

再生と利用

2012 Vol. 36

No. 135

主要目次

- 口絵** 国土交通省B-DASHプロジェクト
 ・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—KOBÉ グリーン・スイーツプロジェクト—
 ・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
- 巻頭言** 今こそ「再生と利用」促進の好機岡久 宏史
- 論説** 震災復興に貢献するメタン発酵野池 達也

特集 第24回下水污泥の有効利用に関するセミナー特集

- 解説** 神戸市における下水污泥の有効利用と今後の取り組み山地 健二
- 下水污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
- 兵庫県における下水污泥溶融スラグの有効利用について的場 令基
- 農業集落排水施設と連携したメタン発酵消化液の液肥利用について米田 太一
- 下水污泥有効利用に関する(社)日本下水道協会の取り組み大谷 佳史
- 研究紹介** 下水污泥有効利用の課題と日本下水道事業団における取り組み島田 正夫
- 下水道を核としたバイオマス利活用に関する研究開発岡本誠一郎
- Q&A** 名古屋市の下水污泥処理について北折 康德
- 現場からの声** 福岡県大木町バイオマス循環センターを訪ねて島田 正夫
- 文献紹介** デュラム小麦のカドミウム吸収抑制対策としてのケイ素の効果川崎 晃
- 高負荷嫌気性消化の簡易管理パラメータによるメタン変換効率の評価水田健太郎
- 講座** 下水道における未利用エネルギー活用促進のための制度について西迫 里恵
- 投稿報告** 安定化処理後下水污泥焼却灰入りアスファルト混合物について大矢 昌樹／山本 幸人
- 下水からのリン回収技術黒澤 建樹／島村 和彰／築井 良治
- 污泥熱可溶化による高効率嫌気性消化技術の概要栗原 元
- コラム** 有機物資材の施用は土の物理性に良いことづくめ?久保寺秀夫
- 報告** 第24回下水污泥の有効利用に関するセミナー
 パネルディスカッション概要会場：神戸市
 下水污泥資源利用協議会設立までの経緯齋藤健次郎
- 資料** おしらせ(投稿のご案内、広告掲載依頼)、污泥再資源化活動、日誌・次号予告・編集委員会委員名簿、編集後記

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 —KOBЕ グリーン・スイーツプロジェクト—

地域バイオマス受入施設



木質系（グリーン）を含む地域バイオマス活用

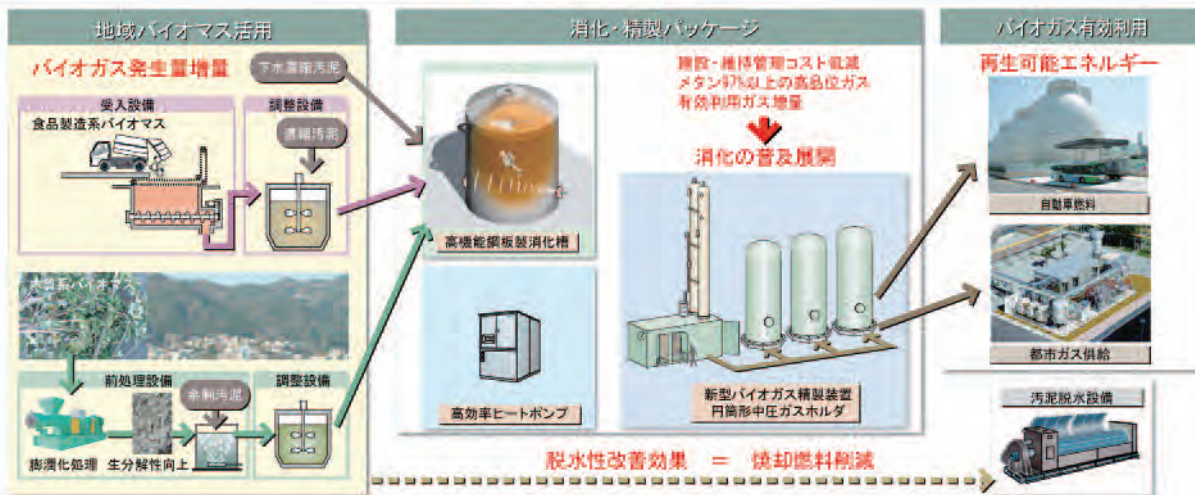
実証概要

- 実施者：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
- 実証規模：0.7t-DS/日
- 実証期間：平成23年度～

（平成23年度国土技術政策総合研究所委託研究による）

下水道に好適な食品製造系（スイーツ）・木質系（グリーン）の地域バイオマスと汚泥の混合処理による、バイオガス発生量の増加と汚泥処理の効率化を実現。高効率な消化・精製パッケージによる建設・維持管理費の縮減と温室効果ガスの大幅な削減を実現。

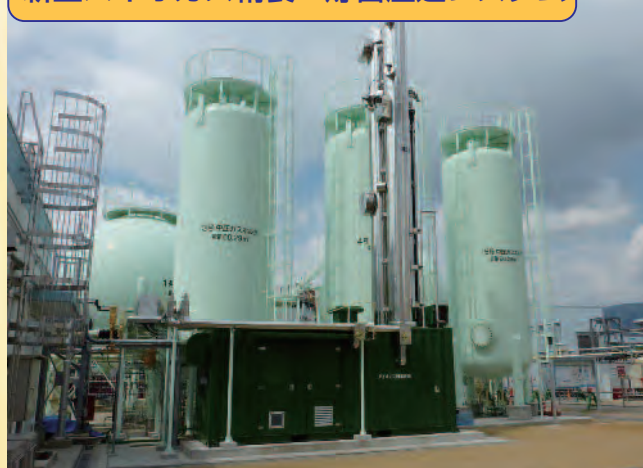
本実証事業のフロー



高効率鋼板製消化槽・ヒートポンプシステム



新型バイオガス精製・貯留圧送システム



高効率にパッケージ化された鋼板製消化槽・ヒートポンプ、バイオガス精製・貯留圧送システムによる汚泥消化の普及促進

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

超高効率固液分離技術



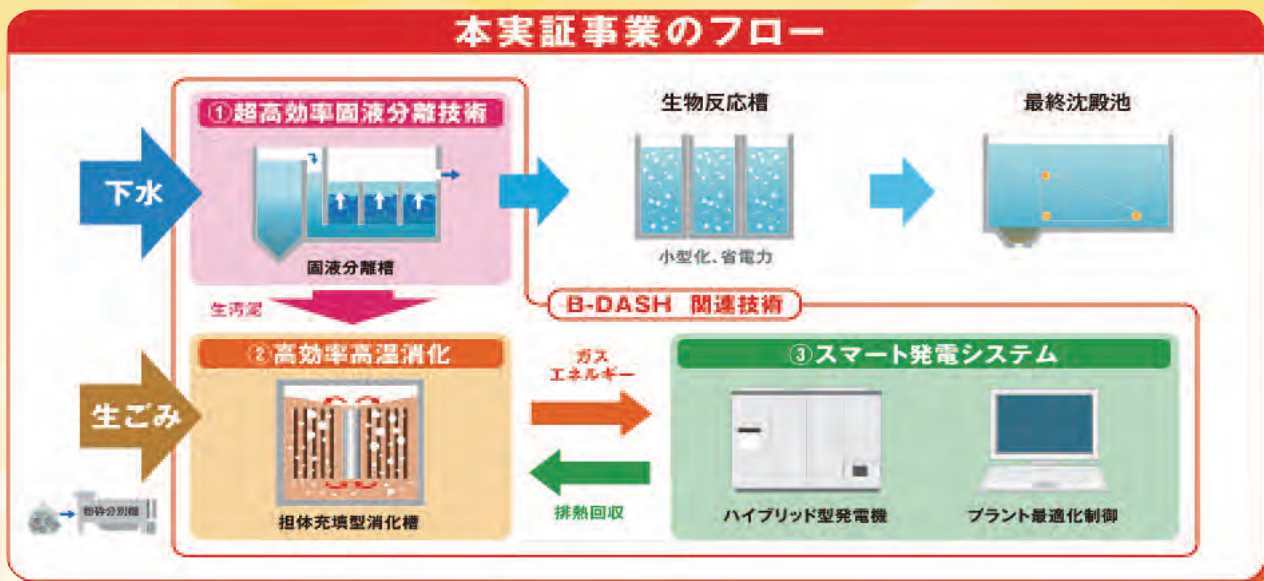
実証概要

- 実施者：メタウォーター
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
- 実証規模：水処理 5700m³/日
汚泥+生ごみ 0.6t-DS/日
スマート発電システム100kW
- 実証期間：平成23年度～

(平成23年度国土技術政策総合研究所委託研究による)

徹底的な固液分離回収技術と独自のエネルギー
回収・利用システムの組み合わせで温室効果
ガスと建設費・維持管理費の大幅な削減を実現。

本実証事業のフロー



高効率高温消化システム



スマート発電システム



口
絵

国土交通省B-DASHプロジェクト

- ・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
—KOBE グリーン・スイーツプロジェクト—
- ・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

巻
頭
言

今こそ「再生と利用」促進の好機 岡久 宏史..... (5)

論
説

震災復興に貢献するメタン発酵 野池 達也..... (6)

特集 第24回下水汚泥の有効利用に関するセミナー特集

解
説

- 神戸市における下水汚泥の有効利用と今後の取り組み 山地 健二..... (20)
- 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..... (32)
- 兵庫県における下水汚泥溶融スラグの有効利用について 的場 令基..... (43)
- 農業集落排水施設と連携したメタン発酵消化液の液肥利用について 米田 太一..... (52)
- 下水汚泥有効利用に関する(社)日本下水道協会の取り組み 大谷 佳史..... (61)

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り組み 島田 正夫..... (73)
- 下水道を核としたバイオマス利活用に関する研究開発 岡本誠一郎..... (85)

Q
&
A

名古屋市の下水汚泥処理について 北折 康德..... (92)

現
場
か
ら
の
声

福岡県大木町バイオマス循環センターを訪ねて 島田 正夫..... (94)

文献紹介

- デュラム小麦のカドミウム吸収抑制対策としてのケイ素の効果 川崎 晃..... (98)
高負荷嫌気性消化の簡易管理パラメータによるメタン変換効率の評価 水田健太郎..... (99)

講座

- 下水道における未利用エネルギー活用促進のための制度について 西迫 里恵.....(100)

投稿報告

- 安定化処理後下水汚泥焼却灰入りアスファルト混合物について
.....大矢 昌樹／山本 幸人.....(103)
下水からのリン回収技術 黒澤 建樹／島村 和彰／築井 良治.....(110)
汚泥熱可溶化による高効率嫌気性消化技術の概要 栗原 元.....(118)

コラム

- 有機物資材の施用は土の物理性に良いことづくめ？ 久保寺秀夫.....(122)

報告

- 第24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：神戸市.....(123)
下水汚泥資源利用協議会設立までの経緯 齋藤健次郎.....(137)

資料

- おしらせ（投稿のご案内、広告掲載依頼）(139)
汚泥再資源化活動(143)
日誌・次号予告・編集委員会委員名簿(145)
編集後記(147)

巻 頭 言

今こそ「再生と利用」促進の好機

国土交通省水管理・国土保全局 下水道部長

岡 久 宏 史



ご存じだろうか。下水汚泥の利用を2020年には85%とすることを目標としていることを。これは、平成21年6月に成立した「バイオマス活用推進基本法」に基づき策定し、閣議決定された「バイオマス活用推進基本計画」に記載されている下水汚泥の利用目標だ。

下水汚泥のリサイクル率は約77%（平成21年度末）であるが、下水汚泥に含まれるバイオマスの利用率、つまり消化ガスや燃料化、緑農地への利用率は約24%でしかない。このバイオマスは、カーボンニュートラルでもあり、利用することにより地球温暖化防止にも寄与する。この貴重なバイオマスを利用しない手はない。そこで、本基本計画は、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この目標値を達成しようという計画となっている。現在、国では、この目標の達成に向けた取り組みを積極的に進めている。例えば、新成長戦略（H22.6閣議決定）で「グリーン・イノベーション」を掲げ、再生可能エネルギー等を組み合わせた都市のエネルギーマネジメントシステムの構築を指摘、同時に定められた「エネルギー基本計画」では、2020年までに一次エネルギー割合で10%を目標に設定し、下水熱を含む温度差エネルギー利用促進や下水道バイオガス利用拡大などを取り組みとして掲げている。

また、このような政策を推進するため法律や制度の制定も進めている。エネルギー供給事業者に非化石エネルギーの利用等を義務づけた、いわゆる「エネルギー供給構造高度化法」、「非化石エネルギー法」、再生可能エネルギーの固定価格買取制度を定めた「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措法」、また、「都市再生特措法」を改正し、特定の地域において未処理下水熱を民間が利用できるように規制を緩和した。さらに、下水熱や下水汚泥の利用を促進するために「都市の低炭素化の促進に関する法律案」を今国会に提出する予定である。

このように、下水道の持つ資源の利活用のドライビングフォースとなる周辺環境が整いつつある。この期を逃してはいけない。

ところで、この利活用を推進するには、それ相応の技術が必要である。そこで、国自ら技術開発に乗り出している。下水道未利用エネルギーを効率的に低コストで利用する新技术を直轄事業として実規模で実証する事業を開始した。B-DASHと名付けた事業だ。実証する機会が簡単には得られない民間企業に変わり、国が実証し、公共団体での活用を円滑に進めるための制度だ。国として技術開発の後押しを積極的に進めたいと考えている。

さらに、下水道資源の利活用施策は、東日本大震災の被災地の復興にも役立てようと考えており、現在、民間企業と公共団体が連携して検討中である。また、来年度は、下水熱利用のモデル的な事業も開始する。

世は日々変化し、その情勢も刻々と変わってくる。そこに新たな課題も生まる。その課題を克服することを好機と捉え、解決に向けた挑戦を開始することが肝要である。好奇心を持って臨めば、画期的な新しいアイデアが生まれるだろうし、その実現に向けて冒険心を持って進めば活路も開ける。国、公共団体、民間、学界が一体となって、知恵を出し合い人類の未来のために下水道資源の「再生と利用」を促進しようではないか。

論 説

震災復興に貢献するメタン発酵

日本大学大学院総合科学研究科 野 池 達 也

キーワード：震災復興、メタン発酵、混合消化、ランドフィルガス、地産地消エネルギー拠点

1. はじめに

2011年3月11日14時46分18秒（日本時間）、宮城県牡鹿半島の東南東沖130kmの海底を震源として発生した東北地方太平洋沖地震は、日本における観測史上最大のマグニチュード（Mw）9.0を記録し、震源域は岩手県沖から茨城県沖までの南北約500km、東西約200kmの広範囲に及んだ。この地震により、場所によっては波高10m以上、最大遡上高40.5mにも上る大津波が発生し、東北地方と関東地方の太平洋沿岸部に壊滅的な被害をもたらした。2011年7月25日時点で、震災による死者・行方不明者は2万人以上、建築物の全壊・半壊は合わせて24万戸以上、ピーク時の避難者は40万人以上、停電世帯は800万戸以上、断水世帯は180万戸以上に上った¹⁾。

被災されました皆様に心よりお見舞い申し上げます。ご犠牲になられました方々の御霊に慎んで哀悼の意を表してやみません。

下水道施設の被害および復旧状況については、岩手県、宮城県及び福島県の沿岸部にある下水処理場16か所が、主に津波による機械電気設備の損傷により稼働停止し、これら処理場のうち、汚水流入のある13か所では、応急対策が実施されている。管渠については、129市町村等の下水管64,730kmのうち、556kmで被災、破損箇所については、仮配管や仮設ポンプ設置等による応急対応を実施しつつ、順次本復旧が行われている²⁾。

地震発生後、東京電力福島第一原子力発電所（福島県双葉郡大熊町・双葉町）において、日本及び世界における最大規模の原子力事故が発生した。巨大地震及び大津波が原因で炉心溶融および水素爆発が発生するまでに至ったのも、米国メーカー設計の原子炉容器が大きく損傷して放射性物資が大量に外へ漏れだしたのも、本事故が原子力発電史上初めてである。様々な要因が重なり、国際原子力事象評価尺度のレベル7（深刻な事故）に相当する多量の放射性物質が外部に漏れ出た。同レベルの原子力事故は、1986年4月26日にソビエト連邦で起きたチェルノブイリ原子力発電所事故以来、世界史上2例目である³⁾。

政府は原子力災害特別措置法に基づき、「原子力緊急事態」を宣言、付近住民の避難が行われた。住民の方々の苦しみは測り知れない。また、福島原発の停止などによって東京電力の供給量が不足し、計画停電（突発的な停電を防ぐため、地域と時間を限定して行う停電）が実施された。

津波による塩害を受けた田畑は、宮城県・岩手県で23,600haにも達し、農作物の栽培は当分の間、不可能の状態となっている。

この度の大地震・津波により、廃墟と化した被災地に立ち、あまりの悲惨さに言葉を失う。加えて福島原発の深刻な問題が生じている。今なお、悲しみと苦しみの中にある被災を受けられた多くの方々、尊い生命を失われた犠牲者の方々のことを思い、私達は何らかのありかたで、震災からの復興のためのお役に立たせていただきたい願いに駆られる。

政府・自治体をはじめ国をあげての救援・復旧活動が行われており、ことに、現地に行かれ瓦礫や泥の排除等のボランティア活動を率先して行っておられる若き人々の姿に心打たれる。このような悲惨な被災地の状況を目の前にして、せめて、ライフワークとしてきたメタン発酵によって、被災地域にバイオガスエネルギーを供給し、復興される地域に循環型社会が形成され、津波による塩害・原発事故による放射性物資対策のために、メタン発酵を如何に活用してゆくべきかについて考えたい。

2. 復興構想7原則—悲惨の中の希望—

2011年6月25日、東日本大震災復興構想会議によって提言された復興構想7原則の中の四原則を以下に掲げる。

原則1：失われたおびたしい「いのち」への追悼と鎮魂こそ、私たち生き残った者にとって復興の起点である。この観点から、鎮魂の森やモニュメントを含め大震災の記録を永遠に残し、広く学術関係者により科学的に分析し、その教訓を次世代に伝承し、国内外に発信する。

原則2：被災地の広域性・多様性を踏まえつつ、地域コミュニティ主体の復興を基本とする。国は復興の全体方針と制度設計によってそれを支える。

原則4：地域社会の強い絆を守りつつ、災害に強い安全・安心のまち、自然エネルギー活用型地域の建設を進める。

原則7：今を生きる私達全てが、この大災害を自らのことと受け止め、国民全体の連帯と分かち合いによって、復興を推進するものとする。

被災地域が循環型社会として復興するために、その地域の実情に対応した自然（再生可能）エネルギーによる地産地消のエネルギー拠点の形成が求められる。

3. 日本におけるバイオガスエネルギー生産のポテンシャル

(1) バイオマスのメタン発酵により供給可能なバイオガスエネルギーポテンシャルの算定

2007年度の廃棄物系バイオマスのうちで、下水汚泥、生ごみ、家畜排泄物の年間賦存量に対して、これらを全量メタン発酵することによる年間エネルギー回収ポテンシャルを表1のように算定すると、原油換算で376万kLが得られる⁴⁾。

これはわが国の年間原油輸入量2億4,900万kL（2005年度）の約1.5%に相当する量であり、膨大なエネルギーポテンシャルの存在を示している。

ちなみに、376万kLの原油を電力に換算すると、原油0.243Lからの発電量を1kwhとして（発電効率38%）、154億7,325万kwhの電力に相当する。

(2) 東京電力福島第1原子力発電所発電量との比較

1号機出力：46万kwに対して、

廃棄物系バイオマスのメタン発酵による総電力154億7,325万kwhの出力は、176万kwであるので、

$$176\text{万kw} / 46\text{万kw} = 3.8$$

1号機規模の原発約4基分に相当する巨大な電力が生産される。また、1世帯当たり0.4kwとすれば441万5,900世帯への電力供給潜在能力が示される。

ドイツでの2010年における約6,000か所のバイオガスプラントによる発電量は230万kwであるので、1号機規模の原発の5基分に相当する電力が、バイオマス

表1 廃棄物系バイオマスからのメタンガス生成量（ポテンシャル）原油換算

	年間発生量 (万トン)	バイオガス発生原単位 ($\text{m}^3/\text{トン}$)	メタン含有率 (%)	メタン生成量 (億 m^3)	原油換算* 万kL
家畜排せつ物	8,700	30	60	15.7	157
食品廃棄物	2,000	130	60	15.6	156
下水汚泥	7,500	14	60	6.3	63
合計	18,200			37.6	376

のメタン発酵により生産されている。

4. 復興地域のエネルギー拠点となり得るメタン発酵システム

(1) 日本におけるメタン発酵の普及の現状⁵⁾

下水道は、「循環のみち」として生活環境の保全はもとより、地球環境保全に対して特に大きな役割を担う時代となっている。下水汚泥は代表的な廃棄物系バイオマスであり、嫌気性消化によって生成されたバイオガスは、貴重な石油代替エネルギー資源である。また、コンポストとして緑農地利用されることによって、大地の豊かさを守ると共に、二酸化炭素を不活性な有機物として土中に埋設処分することが可能である。図1に示すように、日本における下水処理場数は、下水道整備の進捗によって毎年増え続け、2008年度末時点で2,120箇所であるが、そのうち汚泥処理に嫌気性消化法を採用している処理場は約280箇所（休止中を除く）であり、標準活性汚泥法を採用している処理場676箇所の41.4%の箇所で採用されており⁶⁾、ここ20年間は横ばい状態にある。また、処理水量規模が1万～5万m³/日の処理場では概ね50%の処理場で採用され、1万m³/日未満では10%と少ない⁶⁾。

1990年代の後半から、循環型社会の形成に対応する

廃棄物処理システムとして、厚生省（当時）により、し尿処理施設は地域の「汚泥再生処理センター」として新たに位置づけられ、メタン発酵・堆肥化などを含めた資源循環型システムの開発が求められるようになった。その結果、日本における生ごみメタン発酵処理プラントの建設は、平成9年（1997年）度から始まった「汚泥再生処理センター事業」において開始され、現在までに20箇所の汚泥再生センターが稼働している⁷⁾。

バイオマス・ニッポン総合戦略の推進のために、メタン発酵による廃棄物系バイオマスからのエネルギー回収が国策として推奨され、2005年度までに、食品工場廃水を対象とする44カ所、食品固形廃棄物を対象とする46カ所、家畜排せつ物を対象とする76カ所のメタン発酵施設が建設されている⁸⁾。

(2) 下水処理場における混合メタン発酵の意義⁸⁾

国土交通省は、既存の下水処理場の汚泥消化槽によって、多くのエネルギー生産を行うために、生ごみ、剪定枝および畜産排せつ物等のバイオマスを投入し、下水汚泥+他のバイオマスの混合メタン発酵（消化）によるバイオマス利活用事業を推進している。

下水処理場が、下水汚泥と地域で発生するバイオマスを受け入れて混合メタン発酵し、エネルギーを回

日本におけるメタン発酵施設
設置状況

	数
嫌気性消化法し尿処理場	66
消化槽を持つ下水処理場	280
汚泥再生センター	20
食品工場排水を対象	44
食品固形廃棄物を対象	46
畜産廃棄物を対象	76
総計	約600
(参考 ドイツのメタン発酵施設数)	約5,800



日本では、欧州と比較して特に畜産廃棄物からのエネルギー回収が進んでいない。

図1 日本におけるメタン発酵施設の現状

収・有効利用することで、地域の廃棄物処理コストを大幅に削減し、下水道が地域の低炭素社会および地産地消のエネルギー拠点となることができる。

混合メタン発酵においては、図2に示すように、下水汚泥やそれぞれのバイオマスを単独でメタン発酵を行う場合と比べて、物質分解における相乗効果が期待でき、バイオガス生成量の増大がもたらされる。下水汚泥中には、嫌気性細菌の増殖に必要な微量元素が豊富に存在することも、混合メタン発酵を行うことにより、他のバイオマス単独のメタン発酵の場合よりも、安定したメタン発酵が行われると考えられる。

さらにメタン発酵対象物のC/N比の調整も混合メタン発酵の効果である。バイオマス中の分解可能な炭素と窒素分の比率の最適C/N比=15~25とされている。C/N比が高いと菌の増殖に必要な窒素分が不足し分解作用が遅れる。例 乳牛ふん尿のC/N比 15~34であるが、分解困難な体毛、敷料を除くとC/N比25以下となる。配合飼料が多い乳牛ふん尿、厨芥、食用油、水産加工残さ、ヒトデ、ト場残さのC/N比は低い（窒素分が多い）ので、C/N比を改善するために、有機物を添加して調整することが望まれる。

1) LOUTUS プロジェクトによる検証⁸⁾

国土交通省は、混合消化の技術確立するために、2005年より3年間にわたって、財団法人下水道新技術推進機構において、LOTUS (Lead to Outstanding Technology for Utilization of Sludge)

Project、「下水汚泥資源化・先端技術誘導プロジェクト」を実施した。

①有機物分解率特性の検証

実証実験を行った生ごみ25%混合までは、下水汚泥および生ごみの消化が順調に行われ、それぞれに良好な処理が可能であることを確認した。さらに、生ごみの投入によってバイオガス発生量が倍増した。

②発電コストの試算

開発目標：9.3円/kWh（07年全国買電平均単価：高圧B）以下に対して、3.4円/kWh~5.0円/kWhの優れた結果を得た。

③エネルギー化技術ガイドライン（混合消化マニュアル）（案）⁸⁾の作成。

2) 混合消化の最初の事業：珠州市浄化センターバイオマスメタン発酵施設

2007年8月、石川県珠州市浄化センターでは、国土交通省からの新世代下水道支援事業制度リサイクル推進事業並びに環境省からの循環型社会形成推進交付金事業により、下水汚泥、農業集落排水汚泥、浄化槽汚泥、生し尿および事業系廃棄物（生ごみ、魚アラ等）5種類を対象としたバイオマスメタン発酵が開始された。

発生したメタンガスをエネルギーとして処理場内で全て活用するとともに、処理の最終過程で発生する消化汚泥を乾燥・肥料化（為五郎の愛称で人気）

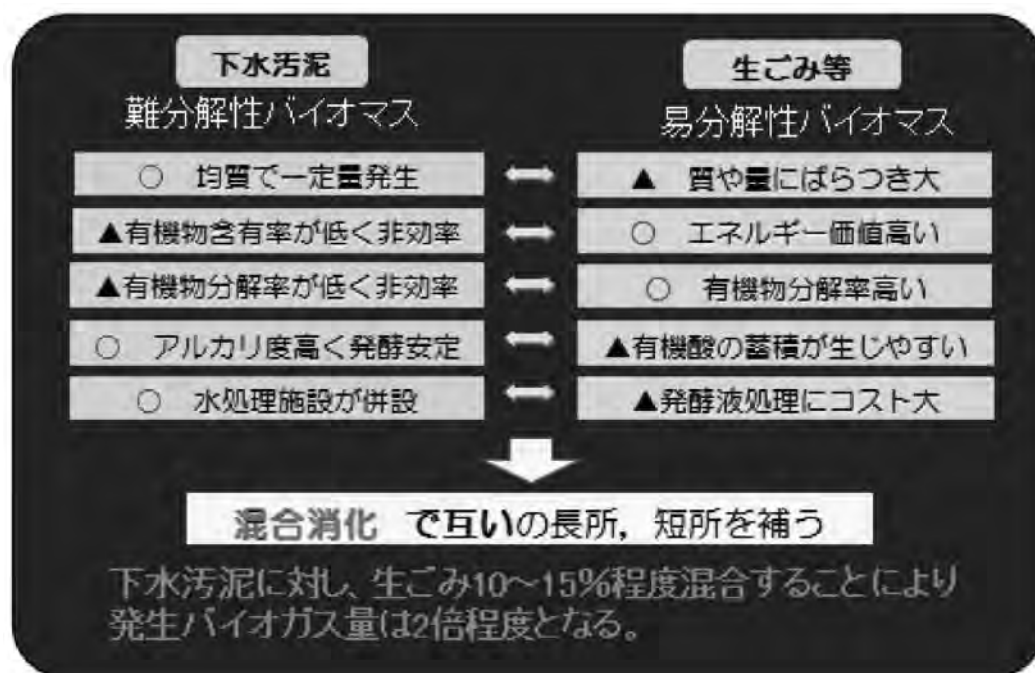


図2 混合消化を行うメリット

し、農業利用に役立て、地域循環型社会形成の推進及び地球温暖化防止に大きく貢献するとともに、コスト削減においては、本施設の導入により、各バイオマス削減、2) 温室効果ガス排出量1日当たり290kg削減(CO₂換算)の効果が見込まれている。

3) 北海道北広島市バイオマス混合処理施設

下水汚泥：131トン/日、生ごみ：17トン/日、し尿・浄化槽汚泥40トン/日の混合メタン発酵を行い、バイオガスは、消化タンクの加温や乾燥機の燃料として処理場内ですべて活用する。消化汚泥は、緑農地還元を基本とし、地域で肥料として有効利用する。2011年4月から家庭系生ごみの受入れを開始し、8月からは事業系生ごみの受入れが開始された。下水汚泥消化槽に家庭系生ごみを受入れる事業は、北広島市が初めてである⁹⁾。

4) 富山県黒部市下水道バイオマス利活用施設

下水汚泥：24,346m³/年、農業集落排水汚泥：1,084 m³/年、浄化槽汚泥：134 m³/年、デイスポーザ生ごみ：688 m³/年、コーヒー粕：2884 m³/年の混合メタン発酵を行い、バイオガスはボイラーに供給して汚泥の乾燥に利用する。残りのバイオガス

は、マイクロガスタービンの燃料とし、発電した電力は場内で利用する。ガスタービンの廃熱は、消化タンクの加温に使い、乾燥汚泥は、事業者が石炭代替燃料として売却する。施設の大きな特徴は、化石燃料を用いず、バイオマスエネルギーだけで汚泥を乾燥燃料化する自己完結型のシステムである。コーヒー粕は、すりつぶすことにより、1トン当たり2,000m³のバイオガスを発生させることができ、下水汚泥に比べて、約10倍の発生量が期待できる。2011年5月より稼動を開始している。バイオガスにより造られた温水で、見学者は“ばいおーゆ”という親しみやすい愛称の足湯を楽しむことができる。

5) 下水処理場を核とした地域バイオマス利活用構想

山形市浄化センターでは、下水汚泥を消化槽によって処理し、発生したバイオガスをガスエンジンおよび燃料電池によって発電し、処理場の総電力の61.6%の電力をバイオガス発電から供給している¹⁰⁾。発電によって生ずる排熱は、消化槽の加温に用いられ、コージェネレーションを行っている。消化汚泥は脱水ケーキにされ、西明石コンポストセンターでコンポスト化されている。消化汚泥のコンポスト化は、悪臭の発生がきわめて低く疫学的にも安全度が

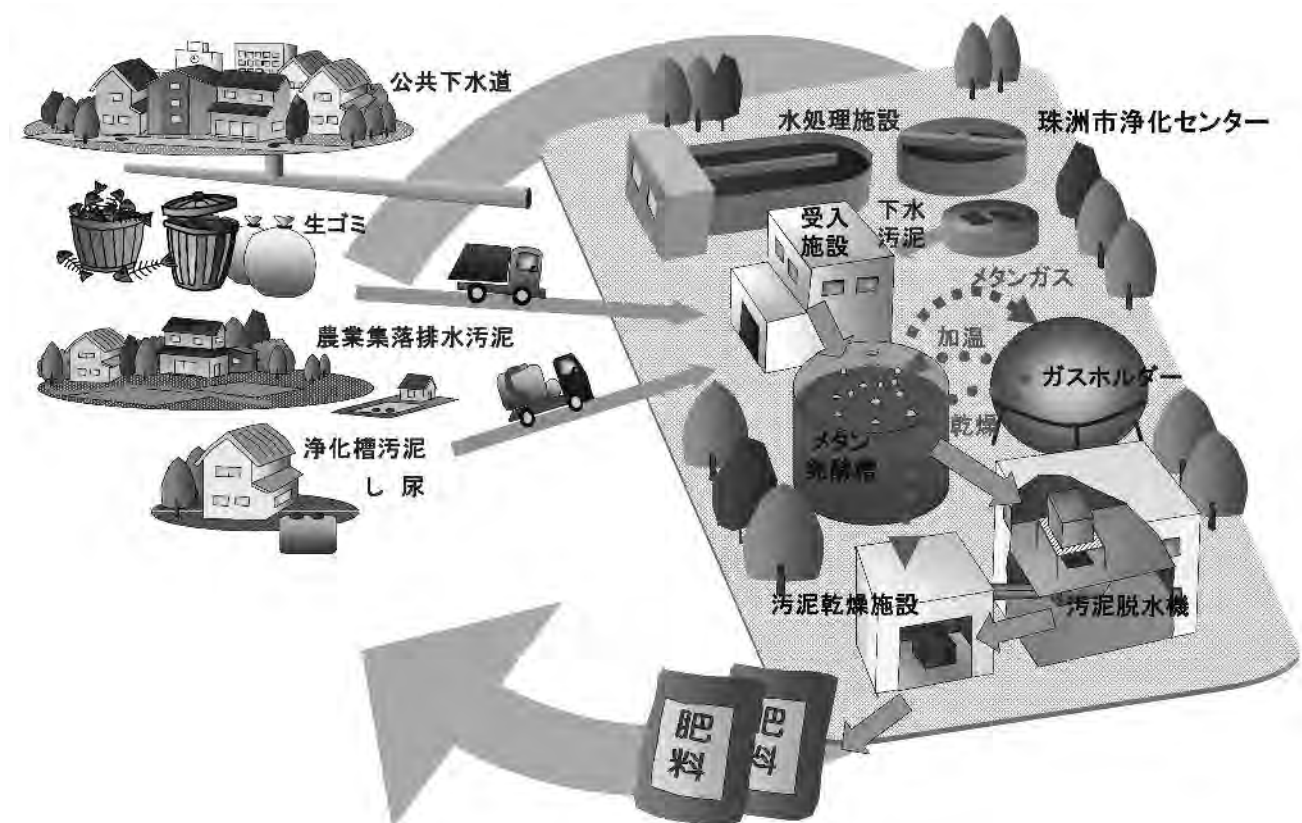


図3 珠洲市浄化センターバイオマスメタン発酵施設

高く、コンポスト製造期間が短縮化される。生産されたコンポストは、「山形コンポスト」の名称で農業利用され人気が高い¹¹⁾。表2は、消化ガス発電による最新の電力自給率を示している。従来、下水汚泥の嫌気性消化によって生成されるバイオガス発電によって回収される電力は、下水処理場総電力の30%程度であった¹²⁾が、山形市浄化センターにおける類い稀な努力によって、61%を超える電力の自給率を得ていることは、目覚ましい成果である。嫌気性消化の導入によって、市の財政の上でも、また、CO₂削減の上でも、どれほど大きな恩恵を与えられているか測り知れないことである。図4は、山形市下水処理場を核とする地域バイオマス利活用構想を示している。これによれば、山形市浄化センターの場合は下水汚泥単独のメタン発酵であるが、1)～4)の実例のように、その他のバイオマスも受入れて混合メタン発酵を行うことにより、エネルギー生産と物質循環のために果たす役割はさらに大きくなる。かくして、下水処理場を中心とした循環型社会が当該都市において形成される。

(3) 地域分散型小規模簡易型メタン発酵システム

東日本大震災における原発事故による電力不足、やがて必ず到来する化石資源エネルギーの枯渇に対して、これまで安易に焼却処分してきた生ごみなどのバイオマスをエネルギー資源として有効利用する時に至っている。

そのために、地域ごとにバイオマスメタン発酵施設を設置し、自然災害の非常時にも電力・エネルギーを地域に供給できるその地域の地産地消型のエネルギー拠点とするべきである。

さらに、地域分散型小規模メタン発酵施設は、震災復興後の地域の実情に即した、施設費の安価で維持管理の容易な普及しやすいものが願わしい。

1) 農村地域型小規模メタン発酵施設 (JARUS)¹³⁾

農村地域の生活排水処理を行う農業集落排水処理施設 (集排施設) は、現在、全国に約5,200箇所建設されている。農村地域でのバイオマス利活用のためには、数多く存在する集排施設とバイオマス利活用施設 (メタン発酵施設) の連携により、以下に示

表2 消化ガス発電による山形市浄化センターの電力自給率¹⁰⁾

消化ガス発生量	4,823 m ³ /日
消費電力量	13,707 kWh/日
ガス発電電力量	8,441 kWh/日
電力自給率	61.6%

(H23年5月)



図4 下水処理場を核とする地域バイオマス利活用構想

す利点が考えられる。

- ①地産地消型のエネルギー拠点となり得る。
- ②既存の集排施設に隣接するメタン発酵施設は、建設用地の取得が比較的容易であり、維持管理の上で、既存の集排施設の管理組合等の協力が得やすい。
- ③メタン発酵により、生成する余剰な電気・熱エネルギーを集排施設に供給することにより、経済効果が期待できる。

図6に示されるように、農業集落排水処理施設にメタン発酵施設を併設し、その地域の水循環およびバイオマス循環の拠点とすることができる。

2) メタン発酵を基幹施設とするバイオマスタウン

図7は、メタン発酵を基幹施設とするバイオマスタウンのイメージを示している。ここでは、地域社会から排出される浄化槽汚泥・汲取りし尿、生ごみ・食品残渣および家畜排せつ物などのバイオマスは、全てメタン発酵・堆肥化施設に運ばれ処理される。ここで生産されたバイオガスはこの地域でエネルギーとして利用され、液肥および堆肥は有機肥料として農業利用され、いわば地産・地消のエネルギーおよび肥料の生産および循環利用が行われる。このようにして、この地域に循環

型社会が実現される。

3) 福岡県大木町に実現したバイオマスタウン¹⁴⁾

福岡県大木町は、わが国において最初に実現したメタン発酵を基幹施設とするバイオマスタウンである。大木町では、長年にわたり、し尿・浄化槽汚泥の処理は海洋投棄に頼っていたが、2007年2月から国際条約により海洋投棄が禁止されるため、陸上処理施設の建設を迫られていた。行政担当者はじめ町民の方々の地球環境問題に対する関心が高く、それまでの焼却を主とする安易なごみ処理を止める結論に至った。

そのため、一方、町内の生ごみをメタン発酵により資源化するための共同研究には、すでに2001年度から取組んできており、生ごみと一緒にし尿・浄化槽汚泥をメタン発酵により資源化する計画を具体化することになった。しかし、生ごみとし尿・浄化槽汚泥をメタン発酵により直接資源化する方法は、当時、全国でも実績が少なく、メタン発酵の技術的な問題や廃棄物処理法および国の補助制度など、いくつかの課題があったが、おりしも、2002年にはバイオマス・ニッポン総合戦略の施策が開始され、さらにバイオマスの資源利用に対する機運が整い、国や関係機関の支援を受けることが可能となり、おおき

ー最通システム検討の上で農業集落排水施設の連携という1つの選択肢(6つのメリット)ー

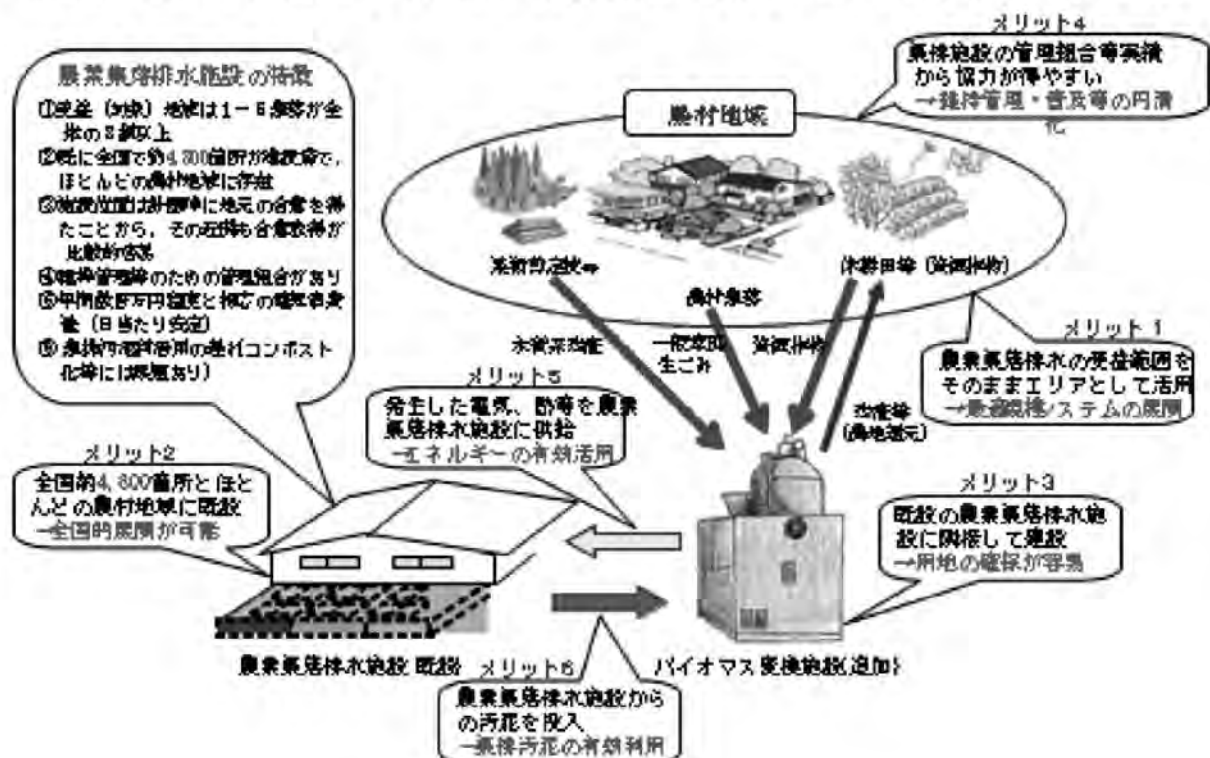


図5 既存の農業集落排水施設と連携した新たなバイオマス変換システム¹³⁾

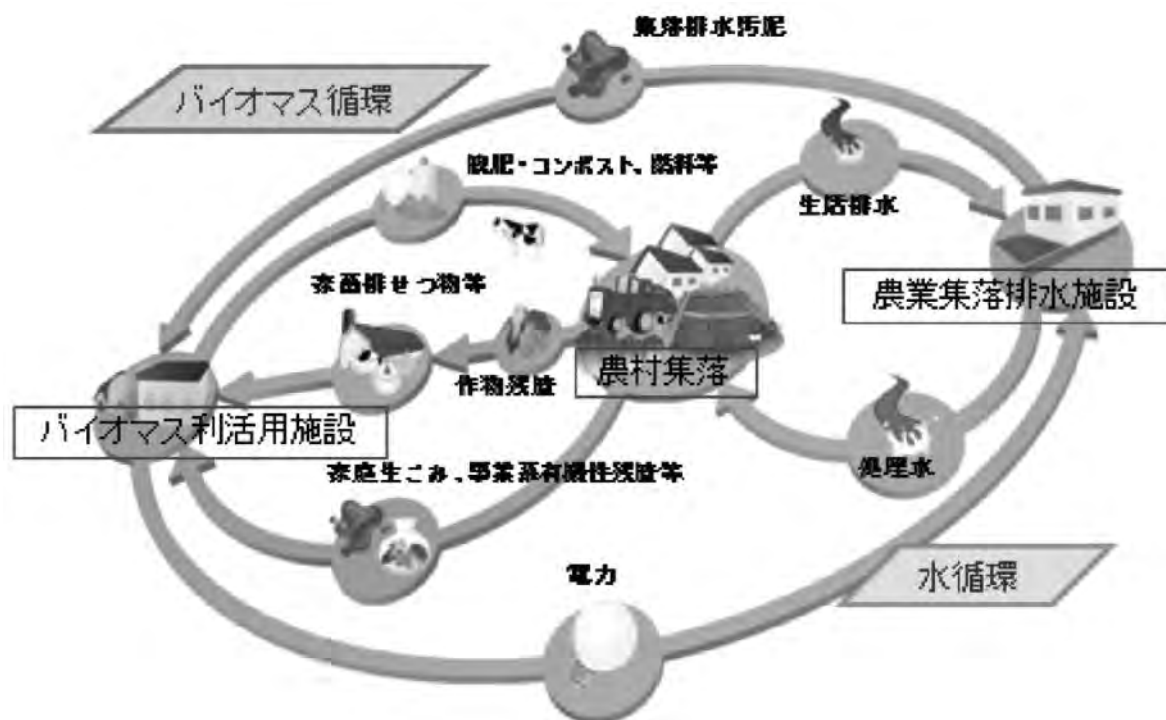


図6 農村地域の水循環とバイオマス循環

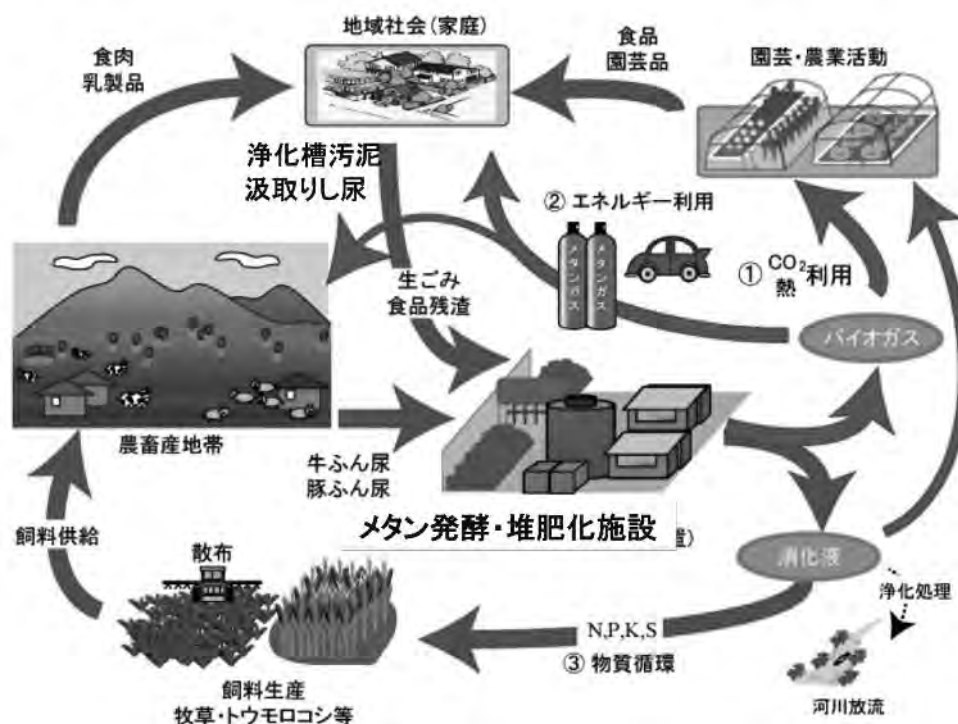


図7 メタン発酵を基幹施設とするバイオマスタウン

循環センター“くるるん”の建設計画がついに実現することになった。生ごみの分別によって、焼却ごみの量は44%も減少したことは著しい成果である。町民の方々の“くるるん”に対する熱意と協力は著しく、“大木町もったいない宣言—子供達の未来が危

ない”のスローガンのもとで、3カ条の宣言が公表されるほどに、全町民は、地球環境問題の解決に対する熱意にみちている。

2006年11月より、図8に示すように、メタン発酵施設“くるるん”において、町内から発生する全て

の生ごみ：3.8t/日、浄化槽汚泥30.6t/日、し尿：7.0t/日を中温メタン発酵することにより、消化液は約6,000t/年生成され、液肥として水稻、麦作に利用し、“環のめぐみ”の名称のブランド米85t/年が生産されている。大木町は農業が中心の地域であり、メタン発酵施設は、廃棄物処理施設あるいはエネルギー生産施設というよりも、むしろ液肥を生産する施設と位置づけられている。化学肥料が高騰している今日、農家にとって大きな恩恵である。水処理設備が不要であり、施設の電力も自家製造したエネルギーで自給されるので、維持管理費用を抑えることができる。

“おおき循環センターくるるん”は、バイオマスタウン構想のみでなく、大木町の循環のまちづくりの象徴と位置付けられており、町の中心部に確保された2ヘクタールほどの土地に建設されている。“くるるん”は、あくまで地域資源としてバイオマスを活用する施設であり、本当の意味で循環の中核施設であることを町民の方々に浸透させたいとの意図に基づいたものといえる。また、同施設で生産された液肥を使用した地元産の農作物の直売所の併設も進められ、安全な農作物を地域に還元する地産地消をめざしている。

図9に示されるように、大木町においては、メ

タン発酵を基幹施設として、生ごみ、し尿・浄化槽汚泥等のバイオマスが地域資源として循環利活用され、循環型社会が形成されている。

4) 埼玉県小川町における生ごみ資源化事業¹⁵⁾

小川町は埼玉県のほぼ中央に位置し、面積：60.45km²、人口：36,264人、世帯数：12,660世帯の農業地域である。ここでは、特定非営利活動法人小川町風土活用センター（NPOふうど）を中心に、1992年より農家を対象にバイオガスプラントの建設・運転や生産される副産物の肥料の利用試験を行っている。2001年より、それらの経験を生かして小川町並びに地域住民との協働で、生ごみをバイオガスプラントで資源化する実証事業を行っている。

現在焼却している生ごみを資源化することによって、焼却の補助燃料が大幅に節減され、得られた差益は、「生ごみクーポン券」という地域通貨として、生ごみ分別に協力した世帯に還元されている。焼却処理費用は32円/kg、一方バイオガスプラントでの資源化費用は12円/kgなので、20円/kgがクーポン分となる。生ごみを提供する世帯は、代わりにこのクーポンを受け取り、年2回開かれる野菜交換会で地元野菜と交換できる。農家はクーポンを町に渡し、相当の円貨を受け取るしくみである。

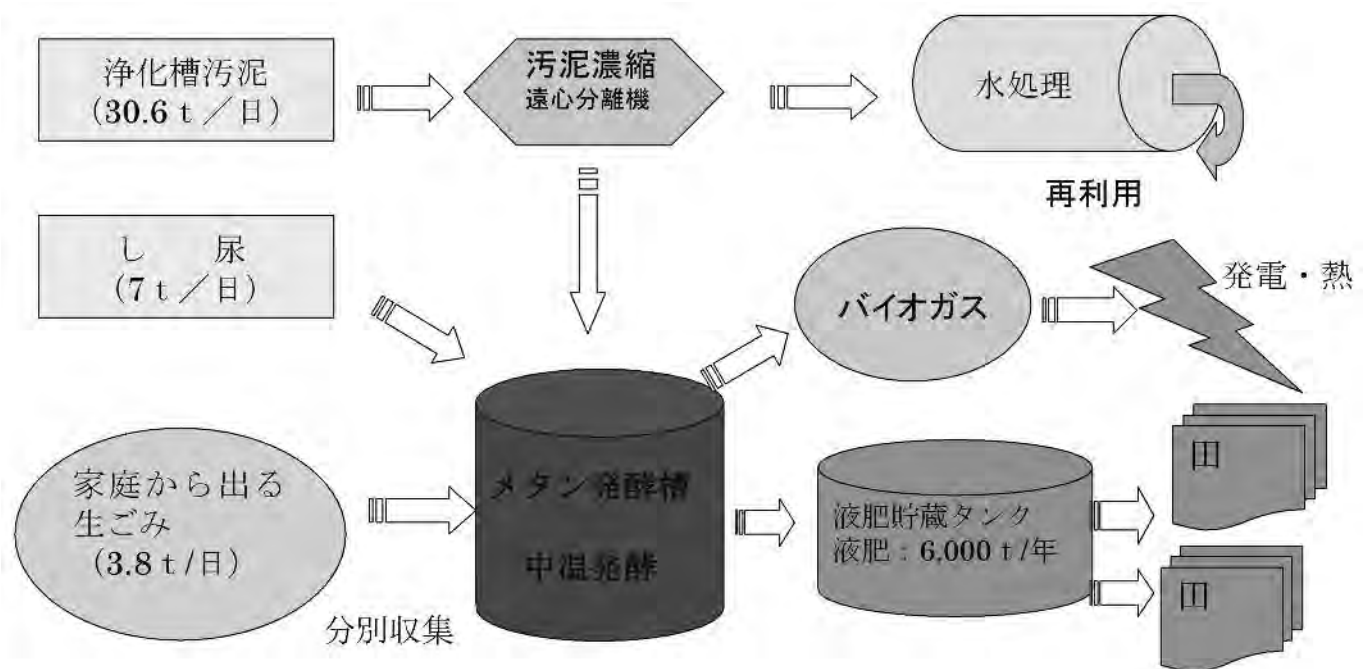


図8 おおき循環センター“くるるん”のバイオガスシステムのフローシート

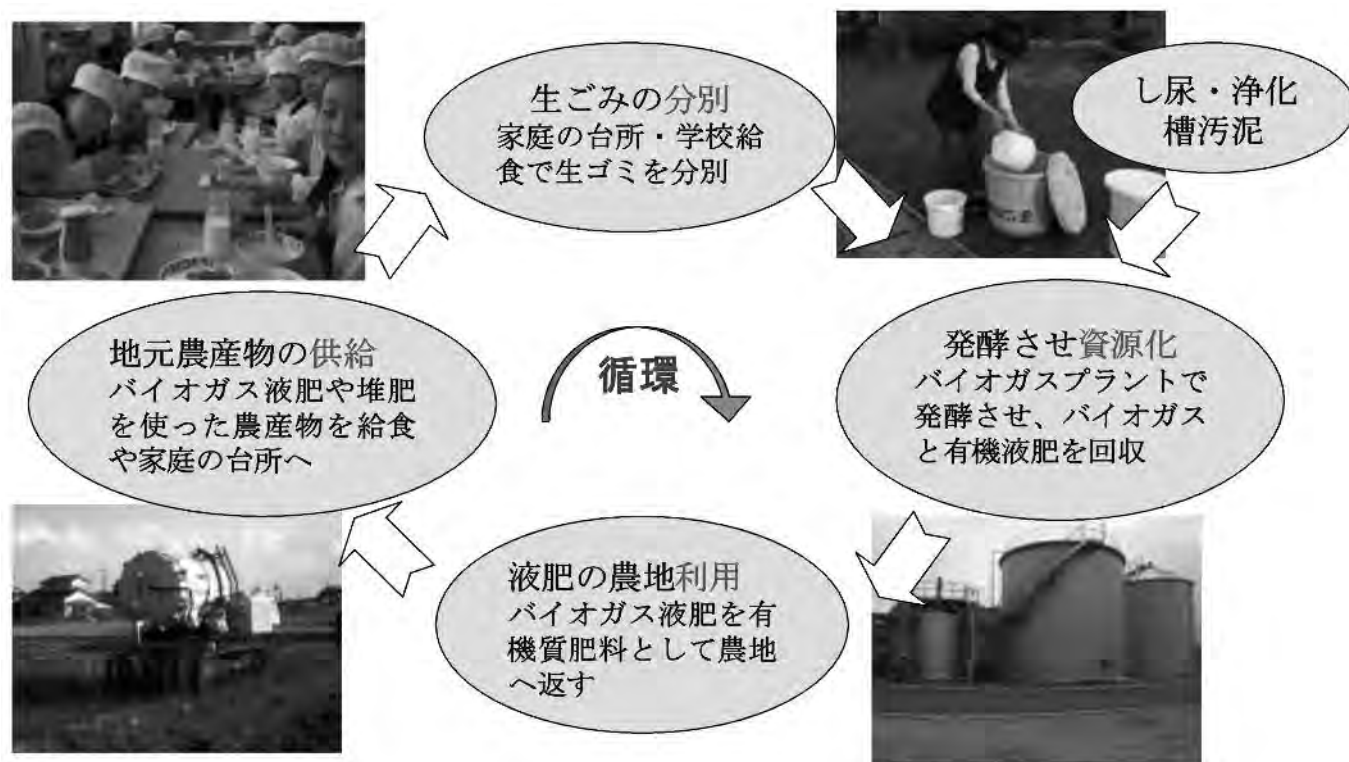


図9 輪をつなぐ協働のしくみ

小川町の生ごみ発生総量は年間1,600トンなので、最大約3000万円相当が通貨原資に振替られると考えられている。バイオガス発生可能量はおよそ490m³/日、生産される液肥は9,800m³/年。小川町の全水田面積に施肥可能である。

2011年7月現在、小川町学校給食センター（小中学校向け）からの野菜くずと残飯のほぼ全量（2,000食/日）、および一般家庭100世帯の生ごみの2種類が収集されており、一般家庭数に換算すると300世帯程度に相当する。地元の自然エネルギー技術と「地域の生ごみ」を使って、エネルギー生産や農業と町おこしに取り組んでいる。メタン発酵施設は、建屋を含めてすべて参加住民の手造りであり、総建設費は800万円で、参加住民の出資と銀行融資によるものであり、外部からの補助金を全く受けていない。施設は順調に稼動し、液肥の生産、ガスを使ったホンダ技研とのコジェネ発電実験も継続中である。この事業の特長は、「資源化事業」を行っているバイオガスプラントでのお泊り体験コースで、全国から参加者が集まっている。

図11は、参加住民の手造りによるメタン発酵施設と液肥貯留施設である。メタン発酵温度は35℃、滞留日数は約100日である。維持管理はすべて参加住民の手で行い、生ごみの収集は小川町が担当し

ている。

筆者は、2011年7月、この施設を見学する機会に恵まれ、農家の方々の手造りによる全施設とメタン発酵装置・液肥貯留槽の維持管理をご自分たちの手で行ってられる貴重な様子を学ぶことができ、メタン発酵が農村地域の人々の生活と活動を支えるために、如何になくなくてはならない基幹施設であるかを強く知らされた。

5) エネルギー自給による有機農場経営¹⁶⁾

埼玉県小川町霜里農場（金子美登場長）では、40年間にわたって有機農業を確立し、世界40か国からの研修生を受け入れ、世界中で霜里農場方式の有機農業が実践されている。さらに、太陽光やバイオマスを利用し、農業から生活までエネルギーの自給を行っている。生ごみや糞尿はバイオガスという自然エネルギーとして生かされ、ウシ2頭（ブタなら8頭、ニワトリなら280羽、人間なら40人）で、1日2立方メートルものガスがとれ、家族五人分の生活をまかなえろとし、図12に示す地下埋設式無加温無攪拌のメタン発酵槽により、バイオガスと液肥の生産を行い、自家のエネルギー源および有機肥料に用いている。中国の農村には、2010年に4,000万基の自家用メタン発酵槽が普及している¹⁷⁾が、わが国

においても、霜里農場で見られている。メタン発酵が、これほど簡易な装置で、誰にも容易に操作可能な施設であることを実証するものである。筆者は、2011年11月12日に霜里農場を見学し、有機農業の重要性和自然エネルギーによる農場経営の素晴らしさを目の当りに学ばせていただいた。

6) わが国における埋立処分場からのバイオガス生産

わが国の一般廃棄物の排出および処分状況（2009年度）は、以下のようである。

- ①ごみ総排出量：4,625万トン（東京ドームの約124杯分）
- ②調査対象市町村：1,750市町村と597一部事務組合
- ③ごみ焼却施設数：1,243 施設
- ④処理能力：186,205トン/日
- ⑤一般廃棄物最終処分場数：1,800施設
- ⑥最終処分量：507万トン、処理後処分量435万トン、直接処分量72万トン

即ち、年間72万トンの生ゴミが直接埋立てられており、故に、埋立地より発生するガスを吸引しバイオガスの燃料化や発電する方法があるといえる。

わが国では、ランドフィルバイオガス施設は一か所、東京都中央防波堤内側埋立地ガス有効利用施設がある。ガス発電設備は、1986年12月に中央防波堤

内側埋立地に建設され、以来、現在に至るまで埋立地内の施設・設備に電力を供給している。

内側埋立地は、1986年度に埋立終了した。途中、設備移設及びエンジン方式の変更等のためフル稼働しなかった時期を除いても、年々ランドフィルガス中のメタンガスは減少しており、発電量は減少傾向にある。また、2006年2月下旬からマイクロガスタービンエンジンによる発電方式に変更した¹⁸⁾。

すでに、下水汚泥や生ごみの埋立処分を行ってきた処分場から、今も、メタンガスが発生し大気中に放散され、地球温暖化の原因となっていることが考えられる。すでに埋立て処分を終えた処分場を、ランドフィルバイオガス施設として有効利用可能かの調査が必要とされる。

北海道大学大学院工学研究室循環計画システム研究室（古市研究室）神尾英俊氏は、20年以上にわたって厨芥等の有機物の埋立てを行ってきた北海道の北部のA市における実際の最終処分場から採取した試料の回分実験を行い、長期メタンガスの発生の原因となる廃棄物種を特定し、メタンガス発生ポテンシャルの時系列解析により、今後、処分場から排出されるメタンガス発生量の推定を行っている。メタン発生量をCO₂に換算して、A市の年間の総CO₂発生量の2.9%にするメタンガスが最終処分場から発

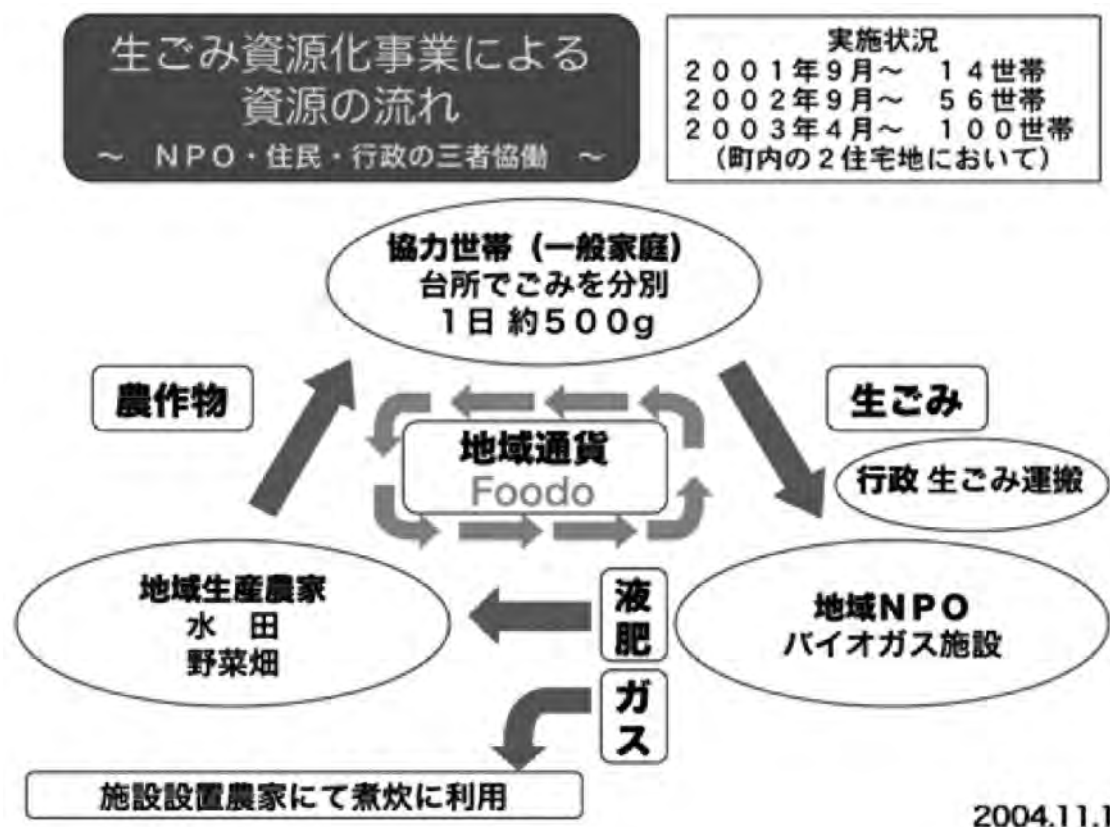


図10 小川町における生ごみ資源化事業¹⁵⁾



図11 メタン発酵施設（右の建屋）と液肥貯留施設（左の白いドーム）

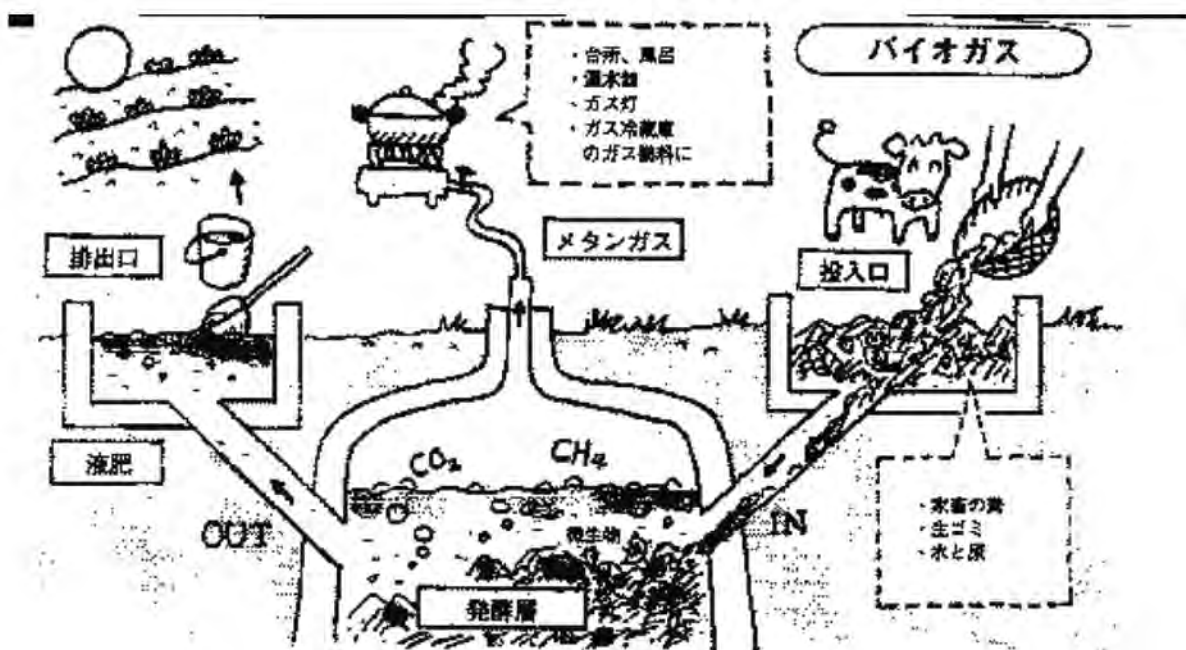


図12 バイオガス施設のしくみ

生している推定値を得ている¹⁹⁾。

すでに埋立て処分を終えた処分場を、ランドフィルバイオガス施設として有効利用可能かの調査が必要とされる。

放射性物質を含む下水汚泥や有機性廃棄物を管理型処分場に埋立処分し、やがてメタン発酵によるバイオガスを生産するランドフィルバイオガス施設として活用する方法が有望であると考えられる。

なお、ランドフィルバイオガスの有効利用として、平常時は、ガスボンベに充填して、一般家庭の燃料として供給する非常時は、発電し、その地域に電力を供給する。等の在り方が上げられる。

韓国では約20カ所、米国では約450カ所のランドフィルガス（略LFG）の回収設備が建設され、EU諸国ことに英国ではバイオガス生産量の85%は、ランドフィルガス（略LFG）が占めている²⁰⁾。回収さ

れたガスは発電等々に有効利用されている。各国では更に増設・新設を予定していると聞いている。

図13は、韓国釜山市郊外の環境資源公園にあるランドフィルバイオガス施設である。

わが国では、再生可能エネルギーとしてのバイオガスの有効性を早急に考える必要がある。再生可能エネルギーの確保ということから、ランドフィルバイオガス施設が有効な方法と考えられる。

5. 放射性物質を含むバイオマスのメタン発酵および塩害の農地の利用に対するメタン発酵の役割

津波により処理機能を失った下水処理場では、当面、沈殿・消毒後、無処理で放流されており、下水汚泥の処分先が求められている。さらに、放射性物質を含む汚泥の処理処分が問題となっている。

また、塩害により農作物の栽培が困難な農地の利用について、メタン発酵による対処のあり方について考えたい。

- (1) 放射性物質を含む下水汚泥や有機性廃棄物を管理型処分場に埋立処分し、やがてメタン発酵によるバイオガスを生産するランドフィルバイオガス施設として活用する方法が有望であると考えられる。
- (2) 放射性物質で汚染されたバイオマスのメタン発酵を行い、バイオガスを生産し有効利用するとともに、消化液を脱水し、放射性物質が脱水ケーキおよびろ液にどの程度残留するかについて実験により検討する。放射性物質が脱水ケーキに留まり、ろ液には含有しないことが確認できれば、減量化された脱水ケーキを貯留することによって、メタン発酵槽はバイオマス中の放射性物質を除去する新たな機能を有することになる。
- (3) 津波による塩害の農地は、宮城県・岩手県全体で、23,600haに達している。かつては、美しい水稲が見事に生育していた水田は、現在、うず高い雑草が生い茂り、広大な耕作放棄地となっている。

このような塩害の農地にも、メタン発酵に適する資源作物を栽培することができれば、(もちろん農家の方々が農業を再開された後に)、メタン発酵によりエネルギー生産を行うことが可能となる。

ドイツは、世界で最もメタン発酵の盛んな国であり、2010年にはメタン発酵施設数は6,000箇所にも達しており、日本の10倍である。大部分は、資源作物のトウモロコシを液肥で栽培し、サイレージしたものをメタン発酵している。ドイツのバイオガスによる電力

生産は、230万kwであり、前述したように、福島原発1号機の5基分に相当する。

図14は、ドイツの農村で見られるトウモロコシに囲まれたメタン発酵施設を示している。

6. おわりに

- (1) 復興される被災地の新しい社会形態として、その地域のエネルギーは、再生可能エネルギーが重要な役割を担う循環型社会の実現を目指すべきである。
- (2) わが国には、メタン発酵の原料となる豊富な量の廃棄物バイオマスが、私達の周辺に常時排出されている。これらをメタン発酵することにより、バイオガスエネルギーを確実に生産することができる。また、消化液は安心安全な液肥として、化学肥料に代替することができる。
- (3) 復興後の被災地域における公共下水道下水処理場および農業集落排水処理場に、メタン発酵施設を設置し、下水汚泥とその他のバイオマスの混合メタン発酵を行うことにより、その地域の地産・地消のエネルギー拠点となることができる。
- (4) 原発事故により、わが国では、再生可能エネルギーの重要性が強く認識されている。太陽光・風力発電だけでなく、むしろこれまで焼却処分されてきた生ごみ・下水汚泥および直接堆肥化されてきた家畜排せつ物等の全ての廃棄物系バイオマスに対してメタン発酵を行い、より多くのバイオガスエネルギーを生産して行くべきである。
- (5) より多くの再生可能エネルギーが求められる今日、わが国ではこれまで顧みられてこなかったランドフィルバイオガス生産の可能な廃棄物処分場



図13 韓国釜山市環境資源公園にあるランドフィルバイオガス施設



図14 資源作物のとうもろこしのメタン発酵によるバイオガスの大量生産²⁰⁾

の調査を行い、エネルギー生産に着手すべきである。

- (6) メタン発酵は、放射性物質を含有するバイオマスからのエネルギー生産に加えて、放射性物質を発酵残渣に濃縮する機能を有すると考えられ、メタン発酵の新たな機能として検討すべきである。
- (7) メタン発酵の普及のためには、施設建設費が安価で、市町村民の方々自身にも操作可能な、地域分散型・小規模簡易型のメタン発酵システムの普及を進めることも重要である。

引用文献

- 1) インターネット：“東日本大震災—Wikipedia”
ja.wikipedia.org/wiki/
- 2) インターネット：“下水道関係の被害及び応急復旧状況と取組状況”
www.mlit.go.jp/common/000138622.pdf
- 3) インターネット：福島第一原子力発電所事故—Wikipedia
ja.wikipedia.org/wiki/
- 4) 野池達也編、メタン発酵、pp.203-204、技報堂出版、2009
- 5) (社)日本有機資源協会、バイオガス化マニュアル、pp.135-155、2006
- 6) 社団法人日本下水道協会、日本の下水道、p.18、2010
- 7) 4) とおなじ、pp.14-15
- 8) 財団法人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）受入れマニュアル（案）、2011
- 9) 北広島下水処理センター、フォーカス：下水処理場での生ごみの受け入れ、環境施設、NO.125、pp.64-69、2011
- 10) 奥出晃一、山形市浄化センター未発表資料
- 11) 奥出晃一、山形市浄化センターにおけるバイオマス資源の有効利用と温室効果ガスの排出抑制、第45回下水道研究発表会パネルディスカッション講演資料、2008
- 12) 佐藤和明、下水汚泥嫌気性消化法の機能改善に関する研究、東京大学学位論文、p.50、1987
- 13) 社団法人地域資源循環技術センター、農村地域向け小規模メタン発酵システム技術マニュアル（案）、2011
- 14) 野池達也、バイオマス施設訪問記—メタン発酵を基幹施設とする福岡県大木町おき循環センターくるるん、用水と廃水、Vol.33, No.123, pp.74-84、2009
- 15) インターネット：“NPOふうと”、
www.foodo.org/
- 16) インターネット：“霜里農場”、
www.knet.ne.jp/~simosato/
- 17) 小林拓朗、徐開欽、李玉友、中国農村地帯における家庭用バイオガス施設の現況、用水と廃水、Vol.3, No.9, pp.707-717, 2011
- 18) 財団法人エンジニアリング振興協会、平成22年度地下管理型処理施設のバイオガス有効活用に関する調査研究報告書、2011
- 19) 神尾英俊、埋立て時期を特定した廃棄物の時系列分析によるメタン発生量の経時変化の推定、環、pp.97-105、2011
- 20) インターネット：“バイオガス・バロメータ2010”、www.nedo.go.jp/content/100120690.pdf

特集：第24回下水汚泥の有効利用に関するセミナー特集

解 説

神戸市における下水汚泥の有効利用
と今後の取り組み

神戸市建設局下水道河川部計画課 課長 山 地 健 二

キーワード：下水汚泥焼却灰、アスファルトフィラー、汚泥処理・処分、消化ガス、こうべバイオガス、都市ガス導管注入

1. はじめに

神戸市の下水道は、慶応3年（1868年）の兵庫開港にともなって外国人居留地に整備された煉瓦造りの下水道に端を発する。当時の下水道は、総延長が1,890m、幹線には神戸付近で焼成されたレンガが使用され、明治5年（1872年）に完成した。なお、この施設の一部は現在でも公共下水道の雨水管として機能している。

その後、市制を施行した明治22年（1889年）から昭和初期にかけて人口が増加し、急増する下水及びし尿処理が問題となった。また数回にわたってコレラが発生するなど衛生上の問題も発生し、国際港湾都市として本格的な下水道整備の必要性が高まった。

このような状況の中、神戸市では下水道先進国である欧米の視察を行うとともに、久保赳氏（元建設省下水道部長）らが中心となって市域全域での調査・測量などを実施し、分流式下水道の計画を立案したが、財政窮乏のため実施には至らなかった。

しかしながら、終戦後の混乱も収まりかけた昭和25年（1950年）、水道局に下水道課が復活し、ようやく神戸市でも本格的な下水道の建設が開始されることとなった。

昭和26年（1951年）から始まった第1期下水道事業では、将来のエネルギー利用にも着目し、当時としては先進的な分流式下水道を採用した。また、昭和33年（1958年）に本市で最初に稼動した中部処理場には、現在の汚泥消化のルーツとも言えるし尿処理を対象とした消化槽を設置した。（図-1参照）

事業開始当初は、管渠が整備されてもなかなか水洗化が進まなかったことから、当時の宮崎辰雄市長は昭和45年（1970年）に下水道整備を市の重点施策に位置づけ、昭和51年度末に既成市街地6,639haを100%水洗化することを目標に掲げた。目標達成に向け、下水道局では「ロクロクサンキュー」を合言葉に整備を進め、年間200kmを超える管渠整備を実施した（図-2参照）。

2. 下水汚泥の処理・処分問題

下水道整備が急ピッチで進行したことで普及率は飛躍的に向上したが、一方で下水汚泥量が急増し陸上埋立地が逼迫するなど新たな問題が発生した。そのため神戸市では昭和56年（1981年）に下水道局内に汚泥対策室を設けて長期的に安定した処理処分方法を検討した。その結果、焼却・埋め立ての方法が最適であると結論付け、昭和61年（1986年）に汚泥を焼却・減量化

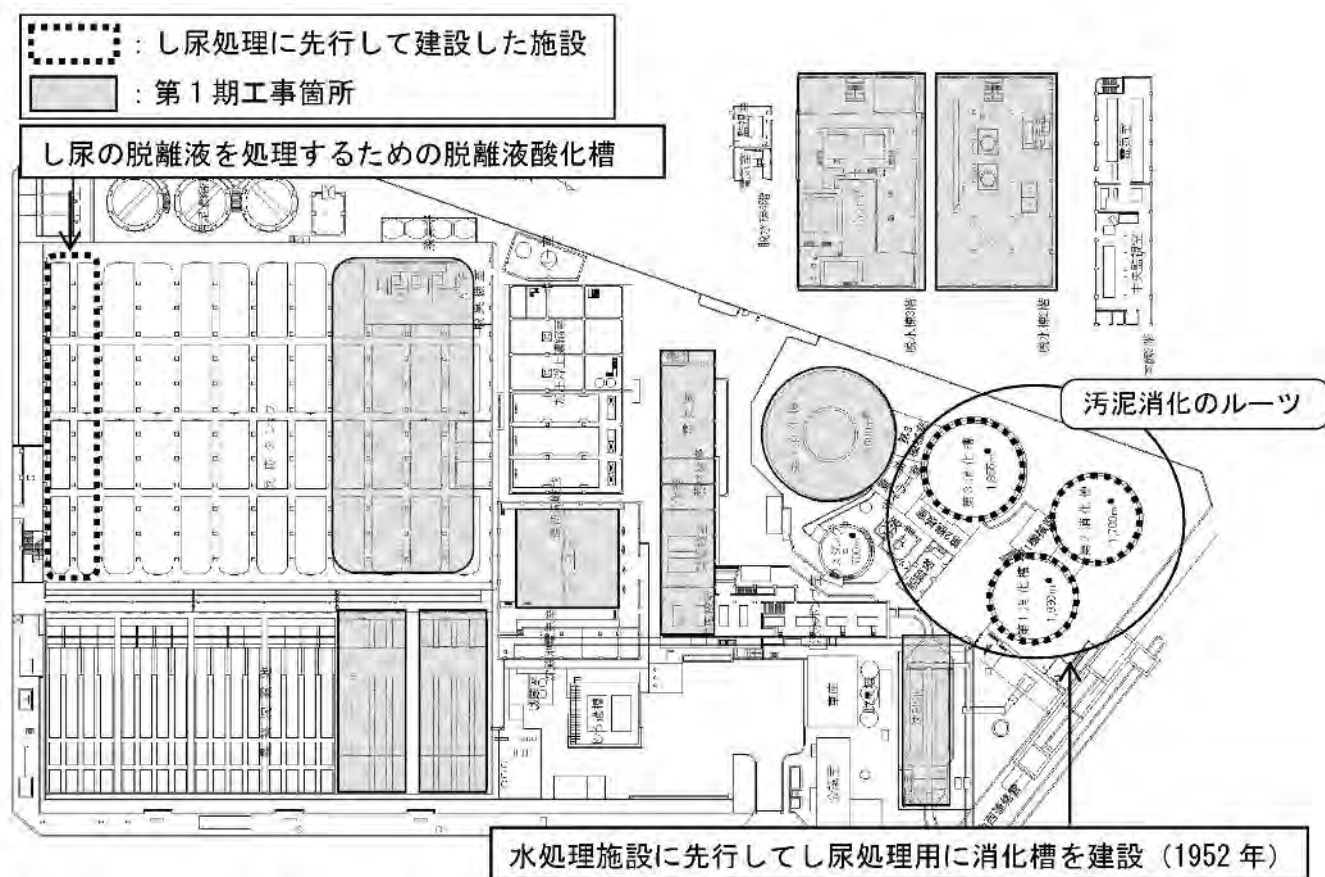


図-1 中部処理場の建設

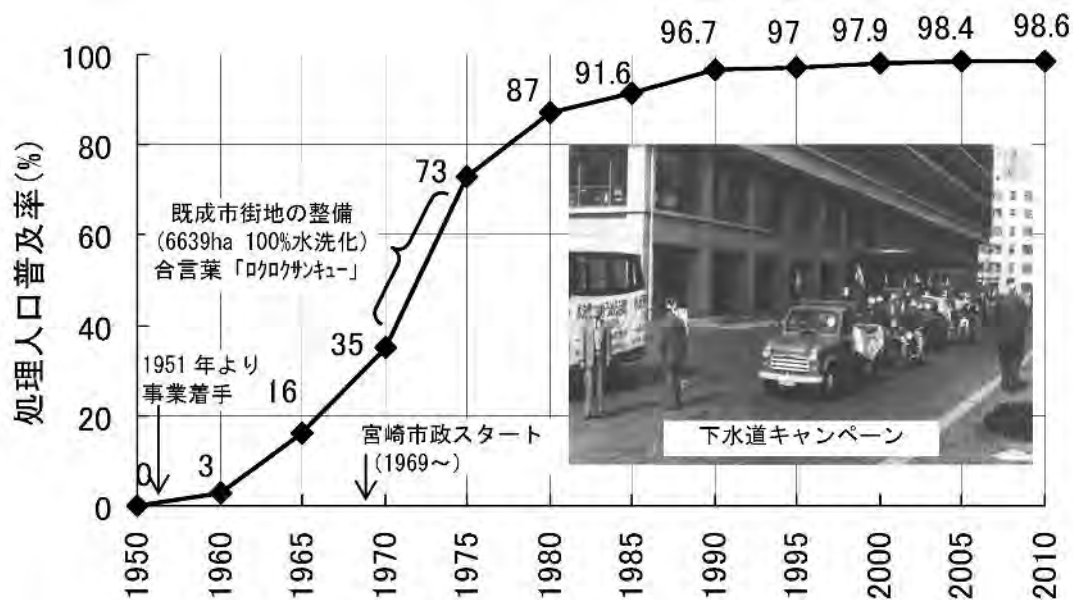


図-2 神戸市の処理人口普及率の推移

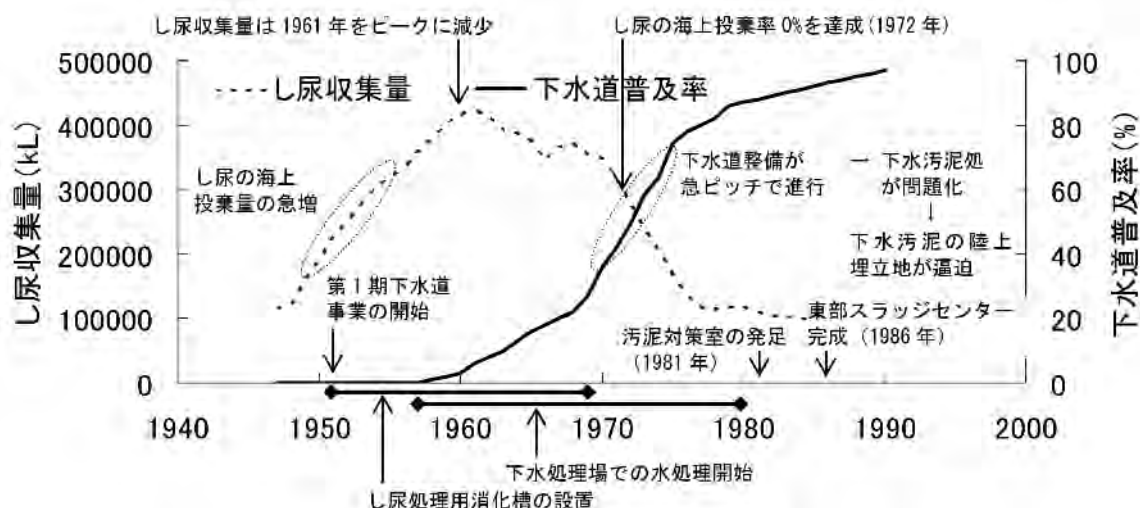


図-3 神戸市におけるし尿収集量と下水道普及率

するための施設である東部スラッジセンターを建設した。また発生した焼却灰については大阪湾フェニックス※への埋立て処分を行うこととした（図-3参照）。

※大阪湾フェニックス

大阪湾圏の府県及び市町村が共同で使用できる廃棄物の最終処分場の確保を目的に整備された海上の埋め立て処分場である。

神戸沖をはじめ現在4箇所の埋め立て処分場があり、近畿2府4県168市町村を受入れ対象区域としている（図-4参照）。



図-4 大阪湾フェニックス埋立て処分場位置図

3. 神戸市における下水汚泥の有効利用の取り組み

現在神戸市には6箇所の下水処理場があり、日平均約51万 m^3 の下水を処理している。下水道人口普及率は98.7%、処理人口は約151万人に達している（図-5参照）。

下水処理に伴い発生する汚泥については、濃縮→消化→脱水→焼却の工程を経て減量化・安定化を図っている。また、近年では機械濃縮の実施や卵形消化槽への建替え、スクリーンプレス脱水機の導入など新しい技術への転換を図りながら効率的な汚泥処理を目指している。なお、神戸市では消化に伴って発生する消化ガスや焼却に伴って発生する下水汚泥焼却灰や排熱を貴重な資源と捉えて有効利用に取り組んでいる（図-6参照）。

4. 下水汚泥焼却灰の有効利用

神戸市では年間約5,000トンの下水汚泥焼却灰が発生している。下水汚泥焼却灰の大部分は大阪湾臨海環境整備センター（大阪湾フェニックス）で埋め立て処分している。しかしながら、大阪湾フェニックスの廃棄物受け入れ計画は平成33年度までとなっており、その後の新たな処分場計画の見通しも不確定であるなど、将来的には埋立地の逼迫が予想される。また地球環境保全に向けた取り組みとして持続可能な社会の実現を目指すためにも、今後下水汚泥焼却灰の有効利用の拡大を図っていく必要がある。

これまで神戸市では、建設資材を始めとしてさまざまな有効利用を図ってきた。主な利用方法はアスファ

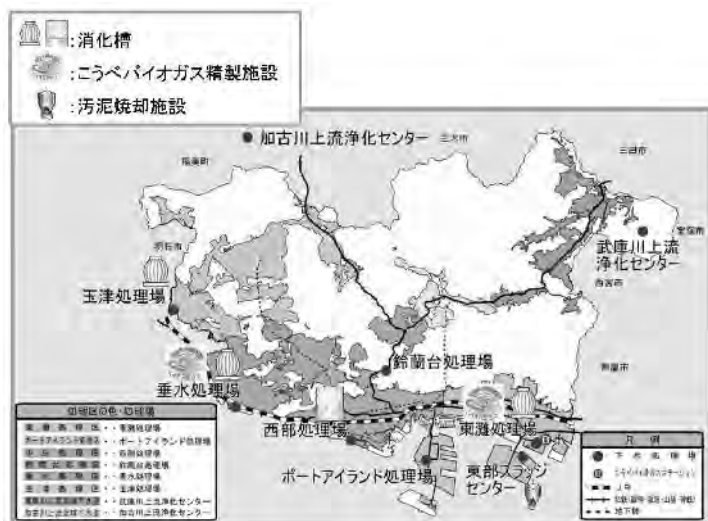


図-5 神戸市の下水処理場・汚泥焼却施設

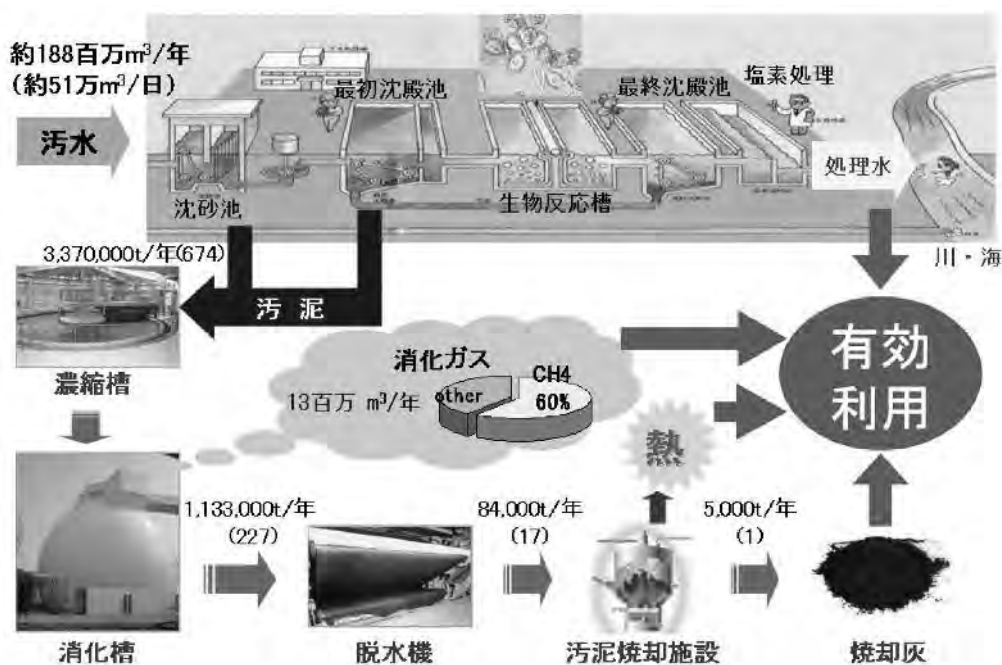


図-6 神戸市における汚泥処理フロー

ルトフィルターの代替品やインターロッキングブロックをはじめとするコンクリート二次製品の原料などであり、その詳細について以下に述べる（図-7参照）。

4.1 焼却灰のアスファルトフィラーへの利用

道路舗装用アスファルト混合物は、一般に骨材としての碎石・砂・フィラーとバインダーとしてのアスファルトを加熱混合して製造される。フィラーとしての石粉には、通常、石灰石を粉砕したものが用いられ、全質量の4～8%程度を添加する。

神戸市ではこの石粉の一部を下水汚泥焼却灰で代替させることについて、平成4年度から検討を開始した。

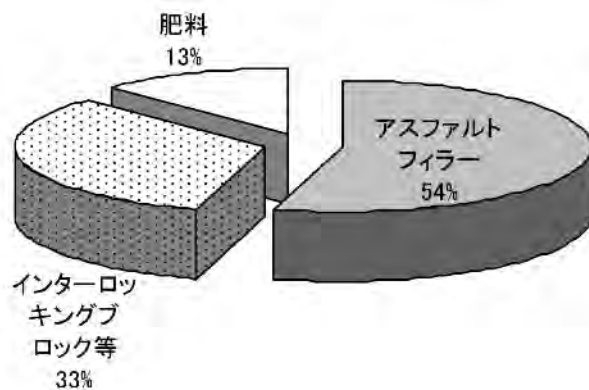


図-7 焼却灰の有効利用内訳（H22）

検討にあたり、下水汚泥焼却灰の物理特性を調査した結果、石粉に比べ粒度が粗くフィラーとしての規格値を満足しなかった。またフロー試験値も目標より大きく、アスファルトを吸収しやすい特性が示された(表-1参照)。この要因は焼却灰と石粉の電子顕微鏡写真の比較から、焼却灰には表面に細かな凹凸が多くあり、比表面積が大きいためであると考えられた(写真-1参照)。

これにより、焼却灰をフィラーとして用いる場合、粒度については細骨材に含まれる細粒分によりある程度調整は可能であるが、焼却灰がアスファルトを通常よりも多く吸収するため、必要アスファルト量は増加した。加えて耐流動性や剥離抵抗性の低下も懸念されたため、石粉と混合して使用することとした。

平成7年1月からは神戸市の道路補修を直営で行う

表-1 焼却灰と石粉の物理的性質

項目	焼却灰	石 粉	規格値・目標値
通百	2.36mmふるい	100.0	—
過分	600μmふるい	99.6	100.0
質率	300μmふるい	98.7	99.9
量	150μmふるい	83.7	98.0
(%)	75μmふるい	70.1	83.5
比 重	2.831	2.734	—
塑性指数(PI)	NP	—	4以下
水 分 (%)	0.1	0.1	1以下
水浸膨張性(%)	1.22	—	3以下
剥離抵抗性	合格	—	合格
70-試験値(%)	72.0	—	50以下

注) 規格値・目標値のうち、粒度(通過質量百分率)は規格値、その他は目標値である。

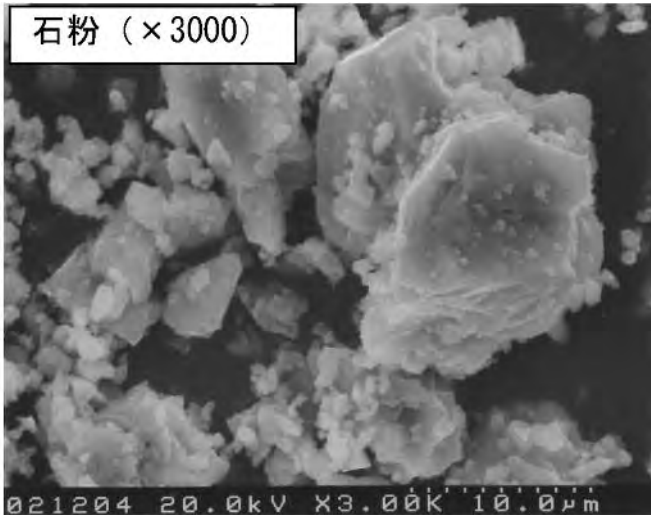
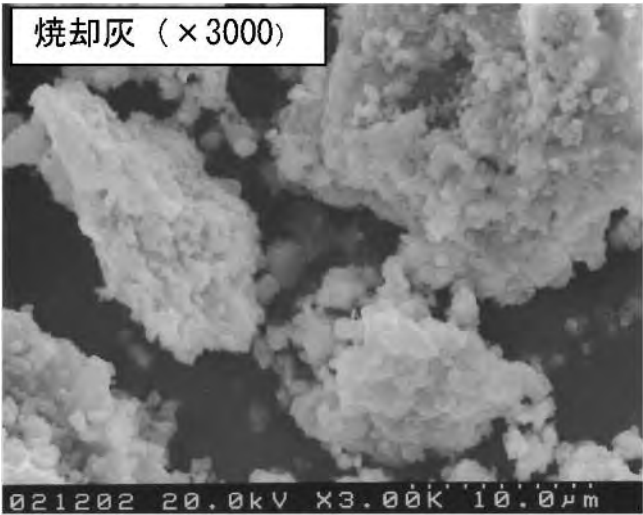


写真-1 焼却灰と石粉の電子顕微鏡写真

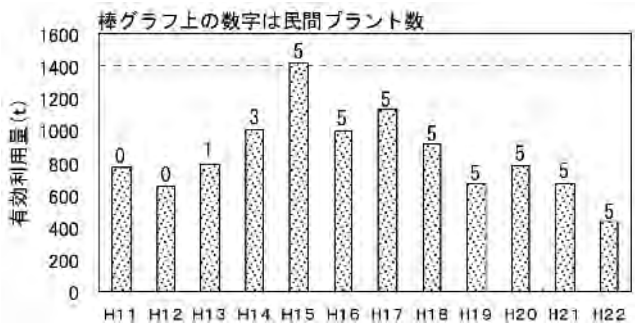


図-8 アスファルトフィラーとしての焼却灰利用の推移



写真-2 アスファルトフィラー利用状況

神戸市土木局道路機動隊（当時）による試験舗装を実施し、焼却灰を全フィラー分の30%に留めれば通常の混合物とほぼ同等の品質を得ることを確認した。

これらの調査結果を受け、平成13年12月から民間プラントによる事業を開始した。なお、下水汚泥焼却灰は産業廃棄物に当たることから、民間プラントは中間処理の処分業の許可を取得し、神戸市が中間処分を委託する形で有効利用を行っている。現在処分業の許可を受けている民間プラントは全部で5社あり、年間約435トンの焼却灰が有効利用されている（図－8・写真－2参照）。また、民間プラントではアスファルト混合物の事前審査制度^{（注1）}を活用し、神戸市の公共事業において焼却灰入りアスファルトを利用する際の手続きの簡素化も図られている。

4.2 焼却灰の建設資材としての利用

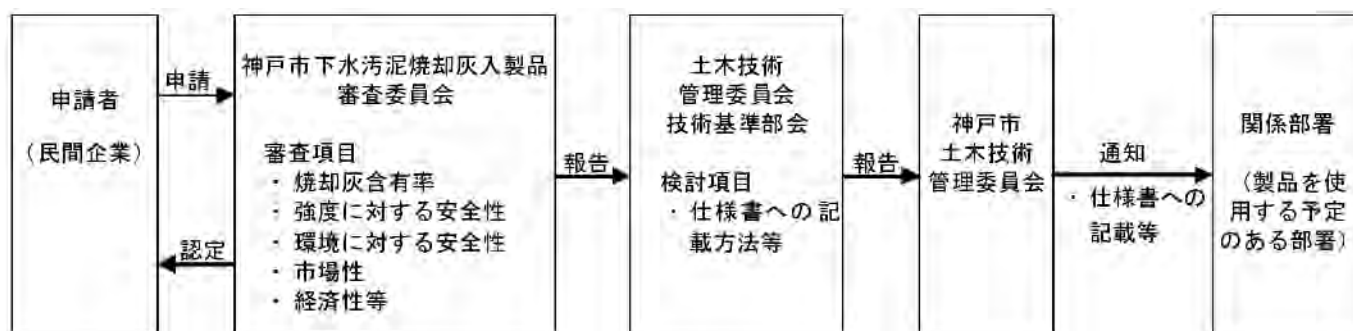
建設資材については、強度・環境に対する安全性、市場性、経済性等に関する一定の基準を設け、これを満たす製品については神戸市下水汚泥焼却灰入製品として認定し、広く神戸市の公共事業等に利用することにより、神戸市の下水汚泥焼却灰の有効利用の促進を

（注1：アスファルト混合物の事前審査制度）

公共工事におけるアスファルトの混合所の品質管理に関する合理化と品質の安定化を図ることを目的とした制度で、アスファルト混合所から出荷するアスファルト混合物を、事前に第三者機関が認定することにより、従来の工事ごとに行っていた基準試験や試験練りなどを省略できる制度



写真－3 インターロッキングブロック利用状況（垂水処理場・恋人岬）



図－9 灰入り製品の認定・利用の流れ

図っている（図－9・写真－3参照）。

現在、39製品が認定を受けており、インターロッキングブロックについては神戸市のグリーン調達等推進基本方針における重点物品にも指定されている（表－2参照）。

なお、建設資材に使用する焼却灰については、有価物として販売しており、廃掃法の適用は受けていない。

4.3 公募型共同研究の実施

平成18年に、神戸市下水道中期経営計画である、「こうべアクアプラン2010（平成18年度～平成22年度（5年間）」を策定した。本プランでは循環型社会の形成・地球環境の保全を目的の一つとしている。

本プランでは下水汚泥焼却灰の有効利用率の目標を65%（平成22年度）と設定した。しかしながら長期間にわたる景気の低迷などに伴い、平成15年度以降は有効利用率の低下が顕著となり、目標の達成は厳しい状況であった（図－10参照）。

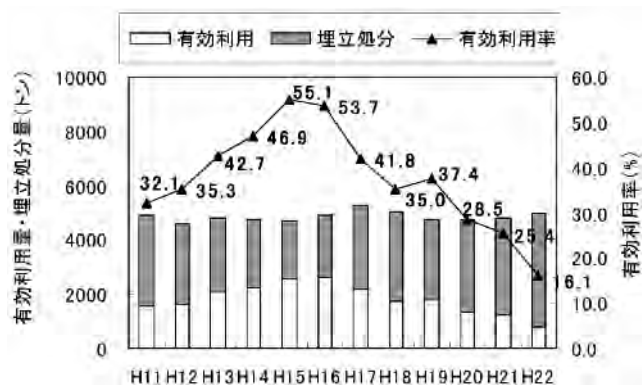
このような背景を受け、神戸市では平成21年6月に本市の「神戸市建設局下水道技術共同研究実施要綱」に基づき共同研究審査会を開催し、要綱に定める「公募型共同研究」により民間企業が保有する先端技術や製品開発力を活用した下水汚泥焼却灰の有効利用の拡大を図ることを決定した。

共同研究については、平成21年度・22年度の2年間実施した。募集の結果、合計9社（平成21年度：7社・平成22年度2社）が共同研究者として選定され、研究を実施した（表－3参照）。

平成21年度においては、下水汚泥焼却灰を使用した

表－2 神戸市下水汚泥焼却灰入製品認定数

一般名		登録製品数
インターロッキングブロック	普通	6製品
	透水性	8製品
	植生	2製品
	保水	4製品
平板ブロック	普通	3製品
	透水	1製品
人孔ブロック		1製品
L形側溝(エプロン)		4製品
U形側溝(ロングU本体・蓋)		4製品
プレキャストボックスカルバート		1製品
レンガブロック		1製品
充填材		1製品
化粧ブロック(湿式)		1製品
化粧ブロック(乾式)		1製品
セメントレンガ		1製品



図－10 焼却灰の有効利用率の推移

表－3 共同研究実施概要

年度	共同研究者	共同研究課題名	現状
H21	7社	空隙・空洞充填材の開発	製品認定済み
		神戸市下水汚泥焼却灰の植栽ブロックへの適用化技術の研究	製品認定済み
		神戸市下水汚泥焼却灰の肥料化(こうべバイオ肥料)についての、焼却灰の最大利用及び低価格製品開発	肥料登録手続き中
		水熱反応を用いた下水汚泥焼却灰の重金属類溶出抑制・有効利用技術の検討	導入コスト高のため現状での利用は難しい
		神戸市下水汚泥焼却灰の組積ブロックに混入した新製品(新色)の開発	製品認定済み
		下水汚泥焼却灰の造粒化(ブレーク化)による運搬コストの削減	導入コスト試算実施。コスト高のため現状での利用は難しい。
		神戸市下水汚泥焼却灰を利用したプレキャストコンクリート製品(ロングU、エプロン等)の開発	製品認定済み 単水処理場にて試験施工の実施
H22	2社	下水汚泥焼却灰を用いた土質改良技術の研究	利用に向け関係部局と調整予定
		下水汚泥焼却灰の透水性アスファルト混合物への有効利用	利用に向け関係部局と調整中

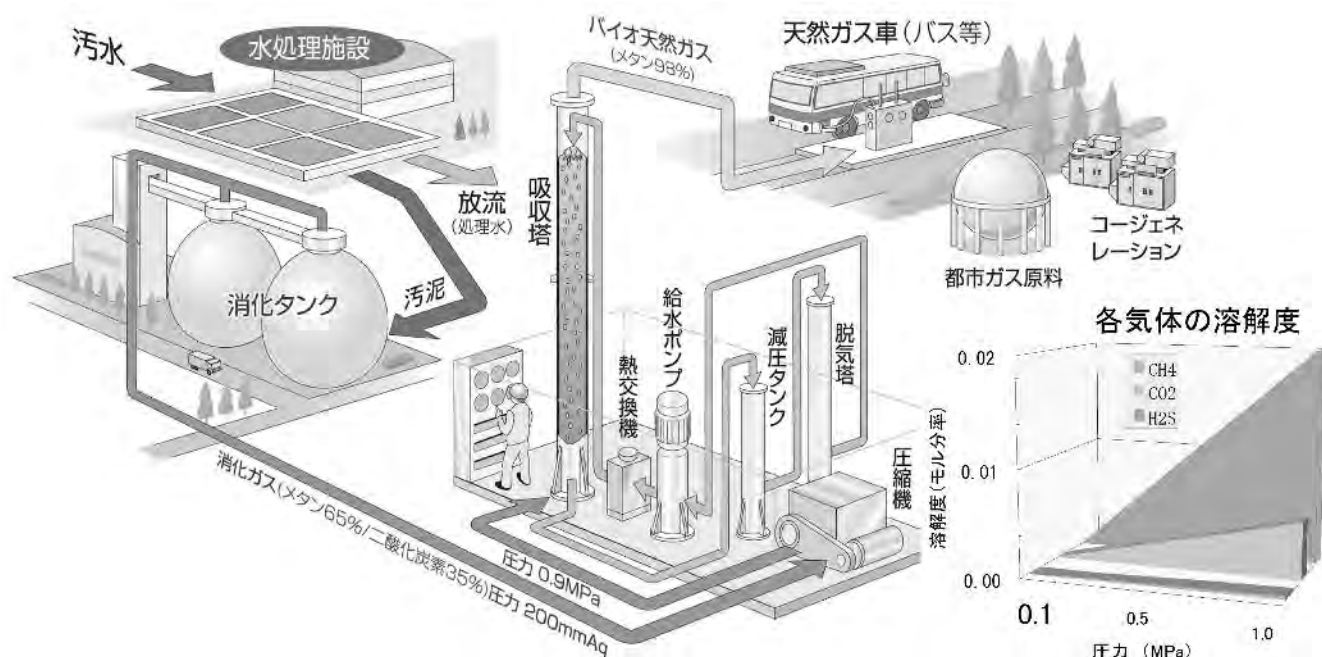


図-11 高圧水吸収法の仕組み

製品だけでなく、有効利用拡大につながる技術開発の応募も受け付け、幅広く民間の技術を活用することを目的とした。

また平成22年度においては、有効利用の更なる拡大を図るため、選定条件として「年間30トン以上の焼却灰の使用が見込まれるもの」を追加した。

5. 消化ガスの有効活用

神戸市では、事業当初から下水を処理する過程で発生する汚泥は全て消化槽で中温消化（30℃～40℃で嫌気性微生物によって有機物を分解し、最終的にはメタン・二酸化炭素等を生成する）し、汚泥の減量化・安定化を図っている。消化の過程で消化ガスが日平均約36,000Nm³*発生しており、約50%は脱硫工程を経て消化槽の加温や空調設備の燃料として利用し、残りは未利用のまま焼却処分していた。

（※Nm³：標準状態（0℃、1気圧）における気体の体積を表す単位）

消化ガスの利用拡大において最大の課題はガスの品質であった。消化ガスはメタン濃度が約60%でカロリーが低く、また硫化水素やシロキサン等を含んでおり、これらの不純物は機器を損傷・劣化させる原因となっていた。

そこで、平成16年度「消化ガスのバイオ天然ガス化」に関する共同研究を地元企業と開始し、「高圧水吸収法」により消化ガスのメタン濃度を98%に高めると共

に不純物を除去することに成功した。

「高圧水吸収法」とは、下水処理場に豊富にある水を活用でき、かつ原理のシンプルな方法で、約0.9MPaに加圧した消化ガスを処理水中に通すことにより、二酸化炭素や硫化水素等がほとんど水中に溶解するのに比べ、メタンはほとんど溶解しないという溶解度の差を利用して、消化ガス中のメタンのみを取り出す方法である（図-11参照）。

5.1 こうべバイオガスの活用

消化ガスのバイオ天然ガス化の成功を受け、平成20年度に東灘処理場において「こうべバイオガスステーション」を供用開始し、天然ガス自動車燃料として供給を開始した。さらに、平成22年度には都市ガスとして活用する実証事業に取り組んだ。

5.1.1 「こうべバイオガス」の天然ガス自動車燃料への活用

平成20年4月1日より「こうべバイオガスステーション」で「こうべバイオガス」を天然ガス自動車燃料として供給を開始し、充填量及び充填台数とも順調に推移している（写真-4・図-12参照）。

現在では登録車両も142台に達しており、市バス（登録台数10台）を始め下水道脱水汚泥運搬車、ごみ収集車の他、民間事業者の運送用車両・宅配車等にも広く利用されている。

しかし、平成21年度でも東灘処理場での有効利用は



写真-4 こうべバイオガスステーション

日平均約6,300Nm³であり、約4,800Nm³の消化ガスは焼却処分していたため（発生量ベース換算値）、更なる利活用を模索していた。

5.1.2 「こうべバイオガス」の都市ガスへの活用

平成21年7月に、ガスなどエネルギー供給事業者に非化石エネルギーの利用拡大などを促す「エネルギー供給構造高度化法」が成立した。経済産業省資源エネルギー庁では、この法律成立をにらみ、平成21年度補助事業として、バイオガスの都市ガス導管注入実証事業の補助金を交付し、都市ガス振興センターが「バイ

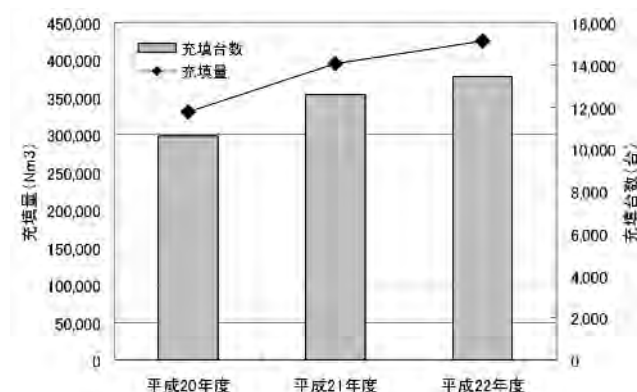


図-12 天然ガス自動車燃料活用状況

オマス等未活用エネルギー実証試験補助金」を公募した。

神戸市では消化ガスのさらなる活用を図るため、「バイオマス等未活用エネルギー実証試験補助金」の採択を受けて、平成21年10月、神戸市、ガス供給事業者、地元企業の3者共同の実証事業として、東灘処理場において「バイオガス都市ガス導管注入実証事業」を実施した。

平成22年9月より試運転、10月12日より本格供給を開始した。実証事業の期間は10年間とし、最初の2年間は運転状況、維持管理コストなどのデータを経済産業省に報告する。

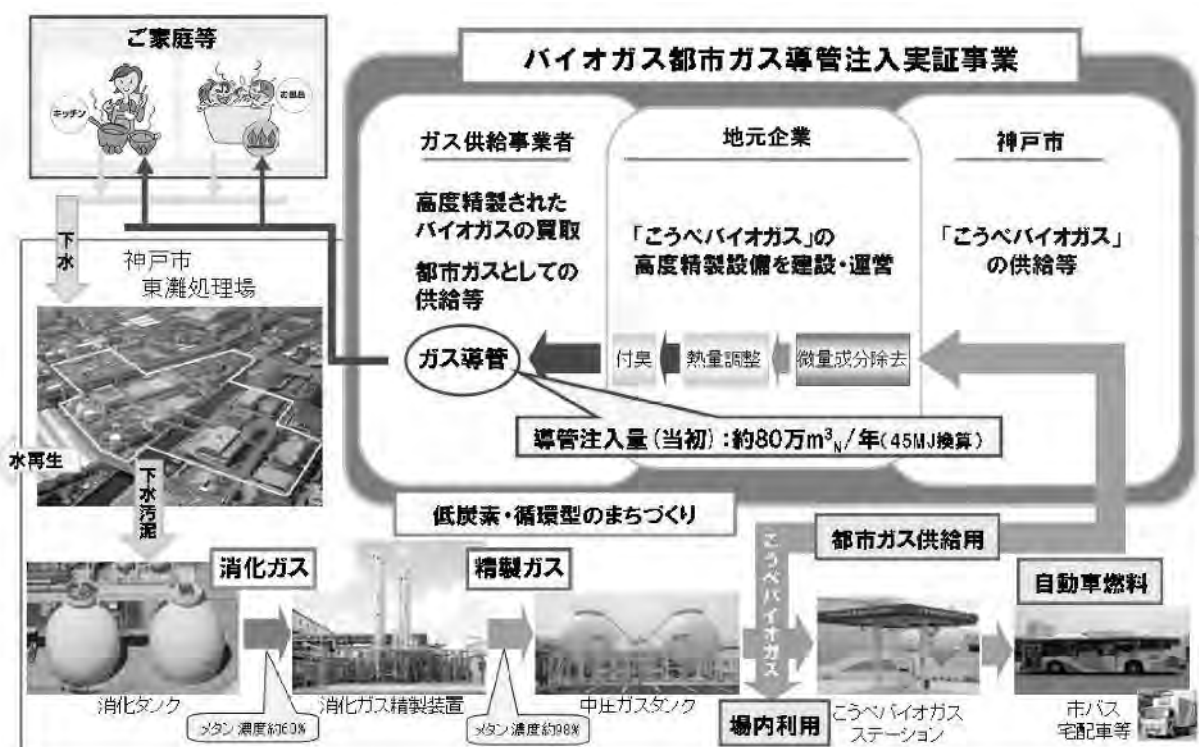


図-13 バイオガス都市ガス導管注入実証事業

表-4 バイオガス性状（参考値）

性状	単位	消化ガス(脱硫前)	こうべバイオガス	都市ガス導管注入基準*1
メタン	vol%	59.9	98.2	—
二酸化炭素	vol%	37.0	0.6	≤0.5
酸素	vol%	0.4	0.2	≤0.01
硫化水素		330ppm	<0.1ppm	≤1.0 mg/Nm ³
シロキサン	mg/Nm ³	14.53	≤0.005	個別協議
高位発熱量	MJ/Nm ³	23.8	39.3	45.0（標準）
付臭	mg/Nm ³	—	*2	12～16

*1 ガス供給事業者 バイオガス購入要領の成分基準

*2 臭気濃度 2000 倍以上を目安に添加

神戸市は、原料となるバイオガスを供給、地元企業が、都市ガス仕様に調整すると共にガス導管に注入し、ガス供給事業者が買い取り、都市ガスとして供給する（図-13参照）。

都市ガス仕様に精製した下水汚泥由来のバイオガスを、直接都市ガス導管に注入する試みは日本初であり、本事業を通じて運営方法や、経済性を検証し、「循環型エネルギー活用の神戸モデル」を示すことで同様事業の普及促進やバイオマス資源の有効活用につなげていく予定である。

「こうべバイオガス」は、消化ガスに比較して、メタン濃度を高めると共に不純物を除去しており、天然ガス自動車燃料としては十分な品質である。しかしながら、受入事業者であるガス供給事業者の購入要領に合わせるため、さらなる微量成分の除去・熱量の調整及び都市ガスと同じ付臭が必要である（写真-5、表-4参照）。

本事業では既存の「こうべバイオガス」精製装置に加えて、ガス中の酸素を水素と触媒で反応させ水にして取り除く酸素除去装置、二酸化炭素を吸着剤で取り除く二酸化炭素除去設備、とプロパンガスを追加することで熱量を調整する熱量調整設備や付臭設備を設置し、現在ガス供給事業者が供給する都市ガスと同等レベルまで成分を調整している。

精製後、成分調整されたガスは、ガス供給事業者の導管網に直接注入し、都市ガスとして需要家に供給している。

東灘処理場で発生する消化ガスは約10,000 Nm³/日で、全てを精製すれば約6,000 Nm³/日の「こうべバイオガス」になり、そのうち約1,300 Nm³/日を自動車燃料、約2,700mNm³/日を場内利用し、残る約2,000 Nm³/日を都市ガス導管に使用している。

本事業により、予定している都市ガス導管注入量は約80万m³/年（45MJ/m³）で、約2,000戸の家庭が1年間に使用するガス量に相当し、これによるCO₂削減



写真-5 バイオガス都市ガス導管注入設備

量は約1,200t-CO₂/年になる。昨年度の都市ガス導管注入量は、年度途中から約30万m³で安定した注入を実施できた。この事業により、消化ガスの発生量と使用量のアンバランスを吸収し、完全100%有効利用が可能となる。

東灘処理場における取り組みは、発生したバイオガスを高度に精製し、都市ガスの製造所を通すことなくそのまま都市ガスとして導管に注入するものである。これにより、都市ガスの製造所との距離に制約を受けることなく、下水処理場等で発生するバイオガスを余すことなく有効利用することができるようになり、理想的な地産地消型のエネルギー供給を実現した。

6. 今後の取り組み

6.1 神戸市下水道の国際展開

本市では、平成22年11月に「水・インフラ整備に関する国際貢献の新たな取り組み」として基本方針を策定した。基本方針では、海外展開を志向する地元企業等からの支援要請に基づき、一連の水循環システム・

都市整備など本市が蓄積してきたまちづくりの経験やノウハウ、震災の教訓を活用して地元企業等の海外展開を積極的に支援することとしている。

このような中、ベトナム国キエンザン省において上下水道分野における技術協力・交流に関する覚書の締結を執り行った。覚書締結後は、国等の支援制度も活用しながら、官民互いの強みを活かして、神戸仕様の下水道システムを現地に導入していく予定である。

6.2 KOBEグリーン・スイーツプロジェクト

平成23年5月18日に、地元企業・神戸市共同研究体が提案した「KOBEグリーン・スイーツプロジェクト」が国土交通省より下水道革新的技術実証事業（B-DASH事業）として採択された。この事業は、食品系、木質系等の下水道に好適な地域バイオマスを下汚泥と混合し、汚泥処理の効率化を図ると共に、バイオガス量を増加させ、東灘処理場の「地産地消型の再生可能エネルギー供給拠点化」を図るものである。今後は本施設を水ビジネスのハブ拠点として活用していく予定である（図-14参照）。

7. 神戸市下水道の将来像

下水道は消化ガスや下水汚泥焼却灰など様々な再生可能エネルギーを有している。そのため今後は再生可能エネルギーの供給拠点としての役割が大きく期待さ

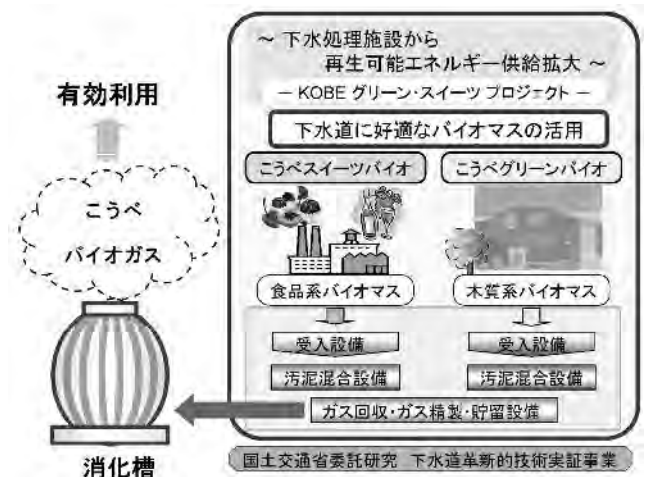


図-14 KOBEグリーン・スイーツプロジェクト

れている。

神戸市では東灘処理場のほか、平成22年度から垂水処理場において消化ガスの高度精製装置を導入し、バイオ天然ガス発電設備（ガスコージェネレーション設備）による発電を開始した。これにより場内の電力の一部をまかなうと共に、廃熱を消化槽の加温に活用している。

他の処理場においても、それぞれのエネルギー使用の状況を踏まえ、改築更新に合わせて「空調等場内利用」や「コージェネ」、「都市ガス導管注入」等を組み

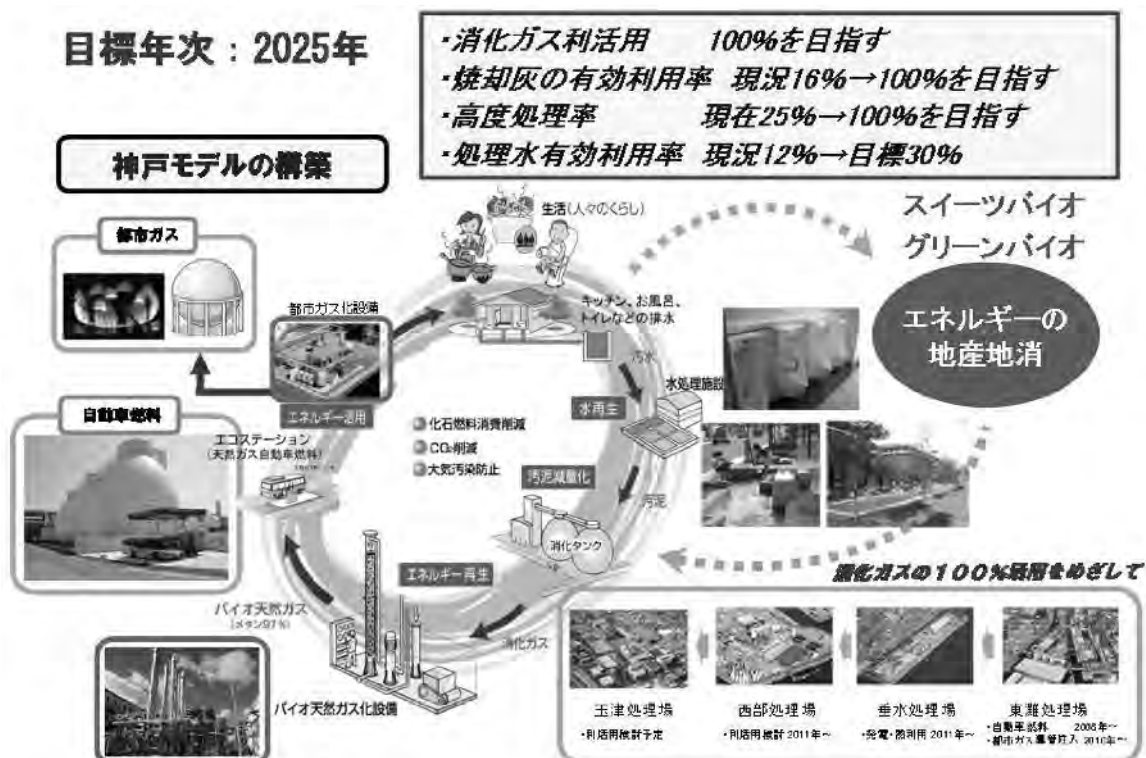


図-15 神戸市の下水道の将来像

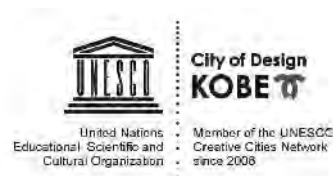
合わせた最適なガス利用により、消化ガスの100%活用を目指していく予定である。

また今後は、これまで取り組んできた下水汚泥焼却灰の建設資材等への有効利用に加え、リン回収など民間企業の革新的な技術にも注視しながら多面的な利活用方法を検討し、焼却灰の有効利用率の向上を図る予定である（図－15参照）。

8. おわりに

神戸市では平成7年の阪神・淡路大震災を教訓として、下水道ネットワークシステムの構築や復興街づくりへの高度処理水の送水、こうべバイオガスへの利活用などの新しい下水道インフラの構築に取り組んできた。

下水道は、人類が存在する限り枯渇することのない都市の貴重な資源である。今後も魅力的な神戸のまちの創造に貢献する下水道の実現に向けて、下水汚泥の有効利用に積極的に取り組んでいきたい。



特集：第24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：エネルギー利用、マテリアル利用、下水道革新的技術実証事業、下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン（案）

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20年度における全国の産業廃棄物排出量は約4億トンとなっている。そのうち約19%の7,724万トン（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

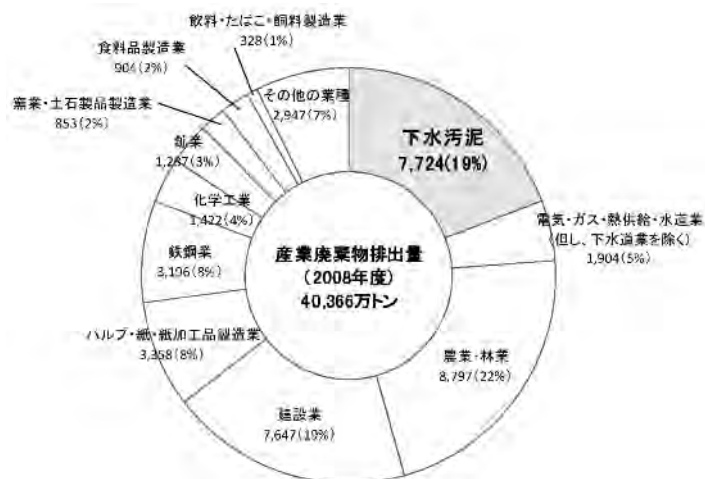


図-1 産業廃棄物排出量に占める下水汚泥の割合（単位：万トン／年）
出典：環境省「産業廃棄物排出・処理状況等（平成20年度実績）」（国土交通省にて一部加工）

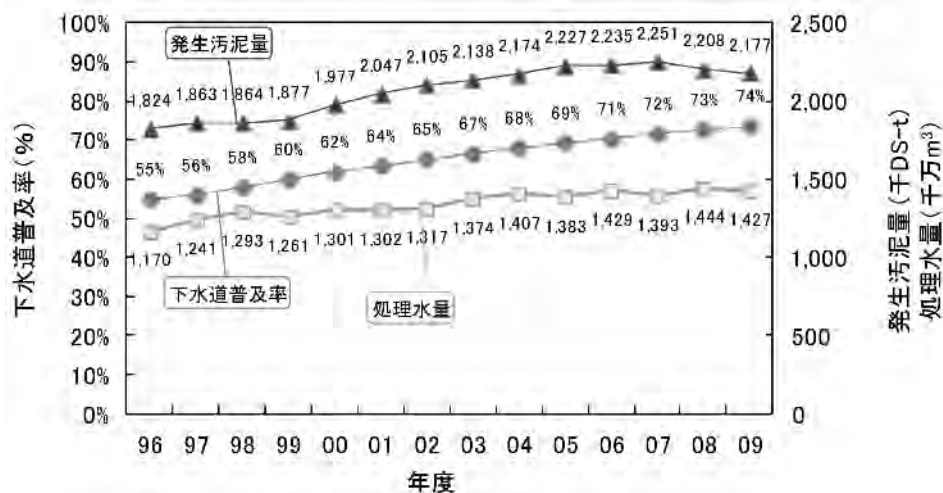


図-2 下水道普及率と発生汚泥量、処理水量の推移
(下水道統計及び国土交通省調べ)

みである(図-2)。これに対し、平成21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4.7年、全国で10.6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法や各種リサイクル関連法が制定・改正されており、平成15年3月には「循環型社会形成推進基本計画」が閣議決定され、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。

今後、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、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環境負荷の増大により、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。

バイオマスである下水汚泥は、バイオガス化・固形燃料化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、温暖化対策に有効である。

そのため、地球温暖化対策の推進に関する法律第8条に基づき平成20年3月に閣議決定された「京都議定書目標達成計画」では、下水汚泥焼却施設における燃焼の高度化とともに、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21年3月に閣議決定された社会資本整備重点計画では、下水汚泥中の有機物が、エネルギー利用や緑農地利用等に有効利用された割合を示す下水道バイオマスリサイクル率が指標とされ、2012年の目標は39%とされている。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。

さらに、平成22年6月に閣議決定された「エネルギー基本計画」では、太陽光やバイオマス等の再生可能エネルギーが一次エネルギー供給に占める割合について2020年の目標を10%に設定している。平成22年11月にはエネルギー供給高度化法の基本方針及び判断基準が策定され、一般ガス事業者等のバイオガスの利用目標が定められるとともに、平成23年8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」が成立し、下水汚泥を含むバイオマスを用いて発電された電気が買取対象になっている。

以上のように、循環型社会、低炭素社会の進展が求められる中、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汚泥燃料あるいはコンポストとして積極的

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21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218万DS-t（乾燥重量トン）が発生しており、そのうち約77%が緑農地利用、建設資材利用、燃料化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、近年はセメント原料としての利用などの建設資材利用が進んできており、平成7年度に建設資材利用が緑農地利用の割合を上回り、平成21年度においてもこの傾向が一層進んでい

る。有効利用の実施主体としては、いずれの利用形態においても、民間で行われている量が多い。

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汚泥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21年度においては、乾燥重量ベースで約60%が建設資

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21年度）（国土交通省調べ）

引き渡し先 処理後の 汚泥形態	最終安定化先									単位：DS-t/年	
	埋立処分	緑農地利用	建設資材利用		固形燃料	その他の有効 利用	海洋還元	場内ストック	その他	合計	%
			セメント化	セメント化以外							
生汚泥	13	4	0	0	0	0	0	0	0	17	0.0%
濃縮汚泥	3	0	25	32	0	0	0	0	0	61	0.0%
消化汚泥	0	0	4,083	0	0	0	0	0	0	4,083	0.2%
脱水汚泥	22,450	27,476	101,449	14,964	508	4,164	0	99	1,553	172,665	7.9%
移動脱水車汚泥	8	208	67	0	0	0	0	0	0	283	0.0%
コンポスト	69	239,952	431	811	0	84	0	0	0	241,346	11.1%
機械乾燥汚泥	2,034	30,721	9,676	352	11,769	11,718	0	0	0	66,270	3.0%
天日乾燥汚泥	453	315	0	29	0	0	0	1	0	798	0.0%
炭化汚泥	144	3,692	198	122	14,871	224	0	118	0	19,368	0.9%
焼却灰	422,239	11,974	720,513	301,683	0	5,736	0	1	22,413	1,484,558	68.2%
溶融スラグ	144	668	7,829	148,443	0	5,909	0	23,957	918	187,868	8.6%
合計	447,557	315,010	844,268	466,436	27,148	27,836	0	24,177	24,884	2,177,316	100.0%
%	20.6%	14.5%	38.8%	21.4%	1.2%	1.3%	0.0%	1.1%	1.1%	100.0%	

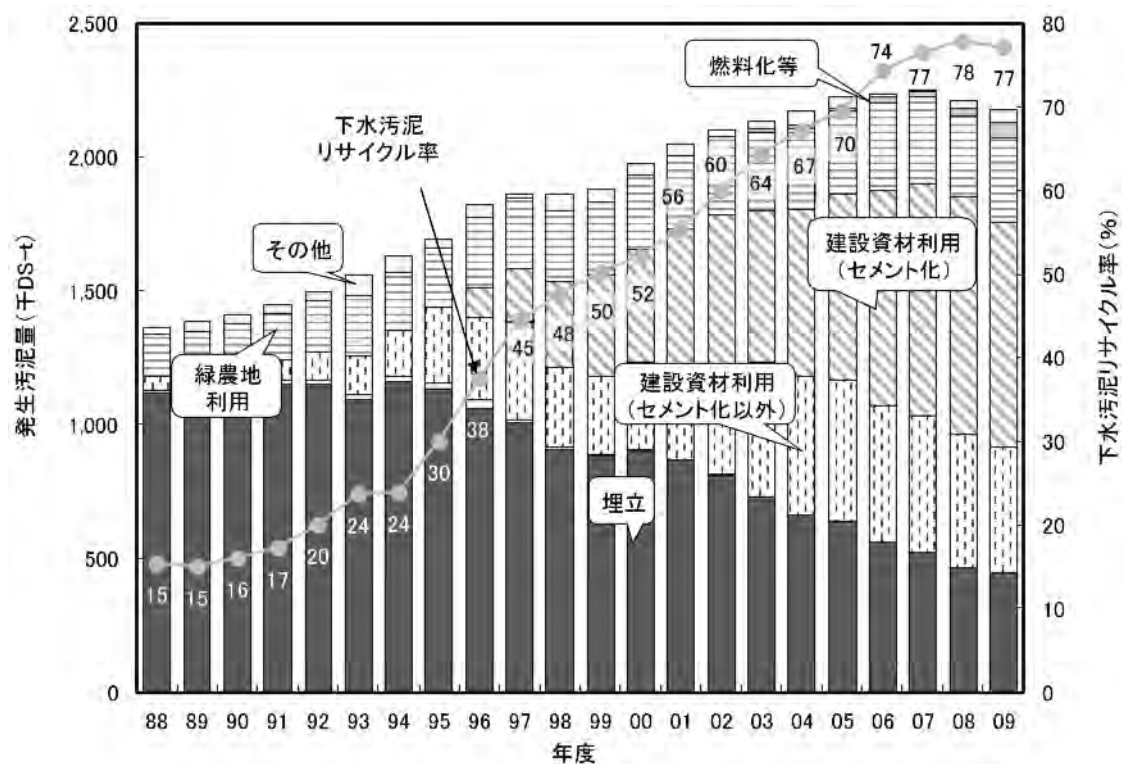
表-2 下水汚泥の処理及び処分状況（処分時体積ベース、平成21年度）（国土交通省調べ）

引き渡し時 （搬出時）の 汚泥形態	最終安定化先									単位：m ³ /年	
	埋立処分	緑農地利用	建設資材利用		固形燃料	その他の有効 利用	海洋還元	場内ストック	その他	合計	%
			セメント化	セメント化以外							
生汚泥	528	1,040	0	0	0	0	0	0	0	1,568	0.1%
濃縮汚泥	28,699	22,296	4,633	992	0	130	0	0	0	56,749	2.3%
消化汚泥	237	2,393	1,920	0	0	0	0	0	0	4,549	0.2%
脱水汚泥	242,430	719,066	751,695	220,573	21,873	30,280	0	394	6,452	1,992,763	81.0%
移動脱水車汚泥	491	2,874	532	1,292	0	0	0	0	0	5,188	0.2%
コンポスト	0	29,805	0	0	0	0	0	0	0	29,805	1.2%
機械乾燥汚泥	10,316	25,725	9,499	118	1,725	0	0	0	0	47,382	1.9%
天日乾燥汚泥	177	713	0	106	0	0	0	2	0	998	0.0%
炭化汚泥	5	953	0	12	70,496	43	0	30	0	71,537	2.9%
焼却灰	82,028	591	89,949	42,636	0	1,046	0	0	4,724	220,974	9.0%
溶融スラグ	230	80	1,628	19,967	0	1,318	0	5,758	0	28,980	1.2%
合計	365,140	805,534	859,855	285,696	94,094	32,817	0	6,183	11,175	2,460,495	100.0%
%	14.8%	32.7%	34.9%	11.6%	3.8%	1.3%	0.0%	0.3%	0.5%	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21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	10,579	41,402	13,160	1,530	5,437	80	72,188
民間に引渡し	1	17,105	198,549	17,876	2,162	6,537	688	242,821
小計	1	27,684	239,951	31,036	3,692	11,974	668	315,009
建設資材利用（セメント化）								
自治体で実施	0	4,154	0	2,917	0	105,093	0	112,164
民間に引渡し	0	101,469	431	6,759	196	615,420	7,829	732,104
小計	0	105,624	431	9,676	196	720,513	7,829	844,268
建設資材利用（セメント化以外）								
自治体で実施	32	388	107	11	48	103,848	93,674	198,109
民間に引渡し	0	14,576	704	369	75	197,835	54,769	268,327
小計	32	14,964	811	380	122	301,683	148,443	466,436
固形燃料								
自治体で実施	0	0	0	5,203	0	0	0	5,203
民間に引渡し	0	508	0	6,566	14,871	0	0	21,945
小計	0	508	0	11,769	14,871	0	0	27,148
その他有効利用								
自治体で実施	0	15	2	11,371	0	13	5,167	16,568
民間に引渡し	0	4,149	82	347	224	5,723	742	11,268
小計	0	4,164	84	11,718	224	5,736	5,909	27,836
合 計	37	152,944	241,277	64,580	19,106	1,039,906	162,849	1,680,697

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）（国交省調べ）
※汚泥処理の途中段階である消化ガス利用は含まれない。

材利用されており、うち約2/3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21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、脱水ケーキ、乾燥汚泥、炭化汚泥、コンポスト化汚泥が考えられる。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、発酵処理の際に減菌・安定化する利点があることから、有効利用の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ー2005年版ー（（社）日本下水道協会）
- 3) 下水汚泥コンポスト施設便覧ー2001年版ー（（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、平成12年10月から施行されている。これ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」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、国土交通省下水道部では、下水道管理者がリン資源化事業の実施について検討するための手引きをとりまとめることを目的として、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 京都大学大学院工学系研究科教授）を設置し、検討を行った。同検討会では、リン資源化の検討に際しては、「下水処理場の特性」、「リン資源化技術」、「需要者のニーズ」の3要素のマッチングが重要との視点に立って事業化に向けた検討が進められ、「下水道におけるリン資源化の手引き」が平成22年3月にとりまとめられている。国土交通省下水道部では、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、取り組んでいく予定である。

(2) エネルギー利用

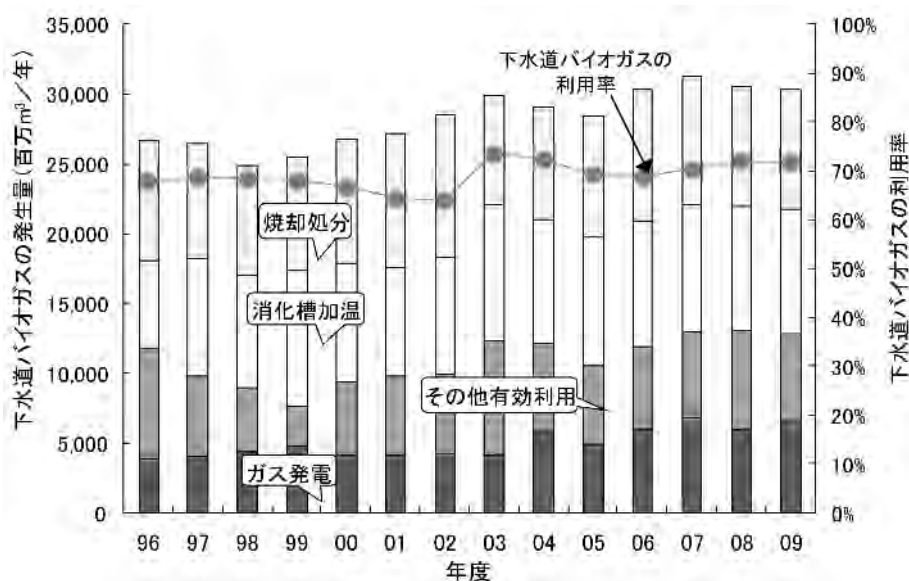
下水汚泥のエネルギー利用は、主に下水道バイオガスの利用、固形燃料化であり、この他、下水汚泥焼却廃熱を利用した発電・冷暖房等がある。

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21年度の消化槽からの下水道バイオガス発生量は約3億m³であり、内訳をみると、約7割（220百万m³）が利活用されており、残り約3割（86百万m³）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（66百万m³）はガス発電に利活用されているが、約3割（89百万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21年度時点で40基、総発電容量約23,232kW、総発電量は、約9,000万kWh/年に上り、平成21年度に全国のポンプ場及び下水処理場で消費された総電力量約72億kWhの約1%に相当する。



図ー4 バイオガス利用の経年変化（国交省調べ）

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、低酸素もしく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13MJ/kg（3,000 kcal/kg）の発熱量（低位）を有しており（石炭は26.6MJ/kg）、また、ほとんど臭いがしないという特徴を有しており、広島市や愛知県、大阪市などで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に供給を行っている。

平成21年度に固形燃料として利用された下水汚泥は、約2.7万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予想される。

4. 重点施策

(1)「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) 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-DASH：Breakthrough by Dynamic Approach in Sewage High technology）

本事業の目的は、下水処理過程における省エネルギー化、下水汚泥のエネルギー利用の高効率化を図り、温室効果ガス排出量の削減や建設コストの削減を可能にする革新的技術について、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、全国の下処理場への導入を

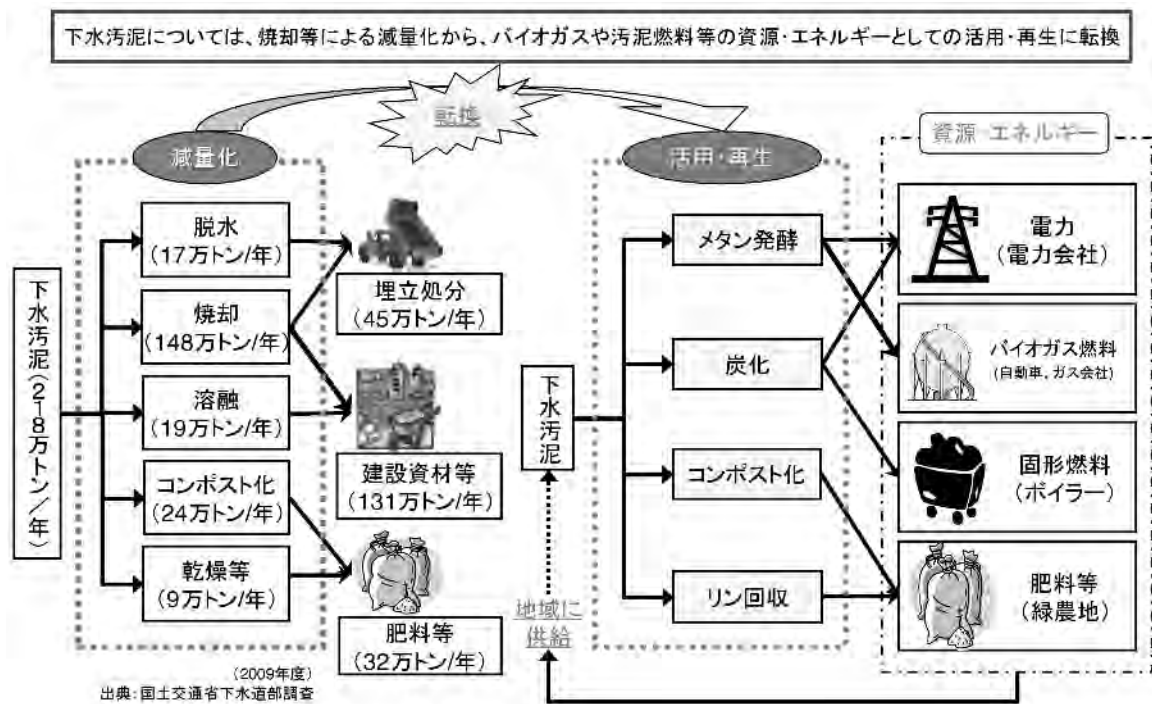


図-5 下水汚泥利用のイメージ図

促進することである。

平成23年度は、水処理技術（高度処理を除く）、バイオガス回収技術、バイオガス精製技術、バイオガス発電技術を対象に、（水処理技術）＋（バイオガス回収技術）＋（バイオガス精製技術）といったシステムで募集を行った。

その結果、8者から提案があり、有識者から構成される下水道革新的技術実証事業評価委員会で審査を行い、実施事業を下記の2者に決定している。

○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

事業概要：徹底的な固液分離と資源回収を基本コンセプトに、省エネルギー・創エネルギー両面から下水処理場全体をマネジメントする「エネルギー自給型下水処理場」を目指し、「上向流ろ過による超高効率固液分離による省エネルギー型水処理」「担体充填型の高効率高温消化」「消化ガスと都市ガスを併用できるハイブリッド型発電機を使用したスマート発電システム」を組み合わせ、システムとして機能させる。

○神戸市東灘処理場 再生可能エネルギー生産・革

新技術実証事業

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

事業概要：菓子類等の食品系バイオマス・剪定枝等の木質系バイオマスを下水処理場に受け入れてバイオガス発生量を増加させるとともに、「センサー類を設置することにより発酵状況の見える化を図った鋼板製消化槽」「パッケージ化を図った新型バイオガス精製装置」「下水処理水の熱エネルギー活用を図った高効率ヒートポンプ」等を組み合わせ、システムとして機能させるとともに、システム全体のコストダウンを図る。

また、天然ガス自動車や都市ガスへの供給などバイオガスの有効利用用途別に、システム構成や品質管理基準の規格化を目指す。

平成24年度においては、低コスト固形燃料化、低コスト下水熱利用、高効率栄養塩除去（リン回収含む）に関する実証事業を実施する予定である。

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

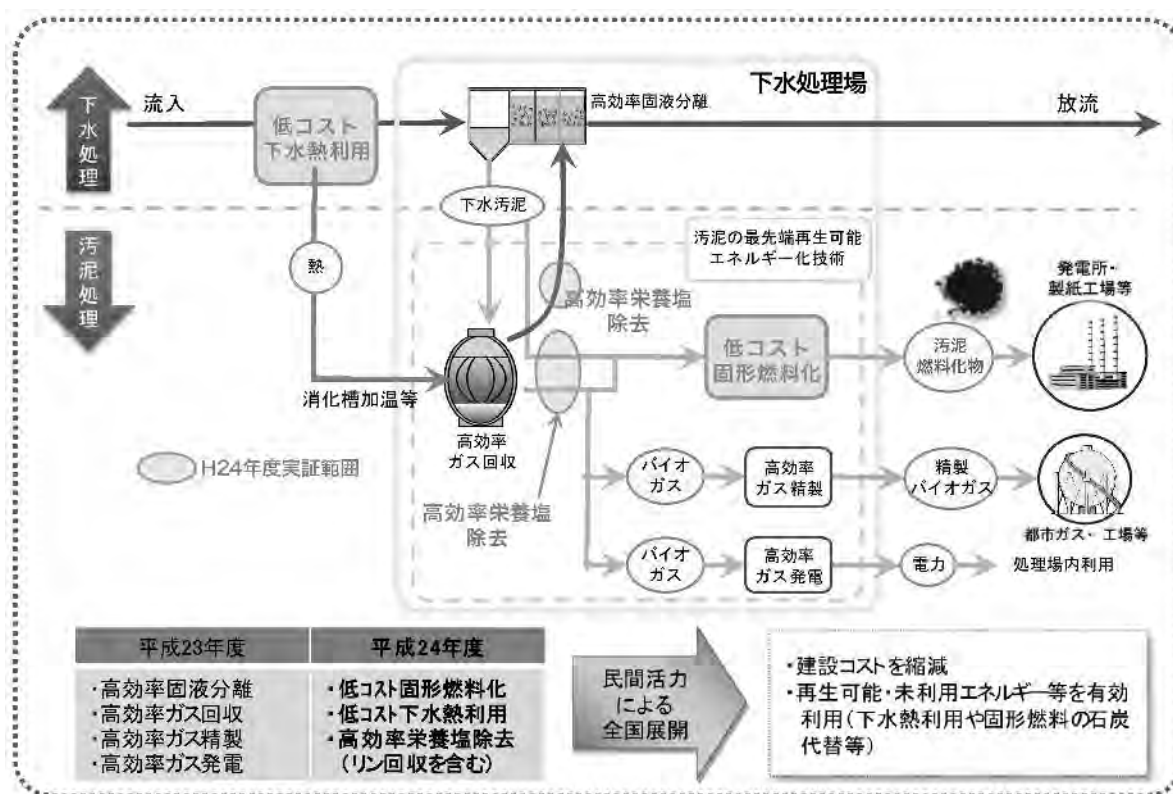


図-6 B-DASHのイメージ

学大学院教授)を設置し、議論を進めてきたが、平成23年8月に、委員会から9項目からなる提言をいただいた。

- 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

今後、本提言を踏まえた施策を推進していく予定である。

5. その他の施策

その他、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、下水汚泥とその他の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について支援するとともに、地域全体として効率的であると認められる地域においては、下水汚泥と他のバイオマスを混合・調整するための施

設の整備を支援する。また、地域全体として省CO₂対策を促進するため、下水汚泥等の処理に伴い発生するメタンガスを主成分とする下水道バイオガスを下水処理場で公共又は公益の用途に利活用する場合、下水道バイオガスを供給するために必要な施設（下水処理場内に設置するものに限る）を国庫補助対象とする。平成21年度からは、下水処理水の放流落差等を利用した小水力発電に必要な施設を支援の対象としている。

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、民間活用型地球温暖化対策下水道事業制度により、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、民間事業者が整備する下水汚泥等の資源化施設（下水汚泥等の処理施設（炭化炉等）、貯蔵施設などの関連施設）の建設を支援している。

(3) 税制（グリーン投資減税）

下水汚泥固形燃料の利活用のための投資を促進することにより、温室効果ガスの削減とエネルギー供給源

の多様化を図るため、対象設備を取得して、1年以内に国内にある事業の用に供した場合の特例措置を講じる。

- ・特別償却 取得価額の30%

税額控除 中小企業者は、取得価額の7%の税額控除との選択が可能（ただし、税額控除額については当期の法人税額の20%を限度とし、控除限度超過額については1年間の繰越しができる。）

- ・適用期限 平成23年6月30日から平成26年3月31日
- ・対象設備 貯蔵装置及び払出装置、これらと同時に設置する専用の受入装置、集じん装置、搬送装置、計量装置又は供給制御装置を含む。

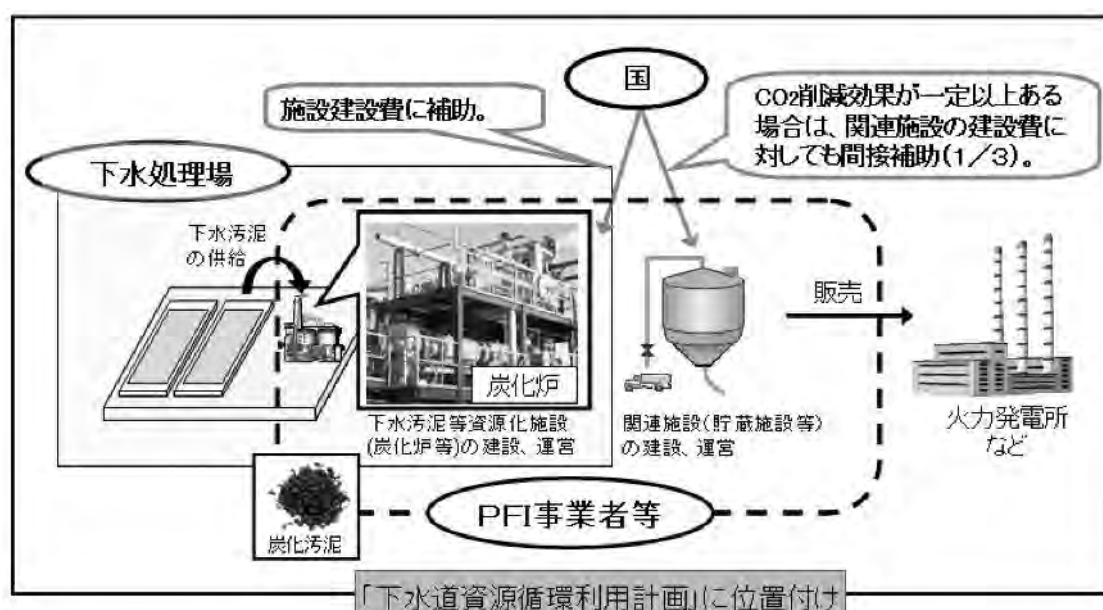
(4) バイオソリッド利活用基本計画策定マニュアルの策定

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。

このマニュアルは、(社)日本下水道協会に設置された「バイオソリッド利活用基本計画に関する委員会」における検討を踏まえて作成されたもので、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る。

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



図－7 民間活用型地球温暖化対策下水道事業制度概念図

ガイドライン目次

■第1章 ガイドラインの位置づけ

- 1-1. 背景
- 1-2. 目的
- 1-3. ガイドラインの構成
- 1-4. 用語の定義

■第2章 総論

- 2-1. エネルギー化技術導入の意義
- 2-2. 対象技術とその概要

■第3章 エネルギー化技術の導入事例

- 3-1. 国内導入事例
- 3-2. 海外導入事例
- 3-3. 我が国のエネルギー化技術レベルの現状
- 3-4. エネルギー化技術導入にあたっての留意点

■第4章 エネルギー化技術の導入検討

- 4-1. 導入検討の手順
- 4-2. 基礎調査
- 4-3. 検討対象とするエネルギー化技術の抽出
- 4-4. 事業形態の検討
- 4-5. 温室効果ガス削減効果の算定
- 4-6. 事業性の検討及び評価

■第5章 ケーススタディ

- 5-1. ケース設定、条件設定
- 5-2. 固形燃料化技術ケーススタディ
- 5-3. バイオガス利用ケーススタディ

■資料 編

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工学系研究科教授）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。

(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、様々な会社が製造している、下水汚泥のリサイクル製品の概要をまとめた「下水汚泥リサイクル資材一覧」が（社）日本下水道協会において作成されているところであり、そ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

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。

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について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の優先的な利用が実施されることにより、下水汚泥溶融スラグ製品の有効利用の一層の推進が期待されている。

(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、「下水汚泥を利用した汚泥発酵肥料（下水汚泥コンポスト）」、「下水汚泥を有効利用した陶磁器質タイル」、「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。

特定調達品目として指定されることは、下水汚泥の有効利用推進の更なる促進の引き金となることから、今後「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。一方で、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。

そのため、下水汚泥の資源利用を推進するにあたり、適正な品質を確保して、使用実績を着実に積み重ねていく必要があるが、国等の直轄事業のない下水道事業においては、まずは各下水道管理者において下水道建設事業に積極的に下水汚泥を利用した資材を使用していくことが必要である。また、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ことから、公共団体内部の連絡を密にして環境部局や農政部局、他の建設部局との連携を図ることも重

要となると考えられる。

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24回下水汚泥の有効利用に関するセミナー特集

解 説

兵庫県における下水汚泥溶融スラグの有効利用について

兵庫県 県土整備部 土木局 下水道課

主査 的場 令基

キーワード：溶融スラグ、クロム、製品管理、有効利用

1. はじめに

兵庫西流域下水汚泥広域処理場は、姫路市、たつの市、太子町の各公共下水道、皮革排水及び揖保川流域下水道の汚泥を溶融処理している。

昭和61年度から日本下水道事業団が事業に着手し、1日当たり汚泥40DStの処理能力を有する溶融炉2基が平成元年10月に完成、同年11月1日から脱水ケーキのトラック搬入による運転を開始した。その後増設分として、3系列目の溶融炉（処理能力40DSt／日）が平成4年11月に完成、平成5年1月から運転を開始した。

また供用開始時には未整備であった対象処理場からの送泥管及び場内の汚泥処理施設の一部が平成6年3月までに完成、同年4月に揖保川浄化センターA系より生汚泥の一部の受入を開始した。その後順次送泥管と汚泥処理施設を増設し、平成8年10月には姫路市中部終末処理場の一部、平成10年10月には揖保川浄化センターB系及び姫路市福井前処理場、平成12年4月には姫路市東部終末処理場、平成15年4月には揖保川浄化センターA系及び姫路市中部終末処理場の全量の生汚泥の受入を開始した。



図一1 兵庫西流域下水汚泥広域処理場
4・5号溶融設備

なお当施設は平成15年3月31日に、日本下水道事業団から兵庫県へ施設移管された。

当処理場の汚泥は、皮革のなめし工程で使用される三価クロムが含まれ、通常の焼却処理（800～900℃）では酸化されて有害な六価クロムが発生する。この特殊な汚泥の処理にはコークスベッド溶融方式（1,500℃以上）だけが適するとしてこれまで運用してきた。しかし、処理単価が一般の焼却炉に比べて高いことや、運転操作が難しく熟練工の経験を要するなど

表一 兵庫西流域下水汚泥広域処理場 新4・5号炉施設概要

処理方式	抑制燃焼＋旋回灰溶融方式
設備範囲	4号溶融設備・5号溶融設備 付帯設備（スラグ処理設備・排水処理設備・脱臭設備）
供用開始日	4号炉（1系の更新炉）：平成22年4月1日 5号炉（2系の更新炉）：平成23年4月1日
処理対象物	下水汚泥・し渣・沈砂
処理規模	33DS t／日（含水率77%として）×2系列
運転時間	24時間／日

不利な点もあり、長期的に安定処理するとともにライフサイクルコストを縮減することが課題であった。

そこで1・2系溶融炉改築にあたり処理方式等の検討を行い、設計（D）、建設（B）と21年間の維持管理（O）を一体としたDB+O（デザイン・ビルド＋オペレート）方式かつ高度技術提案型総合評価方式による発注方式を採用した。

2. 施設概要

表一の通り。

3. 施設の特徴と新技術

兵庫西流域下水汚泥広域処理場ではこれまでコークスベッド方式の汚泥溶融炉3基で処理していた。コークスベッド方式の溶融施設は鋳物製造に使用されるキュボラ溶解技術を応用したもので、円筒形縦形炉で炉底部に1,500℃に灼熱したコークスベッド（コーク

スの層）がありその高温の排ガスにより汚泥（脱水ケーキ）は乾燥昇温され、可燃分はガス化・燃焼し、汚泥中の灰分は高温還元雰囲気のコークスベッドで溶融し冷却されスラグ化される。

兵庫西流域下水汚泥広域処理場では高濃度のクロムを含む汚泥を処理するため、有害な六価クロムが溶出しやすい灰として排出される焼却処理ではなく、クロムを封じこめやすいスラグ化を行う溶融設備としている。

今回改築対象の旧溶融炉は平成元年から稼働しているもので老朽化が進み、処理対象汚泥性状の変化により能力も低下している。本報告では既設コークスベッド方式より変更した循環流動層炉（熱分解炉）＋二次燃焼室＋旋回灰溶融炉方式新炉（以下新炉と呼ぶ）の技術を説明する。新炉は循環流動層炉で空気を絞った抑制燃焼により六価クロムの生成を抑えた焼却灰を、旋回溶融炉で1,400℃以上の高温により溶融した後、急冷しクロムをスラグ中に封じ込める。以下に処理フローを示す。

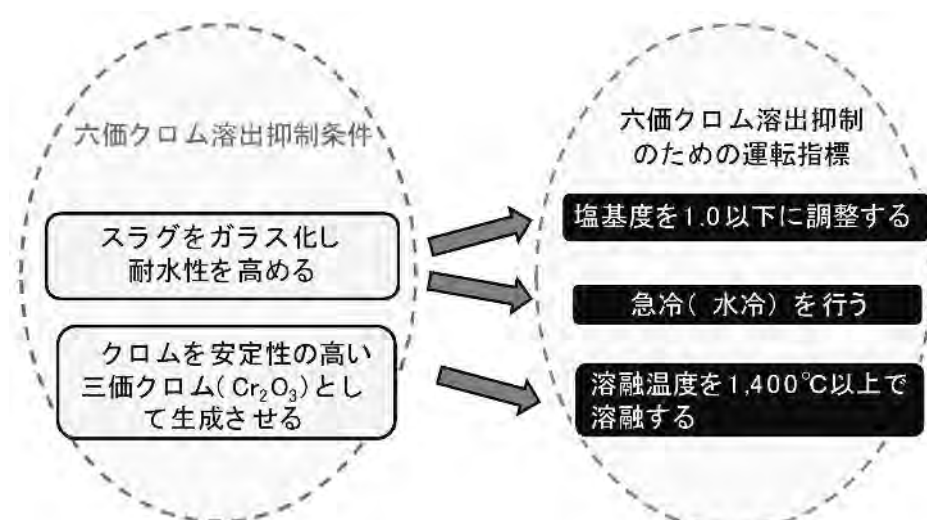
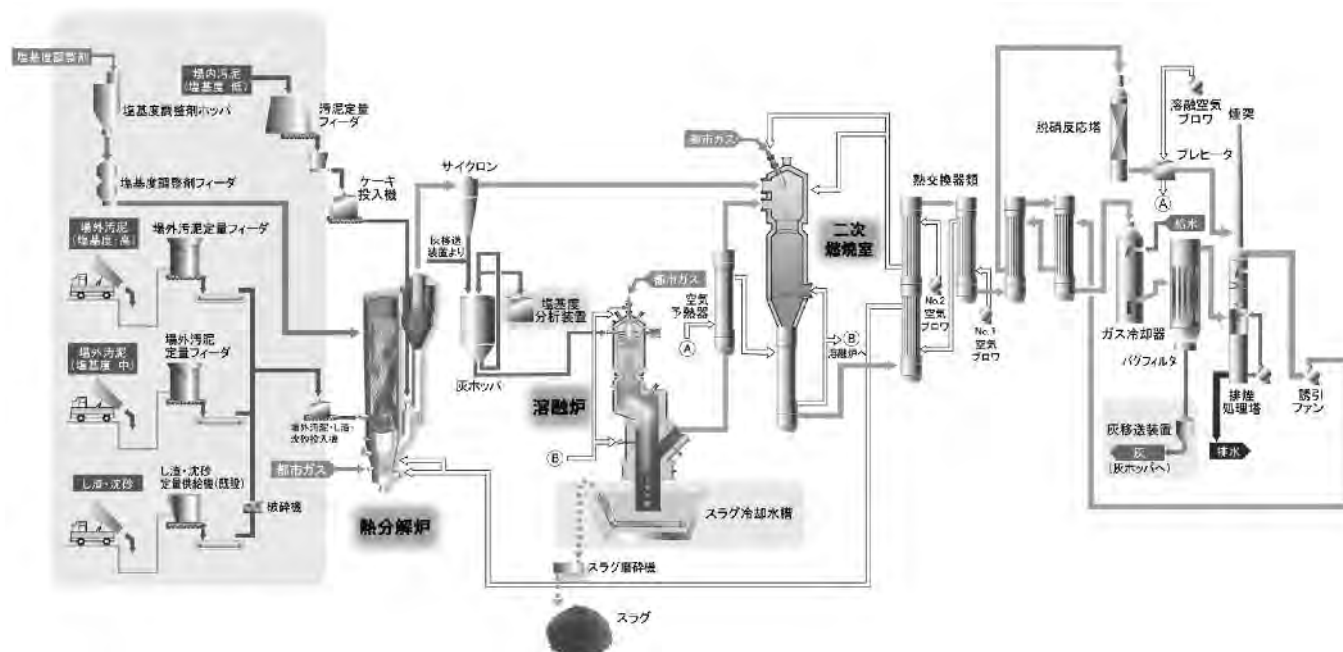


図-2 六価クロム生成溶出抑制



図－3 新炉処理フロー図

炉に投入された脱水ケーキ及びしよ・沈砂は熱分解炉で空気比1.0以下の抑制燃焼を行い六価クロムの生成を抑えた運転を行う。また、熱分解炉へは塩基度調整剤（けい砂及び炭酸カルシウム）を投入し、生成された灰を塩基度*1以下、クロム濃度50,000mg/kg以下、鉛濃度900mg/kg以下に調整し、溶融炉に送り込む。

*塩基度： CaO/SiO_2 で、これまでの研究により1.0以下であれば六価クロムが溶出しないことが判っている。

当該設備は、塩基度分析装置（オンライン型蛍光X線分析装置）を備えており、焼却灰のサンプリングから分析までを全自動で行うことができ、分析結果は、常時、中央制御室の監視画面に表示される。本分析装置は都市ゴミや下水汚泥の溶融炉では採用例が無く、

今回クロムや重金属の管理を行うことで溶融炉に投入する灰成分の安定化を図り、スラグの安定性を高めることが出来た。

コークスベッド方式では直接溶融（脱水ケーキを1つの炉で燃焼・溶融する）のため、このような調整が出来ず、運転員が常時炉の出滓口付近で溶融スラグを監視し、粘度から塩基度を判断しクロム溶出抑制のコントロール（塩基度調整剤の石灰石と碎石の投入）を行っていた。そのため、生成スラグの分析結果を待たねば（1週間程度）製品として使用出来るかも判定できなかったため、不良スラグ（塩基度・クロム溶出量大）の発生率が新炉と比べ高かった。

新炉ではそれらの塩基度調整の監視制御も中央制御室（図－4）から行うことが出来るようになっている。



図－4 中央制御室



図－5 塩基度分析装置

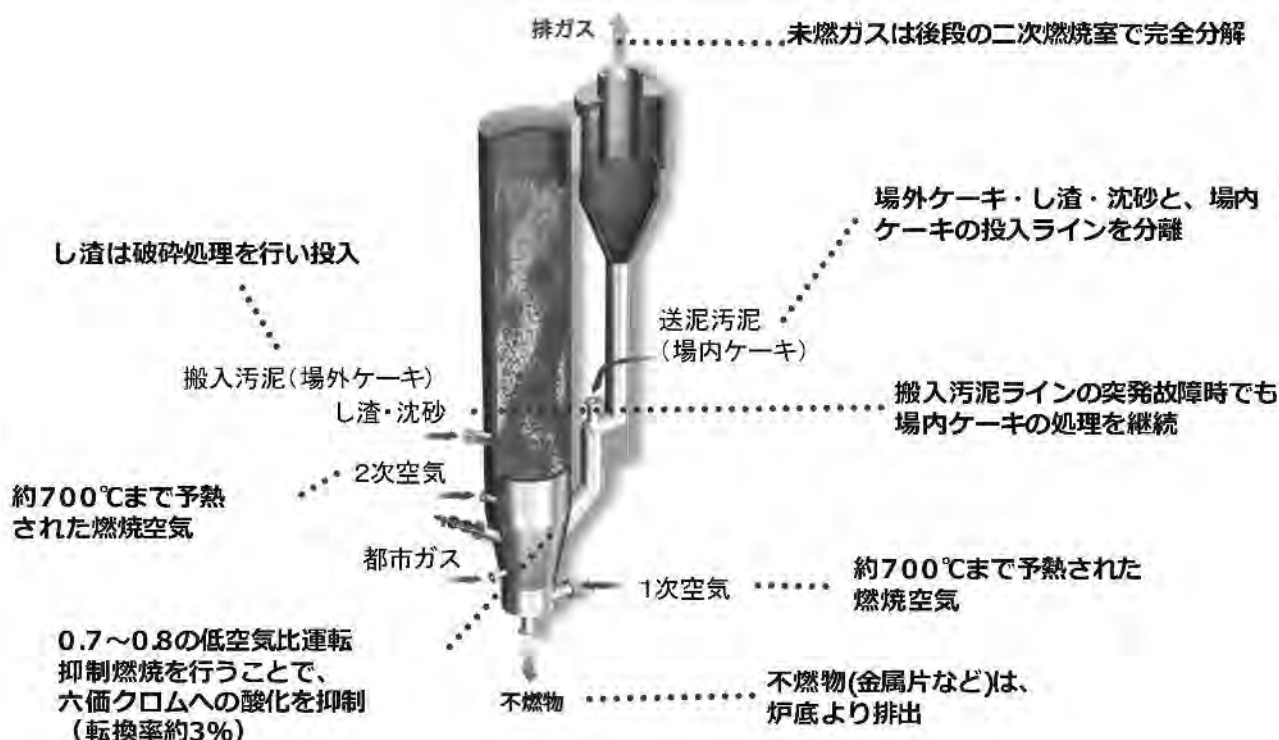


図-6 熱分解炉

塩基度調整機能も本炉の特徴の一つであるが、他にも高効率の2段燃焼システム（熱分解炉＋二次燃焼室）が採用されている。図-6に熱分解炉の構造および特徴を示す。本炉に採用されている循環流動層炉（熱分解炉）は高温の流動砂を循環させて、六価クロム生成を抑制するための低空気比でも炉内温度を安定維持することが出来る。また、流動砂の循環により保有熱量が多いため汚泥性状の変動にも強く、しき等の混焼も安定して行える。本炉は温室効果ガスの削減にも配慮したものとなっており、熱分解炉を800℃程度の炉内温度で運転し熱分解ガスを安定的に発生させそれを後段に設置した二次燃焼室で二次空気と混合し効率的に高温で完全燃焼することが出来る。このため二酸化炭素の（CO₂）の310倍の温室効果を持つ一酸化二窒素（N₂O）の排出量削減も可能となった。従来型汚泥焼却炉で850℃運転を行った場合汚泥1トン当たりN₂O排出量は、0.645kg程度と言われているが、新炉では汚泥の持つ熱量を利用し、炉内に局所的に900℃程度的高温域を生成しN₂O発生を従来型の20%程度まで抑制することが可能となった。

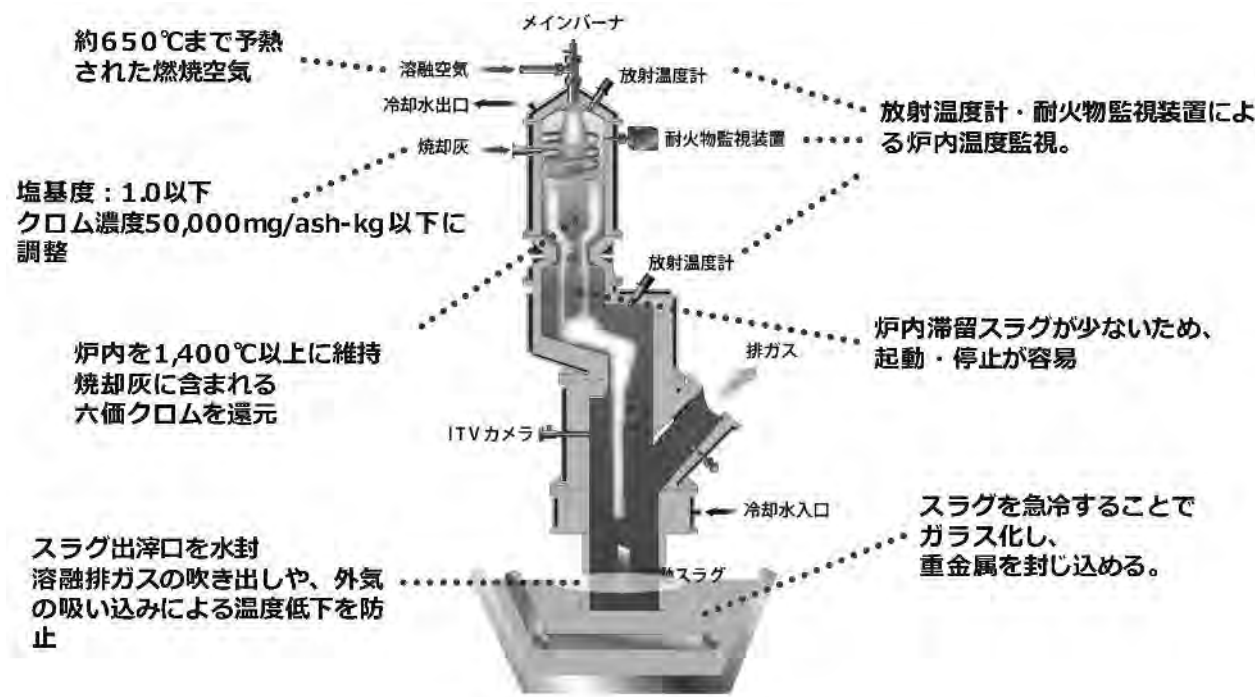
図-7に巡回灰溶融炉の構造および特徴を示す。溶融炉の形式は、立形巡回灰溶融炉である。焼却灰は水分や可燃分がほとんど変化しない均質な性状であるため、炉内温度制御が容易であるという特長を有している。燃料は温室効果ガスの排出量が少ない都市ガスを採用している。焼却灰は溶融炉側面から空気移送によ

り炉内へ投入される。炉内へ吹き込まれた焼却灰は、壁面に形成されているスラグ層で捕捉され溶融し、壁面を伝って出滓口まで流れ落ちる。このように、炉内に滞留しているスラグが少ないため、炉の起動・停止が容易という特長も有している。

前述のとおり、溶融スラグからの六価クロム溶出抑制には、1,400℃以上での溶融が必要であり、適切な温度管理が求められる。そのため、炉内の温度監視装置として、耐火物内に埋め込んだ熱電対の計測結果から炉内温度の推定が可能なFMセンサーおよび、直接炉内温度を計測できる放射温度計を具備している。さらに、溶融スラグを急冷（スラグのガラス化）するため、溶融炉出滓口の直下にスラグ冷却水槽を設置している。溶融炉出滓口より水槽内に落下したスラグはここで急冷され、フライトコンベヤによりスラグコンテナへ搬出される。また、出滓口は水封されており、外気の炉内への流入を抑えている。これにより、出滓口付近の温度低下の防止が可能となっている。溶融炉から排出される溶融排ガスは、二次燃焼室へ導かれ熱分解炉からの排ガスと合流し、後段の排ガス処理設備へ排出される。

4. 受入汚泥とスラグ発生量について

本処理場では平成元年より既存の1・2号炉で汚泥の溶融を行ってきた。以下に平成13年度からの発生量



図ー7 巡回灰溶融炉

表ー2 年度別汚泥等処理量とスラグ発生量

	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22
汚泥処理量(WSt)	111,905	112,749	118,455	103,396	102,140	106,589	93,319	88,270	86,135	89,770
汚泥処理量(DSt)	28,966	27,400	24,697	24,688	24,051	24,465	21,925	20,593	19,873	21,271
灰処理量(t)	18,350	2,577	2,256	2,446	2,223	3,536	2,278	2,351	672	0
灰処理量(DSt)	12,845	1,804	1,579	1,712	1,556	2,475	1,595	1,645	471	0
総処理量(DSt)	41,811	29,204	26,277	26,401	25,607	26,941	23,520	22,239	20,343	21,271
スラグ発生量(t)	15,809	12,473	12,933	9,879	8,788	7,601	6,659	6,461	5,231	4,922

を記す。

本処理場では汚泥以外にも処理場やポンプ場から持ち込まれるしさや沈砂も処理しており、それらを含めたデータとなっている。

灰とは日本下水道事業団が運営していた時代から受け入れていた兵庫県環境クリエイトセンター（現（財）ひょうご環境創造協会）より持ち込まれた一般廃棄物の焼却施設から発生する、ばいじん及び焼却灰等である。しかし、平成21年度末には後継事業のセメントリサイクル事業の開始のため受入を終了している。

近年受入汚泥量の低下とともにスラグの発生量も低下している。

平成22年度より4号炉23年度より5号炉の運転が開始され今後のスラグ発生量の変化に注意をしていく

いと考えている。

5. スラグ利用について

(1) 兵庫県のスラグ管理基準（販売規格）

運転開始より平成15年度までが日本下水道事業団での運営となっている。当時はスラグ利用に関しての基準・規格が無く再利用も処理場工事（場内配管埋め戻し等）に限定されていた。

平成15年度に兵庫県及び関係業界等で構成する「下水汚泥利用検討会」を設置し、平成16年度以降の中播磨県民局（姫路市、神埼郡）、西播磨県民局（揖保郡、龍野市、相生市、赤穂郡、赤穂市、宍粟市、佐用郡）で発注する舗装工事において適応可能な箇所については原則スラグ入りアスファルトを使用することとした。

表-3 兵庫県兵庫西流域下水汚泥広域処理場スラグ管理基準（販売規格）

	規格	単位	県規格
粒度分布	13.2mm以下	%	100
	4.75mm以下	%	95～100
	2.36mm以下	%	80～100
	0.075mm以下	%	0～10
絶乾密度		g/cm ³	2.45以上
			かつ変動幅2%以内
吸水率		%	3.0以下
金属鉄		%	6.0以下
溶出試験	カドミウム	mg/L	<0.01
	鉛	mg/L	<0.01
	六価クロム	mg/L	<0.05
	ヒ素	mg/L	<0.01
	総水銀	mg/L	<0.0005
	セレン	mg/L	<0.01
	フッ素	mg/L	<0.8
	ホウ素	mg/L	<1.0
含有試験	カドミウム	mg/kg	<150
	鉛	mg/kg	<150
	六価クロム	mg/kg	<250
	ヒ素	mg/kg	<150
	総水銀	mg/kg	<150
	セレン	mg/kg	<150
	フッ素	mg/kg	<4,000
	ホウ素	mg/kg	<4,000

使用に当たり平成15年当時、スラグにはJIS規格等無く、県独自の基準として下記の基準を設け品質管理を行っていた。

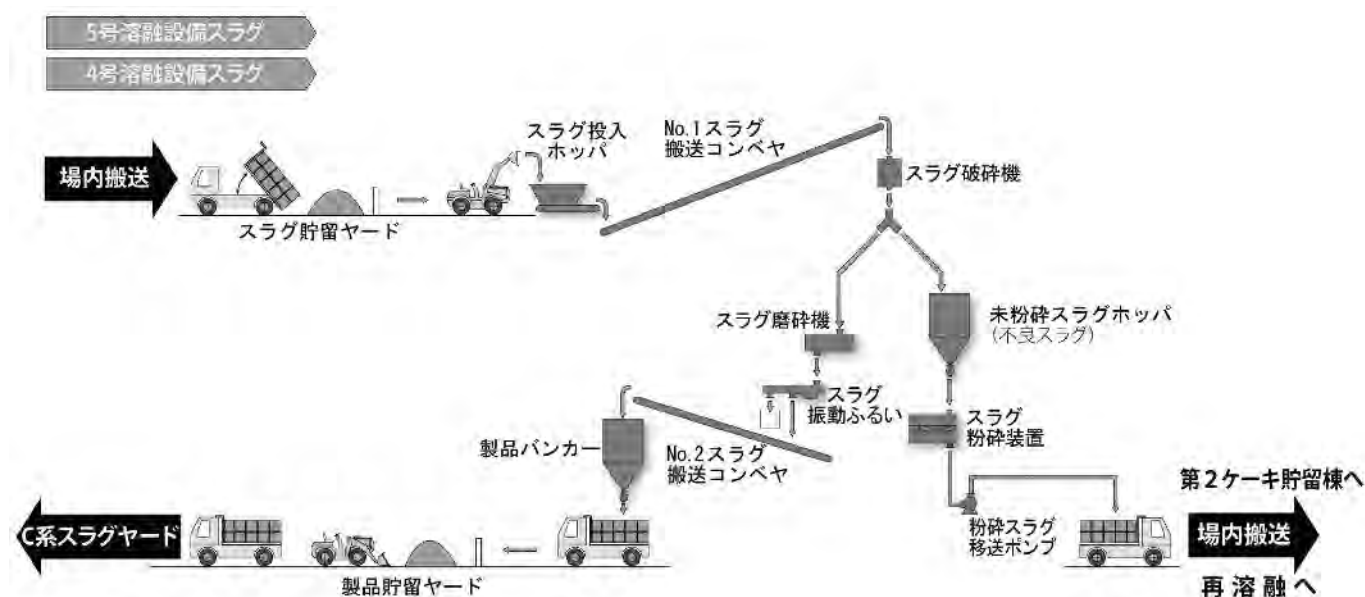
(2) 4・5号溶融設備におけるスラグ品質管理

4・5号溶融設備から生成されたスラグは、「JIS A 5032一般廃棄物、下水汚泥又はその焼却灰を溶融固化した道路用スラグ」の基準を満足することを条件に兵庫県が引き取りを行っている。以下に4・5号溶融設備から生成されるスラグの品質管理方法について述べる。また、各品質管理基準値を表-2に示す。

<日々の管理【1次品質管理基準】>

日々発生するスラグは「スラグ貯留ヤード」に搬送し、日別、溶融炉系別に保管する。「スラグ貯留ヤード」への搬送時に、【1次品質管理基準】試験用として、スラグ約100gをサンプリングする。溶融炉系別に1日分のサンプルをコンポジットし、『塩基度』を測

定する。なお、『塩基度』は、分析室内に設置されている卓上型蛍光X線分析装置で行う。当試験分析の結果が『1次品質基準値』を満足していれば合格とする。合格したスラグは翌日「スラグ処理設備」で全量処理し、溶融炉系別に「製品スラグ貯留ヤード」に搬送、一週間分を纏め、保管する。図-8にスラグ処理設備のフローを示す。スラグ処理設備は、破碎機、磨砕機、搬送コンベヤ、スラグバンカ等で構成されている。溶融スラグは粒度調整および磨砕処理を経て、製品スラグとなる。『1次品質基準値』を満足していないものは不合格品とし、C系スラグヤードに搬送し、不合格スラグとして保管する。日々のスラグ破碎整粒時、「No.2スラグ搬送コンベヤ」出口でスラグ約800gをサンプリングする。サンプリングした試料は【2次品質管理基準】試験用（約100g）と【3次品質管理基準】試験用（約700g）のサンプルに分割し、保管する。1次品質管理基準値は、『スラグ品質管理基準値一覧表』による。



図－8 スラグ処理フロー

<週の管理【2次品質管理基準】>

溶融炉系別に1週間サンプル（約100g×7日＝約700g）を、コンポジットし、『溶出試験六価クロム』及び、『含有試験鉛』を行う。当試験分析の、『溶出試験六価クロム』及び、『含有試験鉛』の結果が全て『第2次品質基準値』を満たしていれば、合格とする。合格した1週間分のスラグは溶融炉系別にC系スラグヤードに搬送し、合格スラグ（合格山スラグ）として保管する。2次品質基準値をひとつでも満たしていないものは不合格品とし、C系スラグヤードに搬送し、不合格スラグとして保管する。C系スラグヤードへ搬送途中に、「トラックスケール」でスラグ重量を計量する。不合格となった場合、事前に分割保管していた、【3次品質管理基準】試験用サンプルは廃棄処分とし、合格したサンプルのみ保管する。2次品質管理基準値は、『スラグ品質管理基準値一覧表』による。

<月の管理【3次品質管理基準】>

週毎、溶融炉系別で合格保管した1ヶ月間のスラグサンプル（不合格スラグを除いたサンプル）約21kgをコンポジットし、【3次品質管理基準】試験用サンプル（約20kg）と長期暴露品質試験サンプル（1.0kg）に分割する。【3次品質管理基準】試験用サンプルは溶融炉系別に1ヶ月分のサンプルとし、『物性試験』『溶出試験（環告46号）』及び、『含有量試験（土壌汚染対策法に基づく環告19号）』を行う。当試験分析の結果、『物性試験』『溶出試験（環告46号）』及び、『含有量試験（土壌汚染対策法に基づく環告19号）』が3次品質管理基準値を全て満たしていれば合格とし、販売用スラグとする。長期暴露品質試験サンプルについて3次品質

管理基準に合格した場合は保管し、不合格の場合は廃棄する。3次品質管理基準値をひとつでも満たしていなければ、不合格品とし、C系スラグヤードの不合格スラグヤードで不合格スラグとして保管する。3次品質管理基準値は表－4『スラグ品質管理基準値一覧表』による。なお、長期暴露品質試験とは、1年分のスラグをまとめて屋外に放置し、今後10年間にわたり1年毎にスラグの溶出試験実施、追跡調査する試験を行うことになっている。

(3) 有効利用実績

平成16年度から22年度までの用途別有効利用量を表－5に、年度別有効利用量を図－9に示す。有効利用用途としては、アスファルト骨材としての利用が最も多く、次いでコンクリート骨材、煉瓦骨材と続いている。なお、無償分とは、地方公共団体（ただし流域下水道汚泥処理事業に参画していること）での使用や、試験研究用として提供したスラグ量である。アスファルト骨材については、前述のとおり平成16年度より県に当該事業が移管されたとき、県発注の土木工事仕様書に当該処理場で生成しているスラグの利用を明記するようになってから割合が増加している。一方年度別有効利用量を見ると平成16年度から平成20年度までは年々上昇しているが、平成20年をピークとして近年は減少傾向が見られる。これは、主な有効利用用途であるアスファルト骨材としての利用量が大きく影響している。つまり、年度毎に発注される道路整備等の土木工事の発注量など、その当時の景気状態が反映されていることになる。

表－4 スラグ品質管理基準値一覧表

方 法	基 準			第1次 品質管理 基準	第2次 品質管理 基準	第3次 品質管理 基準	試験方法	備 考
	No.	試験項目	単 位					
含有量	Ac-2	CaO	%	—				
	Ac-9	SiO ₂	%	—				
	—	塩基度 (CaO/SiO ₂)	—	1 以下				
溶 出 試 験	Ad-2	Cd	mg/l			0.01 以下	検液：環告46号	
	Ad-6	Pb	mg/l			0.01 以下	〃	
	Ad-3	Cr ⁶⁺	mg/l		0.05 以下	0.05 以下	〃	
	Ad-1	As	mg/l			0.01 以下	〃	
	Ad-5	T-Hg	mg/l			0.0005 以下	〃	
	Ad-18	Se	mg/l			0.01 以下	〃	
	Ad-10	ふっ素	mg/l			0.8 以下	〃	
	Ad-36	ほう素	mg/l			1 以下	〃	
	Ab-1	Cd	mg/kg			150 以下	検液：環告19号	
	Ab-2	Pb	mg/kg		150 以下	150 以下	〃	
特定含有量試験	Ab-3	Cr ⁶⁺	mg/kg			250 以下	〃	
	Ab-4	As	mg/kg			150 以下	〃	
	Ab-5	T-Hg	mg/kg			15 以下	〃	
	Ab-6	Se	mg/kg			150 以下	〃	
	Ab-7	ふっ素	mg/kg			4,000 以下	〃	
	Ab-8	ほう素	mg/kg			4,000 以下	〃	
物 性 試 験	Ag-1	粒度分布					JIS A 1102	
		13.2mm 以下	%			—		通過重量%
		9.50mm 以下	%			—		〃
		4.75mm 以下	%			100		〃
		2.36mm 以下	%			85～100		〃
		1.18mm 以下	%			—		〃
		0.600mm 以下	%			—		〃
		0.300mm 以下	%			—		〃
		0.150mm 以下	%			—		〃
		0.075mm 以下	%			0～10		〃
	Ag-2	単位容積質量	mg/l			—	JIS A 1104	
	Ag-3	修正CBR	%			—	JIS A 1211	
	Ag-4	ロソセルスリヘリ減量	%			—	JIS A 1121	
	Ag-6	表乾密度	g/cm ³			2.45 以上	JIS A 1109	
	Ag-7	吸水率	%			3.0 以下	JIS A 1109	
	Ag-8	安定性	%			—	JIS A 1122	
	Ag-9	粒形判定実績率	%			—	JIS A 5005	
	Ag-10	微粒分率	%			—	JIS A 1103	
	Ag-11	アルカリシカ反応性	—			—	JIS A 1804	(迅速法)

表－6にスラグ販売価格を示す。スラグの販売価格は、積み込み費を含む場合（県が搬送用車両に積み込みを行う）は1トンあたり315円、積み込み費を含まない場合（購入者自らが搬送用車両に積み込みを行う）は、1トンあたり203円と定めている。

6. まとめ

現在1系の更新炉である4号炉は平成22年4月より稼働し順調に運転を行っている。計画運転時間に対し実運転時間は99%以上とトラブルもなく運転を継続し

表－5 スラグ用途別有効利用量

	アスファルト 骨材	コンクリート 骨材	煉瓦骨材	埋戻し	その他	無償分	合計
H16	3,696	0	347	0	14	597	4,654
H17	5,497	0	0	0	0	111	5,609
H18	9,096	21	167	41	2	507	9,835
H19	7,172	303	265	0	0	206	7,946
H20	11,145	972	253	162	71	3,656	16,261
H21	6,161	1,013	311	0	22	2,389	9,895
H22	3,765	1,097	280	0	12	269	5,423
合計	46,533	3,405	1,624	203	122	7,735	59,623

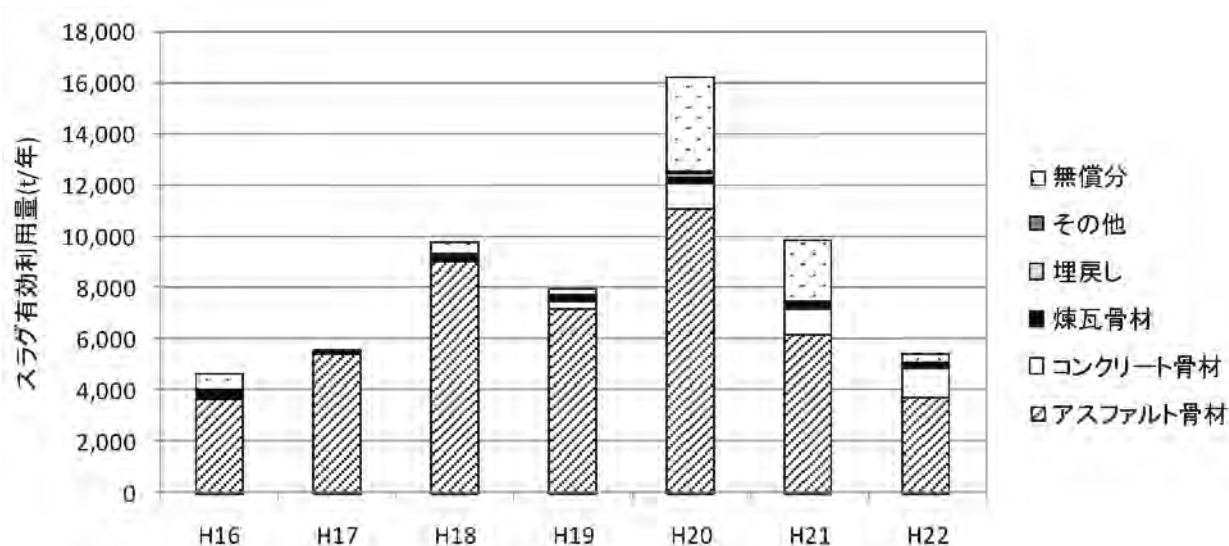


図-9 年度別スラグ有効利用量

表-6 スラグ販売価格

区分	価格	
	積込費含む	積込費含まない
一般の購入者	315 円/t	203 円/t
流域下水道汚泥処理事業に参画している地方公共団体、 または試験研究材料として使用する者	無料	

ている。2系の更新炉である5号炉も平成23年4月に稼働し順調に運転を行っている。4号炉での運転実績をふまえ各炉には一部改良を加えたためより運転管理の安定性は向上していると考えている。

本炉にて処理した汚泥からできたスラグは、「JIS A 5032一般廃棄物、下水道汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固化した道路用スラグ」の基準を満足するもので、さらに、兵庫県独自の基準も満足しており、レンガブロック用骨材、アスファルト骨材、整地用、コンクリート二次製品などに利用可能である。旧炉において処理されたものも上記JISの基準を満足しており平成21年度は約10,000トン近く22年度には約5,500トン近く

資材や土木工事に再利用されている。

近年減り気味のスラグ使用量も発生量とほぼ同等で安定はしている。

強度を求めているブロック等での意匠にこだわる製品等への利用も期待できるがアスファルト骨材利用と同様に、行政側が積極的に製品の利用を行わないと普及はしないと考えられる。

今後はより効率的に安定して処理が行えるように、また地球温暖化ガスの発生抑制に配慮しながら運転管理を行い3系更新の際のデータを蓄積していきたいと考えている。

特集：第24回下水汚泥の有効利用に関するセミナー特集

解 説

農業集落排水施設と連携したメタン発酵消化液の液肥利用について

社団法人 地域環境資源センター（JARUS）

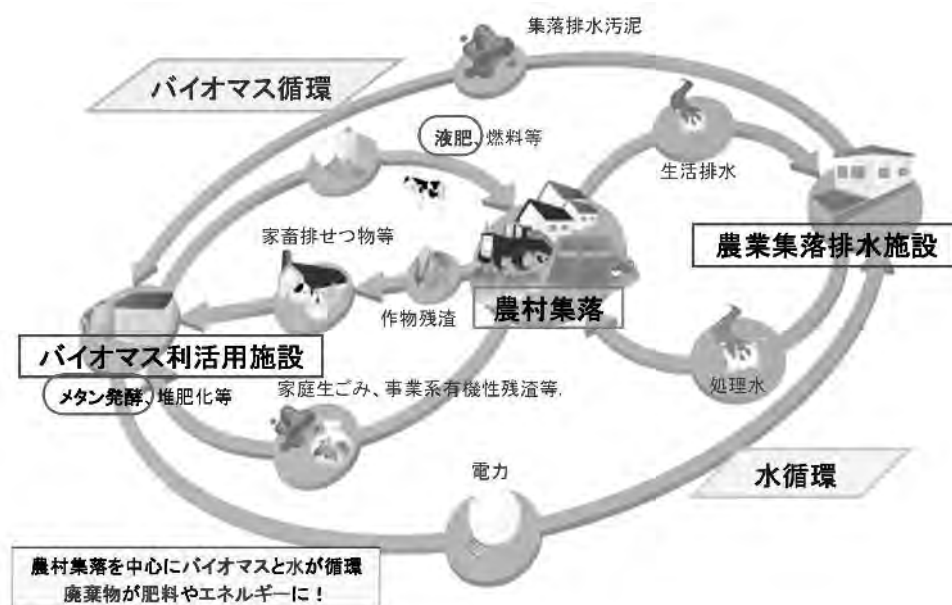
バイオマス技術部 主任研究員 米田 太一

キーワード：農業集落排水施設、バイオマス、メタン発酵消化液

1. はじめに

社団法人地域環境資源センター（以下「JARUS」という。）では、全国5,200地区以上で整備されている

農業集落排水施設を中心に、同施設で発生する汚泥（以下「集排汚泥」という。）を含め地域に広範囲に賦存するバイオマスの有効活用を図るため、農村地域に適した小規模かつ経済的な分散型のバイオマス利活用システムの検討を行っている（図－1）。



図－1 農村地域における資源循環

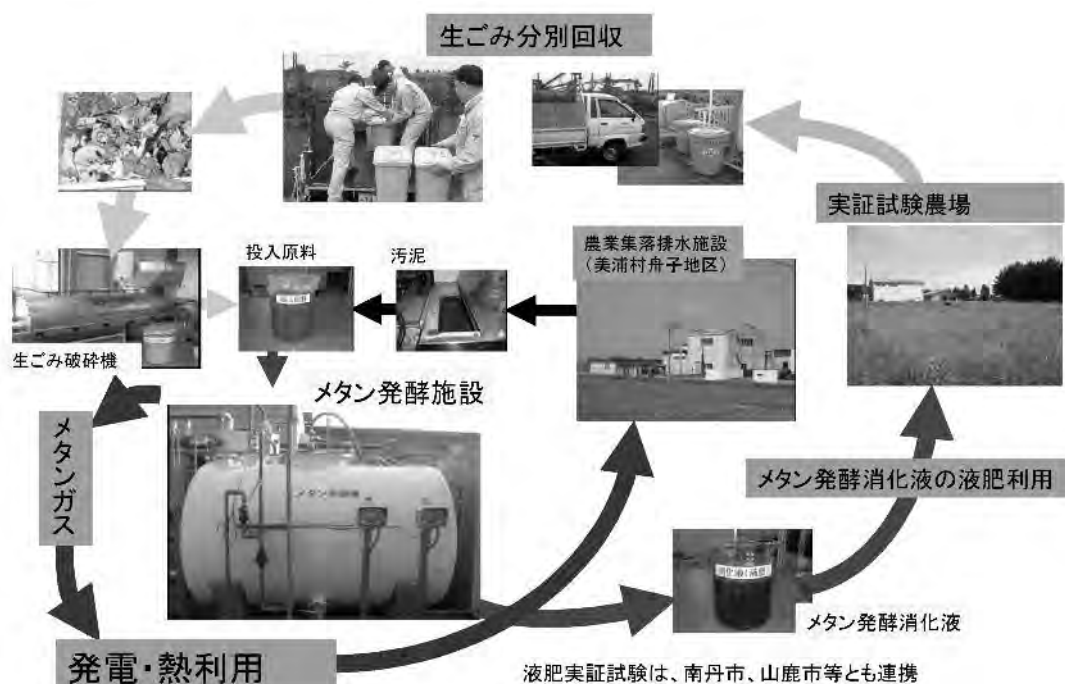


図-2 メタン発酵施設における資源循環とエネルギー利用

そのシステムの1つとしてメタン発酵によるエネルギー利用が各地で実施・検討されており、その処理過程において必要なエネルギーを取り出すこととしているが、発酵後の残さとしてメタン発酵消化液（以下「消化液」という。）が発生している（図-2）。

この消化液の処理がメタン発酵施設の維持管理に大きなウェイトを占めており、発生した消化液の液肥としての農地利用の可否が農村地域における施設全体の運営管理の鍵を握っていると言っても過言ではない。

特に、原料に集排汚泥を含む場合、発生残さは「汚

泥」としてのイメージで取り扱われ、これまでに取り組んできた集排汚泥の堆肥化同様、困難な課題に直面する（図-3）。

過去における我が国のバイオマス利用の考え方として、江戸農書で言う「まわし」という考えがあり、全ては循環しているという見方である。使える有機資源は処理するのではなく、肥料にすることが基本理念にあり、昭和30年代までは「循環」が当たり前の時代であった。つまり、し尿を農地に撒くのはごく普通のことであった。

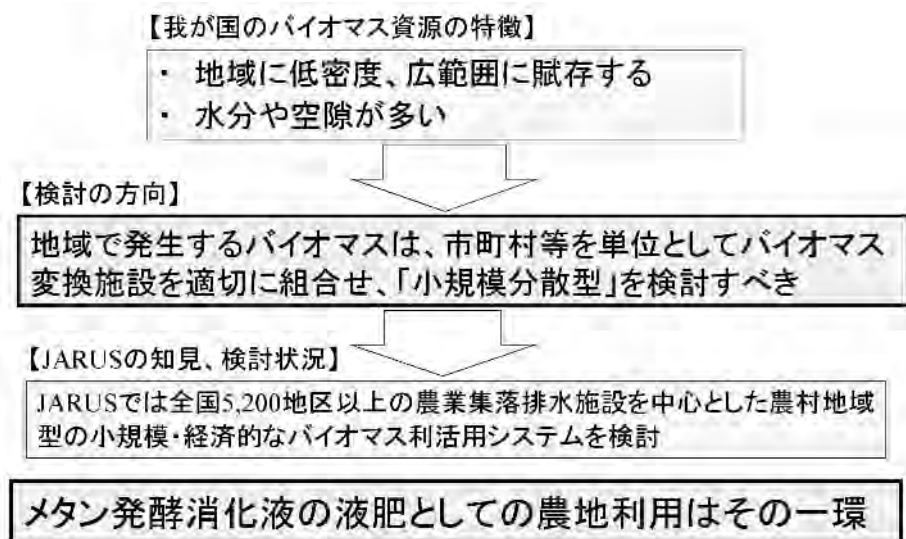


図-3 我が国におけるバイオマス利活用の方針

昭和30年代以降、少しずつ国民のライフスタイルが変わり、生活の利便性、快適性を求める風潮とともに、し尿を農地に撒く有機資源の循環利用は行われなくなってきた。

本報では、農業集落排水におけるバイオマス利活用の現状、農業集落排水とメタン発酵の連携を説明の上、消化液の液肥利用の現状、肥料・有害成分の分析結果、それらの分析結果等を踏まえた施肥設計、施用方法、今後の取組みについて報告する。

2. 農業集落排水におけるバイオマス利活用の現状

2.1 バイオマス原料と利活用技術

集排汚泥を含むバイオマス原料ごとの利活用技術には表-1の利用形態がある。

集排汚泥の場合、畜産糞尿や生ごみ同様ウェット系バイオマスに該当し、その利活用方法も同様である。ただし、それぞれの原料中の成分や法制度上の取扱いが異なるため、例えば肥料として利用する場合、作物生育上の必要量や有機肥料としての位置付けが異なるケースがある。また、メタン発酵によるエネルギー利用を考える場合、潜在的なエネルギー量の少ない集排

汚泥と集排汚泥に比べてエネルギー量の多い生ごみ等を混合してメタン発酵させることで効率的なシステムの構築が可能になる。

集排汚泥の場合、これまで堆肥化が主な利活用技術であったが、更なる集排汚泥の利活用を推進する上でメタン発酵は今後の利活用技術の1つとして重要である。

2.2 集排汚泥のリサイクル状況

近年の農業集落排水事業における集排汚泥のリサイクル状況は図-4のとおりである。

平成21年度末時点の集排汚泥のリサイクル率は約65%（濃縮汚泥ベース）であり、その内訳は農地還元が約46%、緑地還元が約8%、建設資材利用が約11%となっている。

農業集落排水事業では、平成14年度から集排汚泥や処理水のリサイクル計画（資源循環促進計画）の策定を実施要件としたことにより、それ以降順調に集排汚泥のリサイクル率は向上したが、平成18年度以降は微増となっている。

このような状況を踏まえ、現在JARUSでは集排汚泥の利活用促進のための実証調査・検討を行っており、今年度を含む3カ年の事業成果を基に更なる集排汚泥の利活用に向けて情報発信を行うこととしている。

表-1 バイオマス原料と変換技術の関係

原料 変換技術	畜産ふん	畜産ふん 尿混合	生ごみ	汚泥	廃食油等	食品産業 等の残さ	木質バイ オマス	ソフトセ ルロース	変換物質の利用
たい肥化	◎	◎	◎	◎		◎	◎	○	たい肥
メタン発酵	◎	◎	◎	◎				○	主生成物：発電、燃料等 副生成物：肥料（液肥）
バイオディーゼル燃料製造					◎				主生成物：燃料 副生成物：石けん等
飼料化						◎	○	◎	飼料
チップ化							◎		燃料、発電、ガス化の原料等
木質ペレット製造	△		△	△			◎		燃料
直接燃焼	△		△	△			◎		燃料、発電
炭化	△		△	△			◎		燃料、土壌改良・水処理等
ガス化							◎		発電、代替都市ガス等
エタノール製造								◎	燃料
バイオマスプラスチック製造							◎	◎	バイオマスプラスチック
バイオマス事業で想定される事業主体	市町村、組合、民間事業者（畜産事業者）		市町村、民間事業者（廃棄物処理業者）		市町村、民間事業者	民間事業者、市町村	民間事業者、組合、市町村	民間事業者、市町村	

◎：主原料

○：副資材(副原料)

△：積極的なバイオマス利活用と言えるかどうか議論の余地があるもの

農業集落排水汚泥のリサイクルの状況

○発生する汚泥の約65%を農地還元などでリサイクル利用し、資源循環の取組みを推進。

○平成14年度から汚泥や処理水のリサイクル計画(資源循環促進計画)の策定を事業の要件にしたことにより、順調に汚泥リサイクル率が向上したが、最近はやや頭打ちの傾向。

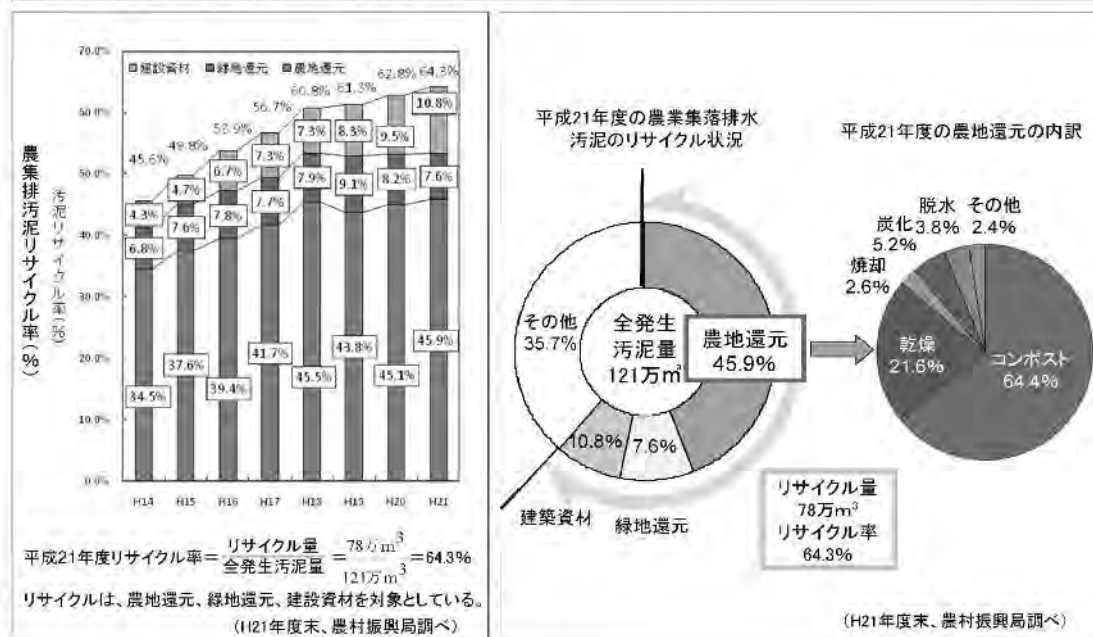


図-4 農業集落排水汚泥のリサイクル状況

3. 農業集落排水とメタン発酵の連携

2.1で説明したとおり、集排汚泥の利活用を推進する上でメタン発酵は今後の利活用技術の1つとして重要であり、農業集落排水施設の改築に合わせてメタン発酵施設を導入することで施設全体の維持管理費の節減が図られるケースもあるため、JARUSでは農業集落排水施設の改築に合わせたメタン発酵施設の導入検討を推奨している。

ただし、原料としてのエネルギー量の点から、生ごみ等の混合投入を前提としており、メタン発酵施設全体の運転に必要な電気量及び熱量を自ら供給するためには、2,000人の汚水処理対象人口から発生する集排汚泥に加えて、4,000人規模の生ごみ収集量が必要となる(図-5)。それらの前提条件に基づいた試算結果は図-6のとおりである。

あくまでモデルケースでの試算結果であるが、農業集落排水施設の改築に合わせたメタン発酵施設の導入により、生ごみの一般廃棄物処理費の軽減分を考慮した農業集落排水施設とメタン発酵施設を合わせた年間維持管理費は約3割節減可能となる。

4. 消化液の液肥利用の現状

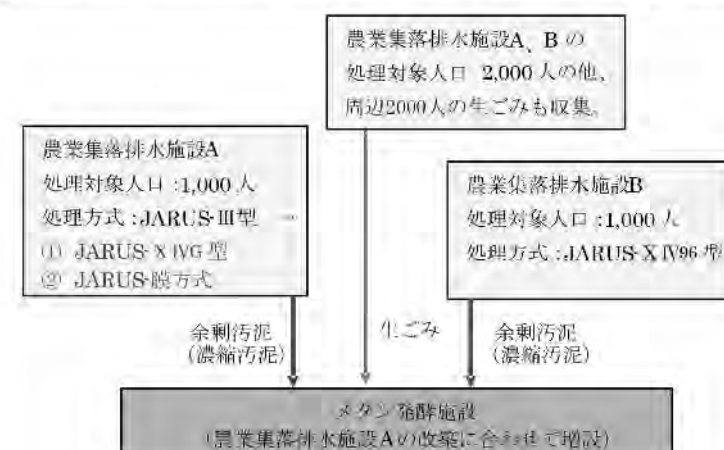
4.1 液肥利用の必要性

メタン発酵過程で発生する消化液のBOD等の数値は高く、投入した原料は殆ど減少しないため、窒素等の有用成分を活用すべく液肥として農地還元することが望まれる。ただし、それができない場合には、各種法令等に基づく適正な水処理を行った後に河川放流等が行われている。このような水処理を行う場合、施設建設費に対する処理設備の費用だけでなく、維持管理費に対する消化液処理費の割合も大きくなり、メタン発酵施設全体の採算性を悪化させる大きな要因となっている。また、水処理の際、電気エネルギーや薬品等を使って消化液中の窒素等を除去することになるため、資源の損失にもつながる。このため、消化液を液肥として利用することは経済性、省エネ・省資源の観点から極めて重要である。

4.2 全国の液肥利用状況と利用事例

JARUSの「バイオマス利活用技術情報データベース Ver2.1」では、表-2に示すとおりメタン発酵施設の登録数は2011年3月末時点で59施設である。このうち、消化液を適正な水処理後に公共用水域に放流しているの

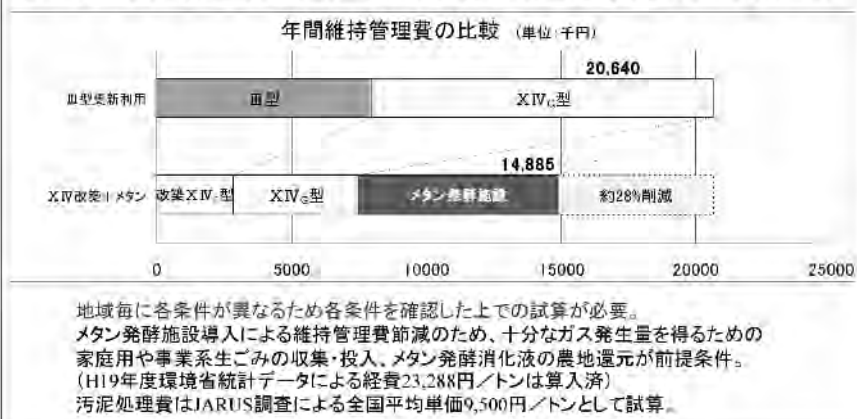
メタン発酵施設の設置による維持管理費の節減事例



図ー5 農業集落排水施設とメタン発酵施設の連携検討事例

【2処理区(Ⅲ型、XⅣG型)の処理人口がそれぞれ1,000人、
Ⅲ型更新の有無により比較した場合】

○メタン発酵施設の設置で年間維持管理費を約3割カット



図ー6 農業集落排水施設とメタン発酵施設の連携による維持管理費節減効果

表ー2 国内の液肥利用状況 (JARUS調べ、2011年3月末時点)

	メタン施設数				
	うち液肥利用			うち水処理	その他
	うち糞排汚泥原料				
北海道	19	15	(1)	1	3
東北	6	4	-	2	-
関東	7	4	-	2	1
北陸	4	-	(1)	1	3
東海	1	-	-	-	1
近畿	8	1	-	4	3
中国四国	1	-	-	-	1
九州	12	7	(1)	3	2
沖縄	1	-	-	-	1
計	59	31	(3)	13	15

は13施設、液肥利用しているのは31施設である。さらに液肥利用31施設では、北海道が15施設と最も多く、九州7施設、東北・関東で各4施設の順となっており、北海道では牧草地中心、九州では水稻中心の循環利用システムが構築されている（<http://www2.jarus.or.jp/biomassdb/>参照）。

液肥利用を全国展開する上で、水田や畑地での利用促進が不可欠であり、九州の福岡県大木町や熊本県山鹿市での取組は年間液肥製造量が多く、消化液を全量利用している点からも貴重な事例である。この他、消化液の全量利用ではないものの、先駆的に水田や畑地での液肥利用を行っている京都府南丹市や千葉県香取市などの例がある。このように水田や畑地での液肥利用実績は決して多いとは言えないが、その取組は着実に進んでいると考えられる。

5. 液肥の肥料成分と有害成分

5.1 肥料成分

全国6箇所のメタン発酵施設の消化液の他、集排汚泥やし尿の好気性分解による液肥化施設における「液肥の肥料成分」を分析した結果、全窒素の含有量は2～4g/L、全窒素に占めるアンモニア態窒素は概ね60%前後であった。また、硝酸態窒素は全ての施設で低く、窒素成分の残りは有機態窒素として存在していると考えられる（表-3）。

生ごみや汚泥を主原料とする施設では窒素濃度が高い傾向に対して、家畜排せつ物を主原料とする施設で

はリン・カリウムが高い傾向であり、特にカリウムはその傾向が顕著であった。

5.2 有害成分（重金属）

消化液に限らず、集排汚泥等を原料とする肥料には重金属等の有害物質が含まれているとの懸念もあり、前述のメタン発酵施設のうち5箇所の消化液の他、好気性分解による液肥の有害成分を分析した。その結果、いずれの施設も概ね100年程度連用することを前提として設定された肥料取締法における汚泥肥料の含有を許される有害物質の最大量を超過する事例は見られていない（表-4）。

6. 施肥設計と施用手法

6.1 施肥設計の基本的考え方

5.1に概説のとおり原料により肥料成分が異なるため、液肥となる消化液の肥料成分を調査するとともに、従来の施肥基準に基づき対象地域の土壌・農作物で求められる各成分量の調査が必要である。

それらを比較の上、施肥基準上必要とされる成分量に最初に達する成分と必要量に達する消化液の施用量を確認し、その時の施用量では施肥基準上不足する成分を化成肥料等により補うことが基本となる（図-7）。

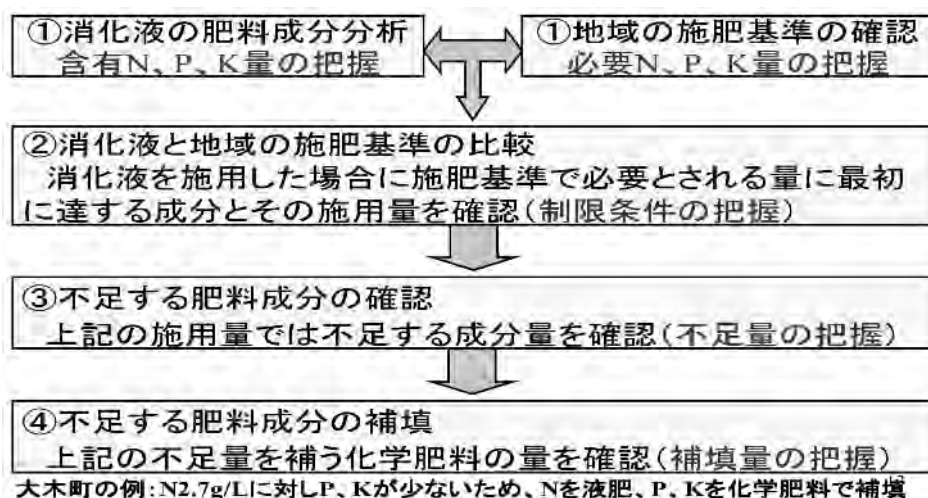
例えば、福岡県大木町の場合、全窒素濃度が他成分と比べて高いことに着目し、消化液の全窒素量2.7g/Lに対しリン・カリウムが少ないため、窒素成分を消化液で補い、その他のリン・カリウム成分を化成肥料等

表-3 液肥の肥料成分分析結果

施設		鹿追町 環境保 全セン ター	南丹市 八木バ イオエコ ロジー センター	おおき 循環セ ンター	山鹿市 バイオ マスセ ンター	日田市 バイオ マス資 源化セ ンター	JARUS 美浦実 験研修セ ンター①	築上町 有機液 肥製造 施設
項目	単位						汚泥・生ごみ -1.2	
全窒素	g/L	2.2	3.1	2.7	2.1	4.1	4.6	1.2
アンモニア態窒素	g/L	1.8	1.6	1.6	1.5	2	2.8	0.9
硝酸態窒素	g/L	0.073	0.084	0.057	0.044	0.093	0.2	0.028
リン(P ₂ O ₅)	g/L	1.5	1.3	0.91	0.2	2.2	2	0.4
カリウム(K ₂ O)	g/L	4.9	2.9	0.47	2.4	1.8	0.6	0.33
石灰全量	g/L	1.3	1.2	0.7	0.8	1.6	0.8	0.11
pH		7.7	7.8	8.5	8.3	7.9		9.3
全炭素	g/L		13		6	8	11	1.15

表一4 液肥の重金属成分分析結果

施設		含有を許される 有害物質の最大量 (%)	鹿 追 町 環 境 保 全 セ ン タ ー	お お き 循 環 セ ン タ ー	山 鹿 市 バ イ オ マ ス セ ン タ ー	日 田 市 バ イ オ マ ス 資 源 化 セ ン タ ー	J A R U S 美 浦 実 験 研 修 セ ン タ ー ①	築 上 町 有 機 液 肥 製 造 施 設
項目	単位							
肥料 取 締 法 に よ る 項 目	ヒ素	%	0.005	<0.0005	0.0011	0.00007	<0.0001	<0.00005
	カドミウム	%	0.0005	<0.00005	0.00018	0.00006	<0.00005	0.00011
	水銀	%	0.0002	<0.00002	0.00004	0.000008	0.00001	<0.00002
	ニッケル	%	0.03	<0.003	0.00064	0.0006	<0.001	<0.003
	クロム	%	0.05	<0.005	0.00086	0.0006	<0.001	<0.005
	鉛	%	0.01	<0.001	0.00094	<0.0005	<0.0005	<0.001



図一7 施肥設計の基本的考え方

で補うといった消化液中の窒素成分を基準とした施肥設計となっている。

6.2 施用手法

我が国の消化液の液肥としての施用手法は牧草地、水田、畑地で大きく異なる(表一5)。牧草地でのスラリースプレッダによる機械施用やパイプラインによる肥培灌漑の実施例は多く、一定の施用手法は確立されているが、水田や畑地での液肥施用の実施例は少なく、更なる工夫が必要である。

水田の場合、元肥は灌漑用水と液肥を混ぜて流し込む手法の他、前述の機械施用も可能であるが、追肥は

前者の流し込む手法が有効であり、これまでの調査結果から、水田で肥料成分の均一性を保つには、ほ場の均平度向上、施用前の十分な落水、低濃度かつ十分時間をかけた施用が有効であることが分かっている。

畑地の場合、改良型スラリースプレッダの他、うね間に液肥を流し込みうね間側面から浸透させる施用手法、マイクロ灌漑チューブによる施用手法等があり、前者は土壌の透水性確保、後者は液肥中の懸濁物質除去が重要となる。

写真は、消化液の機械による直接散布状況(写真一1、2)、灌漑用水と消化液の混合による流し込み散布状況(写真一3、4)である。

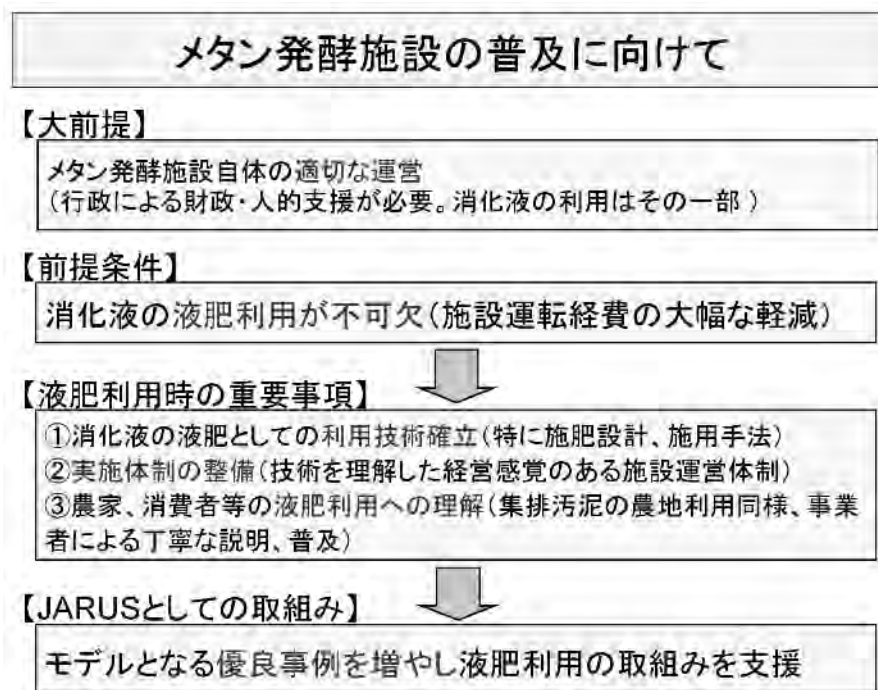
表－5 消化液の施用方法毎の概要

	施用手法	概要	適用	特徴	技術的課題	実施例
牧草地等	スラリースプレッダ（バキュームカー）	家畜ふん尿用のスプレッダを使用	牧草地、畑地	牧草地では比較的効率的な施用が可能	民家等への飛散に注意が必要	全国の牧草地等
	肥培かんがい施設（牧草、畑）	かんがい用パイプラインによりほ場まで送水	大規模な牧草地、畑地	広大な農地に効率的な施用が可能	狭小な農地には適用不可	北海道他
水田	改良小型スラリースプレッダ	家畜ふん尿用のスプレッダをクローラードレンプ（回転式）に搭載	水田の元肥（代掻き前）	整備済み水田では効率的な施用が可能。スプレッダが下向きのため液肥が飛散しにくい。	水稲の追肥は適用不可	九州他
	バキュームローリーによる流し込み	水口でバキュームローリーの液肥と用水を同時に供給	水田の元肥（代掻後）、追肥	一般的な水田に適用可能	ローリーに連動と施肥の2つの機能を果たせるため、作業効率が低下	九州他
	肥培かんがい施設（水田）	かんがい用パイプラインによりほ場まで送水	（実証試験中）水田の元肥（代掻後）、追肥	一般的な整備済み農地に効率的な施用が可能。	肥料成分均一化のための用水・肥培管理が必要	実証試験
畑地等	改良小型スラリースプレッダ	水田用と同様	麦の元肥、追肥、菜の花の元肥等	整備済み転作水田や畑に効率的な施用が可能。液肥が飛散しにくい。	ある程度作物が生育した後の追肥は困難	九州他
	畝間かんがい	畑の畝間に液肥を流し込み	キャベツ、レタス、スイートコーン等	一般的な畑地に効率的な施用が可能	肥料成分均一化のための工夫が必要。土壌の透水性により適用困難な場合あり。	全国各地
	マイクロチューブかんがい	畑地かんがい用チューブを用いて施用	（実証試験中）アスパラ、キュウリ等のハウス野菜	目密度の高い施肥管理が可能。ハウスや樹園地等の付加価値の高い作物への適用が可能	かんがいチューブのエミッターの日詰まり対策のため十分な固液分離が必要	九州他 実証試験



写真一、2 改良スラリースプレッダによる直接施用

写真三、4 灌漑用水との混合による流し込み施用



図ー8 集排汚泥利用の知見活用によるメタン発酵施設の普及

7. おわりに

集排汚泥を含むバイオマスを原料としたメタン発酵施設の普及には、施設自体の適切な管理・運営が大前提としてあり、行政による財政的・人的支援のみならず、消化液の利用が施設の適切な管理・運営上必要とされる。

農業集落排水施設では集排汚泥の利用、メタン発酵施設では消化液の利用の可否が、両施設の健全な維持管理上大きなウェイトを占めている。農村地域では発生した集排汚泥を堆肥として、消化液を液肥として農地利用することで施設全体の運転経費の大幅な軽減につながり、集排汚泥及び消化液の農地利用の検討、推進は不可欠である。

農村地域では消化液の利用を推進する上で液肥利用技術の確立が重要であり、現状の消化液の成分分析結果と従来の施肥基準を比較した施肥設計、現状の農地利用状況を踏まえた適切な施用手法が主な検討事項と

なる。

また、消化液の農地利用の普及にはそれら利用技術だけでなく、技術を理解し策定した計画を具体化する実施体制の整備、市町村等の事業者が利用者側の農家、消費者等に対して消化液利用の意義を十分理解してもらう取組も重要である。

これは集排汚泥の堆肥利用にも言えることであり、農家、消費者等の理解を得るには農家、消費者等に対する事業者からの分かりやすく丁寧な説明が必要である(図ー8)。

JARUSではこれまでの集排汚泥の堆肥利用に関する知見をさらに充実させるとともに、それらの知見の活用により、メタン発酵の過程で生じる消化液の農地利用促進を図ることとしている。

さらに、消化液の農地利用のモデルとなる優良事例を増やし、液肥利用の取組を支援することで更なるメタン発酵施設の普及を図り、我が国におけるバイオマス利活用の推進に努めたいと考えている。

特集：第24回下水汚泥の有効利用に関するセミナー特集

解説

下水汚泥有効利用に関する
（社）日本下水道協会の取り組み

（社）日本下水道協会技術研究部資源利用研究課長
（現・大阪市建設局下水道河川部水環境課課長代理）

大谷佳史

キーワード：下水汚泥由来肥料、施用試験、建設資材利用、環境安全性

1.（社）日本下水道協会の取り組みの経過

（社）日本下水道協会は、昭和52年12月に設立された下水汚泥資源利用協議会の事務局を長年務め、下水汚泥資源利用協議会の機関誌である「再生と利用」の編集を担当するなど、下水汚泥有効利用促進のための活動を継続しています。平成22年度末で下水汚泥資源利用協議会は解散となりましたが、（社）日本下水道協会が、関連業務を引き継いでおります。

現在、（社）日本下水道協会では、以下に示す関連委員会・連絡会を組織しての調査研究や、下水汚泥の有効利用に関するセミナー、下水汚泥リサイクル推進に関する講演会による情報発信に努めています。ここでは、最近の取り組みの概要、特に緑農地と建設資材分野について報告させていただきます。

2.「再生と利用」のホームページ掲載¹⁾

平成22年12月から、「再生と利用」のバックナン

表－1 （社）日本下水道協会の下水汚泥有効利用の取り組み

区分		委員会・取り組み等
情報発信		「再生と利用」編集委員会
調査研究	緑農地	下水汚泥由来肥料の利用促進連絡会
	建設資材	下水汚泥建設資材利用調査専門委員会
		下水汚泥建設資材利用促進連絡会
	エネルギー	下水汚泥エネルギー利用調査委員会
研修		下水汚泥の有効利用に関するセミナー
		下水汚泥リサイクル推進に関する講演会

表－2 各種有機質堆肥の成分組成（平成16・17年度融合下水汚泥コンポストの施用試験報告書より）

種類	現物当たり(%)					
	水分	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
乳牛ふん・麦かん	41.22	1.43	2.10	1.02	1.5	0.51
生ごみ	34.83	2.08	2.19	0.83	3.3	0.35
チップ・牛ふん	39.12	1.64	2.66	1.23	－	0.62
剪定枝	40.48	1.87	2.78	0.49	2.53	0.45
下水乾燥汚泥	32.15	4.08	4.99	0.14	－	0.51
下水汚泥コンポスト	34.35	2.33	1.92	0.11	0.68	0.17

バーを（社）日本下水道協会ホームページで閲覧できるように改良しました。現在は、平成20年度発行分以降（NO.120号以降）が閲覧可能で、一般用サイトと会員専用サイトの両方にバックナンバーを掲載しており、最新の2号は、会員のみ閲覧できるようにしています。各所属で「再生と利用」について周知していただき、「再生と利用」の読者が増えることを期待しています。

3. 下水汚泥由来肥料の利用促進連絡会

（社）日本下水道協会では、平成22年度に複数の緑農地利用に関する連絡会を統合し、下水汚泥由来肥料の利用促進連絡会を設置しました。下水汚泥由来肥料の利用促進のためには、農業や緑地関係者の理解やアドバイスが必要なことから、委員の約半数は、農業系の研究機関等の関係者であり、下水道関係者と農業関係者が意見交換できる場としても貴重であると考えています。本連絡会では、主に下水汚泥由来肥料や他の有機質堆肥の施用試験を継続実施しており、下水汚泥由来肥料の優れた特徴を化学的に説明するための貴重な知見が得られています。

(1) 下水汚泥由来肥料等の施用試験の目的の変遷

（社）日本下水道協会では、下水汚泥由来肥料の利用促進連絡会にご参画いただいている、（財）日本土壌協会の協力により、平成16年度から、下水汚泥由来肥料をはじめとした有機質堆肥を使用した各種施用試験を継続実施しています。平成16年～20年度までは、下水汚泥由来肥料の利用量拡大を目指し、より高品質な製品の製造と施用調査を目的としました。表－2に示すように、下水汚泥由来肥料は、窒素やりんが豊富な反面、カリウムが少ないという特徴があります。したがって、牛糞や生ごみなどとの融合コンポストを試験製造し、その効果を施用試験により検証しようと思われました。

しかしながら、対象作物によって施用効果が変わること、降雨状況により結果が変わることなどから、コンポストから土壌、さらに作物中へ、どのように栄養素（主に窒素分）が移行するのか、整理された知見が必要と考えました。

これを受けて、平成21年度以降は、各種有機質資材の窒素化合物画分と肥効との関係について、複数の作物で調査を開始し、現在も継続しています。

(2) 窒素化合物の粗分画法による各種コンポストの形態別組成と作物収量について²⁾

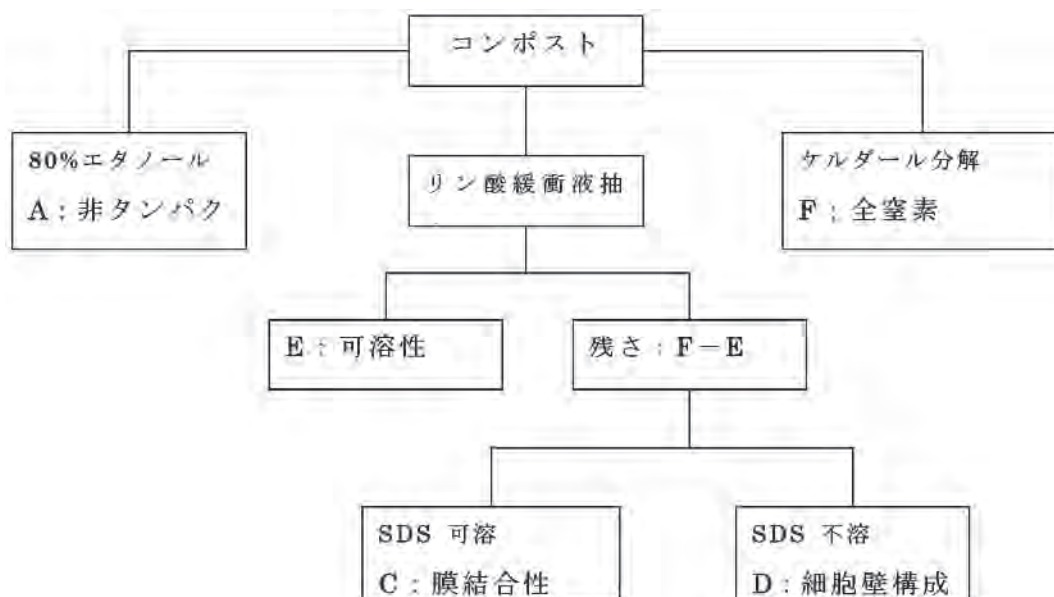
ここでは、主に平成21～22年度に実施した調査内容について報告します。

① タンパク態窒素の分析方法と分析結果

堆肥に含まれるタンパク態窒素の形態分析は、図－2のように、リン酸緩衝液、80%エタノールによる抽出およびケルダール分解により図中のA～Fの値を出し、非タンパク態窒素（A）、可溶性タンパク態窒素（B=E-A）、膜結合性タンパク態窒素（C=F-E-D）、細胞壁構成タンパク態窒素（D）の含有量を測定するものです。

非タンパク態窒素（A）は、硝酸性窒素やアミノ酸などを示し、作物に最も早く吸収される形態の窒素です。可溶性タンパク態窒素（B）は、非タンパク態窒素（A）には劣るものの比較的早く作物に吸収されと考えられます。膜結合性タンパク態窒素（C）は、土壌中である程度の分解を受け、可溶性タンパク態窒素や非タンパク態窒素に分解されてから、作物に吸収されと考えられます。したがって、肥効が現れるのは、非タンパク態窒素（A）や可溶性タンパク態窒素（B）に比較して遅いと考えられます。一方、細胞壁構成タンパク態窒素（D）は、難分解性であり、分解され作物に吸収されるまでには、相当な時間が必要であると推定されます。

このように、コンポストに含有する窒素分を作物

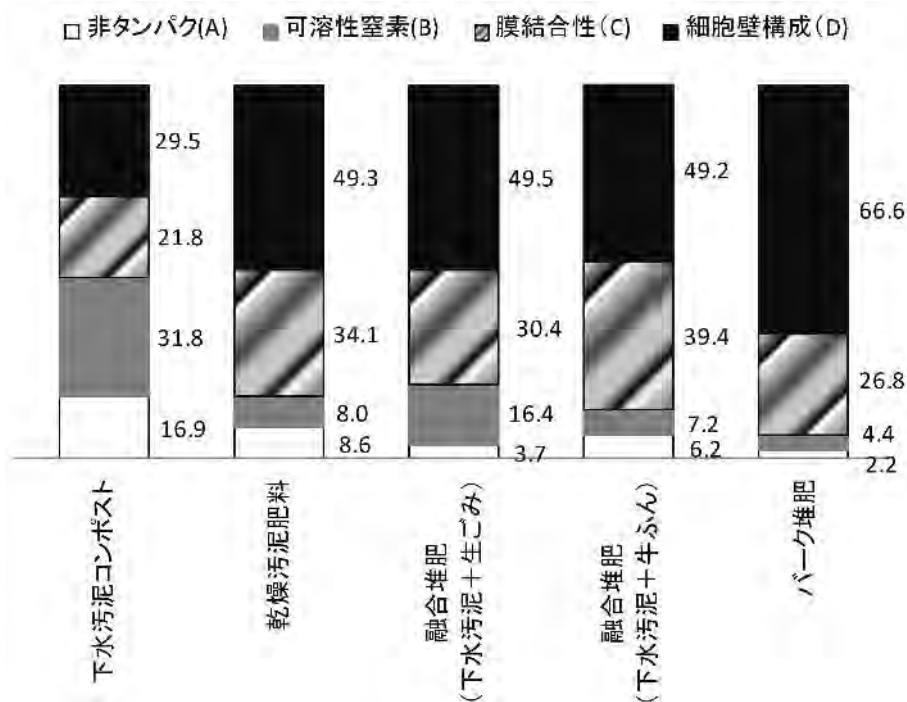


図－2 タンパク態窒素の分析手順

への吸収されやすさで4つに区分（画分）し、その結果が、作物収量にどのような影響を与えるのか調査しました。

次に、各種コンポストのタンパク態窒素を分析した結果を図－3に示します。図－3に示しましたとおり、下水汚泥コンポスト（高分子系未消化汚泥のコンポスト）の特徴は、非タンパク態窒素（A）や可溶性タンパク態窒素（B）という、比較的早く作物に吸収される窒素が多いことにあります。生ごみ

堆肥などと比較すると、その特徴がよく分かります。一方、乾燥汚泥肥料（嫌気性消化汚泥の乾燥肥料）は、下水汚泥コンポストに比較して易分解性の窒素が少なく、嫌気性消化の有無による差ではないかと推測されます。樹皮等を原料としたバーク堆肥については、細胞壁構成タンパク態窒素（D）が2/3程度を占め、繊維質が多く難分解性の原料であることが良く現れています。



図－3 原料別コンポストの窒素画分の比較（％）

表-3 コマツナの作業経過

作期	作業日	作業内容
第1作（春作）	5月6日	肥料秤量
	5月10日	区画、施肥、第1回播種
	5月22日	薬散（オルトラン粒剤）
	5月28日	除草、薬散（アファーム乳剤）
	6月10日	第1回収量調査
	6月11日	糖分・硝酸態窒素測定
第2作（夏作）	6月17日	第2回播種
	6月30日	除草、薬散（オンコル粒剤）
	7月4日	薬散（アファーム乳剤）
	7月21日	第2回収量調査
	7月22日	糖分・硝酸態窒素測定
第3作（秋作）	9月6日	除草
	9月15日	第3回播種
	10月6日	薬散（バダン+コテツフロアブル）
	11月9日	第3回収量調査
	11月10日	糖分・硝酸態窒素測定

② コマツナの施用試験結果

次に、図-3に示したコンポストを用いて、コマツナの収量調査等を行いました。コマツナへの施肥は平成22年5月10日に基肥として施用したのみで、その後は追肥をせずに残効を検討しました。5月10日、6月17日、9月10日の3回播種し、それぞれ6

月10日、7月21日、11月9日に収量調査を実施しました。栽培期間中のおもな作業経過を表-3に示します。

コマツナの生育期間は、各作期とも1ヶ月前後で、比較的生育期間の短い作物の代表と考えられます。各作期におけるコマツナ収量は、図-4に示す

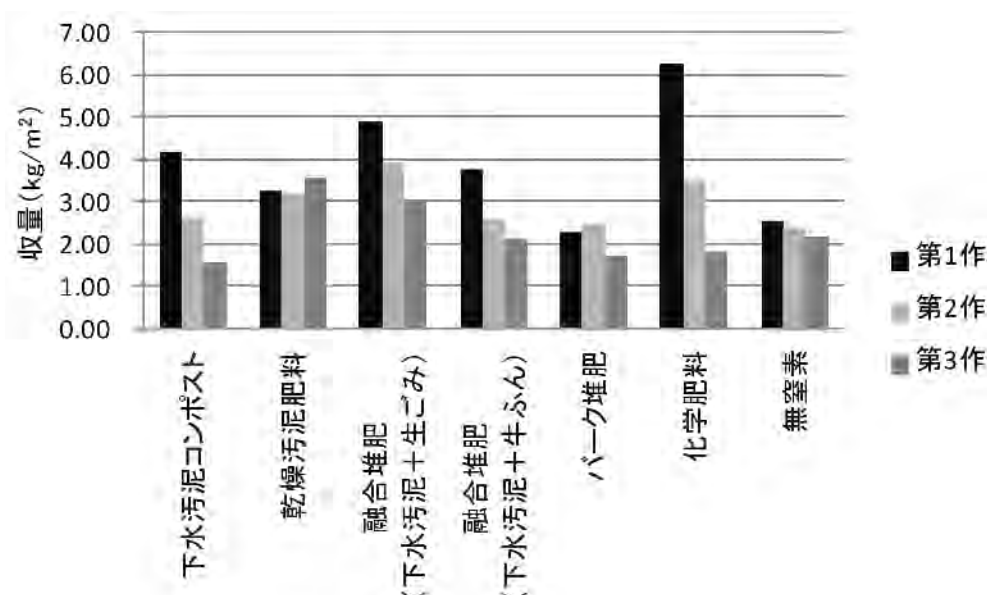


図-4 各作期におけるコマツナ収量の比較

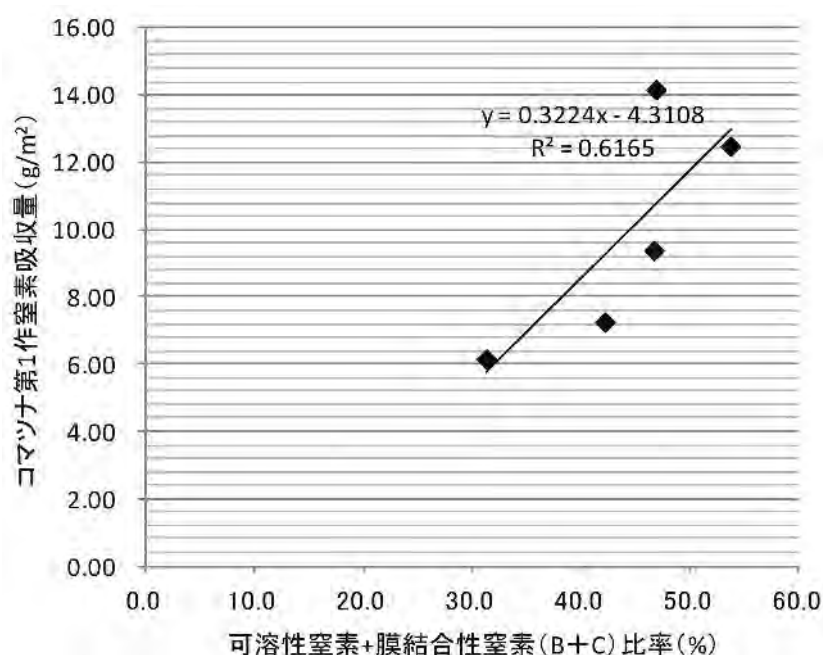


図-5 第1作コマツナ窒素吸収量と可溶性窒素と膜結合性窒素（B+C）分画比率の比較

とおりです。

下水汚泥コンポストや化学肥料を施用した場合、第1作においては比較的収量が多いですが、第2作以降は、その減少が顕著です。これは、第1作目でコマツナに相当量の窒素が吸収されたことや、降雨等で非タンパク態窒素（A）等が流出してしまったことが原因と考えられます。また、乾燥汚泥肥料については、各期とも安定した収量を示しています。

この乾燥汚泥肥料は、ペレット化されているため、土壤中での肥料の分解に時間を要しており、結果として、第1作目の収量は多くないものの、長期間安定した肥効を示したものと考えられます。

次に、第1作目の窒素吸収量と窒素画分との関係を図-5に示します。

当初は、非タンパク態窒素（A）の割合が多いほど、コマツナのような比較的生育期間の短い作物の

表-4 長ネギの作業経過

作期	作業日	作業内容
	5月7日	肥料秤量
5/14～7/15	5月14日	区画、畝立て、施肥、定植
	6月3日	薬散（ネキリトン粒剤、アフーム、ダイアジノール
	7月15日	第1回サンプリング、除草、培土
7/16～9/6	7月16日	糖分・硝酸態窒素測定
	8月13日	除草
	9月6日	第2回サンプリング、除草、培土、糖分・硝酸態窒素測定
9/7～10/20	10月20日	第3回サンプリング、除草、培土
10/21～11/16	10月21日	糖分・硝酸態窒素測定
	11月16日	収量調査
	11月17日	糖分・硝酸態窒素測定

窒素吸収量が多くなると予想しましたが、結果としては、可溶性タンパク態窒素（B）と膜結合性タンパク態窒素（C）の合計の割合とコマツナ第1作収量とが、高い相関を示しました。

③ 長ネギの施用試験結果

次に、生育期間が、約6ヶ月である長ネギへの各コンポストの施用試験を行いました。長ネギへの施肥は5月14日に基肥として施用したのみで、追肥は実施せず、その後は7月15日、9月6日、10月20日の3回にわたり、一部のネギを抜き取って、窒素の吸収状況を調査しながら6カ月にわたる栽培を続けた後、11月16日に収量調査を実施しました。栽培期間中のおもな作業経過を表-4に示します。

また、栽培期間中の降雨量を表-5に示します。第1回と第2回のサンプリングの間は、極端に降雨が少ない状況でした。

図-6に長ネギの株重変化を示します。

長ネギの栽培期間は6ヶ月に及びましたが、平成22年7～8月の異常高温・干ばつ期を経過しているため、平均年の生育とは異なる生育経過を辿ったと考えられます。3回の抜き取り調査における株重の平均値をそれまでの生産量と見なすと、第1期～収穫期までの生産量100%のうち各期における生産割合の変化は、全コンポストの平均で24%、3%、38%、35%の順になり、第2期（7/16～9/6）には殆ど生産は進まず、その後の降雨により株重が増大したことを示しています。

第1期および第2期には化学肥料区および下水汚泥コンポストの生育が最も勝り、第3期には下水汚泥コンポスト、乾燥汚泥肥料、融合堆肥（下水汚泥+生ごみ）の各区の順に生育が勝り、収穫期にも第3期と同様の傾向を示しました。バーク堆肥および無窒素の両区において、生育のやや劣ることが認められました。

表-5 長ネギ栽培期間中の降水量（mm、我孫子气象台）

生育期	栽培期間	平成22年度降水量	平年降水量
第1期	5/14～7/15	228.5	299.0
第2期	7/16～9/6	37.5	180.1
第3期	9/7～10/20	567.0	296.3
第4期	10/21～11/16	169.5	79.1
全期間	5/14～11/16	1,002.5	854.5

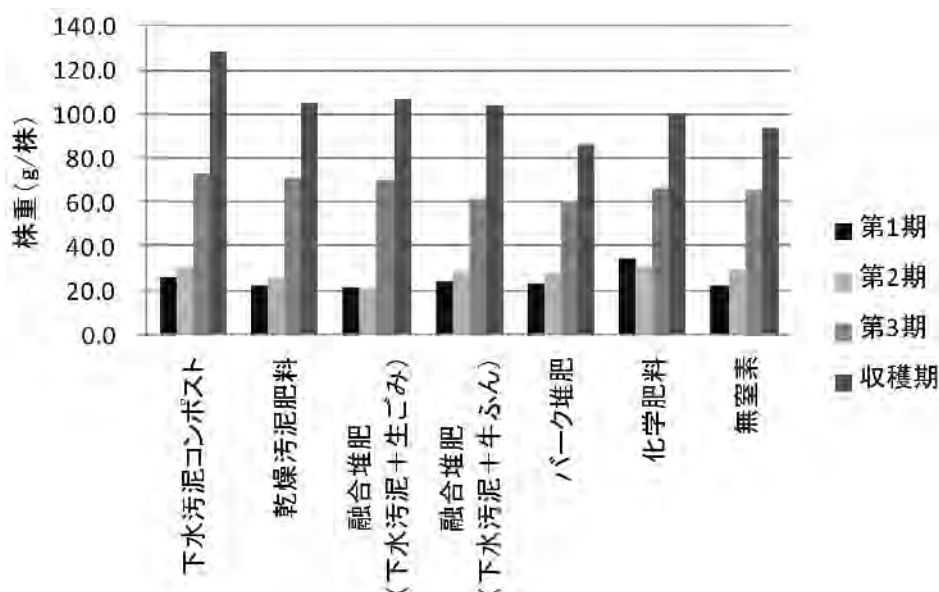


図-6 長ネギ収量の比較

④ カボチャの施用試験

カボチャの場合は育苗用土壌（窒素として2gの硫酸を1kg土壌に混合）を用意してポットに充填し、3月29日に各ポットに1粒ずつ播種して苗を育成した。4月30日にフレームを組み立てた後、5月19日に施肥・マルチ定植を実施しました。肥料は基肥として施用したのみで、その後は追肥をせずに残効を検討しました。7月21日に除草を行ない、8月13日～14日に収量調査・糖分調査を実施しました。栽培期間中のおもな作業経過を表-6に示します。

カボチャの収量を図-7に示します。図-7に示すように、下水汚泥コンポストと乾燥汚泥肥料によ

る収量に大きな差が認められました。また、コマツナ等と異なり、化学肥料区における収量が少なく、ほとんどの堆肥より劣った結果となりました。また、図-8に膜結合性タンパク態窒素（C）とカボチャの可食部総収量指数（化学肥料による収量を100とした場合の指数）の関係を示しました。膜結合性タンパク態窒素（C）の割合が高いほど、収量が高くなる傾向が確認できました。なお、可溶性タンパク態窒素（B）と膜結合性タンパク態窒素（C）の和（B+C）など、他の組み合わせと収量との相関は認められませんでした。

一方、乾燥汚泥肥料の結果は、図-8に示した相

表-6 栽培期間中の主な作業経過

作業日	作業内容
3月29日	育苗用土のポット充填 播種
4月14日	試験区の区画、フレームの運搬
4月19日	肥料秤量
4月30日	フレーム組み立て
5月19日	施肥、マルチ、苗の定植
7月21日	除草
8月13日	収量調査
8月14日	糖分測定

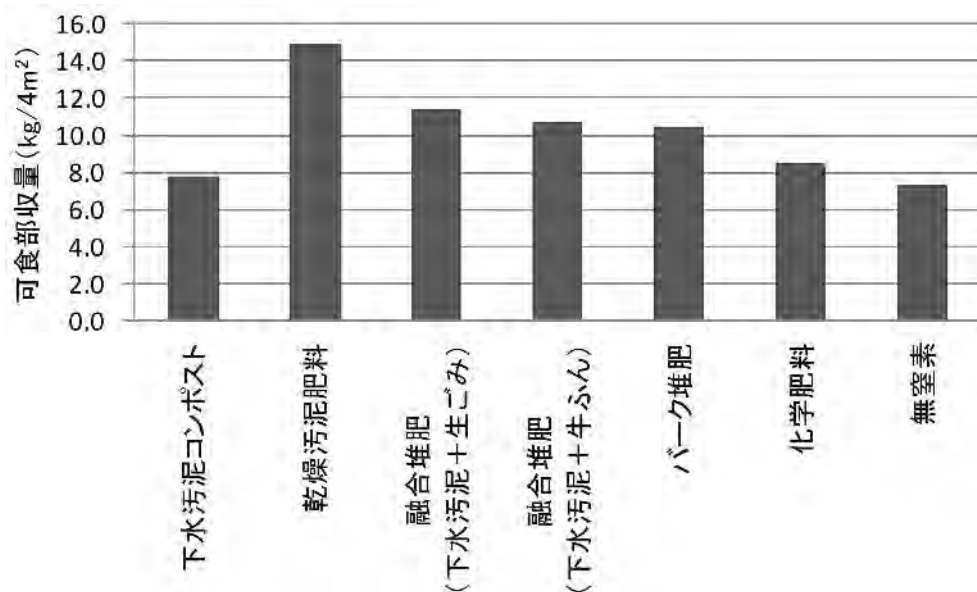
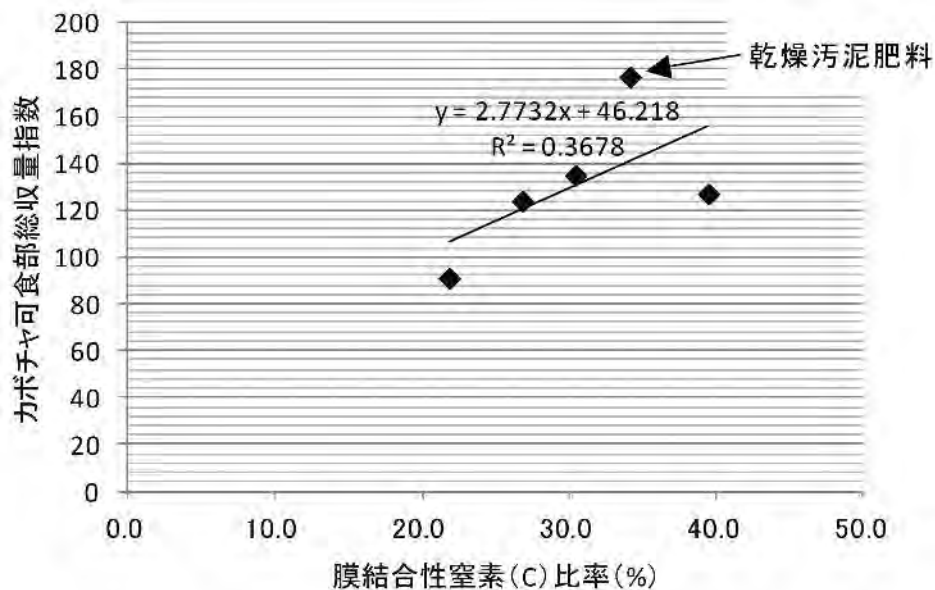


図-7 カボチャ収量の比較



図－8 膜結合性タンパク態窒素 (C) とカボチャ可食部総収量の関係

関直線から大きくずれており、明らかに傾向が異なることが認められました。前述しているように、当該肥料は、ペレット成型されているため、土壤中によく分散し、また降雨による肥料成分の溶脱も少なく、限られた肥料成分が効率的にカボチャに吸収されたためと推察します。下水污泥コンポストは、膜結合性タンパク態窒素 (C) の割合が少なく、カボチャの肥料としては適していませんが、ペレット化することにより、適用できる作物の範囲を増やすことができると考えられます。

⑤ 施用試験結果まとめ

図－3に示しましたように、下水污泥コンポストを含めた様々な有機質堆肥の窒素画分には、それぞれ特徴があり、作物の収量に影響を与えていることが示唆されました。下水污泥由来肥料の製造関係者の方には、この結果をご活用いただき、自らが製造する下水污泥由来肥料に適した作物をご確認いただき、污泥系肥料の利用促進にご活用いただければ幸いです。

4. 下水污泥の建設資材への利用促進に関する活動

下水污泥資源利用協議会では、昭和55年に建設資材調査専門委員会を設置し、各地方公共団体における下水污泥の建設資材化の開発状況の調査を開始しました。(社)日本下水道協会の本分野の委員会・連絡会は、この活動を引き継いで継続しているものです。以下、建設資材利用促進に関する活動を紹介します。

(1) 「下水污泥の建設資材利用マニュアル2001年版」の修正

「下水污泥の建設資材利用マニュアル2001年版」は、発行後10年が経過しているため、現在、下水污泥建設資材利用促進連絡会の活動として必要な時点修正を行っています。今後の方針として、「下水污泥の建設資材利用マニュアル2001年版」とその修正内容を(社)日本下水道協会ホームページにおいて掲載し、より多くの会員の皆様にご確認いただけるよう配慮する予定です。

また、下水道統計やその他のデータを活用し、下水污泥の建設資材利用の現状を分かりやすく説明するサイトも同時に立ち上げ、マニュアルと並列して掲載することも検討しています。今後は、10年程度毎にマニュアルの内容を見直すのではなく、できるだけ短いサイクルで統計データ等を解析し、情報発信を強化したいと考えています。

(2) リサイクル製品の環境安全性評価方法に関する活動

下水污泥焼却灰の有効利用用途としては、セメント原料としての利用が、大半を占めていますが、建設残土と下水污泥焼却灰を混合して、下水道工事における埋め戻し材として利用したり、アスファルト合材を製造する際の石粉の代替として利用したりされています。また、熔融スラグも埋め戻し材やコンクリート製品の骨材等に利用されています。

国土交通省が実施した調査から、平成21年度実績で、建設資材に利用された下水污泥量は、濃縮污泥固形物ベースで、114万DS-tであり、その内の約68%の78万DS-tがセメント原料として利用されています。ま

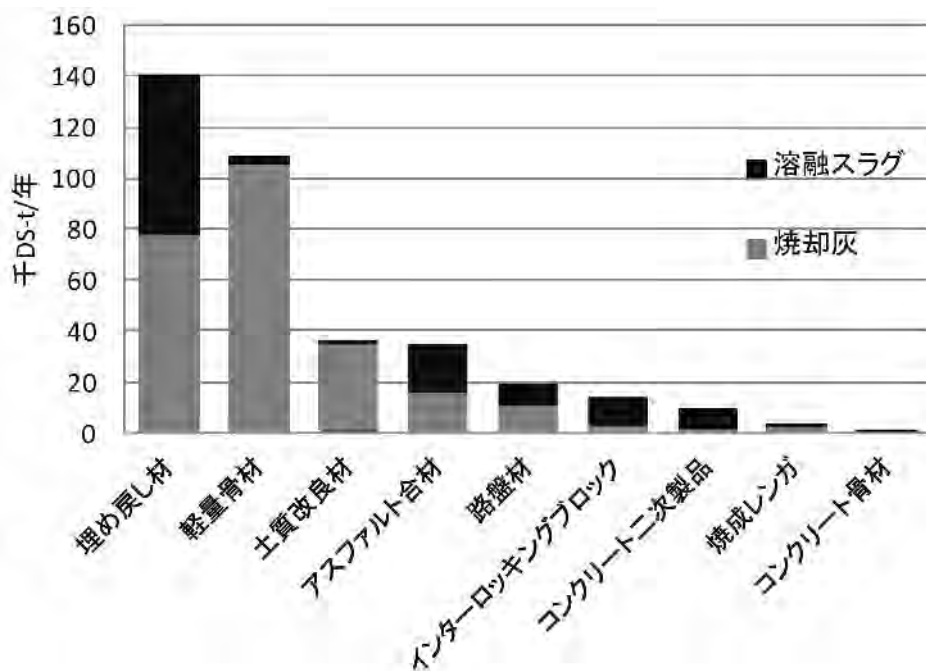


図-9 平成21年度建設資材利用の最終形態の内訳（国交省調査結果より解析）

た、セメント原料以外の用途で利用されている下水汚泥量は、約36万DS-tであり、その内訳を図-9に示しています。

これらの有効利用を実施する際には、利用者等から、リサイクル製品（埋め戻し材、コンクリート製品、焼成レンガ等）からの重金属等の溶出について、環境省等より示されている基準以内であることを証明するよう求められるケースが多いと思います。ここでは、リサイクル製品の環境安全性評価方法について、環境省通知やJIS規格等から判断される評価の考え方や、平成20年度以降に（社）日本下水道協会が、関係機関等に対して行った調整等の内容を説明したいと思います。

① リサイクル製品の環境安全性評価の基本

「土壤の汚染に係る環境基準についての一部改正について」（環水土第44号 平成13年3月28日）には、「路盤材、土木用地盤改良材等の再利用物の安全性の評価については、土壤環境基準及びその測定方法の援用が行われているが、現状有姿や利用形態に応じた適切な評価が行われる必要があると考えており、貴都道府県等においてこのような援用が行われている場合には、現状有姿や利用形態に応じた適切な評価につき十分留意されるようお願いしたい。」と記載されています。

つまり、リサイクル製品（再利用物）の安全性評価は、実際に製品が使用される状況を反映して行う

必要があるということです。例えば、下水汚泥焼却灰を利用した焼成レンガの安全性評価は、原料としての下水汚泥焼却灰ではなく、製品としての焼成レンガを対象とした溶出試験等により評価されるべきものであることは明かです。

② 下水汚泥焼却灰や溶融スラグ（再生材料）の利用形態について

下水汚泥焼却灰や溶融スラグを建設資材として利用する場合は、大きく分けて下の3とおりのケースが考えられます。

- A) 原料をそのままリサイクル製品として利用するケース
 - ・溶融スラグを埋め戻し材や路盤材として使用するケース など
- B) 原料と他の資材を混合してリサイクル製品を製造・利用するケース
 - ・下水汚泥焼却灰と建設残土を混合し、埋め戻し材とするケース
 - ・下水汚泥焼却灰や溶融スラグを利用したコンクリート二次製品を製造し、利用するケースなど
- C) 原料または、原料と他の資材を混合したものを焼成し、リサイクル製品として利用するケース
 - ・下水汚泥焼却灰を原料とした焼成レンガやインターロッキングブロックを製造するケースなど

各ケースを簡単に図示すると下のとおりになり、A) の場合のみ、原料とリサイクル製品が同一となり、原料を安全性評価の対象としても①に示した基本と整合性があります。

- A) $\boxed{\text{原料}} = \boxed{\text{リサイクル製品}}$
 B) $\boxed{\text{原料}} + \boxed{\text{他の資材}} = \boxed{\text{リサイクル製品}}$
 C) $<\boxed{\text{原料}} + \boxed{\text{他の資材}}> \rightarrow \text{焼成} \rightarrow \boxed{\text{リサイクル製品}}$

③ 溶融スラグ試験方法のJIS規格について

スラグ類の化学物質試験方法のJIS規格である、JIS K0058-1（溶出試験方法）及びJIS K0058-2（含有量試験方法）が、平成17年3月20日に制定されました。これらは、鉄鋼スラグ、非鉄スラグ、廃棄物溶融スラグなどのスラグの有効利用に際して、人及び環境への安全性の確認のため適用できる統一的な試験方法を規定したものです。JIS K0058-1（溶出試験方法）が、環境に対しての安全性評価、JIS K0058-2（含有量試験方法）が、人への直接摂取を想定した安全性評価の試験方法として位置づけられます。

なお、ここでは「利用有姿」という言葉が使用されており、「利用有姿」とは、製造工程から排出された後、粒度をそろえるなどの処理を行って実際に使用するときとほぼ同じにしたものや、コンクリートなどに混合して成型した製品、又は製品と同じ配合で作成した品質管理用の供試体を示すことが記載されています。

ただし、実際には、溶融スラグ（原料）を製造する下水道事業者等が、溶融スラグ（原料）を試料とした溶出試験及び含有量試験を実施しているケースが多いと考えられます。

④ 溶融スラグのJIS規格について

平成18年7月20日に、「一般廃棄物、下水汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固化したコンクリート用溶融スラグ骨材（JIS A5031）」及び「一般廃棄物、下水汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固化した道路用溶融スラグ（JIS A5032）」が制定されました。これらは、溶融スラグをコンクリート骨材、加熱アスファルト混合物用骨材、路盤材等に利用する場合の品質、試験方法、検査、表示及び報告並びにコンクリートへの適用範囲を規定するものです。

溶融スラグのJIS規格においては、溶融スラグ骨材単体の安全品質レベルを規定することになるため、含有量試験及び溶出試験とも、溶融スラグ骨材を供試試料としていますが、溶出試験の際には、試料を粉碎して粒径を小さくすることなく、利用形態

の有姿とすることが明記されています。

⑤ 平成20年度のグリーン購入法判断基準の改定案について

平成20年度のグリーン購入法における基本方針の見直しにおいて、環境省より下水汚泥を用いたリサイクル資材（再生材料を用いた舗装用ブロック、再生材料を用いた舗装用ブロック類、陶磁器質タイル）における判断基準の改定案が提示されました。

その改定内容は、新たに【判断基準】「再生材料における重金属等有物質の含有及び溶出について土壌汚染対策法及び土壌汚染に係わる環境基準（環告46号）を満たすこと。」が追加され、原材料ごとの規定としたものです。従来は、【配慮事項】「重金属等有害物質の含有や、施工時及び使用時に雨水等による重金属等有害物質の溶出について、土壌の汚染に係る環境基準等に照らして問題がないこと」と製品としての基準となっていました。

この改定案に則した取扱いでは、下水汚泥焼却灰と建設残土を混合した埋め戻し材を最終製品としている場合も、下水汚泥焼却灰を原料として焼成レンガを製造している場合も、再生材料（原料）となる下水汚泥焼却灰が、溶出基準を満たす必要があることとなります。特に焼成レンガの場合は、焼成により、焼却灰中のシリカ・アルミナ・水酸化物等が熱分解等によりガラス化し結合固化され、重金属の溶出が抑えられることが知られています。

したがって、この見直し案は、前述したように、「リサイクル製品の環境安全性は、現状有姿や利用形態に応じた適切な評価により行われるべきである」という基本的な考え方と矛盾したものです。

⑥ 平成20年度のグリーン購入法判断基準の改定案への対応について

平成20年12月の下水汚泥建設資材利用促進連絡会において各委員の意見を聞いたところ、平成20年度のグリーン購入法判断基準の改定案は、環境省のH13年の通達と整合しないものであり、焼却灰の有効利用にも影響がでるため、（社）日本下水道協会から環境省に強く申し入れして欲しいとの意見で一致し、同時期に実施された環境省ホームページにおけるグリーン購入法判断基準改定案へのパブリックコメントを利用し、関係者の協力も得ながら、改定案に反対する旨の意見を出しました。

その結果、平成21年2月の段階で、焼成レンガ及びタイルについての判断基準（案）は、いったん「配慮事項」に落とした形で閣議決定となり、平成21年度にはさらに検討の上、判断基準としての規定

意見：再生材料を用いた舗装用ブロック及び陶磁器質タイル	対応方針	件数
「再生材料における重金属等有害物質の含有及び溶出については、土壌汚染対策法（平成14年5月29日法律第53号）及び土壌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。」について、材料に対して規定するのは厳しすぎるのではないか。	ご意見を踏まえ、再生材料を用いた舗装用ブロック（焼成）及び陶磁器質タイルの原案の判断の基準③については配慮事項とした上で、判断の基準としての規定方法については平成21年度に検討することとします。	9

の方法を検討することとなりました。下に、環境省のパブリックコメントにおける意見集約結果と対応方針を示したもののから、当該箇所の内容を示します。

⑦ グリーン購入法判断基準の修正案の提示

平成21年6月に開催した下水汚泥建設資材利用調査専門委員会において、（独）国立環境研究所循環

型社会・廃棄物研究センターや（独）土木研究所道路技術研究グループなどからの関係者にもご出席いただき、判断基準（案）に対して、以下のとおり修正案を確認し、国土交通省を通じて環境省に伝えた結果、ほぼ同じ内容が平成21年度のグリーン購入法判断基準の改定案とされました。

平成20年度の環境省の改定案において、再生資材（原料）を安全性評価の対象とされた背景には、リ

（判断基準）

土壌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）の規定に従い、2mm以下に粉砕した製品において、重金属等有害物質の溶出について問題の無いこと。

（配慮事項）

土壌汚染対策法（平成14年5月29日法律第53号）に関する規定に従い、2mm以下に粉砕した製品において、重金属等有害物質の含有について問題の無いこと。

表－7 試験方法と確認可能な安全性について（（社）日本下水道協会作成）

供試検体 （試験方法）	試験の 種類	リスク	安全性		考え方
			使用時	再リサイクル時	
製品有姿	溶出	地下水	○	—	製品使用時の安全性の確認
（JISK0058-1） （JISK0058-2）	含有	直接摂取	—	—	有姿での直接摂取は想定できない
粉砕（0.5-5mm） （13号）	溶出	地下水	○	○	最終処分場への投棄の基準
粉砕（2mm以下）	溶出	地下水	○	○	粉砕検体の試験により、再リサイクル時の安全性も確認
（46号、18号） （19号）	含有	直接摂取	—	○	同上 使用時の直接摂取は想定できない

供試検体と試験の種類に対応する（確認できる）安全性について○を入れた

サイクル製品の使用時における安全性評価としては、「現状有姿や利用形態に応じた適切な評価」で問題ないが、リサイクル製品を使用したアスファルトや路盤材等が、再利用あるいは再々利用されることも想定した安全性評価が必要であるという認識があり、その方法として「原料における安全性評価」を取り入れようとしたものです。

環境省告示第18号（土壤汚染対策法に基づく溶出量試験法）、環境省告示第19号（土壤汚染対策法に基づく含有量試験法）、JIS K0058-1（溶出試験方法）、JIS K0058-2（含有量試験方法）など、各試験方法の供試検体の取扱いや、当該試験方法が、リサイクル製品の使用時や再リサイクル時の安全性を評価できるものか、検討した結果を表-7に示します。

環境省告示第18号や環境省告示第19号試験においては、対象試料を粉砕し2mmのふるいを通したものを供試試料とするため、製品有姿を供試検体とするより厳しい条件を課しており、これは、アスファルトやコンクリート等が、再リサイクルされる際の状況を十分反映していると考えられます。したがって、「2mm以下に粉砕した製品において、重金属等有害物質の溶出について問題の無いこと」という対案を示したものです。

⑧ リサイクル製品の環境安全性評価方法に関するまとめ

上述したように、リサイクル製品の環境安全性評価の基本は、「現状有姿や利用形態に応じた適切な評価」であり、この考え方は、下水道事業者のみならず、リサイクル製品を使用する側となる道路関係者等にも浸透されるよう配慮する必要があります。また、リサイクル後の再々利用や廃棄も含めた環境安全性評価手法については、現在関係者間で議論されている最中です³⁾。近いうちに、具体的な説明をさせていただく機会があると考えています。

しかしながら、リサイクル資材（原料）や製品の

更なる利用促進のためには、原料レベルで優れた品質を確保するための努力も重要であり、決して否定されるべきものではありません。リサイクル製品製造者や製品の利用者により安心していただくため、また、下水汚泥焼却灰等の利用用途拡大のためにも、環境安全性評価の基本を理解しつつ、リサイクル資材（原料）の品質向上を図る取り組みも、機会があれば紹介したいと考えます。

5. 下水汚泥のエネルギー利用促進に関する活動

（社）日本下水道協会では、平成19年2月に下水汚泥エネルギー利用調査委員会を設立し、関連する調査研究活動を行っています。平成19年度までの成果は、下水汚泥エネルギー利用調査報告書としてまとめられ、（社）日本下水道協会ホームページの「下水汚泥のリサイクル」サイトで閲覧可能です⁴⁾。

また、平成20年度以降は、「嫌気性消化プロセス導入支援ツール」の開発に取り組んでおり、下水処理場で新たに嫌気性消化プロセスの導入を検討する際の参考資料としていただくべく、作業を継続しています。

<参考文献等>

- 1) 「再生と利用」 ホームページ：
<http://www.jswa.jp/recycle/journal/index.html>
- 2) 下水汚泥由来肥料等の窒素肥効試験に関する調査報告書（平成22年3月）
下水汚泥由来肥料等の窒素肥効試験に関する調査報告書（平成23年3月）
- 3) 日本工業標準調査会ホームページ
： http://www.jisc.go.jp/newstopics/2011/201107slag_aggregate.htm
- 4) 下水汚泥エネルギー利用報告書（（社）日本下水道協会）
： <http://www.jswa.jp/energy/index02.html>

特集：第24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り組み

JS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：下水汚泥中重金属濃度、担体充填式高速嫌気性消化、熱可溶化高効率嫌気性消化、生物水素電池

1. はじめに

わが国の下水道処理人口普及率は平成22年度末で75.1%に達し、都市部においては大部分の家庭に下水道がつながっている状況になった。下水処理によって発生する汚泥の量も年々増加し、水処理施設からの発生量ベースで461百万m³/年（乾燥固形物量として約230万t/年）となっている。

欧米などの下水道先進国では、下水汚泥はメタン発酵によるバイオガス化及び緑農地利用など貴重なバイオマス資源として広く有効利用されているのに対し、日本では下水汚泥は処理処分の面倒な産業廃棄物として位置づけられ、なるべく低コストで処理処分することが優先的に進められてきた。

近年地球温暖化対策や循環型社会構築の面から、平成21年12月「バイオマス活用推進基本法」が制定されるなど、下水汚泥等バイオマスのより積極的な有効利用が求められるようになってきた。下水汚泥を資源として利用促進する上で、わが国では下水汚泥に対する理解不足や誤解が大きな障害になっていることから、前半はその現状と課題について述べるとともに、後半では日本下水道事業団（以下JSという）で取り組んで

いる汚泥有効利用研究テーマの中から、エネルギー回収を目的とする高効率メタン発酵技術を中心に報告する。

2. 下水汚泥有効利用の現状と課題

2.1 減量化（焼却）優先の汚泥処理

わが国では、昭和40年代から50年代の高度成長期及びバブル期を通じて、大量生産・大量消費・大量廃棄の社会構造下、埋立処分場の逼迫から廃棄物は焼却による減量化優先の処理が進められ、その状況は基本的に現在も続いている。

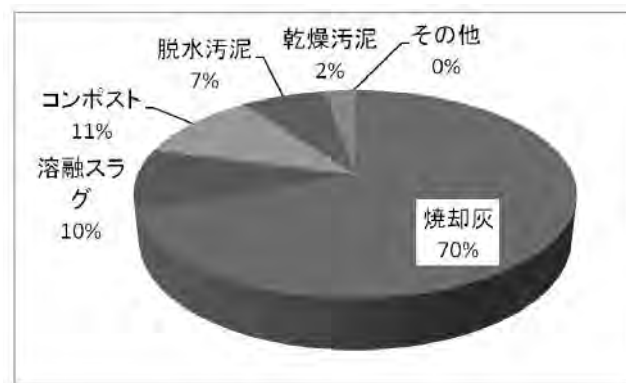


図2-1 日本における下水汚泥処理・処分の実態

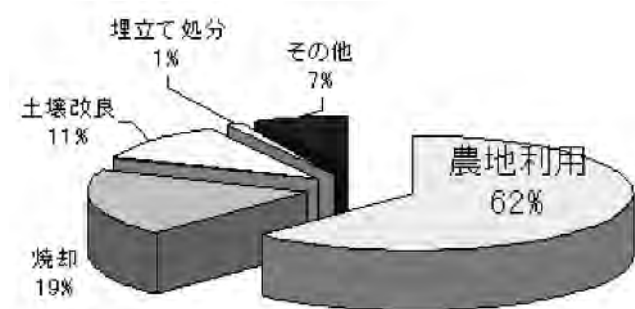


図2-2 英国における下水汚泥処理・処分の実態

図2-1はわが国の下水汚泥の処理形態を表したもので、焼却処理・溶融処理が全体の8割を占めている。一方、欧米では下水汚泥はメタン発酵によるバイオガス回収の後、図2-2に示すように乾燥又はコンポスト化による緑農地利用が主たる処理方式となっている。

この現状は一般廃棄物（ごみ）の処理形態でも同様で、図2-3に示すように、他の先進国におけるごみの焼却割合は10～30%程度であるのに対し、わが国では70～80%が焼却処分されている。さらに近年では、溶融処理の導入が急速に増えている。

バイオマスの焼却は有効利用技術ではなく、廃棄物の減量化を図る最終処理手段である。焼却処理する前に、そのバイオマス資源としての特性（エネルギー価値及び肥料価値など）を最大限活用した有効利用法を検討することが望まれる。

2.2 下水汚泥中重金属に対する誤解

最近の放射能汚染問題にも共通するが、下水汚泥に含まれる重金属に関する一般市民の誤った認識が、下水汚泥有効利用の大きな障害のひとつになっている。重金属は工場排水にのみ含まれている特殊な物質ではなく、自然界に広く分布存在している。そして亜鉛、鉄、銅など多くの重金属は植物や動物の成長や生命維持活動に欠かせない必須ミネラル分でもある。したがって、生活排水等を処理して発生する下水汚泥中には、食物起源や水道水起源の重金属類が当然含まれており、工場排水を全く含まないし尿汚泥や浄化槽汚泥中にも重金属は含まれている。

ただし、昭和40年代から50年代の、わが国における下水道草創期には、公共用水域の水質改善を主目的に除害施設の管理の不十分な事業場排水を受け入れ処理していた下水処理場も多くみられ、それに起因する重金属含有量の比較的高い下水汚泥が一部存在していた

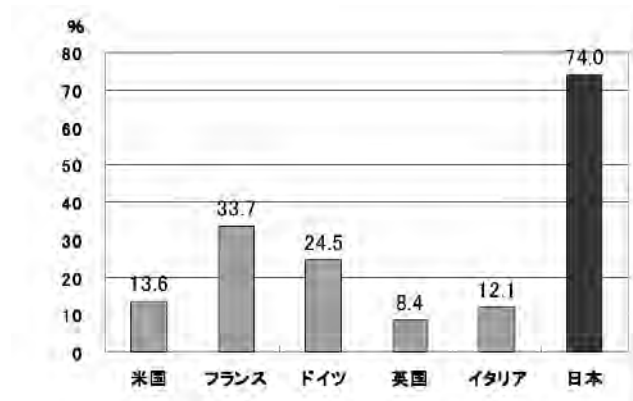


図2-3 一般廃棄物（ごみ）焼却処理の割合（平成20年度環境統計）

ことは事実である。しかし、下水道事業の整備普及とともに除害施設の設置・管理や行政指導が徹底されるようになるにしたがい、工場排水等に起因する汚泥中重金属含有量は大幅に改善されている。一例として、大阪市N処理場汚泥中の重金属含有率の経年変化を図2-4に示した。昭和50年代に比べ、重金属類含有率は大幅に低下していることが分かる。

また、農林水産省が平成21年度に発表した全国の汚泥肥料製造工場における汚泥肥料中の重金属含有量調査結果の一例を、図2-5に示した。「肥料取締法」における汚泥肥料中カドミニウムの含有量基準は5mg/kg-DS以下となっている。し尿・浄化槽汚泥を原料としている場合と下水汚泥を原料として製造されたものを統計的に比較すると、当然いずれも基準値を十分に満足しているが、2mg/kg-DSを超過する製品の割合はし尿・浄化槽汚泥を原料としている場合は38.9%であるのに対し、下水汚泥を原料としている場合はわずか9.6%で、下水汚泥中の重金属含有量は工場排水を含まないし尿・浄化槽汚泥よりはるかに低レ

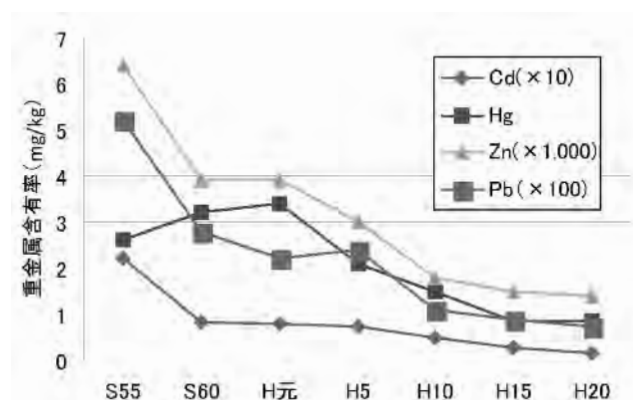


図2-4 大阪市N処理場汚泥における重金属含有率の経年変化

2.4 メタン発酵に対する世界の動向

わが国では、特に下水道分野では「メタン発酵（嫌気性消化）は過去の技術」と考えている人が多い。嫌気性消化タンクを有している下水処理場数の推移を、図2-8に示した。下水道整備の進捗に応じて、処理場の数も増えているが、汚泥消化タンクを有する箇所は300箇所足らずでほとんど増えていない。また、この300箇所のうち、消化ガス発電などエネルギー回収まで積極的に行っているのは30箇所程度に過ぎない。消化タンクを有しながら休止や廃止を予定している箇所も多い。

しかし、世界的には地球温暖化対策等に熱心な国を中心に、下水汚泥、家庭生ごみ、食品廃棄物、農業・畜産廃棄物等を対象とするメタン発酵施設の導入が積極的に進められている。図2-9はドイツにおけるバイオガス化施設（メタン発酵施設）の推移を示したものである。最近10年でその数は約7倍になり、2009年時点で5800カ所に達している。ドイツでは、2020年までに、全電力使用量の17%をバイオガス発電により賄うという計画を有している。ドイツのみならずEU全

体でも、バイオガス生産量は毎年約20%の割合で増え続けている。

また、中国でも地球温暖化対策やエネルギー対策として風力発電等の再生可能エネルギー導入が積極的に進められているが、図2-10に示すように農村部を中心にバイオガス化施設の数も急速に増えている。

米国でもほとんどの処理場においてメタン発酵施設が導入されている。図2-11は、ワシントンDCの処理場に、最新式の大規模メタン発酵施設の導入が決定したことを紹介する専門雑誌の記事である。対象処理汚泥量が400t-DS/日の超大規模施設で、160～170℃の熱改質を組み合わせた高効率嫌気性消化システム（Cambiシステム）により、バイオガス化による効率的なエネルギー回収とAクラス（最良質）有機質肥料の製造を目的としている。

メタン発酵は過去のシステムではなく、バイオマスからの最も優れたエネルギー転換・回収システムとして、全世界的に急速に導入が進められていることを認識すべきである。

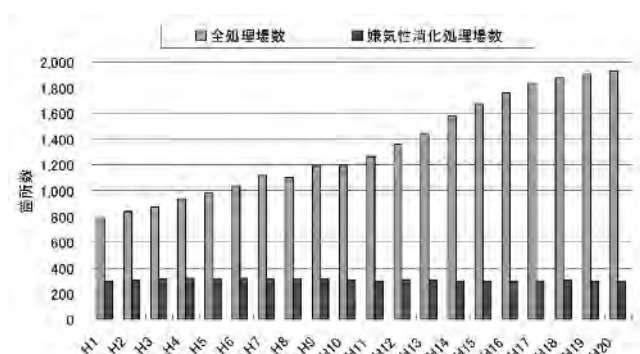


図2-8 わが国における下水処理場数と嫌気性消化施設を有する処理場の推移

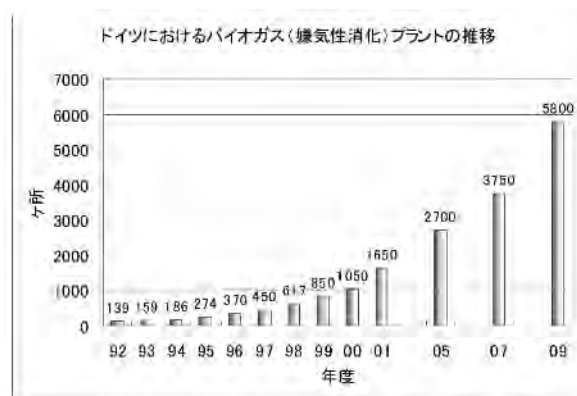


図2-9 ドイツにおけるバイオガスプラント（メタン発酵施設）の推移

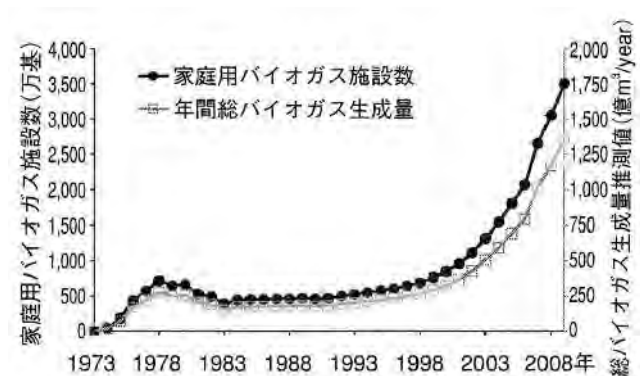


図2-10 中国におけるバイオガス施設及びバイオガス生成量の推移（小林拓朗他 Vol.53 2011 用水と廃水）



図2-11 米国ワシントンDCの処理場に高効率メタン発酵施設導入の紹介記事（7/8 2011 World Water）

対象バイオマス		年間発生量	バイオマスの利活用状況	
廃棄物系バイオマス	家畜排せつ物	約8,700万トン	たい肥等への利用 約90%	未利用 約10%
	下水汚泥	約8,000万トン	建築資材・たい肥等への利用 約70%	未利用 約30%
	黒液	約7,000万トン	エネルギーへの利用 約100%	
	産業紙	約3,700万トン	素材原料・エネルギー等への利用 約60%	未利用 約40%
	食品廃棄物	約2,000万トン	肥料等への利用 約25%	未利用 約75%
	製材工場等残材	約440万トン	製紙原料・エネルギー等への利用 約95%	未利用 約5%
	建設発生木材	約470万トン	製紙原料・家畜敷料等への利用 約70%	未利用 約30%
	農作物非食用部	約1,400万トン	たい肥・飼料・家畜敷料等への利用 約30%	未利用 約70%
未利用系バイオマス	林地残材	約350万トン	製紙原料等への利用 約2%	ほとんど利用なし

図2-12 各種廃棄物系バイオマスの賦存量と利活用状況（2008年 日本有機資源協会資料）

2.5 他のバイオマスとの共同処理

わが国における廃棄物系及び未利用系バイオマスの賦存量と利活用状況を、図2-12に示す。このうちメタン発酵に適している湿潤系バイオマスとしては、下水汚泥以外では家畜排泄物、食品廃棄物、一部の農作物非食用部等であるが、特に食品廃棄物の利活用率が低い。家庭で発生する生ごみが、わが国では大部分が「可燃ごみ」として焼却処分されているためである。

生ごみはメタン発酵性に優れ、発生量も年間を通じて安定しており、人口の多い都市部で多く発生するなど、バイオマスエネルギー資源としてのポテンシャルは下水汚泥と同等あるいはそれ以上の価値を有している。EUではランドフィルバイオガスとして回収利用され、米国ではディスポーザー経由で下水処理場に集約して下水汚泥とともに、メタン発酵によりエネルギー回収されている。ディスポーザー普及の進んだ米国では、下水処理場の電力自給率100%どころか、余剰電力を電力会社へ売却している処理場は珍しくない。

ごみの分別回収が進んでいる現在、可燃ごみに占める「生ごみ」の割合は40～50%近くになっており、水分の多い生ごみをダイオキシン対策で800～850℃以上の高温で焼却する必要性から、大量の重油等の化石燃料を必要としている。わが国では、約8割の家庭に下水道が普及していること、ごみ回収に係る経費やごみステーション、家庭台所の悪臭対策等を考えれば、米国同様早急にディスポーザーの普及を図り、生ごみを下水処理場にて混合メタン発酵によりエネルギー回収することが望まれる。

3. 日本下水道事業団で取組む汚泥からのエネルギー回収技術

下水汚泥をはじめとする各種バイオマスを対象とす

るメタン発酵システム（バイオガス化施設）は、世界各地で急速に導入が進められているものの、わが国では「処理に30日も要し設置面積や建設コストが大となる」、「有機分の半分程度しか分解ガス化されず大量の消化残渣が残る」などが指摘され、先述したように普及が進んでいない。これらの課題を解決する新しいメタン発酵システムとして、JSでは「消化日数わずか5日程度で処理する担体充填式高速嫌気性消化システム」と「有機物の分解ガス化と汚泥の減量化率を大幅に向上させる熱可溶化高効率嫌気性消化システム」の開発を進めてきた。実証試験等によるデータも蓄積されたことから、平成22年12月に外部学識経験者を構成メンバーとする技術評価専門委員会（委員長：野池達也日本大学大学院教授）を立ち上げ、平成24年3月を目標に技術評価書をまとめる予定で作業を進めている。

以下に、これら「高効率嫌気性消化システム」を中心に、JSで取組んでいる下水汚泥からの効率的なエネルギー回収に関する調査研究の概要を報告する。

3.1 担体充填式高速嫌気性消化システム

(1) システムの基本原理解

本技術は、平成19年度よりメタウォーター（株）とJSの共同研究により開発を進めてきたシステムである。

図3-1は、各種下水汚泥のメタン発酵回分試験（35℃）における分解特性をメタンガス発生速度で表したものである。ガスの発生は3～4日程度で概ね完了している。しかし、汚泥を連続して投入する従来の消化法において消化日数を3～4日で運転することはできない。図3-2に示すように、従来の完全混合型浮遊式嫌気性消化法で消化日数を3日～4日で運転した場合、増殖速度の遅い（4～10日）メタン菌は消化汚泥とともにタンクから流出してしまい（ウォッシュアウト）、菌体を消化タンク内に保持することができ

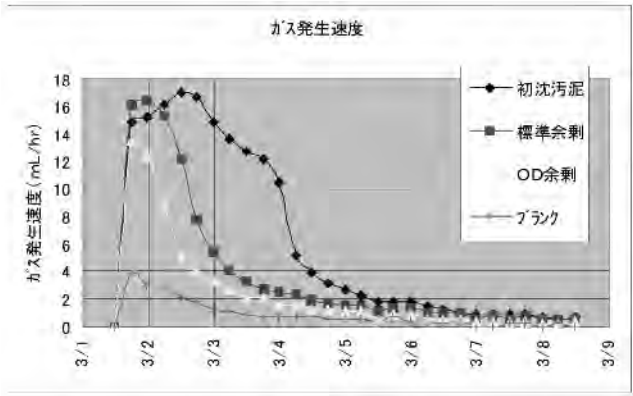


図3-1 汚泥の種類とメタン発酵特性

なくなるためである。担体充填法はこの問題を解決するために、消化タンク内に設置した担体にメタン菌を付着固定化することで、増殖速度の遅いメタン菌をタンク内に保持、安定したメタン発酵が可能としたものである。本プロセスでは、特にメタン菌増殖速度の大きい高温嫌気性消化法（55℃）を採用している。

(2) システムの特徴

下水汚泥の中でも、初沈汚泥は炭水化物を主体とし嫌気性分解が比較的に容易に行われるのに対し、余剰汚泥は微生物細胞を構成する難分解性のセルロースやたんぱく質を主成分とするため、生物分解性が低い。余剰汚泥のメタン発酵では前段の酸発酵過程が律速となり、担体を充填してメタン菌濃度を高めても消化日数3～5日では安定したVS分解率を得ることは困難である。したがって、本システムでは原則余剰汚泥を処理対象からはずし、初沈汚泥単独若しくは初沈汚泥と同等以上にメタン発酵性に優れた生ごみとの混合汚泥を処理対象としている。

本システムは、消化タンク内に担体を充填すること

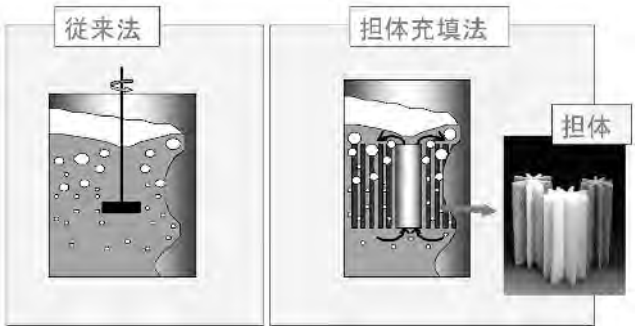


図3-2 従来法と担体充填法のイメージ

から、既設のコンクリート製消化タンクへの設置導入は困難である。基本的には鋼板製消化タンクとなることから、敷地スペースに余裕の少ない中小規模処理場における嫌気性消化設備新設箇所をターゲットにしている。

鋼板製タンクとすることで、建設期間の短縮やコストの縮減も期待されている。

(3) 実証プラントの概要と実験結果

各種室内試験等の予備実験の結果をもとに、平成20年7月、熊本県八代北部流域浄化センター内に実証プラントを設置し（写真3-1参照）、実用化に向けた試験を実施している。表3-1に実証プラントの概要を、図3-3に処理フロー図を示す。消化タンクの有効容量は6.5m³で、担体充填率は15%である。生ごみは、八代市内学校給食センターで発生する給食調理残渣を実験に用いている。

実証試験による試験結果の一例を図3-4に示した。初沈汚泥と生ごみの混合比率1：1.1（TSベース）で行ったときの結果で、消化日数わずか5日でもVS分解



写真3-1 担体充填法実証プラント
（熊本県八代北部流域浄化センター）

表3-1 実証プラントの概要

生ごみ粉碎 分別機	回転粉碎分別機 処理能力：0.7t/h
汚泥貯留槽	容積 3.3m³×1 槽
生ごみ スラリー貯留槽	容積 3m³×1 槽
発酵槽(2 槽)	合計容積 6.8m³ (有効容積 6.5m³) (担体充填率 15%)
脱硫塔	乾式脱硫方式
ガスホルダー	容積 2.5m³×1 基

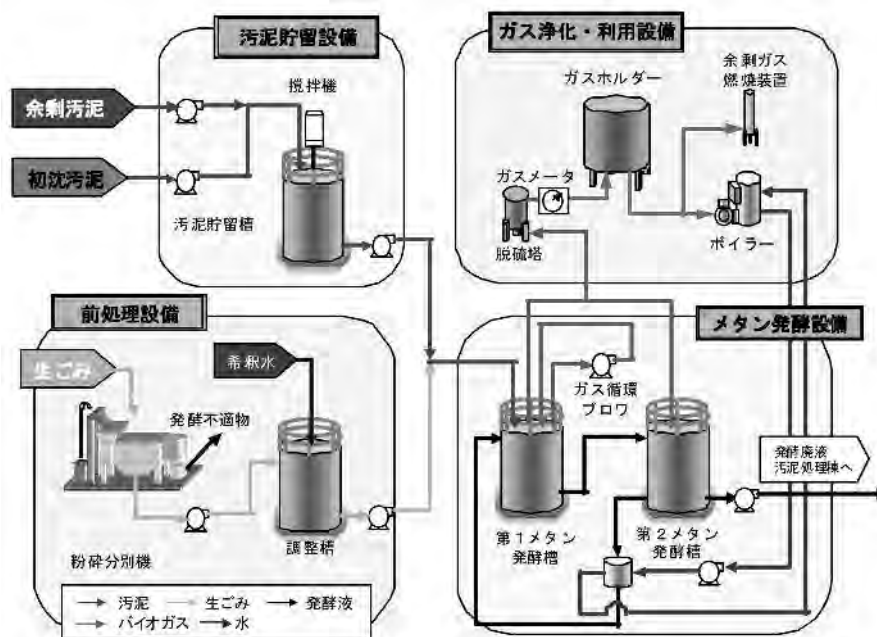


図3-3 実証プラントの処理フロー図

率、ガス発生量とも安定した処理が行われていることがわかる。

表3-2は、初沈汚泥単独及び初沈汚泥と生ごみの混合メタン発酵試験の結果をまとめたものである。初沈汚泥単独で処理した場合、消化日数5日でVS分解率（汚泥有機分の減少率）は57%、投入汚泥VS当りのガス発生量は $500\text{Nm}^3/\text{t-VS}$ という良好な結果が得られている。

初沈汚泥と生ごみとの混合メタン発酵試験では、消

化日数5日でVS分解率は68～71%、投入VS当りガス発生量は $620\sim 650\text{Nm}^3/\text{t-VS}$ という結果が得られている。

なお、平成23年度国土交通省の下水道革新的技術実証事業（B-DASHプロジェクト）の対象技術の一つとして「担体充填式高速嫌気性消化プロセス」を含む「超高効率固液分離技術を用いたエネルギーマネジメントシステム」（メタウォーター株式会社とJSの共同提案）が選ばれ、大阪市中浜処理場内に新たに大型実証プラント（消化タンク容量 50m^3 ）を設置して試験

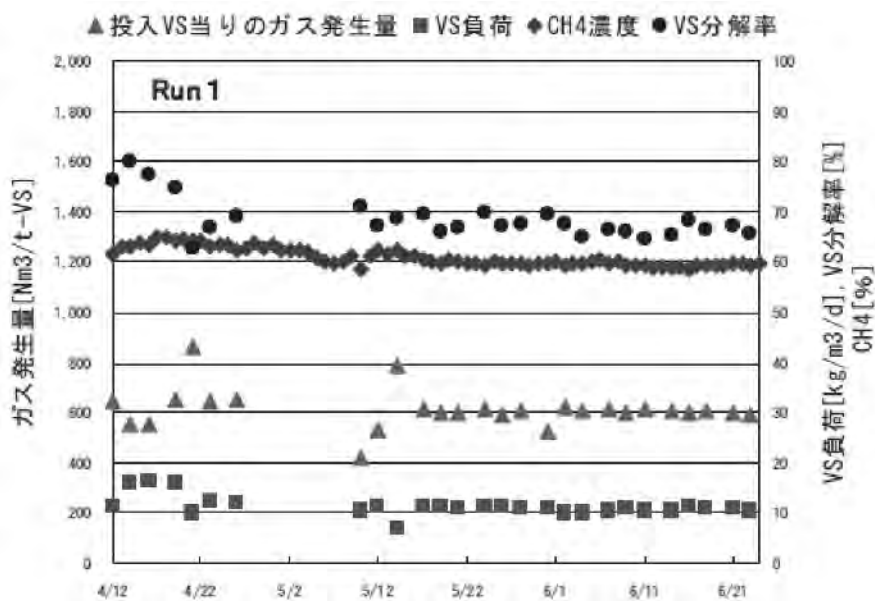


図3-4 実証プラントにおける試験結果の一例（消化日数5日 生ごみ混合比率1:1.1）

表3-2 実証プラントにおける試験結果の一例

	生ごみ 混合比率 (TS へ ³ -%)	消化日数 (日)	VS 分解率 (%)	投入 VS 当り ガス発生量 Nm ³ /t-VS
初沈汚泥	—	5	57	500
初沈汚泥	1 : 1	5	68	620
+ 生ごみ	1 : 1.5	5	71	650

を行うことにしている。

3.2 熱可溶化高効率嫌気性消化システム

(1) システム構成

本技術は、平成18年度より三菱化工機（株）とJSの共同研究により開発を進めてきた技術である。システム構成は図3-5に示すように、消化タンク設備、汚泥脱水設備、熱可溶化タンク、蒸気ボイラよりなり、従来の嫌気性消化設備における加温設備の代わりに熱可溶化装置を付加したものである。生ごみ等の未利用バイオマスを受け入れる場合も、基本的に同じ処理フローである。脱水された消化汚泥を可溶化タンクにおいてスチームを吹き込み高温飽和蒸気下で一定時間保持改質を行うが、水蒸気は消化ガスを利用してボイラにより発生させる。熱改質された汚泥は消化タンクに戻し、熱源として消化タンクの加温を行うとともに一部は分解ガス化される。表3-3にシステムの運転条件を示す。

消化しやすい汚泥は直接嫌気性消化し、消化し難い残渣である消化汚泥のみを熱可溶化して再度消化することにより、メタンガスの増収及び汚泥の減量化を行うものである。本システムでは、熱可溶化した高温の

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ため、可溶化のための新たなエネルギーは基本的には必要としない。

また、図3-6に示すように、可溶化タンクは汚泥と蒸気を吹き込んで熱可溶化処理を行うのみのシンプルな構造で、熱交換機器を用いないためスケール付着によるトラブル発生等の問題も少ない。

(2) システムの特徴

一般的な熱可溶化システムは消化タンクの前段で処

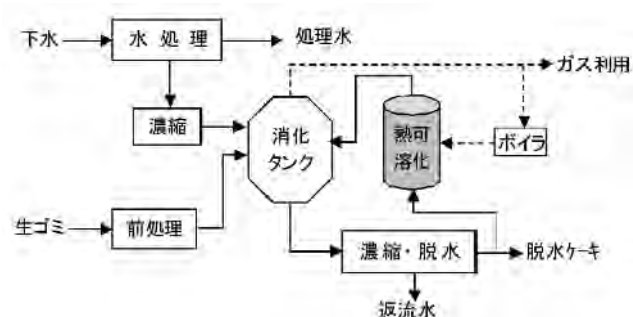


図3-5 熱可溶化技術のシステム構成

表3-3 システムの運転条件

汚泥可溶化条件	温度：160～180℃ 可溶化時間：約 30 分
嫌気性消化条件	消化温度：35～37℃（中温消化） 投入汚泥濃度：約 4% 消化日数：15～20 日

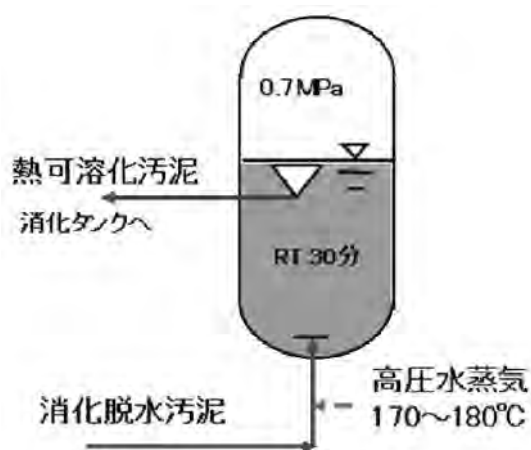


図3-6 熱可溶化タンクの構造

表3-4 実証プラントの概要

汚泥処理量	: 1.0m ³ /d (混合生濃縮汚泥)
受泥タンク	: 円筒ポリエチレン性 2m ³
消化タンク	: 鋼板製 15m ³ (2.3m φ × 4.2m H)
消化タンク循環ポンプ	: 15m ³ /hr
ガスタンク	: 5m ³
可溶化タンク	: 40L
蒸気ボイラ	: 200kg/hr × 0.96MPa
脱水機 (デカタ)	: 0.40m ³ /hr

理が行われるのに対し、本技術では後段で消化脱水汚泥を対象に熱可溶化が行なわれることから、次のような多くの特徴を有している。

- ① 脱水汚泥を対象に処理することから、可溶化のための熱エネルギーが極めて少ない
- ② 熱バランスを調整するための熱交換器を必要としない
- ③ 消化されずに残った汚泥のみを熱可溶化するため熱の効率的使用が可能となる
- ④ 消化後の汚泥を加温するため、生汚泥を加温する方式に比べ臭気問題が極めて少ない
- ⑤ 汚泥の脱水性が大きく改善される

(3) 実証プラントの概要と実験結果

1) 実証プラントの概要

熱可溶化高効率嫌気性消化システムの開発においては、H18年度からのベンチスケールでの基礎実験に続いて、平成22年度には消化タンク容量15m³の

実証プラントを猪名川流域下水道原田処理場（大阪府豊中市）に設置した。実証プラントの概要を表3-4に、プラント外観及び熱可溶化タンクを写真3-2に示した。

原田処理場では混合生汚泥を嫌気性消化処理（37℃中温消化、消化日数30～35日）したあと機械脱水し、焼却処理を行っている。実証プラントではこの消化タンク投入前の混合濃縮生汚泥を配管途中から一部分岐して用い、H22年5月～H23年5月までの約1年間にわたって実証テストを行った。

2) 可溶化投入率と有機物分解率（VS除去率）

消化タンクへ投入する混合生濃縮汚泥のTS量（kg/日）に対する可溶化タンク投入TS量（kg/日）の比率を可溶化投入率と呼んでおり、本熱可溶化高効率嫌気性消化システムにおける有機物分解率やガス発生量に係わる重要運転管理要素の一つである。

図3-7は、実証プラントにおける可溶化投入率



写真3-2 実証プラントの外観（左）、熱可溶化タンク（右）

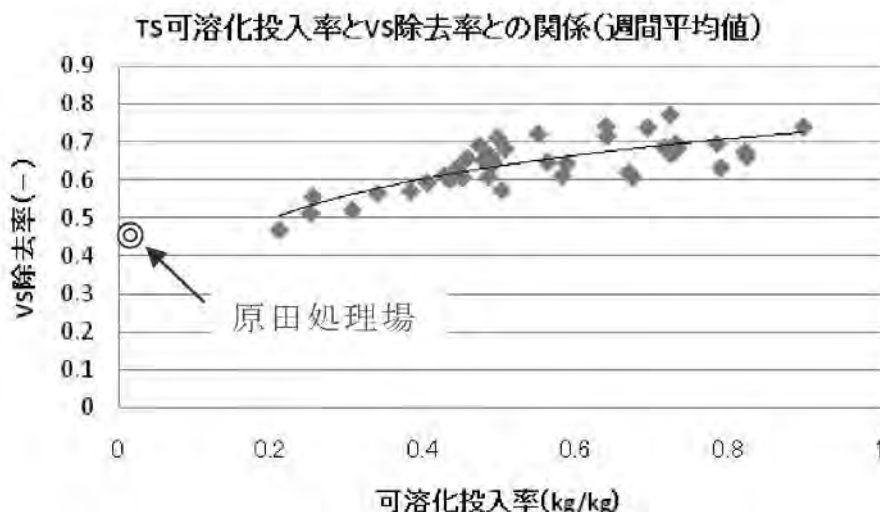


図3-7 可溶化投入率とVS除去率（有機物分解率）

とVS除去率（有機物分解率）の関係を示したものである。可溶化投入率が0.2程度のときのVS除去率は50%程度であったものが、可溶化投入率0.7程度ではVS除去率70%以上にまで高くなっている。ちなみに原田処理場の既設消化タンクにおけるVS除去率は47%程度であった。

3) ガス発生特性

図3-8は、実証プラントにおける投入VS当りのガス発生量と、原田処理場におけるそれとを比較して示したものである。可溶化処理を行っていない原田処理場のガス発生量は0.39～0.45 Nm³/kg-VSに対

し、消化日数が短い（有機物負荷として1.5～2.0倍高い）実証プラントのそれは0.49～0.63Nm³/kg-VSと、2～4割大きな値が得られている。ちなみに、発生ガス中のCH₄濃度は、既設処理場においては56～60%であるのに対し、熱可溶化実証プラントにおいては61.6～62.6%（平均62.3%）と若干高い値で安定していた。

4) 脱水性の改善効果

嫌気性消化汚泥は生汚泥に比べ、通常粗繊維分が少なく、かつ汚泥粒子が細かいため難脱水性を示す。しかし、熱可溶化処理することで細胞壁の破壊や細

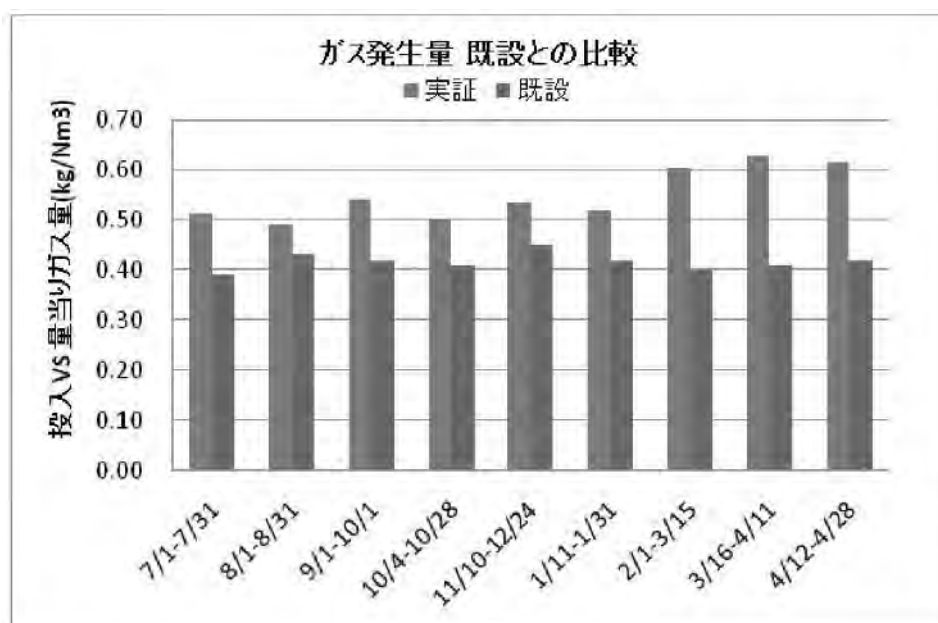


図3-8 ガス発生量 既設（原田処理場）との比較

胞内結合水、結晶水等の性状改変により脱水性の改善が期待できる。そこで、処理能力2.0m³/hrの高効率型遠心脱水機の実機を用いた脱水試験により確認を行った。試験では、実証プラントにおける熱可溶化消化汚泥以外に、比較対照のため実際の原田処理場における消化汚泥についても行った。試験の結果を表3-5に示す。薬注率等を変えて複数回試験を行ったが、通常消化汚泥におけるケーキ含水率が80%程度であったものが、熱可溶化消化汚泥においては71~72%というレベルまで脱水が可能であることが確認された。

なお、熱可溶化消化汚泥と通常消化汚泥の脱水ろ液について調べた結果では、SSやT-Pについてはほとんど差は見られなかったものの、CODやT-N濃度においては10~20%程度熱可溶化した場合高くなる傾向が認められた。

(4) 導入効果について

1) 創エネルギー効果

汚泥中有機分の分解ガス化率が向上することから、通常消化の1.5倍の高VS負荷で運転しても、投入有機物当りのガス発生量は20~40%増加することが確認された。

2) 汚泥減量効果

熱可溶化処理による汚泥中有機分の分解率向上に合わせて、汚泥の脱水性状が大きく改善（脱水汚泥含水率が5~8%低下）することから、図3-9に

表3-5 消化汚泥の実機脱水試験結果

	熱可溶化 消化汚泥		通常の 消化汚泥
薬注率（対TS）			
ポリマー（%）	1.8	1.5	1.5
ポリ鉄（%）	—	13	19
ケーキ含水率（%）	71.0	72.2	80.4
SS回収率（%）	99<	99<	99

示すように、発生する脱水汚泥の量は未消化処理にくらべ7~8割り減、通常消化汚泥に比べ3割~5割削減される。

3) 省エネルギー効果

脱水汚泥含水率が71~75%程度にまで処理できるため、処分すべき汚泥量が大幅に削減できるほか、汚泥有効利用するに当たり緑農地利用のための乾燥・コンポスト化や固形燃料利用のための乾燥・炭化のための必要熱エネルギー量が大幅に削減可能となる。

4) 未利用バイオマスの有効利用

消化タンクの有機物負荷量を1.5~2倍に高めることができることから汚泥処理能力に余裕が生じ、新たな消化タンク建設を省略したり、下水汚泥以外

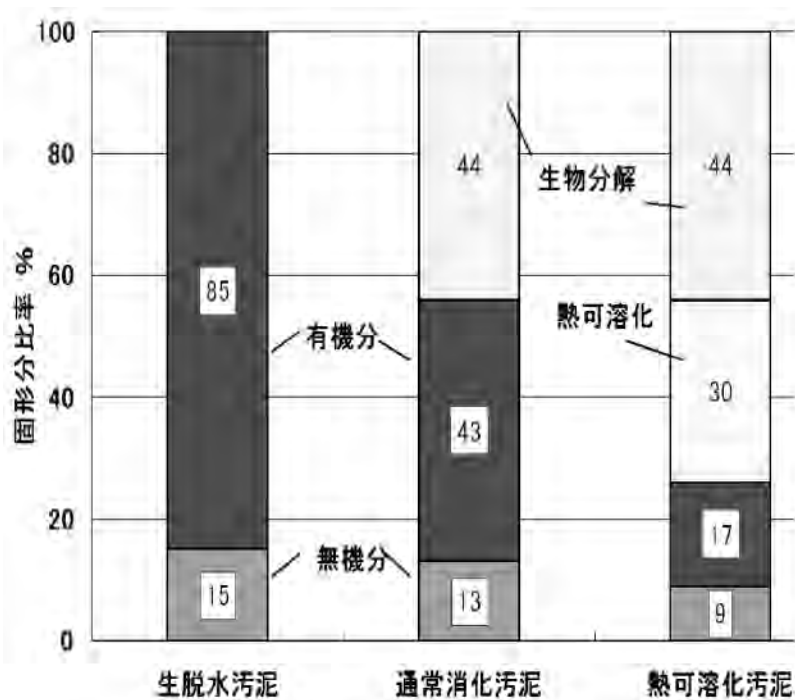


図3-9 減量効果のイメージ図

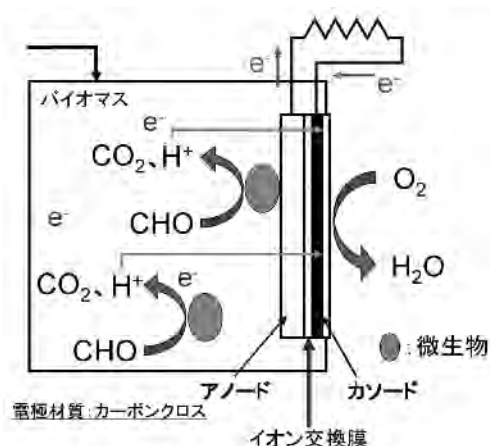


図3-10 生物水素電池の基本原理

の近隣で発生する未利用バイオマス（生ごみ、し尿・浄化槽汚泥、OD（オキシデーションディッチ）法汚泥、家畜糞尿など）の受け入れが可能となる。特に、し尿・浄化槽汚泥やOD法汚泥、家畜糞尿などメタン発酵性の低いバイオマスの分解ガス化率向上に大きく貢献できる。

3.3 汚泥から直接電気を取り出す生物電池の研究

最近、生物化学分野において、微生物代謝反応を利用して有機物の持つ化学エネルギーを電気エネルギーに直接変換する生物電池（バイオ電池とも呼ばれている）が注目されている。基本原理の違いから大きく分けると、「光生物電池」、「酵素電池」、「生物水素電池」の3タイプがある。このうち、有機物（基質）の種類を選ばないこと、電子伝達物質を添加する必要がないことから、「生物水素電池」が下水処理プロセスへの導入実用化に最も近いと考えられ、JSでもこのタイプに的を絞って研究を進めている。

図3-10に、生物水素電池の基本原理を示す。嫌気状態の反応タンクに投入されたバイオマス（汚泥）は、微生物の酸化還元反応により CO_2 や H^+ とともに電子 e^- が発生する。 H^+ はイオン交換膜を通して空気極側で酸素と反応し水になる。このとき、同時に電子 e^- はアノード電極からカソード電極に移動する結果、電流が流れることになる。

生物水素電池の試験状況を写真3-3に示す。現時点で回収できる電力としては数mW～数10mWと小さく数年以内に実用化とは行かないものの、原理的にも、システム上も極めて単純であり近未来の新しい汚泥からの電気エネルギー回収システムとして期待される。

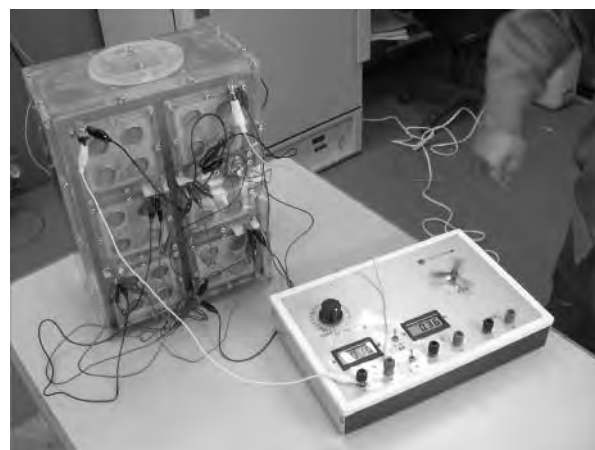


写真3-3 生物発電試験の実施状況

4. おわりに

平成21年6月に資源エネルギー庁から原子力発電所の増設を前提とした「新しいエネルギー基本計画」が公表された。しかし、福島第一原発事故により原子力発電所の新增設は今後極めて困難な状況になったことから政府は同計画を白紙に戻し、「太陽、風力、バイオマスといった再生可能な自然エネルギーへの方向転換を図る」と発表している。

自然エネルギーの中でも、太陽光や風力は天候の影響を大きく受けるため代替エネルギーの中心にはなりにくいといわれているのに対し、バイオマスは固形・ガス・液体燃料として貯蔵や保管が容易であり、天候等に左右されず人為的にコントロールできる特徴がある。ただし、バイオマスは一般に存在密度が低く、有効利用する上でその収集に多大なエネルギーとコストを要するという課題が指摘されている。そのようななか、下水汚泥は集約性に優れ、質・量ともに安定しているばかりか、エネルギー消費の大きい都市部で多く発生することから、有効利用に最も適したバイオマス資源とみなされている。

また、下水汚泥中には窒素、りんをはじめ植物成長に欠かせない必須微量栄養素が豊富に含まれている。わが国では長年の化学肥料中心の農業により農地の地力低下が大きな問題となっているが、減化学肥料、減農業を目的とする環境保全型農業の推進をめざす現在、下水汚泥に対する誤った認識を改め、欧米同様、緑農地利用への積極的な利活用が求められている。

JSでは、これらエネルギー利用や緑農地利用を中心とする地球温暖化対策及び循環型社会を念頭においた下水汚泥有効利用の促進を図るため、これらに関する研究課題に今後も積極的に取り組んで行くことにしている。

特集：第24回下水汚泥の有効利用に関するセミナー特集

研究紹介

下水道を核としたバイオマス
利活用に関する研究開発

(独) 土木研究所材料資源研究グループリサイクルチーム 上席研究員 岡本 誠一郎
(現・京都大学大学院工学研究科附属流域圏総合環境質研究センター特定准教授)

キーワード：再生可能エネルギー、循環ビジョン、草木系バイオマス、栄養塩類、藻類

1. はじめに

独立行政法人土木研究所（以下、「土木研究所」という）は、土木技術に関する調査、試験、研究及び開発並びに指導、成果の普及等を行うことにより、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。

土木研究所では、独立行政法人通則法に基づく5ヵ年間の中期計画に沿って各種研究やその普及等を行っている。これまでの第2期中期計画が2010年度で終了となり、2011年度からは新たな中期計画のもとで、下水汚泥等のバイオマス関連の課題も実施している¹⁾。特に近年は、下水汚泥の有効利用のみならず、既存の下水道施設を活用した地域のバイオマス利活用に関する研究に重点をおいている。本稿では、土木研究所リサイクルチームにおいて近年実施してきた研究成果を中心に紹介する。

2. 下水道を核とした資源利用システムの概要と研究構成

下水処理場の施設を活用した、浄化槽等の汚泥や家

庭生ゴミ、食品廃棄物等の処理・利活用は、石川県珠洲市や富山県黒部市などで先導的に進められてきたが、近年、急速にこうした事例が増えつつある。このような下水道を核とした資源利用システムのあり方について、現地調査や有識者ヒアリングをもとに図-1のように整理した²⁾。都市部と農村部ではバイオマスの発生や資源・エネルギー需要の特性も大きく異なり、それぞれの特性に応じたシステムの構築が必要である。

(1) 都市圏の場合

都市圏の場合は、バイオマス発生源とともに、資源エネルギーの利用主体も高密度に分布しており、供給する側もできるだけ効率化を図るために資源を集約してエネルギー化することが重要である。こうしたシステムを構築する上では、既存の下水処理場を拠点化することがコスト的・時間的に効率的であると考えられる。また、エネルギー利用可能量が大きい食品系のうち、地域内に分布する傾向のある生活系厨芥の収集・利用システムとしては、下水道と家庭用ディスポーザーを組み合わせる下水管を生ごみの収集システムとして活用することが有効であると考えられ、既に富山県黒部市などで取り組みが進められている。さらに、

下水処理場や石炭火力発電所、工場の発電施設等の既存施設を極力活用したシステム構築によりエネルギー利用、資源利用の効率化を図ることが可能である。エネルギー利用以外の方法としては、比較的利用者側の抵抗感が少ないセメント原料化が考えられるが、東京都多摩地区のようにごみの焼却灰を同様に原料化しているケースもあり、他の廃棄物等との競合も予想される。さらにセメント・コンクリート自体の需要低迷の問題もあり、下水汚泥の有効活用だけでなく、他の資源や再生材の需給バランスも含めた最適な仕組みを構築していく必要がある。

(2) 農山村圏の場合

農山村圏の場合も集約化・効率化が重要であることは同様だが、バイオマス賦存量が都市部と比較して薄く広い分布となっている。このため、各種バイオマスを限定なく、幅広く受け入れて利用することが可能な地域バイオマス利用センターを整備するとともに、例えば生ごみの分別収集や農業系廃棄物の収集持込などについて、地域活動として取り組むなど、都市部と比較して薄い賦存量をカバーしつつ、高品質のバイオマス資源を収集・回収するための、農山村圏ならではの工夫が必要であると考えられる。都市部と異なり、人口も広範囲に薄く分布していることから、エネルギー利用は必ずしも効率的ではない可能性があり、肥料としての農地や山林への還元など、マテリアル利用の可能性について、常に留意しておく必要があると考えられる。ただし、農地等で受け入れられる量にも限界があることから、需要量を踏まえた上で、最適な仕組み

作りを考える必要がある。

こうした検討結果を背景として、下水道を核としたバイオマス利活用を促進するためには、以下の研究開発が重要であると判断して、現在、研究を進めているところである。

- ・下水汚泥に関する資源循環システムのビジョンづくりとその効果の評価
- ・下水処理施設のポテンシャルを活用したバイオマス利用技術の開発

以下では、これらの個別研究課題の概要とその成果について報告する。

3. 近未来の下水汚泥循環資源システムのビジョンに関する研究

本研究は、国立環境研究所をはじめとする関連研究機関との共同で行ったものである。2030年ころの近未来における主要なバイオマスの発生状況を予測し、それに対する循環利用の2つのシナリオ（社会シナリオとして、技術重視、ライフスタイル重視、対策シナリオとしてエネルギー回収重視、マテリアルリサイクル重視）を設定し、その状況、対策による効果等を提示している³⁾。以下に、下水汚泥に関する検討成果を紹介する。

近未来の下水汚泥循環資源のビジョンについては2.及び図-1で紹介したとおりであるが、次に2030年における下水汚泥（浄化槽汚泥等を含む）の発生量を予測した。下水道、農業集落排水、コミュニティプラント、合併処理浄化槽による生活排水対策が2030年には

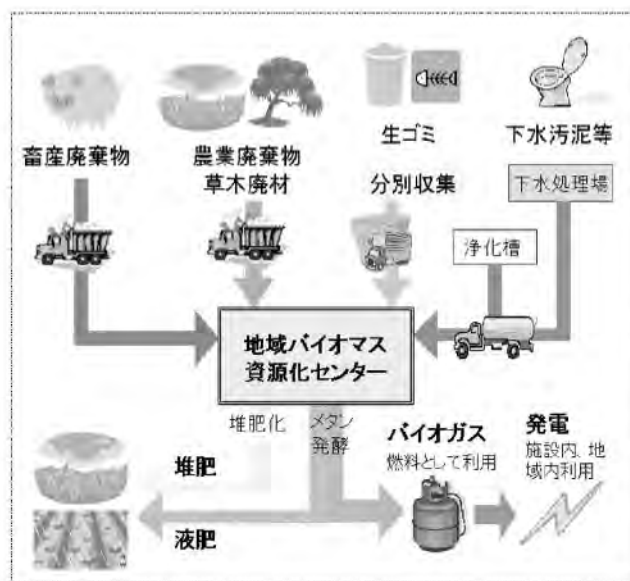
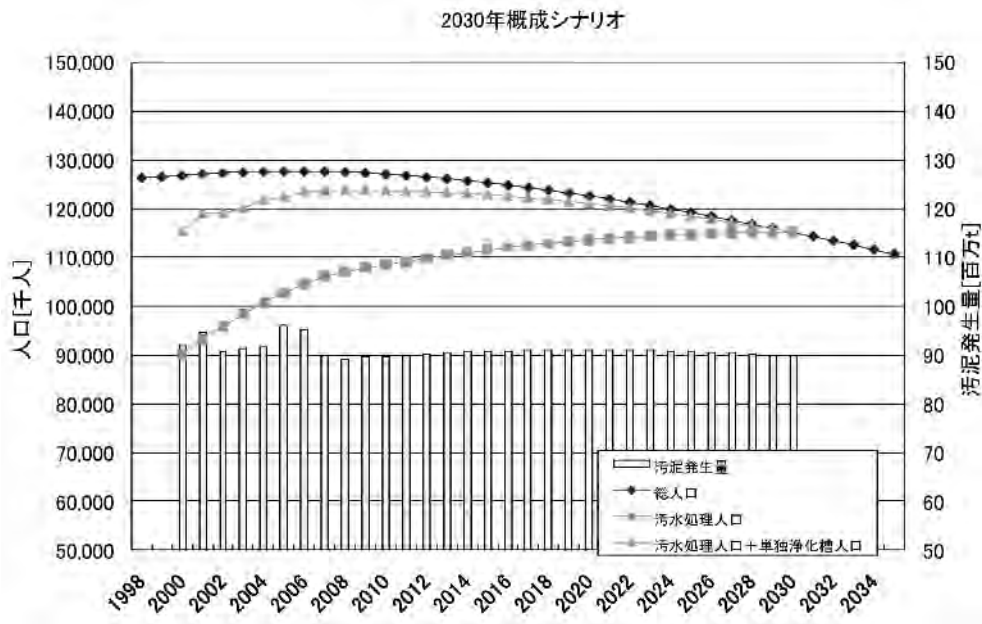


図-1 下水汚泥の資源循環システムの概念と構成要素



図－2 下水汚泥等の発生量予測 (全国)
(上図のデータは、2007年まで(単独浄化槽のみ2006年まで)は実績値である)

概ね終了すると仮定すれば、汚泥発生量はほぼ横ばいで推移するが、2020年ころに下水汚泥発生量（浄化槽、集落排水等汚泥を含む）のピークとなり、2030年には微減傾向となる結果となった（図－2）。

今後の循環ビジョンを支える主要な技術システムとして、現在実施されているセメント化等の建設資材利用、コンポスト等の緑農地利用、嫌気性消化（メタン発酵）によるバイオガス利用等に加えて、①下水汚泥と他バイオマスの混合メタン発酵、②下水汚泥の燃料化（炭化、乾燥）、③下水汚泥と草木廃材の混合焼却、の3つの技術を選定した。

2030年時点における下水汚泥の循環ビジョンシナリオとして、家庭食品廃棄物の一部をデスポーザー普及により下水道に受け入れ（シナリオA（技術重視・エネルギー回収重視））、家庭食品廃棄物の一部を車両で下水処理場に搬入・混合処理（シナリオB（ライフ

スタイル重視、マテリアルリサイクル重視）の2つのシナリオを想定するとともに、公共施設由来の木質廃棄物を汚泥焼却の補助燃料として使用する（シナリオA、B）こととした。また、既に全国の下水道普及率が7割を超えており、汚泥の有効利用率も7割を超えるなかで、今後の地方公共団体の財政状況などを勘案すれば、基本的には既存の下水処理施設を活用しながら施設の機能改善や資源利用施設の追加投資が行われ、現況の下水汚泥利用方式や処理プロセスが大幅に変化する可能性は少ないと想定して、2030年における下水汚泥の利用とこれに対応した処理プロセスの選択シナリオを表－1、表－2の通り設定した。

以上の設定シナリオA、Bに基づき、日本全国の下汚泥処理プロセスで排出される温室効果ガス（GHG）及び汚泥有効利用により得られる再生可能エネルギー量を算定し、循環型システムの構築による

表－1 2030年における下水汚泥利用状況

用途	現況(%)	シナリオA (広域・エネルギー優先)	シナリオB (地域・マテリアル優先)
緑農地利用	14.5	微減 10%	増加(農政部)20%
建設資材(セメント化)	38.5	減少 25%	微減 30%
建設資材(セメント化以外)	22.7	現況維持 25%	現況維持 25%
燃料化	0.7	大幅増 35%	増加 15%
埋立	23.2	若干残存 5%	残存(リサイクル)10%
その他	0.5	—	—

表－2 2030年における処理方式

処理方式	現況 (%)	有効利用・処分方法との対応関係	シナリオA (%)	シナリオB (%)
焼却	54.1	埋立、建材化(セメント、その他)	35	40
炭化	0.3	全量燃料化	30	10
乾燥	5.6	燃料化、一部緑農地	8	10
脱水	40	セメント化、緑農地	27	40
消化	37	(他の処理と並立)	50	40

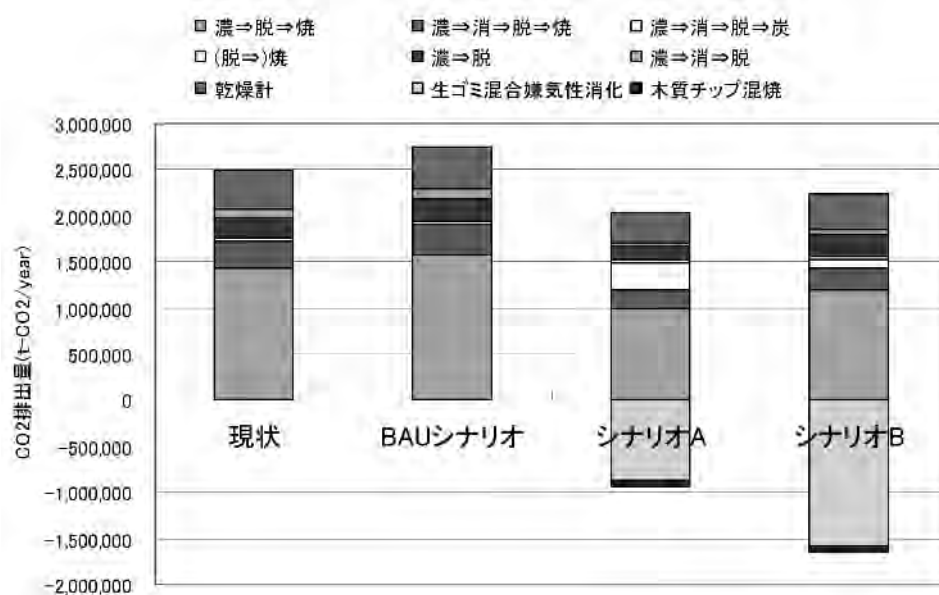


図-3 各シナリオにおけるCO₂排出量の試算結果
 (「乾燥計」は、乾燥プロセスを採用している処理場を対象とし、乾燥以外も含めた汚泥処理プロセス全体のコストを記載している)

GHG削減効果の算定を行った。

この結果、現状と比較して、シナリオAでは年間約139万トン-CO₂、シナリオBでは約190万トン-CO₂が削減され、2030年において対策なしのBAUシナリオ(Business As Usualシナリオ：汚泥利用状況や処理方式の構成比は現況どおりで、下水汚泥量のみ2030年予測値に変化した場合)と比較して、シナリオAでは年間約165万トン-CO₂、シナリオBでは約216万トン-CO₂が削減される結果となった(全国の合計値)。GHG抑制に特に大きな影響を及ぼした要因は、食品廃棄物の受け入れによるバイオガス生成とその利用によるものだった。

4. 下水道施設等における草木系バイオマスの有効利用および処分時のLCCO₂評価

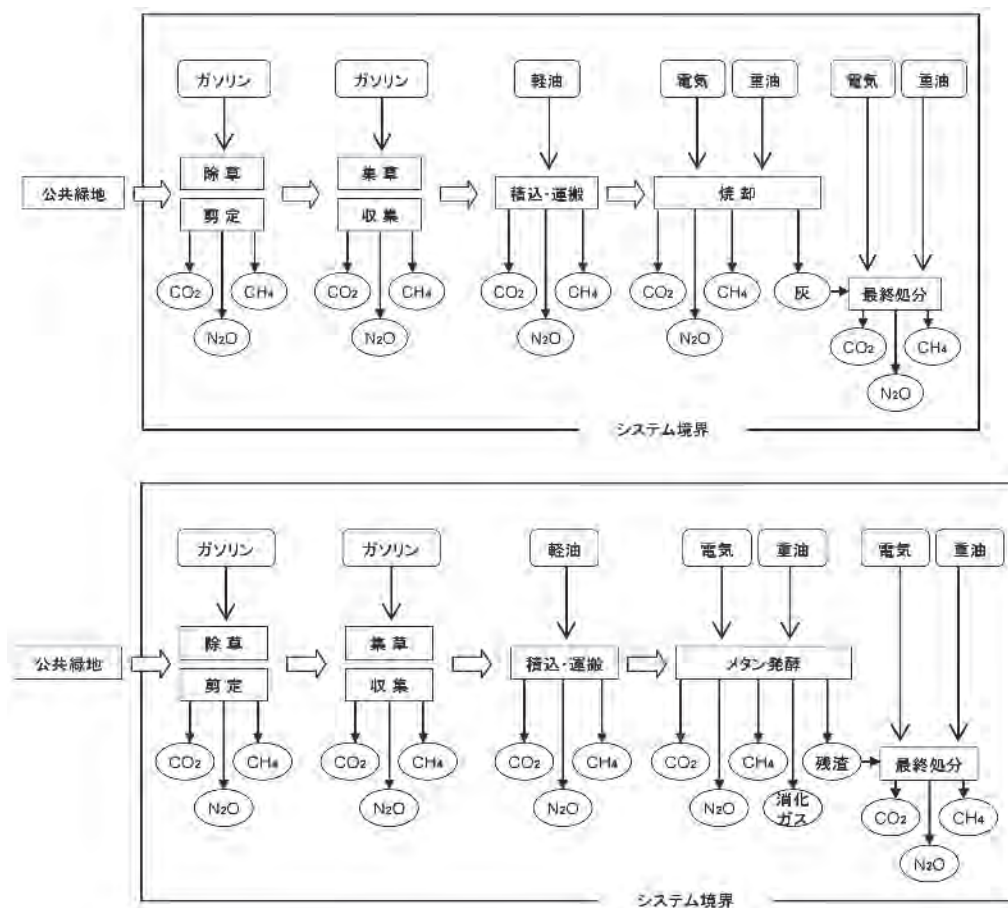
下水道施設では消化ガス発電や下水汚泥の炭化・燃料化に代表されるように、バイオマスとしての下水汚泥のエネルギー利用も進められており、これらの利活用施設を有効に活用することにより、生ゴミなどの下水汚泥以外のバイオマスについても効率的に利用できる可能性があり、これは温暖化対策としても有効である⁴⁾。

一方で、道路、河川、公園、ダムなどの管理のた

表-3 設定した利用及び処分方法

記号	搬送先	バイオマス 変換方法	発生する有 用物
A	清掃工場	燃焼	(無し)
B	ボイラー保有施設	燃焼	熱
C	石炭火力発電所	燃焼	電気
D	下水処理場	メタン発酵	メタンガス
E	堆肥化施設	堆肥化	堆肥

*清掃工場は、発電および熱利用施設を持つ場合を想定し、それらは場内での必要エネルギーを補うのみに使われ、場外で利用可能なエネルギーは無いことから、発生する有用物は無しとした。



図ー4 システムA（清掃工場）及びシステムD（下水処理場）のLCA評価の境界

め、毎年定期的に広大な緑地の雑草の除草や多くの樹木の剪定、流木の回収などが行われている。例えば、全国の道路緑化樹木の本数は、2007年時点で、高木667万本、中低木16,153万本が存在している⁵⁾。国土交通省の109国道事務所、102河川事務所、17公園事務所、25ダム事務所に対して過年度に土木研究所等で実施したアンケート調査結果によれば、これらの刈草は熱量換算すると3.1PJ/年、剪定枝葉は0.17PJ/年相当と推算されている⁴⁾。また、国内の199ダムからは、概算で230TJ/年相当の流木が発生している⁶⁾。

一般に、バイオマスは広く、薄く存在している上、水分含有量が多い、かさばる等の扱いづらいという特性のために収集が困難であることが、十分に活用されていない原因の一つである。しかし、道路、河川、公園、ダムなどの管理で発生するバイオマスは、日ごろより草木が除草・剪定され、収集されており、比較的に利用しやすいバイオマスと考えられ、有効利用が期待される。そこで本研究では、これらのバイオマス資源を効率的に利用していくためのLCCO₂による評価手法の確立を目的とした支援ツールの作成を進めている⁷⁾。これまでに、公共緑地の草木廃材の発生及び利用・処

分の現状について調査し、LCCO₂評価の境界（バウンダリ）の設定を行うとともに、以下のようなLCCO₂評価ツールを構築した。対象とする範囲は、「除草・剪定」、「集草・収集」、「積込・運搬」、「利用及び処分」の4つのプロセスとし、「利用及び処分」は、表ー3のとおりとして、下水道施設によるメタン発酵等を含む処分・利用プロセスについての比較検討が可能なシステムとした。近年は清掃工場における排熱回収等のエネルギー利用効率も向上しており、本システムではこうした部分の知見を充実したシステムとしている。

今後はこうしたツールを活用しながら、具体的な事業化への検討を進める予定である。

5. 下水処理・汚泥処理プロセスを活かした新たな資源エネルギー回収プロセスの開発

下水処理場では、水処理、汚泥処理プロセスに多くの電力や重油などを消費しておりCO₂排出量が多い。さらに処理過程におけるN₂Oなどの温室効果ガスの発生も多い。地球温暖化への対応を強化するためにも、省エネルギー型の汚泥処理プロセスを開発し、温

室効果ガスの排出を抑制することが望まれている。これまでも土木研究所では、省エネルギー型の燃焼システムとして、加圧流動炉と過給機を組み合わせた新たなシステム（過給式流動燃焼システム）や、草本類の混合メタン発酵のための前処理技術等を開発してきた⁸⁾。現在は新たな資源・エネルギー回収プロセスの構築に向けた研究に着手している。

近年、従来のバイオディーゼル原料（*Jatropha*やCoconutなど）に比べて単位面積当たりの収穫量が格段に高く、食料とも競合しない有用藻類からの油脂回収等が注目されている。従前も、石炭火力発電所から排出されたCO₂を用いて、ポンド内の高脂質含量の藻類からのバイオディーゼルの生産する研究プログラムが実施されてきた⁹⁾が、当時としては石油系ディーゼル燃料と比べて高コストであることが課題であった。しかし、その後の原油価格高騰などを経て、最近、再び脚光をあびることとなっている。

本プロセスでは、藻類を排水処理プロセス及び燃料源として併用することが経済的に有利であると指摘されている^{9)、10)、11)}。排水処理方式の一つに、High Rate Algal Ponds (HRAPs) がある。HRAPsは、滞留時間2-8日間、水深0.2-1mで継続的に攪拌されたポンドであり、藻類の光合成による酸素供給によって、排水中の溶解性有機物が従属栄養細菌によって好気分解するのを促進する方法である¹²⁾。ニュージーランドにおけるHRAPsの夏期屋外試験では、表面積31.8m²、水深0.3m、容量8m³のポンド（表面流速0.15m/s、CO₂添加、滞留日数4日および8日）で、藻類平均生産量16.7g/m²/dayおよび9.0g/m²/day、沈殿池における回収率はそれぞれ、69%、83%であったと報告されている。この2池の藻類優占種は、*Scenedesmus sp*、*Microactinium sp*、*Pediastrum*

sp、*Ankistrodesmus sp*であった¹³⁾。

これら状況を参考に、藻類による下水処理の高度化を検討した。具体的には、下水の藻類による生物処理（二次処理）への代替や二次処理の追加的処理への応用、汚泥濃縮や脱水の分離液および汚泥消化の脱離液の栄養塩除去などが考えられるが、本研究では、まず二次処理の追加処理について実現可能性を評価することとした⁷⁾。

下水処理場に流入する下水を二次処理（反応槽容量：0.5m³、反応槽HRT：8 hour）した処理水を攪拌器付セルカルチャーフラスコに入れ、攪拌しながら培養した。滞留時間（HRT）が4日程度となるようにポンプで下水処理水を投入してオーバーフロー水を排出した。実験の状況を写真-1に示した。水質は溶解性全りんおよび溶解性全窒素が減少したが、反応槽中のクロロフィルaの濃度は、既報¹³⁾と比べて1/20程度であり、さらなる向上が可能と考えられた。藻類は、*Scenedesmus*科が96%を占め、単一科の有占が可能であることが示された（写真-2）。*Scenedesmus*科に関する既往研究では、通常の緑藻の構成成分中の脂質含量が十数%程度あり¹⁴⁾、さらに貧窒素状態で43%まで向上することが報告されている¹⁵⁾。その他、栄養塩類の除去効果、重金属（クロム、銅、カドミウム）の除去効果に関する報告もあり、これらの特性から*Scenedesmus*科を用いて下水処理を高度化することは有望であると考えられた⁷⁾。

6. おわりに

今後、地球温暖化対策を更に強化していく上で、草本系未利用バイオマスや、生ゴミ、畜産系廃棄物など、エネルギーポテンシャルの高い廃棄物系バイオマ

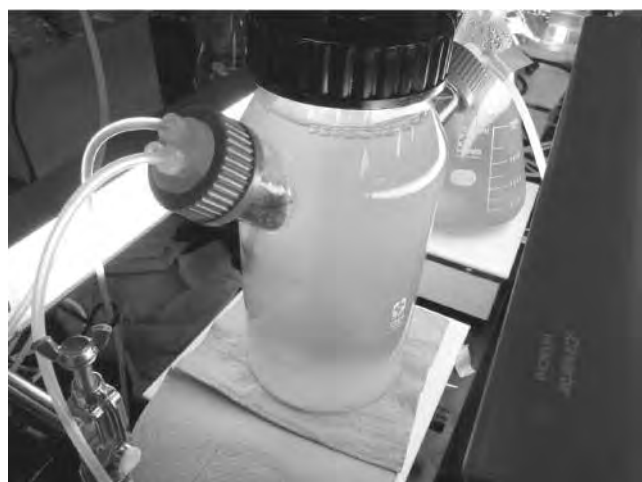


写真-1 半連続式反応槽の様子（実験18日目）

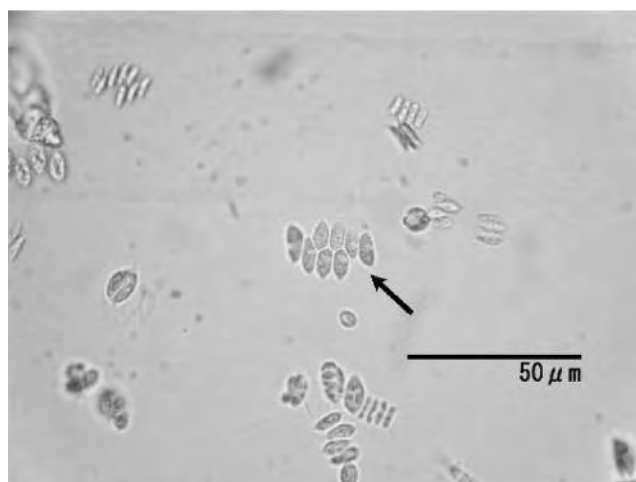


写真-2 半連続式反応槽で優占した*Scenedesmus acutus*

スをどのように活用していくかが大きな鍵となる。東日本大震災後に発生した電力需給の逼迫や今後のエネルギー政策の検討の中で、再生可能エネルギーの利用促進は重要な課題になると予想される。

下水道分野では、下水処理場の施設ストックを活用することで、地域で発生するバイオマスの受け入れが可能であり、これは施設整備・管理の面から見ても効率的であることから、現在、十分に利用が進んでいないこれらのバイオマス利用に不可欠な方策の一つであると考えられる。土木研究所リサイクルチームでは、上記のような観点から、今後も引き続き下水道システムを活用した効率的なバイオマス利活用を推進するための研究開発を進めていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 岡本誠一郎、(独) 土木研究所における新たな中期計画と下水汚泥等に関する研究の取り組み、再生と利用、Vol.35, No.132, pp.14-19, 2011
- 2) 循環型社会ビジョン実現に向けた技術システムの評価モデル構築と資源効率・環境効率の予測評価(K2021)、平成20年度廃棄物処理等科学研究報告書、pp.98-116、2009
- 3) 岡本誠一郎、堀尾重人、山下洋正他、循環型社会ビジョン実現に向けた技術システムの評価モデル構築と資源効率・環境効率の予測評価、平成22年度循環型社会形成推進科学研究費補助金総合研究報告書、pp.84-93、2011
- 4) 独立行政法人土木研究所、公共事業由来バイオマスの資源化・利用技術に関する研究、平成20年度下水道関係調査研究年次報告書集、<http://www.db.pwri.go.jp/pdf/D6301.pdf>、2009
- 5) 国土交通省国土技術政策総合研究所、わが国の街路樹Ⅳ、国土技術政策総合研究所資料 No.506、2009.
- 6) 牧孝憲、高橋正人、落修一、三宅且仁、尾崎正明、全国のダム流木発生量調査、土木学会論文集G、Vol.63 No.1、22-29、2007
- 7) 独立行政法人土木研究所、下水中の栄養塩を活用した資源回収・生産システムに関する研究、平成21年度下水道関係調査研究年次報告書集（発行準備中）
- 8) 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
- 9) National Renewable Energy Laboratory. A Look Back at the U.S. Department of Energy's Aquatic Species Program: Biodiesel from Algae. NREL/TP-580-24190, <http://www.nrel.gov/docs/legosti/fy98/24190.pdf>
- 10) Bei Wang, Yanqun Li, Nan Wu and Christopher Q. Lan. CO₂ bio-mitigation using microalgae. Applied Microbiology and Biotechnology, 79 (5), pp.707-718, 2008.
- 11) Jon K. Pittman, Andrew P. Dean, Olumayowa Osundeko. The potential of sustainable algal biofuel production using wastewater resources. Bioresource Technology, 102 (1), pp.17-25, 2011
- 12) Pond treatment technology Edited by Andy Shilton, IWA publishing, 2006. ISBN : 9781843390206.
- 13) J.B.K.Park and R.J.Craggs. Wastewater treatment and algal production in high rate algal ponds with carbon dioxide addition, Water Science and Technology, 61 (3) : 633-639, 2010.
- 14) 彼谷邦光、微細藻類オイルの化学、日本微生物資源学会誌、26 (1)、pp.1-10、2010.
- 15) Shovon Mandal and Nirupama Mallick. Microalga Scenedesmus obliquus as a potential source for biodiesel production. Applied Microbiology and Biotechnology, 84 (2), pp.281-291, 2009.

Q & A

名古屋市の下水汚泥処理について

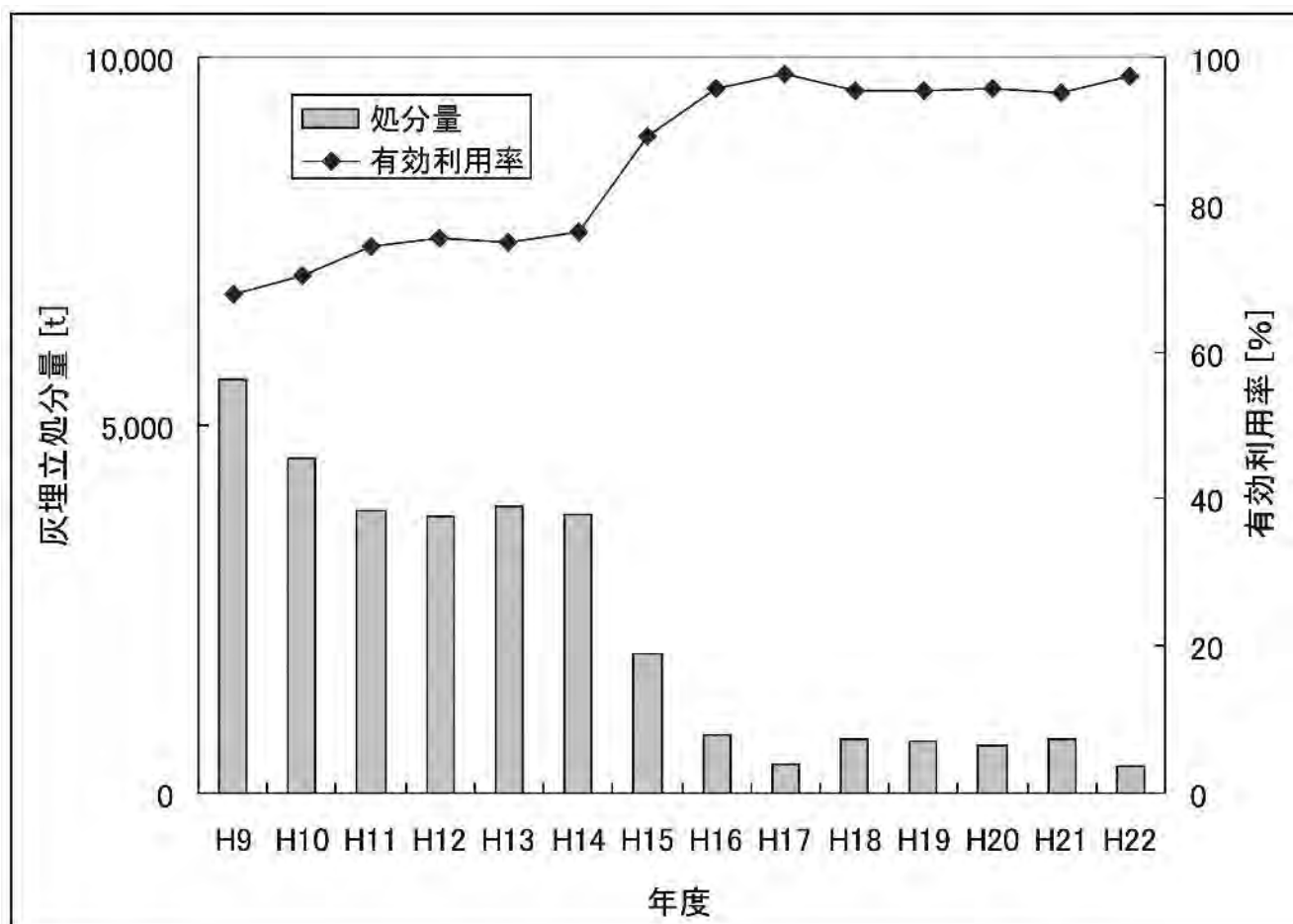
キーワード：集約処理、土質改良材、セメント

Q1 名古屋市における下水道発生汚泥の処理について教えてください。

A1 15箇所の水処理センター（1箇所の水処理センターは休止して全面改築更新中）で発生する汚泥は、専用の輸送管で圧送して、3箇所の汚泥処理場で集約処理を行っています。

輸送された汚泥は、汚泥調整槽に集めて、重力式濃縮槽で濃縮します。濃縮汚泥は、凝集剤を添加して脱

水機で脱水ケーキにして、全量焼却しています。3箇所の汚泥処理場のうち2箇所では、高分子凝集剤を添加してベルトプレスまたは、スクリーンプレス脱水機で脱水し、流動焼却炉で焼却しています。もう1箇所の汚泥処理場では、凝集剤として、消石灰と塩化第二鉄を汚泥に添加して、フィルタープレス脱水機で脱水し、多段焼却炉で焼却しています。



Q2 下水汚泥焼却灰の有効利用の状況を教えてください。

A2 有効利用率は、平成16年度から95%を超えており、高い水準にあります。有効利用されていない焼却灰は埋め立て処分しています。

Q3 焼却灰の有効利用先には、どのようなものがありますか。

A3 汚泥焼却灰は、主に土質改良材、セメント原料に有効利用されています。

Q4 土質改良材としてどのように有効利用していますか。

A4 下水道工事で発生する掘削残土に汚泥焼却灰（石灰系・高分子系）を土質改良材として添加し、埋め戻し材として再生させています。汚泥焼

却灰を添加することにより、掘削残土の水分を低下させるとともに、土粒子間の結合力を高めることができます。その結果、埋め戻しに適した強度を持ち、地震時にも液状化しにくい埋め戻し材に改良することができます。平成22年度では、約8,200トンの焼却灰が土質改良材として有効利用されています。

Q5 セメント原料にはどのように有効利用されていますか。

A5 昭和60年度から、セメント原料として汚泥焼却灰を有効利用する方法を検討し、平成8年頃から、本格的運用を開始しており、平成22年度では約5,600トンの実績を有しています。

（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 北折康徳）

現場からの

声

福岡県大木町バイオマス 循環センターを訪ねて

キーワード：バイオマス循環センター、液肥、緑農地利用、生ごみ混合メタン発酵

1. はじめに

・大木町の概要

大木町は、福岡県南部筑後平野の中央部に位置し、水郷柳川に隣接した人口14,500人の農業の町である。苺、アスパラガス、シメジ、えのき、花ござなどの農産物が町の特産品となっている。

当町では公共下水道や農業集落排水などの污水の集約処理事業は行っていないが、05年2月にバイオマスタウンに認定され、生ごみ・し尿・浄化槽汚泥をエネルギーと有機肥料に利用するなど「循環のまち」づくりに熱心に取組んでいる。このたび、その中核施設である「おおき循環センター（愛称：くるるん）」を視察する機会に恵まれたので、その施設概要並びに稼働状況等について紹介する。

・バイオマス循環利用の経緯

大木町では従来ごみ・し尿は隣の町に処分委託していたが、し尿の海洋投棄禁止や最終処分場の不足などにより処分コストが年々高くなってきたことから、徹底した循環型社会の構築を目指すことになった。平成12年に生ごみのメタン発酵を基本とする「新エネルギービジョン」策定、平成13～15年に住民参加型の社会システム構築を目指し産学官連携の共同研究事業を実施、その中でし尿・浄化槽汚泥も生ごみと合わせて混合メタン発酵により資源化することを決定した。

おおき循環センターは平成17年度に事業着手、管理学習施設、農産物直売所などを含めた総事業費は約11億円で、平成21年度に完成している。このうちメタン発酵関連施設は約5.2億円で、平成18年11月から一部運転開始している。

日本下水道事業団戸田技術開発分室

島田 正夫



図1 福岡県大木町の位置

「大木町循環のまちづくり」の考え方は以下の通り

- 現在ごみとなっているものを、地域資源として活かすこと
- 住民・事業所・行政が役割分担し、それぞれが責任を果たすこと
- 食やエネルギーをできるだけ地域で自給すること（地産地消・省エネ創エネ）
- 「自然を大切にし、助け合い、汗を流し、何ひとつ無駄にしない」先人の暮らしの知恵に学ぶこと



写真1 おおき循環センターの全景



写真2 生ごみ回収の専用バケツ

すなわち、「循環のまちづくりは住民との協働作業」をモットーに取り組んでいる。

2. 循環センター「くるるん」の概要

・計画諸元及び処理フロー

写真1におおき循環センターの全景を、図2に概略処理フローを示す。

受け入れバイオマス量（日平均）は、浄化槽汚泥が30.6t/日、し尿が7t/日、家庭・事業所から出る生ごみ3.8t/日となっている。浄化槽汚泥は水分が高いため、遠心分離機で含水率約96%に濃縮してから消化槽に投入している。したがって、消化槽投入バイオマス量は平均17m³/日、TS7.3%（VS86%）で、引抜き汚泥はTS2.1%（VS67%）となっている。

消化槽は容量400m³のコンクリート製で、中温

（37℃）、消化日数22日で管理している。発生する消化ガスは、25kWの国産小型消化ガス発電機2台に燃料として供給している。発電電力は場内で使用するとともに、消化残渣は有機液肥として緑農地利用している。

3. 運転管理状況

生ごみは各家庭等で分別してもらい、写真2に示す専用のバケツコンテナを用いて毎週2回（町内全域3区域に分け）回収している。焼却するごみの回収は週1回に減らしている。一般家庭からの生ごみ処理は無料であるが、事業系生ごみは10kg当り50円の処理費を徴収している。

生ごみの分別回収を本格開始する前にモデル事業実施地区を対象に、「生ごみを燃やさないで資源として再利用することはどう思いますか？」というアンケート

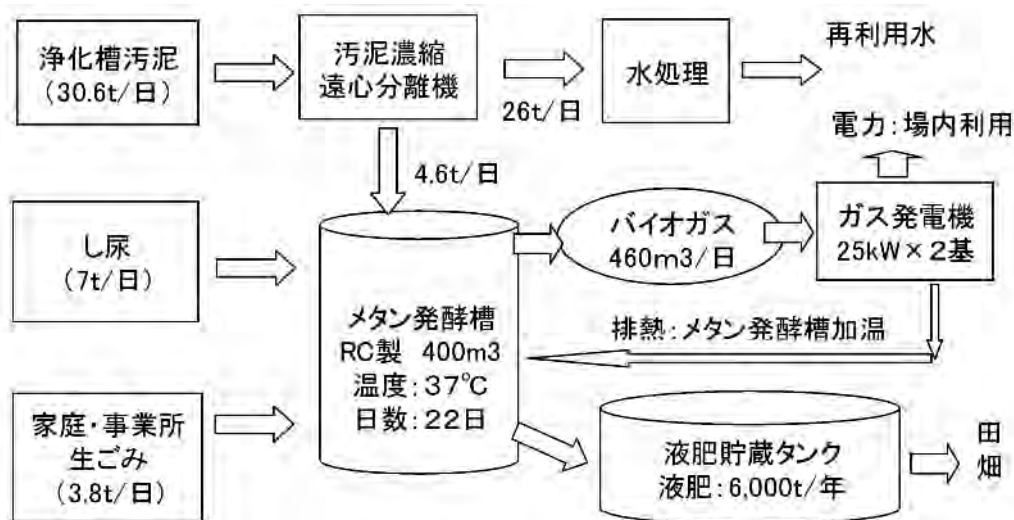


図2 計画諸元と処理フロー

ト調査を行った結果（N：435）、「よいことだ83.2%」、「どちらかといえばよいことだ15.4%」という回答が寄せられ、生ごみの分別回収継続にほとんどの住民の賛同が得られている。

・ごみ量の削減

大木町では生ごみ以外のごみについても「分ければ資源」との考えから、各家庭で25の種別に分別して回収・資源化を図っている。その結果、表1に示すように、最終的なごみの量は本格分別回収前の3,101t/年から、1,634t/年にまで47%の削減が達成されている。

・エネルギー回収

メタン発酵槽からは平均460m³/日の消化ガス（CH₄濃度約60%）が発生している。写真3に示す消化ガス発電設備（25kW×2台）にて電力エネルギーとして回収するとともに、発電排熱は消化タンクの加温熱源として利用している。消化ガス発電設備は順調に稼動

を続けており、当循環センターで使用する全電力の約6～7割を賄っている。

4. 消化汚泥（残渣）の液肥利用

おおき循環センター「くるるん」では消化汚泥（残渣）は約6,000m³/年発生しているが、「くるっ肥」という名前で普通肥料登録し、有機液肥として全量有効利用を図っている。表2に、液肥の成分含有量を示す。下水汚泥肥料では含有の少ないカリ成分も比較的多く含有しているほか、以下のような多くの特徴を有している。

- ・ビタミン（B₁₂、C）が豊富に含まれる
- ・腐食質が多く、土づくり効果が高い
- ・緩効と速効の両方の肥料効果がある
- ・臭いはあまり気にならない（腐敗臭はしない）

表1 生ごみ等の分別回収資源化によるごみ処理量の変化

ごみ処理量	可燃ごみ(t)			不燃ごみ(t)		ごみ計 (t)
	家庭	事業所	粗大	家庭	事業所	
05年度(基準年)	2,241	710	54	93	3	3,101
07年度実績	1,267	351	35	59	1	1,733
	▼44%	▼51%	▼35%	▼37%	▼67%	▼44%
10年度実績	1,182	418	29	4	1	1,634
	▼47%	▼41%	▼46%	▼93%	▼67%	▼47%



写真3 順調に稼動している国産消化ガス発電システム

表2 液肥の成分含有量（平成23年10月5日データ）

分析項目	含有量 (%)
リン酸	0.08
カリ全量	0.08
全窒素	0.27
アンモニア態窒素	0.19



写真4 液肥の散布状況



写真5 液肥ステーション

・病虫害特に糸状菌の防除効果が認められる

主として町内の水稻・麦などの作物田畑（それぞれ約50ha）を対象に、写真4に示す専用の液肥散布車で5～7t/10aを標準に散布している。散布費用は1,000円/10a徴収するが、町内のみ液肥代は無料としている。

また、家庭菜園など小規模菜園での施用希望者も多く、このような利用者のために、写真5に示す液肥ステーションを町内10数箇所に設けている。住民は適当な容器を持参して、いつでも液肥を無料で入手することが可能なため、大変好評とのことである。

・特別栽培米

有機液肥「くるっ肥」を使用することで福岡県が認証する減農薬・減化学肥料栽培基準を満足し、安全でおいしい米づくりを、大木町の農家が丹精込めて行っている。この米（品種：ひのひかり）は、環境共生型特別栽培米「環（わ）のめぐみ」と名付けられ、図3に示す袋に入れられて当循環センター併設の農産物直売所で販売されている。定価は4500円（10kg）だが、町民は1年間の先行予約をすれば3400円（10kg）で購入でき、すりたて米のおいしさと、生ごみ分別のお礼が帰る仕組みが好評を博している。

5. おわりに

おおき循環センターでの取り組みは、従来廃棄物として扱われてきた汚泥や生ごみを、貴重なバイオマス資源としてメタン発酵施設を核に、エネルギー利用や

有機肥料として活用する素晴らしい事業である。そして、それを住民・事業所・行政が役割を分担し、それぞれが責任を果たしながら行う、「住民との協働作業」として進められていることが最大の特徴である。

わが国では残念ながら、汚泥や生ごみは資源として有効利用されことなく廃棄物として大部分が焼却処分されている。下水道の整備が進み、全国の多くの自治体には下水処理場があり、毎日多くの下水汚泥が発生している。下水処理場を核として近隣で発生する生ごみなどの未利用バイオマスを下水汚泥とともに混合メタン発酵することで、新たな大規模な設備投資をすることなく再生可能エネルギーに転換したり、有機肥料化することができる。大木町の取り組みを是非見習っていただくことを期待する。

最後に、多忙中にも係わらず、私ひとりのために丁寧に施設の案内や維持管理状況等の説明を行っていただいた「おおき循環センター」の松内様に心から感謝申しあげる次第である。



図3 「環のめぐみ」

文献紹介

デュラム小麦のカドミウム吸収抑制対策としてのケイ素の効果

Effect of silicon on reducing cadmium toxicity in durum wheat (*Triticum turgidum* L. cv. Claudio W.) grown in a soil with aged contamination

Muhammad Rizwan, Jean-Dominique Meunier, Hélène Miche, Catherine Keller
Journal of Hazardous Materials 209-210 326-334 (2012)

カドミウム (Cd) は植物と動物の双方に有害な金属であり、大気降下物や肥料等を通じて農地に持ち込まれる。土壌中のCdの可給性は土壌の性質や作物の種類に依存する。作物によるCdの吸収を抑制するため、浄化用の植物にCdを吸収させて土壌中Cd濃度を下げる方法や、資材施用による方法が検討されているが、より経済的な手法も望まれている。ケイ素 (Si) は必須元素ではないが、生育に有用な元素であり、小麦はSiをよく吸収する。また、ケイ酸質資材の施用は水稻のCd害を軽減するという報告もある。ところが、小麦やデュラム小麦の重金属耐性に対するSiの効果についてはほとんど知られていない。そこで本論文の著者らは、小麦を汚染土壌で栽培し、非晶質ケイ酸施用による重金属ストレスの軽減効果、土壌中の可給態Cdと小麦のCd吸収量について検討し、ケイ酸のCd吸収抑制効果について考察した。

栽培には、25年前に工場廃水処理汚泥を施用した土壌 (砂壤土、pH6.8、Cd、Zn、Cu、Pb濃度0.7、495、48.5、309 mg/kg) を使用した。ケイ酸質資材として珪藻岩から作られた非晶質ケイ酸 (SiO₂含量78%) を使用し、ケイ酸として0、1、10、15 Mg/haになるように土壌に混合した。各処理の土壌をそれぞれ7ポットに充填し、うち4ポットでデュラム小麦を栽培し、3ポットは栽培しないで同様に管理した。肥料は液肥で与えた。植物体は、播種後71日目 (穂ばらみ期の直前) に地上部と地下部に分けて収穫した。土壌溶液は、播種後47、57、64、71日目に採取した。土壌はケイ酸質資材を混合した直後と栽培後に採取した。植物体は硝酸分解、土壌はジエチレントリアミン五酢酸 (DTPA) - トリエタノールアミン (TEA) 混合溶液による抽出を行い、ICP-AESでCd等の重金属濃度を測定した。土壌溶液はpHを測定した後に硝酸を添加し、ICP-MSで重金属を測定した。Si濃度はモリブデンブルー比色法に

より測定した。

生育期間中の草丈および収穫時の地上部と地下部の重量は、ケイ酸添加量が増えるに従って増加し、ケイ酸15 Mg/ha区の重量は、対照区より地上部で42%、地下部で43%増加した。植物体中のSi濃度は、地上部の方が地下部よりやや高い傾向にあったものの、ケイ酸添加量との関係は認められなかった。しかしながら、Si吸収量に換算すると、地上部においてはケイ酸添加量が増えるに従って増加傾向にあった。地上部のCd濃度はケイ酸添加量が増えるに従って減少する傾向にあったが、Cd吸収量に換算するとケイ酸添加量との関係は認められなかったことから、乾物重の増加によりCdが希釈されたものと考えられた。地下部のCd濃度とCd吸収量は、ケイ酸添加量が増えるに従って増加する傾向にあり、ケイ酸施用により根にCdを蓄えて、地上部への移行を抑制していることも示唆された。

栽培跡地土壌のpHは6.42~6.57であり、ケイ酸添加量との関係は認められなかったが、無栽培土壌のpH (5.98~6.11) より高い傾向にあった。DTPA-TEA抽出によるCd濃度は、栽培跡地と無栽培土壌のどちらもケイ酸添加量が増えるに従ってわずかに減少した。収穫時の土壌溶液のpHは、小麦栽培土壌ではケイ酸添加量に関係なくpH7程度、無栽培土壌では、ケイ酸無添加区がpH6程度、ケイ酸添加区が6.5程度であり、ケイ酸添加による上昇が認められた。栽培期間中の土壌溶液のSi濃度は、小麦栽培土壌では2 mg/L程度で推移したのに対し、無栽培土壌では4~8mg/L程度まで上昇した後、緩やかに減少した。このことは、小麦栽培土壌において土壌溶液中のSi濃度が制限因子となっていることを示しており、非晶質のケイ酸質資材では十分にSiが供給できないことが示唆された。播種後57日目の土壌溶液中のCd濃度は、小麦栽培土壌では0.3~0.5 µg/Lであり、無栽培土壌 (0.6~0.8 µg/L) より低い傾向にあったが、ケイ酸添加量との関係は認められなかった。

以上の結果より本論文の著者らは、非晶質ケイ酸の施用は小麦地上部のCd濃度を下げる効果があり、それに伴って小麦子実のCd濃度も下がると考えられることから、Cd吸収抑制の一つの方法となり得るとしている。

(農業環境技術研究所 川崎 晃)

文献紹介

高負荷嫌気性消化の簡易管理パラメータによるメタン変換効率の評価

Methane conversion efficiency as a simple control parameter for an anaerobic digester at high loading rates

W.Charles, N. P. Carnaje, R. Cord-Ruwisch

Water Science & Technology, Volume 64 Number 2, 2011, 534-539

嫌気性消化は効率的な汚泥処理方法の一つとして用いられてきたが、近年ではメタンガス生成施設としての役割も着目されつつある。しかしながら、処理自体が不安定である、一度運転に失敗すると安定化するまでに時間がかかるなどの理由から嫌気性消化を導入したがない場所もある。嫌気性消化の不安定性は、メタン生成に対して阻害となる消化タンクへの過負荷、有害物質の混入といった基質の問題とタンク内温度低下等の問題により引き起こされると言われている。嫌気性消化を適切に管理するためにも、維持管理の指標となるものが必要である。一般的にはVFA、アルカリ度、pH、ガス発生量およびガス組成、VS、COD減少量が維持管理指標として用いられてきたものの、嫌気性消化の安定性を評価するためにはこれらの指標から総合的に判断する必要がある。過負荷による消化機能の悪化は酸発酵による水素ガスの発生量がメタン菌による水素ガスの摂取量を上回ることによって生じると過去の研究では報じられている。そのため、VFAと水素ガス発生量を常時モニタリングすることは、消化機能悪化の判断に有効であるが、技術的に難しいことから一般的に用いられていない。pH測定は簡易な方法であるが、嫌気性消化には高い緩衝容量があるため、信頼性に乏しい。通常、消化機能が悪化するとすぐにVFAと水素が蓄積し、メタンガス発生量が減少する。本研究では(1)高負荷状態での嫌気性消化の挙動、(2)消化機能の簡易な判断指標となり得るメタン変換効率の評価を行った。

実験は35℃に設定した連続投入式嫌気性消化タンク(容量 1.3L)を用いた。消化汚泥(ビール工場より採取)を1.0L(TS 13 g/L)充填し、基質はD-グルコース 24.5 g/L、酵母エキス 1.0 g/L、トリプトン 1.0 g/L、基礎栄養塩(NH₄Cl、MgCl₂・6H₂O等)、微量金属(Fe、Co、Mn等)から構成され、pHをNaOHにより7.0-7.5に調整した。メタンガス生成量は発生したバイオガスをNaOHペレットに接触させてCO₂ガスを除去した上で計測した。水素ガスとVFAはCharlesらによって提唱された方法により計測した。

負荷変動による実験を開始する前に、投入基質から生成されるメタンガス量の理論値を一次速度論、一段階生物学的処理の予測法により求めた。これにより消化タンクへの負荷量増加とメタンガス生成量が比例することが確認された。また、グルコースからCH₄、CO₂に変換される化学反応式により1モルのグルコー

スから3モルのメタンガスが生成される。ここで、メタンガス発生量の理論値に対する実験値の割合を消化の変換効率と定義した。メタンガス発生率がグルコースの投入率に比例する限り、変換効率は一定となる。グルコースの投入を増加させた際に変換効率が低下する、増加分の基質がメタンに変換されていない、或いはVFA等の中間生成有機物が蓄積していることを示す。

5.4mmol/L/dのグルコースを基礎投入量とした負荷変動実験の結果、グルコースの投入量の増加率が10%から30%の間は、メタン生成量も比例して増加した。しかしながら、グルコースの投入量の増加率が40%から50%の間は、メタン生成量の増加率が低下しており、投入有機物の一部がメタンに変換されなかったと考えられる。投入量の増加率が10%から40%においては、変換効率は76%から79%であった。本実験においてVFAの蓄積は確認されず、消化汚泥のpHは6.5から7.5の間で推移していた。

消化タンクに対する限界投入負荷量はVFA等消化に有害な中間生成物が消化タンク内に蓄積しない負荷量と定義できる。本実験では徐々に投入負荷量を増加させ、他研究者によって提唱されている消化タンク内の適正VFA範囲(300~500mg/L)を超えない投入負荷量について検証した。実験ではグルコース10mmol/L/dから投入量を12時間間隔で徐々に増加させ、その際の消化機能を評価するために、ガス発生率、消化タンク内のVFA濃度、水素分圧、変換効率を計測した。実験の結果、HRT8日までは投入負荷の増加量とメタン生成量が比例しており、変換効率も76%以上であった。この期間では、酢酸とプロピオン酸共に1 mMから2 mMに増加しており、酸生成量とメタン生成量が均衡していたと考えられる。HRT6日に負荷量を増加させると変換効率が69%まで低下し、この期間に酢酸濃度が3.5mMまで上昇した。VFA濃度は適正範囲にあったものの、負荷量の増加に伴いVFA濃度が増加しており、この期間に消化機能の低下が発現していたものと考えられる。さらにHRTを5日に短縮するとメタン生成量に変化はなかったものの、酢酸とプロピオン酸濃度が急激に高くなった。その結果、変換効率は59%に低下した。HRT4日ではメタン生成量が減少し、プロピオン酸と酢酸がそれぞれ13mM、7mMまで増加しており、酸生成菌の活性がメタン生成菌の活性を上回っていることを示している。このときpHは6.5から5.1まで低下し、変換効率は41%であった。一方、水素分圧は実験期間中に40ppmから160ppmまで増加しており、本結果からも水素生成菌が水素を消費するメタン菌の活性を上回っていたことが分かる。

本実験結果より変換効率が消化機能の判断指標となり得る可能性があり、75%以上であれば消化は安定しており、70%以下では消化機能が低下していることを示すことが明らかとなった。

(日本下水道事業団 水田 健太郎)

講座

下水道における未利用エネルギー活用 促進のための制度について

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

キーワード：バイオマスエネルギー、下水熱、固定価格買取制度、都市再生特別措置法、グリーン投資減税

1. はじめに

下水道は、バイオマスエネルギーとなる下水汚泥、温度差エネルギーである下水熱等、省エネ・省CO₂に資する未利用エネルギーを有しています。近年、エネルギー資源の確保や温暖化対策が喫緊の課題となっており、東日本大震災を契機とした電力需給の逼迫への対応も必要となっており、今後、これら下水道が有する未利用エネルギーを活用していくことが期待されています。こうした背景を踏まえ、近年、下水道における未利用エネルギー活用を促進するための制度整備が進んできていることから、本稿では、その概要を紹介します。

2. 近年の主な法制度の整備状況

2-1 下水汚泥のエネルギー利用に係る制度整備

下水汚泥のエネルギー利用に係る制度については、バイオマス全体の活用を推進するための「バイオマス

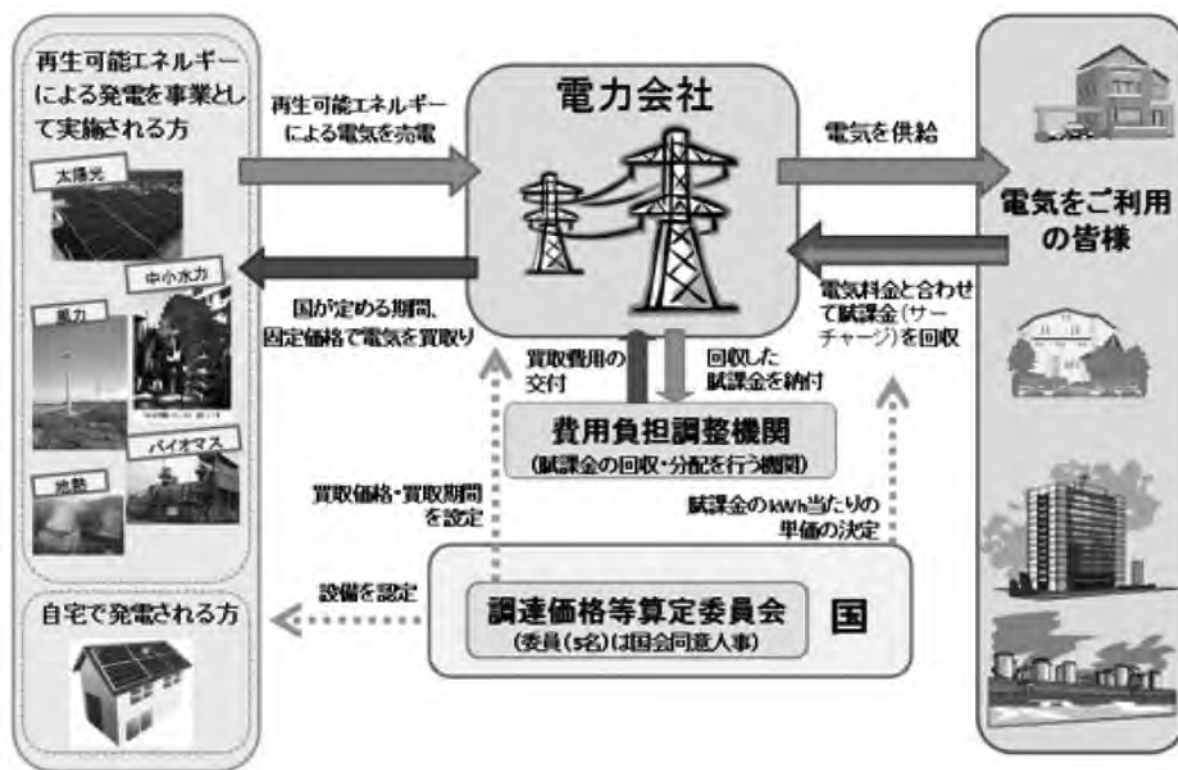
活用推進基本法」に加え、「再生可能エネルギーの固定価格買取制度」や「エネルギー供給構造高度化法」等が整備されています。

○バイオマス活用推進基本法

平成21年6月に、バイオマス活用の推進施策を総合的かつ計画的に推進することを目的とした「バイオマス活用推進基本法」が成立しました。本法に基づき、平成22年12月に「バイオマス活用推進計画」が閣議決定され、下水汚泥については、今後さらに、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って、2020年に約85%利用することを目指すとなっています。

○再生可能エネルギーの固定価格買取制度

平成23年8月に「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」が成立しました。本法は、再生可能エネルギー源（太陽光、風力、水力、地熱、バイオマス）を用いて発電された電気を、一定の期間・価格で電気事業者が買い取ることを義務付けるもので、平成24年7月1日から施行されます。バイオマスとして、下水汚泥や下水道バイオガスを用いて



図ー1 固定価格買取制度の概要（経済産業省HPより）

発電した電気や、下水処理場に設置する太陽光発電施設や小水力発電施設から生ずる電気についても、経済産業大臣の認定を受けた場合には、本制度の買取対象となります。

○エネルギー供給構造高度化法

エネルギー供給事業者による非化石エネルギー利用と化石エネルギー有効利用の促進を図るため、平成21年7月、「エネルギー供給事業者による非化石エネルギー源の利用及び化石エネルギー原料の有効な利用の促進に関する法律」（エネルギー供給構造高度化法）が成立しました。本法に基づき基本方針と判断基準が策定されており、当該判断基準においては、一般ガス事業者等に対して、平成27年において供給区域内等で、効率的な経営の下においてその合理的な利用を行うために必要な条件を満たすバイオガス80%以上を利用することが目標として掲げられており、今後、下水道バイオガスの需要が高まる可能性が高いと考えられます。

2-2 下水熱利用に係る制度整備

下水は大気と比べ温度が年間を通して安定しており、下水道管ネットワークにより熱需要の多い都市内に安定的に存在していることから、省エネ・省CO₂効果の高い温度差エネルギーです。一方、未処理下水の熱利用については、これまで下水道管理者に限

られており、民間事業者による利用は制限されていました。しかしながら、平成23年4月に、官民連携を通じた都市の国際競争力及び魅力の向上と都市の再生を図るために、「都市再生特別措置法」が改正され、特定都市再生緊急整備地域における民間事業者による下水熱利用の規制緩和が行われました。

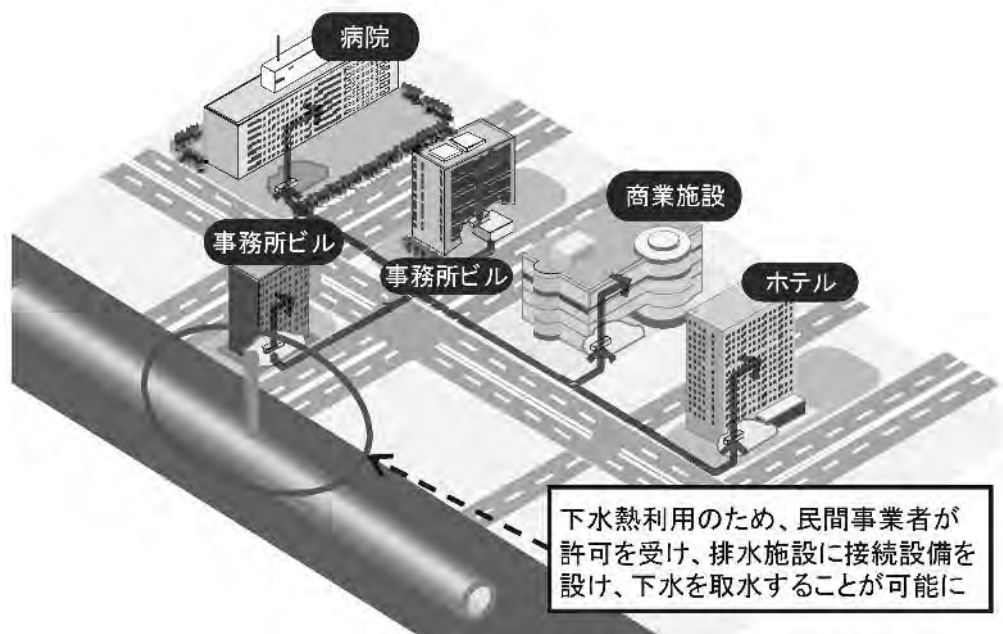
さらに、平成24年2月28日には、新たに「都市の低炭素化の促進に関する法律案」が閣議決定され、当該法律案において、都市の低炭素化の促進を図り、都市の健全な発展に寄与するために、低炭素まちづくり計画に基づく民間事業者による未処理下水熱利用の特例が設けられています。こうした民間への開放により、今後、一層下水熱利用が進むことが期待されます。

3. 財政的な支援制度

下水道の未利用エネルギー利用促進に係る財政的な支援制度としては、社会資本整備総合交付金の交付と税制上の特例措置があります。

○社会資本整備総合交付金

社会資本整備総合交付金においては、通常の下水道事業として、下水汚泥処理施設（脱水施設、焼却施設、消化槽等）の整備に対して支援を行っているとともに、新世代下水道支援事業制度や民間活用型地球温暖化対策下水道事業制度等を実施しています。



図ー2 民間事業者による下水熱利用に係る規制緩和（イメージ）

（1）新世代下水道支援事業制度

①リサイクル推進事業＜未利用エネルギー活用型＞

本制度においては、下水汚泥とその他のバイオマスの混合消化によって生ずる下水道バイオガスをエネルギー利用するための消化施設や消化ガス利用施設、地域全体として効率的であると認められる地域における下水汚泥と他のバイオマスを混合・調整するための施設の整備に対して支援をしています。また、下水道バイオガスを下水処理場で公共又は公益の用途に利活用する場合、下水道バイオガスを供給するために必要な施設（下水処理場内に設置するものに限る）についても本制度の対象としています。加えて、経済性、環境への負荷削減効果、省エネ効果等の観点から下水熱利用が有利な地域における下水熱利用施設、下水処理水等を利用した小水力発電施設を対象としています。

②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を支援の対象としています。

（2）民間活用型地球温暖化対策下水道事業制度

本制度は、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って、下水汚泥等の資源・エネルギー利用を推進することを目的としています。下水道管理者が民間企業と一体となっていく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、地方

公共団体がPFI方式等により整備する下水汚泥等の処理施設、PFI事業等の民間事業者が整備する下水汚泥等を資源化したものの貯留施設等に対して、支援を行っています。

○グリーン投資減税における税制上の特例措置

平成23年6月、「現下の厳しい経済状況及び雇用情勢に対応して税制の整備を図るための所得税法等の一部を改正する法律」が公布・施行されたことにより、最新の技術を駆使した高効率な省エネ・低炭素設備や、再生可能エネルギー設備への投資（グリーン投資）を重点的に支援する「環境関連投資促進税制（グリーン投資減税）」が創設されました。この減税措置の一つとして、下水汚泥固形燃料の受入先が整備する下水汚泥固形燃料の利用に必要な設備（貯蔵装置、払出装置等）に対して、平成26年3月31日までを適用期間とする特例措置が設けられました。

4. おわりに

下水道における未利用エネルギーの利用促進に係る制度については、上述したように、近年、様々な整備が進められています。今後は、これらの制度を活用し、下水道における未利用エネルギーの利用がさらに進むことが期待されます。国交省としても、今後、固形燃料のJIS化等に係る検討や下水熱利用のガイドライン策定等にも取り組む予定であり、引き続き、制度面の環境整備について尽力していききたいと思います。

投稿報告

安定化処理後下水汚泥焼却灰入り アスファルト混合物について

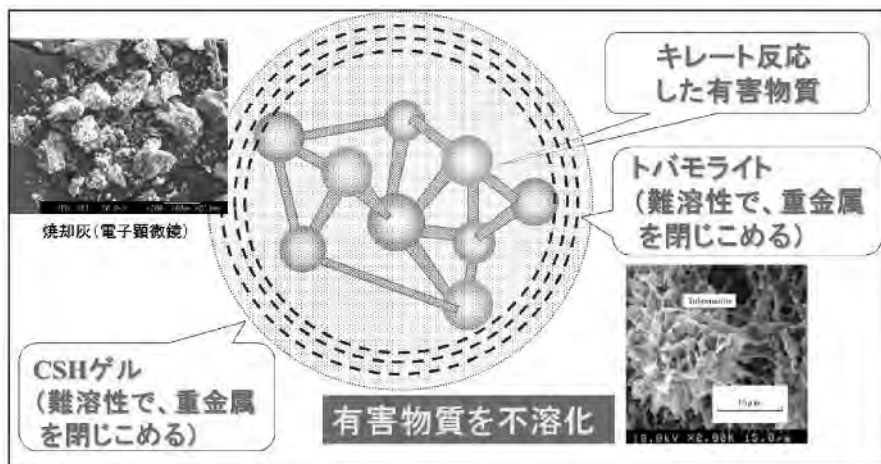
株式会社 金沢舗道 生産部 大矢 昌樹
総務部 山本 幸人

キーワード：下水汚泥焼却灰、重金属、安定化（不溶化）、アスファルトフィラー

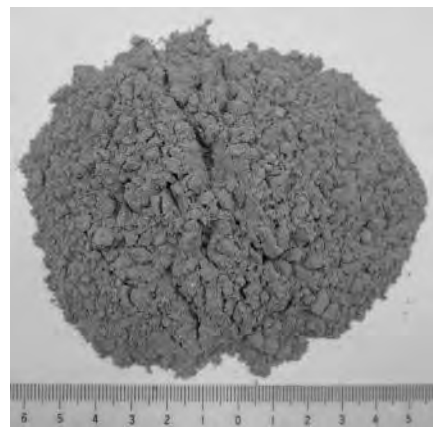
1. 下水汚泥焼却灰の安定化処理技術

下水汚泥を焼却処理した際に発生する下水汚泥焼却灰は、重金属類による環境安全性の問題（重金属類が水に溶出する恐れがある）等により、埋立場で最終処分されているのが現状である。しかし、その残余年数もわずかとなってきたことから、下水汚泥焼却灰を有効利用し、安全な資源として循環させることが急務となっている。

そこで、下水汚泥焼却灰の性状が、アスファルト混合物の材料であるアスファルトフィラーとほぼ同等であることから、その有効利用を目的に、懸念されていた下水汚泥焼却灰単体での環境安全性の問題を解決するため、金沢市企業局、金沢市環境技術顧問（金沢大学名誉教授）、金沢市環境指導課との産・学・官の共同研究で確立した技術が安定化（不溶化）処理技術であり、下水汚泥焼却灰とキレート剤（薬剤）等を混練し、重金属類を安定化する技術である。（図－1、写真－1）



図－1 安定化処理の概要



写真－1 安定化処理後下水汚泥焼却灰

2. 有効利用のフロー

発生した下水汚泥焼却灰を、下水処理場からジェットトラックにて下水汚泥焼却灰リサイクル施設まで運搬し、施設にある原灰サイロに保管する。

そして、下水汚泥焼却灰とキレート剤等を、所定量
混練機にて練混した後、乾燥工程を経て、製品サイロ
に貯蔵し、需要に応じてジェットバック車にてアス
ファルトプラントへ出荷する。

アスファルトプラント側においては、受け入れた安定化処理後の下水汚泥焼却灰をサイロに保管し、通常のフィラーと同様の扱いで下水汚泥焼却灰入りアスファルト混合物を製造する。

また、施工後、数年経過後の補修等によりアスファルト塊として発生した場合には、がれきリサイクル施設により、破碎・分級し、再生骨材として新たなアスファルト混合物の材料となる（図-2）。

なお、下水汚泥焼却灰は、産業廃棄物（ばいじん）に該当するため、原灰を運搬する車両や、リサイクル施設は産業廃棄物処理業許可が必要となるが、アスファルトプラントは不要となる。

すなわち、安定化処理後下水汚泥焼却灰は、流通段階では製品（材料）として扱うことができる点がメリットとして挙げられる。

3. 安定化処理後の下水汚泥焼却灰の環境安全性

環境安全性に対する評価は、溶出試験（※1）並びに含有量試験（※2）を実施し、環境省の定める「土壌の汚染に係る環境基準（溶出基準）（環境庁告示第46号）」並びに「土壌汚染対策の指定基準（含有量基準）（環境省告示第19号）」を満足するか否かを基に評価する。溶出試験及び含有量試験の結果（表－1、表－2）、安定化処理後の下水汚泥焼却灰は、全項目において環境基準値以下であり、環境安全面を確保している。



図-2 有効利用のフロー

表-1 安定化処理前後下水汚泥焼却灰の溶出試験結果（抜粋）

分析項目	基準値	処理前	処理後
カリウム	0.01 以下	<0.001	<0.001
鉛	0.01 以下	<0.005	<0.005
六価クロム	0.05 以下	<0.01	<0.01
砒素	0.01 以下	0.01	<0.005
水銀	0.0005 以下	<0.0005	<0.0005
セレン	0.01 以下	0.16	<0.002
フッ素	0.80 以下	0.02	<0.05
鈷素	1.00 以下	1.70	0.30

基準値：土壌の汚染に係る環境基準（mg/L）

表－2 安定化処理後下水汚泥焼却灰の含有量試験結果

分析項目	基準値	処理後
カドミウム	150 以下	3.7
鉛	50 以下	< 1
六価クロム	150 以下	30
砒素	250 以下	< 2
水銀	150 以下	0.2
セレン	15 以下	<0.02
フッ素	150 以下	<0.2
珪素	4000 以下	170
鈉素	4000 以下	28

基準値：土壤汚染対策の指定基準 (mg/kg)

※原灰についても基準値を満たしている。

※1 溶出試験：重金属類が地下水に溶け出す量を推定する試験

※2 含有量試験：重金属類が体内に溶け出す量を推定する試験

さらに、過酷な環境下における環境安全性の評価試験として、安定化処理後下水汚泥焼却灰における強酸性状態安全性評価試験や強アルカリ性状態安全性評価試験及び対熱安全性評価試験の結果 (表－3)、また安定化処理後下水汚泥焼却灰入りアスファルト混合物における対紫外線安全性評価試験及び焼却灰入り舗装から発生する粉塵の安全性評価試験の結果 (表－4) において、環境基準値以下の結果が得られており、過

表－3 過酷な環境下における安定化処理後下水汚泥焼却灰の溶出試験結果

分析項目	基準値	①	②	③
カドミウム	0.01 以下	<0.001	<0.001	<0.001
鉛	0.01 以下	<0.005	<0.005	<0.005
六価クロム	0.05 以下	<0.01	<0.01	<0.01
砒素	0.01 以下	<0.005	<0.005	<0.005
水銀	0.0005 以下	<0.0005	<0.0005	<0.0005
セレン	0.01 以下	<0.002	<0.002	<0.002
フッ素	0.80 以下	<0.05	<0.05	<0.05
鈉素	1.00 以下	<0.1	0.1	0.1

基準値：土壤の汚染に係る環境基準 (mg/L)

- ① 強酸性状態安全性評価試験
(溶媒の pH=2.5 に調整後溶出)
- ② 強アルカリ性状態安全性評価試験
(溶媒 pH=11 に調整後溶出)
- ③ 対熱安全性評価試験
(加熱処理【常温⇒200℃】5 回繰返し後溶出)

表－4 過酷な環境下における安定化処理後下水汚泥焼却灰入りアスファルト混合物の溶出試験結果

分析項目	基準値	①	②
カドミウム	0.01 以下	<0.001	<0.001
鉛	0.01 以下	<0.005	<0.005
六価クロム	0.05 以下	<0.01	<0.01
砒素	0.01 以下	<0.005	<0.005
水銀	0.0005 以下	<0.0005	<0.0005
セレン	0.01 以下	<0.002	<0.002
フッ素	0.80 以下	0.06	0.22
鈉素	1.00 以下	0.1	0.1

基準値：土壤の汚染に係る環境基準 (mg/L)

- ① 対紫外線安全性評価試験
(紫外線 200 時間照射後、溶出試験実施)
- ② 焼却灰入り舗装から発生する粉塵の安全性評価試験
(「フベリング」試験機にて粉塵を発生させ、発生粉塵を回収し、溶出試験実施)



写真－2 強酸性状態安全性評価試験状況



写真－3 強アルカリ性状態安全性評価状況



写真一4 対熱安全性評価試験状況



写真-5 対紫外線安全性評価試験状況

酷な環境下においても安定化処理技術による安定化処理作用が保持されていると考えられる。

4. 安定化処理後下水汚泥焼却灰入りフィラーの品質面

安定化処理後下水汚泥焼却灰を、アスファルト混合物製造時に使用するフィラーの一部とした際の品質面において、処理灰単体では（社）日本道路協会の定めるフィラーとしての規格値（目標値）を満足していない項目（フロー値）があるが、全フィラー量の3割（フィラー：焼却灰＝7：3）以下で配合することにより、規格値（目標値）を十分に満足する。（表－5）



写真-6 焼却灰入り舗装から発生する粉塵の安全性評価試験状

表-5 安定化処理後下水汚泥焼却灰入りフィラーの品質試験結果

項 目			処理灰 単体	石粉：焼却灰 ＝ 7：3	規格値 (目標値)
水分試験 (%)			0.6	0.2	1.0% 以下
粒 度 (%)	ふるい目	600 μ m	100.0	100.0	100
		300 μ m	99.3	99.2	――
		150 μ m	94.5	91.8	90～100
		75 μ m	89.4	80.1	70～90
密度試験 (g/cm ³)			2.539	2.663	――
加熱変質性試験			変化なし	変化なし	(変化なし)
フロー試験 (%)			87.8	39.4	(50 以下)
浸水膨張率試験 (%)			0.1	0.0	(3 以下)
剥離抵抗性試験			合格	合格	(合 格)
塑性指数 (PI)			NP	NP	(4 以下)

5. 安定化処理後下水汚泥焼却灰入りアスファルト混合物の品質面

マーシャル密度・安定度試験の結果（表－6）、高

温時におけるアスファルト混合物の耐流動性を評価するホイールトラッキング試験の結果（表－7）及び表層用アスファルト混合物の耐摩耗性を評価するラベリング試験の結果（表－8）、各特性値において一般のアスファルト混合物と同程度の結果である。

表－6 マーシャル密度・安定度試験結果

混合物名	密度 (g/cm ³)	空隙率 (%)	飽和度 (%)	安定度 (KN)	フロー値 (cm)
密粒(20F)再生	2.339	3.4	79.9	11.70	33
密粒(20F)再生 焼却灰入り	2.332	3.7	78.5	11.92	29
規 格 値	—	3～5	75～ 85	4.9KN 以上	20～ 40

表－7 ホイールトラッキング試験結果

混 合 物 名	動的安定度 (回/mm)
密粒(20F)改質材	5,250
密粒(20F)改質材 焼却灰入り	5,730
規 格 値	1,500 以上

表－8 ラベリング試験結果

混 合 物 名	磨耗(cm ²)
密粒(新 20FH)【新材】	0.74
密粒(13F)再生 焼却灰入り	0.42
規 格 値	—



写真－8 施工現場



写真－9 カラー混合物の施工現場

また、施工においても一般のアスファルト混合物と同様である。

また、カラー混合物においては、焼却灰の地色（茶系色）をカラーアスファルト混合物製造時に用いる顔料（着色材）として活用することにより、高価な顔料の節約が可能となり、コスト縮減につながる。

6. 安定化処理後下水汚泥焼却灰入りアスファルト混合物の追跡調査

- (1) 施工時期：平成17年5月下旬
- (2) 施工場所：金沢市円光寺、観音堂地内
- (3) 全施工面積：約2500m²

- (4) 全使用合材量：約230t（焼却灰使用量は6.3t）
- (5) 追跡調査面積：【観音堂】340m²【円光寺】195m²
- (6) 使用As混合物：

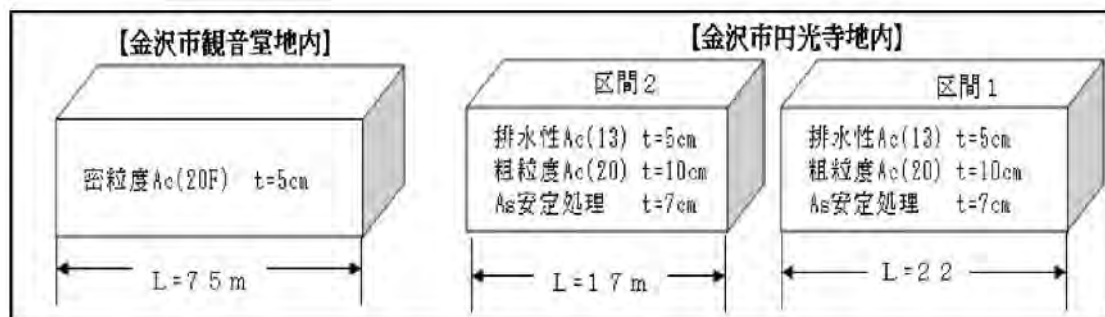
【観音堂】密粒度Ac(20F) t=5cm

【円光寺】排水性Ac(13) t=5cm

粗粒度Ac(20) t=7cm

As安定処理(25) t=10cm

本現場における追跡調査は、施工後の道路として供用された状態で、MCI（維持管理指数）評価によるAS舗装性能試験及びAS舗装溶出試験を実施した。調査の結果、AS舗装性能試験においては、円光寺及び観音堂ともに8以上と良好な値を示しており（表－9）、道路としての供用性に問題はないと考えられる。



図－3 追跡調査区間舗装構成（円光寺、観音堂）

表－9 追跡調査結果（AS舗装MCI結果）

観音堂地内	ひび割れ(%)	わだち掘れ(mm)	平坦性(mm)	MCI
第1回 (H17.9月)	0	1	1.36	9.2
第2回 (H18.2月)	0	1	1.86	9.2
第3回 (H20.3月)	0	1	2.00	9.0
円光寺地内	ひび割れ(%)	わだち掘れ(mm)	平坦性(mm)	MCI
第1回 (H17.9月)	0	3	1.62	8.8
第2回 (H18.2月)	0	3	1.87	8.8
第3回 (H20.3月)	0	4	2.00	8.7
【備考】 ・円光寺地内の結果は、区間1、区間2の結果の平均値				

表－10 追跡調査結果（AS舗装溶出試験結果）

項目	基準値	金沢市観音堂地内			
		3年後	4年後	5年後	6年後
カドミウム	0.01 以下	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
鉛	0.01 以下	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
六価クロム	0.05 以下	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
砒素	0.01 以下	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
水銀	0.0005 以下	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005
セレン	0.01 以下	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
フッ素	0.80 以下	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
鈷素	1.00 以下	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
項目	基準値	金沢市円光寺地内			
		2年後	4年後	5年後	6年後
カドミウム	0.01 以下	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
鉛	0.01 以下	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
六価クロム	0.05 以下	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
砒素	0.01 以下	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
水銀	0.0005 以下	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005
セレン	0.01 以下	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
フッ素	0.80 以下	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
鈷素	1.00 以下	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
基準値：土壌の汚染に係る環境基準（mg/L）					

また、AS舗装溶出試験においては、施工後6年経過時においても環境基準値以下の結果が得られていることから（表－10）、長期的な環境安全性への影響は少ないと考えられる。

7. 今後の課題

現在、安定化処理後下水汚泥焼却灰入りアスファルト混合物は、製品名をリビルドアスコンとし、NETIS登録（HR-080025-A）並びに石川県エコ・リサイクル認定製品となっているが、国土交通省並びに石川県においての使用実績は少ない。

しかし、金沢市においては、平成20年度から、建設工事の特記仕様書に下水汚泥焼却灰入りアスファルト混合物を原則使用するよう明記され、有効利用の実績としては順調に推移している。

現状の課題としては、金沢市内の下水処理場では年間約1,000tの下水汚泥焼却灰が発生しており、その全量を有効利用できていないことが挙げられる。

今後も利用拡大のため、関係する諸官庁へのPRに努めるとともに、品質や安全、コスト面、道路としての供用性に配慮し、平成17年度3月に策定された石川県環境総合計画における下水汚泥の有効利用率70%以上の目標達成に向けて取り組んでいきたいと考えている。

また、今年度は、安定化処理後下水汚泥焼却灰のフィラー品質を高める検討を行っており、様々な廃棄物の建設資材利用の研究を行っている地方独立行政法人岩手県工業技術センターおよび岩手大学と共同研究を実施している。この他にもアスファルトフィラー以外の用途に活用できるような研究にも取り組んでいきたいと考えている。

投稿報告

下水からのリン回収技術

水ing株式会社

技術開発統括 システム・要素技術室 システム開発グループ 黒澤 建樹

技術開発統括 技術開発室 第一グループ 島村 和彰

技術開発統括 システム・要素技術室 システム開発グループ 築井 良治

キーワード：嫌気性消化、リン回収、返流水対策、富栄養化、ヒドロキシアパタイト（HAP）、リン酸マグネシウムアンモニウム（MAP）、晶析、スケール抑制

1. はじめに

近年、下水処理では閉鎖性水域の水環境の改善を目的に、富栄養化の原因物質の一つであるリンを除去するため、いわゆる高度処理設備の導入が促進されている。今後、下水道の普及（平成22年度下水道普及率75.1%）とともに、高度処理化が進むことを考慮すると、下水処理場で除去されるリンの量は、将来的に増加していくと推測される。

一般的なリン除去法は、嫌気-好気法などの生物処理、凝集沈殿法などの物理化学処理、更にそれらを組み合わせた3方式に大別される。

いずれの方式においても、液中から除去されたリンは汚泥となり、多くの場合、再利用が困難な状態で排出されている。

他方、リンは産出国が限られた枯渇資源であるとともに、植物の三大栄養素の一つで食料生産には必須な物質であり、海外から全量輸入している日本にとって、食料安全保障上重要な戦略物質の一つとなっている。

特に、世界人口は2011年に70億人に達し、食料需要は今後大幅に増加していくと予測されていることから、リン資源の重要性は益々高まっていくと考えられる。

このような背景から、下水インフラを通じて集約されたリンを除去するだけでなく、再利用可能な形態

で回収する技術が、資源回収型下水処理システムとして、あらためて注目されている⁽¹⁾。

ここでは、水環境の改善に寄与するリン回収技術として、污泥処理工程からのリン回収技術について紹介する。

2. 下水処理におけるリンに起因した課題

2-1. 回収を伴わないリン除去技術の課題

図-1に示すように、リンは下水中に様々な形態で存在する。形態の一つである溶解性オルトリン酸態リン（以下 $\text{PO}_4\text{-P}$ ）は栄養塩として藻類に吸収・利用

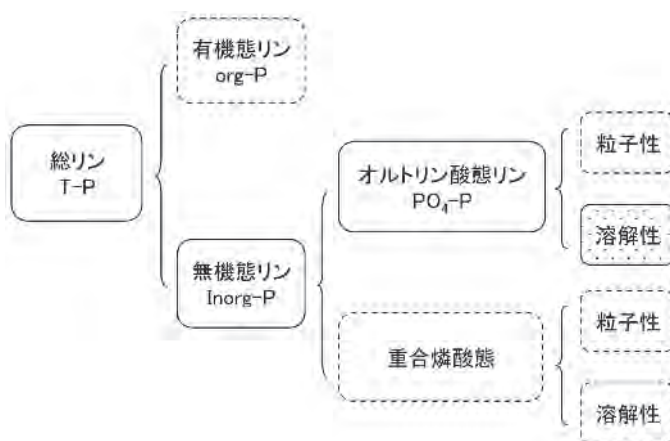


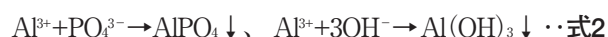
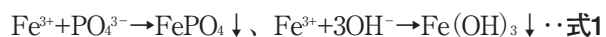
図-1 下水中のリンの組成

されることから、富栄養化に直接影響を及ぼすとされている。

図-2に $\text{PO}_4\text{-P}$ 処理フローの例を示す。嫌気下で $\text{PO}_4\text{-P}$ を吐き出し、好気下で吐き出した量以上の $\text{PO}_4\text{-P}$ を取り込むという、リン蓄積細菌による過剰摂取現象を利用した生物処理法は古くから導入されてきた。しかし、容易に嫌気状態になる汚泥処理の過程で $\text{PO}_4\text{-P}$ が再溶出して水処理に返流し、処理系内を一定量の $\text{PO}_4\text{-P}$ が絶えず循環している状態になることは多い。そのことは水処理における $\text{PO}_4\text{-P}$ 除去を不安定にする要因にもなっている。

再溶出した $\text{PO}_4\text{-P}$ の処理に採用されている技術の一つが凝集沈殿法である。ポリ硫酸第二鉄やポリ塩化アルミニウムといった無機凝集剤を添加し、 $\text{PO}_4\text{-P}$ をリン酸鉄やリン酸アルミ等の無機塩とし分離除去する。

この方法では、 $\text{PO}_4\text{-P}$ が再溶出し難いが、式1、式2に示すようにリン酸塩と同時に水酸化物を生成することから汚泥発生量が増加し、汚泥処分にかかるコストは増大する傾向にある。



凝集剤添加型活性汚泥法は生物処理と物理化学処理を組み合わせたリン除去法であるが、本法でも一定量の $\text{PO}_4\text{-P}$ が系内循環することから、凝集剤添加量は下水処理場への流入リン負荷からの想定量よりも多くなる。

このように、 $\text{PO}_4\text{-P}$ の系内循環が処理に悪影響を与えることは多く、系内循環を遮断する有効な手段が必要とされる。

2-2. $\text{PO}_4\text{-P}$ に起因するスケールトラブル

近年、下水汚泥の嫌気性消化によるエネルギー回収が再注目されている。嫌気性消化は古くからある技術であるが、2005年に京都議定書が発効されて以降、温暖化ガス削減技術の一つとして、あらためて嫌気性消化および消化ガスの有効利用法の技術開発が推進されている。

図-3に嫌気性消化槽を有する下水処理フローの例を示す。嫌気性消化は処理過程で高濃度の $\text{PO}_4\text{-P}$ とアンモニウム性窒素（以下 $\text{NH}_4\text{-N}$ ）の溶出を伴い、マグネシウムが一定濃度以上共存する場合には、リン酸マグネシウムアンモニウム（ $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; MAP）が結晶化することで知られている⁽²⁾。

結晶化が起こる箇所を特定することは難しく、嫌気

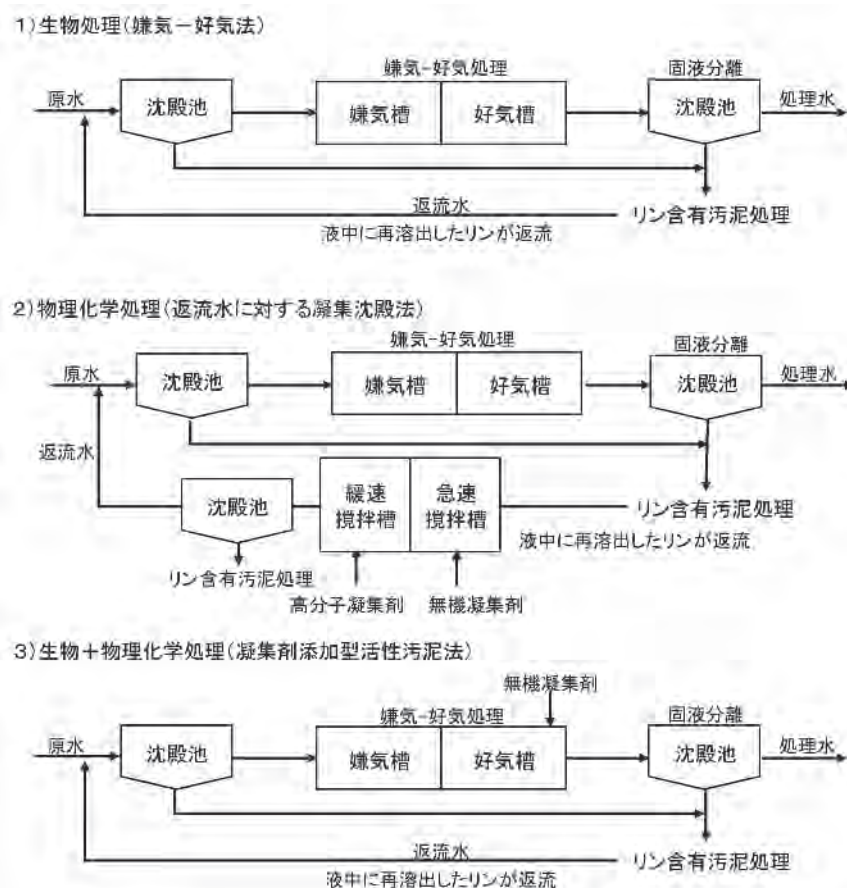
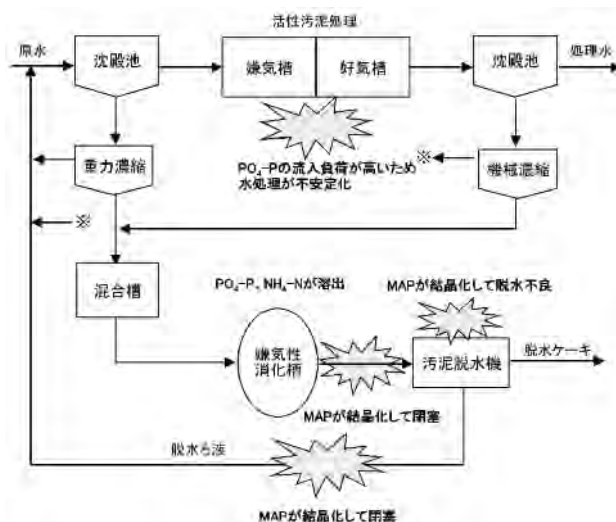


図-2 $\text{PO}_4\text{-P}$ 処理フローの例



図一3 嫌気性消化槽を有する下水処理フロー例

性消化槽、消化汚泥移送配管、汚泥脱水機、脱水分離液配管のいずれかで結晶化することが多い。MAPが結晶化した箇所では、配管であれば閉塞、脱水機であれば摩耗・脱水不良といった運転管理上のトラブルを誘発することが多い。結晶化を抑制するためには、消化汚泥中から $\text{PO}_4\text{-P}$ を除去することが必要である。

3. 水環境の改善に寄与するリン回収技術

上述のとおり、汚泥処理工程で溶出し系内循環する $\text{PO}_4\text{-P}$ の除去は、安定した下水処理に寄与するところが大きい、除去に伴い処理汚泥量が増量するなど、他の環境負荷が増大する方法は好ましくない。

系内循環する $\text{PO}_4\text{-P}$ を再利用可能な形態で除去・回収する技術として、晶析脱リン法が挙げられる。

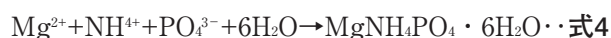
晶析脱リン法には、 $\text{PO}_4\text{-P}$ をヒドロキシアパタイト ($\text{Ca}_{10}(\text{OH})_2(\text{PO}_4)_6$; HAP) の形態で除去・回収するHAP法とリン酸マグネシウムアンモニウム ($\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; MAP) として除去・回収するMAP法が知られている。

式3、式4にHAPおよびMAPの生成反応式を示す。

HAP生成反応



MAP生成反応



HAPとMAPはそれぞれ溶解度積が異なり、HAPの溶解度積はMAPと比べて小さいため、比較的低濃度の $\text{PO}_4\text{-P}$ を除去するためにはHAPとしての回収が効率的である。

一方、MAPの組成から類推されるように、原水に $\text{PO}_4\text{-P}$ と $\text{NH}_4\text{-N}$ が高濃度共存する場合には、MAP としての回収が効率的である。

前述のとおり、消化汚泥には高濃度の $\text{PO}_4\text{-P}$ と $\text{NH}_4\text{-N}$ が含まれる。このことから、嫌気性消化を有するプロセスにはMAP法が適している。

一般的な晶析脱リン法では、二次処理水や脱水ろ液または返流水など、晶析反応を阻害する固形物の含有が少ない原水を処理対象とする場合が多い。特にHAP法は、MAP法と比較して晶析速度が遅く、その影響を受けやすい。

このような原水を対象として、1980年頃から流動層式リアクタを用いた晶析脱リン法の開発が進められてきた⁽³⁾。しかし、HAP法については固形物や炭酸などの晶析阻害物質の除外設備が必要であることや、晶析速度が遅いことで設備規模が大きくなる課題があった。

また、消化汚泥のスケールトラブルを考慮した場合は、消化汚泥からMAP法により $\text{PO}_4\text{-P}$ を除去することが望ましいが、流動層式リアクタでは混合不良の懸念がある。

これらの課題を解決し、系内循環する $\text{PO}_4\text{-P}$ の除去・回収を効率的に行うため開発された処理法に、HAP造粒法および汚泥MAP法が挙げられる。

表一、図一に各処理法の適用条件と適用箇所を示す。

HAP造粒法、汚泥MAP法は、共に晶析により $\text{PO}_4\text{-P}$ を除去・回収するものであるが、一定程度の固形物共存下でも効率的処理が可能となる技術であり、それぞれ2010年度、2011年度に（財）下水道新技術推進機構による技術審査を受け、建設技術審査証明書が交付されている。各処理法の原理・特長を次に示す。

表-1 リン除去・回収法と適用条件

処理法	嫌気性消化プロセスの有無	適用条件
HAP造粒法	無	原水 $\text{PO}_4\text{-P} > 20\text{mg/L}$
汚泥MAP法	有	原水 $\text{PO}_4\text{-P} > 100\text{mg/L}$ かつ 原水 $\text{NH}_4\text{-N} > 100\text{mg/L}$

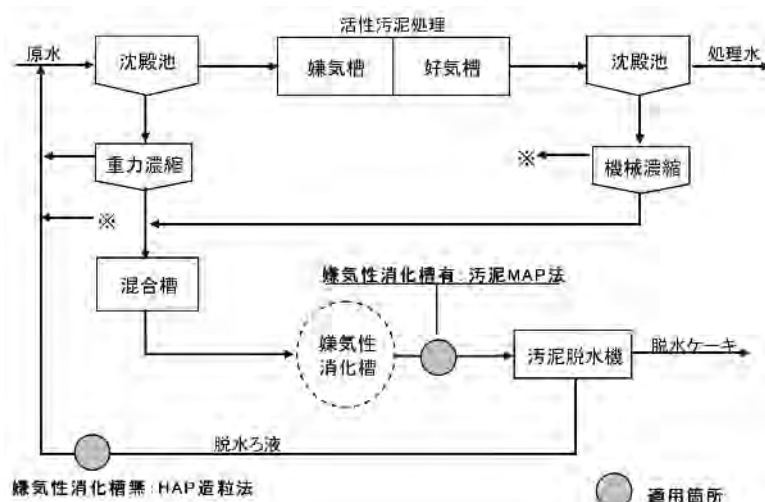


図-4 下水処理場での適用箇所

3-1. HAP造粒法の概要

HAP造粒法は、消石灰と高分子ポリマーを添加し、凝集、造粒、晶析、濃縮操作を組み合わせることにより、 $\text{PO}_4\text{-P}$ を短時間で回収する方法である。本体は堰板で仕切られた造粒部と濃縮部とから構成される。処理工程は次のとおりである。（それぞれ図-5の番号に符合）

- ①原水に消石灰を添加して微細なHAPを晶析させる。
- ②微細なHAPが生成した原水に高分子凝集剤を添加し、共存するSSと共に凝集して、粗大なHAP微結晶フロックを生成させる。
- ③粗大なHAP微結晶フロックは、造粒攪拌機の物理的衝突により、周囲の上昇流速を上回る沈降速

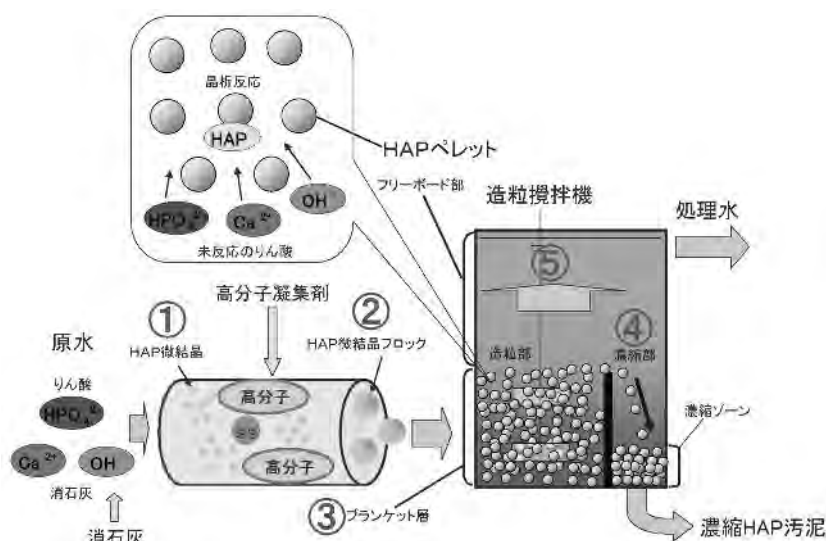
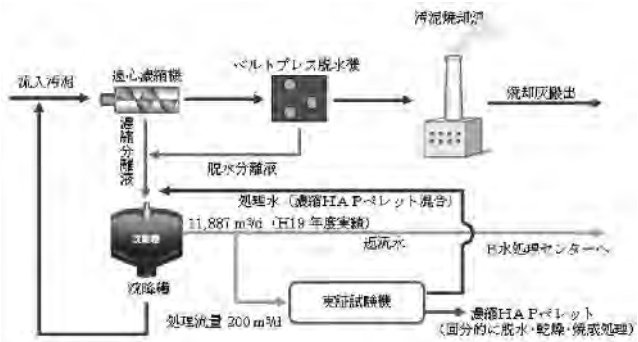


図-5 HAP造粒法の概念図

度をもった緻密な凝集物（以下HAPペレット）になり、造粒部に滞留する。
滞留したHAPペレットは新しく生成するペレットにより押し上げられ、造粒部－濃縮部間の堰高を超えると濃縮部へ落下する。また、造粒部では滞留するHAPペレットが種晶となり、晶析反応を進行させる。

- ④濃縮部へ落下したHAPペレットは、一定時間滞留することで濃縮された後に装置から排出される。
- ⑤フリーボード部でHAPペレットと固液分離を行い、上部から処理水を排出する。

従来技術である晶析脱リン法（HAP法）や凝集沈殿法と比較して、処理速度の大幅な高速化が可能である。



図－6 実証試験フロー

表－2 実証機仕様

項目	仕様
処理量	200 m ³ /d
全高	約5,700 mm
造粒部直径	700 mm
濃縮部直径	400 mm



写真－1 200m³/d実証機

3－2. HAP造粒法の実証試験

2008～2009年に処理量10 m³/d、2009～2010年にかけては処理量200 m³/dの実証機をA市下水汚泥集約処理施設に設置し、返流水を対象に実証試験を行った⁽⁴⁾。

表－2、表－3に実証機仕様および2010年に行った実証試験の条件と試験結果を示す。

SS濃度550 mg/L程度（最大1,000 mg/L程度）、反応時間8 min程度、水面積負荷（線流速）450 m³/m²/d以上の運転条件で、PO₄-P除去率80 %以上、リン回収率80 %以上の処理性能が確認された。

晶析脱リン法の反応時間は1～2時間程度であることから、処理速度は大きく改善されていることが分かる。また、凝集沈殿法の反応時間は15 min程度だが、沈殿池の水面積負荷は10～30 m³/m²/d程度であり、HAP造粒法の設定用地は凝集沈殿法に対して1/10以

表－3 試験条件と結果

		2010年			
		機 器 A	機 器 B	機 器 C	
<運転条件>					
処理量	(m³/d)	200	200	182	
概定pH	()	9.3	9	8.8	
Ca(OH) ₂ 添加量	(mg/L)	274	210	288	
ボウマン濃度	(mg/L)	8.1	2	2.8	
水面積負荷(LV)	(m³/m²・d)	514	520	474	
造粒部での 原水滞留時間	(min)	8.2	8.1	8.9	
<処理性能>					
SS	原水	(mg/L)	534	559	520
	処理水	(mg/L)	80	105	108
Ca(OH) ₂	原水	(mg/L)	40.4	31.4	36.5
	処理水	(mg/L)	4.04	5.54	6.18
PO ₄ -P	原水	(mg/L)	58	28.2	32.3
	処理水	(mg/L)	3.19	4.55	2.98
リン回収率 ⁽¹⁾	(%)	97.6	95.8	88.9	
PO ₄ -P除去率	(%)	91.6	83.6	90.9	

注1) 硫酸100で希釈する厚膜型リンの量を表す。
注2) リン回収率⁽²⁾ (%) = $\frac{(A-P_0) - (A-P_{100})}{(A-P_0) - (A-P_{100}) - (P_0 - P_{100})} \times 100$
P₀-P₁₀₀ (mg/L) : 原水のPO₄-P濃度
P₀-P₁₀₀ (mg/L) : 処理水のPO₄-P濃度
A-P₀ (mg/L) : 原水のA-P濃度
A-P₁₀₀ (mg/L) : 処理水のA-P濃度



写真－2 回収HAP

表-4 回収HAPの性状

項目	単位	分析値	項目	単位	分析値
P ₂ O ₅	%	25.2	As	mg/kg	4.6
CaO	%	47.7	Cd	mg/kg	I未満
SO ₃	%	1.35	Ni	mg/kg	113
Al ₂ O ₃	%	2.75	T-Cr	mg/kg	33
Fe ₂ O ₃	%	7.22	Ti	mg/kg	917
SiO ₂	%	2.68	Hg	mg/kg	0.1未満
MgO	%	1.57	Pb	mg/kg	3
F	%	未検出	Zn	mg/kg	386
Na ₂ O	%	0.13	Cu	mg/kg	7
K ₂ O	%	0.25	Cr ⁶⁺	mg/kg	I未満
硫黄酸化物	%	0.05未満	Se	mg/kg	1
亜硝酸	%	0.01未満			
ヒュウソク性窒素	%	0.01未満			
スルファミン酸	%	0.01未満			

下になると考えられる。

また、回収した濃縮HAPペレットに脱水・乾燥・焼成工程を施した試料（回収HAP；写真-2）の組成分析を行ったところ、重金属含有量も少なく、リン鉱石（P₂O₅換算でリン含有率30 %程度）に近いリン含有率を有していることが確認できた（表-4）。

これより、回収HAPはリン鉱石代替品としての利用が期待できる。

3-3. 汚泥MAP法の概要

消化汚泥の脱水ろ液からのリン回収技術は既に実用化されている⁽³⁾。しかしながら、前述した嫌気性消化に伴うスケールトラブルを抑制するためには、消化汚泥から直接PO₄-Pを除去することが好ましい。

また、消化汚泥中には嫌気性消化槽で自然生成したMAPが含有している。図-7に示すのは、消化汚泥中のリン組成の一例である。含有リン全体のうちMAPが3割程度を占めていることが分かる。

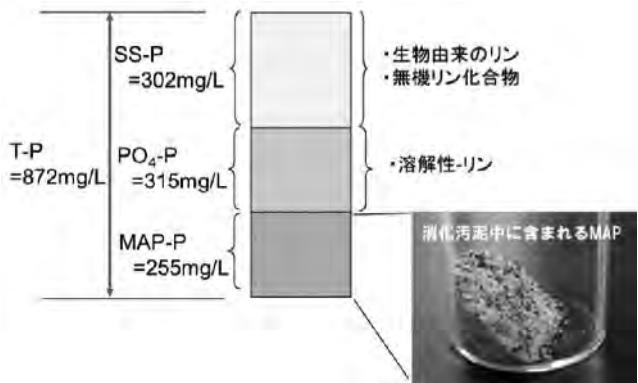


図-7 消化汚泥中のリン組成例

汚泥MAP法はPO₄-Pの他、既に生成しているMAPの一部を回収できるため、消化汚泥中に自然生成したMAPがほとんど無い脱水ろ液からのリン回収技術と比べて収量が多くなる。

通常、脱水ろ液は固形物濃度が低いため晶析反応の阻害要因が少なく、脱水ろ液からのリン回収装置は攪拌力の低い空気攪拌式による流動層リアクタを採用している事例が多い⁽³⁾。

一方、固形物が数%含まれている消化汚泥中の晶析では、分散混合に留意する必要がある。混合不良の状態にあると、回収が困難な微細化したMAPが生成しリン回収率が低下する。

筆者らは、消化汚泥中での晶析に適したリアクタとして、固液の接触効率を高めた機械攪拌式の完全混合型リアクタを開発した⁽³⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾。

本体構成は、消化汚泥中の夾雑物を除去する夾雑物除去部、マグネシウムを添加することでPO₄-Pを種晶表面でMAPとして晶析させる晶析リアクタ、晶析

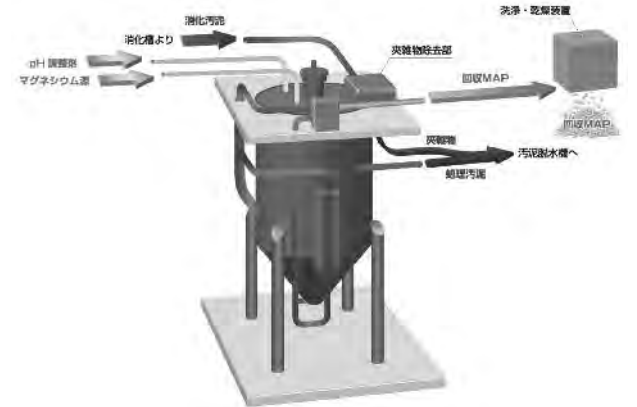


図-8 機械攪拌式 完全混合型リアクタ

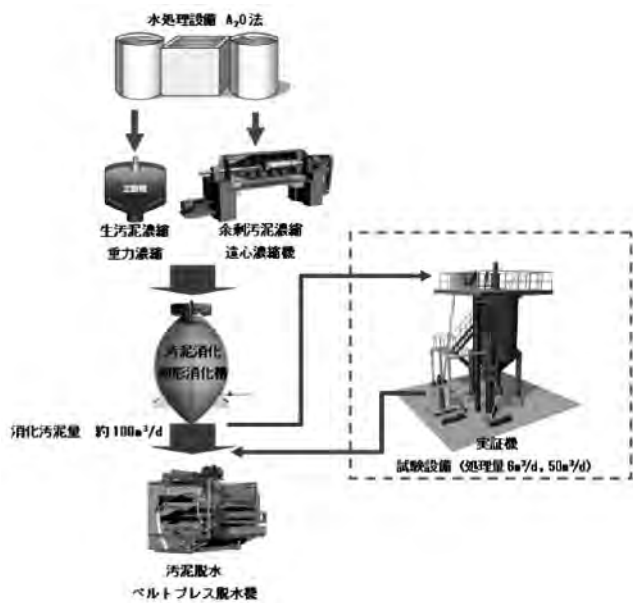


図-9 実証試験フロー

リアクタの種晶と既に消化汚泥中に存在しているMAPを回収し処理した汚泥を排出するMAP回収部からなる。

3-4. 汚泥MAP法の実証試験

2005～2007年にかけて処理量6 m³/dおよび50 m³/dの実証機をB市下水処理場内に設置し、消化汚泥を対

表-5 実証機仕様

項目	仕様	項目	仕様
処理量	6 m³/d	処理量	50 m³/d
全高	約3,000 mm	全高	約6,000 mm
リアクタ直径	800 mm	リアクタ直径	1,600 mm

表-6 試験条件と結果

		2005年9月 ～ 2006年3月	2006年9月 ～ 2007年11月
＜運転条件＞			
処理量	(m³/d)	6	50
攪拌方式	(-)	機械攪拌	機械攪拌
反応pH	(-)	8.5	8.1
消化汚泥PO ₄ -P	(mg/L)	204	218
消化汚泥MLSS	(mg/L)	799	678
消化汚泥SS	(g/L)	16.5 (15.9～22.4)	18.1 (8.4～15.6)
PO ₄ -P容積負荷量	(kg-P/m³・rea・d)	2.4	2.9
消化汚泥MAP	(kg-P/m³・rea・d)	1.6	1.5
＜処理性能＞			
T-Fe	(mg/L)	762	637
消化汚泥	(mg/L)	622	384
消化汚泥	(mg/L)	204	218
消化汚泥	(mg/L)	25	22.4
リン回収率 ⁽¹⁾	(%)	94	100
PO ₄ -P除去率	(%)	87.7	88.7

(1) リン回収率 $(\%) = \frac{(C_1 - C_2) \times (1 - P_{100})}{(C_1 - C_2) \times (1 - P_{100}) + (C_2 - P_{100})} \times 100$
(2) C_1 を超える 600%、消化汚泥中の MAP 生成 MAP 全量 (約 1.5%)
 P_{100} : C_2 (mg/L) : 消化汚泥の PO₄-P 濃度
 P_{100} : C_2 (mg/L) : 消化汚泥の PO₄-P 濃度
 C_1 : C_2 (mg/L) : 消化汚泥の PO₄-P 濃度
 P_{100} : C_2 (mg/L) : 消化汚泥の PO₄-P 濃度



写真-3 50m³/d実証機

象とした実証試験を行った^{(3) (5) (6)}。

表-5、表-6に実証機仕様および試験条件と結果を示す。

処理量によらず、PO₄-P除去率80 %以上、リン回収率90 %以上の処理性能が確認されたことから、完



写真-4 B市下水処理場での回収MAP

表-7 B市下水処理場での回収MAP (分析：肥料検定協会)

成分名	測定値(%)
＜溶性リン酸 (P ₂ O ₅)＞	26.03
＜溶性苦土 (MgO)＞	14.48
アンモニア性窒素 (N)	5.09
ひ素 (As)	0.00001未満
カドミウム (Cd)	0.0001未満
水銀 (Hg)	0.000003
クロム (Cr)	0.0018
鉛 (Pb)	0.0008

表－8 C市下水処理場での回収MAP
(分析：肥料検定協会)

成分名	測定値(%)
＜溶性リン酸 (P ₂ O ₅)＞	25.42
＜溶性苦土 (MgO)＞	13.32
アンモニア性窒素 (N)	4.80
ひ素 (As)	0.00001未満
カドミウム (Cd)	0.0001未満
水銀 (Hg)	0.000001未満
クロム (Cr)	0.0038
鉛 (Pb)	0.0006

全混合型リアクタを用いることで、消化汚泥中でも効率の良い晶析反応が進行したと考えられる。

回収したMAPを専用のMAP洗浄槽で水洗したのちに乾燥した試料(写真－4)の組成分析を行った。分析結果を表－7に示す。有害成分は肥料取締法で定めた化成肥料の許容値以下であり、化成肥料登録を行うことが出来た。

これより、回収MAPは肥料原料あるいは肥料としての利用が期待できることが明らかとなった。

また、2011年にC市下水処理場で5 m³/dの実証機による処理試験を行い、回収されたMAPについて成分分析を行った。

表－8、写真－5にC市下水処理場で回収されたMAPの組成分析結果と、回収MAPを肥料としたこまつなの栽培試験結果を示す。

肥効成分および重金属含有率は、B市下水処理場で回収されたものと同等であり、回収MAPの回収箇所による相違は概ね無いものと考えられる。

また、栽培試験においても生育上の異常症状はみられず、肥料利用に問題がないことが確認された。

4. おわりに

近年、下水道は都市型資源基地としての機能が期待されており、下水道インフラを活用して回収可能な、水資源、エネルギー資源、そしてリン資源を回収し再利用する試みが推進されている。

リンは処理場内を循環しているため、回収する場所によっては、回収効果を処理場全体に波及させることができる。

下水道の社会的役割の骨格は、汚水排除・環境保全であることを鑑み、最も効果的な箇所で水質に応じた効率的なリン回収法を選択し、下水処理システム全体のLCCを考慮した資源回収を行うことが望ましい。



写真－5 こまつなの栽培試験
(栽培試験：肥料検定協会)

今後、様々な分野において、水環境の保全と資源回収とが両立した、資源回収型水処理システムの構築が推進されることを期待する。

<参考文献>

- (1) 国土交通省都市・地域整備局下水道部：“下水道におけるリン資源化の手引き”、(2010)
- (2) 島村和彰・黒澤建樹・渡邊昌次郎：“下水処理分野における晶析技術を利用したリン回収”、エバラ時報、No.227、pp.3-8、(2010)
- (3) 島村和彰：“晶析技術を利用したリン回収－荏原グループの取り組み紹介－”、環境浄化技術、Vol.8、No.10、pp.11-15、(2009)
- (4) 伊達知見：“返流水からのHAP造粒法によるリン除去・回収の技術開発”、下水道協会誌、Vol.47、No.573、pp.33-37、(2010)
- (5) 島村和彰・石川英之・黒澤建樹・萩野隆生：“汚泥からのリン資源回収プロセス－晶析技術と液体サイクロン分離－”、環境浄化技術、Vol.8、No.1、pp.40-43、(2009)
- (6) 島村和彰・黒澤建樹・平沢泉：“メタン発酵液からのリン回収プロセスにおける晶析操作”、化学工学論文集、Vol.35、No.1、pp.127-132、(2009)

投稿報告

汚泥熱可溶化による 高効率嫌気性消化技術の概要

三菱化工機(株) 栗原 元

キーワード：嫌気性消化、汚泥熱可溶化、減容化、消化ガス、脱水性改善

1. はじめに

従来から多くの下水処理場で実施されている嫌気性消化は、下水処理によって発生する下水汚泥を減容化できるばかりでなく、メタン含有率約60%の消化ガスを回収することができ、再生エネルギーとして発電等に用いられる有用なプロセスで、今後も注目される。

一方の副産物である消化汚泥については、性状が安定しており、そのまま液肥として利用、又は脱水、発酵、乾燥等の工程を経て、肥料としての有効利用が期待される。しかしながら、肥料としての需要が少ない地域では、焼却等で処理するケースが多く、CO₂削減の観点から、より一層の汚泥の減容化が求められている。

嫌気性消化において、通常、中温消化（消化槽内温度35～38℃）では、消化日数25日程度で約50%の有機物が分解し、分解する有機物の量に比例して、消化ガスが発生する。

この有機物の分解率を向上させることによって、排出される汚泥の量を減らし、且つ再生エネルギー源としての消化ガスの増収を図る技術として、汚泥熱可溶化による高効率嫌気性消化技術（以下、本技術）を紹介する。

本技術は、日本下水道事業団と三菱化工機(株)が、平成18年度からの共同研究により開発した技術である。

2. 本技術の概要

本技術の概念フローを図-1に示す。本技術は、通常の嫌気性消化設備に、脱水した消化汚泥を熱可溶化して消化槽に返送する装置を組み込んだシステムである。

脱水された消化汚泥は、脱水汚泥可溶化ポンプで可溶化装置に送られ、高圧蒸気を吹き込むことによって160～170℃に保たれた可溶化タンク内での水熱反応によって、汚泥中の難分解有機物は、改質されて易分解性物質となる。その可溶化汚泥を消化槽に返送することによって、有機物の分解率を向上させ、消化ガスの増収を図る技術である。

本技術開発では、熱可溶化した汚泥を消化槽に戻すことで消化槽の加温を行う。そのため、投入エネルギーを無駄なく利用するためには、消化槽を加温するエネルギーと、熱可溶化に必要なエネルギーのヒートバランスをとることが重要である。

脱水した汚泥を熱可溶化することによって、可溶化に必要なエネルギーを少なくすることができ、このヒートバランスを成立させることが可能となる。

これにより、本技術を導入した場合の投入エネルギーは、従来式嫌気性消化における消化槽加温のための投入エネルギーと、ほぼ同程度のエネルギー量となる。

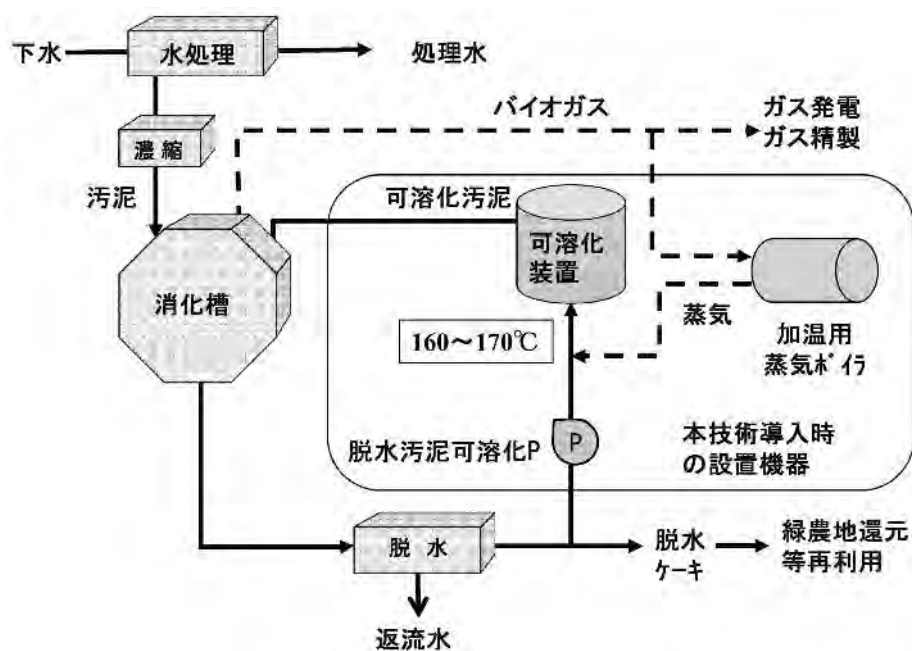


図-1 汚泥熱可溶化による高効率嫌気性消化技術フロー

本システムを構成する主な機器は、可溶化装置、脱水汚泥可溶化ポンプ及び加温用ボイラである。また、可溶化装置は、可溶化タンク（第一種圧力容器）、自動弁、計器類、操作盤で構成されるユニット機器である。

本技術導入によるプロセス上の効果について、下記に挙げる。

- 1) 消化汚泥が熱可溶化後に、消化槽に返送されるため、有機物の分解率が向上する。
- 2) 消化ガスの発生量が増加する。
- 3) 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。
- 4) 熱可溶化による消化汚泥の改質により、消化汚泥の脱水性が改善される。

3. パイロットテスト機による実証試験

写真-1は、大阪府猪名川流域下水道原田処理場内に設置した実証プラントであり、消化槽の容量は15m³である。

消化槽投入汚泥は混合汚泥とし、実証試験期間中のTS濃度は3.5～4.2%であり、消化日数については、15～20日として実験を実施した。

写真-2は、本技術の主要装置である可溶化装置であり、可溶化タンクの容量は、60Lであり、自動弁、計器類を装備し、可溶化タンク内の温度を160～170℃に制御した。



写真-1 パイロットテスト機

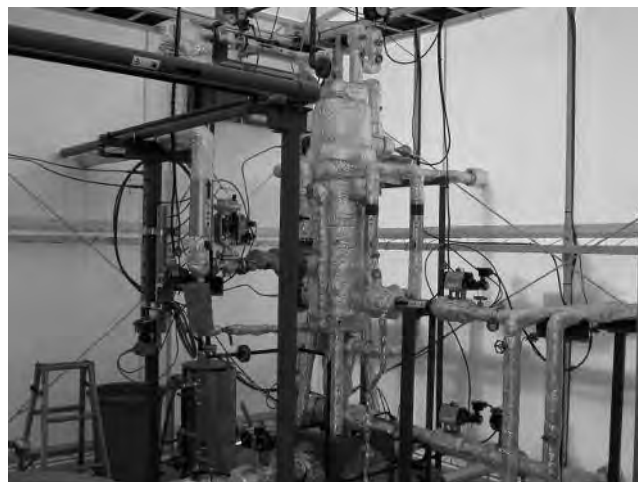


写真-2 可溶化装置

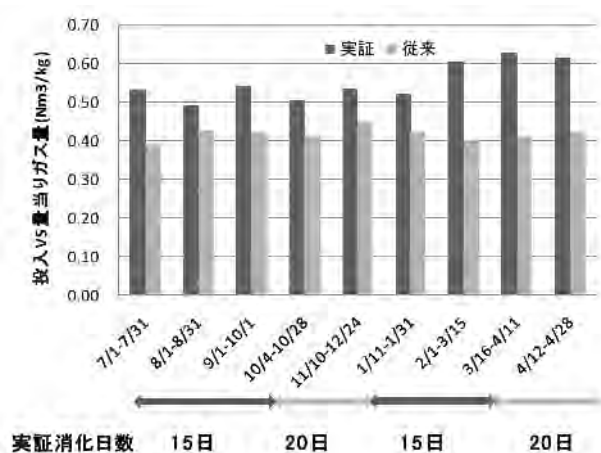


図-2 消化ガス発生量

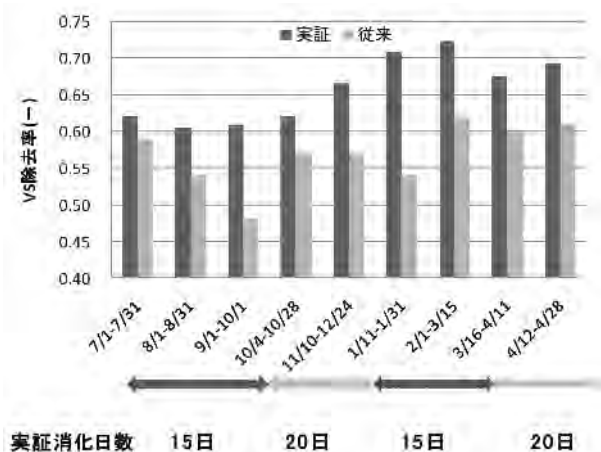


図-3 VS除去率

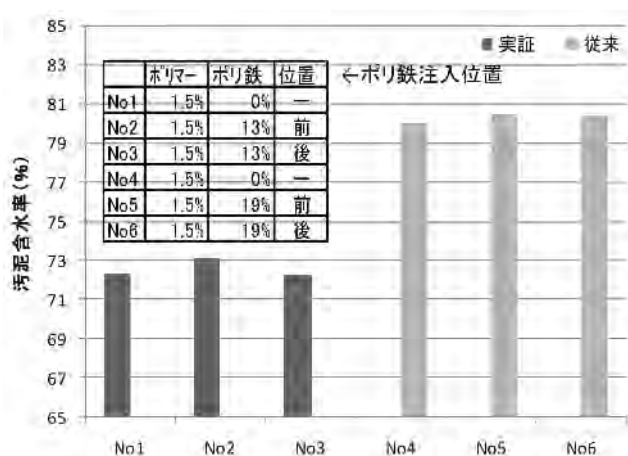


図-4 消化汚泥脱水試験

図-2は、消化槽投入汚泥有機物（VS）あたりの消化ガス発生量のグラフで、本技術の実証設備と既設の従来式嫌気性消化設備との比較を表す。実証設備における消化槽投入VSあたりの消化ガス発生量は、既設の消化設備と比較して、20%以上のガス発生量の増加が見られ、本技術の導入による消化ガス増収の効果を確認することができた。

図-3は、VS除去率についての本技術の実証設備と既設嫌気性消化設備との比較を示している。期間によってばらつきが見られるが、平均で実証設備のほうが、10ポイント程度高くなっており、本技術導入による有機物分解率の向上について確認することができた。

また、図-2、図-3から、ガス発生量及びVS除去率に関して、消化日数15日と20日では、本技術導入による効果に差がなく、且つ運転期間中、pH値が異常を示すこともなかったことから、本技術における消化日数は15日として問題がないことが確認された。

図-4は、消化汚泥の脱水性の改善効果を確認するため、2m³/hrの実機規模の遠心脱水機で、実証装置の消化汚泥と既設の従来式嫌気性消化設備の消化汚泥のそれぞれについて、脱水試験を実施し、可溶化による消化汚泥の脱水性の改善効果を確認したものである。

ポリマーのみの1液薬注と、ポリマーと無機凝集剤の2液薬注の場合（無機凝集剤の注入位置を脱水機の投入口前、後（いわゆる機内薬注）のそれぞれについて実施）のいずれの場合でも、既設の消化汚泥の脱水ケーキの含水率が80%程度であったのに対し、実証設備の消化汚泥の脱水ケーキの含水率は、72～73%と大幅な改善が見られた。

また、このときのポリマーの脱水機投入汚泥TSに対する添加率は1.5%と消化汚泥としては少なめであり、SSの回収率も99%以上で良好な運転状態であった。以上の結果から、本技術を導入することによって、難脱水性である消化汚泥の脱水性改善の効果が顕著であることが確認された。

4. 実設備に適用した場合の効果

パイロット設備による実証試験で得られた知見を元に、本技術を導入した際の従来式嫌気性消化と比較した効果を図-5に示す。プロセス上の効果を下記1)～5)に記載する。

- 1) VS除去率 約10ポイント上昇
- 2) 脱水ケーキ含水率5～7ポイント改善（遠心脱水機の場合）
- 3) 1)、2)の効果により、脱水ケーキ量（WET重

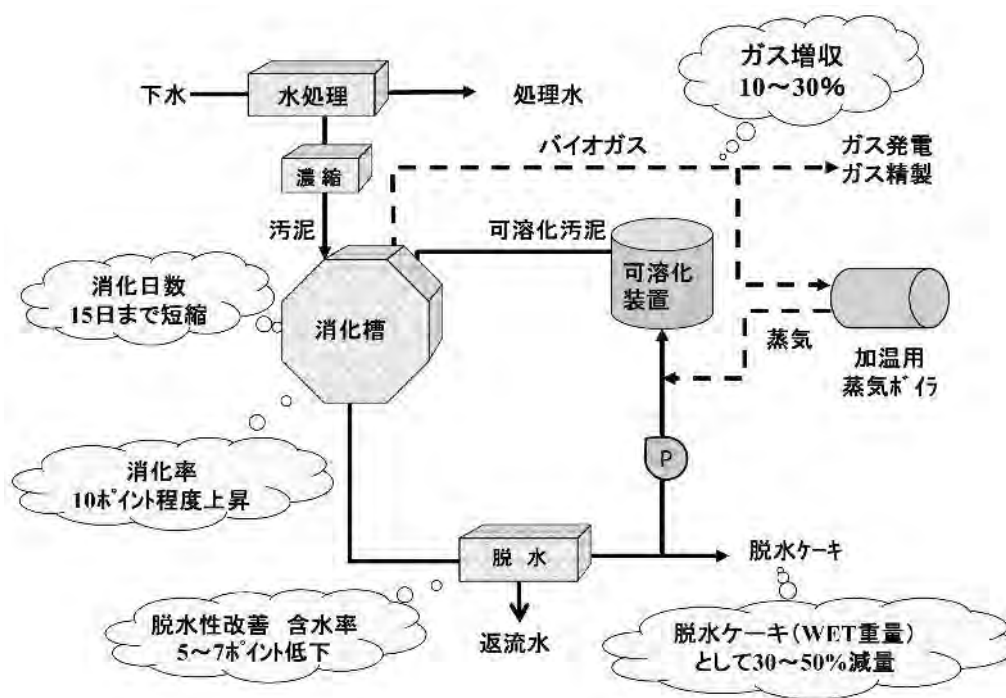


図-5 本技術を導入した場合の効果

量)は、従来式嫌気性消化に比べて30~50%減

4) 消化日数は15日まで短縮可能

5) 消化ガス発生量 10~30%増収

上記プロセス上の効果から、本技術の導入効果を①~③に記載する。

①脱水ケーキの減容化により、汚泥処分費を削減することができる。

②消化日数を15日まで短縮することができるため、消化槽を2槽以上有している処理場では、容量に応じて、何れかの槽を休止することができ、改築、更新及び維持管理の費用を削減することができる。

また、余裕のできた消化槽容量を有効利用して、他の処理場の汚泥(脱水ケーキについても可溶化装置を経由して消化槽投入可)、地域バイオマスの受入が可能となる。

③消化槽加温のためのエネルギーを増加させることなく消化ガスが増収となるため、発電等の再生エネルギーとしての有効利用分が増加し、CO₂削減に繋がる。

5. おわりに

本技術は、従来式嫌気性消化設備を大幅に改造することなく、可溶化設備を付加的に設置することで導入可能なため、既存消化設備に適用性が高い技術である。汚泥処分費を削減できるばかりでなく、再生エネルギーとしての消化ガスを多く回収できるため、CO₂削減にも貢献できる有用な技術で、今後の普及を期待している。

コ ラ ム

有機物資材の施用は土の物理性に良いことづくめ？

土壌学の教科書には、土壌生成に関与する因子として気候、生物、地形、母材、時間、人為があげられている。

このうち、現在の農耕地土壌でもっとも強く作用している因子は間違いなく「人為」だ。農耕地における「土作り」、すなわち土壌の諸性質を作物生産に有利なように変化させる働きかけは、現世における強力な土壌生成作用であり、子々孫々に残す土壌資源の特性に強く影響する。現時点での土壌生産力を上げるだけでなく、それを末永く維持していくような土作りを行うこと、そのための基礎的な知見を提示することは、生産者と研究者に課せられた未来への義務であろう。

堆肥をはじめとする有機物資材の施用は、土壌の物理性を改善し化学的緩衝能や微生物活性にも好影響を及ぼすとされ、いわば土作りの王道である。しかし堆肥の多投入はカリウムなど土壌養分の過剰やアンバランスなどの問題につながる。土壌化学性を適正に維持するために、資材の過剰施用を避ける必要があることは今日では常識となっている。

では土壌物理性への影響はどうだろうか。堆肥のように膨軟な有機物資材を混ぜれば混ぜるほど、土壌は軽く柔らかくなり、水持ちや水はけにも良さそうな気がする。化学性への悪影響を避けられれば、堆肥の多量施用は物理性の面での土作りに悪いことはなさそうである。しかし筆者らが行った試験で、沖縄県の赤黄色土に堆肥を10アールあたり10トンと多量に混和すると、土が乾いた時の硬さが増してしまう場合があった。長崎県農林技術開発センターの大井氏らによる黄色土への堆肥連用試験でも、施用量が多い区で碎土性が悪化したり、乾いた時の硬化度が増したりしている。その原因は今後解明する必要があるが、こういった事実を踏まえて文献を見直すと、有機物資材の施用が物理性を悪化させた事例はかなりあるのである。発生した問題は、有機物が毛管連絡を切断したため下層からの水分供給が途絶えて土壌が乾燥する、逆に亀裂への有機物充填により毛管連絡が生じて湿害が発生する、固相率が低下して干害につながる、粗孔隙の目詰まりによる排水不良、など様々で、発生する土壌タイプや施用した資材種も多岐にわたる。土壌や資材の種類、施用量と物理性悪化の関係については、さらなるデータ蓄積と類型化およびメカニズムの解明が望まれるが、闇雲に有機物を多量施用しても土壌の物理性が常に改善されるわけではないのは確実と言える。

土作りという言葉の曖昧さと、有機物資材の「なんとなく良さそう」というイメージが結びつくと、資材の多量施用が土壌の物理性を大きく改善すると受け取られかねない。有機物資材の施用が土を扱いにくくする場合があることを多くの方に認識していただき、適正な農耕地土壌管理を考える一助にしていきたいと思います。

九州沖縄農業研究センター 生産環境研究領域 環境資源研究グループ 久保寺秀夫

第24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23年10月20日（木）～21日（金）

【会場】

神戸市・神戸学院大学（ポートアイランドキャンパス）

【日程】

	時 間	内 容	講 師（敬称略）
一 日 目	10：00～10：10	開会挨拶	(社) 日本下水道協会理事 佐伯 謹吾 神戸市建設局下水道河川部 部長 畑 恵介
	10：10～10：40	神戸市における下水汚泥の有効利用と今後の取り組み	神戸市建設局下水道河川部 計画課長 山地 健二
	10：40～11：15	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	日本下水道事業団技術戦略部戸田技術開発分室室長代理 島田 正夫
	11：25～12：00	下水道を核としたバイオマス利活用に関する研究開発	(独) 土木研究所材料資源研究グループ 上席研究員（リサイクルチーム） 岡本誠一郎
	12：00～13：00	ポスター展示（民間企業）・昼食	
	13：00～13：35	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
	13：35～14：05	兵庫県における下水汚泥溶融スラグの有効利用について	兵庫県県土整備部土木局下水道課主査 的場 令基
	14：15～14：50	農業集落排水施設と連携したメタン発酵消化液の液肥利用について	(社) 地域環境資源センター バイオマス技術部主任研究員 米田 太一
	14：50～15：20	下水汚泥有効利用に関する（社）日本下水道協会の取り組み	(社) 日本下水道協会技術研究部資源利用 研究課長 大谷 佳史
	15：20～15：30	休 憩	
二 日 目	15：30～17：00	パネルディスカッション	座長：（独）土木研究所 岡本誠一郎 パネラー：講師一同
	9：30～11：00	特別講演 震災復興に貢献するメタン発酵	日本大学大学院総合科学研究科教授 野池 達也
	11：00～12：00	ポスター発表（口頭）	民間企業
	12：00～12：05	閉会挨拶	(社) 日本下水道協会
	12：05～13：05	昼 食	
	13：05～17：00	施設見学： A 班：東灘下水処理場→東部スラッジプラント B 班：東部スラッジプラント→東灘下水処理場 JR三ノ宮駅解散	

※講師の役職等は発表当時のもの。

報 告

第24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：神戸市

座 長	岡本誠一郎	(独)土木研究所材料資源研究グループ上席研究員 (リサイクルチーム) (現・京都大学大学院工学研究科附属流域圏総合環境質研究センター特定准教授)
パネリスト	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室長代理
	米田 太一	(社)地域環境資源センターバイオマス技術部主任研究員
	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
	山地 健二	神戸市建設局下水道河川部計画課長
	的場 令基	兵庫県県土整備部土木局下水道課主査
	大谷 佳史	(社)日本下水道協会技術研究部資源利用研究課長 (現・大阪市建設局下水道河川部水環境課課長代理)

※パネリストは発言順

(於：神戸学院大学〈ポートアイランドキャンパス〉平成23年10月20日～21日)

○座長(岡本) 私を含め7名の講師から、それぞれの立場で報告がありました。パネルディスカッションでは、それらをうまくつなぐ形で展開したいと思います。事務局が予め2つの話題を用意しており、それに沿って質疑の時間も取りながら進めて参りたいと思います。

まず、神戸市におけるバイオガス有効利用についての報告がありましたが、下水汚泥等のエネルギー利用の中でも「嫌気性消化」を取り上げたいと思います。次に、神戸市や兵庫県からの報告で取り上げられておりました「建設資材利用」を話題としたいと思います。バイオマス利用は、非常に地域性があり、緑農地利用に興味がある方もおられると思いますが、関連する質問があれば質疑の時間に対応したいと思います。



岡本座長

【嫌気性消化プロセス導入を促進するために】

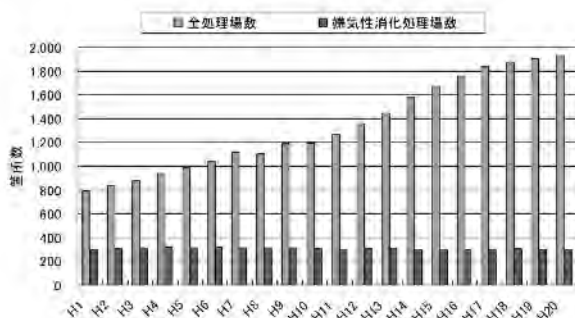
○座長 前半の講義において、すでに何人かの講師から嫌気性消化についてご説明がありました。日本下水道事業団の島田さんの講義では、「日本の嫌気性消化槽数が、欧米、特にドイツに比較して伸びない」というお話がありました。現状、嫌気性消化プロセスの導入数が、なぜ伸びないのか、それを増やすには、今後どうしていったらいいのか、島田さんからコメントをいただきたいと思います。

○島田 私の講義で、世界でメタン発酵槽数が大幅に増加している中で、日本の特に下水道分野で横ばい状態であり、意識の改革が必要であるという話を



島田講師

わが国における 嫌気性消化処理場数の推移



過去20年間、嫌気性消化設備を有する処理場の数は300箇所前後のままである

スライド1 (島田講師発表資料より)

させていただきました。スライド1に示すように、日本では下水処理場数が増加しているにも係わらず、ここ20年程度嫌気性消化槽を有する下水処理場数は増加していません。この間、増加した下水処理場の多くは、流入水量が10,000m³/日以下のもので、OD法（オキシデーションディッチ法）を採用しているケースがほとんどです。OD法では、好氣的に安定した余剰汚泥しか発生しないため、嫌気性消化を導入してもバイオガス発生量が比較的少ない傾向があります。したがって、OD法の下水処理場で、嫌気性消化を導入しているケースはほとんどありません。

しかしながら、今後は、下水汚泥を安定化、減量化するという考え方から、バイオマスとして利用するという考え方への転換が必要です。これは、下水道分野

のみでなく、他のバイオマスも含め総合的に実施する必要があります。農林水産省は、バイオマスタウン構想に力を入れていますが、下水処理場等が地域のバイオマス利活用の中核になることが重要です。

また、スライド2に示しますように、10,000～100,000m³/日規模の下水処理場では、約半数の下水処理場で嫌気性消化を導入していますが、より大規模になると一般的には焼却炉を設置するので、その前段で嫌気性消化は必要ないという考え方から、嫌気性消化槽の設置数が少なくなっています。海外では、100万m³/日規模の下水処理場でも、下水汚泥を資源ととらえエネルギー回収する考え方が定着しており、焼却していても固形燃料として利用するなど、エネルギー利用を重視する考え方に向かってほしいと思います。

水処理規模別の処理場数及び割合 【消化プロセスの有無】

水処理規模 (晴天時日平均処理水量)	処理場数(箇所)			割合(%)	
	消化有	消化無	計	消化有	消化無
～ 5,000m ³ /日	41	1,296	1,337	3.1%	96.9%
5,000m ³ /日 ～ 10,000m ³ /日	52	97	149	34.9%	65.1%
10,000m ³ /日 ～ 50,000m ³ /日	146	145	291	50.2%	49.8%
50,000m ³ /日 ～ 100,000m ³ /日	33	39	72	45.8%	54.2%
100,000m ³ /日 ～ 200,000m ³ /日	20	25	45	44.4%	55.6%
200,000m ³ /日 ～ 500,000m ³ /日	3	21	24	12.5%	87.5%
500,000m ³ /日 ～ 1,000,000m ³ /日	4	5	9	44.4%	55.6%
合 計	299	1,628	1,927	—	—

参考:「平成20年度版下水道統計」

スライド2 ((社) 日本下水道協会作成資料)

○座長 ありがとうございます。小規模、大規模、それぞれについて問題提起がありました。小規模と言えば、(社)地域環境資源センターの米田さんから、農業集落排水施設をはじめとした農村地域におけるメタン発酵やその他のバイオマス利活用の取り組みについて報告をいただきました。米田さんから、講演の補足やメタン発酵導入の状況についてコメントいただきたいと思います。

○米田 スライド3にバイオマスタウン構想(283地区)に取り上げられているバイオマスの変換手法を示しています。バイオマスタウン構想は、平成23年4月までで計画策定を締め切っており、全国の318地域で構想が策定されました。スライドは、少し古いデータを示していますが、農村地域におけるバイオマスのエネルギーへの展開方法としては、バイオディーゼル燃料化、木質チップ・ペレット燃料化、メタン発酵が多く計画されています。

農業集落排水施設では、汚泥有効利用方法としては、堆肥化が主流であり、メタン発酵槽の設置については、検討している事例はありますが、実績はありません。先ほど、説明したように家畜ふん尿等のメタン発酵施設に農業集落排水施設からの汚泥を受け入れているケースがあります。

○座長 ありがとうございます。農業集落排水汚泥だけでは厳しく、農村地域の様々なバイオマスを集約してメタン発酵する取り組みが進んでいることについて、ご説明いただきました。

ここで少し話題を転じまして、嫌気性消化の推進あるいはエネルギー利用の推進のため、下水道サイドとしてどのように取り組んでいくかについて考えたいと思います。国土交通省の西迫さんの講演の中では、制度面あるいは推進施策についてご説明いただきましたが、改めて特にどの辺りに力点を置いて取り組んでいくのかお話しいただきたいと思います。

○西迫 まず、国交省としてはバイオマスリサイクル率の向上を目指しています。社会資本整備重点計画では、2012年までにバイオマスリサイクル率を39%に上げることを目標とされていますが、2009年時点では24%にとどまっており、現状はあまり進んでいる状況ではありません。

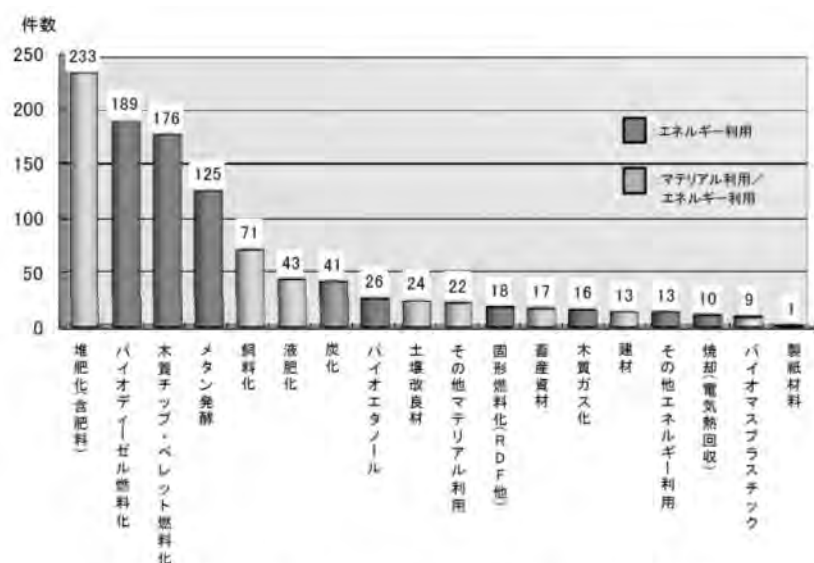
国交省の取り組みとしては、新世代下水道支援事業制度(未利用エネルギー活用型)でメタン発酵施設の設置などを補助しています。また、情報発信としては、平成23年3月に「下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン(案)」を取りまとめました。基礎技術の解説からコスト評価まで行っていますので、下水汚泥等のエネルギー化を検討されている場合は、ぜひ見ていただければと思います。最後に、大きな取り組みとして平成23年度からB-DASHプロジェクト(下水道革新的技術実証事業)を行っており、エネルギー自立型下水処理場の構築を目指しています。汎用性が高くコストを大幅に削減できる技術を実規模レベルで実証するもの



米田講師



西迫講師



バイオマスタウン構想(283地区)に取り上げられているバイオマスの変換手法
(社団法人日本有機資源協会資料)

スライド3 (米田講師発表資料より)



で、創エネルギー技術を発展させたいと考えています。現在、神戸市と大阪市の下水処理場で実証実験を行っています。(スライド4)

○座長 西迫さんのご講演では、エネルギー利用を推進する様々な法令や制度を紹介いただきましたが、国のエネルギー政策という観点から、あれだけ多くの制度的な後押しがあり、また、さらに下水道として予算

上の支援やB-DASHプロジェクトなど、総合的な取り組みをご紹介いただきました。

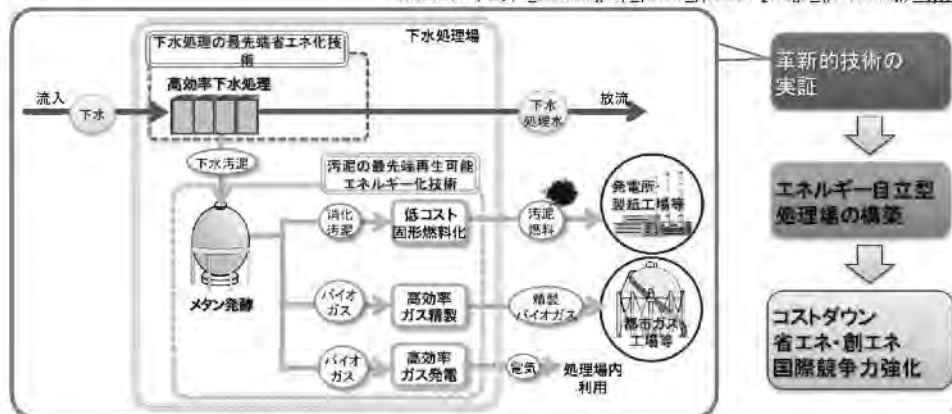
さて、B-DASHプロジェクトが話題となりましたので、まず、ご当地の神戸市におけるB-DASHプロジェクトについて、山地さんの講演でもご説明いただきましたが、補足していただきたいと思います。時間の関係上、具体的な技術について説明しきれなかったと思

下水道革新的技術実証事業～B-DASHプロジェクト～

国土交通省成長戦略関係

- 下水汚泥処理における再生可能エネルギー利用及び下水処理の高効率化によるエネルギー自立型下水処理場の構築。
- 下水汚泥のエネルギー化技術等の革新的な技術のうち、汎用性が高く、建設コストの大幅ダウンが期待できる技術を実規模レベルで実証し、全国展開。
- 温室効果ガスの大幅削減、水ビジネスの国際競争力の強化。
- 平成23年度は、以下の2事業を採択。
 - ・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(大阪市中浜下水処理場)
 - ・再生可能エネルギー生産・革新的技術実証事業(神戸市東灘処理場)

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



スライド4 (西迫講師発表資料より)

いますので、よろしくお願いします。

○**山地** まず、島田さんのお話で100,000m³/日規模以上の下水処理場では、嫌気性消化の導入が少ないとのお話でしたが、神戸市の6箇所の下水処理場の内の4箇所は、100,000m³/日規模以上で、全て嫌気性消化を導入しています。また、残りの2箇所の下水処理場で発生した汚泥は、基幹となる下水処理場に送泥され、同様に嫌気性消化処理されています。



山地講師

B-DASHプロジェクトについては、(株)神鋼環境ソリューション(代表者)、神戸市(構成員)及び大阪ガス(株)(協力者)の三者が官民連携で実施しています。現在、嫌気性消化ガスを高機能に精製し都市ガス導管注入し、発生した消化ガスの全量を地域で利用できるようになっています。プロジェクトの目的は、地域にある様々な下水道に好適なバイオマスを取り込み、消化ガス発生量を増加させることにあります。下水道に好適なバイオマスとは、それを受け入れることにより、消化阻害が起こらないことや汚泥の脱水性能が上がることなどをイメージしています。ターゲットとしているバイオマスは、「スイーツ」と「グリーン」で、神戸には洋菓子メーカーが多くあり、そこから発生する食品系バイオマス(スイーツ)や、六甲山の森林整備や公園、道路等の剪定で発生する木質系バイオマス(グリーン)を示しています。(スライド5)

事業の中身については、役割分担があり、神戸市は、地域で発生するバイオマスの確保と受け入れ調整であり、(株)神鋼環境ソリューションが、鋼板製消化槽やパッケージ型の高圧水吸収法でのバイオガス精製技術などの革新的技術を提案しています。できれば、(株)神鋼環境ソリューションの担当者の方が会場におられると思いますので、説明していただければと思います。

○**会場より(丸山氏)** (株)神鋼環境ソリューションの丸山と申します。神戸市で実施しているB-DASHプロジェクトで実証する技術について説明します。まず、鋼板製消化槽について検討する予定です。従来より工期を短くでき、消化槽におけるアンモニア阻害等を察知するセンサー取り付け位置の自由度が高いなどの利点があります。また、消化ガス精製装置やガスホルダーについて低コスト化を検討します。さらに、下水処理水の有する熱をヒートポンプで回収しての消化槽加温への利用や、木質系バイオマスの受け入れによる脱水性の改善等も検討したいと思います。現在、関連する施設の建設を進めています。

○**山地** 平成24年1月くらいに施設が完成する予定です。ただいま説明がありましたように、省エネ、創エネ、汎用性、コストダウンを実証し、中小の下水処理場でも採算性が出るような嫌気性消化槽と消化ガス利用技術を展開できればと考えています。

また、都市ガス導管注入を実証している東灘下水処理場では、現在、非常に多くの国内外からの視察者を受け入れていることから、将来的には日本の水処理・

B-DASHプロジェクト(下水道革新的技術実証事業) Breakthrough by Dynamic Approach in Sewage High Technology Project



平成23年度内に実証施設建設(予定)



■実証実験

・平成23年度末～平成25年度

スライド5 (山地講師発表資料より)

汚泥処理の優れた技術のサイトセールスの拠点として整備していきたいと考えています。

○座長 ありがとうございます。実証実験は、国内で行っていますが、海外への展開も見据えた取り組みであるとのこと説明でした。B-DASHプロジェクトで採択されたもう1件のプロジェクトは、日本下水道事業団とメタウォーター（株）の共同で、大阪市の下水処理場で実施されています。島田さんからご説明いただきたいと思います。

○島田 スライド6を使って説明します。日本下水道事業団とメタウォーター（株）が共同で実証するシステムは、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です。従来の下水処理場では、最初沈殿池において流入水の固液分離を行います。固形物回収率に限界があること、沈殿時間中に固形物の一部が腐敗可溶化することから、流入有機物を最大限に嫌気性消化槽へ送ることができません。したがって、まず第一に検討するのは、メタウォーター（株）が、合流改善のために開発した高速繊維ろ過技術を利用して、新鮮な汚泥を速やかに高効率に回収し嫌気性消化槽に導入する技術（超高効率固液分離）です。次に不織布を充填した嫌気性消化槽により消化日数が5日程度で高効率の嫌気性消化を達成する技術（高効率高温消化）を検討します。消化槽としては、銅板製のものを考えています。

また、下水汚泥だけでは、極限まで効率的にエネルギー回収しても下水処理場の消費電力の50%程度しか回収できません。したがって、生ごみ等を嫌気性消化槽に取り入れる混合メタン発酵も検討します。さらに、季節により発生量変動する消化ガスを最大限に発電利用するために消化ガスと都市ガスの両方を燃料とで

きるハイブリッド燃料電池と、処理場全体の機器を対象に使用電力平準化を行う運転制御システムを組み合わせることにより、下水処理場のエネルギー自給率を高める技術（スマート発電システム）も確立したいと考えています。大阪市の協力により、中浜下水処理場で現在プラントを建設しており、平成24年1月くらいから実験がスタートできると思います。

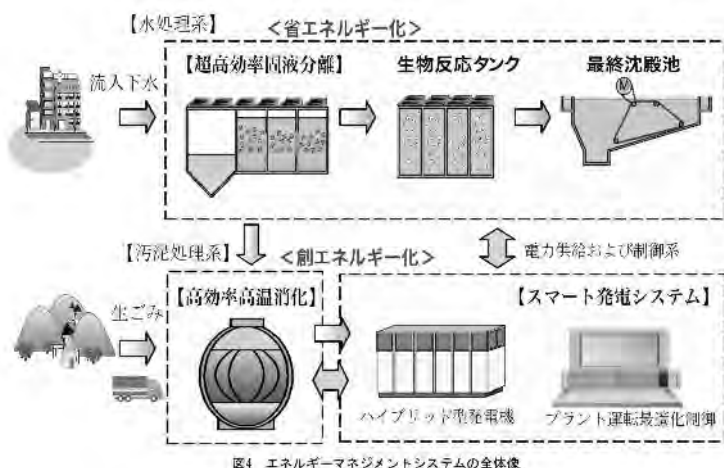
○座長 B-DASHプロジェクトは、いずれも下水処理場での実証実験でして、その結果が情報発信にもつながる取り組みです。多数応募があった中、勝ち抜いて選定されたプロジェクトであり、国交省もそれらを全力で支援していき、その成果が国内外での展開につなげていこうというものです。強い技術を育てそれを普及していくという方向かと思います。

一方、日本国内の様々な地域で取り組みを進めていく必要があります。それぞれに地域特性があり、B-DASHプロジェクトの成果をそのまま活用できる地域とそうでない地域もあると思います。島田さんが、10,000～100,000m³/日規模の下水処理場では、嫌気性消化が比較的導入されていますが、OD法では、ほとんど導入されていないと説明されていたように、下水処理場等の規模の問題もあります。

例えば、農村地域でのバイオマス利用の取り組みは、都市部とはかなり状況が違うと思います。その異なる地域性をいかにバイオマス利用につなげるかの苦労もあると思いますし、地域ならではの取り組みもあると思います。この点について、米田さんから補足いただきたいと思います。

○米田 農村地域の特徴としては、バイオマスが多く存在する、ただし広く薄く存在します。家畜ふん尿、間伐材、生ごみ、農業集落排水汚泥など多様なバイオ

エネルギーマネジメントシステムの全体像



スライド6（島田講師発表資料より）

マスがありますが、それらが点在しています。また、堆肥やメタン発酵後の液肥などのように、バイオマスの農地利用を行うことができます。この際、バイオマスの有効利用先が、どこになるか、その量はどの程度か把握し、地域特性から勘案し、多様なバイオマスのどれを組み合わせるのが適切なかの留意する必要があります。また、メタン発酵だけでなく、堆肥化や木質バイオマスのペレット化などもありますので、その中で適切な利活用方法を考える必要もあります。

農業集落排水施設におけるバイオマス利活用方法としては、堆肥化が主流ですが、メタン発酵の導入も検討すべきと考えています。家畜ふん尿を対象としたメタン発酵施設は多くありますが、残さとなる液肥の利用量が少なければ、排水処理コストが大きくなることになります。したがって、都市域における下水処理場のように、全国で5,000程度ある農業集落排水施設も、農村地域におけるバイオマス利活用の核となるべきであると考えます。(スライド7)

○座長 ありがとうございます。農業集落排水施設でも下水処理場でも、現存する施設を有効利用することが重要です。様々な種類のバイオマス、利用方法の中から地域で適切な組み合わせを選ぶ必要があります。検討する要素が増えれば、それだけ適切なものを選ぶことが困難になりますが、技術者の腕の見せ所でもあります。地域の事情をよく把握した上で、バイオマスの利用者の立場に立って考える視点と能力が、今後ますます求められるのではと思います。

珠洲市、北広島市、さらに黒部市などにおける混合

バイオマスメタン発酵の取り組みに見られるように、従来の事業の範囲や枠組みを超えた取り組みが増えてきており、3年ほど前とは、非常に様変わりしていると思います。その際の課題や今後の動向などについて、西迫さんからコメントいただければと思います。

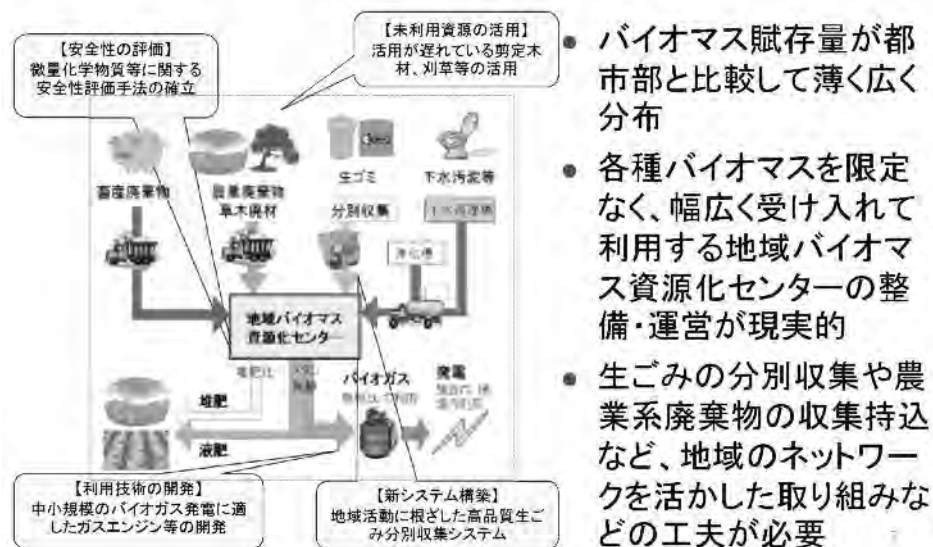
○西迫 下水汚泥と地域のバイオマスを活用した混合バイオマスメタン発酵の取り組みが、進んでいます。下水処理場は、地域のバイオマスを集約処理し、エネルギー供給拠点となり得ることから、事業の企画の際は地域全体の社会的課題を解決するという観点で検討していただきたいと考えます。国交省としても、このような取り組みを支援するために、事例や技術情報を収集し、情報発信等に努めたいと考えております。

○座長 ありがとうございます。過去に、し尿処理施設の老朽化が、混合バイオマスメタン発酵を検討するきっかけとなった事例がいくつかあります。地方公共団体においては、今後、様々な事業に取り組む中で効率化を求められますし、再生可能エネルギーのニーズも高まっています。今後、このような取り組みに期待したいと思いますし、我々もそれぞれの立場で支援する活動を継続する必要があると思います。

ここまで、メタン発酵、嫌気性消化、エネルギー利用、また緑農地利用についても少しお話がありました。ここで、会場から質問またはコメントをいただきたいと思います。明日の特別講演でご講義いただける野池先生が、お越しになっておられますのでコメントをいただければと思います。

○野池 ご紹介いただきました野池でございます。明

下水道を核とした資源・エネルギー利用システム（農山村圏）



スライド7（岡本座長発表資料より）

日、「震災復興に貢献するメタン発酵」と題して講演させていただきました。今回のセミナーでは、このように熱心にメタン発酵を取り上げていただき、非常に心強く思っています。欧米では、小規模な施設においても下水処理（好气的処理）の後に、メタ



野池教授

ン発酵（嫌气的処理）を行っています。これは、自然界で起こっている浄化の形態を総合したシステムであります。一方、日本では、水質汚濁防止のための施設として下水道が発展してきたことから、嫌気性消化の導入が進みませんでした。その中でも横浜市や大阪市、またご当地の神戸市においては、嫌気性消化を積極的に行っておられます。特に神戸市では、阪神淡路大震災の後に、東灘下水処理場の嫌気性消化槽を建設され、全量嫌気性消化を行っておられ、敬意を表したいと思っています。

嫌気性消化導入の大きなメリットは、西迫さんのお話しにもありましたとおり、外部効果が大きいということです。珠洲市では、混合バイオマスメタン発酵を導入することにより、市全体の廃棄物処理費が大きく削減されましたし、米田さんのお話しにもありましたとおり、農村地域では、消化液残さが、有機肥料（液肥）として活用されています。しかし、先の総務省によるバイオマス政策の評価では、このような外部効果を考えないで厳しい評価を受けました。

また、明日詳しくお話ししますが、東日本大震災で多くの下水処理場が壊滅的な打撃を受けました。それらの復興において、地産地消のエネルギー回収を目指してメタン発酵が積極的に取り入れられることを願って、日々、講演などで訴えております。

○座長 ありがとうございます。野池先生のコメントにもありました総務省の評価ですが、確かに手厳しいものでした。しかし、バイオマス関係の研究機関がそろった会合で、以前これが議論になったことがあります。評価を前向きに読んでみれば、これはメタン発酵導入による社会的な効果や地域活性化などについて、きっちり定量評価されていないという指摘であり、要はこうした調査・研究を進めることが重要という激励でもあるという話になりました。今後、メタン発酵導入の直接的効果だけでなく、より広い範囲に波及する社会的効果をアピールする必要があると思います。

せっかくの機会ですので、会場からのご質問やコメントをお願いします。

○会場からの質問 平成24年7月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すると聞いています。買取対象は、余剰電力でなく全量であるとのこと

ですが、自家消費する分も含まれるということでしょうか？

○座長 まだ、制度設計が固まっていない部分もあると思いますが、西迫さんからご回答いただけますか。

○西迫 制度の詳細については、まだ決まっていない部分はありますが、全量買取ですので、基本的には、発電した電力すべてが対象となります。

○座長 ただ、その際の買取価格、場内利用の取扱いなど決まっていない部分はありますが、下水道管理者としても重要な事柄であり、注視していく必要がある制度だと思います。

○会場より質問 嫌気性消化の効果としては、エネルギー利用に加え、汚泥発生量の減量化があると思います。この点について、定量的データで示してください。

○山地 嫌気性消化を導入することにより、神戸市では濃縮汚泥の固形物量に比較して消化汚泥の固形物量は4割程度減量化されています。

【建設資材利用量確保のための方策について】

○座長 続きまして建設資材利用について、議論を掘り下げていきたいと思っています。ご承知のように建設資材利用は、量的には下水汚泥有効利用の根幹を成すものです。大部分が、セメント原料化で、本日報告のありました二次製品としての利用もあります。近年の傾向としては、地方公共団体直営による建設資材利用が、採算性等の問題から、民間に引き取ってもらう方向に変わってきていることがあります。その中で、大谷さんの説明にもありましたとおり、環境安全性評価が重要となり、様々な取り組みが行われています。下水汚泥等は、民間に必ずしも喜んで引き取ってもらっているのではなく、いろいろ苦勞して引き取ってもらっているのが実態と思われます。また、現在、東日本では、放射性物質の問題により、下水汚泥有効利用が大きな支障を受けている状況もあります。

ここでは、下水汚泥等の建設資材利用の課題、全体的な状況に加え、地方公共団体の取り組み状況、また、民間における取り組みも補足しながら議論を進めたいと思います。まず、国交省の西迫さんに、現状、量的に最も多い下水汚泥等の建設資材利用が、固形燃料化等の取り組みもある中、今後どうなっていくのか、現状や課題等について補足いただければと思います。

○西迫 下水汚泥のリサイクル率は年々向上しておりますが、その中では建設資材利用が大部分を占めており、建設資材利用の中でもセメント原料化が大部分を占めています。セメント生産量は、現在は震災復興により需要が上がっているかも知れませんが、今後、生産量が飛躍的に増加することは期待できず、このまま

建設資材利用に依存することには懸念を感じます。先ほども説明しましたように、今後は、バイオマスリサイクル率を向上させることが重要と考えており、建設資材利用に加えて、有効利用先の多様化という面で固形燃料化や緑農地利用も推進して参りたいと考えています。

○座長 セメント原料化への依存は、地域的には深刻な例があります。セメント工場の統廃合により、下水汚泥等を受け入れていた工場が閉鎖されると、その日から下水汚泥等の行き場がなくなります。マクロで見ると、セメント原料化が主要な有効利用方法ですが、地域で見ると下水道管理者として注意しなければならない時期に来ていると考えます。

次に、島田さんの目から見た現在の建設資材利用の現状と課題をご説明いただければと思います。

○島田 私は、兵庫西流域下水汚泥広域処理場が、平成14年度末に日本下水道事業団から兵庫県に移管された際の最後の所長をしておりました。当時、溶融スラグが場内に6万トン保管されており、兵庫県からは、移管するまでに有効利用の道筋を付けておくように言われていました。兵庫県西地域の地場産業として革なめし業があるため、利用者には、六価クロムに対する懸念がありましたので、先ほどの場さんの説明にありましたように品質管理体制を大きく見直し、溶融スラグの溶出試験結果が土壤環境基準を満たしていることをきっちり説明することにより、地元の建設資材業者の理解が得られました。また、道路舗装会社に試供品として溶融スラグをダンプ3台分提供したり、様々な

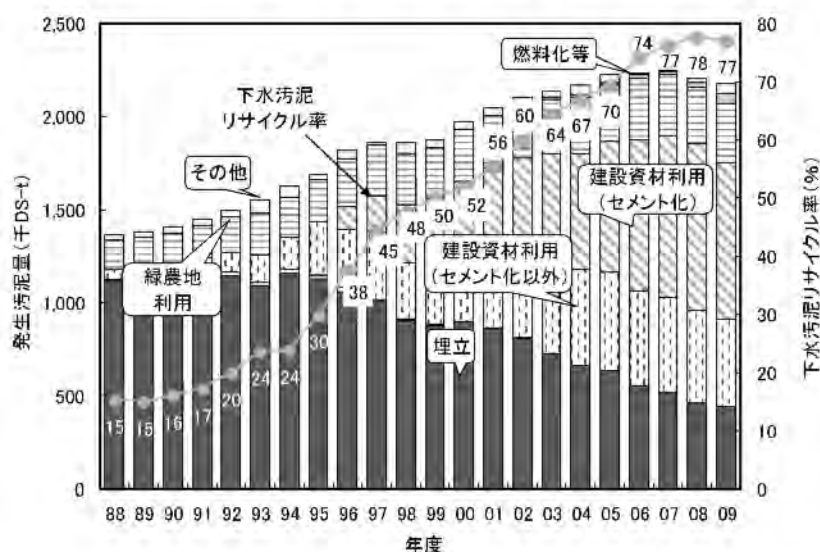
苦労を重ねていました。

次年度から施設が兵庫県に移管されるので、兵庫県と相談し、道路部門が協力してくれることになり、様々な性能試験を経て、兵庫県土木工事の仕様書で、アスファルト合材に溶融スラグを使うよう規定されました。このことが、溶融スラグ有効利用量の増加に大きく貢献しました。また、当時、瀬戸内海の手砂が採取禁止となり、中国から高額で輸入しており、これも溶融スラグ利用促進の追い風となりました。手砂の100%代替は無理ですが、試験の結果、30%くらいまでは問題なく代替できることが分かっていたので、アスファルト合材協会等も使用に前向きになり、6万トンの保管が徐々に減少し、現在では、需要と供給がバランスしているとのことなのでほっとしております。

重要な点は、下水道担当内の努力だけでは限界があるということです。下水汚泥等の建設資材利用を推進するためには、道路部局や公園部局の協力が不可欠です。他の地方公共団体では、多くの場合、仕様書で「使用してもいいですよ」ということまでしか書いておらず、これでは、有効利用量は伸びません。兵庫県のように、半ば強制的に「使いなさい」と規定する必要があります。公共事業で使用されれば、当該建設資材への信頼性が増し、民間でも使用されるようになります。

○座長 私も、兵庫西流域下水汚泥広域処理場の「溶融スラグの山」を見たことがあります。有効利用を促進するために行っている事業であるのに、その理想と

下水汚泥の最終処分・利用形態の経年変化(国交省調べ)



スライド8 (西迫講師発表資料より)

現実のギャップに驚いた記憶があります。現状では、多くの努力によりその点が改善されたのは素晴らしいことと思います。

有効利用が順調に進んでいても、利用者あるいは住民の方が、重金属への懸念を持たれているのかも含め、的場さんに補足いただければと思います。

○**的場** 島田さんの説明との重複になりますが、一時、7万トン近くの在庫を抱えており、写真でお見せした「溶融スラグの山」がいくつもありました。現在は、それが解消しており、空いた土地の有効利用について検討している状態です。



的場講師

先ほど説明したように、溶融スラグ1トン当たり、公共事業の場合は無料、民間利用の場合は、315円の費用をいただいています。仮に有効利用できず産廃処分すると仮定した場合、1トン当たり26,000円かかります。また、六価クロムの溶出が抑えられず特別管理産業廃棄物として処分すると仮定すると、1トン当たり40,000～45,000円の費用が発生します。製造量が、年間5,000トン程度なので相当の費用が必要になります。無料でも有効利用していただいただけありがたいと思っています。

したがって、合材協会やコンクリート二次製品製造業者が望む品質の溶融スラグを製造するという考え方で、事業を進めています。より六価クロムの溶出を抑える運転ができるように、当初はコークスベット炉しかありませんでしたが、新しい方式の設備の整備を進

めています。

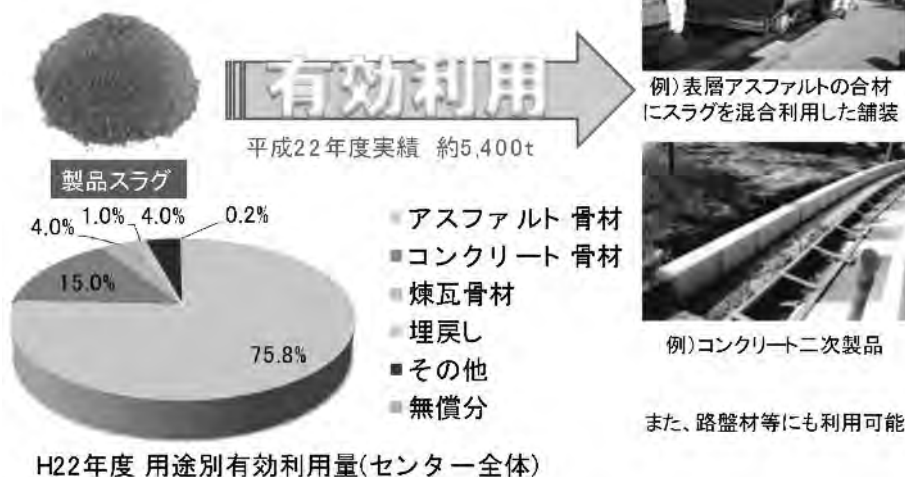
地元には、場内でのアスファルト舗装への溶融スラグ利用実験を見ていただいたり、明確な安全基準がない中で、先ほど説明のありました三段階での品質管理体制や長期暴露試験等の結果を説明し、高炉スラグ等の他の資材と比較して問題ないことを説明し、ご理解いただいていると思います。現在では、溶融スラグのJIS規格が制定されていますので、これに適合していることを確認し、地元にも説明しています。ただし、溶融前の灰のコントロールが悪ければ、重金属含有量がJIS規格の基準を超過するおそれがありますので、運転管理には、非常に気を遣います。

先ほど、コストのお話しがありましたが、建設費、維持管理費とも非常に高額です。新規の2炉の建設費は、約170億円で維持管理費は年間7億円程度必要です。このように高額な経費をかけているので、できるだけ有効利用していただくよう努力をしています。(スライド9)

○**座長** 同様に、神戸市においても建設資材利用を行っておられますが、先ほどの説明で平成15年度をピークに焼却灰の有効利用率が減少しているとのこと説明でした。再度、有効利用率を向上させるため、民間との共同研究を進めているとも説明がありました。兵庫県公共工事における溶融スラグの利用促進に見られるような、公共セクターにおける取り組みについては、先ほど議論を行いましたので、民間との取り組みについて、山地さんにご説明いただければと思います。

○**山地** 平成15年度には、焼却灰有効利用率は、55%でしたが、その後の景気の低迷や公共事業の減少によ

製品スラグの利用状況



スライド9 (的場講師発表資料より)

り、平成22年度では、16.1%まで落ち込んでいます。有効利用率の大幅な回復は見込めないまでも、焼却灰有効利用の多様化を図るため、平成21～22年度にかけて民間との公募型共同研究を実施しており、平成21年度に7件、22年度に2件の共同研究を実施しています。

現在、民間6社が、焼却灰を利用したインターロッキングブロックを製造しており、神戸市では、神戸市グリーン調達等方針の重点物品に位置づけられており使用が義務づけられています。一方、焼却灰をフィラーの一部として利用したアスファルト合材については、同じく5社が製造していますが、仕様書においては、「焼却灰を利用できる」ことを明記しているだけで受注者の判断に委ねられていますので、なかなか利用量が伸びません。これをグリーン調達の重点物品に位置づける必要があると考えます。いずれにしても、焼却灰有効利用率が、V字回復するというわけには参りませんが、努力を続けています。(スライド10)

○座長 兵庫県、神戸市における取り組み状況を再度説明いただきました。どちらも、置かれている状況が楽ではない、厳しいものであると感じました。建設資材利用の場合には、どうしても安全性、品質に関する問題は、いつもついて回ります。この点、下水道サイド、あるいは、リサイクル製品を製造している民間とのタイアップにより、どのように対応していくべきか考えなければなりません。

先ほど、大谷さんから関連する(社)日本下水道協会の取り組みの説明がありました。重要な活動の紹介であると思いましたが、建設資材利用における状況や

課題について、少しまとめていただけたらと思います。

○大谷 下水汚泥処分・有効利用の厳しい現状について、4点挙げます。まず、最終処分場の逼迫があります。続いて、セメント原料化をはじめ民間企業への高依存傾向があります。セメント協会のデータから、セメントの年間製造量は、1996年の



大谷講師

ピーク時の約1億トンから、現在は半分程度に落ち込んでおり、その影響もありセメント工場の統廃合が行われています。また、スライド11に示しますように、下水道事業者が、下水汚泥有効利用の最終段階まで直営で実施しているケースは非常に少なく、民間企業による関与が顕著に示されています。

また、下水汚泥は、産業廃棄物であることから、それを有効利用する場合は、どうしても負のイメージがついて回ります。重金属への懸念は、絶えずついて回りますし、六会コンクリート事件(詳細については、「再生と利用」NO.122「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」参照)により、下水汚泥溶融スラグが事件に係わったわけではありませんが、風評被害により下水汚泥溶融スラグの有効利用に大きな影響がありました。

さらに、東日本を中心とした放射性物質の問題により、セメントや軽量骨材への下水汚泥等の受け入れが、全面的にストップしました。比較的放射能濃度の低いものから有効利用が再開されていますが、有効利用量

共同研究の実施

神戸市下水道長期計画基本構想「こうべ下水道みらい2025」

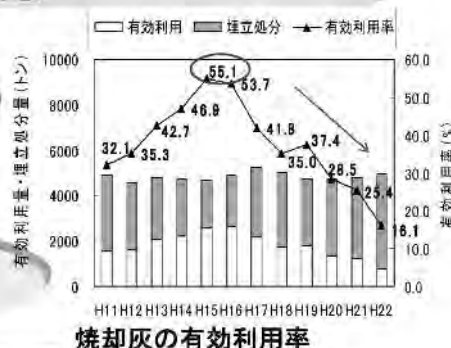
下水汚泥の全量資源化を目指す

「こうべアクアプラン2010」

下水汚泥焼却灰の
有効利用率目標値
65%

(平成22年度末までに)

既存の有効利用方法だけでは目標達成が難しい



焼却灰の有効利用率

●公募型共同研究により民間企業等が保有する
先端技術や製品開発力を活用

⇒ 下水汚泥焼却灰の新たな用途での利用拡大を図る

スライド10 (山地講師発表資料より)

建設資材利用の地方公共団体直営及び民間委託状況（平成21年度）

		地方公共団体数	有効利用量（濃縮汚泥固形物量ベース）（DS-t/年）
直営	溶融スラグ製造	16	148,371
	埋め戻し材、土質改良材、粒度調整灰製造	4	89,189
他部局へ搬出		16	14,105
民間委託（セメント原料以外）		76	191,432
民間委託（セメント原料）		—	776,833
建設資材有効利用合計		—	1,219,930

国交省調査データより解析

スライド11（（社）日本下水道協作成資料）

が、事故前のレベルに戻るまでには、まだまだ長い道のりがあると思われます。

○座長 ありがとうございます。厳しい状況にありながら、関係者が努力を継続しています。時間がなくなってきたので、建設資材利用について、まとめたいと思います。

（社）日本下水道協会から、グリーン購入法の判断基準について、いろいろ議論があったと説明がありました。これは、協会の下水汚泥建設資材利用調査専門委員会の特別委員として、道路関係や廃棄物関係の有識者にも参加していただき、再生資材の環境安全性の基本的な考え方について議論したものです。現在、この考え方が踏襲されて、溶融スラグに化学物質評価方法を導入する指針についての議論につながっています。私も関係する検討会の委員をしており、JIS規格の手前にあたる指針の策定が進められています。ここでは、化学物質評価方法の考え方について、溶融スラグだけではなく、再生資材全般の化学的な評価の考えを構築しようという方向で議論されています。今後はこの指針に沿って、関連するJIS規格の改正が予定されています。道路関係者の理解が重要であるというご指摘がありましたとおりで、関係者が一体となって議論していくことが重要です。（社）日本下水道協会の活動を基礎にして、次のステージに移っていることを心強く感じております。

次に、建設資材利用に関する事例紹介をいただいた的場さんと、農業集落排水施設における取り組みを説明していただいた米田さんから、ユーザーの立場、ユーザー指向という観点で、それぞれご説明がありました。的場さんから、ユーザーニーズに合致した施設整備を行ったというお話がありましたし、米田さん

から、単に堆肥や液肥を提供するだけでなく、施肥の指針や方法も含め提供するというお話がありました。

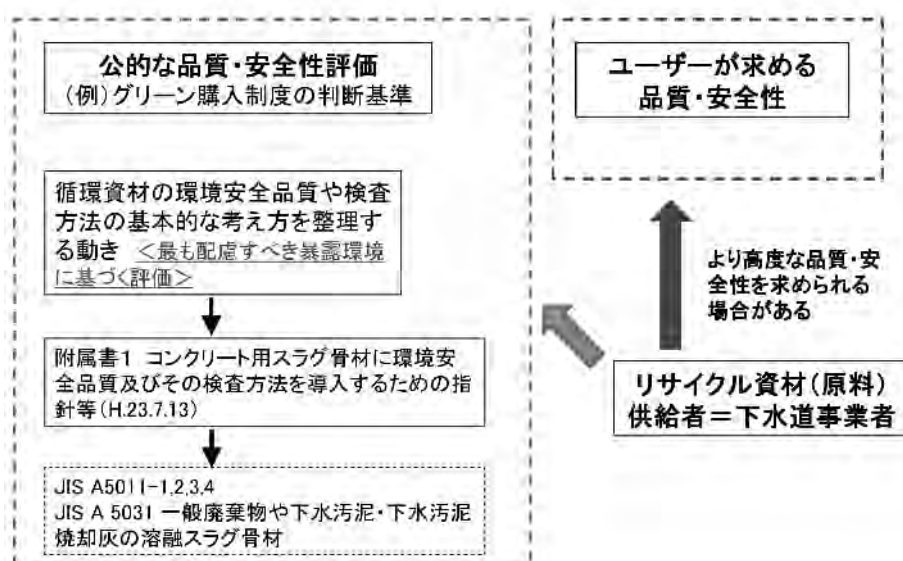
下水汚泥等の有効利用は、とかく下水汚泥の処理・処分の延長と考えられがちですが、必ずリサイクル製品の利用者がいて、利用者のニーズにどう応えるか考えていかなければなりません。スライド12は、この点について説明していますが、ユーザーが求める品質や安全性は、非常に厳しく、場合によっては、化学的な根拠に乏しい場合も考えられます。その顧客ニーズにどう答えるか、下水道管理者は、ここまで考えて、それを克服していかなければならないと思います。

それでは、会場から質問を受けたいと思います。建設資材利用に関して、またその他に聞き逃したこと等あれば、お願いいたします。

○会場からの質問 本日の内容と少しずれますが、東日本で放射性物質の問題により、下水汚泥等が有効利用できず場内で保管されていると聞いています。放射能濃度が下がってきていると思いますが、その後の状況を教えて下さい。

○西迫 関係16都県（東北、関東、北陸の一部）における下水汚泥等の保管量は、現在、55,000トンとなっています。まだ、保管量が減少するという段階に至っていませんが、日当たりの保管増加量は、5、6月に比較して減少しています。国交省としても経産省と共同でセメント業界に協力をお願いしておりますし、地方公共団体においても処分場確保の努力をされていますので、一時期の厳しい状況より改善されていると思います。ただし、放射能濃度が高濃度の下水汚泥等は、保管を継続しています。放射能濃度が高濃度の汚泥（放射性セシウム放射能濃度が、8,000Bq/kgを超えるもの）については、8月に公布され、平成24年1月か

リサイクル製品に求められる品質・環境安全性評価の構図



スライド12 ((社) 日本下水道協会発表資料より)

ら施行される放射性物質汚染対処特措法により、国が処分を行うと規定されており、国による処分が実施されれば、さらに状況が改善していくと思います。

○**会場からの質問** 嫌気性消化ガスによる発電電力の売却や、神戸市のように精製したバイオガスの売却により利益が得られた場合、その分、施設整備の際に利用した補助金を返還する必要があると思いますが、この点は、どのように対応されていますか。

○**西迫** 平成24年7月から施行される再生可能エネルギー固定価格買取制度において、買取価格は、費用対効果も含め検討されると思います。政府全体の考え方としては、本制度により再生可能エネルギー発電の事業採算性が向上するものとしておりますので、関係する補助金は、廃止される方向です。今後、各省において、補助金の取扱いについて整理されると思います。

○**山地** 「こうべバイオガス」に関する高機能精製装置とエコステーションの建設費については、国交省の新世代下水道支援事業による補助を頂く際、下水道事業の外にバイオガスを提供することについては認められています。ただし、収益が出ないように維持管理費相当分を卸単価としています。

○**会場からの質問** 下水道事業者からバイオガスを提

供いただいたのESCO事業やPFI事業等のように、フィールドとしては下水処理場であるが、民間が実施する事業について、国交省の補助金を期待することはできますか？

(注) ESCO事業とは、省エネルギーに関する包括的なサービスを提供し、顧客の利益と地球環境の保全に貢献するビジネスで、省エネルギー効果の保証等により顧客の省エネルギー効果の一部を報酬として事業者が受け取るもの。

○**西迫** 平成20年度に創設された「民間活用型地球温暖化対策下水道事業制度」が活用できます。黒部市におけるPFI事業は、この制度を利用しています。

○**座長** 本日のパネルディスカッションでは、下水道事業の枠組みを超えた取り組み、地域性の問題、環境安全性の問題、利用者のニーズに合わせた取り組みが求められることなど、様々な話題がありました。本日、講師の皆様から提供された情報や、パネルディスカッションでの議論の内容を皆様の事業に役立てていただければ幸いです。

以上をもちまして、本日のパネルディスカッションを終了したいと思います。皆様どうもありがとうございました。

報 告

下水汚泥資源利用協議会
設立までの経緯

元建設省公共下水道課長 工博

齋藤 健次郎

キーワード：下水汚泥の農業利用、土木学会の調査

下水汚泥資源利用協議会（以下「汚泥協」とする）は昭和52年（1977）12月の発足以来33年にわたる歴史を閉じ昨年解散した。その活動状況は本誌で語られているが¹⁾、筆者は建設省在職中下水汚泥処分の調査研究に関し初期の段階で関与したので、その概要を述べ本誌内容を補足するとともに、関係者各位の参考に供したい。

昭和41年（1966）、下水道技術の基本的事項調査のため国が直轄で実施することが認められ800万円が計上された。当時道路、河川など直轄事業については事業調査費が計上されていたが、下水道のような補助事業（市町村事業）に対する直轄調査費が認められたのは初めてのことであり、きわめて画期的なことであった。

このうち、下水汚泥の処分方法に関する研究は（社）土木学会に委託することになり、これを受けて学会は衛生工学委員会に小委員会（委員長・寺島重雄北海道大学教授）を設置した。この小委員会には鈴木達彦（農林省農業技術研究所土壌微生物研究室長）および高橋和司（愛知県農業試験場豊橋経営実験農場土壌研究係長）の両氏が農業関係者として参加し、筆者も前任者に引き続き委託者側の委員として加わった。

まず取り上げられたのは、下水汚泥を農業方面に利用することであった。下水汚泥の農業利用は有機物から無機物へ、無機物から再び有機物へと循環させる天然のリサイクルにのせるという点で合理的であり、一方、農業側からみても近年の化学肥料の普及による有

機資材や微量要素の不足を従来の堆肥に代わり補うという意味においても望ましいことであると考えられた。

しかし、昭和44年度に行われた当小委員会のアンケート調査によれば、調査対象処理場140のうち下水汚泥を何らかの形で農村に還元している処理場は38であり、しかも将来の見通しについては焼却処分を考えているところが57処理場であるのに対し、農業利用としているのは18処理場にすぎなかった。

このことは、下水汚泥を農業に利用する場合の利点が十分に検討されぬまま、脱水焼却という確実であるが安易な処分方法が採用されつつあるという傾向を示すものであった。

このため、事前に検討すべき問題点として、下水道側には下水道汚泥を有機資材の原料として処分する場合、なによりもまず農業者に下水汚泥が安心して使用できるものであることと、容易に利用し得るものであることを認識してもらう必要がある。

また、農業者側としては下水汚泥を有機資材として見た場合、その効果がどの程度であるかを見極めることが農家へ普及させるに当たってのもっとも重要な要件である。そのためには、施用試験により各種作物に対する最適施用量や施用方法等を検討するとともに、土壌中における下水汚泥の挙動、あるいは土壌の物理性改善の効果のような基礎面の調査研究が必要であることが指摘された。

調査研究は昭和43年度のわが国における下水汚泥処

分の実態調査、海外における実態に関する文献調査、わが国において下水汚泥を積極的に利用している例として豊橋市の場合における現地調査に始まり、昭和44年度から46年度までの3年間、モデル都市における現地調査が行われた。

モデル都市としては、いずれも市街地の周辺に今後かなりの農耕地が存在し、下水汚泥を農業利用するに適当と思われる都市を選定したが、選定に当たっては筆者が各都市の下水道担当者に調査研究の目的と内容を説明し理解を得ていた。その際、久保建建設省下水道課長からとくに念を押されたのは、下水汚泥を肥料としてではなく有機資材の原料として認識すること、その効果を下水道側から喧伝するのではなく農業関係学識経験者の手により科学的に立証してもらうこと、供試作物はできるだけその地方で広く栽培されているものを用いること、などであった。

モデル都市になったのは当初の8都市に次年度追加で選ばれた2都市を加えた以下の計10都市であった。札幌市、仙台市、川崎市、川崎市、長野市、富山市、福井市、豊橋市、岐阜市、鹿児島市。

また、供試作物は水稻をはじめ、かんらん、はくさい、ほうれん草、きゅうり、トマト、大根、かんしょ、とうもろこしと多岐にわたった。

3年間にわたる調査研究により、下水汚泥の施用はおおむねすべての作物の生育を良好にするという成果が得られたが、とくに、中小都市で農業利用の可能性が大きい。しいて言えば、農耕地が広く畑地率の高い北海道、東北、九州地方および野菜生産の多い関東東

山、東海地方などが可能性を大きくする諸条件を備えている。しかし、それ以上のことは都市あるいは処理場単位で考えなければならない、とされた²⁾。

そのころ、昭和36年(1961)イタイイタイ病のカドミウム原因説が発表されて以来、重金属類の作物への蓄積が問題視されるようになっていた。小委員会においても下水汚泥の運用により、その中の重金属がどのような動態をとるかが議論になった。

このため、小委員会はモデル都市を長野市、豊橋市、福井市、鹿児島市の4都市に絞り、昭和47年度から49年度の3ヶ年にわたり検討が行われている³⁾。

同じころ、昭和47年(1972)11月下水道事業センターが発足し、さらに昭和50年(1975)にはセンターが改組拡充されて日本下水道事業団が設立されると、下水汚泥の農業利用に関する調査研究はもっぱらこの機関が行うことになり、人材が集められた。

さらに、昭和52年(1977)12月に汚泥協が設立されたことは前述の通りである⁴⁾。

参考・引用文献

- 1) 「(座談会) 下水汚泥緑農地利用の現状と課題について」再生と利用、Vol.35、No.133、2011/10
- 2) 土木学会「下水汚泥の処分方法に関する研究・報告書」昭和46年度版
- 3) 土木学会「下水汚泥の処分方法に関する研究・報告書」昭和48・49年度版
- 4) 1) に同じ

おしらせ

民間企業の投稿のご案内

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

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

投稿要領

（資格）

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

（原稿掲載の取扱い）

2. 原稿掲載の適否は、「再生と利用」編集委員会が決定します。

（掲載可否の判断基準）

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

（原稿の作成、部数、送付先等）

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

5. 原稿の送付先は、下記の担当に送付して下さい。

（校正）

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

（著作権等）

7. 掲載した原稿の著作権は著者が保有し、編集著作権は、本会が所有します。

原稿登載区分

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

担当：公益社団法人 日本下水道協会 技術研究部資源利用研究課

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

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

おしらせ

「再生と利用」への広告掲載方依頼について

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

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

記

1 発行誌の概要

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

2 広告掲載料・広告寸法等

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

※ 表 3 は指定頁になります。原則として 2 回以上の継続掲載とします。

※ 広告掲載料は、消費税込みの金額です。

3 広告申込方法及び留意事項

- (1) 広告掲載は、本誌の内容に沿った広告に限り行います。
- (2) 広告掲載のお申込みは、掲載月の40日前（7 月発行号に掲載希望の場合は、5 月20日）までに別紙「広告掲載申込書」に広告原稿又は流用広告原稿の写しを添付して、次の 5 に表示の申込先宛にお申し込み下さい。
- (3) 原稿をデータで提出する場合は、データ制作環境（使用OS、アプリケーション、フォント等）を明記のうえ、出力見本を必ず添付して下さい。
- (4) 広告原稿の新規作成又は流用広告原稿の一部修正を依頼する場合は、別紙「広告掲載申込書」にレイアウト案、又は修正指示（流用広告原稿の写しに修正箇所等を明記）をそれぞれ添付して下さい。その際、書体、文字の大

きを指定する等、原稿作成又は修正に必要な事項を明記して下さい。

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

4 お支払方法等

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

なお、送金（振込）手数料は、貴社負担にてお願いします。

5 申込み先及び問合わせ先

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

広告業務委託先 (株)LSプランニング（担当：「再生と利用」広告係）
〒135-0046 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136号（平成24年7月発行予定）
平成24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137号（平成24年10月発行予定）
下水汚泥等の建設資材としての有効利用取り組み
- 第138号（平成25年1月発行予定）
次世代型のエネルギー利用
- 第139号（平成25年4月発行予定）
第25回下水汚泥の有効利用に関するセミナー特集

「再生と利用」（136号～139号）広告掲載申込書

公益社団法人 日本下水道協会 御中

（該当箇所に御記入及び○印を付けて下さい。）

掲 載 希 望 号	136号・137号・138号・139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、版下、フィルム） ・ 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127回「再生と利用」編集委員会

日 時：平成23年12月15日（木）

場 所：本会中会議室

出席者：野池編集委員長（日本大学教授・東北大学名誉教授）他14名

議 題：①第134号編集内容について
②第135号編集方針（案）について
③平成24年度計画について

概 要：①事務局から、資料4のとおり報告するとともに、解説の執筆内容について概要を説明した。主な説明では、特集を「解説」と「報告」に分けて掲載する。事務局が執筆を予定している「エネルギー利用調査委員会報告（嫌気性消化プロセス導入支援ツール等）」は、24年2月開催の委員会の内容を入れて次号で報告することとし、未提出の原稿は引き続き掲載を依頼する。②の第135号編集方針（案）については事務局提案（資料5）により説明し了承された。前号から掲載延期となった「エネルギー利用調査委員会報告（嫌気性消化プロセス導入支援ツール等）」を掲載するとともに、第24回下水汚泥の有効利用セミナーの参加企業に、投稿を勧誘することとした。また、野池委員長から研究紹介に東京大学の土肥先生の推薦をいただいた。③の平成24年度計画（特集、講座、その他）について、資料7により説明し了承された。主な意見では、「リサイクル資材の環境安全性とは放射性物質を含んで言っているのか、従来のものか。」と言う質問があり事務局から、両方を想定していることと、NO.137号の編集段階で、放射性物質を含んだ下水汚泥等の安全性評価について報告されていれば掲載する予定としたい。また、「時事紹介・報告の充実」については、事務局案をたたき台として、委員会や担当者会議等で審議して意見交換をすることとした。なお、各委員から次の提案があり、適切な時期に研究報告等に取り上げる予定とした。

・11月に北京で開催された嫌気性消化に関するワークショップの報告

- ・汚泥炭化物の植物施用（京都府立大学）
- ・仙台市における160トン規模の民間の生ごみメタン発酵施設
- ・新潟市の下水汚泥消化ガス発電施設
- ・長岡市の生ごみメタン発酵施設

第35回下水汚泥建設資材利用促進連絡会

日 時：平成24年1月23日（月）

場 所：本会第2・第3会議室

出席者：落委員長（下水道新技術推進機構副部長）他9名

議 題：①建設資材利用ホームページ（案）について
②平成24年度以降の活動（案）について

概 要：建設資源利用ホームページ（案）について審議を行った。ホームページは建設資材利用の現状や課題についての情報発信を行うことを目的として構築し、平成13年度に発行した「下水汚泥の建設資材利用マニュアル（案）2001年版」の一部修正を行うなど、事務局が提示した原案にいくつかの修正を加えた上で、今年度中のホームページ公開を確認した。平成24年度以降の活動は、連絡会の開催頻度を1回/年とし、情報の意見交換や建設資材利用サイトへの掲載内容について提案を頂く方針とした。

第9回下水汚泥エネルギー利用調査委員会

日 時：平成24年2月3日（金）

場 所：本会第3会議室

出席者：片山委員長（大阪市建設局設備担当部長）他10名

議 題：①建設資材利用ホームページ（案）について
②平成24年度以降の活動（案）について

概 要：下水汚泥のエネルギー利用のホームページ（案）について審議を行った。「嫌気性消化プロセス導入支援ツール」について、委員から頂いた意見を検討した上でホームページに掲載するとともに、「下水汚泥のエネルギー利用サイト」の内容拡充を行い、今年度中に公

開することを確認した。平成24年度以降の活動は、連絡会の開催頻度を1回/年とし、下水汚泥のエネルギー利用サイトへの掲載内容の提案を頂き、「嫌気性消化槽を有する中小規模下水処理場における他のバイオマス受け入れ状況調査」へのアドバイスをを行う方針とした。

第3回下水汚泥由来肥料の利用促進連絡会

日時：平成24年2月14日（火）

場所：本会第1・第2会議室

出席者：古畑委員長（日本土壤協会参与）他11名

議題：①平成22年度までの調査結果について

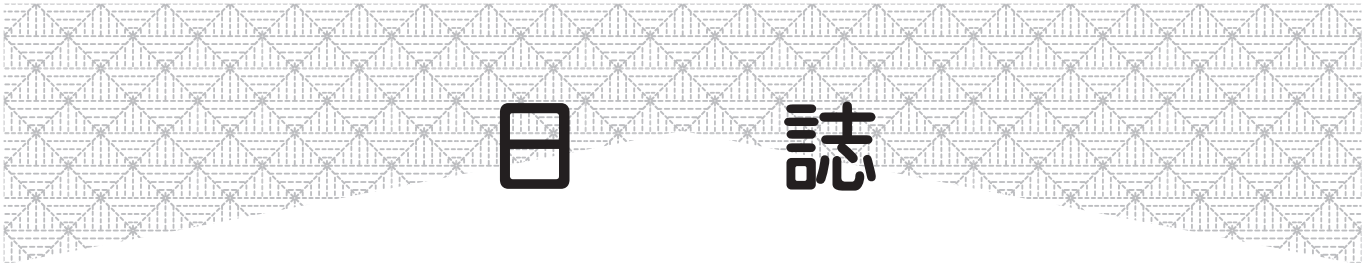
②平成23年度調査結果の報告

③平成24年度計画（案）

概要：①平成22年度までの下水汚泥コンポストの施用試験結果まとめ（平成16～22年度）について事務局から資料2により報告を行った。②平成23年度調査結果の報告では「平成23年度窒素肥効試験結果について」平成23年度の下水汚泥由来肥料等の窒素肥効試験に関する調査について事務局から資料3により説明を行った。また、「副資材の種類によるコンポスト発酵過程への影響試験結果」では平成23年度に実施した副資材の種類によるコンポスト発酵過程への影響試験結果について事務局から資料4により説明を行った。③下水汚泥由来肥料等の窒素肥効試験に関する調査（平成24年度）計画（案）を資料5により五十嵐

特別委員から説明を行った。日本土壤協会に依頼している窒素肥効試験については、肥料の種類や野菜の種類によって、野菜の窒素吸収経過が異なり、収量への影響も大きいことが認められた。来年度は主原料をA画分の多い脱水ケーキを主原料として用い、指数関数型のニンジン、ピーマン、ダイコン、シグモイド曲線型のゴボウへの効果を解明することとした。

主な意見として、1）各有機質肥料の硝化性については、各有機質肥料の窒素画分よりも硝化性（土壌に硝化性窒素を供給する速度）が、各作物収量に大きく影響しているのではと推察する。例えば、硝化性が高いとコマツナ収量は多くなるが、ダイコン等では、悪影響が出るなどの特徴がある。2）平成24年度調査計画については、窒素吸収パターンの異なる作物を対象とした施用試験は、意義があると考ええる。実際には、生育期間が長期の作物については、様々な要因により精度が悪化する可能性があるため、短期、中期の作物を中心に検討すると良い。追加提案として、中期、長期の作物の生育期間を適切に分割し、各スパンにおける硝化性を把握する手段として、コマツナの収量や硝酸含有率を利用することを検討して欲しい。各有機質肥料の窒素画分データだけでは分からない特徴を把握できる可能性がある。などの意見を参考に、予算や作業量を考慮して計画を立てることとした。



平成23年12月15日	第127回「再生と利用」編集委員会	本会中会議室
平成24年 1 月23日	第35回下水汚泥建設資材利用促進連絡会	本会第 2 ・ 第 3 会議室
平成24年 2 月 3 日	第 9 回下水汚泥エネルギー利用調査委員会	本会第 3 会議室
平成24年 2 月14日	第 3 回下水汚泥由来肥料の利用促進連絡会	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）

特 集：平成24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	講 座：「下水汚泥の緑農地利用」講座開設にあたって 文献紹介：2 編
論 説：持続性の高い再生可能エネルギーの効率的利 用社会の実現に向けて	そ の 他：会報、行事報告、次号予告、関係団体の動き

「再生と利用」編集委員会委員名簿

		(順不同・敬称略) (24.2.29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（リサイクルチーム）	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土壌環境研究領域主任研究員	川 崎 晃
委 員	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	横 山 博 司
委 員	山形市上下水道部浄化センター所長	奥 出 晃 一
委 員	横浜市環境創造局下水道計画調整部下水道事業推進課長	中 村 永 秀
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 徳
委 員	大阪市建設局下水道河川部水環境課担当係長	山 本 英 生
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	鈴 木 幸 夫

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 A 4 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に努めています。

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（誘導結合プラズマ）発光分光分析法による定量方法通則	9.10.2 ICP発光分光分析法	10.4 農薬類
6.1 要旨	9.11 銅	10.4.1 有機リン農薬（EPN, パラチオン, メチルパラチオン）
6.2 金属等の測定	9.12 フッ素	ガスクロマトグラフ法
6.3 試薬の調製	9.13 鉄	10.4.2 農薬類 ガスクロマト
6.4 前処理操作	9.14 水銀	グラフ質量分析法
7. 原子吸光法による測定時の干渉	9.15 カリウム	11. その他の試験
7.1 要旨	9.16 マグネシウム	11.1 pH
7.2 物理的干渉	9.17 マンガン	11.2 酸素消費量
7.3 分光学的干渉	9.18 モリブデン	11.3 炭素・窒素比
7.4 イオン化干渉	9.19 窒素	11.4 電気伝導率
7.5 化学的干渉	9.20 ナトリウム	11.5 植物に対する害に関する栽培試験の方法
7.6 バックグラウンド吸収	9.21 ニッケル	【参考資料】
7.7 準備操作	9.22 リン	1. 幼植物試験とは
7.8 測定操作	9.23 鉛	2. 融合コンポスト
8. ICP発光分光分析法による測定時の干渉	9.24 硫黄	付録. 原子量表
	9.25 アンチモン	巻末資料
	9.25.1 水素化合物発生	
	原子吸光法	

編集後記

本号では、昨年10月に神戸市において開催した第24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。下水汚泥等の有効利用について、非常に幅広く紹介しておりますので、じっくり読んでいただければ幸いです。きっと、本号の中に詰まった下水汚泥有効利用やバイオマス利活用を推進しようという数々の熱い思いが、同じベクトルを向いているのを感じ取っていただけたと思います。

巻頭言をご執筆いただいた岡久部長を筆頭に、国交省下水道部が、バイオマスリサイクル率向上等のために講じてきた数々の施策、それを受けての神戸市さんや民間企業によるB-DASHプロジェクトへの参画、また、農村部における嫌気性消化とその残さであるメタン発酵液の農業利用の促進など、非常に広がりのある活動が展開されています。特別講義で野池名誉教授が、説かれているように、これらの素晴らしい技術や取り組みが、少しでも震災復興に活かされることを期待したいと思います。

一方、これらの取り組みを冷めた目で見ている関係者も多いと思います。例えば、「新たに嫌気性消化等の下水汚泥有効利用を行っても、新たな設備投資が、処分料の減少等の便益を上回り、結局汚泥処理費用が増えるのではないか？」という疑問を持っておられる関係者もおられると思います。筆者も、少し前まで似たような考えを持っていたのを記憶しています。

しかしながら、今は、自信を持って、有効利用（再生と利用）は、汚泥処理コストを削減でき、温室効果ガス排出量も削減でき、財布にも地球にもやさし

い技術であると言えます。嫌気性消化を導入するだけでは、汚泥処理コストの削減が不十分なら、発生したバイオガスの高度な有効利用を検討すればよく、また、ガス発生量が少ないなら、生ごみ等を導入する混合バイオマスメタン発酵を考えればよいのです。それでも、不十分なら、より安価で耐用年数の長い嫌気性消化槽を導入し、新規設備投資を抑制すれば良いのです。実際には、簡単でないことは承知しています。最初の段階で「汚泥処理コストが増えるのでは？」と思い込んで、そこから思考を止めてしまうのではなく、各下水処理場が、満足する方策に至るまで継続して検討し続けていただきたいと思います。

国、先進的な取り組みを行っている下水道事業者、民間企業など、「再生と利用」を推進してくださる関係者は、今後も継続して、皆様方が思考を続けるのを助ける数々のツールを提供していただけると信じています。まずは、平成23年度のB-DASHプロジェクトの成果が、何らかの形で水平展開されることを期待しています。

最後になりますが、平成22年度から「再生と利用」編集委員会事務局を2年間務めさせていただきましたが、本号の編集が最後となりました。「再生と利用」をご愛読いただいている関係者各位や、執筆いただいた関係者には、この場を借りて御礼申し上げます。これからは、「再生と利用」の愛読者の一人として、引き続き下水汚泥有効利用に関わることをできればと思います。

(YO)

「社団法人日本下水道協会」は平成24年4月1日より「公益社団法人日本下水道協会」に移行しました。公益社団化にともないさらなる活動の拡充を図ってまいります。なお、本号本文中に「社団法人日本下水道協会」または「(社)日本下水道協会」となっている箇所がありますが、執筆当時の名称ですので、ご了承いただければ幸いに存じます。

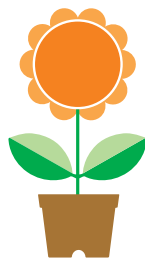
「再生と利用」

Vol. 36 No. 135 (2012)

平成24年4月15日 発行
(平成23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 (内神田すいすいビル5～8階)
TEL03-6206-0260 (代表) FAX03-6206-0265