

再生と利用

2013 Vol. 37

No. 139

主要目次

- 口絵** 北海道鹿追町 鹿追町環境保全センターバイオガスプラントの取組み
新潟県胎内市 下水汚泥の活性炭化と有効利用
- 巻頭言** 下水道事業着手60年、再生可能エネルギー取組み元年
林 剛久
- 論説** 余剰脱水汚泥等の乾式アンモニア・メタン二段発酵による減量化及びエネルギー回収
西尾 尚道

特集 第25回下水汚泥の有効利用に関するセミナー特集

- 解説** 広島市の下水汚泥燃料化事業について平田 茂
下水汚泥資源利用の動向と今後の施策について
.....白崎 亮/西迫 里恵
- 研究紹介** 下水汚泥有効利用の課題と日本下水道事業団における取組み
.....島田 正夫
下水汚泥および有機性廃棄物の有効利用に関する土木研究所リサイクルチームの研究展開日高 平
エネルギー消費に関するベンチマーク指標とエネルギー回収技術について石田 貴
廃石膏を用いた消化汚泥脱水ろ液からのリン回収日浦 盛夫
- Q&A** 下水処理場の電力事情について花輪 知弘
- 現場からの声** 空見スラッジリサイクルセンター（仮称）について
.....北折 康則
- 文献紹介** 下水汚泥の施用は土壌のメタン酸化速度を減じない
.....川崎 晃
バイオガス発生量増大に向けた下水汚泥と最初沈澱池発生スカムの混合消化三宅十四日
- 講座** 下水汚泥堆肥の緑農地利用のこれから田村有希博
- 特別報告** 大阪市における下水汚泥熔融スラグの有効利用の取組みについて
.....西奥 友次
- 投稿報告** 下水汚泥の低温炭化燃料化システムの紹介加藤 良介
バリアフィルムによる汚泥の無臭燃料化技術
.....守屋 由介/野入 菜摘
- コラム** 地域紛争と資源循環利用計画増島 博
- 報告** 第25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：広島市
- 資料** おしらせ（投稿のご案内、広告掲載依頼）、汚泥再資源化活動、日誌・次号予告・編集委員会委員名簿、編集後記

北海道鹿追町

鹿追町環境保全センター バイオガスプラントの取組み

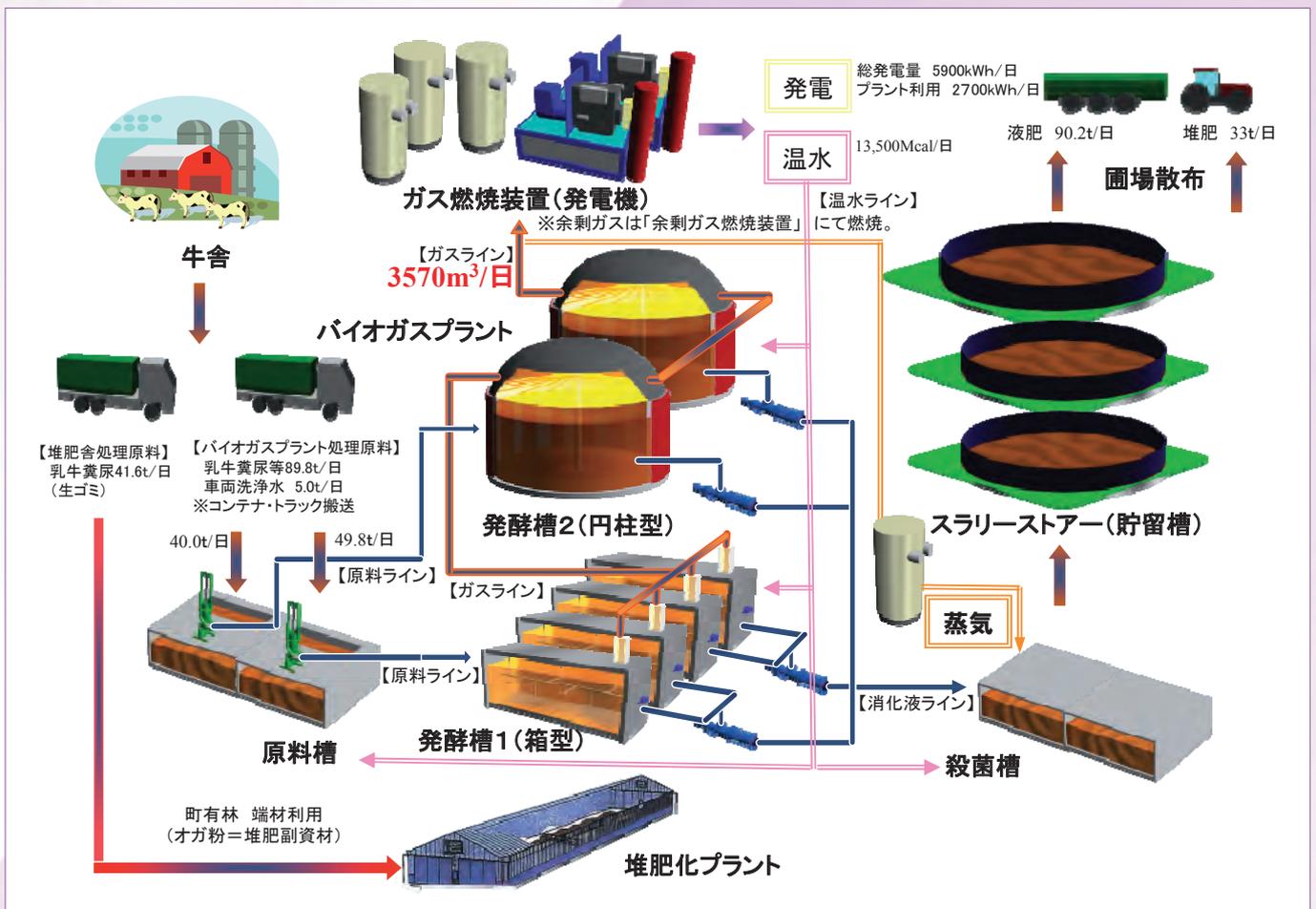
鹿追町は、基幹産業である農業から発生する家畜排せつ物や市街地から発生する生ゴミや下水汚泥等の廃棄物を有効なバイオマス資源として活用するため、平成19年10月に集中型バイオガスプラントを核とする鹿追町環境保全センターを整備しました。バイオガスプラントでは、乳牛ふん尿を94.8t/日と成牛換算で1320頭分に相当する量を処理することができます。メタン発酵過程で発生するバイオガスは年間130万m³生産され、発電の燃料として年間220万kWhの電力を生産しています。また、バイオガス精製装置により精製したガスを活用し、自動車やハウス暖房用燃料、公共施設のガス器具燃料としても利用しています。メタン発酵後の消化液は、有効な有機質肥料として、800haの農地に還元されており、循環型農業の推進が図られています。



また、バイオガス精製装置により精製したガスを活用し、自動車やハウス暖房用燃料、公共施設のガス器具燃料としても利用しています。メタン発酵後の消化液は、有効な有機質肥料として、800haの農地に還元されており、循環型農業の推進が図られています。

本町には、約1万9千頭の乳牛が飼養されており、これらの家畜排せつ物を原料とする2基目の集中型バイオガスプラントの建設を計画しております。

鹿追町は、豊富に存在する家畜排せつ物等のバイオマス資源の活用を図り、基幹産業である農業の生産性向上はもとより市街地住民に快適な環境を提供し、本町が目指す、「生きて(経済の発展)生きる(福祉の増進)」まちづくりを推進していきます。



鹿追町環境保全センター システムフロー図

新潟県胎内市

下水汚泥の活性炭化と有効利用

胎内市では、公共下水道ならびに農業集落排水から発生する汚泥を集約して炭化处理をおこない、減容化・安定化・資源化などに役立てています。

汚泥は脱水処理された後に、汚泥活性炭化プラントにて乾燥・熱分解・炭化・賦活（高温で水蒸気と反応させ微細孔構造を発達させ吸着能力を大きくすること）させ、活性炭化製品を製造しています。炭化することにより脱水汚泥と比較しておよそ1/20に減容化することができ、活性炭化製品は脱臭剤や脱色剤、ダイオキシン類吸着剤などとして污水处理施設やごみ焼却施設で利活用できます。

設備の特徴は、脱水汚泥を熱効率の高い解砕機で乾燥する乾燥設備と、乾燥した汚泥を低酸素状況下で熱分解させることによって炭化製品を造る炭化設備にあります。乾燥設備は平均含水率約75%の脱水汚泥を粉碎しながら乾燥用の熱風と接触させ、瞬時に汚泥を含水率20%以下まで乾燥します。炭化設備は乾燥設備より送られた乾燥汚泥を外熱スクリー式炭化炉の中で900～950℃で間接的に熱を加え、再乾燥→炭化→賦活の工程を経て活性炭化製品となります。また、乾燥設備で使用する熱風用の熱源は炭化炉からの排ガス熱を熱交換機で回収し、再び乾燥設備に送り込むシステムや、乾燥設備や炭化工程で発生したガスは炭化炉での燃焼用ガスとして利用されており、汚泥から発生するエネルギーを利用する省エネタイプの設備となっています。

胎内市は、平成23年3月に策定した胎内市環境基本計画のもと『未来へ繋ぐこの奇跡—よどみない美しい環境を守りともに育てていくまち「胎内」』をスローガンに、これからも自然環境・生活環境・社会環境・地球環境に貢献する街づくりに取り組んでいきます。



汚泥炭化棟



炭化炉

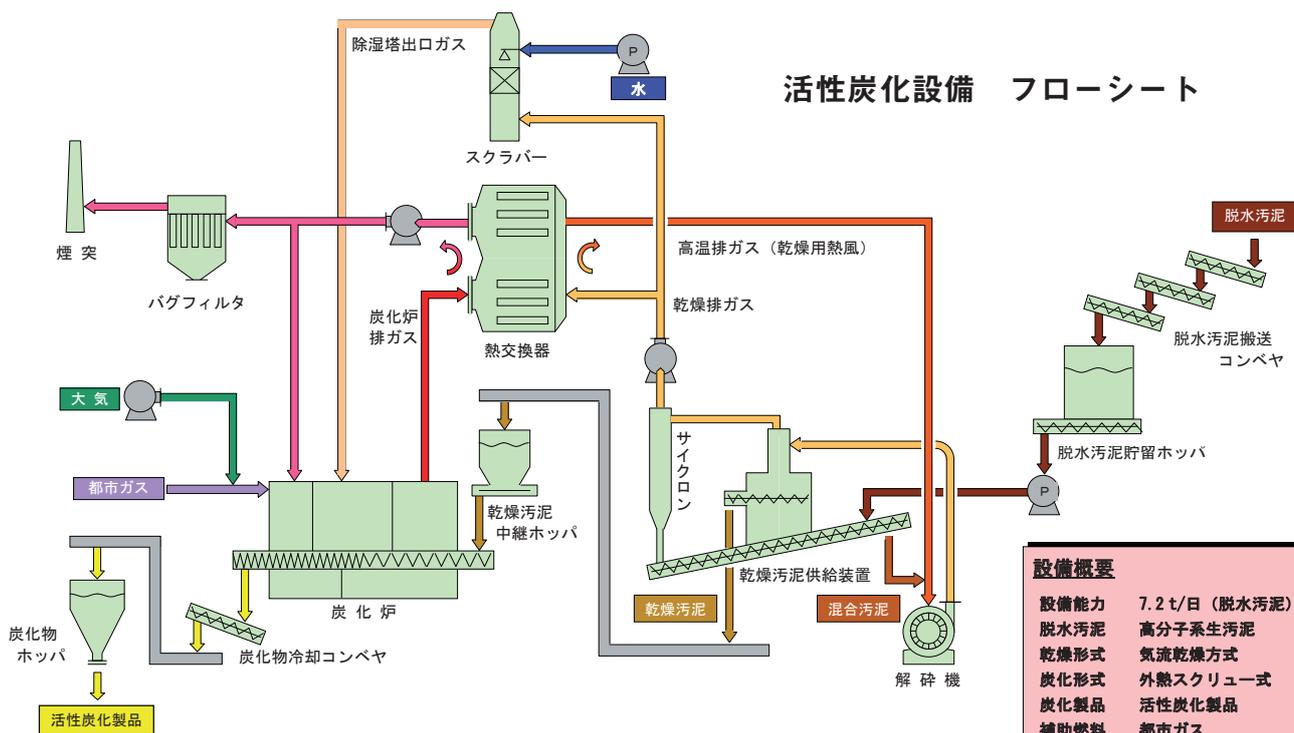


乾燥汚泥



炭化製品

活性炭化設備 フローシート



口絵

北海道鹿追町 鹿追町環境保全センターバイオガスプラントの取組み
新潟県胎内市 下水汚泥の活性炭化と有効利用

巻頭言

下水道事業着手60年、再生可能エネルギー取組み元年 ……………林 剛久……(5)

論説

余剰脱水汚泥等の乾式アンモニア・メタン二段発酵による減量化及びエネルギー回収
……………西尾 尚道……(6)

特集 第25回下水汚泥の有効利用に関するセミナー特集

解説

広島市の下水汚泥燃料化事業について ……………平田 茂……(16)
下水汚泥資源利用の動向と今後の施策について ……………白崎 亮／西畑 里恵……(24)

研究紹介

下水汚泥有効利用の課題と日本下水道事業団における取組み ……………島田 正夫……(34)
下水汚泥および有機性廃棄物の有効利用に関する土木研究所リサイクルチームの研究展開
……………日高 平……(43)
エネルギー消費に関するベンチマーク指標とエネルギー回収技術について ……石田 貴……(52)
廃石膏を用いた消化汚泥脱水ろ液からのリン回収 ……………日浦 盛夫……(61)

Q & A

下水処理場の電力事情について ……………花輪 知弘……(70)

現場からの声

空見スラッジリサイクルセンター（仮称）について ……………北折 康則……(72)

文献紹介	下水汚泥の施用は土壌のメタン酸化速度を減じない ……………川崎 晃……(75)
	バイオガス発生量増大に向けた下水汚泥と最初沈澱池発生スカムの混合消化 ……………三宅十四日……(76)
講座	下水汚泥堆肥の緑農地利用のこれから ……………田村有希博……(77)
特別報告	大阪市における下水汚泥溶融スラグの有効利用の取組みについて ……………西奥 友次……(79)
投稿報告	下水汚泥の低温炭化燃料化システムの紹介 ……………加藤 良介……(83)
	バリアフィルムによる汚泥の無臭燃料化技術 ……………守屋 由介／野入 菜摘……(87)
コラム	地域紛争と資源循環利用計画 ……………増島 博……(93)
報告	第25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：広島市……(94)
資料	おしらせ（投稿のご案内、広告掲載依頼） ……………(105)
	汚泥再資源化活動 ……………(109)
	日誌・次号予告・編集委員会委員名簿 ……………(110)
	編集後記 ……………(112)

※本文中の表題で記載した執筆者の所属団体・役職は、執筆当時のものです。

巻	頭	言
---	---	---

下水道事業着手60年、 再生可能エネルギー取組み元年



下水道キャラクター
「水玉ぼうし」

新潟市下水道部長

林 剛 久



平成24年度は新潟市の下水道事業の着手から60年にあたりました。昭和27年当時の新潟市は、市街地中心部を縦横に流れる堀と柳、その堀に姿を映す古町芸妓（200年の伝統を誇り京都祇園と並び称されてきた）が行き交う風情がまだ色濃く残っていました。堀の名は、現在も地名や道路の名前として西堀、東堀、新堀、一番堀など多数残っています。しかし人口増加や堀の勾配が緩慢なため汚水が停滞し衛生上の問題が生じたことから堀は埋め立てられ、その代替えとして下水管が布設されました。その後昭和39年の新潟国体に合わせて供用した船見下水処理場が、供用1ヶ月後に発生した新潟地震で壊滅的な打撃を受け、復旧には3年費やしました。

平成3年からは全国平均よりも低い下水道普及率（33%、全国45%）を年3%アップで取り組んできました。平成10年には全国平均に追いつき、その後平成17年には市町村合併、平成19年の本州日本海側初の政令指定都市移行を経て、平成24年度末で80%に達しました。今後は短期間の投資による資本費増大が経営の大きな課題です。

新潟市では、安心安全の土台を強化することが市政の大きな柱の一つになっています。浸水対策については、平成10年の時間97mmの降雨を最高に近年集中豪雨が多発しており、市街地中心部は海拔0m以下で、自然排水ができない地形であることから、雨水施設整備を精力的に進めるとともに、低地などでの局所対策も行っています。信濃川の河口に位置する新潟市にとって地震・津波対策も進める必要があり、さらに老朽化する施設の増加に対応するために下水道施設の機能確保も大きな課題となっています。また、地味な下水道をPRするために若手のプロジェクトチームを（女性をリーダーに）立ち上げ、下水道キャラクターの「水玉ぼうし」とともに多面的な取り組みを行っています。

再生可能エネルギーについては、新潟県内初の消化ガス発電が今年1月に稼働したことで、平成24年度を「再生可能エネルギーの取組み元年」と位置づけ、様々な取り組みを始めています。下水汚泥と刈草との混合消化でガス発生量を増量させる実証実験、太陽光発電の他、下水熱の活用も検討しています。

今回、消化ガス発電設備を導入した中部下水処理場は、汚泥焼却施設（30t/日）を有していますが、この施設は平成8年の稼働で老朽化が著しく、またN₂O（一酸化二窒素）の削減のため高温焼却（850℃以上）が求められていましたが、老朽化対策と高温焼却を行うための費用が多額であり、その対応として焼却施設を休止することが、消化ガス発電設備導入のきっかけの一つです。消化ガスを主な燃料としていた焼却施設の休止に伴い、余った多量の消化ガスを有効利用することと併せてCO₂の削減に繋がる消化ガス発電設備の導入を決定しました。

このたびの消化ガス発電設備は、最大出力560kWを発電することで現在の処理場の電気使用量の約4割を賄え、地球温暖化対策と共に維持管理コストの削減を図ることが可能となります。また、昨年から下水汚泥と刈草などの未利用バイオマスを混合して消化ガス量の増量を図るため長岡技術科学大学と共同で実証実験を行っています。刈草は公園や道路、河川堤防法面などから発生しますが、処分に費用がかかっており、処分費の縮減にも繋がることから早期の実用化を目指しています。今後は、災害時における下水処理施設や照明施設などで必要となる電力確保や使用電力規制の対策として、更なる再生可能エネルギーの利用促進が課題となっており、太陽光発電、小水力発電、下水熱利用などの再生可能エネルギー導入について検討を行い処理場の電力自給率を高めていきたいと考えています。

最後に、下水熱による融雪の実証実験です。下水管から直接、メンテナンスフリーのヒートパイプで熱を取り出し、歩道下に埋設して融雪を行うものです。今回はバス停付近の歩道での実験を行い十分な効果が確認されましたので、今後は施工箇所を拡大し引き続き実証実験を継続していく予定です。

論 説

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

広島大学大学院 先端物質科学研究科 特任教授 西尾尚道

キーワード：アンモニア・メタン二段発酵、乾式メタン発酵、エネルギー回収、アンモニア、鶏糞

1. はじめに

産業排水ならびに一般排水（下水）を好氣的に生物処理することにより生成する余剰汚泥処理が問題となっている。日本全体では毎年乾物基準で230万トン（7,724万トン（含水率97%））も発生しており、焼却・埋め立て、セメント、コンポスト化、湿式メタン発酵処理がなされている。しかし、焼却による処理は、ダイオキシン等有害物質発生の可能性がある事、埋立地の確保も年々困難になっている事、また、近年、コンポストは全国的にほぼ需要を満たしつつあり、今後も日々排出される全国の汚泥をコンポスト処理することは非現実的です。湿式メタン発酵処理では、減量化と共にメタンエネルギーが回収されるが、濃縮汚泥を用いるため、大容量となる上に汚泥の沈降性が激減する。したがって、汚泥排出企業はもとより下水処理の担い手である行政機関にとっては汚泥排出の減容化とゼロエミッションは大きな課題になっている。

このような背景のもと、広島県産学官協同研究プロジェクト「有機性排水・余剰汚泥の高効率嫌気性処理システムの開発」（平成14年11月～18年3月）¹⁾で、余剰脱水汚泥の乾式メタン発酵技術の開発を行った。プロジェクト期間中に、1) 持続的なメタン生成にはアンモニア濃度の制御が必須であること、2) アンモニア生成はメタン発酵に先立って起こること、そして、3) アンモニアを生成させた後、汚泥よりアンモ

ニアを除去することにより持続的なメタン発酵が可能であることをラボスケールにて明らかにした。さらに、4) 100kg/日の汚泥処理量を持つベンチスケールシステムを製作・運転し、良好な結果を得た。その概要を以下に述べる。また、乾式アンモニア発酵の意義および将来展望を述べたい²⁾。さらに、この乾式アンモニア・メタン二段発酵は産卵鶏糞の処理にも極めて有効であり、世界初の鶏糞単独の乾式メタン発酵についても若干紹介したい³⁻⁵⁾。

2. 乾式嫌気消化プロセスの開発

2.1 使用汚泥の性状

種汚泥として広島市大州下水処理場嫌気消化脱水汚泥（以下大州汚泥）、処理用脱水汚泥として廿日市市宮島町排水浄化センター余剰脱水汚泥（以下宮島汚泥）を用いた。各汚泥の性状を表1に示す。余剰脱水

表1 使用汚泥性状

測定項目	種汚泥	余剰脱水汚泥
	大州汚泥	宮島汚泥
pH	7.5	5.4
NH ₃ (mg-N/kg-ww*)	630	1300
全窒素(mg-N/kg-ww*)	6400	13000
水分含量(%)	80	85
有機炭素含量(%-TS)	27	57
有機物量(%-TS)	56	87

*wet weight

汚泥は全窒素の値が非常に高い。また、湿式メタン発酵処理により炭素含量が半減しているのが分かる。これを乾式メタン発酵で達成するのが目的である。

2.2 半連続乾式メタン発酵試験

種汚泥：宮島汚泥の混合比率を3：1とし、55℃で15日間の乾式メタン発酵をバイアル中で行った。その後、混合汚泥を1/4引き抜くとともに新鮮な宮島汚泥を同量添加し、15日間の培養を行った。

本手順を3回繰り返した結果を図1に示す。メタン生成は、1回目では全湿重量あたり600 mmol/kg-wet weight（以下kg-wwと表示）であったが、2、3回目と低下し、4回目で完全に停止した。有機酸並びにアンモニア蓄積量は、培養日数が進むとアンモニアの蓄積が、メタン生成が止まると有機酸の著量な蓄積が認められた。

アンモニアは1,800 mg-N/kg-wwでメタン生成が50%阻害された。図1におけるアンモニア及び有機酸の蓄積の推移では、有機酸の蓄積がアンモニアの蓄積よりも遅れており、アンモニアの蓄積がメタン生成を阻害することで有機酸の蓄積が引き起こすと考えた。この事は、生成アンモニアを汚泥中からあらかじめ除去すれば、有機酸も蓄積せずにメタン発酵が継続的に進

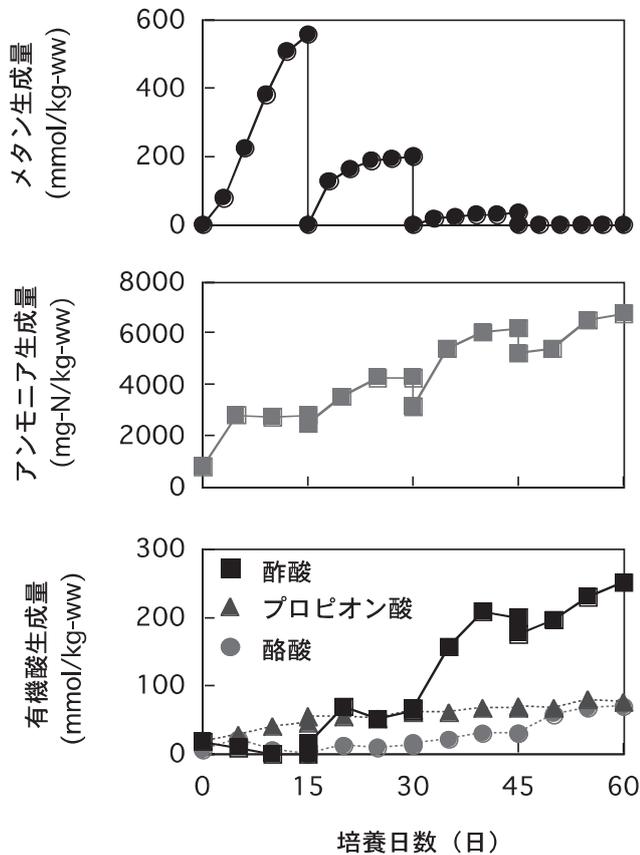


図1 半連続メタン発酵実験

行することを示唆している。

2.3 汚泥混合比率の検討

リアクター容積当たりの処理速度を向上させるには、種汚泥を少なく処理汚泥を多くする必要がある。そこで種汚泥：宮島汚泥の混合比を変えて、バイアルに調製後、55℃でメタン発酵を行った。その結果、1) 混合比に関わらず、アンモニア生成は培養初期に起き、アンモニア遊離量は6,000～8,000 mg-N/kg-wwに及び、全窒素の60%以上がアンモニアに変換される。2) メタン生成は処理汚泥比が0.3以下の時に認められ、この領域での培地中アンモニア濃度は3,000 mg-N/kg-ww以下であった。3) メタン生成があると総酢酸生成は進むが、メタン生成がないと200 mmol前後で頭打ちとなる。これらのことは、汚泥の乾式メタン発酵ではアンモニア生成がまず培養初期に起こり、その後に酸発酵とメタン発酵が同時並行で進行することを示している。

この「アンモニア生成は培養初期（約5日）に起こる」という事実に着目し、まず汚泥からのアンモニア生成を短期間行った後に脱アンモニア処理を行い、その汚泥を使用することによりアンモニアによる阻害

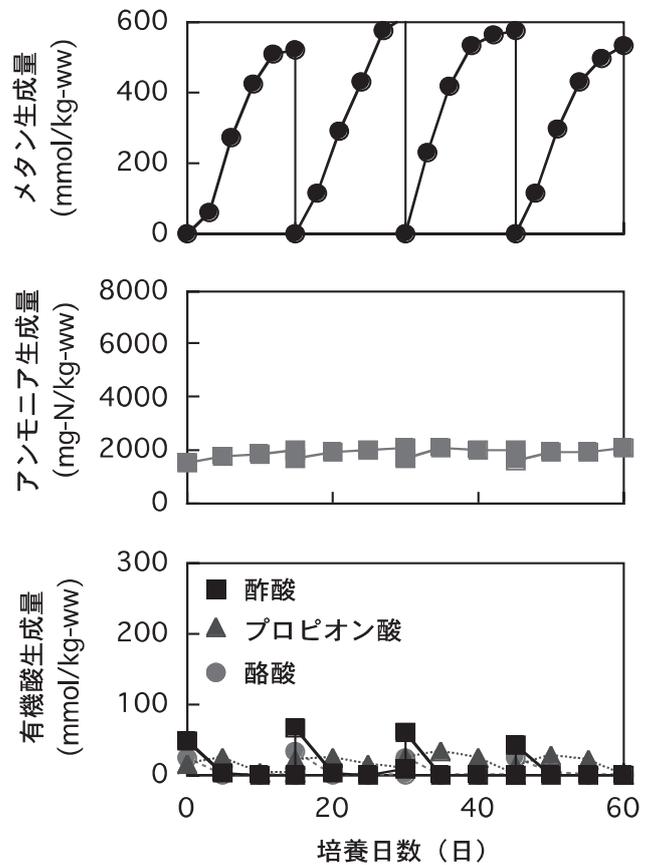


図2 脱アンモニア宮島汚泥を使用した半連続式メタン発酵

を回避し、持続的なメタン発酵が可能になるのではと、考えるに至った。

2.4 脱アンモニア汚泥を用いた半連続メタン発酵

種汚泥：宮島汚泥の混合比率を1：4、初発pH 7に調整した汚泥を55℃で6日間培養し、アンモニア生成を行った。生じたアンモニアを80℃、pH 9の条件下でガスとして放散させて回収し、脱アンモニア汚泥を調整した。調製した脱アンモニア汚泥を使用して、2.2で行ったのと同様の乾式メタン発酵を行い、メタン生成、アンモニア蓄積量、有機酸蓄積量を測定した(図2)。

この実験で、脱アンモニア汚泥を使用して乾式メタン発酵を連続的に行っても、メタン生成は停止せず、アンモニアの蓄積も起こらず、有機酸も速やかにメタンに変換されて蓄積しないという結果が得られた。

2.5 脱水余剰汚泥を用いた乾式アンモニア発酵の最適化

アンモニア発酵を最適化するために、バイアルレベルでSRT(処理汚泥の滞留時間=処理時間)の検討を行った。大州汚泥：宮島汚泥を1：1の比率で混合し、55℃で培養を行い、10日後に全汚泥を半量引き抜き、宮島汚泥を半量添加し、SRTを1.33日、2日、6日、10日に設定し、SRTの半日で全汚泥の半量を引き抜き、宮島汚泥を半量添加(pH 7~8に調整)の繰り返しを行った。その結果を図3、図4に示す。

その結果、1) SRT 1.33日でもアンモニア生成菌の流出は起こらず、連続的にアンモニアが生成された、2) 汚泥TNに対するアンモニア変換率はどの負荷でも約60%と一定であった、3) アンモニア生成量はSRT負荷を下げても、ほぼ8000mg-N/kg-wwと一定であった。

1~2日程度の短期間で汚泥からアンモニアを遊離できることから、前段のアンモニア発酵は十分実用的であろう。ただし、負荷にかかわらずアンモニア生成が8,000mg-N/kg-wwが上限になっているため、宮島汚泥の特性、生物的な分解の限界、アンモニアによるアンモニア発酵菌のタンパク分解阻害等を検討する必要があると思われる。

次に、中温菌が優占している東部汚泥(太田川流域下水道東部浄化センター)を種汚泥として使用し、培養温度を55℃に設定してアンモニア発酵を行ったが、高温菌が優占している大州汚泥と比較しても発酵速度、宮島汚泥のアンモニア変換率はほぼ同じであった。この事は、アンモニア発酵は種汚泥として特別な要求はなく、どの消化汚泥でも利用できる事を示している。

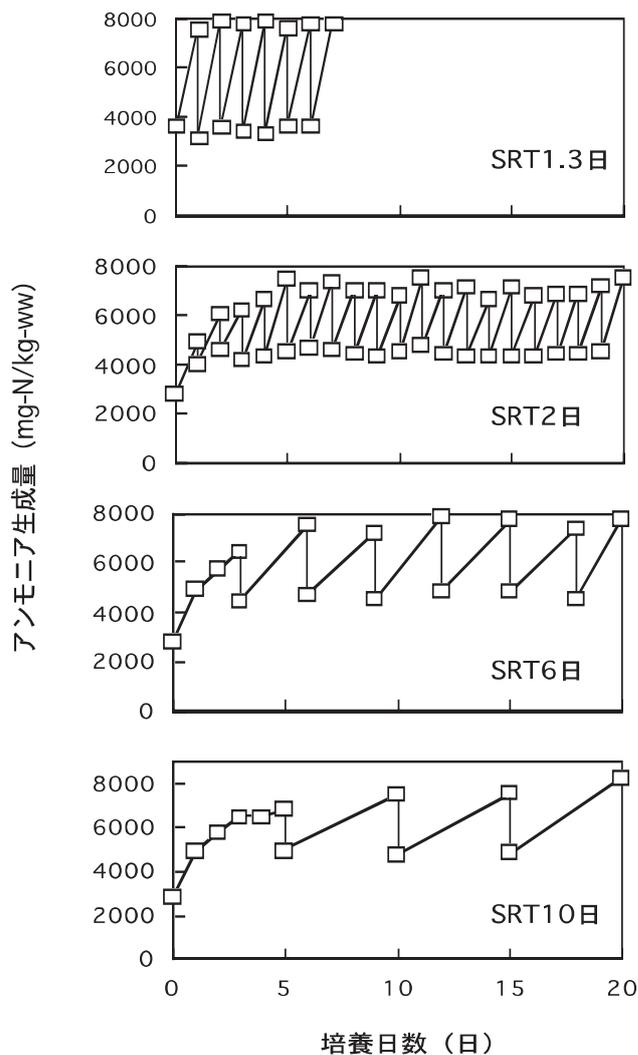


図3 宮島汚泥の連続アンモニア発酵

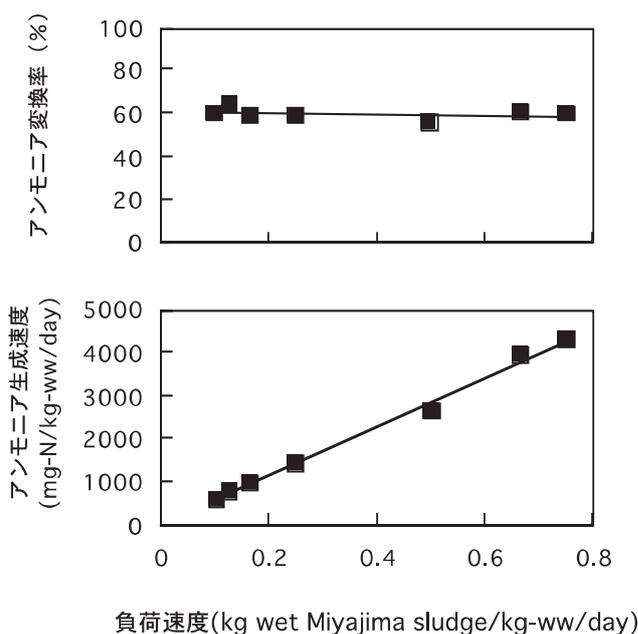


図4 負荷速度とアンモニア生成速度・変換率

次に、低水分含量におけるアンモニア発酵の温度特性を調べるために、種汚泥として大州汚泥を使用し、宮島汚泥のTSを5~15%、温度を35、45、55、65℃に設定して10日間培養を行った。その結果を図5に示す。TSが5%では45℃以上が、TSが10、15%では55℃がアンモニア発酵の最適条件であった。またTS 5%を超えると65℃ではアンモニア発酵が停止することも分かった。

きなかつた発酵日数2日でアンモニア転換率が64%に及び、所期の技術目標が達成された。

脱アンモニアは図7に示すアンモニアストリッピングとした。乾式条件でのストリッピング法はコスト

2.6 乾式アンモニア発酵ベンチリアクター及び脱アンモニア汚泥調製装置の開発

脱アンモニア汚泥を用いるとSRT 20日で長期にわたる乾式メタン発酵が可能となったが、その日量はわずか250gであった。本研究は日量100~150kgの汚泥処理装置の稼働を目標としており、ラボレベルからのスケールアップ量は400~500倍にもなるので、装置開発は2段階に分けて行った。装置に必要とされる機能には、①脱水汚泥の仕込み→②乾式アンモニア発酵→③脱アンモニア操作→④乾式メタン発酵→⑤残渣排出などが上げられるが、乾式メタン発酵に供する原料の安定供給の確立が先決であり、上記①~③の機能を最大150kg/batchスケールで処理する前段装置製作を第一段として手掛けた(図6)。

まず、乾式アンモニア発酵に関しては、約500kgの脱水汚泥(宮島汚泥)の75kg~100kg量を6回に分けて継続的な仕込みを行った。初回は種汚泥として大州汚泥を等量混じたが、2回目以降はアンモニア発酵汚泥を種汚泥として約3割を混じて仕込みを行った。仕込み作業が継続されている時は、ラボ実験では検証で

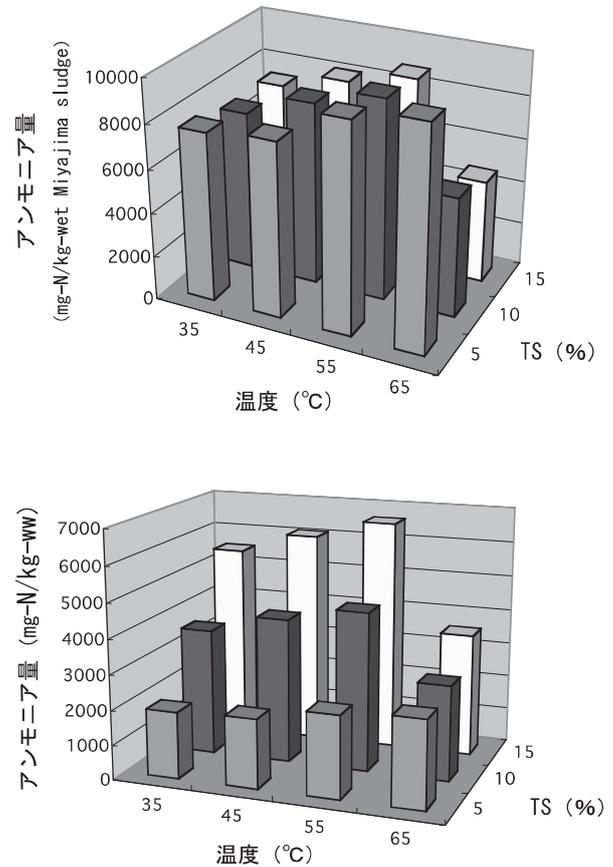


図5 脱水汚泥の乾式アンモニア発酵

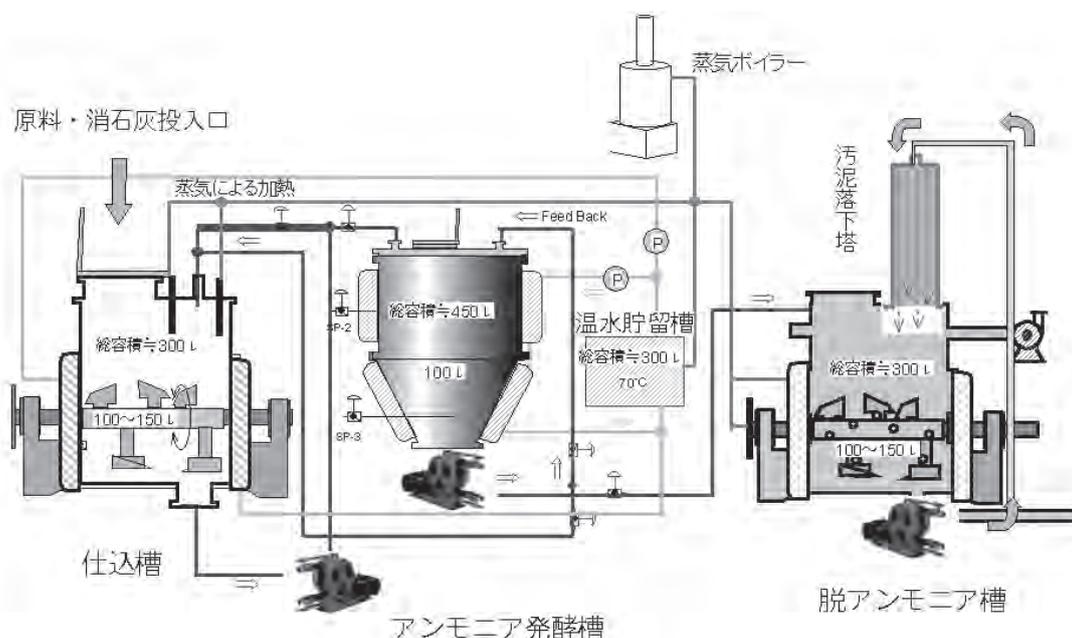


図6 アンモニア発酵ベンチリアクター及び脱アンモニア槽の構成

面での改善点はあるが、消石灰添加でpH11前後とし、蒸気吹き込みで90℃とし、アンモニウムイオンをアンモニアガスとして回収し、塩酸に溶解させた。

脱アンモニア汚泥の調製特性は、90kg負荷操作では2,500 ppmのNH₄⁺を含む汚泥は2時間で目標値とした1,000 ppm以下となったが、150kg負荷の場合は4時間を経過しても1,000 ppmには到達せず、図6中に示した汚泥落下塔の付加により目標の150kg以上の脱アンモニア汚泥の連日調製が可能となった。

2.7 連続乾式嫌気消化プロセスの提案

これまでの検討の結果、乾式メタン発酵阻害の主要な原因は、培養初期に生成する高濃度のアンモニアによるものであることがわかった。アンモニア生成の大部分は数日以内で終わることから、図8のような、前

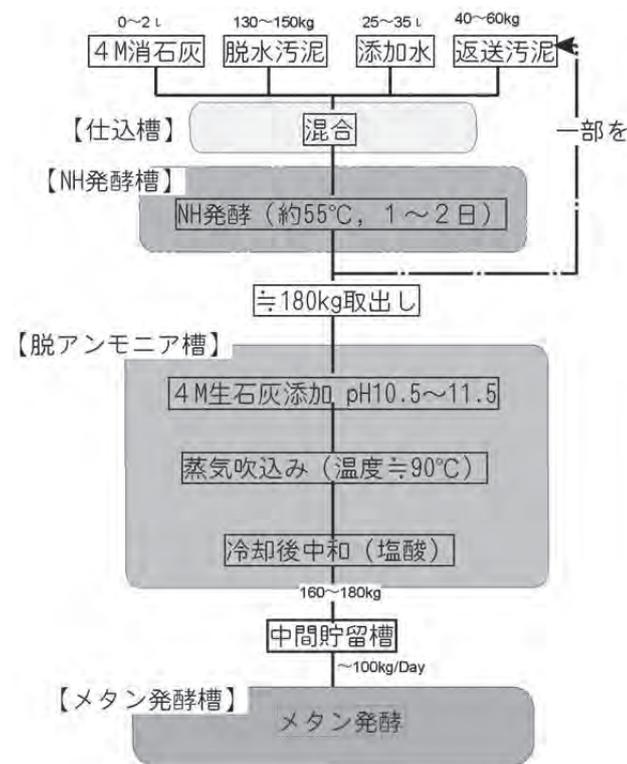


図7 乾式アンモニア・メタン発酵処理フロー

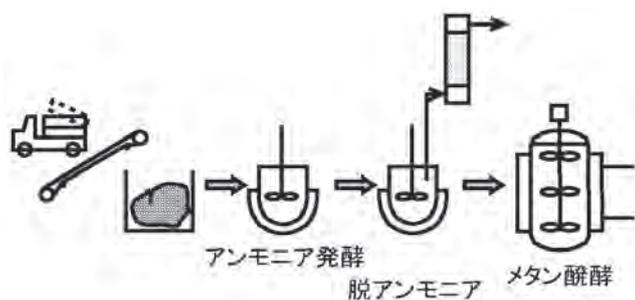


図8 脱水汚泥の乾式メタン発酵プロセス

段にアンモニア生成を主に担うアンモニア発酵槽および、生成したアンモニアを除去する脱アンモニア装置、後段に脱アンモニア汚泥の嫌気消化を行う乾式メタン発酵槽からなるプロセスが適当であるとの結論に達した。

2.7.1 ラボリアクターにおける連続乾式メタン発酵と有機酸負荷の影響

提案した乾式メタン発酵プロセスの有効性を確認するために、攪拌機能付きラボリアクター(10L)を設計・製作して、脱アンモニア処理した汚泥の連続乾式メタン発酵を行った。種汚泥5kgに対し、設定SRT(廃水系のHRTに対応)に応じて脱アンモニア汚泥を毎日投入し55℃で処理した。ガス生成による減量分を考慮してリアクター内の汚泥量が5kgとなるように汚泥を適時引き抜いた。その結果を図9に示す。

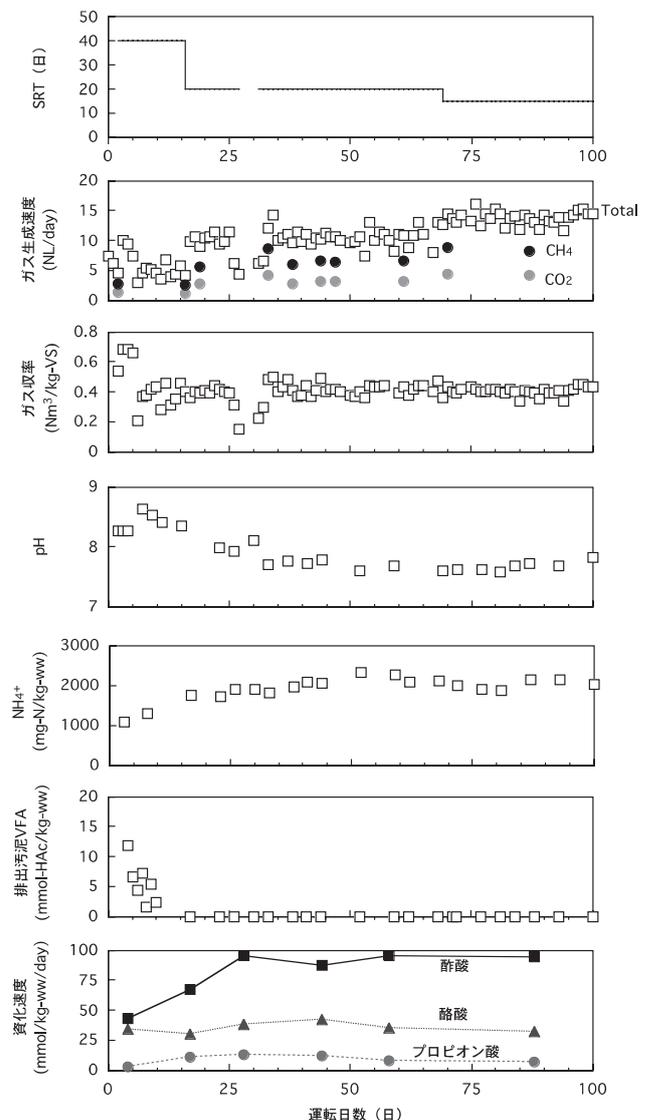


図9 脱アンモニア汚泥の連続乾式メタン発酵

ガス収率は平均で0.41Nm³/kg-VSであり、アンモニアの濃度は2,000mg-N/kg-ww前後を推移した。また、SRT 15日でも安定的なメタン生成が確認できた。このことから、余剰脱水汚泥をアンモニア発酵した後に脱アンモニア処理をすることで、連続的な乾式メタン発酵が可能であることが示された。

また引き抜き汚泥の有機酸分解速度を基に、最小SRTを推定すると、酢酸ではSRT 9.9日、酪酸では6.0日、プロピオン酸では14.1日であった。実際には、SRTが短くなるとVS分解率は低くなるので、限界SRTは上記計算結果より短くなると予想される。

2.7.2 乾式メタン発酵ベンチリアクターの設計・製作

嫌気消化槽は、前段装置能力(日量100~150kg)より総容量3.3m³とし、充填率約60~90%でSRT 20日での運転可能な容積を持たせた。また槽温度を55℃に保つためにバイオガス焚きの温水循環ボイラー、余剰ガスの燃焼塔、脱アンモニア汚泥の中間貯槽などを併設した。乾式嫌気消化装置の設計概要を表2に示す。

発酵槽の内部には汚泥の攪拌と移動および発生

バイオガス抜きのための攪拌羽根を設けた。温度ムラ等が押さえられるように温水ジャケットは3分割して制御した。この発酵槽は前段の汚泥調製装置と連結しベンチスケールの乾式嫌気消化システムとした。その構成の概要を図10に、現場写真を図11に示す。

2.7.3 ベンチリアクター運転結果

半年間にわたり、ベンチスケールリアクターの運転を行った。その処理フローを概略する。仕込み槽内において種汚泥(メタン発酵汚泥もしくはアンモニア発酵終了後汚泥)と原料汚泥(宮島汚泥)を1:4で混合、水分含量88%、55℃、pH 7~8に調製した後に、アンモニア発酵槽に移送して55℃で1ないし2日もしくはそれ以上、アンモニア発酵を行った。アンモニア発酵後の汚泥を脱アンモニア槽に移送後、85℃以上、pH 11以上の条件下で汚泥に含まれるアンモニアをガスとして放散させて、脱アンモニアを行った。作製した脱アンモニア汚泥は、中間貯槽に移送し一時貯留した。

メタン発酵槽への脱アンモニア汚泥の供給は、中間貯槽からタイマーによって設定SRTに応じた量を毎日自動的に供給した。メタン発酵槽からの発酵残渣の引き抜きは、メタン発酵槽に設置したレベル計により、2m³のベッド量が維持されるように自動的に排出を行った。メタン発酵槽は、大州下水処理場の嫌気消化脱水汚泥を使用し、ベッド量2m³、55℃、水分含量88%で連続乾式メタン発酵を行った。その結果を図12に示す。

今回の運転では、アンモニア発酵後の汚泥は水分含量89%、アンモニア濃度5,600mg-N/kg-wwであり、TNからの変換率は60%であった。また脱アンモニア後の有機酸は480mmol-HAc/kg-wwであった。メタン発酵においては、ガス収率は0.38Nm³/kg-VSであり、VS除去率は41.1%であった。メタン

表2 脱水汚泥の乾式メタン発酵装置概要

乾式嫌気消化槽設計概要	
槽容量	:3.3m ³
汚泥処理量	:100~150kg/日(SRT20日)
バイオガス発生量	:0.51Nm ³ /kg-VS/日(ラボ実験値)
乾式嫌気槽加熱	:ジャケットへの温水循環
バイオガス用途	:温水ボイラーの燃料
付帯設備	:中間貯槽、ガス緩衝タンク 脱硫塔、温水ボイラー、余剰ガス燃焼装置
計測器	:非接触型レベル計(中間貯槽・乾式嫌気槽) バイオガス流量計(生成量・燃焼量) 温水流量計・バイオガス圧力計 熱電対(各槽、温水、バイオガス)

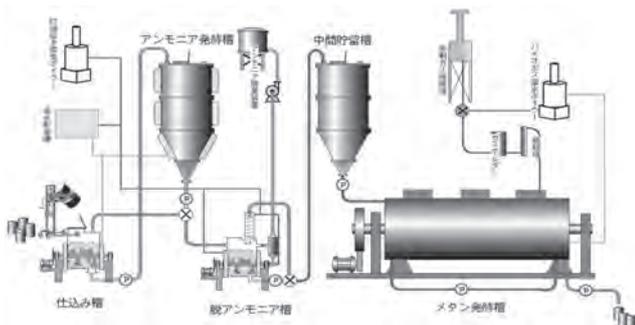


図10 ベンチリアクター構成図(全体)



図11 ベンチリアクター全景

発酵槽からの排出汚泥のアンモニア濃度は3,000 mg-N/kg-ww以下で推移し、メタン発酵阻害は見られなかった。

ベンチリアクターでSRT 20日の最大投入量で運転した際、3週程度の期間であるがVS当たりのガス収率は約0.4 Nm³/kg-VSが得られた。この実験で、脱アンモニア汚泥を使用して乾式メタン発酵を連続的に行っても、メタン生成は停止せず、アンモニアの蓄積も起こらず、有機酸も速やかにメタンに変換されて蓄積しないという結果が得られた。

3. アンモニアのエネルギー利用

本システムが実施できれば、環境浄化、廃棄物のリサイクル以外にも二酸化炭素発生抑制、エネルギー(メタン)生成に加えてアンモニア生成があり、その波及効果は多大である。アンモニアについて考察したい。液化アンモニアの水素体積密度は、液化水素より45%も大きい。分子中に水素を17.65%含む。常温で容易

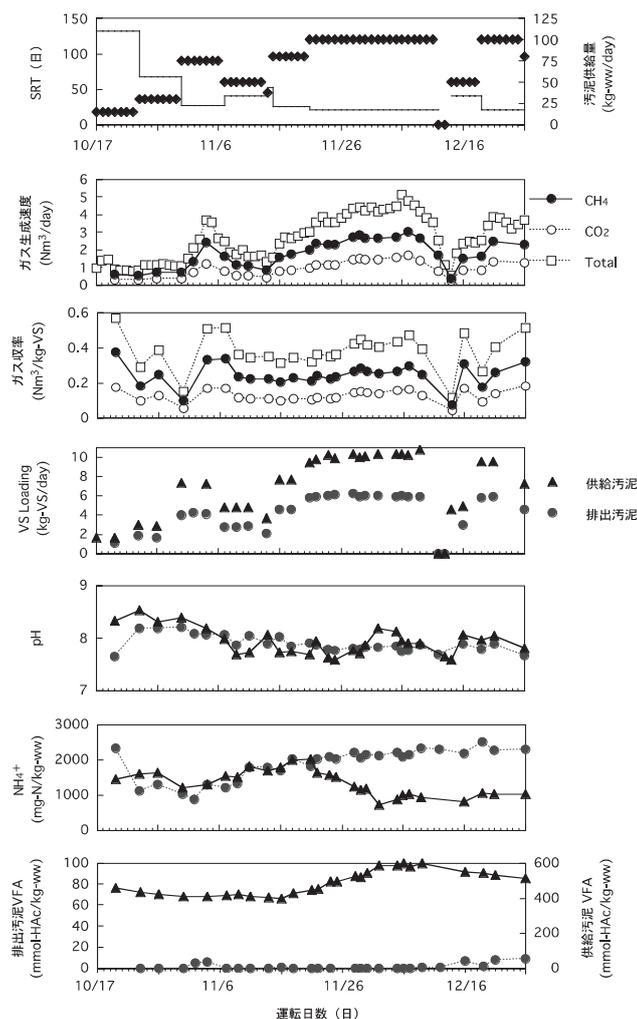


図12 ベンチリアクター運転結果

表3 各種化合物の水素変換の自由エネルギー変化

反応	自由エネルギー変化 (KJ/reaction) (KJ/H ₂)
H ₂ O → H ₂ + 1/2O ₂	+237 (237 KJ/H ₂)
CH ₄ + 2H ₂ O → 4H ₂ + CO ₂	+136 (34 KJ/H ₂)
NH ₃ → 3/2H ₂ + 1/2N ₂	+40.0 (27 KJ/H ₂)
CH ₃ OH + H ₂ O → 3H ₂ + CO ₂	+23.5 (7.7 KJ/H ₂)

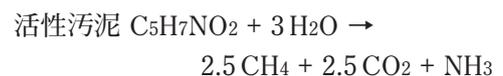
表4 代替エネルギー候補の特徴

燃料候補	特徴・課題	評価
バイオエタノール	循環可能、供給能力(食料と競合)	△
バイオディーゼル	循環可能、供給能力	△
水素	輸送・貯蔵のインフラ構築が悲観的	△
過酸化水素	爆発性	×
ヒドラジン	発がん性	×
アンモニア	炭酸ガス排出ゼロ、液化容易、劇物	○

に液化する(20℃で0.857 MPa(約8.5気圧)で液化)。分解で水素と窒素のみ発生(CO₂の排出ゼロ)。全世界で第2位年間生産量(1億5千万トン(日本150万トン))。表3より水素製造面ではメタン改質よりエネルギー投入が少なく済む。つまり、アンモニアは輸送・貯蔵が容易な水素源(エネルギー源)といえる。それゆえ、文科省・経産省共同で「エネルギーキャリア研究加速プロジェクト(再生可能エネルギーをアンモニア等化学物質に変換するエネルギー貯蔵・輸送・利用技術の開発)」が設定され、事業化を目指している。

汚泥からのアンモニア・メタン生産は下記の量論となる。

アンモニアからの水素生産:



アンモニアの分解は下記となる:



運搬・貯蔵のインフラが確立すれば、例えば、国内発生の余剰汚泥を本システムで処理したとすると、最大25万6千トンのアンモニアが見込め、これは、国内の全アンモニア生産の15%相当であり、アンモニア肥料では全生産量を賄うことが可能である。この事は逆に水素生産の観点から考察するとアンモニア生産に要した38万4千トンの水素消費を抑えた事にもなり、水素の有効利用にも繋がる。

4. 鶏糞の単槽式乾式アンモニア・メタン発酵プロセス

脱水汚泥のみを基質としてアンモニア及びメタンを回収利用できるプロセスとして乾式アンモニア・メタ

表5 使用した余剰脱水汚泥、鶏糞およびメタン発酵種汚泥の性状

測定項目	余剰脱水汚泥	鶏糞	メタン発酵種汚泥
固形物含量 (TS %, w/w)	20	25	20
有機物炭素含量 (% TS)	57	38	27
有機物量 (% TS)	87	58	56
アンモニア窒素 (mg-N/kg-ww*)	1,300	2,600	630
全窒素 (mg-N/kg-ww*)	13,000	21,700	6,400

*湿重量基準

ン二段発酵法を開発できたので、全国の排水処理場の約半数に当たる汚泥排出日量2 tの処理規模の装置について事業性に関わるフィージビリティスタディーを行った。しかし、アンモニア除去工程における加温に必要な燃料コスト及びアルカリ、酸などの薬液コストなどの運転コストがエネルギー収率および経済性を悪化させることが判った。また、アンモニア発酵槽、アンモニア除去装置、そしてメタン発酵槽からなる装置構成は複雑であり装置コストを上昇させる。そこで、アンモニアを除去回収しメタン発酵を行うというコンセプトは変えず、アンモニア発酵・除去とメタン発酵を単一槽で行える新規発酵装置の開発を、脱水汚泥よりさらに高い窒素含有量を持つ鶏糞を対象として行った。使用した鶏糞の代表的な性状を表5に示したが、湿重量当たり脱水汚泥の約2倍の窒素含量を持っておりハードルはより高い。しかし、国内養鶏業は大規模化しており大型処理施設での実用化が期待出来るとともに、世界的にも畜産業の中で宗教的な制約が少なく健康指向の高まりから鶏肉の需要は年々高まっており、将来、国際的な展開も見込めることから鶏糞を処理ターゲットとして選定した。

4.1 無加水鶏糞からの二段発酵法によるメタン生成

まずは、鶏糞発酵物からアンモニアを除去することにより本当にメタン発酵が可能であるかを先に開発した二段発酵法により検討した。まず、脱水汚泥処理時に用いたメタン発酵種汚泥と鶏糞を等量ずつ混合し37℃、55℃、65℃で8日間回分培養したがメタン生成はほぼ見られず、平均で約16,000 mg-N/kg-鶏糞ものアンモニアが生成した。そこで、脱水汚泥と同様の方法でアンモニアを除去後、高温メタン発酵種汚泥と等量で混合しメタン発酵したところ、1.2 L/kg-湿汚泥のメタン生成が見られた⁵⁾。しかし、本実験の終了時点でアンモニアが再蓄積していたので、再度アンモニア除去しメタン発酵試験を行ったところ、さらに7.3 L/kg-湿汚泥ものメタンが生成した。以上の結果から、鶏糞においてもアンモニアがメタン発酵の主要阻害因子であり、アンモニアを除去・回収することにより乾式メタン発酵が可能となることが示唆された。

4.2 単槽式乾式アンモニア・メタン発酵の基本コンセプト

単一発酵槽でのアンモニア生成・除去とメタン発酵を行うためには、鶏糞からのアンモニア生成速度に見合う速度でアンモニアを除去・回収できるプロセスを発酵槽に組み込めば良い。アンモニアはフリーアンモニア(NH₃)の状態になると溶解度が低下し、気体を吹き込むことにより容易に気化する。図13に示したようにフリーアンモニア存在率は温度とpHに依存し、高温メタン発酵の至適温度である55℃の時、pHが8.5あればフリーアンモニア存在率は56%もあり、ストリッピングによるアンモニア除去は可能である。都合の良いことに、メタン発酵における最適なpHは7.5-8.5の弱アルカリ性であることから、従来の高温発酵法にアンモニア除去機構を組み込むことにより、簡単に単槽式乾式アンモニア・メタン発酵法が可能となると考えた。

4.3 単槽式乾式アンモニア・メタン発酵試験

図14に示したアンモニアストリッピング装置はもと、乾式メタン発酵槽として設計されており、アンモニア回収機構を組み込んだ高温乾式メタン発酵装置としても使用可能であった。そこで、バイオガスリサイクル時に混入する酸素を除去するために図14、番号9のトラップに除酸素材を入れた程度の仕様変更で鶏糞の単槽式乾式アンモニア・メタン発酵装置と

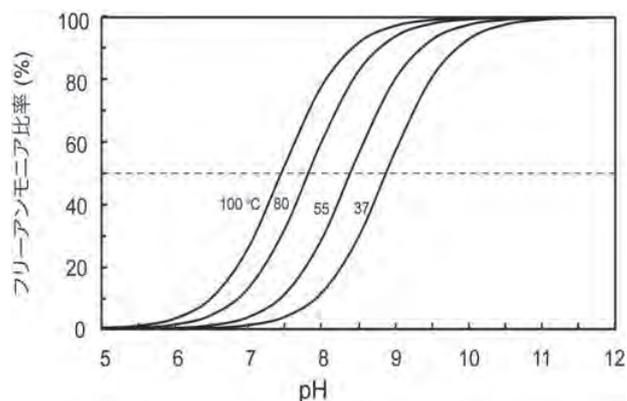


図13 フリーアンモニア比率の温度及びpH依存性

して用いることとした⁶⁾。本試験では3.2kgのメタン発酵種汚泥を培養槽に充填後、120gの生鶏糞を添加することにより発酵を開始した。攪拌スピードは発酵槽および攪拌翼とも10 rpmとした。ヘッドスペースガスは常時5 L/分で循環され、途中の硫酸トラップでアンモニアは硫酸として回収・除去された。発酵開始後、10日以降旺盛なメタン発酵が観察されたので、メタン生成速度が低下した時点で適時、生鶏糞を添加、同時に同量の発酵汚泥を添加する事により半連続的乾式メタン発酵試験を行った。約130日間の発酵試験の結果を図15に示す。途中60~80日目でガス流量計のトラブルによりバイオガス生成量が計測出来な

かったが、その後は平均60 L/kg-鶏糞(メタン含量58%)という安定したバイオガス生成が見られた。培養期間中、アンモニア濃度はほぼ3,000 mg-N/kg-湿汚泥に保たれていることから、本装置によるアンモニア除去機構が良好に作動していることが示唆された。また、汚泥pHも培養開始後20日以降、ほぼ8.5に安定して維持されていたことも、安定したアンモニア除去に寄与したと考えられる。

5. おわりに

本稿では、高窒素含有有機廃棄物の嫌気消化処理プロセスにおいて不可避免的に生成するアンモニアを前もって除去することにより持続的な乾式メタン発酵が可能なることを、余剰脱水汚泥および鶏糞を用いて示した。また、乾式メタン発酵槽にアンモニア回収機構を設けることによりアンモニア生成、除去、メタン発酵を同時に達成する単槽式乾式メタン発酵が可能であることを述べた。さらに誌面の都合上割愛したが、同様のコンセプトをモデル生ゴミにも適用出来ることを報告している⁶⁾。これらの成果から筆者らは、生物系有機廃棄物のエネルギー資源化技術として今回開発したアンモニア・乾式メタン発酵プロセスが汎用的に活用出来ると考えている。さらに、アンモニアは、現在、ハーバーボッシュ法などの化石エネルギーの大量消費型プロセスで製造されており、アンモニアを高濃度に回収出来る本プロセスは、窒素資源の効率的な回収・再利用技術としても重要な位置付けを占めることを期待したい。

この成果をもとに、下水道事業に関しては、門外漢であるが、下水処理場のあり方を提案したい。処理場では、活性汚泥法により下水の浄化がなされているが、曝気等のため、多大のエネルギーを投入している(全国電力消費量の0.7%)。また、その結果として莫大な量の余剰汚泥が発生している(脱水汚泥ベースで1千万トン)。一部、濃縮汚泥を用いて、湿式メタン発酵処理しているが、汚泥濃度が薄い(2、3%)故に、大容量のメタン発酵槽を必要としている。しかし、大部分は再度エネルギー投入して、濃縮乾燥・焼却・埋め立て処理されている。

日本は資源の無い国であるが、この脱水余剰汚泥は有望なバイオマス資源と考える。希薄な下水(資源の観点からは下水道(一種のパイプライン)で運ばれ、エネルギー投入が必要(活性汚泥法)とはいえ生物濃縮され、処理場でまとまって排出されている(収集・運搬不必要)。その汚泥を処理するいわゆる下水処理場は、本システムを使えば、ガス田を有した天然ガス精製センターであり、資源エネルギーセンターとみな

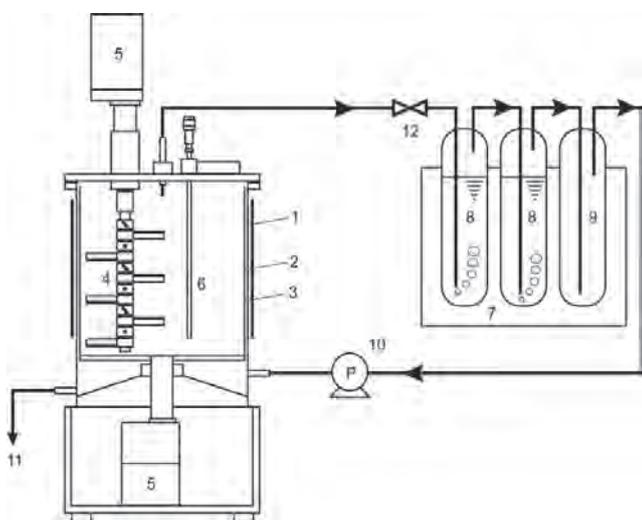


図14 アンモニーストリッピング及び単槽式乾式アンモニア・メタン発酵装置概要図

1. ヒーター、2. 反応槽外槽、3. 反応槽内槽、4. 攪拌翼、5. 攪拌用モーター、6. 熱電対、7. 恒温槽、8. 5N硫酸水溶液、9. トラップ、10. ガス循環ポンプ、11. ドレイン。乾式アンモニア・メタン発酵装置として用いる場合、トラップに脱酸素剤を封入した。

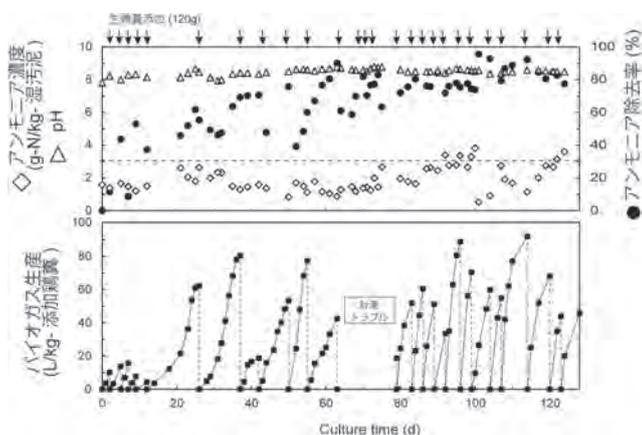


図15 生鶏糞の単槽式乾式アンモニア・メタン発酵試験結果

す。つまり、脱水汚泥を単独で乾式アンモニア・メタン二段発酵し、アンモニアを回収する（窒素肥料として我が国の全使用量を賄うことが可能）と共に天然ガス（メタン）を回収できる（石油換算 57万KL/年＝年間全石油消費量の0.2%相当）。

そうであれば、生成汚泥量の増加を図りたい。現在下水道の人口普及率は75.1%に達したが引き続き残りの中小都市での下水道の整備を図る。しかし、その処理場は小規模であるので、脱水汚泥を大規模処理場へ搬入する。

一方、既存処理場は各家庭のディスポーザー利用等を促進し、流入CODの倍増（600 ppm程度）を図る。これにより既存の処理法のままで、汚泥量は倍増し、その分、浄化水の高次処理（硝化・脱窒および脱リン）が不要（願わくは）となる。かくして汚泥増加により、メタン生成量は、石油換算170万KL/年（年間全石油消費量の0.6%相当）となる。是非、ご検討願いたい。

6. 参考文献

- 1) 広島県産学官共同研究プロジェクト「有機性排水・余剰汚泥の高効率嫌気性処理システムの開発」、平成14, 15, 16, 17年度報告書、(財)ひろしま産業振興機構 広島県産業科学技術研究所
- 2) 西尾尚道、中島田 豊、再生と利用、33, 42-47 (2009).
- 3) Y. Nakashimada, et al., Appl. Microbiol. Biotechnol. 79, 1061-1069 (2008).
- 4) F. Abouelenien, et al., Appl. Microbiol. Biotechnol. 82, 757-764 (2009).
- 5) F. Abouelenien, et al., Biores. Technol. 101, 6368-6373 (2010).
- 6) H. Yabu, et al., J. Biosci. Bioeng. 111, 312-319 (2011).

特集：第25回下水汚泥の有効利用に関するセミナー特集

解 説

広島市の
下水汚泥燃料化事業について

広島市下水道局 計画調整課

課長 平 田 茂

キーワード：燃料化、低温炭化、DBO

1. はじめに

広島市は中国山地を背に緑豊かな山々に囲まれ、太田川をはじめ幾筋もの川が、多島美を誇る波穏やかな瀬戸内海にそそぐ自然環境に恵まれた街です。

本市の市街地には6本の美しい川が流れることから「水の都ひろしま」とも呼ばれ、16世紀末に毛利輝元が太田川の扇状地に広島城を築いて以来、城下町として整備され、干拓と埋立によって都市として発達してきました。「広島」の由来は、毛利輝元が築城時に太田川河口の扇状地が大きな島に見えたことから命名したといわれています。

しかし、「水の都」であるが故に、満潮水面以下の扇状地と埋立地の上に整備された大半の市街地は、自然排水が極めて困難で、汚水の停滞や大雨や高潮といった際には市街地の至る所で浸水するなど、昔から排水の問題に悩まされていました。

そのため、明治41年から下水道整備を開始しましたが、昭和20年8月6日の原子爆弾で市内中心部は廃墟と化し、下水道施設も壊滅的な被害を受けました。

戦後は戦災復興区画整理事業に合わせ、昭和26年

にゼロからの再スタートを切りましたが、戦災復興期は、国及び本市の財政状況により、計画通りの事業費を確保するに至らず、事業計画に大きな遅れを生じていました。

また、高度経済成長期には、急激な人口増加や工場排水の増加などにより、極めて不衛生な状況に陥り、太田川を中心とする市内各河川は水質保本法に基づく指定水域となり、排出水の水質基準が設けられました。

これを受け、本市は下水道のより早急な整備を行うべく、事業区域の拡大と処理区域の拡充、及び財政事情に対する措置として、受益者負担金制度の採用を盛り込んだ下水道築造事業計画の変更計画の認可を得て積極的に工事を進め、本市下水道の普及はより一層の進展をするに至りました。

平成15年度末には市街化区域内の下水道整備を概ね完了し、人口普及率は90%を超えました。同時に発生する下水汚泥も増加し、その量は年間6万トンを超えて処分方法が課題となっていました。(図2参照)

2. 下水汚泥燃料化事業の検討を開始した背景

本市では平成16年度から下水汚泥を燃料として有

効利用することについての検討を開始しました。
 その当時の汚泥発生量は年間約6万トンで、汚泥処分の方法は、焼却埋立、汚泥を発酵する肥料化と、汚泥をセメントの原材料に使用するセメント化により行っていました。(図3参照)

処分方法をこの3通りとすることで、汚泥処分が滞ることに対する危険分散を図っていましたが、汚泥を焼却処分していた2か所の処理場の焼却炉はいずれも耐用年数を超過しており、将来にわたって焼却処分を継続するのであれば、早急に焼却炉を更新する必要

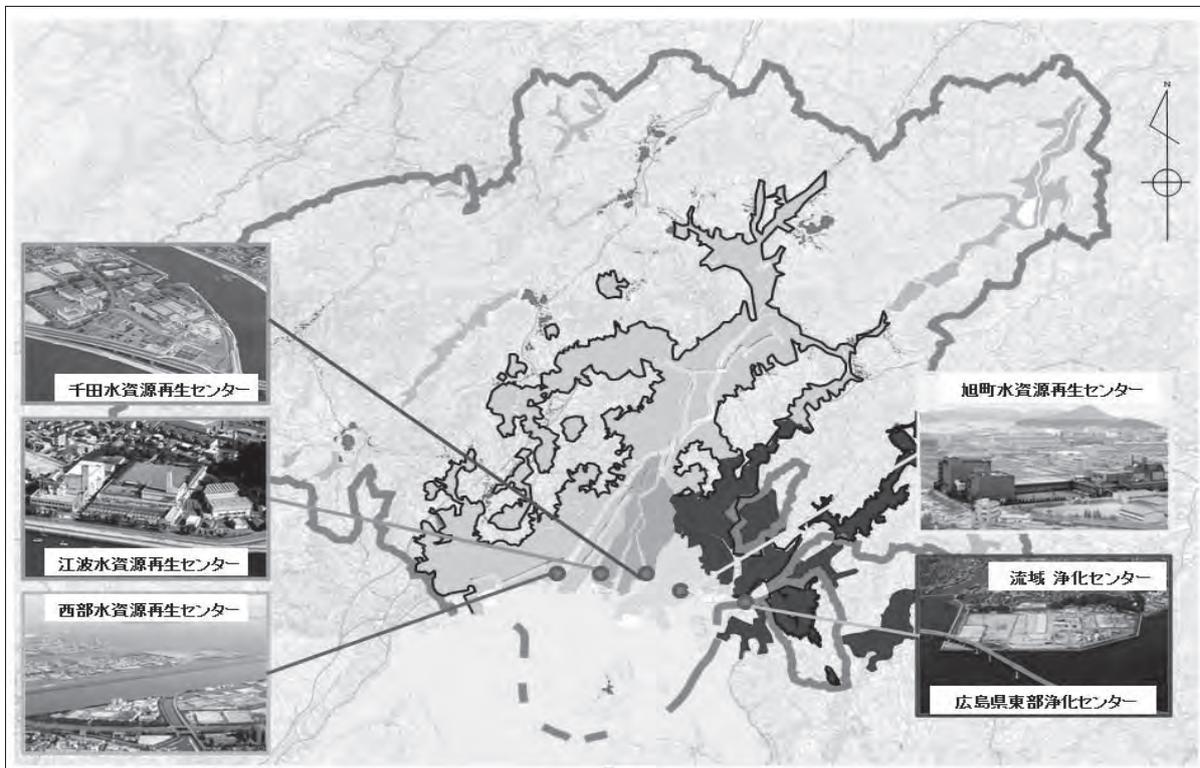


図1 広島市内の水資源再生センターと県浄化センター

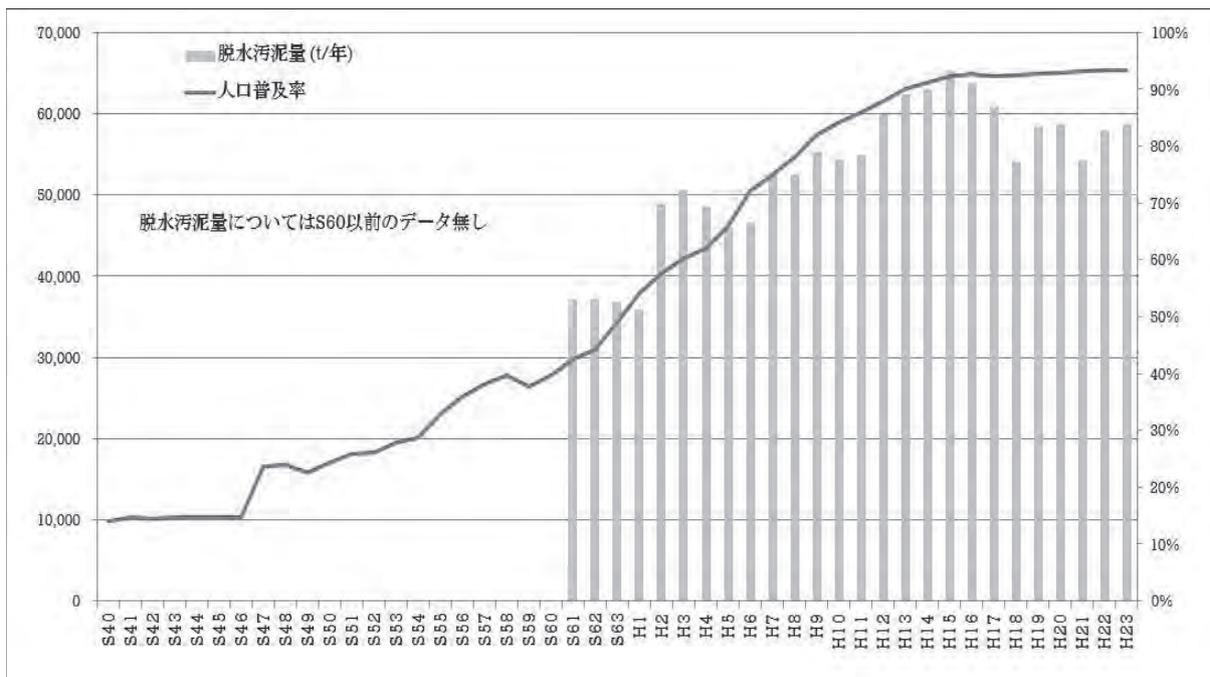


図2 広島市の下水汚泥量と人口普及率の推移

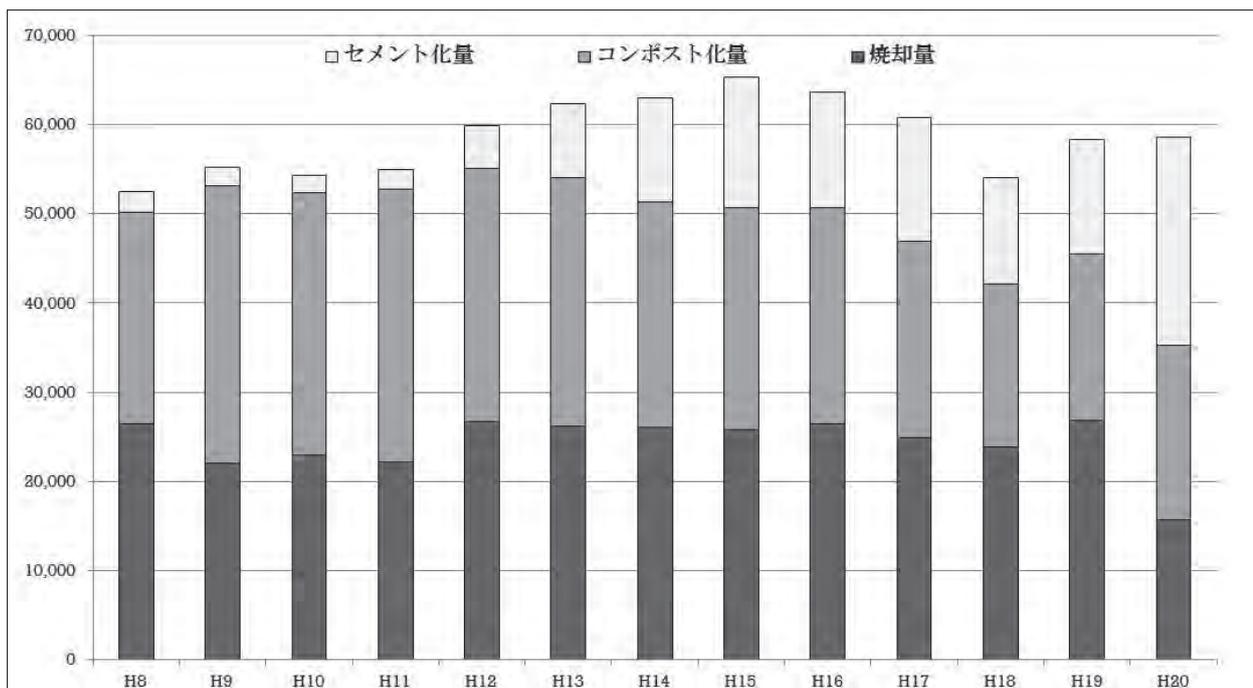


図3 広島市の下水汚泥量の処分方法 (平成8～20年度)

がありました。

さらに、市内にある焼却灰の埋立処分場は年々減少し、受け入れ可能な処分場の確保にも課題がありました。

また、汚泥を焼却することによる温室効果ガスの排出量は、本市下水道局全体での排出量の20%を占めていました。(図4参照)

このように、焼却処分には施設の老朽化、埋立処分

場の確保、温室効果ガスの排出量と多くの課題を抱えていました。

さらに焼却処分を廃止し、残る肥料化とセメント化への移行も考えられましたが、年間約6万トンもの処分をセメント製造事業者や肥料製造事業者のみに依存した場合、受入価格の高騰や、経済状況によっては受入が停止するリスクもあると想定されました。

これらのことから、今後も安定して汚泥処分を行っていくためには、焼却に替わる処分方法が必要であると結論付け、検討を行った結果、下水汚泥を再資源化して100%有効利用することを基本理念として、下水汚泥燃料化の検討に取り組み始めました。

3. 概要

下水汚泥燃料化施設の設置は、スケールメリットを生かすため、本市の約6割の下水処理を行っている西部水資源再生センター(図5参照)で実施することとし、平成21年3月に設計・工事・管理運営を一括して行うDBO方式で契約しました。

下水汚泥燃料化事業の概要は次ページのとおりです。

4. 本市の下水汚泥燃料化の特徴

炭化の工程は図6に示すとおり、脱水した下水汚泥を熱風で乾燥後、粒状にします。それを蒸し焼きにし

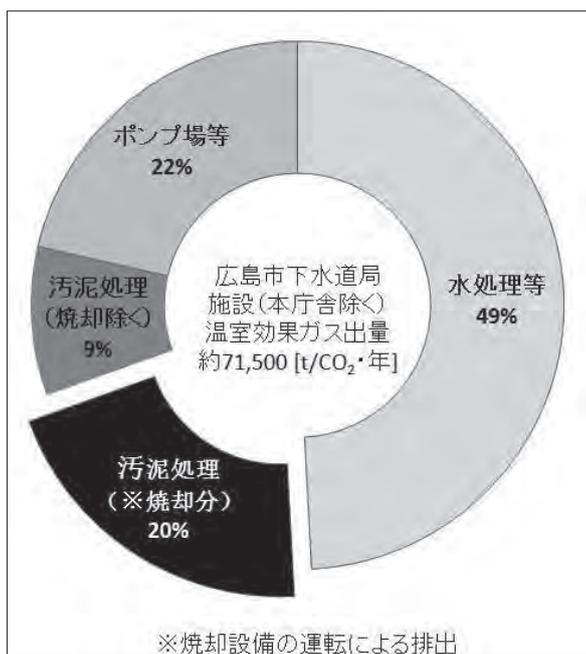


図4 温室効果ガス排出量内訳 (H19)

て、炭の状態（炭化）にします。

(1) 下水汚泥燃料化の特徴

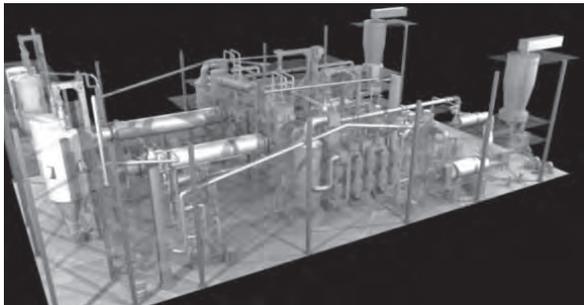
ここでは、広島市で行っている下水汚泥燃料化の特徴をご紹介します。

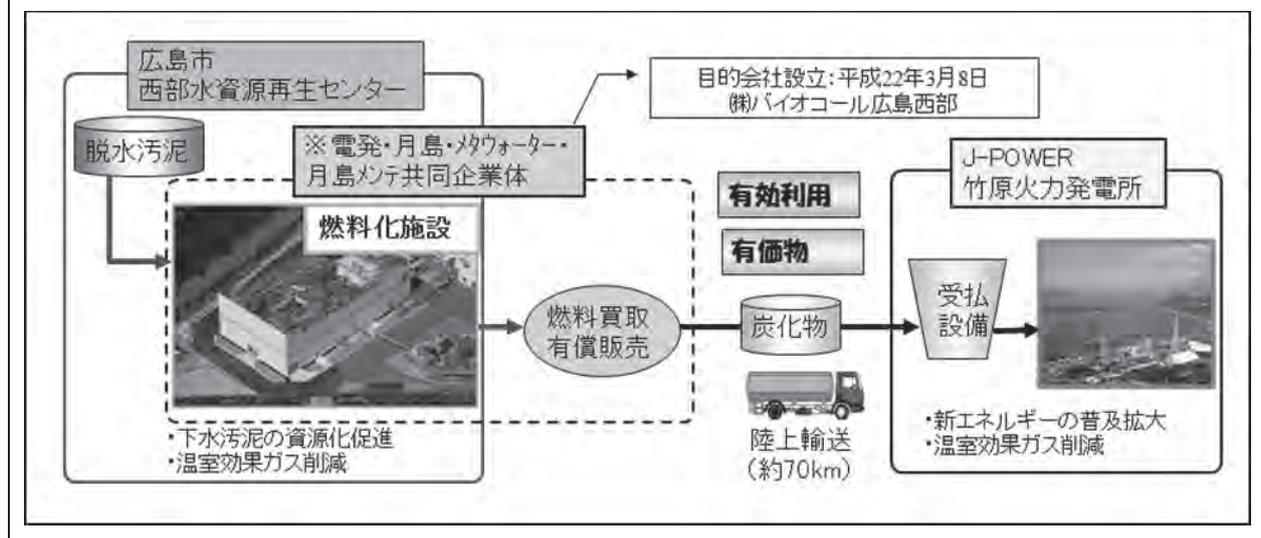
- ①炭化工程の温度が、250～350℃と低温である
炭化燃料は炭化温度によって性状が異なります。

炭化工程の温度を低く抑えることで、燃料化物の発熱量が高くなり燃料としての価値が増し、また、400～500℃の中温で炭化されるより自然発火性は低くなります。しかしその反面、臭気は強くなる傾向にあります。(図7参照)

- ②炭化工程で蒸気添加により臭気低減と自然発火抑制がなされている

広島市西部水資源再生センター下水汚泥燃料化事業の概要

事業の名称	広島市西部水資源再生センター下水汚泥燃料化事業	
契約の相手方	電源開発・月島機械・メタウォーター・月島メンテナンスの4社による共同企業体。 なお、管理運営を開始した平成24年度から目的会社「株式会社バイオコール広島西部」に事業が引き継がれています。	
契約期間	平成21年3月～平成45年3月 設計・建設 平成21年3月～平成24年3月 管理運営 平成24年4月～平成45年3月（20年間）	
施設能力	燃料化方式	低温炭化方式
	公称処理能力	50 t/日×2系列
	脱水汚泥処理量	27,886 t/年
	燃料化生成量	4,490 t /年
	 <p>下水汚泥燃料化施設イメージ</p>	
売却先	燃料化物は石炭の代替燃料として、広島県竹原市にある電源開発(株)竹原火力発電所で、石炭の約1%の割合で混焼されています。今回の契約では、共同企業体に対して燃料化物を、1トン当たり100円で売却しています。	



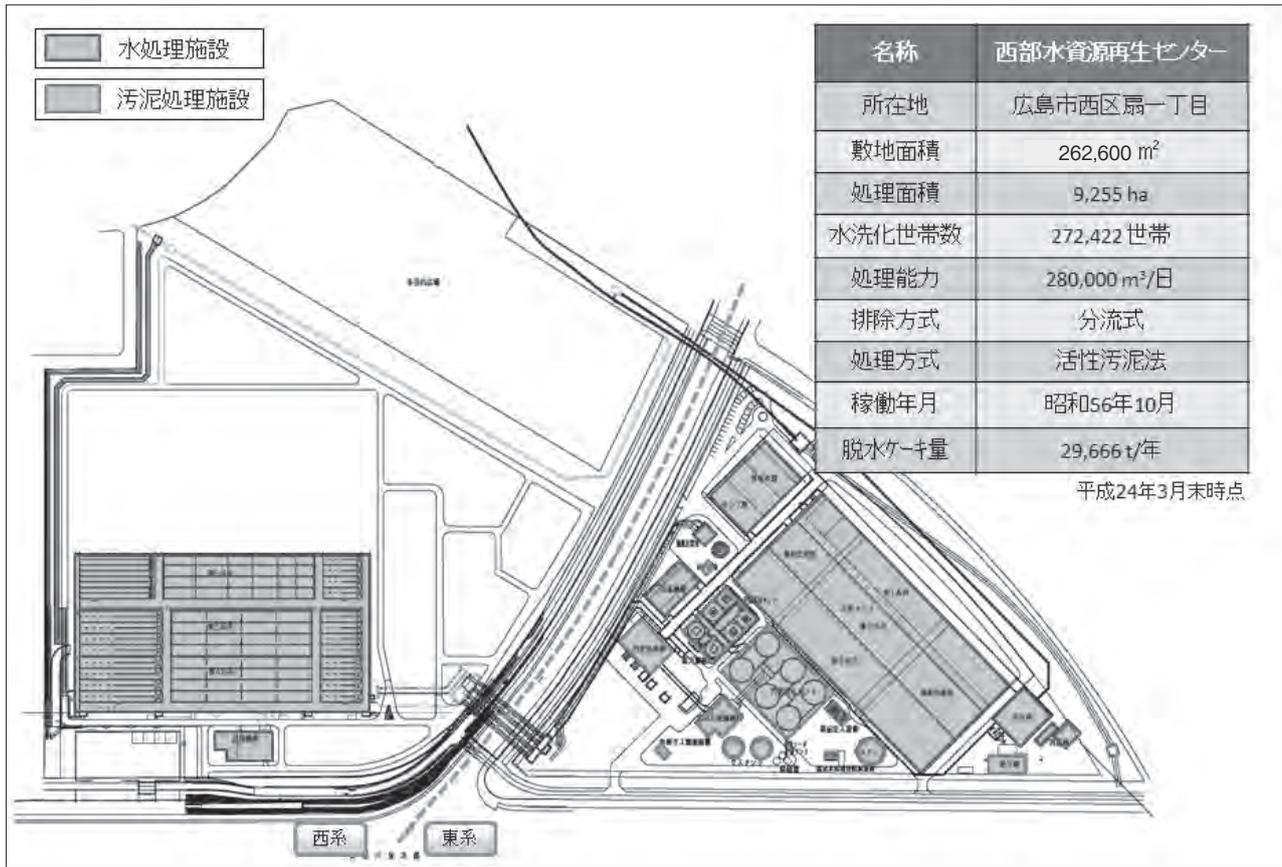


図5 広島市西部水資源再生センター概要

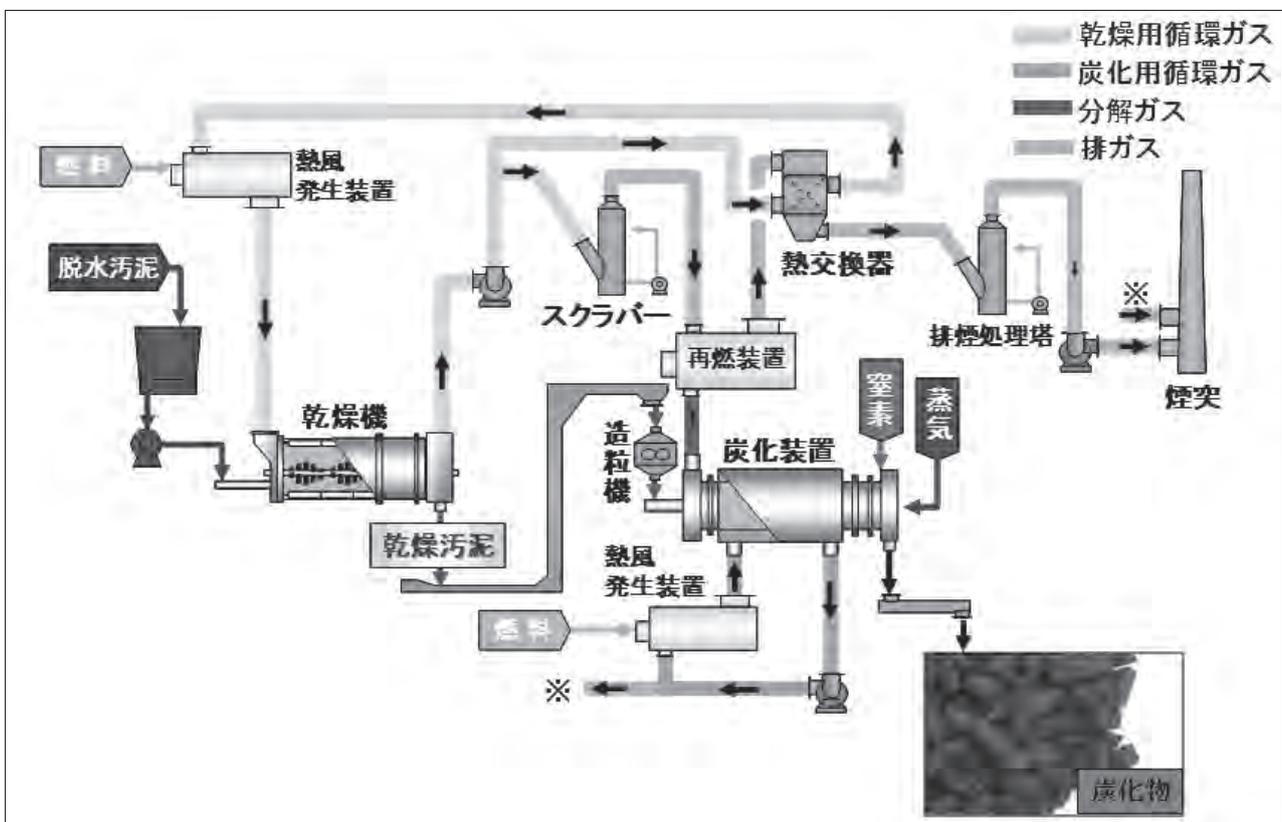


図6 下水汚泥の低温炭化処理フロー

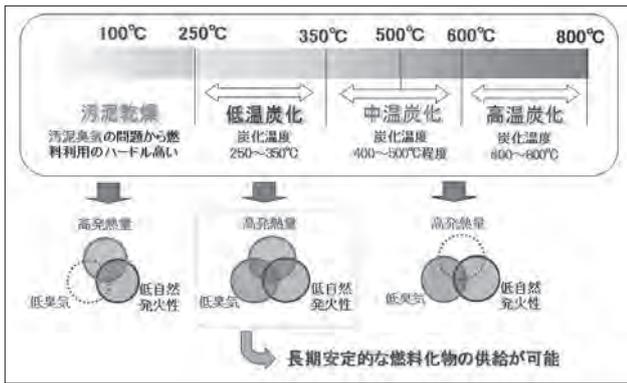


図7 炭化温度と性状の比較

低温で炭化するために、臭気対策が必要ですが、炭化の工程で蒸気を添加することで臭気低減と自然発火性低減の効果を得ています。

③燃料化施設の燃料に消化ガスを用いている

西部水資源再生センターには、既存の汚泥消化槽があり、そこで発生する消化ガスを燃料化施設の乾燥機や炭化装置、排気用再加熱炉等の燃料として利用し、化石燃料を使用しない運転を行っています。

また、燃料化施設で発生した排熱は、消化ガスの加温に用いており、ここでも資源の循環を行っています。(図8参照)

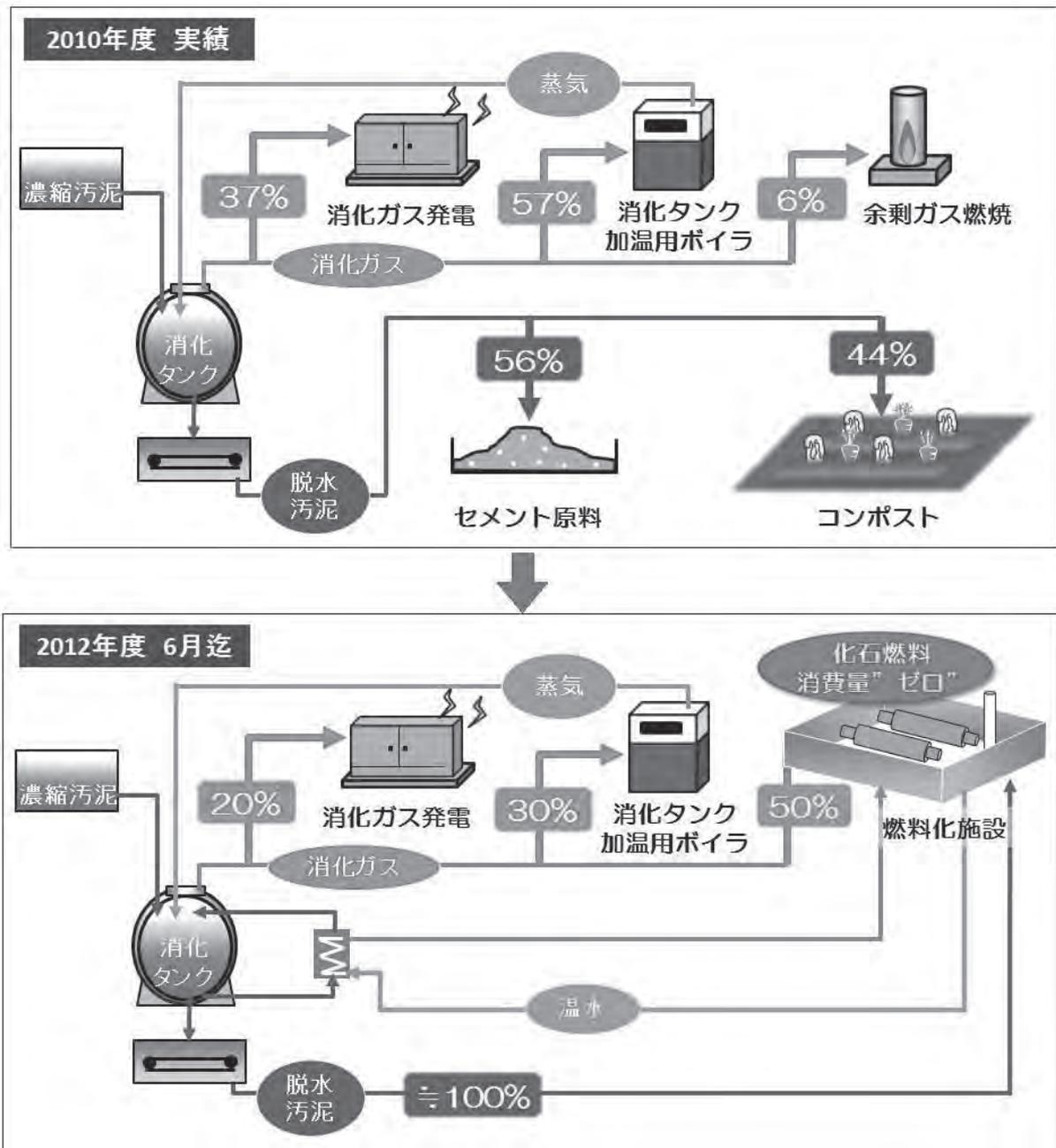


図8 下水汚泥燃料化開始前後での消化ガス利用状況

(2) 下水汚泥燃料化事業導入による効果

本市でのメリットは主に以下の3点があげられます。

①汚泥の有効利用

下水汚泥を有価物であるバイオマス燃料にすることで再資源化となり、本市で掲げていた基本理念である汚泥の100%有効利用が達成されました。

②管理運営費の削減

本市の場合、焼却処分と比較し、施設建設費と維持管理費をあわせて年間約2億円の削減を見込んでいます。

③温室効果ガス排出量の削減

焼却設備運転と燃料化施設運転による温室効果ガス排出量を比較した場合、燃料化施設のほうが、温室効果ガス排出量は8,700[t-CO₂/年]程度削減されます。

さらに、下水汚泥燃料を買い取って使用する発電所においても、バイオマス由来の燃料を使用することにより、温室効果ガスの発生が抑制されます。

の削減が見込まれます。また、製造施設を自治体が所有することから、国庫補助を充てられるなどの利点があります。(表1参照)

③ 20年間にわたって、管理運営と製造される燃料化物の売払を条件付けたことで、長期にわたって安定的に汚泥の処分が行えます。

ただし、下水汚泥燃料化事業は燃料化物の安定した需要がなければ成り立ちません。

また、視点を変えて下水汚泥燃料の利用者の立場で考えますと、発電所で使用する石炭は世界各国から輸入され、産炭地や銘柄によって発熱量や有害物質、灰の性状等が異なります。施設投資を抑えるために最適な混焼割合を検討しながら運転されているため、その中に混焼される下水汚泥燃料には安定した品質が求められます。

管理運営と製造される燃料化物の売払が条件付けられることで、下水汚泥燃料の利用者がその品質管理に直接関わり品質への信頼を増すことで、下水汚泥燃料の使用価値が高まります。

これらから、下水汚泥燃料の利用者の品質に対する信頼性が確保され、20年間の長期にわたる下水汚泥燃料の引受(売払)が成立しました。

④ 設計、建設、管理運営までを一括して発注することで、事業全体の責任を明確にすることができるほか、民間事業者の参加意欲を高め、コスト削減が可能になります。

⑤ 民間の技術力やノウハウを活用し、最先端の技術を柔軟に導入することが可能です。これによって高カロリーの燃料化物が得られたうえ、安定した管理運営が可能になります。

5. 契約形態について

(1) 下水汚泥燃料化事業の契約方式の概要

本市では、下水汚泥燃料化事業をDBO方式で契約しました。

DBOとは、デザイン、ビルド、オペレートの略で、設計、建設、管理運営を一括して契約する方式のことで、図面や仕様書で規定するのではなく、性能で規定するほか、資金調達と、施設の財産権は発注者である公共が受け持つ特徴があります。

(2) DBO方式を採用したことによる効果

DBO方式には、設計、建設、管理運営を単独で発注する方式と比較して以下の様なメリットがあります。

- ① 施工者の視点が設計に活かされることや、資材調達の効率化などによって、設計及び建設期間が短縮されます。
- ② 資金調達における利子率が下がることで事業費

6. 下水汚泥燃料化施設の運転状況

(1) 試験運転による性能試験の結果

平成23年12月から行われた試験運転では、下水汚泥燃料化施設の性能試験において、燃料化物の性状試験も行われ、燃料化物が石炭の50~60%程度の発熱

表1 事業方式による特徴比較

区分	建設	維持管理・運営	施設建設費用の調達	運営期間の施設所有	概要
DBO方式	一括		公共	公共	性能発注
PFI方式	一括		民間	公共/民間	性能発注
従来方式	請負工事	毎年の委託管理	公共	公共	仕様発注

表2 燃料化物性状試験結果

項目	単位	脱水汚泥		燃料化物		一般炭 測定例
		1系	2系	1系	2系	
水分	%	77.8	78.7	1.0未満	1.0未満	8
灰分	%(dry)	31.9	33.5	40.7	41.2	15
発熱量(高位)	MJ/kg	15.4	14.8	16.2	15.5	28.0

量を有しており(表2参照)、水分含有率や灰分の割合、燃料化物の製造能力等についても、契約時の技術提案書における値の範囲内であることが確認されました。

(2) 運転状況について

平成24年4月より運転を開始した下水汚泥燃料化

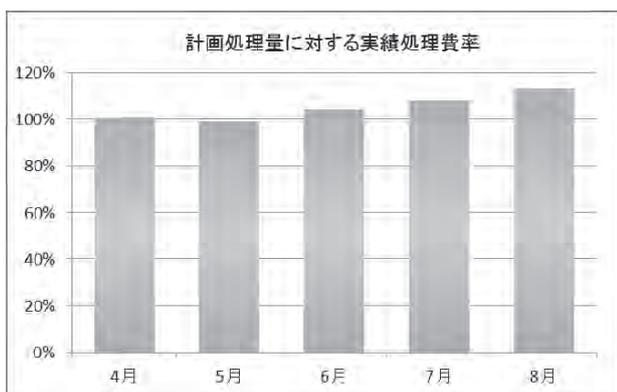


図9 下水汚泥燃料化施設運転状況

施設は、ほぼ計画通りに運転しています。(図9参照)

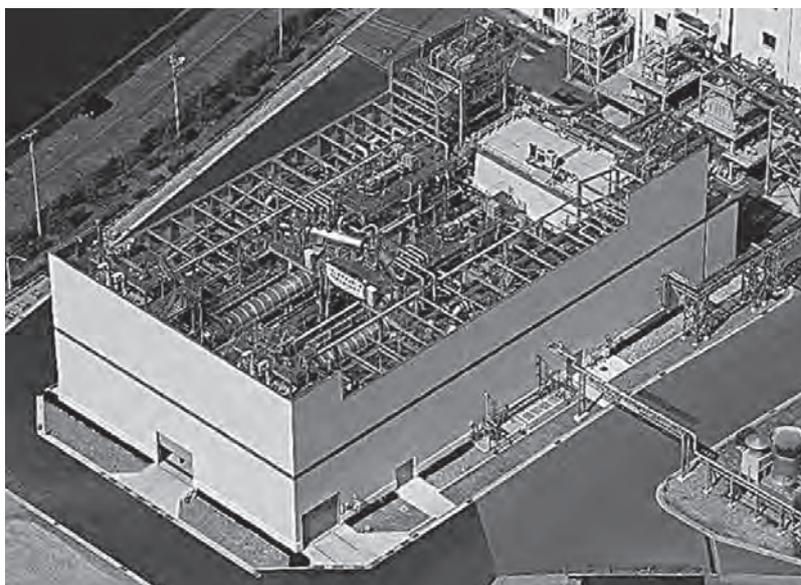
今後は、長期安定して運転するために、課題が発生した場合、初期段階で早期解決できる体制を整えるなどの取り組みを進めていきます。

7. おわりに

本市では、下水汚泥の処分方法としてコンポスト化、セメント化に加え燃料化を実施したことで有効利用率100%を達成しました。

今後はこれらの需要も見据え、確立される新技術にも注視し、下水汚泥の持つ新たなエネルギー利用にも取り組むとともに、処理水の有効利用や、下水道施設を利用した太陽光発電や小水力発電など、潜在するエネルギーの活用についても今後検討していきたいと考えています。

このような取り組みが全国的に広まるとともに、下水道資源全体の幅広い有効利用が展開されることにより、下水道事業者としてエネルギー対策や地球温暖化対策に貢献できることを切に期待します。



特集：第 25 回下水汚泥の有効利用に関するセミナー特集

解 説

下水汚泥資源利用の動向と 今後の施策について

国土交通省 水管理・国土保全局 下水道部 下水道企画課

下水道国際・技術調整官 白 崎 亮
資源利用係長 西 迫 里 恵

キーワード：下水道革新的技術実証事業、下水道バイオガス利用、固形燃料化

1. はじめに

下水道は、生態系や自然の循環システムを健全に保つための重要な構成要素と位置付けることができる。今後とも、拡大する諸活動を支えつつ、それに伴う環境への負荷を極力抑制することが下水道に課せられた大きな使命である。一方、下水の排除、処理の過程で下水汚泥をはじめとして、スクリーンかす、土砂などが発生する。これら発生汚泥等を適正に処理することは、放流水の水質管理とともに、下水道の維持管理上最も大きな課題である。

平成 21 年度における全国の産業廃棄物排出量は約 3 億 8,975 トンとなっている。そのうち約 20% の 7,619 万トン（含水率 97%）が下水汚泥であり（図 1）、その発生量は下水道の普及等に伴って今後さらに増加する見込みである（図 2）。これに対し、平成 22 年 4 月 1 日現在の産業廃棄物最終処分場の残余年数は首都圏で 4.4 年、全国で 13.2 年となっており、廃棄物の 3R (Reduce, Reuse, Recycle) の推進が急務となっている。

このような背景から、平成 8 年の下水道法改正において、発生汚泥等の減量化に努める旨の規定が設けら

れており、この規定に沿った取組がなされてきている。その後、循環型社会への転換、廃棄物処理の適正化が社会的な課題となる中で、循環型社会形成推進基本

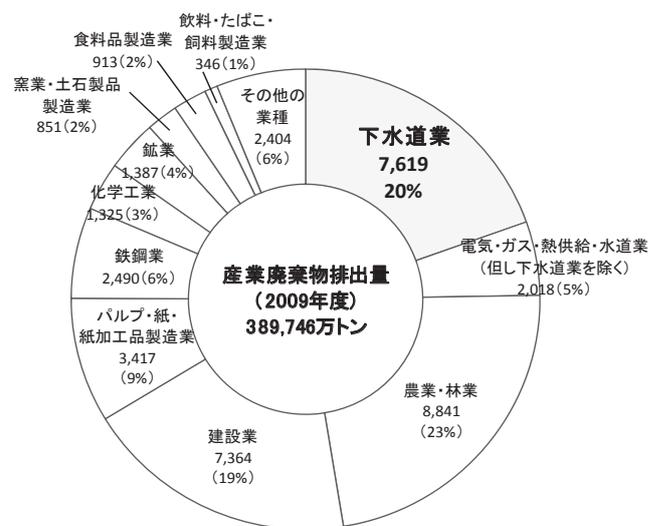


図 1 産業廃棄物排出量に占める下水汚泥の割合 (単位：万トン／年)
出典：環境省「産業廃棄物排出・処理状況等 (平成 21 年度実績)」(国土交通省にて一部加工)

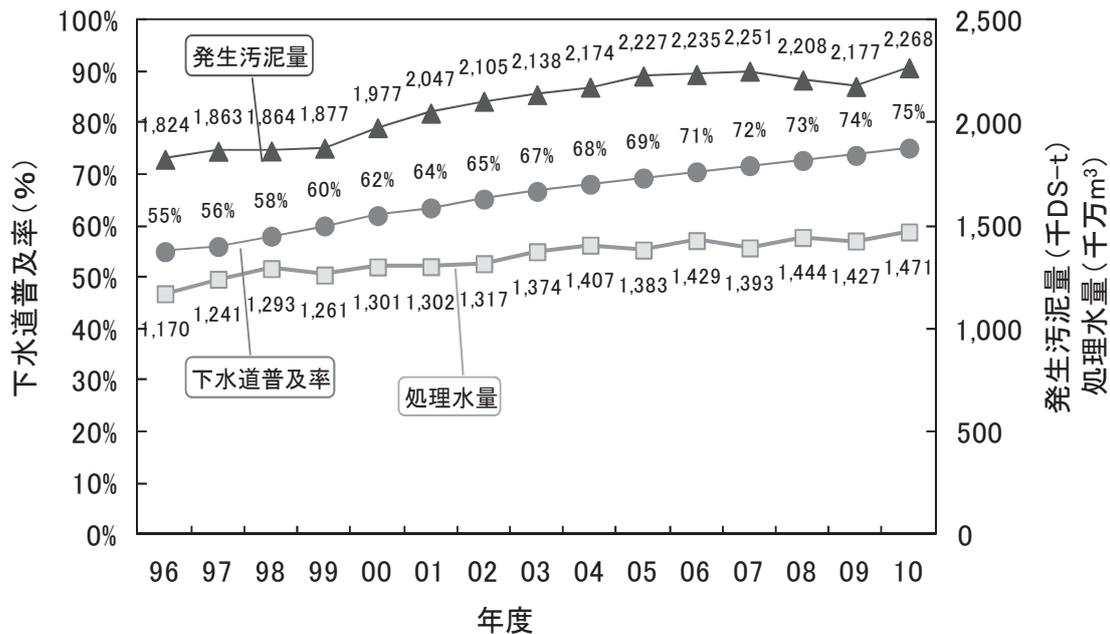


図2 下水道普及率と発生汚泥量、処理水量の推移 (下水道統計及び国土交通省調べ)

法や各種リサイクル関連法や循環型社会形成推進基本計画等が制定・改正されており、我が国における循環型社会構築に向けた取組が各方面で進められている。

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

また、大量の資源・エネルギーの消費に伴う温室効果ガス排出量の増加により、地球温暖化の影響が顕在化してきており、平成17年2月の京都議定書の発効を受け、その対応は国際的な最重要課題となっている。加えて、東日本大震災を契機とした東京電力福島第一原子力発電所事故によるエネルギー需給の逼迫への対応が急務となっている。

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

このため、地球温暖化対策の推進に関する法律第8条に基づく「京都議定書目標達成計画」(平成17年4月閣議決定、平成20年3月全部改定)では、下水汚泥焼却施設における燃焼の高度化とともに、下水道における省エネルギー対策と汚泥のエネルギー利用等の新エネルギー対策の推進が下水道分野の対策として盛り込まれており、国、地方公共団体、事業者、国民といったすべての主体が参加・連携して、同計画に掲

げられた各種対策・施策を推進することが求められている。加えて、地方公共団体においては、地球温暖化対策の推進に関する法律第20条の3に基づき「地方公共団体実行計画」を策定し、庁舎等におけるエネルギー消費のみならず、下水道事業等の運営といった事業を含めた温室効果ガスの総排出量に関する目標を掲げ、かつ、定期的実施状況の点検を行うことが求められている。

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

さらに、平成24年7月には「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法」が施行され、「再生可能エネルギーの固定価格買取制度」が開始された。本制度においては、下水汚泥を含むバイオマスを用いて発電された電気も再生可能エネルギーとして買取対象となっており、今後、本制度を活用した再生可能エネルギーの導入拡大が期待される。

以上のように、循環型社会、低炭素社会の構築が求

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

2. 下水汚泥の発生量と処理処分等の現状

平成22年度における下水汚泥の処理及び処分の状況を表1、表2に示す。下水汚泥は年間約227万DS-t(乾燥重量トン)が発生しており、そのうち約78%(約

177万DS-t)が緑農地利用、建設資材利用、固形燃料利用等として有効利用されている。

下水汚泥の有効利用の状況を表3、図3に示す。埋立処分量は年々減少しており、下水汚泥の有効利用が着実に進展している。有効利用の内訳としては、従来緑農地利用が中心であったが、建設資材利用が緑農地利用の割合を上回った平成7年度以降、セメント原料利用等の建設資材利用が進んできている。また、有効利用については、セメント原料利用以外の建設資材利用を除いては、いずれの利用形態においても自治体よりも民間で行われている量の方が多い。

表1 下水汚泥の処理及び処分状況(汚泥発生時乾燥重量ベース、平成22年度)
(国土交通省調べ)

単位:DS-t/年

引き渡し先 処理後の 汚泥形態	最終安定化先									合計	%
	埋立処分	緑農地 利用	建設資材利用		固形燃料	その他 有効利用	海洋還元	場内 ストック	その他		
			セメント化	セメント化以外							
生汚泥	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
濃縮汚泥	26	9	0	0	0	0	0	0	0	35	0.0%
消化汚泥	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
脱水汚泥	23,161	34,998	105,197	10,016	620	3,856	0	82	42	177,973	7.8%
移動脱水車汚泥	0	115	20	9	0	0	0	0	0	143	0.0%
コンポスト	0	249,890	0	0	0	0	0	0	0	249,890	11.0%
機械乾燥汚泥	1,910	33,589	15,907	415	17,477	10,705	0	0	0	80,002	3.5%
天日乾燥汚泥	167	381	0	22	0	0	0	17	0	587	0.0%
炭化汚泥	45	3,646	183	190	1,488	443	0	195	0	6,191	0.3%
焼却灰	447,581	18,446	757,845	282,873	0	19,748	0	149	1,143	1,527,784	67.4%
溶融スラグ	117	484	6,012	193,282	0	3,137	0	22,041	449	225,522	9.9%
合計	473,007	341,559	885,163	486,807	19,585	37,889	0	22,483	1,634	2,268,126	100.0%
%	20.9%	15.1%	39.0%	21.5%	0.9%	1.7%	0.0%	1.0%	0.1%	100.0%	

表2 下水汚泥の処理及び処分状況(処分時体積ベース、平成22年度)
(国土交通省調べ)

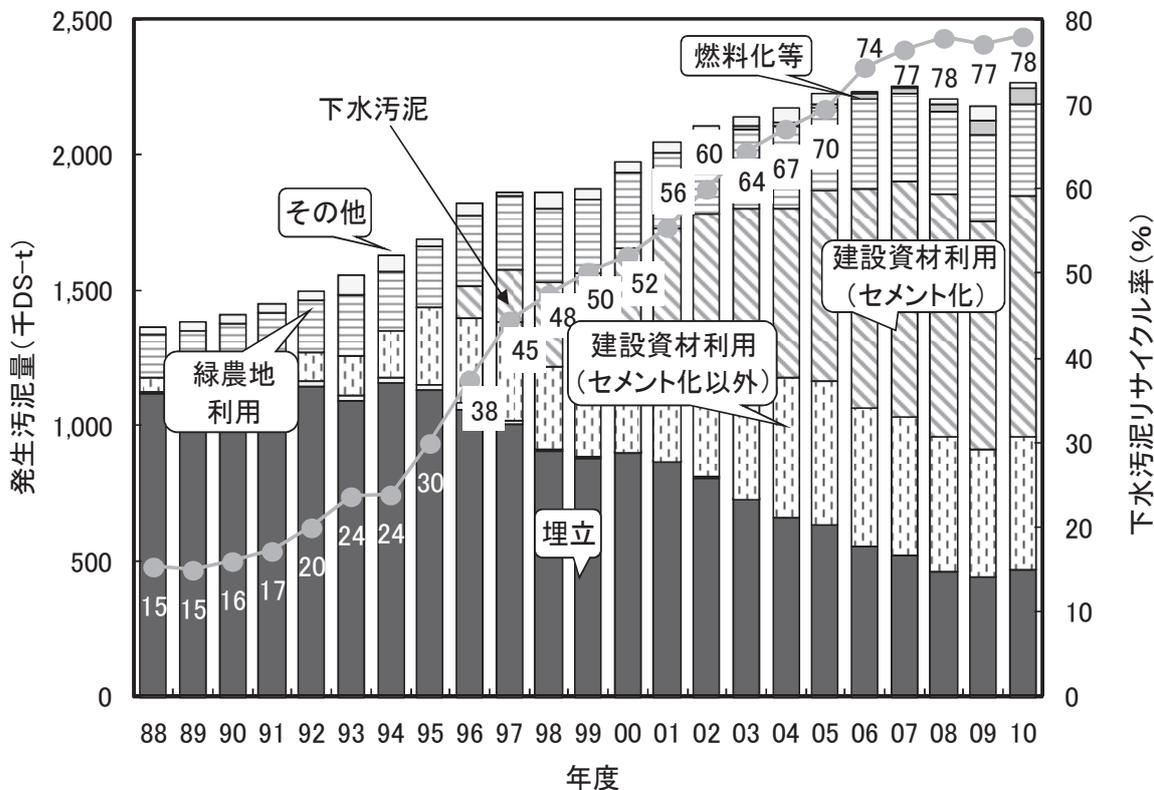
単位:m³/年

引き渡し時 (搬出時)の 汚泥形態	最終安定化先									合計	%
	埋立処分	緑農地 利用	建設資材利用		固形燃料	その他 有効利用	海洋還元	場内 ストック	その他		
			セメント化	セメント化以外							
生汚泥	1,257	1,463	117	462	0	0	0	0	1,463	3,299	0.1%
濃縮汚泥	28,805	23,460	2,841	3,383	0	0	0	0	23,460	58,489	2.4%
消化汚泥	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
脱水汚泥	247,598	758,227	786,067	177,033	40,040	50,462	386	8,597	758,227	2,068,411	83.9%
移動脱水車汚泥	425	3,340	600	1,354	0	0	0	0	3,340	5,718	0.2%
コンポスト	0	27,927	0	0	0	0	0	0	27,927	27,927	1.1%
機械乾燥汚泥	10,804	25,560	9,019	123	2,988	0	0	0	25,560	48,493	2.0%
天日乾燥汚泥	175	711	0	93	0	0	114	0	711	1,093	0.0%
炭化汚泥	8	954	0	12	0	34	55	0	954	1,064	0.0%
焼却灰	83,503	100	83,716	48,688	0	3,193	61	0	100	219,261	8.9%
溶融スラグ	205	111	1,128	23,932	0	272	5,827	0	111	31,473	1.3%
合計	372,780	841,853	883,487	255,080	43,028	53,960	6,443	8,597	841,853	2,465,228	100.0%
%	15.1%	34.1%	35.8%	10.3%	1.7%	2.2%	0.3%	0.3%	34.1%	100.0%	

表3 実施主体別の有効利用実施状況（汚泥発生時乾燥重量ベース、平成22年度）
（国土交通省調べ）

単位：DS-t/年

	液状汚泥	脱水汚泥	コンポスト	乾燥汚泥	炭化汚泥	焼却灰	溶融スラグ	計
緑農地利用								
自治体で実施	0	6,034	34,432	14,701	1,067	16,367	484	73,085
民間に引渡し	9	29,079	215,458	19,268	2,579	2,079	0	268,473
小計	9	35,114	249,890	33,969	3,646	18,446	484	341,559
建設資材利用(セメント化)								
自治体で実施	0	7,357	0	3,399	0	115,473	24	126,253
民間に引渡し	0	97,860	0	12,508	183	642,372	5,988	758,911
小計	0	105,217	0	15,907	183	757,845	6,012	885,163
建設資材利用(セメント化以外)								
自治体で実施	0	2,046	0	5	135	102,285	146,128	250,599
民間に引渡し	0	7,979	0	433	55	180,588	47,154	236,208
小計	0	10,025	0	438	190	282,873	193,282	486,807
固形燃料								
自治体で実施	0	0	0	5,752	0	0	0	5,752
民間に引渡し	0	620	0	11,725	1,488	0	0	13,833
小計	0	620	0	17,477	1,488	0	0	19,585
その他有効利用								
自治体で実施	0	0	0	10,566	0	1,270	432	12,269
民間に引渡し	0	3,856	0	139	443	18,478	2,704	25,620
小計	0	3,856	0	10,705	443	19,748	3,137	37,889
合計	9	154,831	249,890	78,496	5,951	1,078,912	202,914	1,771,002



※汚泥処理の途中段階である消化ガス利用は含まれない。

図3 下水汚泥の最終処分・利用形態の経年変化（汚泥発生時乾燥重量ベース）
（国土交通省調べ）

3. 下水汚泥の有効利用

下水汚泥の有効利用の形態は、マテリアル利用、エネルギー利用に分けられる。セメント原料等としての建設資材利用やコンポスト等としての緑農地利用が着実に進展している一方、下水道バイオガス又は固形燃料としてのエネルギー利用は低い水準にとどまっている。それぞれの状況を以下に概観する。

(1) マテリアル利用

①建設資材利用

下水汚泥の建設資材利用としては、セメント原料としての利用の割合が多くなってきており、平成22年度においては、乾燥重量ベースで約60%が建設資材利用されており、うち約3分の2がセメント原料としての利用となっている。焼却灰や溶融スラグを建設資材として利用する形態は、大きく分けて次の2つがある。

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

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

下水汚泥の建設資材利用促進に関しては、以下のような指針類がある。

- 1) 下水汚泥の建設資材利用マニュアル(案) 2001年版(社)日本下水道協会)
- 2) 下水汚泥建設資材化のガイドライン(案) 2001年版(社)日本下水道協会)

②緑農地利用

下水汚泥には、多量の肥効成分や有機物が含まれており、適正な施用を行うことによって土壤改良材や肥料として十分な効果を有することが明らかになっており、平成22年度においては、乾燥重量ベースで約15%が緑農地利用されている。

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

め、有効利用促進の観点からコンポスト化の意義は大きい。

緑農地利用に関しては、次のような指針類がある。

- 1) 都市緑化における下水汚泥の施用指針(昭和61年、平成7年一部改正)
- 2) 下水汚泥の農地・緑地利用マニュアル－2005年版－(社)日本下水道協会)
- 3) 下水汚泥コンポスト施設便覧－2001年版－(社)日本下水道協会)

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

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

(2) エネルギー利用

下水汚泥のエネルギー利用は、主に下水道バイオガスの利用、固形燃料化であり、この他、下水汚泥焼却廃熱を利用した発電・冷暖房等がある。

①下水道バイオガス利用

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

平成22年度の消化槽からの下水道バイオガス発生量は約3億 m^3 であり、内訳をみると、約7割(220百万 m^3)が利活用されており、残り約3割(87百万 m^3)

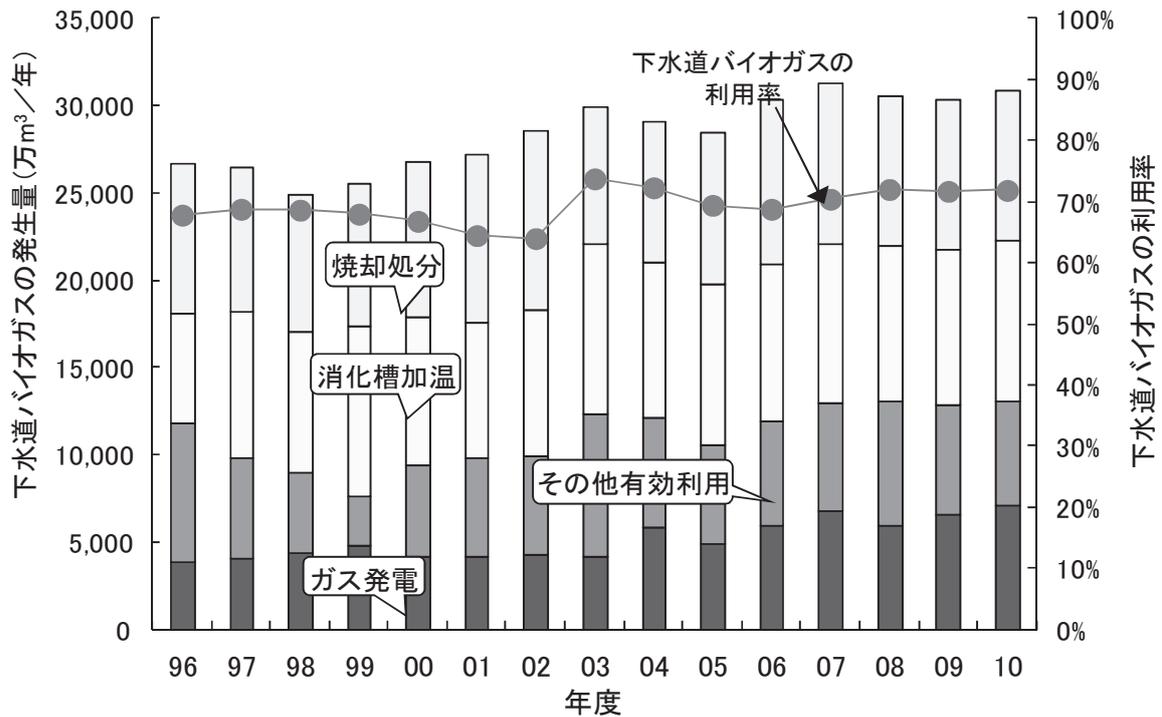


図4 下水道バイオガス利用の経年変化 (国土交通省調べ)

は焼却処分されている。また、下水道バイオガス発生量の約2割(71百万m³)はガス発電に利活用されているが、約3割(92百万m³)は消化槽の加温用としての用途にとどまっており、今後、熱と電気を同時に発生させるコジェネレーション利用の普及が望まれる。

下水道バイオガスを用いた発電は、下水処理場の電力費の節約と資源有効利用の観点から進められている。平成22年度時点では、全国33箇所の処理場においてバイオガス発電が導入されており、総発電容量は約26,000kW、総発電量は約1億3,000万kWh/年に上り、全国のポンプ場及び下水処理場における年間消費電力量約72億kWh(平成22年度)の約2%に相当する。

②固形燃料化利用

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

炭化とは、脱水汚泥を乾燥した後、低酸素又は無酸素状態で蒸し焼きするもので、工程の温度に大きく依存するが、炭化汚泥は約14~21MJ/kg¹⁾の発熱量(高位)を有しており(石炭は25.7MJ/kg²⁾)、また、

ほとんど臭いがしないという特徴を有している。炭化による固形燃料化施設については、現在、東京都や広島市、愛知県等で導入されているとともに、大阪市、熊本市、埼玉県、横浜市等で導入に向けた具体的な取組が進められている。

また、脱水汚泥を廃食用油等に投入し、減圧・加熱の条件下で水分を蒸発させる油温減圧乾燥汚泥は、約22MJ/kgの発熱量(低位)を有しており、福岡県御笠川浄化センターでは平成13年度より松浦火力発電所(電源開発株)に供給を行っている。

平成22年度に固形燃料として利用された下水汚泥は約2.0万t-DSであり、全体の約1%であるが、複数の自治体で事業化が検討されており、今後、固形燃料化の進展が期待される。

4. 重点施策

(1) 基本的な方針:「資源のみち」の創出

平成17年9月に、下水道政策研究委員会中長期ビジョン小委員会が、「これまでの『普及拡大』中心の20世紀型下水道から、『健全な水循環と資源循環』を創出する21世紀型下水道への転換を目指すべき」として、長期的視点からみた今後の下水道の方向性を「下水道ビジョン2100」として取りまとめた。その施策方針の1つとして、水環境の保全等下水道の有する機能に加え、下水道の有する資源回収・供給機能を積極的に活かし

1) 日本下水道事業団「下水汚泥固形燃料化システムの技術評価に関する報告書」(2008.3)
 2) 経済産業省資源エネルギー庁「2005年度標準発熱量」

て、下水処理場のエネルギー自立や地球温暖化防止等に貢献する「資源のみち」の創出が盛り込まれている。

「資源のみち」の創出に向けては、下水道施設のエネルギーの自立率を高める「自立する資源のみち」、集積する下水汚泥や空間・立地条件を活用し地域社会に供給する「活かす資源のみち」、さらにそれらエネルギーや資源の活用による地球温暖化防止等、環境保全に貢献する「優しい資源のみち」の3つを施策展開上の視点とすることとされている。

今後の下水道のあり方として、下水道を、従来の下水を排除・処理する一過性のシステムから、資源・エネルギーの回収・再生・供給システムへと転換し資源・エネルギー循環の形成を図ることで、循環型社会形成及び低炭素社会の構築に貢献することが重要である。

(2) 個別重点施策

今後重点的に取り組む施策は、以下のとおりである。

① 下水道革新的技術実証事業 (B-DASH³⁾ プロジェクト)

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

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

加えて、実証プラントは海外からの視察にも活用する等、水ビジネスの海外展開に対する支援にも活用することとしている。

平成23年度開始実証事業の評価及び平成24年度開始実証事業の概要について、以下に紹介する。また、平成25年度予算として、バイオマス発電の実証事業を要求中であり、今後も着実な実証事業の実施を図るとともに、実証技術の水平展開を推進していく。

【平成23年度開始実証事業の評価】

平成23年度に開始した以下の2事業については、「下水道革新的技術実証事業評価委員会」により評価されているとともに、ガイドライン化などを目的として、平成24年度も事業を継続して実施している。

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

実施者：メタウォーター(株)・地方共同法人日本下水道事業団 共同研究体

実証フィールド：大阪市中浜下水処理場

評価：超高効率固液分離技術、担体を用いた高効率高温消化技術、燃料電池を用いたスマート発電で構成され、従来技術よりも高機能なシステム技術であり、平成23年度の実証研究において一定の成果が得られた。今後、槽内担体の目詰まり対策等の高温消化時の課題への対応や、システム全体での評価が必要なことから、平成24年度も引き続き研究を実施し、ガイドライン化を図ることが望ましい。

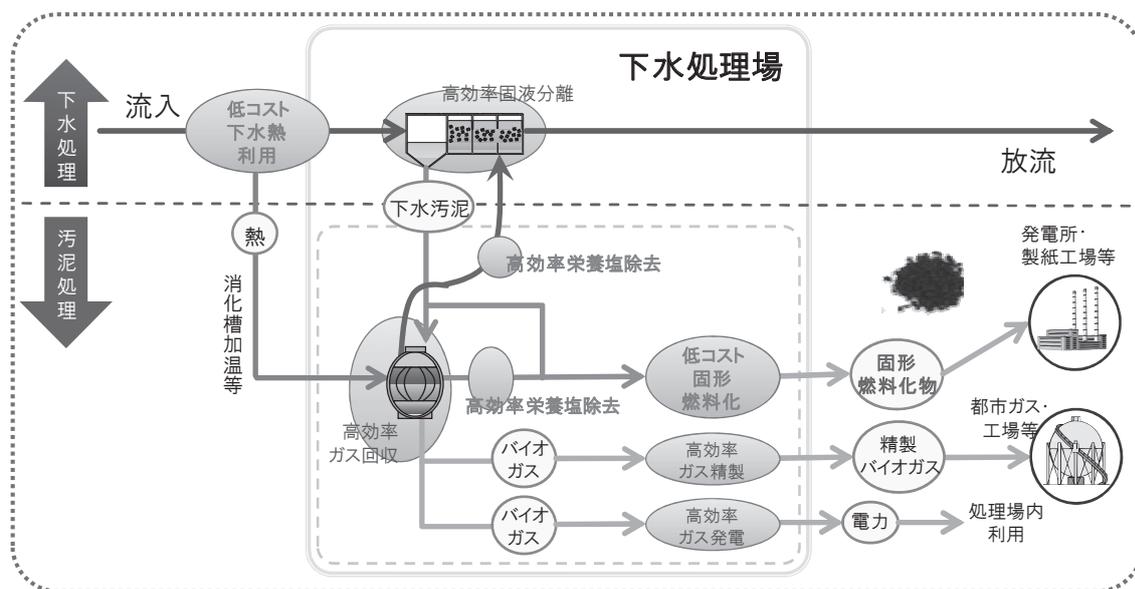


図5 B-DASHのイメージ

○神戸市東灘処理場 再生可能エネルギー生産・革新的技術実証事業

実施者：(株)神鋼環境ソリューション・神戸市 共同研究体

実証フィールド：神戸市東灘処理場

評価：地域特性を活かした多様なバイオマスによるガスの精製技術、鋼板製消化槽の可視化技術など、従来技術よりも高機能なシステム技術であり、平成23年度の実証研究において一定の成果が得られた。今後、技術の水平的な普及展開のため、バイオマスの種類・量を変えた性能評価や、異なる施設規模での評価などが必要なことから、平成24年度も引き続き研究を実施し、ガイドライン化を図ることが望ましい。

【平成24年度開始実証事業の概要】

平成24年度開始事業については、「下水道革新的技術実証事業評価委員会」による審査を経て、下記の5事業が選定されている。

○温室効果ガスを排出しない次世代型下水汚泥固形燃料化技術

実施者：長崎市・長崎総合科学大学・三菱長崎機工(株) 共同研究体

実証フィールド：長崎市東部下水処理場

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

○廃熱利用型 低コスト下水汚泥固形燃料化技術

実施者：JFEエンジニアリング(株)

実証フィールド：松山市西部浄化センター

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

○管路内設置型熱回収技術を用いた下水熱利用に関する実証事業

実施者：大阪市・積水化学工業(株)・東亜グラウト工業(株) 共同研究体

実証フィールド：大阪市海老江下水処理場

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

○固定床型アナモックスプロセスによる高効率窒

素除去技術に関する技術実証事業

実施者：熊本市・地方共同法人日本下水道事業団・(株)タクマ 共同研究体

実証フィールド：熊本市東部浄化センター

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

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

実施者：水ing(株)・神戸市・三菱商事アグリサーブス(株) 共同研究体

実証フィールド：神戸市東灘処理場

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

②官民連携による下水道資源有効利用の促進

平成22年5月に策定された国交省成長戦略では、官民連携により下水道資源(下水汚泥、下水熱等)の有効利用を進めることとされており、これを踏まえ、国土交通省では「官民連携による下水道資源有効利用促進制度検討委員会」(委員長：津野洋 京都大学大学院教授)を設置し、議論を進めた結果、平成23年8月に、本委員会から以下の9項目からなる提言がなされた。現在、国土交通省において、本提言を踏まえた施策を推進しているところである。

提言1：下水汚泥固形燃料のJIS化による固形燃料市場の活性化

提言2：革新的固形燃料化技術実証事業によるコスト低減、改築推進

提言3：革新的バイオガス増量技術実証事業による混合消化の推進

提言4：都市ガスとの混焼等による省エネ発電の推進

提言5：下水処理場の地産地消エネルギー供給拠点化の推進

提言6：下水バイオガス等による地域エネルギー施策への貢献の推進

提言7：サテライト処理等下水道事業と民間の熱利用事業とのパッケージ化の推進

提言8：下水管ネットワークの民間事業者による低コスト有効利用の推進

提言9：運用ガイドラインによる下水処理水熱の利用手続き明確化・簡素化

5. その他の施策

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

(1) 下水汚泥処理・有効利用施設整備の支援

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

①リサイクル推進事業<再生資源活用型>

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

②リサイクル推進事業<未利用エネルギー活用型>

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

③機能高度化促進事業<新技術活用型>

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

(2) 民間活用型地球温暖化対策下水道事業制度

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

(3) 税制（グリーン投資減税）

下水汚泥固形燃料利用の促進のため、平成23年6月30日から平成26年3月31日までの期間内に、下水汚泥固形燃料の貯蔵装置及び払出装置等を取付した事業者に対して、税制の特例措置を講じている。当該

事業者は、取得価額の30%特別償却（青色申告書を提出する法人又は個人）又は7%税額控除（中小企業のみ）を適用することができる。

(4) バイオソリッド利活用基本計画策定マニュアルの策定

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

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

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

(5) 下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン（案）の策定

国土交通省では、下水汚泥のエネルギー利用を推進するため、「下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン検討委員会」（委員長：津野洋 京都大学大学院教授）における検討を踏まえて、「下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン（案）」を、平成23年3月に策定した。

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

(6) 品質管理・PR等の推進

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

「下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン (案)」目次

<p>■第1章 ガイドラインの位置づけ</p> <p>1-1. 背景</p> <p>1-2. 目的</p> <p>1-3. ガイドラインの構成</p> <p>1-4. 用語の定義</p>	<p>■第4章 エネルギー化技術の導入検討</p> <p>4-1. 導入検討の手順</p> <p>4-2. 基礎調査</p> <p>4-3. 検討対象とするエネルギー化技術の抽出</p> <p>4-4. 事業形態の検討</p> <p>4-5. 温室効果ガス削減効果の算定</p> <p>4-6. 事業性の検討及び評価</p>
<p>■第2章 総論</p> <p>2-1. エネルギー化技術導入の意義</p> <p>2-2. 対象技術とその概要</p>	<p>■第5章 ケーススタディ</p> <p>5-1. ケース設定、条件設定</p> <p>5-2. 固形燃料化技術ケーススタディ</p> <p>5-3. バイオガス利用ケーススタディ</p>
<p>■第3章 エネルギー化技術の導入事例</p> <p>3-1. 国内導入事例</p> <p>3-2. 海外導入事例</p> <p>3-3. 我が国のエネルギー化技術レベルの現状</p> <p>3-4. エネルギー化技術導入にあたっての留意点</p>	<p>■資料編</p>

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

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

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

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

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

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

6. 終わりに

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

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

特集：第 25 回下水汚泥の有効利用に関するセミナー特集

研究紹介

下水汚泥有効利用の課題と 日本下水道事業団における取組み

日本下水道事業団 技術戦略部 戸田技術開発分室 島田正夫

キーワード：高効率メタン発酵、混合メタン発酵、消化ガス発電、高効率（低含水率）型脱水機、下水熱利用

1. はじめに

下水汚泥は量的、質的に安定した貴重なバイオマス資源であるにも係らず、わが国ではその多くが取扱いの面倒な産業廃棄物として処理処分され、必ずしも十分な有効利用が行われてこなかった。しかし、近年バイオマス活用推進基本法の制定（H 21 年 9 月施行）や、再生可能エネルギー特別措置法に基づく固定価格買取制度（H 24 年 7 月本格開始）において下水汚泥消化ガス発電電力が極めて有利な買取条件で示されるなど下水汚泥の資源的価値が見直されつつある。ここでは、日本下水道事業団における取組みの紹介を含めて、下水汚泥有効利用の現状・課題と今後の動向について報告する。

1.1 下水汚泥の発生量

下水処理場で発生する汚泥としては、最初沈殿池にて発生する初沈汚泥と最終沈殿池から発生する余剰汚泥がある。これらは重力濃縮や機械濃縮により 3% 前後に濃縮減量されるが、わが国公共下水道処理場全体で発生するこの濃縮汚泥量は約 7,700 万トン/年で、

図 1.1 に示すように全産業廃棄物発生量の約 20% を占めている。

図 1.2 に示すように下水道整備の進捗とともに漸増し、乾燥固形物量換算では、最近では 220 万 t DS/年となっている。ちなみに、下水処理人口一人あたりに換算すると約 25 kg DS/年となる。

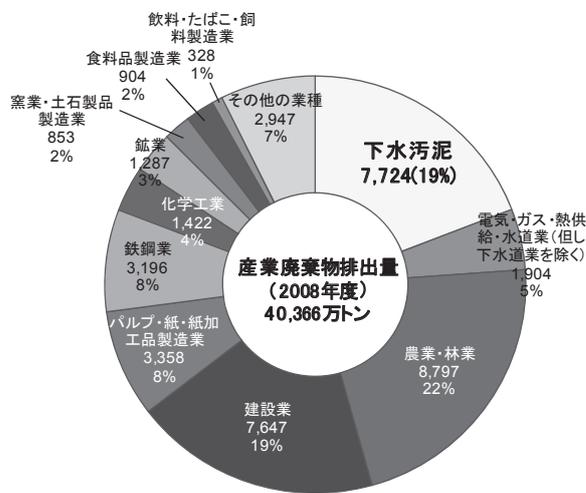


図 1.1 全産業廃棄物発生量に占める下水汚泥の割合¹⁾

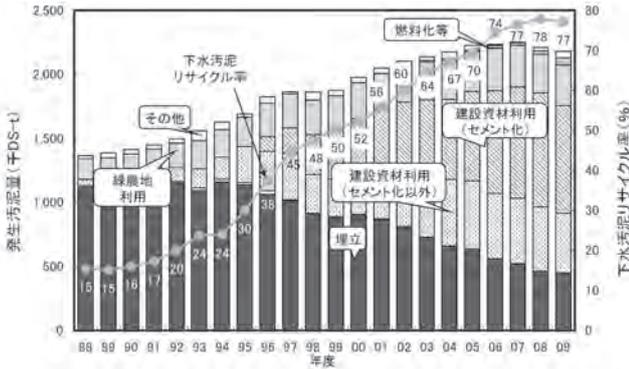


図1.2 下水汚泥発生量とリサイクル率の推移¹⁾

1.2 バイオマス資源としての特徴

下水汚泥は人間の社会生活、経済活動の結果発生する汚水を浄化処理する過程で生じる有機性の副産物である。畑地林地等で発生する野菜や樹木とおなじバイオマスの一つで、組成は80~90%が有機物である。下水汚泥は他の農林業系バイオマスや畜産系バイオマス等と比べ、発生形態や成分性状的に次のような特徴を有している。

[発生形態での特徴]

- ①一箇所に集約して発生するため、収集や運搬のコストがかからない
- ②年間を通じて、また将来にわたって発生量が安定している
- ③エネルギー消費の多い都市部で多く発生する

[性状的な特徴]

- ④年間を通じて成分組成等(有機分率など)が安定している
- ⑤比較的易分解性(微生物分解されやすい)の有機物である
- ⑥たんぱく質主体で窒素、りん、その他の微量栄養素を多く含んでいる

これらは、バイオマスエネルギー資源や有機肥料原料として有効利用を図る上で極めて優位な特性とみなされている。

2. 下水汚泥処理、有効利用の世界の動向

わが国では高度成長期における「大量生産」「大量消費」「大量廃棄」という社会構造のもと、廃棄物埋立処分地逼迫への対処としてリサイクルによる有効利用より焼却による減量化を優先する施策がとられてきた。その結果、図2.1に示すように世界でも類を見ない高い比率でごみや汚泥の焼却処理が行われるようになり現在に至っている。

欧米では、小規模処理場を除けば、下水汚泥はメタン発酵によるエネルギー回収(安定化)+緑農地利用が標準的な処理システムとなっている。

- ・日本は焼却処理+建設資材利用
- ・欧米はメタン発酵(エネルギー回収)
- + 緑農地利用

図2.2に、日本と欧米における下水汚泥の処理・有効利用の比較を示した。欧米では、下水汚泥の緑農地利用は循環型社会における最も理想的な姿とみなされている。

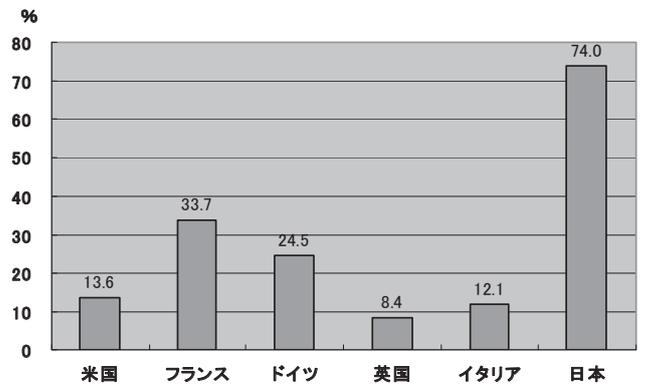


図2.1 一般廃棄物(ごみ)の焼却処理の比較 (H21環境統計より)

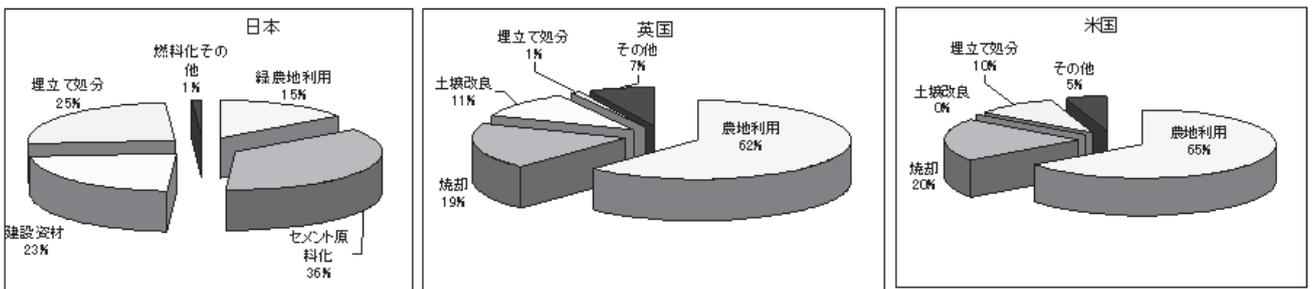


図2.2 日本と欧米における下水汚泥の処理・有効利用法の比較²⁾

3. メタン発酵によるエネルギー利用

3.1 高効率メタン発酵技術

世界的には下水汚泥を含むバイオマスのメタン発酵施設導入が急速に進んでいるが、わが国では「有機分の50%しか分解ガス化しない」、「消化日数に20~30日も要す」などの理由で、下水道分野ではこの20年間300箇所程度のままでほとんど導入が進んでいない。

そこで、日本下水道事業団では導入を促進するためより高効率なメタン発酵技術として、大幅な分解ガス化の向上と汚泥の減量化が可能な『熱改質高効率嫌気性消化システム』、消化日数をわずか5日程度で処理する『担体充填型高速嫌気性消化システム』の開発を進めてきた。これらの性能については昨年度技術評価が完了し評価書が公表されており、また前回汚泥有効利用セミナー等でも既に報告しているのので、ここではそのシステムの概要と特徴についてのみ紹介する。

(1) 熱改質(可溶化)高効率嫌気性消化システム

下水汚泥成分中には微生物細胞壁のような難分解性の有機分が多く含まれており、従来の嫌気性消化法では約50%程度の有機分が分解ガス化されるのみで、多くの難脱水性消化残渣(汚泥)が残るのが課題のひとつであった。汚泥を熱で改質して消化タンクに投入する技術は以前から提案されており、欧米では数多く導入されている。これまでは消化タンク投入前汚泥を熱改質するのが一般的であったが、我々が開発した技術は消化後脱水汚泥を対象に熱改質するもので、その基本的システムフローを図3.1に示す。

本システムの特徴として

- ① 消化汚泥を対象に熱改質処理するため、臭気の

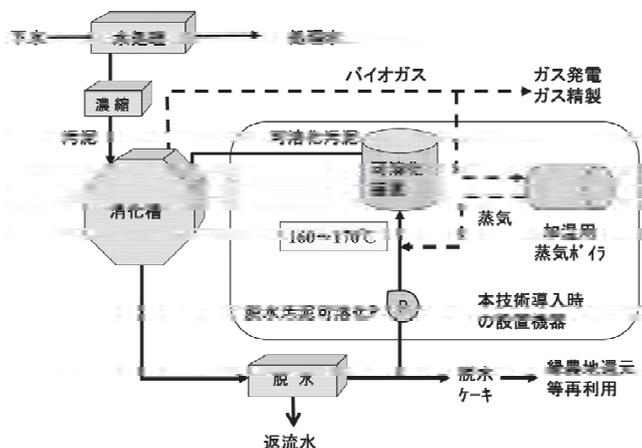


図3.1 熱改質高効率嫌気性消化システムの基本フロー図

発生が極めて少ない。

- ② 脱水汚泥を対象とするため、熱改質に要するエネルギーが極めて小さい。
- ③ 160~170°Cの熱改質汚泥を消化タンクに戻すことで消化タンクの加温を行う。したがって、投入熱エネルギーは従来の消化タンク加温エネルギーと基本的には同じである。
- ④ 難分解性の有機物が改質されるため、有機物の分解ガス化率が大幅に向上する。
- ⑤ 熱可溶化によって、汚泥中の有機物分解が促進され、消化され易くなるため、消化日数を15日程度に短縮することができる。
- ⑥ 消化汚泥の熱改質により、汚泥の脱水性が大幅に改善される。

(2) 担体充填型高速嫌気性消化システム

下水汚泥の嫌気性消化における消化日数は通常20~30日以上を必要としていることから、嫌気性微生物による有機物分解反応は好気性微生物によるそれに比べ著しく遅いと思っている人が多い。実際は分解が遅いのではなく、嫌気性反応に大きく関係するメタン菌の増殖速度が小さいだけである。通常の好気性微生物や嫌気性微生物でも酸生成菌の増殖速度(生物量が2倍に増える日数)が0.1~2日程度であるのに対し、メタン菌の多くは3~10日を要する。従来の完全混合型消化タンクにおいては、消化日数を短くするとメタン菌が十分に増殖するまえにウォッシュアウト(流出)してしう。その結果、メタン菌の数が不十分となり酸発酵の段階で処理が停止してしまうことから、消化槽滞留日数を20~30日と大きくしている。

担体充填型高速嫌気性消化システムは、消化タンク内に充填した担体にメタン菌を付着固定化することでメタン菌の流出を抑制し、短い消化日数でも安定したメタン発酵が維持できるように開発したシステムである。(図3.2参照)

投入バイオマスとして最初沈殿池汚泥や生ごみなど酸発酵による分解性の高い基質を対象とし、55°Cの高温消化法を採用することで、5日程度の短い消化日数でも安定したメタン発酵が維持されることを確認している。

平成23年度国土交通省のB-DASH事業として、メタウォーター(株)と日本下水道事業団で共同提案し採択された「超高効率固液分離技術を用いたエネルギーマネジメントシステムに関する実証事業」の基本プロセスの一つとして、本高効率高温嫌気性消化システムが組み込まれている。大阪市中浜処理場内にタンク容量50 m³担体充填高速メタン発酵装

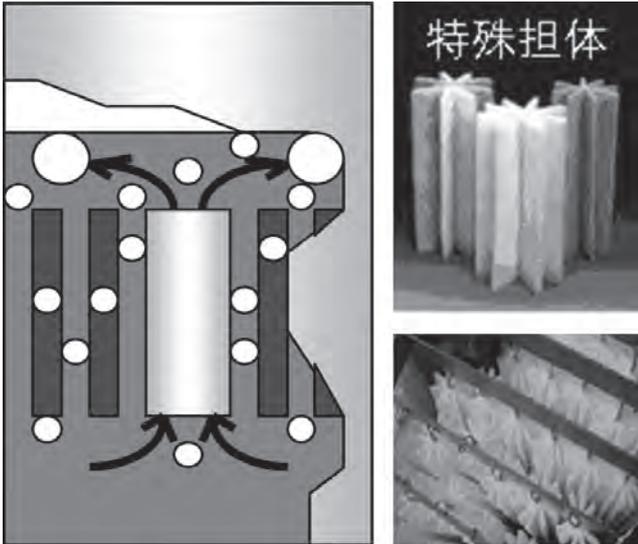


図3.2 担体充填型高速嫌気性消化の概要

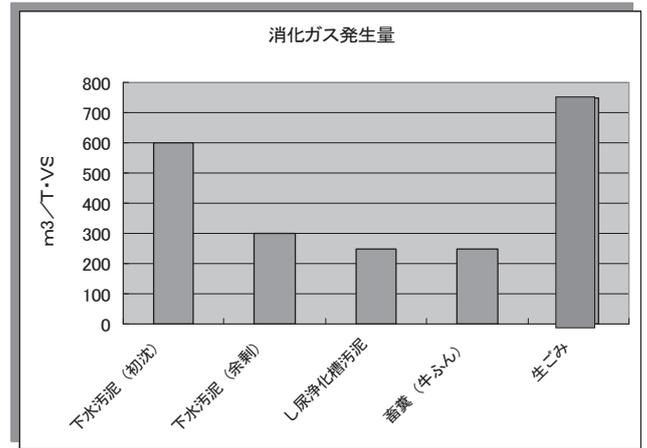


図3.3 各種バイオマスのメタン発酵特性³⁾



写真3.1 B-DASH実証試験プラントにおける高効率嫌気性消化システム

置のプラントを設置し実証試験を進めている(写真3.1)。下水汚泥と生ごみの混合バイオマス(固形物混合比1:0.8)を対象とした試験結果では、消化日数5日、有機物負荷約7.5kg/m³日という高負荷条件でも有機物分解率60~70%、投入有機物当りのガス発生量600~730 m³/t-VSという良好な運転結果が得られている。

3.2 他のバイオマスとの混合メタン発酵

バイオマスであれば全てメタン発酵により分解ガス化ができるわけではなく、比較的容易にガス化できるものとそうでないものがある。図3.3に示すように、下水汚泥の中でも余剰汚泥より最初沈殿池汚泥のメタン発酵特性(分解ガス化率)は高く、また生ごみはその最初沈殿池汚泥より更にメタン発酵性に優れている。言い換えれば、放置しておくとすぐに腐敗して悪

臭を発生しやすいものほどメタン発酵性が高く、もみながら木材チップなどのように長期間放置しておいても腐敗しないものはメタン発酵基質としては適していないといえる。

わが国では腐敗して悪臭を発するような廃棄物系バイオマスは、生活環境保全上から速やかに焼却処理することが望ましいとして、生ごみなどは可燃ごみとしてその大部分が焼却処理されている。近年ごみの分別回収が進むにつれ、可燃ごみに占める生ごみの比率が50%以上に上昇している都市が増えた。水分の多い生ごみを焼却処理するにあたりダイオキシン対策の面から800℃以上で焼却する必要があり多量の化石燃料を補助燃料として投入し無理やり焼却処理している箇所が多くなっている。

生ごみはメタン発酵に適した貴重な再生可能エネルギー源であり、欧州では主としてランドフィルガス(埋立地でのメタンガス化)として、米国ではディスポーザーにより下水管経由で下水処理場に集められ、バイオガスとして回収利用されている。エネルギー資源の大部分を外国からの輸入に頼っているわが国としては、メタン発酵に適した生ごみなどの廃棄物系バイオマスを下水汚泥とともに、焼却処理からメタン発酵によるエネルギー利用へと早急に改めることが望まれる。

3.3 液肥としての利用

地方の中小規模処理場では、近隣農地で消化汚泥をそのまま液体肥料(液肥)として使用することが考えられる。消化汚泥の液中にはアンモニアやリンが多く含まれるため、脱水処理する場合、その脱水ろ液返流水による水処理や放流水への影響が懸念される場合もあるが、液肥として利用することでこの問題が解消する。

乾燥汚泥又はコンポスト化した汚泥肥料は土壤微生物による汚泥の分解作用によって肥料効果が徐々

に発揮される「緩効性肥料」であるが、液肥の場合は液中の養分が速やかに肥料効果を発揮する「速効性肥料」としての効果も期待できる。

液肥を田畑に広範囲に施用するには写真3.2に示すような特殊な液肥散布機が必要となるため、個人農家で保有することは通常困難である。福岡県大木町バイオマス循環センターでは、製造した消化汚泥液肥を農家の依頼に応じて散布まで実施している。また、家庭菜園や小規模農地の需要者向けに、町内各地に写真3.3に示す液肥ステーションを設け、随時手軽に入手できるようにしている。当循環センターでは、町内で発生する生活排水汚泥や生ごみを全量メタン発酵によりエネルギー回収するとともに、年間に約6000 m³発生する消化汚泥を全量液肥として利用し、化学肥料から有機肥料への転換を目指す「環境保全型農業」の推進に大きく貢献している。

3.4 固定価格買い取り制度と消化ガス発電

わが国では欧米の先進国に比べ、再生可能エネルギー



写真3.2 液肥の散布状況



写真3.3 液肥ステーション

ギーの導入が極端に遅れている。昭和30～40年代に建設した大規模水力発電所を除けば、図3.4に示すように再生可能エネルギーによる発電量は全体のわずか1%程度(2010年)に過ぎない。これは、1970年代の2度にわたる石油ショックに対し、他の先進国は再生可能エネルギー導入に積極的に努力したのに対し、わが国では原子力発電の推進とエネルギー源を石油から石炭・天然ガスへの分散化に重点をおいた施策が取られてきたためである。

1990年代になって、温暖化ガスによる地球環境問題が世界的なテーマとしてクローズアップされ、京都議定書(1997年)により先進国が率先してCO₂削減に努めることが義務化された。その対策の一つとして、わが国では電気事業者に対して、一定量以上の新エネルギー等(再生可能エネルギー)を利用して得られる電気の利用を義務付けることにより、新エネルギー等の利用を推進する「電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法(RPS法)」が2002年6月公布されたが、制度的な課題もあって十分な効果が発揮できなかった。

一方、再生可能エネルギーの固定価格買取制度(FIT制度)をいち早く導入したドイツでは、図3.5に示す

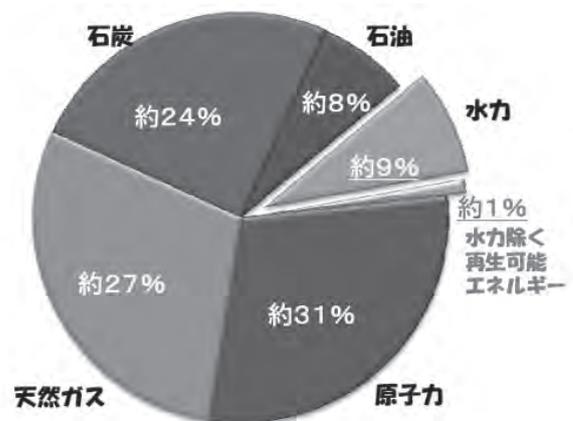


図3.4 電力エネルギー源構成⁴⁾

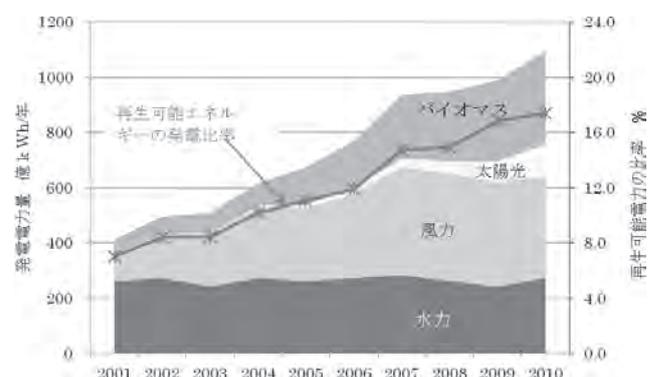


図3.5 ドイツの再生可能エネルギー導入推移⁵⁾

ように風力、バイオマスを中心に順調な導入が行われてきた。全発電量に占める再生可能エネルギー電力の割合は現在（2010年）約17.5%で、2020年には35%を目標にしている。FIT制度によるドイツなどでの再生可能エネルギー導入促進の実績から、わが国でもRPS法に変わる固定価格買取取り制度が平成24年7月に本格スタートした。

わが国における再生可能エネルギー電力固定価格買取取り制度の概要を図3.6に示した。再生可能エネルギー発電事業者から買取取り要請のあった電力は、当該地区の電力会社は原則国の定める固定価格である一定期間、全量買い取ることが義務付けられた。

買取取り価格及び買取取り期間は再生可能エネルギーの種類や発電方法等によって異なり、平成24年度におけるバイオマス発電の場合の買取取り条件を表3.1に示した。下水汚泥のメタン発酵による消化ガス発電電力の買取取り価格は税込み40.95円/kWh（税抜き39.0円/kWh）で、買取取り期間は20年間となっている。この買取取り価格は、最近の消化ガス発電実績（発電単価3～7円/kWh）からみれば極めて有利な単価であり、全体の再生可能エネルギー電力の導入状況にもよるが来年度以降の近い将来見直される可能性は極めて高い。現在汚泥の嫌気性消化を実施しながら発生する消化ガスの有効利用を行っていない処理場では、

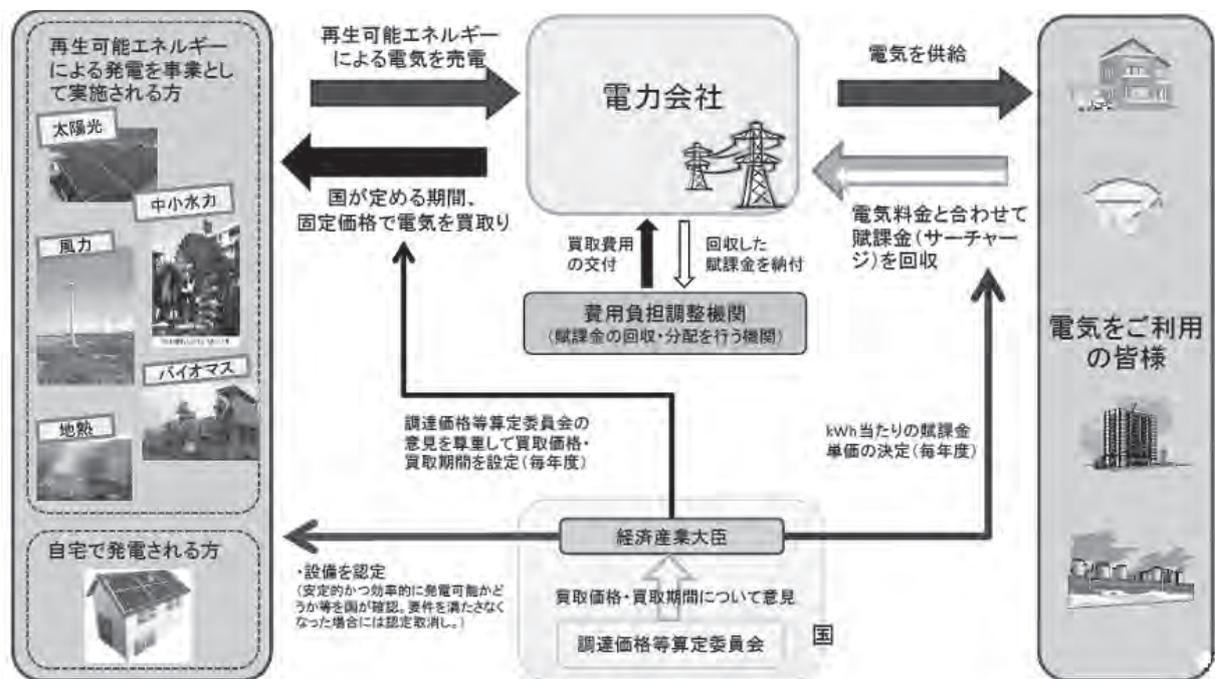


図3.6 再生可能エネルギー電力の固定価格買取取り制度の概要（経済産業省）

表3.1 各種バイオマスエネルギー電力の固定価格買取取り条件（価格、期間）

電源		バイオマス						
買取区分		ガス化（下水汚泥）	ガス化（家畜糞尿）	固形燃料燃焼（未利用木材）	固形燃料燃焼（一般木材）	固形燃料燃焼（一般廃棄物）	固形燃料燃焼（下水汚泥）	固形燃料燃焼（リサイクル木材）
費用	建設費	392万円/kW		41万円/kW	41万円/kW	31万円/kW		35万円/kW
	運転維持費（1年当たり）	184千円/kW		27千円/kW	27千円/kW	22千円/kW		27千円/kW
IRR		税前1%		税前8%	税前4%	税前4%		税前4%
買取価格（kWh当たり）	区分	【メタン発酵ガス化バイオマス】		【未利用木材】	【一般木材（パルプ製造用）】	【廃棄物系（木屑以外）】		【リサイクル木材】
	税込	40.95円		33.60円	25.20円	17.55円		13.65円
	税抜	39円		32円	24円	17円		13円
買取期間		20年						

消化ガス発電設備の早急な導入が望まれる。但し、この場合消化ガス発電設備の導入にあたっては単独費(国庫補助対象外)になる。

最近では中小規模処理場に適した高性能小型消化ガス発電システムが多く開発されており、流入水量が1万 m^3 /日以下の処理場でも導入効果が十分期待できるようになっている。

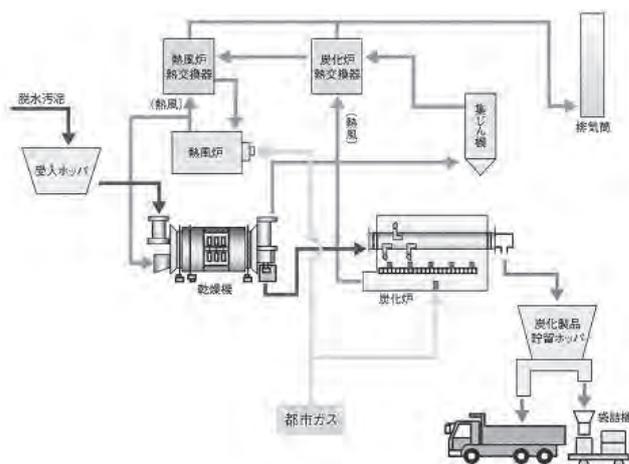


図4.1 下水汚泥炭化燃料製造システムの一例

4. 固形燃料化によるエネルギー利用

4.1 汚泥のエネルギー価値

下水汚泥成分組成の約80%は有機物である。表4.1に示すように乾燥した汚泥のエネルギー量は、火力発電所等で燃料として一般に使われている石炭の約6~7割に相当している。また、乾燥汚泥1tは灯油やガソリン500Lと同じエネルギー価値を有している。

ちなみに、下水処理場にはBODやSSという指標で示される有機性汚濁成分が毎日大量に流入してきている。下水汚泥はそれらの集積されたものである。流入下水量50,000 m^3 /日規模の下水処理場を例に考えると、乾燥固形物量として約10tDS/日程度であることから、灯油換算で5,000L(ドラム缶25本)相当のエネルギーが毎日自然に流入していることになる。

下水汚泥の固形燃料化としては、含水率10%程度以下に乾燥した乾燥固形燃料とするか、低酸素状態で蒸し焼きにして作られる炭化燃料として利用される。

図4.1に炭化燃料製造プロセスの例を示した。

脱水汚泥を含水率40%程度に乾燥したのち、ロータリーキルン型炭化炉に送られ、300~500 $^{\circ}C$ の低酸素状態で30~60分で炭化物となる。炭化温度が高くなるほど汚泥中の有機分が熱分解を受けてガス化、液化(タール化)してしまうため、固形燃料化を目的とする場合は300 $^{\circ}C$ 程度の比較的低い温度で処理し燃料価値の高い炭化物を得る低温炭化システムが実用化されている。

表4.1 下水汚泥のエネルギー価値

下水汚泥等のエネルギー量		
乾燥汚泥	17~20	MJ/kgDS
炭化製品	14~21	MJ/kgDS
消化ガス	21~24	MJ/N m^3
<参考>		
石炭(一般)	25~28	MJ/kg
灯油・ガソリン	36~38	MJ/L
都市ガス	45~46	MJ/N m^3

4.2 安定した需要先の確保

固形燃料化事業は下水処理場サイドからみて汚泥の最終処分にも繋がることから理想的な有効利用法の一つではあるが、固形燃料化しても必ずしも十分な需要先があるわけではない。大規模な石炭ボイラーやバイオマス固形燃料ボイラーを有し、長期的に安定した需要先となる事業者(石炭火力発電所など)を見つけて出すことが事業化の最重要課題となる。

4.3 燃料化のための投入エネルギー削減

含水率80%程度の脱水汚泥1tを乾燥又は炭化による固形燃料化した場合、灯油換算で約50~100L程度の燃料化物が製造できる。しかし、脱水汚泥1t当たり800L相当の水分を除去する必要があるため、灯油ボイラー等を用いた加温蒸発による水分除去には約80L相当のエネルギー投入が必要となる。回収利用できるエネルギー量より投入エネルギー量が多くなる場合がある。

この問題に対処するものとして、以下の方法が考えられる。

- ①ごみ焼却工場などの近隣で発生する余剰熱源を利用する
- ②メタン発酵と組み合わせ、消化ガスを補助燃料として利用する
- ③高効率型脱水機の導入により、汚泥の低含水率化を図る

5. 汚泥処理における省エネ技術

5.1 高効率(低含水率)型脱水機

消化汚泥の液肥利用等を例外として、下水汚泥の有効利用を図る上でハンドリング性向上等をはかるため脱水処理が行われる。脱水機種や凝集剤添加条件等にもよるが、脱水汚泥の含水率は通常混合生汚泥の場

合で75~80%、消化汚泥やOD法などの余剰汚泥では80~85%程度である。すなわち脱水汚泥の約80%は水分であり、固形燃料化によるエネルギー利用やコンポスト化による緑農地利用など、有効利用を図る上では効率的な水分の除去（低含水率化）が重要になっている。

日本下水道事業団では図5.1及び図5.2に示すような効率的な汚泥脱水システムの開発を複数の脱水機メーカーと実施している。実証試験結果では2液（高分子凝集剤+無機凝集剤）薬注により生汚泥で69~72%、消化汚泥で70~76%という良好な脱水汚泥含水率が得られている。

70%程度にまで低含水率化した場合、脱水汚泥のポンプ圧送に制約が生じる可能性が懸念されるが、図5.3に示す低動力で長距離圧送が可能なマルチリボンスクリューによる新しい移送ポンプシステムの開発も進めている。滑剤なしで100m、滑剤有りで250m程度の圧送が可能になると期待されている。

5.2 ヒートポンプによる下水熱利用

ヒートポンプとは図5.4に示すように、熱媒体の凝縮及び蒸発における熱変化を利用して熱を低いところから高いところへ移動させるシステムである。家庭用の冷蔵庫やエアコンでも広く使われている。投入するエネルギー（主として圧縮機の電力）の3~6倍の熱エネルギーが得られることから、風力や太陽光と同じ再生可能エネルギーの一つとみなされるようになってきた。

ヒートポンプの熱源として一般には大気（空気）熱を用いるが、気体より液体が熱伝導性は高く、液体の中でも年間を通して比較的溫度変化の小さい下水熱が注目されている。

図5.5は、下水の有する各種エネルギーポテンシャルを比較したものである。バイオマスエネルギー資源（化学エネルギー）として既に回収利用の実績のある下

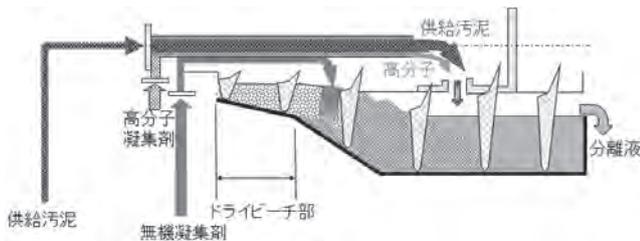


図5.1 2液薬注による高効率遠心脱水機

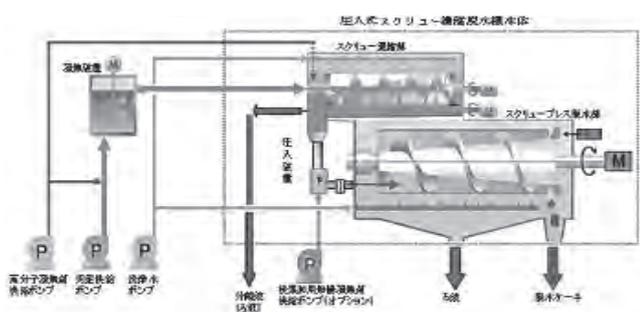


図5.2 圧入式スクリー濃縮脱水機

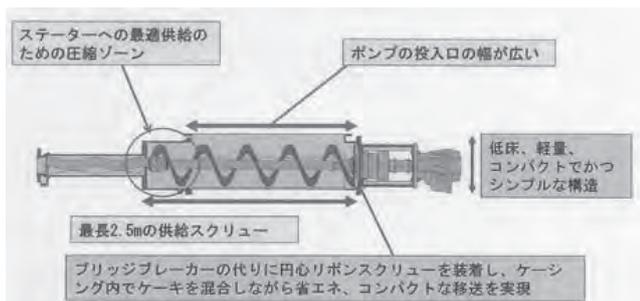


図5.3 低含水率脱水汚泥の移送ポンプシステム

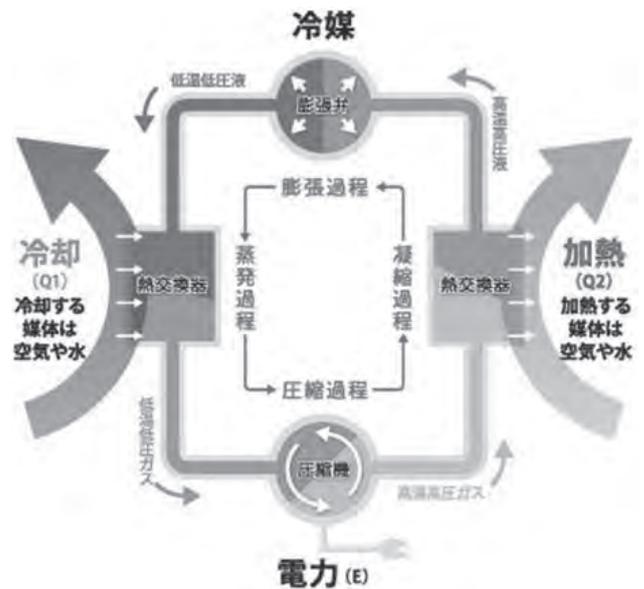


図5.4 ヒートポンプの原理

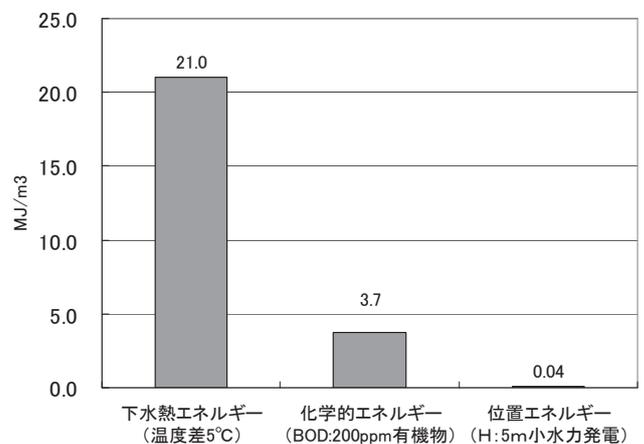


図5.5 下水の有するエネルギーポテンシャル

水汚泥は、流入下水 1 m³ 当りに換算すると 3.7 MJ/m³ 程度で、水位差 (位置エネルギー) を利用して発電できる電力エネルギーは落差 5 m の場合でも 0.04 MJ/m³ に過ぎない。これに対し、下水から 5℃ の熱を回収できるとした場合の熱エネルギーは 21 MJ/m³ であり、潜在的に極めて大きなエネルギーであることが分かる。流入下水量が 10,000 m³/日の処理場において、5℃ の下水熱回収が行われた場合のエネルギーは、灯油換算で 5,500 L/日に相当する膨大な量になる。

下水熱は、現在処理場管理棟や電気室空調用熱源として一部利用されている事例はあるが、消化タンクの加温熱源や汚泥の乾燥、コンポスト化補助熱源等、汚泥処理・有効利用プロセスの省エネ対策としての利用が期待される。

6. あとがき

わが国では下水汚泥の多くは焼却処理されているが、集約性に優れ、かつ量的、品質的にも安定した貴重なバイオマス資源でもある。欧米ではメタン発酵による安定化とエネルギー回収のあと良質の有機質肥料原料として広く一般的に有効利用されている。下水汚泥＝重金属＝産業廃棄物＝有害物といった誤った認識を改め、国産の貴重な再生可能バイオマス資源であるという考えで有効利用を進める必要がある。

また、生ごみも同様にその多くが可燃ごみとして焼却処理されているが、極めてメタン発酵性に優れた再

生可能バイオマス資源であることを認識すべきである。生ごみを各家庭で分別して回収することは住民への負担や回収コストの面からも課題は多いが、ディスポーザーによる下水管きよ経路で処理場に集約、下水汚泥との混合メタン発酵により容易にエネルギー資源として活用することが可能である。下水処理場では汚水の処理工程で大量の電力エネルギーを消費しているが、ディスポーザーによる生ごみを受け入れている米国では、処理場におけるメタン発酵ガス発電によりエネルギー自給率 100% のみならず電力会社へ売電している下水処理場は珍しくないと言われている。

原子力発電の将来展望が不確定な現在、エネルギー資源の大部分を輸入に頼っているわが国として、下水汚泥や生ごみなどの資源的価値を再認識して、積極的な有効利用が望まれる。日本下水道事業団としてもこのような観点から、今後も下水汚泥有効利用の推進に取り組んでいくことにしている。

<参考文献・資料>

- 1) 国土交通省下水道部HP (H 24年 3月)
- 2) 島田正夫:平成 23年度日本下水道事業団技術報告会資料
- 3) 日本下水道事業団「未利用バイオマスの活用によるエネルギー自立型処理場の開発調査」報告書 平成 21年 3月
- 4) 資源エネルギー庁HP (H 24年 6月)
- 5) 橘川武郎: ENeco 2012.04 p41

特集：第25回下水汚泥の有効利用に関するセミナー特集

研究紹介

下水汚泥および有機性廃棄物の 有効利用に関する土木研究所 リサイクルチームの研究展開

独立行政法人土木研究所 材料資源研究グループ リサイクルチーム

主任研究員 日 高 平

キーワード：嫌気性消化、有機性廃棄物、刈草、汚泥性状、汚泥濃縮

1. はじめに

土木研究所は、土木技術に関する調査、試験、研究および開発、ならびに指導や成果の普及などを行うことにより、土木技術の向上を図り、良質な社会資本の効率的な整備に資することを目的として設置された研究機関である。2011年度からの新たな中期計画の元で、リサイクルチームでは下水汚泥を含む各種バイオマスの有効利用に関する様々な研究展開を実施している。本稿では、これらの研究状況について報告する。

2. 研究概況

地球温暖化対策の進展や資源・エネルギー問題の対応に向けて、下水汚泥の嫌気性消化の工程で発生するメタンガスの有効利用に期待が高まっている。我が国の下水汚泥のマテリアル利用については、建設資材利用、緑農地利用などにより、下水汚泥利用率として77%にまで達しているものの、エネルギー資源としての利活用状況をみると、発生する下水汚泥中の有機分

総量のうち、バイオガスや汚泥燃料としてエネルギー利用されている割合は約1割であり、低い水準にとどまっていることから、今後の利用拡大の余地がある¹⁾。下水汚泥に加えて、他の有機性廃棄物（他バイオマス）と下水汚泥を混合消化させることも提案されている。他バイオマスの受入は、既存の消化槽の活用でも可能であり、他バイオマスとして、生ごみ、食品廃棄物、刈草、剪定枝、農業系廃棄物、浄化槽汚泥など様々な可能性が考えられる。近年、石川県珠洲市²⁾をはじめとして、現在我が国の下水処理場数カ所で、生ごみなど他バイオマスの受入が本格的に稼働している。こうした、下水処理場を核とした様々なエネルギー利活用システムについて、関連するガイドラインやマニュアルの整備も進められつつある^{3,4)}。また平成23年度には、国土交通省により大阪および神戸で下水道革新的技術実証事業（B-DASHプロジェクト）が実施されている⁵⁾。これらの実証事業では、いずれも下水汚泥の嫌気性消化技術を核として、周辺の技術開発をあわせて、新たなシステムが開発されており、他バイオマス受入も提案されている。

こうした背景をふまえ、現在土木研究所リサイクル

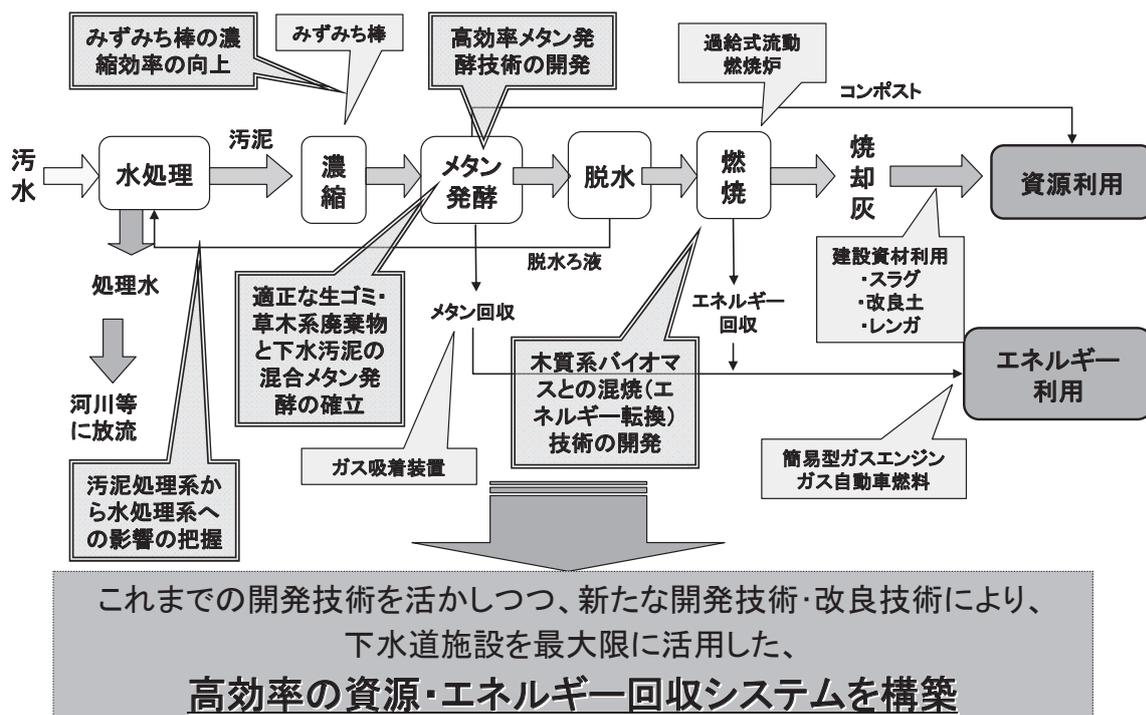


図-1 低炭素型水処理・バイオマス利用技術の開発に関する研究の概要

チームでは、「低炭素型水処理・バイオマス利用技術の開発に関する研究」と題したプロジェクト研究(図-1)や、その他の研究プロジェクトにより、下水汚泥利用に関する様々な研究を実施している。国土交通省からの受託研究や、地方公共団体などとの共同研究も含まれる。

3. 下水汚泥と刈草の混合嫌気性消化に関する基礎的検討

国土交通省総合政策局事業総括調整官室および独立行政法人土木研究所材料地盤研究グループリサイクルチームの調査⁶⁾によると、国土交通省直轄事業で除草・剪定により発生する草木系バイオマスの種類は、刈草:25万トン-wet(道路:4.5万トン-wet、河川:18万トン-wet)、剪定枝葉:1.6万トン-wetであった。また、県、市町村などの発生量を加えると、それ以上となる。それらの処分方法の内訳は、刈草は、37%が放置、12%が焼却、30%が再資源化であり、剪定枝葉は、5割が民間再資源化(堆肥、チップなど)であった。リサイクルチームでは、こうした草木系廃棄物を対象に、下水汚泥との混合消化に関する実験的検討を行っている。草木系廃棄物を対象とした混合消化の前処理として、蒸煮・爆砕処理の検討も行ってきた⁷⁾。蒸煮・爆砕法は、高温高压の水蒸気によって一定時間蒸煮した後、瞬時に圧力を開放し、凝縮水の気化に伴う爆発的

な体積膨張と蒸煮装置からの高速噴射による物理的な破壊によって粉砕する処理であり、木材の糖化、飼料化などのための処理方法として確立されている。木質チップを対象に蒸煮・爆砕処理を行った場合、後段の消化処理において、バイオガス発生量の増加が確認できている。

堆肥などへの資源化の際に、処理効率を上げるため、刈草は破碎機によって破碎されることが多い。また、メタン発酵で消化槽に刈草を投入する際に投入した刈草による送泥管などの閉塞を防ぐため、刈草の破碎が必要と考えられる。そこで、実際の刈草を用いて、破碎性能の異なる3種類の破碎機について比較検討を行った。9月下旬に発生した刈草を収集し、3種類の破碎機(A、B、およびC)を用いた破碎実験を行った。破碎機Cによる破碎後、10mm以下および20mm以下の刈草の割合は、それぞれ78%および93%であり、最も細かく破碎できた(図-2)。

破碎機Cで破碎した刈草について、下水汚泥を対象とした中温消化汚泥を用いて、回分式および連続式にて、下水混合汚泥との混合メタン発酵実験を行った。その結果、刈草の混合比などの実験条件により異なるものの、0.1~0.2L-メタン/gVS-刈草程度のメタン転換率が得られた。混合消化後の汚泥に対して、凝集剤を添加した簡易脱水試験を行ったところ、特に脱水性への悪化は見られなかった。実験的検討に加えて、刈草などの草木系廃棄物の様々な処理法を対象として、



図-2 本研究で使用した破碎前の刈草(上)および破碎機Cで破碎した刈草(下)

ライフサイクルアセスメントによる評価手法も開発中である⁸⁾。既存の下水処理場の消化槽に受入の余裕がある場合、焼却などの従来の処理法に比して、刈草を下水汚泥と混合消化することの優位性が示されつつある(平成23年度下水道関係調査研究年次報告書集、土木研究所資料No.4241)。ただし、刈草を消化槽へ投入する場合、消化槽内での浮上やポンプの目詰まりが懸念される。こうした課題についての検証も今後必要である。

4. 下水汚泥と有機性廃棄物の混合嫌気性消化に関する基礎的検討

他バイオマスを受け入れる場合、負荷が高まるので、既設処理場を活用する場合には受入可能な余裕があるかが重要である。負荷率の増加に対応する手段として、中温から高温条件への変更や、投入汚泥の高濃度化が考えられる。そこで、一般的な混合汚泥よりも高濃度であるTS 5%程度の混合汚泥を基質として、有効容積3Lの反応器の連続運転を中温条件下で行い、その処理特性を調査している⁹⁾。

有効容積3Lの反応器を準備し、中温35℃の条件下で連続運転を行った。植種汚泥として、都市下水処理場の消化槽から採取した消化汚泥を用いた。投入汚泥は、都市下水処理場の混合汚泥を用いた。混合汚泥の濃度はTS 3~4%程度であるので、実験室での遠心分離操作により、5%程度まで濃縮した。基質投入および消化液の引抜操作は1日1回の頻度にて手動で行った。運転開始当初数日に1回の頻度で、1回あたり150mLの基質投入を行った。処理が安定してきたと考えられた40日目以降は、平日のみ1日1回の頻度で150mLの基質投入を行った。

投入TSおよびVSの実測値が平均でそれぞれ5.1および4.3%であり、消化汚泥ではそれぞれ平均2.4および1.7%程度を安定して維持していた。既設の消化槽での平均的なVSベースでの消化率は60%程度であり、同程度の消化率が得られた。アンモニア性窒素濃度はおおむね1,000mg N/L以下であり、メタン発酵への阻害影響はなかった。揮発性有機酸(VFAs)として、コハク酸、乳酸、ギ酸、プロピオン酸、イソ酪酸、酪酸、イソ吉草酸、および吉草酸はほとんど検出されず、酢酸は7~14mg/Lであり、VFAsの蓄積は特に観察されなかった。

物質収支を把握するために、COD_{Cr}の測定も行った。累積投入基質量(gCOD)と累積生成メタン量(gCOD)の関係を図-4に示す。運転開始22日目~96日目の結果をまとめたものであり、全期間を通じてCODベースで60%程度の安定したメタン転換が示された。混合

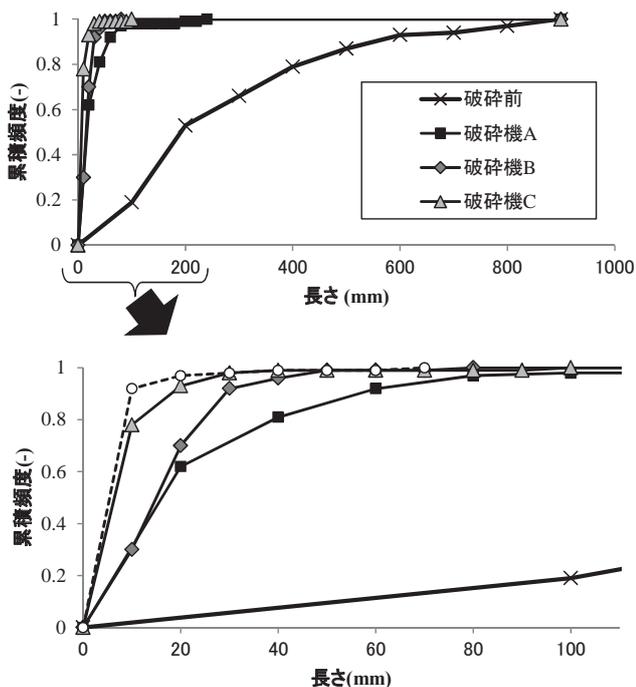


図-3 破碎前後の刈草の長さの分布

汚泥および消化汚泥のCOD_{Cr}/VS比はいずれも1.6程度であったことから、既設消化槽と同程度のメタン転換率が得られていたことが示された。本研究での負荷率1.8kg TS/(m³・d)程度で、アンモニアやVFAsの蓄積は特に見られなかったことから、負荷率のさらなる向上は可能であると考えられる。

消化汚泥および混合汚泥を用いて、混合汚泥の体積比を0、5、10および20%とした4系列について、35℃にて回分式実験を行った。用いた消化汚泥および混合汚泥のTCOD_{Cr}は、それぞれ15および48 g/Lであった。実験結果は図-5に示すとおりであり、ここでは、ブランクによるメタン生成量を差し引き、反応器体積あたりに換算して示している。最初の数日間のメタン生成速度は投入基質濃度によらずほぼ同程度であった。5%、10%および20%の系でそれぞれ5日、10日および20日程度経過後に基質からのメタン発生は完了していた。混合汚泥のメタン転換率はCODベー

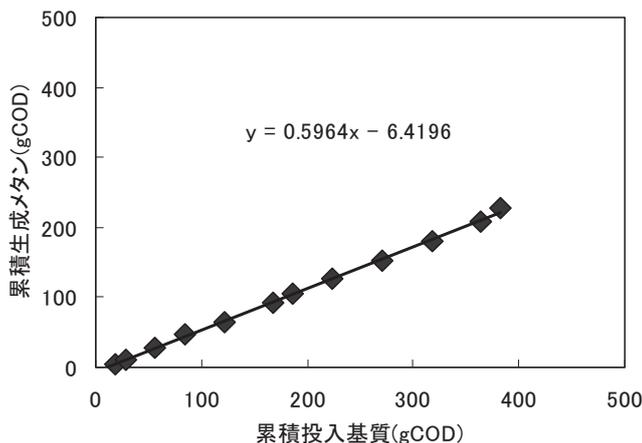


図-4 連続実験 (中温系) における累積投入基質量と累積生成メタン量の関係

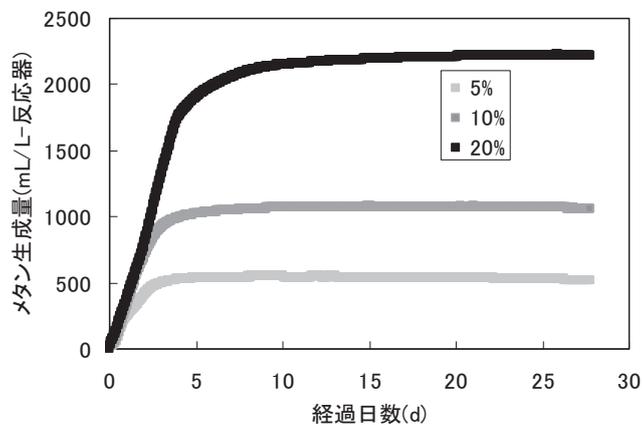


図-5 消化汚泥に対して混合汚泥を5～20%添加した回分式実験でのメタン生成の経時変化 (ブランクを引いた値)

スで70%となり、最終的なメタン生成量はおおむね投入量に比例していた。

また、別の下水処理場の消化汚泥および混合汚泥、ならびに他バイオマスの例として食品廃棄物 (おからおよび豆皮) を用いて、55℃にて回分式実験を行った。ここでは、消化汚泥のみのブランク系、消化汚泥 (体積比90%) および混合汚泥 (体積比10%) の下水汚泥系、下水汚泥系に食品廃棄物をさらに5 gVS/L添加した系を設定した。用いたおからおよび豆皮のVSはそれぞれ0.24および0.37 gVS/g-wetであった。混合汚泥、おからおよび豆皮のメタン転換率はCODベースでそれぞれ60%、45%および50%程度であり、おからおよび豆皮のメタン転換率はやや低かった。またメタンガス発生がほぼ停止するまでにかかった日数は、混合汚泥が10日程度、おからおよび豆皮が16日程度であった。馴致期間を確保することでメタン転換率が向上する可能性もあり、今後下水処理場でこうした食品廃棄物を受け入れることが、メタン発酵の観点では可能であると考えられた。

5. 下水汚泥の性状および消化特性に関する全国調査

下水処理場における他バイオマス受入の検討を行うにあたって、汚泥性状や消化特性の基礎的知見を得ることを目的とした全国調査を行った¹⁰⁾。消化槽を有し消化ガス発電を行っている処理場を中心に8ヶ所を対象として、ヒアリング調査により現場で測定されているデータを収集するとともに、現地の混合汚泥および消化汚泥を採取し性状を分析した。

消化槽の運転状況に関するヒアリング調査結果のまとめを図-6に示す。投入有機物量と分解有機物量の関係から算出される消化率 (VSベース) はおおむね6割程度であり、消化槽の運転は安定していると考えられる。月ごとの平均データを用いると、両者の値が、滞留時間分だけずれることになり、見かけの消化率は多少変動することになるものの、年間を通した消化率に大きな差はないと考えられる。全体としての消化率はおおむね6割程度である。滞留時間は、ほとんどの処理場で設計値である20～30日¹¹⁾の範囲内に収まっており、それより長時間の処理場はあったものの、短時間の処理場はなかった。負荷率は、0.6～1.5 kg TS/(m³・d) および0.5～1.3 kg VS/(m³・d)の範囲であった (図-7)。維持管理指針¹²⁾では、1～3 kg VS/(m³・d)とされており、この値と比較していずれも余裕のある運転を行っている。

本研究で行った各処理場の汚泥性状分析の結果をもとに、分析項目間の比較を図-8に示す。分解率は、混

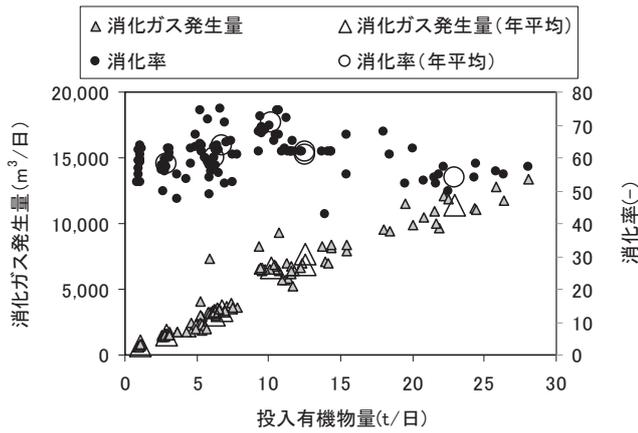


図-6 ヒアリング調査による投入有機物量と消化ガス発生量および消化率の関係

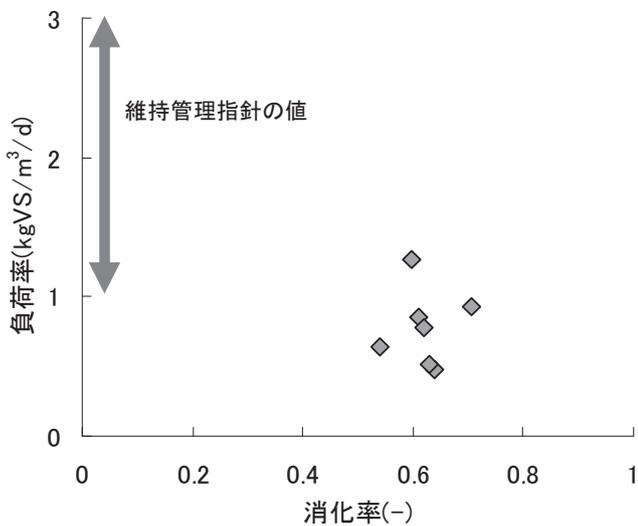


図-7 ヒアリング調査による消化率と負荷率の関係

合汚泥と消化汚泥での値の差(減少分)に対する混合汚泥での値の割合として算出した。

図-8(a)より、混合汚泥のTSは20~35 g/L程度の範囲であり、処理場毎に変動が見られた。消化汚泥のTSは9.8~16 g/L程度の範囲であり、処理場毎に変動が見られた。混合汚泥のVS/TS比は0.8~0.9前後で、大きな差は見られなかった。消化汚泥のVS/TS比は0.7程度に減少した。これは、消化で分解されるのがTSに含まれるVS成分であるためで、消化における減少TS濃度は、ほぼ減少VS濃度に一致していた ($R^2=0.94$)。

図-8(b)より、VS/TS比と炭素含有率はほぼ比例しており、VS成分の50%程度が炭素であると推察される。図-8(c)より、VS/TS比と水素含有率の関係は、原点を通る直線ではなかったものの直線関係が示されていた。対して、図-8(d)より、VS/TS比と窒素含有率については、明確な関係が見られなかった。混合

汚泥のアンモニア性窒素濃度は600 mg N/L以下であった。消化汚泥のアンモニア性窒素濃度は最大でも1,200 mg N/L以下であり、メタン発酵への阻害影響の濃度以下であった。他バイオマス受入時にはアンモニア性窒素濃度の増加が懸念される。窒素成分の挙動については処理場毎に異なる可能性があり、個別に詳細な調査を行う必要があるものと考えられる。

我が国の下水処理場で、CODといえば通常過マンガン酸カリウムによるCOD_{Mn}を意味する。一方国際的には二クロム酸カリウムによりCOD_{Cr}が一般的に用いられている。過マンガン酸カリウムに比して二クロム酸カリウムは強い酸化力を有しており、より正確に有機物量を把握できる。特に密閉系で反応が進行する嫌気性消化の物質収支を把握するには、酸化還元反応に基づくCOD_{Cr}が有用な指標となる。また、複雑な反応機構を解析する上で、数学的なモデルは有用な道具と期待されている¹³⁾。国際水協会の嫌気性消化モデル¹⁴⁾などでは、有機物収支を把握するためにCOD_{Cr}が用いられている。COD_{Cr}の測定は、数mLの試料量で簡単にできるキットが発売されている。ただし、測定においてはクロムや水銀を使用するので、分析後の廃液管理には注意が必要である。しかしながら、我が国の異なる処理場の汚泥を対象とした通常の測定項目とCOD_{Cr}との比較情報に乏しい。数理モデルの活用も含めて統一的な反応機構の解析の検討を行うにあたっては、COD_{Cr}の挙動を把握する必要がある。図-8(e)より、TCOD_{Cr}/VS比は、混合汚泥および消化汚泥いずれも1.7程度であり、処理場毎の変動はそれほどなかった。消化における減少TS濃度と減少TCOD_{Cr}濃度の関係を算出したところ、これに一致していた。PCOD_{Cr}/VSS比は、混合汚泥および消化汚泥いずれも1.7程度であり、その値はTCOD_{Cr}/VS比と同様であった。しかしながら、図-8(f)より、SCOD_{Cr}/(VS-VSS)比は、混合汚泥で2.1程度、消化汚泥で0.8程度と、大幅に異なっており、TCOD_{Cr}/VS比とも異なっていた。比較的単純な有機物のThOD値でも異なっているので、VS-VSSとして計測される溶解性有機物については、COD換算値が物質により大きく異なる可能性があるものの、濃度自体はTCOD_{Cr}およびVSと比較して10分の1程度と低いので、TCOD_{Cr}/VS比として包括的に汚泥性状を評価する場合への影響は少ないと考えられる。

混合汚泥および消化汚泥の、誘導結合プラズマ(ICP)による金属元素の測定結果の比較を図-9に示す。測定したすべての金属元素について、線形関係が見られ、消化汚泥中の濃度はおおむね混合汚泥中の濃度の2~3.5倍程度であった。下水汚泥の分解率が0.6であれば、汚泥あたりの濃度は2.5倍程度になる。濃縮

倍率は理論上推測される値に近いので、消化槽内での蓄積や、発生ガスとともに系外に排出されることはなく、投入分はそのまま消化汚泥として排出されていると判断できる。生ごみや有機性廃水のように栄養に偏りのある有機性廃棄物の場合、メタン発酵に必要な微

量金属として、鉄、ニッケル、コバルトなどを添加することで、メタン発酵活性を維持できるといった報告は多数なされている。ただし、実験結果でも示されているとおり、下水汚泥の場合はすでに含まれていることが多く、不足によるメタン発酵の不調は報告されてい

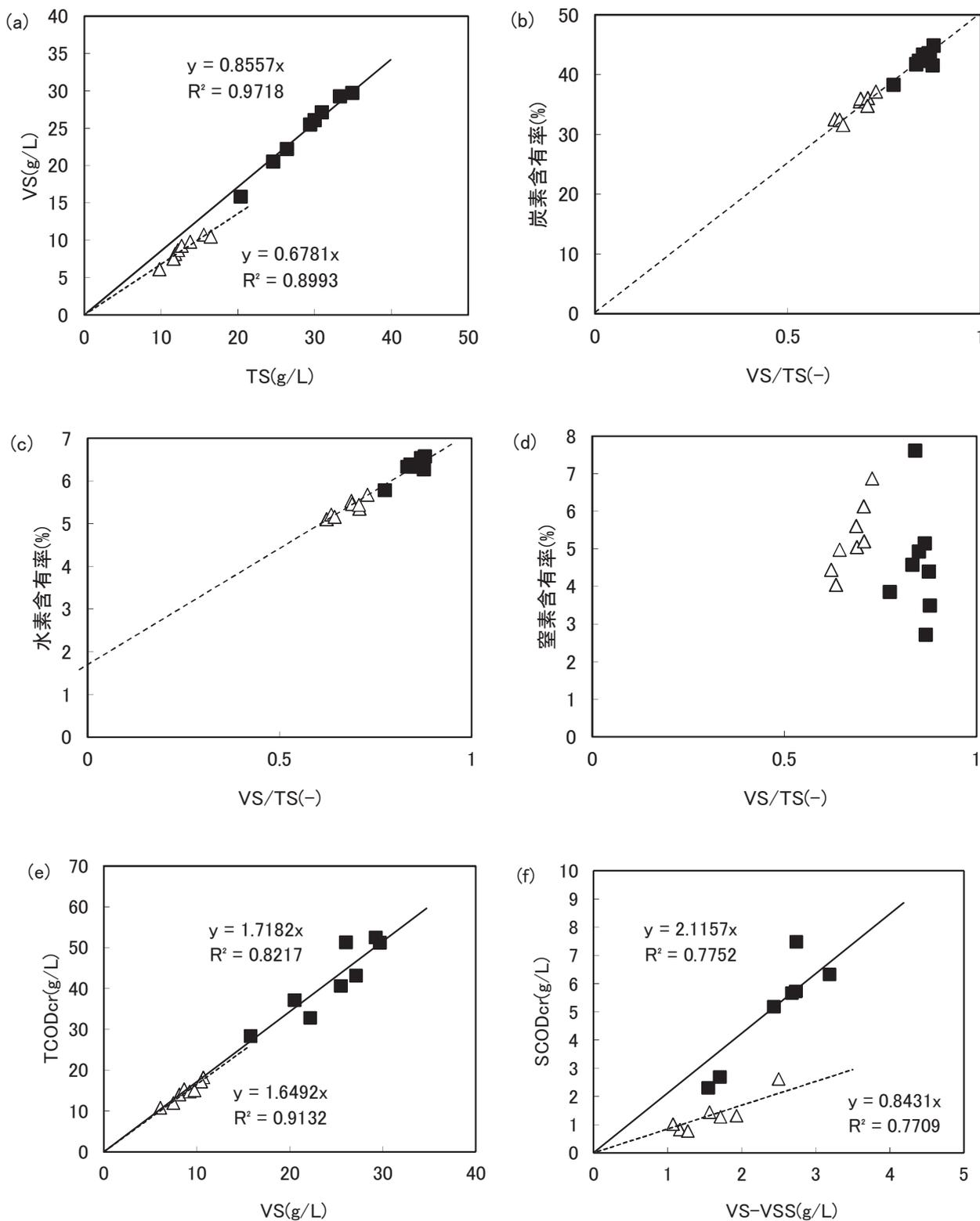


図-8 混合汚泥および消化汚泥の性状に関する分析値の比較

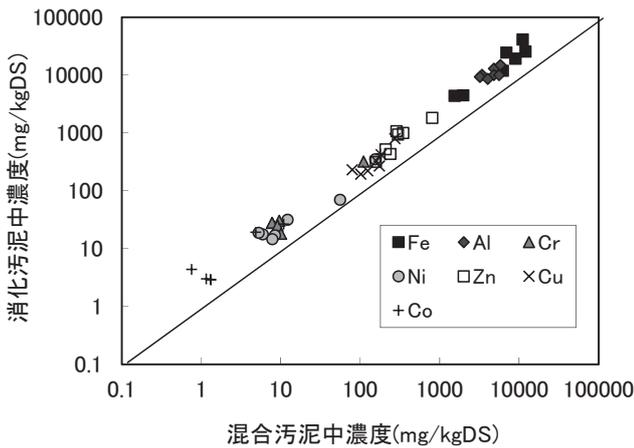


図-9 混合汚泥および消化汚泥の金属元素の測定結果の比較

ない。生ごみなどで栄養バランスが悪く、単独での消化時には栄養塩などを添加する必要のある有機性廃棄物を、下水処理場で受け入れることで、栄養バランスが改善されて、添加が不要になれば、他バイオマスの下水処理場での受入の利点である。

6. みずみち棒による汚泥濃縮

下水汚泥の効率的な嫌気性消化処理では、その前段階で濃縮処理が必要である。すなわち、下水処理場において濃縮プロセスの効率化を図り、改善していくことが汚泥処理系全体の改善につながる。重力濃縮は構造が簡単でランニングコストも他の濃縮方式に比べ安価であるため、古くから多く採用されてきた。しかし、汚泥性状の悪化による濃縮性能の低下などから濃縮槽の更新を機に機械濃縮に移行している処理場も多い。一方、人口減少による下水道使用量の伸び悩みや改築更新費用の増大など、厳しい財政運営を余儀なくされており、設備のライフサイクルコストを抑える技術が重要になっていくと考えられる。

旧土木研究所汚泥研究室および現リサイクルチームでは、平成4年度より機械濃縮に比べ消費電力が少なく、ランニングコストでも有利な重力濃縮について検討を行ってきており、濃縮槽内に設置して濃縮性を改善するための装置である「みずみち棒」¹⁵⁾を開発した(図-10)。本装置は槽内の掻き寄せ機に鉛直の棒を設置するとともに、可変速として運転の自由度を高めたことに特徴があり、新設のみならず既設の濃縮槽にも適用可能な、単純・安価な設備である。特許第3321606号(スラリーの重力濃縮方法)(平成12年度出願)および特許第3521232号(スラリーの重力濃縮装置)(平成14年度出願)として認められている。重力

濃縮は、濃縮槽内において汚泥粒子が重力により液体中を沈降し、底部に堆積した汚泥を引抜くことによって濃縮する手法である。汚泥粒子の沈降速度は粒子の間隙における液体の通過抵抗に左右される。粒子の沈降に伴って間隙が狭くなると、液体の通過抵抗が増加し、粒子の沈降速度が減少する。そのため時間の経過とともに濃縮の効率は悪化してしまう。そこで汚泥中に鉛直方向の「みずみち」を形成する棒を存在させると、汚泥粒子の間隙における液体の通過抵抗が局所的に緩和され、粒子群の沈降速度が向上する(図-11)。効率的にみずみちを作り出すためには、濃縮槽内に多数のみずみち棒を配置し、ゆっくりと動かすことが必

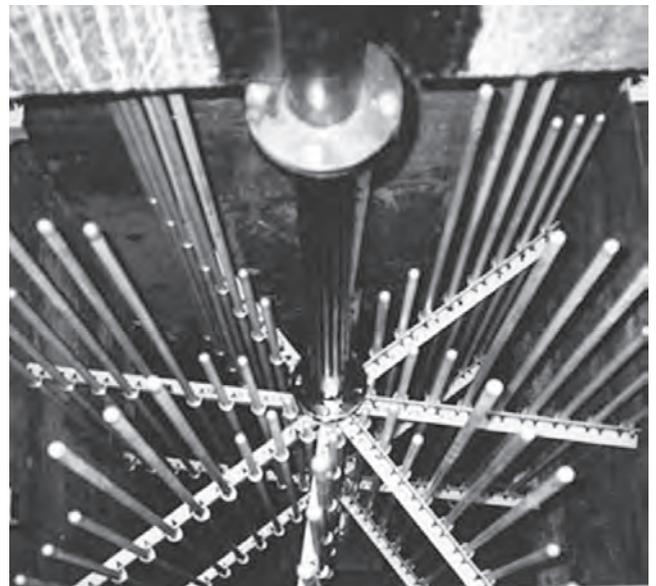


図-10 みずみち棒の導入

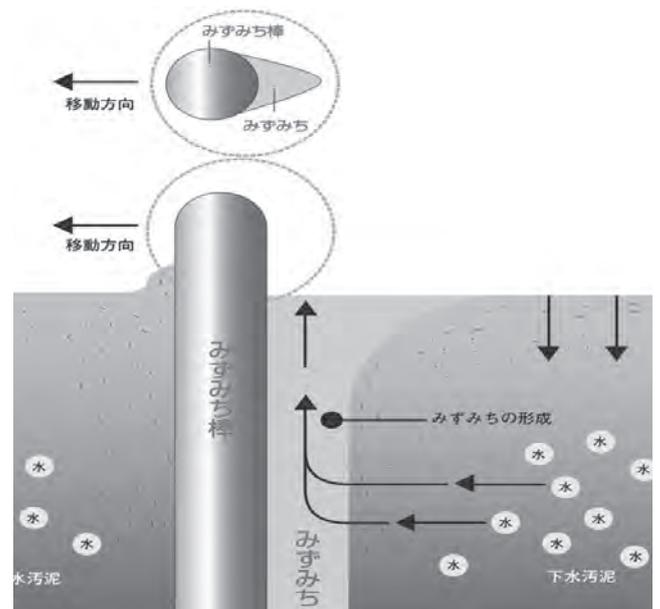


図-11 みずみち棒の原理

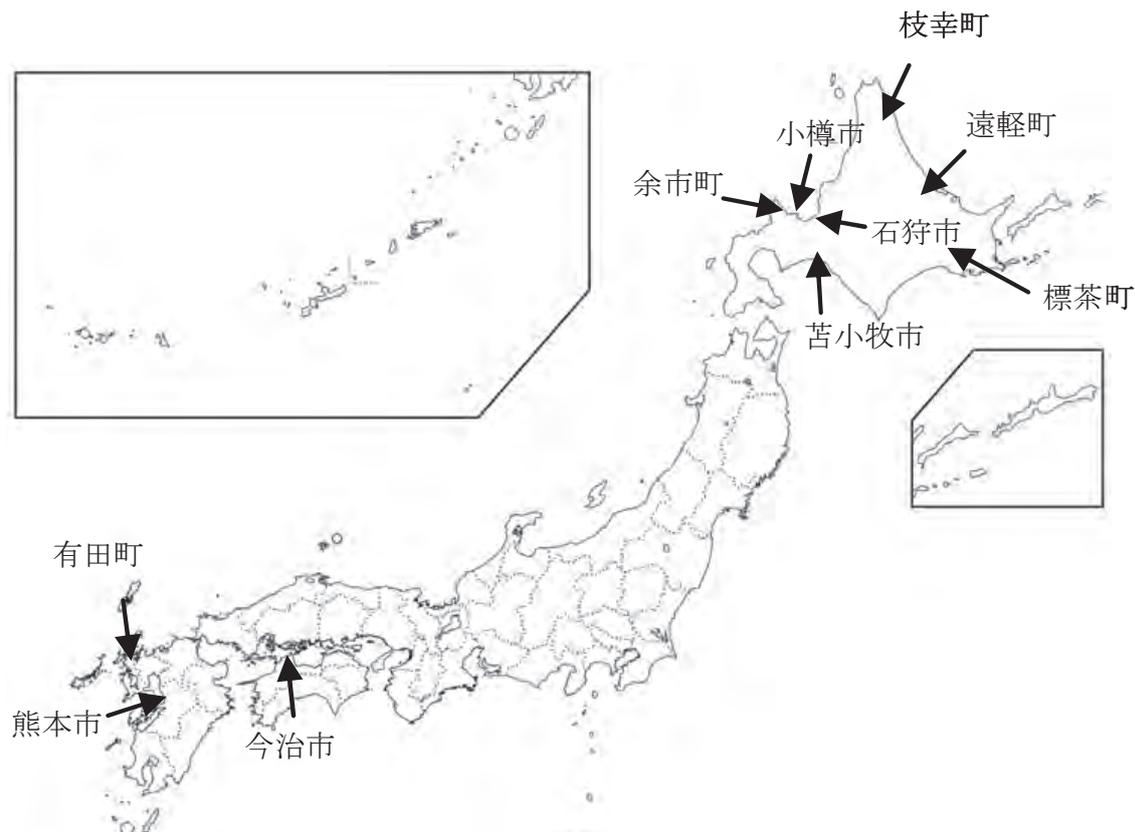


図-12 みずみち棒を導入している市町 (2012年2月現在)

要となる。

みずみち棒は、既に日本全国10市町(11処理場)で導入されており(図-12)効果を発揮している。しかし、みずみち棒を導入した処理場で効果に差がでているのも事実である。そこで平成23年度には、導入済みの処理場を訪問し、関係者へのヒアリング調査を行い、現場での課題などを調査した。また、「平成23年度みずみち棒を用いた重力濃縮技術検討会」を土木研究所にて開催し、導入自治体関係者からも意見を頂いた。北海道地方は気温が低いこともあり、スカム発生などの心配もなく、みずみち棒による効果を確認することができた。ただし、みずみち棒が目詰まりを起こすという問題も一部で見られた。みずみち棒の目詰まりは濃縮槽の中心に近い最も濃度が高くなる部分で発生しており、目詰まりにより引抜き濃度は低下し、掃除し除去することでまた引抜き濃度は改善するとのことであった。目詰まりは髪の毛など繊維状のしさが原因となっているようである。みずみち棒がない場合に比べ、みずみち棒がある場合は重力濃縮槽内の障害物が増えることにもなるので、導入する際はしさを除去を確実にやる必要があると考えられる。しさが多い処理場では、重力濃縮槽の前段にしさ破碎机やスクリーンなどを設けることも有効であると考えられる。四国および九州地区では、みずみち棒導入後、引抜き汚泥の

濃度は向上したという結果が得られた例や、引抜き汚泥の濃度自体は向上しない例が見られた。温暖な地域では、引抜き汚泥の濃度を高くするために、界面高さを上げると、滞留時間が長くなり、引抜く前に汚泥が腐敗し、スカムが発生する傾向が見られた。腐敗によるガスが汚泥に付着し汚泥を浮上させ、スカムが発生するばかりでなく、引抜き濃度も低下するといった現象が発生するので、汚泥の腐敗時間を考慮した運転が必要である。引抜き汚泥の濃度は向上しないものの、みずみち棒導入によりスカムの発生が抑えられているということであったので、汚泥に付着したガスをみずみち棒により再び分離させるといった効果がある可能性も考えられる。これらの調査をふまえて、平成23年10月には、「みずみち棒導入に関する技術資料集(案) Ver. 2.0」を公開している¹⁶⁾。

7. 最後に

3および5については、国土交通省下水道事業調査費により実施したものであり、自治体下水処理場関係者の多大なる協力を得ている。4については、石川県の多大なる協力を得ている。6については、導入自治体の多大なる協力を得ている。ここに記して、関係各位に謝意を表す。その他の開発技術についても過去の下

水汚泥の有効利用に関するセミナーで報告している。

土木研究所リサイクルチームでは、今後も引き続き、下水道を核として、他バイオマス資源を活用するための調査研究を行っていく予定である。今後とも、ご支援を賜りたく、よろしくお願い申し上げます。

<参考文献>

- 1) 日本下水道協会：平成23年度下水道白書 日本の下水道, 2012.
- 2) 谷口智彦, 高井 充：珠洲市バイオマスメタン発酵施設性能評価研究最終報告, 第46回下水道研究発表会講演集, pp.242-244, 2009.
- 3) 国土交通省 都市・地域整備局 下水道部：下水汚泥エネルギー化技術 ガイドライン(案), 2011.
- 4) 下水道新技術推進機構：下水処理場へのバイオマス(生ごみ等)受け入れマニュアル, 2011.
- 5) 白崎 亮：下水道革新的技術実証事業(B-DASHプロジェクト)の概要, 再生と利用, Vol.36, No.134, pp.16-19, 2012.
- 6) 国土交通省総合政策局事業総括調整官室、独立行政法人土木研究所材料地盤研究グループリサイクルチーム：河川・道路・公園管理由来バイオマス賦存量把握に向けた全国調査
- 7) 桜井健介：土木研究所における下水汚泥の有効利用の取り組み, 再生と利用, Vol.35, No.131, pp.92-101, 2011. (第23回下水汚泥の有効利用に関するセミナー)
- 8) 岡本誠一郎：下水道を核としたバイオマス利活用に関する研究開発, 再生と利用, Vol.36, No.135, pp.85-91, 2012. (第24回下水汚泥の有効利用に関するセミナー)
- 9) 日高 平, 内田 勉, 浅井圭介, 新井小百合, 岡本誠一郎, 戸茱丈仁：下水汚泥と有機性廃棄物の嫌気性消化に関する基礎的検討, 第49回下水道研究発表会講演集, pp.145-147, 2012.
- 10) 日高 平, 内田 勉：下水汚泥の性状および消化特性に関する処理場毎の比較調査, 土木学会論文集G(環境), Vol, 68, No.7, pp.III_325-III_332, 2012.
- 11) 日本下水道協会：下水道施設計画・設計指針と解説2009年版(後編), 2009.
- 12) 日本下水道協会：下水道維持管理指針 - 2003年版 - (後編), 2003.
- 13) 安井英斉：嫌気性消化プロセスの解析による資源化の推進, 再生と利用, Vol.33, No.123, pp.20-26, 2009. (第21回下水汚泥の有効利用に関するセミナー)
- 14) Batstone D.J., Keller J., Angelidaki R.I., Kalyuzhnyi S.V., Pavlostathis S.G., Rozzi A., Sanders W.T.M., Siegrist H. and Vavilin V.A.: Anaerobic Digestion Model No1, ISBN: 1900222787, IWA publishing, London, UK., 2002.
- 15) 浅井圭介, 宮本豊尚, 日高 平, 岡本誠一郎, 内田 勉：みずみち棒導入による重力濃縮の効率向上, 下水道協会誌論文集, Vol.50, No.603, pp.119-124, 2013.
- 16) 独立行政法人 土木研究所材料資源研究グループリサイクルチーム：みずみち棒導入に関する技術資料集(案) Ver. 2.0, 2011. (http://www.pwri.go.jp/team/recycling/mizumichi_qa_ver.2.0.pdf)

特集：第25回下水汚泥の有効利用に関するセミナー特集

研究紹介

エネルギー消費に関する ベンチマーク指標と エネルギー回収技術について

財団法人下水道新技術推進機構 資源循環研究部長 石田 貴

キーワード：エネルギー消費、ベンチマーク指標、エネルギー回収、小型ガス発電、鋼板製消化タンク

1. はじめに

東日本大震災に伴う原子力発電所の被災により、数多くの原子力発電所が安全性の見直しを必要とし、その結果として電力事情が逼迫することとなった。また、東京電力管内では計画停電が実施されたことにより、多くの下水処理場では自前電力確保の必要性についても認識されることとなった。

このような背景から、下水処理場におけるいっそうの省エネへの取り組みやエネルギー回収技術の採用が緊急の課題となっている。そこで、エネルギー消費に関するベンチマーク指標についての最新の考え方を紹介するとともに、下水処理場で採用可能なエネルギー回収技術について最近の状況を紹介することとする。

2. エネルギー消費に関するベンチマーク指標について

①エネルギー消費の実態

下水処理場において使用されるエネルギー種には、電力や重油等の化石燃料がある。これらを統一したエ

ネルギー単位で表す方法として、「省エネ法」で用いられる原油換算量がある。表1は、下水処理場で一般的に使われるエネルギー種とその原油換算係数等を示す。

図1は原油換算した場合の使用エネルギー種別の内訳であり、「平成21年度下水道統計」より求めたものである。下水処理場で使用されるエネルギーの実に92%が電力であることがわかる。また、図2は下水処理場の施設別に内訳を示したものであるが、水処理施設が約半分の48%を占めており、水処理で使用されるエネルギーは全て電力である。

②ベンチマーク指標について

従来、下水処理場のエネルギー消費量は、図3に示すように、処理水量(千 m^3 /日)とエネルギー原単位(kl/千 m^3)との関係で示されることが多かった。しかし、これではデータのばらつきが大きく相関係数の高い回帰式を得ることができなかった。

アメリカでは上水道施設や下水道施設のエネルギー消費量のベンチマーク指標として、処理水量の自然対数とエネルギー消費量の自然対数をとることにより高い相関係数の回帰式を得ている。また、回帰式のエネルギー消費量、すなわち、ある処理水量でのエネルギー

表1 エネルギー種とその原油換算係数

項目	発熱量換算係数			原油換算係数	
	換算係数	単位	出典項	換算係数	単位
電力	9.63	GJ/千 kwh	資料① P II-25	0.0258000	k1/GJ
特A重油	39.1	MJ/L	A重油と同じ	0.0000258	k1/MJ
A重油	39.1	MJ/L	資料① P II-25	0.0000258	k1/MJ
灯油	36.7	MJ/L	資料① P II-25	0.0000258	k1/MJ
軽油	37.7	MJ/L	資料① P II-25	0.0000258	k1/MJ
ガソリン	34.6	MJ/L	資料① P II-25	0.0000258	k1/MJ
都市ガス	44.8	MJ/m3	資料① P II-216	0.0000258	k1/MJ
プロパン	99	MJ/m3	プロパンガス安全委員会 HP	0.0000258	k1/MJ
消化ガス	21.54	MJ/m3		0.0000258	k1/MJ
コークス	29.4	MJ/t	資料① P II-25	0.0000258	k1/MJ

出典；資料①：“温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル(平成24年5月)”，環境省、経済産業省

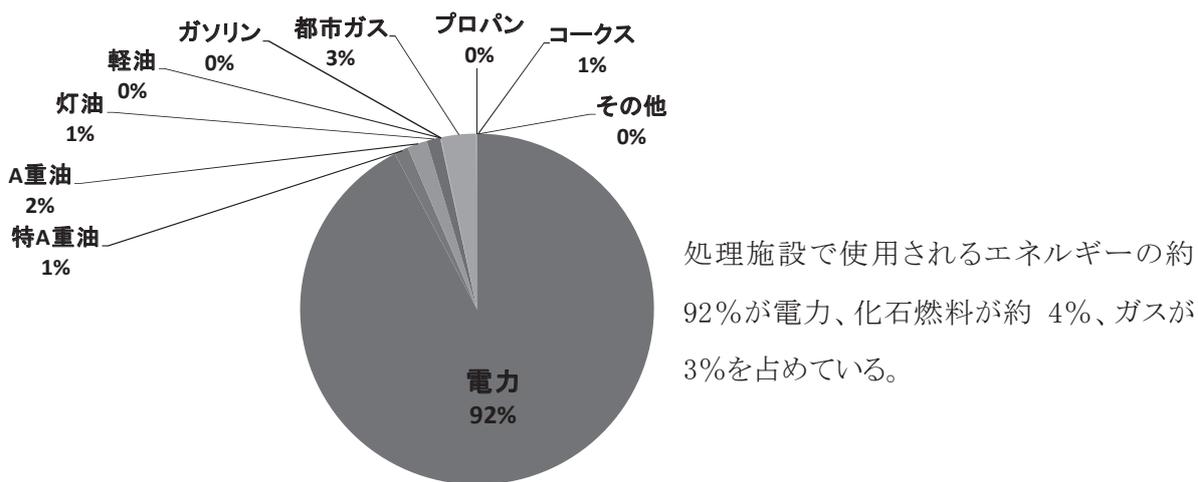
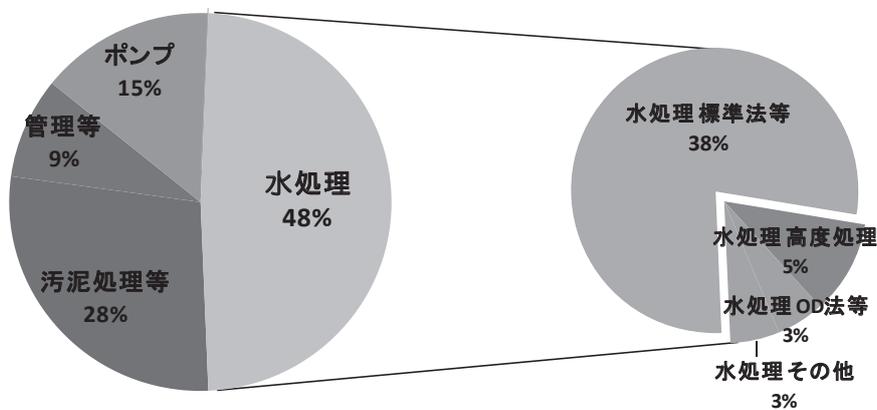


図1 使用エネルギー種別の内訳 (原油換算)



処理施設で使用されるエネルギーの約1/2が水処理の電力が占めている。

図2 用途別使用エネルギーの内訳

消費量の平均値を50点とし、1点から100点までを割り振り、それぞれの処理施設が何点に相当するかを示し、省エネ努力により何点から何点に改善可能かなどを明らかにしている。

この考え方をわが国に当てはめて回帰式を得たものを図4に示す。水処理方式としては、標準法等(標準活

性汚泥法、嫌気好気活性汚泥法、ステップエアレーション法、酸素活性汚泥法を含む)と高度処理法(窒素除去法であるステップ流入式多段硝化脱窒法、嫌気無酸素好気法、循環式硝化脱窒法、硝化内生脱窒法を含む)に分け、汚泥処理方式は焼却の有無で分けて回帰式を得た。相関係数は0.8から0.95と比較的高い数値

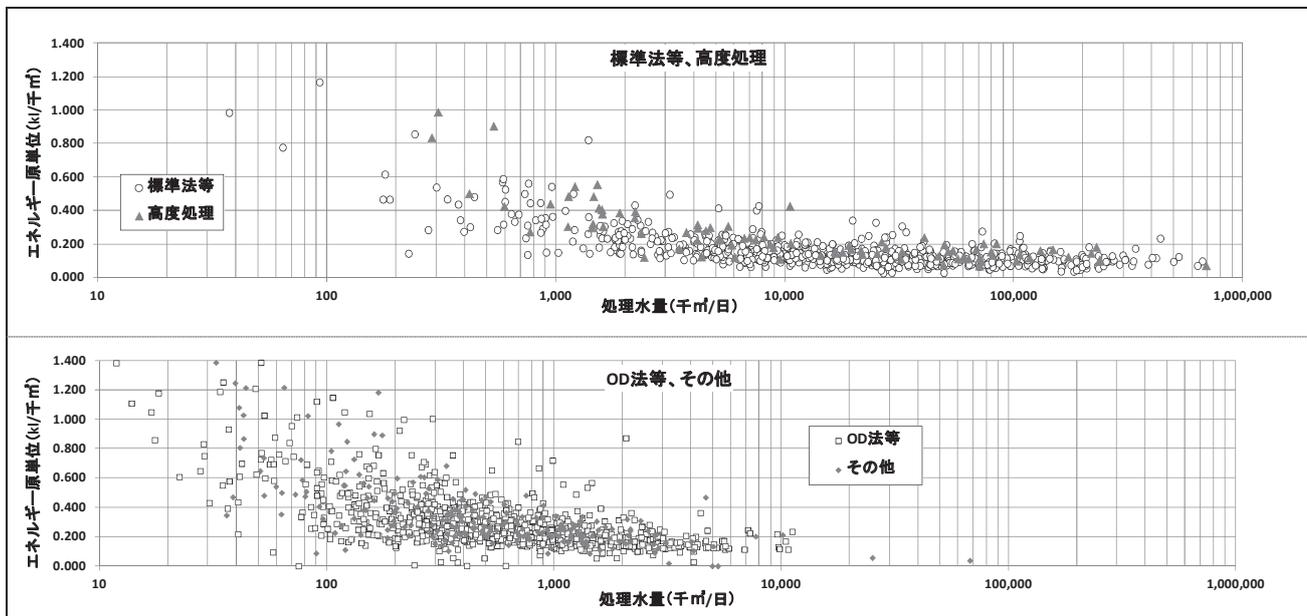
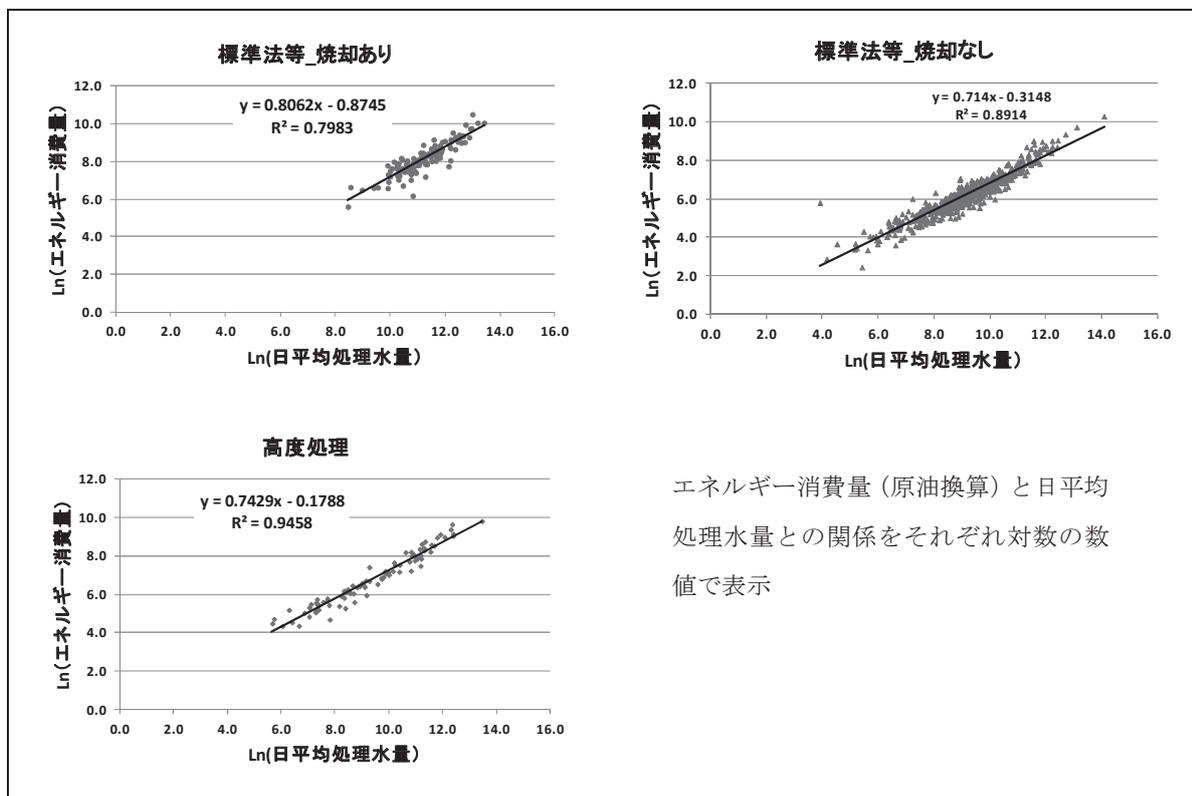


図3 下水処理場のエネルギー消費量



エネルギー消費量(原油換算)と日平均処理水量との関係をそれぞれ対数の数値で表示

図4 下水処理場のエネルギー消費量(自然対数を用いた分析)

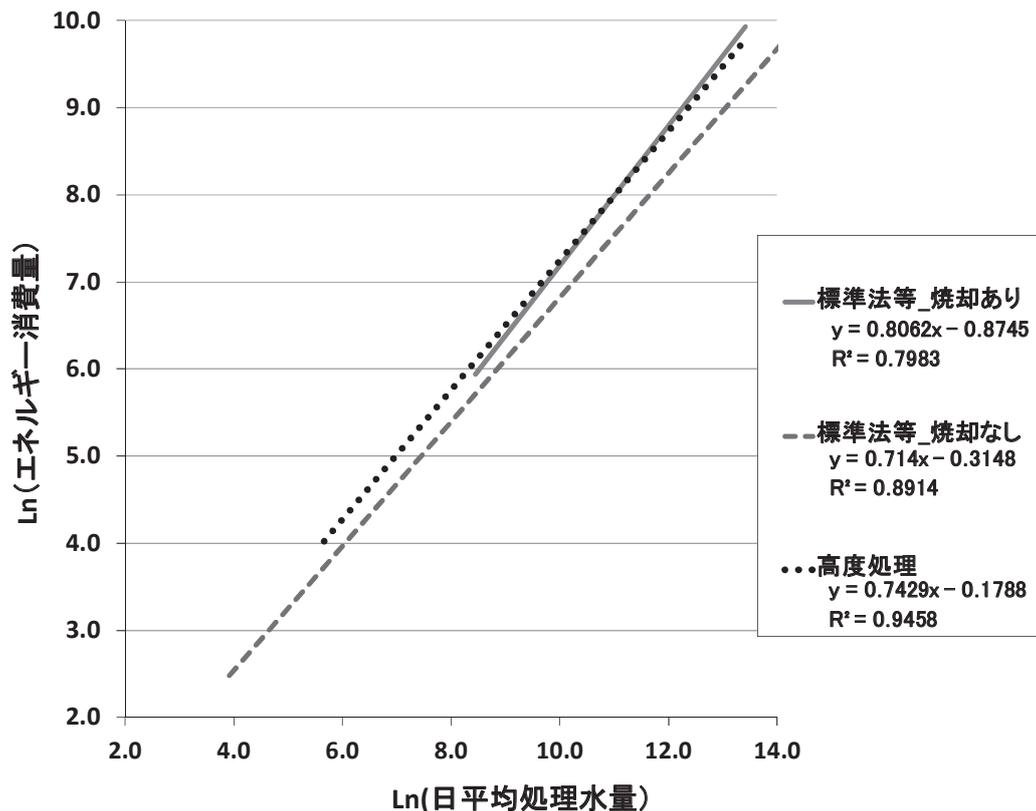


図5 下水処理場のエネルギー消費量の回帰式の比較（自然対数を用いた分析）

が得られた。図5はこれらの回帰式を比較できるように示したが、焼却や高度処理を行うことによりエネルギー消費量は明らかに高くなるのがわかる。ただし、処理水量は日平均処理水量（m³/日）であり、エネルギー消費量は原油換算値（kl/年）である。

現在、国の委託調査の中で、エネルギー消費に関するベンチマーク指標について検討しているところであるが、有力な手法として共通認識を得ている。

3. エネルギー回収技術

「下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン（案）」では、代表的なエネルギー化技術として消化ガス有効利用技術と固形燃料化技術を取り上げているが、ここでは新技術として焼却炉廃熱を利用した発電や熱分解ガスの改質による燃料化、水素メタン発酵によるエネルギー回収、管路の下水熱利用についても紹介する。

①消化ガス

下水汚泥からのエネルギー回収技術のうち、現在、最も多く利用されている技術が嫌気性消化である。嫌気性消化は、嫌気的狀態に保たれた汚泥消化タンク内で有機物を嫌気性微生物の働きで低分子化、液化、ガス化する処理法である。汚泥を消化タンクで消化温度

に応じて適当な消化日数をとると、投入汚泥中の有機物は液化及びガス化により40～60%減少する。この結果、汚泥量の減少と質の安定化、また、衛生面の安全性が図れる。嫌気性消化の副産物として生成するメタンを主成分とした消化ガスは、脱硫後、汚泥消化タンクの加温や焼却炉の補助燃料として利用されるほか、発電等への利用も行われている。

嫌気性消化タンクを有する下水処理場は約300箇所存在するが、このうち32箇所（平成22年度）でガス発

表2 消化ガス発電の導入が既に行われている、または行われる予定の自治体

自治体名
恵庭市
青森市
山形県
栃木県
新潟県
柏崎市
松本市
福井県
福井市

電が行われている。さらに、表2に示す自治体でガス発電の導入が既に行われているか行われる予定である。最近では小型で安価なガス発電機が開発され、導入事例が増えてきている。表3はメーカーヒヤリングによる小型ガス発電機の建設費及び維持管理費の例を示す。

また、既設消化タンクの改築や新設に当たっては、鋼板製消化タンクの採用が有力である。写真1に示すように、鋼板製消化タンクは建設工期が短く、初期投

資が小さいというメリットがある。

消化ガスの増量といっそうの汚泥の減量化を図る技術としては、熱可溶化技術がある。代表的な熱可溶化技術を表4に示す。また、レセルシステムのフローを図6に示す。

また、消化ガスの増量のため、生ごみを受け入れるケースもある。このような取り組みは最初に事業系生ごみを対象に珠洲市で行われたが、家庭系生ごみを分別収集して下水処理場で受け入れる取り組みが北広

表3 小型ガス発電機の建設費及び維持管理費の例（メーカーヒヤリング）

	出力	効率	建設費	維持管理費
A	25kW	発電効率：32% 総合効率：84%	約 25,000 千円/1台 (発電機、シロキサン除去設備、設備設置費、基礎、電気工事、配管、配電盤工事、据付工事、熱交換器を含む)	約 15,800 千円/15年
B	25kW	発電効率：35% 総合効率：81～85% (実証試験中)	約 17,000 千円/1台 (発電機、シロキサン除去設備、制御盤、熱回収装置含む、配管、据付工事費は含まない)	約 14,350 千円/15年

出典；“下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン(案) 平成23年3月”，国土交通省 都市・地域整備局 下水道部，p85

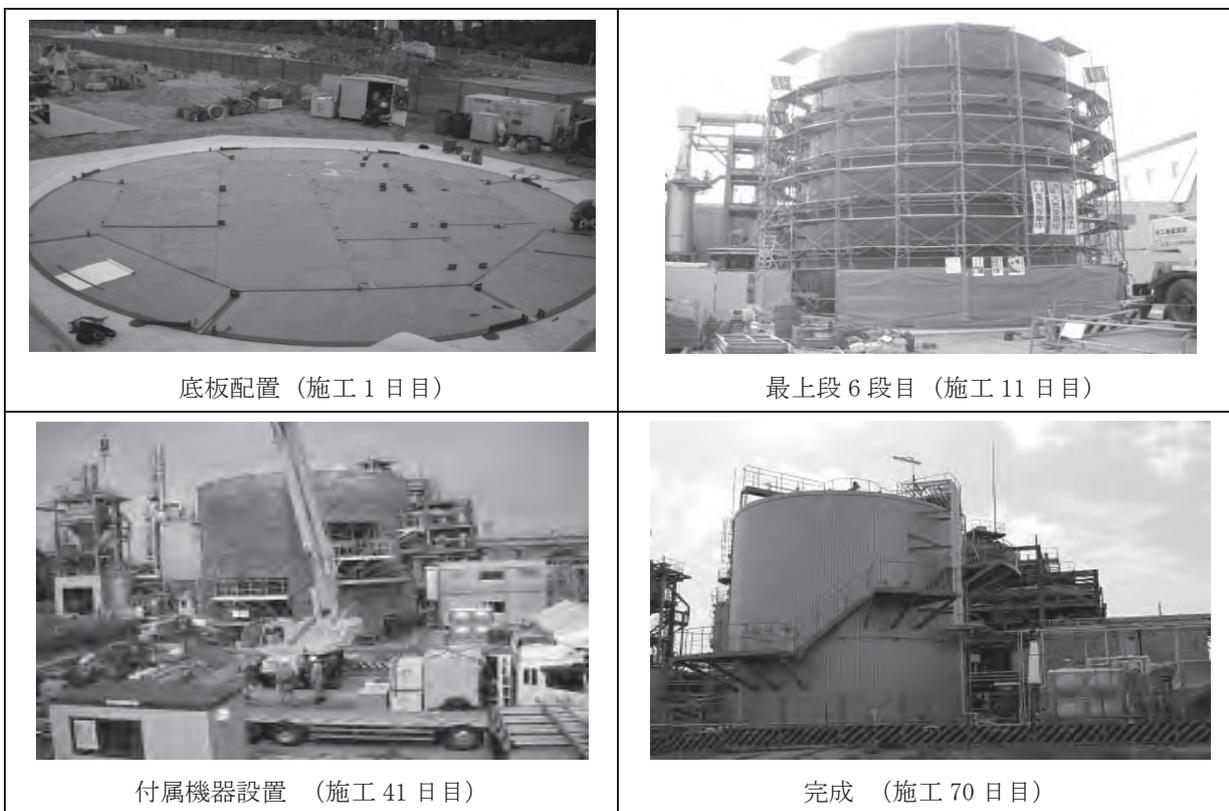


写真1 鋼板製消化タンク建設写真(注：施工前に基礎築造済み)

表4 代表的な熱可溶化技術

①水熱反応	反応器；180℃、1時間（連続循環方式、間接加熱）、高温消化（5日） ・ H24年度 B-DASH 【三菱長崎機工(株) 他、@長崎市東部下水処理場】 ・ H21～H23 当機構との共同研究（三菱長崎機工(株)、鹿島建設(株)）
②レセルシステム	反応器；165℃、90分（バッチ処理、水蒸気吹込、昇温・昇圧＋保持＋減圧）、中温消化（25日） ・ H23～H24 当機構との共同研究（(株)神鋼環境ソリューション）
③熱可溶化メタン発酵	反応器；170℃、30分、中温消化（15日） ・ 地方共同法人日本下水道事業団との共同研究（三菱化工機(株)）

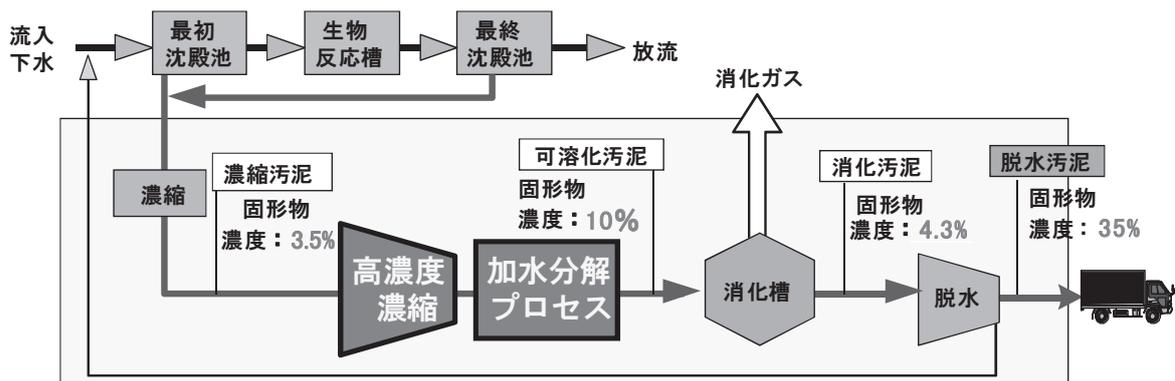


図6 レセルシステムのフロー

島市や恵庭市で行われている。大阪市や神戸市でもBダッシュプロジェクトの実証事業の中で生ごみの受け入れが行われている。

この他、消化ガスは精製されて、自動車燃料としての利用や都市ガス導管への直接投入など幅広く利用されている。

②固形燃料

下水汚泥を固形燃料として利用する技術としては、汚泥乾燥技術と汚泥炭化技術に大別される。

汚泥乾燥技術には、造粒乾燥、油温減圧乾燥、改質乾燥がある。造粒乾燥は汚泥の粘着性を利用し、乾燥粒子（核粒子）に汚泥を薄膜状に塗布し、転動造粒した汚泥を熱風で乾燥させる方法である。宮城県や新庄市で採用され、燃料化製品は近隣の製紙工場において石炭と混焼されている。油温減圧乾燥は脱水汚泥と廃食用油を混合し、減圧下で加熱することにより下水汚泥中の水分を高効率で急速に蒸発させる方法である。福岡県で採用され、石炭火力発電所で混焼されている。改質乾燥は下水汚泥を水蒸気で改質（200～230℃）し、脱水性の高い状態にした後、乾燥させる方法である。脱水ろ液は消化タンクでエネルギー回収される。

汚泥炭化技術の原理は、無酸素状態で下水汚泥を加熱することにより、汚泥中に含まれる分解ガス（乾留

ガス：生成ガスやタール、水分等）を放出させ、汚泥を熱分解させて燃料化汚泥を製造する技術である。一般的なシステム構成は、乾燥工程と炭化工程に大別される。炭化温度により低温炭化（250～350℃）、中温炭化（400～600℃）、高温炭化（700℃以上）と区分して呼ばれることが多い。炭化温度により、製品発熱量や灰分等が異なる品質の炭化物が生成される。図7に低温炭化のシステムフローを示す。

汚泥乾燥や炭化による固形燃料化に取り組む自治体を表5に示す。

表5 汚泥乾燥や炭化による固形燃料化に取り組む自治体

自治体名	
宮城県	大阪市
埼玉県	広島県
東京都	広島市
横浜市	松山市（B-DASH）
静岡市	福岡県
美濃加茂市	福岡市
黒部市	北九州市
愛知県	熊本市

③焼却炉廃熱利用

下水汚泥の焼却炉では、投入された汚泥熱量の約半分が排煙処理塔から温排水の形で未利用のまま廃棄されている。ごみ焼却炉では、平均して約11%がスチーム発電によりエネルギー回収されているが、下水汚泥焼却炉ではこのようなエネルギー回収は全く行われていない。

スクラバー排水のような比較的低温のものを温水源とし、冷却水源として二次処理水を用いる下水処理場での小型バイナリー発電についての共同研究を当機構と神鋼環境ソリューションとで始めたところである。

バイナリー発電は、地熱発電などで一般的に利用されているが、これを小型で低温の温水源で利用できるも

のとして開発が行われている。また、省エネ法の改正に伴い、民間工場の余剰スチームから電力を回収する目的で、汎用型の小型スチーム発電機が開発されている。

これらを下水処理場に適用した場合、図8に示すような形で活用が考えられ、焼却炉で消費される電力の相当部分が回収できると試算している。図9は小型スチーム発電機と小型バイナリー発電機の例を示す。

④熱分解ガスの改質による燃料化

木質系バイオマスのガス化技術については、安価な原料を大量に確保することが可能なヨーロッパ、北アメリカで技術開発が行われてきたが、下水汚泥を原料としたガス化の事例はない。世界初となる下水汚泥の

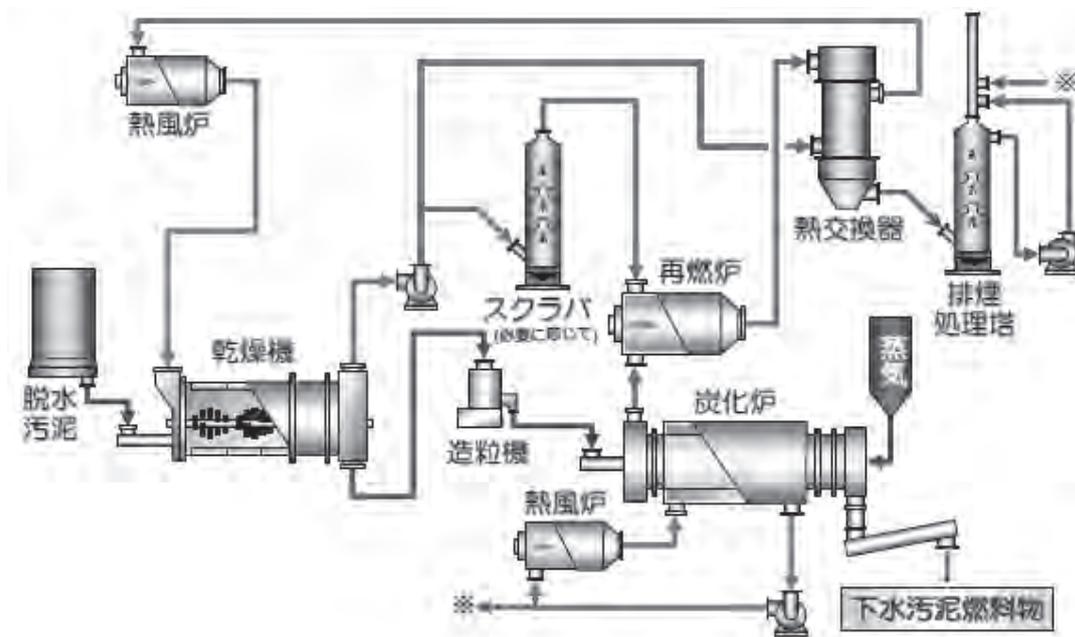


図7 低温炭化のシステムフロー

出典；地方共同法人日本下水道事業団ホームページ、
<http://www.jswa.go.jp/g/g2/pdf/114.pdf>, (参照2012-10-19)

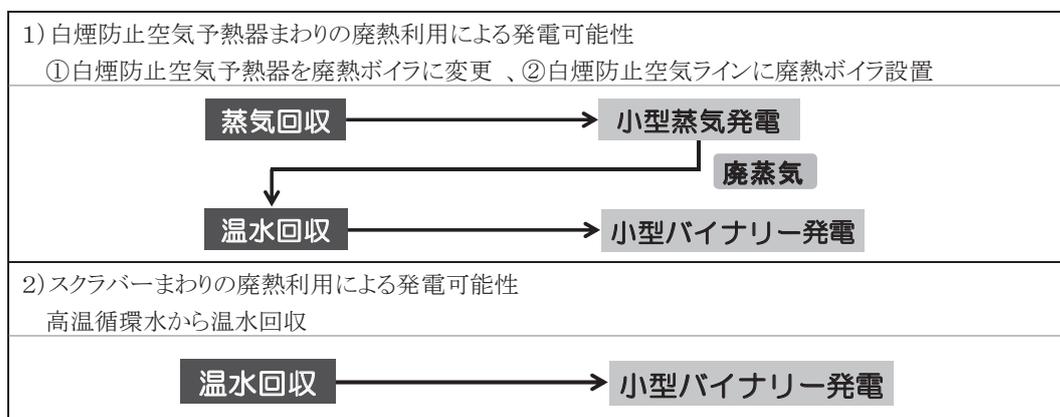


図8 焼却炉の廃熱を利用した発電

ガス化炉が東京都清瀬水再生センターで稼働をはじめ、温室効果ガス排出量の削減に大きく貢献できる技術として評価された。

ガス化炉の処理フローを図10に示す。ガス化炉に投入された乾燥汚泥はガス化炉で熱分解ガスとなり、約9割が熱回収炉に焼却用熱源として供給され、約1割が改質炉で改質されガス発電燃料となる。

木質系バイオマス熱分解し、熱分解ガスを水蒸気で改質して水素ガスを取り出す技術開発が行われているが、昨今、木質系バイオマスの需要が増大し、コスト増となったことから下水汚泥を原料とする動きがある。ただし、下水汚泥の熱分解工程ではシアンをはじめとする様々なガスが発生するので、木質系バイオマスよりそれらの処理が厄介になるものと考えられる。

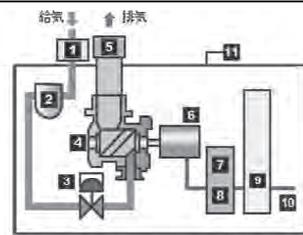
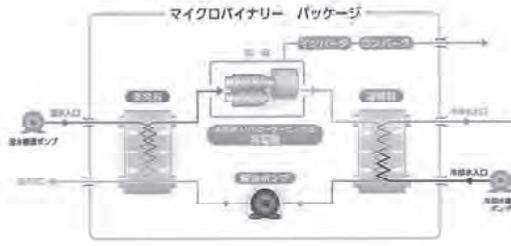
	仕様	システム
<p>その1 スクリュ式小型蒸気発電</p> 	<p>吸気圧力: ~0.95MPa 蒸気量: 3.8t/hr 発電出力: 160kW 概略寸法 (幅×奥×高): 2,605×1,335×2,005</p>	 <p>1 供給蒸気仕切弁 2 ドレン分離器 3 緊急遮断弁機能付容量制御弁 4 スクリュー式誘引機 5 排気蒸気仕切弁 6 発電機 7 コンバーター 8 インバーター 9 制御盤 10 動力ケーブル 11 ユニットカバー(屋外設置可)</p>
<p>その2 スクリュー式 マイクロバイナリー発電</p> 	<p>熱源温度: 70~95℃ 発電出力: 70kW 媒体ガス: HFC245fa 概略寸法 (幅×奥×高): 2,250×2,600×2,250</p>	

図9 小型スチーム発電機と小型バイナリー発電機の例

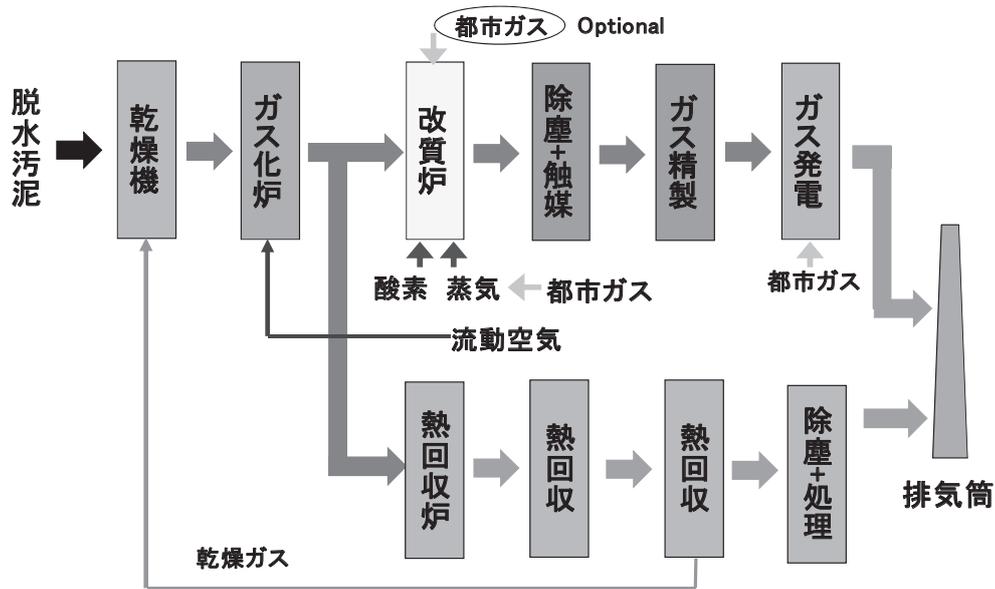
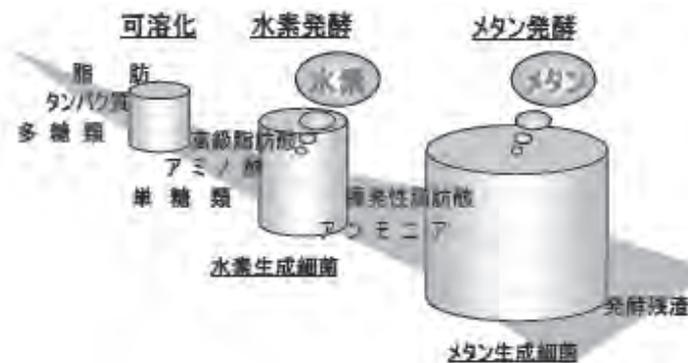


図10 ガス化炉の処理フロー

⑤水素発酵

NEDOの実施する実証試験事業では、焼酎粕を原料とする水素メタン2段発酵によるエネルギー回収が行われ、エネルギー転換効率が高く省エネルギーな技術として評価されている。図11に技術の概要を示すが、今後、下水道の分野でも実証試験が待たれる技術である。



⑥管路の下水熱利用

下水は気温に比べて夏は低く冬は高いという特性がある。この温度特性を利用し、下水管路からエネルギーを回収する技術が、平成24年度Bダッシュ実証事業として採択された。技術の概要を図12に示す。

可溶化処理を組み合わせることで、有機物の分解率が向上し、エネルギー回収率が更に向上

図11 焼酎粕を原料とする水素メタン2段発酵によるエネルギー回収技術

出典：河野孝志，“水素メタン発酵による焼酎粕処理・エネルギー回収システムの開発”，学会誌「EICA」第15巻 第2・3合併号，2010，p153

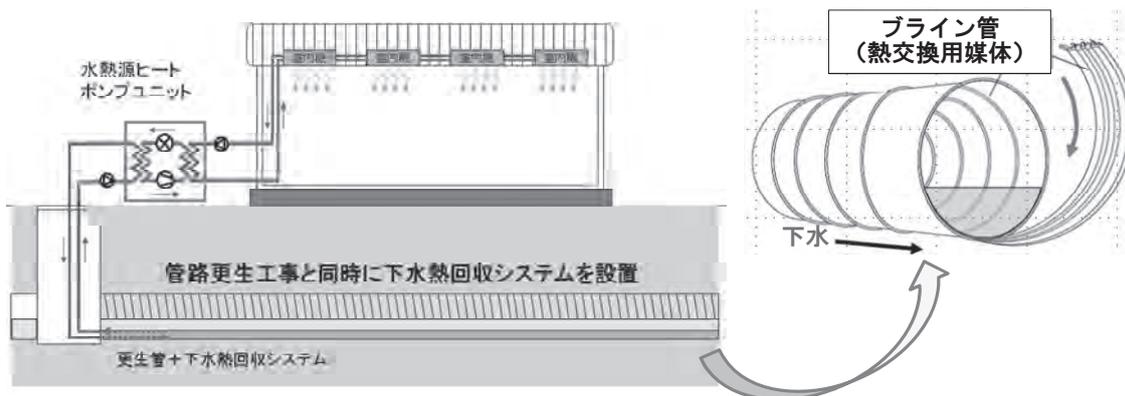


図12 管路の下水熱利用

出典：大阪市ホームページに一部加筆，
<http://www.city.osaka.lg.jp/kensetsu/page/0000164324.html>，(参照2012-10-05)

4. おわりに

原子力発電所の稼働は依然不透明であり、化石燃料や割高な再生可能エネルギーに頼った電力料金は今後とも上昇すると考えられる。このため、下水処理場における省エネや創エネの取り組みは、維持管理コスト低減の観点からも喫緊の課題となっている。

消化タンクを有する下水処理場では、ガス発電等の取り組みを行うところが増加してきているが、いっそうの進展が期待されることである。また、現在、消

化タンクを有していない下水処理場においても、再生可能エネルギー法案に基づくバイオマス発電買取価格が約40円と高いことから、鋼板製消化タンクを活用した早期の取り組みが待たれる。

また、地域のバイオマスとしての生ごみ等を取り入れて消化ガスの発生を増大させたり、熱可溶性技術との組み合わせによるエネルギーと全体的なコスト削減に寄与する様々な選択肢がある。エネルギー回収技術として今後開発が待たれる技術もあり、下水処理場のエネルギー自立に向けた技術開発にはますます期待を寄せることができる。

特集：第25回下水汚泥の有効利用に関するセミナー特集

研究紹介

廃石膏を用いた 消化汚泥脱水ろ液からのリン回収

広島県立総合技術研究所 保健環境センター 総括研究員 日浦盛夫

キーワード：石膏ボード、脱水ろ液、リン回収

1. はじめに

石膏ボードは、石膏を主成分とし、両面を板紙で覆われた内装用の建材で、断熱性、遮音性、経済性などに優れているため、戦後、合板に替わって急速に普及し、現在国内では、年間5億㎡近く生産されている。

その一方で、建築現場から排出される廃石膏ボードについては、新築系の廃材は石膏ボード原料に再利用されているものの、解体系の廃材はセメント原料や土壌改良剤などに一部が再利用されているが、大部分は埋立処分されている。今後、廃石膏ボードの排出量はますます増加すると予想されており、管理型最終処分場の逼迫の恐れもあることから、廃石膏ボードの再資源化促進は重要な課題となっている。

このような背景から、広島県立総合技術研究所保健環境センターでは、廃石膏ボードの新たな再利用用途の開発を目標として研究に取り組んできた。一方、下水処理分野においては消石灰や塩化カルシウム等のカルシウム系薬品を使用し、排水中のリン（リン酸態リン）を除去・回収し、リン資源としての活用する技術がHAP法として知られている。我々は、ここで使用さ

れるカルシウム系薬品に替えて廃石膏を活用する手法について以前から研究を進めているので、これまでの成果についてその概要を報告する。

2. リン資源

国内のリン資源はそのほとんどを輸入に頼っているが、原産国が限られているため、中国等の輸出規制の影響等により価格が乱高下している。さらに、近年、食料増産等に伴う世界的な穀物需要の増大から肥料の国際価格が上昇傾向にあり、リン資源をすべて輸入に頼っているわが国では、特に農業分野において、リン肥料高騰により大きな打撃を受ける恐れがある。また、リン鉱石を経済的に採掘できる埋蔵量は130年程度で枯渇するとの予想もある。

このような背景から、リンが豊富に含まれる下水排水などからリンを回収する技術の確立は、廃棄されているリン資源を生かして肥料等の安定確保につながることから、産業界だけでなく社会的にも強く求められている。現在実用化されている排水中のリン回収法は、消石灰（水酸化カルシウム）や塩化マグネシウムを使用する方法であるが、薬品等のコスト高がネックと

なっており、あまり普及していない¹⁾。そこで、廃棄されている石膏ボード(硫酸カルシウム)を利用してリン酸化合物を回収し、肥料等に有効利用できる手法が確立できれば、より低コストのリン回収技術として、リン資源安定供給の面でも有効な手法を提供することが可能となる。

3. 廃石膏ボード

建築物の解体等に伴って排出される廃石膏ボードは全国で109万トン(2010年)と推計されており²⁾、その

多くが埋立処分されている。廃石膏ボードの埋立は硫化水素発生の恐れがあることから、管理型最終処分場への埋立しか認められていない。しかし処分場の確保は難しく、残存容量は逼迫している。今後も、廃石膏ボードの排出量は増加し、2025年(15年後)には200万トンに達すると推測されている。

広島県内では、平成21年度以降、廃石膏ボードの埋立処分は公共関与の処分場では対応できなくなっており、高額な民間処分場委託や県外搬出が必須となっている。現在、大量に埋立処分されている廃石膏ボードの再資源化促進は、処分場の逼迫を防ぎ、資源循環

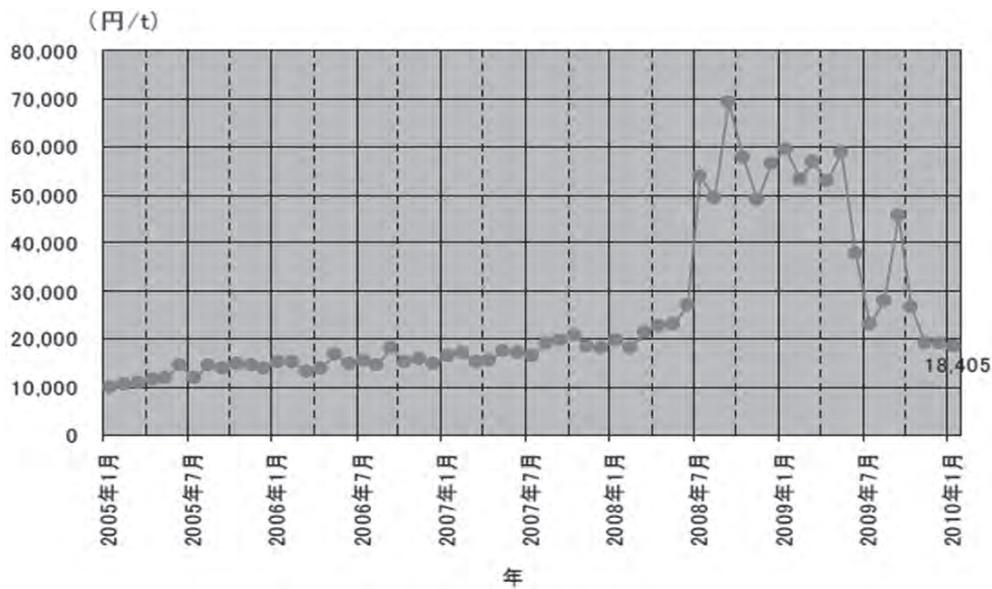


図1 リン鉱石輸入価格の推移
出典:「財務省貿易統計」

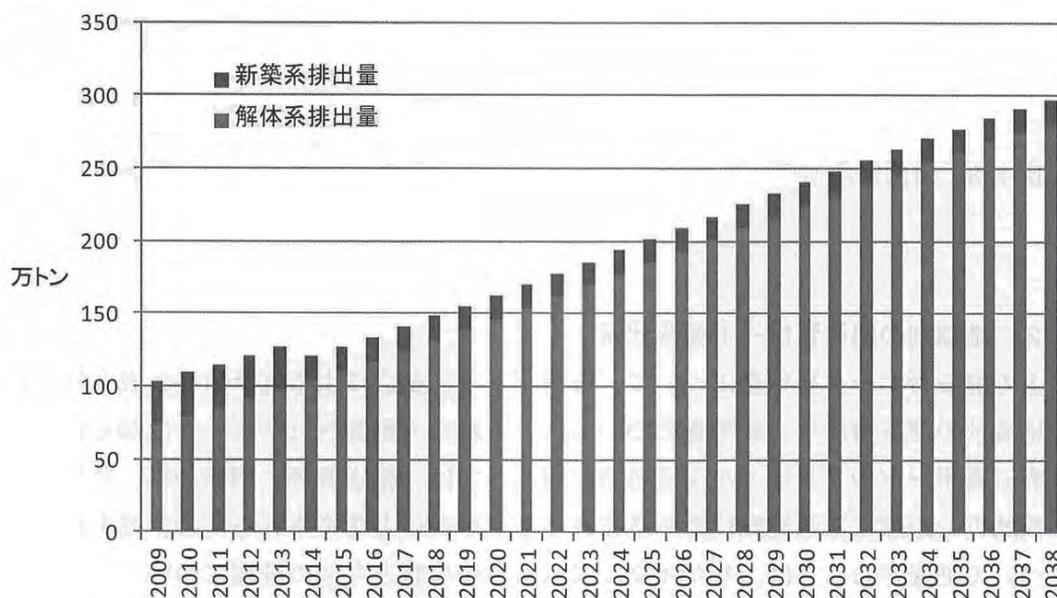


図2 廃石膏ボードの排出量予測
出典:石膏ボード工業会資料

を推進することから、県だけでなく廃棄物取扱い事業者からも強く要望されている。

4. 廃石膏を用いるリン回収

4-1 既存技術との関連

下水処理場におけるリン回収については、これまでも多くの研究がなされており、排水に適用されるHAP（ヒドロキシアパタイト）法とMAP（マグネシウムアンモニウムフォスフェイト）法、汚泥から回収する灰アルカリ抽出法や部分還元溶融法などが、実用化あるいは実用化可能技術としてある³⁾。

廃石膏を用いる本技術は、石膏成分の「カルシウム」を利用し、リン濃度が高い消化汚泥の脱水ろ液から、リン酸カルシウム化合物としてリンを除去・回収する方法である。」という点では、消石灰（水酸化カルシウム）等を使用するHAP法に類似している。廃石膏を使用する方法の長所は、①高価な薬品の代わりに廃棄物である廃石膏を使用してリンを除去・回収できること、②その回収物がリン酸肥料として有効利用出来るものである、ということからHAP法などに較べて大幅なコスト削減が可能になると思われる。

4-2 室内実験

廃石膏ボード（又は加工品）を使用して排水中のリンを除去・回収するという報告はあまりされていないことから、まず人工リン排水を調製し、リン除去が可能であるかカラム試験並びにビーカー試験によって検討したのち、下水処理場の実排水を用いて実験を行った。

実験には、太田川流域下水道東部浄化センターの消化汚泥脱水ろ液（以下「脱水ろ液」という。）を使用した。この脱水ろ液の特徴としては、表1に示すように、液性はややアルカリ性であることと、リン酸態リン（ PO_4-P ）が高濃度（160~200 mg/L）含まれていることが挙げられる。カルシウム剤として使用する廃石膏の成分は、カルシウムと硫酸イオンの分析から、ほとんど2水石膏（ $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ）であることが確認できた。

実験に用いた石膏は、廃石膏ボードを破砕機で粉碎し、紙を剥離した後、5 mmのふるいを通して粉体状にしたものを使用した。この粉状廃石膏は、広島県内の産業廃棄物の中間処理業者が廃石膏ボードのリサイクル工程として実際に取扱っているもので、コンクリートの原材料などに利用されているものである。

リン除去の実験は、脱水ろ液に廃石膏粉を添加し、攪拌しながら溶液中のリン濃度の減少状況を測定する

表1 脱水ろ液のリン濃度と廃石膏の成分

	pH	リン濃度 (PO_4-P)	カルシウム (Ca)	硫酸イオン (SO_4)
脱水ろ液	8.0-8.5	160-200 mg/L	10mg/L	50 mg/L
廃石膏（固体）	-	-	230mg/g	470mg/g

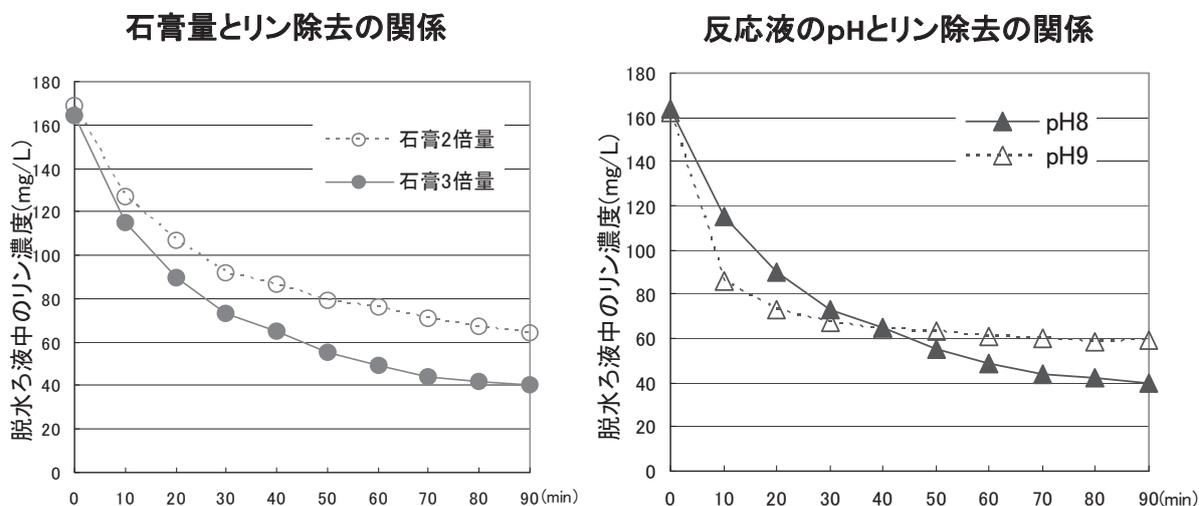


図3 室内実験によるリン除去の時間経過

ことにより、リン除去反応を観測した。脱水ろ液中のリン濃度は、イオンクロマトグラフ法により分析した。反応終了後の沈澱物をろ過により分離し、リン回収物とした。これを105℃で乾燥した後、希硝酸に溶解し、ICP発光分析法により、カルシウム、リン、イオウを分析した。

この実験から図3に示すように、脱水ろ液中のリン濃度と石膏量の比率の関係や反応液のpHと除去率の関係について、一定の知見が得られた。リン除去の反応は、反応開始直後は効率よく進むが、時間経過とともに徐々に反応速度が低下して行く傾向がみられた。また、石膏の比率を増せばリン除去率は上昇する。し

かし、回収物に残留する石膏が多くなり、リン肥料としての品質に問題が生じる恐れもあることから、リンに対し石膏3倍量(モル比)が適当であるとわかった。これらの試験から、pH調整など薬品を使用せずに反応時間60分で80%の除去能をもつリン回収装置の製作が可能であると考えられた。

廃石膏の主成分は $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ であり、水には難溶性であるがわずかに溶ける(～0.21 wt%)。溶けたカルシウムイオンは脱水ろ液のリン酸イオンとりん酸水素カルシウム(CaHPO_4)、りん酸カルシウム($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$)、ヒドロキシアパタイト($\text{Ca}_5(\text{OH})(\text{PO}_4)_3$)などの難溶性の化合物となり沈澱を生じると推測される。

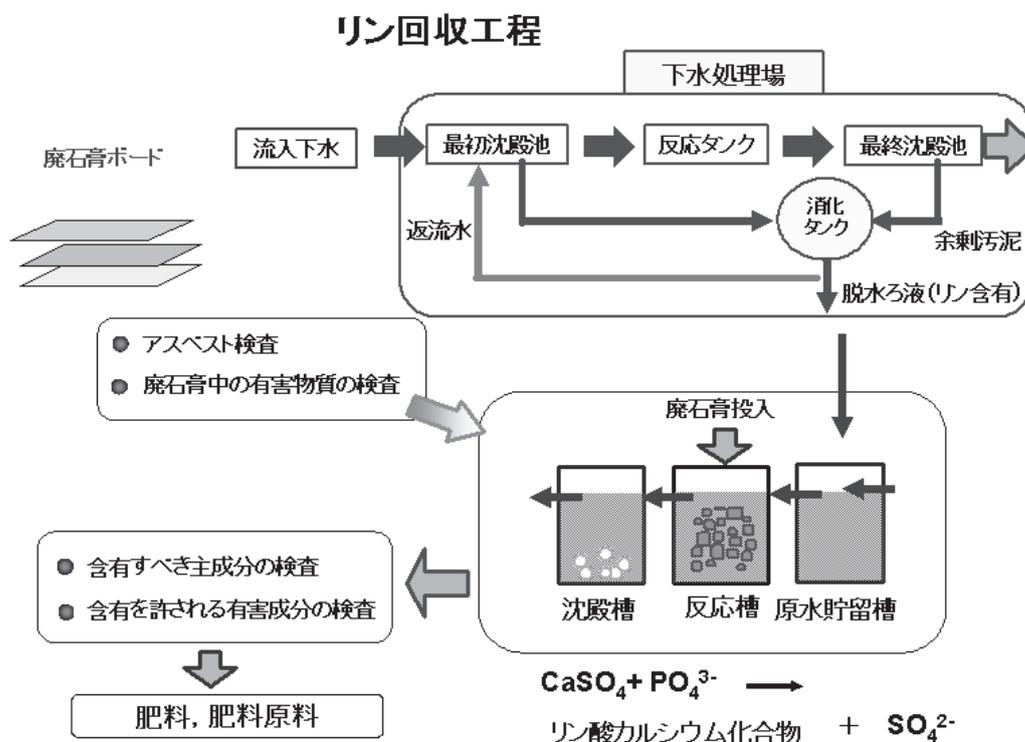


図4 廃石膏を使用するリン資源回収の全体イメージ

4-3 現場実験

室内実験の結果をもとに、小規模なリン回収装置を試作し、実際に下水処理場の現場で試験をすることとした。現場試験の主なねらいは、①リン回収の反応を連続的に行う手法を確立すること、及び②リン回収物の有効利用方法を検討するためにまとまった量を確保するためである。

連続運転が可能でリン回収装置を製作し、下水処理場に設置して稼働試験をするために、関係機関と連携し、NPO法人広島循環型社会推進機構が公募する平成23年度の研究事業に応募した。この研究事業の概要は表2に示したが、採択され、同機構の研究開発事業

として、装置の製作と現場試験の実施が可能となった。

① 下水道浄化センター

現場試験は(財)広島県下水道公社の太田川流域下水道東部浄化センターで実施した(表3)。同浄化センターは、広島市東部及び隣接する4町の下水を受け入れており、流入水量は約100,000 m³/日である。水処理方式は新旧2系列に分かれており、I系は標準活性汚泥法(嫌気好気法)で、II系は高度処理法(凝集剤併用型循環式硝化脱窒法)である。

下水処理により生じた汚泥は嫌気性消化により減容された後、ベルトプレス方式で脱水され、コンポスト

表2 NPO法人広島循環型社会形成推進機構に応募した研究の概要

テーマ	廃石膏を活用したリン回収技術の開発	
研究事業概要	建築物の解体に伴い排出される廃石膏ボードを活用し、排水中のリンを連続的に、回収する装置を試作する。 下水処理場の現場でリン回収試験を実施する。	
研究事業担当者	研究グループ	担当
	山陽工営(株) 広島県立総合技術研究所保健環境センター (財)広島県下水道公社 広島工業大学 水 i n g (株) 広島県立総合技術研究所西部工業技術センター	原料石膏調製, 装置製作 リン回収装置の評価・成分分析 現場試験 システム全般の検討 アドバイザー アドバイザー
研究事業期間	平成 23 年 6 月 ~ 24 年 3 月	

トやコンクリート原料用に搬出される。この消化汚泥を脱水したろ液は、汚泥処理系からの返流水として、最初沈殿池へ戻って処理されている。現場試験は、I系の汚泥処理工程の脱水ろ液を用いて実施した。

表3 太田川流域下水道東部浄化センターの概要

所在地	広島市南区向洋沖町 1-1
処理能力	148,380m ³ /日
流入水量(H24)	103,500m ³ /日
排除方式	分流式
水処理方式	(I系)標準活性汚泥法+急速砂ろ過 (II系)凝集剤併用型循環式硝化脱窒法+急速砂ろ過
汚泥処理方式	嫌気性中温消化+脱水(ベルトプレス)

②リン回収装置の製作と設置

リン回収装置は、実機の1/100スケールで、連続運転ができることを第1条件として試作した。原料の石膏粉は、連続供給の簡易性、取扱い上の安全性などから、水に混入しスラリー状として使用することとした。

試作した装置は、東部浄化センター敷地内の汚泥処理棟北側に隣接して設置し、同建物内の脱水機から脱水ろ液を採取し、原水槽に貯留して使用した。原水槽の脱水ろ液は、途中で石膏スラリーと混合し、反応槽へ移送する。反応槽では下部から上向流でゆっくり攪拌しながら反応が進み、その後、濃縮槽からりん回収物を分離回収する仕組みである。

③リン回収装置による実験

リン回収装置は5.0 m³/日(200リットル/時間)の

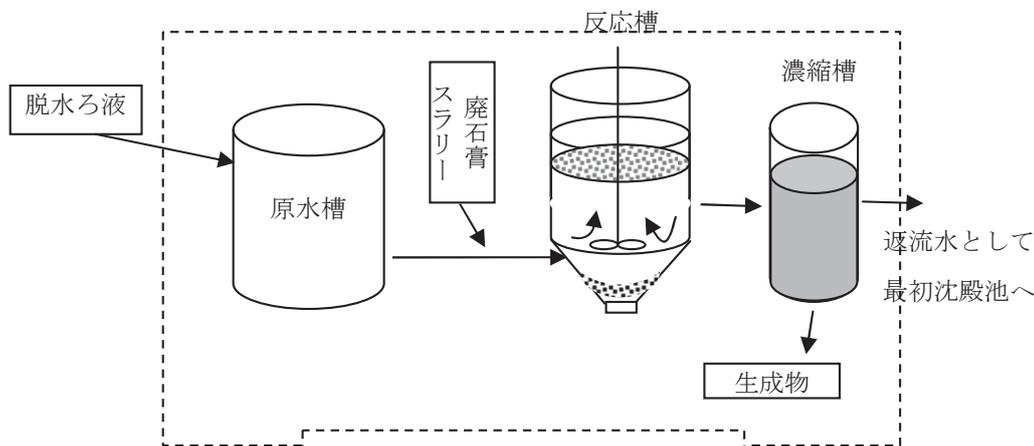


図5 試作装置の概要

表4 リン回収装置の運転条件 (1時間当りの量)

	原水 (脱水ろ液)	石膏スラリー	生成物 (リン化合物)
供給量	200 L	6.7 L	280 g
主要成分量	40 g -P	670 g -CaSO ₄	(P ₂ O ₅ :25%)

脱水ろ液を処理できる能力として作成したが、試験では、平日昼間のみ運転 (1日当り約5時間) し、夜間及び休日は運転を休止した。

装置性能の評価は、反応時間を1時間として運転した場合、原水中のリン含有量の除去率が80%、リン回収物中のリン酸濃度が20%以上であることを判断基準にすることとした。

当初設定した装置の運転条件を表4に示す。

原料の廃石膏粉は下水再利用水に混入し、10%のスラリー状態でリン回収装置に供給する。この条件で稼動すると、装置反応槽の有効容量 (200 L) から算定される反応時間は1時間となる。この時、室内実験の結果から、リン回収物は毎時280 g (リン酸濃度が25%として) が得られると予想される。

④現場試験結果

原料とした廃石膏粉は、アスベスト、ひ素及びカドミウム含有量について分析し、安全であることを確認して使用した。

実験期間中のリン回収装置のリン除去率は、脱水ろ液中の濃度と石膏反応後の処理液中の濃度から算出した。稼動当初には、不安定な結果も得られたが、装置の稼動状況が安定してきた1ヶ月後には、90%前後の除去率となり予想以上の良好な状態を確保することができた。

濃縮槽から採取したリン回収物をろ過・乾燥後、主要成分と有害物質について分析を行った。同一日の1時間ごとに採取して日間の変動を測定した結果を表5に示す。生成物のリン酸濃度 (P₂O₅として) は全部の検体で、肥料取締法の規格15%を大幅に上

表5 生成物の主要成分 (24/2/22, 調査, n=5)

項目	平均値	範囲	肥料取締法規格
カルシウム	31%	23~35%	-
リン酸 (P ₂ O ₅)	34%	26~37%	15%以上
硫酸 (SO ₄)	1.3%	0.8~1.6%	-
ひ素	<0.0004%	-	0.004%以下
カドミウム	<0.000015%	-	0.00015%以下

注) ひ素、カドミウムの基準はく溶性リン酸の含有率で補正後の値

表6 脱水ろ液に廃石膏を反応させた時の水質変動

	原水	処理後	変動
リン濃度 (PO ₄ -P)	170 mg/L	31 mg/L	減少
SS (懸濁物質)	34 mg/L	5 mg/L	減少
pH	8.0	7.4	中性
カルシウム	18 mg/L	220 mg/L	増加
硫酸 (SO ₄)	63 mg/L	1300 mg/L	増加
ナトリウム	160 mg/L	160 mg/L	無
塩素	280 mg/L	280 mg/L	無

回っていた。同規格の有害項目、ヒ素及びカドミウムについても検出されなかった。

リン除去後の処理水は、他の汚泥処理系などの返流水とともに、下水処理施設の最初沈澱池へ送られ、下水流入水と合流して処理されることになる。従って、処理水が水処理工程で悪影響を及ぼさないか検討する必要がある。

リン回収装置前後の水質について調べた結果を表6に示す。リンは約80%除去されるが、懸濁物質も同様に8割強が除かれており、水処理の負担としては減少すると考えられる。また、pHも中性側によるため、MAPやカルシウムスケールの析出は、ある程度抑えられると考えられる。一方で、使用した石膏の影響で処理水中のカルシウムと硫酸イオンが急増していることがわかる。これらの項目は最初沈澱池から水処理系に入る時には、大量の流入水で1/100以下に希釈されることになるので、水処理への影響は小さいと考えられるが、慎重に検討・評価する必要がある。反応に直接関与しないナトリウムイオンや塩素イオンなどはほとんど変化が見られない。

⑤現場試験のまとめ

廃石膏を使用するリン回収装置を製作し、太田川流域下水道東部浄化センターに設置して実験を行った結果は次のとおりである。

・リン除去効果

原水として使用した脱水ろ液と装置から排出された処理水のリン濃度を測定したところ、リン除去率（リン回収率）は80~90%以上と室内試験から設定した目標値80%を達成していた。

・リン回収物の成分

反応槽から採取した生成物を脱水乾燥して分析したところ、リン酸（P₂O₅として）の含有率は30%超であった。これは、今回の試験で目標としていた値を上回っていた。また、肥料取締法における副産りん酸肥料としての公定規格で定められているヒ素、カドミウムについては検出されなかった。

・処理水の性状

脱水ろ液はリン除去装置を通ることにより、リンに加えて懸濁物質も8割程度除去されていることから、下水処理への負担は減少する。また、pHも中性側によるため、MAPやカルシウムスケールの析出は、抑えられると考えられる。

・課題

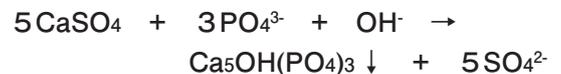
安定性の向上：漏水等緊急時の安全対策を十分にし、夜間を通じての連続運転を実施する。

反応効率の向上：反応時間の短縮は、装置の小型化を可能にし、ランニングコストの削減につながる。

下水処理工程に対する影響評価：処理水中にカルシウムと硫酸イオンは増加するため、水処理に及ぼす影響について、検討する必要がある。

⑥反応機構

廃石膏から溶けだしたカルシウムイオンが脱水ろ液のリン酸イオンと反応し、リン酸カルシウム塩として沈澱を生じる。実際の生成物では、これら化合物の中でも溶解度が最も低いヒドロキシアパタイトが主たる成分となっていると推測される。主な反応は、次のようにヒドロキシアパタイトが生成すると考えられる。



また、反応前の脱水ろ液のpHは8.0~8.5と弱アルカリ性であるが、反応後はやや中性側に傾く。これは、水酸イオンが消失し、代わりに硫酸イオンが生じるためと思われる。

5. リン回収物の有効利用

5-1 リン酸肥料として活用

輸入するリン鉱石の約8割はりん酸肥料として利用されていることから、回収したリン資源の最も有望

表7 下水からのリン回収物の肥料取締法における位置づけ

肥料の区分	普通肥料	
肥料の種類	りん酸質肥料 (副産りん酸肥料)	下水道の終末処理場排水の脱りん処理に伴い副産されるもの
公定規格	く溶性りん酸	15%
	ヒ素	0.004% (く溶性りん酸1%につき)
	カドミウム	0.00015% (く溶性りん酸1%につき)
	植害試験	害が認められないもの

な用途は化成肥料またはその原料と考えられる。リン回収物を肥料として活用するためには、肥料取締法に基づく登録を受ける必要がある。同法律で規定される「副産りん酸肥料の公定規格」で示されている可溶性リン酸の最小含有量（15%以上）並びに有害成分であるヒ素、カドミウムについては調べたところ、表7のように、公定規格を十分に満足しており、肥料あるいは肥料原料として有効利用できる可能性があることがわかった。

5-2 環境浄化剤として活用

リン回収物の成分の主なものHAP（ヒドロキシアパタイト）と考えられるが、この物質はイオン交換特性を持つことが知られている⁴⁾。陽イオンでは鉛や

銅イオンを取り込み、陰イオンはフッ素イオンを吸着することができる。このことから有害物質を含む排水等の浄化に活用できる可能性が示唆されている。

6. 廃石膏を使用することによる下水処理への影響

6-1 有害物質

廃石膏中に有害物質が含まれている場合、脱水ろ液との反応において、溶出し処理液中に排出され、あるいはリン回収物に含有される恐れがある。そこで、下水処理の各工程において、有害金属類について検査を行った。これまでの結果は次のとおりで、問題はなかった。

表8 廃石膏の有害金属の溶出試験結果

項目	ヒ素 (mg/L)	カドミウム (mg/L)	全クロム (mg/L)	鉛 (mg/L)	水銀 (mg/L)
廃石膏	<0.005	0.003	<0.1	<0.005	<0.0005
廃棄物埋立基準	0.3	0.3	-	0.3	0.005

*実験方法は、「産業廃棄物に含まれる金属等の検定方法」の溶出試験方法に準じた

表9 脱水ろ液及び廃石膏を反応後の有害金属濃度

項目 検体	ヒ素 (mg/L)	カドミウム (mg/L)	全クロム (mg/L)	鉛 (mg/L)	水銀 (mg/L)
脱水ろ液	0.01	<0.001	<0.1	<0.005	<0.0005
処理水	0.02	<0.001	<0.1	<0.005	<0.0005
<参考>排水基準 ^{*1}	0.1	0.1	0.5 ^{*2}	0.1	0.005

*1 水質汚濁防止法 *2 六価クロム

6-2 石膏成分の影響

下水処理場において、脱水ろ液に廃石膏を反応させてリンの除去・回収を行うことにより、処理水中に石膏の成分（カルシウムイオン及び硫酸イオン）が溶出する。これにより、下水処理工程にどのような影響が現れるかを検討する必要がある。

- ・カルシウムによる配管へのスケール付着の恐れがある（MAP、HAP、CaCO₃、CaSO₄）。
- ・硫酸イオンについては、硫酸還元菌の働きによる硫化水素の発生原因となる恐れがある。
- ・活性汚泥の働きに影響を及ぼす恐れがある。

これまでの調査から、現状の下水処理場の流入水中のカルシウム、硫酸イオンの濃度に、リン除去操作による石膏成分の増加量を合算し、脱水ろ液の全量を使用してリン除去を行った場合の濃度を推定した。その結果、表10に示すように、カルシウムについては、微増であり、硫酸イオンはおよそ2割程度の増加が見込まれる。

どちらの項目も有害性は無く、また、現状の日変動、季節変動に比してみると大幅な増加とは考えられないので、致命的な影響は無いといえる。今後、より慎重に多方面にわたって影響調査を行って行く必要がある。

表10 脱水ろ液全量をリン回収に供した場合の成分濃度の推定（I系の場合）

	流入水濃度 (現状)		石膏処理後の 脱水ろ液		全量使用した場合 の濃度 (推定)
カルシウム (mg/L)	14 mg/L	+	220 mg/L	⇒	16 mg/L
硫酸イオン (mg/L)	51 mg/L		1300 mg/L		60 mg/L
水量	42000 m ³ /日		300 m ³ /日		42300 m ³ /日

7. まとめ

廃石膏ボードを使って、下水処理場の消化汚泥脱水ろ液から、リン酸カルシウム化合物を回収することができた。これにより、産業廃棄物として処理される廃石膏の有効利用が期待できるとともに、既存の手法に較べて、薬品経費が大幅に削減できるリン回収技術確立の可能性が示された。

今年度から県の研究事業として、問題点を抽出し、試験装置の改良や効率的な処理条件の確立、さらに肥料としての利用手法について検討している。

今後、実証試験を継続して行うとともに、コスト計

算の精度を上げ、具体的な事業化スキームを検討することにより、実用化に向けて研究を継続して行く予定である。

<参考文献>

- 1) 萩野隆生, 平島剛, 環境資源工学52, 172-182 (2005)
- 2) 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部「平成20年度廃石膏ボードの再資源化促進方策検討業務調査報告書」(平成21年3月)
- 3) 国土交通省都市・地域整備局下水道部「下水道におけるリン資源化の手引き」(2010)
- 4) 鈴木喬, 石膏と石灰, 195, 87-94 (1985)

Q&A

下水処理場の電力事情について

キーワード：電力、発電

下水処理場は流入する下水の水処理や発生する下水汚泥の処理を行う工程で多くの電力を必要とします。

その電力量は下水1m³当たり0.4kWh程度と言われ、日本全国で使用される電力量の0.7%に相当すると言われています。

下水処理場での消費電力量を削減することは処理場の経営のみならず、エネルギーの消費や、強いては、地球環境にもつながるものです。

今回は、下水処理場の電力事情について考えてみたいと思います。

Q1 下水処理場の設備で消費電力量の一番大きなものは何ですか？

A1 下水処理場には大きく分けて、沈砂池設備、ポンプ設備、水処理設備、汚泥処理設備などがあり、特に水処理設備での消費電力量は全体の約50%と最も大きい割合を占め、とりわけブロワは水処理設備の消費電力量の大半を占めています。

Q2 下水処理場での節電対策にはどんなものがありますか？

A2 処理設備では、主ポンプ設備のインバータ制御、曝気風量の適正な運転管理、省エネ機器の積極的な導入などがあります。

また、超微細気泡の導入により、5万m³/日の規模の下水処理場で、ブロワの消費電力量を約20%、処理場全体では10%程度削減できるといわれています。

処理設備以外では、空調設備の適切な温度管理、照明設備の部分消灯などがあります。

Q3 最近の電気料金はどのように推移していますか？

A3 震災後に原子力発電所が稼働を停止していく中、電力不足を解消するため、休止していた火力発電所を再稼働させた結果、燃料費が上昇し、さらに2012年7月1日から再生可能エネルギーの固定価格買取制度がスタートして、同年8月分の電気料金より、電気事業者が再生可能エネルギーの買取に要

した費用を、再生可能エネルギー発電促進賦課金として、電気の利用者が負担することになりました。

さらに、電力各社は政府に対し相次いで電気料金の値上げを申請しており、今後ますます電気料金の上昇が懸念されます。

Q4 下水処理場で取り組むことができる発電の種類にはどんなものがありますか？

A4 下水処理場の広い敷地や既存の設備を利用することにより、太陽光、風力、小水力、バイオマス、バイナリー発電設備などを設置することができます。

・太陽光発電

太陽の光エネルギーを太陽電池に受け、光エネルギーの約15%が直接電気エネルギーに変換されます。

太陽光発電は、夜間全く発電できないことや、発電量が天候に左右されることより、発電能力に対する実際の発電電力量を表す設備利用率が約12%となっています。

とりわけ1MW(1,000kW)以上のものはメガソーラーと称され、再生可能エネルギーの固定価格買取制度の開始以降、全国各地の下水処理場への設置予定が相次いで発表されています。

・風力発電

風力エネルギーで風車を回し、回転エネルギーを電力に変換し発電します。

風力エネルギーの約40%が電気エネルギーに変換されます。

風速の変動により発電量が変動するため、設置する条件としては、年間平均風速4m/s以上の環境が求められます。

・小水力発電

落差のある水路を流れる水の運動エネルギーで水車を回し、回転エネルギーを電力に変換します。

天候や時間帯による出力の変動が少なく、安定し

た電力の供給が可能です。

下水処理場の放水路などへ設置が可能です。

・バイオマス発電

下水汚泥の嫌気性消化で発生する消化ガスを、内燃機関の燃料として利用し発電機を運転する方法と、消化ガスから水素を取り出し燃料として利用する燃料電池があります。

ちなみに、バイオマスを燃焼させると二酸化炭素が排出されますが、バイオマスは生物由来の有機物であり化石燃料ではないので、大気中の二酸化炭素を増加させることはなく、地球温暖化に影響を与えることはありません。

この大気から吸収される二酸化炭素と排出される二酸化炭素が同じ量であるという考えを、カーボンニュートラルといいます。

・バイナリー発電

沸点の低い媒体を蒸発させ、その蒸気でタービンを回し発電させる仕組みで、下水汚泥焼却炉から発生するスクラバー排水など、今まで利用されてこなかった比較的低温の熱エネルギーの有効利用が期待されています。

Q5 下水処理工程で発生する消化ガスを発電に使用すると、どのような効果がありますか？

A5 電力会社から購入する電力量を削減できるほか、設備の運用方法によっては併せて契約電力も下げられるため、電力量料金と基本料金の両方の削減を図ることもできます。

また、バイオマスを利用した消化ガス発電では、排熱も利用したコージェネレーションにより、高い総合エネルギー効率を維持できるほか、消化ガスを利用することで温室効果ガスの排出削減にも繋がります。

Q6 下水処理を利用した新しい発電技術にはどんなものがありますか？

A6 国土交通省では、平成25年度予算で、下水道革新的技術実証事業（B-DASHプロジェクト）として、「下水汚泥バイオマスを活用した発電技術」等の実証事業を要求しています。

具体的な方法としては、下水汚泥を低含水率化・高カロリー化し、処理場内の汚泥焼却設備で補助燃料を使わずに燃焼させ、水管ボイラー等の蒸気でタービンを回し発電します。

これらの技術が下水処理場に導入されることで、より省エネルギー化が図られるものと期待できます。

(山形市上下水道部浄化センター業務係 花輪知弘)

現場からの

声

空見スラッジリサイクルセンター(仮称)について

キーワード：名古屋市下水道供用開始 100 周年、空見スラッジリサイクルセンター

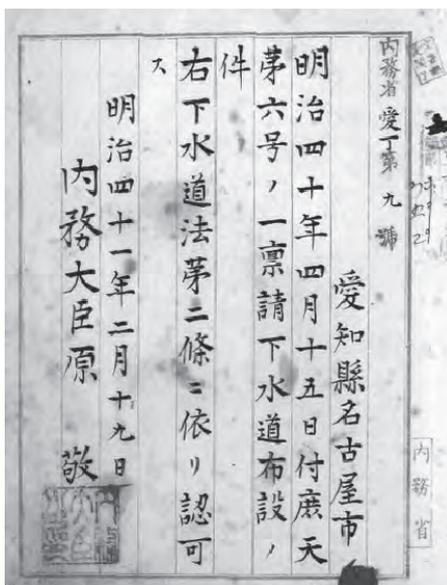
1. はじめに

名古屋市下水道は、明治41年2月19日に認可を受け、大正元(1912)年11月15日に中区伊勢山町他9か町で竣工告示を行い、供用開始することで始まり、平成24(2012)年11月で、下水道供用開始100周年を迎えました。その間、昭和5年には、全国に先がけて活性汚泥法による下水処理を開始し、昭和7年に

名古屋市上下水道局 計画部 技術管理課

技術開発担当主査 北折 康德

は4処理場の汚泥を集約処理する天白汚泥処理場の運転を開始するなど、下水道事業において先進的な取り組みを行っています。



下水道布設認可書

空見スラッジリサイクルセンター建設地



名古屋市の水処理センターと汚泥処理場

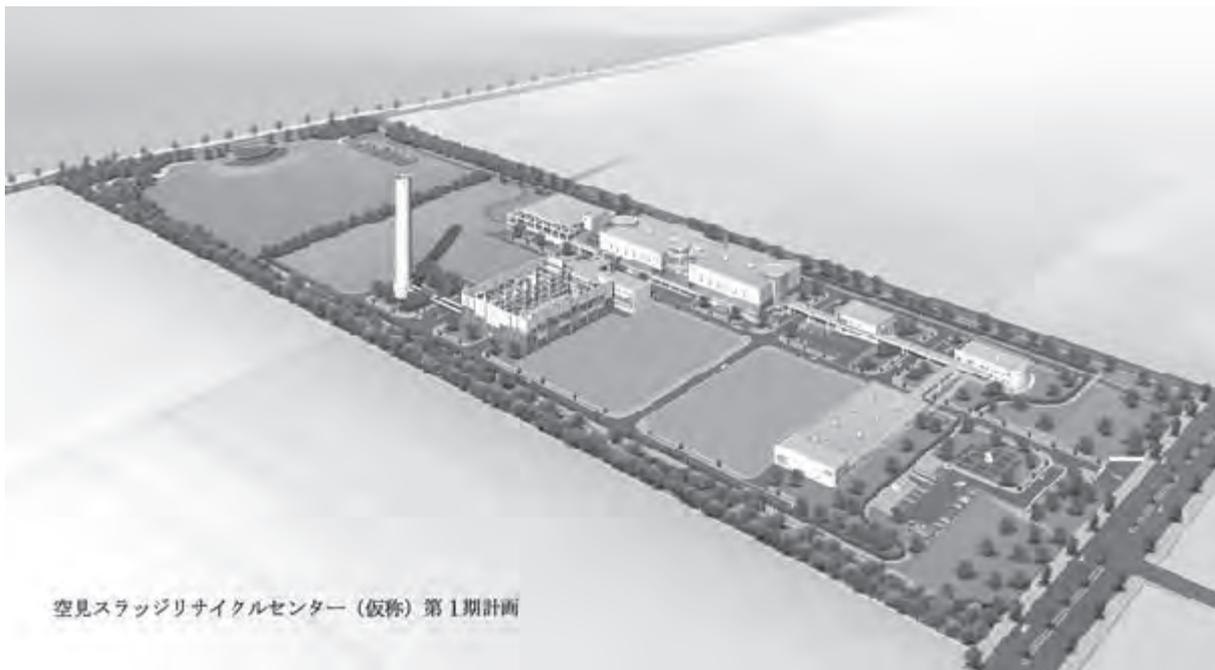
空見スラッジリサイクルセンターで発生する汚水は、凝集沈殿処理した後、宝神水処理センターへ送水して高級処理します。

計画諸元 (第1期)

日平均処理汚泥量	5,000 m ³ /日	
汚泥処理	ベルト濃縮機	80 m ³ /h×6台
	スクリーンプレス脱水機	20 m ³ /h×6台
	遠心脱水機	20 m ³ /h×6台
	気泡流動焼却炉	200 t/日×2基

4. おわりに

空見スラッジリサイクルセンターの建設地西側には、数多くの野鳥が飛来する「藤前干潟」(平成14年にラムサール条約により登録)があり、周辺環境へ配慮した施設となっています。今後の増設計画にむけては、下水汚泥の新たな有効利用を検討するなど、循環型社会の形成に寄与する施設を目指しています。



第1期工事完成予想図

文献紹介

下水汚泥の施用は 土壌のメタン酸化速度を減じない

Land application of aerobic sewage sludge does not impair methane oxidation rates of soils

Marco Contin, Daniele Goi, Maria De Nobili
Science of the Total Environment, 441, 10–18 (2012)

下水汚泥の環境保全的かつ経済的な処分は、下水処理における大きな問題である。下水汚泥の土壌施用は最も経済的な処分方法であり、農地施用の場合は、窒素、リンなどの栄養成分の効果もあって、収量増などの効果も認められている。しかし汚泥施用は、潜在的有害元素 (potentially toxic elements, PTE) などによる土壌または地下水汚染を伴うことが懸念される。また、PTEは土壌の微生物活性に負の影響を及ぼすことから、農地からのメタンの発生に影響するかもしれないが、これまでほとんど検討されてこなかった。そこで本論文の著者らは、10年間の下水汚泥の連用が、土壌のメタン酸化に及ぼす影響を検討した。

試験には北イタリアのFriuli Venezia Giuliaで収集した土壌 (カンピソル) を用いた。畑土壌 (トウモロコシ、ダイズ、コムギの輪作) を3種類、草地土壌を2種類供試した。汚泥の添加は、脱水汚泥を乾物換算で7.5 t kg⁻¹ y⁻¹ (イタリアの施用限量) とした。汚泥中の主な重金属濃度の平均値は、カドミウムが1.31 mg kg⁻¹、銅が520 mg kg⁻¹、鉛が66.4 mg kg⁻¹、亜鉛が1027 mg kg⁻¹であった。各処理区の面積は2000 m²以上とした。土壌のバイオマス炭素は、クロロホルム燻蒸前後の抽出性炭素の量から求めた。土壌のメタン酸化速度を求めため、乾土換算で30 gの土壌を125 mLのガラス瓶にはかり取り、1%メタン260 μLをヘッドスペースに注入した後、25°Cで培養した。重金属 (Pb、Zn) の急性の影響を調べる目的で、PbおよびZn添加区 (用いた土壌は汚泥10倍量区とその対照区土壌) を設定した。培養は15日間とした。培養中に適宜ヘッドスペースガスをサンプリングし、FID検出器のガスクロマトグラフィでメタンを定量した。メタン濃度の経時変化から速度定数kを求めた。重金属の形態別定量は、逐次抽出 (BCR法) に準拠し、3画分に分けて測定した。

10年間の汚泥施用により、有機炭素、全窒素、CEC (陽

イオン交換容量)、バイオマス炭素の増加が認められた。特に汚泥10倍量施用区では、土壌の有機炭素が蓄積しており、平衡状態に達していないと考えられた。PTE類では、汚泥施用によりNiとZnの蓄積が認められた。

25°Cで150時間培養したとき、ヘッドスペースガス中のメタン濃度は経時的に減少し、対数プロットしたときの傾きから速度定数kが算出できた。耕作地の土壌のkは6~15×10⁻³ h⁻¹の範囲にあり、草地土壌のk (26~33×10⁻³ h⁻¹)より有意に低かった。下水汚泥施用区のkは対照区の値とほぼ同じであり、下水汚泥の施用は、土壌のメタン酸化能に影響しないと考えられた。速度定数kをバイオマス炭素で除した値 (qk) は、下水汚泥施用区において低い傾向にあり、バイオマス炭素あたりのメタン酸化能は、下水汚泥の施用により低下した。

Pbを200 μgまたは1000 μg添加したとき、下水汚泥添加土壌のメタン酸化速度定数kに変化は認められなかったが、対照区土壌のkは1000 μgのPb添加区で減少した。バイオマス炭素も対照区土壌の1000 μg添加区で減少したことから、qkの値に有意な変化は認められなかった。Znの300 μg添加区では、対照区、汚泥施用区ともにkのわずかな減少が認められ、1500 μg添加区ではメタンの酸化がほとんど阻害された。バイオマス炭素の量は1500 μg添加区の対照区土壌で半減したものの、他区ではあまり減少しなかったことから、qkの値はZnの添加量に応じて減少した。

Pbの200 μg添加は、逐次抽出 (BCR法) の第1画分と第3画分に影響し、汚泥10倍量区、対照区それぞれの第1画分の割合は、0.3、7.0%、第3画分の割合は、38%、25%となった。すなわち、汚泥施用区において、第1画分の濃度上昇が抑えられ、より安定な第3画分の存在割合が増加していた。Znの300 μg添加は、第1画分と第3画分に影響し、汚泥10倍量区、対照区それぞれの第1画分の割合は、15、40%、第3画分の割合は、40%、17%であり、汚泥施用区において安定的に存在していた。

以上の結果より本論文の著者らは、下水汚泥の施用により土壌にPTE類が蓄積するとメタンの酸化に影響を及ぼすが、汚泥中の有機物が土壌に蓄積していれば、PTEの影響を抑制できると結論している。

(農業環境技術研究所 川崎 晃)

文献紹介

バイオガス発生量増大に向けた 下水汚泥と最初沈澱池発生スカムの混合消化

Anaerobic co-digestion of sewage sludge and primary clarifier skimmings for increased biogas production

S. Alanya, Y. D. Yilmazel, C. Park, J. L. Willis, J. Keaney, P. M. Kohl, J. A. Hunt and M. Duran.
Water Science & Technology, Volume 67 Number 1, 2013, 174-179

嫌気性消化は有機性廃棄物を高温で安定化し、廃棄物量削減及びエネルギー生成を可能とする完成された技術の一つと認識されている。近年、バイオガス発生量増加と廃棄物処理を見込めるとして有機性廃棄物の混合消化への関心が高まり、有機性固形廃棄物、家畜糞尿や油脂等を基質とした多くの研究がなされている。

沈澱池で発生するスカムは様々な油脂類や浮遊物で構成され、易分解性で高いCH₄発生能を有し、スカムから得られるトリグリセリド、グリセリン脂肪酸エステルは混合嫌気性消化において相乗作用をもたらすとされている。長鎖脂肪酸の存在、低可溶性及び吸着性が嫌気性消化の運転の支障になると示唆されているが、文献では多くの成功例がある。この研究の目的は、スカムと下水汚泥との混合嫌気性消化におけるバイオガス発生量と消化性能への影響調査、及びガス発生量増加達成のために最適な負荷量を設定することである。

実験には、フィラデルフィア水管理局 (PWD) が管理する北西部下水処理場の汚泥等を用いた。スカムは、最初沈澱池表面とスカム濃縮タンクから収集し、分析後4 ± 2℃で冷蔵保存した。収集スカムはそれぞれ1 gあたり1.18 g COD及び1.40 g COD、TSは28.7%及び62.7%と高く、VSは97%及び98%と、TSのほとんどが揮発性であった。当該処理場には7,570 m³の消化槽が8槽あり、そこから得た中温嫌気性消化汚泥 (TS 1.72%、VS 55%) を種汚泥に用いた。投入汚泥用に採取した最初沈澱池汚泥 (PS) と余剰汚泥 (WAS) は、平均TSがそれぞれ4.4%及び3.6%、平均VSが68%及び77%で、分析後冷蔵保存し、供給汚泥として1:1の量で毎日混合して用いた。また、供給汚泥とスカムは実験槽投入前に混合した。

実験には約13 L、35 ± 2℃の中温嫌気性消化槽を用い、R1を対照系として汚泥のみ、R2を実験系として汚泥とスカムの混合物を供給した。各槽は1時間に10分、300 rpmで攪拌し、攪拌時に1日1回1 Lの汚泥引抜及び供給 (有機物負荷4.0 g COD/(L・d) (±0.2)) を行った。各槽で発生するガス量 (35℃、1気圧) は継続的に測定し、CH₄とCO₂をガスクロマトグラフィーにより分析した。また、引抜汚泥のpH、アルカリ度及びVFAsを測定した。

スカムの投入前に、背景データ収集期間としてR1と

R2が同一能力となるよう15日間同一条件で運転し、その後の78日の運転期間、R2には1.5~7.0 g CODeq/(L・d)の範囲で4つの異なるスカム負荷条件で供給を行った。最初の3週間は間欠的なスカム供給を行い、CH₄回収期待量の80%が達成され、スカムに馴致するのに十分な時間を経たとの判断後、スカム負荷の1日1回の引抜供給を開始した。

背景データ収集期間、2槽のガス発生量に統計上の差異は見られず、比較実験中はR2のCH₄発生量はスカム負荷量増加に伴い安定的に増加し、スカムの抑制的影響は見られなかった。引抜汚泥のVSは、R1は平均12,170 mg/Lで安定であったが、R2はスカム負荷量増大に伴い増大し、最大時で約20,000 mg/Lに達した。

更なる生物分解性向上の比較として、スカム負荷量増大に対する日あたりCH₄増加量とCH₄収率を用いた。COD 1 kgからのCH₄発生量395 Lとの基準で計算した基質利用率は、R2でスカム負荷量負荷量が5.6~11 g COD/(L・d)の範囲で増加するに従い3.38~8.59 kg COD/(m³・d)に直線的に増加した。これは実験のスカム負荷範囲が嫌気性消化において最大の基質利用率に達していないことを示している。

R1とR2のCOD除去率は、低スカム負荷の期間は同様の挙動を示したが、高スカム負荷の期間にR2でCOD除去率は僅かに減少した。VS除去率はR1よりR2が若干高く、R1で平均51%であった。R2ではスカム負荷量増大に伴いVS除去率は増加し、平均65%であった。この結果をもって高VS分解率がスカムと汚泥の混合消化による相乗効果とは言えないが、このスカム負荷範囲では投入負荷の上限である最大基質利用率を示す濃度に至っていないと言える。

定常状態において、R1のCH₄発生量は9.2 L/日 (負荷量平均24.7 g VS/日)、VS分解率51%、平均CH₄収率は分解VS 1 kgあたり730 Lと、北西部下水処理場の実消化槽と同等であった。

アルカリ度はR1が6,280 mg/L CaCO₃、R2が6,170 mg/L CaCO₃と大差はなかった。VFAsは概ね大差はなかったが、唯一R2の高スカム負荷時 (7 g CODeq/(L・d)) に酢酸の増加が見られた。これは負荷量がこのレベルで継続した場合、酢酸分解の抑制レベルに達した可能性を示唆するが、この負荷量は実際の処理場で想定される約3倍量でありほぼ起こりえないと考えられた。

得られたデータより、PWDが管理する処理場で発生するスカムの嫌気性消化槽投入を仮定すると、北西部処理場では3,810,235 kg COD/年が投入され、期待されるCH₄発生量は1,221,480 L/日、CH₄1ft³あたり630 BTUのエネルギー量と仮定すると、年間エネルギー回収率は100億BTU (290万kWh) と想定された。

(日本下水道事業団 三宅 十四日)

講座

下水汚泥堆肥の 緑農地利用のこれから

農研機構 東北農業研究センター

畑作園芸研究領域長 田村 有希博

キーワード：土壌窒素肥沃度、下水汚泥堆肥、肥料的効果、地力の維持増進

植物が生育するためには、光、水、空気（酸素、二酸化炭素）並びに栄養源が必要である。自然界では、太陽光と物質循環の中で、エネルギーと必要な物質を獲得して生育する。植物を必要に応じて人間が栽培する場合、自らの糧とする植物を作物と称するが、自然界の物質循環に人為的に作物が必要とする物質を加え、糧を増やす行為を農業とするならば、古来から、人間は様々な物質（主に有機物）を作物に与え、より多くの糧を得てきた。近代、化学肥料が発明され、大量生産によって安価に入手出来るようになったこと、また、有機物と異なり、施用効果が直接的で、施用量や施用方法の工夫で作物の生育制御が出来ることから、化学肥料一辺倒で、有機物施用が廃れた時代があった。

当初、収量増が最も重要な時代では、化学肥料の過剰施用による環境負荷が問題となった。また、米余りの時代が到来し、付加価値の高い米、すなわち美味しいお米を求める消費者動向の中で、環境負荷にも配慮し、化学肥料使用量の低減が図られるいわゆる環境保全型農業が推進されている。さらに、消費者は、より安全な（化学肥料や農薬の適性使用が安全でないという訳ではないのであるが）食料と言うことで、有機農産物を求める動きもある。

一方、米余りの時代に入り、米の生産調整が必要となったため、水田の高度利用が推進されて久しい。水田を畑地として利用すると地力（土壌窒素肥沃度）が低下する問題が顕在化している。水田は土壌窒素肥沃度を維持する機能を有している。すなわち、湛水状態の水田では、作土が還元状態に保たれ、窒素がプラスイオンであるアンモニア態窒素として存在し、土壌中に保持されやすい（土壌に含まれる粘土や腐植の表面はマイナスに帯電している）。また、水田で繁茂するある種の藍藻類は空気中の窒素を固定して土壌に窒素を付加する。さらに、土壌中に混在する植物残渣が分解する過程で、施肥窒素の一部が微生物に取り込まれ、土壌バイオマス窒素を形成する。これらの現象によって水田の土壌窒素肥沃度は維持されるが、畑の場合は、硝酸態窒素の流亡や土壌の乾湿の繰り返しによる有機態窒素の分解促進により、土壌窒素肥沃度が低下しやすい。よって、水田の場合はことさら有機物を投入しなくても地力は維持されるが、畑の場合は、地力を維持するためには有機物の施用が必須である。しかし、日本の場合、水田では有機物投入をしなくても生産力が維持されたという経験や、近代農業において耕畜が分離し、畜糞等の入手が困難になったこと、堆肥等有機物施用にはコストが掛かる

こと等のため、本来投入されなければならない畑（転換畑を含む）にも長年、有機物の投入がされて来なかった。よって、日本の水田は、高度利用が進むに従って土壌窒素肥沃度が低下している。その証拠に、近年、大豆の収量が低下傾向にある。大豆は施肥窒素に対する反応が鈍い。なぜならば、窒素施用量が増えるとその分だけ窒素固定量が減少するからである。窒素施肥では大豆の栄養生長を促進できないため、大豆の生育は土壌窒素肥沃度に依存している。そのため、土壌窒素肥沃度が低下すると大豆の収量は、てきめん低下する。すなわち、畑の地力の低下は大豆の生産性の低下に直結する。

これまで、転換畑を含む畑地の地力維持のためには、有機物の投入が必須であると述べてきた。しかし、投入すべき有機質資材は入手可能だろうか。作物残渣を圃場に還元したとしても、物質収支から見て養分は不足する。また、水稻の場合は問題無いとしても、それ以外の作目では、病害虫の伝染源となる恐れがあるため、連作を考えた場合、作物残渣の還元を躊躇せざるを得ない。先にも述べたが、耕畜分離が進み、多くの場合、畜糞堆肥は遙か彼方である。そこで、下水汚泥堆肥は如何か。下水汚泥堆肥は一般的に牛糞堆肥に比べて窒素の施用効果が高い。また、リン酸等の養分も豊富に含まれている。よって、窒素やリン酸の肥料としての効果が期待できる。特に、肥料的効果が求められている野菜作には、有効と考えられる。

しかし、有機質資材としての有効性があるにも関わらず、下水汚泥堆肥を敬遠する向きもある。やはり下水汚泥には、有害物質が含まれているとのイメージが根強いのではないか。以前は流域から流れ込む重金属が蓄積しているとの懸念があったが、現在では、水質汚濁防止法等による規制によって、以前に比べ、下水汚泥への重金属の集積は格段に減少している。また、下水汚泥堆肥として流通させるためには、肥料取締法の規制を受けるため、重金属含量は規制値以下であることが保証されている。意外に思うかも知れないが、ある種の畜糞堆肥には、銅や亜鉛が多く含まれている事例も有る。銅や亜鉛は、植物だけでなく、人間にとっても必須栄養素であり、不足すると欠乏症状が現れる場合も有る。特に亜鉛は、摂取不足により味盲となる恐れがある。それでは何故、銅や亜鉛が規制対象であるのか。銅では水田の環境基準（125mg/kg）が有り、亜鉛では農用地土壌管理基準（表層土壌中120mg/kg）がある。特に亜鉛の基準は諸外国の基準に比べても非常に厳しく、亜鉛を比較的多く含む下水汚泥堆肥やある種の畜糞堆肥では、計算上、10年以上比較的多く連用すると基準を上回ってしまう恐れがある。しかし、資材の連用に伴う重金属の蓄積は、一定の水準で止まるとの報告もある。亜鉛の農用地土壌管理基準は暫定であるとも

聞いている。先に述べたとおり欧米の基準に比べても厳しいことから、今後下水汚泥堆肥の利活用を推進するためには、基準の見直しをお願いしたい。

カドミウムについても畜糞堆肥に全く含まれていない訳ではなく、下水汚泥堆肥と同等に含む畜糞堆肥もある。もちろんそれらについても、基準以下であるため安全が保証されている。一時、原発事故で拡散した放射性セシウムが下水汚泥に集積して問題となった。高濃度に汚染された物については論外であるが、基準値以下である物については、使用を躊躇する理由はない。

農家が、下水汚泥堆肥を使用したことで、生産物に対して風評被害が起こるのではないかと懸念から、使用を躊躇う向きもある。また、下水汚泥という文言に嫌悪感を感じる生産者、消費者も居られるかも知れない。名称を変えようとの意見も有るが、良いアイデアは無さそうである。畜糞やし尿汚泥よりましと思うのは、下水汚泥の利用促進に関わる者のひいき目だろうか。

また、JAS有機に使用できる資材として、下水汚泥堆肥はリストアップされていない。窒素肥料としての効果が高い下水汚泥堆肥は、有機農業にとって効果的な資材であると考えるが、自然の物でないものを敬遠する有機農業を信奉する生産者や消費者にとっては、下水汚泥堆肥を有機農業に使うことは考えられないであろう。

イメージはともかく、畑の地力維持や生産性向上に役立つ下水汚泥堆肥の利用拡大を期待したい所であるが、汚泥堆肥の生産量は減少傾向にある。下水汚泥の利用率については向上しているようであるが、主に、エネルギー利用や焼却灰の利用、リン酸回収等への利用が増えている。エネルギー利用を考えた場合、緑農地利用では有用な窒素やリン酸が邪魔になる場合がある。リン酸は回収して肥料原料として再利用できるが、窒素は除去して捨て去る以外無いのは、もったいない気がするが、技術の進歩により緑農地利用以外の利用が拡大することは歓迎すべきことと考える。

下水汚泥の緑農地利用が減っている背景には、公共事業の減少に伴う、高速道路等の建設に伴う法面処理や緑地化等での使用事例が減った側面も考えられる。今後、下水汚泥堆肥の利用拡大を考えた場合、農地、特に畑地や果樹園等への投入が考えられるが、費用対効果が、下水汚泥堆肥に限らず（下水汚泥堆肥は比較的施用効果が高いのだが）他の有機質資材でも直感的に感じられにくいことが、有機物の施用拡大を妨げている面もある。しかし、地力の維持増進による生産性の向上には、有機物の連用が必須であることを理解して、イメージと違って、安全で施用効果が高く、使い勝手の良い下水汚泥堆肥を利用して頂き、普及の拡大が図られることを期待したい。

特別報告

大阪市における 下水汚泥溶融スラグの 有効利用の取組みについて

大阪市建設局 下水道河川部 水環境課

担当係長 西 奥 友 次

キーワード：溶融スラグ、ネットワーク、埋め戻し材、下水道事業、単価販売

1. はじめに

大阪市では、下水汚泥の大半を溶融処理しているため、下水汚泥溶融スラグ（以下、「溶融スラグ」という）が毎日生産されている。

溶融炉稼働時より大規模事業での有効利用や入札による民間企業への一括売り払い等による利用を行ってきたが、利用用途の拡大に苦慮している状況にある。

溶融スラグの利用拡大並びに新規開拓については、建設資材としての認知度が極めて重要な因子であるため、溶融スラグを下水道事業に利用する取組み（平成24年度見込み量：約2,200トン）や単価販売を実施し、利用実績を積み重ねている。さらに、公共事業全般や民間事業での利用など、用途拡大を目指している。

本稿では、本市における汚泥処理の経緯並びに溶融スラグの有効利用に関する取組みについて報告する。

2. 汚泥処理の経緯

本市では、高級処理の導入によって増加する下水汚泥の減量化を目的に、昭和47年に津守、放出下水処理場に立形多段焼却炉が建設されたのを皮切りに、平成2年までに上述の2処理場と平野下水処理場において合計7基の焼却炉（処理能力1,200t/日）が完成し、

発生汚泥の全量焼却処分が可能となった。

焼却炉から発生する焼却灰は、海上埋立地である北港処分地へ埋立処分してきたが、同処分地は本市の唯一の処分地であることから、可能な限り延命させるため、焼却炉の更新に際して更なる汚泥の減容化・安定化、最終生成物の有効利用の観点から溶融方式に切り換えることとした。



図1 大阪市の送泥ネットワーク

溶融炉の建設に際し、維持管理や故障・定期修繕時対応などの効率性を考え、舞洲スラッジセンター並びに平野下水処理場での集中処理を採用した。

また、汚泥の運搬については、パイプ輸送によるネットワークを構築し、汚泥圧送輸送を行っており、平成23年度末時点での総延長は54kmに達している(図1参照)。中浜・今福・放出・平野下水処理場の汚泥は平野下水処理場において、残る8下水処理場の汚泥は舞洲スラッジセンターでの処理を基本としている。

3. 溶融処理の概要

平成12年度、平野下水処理場に本市では初の巡回溶融炉1基(150t/日)が稼働した。平成16年度には舞洲スラッジセンターに巡回溶融炉3基(450t/日)が稼働、その後、平成19年と平成22年にそれぞれ4基、5基目の溶融炉が稼働し、現在、本市全体で6基(処理能力900t/日)が稼働している(表1、表2参照)。本市全体の溶融炉投入脱水ケーキ量は約337t/日(71.6DS-t/日)、発生溶融スラグ量が11,710t/年に達している(平成23年度実績)。

舞洲スラッジセンターで消化汚泥の脱水工程後に発生する脱水分離液は、近傍の此花下水処理場に返送

表1 舞洲スラッジセンターの施設概要

敷地面積	約33,900㎡
施設規模	地上6階、地下1階 ○建築面積：約17,000㎡ ○延床面積：約40,000㎡
処理方式	巡回溶融方式
処理能力	○汚泥溶融設備： 150t/日(33t-DS/日)×5基(現在) 150t/日(33t-DS/日)×6基(計画) ○汚泥脱水設備： 60㎡/時×5台(現在) 60㎡/時×6台(計画)

表2 平野下水処理場の施設概要

敷地面積	約100,940㎡(下水処理場全体)
施設規模	地上4階、地下1階(溶融炉棟のみ) ○建築面積：約2,400㎡ ○延床面積：約6,860㎡
処理方式	巡回溶融方式
処理能力	○汚泥溶融設備： 150t/日(33t-DS/日)×1基 ○汚泥脱水設備： 40㎡/時×4台

し、水処理を行っている。ただし、脱水分離液には高濃度の窒素を含んでいるため、舞洲スラッジセンターでは高効率の化学的な窒素除去方式であるアンモニアストリップング法を採用し、精留塔により脱水分離液中の窒素の主成分であるアンモニア性窒素を高純度の気体アンモニアとして回収した後、還元処理を行い窒素ガスとして大気放出し、脱水分離液中の窒素を低減している。

4. 溶融スラグの有効利用

(1) 経緯

本市では、溶融炉建設計画策定時から溶融スラグの有効利用について検討を行ってきた。平成7年から溶融スラグと山土を一定量で混合したスラグ混合土について物性試験及び一般道路における試験施工を実施し、良好な結果が得られた。そこで、下水道開削工事の埋め戻し材として道路管理者の承認を受け、平野下水処理場において混合プラントを建設し、スラグ混合土の製造について委託を行い、下水道開削工事での使用を開始した。ただし、平成14年度に本市の下水道工事に使用する埋め戻し材料が山土から改良土に変更になり、改良土と比較して事業費が高額になったため、同プラントを停止した。

平成15年の舞洲スラッジセンターの稼働により、本市内の発生汚泥の大半が溶融処理となり、溶融スラグの発生量が増加したことから、平成17年より一般競争入札による民間業者へ溶融スラグの売却を開始した。売却当初より複数社が入札に参加し、コンクリート2次製品や埋め戻し用の流動化処理土などの建設資材として有効利用されていた(図2)。

しかし、建設資材の需要の減少や入札方式による一括販売のため民間業者のスラグ需給バランスの確保

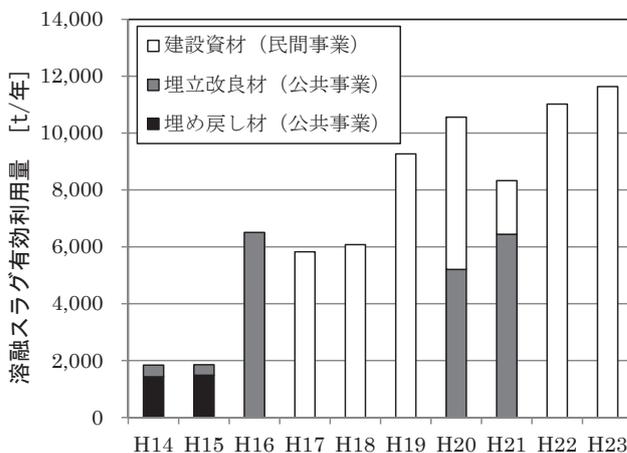


図2 大阪市における溶融スラグの有効利用実績

が困難となり、年々入札参加者が減少するとともに、入札価格も下落した。さらに、平成20年に溶融スラグの風評被害が発生し¹⁾、入札が成立しなくなった。

平成21年以降、沿岸部の軟弱地盤改良材への利用や覆土利用など、大規模な需要が見込まれる本市事業を対象として溶融スラグの有効利用を行ってきたが、大規模事業は年々減少傾向にある。

(2) 下水道事業への活用

本市では平成22年度に最新の溶融炉が稼働し、今後数十年にわたり溶融スラグが発生することから、継続的に溶融スラグを利用できる利用用途の拡大を進めている。溶融スラグを建設資材として利用する上で極めて重要な因子は、溶融スラグの認知度と考えられるが、本市の溶融スラグの認知度は不十分であった。そこで、第一に、溶融スラグを本市の下水道事業において有効利用することで、建設資材としての認知度を高めることとした。

平成24年度より、溶融スラグを混合した改良土を下水道開削工事における埋め戻し材としての使用を開始している(図3)。溶融スラグ混合改良土の価格は、運搬や混合に係る経費等が含まれるため、一般に流通する改良土よりも割高となるが、本市の下水道工事をはじめ公共工事における溶融スラグの積極的な有効利用を促進するため、大阪市グリーン調達方針の特定調達物品等(公共工事・資材)に溶融スラグ混合改良土を指定し、利用の拡大を図っている。

また、塩化ビニル管敷設時の管基礎材としての利用について、道路管理者より試験施工の承認を得て、平成24年度より一般道路での試験施工を行っている(図4)。なお、平成24年度は、埋め戻し材と管基礎材を合わせて約2,200トンの利用を見込んでいる。

現在溶融スラグの用途は、埋め戻し材と管基礎材に限定しているが、今後、アスファルト舗装材やイン

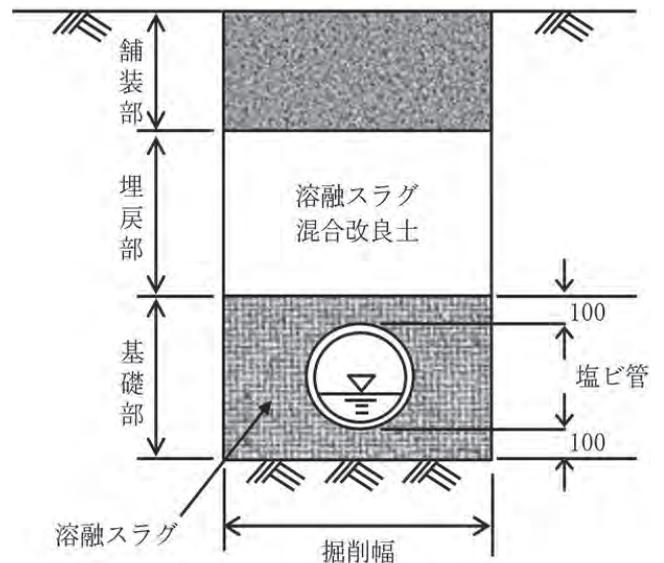


図4 下水道開削工事における溶融スラグの利用イメージ図

ターロッキングブロックなど、大阪市の公共事業全般への適用を検討している。さらに、公共事業における建設資材としての利用実績を積み重ねることで、民間事業における用途拡大を目指している。

(3) 単価販売

平成24年7月より、溶融スラグの利用促進並びに民間企業における溶融スラグの入手方法の簡潔化を目的に、溶融スラグの単価販売を開始した。スラグの販売価格は、過去の販売実績を考慮し、1トンあたり50円(購入者自らが搬出用車両に積込む)と定めている。ただし、上述の管基礎材のように溶融スラグを加工せずに利用する場合、工事材料を本市の溶融スラグに限定して工事仕様書内で規定すると独占禁止法に抵触する恐れがあるため、販売は行わず、溶融スラグは支給品としている。

(4) 品質管理

本市の公共工事において使用する溶融スラグは、本市の溶融スラグに限定している。本市の工事仕様書において、工事材料としての溶融スラグは、「重金属等有害物質の含有および溶出について、土壤汚染対策法および土壤の汚染に係る環境基準(平成3年8月23日環境庁告示第46号)を満たすこと。」としている。本市では、溶融スラグの品質管理を年に4回実施しており、溶融炉稼働時より含有量試験および溶出量試験の全項目について基準値未満であることを確認している。

本市の溶融炉供給汚泥は、消化-脱水工程を経たものである。本市の消化槽滞留時間は概ね約20日であることから、消化汚泥は均一化し、溶融スラグの化学的



図3 溶融スラグ混合改良土で埋め戻した道路の舗装状況(供用開始9年後)

な品質は概ね一定であると言える。ただし、溶融炉の設備不良などにより、炉温が通常より低下している場合、発生した溶融スラグが化学的に不安定になることが想定される。この場合、溶融スラグの供給を停止し、発生スラグについては速やかに試験を実施、基準値超過時には廃棄物処分するなどの措置を講じ、安全基準を満たしたスラグの供給に努めることとしている。

5. おわりに

溶融スラグは下水処理の副産物であるため毎日生産される。また、建設資材を主体として有効利用しているため、社会情勢により需要量の変動が大きく、需要と供給のアンバランスが、溶融スラグの有効利用の課題と言える。特に公共工事で使用する場合は、溶融スラグの需要が時期によって大きく変動するため、年間発生量をカバーするなど、ある程度の需要に対応できるストックヤードや搬出設備の確保が必要であると言える。

本市では、これまで焼却炉の更新に際して、最終生成物の有効利用や更なる減容化の観点から溶融炉の

整備を進めてきたが、稼働後約30年が経過している平野下水処理場の焼却炉の更新にあたって、民間事業者からの提案を募集した。最終的に、下水汚泥の全量有効利用と地球温暖化対策も含めた環境負荷低減、並びに汚泥処理のリスク分散の観点から低温炭化方式を採用した。低温炭化方式は、汚泥を低温で炭化処理するもので、最終生成物である炭化燃料物は石炭火力発電所における石炭代替燃料として全量有効利用が可能である。現在、平成26年度稼働に向けて建設中である。

本市では、今後も下水道資源の有効利用や下水道分野における温室効果ガスの削減、未利用エネルギーの活用などを推進し、循環型社会の構築に取り組んでいきたいと考えている。

6. 参考文献

- 1) 岡本誠一郎・宮本豊尚：溶融スラグのコンクリート骨材への利用をめぐる経緯と動向について、再生と利用、Vol. 33、No.122. 78～81 (2009)

投稿報告

下水汚泥の 低温炭化燃料化システムの紹介

月島機械株式会社 水環境事業本部 ソリューション技術部
熟技術第2Gr 加藤 良介

キーワード：燃料化、低温炭化、温室効果ガス

1. はじめに

低炭素社会の形成へ向け様々な取組みが行われている中、2009年6月にバイオマス活用推進基本法が制定されるなど、バイオマス資源に寄せられる期待は大きい。バイオマス資源は、カーボンニュートラルなエネルギー源として位置づけられており、温室効果ガスの削減に寄与できる上、循環型社会の構築にも貢献する。なかでも下水汚泥は、下水道普及率が全国平均で70%を超え、都市部にいたっては100%近い地域も多いことから、集積性が極めて高い上、性状の安定性にも優れており、有効利用しやすいバイオマスである(図1)。

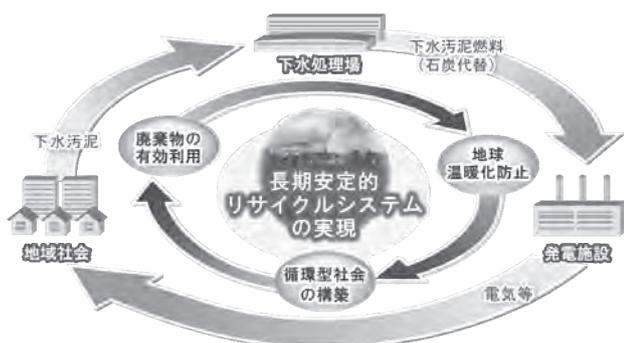


図1 循環型社会イメージ

こうした背景から、当社では、下水汚泥から高付加価値な燃料化物を製造する技術である「低温炭化燃料化技術」を電源開発㈱らと共同開発した。本稿では低温炭化燃料化システムの概要について紹介する。

2. 下水汚泥の燃料化技術の概要

下水汚泥燃料に求められる要素として、「高発熱量」、「低自然発火性」、「低臭気」が挙げられる(図2)。燃料化技術としては「乾燥」と「炭化」に大別されるが、前記3つの要素を同時に満足できる既存技術はなかった。乾燥のみによる燃料化は、発熱量は高いが製品の臭気の点で課題が残る。高温炭化方式は、炭化温度が600~800℃と高温のため、臭気は低減されているが、

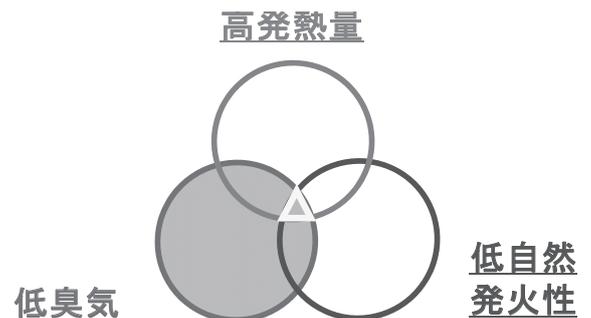


図2 燃料化物に求められる3大要件

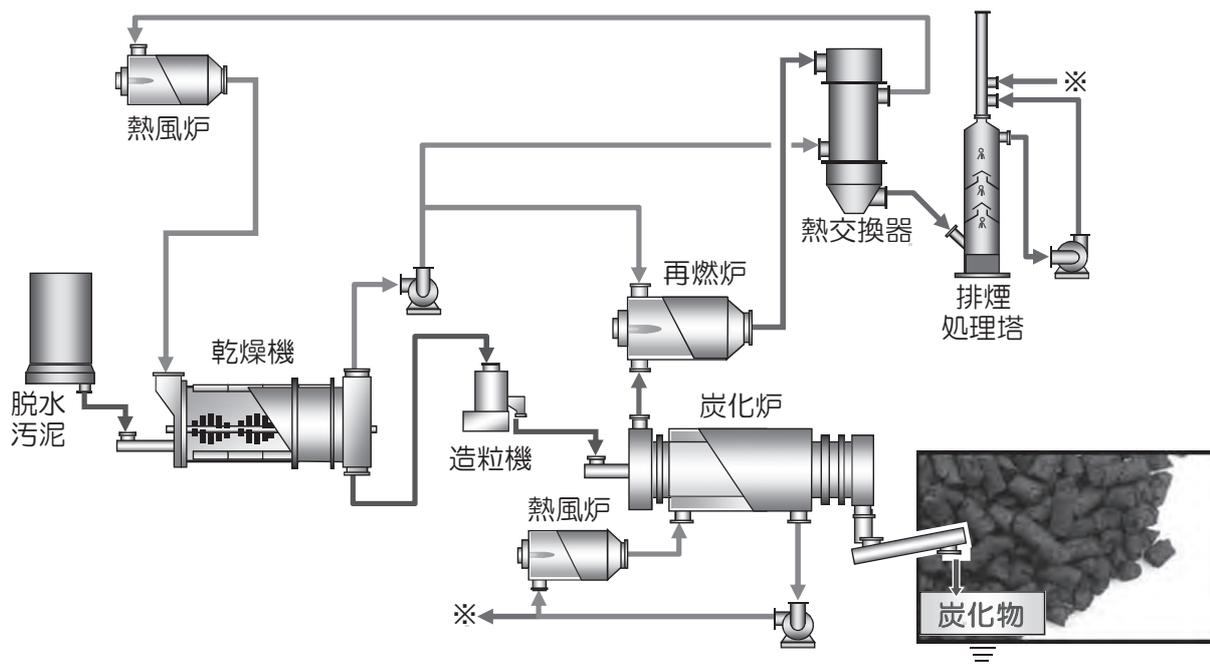


図3 低温炭化燃料化システムのプロセスフロー

炭化物の発熱量が低く石炭代替燃料としては適していない。

今回紹介する低温炭化システムは、既存技術の課題を解決し、石炭代替燃料としての適用性を飛躍的に高めた技術である。なお、当システムは、平成19年度末に日本下水道事業団との共同研究において技術評価が行われ、下水道事業における適用性に関して技術確認が完了しており¹⁾、4件の事業受注実績を有し、内1件はすでに営業運転を開始している。

3. 低温炭化燃料化システムの特徴

(1) システム概要

低温炭化とは、従来の高温炭化（炭化温度：600～800℃）と比較して低温域（250～350℃）で炭化を行うことで、炭化物の“高発熱化”を図り、石炭代替燃料としての価値を高めた技術である。

図3に低温炭化燃料化システムのプロセスフロー例を示す。低温炭化燃料化システムでは、まず、脱水汚泥を乾燥機により水分20～30%程度まで乾燥する。乾燥品は造粒機で約φ5～10mm×15mmL程度に成形した後、250～350℃で外熱キルン型炭化炉により約60分間炭化する。炭化炉からの熱分解ガスおよび乾燥機排ガスは再燃炉にて高温で燃焼処理する。

システムを構成する乾燥機や炭化炉等の各機器は、下水処理場や産業界で広く一般的に使われている機器の組合せであり、信頼性が高く運転・維持管理なども容易である。

また、本技術では、炭化前段の造粒操作により自然発火性を抑制するとともに、炭化炉内へ窒素等を添加し、汚泥流れとガス流れを対向流にすることにより、臭気の再吸着を防止し、炭化物臭気の低減を図っている。

(2) 燃料物の品質

炭化温度と乾燥汚泥に対する燃料物組成変化及び発熱量の関係を図4に示す。図4に示す通り、炭化温度の上昇に伴い可燃分は減少するが、炭化温度350℃程度までは燃料物1kg当たりの発熱量はほとんど減少せず、燃料価値の高い燃料物が得られる。

これは、350℃程度までの温度域では、可燃分中の酸素の減少率が大きく、発熱量の高い炭素の比率が相対的に高まるためである。

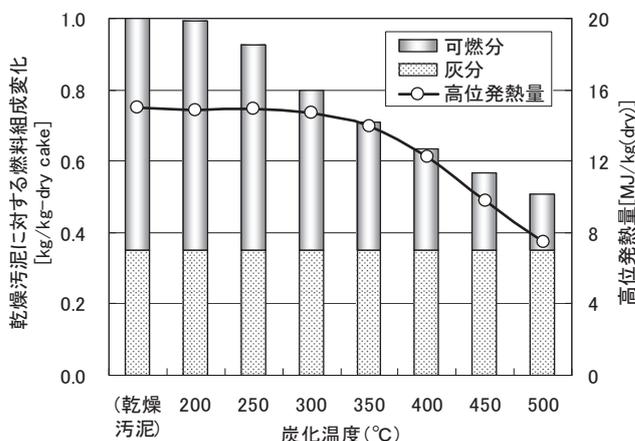


図4 炭化温度と燃料組成変化、発熱量の関係

(3) N₂Oの低減効果

下水汚泥はカーボンニュートラルなバイオマスであり、下水汚泥の燃焼に伴って発生するCO₂は温室効果ガスの発生量としてカウントされない。しかし、下水汚泥は窒素を多く含んでおり、燃焼時に発生するN₂Oは他の廃棄物と比較して多く、地球温暖化係数が310（温室効果がCO₂の310倍）であることを考慮すると、地球温暖化に与える影響は大きい。

表1に炭化と焼却の各処理方式における脱水汚泥1t当たりから排出されるN₂O排出量を示す。低温炭化におけるN₂O排出量は他の処理方式と比較して大幅に低減されており、CO₂換算の排出量では、低温炭化の温室効果ガス削減効果が極めて大きいことが分かる。これは、炭化温度とN₂O排出量及び窒素分の排ガス移行率に相関関係が認められ、炭化温度が低いほど下水汚泥に含まれる窒素分が排ガスへ移行する比率が低いと考えられる。

表1 各方式におけるN₂O排出量

方式	N ₂ O排出量	地球温暖化係数	CO ₂ 換算排出量	出典
	[kg-N ₂ O/t-cake]			
低温炭化	0.03	310	9.3	実測値
中温炭化(500°C程度)	0.13	310	40	文献値 ²⁾
高温炭化(600~800°C)	0.146	310	45	文献値 ³⁾
流動焼却(高温燃焼)	0.645	310	200	文献値 ⁴⁾
流動焼却(通常燃焼)	1.51	310	468	文献値 ⁴⁾

(4) 温室効果ガスの削減効果

図5に、炭化と焼却の各処理方式における温室効果ガス排出量と削減量の試算結果を示す。またこの時の試算条件を表2に示す。

前述の通り、低温炭化はN₂O排出量低減効果が極めて大きく、排出量全体として中温炭化とほぼ同等、流動焼却を大きく下回る。また、温室効果ガス削減量は低温炭化が他と比べて圧倒的に多い。これは、低温炭

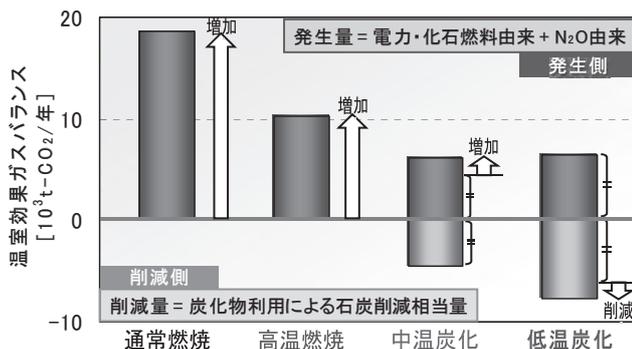


図5 温室効果ガスバランス試算結果

表2 試算条件

項目	単位	設定値	備考	
処理規模	ton/日	100	想定値	
汚泥性状	含水率	%	78	想定値
	可燃分	%	80	想定値
使用燃料	-	都市ガス	想定	

化では燃料として回収できる熱量が多く、燃料利用先で削減できる温室効果ガス量が多いことを示している。

4. 実証試験

2006年12月より、低温炭化燃料化システムの実証試験を実施した。以下にその概要を示す。

(1) 試験方法

実験設備（脱水汚泥3t/日）を当社環境プロセス開発センター内に設置し、実証試験を行った（写真1）。対象汚泥は、可燃分の含有量が異なる未消化汚泥、消化汚泥とし、燃料物性状や排ガス、排水などの環境影響性、設備の安定性等について確認を行った。また、燃料物の安全性を確認するために燃料物の発熱特性試験を行った。



写真1 実証試験設備外観

(2) 燃料物性状

表3に、炭化温度250°Cのケースにおける四季を通じて性状が変動する未消化汚泥及び消化汚泥について、製造された燃料物性状を示す。

発熱量は、全ての汚泥において脱水汚泥と同等以上であり、高温炭化物と比較して約4割増し、中温炭化物と比較して約2割増しの発熱量となった。これは前述したように、可燃分中の酸素の減少率が大きく、発熱量の高い炭素の比率が相対的に高まるためである。

また、燃料物重量を脱水汚泥重量で除した製品率は

13%以上であり、中温炭化物及び高温炭化物と比較して約2倍以上の炭化物量が見込める結果となった。

さらに、炭化の進行度合いと性状の安定性の指標であるH/Cは、汚泥の変動に係わらず燃料物の変動幅は0.1以下であり、性状の安定した燃料物を製造できることを確認した。

表3 燃料化物性状測定例

項目	単位	未消化汚泥		消化汚泥	
		脱水汚泥	炭化物	脱水汚泥	炭化物
水分	%(wet)	80~83	<4	78~79	<2
総発熱量	MJ/kg(dry)	18.9~19.5	19.3~20.4	14.8~15.0	14.8~16.2
炭素(C)	%(dry)	41~44	44~46	32~33	33~35
水素(H)	%(dry)	6.4~6.7	5.3~5.5	4.9~5.2	4.1~4.3
窒素(N)	%(dry)	3.9~4.7	4.6~5.7	4.4~4.5	4.5~4.8
硫黄(S)	%(dry)	0.67~0.87	0.59~1.1	1.3~1.5	1.2~1.3
酸素(O)	%(dry)	29~31	21~24	20	13~14
塩素(Cl)	%(dry)	0.07~0.10	0.07~0.12	0.11	0.11~0.13
灰分	%(dry)	13~17	18~22	36~38	40~44
燃料比	—	0.18~0.19	0.33~0.38	0.17~0.19	0.25~0.27
製品率	%	—	13~17	—	15~20
H/C *1	%	1.8~1.9	1.4~1.5	1.8~1.9	1.5

*1：H/Cは、試料中の水素と炭素の原子数比を示す。

5. おわりに

バイオマスエネルギー資源である下水汚泥燃料の石炭火力発電所での混焼利用は、地球温暖化防止対策や循環型社会の実現の手段として大きな期待が寄せられている。今後もさらなる技術改良を加えシステムの最適化を図り、下水汚泥燃料化システムの普及促進に向けて積極的に取り組んでいきたい。

<参考文献>

- 1) 日本下水道事業団技術開発部：下水汚泥固形燃料化システムの技術評価に関する報告書（平成20年3月）
- 2) 上野知威：下水汚泥炭化燃料の実用化、環境と地球 No.17（2006）
- 3) 下水道新技術推進機構：炭化システム 技術資料（2004.3）
- 4) 環境省：温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル

投稿報告

バリアフィルムによる 汚泥の無臭燃料化技術

メタウォーター株式会社

エンジニアリング本部 国際・新事業技術部 技術推進 Gr. 守屋 由介
R & Dセンター 環境システム開発部 プラント開発 Gr. 野入 菜摘

キーワード：下水汚泥、無臭化、燃料化、臭気対策、バリアフィルム

1. はじめに

下水処理に対するエネルギー消費量削減への要求は、処理費用の削減および温室効果ガス（GHG）削減の両観点から年々強まっている。一方で省エネルギーに対する主な方策は既にも実施されており、「創エネルギー」のアプローチが欠かせなくなっている。近年広まりつつある下水汚泥の炭化や造粒乾燥といった固形燃料化技術は生成物がバイオマス由来のカーボンニュートラル燃料とされ、燃料利用先の石炭等を代替することでGHG削減に資する。しかし、これらの固形燃料化技術は、高度かつ複雑な設備を要することから、中小規模処理場においては単位汚泥あたりの設備費が相対的に高くなるため、技術の導入が難しい状況にある。実際に、これらの設備の導入は概ね50t-脱水汚泥/日以上設備規模に限られている。

従来から行われている気流乾燥機や熱風回転乾燥機、攪拌みぞ型乾燥機といった一般的な乾燥技術で処理した乾燥汚泥を燃料として利用できれば、設備費が比較的安価であるため、中小規模の処理場でも採用の可能性はある。半面、乾燥汚泥は、臭気の問題や受入れ先でのハンドリング・燃焼特性が考慮されていないこと等から有効利用先の安定的な確保に難がある。また、生成した乾燥汚泥を下水処理場内で一定期間保管

する際には、さらに発熱・発火対策などの安全管理が不可欠となる。

これらの中小規模下水処理場における乾燥汚泥燃料化に係わる課題を一挙に解決できる技術として、我々は日本下水道事業団と共同で、「バリアフィルムによる汚泥の無臭燃料化技術」を開発した。本技術は、乾燥汚泥を臭気や酸素を遮断するフィルムで包装することで、保管、輸送中の臭気および安全性にまつわる問題を解決する。また受入れ先の燃料投入方法によって大きさ・形状を整えることで、ハンドリング性を改善し燃料価値を向上させている。

本報では、本技術の概要、乾燥汚泥燃料の問題点を解決すべく、開発段階で行った様々な性能確認試験および、それにより確認した本技術の有効性について示す。

2. 技術の概要

2.1 バリアフィルム

本技術で用いる「バリアフィルム」とは、酸素や汚泥臭気ガス成分の透過量が極めて低い特殊な樹脂をフィルム状に加工した専用のものである。図-1にロール状にまとめられたバリアフィルムおよびバリアフィルムで包装された乾燥汚泥の写真を示した。材料となっている特殊樹脂の構成元素は炭素、水素、酸素、窒素

のみであり、灰分や、ダイオキシン発生の恐れがある塩素を含有していない。バリアフィルムの厚さは酸素および汚泥臭気の遮断性能に大きく影響するが、過剰な厚みはフィルム費用の上昇を招くため、遮断性能および機械的強度の面から必要十分な厚さとして0.05mm程度としている。

2.2 包装機

乾燥汚泥の包装には本技術用に独自に調整を施した縦型ピロータイプ包装機を用いた。図-2に本包装機の外観および一般的な包装機構¹⁾を示した。本包装機は、ロール状のフィルムから、袋の成型、包装を行うことの出来る包装機である。食品や医薬品業界で数多く採用されており、特に小ロット品の大量生産や、粉体などの不定形物包装に適している。なお、包装機への乾燥汚泥供給には管理の容易な体積計量方式を使用し、1包装あたりの封入容積を一定としている。

包装機の処理能力は、包装体の大きさによらず20袋/min程度でユニット化されている。その為、乾燥汚泥の処理能力は包装体の大きさによって変化する。表-1に包装体の大きさを変化させた場合の乾燥汚泥の処理能力を示した。なお、包装体のサイズは表-1に示す限りではなく、汚泥燃料有効利用先の設備要求



図-1 ロール状バリアフィルムとバリアフィルムで包装された乾燥汚泥

表-1 包装機1台の乾燥汚泥処理能力(例)

	小	中	大
サイズ ml	150	300	500
サイズ cm	6×15	10×15	15×15
処理能力 kg/h	90	180	300

※乾燥汚泥の比重を0.5として試算

に合わせて調整することが可能である。また、必要とする能力が包装機1台あたりの処理能力を上回っている場合には、複数機での並列運転を行うことで対応する。

2.3 適用フロー

図-3に本技術の適用フロー例を示した。本システムは、乾燥機の機種を問わずに導入が可能であり、既存設備に追加設置することも可能である。包装機は汚

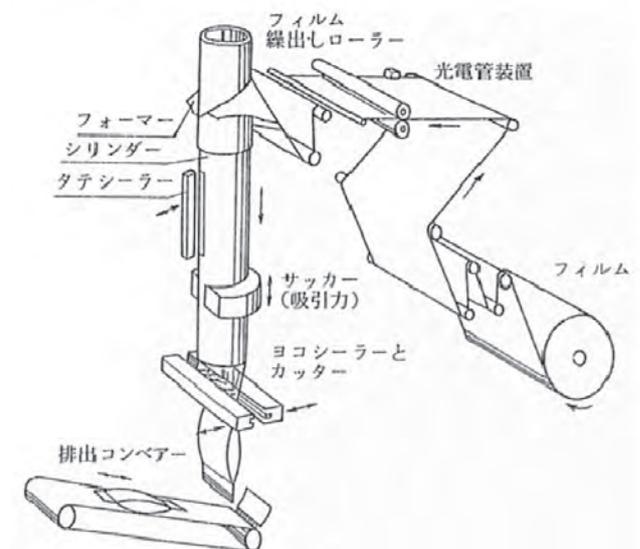
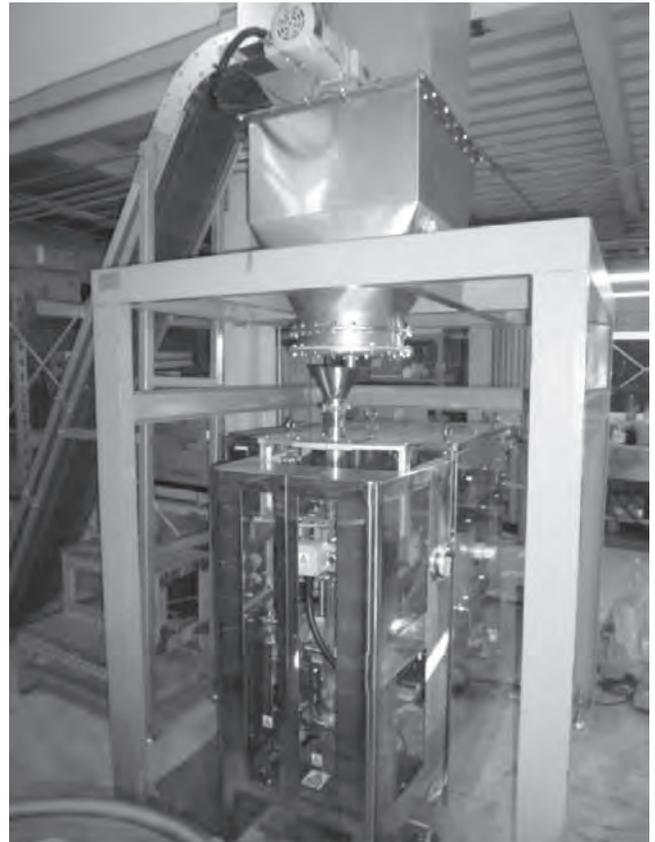
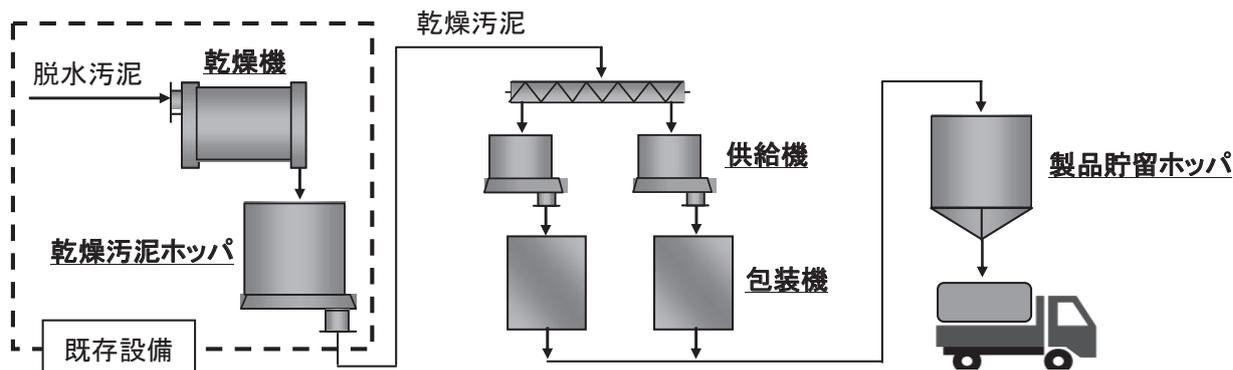


図-2 包装機外観と包装機構¹⁾



図一3 適用フロー例 (30 t/日規模想定)

泥乾燥機の後段にあるホツパ下部あるいはその近傍に設置する。この際包装機には、安全性を考慮し、ホツパ等を介して100℃以下に冷却された乾燥汚泥を供給する。包装体は包装機下部から連続的に排出され、コンベヤによって製品ホツパあるいはフレコンバック充填装置等まで搬送される。本システムは、フィルムロールの交換(一日数回、数分程度の作業)を除いて全自動で運転されるため、通常運転時の維持管理項目は少なく、乾燥機の運転人員に増員する必要は無い。

槽内で24時間静置後のバッグ内付臭空気を測定試料として用いた。

臭気測定結果を表一3に示す。バリアフィルム包装を施すことで、臭気濃度が99%以上低減されることが確認できた。さらに臭質の面でも包装体は「樹脂様臭(フィルムの匂い)」であり、乾燥汚泥の臭質が十分に抑制されていることから、バリアフィルムは乾燥汚泥の臭気をほぼ完全に閉じ込めることができることを確認した。

3. 性能確認試験

3.1 試験に使用した乾燥汚泥

本技術の有効性を確認するための各試験に使用した2種類の乾燥汚泥を表一2に示す。それぞれ、消化汚泥および未消化汚泥の代表として選定した。ここでは付着性が低く、また燃料としての価値も高い、含水率30%以下の乾燥汚泥を対象とした。

表一2 試験に使用した乾燥汚泥

	乾燥汚泥 A	乾燥汚泥 B
乾燥方式	直接加熱乾燥(熱風回転)	間接加熱乾燥(攪拌みぞ型)
消化処理	有	無
含水率	8.0%	27.2%
かさ比重	0.50	0.56

3.2 臭気低減効果

まず、バリアフィルムそのものの臭気遮断能力を確認するため、バリアフィルム包装体と未包装体の乾燥汚泥臭気を測定し、比較評価した。臭気測定には、無臭空気30Lと未包装体(もしくは包装体)の乾燥汚泥300gをポリエチレン製バッグに封入し、30℃の恒温

表一3 臭気測定結果

		臭気濃度	臭質
乾燥汚泥 A	未包装体	16,000	ゴミ様臭
	包装体	25 (▲99.8%)	樹脂様臭
乾燥汚泥 B	未包装体	100,000	腐敗臭
	包装体	25 (▲99.9%)	樹脂様臭

3.3 保管時安全評価

小規模の下水処理場においては、乾燥汚泥の発生量が少ないため、効率的な運搬の観点から、ある程度まとまった量の乾燥汚泥燃料を保管し、搬出する必要がある。また燃料の受入れ先においても、保管時に特別な注意が必要な燃料は燃料価値および需要が相対的に低くなる。以上の2点を踏まえて、バリアフィルム燃料保管時の安全性を評価するために、以下の評価試験を実施し、その性能を確認した。

(1) 自己発熱試験

乾燥汚泥には、長期保管中に自己の酸化反応や発酵によって発熱し、最終的には発火に至る可能性があることが知られている。バリアフィルムで包装することによって、発熱の原因となる酸素の供給が絶たれるため、包装体は自己発熱特性が抑制されるこ

とが予測される。そこで、「炭化物自己発熱特性評価試験マニュアル(案)」(日本下水道事業団、H15年)に基づき、バリアフィルム包装体と未包装体の乾燥汚泥の自己発熱試験を実施し、発熱の危険性を評価した。

図-4に乾燥汚泥Bの未包装および包装体の自己発熱試験結果を示した。バリアフィルム包装体は、未包装体に比較して自己発熱特性が顕著に低下し、汚泥温度が恒温槽の設定温度(140℃)を超えることは無く、自己発熱特性を持たないことを確認した。

(2) 長期貯蔵試験

(1)の自己発熱試験を補完するために、バリアフィルム包装した乾燥汚泥を200Lのドラム缶に約80kg充填し、2011年11月~2012年11月までの1年間、太陽光に晒された屋外に貯蔵して、異常発熱の有無および貯蔵後の包装体の健全性の確認を行った。

図-5に試験期間中に最も条件が厳しかった夏季のドラム缶内の温度変化を示した。ドラム缶内部

の空間温度は、日射の影響により外気温より高温な60℃近くまで達した。しかし、包装体充填の中心部は気温に比較して著しい温度上昇が見られなかった。また1年経過後の包装物の個別外観検査では、フィルムの破損、袋内でのガス発生による膨張等は確認されなかった。

(3) フィルム強度評価試験

バリアフィルム包装した乾燥汚泥燃料を長期間貯蔵した場合には、フィルム強度が低下して包装体が破れ、臭気遮断能力が低下する恐れがある。そこで、長期貯蔵試験にて1年間使用した包装体のフィルムを対象に、引張試験時の破断強度を測定し、未使用時からの性能低下有無を確認した。また、長期貯蔵以外にも、ホッパや車両等への投入時の落下衝撃や、運搬の振動等による破袋の有無確認の為、5m高さからの落袋試験および、車両による200kmの試験運搬を実施した。

図-6に1年間経過したフィルムの破断強度を示

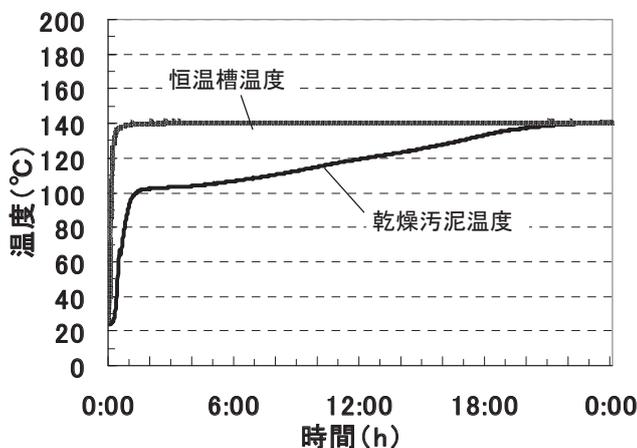
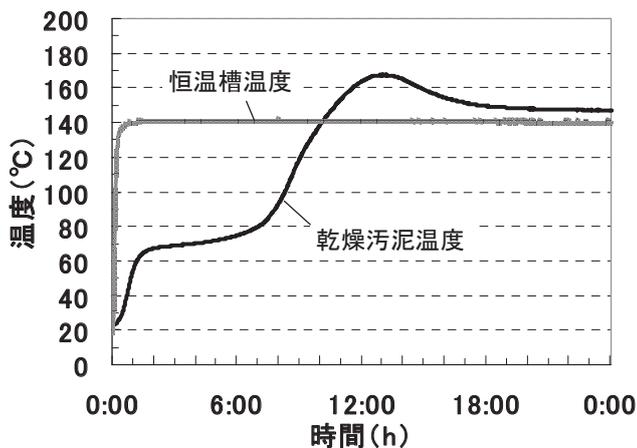


図-4 自己発熱試験結果

(上: 未包装体乾燥汚泥、下: 包装体乾燥汚泥)

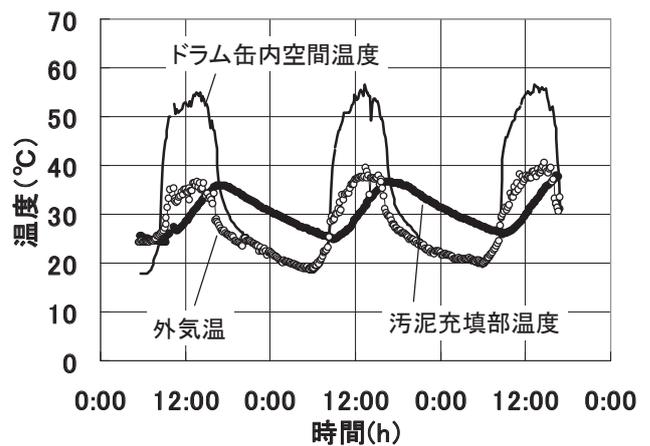


図-5 貯蔵試験(夏季)の温度変化

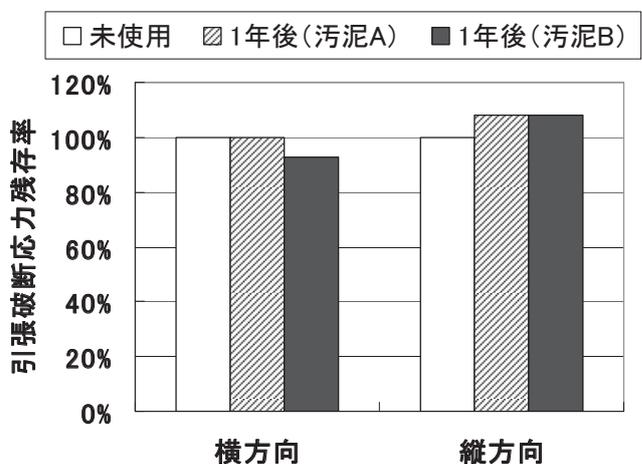


図-6 引張試験の破断強度変化

した。縦、横方向ともに、使用前のフィルムと比較して顕著な強度変化は見られず、フィルムの性能が保持されていることを確認した。また5 m高さからの落袋試験および試験運搬においてもフィルムの破損は無く、落下衝撃や車両振動に対しても十分な強度を持つことを確認した。

3.4 燃焼試験

本技術は中小規模の下水処理場を対象としているため、大規模な石炭火力発電所での利用だけでなく、中小規模のバイオマスボイラー等で利用されることも想定している。そこで、試験的にバリアフィルム包装燃料を作成し、**図-7**に示す一般的な小規模バイオマスボイラー（定格1260 MJ/h）での木材チップとの混焼試験を実施し、燃焼に対するフィルムの影響および排ガス性状を確認した。バリアフィルム包装燃



図-7 バイオマスボイラー外観

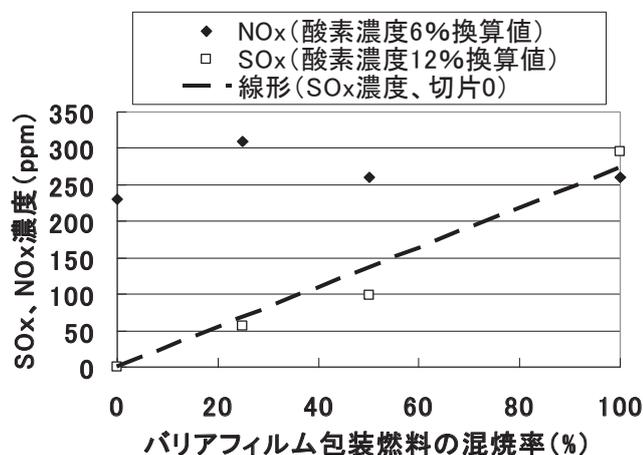


図-8 燃焼時ガス組成

料は、包装された状態のまま炉内に投入し、木材チップ（平均含水率23.6%）に対する汚泥混焼比率を変化させた試験を実施した。包装燃料と木材チップの湿重量あたりの真発熱量は、どちらも13 MJ/kg程度と同等であり、炉への投入量は包装燃料と木材の合計で約100 kg/h程度の一定とした。

まず、燃焼に対するフィルムの影響を目視で確認したところ、乾燥汚泥を包装していたフィルムは炉内投入後速やかに燃焼して開袋し、内部の乾燥汚泥が火格子の上に広がって引き続き燃焼する様子が観察された。また汚泥投入部や炉内で熔解したフィルムが付着するといったことは観察されず、フィルムが炉内燃焼状況に悪影響を及ぼさないことを確認した。

次に、排ガス性状を確認した。測定結果を**図-8**に示した。下水汚泥は木材チップに比較して硫黄の含有量が高いことから、バリアフィルム包装燃料の混焼割合の増加に伴い燃焼排ガス中に含まれるSOx濃度も上昇した。SOx排出量の増加に対しては、地域の規制値に応じ、混焼率の調整や硫黄対策設備の利用等で対応が可能である。また、下水汚泥は木材チップに比較して窒素の含有量も高いが、NOx排出量には顕著な増加は見られなかった。

これらの試験結果より、本技術で製造したバリアフィルム包装燃料には、フィルム由来の悪影響はみられないことを確認した。バイオマスボイラー等へ本燃料を利用する際には、従来の乾燥汚泥を燃料とする際の知見をそのまま活用することができる。なお、燃料供給装置に関しては、木材チップ等の固形物を供給している装置であれば概ね対応可能であるが、最大通過径を踏まえて包装体の大きさを選定することが不可欠である。

4. GHG削減効果試算

バリアフィルムによる汚泥の無臭燃料化技術を用いて脱水汚泥1 tを燃料化処理する際のGHG排出量と、製造した燃料を石炭代替として燃料利用した際のGHG削減量を試算し、差引きしたGHG収支を評価した。ここでは、バリアフィルムの製造や燃焼に係わるGHGおよび汚泥乾燥に必要なエネルギー由来のGHG排出量も加味した全体でのGHG収支を試算した。試算条件を表-4に示す。

図-9に試算結果を示した。汚泥の処理およびフィルム由来のGHG排出量をグラフ正方向、石炭代替燃料利用時におけるGHG削減量をグラフ負方向の棒グラフに、差引後のCO₂収支を折れ線グラフに示した。比較の為、脱水汚泥を埋立処分した場合および、炭化技術を用いた場合のGHG削減効果³⁾⁴⁾も合わせて示

表-4 主な試算条件

乾燥方式	重油炊き直接熱風方式
脱水汚泥含水率	80%
乾燥汚泥含水率	20%
汚泥保有熱量	18 MJ/kg-ds (低位)
フィルム使用量	2 wt%-対乾燥汚泥
フィルム由来のGHG排出量	4.98kg-CO ₂ /kg-フィルム ※組成が類似しているポリエチレンの値を使用した。 ²⁾
設備稼働条件	24時間/日、292日/年

した。乾燥は、汚泥中有機物の熱分解反応が起こらない処理であり、燃料利用される乾燥汚泥は、脱水汚泥の持つ熱料をほぼ全量保有している。そのため乾燥汚泥バリアフィルム包装燃料を石炭代替利用した際のGHG削減効果は、炭化燃料のGHG削減効果よりも大きくなっている。今回の試算条件においては、バリアフィルム包装燃料を石炭燃料代替利用することによるGHG削減量が、脱水汚泥からバリアフィルム包装燃料を製造する際に必要となるGHG排出量を上回る結果となった。また、現状30t/日の脱水汚泥を埋立処分している処理場に本無臭燃料化設備を導入した場

合、年間で約2,900 t-CO₂相当のGHG削減効果があると試算された。

5. おわりに

バリアフィルムによる汚泥無臭燃料化技術は、乾燥汚泥利用の最大の課題であった臭気の問題を解決し、汚泥有効利用先のさらなる拡大に資するものである。

今後は、本開発技術が実際の処理場で稼働し、汚泥有効利用促進や地球温暖化の抑制に貢献できるよう、中小規模の処理場に対し地域特性に合わせた提案を行っていく。

謝 辞

本技術は、日本下水道事業団殿と共同で開発したものであり、関係各位に厚くお礼申し上げます。

<引用文献>

- 1) 「食品包装技術便覧」(1968年、日本包装技術協会)
- 2) 「石油化学製品のL C I データ調査報告書」(H 21年、プラスチック処理促進協会)
- 3) 「下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン(案)」(H 23年、国土交通省)
- 4) 「下水汚泥固形燃料化システムの技術評価に関する報告書」(H 20年、日本下水道事業団)

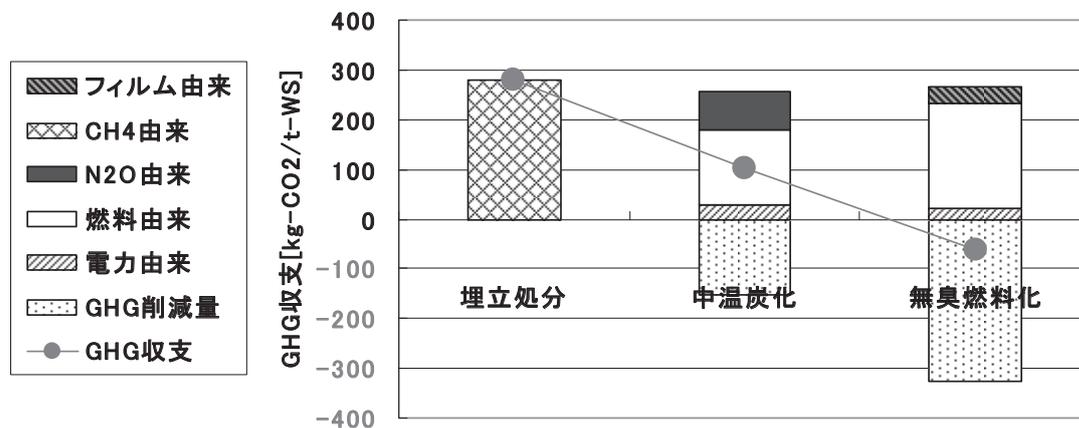


図-9 GHG削減効果試算結果

コラム

地域紛争と資源循環利用計画

今年の1月22日、私は1日に何度かテレビの前で動けなくなっていた。アルジェリアの悲報である。このニュースをみた私に、突然1945年秋の記憶がよみがえった。終戦直後、まだTVのない時代、映画館で見るアメリカのニュース映画（日本語吹き替え版）が、唯一の映像つき海外情報であった。そこに出てきたのはイスラエル建国のために、住み慣れた土地を追われ、行き先もわからない長い長いイスラム系難民の行列であった。当時日本でも、第二次大戦中海外に派遣された軍隊はもちろん、国策に乗って海外移住した民間人の引き上げも、まだ本格化していなかった。日本の場合と、この中東の難民問題、どちらが大きな影響を残すか、当時中学生であった私には、なんとも理解できなかった。

今回の事件は、人類誕生の地とされるアフリカで起きた。それは、資源開発活動の行く末についての問題を提起した。場所はアルジェリア東部にあるガスプラント開発地帯、もともとは石油エネルギーで立国を図る国、そこに先進国からの多額の投資の集中、それに目をつけたイスラム過激武装集団、そこには農業のような生態系の物質循環を利用したソフトな生産活動は、ほとんど存在しない。私の周辺でも農業問題でその地を訪れた人はいない。そこは経済力と武力が衝突する場である。私は自国に農業をもつイスラム諸国からの留学生との付き合いは、決して少なくはなかった。彼らと過激武装集団が、同じ宗教の敬虔な信者とはとても思えない。どこが違うかといえば、彼らが育った環境の中にある自然の物質循環をどう理解するかの差ではないかと思われる。

日本の農学部に留学生を送り出している国は、もちろん自国農業の健全な発展を計画し、それが政策として達成できる見通しを持っており、難民が発生する可能性はない。しかし、アルジェリアを中心とする現在のアフリカ北部の自然環境は、とても生態系食物連鎖が完結できる範囲ではない。そこでは住民の生存も保証できない。それを安定化するには、土・水資源の創造的回復を急ぎ、消費と生産の間の物流を考慮した地域間での食料・エネルギー・水資源の円滑な融通が必要となる。さらにこのような、相互補完型の生態系の地域構造の中で、再生産困難域を作らないためには、住民と限りある地域資源に対して利権を追求する者の両者の間に、武力に依存しない合意が必要である。人類祖先の地の安定化をはかるためには、バイオマスが人工的要素に圧迫されている地域での資源循環利用を計画することになる。本誌のいう「革新的技術」は、必ずそこに、重要な鍵を持つパーツとして寄与できるであろう。

一般財団法人 日本土壌協会
顧問 増島 博

報告

第25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：広島市



座長 島田 正夫 日本下水道事業団技術戦略部戸田技術開発分室長代理

平田 茂 広島市下水道局計画調整課長

石田 貴 (財)下水道新技術推進機構資源循環研究部長

パネラー 日高 平 (独)土木研究所材料資源研究グループリサイクルチーム主任研究員

西迫 里恵 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

日浦 盛夫 広島県立総合技術研究所保健環境センター総括研究員

※パネラーは発言順。所属・役職は開催当時のもの。

○座長(島田) 島田が座長を務めさせていただきませんが、限られた時間でございますので、大きくテーマごとに分けて効率的に話を進めたいと思います。

事務局が皆様に「どういうテーマに関心をお持ちですか」とのアンケートを事前に行っております。その結果では、時節柄、エネルギー利用について非常に関心が集まっています。例えば消化工程の導入に関する費用と効果、固形燃料化物の需要動向、再生可能エネルギーの全量買取制度に関心が集まっていました。



島田座長

2番目に多かったのが、セメント以外の建設資材の需要動向や新たな建設資材化の技術開発でした。そして、緑農地利用についても下水汚泥に含まれる重金属の影響などについての関心が寄せられていました。

そこで、今回は大きく4つのテーマに分け、最初のテーマは、皆様の関心が大きいエネルギー利用の中でも固形燃料化を中心に議論させていただきます。2番目にはメタン発酵による消化ガスのエネルギー利用について議論を行います。3番目は緑農地利用に関しませんが、これはリン回収も含めて議論を行います。最後に建設資材利用という流れで話を進めてまいります。

先ほど事務局の山本課長から話がありましたように、せっかくの機会ですので、パネラーの皆様のコメ

ントだけでなく、本日ご出席の会場の皆様方からも積極的な質疑、ご意見を賜りたいと思っておりますので、ご協力をお願いいたします。

■ 固形燃料化

○座長 それでは、1点目のテーマ、汚泥の固形燃料化から始めてまいります。本日の午前中、広島市の平田課長からご説明をいただきましたが、追加的なコメントなどがございましたら、お願いしたいと思います。

○平田 本市が燃料化について検討を始めた背景としては、焼却という処理方法が地元の方からあまり快く思われていないということがありました。煤が出たり、昔はダイオキシンの話などもあって、設備を更新するにもなかなか難しいという点がありました。そういったことから、固形燃料化ということで、乾燥から検討をスタートしまして、最終的には炭化へと進んでいきました。たぶん、どこの都市も市街地に近ければ焼却というのはなかなか難しいと考えられます。それから、固形燃料を作っても、近くに買ってくれる人がいるのかが、もう1つの大きなポイントになると思います。今回、広島市の場合は、20年間きちんと利用者を確保するということを含めた上で契約をしています。近くに例えば発電所や、燃料として使っていただける施設があるかどうか、といったところも、燃料化事業の採用の1つの大きなポイントではないかと思っています。

ではどのぐらい本当に費用的な面でメリットがあるのか、また「CO₂の削減ができました。」ということもお話をさせていただきましたが、本質的には汚泥を長期にわたり安定的に処理することが自治体の基本的な立場だと思っています。それがぐらつくやり方だとうまくいかないと思います。そういった点も踏まえた上で、本当にきちっと将来にわたって安定的に処理できるかどうか大切です。広島市は、コンポスト化とセメント化といった、2つの柱をすでに持っていましたが、基本的にその処理は委託しておりましたので、やはり自前の施設でいくらか処理する必要があると考えていました。そのため、もう1つの柱が必要ということもあり燃料化に踏み切ったところでもあります。それぞれの自治体においていろいろな条件があると思いますが、参考にしていただければと思います。

○座長 続いて推進機構の石田さんから、プレゼン



平田講師

テーションでも十分ご説明いただきましたが、固形燃料化の新たな導入の可能性について、再度コメントを少しいただけたらと思います。

○石田 そもそも固形燃料化は、電力会社の地球温暖化対策としてRPS法対応が必要ということが発端となり、電力会社と組めば長期に安定して引き受けてくれるのではないかというのが、始められた一番の理由になります。下水処理場もそうですが、火力発電所も非常に長期にわたって安定したインフラとして存在します。その両者間でコラボレーションできれば非常にいいな、ということから、電源開発(株)の火力事業部長さんとお話をしたところ、「下水汚泥は非常にポテンシャルがあるのでぜひ一緒にやりましょう」という話になりました。その後、技術開発から始めて非常に長期にわたって進めてきましたが、これが広島市で最初に実を結んだことになり、私としても非常に嬉しい気持ちです。

それから、炭化炉を運転する場合、広島市は消化ガスを利用できるということですが、私はそれが1つのポイントと思っています。炭化を行う場合は必ず乾燥工程が必要になり、消化ガスが使えなければその過程で化石燃料が一部必要になります。そのため、炭化を行う場合の一番良い組み合わせは、消化との組み合わせではないかと私は思います。そうでなければ、炭化燃料を作る際に、一部は化石燃料を使うエネルギー収支になると考えています。

それから、生ごみなどのほかのバイオマスを受け入れるというの、固形燃料化技術の採用にあたって、より魅力的な選択肢にはなるのではないかと考えています。

最近では、処理場の外に出すというの1つの方法ですが、例えばもう少し規模が小さくなると、少ない量を受け取るにしても、受け入れ施設は必要となりますし、受け入れ先で燃やす場合も手が掛かるため、費用が非常に高くなります。小さい処理場では場内でうまく燃料として使うということも考えられます。例としましては、私どもが美濃加茂市と、汚泥を乾燥して下水処理場のボイラーで燃焼し、その排熱を水蒸気で回収して汚泥乾燥に使うという取り組みを行いました。エネルギー的には十分ではないですが、中小規模ですので、ほかの木質系のもとかを混ぜて、エネルギーとしてリッチにすれば、そういうことも可能になります。下水汚泥単独でやりにくい場合でも、そうい



石田講師

うやり方もございます。

それから、今年B-DASHプロジェクトで採用された松山市では、焼却炉の排熱を利用して汚泥を乾燥させて、その乾燥汚泥を燃料に使う補助燃料代わりにする方式も出てきている状況です。

○座長 それではここで、会場の皆様で固形燃料化に対するいろいろな思いや疑問をお持ちの方もおられると思いますので、ご質問やご意見、コメントのある方はおられませんかでしょうか。

○質問者 先ほど、乾燥工程が必要なので、規模の小さい処理場の場合、木質系のものを加えて燃焼させるという方法の話がありました。今日、熱可溶化のお話もありましたが、カロリーの落ちた可溶化後の汚泥の処理方法として何かいい方法がないかと考えており、強いて挙げればこの方法かなと思ったのですが、ほかにも何か候補はあるのでしょうか。脱水汚泥の含水率を落としても自燃できるほどのカロリーはありませんから、こういう方法がいいのかなと思っておりましたが。

○座長 高効率嫌気性消化として熱可溶化について、いろいろ石田さんも私も話をさせてもらいましたが、そのような技術の導入の可能性ということでしょうか。

○質問者 可溶化した後の汚泥の処理方法です。うまくいけば有効利用ですけれども、その候補が余りありません。ですから、強いて挙げれば今説明された方法かなと思っておりましたが、ほかにもあればコメントいただけますか。

○座長 石田さん、コメントはありますか。

○石田 熱可溶化では、三菱長崎機工(株)が今年、B-DASHプロジェクトをやっていますが、その前に共同研究を行っていた時に、私どもの技術委員会の委員長である松井先生によると、熱可溶化した後の汚泥というのは、その後コンポスト化をしたりするのに非常に良いということです。農業利用、緑農地利用にそういう汚泥は適しているのではないかとコメントをいただきましたので、調査を少し一緒にさせていただきました。一定の効果があるのではと思っています。燃料化という方向もありますが、せっかく1回熱を加えて、病虫害などに対して非常にクリーンで良い状態にしていますので、コンポスト化などをするにも非常に良い原料になるということです。

○座長 下水道事業団でも熱改質・可溶化に取り組んでいまして、熱可溶化によって、従来メタン発酵ですと50%ぐらいの分解率が、うまくやれば7割近くいくということと、当然そのぶんのガス発生量も増えます。加えて、脱水性が非常に改善されるということで、従来メタン発酵では含水率が80%ぐらいしか脱水できなかったものが、70%や75%以下に脱水できるということになり、乾燥やコンポスト化する場合でも投

入エネルギー量が非常に少なく済みます。今、石田さんが言ったように、利用方法としてはエネルギー利用だけではなくて緑農地利用とかの形での利用の可能性も広がってくるのではないかと思います。さらにエネルギー収支的にも、脱水ケーキのボリュームが従来の消化・メタン発酵よりも半分ぐらいの量になりますから、乾燥するにしても乾燥のエネルギーが半分で済むことになりますので、検討していただく価値はあるのではないかと思います。

消化ガスのエネルギー利用

○座長 では、1点目のテーマ、固形燃料化については終わりました、メタン発酵によるエネルギー利用について話題を進めていきたいと思っています。これにつきましては、国土交通省にてそのようなエネルギー利用に非常に力を入れているというお話もあったのですが、推進機構の石田さんからまた、先ほどの講演にプラスアルファして消化ガスの利用に関するコメントをお願いしたいと思います。

○石田 私どもはいろいろ消化ガス発電等の試算をしていますが、既設の消化タンクのあるところでは、だいたいの場合はガス発電導入がコスト的に成り立つのではないかと考えています。処理水量でいくと2万トン程度あれば十分成り立つのではないかと考えています。再生可能エネルギー固定価格買取制度の方向と結びつけば、もう少し小さい規模でも成り立つのかもしれない。それから、やはり生ごみ等の受け入れというのは発生ガス量の増加に非常に有効ですので、ぜひお勧めしたいのですが、既設の消化タンクに、例えば生ごみなどを投入しますと消化タンクの増設が必要になるのではないかとよく質問されます。しかし、先ほども島田さんが説明されていたように、下水の消化槽というのは有機物負荷でいうと、低いレベルで運転しています。どこも有機物負荷でいくと1キロ(kg VS/m³・日)以下ぐらいで運転しています。施設設計指針によると、3キロ(kg VS/m³・日)ぐらいまでは十分いけるはずで、処理区域の生ごみを全部受け入れたとしてもそれほど量の量にはなりませんから、特に増設の必要なく生ごみを受け入れることは可能です。また、生ごみというのは非常に分解率が高く、8割ぐらい分解しますから、残さは非常に少ないので、例えば、脱水機の増設が必要になるんじゃないかと心配をされる方もおられますが、いくつか我々が試算したところ、脱水機の運転時間が少し伸びる程度で、特に台数を増やすこともなくできるのではないかと考えています。

○座長 講演の中で土木研究所の日高さんもメタン発酵についていろいろ取り組んでおられるというこ

とですので、これについてコメントの追加をお願いします。

○日高 まず混合消化ですが、先ほどの生ごみの話があり、刈り草について先ほど紹介しましたが、あと、竹みたいなものについても破碎機の調査などを行っております。メタン転換率はあまり良くなかったというのが正直なところなのですが、別の方とお話していると、脱水助剤に似ているようにも見えるので、同じような効果があるのではないかという意見をいただいたことがありました。神戸市のB-DASHプロジェクトでもグリーン投入による脱水効果が報告されていますので、メタン転換以外のメリットについても調査していきたいと思っています。

混合消化でメタン回収量が増加するので良いというのがわかっているとしても、やはり住民の方に対する説明として、目詰まりの問題や水質の影響などを含めて「絶対大丈夫です。悪いことはありません。」ということが示せないとなかなか難しいというお話も伺ったことがあります。そういったものは実験だけで実証できないところがあるかと思えますので、導入されているところの方の知見として、「いいことだけではなく、悪いところもあったが、このように解決しました。」といった情報が蓄積できればありがたいと思いました。

それから、ガス発電についてですが、土木研究所でもかつて民間の方と小規模向けの発電機の開発を行い商品化に至っております。これから普及していくかどうかという段階なのですが、特に下水に限らず、畜産系などで小規模バイオガス発電を導入されているところで伺っていますと、例えば海外製のものを導入はしており、トラブルがあった時に外国からメンテナンスに来てもらうのがなかなか大変だったり通訳の問題もあったりという話も伺ったことがあります。だから国産がいいのかというと、そういう単純な話ではないと思いますが、メンテナンス体制や、何かあった時にすぐに対応してもらえるような体制というのが、普及には重要ということも考えております。

○座長 メタン発酵、嫌気性消化の関係で、会場の方から何かご質問とかコメントとか、どなたかおられますでしょうか。

○質問者 今回お話に出ていました固定価格買取対象設備に関して、経済産業省と国土交通省とで見解の相違があるということは、いろいろ聞いているのですが、私どもでも今そういうお話のお引き合いがありま



日高講師

して、申請書を実際に提出しているのですが審議がストップしています。その出どころは、資源エネルギー庁の方からストップがかかっていると経済産業局の方に報告がありました。もっと話を聞きますと、11月中には方向性が決まって審議をされるということなのですが、7月1日以降、固定価格買取制度の対象設備に切り替えをして設計を変更したようなケースが、私を知る限り下水道関係だけで3ヵ所ぐらいあるのですが、その状況を踏まえて現場がかなり混乱しているような状態で、場所によっては、「すでに新聞発表してしまった、どうしようもない。」というようなことも聞いております。今お聞きした限りでは、国土交通省の見解を全うしていただきたいというのが本音ですが、そのことに対して働きかけというのはいかがなものでしょうか。

○座長 西迫さん、今お話にあった固定価格買取制度に係る経済産業省との間の見解の違いとか、ほかにもいろいろあるかと思うのですが、そのあたりの追加でのコメントをお願いできませんでしょうか。

○西迫 基本的に固定価格買取制度自体は経済産業省が所管をしています。この件に関して、バイオガス発電を申請する際に、「消化槽が既設であった時のバイオガス発電の新設が認められない。」と言われているわけではありません。経済産業省の考えとしては、「消化ガス発電はもともと消化槽がなければ発電ができない。」というもので、このため、設備認定の範囲を消化槽まで含めるかどうかを経済産業省が検討している状況です。仮に消化槽を設備認定の範囲に含めた場合は、電気事業法との関係で、特例で認められる需要地が消化槽まで含めたものとなり、既存の下水処理場の動力線等の配線の変更等が必要になると考えられます。

あともう1点あります。それは地方公営企業法に関連するもので、「固定価格買取制度を活用する場合に、電気事業の特別会計を設けるべきか、否か。」という議論があります。それにつきましても、今、総務省が整理をしているところだと聞いています。

最終的にはどうなるかまだ分かりませんが、現状この2点で、制度の活用については進みにくい状況があります。

○座長 新しい制度ですので、スムーズにいかないところもあるかと思いますが、なるべくすみやかに問題が解決して、「再生可能エネルギーを増やそう。」とい



西迫講師

う国家的な方針に対し、各自治体で実施しようとした時に抵抗なくできるようにしていただきたいと思えます。下水道事業団でもこの件については、いろいろな自治体からご相談を受けていて、国土交通省の西迫さんと相談しながら対応しているのですが、ぜひ皆さんからもバックアップをいただいて対応していきたいと思えます。

ほかに何か消化ガス関係でご質問などがございましたら承りたいと思えますが、何かございませんでしょうか。

○**質問者** 発電のための施設等に関する補助金等の交付の考え方で、売電のための発電施設については交付対象にならないということをお聞きしました。ただ、一般廃棄物処理施設であるごみ焼却場の発電設備というのは交付対象となっております。ということは、嫌気性消化槽の中に生ごみを投入して発電することに関しまして、補助金の交付対象とはならないのでしょうか。

○**座長** 嫌気性消化を生ごみとの混合メタン発酵で行う時に、メタン発酵までは補助対象だが、ガス発電設備だけは対象にならないのか、というご質問の趣旨でよろしいですね。では西迫さん、お願いします。

○**西迫** 混合消化の場合は「新世代下水道支援事業」という制度がありまして、混合施設や消化槽等については交付金の対象になります。そこについては従前どおりですが、出てきたガスを用いて発電して、固定価格買取制度を利用して売電する場合には、発電機以降の売電のための設備については補助が入りません。それは混合消化でも下水汚泥だけの消化でも同じ運用になっています。実際、1 kWh 40円という価格は、そもそも消化槽が既設のところで、民間事業者等が発電機を設置してバイオガスを下水道管理者から購入して発電する場合に、内部収益率が7～8%ぐらいまで取れるようになっている価格ですので、個人的にもそこにさらに補助を充てるということはなかなか難しいのではないかと考えています。

○**座長** 確認ですが、ガス発電設備は補助対象外ということですが、起債の対象にもならないのでしょうか。純単となるのでしょうか。

○**西迫** そこは先ほどお話しした、電気事業として特別会計を設ける必要があるかないかということにリンクします。もし、下水道事業の附帯事業とすることができなければ下水道事業としての起債は難しいと思えます。

あとは、リース契約を導入し、初期のイニシャルを下げた形でやっていくということを検討している自治体もあると伺っています。

○**座長** このテーマで、何かほかに追加でご質問等ご

ざいませんでしょうか。

○**質問者** 愛知県には今、11の流域下水道がありますが、汚泥処理は基本的に消化をしていません。今後こういったエネルギーの関係があって、導入をしていこうと検討を始めるところなのですが、今まで消化に手が付けられなかったのは、やはり水処理とかへの影響が結構あるのではないかとということで、なかなか踏み切れませんでした。消化工程を導入するにあたり、例えば返流水の水処理への影響とか、そういったところが昔は課題となっていたように思うのですが、そのあたりはクリアされているのかどうか、ご質問させていただきます。

○**座長** 嫌気性消化工程を導入すると、返流水の負荷による水処理への影響等が懸念されるのではないかとということなんですが、それに対するコメントを、石田さん、よろしいですか。

○**石田** 負荷計算を簡単にしていればおわかりになると思いますが、窒素について、高度処理を導入していれば、多少返流水で増える分があっても7割ぐらい除去できると考えると、処理水としては1 mg/L ぐらい増えるかどうかというところではないかと思えます。

○**座長** 私の方からも少しコメントさせていただきますと、処理場に入ってくる流入水量に対して、消化タンクに投入する汚泥の量というのは、約1/200程度です。消化工程の脱水ろ液というのは結果的には1/200に希釈されるということです。一番懸念されるのがアンモニアですが返流水の窒素濃度は800～1,000 (mg/L) ぐらいですので、負荷の増加というのは5 ppm程度です。循環法のような水処理方式をすでに採用している下水処理場であれば、十分吸収できる範囲だと思えます。CODやリンについてもさほど心配しなくてもいいと思えます。

○**質問者** ありがとうございます。

○**座長** ほかにどなたかございませんか。

○**質問者** 今のお話に関連するのですが、私どもでは消化タンクを持っておりません。消化槽を付けるというようなことは当初の計画にはあって、今はそういう話はあるんですが、消化するには初沈汚泥がなく、余剰汚泥だけではほとんど効果がないことですが、水処理の工程上、最初沈殿池を使うと窒素の処理があまりうまくいきません。基準を満足するかどうかということではいいのですが、より良い水質を得ることができにくくなります。それと、消化槽を使うとリンのグルグル回しが起きてしまうということで、先ほどの日浦先生のお話はリンのグルグル回しを断ち切るいい方法だと思えました。

ここから少し今のテーマとずれるんですが、そのリン

のグルグル回しを断ち切ると、炭酸ガスを追い出すようなこととおっしゃられたので、リンの資源化と温暖化対策とを同列に論じることは難しいと思いますが、炭酸ガスの開放とリンの回収との比較評価などをされたのかなということをお聞きしたいと思います。

それともう1つは、硫酸を添加するために硫酸イオンが増えます。硫酸還元菌により硫化水素が出て悪臭問題が発生しないかと、併せて質問させていただきます。

○座長 では日浦さん、今のご質問について少しコメントをいただけますか。

○日浦 まず、最初の炭酸ガスの問題ですが、炭酸ガスを取る工程がリン回収には良いと言われています。ただ、私どもはそのような工程を作るとリン回収には良いのですが、そのぶん余計なコストや手間が必要で、そこを省略できないかということで、実験しますと、一応うまくいっているのですが、炭酸ガスに関しまして、特に問題はないと思います。

それから、硫酸イオンの問題ですが、それはよく言われています。最後にシミュレーションの結果も一部ご紹介したのですが、先ほど島田さんから、脱水ろ液の流入水に対するボリューム比は1/200とお話がありましたが、私どもで計算すればやっぱり同じぐらいの、1/100から1/200ぐらいになります。流入下水と合流した時に希釈されるということで、総量としてはそんなにびっくりするほどは増えないということを確認しております。

ただ、そうは言っても、硫酸イオンが増えると一番気になる硫化水素の発生量が増えることではないかと思えます。そうなるはどこで増えるのかということですが、硫酸還元菌が増えるためにある程度時間が必要だと思えますので、初沈汚泥の濃縮槽などで嫌気性になって硫化水素が出てくることは考えにくいので、一番の問題は消化タンクの中に入った時には嫌気性状態で20日なり30日となりますし、実際に、石膏を入れない状態でもかなり消化ガスの中に硫化水素が混入してきて、それを取り除く必要があります。石膏を使った際に硫酸イオンは当然増えますので、それが消化ガス中の硫化水素がある程度増加するということは十分考えられます。その点も懸案として検討していきたいと考えています。現状では硫化水素はきちんと除去されていますので、脱硫剤の使用量が少し増えることは十分予想されます。



日浦講師

■ 緑農地利用

○座長 では3番目の課題について、下水汚泥の有効な有効利用法の1つであります緑農地利用について話題を進めていきたいと思えます。

下水汚泥の緑農地利用とリン回収の現状等について、先ほど西迫さんのプレゼンの中でもありましたが、追加的にコメントをいただけたらと思えます。よろしくお願いたします。

○西迫 緑農地利用につきましては現在、下水汚泥の処分とリサイクルの中で約10%のシェアを占めていて、最近、その割合は横ばいであり、安定的にコンポストを中心として緑農地利用が行われています。うまくいっている例の中には、地産地消型で市民の方にも理解をしていただいている事例があります。例えば、モニター制度などを活用し、緑農地利用を推進しているところが好事例としてあります。

○座長 農業利用関係で何か質問したいとか、講演の中での説明に対して質問あるいはご自身なりにいろいろ日ごろ考えて疑問に思っていることとか、そういうのはございませんでしょうか。

○質問者 具体的に何かを進めているわけではないのですが、今、兵庫東の広域下水汚泥流域処理場では、脱水ろ液等の返流水中のリンを低減するために、受泥槽にポリ鉄を入れていまして、その結果、焼却灰中にリンが移行します。その焼却灰からのリンの回収について実際に実施されているような自治体などが全国的にあれば、というのが1つです。

あとは、今はアルカリ抽出等でリン回収しているような方式、岐阜市さんなどで行われているのはそういう方法だと思うのですが、そういう方式以外に何か、焼却灰からのリン回収に係る、より低コストでできるような方法があれば教えていただきたいと思えます。

○座長 下水汚泥の焼却灰中にはリンがリン酸 (P_2O_5) として30%近く含有していまして、リン鉱石に匹敵するぐらいの高濃度のリンが入っています。さらに兵庫東ではポリ鉄を添加していますから相当量のリンが含まれているので、その有効利用方法として何かないかというご意見です。石田さん、日本燐酸(株)との話に関して、コメントをいただかせませんでしょうか。

○石田 実は「下水道におけるリン資源化の手引き」(22年3月、国土交通省都市・地域整備局下水道部)を作る時に、需要家サイドの人にも入っていただき、いろいろ議論しました。その時に私どもはアンケート調査の結果として「下水汚泥の焼却灰の重金属濃度はこの程度です。」という資料をお見せしたことがあります。そうしますと、リン濃度も高いし重金属も大したこ

となないということで、日本燐酸株から下水の焼却灰をリン鉱石代わりに買いたいというお話がありました。それが2年か3年前ですが、その話を千葉県環境部局に日本燐酸株がしたところ、「焼却灰そのものを資源として見るのはどうかと考える。下水汚泥の焼却灰を使う場合、産廃処分業者の許可を取ってください。」という結論になりました。当初は会社もそこまでは考えていなかったのですが、リン鉱石は今トン2万円ぐらいいしまして、焼却灰だとせいぜい1,000円も払えば手に入るの、前に進めることになりました。今年の10月ぐらいに許可を取って、3,000トンぐらいの焼却灰を受け入れるということだったのですが、実は昨年3月以降、関東地区で放射能の影響を受けました。リン鉱石をリン酸肥料にする過程で実は石膏ボードの原料を作っていて、そちらに放射能が混じると直接建物の壁などに使えなくなります。そのため、放射能の影響が及ばなかった地域の焼却灰を集めるということで、いくつかの処理場の焼却灰を日本燐酸株へ送って調べてもらった経緯がございます。私もよくフォローしていないのですが、そのような焼却灰を受け入れてすでに実施しているのではないかと考えています。将来的にはどんどん量が増えていくのではないかと考えています。

なぜなら、リン肥料などが値上がりせざるを得ないような実態があります。ところが、農家の支出に占め

る肥料価格の割合というのは非常に高く、例えば2割も上がると農家経営を非常に圧迫するということになるので、農業関係の人も非常に危機感を持っています。下水の焼却灰のようにリン鉱石などに比べるとはるかに安い価格のものは、今後ますます需要が出てくると思っています。

少し前までは、下水汚泥というだけで農家の方たちは「使いたくない。」という感じだったのですが、今はその雰囲気が変わって、「ぜひ安いものを使っていきたい。」となっていると感じます。焼却灰中の重金属などを調べても、肥料取締法に関して、カドミウムが引かかるところが10数%あるぐらいで、ほとんどのところはそのまま肥料として使えるレベルです。下水汚泥の焼却灰というと何か非常に重金属が入っているんじゃないか、という誤解をしている方もいますが、正しい情報を開示していけば、むしろユーザー側から「ぜひ使いたい。」ということになるのではないかと考えています。

○座長 今回のコメントにありましたように、リン酸を作っている肥料メーカーは、今は日本燐酸株の例を挙げたのですが、国内には数カ所に会社がありまして、兵庫県に近いところでは舞鶴市にございます。その会社が今どういう対応をしているかはわかりませんが、自分の処理場で焼却灰からリンを抽出するというよりも、焼却灰自体を原料として肥料メーカーに、1,000円



程度でも買い取ってくれるのでしたらそれは非常にありがたいです。近い将来そういう発展をする可能性もかなりあるのではないかと我々は期待しています。

○質問者 確かに、自分のところでまったく独立したプラントを造ってやっていくと大変ですけども、今のような形で、今後発展する方向にあるかと思えます。

○座長 自分の処理場でプラントを造ってというのと、なかなか規模も限られていますので、原料提供型というのが将来の方向性なのかなという気がします。

■建設資材利用

○座長 では、次に最後のテーマ、建設資材利用に移ってまいりたいと思います。建設資材利用の現状についても、先ほど西迫さんから話があったのですが、補足的にご説明いただけることがあればコメントをいただきたいと思います。

○西迫 下水汚泥の建設資材利用ですが、リサイクルされている処理方法として今一番多いものになっています。建設資材利用の中では特にセメント化が多い状況です。ただ、セメント需要が今後伸びていくことも考えにくいですし、セメントに有効利用するための下水汚泥の処分費が上がってきているという現状もあると聞いています。なるべく他の処理方法も活用しながら、リスク分散を図っていく方向が良いのではないかと考えています。

○座長 広島市では現状でも3割程度をセメント原料化されていると、先ほど平田課長からご報告がありましたけれども、セメント利用の今後の動向や課題で何か追加でコメントいただけないでしょうか。

○平田 私も昔一度、当時徳山セメントで引き受けていただいていたので、そちらの工場にお邪魔してどのように処分されているのかを見学したことがあります。やはりセメントの需要は将来にわたってずっと伸びていくようなものではないと思います。また、ロータリーキルンというのを新しく造るとなると、会社の社運を賭けるようなことになるので将来的にはどうなるかわかりませんというような、当時そんな回答もいただいた記憶があります。やはり自治体としてもあまりセメントの方へ寄りかかった状態になると、万一、例えば震災があってセメント工場がストップするようなことになったら、受け入れ先を探すのにも大変なことになります。セメント会社で、きちっと処理していただけることは大変ありがたいのですが、将来にわたって安心してやっていけるのかということについては、わからないところがあると思います。やはり、リスク分散ということは常に考えておかないといけないと思います。

○座長 建設資材利用について会場の方で何かご質問とか疑問があれば承りたいと思うのですが、何かご質問ありませんでしょうか。

○質問者 当社では金沢市内の下水処理場で発生する焼却灰を安定化処理した後アスファルトフィラーとして利用する事業を以前より実施しています。現状の課題に関して、今使用している自治体が金沢市のみということで、国土交通省、石川県、近隣の関係する自治体にご理解いただくということが難しいです。金沢市では市の全域で使っていただいているのですが、その他の地域では使っていただけていません。その調整が、課題の部分だと感じています。

○座長 下水汚泥とか下水汚泥焼却灰というと、一般の方は、イメージ的に有効利用ということに抵抗感があるのでしょうか。先ほど石田さんからもコメントがありましたように、最近の下水汚泥中の重金属濃度などはかなり低くなっていますし、有害な有機物とかいうものも非常に少ないですし、非常に安定した良い原料の1つだろうと思うのですが、なかなかご理解がいただけていません。

私が以前携わっていた有効利用、建設資材利用の関係で、兵庫県の姫路市にある兵庫西スラッジセンターを昔、下水道事業団が管理していましたが、今はもう兵庫県に施設が移管されました。そこでは、年間6,000トンぐらいの溶融スラグを作っていたのですが、それを道路用アスファルト舗装合材の細骨材として、実証試験をやっても問題なく利用できる、安全性の試験をやっても問題ないということで、もう10年近く前になります。当時の県土木部のトップの決断で道路部局に対し「これを使いなさい。」ということになりました。「県の発注工事ではスラグ入りを使いなさい。」と仕様書で定めたんです。それで順調に利用されまして、「県の工事で使うのなら一般の民間の工事でも十分使えるんじゃないか。」ということで需要が伸びて、今はトン当たり300円か400円で販売しています。「アスファルト合材だけではなく、セメント用の細骨材でも使えるようにしてくれ。」というように、むしろ利用者から要望があるぐらい有効利用が進んでいます。1つの方法として、仕様書で「使いなさい。」と、そういう形でやっていかないと、イメージの面から下水汚泥を率先して使っていただけるようにならないと思います。

先ほども汚泥中の重金属について、かなり時間をかけたのですが、一般の方にはどうしても「下水汚泥は有害物。」というイメージがいまだに相当残っています。しかし、「決してそういうことはないですよ。」ということを根気強くPRしていかなければと思います。



■ 下水汚泥の有効利用の促進に向けて

○座長 それでは、予定の時間もあと5分ぐらいになりましたので、パネルディスカッションを締めくくりにあたりまして、各パネラーの皆さんに下水汚泥の有効利用についての日ごろの思いとなど、最後に一言ずついただきたいと思ひます。まず日高さんの方から順番にお願いします。

○日高 土木研究所での業務は、基礎研究に近いかと思ひます。実際の現場の話とは少し離れてくることもあるかと思ひますけれども、逆に独立法人の研究所ということですので、いろいろなことに挑戦できる環境であると感じています。特に現場で皆さんが携わっておられると、ちょっとした変化の兆候や新しいアイデアなど、いろいろ気づかれることも多いと思ひます。メーカーの方では、装置開発ですぐ商品化できないので、なかなかやりにくいけれども、将来何か新しいアイデアの装置開発につながる可能性があるというお話があるかもしれません。国の方針とか法律の問題などがあるとは思ひますが、垣根を越えた提案ができるのが、独立法人と思ひています。いろいろとアイデアがありましたら、また何か一緒にご協力させていただけるとありがたいと思ひますので、今後ともよろしくお願いします。

○石田 私は2年ぐらい前に「バイオマスキャラバン」と称して、「下水処理場に生ごみとかし尿とかを入れてエネルギーをどんどん獲得したらどうですか。」という話を30以上の自治体の皆さんのところに行って、いろいろご説明した経緯がございます。その時に下水道部局だけでなく環境部局の人にも入っていただき、いろいろ意見交換をさせていただきましたが、下水道部局の人よりも、むしろ環境部局の人の方が興味を持ってくれた感じがしました。下水道事業も成熟化とかいうお話が出ていのですが、考え方が保守化しないようにお願いしたいと思ひます。

また事業は日々進展していますし、社会状況も変わりますので、下水道事業の中でできることはいっぱいあると思ひます。そういうものにどんどん積極的に取り組んでいくことが我々の使命ではないかと思ひます。世の中はどんどん少子高齢化が進み、このまれば処理場もどんどん水量が少なくなり役割が小さくなります。しかし、今ある施設を有効に活用しようと思えば、いろいろなことができるわけです。その方策も我々は提示していますので、ぜひ積極的に新しいものに取り組んでいただけたらというのが私からのお願いでございます。

○平田 下水汚泥も含めたいわゆる「下水道資源」と呼ばれるものを、今後どうやって新たに有効利用していくかという観点から、いろいろな会社の方もいらっ

しゃると思いますけれども、そういったところで新たな技術革新といいますか、そういったものをどんどん積極的に推進していただくことによって、下水道資源が本当に持つ能力というか、ポテンシャルといったものがきちっと活用されるような新たな技術が出て、たくさん自治体で活用されるようになれば非常に嬉しく思います。

○日浦 我々の研究では、環境部局の方から下水道部局の方に協力をお願いに行ったのですが、県の下水道公社の方、下水道局の方に非常に興味を持っていただき協力していただきました。実用化は先の話だと思いますが、研究は順調に進み、ありがたいことだと思っています。

もう1つ、先月、仙台市で廃棄物資源循環学会というのがありまして、岩手県の方だったと思いますが、焼却灰からのアルカリ抽出によるリン回収についてですが、電子基板を洗浄して出る廃液は産業廃棄物としてお金を出して処理していますが、この廃アルカリ液を使って実験をしてみると、苛性ソーダを使ったのと同じようにうまくでき、かなりコストが安くできそうだというような発表がありました。ご参考になればと思い紹介をさせていただきます。

○西迫 下水道資源というのは工夫して活用することで、下水道の維持管理費の低減に寄与しますし、ひいては下水道が低炭素型・循環型社会の一役を担えることになると考えています。下水道というとやはり基本は「水処理」ですが、それだけではなく、下水道資源の

活用に向けてしっかり取り組んでいただければと思います。国土交通省でも皆様がそういう技術を導入いただけるように、B-DASHプロジェクトによって低コスト化と高効率化を目指した技術実証をしておりますし、交付金での財政的な支援もしております。また、制度的には先ほど固定価格買取制度の課題が挙がっていましたが、制度面についてもできるだけ円滑に進むよう支援させていただければと思いますので、今後もしいろいろご相談をさせていただければと思います。

○座長 我が国では「下水汚泥＝有害物」という誤った認識が残念ながらいまだに多いのですが、少なくとも今日ご参加いただいた方には下水汚泥の有効性をご理解いただけたのではないかと思います。

西迫さんが言われたように、下水処理場は汚れた水をきれいにするだけの働きから、新しい21世紀型の下水というのは下水処理場に集まってくる膨大なバイオマス資源を有効に取り出して活用することだと考えます。資源の乏しい我が国にとっては、下水汚泥というのは非常に貴重な国産資源ですので、その有効利用を今後とも積極的に進めていく必要があるのではないかと考えています。もし同じようなお考えの方がいれば、日本下水道事業団も一緒に力を合わせて取り組んでいきたいと思っていますので、今後ともよろしくお願ひしたいと思っています。

以上をもちましてパネルディスカッションを終わらせていただきます。どうもありがとうございました。(了)

第25回下水汚泥の有効利用に関するセミナー要領

【開催趣旨】

下水汚泥の再資源化・有効利用について、大学研究機関等における調査研究の発表、下水道事業実施都市等における実施例や調査研究の紹介、および直面する諸課題についての参加者討議等を通じて関係者相互の情報交換を図り、下水汚泥資源利用活動の推進に資する。

【開催日時】

平成24年11月1日(木)～2日(金)

【会場】

鯉城会館 (広島市中区大手町1-5-3)

【日程】

	時 間	内 容	講 師 (敬称略)
一 日 目	10:10～10:20	開会挨拶	(公社)日本下水道協会 技術研究部部长 植松 龍二 広島市下水道局次長 倉石 雅基
	10:20～11:00	広島市の下水汚泥燃料化事業について	広島市下水道局 計画調整課長 平田 茂
	11:00～11:40	下水汚泥有効利用の課題と 日本下水道事業団における取組み	日本下水道事業団 技術戦略部 戸田技術開発分室長代理 島田 正夫
	11:40～12:30	ポスター展示(民間企業)・昼休憩	
	12:30～13:10	下水汚泥資源利用の動向と今後の施策について	国土交通省水管理・国土保全局 下水道部下水道企画課 資源利用係長 西迫 里恵
	13:10～13:50	下水汚泥及び有機性廃棄物の有効利用に関する 土木研究所リサイクルチームの研究展開	(独)土木研究所 材料資源研究グループ リサイクルチーム 主任研究員 日高 平
	14:00～14:40	エネルギー消費に関するベンチマーク指標と エネルギー回収技術について	(財)下水道新技術推進機構 資源循環研究部長 石田 貴
	14:40～15:20	廃石膏を用いた消化汚泥脱水ろ液からのリン回収	広島県立総合技術研究所 保健環境センター 総括研究員 日浦 盛夫
	15:30～16:45	パネルディスカッション	座長:日本下水道事業団 島田 正夫 パネラー:講師一同
二 日 目	9:30～11:00	特別講演 「余剰脱水汚泥等の乾式アンモニア・メタン 二段発酵による減量化及びエネルギー回収」	広島大学大学院 先端物質科学研究科 特任教授 西尾 尚道
	11:00～12:00	ポスター発表(口頭)	民間企業
	12:00～12:05	閉会挨拶	(公社)日本下水道協会
	12:05～13:05	昼休憩	
	13:05～17:00	施設見学: 広島市西部水資源再生センター(下水汚泥固形燃料化施設等) 広島県太田川流域東部浄化センター(ロータリーエンジン発電機と廃石膏リン回収施設等) JR広島駅解散	

※講師の役職等は発表当時のもの。

おしらせ

民間企業の投稿のご案内

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

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

投稿要領

(資格)

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

(原稿掲載の取扱い)

2. 原稿掲載の適否は、「再生と利用」編集委員会が決定します。

(掲載可否の判断基準)

3. 掲載適否の主な判断基準は、次の3.1、3.2、3.3、3.4によります。
 - 3.1 単に汚泥処理に関する投稿文でなく、下水汚泥の有効利用の促進に資するものであること。
 - 3.2 特定の団体、製品、工法、新技術等を宣伝することを目的とした投稿文(客観的、合理的な根拠を示すことなく、優秀性、優位性、有効性等について具体名を挙げて記述)でないこと。
ただし、次の場合は除く。
 - ①特定の団体、製品、工法、新技術等の紹介が目的であっても、優秀性、優位性、有効性等の客観性かつ合理的な根拠を明確にし、下水汚泥の有効利用の促進に資すると認められるもの。
 - ②特定の団体、製品、工法、新技術等の名称を記述しているが、単に論文の主旨をわかりやすく伝えるために用いており、投稿文の趣旨とは直接関係のない場合。
 - 3.3 特定の団体、製品、工法、新技術等を誹謗中傷する内容を含む投稿文でないこと。
 - 3.4 その他編集委員会が適当と考える事項について適合していること。

(原稿の作成、部数、送付先等)

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

5. 原稿の送付先は、下記の担当に送付して下さい。

(校正)

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

(著作権等)

7. 掲載した原稿の著作権は著者が保有し、編集著作権は、本会が所有します。

原稿登載区分

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

担当：公益社団法人 日本下水道協会 技術研究部資源利用研究課

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

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

おしらせ

「再生と利用」への広告掲載方依頼について

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

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

記

1 発行誌の概要

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

2 広告掲載料・広告寸法等

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

※ 表3は指定頁になります。原則として2回以上の継続掲載とします。

※ 広告掲載料は、消費税込みの金額です。

3 広告申込方法及び留意事項

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

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

4 お支払方法等

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

なお、送金（振込）手数料は、貴社負担にてお願いします。

5 申込み先及び問合わせ先

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

広告業務委託先 (株)LSプランニング（担当：「再生と利用」広告係）

〒135-0046 東京都江東区牡丹2-2-3-105

TEL. 03-5621-7850(代) FAX. 03-5621-7851

Mail : info@lsweb.co.jp

(参考)

「再生と利用」特集企画予定

- 第140号（平成25年7月発行予定）
平成25年度下水汚泥資源利用等に関する予算及び研究内容と今後の方針の解説
- 第141号（平成25年10月発行予定）
下水汚泥と他バイオマスとの協働事例
- 第142号（平成26年1月発行予定）
中小規模の消化ガス発電導入事例、開発事例
再生可能エネルギー固定価格買取制度導入事例
- 第143号（平成26年4月発行予定）
第26回下水汚泥の有効利用に関するセミナー特集

「再生と利用」 広告掲載申込書

公益社団法人 日本下水道協会 御中

(該当箇所にご記入及び○印を付けて下さい。)

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

上記のとおり申し込みます。

平成 年 月 日

会 社 (団 体) 名	Ⓜ
住 所 〒	
担当者所属・職・氏名	Ⓜ
TEL	
FAX	

[広告代理店経由の場合に記入]

広 告 代 理 店 名	Ⓜ
住 所 〒	
担当者所属・職・氏名	Ⓜ
TEL	
FAX	

汚泥再資源化活動

第130回「再生と利用」編集委員会

日 時：平成24年12月17日（月）

場 所：本会第1・第2会議室

出席者：野池委員長、尾崎、姫野、西迫、内田、島田、川崎、濱田、奥出、長谷川、北折、西本、福田の各委員と崎野委員代理濱地氏

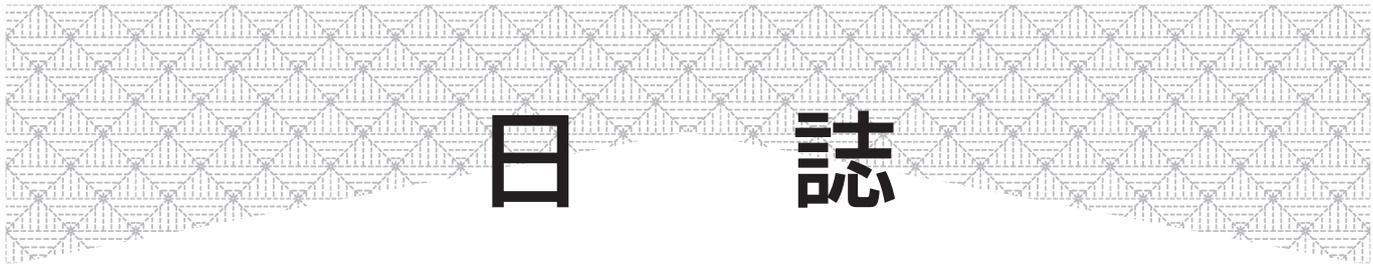
議 題：①第138号「再生と利用」編集内容について
②第139号「再生と利用」編集方針（案）について
③平成25年度計画（案）について

概 要：①事務局から、資料4により第138号「再生と利用」の編集内容の説明を行いた承された。主な説明では、特別寄稿の「バイオマス事業化戦略の概要について」農林水産省に執筆していただき、特集テーマの平成24年度下水道革新的技術実証事業（B-DASHプロジェクト）では5つの事業全てを掲載した。
②事務局から、資料5により第139号「再生と利用」編集方針（案）について説明を行っ

た。主な説明は、特集のテーマの「第25回下水汚泥の有効利用に関するセミナー」の講演内容を「解説」と「研究紹介」にわけて掲載することとし、同セミナーのパネルディスカッションの総合討議の概要を掲載することとした。

③事務局から、資料5及び資料6並びに資料7により平成25年度計画（案）について説明を行った。主な意見では、特集の第141号と第142号のテーマについて、第141号では下水汚泥と他バイオマスとの協働事例とし、第142号は「中小規模の消化ガス発電導入事例、開発事例」と「再生可能エネルギー固定価格買取制度導入事例」を組み合わせることとした。また、消化ガス発電が続くので、太陽光などを検討しても良いのではないかという意見があった。

④その他の意見交換では、野池委員長よりバイオガス事業推進協議会が実施する、バイオガス事業経営研究会の開催の紹介があった。



平成 24 年 12 月 17 日

第 130 回「再生と利用」編集委員会

本会第 1・第 2 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：ヨーロッパでのリン有効利用の状況
 特別寄稿：農耕地における下水汚泥コンポストの循環利用
 と課題
 特 集：平成 25 年度下水汚泥資源利用等に関する予算及
 び研究内容と今後の方針の解説

研究紹介：集落排水資源利活用実証事業 平成 24 年度概
 要報告
 講 座：「りんの再利用に関する講座」開設にあたって
 報 告：長岡市生ごみメタン発酵事業
 文献紹介：2 編
 そ の 他：会報、行事報告、次号予告、関係団体の動き

「再生と利用」編集委員会委員名簿

(順不同・敬称略)
(25.3.1 現在)

委員長	日本大学大学院教授・東北大学名誉教授	野池 達也
委員	秋田県立大学生物資源科学部教授	尾崎 保夫
委員	長岡技術科学大学准教授	姫野 修司
委員	国土交通省水管理・国土保全局下水道部下水道企画課資源利用係長	西迫 里恵
委員	独立行政法人土木研究所材料資源研究グループ上席研究員(リサイクル)	内田 勉
委員	地方共同法人日本下水道事業団技術戦略部戸田技術開発分室長代理	島田 正夫
委員	独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構東北農業研究センター畑作園芸研究領域長	田村 有希博
委員	独立行政法人農業環境技術研究所連携推進室長	川崎 晃
委員	一般財団法人日本土壌協会参与土壌部長兼広報部長	仲谷 紀男
委員	東京都下水道局計画調整部技術開発課技術開発主査(課長補佐)	粕谷 誠
委員	札幌市建設局下水道施設部豊平川水処理センター管理係長	濱田 敏裕
委員	山形市上下水道部次長兼浄化センター所長	奥出 晃一
委員	横浜市環境創造局下水道施設部北部第一水再生センター長	長谷川 輝彦
委員	名古屋市上下水道局技術本部計画部技術管理課主査(技術開発)	北折 康德
委員	大阪市建設局下水道河川部水環境課担当係長	西本 裕二
委員	広島市下水道局管理部管理課水質管理担当課長	福田 佳之
委員	福岡市道路下水道局下水道施設部施設管理課長	崎野 寛

図書案内

下水汚泥分析方法 —2007年版—

—下水汚泥の緑農地利用における良質な製品の提供・円滑な流通を図るため—

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

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

主な改訂を目次(追加項目を下線)にて示すと、以下のとおりです。

目 次

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

編 集 後 記

本号の巻頭言では、新潟県初の消化ガス発電の導入について新潟市の下水道部長から投稿いただいております。最近の下水道業界紙等には、新潟県では他にも柏崎市での消化ガス発電の稼働、新潟県流域下水道での平成26年度の小型消化ガス発電の導入、前橋市や滋賀県での汚泥固形燃料化事業の推進など、エネルギー利用に関する記事が掲載されています。導入事例が増えコスト面等の課題が少しずつ解消し、着実に有効利用が進んでいると考えています。

また、昨年11月に広島市で開催しました「第25回下水汚泥の有効利用に関するセミナー」を特集しています。講師の方やご参加いただいた方にはあらためて御礼申し上げます。特集記事を読み返しますと、下水汚泥の処理、有効利用には危険分散の観点から一つの手法に頼るのではなく、数種類の処理手法の確保の重要性や、下水処理場近隣地域での需要の把握の大切さをあらためて認識します。国では下水汚泥エネルギー利用に関するB-DASHを始めとした施策に取り組まれています。下水道関係団体や研究機関では新たな下水汚泥有効利用につながる技術研究を進めています。公務等の事情により参加いただけませんでした皆様には本号のセミナー特集を是非ご覧頂きたいと考えております。

1月31日に東京都内で下水汚泥リサイクルに関する講演会を開催しました。例年に匹敵する約100名の

方が参加していただきました。最近の電力事情から今回はエネルギー利用に重点を置いた内容としました。国土交通省からの下水汚泥有効利用の全般に関する話題、長岡技術科学大学からは稲わらを利用した消化ガス量の増量の研究や小型消化ガスエンジンの開発、山形市からは消化ガスの発電利用とコンポスト利用の事例、愛知県からは下水汚泥の固形燃料化事業を発表いただきました。米作が盛んな北陸地域での稲わらのバイオガス化、市民の下水汚泥由来の肥料への関心向上、下水処理場に隣接した石炭火力発電所など、下水処理場の地域特性の把握が下水汚泥有効利用の鍵と感じました。主催者としてはこれらの研修会が少しでも皆様の業務に役立ち、下水汚泥の有効利用の促進となることを願っております。

3月19日から韓国テグ広域市で開催されますWATER KOREAに参加して参ります。WATER KOREAでは下水道に関する研究発表や展示会が行われ、日本の下水道展に似た大きな行事です。韓国でも下水汚泥の発生量が年々増加しており、その処理処分が大きな課題の一つになっています。下水汚泥有効利用に関する日本の新しい取り組み事例を報告し、韓国の汚泥処理の方向性などの情報を吸収し、今後発信していきたいと考えております。

(HY)

「再生と利用」

Vol.37 No.139 (2013)

平成25年4月1日 発行
(平成24年第4)

発行所 公益社団法人 日本下水道協会

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



再生と利用

公益社団法人 日本下水道協会

〒101-0047 東京都千代田区内神田2-10-12(内神田すすいビル5~8階)
TEL03-6206-0260(代表) FAX03-6206-0265