

再生と利用

2018 Vol. 42

No. 157

主要目次

口絵	第30回 下水污泥の有効利用に関するセミナー（金沢市）	
巻頭言	金沢市の下水污泥エネルギー利用の取り組み	桶川 秀志
論説	下水污泥と草本バイオマスの混合消化	池本 良子
特集	下水熱 / エネルギー利用	
解説	下水熱をはじめとする下水道資源エネルギー利用に関するB-DASH技術	太田 太一
	バイオマス発電拡大への課題と取り組みについて	菊島大二郎
	新潟市における歩道での下水熱利用	清水 淳
	長野県における下水熱の有効利用に関する取組について	村松 賢一
	大津市における下水熱利用に向けた取組について	磯田 信二
	堺市鉄砲町地区における下水再生水複合利用事業	岡村 修
	東京都における下水熱利用の取組について	佐藤 勝
	メタン活用いしかわモデルー石川県中能登町における高濃度混合バイオマスメタン発酵ー	細川 彰仁
	珠洲市におけるバイオマスの有効利用について	女田 良明
	北広島市における下水とバイオマスの混合消化	藤本 正志、佐々木裕哉
	黒部市下水道バイオマスエネルギー利活用事業について	村椿 謙一
	広島市西部水資源再生センターにおける消化ガス発電事業について	巻幡 剛始
	下水処理場における地域バイオマス利活用	土屋 美樹
	神戸市の下水道における「こうべバイオガス」の活用	平田 卓也、有元 崇晃
	都市ガス事業の現況と取組み	岡 知廣
	佐野市水処理センターにおける再生可能エネルギー発電事業の取組み～消化ガス発電について～	齋藤 忍
	大垣市の消化ガス発電事業	清水 知一
	福岡市の消化ガス発電設備 メタックス'09	弥永 晃宏
	金沢市における消化ガス有効利用の取組み	青木 秀雄
報告	札幌市の雪処理における下水熱利用（融雪槽・下水道管投雪施設等）	田中 暁生
	東京都下水道局森ヶ崎水再生センター常用発電事業の状況について	並木 圭治
	第30回下水污泥の有効利用に関するセミナーパネルディスカッション概要	会場：金沢市
研究紹介	過剰繁殖する水草バイオマスの特性と持続可能な利用に向けて	戸田 龍樹、伴 修平
	活性污泥の嫌気性消化のプロセスシミュレーション	寺嶋 光春、安井 英斉
	小規模メタン発酵システムによる農業集落排水污泥の循環利用～実証試験の紹介～	柴田 浩彦
	花壇型人工湿地の開発～汚水処理施設のグリーンインフラ化を目指す～	中野 和典、大附遼太郎、橋本 純
文献紹介	脱水前下水污泥に脱墨パルプ製造工程で発生する焼却灰を混合して製造した複合材が土木工学的に利用できるのか環境特性を調査する	杉山 恵
Q&A	地域における未利用バイオマスの資源化	落 修一
コーススポット	坂戸、鶴ヶ島下水道組合における下水污泥を用いた肥料販売会の取組～下水道のPRに向けて～	春田 大喜
資料	お知らせ（投稿のご案内、広告掲載申込）、污泥再資源化活動、日誌・次号予告、編集後記・編集委員会委員名簿	

下水汚泥の有効利用に関するセミナー



多くの参加者が詰めかけ盛況に開催



開会あいさつする
石川県土木部板屋英治参事



金沢大学理工研究域環境デザイン学系
池本良子教授による特別講演

平成29年11月16日、17日の両日、金沢市・TKP金沢カンファレンスセンターにて「第30回下水汚泥の有効利用に関するセミナー」を開催しました。産官学の各団体から計8名の講師による講義のほか、パネルディスカッションを行い、下水汚泥を用いたメタン発酵など地域バイオマスの地産地消のあり方等について現状と課題、最新事例などの知見を共有しました。



パネルディスカッションの様様



地元民間企業による会場内パネル展示

2日目 現地見学会

中能登町鹿島中部クリーンセンター



メタン発酵槽



污泥改質設備

金沢市城北水質管理センター



卵形消化槽とガス発電施設



マイクロガスエンジン

2日目は中能登町鹿島中部クリーンセンター混合消化施設、金沢市城北水質管理センター消化ガス発電施設で現地見学を行いました。鹿島中部クリーンセンターでは高濃度汚泥の対応として設備小型化し低コスト化を図ったメタン発酵槽および攪拌設備、発酵促進のための污泥改質設備などを、城北水質管理センターでは消化槽およびマイクロガスエンジンなどを見学しました。

口
絵

第 30 回 下水汚泥の有効利用に関するセミナー（金沢市）

巻
頭
言

金沢市の下水汚泥エネルギー利用の取り組み 桶川 秀志 (5)

論
説

下水汚泥と草本バイオマスの混合消化 池本 良子 (6)

特集 下水熱 / エネルギー利用

解
説

- 下水熱をはじめとする下水道資源エネルギー利用に関する B-DASH 技術 太田 太一 (10)
- バイオマス発電拡大への課題と取り組みについて 菊島大二郎 (15)
- 新潟市における歩道での下水熱利用 清水 淳 (18)
- 長野県における下水熱の有効利用に関する取組について 村松 賢一 (21)
- 大津市における下水熱利用に向けた取組について 礪田 信二 (25)
- 堺市鉄砲町地区における下水再生水複合利用事業 岡村 修 (30)
- 東京都における下水熱利用の取組について 佐藤 勝 (33)
- メタン活用いしかわモデル
- ー石川県中能登町における高濃度混合バイオマスメタン発酵ー 細川 彰仁 (36)
- 珠洲市におけるバイオマスの有効利用について 女田 良明 (40)
- 北広島市における下水とバイオマスの混合消化 藤本 正志、佐々木裕哉 (44)
- 黒部市下水道バイオマスエネルギー利活用事業について 村椿 謙一 (48)
- 広島市西部水資源再生センターにおける消化ガス発電事業について 巻幡 剛始 (53)
- 下水処理場における地域バイオマス利活用 土屋 美樹 (57)
- 神戸市の下水道における「こうべバイオガス」の活用 平田 卓也、有元 崇晃 (61)
- 都市ガス事業の現況と取組 岡 知廣 (64)
- 佐野市水処理センターにおける再生可能エネルギー発電事業の取組
- ～消化ガス発電について～ 齋藤 忍 (67)
- 大垣市の消化ガス発電事業 清水 知一 (72)
- 福岡市の消化ガス発電設備 メタックス '09 弥永 晃宏 (76)
- 金沢市における消化ガス有効利用の取組 青木 秀雄 (80)

報告

- 札幌市の雪処理における下水熱利用（融雪槽・下水道管投雪施設等）…………… 田中 暁生 …… (83)
- 東京都下水道局森ヶ崎水再生センター常用発電事業の状況について…………… 並木 圭治 …… (87)
- 第 30 回下水汚泥の有効利用に関するセミナーパネルディスカッション概要…………… 会場：金沢市 …… (90)

研究紹介

- 過剰繁茂する水草バイオマスの特性と持続可能な利用に向けて…………… 戸田 龍樹、伴 修平 … (101)
- 活性汚泥の嫌気性消化のプロセスシミュレーション…………… 寺嶋 光春、安井 英斉 … (108)
- 小規模メタン発酵システムによる農業集落排水汚泥の循環利用
～実証試験の紹介～…………… 柴田 浩彦 … (114)
- 花壇型人工湿地の開発
～污水处理施設のグリーンインフラ化を目指して～…………… 中野 和典、大附遼太郎、橋本 純 … (121)

文献紹介

- 脱水前下水汚泥に脱墨パルプ製造工程で発生する焼却灰を混合して製造した複合材が
土木工学的に利用できるのか環境特性を調査する…………… 杉山 恵 … (128)

Q & A

- 地域における未利用バイオマスの資源化…………… 落 修一 … (129)

ニュースポット

- 坂戸、鶴ヶ島下水道組合における下水汚泥を用いた肥料販売会の取組
～下水道のPRに向けて～…………… 春田 大喜 … (131)

資料

- お知らせ（投稿のご案内、広告掲載申込）…………… (133)
- 汚泥再資源化活動…………… (136)
- 日誌・次号予告…………… (138)
- 編集後記・編集委員会委員名簿…………… (139)

※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

金沢市の下水汚泥エネルギー利用の取り組み

金沢市公営企業管理者
桶川 秀志



金沢市は、石川県のほぼ中央に位置し、市内には犀川、浅野川の清らかな流れ、この二つの川に挟まれた金沢城を中心とするように市街地が展開しています。

明治22年に市制を施行、戦災を受けず、城下町のまちなみ、文化や伝統を温存し、後数次にわたる隣接町村との合併を行いました。平成8年には全国11市とともに中核市に移行し、歴史や伝統、学術・文化を大切にしながらも、絶えず本市の個性と魅力に磨きをかけ、平成21年には「歴史都市」、「創造都市」として認められています。平成25年には新たな都市像「世界の交流拠点都市金沢」を策定しました。平成27年には北陸新幹線が開業されました。平成29年4月1日推計で人口456,265人の石川県の県都として、また北陸地方の中核都市として発展を続けています。

全国の都市が公共下水道の普及に力を入れ始めた昭和30年代の初め頃は、辰巳用水のほか市内を流れる多くの用水はきれいで、公共下水道の必要性はそれほど感じられていませんでした。しかし、経済の高度成長に伴い、市内各地での宅地化が進むにつれて、公共用水域の水質悪化が目立つようになりました。こうしたなか、金沢市においても公共下水道による環境保全が求められ、昭和36年度に旧市街地2,364haを中心とする第1期事業計画を策定し、昭和37年度から計画に基づく下水道工事に着手しました。

その後、都市計画決定による市街化区域の拡大に伴い、順次、全体計画を拡大し、継続的に面整備を行い、平成27年度に計画的な整備は概ね終了しました。

現在では、浅野、西部、臨海、犀川左岸、湯涌の5処理区、5処理施設で汚水を処理し、平成28年度末の下水道処理人口普及率は97.8%になり、建設から維持管理へ下水道事業の中心がシフトし、今後は下水道管路、下水処理施設の改築更新、耐震化事業を計画的に進めていきます。

下水道は市民の快適な暮らしを支える一方で処理工程中に大量の汚泥が発生し、本市では処理や資源化に工夫を凝らしてきました。

城北水質管理センター、臨海水質管理センターの2施設では、下水汚泥を「濃縮」、「消化」、「脱水」し、脱水ケーキは、石川県犀川左岸浄化センターの脱水ケーキと合わせ、城北水質管理センター内の汚泥共同処理施設で焼却しています。

城北水質管理センターで発生する消化ガスは、消化タンク加温用燃料としての活用に加え、この汚泥共同処理施設内で焼却炉の補助燃料としても利用されます。汚泥焼却炉稼働後は運用改善を行い、消化ガスが余剰傾向となったため、消化ガス発電設備を建設し、平成25年3月に稼働しました。この発電設備で発電した電力は、城北水質管理センターの場内で利用され、平成28年度には場内使用電力量の約14%を発電しました。

ほかにも汚泥焼却炉で発生する焼却灰は発生量の約30%が、アスファルトフィラーとして活用されています。

また、城北水質管理センターの下水処理水の放流水路に小水力発電設備を設置しています。

臨海水質管理センターで発生する消化ガスも消化タンク加温用に利用し、余剰分は燃焼していました。同じ企業局が営む都市ガス製造所が処理場に隣接していることから、平成13年度「金沢市新エネルギービジョン」のモデルプロジェクトとして都市ガス精製事業を選定しました。

平成17年5月に営業運転を開始し、平成28年度は標準世帯約2,300世帯分に相当する都市ガスを製造しました。

消化ガス精製設備は、更新時期が近づいており、消化ガスの新たな利用方策として、再生可能エネルギー固定価格買取制度を利用した民間事業者による発電事業を実施するため、事業者を募集しています。

西部水質管理センターでは下水汚泥を、「濃縮」、「脱水」、「乾燥」し、隣接する西部環境エネルギーセンターで一般ごみと混焼し、ごみ発電によるサーマルリサイクルとして活用しています。脱水ケーキの乾燥工程は、西部環境エネルギーセンターからの蒸気を利用し、含水率を40%に低減しています。

金沢の下水道は、これまで消化ガスを中心に下水汚泥のエネルギー利用に取り組み、平成28年度は全発生量約375万 m^3 の99.8%を有効利用し、年間の CO_2 排出削減量は約4,300tとなりました。

金沢市は、「エネルギー自立都市」の実現に向け、これまで本市の施設での太陽光発電、清掃工場や下水処理場などで再生可能エネルギーの導入を個々に進めてきましたが、再生可能エネルギーの導入計画を総合的に展開し、まち全体が「かなざわ次世代エネルギーパーク」として平成26年に認定されました。城北水質管理センターは、市内に点在する施設の中でも、拠点施設として位置づけられています。

下水汚泥がこれまでの廃棄物から資源として関心が高まる今日、資源としての活用には、設備の改築更新などに合わせ、技術革新の動向を見ながら進めて参ります。

論 説

下水汚泥と草本バイオマスの混合消化

金沢大学理工研究域環境デザイン学系 教授
サステナブルエネルギー研究センター (RSET) バイオマスエネルギー部門教授 (兼任)
金沢大学男女共同参画キャリアデザインラボラトリー長

池本 良子

キーワード：メタン発酵、軟化処理、高濃度混合消化

1. はじめに

下水道における嫌気性消化は、汚泥の減量化、安定化、無害化を目的として古くから行われてきたが、近年は、下水処理場でのメタンガス回収によるエネルギー自立化の柱として、再注目されている。

メタン発酵とは、バイオマス中の有機物を加水分解、酸発酵、メタン発酵の段階を経て、メタンガスに変換するプロセスである。下水道においては、投入汚泥濃度 2～3% の低濃度で、中温 (35～37℃) 条件、30 日程度の滞留時間の発酵が一般的である。この方法では、安定した処理が可能であるが、投入汚泥濃度が低く滞留時間が長いために、大型の消化槽を設置する必要がある。それに対し、消化槽の温度を 55℃ 付近に保って消化を行う高温消化では、反応速度が速いために 10～15 日程度で消化が進行することから、消化槽の小型化が可能となる。しかし、中温条件よりもアンモニアによる阻害を強く受けるために、安定性が悪いことが欠点である。一方、投入基質を高濃度化できれば、反応槽の小型化につながるが、汚泥は粘性が高いために、槽内の温度が高くなると消化槽の攪拌が難しくなる。また、投入汚泥濃度を高めると、槽内のアンモニア濃度が高くなるために、アンモニア阻害を受けやすいことが欠点である。そのため、高濃度で高温条件での消化技術の導入には、アンモニア阻害の緩和と攪拌技術の開発がブレークスルーポイントとなっている。また、嫌気性消化を行うことにより、汚泥の脱水

性が悪くなることや、消化後の汚泥の有効利用についても課題が残されている。

下水汚泥は、分解率が低く、メタンガス収率は、食品系廃棄物などと比較すると低いことから、近年、食品廃棄物や生ゴミなどを下水処理場に集約して下水汚泥とともにメタン発酵を行い、ガス回収量を増やす試みが各地で行われている。また、生ゴミをデイスポーザで下水処理場に集約してエネルギー回収を目指す試みもなされている。食品廃棄物や生ゴミの C/N 比は下水汚泥と同等であることから、アンモニア阻害の緩和にはつながらないことから、通常はアンモニア阻害に強い低濃度の中温消化が行われているが、石川県中能登町では、脱水汚泥を用いて投入濃度を 10% 程度まで高めた、高濃度中温メタン発酵の導入に成功している。

一方、高濃度化や高温化のために、消化槽のアンモニア濃度を低下させる方法として、アンモニアストリッピングによりアンモニアを除去する方法や、高い C/N 比の廃棄物を添加して高濃度化する方法が提案されている。稲わら、もみ殻、麦わら、雑草、芝などの草本バイオマスは、炭素分が 40% 程度を占めており、窒素分が少ないために、下水汚泥や生ゴミとの混合消化には適したバイオマスである。特に、稲わらは、現在、ほとんどが農地に漉き込み処理されており、温暖化ガス排出の原因となっていることが知られており、これまですき込んでいた稲わらを下水処理場に集約することにより、温暖化ガス発生量の抑制にもつながる。筆者らは、農業地域において安定的に存在する

稲わらを下水処理場に集約するための技術について、長年研究開発を行ってきた。ここでは、それらの概要について、説明する。

2. 草本バイオマスの前処理方法

草本類は、破碎しただけでは、水と親和性が低く、表面に浮いてしまうことから、そのまま消化槽に投入することは困難である。また、草本類は分解性の悪いリグニンに覆われており、分解性が悪いことから、水熱処理、爆砕、酵素処理、膨張軟化処理などの前処理が提案されてきた。中でも、膨張軟化処理は、簡単な処理で、稲わらの親水性を向上させるだけでなく、ガス発生量が1.4倍にまで増加することから、有効性が高い処理である。筆者らは、本前処理方式を適用して、バイオマスを軟化処理して、汚泥と混合してメタン発酵を行う技術について検討を行っている。

3. 下水汚泥と稲わらの混合中温消化

まず、既存の消化槽に稲わらを投入することを想定し、稲わらの添加効果について検討を行った。実験は容積1Lの消化槽を用いて、中温消化条件、滞留時間25日に設定して連続消化実験を行った¹⁾。装置は3系列準備し、Run 1には投入基質としてTS3%の汚泥のみを、Run 2, 3では、破碎処理した稲わらを汚泥の50% (TS比) で混合したものを、Run 3は、膨張軟化処理をした稲わらを混合したものを、その検討し

た。その結果、表2に示すように、TS比率で稲わらを50%添加しても良好なメタン発酵が進行すること、ガス発生量の増加は、用いた稲わらのガス生成ポテンシャルと同等であることを、膨張軟化処理によって、ガス発生量が増加することを明らかにした。加えて、簡易脱水試験を行った結果、稲わらの添加により脱水性が向上すること、脱水性の向上効果は、破碎しただけの稲わらを添加したほうが、膨張軟化処理をしたものを添加したものよりも高いことを明らかにした。

次に、稲わらを投入することによる脱水性向上効果について、容積10Lの消化槽を用いた連続試験と機械脱水試験により検討した結果、図1に示すように、稲わらを添加することにより脱水性が大きく向上することを示した²⁾。

最後に、下水処理場に稲わらを集約したことによる、処理水質への影響が懸念されたために、汚泥単独、稲わら単独および両者の混合消化実験を行い、脱離液の組成についてEEM解析を用いて検討を行った³⁾。その結果、稲わらの添加により脱離液中のフミン質濃度が大きく増加するが、汚泥との混合消化は、稲わらの単独消化の脱離液よりも低濃度であり、脱離液組成を改善することを明らかにした。

以上のことから、既存の消化槽にTSで50%の稲わらを添加することにより、ガス発生量が増加するだけでなく、脱水性が向上するために、発生する汚泥量に大きな差が生じないことから、既存の消化槽への稲わらの添加は有効な手段であると考えられた。

表1 草本バイオマスのメタン生成ポテンシャルと膨張軟化処理の効果

条件	稲わら				もみ殻		竹チップ		剪定材		よし		
	未処理	破碎	すり潰し	膨張軟化	未処理	膨張軟化	未処理	膨張軟化	未処理	膨張軟化	未処理	破碎	膨張軟化
投入バイオマス													
メタン生成量 (L/g)	0.17	0.19	0.19	0.26	0.013	0.040	0.027	0.034	0.012	0.016	0.03	0.11	0.14
ガス生成速度定数 (/d)	0.19	0.19	0.19	0.25	0.34	0.21	0.23	0.22	0.14	0.26	0.17	0.17	0.19
pH	8.0	7.8	7.8	7.5	7.8	7.7	8.0	7.8	8.0	7.8	8.8	8.4	8.5
培養30日後の脱離液の水質													
DOC (mg/L)	67	174	208	172	146	154	744	755	67	174	81	91	74
IC (mg/L)	672	687	693	627	557	574	621	611	672	687	764	785	773

表2 下水汚泥と稲わらの混合消化実験の結果

	Run 1	Run 2	Run 3
CH ₄ content in biogas (%)	58.9	58.7	58.6
VS removal efficiency (%)	63.9	53	56.4
Methane yield (NL/g-TS load)	0.27	0.24	0.27
Methane yield (NL/g-TS sludge)	0.27	-	-
Methane yield (NL/g-TS rice straw)	-	0.18	0.26
Average pH	7.2	7.2	7.3

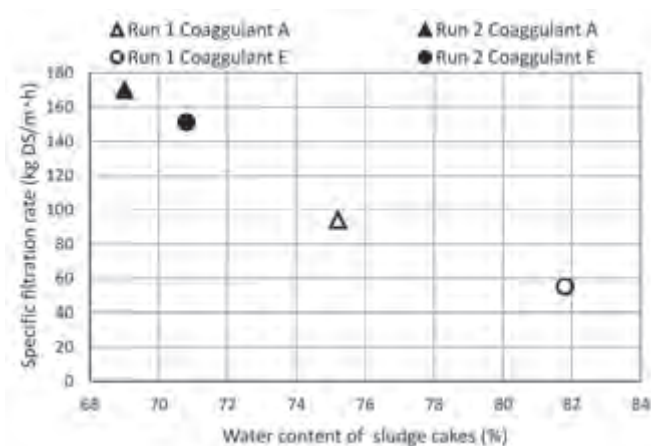


図1 消化汚泥の脱水性改善効果 Run 1: 汚泥のみの消化, Run 2: 汚泥と稲わらの混合消化

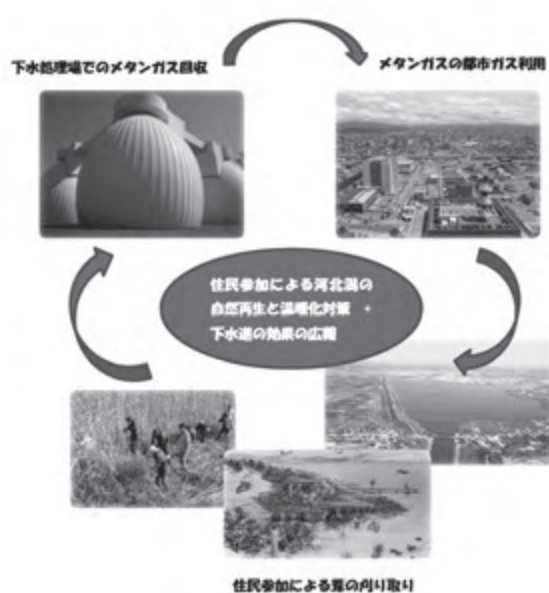


図2 提案するシステム



図3 稲わら刈り取りの様子

4. 湖沼刈取り葦の下水処理場消化槽への投入

富栄養化湖沼である河北湖周辺では、葦原の再生が行われているが、その刈り取りが課題である。ここでは、住民参加により葦の刈り取りを行い、下水処理場でメタン発酵を行うことにより、下水道のPRを行うシステム（図2）を提案し、試験を行った。当日はあいにくの雨天で、葦および雑草の刈取り量は、262 kgであり、メタンガス発生量（ポテンシャルから推定）は21 Nm³程度とわずかであったが、混合槽に投入しても施設の運転には大きな影響がないことを証明することができた。

このよう住民参加型のシステムができれば、湖沼環境の保全と温暖化防止、下水道の効果のPRにつながると考えられる。

5. OD 汚泥と稲わらの高濃度混合消化

小規模下水処理場に稲わらを集約し、OD 汚泥と混合メタン発酵を行い、残渣を炭化して、肥料として水田に戻すシステムを提案し、国土交通省 B-DASH (FS) 事業により、本技術とシステムの研究を行っている。

小規模下水処理場では発生汚泥が少ないばかりでなく、その多くで用いられているオキシデーションディッチ法で発生する汚泥は分解性が悪くガス発生量が少ないことから、メタン発酵導入のためには、バイオマスの集約が不可欠である。小規模な下水処理場の多くは周辺に農業地域を抱えているために、稲わらの集約は現実性が高い。一方で稲わらの農地へのすき込みは、シリカ分を農地に戻す手段でもあることから、稲わらを下水処理場に集約した場合には、生成した消



図4 稲わらと下水汚泥の高濃度混合高温消化と炭化を核とした地域内循環システム

化汚泥中のシリカをもう一度水田にもどすことは不可欠である。

現状でも多くの処理場が汚泥を乾燥、もしくは堆肥化して、肥料として配布しているが、通常は、果樹や畑地に使われており、水田に施用しているところは一部である。それは、乾燥肥料では取り扱いが難しいことや、臭気や下水汚泥のイメージなどへの抵抗が大きいと考えられる。そこで本研究では、バイオマスを初期燃料として用いて乾燥炭化を行い、炭化物の水田への適用を目指す。一方、稲わらの発生時期が限られていることから、その集約、保管方法も大きな課題である。本研究では、農業者や農業機器メーカーのヒアリングおよびアンケート調査を行い、実現可能なシステムの提案を行うものである。

現在、室内実験において、高温消化実験を行い、投入濃度と胃炎わらの混合比について検討を行うとともに、パイロットプラント実験を開始しているところである。

6. さいごに

稲わらを下水処理場に集約して、メタン発酵することにより、消化残渣の量をそれほど増やすことなく、下水道でのメタンガス回収量を増加させることが可能である。既存の中温消化槽に投入する方法も、小規模下水処理場向けのシステムとして適用する場合にも、技術的な課題よりも、稲わらの収集、保管と、汚泥肥料の流通というシステムの問題が大きい。農業者の理解および、農林部署の協力が不可欠であるが、今後も実現に向けて努力していきたい。

- 1) Effect of the Addition of Rice Straw on Microbial Community in a Sewage Sludge, E. Nakakihara*, R. Ikemoto-Yamamoto*, R. Honda*, S. Ohtsuki*, M. Takano**, Y. Suetsugu***, H. Watanabe, Water Science and Technology
- 2) Improvement of dewatering characteristics by co-digestion of rice straw with sewage sludge, Tingting Gu, Ryoko Yamamoto-Ikemoto, Eri Tsuchiya-Nakakihara, Haruki Watanabe, Yasutaka Suetsugu and Atsushi Yanai, Environmental technology, Volume 37, 2016 - Issue 23
- 3) Effects of biomass addition on organic composition of supernatant in sludge digestion process, Tingting Gu, Bin Shen, Ryoko Ikemoto, Ryo Honda, Proceedings of IWA world water congress & exhibition 201

特集：下水熱 / エネルギー利用

解 説

下水熱をはじめとする 下水道資源エネルギー利用に関する B-DASH※技術

国土技術政策総合研究所 下水道研究部 下水処理研究室

主任研究官 太田 太一

※ B-DASH プロジェクト：Breakthrough by Dynamic Approach in Sewage High Technology Project

キーワード：下水道革新的技術実証事業、下水熱、バイオガス、固形燃料化、バイオマス発電

1. はじめに

地球温暖化の顕在化や世界的な資源・エネルギー需要の逼迫が懸念され、循環型社会への転換、低炭素社会の構築が求められている中、下水道資源のエネルギー利用が注目されています。その利用として、下水熱や下水汚泥の利用が期待されています。

下水熱は、都市域における熱需用者との需要マッチングの可能性が高いエネルギーとして期待されており、そのポテンシャルは、約 80 万世帯の冷暖房・給湯に相当するとの試算がなされています。また、下水汚泥は、量・質ともに安定し、収集の必要が無く、エネルギー需要地である都市部において発生するという優位性を有するバイオマスであり、下水汚泥を全て発電に利用すると、約 110 万世帯の電力に相当するとの試算がなされています。

平成 27 年 7 月には、改正下水道法が施行され、「熱交換器の下水道暗渠内設置に係る規制緩和」や「下水汚泥の燃料化等の努力義務化」が規定されるなど、下水道資源の有効利用推進が国家的な課題となっています。また、新下水道ビジョン加速戦略（平成 29 年 8 月 10 日国土交通省下水道部）においても、資源利用の技術は、下水道活用による付加価値向上の推進として位置づけられています。

一方、下水道資源のエネルギー利用に関する技術は

様々開発されておりますが、地方公共団体は、一般化（ガイドライン化）されていない技術の採用を躊躇する傾向も否めないのが現状です。

2. B-DASH プロジェクト

そういった背景の中、新技術の研究開発及び実用化を加速することにより、下水道事業におけるコスト縮減や再生可能エネルギー創出等を実現する観点から、国総研下水道研究部と国土交通省下水道部が連携して、平成 23 年度より下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト）を実施しております（図 1）。

国総研からの委託研究により、受託者が実規模プラントを設置・実証し、国総研がその成果を踏まえて、下水道事業者による導入検討のための技術導入ガイドラインを策定し、もって普及を図るものです。

3. 技術導入ガイドラインの概要

国総研では、実証研究の成果を踏まえ、当該技術の技術導入ガイドラインを作成しております。技術導入ガイドライン作成にあたっては、有識者及び実務に精通した地方公共団体の下水道事業者の意見を聴取しながらとりまとめ、有識者による評価を受けています。なお、技術導入ガイドラインの構成は表-1のとおりです。

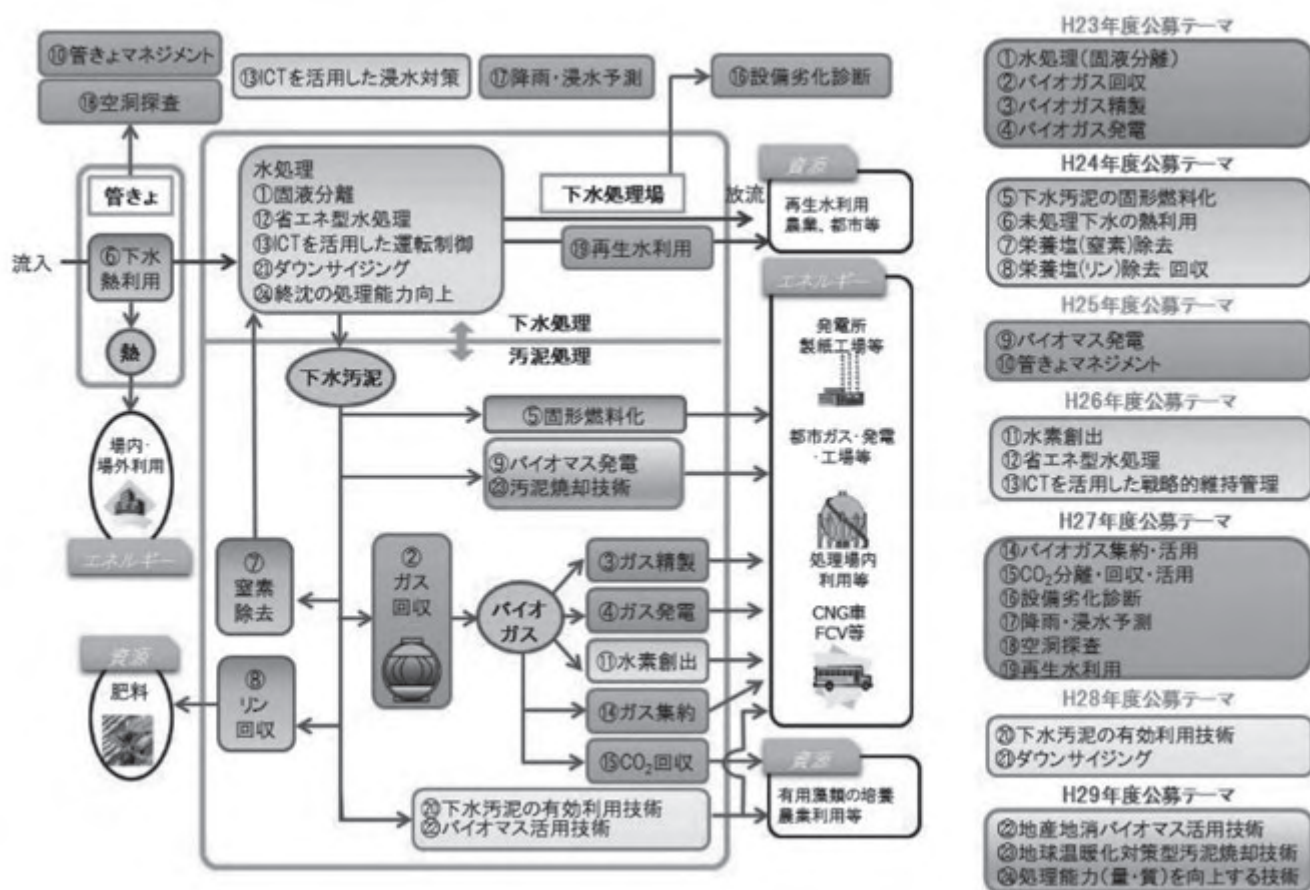


図1 B-DASHプロジェクト一覧

以下では、B-DASH 技術の実証研究成果を踏まえガイドライン化されたもののうち、下水道資源のエネルギー利用に関する内容について紹介します。

表-1 技術導入ガイドラインの構成

第1章 総則	目的、適用範囲、用語の定義
第2章 技術の概要	技術の特徴、適用条件、評価結果
第3章 導入検討	導入検討手法、導入効果検討例
第4章 計画・設計	導入計画、設計
第5章 維持管理	システムの管理等
資料編	実証結果、ケーススタディ等

4. 処理場外への下水熱利用

下水熱の処理場外利用については、平成2年に供用開始した幕張新都心ハイテク・ビジネス地区をはじめとして、文京区後楽一丁目・盛岡駅西口地区など、下水熱を利用した地域熱供給としていくつかの事例が存在します。これらは、ポンプ場や処理場の処理水・未処理下水から下水熱を採熱し、処理場外に熱供給を行っているものです。しかし、処理場外での下水熱利

用箇所について、平成24年度末時点では11件と少数でした。その一因として、下水処理場やポンプ場からの下水熱採熱に限られていたことが挙げられます。未処理下水の流れる下水管からの直接採熱が可能となれば、処理場等に限定されていた利用範囲が面的に広がり、下水熱活用の普及展開が加速することが想定されます。

そういった背景の中、平成24年度の公募テーマ「未処理下水の熱利用」が設定・実証され、平成26年度に「管路内設置型熱回収技術を用いた下水熱利用技術導入ガイドライン（案）」が策定されました。その後、下水道法改正なども受け、下水熱利用箇所は、平成28年度末で全国20件の事例を数えるほどとなり、近年も増加傾向にあります。

【管路内設置型熱回収技術を用いた下水熱利用（積水化学工業（株）・大阪市・東亜グラウト共同研究体）】

下水管内に更生工事と同時に熱交換器を設置し、回収した下水熱を空調、給湯、融雪等に有効利用する技術です。未処理下水と熱回収管が直接触れる構造となっており、効率的な熱回収が可能となっています（図2）。

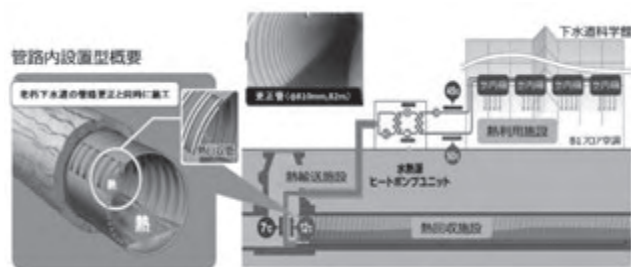


図2 技術概要(実証場所:大阪市海老江下水処理場)

5. 下水汚泥の有効利用

平成 27 年度末における下水汚泥エネルギー化率（下水汚泥中の有機物のうち、バイオガス発電や固形燃料化等、エネルギー利用された割合）は、未だ約 16%（平成 25 年度末）の水準にとどまっており、社会資本整備重点計画の目標（30%；平成 32 年末）に向け、効率的な技術の導入が必要です。そうした背景の中、バイオガス回収・精製・発電、水素製造技術、固形燃料化技術及び排熱発電技術などのテーマが設定・実証・ガイドライン化されました。

1) バイオガス回収・精製・発電

平成 23 年度に、「バイオガス回収技術」「バイオガス精製技術」「バイオガス発電技術」等に係る革新的技術を含むシステムについて公募が行われ、2 件の実証研究が採択されました。その後、実証を経て「バイオガスを活用した効率的な再生可能エネルギー生産システム技術導入ガイドライン（案）」「超高効率固液分離技術を用いたエネルギーマネジメントシステム技術導入ガイドライン（案）」が策定されました。

その後、「バイオガスを活用した効果的な再生可能エネルギー生産システム」については、愛知県矢作川浄化センターにおいて採用・導入され、建設コストの縮減、維持管理費の軽減、環境負荷の低減等に貢献しています。



図3 技術概要（実証場所：神戸市東灘処理場）



図4 技術概要（実証場所：大阪市中浜下水処理場）

【バイオガスを活用した効果的な再生可能エネルギー
生産システム ((株) 神鋼環境ソリューション・神戸
市共同研究体)】

本技術は、食品など地域バイオマスを受け入れることによりバイオガス回収量を増加させるとともに、鋼板製消化槽をヒートポンプで加温することによりバイオガスの有効利用量を増加させ、パッケージ化精製装置で高品質に精製し、自動車燃料等に活用する技術システムです（図3）。

【超高効率固液分離技術を用いたエネルギーマネジメントシステム（メタウォーター・日本下水道事業団共同研究体）】

本技術は、担体を用いて固液分離を高度化することにより生汚泥の回収を増やし、汚泥の消化により得られるバイオガスを100%活用してハイブリッド型燃料電池にて発電する技術システムです（図4）。

2) 水素創出

平成 26 年度に、「下水汚泥から水素を創出する創エネ技術」をテーマとして公募し、1 件が採択されました。実証を経て、「下水バイオガス原料による水素創エネ技術導入ガイドライン（案）」が策定されました。

水素関連の動きとして、平成 27 年度から平成 28 年度にかけて、「水素社会における下水道資源利活用検討委員会」が開かれ、下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン - 改訂版 - (平成 30 年 1 月) において、水素製造・供給技術に係る内容等が追記されております。

【下水バイオガス原料による水素創エネ技術（三菱化工機（株）・福岡市・九州大学・豊田通商（株）共同研究体）】

前処理技術（ガス分離膜により CO₂ を除去し、高濃度メタンの精製）、水素製造技術（メタンと水蒸気の反応による水素製造及び CO₂ 吸着により高純度水素の精製）、水素供給技術を組み合わせた技術です。下水道バイオガスから効率的に水素を製造し、燃料電池自動車への供給が可能となり、下水道事業の水素社会への貢献が期待されます（図 5）。

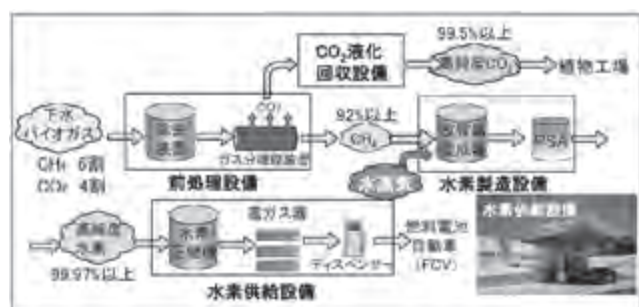


図5 技術概要 (実証場所:福岡市中部水処理センター)

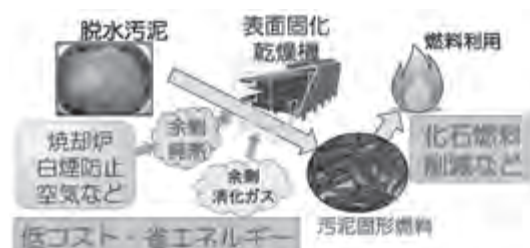


図6 技術概要 (実証場所:松山市西部浄化センター)

3) 下水汚泥の固形燃料化

バイオガスを用いた創エネの他に、下水汚泥を固形燃料化する技術などがあります。平成24年度では、「下水汚泥固形燃料化技術」をテーマとして公募し、2件採択されました。実証を経て、「排熱利用型低コスト下水汚泥固形燃料化技術導入ガイドライン（案）」「温室効果ガスを抑制した水熱処理と担体式高温消化による固形燃料化技術導入ガイドライン（案）」が策定されました。

【排熱利用型低コスト下水汚泥固形燃料化技術（JFEエンジニアリング）】

処理場内の既設焼却炉からの白煙防止空気等の低温廃熱（250～350℃）を利用して下水汚泥を乾燥し、低コスト・省エネルギーで汚泥固形燃料を製造する技術です。固形燃料を焼却炉の補助燃料代替として使用することにより、補助燃料使用量の削減効果も期待できます（図6）。

【温室効果ガスを抑制した水熱処理と担体式高温消化による固形燃料化技術（長崎市・長崎総合科学大学・三菱長崎機工共同研究体）】

本技術は水熱処理、消化、固形燃料化の三つの工程で構成されます。水熱処理により加水分解した有機物を消化ガスに転換し、補助燃料として活用することにより、残渣を固形燃料化する際の温室効果ガスの排出を抑制することが可能です（図7）。

4) バイオマス発電

焼却工程で発生する廃熱を活用して発電することにより、エネルギーを創出することが可能となります。そこで、平成25年度は、「バイオマス発電」をテーマとして公募がなされ、2件採択されました。実証を経て、「脱水・燃焼・発電を全体最適化した革新的下水汚泥エネルギー転換システム技術導入ガイドライン（案）」「下水道バイオマスからの電力創造システム技術導入ガイドライン（案）」が策定されました。

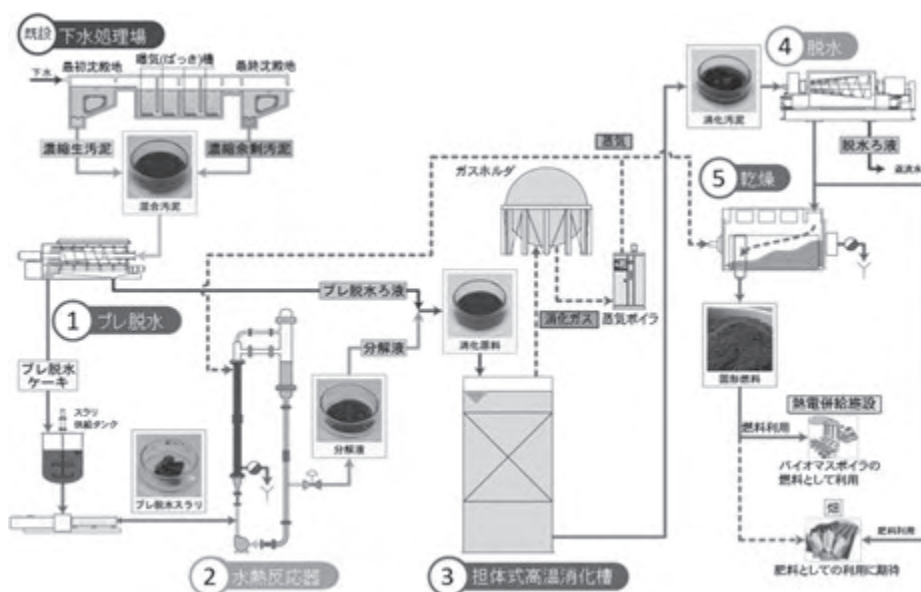


図7 技術概要 (実証場所:長崎市東部下水処理場)

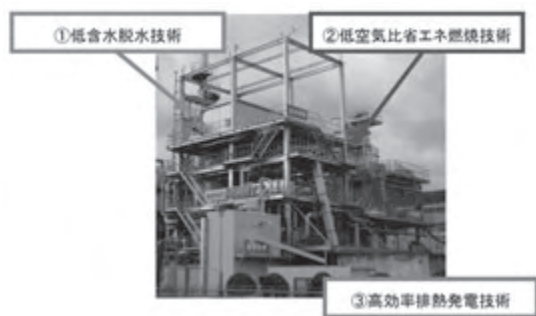


図8 技術概要 (実証場所：池田市下水処理場)

【脱水・燃焼・発電を全体最適化した革新的下水汚泥エネルギー転換システム（メタウォーター・池田市共同研究体）】

脱水・燃焼・発電を全体最適化した革新的下水汚泥エネルギー転換システムの実証研究では、発電技術に地熱発電等で実績があり、低温度差で発電が可能なバイナリー発電技術を採用し、システム全体で効率的となるように各設備の運転を連携制御することで更なる省エネルギー化・コスト縮減が可能です（図8）。

【下水道バイオマスからの電力創造システム（和歌山市・日本下水道事業団・京都大学・(株)西原環境・(株)タクマ共同研究体）】

下水道バイオマスからの電力創造システム実証研究では、焼却技術に低消費電力の階段炉を、発電技術に小型蒸気発電とバイナリー発電を採用することにより、小規模施設でも十分な発電量を確保できます（図9）。

6. B-DASH 技術の普及展開

前述のとおり国総研では、B-DASH プロジェクトを通して、様々な技術を実証・ガイドライン化しております。これらの技術導入ガイドラインを地方公共団体や下水道関係企業等に紹介するため、毎年下水道展にてガイドライン説明会を開催し、百名近くの方々に参加頂いたところです。ガイドライン説明会では、当該年度に策定されるガイドラインを紹介するとともに、過去に実証された技術のその後の普及状況も報告されます。中には、当該技術の導入を行った地方公共団体による紹介もあり、当該技術の有効性などについて、現場の生の声を知ることができます。

今後も、地方公共団体の皆様が、革新的技術を導入しやすくなるよう、説明会等を通じて技術導入ガイドラインを積極的に紹介し、革新的技術の普及に努めていく所存です。

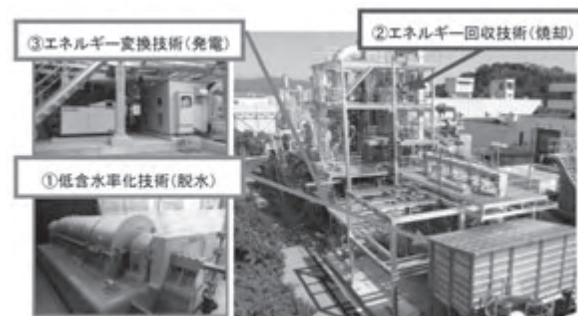


図9 技術概要 (実証場所：和歌山市中央終末処理場)

7. 最後に

ガイドライン化された技術を中心に紹介しましたが、現在、平成28及び29年度に採択された技術を実証中であり、逐次ガイドライン化する予定です。また、平成28年度から、実規模実証の前段階としてFS調査も実施しており、「消化工程なしで下水道資源から水素を製造する技術」等も調査中です。

今回紹介した内容の詳細については、国総研ホームページにて公開していますので、ご参照ください。

<http://www.nilim.go.jp/lab/ecg/bdash/bdash.htm>

なお、「下水道事業におけるエネルギー効率に優れた技術の導入について」（平成29年9月14日：国土交通省下水道部）が発出されており、エネルギー効率に優れた技術の導入を図る必要があります。地方公共団体におかれましては、技術導入ガイドラインを参考としてご活用いただくなど、効率性の高い技術の導入に努めていただければ幸いです。



写真1 ガイドライン説明会の状況

特集：下水熱 / エネルギー利用

解 説

バイオマス発電拡大への課題と
取り組みについて

資源エネルギー庁 新エネルギー課

菊島 大二郎

キーワード：FIT、メタン発酵ガス、地域自立

我が国のエネルギーの自給率向上は大きな課題の一つとなっており、自然の力を電気エネルギーに変換する「再生可能エネルギー」の導入拡大に期待が寄せられている。

具体的には、2015年7月に経済産業省が策定した「長期エネルギー需給見通し」によると、2030年度における我が国の電源構成において再生可能エネルギーは22%～24%程度となると見通されている。

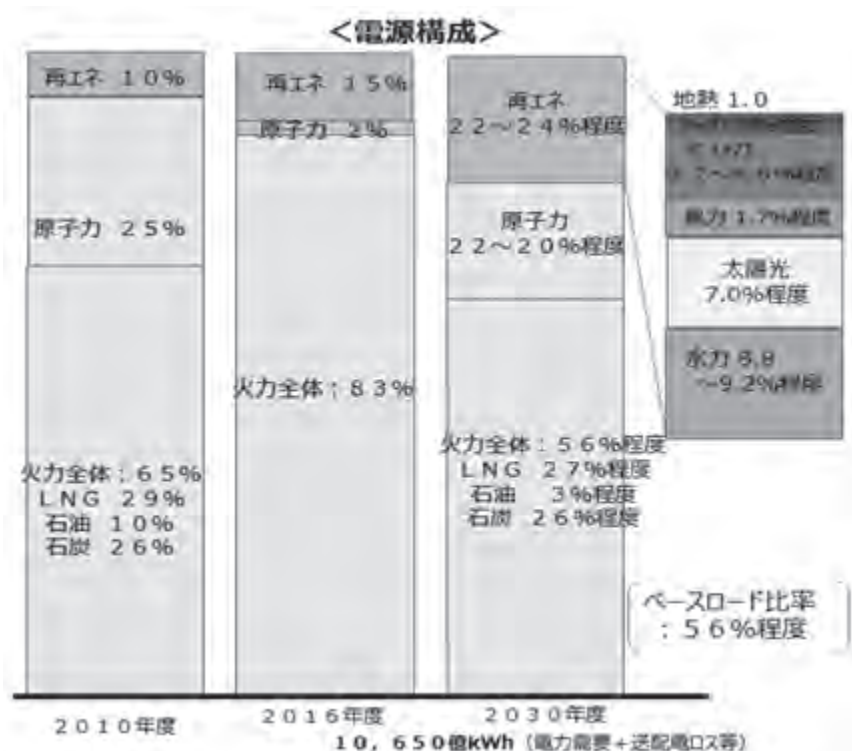
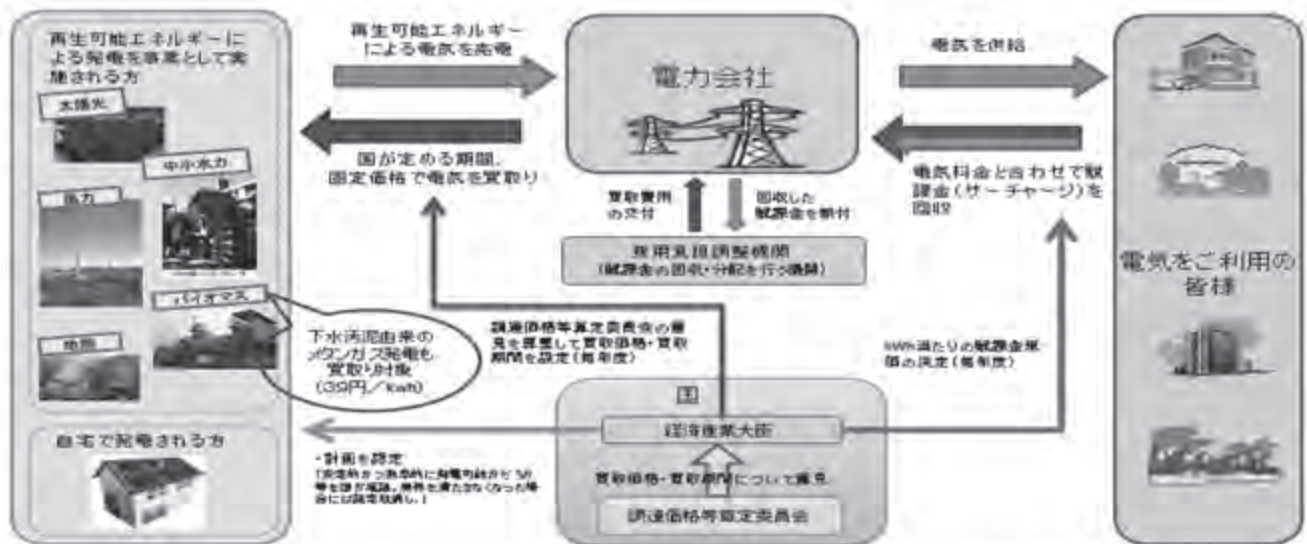


図-1 長期エネルギー需給見通し (2015年7月)

しかし、再生可能エネルギーは、火力発電や水力発電と比べて、発電量に対する発電コストの高さなどの理由から、普及がなかなか進んで来なかった。そこで、電気を利用される方々からの支援により再生可能エネルギーを普及させ、将来的には自立した電源となることを目指すため、2012年7月からスタートしたのが「再

生可能エネルギーの固定価格買取制度」(以降「FIT」と表記)である。

FIT においては、太陽光、風力等の様々な電源毎、更に発電規模等に応じて、1kWh 当たりの調達価格や調達期間が定められている。下水汚泥由来でのメタン発酵ガス発電の場合も FIT の対象となっている。



電源	調達区分	バイオガスの例		1kWh当たり調達価格				調達期間
				平成28年度(基準)	平成29年度	平成30年度	平成31年度	
バイオガス	メタン発酵ガス(バイオガス由来)	下水汚泥・農業廃棄物・食品残渣由来のメタンガス		39円+税		39円+税		20年前
	間伐材等由来の木質バイオガス	2,000kW以上	間伐材、主伐材 ^{※6}	32円+税		32円+税		
		2,000kW未満		40円+税		40円+税		
	一般木材バイオガス ^{※7}	20,000kW以上	製材端材、輸入材 ^{※8} 、パーム椰子殻、パームトランク、もみ殻、稲わら	24円+税	(平成29年9月まで24円+税)		21円+税	
		20,000kW未満					24円+税	
	建設資材廃棄物		建設資材廃棄物(リサイクル木材)、その他木材	13円+税		13円+税		
	一般廃棄物・その他バイオガス		固定床・木くず、紙、食品残渣、農食用油、黒液	17円+税		17円+税		

図-2 「再生可能エネルギーの固定価格買取制度」(FIT) の仕組みとバイオマスの区分

設備導入量（運転を開始したもの）		認定容量		ミックスの導入見直し	
バイオマスの種類 及び 買取価格	固定価格買取制度導入 後 平成24年5月までの 累積導入量	固定価格買取制度導入 後 平成24年7月～ 平成25年3月までの 導入量	平成24年7月～ 平成25年3月までの 認定量		
未利用材 (2,000kW未満、40円/2,000kW以上、32円)	2万kW	30万kW (38件)	50万kW (12件)	24万kW	
一般材等 (24円/平成25年10月以降20,000kW以上は21円) (28)	15万kW	33万kW (30件)	1,147万kW (383件)	274～400万kW	
リサイクル材 (14円)	44万kW	1万kW (2件)	9万kW (6件)	37万kW	
廃棄物・木質以外 (14円)	168万kW	19万kW (84件)	26万kW (97件)	124万kW	
メタンガス (35円)	2万kW	3万kW (93件)	10万kW (257件)	16万kW	
合計	233.6万kW	85万kW (218件)	1,242万kW (845件)	602～728万kW	

図-3 2017年3月末時点における再生可能エネルギー発電設備の導入状況

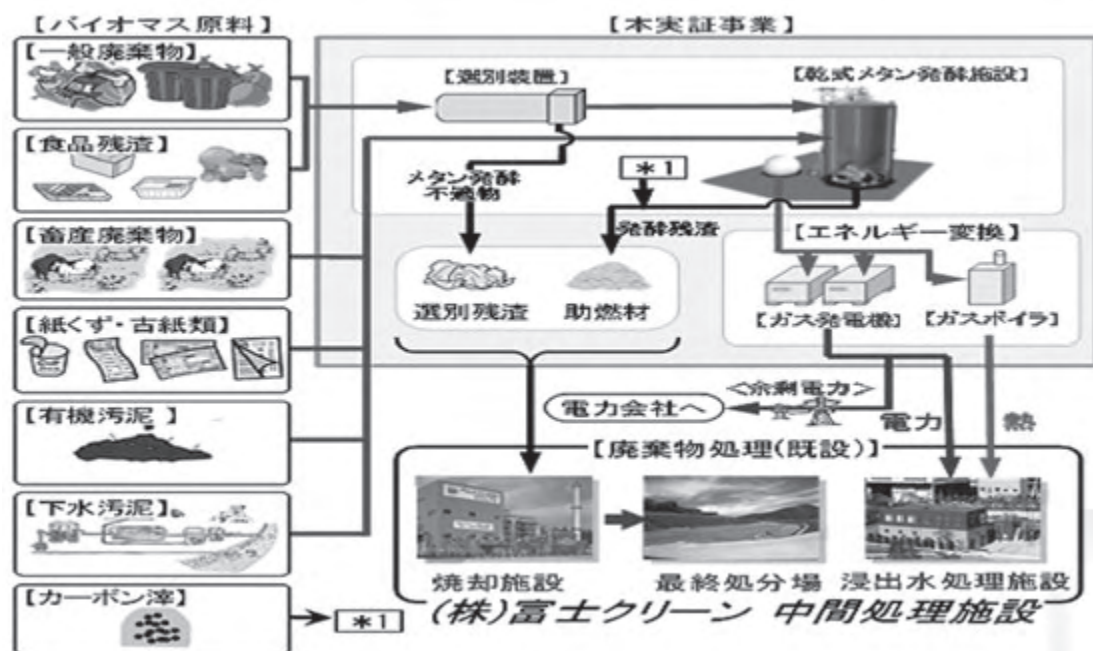


図-4 「地域で自立したバイオマスエネルギーの活用モデルを確立するための実証事業」の下水汚泥等の廃棄物をメタン発酵する実証

一方で、バイオマスでの採算性を確保しながら事業を継続していくことは様々な課題があるところである。このような課題に対し、これからバイオマスエネルギー事業に取り組もうとする方々を想定し、留意すべきポイントや工夫、考え方をまとめた「技術指針・導入要件（ガイドライン）」の策定を行い、事業の「壁」を低くすることで、FITに頼らない持続可能な事業を普及させたいと考えている。

具体的には、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構が2014年から2020年で行なう「地域で自立したバイオマスエネルギーの活用モデルを確立するための実証事業」で、「技術指針・導入要件（ガイドライン）」を行うこととしている。

本事業は、公募・採択した案件について事業可能性のフィージビリティスタディ（FS）を1年ほどかけて行い、その後、事業採算性の見込みのある案件を選別し、確度の高い案件に対し、実証を数年かけて行っていくという事業である。そして、同時にFSや実証で得られた内容を「技術指針・導入要件（ガイドライン）」に反映することとしており、このようなローリングを繰り返すことで、「技術指針・導入要件（ガイドライン）」がより実用的なものになることを目指している。

ここで、現在の5つの実証段階の案件のうち下水汚泥等の廃棄物をメタン発酵させる実証例があるので、以下に紹介したい。

株式会社富士クリーンが建設する、廃棄物をメタン発酵させてバイオガスをエネルギー源として回収する施設において、栗田工業株式会社の「乾式メタン発酵技術」を用いる案件である。乾式メタン発酵システムは、比較的含水率の低いバイオマスに対し、高温（55℃程度）でメタン発酵しバイオガスを得るシステムであり、湿式メタン発酵に比較すると排水発生量が少ないという特徴を有している。

このような特徴をもったシステムを活用しつつ、地域から発生する多種類の混合系バイオマスにより生産したバイオガスで発電・熱利用することで、地域自立システムの事業性を実証するものである。

このように、バイオマス事業を持続的な事業として成功させるには、バイオマスエネルギー利用をきっかけに地域とのWin-Winの関係を築くための知恵と工夫に加え、行政をはじめとする幅広い関係者との協力を行うことが必要である。

「技術指針・導入要件（ガイドライン）」では、このようなポイントを各段階に分けて記載しており、留意点を分かりやすく記載することとしている。

現在、2017年9月版が最新である。今後も更新を図ることとしているが、本書が、バイオマスエネルギー事業を計画する際に参考にされ、事業成功の一助となることを期待している。

http://www.nedo.go.jp/library/biomass_shishin.html

特集：下水熱 / エネルギー利用

解 説

新潟市における歩道での下水熱利用

新潟市下水道部 下水道計画課

清水 淳

キーワード：下水熱 管底設置型 ヒートポンプレス

1. はじめに

新潟市は山から離れた日本海沿岸部新潟平野のほぼ中央に位置し、新潟県内でも雪の少ない地域になるが、いったん降雪があると気温が低いために道路の雪は融けない。そのため、積雪により幅員が狭くなり、通勤通学その他、高齢者や子供連れなどの歩行に支障をきたす場合が多く見られる。本年1月11日には8年ぶりに新潟市中心部でも80cmを超える積雪を観測し、交通機関の運休や学校の休校など市民生活に大きな影響が出た。

積雪時には、市で管理する車道については業者によ

る除雪が行われ、交通に支障がない状態になるが、30cmを超える積雪となると車道除雪が追い付かず、歩道と車道の境界部分に雪の山が残ってしまう。また、歩道については、通学路以外は、ほとんどが除雪対象となっておらず、市民の協力で除雪が行われているのが現状であり、歩道除雪にまで手が回っていない状況が多く見られる（写真－1）。その結果、歩道は雪が積もっている状態となり、歩行者の歩くスペースがなく、歩道除雪を要望する声が多くなり、歩行者空間の確保が課題であった。

2. 試験施工による実証

本市では、積雪時にマンホール蓋上の雪が融けていることに着目し、下水熱を歩道融雪に利用できないかということで検討を進めた。はじめに、下水熱に関する知見を深めるために、平成24年度、25年度にデータ収集を目的とした、ヒートパイプを使用した動力源を必要としない下水熱融雪システムをバス停周辺のバスを待つ空間といったスポット的な融雪を市内2ヶ所で試験施工し、データ収集を行った。

その結果、スポット的な融雪で十分な効果が得られた（写真－2）。また、このシステムにおいては動力源および制御設備が不要となることから、省スペースかつCO₂の発生ゼロでの稼働が可能となるメリットもある。



写真－1 平成21年12月 積雪状況



写真-2 歩道融雪状況



写真-3 市役所前バスターミナル全景

3. 交通結節点での導入

次のステップとして、今後の下水熱利用の普及拡大を視野に、過去2施設のようなスポット的な融雪ではなく、より広範囲となる歩道を線的に融雪する設備の導入検討を行った。

政策面では、本市は平成25年度に国から環境モデル都市に選定されるなど、まちづくりの方向が低炭素型都市づくりにシフトし、過度な自動車依存からの脱却を図るために、公共交通の利用促進を進めている。

その取り組みの一つとして、連節バスを活用した次世代型バスシステム（BRT）の導入を進める一方で、公共交通の利用促進には、積雪時においても歩行者が快適に利用できる歩行者区間の確保が課題となっていた。そこで、交通結節点となる市役所前のバスターミナルの整備に合わせて下水熱を利用した歩道融雪を取り入れることで、公共交通のさらなる利便性向上と下水熱エネルギー利用による省エネ・CO₂削減効果を狙った（写真-3）。

4. 導入システム概要

これまで、本市ではヒートパイプを使用したバス停周辺の融雪に限定したランニングフリーで動力や制御設備を必要としないシステムで整備・検証を行ってきた。その結果、バス停周辺の小面積での効果は確認できたが、歩道を線的に融雪するには熱量が足りないことがわかった。そこで、広範囲となった融雪面積に対応する熱量を得るために、国土交通省で取り組む下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト）で、ガイドライン化された革新的技術である管内設置型熱回収技術を参考にした下水熱回収システムを構築した（図-1）。

本来は、管路更生工事と同時に採熱管（熱交換器）を設置する技術であるが、本システムでは、採熱する管路が更生済みであったことから、管路の管底に採熱管を設置する管底設置型熱交換方式とした。採熱管を管更生と同時に施工できないためにイニシャルコストが高くなるが、融雪範囲を限定することでヒートポンプによる加温を必要としない、下水から得られた熱のみで融雪するヒートポンプレスのシステムとすること

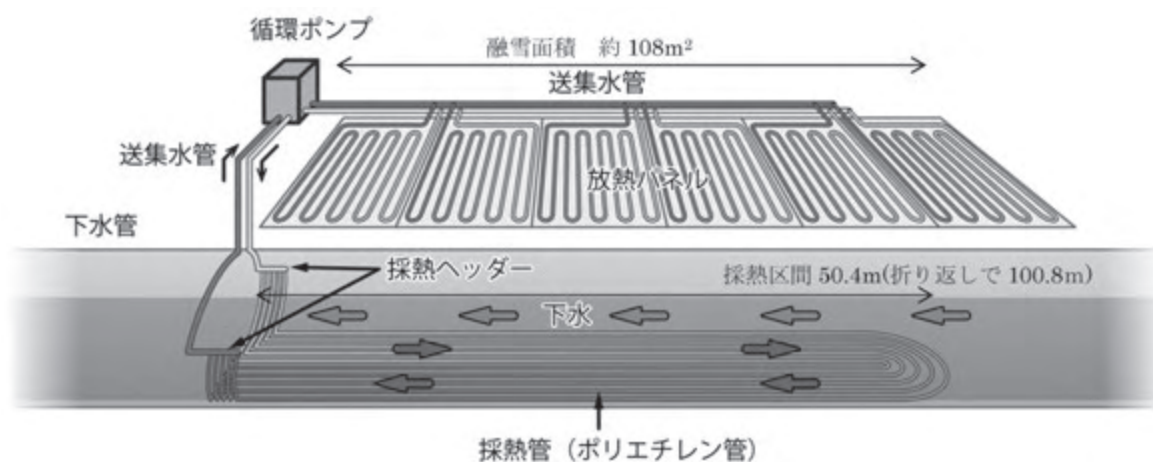


図-1 システム概要図

で、イニシャルコストとランニングコストを抑えることとした。

本設備の運転制御については、5℃から6℃と低温の不凍液を循環させるため、路面の積雪や凍結が予想される間は運転を行える制御を考え、気温・路温の2要素を制御条件とし、それぞれ4℃以下で予熱運転として間欠運転し、2℃以下で連続運転となる。また、気温5℃または路温7℃と運転開始条件よりも上昇した状態になると運転が停止する。

5. 融雪能力と効果

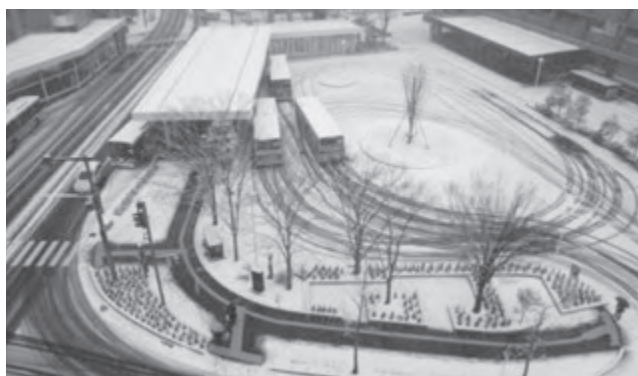
必要熱量は、融雪に必要な熱量と凍結防止に必要な熱量を比較し、大きい方の熱量123W/m²を採用した。また、融雪に必要な熱量については、雪が降り続けているときにすべての雪を融解し、常に路面に雪がなく歩行に支障の無い状態に保つことが理想であるが、気象条件（表－1）以上の降雪が発生した場合は、路面全体が雪で覆われている状態まで許容できるものとし、1時間あたり1.49cmの降雪に対応するものとした。

融雪状況としては、外気温や下水温度などにも左右されるが、1時間あたり3cmの降雪であっても歩道上の雪が十分融けていることが確認できた（写真－4）。

6. トータルコストの削減

（1）イニシャルコスト

一般的に本市で採用される融雪方式は電熱方式で、イニシャルコストについて比較すると電熱方式が本システムより安価という結果となっている。このイニシャルコストの問題を解決することが下水熱の利用拡



写真－4 平成28年1月 融雪状況

表－1 気象条件

項目	数値	単位
日降雪深	6.0	cm/day
外気温	-0.04	℃
風速	3.61	m/s
降雪深	1.49	cm/h
降雪密度	80	kg/m ³

大に繋がる大きな要因であると考えている。

イニシャルコスト削減のポイントとしては熱交換器の設置にあると考えられる。現在、全国的にも下水道管の老朽化対策や地震対策の一環で管更生工事が行われている。管更生工事と同時施工で熱交換器を設置する方法などを採用し、老朽化対策や地震対策を兼ねることで、下水熱利用としてのコストを削減することが可能となる。また、設置費用の助成の面でも国の各省市でエネルギー利用に関する補助があるため、適用可能か確認のうえ利用することで大幅にコストを削減することが可能となる。

（2）ランニングコスト

運転費用の面では、電熱方式と比べるとシステムの稼働に必要な電力量が少ないため、大幅なコスト削減となる。さらに本システムではヒートポンプを使用しないため、より電気料金が安価となる。電力量を抑えた結果がCO₂削減につながるため、環境負荷の低減としても魅力あるシステムとなる。

管路の清掃などの維持管理については、これまでの経過観察により、設置初期に採熱管への夾雑物の付着が確認されたが、下水の流下機能に支障となるほどでないため、本システム導入による維持管理費の増加はなかった（写真－5）。

7. おわりに

下水熱の融雪利用は本市の気候に合った利用方法であり、同様に積雪のある地域でも利用の可能性が高いものである。本市としては、よりコストを低減できるシステム構成の検討を進めるとともに、融雪技術がさらに普及拡大するために車道部での融雪の可能性についても検討したいと考えている。

今後もこの技術を精錬しエコで低コストなシステムとして全国に発信し、下水道の価値が広く認識され、より身近な技術となるよう努めていきたい。



写真－5 管路内の状況

特集：下水熱 / エネルギー利用

解 説

長野県における下水熱の有効利用に関する取組について

長野県環境部生活排水課

課長補佐兼流域下水道係長 村松 賢一

キーワード：地球温暖化対策、下水熱利用、手続要領

1 はじめに

長野県は雄大な山岳に囲まれ、美しい自然と清らかで豊かな水資源に恵まれています。このため、住民の水環境への関心が高く、県と市町村が連携を図りながら計画的かつ効率的な生活排水施設の整備を進めてきました。その結果、平成 28 年度末の汚水処理人口普及率は 97.6% と、都道府県の中で 6 番目となっています（図 1）。

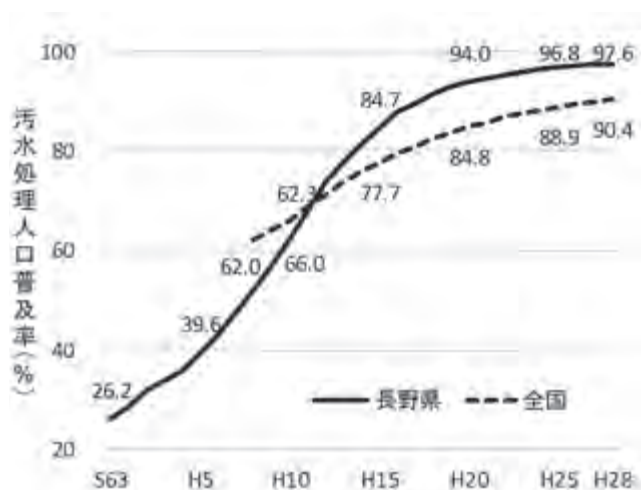


図1 長野県の汚水処理人口普及率の推移

長野県の流域下水道事業は、経済成長により水質汚濁が進んだ諏訪湖や天竜川の水質保全と諏訪地域の生活環境の改善を図るため、昭和 48 年に諏訪湖流域下水道に着手し、昭和 54 年に供用しました。その後、平成 3 年には千曲川流域下水道下流処理区、平成 8 年には千曲川流域下水道上流処理区、平成 9 年には犀川安曇野流域下水道が供用し、現在は 3 流域 4 処理区で事業を行っています。

2 地球温暖化対策と環境エネルギー戦略

長野県ではこれまで様々な環境エネルギー戦略等を進めてきましたが、平成 30 年度から新たな長野県総合 5 カ年計画、第四次長野県環境基本計画のもと、「SDGs」の一つの行動によって複数の課題を総合的に解決するマルチベネフィットの理念を踏まえ、地球温暖化対策と環境エネルギー施策の総合的な推進及び、再生可能エネルギー 100% 地域へ向けた取組みを進めることとしています。

これまでの流域下水道の主な取組みとしては、諏訪湖流域下水道において、水処理カバーをエネルギー事業者に貸し出し、平成 25 年度から太陽光発電を行っている（写真 1）ほか、犀川安曇野流域下水道では、平成 26 年度から消化ガスを利用した消化ガス発電を行っており、処理場電力の約 30% を賄っています。

しかし、下水道事業は、公衆衛生の確保や水環境の



写真1 太陽光発電設備
(諏訪湖流域下水道 クリーンレイク諏訪)

保全に大きく貢献する一方、下水処理工程で大量にエネルギーを消費するとともに、大量に温室効果ガスを排出しています。本県の流域下水道の場合、県庁等を含めた県の施設全体（平成 28 年度実績、学校・警察・企業局除く）に対して 42% のエネルギーを消費し、52% にあたる温室効果ガスを排出しています。

このため、流域下水道では、事業者・県機関・下水道管理者として責任ある対応が求められており、今年度、地球温暖化対策や省エネルギー・創エネルギーについての長期的な目標と当面の実行計画を示した「長野県流域下水道“ZERO”エネルギープラン」を策定し、流域下水道全体で総合的な取組みを推進することとしています。

3 下水熱利用の取組

下水道が持つ再生可能エネルギーとして、最近注目をされている下水熱は、下水の水温が年間を通して比較的安定しており、大気温に比べて夏は冷たく、冬は温かいという性質を利用しています（図 2）。この特徴を活かして給湯や冷暖房、融雪などに活用すること

により省エネ効果が発揮されるほか、温室効果ガス排出量の削減も期待されています。国土交通省の試算では、全国の下水道における下水熱は約 80 万世帯分の年間熱利用量に相当する大きなポテンシャルを有するとされています。

また、平成 27 年 4 月には下水道法の一部が改正され、民間事業者が下水道管渠内に熱交換器などの工作物を設置できるよう規制が緩和されました。

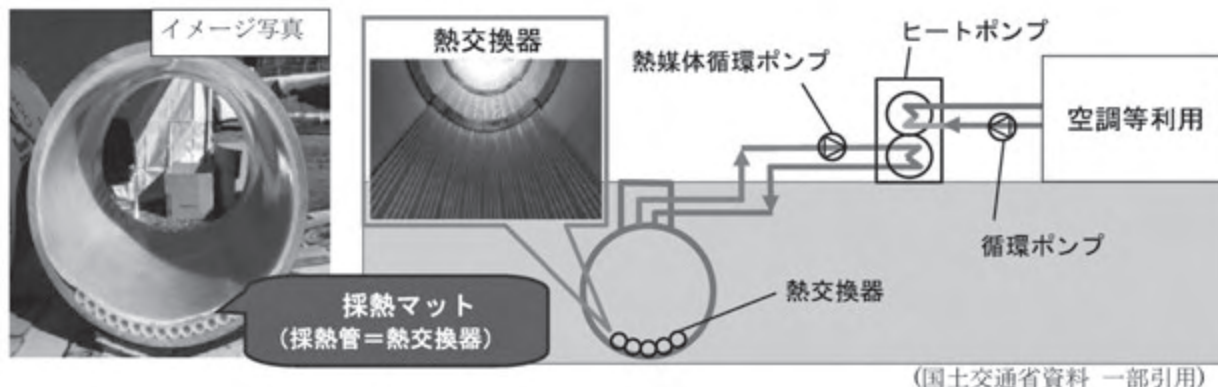
(1) 下水熱を検討するきっかけ

平成 27 年 7 月、下水熱利用の環境が整備されたことを受けて、民間のエネルギー供給事業者（以下「エネルギー事業者」という。）から流域下水道管渠における下水熱利用に関する相談が寄せられ、県とエネルギー事業者双方で、まず情報収集からスタートしました。その後、国土交通省の下水熱利用促進協議会の活動、先進事例及び共同研究事例などを調査し、県とエネルギー事業者による流域下水道エネルギー勉強会を行い、下水熱利用に関する知識を深めてきました。

(2) 下水熱利用の具体的な検討

平成 28 年 1 月、長野県諏訪市にある諏訪赤十字病院の熱源供給において、上記のエネルギー事業者が優先交渉権を得たことをきっかけに、民間事業者が自ら熱回収設備等を設置し下水熱を利用するための具体的な検討を始めました。

この時点で、下水道管渠内に民間事業者が自ら熱回収設備等を設置した事例がないため、県とエネルギー事業者が共同して国土交通省の下水熱利用アドバイザー派遣制度を活用し、平成 28 年 10 月、手続上の問題点、施工や技術上の問題点等についてのアドバイスをいただきました。手続きの方法としては、標準下水道条例を参考にして県流域下水道条例を改正する方法と協定に基づき下水熱利用設備等を設置する方法があることがわかりました。



(国土交通省資料 一部引用)

図2 下水熱利用のイメージ

その後、県では流域下水道管路において下水熱を利用するための手続き方法を、エネルギー事業者では施工や技術上における検討をそれぞれ進めてきました。

(3) 下水熱利用手続の検討

手続方法について検討した結果、本県の流域下水道条例は標準下水道条例に準ずる構成となっていないため、条例改正ではなく、「財産に関する条例」及び「財務規則」による行政財産目的外使用許可により、管渠内の使用と使用料等の徴収を行うこととして整理しました。

具体的には、行政財産の目的外使用許可の手続きについて、下水熱利用手続に特化した要領を策定し、要領の考え方としては、標準下水道条例と財務規則双方の内容を網羅し熱交換器等の設置に係る許可の基準や管渠使用料、使用許可期限等について定め、要領で不足する部分については、財産管理者と使用者が協定書を締結し補うこととしました。そして、この手続要領は、平成 29 年 6 月に県知事から公表させていただき、大きな注目をいただき、報道各社に大きく取り上げられました（図 3）。

(4) 管渠使用料について

下水熱手続要領では、管渠使用料を徴収することとしており、その内容は「熱交換器等設置使用料」と「下水熱利用料」の合計額としました。

熱交換器等設置使用料は、下水道管渠内の使用空間比率に応じて定めた金額とし、下水熱利用料は、下水熱利用による年間のコスト削減額に長野県が設定した率（2%）を乗じた金額としました。

(5) 下水熱利用の第 1 号案件

平成 29 年 7 月、エネルギー事業者から下水熱手続要領に基づく申請書が提出され、諏訪赤十字病院における空調や冷暖房設備に下水熱を利用する取組がスタートしました。

これまで十分に協議、検討を重ねてきたこともあり、手続は順調に進み、10 月には、工場で製品検査を実施し、熱交換機の取付け位置や方法について確認しました（写真 2）。その後、11 月には、リスク分担を含む協定「諏訪赤十字病院エネルギー供給サービス事業に係る下水熱利用に関する協定」を締結しました（写真 3）。



写真2 下水道管渠内へ熱交換器設置のイメージ
(諏訪湖流域下水道)

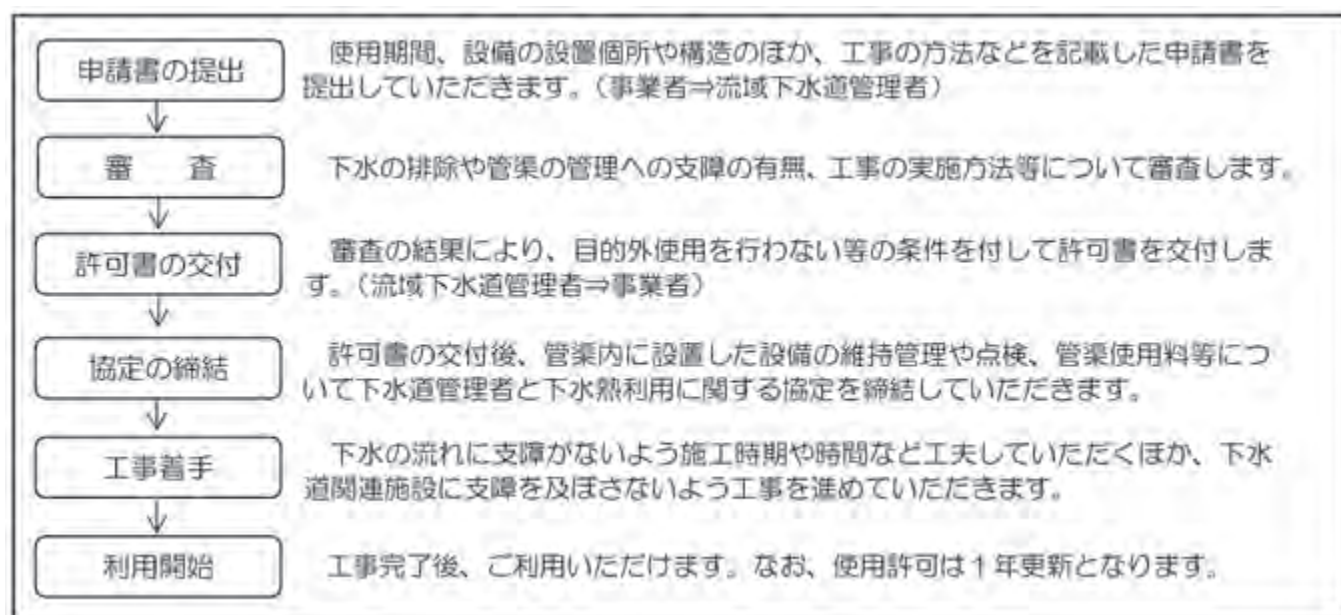


図3 流域下水道下水熱利用手続要領に基づく手続きの流れ

熱利用の方法としては、同病院施設の近くの諏訪湖流域下水道の下水道管（φ 2,000mm）の管底部に樹脂状の採熱管を設置し、熱媒体と熱交換することにより、病院管理棟内に設置したヒートポンプで空調用冷温水の熱源として利用されるもので、12月には管渠内への設備設置工事が完了し、平成30年4月からの運用開始が予定されています。

(6) 長野県小諸市における下水熱利用

小諸市では、流域下水道よりも早く、全国発となる民間事業者により、下水道管渠内へ熱交換器等が設置されています。小諸市の市庁舎及び市庁舎に隣接する小諸厚生総合病院との間で、電気・熱を融通する共同事業として、公共下水道管（φ 250mm）から採熱した下水熱を病院給湯へ熱供給する設備の運用が平成29年12月から始まっています。

4 今後の取組と課題

長野県及び小諸市における事例の特徴としては、下水道管理者の負担するコストが全く発生しないことがメリットとしてあげられます。このため、大量にエネルギーを消費している事業者にとっては、エネルギーコストを大幅に削減できる可能性があることから未利用エネルギーの利用促進やPRを図っていきたいと考えています。

その一環として、平成30年度には、流域下水道管渠における下水熱の潜在量を調査し、それを地図上にまとめたエネルギーポテンシャルマップの作成を予定しています。さらに、民間企業や道路管理者、市町村と情報や意見交換を行う場として下水熱利用検討会を設置するなど、下水熱利用に向けた機運の醸成を図ってまいります。

今後の課題としては、具体的な手続きを進めていく中で、手続要領及び協定では想定できなかった問題点などがあり、当面は協定の細則として対応することとしています。また、下水熱利用料の考え方についても課題があると考えています。このような課題は、今後、手続要領や協定の見直しなどへ反映させていく予定としています。

5 おわりに

下水熱利用は、熱利用者にとっては省エネ効果、下水道管理者にとっては下水道未利用資源の有効活用、地域社会にとっては地球温暖化や大気汚染の防止など、各主体に有益な効果があります。

県では、市町村等と連携して下水熱利用の普及拡大及び利用可能性の検討に努めてまいります。

また、流域下水道の事業者として、引き続き水環境の保全に加え、脱炭素社会の構築に向けて、省エネルギー・創エネルギーの取組を推進してまいります。



写真3 「諏訪赤十字病院エネルギー供給サービス事業に係る下水熱利用に関する協定」調印式の様子
(諏訪湖流域下水道)

特集：下水熱 / エネルギー利用

解説

大津市における下水熱利用に向けた取組みについて

大津市企業局技術部下水道課
改良グループ 副参事
磯田 信二

キーワード：未利用エネルギー、下水熱、ヒートポンプ、高採熱管、ポテンシャルマップ

1. はじめにー大津市における公共下水道事業の概要ー

大津市の下水道事業は、昭和 36 年度から事業に着手し、昭和 44 年 4 月に大津終末処理場が供用を開始した。以降、積極的に管きょ整備に取り組んだ結果、平成 28 年度末で管渠整備延長（污水）は約 1,442km、普及率は 98.3%に達しており、今後は「施設の建設」から「施設の維持管理及び改築更新」への転換を推進し、持続的発展可能な下水道事業を目指すことが求められている。

大津市全域の下水道事業は、表 1 及び図 1 に示すように、単独公共下水道 2 処理区、流域関連公共下水道事業 2 処理区の計 4 処理区により下水道の整備を行っている。そのうち、大津、湖南中部および湖西の 3 処理区においては、処理水の放流先が琵琶湖となっており、処理の高度化が図られている。

表1 大津市における下水道事業の概要

項 目	大津市公共下水道事業		琵琶湖流域下水道		合 計
	大津	湖西	湖南中部	湖西	
事業着手年度	昭和36年度	平成3年度	昭和57年度	昭和54年度	
排水方式	分流式 (一部合流式)	分流式	分流式	分流式	
処理区域面積 (ha)	全体計画	1,471.3	92.0	3,045.4	3,395.4
	事業計画	1,471.3	92.0	1,990.2	3,052.4
計画区域内人口 (人)	全体計画	105,300	6,200	106,600	122,400
	事業計画	105,300	6,200	97,400	119,000

注：値はいずれも平成27年4月1日現在
出典：下水道整備状況表（大津市）



図1 大津市の下水道計画図

出典：「合流式下水道の改善-美しく碧き琵琶湖を守る-」

2. 下水熱について

下水の温度は外気温度に比べて年間を通して変動幅が小さく（図2）、流量が安定している地域であれば、エネルギー源として安定した、低炭素効果の高い未利用エネルギーとなり得る。また、下水管は都市に面的に布設されていることから、熱需要のある建物近傍からの熱回収が可能であるといったメリットがある。さらに、平成27年に下水道法が改正され、民間事業者が下水熱を利用するために下水道暗渠内に熱交換器等を設置することが可能となり、管路内に熱交換器を設置するシステム開発も進んでいる（図3）。このような背景を受け、下水熱利用の普及・拡大が期待されるところである。

下水熱の利用にはいくつかの方式があるが、例えば「管路内設置型熱回収技術」は採熱設備（熱交換器、熱源水配管）が管きょ内に設置されたものである。採熱設備を通じて得られた熱エネルギーはヒートポンプ（※1）に送られ、給湯や空調へ利用される。

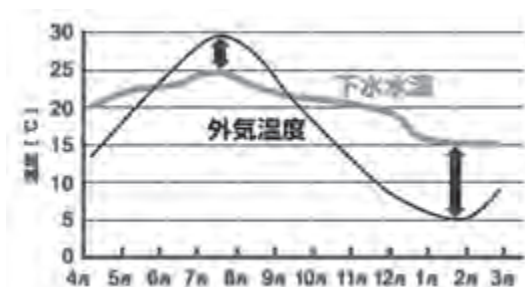


図2 外気温度と下水温度の変動（例）

※出典：積水化学工業（株）

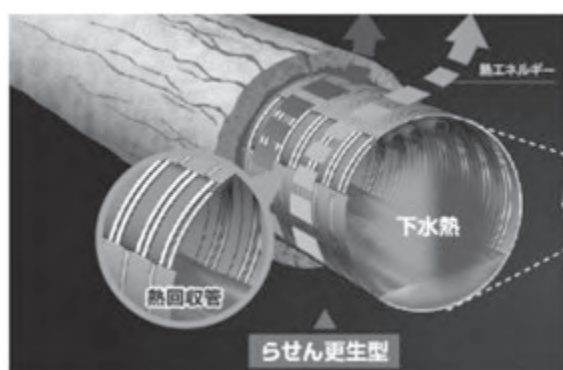


図3 管路内熱交換器設置システム（例）

※出典：積水化学工業（株）

（※1）ヒートポンプ：電気などのエネルギーにより、温度の低い部分から温度の高い部分に熱を移動させる装置。冷媒の圧縮・膨張による潜熱（気化熱）の移動を応用した装置。投入エネルギー（電力）により空气中や水中から熱を取り込み、投入エネルギー以上の熱エネルギーを供給することができる省エネ、省CO₂効果の高い技術である。

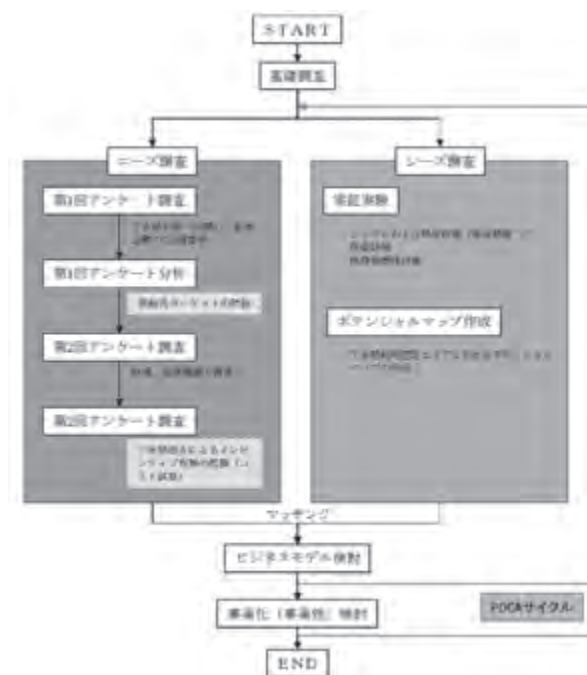


図4 共同研究全体のフロー

3. 下水熱利用に向けた実証実験内容について

大津市企業局では、平成28年度より、積水化学工業株式会社及び関西電力株式会社と共に、大津市における下水熱利用に向けた実証実験に関する共同研究を実施している。共同研究全体のフローを図4に示す。

具体的な実証実験の内容は、（1）システム及び熱交換器（熱回収管）の性能評価、（2）熱回収管の維持管理性評価である。

（1）システム及び熱回収管の性能評価

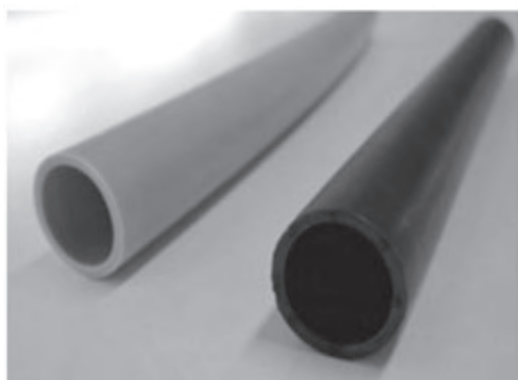
大津水再生センター内の消毒槽（塩素混和池）を流れる下水から熱を採取して、汚泥処理棟監視室の空調に利用し、システムの性能評価を実施している（写真1、写真2）。



写真1 消毒槽（塩素混和池）



写真2 熱回収管の設置状況

写真3 熱回収管
(左：従来の熱回収管、右：高採熱管)

また、熱回収管として、積水化学工業株式会社が開発した、新規の「高採熱管」を採用し、熱回収性能について従来の熱回収管と比較検討を実施している（写真3）。

平成28年度冬季における評価結果では、空冷式ポンプに対して下水熱ヒートポンプを利用した場合の優位性が明らかとなっている（図5、表2）。

また、平成29年度夏季における評価結果では、従来の熱回収管に対する高採熱管の優位性が明らかとなっている（図6～図8）。

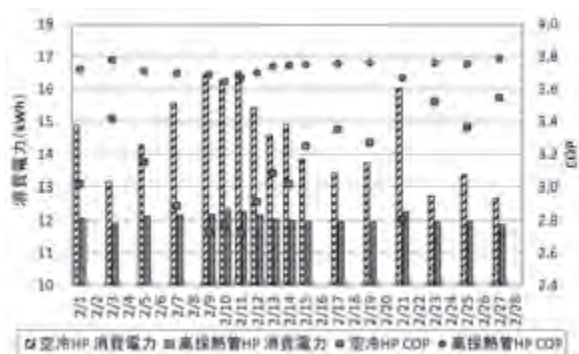


図5 COP及び消費電力

表2 消費電力、二酸化炭素排出量削減効果

	高採熱管HP	空冷HP	差	削減率(%)
消費電力 kWh	205.23	247.94	-42.71	17.2
電力費 円	3,080	3,722	-641.15	
CO2排出量 kg	101.8	123.0	-21.19	

消費電力については、関係電力(株)の「特別高圧電力A、20,000Vまたは20,000V未満、その他条」の15.01円/kWh(平成29年3月時点単価)を適用し、基本料については考慮していない。
※平成28年度冬季測定データより試算。

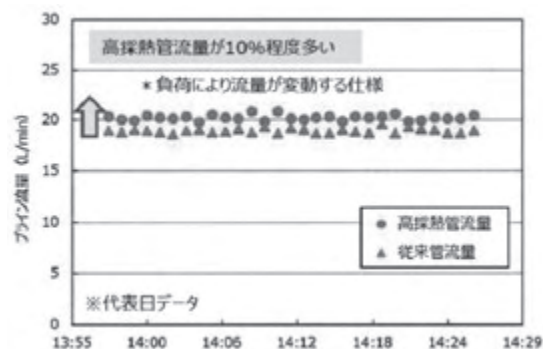


図6 ブライン（熱媒体）流量

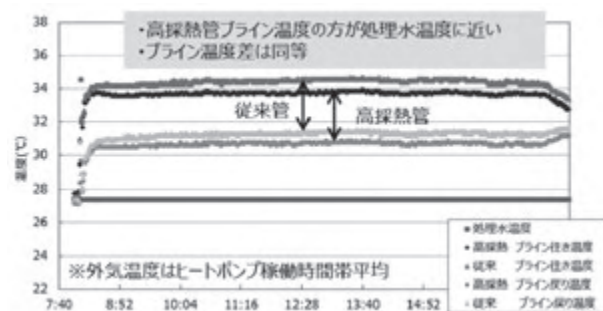


図7 ブライン（熱媒体）温度

	交換熱量 = ブライン流量 × ブライン温度差 × ブライン比熱		
高採熱管	大(+10%)	大(+10%)*	同じ
従来管	小	小	定数

	交換熱量 = 管の熱性能(熱伝達係数) × 管とブラインの接触面積 × 対数平均温度差		
高採熱管	大(+10%)	大(+22%)	同じ
従来管	小	小	大(+10%)*

* 測定データより。

図8 管の熱性能の検討

下水熱の活用により、従来システム（空冷式ヒートポンプ等）と比較して消費エネルギー量の低減（ランニングコスト削減）が可能となる見込みである。また、高採熱管の活用により、従来の採熱管を採用した場合と比較して同じ熱量を回収する場合の熱回収管の設置延長削減（イニシャルコスト削減）が可能となる見込みである。

(2) 熱回収管の維持管理性評価

今回の性能評価は消毒槽（塩素混和池）で実施しているが、下水管路内での熱交換器の維持管理性を評価するにあたって、污水管きょに熱交換器を設置した際の、熱交換器への付着物の影響を把握する必要がある。そこで、処理前の下水が流れる管理棟流入水路の管底に熱回収管の浸漬サンプルを設置し、熱回収管の維持管理性の評価・検討を実施している（写真4）。

また、設置以降経時的に熱回収管の熱伝導度を測定し、長期間下水に触れた場合の採熱効率への影響についても評価を行っている。浸漬サンプル設置後から2ヶ月後に熱回収管へのバイオフィルムの付着の様子を確認したところ、熱交換器上に大きな堆積物等はなく、フレームと熱回収管表面に1mm程度のぬめり汚れが観察された。また、ステンレス製の固定部材にも同様の滑り汚れは付着していたが、部材の錆などは見受けられなかった（写真5）。

なお、浸漬から1年後に浸漬サンプルの熱伝導率を測定し、浸漬前の熱伝導度と比較し、下水環境下での長期使用による採熱効率への影響を評価する計画である。



写真4 浸漬サンプル

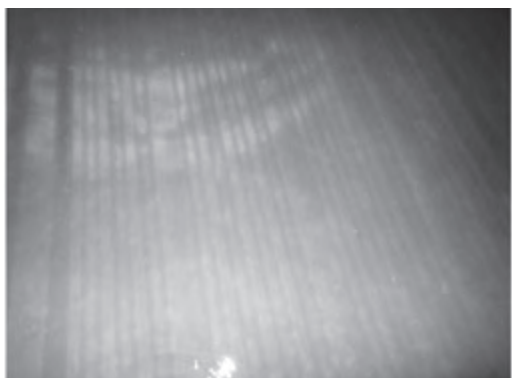


写真5 浸漬サンプル
(設置から約2か月経過後)

4. 下水熱利用の普及促進に向けた大津市の取り組みについて

本実証実験結果を受けて、下水熱利用が普及拡大するために以下のような取り組みを行っている。

(1) 広報活動

大津市企業局のホームページへの実証実験内容の掲載や、パンフレット・広報誌の作成、実証実験施設の一般への公開を行っている。実証実験施設は大学関係者、自治体関係者の他、一般の方にも多数見学いただいている（図9、写真6）。



図9 大津市企業局広報誌



写真6 実証実験施設に設置された看板

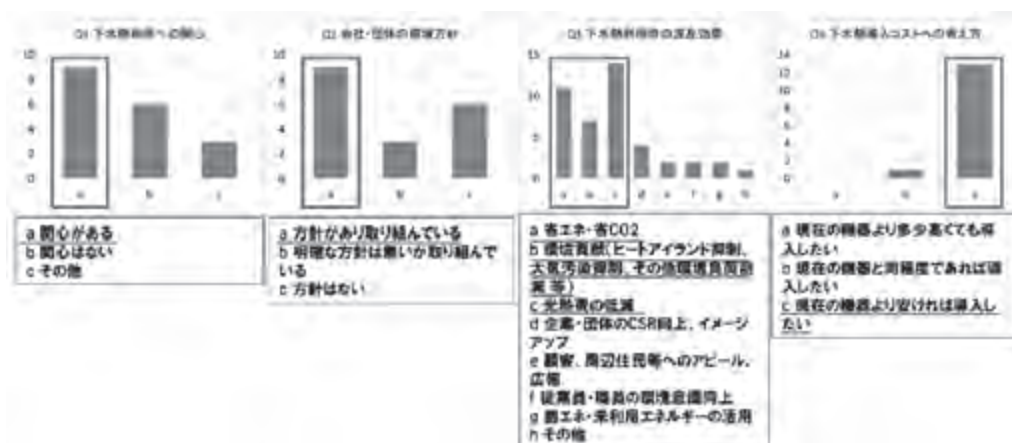


図 10 アンケート調査結果

(2) アンケート調査

大津市が下水熱利用を想定するエリアの民間施設・公共施設に対して下水熱利用への関心等を調査する目的でアンケート調査を実施した。その結果、回答者の省エネ・省CO₂等に対する環境意識は高く、コスト縮減効果が明示できれば下水熱利用の導入が進む可能性を見出した(図10)。

今後、アンケートで特に関心の高かった施設に対して、空調機器、給湯機器の仕様やエネルギー費用等の詳細なアンケート調査、ヒアリングを実施してコストシミュレーションを行う計画である。

(3) ポテンシャルマップ作成

大津市内における下水熱利用の可能性を広く一般に周知することを目的としてポテンシャルマップを作成する計画である。

5. おわりに

本実証実験結果より、従来の空調システムに対する下水熱システムの優位性、従来の熱回収管に対する高採熱管の優位性を明らかにした。引き続き、通年の実証実験データ分析を行っていく計画である。

今後、大津市内の下水道管きょにおける下水熱利用を想定し、事業スキームの検討や必要な許認可手続き等の実施に向けた検討を行っていく。

特集：下水熱 / エネルギー利用

解 説

堺市鉄砲町地区における
下水再生水複合利用事業

関西電力株式会社 地域エネルギー本部

地域エネルギー部長 岡村 修

キーワード：下水再生水、未利熱利用、ヒートポンプ、スマートコミュニティ

1. はじめに

東日本大震災以降、再生可能エネルギーの普及やBCP対策強化などの社会的関心の高まりを背景に、エネルギーの効率的利用にかかるニーズは多様化しております。また、国の政策においても、スマートコミュニティや、省エネ、新エネ利用の進展に向けた様々な施策が推進されています（図-1）。

スマートコミュニティの実現に向けては、地域社会との合意形成が不可欠であることから、スマートコ

ミュニティを「地域の資源や特性を活かしたエネルギーの有効利用により、地域の課題解決を後押しするまちづくり」として捉え、自治体や開発事業者など関係者が一体となって進めていくことが重要です。

ここでは、当社のこれまでの取り組みの中で、地域と共に地域資源や特性を活かした「エネルギーの有効利用」と「まちづくり」のあり方について検討を行い、実導入に至った代表的な事例である、「堺市鉄砲町地区における下水再生水複合利用事業」についてご紹介します。

2. 堺市鉄砲町地区「下水再生水高度複合利用」

堺市の北西部に位置する堺市鉄砲町地区では、工場跡地に開発された大型商業施設「イオンモール堺鉄砲町」を中心として、「地域資源の一つである下水再生水の高度複合利用を柱に、省エネ性と防災性を同時に強化した地域貢献型スマートコミュニティ」が形成されています。

このコミュニティでは、三宝水再生センター（三宝下水処理場）にて処理した下水再生水を、商業施設内に送水し、給湯と空調の熱源水として利用した後、内川緑地せせらぎ水路を経由して内川に放流する事業を実施しています（図-2）。

堺市が「クールシティ・堺」の実現や、「歴史文化のまち堺」の魅力発信を目指す中で、環境配慮型店舗

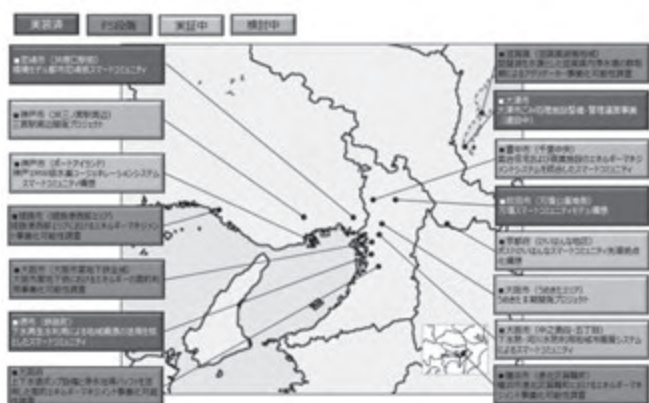


図-1 関西電力が取り組むスマートコミュニティ事業
（平成28年度末時点）



図-2 堺市鉄砲町地区スマートコミュニティの概要

づくりを通じて地域貢献を目指すイオンモール、エネルギー事業を通じた地域活性化やスマートコミュニティ構築に実績のある関西電力グループが中心となり、開発計画段階から「エネルギーの有効利用」と「周辺エリアの活性化や魅力あるまちづくり」に向けた検討を行いました。

なお、本事業は、その先進性が認められ、経済産業省「再生可能エネルギー熱利用高度複合システム実証事業」国交省「住宅建築物省 CO₂ 先導事業」の採択を受けています。

2.1 開発計画概要

- ・所在地：大阪府堺市堺区鉄砲町1番地
- ・敷地面積：約102,000m²
- ・延床面積：約135,000m²
- ・開業時期：2016年3月

2.2 下水再生水の複合利用

下水再生水の水温は、冬季は外気よりも高く、夏季は外気よりも低いという特徴（図-3）があります。

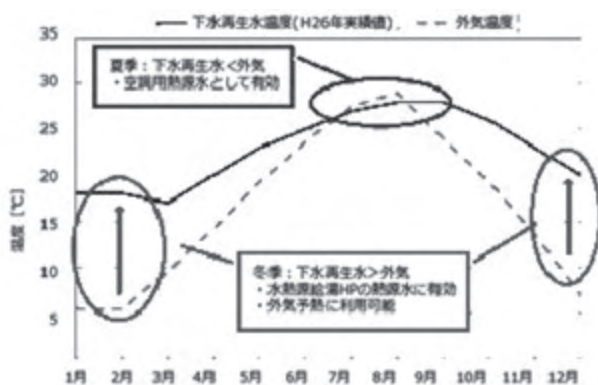


図-3 下水再生水と外気温の年間推移

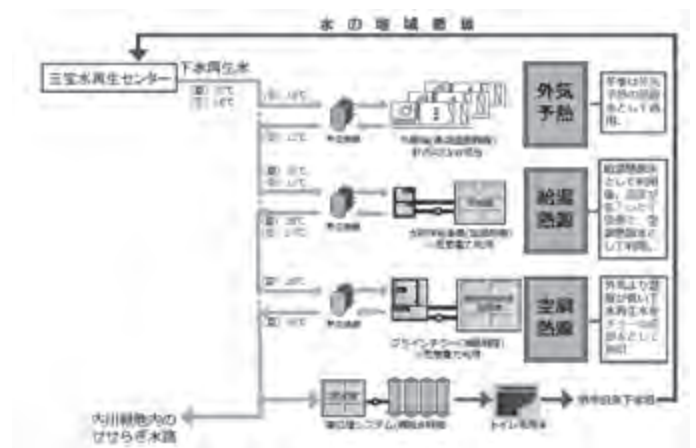


図-4 下水再生水の高度複合利用・水資源の有効活用システム

本事業においては、その特徴を活かし、冬季は外気余熱として、通年ではヒートポンプ給湯機の熱源水として利用後に空調冷凍機の冷却水として、下水再生水熱を複合利用するシステムを構築しました（図-4）。

(1) 外気予熱用温熱源

冬季は、外気に比べて温度が高い下水再生水を外調機の子熱用熱源として利用することで、空冷ヒートポンプが処理する暖房負荷を削減します。

(2) 給湯用温熱源

下水再生水をヒートポンプ給湯機の水熱源として利用します。空気熱源式ヒートポンプ給湯機は、外気温が低下すると効率も低下するという特徴があるため、とりわけ冬季においては、外気に比べて温度が高い下水再生水を熱源利用することで効率の良い運転が可能となります。

(3) 空調用冷熱源

夏季は、外気温度よりも下水再生水の温度が低いことから、下水再生水を冷却水として利用しています。従来の冷却塔に対する補給水が不要となるため、省コストを実現しています。

(4) 複合利用による効率化

(1)～(3)と熱交換器を直列接続し、上記(2)、(3)共に蓄熱槽を設け、ヒートポンプ給湯機とブラインチラーが夜間同時稼働する時間をできる限り長くすることで、給湯用温熱源として利用した後、温度低下した下水再生水を下流に接続したブラインチラーの冷却水として利用することでシステムの効率向上を図っています。

なお、下水再生水を複合利用した場合、従来の冷却塔や空気熱源式ヒートポンプ給湯機、予熱用熱源のない外調機を利用した場合と比較して、年間で11.5%の省エネ効果と25.4%の省コスト効果が得られています。(2016年度実績)

(5) 水資源としての活用

熱利用後の下水再生水は、商業施設内で膜処理装置による浄化処理を行った上で、「憩いの場せせらぎ」や「トイレ洗浄水」として活用しています。施設外では、内川緑地せせらぎ水路の水源として活用され、内川へ流入します。これは、堺市が1998年に策定した「仁徳陵・内川水環境再生プラン」とも連携した取り組みとなっています。

2.3 堺市鉄砲町地区スマートコミュニティの先進性

下水再生水を一つの施設内で給湯と空調の熱源として利用する事例および熱源と水源に複合利用する事例は、いずれも全国初の事業であり、堺市は2016年度国土交通大臣賞（循環のみち下水道賞）グランプリを受賞しました。

3. おわりに

今回は、実導入に至った代表的な事例として「堺市鉄砲町地区における下水再生水複合利用事業」についてご紹介しました。

この他にも、スマートコミュニティ形成にかかる技

術的要素は多岐にわたり、当社は、地域の資源や特性に応じて「創（る）」「蓄（える）」「省（く）」「繋（げる）」エネルギー技術を最適に組み合わせたシステムの構築・検討を進めています。

現在、検討中の事業としては、帯水層蓄熱などの未利用熱エネルギーと高効率ヒートポンプを組み合わせた熱利用技術の開発や、エネルギー利用機器（リソース）をIoT技術にて群制御し、地域全体のエネルギー需給の最適化を図る「バーチャルパワープラント（※）構築実証事業」に取り組んでいます。

このように、スマートコミュニティの実現にあたっては、新たな技術開発・実証等を着実に進め、知見獲得に努めるとともに、これらの技術を活用することで「いかに地域独自の魅力を高め、地域活性化に繋げていくことができるか」という視点に立ち、地域社会と共に検討を進めることが重要です。

当社は、これまでの経験や技術を総合的に活用しながら、今後も、地域と「共に考え、共に未来を創る」という強い使命のもと、地域資源や特性を活かした「エネルギーの有効利用」と「まちづくり」のあり方を検討し、さまざまな形で地域社会に貢献してまいります。

※バーチャルパワープラント：電力系統に点在するお客様の機器（リソース）をIoT化して一括制御することにより、お客様設備から捻出できる需給調整を有効活用し、あたかも1つの発電所（仮想発電所）のように機能させる仕組み。

特集：下水熱 / エネルギー利用

解 説

東京都における
下水熱利用の取組について

東京都下水道局計画調整部

エネルギー・温暖化対策推進担当課長 佐藤 勝

キーワード：下水熱利用、下水熱を利用した地域冷暖房等

1 はじめに

下水道管を流れる下水や水再生センターで処理された下水処理水は、「気温と比べ、夏は冷たく、冬は暖かい」という温度特性を有しており、この下水の持つ熱エネルギーを建物の冷暖房や給湯用の熱源として利用することで、省エネルギーや温室効果ガス削減に効果を発揮する（図1）。

今回は、東京都下水道局（以下「当局」という。）がこれまでにやってきた、様々な事業形態における下水熱利用の取組について紹介する。

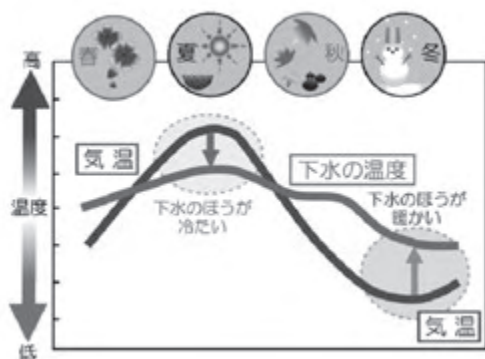


図1 下水温度と外気温度季節別変化のイメージ

2 水再生センター内での下水熱利用

当局での下水熱利用には歴史があり、昭和59年から水再生センターの処理水を熱源とする空調システムの開発に取り組んできた。

昭和62年には下水を熱源とした空調システムを開発し、当局で「アーバンヒート」と名付け、落合水再生センター（新宿区）の管理棟に導入した。

アーバンヒートは、水再生センターの処理水をヒートポンプに取り入れ、熱交換により温水又は冷水を製造し、空調に送って冷暖房に利用するというものである。

現在、区部では12の水再生センターにアーバンヒートを設置しているが、近年、設備の老朽化に加え、各フロアで温度制御ができないなどの課題がある。これらの課題に対応するために、部屋ごとに温度制御可能な高効率の個別空調システム（「ネオアーバンヒート」と命名）を開発し、再構築等にあわせて順次導入を進めている。

3 下水熱を利用した地域冷暖房等の例

(1) 未処理下水の熱を有効活用

後楽一丁目地区（文京区）において、未処理下水を熱源としたわが国最初の地域冷暖房事業を平成6年7月から開始した。

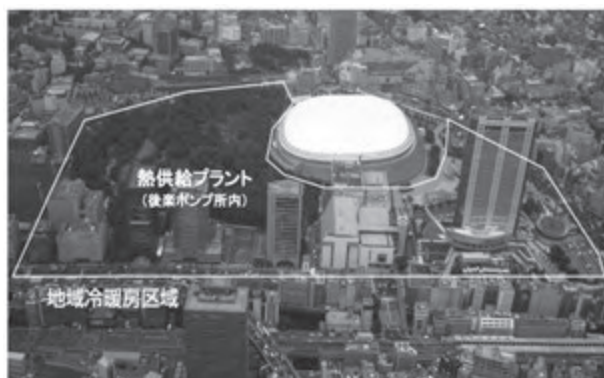


図2 文京区後楽一丁目地区の地域冷暖房の区域



図3 江東区新砂三丁目地区の地域冷暖房の区域

本事業は、当局の後楽ポンプ所の下水を熱源とし、東京ドームホテルや後楽森ビルなど7施設に熱を供給しており、供給延床面積は合計24万 m^2 である。

また、事業主体は、熱供給事業者である東京下水道エネルギー（株）（平成4年に設立された東京都の第三セクター、以下「TSE」という。）が実施しており、未処理下水と熱交換した上水を、ヒートポンプの熱源水として利用し冷温水を製造している（図2）。

この地域は、隣接地に事務所をはじめ、娯楽施設やホテルに熱を供給していることから、年間を通じて熱の需要があり、安定した熱供給事業が実施されている。本事業を個別分散方式（個別ビルが単独で冷暖房する方式）と比較すると、石炭、石油などの一次エネルギー消費量で約29%の削減効果がある。

(2) 下水処理水と汚泥焼却排熱を活用

新砂三丁目地区（江東区）において、砂町水再生センターの処理水及び汚泥焼却廃熱を含む洗煙水を利用した地域冷暖房事業を平成13年11月から開始している。

都有地に建設された高齢者福祉・医療の複合施設等5施設に冷温水を供給しており、供給延床面積は合計6万 m^2 である（図3）。

本事業は、洗煙水を熱源として温水を供給するため、特に冬季におけるエネルギー効率が高く、都市ガスの使用量を大幅に削減でき、省エネルギー効率も高くなっている。

なお、本事業を個別分散方式と比較した場合、一次エネルギー消費量で約47%の削減効果があり、高い省エネルギー効果を発揮している。

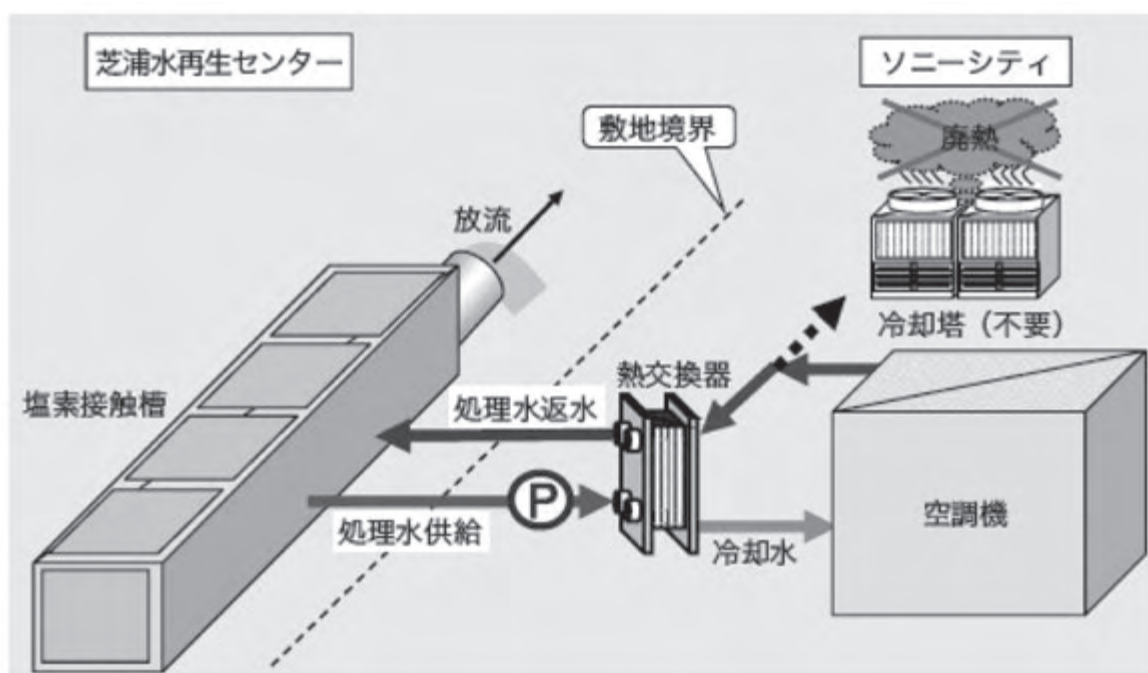


図4 ソニーシティでの下水熱利用

(3) 下水処理水を熱源として活用

① ソニーシティでの下水熱利用

ソニーシティは、芝浦水再生センター（港区）に隣接し、地上 20 階、地下 2 階の延床面積が 16 万 m^2 の大規模なオフィスビルである。このビルに、同センターの処理水を 1 日あたり 6 万 m^3 供給し、空調設備の熱源として利用する事業を平成 18 年より開始している（図 4）。

本事業の特徴は、当局が冷温水などの熱を供給するスタイルではなく、熱源として下水処理水を提供するという点である。下水処理水の有する熱をビル空調機の冷却用水に活用することによって冷却塔が不要となり、これに使用される水道水や電力が削減される。平成 28 年度は、年間 340t- CO_2 の温室効果ガス排出量の削減効果があった。

② 芝浦水再生センター上部利用ビル「品川シーズンテラス」での下水熱利用

老朽化施設の再構築にあわせて、芝浦水再生センターの上部空間に建設された「品川シーズンテラス」が平成 27 年 5 月にオープンした（図 5）。

品川シーズンテラスは、街づくりと下水道事業を両立する観点から、下水道事業では初となる立体都市計画制度を活用し、芝浦水再生センターの雨天時貯留池の整備にあわせて建設されたものであり、地上 32 階、地下 1 階、延床面積 20 万 m^2 の業務商業ビルである。

本事業では、芝浦水再生センターの処理水をヒートポンプの熱源として利用し冷温水を製造しており、本ビルの冷暖房の熱需要のすべてを賄っている。

この下水熱利用システムの特徴としては、蓄熱槽により夜間に蓄熱し、昼間のピーク時間帯に放熱することで、運用の平準化や設備能力の抑制等を図っている。



図5 品川シーズンテラス

4 おわりに

平成 27 年 5 月に下水道法が改正され、民間事業者等が下水道管理者の許可を受けて、熱交換器等を下水道暗渠内に設置できるようになった。この法改正を踏まえ、新たに大規模な都市開発を行うディベロッパーや環境施策の一環としての下水熱利用を希望する民間事業者等の動向を注視するとともに、当局では、民間事業者等による下水熱利用の拡充に向けて、利用手続や下水熱ポテンシャルマップの作成等を進めている。

今後とも、これまでの当局における下水熱利用の取組により得られたノウハウなどを踏まえ、オフィスビル等の冷暖房用の熱源として、下水の持つ熱エネルギーの活用を進めていく。

特集：下水熱 / エネルギー利用

解 説

メタン活用いしかわモデル

－石川県中能登町における高濃度混合バイオマスメタン発酵－

石川県土木部都市計画課生活排水対策室

課長補佐 細川 彰仁

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

1. はじめに

下水汚泥から発生するメタンガスは、二酸化炭素の約 25 倍の温室効果をもたらすものであり、これを有効利用することは、地球温暖化防止に寄与するだけでなく、再生可能エネルギーとして発電や熱源に利用することで、下水道経営の安定化にも繋がるものである。

また、国土交通省の新下水道ビジョン（H26.7）では、下水汚泥のエネルギーとしての利用割合の目標として、約 13%（H23）から約 35% への増加が掲げられており、メタン発酵はこの目標達成に必要な技術である。

しかし、流域下水道など比較的大規模の大きな処理場（流入量が 10,000m³/日最大以上）では、これまでもメタンガスを活用して発電等を行っているものの、県内はもとより全国の市町村においても、小規模な下水

処理場では、メタンガスの有効利用が図られていない状況にある（表 1）。

一方で、県内の下水汚泥の処理状況に目を向けると、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ことや、市町村合併の影響により、し尿処理場や集落排水処理場等の類似施設が近接するなど、現状で大きな課題を抱えている。

こうしたことから、石川県では、平成 22 ～ 25 年度にかけて全国に先駆け、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、小規模下水処理場向けの小型で低コストなメタン発酵技術の研究・開発に取り組み、「メタン活用いしかわモデル」としてとりまとめている。

今回は、メタン活用いしかわモデルの第一号機を採用した中能登町の事例について紹介する。

表1 下水処理場におけるメタン発酵の普及状況

	処理場数	メタン発酵	日最大流入水量別内訳			
			1万m ³ /d未満		1万m ³ /d以上	
			メタン発酵		メタン発酵	
全国	2,175	326 (15%)	1,510	33 (2%)	665	281 (42%)
石川県	58	7 (12%)	47	1 (2%)	11	6 (55%)

出典：H26 下水道統計

2. 中能登町における事業化

中能登町は能登半島のほぼ中央に位置し、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（表2）。

表2 污水处理人口普及率（H28末）

下水	16,585 人	90.2%
集落排水	1,508 人	8.2%
浄化槽等	238 人	1.3%
合計	18,331 人	99.7%
総人口	18,392 人	

合併の結果、当時は、町内に5つの公共下水道及び6つの集落排水処理施設が近接して存在し、非効率な污水处理であった。特に、もともと郊外だった旧3町の境界付近に処理場が集中する状況であった。

中能登町では、下水道汚泥は濃縮脱水し、約50km離れた民間の中間処理場へ運搬・処分し、農業集落排水汚泥は、濃縮したものをもつて1つの処理場に集約し、脱水した後、コンポスト施設で肥料化していた。また、し尿・浄化槽汚泥は、広域事務組合が廃止されたことに加え、老朽化が著しく、改築更新費が約30億円程度と見込まれることから、多大な財政負担となることが想定された。その他のバイオマスとしては、町内に食品加工工場があり、食品廃棄物が産業廃棄物として処理されている。

これらの現状から、下水道、集落排水、し尿・浄化槽汚泥とさらに町内で発生する有機性廃棄物（学校給食残渣、食品工場残渣）との混合処理の検討を行った。

検討の結果、集約処理による高濃度混合メタン発酵を導入した場合には、消化汚泥については肥料として配布するため、これがゼロになり、他に売電又はガス売却による収入と、産廃である油揚げの受け入れ収入を得ることができる（図1）。これらを加味して経済比較を実施したところ、混合処理の場合、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。



図1 バイオマス処理フロー

3. 事業実施スキーム

中能登町では、経済性試算結果等から、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（図2）。



図2 事業実施スキーム

4. 廃掃法の手続き

（メタン活用いしかわモデル導入の手引き抜粋）

混合バイオマスメタン発酵施設の整備事業の実施にあたっては、廃掃法についても確認し、遵守する必要がある。

下水処理場に廃棄物を受け入れる場合の基本的な考え方としては、廃棄物が、下水道汚泥を処理する設備に入る前までは廃掃法が適用され、当該設備に入った以降は下水道法に基づき処理されることとなる。

以上により、中能登町の下水処理場において廃掃法の適用を受ける設備は、廃棄物が下水道汚泥を処理する設備である「メタン発酵設備」に投入される前までとなる。具体的には、し尿・浄化槽汚泥の「受入貯留設備」「前処理設備」、厨芥類・食品加工残渣の「受入貯留設備」「前処理設備」それらの「混合設備」が廃掃法の適用を受け、一般廃棄物処理施設（し尿処理施設）の届出範囲となる（図3）。

また、中能登町では、食品工場から発生する廃油揚げ等を産業廃棄物（動植物性残さ）として受け入れるが、廃掃法第11条第2項の適用により、廃棄物処理業の許可は不要となった。しかし、他の市町村ではこの規定が適用できない場合も想定され、必ずしも産業廃棄物処理業の許可が不要になるとは限らないため、業許可の必要性について、都道府県の担当部局と事前に協議を行うことが重要である（表3）。

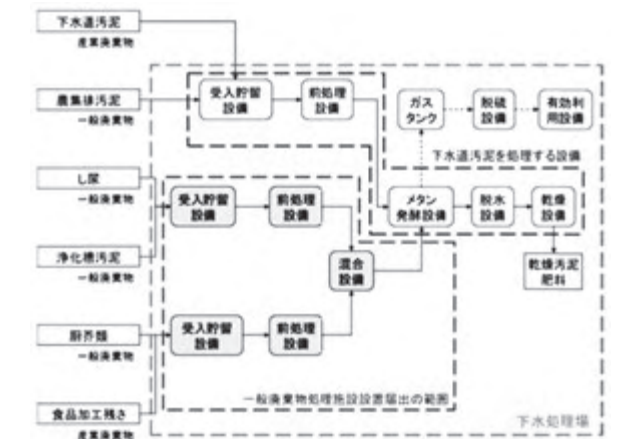


図3 一般廃棄物処理施設設置届出の範囲

表3 中能登町における廃棄物処理施設設置許可(届出)について

地方 自治 団体	廃棄物処理施設設置許可		廃棄物処理施設設置許可(届出)	
	一般廃棄物 処理施設	産業廃棄物 処理施設	一般廃棄物 処理施設	産業廃棄物 処理施設
石川県 中能登町	・処理主体が町であるため、許可不要	・取り扱う産業廃棄物は動燃物性廃棄物であり、廃棄物法第11条第2項に基づき、一般廃棄物(厨芥類等)と併せて処理することとしたため、許可不要	・し尿を取り扱うため「し尿処理施設」の設置許可を要するが、処理主体が町であるため、届出第9条の3に基づき、設置届出が必要	・取り扱う産業廃棄物は動燃物性廃棄物であり、その処理施設は廃棄物法15条に規定されていないため、設置許可は不要

5. 中能登町の整備概要

<整備計画>

- ・平成 26 年度 詳細設計
- ・平成 27 ～ 28 年度 本体施設建設工事
機械電気設備工事
- ・平成 29 年度 本格稼働開始
- ・事業費 約 14 億円



図4 中能登町メタン発酵施設全景写真
(H29.10.19本格稼働)

6. コスト比較

中能登町の発注実績を加味してコスト縮減結果を見直したところ、当初は、補助を見込んだ実質負担ベースで約 20%のコスト縮減を予定していたが、資材及び人件費の高騰により、最終的には、15%のコスト縮減となった。

内訳をみると、建設費については、従来処理が安価となっているが、維持管理費をあわせたトータルで、いしかわモデルが最も安くなっている。

なお、維持管理費が従来処理でかさむ最も大きな原因は汚泥の処分費となる(表4)。

表4 コスト縮減結果(年間費用で比較)

項目	従来処理	いしかわモデル	(参考)し尿 直接投入
建設費			
事業費ベース (1)	59	88	27
実質負担ベース (2)	39	41	14
維持管理費 (3)	126	100	135
事業費ベース (1)+(3)	185	188	162
実質負担ベース (2)+(3)	165	141	149

※実質負担ベースとは、国庫補助を除いた町の実際の負担額により算定したもの

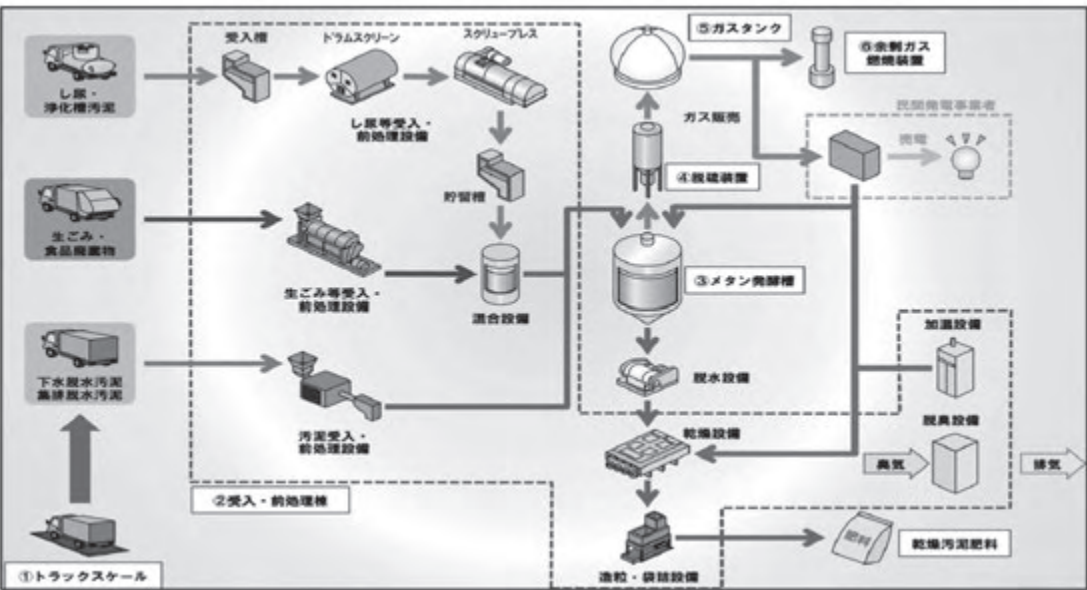


図5 中能登町高濃度混合バイオメタン発酵施設処理フロー

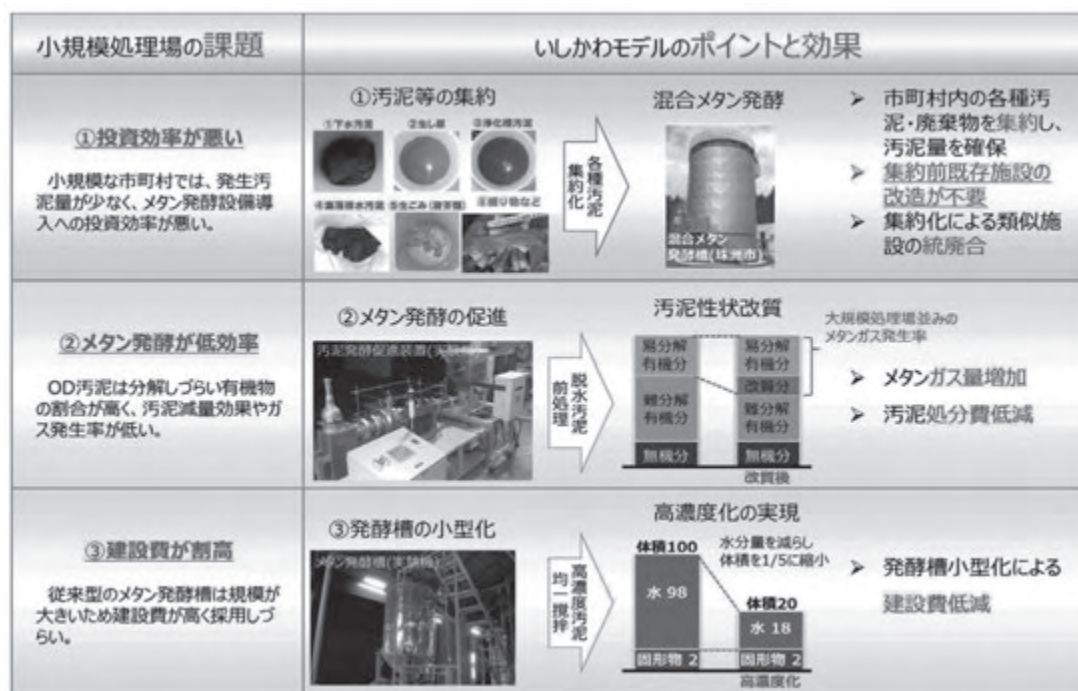


図6 「いしかわモデル」のポイントと効果

7. メタン活用いしかわモデル（まとめ）

「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、高濃度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した効率的で低コストなメタン発酵システムである。

「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の開発に取り組んだ。

■新技術1：高濃度条件下の混合バイオマスメタン発酵技術

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実現。

■新技術2：メタン発酵を促進させるための汚泥改質技術

OD法による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。

8. 導入の手引き（普及ツール）

石川県では、「いしかわモデル」の普及を目的とし、日本下水道新技術機構と共同で、H27.3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、金沢大学や国土交通省、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」において審議し取りまとめた。

<http://www.pref.ishikawa.lg.jp/seikatsuhaisui/gesui/ishikawamodel.html>

9. 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であるが、「いしかわモデル」では資源として捉え、効率的に集約・処理し、副産物を有効活用する方法を提案している。

今後、全国の市町村に対し本モデルの普及を行い、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きたいと考えている。

特集：下水熱 / エネルギー利用

解 説

珠洲市における バイオマスの有効利用について

石川県珠洲市生活環境課

女田 良明

キーワード：一括混合処理、エマルジョン化、汚泥肥料 “為五郎”

1. はじめに

石川県珠洲市は能登半島の先端に位置し、三方が海に囲まれ、美しい里山里海と豊かな食に恵まれ、昔ながらの伝統文化が今も息づいている。一方、過疎化が進み本市の人口は、平成 28 年末現在で 15,001 人。

農林水産業や観光産業が盛んなところであり、経済活性化に向け豊かな自然と、「食」を中心に交流人口の拡大を図り、自然と共生する珠洲市を目指しているところである。

2. 事業概要

本市では「珠洲市・バイオマスエネルギー推進プラン」と銘打ち、国交省と環境省の支援を頂き、下水汚泥をはじめとする地域のバイオマス 5 種類を一括混合処理する『複合バイオマスメタン発酵施設』の取組みを行い、平成 19 年 8 月より施設の本格稼動を開始した。

本施設は下水道処理場（珠洲市浄化センター）内に設置され、下水汚泥、農業集落排水汚泥、浄化槽汚泥、し尿といった生活排水処理に由来する汚泥類に加え、小中学校の厨房、市内飲食店、宿泊施設、老人福祉施設等から発生する生ごみ等の事業系廃棄物を集約混合処理するものである。



珠洲市位置図

処理の過程で発生するバイオガスはエネルギーとして場内で全量有効活用し、処理残物である消化汚泥を乾燥・肥料化して緑農地還元するという資源の循環システムを構築する取組みである。

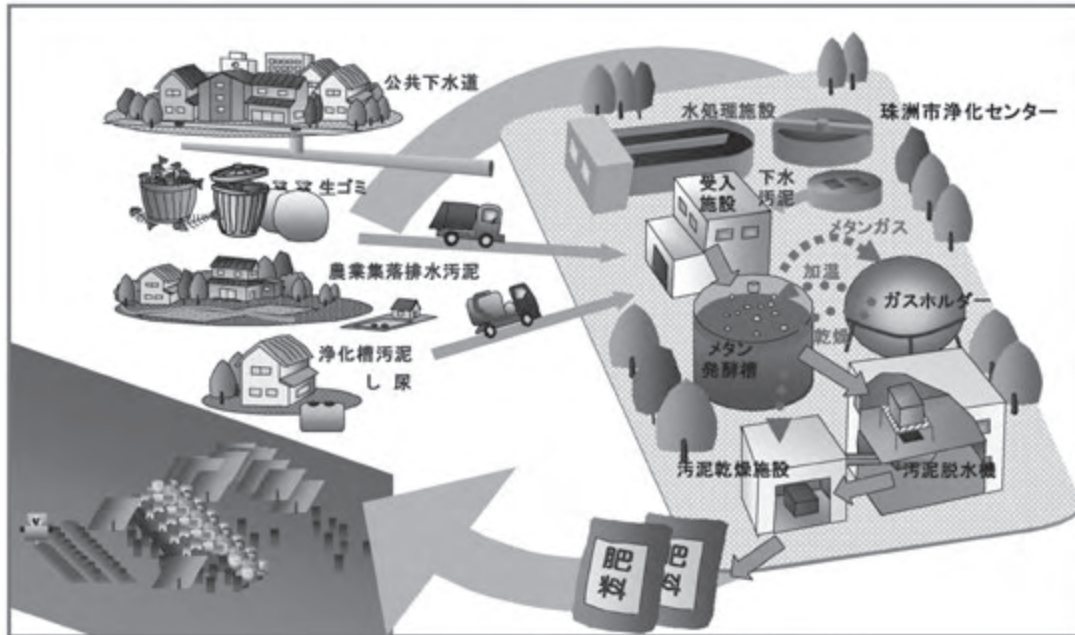


図-1 「珠洲市・バイオマスエネルギー推進プラン」

3. 本施設の導入の目的・経緯

本施設の導入にあたっては、本市がこれまで抱えていた大きな課題を包括的に解決すると同時に、良好な地域循環型社会形成の推進、地球温暖化防止へ寄与できるといったコスト縮減、環境配慮を両立させる処理方式を模索した結果、本施設の導入に至った。

■課題1

下水道整備の拡大に伴い発生汚泥量が増加し、汚泥処分費が高騰していた。

■課題2

し尿・浄化槽汚泥等は隣町と共同で事務組合を設立して処理していたが、町村合併に伴い組合が解散することとなり、市単独で処理しなければならなくなった。

また、既存のし尿処理施設は本市外に建設されており、建設から20年以上経過して老朽化が進み、施設の更新が必要であった。

4. 施設概要と事業費

(1) 施設概要

本施設は大きく5つの施設で構成され、処理フローは図-2のとおりである。

①受入・前処理施設

し尿や浄化槽汚泥の受入・貯留、夾雑物除去、濃縮処理や生ゴミの破碎分別処理、可溶化処理等を

行う。生ゴミは、破碎分別機により異物除去と生ゴミの破碎処理を同時に行い、その後、可溶化槽へ移送。可溶化槽では温水と混合、1日以上滞留によりエマルジョン化の促進、流動性の向上を図る。

②メタン発酵施設

湿式中温メタン発酵（発酵温度37℃、必要滞留日数19日以上）処理を行う。

③ガス利用施設

乾式脱硫装置、ガスホルダー等。発生したメタンガスは脱硫後、ガスホルダーに貯留し、発酵槽の加温や生ゴミ可溶化用の温水製造、汚泥の乾燥等、熱エネルギーとして場内利用される。

④汚泥処理施設

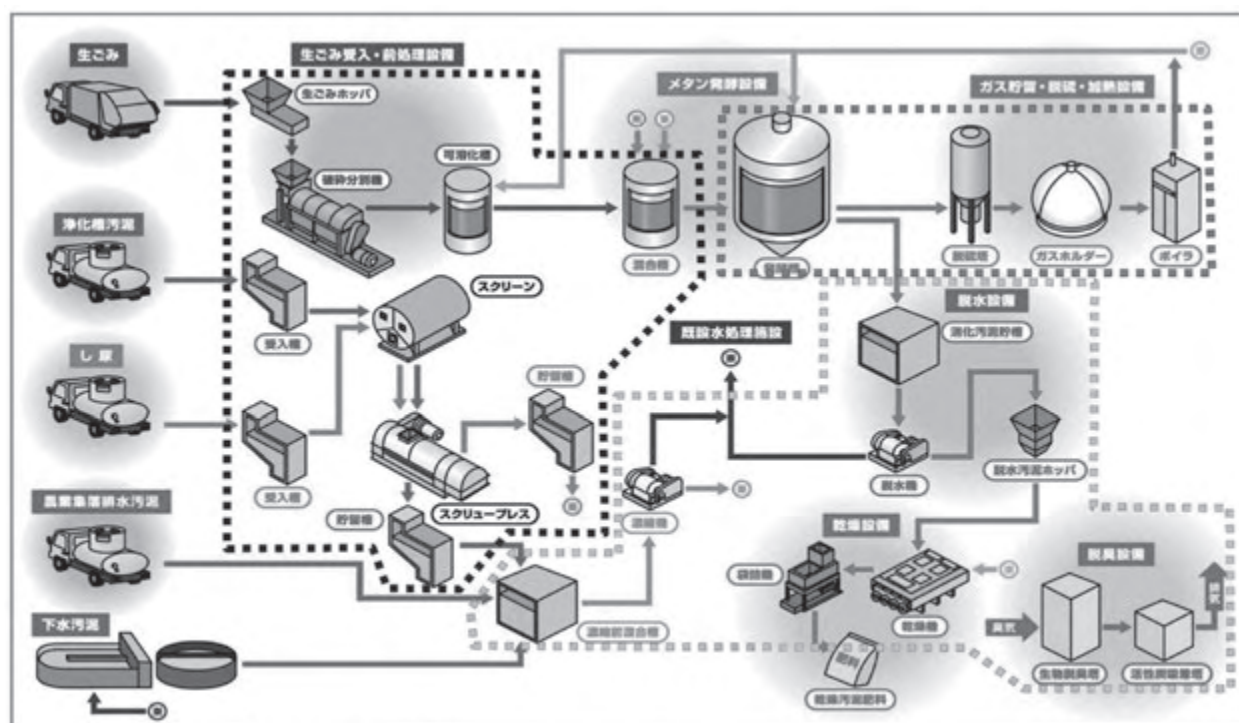
消化汚泥の脱水、乾燥処理を行う。含水率20%程度に乾燥、造粒して肥料化する。

⑤脱臭施設

生物脱臭+活性炭吸着により、臭気の処理を行う。臭気発生源別に高、中、低濃度に区分して処理。高、中濃度臭気は生物脱臭処理後、活性炭処理。低濃度臭気は活性炭処理のみとしている。

(2) 事業費

建設事業費は13億9千万円で、70%程度が国交省所管事業として位置付けられ、残り30%が環境省所管事業として位置付けられた。

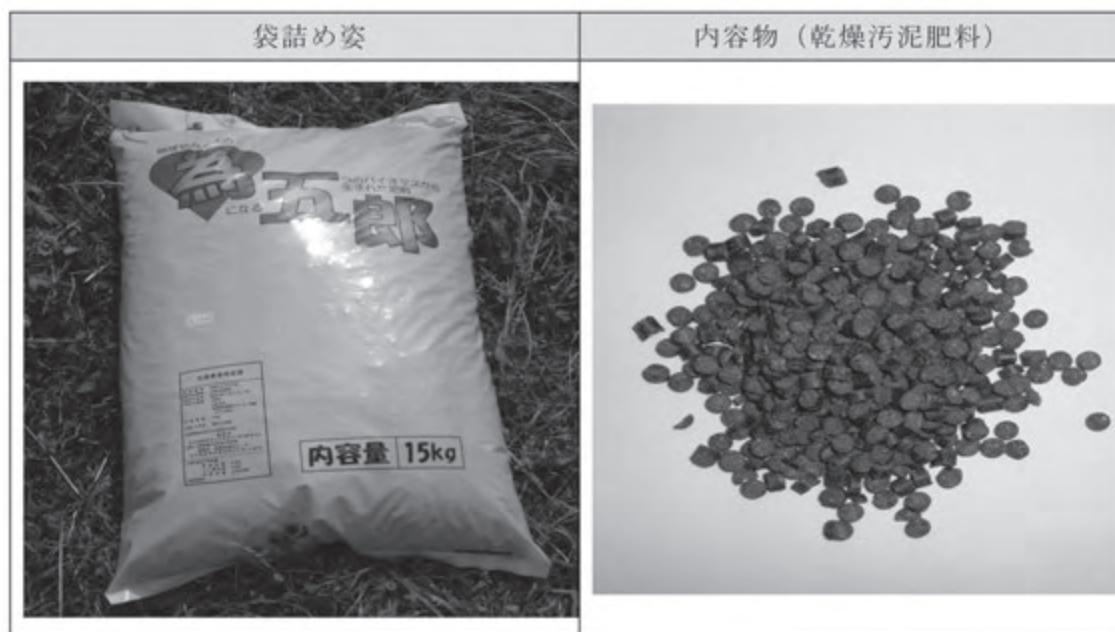


注) 図中、、、 の囲みは、国交省、環境省の補助区分である。

図-2 処理フローと事業区分



写真-1 「メタン発酵槽」



5. 導入効果

(1) コスト削減効果

コスト面では、し尿・浄化槽汚泥等を個別の施設で処理していた従来の処理・処分費用に比べて、年間 5,700 万円程度の削減が図られた。汚泥は全て乾燥・造粒し、肥料として市民へ配布されているため、基本的に処分費は発生しない。

(2) 環境負荷削減効果

環境負荷削減効果では、処理施設の運転に伴い発生する温室効果ガス排出量（二酸化炭素量に換算）を、従来の処理に比べて年間 2,370t 程度の削減が図られた。

これは、これまでの処理では汚泥類の持つエネルギー（バイオガス）を利活用せず、逆にエネルギーを投入して処理を行ってきたことに対し、本施設の導入により汚泥類の持つエネルギーの有効利用及び集約処理による処理に必要なエネルギーの効率的利用が可能になったことが大きな要因と考えられる。

6. 乾燥汚泥肥料 “為五郎”

本施設で製造される乾燥汚泥肥料 “為五郎”（写真一参照）は、地域住民から好評を得ており、予約制としている状況である。

“為五郎” は、市民からの公募により決定した名称であり、市内で発生する “5” 種類のバイオマスを利用して、地域の “為” になるものができたという意味を持っている。

“為五郎” の品質は、普通肥料としての公定規格はもちろん、有機質肥料としての基準を満足している。

7. 今後の課題、展望

稼働開始から約 10 年が経過したが、バイオマスからメタンガスを生産し、それを利用して汚泥を乾燥肥料化する一連の処理システムの性能は正常に機能している。

また、このような地域全体での資源循環利用の取組みを進めたことを評価され、国土交通省「循環のみち下水道賞」資源のみち部門を受賞することができた。

稼働開始から約 10 年が経過し、機械電気設備の一部において老朽化などによる故障が多くなってきている。それに伴い、修繕費も増加傾向となっている。平成 29 年度から長寿命化支援制度を活用して機器の改築更新を計画的に実施していく予定である。

今後も安定した施設運営を行うため、日常の運転管理を通じて機能・性能等の保持に努めていきたい。

特集：下水熱 / エネルギー利用

解 説

北広島市における下水と
バイオマスの混合消化

北広島市水道部下水処理センター長 藤本 正志
株式会社道央環境センター 佐々木裕哉

キーワード：下水とバイオマスの調和、微生物の育成環境、消化ガスの利活用、バイオマスの資源化、管理経費の削減

1. はじめに

北広島下水処理センターは平成 23 年度より家庭系・事業系生ごみ（一般廃棄物）、平成 25 年度よりし尿等汚泥（し尿・浄化槽・農業集落排水）を既設の下水処理センター敷地内に併設したバイオマス混合調整施設（以下バイオマス施設）にて受入処理（前処理）を行っています。特に家庭系生ごみと下水汚泥の混合処理は全国で初めてであり、既存の汚泥処理設備を利用した

事例となっています。

汚泥の消化処理により発生した消化ガスは、消化タンクの加温用ボイラーや汚泥乾燥設備の燃料として有効活用しています。乾燥汚泥については、肥料取締法の普通肥料として登録し、地元畑作農家（利用組合）を主に全量緑農地還元しています。

ここに、これまでのバイオマス汚泥処理の実績経過等を報告し、環境と調和した地域バイオマス利活用事業の推進に寄与していきたいと考えています。

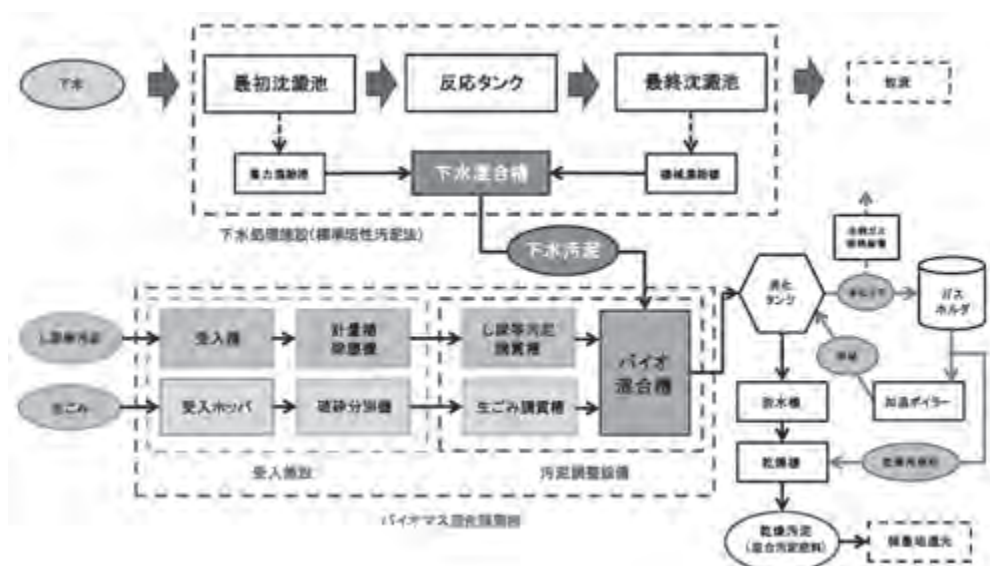


図-1 北広島下水処理センター処理フロー図

表－1 一般廃棄物量の推移

項 目	年 度		差
	平成22年度	平成28年度	
人 口 (人)	60,465	58,964	△ 1,501
家 庭 ご み (資源ごみ等) (t)	12,579	12,390	△ 189
生ごみの組成割合 重量比 (%)	49	28	△ 21

*市清掃事業概要より

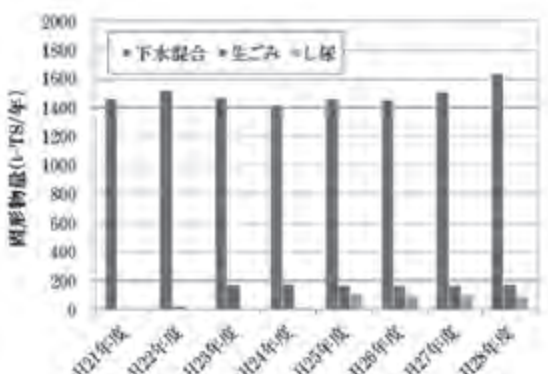
2. 生ごみ受入処理状況

生ごみの受入は平成 23 年度より開始し、平成 28 年度における生ごみ受入処理量は日平均で約 48t となっており、当初の施設計画受入量 17t に対し約 3 割の数値となっています。この 5 年間の生ごみ受入処理量は横ばいになっていますが、市内一般廃棄物総量の組成分析に占める生ごみの割合（重量比）は、バイオマス処理開始後に半減しています（表－1）。

受入れている生ごみは家庭系（有料袋）・事業系の食品全般としていますが、受入前処理設備や消化機能への影響を考慮し、卵の殻・貝殻・とうもろこしの皮・竹の子の皮は対象外としています。実際の受入時には、金属類・空き瓶・缶類・小石等の異物混入により処理工程に不具合が生じていることから、市広報紙等により適正分別の理解・協力の啓発を定期的に行い、ごみステーションの現地指導や生ごみ収集時に半透明袋内の異物混入チェックに努めているところです。

受入れた生ごみは破袋後、破碎分別機により異物とスラリー状の生ごみに分別されます。分別されている異物の割合は受入量の 2 割程度を占めています。

生ごみの調質工程では、スラリー状の生ごみ濃度を希釈水量（処理水）により倍率 0.9～1.3 の範囲内で調整し、固形物濃度 5～6% の生ごみ調質液として消化槽投入汚泥としています。



図－2 各年度における処理汚泥固形物量の推移

3. し尿等の受入処理状況

し尿等については、近隣の 1 市 3 町（北広島市、長沼町、由仁町、南幌町）による広域処理（組合）を実施していましたが、施設老朽化に伴い、平成 25 年度より当センターで一括受入処理を行っています。受入実績量は日平均で約 37kℓであり、計画受入量 40kℓ／日をほぼ満たしている状況となっています。

受入れたし尿等は、回転式ドラムスクリーンにて処理不適物を分別し、固形物濃度 0.5～1.2% のし尿等調質液として消化槽への投入汚泥としています。

現在まで設備機器に大きな異常・故障等はなく、徹底した点検と清掃による安全衛生管理に努めています。図－3 に示すし尿等消化槽投入汚泥の固形物割合では約 5% と少なく、消化による分解性が生ごみと比較しても遅い特性を有しているため、発生ガス量の増減調整材として活用しています。特に留意している点は、脱臭、汚泥濃度、異物混入チェックを主体的に行っています。

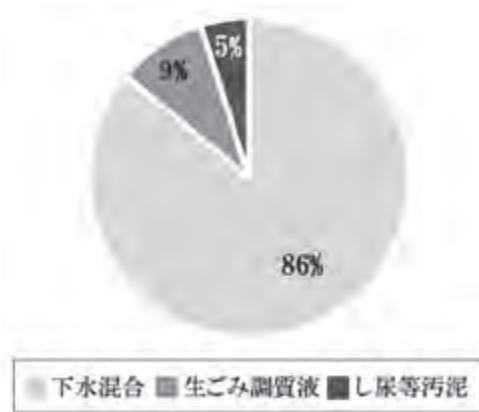
4. 消化槽管理について

バイオマス施設において調質された生ごみ・し尿等汚泥は、下水処理施設より発生する下水汚泥（濃度 4～5%）と混合攪拌し、性状の均質化と濃度調整の後、1 時間毎に消化槽へ定量投入しています。

このことにより、生ごみ・し尿等の受入量や性状等に変化が生じた場合においても、安定した負荷運転が可能となり、発酵阻害（有機酸の蓄積・メタン生成速度の低下・発泡）の抑制につながっています。

当センターにおける消化槽は 2 段嫌気性加温式を採用しており、全槽合計で 4,820m³ となっています。

攪拌方式は 1 系がガス攪拌、2、3 系はインペラ式



図－3 平成28年度における消化槽投入汚泥の固形物割合

表－２ 現有の消化タンク概要

系列	容積×槽数				攪拌方式
1	1次	610m ³ ×1	2次	610m ³ ×1	ガス攪拌
2		900m ³ ×2		900m ³ ×1	機械攪拌＋循環P
3		900m ³ ×1			

の機械攪拌と循環ポンプの設備を有しています。消化槽の加温は両系列とも蒸気直接吹込方式により行っています。

現在、消化温度は中温域（38 ± 1℃）とする中温消化（消化日数 27 ～ 37 日）で管理しています。

生ごみ投入開始当初は、消化タンク内での発泡現象に苦慮しましたが、約 7 ヶ月間で馴致化対策により改善することができました。その後のし尿等の受入れ開始時には、生ごみの馴致化によって得られた知見や運転管理データ活用により、比較的短期間で馴致化することができています。

その後、全消化槽の限界処理能力調査を行い、投入負荷量・加温方法と温度設定、消化槽循環ポンプの運転と機能アップの試行試験、各工程の汚泥試験解析により消化槽運転管理指標を策定し標準化したことで、消化率・ガス発生量・汚泥減量等の安定した消化槽機能維持が図られています（表－ 3）。

消化ガスの有効利用については、バイオマス汚泥の一定負荷量制御運転による日単位の収支バランス管理によって、ボイラー・乾燥機の効率的な省エネ運転が可能となっています。

5. バイオマス前処理設備と運転状況

バイオマス汚泥の受入処理を開始してから 5 年が経過しています。

表－ 3 消化タンクの運転管理指標

管理項目	目標値
pH(－)	7.1～7.4
濃度(%)	1.40～1.60
アルカリ度(mg/L)	4000～4800
揮発性有機酸(mg/L)	500～700
槽内温度(℃)	38.0±1℃
固形物負荷(TSkg/kg)	12%以下
消化日数(日)	20日以上(1次のみ)
消化率(%)	60%以上
ガス発生倍率(倍)	20倍以上
泡位上限(2系消化槽)	蒸気防波管が見えなくなるまで

運転当初は薬品脱臭装置の調整や攪拌ポンプ・配管つまり等の軽易な不具合が生じていましたが、通年を通して機能低下等の異常・故障はない状況でした。

2 年目を過ぎたころから、設備機器の経年劣化現象が発生するようになり、平成 24 年 10 月 12 日の異物搬送コンベアー連結チェーンの摩耗切断から端を発し、今では生ごみ破碎分別機のパンチングメタルやブレードの変形、摩耗等による故障修繕や工事関連業務が定着化したことにより予知予防の機能調整や計画的な設備保全が図られています。

また、MAP 付着等による配管（塩ビ管）等の閉塞や汚泥性状の変化に伴い、沈砂槽や調質槽・消化槽内防食塗装の剥離が確認され、その修繕工事を行う時期を迎えています。

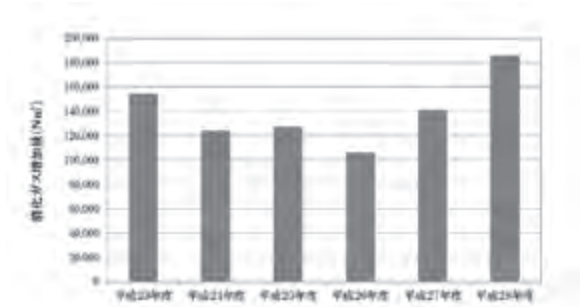
6. 事業効果

(1) 消化ガス発生量

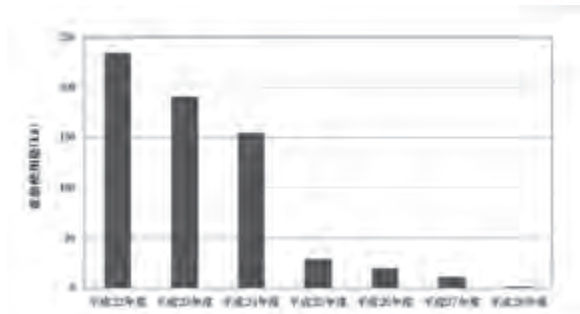
下水汚泥の単独処理であった平成 22 年度と比較すると、平成 28 年度においては年間で約 186,000N m³増加しており、発熱量を重油換算した場合の燃料費は約 5,718 千円 / 年となっています（図－ 4）。※平成 22 年度の下水汚泥単独処理時のデータと比較

(2) 重油使用量

バイオマス処理を開始する前年度から現在までの重油使用量の推移（図－ 5）を示しています。



図－ 4 バイオマス受入開始に伴う消化ガス増加量



図－ 5 バイオマス受入開始に伴う重油使用量

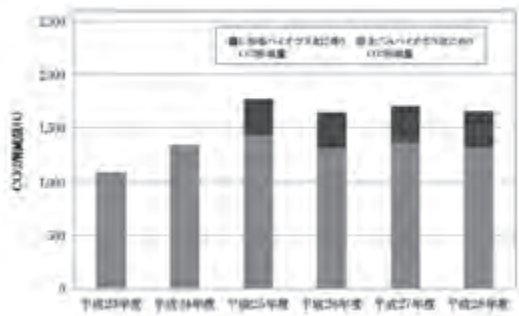


図-6 CO₂削減量推移

生ごみとし尿等処理施設を既設下水処理施設に集約したことにより、重油使用量が激減しています。要因は、発生ガス量の増加と使用用途がボイラーと乾燥機に限定されたことにあります。

通年を通して一定量のガス使用となっていますが、夏季には発生量が上回り、冬季はその逆となるも四季に応じた収支バランスの運転管理をしています。

なお、余剰ガス発生時は余剰燃焼装置で処理しています。この様な管理により、平成22年度のバイオマス処理前の重油使用量(234kℓ/年)と平成28年度(1.5kℓ/年)使用量の差額は11,640千円となっています。

※平成28年8月北海道産業油

A 重油単価(大型ローリー): 50円/ℓ

(3) CO₂削減量

『温室効果ガス排出量算定報告マニュアル』に基づき、年間で約1,660tの削減効果となっています(図-6)。

(4) 建設コスト

バイオマスガス化処理施設を単独で建設した場合の計画事業費が約32.5億円と見積もられ、事業の

具現化と費用対効果・検証により建設費が約23億円に圧縮できたことから、当初事業費との差額約9.5億円が削減効果となって実現したことになります。

(5) 維持管理コスト

既設下水処理センターのバイオマス前処理施設として位置づけし、一体型の管理体制としたことで人員削減が可能となり、約85,000千円/年の節減となっています。

7. おわりに

既設下水処理センターは供用開始(昭和47年2月)後、45年の歳月を経ております。

都市化の進展と共に人口は11,000人から60,000人規模となり、下水道普及率も96%を超えています。

この間、下水処理センターの増設と共に設備機能の高度化が図られたことを契機に①下水と汚泥の調和した運転管理、②設備保全と機能維持、③微生物の育成環境の三位一体化した管理手法がバイオマスの三種混合消化処理を可能としたものと受け止めています。

このような経過を踏まえ、バイオマス施設計画から実現まで5年間を要しています。その内の2年間は計画設備内容と既設消化槽機能との連結・連動を重視した運転管理の在り方についてシミュレーションし、その検証成果をもって総合試運転計画書を作成し、実装置で“挑戦”したことが今日の“原動力”となっています。

「汚泥を制するもの、下水をも制する」との“逆転の発想”で臨んだことが“新たな道標”となったものと解しています。

これらの貴重な事業体験から得られた知見をもって、さらなる下水とバイオマスの混合消化による有効・有益性を高める持続的な技術開発に努めていくこととしています。

《まとめ》

表-4 既設の設備を使用した生ごみ、し尿の受入・処理による効果性

	生ごみ	し尿
メリット	・化石燃料使用量削減 ・埋立処分地延命化	・一般管理費削減 ・投入負荷調整機能効果
デメリット	・処理付帯設備の腐食・劣化 ・消化タンクでの発泡現象	・消化槽濃度低下 ・処理付帯設備の悪影響

特集：下水熱 / エネルギー利用

解 説

黒部市下水道バイオマスエネルギー
利活用事業について黒部市都市建設部 上下水道工務課
課長補佐 村椿 謙一

キーワード：地域バイオマス

1. はじめに

本市は富山県の東部にあり、日本一の清流を誇る黒部川扇状地の左岸に位置している。

北西部は富山湾に面し、東は北アルプスの山々を仰ぎ、南は立山連邦をはじめとする中部山岳国立公園が広がる豊かな自然に恵まれた地域である。

面積は 427.96km²、人口は約 4 万 2 千人で、平成 18 年 3 月 31 日に旧黒部市と旧宇奈月町が対等合併して誕生した市である。

地形は、水深 1,000m の富山湾から標高 3,000m の北アルプスまで高低差が 4,000m あり、日本一の V 字峡の黒部峡谷、清流黒部川がもたらした肥沃な扇状地、こんこんと湧き出る清水（しょうず）が楽しめる海岸部地区の街並みなど豊かな自然が織りなす多彩な四季の表情があり、これらの自然や富山県を代表する名湯である宇奈月温泉などの観光資源や県東部の玄関口としての北陸新幹線の開業により、国内外より多くの人々が訪れている。

2. 黒部市の汚水処理事業

本市における汚水処理事業は、公共下水道事業、農業集落排水処理事業、合併処理浄化槽設置補助事業により整備しており、その整備率は平成 28 年度末現在

で 94.1%と概成に近づきつつあり、今後も公共下水道未普及地域について精力的に整備を進めることとしている。

また、人口減少や節水型の水道機器の普及に伴い使用水量が減少していることから、処理施設の維持管理の効率化を図るため、農業集落排水処理施設 9 箇所を廃止し、公共下水道に統合する計画としており、順次統廃合を実施している。

3. 事業実施までの背景

黒部浄化センターから発生する下水汚泥の処理は、その全量を埋立処分など外部委託していたが、委託先の休止や閉鎖・処分費の値上げなどのリスクを抱えており、このリスクに対応できる新たな処理システムの確立が課題となっていた。

一方、これまで黒部市の浄化槽汚泥や農業集落排水汚泥を処理していた黒部市周辺 2 市 2 町で構成される新川広域圏事務組合のし尿処理施設が、老朽化による更新工事において、生し尿のみを処理することとなった。このため、浄化槽汚泥や農業集落排水汚泥は、新たに各自治体で個別に処理しなければならない状態となった。

また、地球温暖化問題や、資源・エネルギー需給の逼迫が懸念される中、持続可能で循環型社会に適応した汚泥有効利用方法が求められていました。

こうした諸問題を解決するため、下水汚泥、農業集



写真－1 施設全景

落排水汚泥、浄化槽汚泥、食品残渣をバイオマス資源として位置付け、温暖化防止、エネルギー利用も含めた新たなリサイクルプロセスを創出することにしたものである。

4. PFI の導入

黒部市のような小さな地方自治体が、バイオマス利活用に関して限られた情報により実施する従来型の公共事業では、新技術に適応した事業が円滑に実施できないことが懸念された。

また、これまでは黒部市で下水汚泥の最終処分先を確保してきたが、今後は民間事業者が汚泥処理から有効利用までを一連とした事業を委ねた方が、新たな利用先を安定して確保できるのではないかと考えたところである。

そこで、民間事業者が持つ経営ノウハウや最新バイオマス利用技術の活用、乾燥汚泥の流通先の確保やコスト縮減といった観点から PFI を導入し、民間事業者が下水道バイオマスエネルギー利活用施設の設計・建設・維持管理・運営の事業全般を委ねることにした。

5. 事業の概要

市内各施設から収集されてきた農業集落排水汚泥と浄化槽汚泥を、黒部センターの外部汚泥受入施設で受け入れ、黒部浄化センター水処理施設からの生、余剰汚泥と混合・濃縮調整し、PFI 事業者が建設したバイ

オマスエネルギー利活用施設に投入する。

一方、事業系食品残渣であるコーヒー粕を近隣企業から受け入れ、PFI 事業者へ搬入する。

これは、施設運転の負荷変動低減と、バイオガス量を確保するために定量かつ安定して調達可能な事業系食品残渣を、PFI 事業者へ供給するものである。

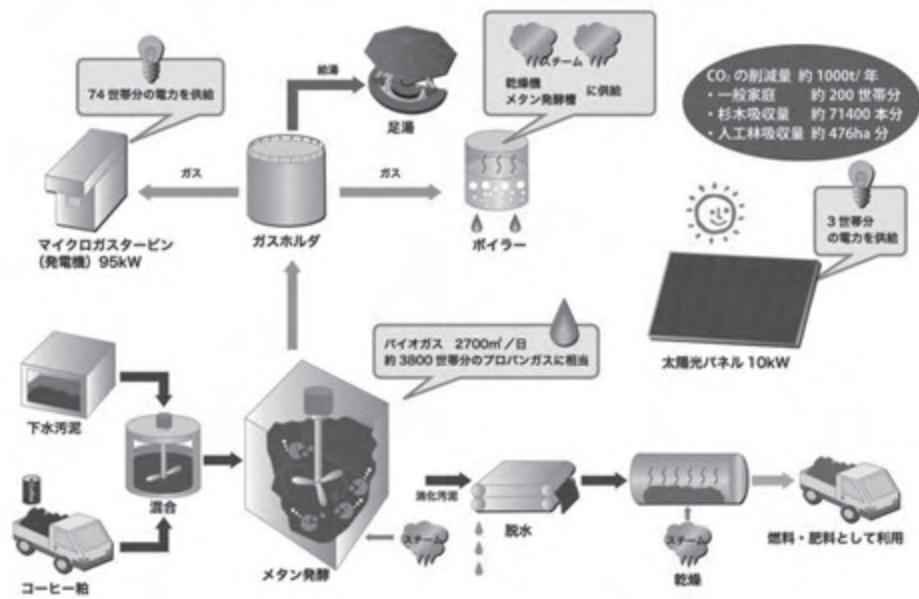
また、各家庭から排出される食品残渣についても単体ディスポーザを使用し、分流式の下水道管渠を通じて黒部浄化センターに集約し、下水汚泥として回収することとした。このことは、収集運搬や分別作業が不要になるというメリットがあり、ゴミだしやゴミ処理費用の軽減が図れるなどの副次的効果も期待できる。

PFI 事業者は、これら黒部浄化センターに集約された汚泥・食品残渣などのバイオマスを、自らで設計・建設した利活用施設でメタン発酵させ、メタンガスを取り出す。そのメタンガスは、ボイラー燃料として主に使用しており、生成した蒸気はメタン発酵後の消化汚泥の乾燥及びメタン発酵槽の加温のための熱エネルギーとして利用している。また、メタンガスの一部は、マイクロガスタービンに発電用燃料として供給し、その発電電力は、黒部浄化センター内の動力源として使用している。

さらに、メタン発酵と乾燥によって減量化した乾燥汚泥は、全量を有効利用している。

PFI 事業の期間は、施設建設に 2 年 1 カ月、維持管理運営期間を 15 年間としており、平成 21 年 4 月に総額 36 億円で特別目的会社（SPC）である黒部 E サービス（株）と事業契約を締結している。

未来を担うエコエネルギー・バイオガス



図ー1 処理フロー

表ー1 事業概要

バイオマス受入量 (H38 年度計画値)	①下水汚泥（濃縮汚泥） ＊ディスポーザ由来の汚泥含む。 ②農業集落排水汚泥（濃縮汚泥） ③浄化槽汚泥（濃縮汚泥） ④事業系食品残渣（コーヒー粕） 合 計	25,034m³/ 年 1,080m³/ 年 134m³/ 年 2,884m³/ 年 29,132m³/ 年
メタンガス利用法	①ボイラーによりメタン発酵槽加温熱源及び汚泥乾燥機熱源として利用 ②マイクロガスタービンで発電して場内利用	
汚泥有効利用方法	乾燥汚泥化し、肥料及び化石燃料の代替燃料として有効利用	
温暖化ガス削減量	CO ₂ 削減量 約 1,000 t / 年	
事業期間	①設計・建設期間 H21.4.1 ～ H23.4.30 ②維持管理・運営期間 H23.5.1 ～ H38.4.30	
事業費	建設費 16 億円、維持管理運営費 20 億円 計 36 億円	

6. 施設の特徴その1（メタン発酵設備）

原料である濃縮汚泥と事業系食品残渣を混合・粉碎して、生分解しやすい状態に調整したうえで、メタン発酵槽に供給する。メタン発酵槽では、あらかじめ馴染ませた消化汚泥を一定温度で滞留させておき、ここに原料を投入することにより消化汚泥に含まれるメタン発酵菌の作用で、原料中の有機成分がメタンガスに転換される。発酵は高温発酵方式で行われている。

事業系食品残渣として使用するコーヒー粕は、汚泥

と比較してメタンガスが大量に発生することから、施設のエネルギー収支を安定させるために有効である。回収したメタンガスにより施設内で使用する熱を賄えるうえ、余剰エネルギーで発電することが可能となった。

本事例のコーヒー粕は、メタン発酵に不適であるとの見解もあったが、実証試験により一定量であれば問題がないことを確認し、原料として採用している。

平成 28 年度は、約 86 万 m³ / 年のメタンガスが発生しており、当初計画を超える発生量となっている。



写真-2 メタン発酵槽

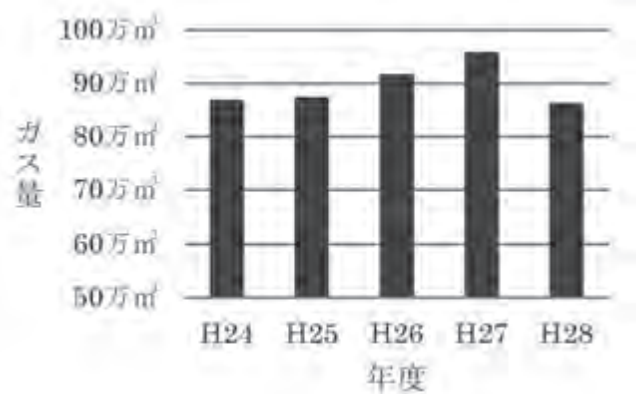


図-2 ガス量



写真-3 マイクロガスタービン

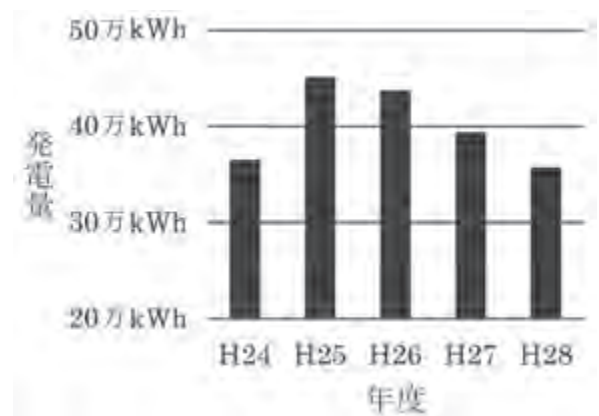


図-3 発電量

7. 施設の特徴その2 (マイクロガスタービン)

メタン発酵設備で生産されたバイオガスは、脱硫装置を経てガスホルダに貯蔵される。その後、シロキサンを除去し、バイオマスボイラーやマイクロガスタービンに供給される。汚泥とコーヒー粕の混合バイオマスをメタン発酵することで、シロキサンの発生が確認されたことから、除去装置を設置している。

また、PFI事業者の提案であるマイクロガスタービンは、シロキサンの影響が少ない発電装置であり、安定した発電、整備停止時間の低減が図れるため、本施設において採用している。マイクロガスタービンは、コンパクトで低騒音の特徴を持った環境性能に優れた発電機であり、開放型の処理場である黒部浄化センターに適した機種である。発電出力は95kWであり、廃熱から蒸気の回収も行い、メタン発酵槽の加温用に利用している。平成28年度年間発電量は約36万

kWh/年で、全量を施設動力として利用している。

なお、マイクロガスタービンはPFI事業者により24時間遠隔監視する体制が整っているため、予防保全や早期の故障対応が可能であり、高い稼働率を維持することができる。

一方、マイクロガスタービンにより生産された電力は、本施設の各種機器が稼働している場合は、施設内にて使用しており、夜間休日などの本施設が停止している場合は、黒部浄化センターに供給し、水処理施設の機器にて使用している。

8. 施設の特徴 (その他)

本事業では、メタンガスの約7割をバイオマスボイラーの燃料として利用している。バイオマスボイラーから発生した蒸気は、メタン発酵槽の加温用として、また脱水汚泥の乾燥用として利用されている。含水率40%まで乾燥された汚泥には、余剰汚泥中に含まれて



写真-4 バイオマスボイラー



写真-5 足湯



写真-6 ディスポーザ設置状況1



写真-7 ディスポーザ設置状況2

いた窒素・リンなどの肥効成分が濃縮されているため、肥料として有効利用されている他、19MJ/kgの発熱量があり、燃料としての価値もあることから、民間の小規模発電事業者で発電燃料としても有効利用されている。

また、乾燥汚泥は肥料登録しており、「くろべ緑花王」の名称で市民にも無償配布している。

一方、余剰メタンガスを利用してお湯を沸かし、施設内に整備した足湯に供給している。黒部浄化センターは「開かれた下水処理場」として、センター内の修景公園「アクアパーク」と共に一般に開放されているが、本施設もその一角にあり、市民の憩いの場として利用者の好評を得ている。

9. 終わりに

本事業の実施前には各関係機関との事前協議が必要

となってくるが、とりわけ一般廃棄物である浄化槽汚泥・農業集落排水汚泥、産業廃棄物であるコーヒー粕を受け入れていることから、廃棄物の処理及び清掃に関する法律に基づき、保管、収集、運搬、再生、処分することが責務であるため、予め各都道府県の環境部局との事前協議を行うことが重要となる。本事業においては、その協議に相当の期間を要したことから、同様のバイオマス事業を実施する際は早い段階での事前協議の実施にご留意いただきたい。

本事業は平成30年度中に維持管理・運営期間の折り返し地点を迎えるところである。今後もさらなるバイオマスの確保のため、下水道への単独ディスポーザ設置の推進に努めるとともに、市とPFI事業者が事業契約に基づくリスク分担事項を遵守し、本事業後半期の効率的な事業運営に努めていきたいと考えている。

特集：下水熱 / エネルギー利用

解 説

広島市西部水資源再生センターにおける
消化ガス発電事業について

広島市下水道局管理部西部水資源再生センター

技師 巻幡 剛始

キーワード：消化ガス発電、再生可能エネルギー、固定価格買取制度

1 はじめに

広島市は北部を緑豊かな山々や丘陵に囲まれ、太田川河口のデルタ地帯を流れる六本の川に恵まれることで、「水の都」と言われる都市景観をつくりだしており、さらに多島美を誇る波静かな瀬戸内海に面する海に開かれた人口 119 万人の都市です（写真-1）。

本市では、「水の都ひろしま」にふさわしい水環境を創出するため、積極的に下水道事業を進めており汚水処理人口普及率は 95.9%（平成 28 年度末現在）となっています。

汚水処理の過程で発生する脱水汚泥量は、本市全体で年間約 5 万 5 千トンとなっており、これらの脱水汚泥は下水道資源の有効利用と危険分散の観点から、20%を肥料化、30%をセメント化、50%を西部水資源再生センターにおける汚泥燃料化事業（写真-2）の固形燃料の原料としています。

本稿では、西部水資源再生センターにおいて、再生可能エネルギーの有効利用を図るとともに、新たな財源確保を目的として、平成 30 年度から導入を予定している再生可能エネルギーの固定価格買取制度※（以下「FIT 制度」という。）を活用した消化ガス発電事業について紹介します。

※再生可能エネルギーで発電した電気を、電力会社が一定期間、一定価格で買取ることを国が保証する制度。平成

29 年度の買取価格は、下水汚泥などのメタン発酵ガスによる場合 39 円 /kWh（税抜）。



写真-1 広島市

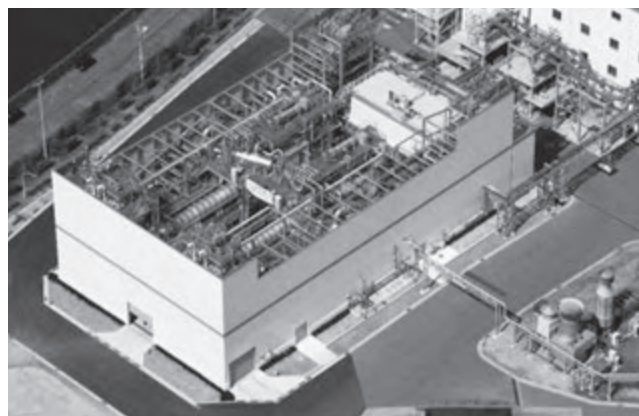


写真-2 汚泥燃料化施設

2 消化ガス発電事業の導入背景

西部水資源再生センターは、昭和 56 年 10 月に全体計画の 1/9 (57,300m³/日) で供用開始して以降、順次下水道整備区域を拡大し、平成 27 年 4 月からは全体計画の 6/9 (307,200m³/日) で運転しています。

当センターは、本市所管の下水処理施設で唯一消化槽を有しています。消化工程では約 21,400m³/日 (脱硫後) の消化ガスを発生しており、① 44%を汚泥燃料化施設の汚泥乾燥工程及び炭化工程の燃料、② 32%を消化槽加温ボイラの燃料、③ 21%を消化ガス発電 (写真-3) に利用し、残り 3%は未利用 (焼却処分) となっています (図-1)。③の消化ガス発電による電力は場内で利用し、電力料金の削減を図っていますが、平成 12 年に設置した消化ガス発電設備は老朽化が進み、購入電力料金の削減額は維持管理費とほぼ相殺している状況です。

このため、今後の消化ガスの有効利用について検討を行いました。

検討に際しては、消化ガス発電設備を更新して継続する場合と、F I T 制度を活用した公設公営又は民設

民営で行う売電事業の場合とを比較しました。

その結果、建設費等の事業費が不要で、最も収益が見込める F I T 制度を活用した民設民営の消化ガス発電事業を導入することとなりました。

3 消化ガス発電事業の概要

本事業は、民設民営方式であるため、民間事業者が自らの資金により消化ガス発電設備を整備し、発電事業者として F I T 制度を活用して電力会社へ電力を売却します。その売却収入により本事業の設計・建設・維持管理・撤去までの経費全てを賄います。一方、本市は民間事業者への消化ガスの売却益と土地の使用料が収入となります。

また、発電機から発生する廃熱を温水として回収し、消化槽の加温熱源として有効利用を図ります (図-3)。

消化ガス発電設備は 558kW の発電機を 2 台設置 (合計出力 1,116kW) し、発電量は年間 690 万 kWh、一般家庭の約 1,900 世帯分の年間使用量に相当する電力を発電する予定です。

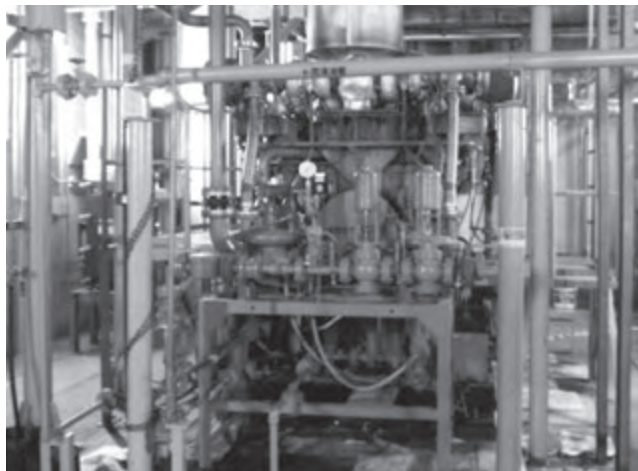


写真-3 既設消化ガス発電機

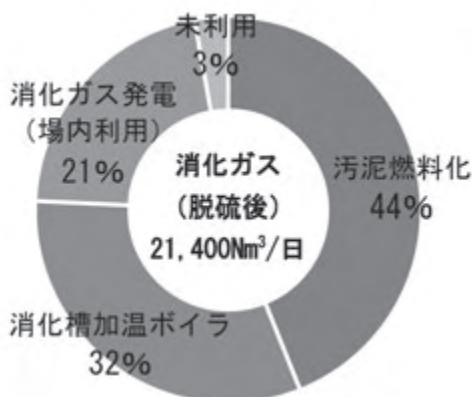


図-1 消化ガス有効利用状況

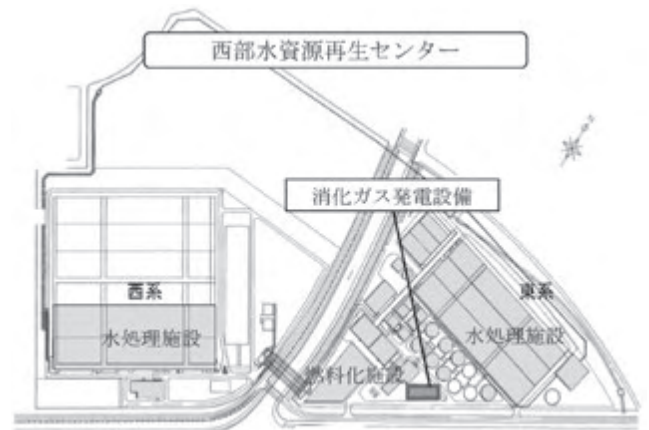


写真-4 消化ガス発電設備建設地

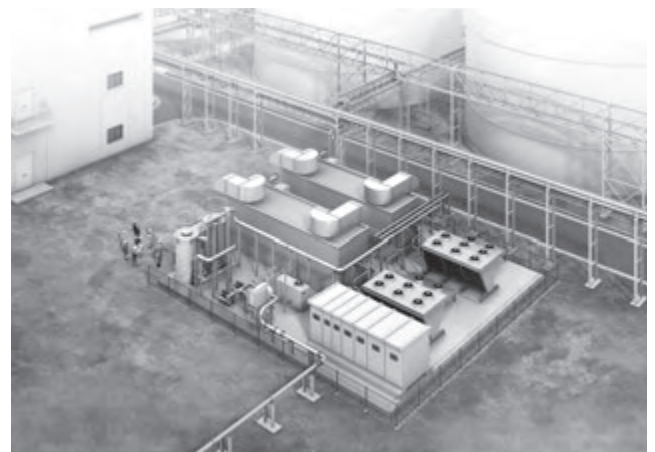


写真-5 消化ガス発電設備完成イメージ

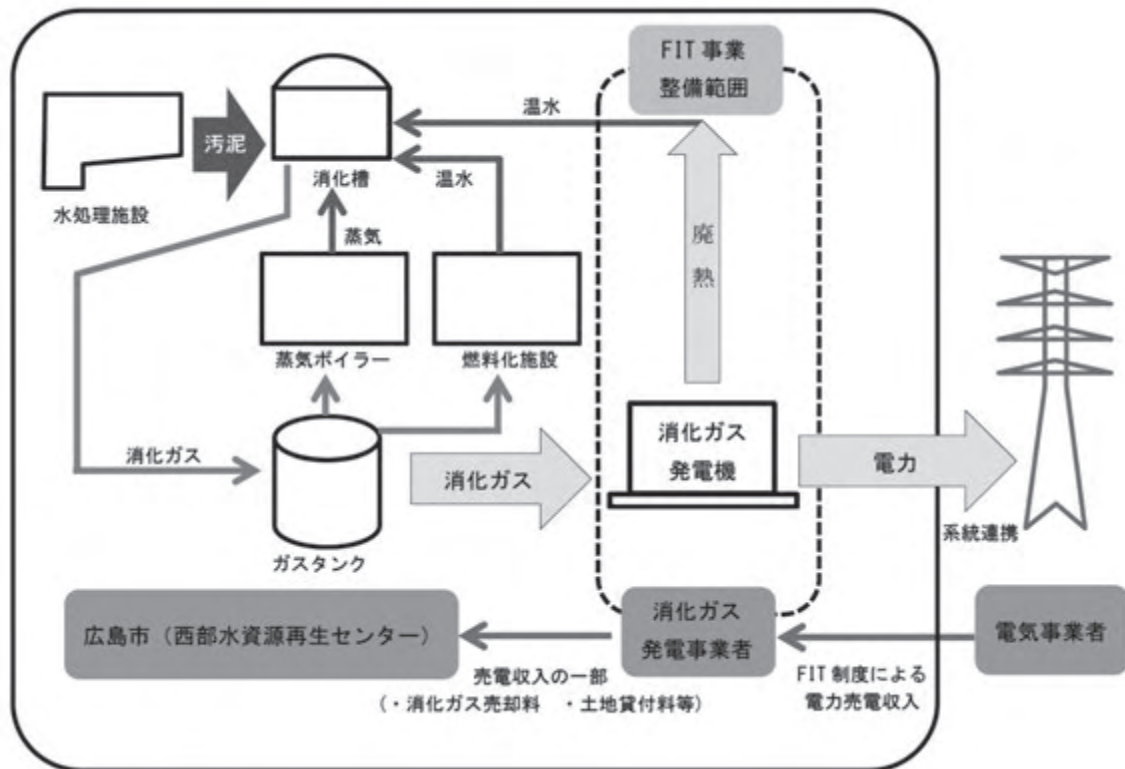


図-3 消化ガス発電事業の概要図

本事業は、平成 29 年 3 月に事業契約を締結し、現在建設工事を進めており、平成 30 年 4 月からの発電開始を予定しています。

維持管理・運営期間は、平成 50 年 3 月までの 20 年
間としています。

本事業の実施により、消化ガスの有効利用率 100%を達成(図-2)するとともに、CO₂排出量の削減により低炭素社会構築に寄与します。

また、発電機から発生する廃熱を消化槽の加温に利用することで、消化槽加温ボイラに供給する消化ガス量が削減できます。

本市が得る収入は、消化ガスの売却益と土地の使用料をあわせて、年間1億3,000万円、事業期間20年間で26億円を見込んでいます。

4 運営開始に向けた施設改善等について

本事業に必要となる消化ガスの発生量は、西部水資源再生センターでの処理過程で発生する汚泥の量及び性状により変動します。そのため、消化ガス発電事業に供給する消化ガス量を増加させ、かつ安定的に供給できるよう、施設の改善に取り組みました。

取り組みとしては、消化槽へより高濃度の汚泥を供給できるよう、汚泥供給ポンプを「横軸片吸込渦巻ポンプ」から「一軸ねじ式汚泥ポンプ」に更新しました。これにより消化槽内の水分が減少し、消化槽内の汚泥の加温に必要な熱量の削減を図れ、削減された熱量に相当する消化ガスを消化ガス発電事業に供給することが可能となります（表-1）。

また、消化槽の攪拌方式を、従来のガス攪拌方式から攪拌力の優れた機械攪拌方式に更新し、攪拌効率の向上による消化ガス発生量の増加を図る取組みも行っています。

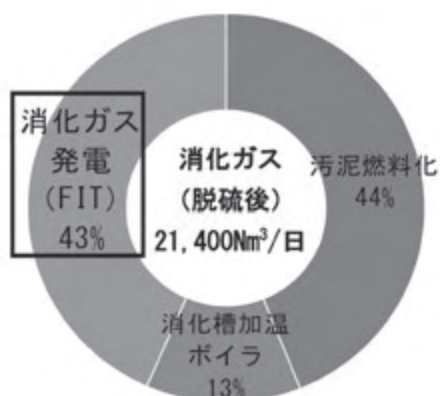


図-2 消化ガス有効利用計画

表-1 汚泥加温熱量の削減効果

	汚泥濃度 3.9%の場合	汚泥濃度 4.3%の場合	削減量	消化ガス量 に換算 → -1,864[N m³/日]
投入汚泥量[m³/日]	1,760	1,470	-290	
汚泥加温熱量[MJ/日]	246,911	205,901	-41,010	

5 おわりに

今回の消化ガス発電の事業化により、消化ガス全量をエネルギーとして利用することとなり、汚泥燃料化事業とあわせ、下水道資源の有効利用が一層図られることとなりました。

今後、20年間という長期間の維持管理・運営を迎えるなか、本市としては安定的に消化ガスを供給する

ことが重要ととらえ、施設改善等の取組みを継続するとともに、パートナーである発電事業者との連携を密にし、事業推進を図ることとしています。

昨今、下水熱利用や消化ガスからの水素製造技術が確立されるなど、下水道が有する資源・エネルギーを活用・再生する循環システムが注目されているところですが、本市においても、下水道資源の更なる有効利用に積極的に取り組んでいきたいと考えています。

特集：下水熱 / エネルギー利用

解 説

下水処理場における
地域バイオマス利活用

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 土屋 美樹

キーワード：下水汚泥の資源・エネルギー利用、地域バイオマス利活用

1 はじめに

下水汚泥は、これまで廃棄物として焼却・埋立されていたが、近年、資源・エネルギー源としての注目が集まっている。エネルギー自給率・食料自給率とも非常に低い我が国では、エネルギー及び食料の安全保障を巡る環境は厳しい状況にある一方で、下水道は都市内に張り巡らせた管渠を通じて、水、バイオマス、リンなど、様々な資源が流れて集まってくるインフラであり、下水道が有する資源の活用が非常に期待されている。

下水汚泥の資源・エネルギー利用にあたっては一定規模の汚泥量が必要となる場合も多いが、地域に存在する生ごみや剪定枝、刈草、し尿等の地域バイオマスを既存の下水処理場を活用して集約することで、中小規模の下水処理場でも効率的にエネルギー利用等を実施することが可能となるとともに、電力・農業等の分野での地方の産業・雇用の創出へ貢献することが可能となる。し尿・浄化槽汚泥・集落排水汚泥の集約は汚水処理事業の広域化のために広く行われているところだが、生ごみや刈草、家畜排せつ物、食品系廃棄物等を含んだエネルギー化等の利活用は現在全国で9箇所にとどまっており、一層の取組に期待したい。

そこで、本稿では下水処理場における生ごみや刈草、家畜排せつ物、食品系廃棄物等の地域バイオマス利活

用に向けた取組について解説する。

2. 下水処理場における地域バイオマス利活用
によるメリット

下水処理場に地域バイオマスを受け入れることにより、スケールメリットを生かしたエネルギー回収の効率化に加えて、既存のし尿処理施設、ごみ処理施設等の廃止や規模縮小が可能となる。したがって、市町村全体での、建設コストや維持管理コストの低減が期待できる。

また、地球温暖化対策としても、廃棄物処理施設等を下水処理場に統廃合することで処理が効率化され、市町村全体での温室効果ガス排出量が削減される。また、消化ガス発電等のエネルギー利用により、電力や燃料に伴うCO₂排出量の削減効果も期待される。

3. 全国での取組事例

平成29年10月には、豊橋市中島処理場バイオマス利活用センターが稼働開始した。本事業では、集約処理に伴う関連施設の更新費用削減等により、20年間で約120億円の財政負担を軽減につながっている。

また、同10月に石川県中能登町では、バイオマスメタン発酵施設の稼働を開始した。この事例では、既存の小規模下水処理場に他のバイオマス（し尿・浄化

槽汚泥、農業集落排水汚泥、生ごみ等）を集約処理し、発生する消化ガスは民設民営方式で発電利用され、残った汚泥は肥料として有効利用されている。ここでは、汚泥の減量化・肥料化により、処分費用を年間で約 26 百万円削減、また、バイオガス発電等による売却益で、年間で約 1.6 百万円の収入増加が見込まれている。

全国の下水处理場におけるし尿・浄化槽汚泥、農業集落排水汚泥のみの集約を除く、生ごみや刈り草等の地域バイオマス利活用の事例を図 2 に示す。現在、事例は 9 箇所に残っており、今後これらの事例の一層の展開に期待したい。

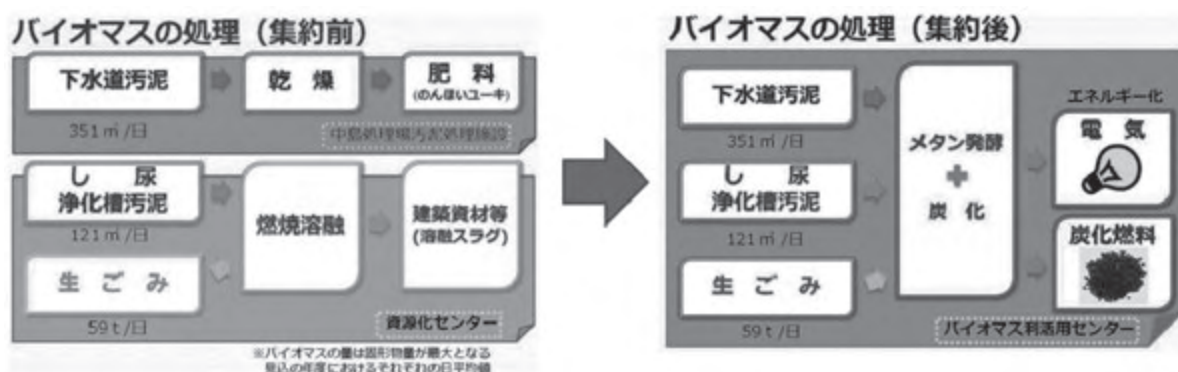


図 1 豊橋市における下水汚泥と地域バイオマスの利活用のイメージ（豊橋市提供）



図 2 下水处理場における地域バイオマス利活用の全国での取組状況

4. 地域バイオマス利活用に向けた国の取組

平成 28 年 11 月に開催された国土交通省生産性革命本部（第 4 回会合）では、「下水道イノベーション～“日本産資源”創出戦略」において、地域バイオマスを集約することで下水汚泥の徹底的な活用を推進していくこととされた。また、平成 29 年 8 月に国土交通省がとりまとめた新下水道ビジョン加速戦略においても、「下水処理場の地域バイオマスステーション化への重点的支援」が掲げられており、今後こうした取組のさらなる推進を図っていくところである。

以下に、国土交通省における下水処理場での地域バイオマス利活用推進に向けた取組を示す。

(1) 「下水処理場における地域バイオマス利活用マニュアル」の策定

地方公共団体等の実務者による地域バイオマス利活用の導入検討を支援するため、地域バイオマスの種類別の処理方法や下水処理への影響等の技術的事項や事業採算性等の検討方法や必要となる法的手続き等について、既往の実施事例等を併せて、平成 29 年 3 月にマニュアルとしてとりまとめ、公表したところである。

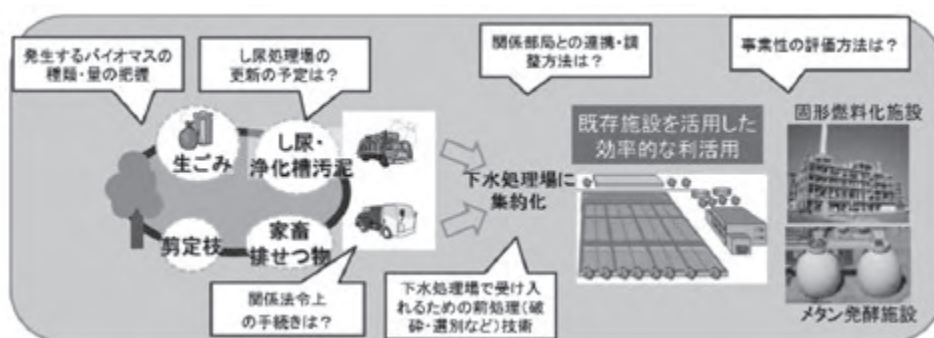


図3 下水処理場における地域バイオマスの集約のイメージと検討課題

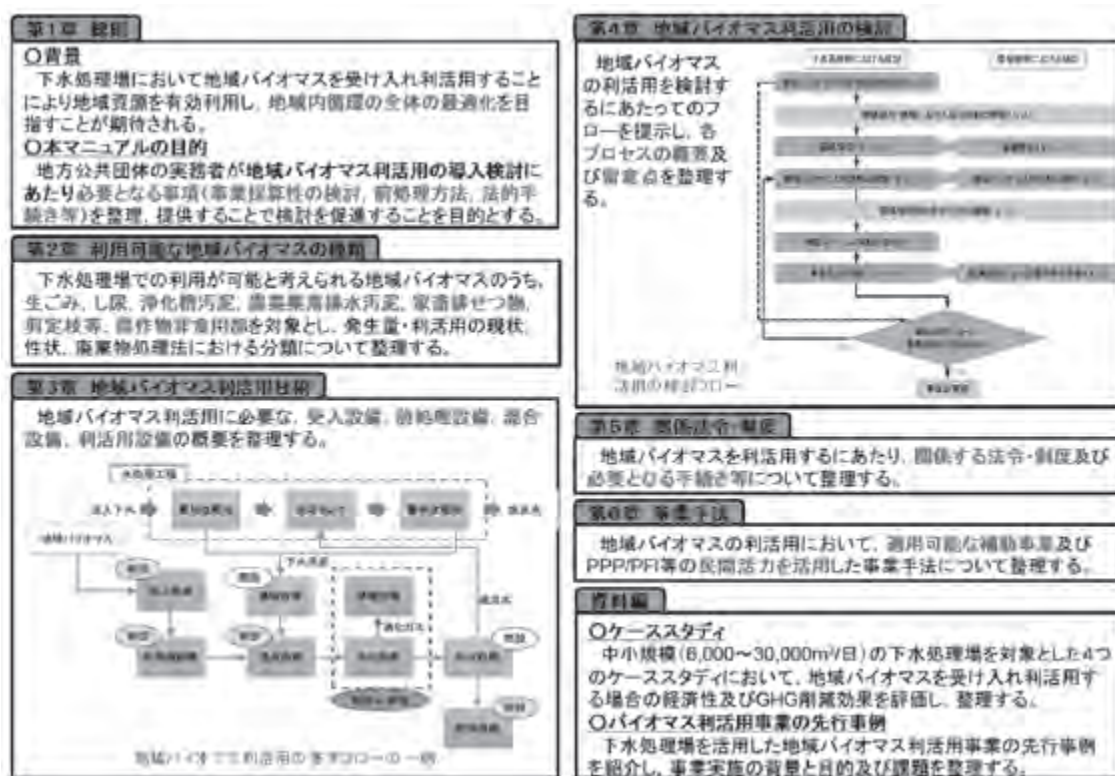


図4 下水処理場における地域バイオマス利活用マニュアルの概要

(2) 都道府県による取組の推進

下水処理場における地域バイオマス受入にあたっては、都道府県が中心となって市町村の取組を推進していくことが重要である。都道府県における広域化・共同化計画の策定にあたって、地域バイオマスの受入を含めた下水汚泥の有効利用に関する項目の検討を支援するため、国土交通省は平成 30 年 1 月に「下水汚泥利活用推進検討委員会」を立ち上げた。この中で、都道府県による広域的な下水汚泥の利活用や地域バイオマスの集約、最適な有効利用の導入に向けた方策等についての検討を進めていく。

(3) 技術実証の実施

平成 29 年度 B-DASH プロジェクトとして、高効率消化システムによる地産地消エネルギー活用技術の実用化に関する実証事業を実施し、生ごみ等の未利用バイオマスの活用、無動力の消化槽攪拌装置、バイオガ

ス発生量を増加させる可溶化装置、高い発電効率を有する燃料電池を組み合わせた高効率消化システムについて、処理性能や、エネルギー回収率の向上効果等について実証しているところである。

5. 終わりに

別々に処理されていたバイオマスを下水処理場で集約処理することは、スケールメリットを生かした地域のバイオマス資源の有効利用を図るとともに、処理費用を地域バイオマスの処理と併せて 5 ～ 30% 程度削減できるなど、下水道事業の安定的な運営を図ることも可能である。国土交通省としても、地域バイオマス利活用に向けた諸課題の解決に向けて、今後も引き続き支援を行ってまいりたい。関係各位におかれても、引き続き、御理解、御協力を御願ひする次第である。

特集：下水熱 / エネルギー利用

解 説

神戸市の下水道における
「こうべバイオガス」の活用

神戸市建設局

下水道部施設課係長 平田 卓也

下水道部施設課 有元 崇晃

キーワード：こうべバイオガス、高圧水吸収法

1. はじめに

神戸市では、6箇所ある下水処理場で、年間約2億 m^3 の下水処理を行っている。その際発生する汚泥は、東灘・西部・垂水・玉津処理場の4処理場において嫌気性消化することで減量化を図っており、その過程で年間約1,400万 m^3 の消化ガスが発生している（図1）。

消化ガスはメタンを主成分とした化石燃料に由来しないバイオガスである。これを積極的に活用することにより、化石燃料の消費削減や、 CO_2 排出量の削減などに貢献することができる。

しかし、消化ガスは機器を劣化・損傷させる不純物を含んでおり、メタン濃度も約60%と熱量が低いことから、場内での活用に限られていた。

そこで、本市では平成16年度より東灘処理場において、消化ガスの活用を広げるため、高品質化に取り組んだ。消化ガスを高度に精製し、天然ガス自動車（以下、CNG車）の燃料として活用可能な品質にすることを目標として研究を行い、その結果、「高機能脱硫装置」によりCNG車の燃料としてだけでなく、幅広い用途に活用可能な「こうべバイオガス」を生み出すことに成功した。

平成16年度以降、CNG車の走行試験や、高機能脱硫装置の建設を経て、平成20年度よりCNG車用燃料としてこうべバイオガスの供給を開始した。

今日では、東灘に続いて垂水・西部においても脱硫装置の改築に合わせ、高機能脱硫装置を導入し、こうべバイオガスを様々な方法で活用している（表1）。本稿では、本市の下水道における資源・エネルギーの中でも代表的なものである、こうべバイオガスの概要ならびに活用事例を紹介する。



図1 汚泥処理を行う4処理場

表1 平成28年度 こうべバイオガス活用実績

処理場	東灘		垂水		西部 (H30～平成)
	自動車燃料	都市ガス	Wエコ		ガス発電
場外利用	21万 m^3 約6,000世帯分 (1台1台)	170万 m^3 約1,000世帯分	220万 m^3 約1,000世帯分	290万 m^3 約1,000世帯分	310万 kWh 約900世帯分 (予定)
場内利用	-	-	ガス発電	ガス発電	-
	-	-	360万 kWh 約1,000世帯分	460万 kWh 約1,200世帯分	-

2. こうべバイオガスについて

平成 16 年度に株式会社神鋼環境ソリューション(以下、SKS)、大阪ガス株式会社(以下、大阪ガス)との共同研究を行い、その中で「高圧水吸収法」を用いる高機能脱硫装置を開発した。これにより消化ガス中の不純物(二酸化炭素・硫化水素・シロキサン等)を除去するだけでなく、メタン濃度を 97% 以上まで高めた、こうべバイオガスが精製可能となった。

「高圧水吸収法」は、加圧下におけるメタンと二酸化炭素・硫化水素の水への溶解度の差を利用した精製方法である。約 0.9MPa に加圧した消化ガスを水に接触させると、二酸化炭素や硫化水素はほとんど水に溶解するが、メタンはほとんど溶解しない。これにより消化ガス中のメタンのみを回収するだけでなく、シロキサンも同時に除去することができる(図 2)。

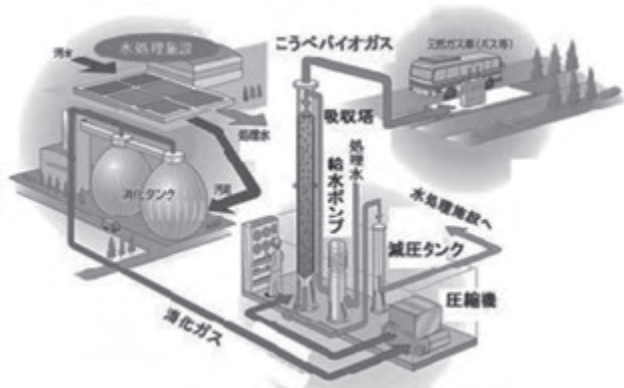


図2 高圧水吸収法

3. 東灘処理場における活用

平成 20 年度からガスステーションにおいて、こうべバイオガスを市バスや民間宅配車などの CNG 車燃料として販売している(図 3)。



図3 こうべバイオガスステーション

また、こうべバイオガスのさらなる活用を図るため、平成 22 年度から、経産省より「バイオマス等未活用エネルギー実証試験補助金」を受けて、東灘処理場近隣を通る都市ガス導管に直接注入する「バイオガス都市ガス導管注入実証事業」を開始した。

本実証事業は 10 年間、技術および事業性の確認を行うものである。本市は SKS にこうべバイオガスを供給し、SKS が設置した導管注入設備により、大阪ガスの供給基準を満たすよう微量成分の除去や、LPG の添加による熱量調整、付臭剤の添加を行い、導管に注入している(図 4)。



図4 都市ガス導管注入設備

4. 垂水処理場における活用

電力会社からの買電電力量削減を目的に、平成 23 年よりこうべバイオガスを用いた場内用消化ガス発電設備を供用開始した(図 5)。本設備は、電力を賄うとともに、発電の際に生じる廃熱を消化槽の加温に利用するコージェネレーションシステムを採用している。



図5 垂水処理場 消化ガス発電設備 (660kW)

平成 23 年度、本市において最も古い処理場である中部処理場を廃止し、その処理機能を垂水処理場の設備増設により確保した。下水処理施設の増設に伴い、発生する消化ガス量も増加し、前述の発電設備の能力

以上となり余剰が生じていた。

余剰の消化ガスを有効活用するため、平成 26 年 3 月から消化ガス発電設備と大規模太陽光発電設備により、電力会社へ売電を行う「こうべWエコ発電プロジェクト」を、「エナジーバンクジャパン株式会社（以下、EBJ）」との共同事業として開始した（図 6・7）。

本プロジェクトにおいて、EBJ は発電設備の設置・運営を行い、発電した電力を固定価格買取制度（以下、FIT）により電力会社へ売却し、収入を得る。一方で、本市は EBJ に対し、発電設備の設置場所及び、こうべバイオガスを提供する。なお、本市は発電設備の設置に関して費用は負担せず、売電収入の一部を EBJ から受け取っている。

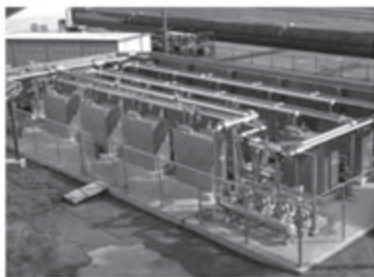


図6 こうべWエコ発電プロジェクト
消化ガス発電設備（25kW×14基）



図7 こうべWエコ発電プロジェクト
太陽光発電設備 (2,000kW)

5. 西部処理場における活用

平成 26 年度、高機能脱硫装置を建設したことにより、こうべバイオガスの精製が可能となった。平成 28 年に場内用消化ガス発電設備を建設し、買電電力量の削減を行っている（図 8）。本設備は垂水処理場における W エコ用消化ガス発電設備と同様に、消化ガス発生量の変動に対応して運転台数を増減することにより、発電効率を維持することが出来る小型発電機を選定した。また、コージェネレーションシステムにより、廃熱を消化タンクの加温に使用している。



図8 西部処理場
消化ガス発電設備（25kW×24基）

6. 玉津処理場における活用

平成 30 年度から、SKS と株式会社 OGCTS による企業グループを事業者として、FIT を活用した民設民営による消化ガス発電事業を行う予定である。

本事業では、本市はこうべバイオガスを事業者へ売却し、事業者はこれを燃料として消化ガス発電を行い、その電力を電力会社へ売却する。市はこうべバイオガス売却に伴う一定の収入と、発電に伴い発生する廃熱の提供を受け、消化タンクの加温熱源として利用する。また、発電設備の建設・発電事業の運営・維持管理は事業者が行うことで役割を分担している。

7. おわりに

消化ガスは、人が都市生活を営むことで生み出される下水道資源であり、地球温暖化対策や循環型社会の形成のために、積極的な活用が求められている。

平成 30 年度、玉津処理場においてガス発電設備を供用開始すると、汚泥処理を行っている処理場全てにおいてこうべバイオガスを活用できることとなる。

今後も、下水道から生まれる資源やエネルギーの有効活用と地産地消に、積極的かつ継続的に取り組んでいきたいと考えている。

参考文献

- 1) 国土交通省国土技術政策総合研究所：B-DASH プロジェクト No.2 バイオガスを活用した効果的な再生可能エネルギー生産システム導入ガイドライン（案）、国総研資料、第 737 号、平成 25 年 7 月
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn0737.htm>

特集：下水熱 / エネルギー利用

解 説

都市ガス事業の現況と取組み

一般社団法人 日本ガス協会 エネルギーシステム部

岡 知廣

キーワード：都市ガス、供給高度化法、バイオガス

1. はじめに

昨年4月から、一昨年の電力に続き都市ガスにおいても、家庭用のお客さまを含めた小売り全面自由化がスタートした。都市ガス事業者は長年、電力や石油などの他燃料と競争し事業を営んでおり、1995年に大口のお客さまから小売りの自由化が始まるなど、厳しい競争環境の中でビジネスを行っていく体制を備えてきた。

今回の全面自由化は都市ガス事業者の事業をさらに発展させるための基盤を固める良い機会だと捉えている。都市ガス事業者にとって、大きな変革期を迎えることは間違いないが、全面自由化後も、ガスシステム改革の目的である「天然ガスの利用拡大」と「お客さまメリットの向上」の実現に努めるとともに、日本経済・地域社会の発展に貢献してまいりたい。

2. 都市ガス事業の現況

都市ガス事業（一般ガス事業）は都市部を中心に普及しており供給区域は国土の6%弱である。導管の総延長は約26万km弱であり、地球を約6周分以上に相当する長さとなっている。家庭用のお客様件数はLPガスとはほぼ同規模、電力の約半分の約2,800万件であり、事業者数は、電力事業（一般送配電事業者）

の10社体制に対し、都市ガス事業（一般ガス導管事業者）は大小様々な約200事業者が地域に密着して事業を展開している。

都市ガスの販売量については、1980年頃までは家庭用と商業用他で大半を占めていたが、それ以降、産業用（工場等の需要）の販売量が徐々に増加し、現在では全体の58%が産業用となっている。需要家数も一定のペースで伸び続けている。これは、1970年代以降、低炭素・高カロリーな天然ガスへと都市ガス原料を転換し、生産用熱設備、コージェネレーション、空調、天然ガス自動車など、商業用・工業用のお客さまの需要を開拓したことにも起因している。（2010年度にほぼ全ての都市ガス事業者で原料の転換が完了。）また、エネルギー間競争を背景に、都市ガス事業者が主体的に技術開発・商品開発を推進することにより、他エネルギーとの競合市場を創出して需要の維持、拡大に努めてきた背景もある。

都市ガスの原料であるLNG（液化天然ガス）については、東日本大震災以降、原子力発電所が停止した分の電力供給を火力（LNG）発電で補っているため、近年その輸入量が多く、日本全体の輸入量は世界のLNG取引量の約36%を占めている。その輸入先は中東諸国に偏らず多様化しており、現在、都市ガス用としては11カ国から輸入している。日本でのLNGの使われ方は、電力事業での火力発電用と都市ガス原料用に大別され、電力事業者が約7割、ガス事業者が約

3割を消費する構造となっている。なお、一部の都市ガス事業者では、国内で採取された天然ガスを都市ガスの原料としており、LNG同様にLPガスによる熱量調整および都市ガス特有の臭いを付臭して供給している。

都市ガスの小売り市場は電力に先立ち1995年から自由化が進展しており、その後自由化範囲は徐々に拡大し、2017年4月に全面自由化に至っている。都市ガスの販売量ベースでは、新規参加者が約13%までそのシェアを伸ばしている。また、全面自由化を迎えた現在、家庭用分野においても、電力会社をはじめとする企業が、直接販売や取次といった形態を通じ、新規参加を行っている。

3. 供給高度化法（エネルギー供給事業者による非化石エネルギー源の利用及びエネルギー原料の有効な利用の促進に関する法律）への対応

供給高度化法とは、エネルギー供給事業者（電気、ガス、石油事業者等）による①非化石エネルギー源の

利用及び②化石エネルギー原料の有効利用を促進するための法律であり、平成21年7月に成立・公布し、同年8月28日に施行されたものである。エネルギー供給事業者は、経済産業大臣が定める基本方針及び判断基準（いずれも告示）に基づき、必要な取組を行う責務がある。

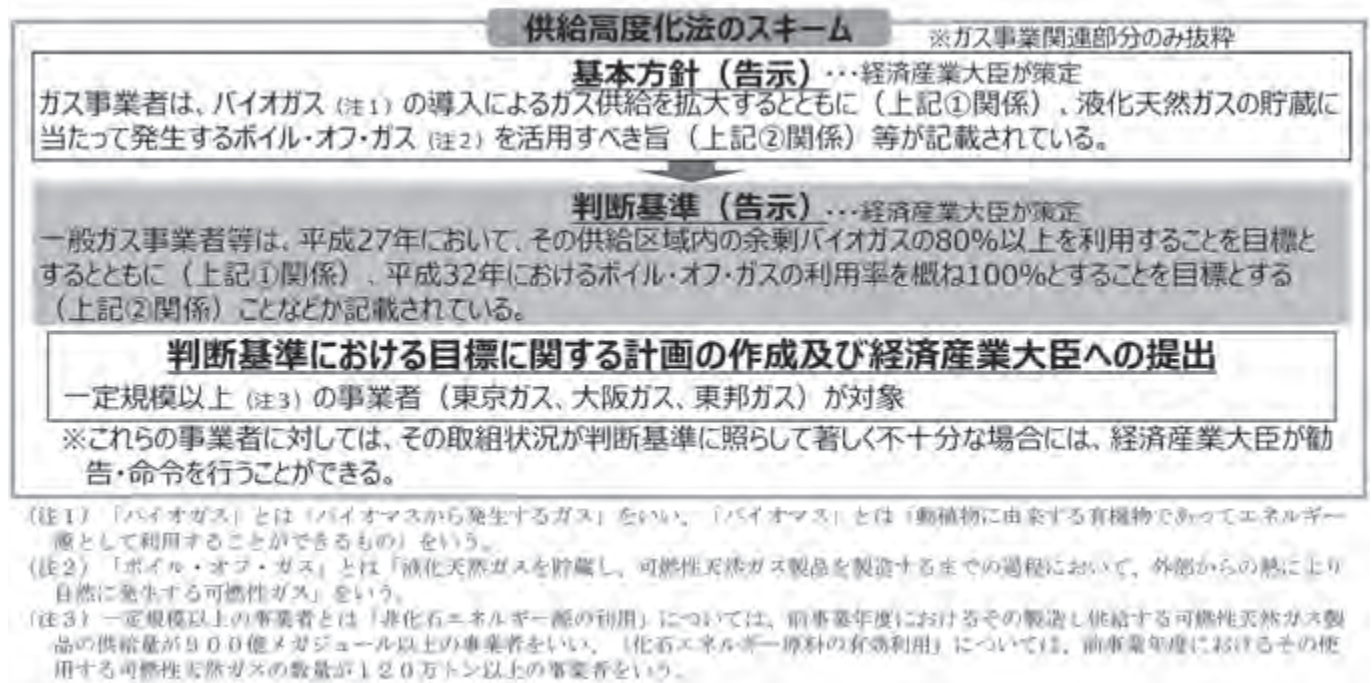
供給高度化法のスキームは下図のとおり。

①非化石エネルギー源（バイオガス）利用の取組み

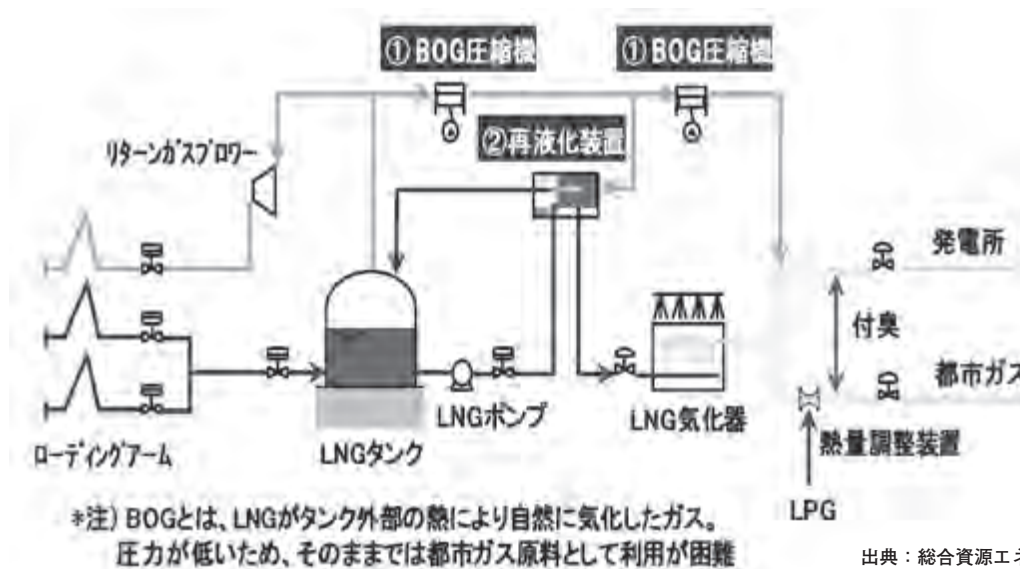
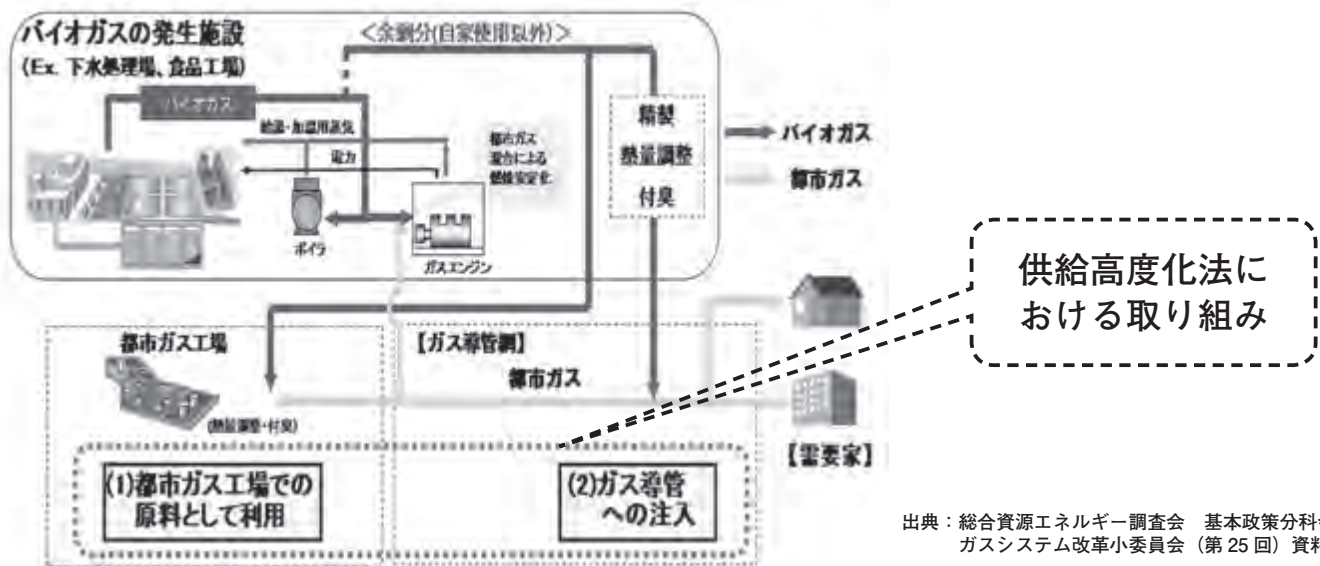
バイオガス発生施設にて使い切れない余剰ガスの都市ガスとしての受け入れ（供給区域内の余剰バイオガスの80%以上を利用する）方法として、都市ガス工場での原料としての使用やガス導管への注入がある。

②化石エネルギー原料の有効利用の取組み

液化天然ガスの貯蔵に当たって発生するボイル・オフ・ガス（BOG）の利用률을概ね100%とする方法として、BOG圧縮機でBOGの圧力を上げ、都市ガス原料や発電所燃料に利用する方法や再液化装置でBOGを液化（LNG化）し、LNGタンクに戻す方法がある。



出典：総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会 ガスシステム改革小委員会（第25回）資料4



事業者の対応状況としては、バイオガスの利用については、東京ガス・大阪ガスは、既に供給区域内における余剰バイオガスを100%利用できている。一方、東邦ガスは、バイオガスの発生源である下水処理施設側の設備導入の遅れ等により、今年度から利用可能となった。

ボイル・オフ・ガスの有効利用については、東京ガス、大阪ガス、東邦ガスともに再液化等により都市ガス燃料等に利用できしており、概ね100%の利用を達成している。

4. 都市ガス事業のさらなる発展に向けて

ガス事業者が第一に取り組むべきことは、新たなガス事業制度に的確に対応し、引き続き都市ガスの安定供給や保安の確保を図っていくことを通じて、ガス事業に対するお客さまの信頼を勝ち取ることである。日本ガス協会は、これらに取り組む会員事業者を支援していくとともに、今後も公平な競争環境が確保される制度議論となるよう適切に対応していく。

また、昨年度策定した日本ガス協会の中期計画における重点目標（①ガスシステム改革への的確な対応、②都市ガス・天然ガスのプレゼンス向上、③安全・安心の提供、④事業全般の効率化・充実化の推進）の達成に向けて、会員事業者とともに積極的に取り組んでいく。

特集：下水熱 / エネルギー利用

解 説

佐野市水処理センターにおける 再生可能エネルギー発電事業の取組み ～消化ガス発電について～

株式会社大原鉄工所 営業部
環境営業2課 課長 齋藤 忍

キーワード：再生可能エネルギー、固定価格買取制度、消化ガス発電

1. 佐野市と佐野市水処理センターについて

佐野市は、栃木県南西部に位置し、万葉集にも詠まれた三磊山や、市の中心を流れる秋山川や旗川、また名水百選の出流原である弁天池など、水と緑に恵まれた都市です。

佐野市の公共下水道事業は、こうした恵まれた自然

を守り快適な生活環境を創るために、昭和46年度から建設に着手され、昭和51年度から供用が開始されています。平成7年度に旧田沼町、旧葛生町を加えた流域下水道（秋山川浄化センター）となり、栃木県へ移管されましたが、その後の市町村合併に伴い、平成27年度に佐野市公共下水道（佐野市水処理センター）となり、再び佐野市へ移管されました。佐野市の下水道事業の概要は、表-1のとおりです。

2. 事業の経緯及びスケジュールについて

栃木県では、平成23年に新たに環境基本計画が策定され、再生可能エネルギー促進に関する基本計画がまとめられました。この計画において、再生可能エネルギーの固定価格買取制度（FIT）を活用した太陽光発電「屋根貸し」事業（県有施設の屋根を民間太陽光発電事業者に貸し出す事業）や、流域下水道施設での消化ガス発電設備の導入が検討・推進されていきました。

一方、この時点で流域下水道施設であった秋山川浄化センターは、平成27年3月に佐野市に移管されることが既に決定していたため、譲渡支援策として施設の維持管理費を軽減できる方策が検討されることとなりました。平成25年度にPFI導入可能性調査が行われ、翌平成26年度に、FITを活用した独立採算型PFI-BOT方式にて事業が公募されました。

表-1 下水道事業の概要

		全体計画	事業計画
所在地		佐野市橋下町3300	
敷地面積		5.2 ha	
供用開始		昭和51年7月	
放流河川		一級河川秋山川	
目標計画年次		平成38年度	平成34年度
計画処理人口		60,456 人	74,270 人
計画処理区域面積		3,425.7 ha	3,133.0 ha
計画汚水量(晴天時)		53,790 m ³ /日	50,000 m ³ /日
排除方式		分流式	分流式(一部合流)
計画放流水質		15 mg/L	
処理方式	水処理	標準活性汚泥法	
	汚泥処理	分離濃縮→汚泥消化→汚泥脱水	

表-2 事業の経緯及びスケジュール

日程	内容
平成25年度	PFI導入可能性調査
平成26年度	再生可能エネルギー発電アドバイザー業務委託
4月	実施方針等の公表
6月	特定事業の選定
9月	審査結果の公表、優先交渉権者の決定
12月	設備認定の取得(太陽光発電設備)
1月	SPCの設立 電力受給契約申請の完了
2月	設備認定の取得(消化ガス発電設備)
3月	事業契約の締結 金融機関との直接協定の締結
平成27年度	設計・建設工事
平成28年度 4月	FIIによる売電開始

公募プロポーザルの結果、当社を代表企業とするSPC（特別目的会社）である「佐野ハイブリッド発電(株)」にて本事業を受託させて頂くこととなりました。

同年度内に基本協定の締結、SPC の設立、設備認定の取得、電力受給契約、及び事業契約の締結を行いました。翌平成 27 年度に発電施設の設計・建設を行い、平成 28 年 4 月 1 日より FIT による売電を開始しております。事業は 20 年間（平成 48 年 3 月 31 日まで）実施し、事業終了後は佐野市に施設の所有権を移転します。事業の経緯及びスケジュールは、表-2 のとおりです。

3. 佐野ハイブリッド発電株式会社について

佐野ハイブリッド発電株式会社は、当社と、(株)西原環境の2社の出資によるSPCです。

本事業では、当社が消化ガス発電設備の設計・建設・維持管理を、(株)西原環境が太陽光発電設備の設計・建設・維持管理、及び発電設備全体の運転管理を担当しています（図-1 参照）。

4. 発電設備について

本事業における発電設備は、消化ガス発電設備と、太陽光発電設備から成ります。

1) 消化ガス発電設備

本事業における消化ガス発電設備のフローは図-2、全景は図-3のとおりです。脱硫後の消化ガスをご提供頂き、本事業範囲で昇圧及びシロキサン除去を行い、発電機に供給しています。発電した電力はFITにより電力会社に売却するとともに、発電の排熱を消化槽の加温の熱源として返還しています。

①消化ガス発電機

本事業では、当社が自ら製造し、以下の特長を有する小型消化ガス発電機（50kW）を採用致しました。発電機の全景を図-4、仕様諸元を表-3に示します。

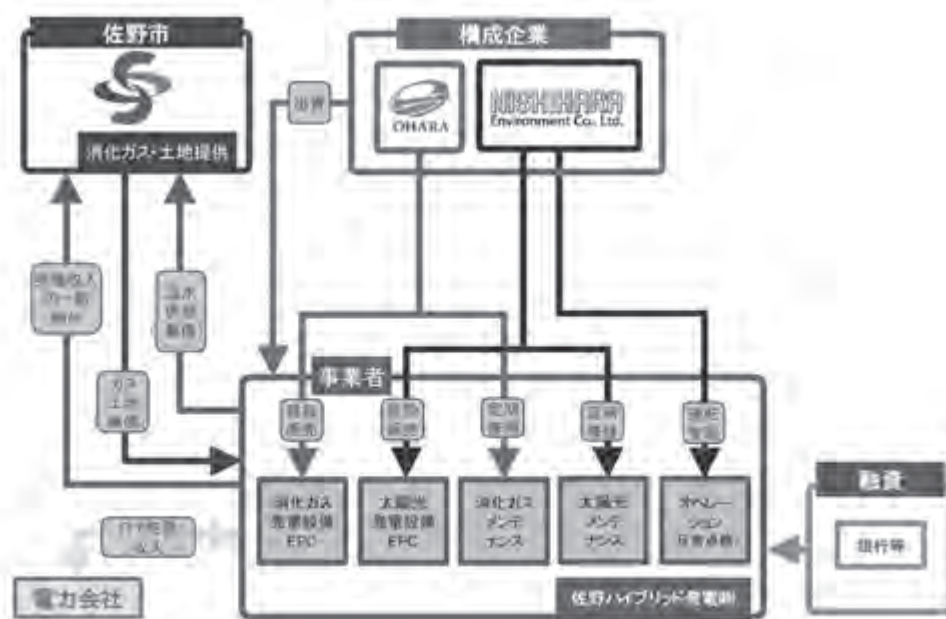


図-1 事業スキーム

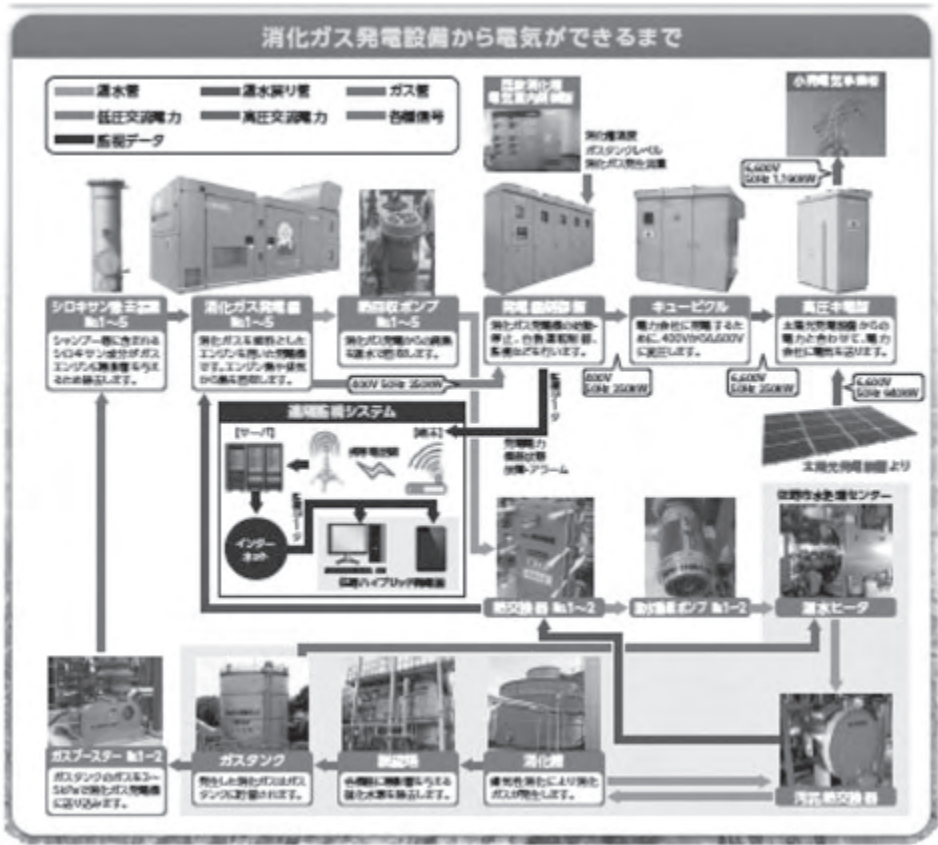


図-2 消化ガス発電設備フロー

- ・クラス No.1 の発電効率（最大 35%）
- ・運転中のメタン濃度の変動に自動追従が可能
- ・台数制御及び出力制御が可能

②発電設備能力

本事業における消化ガス発電設備の能力は、表 4～表 5 に示す消化ガスの過年度実績を有する消化ガスを処理し、安定的なエネルギー回収が可能な性能を保持することが要求水準として求められました。



図-3 消化ガス発電設備全景

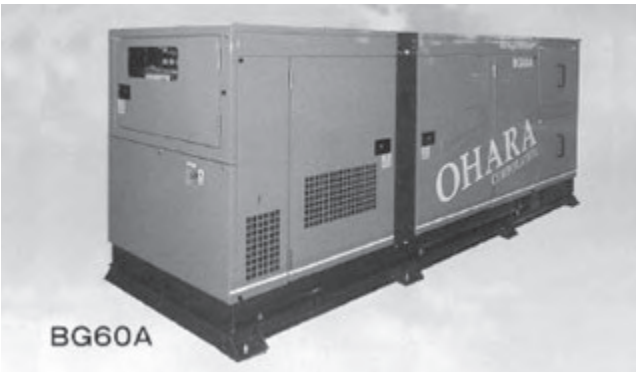


図-4 消化ガス発電機全景

表-3 発電機の仕様諸元

型式	BG60A
発電出力(kW)	50
メタン濃度(%)	60±5
供給圧力(kPa)	3.0～5.0
ガス消費量(Nm ³ /h)	24.0
発電効率(%)	35(最大)
回収熱量(kW)	64
熱回収効率(%)	45
設置台数(台)	5

表-4 過年度消化ガス実績

項目	消化ガス 発生量 (日平均)	消化ガス メタン 発生量 (日平均)	メタン 濃度	CO ₂ 濃度
平均値	2,308Nm ³ /日	1,399Nm ³ -CH ₄ /日	60.7%	33.6%
H23年度平均値	2,294Nm ³ /日	1,399Nm ³ -CH ₄ /日	61.3%	32.8%
H24年度平均値	2,341Nm ³ /日	1,405Nm ³ -CH ₄ /日	60.0%	34.5%
H25年度平均値	2,293Nm ³ /日	1,391Nm ³ -CH ₄ /日	60.7%	33.4%
最大値	2,689Nm ³ /日	1,587Nm ³ -CH ₄ /日	65.0%	36.0%
最小値	1,990Nm ³ /日	1,214Nm ³ -CH ₄ /日	59.0%	29.0%

これに対し当 SPC では、事業期間を通じて過年度実績の消化ガスの全量を有効利用することが可能な設備容量を具備することとし、総出力を 250kW (50kW × 5 基) としました。この設備容量は、最大で約 2,964Nm³/日の消化ガスの有効利用が可能であり、過年度平均値 2,396Nm³/日に対して約 124%、過年度日平均最大値 2,689Nm³/日に対して約 110% が処理可能な設備能力を有しています。

また、消化槽の加温必要熱量に対しては、発電設備から最大で約 26,000MJ/日の熱供給が可能となっており、最も熱量を必要とする冬季における加温必要熱量に対して約 161% が供給可能な設備能力を有しています。

表-5 過年度消化ガス利用状況熱量換算値

年 月	消化ガス 加温熱量
2011年4月	13,670MJ/日
2011年5月	10,242MJ/日
2011年6月	7,964MJ/日
2011年7月	6,013MJ/日
2011年8月	6,070MJ/日
2011年9月	7,000MJ/日
2011年10月	9,071MJ/日
2011年11月	11,678MJ/日
2011年12月	14,838MJ/日
2012年1月	17,094MJ/日
2012年2月	17,325MJ/日
2012年3月	16,603MJ/日
2012年4月	10,611MJ/日
2012年5月	5,658MJ/日
2012年6月	5,865MJ/日
2012年7月	4,763MJ/日
2012年8月	3,255MJ/日
2012年9月	3,759MJ/日
2012年10月	5,817MJ/日
2012年11月	14,362MJ/日
2012年12月	15,619MJ/日
2013年1月	15,714MJ/日
2013年2月	16,871MJ/日
2013年3月	13,051MJ/日
2013年4月	12,184MJ/日
2013年5月	9,314MJ/日
2013年6月	8,803MJ/日
2013年7月	9,504MJ/日
2013年8月	12,369MJ/日
2013年9月	8,405MJ/日
2013年10月	8,369MJ/日
平均値	10,242MJ/日
最大値	17,325MJ/日
最小値	3,255MJ/日

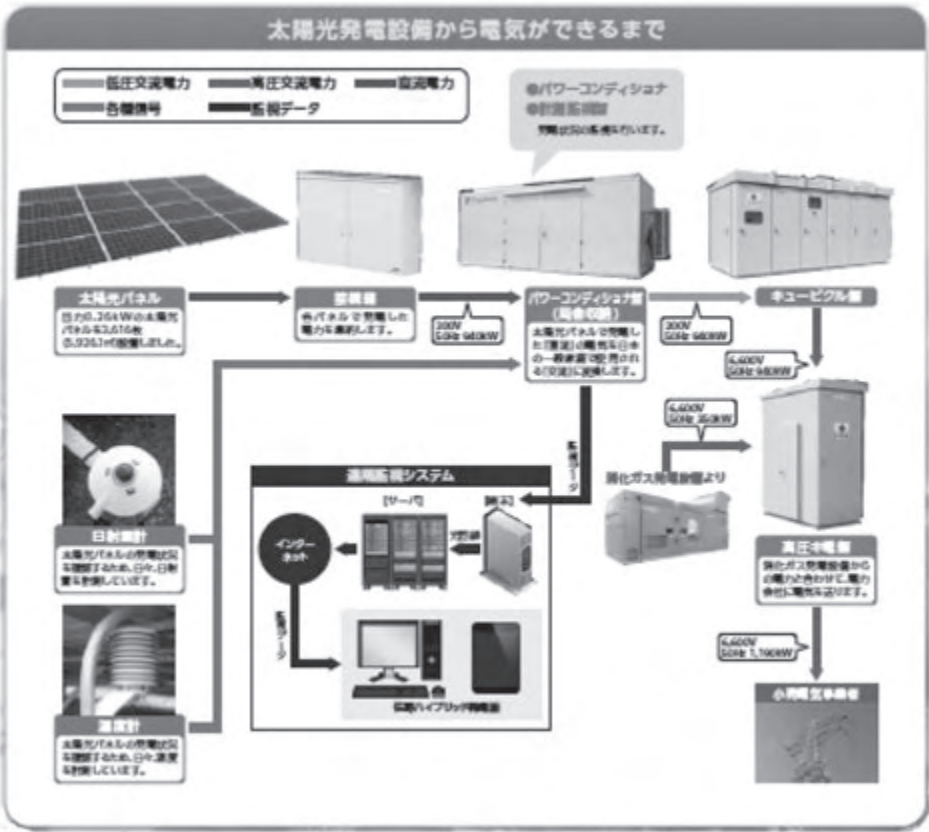


図-5 太陽光発電設備フロー



図-6 太陽光発電設備全景

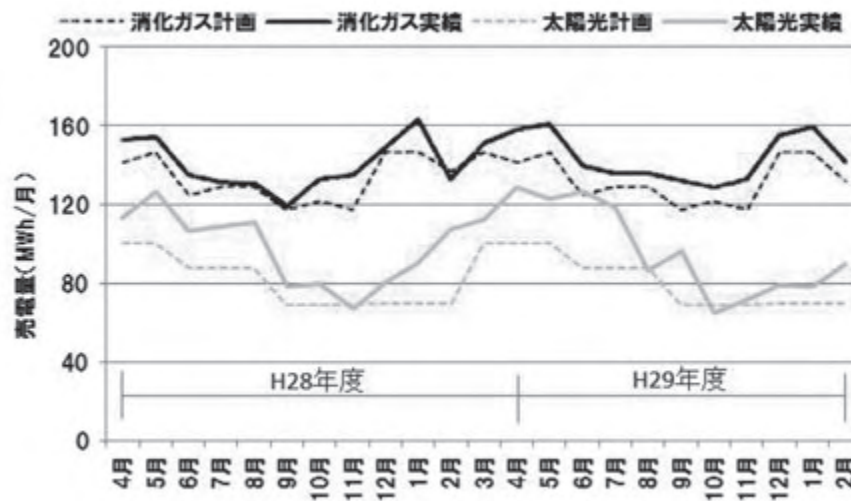


図-7 売電実績

2) 太陽光発電設備

本事業における太陽光発電設備のフローは図-5、全景は図-6のとおりです。

本事業では、最低 4,000m² 以上の敷地に太陽光発電設備を設置し、敷地の有効利用と再生可能エネルギーの創出を図ることが要求水準として求められました。

これに対し当 SPC では、敷地面積 11,600m² を利用し、総出力約 940kW の太陽光発電設備を設置致しました。

5. 売電実績について

これまでの売電実績は図-7のとおりです。平成 28 年 4 月より売電を開始しておりますが、これまでの売電実績として、期間を通じた平均値で計画売電量の約 112% の売電実績が得られており、消化ガス発電設備、太陽光発電設備共に安定的に稼働しています。

6. おわりに

佐野市では、農業集落排水施設の公共下水道への接続替えや、汚水共同処理（し尿統合）の導入による、施設の統廃合が検討されており、それに伴って消化ガス量の増加が期待されます。また当水処理センターの消化設備は、処理負荷の観点からより多くのバイオマスをも有効利用できるポテンシャルを有していると考えられます。

今後当社では、地域バイオマスと下水汚泥の混合消化技術などを積極的にご提案し、下水道施設のポテンシャルを最大限に活用したバイオマス資源の有効利用・エネルギー化の推進に貢献していきたいと考えています。

おわりに、本事業の運営にあたり日頃からご指導・ご協力を頂戴しております、佐野市、栃木県、(株)西原環境、佐野ハイブリッド発電(株)の関係者の皆様に感謝を申し上げ、本稿の結びと致します。

特集：下水熱 / エネルギー利用

解 説

大垣市の消化ガス発電事業

大垣市水道部下水道課

施設整備グループ 清水 知一

キーワード：消化タンク設備、燃料電池、FIT、交付金

1 はじめに

大垣市は、濃尾平野の北西部に位置し、面積206.57km²、人口約16万人の岐阜県下第二の都市です。

当市の下水道は、平成18年3月の1市2町(大垣市・上石津町・墨俣町)の全国的にもめずらしい2か所の飛び地合併により、大垣地域には単独公共下水道としての大垣処理区と隣町の処理場へ接続する平町処理区、墨俣地域には単独公共下水道としての墨俣処理区、上石津地域には特定環境保全公共下水道としての北部・中部の2処理区、農業集落排水としての南部・西山の2処理区、小規模集合排水処理施設としての平井処理区があり、これらの下水道関連施設は、全て分流式を採用しています。平成28年度末における下水道関連施設の整備状況は、人口普及率89.0%です。

表1 大垣市浄化センターの概要

現 有 能 力	80、200m ³ /日
処 理 方 式	標準活性汚泥法 (高級処理) ステップ流入式多段硝化 脱窒法 (高度処理)
汚泥処理方式	濃縮→消化→脱水→搬出

大垣市浄化センターでは、昭和37年4月に簡易処理による供用を開始し、その後、都市化の進展に伴う処理区域の拡大やライフスタイルの向上による生活排水の増加にあわせ、規模を拡大するとともに、昭和47年に処理方式を高級処理へ移行しました。

さらに、伊勢湾流域別下水道整備総合計画に対応す



図1 大垣市浄化センター全景

るため、平成 19 年 4 月から水処理施設の一部を高度処理化しています。

一方、下水道事業に着手してから 50 年以上が経過しており、管渠や終末処理場においては、施設や設備の老朽化が課題となっていることから、機能停止や事故を未然に防止するとともに、ライフサイクルコストの最小化を図るため、管路施設、大垣市浄化センター、ポンプ場について長寿命化計画を策定し、順次、改築更新等を実施しています。大垣市浄化センターの計画においては、消化タンク設備が含まれています。

2 消化ガス発電導入の経緯

2.1 新エネルギーの活用

当市では、“新エネルギーの利活用”や“省エネルギー対策”を計画的に進めるために「新エネルギービジョン」を策定しており、下水道部局における施策として、当施設で発生する消化ガスの有効利用についての検討を開始しました。大垣市浄化センターの消化工程で発生する消化ガスは、平成 25 年度で年間約 120 万 m³であり、このうち、約 70%を消化タンク加温用の蒸気ボイラーの燃料として有効利用していましたが、残りは未利用となっていました。

既存の消化タンク設備は、昭和 57 年に設置されたもので、老朽化が進んでいたため、長寿命化計画において更新の位置づけとなっており、更新時期に併せて消化ガス発電設備の導入を行うこととしました。消化タンク設備の更新概要は表 2 のとおりです。

表2 消化タンク設備の更新概要

項 目	更新前	更新後
消化方式	2 段消化	1 段消化
攪拌方式	ガス攪拌	機械攪拌
加温方式	直接加温	間接加温
脱硫装置	連続乾式	間欠乾式
内部防食	液相部 A 種 気相部 C 種	液相部 A 種 気相部 D 種

汚泥の濃縮工程では、高度処理の導入にあわせて、分離濃縮を採用し、重力濃縮タンクに加え機械濃縮機を整備していました。消化工程は、従来のままの嫌気性 2 段消化となっており、今後、高い濃度の汚泥を投入するため、2 段消化を 1 段消化へ、ガス攪拌を機械攪拌へ、更新にあわせ段階的に改築する計画としていました。



図2 消化タンク、ガスタンク、汚泥濃縮設備

2.2 事業形態の決定

検討を開始した当初は、消化ガス発電によって得られた電力を場内で自己利用する予定でしたが、平成 24 年 7 月から再生可能エネルギー固定価格買取制度 (FIT) が始まり、バイオマス発電 (メタン発酵ガス化発電) の平成 25 年度買取価格が、39 円 / kWh (20 年間) と発表されたことにより、「自己利用する場合」、「市が発電事業者として直接売電する方法」、「PFI による方法」、の比較を行いました。

下水道事業者 (市) が自ら発電する場合には、特例需要場所として、発電施設の一部として消化タンクも事業範囲となるため、消化タンク攪拌機動力を発電電力から給電するように設備変更を実施する必要があります。当市では、消化タンク設備更新と併せて導入するため、電力系統を認定範囲として処理場から切り離すのは可能であり、最も費用対効果が大い「市が発電事業者として直接売電する方法」を採用しました。

2.3 発電方式の決定

経済産業省より再生可能エネルギー発電設備の認定を受けるには、発電方式が決定している必要があるため、各発電機メーカーへのヒアリングや既に導入実績のある都市へ事例調査等を行うとともに、複数機種の組合せを検討した結果、

- 発電効率が良いこと
- 発生する消化ガスの量およびメタン濃度の変動に強いこと
- 補機動力が小さいこと

等の理由から、燃料電池 (105kW) を 3 台設置することにしました。

燃料電池は、水素と酸素の化学反応により生じるエネルギーを燃焼させることなく電気エネルギーとして回収する発電装置で、発電時に燃料の燃焼を伴わない

表3 消化ガス発電設備概要

項 目	仕 様
形 式	りん酸型燃料電池
定 格 出 力	105kW
排熱回収量	130kW
総 合 効 率	89%
付 帯 設 備	シロキサン除去装置 ガス昇圧ブロア 温水循環ポンプ
数 量	3台

ため、排気ガス中にNO_x、SO_xなどの大気汚染物質をほとんど含みません。また、消化ガス中のメタン濃度が変動しても、安定した出力で運転が継続できるという内燃機関にはない性能をもっています。

自己消費電力は消化ガスを供給する昇圧ブロアや熱回収用の温水循環ポンプ、さらには消化タンク攪拌機動力を含んでいます。

また、FITの適用は、運用開始後、20年間保証されるため、20年間の維持管理費用の比較も行いました。その間、消耗部品以外に高額な燃料電池スタックおよびメタンを水素に改質する改質器の交換が必要であるため、維持管理費用が平準化しないというデメリットがあります。



図3 燃料電池

2.4 消化ガス発電設備導入スケジュール

発電事業を開始するまでのスケジュールを以下に示します。

- H25 年 3 月
長寿命化計画申請（消化タンク設備更新）
- H25 年 5 月
下水道事業計画変更

（主要な施設に消化ガス発電設備を追加）

- H26 年 2 月
再生可能エネルギー発電設備認定申請
- H26 年 2 月
接続検討申込み
- H27 年 2 月
再生可能エネルギー発電設備認定交付
- H27 年 2 月
連系申込み
- H27 年 9 月～H29 年 6 月
消化ガス発電設備設置、消化タンク設備更新
- H29 年 6 月
消化ガス発電設備供用開始

2.5 社会資本整備総合交付金の対象範囲

「再生可能エネルギーの固定価格買取制度における下水道事業の補助金等交付の考え方等について」（平成 24.9.14 事務連絡）において、売電のための発電施設、送電施設等については、交付対象外とあります。設置した消化ガス発電設備は、売電のためだけでなく、排熱を消化タンク加温用の熱源として活用するコージェネレーション（熱併給発電）システムを構築することから、処理施設の一部であると考えられ、国土交通省中部地方整備局に協議したところ、有効利用される熱量の総量をベースに、加温分の割合を交付対象とすることができるとの回答を得ました。

ただし、送電施設はもちろんですが、発電設備メンテナンス時に必要な温水ヒーター分については、交付対象外となりました。また、送電施設を設置した土地は補助対象財産であるため、財産処分（用地の目的外使用）の承認申請が必要でした。

3 発電設備および消化タンク設備更新工事

消化ガス発電設備および消化タンク設備更新については、平成 27 年 9 月に着工し、平成 29 年 6 月に完成しました。消化タンクは、稼働中の設備であるため、全 2 槽ある内の 1 槽毎の施工となり、工事期間中以外の準備、養生期間等を含めると、実質 2 ヶ年を要しました。

消化ガス発電設備工事は新設ということもあり、順調に進捗しました。消化タンク設備に関しては、消化不良、加温不良等、様々なトラブルがありましたが、維持管理の経験、各種団体および施工メーカー等の助言もあり、予定どおりに竣工を迎えることができました。

4 維持管理および運転実績

発電設備は、監視制御装置を単独で設けるのではなく、施工メーカーが提供しているクラウドシステムを利用し、監視及び日報・月報の収集、帳票出力を行っています。これにより、監視制御装置のインシャルコストが大幅に削減でき、監視制御装置のランニングコストにおいても、クラウドシステム利用料のみに抑えられます。

消化タンクの加温設備を直接加温から間接加温に変更したことにより、ボイラー技士資格者、法定点検が不要となりましたが、熱交換器の定期的な清掃が必要となりました。1槽目の運用後、閉塞を防止するために、既設の逆洗水が使用できるように熱交換器の汚泥入口、出口側に排水口を設けました。また、間欠運転での運用であった蒸気ボイラーと比較して、立上げ時の加温に時間を要することになりました。

発電設備の6月末稼働からの運転実績は表4のとおりです。

発電設備の運転は、ガスタンクレベルにより燃料電池が完全停止しないように負荷調整を行って運用しています。稼働から約半年の間、外部の系統異常が発生しましたが、系統から解列して燃料電池内部補機のみで給電を行う待機運転に移行し、系統復帰後に再連系して、短時間で送電を再開しております。

表4 消化ガス発電設備運転実績

項 目	H29.6.26～H30.1.20
消化ガス使用量	518,883 Nm ³
発電電力量	1,251,759 kWh
売電電力量	1,071,150 kWh
稼働率	80 %

5 おわりに

消化ガス発電事業は、前述したとおり長寿命化計画の消化タンク設備更新に併せて行うことにより、効率的に事業を進めることができたと考えています。費用対効果の高いFITを活用することにより、売電収入を課題となっている老朽化した施設、設備の維持管理費に充当します。また、発電設備の一部が交付金の対象にできたのは、財政負担が大幅に軽減され、消化ガス発電事業の前進に向けて、追い風を受けることになりました。

現在、本市では、長寿命化計画からストックマネジメント計画への移行作業を進めております。計画の中には、改築を必要とする機器等が多数ありますが、施設、機器更新等する際には、消化ガス発電事業のみに留まらず、下水道資源の有効利用を図るとともに、新エネルギーの利活用や省エネルギー対策に取り組んでいきたいと考えています。

消化ガス発電施設のしくみ

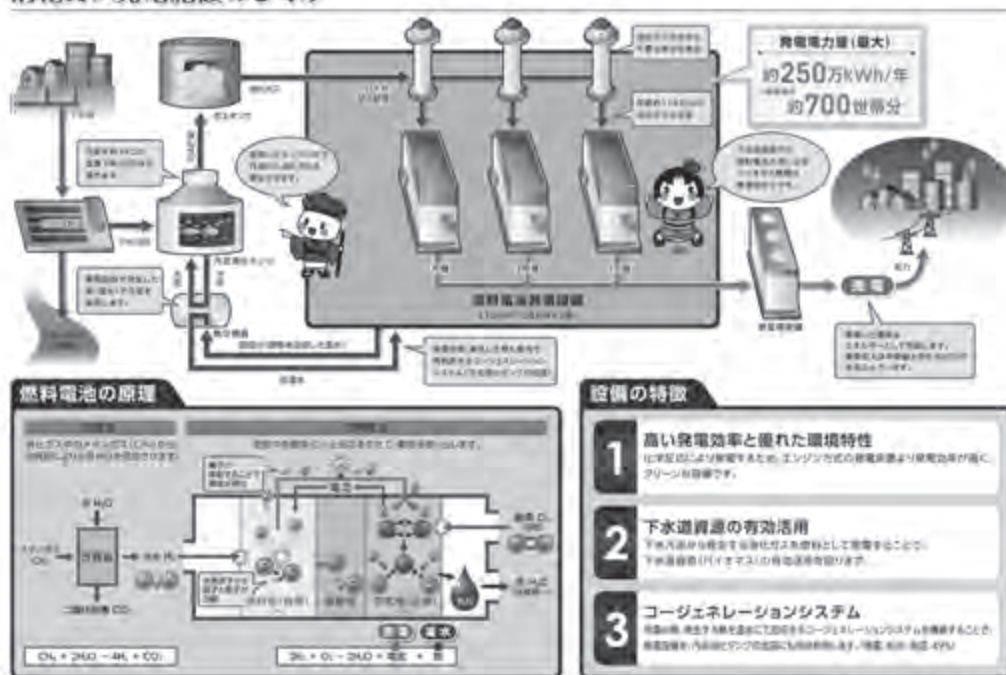


図4 消化ガス発電設備のしくみ

特集：下水熱 / エネルギー利用

解 説

福岡市の消化ガス発電設備
メタックス '09福岡市道路下水道局 下水道施設部
施設管理課 施設調整係 弥永 晃宏

キーワード：消化ガス発電、メタックス、コージェネレーション、ガスエンジン、中部水処理センター

1. はじめに

福岡市の下水道は、昭和5年に博多・千代部の整備に着手し、昭和40年代の高度成長期から水洗化の普及や浸水対策の推進等に取り組み、整備を推進してきた。その結果、下水道人口普及率は平成28年度末で99.6%とほぼ概成しており、都市における必要不可欠な社会基盤施設となっている。



下水道の役割は、時代と共に変遷している。まず、浸水の防除に始まり、汚水の速やかな排除による生活環境の整備・向上、水洗便所の普及による居住環境の改善が役割として加わり、さらに、下水処理施設の稼働による海や河川等の公共用水域の水質保全の役割も担うようになった。近年では、下水道は、下水汚泥や下水バイオガス等多くの利用可能な資源・エネルギーを有しており、それらを積極的に有効利用することによって、省エネ・リサイクル社会へ貢献するといった役割についても注目されている。

そこで、本稿では、下水処理過程から発生する下水バイオガスから発電を行う、消化ガス発電設備について紹介する。

2. 中部水処理センターの概要

まず、本稿で紹介する消化ガス発電設備を保有している中部水処理センターについて説明する。中部水処理センターは、昭和41年に稼働開始した本市で最も古い合流式の下水処理場で、処理能力は30万m³/日と本市最大である。主に、本市の中心部で都市機能が集積している天神・博多地区の下水を処理している。

中部水処理センターの下水処理プロセスの概略フローを図1に示す。

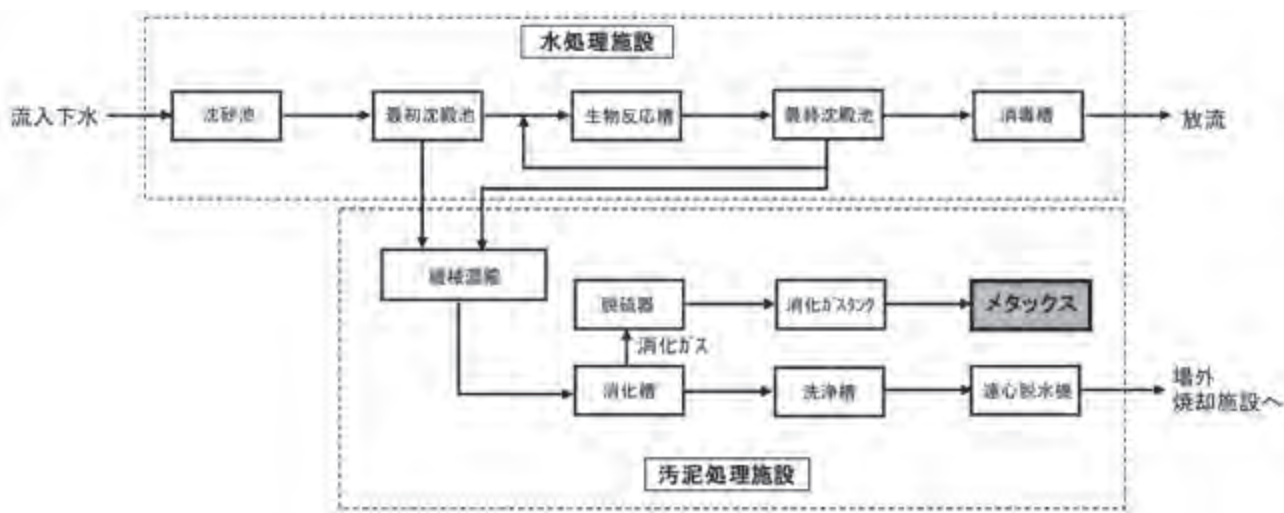


図1 中部水処理センター 処理フロー

(1) 水処理施設

中部水処理センターは、A系B系の2系列で構成しており、それぞれ約15万 m^3 /日処理の能力を有している。中部水処理センターは、処理場の敷地を有効利用するため、A系は初沈・生物反応槽・終沈の各ステップに流入する際、一度全量合流した上で各池に排水されるシステムで、B系は初沈から4系列に分かれて各ステップ直列で処理していくが2床式になっているなど、別処理場が一つになっている様な施設であることから、運転管理についても固有のテクニックが必要な処理場となっている。処理方式は嫌気好気活性汚泥法（AO法）を全系列で採用しており、近年では散気装置を超微細散気装置に更新を進め、送風機についても順次、磁気浮上式に更新するなど省エネ対策を進めている。

(2) 汚泥処理施設

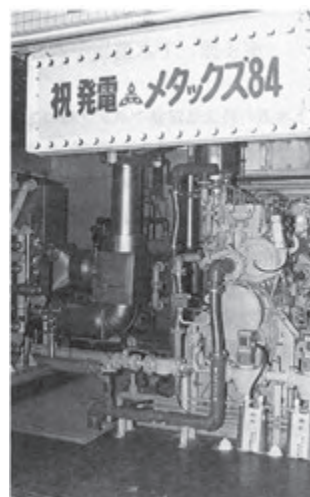
福岡市の汚泥は約230t/日発生しており、中部水処理センターはその約半分を占める約100t/日が発生している。汚泥処分は中部水処理センターには焼却施設を有していないため汚泥全量を輸送しており、東部水処理センター、西部水処理センターに設置している焼却施設で処分しているが、東部・西部の焼却施設で定期修理等の際には、中部水処理センターの汚泥を民間業者に輸送してセメント材料として処分している。

近年バイオマスエネルギーの有効活用として注目される消化ガスであるが、中部水処理センターでは上記の様に大量の汚泥を輸送する必要があったため、汚泥の減容化を目的として消化槽を設置しており、これにより発生する消化ガスを有効利用するため、全国でも先駆けて消化ガス発電設備メタックスを導入することとなった。

3. メタックス'84

中部水処理センターでは、昭和59年（1984年）に全国でも先進的な取り組みとして、下水処理過程で発生する消化ガスを利用して発電を行う『メタックス'84』を設置した。この『メタックス』という名称は、『メタックス'84』を導入した際に、市民の皆様からの愛称募集により命名したもので、消化ガスの主成分である「メタンガス」と、英語で「付加」を意味する「アネックス（annex）」との合成語である。発電した電力は、中部水処理センター内で使用する電力の一部として賄い、維持管理費の低減を図った。

メタックス'84 概要	
運転開始	昭和59年4月
建設費	約1億3,200万円
ガスエンジン仕様	水冷4サイクル火花点火式
発電機出力	240kW
電力自給率	センター電気使用量の約5%



4. メタックス '09

平成 20 年には、『メタックス '84』が、稼動開始から 24 年を経過し、老朽化が目立ってきたことから、全面更新のために稼動を停止した。その『メタックス '84』の代わりとして、発電出力を 2 倍以上に増強した新しい消化ガス発電設備『メタックス '09』を平成 21 年 3 月より稼動開始した。

『メタックス '09』の検討の際には、エネルギーと熱利用のサイクルについての見直しから始めた。これまで消化槽の加温方式は直接加温を採用しており、消化槽に蒸気を吹き込むシステムであることから、メタックスのエンジン冷却水の排水となる温水を利用して、消化槽に投入する蒸気用水を事前に温める事で、蒸気ボイラで使用するエネルギーを低減させることや、メタックスからのエンジン排気についてもスチームヘッドを利用して排熱回収をしていた。この熱サイクルを見直すとともに、燃焼処理していた余剰消化ガスの運転管理を見直すことでメタックスに供給できる消化ガスを増加させ、メタックスの処理能力を倍増させることができた。

今回のシステムでは、エンジン効率 40.9%、発電機効率 96.6% の機器を採用しており、発電端効率は 39.5% と、一般的な機器の発電端効率 30 ～ 35% よりも高効率な装置となっている。

・発電機仕様

型 式	： 開放保護自己通風形ブラシレス同期発電機
定格出力	： 500kW（最大出力 585kW）
定格電圧	： 3 φ 3,300V（60Hz）
回転数	： 1,200 回転／分

・ガスエンジン仕様

型 式	： V 型水冷 4 サイクル火花点火希薄燃焼式ガスエンジン
気筒数	： 16 気筒
定格出力	： 607kW
消化ガス消費量	： 243.5m ³ （N）/h（最大出力時）
※消化ガス低位発熱量 21.9MJ/m ³ （N）の場合	
排ガス NO _x 値	： 320ppm 以下（O ₂ = 0%時）
発電端効率	： 39.5%

・排ガス蒸気ボイラ仕様

型 式	： 多管式貫流型排ガス蒸気ボイラ
定格蒸気圧力	： 0.78Mpa
発生蒸気量	： 417kg/h
排熱回収量	： 292kW

・温水回収熱交換器仕様

型 式	： プレート式熱交換器
排熱回収量	： 302kW

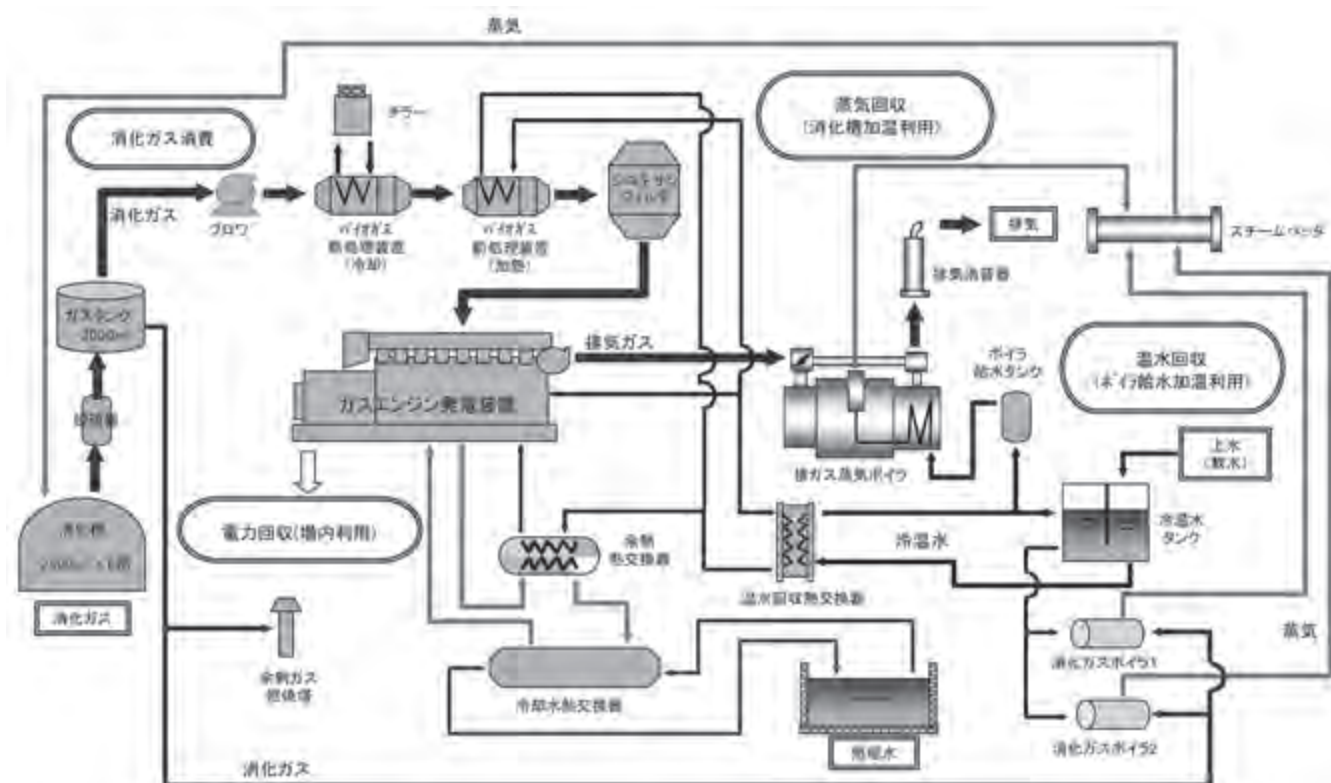


図2 メタックス '09 フロー図

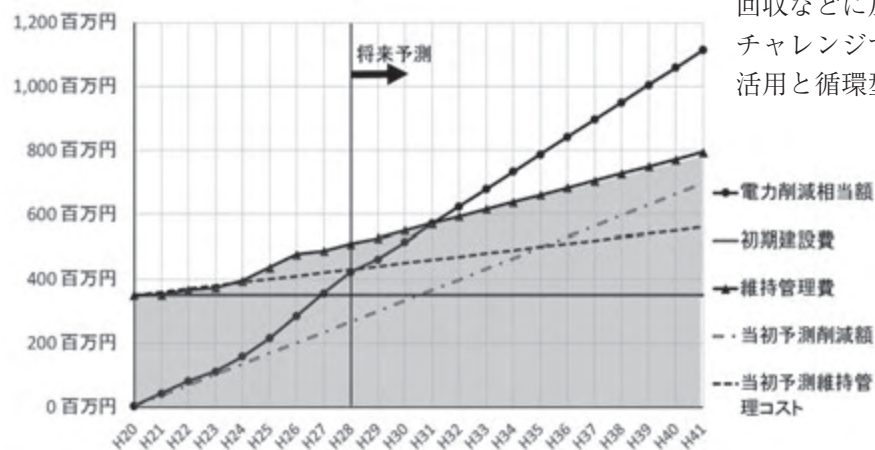
消化ガス中の不純物として、シロキサン（有機ケイ素化合物）がエンジン内で燃焼してSiO₂（シリカ）となりエンジン部品の寿命を縮める原因となることが知られている。今回の装置では、消化ガスの配管の途中に活性炭フィルタを設置することにより、シロキサンの除去を行っている。

5. メタックス'09の稼働状況

メタックスは処理場内の使用する電力として供給しているため、処理場全体の電気料金における、従量料金に反映される所が大きい。基本料金のピークカットとしても大事な要素である。このため定期修理などは冬の比較的電気使用量が少ない時期に行っており、年間の稼働状況は発電が少ない月もあるが、平均して約180万Nm³/年の消化ガスを使用して、約400万kWh/年の発電を行っている。

設置当初の収支計算では、設置費が約3.5億円、ランニングコストは15年間で約1.5億円として、電力単価を当時の基本料金と従量料金を合算して約10円/kWhと条件付ける事で、年間3.3千万円の電気料金削減として試算しており、15年での回収見込みとしていた。しかしながら、近年の電気料金上昇により電気料金単価が当時の約1.5倍程度になったことから、当初想定よりも早い段階でインシタル・ランニングコストの回収が見込まれる状況となっている。

メタックス'09 概要	
運転開始	平成21年3月
建設費	約3億5,000万円
ガスエンジン仕様	水冷4サイクル火花点火式 希薄燃焼式ガスエンジン
発電機出力	500kW
電力自給率	センター電気使用量の約18% (※設置からH29までの平均)



6. 新たな取組み（FIT 制度の活用）

平成21年度より中部水処理センター輸送汚泥の更なる減量を目的として、今まで引抜き汚泥を直接脱水していた分を全て消化可能にするため、消化槽の構成を二段消化から一段消化に約8年掛けて2槽3系列を6槽1系列に改造した。これにより、消化槽で減容化することで発生汚泥量を減量させるとともに、消化ガス発生量も約5割増加させることができた。増加した消化ガスは、再生可能エネルギーの固定価格買取制度（FIT）を利用して発電を行い、電力会社に売却することとした。福岡市では、発電設備の建設や維持管理費用の一切を民間事業者に任せ、消化ガスのみを民間事業者に売却する方が事業資金が不要となり有利と判断し、民設民営方式を採用している。平成28年度は約200万m³、平成29年度以降は約330万m³の消化ガスを売却し、20年間で約15億円の利益を得る見込みである。なお、発電に伴い発生した廃熱は消化槽の間接加温に利用している。

中部水処理センターは敷地面積が狭いため、消化ガスの発生量に比べて貯留容量が小さい。そこで、消化ガスをメタックス・FIT発電設備・消化槽加温ボイラ等にうまく分散して、需給バランスを取りながら効率的に運用している。

7. おわりに

下水道を取り巻く社会経済情勢が大きく変化する中、本市では、下水道を健全に次世代へ引き継ぎ、快適で安全・安心な市民生活の確保や地球環境保全、都市の成長を図るとともに、新たなステージへ進めるための基本計画として、平成29年6月に「福岡市下水道ビジョン2026」を策定した。この中で本市は、「下水再生資源化リーダー都市」を掲げ、これまで取り組んできた再生水事業や消化ガス発電、水素製造、リン回収などに加え、新たに汚泥燃料化や下水熱利用にもチャレンジすることとしており、さらなる資源の有効活用と循環型社会の構築へ寄与していく所存である。

特集：下水熱 / エネルギー利用

解 説

金沢市における
消化ガス有効利用の取組み

金沢市企業局施設部水処理課

課長 青木 秀雄

キーワード：消化ガス精製、消化ガス発電、固定価格買取制度

1. はじめに

本市は、明治22年4月1日に市制を施行、平成8年4月に「中核市」に移行した、面積468.64km²、人口465,265人（平成29年4月1日現在）を有する北陸地方の政治、経済、文化の中心都市である。

藩政時代から加賀百万石の城下町として栄え、「兼六園」や武家屋敷などその面影を今に残した、伝統工芸や芸術をはじめとした文化の香り高い都市である。

一方、都心軸には、金沢の玄関口にふさわしい「もてなしドーム」のある駅前広場や「金沢21世紀美術館」が近代的都市景観を形成している。また、犀川、浅野川の清らかな流れや55もの用水が縦横に流れ、金沢平野に豊富な農業用水を供給して、豊かな自然を有している。

平成27年3月14日に待望の北陸新幹線金沢開業となり、「世界の交流拠点都市金沢」を目指して、個性と魅力あふれるまちづくりを行っている。

本市の下水処理は、図1に示す5カ所の下水処理

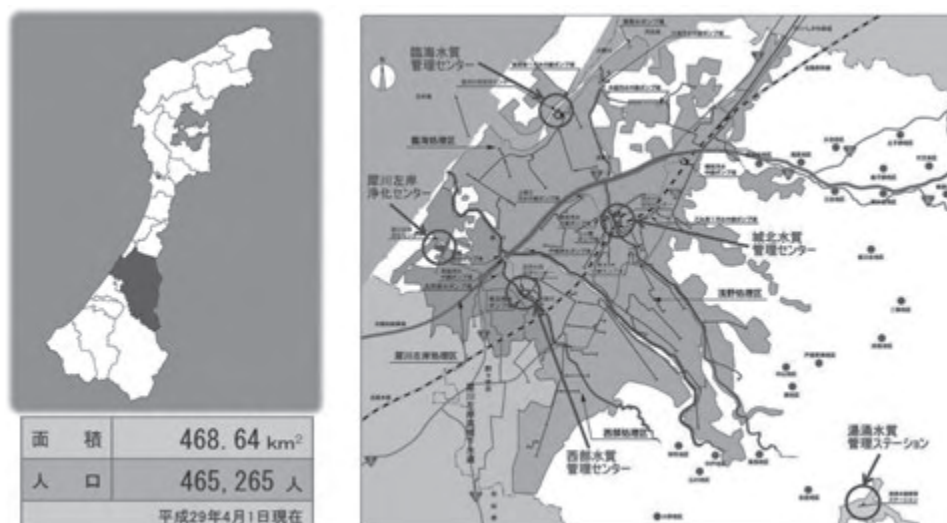


図1 金沢市の下水道

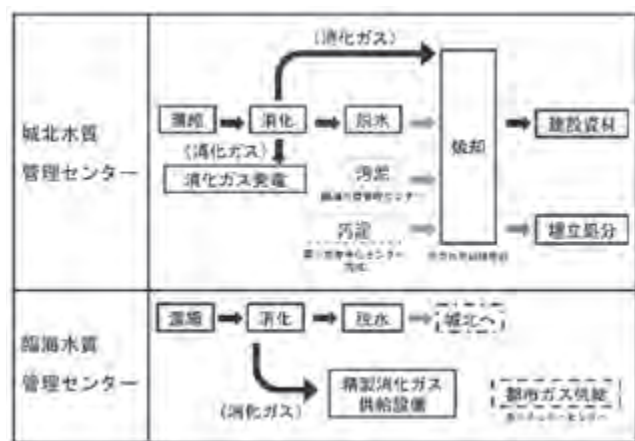


図2 下水污泥処理フロー

場で行っている。平成28年度末人口普及率は、97.8%で、計画的な整備は、概ね終了している。下水道事業の中心が、建設から維持管理となっている現在、経営基盤の強化を図るため、事業の効率化が求められている。

2. 下水污泥利用の概要

本市では、2カ所の下水処理場で汚泥を消化している。発生する消化ガスは、図2のとおり焼却炉や消化ガス発電の燃料及び精製して都市ガス供給するなど、エネルギーとして有効利用をしている。また、汚泥焼却後の焼却灰の約3割は、アスファルトフィラーとして資源化している。

3. 城北水質管理センターにおける消化ガス有効利用

城北水質管理センターは、昭和44年度に下水一次処理を、昭和47年度に標準活性汚泥法の下水二次処理（高級処理）を開始し、昭和49年度から消化タンクの運転を開始した。平成12年度には、城北水質管理センター、臨海水質管理センター、石川県犀川左岸浄化センターから生じる汚泥を集約して処理する汚泥共同処理施設が完成し、下水污泥焼却を開始した。効率的な設備運転や熱エネルギーを相互に有効利用した結果、余剰となる消化ガスが継続的に生じることとなったため、平成24年度に消化ガス発電設備設置工事に着手し、平成26年3月22日から発電を開始している。

発電した電力は、城北水質管理センター内で使用しており、平成28年度には、約128万kWhを発電し、全体の使用電力量の約14%を賄った。

消化ガスの使用内訳について、消化ガス発電設備が稼働する前の平成25年度は、消化タンク加温用が約

項目	概要
原動機	立形直列水冷4サイクルガスエンジン
出力	25kW
台数	8台
出力合計	200kW
付帯設備	シリコン除去装置、温水熱交換器、防音壁など
建設費	約345百万円



図3 消化ガス発電設備の概要

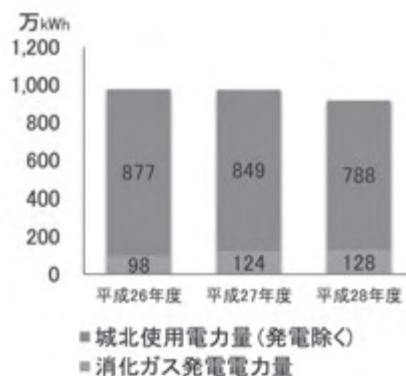


図4 消化ガス発電電力量

53万m³、焼却炉燃料が約157万m³であり、約10万m³の余剰ガスが生じていた。平成28年度は、消化タンク加温用や余剰ガス燃焼を発生させないようにした結果、焼却炉燃料に約148万m³、発電燃料に約82万m³使用することができた。

4. 臨海水質管理センターにおける消化ガス有効利用

(1) 消化ガス精製

臨海水質管理センターは、平成6年度から供用を開始し、平成12年度から消化タンクの供用を開始した。発生した消化ガスの約3割は、汚泥の加温に使用していたが、残りの約7割は、余剰ガスとして燃焼していた。そのため、平成14年度に「金沢市臨海水質管理センター消化ガス有効利用事業化調査」に着手し、学識経験者を交えた「金沢市新エネルギー導入可能性調査委員会」を設置した。委員会では、『金沢市の独自性』と『金沢らしさ』を追求・検討した結果、消化ガスを精製し、隣接するガス工場（港エネルギーセンター）に精製消化ガスを供給するとの結論に達した。そして、平成17年度から消化ガスの精製が開始された。

消化ガスの精製は、「気液接触法」を採用し、消化ガスから二酸化炭素などの不純物を除去し、プロパンガスを添加して増熱後、港エネルギーセンターに供給している。精製消化ガス供給設備の製造能力は、100Nm³/hである。

報 告

札幌市の雪処理における下水熱利用 （融雪槽・下水道管投雪施設等）

「再生と利用」編集委員会委員
札幌市下水道河川局事業推進部
豊平川水処理センター管理係長
田中 暁生

キーワード：融雪、下水熱利用、雪対策

1. 札幌市における雪対策

札幌市（以下、「本市」という。）は、年間約6メートルもの降雪があり、市民意識調査においては除排雪に関して常に高いニーズがあります。本市では平成3年に「雪さっぼろ21計画」を、さらに平成12年には「札幌市雪対策基本計画」を策定し、「人と環境にやさしい雪対策の実現」のため、除排雪の効率化をはじめ、地域で雪処理ができるシステムの確立や未利用エネルギーを活用した融雪システムの整備を進めてきました。下水道部局はこれを受け、下水道施設を利用し下水熱を活用した雪処理施設の整備・充実を図りました。その後、平成21年に策定した「札幌市冬のみちづくりプラン」においては、流雪溝と既存の雪処理施設のさらなる活用を図ることとしております。

以上のように、豪雪地帯の固有の問題に、本市は下水道の持つ熱資源の有効利用を進め、雪処理施設の利用を積極的に推進しています。図-1に公共排雪処理量に占める下水関連雪処理量とその割合の推移を示します。公共排雪量は雪の降り方は毎年異なることから、増減します。一方、下水熱を利用した雪処理量の割合は雪処理施設の供用開始が進むとともに年々増加し、近年は概ね10%程度となっております。一方、雪たい積場は、郊外の宅地化とともに近郊に確保する

ことが難しくなっており、雪処理施設の重要性は高まっています。

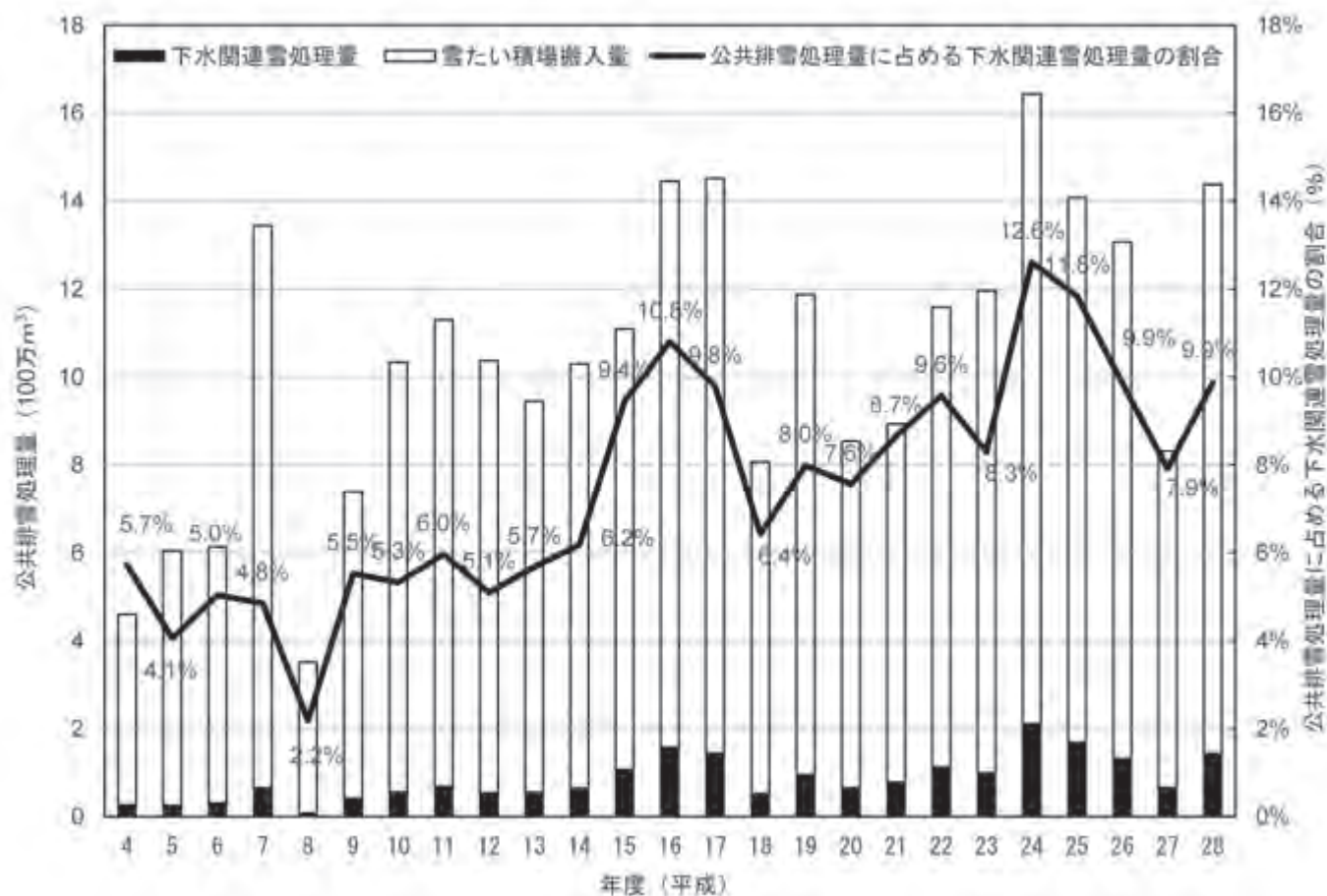
2. 下水熱利用雪処理施設

本市の下水水温は冬季間において、平均約14～15℃であり、融雪用水として活用することができます。下水道関連の雪処理施設には、表-1に示すように、5種類の雪処理施設があり、下水処理水または未処理下水の熱を活用しています。

流雪溝は道路下の流雪溝に沿線住民が投雪口から、雪を人力で落とし込み（図-2）、下水処理水がそれを押し流しながら雪を溶かし、川へ放流する施設です。人力に頼ることから、沿線住民の協力が不可欠です。

融雪管・融雪槽は下水処理水を送水し、その中にダンプトラックで雪を入れ、溶かして川へ放流する施設です（図-3、4）。これらの施設は、夏季に雨水貯留管または汚水貯留施設として使用しており、一年を通して施設を活用しています。

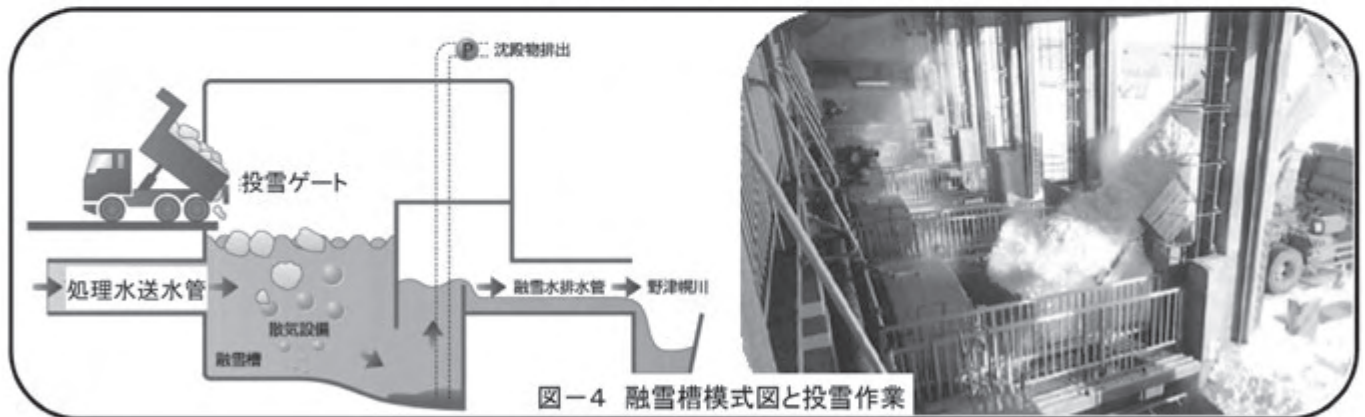
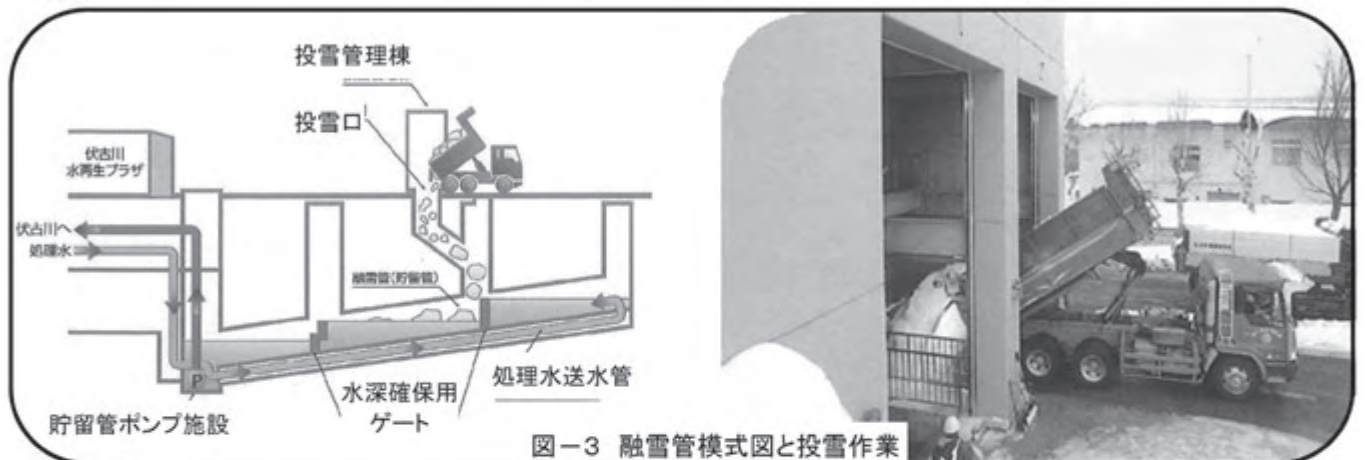
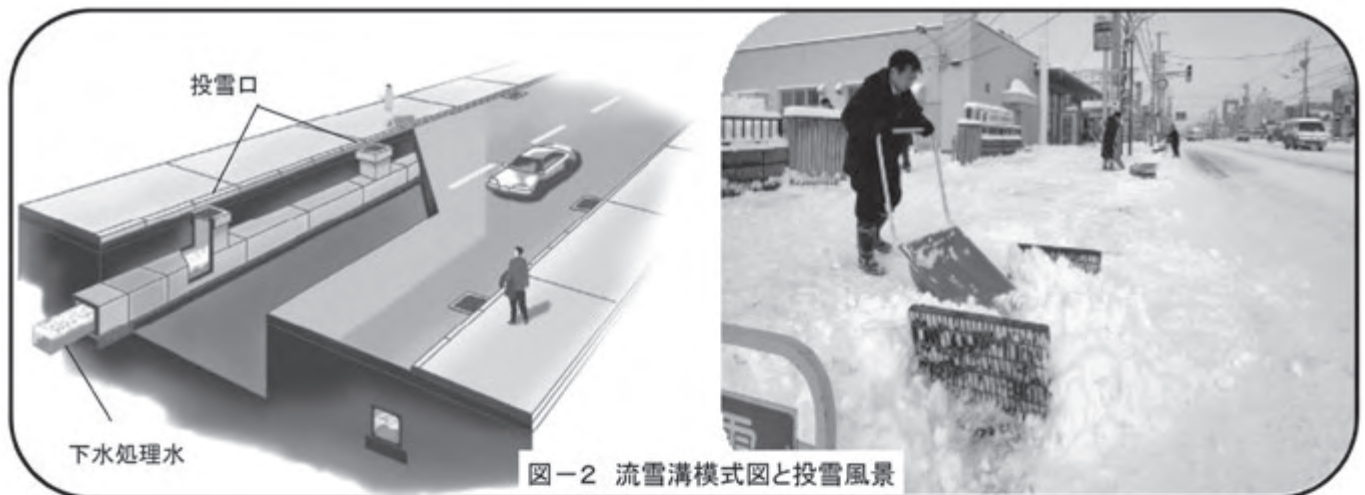
下水道管投雪施設・地域密着型雪処理施設は、未処理水の熱を利用しています。雪をダンプトラック又は油圧ショベルで直接下水道管に入れ、溶けた雪は未処理下水とあわせて下水道終末処理場で処理しています。（図-5、6）



図ー 1 公共排雪処理量に占める下水関連雪処理量とその割合の推移
(但し、流雪溝の雪処理量を除く)

表ー 1 札幌市の下水関連雪処理施設

種類	熱源	名称	供用開始	計画処理能力 (m³/日)	備考
流雪溝	下水処理水	安春川流雪溝	平成 2 年 1 月	約 200	流雪溝は道路下の流雪溝に沿線住民が投雪口から、雪を人力で落とし込み、下水処理水がそれを押し流しながら雪を溶かし、川へ放流する施設です。人力に頼ることから、沿線住民の協力が不可欠です。
		新琴似流雪溝	平成 3 年 12 月	約 1,500	
		割成東流雪溝	平成 9 年 12 月	約 1,000	
		新琴似北流雪溝	平成 22 年 12 月	約 950	
		発寒流雪溝	平成 6 年 12 月	約 900	
		琴似流雪溝	平成 15 年 1 月	約 900	
		北郷流雪溝	平成 16 年 1 月	約 500	
融雪管	下水処理水	割成川融雪管	平成 9 年 1 月	約 4,200	ダンプトラック約 300 台/日
		伏古川融雪管	平成 16 年 2 月	約 4,000	ダンプトラック約 290 台/日
融雪槽	下水処理水	厚別融雪槽	平成 5 年 1 月	約 10,000	ダンプトラック約 720 台/日
		新川融雪槽	平成 16 年 2 月	約 6,000	ダンプトラック約 430 台/日
下水道管投雪施設	未処理下水	発寒下水道管投雪施設	平成 12 年 1 月	約 2,100	ダンプトラック約 150 台/日
		八軒下水道管投雪施設	平成 15 年 2 月	約 2,800	ダンプトラック約 200 台/日
地域密着型雪処理施設	未処理下水	月寒公園	平成 17 年 3 月	約 1000	ダンプトラック約 70 台/日
		伏古公園北	平成 18 年 2 月	約 1000	ダンプトラック約 70 台/日
		アクセスサッポロ	平成 20 年 2 月	約 1000	ダンプトラック約 70 台/日





3. それぞれの融雪施設の課題

流雪溝への投雪は沿線住民の人力に頼っていますが、本市も高齢化が進み、体力的に協力することが難しい方も増えてくることが予想されます。

融雪管・融雪槽及び下水道管投雪施設の主な利用は、道路排雪とパートナーシップ排雪（町内会の生活道路排雪）の公共排雪です。道路排雪については交通渋滞の発生をさけるため交通量の減少する深夜から早朝にかけて行われますが、この時間帯は上水使用量の減少にともない、融雪に利用できる下水量が減少するため、日によっては早朝時間帯に融雪量を制限する場合があります。

また、下水道管投雪施設と地域密着型雪処理施設では、未処理下水を利用して融雪しているため、下水道終末処理場への流入水温に影響を与えます。極端に流入水温が低下した場合には、生物処理に影響を与える可能性があることから、流入水温が一定の水温以下にならないように慎重な運用を行っております。

このような課題を抱えながらも、本市は雪たい積場を主たる排雪場所とし、一方でこれらの下水熱を有効利用した雪処理施設について運用改善を加えながら積極的な導入を推進しています。

4. おわりに

冬の暮らしや交通に雪は邪魔者扱いされますが、市民は昔からスキー・スノーボードをはじめとするウィンタースポーツに親しみ、「さっぽろ雪まつり」のような北国らしい冬のイベントを楽しんできました。また、山に降った雪は水源として、本市の上水道を支えてきました。

雪は大切な天からの贈り物です。そして、魅力あふれる札幌を形づくる要素のひとつです。

ぜひ、冬の札幌へいらしてください。

報 告

東京都下水道局森ヶ崎水再生センター 常用発電事業の状況について

「再生と利用」編集委員会委員
東京都下水道局 計画調整部
技術開発課 技術開発担当

並木 圭治

キーワード：消化ガス発電、再生可能エネルギー、PFI

1 はじめに

近年 PFI、DBO など下水道分野において、様々な民間活用型の事業運営方法が導入されています。

東京都下水道局では、森ヶ崎水再生センターにおいて汚泥処理過程で発生する消化ガスを発電設備の燃料として利用し、二酸化炭素の削減を図るもので、下水道界では初めてとなる PFI 事業として取組みを始めました。平成 16 年度より稼働しています。

今回「再生と利用」の編集委員として改めて事業概要、そして稼働後 10 数年が経過した現在の運用状況について取材しましたので報告します。

2 森ヶ崎水再生センターの概要

東京都下水道局森ヶ崎水再生センターは、東京区部で最大の 14,675ha の処理区を擁しており、日量 1,149,000m³ 程の下水を処理しています。水処理過程で発生した汚泥を汚泥消化槽でガス化し、発生したガスを発電設備の燃料として活用しています。さらに放流渠の落差を利用した小水力発電や太陽光発電（メガソーラー）等、温室効果ガスを排出しないクリーンなエネルギーを創出しています。

3 森ヶ崎水再生センター常用発電事業

森ヶ崎水再生センターの常用発電事業は、水処理過程で発生する汚泥から得られる消化ガス（メタン 60%、CO₂ 40%）を発電燃料として利用するもので、BTO 方式で実施しています。運営は森ヶ崎エナジー



図1 森ヶ崎水再生センター

サービス株式会社（以下、「MESCO」という。）が行っています。事業概要は、表 1 のとおりです。

また、水処理の運用は東京都下水道局が行っており、処理水を設備の冷却水として供給しています。汚泥処理設備の運用は、東京都下水道サービス株式会社森ヶ崎事業所（以下「TGS」という。）が行いガスの供給をしています。再生可能エネルギーの活用の取組みとして東京都下水道局スマートプラン 2014 に示されている目標値を見据え、三者が協力し合い効率的な運用に努めています。

- 事業の特徴及び施設フローは、次のとおりです。
- ① 消化ガスを燃料としたガスエンジン発電機（3,200kW）を 24 時間連続運転し発電
 - ② 消化ガスを燃料とした温水器にて温水製造後、消化

- 槽を加温することで消化ガスの発生促進に有効利用
- ③ バイオマス発電によるクリーンエネルギーとしての環境付加価値について、グリーン電力証書として第三者への販売
- ④ NaS 電池の導入により、夜間に充電した電力を昼間に放電することで、電力需要のピーク抑制
- ⑤ 汚泥焼却設備の廃熱を回収し、温水として供給

4 運用状況

最近の消化ガス発生量、発電量及び温水供給量は、表 2 のとおりで安定した運用がなされています。

運用面にて特に注意を払っているところは、次の点ということです。

表 1 事業概要

事業名	森ヶ崎水再生センター常用発電事業
事業範囲	①発電設備の設計・建設を行い、完成後所有権を都に移管する。 ②本設備を運営・維持管理し、電力及び温水を供給する。 ③汚泥消化ガスの全量利用及び処理水の活用を行う。
事業期間	供用開始後20年
事業方式	BT0方式

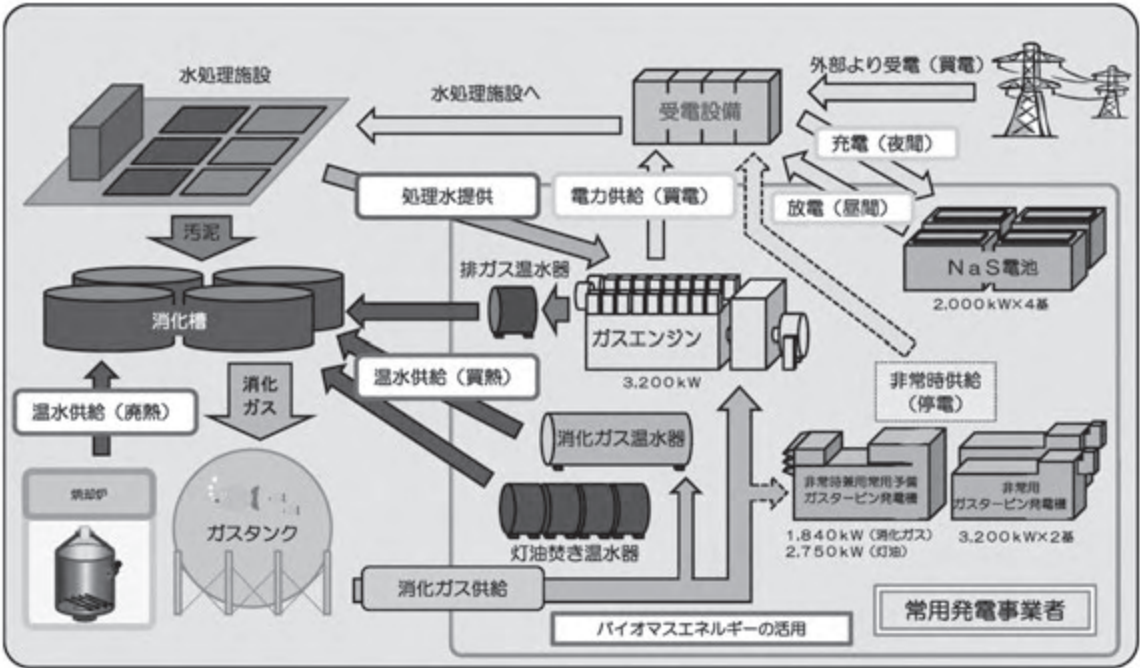


図 2 施設フロー図

表 2 最近の運転状況

	27年度	28年度
消化ガス発生量 (Nm ³)	14,212,990	14,336,490
発電量 (kWh)	20,666,500	22,971,800
温水供給量 (MJ)	100,660,700	100,041,500



写真1 汚泥消化槽



写真2 脱硫器



写真3 消化ガス発電機



写真4 ガスタービン発電機

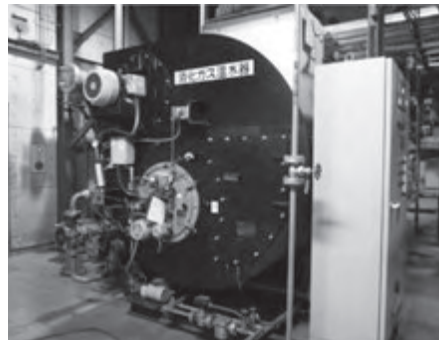


写真5 消化ガス温水器



写真6 NaS 電池

- ①消化ガスに含まれる硫化水素を脱硫器により取り除く必要がある。
- ②ガスエンジンの冷却水は処理水を利用しているが、熱交換し消化槽の加温や保温に利用している。その後再びガスエンジンの冷却水として利用しているため、消化槽の温度を 51℃ に管理する必要がある。
- ③消化ガス発生量が少ない場合、発電を十分に行うには消化ガス温水器に送るガス量を抑えるため、消化槽の加温、保温には灯油焚きによる温水製造が余儀なくされる。そのため汚泥の質、投入量を管理することが重要である。
- ④PFI 事業は常用発電であるため、年に 1 度の法令定期点検が必要である。消化ガスが発電に利用されなければ、消化槽の停止が余儀なくされ、再び消化ガスが発生させるためには消化槽内の温度上昇に時間を要することから、発電量は劣るが常用・非常用兼用のガスタービン発電機を運転し、発電及び消化槽の運用を継続している。
- ⑤工事や点検など予定が把握でき、短期間の停止の場合は、消化槽の温度を少し高めにし、再発電時にすぐに対応できるよう工夫している。
- ⑥夏季の電力需要ピーク抑制や降雨時の対応として、NaS 電池を季節に応じて有効利用する。

5 おわりに

常用発電事業は稼働後 10 数年が経過し、大きなトラブルはないが設備の経年劣化がみられてきています。長期的停止に陥らないよう部品の調達や点検時に劣化状況が認められるところは、少しずつ交換を進めて行くようにしています。また人事異動などによる作業者の入れ替わりにもすぐに運転、保全対応ができるようわかりやすいマニュアルや手順書を作成し、見直しも逐次行っているということです。

ガスエンジンや温水器の燃料となる消化ガスの発生は消化槽内の環境に大きく影響されます。汚泥投入量や消化槽内温度などの運転管理は MESCO、TGS、下水道局の三者が連携を密にして高温消化に最適な環境作りが大切ということです。

最後に、今回取材にご協力いただきました森ヶ崎エナジーサービス株式会社森ヶ崎発電所、東京都下水道サービス株式会社森ヶ崎事業所、東京都下水道局森ヶ崎水再生センタースラッジ管理担当の皆様に感謝いたします。

報告

第30回下水汚泥の有効利用に関するセミナー パネルディスカッション概要

会場：金沢市

(平成29年11月16日～17日)

**座長****池本 良子** 金沢大学理工研究域教授**安田 将広** 国土交通省水管理・国土保全局下水道部下水道企画課課長補佐**細川 彰仁** 石川県土木部都市計画課生活排水対策室地域排水グループリーダー課長補佐**パネラー****青木 秀雄** 金沢市企業局施設部水処理課課長**女田 良明** 珠洲市生活環境課下水道係長**村椿 謙一** 黒部市都市建設部上下水道工務課計画係**清 幹広** (一社) 日本ガス協会エネルギーシステム部エネルギーシステム企画グループマネジャー

※パネラーは発言順。
所属・役職は開催当時のもの。

■ バイオガスの利用について

○座長(池本) それでは今回、パネルディスカッションにつきましてはバイオガスの利用とその残渣の利用について今後どのように進めたいのかということをし話ししていきたいと思っています。まず、バイオガスの利用についてでございます。今回、四つの



池本座長

行政の方からバイオマスの利用についてお話をいただきましたが、発電をして場内に利用する場合、もしくは発電をして売電をする場合、さらには都市ガスに利用する、また場内で熱として利用する、さまざまなパターンがございました。これはFITの適用の時期ということも関係していると思いますが、なぜ今の方法を選択したのかの理由及び、他の方法についてはご検討されたのかというようなことに関しまして順番にお話ししていただきたいと思っています。

最初に石川県さんのほうから。石川県のほうでは、中能登町では小規模ですが発電を行って売電をするという計画で、流域の下水道のほうでも発電を行っているというふうに聞いておりますが、そのあたりのとこ

ろをお話いただけますでしょうか。

○細川 石川県なのですけども、石川県は流域下水道のほうで平成 15 年から大聖寺川浄化センターという所で発電のほうを導入しております。それまでは消化ガスは燃焼させるだけというもったいない状態だったのですけれども、発電機を導入して未利用エネルギーの活用、二酸化炭素排出量の削減ということで発電のほうを設置しております。

ただ、県の流域下水道のような大規模な、比較的規模の大きい処理場ではそういったふうに発電のほうを行って二酸化炭素の削減とかを行っているのですけれども、市や町が設置している小規模な所ではなかなかコストの問題から導入が、メタンガスの有効活用が進んでいないということで、先ほど私のほうで中能登町の事例を講義しましたが、メタンの活用石川モデルということ、小規模な処理場でもメタンガスの有効利用をして、発電や熱利用をして CO₂ を削減するといった取組みを行いまして、バイオガス発電の利用が進んでいくことに取り組んできたわけでございます。

○座長（池本） 発電以外のことについて検討はされたのでしょうか。

○細川 発電以外のことなのですけども、最初は大聖寺のほうで導入したときには、その大聖寺は加賀市さんの所なのですが、都市ガス事業というのは行っていなかったということもありまして、発電を選択せざるを得なかったという状況でございます。

○座長（池本） それでは金沢市さんのほうですが、金沢市さんのほうは発電で場内利用している処理場と、都市ガスに直接導入していると伺いました。非常に土地の利というところがあると思うのですが、こういう選択をされた経緯と言いますか、ほかの選択肢はなかったのかというようなことを伺いたく思います。

○青木 先ほど報告させていただいた臨海の場合は、すぐ隣に都市ガス工場である港エネルギーセンターがあるということが一つ。それに平成 12～13 年の頃は、FIT 制度がありませんでした。そこでまず都市ガスに利用できないかと考えました。もう一つ、ガス事



細川講師

業側としては、その当時、LNG（液化天然ガス）を出荷している LNG 基地が遠く、金沢へ持って来るのは、かなり高コストであった。そこで、少しでも安い都市ガス原料を調達できないかと検討して、企業局が二つの事業を営んでいることから、調査委員会で決まったと思われます。

城北の場合は、汚泥共同処理施設として最初、1 号焼却炉が 1 基、ずっと動いていたのですが、オーバーホールもできないし、老朽化してきたので、効率的な 2 号炉を建設して、平成 22 年度から運転しました。その結果、消化ガスが節約でき、余剰ガスが増えてきたので、次をどうするかと考えました。港エネルギーセンターまでかなり距離があり、都市ガス利用が難しいため、場内の動力費削減を目指して、場内使用の消化ガス発電となりました。

○座長（池本） 消化ガスに少し余剰のものができて発電に至ったという非常に面白いケースだと思います。それでは珠洲市の女田さんのほうから、珠洲市はガスを場内利用されていると伺いました。老朽化の問題もあるようでございましたが、今後の見通しとかについて何かございますか。

○女田 珠洲市は大変小規模な処理場です。汚泥量も少なく、最初の計画値からでも必要電力の 37% しか場内利用ができないということで、過疎化も進んでおりますので、これ以上汚泥や可燃ゴミをどれだけこれから入れられるかという課題もありますが、発電なり外に出すなりの量は見込めないのではないかと考えております。

○座長（池本） それでは最後に黒部市のほうですが、比較的、珠洲市や中能登町と比べると大きな処理場でございます。今、発電の場内利用ということでございますが、これに至った利用や今後の見通しとかというのはございますか。

○村椿 コーヒー粕、事業系の食品残渣を入れる主目的としては乾燥汚泥の資源化、燃料化というところが一番の目的でありましたが、試算しましたらかなり余剰ガスが出るという中で発電の燃料として利用しようという計画をたてました。当時、平成 23 年 5 月に供用開



女田講師



青木講師



村椿講師

始でございますので、F I Tに適用されなかったというのは残念だったと思っていますところでございます。地球温暖化には寄与している事業と思いますので、今からでも救済措置として既存事業者にも少し門戸を開けていただきたいというのが個人的な意見でございます。

○座長（池本） F I T前後に導入したところはほかにもたくさんあると思いますので大きな課題だとは思っています。今、金沢市さんのほうが都市ガスのほうに入っていて、同じ企業局同士の受渡しということで比較的うまくいっている事例だということですが、この都市ガスを受け入れる側の日本ガス協会さまのほうでは、受け入れるにあたってこれからどのようなことを求められるでしょうか。

○清 ガス事業者は、先ほどご説明申し上げた供給高度化法の中で、必要な取組を行う責務が規定されております。それを踏まえて、東京ガスさん、大阪ガスさん、東邦ガスさん、それから西部ガスさんは購入要領を定めて公開しております。従って、そこにバイオガスの供給を、ガス導管ないしは工場のほうに供給をしたいというかたちであれば、その事業者さんと折衝するかたちになっております。ただし、実際に東京ガスさんや大阪ガスさんの受け入れている量というのは年間70万から100万立方くらいであり、逆にそれくらいの物量がないとなかなか事業として成り立っていないのではないのかなというふうに考えているところでございます。

○座長（池本） ということは、やはり比較的大きな処理場では可能であろうと。

○清 そうですね。

○座長（池本） はい。これに関して国交省さんのほうから何かコメントがございましたでしょうか。

○安田 下水の資源の有効利用という意味では、固形燃料や肥料利用、あと金沢市さんから都市ガスの話もありましたが、やはり資源の需要側が非常に重要になってくると思います。固形燃料化をやりたくても引取り先がないとできないというような話があって、先ほどの都市ガスの話もまさ



清講師



安田講師

に、そういう話がちょうどあったからできたということなのかなと思いました。

それに対して発電の場合は、場内利用もできますし、F I Tで売電するということもできるので、あまり需要側に関係なくできるという意味では、メリットがあるのかなと思っています。

■ バイオマスの選定理由

○座長（池本） それでは次の議論に移らせていただきたいと思います。今回、私のお話の中でもバイオマスを下水処理場で受け入れて混合消化をしたら、メリットがあるのではないかというお話をさせていただきました。中能登町、珠洲市、黒部市のほうはバイオマスを受け入れた処理をされています。黒部市さんは特に非常に変わったコーヒー粕やデイスポーザを受け入れていらっしゃるということなのですが、こういうバイオマスを選定した理由というのを黒部市さんのほうからもう一度ご説明いただけますでしょうか。

○村椿 先ほど説明させていただいた中で、平成15年に本事業の基本構想を策定しておりまして、その際に基本構想の策定委員会ということで、学識経験者である北海道大学と富山大学の教授のかたと、あと地元の女性団体、関連業者、市の環境部局、それから当然、下水道の担当部局もですけれども、その委員会の中で下水汚泥だけではなくて家庭の生ゴミ、事業系の残渣といったものを入れて、そういったバイオマス利用をしようというものを選定しております。当初は事業系食品残渣につきましては市内の事業系の食品残渣を利用することだったのですけれども、なかなか市内だけでは量が足りないということと、あと結構リサイクルルートも確立されていまして、なかなかもらえないというところがあり、市内だけでは足りないということで市外に目を向けましたら、隣の入善町にアサヒ飲料の北陸工場さんがあったところなんです。コーヒー粕につきましては、アサヒ飲料さんは北陸工場と明石工場、この2社で缶コーヒーをつくられておると聞いておりまして、大量で均一な事業系食品残渣が確保できたということです。コーヒー粕につきましては、油分を含んでいますので、エネルギー的にはかなり優れたもので、たまたま見つかったということでございます。

一方で、家庭用の生ゴミにつきましては、平成15年の基本構想時は市内のゴミステーションのほうに、燃えるゴミ、一般ゴミから分別していただいて、パッカー車で生ゴミ収集日をまた別で設けて収集して集約するという、そういう基本的考え方でした。本事業は処理コストの削減が第一の目的ですが、環境負荷の軽

減が第二の目的であり、下水汚泥を資源化するためのエネルギーを集めるという目的の中では、そのエネルギーを集めるためにパッカー車を市内中に走らせ、CO₂を排出することは目的に反する行為となってしまいます。また、どれだけ分別しようとも、やはり集約して最終的に人の手を使うか、設備投資をして分別しなければいけないという問題も考えられました。そういった二つの問題がありまして、それらを解決するものがないかということでデスポーザというツールを選択したというところでございます。

○座長（池本） 黒部市さん、非常に地形的にもデスポーザを使いやすい所だなという気はするのですが、まだやはり普及が進まないというのはどういう理由からでしょうか。

○村椿 一番は価格と考えております。単体のデスポーザを許可するに当たりまして、影響調査、あと戸建て住宅数棟と集合住宅1棟、1年間かけまして実証試験を行っております。1年間使っていただいて、黒部市の市民がどれくらいの生ゴミを出すかといった調査。あと管路に堆積がないとか、処理施設で処理可能かどうかを検証しました。そういった調査の中で、1年間使っていただいた方に、実際に使ってみて、この機器をいくらだったら付けてもいいかというアンケートをしている中では5～6万というのが一番多かったのですが、実際は10万円から15万円程度の設置費用がかかるということで、やはりそれが一番のネックではないかと思っております。価格ばかりは黒部市がどれだけ頑張ってもなかなか難しいということで、今後、全国で下水道への単体デスポーザの許可の動きが広がっていけば自ずと価格は下がってくるのではないかと期待しているところでございます。

○座長（池本） 珠洲市さんのほうは、生ゴミ等もこれから入れていけたらいいかなというようなお話がありました。今後の見通しについて何かございますか。

○女田 先ほど黒部市さんも言われましたけれども、やはり私たちも家庭ゴミを回収するとすれば、考えられるのは紙とかとは別の日に別のパッカー車を走らせて市内中集めると。そういうことになると大変なコストと人件費がかかりますので、それは大変難しいだろうということで、やはり考えられるのは、池本先生も言われましたけれども、スーパーとかそういう所で定期的に回収して、エコポイント制度とかのようなものがありますけれども、どうやって誰が、把握するのだというのがあるのですが、それを何に使えるのか。例えば有料化のゴミ袋にしていますので、ゴミ袋と交換とか、そういうものも考えられるのかなとは将来的には思うのですが、環境部局と調整しながら検討の余地ありかなと考えています。

○座長（池本） デスポーザについてはどうでしょうか。

○女田 私らもデスポーザはいいのではないかと考えたのですが、先ほど言われました価格の面と、新築ならいいのですが、既存の家に改造するとなると、もとの代プラス改造費がかかるわけです。あと設置スペース。シンクの下にスペースがあります。プラスであればただ崩すだけではなくて、水を装置に流さなければいけない。そういうことは、少しだと思うのですけれども、一般の方にしたら、水道代と下水道代が少し上がるわけですね。さらに電気料金も上がります。実際、そんな何トンも使うわけではないのですけれども、イメージ的にお金もかかるし。お年寄りならいいかなと。でもお年寄りにそんな十何万円もの機械を付けろというのなかなか難しいので補助制度をやることも考えていきたいです。

○座長（池本） 金沢市さんのほうは、今はバイオマスの受け入れというのはされていませんが、今後の見通しと言いましようか、やってみたいというとおかしいのですけれども、何かございますか。

○青木 バイオマスの取り入れは、まだ考えていないのが現実です。金沢には大きい食品工場がないので、品質や量が安定して確保できないのだらうと思います。多種類のものが入りますと、どうしても施設の維持管理が複雑になってきます。私どもの処理場も少し古くなってきましたので、運転が難しくなるのは非常に困るなと思っております。

○座長（池本） 石川県さんのほうはこの石川モデルで、メタン発酵をどんどん進めていきたいということですが、今後の見通しはいかがでしょう。

○細川 平成19年に珠洲市さんで、全国で初めて混合バイオマスの施設が稼働しまして、先月、中能登町さんのほうで2番目が稼働しているという状況です。石川県としてもこういう取組みを県内の全市町に普及していければと考えておりまして、平成27年度から下水汚泥等有効活用研究会というのを県内全市町の下水道担当の課長さん、それから廃棄物担当の課長さん、それから広域圏の方、そういう人をメンバーで研究会を開催しています。先進事例の取組みや中能登町や珠洲市さんの取組み事例、あと県のほうからもそういう既存の施設を更新するよりも、混合バイオマスメタン発酵するほうが、費用関数レベルですけれども県のほうで試算しまして、導入したらこちらのほうが安くなりますよとか、そういった県内市町のほうにも維持管理コストが削減できる案を提案したりして、市町の方にも検討していただけるような取組みを行っているところでございます。

■ 消化残渣の有効利用

○座長（池本） それでは次の議論に移らせていただきたいと思います。こういうふうにバイオマスを受け入れてメタン発酵してガスはたくさん出るのですが、どうしても消化残渣が増えてしまうところもございます。その消化残渣をどうやって有効利用する、どうやって活用していくかというのは、メタン発酵を導入した場合、大きなポイントになるというふうに思っています。今、中能登町さんと珠洲市さんでは肥料として利用する見込み、利用しているという状況でございますが、ちょっとご質問のところにもあったのですけれども、中能登町さんのほうの肥料としての需要見込みと言いますか、それに関してはどうなのでしょう。

○細川 中能登町さんの発酵残渣、肥料のほうなのですけれども、無償で町民の皆さまに提供するという方向で考えております。現在、肥料登録申請中というところで、実際にはまだ供給のほうはこれからですけれども、中能登町さんについては、農業集落排水汚泥については従来より汚泥を肥料として配布しておりまして、その需要のほうも好調であるということでありますので、肥料は、十分さばけるのではないかとこのように想定しております。

○座長（池本） 珠洲市さんは当初いろいろ大変だったというお話も報道等でもありましたが、今、為五郎はどうでしょうか。何かご苦労されている点とかはございませうでしょうか。

○女田 先ほどご報告させていただいた通り、現在のところ 100% さばけているという状況でございますが、その中にありまして時期的な問題で、やはり冬はストック数が多くなってくるので単費で倉庫を造りました。倉庫を造らないと 1000、2000 袋たまってくるのです。春になったらゼロになったりするのですが、多少そういうのがありますので、波があります。

あと一つ、去年から工夫したのは、お年寄りや家の裏の畑で使いたいのですけれども、車とかはないので、基本的に無料なのですけれども、取りに来てくださいという制度だったのですが、お年寄りはなかなか取りに来られないという声もいただきました。軽トラ 1 台で 30 袋以上注文があれば、私たち職員自ら配達しますと。毎週、金曜日の午後からということで。ちなみに、ご近所の方がまとめて例えば 5 人の仲間で 30 袋でもいいのということで始めさせていただいたら結構好評です。注文がすごいことになって、金曜日の午後は配達状態となっております。人口減少をしていますけれども、まだもう少しいけるかなと考えておりま

す。

○座長（池本） 配達料も無料ですか。

○女田 無料です。逆に有償にすると、お金をもらって、お金が最後に合わない、合うとか、また決算とか、収入とかそういうのになってくるので、そんなところに人件費をかけるくらいなら無料で。基本的にはお金がかかってしまうのではないかと思います。

○座長（池本） はい。非常に面白い取り組みだと思います。黒部市さんのほうは肥料と燃料にしているということでございますが、これはどのくらいの割合で燃料化されているのかということと、含水率 40% ということで、先ほどの珠洲市さんのほうは 20% でしたか。だいたい乾燥させて導入されているということなのですが、結構、含水率が高い状態でも肥料として、はけているのかということをお教えいただけたらと思います。

○村椿 当初、事業者からの提案としては、ほとんど燃料化という提案であり、その燃料利用先の同意書も付けていただいていたわけですが、その同意書をもって実際に供用開始するまでには設計・建設期間があり、時間が空いたことから最終的に予定していた発電需要者さんとの契約に至らなかったという中で、当初は肥料として有効利用していました。一部、5 t だけは完全に有価物として事業者からも提案いただいております。県内の花き生産農家さんのほうで現在も完全有償、有価物として、商品としてご購入いただいております。

現在は燃料利用も行っており、昨年、約 1,040 t の乾燥汚泥が発生している中で、6 割強を県内の小規模発電事業者へ石炭、木材チップの代替燃料として、ご購入いただいております。ただし、運搬につきましては排出側の負担ということで逆有償という格好にはなりません。あと 4 割弱を肥料、土壌改良材といったもので有効利用しておりますが、そちらについては処分費を支払っております。

市民に配布しているのが発生量の 2% 程度、年間 23 t ほどでございまして、3 月～10 月の間の月の第 4 木曜日の昼から配布しており、肥料袋を持って来ていただいて市職員と PFI 事業者と一緒に袋詰めいただいております。

あと、たくさんほしいという方は軽トラに 350 キロとか、中には 1 日で 3 往復で取りに来られる方もおられます。畑ものの生育状況も非常に良いということで大変好評であり、中には毎回、成果物を持って来ていただける方もおられます。

○座長（池本） 6 割が燃料になっているというのは結構多いなというふうに思いました。ですが、黒部市さんでも消化をしたあとと燃料化をされているというこ

とで、消化をすると有機分がメタンガスになるのですが、ここの両立というのはいかがなのでしょう。

○村椿 下水汚泥だけでなく事業系の食品残渣、コーヒー粕が入っているというところでどちらとも成り立っているのではないかなと考えております。先ほどの説明でもございましたように、バイオガスは都市ガスの約8割、乾燥汚泥につきましては石炭の約7割のエネルギーがあるということで、十分に成り立っているのではないかなと考えております。

○座長(池本) つまりコーヒー粕の未消化分が残って、それが燃料としてある程度役に立っているという理解でよろしいですかね。

○村椿 そのように考えております。もう1点あるとすれば、副次的効果としましては、乾燥汚泥になった際もコーヒー粕が入っているということで、臭気面でも良い方向に働いているかなと考えております。

○座長(池本) 近くに良いバイオマスがあって非常に良い事例ではないかというふうに思います。これまでのお話の中で、このメタン発酵の事業スキームとか最適なシステムとかということに関して国交省のほうから何かコメントがあればお願いしたいのですけれども。

○安田 最適なスキームと言いますと非常に難しいと言いますか、処理場が100あれば100の答えがあるのかなと思っていて、これがいいとか簡単に言うのは難しいのだろうなというのがあります。

先ほども言いましたけれども、やはり需要側の、肥料だったら肥料を使ってくれる側との調整というのはすごく大変で、今の皆さんのご意見を伺っても、本当にすごくいろいろな工夫をされているのだなというふうに感じました。肥料に関して言うと、うまくいっているところというのは、地元の農協と連携したり、農家の人と非常にうまく信頼関係を築いているとか、そういうことでうまくいっているというのがあって、そうでないと取引先が不安定で、急に減ってしまったりするケースもあるので、やはり安定的に使ってもらえるという仕組みをつくっていくことが重要ではないかと思っています。

○座長(池本) それで、その事業を行うに当たってさまざまな法的な規制とかもあるのではないかと思います。法的な届け出、廃棄物なのか、汚泥なのか、一般廃棄物なのか、産業廃棄物なのかそういうところが結構難しいところがあるようですね。ここまでのお話の中でも集約するに当たってそのあたりの調整も必要であるというお話もございましたが、それに関してほかの方でも何かコメントはございますか。

○安田 廃掃法の手続きについて、こうすれば簡単だというのはなかなか難しく、やはり環境部局を含め、

県や市の中でしっかり調整してやっていただくということに尽きるのかなと考えています。

■ 維持管理（PFIなど）について

○座長(池本) オペレーションなのですけども、今回、珠洲市さんは包括民営でやられていると。黒部市さんはPFIでやられているということなのですが、それぞれの事業について何か優位点という特徴と言いましょうか、ご経験ということが何かございましたらお教えいただきたいのですけれども。珠洲市さんのほうはいかがですか。

○女田 このバイオマスでメタンガスをつくる前は単なる通常の処理場委託管理業務ということで委託していたのですが、この施設を導入してから包括民営委託をプロポーザルで発注しております。冊子の55ページからの私共の施設のところにもあるのですけれども、その中の58ページにもあるとおり、19、20年度は単体、1年間で発注いたしました。そのあと21～23、24～26、27～29で3年間、長期に伸ばしまして、なおかつその都度、枠を広げていきました。薬代、電気代、電話代、水道代、少額の修繕費、法定点検費、どんどん広げていまして、来年度からはまた、枠はさらに広げる予定でおります。

難しい点としては、修繕費をどう見込むか。機械・電機・設備がどう順番に壊れていくなんて誰も予想できないので、一応見通しは立てるんですが、その通りに行くとは限らないので、その出た分は市が補填するということになると、やはりある程度、予算確保していかなくてはいけないというそのあたりが難しい点かなとは思いますが、少額のものは全部含まれるというふうに委託しております。大きなものは市がやるということで分けております。

○座長(池本) 黒部市さんのPFIはいかがでしょう。

○村椿 当市ではPFI方式で事業実施しているわけですが、PFIは事業実施までに時間がかかる。今は少し昔よりは早いかなとは思いますが、事業者が決まるまでに時間がかかります。あと、黒部市は4万2000人弱の市でございますので、このPFI事業にかかる担当者が1名ということで非常に苦労した思い出がございます。

あと、事業期間が17年ということで、非常に長期にわたるということで発注時、募集時に想定していないような事象がどうしても起こり得ることが考えられますので、本事業では市と事業者で協議会を設置しております。年に2回から3回協議の場を設けて、そ

の都度解決していっておりまして、そういったものは必要になってくるかと思います。

あと、国交省さんからもございましたように、PFIという大手企業が持つていくというイメージがありましたので、縛りはつけにくかったんですけれども、優先交渉権者選定基準の中に地域貢献という項目を付けまして、事業者のほうに地域の業者なり人なりを使っていただけるような、誘導するような、そういった配点項目を設けました。結果としては地元企業や作業員の採用という形で黒部Eサービスには地元貢献していただいていると考えております。

○座長（池本） その他の方でこの事業スキームに関して、維持管理のスキームに関して何かコメントはありますでしょうか。石川県さんは。金沢市さんは何かございますか。

○青木 都市ガスとして供給して、もう12年が経過しました。今抱えている問題は、精製施設の老朽化がだんだん目立ってきて、維持管理費が増大していることです。

もう一つ、先ほど日本ガス協会さんからも話がありましたように、アメリカでシェールガスの開発が進み、昨年から日本へ輸入されてきこともあって、LNG価格が下がってきております。精製消化ガス事業を導入した時は、LNGを原料とする都市ガス製造価格がかなり高いものでした。今は大分下がってきたため、お互いのメリットがだんだんなくなってきました。ここでもう一度、いろいろな観点から事業を見直さなくてはいけないのかなと思っております。

○座長（池本） 私もあまり存じ上げなかったのですが、ガス事業者さんのほうもいろいろな事業をされているというお話がございましたが、今後このバイオガスというところに関しまして何か新しい動きと言いましょうか、これからのガス事業者さんから見た何か展望のようなものはございますか。

○清 やはりエネルギーの自由化が進展しておりまして、ガス事業者もこれまではガス事業一本であったのが、例えば電力事業を行っている大手のガス事業者さん、それから地域の中で新しい事業を行っている事業者さんが多くなってきております。今後もその傾向は続くと思われまして、そういう中でPFIの事業に地域の事業者として参画をしたり、ガスを扱うというところは少し強みがあるのではないかというふうに思っておりますので、バイオガスをうまく活用するような提案なり事業参画なり協力を地域の中で行っていくことが大事かと思っております。そういった事業者さんをガス協会としても育てていきたいと考えておりまして、そのような事業への参画などがこれからも増えていくのではないかと考えています。

○座長（池本） それでは今後、技術としてこういう新しい技術開発があったらいいのではないかと、こんな技術開発を持っているよというようなお話がもしございましたら、まずは国土交通省のほうから何かこれからこんなものを開発してほしいとか、そういうことはございませんでしょうか。

○安田 やはり今日のテーマにあります中小の処理場でしっかり採算性が取れるような技術が重要ということで、国交省でやっているB-DASHでもここ数年は特に中小を意識した技術を実施していきまして、来年度は固形燃料とか肥料化の技術がガイドライン化されていく予定ですので、それらを使っていただきたいということですね。今後の新しい技術ということでは、そういう技術がまた引き続き企業さんのほうでニーズに答えられるようなものを開発してもらえればと期待しています。

■メタン発酵施設導入の経緯

○座長（池本） そうしましたらフロアのほうからで構いませんが、何か技術的なことに関しましてご提案なり、こういうのがいいのではないかとしたいなものがもしございましたら。よろしいですか。それでは事前にご質問を受けております。そちらのご質問に対してまずコメントいただいた後、フロアから少しご質問を受けたいというふうに思います。まず一つ目の質問ですが、主に珠洲市さんのほうの質問なのですが、バイオマスメタン発酵施設で公的にどんな課題をクリアにする必要があったか。既存の廃棄物処理業者との関係調整は必要なのか、特別な制度の適用や行政の根回しなどをされたのか、実施設でどんなトラブルがあったのか、ご苦労された点はなかったかというようなことのご質問がございました。ご説明の中でも一部お話されたこともございますが、捕捉で何かお答えいただければと思います。珠洲市さん、お願いいたします。

○女田 法的な課題としましては、廃掃法との関係です。一般廃棄物をどう受け入れるのか、下水道処理施設につくっていいかどうか、位置付けですね。そのことについて県の関係部局なり国交省さん、環境省さんと打ち合わせをさせていただいたというのがございます。

次に既存の廃棄物処理業者との関係調整で時間の都合で言わなかったのですが、計画の中で魚の粗を入れるというのがあったのですが実質は10年間ゼロでございまして。なぜかといいますと、当初は入れる計画でございました。魚の粗というのは魚屋さんから出ます骨、頭、大きい魚のやつが出る、それを取るという、私たちのごみの袋代と同等ぐらいの安い、例えばごみ

は有料化なので、ごみを一袋の大きいやつで事業者は 60 円なので、ごみを出す同じぐらいの安い値段の回収量、費用をいただいているのですが、それで引き取るという話に決まっていたのですが、ではそれ以前はどうしていたかという、ある業者さんがお金をもらって、魚屋さんが払って回収している。それをまた肥料会社と原料会社に売っていらしいんですね。そうしたらそちらの方が高額だったんですね。私たちが安くなったので私たちのほうに魚屋さんはコスト削減だからあげると言っていたんですけど、次にその回収業者が私たちより値段を下げてきた。ライバルにコストで負けたということで魚屋さんは安いほうがいいので元に戻ったということで、実質はゼロということでございます。

次に特別な制度とかそういうものは、一つの施設で国交省さんと環境省さんの両方の補助金が入ったのはたぶんうちしかないですかね。交付金事業になりました。中の資産は全部、国庫補助なので、同じ建物、建築も費用アップさせていただいておりますし、この機械は環境省さん、この機械は国交省さんという感じなんですけれども、同じ一連のシステムの中で両方の補助が入っているのは私たちだけだと思いますけれども、そのへんの調整が結構時間がかかったかなということを考えております。

あと、実処理でトラブルですが、生ごみを受け入れる際に破砕機で破砕するんですが、やはり異物が入っておりましてスプーンとか、あるときは漬物石が入っていました。漬物石が入っていたので破砕機の歯が折れました。それで、歯を直すのにまた何十万もかかると。必ず人間のやることですから異物が入っておりますので、どこからかはだいたい想像はつくんですけど、そんなところは言えないので私たちが直しました。そういう点がちょっと苦労したところでございますね。

あとは、実はこの制度をつくる時私はいませんでした。私はそのとき水道と浄水場をつくっていたのでいないんですけど、隣の係りでこのやり取りをやっていたのを見ていて大変だなと思っていたのは、やはり調整ですよ。私たちは小さい自治体ですので、下水道部局、そのときは農業集落が入っていますから農林部局、環境部局。市の中でもあります。県の中でもあります。国の中でもあります。結局いくつか絡んでくるんだということになるので、これを全部誰がまとめて、誰がリーダーシップをとって、誰が進ませていくんだというのが難しいかなと。やはり誰か強いリーダーシップというかマンパワーで、誰かが引っ張っていかないと、私たち単体ならいいですけども、これからなる広域化、例えば 3 町でやりたいとか、隣

接市でやりたいとなると更に枠が広がって大変な混乱状態になってくるかと思うので、良いのはわかるのだけれども、どう調整してどうまとめて、誰が結論を出すのかという、そのへんが大変難しいのではないかなと感じております。

○座長（池本） ありがとうございます。事業系廃棄物を計画に入れるときに、やはりリスク回避というのが非常に重要なということで、私も珠洲市さんのお話は聞いていたのですが、中能登町のときにもあまり考えずに安定して入ってくるだろうというふうを考えて始めたのですが、先ほど石川県さんのほうでお話があったように、油揚げという非常に変わった廃棄物、特徴的な廃棄物が入ってきて、油揚げありきで計画をずっと進めていたんですが、その会社が製造ラインを変えるということになりまして、入って来ないわけではないんですけど、つくるものがちょっと変わってしまったということで、量もぐっと減ってしまって、それをどう補うか。これもたまたま近くの蒲鉾屋さんが非常に困っている状況で、それを受け入れることができてうまく回ったのですが、常にリスク回避を考えて、食品廃棄物を受け入れるときにはその 1 社だけに頼るということはあまりしないほうがいいのかなというのをつくづく思った次第でございました。珠洲市さんのほうも当初から苦労されたというふうに聞いております。

また、レストラン等の事業系の生ごみですよ。この事業系の生ごみの中に異物が入っているというのを私もあまり想定していなかったんですけど、こういうところも今後進める上では注意していかないといけない。どう回避できるのは難しいですけども、そういうリスク回避も必要なかなと強く感じております。

その他に肥料化についてのご質問がありましたが、先ほどからの議論でお答えができたというふうに思っています。その他の中に小さい質問ですが、加賀市の現状はどうなっているかという、バイオマスタウンの構想の中で下水の消化汚泥の堆肥化というのがあったのですがどうなっていますかというご質問がありましたので簡単に。

○細川 加賀市のバイオマスタウン構想の進展というご質問がありました件ですけども、平成 19 年 3 月には加賀市のほうでバイオマスタウン構想というのが確定されているんです。その中で下水汚泥の堆肥化と、下水汚泥とバーク等の混合による利活用の検討というのが示されていたわけです。加賀市さんの下水汚泥はそれまで有効利用されることなく埋め立て処分としていたんですけども、この計画の立てた 19 年の途中より民間処理業者に委託しまして、翌 20 年度から

すべての下水汚泥は堆肥化等というのを行っております。

またバーク等の利活用ということなんですけれども当時、下水道汚泥と粉碎したバークを混合して堆肥化し、主に非食用分野向けの堆肥として検討していたんですけれども、先ほども言いました下水汚泥としてすべて民間処理業者で処分を行っているということで、こちらですべて処分を行ったということで非食用分野向けのほうは行わないことになったということでございます。

○座長（池本） その他、これからのどういうふうなスキームで続けたいのか、そのようなコンセプトでやっていったらいいのかというご質問については、今回のセミナーの主題でございましたので、いろいろな提案等があったかというふうに思います。

■ 会場からの質問

○座長（池本） それでは、全体を通じまして何かご質問とかご意見とかフロアのほうから頂戴したいと思うのですが、何かございませんでしょうか。

○質問者（1） 集約化ということで一つの処理場に集約をされているかと思えます。本県でも汚泥処理の広域化をについて今後検討を進める上で、住民さんに今まで走っていなかったパッカー車が集まるという状況も考えられた中で、どのように住民さんにアプローチをしていってご理解を得たのか。そちらのほうは成功事例だと思いますので、そのへんをお伺いしたいのが一つと、もう一つは石川モデルの件なんですけれども今回、高濃度の汚泥をそこに投入するというので、濃い返流水が出るのかなとなんとなくイメージがあるんですけれども、そのあたりが普通の標準活性汚泥等の返流水よりも濃いのが出たとか、そのあたりのところを教えていただければと思います。

○座長（池本） パッカー車の入っている処理場は？ではどうぞ。

○女田 珠洲市ですけれども、もともと処理場自体が山のほうにあります。普通は海の河口のところのそばに下水処理場はあるんですけれども、私たちは海岸線沿いにべったり家がありまして、つくるスペースもなかったのが敢えて、津波対策に結果的にはなったんですけれども、山のほうにポンプで圧送しています。山のほうの民家が少ないところ、周りが田んぼだらけのところには処理場がありますが、多少家もあります。この中をパッカー車なりバキューム車なりが全部通っていくんですけれども、それも懸念しまして、そこに関係する町内が2地区ありまして、説明会をさせていただきました。田舎の人は良い人で、あそこの側溝を直

してくれとか、カーブミラーを付けてくれとか、照明を付けてくれとか、それぐらいならすぐしますという程度しか言わなかったのです。それから10年間何も特に臭いとも騒音があるとも言われてございませんので、田舎の人はいい人ですねと思っています。

○座長（池本） 石川県さんのほうは。

○細川 まず集約化のほうなんですけれども、住民にご理解というところなんですけども、まさに、中能登町さんのほうは先ほどの珠洲市さんと同じで郊外のほうに処理場があって、そこに集約化するというので、中能登町さんのほうから住民説明したときに反対があったかという特段なくご理解を得られたと聞いております。ただ、こういった運搬するときの臭気の問題というのはやはり衛生処理上はどうしてもありますので、うちは27年度から先ほど研究会を開いていると言いましたけれども、他の市町さんからは、そもそも下水処理場をつくる時に臭気の問題で反対もあるのに、こういうモデルをしようとするとなかなか住民のご理解が得られにくいとか、そういった意見も聞いております。だから、下水道処理場を建てたときの背景とか場所、地域性にもよると思います。

もう一つの質問で、高濃度の汚泥で返流水の話がありました。確かに返流水の増加で水処理施設の影響というのは当然あるんですけれども、この中能登町の場合、鹿島中部クリーンセンターという一番大きい処理場に持っていきまして、全体の量に対する返流水の増加割合というのが非常に少量でありまして、ここについては特段、影響というものは今のところありません。特にそれに対して何か施設を入れた対策をとっているとか、そういったものもございません。

○座長（池本） ありがとうございます。よろしいでしょうか。他に何かございますでしょうか。

○質問者（2） 先ほど法制度の関係でお話が出たかと思うんですけれども、食品工場等から出る産廃ですとか、あるいは事業系一廃、これらを受け入れるときの環境部局との協議の結果、どんなかたちで決着されているのか、あるいは許認可等が必要になったのか、そのへんを教えていただければと思います。それぞれも仕入れている処理場さんごとにお願います。

○座長（池本） ありがとうございます。石川県さんのほうからございますか。

○細川 廃棄物を受け入れるときの法手続きの話がありました。中能登町の場合なんですけれども、やはりこれは廃掃法の手続きをとっております。ただ、許可ではなくて届出というかたちをとっています。具体的にいますと、その廃棄物を受け入れた前処理したり混合するところまでが一般廃棄物処理施設設置の届出の範囲としまして、下水処理場のほうに入ってしまう

と下水道法が適用されるということで、下水道の処理する手前までの受け入れ施設とか前処理とか、そういったところにつきましては廃掃法の適用は受けるんですけども、許可ではなく届出というかたちなので、先ほど黒部市さんが3年ぐらいかかったということなんですけれども、こちらのほうはそれほど協議のほうに時間は要せず済んだということでございます。

○**座長（池本）** 珠洲市さんのほうは、先ほどはスキームが違うというお話でしたけれども。

○**女田** 私共は事業系生ごみなので、事業系の一般廃棄物で産廃ではないんですけれども、有用物と解釈すると、産廃やもともと廃棄物ではないと解釈されるのというのもあると思います。

○**座長（池本）** 黒部市さんのほうは入って大変だったというのは。

○**村椿** まず産業廃棄物処理業の許可申請ですが、これは自治体でございますので生業とはしていないということで、不要とのことでした。産業廃棄物処理施設設置届、こちらにつきましても、要件となる脱水機、乾燥機がございましたが、要件に当たる能力までは達していないので、それも不要とのことでした。最終的に時間がかかったのは一般廃棄物の処理施設の設置届がいるのではないかとこの点でした。地元対策もありましたので、ミニアセスを行い、一般廃棄物処理施設設置にあたっての条例の議案を提出する準備をしましたが、最終的には一般廃棄物処理施設設置届についても不要となりました。

○**座長（池本）** よろしいでしょうか。他にございますでしょうか。

○**村椿** 今の件でちょっと補足させてください。今お話しした件はあくまで富山県での例です。皆さんご存じのとおり廃掃法は各都道府県が許可することになっておりますので、ご注意ください。

■ セミナーを終えて

○**座長（池本）** ありがとうございます。そろそろ時間ですので、最後に今日のセミナーを終えて一言ずつお話をしたいと思います。

○**細川** 石川県ですけれども、本日はどうもありがとうございます。また明日、本日講演しました中能登町の施設のほう、現地見学がありますので、今日聞きたいけど聞けなかったとかそういうことがありましたら、明日は現場の代理人や設計コンサル、それからメーカーの方も現地にいますので、今日聞けなかったことも聞いていただければと思います。

○**青木** 金沢市です。明日の施設見学で、城北水質管理センターの消化ガス発電を見ていただくことになっ

ています。場内では風力発電と小水力発電もやっています。担当者の説明を聞いて、是非見学をしてください。よろしくお願いします。

○**安田** 最後に言い残したことを言わせていただきますが、先ほど珠洲市さんから苦勞された点で、非常に調整が多いとか、広域化となったらさらに大変になってくるのではないかという話がありました。広域化については政府レベルでも広域化を推進してコストを削減すべきと強く言われているというところで、下水道部としても進めているところです。一方で、中小の市町村にはなかなか人もいないし、広域化に限らず、新しいことをやろうとしてもなかなか難しいというところもあると思います。石川県さんは先進的なことをいろいろやられているという印象を受けているんですけども、それにも必要に迫られてやらざるを得なかったというところがほとんどだと思うんですね。そういった中で私は県の役割というのが非常に重要だと思っていて、中小の市町村が困っていることは都道府県から主体的に話を聞いてアドバイスをするとか、石川県さんなどは石川モデルをつくったりされていますけれども、広域的な団体である県というのがしっかり頑張っていたということが非常に重要なのではないかなと思っています。

もちろん国交省にもいつでも相談に来ていただきたいと思っているんですけども、まずは都道府県のほうで相談に乗っていただいて、しっかり取組みを進めていただきたいと思っています。

○**座長（池本）** ありがとうございます。

○**女田** 1日ありがとうございました。最近個人的に気になっているのは、国交省さんのほうから一つ出ましたけれども熱利用で管きよがあるのですけれども、処理場の処理水の熱利用は何千トン、何万トン毎日来るわけですね。20度の水が必ず出るので、その熱利用を、関西のほうで実証実験をやられていますよね、今。あれを安く開発していただければ、そこでまた熱をとって電気などにして利用できるかなというのもいいて考えております。本日はありがとうございました。

○**村椿** 先ほどの単体のデスポーザの話の中で、普及促進の障害になっているのは価格という話をしましたが、ぜひ皆さま方の自治体でもデスポーザを進めていただければ黒部市の普及促進も図れますので、ご検討お願いします。全国からバイオマスのご視察が沢山ある中で、この頃はデスポーザに特化した視察もある中で、視察のときに皆さまの自治体でも必ず使われておられる方はおられるはずですよと言っているんです。黒部市でも単体のデスポーザを設置する前には業者、住民からも単体のデスポーザを認めていただきたいというご要望もありましたので、一度、市民の

利便性といったものも考えてご検討いただければということをお願いして終わりたいと思います。

○清 今日是一日ありがとうございました。ガス事業については本日ご説明した通りですけれども、インフラ企業ということで考えるとやはり下水道なり上水道の広がりと同様、地域に根付いた事業を実施しているというふうに捉えております。そういう意味で地域インフラ、地域に根付いた企業というかたちでの地元の行政さんとのお付き合いというのは今後も続いていく

と思いますし、各事業者がガス事業以外の分野にも今後出て行くかたちになりますのでどうぞよろしくお願いいたします。今日はありがとうございました。

○座長（池本） 今日はいろいろな話題が出ました。地域によっていろいろな特性があって、まずそれぞれに最適なシステムをつくられているというふうに非常に感じました。今日ご参加の皆さまもぜひまたこの普及にご尽力いただければというふうに思います。どうもありがとうございました。



研究紹介

過剰繁茂する水草バイオマスの
特性と持続可能な利用に向けて

創価大学大学院工学研究科教授

戸田 龍樹

滋賀県立大学環境科学部教授

伴 修平

キーワード：メタン発酵、消化液、微細藻類、栄養塩循環、自然共生

【はじめにー水草の過剰繁茂ー】

現在、世界の各地の陸水域で、富栄養化による水草の過剰繁茂が様々な問題を引き起こしている。例えば、アフリカの湖沼では、この20年間に侵入した外来水草類はきわめて深刻な問題を引き起こし、現在も分布域を拡大し続けている（図1）。特にホテイアオイなどの浮遊植物が優占しており、その生物量は人口増加に伴う有機性排水によって劇的に増加し、農業、環境および公衆衛生上の問題を引き起こし、今では国民経済にまで影響を及ぼしている（FAO, 2002）。そのため水草の除去が急務であるが、水草バイオマスの有効活用が確立されていないため、途上国や新興国では

積極的な刈り取りは行われておらず、水草の被覆面積は増加の一途をたどっている。

日本においても同様に、富栄養化による水草問題は各地で航行障害、水産漁獲量の減少、生物多様性の減少、水源としての水質悪化に伴う上水道の問題、腐敗臭、景観悪化など、様々な形で顕在化している。そのため、環境省や自治体によって各種の対策が講じられているのはご存じのとおりである。たとえば、日本最大の湖である琵琶湖は関西圏約1,450万人が利用する重要な水源地でもあり、沈水植物の過剰繁茂が関西圏の社会問題となっており、図2に示すように、毎年2,000から8,000 ton（湿重量）の水草を年間約0.5億円から2億円を投じて20年間にわたって刈り取っている（Hamabata *et al.*, 2012）。ここでは水草の過剰

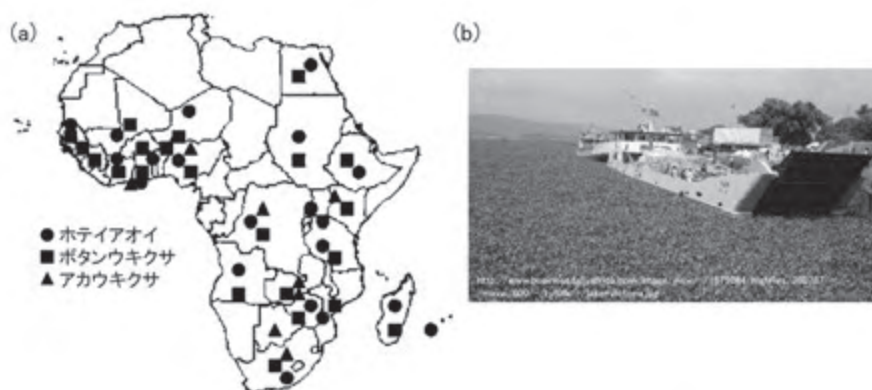


図1 アフリカにおける水草の繁茂。(a) 過剰繁茂が深刻な地域 (FAO, 2002), (b) タンザニア・ヴィクトリア湖に繁茂するホテイアオイ。

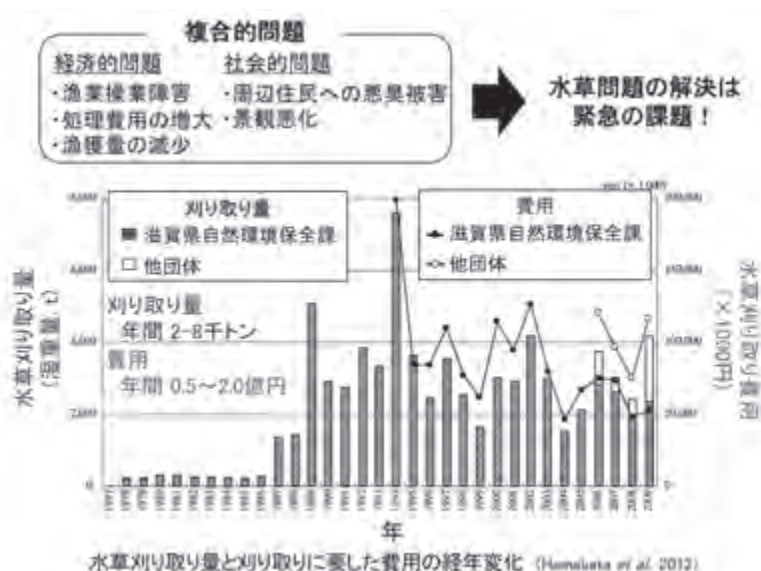


図2 琵琶湖南湖における水草問題と対策の緊急性

繁茂が水流の停滞を引き起こし、湖底の溶存酸素濃度が生息生物の生理活性に影響を及ぼすレベルにまで低下し、生態系や生物多様性への影響が危惧されている(石川・岡本, 2015)。琵琶湖で刈り取られた水草の、現状の処理方法は主に堆肥化(特定外来種は焼却)であり、作られた堆肥は地域住民へ無償配布されているが、需要に季節性があること、完熟までに複数年を要すること、臭気の発生や広大な土地が必要となるといった問題があり、これらの解決も喫緊の課題である。

そこで我々は、水草を効率的にメタン発酵することで、バイオガスとしてエネルギーを得るとともに、得られた発酵処理液(消化液)に含まれる豊富な栄養塩を用いて微細藻類(クロレラ、スピリリナ等)を培養し、適切な栄養塩の循環システムを構築することが可能であると考えた。水草バイオマスから得られたバイオガスは施設内での利用後、余剰分は固定価格買取制度(FIT 制度)を利用、売電し、収入に組み込むことも可能である。消化液から培養した微細藻類は高機能餌料やサプリメント、天然着色料といった高次利用が可能であり、これらの販売収入を見込めることができれば、水草の刈り取りコストやメタン発酵・微細藻類培養施設の運営費用を補填可能であるのではないかと考えた。そこで申請者らは、平成26年度より3年間にわたり、環境省環境研究総合推進費(課題番号: 4-1406、以下推進費)によって、琵琶湖の水草の適正刈り取り量の基準策定による生物多様性の保全、ならびに刈り取った水草バイオマスのバイオガス化と有用微細藻類への変換による利活用の研究を実施した(伴ら, 2017)。本稿ではこの推進費の成果を踏まえ、水草のバイオマス資源としての特性、水草のメタン発酵

処理技術の研究開発に焦点を当てて、水草バイオマスの循環利用への試みについて紹介する。

【バイオマス資源としての琵琶湖の水草】

日本各地の湖沼における水草は、50年ほど前までは農地の施肥肥料として刈り取られ(藻刈り)、地域の栄養塩循環に組み込まれていたことが知られている(平塚ら, 2006)。琵琶湖の周りでも江戸時代に藻刈船で水草を採取している様子を記した琵琶湖眺望真景図が津市歴史博物館に所蔵されている。当時の町村の台帳からも水草が取引されていたことを示す資料も見つかり、水草は安い化学肥料が大量に日本に入ってくるまで、地域の循環型社会の中に組み込まれていたと考えられる。

水草は高い含水率を示すが、乾燥重量あたりの炭素量では陸上植物と同等に高く、エネルギー源として大きなポテンシャルを秘めている(図3)。現在の水草バイオマスの資源化処理としては、堆肥化に関する研究のほかにバイオエタノール化などが研究されているが、社会実装化への道のりにはなお時間が必要である。現在のところメタン発酵は様々なエネルギー変換技術のうち、水草のような高含水率バイオマスから低コストで直接エネルギー回収できる唯一の方法であると考えられている。加えて、収穫された水草には、漁網、ワイヤー、釣り針、それに砂礫を含む底泥などの夾雑物が多く含まれるため、良質な堆肥作成には手間がかかることからメタン発酵処理が適していると考えている。

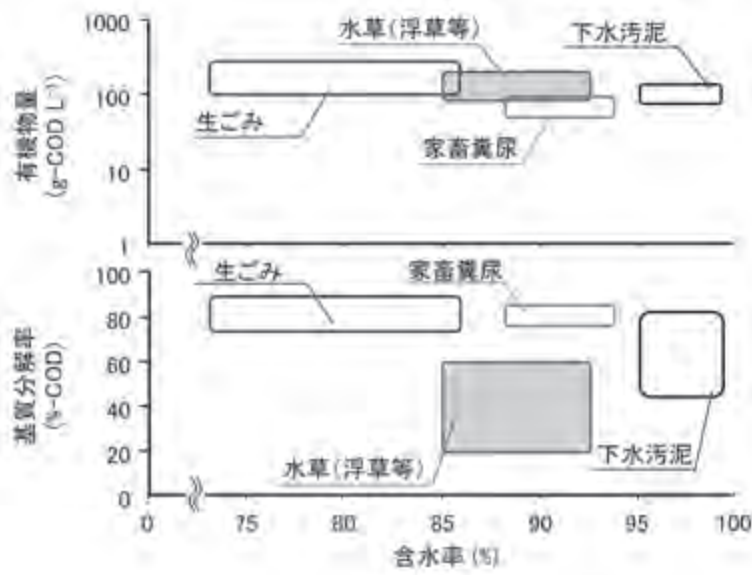


図3 様々な有機性固形廃棄物の含水率と有機物量およびメタン発酵による基質分解率。
(a) 有機物量, (b) 基質分解率

【水草バイオマスからのエネルギー回収】

水草バイオマスのメタン発酵によるエネルギー回収については近年多くの研究がなされている。水草のメタン生成量については種による違いが大きいことが知られており、琵琶湖の水草においても、生ごみなどの易分解性の有機物と遜色のない 350 mL g-VS⁻¹ (Volatile Solid: 揮発性有機物量) 以上のメタン生成量を示すコカナダモのような種類も入れば、メタン生成量がその半分にも満たない水草種も存在する (表 1)。これまで調べられてきた水草のメタン変換率も種によって異なり、COD 基準 (%-COD) のメタン変換率で 34 – 72% の広い範囲を示すことが知られている (Koyama *et al.*, 2014)。琵琶湖ではコカナダモやオオカナダモのように 60% を超す種類もいれば、センニンモのように 35% に満たない難分解性の水草種も知られている。

表 1 琵琶湖で繁茂する水草のメタン生成ポテンシャル

水草種	メタン生成ポテンシャル (mL-CH ₄ g-VS ⁻¹)	引用文献
オオカナダモ	287	Koyama <i>et al.</i> 2014
コカナダモ	360	Koyama <i>et al.</i> 2014
センニンモ	161	Koyama <i>et al.</i> 2014
ササバモ	278	Koyama <i>et al.</i> 2014
マツモ	249	Koyama <i>et al.</i> 2014
クロモ	360	Kobayashi <i>et al.</i> 2014

我々の一連の研究 (Koyama *et al.*, 2014; Koyama *et al.*, 2015; Fujiwara *et al.* submitted) では、積算メタン生成量は水草の種によって大きく異なり、リグニン量が多いほど水草のメタン生成量は低くなることがわかった (図 4)。このことから、水草バイオマスのメタン生成量を推定するには、主要構成種の比率とそれらのリグニン含量がわかっていれば、その時期、その場所で採取された水草バイオマスのおおよそのメタン発酵ポテンシャルを計算できることになる。

周年のメタン発酵槽の運転には、メタン生成ポテンシャルの季節的な変動を考慮しなければならない。メタン生成ポテンシャルに影響を与える可能性がある季節的な要因として、水草の成長段階に伴う化学組成の変化と、最適な生育水温の違いによる種の組成の変化

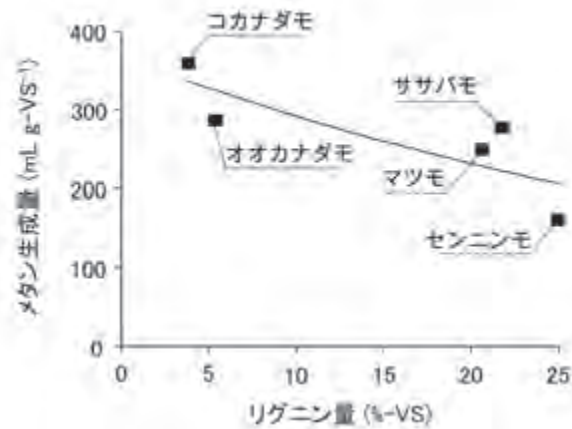


図 4 水草のリグニン量とメタン生成量の関係 (Koyama *et al.* 2014).

が挙げられる。Kandel *et al.* (2013) は陸上植物のヨシについて、各成長段階における化学組成とメタン生成量の関係について調査し、リグニン量やセルロース量が季節的に変化し、メタン生成量に有意に影響を与えることを明らかにした。水草の場合においても、オオカナダモ、コカナダモをはじめとする数種において異なる季節的な生活史を有することが報告されており (Kunii, 1984; Haramoto and Ikusima, 1988)、同様に各種水草の化学組成 (とりわけ、リグニン、セルロース、ヘミセルロース量) についても刈り取る時期によって変化し、メタン生成量が変化する可能性がある。更に水草種ごとに適した温度条件が異なるため、季節的な水温変化に伴い優占種も遷移するものと考えられる。すなわち、刈り取られた水草のメタン生成ポテンシャルは、水草群集の組成および種ごとの化学組成が季節的に変化することで影響を受ける可能性がある。そこで、刈り取り後の水草バイオマスからのメタン回収量の予測、ならびに実規模での回収可能なエネルギー量・処理コストの予測を可能にするため、優占する水草種について大規模な刈り取りが行われる春期から秋期にかけて毎月採取を行い、化学組成の季節変化とメタン生成量の関係を明らかにした。水草は、2015年6月から10月まで毎月1回採取したオオカナダモ、コカナダモ、センニンモの優占種3種を用いた。採取した水草は、種毎に分類・洗浄後、含水率の違いによる影響を除くため、80℃で12時間乾燥しミル粉碎した。水草ならびに消化汚泥のTS (Total Solid: 全固形物量)、VS、全炭素量、全窒素量、水草のセルロース量、ヘミセルロース量、リグニン量を測定した。その結果、季節ごとに採取した水草のリグニン量は種によって異なる傾向を示した。オオカナダモ、コカナダモ、センニンモに含まれるリグニン量は、それぞれ3.2 – 10.1%-VS、5.0 – 13.4%-VS、16.6 – 22.2%-VSを推移し、平均値はそれぞれ5.8 ± 3.0%-VS、8.0 ± 3.4%-VS、19.4 ± 2.0%-VSであった。センニンモに含まれるリグニン量は他の2種と比較して約1.5 – 5.1倍高い値を示した。オオカナダモとコカナダモのリグニン量は、9月から10月にかけてそれぞれ3.0倍、2.7倍に増加した。一方、センニンモのリグニン量には季節的な変化は見られなかった。異なる種間と異なる季節間におけるメタン生成量のばらつきは、変動係数でそれぞれ22 – 32%、7 – 13%の値となり、種組成の違いが季節の違いよりもメタン生成量に大きく影響することが示された。つまり、水草の年間を通したメタン生成ポテンシャルの推定には、季節性よりはむしろ水草種の組成の変化 (遷移) を把握することが重要であることがわかった。

刈り取られた水草の周年のメタン生成ポテンシャル

(Theoretical BMP; TBMP) は以下の式を用いて推定した。

$$TBMP (m^3 \text{ ton-VS}^{-1}) = \frac{W \sum_{i=1}^n p_i VS_i M_i}{TVS}$$

ここで、 W は各月に刈り取られた全水草の湿重量 (ton-wet weight)、 i は5種の水草 (オオカナダモ、コカナダモ、センニンモ、クロモ、ササバモ)、 p_i は刈り取られた水草中の各種水草の重量比、 VS_i は各種水草の湿重量あたりのVS (ton-VS ton-wet weight⁻¹)、 M_i は各種水草のVSあたりメタン生成量 (mL g-VS⁻¹)、TVSは刈り取られた水草の全VS量 (ton-VS) を示している。 p_i は既往値を引用した。その結果、琵琶湖から刈り取られた水草のメタン生成ポテンシャルは、種の組成に影響を受け大きく変動し、193.7 – 285.5 m³ ton-VS⁻¹の幅で変動した (図5)。特に8月から9月にかけてセンニンモの割合が大きく増加し、メタンポテンシャルは20%減少した。その後の秋から冬にかけては、200 m³ ton-VS⁻¹前後の低い値で推移した。これらの結果から、センニンモが優占する秋から冬は、前処理等で分解性を向上させることで、安定したメタン発酵処理が可能になると考えられた。

【水草バイオマスからのメタン回収量の向上を目指して—前処理技術の研究開発—】

琵琶湖に優占する水草種の季節変化は図5のようになっているが、他種が枯死する秋から春にかけては多年生であり最も難分解なセンニンモがバイオマスの大半を占める傾向にある。そのため、年間を通した水

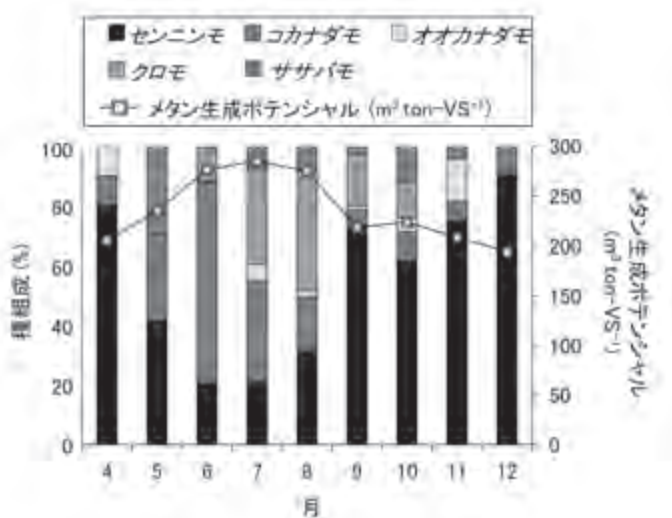


図5 琵琶湖の水草種の季節的変遷とメタン生成ポテンシャル。種組成は淡水環境保全財団 (2015) より作図。

草バイオマスのメタン回収率の向上には前処理などによる易分解化が課題である。

水草バイオマスの前処理には、破碎、電磁波、爆砕、熱処理などの物理処理や、酸、アルカリ、ガス、イオン液体などによる化学処理がある。また、生物処理としては、白色腐朽菌、ルーメン細菌などの利用が考えられるが、それぞれに一長一短がある。

それらの中でも、アルカリ加熱処理はリグニン除去に適した前処理法であり、特に水草に多く含有されるヒドロキシ桂皮酸類のエステル結合を開裂し易いため、有効な手法と考えられている。Koyama *et al.* (2015) の研究により、アルカリ加熱処理を施すことでセンニンモのメタン生成量は顕著に増加し、ササバモやマツモと同程度の約 250 mL g-VS⁻¹ に達することが明らかとなった。さらに Koyama *et al.* (2017) の研究では、アルカリ加熱処理後のセンニンモと生ごみとの共消化により中和剤が 50% 削減され、他の易分解性有機性廃棄物との共消化によりコスト的にも見合う可能性が示された。これらの結果については伴ら (2016) の総説にもまとめられているので参照されたい。現在、酸・アルカリ処理とは異なり、薬品を使わず中和のステップが必要ない水蒸気爆砕処理による前処理にも期待が寄せられている。温度 210℃、保持時間 15 分の条件下でセンニンモの水蒸気爆砕処理を施した結果、回収可能なメタン生成量は無処理と比較して約 2 倍に増加し (鈴木ら卒業論文, 2017)、難分解性水草への利用可能性が示されている。

以上のように、さまざまな前処理が研究されているが、前処理後の水草基質の分解性や性状について、後段のメタン発酵プロセスとの組み合わせを考えた検討

が必要である。実現可能性の面からは、前処理によって産生するリグニン分解産物によるメタン発酵阻害や、最終的な残渣 (二次廃棄物) 量を勘案した手法の選択が必要である。

【水草バイオマスによる現代版里湖循環型社会の復活に向けてー水草消化液の有効利用ー】

持続的に水草を除去し循環利用するためには、ドライビングフォースとしての利益創出が必要である。現代版の循環型社会の構築には、バイオガスなどによるエネルギー回収に加えて、回収費や消化液の利用による化学肥料の削減量、消化液による有価物生産にいたるまで、トータル・プロセスにおけるコストの算定が重要である。メタン発酵施設の社会実装化の観点からは、現状水草だけからのエネルギー回収では不十分であり、共消化や消化液の有効利用は避けられない検討課題である。琵琶湖で繁茂する水草は刈り取り量と種組成の季節変動が大きいので、周辺地域から排出される食品廃棄物や廃野菜を水草と混合して共消化することで、通年でのメタン発酵施設の安定的な稼働を担保し、水草と地域の廃棄物処理問題を同時に解決できると考えられる。また、現在、消化液の微細藻類培養や野菜栽培などへの利用も検討されている。琵琶湖に隣接する滋賀県立大学のキャンパスでは、水草消化液から微細藻類 (*Chlorella sorokiniana*) を培養する実証試験を実施し (図 6)、消化液中の窒素やリン等の富栄養化源を 90% 以上の高効率で除去し、かつ水草 1 kg (湿重量) あたり 4.3 – 7.6 g (乾燥重量) の微細藻類を安定して生産することができた (伴ら, 2017)。

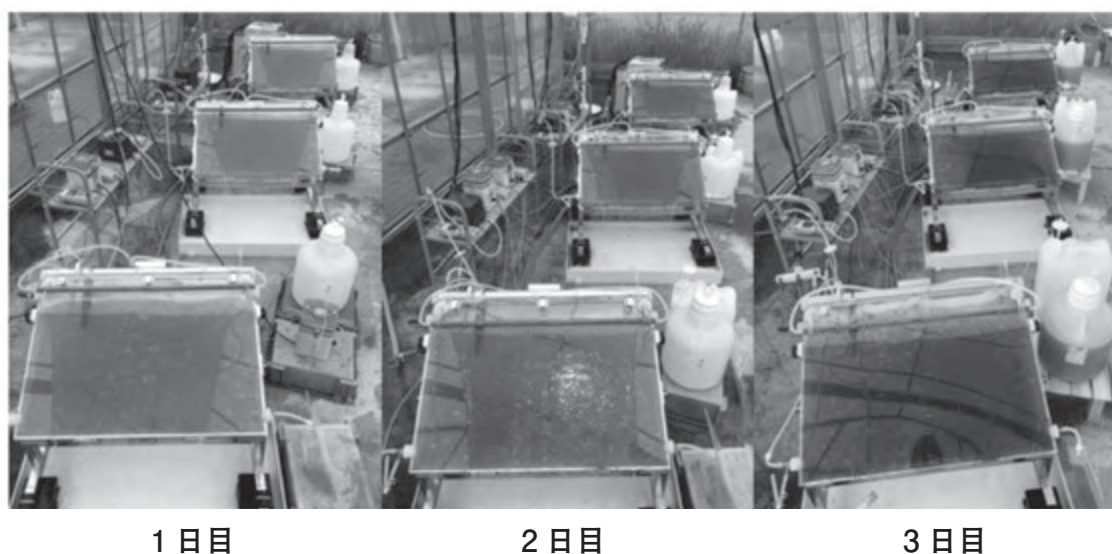


図 6 消化液を用いたクロレラの培養 (提供: 滋賀県立大学)

【おわりに】

我々が思い描く、琵琶湖で繁茂する水草バイオマスを中心とした現代版「里湖循環型・自然共生社会」の概念図を示した(図7)。琵琶湖で過剰繁茂する水草は、生物多様性の遷移等を考慮し適正量の刈り取りを行い、刈り取り後の水草は地域から排出される未利用有機性廃棄物と混合しメタン発酵施設へと供給する。バイオガス発電時に発生する廃熱は発酵槽の保温に用い、排ガス中の二酸化炭素と消化液中の栄養塩は微細藻類培養に有効利用する。生産した微細藻類は高機能飼料や餌量、サプリメントとして人間社会に還元される。以上のように、メタン発酵と微細藻類培養という現代の要素技術を水草バイオマスの処理と利用に応用することで、現代では厄介者と見なされている水草バイオマスを再び現代版の資源循環社会に組み込むことができるかもしれない。

水草バイオマスの発生量は湖沼域によって大きく異なり、琵琶湖南湖やアフリカの大型湖沼のように年間

数万トン刈り取り可能な地域もあれば、他の日本の湖沼や、欧米の中・小規模の湖沼では季節的に数100～数1000トン程度となっている。一般的にバイオガス発電や微細藻類培養技術の導入は施設規模が大きい程容易で、小規模では支出に対する収入が見合わず困難となる。発生規模を問わずに水草バイオマスの有効活用を実現するためには、今後、低コストのメタン発酵技術と発酵残渣の多岐にわたる有効利用技術の研究開発が不可欠である。例えば、低コストかつ省エネルギーで稼動する無動力攪拌型バグリアクターの開発や、消化液の植物工場・花卉園芸等への利用法の確立、更にはメタン発酵由来の有機汚泥の土壌改良剤化技術等の検討が必要と考えられる。

本稿の執筆を終えるにあたり、小山光彦(東京工業大学助教)、秋月真一、岸正敏(創価大学助教)、渡邊啓子(同大博士研究員)、藤原正明、小寺敏光(同大工学研究科博士課程大学院生)の各位には実験データならびに情報提供をいただいた。ここに謝意を表したい。

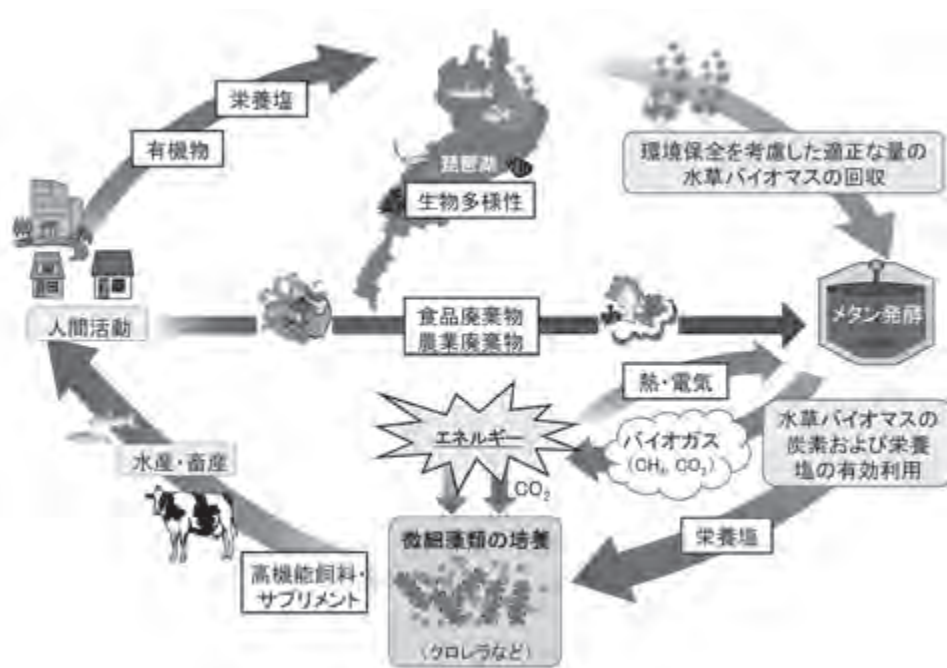


図7 水草を起点とした現代版『里湖循環型・自然共生社会』の概念図

【引用文献】

- 伴 修平、戸田 龍樹、石川 加奈子、高津 文人 (2016) . 水草バイオマスの持続的利用を通した里海循環型社会の可能性 . 環境技術 , 45, pp. 478-483.
- Food and agriculture organization of the United Nations (2002) . Management of problematic aquatic weeds in Africa. FAO efforts and achievements during the period 1991-2001.
- Fujiwara, M., M. Koyama, S. Akizuki, K. Watanabe, K. Ishikawa, S. Ban, T. Toda (submitted) . Anaerobic digestibility of seasonally harvested submerged macrophytes from Lake Biwa, Japan. Ecological Engineering.
- Hamabata E, Sugimura S, Ishikawa K (2012) . 7.2.3 The explosive development and control of aquatic weeds, In Kawanabe H, Nishino M, Maehata M (ed) , Lake Biwa: Interactions between Nature and People, pp. 469-472.
- Haramoto, T., I. Ikusima (1988) . Life cycle of *Egeria densa* Planch., an aquatic plant naturalized in Japan. Aquatic Botany, 30, pp. 389-403.
- 平塚 純一、山室 真澄、石飛 裕 (2006) . 里海モク採り物語 - 50 年前の水面下の世界 - . 生物研究社, pp. 98-103.
- 石川加奈子、岡本高弘 (2015) . 水草繁茂と琵琶湖南湖の水質 . 環境技術 , 44, pp. 488-493.
- Kandel, T.P., S. Sutaryo, H.B. Møller, U. Jørgensen, P.E. Lærke (2013) . Chemical composition and methane yield of reed canary grass as influenced by harvesting time and harvest frequency. Bioresource Technology, 130, pp. 659-666.
- 伴修平、石川可奈子、井上栄壮、佐藤祐一、戸田龍樹、黒沢則夫、後藤直成、須戸幹 (2017) . 水草バイオマスの持続可能な収穫と利活用による湖沼生態系保全技術の確立 . 環境省環境研究総合推進費 成果報告 書 . http://www.erca.go.jp/suishinhi/seika/pdf/seika_1_h29/4-1406_2.pdf.
- Kobayashi, T., Y.-P. Wu, Z.-J. Lu, K.-Q. Xu (2014) . Characterization of anaerobic degradability and kinetics of harvested submerged aquatic weeds used for nutrient phytoremediation. Energies, 8, pp. 304-318.
- Koyama, M., K. Ishikawa, S. Ban, T. Toda (2014) . Anaerobic digestion of submerged macrophytes: Chemical composition and anaerobic digestibility. Ecological Engineering, 69, pp. 304-309.
- Koyama, M., N. Nakahashi, K. Ishikawa, S. Ban, T. Toda (2017) . Anaerobic co-digestion of alkali-pretreated submerged macrophytes and acidified food waste for reduction of neutralizing agents. International Biodeterioration & Biodegradation, 125, pp. 208-213.
- Koyama, M., S. Yamamoto, K. Ishikawa, S. Ban, T. Toda (2015) . Enhancing anaerobic digestibility of lignin-rich submerged macrophyte using thermochemical pre-treatment. Biochemical Engineering Journal, 99, pp. 124-130.
- Kunii, H. (1984) . Seasonal growth and profile structure development of *Elodea nuttallii* (Planch.) St. John in pond Ojaga-Ike, Japan. Aquatic Botany, 18, pp. 239-247.
- 淡海環境保全財団 (2015) . 明日の淡海 第 23 号 . p. 12.

研究紹介

活性汚泥の嫌気性消化の
プロセスシミュレーション

北九州市立大学

寺嶋 光春・安井 英斉

キーワード：メタン発酵，曝気槽，余剰汚泥，SRT

1. はじめに

嫌気性消化プロセスにおいて、オキシデーションディッチのようなSRTの長いプロセスから排出された活性汚泥は分解されにくく、SRTの短い活性汚泥処理プロセスから排出された汚泥は分解されやすいと言われている。また、初沈汚泥や生ごみは活性汚泥よりもメタン転換率が高いことが知られている。これらの度合いは対象の有機物を供試材料とした簡易な回分実験によって把握できる。嫌気性消化プロセスにおいて廃棄物の減量とメタンの回収を定量的に把握するには、原料となる有機物の分解性を嫌気性消化プロセスでの反応と結び付けてモデル化する必要がある。

本稿では、活性汚泥プロセスから活性汚泥が発生しこれが嫌気性消化プロセスで分解する一連の過程をシミュレーションするためのプロセスモデルについて述べ、このモデルを活性汚泥の運転条件の変更検討に応用した研究例を紹介する。

2. 嫌気性消化のモデル

2.1 活性汚泥の嫌気性消化のモデル

嫌気性消化プロセスでは、酸生成細菌やメタン生成古細菌などの微生物の働きによって、有機物が生物学的に分解される¹⁾。この微生物による有機性固形物の分解の生化学的反応を精密に表現するため、有機性固形基質の種類を炭水化物、蛋白質および脂質に細分化するとともに酸生成による複数の有機酸（吉草酸、酪

酸、プロピオン酸、酢酸、蟻酸など）の生成を表すモデル（Anaerobic Digestion Model, ADM）がIWAによって作成されている（図1）。このADMでは、有機物の分解に伴い生成するアンモニアや水素の阻害を検討できるよう、有機性固形基質を炭水化物、蛋白質および脂質に分けている。それぞれの成分は、所定の生化学反応によって溶解性基質成分である単糖、アミノ酸および脂肪酸等に分解される。これらは、酸生成や酢酸生成を通して、酢酸や水素に分解され、最終的にメタン生成古細菌によって二酸化炭素とメタンに転換される。

一方、国際水協会（International Water Association, IWA）の活性汚泥モデル（Activated Sludge Model, ASM）は、従来、活性汚泥の反応を表すことに利用されている。ASMにおいて活性汚泥の微生物に加えて酸生成細菌とメタン生成古細菌をモデルに含めることで、嫌気性消化反応における活性汚泥微生物の嫌氣的自己消化を表現できる²⁴⁾。ASMを拡張した活性汚泥の嫌氣的自己消化反応マップを図2に示した。ただしいずれの濃度もCOD (mg/L) として示されている。

活性汚泥の固形有機物は、活性汚泥の微生物(X_{B_AS})とその死滅による不活性残渣(X_U)、および下水に含まれる不活性成分(X_I)がそのほとんどを占め、活性汚泥プロセスの運転条件次第で貯蔵物質である固形性基質(X_S)もわずかに含まれる。

嫌気性消化槽内において、 X_{B_AS} は自己消化反応（死滅）によって分解し、およそ92%の X_S と8%の X_U が生成する。この X_S は、嫌気性消化槽内の酸生成細

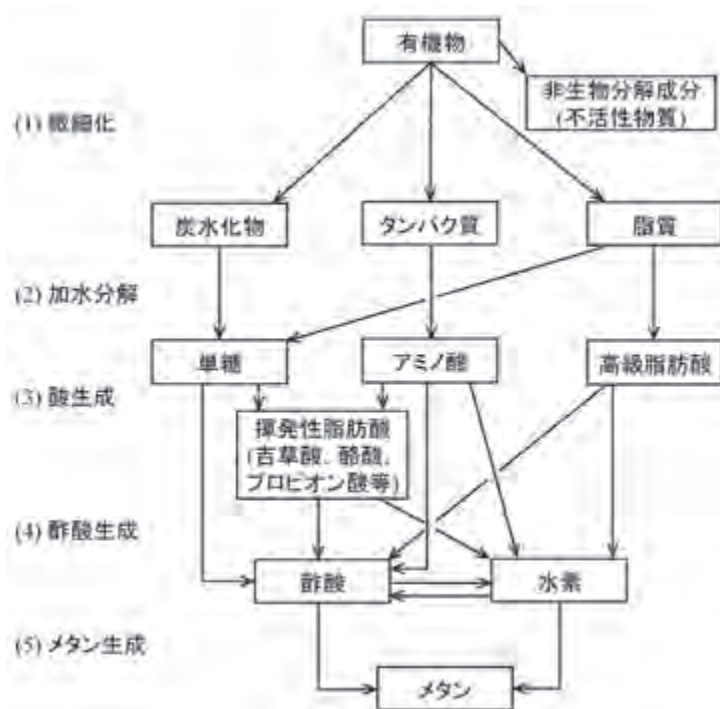


図1 活性汚泥の嫌氣的自己消化反応マップ (ADM)

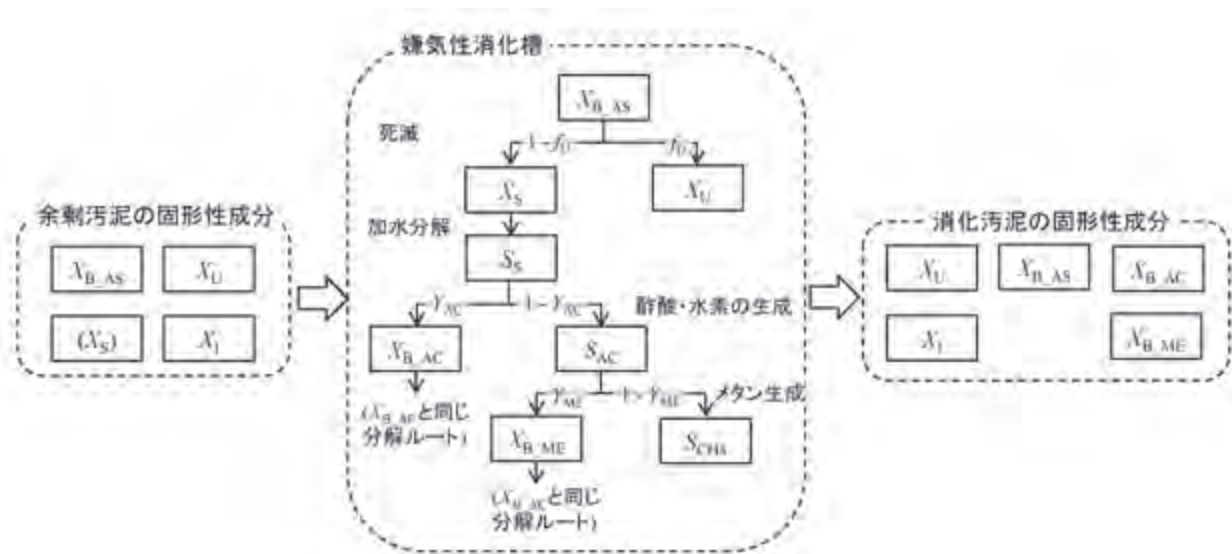


図2 ASM を拡張した活性汚泥の嫌氣的自己消化反応マップ ($X_{B,AS}$: 活性汚泥の微生物, X_U : 微生物の死滅に由来する不活性残渣, X_S : 固形性基質, X_I : 下水に含まれる不活性成分, S_S : 酸生成細菌の溶解性基質, $X_{B,AC}$: 酸生成細菌, $X_{B,ME}$: メタン生成古細菌, S_{AC} : 酢酸・水素, S_{CH_4} : CH_4 , f_U : $X_{B,AS}$ から X_U が生成する割合, Y_{AC} : S_S から $X_{B,AC}$ への収率, Y_{ME} : S_{AC} から $X_{B,ME}$ への収率)

菌 ($X_{B,AC}$) によって加水分解され、溶解性の基質 (S_S) が生じる。 S_S は $X_{B,AC}$ の基質であり、 $X_{B,AC}$ の増殖を通して最終的にメタン生成古細菌 ($X_{B,ME}$) の基質である酢酸・水素 (S_{AC}) に転換する。 S_{AC} は $X_{B,ME}$ によってメタン (S_{CH_4}) に分解されるとともに一部は $X_{B,ME}$

としてバイオマスに同化される。嫌気性消化槽では $X_{B,AC}$ と $X_{B,ME}$ の自己消化も同時に起きるものの、これら微生物の収率はとても小さいので、この反応量は $X_{B,AS}$ の分解反応の反応量よりもかなり少ない。従って、活性汚泥の嫌気性消化においては、有機物の反応

量はほぼ $X_{B,AS}$ の嫌氣的自己消化量と等しい。また、いずれの微生物の死滅反応でも X_S と X_U が生成し、この X_S は酸生成細菌によって分解される。しかしながら、通常の嫌気性消化プロセスでは滞留時間がかなり長いので X_S の濃度は極めて低い。このため、消化汚泥中の固形有機物は、 X_S を無視し、3種類の微生物 ($X_{B,AS}$ 、 $X_{B,AC}$ および $X_{B,ME}$) と2種類の非生物分解成分 (X_U および X_I) の合計値で代表することができる。

2.2 微生物の自己消化による不活性残渣 (X_U) の生成

微生物の自己消化 (死滅) による不活性残渣 (X_U) の生成は、長期間に亘って活性汚泥を空曝気しても有機性の固形物が完全に消化されず、どうしても一定の量が残ってしまう現象から得られた考え方である。この一例を図3に示した。VSS濃度は空曝気によって徐々に減少するものの、その分解は10日目頃から頭打ちになり、以降はほとんど減少しない。一方の内生呼吸速度は滑らかに減少し、限りなくゼロに近づく。ここで、内生呼吸速度が「活性な微生物濃度」と比例関係であることに着目すれば、右のグラフのように、VSS濃度と活性な微生物濃度の差から死滅残渣濃度を逆算できる。

この死滅残渣は空曝気時間に従って系内に蓄積し、汚泥中の濃度 (およびその比率) は徐々に増加する。SRTの長い処理施設から排出された活性汚泥が分解されにくい理由は、汚泥中にこの残渣が多く含まれているためである。

空曝気で不活性残渣が生成する考え方は1970年代にはすでに提示されており、1980年代に生まれた活性汚泥モデルはこのことをまとめたものである。

典型的な活性汚泥と消化汚泥の成分組成についての数値計算結果を図4に示した。ここで、活性汚泥プロセスの運転条件はSRT:10day、嫌気性消化プロセスの運転条件はHRT:35day、中温条件である。通常の標準活性汚泥法においては、「活性な微生物」は活性汚泥の約半分を占めるにすぎず、残りは下水SSに由来する不活性固形物 (X_I) と曝気槽で増殖した各種微生物の死滅残渣 (X_U) で構成される。これを嫌気性消化すると、活性汚泥中の微生物は嫌氣的に自己消化して嫌気性消化槽で増殖する各種嫌気性微生物の基質になり、最終的にはメタンに転換する。通常の消化汚泥は微生物の死滅残渣や不活性有機物が主体であり、活性を有する嫌気性微生物は消化汚泥に数%しか含まれていない。なお、消化汚泥中には活性汚泥に由来する好気性微生物がかなり残存している。これは、通常の嫌気性消化プロセスでは、濃縮活性汚泥由来の生物分解性の固形性基質はほとんど分解が終了し、活性汚泥に含まれる反応速度が遅い好気性微生物の分解が消化汚泥内でゆっくりと進行しているためである。嫌気性消化の回分実験では、種汚泥のみを添加した対象系と目的の汚泥と種汚泥を混合した系の2系列で試験をおこなうが、種汚泥のみ含まれる対象系におけるガス発生のはほとんどは、残存する好気性微生物の嫌氣的自己消化に由来する。

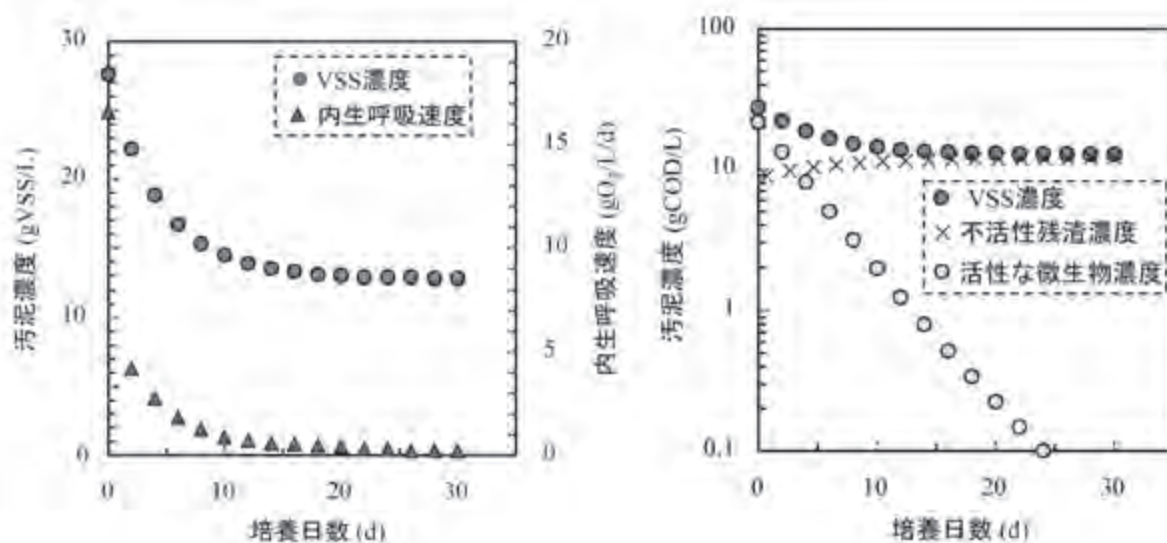


図3 空曝気による活性汚泥の自己消化例 (左: VSS と内生呼吸速度の経時変化, 右: 不活性残渣濃度の算出結果)

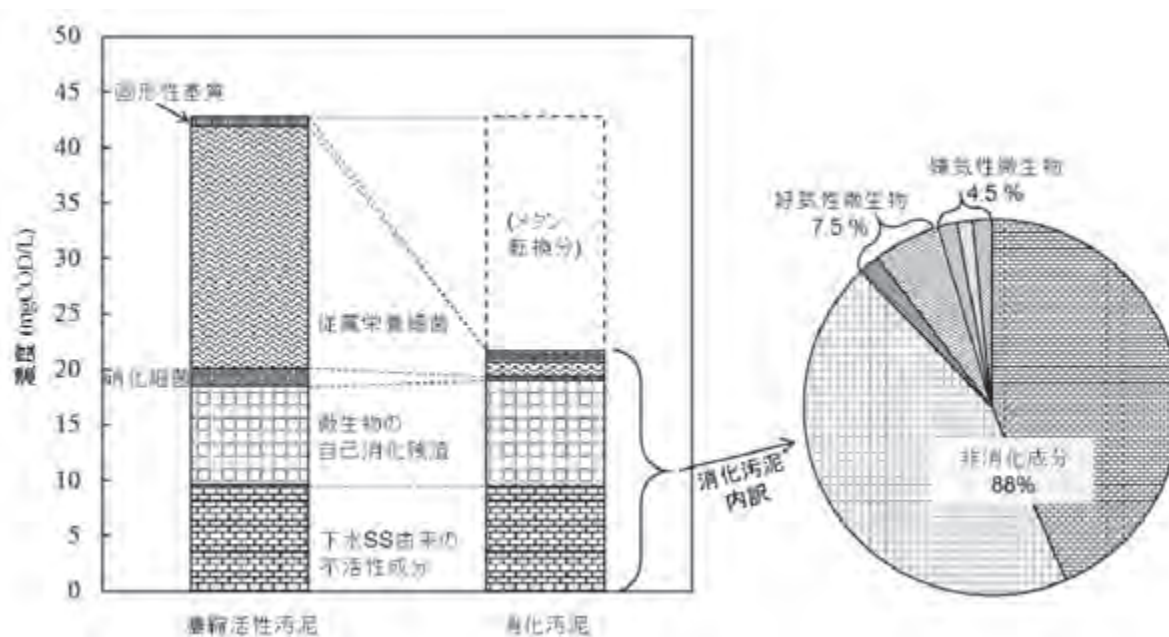


図4 典型的な活性汚泥と消化汚泥の成分組成（活性汚泥：SRT = 10 day, 消化汚泥：HRT = 35 day, 中温条件）

3. メタン発生量増加と水処理施設の曝気電力量削減を可能にする運転条件の検討

図5に活性汚泥処理プロセスの運転条件と余剰汚泥の発生量・質を模式的に関連付けた。従来条件（図5上）では、原水中に含まれる有機物の多くが曝気の酸素（酸化剤）によって酸化分解し、残りの有機物が従属栄養細菌および非生物分解性成分（微生物の自己消化残渣）となって、余剰汚泥として排出されることを示している。この余剰汚泥中の従属栄養細菌が嫌気性消化槽で分解してメタンに転換する有機物源になる。一方、改良条件（図5下）は、従来法に比べ曝気槽のSRTが短い。本条件では、曝気槽において活性汚泥の自己消化が少なくなるため、SRTの長い従来法と比べて余剰汚泥が大量に発生する。さらに、この余剰汚泥は従属栄養細菌の割合が大きいので、嫌気性消化プロセスで分解してバイオガスに転換する有機物の割合も大きい。COD収支から、当然この条件では曝気槽における酸素消費は少なくなる。つまり、活性汚泥処理プロセスのSRTを短く設定することで、曝気槽での曝気動力を削減すると同時に嫌気性消化プロセスで発生するメタンガスを増加させることができると考えられる。

この試算例を表1にまとめた。曝気槽のSRTを10dから2.5dに低下させることで、曝気量は約38%削減し、メタン発生量は約15%増加する。この運転変更において消化汚泥の発生量は5%の増加に留まる。ただし、余剰汚泥の発生量が47%も増えるので余剰汚泥の引き抜き・濃縮に関する機器類の見直しが必要となる。また、運転変更によって水処理系の処理水質が若干悪化することも懸念される。

曝気槽のSRTを極端に短くする本コンセプトは、ヨーロッパで「A-Bプロセス」としてたいへん注目を集めている。このプロセスのフローを模式的に図6に示した。A-Bプロセスは、高負荷・低SRTに設定した初段の活性汚泥プロセス（A-stage）で下水中有機物の大部分を余剰汚泥に変え、後段の低負荷・高SRTの活性汚泥プロセス（B-stage）で残存の遅分解性有機物や栄養塩類を除去するもので、これによってメタン発生量の増加と水処理施設の曝気電力を削減できる。A-Bプロセス自体は古くから存在する技術であるものの、資源生産のための排水汚泥処理システムとして汚泥処理プロセスと関連付けられるようになったのは近年のことである。

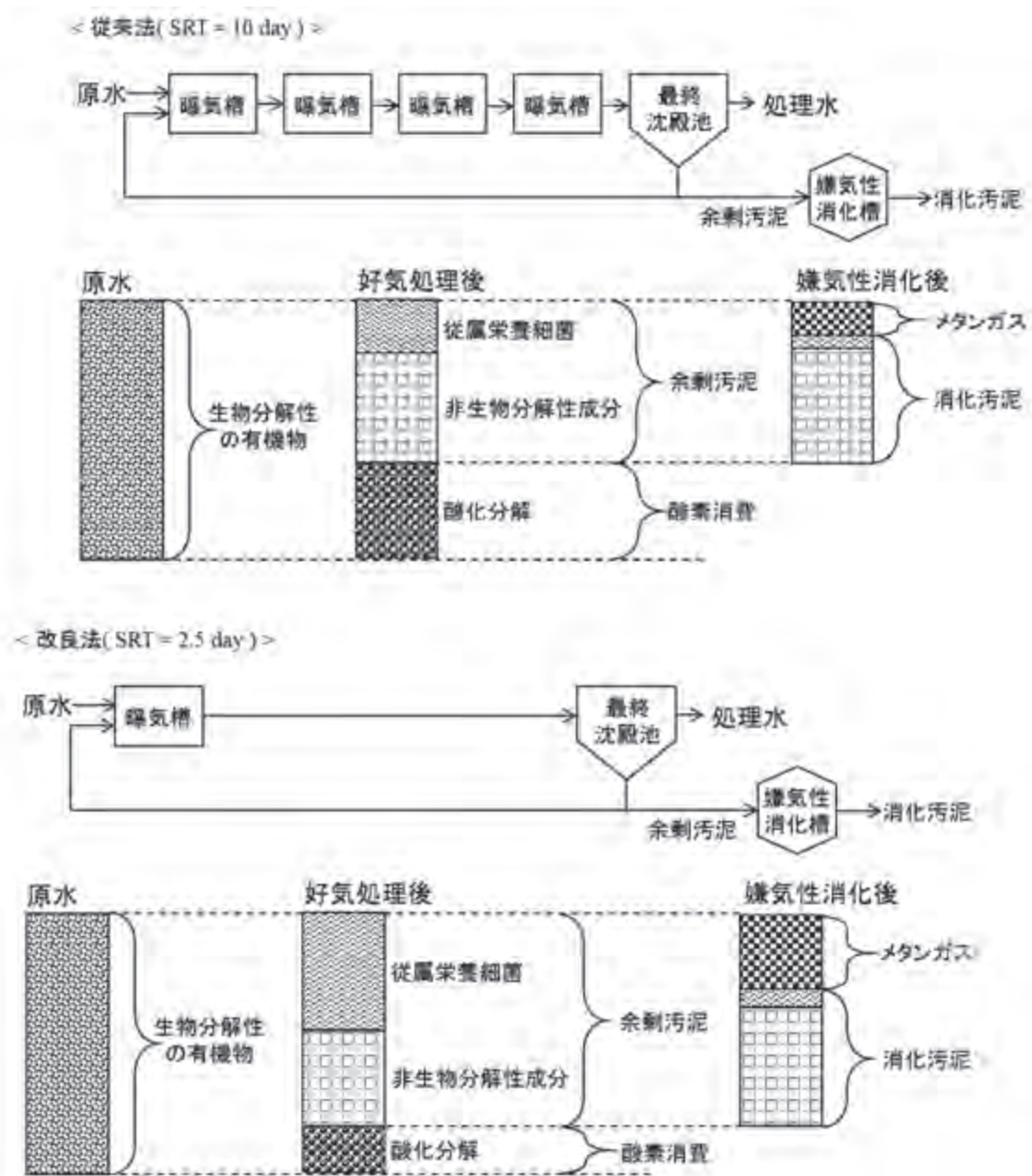


図 5 活性汚泥処理プロセスの SRT が余剰汚泥の発生量・質に与える影響（上：従来条件，下：改良条件）

表 1 SRT を短くした活性汚泥プロセスにおける曝気量の削減とメタン生成の増大効果についてのシミュレーション例

	従来法 (SRT = 10 day)	改良法 (SRT = 2.5 day)	効果
曝気量	4,370 m ³ /h	2,690m ³ /h	38%削減
余剰汚泥	1,130 kg/d	1,660 kg/d	47%増加
メタン	1,540 m ³ /d	1,770 m ³ /d	15%増加
消化汚泥	2,140 kg/d	2,250 kg/d	5%増加
処理水 CBOD ₅	0.9 mg/L	4.8 mg/L	
処理水 NH ₃ -N	0.1 mgN/L	6.5 mgN/L	

生水 20,000 m³/d, SS: 224 mg/L, VSS:168 mg/L, CBOD₅: 222 mg/L, NH₃-N: 25 mgN/L, K-N: 40 mgN/L

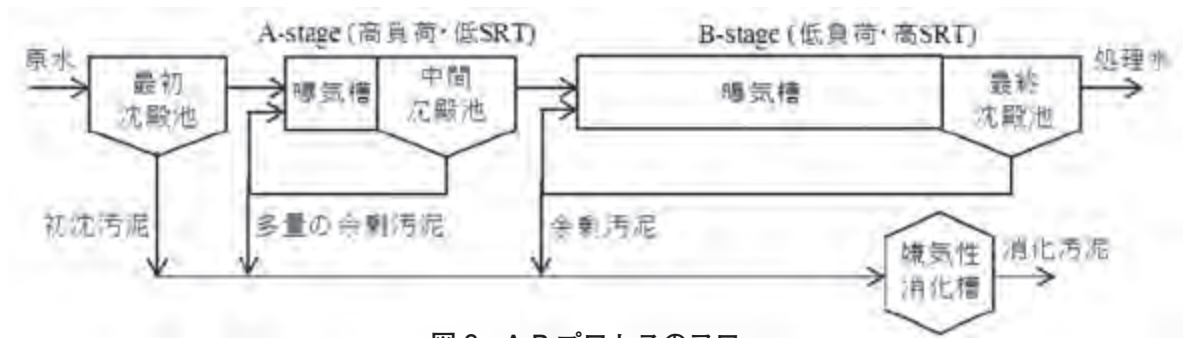


図6 A-Bプロセスのフロー

4. おわりに

少子高齢化や人口減少が顕著なわが国では、省エネルギーと資源生産を可能にする新たな下水処理システムの構築が要請されている。水処理プロセスや汚泥処理プロセスの改良もそのひとつである。有機性廃棄物の資源化（メタン発酵）においては食品廃棄物をはじめとする易生物分解性有機物を嫌気性消化槽へ投入する検討が多い。外部から易生物分解性有機物を投入しなくても、本稿で取り上げたように活性汚泥の組成に着目すれば、大量のメタンを活性汚泥から生産できる。さらに、このような工夫をおこなうことで曝気電力の削減にも寄与できる。

高度の栄養塩除去が必要なヨーロッパと異なり、わが国の多くの下水処理場では既存の活性汚泥処理プロセスを、ABプロセスの初段の「A-stage」に切り替えることも可能と思われる。A-stageでは、極めて短いSRTになるため、既存に対して1/4-1/3の槽容量で曝気槽を運転することになる。従って、空いた曝気槽を嫌気性消化槽に改造する技術や数学モデル等に基づいてA-stageと嫌気性消化プロセスの両方を精緻に設計する技術が必要になると考えられる。

< 参考文献 >

- 1) Speece RE: 原著、松井三郎、高島正信監訳、1999.
- 2) 安井英斉、杉本美青、小松和也、ゴエルラジブ、李玉友、野池達也: 活性汚泥モデルを用いた嫌気性消化加水分解過程における余剰汚泥の成分分画、*環境工学研究論文集*、第42巻、pp.395-406、2005.
- 3) 安井英斉、小松和也、ゴエルラジブ、李玉友、野池達也: ASMのIDeath & regeneration conceptを用いた活性汚泥処理プロセスと嫌気性消化プロセスの数学的統合、*環境工学研究論文集*、第44巻、pp.217-228、2007.
- 4) YasuiH, SugimotoM, KomatsuK, GoelR, LiYY, NoikeT: An approach for substrate mapping between ASM and ADM1 for sludge digestion, *Water science and technology*, 第54巻、第4号、pp.83-92、2006.

研究紹介

小規模メタン発酵システムによる 農業集落排水汚泥の循環利用 ～実証試験の紹介～

(一社) 地域環境資源センター 集落排水部 開発普及班 上席研究員

柴田 浩彦

キーワード：農業集落排水処理施設、小規模メタン、集排汚泥、生ごみ、農村バイオマス

1. 農業集落排水施設と資源循環

農業集落排水施設（以下、「集排施設」という。）は、農業用排水の水質汚濁を防止し、農村地域の健全な水循環に資するとともに、農村の基礎的な生活環境の向上を目指し、昭和 63 年から整備が始まり平成 29 年 3 月末時点で約 5,000 地区の施設が全国で稼働している。集排施設は、浄化槽法に基づくし尿、生活雑排水などの汚水を処理する浄化槽であるが、個別の浄化槽とは異なり管路を有する集合処理施設であり、中山間地域を中心に農村地域の水環境の保全に貢献している。

集排施設は図 1 に示すように、事業設立当初から、処理水の農業用水への再利用や汚泥の農地還元という資源循環の促進を目的としており、農業の特質を生かした環境負荷の少ない循環型社会の構築を目指して整備を行ってきた。

2. 農業集落排水施設の維持管理費用

平均的な処理規模が 700 ～ 1,000 人程度で農村集落単位に点在する小規模分散型の集排施設は、規模の大きな同じ集合処理施設の公共下水道と比較し、処理機能を維持・保全する維持管理費が割高であることが指摘されている。表 1 は污水处理原価を公共下水道と比較したものであるが、集排施設の污水处理原価は公共下水道の 2 ～ 3 倍であることが示されている。ただし、より小規模な特定環境保全公共下水と比較すると、その差は小さくなり 1.2 ～ 1.5 倍程度である。

集排施設で生物膜法より維持管理費が高い浮遊生物法において、最も採用実績が多い JARUS - X IV 型シリーズの 1,000 人規模における維持管理費の項目別費用割合を図 2 に示す。維持管理費で最も大きな割合を占めている項目は、汚泥処理費の 60%、次が電気料金の 23% である。この 2 つの項目だけで全体の約



図 1 農業集落排水事業の原点

表 1 汚水処理原価の比較

項目	公共下水道 (特定環境保全公 共下水道)	農業集落排水	集排／下水道 (集排／特環)
汚水処理原価 (円/㎥)	139.7 (250.7)	289.8	207% (116%)
汚水処理原価 (維持管理費) (円/㎥)	69.1 (144.0)	212.6	308% (148%)
処理人口 1 人あたりの維持 管理費(汚水分) (円/人)	7,463 (13,130)	17,249	231% (131%)

資料：総務省 平成 27 年度 下水道事業経営指標・下水道使用料の概要

8割を占めており、これらの費用の低減が維持管理費削減の大きな課題となっている。

このうち電気料金の低減対策としては、省エネ技術の導入が注目されており、既に実証試験等でその効果を確認している¹⁾。省エネ技術には、施設の更新時にばっ気槽等に設置しているばっ気攪拌装置を微細気泡散気装置に変更する、プロワやポンプ類を省エネ機器に変更する等の「省エネ機器の導入」と流入負荷に応じた適切なばっ気方法や流量調整槽の運転方法等によって、関連する機器類の稼働時間を短縮する「省エネ運転手法の導入」があり、電気料金を削減する技術である。表 2 は集排施設における主な省エネ技術の例を示したもので、実証試験では②、③、⑤、⑧、⑩の 5 つの技術の電気料金縮減率が高いことが確認された。

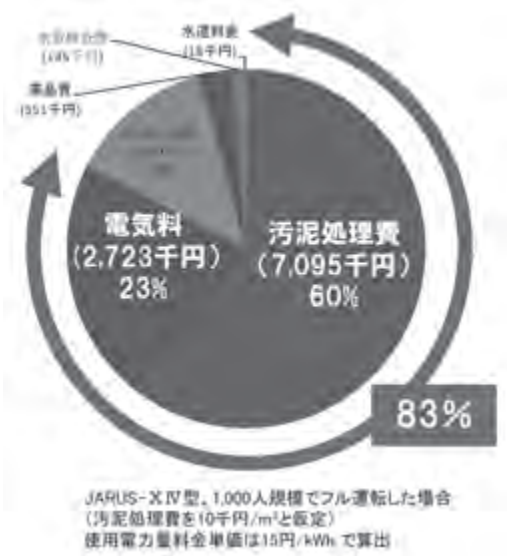


図 2 農業集落排水施設の維持管理費内訳

表 2 農業集落排水施設における主な省エネ技術の導入内容

区 分	省エネ技術の導入内容
省エネ機器の導入	① 高効率V ベルト の導入
	② 流量調整槽への高効率攪拌装置の導入
	③ 微細気泡散気装置の導入
	④ 汚泥濃縮装置(ビケットフェス) の導入
	⑤ 高効率返送汚泥引抜ポンプの導入
	⑥ 中継ポンプ場への高効率水中ポンプの導入
	⑦ 真空管路への吸気弁の導入
省エネ運転手法の導入	⑧ 流量調整槽攪拌装置の間欠運転
	⑨ ばっ気攪拌装置及びばっ気プロワの風量・ 運転時間調整
	⑩ 流量調整ポンプ等の運転時間調整
	⑪ 返送汚泥引抜ポンプの間欠運転

3. 農業集落排水施設の汚泥

3.1 農業集落排水施設の汚泥処理

集排汚泥の処理に掛かる平均的な費用は、1万円/m³程度といわれおり、その主な内容は汚泥貯留槽からの汚泥引抜きと他施設（し尿処理施設等）への運搬費用である。図3は、集排施設から発生する汚泥（以下、「集排汚泥」という。）の活用方法（処分方法）を農地還元、建設資材、その他に分類し、その量の推移を示したグラフである。図から集排汚泥は増加傾向にあり、平成26年度の発生量は163万t/年と10年前（平成16年度）の約2倍（1.9倍）であることが判る。農地還元や建設資材として資源循環（リサイクル）される割合も同様に増加しており、平成26年度は全体

の約7割がリサイクルされた。そのうち農地還元される集排汚泥は、全体の5割弱（左の円グラフ）でその約8割はコンポスト（右の円グラフ）として農地に還元されている。

一方、図4のアンケート結果（農林水産省農村振興局地域整備課調査業務、「平成28年度農業集落排水資源再生利用検討調査業務」で実施したアンケート結果）から、集排施設から搬出された集排汚泥の約7割はし尿処理施設に運ばれており、集排施設内の資源循環施設で処理される集排汚泥は5%と低い状況である。集排汚泥の処分費は、し尿処理施設等の処理施設が受入可能な汚泥性状に調整する濃縮作業や処理施設までの運搬距離に左右されており、汚泥処分費を低減するには、搬出量を減らすのが最も効果的な方法である。

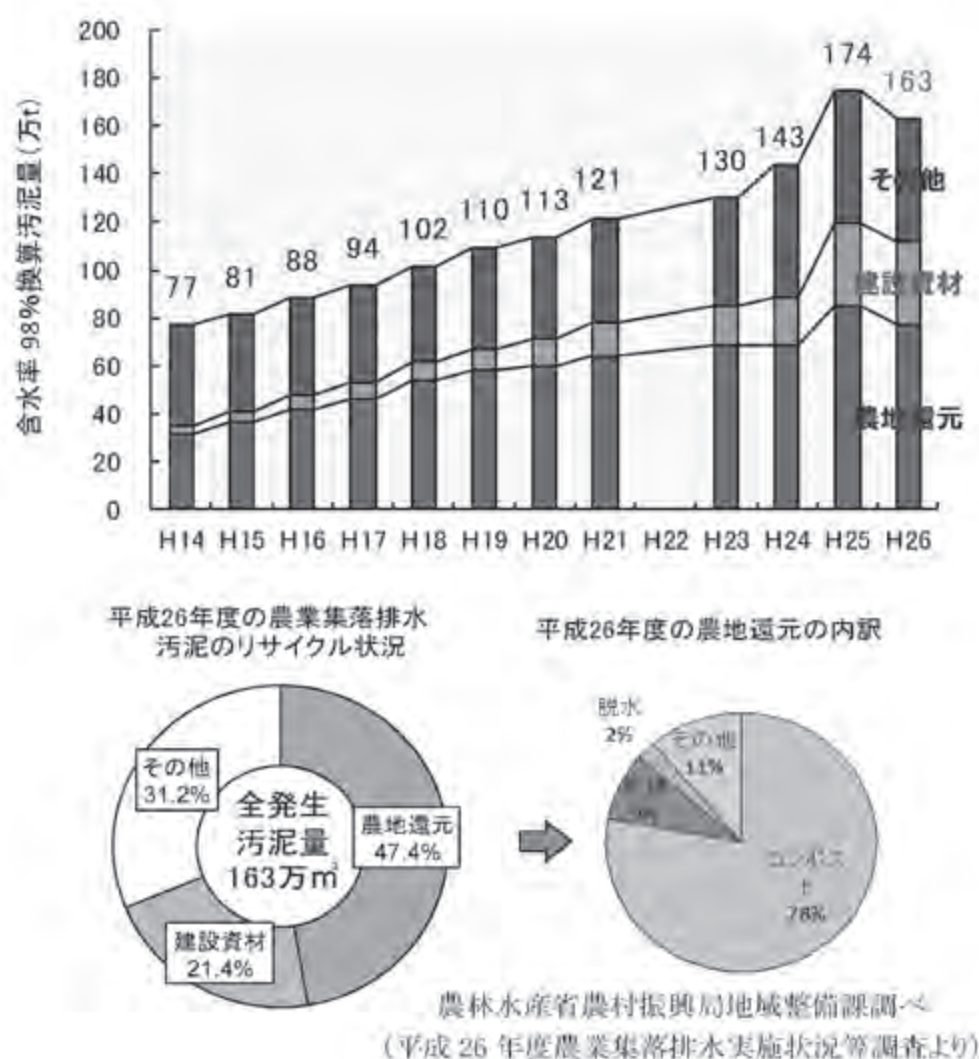


図3 集排汚泥の資源循環状況

3.2 農業集落排水汚泥の資源循環

集排施設の汚泥貯留槽から引抜いた集排汚泥（濃縮汚泥）の濃度は、15,000mg/L 前後とコンポスト化するには含水率（98.5%程度）が高いため、堆肥化施設に直接搬入する場合、集排汚泥を濃縮し脱水汚泥等として搬出するのが一般的である。濃縮作業は、処理施設の維持管理（通常、週1回程度）時に併せて行うのが一般的で、維持管理日数は増えないが、汚泥処分費には濃縮機等の運転費用が上乗せされる。

一方、集排汚泥のメタン発酵は、し尿処理施設等他の有機資源と混合し原料の一部として処理されることが多く、集排汚泥の処理を目的としエネルギー回収（電気、熱）を目指したメタン発酵施設はなかなか普及していないのが現状である。しかし、集排汚泥と農村地域で入手可能な有機資源（以下、「農村バイオマス」という。）を活用し、発酵残渣である消化液を液肥として利用することができれば、その過程で発生するメタンガスからエネルギー回収が可能なメタン発酵は、集排汚泥の資源循環方法として期待できる処理方法である。

図5は、集排施設を中心にした小規模な資源循環システムのイメージ図である。集排汚泥の資源循環方法として普及しているコンポスト化と今後普及が期待されるメタン発酵を比較すると、エネルギー回収もできるメタン発酵は集排汚泥と農村バイオマスの農地還元を目的とした資源循環システムとして好ましい処理方法といえる。

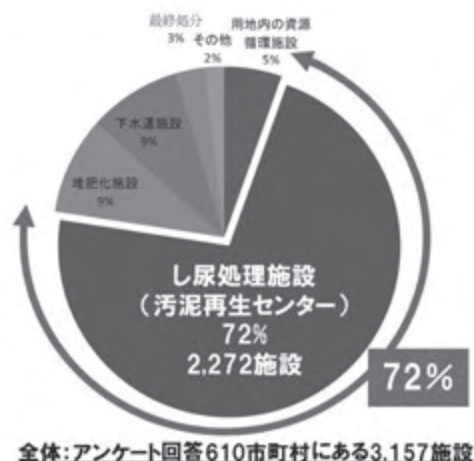


図4 集排汚泥の最初の搬入先

4. 小規模メタン発酵システムの実証試験

（一社）地域環境資源センター（以下、「当センター」という。）は、集排施設の維持管理費の軽減や集排汚泥の有効活用に取り組もうとする市町村のモデルとなる小規模メタン発酵システムの開発を目指し、平成29～33年度の5年計画で農林水産省の補助を受け「小規模メタン発酵システムの実証」を行っている。具体的には、メタン発酵によって集排汚泥から液肥とメタンガスを生産し、汚泥処理費の削減と液肥の農地利用

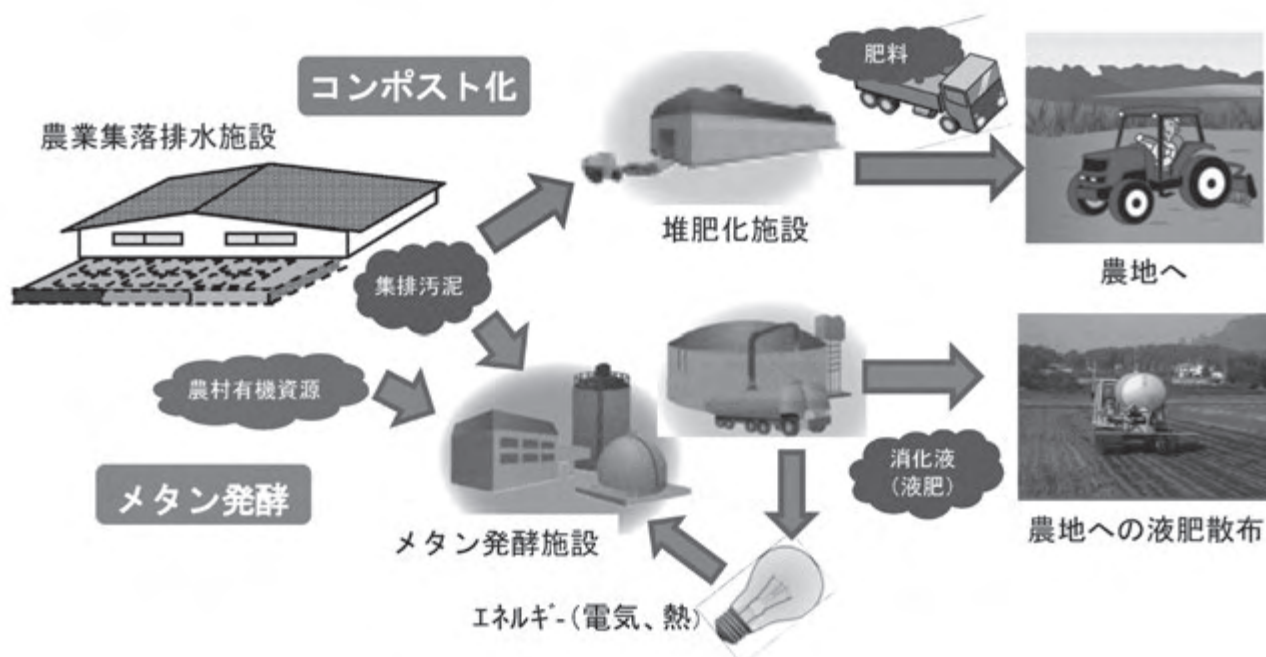


図5 集排汚泥の資源循環（コンポスト化とメタン発酵）

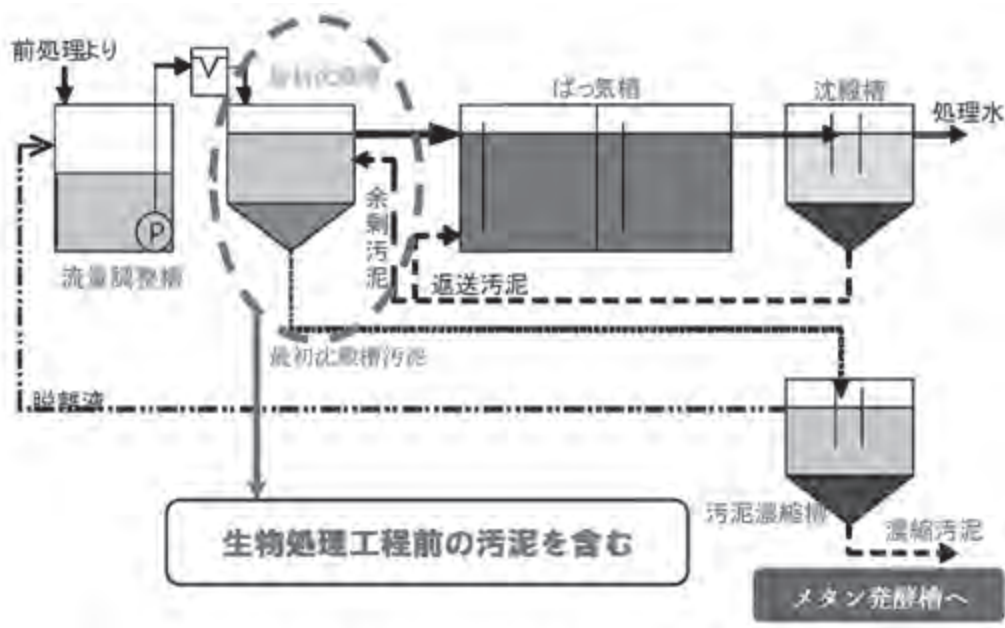


図6 JARUS- XIV R 型の最初沈殿槽汚泥の活用

を行う。さらに集排汚泥と農村バイオマスを混合したメタン発酵によって、メタンガス発生量を増加させエネルギー回収を促進し、電気料金の削減等を含むメタン発酵施設のトータルコストの削減と農村地域全体の一般廃棄物処理コストの低減を目的としている。

一般に、メタン発酵施設は、発酵残渣である消化液の利用促進あるいは処理費用の低減が課題であり、エネルギー回収を効率的に行うには規模が大きいほど有利である。集排汚泥を用いるメタン発酵では、集排汚泥の性状や処理能力等、小規模分散型の集排施設に由来した課題の解決が必要であり、実証試験ではその対策についても検討を行う。

4.1 メタンガス生成量が少ない農業集落排水施設の汚泥

集排施設の多くで採用されている処理方式であるJARUS型は、HRT（水理学的滞留時間）が長くMLSS濃度3,000mg/L前後の運転管理を行うため、SRT（汚泥滞留時間）が1ヶ月以上と長い施設も珍しくない。JARUS型の余剰汚泥は、沈殿槽や回分槽等から移送する汚泥であり大部分が微生物であるため、易分解性の有機物はほとんど含まれていない。そのため、集排汚泥を用いたメタン発酵ではメタンガスの生成量が少ないという欠点があり、メタン発酵槽の加温に必要なエネルギーの回収が出来ない場合もある。

JARUS型にも最初沈殿槽を有するJARUS- XIV R

型（図6参照）やJARUS- I型及びJARUS-S型の沈殿分離槽、JARUS- III型の嫌気性ろ床槽第1室のように、通常余剰汚泥より有機成分が多い汚泥の回収が可能な処理方式がある。これらの処理方式の汚泥を用いるとメタンガス生成量がより多くなることが期待できるが、図7に示したように厨芥（生ごみ）等と比較すると有機成分は少なく、メタンガス（バイオガス）発生量は限られている。

一方で集排汚泥は、メタン発酵に必要な微量塩類が含まれており、反応を安定させる効果があるといわれている。一般家庭生ごみや農業廃棄物等の他のバイオ

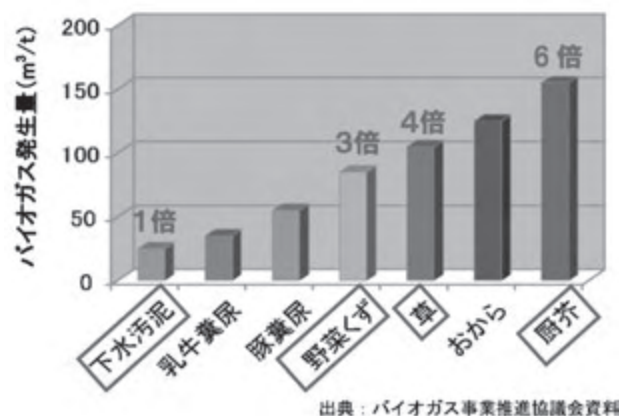


図7 原料別バイオガス（メタンガス含む）発生量

マスを混合するメタン発酵では、メタンガス生成量の確保とメタン発酵の安定化の両立が必要であり、反応の安定化に寄与する集排汚泥の役割は重要といえる。

4.2 液肥の利用

実証試験では、集排汚泥の資源循環を目標としており、その利用形態は液肥利用である。小規模分散型の集排施設は、効率的なエネルギー回収には不向きであるが、小規模であるため消化液の発生量に限りがあり、生産した液肥を十分消費できる可能性がある。施設周辺には農地が存在し、消化液を液肥利用する環境も整っていることは有利な条件といえる。

液肥利用を促進するためには、施肥効果が確認でき、安全性が高いことが求められる。集排汚泥は、窒素(N)やリン(P)はある程度含有しているが、カリ(K)はほとんど含まれていない。そのため、集排汚泥に他のバイオマスを混合することは、メタンガス発生量を増加させるだけでなく、液肥の施肥成分を調整し品質の向上を図る上でも重要になる。

実証試験では、メタン発酵の原料として集排汚泥と集排施設を利用している家庭を中心とした一般家庭生ごみ、学校給食や給食センターからの生ごみ、周辺農家の農業廃棄物、商業施設や食堂等の飲食店の有機性廃棄物、公園等の刈草等を検討している。

4.3 前処理設備の省力化と既存施設の活用

メタン発酵施設の建設費は規模にもよるが処理能力1m³当たり5千万円から1億円程度といわれており、小規模メタン発酵施設にとって大きな負担となってい

る。メタン発酵の処理フローは比較的単純であるが、**図8**に示すように原料の受入れや発酵不適物(金属、木片等夾雑物)の除去等を行う前処理施設、メタン発酵槽に消化液の貯留施設、ガスホルダーは、規模の大小に拘わらず必要になるため、小規模な施設では割高になる。特に、前処理施設は建設後の運転費用や保守性に大きく影響するため、前処理施設の省力化はコスト削減を図る上で重要な部分といえる。当センターは、平成18～21年に行った集排汚泥と生ごみを使ったメタン発酵実証実験²⁾において、農村地域では自治体の協力を得た啓発活動が重要であり、啓発活動により良質な生ごみを回収することができることを確認している。**表3**は**写真1**の破碎分別機で除去した夾雑物の量をまとめたものであり、当初12.4%であった一般家庭の除去率は、啓発活動後に6.1%に大きく低下していることが判る。実証実験で設置した前処理施設は破碎分別機のみであったが、このような活動によって収集した生ごみからはメタン発酵槽に投入しても全く支障がない原料の調整ができた³⁾。

本実証試験で選定した地区は、集排施設同士の統廃合により、生活排水の処理を停止した処理施設(廃用施設)である。污水处理に使用していた各水槽や機器類の多くが使用可能な状態にあり、今後これらの水槽や機器類を活用した処理施設の整備を行う予定である。集排施設の水槽を活用することで、メタン発酵施設の建設費を低減することが可能になれば、今後廃用した集排施設の活用方法として有力な選択肢となる可能性がある。

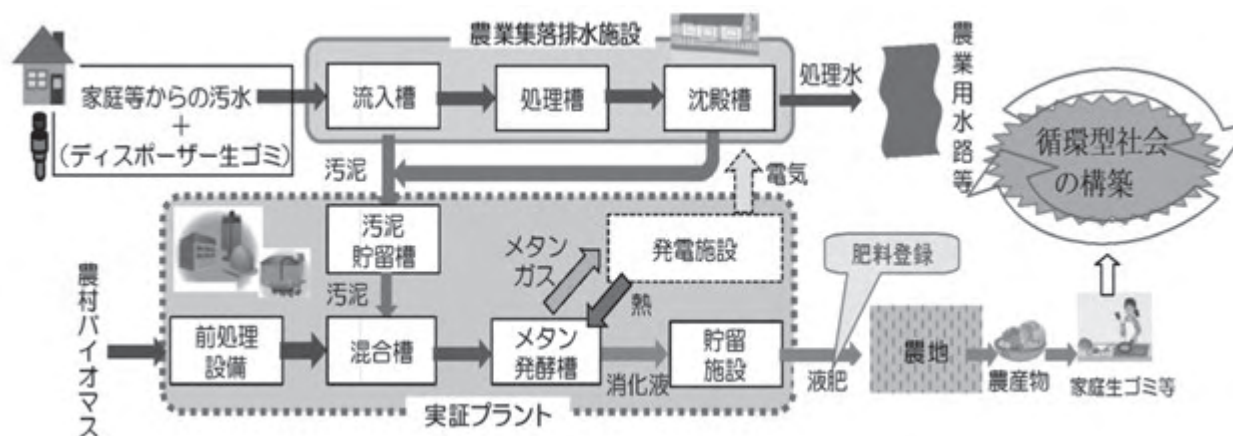


図8 小規模メタン発酵システムの処理フロー（イメージ）

表3 生ごみの夾雑物除去率と生ごみ発生量

生ごみ	期間	生ごみ回収量 (kg)	夾雑物 (kg)	除去率 (%)	生ごみ発生量 (g/(人・日))
学校給食	2007年6月1日～	26,979.0	2,173.1	8.1	61.5
	2008年3月19日(156回)				
一般家庭	最初の5回	492.9	61.1	12.4	205.1
	全期間(41回)	3,838.9	235.7	6.1	162.5

5. おわりに

5年計画の初年度に当たる今年度は、小規模メタン発酵実証試験を実施する地区を選定した。実証地区の選定は、①集排汚泥の性状、②汚泥処理費、③農村バイオマスの賦存量、④アンケート等で小規模メタンに関心が高かった自治体、⑤資源循環等に前向きな自治体、等実証試験に適した条件から当センターが事前に候補としてリストアップした地区と、当センターホームページに掲載した公募に応募した地区を対象に検討し、平成29年12月に開催した本事業に合わせ設置した検討委員会にて選定した。

選定した地区は、集排施設が4地区ありここから搬出される集排汚泥（濃縮汚泥）全量をメタン発酵で処理し、消化液を液肥利用する計画である。また、周辺はスタチの産地であり、スタチ等の柑橘類の絞りかすや一般家庭生ごみの原料利用が期待されている。絞りかすは季節変動が大きい廃棄物であるため、絞りかすがない時期は周辺農地から排出される農業廃棄物を利用することも検討する予定である。

今後、原料の年間搬入量を試算し、メタン発酵の処理能力を決定するとともに、実証地区の各水槽の活用方法及び処理フローを検討し、順次各処理装置を設置し早急に実証試験を開始する。



写真1 前処理装置（破碎分別機）

参考文献

- 1) 山口康広, 「農業集落排水施設における省エネ機器及び省エネ運転手法の導入について」, 月刊浄化槽, 2016年11月号 No.487, 20-25
- 2) 岡庭良安, 「農村地域向けメタン発酵施設の実証試験について」, 季刊JARUS, 2007年7月号 No.89, 23-28
- 3) 柴田浩彦, 二階靖樹, 岡庭良安, 三木秀一, 「農村地域向けメタン発酵施設の実証試験について（第2報－生ごみを用いたメタン発酵実証試験の結果について－）」, 季刊JARUS, 2008年1月号 No.91, 51-59

研究紹介

花壇型人工湿地の開発

～污水处理施設のグリーンインフラ化を目指して～

※¹ 日本大学工学部土木工学科、※² 日本大学工学部機械工学科中野 和典※¹、大附遼太郎※¹、橋本 純※²

キーワード：グリーンインフラ、人工湿地、ロハス

1. はじめに

2015年8月に閣議決定された国土形成計画において、本格的な人口減少社会において、豊かさを実感でき、持続可能で魅力ある国土づくり、地域づくりを進めていくために、社会資本整備や土地利用において、自然環境が有する多様な機能を積極的に活用するグリーンインフラの取り組みを推進することが明記された¹⁾。

グリーンインフラとは、自然が持つ多様な機能を賢く利用することで、持続可能な社会と経済の発展に寄与するインフラや土地利用計画であると定義されている¹⁾。グリーンインフラの特徴として、生態系を使うことで安いコストによる社会インフラの整備や維持管理、地域への様々な便益の発揮による多様な主体の参加促進を実現できると考えられており、老朽化する社会資本の維持更新費の抑制に貢献することが期待されている¹⁾。

従来の人工構造物により造られたインフラはグレーインフラと呼ばれている。目的とする限られた機能を、導入した直後から高い精度で発揮し、確実に効果を実現するグレーインフラに対し、グリーンインフラは、機能を実現する精度には不確実性があるが、複数の機能を発揮する多機能性を特徴としている¹⁾。例えば、污水处理という限られた機能を高い精度で確実に全うする活性汚泥法は、正にグレーインフラと言える。一方、生態系を活用した污水处理法である人工湿地法は、污水处理機能が自然条件に左右される可能性がある

が、污水处理だけでなく緑化が有する多様な機能（生物の生息・生育の場の提供、良好な景観形成、気温上昇の抑制など）が期待できることから、グリーンインフラであると言える^{2,3)}。人口減少社会のもとで社会インフラの低コスト化と低炭素化を進めて行くには、このような相互に異なる特徴を有するグレーインフラとグリーンインフラをうまく組み合わせる方策が求められている。

植物を植えたろ床で汚水をろ過するという極めてシンプルな手法で汚水を処理する人工湿地法は、低コストかつ低炭素な個別分散型の污水处理法として欧米諸国において急速に普及してきている^{2,47)}。一方、これまで利用可能な土地の制約があった我が国では、人工湿地法の導入事例が乏しく、馴染みのない技術であった。しかし、人口減少によって土地需要が変わることが見込まれる次世代では、グリーンインフラの社会ニーズと併せて、我が国においても人工湿地法の導入が合理的になることが予見できる。そのような視点より筆者は、污水处理のグリーンインフラ化を実現することを念頭に、特に植物を育てる水や肥料の代替として汚水を有効活用する花壇型の人工湿地の開発に取り組んでいる^{2,3,8)}。花壇や緑化と積極的に組み合わせることで、污水处理システムが多様な機能（良好な景観形成、ひとを癒すヒーリング効果、気温上昇の抑制など）を併せ持つ資源循環型の緑化システムに生まれ変わることが期待できる。本稿では、花壇型人工湿地の水質浄化機構を概説するとともに、2年間の実証実験で明らかとなった花壇型人工湿地の水質浄化性能について紹介し、グリーンインフラとしての花壇型人工湿

地の可能性について論じてみたい。

2. 花壇型人工湿地の構造と水質浄化機構

花壇型人工湿地は、一般家庭の庭や公園で利用することを想定して花壇を模してデザインした人工湿地である。日本大学工学部キャンパスに設置した花壇型人工湿地の外観および構造を、それぞれ写真1および図1に示す⁸⁾。花壇型人工湿地は5段のろ床で構成される多段型の人工湿地であり、これら5段のろ床を順に通過するに伴って5回のろ過処理を経て汚水を浄化処



写真1 日本大学工学部キャンパスに設置した花壇型人工湿地の外観⁸⁾

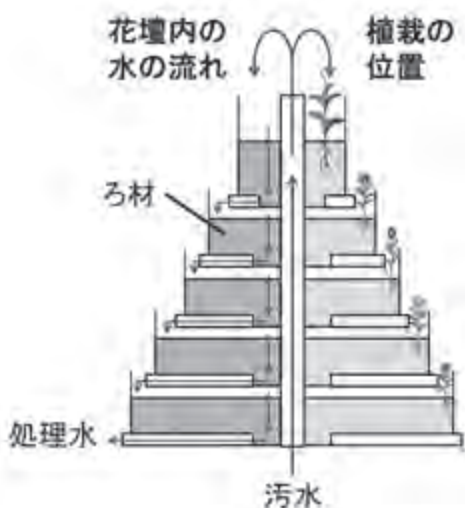


図1 花壇型人工湿地の構造と水の流れ⁸⁾

理する仕組みである。揚水ポンプで花壇最上部に汲み上げられた汚水が、5段のろ床を通過するのに要する時間は1時間以内である。

最上段の1段目から最下段の5段目までのろ床面積は、それぞれ1.1、1.8、2.5、3.4および4.5m²となっている。ろ床総面積は13.3m²であるが、占有面積は4.5m²に過ぎない。花壇型人工湿地では、多段の重層構造にすることで、人工湿地のデメリットであった占有面積の大幅な削減（マイナス66%の省面積化）を実現した^{2,3)}。

花壇内部には土ではなく、ろ材を充填しており、汚水をろ過するろ床として機能する^{2,3)}。最上段の1段目にはガラス廃棄物を活用したリサイクルガラス造粒砂（粒径10mm以下）を、2-5段目には主ろ材として川砂（粒径2mm以下）を充填した。さらに2-5段目の表層0.05mには、市販の土壤改良用のゼオライト（粒径4mm以下）およびケイ酸カルシウム（粒径4mm以下）を充填した。それぞれアンモニア態窒素およびリン酸態リンの吸着性能を有しており、これら栄養塩の花壇内部での滞留を強化することを目的として使用した。ろ床高は1段目が0.4m、2段目から5段目は0.3mである。

汚水原水が流入する1段目のろ床には、人工湿地に用いる植物として実績のあるヨシを植栽し、2段目以降のろ床には、バラやマリーゴールド等の花壇でよく見られる一般的な観葉植物を植栽した。図1に示されるように、各段のろ床を通過する毎に水が大気に晒される仕組みとなっており、好氣的な分解に必要な酸素が自然に水に溶け込むことが期待できる。汚水が5段のろ床を通過するのに要する時間は1時間以内であり、汚水が流入する時間以外の大半の時間においてろ床内は不飽和状態となっており、地下環境は好氣的に維持されていると考えられる。これが、大量の汚水を流入させても、根腐れ等による植物の枯死が起こらない理由である^{2,3)}。

ろ過により取り除かれた汚濁物質は、ろ床内に発生するミミズなどの土壤生物やバクテリアなどの微生物のエサとなり分解され、その分解産物である窒素やリンを植物が利用する^{2,3)}。このように自然の中で営まれる植物と生物による腐食連鎖により、汚水処理の副産物である余剰汚泥の生成が抑制されるため、汚泥処理を要しないことも人工湿地の特性である²⁾。自然条件下で運用する人工湿地の水質浄化機構には、季節特性がある。生物の活動が止まる冬季でも、ろ床によるろ過作用は継続するため、見かけの水質浄化性能は維持されるが、分解作用は停止するため、冬季にはろ床内での汚濁物質の蓄積が進行する。一方、春季以降の温暖な季節には生物による分解作用が卓越し、冬季に

蓄積した汚濁を含めた汚濁の分解が年間を通して完了に至る。自然条件下で運用する人工湿地では、このように汚濁物質の捕捉と分解のバランスが季節によって変化するため、年間を通じた物質収支の視点で浄化機構を理解する必要がある⁹⁾。

3. 花壇型人工湿地の水質浄化性能の季節特性

花壇型人工湿地の水質浄化性能を実証するため、日本大学工学部の学生食堂排水を浄化処理する実証試験を行うことにした。花壇型人工湿地への学生食堂排水の流入は2014年7月24日に開始し、2018年1月現在も継続している。本稿では、流入開始から2年間(738日間)の試験期間に得られた成果を紹介する³⁾。

花壇型人工湿地に流入させた学生食堂排水の水質の2年間の平均値を表1に示す。学生食堂排水原水の標準偏差(SD)が大きいのは、花壇型人工湿地への供給方法が異なった1年目と2年目で、原水の性質が異なったためである³⁾。2年間の平均値で評価すると、学生食堂排水のBOD濃度は一般的な生活雑排水および生活排水の3倍程度であったのに対し、総窒素濃度は生活雑排水と同等であり、総リン濃度は生活排水と同等であった。学生食堂排水は、このように生活雑排水および生活排水のどちらとも異なる成分特性を有していた³⁾。

花壇型人工湿地に流入させた学生食堂排水の日水量および積算水量の推移を図2に示す³⁾。2014年7月24日に学生食堂排水の流入を開始し、試験開始から2年間(738日間)に花壇型人工湿地に流入させた学生食堂排水量は232m³に達した。1日当たりの平均処理水量は0.28m³であった³⁾。

試験開始から2年間の花壇型人工湿地の水質浄化性能の推移を図3に、2年間の処理水質の平均値と原水濃度と処理水の平均値から算出した除去率を表1に示す。BOD除去率は季節に関わらず高い値が維持され、2年間の除去率は99.4%であった。処理水の平均濃度は3.6mg/lであり、2年間の試験期間を通して処理水濃度は安定していたことから、花壇型人工湿地が季節を問わず安定して高度にBODを除去できることが実証された。

これに対し、窒素除去性能には、季節性があることが明らかとなった。図3に示すように、処理水の総窒素濃度が原水の濃度を上回り、見かけの除去率がマイナスとなる現象が、春季から夏季にかけて2年連続で観察された。2年間の総窒素除去率は68%であり、処理水の平均濃度は3.7mg-N/lであった。このような総窒素除去性能の季節性の要因を考察するため、有機態窒素とアンモニア態窒素の合計である総ケルダール窒素の浄化性能についても図3および表1に示した。図3に示すように、総ケルダール窒素でも浄化性能

表1 花壇型人工湿地に流入させた学生食堂排水および処理水の各水質項目の2年間の平均値と除去率

	BOD		総ケルダール窒素		総窒素		総リン	
	平均	SD(±)	平均	SD(±)	平均	SD(±)	平均	SD(±)
原水濃度 (mg/l)	647	1028	11.5	9.1	11.6	9.1	4.6	3.0
処理水濃度 (mg/l)	3.6	3.1	1.4	1.6	3.7	4.0	1.3	1.1
除去率 (%)	99.4		87.8		68.1		71.7	

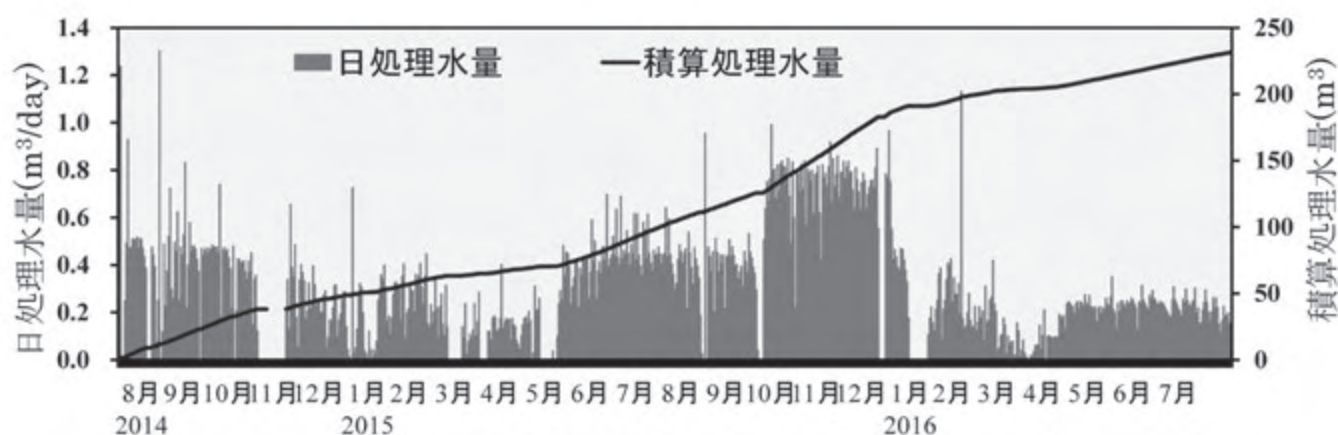


図2 花壇型人工湿地に流入させた学生食堂排水の日水量および積算水量³⁾

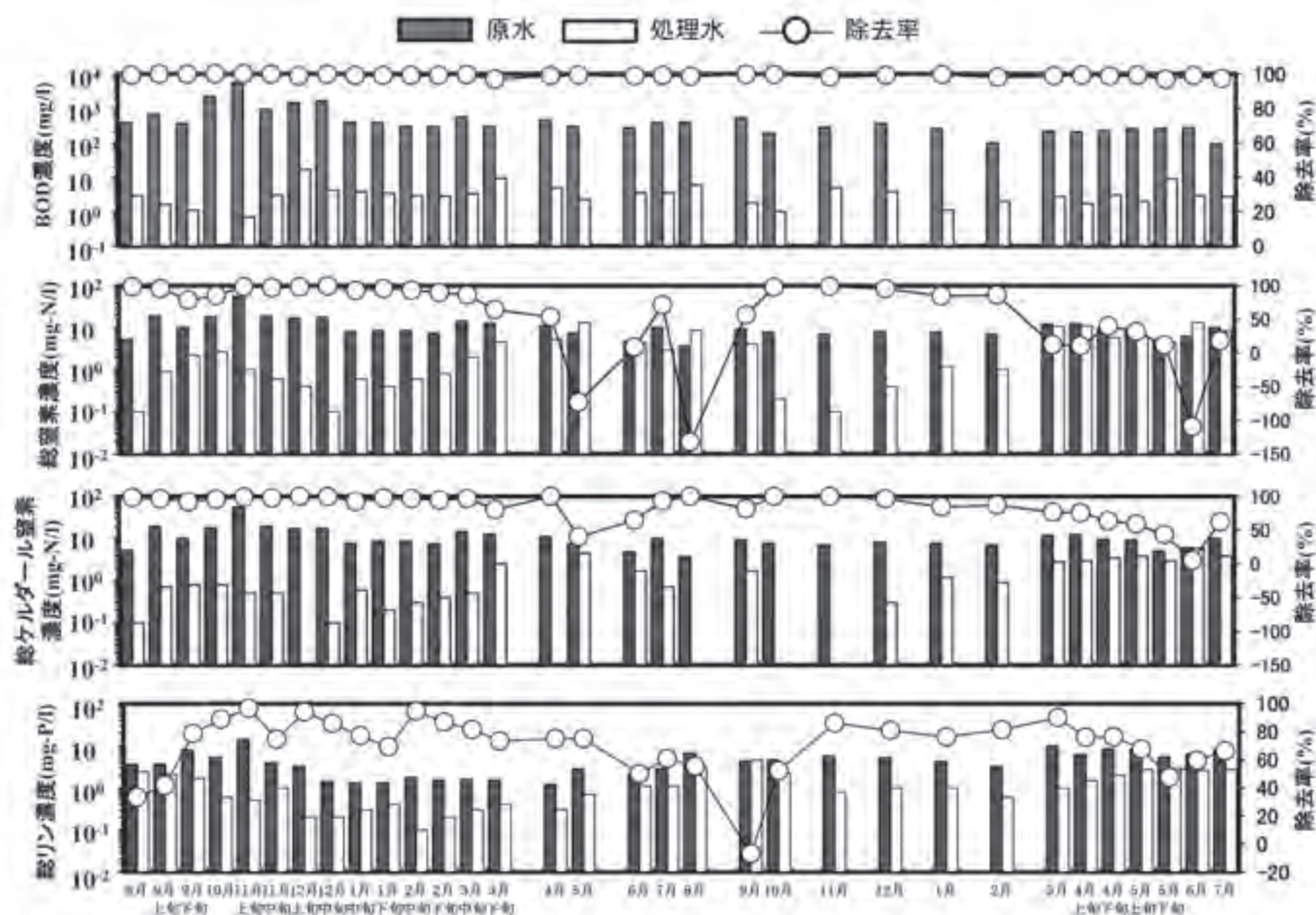


図3 試験開始から2年間の花壇型人工湿地の水質浄化性能の推移

が春季から夏季にかけて低下する現象が観察されたが、その低下レベルは総窒素ほど大きくなく、見かけの除去率がマイナスとなることはなかった。2年間の除去率の平均値は88%であり、処理水の平均濃度は1.4mg-N/lであった。このような総窒素と総ケルゲール窒素の浄化性能の違いより、総窒素除去性能の季節性と低下の主要因が脱窒過程にあり、春から夏にかけて起きる脱窒性能の低下に起因することが明らかとなった。

一方、花壇型人工湿地の浄化性能の季節性は、リン除去性能にも現れていた。図3に示すように、総リン除去率が春季から夏季にかけて低下する様子が2年連続で観察された。2年間の総リン除去率は72%であり、処理水の平均濃度は1.3mg-P/lであった。このように気温や水温が上昇する春先に処理水質が悪くなるという現象は浄化槽でも報告されており、水温の変化によって汚泥転換率が変化することが要因として考察されている¹⁰⁾。土壌動物や微生物の活動が停止する冬季の人工湿地では、物理的なろ過作用だけが有効に働いており、ろ床中には汚濁成分が蓄積する。この冬季に蓄積した汚濁成分の分解は生物が活動を再開する

春季より始まるが、複数の過程で構成される分解作用の活性化にタイムラグが生じることで、汚濁の分解が完結せず汚濁の溶出が卓越し、原水濃度を上回るような処理水が発生することが推察される。花壇型人工湿地の高度処理性能を年間を通して維持するためには、春季から夏季にかけて生じる栄養塩の溶出対策が必要である。

4. 花壇型人工湿地における水質浄化過程の検証

本稿で紹介した花壇型人工湿地は、5段のろ床で構成される多段型的人工湿地である。その多段処理の有効性を検証するため、原水、1段目、3段目および5段目（最終段）からの流出水濃度の2年間の平均値を比較した結果を図4に示す。原水の濃度を100%とすると、BOD濃度は1段目で44%に、3段目では7.4%まで低下し、5段目の出口では0.5%のBODが残存しているに過ぎなかった。このように、段を経る毎に順調にBOD濃度は低下するが、約93%のBODは3段目までに除去されており、4段目以降のろ床の貢献度は低いことが明らかとなった。

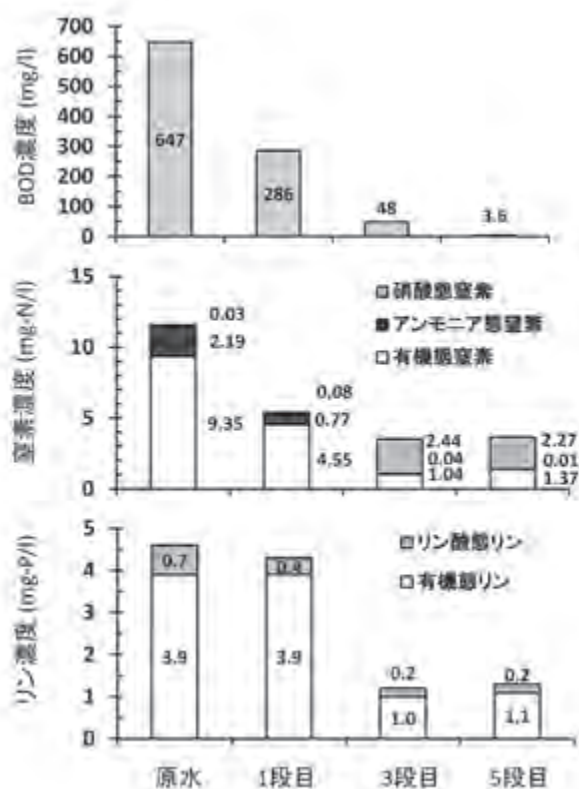


図4 花壇型人工湿地に流入させた学生食堂排水原水と花壇型人工湿地の1段目、3段目および5段目のろ床からの流出水の2年間の平均値

これに対し総窒素濃度は、1段目で47%に低下しており、1段目のろ床の貢献度はBODの場合と同等であったが、3段目および5段目の出口では、それぞれ30および32%の窒素が残存しており、BODのように段を経る毎に順調に濃度が低下する傾向とはならなかったことが示された。総窒素を構成する窒素成分に着目すると、1段目の出口まではケルダール窒素(有機態窒素とアンモニア態窒素)が主体であるのに対し、3段目以降では硝化により生じた硝酸態窒素が窒素成分の主体であることが明らかとなった。したがって、3段目以降において総窒素濃度が低下しない理由として、脱窒が律速となっていることが示された。汚水が流入する時間帯を除き、花壇型人工湿地の5段のろ床はすべて不飽和状態に維持されており、ろ床が好氣的であることが脱窒の進行を阻む要因となっていることが考えられる。さらに、3段目以降ではBOD濃度も低下していることから、脱窒に必要な有機物が十分でないことも要因として考えられる。したがって、5段のろ床のいくつかを飽和状態にして嫌氣的なろ床を創出し、好氣的な有機物の分解を制限すると同時に脱窒の促進を図る方策が、花壇型人工湿地の窒素除去性能の改善に有効であると考えられた³⁾。花壇型人工湿地

による学生食堂排水の浄化試験は2018年1月現在も継続しており、窒素除去性能の改善に取り組んでいる。

5段のろ床における総リン除去過程に着目すると、図4に示されるように1段目の出口では93%のリンが残存しており、BODや窒素と異なり、1段目のろ床ではリンがほとんど除去されていないことが明らかとなった。3段目および5段目の出口では、それぞれ26および28%のリンが残存しており、リン除去に貢献していたのは2段目と3段目のろ床であったことが示された。さらに、窒素の場合と同様に、4段目以降のろ床では全くリンが除去されていないことが示された。総リンを構成する有機態リンとリン酸態リンの比率に着目すると、原水から5段目出口までのすべてにおいてリン酸態リンが占める割合は非常に低く、処理水に残存するリンの大半が有機態であったことが明らかとなった。処理水中に占めるリン酸態リンの割合が低いことから、ろ床表層に充填したケイ酸カルシウムによって効果的にリン酸態リンが吸着され、それを花壇型人工湿地の植物が利用していることが推察された³⁾。最終的に二酸化炭素や窒素ガスとしてガス化する有機物や窒素成分と異なり、リンはガス化により除去されないため、汚水から除去されたリンは花壇型人工湿地のろ床内に蓄積する運命にある。ろ床内に蓄積したリンの溶出量が、ろ過作用によるリン除去量を卓越すれば、見かけ上のリン除去性能は低下する。花壇型人工湿地における試験2年目の総リン除去率は67%であり、そのようなリン溶出の卓越は2年間の浄化処理を経ても起きていない。花壇型人工湿地による学生食堂排水の浄化試験は継続しており、リン除去性能がどのくらいの期間、持続するのかについて明らかにする予定である。

5. グリーンインフラとしての花壇型人工湿地の可能性

花壇型人工湿地に学生食堂排水を流入させて行った2年間の浄化試験において得られた32サンプルの処理水の度数分布と累積度数を図5に示す。BODに着目すると、5mg/l以下の処理水が全体の84%を占めており、再現確率80%のBOD濃度は4.9mg/lであった。総窒素では、7mg-N/l以下の処理水が全体の81%を占めており、再現確率80%の総窒素濃度は6.3mg-N/lであった。総リンでは、2.5mg-P/l以下の処理水が全体の81%を占めており、再現確率80%の総リン濃度は2.4mg-P/lであった。花壇型人工湿地に流入させた学生食堂排水は、BOD濃度は一般的な生活雑排水および生活排水より高く、総窒素濃度は生活雑排水と同等、総リン濃度は生活排水と同等であった

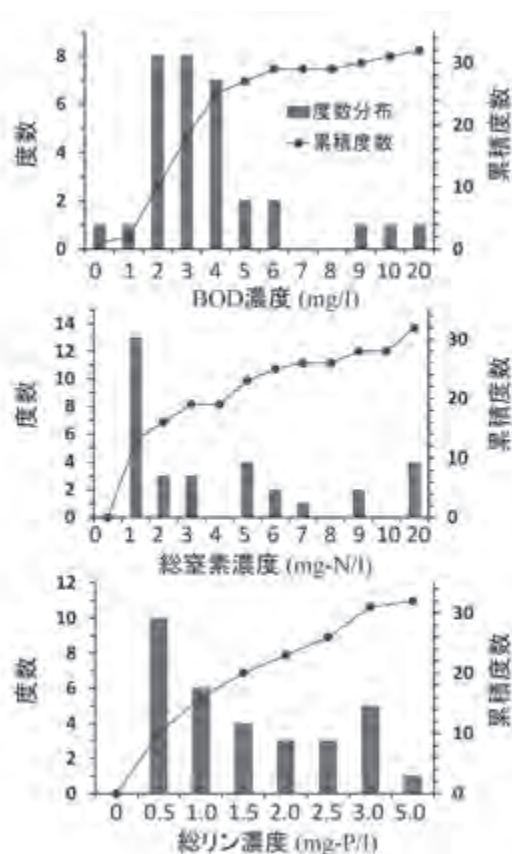


図5 2年間の学生食堂排水の浄化試験で得られた処理水の度数分布と累積度数

ことから、生活排水や生活雑排水の処理に花壇型人工湿地を適用しても、余裕を持って排水基準を満足する污水处理が行えることが予測できる。

2年間の試験期間における花壇型人工湿地のろ床面積あたりのBOD除去負荷量は $11.1\text{g}/\text{m}^2/\text{d}$ であり、ひとりが排出する生活排水のBOD原単位を $40\text{g}/\text{d}$ とすると、花壇型人工湿地は約4人分の生活排水に相当する有機汚濁を除去したことになる³⁾。花壇型人工湿地の占有面積あたりでBOD除去量を計算すると $33\text{g}/\text{m}^2/\text{d}$ となり、ひとり当たりの生活排水処理に必要な専有面積は 1.2m^2 となった³⁾。花壇型人工湿地による学生食堂排水の浄化処理に要するエネルギーは揚水ポンプの動力だけであり、2年間の試験期間中の揚水ポンプの作動時間に基づいて消費電力を計算すると、1日あたりの消費電力は 37.9Wh となる。花壇型人工湿地が除去したBODは1日あたり 148g であり、BOD処理に要した消費電力の原単位は $0.26\text{Wh}/\text{g-BOD}$ となった³⁾。この値は、高度処理型の5人槽の浄化槽の原単位として報告されている $3.03\text{Wh}/\text{g-BOD}$ の約12分の1であり^{3, 11)}、曝気操作が不要な花壇型人工湿地

がエネルギー対効果に優れていることを示すことができた。

学生食堂排水を浄化する試験を開始してから現在4年目を迎えているが、花壇型人工湿地に植栽した観葉植物の生長は年々旺盛になってきており、ろ床に蓄積された学生食堂排水の汚濁成分が肥料として有効に利用されていることが伺える³⁾。学生食堂排水は主に食器等の洗浄排水に由来しており、洗剤等の化学成分を含有している。それが、花壇の植物や土壤動物等に悪影響を及ぼすことが懸念されたが、花壇型人工湿地の植物の生長は旺盛でミズも大量に生息しており、悪影響は見られない。このように花壇型人工湿地は、水や肥料の代替として学生食堂排水を活用する花壇として有効に機能しており、汚水を浄化する水質浄化機能はもとより、景観形成機能、大気浄化機能、植物の蒸散作用により気温を下げる抗ヒートアイランド機能、人に癒しを与えるヒーリング機能、生物生息地を提供する機能、花卉を生産する機能等の多機能性を発揮しており、污水处理のグリーンインフラ化の可能性を十分に示すものとなっている。

6. おわりに

本稿で紹介した花壇型人工湿地は「ロハスの花壇」と呼ばれており^{2, 3, 8)}、オープンキャンパスや学園祭の際に企画される日本大学工学部のキャンパスツアーの見学先として人気を博している。「ロハスの花壇」は、白く濁った学生食堂排水が透明な清澄水となって花壇から出てくる様子や臭気が感じられないことを実体験したり、栄養塩濃度が異なる上流の段と下流の段で植物の生長や葉の色が異なることを観察したりすることで、自然における物質循環の仕組みや汚水の正体について考える楽しい環境教育の場になっており、見学者の污水处理に対するイメージが大きく変化する様子を見てきている。本稿で紹介したように、高価で複雑な施設を必要とせず費用対効果とエネルギー対効果の双方に優れている花壇型人工湿地は、持続可能な低炭素・循環型社会の実現に貢献する有効な污水处理システムのオプションとなり得るものである。花壇型人工湿地により污水处理施設をお花畑に変身させ、住民の花壇として開放することができれば、污水处理施設がガーデニングも行える住民の憩いの場となり、そのイメージは大きく変わる。花壇型人工湿地によって多様な機能や付加価値を提供するグリーンインフラへと污水处理施設を昇華させることを目指し、今後も花壇型人工湿地の開発と社会実装に取り組んで行きたい。

謝辞

本稿で紹介した花壇型人工湿地による学生食堂排水の試験処理の一部は、科学研究費補助金（課題番号:15H04069）および平成29年度日本大学学術研究助成金「社会実装研究」により実施されたものである。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) グリーンインフラ研究会、三菱UFJリサーチ&コンサルティング、日経コンストラクション、決定版！グリーンインフラ、日経BP社（2017）
- 2) 中野和典、大附遼太郎、中村和徳、橋本 純、人工湿地を活用した生活排水の高度処理、用水と廃水、57（11）、pp.835-843（2015）
- 3) 中野和典、大附遼太郎、中村和徳、橋本 純、花壇型人工湿地による学生食堂排水の処理、環境技術、46（11）、pp.588-595（2017）
- 4) Wu, H., Zhang,J., Ngo,H.H., Guo,W., Hu,Z., Liang,S., Fan,J., Liu,H., A review on the sustainability of constructed wetlands for wastewater treatment: Design and operation. *Bioresource Technology*, 175, 594-601（2015）
- 5) Ayaz,S.C., Aktas,O., Akca,L., Findik,N., Effluent quality and reuse potential of domestic wastewater treated in a pilot-scale hybrid constructed wetland system. *Journal of Environmental Management*, 156, 115-120（2015）
- 6) Wu,S., Kuschik,P., Brix,H., Vymazal,J., Dong,R., Development of constructed wetlands in performance intensifications for wastewater treatment: A nitrogen and organic matter targeted review. *Water Research*, 57, 40-55（2014）
- 7) Paing,J., Guilber,A., Gagnon,V., Chazarenc,F., Effect of climate, wastewater composition, loading rates, system age and design on performances of French vertical flow constructed wetlands: A survey based on 169 full scale systems. *Ecological Engineering*, 80, 46-52（2015）
- 8) 中野和典、「ロハスの花壇」が拓く下水処理のグリーン化、財界ふくしま、46（9）、pp.133-140（2017）
- 9) 中野和典、自然生態系の浄化機能の限界と応用～人工湿地を事例として～、環境バイオテクノロジー学会誌、10（2）、pp.53-57（2010）
- 10) 稲村成昭、山崎宏史、西村 修、浄化槽における水温の履歴と処理水BODとの関係解析、水環境学会誌、36（4）、pp.123-127（2013）
- 11) 大附遼太郎、花壇型人工湿地の水質浄化特性に関する研究、日本大学大学院工学研究科修士学位論文（2017）

文献紹介

脱水前下水汚泥に脱墨パルプ製造工程で発生する焼却灰を混合して製造した複合材が土木工学的に利用できるのか環境特性を調査する

Environmental characterisation of sewage sludge/paper ash-based composites in relation to their possible use in civil engineering
Environmental Science and Pollution Research
24 1030-1041 (2017)

キーワード：土木工事用資材、環境適合性、微量有害元素、銅の固定化

故紙リサイクルにおいて脱墨パルプ製造工程で填料と呼ばれる無機粒子（クレイ、タルク、炭酸カルシウム）の大部分が用水中へ脱離し排水処理を通じて焼却灰（PA）になる。PAは既に盛り土や埋め立て用資材として承認され現場でその適用性が確認されているが、これに下水汚泥を混合し新しい土木工事用資材を開発すれば衛生埋立地などへの多量の使用が期待できる。そこで著者らは脱水前の化学処理後下水汚泥（SS）とPAの混合物から複合材を製造し、環境への影響を調査した。

SSはスロベニア国内ムルスカ・ソボタ市営下水処理場（280,000 PE）でCaO処理後の汚泥（SS1-SS3; pH 9, 含水率 510-580wt%）を、PAはクルシュコ市の製紙工場のバイオマスボイラーから得た（飛灰 90% 主灰 10%, 含水率 0.0%）。14日間貯蔵後のPA1, PA2と新鮮なPA3を用いた。含水率が最も高いSS1にPA1かPA2を乾燥重量で1:1（C1, C2）、SS2にPA1かPA2を1:0.75（C3, C4）、SS3にPA3を1:0.6（C5）混合した物を圧縮し密度・含水量を可能な限り実際の資材に近づけて複合材を製造した。複合材C1-4を3日間（C1A-C4A）、または湿度 98% 気温 20℃で28日間養生した（C1B-C4B）。SSは鉱物含有量が少なく石英、藍鉄鉱、イライト型白雲母と長石の存在が認められた。藍鉄鉱は鉄の含水リン酸塩鉱物であり、 FeSO_4 が存在する嫌気的条件下で形成される汚泥では一般的な成分である。PA1とPA2はバイオマス灰で一般的な鉱物である方解石が最も多く（80%）、次に石灰、ポートルンダイト（ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ）、ラーナイト（ Ca_2SiO_4 、セメント業界での通称ビーライト）、ゲーレンナイト（ $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$ ）の順であった。新鮮なPA3では方解石が少なく（40%）、ラーナイト（25%）、ゲーレンナイト（15%）、石灰（15%）およびポートルンダイト（5%）と反応性鉱物の含有量が高く、石英とガ

ラス粒子も確認された。複合材C1B-C4Bの鉱物組成には結晶性が高いPAの影響が強く現れ、方解石が最も多く、少量の石英と微量のラーナイトとポートルンダイトが存在した。C5は結晶性が低く、方解石も少なくラーナイトとゲーレンナイトが優先した。複合材には、カルシウムに富むセメント系材料の主成分であるC-S-H（ケイ酸カルシウム水和物）ゲルおよびC-S-HにAlが固溶したCASH（アルミノケイ酸カルシウム水和物）ゲルの生成が確認された。SSの主な酸化物は SiO_2 （7%）、 Al_2O_3 （2.5%）、CaO（4%）で、PAはCaO（50%）、 SiO_2 （10%）、 Al_2O_3 （7%）、MgO（1.5%）であった。SSの微量有害元素（PTE）ではZn 1200-1300とCu 190 mg/kgが国内の許容値よりも高かった。これはSSがブドウ栽培の盛んな地域由来であり、殺菌剤・除草剤・農薬などが原因と考えられる。よってSS中のZnとCu濃度は季節変動に注意すべきことが示唆された。PAのPTE含有量はSSより低かったが、CuとBaが250mg/kgを超過した。複合材の養生期間は化学組成に影響を与えなかった。複合材の長期の安定性を確認するために28日間養生した複合材の水浸出液（10L/kg, 24時間）について分析した。pH10-12、Cu（1.4-5.4mg/kg）で4複合材が土木資材として安定とされるCu 2mg/kgより高かった。他のPTE含有量は非常に低く検出限界値より低いPTEも多かった。高アルカリ条件下（ > 10 ）ではOH錯体が形成されるため土壤中Cuの易動性は高まる可能性がある。複合材C5のCu含有率とpHが最も低かったことは、土木資材としての複合材製造にはPTEを可能な限り固定化するために高反応性な新鮮PAを使うこと、PAの混合割合を減らすためにSSの含水率に留意すべきことを示している。

以上の結果より著者らは、農地への直接施用には不適であるSSとPAを混合して製造される新しい複合材は法的にも衛生埋立地に適用可能だと判断した。また、この複合材は地下水や水域に接触する可能性のある区域で使用するべきではないと指摘するとともに、現実的な環境リスク評価を個々に設定することで構造堤防の建設および充填、道路建設における土壌改良、林道や農道の改善、砂利ピットや採石場の改善などに将来その用途を広げる見込みがあるとしている。

（農研機構・農業環境変動研究センター 杉山 恵）

Q & A

地域における未利用バイオマスの資源化

キーワード：バイオマス、エネルギー、資源化、健全経営、資源化基地

Q1 未利用バイオマスの活用が強く叫ばれていますが、その効用には何があるでしょう。

A1 社会的に大きな要請は、地球温暖化対策としてのエネルギー利用です。が、さらに地域や自治体にとっては、環境や社会基盤の保全に繋がることが最も大きいと思われます。特にこれからは地域の保全を図りつつ新たな事業化を目指すことになっていくのではないのでしょうか。

例えば、エネルギーを生産・供給し、そこからの残渣を肥料加工して更にバイオマス生産に繋げる循環システム作りを目指す。

Q2 対象となるバイオマスにはどのようなものがありますか。

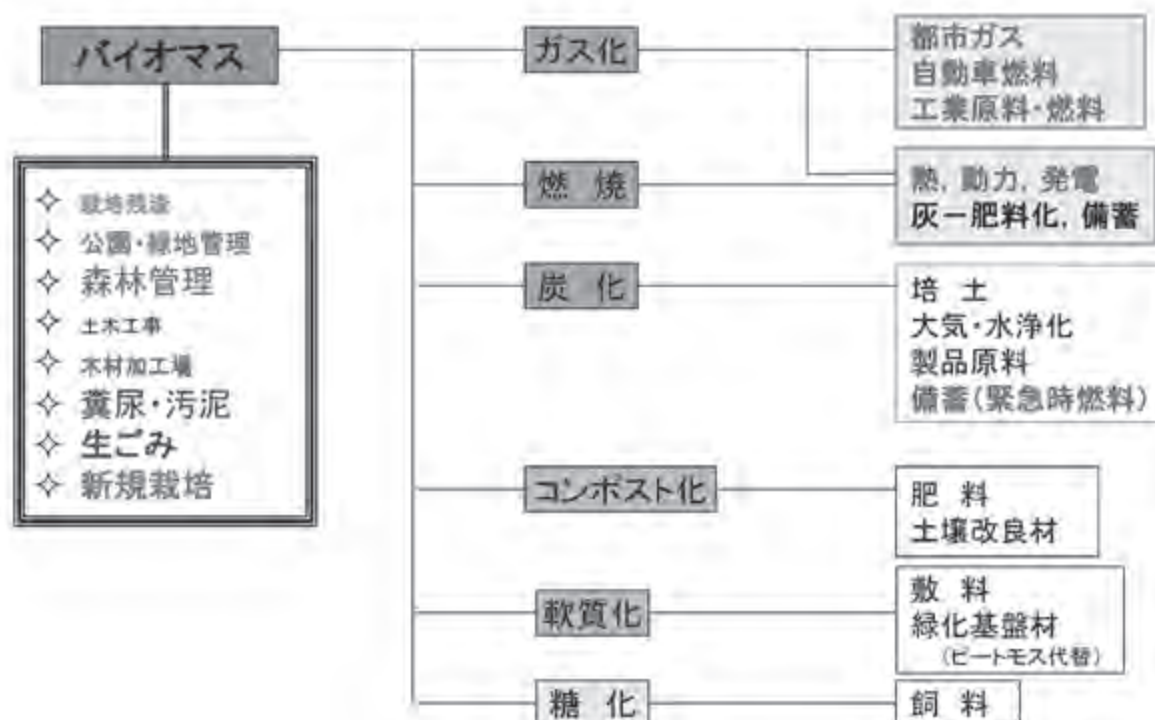
A2 人為的に合成された化合物でなければ我々の身近に存在する全ての有機物が対象となり、その中から地域や自治体において未利用となっている、或いは取扱いに困っているものが対象となります。

図－１は筆者が従前から対象としているバイオマス利用の構成です。

Q3 下水道、下水処理場にとってのメリットとデメリットは。

A3 メリットは、下水道の施設や設備が地域の保全や自らの自治体の経営支援に繋がることです。分かり易い例として、嫌気性消化槽に事業系の生ゴミを受入れ、消化ガス発電量を増やすとともに、消化汚泥の肥料としての地元還元を図る。あるいは、生物学的に比較的安定な草木の分解・堆肥化に際して下水汚泥を微生物資源として混合・作用させ、生物反応の促進を図る。下水処理場は立地の条件や有する設備機能、資源からみて地域の資源化基地と成り得るもので、他に類を見ない特性を有します。

デメリットは仕事が増えることです。人や組織、自治体によっては何ら苦もなく取り組める所もあるでしょう。しかし、どうしても対応できないという場合



図－１ バイオマスの利用

は、新たな体制として事業体を作ることです。これにはNPOでも社団や財団法人でも、あるいは株式会社でもOKです。

Q4 計画や検討に際しての要点は何でしょう。

A4 バイオマスを資源として捉え、その活用を検討する場合、まず最初に行うのは資源量の把握です。個々のバイオマスの発生量の推移を月単位で把握できればOKです。次に、各バイオマスの性状・特性というべきもので、この活用先、活用方法を探る。例えば、生ゴミや野菜クズ等は柔らかく水分も多いことからメタン発酵に向いています。一方、刈草は発生場所により道路の法面であれば生の状態で収集され、これもメタン発酵向きです。コンポストも可能でしょう。それが河川堤防の場合は風乾が可能であり、〔燃烧〕+〔エネルギー〕+〔灰〕の利用も考えられます。炭化と合わせたエネルギー利用もあるでしょう。いずれにしても地域の地勢や特性に応じて進められるものです。

Q5 事業化に際しての要点は何でしょう。

A5 事業化で最も重要なことは、①安定して進められることと②採算性が取れることです。②が満足されれば、おのずと①も満足できるでしょう。しかし、日本では（国外は分らない）事業に利益が出るとなると、資源（ここでは未利用バイオマス）の横流しや略奪が始まります。

これに対処していく手段は、未利用バイオマスの管理者（現時点の排出者）に、事業体の一員になって頂くことです。そして、そのようなことが出来る体制作りが重要と思われ、取り組んでいます。

Q6 採算性が取れるポイントは何でしょうか。

A6 A1でも述べましたように、バイオマスはエネルギー資源としての効果が大きいものです。このエネルギー価値に見合う設備投資を取れば、おのずと採算性が確保できるようになると思います。その要点は整備する設備が図-2に示すLCA≒LCCを満足していることにあります。



図-2 資源化設備導入の要点

（公益財団法人 日本下水道新技術機構 資源循環研究部 落 修 一）

ニュース・スポット

関係団体の動き

坂戸、鶴ヶ島下水道組合における 下水汚泥を用いた肥料販売会の取組 ～下水道のPRに向けて～

「再生と利用」編集委員会事務局
公益社団法人 日本下水道協会企画調査部企画課
課長 春田 大喜

ます。この取組は平成28年度から開始したもので、今年度は第2回目の取組として、平成29年8月25日（金）に、石井水処理センターの敷地内で販売会が開催されました。行列ができるほど非常に好評で、182人の市民の方に総計1,525袋（20kg/1袋）を完売するなど、盛況に行われたとのことから、「再生と利用」編集委員会事務局では、この取組の状況等に関し、組合職員から直接お話を聞きすることができましたので、その主な内容を紹介します。

キーワード：発酵有機性肥料

1. はじめに

埼玉県坂戸市と鶴ヶ島市の下水道を広域的に処理するため、昭和43年2月に一部事務組合として発足した坂戸、鶴ヶ島下水道組合（以下、「組合」という。）では、市民に広く下水道をPRしたいとの目的のもと、その一環として、下水汚泥を使って民間会社で生産された発酵有機性肥料を、市民に販売する取組をしています。

2. 取組の目的及び概要について

組合では、水処理センターから発生する下水汚泥（脱水処理後の汚泥）の一部について外部委託により肥料化をしています。以前、下水道の日に実施した施設見学会及び坂戸市で開催された環境展で、下水汚泥を肥料としてリサイクル（再資源化）していることを多くの市民にPRし、実際に使っていただきたいことから、委託先である民間会社の工場において、発酵有機性肥料として生産販売されている肥料（1kg/1袋）を試供品として無償で配布したところ、大変好評で



写真-1 販売会の様子（H29.8.25開催）



写真-2 販売されている発酵有機性肥料

※写真は、袋から取り出した状態

あったことから、市民を始め、農家や花づくりを進める環境団体などへ販売を展開したいとの考えが販売会のきっかけであったとお話をいただくことができました。販売会に際しては、事前に坂戸市と鶴ヶ島市それぞれの広報紙に掲載するとともに、組合のホームページでの案内を行い、当日は1人10袋までという条件のもとで行われたにもかかわらず、前述のとおり盛況な結果となりました。

3. 販売提供される肥料の生産工程及び利用用途等について

肥料を生産している民間会社の工場では、水処理センターから受け入れた下水汚泥と残渣を、約1か月間、切返し・発酵といった工程で自然発酵処理を施し、熟度の高い製品として、梱包・袋詰めした状態で提供されています。製品化した時点での水分はおおよそ27.5%になるそうです。実際に販売されている肥料の実物を見せていただきましたが、下水臭などの匂いはほとんどなく、こうしたことも好評であることの一因ではないかと改めて感じました。

一方、これら肥料を買われた市民への用途に関する調査はしていないとのことでしたが、販売会に来られた方々からの話では、家庭菜園や農地、花壇など比較的市民の身近なところで使われているようであるとのこと、さらにその評判も良かったとお話をお聞きすることもできました。

4. 販売会を開催していく中で、改善してきたこと等について

平成28年度に取組を始めた当初は、購入希望者がそれほど多くないとの想定もあり、いろいろと準備不足の面から、販売開始から市民が殺到するなど、混雑と混乱を生じる結果となったそうです。これは、代金の支払い等を行う「受付」と、商品を渡す「渡し場」が離れていたこともあり、初めて販売会場の水処理センターを訪れた市民への案内が足りなかったことが反省点となったことから、平成29年度は「受付」から商品を渡す「渡し場」までの販売経路に案内看板を設置するなどしたことで、混乱なく販売が出来たとの改善効果があったようです。



写真-3 発酵状況

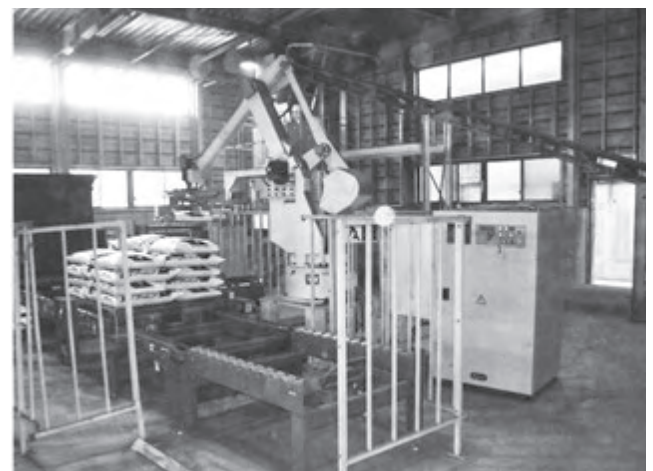


写真-4 梱包状況

5. 今後も販売会開催を継続していくために必要と考えられていること等について

組合が行う販売会に関しては、イベントのための人員が必要であるといった課題に加え、販売会に来られた方々からの声にもあったように、今後、土日も含めた休日の開催も検討していく必要があるとお話をいただきました。また、販売会場として水処理センター場内を使用しているため、販売会の実施は1日が限度であるとの考えでした。

一方、肥料の継続販売をするためには、県への「肥料販売申請」の届出協議を行うなどの手続きが販売会をする上で必要不可欠な事項であるとのことでした。

下水道は貴重な資源であり、循環型社会に貢献しているということを市民の皆様にも広く知っていただけるきっかけになるよう、今後も積極的に啓発活動に努めていきたいとお話をいただきました。

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

担当：公益社団法人 日本下水道協会 企画調査部企画課

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8階）

電話 03-6206-0679（直） FAX 03-6206-8529（直）

お知らせ

「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140頁
発行形態	年3回発行（創刊 昭和53年）
発行部数	2,280部
配布対象	地方自治体 関係官庁（国交省、農水省等） 研究機関 関連団体（下水道、農業等）

2 広告掲載料・広告寸法等

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

※ 表3は指定頁になります。原則として2回以上の継続掲載とします。

※ 広告掲載料は、消費税込みの金額です。

3 広告申込方法及び留意事項

- (1) 広告掲載は、本誌の内容に沿った広告に限り行います。
- (2) 広告掲載のお申込みは、掲載月の40日前（7月発行号に掲載希望の場合は、6月20日）までに別紙「広告掲載申込書」に広告原稿又は流用広告原稿の写しを添付して、次の5に表示の申込先宛にお申し込み下さい。
- (3) 原稿をデータで提出する場合は、データ制作環境（使用OS、アプリケーション、フォント等）を明記のうえ、出力見本を必ず添付して下さい。
- (4) 広告原稿の新規作成又は流用広告原稿の一部修正を依頼する場合は、別紙「広告掲載申込書」にレイアウト案、又は修正指示（流用広告原稿の写しに修正箇所等を明記）をそれぞれ添付して下さい。その際、書体、文字の大

きを指定する等、原稿作成又は修正に必要な事項を明記して下さい。

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

4 お支払方法等

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

なお、送金（振込）手数料は、貴社負担にてお願いします。

5 申込み先及び問合わせ先

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

広告業務委託先 (株)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

汚泥再資源化活動

第4回「再生と利用」編集委員会幹事会

日時 平成29年12月26日（火）15:30～17:45

場所 日本下水道協会 中会議室

出席者（敬称略） 森田、姫野、島田、重村、落、
及び事務局（春田、前田、遠藤）

議事概要

①事務局より

第3回「再生と利用」編集委員会幹事会（H29.10.3）の議事録内容について事務局から報告し、了承された。

②第145回編集委員会[メール審議]について事務局より報告し、了承された。

③第157号「再生と利用」編集内容について

- ・事務局から、編集内容について説明を行った。
- ・論説は、当初2編の掲載を予定していたが、その後調整等の結果、1編に変更する旨を説明。
- ・特集テーマは、偏らなよう下水熱・混合消化・ガス発電に分けて掲載予定である旨を説明。
- ・第3回幹事会では、記載のなかった黒部市の下水汚泥とコーヒー粕を用いた混合消化の取組については、11月のセミナー内容が良かったため、本号でも追加したいと考え追加した旨を説明。
- ・報告は、年間計画に従い各自治体委員にお願いした。追加で汚泥有効利用セミナーパネルディスカッション報告を追加する旨を、事務局より説明。
- ・研究紹介は、幹事会で報告したとおり3件を掲載予定。
- ・ニューススポットは、編集委員会事務局で現地取材した坂戸、鶴ヶ島下水道組合の下水汚泥肥料販売会の取組と、松山市の木質バイオマスによる発電所稼働について旬な話題を報告したいと考えている旨を説明。

④平成30年度計画について

事務局より資料-4, 5, 6について説明。

⑤第158号編集方針（案）について

- ・事務局から、資料7、8のとおり説明。
- ・同じような特集テーマが続くことは、避けたいと考えている旨を説明。
- ・バイオマスリサイクル率等を紹介する記事などはどうか？ どこかで記事にしてほしい。
- ・バイオマスリサイクル率の観点からだと、エネルギー利用と肥料利用の2つに分かれるのではないかな？
- ・建設資材の特殊テーマに対してどのようなことを書いてもらうのか？ 実態について執筆を願うなら稼働しているところにしかお願いできないのでは？
- ・下水汚泥のセメント利用の現状について下水道協会で執筆してはどうか？
- ・下水汚泥有効利用の統計データがあるのでそれを使っていったらよいのでは？
- ・テーマを建設資材だけではなく、多彩（多様）な再利用等を盛り込んでどうか？
- ・日本大学郡山工学部で浄化槽の排水で花壇等を製作している事例がある。
- ・尾崎先生の藻類の研究もある。
- ・名前のついている肥料の紹介の特集を組んではどうか？ 顔が見える。

⑥その他について（別紙資料-1, 2, 3）説明

- ・名刺について編集委員会委員専用の名刺を作成したため、必要な方は名刺を作成するので、事務局まで申し出てほしい。
- ・坂戸、鶴ヶ島下水道組合の「下水汚泥肥料」の取組について紹介（情報提供）

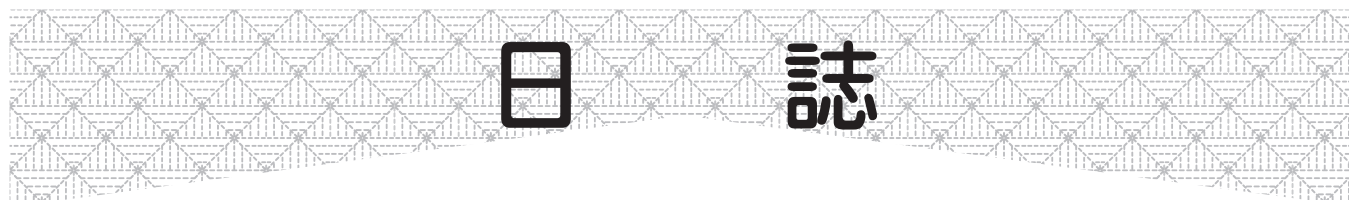
○「再生と利用」の今後について事務局より説明

<幹事からの主な意見>

- ・写真情報による事例紹介等については、好評であった。
- ・自治体等に対する配布部数が少ないため、情報が行き届いていない。
- ・新しい情報はすぐに載せるが、過去の事例についてのフォローがない。それらの情報が欲しい。写真や絵を掲載するのは良い。再生と利用の名

称は変えない方が良いと思う。

- ・双方実務者にとってヒントになるものとしては、大賛成。しかし、どのように表現するかが非常に難しい。掲載内容を簡単にすることに対して賛成である。
- ・ビストロ下水道の料理レシピを掲載する等の興味を引く掲載もよいのでは？
- ・本の名称は変えない方が良いと思う。
- ・見やすくする写真、絵とかのアイデアは良いと思う。
- ・再生と利用は、汚泥だけでなくモノから人からすべてが再生と利用であるので、今の名称で良いと思う。
- ・汚泥有効利用に関しては、自分たちの興味外の方が大半なのではないのかと思う。しかしながら、有効利用に携わっている人は必ず見ているはずである。
- ・利用者の声をもっともっと聞いて写真を入れて記載したらどうか？
- ・下水道協会誌で、有効利用を促進するため「再生と利用」を広告紹介したらどうか？
- ・下水道界が取り組むべき大きな課題である。



平成 29 年 12 月 26 日
平成 30 年 2 月 21 日

第 4 回「再生と利用」編集委員幹事会
第 146 回「再生と利用」編集委員会

本会中会議室
本会中会議室

次号予告

(題名は執筆依頼の標題ですので
変更が生じることもあります)

論 説：「下水汚泥からの資源回収について」
「下水からレア金属資源回収の最新情報」
特 集：「グリーン購入法の現状と今後」
「下水汚泥焼却灰を用いたアスファルト
フィラーの国道への適用」
「溶融スラグを用いたセラミックブロック
への有効利用の現状」
「下水汚泥広域処理業の取組み」
「バイオマス産業都市構想の取組み」
「下水汚泥を利用したリサイクル製品紹介」
など

報 告：「愛知県豊橋浄化センターバイオガス発電
の経過報告」について
研究紹介：「下水汚泥焼却灰のアルカリ刺激による溶
解と固化」
「改良型下水汚泥炭化材の吸着剤や土壌改
良剤への応用」
「都市ごみ焼却施設とし尿処理施設の連携
可能性とその地域性」
そ の 他：会報、行事報告、関係団体の動き

編集後記

昨年4月より本誌の編集担当となり、早1年が経ちました。本誌の発行につきましては、昨年度よりこれまでの年4回から3回へと発行回数を減らし、その分、より内容の充実に力点を置いた編集に努めていく方針で進めてきましたが、未だ道半ばのところもあり、今後一層の取組を推進していきたいと考えているところです。本号を含め、今年度は多様な情報をお届けするため、これまでも増して多くの記事を掲載してきました。次年度以降もこうした方針は継続しつつ、読者の皆様方にとって“役立つ情報誌”の具現化に向け、一層の改善を進めていきたいと考えています。

さて、本号巻頭の口絵では、昨年11月16日～17日の2日間、金沢市で開催された第30回下水汚泥の有効利用に関するセミナーの様態を掲載しています。当セミナーでは約110名の参加者のもと、下水汚泥を始めとするバイオマスのエネルギー利用に関する取組紹介やパネルディスカッションが盛況に行われました。また、本号の特集テーマである下水熱とエネルギー利用に関しては、前述のセミナーで講演された内容に係る記事も可能な限り掲載するとともに、各地方公共団体で

の取組に加え、民間会社側からの執筆記事についてもいくつか掲載していますので、様々な角度からの情報についてごいただき、今後の実務等の参考としていただければ幸いです。

また、今年度、下水道界では下水道資源に係る新たな動きもありました。平成26年7月に策定された「新下水道ビジョン」の実現加速のため、選択と集中により国が今後5年程度で実施する8つの重点項目とその基本的な施策をとりまとめた「新下水道ビジョン加速戦略」が昨年8月に公表されました。この8つの重点項目の一つとして、「下水道の活用による付加価値向上」が掲げられており、その中で、資源・エネルギー利用の一層の促進が示されています。このように、平成27年の改正下水道法の内容を始め、下水道資源の有効利用に関する制度等における環境整備が急速に進んでいる状況を鑑み、今後とも本誌の役割を踏まえた情報発信を進めていきたいと考えています。

最後になりますが、今後とも、本誌をご愛読いただいている皆様への更なる満足度向上に向け、編集内容の充実に努めてまいりますので、よろしくお願いします。（TH）

「再生と利用」編集委員会委員名簿

		(順不同・敬称略) (30.2.10現在)
委員長	日本大学生産工学部土木工学科教授	森田弘昭
委員	長岡技術科学大学准教授	姫野修司
〃	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	土屋美樹
〃	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	重村浩之
〃	地方共同法人日本下水道事業団技術戦略部 資源エネルギー技術課	島田正夫
〃	(公財)日本下水道新技術機構資源循環研究部副部長	落修一彦
〃	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環境グループ長	西田瑞彦
〃	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 農業環境変動研究センター有害化学物質研究領域 無機化学物質ユニット上級研究員	杉山恵
〃	(一財)日本土壌協会 常務理事	日高伸生
〃	札幌市下水道河川局事業推進部 豊平川水処理センター管理係長	田中暁
〃	山形市上下水道部浄化センター副所長(水質担当)兼水質係長	工藤守治
〃	東京都下水道局計画調整部 技術開発課統括課長代理(技術開発担当)	並木圭
〃	横浜市環境創造局下水道施設部 北部下水道センター 担当課長(資源化担当)	西島寛朗
〃	名古屋市上下水道局技術本部計画部技術開発室 主査(技術開発担当)	柳原邦宏
〃	大阪市建設局下水道河川部水環境課担当係長	鈴木隆裕
〃	広島市下水道局管理部管理課水質管理担当課長	花尾司
〃	福岡市道路下水道局下水道施設部施設管理課長	佐藤浩

「再生と利用」

Vol. 42 No. 157 (2018)

平成30年3月31日 発行
(平成29年第3)

発行所 公益社団法人 日本下水道協会

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

書籍案内

「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。

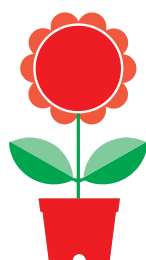
そこで、肥料利用、建設資材利用、エネルギー利用の 3 分野の技術を統合し、会員等の地域ニーズに適合した総合的な活用手法等を提供するため、最新の動向及び技術を盛り込んであります。

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判断チェックシート

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