

再生と利用

2012 Vol. 36

No. 137

主要目次

- 口絵 稚内市バイオエネルギーセンターにおける生ごみと下水汚泥の混合メタン発酵・下水道展'12神戸
- 巻頭言 下水汚泥の革新的技術の実証 野田 哲男
- 論説 下水汚泥のセメント原料化の現状と課題 貫上 佳則
- 特別寄稿 下水道施設の「マルチ・バイオマスエネルギーセンター化構想」に関する調査研究 …日本ガス協会「低炭素型都市インフラ研究会」

特集 下水汚泥の建設資材としての有効利用の取り組み

- 解説 富山県における下水汚泥溶融スラグの建設資材としての有効利用の取り組み 岡崎 光信
- 滋賀県における下水汚泥有効利用の取り組みについて 中川 嘉門
- 札幌市における下水汚泥の建設資材としての有効利用の取り組みについて 相澤 邦洋
- 神戸市における下水汚泥焼却灰の建設資材としての有効利用の取り組み 矢野 丘
- 福岡市における下水汚泥有効利用の取り組みについて 三浦 健一

- 研究紹介 バイオガスを燃料とした小型発電機の開発 山岸 和弘／姫野 修司／高橋 倫広

- Q&A 下水汚泥等の建設資材としての有効利用について …三浦 健一

- 現場からの声 横浜市における下水汚泥燃料化PFI事業の取組 …平野 哲雄

- 文献紹介 バイオチャー中の潜在的有害元素と多環式芳香族炭化水素の環境影響 川崎 晃

- 下水処理におけるメタン排出 三宅十四日

- 講座 下水汚泥の緑農地利用 ～事業の継続～ 奥出 晃一
- 地域に根ざした下水資源の有効利用 –佐賀市下水浄化センターでの下水汚泥堆肥化の事例– 岡 健太郎

- 特別報告 清瀬水再生センター汚泥ガス化炉の技術評価について 青木 知絵

- 食品廃棄物バイオガス化施設「神立資源リサイクルセンターバイオプラント」 小泉 達也

- コラム スローライフで自然に育まれる生活を再発見 小畑 仁

- 報告 再生可能エネルギーの固定価格買取制度について（下水道関係を中心に） 西迫 里恵

- 野菜類の生育収量と有機質肥料の窒素形態との関連性(その2) 古畑 哲／五十嵐孝典／小坂 谷義

- 「下水汚泥の建設資材利用サイト」の開設について 「下水汚泥建設資材利用促進連絡会」事務局

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

稚内市バイオエネルギーセンターにおける 生ごみと下水汚泥の混合メタン発酵



環境都市宣言シンボルマーク

稚内市では、生ごみや下水汚泥を微生物の発酵により減容すると共に、発生するバイオガスを回収してエネルギーとして活用するため稚内市バイオエネルギーセンターを整備しました。

この施設では、生ごみ（4,200トン/年）下水汚泥（2,100トン/年）を含む廃棄物 7,300トン/年を混合メタン発酵処理し、廃棄物1トン当たり170Nm³、年間約114万Nm³のバイオガス（メタンガス）を回収し、発電や熱利用を行うほか、廃棄物収集車両の燃料としても活用を行います。

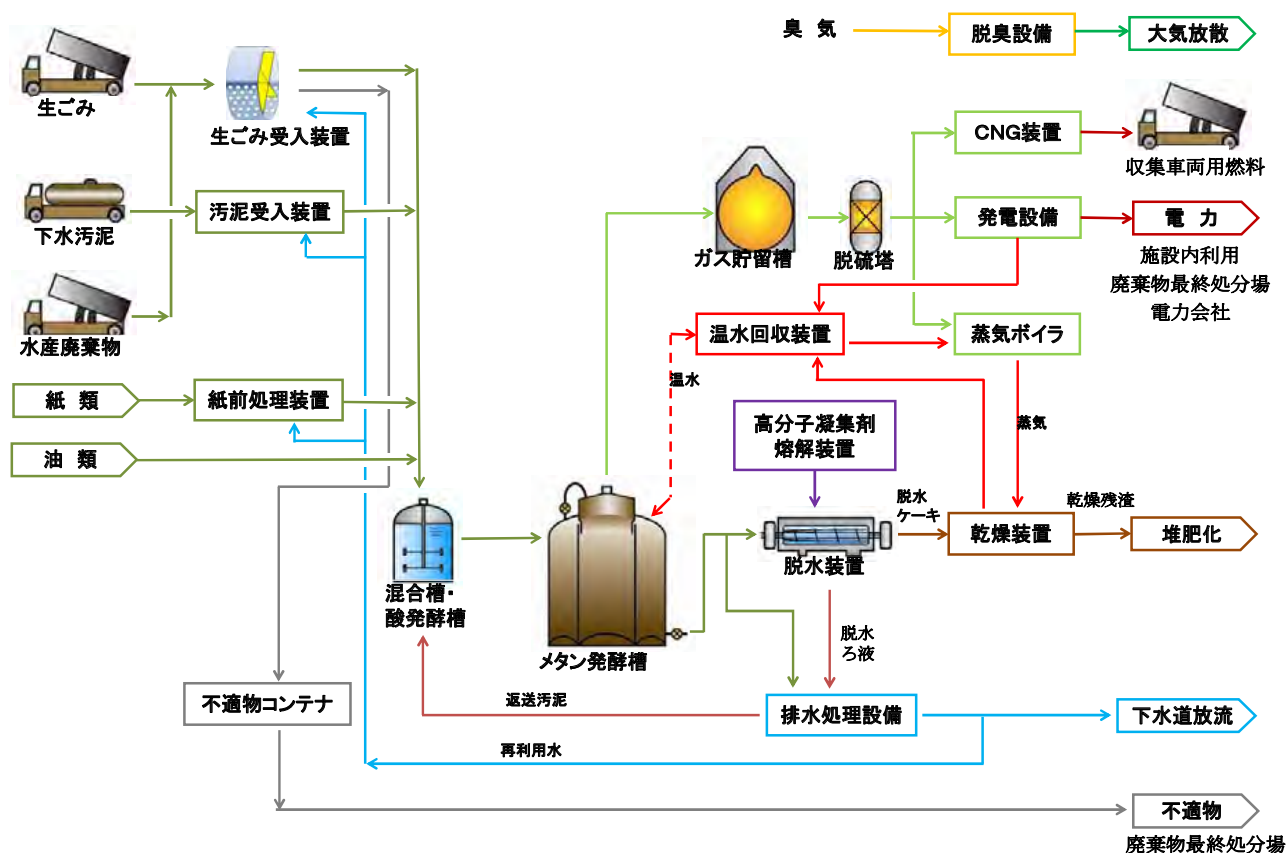
また、最終残渣の堆肥活用や処理水の再利用等による排出抑制を行うことで、一層の環境負荷低減を図ります。



稚内市バイオエネルギーセンター

バイオエネルギーセンターは、生ごみや下水汚泥をエネルギーや副生成物に変換し、肥料や燃料として地域に還元することで、循環型社会の形成に貢献します。

また、本市がこれまで取り組んできた風力、太陽光等の自然エネルギー発電に加えて、新たに廃棄物バイオマスをエネルギーとして活用することや、廃棄物処分場での埋め立て抑制、バイオガスの電力や熱、車両燃料としての活用等により、年間約6,400トンの二酸化炭素を削減することが可能であることから、本市が目指す「環境都市わっかない」の構築に大きく貢献するものと期待されています。



稚内市バイオエネルギーセンター処理フロー

下水道展
'12 神戸

下水汚泥の有効利用を 幅広くPR

2012年7月24日～27日
於：神戸国際展示場



今年度は、(公社)日本下水道協会のブースで「下水汚泥有効利用」に関するパネルなどを展示しました。写真はブースへ来場された方へお声かけをして、展示物の紹介を行っているものです。



また、(公社)日本下水道協会が作成しました「下水汚泥の有効利用」のパンフレットや「再生と利用」のバックナンバーを来場者の持ち帰り用として準備していましたが、想像以上に手にされる方が多いのが印象的でした。

◀下水汚泥有効利用の
パネルと展示物

口
絵

稚内市バイオエネルギーセンターにおける生ごみと下水汚泥の混合メタン発酵・下水道展'12神戸

巻
頭
言

下水汚泥の革新的技術の実証野田 哲男.....(5)

論
説

下水汚泥のセメント原料化の現状と課題貫上 佳則.....(6)

特
別
寄
稿

下水道施設の『マルチ・バイオマスエネルギーセンター化構想』に関する調査研究
.....日本ガス協会「低炭素型都市インフラ研究会」.....(11)

特集 下水汚泥の建設資材としての有効利用の取り組み

解
説

富山県における下水汚泥熔融スラグの建設資材としての有効利用の取り組み
.....岡崎 光信.....(17)
滋賀県における下水汚泥有効利用の取り組みについて中川 嘉門.....(22)
札幌市における下水汚泥の建設資材としての有効利用の取り組みについて ...相澤 邦洋.....(26)
神戸市における下水汚泥焼却灰の建設資材としての有効利用の取り組み矢野 丘.....(30)
福岡市における下水汚泥有効利用の取り組みについて三浦 健一.....(35)

研
究
紹
介

バイオガスを燃料とした小型発電機の開発山岸 和弘／姫野 修司／高橋 倫広.....(39)

Q
&
A

下水汚泥等の建設資材としての有効利用について三浦 健一.....(43)

現場からの声

横浜市における下水汚泥燃料化PFI事業の取組平野 哲雄.....(45)

文献紹介

バイオチャー中の潜在的有害元素と多環式芳香族炭化水素の環境影響川崎 晃.....(48)

下水処理におけるメタン排出三宅十四日.....(49)

講座

下水汚泥の緑農地利用 ～事業の継続～奥出 晃一.....(50)

地域に根ざした下水資源の有効利用 - 佐賀市下水浄化センターでの下水汚泥堆肥化の事例 -
.....岡 健太郎.....(52)

特別報告

清瀬水再生センター汚泥ガス化炉の技術評価について青木 知絵.....(56)

食品廃棄物バイオガス化施設「神立資源リサイクルセンター バイオプラント」
.....小泉 達也.....(61)

コラム

スローライフで自然に育まれる生活を再発見小畑 仁.....(65)

報告

再生可能エネルギーの固定価格買取制度について（下水道関係を中心に）西迫 里恵.....(66)

野菜類の生育収量と有機質肥料の窒素形態との関連性（その2）
.....古畑 哲／五十嵐孝典／小坂 谷義.....(69)

「下水汚泥の建設資材利用サイト」の開設について
.....「下水汚泥建設資材利用促進連絡会」事務局.....(77)

資料

おしらせ（投稿のご案内、広告掲載依頼）(81)

汚泥再資源化活動(85)

日誌・次号予告・編集委員会委員名簿(87)

編集後記(89)

巻 頭 言

下水汚泥の革新的技術の実証

長崎市上下水道局長

野 田 哲 男



下水汚泥は、人の生活に伴い必ず発生し、量・質ともに安定しており、下水処理場に集約されるため収集の必要がなく、エネルギーの需要地である都市部において発生するなどの特徴を有する利活用に適したバイオマスといわれております。

さて、長崎市の下水道の歴史ですが、明治の中頃に不衛生な生活環境に置かれていた長屋等からコレラによる死者が続出したことに端を発しており、当時の県と市が、明治20年頃に防疫対策として政府の補助を受け、眼鏡橋で有名な中島川沿いを中心に大々的に溝の改修工事を行ったのが長崎市の下水道の始まりとされております。

その後、長崎市は昭和20年に原爆の惨禍を経験し、戦後の復興事業が国際文化都市建設事業に引き継がれ、土地地区画整理事業、幹線道路整備、公園整備などの市域の整備進捗に併せて、昭和27年に下水道事業に着手し、昭和36年の中部下水処理場の完成に伴い、市内中心部の供用開始を皮切りに、区域の拡大を行うとともに5箇所の処理場を建設するなど、事業を積極的に推進してまいりました。更に、平成の大合併により、平成17年及び平成18年に周辺7町（香焼・伊王島・高島・野母崎・外海・三和・琴海）との合併を経て、現在は14処理区となっており、5処理場と6浄化センターの11処理施設で処理を行っております。

また、平成16年4月には下水道事業に地方公営企業法を全面適用するとともに水道局との組織統合を行うなど事業の効率化を図り、平成23年度末現在における人口普及率は90.9%に達しております。

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

このような中、国土交通省において、新技術の研究開発及び実用化を加速することにより、下水道事業におけるコスト縮減や再生可能エネルギー創出を実現し、併せて、本邦企業による水ビジネスの海外展開を支援するために実施した、下水道革新的技術実証事業、いわゆるB-DASHプロジェクトに、三菱長崎機工株式会社を代表者として、長崎総合科学大学、長崎市との産・学・官連携による共同研究体に、ナガサキ・グリーンニューディールを推進する長崎県がアドバイザーとして参画し、まさにオール長崎として応募し、「温室効果ガスを排出しない次世代型固形燃料化技術」が採択されたことは大変喜ばしいことと思っております。

この革新的技術の原理は、高性能の連続式熱反応器を用いて、下水汚泥中の汚物や余剰汚泥等を消化しやすいカルボン酸類に加水分解させた後、高速で消化ガスに転換させて消滅させ、本来、燃料としてそのまま利用できる、紙類等の難分解性有機物のみを残存させて固形燃料化する技術です。

また、革新的技術の最大の特徴としては、下水汚泥から転換した消化ガスのみで「固形燃料」と「余剰消化ガス」を製造するため、温室効果ガスの排出・吸収の収支がエネルギー生成側、すなわち温室効果ガスが吸収される側となることです。さらに、製造された「固形燃料」は、既にこの時点でも田畑に施肥することができる「有機肥料」にもなっております。

今後は、この実証で得られた技術、課題をもとに、下水汚泥の有効活用の拡大、下水汚泥発生量の縮減、下水汚泥処分費の削減、維持管理費の抑制などの効果が期待されるところであり、この技術が、国内はもとより海外からも認められ、長崎から世界に向けて広まって欲しいと思っております。

論 説

下水汚泥のセメント原料化の 現状と課題

大阪市立大学大学院 工学研究科 都市系専攻 教授 貫 上 佳 則

キーワード：セメント原料化、重金属、放射性物質

1. 下水汚泥有効利用の現状

1993年に公布された環境基本法や、2000年に公布された循環型社会形成推進基本法および資源有効利用促進法に基づき、資源循環の推進と天然資源消費の抑制、ならびに環境負荷の低減が強く求められ、下水汚泥に含まれる資源や、下水汚泥から生み出すことのできる再生可能エネルギーの有効利用が進められている。ここでは、下水汚泥中の無機分をセメント原料として有効活用する技術の現状と課題について述べてみたい。

はじめに、下水汚泥の発生量と、有効利用量もしくは最終処分量、および下水汚泥のリサイクル率の経年変化を図-1に示す。下水道普及率が上昇するにつれて発生汚泥量も増加し、2008年度では全国で年間約230万トン（乾重）もの下水汚泥が発生している。25年前には、発生した汚泥の約83%が埋立処分されてきたが、1980年代に下水汚泥中の無機分を焼成レンガや透水性ブロック、陶管などの建設材料として有効利用する取り組みが建設省（当時）で検討され、その後モデル事業の実施によってこれらの利用が促進された。その結果、1990年頃から下水汚泥の建設資材としての利用が徐々に普及し、セメント原料化以外の建設資材利用量は2008年度で発生汚泥量（乾重）の約24%にまで増加している。

一方、下水汚泥のセメント原料化の割合は1990年代

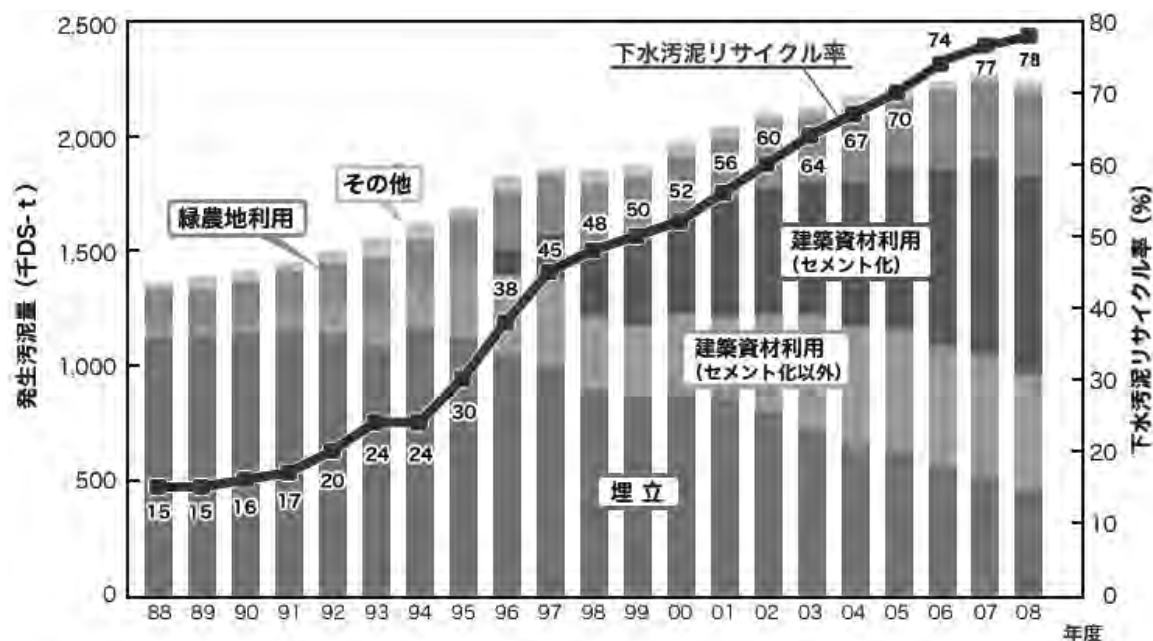
後半から増加し始め、2008年には下水汚泥発生量全体の約40%を占めるほどにまで普及している。その結果、下水汚泥の埋立処分の割合は発生量の20%程度まで減少しており、下水汚泥の有効利用量の約半分はセメント原料化によることとなって、現状では下水汚泥の有効利用の中心的な役割を担っていると言える。

2. セメント工業を取り巻く現状

2.1 セメント生産の特徴

一方、下水汚泥の有効利用先であるセメント業界では、経営改善と国際競争力の強化のため、種々の廃棄物や副産物が原料や燃料として利用されている。

セメントを製造するためには、まず本来の原料である石灰石や硅石、粘土、酸化鉄原料などを粉砕して混合し、これらをロータリーキルンを用いて酸化雰囲気¹⁾で1400℃以上の高温で数時間焼成してクリンカを製造する。このクリンカを破碎・粉砕し、凝結性をコントロールするための石膏をブレンドすることで通常のセメント製品が生産されている。セメントを形成する主要な元素は、カルシウム、シリカ、鉄、およびアルミニウムの4元素であり、これらが焼成工程を経ることで、クリンカにはエーライト（ $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ 、 C_3S と略称される）、ビーライト（ $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ 、 C_2S と略称される）、アルミネート相（ $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 C_3A と略称される）、およびフェライト相（ $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 C_4AF と略称される）の4つの主要な結晶構造物が形



図－１ 下水汚泥の発生量、有効利用量、最終処分量、およびリサイクル率の経年変化

(出典：日本下水道協会 Web、<http://www.jswa.jp/data-room/data.html#article3>)

成される。これらの4つの結晶構造物の割合と石膏の添加量を調整することで性質の異なるセメントが製造されており、具体的には、水硬率、ケイ酸率、鉄率、活動係数、および石灰飽和度と呼ばれる指標によって、原料中の主要4元素と硫黄との配合割合が調整されている。そのため、これら5種類の指標値が適正であれば、主要4元素を含む廃棄物や副産物を用いてセメントを製造することが可能となる。すなわち、下水汚泥を用いても上記の5つの配合割合に合致するように、本来の原料である石灰石や珪石、粘土、酸化鉄原料などがブレンドされることで下水汚泥がセメントの原料として有効活用される。

また、焼成工程では1400℃以上の高温が必要となるため、木くず(木質系廃棄物)や廃プラスチック、廃油、廃タイヤなどの熱源となる廃棄物や副産物も有効利用されている。そのため、下水汚泥焼却灰ではなく、乾燥汚泥やカンブン(脱水汚泥と生石灰との混合物)などのように有機物を含む状態で下水汚泥が有効利用される場合は、下水汚泥中のこれらの成分が燃料源として計算されている。

2.2 セメント生産量と、廃棄物・副産物の使用量

図－2に、2006年～2010年の国内におけるセメント生産量と、セメント業界で受け入れた廃棄物や副産物の使用量、および製造されたセメント1トンあたりの廃棄物・副産物使用原単位の経年変化を示す。2006年から2010年にかけて、国内のセメント生産量は約24%も減少したが、セメント1トンあたりに使用され

た廃棄物・副産物の量は423kgから469kgに増加しており、結果として年間約2500万トンもの廃棄物・副産物が原燃料として有効利用されていることがわかる。

これらの有効利用されている廃棄物・副産物の内訳は表－1に示すとおりであり、多くの種類で膨大な量の廃棄物・副産物が有効活用されていて、セメント業界はさながら優秀な廃棄物処理業界と言っても過言ではない。下水汚泥は有姿の状態であれば表－1の中の「汚泥、スラッジ」、焼却灰であれば「燃えがら、ばいじん、ダスト」に分類されているとみられ、両者の有効利用量は合計378万トン/年にも及ぶ。もちろんこの中には、浄水汚泥や都市ごみ焼却灰などもふくまれており、下水汚泥だけでは約260万トン湿重/年(乾重では約90万トン/年)と「汚泥、スラッジ」と「燃えがら、ばいじん、ダスト」の合計値の約70%を占めることがわかる。このように、循環型社会の形成に貢献する上で、セメント業界の方でも下水汚泥は貴重な資源として位置づけられていると言えよう。

一方で、下水汚泥中に含まれている微量成分のうち、セメントの原料として好ましくない成分は、リンと塩素、ナトリウムとカリウム等のアルカリ元素、および重金属であると認識されている。特にリンはセメントの凝結反応の遅延材として働き、セメント中の含有量が0.5%以上となるとコンクリートの強度低下を招くことが知られている。また塩素は含有量が高くなると鉄筋等の腐食を引き起こすことから、JISでは普通ポルトランドセメント中の塩素の含有量を0.02%以下と定めている。下水汚泥の場合は、汚泥処理過程

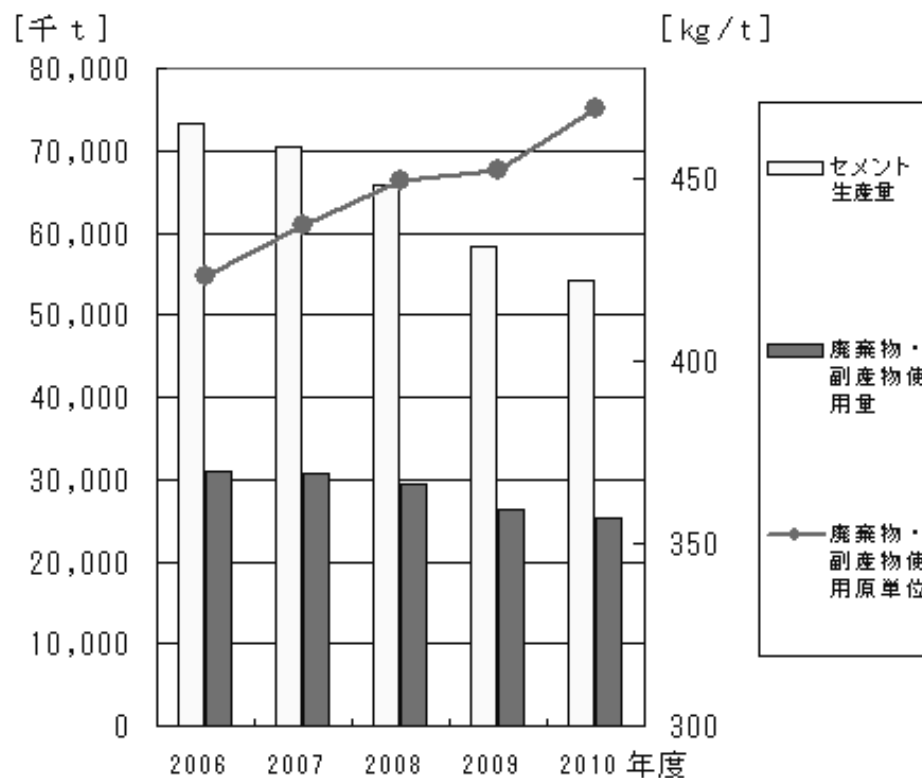


図-2 セメント生産量と廃棄物・副産物使用量、
および廃棄物・副産物使用原単位の経年変化

(出典：セメント協会 Web、<http://www.jcassoc.or.jp/cement/1jpn/jg2a.html>)

表-1 セメント業界における廃棄物・副産物使用量の内訳

(単位：千トン)

種 類	主な用途	2006 年度	2007 年度	2008 年度	2009 年度	2010 年度
高炉スラグ	原料、混合材	9,711	9,304	8,734	7,647	7,345
石炭灰	原料、混合材	6,995	7,256	7,149	6,789	6,443
汚泥、スラッジ	原料	2,965	3,175	3,038	2,621	2,514
副産石こう	原料(添加材)	2,787	2,636	2,461	2,090	1,974
建設発生土	原料	2,589	2,643	2,779	2,194	1,931
燃えがら(石炭灰は除く)、 ばいじん、ダスト	原料、熱エネルギー	982	1,173	1,225	1,124	1,261
非鉄鉱滓等	原料	1,098	1,028	863	817	654
木くず	原料、熱エネルギー	372	319	405	505	564
鑄物砂	原料	650	610	559	429	478
廃プラスチック	熱エネルギー	365	408	427	440	413
製鋼スラグ	原料	633	549	480	348	400
廃油	熱エネルギー	225	200	220	192	269
廃白土	原料、熱エネルギー	213	200	225	204	236
再生油	熱エネルギー	249	279	188	204	195
廃タイヤ	原料、熱エネルギー	163	148	128	103	87
肉骨粉	原料、熱エネルギー	74	71	59	65	61
ボタ	原料、熱エネルギー	203	155	0	0	0
その他	-	615	565	527	518	591
合計	-	30,890	30,720	29,467	26,291	25,415
セメント1t当たりの使用量(kg/t)		423	436	448	451	469

(出典：セメント協会 Web、<http://www.jcassoc.or.jp/cement/1jpn/jg2a.html>)

で塩化鉄などの鉄系凝集剤が用いられていたり、流入下水に海水が一部混入する場合以外は塩素の基準値はクリアできると見られるが、污水处理系でリン除去の高度処理が進められることによって下水汚泥中のリン含有量が高くなると、セメント原料としての下水汚泥の受入量が制限される可能性がある。下水汚泥のセメント原料化を進めて資源の有効利用と最終処分場の延命化を図るためにも、下水汚泥からより多くのリンを回収することが求められている。

以上の点から、セメント業界では今後より一層の資源活用が進められると想定され、成分の安定している下水汚泥はセメント業界にとっても魅力的な原料であると言える。そのため、上述の5種類の配合割合指標を満足する限り、今後も下水汚泥のセメント原料化は進められると予想される。

図-3に国内のセメント工場の分布図を示す。2012年3月現在、全国30カ所にセメント工場が立地しており、クリンカ製造能力は合計約5480万トン/年にのぼる。一般的には、セメントの原料のうち石灰石が約7割を占めることから、昔から石灰石の鉱山の近くにセメント工場が立地されてきた。そのため、北九州や山口県に規模の大きいセメント工場が立地しており、九州と山口県のセメント工場のクリンカ製造能力の合計

は全国の約45%を占めている。他は、比較的規模の小さいセメント工場がそれぞれの地域における石灰石の鉱山の近くに偏在していることから、セメント工場が下水処理場から離れていると下水汚泥の輸送が問題となる。つまり、下水処理場からセメント工場までの運搬コストと輸送に伴うCO₂排出量がセメント原料化を進める上での障害となる。従って、下水汚泥のセメント原料化は、セメント工場から一定の距離内に配置されている下水処理場に限られることになるが、この条件に合致する下水処理場では、是非セメント原料化をすすめるべきである。

セメント工場数は、1999年と比較すれば13カ所、クリンカ製造能力で4080万トン/年も大きく減少している。これは昨今のセメント需要の減少に伴い、生産量調整のための構造改革が行われた結果である。諸外国と比較すると、我が国の国民1人あたりのセメント消費量は最低レベルであると言われており、現状のセメント生産量がさらに減少するとは考えにくい。今後、セメントの需要が伸びればセメント原料として受け入れられる下水汚泥の量は増え、セメント業界はますます下水汚泥の優秀な有効利用受け入れ先になると考えられる。

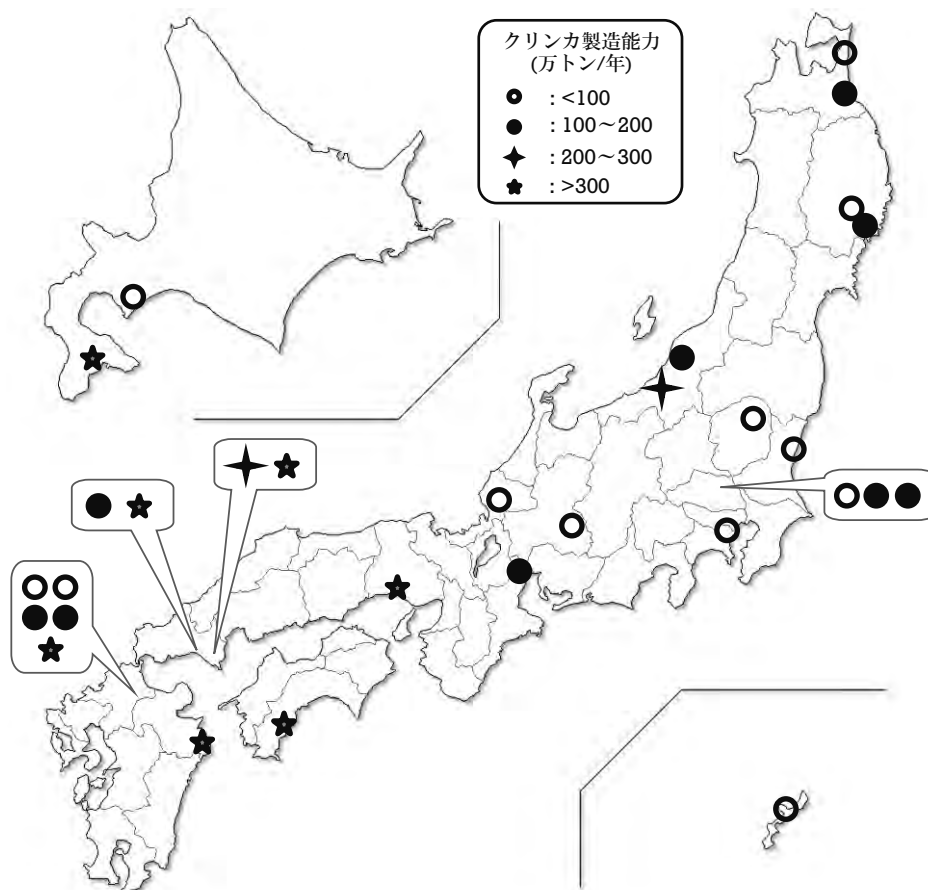


図-3 国内のセメント工場の分布

3. 下水汚泥や都市ごみ焼却灰のセメント原料化における有害物質の挙動

このように、セメント原料として廃棄物や副産物を用いた場合に懸念されることは、これらの中に不純物として含まれる可能性がある重金属類やダイオキシン類などの有害物質がセメントへ混入することである。

一般的に、重金属類は塩化物になると沸点が下がり揮発しやすくなる。重金属のこの特性を生かして、セメント工場では原料中の重金属を塩化物に変え、1400～1500℃もの高温の焼成温度でこれら重金属を揮発させ、回収している。こうすることで、セメント原料中の重金属濃度を低減するとともに、回収した重金属類を非鉄金属精錬業に払い下げる、金属資源の有効活用が図られている。

ただ、クロムだけは揮発させることが困難で、焼成後のクリンカに残留しやすい。また、セメントの焼成は酸化雰囲気で行われるため、廃棄物や副産物中に3価クロムで含まれていたとしても、焼成段階で有害な6価クロムに変化してしまうことになる。一般的に、6価クロムに変化すると水溶性が高くなってセメントを使用する際に移動しやすくなる。そのため、セメント協会では、1998年にセメント中の水溶性6価クロム含有量に関するガイドラインと試験方法を定め、工場におけるセメント中の水溶性6価クロムの管理方法を自主的に定めている。また建設省(当時)は、セメント及びセメント系固化材を地盤改良材として用いたり、これらによる改良土を再利用する所管の工事に関しては、事前に6価クロム溶出試験を実施し、土壤環境基準を勘案して必要な措置を講じるように2000年に通達を出している。現状では、原料中のクロム量の制御や、耐熱レンガ(クロムレンガ)の代替物の開発等により、6価クロム低溶出性固化材も開発されている。

さらに、廃棄物・副産物には微量ながらダイオキシン類などの有害な有機物が含まれている可能性があるが、セメント焼成段階の高温雰囲気(1400～1500℃)で完全に酸化分解される。このように、セメント原料として下水汚泥を含む各種の廃棄物や副産物が有効利用される際に懸念される有害物質対策についても、必要な対策がすでに講じられている。

4. 下水汚泥セメント化における今後の課題

ただ、昨年3月に発生した東日本大震災による原発事故で環境中に放出されたセシウムなどの放射性核

種が雨水によって洗い流され、下水道に流入した結果、下水汚泥から40万ベクレル/kgを超えるセシウムが検出されている。このように、一部の下水汚泥にはセシウムが高濃度に濃縮され、セメント工場での下水汚泥の有効利用が一時的に停止された。

下水汚泥に限らず、8000ベクレル/kg以上の放射性核種を含む廃棄物やがれき類、土壌は、政府が定めた処分方法に従って、仮置き・保管後、施設に遮へいするか管理型最終処分場に埋立処分されることになる。一方、8000ベクレル/kg以下の下水汚泥や焼却灰についてはセシウムを含まない通常の汚泥とともに処理することが可能であるが、下水汚泥を用いたりサイクル製品としてクリアランスレベル(100ベクレル/kg)以下であればリサイクルが可能であるとの判断基準を国土交通省が示している。これを受けて、セシウムが検出されない下水汚泥については、一部のセメント工場で受け入れが再開されている。

このように、セシウムが検出されない下水汚泥についてはセメント原料化処理が行われていくことになり、従来通りの望ましい下水汚泥有効利用システムに戻りつつある。しかし、高濃度のセシウムを含む下水汚泥については、多くが下水処理場内に仮置きされているに過ぎず、下水処理の復旧と下水道事業の大きな阻害因子となっていることから、下水汚泥に限らず、高濃度のセシウムを含む廃棄物やがれき類、土壌のすみやかな処理が進むことを祈念している。

5. 最後に

これまで述べてきたように、下水汚泥のみならず、カルシウムやシリカなどを含む廃棄物や副産物の有効利用にとってセメント原料化は格好の技術であると言える。また、これからの下水処理は単に下水や汚泥の「処理」だけにとどまらず、再生可能エネルギー基地としての役割も担い、積極的に社会にPRすべきである。すなわち、下水だけにとどまらず、浄化槽汚泥や農村集落排水処理施設汚泥、生ごみや剪定枝、有機性産業廃棄物など、都心部で発生する各種バイオマスを取り込んで、メタン発酵等でより多くの再生可能エネルギーを創出し、消化汚泥は炭化による燃料化もしくはセメント原料化によって下水汚泥中の無機成分の有効活用をできる限り進め、エネルギー創出、資源の有効活用とともにゼロエミッション(埋立廃棄物ゼロ)も目指すべきである。今後の下水道分野の発展に大いに期待する。

特 別 寄 稿

下水道施設の『マルチ・バイオマスエネルギーセンター化構想』に関する調査研究

一般社団法人 日本ガス協会
「低炭素型都市インフラ研究会」

キーワード：バイオ、エネルギーセンター、下水処理場、混合消化、都市ガス、混焼

下水処理場のマルチ・バイオマスエネルギーセンター化構想

都市部には、生ごみなどの多様なバイオマスが多く賦存しているが、現在その多くは清掃工場で焼却処分されている。大都市の清掃工場では焼却廃熱によってごみ発電が行われているもののその発電効率は全国平均で11%程度であり、ごみのエネルギーを十分に利用している状況とは言えない。下水処理場には、こうした廃棄物系のバイオマスを処理・利用することができる消化槽や焼却炉が整備されており、これら既存の都

市インフラを活用し一体処理すれば、地域としてのエネルギー効率向上、コストダウンに寄与することが出来ると考えた。また、バイオガスエネルギーを下水処理場の外部へ供給すれば、下水道が地域の多様なバイオマスを受け入れ、且つそのエネルギーを供給する拠点となることを意味する「マルチ・バイオマスエネルギーセンター」に変貌することになる。図1にマルチ・バイオマスエネルギーセンター構想の概念図を示した。下水処理場において、下水汚泥に加えて地域で発生する生ごみ、木質系の廃棄物等を混合処理することで、消化ガスの利用量を増やすことが出来るとともに、所内の電力や燃料の使用量削減が期待できる。

バイオマス利用ポテンシャルの推計

マルチ・バイオマスエネルギーセンターで混合処理した場合の、ポテンシャルとしてのバイオマス利用可能量を推計した。

○「利用可能量」:

賦存量から既に利用されているバイオマスを除いた量。具体的には、焼却処分や埋め立て処分、海洋投棄等で処理されている未利用のバイオマスが対象となる。

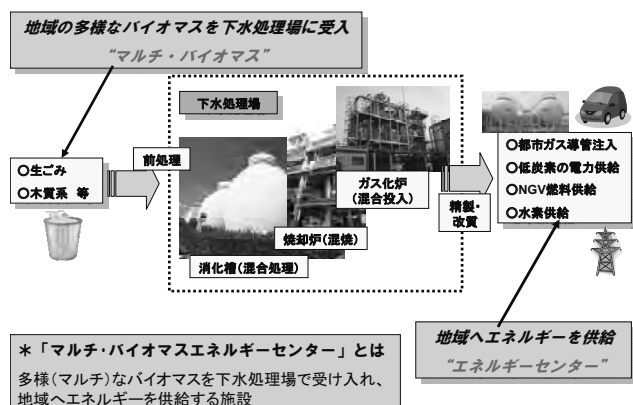


図1 マルチ・バイオマスエネルギーセンターの概念図

(1) 全国のバイオガス利用量

全国のバイオガス利用可能量の合計は発熱量換算で161,279 TJ、メタン換算で40.6億 m^3 であった。全国の一般ガス事業者の都市ガス販売量はメタン換算で376億 m^3 なので、全国ベースでは都市ガス販売量の1割程度のバイオマス利用ポテンシャルがあることになる。バイオマス種ごとの全国の利用可能量を図2に示す。家庭からの食品系廃棄物や事業所からの一般廃棄物系食品廃棄物の量が多いことが分かる。

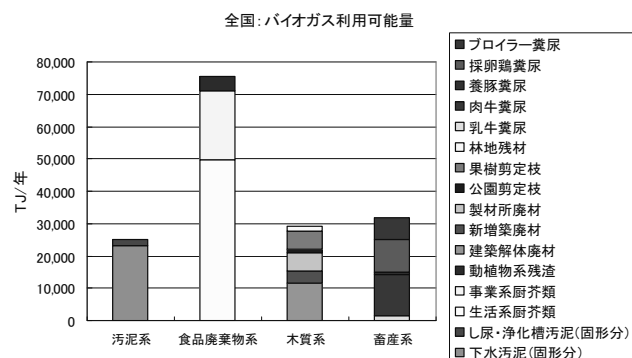


図2 全国のバイオガス利用可能量

(2) 自治体ごとのバイオガス利用量

主要政令市ごとのバイオマス利用可能量を図3に示す。全国値と比べて大都市では、下水汚泥、食品廃棄物、建設廃棄物の利用可能量が多いというのが特徴である。これらは、「都市型バイオマス」という名称で呼ばれることもあるバイオマス種である。

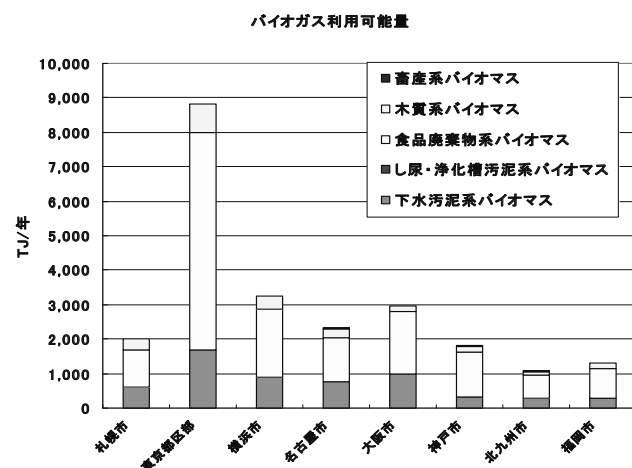


図3 自治体ごとのバイオガス利用可能量

モデル処理場の開発

本研究会において具体的な事業化プランを検討していく上で、その土台となるモデル処理場を開発した。

○対象モデル：

消化槽の加温用燃料などに影響すると考えられる外気温の違いを考慮して、北海道全域（寒冷モデル）、本州大都市モデル、九州全域（温暖モデル）の3モデルに全国モデルを加えた4モデルとする。

○モデル処理場の規模：

政令都市規模の処理場を想定して、晴天時日最大処理水量を20万 m^3 とする。

○モデル処理フロー：

「消化あり」「消化なし」に分け、それぞれを単純化することで、汚泥処理の流れとエネルギーの収支を分かりやすく把握できるようにした。

モデル処理場について、分解率、消化日数、消化温度、エネルギーバランス、水質等に関する指標を整理した。図4には、モデルごとの消化に関する指標を示す。寒冷地である北海道モデルは加温燃料を多く使用し、本州大都市モデルでは消化温度が高く消化日数が短いなどという、モデル別の特色が見られた。事業プランの検討では、このような地域ごとのモデル別の特色にあわせた、最適な技術を組み合わせることが望まれる。

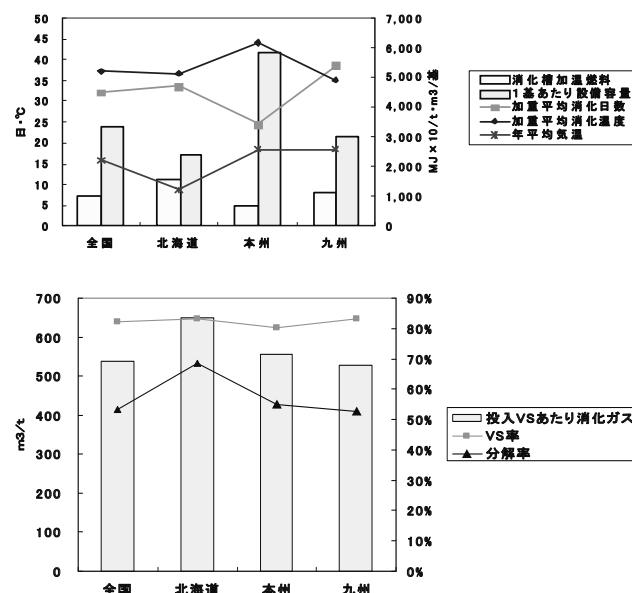
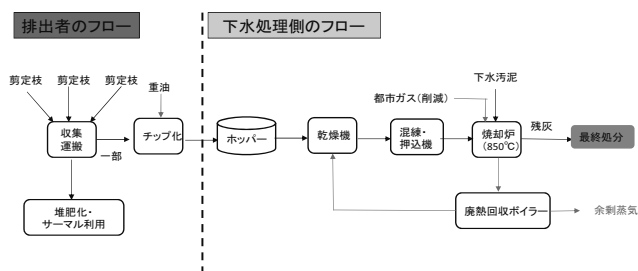


図4 各モデルの消化に関する指標

マルチ・バイオマスの利用モデルフロー

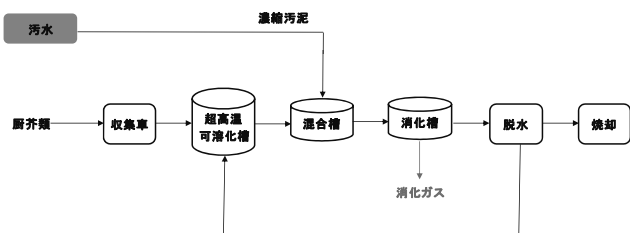
「地域別モデル処理場」において、3種の具体的なマルチ・バイオマスエネルギーセンターのシミュレーションを行い、それによる効果や課題を明らかにした。

(1) 剪定枝の污泥焼却炉での混焼 (図5)



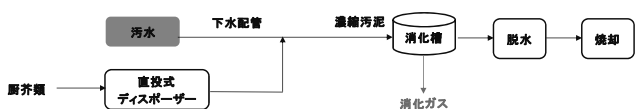
- これまで一般廃棄物の焼却処理施設などで処理されていた剪定枝の一部を下水処理場向けにチップ化し、污泥焼却炉の燃料として利用することによって污泥焼却炉の補助燃料(都市ガスや石油等)を削減する。
- 剪定枝の伐採～収集運搬～チップ化までのフローは剪定枝の排出者が行い、下水処理場はチップ化されたものを燃料(有価物)として購入する。

(2) 収集車回収による生ごみ混合消化 (図6)



- 家庭から分別排出された生ごみを収集車で回収し、下水処理場において濃縮汚泥と混合し、超高温可溶化槽で前処理・可溶化される。
- 生ごみの混合と下水汚泥の可溶化によって、消化ガスの増収及び脱水污泥の発生量が削減される。
- 超高温可溶化槽は、滞留日数が1日と短いため、脱水污泥の発生量の1/2を菌床として返送する。
- 一日一人あたりの収集車回収量は先行事例の実績より55 gとする。

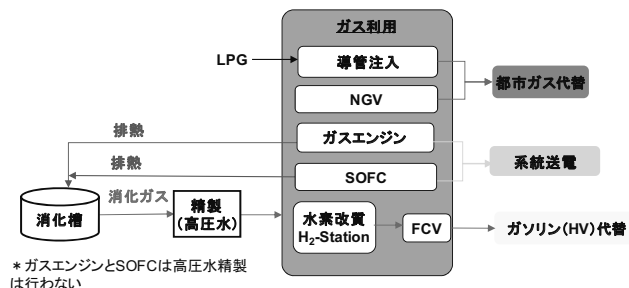
(3) ディスポーザーによる生ごみ混合消化 (図7)



- 直投式ディスポーザーによって、家庭から効率的に生ごみを回収～混合消化する。

- 生ごみ投入による消化ガスの増収が期待できる。
- 一日一人あたりのディスポーザー回収量は先行調査より104 gとする。

(4) ガス利用フロー (図8)



* ガスエンジンとSOFCは高圧水精製は行わない

- 消化ガスは、「都市ガス代替(中圧管注入)」「都市ガス代替(NGV)」「発電(ガスエンジン)」「発電(SOFC)」「水素改質・FCV利用」として利用する5パターンを検討する。
- 消化ガスは、ガスエンジンとSOFC利用を除き、高圧水吸収法により精製する。

エネルギー収支比較

ベースラインフローとプロジェクトフローのエネルギー収支を比較することで、プロジェクトによる一次エネルギー削減量を計算した。

(1) 剪定枝の污泥焼却炉での混焼

投入エネルギーから回収エネルギーを引いた正味のエネルギー消費の差が、プロジェクトによる一次エネルギー削減となるが、図9に示す全国モデルの場合で、11,680 GJの一次エネルギー削減となった。なお、ここでは、外部供給が可能な廃熱回収量をエネルギー回収量として定義した。

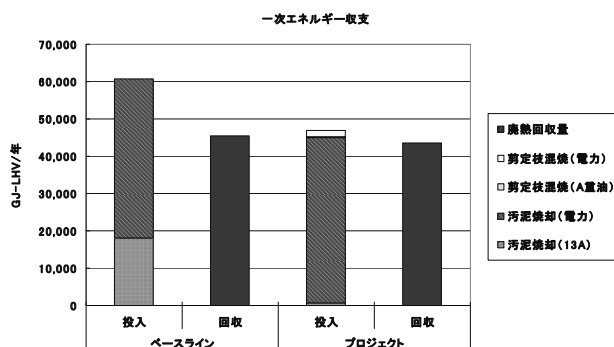


図9 剪定枝混焼プロジェクト 一次エネルギー収支 (全国モデル)

(2) 生ごみ混合消化

ベースラインとプロジェクトの2ケースにつき、消化ガス発生量と汚泥処理量を整理した。収集車回収－超高温可溶化は、汚泥自体も可溶化され分解率が高まるため、生ごみ回収量のより多いディスポーザーと同等の消化ガス発生量となる。更に、可溶化によって脱水汚泥が減量され、脱水汚泥発生量は減少する。消化ガス等発生量を表1、表2に示す。

表1 消化ガス発生量と汚泥処理量
(収集車回収－超高温可溶化)

		全国	北海道	本州	九州
生ごみ投入量	t/年	6,661	6,894	5,931	6,853
対象人口(生ごみ)	人	334,503	346,198	297,818	344,146
普及率		100%	100%	100%	100%
対濃縮汚泥	%-wet	1.5%	0.9%	1.6%	1.9%
TS増加割合	%-TS	15.8%	8.5%	15.3%	17.7%
VS増加割合	%-VS	16.7%	8.9%	16.6%	18.6%
消化ガス増収量	m3/年	1,788,979	832,793	1,474,342	1,795,364
ガス増収割合		31.5%	6.2%	28.0%	34.7%
分解率(ベースライン)		53.2%	68.4%	55.0%	52.7%
分解率(超高温可溶化)		67.6%	68.4%	67.6%	67.8%
脱水汚泥増加量	t/年	-4,267	1,212	-3,084	-3,324
脱水汚泥増加割合		-11.3%	2.3%	-8.9%	-9.4%
消化汚泥増加量	t/年	37,460	60,393	35,087	36,155
消化汚泥増加割合		8.8%	7.8%	9.6%	10.0%

表2 消化ガス発生量と汚泥処理量
(ディスポーザー)

		全国	北海道	本州	九州
生ごみ投入量	t/年	12,698	13,142	11,305	13,064
対象人口	人	334,503	346,198	297,818	344,146
普及率		100%	100%	100%	100%
対濃縮汚泥	%-wet	2.9%	1.7%	3.1%	3.6%
TS増加割合	%-TS	30.1%	16.2%	29.1%	33.7%
VS増加割合	%-VS	31.9%	17.0%	31.6%	35.4%
消化ガス増収量	m3/年	1,969,115	1,587,510	1,682,210	2,011,228
ガス増収割合		34.7%	11.9%	31.9%	38.9%
分解率(ベースライン)		53.2%	68.4%	55.0%	52.7%
分解率(ディスポーザー)		61.8%	68.4%	61.8%	62.2%
脱水汚泥増加量	t/年	4,566	8,123	4,903	4,743
脱水汚泥増加割合		12.1%	15.1%	14.2%	13.4%
消化汚泥増加量	t/年	126,732	125,975	104,909	120,567
消化汚泥増加割合		29.8%	16.2%	28.8%	33.4%

図10と図11に、収集車回収とディスポーザー回収による生ごみ混合消化の一次エネルギー収支を示す。収集車回収－超高温可溶化による生ごみ混合消化は、前処理を行う可溶化槽においてエネルギー負荷は増加するが、可溶化によって分解率が高まることで、消化ガスが増収するとともに脱水汚泥処理量が削減されるため、トータルでのエネルギー収支の改善が期待できる。

ディスポーザーによる生ごみ混合消化は、処理場における生ごみの前処理が不要であり、また、生ごみの収集には下水道管を活用して行うため、効率的にでき

る混合処理であるといえる。

ガス利用別では、排熱が消化槽の加温に利用できるGEやSOFCによる発電利用のエネルギー供給量が多い。

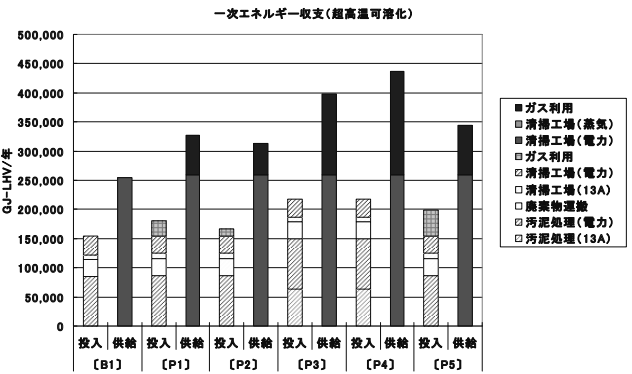


図10 収集車回収プロジェクト 一次エネルギー収支
(全国モデル：普及率＝100%)

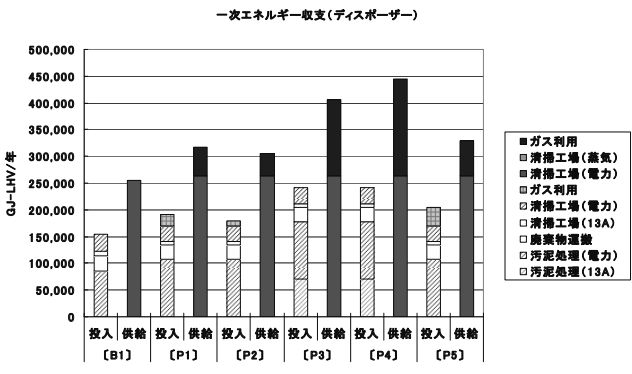


図11 ディスポーザー回収 一次エネルギー収支
(全国モデル：普及率＝100%)

[B1] = ベースライン [P1] = 導管注入
[P2] = NGV [P3] = GE 発電
[P4] = SOFC 発電 [P5] = FCV

* 図10及び図11は、各回収システムに100%置き換わった場合のエネルギー収支であって、過渡期には両者が混在するシステムになると考えられる

CO2収支比較

ベースラインとプロジェクトのCO2収支比較を行った。

(1) 剪定枝の汚泥焼却炉での混焼

剪定枝混焼によって、35%程度のCO2排出量が削減できる。異物の混入が少ない剪定枝が確保できれば

ば、環境効果の高い混合処理技術であるといえる。図12に、剪定枝混合焼却のCO₂収支を示す。

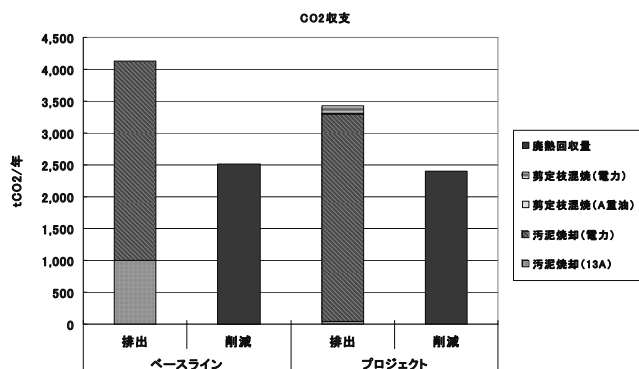


図12 剪定枝混焼プロジェクト CO₂収支
(全国モデル)

(2) 生ごみ混合消化

図13と図14に、収集車回収とディスポーザー回収による生ごみ混合消化のCO₂収支を示す。生ごみ混合による汚泥処理負荷は増加するが、消化ガスの増加などによって、全体としては大幅なCO₂排出削減が期待できる。

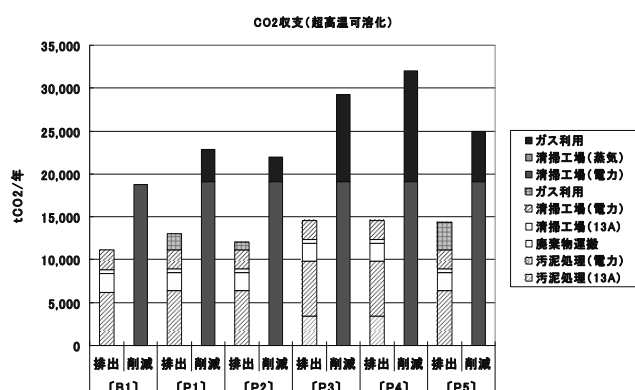


図13 収集車回収生ごみ混合消化CO₂収支
(全国モデル：普及率100%)

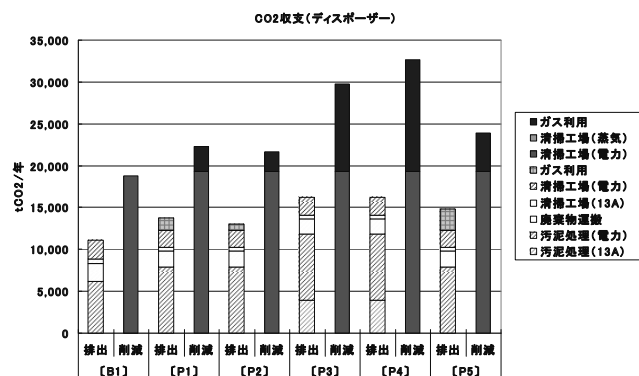


図14 ディスポーザー回収生ごみ混合消化CO₂収支
(全国モデル：普及率100%)

コスト収支比較

ベースラインとプロジェクトのコスト収支比較を行った。

(1) 剪定枝の汚泥焼却炉での混焼

剪定枝混焼は、全体のコスト収支がイーブンとなる剪定枝の受入単価を設定した。収支イーブンとなる剪定枝の受入単価は、4,135円/tである。残灰処分や処理場内の受入設備のコスト増加額は、補助燃料の使用削減によるコストの減少額の範囲内に納まる。図15に剪定枝混合焼却のコスト収支を示す。

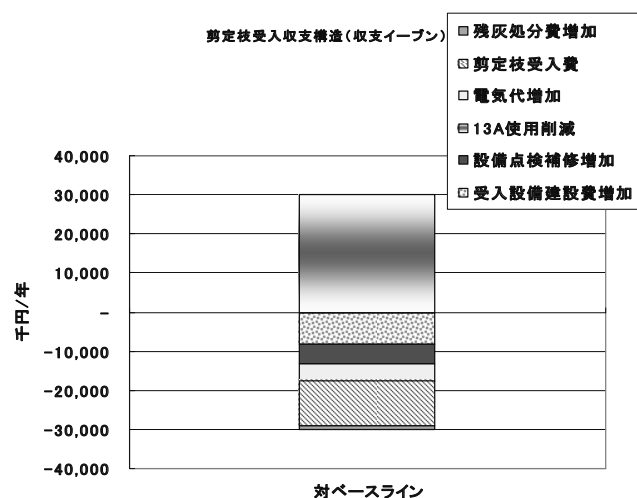


図15 剪定枝混焼プロジェクト コスト収支
(全国モデル)

(2) 生ごみ混合消化

収集車回収では、生ごみの分別や可溶化槽で混合処理する際のハンドリングに人件費がかかり、経済性ではGE発電利用を除き、ベースラインより悪化するという結果となった。

「ディスポーザー」は、生ごみの破碎処理を家庭で負担してもらい、運搬コストも不要であることから、経済性では収集車で回収する場合より良好である。

ガス利用別では、FCV向け水素利用が最も良好であった。これは、FCVの普及台数を無視して、発生する消化ガスの全量を水素に改質して売った場合のシナリオであって、FCVの普及次第ではこのような結果とならないことに注意が必要である。この、FCV向け水素利用を除けば、GEコジェネ利用が最も経済性が良い。SOFCはエネルギー効率は最も高かったが、現状ではイニシャルコストが高く経済性が合わないと言われた。

図16と図17に、収集車回収とディスポーザー回収による生ごみ混合消化のコスト収支を示す。

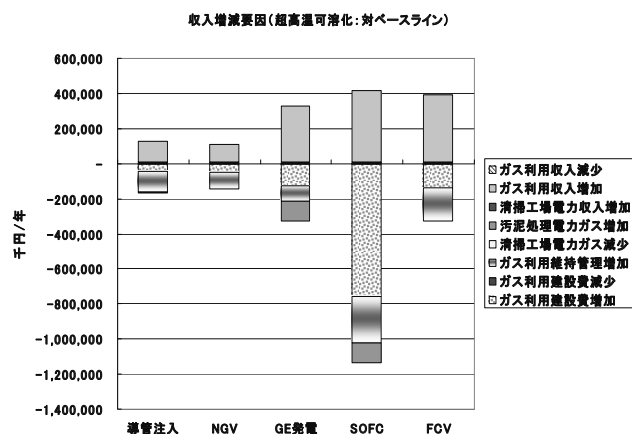


図16 収集車回収混合消化コスト収支
(全国モデル:普及率=100%)

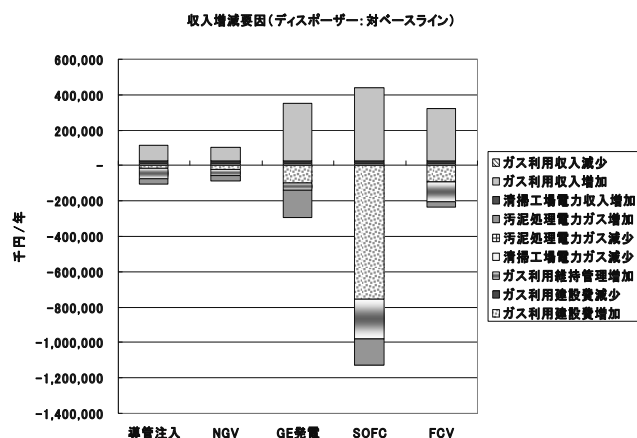


図17 ディスポーザー回収混合消化コスト収支
(全国モデル:普及率=100%)

全国への波及効果・経済効果

他のバイオマスを下処理場で受け入れるためには、既存設備の容量や水質等への影響を考慮する必要がある。本検討では、地域別モデルの指標に基づきこれらの影響を分析したが、混合処理による既存設備や水質等への影響は軽微であることが判明している。

こうした混合処理の取組みが、全国に波及した場合のポテンシャル等を分析した。全国の汚泥焼却炉において、剪定枝を脱水汚泥の湿重量比で5%混焼させると、助燃料が13A換算で3,700万m³削減され、それによって50,000トンのCO₂が削減されるという試算結果となった。削減される13Aの量は、10万世帯の使用量に相当する。なお、24万トンの剪定枝は、一般廃棄物として処理されている木質系ごみの7%に相当する量である。

生ごみの混合消化は、全国で排出される一般廃棄物系厨芥類の6~11%程度に相当する生ごみの受入能力があり、それによって消化ガス発生量が9,000万m³増加するという試算結果となった。増加した消化ガス量でガスエンジン発電を行うと、発電容量で14万kW、年間発電量で858,000MWhに達する。

また、このような混合処理の仕組みを、国の成長戦略の側面から捉えることもできる。中でも普及の裾野が広いディスポーザーは、全国1,500万戸に設置された場合、直接投資額が8,350億円、GDPの押し上げ効果は9,040億円、92,000人の新規雇用効果があるとされている。

混合処理の課題

混合処理を普及していく上での最大の課題は分別の徹底である。剪定枝の混合焼却は、既に東京都下水道局で実施されているが、異物の混入による焼却炉へのクリンカの問題が指摘されている。収集車による混合消化も既に一部の自治体で実施されているが、卵の殻などの分別に、多くの手間とコストをかけている。ディスポーザーについては、大都市での普及率の高い米国のへの視察結果から、FOG (FATS OILS GREASE) による管渠閉塞の問題があることが判明している。分別の徹底と生活者の利便性は場合によっては相反するため、生活者の利便性を損なわず、受容性の高い収集システムを如何に確立するかが、混合処理普及の最大の課題である。

まとめ

混合処理は、エネルギー効率、CO₂削減ともに優れた効果が期待でき、コスト面でも条件次第では優位となる可能性があることがわかった。

このようなマルチ・バイオマスエネルギーセンター化構想は、多様な地域のバイオマスを活用することでバイオガスの増量、低炭素電力の供給といった効果に加え、これに将来は都市ガスを組み合わせることで、一層の供給安定化や震災時におけるエネルギーセキュリティの向上(電源二重化による安定供給)というメリットを期待することもできる。また、地域社会の活性化や経済効果も大きく、我が国の成長戦略という観点からも意義のある構想といえる。このようなメリットへの社会的な理解と評価、国と地域の連携による政策誘導・支援策が必要であり、これまで以上に関係者一同のご理解を期待するところである。

特集：下水汚泥の建設資材としての有効利用の取り組み

解 説

富山県における 下水汚泥溶融スラグの建設資材 としての有効利用の取り組み

富山県 土木部 都市計画課

下水道班長 岡 崎 光 信

キーワード：溶融スラグ、減量化

1. はじめに

富山県は豊かな緑と清冽な水を誇りとしており、万葉の歌人大伴家持も、ここ越の国の自然の美しさを絶賛し多くの歌に残している。

しかし、本県においても、都市化の進展や生活様式の高度化にともない、工場排水や生活雑排水等による水質汚濁が進み、公共用水域の保全が必要となっている。また、下水道整備に対する県民の要望は高く、快適で文化的な生活を送るための下水道の整備促進が望まれているところである。

全国に先駆けて策定した「全県域下水道化構想」（平成2年度）は21世紀の幕開けにふさわしい「全県域下水道化新世紀構想」（平成13年度）に衣替えし、県と市町村が一体となり積極的に下水道整備を進めてきた。平成14年度には全国平均65%に達し、平成22年度末には93.8%と全国第8位となり、これまでの取り組みに一定の成果が現れたところである。

今後は、厳しい財政事情と人口減少社会の到来や、老朽化する施設の増大等が進んでいくとされており、これらの社会情勢に対応して、より効率的で経済的な

下水道整備が求められているところである。

このため本県では、市町村とともに平成21年度から構想の見直し作業を行い、本年、市町村の実態に合わせた整備手法の検討・富山県新総合計画との整合・将来を見据えた処理場の統廃合を念頭に置いた「富山県全県域下水道化構想2012」を策定したところであ

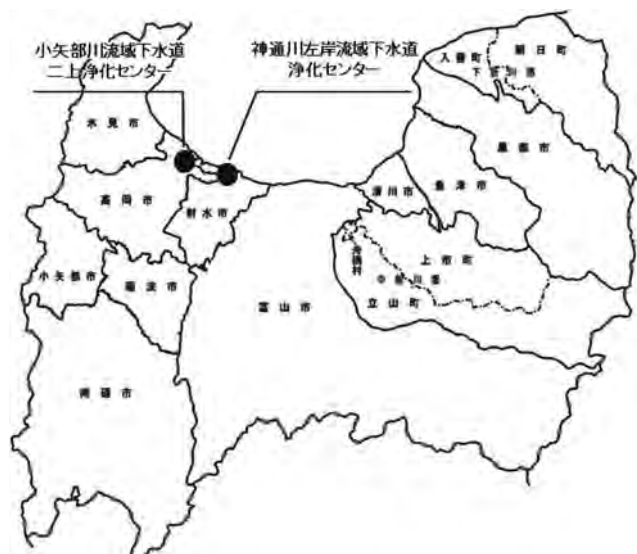


図1 富山県内 位置図

り、市町村と力を合わせ構想の実現を目指していきたいと考えている。

2. 下水道事業の概要

本県の下水道事業は、高岡市が昭和24年で最も古く、平成22年度末までに全ての市町村（10市4町1村）で実施しており、平成10年度より実施率は実質100%となっている。

主として市街地を整備する公共下水道事業は、平成22年度末までに全ての市町村で実施している。また、農山漁村や観光地等を整備する特定環境保全公共下水道事業は、平成22年度末までに10市4町で実施している。

一方、県では昭和46年度から小矢部川流域、神通川流域、白岩川流域について流域別下水道整備総合計画調査を実施し、この結果を受けて、昭和56年度から小矢部川流域下水道事業に、平成3年度から神通川左岸流域下水道事業に着手した。

処理場の運転は、富山市の牛島処理場（平成元年度に廃止）が昭和37年で最も古く、平成23年4月1日現在で二上浄化センター等33処理場が運転している。

3. 下水汚泥溶融スラグの利用

(1) 溶融スラグの生成

下水道の普及、高度処理の実施に伴い増加する下水汚泥については、埋立処分地の確保難、リサイクル

型社会の必要性により、有効利用の拡大が望まれている。本県では、下水汚泥量の減量化と下水汚泥資材の有効利用拡大を目的として、昭和63年、全国に先駆けて汚泥を溶融処理する方式（表面溶融式）を取り入れている。

下水汚泥の溶融システムは、汚泥減量化と併せて重金属類の安定化や下水汚泥溶融スラグ（以下「溶融スラグ」という。）の有効利用の容易さから、注目されてきた汚泥有効利用技術である。

溶融スラグは、下水汚泥を1350℃以上の高温下で融液の状態とし、冷却し固化したものであり、化学的に極めて安定しており無害である。その冷却・固化方法の違いによりスラグの物理的特性が異なり、表1のとおり分類される。本県の溶融スラグは水に浸漬させて冷却・固化する方法であり直接水冷に該当する。



写真1 汚泥溶融炉

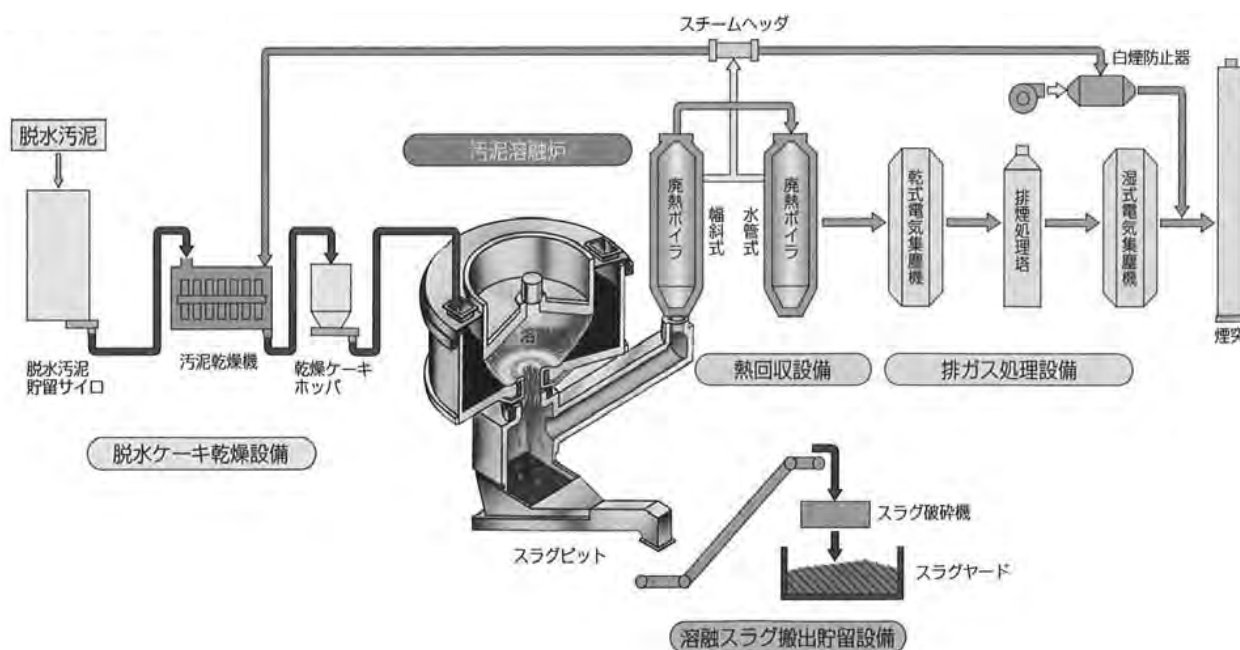


図2 溶融スラグ概略フロー図

表1 溶融スラグの種類

冷却方法(スラグ名称)	冷却内容等	特徴
急冷スラグ	直接水冷 (水砕スラグ)	水に接触または浸漬させて冷却 ガラス質で強度は小。 細砂状または砂状
	間接水冷 (水砕スラグ)	水等の冷却媒体と熱交換機を介して冷却 ガラス質で水砕スラグより 強度大。塊状
徐冷スラグ	直接空冷 (空冷スラグ)	大気中に放置して冷却 主にガラス質で一般に急冷スラグより強度大。碎石状
	保冷 (保冷スラグ)	保温装置等を用いて温度制御または放熱量を抑制して冷却 一部結晶質で強度は大。 岩石状、碎石状
	再加熱(結晶化スラグ)	冷却したスラグを再加熱 結晶質で強度大。

本県には小矢部川流域下水道と神通川左岸流域下水道の2つの流域下水道処理場があり、それぞれ溶融炉を備えている。流域下水道の流入下水量は年々増加傾向にあり、平成22年度の流入下水量は2つの処理場合わせて4,300万 m^3 弱となっている。一方、溶融スラグの生成量についても流入下水量に合わせ年々増加傾向にある中、平成22年度からは県内1市3処理場の脱水汚泥を受け入れ(小矢部川流域下水汚泥処理事業)溶融スラグ化しており、平成22年度の生成量は1,253tとなっている。

(2) 溶融スラグの建設資材としての利用状況

生成した溶融スラグは、昭和63年の稼働開始以降、インターロッキングブロック等の原材料やコンクリー

ト二次製品の粗骨材、また下水道工事の埋戻し材として有効利用している。

本県では、循環型社会の形成を促進するため、廃棄物を利用して製造されるリサイクル製品や、廃棄物の減量化・リサイクル等に積極的に取り組む店舗及び事業所を認定する「富山県リサイクル認定制度」を平成14年から実施しており、現在、溶融スラグを利用した富山県認定リサイクル製品は、①エコ平板、②インターロッキングブロック、③エコユニホールの3種あり、年間40～100tの溶融スラグがその材料に使用されている。

また、県と流域関連市からなる「溶融スラグ有効利用推進連絡会」を設置し、溶融スラグの計画的な利用について調整している。

①エコ平板

- ・溶融スラグはコンクリート平板のモルタル部分に60%の割合で配合
- ・素材(廃材)のもつ色を利用して、モザイク模様の芸術的で味わいのあるデザインとなっている

②インターロッキングブロック

- ・溶融スラグは製品に60%の割合で配合
- ・強度、すり減り抵抗性に優れている
- ・カラーは全20色あり、周辺環境に調和した色彩をもたせたブロックとなっている

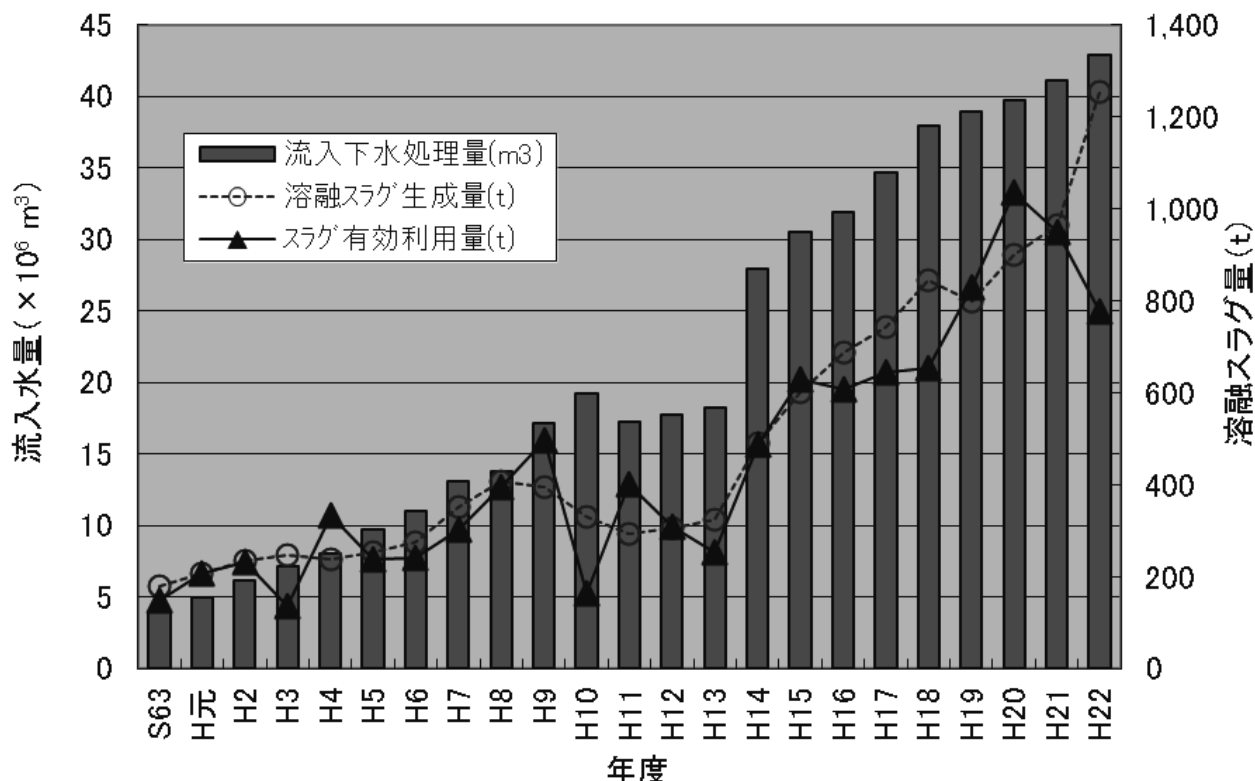


図3 溶融スラグ量の推移

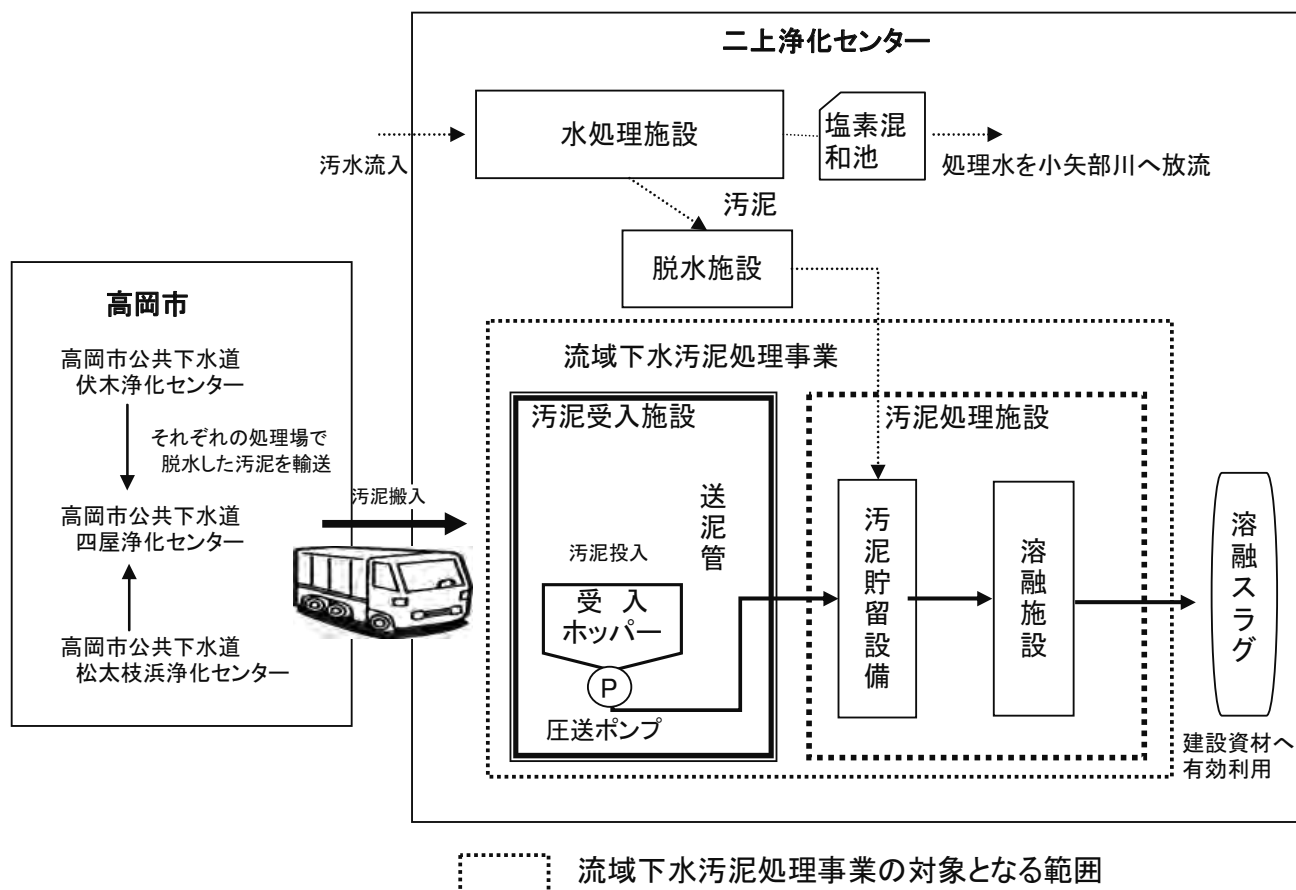


図4 小矢部川流域下水汚泥処理事業のイメージ図

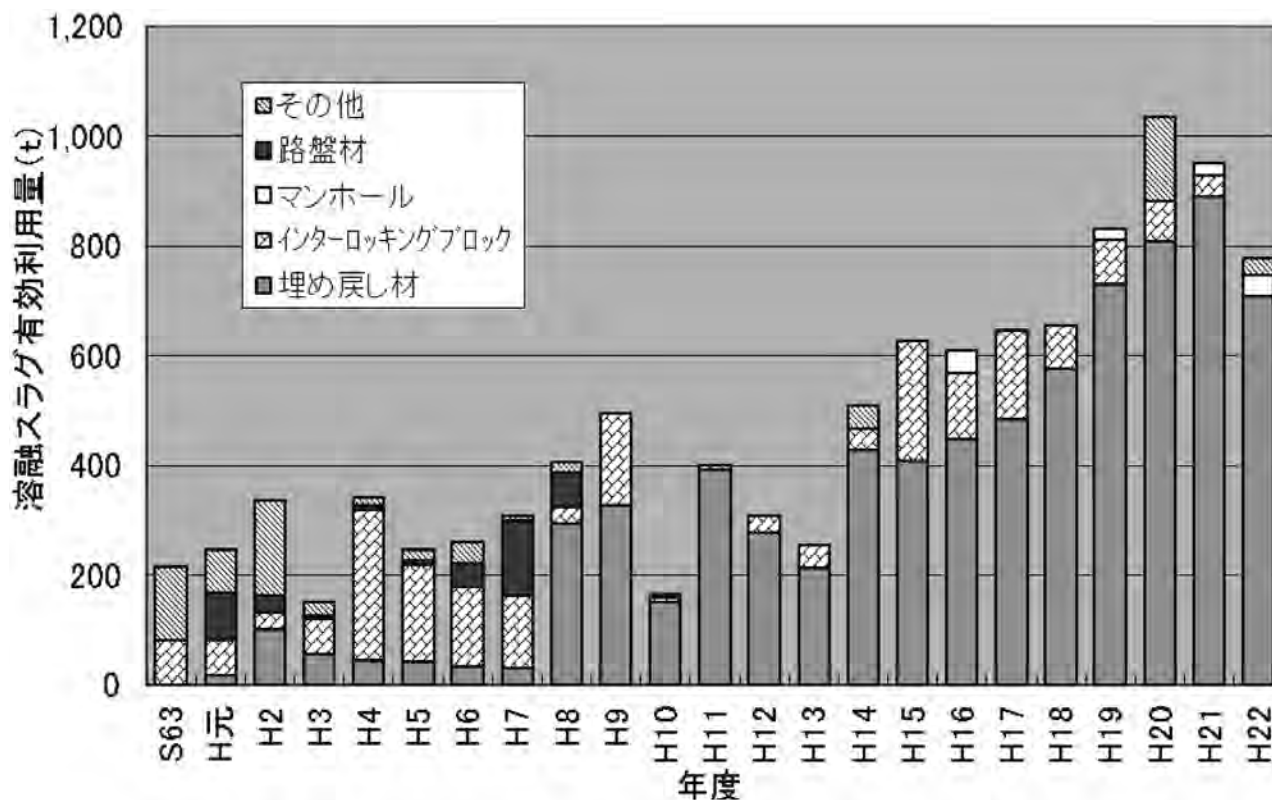


図5 溶融スラグ有効利用量の推移

③エコユニホール

- ・溶融スラグは製品に3%の割合で配合
- ・0号から2号までのマンホール種類がある

しかしながら、近年の公共工事の減少に伴い、インターロッキングブロックへの利用は平成22年度には0tとなった。また、順調に利用量を伸ばしてきた下水道工事の埋戻し材としての利用も、近年の汚水処理人口普及率の向上に伴い、平成21年度以降は減少傾向となっている。

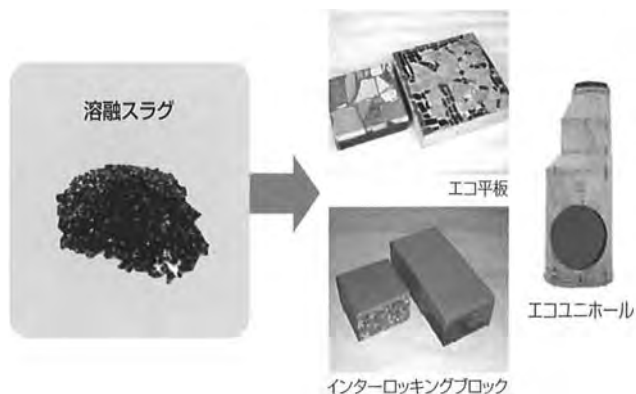


写真2 溶融スラグを有効利用した
コンクリート二次製品

4. おわりに

流域下水道神通川左岸浄化センターでは、今年度から新たに稼働する溶融炉もあり、溶融スラグの生成量も今後増加していくと予想されることから、溶融スラグ並びに下水汚泥の新たな有効利用について検討していく予定としている。

一点目として、下水に含まれるリンの有効利用である。我が国はリン鉱石を全量外国から輸入しているが、近年そのリン鉱石の枯渇が危惧されており、輸入価格も高騰している。このため、下水に含まれるリン資源の重要性が高まってきていることもあり、今後、下水に含まれるリンの有効利用・再資源化について検討していきたいと考えている。

二点目として、近年の地球温暖化防止や再生可能エネルギーの重要性の高まりから、下水汚泥の燃料化にも取り組んでいきたいと考えている。下水汚泥から得られる燃料化物は、カーボンニュートラルな製品であり、石炭代替で利用することで、化石燃料由来の二酸化炭素排出量を大幅に削減することができ、地球温暖化防止・廃棄物の有効利用につながるものと考えている。

特集：下水汚泥の建設資材としての有効利用の取り組み

解 説

滋賀県における下水汚泥
有効利用の取り組みについて

滋賀県 琵琶湖環境部 下水道課

施設管理・建設担当 副参事 中 川 嘉 門

キーワード：下水汚泥、汚泥利用、汚泥燃料化

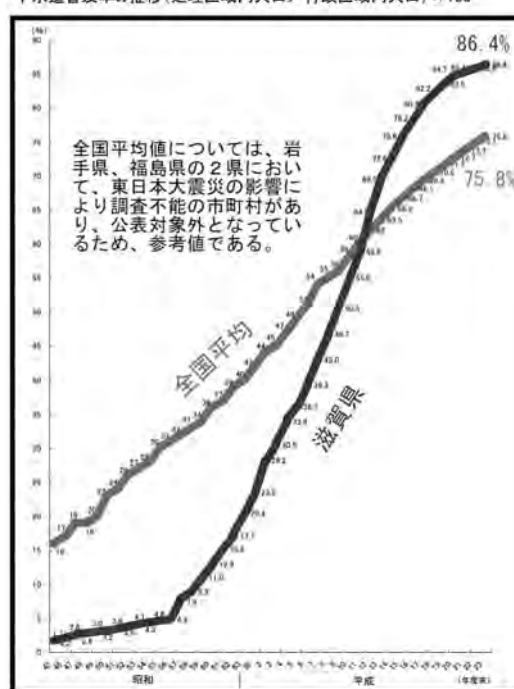
本県が取り組んでいる琵琶湖流域下水道は4つの処理区からなり、昭和47年度の事業着手以来、住環境の改善と日本を代表する湖沼琵琶湖の水質保全を目標と

し、関連公共下水道13市6町と下水道整備に取り組んだ結果、昨年度末の下水道人口普及率は86%と全国的にも上位の普及率を誇る整備状況に至っている。

琵琶湖流域下水道の区域

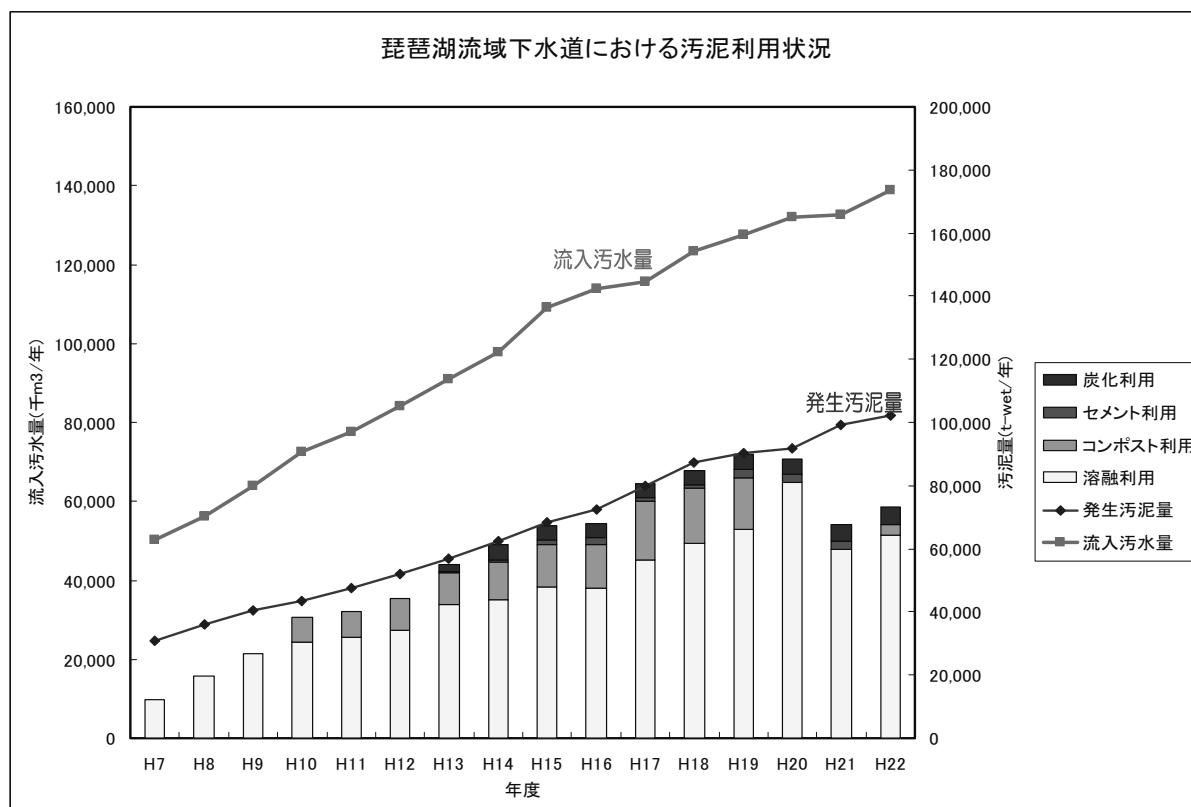


下水道普及率の推移(処理区域内人口/行政区域内人口)×100



琵琶湖流域下水道の概要

	湖南中部処理区	湖西処理区	東北部処理区	高島処理区
計画処理面積	28,430ha	3,492ha	13,994ha	2,501ha
現有処理人口	795千人	122千人	345千人	46千人
計画処理水量	487千 m^3 /日	67.5千 m^3 /日	206千 m^3 /日	29.4千 m^3 /日
現有処理能力	269千 m^3 /日	52.5千 m^3 /日	121千 m^3 /日	16.4千 m^3 /日
現処理水量	243千 m^3 /日	42千 m^3 /日	91千 m^3 /日	12千 m^3 /日



昭和57年に湖南中部処理区の供用を開始して以降、昭和59年に湖西処理区、平成3年に東北部処理区、平成9年に高島処理区と相次いで供用を開始し、関連公共下水道の面整備推進と相まって、下水道普及率は飛躍的に向上した。と同時に4処理区の浄化センターより発生する汚泥量は流入水量の増加に伴い増加の一途をたどり、その処理に苦慮したことは全国的な状況と同様であった。

汚泥処理方式としては、供用開始当初は処理業者に脱水ケーキで引き取ってもらえていたが、汚泥量の増加に伴いその限界を迎え、昭和62年度より焼却しての処分、また平成2年度からは溶融に取り組み、現時点では溶融スラグの建設資材としての利用が中心となっている。

溶融スラグの有効利用方法としては、コンクリートや碎石の材料となる骨材資源が枯渇してきた社会情

勢もあり、骨材代替品としての利活用に取り組んだ。

本県では資源環境の輪の構築に向け、県内で発生する循環資源を利用する商品を「ビワクルエコシップ(滋賀県リサイクル製品認定制度)」に認定し、資源のリサイクル率向上に努めている。下水道の溶融スラグについても、リサイクル品のひとつとしてコンクリート骨材の代替え利用をメーカーにアピールして歩車道境界ブロックなどのコンクリート製品に使ってもらい、またその商品を公共事業において積極利用することで、溶融スラグの利用を促進してきた。





溶融スラグ



スラグ入りコンクリートブロック

また下水道工事は道路を掘削して管を埋設することが多く、掘削した部分の舗装復旧には碎石が必要となる。本県では平成6年より公共工事で発生するコンクリート殻等を中間処分場で再生碎石にリサイクルし、また公共工事ではこの再生碎石を利用してきた。この再生碎石に溶融スラグを混入できれば溶融スラグの使い道が広がることから、スラグ混入碎石の性能を調査した。

再生碎石に溶融スラグを混入するにあたっては、溶融スラグの性状が問題となる。下水道には工場排水が含まれ、これに由来する金属類がスラグから溶出する可能性が心配されたが、これは試験により溶出、含有量ともに問題ないことが確認できた。また粒度分布が均一に近いことについても、再生碎石に混入する際の混入率を調整することで問題とならないことも確認

できた。ところが溶融スラグは力が加わると鋭敏な部分が割れ、細粒化してしまうことから、輪荷重が繰り返し掛かる路盤材への利用が懸念され、民間事業者と協働で実証実験を行った。

実証実験としては、流域下水道の管渠工事で設置する迂回路の路盤に様々な配合のスラグ混入碎石を用い、現実の輪荷重が掛かった状態での挙動を調査した。これにより下層路盤であれば混入率30%までであれば十分に規格を満足することが確認できた。また市場性としてもスラグ混入によるデメリットは無く、通常の再生碎石とほぼ同額で販売できる目処は立った。しかし浄化センターからのスラグ供給量が年間6,000 t程度と多くないことや、浄化センターの立地場所の関係から汎用的に流通する商品には至らず、下水道の路面復旧工事で発注時に指定して使用することとしている。

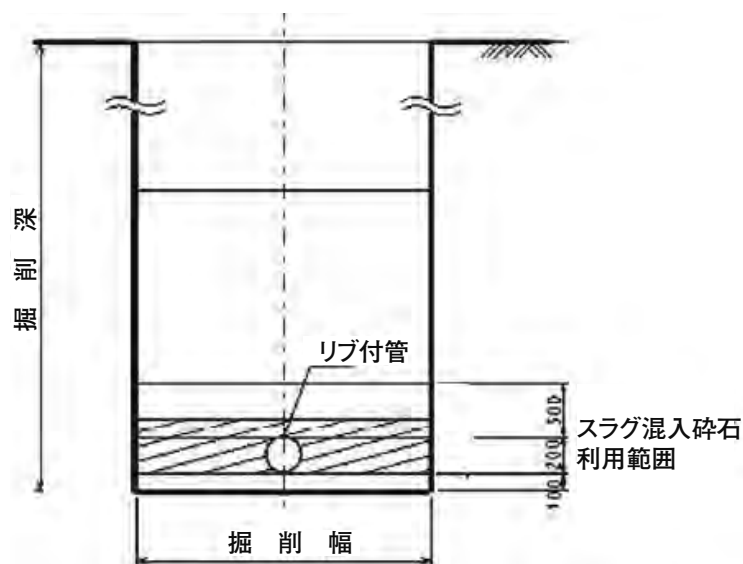
実証実験状況



また下水道の開削工事においては塩ビ管の管周りに防護砂を敷き均すが、この砂が液状化を起こして地震時には下水道管が浮き上がることが報告されている。本県ではこの塩ビ管をリブ付塩ビ管に置き換え、管周りに前述のスラグ混入碎石を用いることで、溶融スラグの有効利用と下水道管の被災防止を図ることとした。

塩ビ管（JSWAS K-7）は荷重による管のたわみへ

の反力が発生することを前提とした材料であり、管周辺にスラグ等の大きな礫を用いることは出来ない。一方液状化対策が期待できるリブ付塩ビ管はリブにより大きな礫が管に直接接しないことから、液状化対策として碎石による埋め戻しが推奨されている。単純に管材料として比較すればリブ付塩ビ管の方が高価であるが、管周辺の埋め戻し材を高価な砂から安価な碎石とすることで経済的にこれの採用が可能となり、こ



の碎石に熔融スラグを混入することでスラグ利用の促進も図れることとなる。

ところが焼却溶融はその過程で膨大なエネルギーを使わざるを得ず、温室効果ガスの排出という観点では否定的にならざるを得ない。下水汚泥は浄化センターから半永久的に発生するものであり、長期的な視点に立って今後の汚泥処理方法を考えていかなければならない。そこで平成20年に学識経験者による「琵琶湖流域下水道汚泥処理方式検討委員会」を設け、効率的で環境負荷の少ない汚泥処理方式への転換を図ることとした。

汚泥を焼却あるいは溶融する施設はいずれも寿命が長くはなく、10～15年程度で更新していかなければならない。県内の浄化センターの中で更新時期にあったのが湖南中部と湖西の浄化センターの汚泥処

理施設で、どちらも焼却溶融施設が寿命を迎える状況であった。この委員会では現実的に滋賀県の立地条件で処理できる方式であることを念頭に、両浄化センターでの汚泥処理について検討していただいた。

この中で、湖南中部浄化センターの施設については差し迫った更新時期の問題もあり、焼却方式が提言され、これを受け入れての焼却施設がD B (Design、Build) 方式により現在建設中である。

また湖西浄化センターについては、ここ数年の技術的な進歩を評価して燃料化方式が提言された。燃料化方式は汚泥を乾燥化、あるいは炭化させ、生成された燃料化物に残るエネルギーを石炭代替燃料等とするもので、燃料焼却施設での石炭利用量削減等によりトータルの温室効果ガスの削減と省エネルギーが図れるものである。

汚泥処理方式の総合評価

項目	焼却	燃料化	焼却溶融
技術の安定性、信頼度	実績多数	実績有り	実績多数
処分の安定性、継続性	処分先有り	利用先見込める	建設資材として利用
経済性	100	97 ～ 106	175
環境性	100	-73 ～ -3	123

また大津市単独公共下水道よりの汚泥を流域下水汚泥処理事業により受け入れてスケールメリットを発揮させることとし、現在D B O (Design、Build、Operate) 方式による入札手続き中で、今年度末には業者選定を終える予定である。

さらに委員会の提言では今後予想される温室効果ガス削減対策の強化やエネルギー情勢の変化の考慮が必要とされ、さらに利用先確保の観点から関係機関との

連携を強化しての緑農地利用も課題とされている。

滋賀県では平成23年度より「低炭素社会づくりの推進に関する条例」を制定し、地球温暖化対策の推進等を目指しており、2030年の温室効果ガス排出量の1990年比での50%削減を目標としている。下水道分野においても更なる温室効果ガス削減と、資源の循環利用に取り組むたいと考えている。

特集：下水汚泥の建設資材としての有効利用の取り組み

解 説

札幌市における
下水汚泥の建設資材としての
有効利用の取り組みについて

札幌市建設局 下水道河川部 下水道計画課

事業担当課長 相 澤 邦 洋

キーワード：焼却灰、埋戻材、セメント原料

1. はじめに

札幌市における汚泥の処理・処分の歴史は、昭和42年度の創成川処理場（現在は水再生プラザ）の運転開始に始まる。当初は、脱水汚泥を農業に利用することから始まり、その後、昭和56年度には手稲前田埋立施設、昭和58年度には手稲下水汚泥焼却センター（現在は西部スラッジセンター（以下SC））、59年度には厚別下水汚泥コンポスト工場が運転を開始し、「コンポスト」、「焼却」及び「埋立」を3本柱とする汚泥処理・処分が続けられてきた。

しかしながら、埋立用地の確保の困難さや汚泥の全量有効利用を目指すこととしたことから、平成8年度以降、汚泥の埋立はほとんど行わず、コンポストによる緑農地利用と焼却灰の埋戻材等への利用により、ほぼ全量を有効利用し現在に至っている。

2. 札幌市における汚泥処理・処分、有効利用の現状

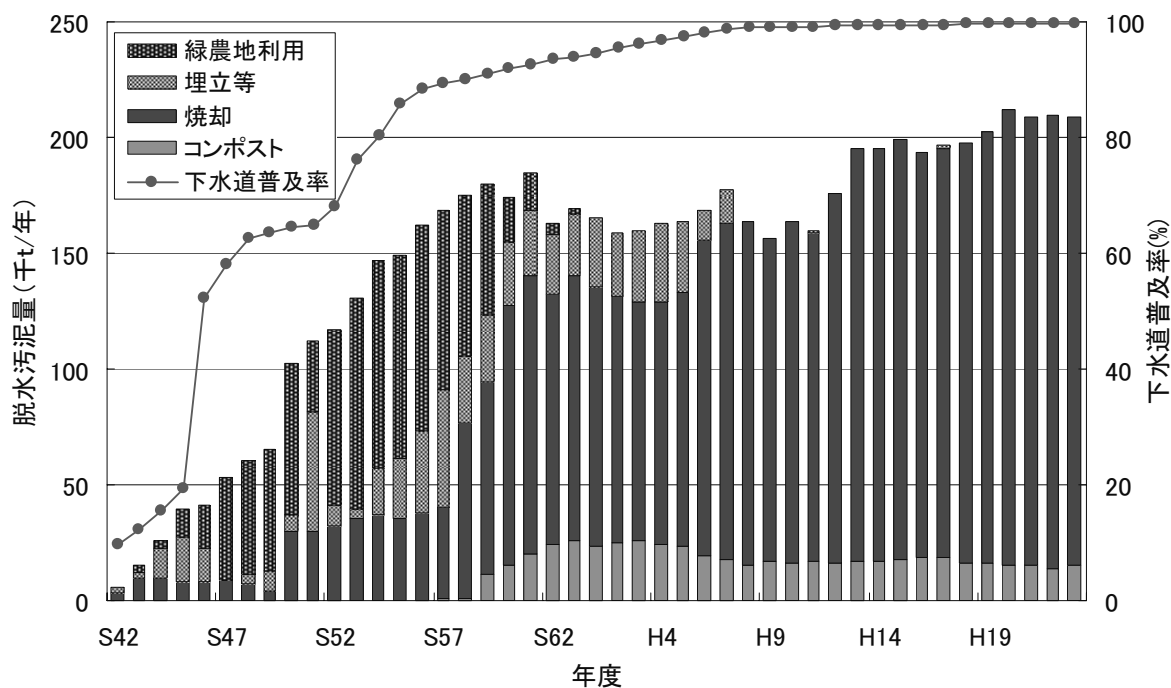
図－1に札幌市における汚泥処分の推移を示す。下

水道普及率は、昭和47年の札幌冬季オリンピックを契機に飛躍的に上昇し、その後も人口の増加とともに処分汚泥量も急速に増加した。平成23年度末の下水道普及率は99.7%、処理人口1,917千人、総流入下水量1,044千 m^3 /日に達し、脱水汚泥量も579 t /日となっている。

札幌市における下水汚泥の処理は各処理場において個別処理を行ってきたが、設備の統合・大型化や維持管理人員の削減が可能であり、コスト的に優位であること、また、エネルギー回収や資源化も効率的に行えることから、札幌市の中心部を流れる豊平川を境にして、東西両SCによる汚泥の集中処理を行っている。

図－2に汚泥処理・処分及び有効利用等の体系を示す。

焼却処理後の焼却灰の特徴としては、図－3のとおり焼却炉の形式が西部SCは階段式ストーカー炉、東部SCは循環式流動床炉であるため、写真－1及び写真－2に示すように、それぞれクリンカ状、乾燥パウダー状と異なる物理性状の灰が発生する。このため西部SC焼却灰は専ら埋戻材等の土木資材として利用し、東部SC焼却灰はセメント原料としての利用を図っている。なお、有効利用については、処分の一部として整理しているが、埋立処分は沈砂、スクリーン

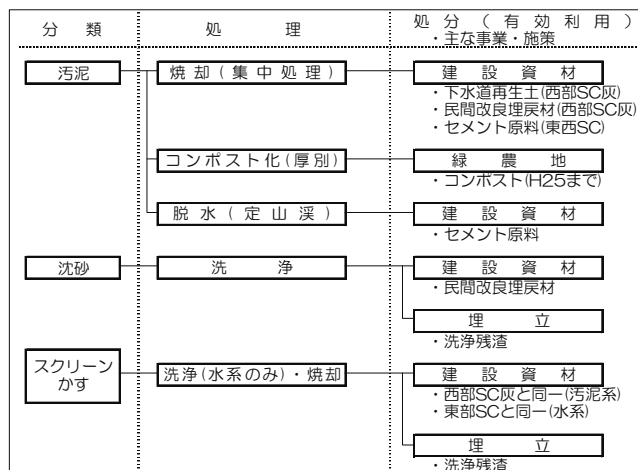


図－1 汚泥処分の推移

かすの一部で、その他は有効利用を基本として極力埋立を行わないこととしている。

3. 下水汚泥の建設資材としての有効利用の現状について

下水汚泥の有効利用のうちコンポスト事業については、運転開始以来25年以上を経過し、施設の老朽化や維持管理費、周辺臭気対策等の経費の増加から「平成25年までに現行のコンポスト事業は廃止する」という政策判断を行ったところであり、今後は、焼却灰の有効利用が中心となる。図－4に平成23年度の焼却灰の有効利用状況を示す。



図－2 汚泥処理・処分及び有効利用等の体系

(1) 下水道再生土の製造

「下水道再生土」とは、クリンカ状である西部SCの焼却灰を下水道管路工事に伴い発生する建設発生土と混合し、規定の品質を満足するように調質されたもので、下水道管路の埋戻材として有効利用される。下水道再生土製造施設は、平成17年度より供用を開始している。図－5に概要を、表－1に製造方法を示す。

品質管理として、1,000 m³製造毎に、コーン指数、溶出試験、含有試験を行い、所定の基準を満足する製品を製造している。

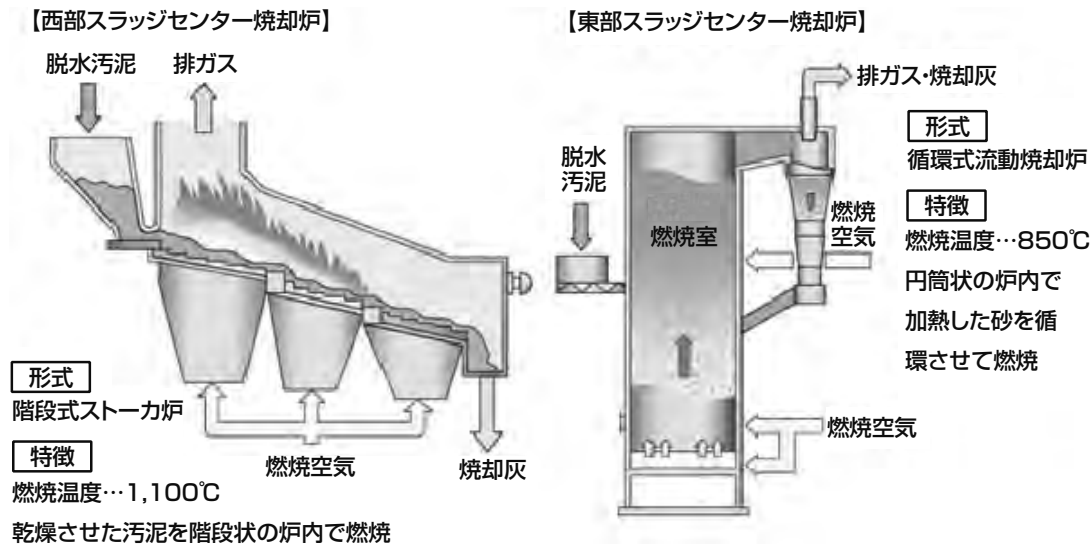
平成17・18年度に再生土を管路工事埋戻材として試験施工し、下水道再生土の品質・安全性・施工性が確認されたため、産業廃棄物担当部局及び道路管理者との協議の結果、平成19年度より下水工事用の埋戻材としての利用が認められた。

平成23年度は、約7,000 m³の再生土を製造し、5,000 m³を利用している。

なお、下水道再生土を管路の埋戻材として使用した後、再掘削物が不要となり廃棄する場合、産業廃棄物として取り扱うこととなるため、履歴管理を行っている。

(2) 民間再生プラントへの搬出

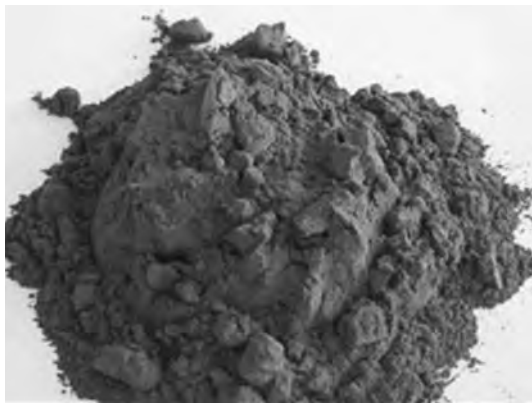
現在発生する西部SC焼却灰の内、半分以上が民間企業の中間処理施設に委託して有効利用を行っている。民間プラントでは、焼却灰を天然砂等、添加剤と混合し改良埋戻材の原料としてリサイクルを図っている。平成23年度には、約12,000 tの焼却灰が搬出された。



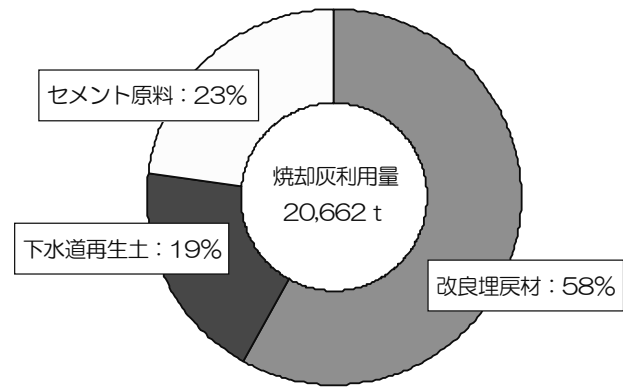
図－3 各スラッジセンターの焼却炉の形式



写真－1 西部SC焼却灰



写真－2 東部SC焼却灰



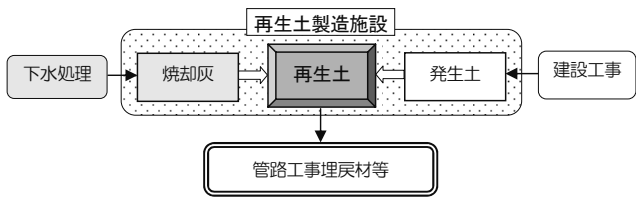
図－4 焼却灰の有効利用状況 (H23)

(3) セメント原料への利用

本市での焼却灰のセメント原料への利用は、東部SC焼却灰全量1,800 t (H23実績) である。他の有効利用量との調整により、西部SCの焼却灰も一部セメント原料化される。

セメント原料化においては、受入先のセメント工場の個々の判断が必要とされる。北海道内のセメント工場は2ヶ所であり、事業化するに当たり、各セメント会社へ下水汚泥のセメント資源化の可能性をヒアリングした時の結果は以下のとおりである。

- ・セメント原料として必要なSiO₂、Al₂O₃、Fe₂Oを



図－5 下水道再生土の概要

表－1 下水道再生土の製造方法

工 程	原材料受入ストック ⇒ 材料混合⇒ 品質管理試験 ⇒ 再生土ストック ⇒ 工事現場搬出
製造方法	重機による混合方式 (バケット混合)
混合割合	焼却灰：建設発生土＝1：1 焼却灰添加率 50%
製造期間	5月～12月

含有し、原料の一部として有効に利用できる。

- ・ MgO 、 P_2O_5 、 Cl 、 Na_2O 、 K_2O 等はセメント品質、製造工程に悪影響を与える成分であり、特に P_2O_5 、 Cl は、セメント原料としての使用限界量の判断基準となるため、工場との調整が必要である。
- ・ 重金属等含有量、溶出試験結果について問題はない。
- ・ 焼却灰の性状（加湿灰、乾灰）により、受入設備を考慮する必要がある。

セメント原料は特に施設の建設もなく、コストが安価であるが、北海道内には受け入れ可能なセメント工場が2ヶ所しかない。また、民間の需要動向により、工場の閉鎖や再編、処理費の変動、処理の一時的な拒否等、懸念されるリスクも考慮する必要がある。

4. 今後の課題等

前述のとおり、現行のコンポスト事業は平成25年までに廃止することが決定している。脱水汚泥については全量焼却可能であるが、現在の焼却灰の利用策のみでは、今後の社会情勢の変化等に対応しきれなくなる恐れがある。

東部SC焼却灰は、性状がパウダー状であり粒径が小さいため、性状がクリンカ状である西部SC焼却灰とは異なり、砂等との混合による埋戻材としての利用は困難である。したがって、現状ではセメント原料化が最も確実な方法であるが、リスク分散の観点から、

単一の有効利用方策にこだわらず、需要、安全性、コスト等を考慮した上で有効利用方策を決定する必要がある。

また、西部SCの焼却炉についても、今後、暫時乾燥機や炉本体の更新時期を迎える。このため、更新期間中の脱水汚泥の未燃汚泥対策や焼却炉本体の形式の検討を行うとともに、汚泥の有効利用策の多角化を目指していく必要があると考えている。

建設資材としての有効利用策としては、現在、東部SCの焼却灰のアスファルトフィラーへの適用可能性について検討中であり、試験施工場所の追跡調査により耐久性等の評価を行っているところである。今後、再生合材への使用の可能性についての確認、事業化に向けての制度上の課題等、調査・検討を行い、事業化の適否を判断する予定である。

5. おわりに

本市では、これまで、下水汚泥の焼却灰を中心に、埋戻材やセメント原料などの建設資材として有効利用してきたが、安定した汚泥の処理処分を引き続き行っていくためには、更なる汚泥の有効利用策の多角化を目指していく必要があると考えている。

「循環のみち下水道」成熟化に向けて、今後も様々な下水道汚泥の有効利用の方策についての検討を進め、低炭素・循環型社会の実現に寄与していきたい。

特集：下水汚泥の建設資材としての有効利用の取り組み

解 説

神戸市における 下水汚泥焼却灰の建設資材としての 有効利用の取り組み

神戸市建設局 下水道河川部 計画課

水質計画担当課長 矢 野 丘

キーワード：アスファルトフィラー、インターロッキングブロック、焼却灰、共同研究

1. はじめに

神戸市には6箇所の下水処理場があり、日平均約51万㎡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。

神戸市では昭和33年に中部処理場が供用開始して以来、汚泥の最終処分は主に脱水ケーキの状態では埋立処分を行ってきた。昭和52年頃から汚泥の長期的に安定した処理処分法を求めて多角的な検討を行い、焼却-埋立の方法を採用することになった。そして、当時造成中であった六甲アイランド内に焼却施設（東部スラッジセンター）を設け、市内各処理場から脱水ケーキを運搬し集中処理することとし、昭和61年より供用を開始した。処理方式は蒸気間接加熱式乾燥機付き流動床炉である。

神戸市では年間約4,800トンの下水汚泥焼却灰が発生し、そ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）で埋立処分している。しかし、大阪湾フェニックスの廃棄物受け入れ計画は平成39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下水道事業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、下水汚泥焼却灰を貴重な資源と捉え、建設資材をはじめとしてさまざまな有効利用を図ってきた。本稿では、神戸市における下水汚泥焼却灰の有効利用の取り組みを紹介する。

2. 神戸市における下水汚泥焼却灰の有効利用の取り組み

現在、神戸市における下水汚泥焼却灰の主な利用方法は、アスファルトフィラ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-1参照）。

2.1 下水汚泥焼却灰のアスファルトフィラーとしての利用

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

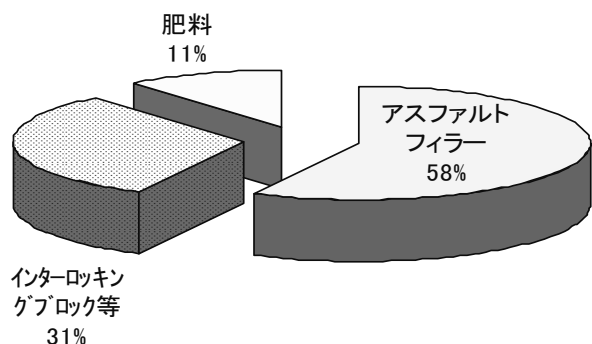


図-1 焼却灰の有効利用内訳 (H23)

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。

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)。また、下水汚泥焼却灰をフィラーとして用いる場合、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10月からは神戸市の道路補修を直営で行う神戸市土木局道路機動隊(当時)による試験舗装を実施し、下水汚泥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

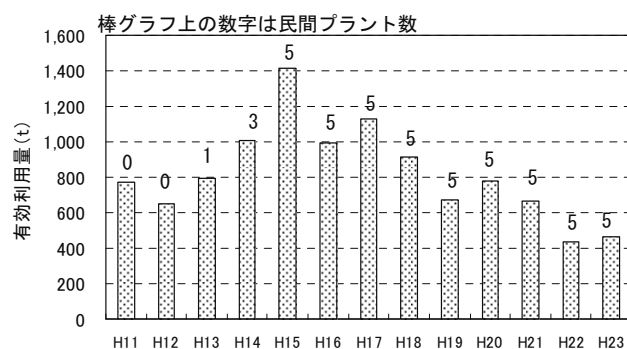


図-2 アスファルトフィラーとしての焼却灰利用の推移



写真-1 焼却灰入りアスファルト舗装状況

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市内に5社あり、年間464トン(平成23年度実績)の下水汚泥焼却灰が有効利用されている(図-2・写真-1参照)。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下水汚泥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。

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

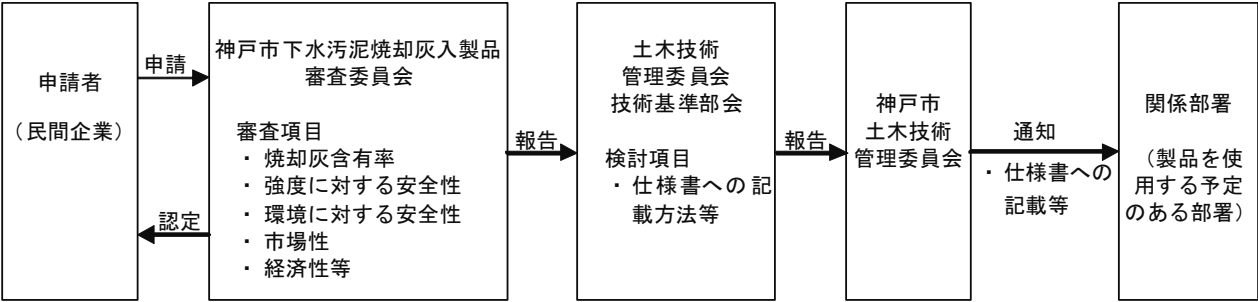
注) 規格値・目標値のうち、粒度(通過質量百分率)は規格値、その他は目標値である。

(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

2.2 下水汚泥焼却灰のインターロッキングブロック等の原料としての利用

インターロッキングブロック等の原料としての利用については、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、これらを満たす製品について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



図－3 灰入り製品の認定・利用の流れ



写真－2 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)

り、神戸市の下水汚泥焼却灰の有効利用の促進を図っている(図－3・写真－2参照)。

現在、45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・写真－3参照)。なお、ブロック等の原料に使用する焼却灰については、有価物として販売している。

2.3 公募型共同研究の実施

平成18年に、神戸市の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年度末)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－4参照)。

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

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	5製品
	透水性	8製品
	植生	3製品
	保水	4製品
平板ブロック	普通	4製品
	透水性	2製品
人孔ブロック		1製品
L形側溝(エプロン)		5製品
U形側溝(ロングU本体・蓋)		5製品
プレキャストボックスカルバート		3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



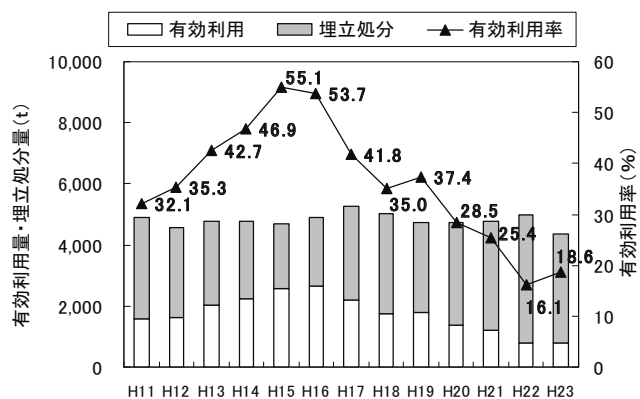
写真－3 神戸市下水汚泥焼却灰入製品

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）を共同研究者として選定し、研究を実施した。

平成21年度においては、下水汚泥焼却灰を使用した製品だけでなく、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。



図－4 焼却灰の有効利用率の推移



ロングU



エプロン



化粧ブロック (湿式)



レンガブロック



充填材

写真－4 共同研究で開発した焼却灰入製品

3. 有効利用の拡大に向けた課題と取り組み

3.1 アスファルトフィラーとしての有効利用 (中間処理)

アスファルトフィラーとしての利用拡大に向けた課題と取り組みを表－3に示す。現在製造されている

下水汚泥焼却灰入アスファルト混合物は再生粗粒度・再生密粒度・再生細粒度アスファルト混合物の3種類であり、施工可能な舗装も限られることから、利用場所等も含めさまざまな制約がある。そのため有効利用拡大に向けてはそれらの制約条件の緩和が課題となっている。

解決に向け、平成22年度の共同研究では透水性ア

表－3 下水汚泥焼却灰の利用拡大に向けた課題と取り組み (アスファルトフィラーへの利用)

課 題	解決に向けた取り組み
・ 利用場所等の制約条件の緩和	- 共同研究による透水性アスファルトの開発と利用検討 - 過去の利用状況を踏まえた関係部署への利用促進

スファルトの開発を行い、現在歩道での利用を検討中である。また、焼却灰入アスファルトの使用を開始して約10年が経過したことから、過去に舗装した箇所の経年劣化状況を確認するとともに、これまでの利用実績や施工時における問題点等について関係部署へのヒアリングを行った。その結果、焼却灰の入っていないアスファルト舗装と比較して特に問題点等も見受けられず、取りまとめた成果を関係部署へ通知することで今後の更なる利用拡大につなげた。

3.2 ブロック等の原料としての有効利用（有価物）

ブロック等の原料としての利用拡大に向けた課題と取り組みを表-4に示す。ブロック等の原料に有効利用する場合、下水汚泥焼却灰を有価物として販売する。そのため購入者が有効利用をすることで得られるメリットを明確化することが重要である。メリットとしては、企業の環境貢献等に対するPR効果や、神戸市発注工事での焼却灰入製品の積極的な利用による販売実績の増加等が考えられ、これらを購入者のインセンティブにつなげていくことが主な課題である。

また一部の製品については少数の企業のみ製造・販売しているものもあり、公共事業で使用する場合の供給体制の整備も利用拡大を図る上での課題となっている。これらの課題解決に向け、神戸市ではパンフレットやホームページによる認定製品のPRの実施

や、使用頻度の高い製品については神戸市発注工事での原則使用化に向けた利用実績の蓄積と関係部署との協議を進めている（写真-5参照）。



写真-5 焼却灰入製品紹介パンフレット

その他、ロングU・エプロン、ボックスカルバート等の使用頻度の高いコンクリート二次製品については、できるだけ多くの事業者に認定申請をしてもらえるよう広報を行っている。なお、平成21年度の共同研究において、コンクリート二次製品の原料に下水汚泥焼却灰を利用する際の色味や強度への影響を調査しており、その成果を活用することで認定申請にかかる期間等の短縮も図っている。

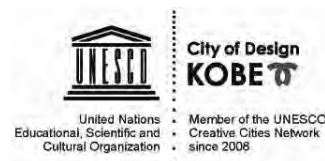
表-4 下水汚泥焼却灰の利用拡大に向けた課題と取り組み（ブロック等の原料への利用）

課 題	解決に向けた取り組み
- 有効利用によるメリットの明確化（焼却灰は有価販売のため） - 下水汚泥焼却灰入製品の供給体制の整備	- パンフレット・神戸市ホームページでの認定製品のPRの実施 - 神戸市発注工事での原則使用化に向けた利用実績の蓄積と関係部署との協議 - 共同研究成果等を活用した供給体制の早急な確保

4. おわりに

神戸市では、下水汚泥焼却灰をインターロッキングブロックの原料やアスファルトフィラー等、建設資材を中心として有効利用に取り組んできた。しかし、長期間にわたる景気の低迷により有効利用率が伸び悩んでおり、現在、民間の技術を活用しながら有効利用の拡大に取り組んでいる。

今後とも、下水汚泥焼却灰を貴重な下水道資源と位置づけ、官民連携による共同研究等を進めることで新たな有効利用方法を開発する等、下水汚泥焼却灰の利用拡大を図ることで、循環型社会の構築に貢献していきたい。



特集：下水汚泥の建設資材としての有効利用の取り組み

解 説

福岡市における下水汚泥
有効利用の取り組みについて

福岡市道路下水道局 下水道施設部 施設管理課

三 浦 健 一

キーワード：全量有効利用、セメント、土質安定材、MAP

1. はじめに

福岡市は、行政面積341km²、人口約148万人を有し、九州の政治、経済の中心都市として発展している。

アジア地域と最も近接した地理的条件を有していることから、アジア諸国との交流拠点都市として、アジアに開かれた街づくりを行っている。

また本市は、北部は玄界灘に臨み、後背地は脊振山

地や三郡山地に囲まれた豊かな自然環境に恵まれており、自然環境の保全にも積極的に取り組んでいる。

本市の下水道事業は昭和5年に認可を受けて以来、普及率の向上と水処理センターの整備に努め、現在5箇所の水処理センター（図－1参照）で下水の処理を行っており、平成23年度の人口普及率99.5%、年間処理水量は約18,250万m³となっている。

平成5年度からは、博多湾の水質保全のため高度処理施設の導入を行っている。

また、下水汚泥の減量化および安定化を目的に、平成3年度から西部水処理センター、平成11年度から東部水処理センターにおいて汚泥の焼却処理を行っている。

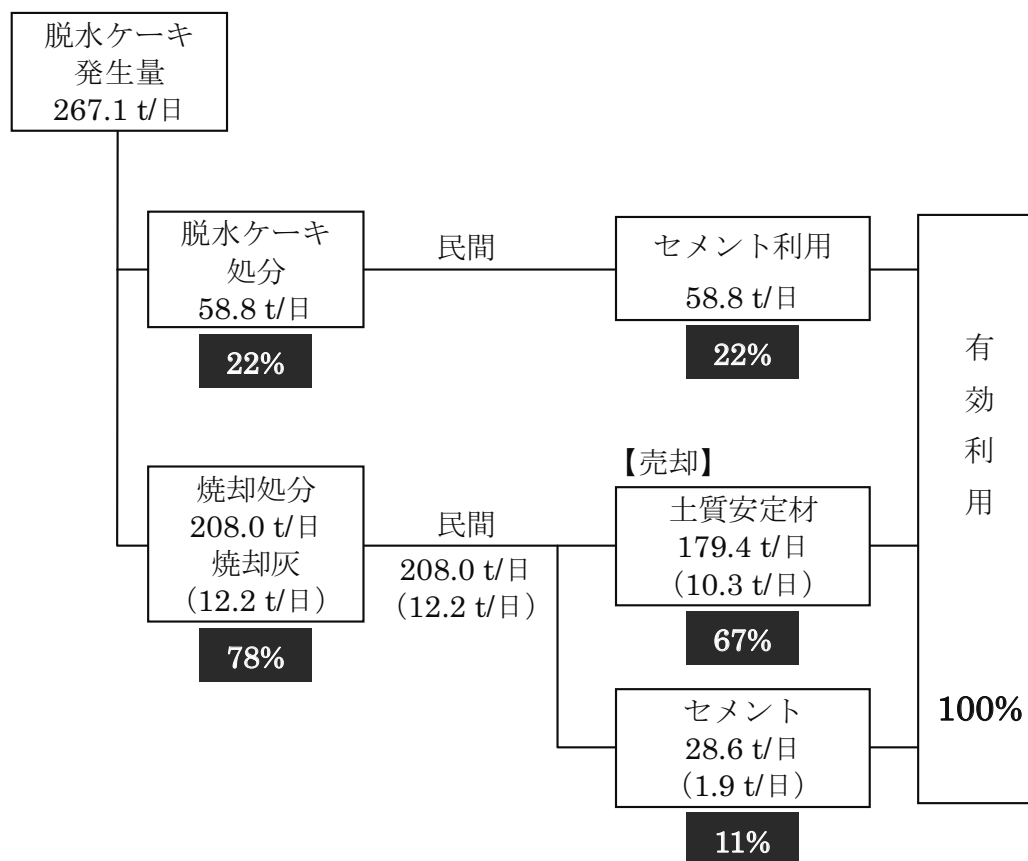
2. 下水汚泥の有効利用

福岡市の5箇所の水処理センターでは、下水処理に伴い、平成23年度で日平均267.1t（年間97,766t）の下水汚泥（脱水ケーキ）が発生しており、全量をセメントや土質安定材の原料として有効利用している（図－2）。

発生する下水汚泥の22%（日平均58.8t）を脱水ケー



図－1 福岡市の水処理センター



図－２ 下水汚泥の有効利用（平成23年度）

キの状態でセメント利用を目的とした民間処分を行っており、78%は焼却処分している。

発生する下水汚泥焼却灰も同様に土質安定材（67%）およびセメント（11%）への有効利用を目的として民間業者へ売却・処分することで下水汚泥の全量有効利用を達成している。

２－１ セメントへの有効利用

近年、都市化の進展に伴い、埋立地の確保が困難になってきている。

本市では、下水汚泥の資源的価値に着目した建設資材化利用を推進することで、長期的・安定的に処分を図るとともに資源の有効利用を進めている。

福岡市の周辺には平尾台のカルスト台地に代表される石灰石鉱床があることから、比較的近接した地域に国内でも有数の大規模なセメント工場が点在しており、本市はセメント利用に適した地域特性を有している。

セメント工場は、廃棄物の資材化を目的とした焼却設備を有し、下水汚泥を含む多くの廃棄物を燃料または原料として受入れており、廃棄物の中間処理施設としての側面を有している。

本市では、発生する汚泥のおよそ３割をセメント原料として有効利用している。

２－２ 土質安定材への有効利用

石灰系安定処理工法（以下、Fe石灰工法）は、道路の路盤改良材として適用されている工法である。

Fe石灰は酸化鉄と消石灰を主成分とする土質安定材で、Fe石灰と真砂土を混合した「Fe石灰処理土」で現地盤の軟弱路床の一部と置き換えた後、比較的軽い締固めで軟弱路床上に拘束層を構築することで、それから上の路盤などの施工に必要な耐荷力を即座に発現できるものである（図－３）。

Fe石灰処理土は、耐水性・耐久性にも優れた材料であり、Fe石灰処理土による拘束層が版構造を形成することで不等沈下の抑制となる特徴を有しており、本工法はアスファルト舗装要綱による軟弱路床上の舗装構築工法（サンドイッチ舗装工法）として位置づけられている。

下水汚泥には、脱水工程で凝集剤が添加されているため、汚泥焼却灰には酸化カルシウムやシリカ、アルミナなどが含有されている。

福岡市では下水汚泥焼却灰のFe石灰の原料としての有効利用について平成５年度から検討を開始し、室内試験および試験施工を行い、下水汚泥焼却灰のFe石灰工法への適用性を確認した。

このことを受け、平成７年から適用が開始され、そ

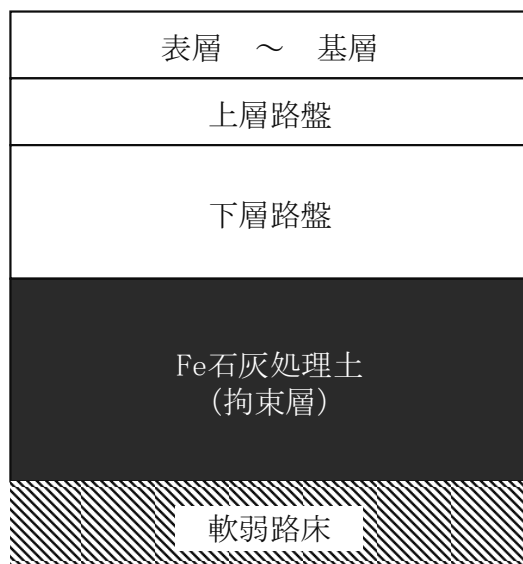


図-3 Fe石灰工法標準断面図

の適用性の高さから『廃棄物』としてではなく、『有価物』として、民間業者と取引を行っている。

なお、本市におけるFe石灰への下水汚泥焼却灰の混合比率は民間業者との共同研究結果を受けて決定しており、図-4に示すとおり、Fe石灰を構成する主成分のうち、消石灰の10～15%を下水汚泥焼却灰と置き換えることで適用している。

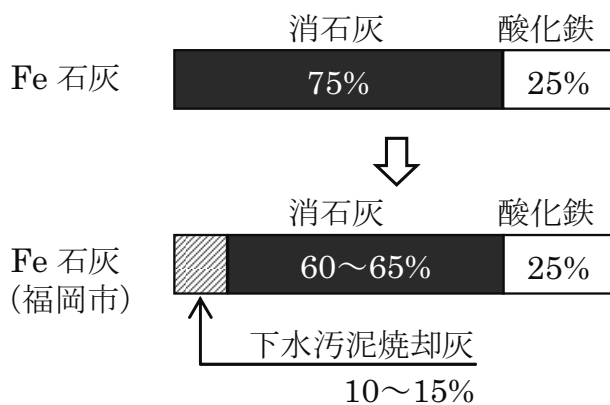


図-4 Fe石灰の成分組成の比較

3. 下水からのリン資源回収

リン資源の枯渇は、世界的な問題となっており、多くのリンを含んでいる下水からのリンの回収が注目されている。

福岡市は、下水汚泥の処理過程において析出するリン酸マグネシウムアンモニウム（以下、MAP）をMAP法により人工的に生成・回収することで化学肥料の原料として有効利用している（図-5参照）。

福岡市では、閉鎖性水域である博多湾の富栄養化に

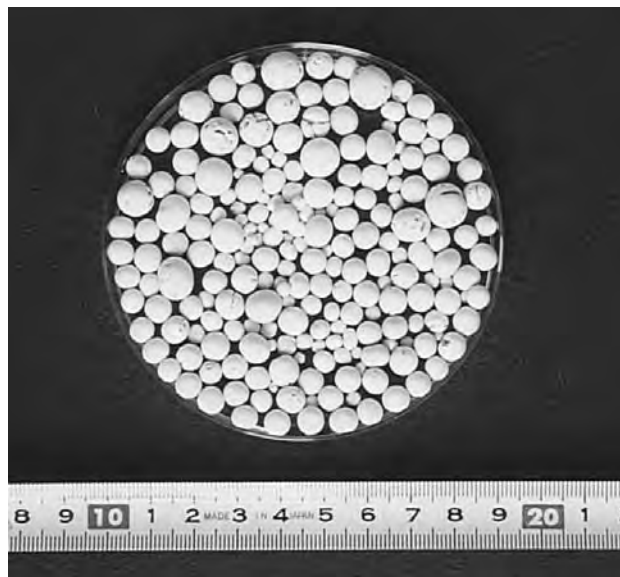


図-5 MAP法により回収したMAP顆粒

よる水質汚濁防止のため、他都市に先駆け、リンの除去を目的として、「嫌気好気活性汚泥法（以下、AO法）」の検討を開始した。

昭和61年に中部水処理センターでのAO法の実用実験の過程において、消化槽脱離液移送管で発生した多量のスケールがMAPであると判明した。

MAPが植物の必須栄養素である窒素およびリンを含有しており、更に茎などの成長促進効果のあるマグネシウムも含んでいることから、化学肥料としての有効性に着目し、MAP法の技術開発に着手した。

平成5～7年度に西部水処理センターにおいて水処理能力25,000 m³/日に相当する施設での実規模実験を行い、その適用性が確認されたことから、平成9年度から回収したMAPを化学肥料の原料として利用を開始することとなった。

現在では西部・東部・和白水処理センターの3箇所でMAP法を運用している。

本市においてMAPを利用した化学肥料の登録概要は表-1に示すとおりである。

表-1 肥料登録概要

肥料名称	高度複合肥料ふくまっぷ 21	
登録年月日	平成6年7月11日	
肥料の種類	化学肥料	
保証成分量	アンモニア性窒素	5.0%
	く溶性リン酸	28.0%
	く溶性苦土	15.0%
	水溶性苦土	1.5%

4. 今後の課題および展望

本市においては、下水汚泥をセメントおよび土質安定材の原料として全量有効利用を達成している。

しかし、近年は公共事業の縮小に伴い、建設資材の原料としての需要も減少の傾向を示しており、将来にわたり安定した処分方法の確保や、リスクに対しての柔軟な対応ができるよう、処理処分方法の多様化の必要性が高まっている。

本市は、資源循環の観点から、今後も下水汚泥の全量有効利用を継続していくとともに、処理処分方法の多様化を図るため、下水汚泥の持つバイオマスエネル

ギーとしてのポテンシャルを有効的に利用するよう検討しているところである。

また、MAPは汚泥処理の過程において人工的に生成・回収することでリン除去の高度処理として有効であるとともに、資源の有効利用の観点から化学肥料の原料として再利用が可能である。

本市は、下水処理システムにMAP法を組み合わせたシステムを継続、改良に取り組みながら、MAPの有効利用を積極的に推進していく。

21世紀の本市の下水道が目指す理念は持続可能な循環型社会、低炭素社会の実現への貢献であり、今後とも下水汚泥の持つ新たな可能性を見出していきたいと考えている。

研究紹介

バイオガスを燃料とした 小型発電機の開発

新潟県 土木部 都市局 下水道課

長岡技術科学大学 環境・建設系 准教授

株式会社 大原鉄工所

山岸 和弘

姫野 修司

高橋 倫広

キーワード：バイオガス、小型、発電機

1. はじめに

近年、エネルギー問題や電力不足の観点から下水汚泥の嫌気性消化により発生する消化ガスの利活用が注目を集めている。下水道統計¹⁾によると、嫌気性消化は全国で約300箇所の下水処理場で導入され、年間約230百万 m^3 の消化ガスが発生しているが、発生ガスの約3割は、エネルギー利用されず焼却処分されている。消化ガスのエネルギー利用が進まない背景には、これまでの既存の消化ガス発電設備（ガスエンジン、ガスタービン等）が大型かつ高価であるために、中小規模の下水処理場への導入が進まないことが一因とされる。

そこで、平成17～20年度に独立行政法人土木研究所らによって実施された研究²⁾を基に、平成21年度から新潟県土木部都市局下水道課及び長岡技術科学大学と共同で、中小規模の下水処理場でも導入可能な小型バイオガス発電機を開発した。そして平成24年8月現在、2箇所の下水処理場にて、実消化ガスを用いた長期実証試験を継続中である。本報では、同試験にて得られた機器の性能を中心に、結果について報告する。

2. 実証試験の概要

実証試験は、新潟県魚野川流域下水道堀之内浄化セ

ンターにて実施している（写真－1）。同センターの概要を表－1に示す。新潟県の流域下水道の中でも小規模な下水処理施設である。



写真－1 実証試験風景（堀之内浄化センター）

表－1 堀之内浄化センター概要

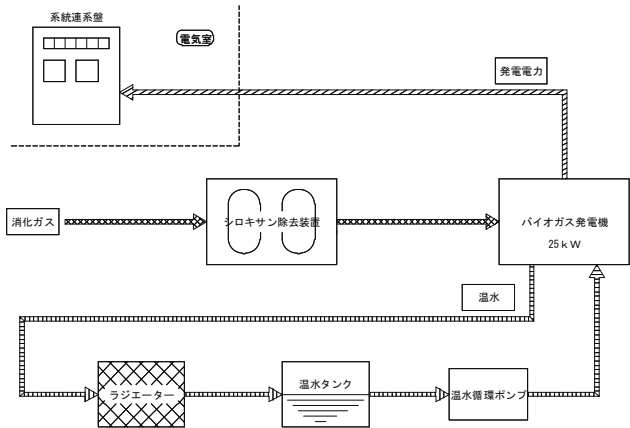
	全体計画(H42)	現有能力
処理人口	26,900人	29,260人
処理能力水量	13,070 m^3 /日	14,450 m^3 /日
排除方式	分流式	
処理方式	標準活性汚泥法	
処理開始	平成4年8月	
消化ガス発生量	35万 m^3 /年	
メタン濃度	50～60%	

開発した発電機（BG30型バイオガス発電機）の仕様を表－２に、実証試験設備フローを図－１に示す。

実証試験設備は、既設ガスタンク設備配管から分岐し昇圧せずに発電設備に消化ガスを導入、活性炭吸着方式によるシロキサン除去装置にてシロキサンを0.02

表－２ BG30 型バイオガス発電機仕様

型式		BG30A
出力	出力	25 kW / 30 kW
	電圧	200 V級 / 400 V級
燃料	ガス種	バイオガス
	メタン濃度	55～65 %
	供給圧力	2.0～3.0 kPa
エンジン	形式	電気着火無過給希薄燃焼
	気筒数	4
	排気量	4.329L
	回転数	1500 rpm / 1800 rpm
発電機	形式	回転界磁形同期発電機
	極数	4
	励磁方式	プラスレス方式（自動電圧調整器付）
	駆動方法	エンジン直結
性能	排熱回収量	32 kW / 40 kW
	発電効率	35 % / 34 %
	熱回収効率	45 % / 46 %
	総合効率	80%



図－１ 実証試験設備フロー

ppm以下に除去した後、発電機へ供給している。設置台数は1台で、発電電力25 kWを同期投入方式により浄化センターの機械動力400 V系へ系統連系している。同浄化センターの場内平均使用電力は約125kW程度であり、実証試験により約20%の電力を賄っている。

また発電機排熱回収は温水として取り出す方法を採用している。取り出した温水は実証試験設備内で温水を循環させ、夏場はラジエータで放熱を行い、冬場は融雪に利用した。

実際の導入においては、排熱回収による温水で消化槽加温ラインと熱交換を行うため、これまでのボイラ加温からコジェネレーションに移行することで消化ガスの消費量低減が見込まれ、25 kW機×2台計50 kWの発電が可能となり、処理場電力の約40%を賄う予定である。

3. 実証試験結果

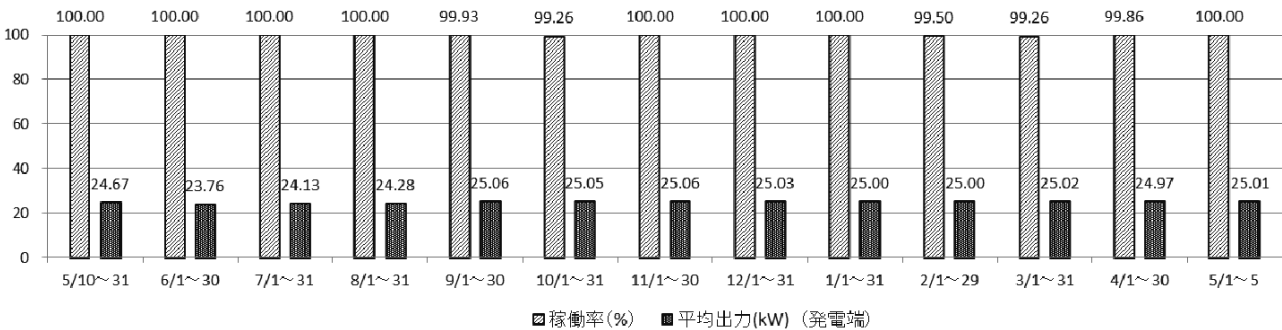
(1) 平均出力および稼働率

平成23年の5月からの連続での長期実証試験における月別稼働率および平均出力を図－２示す。これまでに平均出力24.8 kW（発電端出力）、平均稼働率99.83%（発電機自己都合による停止のみを考慮して算出）を達成し、また連続稼働時間は約8600時間を達成した。続いて、メタン濃度測定結果とそれにより算出した発電効率、総合効率を表－３に示す。期間を通して消化ガスメタン濃度は50.7%～59.5%の変動幅となったが、本発電機は空燃比センサを用いたリアルタイム空燃比自動制御方式を採用しているため、安定的な発電出力を得ることができた。

尚、定期点検時の停止以外は24時間連続運転を継続しており、発電機のトラブルによる運転の停止は一切発生していない。

(2) シロキサン破過試験

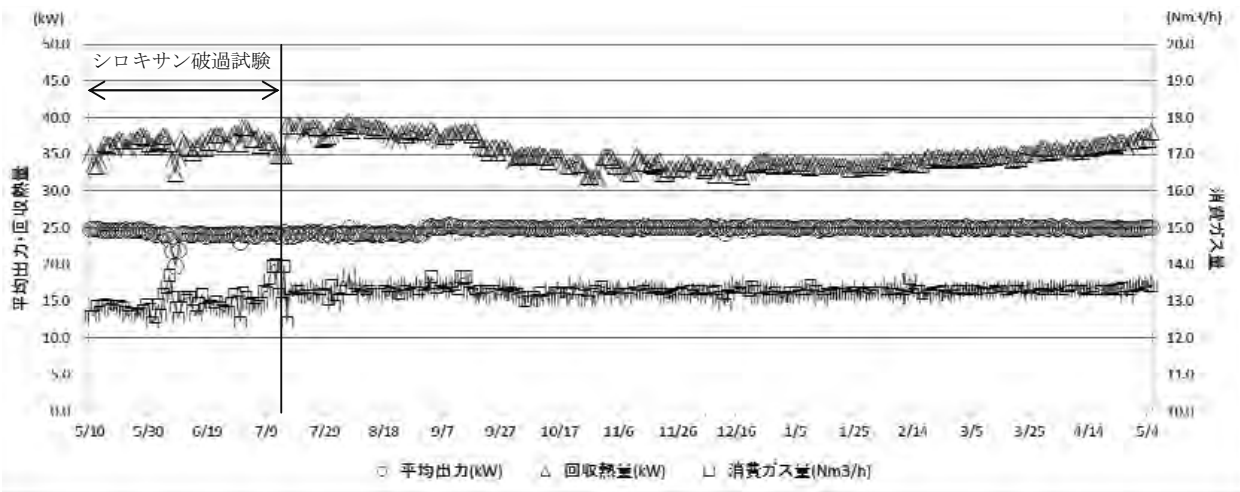
日別平均出力・回収熱量及び消費ガス量を図－３に示す。長期実証試験前半の5～7月に消費ガス量の変



図－２ 月別稼働率および平均出力

表－３ メタン濃度測定結果と発電効率および総合効率

測定日	消化ガス メタン濃度 (%)	日平均 消費ガス量 (Nm ³ /h)	日平均 発電出力 (kW)	発電効率 (%)	日平均 回収熱量 (kW)	総合効率 (%)
11.06.29	59.5	13.0	24.9	32.4	37.8	81.6
11.08.31	57.7	13.5	25.3	32.7	38.0	81.9
11.09.28	55.2	13.5	25.1	33.9	35.6	82.0
11.11.4	57	13.4	25.1	33.1	34.3	78.3
11.11.30	59.4	13.3	25.1	32.0	33.6	74.8
11.12.20	50.7	13.3	25.2	37.6	32.8	86.6
12.01.26	56.6	13.2	25.0	33.7	33.6	79.0
12.02.28	55.4	13.2	25.0	34.4	34.5	82.0
12.03.27	57.2	13.2	24.9	33.2	35.2	80.2
12.04.26	56.9	13.4	25.0	33.0	36.5	81.2
ave	56.6	13.3	25.1	33.6	35.2	80.7



図－３ 日別平均出力・回収熱量及び消費ガス量

動がみられるが、これは、シロキサン除去装置の必要活性炭量を精査する目的で、活性炭の破過を観察したためである。この期間中の活性炭の充填は少量としており、シロキサン濃度増加に対して活性炭からの破過が起こり、シロキサンがエンジン内部に混入したこと

で徐々に空燃比センサが劣化してしまった。その結果エンジンへの最適なガス量を供給することが出来なかった為に変動がみられている。その後センサ交換により復旧し、エンジン内部にも特に大きな影響が見られなかった為、そのまま実証試験を継続している。

シロキサンに対しては濃度に応じて算出した活性炭量を確保し、確実に取り除くことで安定的な運転の継続が可能であることが確認できた。

尚、本試験で使用したシロキサン除去装置について、仕様を表－４に示す。同外観を写真－２に、内部の様子を写真－３に示す。

表－４ シロキサン除去装置仕様

形 式	活性炭吸着方式
材 質	SUS304
処理流量	18m ³ N/h (0.35m ³ /min at40℃)
活性炭使用量	約 30kg
活性炭交換サイクル	1 年
活性炭通過速度	約 0.06m/s
接触時間	約 15s
圧力損失	約 0.29kPa
運転質量	150kg
転倒モーメント	0.4kN・m (k=0.3)

(3) 排熱回収量

排熱回収量は期間を通して平均35 kW と仕様値より高い値となり(図－３)、冬場でも仕様値の32 kW 以上を達成することが出来た。排熱回収の仕様としては入口設定温度50～70℃に対して、5℃上昇した約100 L/minの温水を供給することが可能である。



(左) 写真－２
シロキサン除去装置外観

(下) 写真－３
シロキサン除去装置内面
(活性炭投入後)



(4) 発電効率および総合効率について

実証試験期間を通した発電効率は33.6%、総合効率は80.7%であった(表－3)。総合効率は仕様値を満足したが、発電効率は1.4%下がり、シロキサン破過試験の影響も多少は考えられるが、年間を通した常用での発電効率は33～34%となることを確認した。

(5) 耐久性

1,000時間毎のオイルサンプリング分析により、金属元素混入濃度を明らかにした。これによりオイルの劣化状況を把握し、加えてエンジン摺動部の摩耗状況の確認も行った。その結果、オイルに異常な劣化は見られなかったため、エンジンオイルの交換頻度は3か月毎(2190 h 毎)とした。また、エンジン内部の摺動部品は、異常摩耗等無く良好な状態であった。

4. 現在の取り組み

出力50kW(50Hz)のBG60型バイオガス発電機(写真－4、表－5)の開発を行い、新潟県信濃川下流流域下水道新津浄化センターにて、平成24年7月より系統連系での実証試験を開始した。目的は、既存の25kW機2台と比較した場合の設備費の更なる低減が可能であることを実証することである。本発電機は、中規模下水処理場への導入を想定している。

また、前述の堀之内浄化センターでは、平成24年8月より発電機2台による実証試験を開始した。目的は、ガス量に応じた台数制御運転及び運転時間数平準化運転を行い、より実稼働に近い状態での運転性能を把



写真－４ BG60 バイオガス発電機 (新津浄化センター)

表－５ BG60 バイオガス発電機仕様

型式		BG60A
出力	出力	50 kW / 60 kW
	電圧	200 V級 / 400 V級
燃料	ガス種	バイオガス
	メタン濃度	55～65 %
	供給圧力	2.0～3.0 kPa
エンジン	形式	電気着火無過給希薄燃焼
	気筒数	6
	排気量	7.961L
	回転数	1500 rpm / 1800 rpm
発電機	形式	回転界磁形同期発電機
	極数	4
	励磁方式	ブラシレス方式(自動電圧調整器付)
	駆動方法	エンジン直結

握することである。9月より本格稼働を目指して現在調整中である。

5. まとめ

これまでの実証試験結果より、BG30型バイオガス発電機はメタン濃度変動や季節変動に対応し、安定した運転の継続が可能であること、また耐久性についても問題ないことが確認できた。今後の中小規模処理場における消化ガス利活用促進及び温室効果ガス排出量の削減に貢献できるものと考えている。

6. 参考文献

1) (社)日本下水道協会：下水道統計、平成19年
2) 独立行政法人土木研究所：消化ガスエンジン動力システムの開発に関する共同研究報告書、平成21年3月

Q & A

下水汚泥等の建設資材としての有効利用について

キーワード：セメント原料、土質安定材、Fe 石灰

Q1 下水汚泥等の建設資材としての有効利用にはどのようなものがありますか？

A1 埋め戻し材、軽量骨材、土質改良材、アスファルト合材、路盤材、インターロッキングブロック、コンクリート二次製品、焼成レンガ等に有効利用されています。

Q2 下水汚泥等の建設資材としての有効利用で最も多いのは何ですか？

A2 セメント原料としての有効利用が最も多く、それ以外の有効利用では埋め戻し材、軽量骨材としての利用量が多くなっています。

Q3 セメント原料に適用するに当たっての成分の制約は？

A3 代表的なポルトランドセメントの製造に使用される原料は石灰石、粘土、けい石、酸化鉄であり、焼却灰はこれらの原料のうち粘土の一部として利用できます。

焼却灰に含まれる成分のうち、二酸化けい素 (SiO_2)、酸化アルミニウム (Al_2O_3)、酸化第二鉄 (Fe_2O_3)、酸化カルシウム (CaO) については一般的な粘土に含まれる成分であり、セメント原料として有用な成分です。

しかし、その他の酸化マグネシウム (MgO)、五酸化リン (P_2O_5)、塩素 (Cl)、酸化ナトリウム (Na_2O)、酸化カリウム (K_2O) および重金属類等は、セメント品質に悪影響を及ぼす可能性のある成分であり、特に五酸化リンおよび塩素の含有量については留意する必要があります。

- ・リン (P_2O_5) セメント中の含有量が0.5%を超えると強度低下を招く。
現状のセメント中には約0.1%含まれる。
- ・塩素 (Cl) セメント中の含有量が多いと鉄筋等の腐食を誘引する。
現状のセメント中には約60mg/l含まれており、JISでは200mg/l以下とされている。

Q4 凝集剤は何を使ってもよいのですか？

A4 前述のとおり、セメント品質に悪影響を及ぼす成分を含む塩化第二鉄を凝集剤として使用する場合は注意が必要です。

Q5 セメント工場では下水汚泥以外にどんな廃棄物・副産物を受け入れているのですか？

A5 セメント業界での受入割合が高い廃棄物・副産物には高炉スラグ・石炭灰・廃タイヤ等があり、近年では木くず・廃プラスチックなどが増加傾向にあります。

(その他：副産石こう・建設発生土・鋳物砂・廃油・肉骨粉など)

Q6 下水汚泥焼却灰は土質改良材としてどのような利用形態があるのですか？

A6 下水汚泥焼却灰を単体で土に添加する場合は道路下の埋戻材や盛土材として利用されます。また、福岡市では土質安定材 (Fe 石灰) の原料として利用しています。

Q7 土質改良材として利用する場合、効果の判定はどのように行うのですか？

A7 利用形態に応じて判断項目および基準が異なるため、その目的に従った試験を行い、改良効果を判定します。

埋戻材として利用する場合は室内CBR試験を実施し、対象となる道路の交通条件等にもよりますが一般的にはCBR 15%を目標強度とします。

盛土材等に利用する場合では一軸圧縮試験を行い、目安の目標強度としては0.098 N/mm²程度とされています。

Q8 福岡市で原料として利用しているFe石灰とは何ですか？

A8 Fe石灰とは、厳選された消石灰に製鉄所において鉄鉱石から鉄を生産する過程で製鉄炉から排出される酸化鉄 (Fe_2O_3) を主成分とする微粉末を加えて混合し、製品化した無機質素材より作られている土質安定材です。

下水汚泥焼却灰はその生成過程において添加される凝集剤等の成分により、カルシウムや鉄を含有していることから、消石灰や微粉酸化鉄の代替として利用することができます。

Q9 土質安定材 (Fe石灰) の原料として利用することでどのような効果がありますか？

A9 下水汚泥焼却灰には $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、 SiO_2 、 Al_2O_3 、T-Feなどの成分が含まれていることから、次のような効果が期待できます。

- ・ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ はFe石灰の成分組成の中で量的にも最もウエイトの大きい消石灰、T-Feは微粉酸化鉄の代替として使用できることから、材料コストの低減効果が期待できる。
- ・ SiO_2 は珪酸石灰水和物を形成し、 Al_2O_3 はアルミナ石灰水和物を形成することから強度増進の効果が大きく、非晶質なこれらの成分が不足する土の利用、あるいはより高い強度を必要とする路盤への適用が可能となる。
- ・ 水和反応による水硬性が高いことから、より高含水率の土への活用が可能となる。

(福岡市道路下水道局

下水道施設部施設管理課 三浦健一)

現場からの

声

横浜市における下水汚泥燃料化PFI事業の取組

キーワード：公民連携、地球温暖化対策、燃料化

1. はじめに

横浜市では、横浜港開港後の外国人居留地において下水管が布設され、下水道整備の第一歩を踏み出した。その後、昭和37年に中部下水処理場（現：中部水再生センター）が最初の終末処理場として稼働して以来、現在では11ヵ所の水再生センターで水処理を行い、2ヵ所の汚泥資源化センターで汚泥の集約処理を実施しており、下水道の普及率もほぼ100%に達している。

近年、下水道には本来の役割に加え、地球温暖化対策や循環型社会への貢献など、市民生活を支えるインフラとしての役割から一歩進んだものが求められている。これらの新たに期待されている役割を果たすべく、本市では初めて南部汚泥資源化センターで下水汚泥の燃料化事業の取組を開始したので、その概要について紹介する。

2. 汚泥処理の現況

横浜市の水再生センター等所在地を図-1に示す。各水再生センターで発生する汚泥は、送泥管を經由し、臨海部にある南北2ヵ所の汚泥資源化センターで集約的に処理を行っている。汚泥の集約処理は、スケールメリットにより建設費や維持管理費を低減することができるとともに、処理過程で発生する資源を効率的に有効利用することができる。

汚泥資源化センターで受泥した汚泥は、濃縮、消化、脱水、焼却のプロセスを経て処理され、その処理過程で消化ガスと汚泥焼却灰が下水汚泥由来の資源として発生する。消化ガスは、ガス発電設備の燃料や汚泥焼

横浜市環境創造局 下水道施設部 下水道設備課

課長補佐（機械担当係長） 平野 哲雄

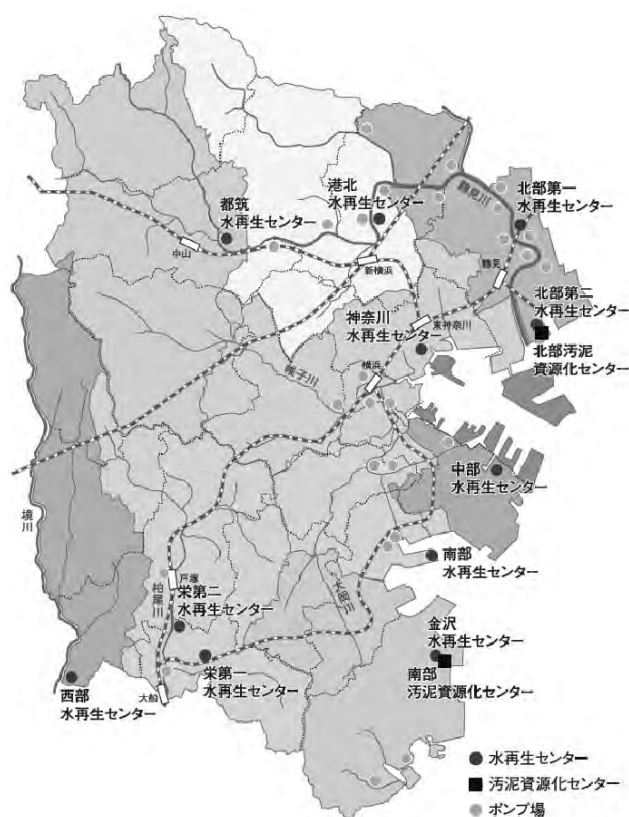


図-1 横浜市の水再生センター等所在地

却炉の補助燃料等として有効利用している。また、汚泥焼却灰は、セメント原料や建設発生土の改良材（改

良土)として有効利用している。

横浜市では、汚泥の有効利用について、新技術の開発と導入に積極的に取り組んできた。これまでに、「ハマユーキ(汚泥由来の肥料)」、「ハマソイル(園芸用培土)」、「ハマレンガ(汚泥焼却灰の焼成レンガ)」等に取り組んできた。現在は、汚泥焼却灰を改良土やセメント原料として有効利用しており、改良土については平成15年度にPFI事業としてプラントを拡張している。その結果、平成16年度以降は、市内で発生する汚泥焼却灰を改良土やセメント原料として100%有効利用するようになった。

3. 汚泥燃料化プロセスの導入

これまでに、汚泥処理プロセスにおいては循環型社会への貢献を行ってきたが、老朽化が進んでいた南部汚泥資源化センター汚泥焼却炉の更新にあたり、中長期的な課題として以下の点が挙がっていた。

- ①下水道事業は、温室効果ガス排出量が市役所全体の約25%と多く、特に汚泥焼却時に発生する量が多い(本市下水道事業全体の約29%)。
- ②未利用資源の有効利用による低炭素型社会構築への期待がされている。
- ③汚泥焼却灰を改良土やセメント原料として有効利用しているが、公共工事等の減少に伴って需要が低下傾向である。

これら地球温暖化対策や資源有効利用先の拡充という観点から、汚泥処理方式を焼却から燃料化に転換することについて、本市環境科学研究所による研究や公民連携による共同研究を行った。汚泥処理システムの転換概念図を図-2に示す。その結果、以下の効果を期待できることが明らかとなった。

- ①温室効果ガス排出量を削減できる。

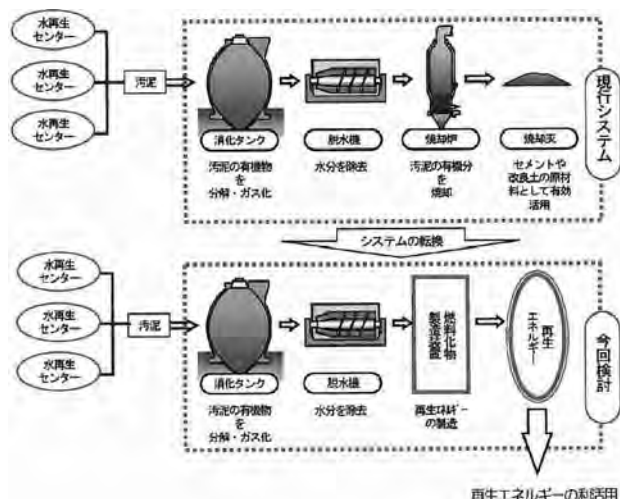


図-2 汚泥処理システムの転換概念図

- ②製造された燃料は、再生エネルギーとして利活用でき、低炭素型社会構築に貢献できる。
- ③有効利用先の多様化を図ることができる。

4. PFI方式の採用

下水汚泥の燃料化は、汚泥処理の中でも比較的新しい技術分野であり、様々な燃料化方式や有効利用方法がある。民間事業者が持つ技術とノウハウを活用できるPFI方式とすることで、特定事業選定時のVFM(Value For Money)が7.1%となり、本事業をPFI方式で実施することとした。

事業者の募集については、平成23年2月に実施方針を公表し、平成23年8月に総合評価一般競争入札の公告を行った。なお、横浜市からは燃料化物の性状(気体・固体等)は限定せず、事業者提案とし、本事業と同等規模の燃料化施設に関する前例が少ないことや、専門的な技術やノウハウに係る要素が事業に大きく影響することから、総合評価における性能点と価格点の割合を2:1とし、提案内容を重視することとした。

提案内容に関する審査は、外部有識者で構成される横浜市PFI事業審査委員会で行われ、電源開発株式会社を代表企業とするグループが最優秀提案者として選定された。平成24年7月に上記グループを出資者とする特別目的会社、株式会社バイオコール横浜南部と事業契約を締結した。

5. 下水汚泥燃料化PFI事業の概要

本事業の概要とスキームを図-3及び以下①～⑧に示す。

- ①事業名称
横浜市南部汚泥資源化センター下水汚泥燃料化事業
- ②施設条件
既設汚泥焼却炉(150 t/日)を解体し、燃料化施設(計画年間処理量46,500 t/年、150 t/日×310日/年)に更新する。
- ③事業内容
施設の設計、建設及び工事監理。維持管理及び運営。事業全体の統括マネジメント。
- ③事業方式
BTO(Build Transfer Operate)方式
- ④落札事業者の収入
市からのサービス購入料(設計建設費・管理運営費)燃料化物の販売による収入(横浜市から燃料化物を買い取り、燃料化物の有効利用企業に販売する。)
- ⑤契約の相手方
株式会社バイオコール横浜南部

(出資者 電源開発株式会社、月島機械株式会社、
月島テクノメンテサービス株式会社、バイオコール
プラントサービス株式会社)

⑥事業スケジュール（予定）

契約期間 平成24年7月30日～平成48年3月31日

施設の設計建設 平成24年8月～平成28年3月

施設の管理運営 平成28年4月～平成48年3月

⑦契約金額

14,915,464.216円 (税込)

⑧コスト縮減効果

従来方式の公共事業に比べて、VFMで約20.8%のコスト縮減効果。

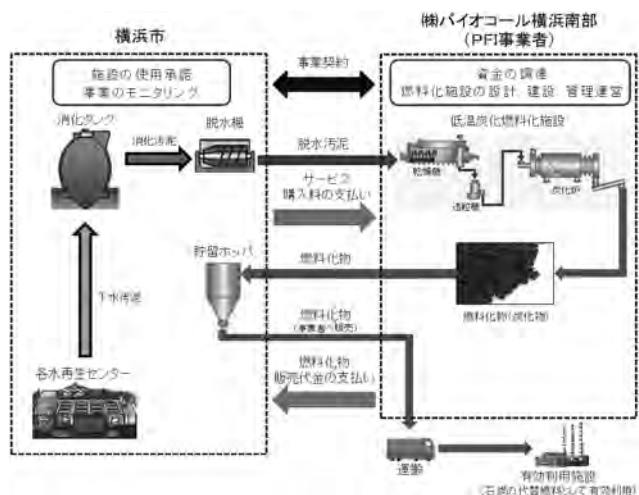


図-3 下水汚泥燃料化事業スキーム図

6. 燃料化施設の方式と特徴

燃料化方式は、「低温炭化燃料化方式」とされ、従来の高温炭化及び中温炭化は600℃～800℃及び400℃～500℃程度で脱水污泥を炭化させるが、低温炭化では250℃～350℃で炭化させる。一般には炭化温度が低いほど高発熱量化に有利であるが、臭気の低減には不利である。今回採用する低温炭化方式では、民間事業者が持つ技術を導入することで、污泥燃料に求められる3つの要素である高発熱量、低臭気、低自然発火性のバランスを確保している。低温炭化方式による燃料化物の性状を表-1に示す。

表-1 低温炭化方式による燃料化物の性状

発生量	約 7, 200t-DS/年
高位発熱量	約 15. 0 MJ/kg-DS
回収熱量	約 107, 000 GJ/年
形 状	約 φ5～10mm×15mm
かさ比重	約 0. 5～0. 7

消化污泥は乾燥機、造粒機、炭化炉を経て燃料化物となる。その他に、乾燥・炭化に必要な熱源設備や炭化分解ガスの再燃焼設備として再燃炉、廃熱ボイラ、熱風炉等を備える。また、排ガスや排水の廃熱を回収するとともに、先行事例にはない提案として、既設焼却炉における余剰蒸気を本施設で活用することで、更なる省エネルギー化を図っている。

製造された燃料化物はホッパー等へ貯留後に払い出しされ、火力発電用燃料、セメント工場における発電用燃料として使用される計画である。

今回の燃料化施設は既設焼却炉に比べ、温室効果ガス排出量を年間約43%（約5,900 t-CO₂）削減できることに加え、燃料化物の有効利用先においても、石炭の代替として燃料化物を利用することにより、年間約9,700 t-CO₂の削減が見込まれる。

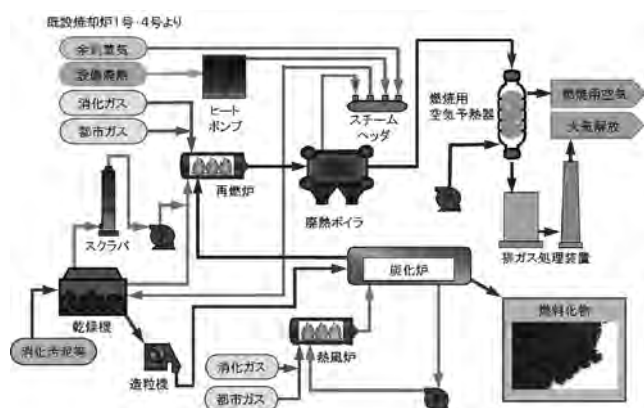


図-4 汚泥燃料化施設フロー図

平成24年8月現在、平成28年3月の施設完成を目指し、施設の設計及び建設を進めているところである。

7. おわりに

老朽化した汚泥焼却炉の更新にあたり、下水汚泥から燃料を製造するシステムに変更する横浜市の事例を紹介した。下水道事業にとって汚泥の安定した処分や有効利用が事業運営上重要であることはもちろん、市民生活に不可欠な社会基盤施設である下水道が循環型社会や低炭素社会に向けた取組を推進し、市民の要請に応えることが、今後一層重要になると考えている。

文献紹介

バイオチャー中の潜在的有害元素と多環式芳香族炭化水素の環境影響

Environmental contextualisation of potential toxic elements and polycyclic aromatic hydrocarbons in biochar

Alessia Freddo, Chao Cai, Brian J. Reid
Environmental Pollution, **171**, 18–24 (2012)

バイオチャーは、バイオマスが酸素の制限された環境下で蒸し焼きにされたときに生成する炭素に富んだ物質であり、土壌中で難分解の芳香族炭素骨格の物質である。バイオチャーの土壌施用は、土壌肥沃度の改善、土壌pHの矯正、土壌の緩衝能の向上など、土壌の物理的、化学的、生物学的性質の改善に役立つことが報告されている。一方、チャーを生成する過程で重金属類が濃縮することが知られており、土壌へのバイオチャーの施用は、土壌の生物相に悪影響を及ぼすことが懸念される。また、バイオチャーの製造過程で多環式芳香族炭化水素 (PAHs) が生成することも知られている。そこで本論文の著者らは、異なった条件で作成したバイオチャーの重金属濃度とPAHs濃度を調査し、下水汚泥などの関連物質と対比した。

赤色木材、稲わら、トウモロコシ、竹を電気炉に入れ、窒素気流中で焼成して原材料の異なるバイオチャーを作成した。加熱条件は、300℃で12時間、または600℃で2.5時間とした。バイオチャー中の重金属類は、硝酸・過塩素酸分解した後、ICP質量分析装置でCd、Cr、Cu、Ni、Pb、Zn、Asを定量した。PAHsの抽出は、活性化した銅を充填した抽出カラムを利用した加圧式の迅速抽出装置で行った。カラムからのPAHsの溶出は、ジクロロメタンで行った。PAHsの定量は、溶融シリカキャピラリーカラムを装着したGC-MSで行った。カラム温度は35℃から270℃まで上昇させ、サンプルあたりのランタイムは35分とした。全PAHは、USEPAが指定した16種の化合物 (ナフタレン、アセナフチレン、アセナフテン、フルオレン、アントラセン、フェナントレン、フルオランテン、ピレン、ベンゾ(a)アントラセン、クリセン、ベンゾ(b)フルオランテン、ベンゾ(k)フルオランテン、ベンゾ(a)ピレン、インデノ(1,2,3-cd)ピレン、ジベンゾ(a,h)アントラセン、ベンゾ[ghi]ペリレン) の合計とし、 Σ_{16} PAHと表記する。

バイオチャー中の重金属濃度は、Cdが0.02～0.94

mg/kg、Crが0.12～6.48 mg/kg、Cuが0.04～13.2 mg/kg、Niが0.1～1.37 mg/kg、Pbが0.06～3.87 mg/kg、Znが0.94～207 mg/kg、Asが0.03～0.27 mg/kgであった。原材料別では、赤色木材はCd濃度が高く、トウモロコシはCr、Cu濃度、竹はZn濃度が高い傾向にあった。焼成温度300℃と600℃とで比較すると、600℃焼成のCd濃度は低い傾向にあった。下水汚泥の基準 (E.C.1986) と比較すると、基準の設定されていないCrを除き、すべて基準値以下であった。最も基準に接近していたのは竹を原材料としたバイオチャー (600℃焼成) であったが、それでも基準値の10分に1以下であった。下水汚泥よりも厳しく設定されているコンポストの基準 (PAS, 2001) と比較しても、すべて基準をクリアしていた。

Σ_{16} PAH濃度は焼成温度で異なり、300℃焼成で顕著に高かった。300℃焼成品の原材料別ではトウモロコシが5.66 mg/kgで最も高く、赤色木材 (4.54 mg/kg)、竹 (2.47 mg/kg)、稲わら (2.27 mg/kg) の順であった。600℃焼成品では、トウモロコシの Σ_{16} PAH濃度 (1.47 mg/kg) が最も高く、次いで稲わら (1.15 mg/kg)、竹 (1.06 mg/kg) 赤色木材 (0.08 mg/kg) の順であった。化合物別では、概して分子量の小さいPAHが検出される傾向にあり、どの原材料においてもナフタレンの割合が高い傾向 (濃度では0.5～5.1 mg/kg) にあった。他には、アントラセン、フルオランテン、ピレンが含まれていた。特にピレンは原材料、焼成温度にかかわらず、1 mg/kg程度含まれていた。下水汚泥中の Σ PAH濃度は、2.7～3.5 mg/kgの値が報告されており、今回供試したバイオチャーの Σ_{16} PAH濃度は下水汚泥と同水準にあると考えられた。EUが提案している下水汚泥のPAHs濃度の基準は6 mg/kg (アセナフテン、フェナントレン、フルオレン、フルオランテン、ピレン、ベンゾ(b)フルオランテン、ベンゾ(j)フルオランテン、ベンゾ(k)フルオランテン、ベンゾ(a)ピレン、ベンゾ[ghi]ペリレン、インデノ(1,2,3-cd)ピレンの合計値、 Σ_{11} PAH) であり、今回供試したバイオチャーのうち、300℃焼成品の一部でこの値を超えるものが認められた。

以上の結果より本論文の著者らは、バイオチャーの土壌施用に伴う重金属類およびPAHsの環境への影響は非常に小さいと結論している。

(農業環境技術研究所 川崎 晃)

文献紹介

下水処理におけるメタン排出

Methane emission during municipal wastewater treatment

Matthijs R.j. Daelmen, Ellen M. van Voorthuizen,
Udo G.J.M. van Dongen, Eveline I. P. Voleks,
Mark C.M. van Loosdrecht

Water Research, Volume 46 Number 11, 2012,
3657-3670

温室効果ガスであるメタンは下水処理過程で排出されるため、持続可能な都市においてはメタン排出量を削減することが必要である。そこで、汚泥消化設備を有する下水処理場におけるメタン排出の評価を行った。

本評価は、オランダのKralingseveer下水処理場にて実施した。当該処理場の処理人口は360,000人、流入下水の平均水質（除去率）は、COD 339 mg/l (87%)、Kj-N 41 mg/l (92%)、T-P 6 mg/l (77%)である。汚泥は嫌気性消化(34℃)され、処理場の使用エネルギーの60%をバイオガスで賄っている。この処理場において、最終沈殿池を除く施設をカバーし、オフガスを集約してメタン排出量を測定し、マスバランスの確認を行った。

当該処理場から排出されるメタン総量は二酸化炭素換算で2728 t-CO₂/年であり、電力と燃料消費量から換算した二酸化炭素排出量1500 t-CO₂/年より多かった。他の事例として、Kortenoord処理場では、メタン排出総量960 t-CO₂/年、二酸化炭素排出量5820 t-CO₂/年等と報告されている。それに比較して、当該処理場で二酸化炭素排出量が少ないのは、嫌気性消化によりガス発電を行っており、電力と燃料消費量が少ないためである。

流入下水においても、流入過程で形成されたメタンを含んでいる。このメタンは流下過程でストリッピング（液中に溶解している揮発性成分が追出）される。そのメタン排出量は処理場全体量の7～10%程度と報告されている。

最初沈殿池汚泥は、多くの易分解性物質を含んでおり、後続工程である重力濃縮では、1日の滞留において嫌気条件となりメタンが生成される。また、生物反応タンクでは、流入下水中のメタンが生物学的反応により水と二酸化炭素に分解されたり、ストリッピングされる。メタンの温暖化係数は二酸化炭素の25倍であり、

メタンが二酸化炭素に分解されることは温室効果ガスの削減に寄与する。したがって、水処理過程でのメタン分解は促進されるべきである。当該処理場では流入下水中のメタンの80%が二酸化炭素に変換されていた。

メタンは、消化汚泥の調整タンクや脱水汚泥貯留槽で生成され、処理場からのメタン排出量に大きく影響する。嫌気性消化槽において、全てのメタンはガス化しないため、消化汚泥にはメタンが残存している。幾つかの報告では、バイオガスとしてのメタン生成量の3～5%が汚泥中に残存しているとある。したがって、消化汚泥調整タンクにおいて排出されるメタンも、バイオガスとして利用することが望ましい。その他の施設からの排ガスも回収することができるが、メタン濃度が薄いので、その寄与率は小さい。また、メタン濃度が薄い場合は、爆発限界に入る可能性があり、バイオガス利用として適していない。

当該処理場から排出されたメタン総量の72±23%は、嫌気性汚泥処理施設と関連する部分から発生した。その施設は、最初沈殿池汚泥の重力濃縮槽、遠心脱水設備、消化汚泥調整タンク、脱水汚泥貯留槽、ガスエンジンの排気である。

バイオガスは当該処理場のエネルギー要求量の一部を賄っているため、化石燃料消費とそれに付随する二酸化炭素排出は抑制される。IEAは、オランダにおけるエネルギーおよび熱生成における二酸化炭素排出量を0.395 kg-CO₂/kwhと見積もっている。当該処理場のコジェネレーション設備(13 Mwh/日)におけるバイオガスからの電気生産に基づいて、削減された二酸化炭素排出量は5.2 t-CO₂/日と算定された。しかし、最初沈殿池汚泥の重力濃縮槽、遠心脱水設備、消化汚泥調整タンク、脱水汚泥貯留槽、ガスエンジンの排気として排出されたメタンは、230 kg-CH₄/日、温暖化係数で換算すると5.7 t-CO₂/日となり、バイオガス利用により削減された二酸化炭素排出量を超過する。その上、大気に排出されたメタンは温室効果ガスとなるだけでなく、処理場のコジェネレーション施設で活用できる可能性もあり、排出することはエネルギーの浪費とも言える。

嫌気性消化はエネルギー回収設備として有効であるが、メタン生成を促すため、周辺設備等からのメタン排出に配慮し、よりよい設計および施設構築を行う必要がある。

(日本下水道事業団 三宅 十四日)

講座

下水汚泥の緑農地利用 ～事業の継続～

山形市上下水道部浄化センター
所長 奥 出 晃 一

キーワード：コンポスト化、事業の継続

下水道事業体にとって、下水汚泥の緑農地利用（コンポスト化）は、汚泥処理処分の一方法である。

しかし「下水道事業体が汚泥処理の一方法として肥料化を行った」というだけでは肥料としては普及しない。下水汚泥に含まれる肥効成分が有用であるとの認識と物質循環の観点からの評価を得ることが必要である。

下水汚泥を肥料として利用することに取り組んだ諸先輩方は、農業分野の方から評価してもらわなければならないことを念頭に抱いていた。そのため、事業の遂行には下水道関係者だけではなく、当初から農業関係者も交えて取り組んできている。

下水道事業はこれからも営々として継続される事業である。それに伴って汚泥も毎日発生する。その中において汚泥の肥料化は発生汚泥の最終処理処分に位置づけられる。汚泥コンポスト化の最終処分はコンポストの販売にある。ここが滞ってしまうと下水処理全体に影響を与えてしまう。

汚泥をコンポスト化することはそう難しいことで

はない。施設を整備しそれなりの運転操作を行えばコンポスト化製品を作ることができる、とは言うものの過去に多くの事業体が汚泥のコンポスト化に参入しているが、いろいろな理由により撤退している。全国的にみると、発生汚泥量の約15%が緑農地利用されているがその割合はここ数年変わらない。

難しいのは、できた製品をどう捌くかである。しかも製品は下水処理場が稼働している限り毎日生産しなければならないものである。

下水汚泥のコンポスト化を選択した場合、製品の流通を常に考えなければならない。これはコンポスト化事業を始める前に立案し、実行できるかを判断する必要がある。

山形市のコンポスト事情については本誌128号に掲載されているのでご参照願いたい。

下水道事業が公共事業であるため全市を挙げて（市長の号令一下）肥料利用の促進に取り組むということもできるが、肥料市場という民間主体の場にどう参入していくかが大きなポイントになる。ここでは肥料と

しての評価、価格が厳しく査定される。しかし現実にはあの下水汚泥が食物の生産に係る肥料として受け入れてもらえるかということにある。

農家にとって肥料は生活の糧である農産物生産の大事な要素である。そこに得体の知れないものなどは使えない。どうすれば使ってもらえるか。

山形市は当初から農家をターゲットにしていた。公共事業での使用も考えられたが結果的にトータル的な量からすれば僅かであった。高速道路の法面、公園整備などは一過性であった。継続的に使用してもらったのはいわゆる篤農家、そしてそこからの波及であった。

汚泥コンポストの普及促進のため、山形市ではコンポストモニター制度を平成13年度に設置した。(コンポスト事業は昭和55年から行っていたが状況の変化などで大量の在庫を抱えることとなったため。)これにより汚泥コンポストを市民の方々に再認識してもらい利用促進を浸透させることができた。モニターの皆さんからは好評をいただいた。(詳細については本誌133号にモニターからの感想文を掲載しているのでご参照いただきたい。)

下水道事業を継続させる時、場内だけで完結するものならいざ知らず、汚泥など場外へ出すものについては継続的にその手法を確立しなければならない。ましてや商品として流通させる場合、商品市場がどのようになっているか、これからどうなるか十分見極めてから設備投資をする必要がある。

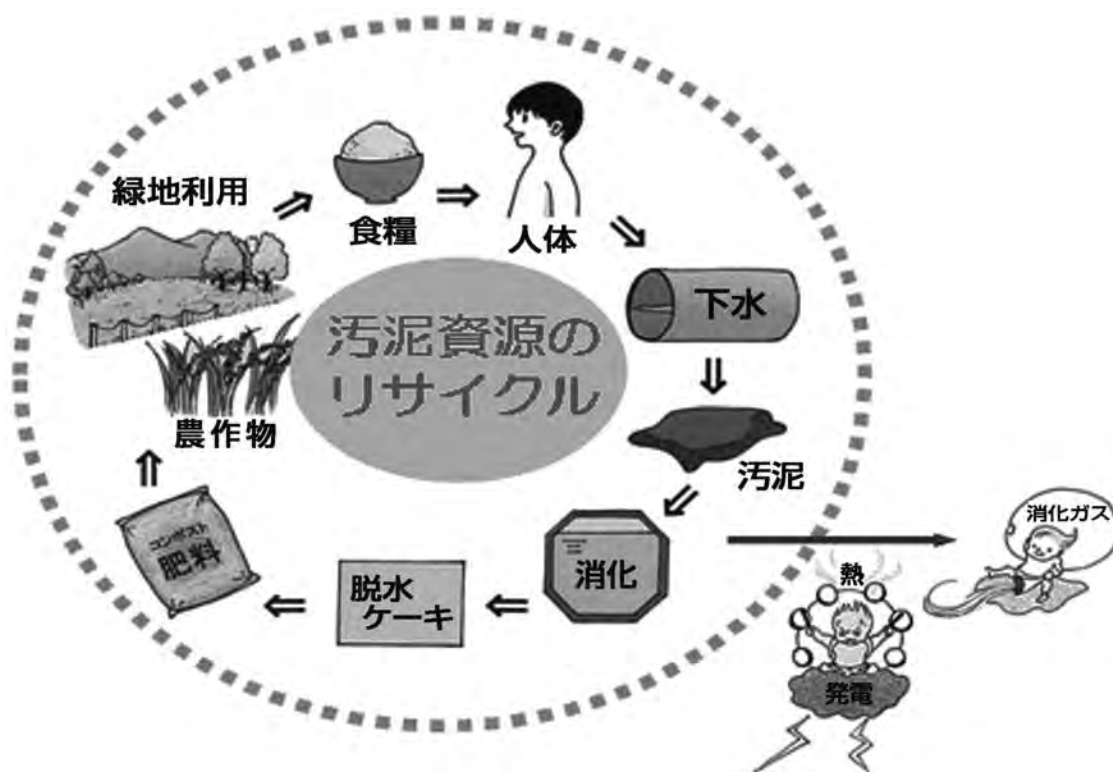
緑農地利用、肥料として販売するとなると今までに経験したことのないことが目の前に表れてくる。日本のTPPへの参加も他人事ではなくなってくる。

下水道は生活に無くてはならないものである。その過程で汚泥が生じてくるのは避けられない。

下水汚泥コンポスト事業の継続、改めて下水汚泥資源リサイクルの図をご覧いただきたい。コンポスト事業に携わる者として、このサイクルを維持していくことが役目と考えている。

<参考文献>

- ・日本下水道協会：再生と利用 113号、128号、133号
- ・日本下水道協会：下水汚泥の農地・緑地利用マニュアル



講座

地域に根ざした下水資源の有効利用 ー佐賀市下水浄化センターでの下水汚泥堆肥化の事例ー

佐賀市上下水道局

佐賀市下水浄化センター 岡 健太郎

キーワード：地域循環、地域密着

1. 佐賀市のあらまし

佐賀市は有明海の湾奥部に位置する人口約23万7千人の街です。地域は東西22.3km、南北37.8kmにわたり、

多くのクリークが広がる肥沃な田園地帯に加え、北は温泉を有する緑あふれる山間地から南は多様な生物の宝庫である有明海まで広がり、県都とはいえ大変自然に恵まれた街です。

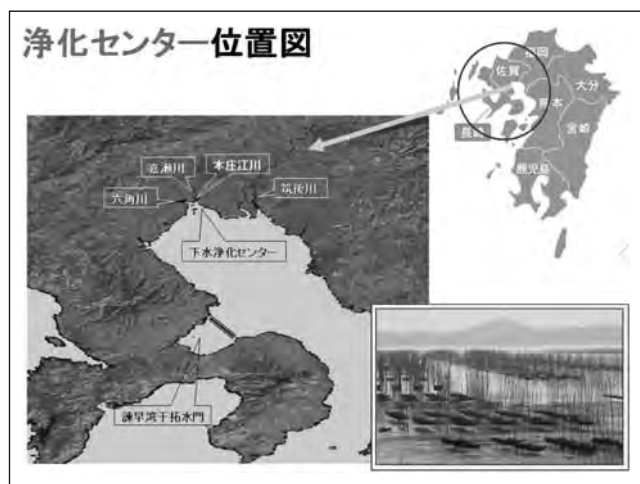


図1 佐賀市下水浄化センター位置図



写真1 下水浄化センター周辺の農地。
奥に見えるのは有明海。

2. 佐賀市下水浄化センターについて

佐賀市下水浄化センターは1978年（昭和53年）11月に供用開始した後、徐々に下水処理水量を伸ばし、

現在は1日当たり約50,000 m³の下水を処理しています。下水の処理方式は標準活性汚泥法（一部担体投入活性汚泥法）となっており、最初沈殿池と最終沈殿池から引き抜いた汚泥は、機械濃縮設備と消化槽を経て遠心分離脱水機で脱水をして、脱水汚泥となります。

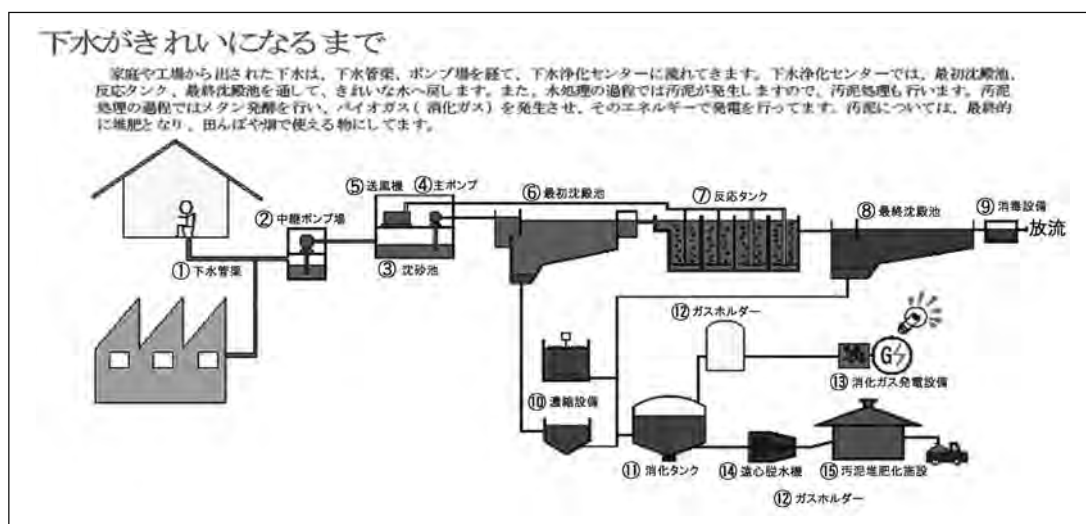


図2 下水浄化センターフロー図

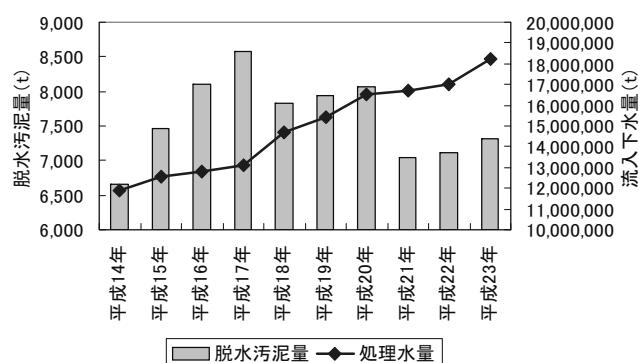


図3 下水浄化センター処理水量・脱水汚泥量

3. 汚泥堆肥化施設建設までの経緯

(1) 汚泥堆肥化施設建設前の脱水汚泥の処分方法

平成元年以降、当センターで発生した脱水汚泥は一部を場内で焼却処理し、その他は全て市外の産廃処分場で処理してもらっていました。平成19年6月に汚泥焼却炉が故障した後は、焼却炉の使用を休止し、脱水汚泥の全量を産廃処分してもらうこととなりました。脱水汚泥の場外搬出量が急増したため、一時期は受け入れてもらえる産廃処分場を探すのに本当に苦労しました。

表1 汚泥堆肥化施設概要

施設	概要
発酵棟	鉄骨造1階建(縦107.8m × 横36m × 高さ8.3m) 受入槽(1)、混合槽(1)、発酵槽(17)、多目的槽(3)、製品処理スペース(1) 脱水汚泥受入能力: 日量30t
脱臭棟	生物脱臭方式 鉄骨造1階建(縦32m × 横12m × 高さ7.4m)
管理棟	事務室: 軽量鉄骨造1階建(縦: 6.4m × 横5.5m × 高さ3.7m) 休憩室: ユニットハウス1階建(縦: 3.6m × 横1.8m × 高さ2.6m)
建設費用	742,000,000円(設計費用を含む)

(2) 汚泥堆肥化施設の建設

当市では平成17年から、老朽化していた汚泥焼却炉を廃止した後の、脱水汚泥の処理の仕方について検討を始めました。平成20年3月にDBO（設計・建設・運営一括発注）方式でのプロポーザルを実施。その後優先交渉権者との契約手続きや、下水浄化センター周辺地域住民との協議等を進め、平成21年4月に汚泥堆肥化施設の建設に着手。同年10月に供用開始しました。



写真2 堆肥化施設外観



写真3 切返し作業

4. 堆肥が“はける”ようになるまで

私どもの地域では、品物がよく売れることを“はける”といいます。

汚泥堆肥化施設で堆肥の製造が始まった時、原料が下水汚泥ということもあり、堆肥が十分にはけるのかどうか、一抹の不安がありました。しかし佐賀市には10,900 haの農地があり、2,600戸以上の農家があって、米、麦、大豆のほか多くの種類の園芸作物が栽培されています。できるだけ多くの方たちに実際に使ってい

ただき、その効果を実感していただければ、広く受け入れられてうまくいくのではないかという考えから、汚泥堆肥化施設の運営管理業者である(株)S & K佐賀では、次のような取組みがなされました。

- ①平成22年度の1年間、希望者全員に必要なだけ無料配布。
- ②800kg袋、350kg袋（フレコンバッグ）での販売（配布）
- ③市農業振興課とタイアップした試験圃場の設置
- ④市報、市ホームページ、新聞等を利用した広報

おかげさまで、肥料そのものの品質については高い評価をいただき、その評判が口コミで広がっていきましました。大きな実がなるようになったとか、作物の甘味が増したなどの効果があった模様で、平成23年からは有料販売となっていますが、大変安価（1kgあたり2円）であることもあって、多くの方がリピーターとなって大量に利用していただいています。先進事例では、堆肥がはけなくて困っているというところが多々あると聞き及んでおりますが、当センターでは今のところ、売れ残った堆肥が場内に大量に積まれているということではなく、順調に“はけて”います。

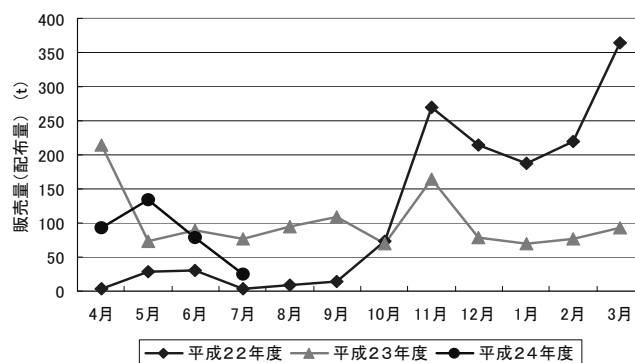


図4 堆肥の販売量（配布量）



写真4 フレコンバッグでの出荷風景

5. 地域に根ざした下水資源の循環

当センターでは、汚泥堆肥化施設が完成するまでは、発生した脱水汚泥をわざわざ市外（一部は長崎県）まで運び、産廃処分をしてもらっていました。運搬用のトラックから排出される排気ガスは、環境に負荷を与えていたことと思いますし、また受入れ先の地域の皆様にも何かとご面倒をおかけしていたことと思います。

しかし、現在は脱水汚泥をすべて場内で堆肥化でき

るようになり、はらはらしながら民間の産廃処分場を探すような苦勞もなく、安定的に処理できるようになりました。しかも、堆肥の大部分は市内の農地や家庭菜園で利用され、下水に隠された資源が再び地域の農地に還るという地域循環の仕組みが出来あがりました。

当センターでは、当面、下水処理量が伸び続ける見込みで、それにつれて堆肥の製造量も増えていくと予想されます。今後とも多くの農業者、家庭菜園愛好者に堆肥を利用していただき、汚泥堆肥化施設が下水資源の地域循環を担い続けることができるよう努めていきたいと思っています。



写真5 家庭菜園愛好者の堆肥積込み作業



写真6 堆肥を買いに来た皆さんの車列

特 別 報 告

清瀬水再生センター 汚泥ガス化炉の技術評価について

東京都下水道局 流域下水道本部 技術部 計画課長

青 木 知 絵

キーワード：ガス化炉、温室効果ガス削減、発電

1. はじめに

東京都では、2006年に「10年後の東京」を策定し、2000年を基準として2020年までに東京都全域で25%の温室効果ガスの削減を目標とした「カーボンマイナス東京10年プロジェクト」を実施している。

東京都下水道局は、東京都の事務事業活動で排出される温室効果ガスの約4割を排出しており、削減目標の達成に向けて、大幅な温室効果ガス排出量の削減を求められている。

このため当局では、下水道機能の高度化等に伴い温室効果ガス排出量の増加が見込まれる中、環境確保条例を順守し、都の温室効果ガス削減対策の先導的な役割を担うため、「アースプラン2010」を策定した。

「アースプラン2010」は、事業活動から発生する温室効果ガス排出量を2020年度までに2000年度比で25%以上削減することとし、新たな削減技術の導入など様々な対策を総合的に検討し、削減目標に向けて対策を加速させていくことにしている。

汚泥ガス化炉は、「アースプラン2010」の重要施策の一つとして位置づけられたものである。

2. 施設概要

汚泥ガス化炉は、従来の汚泥焼却炉の様に下水汚泥を酸素雰囲気の中で完全燃焼させるのではなく、低酸素雰囲気の中での還元状態で下水汚泥を熱分解・ガス化するものである。生成した可燃性ガスは、汚泥の乾燥とガスエンジンによる発電に利用される。熱回収炉では約900℃の高温で燃焼するため、温室効果ガス（特にCO₂の310倍の温室効果を持つN₂O）の大幅な削減が可能となっている。汚泥ガス化炉の導入効果として、以下の2点があげられる。

- ・温室効果ガスの大幅な削減
- ・下水汚泥が保有するエネルギー利用の多様化



清瀬水再生センター 汚泥ガス化炉外観

図1に清瀬水再生センターに設置した汚泥ガス化炉のフローを、表1に主要設備仕様を示す。

- (1) 乾燥機では、汚泥処理工場より送られる含水率76%前後の脱水汚泥を含水率20%程度まで乾燥する。熱源は、熱回収炉の燃焼熱を活用している。
- (2) 汚泥ガス化炉では、乾燥機より送られた乾燥汚泥を低酸素状態で蒸し焼きし、熱分解ガスを発生させる。このガスを改質炉で改質することにより、 H_2 や CO を主体とする良質なタール分の少ない可燃性ガスを生成する。汚泥ガス化炉で発生する熱分解ガスの約1割は改質炉へ送

られ、残りの9割については、熱回収炉へ送られる。

- (3) 改質炉より送られた改質ガス中の灰分、窒素、硫黄等の不純物を取り除き、ガスエンジンに適したガスに調質する。ガスエンジンでは、調質したガスと発電出力安定のための都市ガスを混焼し、150kWの発電を行う。
- (4) 熱回収炉では、汚泥ガス化炉で発生した熱分解ガスを約900℃で燃焼させ、一酸化二窒素(N_2O)の発生を大幅に抑制する。後段の予熱器では燃焼ガスと熱交換し、汚泥ガス化炉用流動空気及び乾燥機用ガスを予熱する。

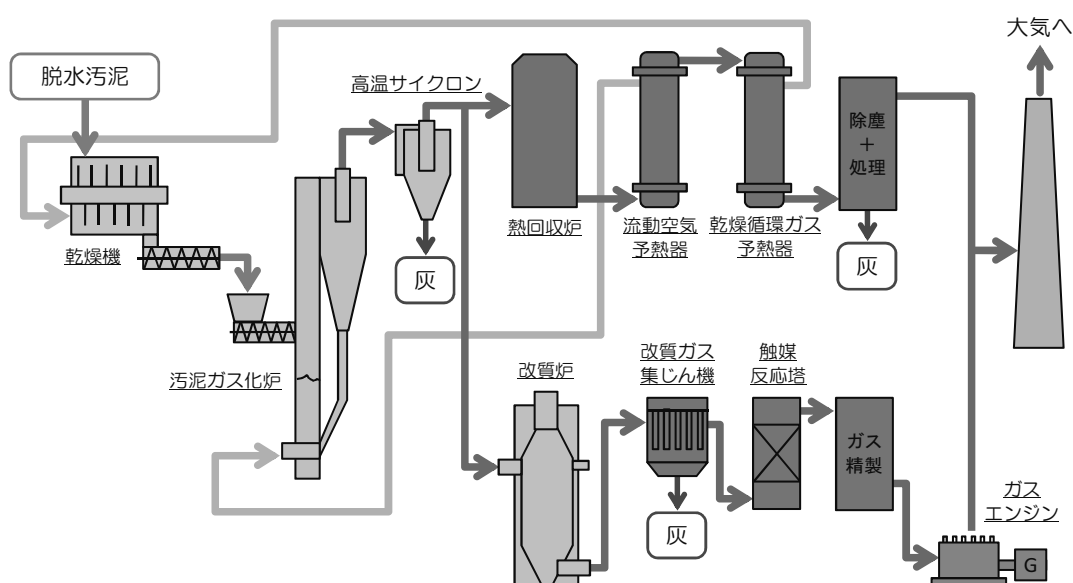


図1 汚泥ガス化炉のフロー

表1 主要設備仕様

主な機器	形式	仕様
乾燥機	熱風乾燥機 ロータリーキルン式	処理能力 4,167kg/h ϕ 2.3m×L9.5m
汚泥ガス化炉	循環流動床炉	ϕ 0.96m×H10m 炉内温度 約 800℃
熱回収炉	縦型円筒式	ϕ 3.5m×H17.7m 炉内温度 約 900℃
改質炉	円筒式	ϕ 0.77m×H5.3m 炉内温度 約 1000℃
改質ガス集塵機	バグフィルタ	処理ガス量 720m ³ /h 入口温度 200℃
触媒反応塔	ハニカム充填塔	処理ガス量 670m ³ N/h 反応温度 400℃
ガスエンジン	レシプロエンジン	改質ガス混焼150kW

3. 運転状況

汚泥ガス化炉は、平成22年7月より稼働開始、2年以上の安定した運転を行い、汚泥を支障なく処理することができた。なお稼働初期に実施した設備改良のた

めの施設停止と平成23年3月11日に発生した東日本大震災とその後の計画停電による汚泥処理の停止の影響で、施設稼働日数は要求水準に対して、平成22年度82.5%、平成23年度92.4%であった。また脱水汚泥処理量は要求水準に対して、平成22年度80.6%、平成23年度94.3%であった。

表2 稼働日数及び脱水汚泥処理量

	要求水準	平成22年度	平成23年度
稼働日数	H22: 240日 H23: 330日	198日 (82.5%)	305日 (92.4%)
脱水汚泥処理量	H22: 24,000t/年 H23: 33,000t/年	19,335t/年 (80.6%)	31,131t/年 (94.3%)

汚泥ガス化炉の点検・補修は、6カ月毎に実施しており、各機器の劣化や損耗状況の確認、炉内やダクトの点検・清掃を行った。ただし、耐火物の補修周期等については、今後の長期的な評価が必要である。

稼働から2年間に実施した設備改善として、都市ガス使用量の大幅削減のため、改質炉のガスバーナーにガスガン機能の追加、改質ガス系のダクト内の灰の堆積を防ぐため、窒素パージ装置の追加などがあり、運転の安定化が図ることが可能となった。

供給される汚泥性状について、要求水準書では、表

3のように、基本点と変動幅を定めている。2年間の稼働実績から清瀬水再生センターの供給した脱水汚泥を評価すると、概ね変動幅の中には入っているが、含水率は、基本点76%に対して、76%～78%であり、高位発熱量は、基本点20,300 kJ/kg-DSに対して、19,200～20,400 kJ/kg-DSであり、高位発熱量については、変動幅を下回る値になることもあった。基本点と比較して、含水率、高位発熱量が厳しい汚泥が供給されたことにより、熱分解ガスの発熱量が低下し、ガス発電に使用される都市ガス使用量が増加した。

表3 基本点汚泥性状と変動幅

	含水率(%)	可燃分(%)	高位発熱量(kJ/kg-DS)
基本点	76	86	20,300
変動幅	70～80	82～88	19,300～20,700

ガス発電は、当初の要求水準を満たすことはできなかったが、都市ガス分の発電量が半分以上を占める結果となった。これは、ガス化炉内に発生するクリンカを抑制するため、ガス化温度を850℃から780℃へ下げたこと、また供給汚泥が基本性状よりも高含水率、低発熱量と厳しかったことにより、熱分解ガスの熱量が下

がったためである。なお、クリンカの発生原因として、清瀬水再生センターの汚泥濃縮設備で使用される塩化第二鉄や汚泥中に取り込まれるリンの影響により、共融現象が発生し、通常より低い温度でリンや鉄の酸化物が溶融しケイ砂とクリンカを形成したと考えられる。

表4 ガス発電量

	要求水準	平成22年度	平成23年度
ガス発電量	100kW以上	137kW	145kW
汚泥由来	—	62kW	52kW
都市ガス	—	75kW	93kW

温室効果ガス排出量は、汚泥含水率や汚泥発熱量の変動もあったが、表5のとおり要求水準の3,500 t-CO₂/年以下を達成した。

燃料由来のCO₂排出量は、供給汚泥の性状変動により、改質炉へ供給するガスのエネルギーが安定しないため、都市ガスを添加することで安定化を図ったことにより生じた。表3の基本点汚泥性状に近い汚泥を安定して供給できれば、さらに削減することが可能と考

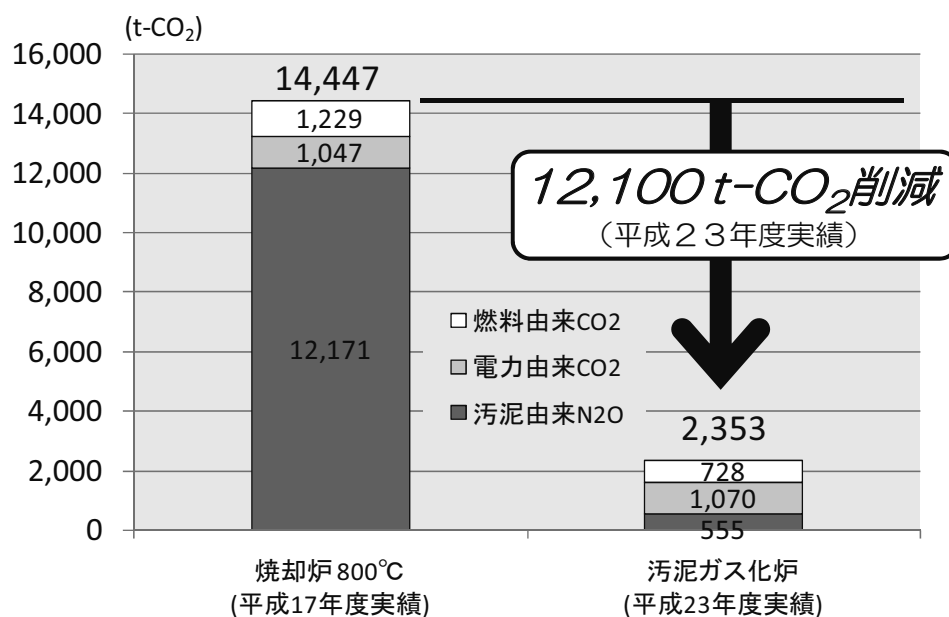
えられる。

汚泥 (N₂O) 由来のCO₂排出量は、熱回収炉温度(900℃)を安定して制御することができたため、既設汚泥焼却炉に比べ、排出量を大幅に削減することができた。

電力由来のCO₂排出量は、既設焼却炉と比較し設備が増えたが、設備の省エネルギー化やガス発電による電力供給により、既設焼却炉と同等の排出量に抑制することができた。

表5 温室効果ガス排出量

	要求水準	平成22年度	平成23年度
温室効果ガス排出量(t-CO ₂ /年)	3,500 以下	2,974	2,353
燃料由来	—	1,154	728
電力由来	—	1,212	1,070
汚泥由来	—	608	555



グラフ1 既設焼却炉と汚泥ガス化炉の温室効果ガス排出量比較

環境性として、排ガス中の大気汚染物質濃度、排気塔における臭気排出強度、排水水質について測定を

行った。全ての項目について、法規制値を満足した。

表6 大気汚染物質濃度

	O ₂ 換算12%時	ばいじん (g/m ³)	NO _x (ppm)	SO _x (ppm)	HCl (ppm)	ダイオキシン類 (ng-TEQ/m ³)
排気塔出口	規制値	0.15	250	6.42	700	5
	測定値	0.008	19.4	0.106	<3	0.0000341
エンジン出口	規制値	0.05	500	—	—	—
	測定値	0.004	144	—	—	—

表7 臭気指数及び臭気排出強度

		臭気指数
敷地境界	規制値	12 以下
	測定値	10 以下

		臭気排出強度 (m ³ N/分)
排気塔出口	規制値	290,000
	測定値	142,500

表8 排水水質

		排水水質 (mg/L)
シアン化合物	規制値	1 以下
	測定値	< 0.1

4. 技術評価

汚泥ガス化炉の運転管理性、温室効果ガス排出量、ガス発電量を要求水準及び法規制値に照らし合わせて評価を行う。

(1) 運転管理性

初期トラブルに対する設備改善効果が発揮され、運転上のノウハウの蓄積が行われた結果、平成23年度はより安定した運転ができています。なお、稼働日数の要求水準を330日として設定していたが、東日本大震災の影響等により達成できなかった。しかし、既存の流動焼却炉は稼働日数を292日（稼働率80%）と設定しており、汚泥ガス化炉は、これを上回る稼働日数305日、稼働率83.6%（平成23年度実績）であることから、既存炉と同等の安定運用が可能である。

また、大気汚染物質濃度、臭気指数・臭気排出強度、排水水質について測定した結果、全ての項目において、法規制値を満足しており、問題はなかった。

(2) 温室効果ガス排出量

汚泥の成分や含水率、高位発熱量などの変動が生じても、要求水準である3,500 t-CO₂/年以下は達成できた。ただし、改質炉へ供給するガスのエネルギー安定

化のために都市ガスを添加したため、燃料由来のCO₂排出量が発生した。

(3) ガス発電量

ガス発電量は、補助燃料として都市ガス等を用いながら、100 kW以上を確保することができ、要求水準を満たした。

(4) まとめ

汚泥ガス化炉の稼働日数は、要求水準に満たない結果となったが、東日本大震災の発生により、設備を停止せざるを得ない不可抗力の状況であった。温室効果ガス排出量、ガス発電量ともに、要求水準を満足しており、大気汚染物質濃度などの各法規制値についても満足していた。

十分な熱エネルギーを得られる汚泥性状（発生量、含水率、発熱量など）が確保できれば、より安定した運転や発電が可能であり、都市ガス使用量も抑制することができると考える。

5. 終わりに

汚泥ガス化炉は、平成22年7月より稼働を開始し、汚泥性状が変動する中でも、汚泥焼却処理を支障なく行え、各法規制値についても全て満足している。また点検・補修等の計画的な停止を行っても年間の稼働率は80%を超えており、既存の流動焼却炉と同等の安定運用が可能である。

また温室効果ガス排出量は、多層型焼却炉やターボ型焼却炉などの燃焼方式を改善した新型焼却炉と同等以上の削減効果があることが分かった。

なお、汚泥ガス発電は、安定した発電量を確保するために、汚泥性状の変動による熱分解ガスの不安定さを都市ガスで補うことが必要となり、都市ガス使用量の増加、都市ガス由来のCO₂排出量が増加した。生成ガスの利用については、汚泥性状などを考慮し、熱による発電や他の利用方法も検討し、水再生センターの特性に応じた最適な生成ガス利用設備を選定する必要がある。

汚泥ガス化炉は、燃焼方式を改善した新型焼却炉と同様に温室効果ガス削減効果のある焼却炉とし、今後の焼却炉建設にあたっては、選択肢の一つとして考えていく。また焼却炉に関する新技術についても積極的に導入を図り、合わせて発生するガスや熱などのエネルギーの有効利用についても取り組んでいきたい。

特 別 報 告

食品廃棄物バイオガス化施設 「神立資源リサイクルセンター バイオプラント」

日立セメント株式会社 環境事業本部

小 泉 達 也

キーワード：バイオガス化、メタン発酵、食品廃棄物、生ごみ、食品リサイクル

はじめに

福島第一原発の事故により再生可能エネルギーへの関心が高まっている。太陽光、風力をはじめとする自然エネルギーが最大限の注目を浴びているが、これらは手軽にかつ無尽蔵に利用可能なエネルギーとしての価値は高いものの、気候条件に左右されやすいなど不安定な要素も持っており、今後は再生可能エネルギーも多様なモードを組み合わせ使っていきべきだろうと筆者は考えている。

バイオマスもそのひとつであり、大気中のCO₂、および水と無機物をもとに、太陽エネルギーによって光合成して生成された生物由来の有機物であり、生物と太陽がある限り持続的に再生可能な資源である。なおかつ、我々に身近な廃棄物の中にも、バイオマスエネルギーとして利用可能なものが存在することから、廃棄物処理とエネルギー回収の両側面をもったリサイクル方法の拡充が最も効率的であろう。

このような中、今春、弊社は生ごみをはじめとした食品系廃棄物系バイオマスを取り扱うバイオガス化施設『神立資源リサイクルセンター バイオプラント』を竣工させた。

食品廃棄物処理施設であると同時に、バイオ燃料および肥料の生産施設でもある。また、本邦初の試みと

して、既存の焼却施設とバイオガス化施設を相互に連携・融合した「ハイブリッド型リサイクルセンター」でもある。簡単ではあるが施設概要を紹介する。

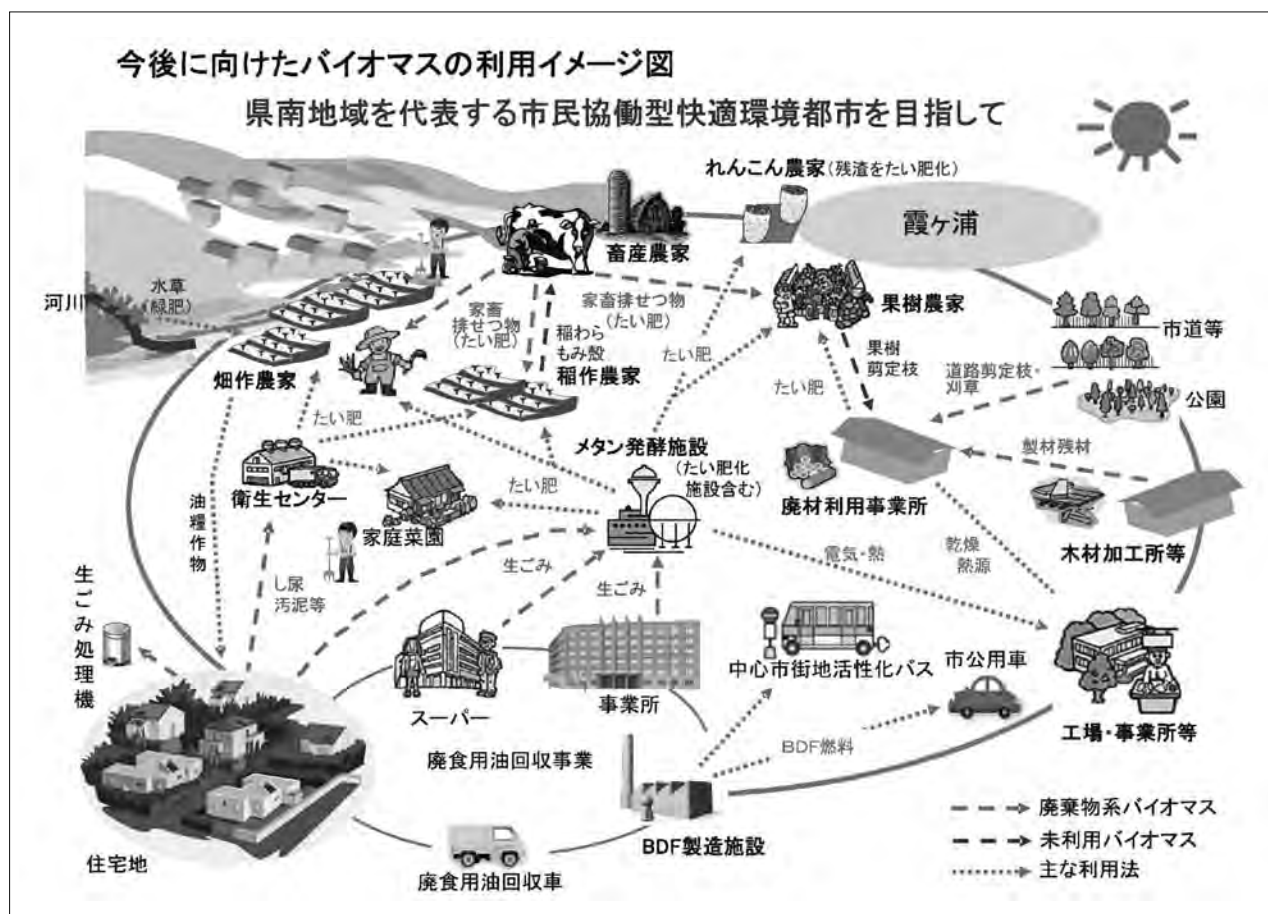
土浦市のバイオマス利用構想の中核施設として

弊社は、茨城県の南部、東に霞ヶ浦、西に筑波山を望む、土浦市にリサイクル事業拠点『神立資源リサイクルセンター』を有している。平成6年から、焼却施設『エコプラント』を稼働させており、県北部・日立市にあるセメント製造工場にて、燃え殻の一部をセメント原料に再資源化することをコンセプトとしてきた。

土浦市は、人口14万人ほど、水と緑に恵まれた歴史と伝統ある都市である。商業・農業・工業がバランス良く発展しており、官・民・市民の3者が協働するまちづくり、霞ヶ浦を中心とする住みよい環境都市の形成をスローガンに掲げている。

平成22年4月、土浦市は、学識・行政・事業者・市民からなる委員会によって、





土浦市バイオマスタウン構想イメージ図（出典：土浦市ホームページ）

「土浦市バイオマスタウン構想」を策定した。この構想では、土浦地域に眠るバイオマス資源の現状を分析したうえで、今後のバイオマス活用方針を定め、「地球温暖化防止や循環型社会形成の促進などを図るとともに、農業・環境・まちづくりの3点から、培われた自然の保全及び協働で築く環境整備を進め、茨城県南地域を代表する市民協働型快適環境都市の実現を目指す」としている。

今回、弊社が竣工させた『神立資源リサイクルセンター バイオプラント』は、土浦市が掲げたバイオマスタウン構想の中核をなす施設である。

地域バイオマス資源（食品廃棄物）の循環利用を推進

我が国では、食糧自給率は4割という状況でありながら、実に年間約2,000万トンもの食品廃棄物が発生している（食品関連事業者・家庭からの廃棄物）。これは、国内食用仕向量約9,100万トンに対して約20%（H20 農林水産省 総合食料局推計値）、国民一人あたりにして毎日500gにも相当する。

近年、食品リサイクルへの理解の高まりから、たい

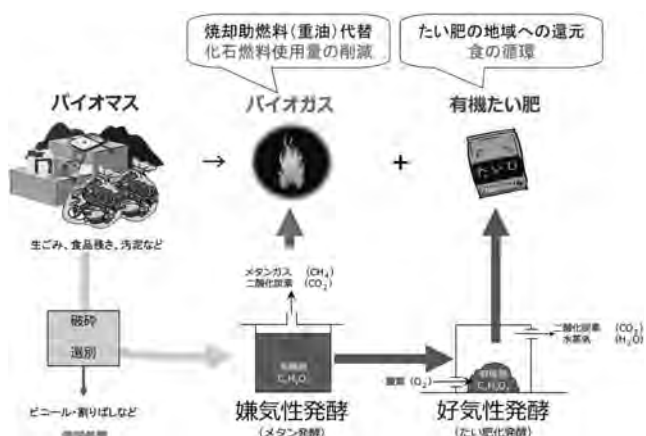
肥化やエコフィード（家畜のエサ）化はすすみ、徐々にリサイクル率はアップしているが、廃棄物の性状やコストの面から、リサイクルされずに焼却されているものが依然として多い。こと地域商業施設や、家庭からの食品廃棄物（いわゆる「一般廃棄物（生ごみ）」）は地域自治体のごみ処理施設でほぼ全量が焼却されているのが実態である。

弊社が立ち上げた『神立資源リサイクルセンター バイオプラント』は、こうした地域食品廃棄物の現状を鑑みたうえで、「土浦市バイオマスタウン構想」に基づき、「食品廃棄物(生ごみ)」を「バイオガス」と「有機たい肥」にリサイクル・有効活用する施設として運営していくものである。

嫌気発酵と好気発酵のカスケード処理

『バイオプラント』では、「発酵不適物の選別」を行った後、「嫌気発酵（メタン発酵）」と「好気発酵（堆肥化発酵）」の二つの生物処理を連続して行う。

食品廃棄物はごく一部を除けば、ほぼ飼料や肥料にリサイクルすることは可能である。しかし、容器・包装等に梱包された廃棄物は、排出者側で多大なコスト



をかけて分選別するか、分別の手間を惜しんで焼却される事例が多く、なかなかリサイクルが進まないのが現実である。

『バイオプラント』では、多種多様な荷姿、排出形態に対応出来る受入・前処理設備を備えた。ここで選別された発酵不適物については、紙・プラ等は隣接する『エコプラント』で焼却、ビン・缶類は再生資源としてリサイクル処理されることになる。

前処理により選別された食品廃棄物は、メタン発酵処理に移される。当施設の廃棄物処理施設としての許能力は、メタン発酵処理量で「135.9 t/日」と、我が国最大級の規模である。

メタン発酵処理は、可溶化を経た上で、実積の多い中温湿式方式を採用した。水理学的滞留時間;HRTは、可溶化槽で3日、メタン発酵槽で20日である。可溶化槽・メタン発酵槽の加温は、いずれも先に紹介した『エコプラント』から供給される余剰蒸気の直接吹き込み

により行っている。

メタン発酵槽で発生させたバイオガスは、脱硫処理を経て『エコプラント』に供給される。『エコプラント』では、焼却処理の助燃料(重油)の代替として利用する。バイオガス発生量は、定格処理時で日量7,300 Nm³、重油換算で4.3 kℓ分に相当する。

さて、バイオガスを取り出した後処理であるが、発酵槽から引き抜いたメタン発酵残さ(消化液)は、脱水機にて固液分離する。

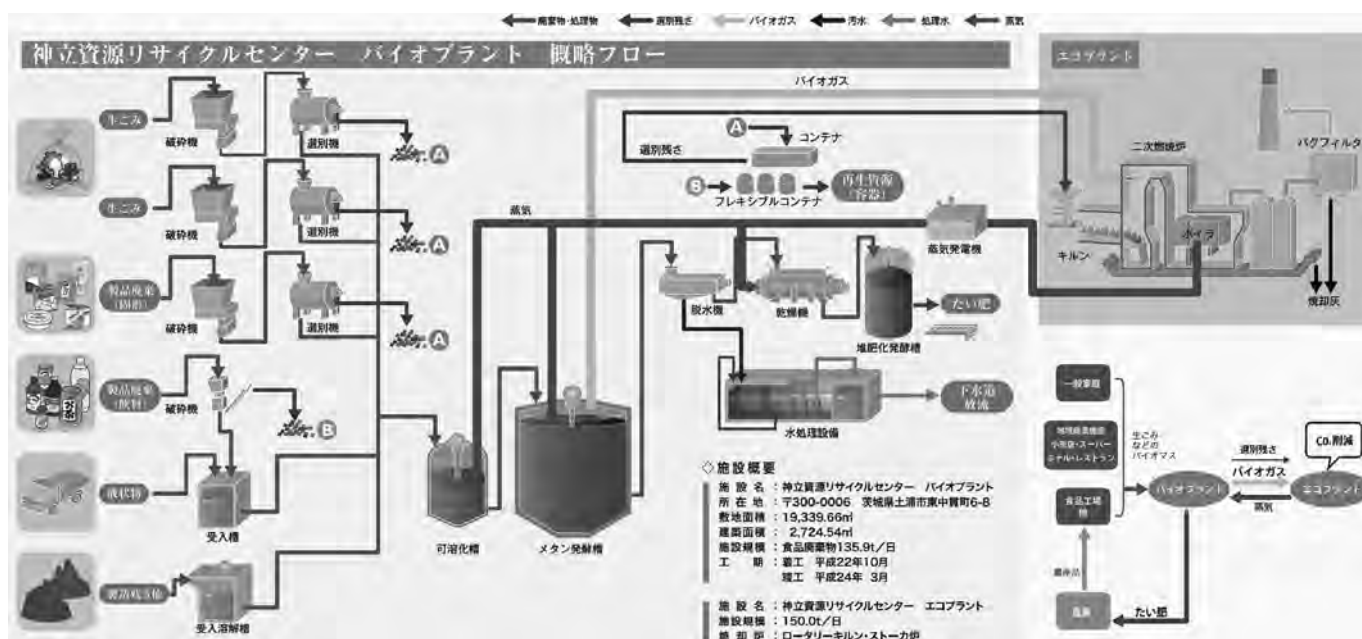
液分は水処理を行った上で、公共下水道へと放流される。霞ヶ浦の畔という地理的条件から、放流水の水質には最大限の配慮を行った。食品廃棄物のメタン発酵処理の排水であることから、律速となる水質基準は窒素であるため、窒素除去を主とした高負荷膜分離式硝化脱窒素方式を採用している。なお、水処理系では余剰汚泥の引き抜きは行わず、返送汚泥としてメタン発酵処理での希釈水として使用する。したがって、メタン発酵槽に投入された固形分は、最終的に全てが発酵堆肥化されることになる。

固形分については、『エコプラント』から送られる蒸気を用いた間接乾燥機により、含水率を調整し、密閉型の発酵槽により、7日間掛けて発酵堆肥化させる。消化汚泥の肥料化であることから、通常の堆肥化処理のように強いアンモニアや有機酸系の臭気が抑えられ、含水率30%程度の扱いやすい顆粒状の肥料となる。

本来、消化液には多くの肥料要素が残っていることから、液肥としての利用価値は高い。ただし、当地においては、液肥としての利用方法の認知度が低いこ



バイオプラント外観
(左から管理棟、受入・前処理等を行うバイオ棟、1槽1,800 m³の容量を持つメタン発酵槽)



バイオプラント 概略フロー図

と、および、過剰施肥・水系への流出の恐れも否めないことから、当施設では扱いやすい有機たい肥（汚泥発酵肥料）として加工することになっている。とはいえ、液肥としての利用は、水処理コストの低減にも寄与することから、時間を掛けて利用方法の開拓を検討していきたいと考えている。

このように、当施設でのリサイクルは、メタン発酵によるバイオガス化だけでなく、その残さをも肥料化し、バイオマス資源を余すところなく活用する。地元・茨城県は、有数の農業生産地域でもあり、生産肥料の農地還元、および肥料を用いた農産品の消費者への再供給が可能となり、地域での食の循環（リサイクル・ループ）形成を推進するものとした。

焼却施設とメタン発酵施設のハイブリッド化

さて、当施設一番の特徴として、既存焼却施設との連携、ハイブリッド化が挙げられる。

これまでのバイオガス化施設では、発生したバイオガスを電力に変換して利用することが一般的であった。ただし、発電に伴うエネルギー変換効率は電熱併給（コジェネ）でも総合60%、電力だけでは30%弱と極めて低い。当施設では、バイオガスを直接燃料として利用することで、実質上のエネルギー変換効率は100%となり、発生エネルギーの有効活用方法としては効率が良いことが特徴である。バイオガス化によって得られるエネルギーは、重油にして年間約1,500kℓ相当であり、これは、地球温暖化ガス；GHG 4,000t-CO₂/年の削減に相当する。

焼却施設の余熱についても、通常は温水利用などの隣接需要（プール、温浴施設など）がなければ有効に活用された例は少なく、当施設ではメタン発酵処理に必要な加温エネルギーとして、また、その残さを肥料化する際の乾燥熱源として、余熱を十分に活用することが可能となっている。

つまり、『バイオプラント』は、『エコプラント』へバイオガスを供給、逆に『エコプラント』からは余剰蒸気の供与を受ける。二つの施設が連携してガス・熱エネルギーの効率的利用を図っているわけである。

最後に

『神立資源リサイクルセンター バイオプラント』は、本年3月末に竣工後、5月からの実負荷運転による試運転を開始し、一般廃棄物および産業廃棄物の処分業許可を取得の上、7月からは営業運転を行っている。同時に、土浦市の取り組みにより、一部地域で市民による生ごみ分別回収モデル事業が始まっており、生活系生ごみの処理も開始している。現在、産業系、生活系双方からの食品廃棄物系バイオマスのリサイクル施設として運転している。

振り返ると、この事業の企画から営業開始まで、実に5年の期間を要した。その間、ご指導を頂いた東北大学名誉教授・野池達也先生、施設設計・建設をお願いした水ing株式会社様、そして各方面でご調整を頂いた地元・茨城県、そして土浦市には、この紙面をお借りして最大限の謝意を表します。

コ ラ ム

スローライフで自然に育まれる生活を再発見

世の中のあらゆる変化のスピードがとみに速まって、何もかもめまぐるしく移り変わることが当たり前になってきた。そんな中自分の生き方として、スローライフという言葉の意味が重みを増してきたように感じる。筆者も在籍していた大学の法人化の波にのまれ翻弄され続けてきたが、数年前の定年退職を機に晴耕雨読の生活に移行しつつあり、これがスローライフというものかとなんとなく実感している。

スローライフという言葉を知ったのはそれ程前のことではない。大学同期の友人が三重スローライフ協会を立ち上げ、共感するところがあってその会員に加えてもらったことから記憶している。彼とは、10年以上前大学の学科改組で全く新しい学科（資源循環学科）を立ち上げた時から同じ理念の下に行動してきたこともあり、その考え方に大きく影響を受けてきた。人間社会の持続性を図るためにあらゆる資源は完全に循環させる必要があることを中心にすえて、理想にもえて新学科を立ち上げたことが思い出される。循環の一部を構成する「分解」は微生物の働きに依存するものである。化学薬品処理のように力任せに速くできるものではなく、下水処理も近い発想のもとにあるのではないかなどと勝手なことを考え、何より下水道は循環の道そのものであることから「再生と利用」編集委員会の末席に加えて頂きありがたく勉強させて頂いてきた。

スローライフ協会の文書などによると、この協会は、「なつかしい未来」をコンセプトに、物質的に豊かになった中で見失ってきたもの、人のつながりやモノを大切にすること、自然とのかかわりを大事にすることを目指している。そのための具体的な行動として5つの種を播くことを提案している。曰く、平凡人生（ゆったりした循環と生きがい育てる種）、農村産業（環境に配慮した地域産業を育てる種）、天然活用（資源について考える知恵を育てる種）、地産地食（自然と伝統の味覚を育てる種）、天習地学（食農や環境を学んでいく種）であり、どれも共感できるし、今の自分の生活そのもののように思える。筆者のすむ三重県中部の中山間地はこのような生き方を実践するのに最適な場所だと思っており、この地に少しの農地と山林を残してくれた先祖に感謝している。

ゆったりした気分の毎日であるが、最近それを妨げる強敵が現れ困っている。鳥獣害である。筆者が子供の頃にはそれほど問題にはなっていなかったように記憶しているが、いつの頃からか、山に囲まれた谷すじの水田ではイノシシの害に手を焼き、トウモロコシやスイカが対策（防鳥網）無しでは収穫できなくなった。最近ではこれに加えて鹿とサル害がひどくなった。鹿は網と電気柵で今のところ防げているが、サルだけはどうしても防げず、「明日には収穫できる」と思っていると前日にどこからともなく大集団で現れて、全て持って行ってしまふ。未熟なものは引きちぎって捨ててある。彼らを特に嫌いなわけではないが、1年の苦勞を見事なまでのタイミングで台無しにされると本当に腹がたつ。なによりやる気をなくしてしまう。彼らとの棲み分けを何とか図れないものかと考えているが、これがなかなか難しい。

鳥獣との追いかけあいや、となりの田を耕す隣人との作柄に関する会話を含めて、ゆったりとした時の流れを楽しみ、農作業中に吹き抜ける風に最高の涼しさを感じ、自分で作ったものを食べ、自然の中に身を置く幸せをかみしめている。

三重大学名誉教授 小畑 仁

報 告

再生可能エネルギーの 固定価格買取制度について (下水道関係を中心に)

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：買取価格、買取期間、補助金

1. はじめに

東日本大震災と東京電力福島第一原子力発電所事故は、我が国のエネルギー政策の転換を求める大きな契機となった。平成24年7月31日に閣議決定された「日本再生戦略」においては、「原発からグリーンへ」のエネルギー構造転換を強力に進める「グリーン成長戦略」が最重要戦略として位置付けられ、原発への依存をできる限り減らし、再生可能エネルギー及び省エネルギーに主役をシフトしていく方針が示された。

下水道においては、下水汚泥を利用したバイオマス発電、下水道施設を活用した小水力・太陽光発電等、大きな創エネルギーポテンシャルを有しており、下水道における再生可能エネルギーの導入に対する期待が高まっている。

これらの再生可能エネルギー導入の大きな後押しとなる「再生可能エネルギーの固定価格買取制度」が7月1日からスタートした。本稿においては、当該制度の概要について下水道関係を中心に紹介する。

2. 固定価格買取制度

2-1 制度の概要

平成24年7月1日、「電気事業者による再生可能エ

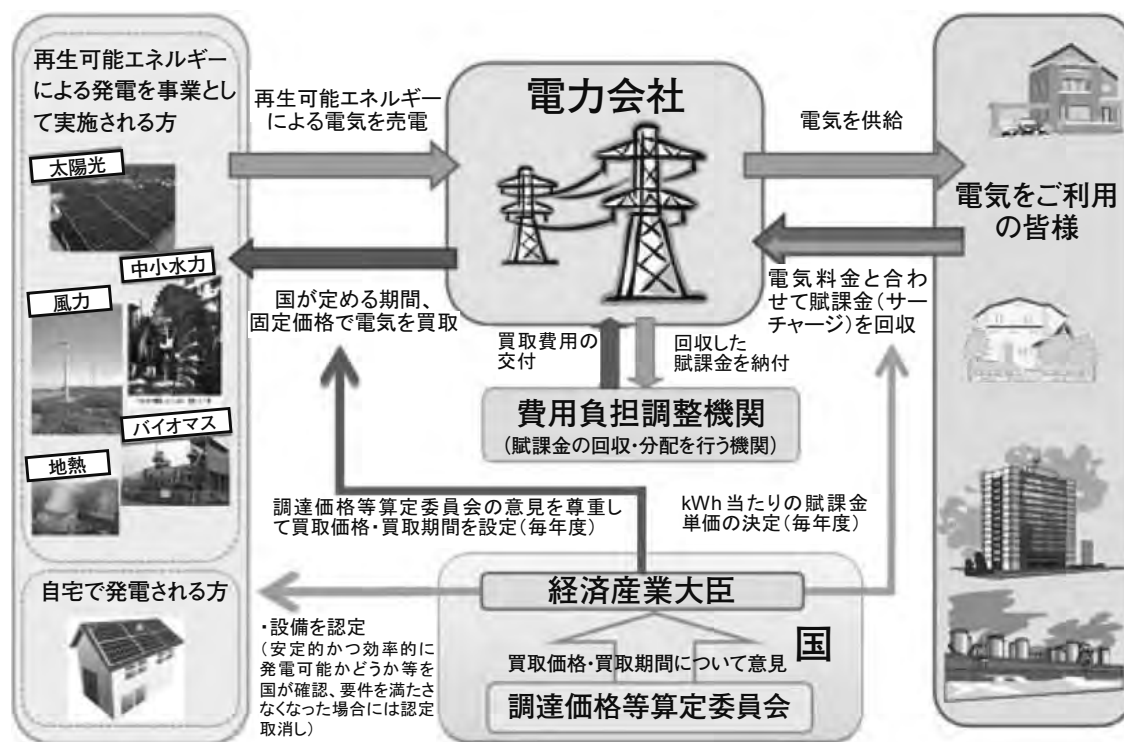
ネルギー電気の調達に関する特別措置法」の施行により、「再生可能エネルギーの固定価格買取制度」が開始された。本制度は、①エネルギー安定供給の確保、②地球温暖化問題への対応、③環境関連産業の育成を目的としたもので、再生可能エネルギー源（太陽光、風力、水力、地熱、バイオマス）を用いて発電された電気を、電気事業者に、一定の価格・期間で買い取ることを義務付けるものである。

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

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

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

また、本制度を活用して売電するためには、当該発



(出典)経済産業省 HP より

図1 固定価格買取制度の仕組み

電設備について事前に国の認定を受けることが必要である。

2-2 平成24年度の買取価格・期間

上述のとおり、買取価格・期間については、毎年度、経済産業大臣によって定められる。以下に、平成24年度の買取価格・期間について、下水道に関連が深いものに特化して紹介する。

ア) 下水汚泥由来のバイオマス発電

下水汚泥関係としては、バイオガスにより発電さ

れた電気が[40.95円/kWh・20年間]、下水汚泥の燃焼により発電した電気が[17.85円/kWh・20年間]で買い取られることとされている。

イ) その他

太陽光については、10 kW 以上が [42円 /kWh・20 年間]、10 kW 未満（ダブル発電を除く。）が [42円 /kWh・10 年間]、小水力発電については、規模に応じて [25.2～35.7 円 /kWh・20 年間]、風力発電については、20 kW 以上が [23.1 円 /kWh・20 年間]、20 kW 未満が [57.75 円 /kWh・20 年間] とされている。

バイオマス	メタン発酵 ガス化発電	未利用木材 燃焼発電※ ¹	一般木材等 燃焼発電※ ²	廃棄物(木質以外) 燃焼発電※ ³	リサイクル 木材燃焼発電※
調達価格 (税込)	40.95 円	33.6 円	25.2 円	17.85 円	13.65 円
調達期間	20 年間	20 年間	20 年間	20 年間	20 年間

※1: 間伐材や主伐材であって、後述する設備認定において未利用であることが確認できたものに由来するバイオマスを燃焼させる発電

※2:未利用木材及びリサイクル木材以外の木材(製材端材や輸入木材)並びにパーム椰子殻、稲わら・もみ殻に由来するバイオマスを燃焼させる発電

※3: 一般廃棄物、下水汚泥、食品廃棄物、RDF、RPF、黒液等の廃棄物由来のバイオマスを燃焼させる発電

※4: 建設廃材に由来するバイオマスを燃焼させる発電

(出典)経済産業省 HP より

図2 バイオマス発電に係る調達価格・調達期間（平成24年度）

2-3 下水道事業の補助金等交付の考え方

本制度を活用して発電を行う場合の補助金等交付の考え方については、9月14日付けの事務連絡「再生可能エネルギーの固定価格買取制度における下水道事業の補助金等交付の考え方等について」（以下「考え方」という。）によって、各地方公共団体の下水道部に周知されたところである。

この考え方においては、売電のための発電施設、送電施設等については、国庫補助金等の交付目的を逸脱するため、交付対象とはならないことが示されており、下水処理場においてバイオマス発電や太陽光発電等を導入し、全量売却する場合には、原則、単独費により下水道管理者自らが発電施設を設置、又は民間事業者等が下水処理場の敷地を借用して発電施設を設置することとなる。以下に、バイオマス発電と太陽光発電導入における補助金適化法の適用の考え方についてそれぞれ概略を示す。

①バイオガス発電

単独費により自らバイオガス発電施設を設置する場合には、発電施設自体の財産処分は不要であるが、売電のための送電施設等については、当該施設を設置する土地、建物等が補助対象財産である場合、財産処分の承認申請が必要である。一方、民間事業者がバイオガスを売却し、民間事業者がバイオガス発電を実施する場合には、発電施設及び送電施設等を設置する土地、建物等が補助対象財産である

場合、財産処分の承認申請が必要である。また、バイオガスの売却収入については、維持管理費等の範囲において国庫返納を要しないこととされている。

②太陽光発電

単独費により自ら太陽光発電施設を設置する場合には、発電施設及び送電施設等を設置する土地、建物等が補助対象財産である場合、財産処分の承認申請が必要であるが、売電収入については、維持管理費等の範囲において国庫返納を要しない。一方、民間事業者等が下水処理場等において太陽光発電を行う場合には、発電施設及び送電施設等を設置する土地、建物等が補助対象財産である場合、財産処分の承認申請が必要であるとともに、土地の借用料等の収入については、維持管理費等の範囲において国庫返納を要しないこととされている。

3. おわりに

現在、下水汚泥のエネルギー化率は約13%、全国の下水処理場における太陽光・小水力・風力発電の発電電力量も約700万kWh/年（下水処理場のエネルギー使用量の約0.1%に相当）にとどまっているが、本制度の活用によって、下水道における再生可能エネルギー導入がより一層拡大されるとともに、ひいては、下水処理場の再生可能エネルギー供給拠点化に貢献していくことを期待する。

報 告

野菜類の生育収量と有機質肥料の
窒素形態との関連性*（その2）

*一部改題

（一財）日本土壌協会

古畑 哲・五十嵐孝典・小坂 谷義

キーワード：窒素形態画分、ハウレンソウ、キャベツ、ダイコン、分岐根

はしがき

筆者ら¹⁾は、下水汚泥コンポストなど各種コンポストについて、植物体窒素化合物の粗分画法²⁾に準拠して、窒素化合物を「A：非タンパク態窒素」、「B：可溶性タンパク質」、「C：膜結合性タンパク質」、「D：細胞壁構成タンパク質」の4形態に分画し、コンポストの種類によって窒素化合物の形態画分の分布に特徴のあることを認めた。

野菜類は作目などによって生育期間が大きく異なり、また窒素の吸収パターンも直線型、指数関数型、シグモイド型などに大別される。各種の有機質肥料の有効な利活用を図るには、野菜類の作目ごとに、それらの生育収量に及ぼす有機質肥料、特に窒素形態との関連について検討することが重要と考えられる。そこで各種有機質肥料の窒素施用量を一定にして、野菜類に対する圃場の栽培試験を実施している。

前報³⁾ではフダンソウ、ハクサイ、ナスを供試作物とした試験結果について報告した。引き続き本報ではハウレンソウ、キャベツ、ダイコンを供試作物として栽培した結果について述べることにする。

1. 試験圃場および供試有機質肥料

千葉県白井市富塚および前原の圃場において、下水

汚泥コンポストなどの有機質肥料を野菜類に施用し、それらの生育収量調査を行った。圃場試験区分は前報では供試作物のフダンソウを区分Ⅰ、ハクサイを区分Ⅱ、ナスを区分Ⅲとした関係で、本報ではハウレンソウを区分Ⅳ、キャベツをⅤ、ダイコンをⅥとした。ダイコンについては2011年秋作および2012年春作に取り上げたので、前者の試験をⅥ-1、後者をⅥ-2とした。いずれの圃場試験区分とも、有機質肥料を7～9種類用い、対照区として化学肥料の単肥区を設けている。有機質肥料は同一銘柄であっても肥料成分の変動が概して大きいので、新たに用いたものについて、以前使用したと区別するために肥料名の後に丸数字をつけている。

富塚および前原の両地点の土壌は、ともに透水性と通気性がほぼ良好で、中粒質の淡色黒ボク土に分類される。富塚の作土の化学性は、pHが6.78と中性に近く、腐植が4.78%と少なく、陽イオン交換容量が29程度で、交換性Caが高く、塩基飽和度が93%と高い。リン酸吸収係数は2060であり、また、可給態リン酸が8.4と野菜畑としては平均よりやや低い。前原の作土の化学性はpHが6.5と中性に近く、腐植が3.92%と少なく、陽イオン交換容量が17程度で、交換性塩基類含量および塩基飽和度が低い。リン酸吸収係数は2390と高く、母材が火山灰であり、また、可給態リン酸が10と低く、耕作経歴の若い圃場とみなされる。

表1 圃場試験の概要

圃場試験 区分	作物	窒素吸収 パターン	試験地	年次 作付期間	供試有機質肥料		
IV	ハウレンソウ	指数関数	富塚	11年秋作 9/23～11/25	甲府④ 珠洲② 創和	結城 芳賀	須賀川② 静岡③
V	キャベツ	直線	富塚	11年秋作 8/16～11/16	甲府④ 雄武② 静岡③	結城 珠洲② 創和	須賀川② 芳賀
VI-1	ダイコン	指数関数	前原	11年秋作 9/6～11/15	甲府④ 雄武② 静岡③	結城 珠洲② 創和	須賀川② 芳賀
VI-2			富塚	12年春作 5/1～6/25	甲府④ 石和 芳賀②	大玉 朝日 静岡④	須賀川② 珠洲② 境川

表2 供試有機質肥料の肥料名、原材料、製法の特徴

肥料の略称	原料別にみた 有機質肥料のグループ	主要原材料(現物含有比率) および製法の特徴
甲府	下水汚泥コンポスト	高分子系下水汚泥(57%)、おがくず(43%) 縦型密閉攪拌方式(一次) 14日 堆積発酵(二次) 60日
結城	し尿汚泥コンポスト	し尿汚泥(60%)、食品汚泥(19%)、 乾燥し尿汚泥(7%)、コーヒー粕(9%)、ゼオライト(5%) 箱型堆積発酵(一次) 30日 箱型堆積発酵(二次) 60日
須賀川	融合生ごみコンポスト	下水汚泥(20%)、食品汚泥(50%)、 食品残さ(20%)、たばこ葉粕(10%) 攪拌発酵 25日
雄武	融合牛ふんコンポスト	下水汚泥(20%)、牛ふん(10%)、おがくず(70%) 攪拌発酵
珠洲	乾燥汚泥肥料	下水汚泥(49%)、集排汚泥(2%)、 浄化槽汚泥(26%)、し尿(21%)、生ごみ(2%) メタン発酵施設においてメタンを発生、 残さを乾燥した汚泥肥料、ペレット
芳賀	生ごみコンポスト	生ごみ(25%)、牛ふん(25%)、おがくず・もみがら(50%) スクープ式発酵(一次) 30日 堆積発酵(二次) 70日、ペレット
静岡	バーク堆肥	バーク(80%)、コーヒー粕(20%)、 鶏ふん(少量)、尿素(少量) 堆積発酵(一次) 野積み 1.5年 堆積発酵(二次) 野積み 0.5年
創和	牛ふん堆肥	牛ふん(40%)、おがくず(60%) 堆積発酵(一次) 45日 堆積発酵(二次) 60日
大玉	生ごみ堆肥	生ごみ(23%)、牛ふん尿・おがくず・もみがら(60%)、 戻し堆肥(17%) 一次:横型攪拌槽、ロータリ式25日 二次:堆積発酵 80～110日
石和	生ごみ堆肥	生ごみ(50%)、剪定枝チップ(50%) 一次:堆積発酵 83日 試作品
朝日	生ごみ堆肥	生ごみ(50%)、剪定枝・刈り草チップ(40%)、 米糠・竹酢液(10%) 一次:堆積発酵 120日 二次:堆積発酵 30日
境川	汚泥乾燥肥料	石灰系脱水ケーキ(100%) 造粒押し出し式の乾燥ペレット

供試した有機質肥料の内容について表2に示す。甲府は高分子凝集剤使用の脱水ケーキとおがくずを原材料とした下水汚泥コンポストである。結城はし尿汚泥コンポストで、し尿汚泥を主体に食品汚泥、コーヒー粕、ゼオライトを混合している。須賀川と雄武は融合コンポストで、須賀川は下水汚泥、食品汚泥、食品残渣、たばこ葉粕を、雄武は下水汚泥、牛ふん、おがくずをそれぞれ原材料として攪拌発酵させたものである。珠洲は下水や浄化槽などの汚泥類に生ごみを加えてメタン発酵を行い、その残渣を乾燥してペレットにした肥料である。芳賀は生ごみとおがくずを混合した牛ふん尿を主原料に、もみガラを副資材とした生ごみ堆肥である。静岡は樹皮を主原料にコーヒー粕などを加えたパーク堆肥である。創和はおがくずを混合した牛ふん尿を堆積発酵させた牛ふん堆肥である。

そのほか、VI-2で供試した大玉、石和、朝日はいずれも生ごみ堆肥で、大玉は生ごみに牛ふん尿、もみガラ・おがくずを原材料とし一次発酵を攪拌、二次発酵を堆積させたもの、石和は当方で行った堆肥化試験の試作品で、生ごみと剪定枝粉末を等容量混合して堆積発酵させたもの、朝日は野菜屑を主体とした生ごみに剪定枝や刈り草のチップ、米糠・竹酢液を混合し堆積発酵させたものである。境川は石灰系の凝集剤を使用した脱水ケーキを発酵処理をせずに押し出し方式でペレット化した汚泥乾燥肥料である。

供試有機質肥料の現物当りの三要素含有率について表3に示す。

表3 有機質肥料の三要素含有率

肥 料	現物当たり%		
	窒素	リン酸	カリ
甲府④	1.76	1.82	0.44
結城	2.05	4.78	1.07
須賀川②	3.01	2.92	2.69
雄武②	0.65	0.71	1.25
珠洲②	4.75	4.08	0.67
芳賀	1.70	1.05	2.51
静岡③	0.67	0.44	0.45
創和	0.87	1.02	1.90
大玉	1.50	0.96	1.65
石和	1.40	0.44	0.63
朝日	1.40	0.60	1.10
芳賀②	2.06	1.51	1.70
静岡④	0.95	0.70	0.43
境川	2.30	1.60	0.50

下水汚泥コンポストの甲府は窒素とリン酸に比べてカリが低い平下がり型、し尿汚泥コンポストの結城は窒素とカリに比べてリン酸が極めて高い山型、融合コンポストの須賀川は三要素の含有率がやや高く、またそれらのバランスがほぼとれている水平型、融合コン

ポストの雄武は窒素とリン酸が低く、それらよりカリが高い平上がり型、乾燥汚泥肥料の珠洲は窒素とリン酸が極めて高く、カリが低い平下がり型、生ごみ堆肥の芳賀は窒素とカリに比べてリン酸が低い谷型、パーク堆肥の静岡はいずれも低いなりに水平型、牛ふん堆肥の創和は窒素とリン酸に比べてカリが高い平上がり型になっている。

VI-2の試験区分で新たに使用した有機質肥料について、大玉は谷型、石和は下がり平型、朝日は谷型、芳賀②は水平型、静岡④は下がり型、境川も下がり型とみられる。

2. 野菜類の収量調査および肥料の窒素形態との関係

2011年秋作の圃場試験区分Ⅳのホウレンソウ、Ⅴのキャベツ、Ⅵ-1のダイコンでは、各有機質肥料区において窒素施用量は1/2を有機質肥料から、残りの1/2を硫酸から供給した。リン酸とカリの施用量は施用有機質肥料中の含有量を計算し、不足量を過石と硫酸で補充した。単肥区の窒素量は全量を硫酸から供給した。施肥はすべて基肥施用とし、追肥を行っていない。2011年秋作に供試した有機質肥料の窒素形態画分比率を表4に示す。窒素施用量の1/2を硫酸から供給しているので、硫酸からの窒素形態画分をすべてA画分とみなして再計算すると、表5のようになる。

表4 有機質肥料の窒素形態画分 (1)

肥 料	(%)			
	非蛋白 A	可溶性 B	膜結合性 C	細胞壁 D
甲府④	14.1	30.2	23.7	32.0
結城	6.3	24.4	39.0	30.3
須賀川②	3.4	16.4	30.4	49.5
雄武②	6.2	7.2	39.4	49.2
珠洲②	8.6	8.0	34.1	49.3
芳賀	16.9	22.8	35.1	25.2
静岡③	2.2	4.4	26.8	66.6
創和	5.8	7.3	37.0	49.9

表5 硫酸のNをA画分に加えた場合の窒素形態画分

肥 料	(%)			
	A	A+B	B+C	A+B+C
甲府④	57.1	72.2	27.0	84.0
結城	53.2	65.4	31.7	84.9
須賀川②	51.7	59.9	23.4	75.1
雄武②	53.1	56.7	23.3	76.4
珠洲②	54.3	59.3	21.1	75.4
芳賀	58.5	69.9	29.0	87.4
静岡③	51.1	53.3	15.6	66.7
創和	52.9	56.6	22.2	75.1

圃場試験Ⅳ：ハウレンソウ（11年秋作）

＜試験方法＞

品種としてソロモンを用い、化学肥料の単肥区を加えた8種類の施用区を設けて、1区画0.5 m²、2連で行った。播種方式は種子約190粒を全面散布、施肥方式は三要素の施用量を25-25-25/10 aとし、全面散布で鋤き込んだ。播種は9月23日に行い、それから2ヶ月後の11月25日に収量を調査した。

収量調査は区画内の全株を対象に、根を切り取って株数を数え葉全量を秤量した。そのうち窒素分析用に約500 g、硝酸イオンとブリックス糖度用に約300 gを採取した。窒素はケルダール法、糖度は汁液のろ液をポケット糖度計（ATAGO製）により、また、硝酸態窒素葉汁液をコンパクト硝酸イオンメータ（HORIBA製）により測定した。

＜試験結果＞

栽培期間中の降水量は6月には平年に比べて25 mm多く、7月には逆に25 mm少なく、合計雨量ではほぼ平年並みであった。ハウレンソウは順調な生育経過を辿った。収量は単肥区がm²当り6.31 kgと他の区よりも顕著に高く、次いで静岡、甲府が高く、一方、創和が4.65 kg、須賀川が4.53 kgと低かった。窒素含有率は結城の0.52%から須賀川の0.43%の範囲にあり、窒素吸収量は単肥区で最も高く、次いで珠洲、結城と続き、

一方、須賀川で最も低かった。硝酸イオン濃度は収量の高い単肥、静岡、甲府などで3500台と高い傾向が見られた。ブリックス糖度は芳賀と珠洲が高く、静岡と甲府が低かった。収量と肥料の窒素形態画分との関係を検討した結果、図1に示すように、A+B画分が多くなれば収量が高くなる関係が認められた。

窒素吸収量と肥料の窒素形態画分との関係も同様の傾向がみられた（図省略）。

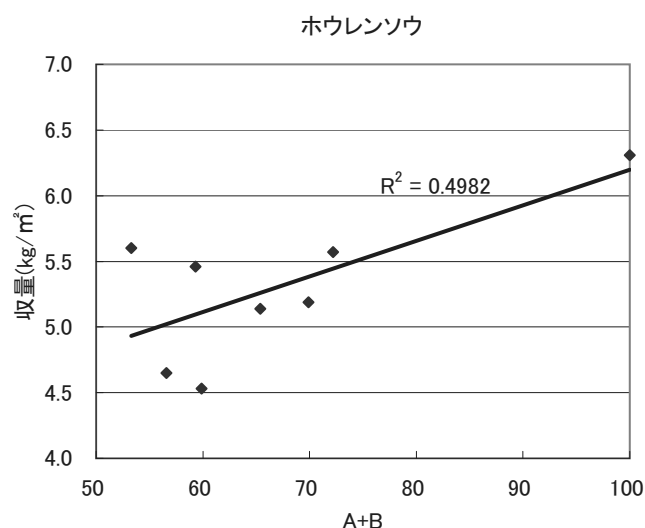


図1 ハウレンソウの収量と窒素形態A+B

表6 ハウレンソウの収量調査結果

試験区	株数 m ² 当り	収量 kg/m ²	窒素含有率 %Fw	窒素吸収量 g/m ²	硝酸イオン mg/kg	Brix糖度 %
甲府④	158	5.57	0.45	25.1	3400	4.6
結城	139	5.14	0.52	26.7	2550	5.1
須賀川②	164	4.53	0.43	19.5	3030	5.5
珠洲②	152	5.46	0.50	27.3	3550	6.2
芳賀	181	5.19	0.49	25.4	3160	6.5
静岡③	155	5.60	0.47	26.3	3330	4.8
創和	141	4.65	0.49	22.8	2750	5.8
単肥	220	6.31	0.51	32.2	3560	5.4

圃場試験Ⅴ：キャベツ（11年秋作）

＜試験方法＞

品種として金系201（苗）を用い、8種類の有機質肥料に単肥を加えた9処理区を設けて、1区画2.5 m × 3 mの2連で行った。栽植密度60 cm幅の4畦、株間50 cmとした。三要素の施用量は20-20-20/10 aとし、畝内にすじまきした。苗の定植を8月26日に行い、83日後の11月16日に収量を調査した。収量調査は区画内4畝のうち、中の2畝の全株を採取し、根と外葉をはずし、結球の重量を個々に秤量した。平均重

量に近い結球を8個選び、そのうち4個を窒素分析用に、残り4個を硝酸イオンとブリックス糖度用に供した。

＜試験結果＞

薬剤防除、除草に留意したことで病虫害の被害も少なく、順調に生育した。収量調査を行った結果を表7に示す。結球の平均収量は単肥区で2.12 kgと際立って高く、ついで甲府が高く、一方、創和が1.40 kgと最も低い。窒素含有率は珠洲と創和が0.17%と高く、その他の区では0.14～0.15%である。窒素吸収量は単肥

表7 キャベツの収量調査結果

試験区	株重 kg	窒素 Fw%	窒素吸収量 g/株	硝酸イオン mg/kg	Brix糖度 %
甲府④	1.92	0.14	2.69	760	5.6
結城	1.51	0.15	2.27	680	5.2
須賀川②	1.79	0.15	2.69	710	5.9
雄武②	1.62	0.15	2.43	730	5.3
珠洲②	1.74	0.17	2.96	540	5.1
芳賀	1.70	0.14	2.38	580	5.1
静岡③	1.77	0.15	2.66	830	5.2
創和	1.40	0.17	2.38	600	5.0
単肥	2.12	0.14	3.06	990	5.1

で最も高く、次いで珠洲が高く、一方、結城が最も低い。硝酸イオン濃度は単肥で最も高く、次いで静岡が高く、一方、珠洲と芳賀が低い。ブリックス糖度は須賀川が最も高く、次いで甲府が高く、創和が最も低い。収量と硝酸イオン濃度との関係では、収量が高くなると硝酸イオン濃度が高くなっている。収量と肥料の窒素形態画分との関係を検討したところ、キャベツの場合もハウレンソウと同様に、図2に示すようにA+Bの画分が多くなれば収量が高い傾向がみられ、また、

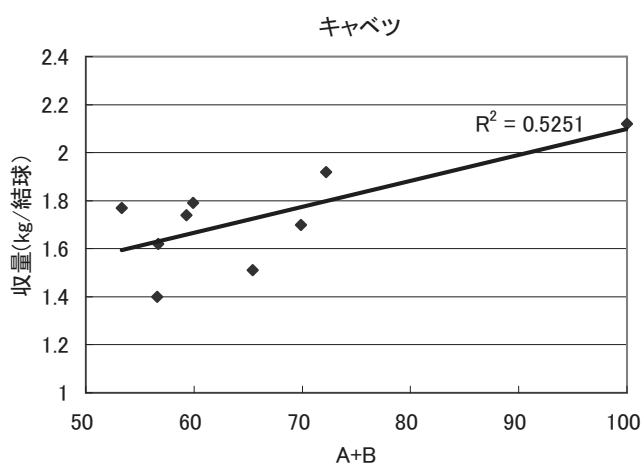


図2 キャベツ収量と窒素形態A+B

窒素吸収量とA+B画分は類似の関係が伺われた(図省略)。

圃場試験Ⅵ-1：ダイコン（11年秋作）

<試験方法>

品種として冬自慢を用い、キャベツの栽培試験と同様に、8種類の有機質肥料に単肥を加えた9処理区を設けて、1区画2.5m×2mの2連で行った。栽植密度は60cm幅の4畦、株間25cmとした。三要素の施用量は20-20-20/10 aで、畝内にすじまきした。9月9日に播種を行い、11月15日に収量を調査した。収量調査は区画内4畝のうち、中の2畝の全株を採取し、根部と葉茎部を切り離し、個々の重量を秤量し、平均重量に近い根部および葉茎部を4個選び、硝酸イオンとブリックス糖度用に供した。

<試験結果>

施肥・播種を行った12日後に、台風15号による130mmの降水量に見舞われた。発芽前であったので、発芽が齊一に揃ったが、硝酸化成が活発化する時期であったので、窒素肥料の流亡が大きかったとみられる。その後病害虫防除を丹念に行ったので欠株や病虫害が少なく経過した。収量調査結果を表8に示す。根重は珠洲が株当たり1004gと最も高く、次いで雄武、甲府

表8 ダイコンの収量調査結果 11年秋作

試験区	重量 (g/株)		T/R	根	
	茎葉	根		硝酸イオン	Brix%
甲府④	436	978	0.45	550	4.1
結城	445	897	0.50	740	3.8
須賀川②	447	870	0.51	710	3.7
雄武②	516	990	0.52	700	3.9
珠洲②	448	1004	0.45	750	3.7
芳賀	470	922	0.51	590	4.0
静岡③	457	965	0.47	810	3.6
創和	447	873	0.51	750	4.0
単肥	416	865	0.48	740	3.6

が高く、一方、単肥が865 gで最も低く、須賀川、創和も次いで低い。T/Rは0.45から0.52の範囲にあり、変異幅が小さかった。硝酸イオン濃度は静岡が高く、甲府と芳賀が低い。ブリックス糖度は甲府が高く、静岡と単肥が低い。

ダイコンの収量と肥料の窒素形態画分との関係では、ハウレンソウあるいはキャベツの場合とは、様相を異にした。右下の単肥区の収量が低かったのは、台風の大雨によってダイコンに吸収される前に大部分の窒素が流亡した影響とみられる。有機質肥料区も窒素施用量の半分が化学肥料の硫酸から供給されているので、同様に流亡が著しかったことと推定される。以上のように、施肥直後に大量の降雨があれば、速効性の窒素とみられるA画分やB画分はかなり下層へ流亡したため、ダイコンに吸収される割合が低下し、収量とA+B画分との関係が曖昧になったと推定される。それに替わってC画分が吸収されたとしても、C画分と収量との間には相関が認められないことから、C画分の一部に留まったとみなされる。ダイコンについては2012年春作に再び栽培試験を実施した。

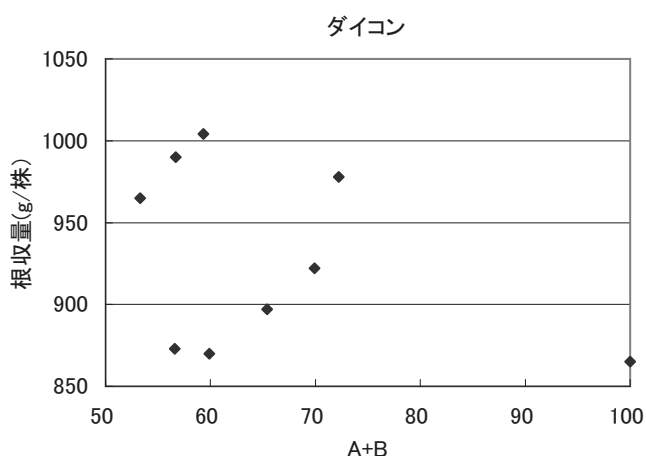


図3 ダイコン収量と窒素形態A+B

圃場試験Ⅵ-2：ダイコン（12年春作）

<試験方法>

品種として献夏青首を用い、9種類の有機質肥料に単肥を加えた10処理区を設けて、1区画2.1 m×2 mの2連で行った。栽植密度は70cm幅の3畦、株間25 cmとした。三要素の施用量は20-20-20/10 aで、畝内にすじまきした。5月1日に播種を行い、6月25日に収量を調査した。収量調査は区画内3畝の全株を採取し、根部と葉茎部をはずし、個々の重量を秤量し、平均重量に近い根部および葉茎部を4個選び、硝酸イオンとブリックス糖度用に供した。

<試験結果>

栽培期間の降水量は5月が167.5 mm、6月が176 mmで、平年値よりそれぞれ48 mm、82 mmも多かった。特に、収穫前の1週間には114.5 mmと集中して降ったが、11年秋作のような生育に対する影響は少なかった。発芽は良く整い、収穫期までの生育も病虫害がほとんどなく順調であった。

収量調査の結果を表9に示した。根重は甲府が株当たり1314 gと最も高く、次いで単肥1222 g、大玉1170 g、朝日1107 gの順であった。一方、石和は818 gと低く、次いで須賀川897 gと低かった。単肥区の収量は11年秋作の場合とは大きく異なっていた。T/Rは芳賀が0.52、境川が0.50と高く、一方、須賀川が0.28、甲府が0.29と低かった。根の硝酸イオンは朝日と単肥が1400と高く、石和が790と低く、その他の区では1000から1300の範囲内であった。ブリックス糖度は静岡が4.5、芳賀が4.4と高く、須賀川と境川が4.0と低かった。硝酸イオン濃度は、根の収量が高くなれば、あるいはT/Rが低くなれば、増大する傾向があり、また、ブリックス糖度と負の相関関係がみられた。

注目されたのは、分岐根の発生が有機質肥料の種類によって、大きく異なっていることであった。この試験では窒素施用の全量を有機質肥料から供給している

表9 ダイコンの収量調査結果 12年春作

試験区	重量(g/株)		T/R	根		分岐根率 %
	茎葉	根		硝酸イオン	Brix%	
甲府④	376	1314	0.29	1200	4.2	0
大玉	675	1170	0.41	1100	4.2	57
須賀川②	257	897	0.28	1300	4.0	25
石和	390	818	0.48	790	4.5	5
朝日	370	1107	0.33	1400	4.1	0
珠洲②	393	1060	0.37	1200	4.2	42
芳賀②	480	931	0.52	1000	4.4	60
静岡④	447	1087	0.40	1300	4.5	8
境川	501	1010	0.50	1300	4.0	64
単肥	474	1222	0.39	1400	4.3	8



写真1 分岐根の少ない区 (甲府)



写真2 分岐根の多い区 (珠洲)

が、分岐根の多かった区に、通常のコマツナ種子発芽率の判定では良好とみなされるものも含まれていた。

有機質肥料の試料採取量を通常の5倍の50 gにして100mlの熱水で抽出した液を用いてコマツナ種子発芽率を測定したところ、表10に示すように、分岐根の発生の多い区では発芽率が0であった。一方、分岐根の発生の少ない区では5倍の濃度でも発芽率が0になることはなかった。

表10 分岐根率と肥料のコマツナ種子発芽率

試験区	分岐根率 %	コマツナ種子発芽率 %		pH
		10:100*	50:100**	
大玉	57	69	0	8.4
須賀川②	25	8	0	8.5
珠洲②	42	90	0	8.3
芳賀②	60	90	0	8.3
甲府④	0	100	13	5.9
静岡④	8	100	100	7.4
朝日	0	100	100	6.6

* 有機質肥料10 g : 熱水100ml

** 有機質肥料50 g : 熱水100ml

VI-2 試験で用いた有機質肥料の窒素形態画分を表11に示す。ダイコンの収量との関係について、単肥区のA画分を100%とみなして、根の収量と各画分との関係を検討した結果、図4に示すように、VI-1

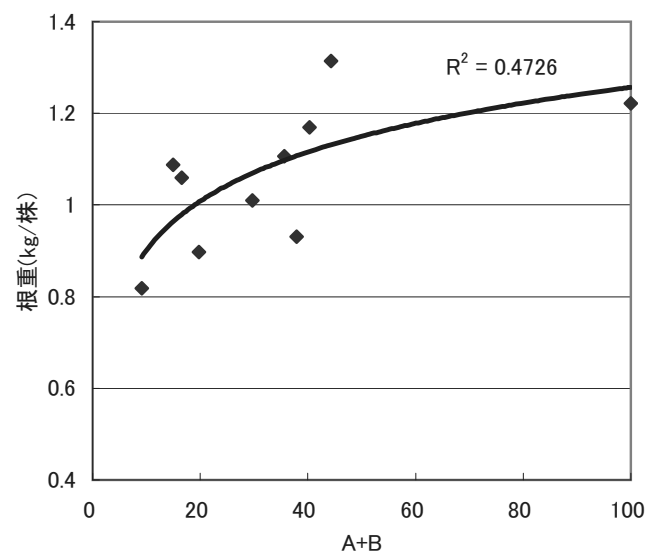


図4 ダイコン収量と窒素形態A+B (12年春作)

表11 有機質肥料の窒素形態画分 (2)

肥 料	(%)						
	非蛋白 A	可溶性 B	膜結合性 C	細胞壁 D	A+B	B+C	A+B+C
甲府④	14.1	30.2	23.7	32.0	44.3	53.9	68.0
大玉	11.4	10.7	39.9	38.0	22.1	50.6	62.0
須賀川②	3.4	16.4	30.4	49.5	19.8	46.8	50.5
石和	1.5	7.6	31.6	59.1	9.1	39.2	40.9
朝日	11.8	23.8	31.0	33.4	35.6	54.8	66.6
珠洲②	8.6	8.0	34.1	49.3	16.6	42.1	50.7
芳賀②	7.9	30.0	31.1	31.0	37.9	61.1	69.0
静岡④	2.6	12.3	19.9	65.2	14.9	32.2	34.8
境川	5.8	23.9	41.0	29.4	29.7	64.9	70.6

試験の結果とは異なり、根の収量はA+Bの画分と相関のあることが認められた。

施肥直後に大雨がなければ、肥料中のA+B画分が作土に留まっているので、作付期間が2ヶ月間と短いダイコンの場合には、速効性のA+B画分の多い有機質肥料ほど収量に強く影響を及ぼしたと考えられる。

考 察

本報で扱った作物は栽培期間がホウレンソウとキャベツで3ヶ月、ダイコンで2ヶ月と比較的短かった。窒素吸収のパターンでは、キャベツが直線型、ホウレンソウとダイコンが指数関数型とみられた。これらの野菜の収量と肥料の窒素形態画分との関係について検討した結果、VI-1を除くいずれの試験でもA+Bの画分と相関が認められ、吸収パターンには関わりなく、水溶性や易分解性の窒素が積極的に利用されていることが伺われた。このことは逆に、VI-1のダイコンの試験で見られたように、施肥直後に大量の降水量に遭遇したことで、多くの水溶性や易分解性の窒素が流亡したため、収量とA+Bの画分との関係が判然としなくなったと推定される。栽培期間が長い作物では、窒素全量基肥施用の場合、A+Bの画分は作物による吸収のほかに流亡も起こるので、生育後期までA+Bの画分に依存することが難しく、代わって緩効性のC画分や難溶性のD画分あるいは別の窒素形態を考慮することが重要になろう。有機質肥料のC画分あるいはD画分は土壤中で埋設されている間に起こる分解の状況によって作物への肥効が左右され、その分解状況は有機質肥料の種類によって異なるとみられる。長期栽培作物の収量と窒素形態との関係は短期栽培作物の場合とは違った視点で検討する必要がある。

作物体可食部の硝酸イオン濃度はVI-1試験を除外して、3作物とも単肥区が有機質肥料各区よりも高く、また、全般に収量が多いほど高くなる傾向がみられた。単肥区の硝酸イオン濃度は、ホウレンソウでは3560 (mg/kg)、キャベツでは990、ダイコンでは1400であり、ホウレンソウで顕著に高かった。ホウレンソウの硝酸イオン濃度は品種や栽培時期によって変動するが、この試験では収量と窒素施用量との兼ね合いを今後考慮する必要がある。

次にダイコンを栽培したVI-2の試験で、有機質肥料施用区のなかに、商品価値を損なう分岐根の発生が全体の60%と著しく多いものもあった。コンポストの

腐熟度判定には一般にコンポスト試料を熱水で抽出し、ろ液をシャーレに入れて、そのなかでコマツナ種子を並べて発芽状況を計測し、発芽率80%以上であれば良好とみなしている。この良好とみなされるコンポストのなかに分岐根の発生の多いものも含まれていた。コンポスト試料の抽出液を5倍の濃度にとると、分岐根の多くみられたコンポストはコマツナ種子の発芽率が0となった。このことから、分岐根の発生はコマツナ種子の発芽抑制よりもコンポストの腐熟度に敏感であるので、コンポストの施用に当たって十分に留意することが重要である。

要 約

淡色黒ボク土の圃場において7~9種類の有機質肥料と単肥を用いて、窒素施用量を一定にして、ホウレンソウ、キャベツ、ダイコンの栽培試験を行い、作物収量などと肥料の窒素形態画分との関係を検討した。

- 1) ホウレンソウでは、収量が高くなればA+B画分が多く、また、硝酸イオン濃度も高い傾向がみられた。
- 2) キャベツでも、収量が高くなればA+B画分が多く、また、硝酸イオン濃度も高い傾向がみられた。
- 3) 秋作のダイコンでは、収量と窒素形態画分との関係が判然としなかった。施肥直後に大雨に遭遇したことが影響したとみられた。
- 4) 春作のダイコンでは、収量が高くなればA+B画分が多く、また、硝酸イオン濃度も高い傾向がみられた。有機質肥料区の中に、コマツナ種子発芽率が良好であるに関わらず、分岐根の発生の著しいものがあった。収量が高くなればA+B画分が多く、また、硝酸イオン濃度も高い傾向がみられた。

文 献

- 1) 五十嵐孝典・古畑 哲：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、再生と利用、Vol.34, No.129. 72~78 (2010)
- 2) 大崎 満：各種有機物成分の分析法、植物栄養分析法、p.212~215、博友社 (1990)
- 3) 古畑 哲・五十嵐孝典：野菜類の生育収量と有機質肥料の窒素形態別画分との関連性、再生と利用、Vol.35, No.133. 68~75 (2011)

報 告

「下水汚泥の建設資材利用サイト」 の開設について

「下水汚泥建設資材利用促進連絡会」事務局

キーワード：環境基準、グリーン購入、セメント原料、マニュアル

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必要な施設です。また、下水の処理過程で下水汚泥が発生しますが、これを適正に処理処分することは、放流水の水質管理と同様に下水道の維持管理上、重要な課題となっています。

我が国の下水汚泥発生量は、下水道の普及率の向上等に伴い年々増加しており、国土交通省の調査では、平成22年度には約230万Ds-t（乾燥重量）に達しています。今後もさらなる下水道普及率の向上、高度処理の導入、合流式下水道の改善などにより増加すると考えられます。一方、廃棄物最終処分場の新規立地は困難な状況が続いており、環境省の調査では平成22年4月1日現在での最終処分場の残余年数は全国平均では13.2年、首都圏では4.4年となっており、逼迫した状況となっています。

下水汚泥の処理・処分については、下水道法が平成8年に改正され、下水道管理者は汚泥の減量化に関する努力義務を追加されました。その後、都市部を中心に汚泥焼却炉の整備が進み、生成物である焼却灰は主にセメント原料などで利用され、平成22年度には下水汚泥のうち約60%を建設資材として有効利用されています。持続可能な循環型社会の構築の

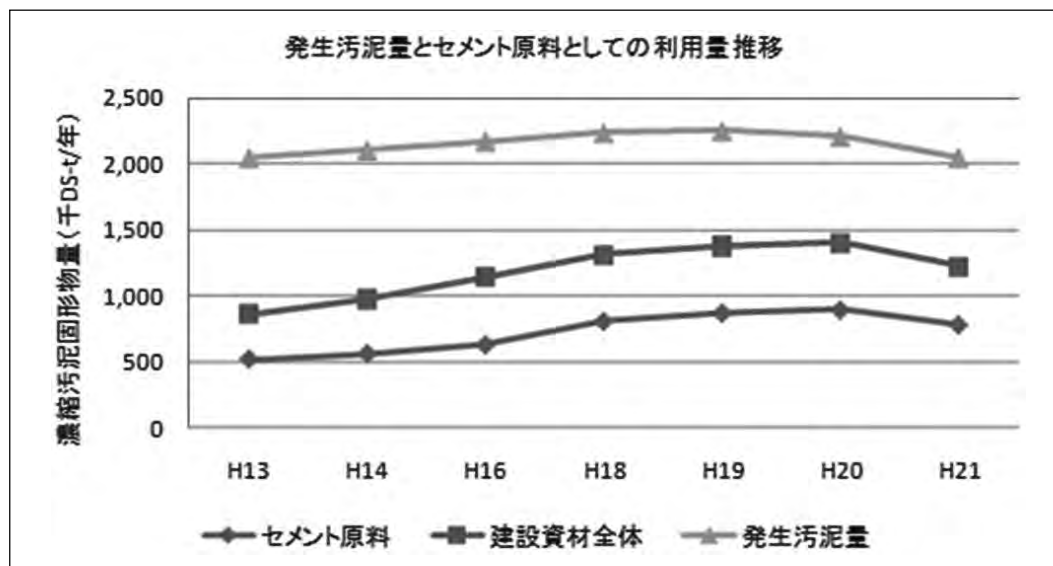
ためには、下水汚泥を適正かつ安定的に処理を引き続き行う必要があります。それには下水汚泥の建設資材としての利用は不可欠であります。そこで（公社）日本下水道協会はホームページに「下水汚泥の建設資材利用サイト」を開設し、下水道関係者へ建設資材利用についての情報発信の充実を図ることとしました。

2. 「下水汚泥の建設資材利用サイト」の内容について

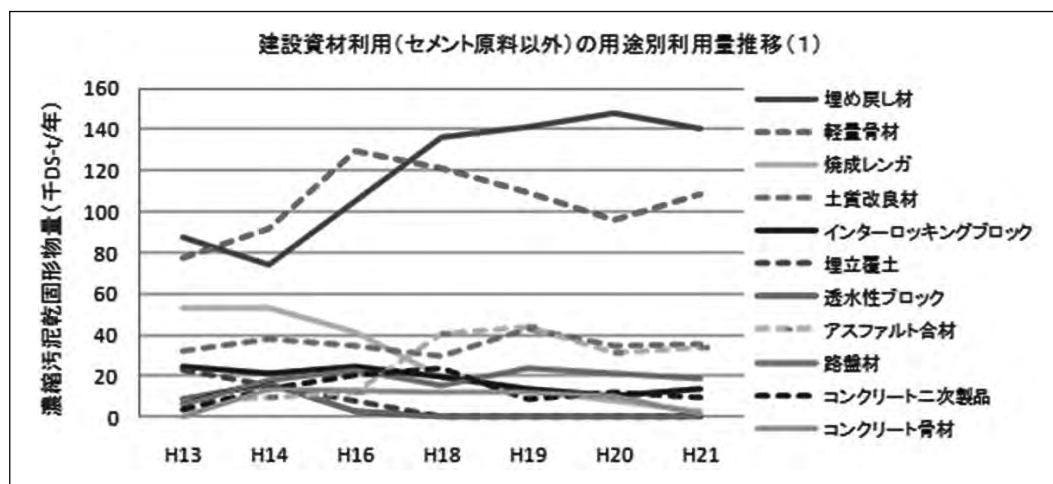
(1) 下水汚泥建設資材利用の発展と現状

主に昭和の50年代以降の下水汚泥の建設資材利用に関する技術開発をまとめ、下水道法の改正と建設資材利用量の関係について記載しています。また、下水汚泥の発生量と建設資材としての利用量の関係、主な利用形態であるセメント原料としての利用量、および、その他の建設資材としての利用量の統計データを示しています（図-1、図-2）。また、これらのデータから下水道施設の規模の違いに関する有効利用手法の分析を行っています（図-3、図-4）。その他、建設資材利用の直営実施と民間委託の実施状況をまとめています（表-1）。

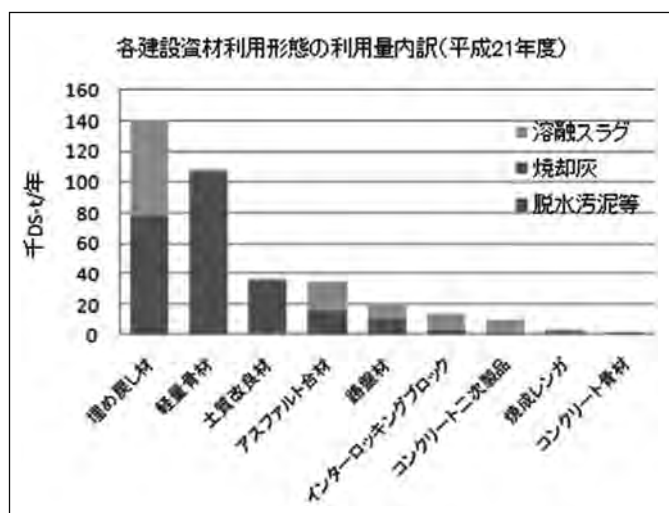
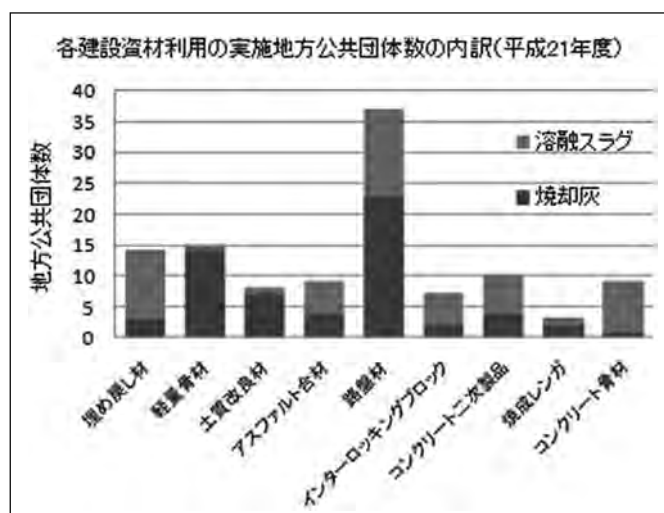
また、主に大都市による埋め戻し材やアスファルト合材による建設資材の取組事例について、詳細内容が記載されている参考文献を紹介しています。



図－１ 発生汚泥量とセメント原料としての利用量推移



図－２ 建設資材利用（セメント原料以外）の用途別利用量推移（１）

図－３ 各建設資材利用形態の利用量内訳
(平成 21 年度)図－４ 各建設資材の地方公共団体の内訳
(平成 21 年度)

(2) 下水汚泥の建設資材利用マニュアル 2001 年版と その内容の一部見直し

日本下水道協会が「下水汚泥の建設資材マニュアル 2001 年版」(以下マニュアル)を発行して以来、約 10 年経過しましたが、この間に溶融スラグに関する J I S 規格が制定され、また、下水道管理者により新たな事業の取り組みが始まるなど状況が変化したことを踏まえ、部分的にマニュアルの修正を行い、修正内容の紹介と合わせて、修正マニュアルを本サイトに公開しております。これまではマニュアルの改定に際しては、改定版を印刷製本して販売していましたが、ホームページで公開することで、より広く下水道関係者への情報発信や、タイムリーな内容修正が可能となりました。

(3) 様々な基準値について

下水汚泥の建設資材の有効利用に関連する基準値について、その概要や基準値を取りまとめています(表-2)。取りまとめた基準値は、「土壤汚染に係る環境基準」、「土壤汚染対策法」「農用地の土壤の汚染防止等に関する法律」及び「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」となっています。下水汚泥を建設資材として有効利用する時や、産業廃棄物として処分する場合の遵守すべき関連基準等を整理しています。

(4) リサイクル資材の環境安全性評価について

下水汚泥由来の建設資材利用に関して、土壤汚染の環境基準については「土壤の汚染に係る環境基準」を援用している事例が多いので、環境省から示された援用についての留意点を記載しています。

また、溶融スラグの有効利用に際して、安全性を確認するために制定された試験方法の J I S 規格や、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溶融スラグ単体の安全品質レベルの規定ために制定された J I S 規格を紹介しています。

平成 20 年度には、グリーン購入法における基本方針の見直し案が、環境省から示されました。それは、再生材料ごとに土壤汚染対策法、土壤汚染に係わる環境基準を満たすことが追加されもので、再生製品としての基準を遵守するとのそれまでの環境省からの通達と整合しないものでした。そこで、日本下水道協会がこの見直し案について対応した経過や、最終的に環境省から提示された修正案、及び、協会がまとめた試験方法と確認できる安全性を掲載しております。

(5) グリーン購入制度

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)の骨子、全文を示し、下水汚泥等

表-1 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)		649	776,833
建設資材有効利用合計		-	1,219,930

表-2 下水汚泥の建設資材への有効利用に関する基準値(協作成)

供試検体 (試験方法)	試験の種類	リサイクル	安全性		考え方
			使用時	再リサイクル時	
製品有姿 (JISK0058-1) (JISK0058-2)	溶出	地下水	○	-	製品使用時の安全性の確認
	含有	直接摂取	-	-	有姿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) (46号、18号) (19号)	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
	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

を原料としたリサイクル製品のうち「環境物品」として挙げられている5種類の「環境物品」、「判断基準」及び「配慮事項」について、「環境物品等の調達の推進に関する基本方針」から抜粋しています。なお、5種類の「環境物品」とは、エコセメント、再生材料を用いた舗装用ブロック（焼成）、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）、下水コンポスト、及び、陶磁器質タイルです。

また、都道府県において環境物品等の普及促進及び情報の提供を行うことを目的として、独自にリサイクル製品認定制度の構築を進めていますが、その状況を紹介し、特に公共事業におけるリサイクル製品の利用に貢献していると思われる制度等について案内しています。

(6) 関連文献リスト

これまで日本下水道協会が発行しました「再生と

利用」の中から下水汚泥の建設資材利用に関する文献や、下水道研究発表会で講演された内容から建設資材有効利用に関するテキストを閲覧できるようにしています。

3. おわりに

下水の処理過程で発生する下水汚泥を適正に処理することで下水処理が完結しますが、最終生成物を単に産業廃棄物として埋立処分するのではなく、適切に処理・処分を行うことが下水道管理者に求められています。現状では、有効利用の手法としてはセメント原料を中心とした建設資材利用が大きな割合を占めていますが、今後も（公社）日本下水道協会では、このサイトにて有益な情報発信を行い、安定した建設資材利用の継続に貢献できるよう積極的に取り組んでいきたいと考えています。

おしらせ

民間企業の投稿のご案内

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

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

投稿要領

（資格）

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

（原稿掲載の取扱い）

2. 原稿掲載の適否は、「再生と利用」編集委員会が決定します。

（掲載可否の判断基準）

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

（原稿の作成、部数、送付先等）

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

5. 原稿の送付先は、下記の担当に送付して下さい。

（校正）

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

（著作権等）

7. 掲載した原稿の著作権は著者が保有し、編集著作権は、本会が所有します。

原稿登載区分

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

担当：公益社団法人 日本下水道協会 技術研究部資源利用研究課

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

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

おしらせ

「再生と利用」への広告掲載方依頼について

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

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

記

1 発行誌の概要

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

2 広告掲載料・広告寸法等

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

※ 表 3 は指定頁になります。原則として 2 回以上の継続掲載とします。

※ 広告掲載料は、消費税込みの金額です。

3 広告申込方法及び留意事項

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

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

4 お支払方法等

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

なお、送金（振込）手数料は、貴社負担にてお願いします。

5 申込み先及び問合わせ先

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

広告業務委託先 (株)LSプランニング（担当：「再生と利用」広告係）
〒135-0046 東京都江東区牡丹2-2-3-105
TEL. 03-5621-7850(代) FAX. 03-5621-7851
Mail : info@lsweb.co.jp

(参考)

「再生と利用」特集企画予定

- 第138号（平成25年1月発行予定）
平成24年度下水道革新的技術実証事業（B-DASHプロジェクト）
- 第139号（平成25年4月発行予定）
第25回下水汚泥の有効利用に関するセミナー特集
- 第140号（平成25年7月発行予定）
平成25年度下水汚泥資源利用等に関する予算及び研究内容と今後の方針の解説

「再生と利用」 広告掲載申込書

公益社団法人 日本下水道協会 御中

(該当箇所にご記入及び○印を付けて下さい。)

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

上記のとおり申し込みます。

平成 年 月 日

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

[広告代理店経由の場合に記入]

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

汚泥再資源化活動

第128回「再生と利用」編集委員会

日 時：平成24年 6 月12日（火）

場 所：本会第1・第2会議室

出席者：野池委員長、尾崎、姫野、西迫、内田、島田、田村、仲谷、粕谷、濱田、奥出、長谷川、北折、西本、福田、崎野の各委員

議 題：①平成24年度「再生と利用」編集体制について
②第136号編集内容について
③第137号編集方針（案）について

概 要：①平成24年度「再生と利用」編集体制について、事務局から資料5により報告し了承された。また、別表により平成24年度「再生と利用」編集担当分担の説明を行い了承された。②事務局から、資料6により第136号「再生と利用」の編集内容の説明を行った。特集は「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」を掲載すると共に、論説には豊橋技術科学大学の「下水汚泥利用法の多角化による下水処理場のバイオマスパーク化構想」を紹介した。なお、特集テーマの土壌環境関連は環境省から辞退があった。また、報告のグリーン購入の調達は国土交通省から今年度は対象がないので辞退された。③資料7により第137号編集方針（案）について事務局から説明を行い、特集テーマの「下水汚泥の建設資材としての有効利用の取り組み」について、名古屋市の北折委員から、130号に掲載した時と状況は変わっていないとの説明があり、横浜市の長谷川委員から、現在焼却灰の活用を凍結している報告があった。また、千葉県では日本燐酸が廃棄物処理業者の資格を取得して下水汚泥を大規模に処理していたが、今回の放射能汚染の問題で棚上げとなっている等の報告があり、下水汚泥の建設資材としての有効利用の取り組みの事例が集まるか危惧されるので、特集のテーマについて次回の担当者会議に諮ることとした。他

都市の状況は、唯一、東京都が廃材と混ぜて新都市公社に下ろして道路に使用している報告をいただいた。文献紹介のJSの水田氏の後任に、JSの三宅氏の推薦をいただいた。その他情報交換では、島田委員から再生可能エネルギー固定価格買い取り説明会の報告と追加資料をいただいて、国交省の西迫委員と意見交換を行った。

第22回下水汚泥建設資材利用調査専門委員会

日 時：平成24年 6 月18日（月）

場 所：本会大会議室

出席者：中里委員長、中村副委員長、水上、永島、中村代理、落、笹部、小走の各委員

議 題：①建設資材利用マニュアル改定について
②下水汚泥建設資材利用調査専門委員会の運営について

概 要：①建設資材利用マニュアル改定について、部分修正をした上で協会ホームページでの公表への方針変更について事務局提案があった。事務局からはマニュアルをより広く発信できること、タイムリーに情報発信が可能なこと、会員負担の軽減が可能となるとの説明があり、事務局提案が了承された。審議では、マニュアル改定による収益性について質疑があり、事務局が、前回マニュアル発行時の収益性について回答を行った。②下水汚泥建設資材利用調査専門委員会の機能を建設資材利用促進連絡会に移して廃止することについて事務局から提案があった。事務局からは「下水汚泥建設資材利用調査専門委員会」と「建設資材利用促進連絡会」の役割が明確に区分できないため、両方を運営する必要性が低い等の説明があり、事務局提案が了承された。審議では、建設資材利用促進連絡会のメンバー構成について質疑があり、事務局がメンバー構成について説明を行った。

第138号「再生と利用」編集担当者会議

日 時：平成24年 8 月 9 日（木）

場 所：本会第 2 会議室

出席者：島田委員、田村委員、濱田委員、長谷川委員、
北折委員、福田委員

議 題：①第137号編集内容について

②第138号編集方針（案）について

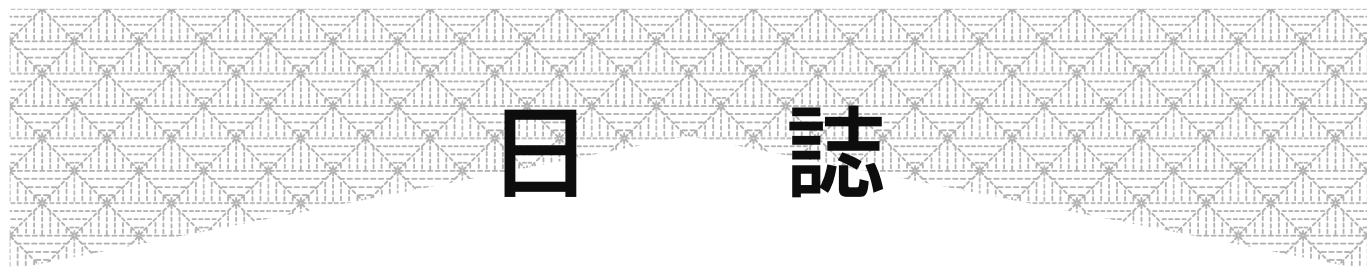
概 要：①第137号「再生と利用」編集内容について
事務局から資料 4 により第137号の編集内容の説明を行った。特集テーマ「下水汚泥の建設資材としての有効利用の取り組み」について、富山県、滋賀県、札幌市、神戸市、福岡市の事例を紹介することになった。なお、報告の再生可能エネルギー全量買取制度に関する電気事業法の規制の解説は経済産業省から辞退があった。また、コラムは三重大学名誉教授の小畑仁先生に依頼した。

②第138号「再生と利用」編集方針（案）について

事務局から資料 5 により第138号の編集方針（案）の説明を行った。口絵は、広島市で開催する第25回下水汚泥の有効利用に関するセミナーとした。巻頭言は、日本下水道協会理事長に就任した曾小川久貴氏を提案した。論説は、「下水処理場での消化ガスコジェネレーション施設の最適運転手法」を研究していた大阪大学名誉教授の藤田正憲先生を提案した。特別寄稿は、「稲わらと下水汚泥の混合消化」を研究している長岡技術科学大学の姫野先生を提案した。特集テーマである「次世代エネルギーの利用取組」では、平成24年度下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジ

ェクト）を取り上げ、その概要を国土交通省に依頼し、「温室効果ガスを排出しない次世代型下水汚泥固形燃料化事業」では、長崎市、長崎総合科学大学、三菱長崎機工の共同研究体を提案するとともに、「廃熱利用型低コスト下水汚泥固形燃料化技術」を受託したJFEエンジニアリング(株)を提案した。また、その他の取組みに、愛知県が公募した中部地方初の下水汚泥燃料化事業を提案した。研究紹介は、集落排水資源利活用実証事業をとりまとめた、(社)地域環境資源センターを提案した。Q & A は大阪市の西本委員、現場からの声は広島市の福田委員とした。講座は、「土壌・作物中における重金属の挙動」について農業環境技術研究所を提案した。コラムは、東北大学大学院農学研究科准教授の伊藤豊彰先生に依頼することとした。報告は、「21世紀、そこでの下水汚泥の資源化は…その後、現在、未来」を採用することとした。ニュース・スポットは、各自自治体における下水道の日を中心にした広報活動（イベント）を2～3都市紹介することとした。なお、田村委員より、「岩手県内で排出される下水汚泥焼却灰および廃酸を用いたリン回収プロセスの検討」について論文を紹介していただいた。また、農業・食品産業技術総合研究機構東北農業研究センター生産環境研究領域上席研究員三浦憲蔵氏に「作物のカドミウム吸収抑制技術の開発について」総説の執筆を依頼していただいた。

③「再生と利用」の原稿ストックについて
事務局から資料 6 により現状の原稿ストックについて説明した。島田委員より黒部市を追加する提案があった。



平成24年 6 月12日	第128回「再生と利用」編集委員会	本会第1・第2会議室
平成24年 6 月18日	第22回下水汚泥建設資材利用調査専門委員会	本会大会議室
平成24年 8 月 9 日	第138号「再生と利用」編集担当者会議	本会第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年度下水道革新的技術実証事業
(B-DASH プロジェクト)

研究紹介：「集落排水資源利活用実証事業」の報告
「岩手県内で排出される下水汚泥焼却灰および
廃酸を用いたリン回収プロセスの検討」に
ついて

講 座：土壌・作物中における重金属の挙動について

特別報告：作物のカドミウム吸収抑制技術の開発について

報 告：「21世紀、そこでの下水汚泥の資源化は…その
後、現在、未来」の展望

文献紹介：2編

そ の 他：会報、行事報告、次号予告、関係団体の動き

「再生と利用」編集委員会委員名簿

(順不同・敬称略)

(24.9.1現在)

委 員 長	日本大学大学院教授・東北大学名誉教授	野 池 達 也
委 員	秋田県立大学生物資源科学部教授	尾 崎 保 夫
委 員	長岡技術科学大学准教授	姫 野 修 司
委 員	国土交通省水管理・国土保全局下水道部下水道企画課資源利用係長	西 迫 里 恵
委 員	独立行政法人土木研究所材料資源研究グループ上席研究員 (リサイクルチーム)	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連携推進室長	川 崎 晃
委 員	一般財団法人日本土壌協会参与土壌部長兼広報部長	仲 谷 紀 男
委 員	東京都下水道局計画調整部技術開発課技術開発主査 (課長補佐)	粕 谷 誠
委 員	札幌市建設局下水道施設部豊平川水処理センター管理係長	濱 田 敏 裕
委 員	山形市上下水道部次長兼浄化センター所長	奥 出 晃 一
委 員	横浜市環境創造局下水道施設部北部第一水再生センター長	長谷川 輝 彦
委 員	名古屋市上下水道局技術本部計画部技術管理課主査 (技術開発)	北 折 康 徳
委 員	大阪市建設局下水道河川部水環境課担当係長	西 本 裕 二
委 員	広島市下水道局管理部管理課水質管理担当課長	福 田 佳 之
委 員	福岡市道路下水道局下水道施設部施設管理課長	崎 野 寛

図書案内

下水汚泥分析方法 —2007年版—

—下水汚泥の緑農地利用における良質な製品の提供・円滑な流通を図るため—

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

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

主な改訂を目次（追加項目を下線）にて示すと、以下のとおりです。

目 次

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

編集後記

(公社)日本下水道協会が主催の下水道展が7月に神戸市で開催されましたが、開催都市の神戸市やブース出展された下水道関係の企業・団体の皆様などのお力添えを頂き、多数の来場者を迎え盛況のうちに終えることができました。本年も口絵で紹介していますように、(公社)日本下水道協会のブースの一部に下水汚泥の有効利用に関するパネルや有効利用資材の展示を行いました。併せて「再生と利用」のバックナンバーを配布用として30部程度準備していましたが、想定よりも手にされる方が多く、2日目で殆どが配布されました。また、昨年に本協会が作成しました、「下水汚泥の有効利用」(英語版・中国語版・韓国語版・ベトナム語版)もそれぞれ50部前後を用意しておりましたが、こちらも2日目で残数が僅かとなってしまいました。国内だけでなく海外からの来場者にとりましても、下水汚泥の処理、有効利用への関心は高いと感じました。

私自身は、久しぶりの下水道展でしたが、下水汚泥の有効利用関係や個人的に関心のある電気設備関係のブース中心に見て回ったのですが、各ブースでは小さな質問にも丁寧な説明をいただき、理解を深めることができました。来年は東京での開催予定ですが、本年同様に下水道関係の皆様方におかれましては、積極的なご参加をいただきたいと思います。

本号のもう一つの口絵では、稚内市で本年4月に供

用開始されたバイオエネルギーセンターを紹介しています。これは、生ごみと下水汚泥の混合メタン発酵施設を中心とした施設です。地域で発生するバイオマスを収集し、処理過程で発生する生成物を燃料や堆肥に利用することで、1年間に6,400t-CO₂もの温室効果ガスの削減を目指す取組事例です。また、PFI手法を導入していますので、民間のノウハウの活用効果も見逃せないと考えています。今後とも、民間の技術を活用した維持管理運営に関する有益な情報発信をいただき、各地で同様な事業が広まることを期待しています。

なお、当協会が毎年開催しています下水汚泥の有効利用セミナーを、今年は広島市で開催します。(この号が発刊された時点では、終了しているかもしれませんが、)現在、広島市下水道局や講演をお願いしている方々とは相談させていただきながら準備を進めています。講演をお願いしている方を始め、多くの皆様のご協力を頂いて開催できると感謝しています。そのためにも、主催者として手際のよい、実りの多いセミナーしたいと考えています。こちらの方にも多くの皆様の参加をお待ちしております。なお、セミナーの内容につきましては、本誌でご紹介させていただく予定です。

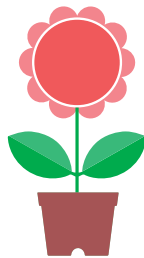
(HY)

「再生と利用」 Vol.36 No.137 (2012)

平成24年10月1日 発行
(平成24年第2)

発行所 公益社団法人 日本下水道協会

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



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