの廃止し、今後、高台に建設する住宅等の生活排水の処理は合併浄化槽により推進することとした。

しかし、本町のし尿・合併浄化槽汚泥を処理する衛生センターは建設から近く30年を迎えることから老朽化が危惧されるため、施設へ与える負荷を軽減する必要がある。

これらのことから、町の復興の過程において、ごみの減量・リサイクルの促進、他自治体への依存度の減少、し尿・合併浄化槽汚泥などの町内処理システムの構築が重要課題となっている。



3. バイオマス産業都市として目指すべき将来像

南三陸町震災復興計画では、基本理念「自然・ひと・なりわいが紡ぐ安らぎと賑わいのあるまち」への『創造的復興』を目指す、としている。創造的復興とは、単に震災前の状態に回復するだけではなく、社会を取り巻く諸問題にも対応させた新たなまちづくりを指す。本町が目指すバイオマス産業都市とは、地域に存在するバイオマス資源を有効的に活用することで創造的復興を果たし、人々が誇りをもって働き笑顔で住み続けられるまちである。

〈災害に強いまちづくり〉

震災復興計画で目標の第一の柱に掲げている「安心して暮らし続けられるまちづくり」を具現化するため、公共施設などへの太陽光発電パネルの設置と併せ、バイオガスや木質ペレットなどバイオマスエネルギーによる自立分散型のエネルギー源を確保する。

○バイオガス施設の防災拠点としての活用

バイオガス施設はガスエンジン式発電機を備えるものとするので、万一災害が発生して系統電力が途切れた場合でも、貯留したバイオガス（及び継続して発

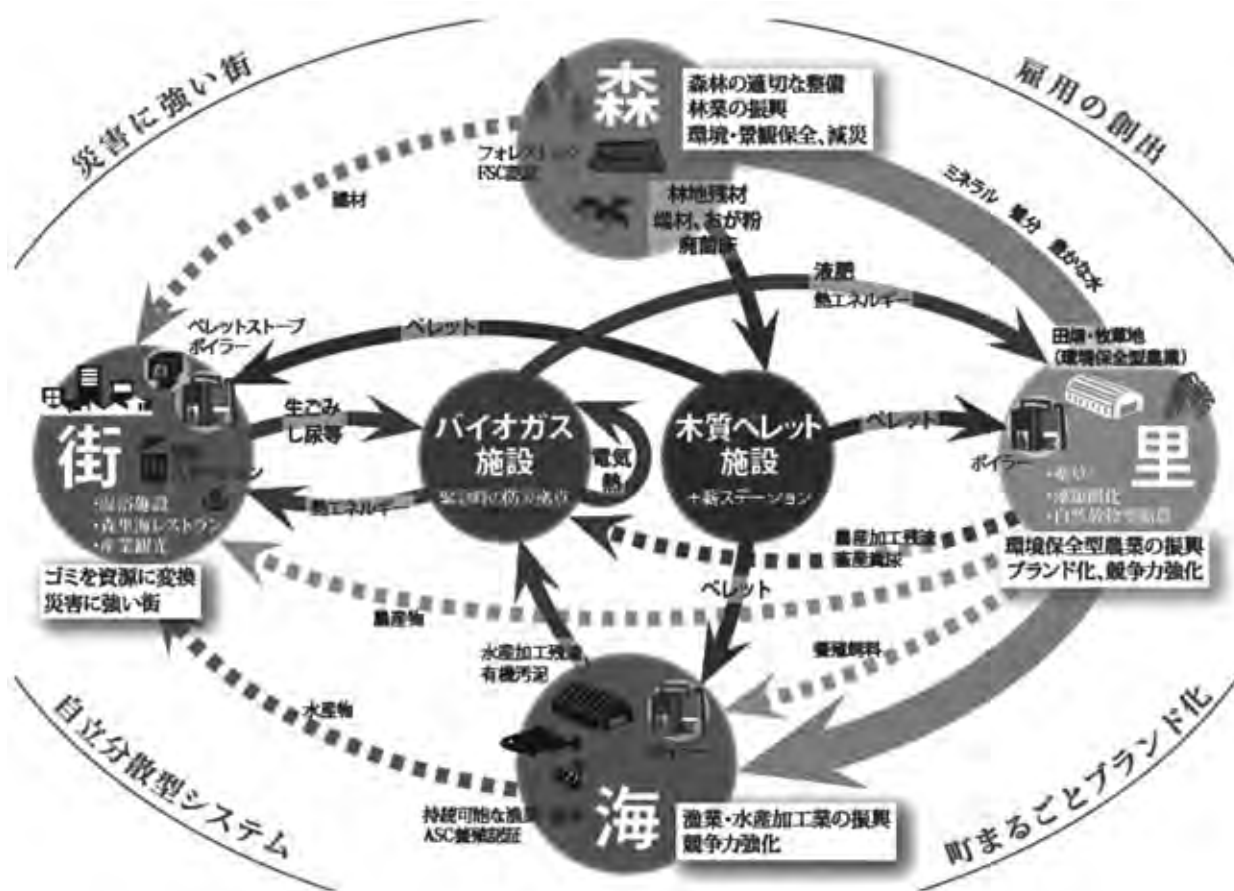
生するバイオガス）を使って数日間発電を継続できるものであり、バイオガス施設を周辺住民の避難先にしておけば、この電力を避難時の照明、暖房、通信機器の充電などに活用することができる。

○木質ペレットの備蓄・活用

災害時に避難拠点となる主要な公共施設等に木質ペレットボイラーやストーブを設置することで、暖房や給湯などを賄うことができるようにする。様々な方法で暖をとり、煮炊きの燃料としても活用することができる（※電気を使わないペレット燃焼機器も開発されている）。

4. 事業概要

本町のバイオマス都市構想は、農林水産省外関係6府省が進めるバイオマス産業都市に選定された事業で2事業からなる。一つは生ごみとし尿処理施設で発生する余剰汚泥を原料としてバイオガスと液肥をつくり、地域で循環するバイオガス事業。もう一つは、山の徐間伐等により発生する林地残材等からペレットをつくりストーブ等で使用する事業である。



南三陸町バイオマス産業都市概要図



(1) バイオガス事業

本町のバイオガス事業は、P F I 方式により民設民営で民間事業者が施設整備並びに運営を行い、本町は、民間事業者に生ごみと余剰汚泥の処理を委託する計画である。

バイオガス施設は、生ごみ 3.5 t / 日、し尿・合併浄化槽汚泥（余剰汚泥）7 t / 日の計 10.5 t / 日を受入計画量とする。発生したバイオガスはエネルギー（電気／熱）として使用する。一方、生産された液肥は、町内及び周辺地域の農地に供給し、環境保全型農業に寄与する。なお、将来的には、し尿・合併浄化槽汚泥（約 30 t / 日）を資源化するための施設（バイオガス施設の増設）を 10 年以内に具体化していく。

(2) 木質ペレット事業

木質ペレット製造施設は初期の段階においては、林地残材 1,400 t / 年、製材工場等残材 700 t / 年、廃菌床 66 t / 年を受入原料計画量とし、木質ペレット 1,000 t / 年の生産規模とする。生産した木質ペレットは、地域内の公共施設のボイラー利用、事業所・一般家庭のストーブ用として供給し、地域エネルギーの地産地消に寄与する。

5. 結 び

これまで述べてきたように、本町は本構想を実現することにより、下記に挙げたような次世代に誇れるまちづくりを強力に推進する。

- 自立分散型エネルギー源の確保による、災害に強いまちの実現
- 森里海街のあらゆる資源を無駄にしない、持続可能な資源循環のまちの実現
- 森林整備が進み、水の涵養、国土保全、生物多様性の保全、レクリエーション機能など、本来あるべき多面的機能が発揮できる森づくりの実現
- 地域にある資源を生かした新たな産業振興による、魅力と活力あるまちの実現
- 魅力と活力のあるまちづくりによる、人口減少の歯止め

本構想は、「安心して暮らし続けられるまちづくり」「自然と共生するまちづくり」「なりわいと賑わいのまちづくり」を目指す町の復興計画に沿い、創造的復興と誇りあるまちづくりに貢献するものである。

特集：バイオマス産業都市構想の取組み報告&バイオガス固定価格買取制度導入事例

固定価格買取制度の現状について

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

「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法」の施行により、「再生可能エネルギーの固定価格買取制度」(以下 FIT 制度)が開始されました。本制度は、①エネルギー安定供給の確保、②地球温暖化問題への対応、③環境関連産業の育成を目的としたもので、再生可能エネルギー源(太陽光、風力、水力、地熱、バイオマス)を用いて発電された電気を、電気事業者に、一定の価格・期間で買い取ることを義務付けるものであります。

また、電気事業者が買取に要した費用は、原則として使用電力に比例した賦課金によって回収することとされています。

これまで、再生可能エネルギー源による発電は、一般的に他の電源と比べてコストが高いことが課題となり、導入が進みにくかったですが、本制度によって、再生可能エネルギー発電事業者におけるコスト回収の見込みが立てやすくなり、新規導入を促進することが可能となりました。

買取価格・期間については、再生可能エネルギー源の種類や発電設備の規模等に応じて、中立的な第三者委員会(調達価格等算定委員会)の意見を受けて、経済産業大臣が毎年度定めることとされています。買取価格については、施行後3年間は、集中的導入を図るため、再生可能エネルギー発電事業者の利潤に特に配慮することとされています。

また、本制度を活用して売電するためには、当該発

電設備について事前に国の認定を受けることが必要です。

このよう中、FIT 制度の施行以降、下水道分野における FIT 発電は急速な広がりを見せており、導入済または予定している下水処理場は全国で 36 箇所にとぼっています。(平成 27 年 6 月現在)

これらの導入箇所は、発電事業者が自治体(下水道管理者、公設公営)か民間事業者(民設)かで 2 つに大別できます。36 箇所のうち発電事業者が自治体のケースは 13 箇所、民間のケースは 23 箇所となっています。民設民営方式は民間事業者が資金調達から設備認定などの手続き、施設の設計・建設、長期間の運転管理まで事業の大半を担うもので、自治体は事業者が発電施設の建設用地と発電の燃料となる消化ガスを提供してその対価を得るというスキームであります。民間事業者からすると複数年契約により安定的な収入が確保できる観点からメリットが大きく、自治体にとっても施設の設備投資や運転管理などのリスク・負担が小さいため、近年その採用実績が増えてきています。

本誌においては既に、栃木県、横浜市、石川県、神戸市、久留米市、大村市における FIT 制度の取組みについて寄稿をいただいております。今回の特集では新たに鶴岡市、松山市の 2 都市より寄稿いただき、紹介させていただきます。

特集：バイオマス産業都市構想の取組み報告 & バイオガス固定価格買取制度導入事例

解 説

松山市中央浄化センターにおける 消化ガス発電導入と 固定価格買取制度による売電

松山市下水道部

下水道施設課 小嶋 徹也

キーワード：消化ガス、固定価格買取制度、一般競争入札

1. 松山市の紹介

松山市は、平成 27 年 1 月現在、世帯数は約 23 万世帯、人口は約 516,000 人の四国の中心的都市であり、中央、西部、北部、北条の 4 処理区で事業を実施しています。現在の下水道整備は、『第 3 次松山市下水道整備基本構想（H20 年 2 月）』に基づいて策定した『第 11 次松山市下水道整備五箇年計画（H25～H29）』に沿って進めており、平成 27 年 4 月 1 日現在の下水道普及率は、4 処理区を合わせ 60.8% となっています。

このたび消化ガス発電を導入した中央浄化センター（写真 1）が受け持つ中央処理区は、昭和 37 年に本市で最初に供用開始した処理区で、平成 26 年度末で事業計画区域 3,112.6ha のうち、約 87% にあたる 2,715.4ha の整備が完了しています。

中央浄化センターの事業計画は（表 1）のとおりであり、処理水は農業用水に再利用しているほか、未利

用エネルギーの活用策として平成 23 年に整備したマイクロ水力発電（発電出力 9.9kW：場内消費）（写真 2）にも利用しています。



写真 1 中央浄化センター



写真 2 マイクロ水力発電

表 1 中央浄化センター事業計画

項目	事業計画
処理方式	標準活性汚泥法
敷地面積 (m ²)	108,000
処理能力 (m ³ /日)	168,160
日最大処理量 (m ³ /日)	141,380

2. 消化ガス発電設備導入の経緯

消化ガスとは、下水汚泥処理の消化過程の際に、汚泥の分解により発生するメタンと二酸化炭素を主成分とした気体ですが、60～65%を占めるメタンは天然ガスの主成分と同一でありカーボンニュートラルな燃料として利用できます。中央浄化センターでは従来から消化槽加温ボイラの燃料として一部は有効活用していましたが、大半は余剰ガスとして焼却処理をしていたため、新たな活用策について検討を重ねていました。そうした中、再生可能エネルギー固定価格買取制度（FIT）が平成24年7月に始まり、消化ガス発電による事業効果を試算した結果、消化ガス発生量が日量にして7,000m³と最も多い中央浄化センターに設置することで大きな費用対効果が得られると判断し、導入に至りました。

導入した消化ガス発電設備の形式は発電効率が高く、実績も多いガスエンジン発電機（出力330kW×2台）で、消化ガス供給装置、シロキサン除去装置、

排ガス蒸気ボイラ等を備え、工事費は651,000千円（税込）、平成25年8月から平成27年3月までの期間に単独事業として実施しました。2月中～3月は試験運転を実施し、4月1日より本格運用を開始しています。（写真3）（写真4）（写真5）（写真6）

3. 買取価格の決定

固定価格買取制度による買取価格と買取期間は、年度ごとに見直されることとなっています。制度上、平成25年度の買取価格の適用を受けるためには、接続契約に係る申込の書面を電気事業者が受領した時又は国の設備認定のいずれか遅い時点が平成26年3月末までであることが必要でしたので、四国電力に系統連系事前検討を平成25年11月に依頼し、翌年2月に連系可能との回答をいただき、3月末には接続申し込みを行いました。経済産業省の設備認定は、平成25年12月末に申請し、翌年3月には認定を受け、買取価格39円（税抜）及び買取期間20年間が確定しました。



写真3 消化ガス発電設備全景



写真4 ガス発電機ユニット



写真5 シロキサン除去装置



写真6 排ガスボイラユニット

3. 接続契約と売電契約

平成 12 年に始まった電力自由化以降、新電力会社への売電が可能となっており、本件の売電先については、一般競争入札により選定することとしました。そのため、接続契約と売電契約を別手続きで進めることとし、接続手続きは四国電力託送サービスセンターと協議し、平成 26 年 12 月から系統連系に係る一連の契約手続きを進め、翌年 2 月中旬に電力量計の取付をしていただきました。売電契約の入札手続きについては、平成 26 年 12 月に入札を告示し、翌年 1 月末の開札の結果、平成 27 年度売却価格は 42.68 円（税抜）となり、法定価格の 39 円に対して 3 円以上のプレミアムがつきました。なお、売電の入札は毎年度実施する予定です。

4. 汚泥処理の概要と事業効果の試算

中央浄化センター（図 1）の平成 26 年度における初沈汚泥の引抜量は $892,589\text{m}^3$ ／年（日平均 $2,445\text{m}^3$ ／日）で、余剰汚泥量は $768,026\text{m}^3$ ／年（日平均 $2,104\text{m}^3$ ／日）となっています。初沈重力濃縮汚泥量は $99,953\text{m}^3$ ／年で、初沈引抜汚泥量に対し、約 11.2% まで減量されており、余剰重力濃縮汚泥量は $175,495\text{m}^3$ ／年で、余剰汚泥量に対して約 22.9% の減量となっています。余剰重力濃縮汚泥は、さらに機械濃縮を経由しており、機械濃縮汚泥量は $80,597\text{m}^3$ ／年で、余剰重力濃縮汚泥量に対し、約 45.9% まで減量されています。

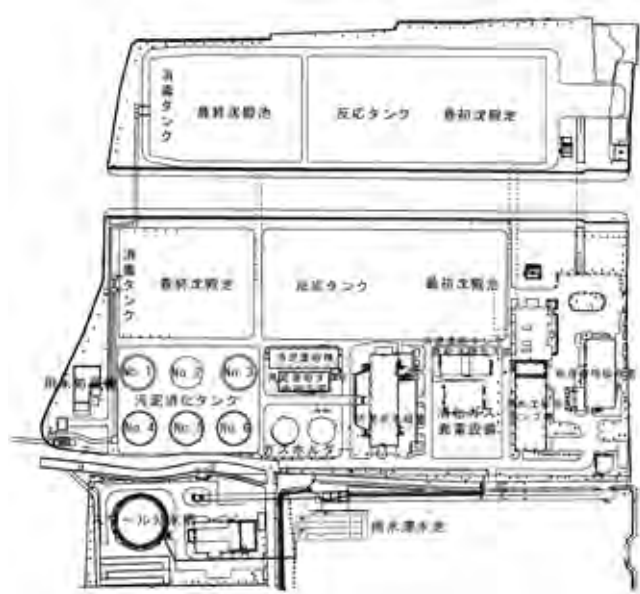


図 1 中央浄化センター平面図

嫌気性消化槽（写真 7）は 6 槽あり濃縮汚泥は原則、No.1、No.2、No.3 に均等に投入され、その後それぞれの槽から引き抜かれた消化汚泥は、No.4、No.6 に投入され（No.5 は休止中）、脱水機に移送されています。消化投入汚泥量は平成 26 年度実績値で $180,039\text{m}^3$ ／年で消化日数は平均 40.6 日で運転をしています。消化投入汚泥の有機物濃度は、81.2% ～ 89.6%、消化率は 54.9% ～ 67.4% となっています。消化ガス発生量は高温期に多く、低温期に少なくなる傾向にありますが、年間を通じて安定して発生しており、発生量は $2,676,333\text{m}^3$ ／年で、2 基のガスホルダ（写真 8）（容量 $2,000\text{m}^3$ ／基）で一時的に貯留され、消化ガス発電に利用されます。

導入した発電機 1 台当たりの定格出力時における燃料ガス消費量 $167\text{Nm}^3/\text{h}$ から、稼働率、所内電力量等を考慮して試算すると、年間発電量は約 400 万 kWh となり、CO₂ 削減効果は約 2,800t（CO₂ 排出係数を 0.699 として試算）、売電電力量は約 300 万 kWh で収入は約 1 億 2 千 8 百万円を見込んでいます。なお、収益は中央浄化センターの維持管理費に充当することで下水処理経費のコスト削減に貢献しています。



写真 7 消化槽



写真 8 ガスホルダ

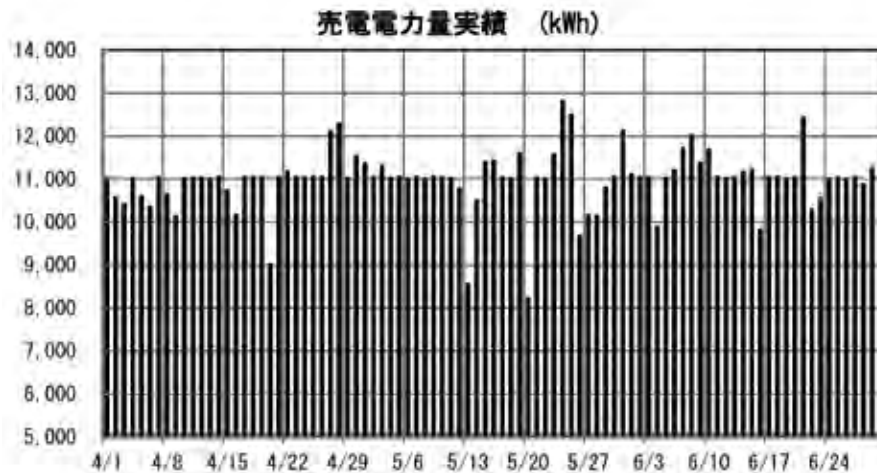


図2 売電電力量実績

5. 運転開始後の状況

4月1日以降、5月中旬に1,000時間点検を1台ずつ2日に分けて実施し、6月末現在、ほぼ順調な稼働を継続しています。(図2)

6月末日までの3ヶ月間売電電力量は998,414kWh、時間区別に売電電力の平均値を見ると、平日昼間(8:00～22:00)は556kW、休日昼間(8:00～22:00)は582kW、夜間(22:00～翌8:00)は310kWとなっています。消化ガス発生量と発電機のガス消費量の関係上、1台運転の時間帯を設けてガスホルダのガスレベルの調整を図る必要がありますが、比較的電力需要の少ない夜間を1台運転として運用しています。また、計画停止の際には、停止前までにガスホルダ内の貯留量を極力下げて、停止時間中に発生する消化ガスを確保できるよう努めています。

6. 今後の取り組み

今後はシロキサン除去用活性炭の交換頻度及びガスエンジンの消耗部品類の劣化状況の見極め等を実施

し、消化ガス発電のFIT買取期間の20年間は、可能な限り発電機を高稼働率で運転し、経済性を高めたいと考えています。一方、中央浄化センターの各施設、設備は老朽化しつつあり、長寿命化事業や総合地震対策事業で修繕、改修を進めながら下水処理施設を稼働させているため、今後は発電事業への影響にも配慮した工事計画の立案が課題となります。また、ガスエンジン発電機の稼働の安定化を目的として、消化ガス中のメタン濃度変動のモニタリングも実施することを検討しています。

7. まとめ

松山市下水道部では「資源の有効利用」を重点目標のひとつに掲げ、低炭素社会作りに向けた取り組みを重要施策として位置づけています。今後も、他の処理場へのさらなるクリーンエネルギーの導入や下水汚泥の一層の有効活用等、地球温暖化対策や資源循環型社会の構築に下水道分野が果たすべき責任を担っていくため、引き続き研究に努めていきたいと考えています。

特集：バイオマス産業都市構想の取組み報告 & バイオガス固定価格買取制度導入事例

解 説

「鶴岡バイオガスパワー」 官民連携で取り組む FIT を活用した 消化ガス発電事業

鶴岡市上下水道部下水道課浄化センター

下水道専門員 松浦 正也

キーワード：消化ガス発電、官民連携、FIT

1. はじめに

鶴岡市は山形県の日本海側、庄内地方の南部の1市4町1村が、平成17年10月1日に合併して新たな市として発足し、本年で10年を迎えようとしている。その行政面積は1,311km²で東北第1位、人口は13.3万人余で、県都山形市に次ぎ県内第2位である。

本市は、山形県の日本海側、庄内地方の南部に位置し、東に月山・羽黒山・湯殿山の出羽三山、南は朝日連峰の山々に囲まれ、北西部に日本有数の穀倉地帯である庄内平野、西側には約42kmにわたる日本海の海岸線が広がる、四季折々の多彩な自然環境に恵まれた都市である。地域の豊かな食材や伝統的な料理などを活かした食文化を継承・発展するため昨年の12月に「ユネスコ食文化創造都市」ネットワーク加盟が認定されている。また、昨年の6月にオープンした「クラゲドリーム館」（加茂水族館）も好評を博しており、環境学習の一面でも効果を発揮し心が癒される施設である。

市は公共下水道事業を昭和47年に事業着手し、現在は、公共下水道公共6処理区、特環4処理区で8処理施設、中継ポンプ場12か所、マンホールポンプ場206か所、農業集落排水34処理施設、漁業集落排水1処理施設、マンホールポンプ場166か所となっている。

市設置型浄化槽を合わせて污水处理施設整備普及率は89.6%、接続率91.3%となっている。資源活用として

汚泥のコンポスト化を行っている。

さて、地球環境に対する温暖化問題は、我々が対処しなければならない緊急の課題であることは周知のとおりである。地球温暖化ガス排出源の約90%がエネルギー起源であることを考える時、温暖化問題はエネルギー問題であると言える。資源面でも、有限な化石燃料依存型から、再生可能エネルギーへの転換を図るべき時代が既に到来している。このような背景から、下水道の未利用資源の一つとして、鶴岡浄化センターで発生する消化ガスの様々な有効利用方法を検討してきた。

鶴岡浄化センターは標準活性汚泥法を採用しており、全体処理能力49,600m³/日（現有：38,800m³/日）を有し、1日に約27,000m³の汚水を処理している。昭和55年5月に供用開始されて以来、約35年経過している状況にある。汚泥処理は重力濃縮、機械濃縮、嫌気性消

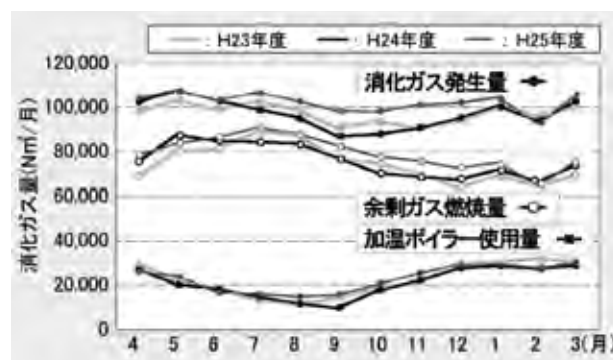


図1 既設消化ガス利用状況

化処理、脱水としており、消化槽への投入汚泥量約130m³/日に対して消化ガスは日平均約3,200Nm³(年間116万Nm³)発生している。

2. 導入の経過

本市は「人 暮らし 自然 みんないきいき 心やすらぐ文化をつむぐ悠久のまち 鶴岡」をめざす都市像を掲げ、市民・地域・行政の協調・協力による総合力を発揮し、持続可能な希望あふれる鶴岡を実現するという「鶴岡ルネサンス(再生)宣言」をまちづくりの柱として、各種施策を推進している。その一環としてエネルギーを取り巻く社会情勢、地域特性を踏まえ平成25年度に「鶴岡市地域エネルギービジョン～スモール・スマート・サステイナブルエネルギーネットワークシティ鶴岡」を取りまとめ、「地域の産業振興と雇用の創出」、「省エネルギーに結びつく新技術を用いた設備や機器等の導入」、「小規模なエネルギー生産のネットワーク作り」等、環境と調和し、地域に豊かさをもたらすエネルギーの導入と利用、需給のバランスを最適化し将来にわたり持続可能な供給体制の構築等エネルギー政策を推進する指針としている。その中で下水道におけるエネルギー利用の推進手法として、下水汚泥の処理過程で発生するメタンガスの更なる活用の検討を挙げている。

一方、国の施策として、平成26年7月に国土交通省は「新下水道ビジョン」において、下水道における水・資源・エネルギーの集約・自立・供給拠点化を提示、他のバイオマスと連携した下水汚泥活用や下水汚泥のエネルギーとしての利用割合の向上を掲げている。また、経済産業省は再生可能エネルギーの普及促進策として平成24年7月に固定価格買取制度(FIT制度)を施行し、太陽光、風力発電などと共にバイオマス発電の燃料種類としてガス化(下水汚泥)を設定している。消化ガスの発電有効利用にはコストがかかり、回収することが困難であったが、FIT制度により取り巻く環境が一変した。

これらの状況に対応して、消化ガス発電の施設内部利用(社会資本整備総合交付金等活用)による自給率向上、市が「FIT制度」による発電事業者となった場合、民設民営によるガス売却による発電とした場合などそれぞれ事業性評価検討を行った結果、

- ①長寿命化に位置づけた関連設備改築工事に影響を及ぼさない。
- ②既設設備の共用及び最小限な改造により、既設加温設備の運転方法で管理できる。
- ③民間事業者による運営により発電設備運転管理が不要となる。
- ④設備認定範囲は発電設備のみとなり、汚泥消化関連設備は含まれず、電気設備を分離する必要はない。(公

設公営の場合、設備認定範囲は汚泥消化関連設備までが範囲に含められ、高額な改造費用をかけて関連電気設備を下水処理施設から切り離す必要がある。)

- ⑤市の財政支出はなく、資産所有もなしでの事業運営となり、消化ガスを活用した発電を大きなリスクを伴わず実施できる。追加的な投資をせずに環境配慮型の持続可能な下水道事業を進めることができる。
- ⑥余剰ガス燃焼装置、加温用ボイラーの既設設備改築費用の削減が見込める。

等のメリットが大きいと判断し「鶴岡浄化センター消化ガス発電事業」として、民間の資金とノウハウを活用して実施するPPP(官民連携)事業として、その施設の所有形態をBOO(民設民営)方式による施設整備・運営を行い、市からのガス有償供給による発電スタイルを採用することとした。

3. 事業概要

民間事業者は、鶴岡浄化センター内に自己資金で発電設備を整備し、市から購入する消化ガスを燃料として発電を行い、その電気をFIT制度を用いて電力会社に売却することにより、20年間の事業運営を行う。FIT制度に基づく設備認定申請及び電力会社との特定契約は民間事業者が行い、市は発電事業を行う民間事業者に、発電燃料として消化ガスを有償売却するとともに発電施設を設置する土地を有償で貸与する。

また、発電と同時に発電機コージェネレーションで温水を回収して汚泥処理施設に返送し、汚泥消化槽の加温に用いる。

市は、従前、消化ガスの約22%を汚泥消化槽の加温用ボイラーの燃料に利用しているほかは余剰ガスとして焼却処分していた。発電燃料として売却することにより再生可能エネルギーとしての有効利用の拡大を図り、更に売却収入や賃貸借料などにより新たな財源を確保して維持管理費に充当することで、持続的かつ効率的な下水道事業の推進を図ることができる。

本事業方式は、再生可能エネルギー普及のみならず官民連携事業の推進に寄与し、消化ガス売買契約のガバナンスにより、官と民が対等の立場でインフラ資産を活用する事業モデルとなるものである。

4. 選定経過及び事業期間

事業者の選定にあたっては高度な知識・技術や創造性、構想力、ノウハウや応用力が要求される事業であり、十分な現状分析をした上で設定した事業効果や要求水準の達成のため、複数の事業者から企画・技術提案を受ける公募型プロポーザル方式とした。安定的な事業運

営を求め、経営、施設計画、維持管理等 13 項目の提案様式を設け事業者選定できる内容とした。

事業計画当初からコンサルティング会社を利用しない事業計画であり、温水熱量、制御、事業性評価、リスク分担に至る各種データの収集および検証に時間を要し、また、消化ガス発電設備（20 年間）の実績がなく事業費積算に苦慮した。既設処理場内設備の改造を伴わず、運転制御への影響を最小限とすることを検証し、事業者と市が互いに事業運営推進ができる条件提示に工夫した。

平成 26 年 5 月 19 日公告したところ 3 事業者からの応募があり、「鶴岡浄化センター消化ガス発電事業選定委員会」で意欲及び実績・能力、施設計画、維持管理メ



図2 スキーム図

表1 消化ガス発電開始までの経緯

平成 8 年 ～	施設内部利用で発電を計画。先進施設視察および機種選定作業を進める。 平成 12～13 年度消化ガスマイクロガスタービン実証実験
平成 24 年 7 月	FIT 制度施行 発電事業方式の比較検討（施設内部利用、FIT 公設公営、FIT 民設民営）
平成 26 年 1 月	FIT 制度を活用した民設民営（ガス売却）による発電事業を決定
平成 26 年 5 月	事業募集の広告
平成 26 年 7 月	優先交渉権者決定
平成 26 年 8 月	基本協定の締結（株水 ing）
平成 26 年 12 月	設備認定通知（経済産業省）
平成 27 年 3 月	電力系統連系承諾（東北電力）
平成 27 年 4 月	土地賃貸借契約締結
平成 27 年 5 月	建設工事着工 発電所名「鶴岡バイオガスパワー」に決定
平成 27 年 9 月	消化ガス売買契約締結
平成 27 年 10 月	発電事業開始（平成 47 年までの 20 年間）

ンテナンス、売却価格等各評価項目を総合的に評価し審査を行った結果、7 月 7 日に水 ing 株式会社東北支店を優先交渉権者に選定、8 月 25 日に事業実施に向けた基本協定を締結している。

経済産業省より再生可能エネルギー発電設備（バイオマス）の認定及び電力会社の連系承諾結果の回答を受け、基本協定に基づいて協議・手続き・申請を進め、消化ガス売買契約・土地賃貸借契約を締結した。

5. 導入システムの概要

下水処理場への流入下水量・水質は一定ではなく季節毎に変動し、それに合わせて汚泥消化槽へ投入する汚泥量、発生する消化ガス量も変動する。

導入システムは、平成 23 年度～平成 25 年度の消化ガス発生量をもとに、25kW 小型発電機（マイクロガスエンジン）12 台を並列設置して運転台数を制御し、発生消化ガスの全量を発電燃料として供給可能にしている。発電機の運転条件信号は、既設ガスホルダ（1,200m³）レベル信号（4-20mA）を利用し、既設運転レベル 4 点に発電機運転レベルを 3 点追加し自動運転制御する。また、コージェネレーションからの発生熱量は、既設の汚泥消化槽加温熱量の 1.74 倍の熱量を回収することができる。さらに設置台数が複数台となることから故障リスクが分散され、定期点検等も計画的に実施でき発電機故障対応力も確保する。

監視体制は発電事業者と発電機メーカーによる 24 時間体制とし、日常保守管理及び故障時の初期対応は浄化センター維持管理受注者に委託し、発電設備の安定運転を図る。

表 2 に発電設備の概要を示す。

予定している年間売電量は約 200 万 kWh であり、一般家庭約 560 世帯分の消費電力に相当する。

電力会社買取価格は 1kWh 当たり 39 円が適用される。市は消化ガス売却料、土地賃貸借料を合わせ年間約 2,500 万円程度の収入を見込んでおり、下水道施設の維持管理費に充当する。



図3 ガスホルダレベル制御点

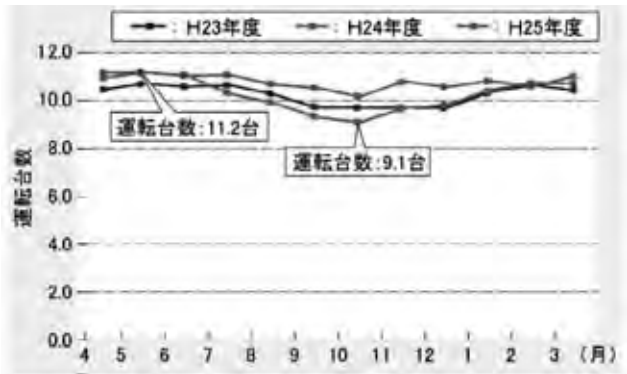


図4 発電機運転可能台数



図5 運転 - 修繕計画

表2 発電設備概要

発電機型式	レシプロ型
発電定格出力	25kW/1台
排熱回収熱量	40.6kW (146.2MJ/h)
総合効率	84%
発電効率	32%
熱回収効率	52%
発電機設置台数	12台
付帯設備機器	油分除去装置 12台 ガスポンプ 3台 温水循環ポンプ 13台
事業用地	288.7㎡

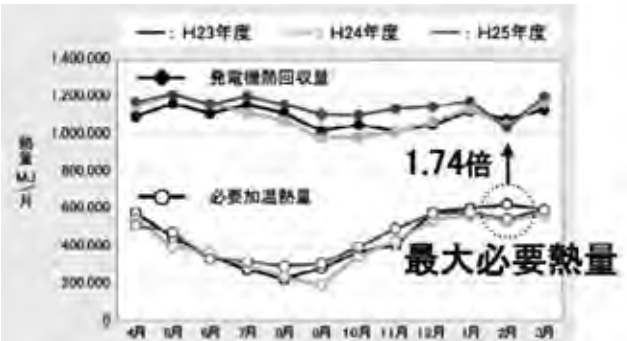


図6 必要可能熱量とコージェネ回収熱量

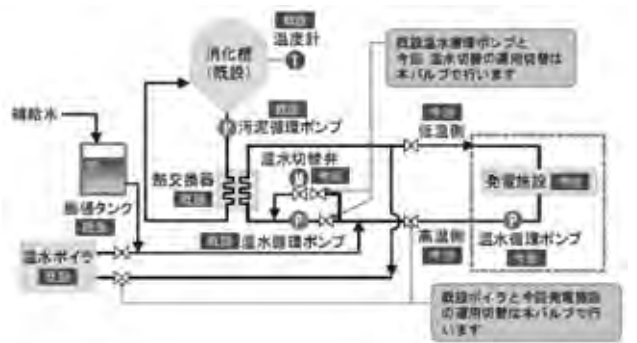


図7 消化槽加温概略フロー

6. 今後の展望

今後、社会情勢の変化や人口減少等に起因する污水負荷減少による消化ガス発生量の安定確保が困難となることが予想される。処理施設・設備全体を総合的に検証し、下水道が有する資源の有効活用「創エネ・省エネ対策」を推進することは元より他事業・施設（例えば廃棄物処理施設など）との連携の可能性評価を行い持続可能な「水・資源循環」の推進を図る必要がある。

現状の FIT を活用した発電事業は 20 年間という契約期間となるが、事業の安定的運営を図るためには消化ガスの品質とその発生量の継続的確保並びに適切な施設設備維持管理が重要となる。

将来を見据えた最適化技術提案など PPP／PFI 事業を含めハイクオリティー、ローコストな下水道事業展開を進めるため今後も積極的に情報の収集および共有を図っていきたいと考える。

鶴岡浄化センター消化ガス発電事業が下水道事業の経営改善、地域への貢献、地球温暖化対策への貢献ができ、また地産地消型・地域密着型の事業として下水道がもつエネルギー活用の一歩として歩んでゆきたい。

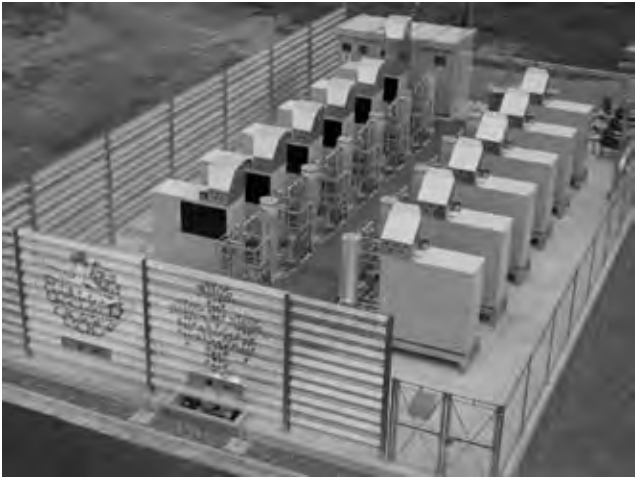


図8 発電所全景

研究紹介

堆肥化乾燥における汚泥の乾燥

岐阜大学 大学院工学研究科 環境エネルギー専攻
小林 信介

キーワード：堆肥化乾燥、汚泥炭化物、汚泥乾燥プロセス

1. はじめに

高含水率である汚泥のエネルギー利用法には大きく分けて2つの手法が考えられ、一つは汚泥中の有機分を直接ガスに変換し利用する方法であり、もう一つは汚泥を固体燃料として利用する方法である。汚泥中の有機分を生物発酵によりメタンや水素に分解する場合には、高含水率有機物から水を事前に分離することなく可燃ガスを生産できるため、近年広く利用されている汚泥のエネルギー変換技術である。得られる燃料は気体であるため、自動的に水との分離が可能であることや固体燃料に比べてエネルギー変換や輸送が容易であることから、比較的大規模な汚泥処理施設においてメタンガスを生産・利用する動きが活発になっている。一方、消化施設が併設できない比較的小規模の下水処理施設においては汚泥利用方法の一つとして、固体燃料化が近年進められており、汚泥の炭化物としての利用が行われているところもある (Hyuga et al., 1996, Terunuma and Umeda, 2002, Kato et al., 2006, Ueda, 2011)。ただし、脱水汚泥の含水率は高く、また固体燃料として利用するためには可燃性有機物を炭化物に残留させる必要があることから、汚泥炭化物の製造には焼却時以上に化石燃料を必要とする場合もある。

一般的に高含水率である汚泥を固体燃料として利用するためには 脱水・乾燥などの前処理が必要不可欠

である。特に乾燥に消費するエネルギーは莫大であり、汚泥の性状によっては燃料化後の固体燃料が持つエネルギーよりも多くのエネルギーを前処理に投入しなければならない場合もあり、高含水率廃棄物の固体燃料への変換はエネルギー的に見て非効率である。そのため、汚泥処理施設に限らず、高含水率廃棄物の処理においては従来の処理技術より如何に消費エネルギーを削減可能であるかが開発の焦点となっており、特に含水率の高い汚泥の燃料化においては水の扱い（分離）における省エネ化が大きな課題となっている。そのため、汚泥の脱水効率および乾燥効率の向上を目的とする研究開発が近年盛んに行われている。

脱水効率向上の手法として、凝集剤の添加や凝集剤の添加方法、それに伴う装置の改良など、従来脱水技術における効率化が進められているほか、新しい乾燥効率の向上方法として生物発酵熱を利用した乾燥技術 (Sugni et al., 2005, Itaya et al., 2012) や油温減圧乾燥技術 (Kashimura, 2012) なども近年提案されており、国内外において実用化に向けた検討が行われている。生物反応を利用する乾燥方法は、脱水汚泥を原料として堆肥化を行う際に汚泥の含水率が大幅に減少することに着目した技術 (Jewell et al., 1984, Frei et al., 2004) で、堆肥化することにより含水率 80 数 % の脱水汚泥を自然可能限界よりもさらに低い含水率 40-30% まで削減することが可能となる (Kobayashi et al., 2012)。そのため、この堆肥化乾燥技術を汚泥乾燥

適用することにより、従来技術のように汚泥の乾燥に燃料を使用することなく炭化や焼却可能であることから汚泥処理における大幅なエネルギー削減効果が見込まれている。そこで本解説では高含水率である汚泥の燃料化の際に課題になっている乾燥エネルギーの削減可能である堆肥化乾燥技術について解説を行うとともに、汚泥の堆肥化乾燥速度を向上させる手法や汚泥の乾燥に燃料を消費しない汚泥堆肥化乾燥プロセスについて紹介を行う。

2. 堆肥化乾燥における汚泥の乾燥速度

嫌気性発酵であるメタン発酵に対して、好気性の生物発酵法に堆肥化がある。図1に示すように汚泥の堆肥化は有機物分解を伴う好気性発酵で、有機物の分解時には二酸化炭素の発生とともに熱が発生することから、脱水汚泥はエネルギーの投入なしで燃焼可能な40% 弱まで乾燥が可能となる。そのため堆肥化処理が汚泥燃料製造における乾燥過程に取り入れられている。しかしながら、生物による有機物の分解反応が極めて遅く、堆肥化による乾燥には30-40日の期間を要してしまうことが大きな課題であった。

一般的に畜糞や食品廃棄物を原料として農業系堆肥を製造する際には、木粉や木質チップ、活性炭などの

発酵促進剤が一般的に添加されている (Terunuma et al, 2003, Tajima et al., 2003)。発酵促進剤の詳細な効果については未だ明確にされていないものの、有機物の発酵を促進させていることは経験的に知られており、堆肥製造施設においてはこれら発酵促進剤が一般的に使用されている。小規模な汚泥処理施設においても汚泥の堆肥化 (コンポスト) プロセスの普及に伴い、堆肥化技術の利用が徐々に定着し始めており、木粉や落葉、剪定枝などを発酵促進剤として利用する堆肥化プロセス (Takahashi et al., 2006, Ishii et al., 2004) に関する事例報告も増え始めている。そこで著者らは、堆肥化時の発酵助剤として堆肥化汚泥を原料とする汚泥炭化物を新たに使用することにより、汚泥炭化物の混合が脱水汚泥堆肥化時の堆肥化挙動や乾燥速度に与える影響について検討を行っている。堆肥化乾燥実験においては小型堆肥化試験装置を用いて脱水汚泥と汚泥炭化物を混合した堆肥化乾燥を行い、炭化物の混合が堆肥化物の性状や含水率に与える影響を検討するとともに、空気流通式乾燥試験装置を用いて炭化物の混合が汚泥の乾燥速度に与える影響についても実験的検討を行っている。

図2に小型堆肥化試験装置を用いて汚泥を堆肥化した際の乾燥特性曲線を示す。小型堆肥化装置は、約30 Lの試料投入が可能な市販の家庭用堆肥化装置

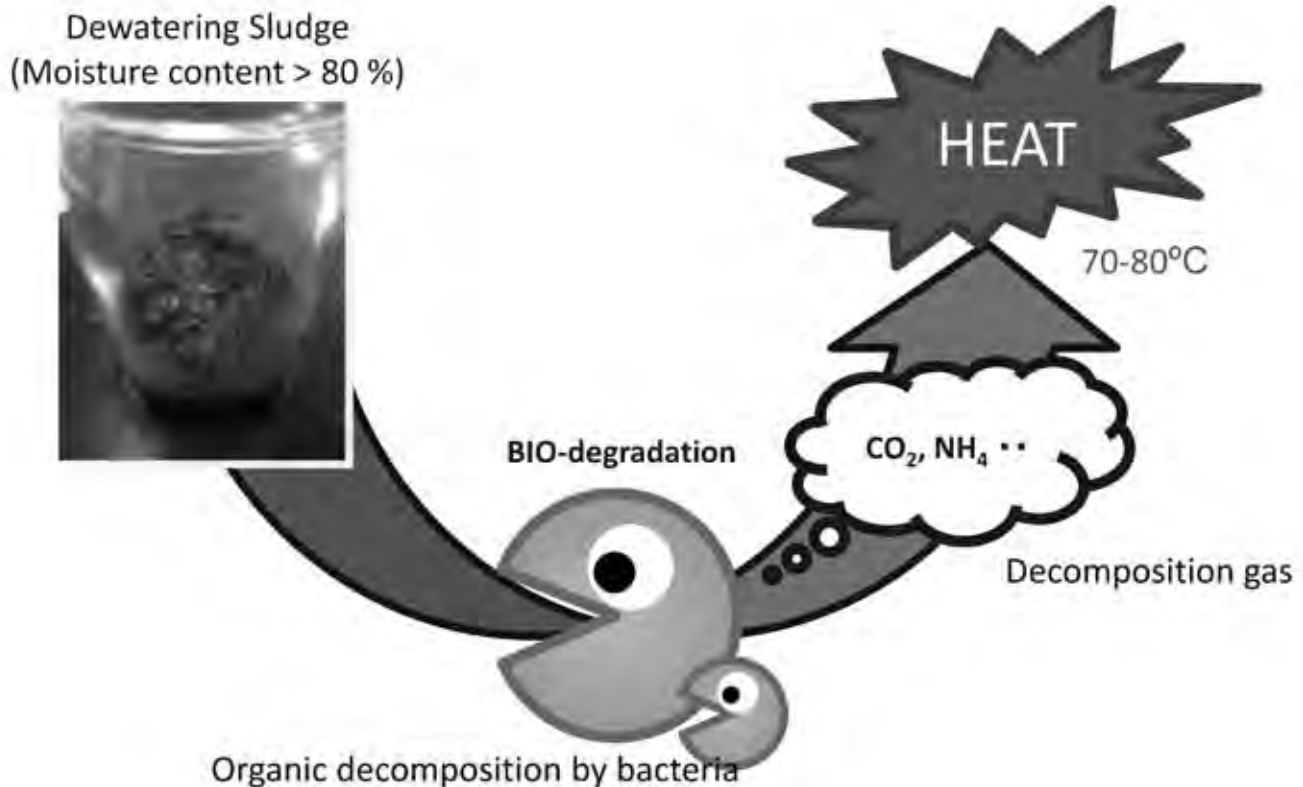


図 1

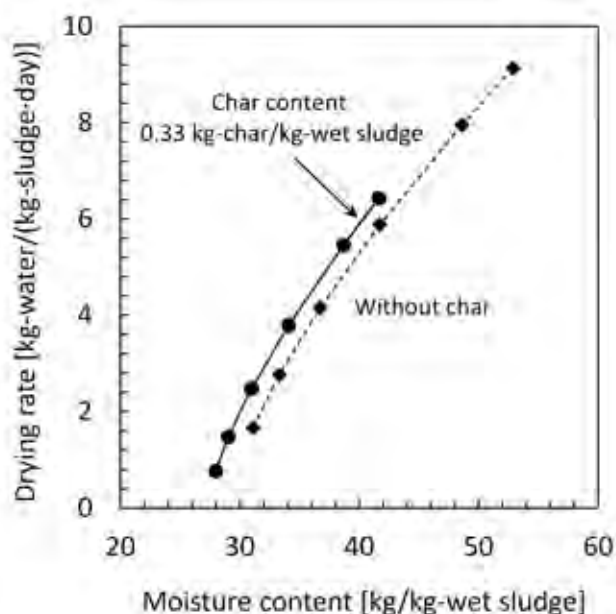


図 2

(Zero box LAD-0901-01, Land ECO) で、内槽に取り付けられている攪拌翼により、約 2 時間おきに 4 から 10 分の攪拌が行われる。小型堆肥化装置を用いた堆肥化乾燥実験では脱水汚泥、汚泥堆肥化物(種汚泥)(以下、堆肥化物)および汚泥の半炭化物(以下、炭化物)を実験試料として用いている。堆肥化実験では脱水汚泥と堆肥化物を 1:1 で混合した通常の堆肥化原料と脱水汚泥、堆肥化物および炭化物を重量割合 1:1:1 で混合した炭化物混合汚泥(以下、混合汚泥)を用い、湿基準で 12 kg の試料を槽内に充填した。今回の試料に用いた脱水汚泥の初期含水率は約 75 % であり、堆肥化物は 29%、炭化物の含水率は約 2 % である。試料として使用した炭化物は脱水汚泥の堆肥化物を原料とし、ロータリーキルン型炭化装置により処理温度 673 K、処理時間 30 min の半炭化条件で製造したもので (Suami et al., 2015)、50% 粒子径は約 2 mm、BET 比表面積は約 30 m²/g であった。連続堆肥化プロセスを模擬するため 1 日ごとに約 1.6 kg の堆肥化物を取出し、取り出した堆肥化物と同量の汚泥、あるいは混合汚泥を投入した。乾燥速度は、堆肥化物含水率の時間変化より算出を行った。汚泥のみを投じた試料の方が初期の含水率が高いため見かけ上の含水率低下割合は大きく見えるものの、同含水率における乾燥速度は炭化物を混合した混合汚泥の方が速くなっており、含水率 40% の時には単位汚泥重量 (kg) 当たりの 1 日の脱水量は炭化物を添加した場合の方が約 550 g も多くなっていた。また、混合汚泥の場合には低含水率においても乾燥速度に優位性が見られ、炭化物の混合が堆肥化乾燥時の乾燥速度向上に影響を与えてい

ることが明らかとなった。また、炭化物を混合した場合の方が最終的に低い含水率の堆肥化物が得られており、脱水汚泥に炭化物を混合することで乾燥速度が速くなるだけでなく、上述したように投入する試料の初期含水率が低いことや炭化物混合の影響から乾燥可能な堆肥化物の限界含水率も低下させることが可能となっている。

図 3 に堆肥化物の揮発分割合経時変化を示す。揮発分割合については、1 から (堆肥化物の揮発分量の投入試料揮発分量からの変化量 / 投入試料の揮発分量) を引くことにより計算を行った。脱水汚泥を試料として堆肥化を行う場合には上述したように水分が失われるだけでなく、汚泥に含まれる有機分も同時に生物分解されるため、堆肥化物中の揮発分割合は堆肥化が進むとともに一般的に小さくなる。結果は、堆肥化物の揮発分割合は脱水汚泥を試料とする場合と混合汚泥を試料とする場合で異なっていた。脱水汚泥のみを試料として投じた場合には揮発分は堆肥化により約 35% 失われていたのに対して、炭化物を混合した場合には槽内の温度上昇は汚泥投入初期しか見られなかったにもかかわらず、約 40% の揮発分が失われており、炭化物の混合により有機分の分解が促進されている傾向が見られた。炭化物の混合が有機物の分解に与える影響の詳細については今後の検討を要するが、炭化物の混合は他の発酵促進剤と同様に発酵促進の効果があるものと考えられる。

図 4 に汚泥に空気を流通させて乾燥を行った場合の単位時間当たりの汚泥の重量変化から算出される乾燥速度、R と乾量基準での試料含水率、 ω の関係を示

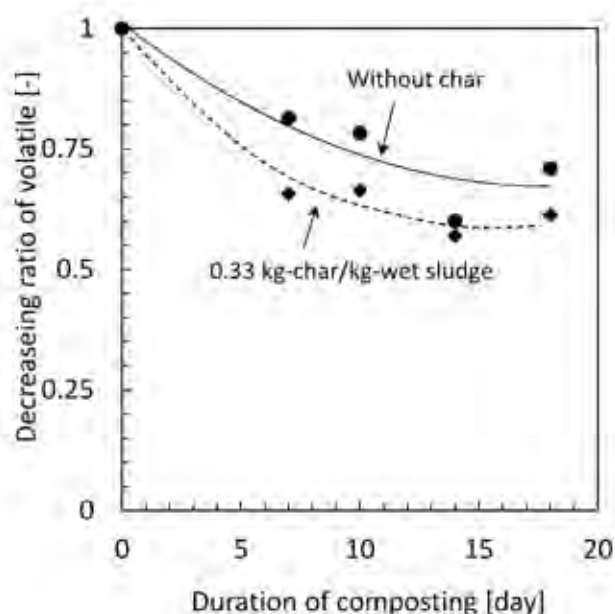


図 3

す。汚泥の乾燥試験には空気流通式乾燥試験装置を用いており、コンプレッサーにより送られた空気を任意のガス温度に調節した後、試料台に充填した試料表面に空気を流通させることで乾燥を行っている。試料台下部にはロードセルが設置してあり、試料重量を常時モニタリングすることが可能となっている。使用した乾燥試料には上述した堆肥化乾燥実験同様に脱水汚泥、および脱水汚泥と炭化物を混合した混合汚泥とし、試料重量は約 5 g、脱水汚泥と炭化物の混合重量割合は湿基準で 0 から 3 割まで変化させた。乾燥実験における流通空気温度は、321 K とし、流量は $0.35 \text{ m}^3/\text{min}$ で一定としている。汚泥、あるいは混合汚泥の乾

燥速度についてはロードセルで測定される重量変化より算出を行い、得られた重量変化から含水率を求めている。乾燥時の重量変化量は脱水汚泥のみを試料とした場合が一番多く、以下炭化物の混合割合が大きくなるにつれて変化量は小さくなる傾向が見られ、また乾燥初期段階における重量変化の時間に対する傾きについても脱水汚泥を試料とした場合が最も大きかった。しかしながら、同含水率における乾燥速度を比較すると炭化物を加えた方が乾燥速度は速く、また炭化物の混合割合が大きくなるほど乾燥速度が速い結果が得られた。5 wt% の炭化物混合においても顕著な差が見られたが、30 wt% の炭化物混合においては乾燥基準における含水率 150 % において混合してない場合のおおよそ 2 倍の乾燥速度が得られることが分かった。小型堆肥化装置における実験でも見られたように、低含水率においても炭化物を混合した場合の方が乾燥速度は速かった。

上述したように汚泥炭化物の混合は汚泥の乾燥を促進するだけではなく、有機分分解促進の効果も見られる。学会等において炭化物の混合が乾燥速度に影響する理由についてよく問われるが、これは炭化物の表面が疎水性であることや粒子に細孔を有していることに原因があると考えている。現在検証中であるため、あくまでも推論の域を出ないが、炭化物が細孔を有し、疎水であることから図 5 に示すように微生物の担持効果、蒸発した水蒸気の拡散促進効果、粒子同士の凝集抑制効果、さらには生物発酵に必要な酸素の包蔵効果などが考えられ、特に乾燥においては蒸発した水蒸気の拡散促進が大きく影響しているものと考えている。

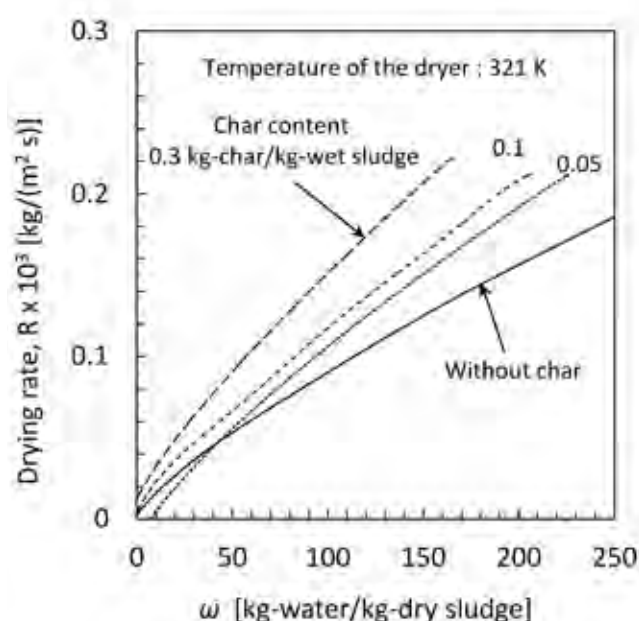


図 4

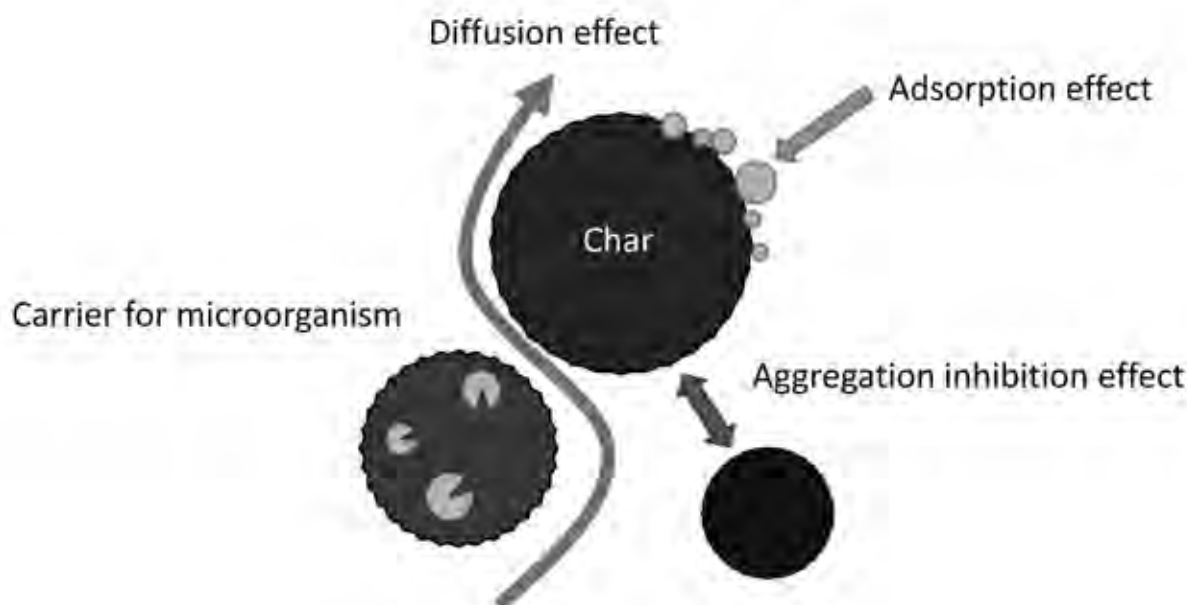


図 5

3. 堆肥化乾燥と半炭化を融合した複合型汚泥処理プロセス

上述したように汚泥に炭化物を混合することで乾燥速度が向上することが明らかになった。そこで著者らは堆肥化乾燥速度を向上させるため、図6に示すような汚泥の堆肥化乾燥と半炭化を組み合わせた汚泥処理プロセスを構築しており (Itaya et al., 2012, Sumami et al., submitting)、パイロットスケールでの実証試験を完了している (図7)。このプロセスでは堆肥化乾燥後の堆肥化物を 673 K、30 min の条件で半炭化行っており、炭化時に発生する熱分解ガスを燃焼器にて燃焼することで、汚泥の半炭化および乾燥に必要なエネルギーを賄っている。半炭化装置は2重管構造になっており、汚泥は内管移動時に熱分解され、燃焼ガスは外管を汚泥とは逆向きに通過する。燃焼排気ガスと熱交換された空気は燃焼装置および堆肥化装置にすることによりプロセスの熱効率を高めている。得られた汚泥半炭化物の一部は脱水汚泥および堆肥化汚泥と適当な割合で混合し、堆肥化乾燥装置へと供給される。堆肥化乾燥装置から得られる堆肥化物の含水率は20%以下であることから、炭化時に補助燃料を加えることなく汚泥の半炭化物の製造が可能となっている。表1に原料汚泥および堆肥化物、炭化物の組成を示す。本プロセスでは、含水率が約80%の汚泥

と含水率約20%の堆肥化汚泥、および含水率約3%の汚泥炭化物を約1:0.5:0.1の割合で混合している。これらの混合割合については今後の実験により最適化を図る必要があるが、実際、全体量に対して5-6%の汚泥炭化物を添加することで堆肥化速度が大幅に促進可能であることも明らかとなっており、わずか4日程度で含水率を20%以下に下げることが可能となっている。半炭化時の温度や堆肥化乾燥装置に投入するガス温度およびガス流量などのマテリアル収支およびエネルギー収支の最適化が極めて重要であり、当然のことながら炭化温度を高くするとエネルギーバランスが崩れ、汚泥以外の燃料の投入が必要になってしまう。エネルギー収支の一例として上述した条件における当該プロセスと従来の流動層を用いた焼却プロセスにおけるCO₂排出量の比較を図8に示す。炭化装置を稼働させるため電気使用量は若干多くなるものの、汚泥の乾燥・焼却に燃料が必要ないことから、当該プロセスにおけるCO₂の排出量は大幅に削減することが可能となっている。堆肥化物の発熱量は約11 MJ/kgあるため、最近では半炭化と組み合わせて炭化燃料を製造するのではなく、汚泥堆肥化物を固体燃料として直接利用しようとする試みも行われているが、汚泥炭化物と同様に汚泥を起源とする燃料には灰分割が多いので、直接燃焼においては燃焼装置の工夫が必要になる。

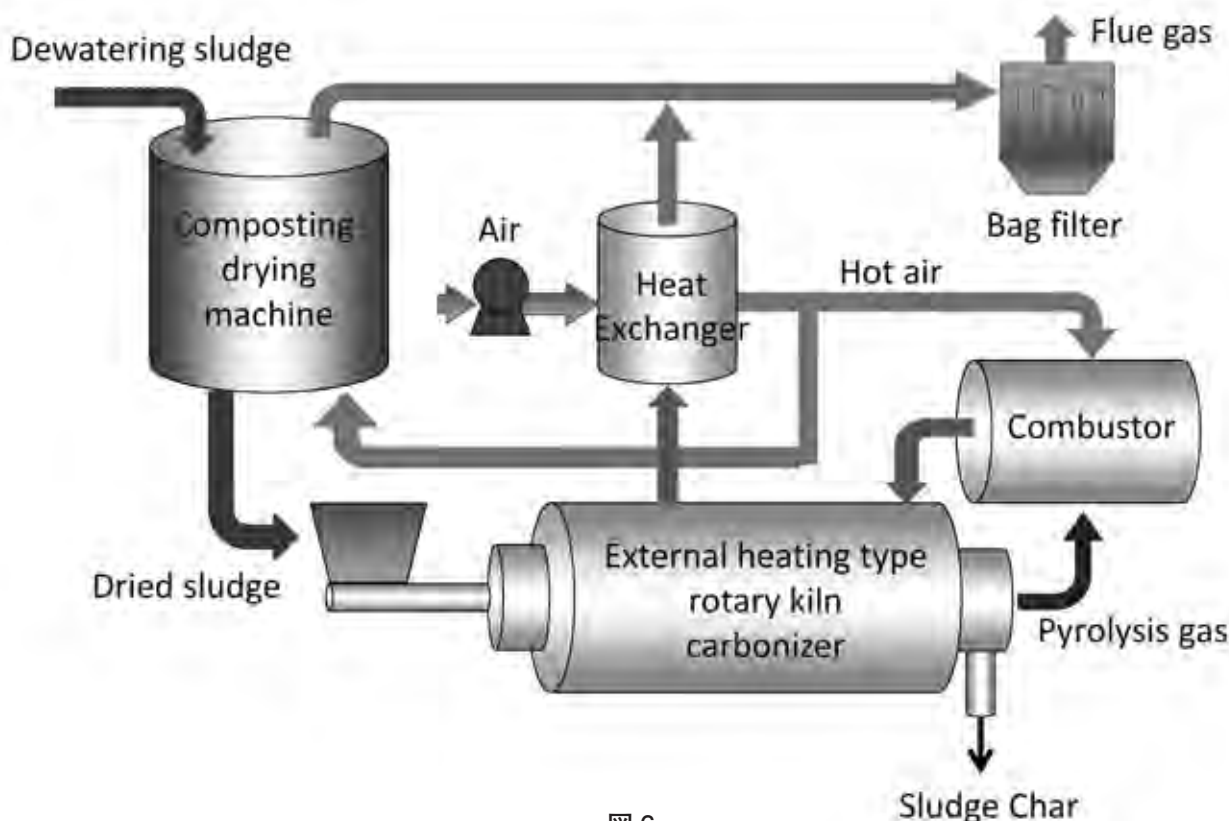


図6

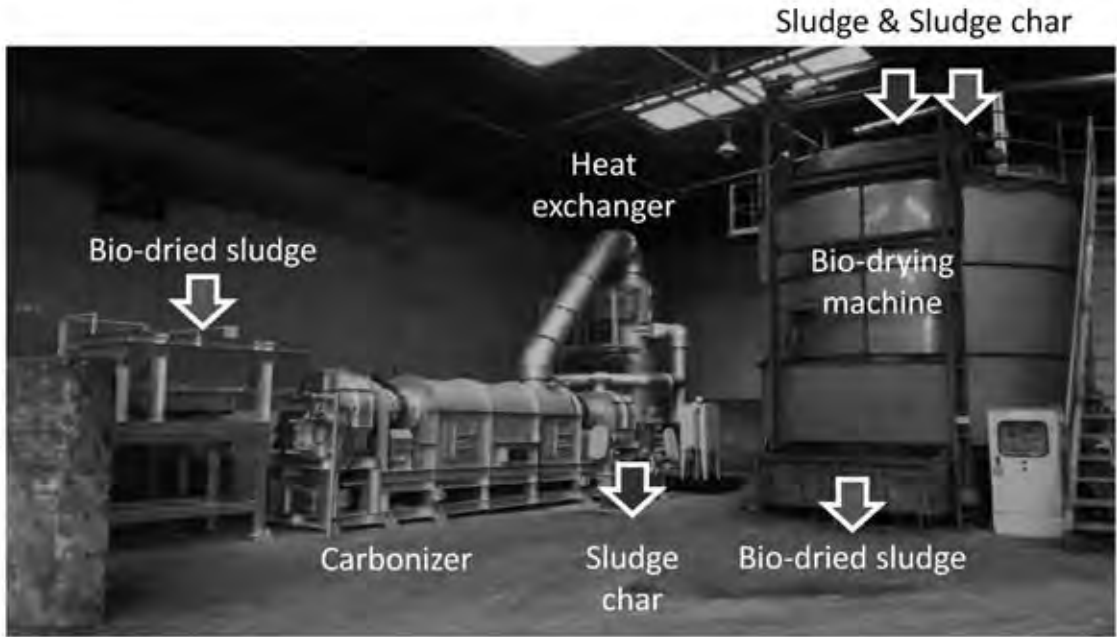


図 7

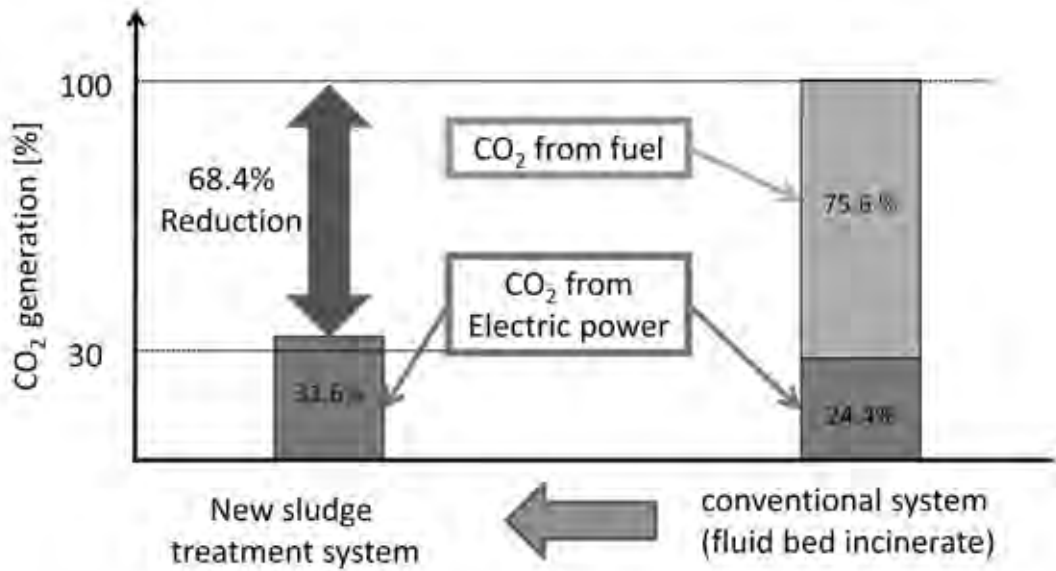


図 8

表 1

	Unit	Sludge	Bio-dried sludge	Sludge char
Conditions	-	Arrival	Mixing ratio of char : 30%. Bio-drying for 6 days	Carbonized at 673 K for 30 min.
Moisture	%	80.0	18.8	2.8
Ash	%-dry	23.4	40.3	57.0
Heating vale	MJ/kg-dry	-	10.8	9.8
C	%-dry	34.4	27.1	25.1
H	%-dry	6.1	3.4	2.0
N	%-dry	3.6	4.7	4.2
BET surface area	m ² /g		5-10	30-35

4. おわりに

堆肥化乾燥は古くから知られる乾燥手法の一つであるが、近年は堆肥化乾燥を工業的に利用するため様々な研究開発や技術開発が進められている。脱水汚泥に炭化物を混合することにより堆肥化時の乾燥速度が増大することが明らかとなり、著者らは堆肥化乾燥と半炭化を複合した汚泥処理プロセスを構築し、汚泥の乾燥において大幅な消費エネルギーの削減を実現している。堆肥化乾燥は生物による発酵を利用するため、処理プロセスの最適化が必要不可欠である。そのため、炭化物の混合割合、投入空気の種類や流量、さらには乾燥装置の形状や攪拌方法などについて今後さらに検討開発を進めていく必要がある。

参考文献

- Frei, K. M., P. R. Stuart and D. Cameron; "Novel drying process using forced aeratin through a porous biomass matrix," *Dry technol.*, 22, 1191-1215 (2004)
- Hyuga, H., H. Uchino, T. Yasui and K. Sato; "Utilization of sludge as carbonization (in Japanese) ," *Proceedings of Annual Conference of the Jpn. Soc. Waste Manag.*, 7, 288-290 (1996)
- Ishii, M., T. Takahashi, J. Ogino and K. Hara, "The examination of rapidly compostin of wood chip using addition of compost and frequently airing," *J. Jpn. Soc. Reveget. Tech.*, 30, 320-323 (2004)
- Itaya, Y., N. Kobayashi, L. Li, A. Suami, M. Sawai and H. Hamabe, *Self-Energy Closed Drying Processes of Sewage Sludge Combined with Composting and Drying Enhancement by Mixture of Its Carbonized Char*, 18th International Drying Symposium (IDS 2012) , Novemebr, 11-15, Xiamen, China (2012)
- Jewell, W. J., N. C. Dondero, P. J. van Soest, R. T. Cummings, W. W. Vegara and R. Linkenheil; "High Temperature Stabilization and Moisture Removal from Animal Waste for By-Product Recovery," *Final Report for the Cooperative State Research Service SEA/CR 616-15-168*, USDA, Washinton, DC, USA, 169 (1984)
- Kashimura, N.; "Dewatering of sewage sludge in hot oil under vacumm," *Proceedings of Annual confece of J. Jpn. Inst. Energy*, 21, 154-155 (2012)
- Kato, H., T. Watanabe, H. Ohmori, K. Kawamura and Y. Makino; "Carbonization of Johkasou Sludge Using a Continuous-type Pilot-scale Plant," *J. Jpn. Soc. Waste Manag. Experts*, 17, 172-183 (2006)
- Kobayashi, N., Y.Tanabe and Y.Itaya, *Enhanced Compost-Drying Process of Sewage Sludge with Carbonized Sludge*, *AIChE annual full meeting*, November 2-9, Pittsburg, PA, U.S.A. (2012)
- Suami, A., N.Kobayashi, H. Hamabe, S. Sawai and Y. Itaya; "Behavior of nitrogen and sulfur in the char produced from bio-dried sludge," *Transactions of the JSME (in Japanese)* , 81 (2015)
- Sugni, M., E. Calcaterra and F. Adani; "Biostabilization-biodrying of municipal solid waste by inverting air-flow," *Bioresouce Tech.*, 96, 1331-1337 (2005)
- Tajima, K., M. Yoshimura, M. Kato, J. Tatsuno and K. Tamaki; "Enhancement of Composting Process by the addition of Chicken Manure and Rice Bran to Tree Pruning Chips," *Jpn. Soc. Farm Work Research*, 38, 207-213 (2003)
- Takahashi, T., A. Yoshida, M. Inoue, M. Oyanagi and Y. Nakano ; "The characteristics of wood chip compostin mixed sewage sludge compost as submaterial," *J. Jpn. Soc. Reveget. Tech.*, 32, 50-55 (2006)
- Terunuma, M. and Y. Umeda; "Development of Carbonized Sludge Producing Technology from Sewage Sludge," *J. Jpn. Swage Work Assoc. Reserch Journal*, 39, 145-155 (2002)
- Terunuma, M. T. Mori and T. Masaki; "Research on Applicability of carbonized Sludge in Composting," *J. Jpn. Swage Work Assoc. Reserch Journal*, 40, 120-1335 (2003)
- Ueda, A; "Technology Converts Sewage Sludge into Fuel," *J. Jpn. Inst. Energy*, 90, 206-211 (2011)

研究紹介

廃水を肥料とする バイオマス生産技術の夜明け

¹ 北海道大学、² 山梨大学、³ 産業技術総合研究所、⁴ 北里大学、⁵ 大阪大学

森川正章¹、遠山 忠²、田中靖浩²、森 一博²、玉木秀幸³、
清 和成⁴、黒田真史⁵、三輪京子¹、鎌形洋一³、池 道彦⁵

キーワード：バイオマス、植生浄化、コウキクサ、植物成長促進細菌

1. はじめに

およそ 35 億年にもわたる生命の歴史において、第一に植物による炭酸固定と有機化、第二にそれら有機物を食する動物、第三に枯死した動植物を分解する微生物による無機化によって、地球上の生物元素は完全に循環してきた。しかし、人類はここ 300 年ほどの短期間で快適な生活と効率を過度に追求することと引き換えにこのバランスを崩し、すべての生物を地球温暖化という重篤な環境危機に直面させることとなった。近年のアフリカにおける干ばつ砂漠化や我が国でも頻発しているゲリラ豪雨などの異常気象は直接および間接的に温室効果ガスの過剰排出に起源する。効率至上主義を志向しがちな下水および産業廃水処理もその例外ではなく、温室効果ガス発生の一因となっている。そこで本稿では、バイオマス生産技術としての廃水処理という視点から、人類の永続繁栄のために我々がいまできることを考えてみたい。

2. 水生植物による水浄化技術の利点と限界

植物による光合成は太陽エネルギーをほぼ最大のエネルギー収率で利用し、大気中の二酸化炭素をデンプンなどさまざまな有機物に固定および再資源化できる利点を有するために、温暖化防止のための再生可能エ

ネルギーや有用バイオマス生産法としてさらなる活用が期待されている。植物は大気中の二酸化炭素および水分以外に、窒素、リン、カリウムなどのミネラルを生育に必要とする。一般に作物や穀物を収率よく栽培するためにミネラルは肥料として別途与える必要がある。ところが、水場で生育する水生植物は水の中にとけ込んでいるミネラルを利用できる。すなわち、下水や工場廃水などのいわゆる汚水は水生植物にとって絶好の生育環境といってよい。

コウキクサなどの水生植物は、汚水中の窒素（アンモニアや硝酸）および無機リンを栄養として生育することから植物成長に伴った水質浄化作用を有する。そして、そこに必要なインプットエネルギーは太陽光のみである。しかし、活性汚泥法にくらべてその処理速度がはるかに劣ることから我が国で実用されている例はほとんどない。

これまでにその速度を速くするすなわち、植物の成長を改善するための遺伝子組み換え技術は多く開発されているが^{注)}、これらの GMO: Genetically Modified Organisms を自然環境中で利用することは一般に受け入れられにくい。

3. 共生微生物を活用したバイオマス生産および浄化速度の改善

私たちは、いまから 5 年ほど前に北海道大学植物園

に自生しているアオウキクサの表層から植物の成長速度をおよそ2倍に加速する細菌 (Plant Growth-Promoting Bacteria: PGPB-23、学名 *Acinetobacter calcoaceticus* P23) を発見した (図1)。当初、この細菌は高性能な

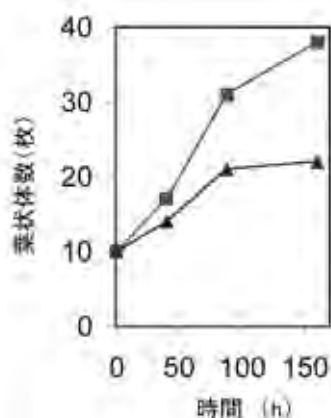


図1 PGPB-23 (*Acinetobacter calcoaceticus* P23) によるコウキクサの成長促進の効果

無菌コウキクサに PGPB-23 を3日間付着させたものを PGPB-23 強化コウキクサとした (■)。コントロールは無菌コウキクサ (▲)。無菌コウキクサは150時間で10葉から21葉に増えるのに対して、PGPB-23 強化コウキクサは37葉にまで増殖できる。

フェノール分解菌として選抜され、コウキクサと共存することで光照射条件下において持続的にその分解活性を発揮できることを報告した¹⁾。そして PGPB-23 を表層に優占化したコウキクサが下水二次処理水や河川水など環境水中においても良好に生育し、野生のものに比べてやはり2倍の水浄化速度ならびにバイオマス生産速度を示すことを JST-ALCA プロジェクト研究において実証した (図2)。また、最近になって植物成長を促進する微生物因子: PGF-AC23 および、その合成に関わる遺伝子群を特定することにも成功している (特許出願中)。興味深いことに、これまでさまざまな土壌微生物で知られているインドール酢酸やシデロフォアなどの植物成長促進因子とは異なり、細菌が植物表面に付着する為の接着剤として生産する細胞外多糖が特殊な構造を有し、植物細胞を刺激して成長促進することを発見した。この細胞外多糖は分子量5,000 ダルトンを超える高分子化合物であるため植物に取り込まれることはなく、植物の表面にとどまり成長を促す刺激物質となっているらしい³⁾。すなわち、微生物を付与する方法以外に PGF-AC23 を製剤化して廃水に投入することによってもウキクサ植物の成長を促進し続ける可能性がある。

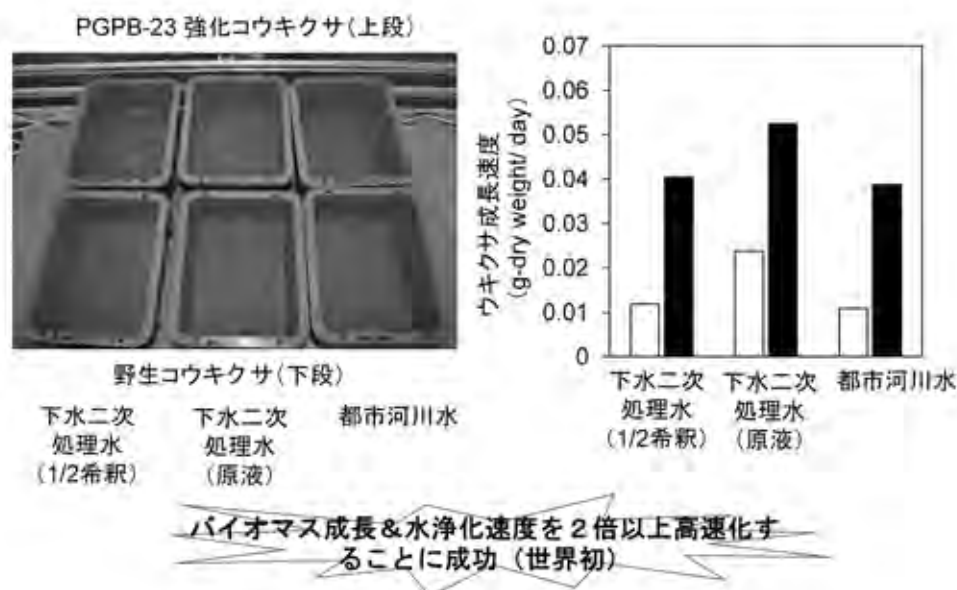


図2 PGPB-23 強化コウキクサと野生コウキクサの成長速度の比較

バイオマス成長とそれに伴う窒素・リン除去のための根圏強化法として、PGPB-23 強化コウキクサを作製し、野生コウキクサと実環境水中で生育を比較した。環境水として、下水二次処理水の1/2希釈および原液さらに河川水を用いた。それぞれ照度および温度制御なしの野外温室で栽培した結果、左の写真から分かるように、下段の野生コウキクサに比べて、上段の PGPB-23 強化コウキクサでは明らかな生育の促進効果が認められた。右のグラフにはそれぞれの水で栽培したコウキクサの一日当たりの成長速度を乾燥重量で示した。また、コウキクサの成長によって水中から除去される窒素に関しても、PGPB-23 強化コウキクサ (■) は、野生コウキクサ (□) の2倍を超える除去速度を示した。

一方、難分解性化学物質分解微生物で強化したヨシも作成し、通常の野生ヨシではほとんど分解されなかったノルフェノールとビスフェノール A を高効率かつ、連続的に分解することも別途確認した²⁾。

3. ナチュラルスーパークロップとしてのコウキクサ

一方、コウキクサはほぼ大豆に匹敵するほどのタンパク質含量（30%）を有するため、収穫したコウキクサをそのまま家畜飼料として利用することができる。米国ノースカロライナ州立大学のジェイ・チェン教授らは大豆やトウモロコシなどにコウキクサを配合した飼料でニワトリを飼育することによって玉子のカロチノイド含量が増加し、黄身の色がより濃くなることを報告している。さらに、ウキクサはリグニンやセルロース含量が5%未満でデンプン含量が最大50%に達する理想的なソフトバイオマスであり、バイオエタノールを製造するためにも有利である。米国大手化学会社であるデュポンはトウモロコシデンプンからグルコースおよびヒドロキシメチルフルフラールやブタンジオールを中間体としてさまざまな化成品を合成できることを示している。しかし、トウモロコシは食糧と拮抗するために真に持続可能社会を実現するために最適な植物とは言えない。

一方、年間を通じて温暖な気候と十分な日射量を得られた場合、コウキクサバイオマスの年間生産収率は1ヘクタールあたりおよそ100トンと試算されてい

る。このうち、50%がデンプンとして回収できる。我が国のデンプン原料として重要な馬鈴薯の生産収率は1ヘクタールあたり年間40トンであることから、私たちは、このデンプン原料としてPGPB-23強化コウキクサを活用することは十分現実的であると考えている（図3）。米国エネルギー省では既にバイオマス回収用フィルターのランニングコストを要する微細藻類に替えて、回収の容易なウキクサを次のバイオ燃料材料として注目している。

近年、水処理分野では処理の高度化に加えて、省エネルギー・創エネルギー化が求められている。その中で、従来の硝化脱窒法による窒素除去技術に代替するものとしてアナモックスプロセスが注目され、有機物添加、曝気に要するエネルギーや温室効果ガスの発生の低減が期待されている。また、バイオガス利用やバイオガス発電を通して余剰汚泥からエネルギー回収できる嫌気性消化（メタン発酵）プロセスも注目を浴びている。一方、上記のとおり良質なタンパク質源あるいはデンプン源として付加価値の高いバイオマスを提供できるコウキクサを用いた植生浄化は、アナモックスプロセスや嫌気性消化プロセスとは競合することなく、補完的に水処理分野の省エネルギー・創エネルギーポテンシャルを高めると考えられる。

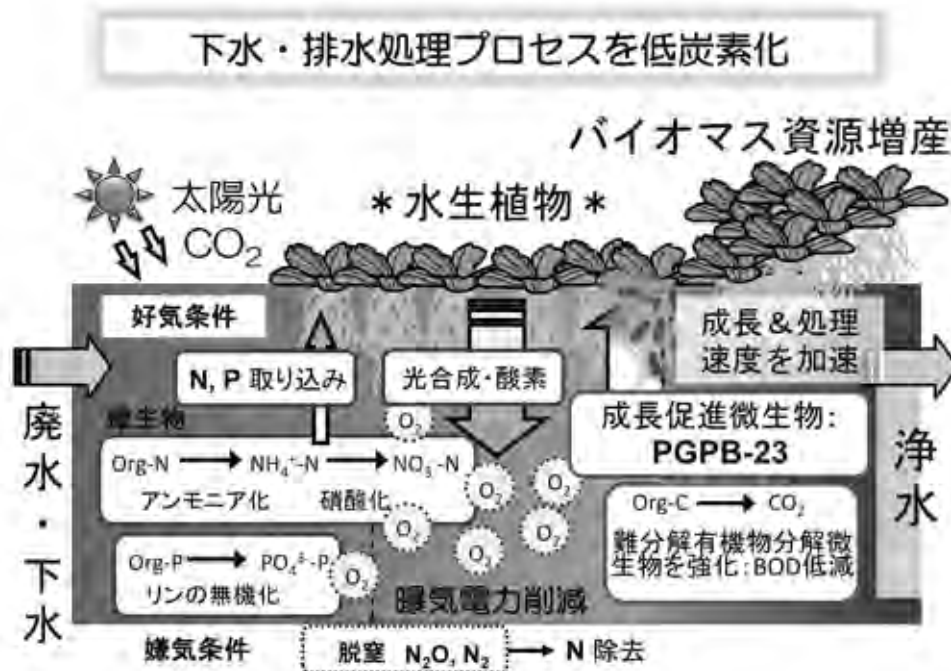


図3 水生植物を利用した廃水処理システム低炭素化の概念図

通常の活性汚泥処理法では、工場廃水や都市下水などに含まれる有機性の窒素やリンは好気微生物が無機化した後、さらに脱窒菌による還元により大気中の窒素へ放出される。一方、水生植物を投入した場合、植物がこれらを栄養として吸収除去することができる。植物を使うメリットとして、曝気に必要な電力を削減できることに加えて CO_2 をバイオマスに変換できるメリットがある。

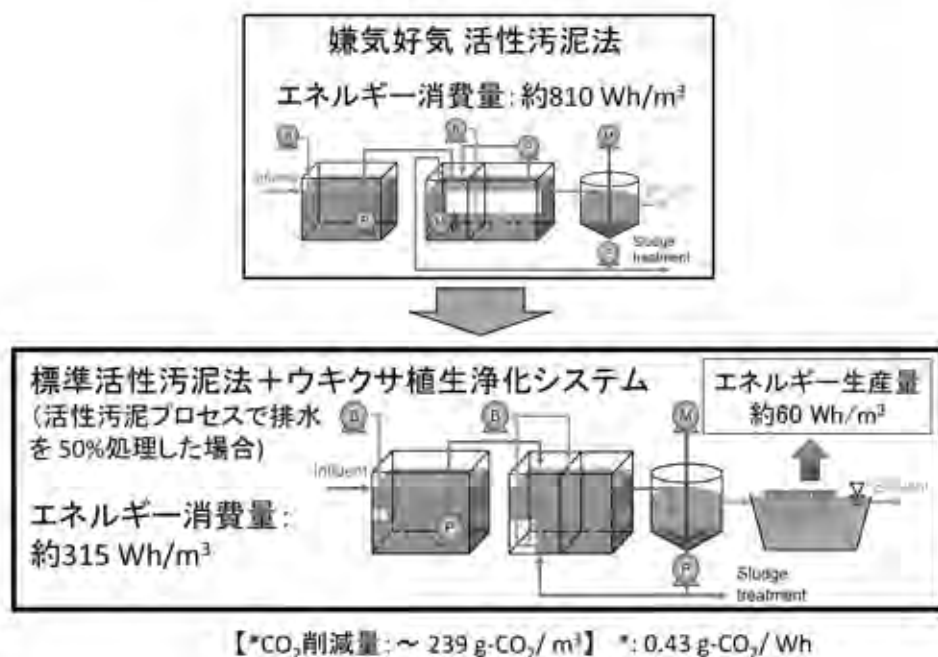


図4 ウキクサ植生浄化システムのエネルギー削減効果の試算

4. ウキクサ植生浄化システムのエネルギー削減効果

コウキクサ植生浄化法による具体的な水処理エネルギーの削減効果は、従来の嫌気好気の二槽式活性汚泥法では1立米あたりの電気などのエネルギー消費量は約800ワット/時であるのに対して、活性汚泥プロセスの50%（主にN/P高度処理プロセス）をウキクサ植生浄化システムに置き換えた場合、水処理に要するエネルギーは300ワット/時程度まで削減できると試算できる。さらに余剰植物体からのバイオエタノール生産で生成されるプラスのエネルギーはおよそ60ワット/時と見積もることができ、これを併せると極めて経済性の高い水処理法が提供できる（図4）。

5. おわりに

以上、植物と表層微生物の共生作用という、本来の持続的生物圏のしくみを利用することで、速度的に不利であった植生浄化技術を改善することができた。我が国から発信する古くて新しい水処理技術がグリーンバイオテクノロジーの一つとして実用化されることを期待している。

謝辞：本技術開発は、科学技術振興機構（JST）による先端的低炭素化技術開発（ALCA）課題として平成23年度より推進しているものである。

注）ウキクサ植物ではまだ、実例はない。

参考文献

- (1) Yamaga F, Washio K, Morikawa M.: Sustainable biodegradation of phenol by *Acinetobacter calcoaceticus* P23 isolated from the rhizosphere of duckweed *Lemna aoukikusa*, Environ Sci Technol, Vol.44, No.16, pp. 6470-6474, 2010
- (2) Toyama T, Ojima T, Tanaka Y, Mori K, Morikawa M.: Sustainable biodegradation of phenolic endocrine-disrupting chemicals by *Phragmites australis*-rhizosphere bacteria association, Water Sci Technol, Vol.68, No.3, pp.522-529, 2013
- (3) 森川正章, 菅原雅之, 鈴木和歌子, 三輪京子: 水生植物に見いだされた新しい表層微生物作用, 化学と生物, Vol.52, No.12, pp.799-804, 2014

Q & A

B-DASH プロジェクト「水素リーダー都市プロジェクト ～下水バイオガス原料による水素創エネ技術の実証～」について

キーワード：水素、燃料電池自動車、二酸化炭素

次世代エネルギーとして注目を集める水素を、下水処理の過程で発生する下水バイオガスから製造し、燃料電池自動車へ供給するプロジェクトが、平成 26 年度の国土交通省「下水道革新的技術実証事業 (B-DASH プロジェクト)」に採択され、現在、国土技術政策総合研究所の委託研究として、三菱化工機株式会社、豊田通商株式会社、国立大学法人九州大学、福岡市で共同研究体を結成し、中部水処理センターにおいて実施しています。(写真 1)。



写真 1 水素供給設備と燃料電池自動車 (FCV)

Q1 今回の実証事業を行うきっかけは何ですか？

A1 全国の下水处理の過程で発生する下水バイオガスは、約 3 割が余剰ガスとして焼却処分されています。これを活用する技術の 1 つとして、下水バイオガスから水素を製造する技術に着目し、研究を

実施しています。

Q2 水素の原料となる下水バイオガスはどれだけ発生しますか？

A2 当水処理センターの消化設備は、平成 23 年度から改築更新にあわせて改造工事を進めており、工事が完了する平成 29 年度以降は、能力増強に伴い下水汚泥を全量消化することが可能となります。このため、下水バイオガス発生量は、平成 26 年度の約 10,000Nm³/日から倍増の約 20,000Nm³/日になる見込みで、この増加する下水バイオガスの内、2,400Nm³/日を水素製造装置へ供給します。

Q3 下水バイオガスはどのような成分でしょうか？

A3 メタン (CH₄) が約 60%、二酸化炭素 (CO₂) が約 40% であり、その他シロキサンや硫化水素等の不純物が含まれています。

Q4 今回の実証事業はどのようなものですか？

A4 下水バイオガスの前処理技術、水素製造技術、水素供給技術を組合せ、下水バイオガスから水素を効率的に製造し、燃料電池自動車へ供給するシステムを構築し、安定的に運転できるか実証しています。(図 1)

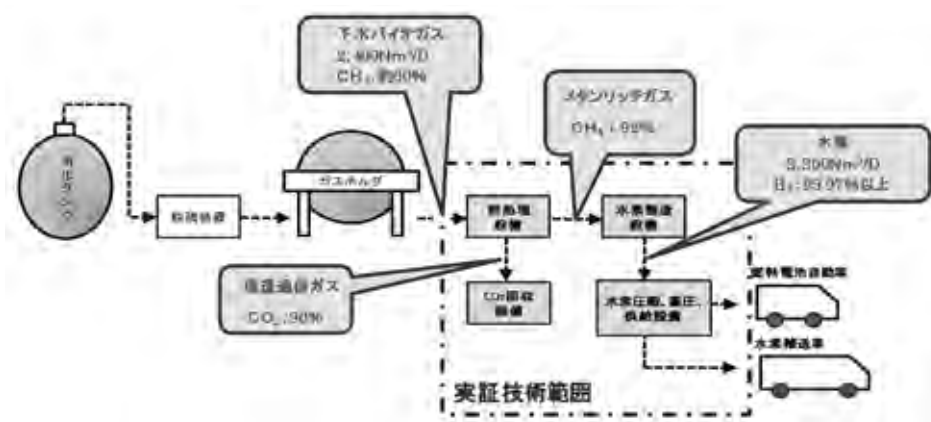


図 1 実証のフロー

Q5 前処理技術とはどのようなものですか？

A5 前処理設備は、シロキサン除去装置とガス分離膜装置で構成されています。中部水処理セ

ンターのガスホルダー (ガスタンク) から供給された下水バイオガスは、シロキサン等の不純物が含まれているため、シロキサン除去塔により除去した後、後段のガス分離膜装置により二酸化炭素を分離し、高濃度

のメタン（メタンリッチガス:92%）に精製されます。このガス分離膜装置には、高分子中空糸膜を採用しており、二酸化炭素が透過し、メタンが濃縮される仕組みとなっています。（写真2）（図2）



写真2 ガス分離膜

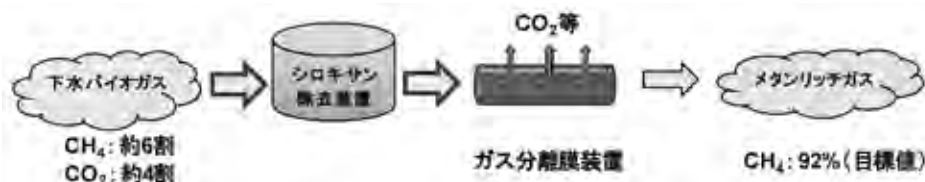


図2 前処理設備フロー

Q6 次に、水素製造技術とはどのようなものですか？

A6 メタンリッチガスは、水素製造装置により水蒸気と反応（水蒸気改質反応）させ水素が製造されます。化学式は以下のとおりです。



製造された水素は、二酸化炭素、一酸化炭素、メタン、水分が不純物として含まれるために、PSA（圧力スイング吸着法）による吸着分離により、不純物を除去し、高濃度に精製（純度 99.97%以上）されます。（図3）

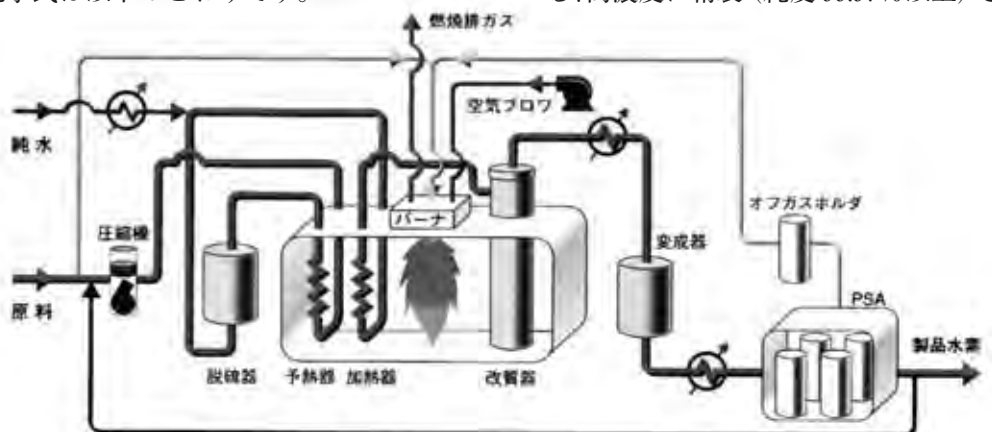


図3 水素製造装置

Q7 水素供給技術とはどのようなものですか？

A7 高濃度の水素は、圧縮機により 82MPa まで昇圧され、蓄圧器に貯留後、水素充填装置（ディスペンサー）から燃料電池自動車（FCV）へ 70MPa で供給されます。（図4）

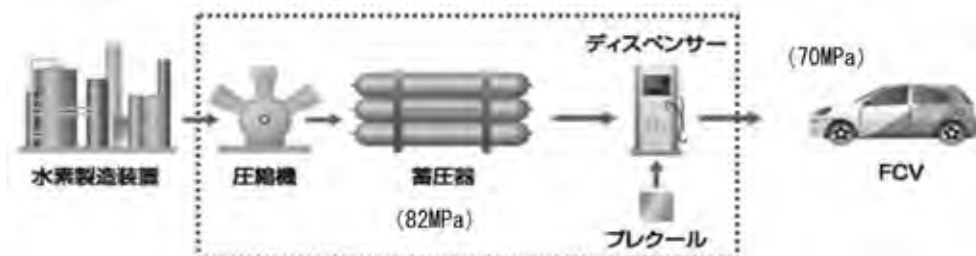


図4 水素供給設備

Q8 この施設で製造される水素の量はどれくらいですか？

A8 約 2,400Nm³/日の下水バイオガスから、約 3,300Nm³/日の水素製造が可能で、これで燃料電池自動車約 65 台分をフル充填することができます。なお、フル充填された燃料電池自動車は、約 650km 走行できるとされています。

Q9 水素を製造する過程で分離した二酸化炭素はどのようにするのですか？

A9 二酸化炭素は、液化回収して、野菜工場へ出荷し、農業（ハウス栽培）利用への可能性について検証しています。利用可能なことが実証されれば、温室効果ガス削減の可能性があると考えています。（福岡市道路下水道局計画部下水道計画課課長 津野孝弘）

現場からの

声

“下水汚泥”を利用した美味しい野菜類生産への道のり

キーワード：窒素肥料、野菜生産、美味しい野菜

日本土壌協会

参与 仲谷 紀男

1. 野菜類への下水汚泥利用の特徴

一般的に、下水汚泥由来肥料等の有機質肥料は、化学肥料に比較して施肥直後の肥効は劣りますが、長期的には肥効が長持ちするという利点があります。また、例えばコマツナのような生育期間が短い葉菜類は、生育初期から収穫期まで継続して多くの窒素を必要とすることから、一部の野菜を除いて化学肥料よりも収量が劣ります。一方、カボチャのような果菜類においては、初期生育に利用できる窒素分が多いとツルの伸び過ぎなどの悪影響があることから、むしろ生育後期の果実が生育する時期に窒素を多く供給できる遅効性肥料が好ましいことが分かりました。

ここでは次の4種類の野菜栽培に際して、8種類の汚泥肥料を施用した結果を紹介します。

(1) 試験区の構成（用いた有機質肥料の概要を表1に示します）

- ① 甲府下水汚泥コンポスト
- ② 結城し尿汚泥肥料
- ③ 須賀川融合下水汚泥コンポスト（生ごみ入り）
- ④ 雄武融合下水汚泥コンポスト（生ごみ入り）
- ⑤ 珠洲汚泥乾燥肥料
- ⑥ 芳賀生ごみ堆肥
- ⑦ 静岡パーク堆肥
- ⑧ 創和牛ふん堆肥

上記8種類の有機質肥料のほか、対照区として単肥（硫酸、過石、硫酸）の施用区を設けて、生育期間の

異なる下記のハウレンソウ、キャベツ、ダイコン、サトイモの4作物の栽培試験を実施しました。試験地は千葉県白井市に所在する火山灰起源の畑です。

- ① ハウレンソウ（品種：ソロモン、栽培期間：9/23～11/25）
- ② キャベツ（品種：金系201、栽培期間：8/26～11/16）
- ③ ダイコン（品種：冬自慢、栽培期間9/9～11/15）
- ④ サトイモ（品種：土垂、5/9～10/28）

施肥はすべて基肥施用としており、追肥は行っていません。窒素、リン酸、カリウムそれぞれの施用量は同量であり、ハウレンソウでは25kg/10a、キャベツとダイコンでは20kg/10a、サトイモでは30kg/10aとしました。窒素施用量はその1/2量は有機質肥料から、残り1/2量を硫酸から供給しました。リン酸とカリウムの施用量は有機質肥料中のリン酸とカリウムの含有率を考慮して不足分を過石と硫酸で補給しました。

(2) 試験結果

・ハウレンソウ（表2）：化学肥料だけの単肥区の収量が汚泥肥料よりも高いですが、次に静岡、甲府、創和、須賀川と続き低収量の区でも単肥の72%は確保しています。ハウレンソウの硝酸イオン濃度は単肥区と等しいかむしろ低い。ブリックス糖度は芳賀や珠洲は単肥区より高く、静岡や甲府が低い。

表 1 有機質肥料の概要

肥料の略称	原料別にみた 有機質肥料のグループ	主要原材料(現物含有比率) および製法の特徴
甲府	下水汚泥コンポスト	高分子系下水汚泥(57%) おがくず(43%) 縦型密閉攪拌方式(一次) 14日 堆積発酵(二次) 60日
結城	し尿汚泥コンポスト	し尿汚泥(60%)、食品汚泥(19%) 乾燥し尿汚泥(7%)、コーヒー粕(9%) ゼオライト(5%) 箱型堆積発酵(一次) 30日 箱型堆積発酵(二次) 60日
須賀川	融合生ごみコンポスト	下水汚泥(20%)、食品汚泥(50%) 食品残さ(20%)、たばこ葉粕(10%) 攪拌発酵 25日、
雄武	融合牛ふんコンポスト	下水汚泥(20%)、牛ふん(10%) おがくず(70%) 攪拌発酵
珠洲	乾燥汚泥肥料	下水汚泥(49%)、集排汚泥(2%) 浄化槽汚泥(26%)、し尿(21%) 生ごみ(2%) メタン発酵施設においてメタンを発生、 残さを乾燥し、ペレット化した汚泥肥料
芳賀	生ごみコンポスト	生ごみ(25%)、牛ふん(25%) おがくず・モミガラ(50%) スクープ式発酵(一次) 30日 堆積発酵(二次) 70日、ペレット
静岡	バーク堆肥	バーク(80%)、コーヒー粕(20%) 鶏ふん(少量)、尿素(少量) 堆積発酵(一次) 野積み 1.5年 堆積発酵(二次) 野積み 0.5年
創和	牛ふん堆肥	牛ふん(40%)、おがくず(60%) 堆積発酵(一次) 45日 堆積発酵(二次) 60日

- ・キャベツ(表3)：収量は単肥区が際立って高く、有機質肥料はいずれも低く、低い区では単肥区の66%に低下する。キャベツの硝酸イオン濃度は有機質肥料区が高く、ブリックス糖度は有機質肥料区が劣ります。
- ・ダイコン(表4)：有機質肥料区の収量はいずれも単肥区より高いが、硝酸イオン濃度の傾向は一定しない。ブリックス糖度は有機質肥料区が勝ります。
- ・サトイモ：萌芽が不良だったこともあり、一定の傾向はつかめませんでした。

2. 下水汚泥肥料の特徴を生かす副資材

下水汚泥肥料は田畑に利用する場合には、一般に単独で用いられるよりも他の資材を混ぜて、両者の特質

を生かして、利用されることが多い特徴があります。

ここでは、主原料として、乾燥汚泥肥料(刈谷市境川浄化センターで製造されたペレット状のもの、石灰系凝集剤使用)

副資材として、

- ① モミガラ(未粉碎のもの)
- ② オガクズ(杉材と松材がほぼ半々混合)
- ③ モミガラくん炭(モミガラを約300℃で炭化)
- ④ 竹粉(伐採した竹を粉碎機にかけて微細化)
- ⑤ ゼオライト(粒径2～3mmの山形産)

- ・主原料15Lと副資材15Lを混合したA系列(1:1)、並びに主原料18Lと副資材12Lを混合したB系列(3:2)を設けて、表5に示すように10の試験区を設けました。その様子を写真1に示します。

主原料に副資材を加え、水を添加して攪拌後発酵を

表2 ホウレンソウの収量調査結果

試験区	収量 kg/m ²	硝酸イオン mg/kg	Brix糖度 %
甲府	5.57	3400	4.6
結城	5.14	2550	5.1
須賀川	4.53	3030	5.5
珠洲	5.46	3550	6.2
芳賀	5.19	3160	6.5
静岡	5.60	3330	4.8
創和	4.65	2750	5.8
単肥	6.31	3560	5.4

表3 キャベツの収量調査結果

試験区	株重 kg	硝酸イオン mg/kg	Brix糖度 %
甲府	1.92	760	5.6
結城	1.51	680	5.2
須賀川	1.79	710	5.9
雄武	1.62	730	5.3
珠洲	1.74	540	5.1
芳賀	1.70	580	5.1
静岡	1.77	830	5.2
創和	1.40	600	5.0
単肥	2.12	990	5.1

表4 ダイコンの収量調査結果

試験区	根		
	重量 g/本	硝酸イオン mg/kg	Brix糖度 %
甲府	978	550	4.1
結城	897	740	3.8
須賀川	870	710	3.7
雄武	990	700	3.9
珠洲	1004	750	3.7
芳賀	922	590	4.0
静岡	965	810	3.6
創和	873	750	4.0
単肥	865	740	3.6

表5 試験区の内訳

A系列:主原料15L+副資材15L

- No. 1 モミガラA
 2 オガクズA
 3 モミガラくん炭A
 4 竹粉A
 5 ゼオライトA

B系列:主原料18L+副資材12L

- No. 6 モミガラB
 7 オガクズB
 8 モミガラくん炭B
 9 竹粉B
 # ゼオライトB

続行し、温度変化を追いながら、合計 87 日間堆肥発酵を行いました。

・品温の推移と施用結果

その変化の推移は省略しますが、品温の立ち上がりは竹粉の区が他の副資材区より早く推移しました。また、最高温度に達した日数も竹粉の区で早く、次いでオガクズ、モミガラ、くん炭と続き、ゼオライトが遅く、副資材の種類による違いが認められました。最高品温はモミガラが 63.2℃と 64.5℃と最も高く、一方、ゼオライトでは 53.9℃と 56.4℃で最も低かった。品温が気温と重なれば、堆積発酵がほぼ終了したとみなされます。

A 系列では、竹粉の発酵終了の遅れが目立ちます。B 系列では、A 系列よりも全般に遅れました。

A 系列の区でのダイコンに対する施用試験ではモミガラ区とモミガラくん炭区では、初期生育が遅れ、根重が小さかったのが特徴です。

3. 下水汚泥の窒素肥料としての特質

下水汚泥由来肥料等を野菜に施用した場合、肥料の種類によって、野菜の種類によって、野菜の窒素吸収経過が異なり、収量の大きいことが認められています。すなわち、コマツナ、ダイコン等の可食部の収量は速効性窒素画分と正の相関があり、これらの作物は短い生育期間中に窒素を急速かつ大量に吸収することが認められています。一方、タマネギ、コーン、ゴボウ、ニンジン等の可食部収量は窒素画分との関係が判明せず、C/N 比と負の相関が認められています。これらの作物は生育期間が長く、生育初期の窒素吸収にタイムラグがあり、速効性の窒素画分が有効に利用されていないことが推定されています。

そこで、成分の異なる帯広、佐賀、鹿児島と荅北からの有機質肥料を供試して、5 種類の野菜類（ピーマン、コマツナ、サトイモ、ブロッコリー、チンゲンサ



写真1 コンポスト製造試験

イ)の栽培試験を行いました。

これら野菜の可食部収量について、表6に単肥区の収量を100とした収量指数で示しました。コンポストの肥効を総体的に俯瞰すると、佐賀が最も高く、鹿児島と帯広は同程度に高く、それより苓北が低いと言えます。

表7に汚泥コンポストのC/N比と窒素形態画分を示します。窒素形態画分としては土壤中で最も分解しやすい画分をAとし、内容的には非タンパク態です。他には分解程度によって、表7に示したようにB画分（可溶性タンパク）、C画分（膜結合性タンパク）、と続き、最も難分解性のD画分（細胞壁構成タンパク）と連なります。

野菜可食部の収量とコンポストの窒素形態との関係について検討した結果では、大まかに三つのタイプに分けられました。

第一のタイプは、コマツナ、ハウレンソウ、ダイコンなどのように、生育期間が1～3ヶ月と短く、窒素を生育当初から急速に大量吸収する野菜で、AあるいはA+B画分の窒素が多い有機質肥料が効果的に働きます。

第二のタイプは、タマネギ、スイートコーン、ゴボウ、ニンジン、ブロッコリーなどのように生育期間が3ヶ月以上とやや長いあるいは長く、生育初期には窒素の吸収が極めて少なく、植え付けから1.5～2ヶ月を過ぎて、ようやく窒素の吸収が起こる、つまり窒素

吸収にタイムラグのある作物であります。これらの野菜では、収量と窒素形態画分との相関は判然とせず、C/N比との間に負の相関が見られました。

第三のタイプは、ナスやカボチャのように、生育期間がやや長いあるいは長い点は第二のタイプと似ていますが、生育初期から窒素の吸収が起こり、窒素吸収にタイムラグのない野菜であります。これらの野菜は、当初の茎葉部の伸長期には速効性の窒素AおよびBの画分を吸収利用し、子実部の肥大期にはAやBの画分に代わって緩効性のC画分から生成する窒素を主として吸収利用すると考えられます。



写真 ピーマン苗定植 10日後



写真 ピーマン収穫開始 5週間後
(6回目の収穫調査)

表6 野菜の収量指数

(単肥区の指数:100)

作物	帯広	佐賀	鹿児島	苓北
ピーマン	48	84	66	52
コマツナ 春	43	66	31	29
〃 秋	58	122	62	37
サトイモ	90	79	75	70
ブロッコリー	65	71	63	48
チンゲンサイ	71	103	70	—

表7 汚泥コンポストのC/Nと窒素形態画分

下水汚泥 コンポスト	A画分(%)	B画(%)	C画分(%)	D画分(%)
	非タンパク	可溶性タンパク	膜結合性タンパク	細胞壁構成タンパク
	易分解性 ← 分解性 → 難分解性			
帯広	14.9	31.6	30.8	22.7
佐賀	17.4	35.8	25.6	21.2
鹿児島	21.6	31.3	25.3	21.7
苓北	7.3	19.3	43.0	30.4

4. 下水汚泥由来の施用による野菜食味への影響 —食味比較—

作物の嗜好性の評価の指標と考えられる食味（うまみ）について近年注目されていますが、下水汚泥肥料や他の堆肥施用した場合の収穫物について、定量的に比較評価した事例は極めて少ないのが現状です。

(1) トマトの例

トマトの美味しさはグルタミン酸とみなされてきましたが、最近これに否定的な結果が明らかにされています。また、トマトではカリウムが多くなると渋み、えぐみが強くなることが報告されています。リコピンはカロテンの一種で、トマトの赤色はこれに由来します。

ここでは、トマト（品種：桃太郎）を千葉県白井市の淡色クロボク土で栽培した結果について、食味と直接関係する糖分とクエン酸含量を図1に示しました。その結果、佐賀のトマトは単肥や総和のトマトに比べて、甘味がやや高く、酸味やえぐみの少ないことが窺われます。

(2) ナスの例

ナスの食味・品質と成分との関係については、カリ

ウムが多く含まれると、渋み、えぐみが強くなり、糖分は甘味に関係し、クロロゲン酸は渋みの原因物質とみられています。

図2に見られるように、ナスの第1期は、佐賀は創和や単肥に比べて糖分がやや高く、カリウムが低く、クロロゲン酸が中間であり、佐賀のナスの食味は甘くてえぐみが少ないとみられます。第2期は、佐賀はカリウムが創和よりも低いが、糖分が創和、単肥と同程度で、甘味やえぐみには第2期ほどの違いがありませんでした。

5. おわりに

以上を要約すると、下水汚泥肥料は大変多様で、農作物栽培に施用する場合は、下水汚泥肥料資材そのものの性質とともに、加える副資材の性質、さらには栽培する農作物が要求する条件等を勘案する必要があります。今後はこれらの条件を考慮すれば、農家が望む下水汚泥の利用が拡大することが期待されます。また、下水汚泥を適正に施用すれば、食味まで加えた良品質の農産物が得られる萌芽が見えて来ています。

作物を生産する農家と直接接すると常に言われることがあります。「下水汚泥」のイメージが良くない、特に「汚泥」の「汚」を用いるのは如何なものかと。「この名称では、汚いイメージが先に立って、積極的に使う気にならないし、他に勧めるのも難しい」と。

名称変更をできないでしょうか？

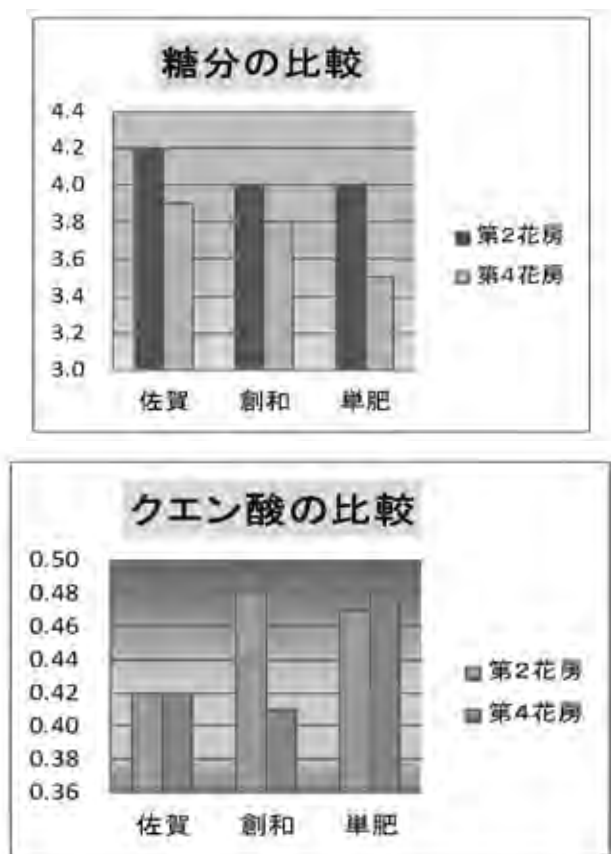


図1 トマト果実中の主要成分の比較

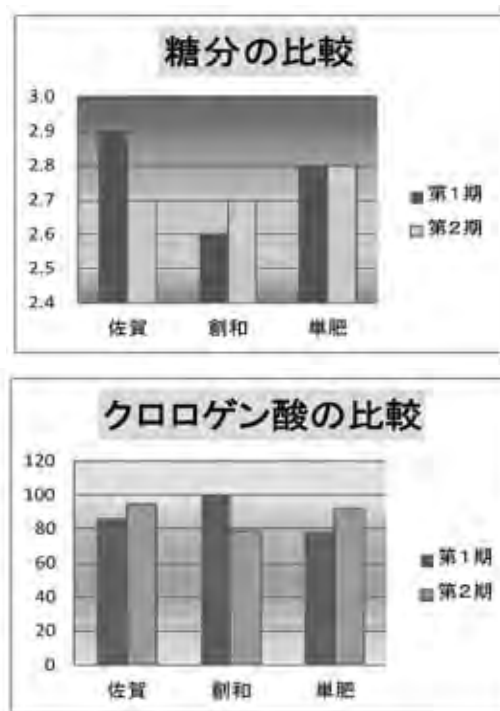


図2 ナス果実中の主要成分の比較

文献紹介

洗浄剤として下水汚泥堆肥由来の腐植物質は
土壌から銅とカドミウムを効果的に除去できるのか

Humic substances from sewage sludge compost as washing agent effectively remove Cu and Cd from soil

Dorota Kulikowska, Zygmunt Mariusz Gusiatin, Katarzyna Bułkowska, Katarzyna Kierklo
Chemosphere 136 42-49 (2015)

土壌洗浄は汚染物質を除去し迅速な浄化を可能とし費用対効果が高いことから最も効果的な土壌修復法である。洗浄剤には硫酸および塩酸塩などの無機塩類、酢酸やクエン酸などの有機酸、エチレンジアミン四酢酸やニトリロ三酢酸のキレート剤が一般的に使用されている。金属イオンと高い結合力を持つ微生物由来の機能性脂質や植物由来のサポニン（SAP）など生物系界面活性剤への関心も高まっているが、価格が高いことが問題である。廃棄物由来の腐植物質（HS）は親水基と疎水基の両方が存在する両親媒性であることから界面活性剤として良好な特性を有することが予測され、HSの中の主にフミン酸（HA）およびフルボ酸（FA）がもつカルボキシルおよびヒドロキシル基は重金属と錯体を形成し土壌からの重金属除去が可能である。そこで本論文の著者らは、土壌洗浄コストの大幅な低減が期待される堆肥由来のHSについて適合性を検討した。

供試土壌には非汚染の砂質埴壤土（S1）と埴土（S2）を用いた。これに硫酸銅と硫酸カドミウムを別々に添加し1ヶ月間室温で馴致した土壌を汚染土壌（Cu 約2000mg/kg、Cd 約50mg/kg）とした。HSは下水汚泥とリグノセルロース原料（木材チップ、草、アブラナ科作物の乾燥させた茎）を170日間成熟させた堆肥（HS濃度：162gC/kg）から、Jouraiphy et.al., (2005)とAmir et.al., (2006)の方法に準じて抽出した。HSの臨界ミセル濃度とその濃度での表面張力は946mg/Lと48.0mN/mであり、市販フミン酸（2049 mg/L、54.5mN/m）よりも低く、HSはHAよりも優れた界面活性を示した。土壌洗浄の最適条件を決定するために土壌：HS = 1：40（W/V）で土壌洗浄試験を行った。CuとCd両方の除去効率は洗浄剤の濃度に依存し、Cu除去においてHSは市販HAよりも効果的であった。HSを用いたS1からのCu除去率は、濃度1500mgC/Lまでは急激に上昇し（除去率51%）、濃度3000 mgC/L（65%）までは緩やかに上昇した。よって、HS濃度3000 mgC/Lを最適濃度とした。両土壌で両金属の除去効率はpH3で最も低かったのは、洗

浄後のHS濃度が半減したこと、HSが土壌に吸着したことが原因であると判断した。S1で除去率が最も高かったのはpH5であり（Cu 81%、Cd 69%）、pHの上昇にともなって除去率はゆるやかに低下した。S2では除去率が高かったのはpH7～9であり、最適条件としてpH7を選択した。全てのケースで反応は二次反応速度論に従い、平衡条件下で土壌から除去された重金属濃度はS1 > S2であった。土壌の種類に関係なく速度定数k値はCu < Cdであり、土壌中の易動性はCu < Cdと判断された。本研究では両土壌中でCuもCdも3時間以内に平衡に達したことから、洗浄時間を3時間とした。一回の洗浄だけでも比較的高い除去率が得られた。有機物含量が少ないS1の除去率（Cu 81%、Cd 69%）は有機物含量が多いS2（Cu 53%、Cd 37%）よりも高かった。これは粘度含量と有機物含量が高い土壌では金属はより強く土壌に結合していることによる。二回洗浄試験は二回目にHSあるいは植物由来の生物系界面活性剤のSAPとタンニン酸（TA）を用いた3パターンを行った。両方の土壌ともに二回目もHSを用いるのが最も効果的に重金属を除去できた。使用した洗浄剤の組み合わせにかかわらず、有機物含量が少ないS1はより効果的に修復することができた。HSのみを用いた三回洗浄試験では、CuとCdはS1でほぼ完璧に除去され、S2でも80%以上と高い除去率を示した。

以上の結果より本論文の著者らは下水汚泥堆肥由来のHSは土性が異なる土壌からも効率よくCuとCdを除去できる、有用で環境にやさしくコストパフォーマンスに優れた生物系界面活性剤であると判断した。また、著者らは土壌中のCuとCdを形態別に分け（F1：交換性と酸可溶性画分、F2：還元性画分、F3：酸化性画分、F4：残渣）、三回洗浄試験でF4画分でさえも高いCu除去効果を示したこと（S1：98%）は強調すべき成果であるとしている。その一方で、著者らの研究がエイジング期間の短い人口汚染土壌で行われていることも高い除去効果に関与したと指摘している。実際の汚染現場で他の洗浄剤による重金属除去効率が低い理由に金属が鉱物や土壌団粒に吸蔵されていることを挙げた上で、本研究で得られた有望な結果をフォローアップするために、エイジングを重ねた現実の汚染土壌に対するHSの金属除去の有効性を今後は確認する必要があるとしている。

（農業環境技術研究所 主任研究員 杉山 恵）

講座：廃棄物系バイオマスやエネルギー系作物バイオマスの利活用について

メタン活用いしかわモデル －中能登町における高濃度混合 バイオマスメタン発酵－

石川県環境部水環境創造課
武藤 栄治郎

キーワード：高濃度混合バイオマス、産学官連携、高濃度汚泥攪拌技術、OD 汚泥改質技術、循環型社会

1. メタン活用の現状と石川県の取組み

下水汚泥をメタン発酵すると、汚泥の減量化が図られるだけでなく、安定化し緑農地還元を図ることができる。また、メタン発酵に伴い発生するメタンガスは再生エネルギーとして発電や熱利用が可能である。

メタン発酵技術は、比較的規模の大きな下水処理場では導入が進んでいるが、日流入量が 10,000m³/日最大以下の小規模な下水処理場では、ほとんどの処理場でメタン発酵を実施していない。理由として、取扱い汚泥量が小さいことと、オキシデーションディッチ法（以下「OD 法」と記す）から発生する汚泥の分解性が悪いことが挙げられる。

また脱水汚泥 1t あたりにかかる運搬・処分費は 20,000 ～ 30,000 円程度となっており、各自治体の財政にとって大きな負担となっている。加えて、市町村合併の影響もあり、し尿処理場や集落排水処理場などの類似施設が近接して存在し、非効率な処理となっているケースも多く見られる。

そこで石川県では全国に先駆け、金沢大学、土木研究所、日本下水道新技術機構、並びに県内民間企業等と連携し、小規模下水処理場においてメタン発酵技術を普及させるための手法や技術について、石川県中能登町での実証実験等を通じ検討を進め、「メタン活用いしかわモデル」としてとりまとめた。

2. 石川県中能登町の概要

中能登町は能登半島のほぼ中央部に位置し、平成 17 年 3 月に鹿島町、鹿西町、鳥屋町の 3 町が合併して誕生した町である。

中能登町の平成 25 年度末の污水处理施設普及率は 99.0% となっている（表 1）が、合併の結果、町内に 5 つの公共下水道及び 6 つ（統合後に 3 つ）の集落排水処理場が近接して存在し、非効率な污水处理を行っている状況である。

これらの現状から、下水道、集落排水、し尿・浄化槽とさらに町内で発生する有機性廃棄物（学校給食残さ、食品工場残さ）との混合処理の可能性について検討を行うこととなった。

そこで石川県では、中能登町を実証フィールドとして、平成 24 ～ 25 年度に土木研究所、金沢大学、民間企業との産学官連携で共同研究を実施し、小規模下水処理場に適したメタン発酵新技術の設備開発を目的として、OD 汚泥を対象に高濃度混合メタン発酵設備の実証実験を行うこととした。

表 1 污水处理施設普及率（H25 末）

下 水	15,864 人	83.0 %
集落排水	2,880 人	15.1 %
浄化槽等	184 人	1.0 %
合 計	18,928 人	99.0 %
総 人 口	19,114 人	

3. 中能登町における実証実験（H24～25）

メタン発酵槽への投入汚泥の固形物濃度を10%と高め、下水汚泥以外のバイオマス（し尿・浄化槽汚泥、集落排水汚泥、生ゴミ等）と混合発酵を行うことにより、設備の小型化、低コスト化が可能となるが、一方、高濃度・高粘度条件下での発酵反応、ガス発生量などを検証するため、中能登町の下水処理場の実験機を設置し（図1）、1年間を通して実証実験を実施した。また、投入バイオマスの割合は、中能登町における年間



図1 実験機



図2 投入バイオマス

実発生量を基に決定した。（図2、表2）

その結果、投入混合汚泥の平均固形物濃度8.8%程度（最大11%程度）の条件下で、アンモニア阻害等を生じることなく、1年間を通して安定的に発酵反応が進行することが確認できた。（図3、4）

また、消化汚泥の成分を分析したところ、肥料の3大成分である窒素、リン酸、カリウムは一般値を上回っていること、また有害成分は規制値を下回っていることが確認できた。（表3、4）

表2 実証実験の条件

想定フィールド	石川県中能登町
実験機設置場所	鹿島中部クリーンセンター
投入バイオマス	下水汚泥（OD脱水汚泥）、集落排水汚泥、し尿・浄化槽汚泥、生ゴミ、油揚げ
混合バイオマス濃度	TS:8.76%、VS7.34%
平均有機物負荷	2.50kg/m ³ ・d
発酵温度	37℃（中温）
SRT	25日

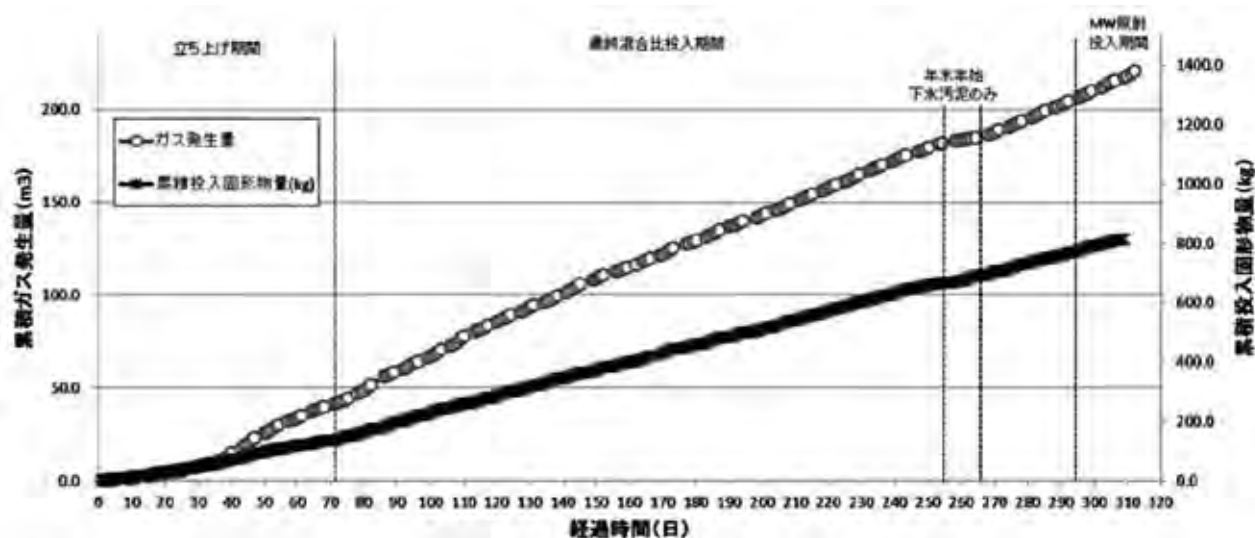


図3 累積ガス発生量の経時変化

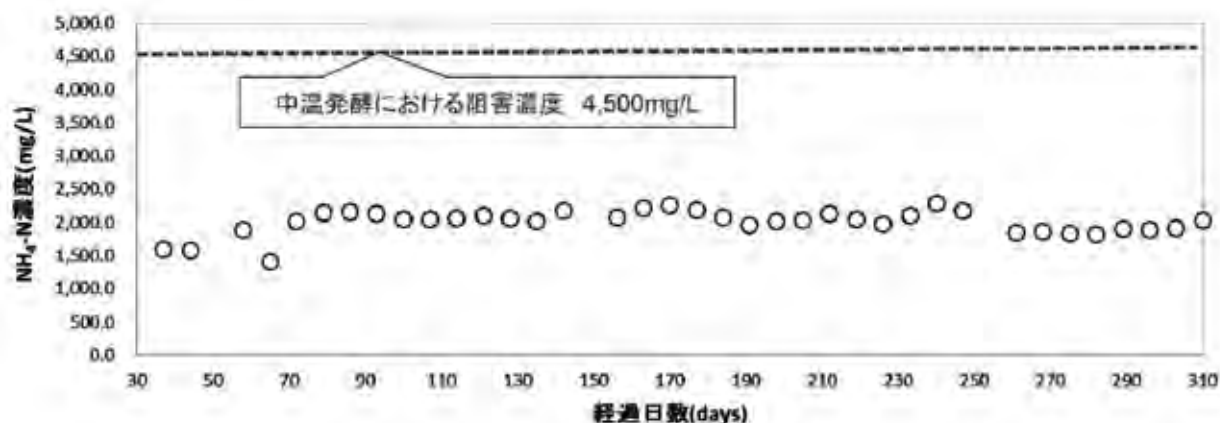


図4 アンモニア性窒素濃度の経時変化

表3 有害成分 (ppm)

規制値・分析結果はドライベース		
有害成分	規制値※	中能登 消化汚泥
ヒ素	50	3.1
カドミウム	5	2.30
水銀	2	0.34
ニッケル	300	26
クロム	500	11
鉛	100	15

※農林水産省の規制値

表4 成分分析結果

規制値・分析結果はドライベース		
項目	一般値※	中能登 消化汚泥
pH		8.1
CN比	6.53	6.10
炭素(%)	53.3	36.4
窒素(%)	4.01	7.19
リン酸(%)	3.62	4.38
カリウム(%)	0.31	0.54

※土木研究所

「全国下水汚泥緑地農産品調査報告書(H6)」
における平均値

4. 中能登町における事業化検討 (H25)

中能登町では、個別処理と混合処理を比較(図5)し、高濃度混合メタン発酵を導入した際の経済性の評価を実施したところ、汚泥処分費の軽減やメタンガスのエネルギー活用などの効果により、混合処理の場合では、



図5 想定バイオマス処理フロー

約32百万円/年のコスト縮減が見込まれるという結果となった。

実験結果及び経済性試算結果から、町内で発生する各種バイオマスの共同処理の実施を決定し、各種バイオマスの受入設備等を下水道施設に位置付け、MICS事業、新世代下水道支援事業(未利用エネルギー活用型)、及び社会資本整備総合交付金効果促進事業にて実施することとした。以下に事業実施スキームを示す。(図6)

中能登町では消化ガス発電設備を導入することとしており、そこで発電した電気は固定価格買取制度を活用し売却することを目指している。売電による利益が発生するため、発電設備の導入費用の内、発電に資する部分は単独費で整備することとしているが、発電時の排熱はメタン発酵槽の加温に活用でき下水道汚泥消化に資することから、熱回収できる分は国費の充当が認められた。国費と単独費の割合は、発電と排熱利用の熱量で按分している。

なお平成27年10月現在、中能登町では平成29年の稼働を目指し、実機の整備を進めている。

5. メタン活用いしかわモデル

「メタン活用いしかわモデル」は、複数の下水処理場から発生する汚泥を脱水汚泥で集約することで運搬コストの縮減を図るとともに、し尿やその他の地域バイオマスを一ヶ所の処理場に集約し、混合メタン発酵を行うことにより、メタン発酵槽の小型化やガス発生量の増大を図ることができる、小規模下水処理場に適

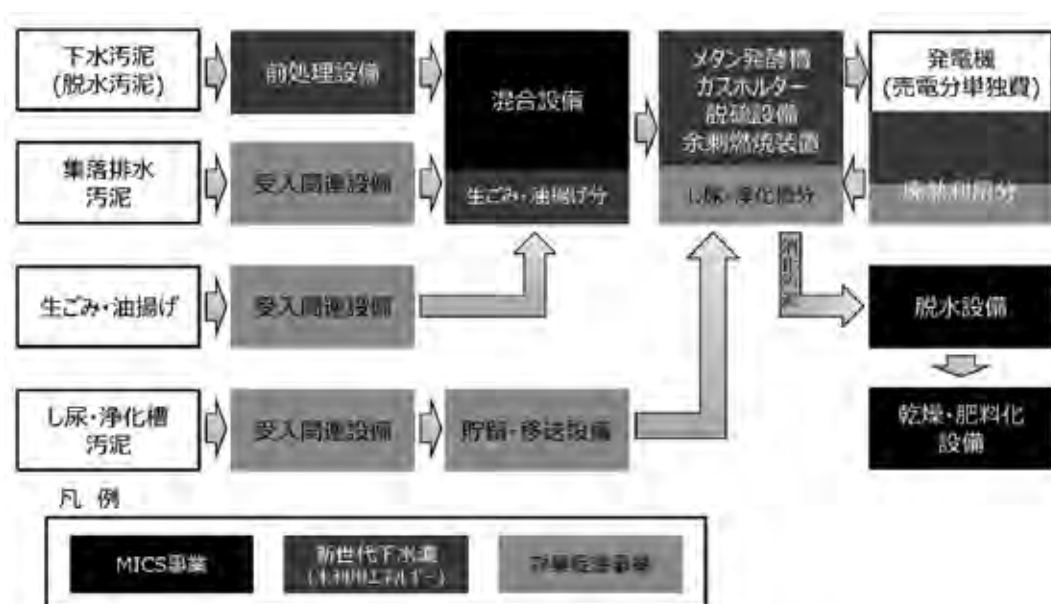


図6 事業実施スキーム

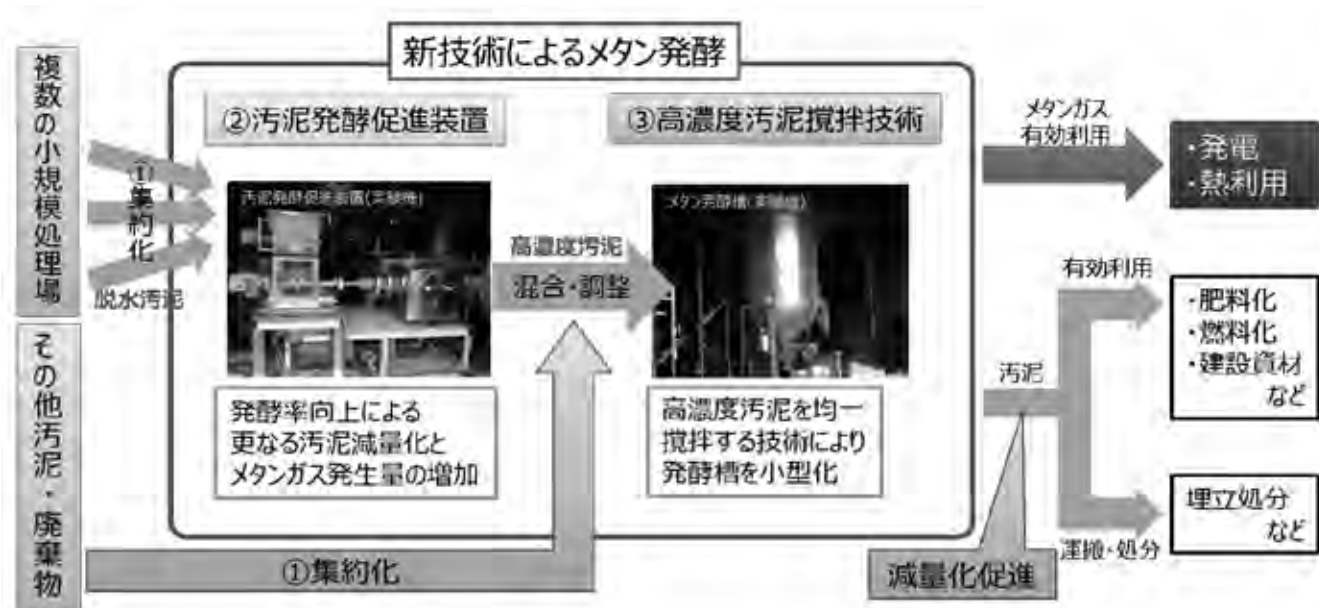


図7 「メタン活用いしかわモデル」バイオマス処理フロー

した効率的で低コストのメタン発酵システムである。
(図7)

「いしかわモデル」では、高濃度条件下の混合バイオマスメタン発酵技術と下水汚泥の発酵を促進させる汚泥改質技術をコア技術としている。以下に特徴とコア技術を紹介する。

特徴1：脱水汚泥集約による運搬コストの縮減

複数の小規模下水処理場で発生する下水道汚泥は、予め脱水した後に集約することで、運搬コストが縮減できるものとした。

特徴2：各種バイオマス混合によるガス発生量の増大

汚泥だけでなく、ガス発生量の多い食品系バイオマス等を混合し、多くのメタンガス量を確保する。

特徴3：高濃度化によるメタン発酵槽の小型化

脱水汚泥で集約し、各種バイオマスと混合することで従来より高濃度（最大TS10%程度）に調整し、メタン発酵槽を1/5程度に小型化した。(図8)

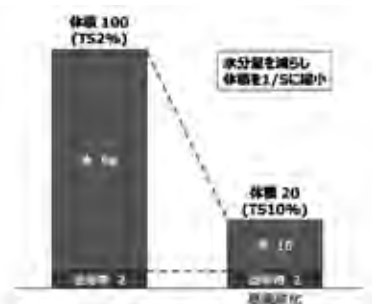


図8 高濃度化による体積変化のイメージ

コア技術1：高濃度条件下の混合メタン発酵技術

高濃度汚泥は粘度が高くなるため、槽内で十分に攪拌できない恐れがあったが、攪拌翼の形状等を工夫することで、TS10%の条件下でも従来と同等のガス発生量を確認した。

コア技術2：発酵促進のための汚泥改質技術

OD法脱水汚泥の生物分解性を向上させるため、前処理としてマイクロ波による汚泥改質設備を開発し、発酵効率の向上を確認した。(図9)

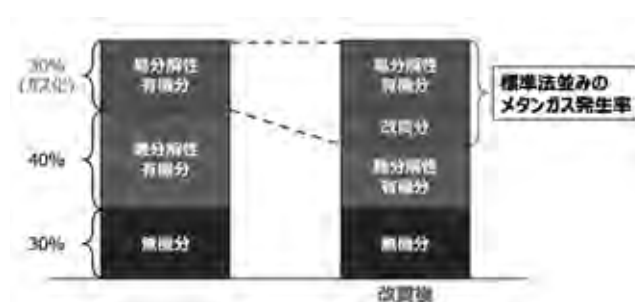
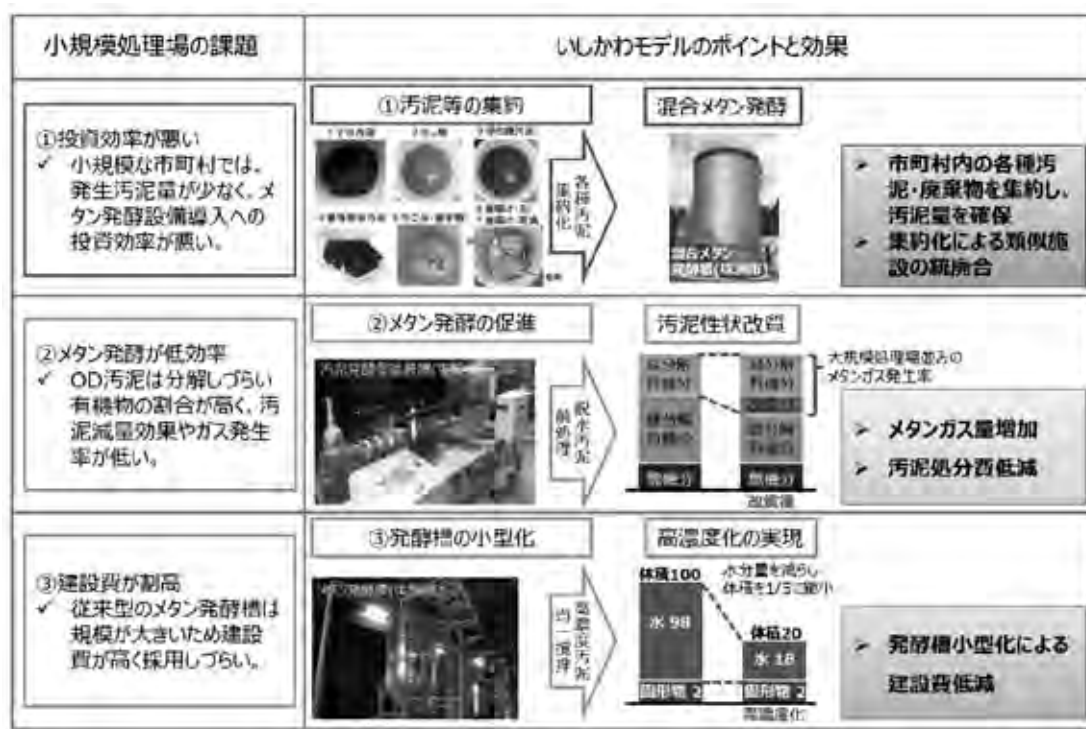


図9 汚泥改質による分解性変化のイメージ

この特徴とコア技術を活かし、小規模下水処理場の抱える課題と、これまでメタン発酵を導入できなかった理由及び解決方法としての「いしかわモデル」のポイントとその効果を以下に示す。(表5)

表5 いしかわモデルのポイントと効果



6. メタン活用いしかわモデル導入の手引き(H26)

石川県では、「いしかわモデル」の普及と循環型社会の形成を目的とし、日本下水道新技術機構と共同で、平成27年3月に「メタン活用いしかわモデル導入の手引き」を作成した。作成にあたっては、金沢大学、国土交通省、日本下水道新技術機構、土木研究所、日本下水道事業団及び県関係課で構成される「メタン発酵技術活用検討委員会」において審議し、とりまとめている。

本書では、「いしかわモデル」の導入意義について記載するとともに、導入を検討する自治体に対し、廃掃法等の必要な法手続き、費用比較などの事業化の検討方法、施設計画などの事業計画の策定方法について解説することで、この1冊で事業計画策定まで完結できるようにまとめた。

またメタン発酵阻害が生じない条件として、混合バイオマス濃度、有機物負荷量について適用条件を提示するなど、中能登町の実験で得られた新たな知見を基に記載している。

7. おわりに

これまで処分費や処分場の問題で厄介者扱いされてきた各種廃棄物だが、「いしかわモデル」では資源と

して捉え、効率的に一カ所に集約・処理し、副産物を有効活用する方法を提案している。

中能登町では、メタンガスは発電・熱利用し、消化汚泥は乾燥肥料として地域に還元することで、循環型社会の形成を目指すこととしている。

国土交通省は平成26年7月に策定した新下水道ビジョンの中期目標として、「資源の集約・供給拠点化」や「エネルギー供給拠点化及び自立化」を掲げており、本モデルの特徴である「集約化」と「メタンガスの有効利用」は今後、小規模下水処理場においても取り組むべき課題となると考えている。

石川県は、今後とも小規模下水処理場を有する市町村に対し「いしかわモデル」の普及を行い、更なるメタンガスの有効活用による下水道経営の安定化支援及び循環型社会の形成に努めていく所存である。

<参考文献>

- 1) (独) 土木研究所・金沢大学・石川県ほか
小規模処理場施設に適したメタンガス有効利用支援に関する共同研究報告書、2014年6月
- 2) 石川県、(財) 下水道新技術推進機構
混合バイオマスメタン発酵技術普及促進マニュアル、2012年3月
- 3) 石川県、(公財) 日本下水道新技術機構
メタン活用いしかわモデル導入の手引き、2015年3月

講座：廃棄物系バイオマスやエネルギー系作物バイオマスの利活用について

山鹿バイオマスセンターの取組と 施設協力を受けて行った バイオガス実証事業

山鹿市経済部

山鹿都市ガス(株) 岡本 暁宗

キーワード：悪臭吸着システム、消化液追肥、バイオガス精製、メタン貯蔵

はじめに

山鹿市は九州・熊本県の北部に位置し、人口 54,376 人（男 25,601 人・女 28,775 人・平成 27 年 7 月現在）、面積 299.7km²の熊本県で 6 番目の人口の市になります。

平成 17 年 1 月に旧山鹿市・鹿本町・菊鹿町・鹿北町・鹿央町の 1 市 4 町が合併しましたが、山鹿市バイオマスセンターは合併前の旧鹿本町時代に旧鹿本町の農家・住民の方を対象として計画されました。

山鹿市バイオマスセンターの計画

「環の地域づくり 人の環・地域の環・安全の環」

地域で発生した廃棄物を良質な堆肥・液肥に変え、地域の農地に還元し良質な作物を生産し、地域住民が安全・安心な農作物を消費する、を基本理念としています。

- ・有機資源の活用
- ・土づくりの促進
- ・安全・安心な農産物の生産
- ・付加価値を付けた農作物・加工品の開発
- ・消費者の信頼獲得
- ・農業の振興

地球環境保全（環境面の事業効果）

- ・家畜排泄物を新技術による衛生的な処理を行うことで、不快臭の解消、水質改善が図られ、害虫の発生も抑制されます。（生活環境改善）
- ・生ゴミを分別収集し再資源化することにより可燃ゴミが減少し、CO₂などの温室効果ガスの削減につながります。（地球温暖化防止）

- ・再資源化工程で発生するバイオガスを利用したエネルギー自給型施設としてコスト低減が図られます。（資源有効活用）

山鹿市バイオマスセンター全景



図-1 山鹿市バイオマスセンター

平成 15 年～平成 17 年バイオマス利活用フロンティア事業の補助金を得て熊本県山鹿市鹿本町高橋に建造され、2005 年より稼働中です。

各諸元については下記の通りになります。

表-1

バイオマス処理量			変換量	
種 別		処理量	堆肥	4,380 t/年
家畜排泄物	乳牛ふん尿	52.4 t/日	液肥	17,336 t/年
	肉牛ふん尿	11.3 t/日	バイオガス	1,182 cu/日
	豚ふん尿	10.4 t/日	発電量	2,494kwh/日
生ゴミ	家庭系生ゴミ	2.0 t/日		
	事業系生ゴミ	1.0 t/日		
下水汚泥	県営排水汚泥	730 t/年		

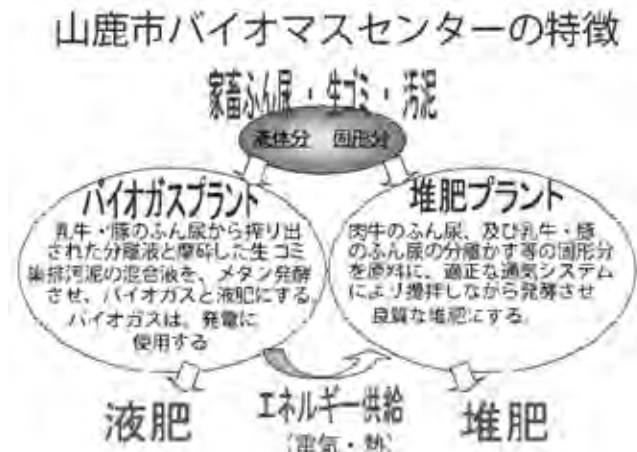


図-2



リフト付コンテナ車による生ゴミ収集作業

生ゴミ併用処理のメリット・デメリットについて

【メリット】

- ・メタン発酵施設への税金投入に対して地域住民の理解がえやすい
- ・地域住民の環境意識が高まる
- ・メタンガスの発生量が増加する

【デメリット】

- ・メタン発酵施設の運営費が増える
- ・数t/日の生ゴミを入れることにより設備経費が約1億円増加（前処理、脱臭設備等）
- ・種や土などの混入

生ゴミ分別徹底と衛生的な回収方法の検討を行いました。

- ・市民の生ゴミ分別収集への参加促進、家庭での生ゴミ保管方法、地区収集場所、収集回数等

【生ゴミ分別収集モデル】



地区推進員による啓発

家畜排せつ物収集運搬システムの構築を検討しました。

- ・衛生的な運搬方法の検討
- ・ふん尿の性状に合わせた収集方法の検討（臭気や垂れこぼし対策）
- ・効率的な収集システムの検討
- ・専用収集車両等の導入
密閉コンテナ
バキューム車
- ・鹿本町バイオマス利活用推進協議会による検討

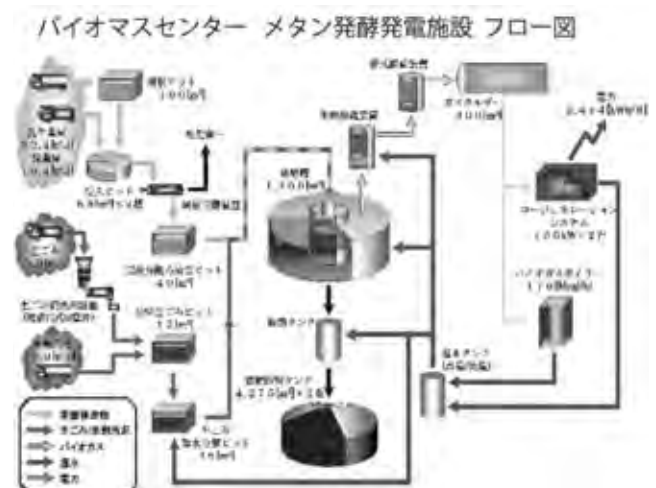
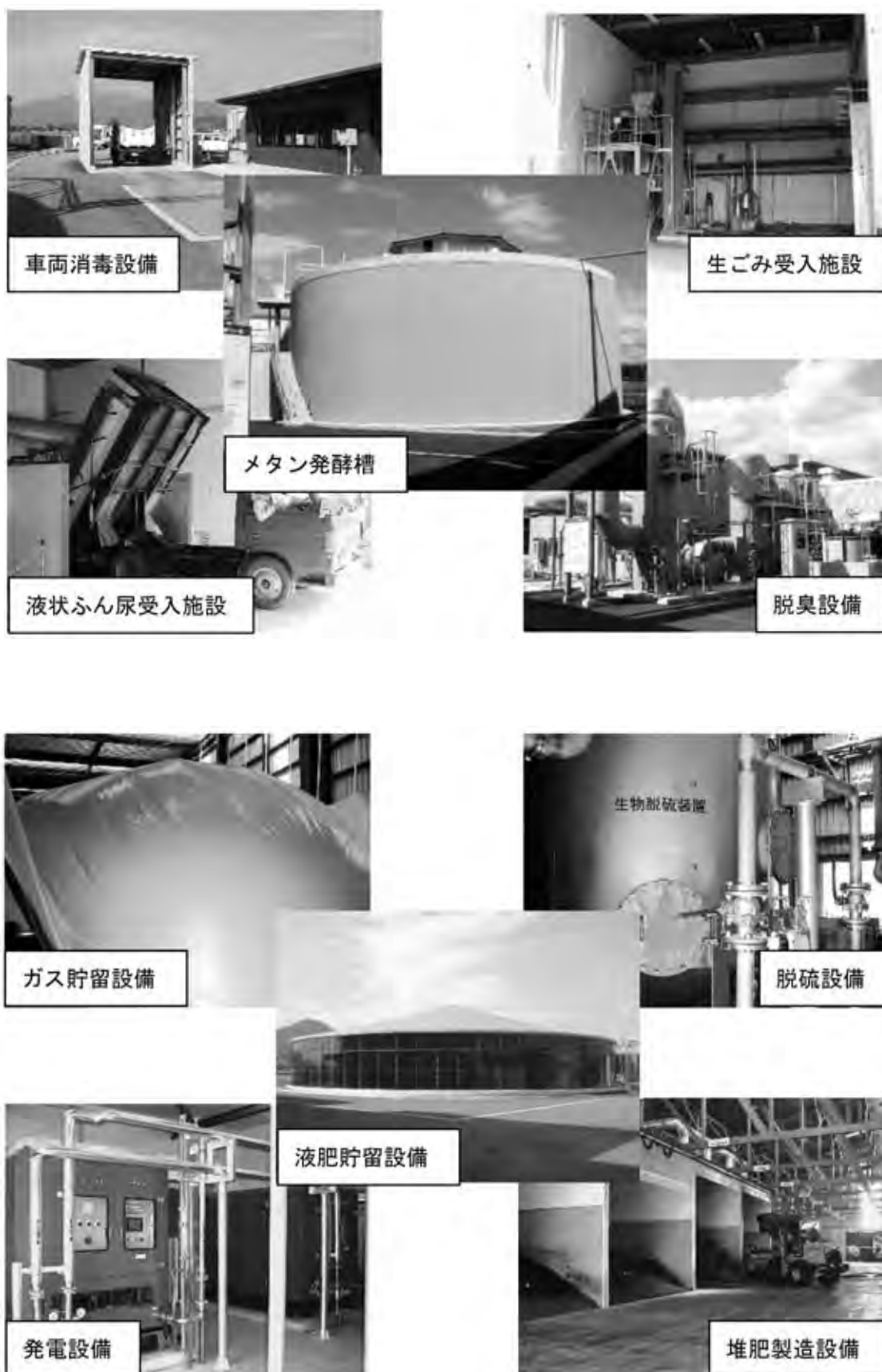


図-3 山鹿バイオマスセンターフロー図



堆肥化方式

処理材料：固液分離固分：20t／日

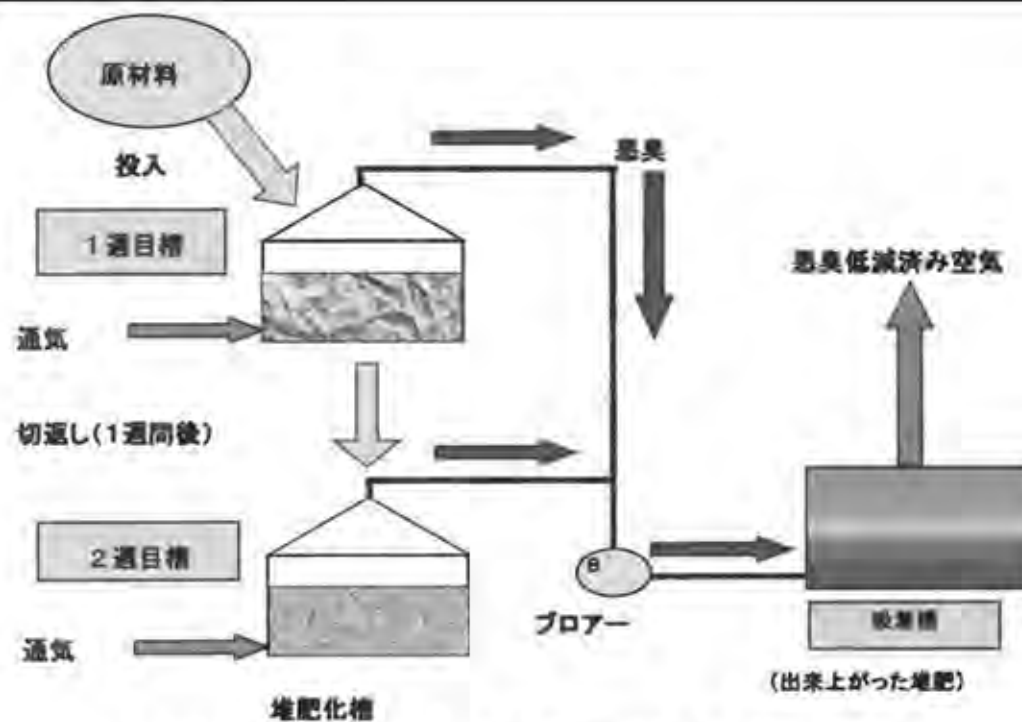
オガクズ牛ふん：10t／日

強制通気方式：1次発酵4週間（週1回切り返し）

2次発酵（中温）：2ヶ月間（間けつ通気）

切り返し方式：ホイールローダ（+マニユアスプレッダ）

脱臭方式：完熟堆肥による堆肥脱臭方式：発酵開始から1～2週目のみ（九州沖縄農研センター開発）



出来上がり堆肥を利用した悪臭吸着システムの概略

出来上がり堆肥による堆肥化過程の悪臭吸着法
高窒素濃度堆肥の生産→肥料利用

メタン発酵消化液の肥料利用

山鹿市バイオマスセンター

原料：乳牛ふん尿、豚ふん尿、生ゴミ、汚泥

特別栽培の水稻、飼料用米、麦への基肥、追肥利用

福岡県大木町

原料：生ゴミ、人糞尿

→ 特別栽培米

流し込み追肥（水を張りながら施用する）



液肥散布状況（流し込み）

用水・液肥を同時に流しこんでいる状況

作業手順：

前日に落水、用水と一緒に 3.5t / 20 分で施用、その後水位が 30mm になるまで用水を流し込む、排水口は閉鎖したまま、元肥の流し込み施用もある



水稻への消化液追肥のメリット

メタン発酵により窒素分の多くがアンモニア態になっているため水稻が吸収しやすい（追肥時期は化学肥料と同じ）（ちなみに硝酸態窒素は土の表面近くで脱窒されるため効かない、有機態窒素が多いと肥効の発現が遅れる）

耕種農家は液肥の運搬賃と散布賃を払うだけなので

肥料代が安くすむ。



麦作の追肥散布



麦刈後の水稻基肥散布



麦刈後の水稻基肥散布



麦刈後の麦作基肥散布

散布時間は 3.5 t / 6 分

消化液の散布体制

- ・山鹿市バイオマスセンター
常勤オペレーター 3 名 + シルバー 1 ~ 2 名
食用水稻、麦の施用を担当
- ・畜産農家
飼料畑、飼料用稲（サイレージ用）、飼料米への施用を担当：トラクター牽引型の別機械を利用、耕畜連携事業からの補助 + 運搬・散布経費を受け取る

液肥および堆肥価格

- ・液肥価格
 - 畜産農家の自作飼料畑用：0 円／t（自己散布）
 - 水稻元肥用（リン酸強化）：900 円／t（運搬散布込）
 - 一般液肥：500 円／t（同）、飼料稲：400 円／t（同）
- ・堆肥価格
 - オガクズ混合牛ふん堆肥：3,500 円／t
 - 固液分離低カリ濃度牛ふん堆肥：5,000 円／t
 - 運搬費：300 円／t、散布料：1,000 円／t

農業農村活性化（農業面の事業効果）

完熟堆肥や有機液肥を活用することで、農業の要である土づくりが促進され、消費者のニーズにあった安全・安心な付加価値の高い有機農産物の供給量の増大が図られます。

堆肥

施設園芸等を中心に利用推進
熊本県堆肥生産技術コンクール経済連合会長賞を受賞（H18 年度）

液肥

特別栽培米、麦として利用推進

販売

JA 鹿本と鹿本町振興公社による販売（H19 年度利用実績）

区分	用途	利用面積	利用量
堆肥	施設園芸等	138ha	2,756t
液肥	液肥米・麦	185ha	7,050t
〃	飼料等	60ha	4,802t

液肥施用による生産費の比較

特別栽培水稻・麦の生産費（10a の肥料代）比較

		バイオマス液肥	特別栽培（一発肥）	特別栽培（通常化成）
水稻	基肥	3.5t×900 円 （リン酸強化）	3 袋×3,150 円 （新高有機中一発 28）	2 袋×2,230 円 （PK セーブ 400） 1 袋×1,180 円 （粒状ナタネ粕）
	追肥	1.5t×500 円	1 袋×1,180 円 （粒状ナタネ粕）	1 袋×2,110 円 （燐加安 454）
	合計	3,900 円	10,630 円	7,750 円
麦	基肥	3.5t×500 円		2 袋×2,630 円 （BB 特 464）
	追肥	1.5t×500 円		1 袋×2,110 円 （燐加安 454）
	合計	2,500 円		7,370 円

弊社の都市ガス原料としてのバイオガスの研究

弊社は山鹿市に都市ガス（PA-13A）を供給する一般ガス事業者ではありますが、リーマンショック前の止まらない原料費の高騰対策、とバイオガス利用による温暖化対策を行う企業という広報という目的から、平成 19 年度より研究を開始、山鹿市に協力を頂き山鹿市バイオマスセンターから余剰ガスを分けてもらって実証実験を数年かけて行ってまいりました。

1. 新エネルギーベンチャービジネス革新事業「精製バイオマスの高効率輸送と導管供給に向けた開発」への参加

平成 19 年から平成 22 年にかけて、NEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）の補助事業に参加をさせていただきました。（吸着技術工業㈱・日本総研・山鹿都市ガス）

この事業は長崎県の吸着技術工業㈱様を代表委託先とする事業で、バイオマス施設から出る発酵ガスを精製し、弊社の敷地まで運搬、そしてミニ導管モデルで精製ガスを供給、都市ガス機器使用への可能性を模索するものでした。

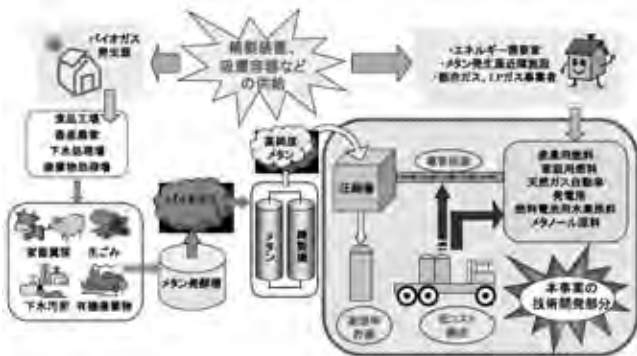


図-4 概要図

山鹿バイオマスセンターで発生するバイオガスを移動式バイオガス精製装置にて精製を行い、そして低温低圧吸着メタン吸蔵容器に貯蔵し、吸蔵容器に貯蔵さ

れたガスを遠隔地である弊社まで運搬、弊社に敷設されたミニ導管モデルにて都市ガス機器の燃焼試験などを行う、というのが主な内容でした。



図-5 移動式 バイオガス精製装置と低温・低圧吸着式メタン吸蔵容器

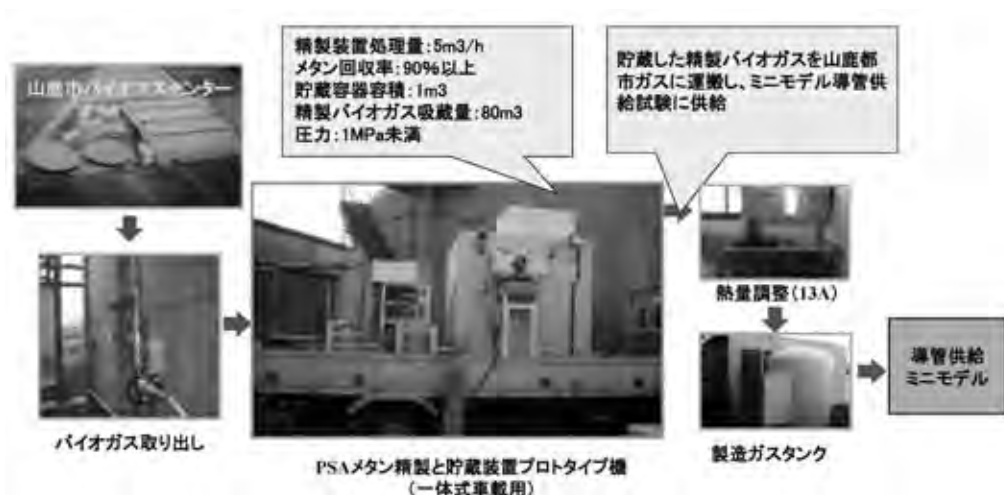


図-6 実証試験フロー写真

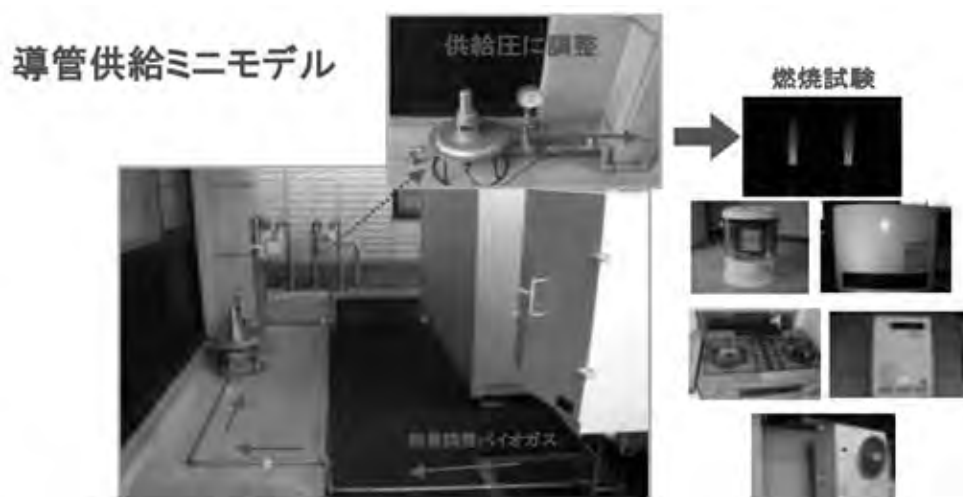


図-7 導管供給ミニモデル

- ・バイオガス 85%、LPG15% で混合した場合、ウオッペ指数、燃焼速度とも都市ガス 13A の規格範囲内である。
- ・導管より供給されたガスは、すべてのガス器具において、良好な燃焼が確認された。

2. 平成 20 年度補正「低炭素社会に向けた技術シーズ発掘・社会システム実証モデル事業」への参加

経済産業省の委託事業である「低炭素社会に向けた技術シーズ発掘・社会システム実証モデル事

業」に参加致しました。

幹事会社 山鹿都市ガス株式会社 再委託先 日本総研・吸着技術工業(株)・JFE コンテナ(株)・鹿児島大学の共同研究体で事業を行いました。

この事業はバイオマス施設から出るバイオガスを精製し、現行 CNG 車等に使用されているカーボンファイバーのタンクに充填、カードル輸送、そしてその輸送されたガスを吸蔵容器に貯留しガス機器への使用試験を行い、バイオガスの都市ガス機器への使用可能性を模索するものでした。

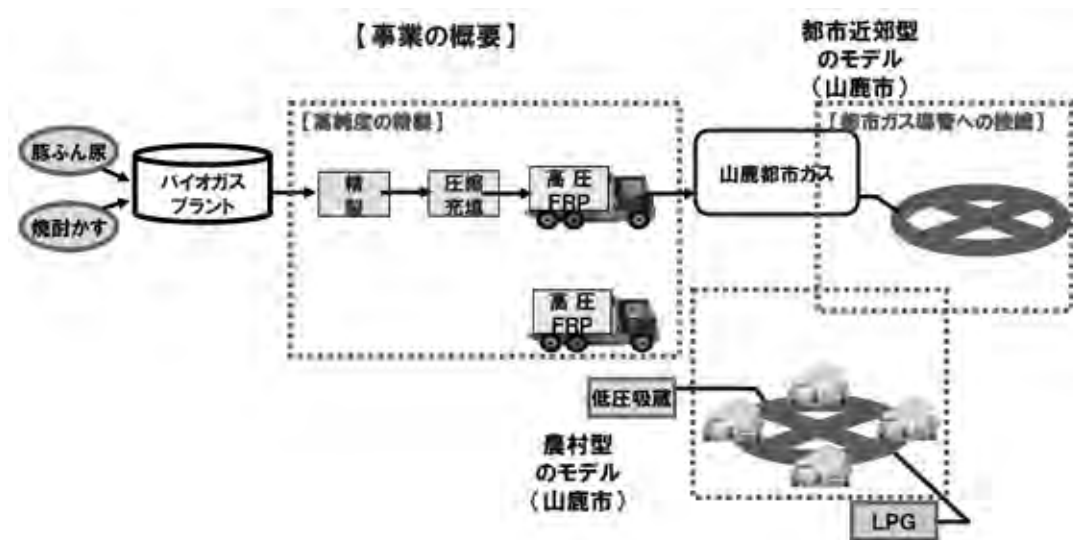


図-8 事業フロー図

この委託事業では都市型と農村型という二つのモデルを想定し、検証を行いました。

①都市型モデル

バイオマスセンターより精製したバイオガスを C-FRP 容器に高圧（最高 20MPa・最大容量 540m³）で充填し、山鹿都市ガスまで輸送する。輸送してきた精製バイオガスの成分検査を行い、都市ガス 13A に熱量調整し供給する。

供給までの流れとしては、C-FRP 容器より減圧した精製バイオガスと天然ガス・LPG・P13A のガスを混合装置で熱量調整を行い製造したガスを供給圧に調整し供給する。今回は隣接する需要家に供給し、一般消費機器・ガス空調（GHP）で実証試験を実施した。

②農村型モデル

都市型と同様に、輸送してきた精製バイオガスを吸蔵容器に充填し供給する。吸蔵容器は容積の約 40 倍のバイオガスを充填することができる効率的

な容器である。導管供給ができない農村地域での利用に期待できる。

精製したバイオガスは、メタン濃度約 97%と純度が高く熱量調整することなく、都市ガス 12A の規格で供給することができる。消費機器等も一般に市販されているものを使用することができるので機器の調整等の煩わしさもない。今回農村地域を想定したミニモデルで実証試験を実施した。課題点としては、保安面から付臭剤の必要性がある。

なおこの事業において、併せて次の検証も行った。

③アルミニウム合金ライナーを炭素繊維強化プラスチック層で強化した高圧ガス容器の精製メタンガスへの利用

アルミニウム合金ライナーを炭素繊維強化プラスチック層で強化した高圧ガス容器（以降、C-FRP 容器）を精製メタンガス向けで利用し、運搬にかかるコストを従来の小型鋼製容器よりも軽減することを目標とする。

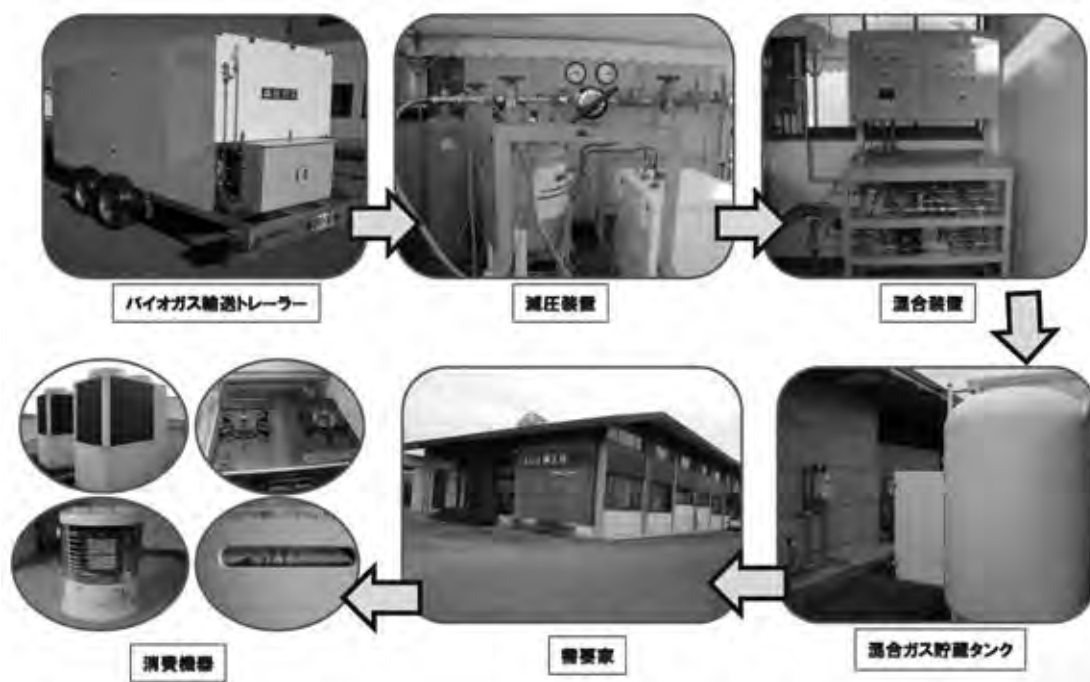


図-12 都市型モデルフロー図

農村型モデルにおいては小型の吸蔵容器を設置し、LPGの代替機器として利用検証を行いました。

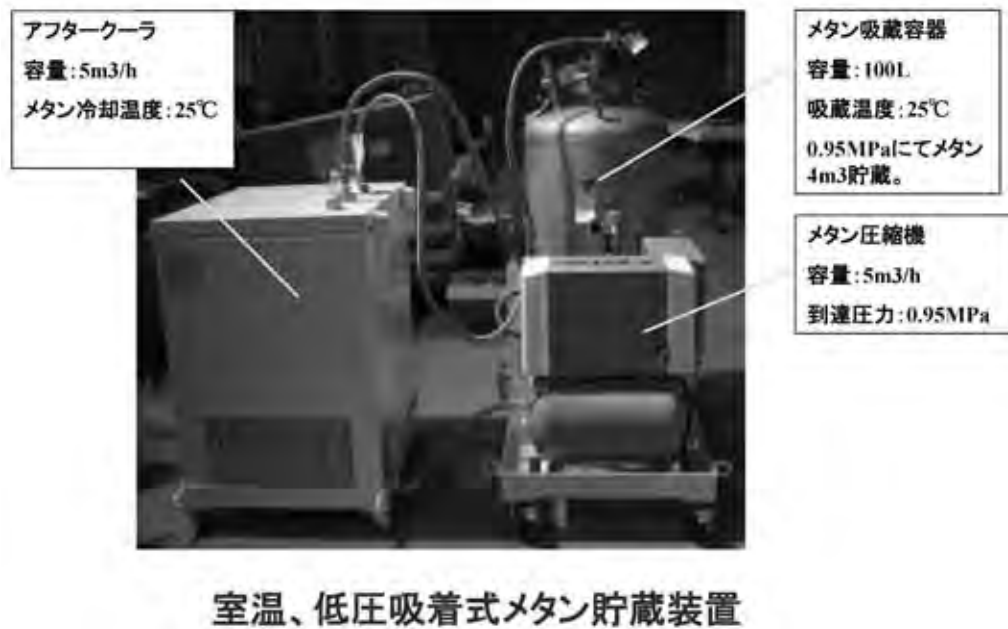


図-13 低圧吸着型メタン貯蔵容器

この事業における結果と課題としては次の通り。

・圧縮・運搬

バイオガスの運搬に関しては特に大きな問題の発生は見られなかったが、充填の際の圧縮機的能力により既存バイオマスセンターの構造（第1種高压ガス製造所適用外）が問題となる。

高压ガス保安法の制約が大きく、製造、貯蔵に関しての有資格の責任者を配置しなければならないことなど課題が多い。

また圧縮の際の酸素許容濃度があるために酸素除去などが必要となる。

・小型吸蔵容器

高濃度に精製されたバイオガスを運搬し貯蔵、ないし既存ガスプラントにおける混合を調整することにより都市ガスの原料・ないしLPGの代替としてのバイオガスの使用は十分に可能であることがこの事業内で実証された。

引用文献

P75～P80

バイオマス産業社会ネットワーク第94回研究会資料

「地域のメタン発酵施設を成功させるポイント」

NPO 法人九州バイオマスフォーラム理事長

（独）農業・食品産業技術総合研究機構 中央農業総合研究センター

バイオマス資源循環研究チーム長 薬師堂謙一

<http://www.npobin.net/research/93thmaterial.pdf>

P80～P82

「新エネルギーベンチャービジネス革新事業「精製バイオマスの高効率輸送と導管供給に向けた開発」資料

吸着技術工業(株)・(株)日本総合研究所・山鹿都市ガス(株)

P82～P85

「低炭素社会に向けた技術シーズ発掘・社会システム実証モデル事業」資料

山鹿都市ガス(株)・(株)日本総合研究所・吸着技術工業(株)・JFE コンテナ(株)・鹿児島大学

投稿報告

秋田県における広域での 汚泥集約処理について



秋田県建設部下水道課
主幹 工藤 守

キーワード：協働、広域共同化

1. はじめに

本県の人口減少は著しく、国立社会保障・人口問題研究所の推計によると、現在の人口 102 万人から平成 52 年（2040）には 70 万人となり 3 割減少すると推計されていることから、下水道事業の規模縮小は避けられない状況です。

県内下水道事業における水洗化人口の推計（図 1）では、整備・水洗化の進捗度合により時期は前後するものの、平成 35 年をピークとして水洗化人口は減少し、それに伴い汚水量も減少する見込みとなっています。

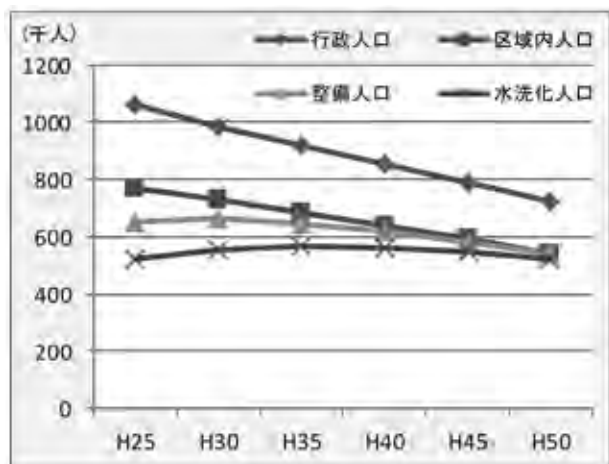


図 1 水洗化人口等の推計 (県計)

(社人研の人口推計、過年度の整備・水洗化データから推計)

下水道は、住民生活に欠かせないサービスであり持続性が求められますが、人口減少下での事業運営は使用者数の減少による需要の減少、それに伴う使用料収入の減少による収益性の悪化、そして汚水量の減少による施設稼働率の低下等が見込まれ、経営・管理等すべての難易度は上昇してまいります。

そのため、各事業管理者は、民間のノウハウを活用した管理運営費の縮減、既存施設の長寿命化による LCC の最小化、施設のスペックダウン等を検討し、自らの事業の改善に取り組んでいますが、県内の下水道は計画人口 1 万人以下の事業が 8 割と小規模な事業が多く、個別の対応では効果が限定的となることから、事業の垣根や自らの行政区域を超えた広域的な取組が必要となっています。

小さな船一艘で目的地に向かうことは大変な困難であり、着かないかもしれません。本県では、船団を組み、または流域下水道という船に同船し、目的地に向かう取組を始めています。

2. 広域共同化の取組

本県では、人口減少下での生活排水処理サービスの継続的提供を目的に、全県の市町村と共に「秋田県生活排水処理事業連絡協議会」を設置し、県と市町村との協働により、事業の運営効率を向上させる広域的な取組を進めています。

まずは、将来の需要量を踏まえた処理施設の再編を

行い、各施設の改築更新費および維持管理費の縮減を図ることとして、下水道、農業集落排水、し尿処理場等すべての生活排水処理施設を対象とした汚水・汚泥処理の広域共同化を進めており、複数の市町村にまたがる幹線管渠を有し、処理規模が大きく受入れ能力のある流域下水道処理施設を核施設としています。(図2)

汚水の広域共同処理については、既に秋田湾・雄物川流域下水道臨海処理区で実施しており、農業集落排水9地区、し尿処理場1箇所が流域関連公共を介し流域下水道に接続され、維持管理費が農業集落排水で7割、し尿処理場で3割縮減と成果を上げています。(図3)

また、流域下水道を核とした広域共同化が地理的条件により困難な箇所については、単独公共下水道と農業集落排水、農業集落排水同士の統合等、全県域での処理施設の再編が検討されています。

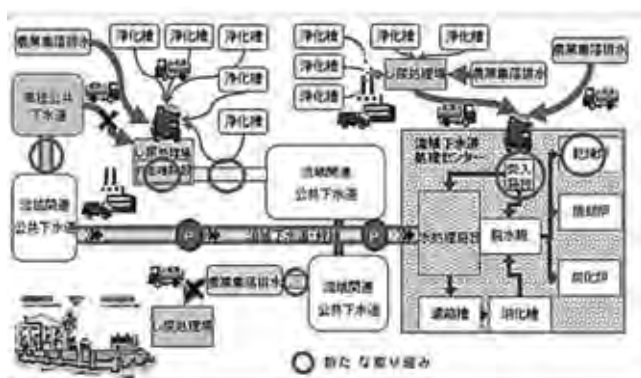


図2 流域下水道処理施設を核とした広域共同化のイメージ



図3 臨海処理区における広域共同化の状況

3. 広域での汚泥集約処理

本県的生活排水処理施設から発生する汚泥の利活用率は、平成25年度末で44%に留まっておりますが、民間の資源化施設も少なく、規模的条件・財政的制約から早期の利活用は困難な状況です。生活排水処理の広域共同化により利活用しやすい条件は整いつつありますが、地理的条件により広域共同化の枠組みに入れない施設もあることから、事業運営効率の向上と共に利活用の向上を図ることとして、広域での汚泥集約処理にも取り組んでいます。

県北3市3町1組合の下水道終末処理場7施設、し尿処理場3施設から発生する汚泥を、米代川流域下水道大館処理センター内に設置する汚泥処理施設に集約し資源化しようとする取組で（図4）、県を事業主体とする県北地区広域汚泥処理事業として進めています。対象となる市町村の集落排水、合併処理浄化槽等の汚泥はし尿処理場で処理されていることから、この地域でのすべての生活排水処理施設から発生する汚泥を資源化しようとするものです。

本事業は、平成16年に合併前の県北15市町村（現在8市町村）と共に、汚泥の資源化と広域共同処理に係る勉強会を開催したことが発端となりますが、6市町村が参加し、他の2市町村においても下水道等とし尿との共同処理を計画しており、勉強会の構成市町村すべてが生活排水処理の共同化を進めています。

県北地区広域汚泥処理事業の進捗状況は、平成 26 年に「県北地区広域汚泥処理事業連絡協議会」の設置後、自治法に基づく関連市町村等と県との事務の受委託手続き、事業費負担等に係る協定の締結を終了し、集約汚泥処理施設の平成 32 年供用に向けて、基本設計、発注方式等の検討をしている段階です。

この施設の稼働により、汚泥の利活用率は14%程
向上することから、資源化は大きく進むことになり、
集約処理の大きな効果と考えています。また、このよ

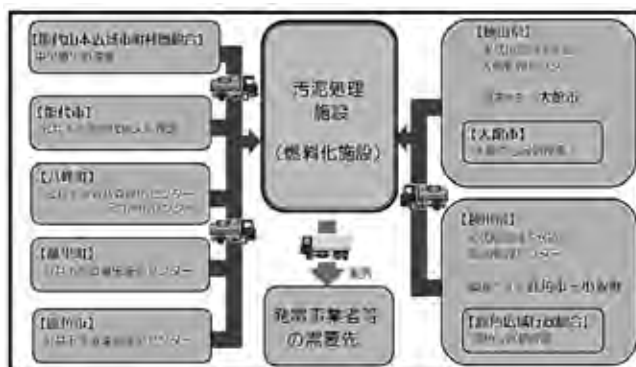


図4 県北地区広域汚泥処理事業

うな取組は県北地区に留まらず、県南地区においても秋田湾・雄物川流域下水道大曲処理センターに設置している炭化施設を核施設として、近隣公共下水道等との共同処理を進める予定です。

4. おわりに

本県の取組は始めたばかりであり、現時点での効果は限られたものとなっています。しかしながら、著しい人口減少下での生活排水処理サービスの継続的提供には必須の取組であり、市町村との協働により全県域で展開したいと考えております。

また、取組を始められたことが重要であり、共に航海すると判断をしていただいた市町村の皆様に感謝するとともに、荒れることなく快適な航海が続くとは限りませんが、市町村の皆様と一緒に目的地へ舵を取ってまいります。

本県で生活する全ての住民の皆様の「あんべいいな」（方言：ちょうどいい、心地よい）を聞くために。

投稿報告

鳥羽水環境保全センターにおける 太陽光発電の取組みについて

京都市上下水道局 下水道部設計課
玉川 昭雄

キーワード：太陽光発電，固定価格買取制度

1. はじめに

京都市では、「はばたけ未来へ！京プラン（京都市基本計画）」の重点戦略として「低炭素・循環型まちづくり戦略」を掲げ、そのリーディング・プロジェクトとして、太陽エネルギー利用拡大等の再生可能エネルギー普及を推進している。また、下水処理施設ではその工程で多くのエネルギーや資源を消費し、大きな環境負荷を持っている。そのため、これまでから環境マネジメントシステムの運用や省エネルギー機器導入の取り組みを中心に環境負荷の低減を図ってきた。

このような取り組みを進めてきたが、国が新たに再生可能エネルギー固定価格買取制度を創設し、この制度を活用することにより太陽光発電に一定の採算性を確保できる見通しとなったことから、鳥羽水環境保全センターにおいて太陽光発電設備を設置することとし、平成 25 年 8 月に発電を開始した。

全国で初めて、地方自治体が事業主体となって、下水道施設内へメガソーラー級の太陽光発電設備を導入した事例について報告する。

2. 太陽光発電設備の概要

2.1 太陽電池モジュール設置場所

太陽光発電設備の設置場所選定にあたっては、

- ・一定規模以上の発電設備を設置できるスペースを有していること

- ・下水道施設の増設や改築、維持管理にあたり、設置する発電設備が支障とならないこと



写真 1 鳥羽水環境保全センター A 系列水処理施設



写真 2 モジュール配置状況

等を考慮して検討を行い、鳥羽水環境保全センターA系列水処理施設（処理能力 119,000m³/日）の上屋の上部に決定した。

A系列水処理施設は約 17,000m² の面積を有するが、建築物による影の影響を受ける場所と、送風機室や電気室への機器搬入出などの維持管理スペース等を除いた約 9,000m² を太陽電池モジュール（以後、モジュールと表記）設置場所とした。

2.2 モジュールの配置方法

A系列水処理施設は、南北方向から反時計回りに約 13 度回転した配置となっている。モジュール 1 枚あたりの日射量は、図 1- a のように真南（方位角 0 度）に向けて配置した場合が最も多く効率的であるが、設置可能面積に対して効率的にモジュール配置することができない。対して図 1- b のように施設と平行に配

置すると、モジュール 1 枚あたりの日射量は若干少なくなるが、モジュールは効率的に配置でき総合的な発電量を多くできることから、図 1- b のように施設と平行にモジュールを配置した。

モジュールの傾斜角については、降雨による洗浄効果を得るため角度をつける必要がある。モジュール 1 枚あたりの日射量は図 1- c のように約 30 度に傾けて配置した時に最も多く効率的であるが、傾斜角をつけると太陽電池アレイ（* 1、以後、アレイと表記）に高低差が生じ、その影がかからないようアレイ相互の間隔を広げる必要があり、配置枚数が減ることとなる。対して図 1- d のように傾斜角 5 度で配置すると、モジュール 1 枚あたりの日射量は少なくなるが、影の影響が小さくなりモジュールを多く配置でき総合的な発電量を多くできることから、図 1- d の傾斜角 5 度の配置とした。

（* 1）太陽電池アレイ：モジュールを架台に乗せ設置する際に一体化させた集合体。

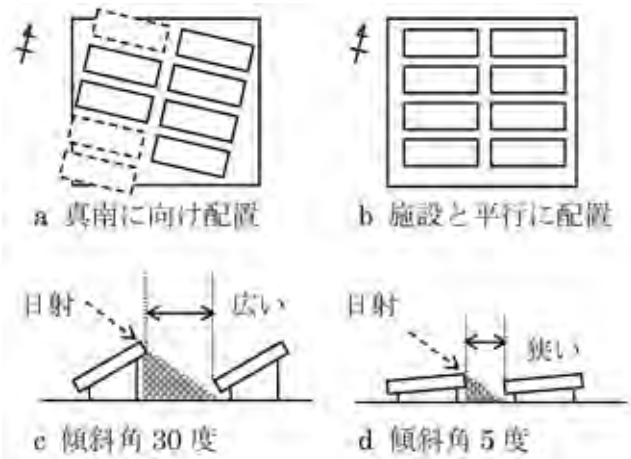


図 1 モジュール配置の検討

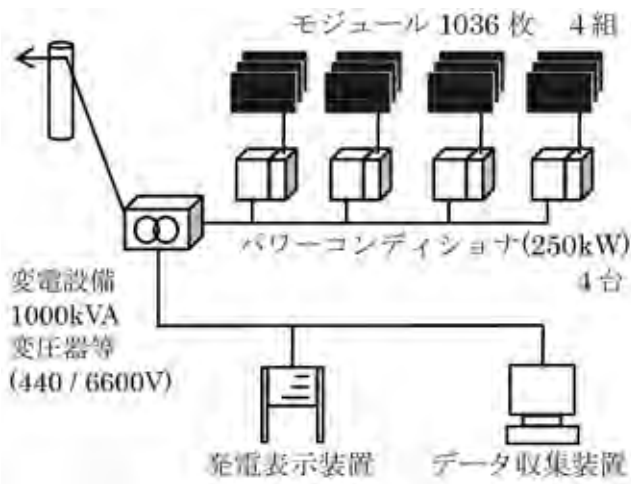


図 2 システム構成図

2.3 モジュールで発電された電気

モジュールで発電された電気は直流であるため交流に変換するパワーコンディショナが必要となる。パワーコンディショナは、故障時やメンテナンス時における発電への影響や機器のコストを考慮し、出力 250kW の装置 4 台で構成することとした。

パワーコンディショナからは交流 440V の電圧で出力されるが、電気事業者の送電線へ接続するために、変圧器で交流 6,600V に昇圧している。

表 1 仕様一覧表

設置場所		鳥羽水環境保全センター A系列水処理施設上屋
発電出力		1,000 kW
年間発電量 (計画)		約 900,000 kWh
太陽電池モジュール	種 類	多結晶シリコン型
	最大出力	242 W
	寸 法	1,662×990×46 (mm)
	枚 数	4,144 枚
	設置面積	約 9,000 m ² (A系列水処理施設 約 17,000 m ²)
	方位角	南南東 13 度
	傾斜角	5 度
パワーコンディショナ		250 kW × 4 台
発電開始		平成 25 年 8 月

また、発電設備の運転状況を監視するためにデータ収集装置を設置するとともに、施設見学者や毎年ゴールデンウィークに行っている一般公開時に市民の方々に、発電状況を確認いただけるように発電表示装置を設置し、PRを行っている。

3. 発電の状況

今回の太陽光発電設備で得られる発電量の計画は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以後、NEDO と表記）のホームページで公開されている年間月別日射量データベース、同じく NEDO のガイドブックに記載されている発電量計算式を用いて各

月の発電量を算定し、年間の計画発電量として約 90 万 kWh / 年を見込んだ。

運用開始後の太陽光発電設備の日射量、発電量の実績は図 3 の通りであり、2 年間合計で計画を約 30 % 上回る 238 万 kWh の発電量を得ることができた。この差異については、

- ・天候が良く日射量が計画より多かった
- ・設備が新しく汚れ等による損失が少なかった
- ことなどが考えられる。

なお、売電価格は毎年入札により決定しており、売電による 2 年間の収入 9,955 万円は下水処理施設の維持管理費に充当している。

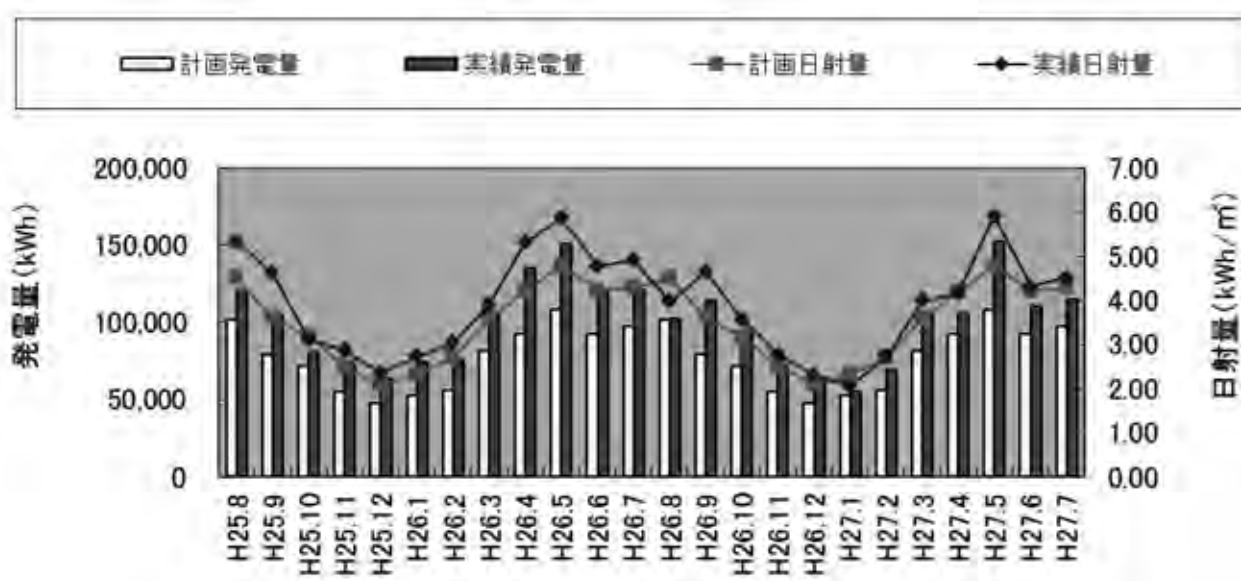


図 3 発電量の計画と実績

4. おわりに

鳥羽水環境保全センターの太陽光発電設備については、発電開始以降極めて順調に発電実績を上げている。平成 27 年 8 月には、石田水環境保全センターにおいても 1,000kW の太陽光発電設備の発電を開始した。また、現在進めている汚泥処理施設の改築更新にあわせて消化ガス有効利用の拡大を図る等、更なる再生可能エネルギーの利用拡大についても取組みを進め、低炭素・循環型まちづくりに貢献していく計画である。

参考文献

- 1) 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO） 太陽光発電導入ガイドブック
 - 2) 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO） 日射量データベース
- <http://www.nedo.go.jp/library/nissharyou.html?from=b>

投稿報告

潜熱蓄熱技術を用いた 低温排熱の利用技術

三機工業株式会社 エネルギーソリューションセンター

環境エネルギー推進部 部長 岩井 良博

キーワード：熱、蓄熱、潜熱蓄熱、低温熱、排熱、オフライン、熱輸送

1. はじめに

2011年に発生した東日本大震災以降、分散型電源のニーズが高まってきている。分散型電源に用いる燃料は従来の化石燃料の他に、地産地消型の消化ガスや木質バイオマス等の再生可能エネルギーを利用する案件が増えている。

下水処理過程で発生する消化ガスの一部は、これまでもガスエンジン発電等により場内利用されてきたが、電力固定価格買取制度を利用したあらたな発電事業への取り組みが始まっている。

消化ガスを燃料とした発電設備では、数10kW～20MW程度の比較的小規模な設備が多いことから、事業の安定化を図るためにエネルギー効率が高い熱電併給を行うコージェネレーション設備とすることが望ましいが、一方で下水処理施設は郊外に設置されることが多く、隣接地に発電規模に見合った熱の需要先を見つけることは難しい。

トランスヒート[®]コンテナ（以下「THC」と言う。）技術は、酢酸ナトリウム三水和物（ $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ）やエリスリトール（ $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}_4$ ）等の潜熱蓄熱材（Phase Change Material：以下「PCM」という。）を液体コンテナ内に蓄え、熱媒油を介して熱の授受を行いPCMの融解熱として熱エネルギーを高密度に蓄熱する低温熱利用技術で、時間や空間をずらして熱を利用することができ、車両を用いることで郊外の排熱源か

ら市街地の需要先までオフラインで熱供給することが可能である。

技術導入当初、東京都下水道局のノウハウフィールド型共同研究（2005.10～2008.3）を東京都下水道局、東京下水道エネルギー（株）、三機工業（株）の三者にて実施した。この共同研究では、東京都清瀬水再生センターの汚泥焼却設備から発生する70℃程度の排煙処理塔洗煙排水や350℃程度の白煙防止空気を熱源とした熱輸送実験を行っている。

また、技術導入から8年を経過し、当該技術のメリット・デメリットも明らかとなってきたため、2011年度から環境省の支援を受けてこれまでとは熱交換方式や輸送車両が異なる簡易型THCの開発を進め、2015年2月に開発および実証試験を終了するとともに、2015年5月には第1号の実設備も稼働を開始した。

ここでは、THC技術の概要説明と、新たに開発した簡易型THC技術について報告する。

2. システムの概要

本システムは、排熱を可搬型コンテナに蓄熱し、このコンテナを車両に積載して搬送し、主に民生用エネルギー（空調・給湯用等）として供給・利用する「熱の宅配便[®]」技術である。設備構成を図-1に示す。熱を蓄える「蓄熱コンテナ」、排熱源側施設に設置する「熱回収設備」、蓄熱コンテナを輸送する「輸送車両」、蓄熱コンテナから熱を取出す「熱利用設備」で構成さ

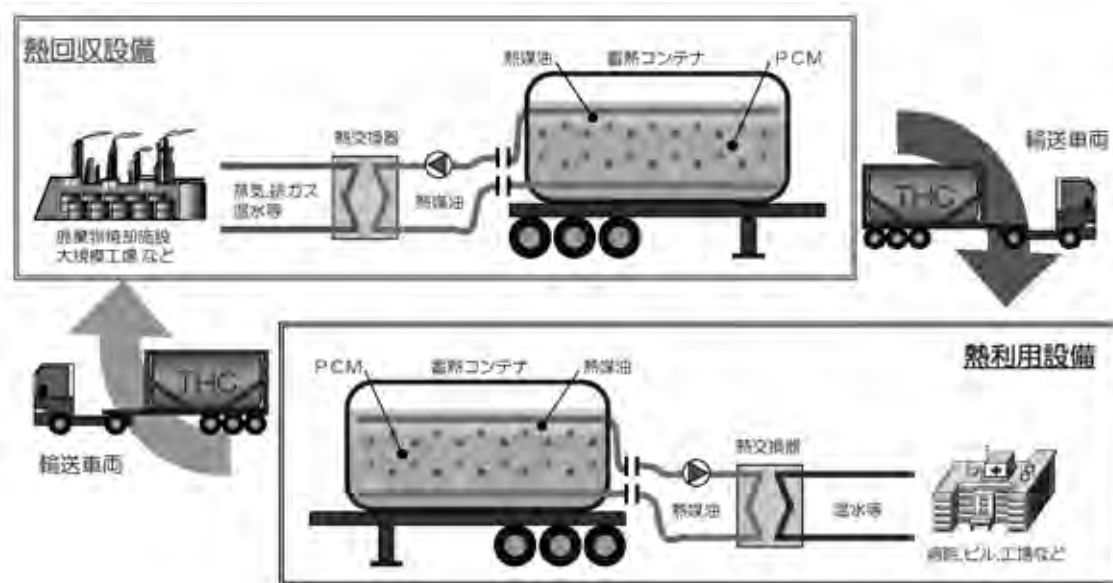


図-1 THCシステムの概要

れている。

PCMは熱を蓄えると液体、放出すると固体となるため、蓄熱コンテナからの熱の出し入れには、常に液体でポンプによる循環が可能な熱媒体（熱媒油もしくは温水）を用いる。

1) 蓄熱機構

蓄熱前、蓄熱コンテナ内のPCMは固体状である。ここに、熱交換器を介して排熱から熱を受けて温められた熱媒体を供給し、蓄熱コンテナ内のPCMを温めることで徐々にPCMが融解し熱エネルギーを蓄えていく。PCMは固体→固液混合→液体と相変化し、全て液体となったら蓄熱完了である。

2) 放熱機構

放熱（熱利用）時は、蓄熱コンテナ内のPCMに蓄えられた熱エネルギーを熱媒体により取出し、この熱媒体の熱エネルギーを熱交換器を介して温水などの熱利用媒体に熱交換し空調や給湯などに利用する。放熱時、PCMは液体→固液混合→固体と相変化し、全て固体状となったら放熱完了である。

3. 蓄熱装置の種類と利用方法

THCには、蓄熱コンテナの形状やコンテナ内での熱交換方式が異なる「従来型」と「簡易型」がある。また、各々、車両による運搬によって離れた排熱源と熱利用先を結ぶ「輸送タイプ」と、排熱源と熱利用先が近いために輸送を行わない「定置タイプ」がある。

両者の比較を図-2、表-1にまとめる。

1) 蓄熱コンテナの形状、重量、サイズと輸送車両

従来型輸送タイプは、危険物ローリーの基準に準拠して製作する枠付きコンテナで、コンテナ形状は円筒型、標準で容量 21m^3 、重量 24ton でISO20フィートコンテナ規格に合致させている。

一方、簡易型の輸送タイプは、形状が直方体型、容量 1.2m^3 、重量 1.7ton 程度の蓄熱ユニットを標準で4連結して産業廃棄物運搬用のコンテナ内に入れ、重量 10ton 未満（ $1.7\text{ton} \times 4 + \text{コンテナ} + \text{付帯設備}$ ）としている。連結するユニット数を変えることで所定の能力が出せるよう拡張性を高めている。

2) 輸送車両（輸送タイプ）

従来型輸送タイプは、枠付きコンテナの規格をISO20フィートコンテナに合致させることで、既存のセミトレーラによって運搬することができる。

一方、簡易型輸送タイプは、廃棄物運搬用のコンテナと一体化することで既存の廃棄物運搬車両「脱着ボディー車」（以下「フックロール」と言う）による積載・運搬を可能とし、排熱供給事業を廃棄物収集ネットワークに組み込み、ランニングコストやイニシャルコストの低減を図っている。

3) 蓄熱コンテナ内の熱交換方式

本システムでは、蓄熱すると液体、放熱すると固体となるPCMを用いているため、熱の出し入れには熱媒体が必要となる。



図-2 蓄熱コンテナの利用方法

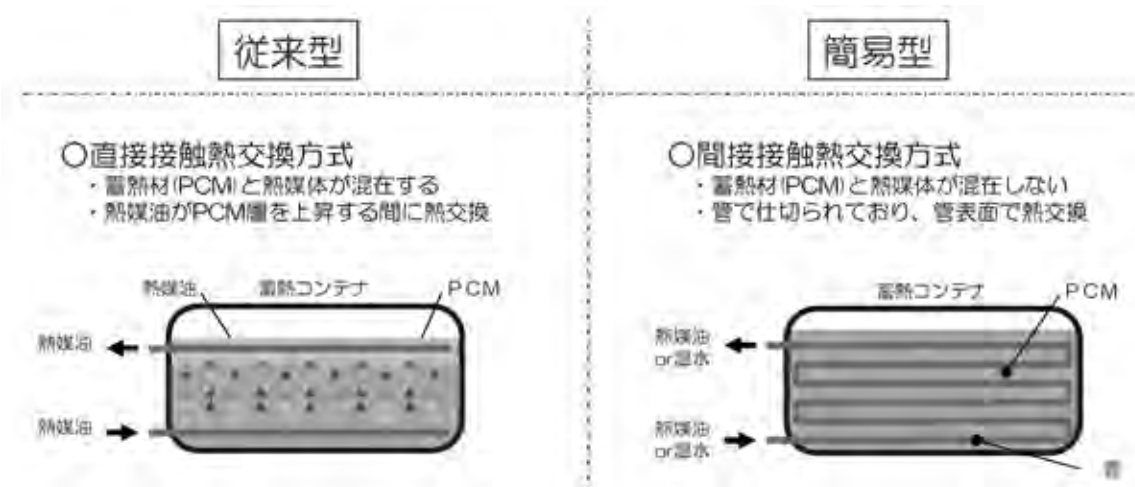


図-3 蓄熱コンテナ内の熱交換方式

PCMと熱媒体の熱交換方式は、従来型では「直接接触」を用いているが、簡易型では小型でも運用がより安定的な「間接接触」を用いている。

4) 熱媒体

表-1に示すように従来型では、低温タイプ・高温タイプともに、PCMとの分離性に優れた熱媒油を用いている。

簡易型は、間接接触熱交換方式のため分離性を考慮する必要がないので、低温タイプでは熱媒体に水を用

いることができ、設備費も低減できる。高温タイプでは、沸騰防止を考慮し熱媒油を用いている。

5) 法令面

①消防関連

従来型では、消防法上の危険物に該当（第4類第4石油類 引火点200℃以上250℃未満）する熱媒油を用いるので、設備の設置に際し、所轄消防署に設備設置の許可申請や届出が必要となる。

簡易型は、低温タイプでは熱媒体に水を使用する

こと、高温タイプでは危険物に該当しない可燃性液体類（引火点 250℃以上、数量 2m³未満）を用いるため、消防関連の法令や条例の規制等には基本的に該当しない。

②道路関連

従来型では、セミトレーラにて運搬するため、運

転には大型牽引免許、通行には道路管理者への許可申請が必要である。

簡易型では、積載荷重 10ton の脱着ボディー車（フックロール、アームロール）で運搬するため、大型免許で運転可能なうえ、自由に走行できる道路の範囲が広がる。

表－１ 従来型と簡易型の比較（輸送タイプ）

項 目		従来型		簡易型	
		低温タイプ	高温タイプ	低温タイプ	高温タイプ
タンク内熱交換方式 (PCMと熱媒体)		直接接触		間接接触	
内容物	蓄熱材 (PCM)	酢酸Na三水和物 (融点58℃)	エリスリトール (融点118℃)	酢酸Na三水和物 (融点58℃)	エリスリトール (融点118℃)
	熱媒体	油	油	温水	油
温度	排熱源 (必要)	70～90℃程度	140～160℃程度	70～90℃程度	140～160℃程度
	熱利用 (供給可能)	50℃程度未満	110℃程度未満	50℃程度未満	110℃程度未満
サイズ	重量	24 ton/タリ		1.7 ton/ユニット×4+付帯 ⇒ 10ton/タリ	
	容量	21,000 L/タリ		1,200 L/ユニット×4 ⇒ 4,800L/タリ	
	寸法	W2.5×H2.5×L6.0 m/タリ		W2.37×H2.05×L6.33 m/タリ	
能力	蓄熱容量	1,000 kWh	1,400 kWh	90 kWh/ユニット×4	125 kWh/ユニット×4
	蓄熱速度	MAX 200 kW	MAX 400 kW	5～10 kW/ユニット×4	20～25 kW/ユニット×4
	放熱速度	MAX 210 kW	MAX 500 kW	5～10 kW/ユニット×4	20～25 kW/ユニット×4
法令	消防関連	少危ローリー届出 危険物施設 許可申請or届出		不要	
	道路関連	通行許可申請 大型牽引免許		10ton積載の脱着ボディー車と同様 大型免許	

4. 導入事例

以下にこれまでの導入事例(従来型定置タイプ1件、従来型輸送タイプ3件、簡易型輸送タイプ2件)の概要をまとめる。いずれも排熱源側施設の総合エネルギー効率アップや熱利用側施設の燃料使用量削減とCO₂発生量の抑制を実現している。

1) 従来型定置タイプ

①酢酸ナトリウム三水和物：鳥取県

民間工場の排熱（温水）を同一敷地内の事務所の空調（温水循環暖房）等に利用。排熱と熱需要の時間のズレを解消し、ピークシフト・ピークカットを実現。

2) 従来型輸送タイプ

①酢酸ナトリウム三水和物：岐阜県

自治体の一般廃棄物焼却排熱（温水）を約 3km 離れた同一自治体の市民病院の給湯等に利用。

②エリスリトール 1：青森県

民間の産業廃棄物焼却排熱（余剰蒸気）を約 20km 離れた県の栽培漁業センターで水槽加温と約 10km 離れた民間病院で給湯や暖房に利用。

③エリスリトール 2：沖縄県

民間の産業廃棄物焼却排熱（余剰蒸気）を約 28km 離れた民間のスパ施設で海水加温に利用。

3) 簡易型輸送タイプ

①エリスリトール 1：三重県

民間の産業廃棄物焼却排熱（余剰蒸気）を約 11km 離れた民間ホテルの温浴施設向け給湯に利用。

②エリスリトール2：富山県

民間の産業廃棄物焼却排熱（余剰蒸気）を1.5km離れた同一敷地内のトマト栽培ハウスで空調（冷暖房）に利用。



図－4 簡易型輸送タイプ実施例（富山）

5. まとめ

200℃以下の低温熱は、エネルギー密度が低く、回収コストや移動コストが高くなるが、とことんエネルギーを利用することで、一次エネルギー使用量を削減し、CO₂発生を抑制するとともに環境負荷低減が図れる等の大きなメリットが生まれる。

普及に向けての課題は、効率的な熱輸送ネットワー

クの構築と環境価値の経済価値化が挙げられる。利用側からは既存エネルギー単価より安価であることが望まれるが、この実現には効率的な熱輸送が不可欠である。輸送事業者を中心に輸送スケジュールや輸送人件費等を考慮した効率的なスキームを構築しなければならない。簡易型では廃棄物収集運搬車を利用するため、既存の廃棄物収集システムの中に熱供給を取り込むことが可能となり、効率的な熱搬送ができると考えている。

国内の政策的な支援として、J-クレジット制度がある。2013年度より温暖化ガス削減のインセンティブとして国内クレジット制度とJ-VER制度が統一され、J-クレジット制度に移行された。THCは、方法論番号EN-S-011「未利用廃熱の熱源利用」としてすでに認証されている。

下水処理場は、持続可能な社会を構築する上で、これまでの排水処理機能を有する処理施設から、エネルギーや資源を再生し新たに供給する生産施設として位置づけられるべき公共財産で、これからも限りある資源を徹底的に使い切る知恵が求め続けられると考えている。例えば、下水処理プロセスから出る排熱としては、汚泥焼却設備の洗煙排水や白煙防止空気、燃焼排ガスその他、余剰消化ガス燃焼装置や消化ガス発電設備等が想定される。

なお、簡易型輸送タイプの開発は、環境省地球環境局地球温暖化対策課の委託事業により、三機工業(株)、三重中央開発(株)、極東開発工業(株)の3者による共同研究にて実施した。

コ ラ ム

リノベーションは暮らしの再生

2013年6月に設立された一般社団法人ケアリングデザインは、異分野の建築、デザイン、医療、看護、福祉そして言葉の専門家による集いです。「ケアリングデザイン」とは、デザイン性も機能性も高く、使い手の幸福に貢献する道具や、家具、空間の調和のことを言います。

事業の1つに、毎年秋に池袋西武本店で開催している「くらしのケアリングデザイン展」があります。このデザイン展の目玉は、会場中央に設けられた原寸大のシニアリノベーションハウス（シニア向けのモデルハウス）。企画をする時は、リノベーションハウスの住人ストーリーを脚本するところから始めます。「リノベーション」の主人公はそこに住む人だからです。しかしこの当たり前の事がなかなか実現されていないのが実情ではないでしょうか。若い時分にマンションや建売住宅を購入すれば、そのスペースや間取りに自分を合わせて暮らすことになります。一方、リノベーションは住人に住まいを合わせる事に他なりません。ですから、私らしさとは何か？どのように暮らしたいのか？大切なものはなにか？そのような問いを改めて考える機会になります。

昨年のリノベーションハウスの住人は東京郊外の庭付き小さな二階建てに住む60歳前後の夫婦。あるとき夫の母と同居を始めることになったという設定です。身体はやや不自由ながら自立心の高い母のために、庭先に離れを建て、母屋との間をウッドデッキでつなぎました。ぴったり寄り添うのではなく気配で見守ろうというのです。緑あふれるテラスを通過して友人も直接母を訪ねてきます。このテラスに面して設けたバスコートはガラス張り。もちろんブラインドで視線のコントロールはできます。このバスルームには十和田石が貼られ、縁には檜がまわされた温泉風のバスタブを採用（株アステック）。身体を洗うだけでなくここにある水（お湯）と植物と光と自然な風合いの浴槽が、特別な時間と空間を住人にもたらしめます。シニアの住人を設定としたリノベーションとして計画したのですが、30代、40代の人達からも共感を得ています。シンプルで安全な動線計画、心地よい光や色、さりげなく工夫されたケア、身体に優しく美しい素材、コンパクトながらも伸びやかなハウス。それは、デザイン展ように設定した住人にぴったりの個性でありながらも 普遍性を持つからなのでしょう。

もう一例はURのリノベーションの事例です。品川八潮パークタウンは40年前に開発された5千戸規模の団地です。今、植栽は大きく茂り、運河沿いには気持ちの良い遊歩道があって団地全体に落ち着いた風情があります。「八潮団地に住みつづける」というコンセプトでリノベーション事業が始まりました。住居の2LDKはそのままですが間取りを大きく変えました。一般的なマンションの間取りでは寝室とトイレが遠く離れている事が多いのですが、高齢になるとトイレが近くなります。また自分でトイレが出来るかどうかは人の尊厳にかかわる事です。そこでまずトイレの位置の移動を考えましたが、床下に勾配が取れません。そこで採用したのが、「SFA 排水圧送ポンプ」です。これはトイレからの汚水に含まれる排泄物とトイレトーパーを細かく粉碎し、小口径（20mm～25mm）の排水管で汚水を排水主管まで圧送するというものです。これによってベッドから直線で4m、寝室出口から直線で2.5mの理想的な位置にトイレを配置することができました。このSFAポンプを用いればキッチンの位置も容易に移動できそうです。

こうしたリノベーションを通じて、私たちは50代以上の大人世代の住まい、また医療やケアの時間をデザインアプローチでもっと心地よくすることを目指していきます。

一般社団法人 ケアリングデザイン
代表理事 小野由記子

報 告

下水汚泥有効利用促進マニュアル －持続可能な下水汚泥の有効利用を目指して－ の発刊（その2．肥料利用編）

下水汚泥利用促進検討調査専門委員会 事務局

日本下水道協会 前田 明德
(株)NJS 亀田由季子

キーワード：マニュアル、肥料、りん回収、事例、アンケート

1. はじめに

前報（その1、総論）にて示したとおり、本マニュアルの3章はPDCA サイクルの中のPlan & Doを示しており、各分野技術のマネジメントとして下水汚泥肥料、下水汚泥建設資材、下水汚泥エネルギー化の3分野について基本事項および利用事例、課題と対応策について示してある。

本報では、このうち下水汚泥肥料利用について報告をする。

2. 旧マニュアルとの比較

本マニュアルは、日本下水道協会より発刊されている旧マニュアル「下水汚泥の農地・緑地利用マニュアル－2005年版－」の内容について基本事項については一部踏襲し、最新情報を加えることにより最新のニーズに対応する形となっている。旧マニュアルに記載の内容から本マニュアルへ加筆・改正した内容は、表-1に示すとおりである。

以下、本マニュアルに記載の内容について記述する。

3. 下水汚泥を原料とする肥料の基本事項

1) 肥料の利用に関する下水汚泥の特性

下水汚泥の肥効成分は、ほかの有機質肥料に比べ窒

素、りん酸、石灰（石灰系脱水汚泥の場合）が多く、加里が少ないという特徴がある。

（成分例）

pH7.1～8.0、全窒素（T-N）2.4～4.7%、
りん酸（P205）3.3～5.3%、加里（K2O）0.3%

また、肥料利用を行っている下水汚泥の重金属含有量については、肥料取締法に基づき普通肥料の公定規格を定める等の件に既定される重金属類の含有量と比較すると、コンポスト原料汚泥に含まれる重金属は最大値でも規制値を越えておらず、安全性は確保されていると言える。

2) 下水汚泥を原料とする肥料の種類と特徴

下水汚泥を原料とする肥料は普通肥料として登録を行う必要がある。普通肥料とは品質について公定規格が設けられているもので、生産する肥料の銘柄ごとに登録が必要であり、公定規格として有害成分の最大量が定められ、表示の内容も決められている。

本マニュアルでは、下水汚泥を原料とする肥料について、肥料取締法における定義と特徴を記載しており、以下のとおりである。

- ①汚泥発酵肥料：下水汚泥肥料等堆積または攪拌し、腐熟させたもの
- ②下水汚泥肥料：下水汚泥を消化、脱水、乾燥させたもの
- ③混合汚泥肥料：下水汚泥肥料、し尿汚泥肥料、工業汚泥肥料を混合させたもの

表-1 旧マニュアルと本マニュアルの比較

下水汚泥の農地・緑地利 用マニュアル —2005年版—	本マニュアルに残した内容	加筆・改正した内容
第1章 総論	・汚泥肥料の種類を記載、肥効として総括的に記載。	・肥効について、特に窒素成分に注目し、 <u>下水汚泥を原料とする肥効の出方の特徴、適した作物を記載。</u>
第2章 生産と品質管理 および流通	・肥料利用される下水汚泥の性状、肥効成分を記載。 ・特にコンポストについて発酵の目的、品質管理を記載。 ・下水汚泥を原料とする肥料の種類、りん回収肥料の概要を記載。	・ <u>近年の重金属含有量データ等</u> を示し、 <u>濃度の減少を示すことで安全性を強調した。</u> ・ <u>りん回収物について、不純物が少ないデータを示し、「汚泥」という名称をつけない肥料として扱っている事例を示した。</u> ・ <u>判別スコア値は現在使われている事例が少ないため、BOD₅、温度、pH等の管理項目を記載。</u> ・ <u>マーケティング事例は、最新の事例を自治体より収集し記載。</u> また、 <u>メーカーや肥料取扱い団体等へアンケートを行い、実際の流通経路を記載。</u> ・ <u>技術開発動向について、焼却灰をりん鉱石代替で利用する事例や、下水処理場の資源を農作物に活用するバイオマスパーク構想等を記載。</u>
第3章 農地への利用	・各作物に対する肥効と施用基準を一覧表にまとめて記載。	・ <u>事例を中心に記載しており、コンポスト、乾燥汚泥、炭化物、りん回収物、他バイオマスとの混合処理について自治体等の事例を記載。</u> ・ <u>エンドユーザー等のアンケート結果より下水汚泥を原料とする肥料に求められるニーズを記載。</u>
第4章 緑地への利用	・肥料の種類を記載。 ・緑地への施肥基準を記載。	・ <u>緑化業者へもアンケートを行い、緑地に求められる肥料性状・ニーズについて記載。</u>

- ④焼成汚泥肥料：下水汚泥、し尿汚泥、工業汚泥、混合汚泥肥料を焼成させたもの
- ⑤下水汚泥からりんを抽出し、これを原料とした肥料（化成肥料、副産りん酸肥料）
- ⑥その他（土壌改良材）

3) 下水汚泥を原料とする肥料の施肥基準と肥効性

下水汚泥を原料とする肥料に対しては、各都道府県において施肥基準を定めている場合があり、該当する都道府県内では施肥基準に沿った施肥を行う必要がある。

また、下水汚泥を原料とする肥料の肥効の主体は窒素と考えられ、日本土壌協会と共同で行った調査結果より窒素成分に着目した施肥効果について記載している。

（調査例）

下水汚泥の脱水汚泥そのものは、元々植物に対し速く効く（速効性）窒素成分が多く、C/N比が低い特徴を持っている。よって、生育期間の短い（3カ月以内）作物（コマツナ、ホウレンソウ、春ダイコン等）の可食部収量が多くなりやすい。

4) 品質管理

下水汚泥を原料とする肥料を流通させる場合には、

その品質は「肥料取締法に基づく公定規格等」に定める基準に適合していなければならず、施肥を行う土壌についても汚染防止等に関する法律の基準を準拠していく必要がある。

汚泥発酵肥料に関する発酵の進み具合の判断方法、汚泥発酵肥料を生産している自治体の品質管理の事例、重金属管理について記載している。

5) 肥料登録方法

下水汚泥を原料とする肥料は、肥料取締法に基づく普通肥料の登録が必要となる。登録のない肥料はすべて無登録肥料となり、罰則の対象となることもある。

本項では肥料取締法に基づく普通肥料の登録方法および植害試験方法について、記載している。

6) 流通

普通肥料の流通量、価格事例、回収りんの流通事例を示し、これらを参考に価格の設定や流通について考慮するよう記載している。例えば、図-1に示すように肥料の流通経路には農協を介する場合と介さない場合があり、下水汚泥を原料とする肥料についても様々な流通経路が考えられる。

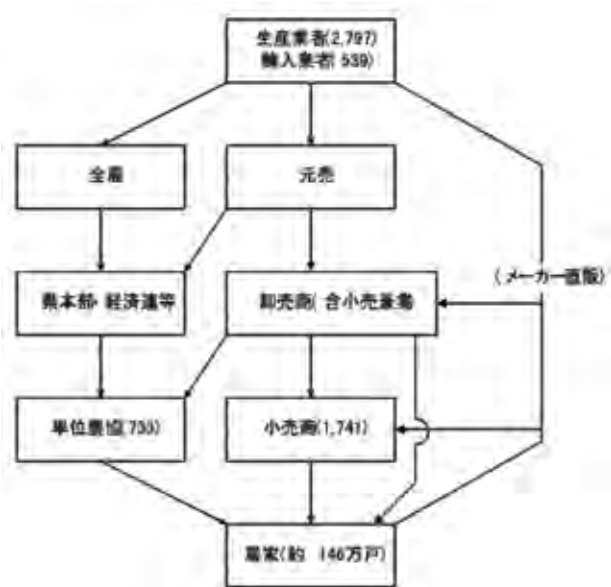


図-1 肥料の流通経路（平成23年度）

4. 肥料の適用化事例

肥料化技術別に最新の肥料適用化事例を示し、自治体等が参考にできるよう整理を行った。コンポスト・乾燥処理による肥料化の事例、焼却灰・炭化処理による肥料化の事例、りん回収の事例および下水汚泥肥料「今後の課題、展望」も記載している。

以下に、代表的な事例を示す。

1) 乾燥処理施設（十勝環境複合事務組合・十勝川流域下水道浄化センター）

①事業概要

十勝川流域下水道浄化センターでは脱水汚泥を乾燥処理し、下水汚泥再生利用組合の堆肥場で乾燥汚泥をコンポスト化している。利用先は利用組合員の圃場であり、肥料利用されている。

②導入の背景

コンポストを農地に施用することにより地力の増

進を図り、生産性の向上を目的とする。

③導入効果

コンポストは順調に利用されており、土壌モニタリングを行っているが、重金属の土壌中含有量にはほぼ変化が見られず、重金属の蓄積については観察されていない。（表-2参照）

④今後の課題と展望

今後も、利用者の安心のためモニタリングを継続する。展望としては、十勝地域では、産業の振興を十勝全体で図ることを目的として、「農林水産業」や「食」を柱とする地域産業政策「フードバレーとまち」を推進しており、下水汚泥を原料とする肥料の利用を進めていく。

2) 汚泥発酵肥料（コンポスト）製造施設（佐賀市）

①事業概要

佐賀市の佐賀市下水浄化センターでは、DBO方式（設計・建設・運営一括発注）によるコンポスト化を実施している。コンポスト化施設の汚泥受入能力は30t/日（脱水汚泥）である。

②導入の背景

発生した脱水汚泥は一部を場内で焼却処理し、その他は全て市外の産廃処分場で処理していたが、汚泥焼却炉の老朽化に伴い、処理方式を検討。平成20年3月にDBO方式でのプロポーザルを実施し、平成21年10月よりコンポスト化施設の供用開始をした。

③導入効果

全量販売するための方策は以下のとおり。

- ・平成22年度は希望者全員に無料配布している。
- ・佐賀市農業振興課とタイアップした試験圃場を設置した。
- ・佐賀市報、ホームページ、新聞等を利用した広報の実施。

以上の取組により、下水道に眠る資源である下水処理水および下水汚泥の利用について、下水浄化センターをめぐる資源循環の環を形成させ、地域住民の迷

表-2 土壌の重金属モニタリング結果

分析項目	平成19年度	平成20年度	平成21年度	平成22年度	平成23年度	平成24年度
水銀	0.08	0.08	0.08	0.07	0.06	0.08
カドミウム	0.5	0.2	0.1	0.5	0.2	0.2
ひ素	7	9.6	7.5	9.8	8	8.5
クロム	23	30	27	29	29	22
鉛		12	26	11	10	10
亜鉛	61	69	75	75	67	57
銅	36	34	42	36	31	32
ニッケル	11	15	15	14	13	13
マンガン	380	410	480	420	440	330

惑施設から喜ばれる施設へと変貌を遂げている。

肥料利用については、製造した肥料の袋詰めを行わないことで、コンポストが欲しい市民等は下水浄化センターへ来る必要が生じ、その際に勉強会を開催する等、コミュニケーションを図ることで市民等に対する下水道への理解を深めている。

④今後の課題と展望

課題としては、臭気の更なる低減、地域密着型の下水処理場の実現が挙げられる。展望としてはコンポスト施設が下水資源の地域循環を担い続けることができるように務めていく。

3) 焼却灰からのりん回収設備（岐阜市）

①事業概要

下水処理場の焼却灰からりん酸塩を抽出させ、リン酸カルシウムとして販売している。りん回収施設では、1日当たり約1tのリン酸カルシウムと約2tの処理灰の回収が可能である。

リン酸カルシウムは、平成21年3月に「岐阜の大地」の名称で副産りん酸肥料として肥料登録され

ている。

②導入の背景

従来、焼却灰は焼成れんがに利用していたが、公共事業の縮小傾向により需要の低下、また施設の老朽化が進んでいたため、ほかの利用用途としてりん回収を検討した。

平成15年からLOTUS Project(ロータスプロジェクト)開発技術として検討を開始。その後、平成20年度から平成21年度にかけてりん回収施設を建設し、平成22年度より施設の稼動を開始した。

③導入効果

脱水汚泥25,000～30,000t/年を資源化し、資源化率100%を目指している。また、300～500t/年のりん酸肥料利用が可能であり限りあるりん資源の安定供給が可能である。

販売状況としては、処理灰は稼動当初から販売先が決定しており順調である。リン酸カルシウムはt単位の大口販売を行っており、肥料メーカーへの販売量が徐々に増加している。

④今後の課題と展望

課題としては、回収したりんの販路確保である。展望として、今後は地元JAへの販売を通じた地産地消を優先させてりん資源リサイクルを推進していく。

4) 焼却灰をりん資源として活用（日本燐酸（株））

①事業概要

下水汚泥の焼却灰そのものをりん鉱石代替として用いる。

- ・焼却灰性状：乾灰（ジェットバック車運搬）
- ・使用数量（計画）：3,000t/年（使用比率2.5%、りん鉱石対比）

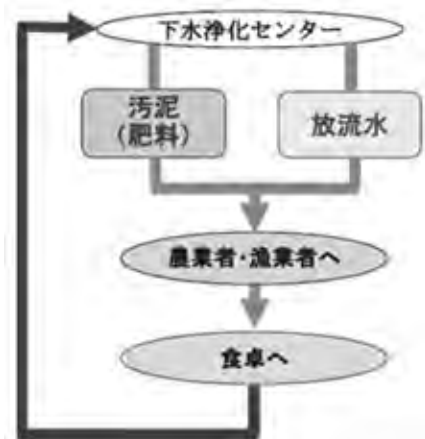


図-2 下水浄化センターをめぐる資源循環

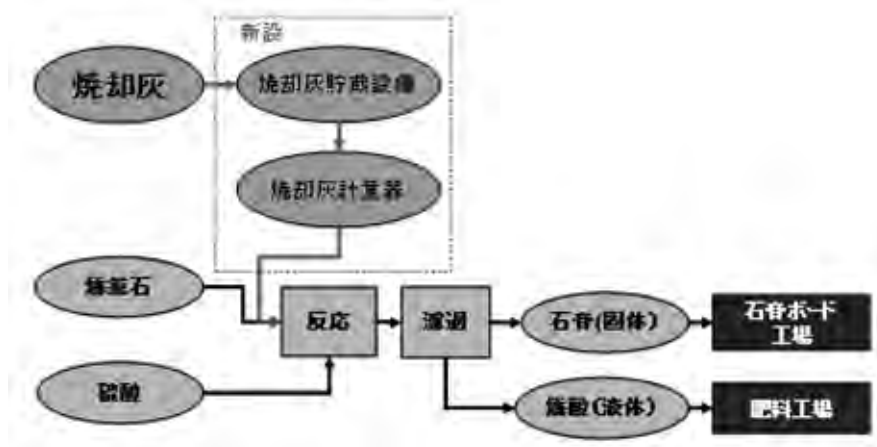


図-3 焼却灰使用の概略フローと追加設備

- ・要求品質： P2O5 30%以上、Pb 60mg/kg以下

②導入の背景

リスクを抱える海外資源への依存から少しでも脱却しようと、国内の未利用りん資源の活用を経営方針とした。

平成 21 年から関東近郊の焼却灰に関してりん酸製造への適合性について実験室規模の試験研究を開始した。平成 22 年 4 月には実際の生産設備にて製造運転を行い、りん回収が可能であることを実証し、平成 24 年 8 月に産業廃棄物処分業の許可を取得し事業を開始した。

③導入効果

現在約 100t/月で安定に使用している。平成 25 年度は愛知県矢作川浄化センター以外の下水処理場の焼却灰を使用し、年間 1500t への増量を目指している。

④今後の課題と展望

課題としては、りん酸製造原料としての焼却灰の使用を拡大していくため、焼却灰に含まれる鉛、シリカ、アルミニウム、鉄、マグネシウム等の不純物の除去技術が求められる。展望として、受入れる焼却灰量を増加させ、将来的には事業計画である 3,000t/年の焼却灰の受入れを行っていく。

5. 適用事例の課題と対応策

本マニュアルでは、肥料化の事例から出された課題を抽出し、他の事例から導き出される対応策や考えられる対応策等を記載している。

一例として、コンポスト・乾燥汚泥の肥料利用事例からの課題と対応策について示す。

①コストが比較的割高となる

⇒肥料として高価に売買できる製品製造を行う。

②品質管理の問題（流入下水コントロールは不可能）

⇒特定の重金属（歯医者のアマルガム廃止等）の遮断は可能である。

③老朽化に伴う施設の更新

⇒りん抽出や他の用途との複合的利用等も加味する。

他にも、他バイオマスとの共同処理事例からの課題、焼却灰・炭化汚泥の肥料利用事例からの課題、りん回収による肥料利用事例からの課題、バイオマスプラントの事例からの課題等を記載している。

6. マーケティングの充実に向けた取組事例

下水汚泥を原料とする肥料利用については、下水汚泥を有効利用し始めた当初より盛んに行われてきた経緯があり、肥料利用を拡大するための取組についても、市民に無償で配布することや、下水道イベント時の PR 等、各自治体において行われてきた実績がある。

表-3 に各自治体におけるマーケティング充実への取組み事例を示す。

7. アンケートによる傾向分析

下水汚泥を原料とする肥料の利用促進を目指し、肥料ニーズや肥料普及方策等について、下水汚泥の肥料利用を行っている自治体、下水汚泥を肥料原料として用いている肥料製造メーカー、JA のような肥料取扱い団体および肥料を実際に利用しているユーザー等へアンケートを行い、その傾向について分析を行った。

一例として、下水汚泥を原料とする肥料普及に対し

表-3 各自治体におけるマーケティング充実への主な取組み事例

自治体	取組み事例
北広島市	・自治体ホームページに販売方法、使用方法を記載。
山形市	・平成 13 年度よりコンポストモニター制度を設置。コンポストを無償で提供し、1 年間コンポスト。下水道について学ぶもの。平成 25 年度からは処理場内の試験畑にて作物を作る同様な制度に変更した。
珠洲市	・地域のために製造した乾燥汚泥であり、緑農地へ還元するため市民に無料で配布。
岐阜市	・粒状（地元 JA 向け）と粉状（肥料メーカー向け）を準備し、販路を確保。
福岡市	・取引先が MAP 肥料生産中止となり、その後新しい取引先を開拓し、出荷量を増加させた。
佐賀市	・市農業振興課とタイアップした試験圃場の設置。
鹿児島市	・市内で開催される地域の祭り等での袋詰試供品（1kg 入り）の配布。
熊本県 苓北町	・自治体ホームページで販売案内をしている。

行うべきと考える方策について、自治体と製造メーカーからの回答を図-4に示す。この結果、自治体は全国的組織によるPRや下水汚泥肥料そのものの品質改善(臭気、取扱い性、品質の安定)を挙げた回答者が多いのに対し、製造メーカーは全国的にというよりは地元を中心に組織化した取組を行うことや説明会の実施を挙げた回答者が多く、意識に差が見られた。

また、下水汚泥を原料とする肥料に対する満足度について、肥料ユーザーからの回答を図-5に示す。

この結果、窒素、りん酸、加里等の肥料成分に対しては満足～普通の回答が多いが、金属含有量、臭気および使いやすさについてはやや不満～不満の答えがあり、性状や使い方については具体的な説明が必要であると考えられる。

しかし肥料の価格についてはやや不満～不満という意見が全く無いことから、実際の価格はユーザー支払い意思額よりも安価であることが分かる。

8. マーケティング充実にに向けた課題と対応策

アンケート結果や自治体の取組事例等から挙げられた課題を抽出し、マーケティング充実にに向けた対応策を示している。

1) 肥料ニーズへの対応

各自治体および製造者が製造している下水汚泥を原料とする肥料の重金属、肥効成分のデータ開示等を行い、安心できる肥料であることを示す。

2) 臭気対策

臭気対策を行わなくとも下水汚泥コンポストを製造できる場所の公共からの提供や、下水処理場側は貯蔵日数を経ないで汚泥の搬出を行うことが挙げられる。また、製造側は製造工程における工夫(pH調整、粉塵除去等)を行う。

3) 自治体内部での利用体制の整備

農家や農業法人等、外部での利用量の確保も大事

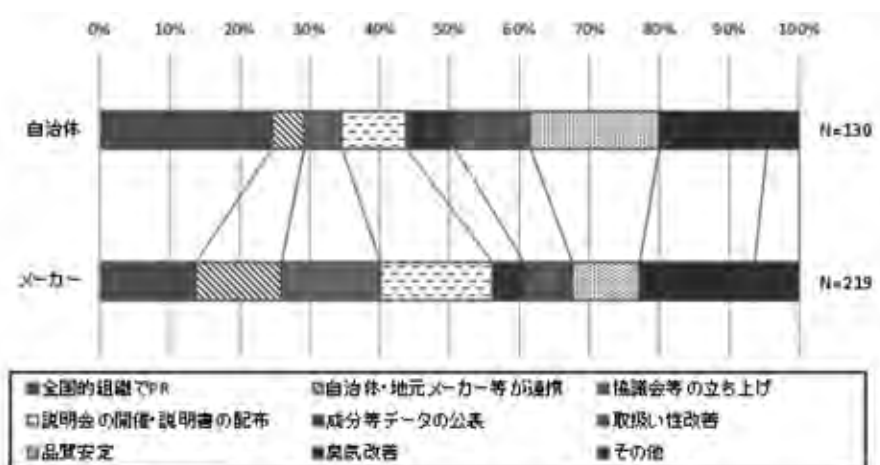


図-4 下水汚泥を原料とする肥料普及に対し行うべきと考える方策

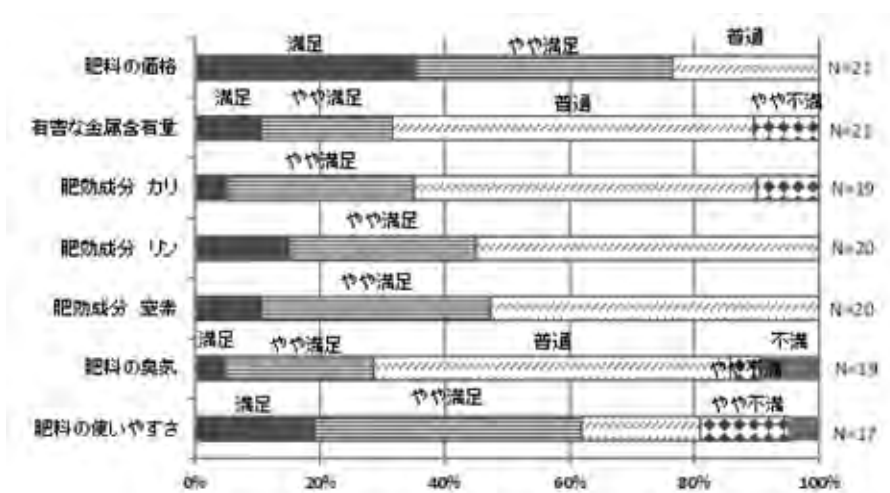


図-5 下水汚泥を原料とする肥料に対する満足度

ではあるが、その前に自治体内部において下水汚泥肥料を優先的に利用する仕組みの整備を行うことが望ましい。

(例) 協働農作業により、農家法人、民間企業（ヒト、施設、機械）を相互利用する。

4) 「下水汚泥肥料」等の名称の変更

イメージが悪い「汚泥」という言葉を使わない肥料名称や、原材料として記載する「下水汚泥」という言葉について、イメージアップを行うことや名称を変更、現行制度の説明をすることも考えられる。

(注) 肥料登録では「下水汚泥肥料」

5) 下水汚泥を利用するメリットのPR

速効性窒素画分量の多さや、適した作物等について、他の肥料と比較した長所のPRを行うことが望ましい。

6) 下水汚泥を原料とする肥料の価格設定

事前にユーザーに対する希望価格の調査等を行うことで現実的な価格設定を行うことも考えられる。

9. おわりに

以上のことから下水汚泥を原料とする肥料は肥効性があり十分使えるものと認識されている一方で、臭気

の問題や利用方法が分からない、イメージが悪い等の声も上がっている。これに対する取組事例や具体的な対応策もマニュアルには記載してあるので参照されたい。

今後は地元との連携を図り、下水汚泥をはじめとする地域バイオマスの地域内循環を行い、安心・安全な肥料を提供することで、下水汚泥を原料とする肥料の利用が推進されると考えられる。



図-6 下水汚泥を原料とする肥料の利用促進イメージ

報 告

川崎市における 下水道汚泥焼却灰資源化に向けた 調査（報告）

川崎市上下水道局下水道部下水道水質課 原 周平

キーワード：焼却灰、重金属

1. はじめに

近年、貴金属類やレアアースは、エレクトロニクス製品の性能向上に必要不可欠なものである。その一方、産出国が偏在していることや他の金属の副生成物として生成されるなど生産上の制約があることから、国内製造業への安定的な供給が危惧されている。

このような状況を背景に、ごみや下水汚泥の焼却過程から発生する焼却灰は「都市鉱山」のひとつとして注目を浴びており、潜在的な国内資源としての価値を有している可能性がある。そこで本調査では、川崎市内の4水処理センターで発生した下水汚泥、および入江崎総合スラッジセンターで発生する汚泥焼却灰個々の金属含有量を調査し、それらの資源価値を評価した。

2. 川崎市の下水道の概要

川崎市の下水道は、昭和6年に現在のJR川崎駅周辺の浸水対策事業として建設に着手したのが始まりで、その後昭和36年9月に県下初の下水処理場として入江崎水処理センターを稼働させた。それ以降、八次にわたる下水道整備五か年計画に基づき事業を推進し、処理人口普及率は平成25年度末で99.4%に達しており、ほとんどの市民が下水道を利用できるようになっている。表-1に平成25年度末における当市の主な下水道施設の概要を示す。

3. 調査・研究方法

1) 試料：調査の対象は下水汚泥と焼却灰の2種類とした。

下水汚泥：入江崎総合スラッジセンター汚泥受入設備で採取した当市4水処理センターで発生した下水汚泥3検体（図-1参照）

焼却灰：入江崎総合スラッジセンター焼却設備サイクロン、乾式電気集塵機、冷却塔+バグフィルタ、バグフィルタで採取した下水汚泥焼却灰4検体

2) 分析対象元素：本調査の分析対象は下記の56元素とした。

貴金属7種

Ru、Rh、Pd、Ag、Ir、Pt、Au

レアアース16種^{注1}

Sc、Y、La、Ce、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、Yb、Lu

ベースメタル等その他の金属33種

Li、Be、Na、Mg、Al、K、Ca、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Zn、Ga、As、Se、Rb、Sr、Cd、In、Sn、Sb、Te、Cs、Ba、Hf、Tl、Pb、Bi、Th、U

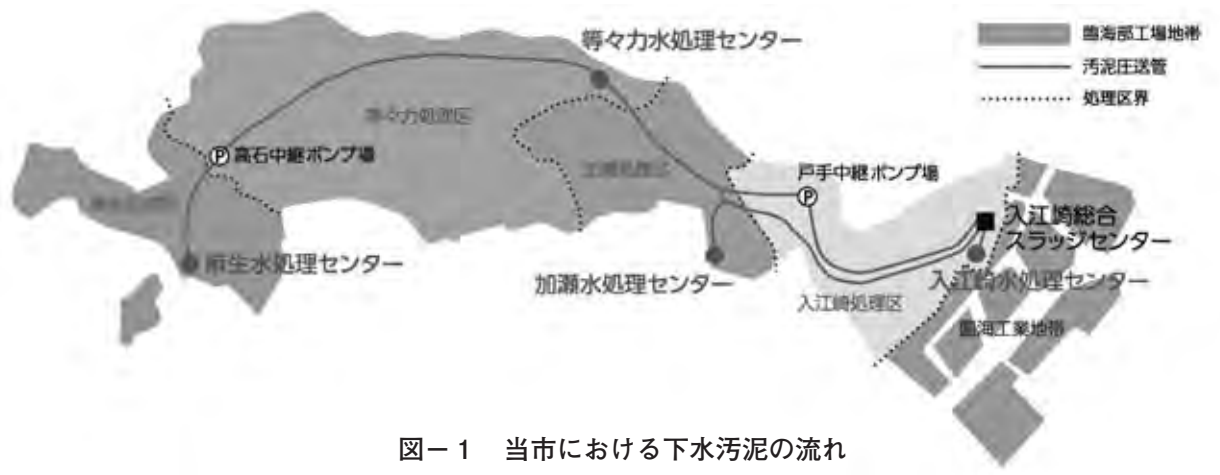
注1：一般的にレアアースとはスカンジウム、イットリウムにランタノイド15元素を加えた計17元素の総称だが、プロメチウムの標準試薬を入手できなかったため今回の調査では16元素を定量した。

表－１ 川崎市の主な下水道施設の概要

水処理センター施設				
水処理センター名	入江崎	加瀬	等々力	麻生
運転開始年月	昭和３６年９月	昭和４８年１１月	昭和５７年１１月	平成元年３月
排除方式	合流式	合流式・一部分流式	分流式	分流式
計画処理面積（ha）	2,007	1,871	5,490	1,920
計画処理人口（人）	322,700	318,900	681,500	143,200
計画処理能力（m³/日）	318,600	168,900	313,900	62,800
処理方式	○標準活性汚泥法 ○担体利用・嫌気－無酸素－好気	○標準活性汚泥法	○嫌気好気 酸素活性汚泥法、 好気性ろ床法 ＋オゾン処理	○標準活性汚泥法 ○担体利用・嫌気－無酸素－好気
放流水域	東京湾	鶴見川支流/矢上川	多摩川 鶴見川支流/矢上川	鶴見川支流/麻生川

汚泥処理施設（４水処理センターで発生した汚泥を集約処理）

区 分	入江崎総合スラッジセンター
運転開始年月	平成７年１１月
計画処理能力（t・DS/日）	120
処理方式	濃縮－脱水－焼却（流動焼却炉）



図－１ 当市における下水汚泥の流れ

３）分析方法：京都市の方法¹⁾を参考に前処理をしたのち、ICP 発光分光分析を行った。なお、定量下限は5mg/kgとした（図－２参照）。

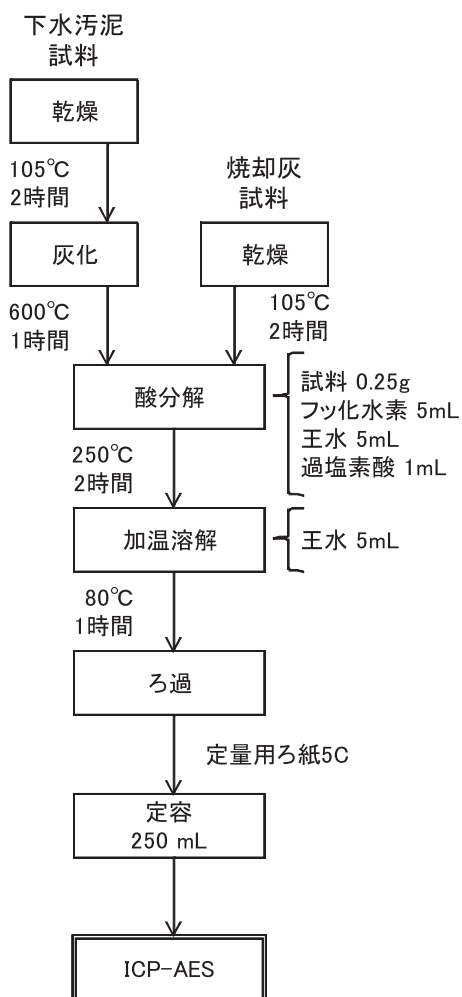
4. 結果および考察

強熱灰化した下水汚泥と焼却灰中の金属含有量を図－３、図－４に示した。入江崎総合スラッジセンターに圧送される３系列の下水汚泥中の金属含有量の傾向は、いずれも類似していた。水処理センター処理区ごとにさまざまな事業所が存在するため、発生する下水汚泥中の金属含有量にそれぞれ特徴があることを期待したが、今回の調査結果に大きな差はあらわれなかつ

た。これは、水処理センターに流入する下水量の合計が約494,000 m³/日に対し、事業場からの下水量は約47,000 m³/日と10％程度の割合しかなく、残りを占める一般家庭からの生活下水などに緩衝されてしまうことや、適切な事業場排水指導によって金属を大量に含有する下水が、水処理センターに流入することがほとんどないためと考える。

また、入江崎総合スラッジセンターの各工程で採取したサイクロン灰、電気集塵機灰、冷却塔とバグフィルタの混合灰、バグフィルタ灰の４つの焼却灰中の金属含有量の傾向も類似していた。

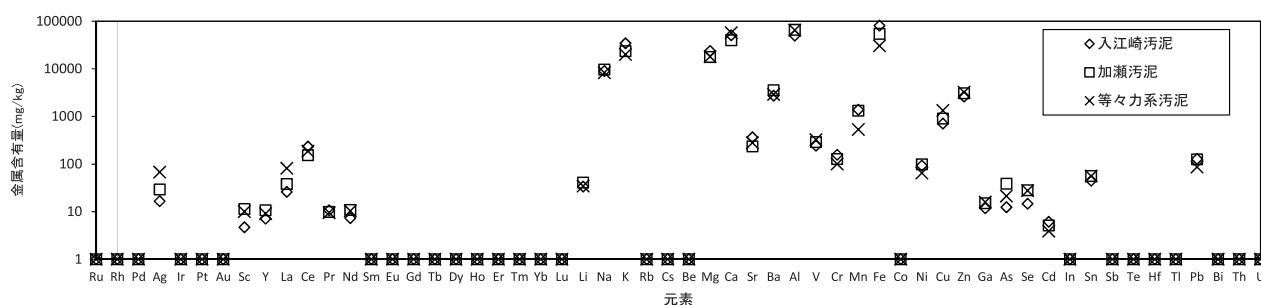
以下に各金属の含有量の傾向と特徴を述べる。



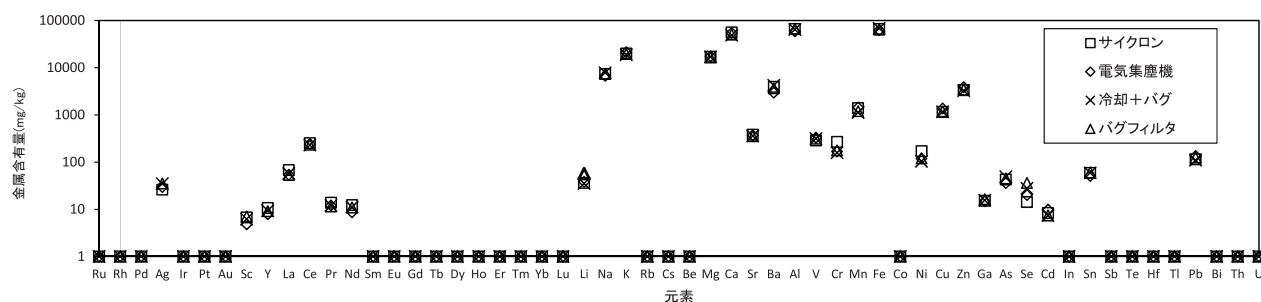
図－２ 分析方法

1) 貴金属：銀は、全ての試料に（約 20mg/kg～約 70mg/kg、重量比で約 0.002%～約 0.007%）含まれていた。この量は、地殻中の銀含有量（0.07mg/kg 程度）と比較すると非常に高い。しかし、一般的な銀鉱石の品位は 0.02～0.05%といわれており、本調査試料中の銀含有量はそれに比べると低い値だった。なお、他の団体等の調査^{1) 2)}でも、汚泥焼却灰中の銀含有量は約 10mg/kg～100mg/kgと報告されており、本調査の結果はそれらと同程度であった。一方、金、白金、パラジウムといった高価な貴金属は、試料中から検出されなかった。

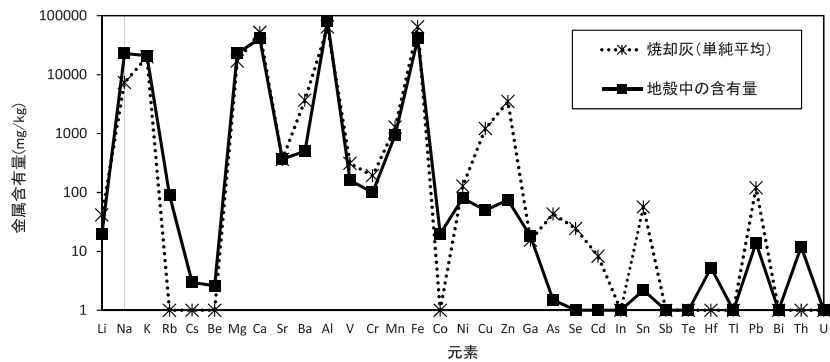
2) レアアース：レアアース 16 元素のうち、定量下限値（5mg/kg）以上の含有が確認できたのは、セリウム、ランタン、プラセオジウム、ネオジウム、イットリウム、スカンジウムの 6 元素であり、レアアースのなかでも特に重要なジスプロシウムやテルビウムといった重希土類は、今回の試料中には含まれていなかった。セリウムとランタンの 2 元素は含有量が比較的高く、それぞれ約 200 mg/kg（重量比で約 0.02%）、約 50 mg/kg（重量比で約 0.005%）だった。セリウムはレアアースとして最も多く存在する元素であり、地殻中に 60mg/kg～460mg/kg 存在するといわれている。このような地殻中の土砂が雨水や地下水によって水処理センターに運び込まれた結果、焼却灰中のその含有量が高くなったと考えられる。また、ランタンも地殻中に約 30mg/kg 存在するといわれており、セリウムと同様の理由で焼却灰中の含有量が高くなったと考えられる。



図－３ 下水汚泥中の金属含有量



図－４ 焼却灰中の金属含有量



図－５ 焼却灰試料と地殻中の金属含有量の比較

表－２ 下水汚泥焼却灰中の金属含有量と経済的価値

焼却灰発生量		3750				
		Ag	Zn	Cu	Pb	Sn
金属含有量	mg/kg	32	3500	1200	120	57
潜在的含有量	t/年	0.12	13	4.5	0.45	0.21
価格 ³⁾	円/kg	65,000	250	760	250	2,400
経済的価値	千円/年	7,800	3,250	3,420	110	500

3) ベースメタル等：ベースメタルについては、鉄、アルミニウム、亜鉛、銅、鉛、ニッケル、錫などが試料中に含有していた。特に鉄、アルミニウムは含有量が約 30,000mg/kg ～約 80,000mg/kg と高かったが、最低可採品位（経済的に採掘可能な金属含有量の割合）を満足するほどではなかった。

ベースメタル等の金属 33 元素について、焼却灰試料と地殻中の含有量の比較を図－５に示す。

図－５より、試料中と地殻中の金属含有量は多くの元素で近似しており、地殻中の土砂が地下水や雨水とともに水処理センターに流入し、下水汚泥として入江崎総合スラッジセンターへ排出されていると考えられる。その一方、銅、亜鉛、砒素、セレン、錫、鉛等は地殻中の金属含有量の 10 倍前後の量が、下水汚泥や焼却灰に含まれており、これらの金属は、製品の生産・消費等に伴い下水道に排除された結果、下水汚泥や焼却灰に移行したと考えられる。

4) 焼却灰の潜在的な価値

今回の調査対象とした金属 56 元素のうち、焼却灰中の含有量が地殻中の含有量よりも 10 倍以上高く、資源的な価値が見込める元素について、下水汚泥焼却灰中の潜在的な含有量とその価値を算出した（表－２）。

潜在的含有量 (t/年) = 焼却灰発生量 (t/年) × 金属含有量 (mg/kg) × 10⁻⁶

経済的価値 (円/年) = 潜在的含有量 (t/年) × 価格 (円/kg) × 10³

表－２より、当市で一年間に発生する下水汚泥焼却灰の膨大な量（約 3,750t）に比べると、含有量が比較

的高い亜鉛で約 13t、銅で約 4.5t とその資源的な価値は限られていることがわかる。また、経済的な価値が最も高い金属は銀で、下水汚泥焼却灰中に約 780 万円分含有していた。

5. おわりに

本調査により、当市において発生した下水汚泥や汚泥焼却灰には鉱石品位を満足するような金属はないものの、多くの種類の金属を含有していることを確認した。また、下水汚泥や汚泥焼却灰は、銀のような高価な金属、銅や亜鉛のような枯渇性の高い金属を比較的高濃度で含有していた。

これまで下水汚泥の有効利用といえば、緑農地利用やエネルギー利用、建築資材としての利用が知られているが、資源的な価値が見込める金属の再利用も有効活用の一つである。現状では、下水汚泥焼却灰のような非鉄スラグ中の金属類を高効率で抽出できる技術はないが、今後も資源の有効利用を一層推進できるよう努めていかなければならない。

参考文献

1) 井澤琢磨：下水汚泥焼却灰等に含まれる有用金属の調査、第 49 回下水道研究発表会講演集、pp178-180 (2012)
2) 大下和徹：下水汚泥熱処理残渣に含まれる貴金属類に関する研究、第 49 回下水道研究発表会講演集、pp175-177 (2012)
3) Mineral Commodity Summaries 2015

ニュース・スポット

関係団体の動き

ミラノ国際博覧会へ
「BISTRO 下水道」が出展
平成27年6月17日～18日



(公社) 日本下水道協会
技術研究部技術指針課長
林 幹雄

出展企画「下水道が生み出すチカラ」は、「人が使った水が処理され、栄養分を含んだ再生水、作物の栽培に必要な熱・CO₂や肥料となり、いのちをはぐくむ食材として還ってくる」というもので、食というテーマが「BISTRO 下水道」の取り組みを紹介したものとなった。

キーワード：食と下水道の連携、再生水、肥料、熱・CO₂

「地球に食料を、生命にエネルギー」をメインテーマとして5月1日～10月31日まで、イタリア・ミラノで開催されているミラノ国際博覧会の日本館イベント広場において6月17、18日の2日間、国土交通省と下水道グローバルセンターは「下水道が生み出すチカラ」と題して「BISTRO 下水道」をテーマとした展示を行った。



国土交通省による挨拶の様



日本館



「下水道が生み出すチカラ」のメッセージ

会場では、下水道資源の循環を超撥水技術で表現した模型の展示（写真参照）、映像の上映、取り組みを紹介するパネル展示やリーフレットの配布を行った。

人気のある日本館でのイベントであったこともあり、2日間で約6000人が来場した。プレゼン等を通じて「食の生産に貢献する水・資源・エネルギーの循環」や、「食の生産」に貢献可能な我が国の「水分野」の多様な技術を世界にPRすることができ、多くの方が、下水道資源の有効利用について興味をもたれている様子であった。



下水道資源の循環を超撥水技術で表現した模型



自治体の取り組みを紹介した作物マップ



自治体の取り組みを紹介した映像

出展成果の活用方針

- ◇ 国内では、自治体、企業の「食に貢献する水・資源・エネルギー」の有効活用に係る取組みのさらなる推進力として
- ◇ 国外に対しては、世界的にも高い関心と評価を得た事実をもって、日本の水処理技術のブランド化に資する一要素として水ビジネスの展開に活用

お知らせ

民間企業の投稿のご案内

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

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

投稿要領

（資格）

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

（原稿掲載の取扱い）

2. 原稿掲載の適否は、「再生と利用」編集委員会が決定します。

（掲載可否の判断基準）

3. 掲載適否の主な判断基準は、次の3. 1、3. 2、3. 3、3. 4によります。

3. 1 単に汚泥処理に関する投稿文でなく、下水汚泥の有効利用の促進に資するものであること。

3. 2 特定の団体、製品、工法、新技術等を宣伝することを目的とした投稿文（客観的、合理的な根拠を示すことなく、優秀性、優位性、有効性等について具体名を挙げて記述）でないこと。

ただし、次の場合は除く。

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

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

3. 3 特定の団体、製品、工法、新技術等を誹謗中傷する内容を含む投稿文でないこと。

3. 4 その他編集委員会が適当と考える事項について適合していること。

（原稿の作成、部数、送付先等）

4. 原稿の作成は、次のとおりとします。

4. 1 査読用 複写原稿 2 部（図表、写真を含みます）

4. 2 事務用 複写原稿 1 部（図表、写真を含みます）

5. 原稿の送付先は、下記の担当に送付して下さい。

（校正）

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

（著作権等）

7. 掲載した原稿の著作権は著者が保有し、編集著作権は、本会が所有します。

原稿登載区分

登載区分	原稿量（刷上り頁）	内容
研究紹介	8 頁程度（原稿制限頁数は A 4 判により 1 頁 2,300 文字（1 行 24 文字横 2 段））	独創性があり、かつ理論的または実証的な研究の成果
報告	6 頁程度（原稿制限頁数は、同上）	技術導入や経営等に関する検討・実施

担当：公益社団法人 日本下水道協会 技術研究部技術指針課

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

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

おしらせ

「再生と利用」への広告掲載方依頼について

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

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

記

1 発行誌の概要

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

2 広告掲載料・広告寸法等

掲載場所	サイズ	刷色	広告寸法	紙質	広告掲載料 （1 回当り）
表 3	1 頁	4 色	縦255×横180	アート紙	154,000円
後付	1 頁	1 色	縦255×横180	金マリ菊/46.5kg	41,000円
後付	1/2頁	1 色	縦120×横180	金マリ菊/46.5kg	25,000円

※ 表 3 は指定頁になります。原則として 2 回以上の継続掲載とします。

※ 広告掲載料は、消費税込みの金額です。

3 広告申込方法及び留意事項

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

きを指定する等、原稿作成又は修正に必要な事項を明記して下さい。

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

4 お支払方法等

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

なお、送金（振込）手数料は、貴社負担にてお願いします。

5 申込み先及び問合わせ先

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

広告業務委託先 株LSプランニング（担当：「再生と利用」広告係）
〒135-0033 東京都江東区深川2-12-4-201
TEL. 03-5621-7850 (代) FAX. 03-5621-7851
Mail : info@lsweb.co.jp

（参考）

「再生と利用」特集企画予定

○第150号（平成28年1月発行予定）

第150号記念特集

○第151号（平成28年4月発行予定）

第28回下水汚泥の有効利用に関するセミナー特集

汚泥再資源化活動

第 137 回「再生と利用」編集委員会

日 時：27 年 6 月 30 日

場 所：本会中会議室

出席者：野池、森田、姫野、島田（正）、南山、落、川崎、西田、工藤、広武、杉江、島田（卓）、福田、三浦（代理）の各委員

- 議 題：（１）前回議事概要の確認
 （２）第 148 号「再生と利用」編集内容について
 （３）第 149 号「再生と利用」編集方針（案）について
 （４）平成 27 年度計画（150 号記念特集）、その他意見交換

概 要：

- ① 前回議事概要について
事務局から資料 2～4 のとおり報告し了承された。
- ② 第 148 号「再生と利用」編集内容について
事務局から資料 5 のとおり報告し了承された。
- ③ 第 149 号「再生と利用」編集方針（案）について
事務局から、資料 6 のとおり説明を行った。
下水熱の論文は特別寄稿の分類であったが、論説の分類に変更することとした。特集テーマの名称については、固定価格買取制度の投稿が少ないため「バイオマス産業都市構想&バイオガス固定価格買取制度導入事例の取組み」と特集テーマ名称を変更することとし、各テーマの背景と現状についてそれぞれ記述をすることとした。山鹿市バイオガスセンターについては液肥利用についても言及いただけるか確認することとした。
- ④ 150 号記念号について
事務局から、資料 8 のとおり説明を行った。
歴代編集委員長（熊澤先生、茅野先生）及び増島先生（元東農大教授）に謝辞を述べていただくとし、下水汚泥有効利用セミナーにて茅野前委員長に記念講演いただくとした。また、下水汚泥リサイクル講演会にて野池委員長に記念講演いただくとした。各編集委員の団体については編集への想いを 1000 字程度で投稿いただくとした。
- ⑤ その他・情報交換について
下期の編集担当者会議は試行的に休止とすること

とした。

第 150 号「再生と利用」編集担当者会議

日 時：27 年 7 月 29 日

場 所：東京ビックサイト 商談室

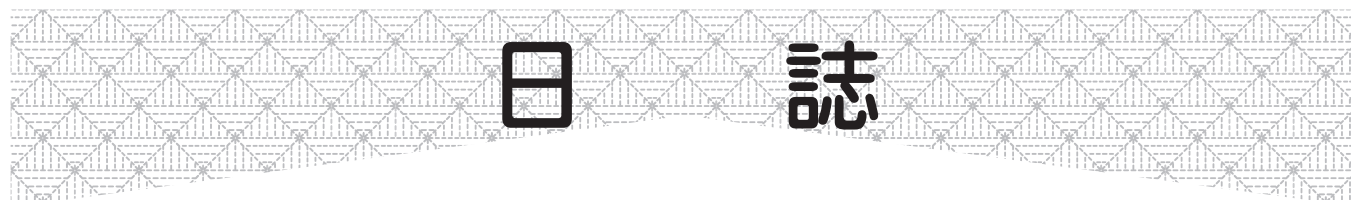
出席者：島田（正）、落、仲谷、広武、島田（卓）、福田

- 議 題：（１）前回議事概要の確認
 （２）第 149 号「再生と利用」編集内容について
 （３）第 150 号「再生と利用」編集方針（案）について
 （４）その他意見交換

概 要：

- ① 前回議事概要について
事務局から資料 3 のとおり報告し了承された。
- ② 第 149 号「再生と利用」編集内容について
事務局から資料 4 のとおり説明を行った。
食品残渣や焼酎粕などのメタン発酵においては消化促進のための薬品添加等の取組みも論述可能か執筆者に確認することとし、焼酎粕のメタン発酵槽は鋼板製の小型発酵槽を数個設置した方式と考えられ、このあたりは、下水道分野の今後の消化槽の考え方の参考として掲載すべきとの意見があった。150 号記念特集では頁ボリュームはかなりになるものと考え、その場合は、他の投稿報告や講座などは次号以降へスライドすべきとの意見があった。宮古島のさとうきび等からの燃料化においては、さとうきびも下水汚泥由来肥料からの作物である可能性もあるので、このあたり言及できるかは確認することとした。
- ③ その他意見交換について
良質な肥料は表には出てこないため、土壌協会の圃場試験結果による肥効性についてはもっと情報公開していくべきと考え、下水汚泥の有効利用を定義づける場合、「処理・処分」と「有効利用」の言葉の使い分けには注意すべきとの意見があった。また、バイオマスの有効利用のコンセプトとして飼料化→堆肥化→エネルギー化の順に考えていくべきとの意見があった。FAMIC 等の立入り検査で不適合になったところについては、下水道協会でその理由を含めて公表していくべきではな

いかとの意見もあった。近年はB/Cが成り立つのであれば、セメント化の方向に流れていく傾向にあり、今後も佐賀市のような肥料化の取組み等の成功事例を模索していくべきとの意見があった。下水汚泥焼却灰有効利用手法をグリーン購入法の特定調達品目にしていくには民間事業者、各地の工業試験所等の協力は欠かせないものと考えるが、スラグ等の有効利用を道路部局に進めても、環境・安全性の面から積極的には使用しないのが現状であるとの意見があった。



平成 27 年 6 月 30 日

第 137 回「再生と利用」編集委員会

本会中会議室

平成 27 年 7 月 29 日

第 150 号「再生と利用」編集担当者会議

東京ビックサイト 商談室

次号予告

（題名は執筆依頼の標題ですので
変更が生じることもあります）

論 説：「下水道資源を活用した今後の展望に向けて」

特別寄稿：「市民・地域主導での再生可能エネルギー普及による地域発展」

特 集：150 号記念特集

「歴代委員長からの祝辞」

「関係団体からのお言葉」

「編集委員からのお言葉」

「150 号までの歩み」

研究紹介：「嫌気性消化における硫酸還元とリン放出」

「下水汚泥焼却灰からのリン回収について」

講 座：「南但広域行政事務組合向け高効率原燃料回収施設について」

「焼酎粕のメタン発酵によるリサイクルシステムの取組み」

「酒粕や生ごみを利用したメタン発酵の実証について」

「木質バイオマス発電事業について」

特別報告：「下水道法の改正について～下水熱及び下水汚泥の利用促進について～」

「汚泥肥料に含まれる窒素化合物の可給性に関する粗画分」

投稿報告：「大阪市における固形燃料化事業について」

「中島浄化センター汚泥燃料化事業について」

報 告：「下水汚泥有効利用促進マニュアルの発刊（その 3 建設資材利用編）」

そ の 他：会報、行事報告、次号予告、関係団体の動き

編集後記

2015 ミラノ万博がイタリアで開催されていますが、6月17、18日には、日本館イベント広場において、「下水道が生み出すチカラ－新しい“いのちの循環”－」をテーマとした企画が出展されました。我々もかわっているビストロ下水道に関するものであり、本号でも紹介しています。6000人と非常に大勢の方に来場いただき、約1900人の方からアンケートの協力もいただき、好意的な意見をいただきました。ミラノで展示した下水道資源の循環を表現した模型は下水道展のパブリックゾーンでも展示しましたが、引き続き国

内外における食と下水道の連携が進むよう活動して行けたらと考えております。

本年7月に「下水汚泥有効利用促進マニュアル」2015年版を発刊しました。本誌でも4回に分けて内容を紹介していきますが、本マニュアルは、下水汚泥の肥料利用、建設資材利用、エネルギー利用の3分野技術の一つにとりまとめ発刊したものです。11月には、説明会も開催します。ぜひ手に取っていただき説明会にも参加いただけたらと思っています。

(M8)

「再生と利用」編集委員会委員名簿

委員長 委員

東北大学名誉教授
日本大学生産工学部土木工学科教授
長岡技術科学大学准教授
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
国立研究開発法人土木研究所
先端材料資源研究センター上席研究員
地方共同法人日本下水道事業団技術戦略部
課長代理
(公財)日本下水道新技術機構資源循環研究部副部長
国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構
東北農業研究センター水田作研究領域上席研究員
国立研究開発法人農業環境技術研究所
土壌環境研究領域長
(一財)日本土壌協会参与土壌部長兼広報部長
札幌市建設局下水道施設部
新川水処理センター管理係長
山形市上下水道部浄化センター水質係長
東京都下水道局計画調整部
技術開発課技術開発主査
横浜市環境創造局下水道施設部
栄水再生センター長
名古屋市上下水道局技術本部計画部
技術管理課主査(水質系技術開発)
大阪市建設局下水道河川部水環境課担当係長
広島市下水道局管理部管理課水質管理担当課長
福岡市道路下水道局下水道施設部施設管理課長

(順不同・敬称略)
(27.9.1現在)

野池達也
森田弘昭
姫野修司
和田直樹
南山瑞彦
島田正夫
落修一
西田瑞彦
川崎晃
仲谷紀男
村上栄一郎
工藤守之
冠城敏之
広武賢一
杉江淳
島田卓
福岡佳寛

「再生と利用」

Vol. 39 No. 149 (2015)

平成27年10月31日 発行
(平成27年第2)

発行所 公益社団法人 日本下水道協会

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

新刊案内

「下水汚泥有効利用促進マニュアル」

～持続可能な下水汚泥の有効利用を目指して～

平成 27 年 7 月 日本下水道協会発行

頒布価格 (CD-ROM 付) 26,000 円

員頒布価格 (CD-ROM 付) 13,000 円

本書は下水汚泥由来の資源・エネルギーの一層の有効活用に向けた時代ニーズに応えるため、これまでの下水汚泥有効利用関連の図書を 1 冊に統合したマニュアルです。

これまで、「下水汚泥の建設資材利用マニュアル(案) 2001 年版」、「下水汚泥の農地・緑地マニュアル 2005 年版」、等 を刊行し、一部の修正・見直しを行ってきました。

このような中、肥料利用においては汚泥由来の有機質肥料について調査を行い作物への施用効果の知見が蓄積されてきており、建設資材利用においては 1 部リニューアルを行ってきましたが、直近における民間や自治体の事例等を新たに調査し提供していく必要があり、またエネルギー利用においては近年バイオガスや固形燃料化などの有効利用技術手法も多様化しております。

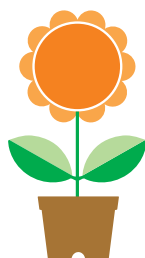
そこで、肥料利用、建設資材利用、エネルギー利用の 3 分野の技術を統合し、会員等の地域ニーズに適合した総合的な活用手法等を提供するため、最新の動向及び技術を盛り込んであります。

マニュアル目次構成

- 第 1 章 総則
- 第 2 章 下水汚泥利用促進の現状及び動向
- 第 3 章 各分野技術のマネジメント (Plan&Do)
 - 第 1 節 総説
 - 第 2 節 下水汚泥肥料
 - I 下水汚泥を原料とする肥料の基本事項
 - II 肥料化の適用事例
 - III マーケティングの充実に向けての課題と方策
 - 第 3 節 下水汚泥建設資材
 - I 下水汚泥を原料とする建設資材の基本事項
 - II 建設資材の適用事例
 - III マーケティングの充実に向けての課題と方策

- 第 4 節 下水汚泥エネルギー化
 - I 下水汚泥を原料とするエネルギーの基本事項
 - II エネルギー化技術の適用事例
 - III マーケティングの充実に向けての課題と対応策
- 第 4 章 総合的な評価と見直しの考え方
 - 第 1 節 評価の基本的な考え方と評価手法
 - 第 2 節 見直しによる改善・更新等に当たっての考え方
- CD-ROM の添付内容 (目次)
 - 1. 下水汚泥・有効利用にかかる主な各種法令一覧
 - 2. 公共事業における利用促進の具体事例 (マニュアル記載以外の事業実施事例)
 - 3. 汚泥有効利用促進に関する診断チェックシート

問合せ先 (公社) 日本下水道協会 技術研究部技術指針課
電話 03-6206-0369
FAX 03-6206-0796



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