

再生と利用

2014 Vol. 38

No. 143

主要目次

- 口絵 第26回下水汚泥の有効利用に関するセミナー（黒部市）……………編集委員会事務局
- 巻頭言 PFI事業による下水道汚泥の有効利用……………堀内 康男
- 論説 下水道をとりまく水環境の展望－環境リスクから生物多様性を守る－……………楠井 隆史

特集 第26回下水汚泥の有効利用に関するセミナー特集

- 解説 黒部市下水道バイオマスエネルギー利活用事業について……………西田 重雄
- 下水汚泥資源利用の動向と今後の施策について……………三宮 武／安陪 達哉
- コンパクトなまちづくりと下水道事業について……………藤井 洋一
- 研究紹介 下水道施設を利用した下水汚泥および有機性廃棄物の有効利用に関する土木研究所の最前線……………津森ジュン／桜井 健介
- 下水汚泥溶融スラグの建設資材としての有効利用の取組み……………佐伯 滋
- 下水汚泥有効利用の課題と日本下水道事業団における取組み……………島田 正夫
- 下水道汚泥利用促進に関する日本下水道新技術機構の取組み……………落 修一
- 平成24年度下水汚泥由来肥料の窒素肥効効果試験について……………古畑 哲
- 研究紹介 微生物を用いた消化汚泥の資源化……………藤井 克彦
- 下水汚泥焼却灰を活用した産学官連携研究の概要……………佐々木昭仁／菅原 龍江／阿部 貴志／池 浩之／佐藤 佳之
- Q&A ヒ素とカドミウムについて……………川崎 晃
- 現場からの声 汚泥集約処理における返流水中の窒素除去（対策）について……………西本 裕二
- 文献紹介 カップホーン型超音波抽出とシーケンシャル型原子吸光分析装置による有機性肥料中の微量元素の迅速定量……………川崎 晃
- サンフランシスコオーシャンサイド処理場におけるバイオガス利用方法の頑健な評価手法……………三宅十四日
- 講座 消化汚泥からの高効率リン除去回収技術……………古賀 大輔／萩野 隆生
- 高速リン吸着剤を用いた排水からリン除去・回収……………大屋 博義
- 排水からのリン回収・肥料化に関する取組み……………明戸 剛
- 投稿報告 新たな下水汚泥固形燃料化技術「SA法固形燃料化技術」について……………佐々木経一
- 新居浜市「消化ガスの火力発電利用による効果…下水道事業が地球温暖化対策を先導する」……………片上 良樹
- 鹿児島市における汚泥発酵肥料「サツマソイル」の近年の動向と利用促進……………堀切 一志
- 信州における廃油・汚泥リサイクル施設の取組事例－地域ニーズに合った多種類のリサイクルに向けた工夫－……………竹村 博文
- コラム ハーバー・ボッシュに挑む！－バイオマスから「化学肥料」を製造－……………山岡 賢
- 報告 第26回下水汚泥の有効利用に関するセミナーパネルディスカッション概要……………会場：黒部市
- ニュースポット BISTRO下水道推進チーム会合について……………編集委員会事務局
- 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

下水汚泥の有効利用に関するセミナー

10月24、25日の両日、黒部市・市国際文化センターを会場に「第26回下水汚泥の有効利用に関するセミナー」が開催されました。行政・研究機関など各分野の講師8名による講演のほか、パネルディスカッションを行い、下水汚泥の有効活用策や、それを取りまく状況、課題などについて知見の共有を図りました。



会場には多くの参加者が駆け付けた



開会あいさつする堀内康男・黒部市長



富山県立大学・楠井隆史教授による特別講演



パネルディスカッションの様子



黒部浄化センターの視察



アサヒ飲料北陸工場の視察

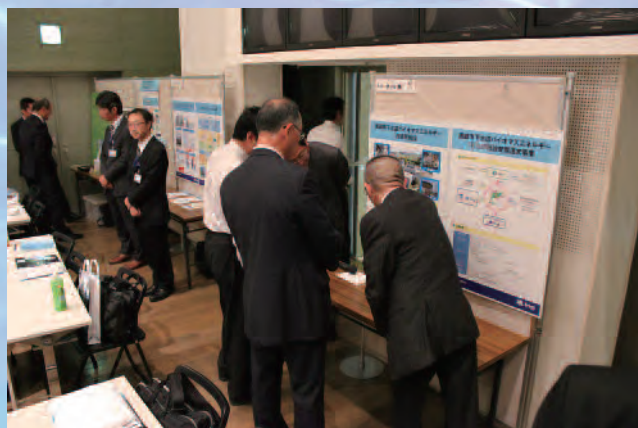
今回の開催地となった黒部市およびアサヒ飲料(株)のご協力により、2日目午後は、黒部浄化センターとアサヒ飲料北陸工場の視察を行いました。

黒部浄化センターでは、下水汚泥に事業系食品残渣（コーヒー粕）を混合しメタン発酵させることにより、発生したバイオガスを場内の発電や設備の熱源などとして利用するという先進的な取り組みを行っています。訪れた参加者は、市担当者からの混合消化技術にかかる運転ノウハウなどの詳しい説明に対し活発な質疑応答を交わしました。

アサヒ飲料北陸工場では、コーヒー飲料製造における焙煎、ブレンド等、一連の工程見学を行いました。この工場で発生するコーヒー粕については、黒部浄化センターのメタン発酵施設にて受入れされているという一連のリサイクルシステムが確立されています。

参加団体によるポスター展示

企業名	発表・展示内容
(株) 金沢舗道	下水汚泥焼却灰の有効利用 (安定化処理とアスファルトフィラー化)
月島機械(株)	下水汚泥燃料化技術
水 ing(株)	①汚泥処理ソリューション提案
	②黒部市下水道バイオマスエネルギー利活用施設の紹介
(株) 荏原製作所	下水消化ガスマイクロガスタービン
メタウォーター(株)	「超高効率固液分離技術を用いたエネルギーマネジメントシステム」に関する実証内容及びその成果



企業ポスター展示

今回は、上表の6社にセミナー会場内でポスター発表・展示いただき、エネルギー化技術を中心に幅広い分野での最先端の情報をご提供いただきました。

(公社) 日本下水道協会では、26年度も引き続き本セミナーから先進技術の発信をさせていただければと考えておりますので、多数の皆様の参加をお願いします。

口絵

第26回下水汚泥の有効利用に関するセミナー（黒部市）

巻頭言

PFI事業による下水道汚泥の有効利用 堀内 康男 (5)

論説

下水道をとりまく水環境の展望－環境リスクから生物多様性を守る－ 楠井 隆史 (6)

特集 第26回下水汚泥の有効利用に関するセミナー特集

解説

黒部市下水道バイオマスエネルギー利活用事業について 西田 重雄 (14)

下水汚泥資源利用の動向と今後の施策について 三宮 武／安陪 達哉 (22)

コンパクトなまちづくりと下水道事業について 藤井 洋一 (31)

研究紹介

下水道施設を利用した下水汚泥および有機性廃棄物の有効利用に関する
土木研究所の最前線 津森ジュン／桜井 健介 (38)

下水汚泥溶融スラグの建設資材としての有効利用の取組み 佐伯 滋 (46)

下水汚泥有効利用の課題と日本下水道事業団における取組み 島田 正夫 (55)

下水道汚泥利用促進に関する日本下水道新技術機構の取組み 落 修一 (64)

平成24年度下水汚泥由来肥料の窒素肥効効果試験について 古畑 哲 (72)

研究紹介

微生物を用いた消化汚泥の資源化 藤井 克彦 (82)

下水汚泥焼却灰を活用した産学官連携研究の概要
..... 佐々木昭仁／菅原 龍江／阿部 貴志／池 浩之／佐藤 佳之 (87)

Q & A

ヒ素とカドミウムについて 川崎 晃 (96)

現場からの声

汚泥集約処理における返流水中の窒素除去（対策）について 西本 裕二 (98)

文献紹介	カップホーン型超音波抽出とシーケンシャル型原子吸光分析装置による 有機性肥料中の微量元素の迅速定量 …………… 川崎 晃……(102) サンフランシスコオーシャンサイド処理場におけるバイオガス利用方法 の頑健な評価手法 …………… 三宅十四日……(103)
講座	消化汚泥からの高効率リン除去回収技術 …………… 古賀 大輔／萩野 隆生……(104) 高速リン吸着剤を用いた排水からリン除去・回収 …………… 大屋 博義……(108) 排水からのリン回収・肥料化に関する取り組み …………… 明戸 剛……(115)
投稿報告	新たな下水汚泥固形燃料化技術「S A法固形燃料化技術」について …………… 佐々木経一……(119) 新居浜市「消化ガスの火力発電利用による効果…下水道事業が地球温暖化対策を先導する」 …………… 片上 良樹……(125) 鹿児島市における汚泥発酵肥料「サツマソイル」の近年の動向と利用促進 …堀切 一志……(128) 信州における廃油・汚泥リサイクル施設の取組事例 ー地域ニーズに合った多種類のリサイクルに向けた工夫ー …………… 竹村 博文……(132)
コラム	ハーバー・ボッシュに挑む！ーバイオマスから「化学肥料」を製造ー …………… 山岡 賢……(135)
報告	第26回下水汚泥の有効利用に関するセミナーパネルディスカッション概要 …………… 会場：黒部市……(136)
ニュース・スポット	BISTRO下水道推進チーム会合について …………… 編集委員会事務局……(146)
資料	おしらせ（投稿のご案内、広告掲載依頼）……………(149) 汚泥再資源化活動 ……………(153) 日誌・次号予告・編集委員会委員名簿 ……………(156) 編集後記 ……………(158)

※本文中の表題で記載した執筆者の所属団体・役職は、執筆当時のものです。

巻 頭 言

PFI事業による下水道汚泥の有効利用

黒部市長

堀 内 康 男



黒部市は、平成18年3月に旧黒部市と旧宇奈月町が合併し新黒部市として誕生した人口約43,000人余りの富山県東部の市であり、黒部川の源流北アルプスから富山湾に至る豊かな自然の中に国内を代表する観光地である宇奈月温泉や黒部峡谷などを有しております。

また、当市には、平成27年度3月開業予定の北陸新幹線の「黒部宇奈月温泉駅」が設置され富山県の東の玄関口として、大きな役割を担うとともに、当市の産業、観光の発展につながるものと大きな期待を寄せるものであります。

さて、当市では、合併時に新たな総合振興計画を策定し、将来都市象として「大自然のシンフォニー 文化・交流のまち黒部」を標榜し、まちづくりを進めています。

その中の主要施策の一つとして「エネルギーの有効活用」を掲げ、バイオマスエネルギーの利活用による循環型社会の構築に取り組んでいます。

近年、下水道汚泥の有効利用の技術開発が進む中、黒部市では下水道汚泥をバイオマス資源と位置づけマテリアル利用からエネルギー使用への政策方針を打ち出しました。

また、かねてより下水道汚泥の処分はセメント会社、埋立処分会社に委託しておりましたが委託先の休止や閉鎖、処分費の値上げなど恒常的に市況変動のリスクを抱えておりました。

このような状況の中、民間事業者が持つ経営能力や最新のバイオマス利用技術の活用、副生成物の流通先の確保や処理コストの縮減といった観点からPFI事業を導入し、民間事業者が下水道汚泥バイオマスエネルギー利活用施設の設計、建設、維持管理・運営の事業全般を委ねる「黒部市下水道バイオマスエネルギー利活用施設運営事業」を平成19年度から事業計画に着手し平成23年4月に利活用施設が完成しました。

この利活用施設では、下水道汚泥、デスポーザ由来の家庭生ゴミ等や、市内の農業集落排水処理場と浄化槽（合併・単独）から搬入された汚泥に加え、安定的に調達可能な事業系食品残渣（本事業ではコーヒー粕）を近隣企業から受け入れ、黒部浄化センター内の汚泥処理設備で、混合・粉碎し、メタン発酵槽でバイオガスを取り出しています。

取り出したガスは、消化汚泥の乾燥、メタン発酵槽の加温用熱エネルギーとして利用する外、市のこのような取り組みのPRのため浄化センター内に設置した足湯「ばいお〜ゆ」の熱源に使用し、さらに余剰ガスはマイクロガスタービンによる発電用として利用しています。

乾燥汚泥につきましては、現在、セメント会社の原燃料として再利用しておりますが、民間企業の発電施設にて燃焼実験を実施中であり、実験結果が良好であれば化石燃料の代替え燃料として販売する予定です。

さらに、この乾燥汚泥は、「くろべ緑花王」という名称で肥料登録しており、県内花卉生産農家に販売するとともに、市民に無償配布しています。

加えて、二酸化炭素の排出を年間約1,000 t 削減するなど、地球温暖化防止に対しても貢献しており、平成24年度には、国内クレジットの認定を取得しています。

一方、家庭生ゴミ等についてもバイオマス資源としてとらえ、積極的に利活用するため家庭生ゴミ等を下水道管に直接流し込むデスポーザの普及に努めており、さらに市民のゴミ出し手間の軽減や、生ゴミの収集、焼却、焼却灰処分も軽減されることから、設置に対し補助金を交付しているところです。

この事業は下水道汚泥、生ゴミ等、農業集落排水汚泥と浄化槽（合併・単独）汚泥、食品残渣を有効利用し循環型社会を推進することを目的としており、このような事業を、PFI方式による下水道汚泥バイオマスエネルギー利活用事業として実施した事例は全国的にもまれであることから、より安定した事業となるよう、市と事業者とで綿密に連携を図りながら、さらに効果的な事業運営・展開を図っていきたいと考えています。

論 説

下水道をとりまく水環境の展望 —環境リスクから生物多様性を守る—

富山県立大学工学部
楠 井 隆 史

キーワード：生物多様性、WET試験、環境リスク

1. はじめに

わが国の水環境は、排水規制等が進み一時期見られた激甚な水質汚濁状況を脱し大幅に改善した。しかし、湖沼や海域の環境基準の達成率が低い状況にあり、また、医薬品等の新たな化学物質が水環境の放出されその影響が懸念されなど、新たな取り組みが求められている。環境省の「今後の水環境保全を考える検討会」¹⁾では、これからの水環境保全・再生の取組にあたって「地域の観点」、「グローバルな観点」、「生物多様性の観点」、「連携の観点」を念頭におく必要性を指摘している。その中で、よりレベルの高い水環境を目指すために「排水規制の在り方」の中で、生物応答を利用した排水管理手法（Whole Effluent Toxicity：WET手法）を検討すべき取組として取り上げている。ここでは、環境リスクから生物多様性を保全するための各分野での取組の動向を紹介すると同時に、生物応答を利用した排水管理手法の動向、下水道との関わりについて述べたい。

2. 生物多様性と環境リスク

生物多様性は人の生存を支える様々なサービスを提供する基盤であり、その保全が急務となっている。多様性を脅かす要因としては、人間活動や開発、人為の働きかけの減少、外来種や化学物質、さらには、地球

温暖化が挙げられている（図1）²⁾。

わが国では有吉佐和子の長編小説『複合汚染』（1975年）が化学物質の生態系への影響について警鐘を鳴らしたが、当時は化学物質の生態系への影響を規制する法的な枠組はなかった。2002年1月に公表されたOECDによる日本の環境保全成果レビューは「化学物質管理に生態系保全を含むよう規制の範囲をさらに拡大すること」、「生態系保全に関する水質目標を導入すること」と勧告している³⁾。

わが国においても1993年には生態系保全のため環境基準の検討の必要性が指摘され（中央環境審議会答申）、2000年12月には中間報告「水生生物保全に係る水質目標について」が出されている⁴⁾。その中では81



図1 生物多様性を脅かす要因

水生生物保護のための施策の必要性

- ◆水産動植物の消費量:95.2g/day (U.S. 6.5g/day)
- ◆中央環境審議会答申(1993.1)
 - ◆「...化学物質による水生生物等への影響の防止という新たな観点からの環境基準の設定の考え方を我が国においても早急に検討していく必要がある」
- ◆「水環境に係る有害物質懇談会」中間報告(1997.8)
 - ◆「人の健康と水生生物への影響防止」
- ◆有害物質による水生生物影響等検討会(2000.2-2000.12)
 - ◆水生生物保全に係る水質目標について」中間報告(2000.12)



2001より81物質対象に検討開始
—毒性評価分科会

図2 わが国での取組

水生生物の保全に係わる 水質環境基準をめぐる論点

- ◆ 亜鉛
 - わが国では自然由来や鉱山由来により環境基準案を超過している点が多く存在している
 - 亜鉛の濃度規制の検討に際しては、その人為的排出の75%が下水道である点を考慮すべき
 - ヒラタカゲロウという種で導出された値を全国一律の環境基準に設定しようとしているが、多様な生態系に即した基準案作成の論議が必要ではないか
 - 亜鉛の化学形態の差(全亜鉛と亜鉛イオン、共存物質の(特に硬度)による毒性差を考慮すべきではないか
 - 亜鉛は生体にとって必須元素であることを考慮し、環境基準を設定すべき
 - 設定根拠となる文献はEUでは信頼性が否定されている

図4 亜鉛をめぐる論議

水質目標の算出手順

- ◆主要魚介類の生存・繁殖等 ◆対象生物の餌生物の生存・繁殖

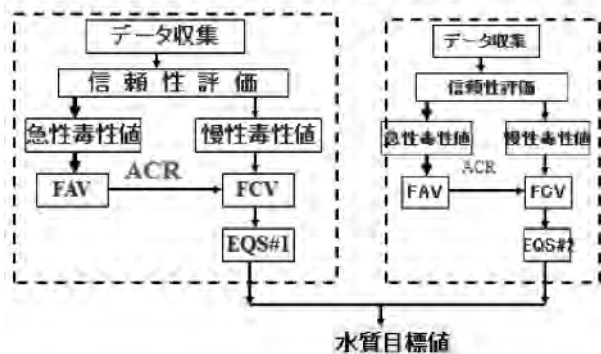


図3 水質目標の算出手順

5 各河川の水域類型指定の検討

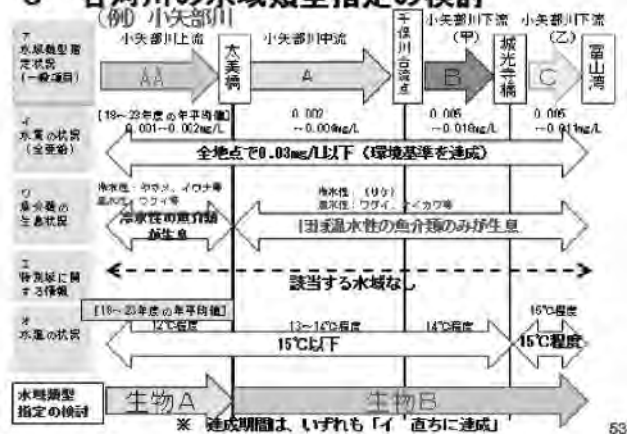


図5 水域類型指定の検討

物質が水質目標値の候補物質として挙げられた。2001年からこうした物質を対象に検討が開始されるなど、OECDが指摘するより以前から取り組みは始まっていた(図2)。

検討の中で、水生生物保全のための環境基準は「生活環境項目」として位置づけられた。これは「生活環境」とは「人の生活に密接な関係のある動植物及びその生育環境」を含み、「生活環境の保全」とは、「食用に供する魚、取って利益を生む魚というような有用な水産生物及びその餌生物やその保全」という観点を含むとみなしたからである。

水質目標値の算出に当たっては、主要魚介類とその餌生物への影響が検討された。また、水産資源として価値ある集団を長期的に維持することを目的として「慢性影響」の防止を目的とした。

2003年(平成15年)に「全亜鉛」が水生生物保全環境基準の第1号として制定された。必須金属でありまた、様々な用途に日常的に使用されていることから、

「全亜鉛」項目の制定は様々な論議を引き起こした(図4)。

富山県においても、2012年度から水域類型指定の検討が開始され、2013年4月に県西部の小矢部川等の9河川における類型指定がなされた(図5)。現在、県東部の主要18河川についても検討がされている。

「全亜鉛」に引き続き、2012年に「ノニルフェノール」、「直鎖アルキルベンゼンスルホン酸およびその塩(LAS)」があらたな水生生物保全基準として制定され、今後とも基準が増加することが予想される。「LAS」は家庭用洗剤と広範に使用され家庭排水に含まれており下水道サイドからも注視すべき項目である。

「水生生物保全環境基準」制定以外にも、1999年「特定化学物質の環境への排出量の把握等及び管理の改善の促進に関する法律」(PRTR法)、2005年「農薬取締法」改正、2004年「化学物質審査規制法」改正では、化学物質への生態系への影響(生態毒性)を新たな規制・監視の指標として取り込んでいる。また、こ

うした法的枠組みだけでなく、環境省の「環境リスク初期評価」では既存化学物質の健康影響と生態影響の実施している。1997年から続けられている事業では209物質（生態リスクは96物質）の結果が公表されてきた。この事業で影響を示唆された物質は今後、詳細な検討が求められる。

以上、ここ十数年の各分野での取組の動向は今後の水環境管理において化学物質の生態毒性は考慮することの重要性を示している。

3. 生物応答を利用した排水管理手法

前述のように生態系に対してリスクのある個々の化学物質の管理制度は着々と整備されつつある。一方、環境中にはすでに数千～数万種という化学物質が放出されており、その複合影響が懸念されていた。こうした状況に対して個別物質を対象とした従来の管理手法の限界が指摘されている（毒性データの不足、物質間の相互作用、未同定物質の存在など）。

この欠点を捕なうため、包括的指標である生物応答にもとづく試験（バイオアッセイ）を用いた環境管理に期待が寄せられている。特に、廃棄物、廃水などの混合物の有害性（安全性）評価に役立つ事が期待される。しかし、多成分系を対象としたバイオアッセイによる毒性評価は、単一物質を対象とした既存のリスクアセスメント手法に馴染みにくく、その有効性に関しては様々な議論がある。

3.1 海外におけるWET導入事例

欧米を中心として1960年代頃からバイオアッセイを用いた毒性評価による化学物質の規制手法が水環境管理に導入され、現在では、アメリカとカナダなどで水質管理の指標（排水基準など）として定着している⁵⁾。

水界生態系保全が導入の主目的であるが、有害化学物質のリスクマネージメントの一手法とみなすことができる。ここでは代表的な事例として、アメリカ、カナダにおけるバイオアッセイによる水環境管理の動向を紹介する。

バイオアッセイが排水や水域の監視に用いられたのは1940年代初期に遡る。その後、ミシガン州やカリフォルニア州では、化学分析を補完する排水モニタリング試験（急性毒性）として、それぞれ1950年代、1960年代後半にバイオアッセイが導入された。

1977年に、有害物質を含む排水の放流を禁じたいわゆるゼロディスチャージ、“the discharge of toxic pollutants in toxic amounts be prohibited”を盛り込んだ水清浄法（Clean Water Act）が制定された。従来のBODや主要汚染物質のみを対象とした規制からは一歩前進したものであったが、既に使用されている多数の既知有害物質（規制対象外）の存在、化学分析に要する多額の費用、毒性データの存在しない多数の化学物質などの問題点が指摘されていた。その後、環境保護省（U.S.EPA）を中心に精力的な研究が行われ、1984年にU.S.EPAは国家汚濁物質排出削減計画（National Pollutant Discharge Elimination System, NPDES）による排出認可過程にバイオアッセイによる全排水毒性試験（Whole Effluent Testing, WET）と個別化学物質規制の併用を提唱した。この規制を実施するための技術文書（Technical Support Document, TSD）が出され、水生生物保護を目的とした表流水中の毒性物質規制のための統合的アプローチ（表1）が打ち出された（1989年）。

このアプローチで注目すべき点は、個別化学物質排水毒性、生物相調査という三手法の利点・限界を勘案し、相互の補完性を明確にした点である。バイオアッセイは個別物質濃度から把握不可能な全毒性を評価で

表1 有害物質制御のための統合的アプローチ（TSDより抜粋）

制 御 方 法	能 力	限 界
個別化学物質（化学分析）	人間の健康保護 毒性学作用機序が明確 挙動把握可能	全化学物質の測定不可能 生物利用可能性を考慮せず 複合物の相互作用を予測不能
全排水毒性（バイオアッセイ）	全毒性把握可能 未知毒性物質に対処 生物利用可能性考慮	人間の健康保護に不十分 毒性学的機序が不明確 環境中での残留や蓄積考慮せず
生物相調査	実際の影響測定 経時的影響解析可能 未知発生源の影響検知	流量の影響を受ける 影響の予測困難 影響因子の同定困難

きる。また、実際の流域で生物相調査した場合には、排水毒性が認められたにもかかわらず生態系影響が生じていない場合も有り得る。この場合には、WETによる規制を緩和するという柔軟な発想である。

WET実施に当たって、試験方法の標準化とWETの妥当性に関する体系的な検討がなされた。バイオアッセイの標準化と短期慢性毒性試験の開発、毒性試験と放流水域での生態系影響との相関関係の検討、などがその主要な成果として挙げられる。

試験方法については、再現性を確保するために、飼育法、実験方法やデータ処理まで定めた標準試験方法（急性毒性、慢性毒性）が開発された。特に、1週間で実施できるニセネコゼミジンコ（*Ceriodaphnia dubia*）繁殖試験などの短期慢性毒性試験を開発した点が注目される。供試生物種の感受性の種差は、複数の生物種を用いることにより、生態系で比較的感受性の高い生物種の結果を近似できることから、最低三種類（魚類、甲殻類、植物）の生物試験を実施することを推奨している。

WETの予測能力と短期慢性毒性試験の有効性を検討するために、比較的排水影響の大きい水域（河川、沿岸域など）8地域が選定され、生物相とWETの相関が検討された（複合排水毒性試験計画、Complex Effluent Toxicity Testing Program）。リスクアセスメントの手法を踏襲し、放流水域での希釈率を考慮して、河川水または人工調整水などで希釈された状態（IWC）での排水毒性と水域の生物相への影響が比較検討された。比較に当たっては、WETと生物相調査では必ずしも代替種の概念が成立しない（同一生物種へ影響が生じるとはかぎらない）など大胆な仮定がなされた。その結果、慢性毒性試験結果（ミジンコ、魚）と実流域における生物相（魚類豊富さ、底生生物など）への影響との間に高い相関関係が認められWETの予測能力が確認された（表2）。

排水基準については、バイオアッセイに基づく水質クライテリア（慢性、急性）を提唱している。放流先での希釈効果を認め、拡散状況を考慮した混合層（mixing zone）境界でクライテリアを達成する事を想

定している。全米の公共下水処理場を対象とした調査の結果、混合希釈後の濃度（急性46.8%、慢性69.5%）、排水口末端濃度（56%）、急性WET使用しない場合（7%）など州により様々なWET基準が設定されていた。

更に、ユニークな点は基準を越える有害排水を排出している排出者に対して毒性削減評価（Toxicity Reduction Evaluation, TRE）の実施をさせる点である。TREは、毒性発生源の探索、毒性原因物質の同定（Toxicity Identification Evaluation, TIE）、毒性削減方法（原材料の変更、処理方法など）を含む一連の過程である。TIEは、物理化学的分画操作（濾過、吸着、曝気、pH調節など）とバイオアッセイを併用して、毒性原因物質（群）を同定しようとする一連のプロセスである。TIEの結果、界面活性剤、金属、アンモニアなどが毒性原因物質として同定されている。TREは原因物質が同定されていない場合でも、何らかの対策・処理により（毒性）削減効果が挙げれば良しとする極めて実用的プロセスであり、一種のリスクマネジメントと見なすことができる。

ここでは、アメリカのWETを紹介したが、カナダ、ヨーロッパ（ドイツ、フランス等）、韓国でも、各国の事情に応じて生物応答を利用した排水規制が導入されている。

3.2 日本におけるWETの動向

日本においても生物応答を利用した水質監視や排水管理の有用性については早くから認識されてきた。上水試験方法や下水試験方法には各種の生物試験法が記述されている（図6）。しかし、浄水場や事業場で魚類を用いた常時監視が行われている以外は、法的基準がないことからやその適用事例は極めて少ない。そこで、演者らは1995年に排水管理における生物試験の有効性を検討するために、5種の急性毒性試験を用いて事業所排水の生態毒性評価を行った⁶⁾。20種類の排水

表2 複合排水毒性試験結果（8ヶ所）
甲殻類繁殖試験／魚類試験⇔魚の豊富さ

毒性試験 \ 影響	影響あり	影響無し
影響予測	86.2%	7.5%
無影響予測	2.5%	3.8%

日本における標準的バイオアッセイ

上水試験方法	変異原性試験（エームス試験、ウム試験）、魚類による常時監視法、緊急時試験
下水試験方法	生物毒性試験（魚類急性毒性試験、甲殻類遊泳阻害・繁殖試験、蠕虫虫類増殖阻害試験、藻類増殖阻害試験、細菌増殖阻害試験、細菌発光阻害試験、生物濃縮試験） 変異原性試験（エームス試験、ウム試験、レックアッセイ） AGP試験（藻類生産力試験） 生態系影響評価試験
JIS	ミジンコ遊泳阻害試験、魚類による急性毒性試験
生態影響試験法 ガイドライン(1992)	藻類生長阻害試験、ミジンコ遊泳阻害試験、魚類による急性毒性試験

図6 バイオアッセイ法の例

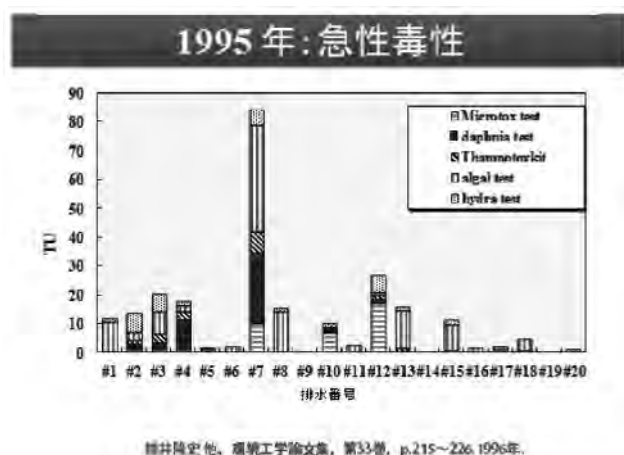


図7 事業所排水の急性毒性

を対象に検討を行った結果、85% (17/20) の排水で急性毒性が検出され、試験法別では検出率の点で、藻類成長阻害試験 (80%)、ヒドラ亜致死急性毒性試験 (60%) の順に高かった (図7)。また、排水中の重金属濃度と毒性を比較した結果、最も強い毒性を示した排水 (金属加工) についてはZn、Cu、他ではpH (織物染色)、揮発性物質 (医薬品) などが毒性寄与因子として推定された。こうした結果は生物試験の重要性を示唆していたと考えられた。1990年代当時は「水環境学会」などでバイオアッセイを用いた研究が発表されていたが、法的な規制手法として認知されるまでには至らなかった。

2011年に冒頭に紹介した「今後の水環境保全の在り方について (とりまとめ)」では「複数の化学物質が共存していることによる生態系への影響など水環境中での問題が生じているおそれは否定できないことから、水環境への影響や毒性の有無を総体的に把握・評価し、必要な対策を講じるため、現行の排水規制を補完する手法として、生物応答を利用した排水管理手法 (Whole Effluent Toxicity: WET手法) などの有効性についても検討すべきである」と提言している。こうした提言がなされた背景には、内分泌かく乱物質のように低濃度で水生生物に影響を与える物質への懸念や、先に紹介した生態毒性に関する各種取り組みの進展がある。

提言に先立ち、環境省では、WET導入の有効性、適用の可能性、課題を明らかにするために、2009年、「WET手法等による水環境管理に関する懇談会」を設置した。2010年度からは「生物応答を利用した水環境管理手法に関する検討会」を設置し、その下に、「生物応答を利用した水環境管理手法の制度・運用分科会」、「排水 (環境水) 管理のバイオアッセイ技術検討分科会」を設けた。また、アメリカ、カナダ、韓国などからWETの担当者を招いて講演会 (2回) を開催し、

排水および環境水110サンプル中の累積頻度

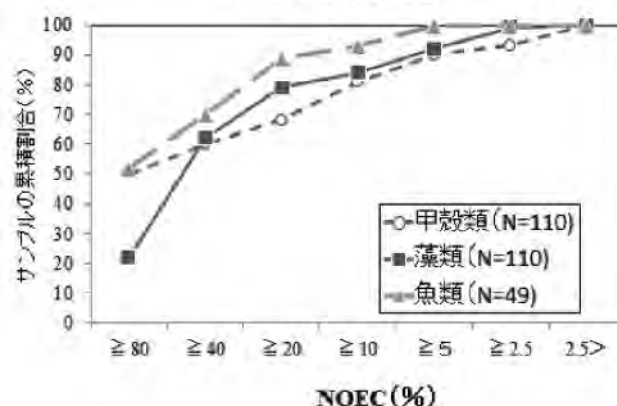


図8 サンプルのNOEC分布

全110排水サンプル中で無影響濃度 (NOEC) が10%未満の件数



図9 生物試験と検出結果の関連

各国の経験、実情に関する情報を収集した。

2013年3月にはWETに用いる試験法のマニュアル (案) が公表された。ムレミカツキモ (*Pseudokirchneriella subcapitata*) 藻類生長阻害試験、ニセネコゼミジンコ (*Ceriodaphnia dubia*) 甲殻類繁殖試験、ゼブラフィッシュ (*Zebra Danio*)、胚・仔魚短期毒性試験の三種類の試験法の三種類の短期慢性試験が採用された。いずれも、淡水種であり、一次生産者、一次捕食者、二次捕食者と生態系の中でも異なる栄養段階に属している。藻類生長阻害試験以外は、わが国での実施経験はそれほど多くなかった。しかし、現在では急性毒性を示す排水はほとんど認められないことから、比較的「短期」で実施できる「慢性毒性試験」として採用された経緯がある。

ここ数年、これらの短期慢性毒性試験法を用いた事業場排水の事例報告が見受けられるようになった。国立環境研究所が110カ所の複数の事業所排水および環

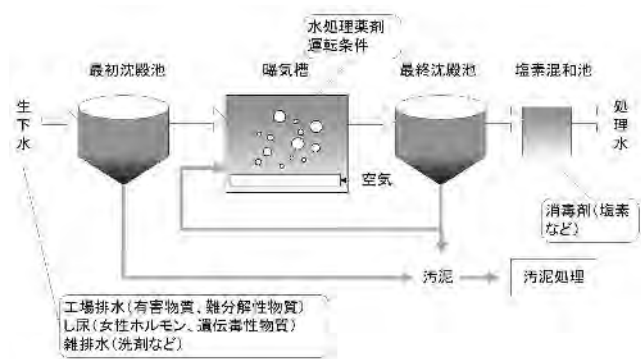


図14 下水処理に係わる毒性因子

る機関（民間、自治体等）の育成と同時に、導入の意義と期待される成果を事業者、国民にわかり易く説明をすることが求められであろう。

3.3 下水処理場とWET

下水処理場においても生態影響のある物質が放流水中に含まれる可能性がある（図14）。生下水（家庭汚水、工場排水）、水処理薬剤、消毒薬などがその原因として挙げられる。

米国では都市下水処理場もWETの対象施設となっており、都市下水に関する毒性削減評価法（TRE）プロトコルがまとめられている⁹⁾。その主要素としては、処理場性能評価（PPE）、毒性同定評価（TIE）、毒性物質発生源評価（TSE）および毒性制御評価（TCE）がある。このうち、TIEの次の段階で実施されるTSEでは毒性物質が同定されている場合、下水収集システムに遡り個々の支線や工場排水などの分析を通じて発生源を特定する。こうしたTREケース・スタディーで同定された毒性物質で最も一般的な物質は、塩素とアンモニアであった。塩素による毒性が認められた多くの都市下水処理場では、「近年、脱塩素処理を付加することが義務付けられている」と述べられている。この2物質以外には、殺虫剤、界面活性剤、金属類などが毒性物質として同定されている。殺虫剤のように一般家庭でも広く用いられている物質が排水溝付近に散布され、使い余したものが直接下水道に廃棄されるケースについては、公衆教育が最も有効な方法である報告されている。

環境省の検討会では下水処理場をWETの対象に含めるかどうかを巡って以下のような議論がなされている：原因究明の困難さ、発生源対策（工場排水）、塩素消毒の影響など。「発生源対策」では、受入基準を満たして受け入れている工場排水が毒性原因の場合、未規制物質を削減することの意義、その費用負担をどのように関係者に説明できるか、などが論議された。従来の下水処理の位置付け、消毒技術の見直しにまで波

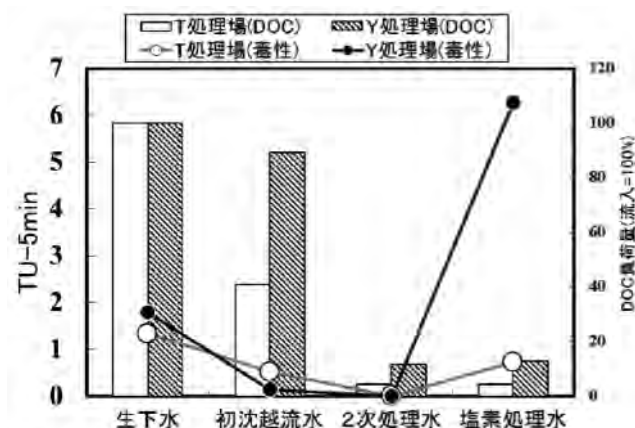


図15 下水処理過程での毒性の消長

及する可能性があるため、十分な検討が必要である。

日本の下水処理場を対象に生態毒性を調べた研究を紹介したい。演者らは発光細菌試験を用いて下水処理過程における急性毒性（ $TU=100/EC_{50}$ ）の消長を検討した（図15）¹⁰⁾。処理過程が進行するにつれて、有機物（DOC負荷量）、急性毒性（ $TU-5min$ ）は減少した。特に毒性は二次処理水では検出されなかったが、塩素消毒後、毒性が増加した。また、山本らはWETに提唱されている短期慢性毒性試験を用いて徳島県内の4下水処理場の排水を調査した¹¹⁾。その結果、すべての排水に3種の生物のいずれかに毒性影響が検出されている。その原因として、有機汚濁、残留塩素などが推測された。

以上のように、下水処理場の流入水には様々な起源の物質が含まれていることから、その規制には一般事業所とは異なる特有の困難がある。しかし、下水道が普及し下水処理水が放流先の生態系にも大きな影響を与える存在となっている現在、「健全な水循環」を維持・創造するためには下水処理水の環境影響を評価し管理することは重要な課題である。

4. 今後の展望

第4次環境基本計画（平成24年4月）では目指すべき持続可能な社会の姿として「低炭素・循環・自然共生の各分野を統合的に達成」を挙げ、重点的に取り組む分野「水環境保全に関する取組」のなかで「流域全体を視野に入れ、地域の特性や生物多様性の保全を念頭に、良好な水環境の保全に取り組む」と述べている。各分野で進む環境リスクへの取組を注視しながら、下水道においてもWETなどの対応を含め「健全な水循環と資源循環」を創出する21世紀型下水道への転換への図っていくことが求められている。

5. 参考文献

- 1) 今後の水環境保全に関する検討会：今後の水環境保全の在り方について（とりまとめ）、平成23年3月、環境省.
- 2) 環境省自然保護局編：生物多様性民間参画ガイドライン、成山堂書店、2010.
- 3) 環境省：OECD 環境保全成果レビュー—「結論及び勧告」の概要—、平成14年1月.
(<http://www.j-ec.or.jp/ecinfo/HoukiKankyo/kankyomondai8.pdf>)
- 4) 環境庁水質保全局：有害物質による水生生物影響等検討会中間報告—水生生物保全に係る水質目標について、2000.
- 5) 楠井隆史：北米における水環境管理戦略, 水環境学会誌, 第23巻7号, 395-399, 2000.
- 6) 楠井隆史他：富山県内の産業排水の生態毒性評価, 環境工学論文集, 第33巻, 215~226, 1996.
- 7) 鎌迫典久：水圏保全のための新たな排水管理ツール“WET”の最新事情、資源環境対策、Vol.47, No.5, 58-66, 2011.
- 8) Kusui, T.et.al.：Whole Effluent Toxicity Assessment of Industrial Effluents in Toyama Prefecture with a Battery of Short-term Chronic Bioassays, Journal of Water and Environment Technology, Vol.12, No.1, 55-63, 2014.
- 9) デービス L.フォード編（松井三郎、井出慎司監訳）：環境毒性削減：評価と制御、環境技術研究協会, 1996.
- 10) 楠井隆史他：下水処理場における毒性の挙動、第28回日本水環境学会年会講演集、456-457、1994.
- 11) 山本裕史他：徳島県内の下水処理施設放流水を対象としたWET試験、環境工学研究論文集、47、724-734、2010.

特集：第26回下水汚泥の有効利用に関するセミナー特集（黒部市）

解説

黒部市下水道バイオマスエネルギー 利活用事業について

黒部市上下水道部 工務課

上下水道部次長 西 田 重 雄

キーワード：汚泥のエネルギー利用、コーヒー粕（事業系食品残渣）、PFI、ディスポージャー

1. はじめに

黒部市は富山県北東部に位置し、人口43,000人、面積は428km²と富山県の約10%を占めています。

地形は、水深1,000mの富山湾から標高3,000mの北アルプスまで高低差が4,000mあり、秘境「黒部峡谷」や黒部市の象徴である「黒部川」、「黒部川扇状地湧水群」など国内外に誇れる自然環境と観光資源を有しています。

産業ではファスナー生産量世界一を誇るYKK(株)の本社工場があり、工業都市、国際都市として発展しています。

また、平成26年度北陸

新幹線の開業時には、「黒部宇奈月温泉駅」が富山県の玄関口として、観光や産業の拠点となることが期待されています。



写真-1 黒部市上空写真



写真－2 生地共同洗い場



写真－3



写真－4 アクアパーク



写真－5

2. 黒部市下水道の環境への取り組み

黒部市の海岸線には、環境省選定の名水100選に選ばれた「黒部川扇状地湧水群」があり、自噴水を町内会で管理する「共同洗い場」が生活用水や、地域の憩いの場となっています。

また、1級河川の黒部川は平成22年度に水質全国1位となるなど、黒部市は水にこだわり、使った水でもよりきれいな水にして自然に戻すため、平成7年度に高度処理を導入しています。

目的としては、下水処理場は「臭い・汚い」と敬遠されがちですが、下水処理の透明化を図り、隣接する総合公園と併せたアクアパーク（公園）を処理場内に整備し、高度処理のあとオゾン処理した処理水を、アクアパークに流すことにより市民の皆様が下水処理の安全性や事業に対するご理解を頂くことを目的としています。

3. 事業に至る背景と経緯

平成14年、公共下水道及び浄化槽の普及が進み、し尿処理量が減少する中で、黒部市を含む2市2町で広域圏運営するし尿処理施設の老朽化に伴い、その存続について更新か廃止かの議論が始まりました。

一方、黒部浄化センターで発生する下水道汚泥の処理は、これまでその全量をセメント会社、埋め立て処分会社などに外部委託していましたが、委託先の休止や閉鎖、処分費の突然の値上げなど、恒常的に市況変動へのリスクを抱えており、これに対応できる新たな処理方法の確立がかねてより課題となっていました。

さらには、近年の地球温暖化問題の顕在化や、資源エネルギー需給の逼迫が懸念される中、都市の持続的発展を維持する観点から、自治体にも循環型社会に適応した廃棄物処理方法の確立が求められていました。

こうした背景を受けて、黒部市では平成15年「黒部市下水道汚泥処理事業基本構想」を策定し、下水道汚

【黒部市下水道汚泥処理事業基本構想】 マテリアル利用からエネルギー利用への転換			
【現状】	セメント化	堆肥化	埋立処分
【将来】	CO ₂ 削減	熱エネルギー回収	発電 燃料化
【課題】	採算性 (コスト)	安定性 (技術)	継続性 (バイオマス確保) 民間活用 (利活用)
【対応】	P F I	混合消化（事業系食品残渣・デイスポーザー） 代替燃料	

表－１ 黒部市下水道汚泥処理基本構想

1. 設置場所	黒部浄化センター敷地内
2. バイオマス受入量 【H36年度計画値】	①下水道汚泥（濃縮汚泥） 24,000 m ³ /年
	②農業集落排水汚泥（濃縮汚泥） 1,000 m ³ /年
	③浄化槽汚泥（濃縮汚泥） 130 m ³ /年
	④デイスポーザ由来汚泥（濃縮汚泥） 680 m ³ /年
	⑤事業系食品残渣（コーヒー粕） 2,800 m ³ /年
	合計 28,610 m ³ /年
3. バイオガス利用法	ア）ボイラにより発酵槽加温熱源および汚泥乾燥機熱源として利用 イ）マイクロガスタービンで発電して場内利用
4. 汚泥有効利用方法	乾燥し、肥料として販売及び化石燃料の代替燃料として有効利用
5. 温暖化ガス削減量	CO ₂ 削減量 約 1,000 t／年（一般家庭約 200 戸、杉約 71,400 本分）
6. 事業費	建設費 16 億円、維持管理運営費 20 億円 計 36 億円

表－２ P F I 事業概要

泥をバイオマス資源と位置付けし、マテリアル利用からエネルギー利用への転換を施策方針に掲げました。

その後、し尿処理施設の廃止が正式決定され農業集落排水汚泥を含む浄化槽汚泥は、各市町で個別に処理することになり、平成18年に黒部浄化センター内にそれらを受け入れる汚泥濃縮槽を増設し、公共下水道汚泥との一括処理を図ることになりました。

4. P F I 事業の導入

近年、下水道汚泥の有効利用の技術開発が進み、バイオガスを電力や熱源などに利用する技術も多様化し、乾燥物のマテリアル利用も確立されてきました。

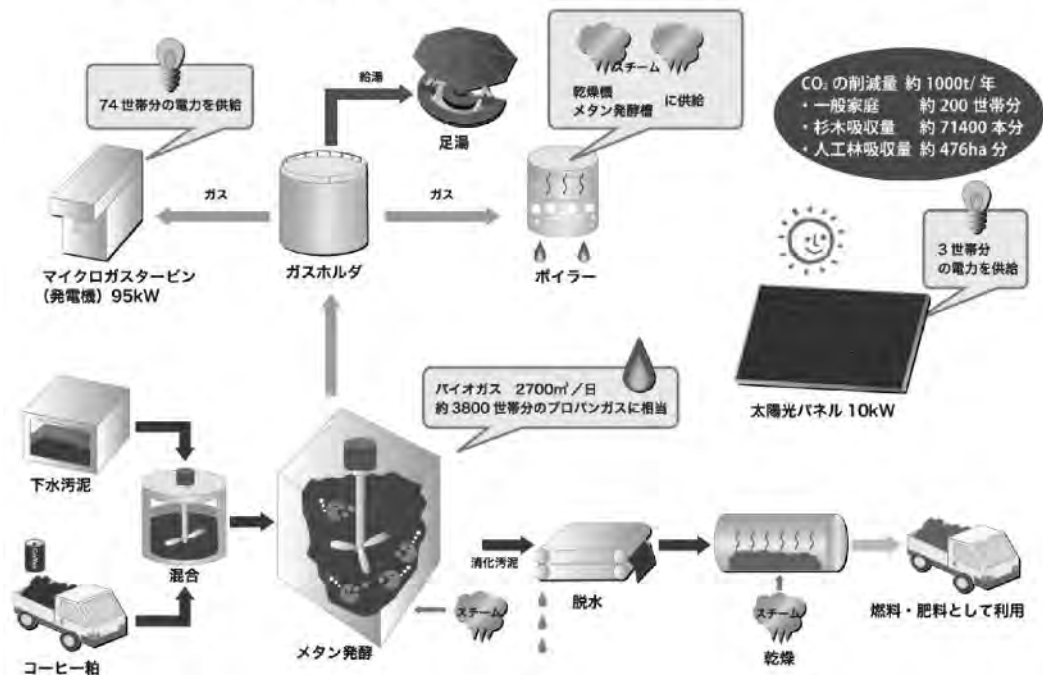
さらに、リン回収技術やB T X化、水素化などの新技術の開発も進められており下水道汚泥のリサイクル技術は日進月歩で進んでいます。

このような状況で、黒部市のような小さな自治体がバイオマス利活用に関して、ごく限られた情報により実施する従来型公共事業では、新技術に適応した事業を円滑に施工するのは極めて困難です。

また、これまでも本市では、セメントの原料化など下水道汚泥の最終処分先を開拓してきましたが、これからは民間事業者が汚泥処理から処分までの一連の事業権を委ねた方が、新たな処分先や処分方法を安定して確保できるのではないかと考えました。

そこで、民間事業者が持つ経営能力や最新のバイオ

未来を担うエコエネルギー・バイオガス



図－1 事業フロー

マス利用技術の活用、副生成物の流通先の確保や処理コストの縮減といった観点から、PFI事業を導入し民間事業者が下水道汚泥バイオマスエネルギー利活用施設の設計、建設、維持管理、運営の事業全般を委ねることとしました。

5. 事業の概要

「黒部市下水道バイオマスエネルギー利活用事業」では、民間の資金、技術力、経営能力を活用したPFI事業として実施しており、化石燃料を使用せず、発生したバイオマスエネルギーのみで汚泥を乾燥燃料化する事業となっています。

まず、市内の農業集落排水処理場と浄化槽（合併・単独）から搬出された汚泥を黒部浄化センター内の汚泥濃縮設備で受け入れ、公共下水道汚泥と併せて濃縮し、下水道バイオマスエネルギー利活用施設にポンプ圧送しバイオガスを取り出します。

しかしながら、汚泥からの回収エネルギーのみでは、施設内で使用する熱量に対して不足することから、より多くのバイオガスを確保するために、安定的に調達可能な事業系食品残渣（本事業では主にコーヒー粕）を、近隣企業から受け入れ、下水道汚泥と混合し、メタン発酵槽でガスを取り出しています。

取り出したバイオガスで蒸気をつくり消化汚泥の乾燥、メタン発酵槽の加温熱エネルギーとして、またガ

スの一部はマイクロガスタービンの発電用として利用しています。

乾燥物につきましては、現在、民間企業の発電施設にて燃焼実験を実施中であり、実験結果が良好であれば化石燃料の代替え燃料として販売する予定です。

また、乾燥物は、「くろべ緑花王」として肥料登録しており、県内花卉生産農家に販売しています。さらに、市民には月に一度、無償配布しています。

6. 施設の特徴

①メタン発酵設備（下水道汚泥と食品残渣との混合消化）

原料である下水道汚泥と事業系食品残渣（コーヒー粕）を混合、粉碎、スラリー化して分解しやすい状態に調整した上でメタン発酵槽に供給しています。

コーヒー粕は、バイオガス発生のポテンシャルが高く、施設のエネルギー収支を安定化させるために有効です。また、コーヒー粕は定常的な確保が可能ことから、施設運転の平準化が可能となります。さらに下水道汚泥単独の場合に比べて、バイオガスの増量が見込まれ、施設内での使用熱量を賄える上、余剰エネルギーを発電に使用することができます。

②マイクロガスタービン：（バイオガス発電）

余剰ガスは、マイクロガスタービンに供給され、発電燃料として使用されています。

マイクロガスタービンの特徴は、起動性、低振動、低騒音の環境性能に優れた発電機です。出力は95kWで、廃熱から蒸気の回収も行っており、メタン発酵槽の加温に利用しています。



写真-6 マイクロガスタービン



写真-7 足湯「ばいお〜ゆ」

③足湯（バイオマス事業体感施設）

余剰バイオガスを利用して、地下水を沸かし足湯に供給しています。黒部浄化センターは、「開かれた下水処理場」として処理場内の親水公園（アクアパーク）と共に市民に開放されており、地域活性化の一環として「足湯」も活用施設の一角に整備されています。施設の愛称を、一般公募で「ばいお〜ゆ」とし、毎日多くの市民でにぎわっています。

7. 施設の稼働状況

①バイオガスの利用

平成24年度のバイオガス発生量とその利用方法の推移を、図-2に示します。

バイオガスの計画量2,700m³/日に対し、平成24年度実績は2,330m³/日であり、計画量の約86%となっています。

取り出したバイオガスは、蒸気ボイラの燃料として優先的に使用します。ボイラで発生させた蒸気の大部



写真-8 冬季間の「ばいお〜ゆ」

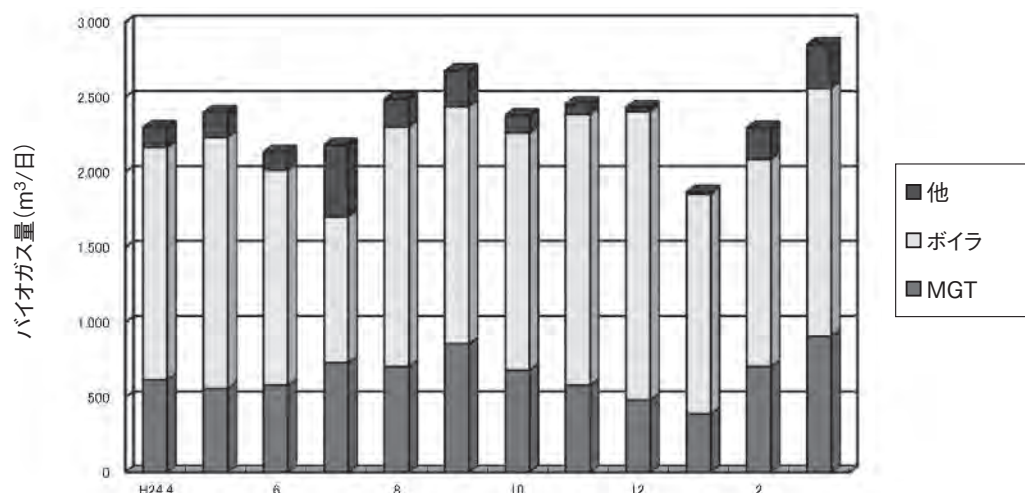
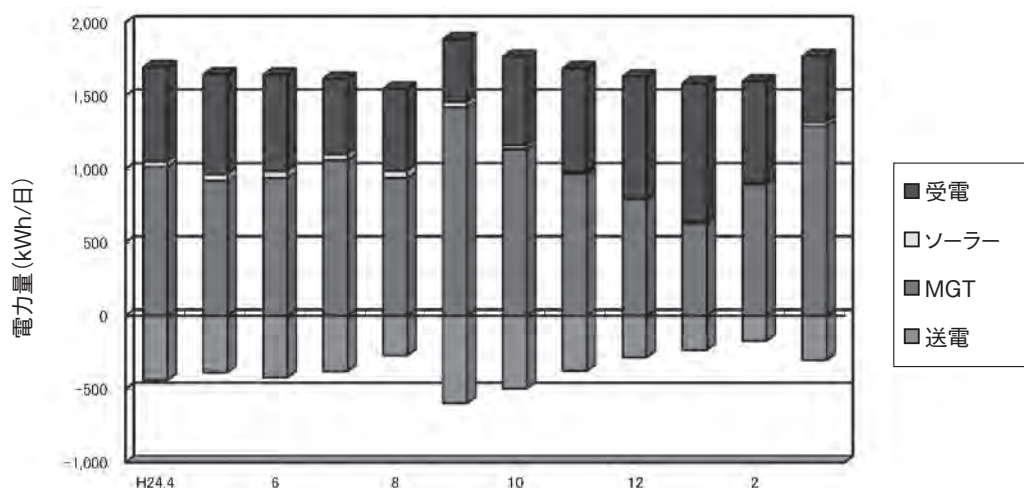
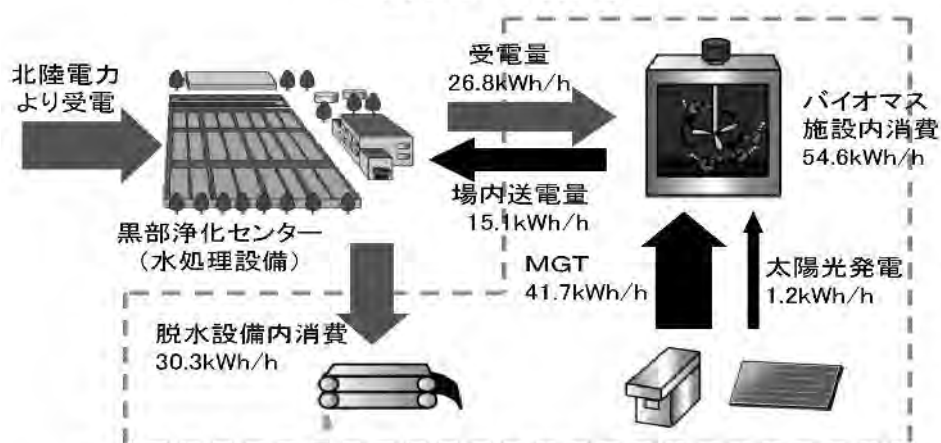


図-2 バイオガスの発生量と利用先



図－3 電力消費量と供給元

電力収支



※ 数字は、平成24年度1年間の平均値。

図－4 電力収支

分は消化汚泥（脱水ケーキ）用の乾燥機で使用消費され、残りはメタン発酵槽の加温に使用されます。

余ったバイオガスは、マイクロガスタービン（MGT）に供給し、発電に使用します。

「他」の項目は、足湯「ばいお～ゆ」への給湯と、余剰ガスとして燃焼処理した量を示します。

②電力消費量と供給元

平成24年度の電力消費量と電力供給量の推移を、図－3に示します。

マイクロガスタービン（MGT）と太陽光発電で発電した電気は、施設内で消費し、余った分は既設の処理場に送電します。

受電と送電が両方出るのは、MGT・太陽光発電共に稼働する時間帯と停止する時間帯があることによります。

傾向としては、MGTの稼働率が高い時は、受電量が抑えられ、送電量が増加します。

③電力収支

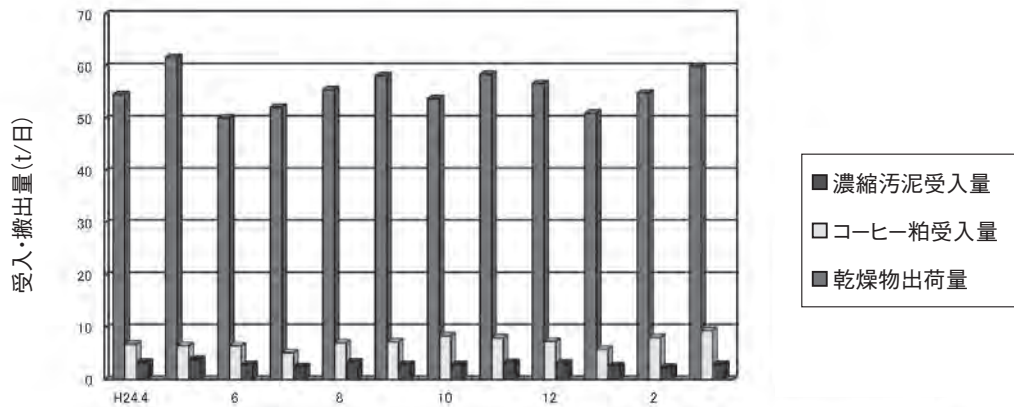
電力収支について、図－4に示します。

バイオマス利活用施設への電力供給は、北陸電力から黒部浄化センターを経由しています。

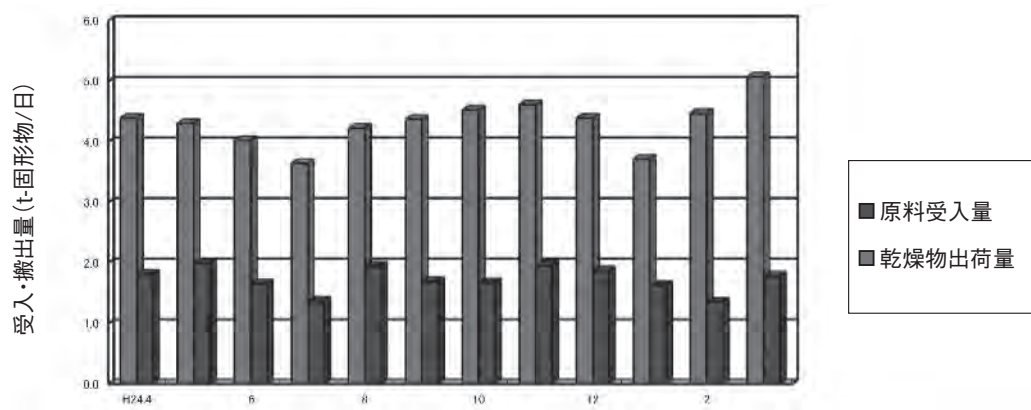
平成24年度のバイオマス利活用施設内の電力使用量の平均値は、54.6kWと既設の脱水設備で使用する30.3kWを合わせた84.9kWとなります。

一方、バイオマス利活用施設で発電する電気量は、マイクロガスタービンによる41.7kWと太陽光発電による1.2kWを合わせた42.9kWとなります。

したがって、バイオマス利活用施設の自給電力率は、約50%となります。



図－５ 原料受け入れと残渣排出量



図－６ 固形物量ベースでの受入量と出荷量

④原料受け入れと残渣排出量

平成24年度の原料受入量と乾燥物出荷量の推移を図－５に示します。濃縮汚泥は年間平均約56t/日、コーヒー粕は7.2t/日、合わせて約63.2t/日を受け入れています。

一方、乾燥物の搬出量は、年間平均約3t/日でした。

平成24年度固形物量ベースの原料受入量と乾燥物出荷量の推移を、図－６に示します。年間平均では、原料受入量が4.3t-DS/日、乾燥物出荷量が1.7t-DS/日となり、約60%の削減効果がありました。

⑤コーヒー粕の効果

平成23年度と平成24年度の各月のコーヒー粕の受入量とバイオガスの発生量の関係を、図－７に示します。コーヒー粕の受入量に応じて、バイオガス発生量の変動していることがわかります。

次にコーヒー粕の受入量とマイクロガスタービン(MGT)の発電量との関係を見ますと(図－８)、コーヒー粕とバイオガスの発生量と同じように、コーヒー粕の受入量が増えると発電量も増える傾向があり、コーヒー粕は有効なエネルギー源であることが分

かります。

⑥直投型ディスポーザーの導入

黒部市のバイオマス利活用施設では、市内資源循環システムを構築する上で、重要な役割を果たす直投型ディスポーザーを導入しています。

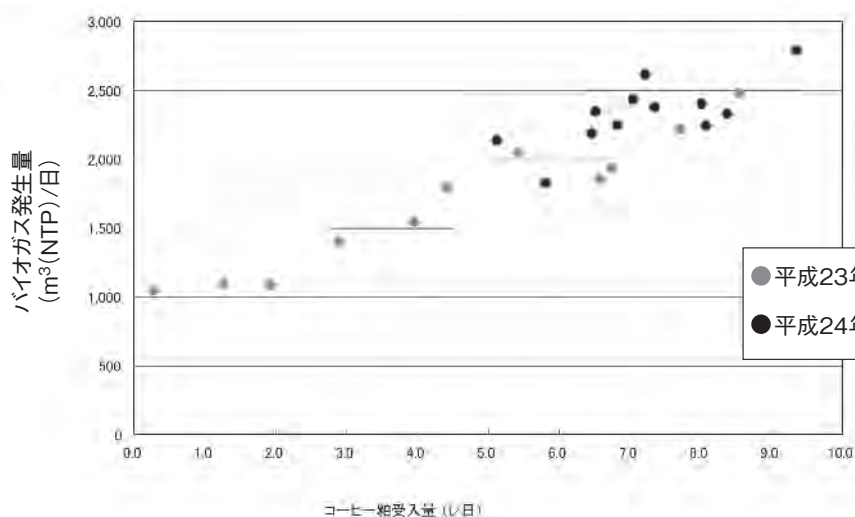
導入の目的は、①生ゴミを資源として利活用施設で利用②収集場所が不要、天候に左右されない③分別作業が不要④生ゴミの収集処分費の削減⑤下水道管の有効利用——等の利点を考慮しています。

また、冬季間の積雪時のゴミ出し労力の軽減等や、有害鳥獣対策としても有効であると考えます。

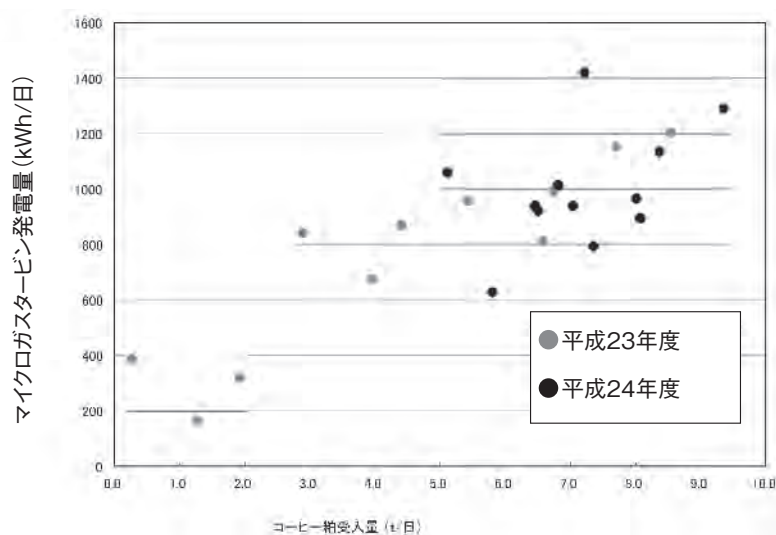
導入にあたり、「分別回収し資源化を図るべき」や「道徳的概念が欠如する」等の反対意見もありましたが、行政コストや市民サービスを総合的に判断し導入しています。

さらに導入にあたり、約10万円の設置費用負担のうち3万円の設置補助を行っています。また、ディスポーザー使用料は無料としています。

しかしながら、ディスポーザーの認知度が低いことや、機器が高額なことから設置数は、増増状態であり



図－７ コーヒー粕受入量とバイオガス発生量



図－８ コーヒー粕受入量と発電量

市広報やケーブルテレビなどを通して、PRに努めています。

8. おわりに

黒部市下水道バイオマスエネルギー利活用施設が稼働し、下水道汚泥、生ゴミ等を再利用する資源循環システムを構築することによって、下水汚泥処理の抱える委託先の休止や閉鎖、処分費の変動等、恒常的なリスクから解放されました。

また、バイオガスや乾燥物の有効利用により、二酸化炭素排出量を約1,000t/年削減することが見込まれています。(平成25年3月国内クレジット取得)

さらに、バイオガスを利用したマイクロガスタービンによる発電は、事業効果を上げる意味があったと考えています。

本事業は、黒部市にとって初めてのPFI事業であり、手さぐり状態での運営となりますが、SPCと綿密に連携を図りながら、さらに効果的な事業運営・展開を図っていかねばならないと考えています。

特集：第26回下水汚泥の有効利用に関するセミナー特集（黒部市）

解 説

下水汚泥資源利用の動向と
今後の施策について

国土交通省水管理・国土保全局下水道部下水道企画課

下水道国際・技術調整官 三 宮 武

資源利用係長 安 陪 達 哉

キーワード：マテリアル利用、エネルギー利用、B-DASH、重点施策

1. はじめに

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

平成22年度における全国の産業廃棄物排出量は約3億8,599万トンとなっている。そのうち約19%の7,471万トンが下水汚泥であり（図1）、その発生量は下水道の普及等に伴って今後さらに増加する見込みである（図2）。これに対し、平成23年3月31日現在の産業廃棄物最終処分場の残余年数は首都圏で4.0年、全国で13.6年となっており、廃棄物の3R（Reduce, Reuse, Recycle）の推進が急務となっている。下水道法においては、発生汚泥等の減量化に努める旨の規定が設けられており、この規定に沿った取り組みがなされてきている。

また、循環型社会への転換、廃棄物処理の適正化が社会的な課題となる中で、循環型社会形成推進基本法や各種リサイクル関連法、循環型社会形成推進基本計画等が制定・改正されており、我が国における循環型

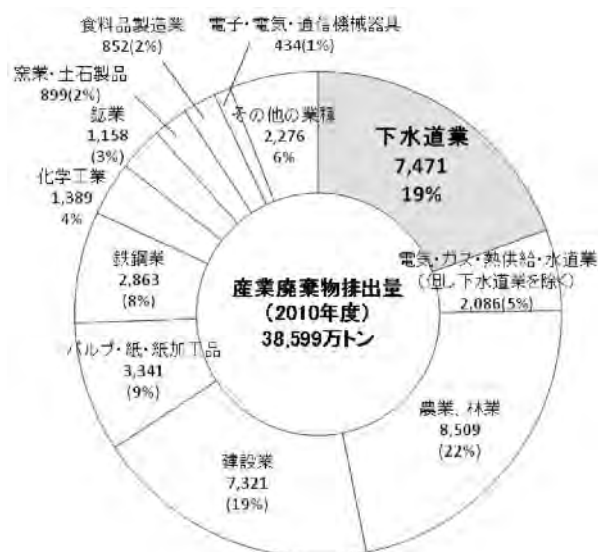


図1 産業廃棄物排出量に占める下水汚泥の割合
(単位: 万トン/年)

出典：環境省「産業廃棄物排出・処理状況等（平成22年度実績）」（国土交通省にて一部加工）

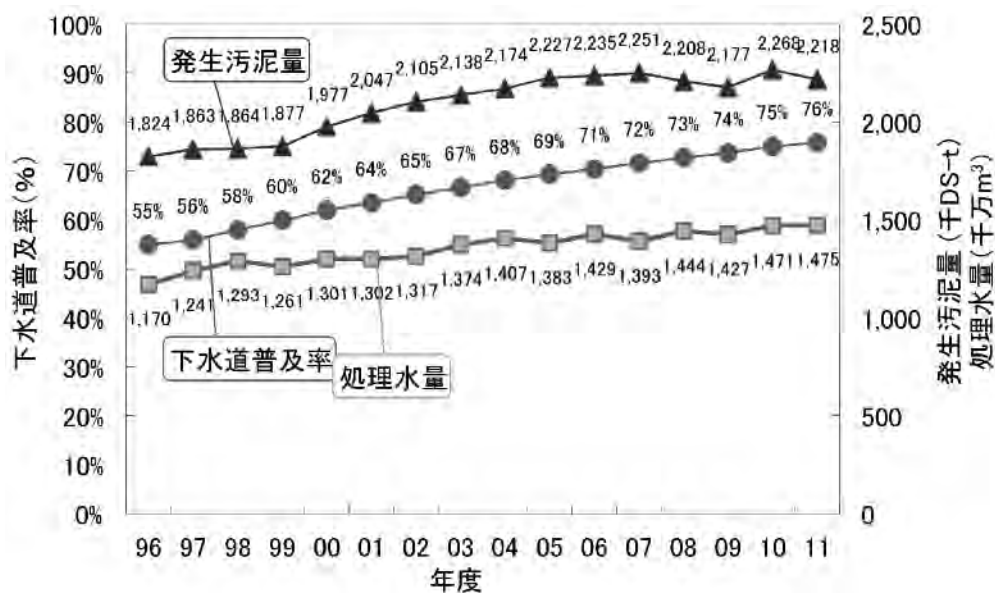


図2 下水道普及率と発生汚泥量、処理水量の推移
(下水道統計及び国土交通省調べ)

社会構築に向けた取り組みが各方面で進められている。

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

また、大量の資源・エネルギーの消費に伴う温室効果ガス排出量の増加により、地球温暖化の影響が顕在化してきており、平成17年2月の京都議定書の発効を受け、その対応は国際的な最重要課題となっている。下水道業における温室効果ガス排出量は、1990年から2011年の間に約46%増加しており、処理水量の伸び(同比約43%増加)を上回っている。

加えて、東日本大震災を契機とした東京電力福島第一原子力発電所事故によるエネルギー需給の逼迫への対応が急務となっている。下水道は我が国の年間消費電力量の約0.7%を占める電力の大口需要家であるとともに、下水道における使用電力費は下水道維持管理費において、全体の約9%を占め(図3)、今後、電力会社による電力料金の値上げによる下水道事業への影響に懸念もある。

こうした背景を踏まえ、平成25年6月14日に閣議決定された「日本再興戦略」においては、「クリーン・経済的なエネルギー需給の実現」が掲げられ、「陸上及び洋上風力、太陽光、小水力、地熱、バイオマス等の再生可能エネルギーの徹底活用を図る。」とされている。

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

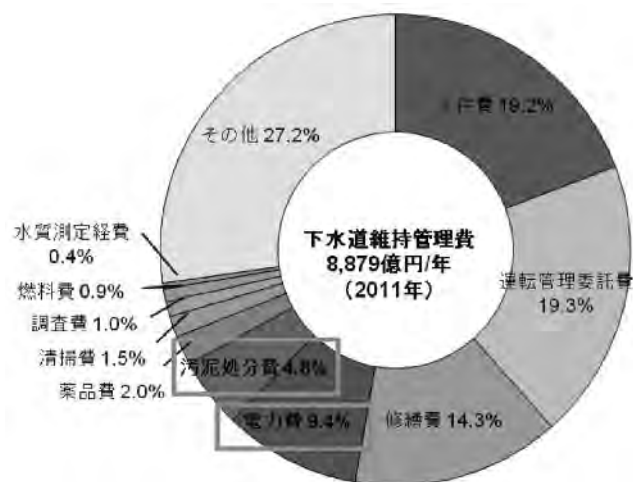


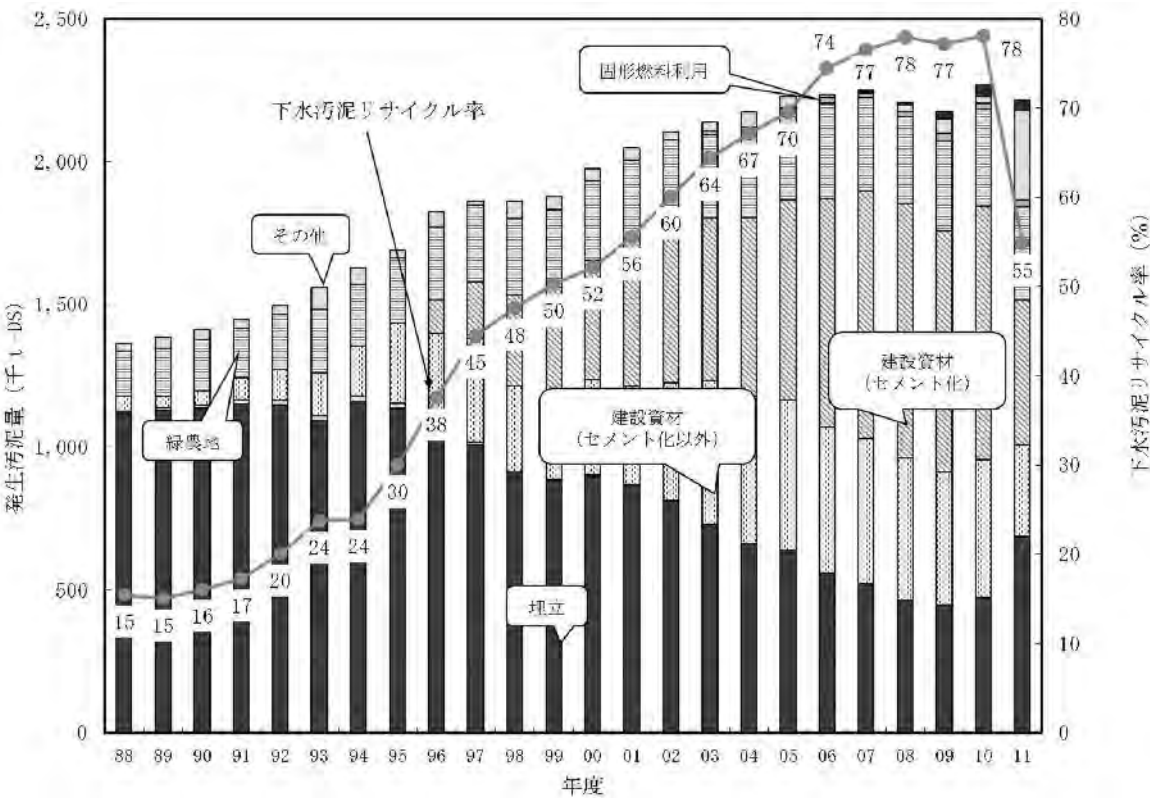
図3 下水道維持管理費の内訳
(下水道統計より国土交通省作成)

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

以上のように、循環型社会、低炭素社会の構築が求められる中、下水道事業ではバイオマスである下水汚

表 1 下水汚泥の処理及び処分状況（処分時体積ベース、平成23年度）
（国土交通省調べ）

引き渡し先 処理後の 汚泥形態	最 終 安 定 化 先								単位：m ³ /年、t/年	
	埋立処分	緑農地 利用	建設資材利用		固形燃料	その他 有効利用	場内 ストック	その他	合計	%
			セメント化	セメント化以外						
生汚泥	956	2,100	0	0	0	0	0	0	3,056	0.1%
濃縮汚泥	23,920	30,721	1,340	1,442	0	108	0	0	57,531	2.3%
消化汚泥	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
脱水汚泥	326,114	756,576	765,823	179,751	26,417	23,750	35,911	7,018	2,121,361	85.5%
移動脱水車汚泥	472	5,211	405	1,141	0	0	29	0	7,258	0.3%
コンポスト	132	26,510	0	0	0	0	0	0	26,642	1.1%
機械乾燥汚泥	14,841	22,594	10,482	125	5,246	0	2	0	53,290	2.1%
天日乾燥汚泥	157	549	0	146	0	0	92	0	944	0.0%
炭化汚泥	13	482	942	6	41	0	0	0	1,485	0.1%
焼却灰	77,682	1,768	32,288	24,503	0	2,900	37,965	1,017	178,122	7.2%
熔融スラゲ	0	0	320	10,976	0	1,635	18,110	43	31,084	1.3%
合計	444,287	846,511	811,600	218,089	31,705	28,393	92,110	8,078	2,480,773	100.0%
%	17.9%	34.1%	32.7%	8.8%	1.3%	1.1%	3.7%	0.3%	100.0%	



※汚泥処理の途中段階である消化ガス利用は含まれない。
図 4 下水汚泥の最終処分・利用形態の経年変化（汚泥発生時乾燥重量ベース）
（国土交通省調べ）

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

2. 下水汚泥の発生量と処理処分等の現状

平成23年度における下水汚泥の処理及び処分の状況を表 1、図 4 に示す。下水汚泥は年間約222万DS-t

(乾燥重量トン)が発生しており、そのうち約55%(約118万DS-t)が緑農地利用、建設資材利用、固形燃料利用等として有効利用されている。

埋立処分量は年々減少しており、下水汚泥の有効利用が着実に進展している。有効利用の内訳としては、近年セメント原料利用等の建設資材利用が進み、2011年度では37%が建設資材に利用されている。一方、下水汚泥固形燃料化等、下水汚泥のエネルギー化については依然として低い水準(2011年度時点でエネルギー化率13%)にとどまっており、より積極的な活用が求められている。なお、2011年度は、東日本大震災の影響により、有効利用量が減少しており、この年度の「その他」は主として処理場内で保管されているものである。

3. 下水汚泥の有効利用

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

(1) マテリアル利用

①建設資材利用

下水汚泥の建設資材利用としては、セメント原料としての利用の割合が多くなってきており、平成23年度においては、乾燥重量ベースで約37%が建設資材利用されており、うち約3分の2がセメント原料としての利用となっている。建設資材としての利用形態は、大きく分けて次の2つがある。

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

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

下水汚泥の建設資材利用促進に関しては、以下のような指針類がある。

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

版((社)日本下水道協会)

②緑農地利用

下水汚泥には、多量の肥効成分や有機物が含まれており、適正な施用を行うことによって土壤改良材や肥料として十分な効果を有することが明らかになっており、平成23年度においては、乾燥重量ベースで約15%が緑農地利用されている。

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

緑農地利用に関しては、次のような指針類がある。

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

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

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

(2) エネルギー利用

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

① 下水道バイオガス利用

下水道バイオガスには、下水汚泥の嫌気性消化過程

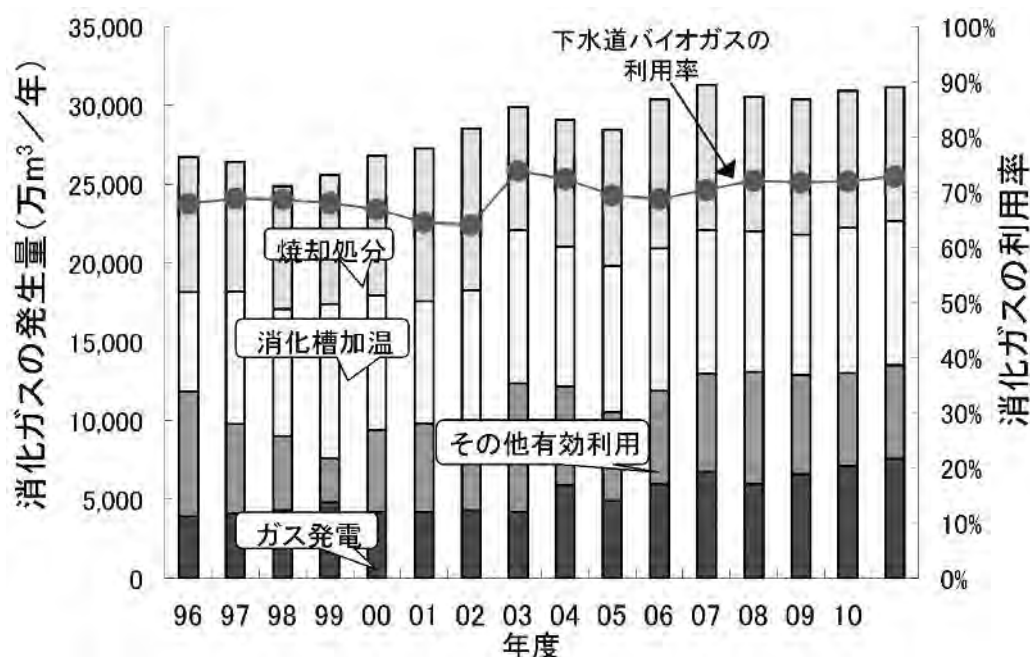


図5 下水道バイオガス利用の経年変化
(国土交通省調べ)

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

平成23年度の消化槽からの下水道バイオガス発生量は約3億m³であり、内訳をみると、約7割(227百万m³)が利活用されており、残り約3割(85百万m³)は焼却処分されている。また、下水道バイオガス発生量の約2割(76百万m³)はガス発電に利活用されているが、約3割(91百万m³)は消化槽の加温用としての用途にとどまっており、今後、熱と電気を同時に発生させるコジェネレーション利用の普及が望まれる。

下水道バイオガスを用いた発電は、下水処理場の電力費の節約と資源有効利用の観点から進められている。平成23年度時点では、全国41箇所の処理場においてバイオガス発電が導入されており、総発電量は約1億1,000万kWh/年に上り、全国のポンプ場及び下水処理場における年間消費電力量約70億kWh(平成23年度)の約2%に相当する。

② 固形燃料化利用

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

行われている。

炭化とは、脱水汚泥を乾燥した後、低酸素又は無酸素状態で蒸し焼きするもので、工程の温度に大きく依存するが、炭化汚泥は約14~21MJ/kg¹の発熱量(高位)を有しており(石炭は25.7MJ/kg²)、また、ほとんど臭いがしないという特徴を有している。炭化による固形燃料化施設については、現在、東京都や広島市、愛知県等で導入されているとともに、大阪市、埼玉県、横浜市等で導入に向けた具体的な取組が進められている。

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

平成23年度に固形燃料として利用された下水汚泥は約2.1万t-DSであり、全体の約1%であるが、複数の自治体で事業化が検討されており、今後、固形燃料化の進展が期待される。

4. 重点施策

(1) 基本的な方針：「資源のみち」の創出

平成17年9月に、下水道政策研究委員会中長期ビジョン小委員会が、「これまでの『普及拡大』中心の20

1 日本下水道事業団「下水汚泥固形燃料化システムの技術評価に関する報告書」(2008.3)

2 経済産業省資源エネルギー庁「2005年度標準発熱量」

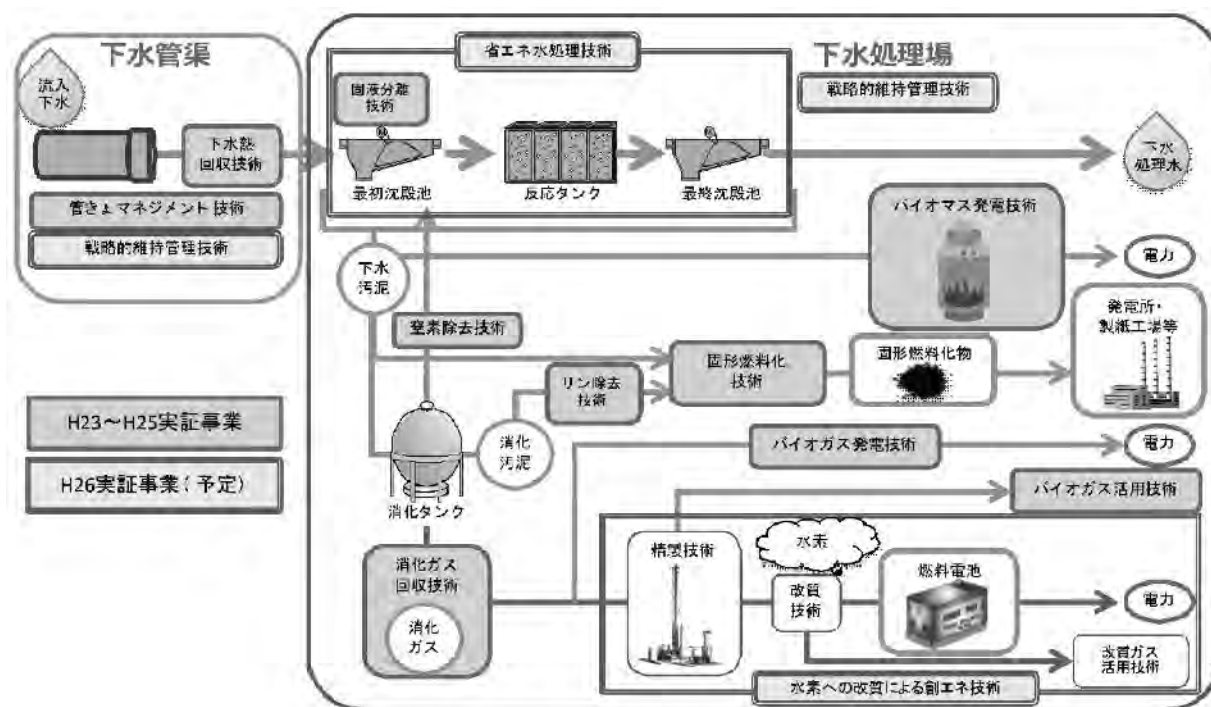


図6 B-DASHのイメージ

世紀型下水道から、『健全な水循環と資源循環』を創出する21世紀型下水道への転換を目指すべき」として、長期的視点からみた今後の下水道の方向性を「下水道ビジョン2100」として取りまとめた。その施策方針の1つとして、水環境の保全等下水道の有する機能に加え、下水道の有する資源回収・供給機能を積極的に活かして、下水処理場のエネルギー自立や地球温暖化防止等に貢献する「資源のみち」の創出が盛り込まれている。

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

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

なお、「下水道ビジョン2100」は策定から8年が経過し、その間、東日本大震災の発生、国・地方公共団体等における行財政の逼迫などの社会・経済情勢の変化を踏まえ、盛り込まれた基本方針及び施策体系を成熟化させるため、「新下水道ビジョン2100（仮称）」を策定してい

るところである。

(2) 個別重点施策

今後重点的に取り組む施策は、以下のとおりである。

① 下水道革新的技術実証事業（B-DASH³プロジェクト）

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

平成23年度から平成25年度開始実証事業の概要について、以下に紹介する。また、平成26年度予算として、下水汚泥から水素を創出する創エネ技術の実証を行う予定であり、今後也有着実な実証事業の実施を図るとともに、実証技術の水平展開を推進していく。

【平成23年度開始実証事業】

平成23年度に開始した以下の2事業については、ガイドライン化を行っており、平成25年度から普及方策を検討している。

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

○超効率固液分離技術を用いたエネルギーマネジメントシステムに関する実証事業

実施者：メタウォーター（株）・地方共同法人日本下水道事業団 共同研究体

実証フィールド：大阪市中浜下水処理場

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

○神戸市東灘処理場 再生可能エネルギー生産・革新的技術実証事業

実施者：(株) 神鋼環境ソリューション・神戸市共同研究体

実証フィールド：神戸市東灘処理場

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

【平成24年度開始実証事業の概要】

平成24年度開始事業については、5事業が選定され、うち4事業が下水汚泥関連である。

○温室効果ガスを排出しない次世代型下水汚泥固形燃料化技術

実施者：長崎市・長崎総合科学大学・三菱長崎機工(株) 共同研究体

実証フィールド：長崎市東部下水処理場

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

○廃熱利用型 低コスト下水汚泥固形燃料化技術

実施者：JFEエンジニアリング（株）

実証フィールド：松山市西部浄化センター

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

○固定床型アナモックスプロセスによる高効率窒素除

去技術に関する技術実証事業

実施者：熊本市・地方共同法人日本下水道事業団・(株) タクマ 共同研究体

実証フィールド：熊本市東部浄化センター

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

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

実施者：水ing（株）・神戸市・三菱商事アグリサービス（株） 共同研究体

実証フィールド：神戸市東灘処理場

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

【平成25年度開始実証事業の概要】

平成25年度開始事業については、5事業が選定され、うち2事業が下水汚泥関連である。

○下水道バイオマスからの電力創造システム実証事業

実施者：和歌山市・日本下水道事業団・京都大学（高岡研究室）・株式会社西原環境・株式会社タクマ 共同研究体

実証フィールド：和歌山市中央終末処理場

概要：低含水率化技術（機内二液調質型遠心脱水機）＋エネルギー回収技術（次世代型階段炉）＋エネルギー変換技術（スクリュ式＋バイナリ式蒸気発電機）による、下水汚泥燃焼熱からの発電を実現し、電力自立等を目指すシステム。

○脱水・燃焼・発電を全体最適化した革新的下水汚泥エネルギー転換システムの実証事業

実施者：メタウォーター・池田市共同研究体

実証フィールド：池田市下水処理場

概要：個別の3つ革新的技術から構成されており、各技術をさらに連携、システム全体として最適化することで発電量を最大化するとともに、温室効果ガス排出量、維持管理費を抜本的に低減する。

② 固定価格買取制度

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

電気事業者による買取価格・期間については、再生可能エネルギーの種類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。このうち、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。これまで、下水処理場における設備認定は、バイオガス（消化ガス）発電について、既設2件（横浜市、石川県（増設含む））、新設3件（栃木県、久留米市、神戸市）の計5件が済んだところである。

③ 固形燃料のJIS化

下水汚泥固形燃料の利用先は、現状では発電所やセメント工場等に限られており、固形燃料化の取り組みは、一部の自治体等に限られている。

利用拡大への課題の1つとして、明確な品質基準や客観的判断基準がないことが挙げられる。そのため、下水汚泥固形燃料の品位の安定化及び信頼性の確立を図ることを目的として、JIS化が検討されている。現在、（公社）日本下水道協会に「下水汚泥固形燃料JIS原案作成委員会」が設置され、有識者、下水道関係者、地方公共団体に加え、下水汚泥固形燃料のユーザーにも参画をいただき、JIS原案を検討しているところである。

2014年度のJIS化を目指しており、引き続きユーザーの視点を重視した規格の策定が検討される。ちなみに、類似の例としてRDF（廃棄物固形化燃料）が2005年に、RPF（廃棄物由来の紙、プラスチックなど固形化燃料）が2010年にJIS化されているところである。

5. その他の施策

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

（1）下水汚泥処理・有効利用施設整備の支援

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

① リサイクル推進事業＜再生資源活用型＞

下水汚泥の建設資材利用を促進するため、モデル都市と下水道施設を選定し、その都市における下水道施設の建設事業に汚泥製品（タイル、焼却灰を混入した

ブロック、路盤材等）を積極的に利用することを内容とする事業について支援する。

② リサイクル推進事業＜未利用エネルギー活用型＞

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

③ 機能高度化促進事業＜新技術活用型＞

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

（2）民間活用型地球温暖化対策下水道事業制度

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

（3）税制（グリーン投資減税）

下水汚泥固形燃料利用の促進のため、平成28年3月31日までの期間内に、下水汚泥固形燃料の貯蔵装置及び払出装置等を取得した事業者に対して、税制の特例措置を講じている。当該事業者は、取得価額の30%特別償却（青色申告書を提出する法人又は個人）又は7%税額控除（中小企業のみ）を適用することができる。

（4）バイオソリッド利活用基本計画策定マニュアルの策定

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

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

- 1) 下水汚泥とあわせて他のバイオマスを同時に処理するための技術的指針
- 2) 下水処理場からの温室効果ガス排出量の削減の観点からプロジェクトを評価するための指標
- 3) 汚泥やその他のバイオマスの集約化の検討等を行

ガイドライン目次

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

うための指針

- 4) 民間のノウハウと資金力の活用等を促進するため、PFIその他の民間活用事例

(5) 下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン（案）の策定

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

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

(6) 品質管理・PR等の推進

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

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

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

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

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

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

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

6. 終わりに

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

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

特集：第26回下水汚泥の有効利用に関するセミナー特集（黒部市）

解 説

コンパクトなまちづくりと
下水道事業について富山市上下水道局下水道課
課長 藤 井 洋 一

キーワード：コンパクトシティ、下水道等整備構想、雨水貯留施設、老朽化対策

1. 富山市の概況

本市は、平成17年4月に近隣6町村との合併をし、平成24年度末人口は約42万人、富山県のほぼ中央に位置し、面積は県全体の約3割を占め、南北に約43km、東西に約60kmにおよぶ1,241km²の中核都市です。（図1.1）

北は－1,000mの神秘の海と言われる富山湾から、南は3,000m級の立山連峰までが富山市となりました。

北アルプスを水源とする常願寺川と飛騨・高山を水源とする神通川の二つの大きな河川に分割された自然豊かな扇状地として、郷土が広がっているのが特徴の一つです。

富山市の市街地の特徴の一つは、低密度な市街地が郊外に拡散していることで、その背景には、「道路の整備率が高いこと」「自動車交通への依存度が非常に高いこと」「平野部で宅地の供給が比較的安価なこと」があります。

その結果、県庁所在都市では全国で最も低密度な市街地となっています。

その市街地の実態は、過去35年間でDID面積は2倍に増加し、DID人口密度は2/3に減少しており、人口

密度はヘクタール当たり40.3人です。

このまま、市街地の低密度化が進むと、市民1人당に要する都市管理の行政コストが上昇します。（図1.2）

つまり、都市施設の維持管理費である「除雪」「道路清掃」「街区公園管理」等の増加です。今後、人口の拡散によって、市街地の低密度が進行することにより、住民1人当りの行政コストは12%アップし2,500円から2,800円になります。（図1.3）

2. 富山市のまちづくり

(1) 富山市のまちづくりの基本方針

富山市のまちづくりの基本方針は、鉄軌道をはじめとする公共交通を活性化させ、その沿線に居住、商業、業務、文化等の都市の諸機能を集積させることにより、公共交通を軸とした拠点集中型のコンパクトなまちづくりを実現したいと考えています。

平成19年2月8日に全国第1号認定を受けた「富山市中心市街地活性化基本計画」は、富山市が進めるコンパクトなまちづくりの一環として進められてきました。

富山市中心市街地は、多種多様で広域の利用圏域を持つ都市機能が集積するとともに、飲食料品、医療機

1. 富山市の概況

市町村合併と新「富山市」

- ・ 7 市町村の合併により新「富山市」誕生（平成17年4月1日）
- ・ 人口は、富山県全体の約4割（417,465人）※H17.4.1
- ・ 面積は、富山県全体の約3割（1,241.85km²）を占める広大な市域
- ・ 海拔0m（富山湾）から2986m（水晶岳▲）までの多様な地形

H17.4.1

合併市町村名	人口	面積	予算規模
富山市	320,968人	208.81km ²	約1,248億円
大沢野町	22,827人	74.66km ²	約83億円
大山町	11,825人	572.32km ²	約59億円
八尾町	22,365人	236.86km ²	約117億円
婦中町	35,993人	68.04km ²	約124億円
山田村	1,887人	40.92km ²	約25億円
細入村	1,800人	40.24km ²	約17億円

420,496人※H25.3.31

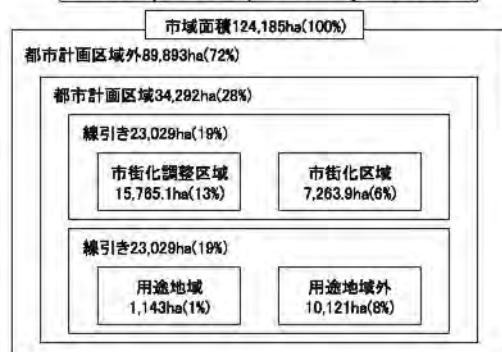


図1.1 富山市の概況

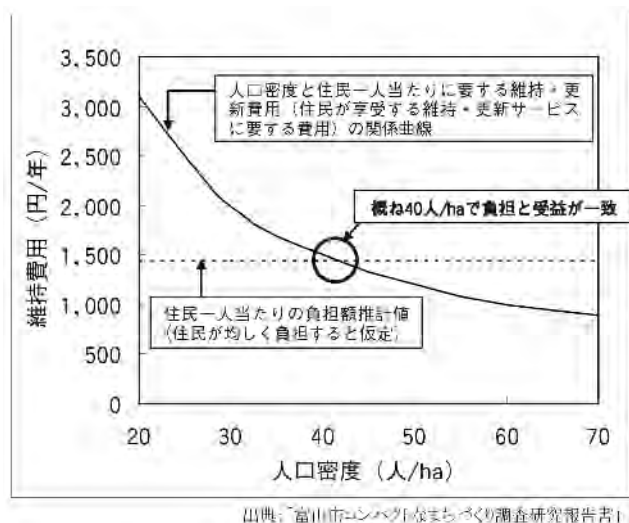
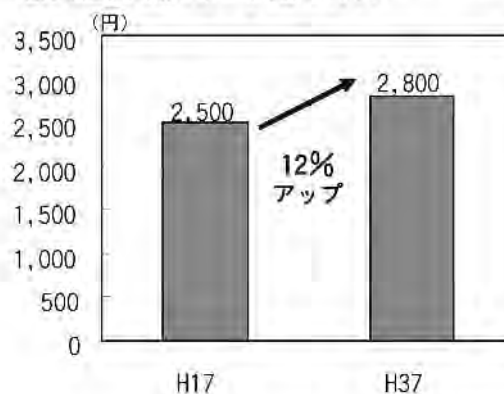


図1.2 市街地の人口密度と都市施設の維持管理費の関係

人口の拡散によって、市街地の低密度が進行することにより、住民1人当たりの行政コスト※が今後12%アップ



出典：「富山市計画」

※現在のトレンドで推移した場合、平成17年と平成37年との比較

図1.3 住民1人当たりにおける行政コストの試算結果（H17→H37）

関、金融機関といった生活利便施設も集積した徒歩圏です。加えて利便性の高い路面電車や、富山ライトレールといった鉄軌道網が存在しています。

このことから、徒歩圏、公共交通を骨格とする富山型「コンパクトなまちづくり」をまず、中心市街地において行うこととし、公共交通の利便性向上・にぎわ

い拠点の創出・まちなか居住の推進をしています。

このような中で、本市は都市マスタープランをまとめ、「お団子と串」の都市構造をイメージし、拡散型の都市から拠点集中型の都市への転換を目指すこととしました。（図2.1）

これは串に見立てた鉄軌道をはじめとする公共交通



図2.3 市内電車環状線化事業の概要

コンパクトなまちづくりの現実手法として鉄軌道網の活性化に取り組むことが最大の特徴ですが、その中の代表的な事業が市内電車環状線化事業です。市内電車は、市の中心部を走行しており、路線延長が約6.4km、停留所が20箇所あり、富山地方鉄道(株)が経営しております。コンパクトなまちづくりにおける「拠点(団子)」づくりを、本市の最も都市機能が集積した中心市街地で重点的に行うことが必要であることから、市内電車の環状線化を含む27事業構成される「中心市街地活性化基本計画」を策定しました。環状線化事業では、富山駅周辺地区と中心商店街周辺地区のアクセス強化、都心地区全体の回遊性と魅力の向上、南北路面電車接続後のネットワーク形成などを図ることにより、中心市街地の活性化を進めることとしました。ルートは、新たに丸の内～西町間(約900m)に軌道と3電停を新設し、既存線と併せて1周約3.5km、運行は、反時計回りの循環運行を行い、所要時間は1周約20分で日中は約10分間隔の運行になり、車両は全低床のLRV3両を導入しました(図2.2、図2.3)。

この事業の大きな特徴は、軌道の整備及び車両の購入に富山ライトレールが要する費用を市が負担し、運行は民間が行う「公設民営」方式を導入し、平成19年10月に施行された、「地域公共交通活性化及び再生に関する法律」に基づく全国初の「上下分離方式」(「下

の富山市が軌道を整備し、「上」の富山地方鉄道(株)が電車の運行を行う)を実施したことで、富山市と富山地方鉄道(株)が一体となって事業を進めたことです。

これにより富山地方鉄道(株)は、新たな設備投資の必要がなく、固定資産税や減価償却の負担もなく、新規路線に参入でき、また、富山市は、環状線が新たに運行することにより、中心市街地の活性化に寄与できることや、行政財産として整備することにより、国からの補助金と起債による財源が確保できました。

3. 富山市の下水道事業

(1) 富山市における下水道整備の歩み

富山地域(旧富山市)では昭和25年度からの戦災復興都市計画事業の着手とともに、都市の基本的基盤施設として、翌年より下水道事業の調査と計画に着手、昭和27年4月に認可を受け、富山駅から南に広がる旧市街地の内の277haを合流式下水道で事業を始めたのがスタートです。

その後、昭和37年に牛島処理場供用開始、昭和54年には浜黒埼浄化センターが供用開始し、平成に入ってから急激に多くの地域が供用開始しています。その結果、下水道処理人口普及率は、平成24年度末では90.4%となっています(図3.1)。

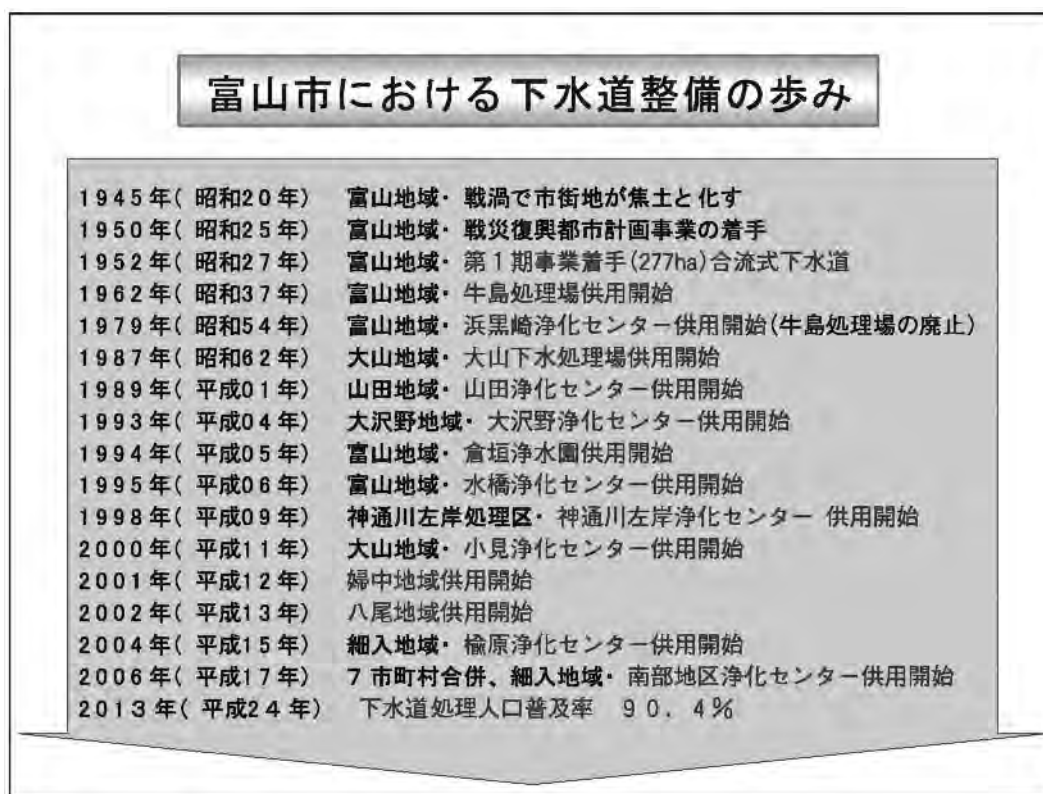


図3.1 富山市における下水道の歩み



図3.2 下水道整備構想図

(2) 富山市における下水道等整備構想(図3.2)

図3.2が、本市下水道等整備の元になります本市の下水道構想図であり、公共下水道をはじめとし、農業

集落排水事業、小規模集合排水処理施設整備事業、地域し尿処理施設事業(コミュニティ・プラント)など、平成24年度に見直した「全県域下水道化新世紀構



図3.3 松川雨水貯留施設の概要

想」に基づき、色々な手法を使い整備を行っています。

現在、総認可面積は、集落排水を接続した地区を含め約10,800haとなっております。

残りの白地は、合併処理浄化槽で、下水道事業計画区域外で県の要綱で定められた地域を対象としています。

農業集落排水事業は農林水産部、地域し尿処理施設と合併処理浄化槽は、環境部で担当しています。

今後の人口減少や施設の老朽化に伴う施設更新を考慮すると、それぞれの事業の統廃合が必要なことから、汚水処理事業を効率的・効果的に実施することを目的として、事業の一元化が図れるよう取り組んでいます。

(3) コンパクトシティとどう関わっていくべきか

人口減少社会や超高齢社会を迎える中で、まちづくりに関する政策も方向転換を迫られており、下水道事業もその政策と整合を図っていく必要があります。

現在、その関わり方については、計画面では、コンパクトシティの核となる地域と、それ以外の地域を下水道管渠施設の改築更新計画（地震対策等）や維持管理計画の策定の中で差別化していく必要があると考え

ています。また、水量面では一度整備した処理施設や管渠施設を有効利用し、観光人口や流入人口等を増加させ、水量を増やしていくこと、あるいは、他の処理施設の（集落排水やコミプラ）からの流入を積極的に図らなくてはなりません。

(4) 松川雨水貯留施設について

富山市では合流区域における浸水被害の軽減と松川の水質保全について、抜本的対策として大規模雨水貯留施設の整備を平成24年度から平成29年度まで、6ヵ年計画で行います。

- ・既存の合流幹線管渠などを活用できること。
- ・浸水被害の発生箇所もしくは、その近傍であること。
- ・水質保全では吐き口もしくは、その近傍であること。
- ・大規模施設を埋設するため、広幅員の道路下であること。

これらの条件が早期に浸水軽減・水質保全の効果をあげるため必要であり、松川処理区の松川右岸のほぼ中央を貫く道路下に設置することとしました（図3.3）。

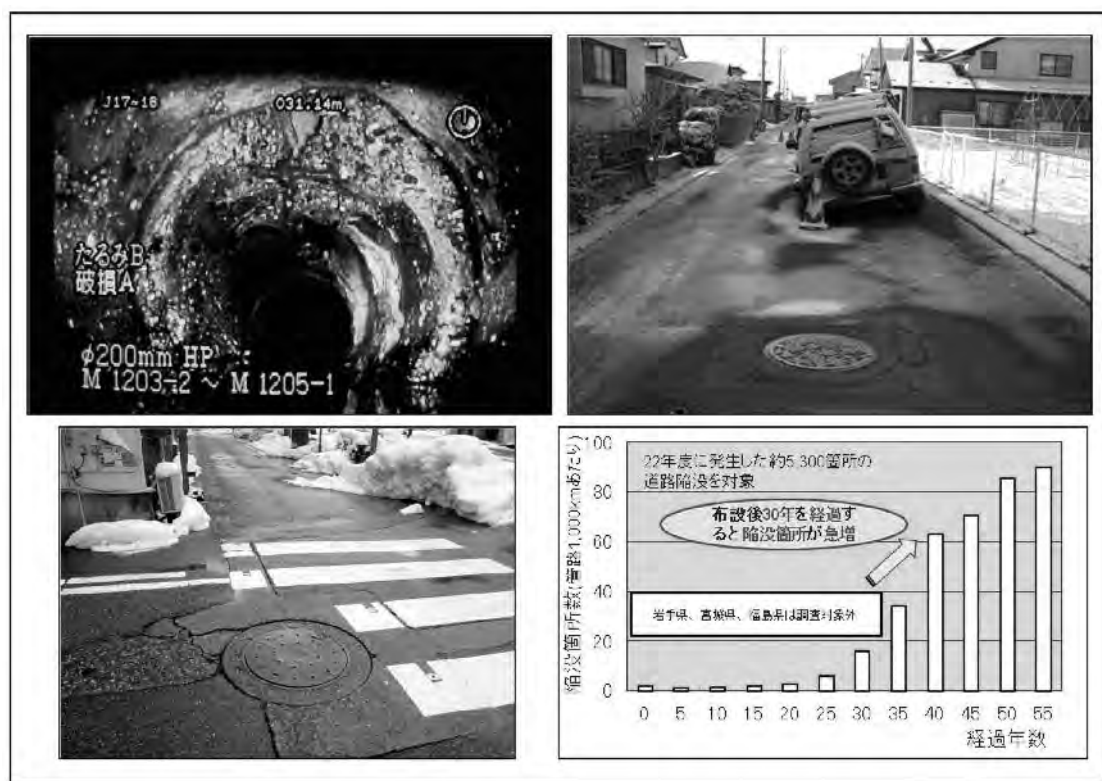


図3.4 老朽化対策について

(左上：老朽管内の写真、右上：老朽管破損による道路陥没状況、左下：模様が無くなり滑りやすくなったマンホール蓋、右下：下水道管の経過年数別道路陥没数)

(5) 老朽化対策

下水道管が古くなって壊れると、道路が陥没する事故につながります。日本全国の下水道管総延長は約44万kmにのぼります。

このうち、耐用年数を越えた布設後50年の下水道管が約1万kmあり、これらの老朽管路を主に原因とする道路陥没事故が、全国で年間4000件程度発生していると言われています(図3.4)。

現状のまま放っておくと、老朽化に伴う道路陥没問題が全国的に拡大することが懸念され、事故を未然に防止するには、計画的な点検と対策が必要とされています。これは地中の管ばかりではなく、唯一外に出ているマンホール蓋も同様です。

富山市では老朽化対策を重点事業として位置付け積極的に取り組んでいきたいと考えています。

4. まとめ

最後になりましたが、どこの市町村の下水道も、こ

れから本格的な改築更新を含む、維持管理の時代に入っていくわけです。

また、これまでの多額な起債の償還があり、今後は、少子化超高齢化、人口減少、さらに節水意識などで、収入の伸びについても、あまり期待できないところです。

しかし、どんな社会情勢であろうと、一瞬たりとも止めることのできないライフラインだということも新たに認識しなければなりません。

一方、平成26年度末の北陸新幹線開業で、富山と東京間において、約1時間短縮され、2時間余りで結ばれることとなります。

現在、その新幹線開業効果を最大限に高めようと、様々な関連事業も進捗してきており、今、富山市は、また、大きく変化しようとしています。

このような中で、富山市の政策はコンパクトなまちづくりへと進んでおり、下水道事業は、今後も引き続き、具体的に関わっていく必要があると考えています。

特集：第26回下水汚泥の有効利用に関するセミナー特集（黒部市）

研究紹介

下水道施設を利用した下水汚泥 および有機性廃棄物の有効利用に 関する土木研究所の研究最前線

独立行政法人土木研究所 材料資源研究グループリサイクルチーム 上席研究員 津森ジュン
研究員 桜井 健介

キーワード：メタン発酵、有機性廃棄物、刈草、汚泥性状、汚泥濃縮

1. はじめに

土木研究所は、土木技術に関する調査、試験、研究および開発、ならびに技術指導や成果の普及などを行うことにより、土木技術の向上を図り、良質な社会資本の効率的な整備に資することを目的として設置された国の研究機関です。2011年度から新たに始まった第三次中期計画（2011～2015年度）の元で、

リサイクルチームでは下水汚泥を含む各種バイオマスの有効利用に関する様々な研究展開を実施しています。本稿では、これらの研究のうち、下水道施設を活用した草本バイオマスの利用に関する研究成果を中心に紹介します。下水処理場での草本バイオマス等を受入れる際に想定される処理プロセスについて図1に示すとおり順次述べていくこととします。

地球温暖化対策や省エネルギー問題への対応に向けて、化石由来エネルギーの代替エネルギーとして下水

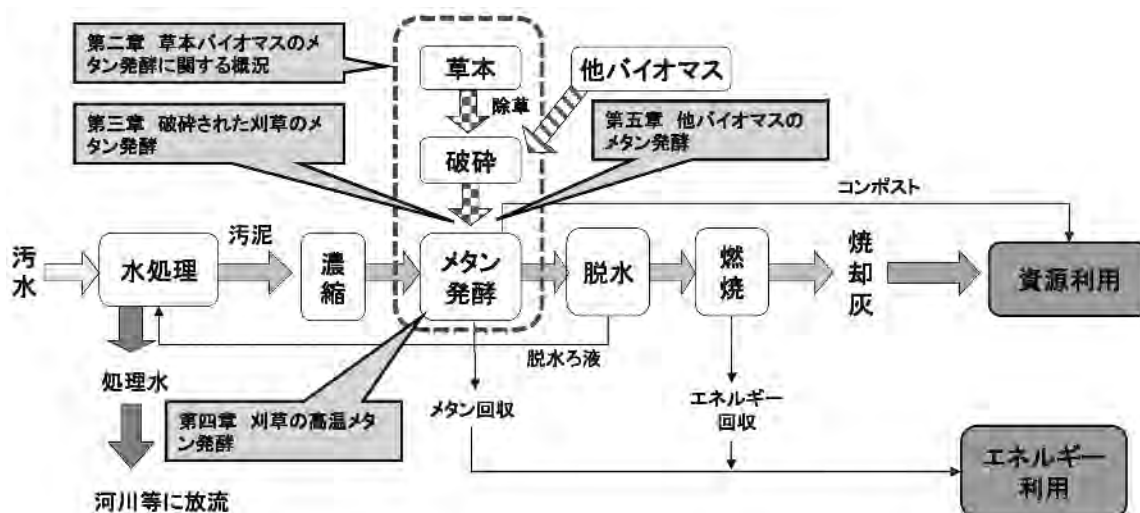


図-1 下水処理場での草本バイオマス等を受入れる際に検討が必要となる処理プロセス

汚泥のメタン発酵工程で発生するメタンガスの有効利用に期待が高まっています。日本で発生する下水汚泥のマテリアル利用については、建設資材利用、緑農地利用などにより77%（下水汚泥利用率）にまで達しているものの、エネルギー資源としての利活用状況を見ると、発生する下水汚泥中の有機分総量のうち、バイオガスや汚泥燃料としてエネルギー利用されている割合は約1割であり、低い水準にとどまっています。このため今後の利用拡大の余地は大きく¹⁾、下水汚泥に加えて、施設のより効率的な利用を図る観点から様々な有機性廃棄物（その他バイオマス）と下水汚泥を混合消化させることも提案されている。その他バイオマスとして、家庭から発生する生ごみ、スーパーや食堂から発生する食品廃棄物、道路、堤防や公園などの刈草や剪定枝、稲わらや畜産など農業系廃棄物、そして浄化槽汚泥など様々な可能性が提案されています。

2. 下水処理場における草本バイオマスのメタン発酵に関する概況

2.1 刈草の発生量に関する現況

河川、道路、公園、ダムなどの公物管理において毎年定期的に広大な緑地の除草が行われている。河川の堤防法面では点検巡視の環境整備とともに堤体保全のため除草が年に2回ないし3回程度定期的に行われています。河川管理上あるいは廃棄物処理上支障がなく刈草を存置できる場合を除いて、現状ではその多くは焼却などにより処理されているが、リサイクル及び除草コスト縮減の観点から、有効利用等について取り組むこととされている⁴⁾。道路でも通行車両からの視認性確保等のために除草が実施されている。例えば、土木研究所と国土交通省が共同で実施したアンケート結果によれば、国土交通省の109国道事務所、102河川事務所、17公園事務所、25ダム事務所からの定期的な除草を要する緑地の合計は約360km²であり、そのうち、河川事業が約290km²、道路事業が約60km²でした³⁾。これに調査対象となっていない県、市町村管理の公物管理からの発生量を加えると、更に増加することになることは容易に理解できると考えられます。

2.2 下水処理場における刈草のメタン発酵に関する有効性

一般に、バイオマスは広く、薄く存在している上、水分含有量が多い、かさばる等の「扱いづらい」という特性のために収集が困難であることが、十分に活用されていない原因の一つとなっています⁵⁾。しかし、公物管理で発生する刈草は、毎年、一定量が発生し、管理システムが確立しており、比較的利用しやすいバ

イオマスと考えられ、有効利用が期待される。特に刈草の特徴は木材に比べリグニンの含有量が少なく柔らかい点であり⁶⁾、生物による分解が比較的早い。この特徴を活かし、メタン発酵によるバイオガス生成が有望な利用方法の一つと考えられる。

また、一般的に下水汚泥の有機物量は夏季に減少する傾向にあるが、一方で刈草は、主として夏季に発生し、ガス発生量の平準化に寄与することが可能である。

こうした刈草を下水処理場においてメタン発酵し利用する取り組みは、地球温暖化の防止等に向け、資源回収・供給ネットワークを創出するための取り組みとして期待されており、具体の取り組みとしては平成25年度より新潟市の下水処理場において取り組みが始まっている⁷⁾。

次章より刈草と下水汚泥の混合メタン発酵を導入するために必要な技術的な検討事項を明らかにするとともに、これまで土木研究所で実施した実験から得られた知見の一部を紹介します。

3. 市販の破砕機によって破砕された刈草のメタン発酵⁸⁾

3.1 破砕機によって破砕された刈草の長さの特徴

過去の調査⁹⁾において、1cmと1mm以下の大きさに裁断された同重量の刈草を、それぞれ下水汚泥と混合しメタン発酵を行ったところ、より細かく1mm以下の大きさの刈草の方が、メタン発生量が多くなる結果が得られている。破砕された大きさがメタン発生量に影響すると考えられるため、実際に導入が想定される市販の破砕機を用いた際の刈草を用いたメタン発生量を調査した。

破砕実験は、破砕性能の異なる3種類の破砕機(A、B、およびC)を用いて行った。ここで、破砕機Aは、廃木材やパレットも破砕可能で、主にチップ化や堆肥化に使われるものである。破砕機Bは、剪定枝、刈草等の繊維質の多い材料を破砕可能で、堆肥化等に使われるものである。破砕機Cは、剪定枝、刈草等を回転刃と固定刃の間で揉み擦るようにして破砕し、堆肥化等に使われるものである。破砕された刈草の例を図-2に示す。おおよそ数cm以下に破砕されたことがわかる。破砕前後の刈草の長さの分布を図-3に示す。50%値で200mm弱であった破砕前の刈草が、いずれの破砕機で破砕後に、50%値で10~20mmまで小さくなった。破砕機Cによる破砕後、10mm以下および20mm以下の刈草の割合は、それぞれ78%および93%であり、最も細かく破砕できた。なお、破砕機A、B、Cで破砕された刈草の平均長さは、それぞれ27mm、17mm、9.6mmであった。



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

3.2 下水汚泥と市販の破碎機で破碎された刈草の連続式混合メタン発酵実験

下水汚泥と前節の破碎機Cで破碎した刈草を混合し、1日に1回、反応槽に添加するとともに、消化汚泥を引き抜く系によりメタン発酵実験を行った。刈草の添加量を変化させた場合のメタンガス発生量の違いを確認するため、刈草の添加量を変えた4つの系列（Ⅰ～Ⅳ系）で実験を行った。添加した下水汚泥は、実下水処理場で採取した混合汚泥を使用した。刈草の添加量は、TSベースで投入する下水汚泥の0%（Ⅰ系）、10%（Ⅱ系）、50%（Ⅲ系）、100%（Ⅳ系）とした。用いた実験装置の様子を図-4に示す。5Lのアクリル製の反応槽を4つ使用した。反応槽内の汚泥の平均滞留日数は20日とした。

Ⅰ～Ⅳ系の累積ガス発生量の推移を図-5に示す。刈草の投入量の多い系ほどガスの発生量が多かった。4系とも多少の変動はあるが累積ガス発生量の傾きは、日数が経過するほど傾きは大きくなり、ガス発生量は増加傾向にあった。

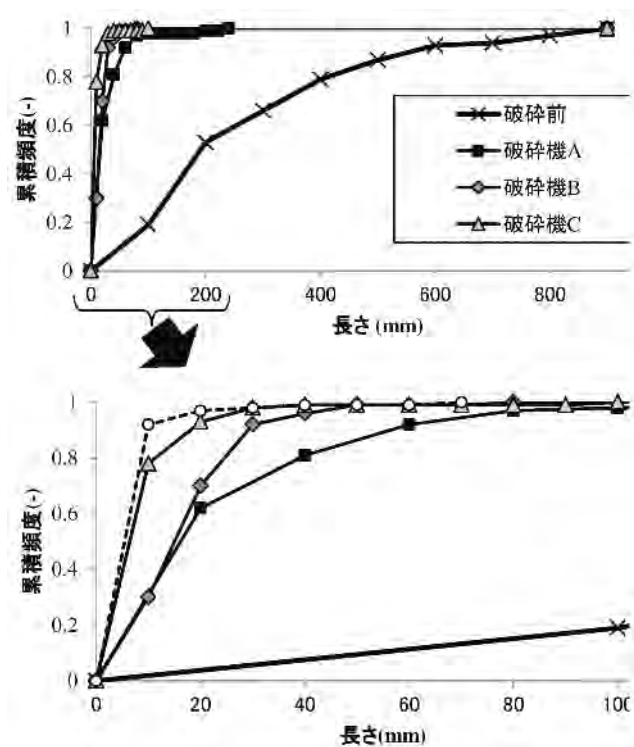


図-3 破碎前後の刈草の長さの分布

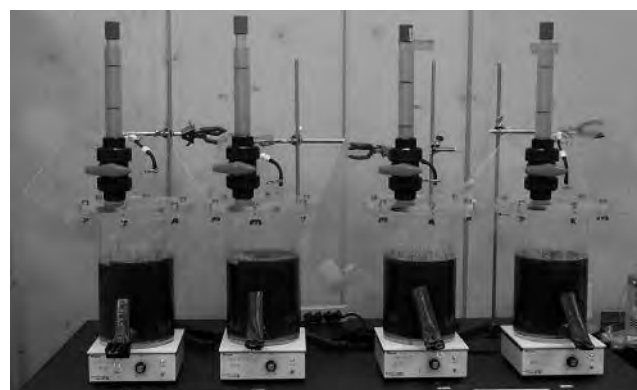


図-4 連続実験の様子

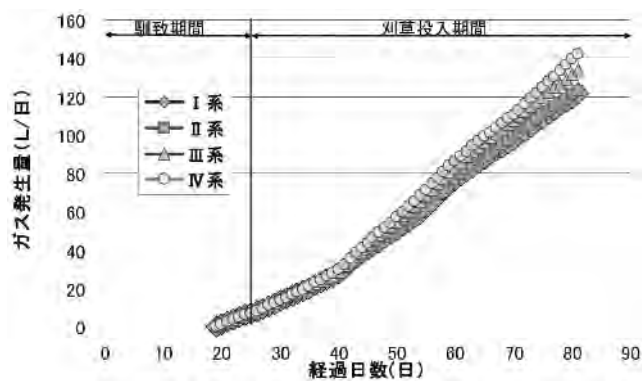


図-5 Ⅰ～Ⅳ系の累積ガス発生量の推移

表-1 遠心脱水試験における凝集剤の添加量の組み合わせ

添加条件	1	2	3	4	5	6
ポリシリカ鉄凝集剤	×	×	0.2%添加	0.2%添加	0.4%添加	0.4%添加
カチオン系高分子凝集剤	0.2%添加	1%添加	0.2%添加	1%添加	0.2%添加	1%添加

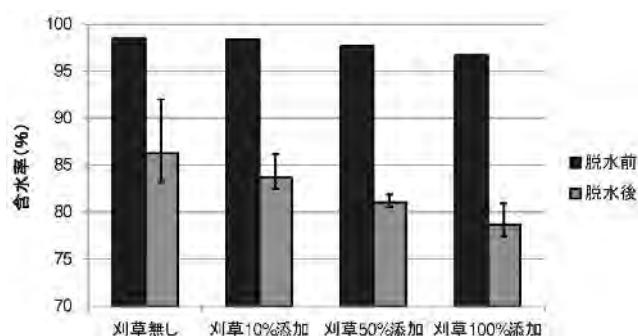


図-6 刈草の添加量および脱水前と脱水後の含水率

3.3 メタン発酵した刈草残渣が下水汚泥の脱水性に与える影響

メタン発酵した後の刈草と下水汚泥の混合物残渣の脱水性を調査するため、前節の連続メタン発酵試験で発生した添加量の異なる刈草を含む汚泥（Ⅰ～Ⅳ系）に、ポリシリカ鉄凝集剤とカチオン系高分子凝集剤を添加し、簡易な遠心脱水試験を行い、脱水汚泥の含水率を測定した。凝集剤については、ポリシリカ鉄凝集剤を汚泥のTSに対し鉄濃度で0、0.2、0.4%、カチオン系高分子凝集剤を汚泥のTSに対し0.2または1%のいずれかの条件とし、表-1に示す6条件で添加した。遠心脱水試験は、汚泥をろ紙上に載せて、実験室の遠心機を用いて遠心力1,500G、10分間連続の条件で、遠心脱水を行った。

図-6に、刈草の添加量および脱水前と脱水後の含水率（凝集剤添加量6条件のうちの中央値）を示す。エラーバーは6条件のうちの最小値と最大値を示している。本実験では、刈草の添加量が多いほど、脱水後の含水率が低くなる傾向が認められ、刈草添加による脱水性の相違としては含水率の改善が伺われた。

4. 刈草混合メタン発酵の効率向上方法策の検討（高温メタン発酵）¹⁰⁾

刈草等の他バイオマスを受け入れる場合、処理対象となるバイオマスの重量及び容積ともに増加するので、既設処理場を活用する場合には受入可能な余裕があるか、又は既存施設で対応可能な受入量やその受入、保管、混合方法などの事前検討が重要である。このう

ち受入可能な負荷の増加に対応する手段として、メタン発酵温度を35℃程度の中温から55℃程度の高温へ変更することや、投入混合物濃度を高濃度化することが考えられる。そのため、一般的な混合汚泥よりも高濃度であるTS（固形物濃度）4%程度の混合汚泥を基質として、高温条件下で3系列の連続式実験を行うとともに、消化汚泥を用いた回分式実験を行い、刈草混合物の消化特性の把握を試みた。

4.1 実験方法

(1) 連続式実験

連続式実験の運転条件を表-2に示す。反応器1（有効容積10 L）として、55℃の条件下で混合汚泥を基質とした連続運転を開始した。植種汚泥には、都市下水処理場の混合汚泥で運転していた土木研究所の実験用消化槽から採取した消化汚泥を用いた。混合用の下水汚泥には、同じ下水処理場の混合汚泥を用いた。汚泥の濃度を調整するために実験室での遠心分離操作により、TS4%程度まで濃縮した。

反応器1の水理学的滞留時間（HRT）は当初70日で開始し、運転開始60日目まで徐々に25日まで低下させた。61日目以降のHRTは21日とした。その後75日目に混合物を有効容積4.5 Lの反応器2系列（反応器2および反応器3）に分配し、混合汚泥と刈草の混合消化連続運転を、反応器1の消化汚泥を植種汚泥として、55℃の条件下で開始した。実験に用いた刈草は、土木研究所内の草を使用した。刈草の投入量は、混合汚泥のVS量（強熱減量）に対して、反応器2では25%程度、反応器3では50%程度とした。運転開始当初は110℃で乾燥して、長さ8.9mm、幅0.9mm程度に裁断した刈草（A）を用い、152日目以降は乾燥させずに長さ13.2mm、幅1.0mm程度に裁断した刈草（B）を投入した。基質投入および消化液の引抜操作は、平日1日1回の頻度で手動にて行った。

(2) 回分式実験

消化汚泥および投入刈草の混合比の影響を確認するために、刈草（B）および反応器1の引抜消化汚泥を用いて、消化汚泥のみのブランク系、混合汚泥のみを添加した系、汚泥および刈草の混合消化系2段階、ならびに刈草のみの系2段階について、55℃にて回分式

表-2 連続式嫌気性消化実験の運転条件 (温度55℃)

反応器	基質	経過日数 (日)				
		0~60	61~74	75~95	96~151	152~284
反応器1	混合汚泥	HRT 70~25 d	HRT 21 d	HRT 21 d	HRT 21 d	HRT 21 d
反応器2	混合汚泥+刈草 (25%*)	—	—	HRT 28 d 刈草 (A)	HRT 21 d 刈草 (A)	HRT 21 d 刈草 (B)
反応器3	混合汚泥+刈草 (50%*)	—	—	同上	同上	同上

*混合汚泥VS量に対して

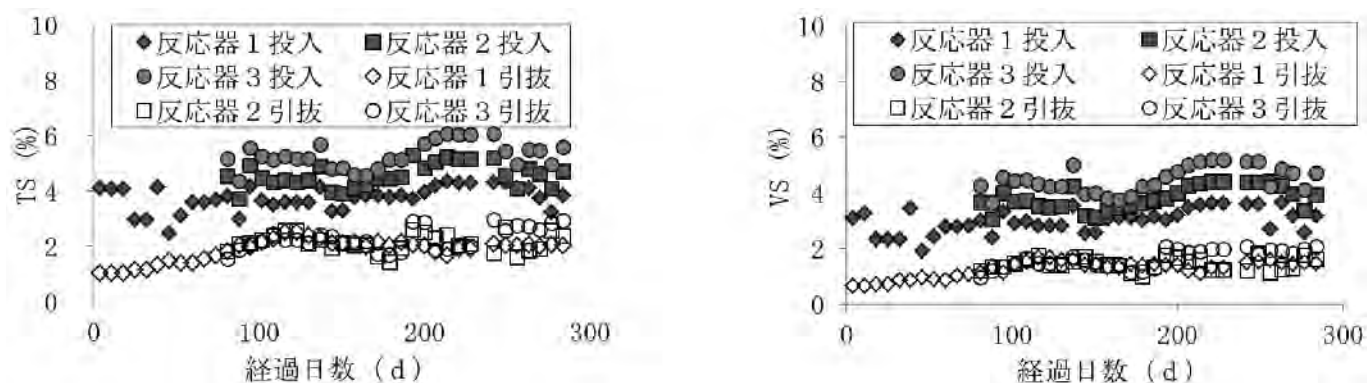


図-7 連続実験におけるTSおよびVSの経時変化

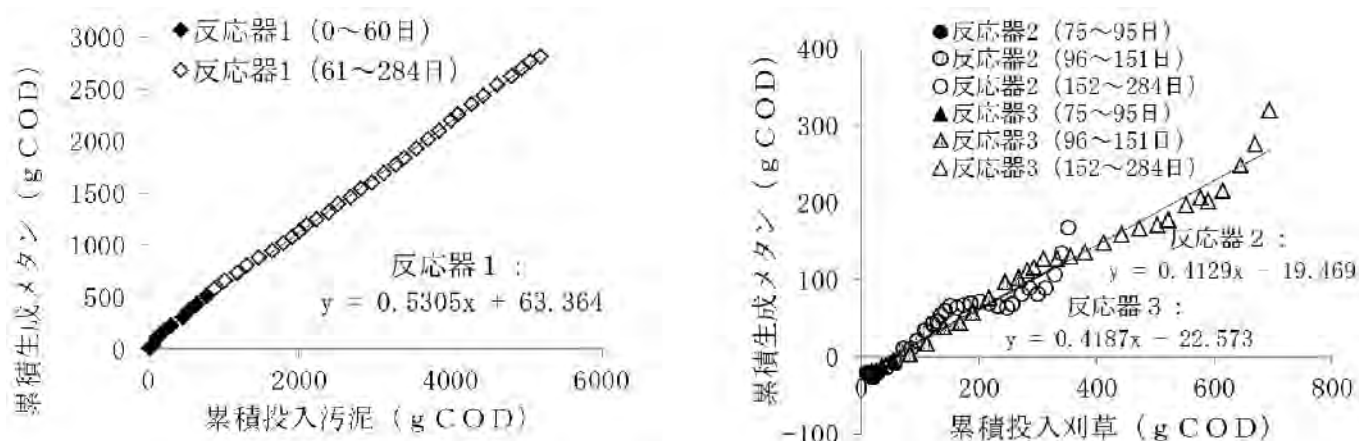


図-8 連続実験における累積投入基質量と累積生成メタン量の関係

実験を行った (表3)。反応器はガラス瓶および攪拌機を組み合わせで製作し、試験試料は消化汚泥260 mLに対し、混合汚泥を添加する場合は40 mLを投入し、沸騰後冷ました水道水を加えて500 mLとした。そして、経時的にメタンガスの発生量を測定した。

4.2 結果および考察

(1) 連続式実験

連続式実験における、TSおよびVSの経時変化を図-7に示す。反応器1のTSおよびVSの平均値は、投入汚泥ではそれぞれ3.8および3.0%、消化汚泥では152日目以降それぞれ2.1および1.4%であった。投入およ

び消化汚泥のVSの差を投入汚泥のVSで除して算出したVSベースでの消化率は60%程度であり、一般的な混合汚泥の消化率と同等であった¹¹⁾。アンモニア性窒素濃度はおおむね1,000 mgN/L以下であり、メタン発酵への阻害影響は認められなかった。有機酸濃度は徐々に低下し、152日目以降には1,000 mgHOAc/L以下になった。

反応器2の消化汚泥では、HRT 21日の条件で、TSおよびVSの平均値が、それぞれ2.2および1.5%であった。反応器3での同じ条件では、それぞれ2.3および1.7%であった。いずれもVSベースでの消化率は60%程度であった。アンモニア性窒素濃度はおおむね

表-3 回分式実験の運転条件および結果

No.	基質	混合汚泥 投入量(gVS)	刈草投入 量(gVS)	メタン生成 量(NmL)	刈草からのメタ ン生成量(NmL)	刈草のCODベース メタン転換率(%)
0	なし	—	—	—	—	—
1	混合汚泥のみ	1.12	0	274	—	—
2	混合汚泥 +刈草(25%*)	1.12	0.28	330	56	42
3	混合汚泥 +刈草(50%*)	1.12	0.56	382	108	41
4	刈草のみ(25%*)	0	0.28	38.3	38.3	29
5	刈草のみ(50%*)	0	0.56	75.6	75.6	28

*No.1 の混合汚泥 VS 量に対して

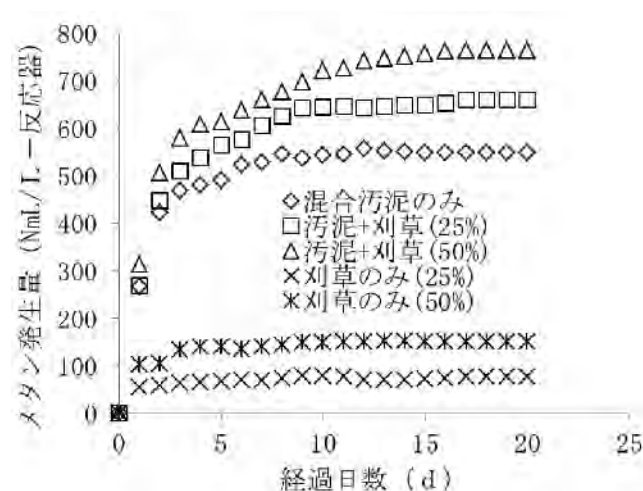


図-9 回分式実験におけるメタン生成量の経時変化

1,200 mgN/L以下であり、メタン発酵への阻害影響は認められなかった。有機酸濃度は運転開始から120日目まで4,000～5,000 mgHOAc/L程度であり、250日目以降1,000 mgHOAc/L程度以下まで低下した。

連続実験におけるメタン転換率を評価するためにCODベースの累積投入基質量と累積生成メタン量の関係を図-8に示す。刈草のメタン転換率は、反応器1における下水汚泥のメタン転換率分を差し引いて算出した。反応器2では、185日目から221日目までの間攪拌が不安定となったためか、メタン転換率が低い結果となった。そのため攪拌機を交換してからの222日目以降、メタン転換率は回復した。いずれの反応器でも、刈草のメタン転換率はCODベースでおおむね40%程度であった。VSベースのメタン発生量では、刈草のみで0.19 L CH₄/g VS程度であり中温での研究例と同程度である⁸⁾。異なる消化汚泥および投入刈草の混合比でも同程度の値であった。

(2) 回分式実験

回分式実験における実験条件および結果を表-3に、

メタン生成量の経時変化を図-8に示す。ここでは、ブランク系によるメタン生成量を差し引いて算出した。また図-9では反応器体積あたりに換算して示している。回分式実験で用いた消化汚泥および混合汚泥のVSはそれぞれ1.4および2.8%であった。回分式実験2および3における刈草のメタン転換率は、回分式実験1における下水汚泥のメタン転換率分を差し引いて算出した。刈草のみの場合のCODベースメタン転換率は30%弱であり、汚泥との混合消化で、刈草のメタン転換率は40%程度であった。下水汚泥と混合することで刈草のメタン転換が促進されることが考えられる。

4.3 まとめ

TS 4%程度の下水混合汚泥および刈草を対象とした嫌気性消化の連続式実験を行ったところ、高温条件下で安定した処理が可能であった。混合消化における刈草の適用性が示され、例えば既設消化槽に投入負荷増加の余裕がある場合などに活用することが考えられる。

5. 刈草以外のバイオマスとの混合メタン発酵¹²⁾

5.1 刈草以外のバイオマスのメタン発酵の概況

下水汚泥との混合消化について、生ごみやその他特定の廃棄物など個別の混合消化に関しては、実験室レベルの検討例は多数見られるとともに、いくつかの地域で取り組みが始まったところである。しかしながら、多様な廃棄物を同一条件下で比較検討した例はほとんど見られず、下水汚泥との混合消化の観点での消化特性についての情報は、稼働地域のものが中心となる。多くは中温(35℃程度)条件であるのに対して、高温(55℃程度)条件の導入が進みつつあるものの、温度条件が混合消化特性に及ぼす影響も明確ではない。

そこで、土木研究所の調査では、有機性廃棄物を対象として、基礎的な消化特性を比較することを目的と

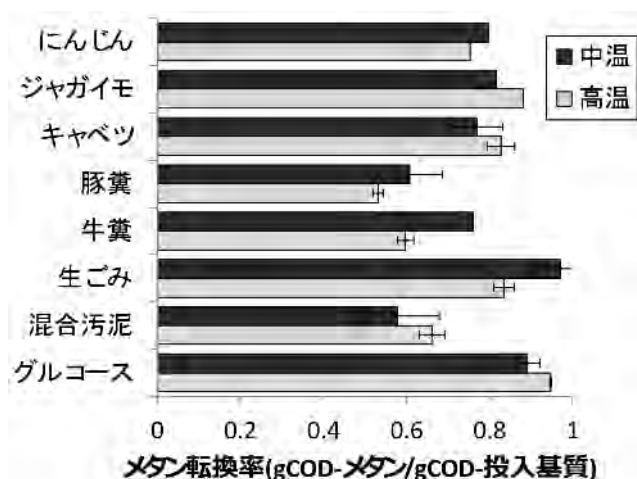


図-10 回分式試験におけるCOD基準メタン転換率

し、調査を実施した¹²⁾。調査では、下水汚泥および有機性廃棄物で馴致培養した消化汚泥を用いた回分式実験を中温および高温条件下で行い、各種有機性廃棄物の性状、メタン転換特性、および消化液水質への影響を比較した。本章ではメタン転換特性のうちメタン転換率について紹介する。

5.2 刈草以外のバイオマスのメタン転換率

回分式実験での各種有機性廃棄物のメタン転換率を評価するため、回分式のメタン発酵試験を行った。試験は、中温条件下では3週間程度、高温条件下では2週間程度、嫌気性反応器（容量0.5 L程度）に消化汚泥および基質を投入し、窒素ガスでパージした後、回分式にてメタン発酵試験を行った。投入した基質は、にんじん、ジャガイモ、キャベツ、豚糞、牛糞、生ごみ、混合汚泥、グルコース等である。発生したバイオガスは、強アルカリ溶液を通過させることで二酸化炭素を除去し、メタンガスの生成量として計測した。消化汚泥については、回分式実験開始の1週間ほど前から、基質投入を停止した状態で温度条件のみを維持し、ブランク系のガス発生量をなるべく抑えるようにした。

回分式のメタン発酵試験の結果から得られた、各種有機性廃棄物のメタン転換率を図-10に示す。ここでは、投入基質量（gCOD）に対する、生成メタンガス量（gCOD）の割合として算出した。ブランク系で生成したメタンガス分は差し引いた。中温および高温別に、異常値を除いた平均値および標準偏差で示している。全体としては、中温と高温で大きな差が見られなかった。

グルコースのメタン転換率は0.9程度であり、微生物収率0.1程度を考慮すると、添加したグルコースはおおむねメタンに転換されていたと考えられ、今回の実験系でメタン転換率が評価可能であることが確認さ

れた。混合汚泥のメタン転換率は0.6程度であり、日高・内田¹¹⁾の実験と同様の値であることから、実験の再現性が確認された。

牛糞尿のメタン転換率は中温で0.8程度、高温で0.6程度と差が見られた。豚糞尿のメタン転換率は0.6程度で、下水汚泥と同等の効率が得られた。一般的な値¹³⁾と比して、牛糞尿ではやや高め、豚糞尿では同程度の値であった。飼料などの飼育条件や敷料混合状況などの回収条件によって大幅に効率は変わる可能性があるものの、畜産系廃棄物も混合消化に有効な廃棄物として期待できる。キャベツ、ジャガイモ、およびにんじんのメタン転換率はいずれも0.8程度であった。

6. 下水道管理者における今後の検討のためのヒント

地方公共団体は下水汚泥の処分のみならず、家庭からの生ゴミや浄化槽汚泥なども責任を持って処理しなければなりません。現在、下水汚泥とその他のバイオマスの混合消化に取り組む、又は検討されている公共団体では市町村合併や、家庭ゴミなど一般廃棄物の処理施設、し尿処理施設の耐用年数を迎えるにあたり、なるべく新たな施設整備の経費を節約すること、また温暖化ガスの発生抑制や消化ガス発電により下水処理場での電力消費を減らし維持管理費用を縮減しようといった目的を持って取り組みを進められています。

廃棄物の処理処分にあたっては温暖化ガスの発生の抑制、エネルギー消費の削減や再生エネルギーとして利用するといった観点が非常に重要となっています。既に整備された下水処理場は元々下水汚泥を自ら処理するために汚泥の脱水設備や水処理施設を有していることから、様々なバイオマスをエネルギー利用をするにあたっては有効な施設となります。

土木研究所リサイクルチームでは、今後も引き続き、下水道を核として、他バイオマス資源を活用するための調査研究を行っていく予定です。今後様々な検討をされる機会がありましたら、汚泥性状や様々なバイオマスの特徴、性状の確認や汚泥処理プロセスそれぞれの改善方法や施設設計の留意事項などについてより具体的な提案ができると考えていますので、なんなりとご相談下さい。

参考文献

- 1) 日本下水道協会：平成23年度下水道白書 日本下水道、2012。
- 2) 国道（国管理）の維持管理等に関する検討会：国が管理する一般国道及び高速自動車国道の維持管理基準（案）、<http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir->

- council/road_maintenance/pdf/32.pdf
- 3) 独立行政法人土木研究所：公共事業由来バイオマスの資源化・利用技術に関する研究、平成20年度下水道関係調査研究年次報告書集、土木研究所資料4157号、2009.
 - 4) 国土交通省：河川砂防技術基準維持管理編（河川編）
http://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/gijutsu/gijutsukijunn/ijikanri/kasen/pdf/gijutsukijun.pdf
 - 5) バイオマス・ニッポン総合戦略、平成18年3月31日閣議決定.
 - 6) 公益社団法人化学工業会、一般社団法人日本エネルギー学会編：バイオマスプロセスハンドブック、株式会社オーム社、2012.
 - 7) 第6回（平成25年度）国土交通大臣賞〈循環のみち下水道賞〉資源のみち部門 ～バイオマス産業都市の構築を目指して～ 下水汚泥と他バイオマスとの混合消化実証実験
<http://www.mlit.go.jp/common/001009938.pdf>
 - 8) 岡本誠一郎、桜井 健介、新井小百合：下水処理場の再生可能エネルギー供給拠点化方策検討調査、平成22年度下水道関係調査研究年次報告書集、土木研究所資料第4212号、pp.1-39、2011.
 - 9) 岡本誠一郎、桜井 健介、宮本 豊尚：下水道施設におけるバイオガスの完全利用に関する調査、平成21年度下水道関係調査研究年次報告書集、土木研究所資料 第4191号、pp.1-16、2010.
 - 10) 王 峰、日高 平、内田 勉：下水汚泥および刈草の高温嫌気性消化、第50回下水道研究発表会講演集、
 - 11) 日高 平、内田 勉：土木学会論文集G（環境）、Vol. 68、No.7、pp.III_325-III_332、2012.
 - 12) 日高 平、王 峰、内田 勉、鈴木 穰：回分式実験による下水汚泥と有機性廃棄物の嫌気性消化特性調査、土木学会論文集G（環境）、2013（印刷中）.
 - 13) 畜産環境整備機構：家畜ふん尿処理施設の設計・審査技術、2004.

特集：第26回下水汚泥の有効利用に関するセミナー特集（黒部市）

研究紹介

下水汚泥溶融スラグの建設資材としての有効利用の取組み

富山県土木部都市計画課下水道班
副主幹 佐伯 滋

キーワード：溶融スラグ、埋め戻し材、リサイクル製品

1. はじめに

富山県は、3,000m級の北アルプス立山連峰など、三方を急峻な山岳地帯に囲まれ、中央には実り豊かな平野が広がり、富山湾、日本海へと開けている。美しく豊かな自然環境に恵まれ、四季の移り変わり

が鮮明で、多種多様な動植物が見られ、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。

また、山々に降り積もる雪は、天然の巨大なダムとなり一年を通じて豊かできれいな水が生まれ、水力発電や各種用水など多目的に利用されており、暮らしや産業を支える重要な資源となっている。

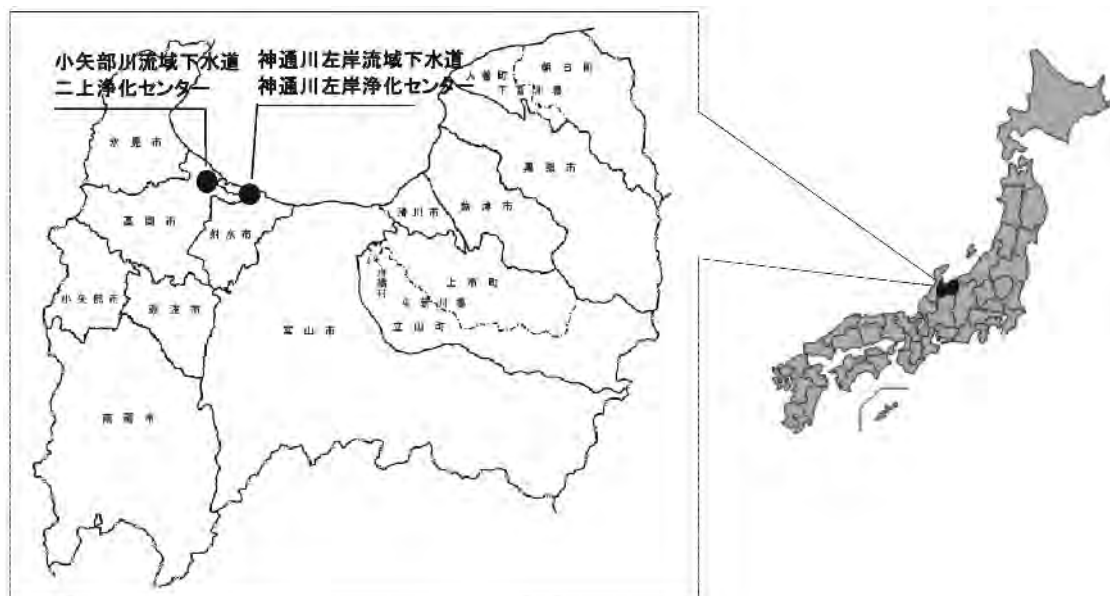


図1 流域下水道の位置図

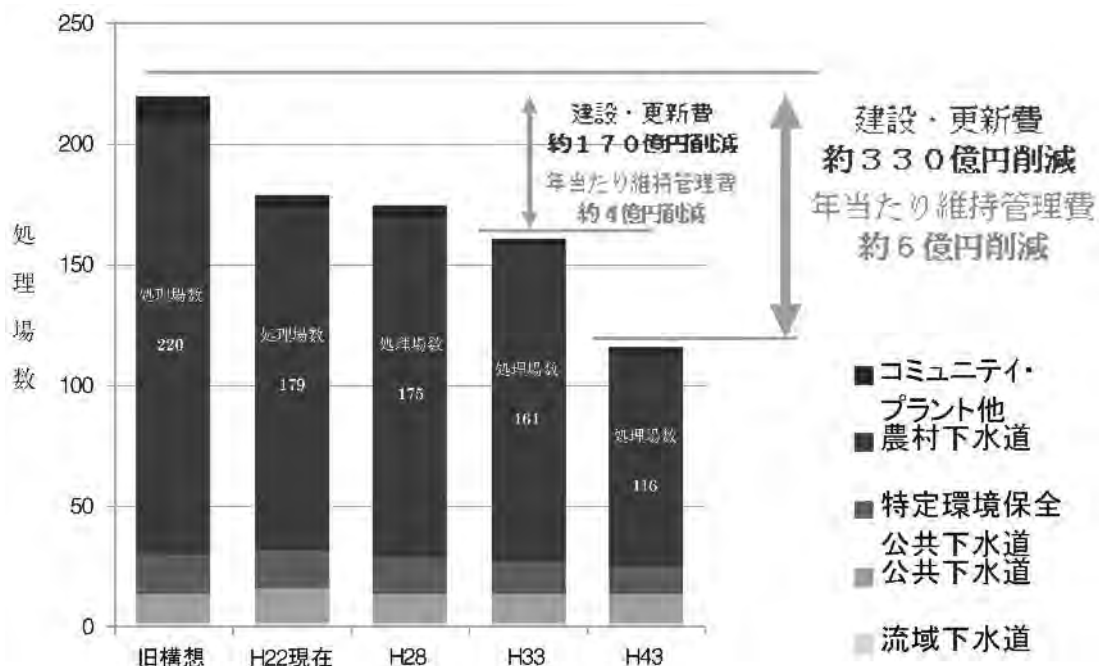


図2 処理場統廃合及びコスト縮減の見通し（富山県全県域下水道化構想2012より抜粋）

こうした自然豊かな本県においても、都市化の進展や生活様式の変化にともない、工場排水や生活雑排水等による水質汚濁が進み、公共用水域の水質保全が必要となっている。また、県民の快適で文化的な生活を送るための下水道整備に対する要望は高く、下水道の整備促進が望まれていた。

2. 下水道事業の概要

(1) 全県域下水道化構想

市街地、農山漁村を問わず、全県一体となった污水处理施設整備を進めていくための長期指針として全国に先駆けて「全県域下水道化構想」（平成2年度）を策定した。その後、平成13年に「全県域下水道化新世紀構想」（平成13年度）へ見直しを行い、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。

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ことから、これらの社会情勢の変化に対応して、より効率的で経済的な下水道整備が求められている。このため本県では、これまでの構想を見直し、未普及地域の解消と共に処理場の統廃合を念頭に置いた新たな構想として「富山県全県域下水道化構想2012」を策定したところであり、市町村と連携しながら構想の実現を目指していきたいと考えている。

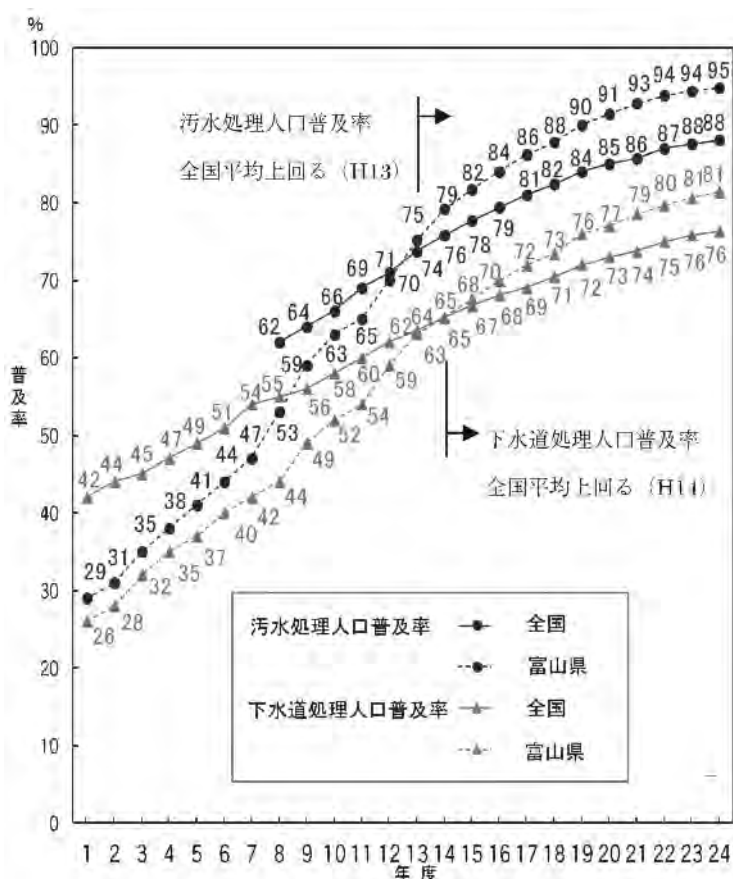


図3 富山県の普及率の推移

(2) 下水道事業の実施状況

本県の下水道事業は、昭和24年に高岡市で始まり、公共下水道事業は全ての市町村で、特定環境保全公共

表1 流域下水道事業の全体計画の概要

	小矢部川流域下水道	神通川左岸流域下水道
処理面積	10,755ha	6,943ha
処理人口	259,000 人	200,100 人
処理水量	189,400 m ³ /日最大	117,000 m ³ /日最大
管渠延長	149.4 km	72.0 km
ポンプ施設	1 箇所	1 箇所
水処理施設	二上浄化センター 8 系列	神通川左岸浄化センター 14 系列
下水排除方式	分流式	分流式
処理方法	標準活性汚泥法	標準活性汚泥法、嫌気無酸素好気法
放流先（環境基準）	小矢部川（B－Ⅰ）	富山湾等（A－Ⅰ）
汚泥処理方式	溶融処理方式	溶融処理方式

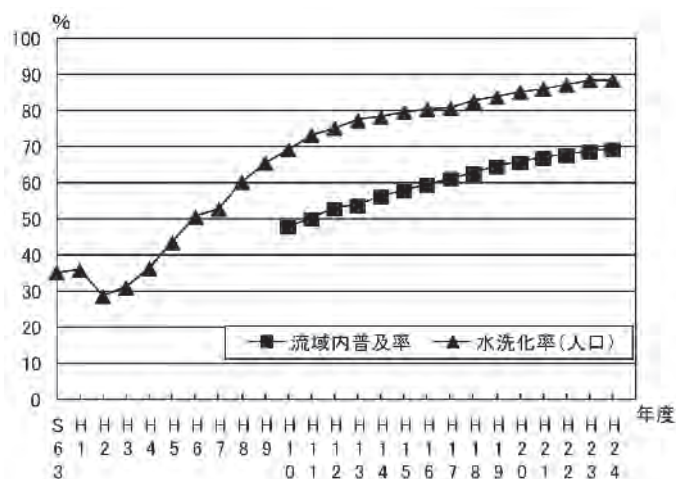


図4 小矢部川流域下水道の普及状況

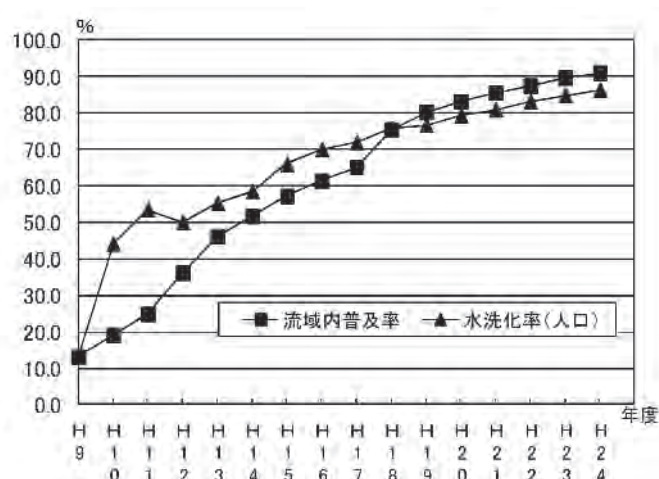


図5 神通川左岸流域下水道の普及状況

下水道事業は、10市4町で実施している。

その結果、平成13年度には汚水処理人口普及率が全国平均を上回り、平成24年度末には94.8%（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ている。

また、流域下水道事業については、県において昭和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、二上浄化センター、神通川左岸浄化センターの処理場が稼働している。

表1に流域下水道事業の全体計画の概要を示す。

3. 下水汚泥の処理方針

県下全域の汚水処理施設から発生する汚泥について、有効利用を前提として効率的な処理・処分に取り

組めるように、国の提言や本県の汚泥処理の現状及び課題を踏まえ、中長期的な方針について以下の3つの基本方針を設定している。

①有効利用の推進

埋立処分量をゼロとするため、緑地利用や建設資材利用など下水汚泥の有効利用の推進に努める。

②安定的処理の確保

処分先、有効利用先が限られると汚泥の搬出先がなくなる危険性ととも処理費用の高騰を招くおそれがあることから、処分先及び有効利用先については複数確保するなど安定性の確保に努める。

③経済性の追求

民間活力の活用と共に、下水処理場間における広域

処理、し尿処理施設・下水道類似施設と下水処理場との共同処理も含めて検討し、より効率的な汚泥処理の推進に努める。

4. 流域下水道における下水汚泥溶融炉の導入

(1) 汚泥溶融処理方式の導入の経緯

本県の流域下水道では、昭和47年に小矢部川流域下水道の全体計画が策定されたが、全国の公害の発生を受け、汚泥の処理方式の選定にあたっては、重金属の安定化など、慎重な対応が求められていた。第一には重金属類の安定化を位置付け、下水汚泥の減量化、並びに最終生成物（溶融スラグ）の有効利用の容易さを勘案して、当時、最新の技術として注目されていた溶融処理方式を、昭和63年に全国に先駆けて取り入れた。

<汚泥溶融処理方式の導入理由>

①下水汚泥の安定化が可能

汚泥を高温で溶融処理することにより、汚泥中の有機物は完全に酸化燃焼され、無機物は溶融されてスラグ化されることにより、組成的にも安定し、重金属類もスラグ中に封じ込められ安定化される。

②下水汚泥の減量化が可能

生成した溶融スラグは、脱水汚泥に比べ体積が1/20と減量化が図られることから、処分コストが最も抑えられる。

③下水汚泥の建設資材への有効利用が可能

生成した溶融スラグは、用途に応じて粒度を調整することが出来、本県では、粒径4.75mm以下に破碎し（比重1.8g/cm³程度）、主に埋め戻し材等への建設資材へ利用している。

(2) 溶融炉の構造および溶融処理の概要

本県の汚泥溶融炉は、上下動が可能な内筒と回転する外筒を組み合わせた、堅型二重円筒構造の回転式表面溶融炉である。内筒の底部外側が炉天井部となり、外筒内部に投入した被溶融物（汚泥）の溶融面とでつくる空間が主燃焼室となる。炉天井部には昇温用のバーナを設けている。溶融は、輻射と輝炎効果によって全周で連続的に起こり（表面溶融）、溶融スラグは溶融面を自然流下して炉底中心部のスラグポートから排出される。なお、汚泥（乾燥ケーキ）は外筒のゆっくりとした回転によって、全周から均一に切り出される。また、内筒の上下動によって炉室容積を調整でき、汚泥性状の変化にも対応できる。図7に溶融処理設備のフローを示す。

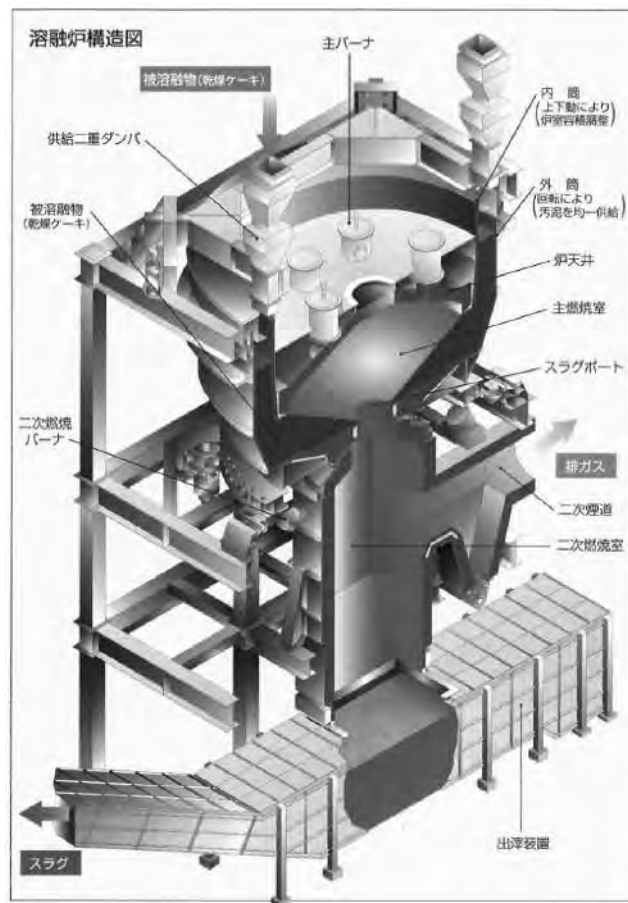


図6 溶融炉構造図

(3) 溶融炉の運転管理

二上浄化センターでは、平成22年度から小矢部川流域下水汚泥処理事業（詳細は後述）を開始し、性状の異なる複数の脱水汚泥を受け入れ、溶融炉の運転を行っていることから、溶融炉の安定的な運転管理に関して下記の取り組みを実施している。

①汚泥成分調整

下記を目的として、汚泥へ鉄分及び消石灰を添加している。その結果、より経済的で、かつ安定的な溶融炉運転を実現することができる。

・溶流性の向上（高効率溶融）

消石灰を添加し、塩基度調整（塩基度0.7を目標）を行うことにより溶流性の向上を図っている。これにより、溶融温度の安定化が図られ、溶融温度も低温化した。

・リン酸ダストの抑制

溶融炉から排出されるダスト性状の改質（液状・粘性のリン酸ダスト→粒状・粉状ダスト）をするため鉄粉を添加し、汚泥中の「りん」を鉄化合物としてスラグへ固定することで、リンの揮発抑制をしている。その管理指標には、鉄りんシリカ比を用いている。

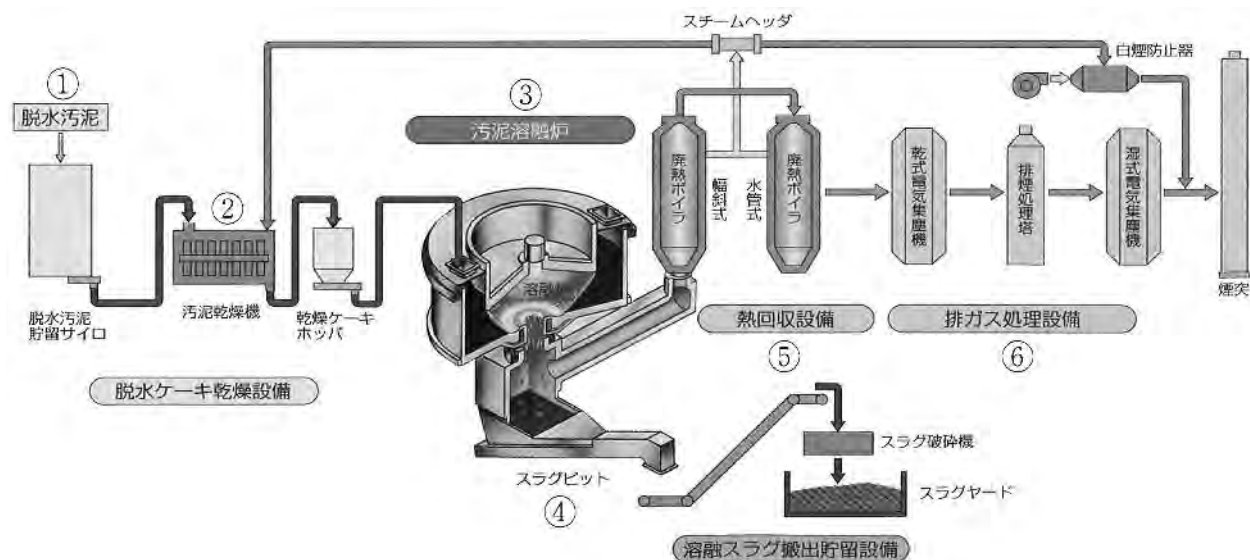


図7 溶融スラグ概略フロー図



写真1 脱水ケーキ受入設備（図7の①）
脱水処理された汚泥（外部受入汚泥含む）は、ケーキ貯留サイロで一次貯留される。

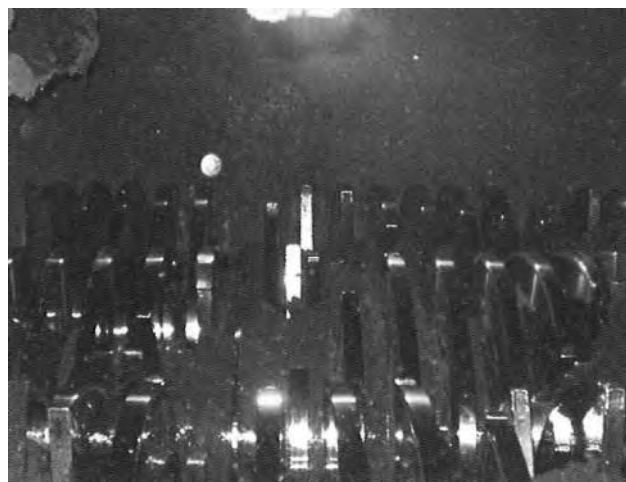


写真2 乾燥設備（図7の②）
熱回収設備から発生する蒸気（または熱風）を熱源として脱水ケーキを乾燥させる。

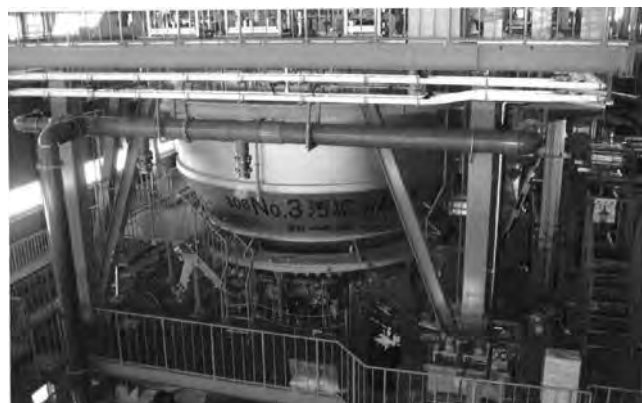


写真3 溶融設備（図7の③）
有機物の燃焼輻射熱によって無機分を溶融しスラグを生成する。



写真4 スラグ搬送設備（図7の④）
溶融スラグは、水冷して炉外に搬出。資源として利用しやすいように破砕機で粒度を整える。



写真5 熱回収設備（図7の⑤）
排ガスから熱エネルギーを回収し、乾燥設備、白煙防止器に有効利用する。



写真6 排ガス処理設備（図7の⑥）
排ガス中のSO_x、NO_x、HCL等の有害物質を洗浄除去し、ダストは帯電させ静電気の力で集塵する。

表2 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 ガラス質で直接水冷スラグより強度大。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。



写真7 溶融スラグ

②汚泥性状管理手法の改善

汚泥成分調整に必要となる成分分析は、従来、月1回の成分分析結果を参照していたが、短期の急激な汚泥性状の変化に対する追従性を強化するため、蛍光X線分析装置を導入することとし、週2回のきめ細やかな分析結果に対応した運転管理を実現している。

(4) 溶融スラグの生成

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（写真7参照）、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2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。

5. 溶融スラグの利用状況

(1) 溶融スラグの発生量の推移

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つの処理場で溶融炉を備えているが、流入下水量は年々増加傾向にあり、平成24年度の流入下水量は2つの処理場合わせて約4,400万m³となっている。（図8参照）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：図9参照）溶融スラグ化しており、平成24年度の生成量は1,315tとなっている。

(2) 溶融スラグの有効利用

①公共工事への流用

生成した溶融スラグは、昭和63年の稼働開始以降、

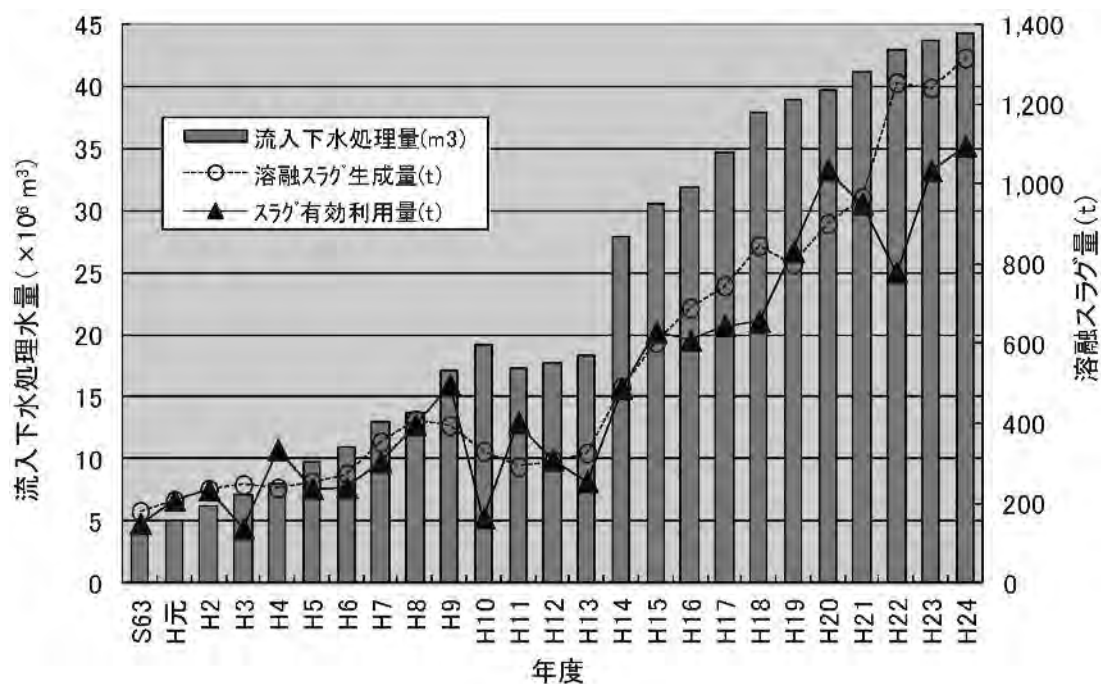


図8 流入下水処理水、溶融スラグ生成および有効利用量の推移

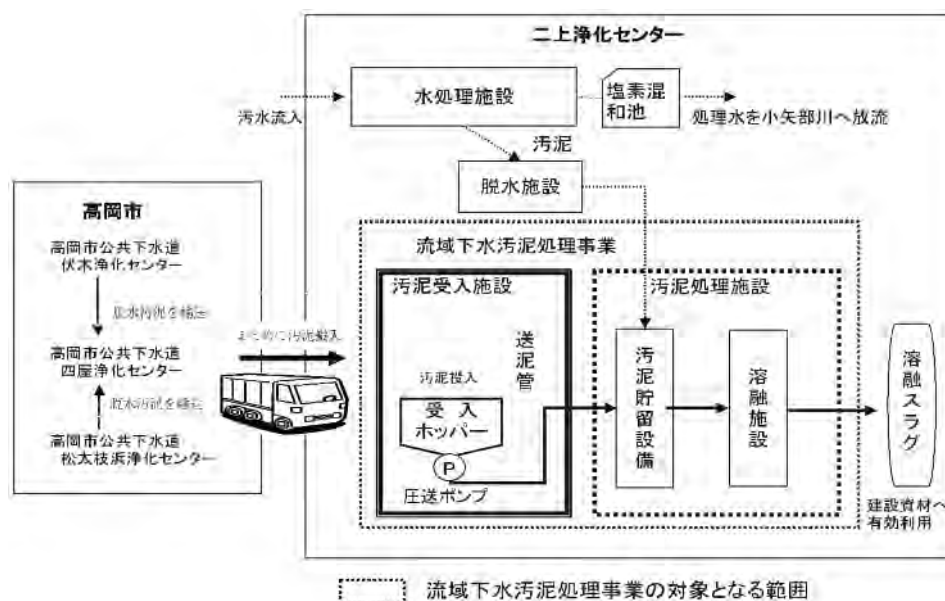


図9 小矢部川流域下水汚泥処理事業のイメージ図

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。

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、近年の下水道処理人口普及率の向上に伴う下水道工事の減少により、溶融スラグの有効利用量が少なくなっていることから、下水道事業に限らず、北陸新幹線の整備等の他

工事の造成工事での活用を図っている。

②リサイクル製品への利用（写真8，9，10参照）

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エコユニホルの3種あ

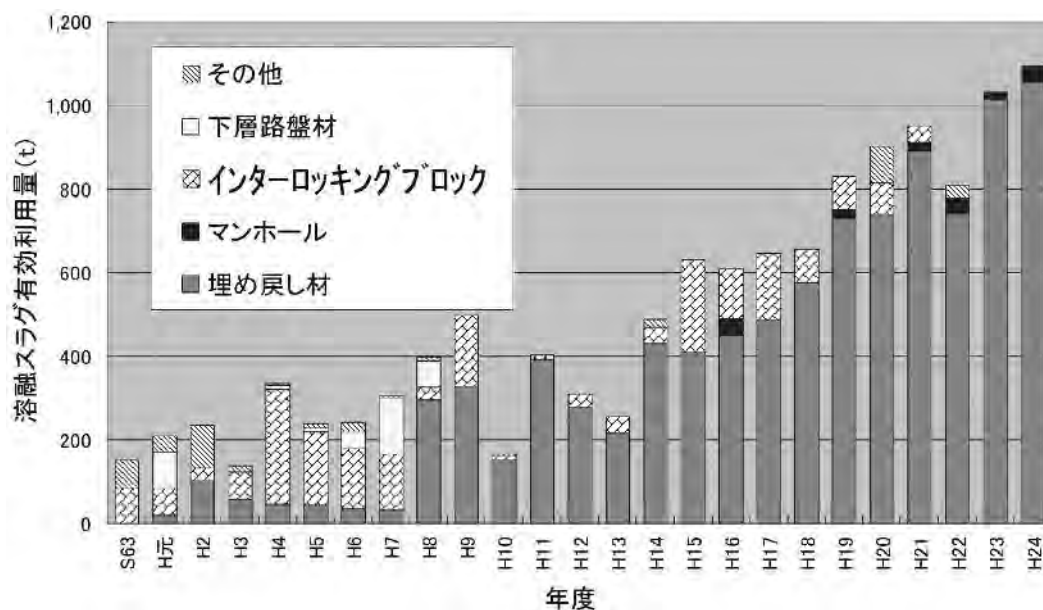


図10 溶融スラグ有効利用量の推移

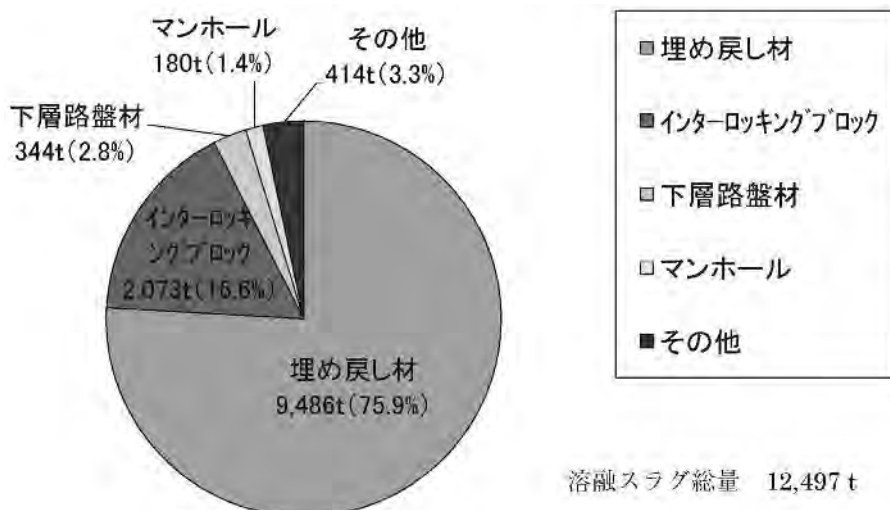


図11 溶融スラグの有効利用量 (t) と比率 (%) (S63～H24の実績)

り、年間40～100 t の溶融スラグが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。

○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のあるデザインとなっている

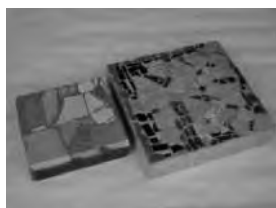


写真8 エコ平板

○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
- ・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



写真9 インターロッキングブロック

○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



写真10 エコユニホール

6. 今後の課題

下水道の普及や、処理場の統廃合により、流域下水道の溶融スラグの生成量は今後増加することが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下記のとおり検討していく予定としている。

(1) アスファルト骨材への利用

平成18年度に、一般廃棄物や下水汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固化したコンクリート用溶融スラグ骨材（JIS A 5031）、および道路用溶融スラグ骨材（JIS A 5032）がJIS化されたことから、今後、アスファルト骨材への利用についても検討していくこととしている。

(2) 希少金属の回収

国土技術政策総合研究所が進めている「下水処理場における資源・エネルギー循環利用」の研究において、

現在、二上浄化センターで発生する脱水汚泥、溶融スラグ、飛灰に含まれる成分調査を行っているところである。その結果によっては、希少金属の回収という方向で、新たな汚泥の有効利用につながるものと期待している。

(3) リンの有効活用

下水に含まれるリンの有効利用である。我が国はリン鉱石の全量を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・再資源化について研究していきたいと考えている。

(4) 下水汚泥の燃料化

大規模災害の発生等、非常時における溶融炉施設のバックアップ対応として、下水汚泥の燃料化を研究していきたいと考えている。

特集：第26回下水汚泥の有効利用に関するセミナー特集（黒部市）

研究紹介

下水汚泥有効利用の課題と 日本下水道事業団における取り組み

日本下水道事業団技術戦略部

資源技術開発課 島田 正夫

キーワード：熱改質高効率嫌気性消化、担体充填型超高速嫌気性消化、低含水率脱水機、次世代型階段炉、バイナリ発電

1. はじめに

昨年（平成25年）の夏は全国各地で記録的な猛暑日が続いたり、台風やゲリラ豪雨、竜巻による大きな被害が頻発するなどの異常気象が相次ぎ、地球温暖化の影響がわが国においても身近な現象として現れ始めている。

平成25年9月末に公表された国連の気候変動政府間パネル（IPCC）5次報告書案によれば、このまま化石燃料に依存した社会経済活動を継続した場合、今世紀末の地球の平均気温は最大4.8℃上昇し、海面も82cm上昇するとしている。IPCCでは、世界の平均気温が産業革命前に比べて2℃を超えて高くなると、地球規模で環境が激変する可能性を指摘している。それを避けるためには世界の今世紀半ばの温室効果ガス排出量を50%以下に削減（日本など先進国では80%以上削減）する必要があると報告している。

欧米の環境先進国では地球温暖化対策として再生可能（自然）エネルギーの導入が1990年代から積極的に行われている。わが国ではようやくバイオマス活用推進基本法の制定（平成21年6月）や再生可能エネルギー電力の固定価格買取制度（FIT）の導入（平成24年7月）など、具体的な再生可能エネルギー

導入施策が始まったばかりである。

再生可能エネルギーとして風力や太陽光と並んでバイオマスもその一つとして積極的な活用が叫ばれている。しかし、各種のバイオマスの中でもわが国では下水汚泥や生ごみなどの廃棄物系バイオマスは、悪臭など環境への負荷を与える廃棄物としてその大部分が焼却処理による減量化優先の施策がとられてきた経緯があり、残念ながら現在においても再生可能エネルギー資源としての有効利用は十分に行われていないのが現状である。

ここでは下水汚泥のバイオマス資源として有効利用促進を図る上でわが国における課題を述べるとともに、日本下水道事業団（以下J S）における下水汚泥有効利用に係る技術開発取組事例の幾つかを紹介する。

2. 下水汚泥有効利用に係る課題

2.1 廃棄物処理法

（1）一般廃棄物と産業廃棄物という考え方

世界では廃棄物を一般廃棄物と産業廃棄物という区分で取り扱いを定めている国は少ない。通常は生活系廃棄物と事業系廃棄物という区分で分けられ、資源として有効利用する上では生活系も事業系も関係なく、それぞれの性状に応じて適切な再利用を推進すること

で、廃棄物全体の減量化に努めている。

一方わが国では、一般廃棄物と産業廃棄物を発生時点で厳格に区分し、その取扱いについてそれぞれの許可を得た有資格業者が別々に収集・運搬・処理することになっている。これらをリサイクル資源として有効利用を図る上でも両者を区別して扱うよう行政指導がなされている。廃棄物処理法はあくまで物質を廃棄物として処理処分する場合に適用されるもので、資源として利用する場合には関係なく、その物質の性状に応じて積極的に有効利用を図ることができるようにすることが望まれる。

(2) 産業廃棄物に対する行政の対応

産業廃棄物は事業活動により発生した副産物の一つであり、必ずしも有害物とは限らない。人の健康や環境等に害を与える可能性のある廃棄物は「特別管理産業廃棄物」として別途指定されることになっている。米国などでも人の健康等に害を与える可能性のある廃棄物は「有害廃棄物」として、その取扱い方法については厳格に定めているが、これ以外の「非有害廃棄物」は、その性状に応じた有効利用を推進することで廃棄物の減量化に努めている。通常の下水汚泥は当然「非有害廃棄物」に位置づけられ、有機質肥料原料などに積極的に利用されている。

わが国では産業廃棄物＝有害物といった概念で行政指導が行われており、本来そのままの状態若しくは簡単な前処理のみで十分資源として有効利用できるもので、廃棄物として埋め立て処分されたり、焼却・溶融といった膨大なエネルギーとコストを必要とする処理処分が行われている。

ある地域では、肥料登録された下水汚泥肥料を緑農地利用する農家に対し、産業廃棄物処理業の登録を求めている事例など、循環型社会の構築を抑制するような行政指導の在り方は見直すべきである。

(3) 環境基準と安全基準

下水汚泥焼却灰や溶融スラグなどを舗装用路盤材や埋戻し材あるいはブロック材料など建設資材の一部として有効利用を図ろうとする場合、下水汚泥焼却灰や溶融スラグ自体の溶出試験で、土壤環境基準を守るよう環境部局から指導を受けることが多い。

環境基準とは「環境基本法」に基づき、「生活環境を保全する上で維持することが望ましい政策上の目標値」であり、健康を守るための安全基準とは全く別のものである。土壤環境基準の適用に当たって、セメントや石膏ボード等の原材料として利用され構造物の一部となっている場合、道路用の路盤材や土木用地盤改良材等として利用される場合など再利用物自体が周辺土

壤と区別できる場合は「土壤環境基準は適用しない」という通達が環境省から出されている（環水土第44号平成13年3月28日）。

安全性は確かに重要ではあるが、必要以上に追求すると循環型社会構築の大きな足かせとなるばかりか、多大なエネルギーとコストをかけることになり地球環境への大きな負担増にかねないので留意が必要である。

2.2 地球環境問題と下水道

(1) 地球環境問題に対する危機意識

先述したように化石燃料の大量消費にともなう大気中の二酸化炭素などの温室効果ガス濃度上昇による異常気象が世界各地で頻発している。この地球温暖化の影響は先進国に比べ、アフリカなどの開発途上国において食糧危機（飢餓問題）など深刻な問題として表れている。

EUなどの環境先進国では具体的なCO₂削減策に積極的に取り組み、成果を上げているのに比べ、わが国の取り組みは「理念のみ先行し、具体的対策が全く行われていない」、「地球環境問題より経済を優先している」という世界的な批判を浴びている。

一昨年の東日本大震災に伴う福島原子力発電事故に起因し、再生可能エネルギーの重要性がようやく理解し始めてきたとはいえ、国民一人一人の「地球環境問題に対する危機意識」は、残念ながらEU諸国に比べ高いとはいえない。

(2) 再生可能（自然）エネルギー導入の世界の実態

1970年代の二度にわたる世界的な石油危機に対するその後の国家のエネルギー対策方針が、日本と他の先進国で大きく分かれたことが現在のエネルギー事情となっている。ヨーロッパ等の多くの国が「化石燃料から再生可能エネルギーへの転換」を進めたのに対し、わが国では「石油中心から石炭、天然ガス、原子力などエネルギー源の分散化」を進めてきた。欧米では風力やバイオマスなどの再生可能エネルギー導入は積極的に行われている（図2-1）。わが国ではバイオマスを資源として積極的に利用する「バイオマス活用推進基本法」が制定されたのはわずか数年前（平成21年9月）であり、昭和30～40年代に建設された大型ダムにおける水力発電を除けば、本来の再生可能エネルギー源電力発電量はわずか1%台に過ぎない。（図2-2）

(3) 環境先進国ドイツにおける施策

先進国の中でもドイツは特に地球環境問題、再生可能エネルギー導入に積極的な国である。そのドイツにおける取組事例の幾つかを簡単に紹介する。

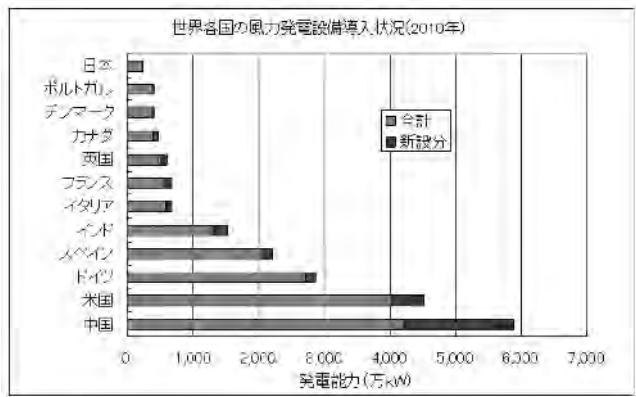


図2-1 世界各国の風力発電設備導入状況¹⁾



図2-2 わが電力エネルギー源内訳²⁾

表2-1 ドイツの再生可能エネルギー利用量³⁾

(2011年) 単位: Twh

種類	電力	熱供給	燃料	計	比率
水力	19.5			19.5	6.6
風力	46.5			46.5	15.8
バイオマス	36.9	126.5	34.3	197.7	67.1
太陽光	19	5.6		24.6	8.3
地熱	0.019	6.3		6.3	2.1
計	121.9	138.4	34.3	294.6	100.0

*バイオマス燃料にはバイオディーゼル含む

① 再生可能エネルギー導入目標

憲法（20a条）で国家目標に「環境保護」を掲げており、環境にやさしいエネルギーの選択を義務付けている。これに基づき、再生可能エネルギー促進法（EEG）の強化に努めており、再生可能エネルギー導入目標（EEG1条2項）を次のように明確に定めている。

全電力供給量に対し	2010年	17%
	2020年	35%
	2030年	50%
	2050年	80%

② 再生可能エネルギーの利用量

ドイツでは再生可能エネルギーの中でも特にメタン発酵を中心とするバイオマスエネルギーに力を入れており、表2-1に示すように、全再生可能エネルギー量の67%を占めている。1991年から再生可能エネルギー電力の買取義務化がスタートし、2000年に本格的固定価格買取制度（FIT制度）導入による買取り価格アップしたことが、再生可能エネルギー導入に大きな効果をもたらしている。

③ エネルギー安全保障

ドイツは自国で石炭を産出するため従来よりエネルギー自給率は30～40%程度有する（日本は4%）が、天然ガスをロシア等から、石油を政情不安な地域の

国々から輸入していることもあり、エネルギー安全保障が大きな政治的課題となっている。

将来的に自国で必要とするエネルギーは全て自国で賄うということを国家目標にしている一方で、現在16基ある原子力発電所は2022年までに順次廃止することを決定している（連邦原子力法）。そのためにも再生可能エネルギーの導入には極めて積極的に取り組んでいる。

④ 再生可能エネルギー熱促進法（2009年1月）

床面積50m²以上の建築物を設置する場合、そこで使用する熱エネルギーの50%以上を再生可能エネルギーとすることを義務付けた。2011年5月からは既設ビルを改築する場合にも適用するとともに、公的セクターは率先して再生可能エネルギー熱の利用を義務化している。

2.3 バイオマス資源としての下水汚泥

(1) 再生可能エネルギーにおけるバイオマスの特徴

再生可能（自然）エネルギーとしては太陽光、風力、水力等があるが、いずれも基本的には電気エネルギーとしての利用に限定されるのに対し、バイオマスは固形燃料、液体燃料、気体燃料として利用でき、それを燃料とした発電による電気エネルギーへの転換が可能である。電気エネルギーは貯蔵が困難で、運搬には電線の設置された範囲に限定されるが、バイオマス燃料は運搬、貯蔵が容易であるという特徴を持っている。

また、太陽光や風力は天候によって発電能力が大きく左右される不安定電源であり、それ単独での利用は困難であるのに対し、バイオマス発電は天候に左右されず、発電量を人為的に任意に制御できるということも大きな特徴である。さらに、バイオマスは電力エネルギー源以外に、食糧や肥料、工業用原料などとしての用途も有している。

表2-2 バイオマスの種類

	主なバイオマス
資源作物系バイオマス	米、野菜、果物などの食糧 菜種、コーンなど原料作物
未利用系バイオマス	稲わら、モミがら、間伐材、 おがくずなどの製材くず
廃棄物系バイオマス	下水汚泥、生ごみ、家畜糞尿、 食品工場残渣、建築廃木材

表2-3 下水汚泥保有熱量の比較

■ 下水汚泥の成分は80%以上が有機物		
■ 乾燥汚泥	17~20	MJ/kgDS
■ 炭化製品	14~21	MJ/kgDS
■ 消化ガス	21~24	MJ/Nm ³
■ 参考		
■ 石炭(一般)	25~28	MJ/kg
■ 灯油・ガソリン	36~38	MJ/L
■ 都市ガス	45~46	MJ/Nm ³

(2) バイオマスにおける下水汚泥の特長

バイオマスの種類としては、表2-2に示すように資源作物系バイオマス、未利用系バイオマス、廃棄物系バイオマスに分類され、下水汚泥は廃棄物系バイオマスの一つである。

これら多くのバイオマスの中で、下水汚泥の特徴としては

① 発生量が安定している

下水汚泥は春夏秋冬関係なく、年間を通じて一定量が発生する。また、人間が生活する限り将来にわたって必ず発生し続ける。

② 質が安定している

下水汚泥は年間を通じてその性状（カロリーや成分組成）が大きく変化することは無く、ほぼ一定である。また、大部分が人間生活過程からの発生であり有害な毒物が含まれる心配が極めて小さい。

③ 都市部で多く発生する

下水汚泥をバイオマスエネルギー源（電気、熱、燃料など）として利用する場合、エネルギー需要の多い都市部で多く発生することから有効利用しやすい。

④ 食糧需要との競合がない

下水汚泥は廃棄物系バイオマスであり、その全量をエネルギー利用等に利用したとしても資源作物系バイオマスのような食糧との競合がない。

(3) 下水汚泥のエネルギー価値

汚泥固形分の約8割は有機分であることから、乾燥した汚泥の単位重量当たり熱量は表2-3に示すように火力発電所で燃料として使われている石炭の6~7割に相当する高いエネルギー価値を有している。

下水汚泥等のメタン発酵によって得られる消化ガスも、都市ガス（13A）の約50%に相当する高い熱量を有している。

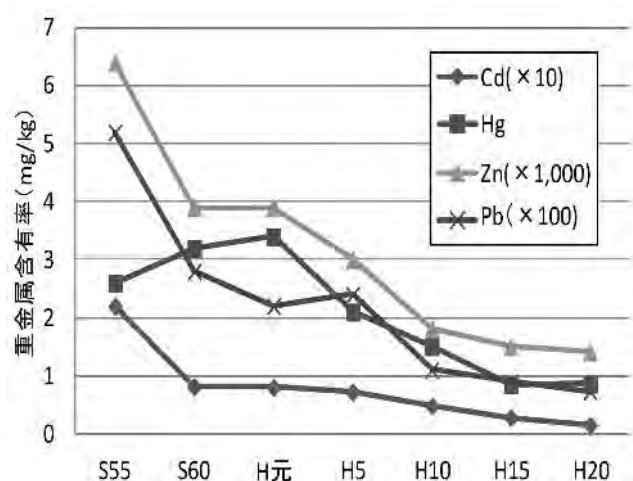
下水処理場で使用する電力量は単位処理水量当たり0.3~0.5kWh/m³であるのに対し、流入下水中の有機分（BODor SS）の有するエネルギー量は0.8~1.2kWh/m³であり、処理場で消費する電力エネルギーの2~3倍の大量のエネルギーが処理場に毎日流入している。この貴重なバイオマス資源（汚泥）をわが国多くの処理場では単なる廃棄物として処理しているが、欧米ではほとんどの処理場でメタン発酵によりバイオマスエネルギーとして回収利用されている。

(4) 下水汚泥の肥料原料としての価値

下水汚泥は他のバイオマス（木質、家畜糞用、稲わらなど）に比べたんぱく質含有率が高いのが特徴で、窒素やりんその他の微量栄養素が豊富に含まれている有機質肥料原料としての価値を有している。欧米では下水汚泥（ほとんどが消化汚泥）の6~7割は緑農地利用が行われており、循環型社会の最も理想的な利用方法と認識されている。

わが国では昭和40年代後半から50年代にかけて河川等の水質汚濁対策の面から下水道の整備が全国的に急速に進められた。下水道が整備された地域では、一部除外施設の不十分な工場排水も積極的に下水道に受け入れていた経緯から、工場排水に起因する重金属類が下水汚泥中に含まれ、下水汚泥=重金属=有害物といった概念が広まってしまった。しかし、除外施設の整備や排水基準に関する行政指導の徹底により工場排水に起因する下水汚泥中の重金属濃度は減少し（図2-3）、工場排水を全く受け入れていないし尿・浄化槽汚泥と同等かそれ以下にまで改善されている。

わが国では現在化学肥料+化学農薬を中心とする農業生産方式が多く行われているが、下水汚泥肥料等の有機肥料で栽培された野菜の栄養価（各種ビタミン）や味は明らかに違いが認められている。また、病害虫に対する抵抗性が強くなることから農薬の使用量を大幅に減らすことが可能となっている。化学肥料+化学農薬を中心とする農業生産方式による土壌微生物へのダメージにより畑地土壌劣化が日本農業の将来への深

図2-3 下水汚泥重金属含有量の推移⁴⁾

刻な問題となりかけていることから、農林水産省でも「持続性の高い農業生産方式への転換促進を図る法律」（平成11年10月施行）等を定め、有機質肥料中心の「環境保全型農業」への転換を推進している。下水汚泥の安全性と肥料価値を再認識して、積極的な緑農地利用が望まれる。

3. JSにおける下水汚泥有効利用に係る研究開発

3.1 汚泥の低含水率化に関する調査研究

下水汚泥は多くの場合含水率75～85%程度の脱水ケーキの状態では処分又は有効利用プロセスへ送られる。下水汚泥を焼却処理、固形燃料化あるいはコンポスト肥料化を図る場合、脱水工程での含水率が、後のプロセスの設備容量や維持管理コストに大きく影響する。JSでは汚泥の低含水率化を目的に、これまで複数の民間メーカーとの共同研究により「機内二液調質型遠心脱水機」、「圧入式スクリーン濃縮脱水機」等の開発に取り組んできた。

(1) 機内二液調質型高効率遠心脱水機

従来より高分子凝集剤と無機凝集剤併用の遠心脱水機は存在したが、汚泥供給ラインに無機凝集剤を投入していた。今回共同研究により開発した遠心脱水機は、図3-1に示すように回転円筒内で脱水が進行したケーキに無機凝集剤（ポリ硫酸第二鉄）を後添加するのが大きな特徴となっている。

機内二液調質型遠心脱水機による脱水ケーキの状況を写真3-1に、脱水処理性能の例を表3-1に示した。混合生汚泥では無機凝集剤注入率10～20%でケーキ含水率が65～69%が得られている。難脱水性である消化汚泥に対しても、無機凝集剤添加率は28～30%と高くな

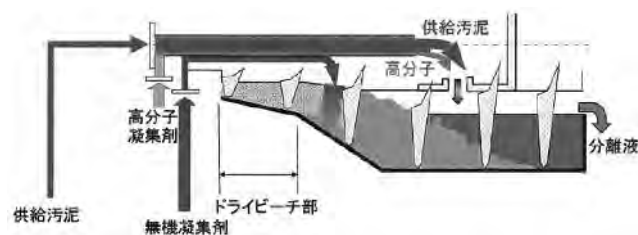


図3-1 機内二液調質型遠心脱水機の構造図

写真3-1 機内二液調質による脱水ケーキ

表3-1 機内二液調質遠心脱水機の処理性能例⁵⁾

	単位	混合生汚泥	消化汚泥
高分子薬注率	%TS	0.6～1.0	1.5～1.7
ポリ鉄薬注率	%TS	10～20	28～30
ケーキ含水率	%	65～69	68～73
SS回収率	%	98～99	98～99

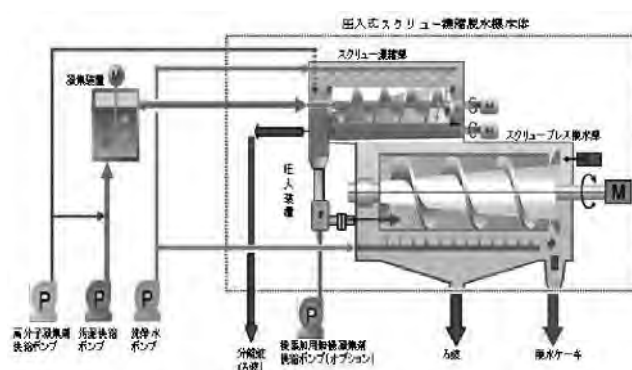


図3-2 圧入式スクリーン濃縮脱水機の概要図

るが68～73%という試験結果が得られている。

(2) 圧入式スクリーン濃縮脱水機

圧入式スクリーンプレス脱水機は省エネ型脱水機として最近急速に導入が増えているが、汚泥性状の変動に対する処理安定性の向上が求められていた。

今回開発した圧入式スクリーン濃縮脱水機は、図3-2に示すようにスクリーン濃縮部で汚泥を高濃度に任

表3-2 従来式圧入式スクリープレス脱水機基準値との比較⁶⁾

	ケーキ含水率(%)の改善度	
	一液調質	無機併用二液調質
混合生汚泥	-6	-10
嫌気性消化汚泥	-5	-8
OD法余剰汚泥	4	5

意調整することができ、高い濃度へ濃縮した汚泥をスクリープレス脱水部へ圧入することで機内の汚泥充填率を高めて脱水性能を向上させている。さらに、スクリープレス脱水部は、標準型スクリープレスに比べ滞留時間を長くしているため、脱水ケーキ含水率の低減が図れる構造となっている。

また、オプションとして圧入装置部において濃縮汚泥に無機凝集剤を後添加できるため、凝集装置を追加することなくさらに低含水率化が期待できる。

長野県飯田市松尾浄化管理センターを中心に、全国各地の処理場において性能確認試験を進めてきた結果の概要を表3-2に示す。従来式スクリープレス脱水機のJS性能基準値(一液調質)に比べ4~6%の含水率改善、ポリ鉄を用いた二液調質では5~10%の大幅な低含水率化が達成できることが確認されている。

3.2 効率的なメタン発酵に関する調査研究

廃棄物系バイオマスからのエネルギー回収手段としてメタン発酵プロセスの導入が世界的に急速に進められている。しかし、わが国では「有機分の50%しか分解ガス化できない」、「処理に30日も要し大規模な発酵タンクが必要なことから設置スペースが確保できない」などの理由で必ずしも十分に導入が進んでいない。そこでJSではこれらの課題を解決する新しい高効率嫌気性消化(メタン発酵)システムについて民間企業との共同研究で開発を進めてきた。

(1) 高い分解ガス化が期待できる熱改質高効率嫌気性消化システム³⁾

本システムについては、三菱化工機(株)との共同研究により、平成22~23年度にかけ猪名川流域下水道原田処理場(大阪府)に、消化タンク容量15m³の実証プラントを設け、下水汚泥や生ごみとの混合汚泥を対象に、実用化に向けた処理性能確認の調査を進めてきた。「熱改質(可溶化)高効率嫌気性消化システム」の基本フローを図3-3に示す。消化ガス発電などの余剰熱エネルギーを活用して汚泥を160~170℃で30分程度さらすことで生物分解性を改善、メタン発酵による汚泥有機分の分解ガス化率向上を図るものである。実

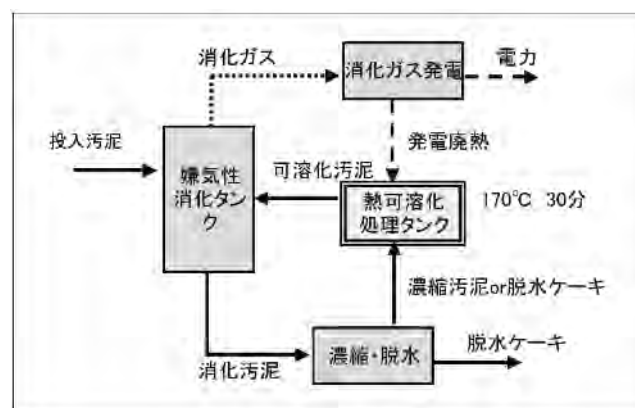


図3-3 熱改質嫌気性消化システムの基本フロー

表3-3 熱改質高効率嫌気性消化実証試験の結果

	単位	既消化システム	熱改質消化システム
消化日数	日	25~30	15~20
消化ガス発生量	Nm ³ /t-VS	380~450	550~600
有機分分解率	%	40~55	65~70
脱水ケーキ含水率	%	80~81	72~73
脱水汚泥発生量	比率	100	50~67

証試験の結果を、当処理場既設嫌気性消化の運転状況と比較して表3-3に示した。

熱改質による消化効率改善システムはこれまでもいくつか提案されているが、これらは消化タンクに投入する前の汚泥を対象に熱改質処理するのに対し、本システムは基本的に消化脱水汚泥を熱改質の対象としており、以下のような特徴を有している。

- ①消化脱水汚泥を熱可溶化の対象とすることから、改質装置自体が極めてコンパクトで、既設消化システムへの導入が容易である
- ②高濃度汚泥(脱水汚泥)を対象に改質処理するため、熱エネルギー必要量が極めて少なく、通常の嫌気性消化システムにおける消化タンク加温エネルギー量とほぼ同程度で処理が可能である
- ③消化汚泥を熱改質処理するため、生汚泥の熱処理で大きな問題となる臭気対策が殆んど不要である。
- ④有機物分解率の向上とともに、熱処理による汚泥の



写真3.2 消化タンク内の担体

脱水性状改善が合わせて期待できる。

(2) 消化日数5日の超高速嫌気性消化システム⁴⁾

下水汚泥の嫌気性消化では、通常消化日数を20～30日、投入有機物容積負荷量として1.2～1.7kg/日m³で行われている。メタウォーター（株）との共同研究により、よりコンパクトな装置で効率的にメタンガス回収を行うことを目的に、担体充填と高温嫌気性消化法を併用し、消化日数約5日、有機物負荷5～8 kg/日m³で処理する「担体充填式高速嫌気性消化システム」の開発を行った。

平成20～23年度に熊本県八代北部流域下水道処理場に消化タンク容量6.8m³の実証プラントを設置し、下水汚泥と生ごみの混合メタン発酵を含めた実用化のための各種調査を実施した。

本システムでは、増殖速度の遅いメタン菌を消化タンク内に保持するためにタンク内に樹脂製の担体（写真3-2）を設置した以外は通常の嫌気性消化システムと同じである。実証プラントにおいて、初沈汚泥と生ごみの混合物を対象とした試験では消化日数5日でVS分解率68%、ガス発生量640Nm³/t-VSという良好な結果が得られたことから、平成23年度国土交通省B-DASH事業「超高効率固液分離技術を用いたエネルギーマネジメントシステムに関する実証研究」のコア技術の一つとして採用された。大阪市中浜下水処理場内に実証プラントを設置し（写真3-3）、平成23～24年度の2ヵ年にわたり消化タンク容量50m³の施設で実証試験を行い良好な結果が得られている。

ちなみに、このB-DASH実証試験結果をもとに国土技術政策総合研究所から平成25年7月に本技術導入ガイドラインが公表されている。



写真3.3 B-DASH実証プラントの消化タンク

3.3 下水及び下水汚泥からのエネルギー回収に関する調査研究

(1) 下水道バイオマスからの電力創造システム実証事業（H25年度 B-DASH）

国土交通省が実施する「下水道革新的技術実証事業（B-DASHプロジェクト）」において、和歌山市、日本下水道事業団（JS）、京都大学、（株）西原環境、（株）タクマ（共同研究体代表）の共同研究体により企画提案した「下水道バイオマスからの電力創造システム実証事業」が採択され、平成25年度から研究がスタートした。

本実証事業は、低含水率型遠心脱水機、次世代型階段炉及び蒸気発電機からなるもので、実証試験プラント（35t-wet/日規模）を和歌山市中央終末処理場内に設置し、以下に示す3つの技術の組合せによる下水道バイオマス電力創造システムの構築を目指している。

- ①脱水汚泥の低含水率化による発熱量の大幅な向上
- ②次世代型階段炉におけるエネルギー（蒸気）回収
- ③蒸気発電機（スクリュ式発電機＋バイナリ発電機）によるエネルギー変換

1) 脱水汚泥の低含水率化

汚泥脱水機には、前述の「機内二液調質型遠心脱水機」（図3-1）採用している。本脱水機は、従来の高分子凝集剤に加え無機凝集剤であるポリ硫酸第二鉄を機内薬注することで、脱水汚泥含水率を従来よりも約10%低減でき、従来型脱水機での汚泥含水率が約80%であったものが、約70%となる。その結果、炉投入汚泥の発熱量は従来の約1,700kJ/kgに対して約3,600kJ/kgと2倍となり、補助燃料なしで高温燃焼が達成でき、回収エネルギーを増加させることができる。

2) 次世代型階段炉エネルギー回収技術

焼却炉は広く普及している流動床炉ではなく、次

世代型階段炉を採用し、ボイラにて熱回収を行う(図3-4)。次世代型階段炉は従来型階段炉の長所を生かしつつ、乾燥段の滞留時間を長くして乾燥機能を強化したものである。表3-4に気泡流動床炉(従来技術)と次世代型階段炉(革新的技術)の特性を比較して示した。

○流動床炉に比べ砂層流動の必要がなく低圧損なため、燃焼空気送風機の静圧が小さく動力を1/5程度に低減でき、焼却設備の消費電力を約40%低減できる。

○炉内で900℃以上の高温燃焼域を持つことにより、温室効果ガスである N_2O の発生量も約1/6に低減できる。

○炉内での汚泥の滞留時間は約2時間あるため、投入汚泥の質的変動に強い。また、安定した自然運転(補助燃料を使用しない運転)が可能である。

○従来型階段炉では必須であった汚泥乾燥機を不要とし、低含水率汚泥の直接投入が可能である。

3) 蒸気発電機によるエネルギー変換

約20t-ds/日以上の大規模プラントにおいては、復水タービン方式を用いて電力回収する。復水タービン方式は、熱変換の方式の中で最も効率が高く、下水処理場では大量の処理水を冷却水として利用できるため有利となる。

9～20t-ds/日程度の中小規模のプラントでは、復水タービンは必要蒸気量に下限があることから、低圧・少量の蒸気でも発電ができるスクリュ式小型蒸気発電機+バイナリ発電機を採用した(図3-5)。スクリュ式小型蒸気発電機は、下水道分野での稼働実績はなく、またバイナリ発電機との組合せによるエネルギーのカスケード利用は国内初となる。この組み合わせにより、発生する蒸気の温度、圧力に応じたエネルギー回収が可能となるとともに、これまで発電ができなかった小規模施設でも高い発電効果が期待できる。

以上の1)～3)の技術を組み合わせた革新的技術の採用により、従来技術より発電を大幅に増加させることができ、従来は発電が困難であった中小規模施設

でも発電できる。

(2) ヒートポンプによる下水熱の回収利用

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

ヒートポンプの熱源として一般には大気(空気)熱を用いるが、気体より液体が熱伝導性は高く、液体の中でも年間を通して比較的溫度変化の小さい下水熱が注目されている。図3-6は、下水の有する各種エネルギーポテンシャルを比較したものである。バイオマスエネルギー資源(化学エネルギー)として既に回収利用の実績のある下水汚泥は、流入下水1 m^3 当りに換算すると3.7MJ/ m^3 程度で、水位差(位置エネルギー)を利用して発電する小水力発電では落差5mの場合でも0.04MJ/ m^3 に過ぎない。これに対し、下水から5℃

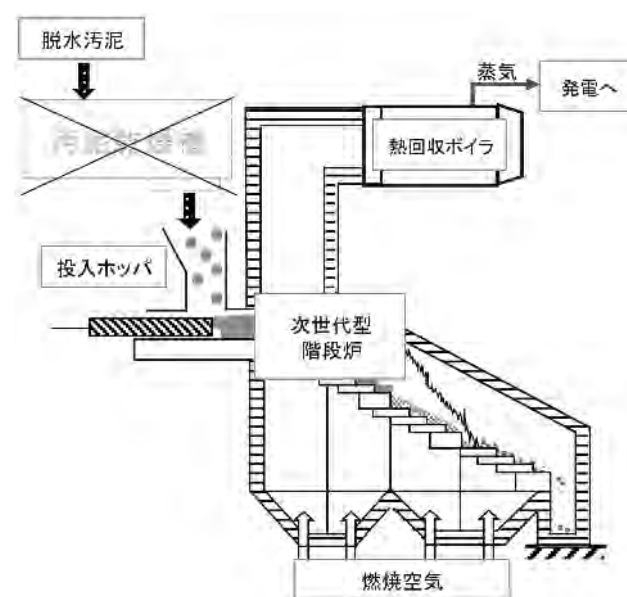


図3-4 次世代型階段炉の概要

表3-4 焼却炉形式の比較

		気泡流動床炉(従来技術)			次世代型階段炉(革新的技術)
燃焼空気送風機	静圧	約 35kPa			約 5kPa
	消費電力比	100			約 20
設備消費電力比		100			約 60
N_2O 排出量	炉内温度	800℃	850℃	(多層)	900℃以上
	kg- N_2O /t-wet	1.510	0.625	0.3	約0.1

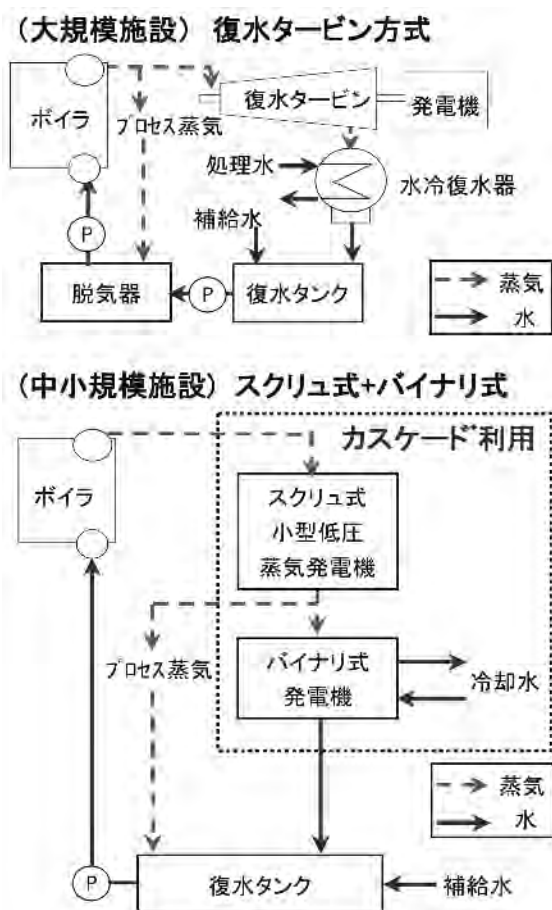


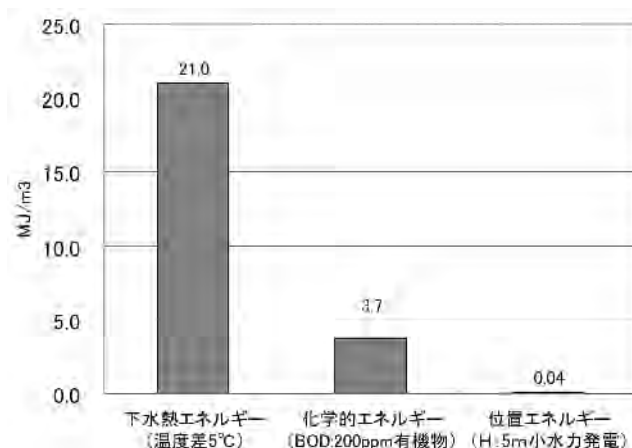
図3-5 蒸気発電機によるエネルギー変換

の熱を回収できるとした場合の熱エネルギーは $21\text{MJ}/\text{m}^3$ であり、潜在的に極めて大きなエネルギー源であることが分かる。流入下水量が $10,000\text{m}^3/\text{日}$ の処理場において、 5°C の下水熱回収が行われた場合のエネルギーは、灯油換算で $5,500\text{L}/\text{日}$ に相当する膨大な量になる。

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

4. おわりに

下水処理場には毎日大量の汚濁物質を含んだ下水が流入している。従来わが国ではこの汚濁物質（BODやSS）を水から分離除去し、浄化された水を川へ放流することが最大の目的で、除去された汚濁物質（下水汚泥）は処理の面倒な廃棄物として扱われてきたが、欧米ではメタン発酵によるエネルギー回収（安定化）されたあと、有機質肥料原料として積極的に有効利用されている。

図3-6 下水の有するエネルギーポテンシャル⁷⁾

下水道は生活環境や公共用水質保全に欠かせない重要な社会基盤施設の一つとなっているが、下水の搬送や処理過程において多くのエネルギーを消費していることから、地球環境へ大きな負担をかけていることも事実である。下水を処理するためにエネルギーを必要とし地球環境への負担はやむを得ないという考え方は、今後通用しなくなる。

家庭で発生する生ごみの大部分は可燃ごみとして焼却処分されているが、デスポーザーと下水管路網を経由して下水処理場に容易に集約でき、下水汚泥との混合メタン発酵により効率的にエネルギー転換が可能である。下水汚泥や生ごみを目先の経済性のみで安易に「廃棄物として焼却処理」するのではなく、化石燃料に代わるバイオマス資源として利用することで下水処理場のエネルギー自給率向上、地球環境保全にも貢献することになる。

J Sでは、今後とも下水汚泥のバイオマス資源としての有効活用に係る技術開発と普及促進に積極的に努めていく予定である。

<参考資料>

- 1) 世界エネルギー協会 (G WEC) 「Global Wind Statistics 2011」
- 2) 資源エネルギー庁「平成22年度電源開発の概要」
- 3) ドイツ連邦環境・自然保護 再生可能エネルギー源作業部会「Renewable energy sources 2011」
- 4) 「再生と利用」No.133 2011 p27
- 5) 「2液薬注による低含水率遠心脱水機の開発」日本下水道事業団共同研究報告書 平成24年3月
- 6) 「圧入式スクリープレス脱水機による低含水率化の研究」日本下水道事業団共同研究報告書
- 7) 「下水熱利用可能性調査報告書」平成25年3月 埼玉県、日本下水道事業団

特集：第26回下水汚泥の有効利用に関するセミナー特集（黒部市）

研究紹介

下水汚泥利用促進に関する
日本下水道新技術機構の取り組み

（公財）日本下水道新技術機構

資源循環研究部 落 修 一

キーワード：下水汚泥、下水灰、肥料、塩化揮発法、酸抽出法、省・創エネルギー

1. はじめに

下水道整備が進展してきた今日、その資本や機能が有する潜在的価値を大いに引き出し、発揮させていく時代の到来であり、その先端を行くのが“下水汚泥の有効利用”である。当機構は平成4年の設立以来、下水汚泥の有効利用に関する調査研究、開発に積極的に取り組んできた。そして現在は、下水処理場を地域における資源化基地と位置付け、下水汚泥に地域バイオマスを含めた資源化技術やエネルギー化技術の開発、実用化が重点課題の一つとなっている。ここでは、下水灰の肥料原料化とエネルギー・資源に係る技術開発について産学との共同研究や新技術審査証明事業の成果を交えて紹介する。

2. 下水灰の肥料用原料化技術

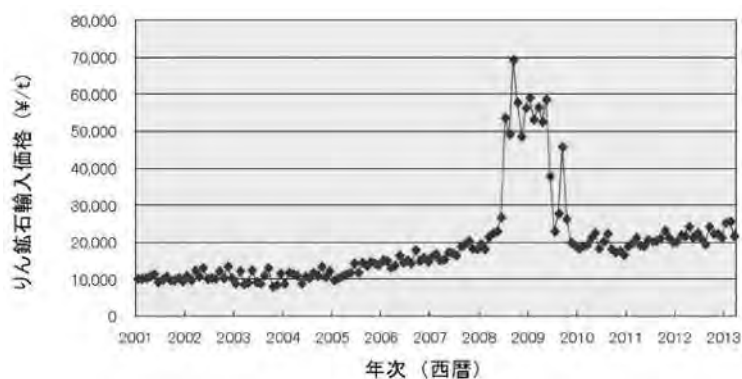
本技術開発は、農林水産省の「農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業」により「23012下水灰の肥料用原料化技術の開発研究」として平成23年度から3カ年の計画で取り組んでいるものである。

2.1 研究目的

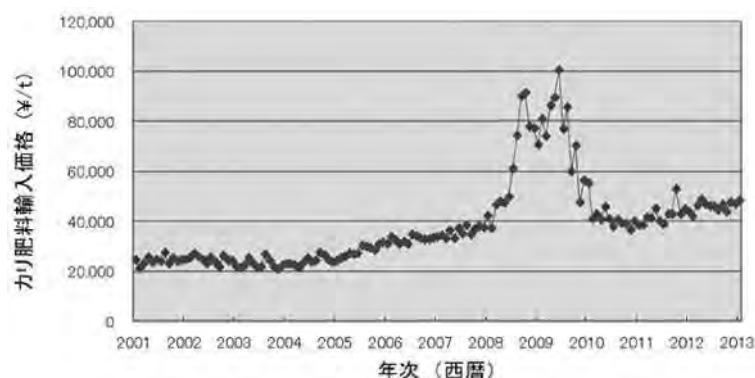
(1) 科学的・技術的観点からの研究目的

下水灰は、下水の処理過程で発生する有機性の泥状物を燃焼した後に残る灰分である。この下水灰は磷鉱石と同レベルのリンを含有するものの、他を構成する主要成分に大きな違いがある。磷鉱石はカルシウム主体となっているのに対して、下水灰は土壌由来のケイ酸が主体となり、またアルミニウムの含有もある。このために現有の磷鉱石から肥料製造する化学プロセスでは下水灰を磷鉱石と同様に加工することが困難である。このために本研究では、下水灰から肥料成分を有効に引き出す、あるいは不用成分を排除・不用化する方法の開発に取り組むものである。

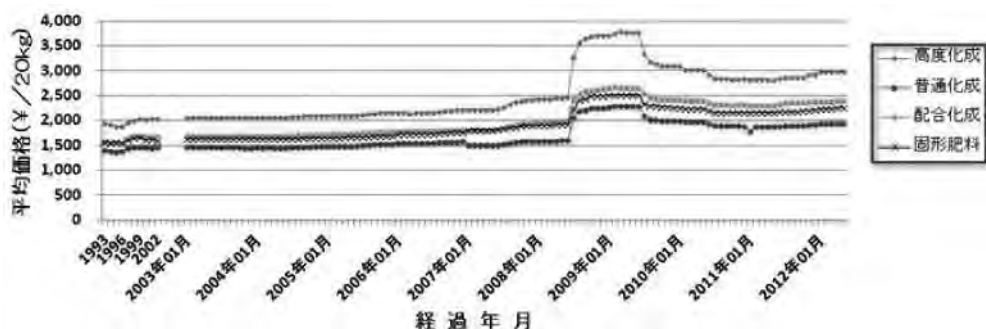
さらに、下水道由来の産物、例えば下水汚泥等はその利用に際して重金属の含有が問題視されてきた。それは含有量の如何に拘わらず下水灰においても同様の扱いを受け、利用が制限される。そこで、下水灰の利用者にとって安心して取り扱える条件を整えるために、これまで重金属含有が危惧されながらも極微量であるがために除去困難とされ、研究開発に取り組まれてこなかった下水灰に含まれている微量の重金属の除去・制御方法の開発に取り組む。特にカドミウムについてはコーデックス委員会が国際基準値を策定したことを受け、農産物の含有基準がより厳しいものとなる動きが具体化してきていることから、これらに十分に



図－１ リン鉱石の輸入価格の推移



図－２ カリ肥料の輸入価格の推移



図－３ 国内主要肥料の販売価格の推移

対応でき安心して利用できる性状の下水灰が提供できる除去・制御技術の開発に取り組むものである。

(2) 社会的・国民的観点からの研究目的

世界の人口増に止まる気配は感じられず、また、ここ十年来の人口大国の経済発展は自国内食生活に大きな変化をもたらし、より高蛋白食材の要求が高まってきている。これらは国際的な食糧需給の大きな変化となり、水はもとより穀物自体も国際戦略物質と位置付ける動きへと繋がってきている。

食糧生産に不可欠な肥料に関しては、歴史が物語るように我が国の一億強の人口を養うためにはより安定・高収穫を担保する化学肥料の製造・供給が重要であり、その生産体制を保全し、各国が戦略物質として管理してきている肥料原料の確保に国策として取り組

む重要な時期にあると言える。

化学肥料の主な輸入原料の一つである磷鉱石ほど原石生産国が戦略物質として扱ってきた物質はなく、昨今の輸入価格動向を見ても図－１、図－２に示すように従前の２倍近い価格となっている。また、図－３に示すように国内における主要肥料価格の動向も下がる気配を感じられない。

このような状況下で、国内資源に目を向けると、国民の食生活に由来して効果的に下水道に集積されるリンがある。この有効性を認識して肥料利用されてきた実績はあるが、それでもその潜在する価値に気付かなかった下水灰がある。下水道に集積回収されるリンの内、その約７割が下水灰にある。例えばここに含まれるリンの量を磷鉱石量に換算すると22万トン（ P_2O_5 含有率：30%）／年と見積もられ、これは平成21年度の

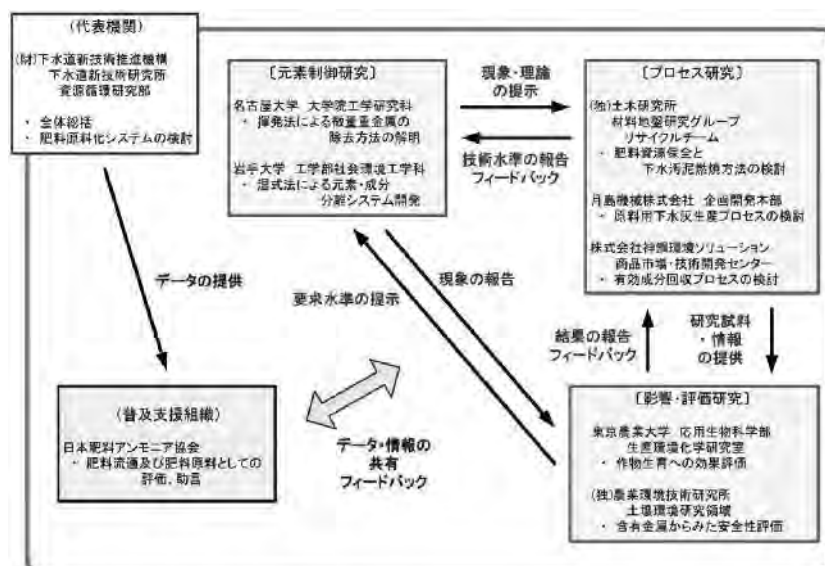


図-4 研究体制

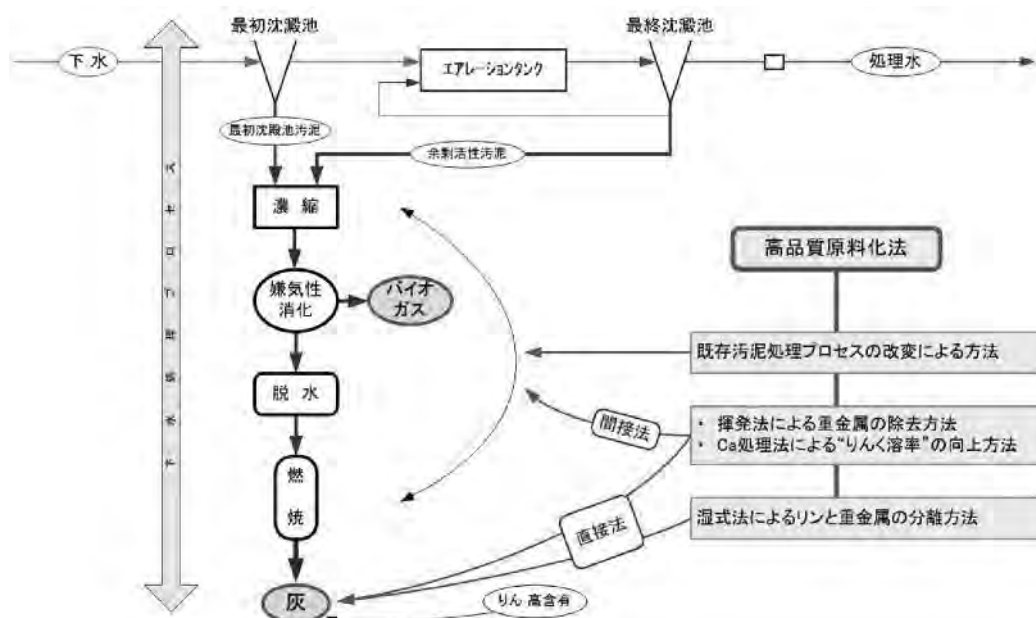


図-5 開発研究と下水処理プロセスの関係

磷鉍石輸入量の約半量に匹敵するものである。

化学肥料製造者は下水灰の肥料原料としての潜在的な価値に注目しており、資源として無視できない状況にある。下水灰の肥料利用は、土壌を介して「肥料」→「植物」→「食糧」→「人」→「排泄」→「下水道」→「下水灰」→「肥料」と巡る循環型社会形成の一端を担うプロジェクトであり、本研究は、これを高度に肥料原料として利用していく技術・体制の整備を目指すものである。

(3) 地域貢献的観点からの研究目的

下水灰の生産高は人間の食生活を反映するものであることから、地域々々における人口に左右される。このために中小都市においては下水処理場で直接的に肥

料加工して地域内で利用する地産地消のシステムが有効となる場合が多いと思われる。一方、大都市等の人口集中圏では大量の下水灰が生産されることから、これらを大々的に集約することができれば各大都市に集中立地している化学肥料工場において効果的に肥料化につなげられ、その場合は既存のシステムを活用した広域循環型として機能していくことが可能と思われる。本研究では、現有の下水処理方法や技術を考慮に入れながら、地域々々に適合する下水灰の肥料原料化技術の開発に取り組むものである。

2.2 研究体制および方法

研究体制を図-4に示す。また、本研究と下水処理プロセスの関係を図-5に示す。

2.3 平成24年度の主要成果

(1) 塩化揮発法〔名古屋大学 窪田光宏、松田仁樹〕

研究成果の一例として、温度900℃、塩化カルシウム添加量10wt%での揮発実験を行った際のP、Pb、Cd、Niの揮発率の経時変化を図-6に示す。本図より、いずれの重金属類も高い揮発速度を有しており、とくに鉛は加熱開始10分以内に全量が揮発している。また、カドミウム、ニッケルも20分以内に一定値に達しており、カドミウムは20%、塩化揮発がしにくいと言われているニッケルにおいてもそれぞれ約40%の残存率まで低減が可能であることが明らかになった。一方、リンは本実験条件での揮発は確認されず、下水灰から重金属のみを揮発させた安全なリン肥料の迅速な製造の可能性が示された。

(2) 酸抽出法〔岩手大学 伊藤歩、石川奈緒、海田輝之〕

元素類を含む溶出液（pH=1）に硫酸第二鉄あるいは塩化第二鉄を添加し、溶出液のpHを2に上昇させ

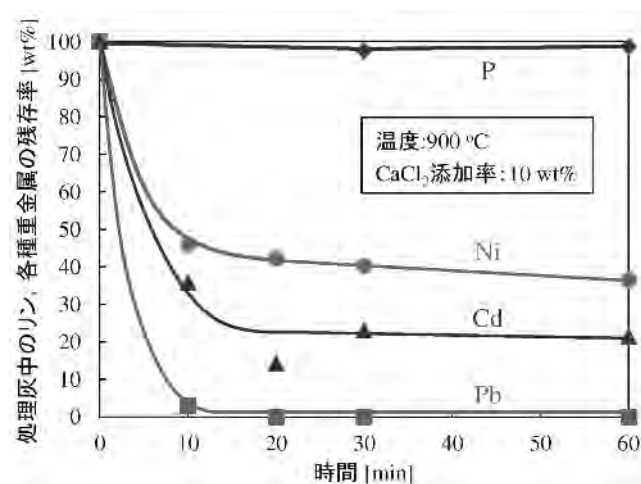


図-6 処理灰中のリンおよび各種重金属の残存率の変化

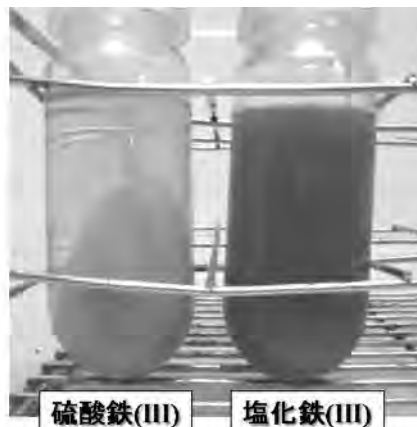
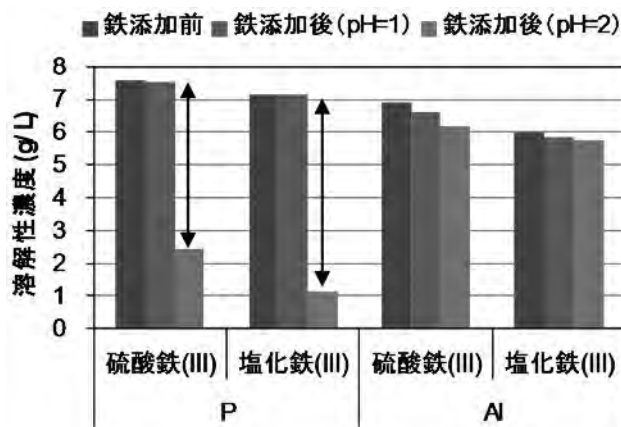


図-7 異なる鉄(III)塩の添加での溶出液中の溶解性のPおよびAlの濃度変化（左図：矢印の部分でリン酸第二鉄としてのリン沈殿量）と沈殿物の沈降性（右図、左側：硫酸鉄(III)の添加、右側：塩化鉄(III)の添加）

ることにより、溶出液中のリンをリン酸鉄化合物として沈殿でき、共存するアルミニウムや他の重金属類（ヒ素とクロムを除く）と分離できることを明らかにした。しかしながら、図-7に示すように塩化第二鉄を添加した場合、沈殿物の良好な沈降性は得られなかった。その後の研究において、イオン交換膜とチタン・白金電極を用いた電気透析装置を用いて、溶出液中のアルミニウムの一部をリンと分離できる可能性が示されている。

(3) カドミウム安全性評価〔(独) 農業環境技術研究所 川崎晃〕

可給性重金属の測定法として、同位体Cdを利用する方法（同位体希釈法）の研究である。

E値：土壌に同位体Cd（水溶液）を添加し、土壌溶液中中の放射能（同位体比）から、土壌中の可給性Cdプールを求める。

L値：同位体Cdを添加した土壌で植物を栽培し、植物中の放射能（同位体比）から、土壌中の可給性Cdプールを求める。

【測定法】

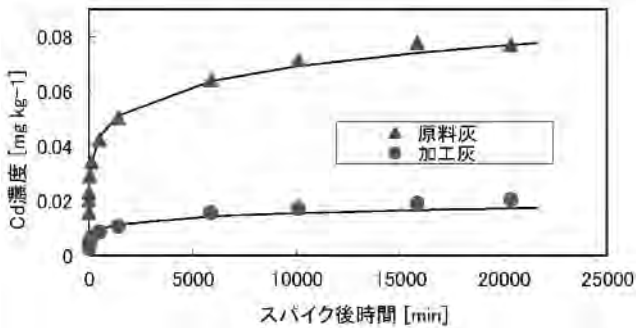
1. 土壌中のCdは、〔液相中Cd〕、〔交換相Cd〕、および〔非交換相Cd〕と考える。
2. 植物が吸収できる〔液相中Cd〕と〔交換相Cd〕の和を〔可給態Cd〕の総量（E値）とする。
3. ^{111}Cd を添加し、液相と交換相のCdで希釈された後の ^{111}Cd 比率から算出。

本研究で得られた加工灰について調べた結果の例を図-8に示す。加工灰の可給性Cdのプールと考えられるE15dは、原料灰より顕著に低く、低減率は78%であった。

この加工灰のE15dの低減率は、全Cd、塩酸可溶性Cdの低減率よりも顕著であった。すなわち、加工灰のCdの可給性は、全Cd、塩酸可溶性Cdで評価される

表 供試試料のE値 [mg/kg現物]

	E ₁	E _{12d}	W-Cd	0.01M -HCl	0.1M -HCl	T-Cd (HF)
原料灰	0.016	0.078	0.0011	0.012	0.55	3.7
加工灰	0.002	0.017	0.0002	0.004	0.20	2.0
(低減率%)	(88)	(78)	(77)	(67)	(64)	(45)
多腐植黒ボク土	0.004	0.079	0.0003	-	0.036	0.25



図－8 本研究で得られた加工灰の試験結果（例）

低減割合よりさらに低いことが示唆された。

3. エネルギー・資源に係る技術

3.1 処理プロセス

(1) 補助燃料ゼロを目指した脱水・焼却システム

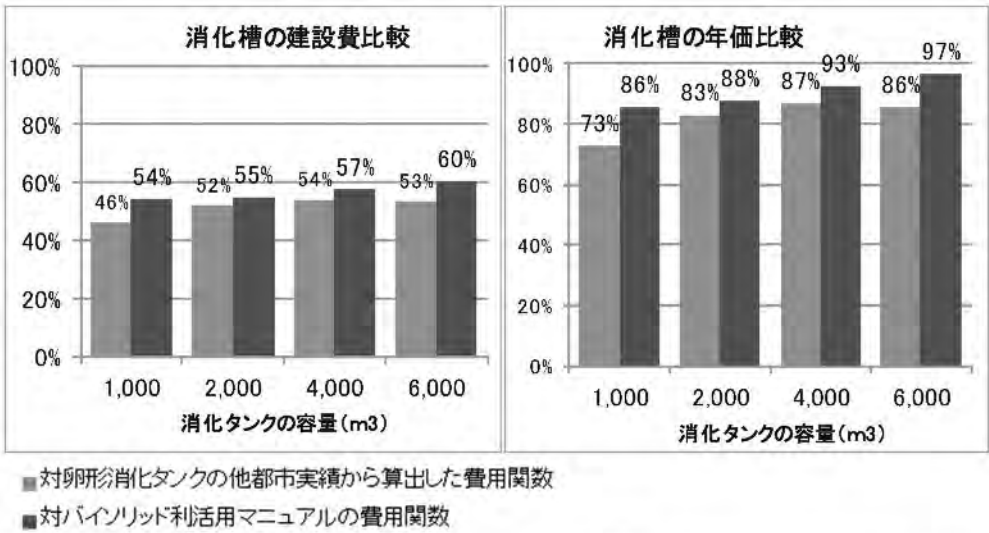
本研究は、岐阜市の依頼による研究である。岐阜市は、灰からリン酸カルシウムを生産する技術を実用化しているが、そのプロセスの中に熱を必要とする工程があり、そこに燃焼排熱を供給することと、温室効果ガス排出抑制ならびに高騰している燃料の削減を目的に〔低含水率脱水機〕、〔搬送・計測装置〕および〔高温燃焼炉〕からなるプロセス構築を目指した実験、研究を行っている。図－9に一連の実験の様子を示す。

(2) 鋼板製消化タンク

嫌気性消化法の普及促進を目指して、建設工期と建



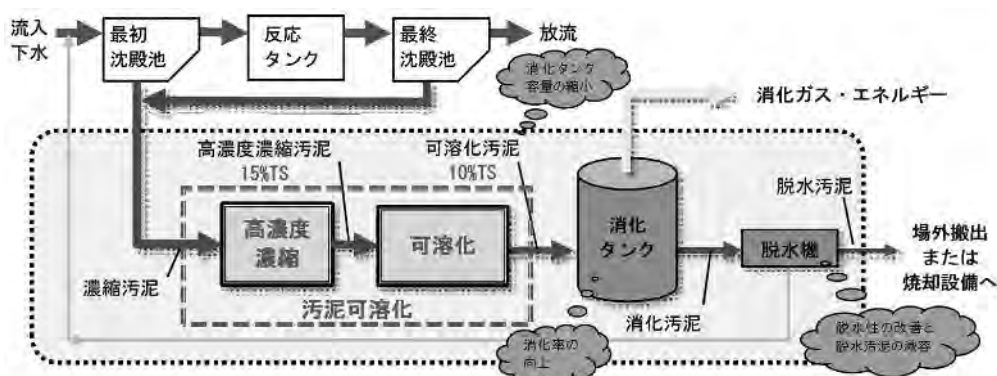
図－9 低含水率脱水、およびその搬送・計測実験、燃焼実験の様子



図－10 費用分析結果図と鋼板製消化タンクの施行経過写真



図-11 回転ドラム濃縮機の概要



【可溶化装置】

投入汚泥濃度	反応時間	運転方式	反応温度	圧力	加温方法
15%	30分	バッチ式 (リアクターへの供給～吐出:90分)※	165℃	0.6MPa(G)	蒸気吹き込み

図-12 レセルシステムのフロー

設コストを削減することを主目的に銅板製の消化タンクの開発実験を行い、成果を技術マニュアルにまとめた¹⁾。費用分析結果と開発実験の様子を図-10に示す。

(3) 回転ドラム濃縮機

汚泥の濃縮効率の向上を目的としたウェッジワイヤーで構成されるドラムスクリーン方式の濃縮装置の実証研究を行い技術マニュアルにまとめた²⁾。装置の概要を図-11に示す。

(4) 活性汚泥法等の省エネルギー化技術

我が国のエネルギー需給は年を追うごとに逼迫感を増してきている。このような中、大量の電力を消費している下水道においても有効な対策が求められる。これまで、汚泥処理においては下水汚泥をバイオマス資源として生かすべく新たな技術の開発、導入に進展が見られてきた。しかし、水処理においてはエネルギー消費が大きいにも拘わらず、これまで十分にまとめら

れた技術資料が得られていない。全国に整備されてきた下水処理場の水処理施設を対象に、その省エネルギー化を図る有効な手法、技術について3つのワーキングを設けて検討、議論を深め、得られる成果を技術資料にとりまとめる。

ワーキングA【省エネ処理法によるエネルギー削減】
参加企業が提案する処理法を含め、省エネ処理法の検討・整理する。

ワーキングB【省エネ機器によるエネルギー削減】
参加企業が提案する省エネ機器(省エネ攪拌機、散気装置、ブロワー)および従来の省エネ機器を整理し、それらを組み合わせることでの省エネ効果を分析する。

ワーキングC【運転管理手法によるエネルギー削減】
運転管理の工夫を含め、測定水質項目と制御による省エネ効果や、同時硝化・脱窒による省エネ効果等について検討・整理する。



図-13 バイナリー発電のシステム概要と実証設備

【参考図書】

- 1) 「鋼板製消化タンク技術マニュアル」, 2013年 3 月, 財団法人 下水道新技術推進機構
- 2) 「回転ドラム型濃縮機技術マニュアル」, 2013年 3 月, 財団法人 下水道新技術推進機構

3.2 エネルギー化技術

(1) レセルシステム

エネルギー回収率と汚泥減量化率の向上につながる汚泥可溶化技術を組み合わせた技術について、自治体が導入検討する際に必要となる事項を整理し、費用効果やエネルギー削減効果を 9 か所の実処理場への導入を想定したケーススタディーを行い、その適用性、効果等を技術マニュアルにまとめた³⁾。レセルシステムのフローを図-12に示す。

(2) バイナリー発電

下水汚泥の排熱利用は、汚泥の加温・乾燥・温水熱供給に一部利用されているものの、焼却炉からのエネルギー回収は行われていない。このため、下水汚泥焼却施設における未利用の低位排熱を利用して、排熱発電の導入効果を実証試験による検証を進めている。図-13にシステムの概要と実証設備を示す。

【参考図書】

- 3) 「エネルギー回収・汚泥減量化技術（レセルシステム）の導入マニュアル」, 2013年 3 月, 財団法人 下水道新技術推進機構

3.3 資源化技術

以下に紹介する技術は、当機構の新技术審査証明事業による成果である。

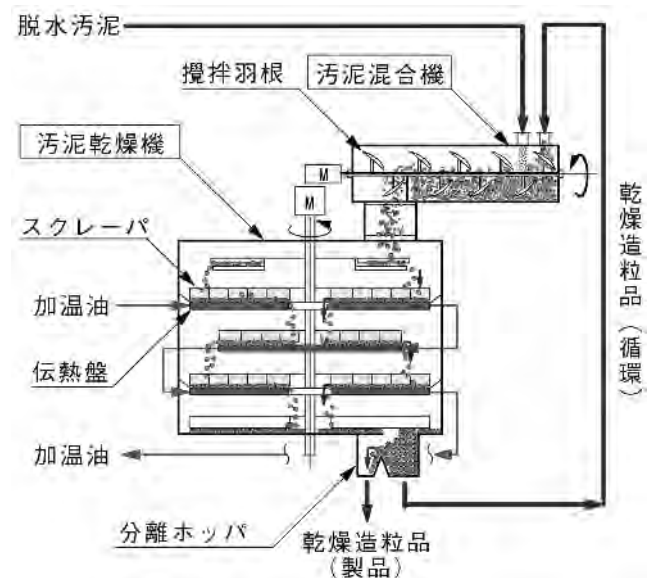


図-14 乾燥技術の概要

(1) 乾燥技術⁴⁾

本乾燥技術は、熱媒体として加温油を使用した間接加熱型の乾燥方式であり、脱水汚泥を含水率10%以下まで乾燥する機能と、直径1.0～5.6mm程度の粒状に造粒する機能を併せ持つ。装置は主に汚泥混合機と汚泥乾燥機から構成され、汚泥混合機では汚泥乾燥機から循環供給される乾燥造粒品に脱水汚泥がコーティングされた粒状となり、乾燥機では、内部に加温油が流れている中空円盤状の伝熱盤に沿って乾燥される。本技術の概要を図-14に示す。

(2) ガス精製技術⁵⁾

ガス精製装置は、0.9MPa程度の中圧下で水と消化ガスを接触させることによって消化ガス中の二酸化炭素や硫化水素を水に吸収させて消化ガスに含まれるメタン純度を97%以上とする都市ガス相当の高品質ガス

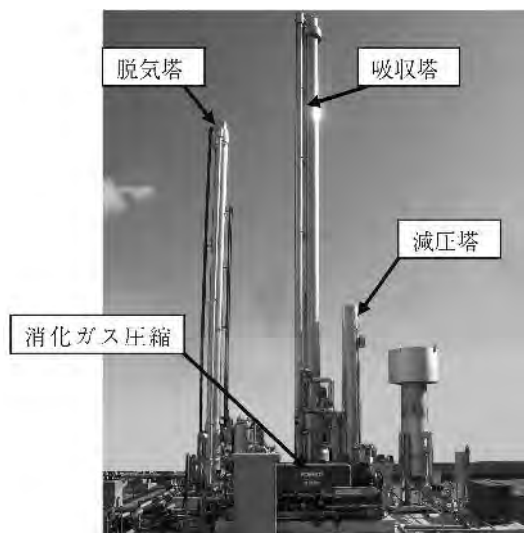


図-15 ガス精製装置の外観

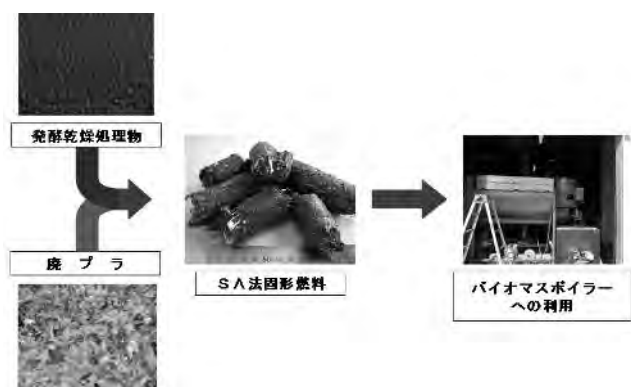


図-16 固形燃料の製造と利用のイメージ

に精製するものである。処理方式は、消化ガスと接触させる水を減圧塔から直接排水する一過式と、水を循環させて利用する循環式があり、処理水が多量に使用できる場合は一過式を、水の使用量が限られ消化ガスとの接触に必要な水量が確保できない場合は循環式を選択することができる。

装置の外観を図-15に示す。

(3) 固形燃料化技術⁶⁾

固形燃料化技術は、下水処理場から発生する消化脱水汚泥を45日間発酵乾燥処理した下水汚泥発酵乾燥処理物（以下、「発酵乾燥処理物」という）と、廃プラスチック（以下、「廃プラ」という）を、重量比9：1の割合で混合し、加熱・成形することで固形燃料を製造するものである。

廃プラは固化材となるだけでなく、高い発熱量を保持していることで、従来技術による消化脱水汚泥由来の固形燃料と比較して同等の品質の固形燃料となっている。本技術の製造と利用のイメージを図-16に示す。

【参考図書】

- 4) 建設技術審査証明（下水道技術）報告書、「間接加熱式汚泥乾燥造粒装置Hitzパールシステム」, 2013年3月, 財団法人 下水道新技術推進機構
- 5) 建設技術審査証明（下水道技術）報告書、「バイオ天然ガス化装置」, 2013年3月, 財団法人 下水道新技術推進機構
- 6) 建設技術審査証明（下水道技術）報告書、「下水汚泥発酵乾燥処理物と廃プラスチックを混合した固形燃料製造技術SA法固形燃料製造技術」, 2013年3月, 財団法人 下水道新技術推進機構

4. むすび

一昨年の震災は我が国のエネルギー事情の脆弱さを再認識させた。資源に乏しい我が国は省資源、省エネルギーが従前からの大きな命題となっており、我々は更に将来に向けた取り組みの強化を図っていく必要がある。本文でも触れたように下水道資源・資本は地域社会にとってこの命題に沿える大きな可能性をもっている。当機構はこれからも関係機関、各位と協同してこれに精力的に取り組んでいく所存です。ご支援とご協力をお願いします。

特集：第26回下水汚泥の有効利用に関するセミナー特集（黒部市）

研究紹介

平成24年度下水汚泥由来肥料の窒素肥効試験について

日本土壌協会

参与 古 畑 哲

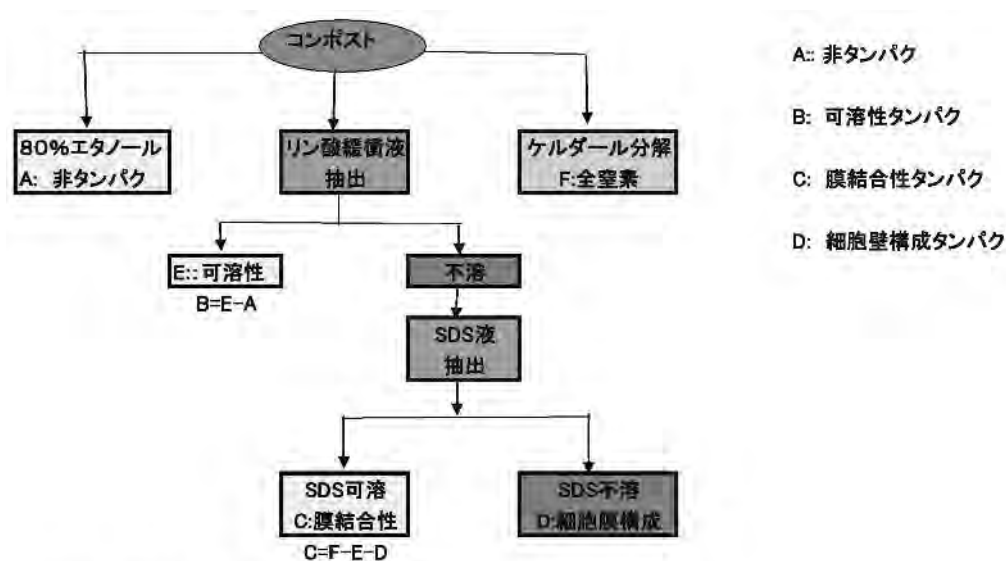
キーワード：窒素画分、C/N比、窒素吸収パターン

これまでの経緯

従来より日本土壌協会と日本下水道協会では下水汚泥緑農地利用に関する調査活動として下水汚泥由来肥料の圃場試験を継続実施している。肥料成分のなかで窒素は作物の収量に最も大きく影響を及ぼす成分であるが、作物の種類によって、それぞれの窒素吸収特性があり、その特性に応じて肥料からの窒素供給が行われている。下水汚泥由来肥料などの有機質肥料は主原料や副資材の種類、混合割合、製造方法などによって窒素含有率が左右される。そこで我々は各種の有機質肥料を供試して、窒素施用量を同一量として作物の栽培試験を行ったが、作物収量が大きく異なる場合が多く、有機質肥料の肥効にも大きな隔たりのあることが推定

された。

有機質肥料の窒素の肥効を推定するために、「植物体の窒素化合物の分画法」を用いることとした。この方法は図1に示すように、エタノール、リン酸緩衝液、SDS溶液（ラウリル硫酸ナトリウム）を抽出液として、タンパク質様物質について溶解度の相違に基づき4画分に分ける方法である。これにより有機質肥料の窒素



（植物栄養実験法、p. 204～217、博友社に準拠）

図1 植物体窒素化合物の分画法

表1 作物別栽培概要

作物	タマネギ	スイートコーン	ダイコン	ゴボウ	ニンジン	コマツナ
試験地	前原	富塚	富塚	前原	前原	富塚
作付期間	2011/10/31 ～6/11	4/25～7/23	5/1～6/25	4/9～10/16	8/20～12/1	①～⑤ 約1ヶ月間 ⑥ 10/17～12/7
作物品種	キーパー	ピーターコーン	献夏青首	みとよ白肌	ペーターリッチ	きよすみ
1区画大きさ	0.8m×2m 3連	3.2m×3m 反復なし	2.1m×2m 3連	2.5m×2m 2連	0.4×2m 3連	0.71m×0.71m 反復なし
栽植密度 条幅 株間	25cm 15cm	80cm 30cm	70cm 25cm	80cm 10cm	20cm 10cm	190粒 /0.5m ²
栽培経過 ・元肥施肥 施肥量 施肥方法	10月19日 12.5-25-12.5 追肥2.5-0-2.5	4月25日 17-17-17 作条施用	5月1日 15-15-15 畝内作条	4月9日 20-20-20 畝内作条	有機8/3 化肥8/17 20-20-20 全面	5月14日 20-20-20 全面

の肥効を速効性、緩効性、遅効性ないし難分解性とみなすことが可能である。フダンソウ、ホウレンソウ、ハクサイなど生育期間の短い葉菜類では、収量と有機質肥料の速効性窒素との間には正の相関が認められた。

平成24年度の試験

平成24年度は生育期間や養分吸収パターンの異なる6作物：タマネギ、スイートコーン、ダイコン、ゴボウ、ニンジン、コマツナを供試し、窒素施用量のほぼ全量を有機質肥料から充当して、有機質肥料の施用効果、野菜類の収量・品質と有機質肥料の窒素形態との関係などを検討した。

I. 試験方法

1. 栽培概要：供試6作物を用いて圃場試験を行った。それらの栽培概要を表1に示す。このほかに対照区として硫安・過石・硫加の単肥区も設けている。

2. 試験地・土壌：試験地は千葉県白井市の富塚及び前原の2地点、日本土壌協会の借用圃場で。両地点の土壌とも下総台地上の、透水性と通気性がやや良好な、中粒質の淡色クロボク土である。

作土の化学性は、富塚では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程度であり、交換性Caが高く、塩基飽和度が94%と高い。リン酸吸収係数は2060と高く、可給態リン酸が8.4と野菜畑としては少なめである。前原ではpHが5.6と微酸性であり、腐植が4.34%と少なく、陽イオン交換容量が27.6で、交換性塩基含量及び塩基飽和度が低い。リン酸吸収係数は2620と高い。可給態リン酸は10で富塚の作土と同様に野菜畑としては少なめである。

3. 供試有機質肥料：有機質肥料の種類、それらの原材料、製法などの概要を表2に、作物別施用有機質

肥料を表3に示す。作物別に8～9種類の有機質肥料を用いた。三要素含有率・水分率・C/N比を表4に、窒素画分を図2に示す。有機質肥料の窒素形態を、植物の窒素化合物の分画法に準拠して「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画分に区分した。A画分は水溶性で速効性、B画分は水には溶けないが速効性、C画分は緩効性、D画分は遅効性ないし難分解性とみなした。

II. 作物別施用試験

1. タマネギ

秋から冬の期間中では、タマネギの伸長がほとんどみられなかったが、立ち枯れることもなく、株が確保された。3月下旬に気温と降水量の増大に伴い、草丈が伸長し始め、以後順調に生育し、葉の先端が枯れ始めた6月5日に球の収量調査を行った。

区画内の全球を抜き取り、地上部と球の根を切り取って球1個重を計測した。表5に各試験区のタマネギ1個当りの3反復平均重を示した。タマネギの球の収量は全重及び1個当たりの平均重とも、単肥区が119.7gで最も高く、次いで甲府が高く、他方、静岡が最も低く、次いで芳賀が低かった。

収量と窒素画分との関係をみると、収量はA+B、B+C、A+B+Cなどいずれの画分と特に関係がなかった。しかし、有機質肥料中の全炭素量と全窒素量との比率（C/N比）との関係は、図3に示すように、高い逆相関が認められた。

タマネギは窒素吸収の大半を4月、5月の2ヶ月に行う。C/N比の低い有機質肥料では、微生物の働きにより、前年の施肥後4月までにCやDの画分の窒素がAやBの画分に変化した割合が大きいと推定された。単肥区で収量が高かったのは、基肥施用直後にビニールマルチで覆ったために肥料の流亡が抑制され、タマ

表2 供試有機質肥料

略 称		原料別にみた有機質肥料のグループ名	主要原材料(現物容積比率)
汚泥由来	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%)
	結 城	し尿汚泥コンポスト	し尿汚泥(67%)、食品汚泥(19%)、コーヒ粕(9%)、ゼオライト(5%)
	須 賀 川	融合コンポスト	下水汚泥(20%)、食品汚泥(50%)、食品残渣(20%)、たばこ葉粕(10%)
	珠 洲	乾燥汚泥肥料	下水汚泥(49%)、浄化槽・集排汚泥(28%)、し尿(21%)、生ごみ(2%)
	石和汚泥	し尿汚泥コンポスト作品	し尿・浄化槽汚泥(50%)、剪定枝(50%)
	境 川	乾燥汚泥肥料	石灰系脱水汚泥をペレット化
	刈 谷 1	境川のコンポスト作品	境川(50%)、もみがら(50%)
その他	刈 谷 7	〃	境川(66%)、おがくず(33%)
	芳 賀	生ごみ堆肥	生ごみ(25%)、牛ふん(25%)、おがくず・もみがら(50%)
	大 玉	生ごみ堆肥	生ごみ(28%)、牛ふん・おがくず・もみがら(72%)
	朝 日	生ごみ堆肥	野菜チップ(50%)、剪定枝・刈り草チップ(40%)、米糠・竹酢液(10%)
	石和生ごみ	生ごみ堆肥試作品	生ごみ(50%)、剪定枝(50%)
	創 和	牛ふん堆肥	牛ふん(40%)、おがくず(60%)
	静 岡	パーク堆肥	パーク(80%)、コーヒ粕(20%)、鶏ふん・尿素(少量)

表3 作物別施用の有機質肥料

作物	タマネギ	スイートコーン	ダイコン	ゴボウ	ニンジン	コマツナ
試験地	前原	富塚	富塚	前原	前原	富塚
有機質肥料	8種類	8種類	9種類	9種類	8種類	9種類
甲府④	○	○	○	○	○	○
大玉②			○	○		
結城	○	○				
須賀川	○	○	○	○	○	○
珠洲	○	○	○	○	○	○
芳賀①	○	○				
芳賀②			○	○	○	○
静岡①	○	○				
静岡②			○	○	○	○
創和	○	○		○	○	○
境川			○	○		○
刈谷1	○	○				
刈谷7				○		
石和生ごみ			○			○
石和汚泥					○	
朝日			○		○	○

表4 有機質肥料の三要素含有率とC/N比

有機質肥料	現物当たり%			水分率 %	C/N比
	窒素	リン酸	カリ		
甲府④	1.76	1.82	0.44	48.7	4.5
大玉②	1.20	1.40	1.10	47.4	8.9
結城	2.05	4.78	1.07	38.2	8.7
須賀川	3.01	2.92	2.69	44.0	9.7
珠洲	4.75	4.08	0.67	36.6	4.2
芳賀①	1.40	1.70	2.20	32.5	15.0
芳賀②	1.70	1.05	2.51	56.1	11.7
静岡①	0.64	0.33	0.20	65.3	20.0
静岡②	0.67	0.44	0.45	67.9	15.8
創和	0.87	1.02	1.90	51.6	18.1
境川	2.30	1.60	0.50	23.9	10.0
刈谷1	1.05	1.66	0.12	48.7	12.3
刈谷7	1.34	2.62	0.07	40.3	9.0
石和生ごみ	1.40	0.44	0.63	58.3	11.0
石和汚泥	1.10	0.81	0.21	67.6	10.0
朝日	1.40	0.60	1.10	52.7	16.5

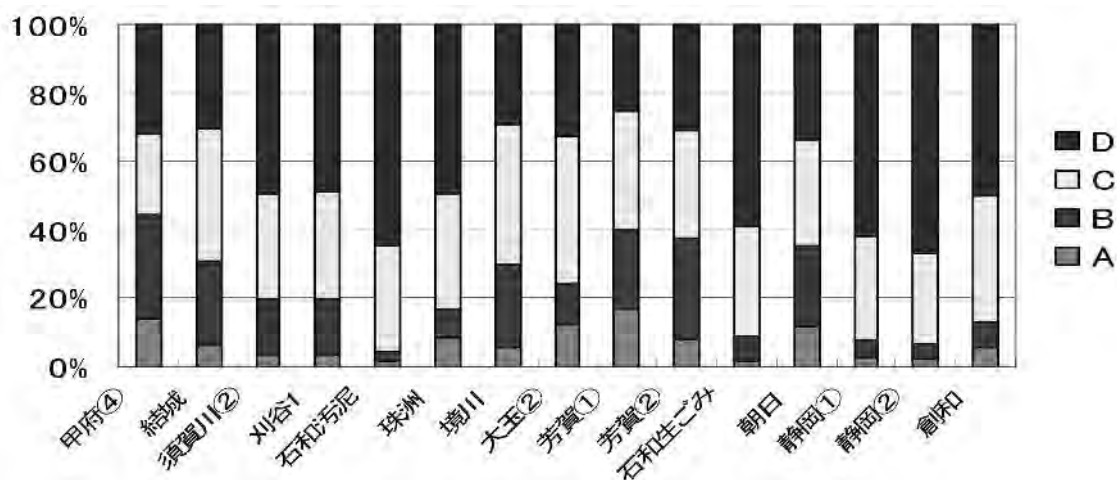


図2 有機質肥料の窒素画分

ネギに良く利用されたためと考えられる。

2. スイートコーン

播種後、適度の降雨があり、発芽は良く揃った。その後6月中旬までは順調に生育した。しかし、6月19～20日に台風5号の襲来があり、それにより、かなりの株が傾いたが、倒伏までには至らなかった。その後の天候によって収穫期にはほとんど立ち直っていた。

収量調査は区画内の全株を対象に雌穂部をもぎ取り、皮付きのまま成熟したものと未熟なものに分けてそれぞれの本数と重量、茎葉重を測定した。結果を表6に示す。全項目の数字は1区画9.6㎡当りで載せている。雌穂本数は成熟したものと未熟なものに分けている。皮付きの全雌穂重は最高が甲府の18.03kg、最低が単肥の11.53kgであり、どの有機質肥料区も単肥よりも収量が勝っていた。収量と有機質肥料の窒素画分との間には判然とした関係がみられなかった。一方、雌穂重とC/N比との間には、図4に示すように負の相関関係が認められた。先に生育期間の短期の作物では、収量はA画分ないしA+B画分と相関関係のあることを報告したが、スイートコーンやタマネギのように生育期間の長い作物では、A+B画分はおろか、B+C画分やA+B+C画分とも関係が判然とせず、C/N比との関係が明瞭であった。

3. ダイコン

栽培期間の降水量は5月が167.5mm、6月が176mmで、平年値よりそれぞれ48mm、82mmも多かった。特に、収穫前の1週間には114.5mmと集中して降ったが、ダイコンの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。

収量調査は区画内3畝の全株を採取し、根部と茎葉

表5 タマネギ球の収量調査結果

試験区	個数	区画: 0.8m × 2m		
		全重 g	平均重 g	糖度 %
甲府	38.7	4366	112.9	9.0
結城	40.0	4246	106.0	9.3
須賀川	38.3	3947	103.3	9.2
刈谷1	38.3	3495	91.1	9.4
珠洲	38.3	4204	109.4	9.5
芳賀	38.0	3136	82.1	9.0
静岡	37.0	2855	76.9	9.3
創和	40.7	3970	97.6	9.3
単肥	36.3	4385	119.7	9.4

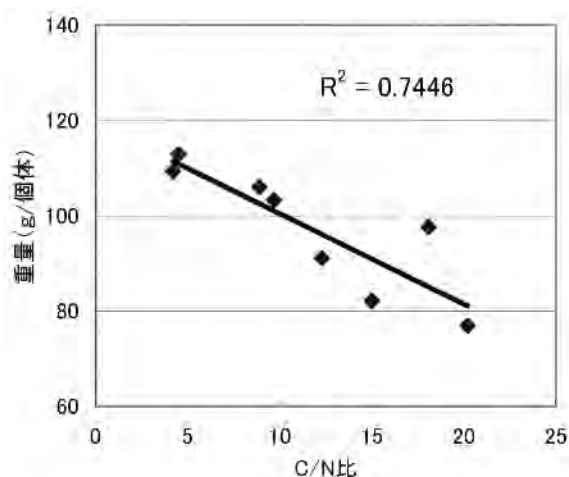


図3 タマネギ球平均重とC/N比

部を切り離し、個々の重量を秤量した。平均重量に近い根部を4個選び、硝酸イオンとブリックス糖度の測定に供した。結果を表7に示した。根重は甲府が最も高く、次いで単肥、大玉、朝日が続いた。他方、石和、須賀川が低かった。

表6 スイートコーン収量調査結果

試験区	雌穂 本数			雌穂重(皮付き)			kg/9.6m ² 茎葉重
	成熟	未熟	全	成熟	未熟	全	
甲府④	38	8	45	17.11	0.92	18.03	14.63
結城	35	7	42	12.88	1.05	13.93	11.69
須賀川	37	5	42	13.14	0.86	14.00	10.75
刈谷1	38	9	45	12.16	0.31	12.47	8.61
珠洲	37	13	50	14.87	1.60	16.47	12.56
芳賀①	35	8	43	12.22	1.29	13.51	13.71
静岡②	37	1	38	12.08	0.04	12.12	10.91
創和	37	2	39	11.59	0.20	11.79	10.88
単肥	39	7	46	11.28	0.25	11.53	9.01

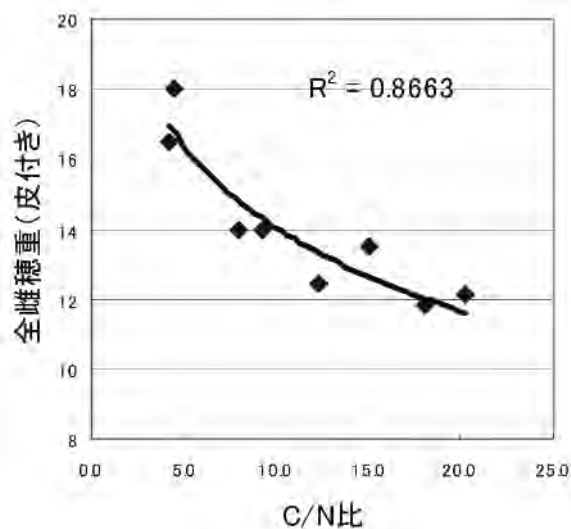
ダイコンの収量と有機質肥料の窒素画分の関係は、図5に示すように、根の収量はA画分あるいはA+B画分と相関のあることが認められた。施肥直後に大雨がなければ、肥料中の速効性窒素成分が作土に留まり、作付期間が2ヶ月間と短いダイコンでは、速効性のA画分やA+B画分の多い有機質肥料ほど収量が高いと考えられる。

4. ゴボウ

4月9日に80cm幅の畝3本を設けて、肥料を条施し覆土後、株間10cmで2粒ずつ播種した。発芽は各区とも齊一で、5月7日に間引きした。地上部の生育は区によって大きく異なった。中間期の生育調査は7月16日に、畝の1/4の長さ当たる50cm、1.25m²について、収穫期には10月16日に、残り3/4の3.75m²について、ゴボウの茎葉重、根重、T/R比、分岐根率などを調査した。図6に中間期と収穫期の根重、及び収穫期の直根重を示す。

商品価値のある直根の生産量(g/m²)の高かった区は、全体の根重が高い大玉、甲府、珠洲、ならびに創和、単肥であり、一方、低かった区は全体の収量が

図4 コーン収量とC/N比



低かった境川、須賀川、刈谷7のほかに、芳賀が含まれていた。欠株率の高い区は創和、刈谷7、単肥で20%以上あり、甲府と須賀川が12%で、それ以外の区は数%以下と低かった。

ゴボウ根重と有機質肥料の窒素画分との関係について

表7 ダイコンの収量調査結果

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②	675	1170	0.41	1100	4.2	57
須賀川	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	393	1060	0.37	1200	4.2	42
芳賀②	480	931	0.52	1000	4.4	60
静岡②	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

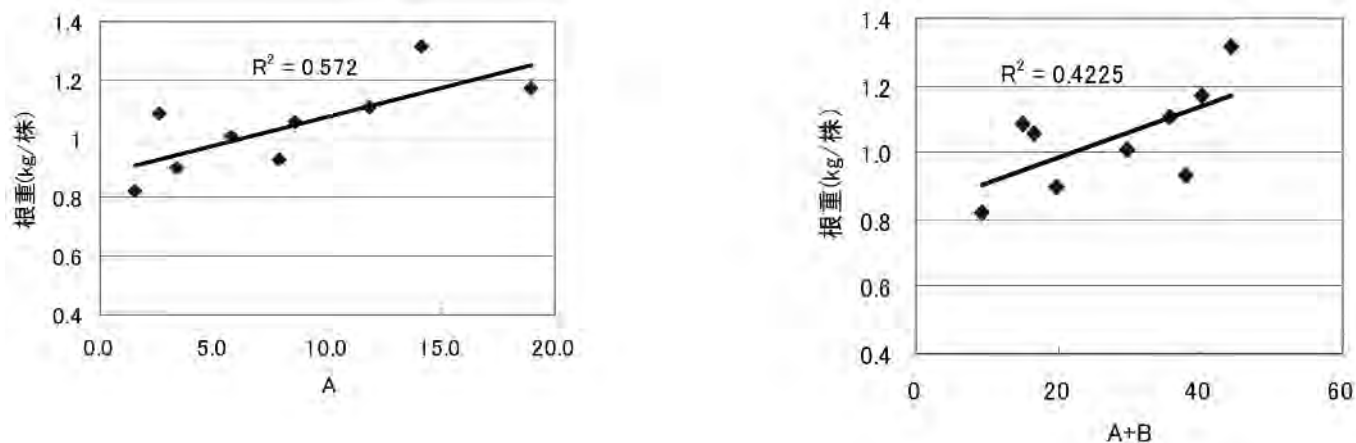


図5 ダイコン収量と窒素画分との関係

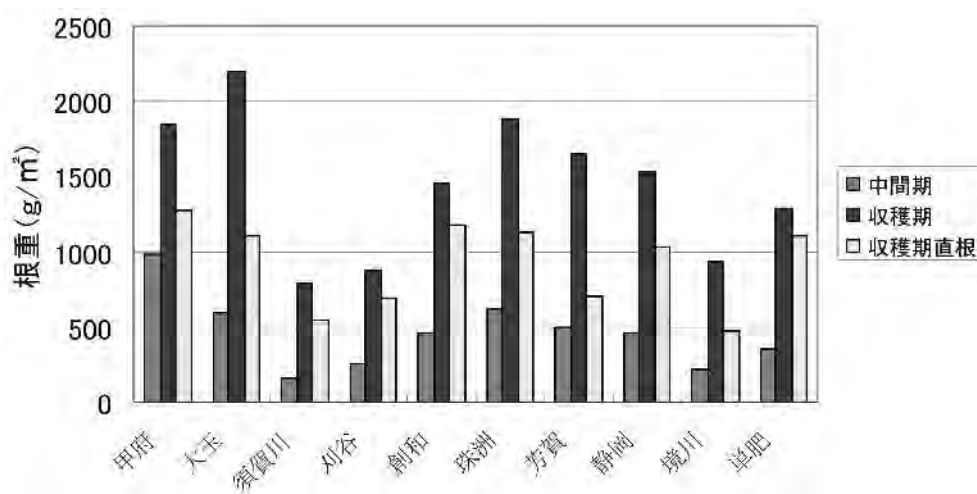


図6 中間期及び収穫期の根重、収穫期直根重

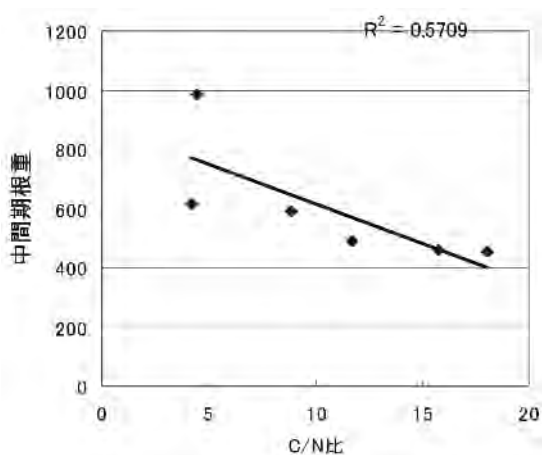


図7 中間期の根重とC/N比

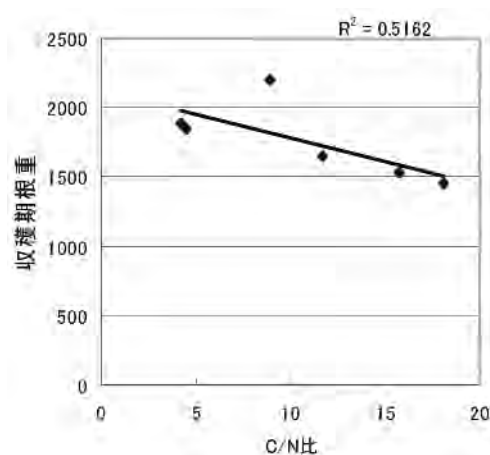


図8 収穫期の根重とC/N比

ては、肥料の窒素形態以外の要因で根重が低いと考えられた須賀川、境川、刈谷7の3区を除き、残り6つの有機質肥料区で検討した結果、中間期、収穫期ともに、根重と窒素画分との間には相関が認められなかつ

た。

一方、有機質肥料のC/N比と根重との間には、ゴボウ生育の中間期、収穫期ともに、負の相関関係がみられた(図7、図8)。

表 8 ニンジン収穫期の調査結果

	甲府	朝日	須賀川	石和汚泥	珠洲	芳賀	静岡	創和	単肥
茎葉重 平均	g/m ²	373	218	125	226	202	276	323	204
根重 平均	g/m ²	1206	848	459	1050	933	1103	1025	668
T/R	%	31	26	27	22	22	25	32	31
直根本数	本/m ²	12	17	13	14	10	13	13	12
直根重	g/m ²	889	755	455	981	784	945	823	418
直根重/根重	%	74	91	99	93	84	86	80	63
直根平均重	g/本	73.6	46.5	34.1	71.3	75.2	70.2	61.8	35.8
分岐根率	%	40	22	3	8	29	26	22	15
ブックス糖度	%	8.6	8.2	7.8	8.6	8.9	9.6	8.5	9.3
硝酸イオン	ppm	1000	1300	1300	740	1000	960	910	620

5. ニンジン

8月3日に、0.4m×2mの区画に有機質肥料を全面散布し攪拌混合、8月17日に化学肥料を全面施用、8月20日に各区画内に畝幅20cm×2、株間10cmで2粒ずつ播種し、畝を稲藁束で被覆した。7月中旬から8月20日の播種日までは降雨が寡少であり、8月3日に有機質肥料を施用して作土を攪拌したことが、乾燥を進行させ発芽に悪い影響を与えたと推定された。9月27日に発芽率調査と欠株箇所に再播種したが、その後は各区ともほぼ順調に揃って発芽していた。収穫期の調査は12月11日に行い、調査対象は最初に播種した株に限った。収穫時の調査結果を表7に示した。根重は甲府、創和などが高く、須賀川や単肥が低かった。商品価値のある直根に限ると、m²当たり重量は創和、石和汚泥、芳賀が高く、直根1本当たり平均重は珠洲、甲府、石和汚泥、芳賀が70g以上と高かった。

収量と有機質肥料の窒素画分との関係では、収量は区によって株立ちに差があったので、面積当たり収量ではなく、直根の平均重を用いた。窒素画分のA、B、A+B、B+C、およびC画分と直根平均重との間にはいずれも相関がみられなかった。一方、有機質肥料のC/N比と収量との間には、須賀川を除く7区で、図9のように負の相関が認められた。ニンジンの場合もゴ

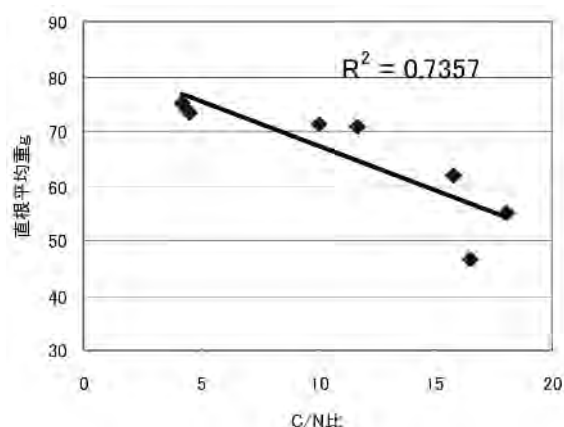


図9 直根平均重とC/N

ボウと同様にC/N比が収量に関係することが窺われた。須賀川は、堆肥のコマツナ種子発芽率が不良であり、窒素以外の要因が関与しているとみられた。

6. コマツナ

肥料は全面に散布し、レーキですきこんでから、コマツナ種子1ml(約190粒相当)も全面に散布し、薄く覆土した。収穫ははさみで地上部のみ切り取り、根部を残した。2作目以降では施肥を行わず残効をみた。収穫後の作土の表面を均してから、播種を行い、6回

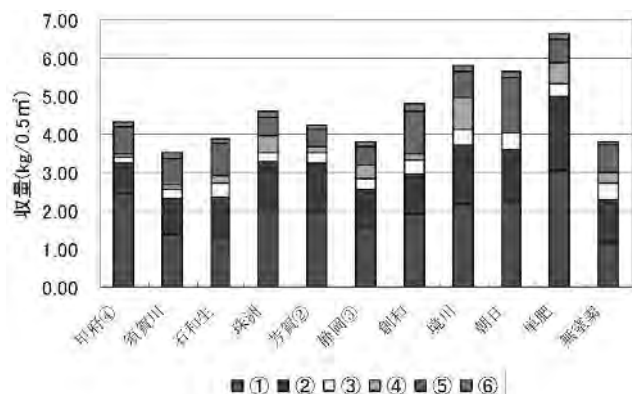


図10 コマツナの累積収量

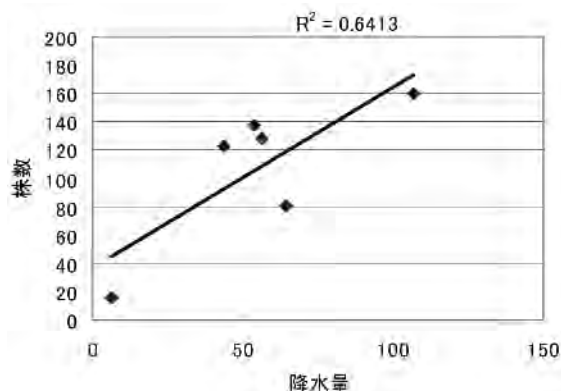


図11 播種後10日間降水量と株数

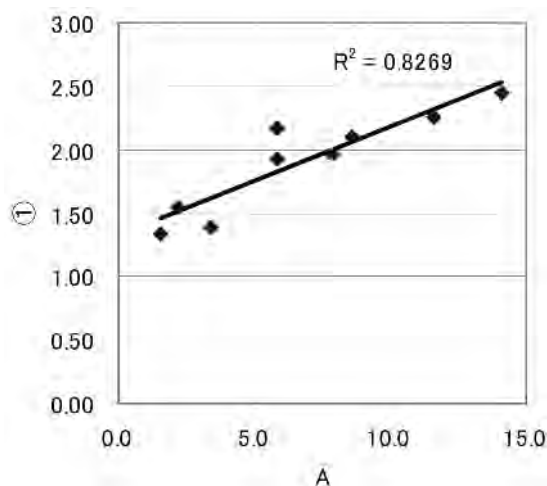


図12 窒素A画分と収量①②の関係

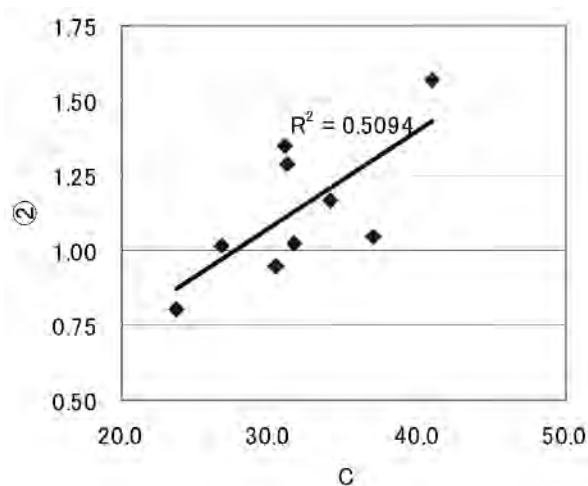


図13 窒素C画分と収量②の関係

連作を繰り返した。

株数は全般的に第2作が良好で、第4作が極めて不良であった。各作ごとの累積収量を図10に示す。各作の平均株数と播種後10日間の降水量との関係を図11に示す。降水量が株数に大きく影響したことが窺われる。

各作の平均収量は、①1.94kg、②1.21kg、③0.32kg、④0.29kg、⑤0.74kg、⑥0.14kgで、第1作の収量指数を100とすると、2作が60、3作以降が78である。第3作は平均株数が少なくはなかったが、7月下旬から8月上旬に干ばつに遭遇し収量が低かった。第4作は大半の期間が干ばつの気象下にあった。各試験区の収量は、第1作では単肥が最高で、次いで甲府が高く、第2作では単肥が依然として高く、境川と朝日が続き、一方、甲府が低下していた。全6作の累積収量は単肥、境川、朝日が際立って高かった。

有機質肥料の窒素画分とコマツナ各作の収量との関係について、A画分は図12に示すように、第1作の収量とは高い相関関係があったが、第2作の収量とは関係が見られなかった。B画分はA画分よりも低いですが、第1作の収量とは相関があり、第2作の収量とは関係が見られなかった。C画分は図13に示すように第2作の収量と相関が認められた。また、第3作から第6作までの合計収量とも相関があった。この結果、A画分とB画分は第1作の生育に関与するが、第2作及びそれ以降ではC画分が関与すると考えられた。

Ⅲ. 結び

1. 野菜可食部収量と窒素形態との関係

24年度に実施した栽培試験のほかに、これまで行った試験も含めて、野菜可食部の収量と窒素形態との相関関係が認められたケースを、野菜品目、生育期間に区分して表9に示す。

各種の有機質肥料の窒素画分について、コマツナ、フダンソウ、ホウレンソウ、春ダイコンの可食部収量はAあるいはA+B画分と正の相関がみられた。これらの作物は生育期間が1～3ヶ月と短く、この期間に窒素を急速に大量吸収する。コマツナの連作試験ではAやBの画分は2作目以降の収量とは関係なく、C画分と正の相関がみられたが、コマツナの第2作目以降にC画分が直接利用されたのではなく、微生物の働きによるAやB画分への形態変化を介して利用されたと推定される。生育期間の短い野菜に対しては速効性の窒素肥料が効果的であり、有機質肥料ではA画分の多いほど好適であろう。

タマネギ、スイートコーン、ゴボウ、ニンジンなどの可食部収量と窒素画分との関係は判然とせず、C/N比と負の相関関係がみられた。これらの作物は生育期間が3ヶ月以上とやや長いあるいは長い。その上、生育初期には窒素の吸収が極めて少ない。スイートコーン、ゴボウ、ニンジンの生育期間での窒素吸収パターンを、コマツナ、ハクサイ、ダイコンの場合と対比して図14に示す。スイートコーンなどでは、植え付けてから1.5～2ヶ月過ぎて、ようやく窒素吸収が起きている。つまり窒素吸収にタイムラグのある作物である。有機質肥料の速効性窒素は、露地では施用後1ヶ月以内で硝酸態窒素に変化し、作土に残存するものが少なく、作物には有効に利用されていないと推定された。そうであればC画分やD画分あるいは硝酸化成やアンモニア化成に関与した土壤微生物バイオマスの窒素を利用するとみられるが、これらの窒素形態を作物が直接吸収利用するのではなく、A画分やB画分まで土壤微生物が分解することによって始めて利用されるとみられる。その点でC/N比の低い有機質肥料ほど、微生物による分解が容易であり、分解した窒素が利用されやすかったと推定される。

表9 野菜可食部収量に関する有機質肥料の窒素形態

生育期間		1～2ヶ月	2～3ヶ月	3～4ヶ月	4～5ヶ月	5～6ヶ月	6ヶ月以上	窒素吸収のタイムラグ
野菜品目	葉菜類							
	コマツナ	A						
	ホウレンソウ	A+B						
	フダンソウ		A+B					
	ハクサイ			A+B+C				
	タマネギ						C/N比	6ヶ月
根菜類	ダイコン	A,A+B						
	ニンジン					C/N比		2ヶ月
	ゴボウ						C/N比	2ヶ月
果菜類	カボチャ				C			1ヶ月
	コーン			C/N比				1.5ヶ月

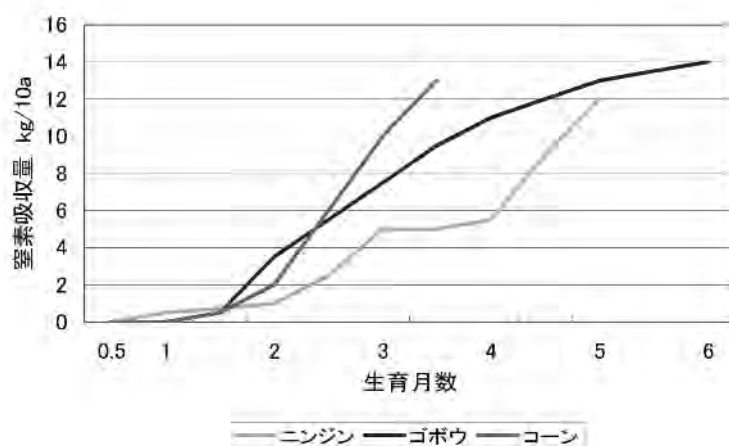
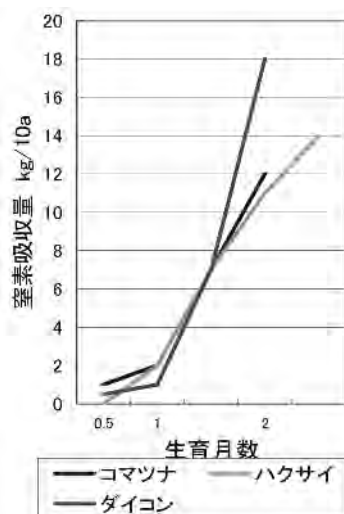


図14 野菜の窒素吸収パターン（野菜の施肥と栽培、農文協より引用）

表10 野菜可食部の収量指数（単肥区を100）

年次	H21					H22				H23			H24				
	フダン草	ハクサイ	コマツナ	ナガネギ	カボチャ	ホウレン草	キャベツ	ダイコン	タマネギ	ダイコン	ニンジン	ゴボウ	ニンジン	コマツナ①	汚泥由来	収量1位	収量2位
N施用量kg/10a	20	20	20	20	10	25	20	20	15	15	17	20	20	20			
資材からのN	10	10	20	30	10	12.5	10	10	12.5	15	17	20	20	20			
単肥の収量	210	2.05	6.25	100.3	8408	6.31	2.12	865	119.7	1222	0.86	164	35.8	6.12			
	g/株	kg/株	g/m ²	g/株	t/4m ²	g/m ²	kg/株	g/株	g/個	g/個	g/m ²	g/本	g/本	kg/m ²			
甲府	94	103	66	128	91	88	91	113	94	108	151	119	206	80			
結城						81	71	104	89		108						
須賀川			79	106	135	72	84	101	86	73	110	66	95	45			
雄武			60	103	127		76	114									
刈谷1									76			69					
珠洲	65	103	52	104	177	86	82	116	91	87	133	109	210	69			
芳賀						82	80	107	69	76	108	82	196	64			
大玉	44	97								96		127					
静岡	38	90	37	86	124	89	83	112	64	89	105	100	173	51			
創和						74	66	101	82		105	127	159	63			
山形	78	90															
内灘	75	100															
二セコ	53	89															

2. 汚泥由来肥料の肥効

供試した有機質肥料の種類と野菜の収量との関係を見ると、下水汚泥コンポストの甲府区はコーン、ダイコンで1位、タマネギ、ニンジン、コマツナ（1作目）などで2位と、多くの作物で高い収量を上げていた。メタン醗酵残渣の汚泥乾燥肥料である珠洲区もニンジン、秋ダイコン、カボチャで1位、コーン、ハクサイで2位と高かった。甲府コンポストはA画分が14.1%、A+B画分が44.3%と供試有機質肥料の中で最高であり、C/N比が4.5と低く、珠洲汚泥肥料はA+B画分が16.6%とさほど高くないが、C/N比が4.2と供試有機質肥料の中で最も低かった。このような窒素形態が作物に対して肥効が発揮されたと推定される。脱水下水汚泥そのものはもともとA+B画分が多く、C/N比が低い特徴を持つと考えられる。その特徴をコンポスト化

の過程でいかに維持できるかが問題であって、副資材の種類やその混合割合、製造方法などによって変質するとみられる。特に剪定枝を副資材とした場合には、剪定枝の窒素形態組成が強く影響している。化学肥料単肥区はタマネギとコマツナ（1作目）は1位、ダイコンで2位であったが、ゴボウ、ニンジン、コーンでは下位であり、野菜の種類によって極端に異なった。単肥区は、作付期間の短い野菜、あるいはタマネギのようにマルチで被覆され、肥料窒素の流亡しない条件では有利だが、肥料が下層に流亡する場合には不利で追肥が必要になるとみられた。

今後、生育期間が中長期でタイムラグの短い果菜類などの作物に主体をおいた栽培試験を行うことにしたい。

研究紹介

微生物を用いた消化汚泥の資源化

山口大学 農学部 生物機能科学科
准教授 藤 井 克 彦

キーワード：消化汚泥、微生物、糸状菌、キシラナーゼ、キチナーゼ、ケラチナーゼ

1. はじめに

活性汚泥法は我国を含めた多くの地域で採用されている下水処理技術であるが、処理にともなって大量の下水汚泥（余剰汚泥）が発生するという特徴がある⁽¹⁾。余剰汚泥の主成分は下水中の有機性汚濁物質を栄養として増殖した活性汚泥微生物の菌体バイオマスであり、これを減容する手段として嫌気消化法を導入する処理場が増えつつある。しかし嫌気消化法では燃料利用できるバイオガスが得られる一方で、汚泥の減容率は30～60%程度であり^(2,4)、反応後には生分解性の低い残渣（消化汚泥）が大量に発生する。消化汚泥および余剰汚泥は産業廃棄物の主要なものとなっており、例えば日本では年間1.7億トン、米国では年間6.2億トンの汚泥が排出されている^(5,6)。一部の汚泥はコンポストやセメントの副原料として利用されているが、昨今の農業の衰退およびセメントの需要減少を考慮すると⁽⁷⁾、全国の処理場で持続的に排出される汚泥の資源化法としては限界があると思われる。産廃処分場の受入れ能力が有限であることから、汚泥の新規な有効利用法を模索する必要がある。

他方、消化汚泥を分解する微生物についてはこれまで報告例はなかったが、消化汚泥を添加すること

で土壌微生物の呼吸が若干促進されることが過去に報告されていることから⁽⁸⁾、分解菌が土壌中に存在することが期待された。このような微生物を探索することは、これまで十分に研究されてこなかった汚泥分解に関わる微生物生態学についてさらなる知見が得られるだけでなく、汚泥の資源化法を模索する上でも興味深いと考えられる。そこで本研究では消化汚泥分解菌の分離を試みるとともに、得られた菌株の性状解析を行った。

2. 実験結果

2-1. 土壌微生物の集積培養

微生物探索源として農地や森林から9種類の土壌試料を採集した。採集試料を滅菌水に懸濁し、この一部を消化汚泥を含む水あるいは無機塩培養液に添加し、30℃で振とう培養を行った。培養液では汚泥が唯一の炭素源となることから、これを分解・摂取できる種が集積培養の過程で優占的に生育すると期待した。しかし実際に培養してみると、2週間経過しても微生物の増殖は見られなかった。

実験に用いている汚泥の成分を分析したところ、アルミニウムと鉄の含有量が多いことがわかった。これらは汚泥脱水時に加える凝集剤に由来すると考えられるが、高濃度のアルミニウムは細胞毒性を発揮するこ



図1 酸処理汚泥の調製法

表1 酸処理前後での汚泥成分の含量変化

試料	含量(mg/g-乾燥汚泥)							有機炭素 (%)	窒素 (%)
	Al	Cu	Cd	Fe	Mn	Ni	Zn		
消化汚泥 (未処理)	8.93	0.290	0.004	19.7	0.243	0.003	0.526	41	6.8
酸処理汚泥	1.15	0.291	0.004	1.69	0.014	0.002	0.085	34	16
除去率 (%)	87	0	0	91	94	19	84		

表2 酸処理汚泥を基質とした集積培養の結果

微生物源	培養液	集積培養	継代培養			分離株
			1回目	2回目	3回目	
シダ群生地土壌	YA	+	+	—	—	FernWA
	WA	+	+	+	+	
スギ林①土壌	YA	—	—	—	—	CedarWA1, WA2
	WA	+	+	+	+	
スギ林②土壌	YA	—	—	—	—	CedarWA3, WA4
	WA	+	+	+	+	
竹林①土壌	YA	—	—	—	—	
	WA	—	—	—	—	
竹林②土壌	YA	+	—	—	—	
	WA	+	—	—	—	
休耕田土壌	YA	—	—	—	—	
	WA	—	—	—	—	
大豆畑土壌	YA	—	—	—	—	
	WA	+	—	—	—	
鉱山跡土壌	YA	+	+	+	+	OreYA
	WA	+	+	+	+	OreWA
坑道跡土壌	YA	+	+	+	+	GalleryYA
	WA	+	—	—	—	

YA, 汚泥と無機塩類からなる培養液

WA, 汚泥と水からなる培養液

+, 微生物増殖あり / —, 微生物増殖なし

とが知られており⁹⁾、これが微生物の生育を阻害している可能性が考えられた。そこで金属類を抽出除去した汚泥（本稿では酸処理汚泥と呼ぶ）を調製した。酸処理汚泥の調製法を図1に示す。酸処理後の汚泥に含まれる金属を分析したところ、9割近くのアリミニウムと鉄が除去されていた（表1）。他方、有機炭素および窒素はまだ十分残っていた（表1）ことから、微

生物の栄養基質として利用できると判断し、これを用いて再び集積培養を試みた。再度の集積培養の結果、多くのフラスコで微生物の増殖が認められた。微生物の増殖が見られた菌液を新鮮培養液に加えて継代培養を3回繰り返した後も、いくつかのフラスコでは安定して微生物の増殖が確認できた（表2）。

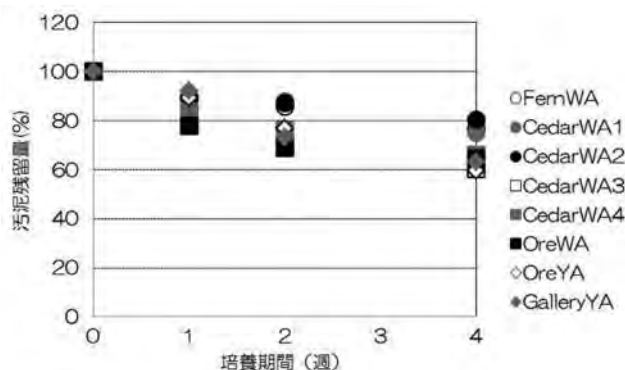


図2 分解菌による消化汚泥（酸処理汚泥）分解の推移

2-2. 汚泥分解菌の分離

微生物の増殖が見られた菌液の継代培養を3回繰り返した後、菌液の一部を寒天培地に接種し、出現したコロニーを分離した。実験の結果、8株の分離株（FernWA、CedarWA1、CedarWA2、CedarWA3、CedarWA4、OreWA、OreYAおよびGalleryYA株）を得ることができた。顕微鏡観察から分離株は糸状菌様の形態的特徴を持っていたが、消化汚泥と水からなる培養液でも増殖したことから、生育に必要な栄養成分を全て汚泥分解で得ていることがわかった。1週間の培養で10%-30%の汚泥が分解されており、培養期間に伴って汚泥分解がさらに進んでいくことがわかった（図2）。また、分離株をあらためて消化汚泥（酸処理をしていない汚泥）で培養したところ、生育は確認されたものの、酸処理汚泥で培養した場合と比べて遅い生育であった。今日では様々な凝集剤が開発されており、有機高分子系凝集剤はアルミニウム等の金属を含んでいない。従って、これを用いて脱水した汚泥を基質とすれば汚泥分解菌の生育が抑制されずに済むことも期待でき、現在培養への影響を検討しているところである。

2-3. 汚泥分解にかかわる酵素

前述のとおり消化汚泥の主成分は活性汚泥微生物の菌体バイオマスであり、細分化された毛髪断片も目視で確認できる。そこで、微生物細胞壁の成分に対する分解酵素（セルラーゼ、キシラナーゼ、キチナーゼ）および毛髪に対する分解酵素（ケラチナーゼ）の活性を検討した。既報文献に倣い、セルラーゼとキシラナーゼ活性は分解で生じる還元糖をDNS法により定量することで求め、キチナーゼとケラチナーゼ活性はAzure chitinおよびAzure keratinの分解で遊離するAzure色素の定量により測定した⁽¹⁰⁻¹²⁾。分解菌の培養液上清にこれらの酵素活性が検出されるか試験したところ、菌株ごとに優劣はあるがいずれの株でもキシラ

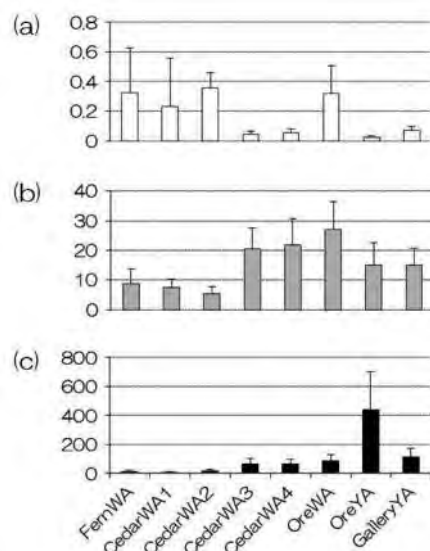


図3 分解菌のキシラナーゼ (a)、キチナーゼ (b)、ケラチナーゼ (c) 活性

ナーゼ、キチナーゼおよびケラチナーゼ活性が認められ、微生物細胞壁や毛髪断片を栄養基質として分解し、生育していることが示された（図3）。他方、セルラーゼ活性は認められず、セルロースが細胞壁成分のひとつであることを考慮すると予想外の結果であった。最近の研究報告から嫌気消化槽に*Clostridium*属を中心としたセルラーゼ分解細菌が多数棲息していることが明らかとなっている⁽¹³⁻¹⁶⁾。従って、汚泥のセルロースは嫌気消化槽で低分子糖まで分解されてバイオガス生産の基質となり、消化汚泥にはセルロースはあまり残っていない可能性がある。セルロース分解能を備えた汚泥分解菌を分離する場合は嫌気消化前の余剰汚泥を基質とした方が良いかもしれない。

2-4. 分解菌の系統解析

最近ではDNA配列の相同性に基づいて微生物の属種決定をすることが分類法の主流となっており、糸状菌を含む真核微生物ではリボソームRNA遺伝子のinternal transcribed spacers領域（ITS領域）のDNA配列を比較して分類するほうがより正確であると報告されている⁽¹⁷⁾。そこでこれを基に分解菌の系統解析を行ったところ、分解菌は6つの属（*Umbelopsis*、*Penicillium*、*Cunninghamella*、*Neosartorya*、*Fusarium*、および*Chaetomium*属）に分類されることがわかった（図4）。いずれも土壌微生物として以前より知られている属であるが、消化汚泥分解能を持つことはこれまで報告されていなかった。また、既知種とのITS領域DNAの相同性が98%以下の場合には未報告種の可能性が出てくることから⁽¹⁷⁾、FernWAとGalleryYAは各々*Umbelopsis*属および*Chaetomium*属の新奇種である

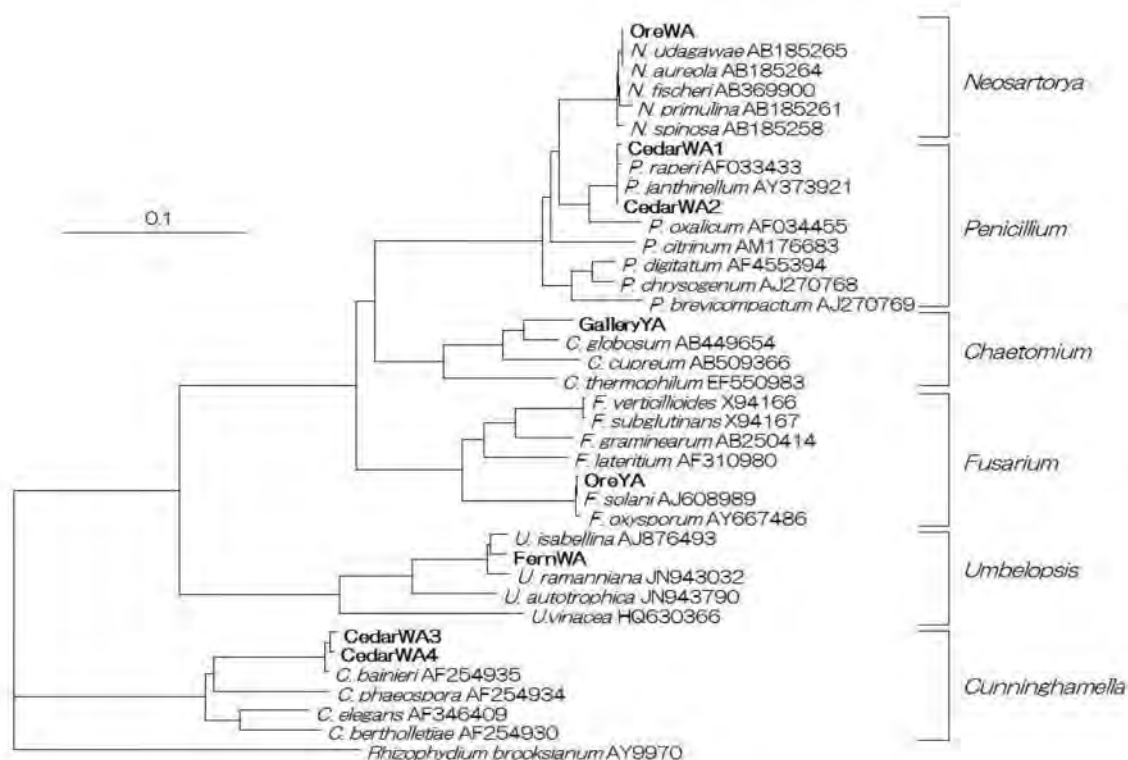


図4 ITS領域DNA配列に基づく分離株の系統樹

ことが示唆された。

3. 汚泥分解に関与する他種微生物

バイオ燃料の生産に応用できるとして注目されているリグノセルロース分解微生物と比較すると、『どのような属種の微生物が下水汚泥を分解できるのか』という問いに答える研究はこれまであまり関心を集めなかった。他方、本稿で紹介した分離株は消化汚泥分解能を持つ微生物としては最初の報告例であるが、余剰汚泥を部分分解できる微生物はいくつか知られている。古くから知られているものは嫌気消化槽でバイオガス生産に関わる嫌気細菌群であるが⁽¹⁸⁾、最近になって活性汚泥を分解できる好気細菌が報告された⁽¹⁹⁻²²⁾。しかしいずれの細菌を用いても汚泥減容率は最大でも50%程度にとどまり、反応後は生分解性の低い消化汚泥様の残渣が残る。また、これらの細菌は好熱性であるが、筆者の分離株の最適生育温度は30℃近辺であることから、両者は異なる生態学的ニッチを占める微生物であると考えられる。環境中に棲息する微生物のうち、これまで実験室で分離・培養できた種は1%にも満たないことが知られている⁽²³⁾。難生分解性とはいえ汚泥は生物由来であることから、酸処理で金属を除去した汚泥を基質として様々な環境試料から微

生物探索を行えば、報告例のない新たな汚泥分解菌が今後見つかることが期待できる。

4. おわりに

下水汚泥を資源ととらえた場合、下水処理場という名の工場から常時かつ大量に生産される特徴があり、これは“広く薄く”点在するリグノセルロースバイオマスとは対極の賦存特性である。他方、分離株が生産するキシラナーゼ、キチナーゼおよびケラチナーゼは農林水産、食品加工、化学工業を含む様々な産業分野でも需要が高まっている酵素である。従って、消化汚泥を出発原料とした物質生産プロセスが普及すれば、多様な分野で新たな産業創出が期待でき、汚泥リサイクルにも大きく貢献することが可能である。一般に、生物学的処理法は化学工学的処理法よりもランニングコストが低いという点では有利であるが、反応速度が遅い傾向にあり、反応の効率改善が実用化を目指す上で必須である。筆者も培養条件の改善を含めて分離株の汚泥分解能の向上を図っているが、実用可能な汚泥資源化プロセスを開発するためには、化学工学をはじめとする工学系研究者・技術者との連携が不可欠であると認識しており、彼らとの連携可能性を積極的に模索しているところである。

参考文献

1. Liu Y and Tay JH. *Biotechnol Adv* 19, 97-107 (2001)
2. Appels L, Baeyens J, Degreè J and Dewil R. *Prog Energ Combust Sci* 34, 755-781 (2008)
3. Radaideh JA, Ammary BY and Al-Zboon KK. *African J Biotechnol* 9, 4578-4583 (2010)
4. Rapport JL, Zhang R, Williams RB and Jenkins BM. *Int J Environ Waste Manag* 9, 100-122 (2012)
5. Dufreche S, Hernandez R, French T, Sparks D, Zappi M and Alley E. *J Am Oil Chem Soc* 84, 181-187 (2007)
6. 環境省. Annual report on environmental statistics. http://www.env.go.jp/en/statistics/contents/index_e.html (2012)
7. 社団法人セメント協会. セメント産業の概要 (セメントの需給)
<http://www.jcassoc.or.jp/cement/1jpn/jc5.html>
8. Ajwa HA and Tabatabai MA. *Biol Fertil Soils* 18, 175-182 (1994)
9. Exley K and Birchall JD. *J Theor Biol* 159, 83-98 (1992)
10. Ghose TK. Measurement of cellulase activities. *Pure Appl Chem* 59, 257-268 (1987)
11. Ramírez MG, Avelizapa LIR, Avelizapa NGR and Camarillo RC. *J Microbiol Methods* 56, 213-219 (2004)
12. Riffel A, Brandelli A, Bellato CM, Souza GH, Eberlin MN and Tavares FC. *J Biotechnol* 128, 693-703 (2007)
13. O'Sullivan C, Burrell PC, Clarke WP and Blackall LL. *Biotechnol Bioeng* 92, 871-878 (2005)
14. O'Sullivan C, Burrell PC, Clarke WP and Blackall LL. *J Appl Microbiol* 103, 1332-1343 (2007)
15. Shiratori H, Ikeno H, Ayame S, Kataoka N, Miya A, Hosono K, Beppu T and Ueda K. *Appl Environ Microbiol* 72, 3702-3709 (2006)
16. Shiratori H, Sasaya K, Ohiwa H, Ikeno H, Ayame S, Kataoka N, Miya A, Beppu T and Ueda K. *Int J Syst Evol Microbiol* 59, 1764-1770 (2009)
17. Schoch CL, Seifert KA, Huhndorf S, Robert V, Spouge JL, Levesque CA, Chen W and Fungal Barcoding Consortium. *Proc Natl Acad Sci USA* 109, 6241-6 (2012)
18. Adney WS, Rivard CJ, Shiang M, Himmel ME. *Appl Biochem Biotechnol* 30, 165-183 (1991)
19. Kim YK, Bae JH, Oh BK and Choi JW. *Bioresource Technol* 82, 157-164 (2002)
20. Li X, Ma H, Wang Q, Matsumoto S, Maeda T and Ogawa HI. *Bioresource Technol* 100, 2475-2481 (2009)
21. Liu S, Son F, Zhu N, Yuan H and Cheng J. *Bioresource Technol* 101, 9438-9444 (2010)
22. Liu S, Zhu N, Li LY and Yuan H. *Water Res* 4, 5959-5968 (2011)
23. Amann RI, Ludwig W and Schleifer KH. *Microbiol Rev* 59, 143-169 (1995)

研究紹介

下水汚泥焼却灰を活用した
産学官連携研究の概要

地方独立行政法人 岩手県工業技術センター

専門研究員 佐々木 昭 仁

特命部長兼上席専門研究員 菅 原 龍 江

専門研究員 阿 部 貴 志

ものづくり基盤技術第2部部長 池 浩 之

岩手県県土整備部 技師 佐 藤 佳 之

(元 岩手県工業技術センター 専門研究員)

キーワード：リン回収、廃酸・廃アルカリ、リン酸化学肥料、リン酸鉄、リチウムイオン二次電池、産学官連携研究

1. はじめに

岩手県（地域）における、下水汚泥焼却灰を活用した産学官連携（岩手県工業技術センター、岩手県環境保健研究センター、岩手県農業研究センター、岩手大学農学部、岩手大学工学部、および岩手県内外協力企業）研究を紹介する。

リン（P）は、幅広い分野（農業、工業、食品、および医療など）において必要不可欠な資源（資材）であり、国内ではリン鉱石が産出されないことから全量を輸入に頼っている。また、国際的なリン鉱石の需要は高く、鉱床の偏在や高品位鉱石の減少による戦略物資化が加速しており、リン資源の安定確保が年々厳しさを増している^{1), 2)}。このリン資源の問題は、従来の安定した農業生産へ影響を及ぼすことが危惧されており、黒ぼく土³⁾ 土壌（リンとの結合性が高い火山性土壌）が大半を占める岩手県においても

重要な課題の一つである。

リン資源の安定供給ニーズに対応し、高リン含有廃棄物を用いたリンリサイクル研究が活発化している^{4), 5), 6), 7)}。特に、農業分野で大量消費されている「リン酸カルシウム」の合成を目的とした研究が数多く報告されている。この研究の中で、下水汚泥焼却灰は年間を通じて排出量やその性状が安定しており、リン含有量も高いことから注目を集めている。現在、下水汚泥焼却灰を原料としたリンリサイクルプラントが稼働しており、自治体を中心に成果を挙げている^{6), 7)}。しかし、リサイクルの共通課題である採算性の低さが指摘されており、民間主導によるリンリサイクル活動が進んでいない状況にある。

一方、福島第一原子力発電所事故後、有害物質を排出しない自然エネルギー発電（太陽光、風力など）が大きく見直され、これら自然エネルギーの有効利用に必要な電力の平滑化および貯蔵用バッテリー（リチウムイオン二次電池）のニーズが急速に高まっている。また、電力の貯蔵において高い安全性が求め

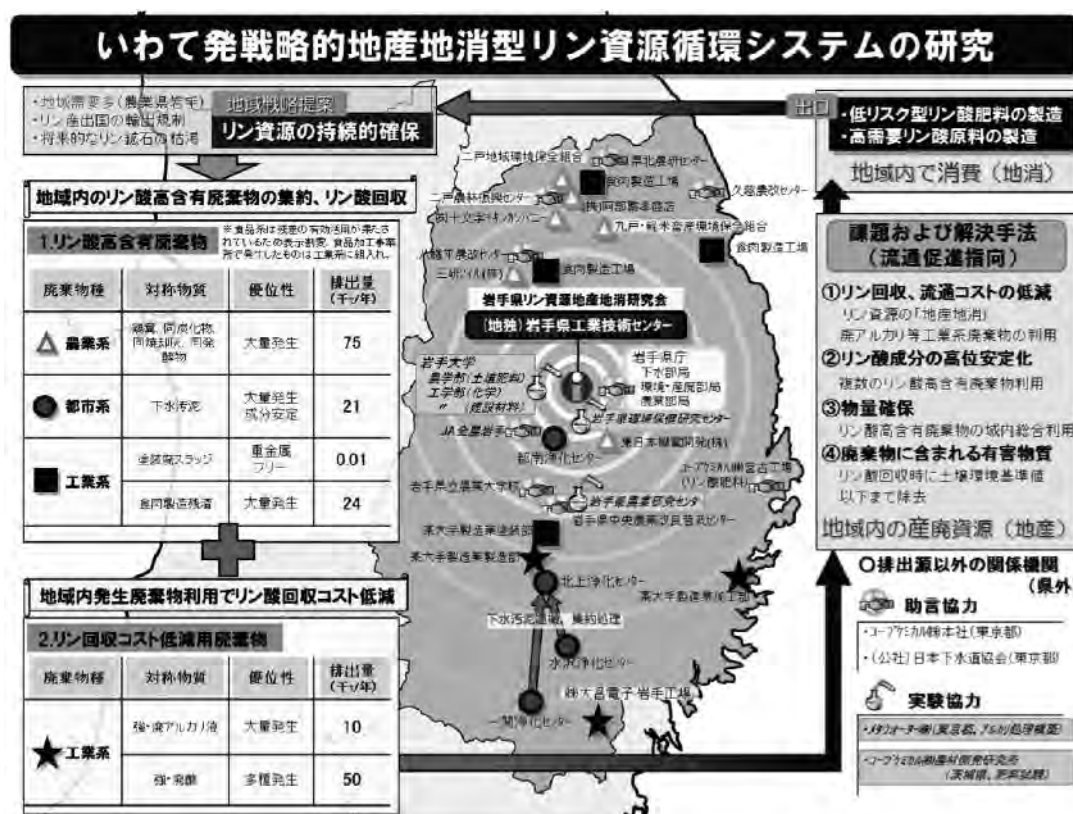


図1 いわて発戦略的地産地消型リン資源循環システムの概要

られており、発火の危険性を低減できる「オリビン型リン酸鉄リチウム」を正極材料(+極材料)に用いたリチウムイオン二次電池が注目を集めている^{2), 8)}。近年、この電池材料の前駆体である「リン酸鉄」のニーズが高まっており、工業分野においてもリン資源の安定供給が求められている。

本研究では、リン資源問題を地域の課題として捉え、地域が排出する高リン含有廃棄物(下水汚泥焼却灰ほか)を活用したリンリサイクルシステムの構築および提案を目的とした。また、安全かつ採算性の高いシステム構築に必要な要素技術を個々に検討し、地域が排出する特別産業廃棄物(廃酸および廃アルカリ)の活用、高リン含有廃棄物からのリン抽出効率向上の検討、リン抽出残渣の有効利用の検討、生成物(肥料原料)の安全性評価試験ほかを実施した。さらに、民間主導によるリンリサイクルの可能性を高めるため、付加価値の高い電池材料へのリサイクルも検討している。本稿では、一連のリンリサイクル研究の取組みについて紹介する^{8)~21)}。

2. いわて発戦略的地産地消型リン資源循環システムの研究²¹⁾

本研究グループは「いわて発戦略的地産地消型リン資源循環システムの研究」を提案し、環境省 環境研

究総合推進費補助金(旧循環型社会形成推進科学研究費補助金)の支援を受け(H22~H24)、リンリサイクルシステムの構築へ向けた研究を実施した(図1)。

(1) 高リン含有廃棄物に関する調査結果

リンリサイクルの原料として、地域(岩手県)が排出するリン含有廃棄物を「都市系」、「工業系」、「農業系」、および「食品系」の4種類に分類し、廃棄物利用の可能性を調査した。調査の結果、下水汚泥焼却灰(都市系)、リン酸塩化成処理スラッジ[塗装スラッジ](工業系)、リン酸含有廃液(工業系)、鶏糞(農業系)、鶏糞および豚糞焼却灰(農業系)、ホエイや魚骨の食品廃棄物(食品系)などが高リン含有廃棄物として認められた。このうち、農業系の一部および食品系については、既にリサイクル経路が確立していた。

廃棄物を原料として用いる場合、年間を通じた排出量と性状の安定性、さらにリサイクル対象元素の濃度が重要である。この基準に満たない未利用リン含有廃棄物が数多く認められたが、下水汚泥焼却灰は年間を通じて排出量(岩手県内1,000~1,500トン/年)とリン濃度(P換算で約13wt%含有)が最も安定していた。

一方、多くの塗装スラッジ(P:20wt%前後)およびリン酸含有廃液(P:15wt%以上)は下水汚泥焼却灰以上のリン含有量を示したが、排出量の安定性が低く、不純物として亜鉛(Zn)などを含む場合が認め

られた。また、塗装スラッジの多くは、塗装工程および塗装原料由来の油分を含んでおり、下水汚泥などの焼成助燃剤やリン濃度の調整剤として効果が期待された。

このように、国内で発生する高リン含有廃棄物のうち、下水汚泥焼却灰がリンリサイクル原料として最適であった。

(2) 下水汚泥焼却灰を利用したリン抽出方法の検討

下水汚泥焼却灰または下水汚泥を原料とした効率的なリン回収方法として、酸抽出法およびアルカリ抽出法の2つの湿式法に注目した。これら湿式法の効率性は、下水汚泥に含まれるリン酸化合物（塩）の形態により異なる。ヨーロッパなどの硬水地域では、HAPやMAPの割合が極めて高いことから、カルシウム（Ca）やマグネシウム（Mg）リン酸塩を効率良く溶解できる酸抽出法が検討されている^{22), 23)}。国内は軟水地域が多く、さらに自治体の多くは下水処理にアルミニウム（Al）系凝集剤や鉄（Fe）系凝集剤を用いており、下水汚泥中に含まれるリンの形態としてリン酸アルミニウムやリン酸鉄の組成割合が高い。また、アルミニウムなどの両性金属を含むリン酸塩は、酸およびアルカリの両方に溶解性を示す。国内では、①リン抽出液への重金属の溶出抑制が可能（抽出残差へ重金属の分離が可能）、②工程上の腐食対策管理が容易（酸抽出法に比べ生産および管理の低コスト化が可能）、③リン酸カルシウム合成が容易などの理由から、アルカリ抽出法（灰アルカリ法⁴⁾）を中心に検討が行われている。

アルカリ抽出法による最適リン抽出条件は、70℃前後で約0.5~1molのアルカリ（水酸化ナトリウム）溶液による抽出であり、下水汚泥焼却灰に含まれる重金属の溶出を抑制し、さらにAlなどの両性元素の溶出を低減したリン酸抽出が可能であった。しかし、アルカリ抽出液に対し、不溶解性を示すリン酸塩はリン総量の50%以上示し、多くのリンが抽出残渣に残存していた。また、稼働コストと肥料単価を比較した結果、リン酸の抽出効率は採算性に大きな影響を及ぼす点が明らかとなった。岩手県内で発生した焼却灰を用いた場合、AlおよびFe成分とのリン酸解離により、リン総量の約25%のリン抽出が可能であった。さらに、リン抽出液にカルシウム塩を加えてリン酸カルシウムを合成した結果、アルカリ抽出液中に含む他成分由来の共沈現象は低減され、合成リン酸カルシウム（肥料）へ下水汚泥焼却灰由来の不純物の混入が抑制されていた。

一方、酸抽出法（塩酸、硝酸、および硫酸）を用いた場合、下水汚泥焼却灰に含まれるリン総量の80%以

上の回収が可能であり、優れた回収効率を示した。また、酸抽出法によるリン抽出は室温環境下（20℃前後）で十分に可能であり、およそ0.5molの硫酸で約90%のリン酸回収が可能であったが、下水汚泥焼却灰よりリン酸以外の複数のイオンが溶出していた。安全性の高い肥料を得る上でリン酸精製は重要であり、検討の結果、イオン交換法による重金属の低減が最も優れていた。しかし、イオン交換時に陽イオンの除去と同時にわずかなリン酸濃度の低下が認められたほか、イオン交換樹脂への負荷の低減とイオン交換樹脂の効率的な再生が課題であった。

このように、酸またはアルカリを用いた湿式法によるリン酸抽出は可能であるが、リン抽出時の試薬コストや精製コストが高く、採算性の高いリンリサイクルが実現されていない。本研究は、軟水に適したアルカリ抽出法（灰アルカリ法）を中心に検討を行い^{9), 10), 11)}、抽出試薬のコスト低減を目的として製造企業（岩手県内）が排出する廃液（廃酸・廃アルカリ）の有効利用を検討した^{9), 19), 20), 21)}。

(3) リン抽出試薬の代替として廃酸および廃アルカリの利用検討

岩手県内企業が排出する廃酸および廃アルカリは（特別管理産業廃棄物）、それぞれ約5万トン／年 および約1万トン／年 排出されており、適正処分は地域企業と自治体にとって大きな課題の一つである。そのため、廃酸および廃アルカリの有効利用と効率的な処理方法の確立が求められてきた。

岩手県内で排出される廃酸および廃アルカリの排出形態、種類、および性状に関する調査の結果、鉄鋼関連事業所より廃塩酸（HCl）、めっき関連事業所より廃硝酸（HNO₃）、ガラスおよびレンズ加工事業所より廃硫酸（H₂SO₄）、および電子基板製造事業所より廃アルカリ（NaOH）が多量に排出され、中には最終精製工程で排出される低汚染廃液も存在した。多くの製造企業は、輸出に関わるローズ規制ほか厳しい環境規制に対応しており、廃棄物中に有害重金属（カドミウム（Cd）、水銀（Hg）、鉛（Pb）など）を含まない場合が多かった。また、0.5~1mol程度の廃酸および廃アルカリも排出量が多く、リン抽出に求められる酸およびアルカリの濃度条件を満たしていた。さらに、工場の量産工程から排出される酸およびアルカリ廃棄物は、排出量と廃液成分および濃度が比較的安定しており、下水汚泥焼却灰からのリン（リン酸）抽出試薬として利用価値が認められた。

一方、廃酸を利用する多くの場合（硫酸銅廃液ほか）、多量の重金属の除去が必要であった^{19), 20)}。この廃酸の再生において、多くの場合は電解析出法による精製が

効果的であり、金属含有量をppmオーダーへ低減することが可能であった。しかし、ニッケル含有廃液など、電解析出時の過電圧が変化（廃液中の水分解が促進）する場合は、精製が極めて困難であった。一方、廃酸の酸度が高い場合、イオン交換樹脂の再生に利用の可能性が認められた。また、廃アルカリをリン抽出試薬の代替材料として利用した場合、試薬アルカリ利用時と同様に金属の水酸化物が形成され、重金属の溶出を抑制したリン酸抽出が可能であった。特に、電子プリント基板の脱脂を目的として使用された水酸化ナトリウム（NaOH）廃液は、電子プリント基板由来の銅（Cu）を低濃度（ppmオーダー）含むが、十分に下水汚泥焼却灰からのリン抽出試薬として活用することが可能であった^{9), 21)}。

このように、精製廃酸を活用して下水汚泥焼却灰からリン酸を回収し、イオン交換法による最終精製を行うことで、高純度リン酸水溶液を得ることに成功した。廃液の種類（濃度）により電解効率も異なるが、下水処理施設で得られる電力の活用、回収する金属単価、電気分解に必要な電力コスト、イオン交換コスト、およびリン回収効率との調整により、イオン交換法の可能性が期待された。一方、廃酸および廃アルカリの利用において、地域の実情を反映したリサイクル環境の構築（分別収集・運搬）の必要性が認められた。

(4) 実証ミニプラントによるリン回収試験

下水汚泥焼却灰と電子プリント基板工場から排出される廃アルカリ（NaOH）を用い、実証ミニプラント（以下、ミニプラント）によるリン抽出試験、およびリン酸カルシウム合成（肥料合成）試験を実施した。ミニプラントの外観を図2に示す。このミニプラント（協力：メタウォーター（株））は、一度に100kgの下水汚泥焼却灰と2m³のアルカリ溶液を使用した試験が



図2 実証ミニプラントの外観（一部）
〔メタウォーター（株）〕

可能であり、十分に実用性を確認できる能力を有する。

試験サンプルとして、岩手県内下水事業所（都南および北上の2事業所）が排出した下水汚泥焼却灰、試薬水酸化ナトリウム溶液、および同県内電子基板製造メーカー排出の水酸化ナトリウム廃液（約0.5mol 以下、廃アルカリ）を用い、灰アルカリ法によるリン抽出試験を実施した。結果、既に実用化されているリンリサイクルシステム（灰アルカリ法）において、試薬水酸化ナトリウム溶液の代替として、廃アルカリを用いることが十分に可能であった。

一方、下水汚泥やその焼却灰の性状は地域特性が反映され易く、中でもHAP、MAP、リン酸鉄、およびリン酸アルミニウムなど、リン酸塩の組成割合が地域ごとに異なっていた。そこで、性状の異なる県外の下水汚泥焼却灰（西日本地域焼却灰A）を用い、同ミニプラントによる可能性調査を実施した。試験の結果、西日本地域焼却灰Aは岩手県内排出焼却灰よりリン抽出率が高く（リン総量の約35%前後）、県外の焼却灰利用も可能であった。この理由として、西日本地域焼却灰A中のアルミニウム濃度が岩手県内排出焼却灰より約2倍高い値を示していた。

ミニプラント試験により、灰アルカリ法は両性元素の割合が高い下水汚泥焼却灰に優位である点、他県の下水汚泥焼却灰利用時においても廃アルカリ利用が可能である点が明らかとなった。また、湿式法によるリン回収は試薬代コストが課題であるが、廃アルカリを用いることで、システム上のコスト低減（試算）が認められた¹¹⁾。

(5) 安全性評価試験

下水汚泥焼却灰（試験サンプル）はダイオキシン発生抑制の理由から高温焼成処理（約850℃以上）が行われており、有機性有害成分はほとんど分解され安全対策を特に必要としていない。しかし、廃棄物由来の酸またはアルカリを用いた場合、その経路から回収リン（生成物）への無機性および有機性有害物質の混入が懸念される。そこで、ミニプラントで合成したリン酸カルシウム（肥料）を用い、肥料取締法（焼成汚泥基準）に掲げている無機性有害成分、ダイオキシン等の有機性有害成分、植害試験、および肥効試験による安全性評価試験を実施した。

また、廃棄物の多重利用は新規であり、有機有害成分については土壤肥料取締法上の規制が認められないことから、廃棄物の判定基準と比較して有機性有害成分（ダイオキシン、PCB、揮発性物質、フッ化物、およびシアン化合物など）の評価を行った（表1）。判定基準は、「金属等を含む産業廃棄物に係る判定基準を定める省令（昭和48年2月17日総理府令第5号）」、

表1 下水汚泥焼却灰および廃アルカリ利用による合成リン酸カルシウムの安全性評価の検討（例 有機性有害成分）
[岩手県環境保健研究センター、岩手県工業技術センター]

供試検体名	有害物質	判定基準の種別	試験方法	根拠法令
下水汚泥焼却灰	ふっ化物 ふっ化物以外 ダイオキシン類	海洋投入・非水溶性汚泥 埋立処分・汚泥等 特別管理産業廃棄物	溶出試験 溶出試験 含有量試験	判定基準省令 判定基準省令 廃掃法施行規則
合成リン酸カルシウム	ふっ化物 ふっ化物以外 ダイオキシン類	海洋投入・非水溶性汚泥 埋立処分・汚泥等 特別管理産業廃棄物	溶出試験 溶出試験 含有量試験	判定基準省令 判定基準省令 廃掃法施行規則
リン抽出残差	ふっ化物 ふっ化物以外 ダイオキシン類	海洋投入・非水溶性汚泥 埋立処分・汚泥等 特別管理産業廃棄物	溶出試験 溶出試験 含有量試験	判定基準省令 判定基準省令 廃掃法施行規則
廃アルカリ	ダイオキシン類 ダイオキシン類以外	特別管理産業廃棄物 海洋投入・廃酸廃アルカリ	含有量試験 含有量試験	廃掃法施行規則 判定基準省令

有害物質の名称	市販等 基準値 (mg/L)	廃酸・廃アルカリ 基準値 (mg/L)
アルカリ水酸化合物	不検出	不検出
シアン化合物	1	1
PCB	0.003	0.03
フッ化物	15	200
揮発性物質		
トリクロロエチレン	0.3	3
テトラクロロエチレン	0.1	1
ジクロロメタン	0.2	2
四塩化炭素	0.02	0.2
1,2-ジクロロエタン	0.04	0.4
1,1-ジクロロエチレン	0.2	2
シス-1,2-ジクロロエチレン	0.4	4
1,1,1-トリクロロエタン	3	30
1,1,2-トリクロロエタン	0.06	0.6
1,3-ジクロロプロペン	0.02	0.2
ベンゼン	0.1	1
ダイオキシン類	80ng-TEQ/g	100pg-TEQ/L



図3 合成リン酸カルシウムの肥効および植害試験の様子（ほうれん草）
[岩手県農業研究センター、岩手大学農学部河合研究室、岩手大学三陸復興支援機構、コープケミカル（株）、岩手県工業技術センター ほか]

「廃棄物の処理及び清掃に関する法律施行規則（昭和46年9月23日厚生省令第35号）」を用い、検定方法は「金属等を含む産業廃棄物に係る判定基準を定める省令（昭和48年2月17日総理府令第5号）」および「特別管理一般廃棄物及び特別管理産業廃棄物に係る基準の検定方法（平成4年7月3日厚生省告示第192号）」を準用した。

一方、植害試験および肥効試験は、岩手県土壌であるアロフェン質黒ぼく土のほか、県外の沖積土および洪積土を用い、コマツナおよびホウレンソウの栽培により実施した。（59農蚕第1943号農林水産省農産園芸局通知を準用。）

分析の結果、ミニプラントで得られたリン酸カルシウムは、肥料取締法に掲げる無機性有害成分の基準値および上述の有機性有害成分の設定基準値（表1）を超える検出は認められなかった。また、市販のリン酸化学肥料と同様に植害を認めず、肥効も十分に確認できた（図3）。ミニプラントで使用した廃アルカリおよび合成肥料の安全性は十分に確認されたが^{10)、21)}、廃液の種類は数多く、含まれる成分や有害成分も多種多様であった。また、廃液混合により性状の変化などが観察されており、利用可能な廃液は限られていた。廃液利用の際は無機および有機性有害成分を詳しく調査し、有機性有害成分とその移行メカニズムの同定が困難な場合は、生成物の高温焼成処理を図るなど最終生

成物（肥料）の更なる安全対策を推奨する。

(6) リン回収の効率化とリン抽出残渣の有効利用の検討

前述の通り、下水汚泥焼却灰に含まれる性状（リン酸塩組成）が地域によって異なるため、リン抽出効率に伴い採算性が低い場合も想定された。そこで、灰アルカリ法によるリン回収の効率化を図るため、前処理およびリン酸抽出後の抽出残差の有効利用について検討した。下水汚泥焼却灰（サンプル）は、不溶解性成分（SiO₂ほか）を約20～30wt%含有しているため、効率的なリン抽出を行う上で前処理段階での分離が望ましい。本研究では乾式分離法（物理的な手法）を用い、下水汚泥焼却灰中のリン酸塩分離（濃縮）を検討した。

下水汚泥焼却灰に含まれる成分の中で、HAP、MAP、およびけい素（Si）は比重が重く、リン酸アルミニウムは比重の軽い系に分別されることから、アルカリに溶解しやすいリン酸塩の分離を検討してい



図4 リン抽出残渣を利用した路盤材作製試験の様子
[岩手大学工学部羽原研究室、岩手県工業技術センター]

る。成分分離と処理重量の低減は、残差の有効利用とリン抽出工程の効率化、さらにシステム上のコスト低減が期待されている¹⁰⁾。この前処理検討は、実用化が難しいとされた方法（イオン交換法など）への活用も期待されており、現在も検討が続けられている（岩手大学工学部）。

一方、下水汚泥焼却灰からリンを抽出した残渣は、抽出前に比べ約80wt%に減容されるが、依然としてその処理が課題であった。しかし、この残渣は下水汚泥焼却灰と同様に、セメント原料としての利用が可能である。リンはセメントクリンカ化合物の組成に影響を与えることから²⁴⁾、セメント原料投入後のセメント全体のリン濃度を管理する必要がある。このリン抽出残渣はリン濃度が低いため、セメント原料として下水汚泥焼却灰より利用しやすい。さらに、リン濃度が低いことに着目し、リン抽出残渣と生コンクリートを混合固化後に破碎し、路盤材に利用する新たな利用方法を検討した（図4）。結果、下水汚泥焼却灰の直接利用に比べ、リン抽出残渣の利用は路盤材の品質向上に寄与することを見出している^{16), 17), 18)}。

このように、地域ごとの下水汚泥焼却灰の組成変動を許容し、新たな廃棄物を排出しないリンリサイクルシステムへ向け、前処理およびリン抽出残渣の有効利用を検討している。

(7) 放射能に関する調査

本研究実施期間中において、東北地方太平洋沖地震（2011年3月11日に発生）に起因する福島第一原子力発電所の事故が発生し、本県においても下水汚泥焼却灰から放射性物質が検出されている。そこで、福島第一原子力発電所由来の放射性セシウム（ $^{134}\text{-Cs}$ + $^{137}\text{-Cs}$ =約400Bq/kg）を含む下水汚泥焼却灰（岩手県内）を用い、実験室レベル（数kgレベル）で灰アルカリ

法により肥料合成を実施し、下水汚泥焼却灰、リン酸カルシウム（肥料）、およびリン抽出残差の放射能測定により、リン抽出時の放射性セシウムの移行を調査した。なお、ゲルマニウム型半導体検出器を備えた放射能測定装置を用い、放射性セシウム（ $^{134}\text{-Cs}$ 、 $^{137}\text{-Cs}$ ）のほか、指標として天然由来の放射性カリウム（ $^{40}\text{-K}$ ）を測定した。

調査の結果、回収したリン酸カルシウム中に放射性セシウムおよび放射性カリウムは検出されず（定量下限値3Bq/kg以下）、多くはリン抽出残渣に残存し、一部はリン抽出液または洗浄水中に分配していた。また、0~1mol程度のアルカリ抽出条件下において、下水汚泥焼却灰から放射性セシウムの溶出が抑制されていることが明らかとなった。

一方、下水汚泥に含まれる多種多様な元素の存在により、放射性セシウムおよび放射性カリウムが下水汚泥焼却灰へ吸着または吸蔵する過程は複雑化しているものと予想された。また、リン抽出残渣を酸溶解した場合、放射性セシウムの多くが残渣に残存していたため、放射性セシウムは下水汚泥焼却灰を構成する物質の結晶構造内部に吸蔵されていることが予想された。この理由については、下水汚泥の状態が処理工程上、弱アルカリ性となる際の汚泥成分とセシウムの挙動に注目している。金属水酸化物は、アルカリ金属イオンを鋳型として様々な結晶構造を形成することが知られており²⁵⁾、下水処理工程を経ることで、下水汚泥中の金属水酸化物が放射性セシウムを核とした包摂化合物や層状化合物を形成し、高温焼成により強固に放射性セシウムを構造内部に吸蔵しているものと推察された。そのほか、高温焼成によるケイ酸塩への放射性セシウムの固溶のほか、ゼオライト様の構造体への吸着などが推察され、現在詳しい調査を実施している。

このように、アルカリ抽出法（灰アルカリ法）を用いて下水汚泥焼却灰からリンを抽出した際に、下水汚泥焼却灰に含まれる放射性セシウムの溶出が抑制されることが確認された。また、下水汚泥焼却灰に放射性セシウム400Bq/kgを含有する場合、放射性セシウムを1/40以下に低減したリン酸カルシウム合成が可能であり、肥料に係る基準値（400Bq/kg）以下、さらにクリアランスレベル（100Bq/kg）以下の安全な肥料合成が可能であった。また、放射性カリウム（ $^{40}\text{-K}$ ）は震災前後で変わらず300~400Bq/kgを示すが、放射性セシウムと同様の挙動を示し、合成肥料中にほとんど含まれていなかった。ピーク時は岩手県内の下水汚泥焼却灰より約2,000Bq/kgの放射性セシウムが検出されていたが、現在では約400Bq/kgに推移しており、灰アルカリ法を用いることで、岩手県内の下水汚泥焼却灰を利用したリン抽出が可能であることが明らかと



第1回開催の様子
[岩手県工業技術センター 大ホールにて]



第6回開催の様子（大阪大学 大竹久夫 先生をお招きして
パネルディスカッションを実施）[盛岡市内ホテルにて]

図5 岩手県リン資源地産地消研究会
(事務局担当 岩手県工業技術センター 菅原龍江)

なった。

(8) 地域への普及活動

リンリサクルの意義と理解を得るため「岩手県リン資源地産地消研究会」を発足し(図5)、本研究に関する成果報告やリンに関する講習会(シンポジウム)を定期的実施するなど、地域連携の枠組みの構築と情報発信(PR)へ注力している^{10), 21)}。県外からも参加者が多く、全国的なリン資源への関心の高さが伺える。また、本研究で得られたミニプラント合成肥料は、津波被災地域の土壌へ試験施肥され、土壌改良に関する研究調査が進められている(岩手大学農学部)。

3. リチウムイオン二次電池材料(リン酸鉄)へのリサイクル

岩手県いわて戦略的研究開発推進事業(旧次世代グリーンデバイス開発推進事業)[H22-H24] および産業廃棄物再資源化技術開発事業[H23-H25]の支

援を受け、下水汚泥焼却灰およびリン酸塩化成処理スラッジ(塗装スラッジ)を利用した、リン酸鉄(電池材料)合成の研究を実施している。このリン酸鉄は、オリビン型リン酸鉄リチウム正極材料(活物質)の前駆体であり、リチウムイオン二次電池用資材として企業ニーズが年々高まっている。

オリビン型リン酸鉄リチウム(LiFePO_4)は、動作電位の安定性のほか、発火等を引き起こしにくい特徴を有し、既に国内大手電池メーカーをはじめとして、この正極材料を利用したリチウムイオン二次電池の実用化が行われている。また、二次電池の世界市場は10年後に20兆円規模へと発展が予想されており、このうち約10兆円を日本国内市場が占める目標を政府が掲げていることから²⁶⁾、電池材料の需要が今後益々高まることが期待される。しかし、オリビン型リン酸鉄リチウムは特許材料(米国)であるため、その前駆体であるリン酸鉄の量産と国内市場への安定供給を目的としている。

一方、下水汚泥焼却灰や塗装スラッジを活用したり

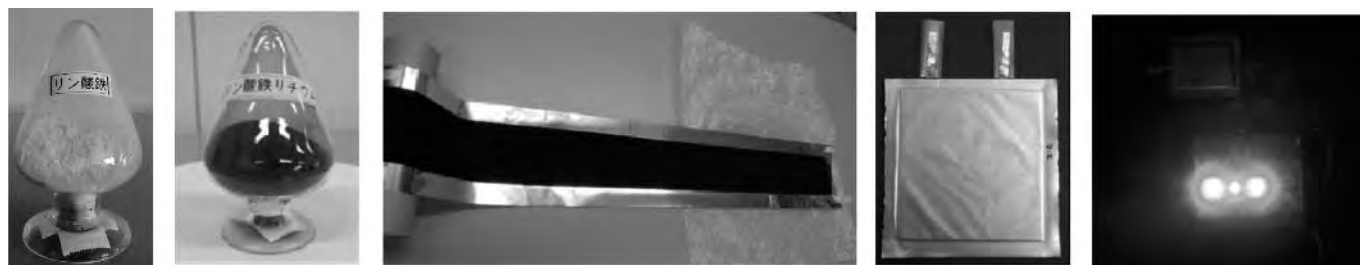


図6 合成リン酸鉄(原料:下水汚泥焼却灰)を用いた電池性能評価試験(研究試験)
(左から順に リン酸鉄、リン酸鉄リチウム、正極シート試作品[製品加工試験]、正極シートを用いた小型ラミネート型電池試作品、小型ラミネート型電池を用いたダイオード点灯の様子)
[岩手大学工学部(八代研究室、中澤研究室、清水研究室、旧 熊谷研究室)、メタウォーター(株)、JFEテクノリサーチ(株)、岩手県工業技術センター]

ン酸鉄合成において、廃棄物に含まれるアルミニウムおよび亜鉛などの不純物除去が課題であったが、本研究では両性元素の低減を果たすことに成功している。得られたリン酸鉄を前駆体とし、オリビン型リン酸鉄リチウム正極材料を焼成法により合成した結果、高純度のオリビン型リン酸鉄リチウムが得られた。また、得られた正極材料を用いて正極シートの製品加工試験（試作評価）を行った結果、通常製品と同等の塗工状態が観察された（図6）。さらに、得られた正極シートを組合せ、小型ラミネート型リチウムイオン二次電池（単セル）の試作評価を行った結果、電池理論容量の75%以上⁸⁾を示していた。これらの結果は、下水汚泥焼却灰などの高リン含有廃棄物を原料とし、リンリサイクルによる電池材料合成の実用化が可能であることを示している。

本研究により、下水汚泥焼却灰および塗装スラッジを原料として、電池用途のリン酸鉄の合成が可能であることが示された。また、リチウムイオン二次電池材料は肥料単価の数10倍以上であり、これまでリサイクルの課題とされてきた収益性の改善が果たされ、民間主導によるリンリサイクルの足掛かりとなることを期待している。

4. おわりに

本研究は、地域で排出される下水汚泥焼却灰と廃アルカリ（特別管理産業廃棄物）を活用したリンリサイクルシステムを提案し、県内製造企業が排出する廃液の有効活用（特別管理産業廃棄物の消費）、リン抽出に使用する薬品コストの低減、リン抽出残渣の資材化（建設・土木資材）など、リンリサイクルの採算性向上と地域が求める廃棄物の有効利用を実証した。また、回収リン（肥料）の安全性評価試験を実施し、十分に安全性を確認した。さらに、下水汚泥焼却灰などを活用し、リチウムイオン二次電池用正極材料の原料となるリン酸鉄の合成が可能であることを明らかにした。

近い将来、下水終末処理施設が廃棄物処理や発電システムなどの多機能を備え、肥料および電池材料などの原料（戦略物資）生産工場へと発展する可能性を大いに秘めており、その実現は産学官連携が鍵を握っている。

参考文献

1. 大竹久夫、長坂徹也、松八重一代、黒田章夫、橋本光史、リン資源枯渇危機とはなにか、大阪大学出版会、2011。
2. 松永剛一、佐藤英俊、リンの工業利用、生物工学、90 (8), pp 477-480, 2012。
3. 三枝正彦、松山信彦、阿部篤郎、東北地方におけるアロフェン質黒ボク土と非アロフェン質黒ボク土の分布、日本土壤肥科学雑誌, 64, pp 423-430, 1993。
4. 守屋由介、坪井博和、池田裕一、柳瀬哲也、アルカリ抽出法による下水汚泥焼却灰からのリン回収システム、用水と排水, 51 (10), pp 833-838, 2009。
5. 菅原龍江、佐々木昭仁、佐藤佳之、下水汚泥焼却灰等のリン肥料化技術調査、岩手県工業技術センター研究報告, 第17号, 2010。
6. 佐々木正人、足立良富、岡正人、西川治光、下水汚泥等から回収されたリン資源の有効利用に関する研究、岐阜県保健環境研究所報, 第18号, pp 13-17, 2010。
7. 山根陽一、下水汚泥焼却灰からのリン回収における取組みについて、再生と利用, Vol. 37, No.141, pp 46-48, 2013。
8. 佐々木昭仁、菅原龍江、八代 仁、中澤 廣、土岐規仁、晴山 渉、島内 優、初山祥太郎、熊谷直昭、高リン含有廃棄物のリサイクルによるリチウムイオン二次電池材料の製造～下水汚泥焼却灰・化成処理スラッジを原料としたリン酸鉄およびリン酸鉄リチウムの合成と電池試作評価、第24回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集2013, B8-7, pp 329-330, 2013。
9. 菅原龍江、佐藤佳之、佐々木昭仁、阿部貴志、守屋由介、廃アルカリ利用による下水汚泥焼却灰からの最適リン回収条件の探索、第22回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集2011, B6-2, pp 257-258, 2011。
10. 菅原龍江、佐々木昭仁、阿部貴志、佐藤佳之、菅原隆志、嶋 弘一、大友英嗣、工藤洋晃、河合成直、小山田哲也、羽原俊祐、晴山 渉、中澤 廣、菊池明浩、森國博全、初山祥太郎、守屋由介、柳瀬哲也、地域におけるリン含有廃棄物リサイクルの検討、第23回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集2012, B8-7, pp 315-316, 2012。
(廃棄物資源循環学会ホームページ, http://jsm-cwm.or.jp/taikai2012/?page_id=629)
11. 菅原龍江、佐々木昭仁、阿部貴志、佐藤佳之、守屋由介、初山祥太郎、廃アルカリ利用によるリン回収実証試験及びリン回収プラント稼働コスト試算、第23回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集2012, B8-5, pp 311-312, 2012。
12. 佐々木昭仁、佐藤佳之、阿部貴志、菅原龍江、工藤洋晃、河合成直、リン酸亜鉛化成処理工程排出スラッジの肥料化検討、第22回廃棄物資源循環学

- 会研究発表会講演論文集 2011, pp 227-228, 2011.
13. 佐々木昭仁、工藤洋晃、佐藤佳之、阿部貴志、菅原龍江、河合成直、リン含有工業系産業廃棄物の再資源化による肥料化検討 ～リン酸亜鉛化成処理スラッジ（塗装スラッジ）を活用したリン肥料合成～、日本土壤肥料学会講演要旨集 第58集, pp 154, 22-23, 2012.
 14. 佐々木昭仁、工藤洋晃、河合成直、佐藤佳之、阿部貴志、菅原龍江、高リン含有廃棄物（塗装スラッジ）からのリン酸カルシウムの合成および特性評価、日本土壤肥料学雑誌, 第84巻, 第5号, pp 367-373, 2013.
 15. 佐藤佳之、佐々木昭仁、菅原龍江、藤原忠司、小山田哲也、下水汚泥焼却灰を利用したアスファルト混合物の特性、第21回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集, pp 227-228, 2010.
 16. 佐藤佳之、小山田哲也、羽原俊祐、菊池明浩、佐々木昭仁、阿部貴志、菅原龍江、アルカリ抽出法で脱リン処理した下水汚泥焼却灰のアスファルト混合物用フィラーとしての適用性、第23回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集2012, B8-6, pp 313-314, 2012.
 17. 佐藤佳之、小山田哲也、羽原俊祐、佐々木昭仁、岩手県の下水汚泥焼却灰の基礎性状およびアスファルト混合物用フィラーとしての適用性、J.MMIJ, 128, pp 519-525, 2012.
 18. 佐藤佳之、小山田哲也、羽原俊祐、今雄希、下水汚泥焼却灰および戻りコンクリートを利用した路盤材の開発、セメント・コンクリート論文集, No.66, pp637-644, 2013.
 19. 工藤洋晃、佐々木昭仁、河合成直、佐藤佳之、阿部貴志、菅原龍江、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、日本土壤肥料学雑誌, 第83巻, 第3号, pp 288-291, 2012.
 20. 工藤洋晃、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、再生と利用, Vol.37 (No.138), pp 61-67, 2013.
 21. 菅原龍江、佐々木昭仁、阿部貴志、佐藤佳之、いわて発戦略的地産地消型リン資源循環システムの研究、平成25年度循環型社会形成推進研究発表会研究発表資料, pp 56-63, 2013.
 22. Sebastian Petzet, Burkhard Peplinski, Peter Cornel, On wet chemical phosphorus recovery from sewage sludge ash by acidic or alkaline leaching and an optimized combination of both, Water Research, 46, pp 3769-3780, 2012.
 23. M. Franz, Phosphate fertilizer from sewage sludge ash (SSA), Journal of Environmental Sciences, 24 (8), 1533-1538, 2012.
 24. 金谷宗輝、小澤尚志、本間健一、市川牧彦、クリンカーの品質に及ぼすリンの影響、セメント・コンクリート論文集, No.53, pp 10-15, 1999.
 25. 佐々木昭仁、熊谷直昭、駒場慎一、八代仁、バーネサイト型二酸化マンガンの焼成によるホランド型二酸化マンガンの合成およびリチウムイオン二次電池用正極材料としての電気化学的特性、Electrochemistry, 72, No.10, pp 688-693, 2004.
 26. 経済産業省ホームページ,
<http://www.enecho.meti.go.jp/info/committee/kihonmondai/28th/28sankou2-2.pdf>

Q & A

ヒ素とカドミウムについて

キーワード：ヒ素、カドミウム、水稲、トレードオフ

Q1 食品中のヒ素についての関心が高まっているようですが、どうしてですか？

A1 ヒ素を含む化合物は古くから知られており、古代ギリシア人、ローマ人は顔料として利用していました。わが国においても殺鼠剤として古くから使われていました。ヒ素は毒性の強い元素ですが、自然界に広く分布しており、食べ物を通じて微量のヒ素化合物を摂取しています。食品安全委員会は、日本において、食べ物を通じて摂取したヒ素による明らかな健康影響は認められず、特段の措置は必要ないとしています。しかし、関係する行政機関には、食品中のヒ素の汚染実態を把握するための調査、ヒ素のリスク低減方策に関する研究等をさらに充実して取り組むよう要請しています。農林水産省は、食品中のヒ素に関する含有実態調査を実施しており、コメ、小麦、大豆、野菜類、果実類の調査結果をWeb上で公表しています。

Q2 汚泥肥料にはどのくらいのヒ素が含まれていますか？ それは他の肥料と比較して多いのですか？ 農地土壌への影響はないのですか？

A2 本誌第93号の報告によると、下水汚泥コンボスの総ヒ素濃度は、1.08～10.3 mg/kgの範囲にあり、平均で4.7 mg/kgとなっています。農林水産消費安全技術センターの報告においても総ヒ素濃度の平均値は、汚泥発酵肥料が4.8 mg/kg、下水汚泥肥料が6.8 mg/kgとなっています（表1）。

家畜ふん堆肥の調査例をみると、牛ふん堆肥、豚ふん堆肥、鶏ふん堆肥の総ヒ素濃度の平均値は、0.6～1.5 mg/kgとなっており、下水汚泥肥料などよりも少し低い傾向にあります（表2）。りん酸質肥料にもヒ素は含まれており、少し古いデータですが、総ヒ素濃度の中央値は、過リン酸石灰が10.2 mg/kg、重過リン酸石灰が20.8 mg/kg、熔成リン肥が4.2 mg/kgとの報告があります（須郷, 1977, 肥検回報, 30, 16）。また、

表1 下水汚泥等の総ヒ素濃度 [mg/kg]

	下水汚泥 コンポスト ¹⁾	下水汚泥 肥料 ²⁾	し尿汚泥 肥料 ²⁾	工業汚泥 肥料 ²⁾	混合汚泥 肥料 ²⁾	焼成汚泥 肥料 ²⁾	汚泥発酵 肥料 ²⁾
最小値	1.08	0.3	0	0	1.2	0.1	0
平均	4.7	6.8	6.6	1.7	6.8	10.6	4.8
最大値	10.3	43.0	37.0	9.6	30.0	36.1	32.0

¹⁾ 斎野秀幸・森田弘昭, 2001, 再生と利用, 93号

²⁾ 肥飼料安全検査部肥料管理課, 2009, 肥料研究報告, 2, 146-154

表2 家畜ふん堆肥、輸入肥料（2003年～2012年）の総ヒ素濃度 [mg/kg]

	牛ふん 堆肥 ¹⁾	豚ふん 堆肥 ¹⁾	鶏ふん 堆肥 ¹⁾	化成肥料 ²⁾	配合肥料 ²⁾	その他の 複合肥料 ²⁾
最小値	0.00	0.00	0.00	0.1	0.1	0.1
平均	1.46	0.63	1.24	5.0	6.2	3.6
最大値	18.7	2.55	11.6	250	39	15

¹⁾ 折原ら, 2002, 土肥誌, 73, 403-409

²⁾ 肥飼料安全検査部調整指導官及び肥料管理課, 2013, 肥料研究報告, 6, 213-220

輸入肥料の総ヒ素濃度の平均値は、3.6～6.2 mg/kgと報告されています（表2）。

施肥が土壌中の水溶性ヒ素濃度に及ぼす影響を調べた試験によると、土壌中の水溶性ヒ素濃度は土壌pHに依存するものの、施肥区の土壌pHを非農耕地と同等に改善すると両者の水溶性ヒ素濃度に違いは認められていません。

Q3

作物のヒ素濃度はどのくらいですか？

A3

一般に畑作物の総ヒ素濃度は極めて低く、農林水産省の含有実態調査によると、小麦、大豆、野菜類、果実類のほとんどは定量下限（0.01 mg/kg）未満と報告されています。これは、畑土壌中のヒ素が水に溶けにくい形態で存在しており、植物にほとんど吸収されないことによります。ところが水田の場合、水を張っている期間に土壌中のヒ素の一部が水に溶けやすい形態に変化するため、水稻に吸収されやすくなります。そのためコメの総ヒ素濃度は畑作物よりも概して高く、精米では0.02～0.44 mg/kg（平均0.14 mg/kg）と報告されています。

Q4

稲のヒ素吸収とカドミウム吸収のトレードオフとはどういうことですか？

A4

コメのカドミウム濃度を低く抑えるには、穂が出る時期の前後3週間、水をしっかりと張った状態に保つことが有効です。ところが、水を張る期間が長くなると土壌中のヒ素の一部が水に溶けやすい形態に変化するため、コメのヒ素濃度が高くなります。逆に、同じ時期の水管理を間断灌漑、すなわち水田に水を張っている期間と張っていない期間を交互に繰り返す管理を行うと、コメのヒ素濃度を抑えることができますが、カドミウムの濃度が高くなる可能性があります。このように、コメのカドミウム濃度とヒ素濃度は、水管理に関してトレードオフの関係にあります。

Q5

稲のカドミウムとヒ素の吸収を同時に抑える方法がありますか？

A5

水管理を細かく行う方法、水田に資材を施用して吸収を抑制する方法など、いくつかの方法が検討されていますが、カドミウムをほとんど吸収しない稲の利用も有望です。この稲は、コシヒカリの突然変異体の中から選抜されたもので、どのような栽培条件下においてもカドミウムをほとんど吸収しません。そこで、ヒ素を吸収しにくい栽培条件でこの稲を育てることにより、ヒ素の吸収を抑制し、かつカドミウムもほとんど吸収しないということが可能になるものと期待されます。

（農業環境技術研究所 川崎 晃）

現場からの

声

汚泥集約処理における返流水中の窒素除去（対策）について

キーワード：汚泥集約、返流水、アナモックス法、窒素除去

1. はじめに

大阪市では、下水汚泥の効率的な処理を推進するために、下水処理場間で汚泥のパイプ輸送を行い、下水汚泥の集中化処理を実施している。汚泥処理拠点は、舞洲スラッジセンターと平野下水処理場の2箇所であり、平野下水処理場には内陸部の4下水処理場（今福・中浜・放出・平野）で発生する汚泥が集約される（図－1）。

また、本市の汚泥処理の基本方針は、下水汚泥の減容化、バイオマスとしての有効利用の観点から、下水汚泥を全量高温高濃度嫌気性消化法で処理することとしている。しかし、高温高濃度嫌気性消化法では、脱水工程から高濃度の窒素を含む脱水分離液（以下、返流水という）が発生し、返流先の下水処理場の窒素負荷を増大させる。既存の水処理施設では更なる窒素除去は期待できず、水質基準を超過する恐れがあることから発生源での除去対策が必要となる。

高濃度の窒素除去には大量のエネルギーが必要なため、省エネルギー型処理技術の導入が下水道における環境負荷低減の見地から求められる。また、運転管理面では複雑な操作や特別な管理技術を必要としない処理技術であることが、水量や水質の変動に対する処理機能の安定性を確保する上で重要である。これらのことを踏まえ、効率的、省エネルギーでかつ維持管理が容易な処理技術の開発を目的に民間事業者と共同

大阪市建設局下水道河川部水環境課

西本 裕二

研究を実施し、その成果から平野下水処理場の返流水処理施設には、新しい生物学的窒素除去技術である手法により整備を進めている。本稿では、汚泥集約処理における返流水中の窒素除去について報告する。

○は下水処理場、●汚泥集中処理施設を示す。
太線は汚泥圧送管を示す。



図－1 大阪市の下水処理場の位置

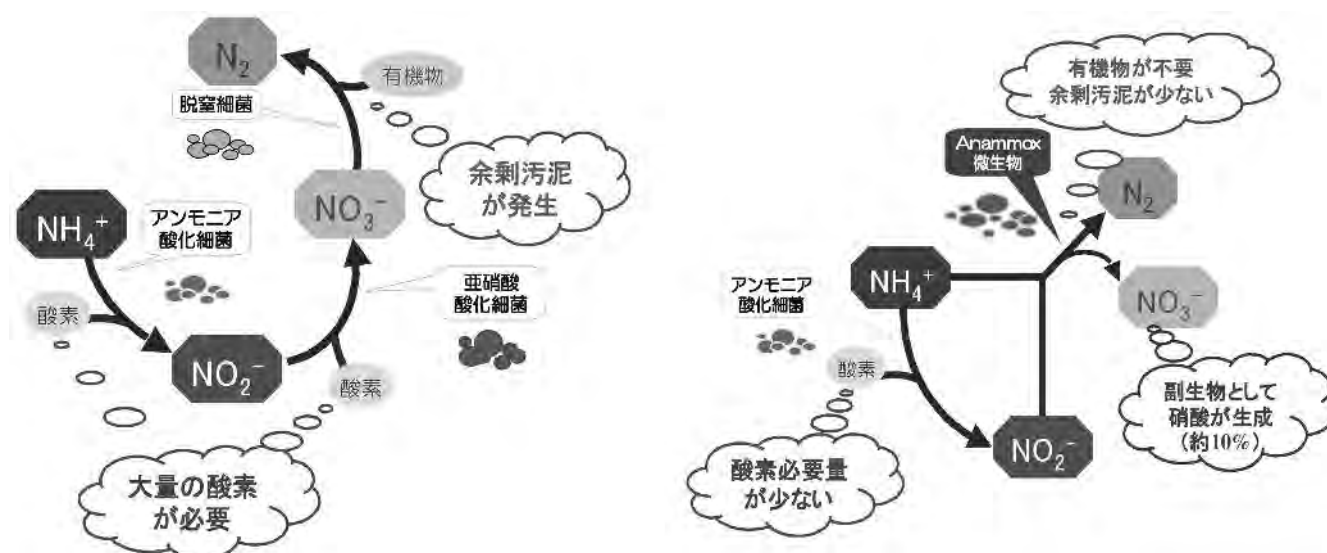


図-2 窒素除去経路の違い（左：従来法 右：アナモックス法）

2. 新しい生物学的窒素除去（アナモックス反応を利用した窒素除去技術）

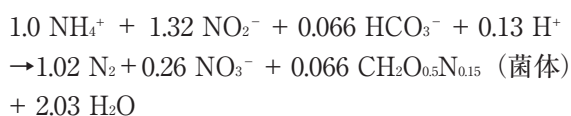
2-1 アナモックス反応とは

返流水からの窒素除去に生物学的窒素除去法を適用した場合、窒素負荷量に対して有機物負荷量が著しく小さいため、窒素変換（脱窒）には有機物源として多量の外部基質投入が必要となる。

1995年に報告された新規の窒素変換反応である嫌気性アンモニア酸化反応（Anaerobic Ammonium Oxidation以下、アナモックス反応という）は、有機物を必要としない独立栄養型の細菌により遂行されるため、有機物負荷の小さい高濃度窒素排水からの窒素除去技術として実用化が進んでいる。このアナモックス反応を利用した排水からの窒素除去技術（以下、アナモックス法という）については、2002年にオランダにおいて下水処理の汚泥処理返流水を対象とした実施設が稼動している。

アナモックス反応は、嫌気性条件（厳密には溶存酸素の無い条件）下で微生物の働きにより下式のようにアンモニアと亜硝酸を窒素ガスと硝酸に転換する反応である。

【反応式】



アナモックス反応は、1.0モルのアンモニアと1.32モルの亜硝酸から1.02モルの窒素ガスと0.26モルの硝酸が生成される反応であり、理論窒素除去率は約89%である。この反応に必要な亜硝酸は、アンモニアの一

部を酸化して生成させる。アンモニアを亜硝酸に酸化する亜硝酸化反応は、好気条件下（酸素の存在する条件下）でアンモニア酸化細菌を利用して行う。

即ち、アナモックス法は、亜硝酸化反応とアナモックス反応を組み合わせることにより、排水中の窒素成分を効率よく除去する技術である。

2-2 アナモックス法の特徴（図-2）

現在、一般的な窒素除去法として用いられている生物学的硝化・脱窒法（以下、従来法という）とアナモックス法を比較すると、以下の違いがある。

(1) 窒素を除去するために必要な酸素の量

従来法において、アンモニアは一旦その全量を硝酸まで酸化する必要があるが、大量の酸素を必要とするが、アナモックス法では、アンモニアの一部をそのまま脱窒反応に利用すること、アンモニアは亜硝酸までの酸化でよいことから窒素を除去するために必要な酸素量は約半分以下となる。

(2) 脱窒反応を行う微生物と炭素源

従来法は従属栄養細菌による脱窒反応のために、炭素源として有機物を必要とする。有機物を利用する細菌は増殖が速い反面、菌体の生成量（余剰汚泥）が多い特徴がある。これに対してアナモックス法ではアナモックス細菌が脱窒反応を行う。アナモックス細菌は、嫌気性の独立栄養細菌で炭素源として無機炭素（炭酸）を利用して増殖を行う。炭酸を利用する細菌は増殖が遅いが、余剰汚泥となる菌体の生成量が少ない特徴がある。

表－１ 返流水処理手法の比較

手法	対策方法	施設規模	処理対象	技術力
集約処理	集中処理施設に返流水処理施設を導入	施設規模小 ○ →コンパクトな施設で高濃度の窒素を効果的に除去	少量で高濃度の返流水	高濃度窒素除去に関する特殊な技術を採用（高い技術力が必要）
分散処理	返流水を複数の処理場へ送水し、ステップ流入式硝化脱窒（AOAO法）施設を導入	施設規模大 △ →水処理施設の改造及び返流水の送水施設（送水管、ポンプ）と大規模な対策が必要	多量で低濃度の汚水＋希釈された返流水	一般的な水処理技術を採用

３．返流水処理の現状

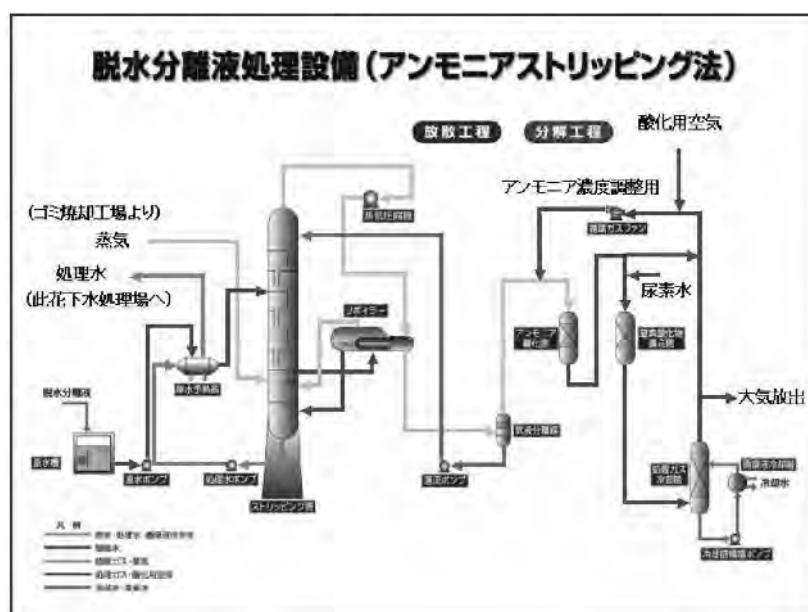
３－１ 集約処理による効果（集約処理と分散処理による比較検証）

本市では、汚泥集中処理による市内下水汚泥の全量消化処理に伴い、高濃度の窒素を含有する返流水の処理が課題であった。そこで、返流水中の窒素処理手法について検討を実施した。汚泥集約施設に返流水処理施設を導入する集約処理と返流水を複数の下水処理場へ送水し、各下水処理場における高度処理化での対策とする分散処理について比較した結果を表－１に示す。分散処理でのステップ流入式硝化脱窒法（AOAO法）による高度処理化では、各下水処理場に送水管、ポンプなどの送水施設のほか、下水処理場の反応槽改造も必要になる反面、集約処理では、施設規模ならびにコスト面でも有利になることから、集約処理を採用することとしている。

３－２ 集約処理の従来手法との比較

本市湾岸部下水処理場の汚泥集約処理を担う舞洲スラッジセンターでは、返流水を高効率な物理化学的窒素除去方式であるアンモニアストリッピング法で処理している（図－３）。

アンモニアストリッピング法の主な処理工程は、返流水からアンモニアを除去する放散工程と、除去したアンモニアを分解する分解工程の２つに分けられる。前段では、放散塔（ストリッピング塔）で返流水に含まれる高濃度のアンモニアをスチームまたは空気を吹き込んで気相に放散することにより除去し、後段では、放散したアンモニアを触媒を充填した触媒反応塔（アンモニア酸化塔）を通じて酸化分解することで、



表－２ アナモックス施設導入効果（平野下水処理場の放流水質）

No.	施設規模	返流水窒素負荷量 T-N(kg/日)	放流水質 (mg/L)	判定
1	返流水処理施設を設置しない場合	3,240	28.5 (>25 mg/L)	×
2	返流水を全量処理する場合	648	20.8 (<25 mg/L)	○
3	返流水を半量処理し、残りを平野（処） で水処理する場合	1,944	24.7 (<25 mg/L)	△

※ 返流水処理はアナモックス処理とし、窒素除去率は80%とする

排水基準、下水道法による放流水質の技術上の基準、そして総量規制基準がある。本市の下水処理場は、水処理能力に余裕がないところが多く、集約処理により返流水処理施設を導入する平野下水処理場においても、現行のAO法では、更なる窒素除去効果は期待できない。平野下水処理場では、集約処理に伴い窒素負荷量が3割を超えて増加することから、下水処理場の放流水質が悪化することが想定され、生物学的な窒素処理能力が低下する冬季には、窒素の総量規制基準のCn値（25 mg/L）を超過する恐れがある（表－２）。

窒素の総量規制基準値を遵守するためには、少なくとも返流水の半量（1,350 m³/日）を処理する必要があり、汚泥の全量消化及び放流水基準の遵守の双方を実現するには、早急に返流水処理施設を整備する必要がある。

そこで、平野下水処理場における返流水処理施設の導入に際しては、一期目に返流水の半量を処理できる施設を早急に整備し、二期目として大阪湾流域別下水道整備総合計画（流総計画）の整備目標年次である2025年までに、返流水の全量を処理できる施設を整備することとしている。

5. アナモックス法の下水道事業計画への流れ

アナモックス法は、汚泥処理返流水だけでなく、食品、半導体、革なめしなどの事業場排水の処理へと海外を中心に既に数ヶ所の導入実績があったものの、わが国においては下水処理場の返流水を対象としたアナモックス法の導入実績は無く、またアナモックス法の設計・運転管理手法の知見に乏しかった。

このような背景から本市と日本下水道事業団において行われた嫌気性消化汚泥の返流水を対象とした実証試験結果に基づいて、アナモックス法の処理機能や特徴、下水道事業へ適用する場合の設計や運転管理上の

留意事項を体系的に提示することを目的に、2009年3月に日本下水道事業団理事長より技術評価委員会会長に諮問がなされ、技術評価委員会に設けられたアナモックス反応を利用した窒素除去技術専門委員会に付託され、実証実験結果などに関して詳細な検討が行われた。その結果が、報告書としてまとめられ、2010年3月に技術評価委員会会長より日本下水道事業団理事長に答申された。

本市では、共同研究の結果からアナモックス法が返流水からの窒素除去に対して適用可能であることを認識していたが、新技術であるがために、下水道事業計画に位置付けるには外部機関による評価が必要と判断した。2010年4月に、本市の共同研究結果を含むアナモックス法に関する評価報告書が完成したことを受けて、下水道法事業計画認可の手続きを行い、2011年3月に認可を受けた。

6. おわりに

アナモックス法は、新技術ということで下水道法事業計画に位置付けることに検討を要した。また、事業方式については、新技術であることから本市で予め標準的な設計基準を示すことができない他、運営段階の初期トラブルに対するリスク等の課題に対し、本市の下水道事業分野では実績のないDB+O（Design-Build-Operate（2年間））方式による一括発注方式を採用した。今後、事業者公募を行い2017年の運転開始に向けて事業を進めている。

2006年度に本市の公募型共同研究制度により共同研究者を募り実施した共同研究から、運転開始まで10年もの長い時間を費やしたことになるが、返流水処理のためのアナモックス施設が順調に稼働し、本法を採用したことが、本市の下水道事業に大きく貢献することを期待している。

文献紹介

カップホーン型超音波抽出とシーケンシャル型原子吸光分析装置による有機性肥料中の微量元素の迅速定量

Fast determination of trace elements in organic fertilizers using a cup-horn reactor for ultrasound-assisted extraction and fast sequential flame atomic absorption spectrometry

Leonel Silva Teixeira, Heulla Pereira Vieira, Cláudia Carvalhinho Windmöller, Clésia Cristina Nascentes
Talanta 119 232-239 (2014)

有機性廃棄物の肥料利用は、肥料成分のリサイクルの面で有用な手段であるが、重金属等の有害物の管理のため、厳密な品質管理が求められる。重金属の分析には、試料の溶液化という操作が伴う。一般に、開放系での酸分解、あるいは密閉系でのマイクロウェーブ分解が用いられるが、どちらの手法もスルーブットが悪く、加えて開放系では揮発性元素の損失などの欠点がある。そこで本論文の著者らは、簡便かつ迅速に操作できる超音波を利用した抽出法に着目し、シーケンシャル型原子吸光分析装置と組み合わせることにより、カドミウム (Cd)、コバルト (Co)、クロム (Cr)、銅 (Cu)、マンガン (Mn)、ニッケル (Ni)、鉛 (Pb)、亜鉛 (Zn) の全量を迅速に測定する方法を検討した。

試料として、下水汚泥などの有機性廃棄物に由来する肥料 (市販品) を用い、微粉砕した後300 μm の篩を通過させたものを使用した。分析値の妥当性確認には、認証標準物質 (下水汚泥標準物質、CRM 029-50G) を用いた。超音波抽出には、超音波ホモジナイザー (Sonics VCX 505、500 W、20 kHz) を使用した。超音波抽出法の最適化には多変量解析による評価を適用し、抽出剤 (硝酸または硝酸+塩酸)、フッ化水素酸添加の有無、抽出剤の添加量 (1 mlまたは1.5 ml)、抽出時間 (10分または20分) などを組み合わせて試験した。抽出剤 (硝酸、塩酸、フッ化水素酸) の詳細な組み合わせについては別途試験した。専用チューブ (5 ml容) に試料0.12 gをはかり取り、抽出剤 (硝酸、塩酸、フッ化水素酸) を0.5 ml添加し20分間馴染ませた後、純水0.5 mlを加え、超音波抽出を行った。抽出槽の温度上昇を防ぐため、室温の水を循環させた。超音波抽出後、フッ化水素酸をマスキングするために4%ホウ酸溶液で内容物を移し込み、水で10 mlにした。超音波抽出法の比較として、マイクロウ

ェーブ分解も実施した。

多変量解析による抽出条件の最適化の結果、フッ化水素酸の添加、抽出剤 (硝酸+塩酸) とその液量の効果が有意であった。フッ化水素酸の添加により、平均で20%の回収率の向上が認められ、ケイ酸塩の分解による無機性画分の溶解性向上によるものと考えられた。抽出剤に塩酸を添加するのも効果が認められ、塩化物錯体の形成による溶液中での安定化が寄与していると考えられた。抽出剤の液量は回収率と負の相関が認められ、1 mlが適切と考えられた。その要因としては、抽出剤の液量が増えるとフッ化水素酸の濃度が相対的に低くなることと、抽出槽内のかきまぜが不十分になったことが考えられた。抽出時間は有意な関係がなかったので、10分を採用した。

次に、抽出剤 (硝酸、塩酸、フッ化水素酸) の組み合わせについて検討した結果、測定対象元素の回収率の高かった組み合わせは、硝酸0.26 ml、塩酸0.14 ml、フッ化水素酸0.13 mlであった。ほぼ同等の回収率が得られた他の組み合わせより硝酸の添加割合が高く、有機物の分解がより期待できること、フッ化水素酸の添加割合が低く、マスキング剤の添加量を少なくできるという利点があった。

最適化した超音波抽出と、原子吸光分析とを組み合わせ、各重金属の測定を行い、その検量線を元に定量下限値を求めた結果、いずれもブラジルの法的規制値の1/3 (Cd、Ni) $\sim$ 1/260 (Zn) であり、十分実用になると考えられた。また、認証標準物質の分析値は、Coを除き認証値とよい一致を示し、5点併行分析の相対標準偏差が0.58 % (Cu) $\sim$ 5.61 % (Zn) であったことから、分析値の真度、精度ともに良好と判断された。Coについては、定量下限値が認証値を上回っていたことから、確認に至らなかった。

マイクロウェーブ分解に対する超音波抽出による抽出割合は、様々な有機質の肥料において80 $\sim$ 117 %であり、多くの場合は90 %以上であった。しかし、CdとCoについては、どちらの方法においても定量下限値以下の場合が多く、評価に至らなかった。

以上の結果より本論文の著者らは、超音波抽出の条件を最適化することにより、迅速、高スルーブットで有機質の肥料の重金属分析に適用可能になったとしている。

(農業環境技術研究所 川崎 晃)

文献紹介

サンフランシスコオーシャンサイド処理場におけるバイオガス利用方法の頑健な評価手法

Robust Evaluation Methodology for the Biogas Utilization Alternatives at the San Francisco Oceanside WPCP

Drury D. Whitlock, Humphrey Ho, Dale Posey, Alexandre Miot, Leswin DCunha, David W. Green

The Water Environment Federation Technical Exhibition and Conference (WEFTEC), in Chicago, 2013/10

オーシャンサイド処理場の嫌気性消化ガスを活用したエンジン発電機は稼働から約20年経過し、故障停止増による電気代削減量低下や維持管理へのマンパワーが増加していた。また当処理場では廃グリースの消化槽投入や高温消化への変更を実施中で、今後更なるガス発生量増加が見込まれた。サンフランシスコ公益事業委員会は、より効率的で持続可能なサービスを検討するためのプロジェクトを立ち上げた。

現実的な代替技術として、①現有コージェネシステム改修+ガス精製、②ガス精製+新内燃機関、③ガス精製+マイクロタービン、④フレックス燃料タービン、⑤ガス精製+オンサイト燃料電池、⑥ガス精製+CO₂除去（天然ガスパイプライン供給）、⑦ガス精製+CO₂除去+加圧（場外自動車用天然ガスステーションへ供給）、⑧ガス精製+CO₂除去+加圧（場内自動車用天然ガスステーションへ供給）、に関し金銭/非金銭評価を行った。

代替技術評価として用いた段階的技術評価手法の流れは、①利害関係者の特定、②論点の構成、③代替技術の展開、④決定基準と価値の設定、⑤初期スクリーニング、⑥代替プロジェクト評価、⑦感度解析、⑧代替案選択、⑨実施計画策定である。

初期スクリーニング基準例として、法令への適合、導入・可動実績や騒音・悪臭発生リスク等がある。

金銭面分析はライフサイクルコスト分析、非金銭的分析は多属性効用分析（MUA）を用いた。MUAは仮定、判断、優先度、トレードオフを明確かつシステムティックに表現するのに有用なアプローチで、誤った判断がかなりの経済リスクに繋がる場合や、望ましい結論を得るために協力が必要な場合、代替手段が複雑で数が多い場合に有用とされている。MUAは其々の手法に固有の経済的利益とリスクを説明し意思決定

をするプロセスであり、経済、環境及び社会的要因のバランスが最大化する手法を優先するものである。

系統的アプローチは、コスト資産ソフト、MUA、優先順位及び最適化に関する対話式のワークショップの統合であり、①全ての関係する論点や問題点を構築するためのグループワーク、②コスト/経済リスクの見積、③最適化及び利益/コスト曲線による不明確点やリスクと目標コストコントロール戦略のランク付け、④実施、管理及び更新、⑤ポートフォリオ手法による利益最適化、コスト削減と支出削減のステップを含んでおり、研究チームでは代替手段の比較にトリプルボトムラインプラスのコンセプトを具体化する手法を用いるものとした。

ライフサイクルコスト分析手法では、資本費や維持管理費、年価及び現在価値算定に、類似事業の費用や業者見積を用い、施設規模設定や発生ガス量、ユーティリティ（電力費：\$0.11/kWh、ガス：\$0.60/therm、処理場維持管理人件費：\$120,000/年＝\$58/hr、熱移動効率：80%、ボイラー効率：90%、H₂S除去用海綿鉄媒体交換量：稼働率100%で53,100lbs/年、\$0.85/lb、シロキサン除去用活性炭交換量：稼働率100%で8,000lbs/年、\$2.30/lb等）の仮定を用いた。

各代替技術の稼働時間と電気/熱転換効率を踏まえた全体システム効率は、新内燃機関、マイクロタービンと天然ガスパイプラインへの供給の順に効率的とされた。天然ガス自動車の燃焼効率が20%と低いことから、自動車燃料としてのバイオメタン生成は低効率であった。カーボンオフセットは新内燃機関が最も高く、マイクロタービンと燃料電池が続いた。

資本費・維持管理費及び正味現在価値（資本費と資産寿命迄の維持管理費の現在価値合計、寿命期間後の残存価値他）では、新内燃機関、現在のエンジン、マイクロタービンのみ正の正味現在価値を示し、燃料電池、自動車燃料用バイオメタンの順で、高い負の現在価値を示した。MUA手法による非金銭的分析では、新内燃機関が最も有効であり、天然ガスパイプラインへの供給が続いた。

金銭及び非金銭的分析の結果、ガス精製及び新たな内燃機関のコージェネレーションエンジンが望ましい代替手段であった。

（日本下水道事業団 三宅 十四日）

講 座

消化汚泥からの 高効率リン除去回収技術

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

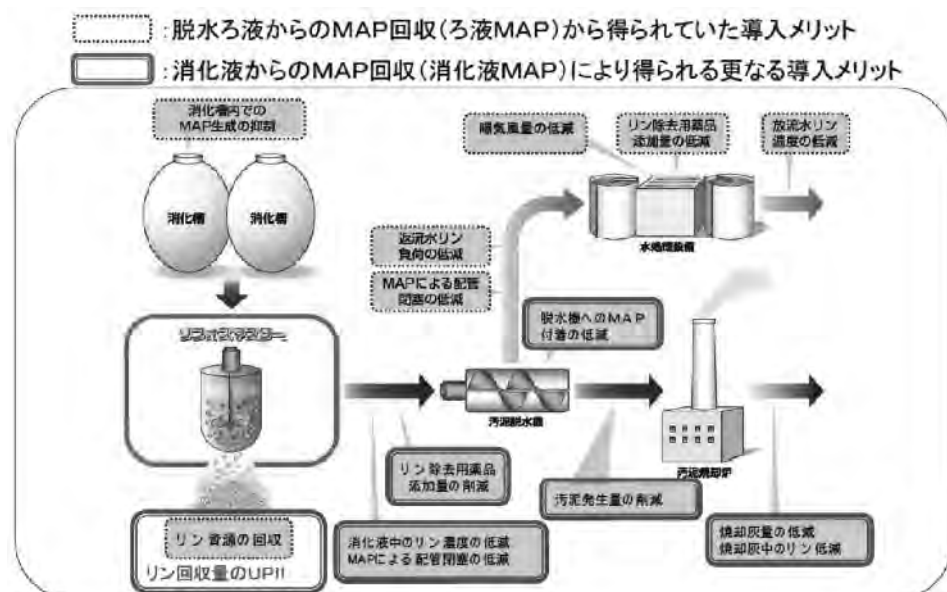
水ing株式会社 技術開発統括システム開発室 古 賀 大 輔
技術開発統括技術開発室 萩 野 隆 生

キーワード：リン回収、晶析、MAP

1. はじめに

肥料・工業原料の一つであるリンは、世界的な枯渇資源でありながら、我国においては、その必要量全量を輸入しているという貴重な資源である。一方、嫌気性消化槽を有する処理場では、高濃度のリン酸、アンモニアが汚泥処理系統より水処理系統へ返流され水処理への負荷が増加するという問題や、条件によってはスケールにより配管閉塞等が発生する等の課題を抱えている。これらを解決すべく水ing(株)は消化汚泥中の

リンをリン酸マグネシウムアンモニウム（以下MAPと略記）として直接除去回収できる機械攪拌式MAP法を開発した¹⁾。本技術は国土交通省下水道革新的技術実証事業（B-DASHプロジェクト）として平成24年度に採択され、国土技術政策総合研究所委託研究として239m³/日の実規模リン除去回収プラントを神戸市東灘処理場に建設し、実証運転を行っている。本報では、技術の概要および実証運転状況を報告する。なお、本研究は、水ing・神戸市・三菱商事アグリサービス共同研究体により実施している。



<導入メリット>

- ①高いリン回収量
- ②返流水リン負荷の低減
- ③リン回収による汚泥固形物量の削減
- ④リン由来の消化汚泥脱水設備でのスケールトラブルの低減

図1 本技術の導入箇所と導入効果

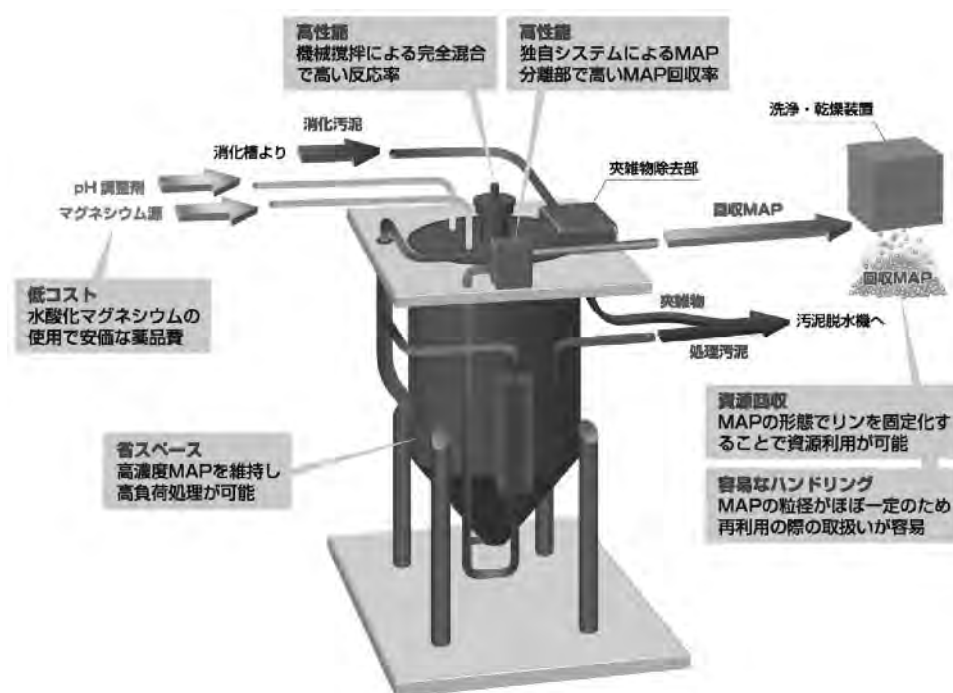


図2 リン除去回収装置外略図

2. 本技術の適用箇所と期待される導入効果

消化槽を有する処理場においては、水処理で汚泥中に取り込まれたリンの一部が消化工程で再溶出する。消化汚泥には溶出した溶解性のリン酸態リンを含むリンおよびアンモニアが高濃度に含まれており、その返流水が水処理へ循環する。返流水リン負荷削減のためのリン除去・回収技術として、従来型MAP法では消化汚泥脱水ろ液からリンを回収するが、本技術では消化汚泥から直接リンを除去・回収する。処理場内におけるリンの循環に対して、最も高濃度となる消化汚泥よりリンを除去・回収することで、従来のろ液からのMAP法で得られていたメリットに加えて、リン回収量の増加等、図1に示す様々な導入メリットが得られる。回収リン（MAP）は貴重なリン資源として再利用が可能である。

3. リン除去回収装置の特徴

本装置は、消化汚泥中に含まれる高濃度のリン酸とアンモニアに水酸化マグネシウムを添加し、消化汚泥中のリンをMAPとして回収する。下記(1)(2)に本装置の特徴を示す。図2にリン除去回収装置概略図を示す。

(1) 高いリン回収量

消化汚泥は、高濃度のリン酸や自然発生MAP（消

化槽内で生成したMAP）を含有している一方、高SS、高粘度であるという性質も持っているため、従来の一般的な流動床型リアクタでは適用が困難であった。本装置は、機械攪拌式の完全混合リアクタにより、粘性の高い消化汚泥消化汚泥中でも PO_4^- 、 NH_4^+ 、 Mg_2^+ イオン、MAP種晶を均一に接触させて反応効率を高めている。また、リアクタ内のイオン濃度に偏りがある場合に生じる回収困難な微細MAP²⁾（数 μm 程度）の生成が少ない。MAP回収量は消化槽内で自然発生したMAPの一部も回収可能であるため増加する。

(2) 安定した性能と容易な運転管理

①独自のMAP分離システム

完全混合型の晶析リアクタでは、MAP（種晶）と消化汚泥の分離方法が課題となるが、遠心分離を利用した独自のMAP分離システムの開発により、種晶と消化汚泥とを連続的に分離し、リアクタ内の種晶濃度を高濃度に保つことが可能である。また、攪拌・分離工程による種晶同士の衝突・研磨効果により、種晶の粒径は常時一定に保たれるため、安定したリン除去性能を発揮できる。

②種晶の追加投入が不要

リアクタ内の種晶が晶析反応により増加すること、消化槽で自然発生したMAPを常時回収していることから、種晶の追加投入は不要である。増加した分のMAP（種晶）をタイマーで間欠的に引抜くことで、リアクタ内の種晶濃度を一定に保つことができる。なお、引抜工程時も装置への流入を停止する必要がな

く、常時連続運転が可能である。本装置の立上げ、停止、種晶引抜の各工程は自動化されており、運転管理は容易である。

4. B-DASH実証

(1) 実証概要

実証施設は東灘処理場消化汚泥の約1/4となる239m³/日の消化汚泥よりリンを除去・回収している。実証では処理性能の評価、回収MAPの肥料化検討を行っている。

表1に実証施設の諸元、図3に施設フロー、図4

に施設写真を示す。実証施設は消化汚泥中のリン酸をMAPに晶析させ、除去・回収を行う。回収したMAPは洗浄設備で洗浄後、乾燥設備で乾燥させフレコンバックに充填される。処理消化汚泥はスクリーンプレスで脱水する。リン除去前後、および脱水ろ液でのリンに関わる水質分析を行った。

(2) リン除去処理性能実証結果

図5にリン除去処理状況の経時変化を、表2に処理状況平均値と除去（縮減）率を示す。

約一ヶ月の試験期間を通じて、処理消化液T-P、処理消化液PO₄-P、脱水ろ液T-Pはいずれも安定的に推

表1 実証施設諸元

項目	値
処理消化液量	239m ³ /日
処理能力	脱水ろ液中のT-P80%除去
MAP回収量	約360kg/日（計画値） （消化液T-P : 542mg/L） （消化液PO ₄ -P : 172mg/L）

表2 処理状況平均値（mg/L）と除去（縮減）率

消化液	処理前	処理後	除去率
T-P	548	331	39.6%
PO ₄ -P	179	15	91.6%
脱水ろ液	リン除去無	リン除去	縮減率
T-P	152	17	88.8%

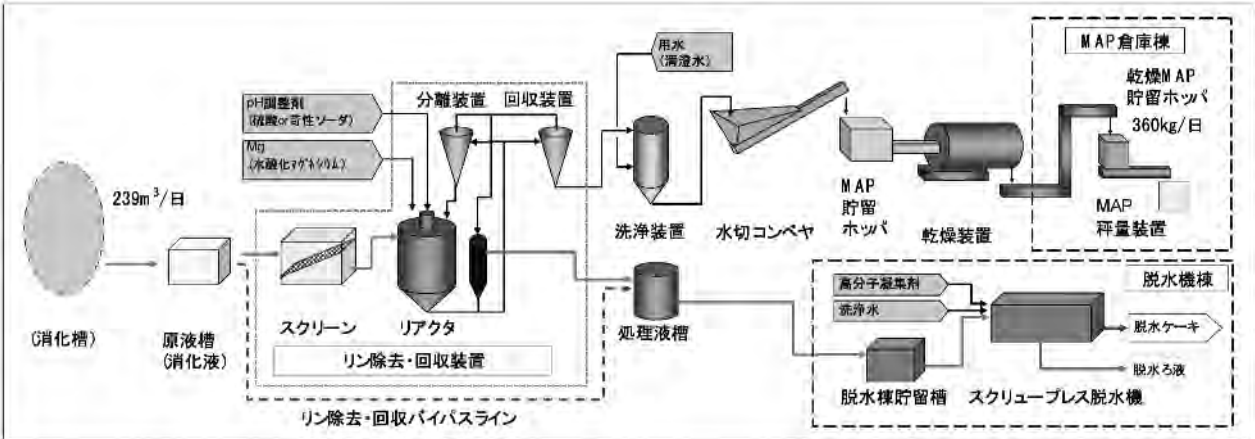


図3 実証施設フロー

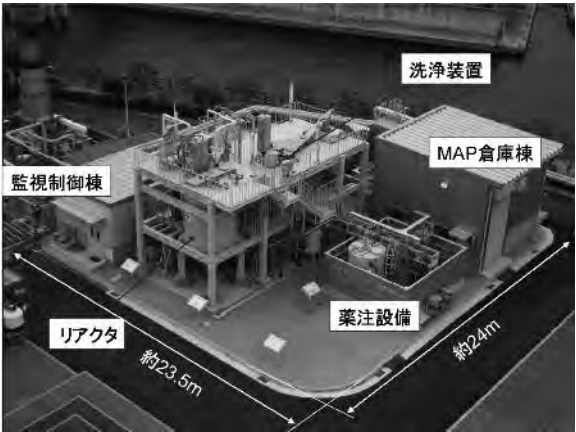


図4 実証施設鳥瞰写真

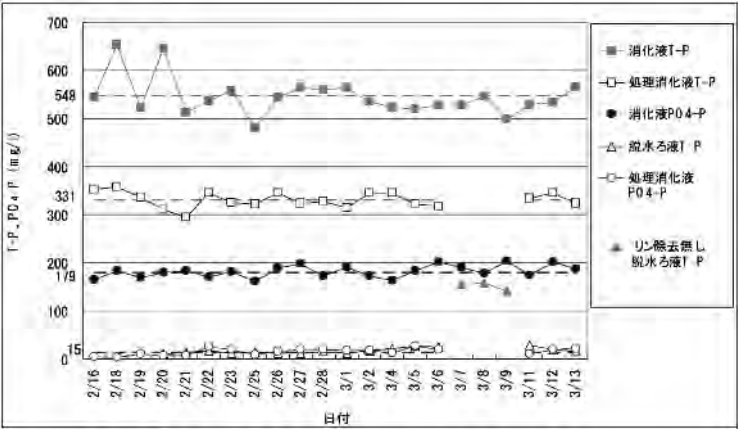


図5 処理状況経時変化（2012年度）



図6 回収MAP



図7 試作肥料

移し、リン除去回収装置でのT-P除去率は平均39.6%、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 除去率は平均91.6%となった。なお、平均Mg/Pモル比は1.1、平均リアクタpHは7.8であった。本期間のMg/Pモル比0.9～1.5で $\text{PO}_4\text{-P}$ 除去率85%～98%であった。また、pHは7.6～7.95であり比較的低いpH域で、pH調整無しで処理できた。比較的低いMg/Pモル比から高い除去率を達成しており、pH調整剤も不要であった。

なお、処理前後T-P濃度差： $548-331=217\text{mg/l}$ は、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度差： $179-15=164\text{mg/l}$ よりも53mg/l多い計算となる。この差は、本リアクターでは原消化液に含まれる浮遊性のリンの一部も回収されたことを示している。

また、リン除去有無での汚泥脱水性の確認を合わせて行ったが、同等であることを確認した。

(3) 肥料原料検討結果

回収MAPの性状分析の結果は化成肥料の公定規格を満足した。植害試験結果も問題無く、肥料として有効利用可能な品質レベルであることが確認された。更に肥料工場でラボ造粒試験を行った結果、回収MAPを使用した試作肥料は通常の原料を使用する場合と同等の造粒性を示し、原料として利用可能であることが確認された。回収MAPと試作肥料のサンプル例を図6および図7に示す。

5. おわりに

消化汚泥から直接リンを除去・回収する本技術により、消化槽の有する処理場の課題である、返流水リン負荷の低減やスケールトラブルリスクの低減、また、固形物の削減効果など、様々なメリットが得られる。更に、回収したMAPは肥料として利用できる成分であることが確認されており、資源循環に貢献できるものと考えられる。

近年、消化槽を活用したエネルギー回収が注目されているが、リン資源回収も本技術との組み合わせにより可能となる。今後は、下水処理施設の上記の課題を解決しつつ、リン資源循環の一助となるべく、本技術の普及に努めたい。

参考文献：

- 1) 島村ら メタン発酵液からのリン回収プロセスにおける晶析操作 化学工学論文集, 第35巻, 第1号, pp127-132 2009
- 2) 島村ら 晶析技術を用いた嫌気性消化汚泥中のリン回収システムの検証 下水道協会誌, Vol43, 第No.529, pp108-117 2006

講座

高速リン吸着剤を用いた排水からのリン除去・回収

旭化成ケミカルズ株式会社 環境システム事業推進室
室長 大 屋 博 義

キーワード：高速リン吸着剤、水環境問題、リン資源問題、リン除去、リン回収

はじめに

リンは肥料の3大要素（窒素、リン、カリウム）のひとつであり、農業のみならず産業等においても重要な資源である。日本は、リン鉱石を100%輸入に頼っているが、世界的に高品位なリン鉱石は確保が難しくなってきていると言われている。一方で、輸入リン鉱石の約50%に相当するリンが主に食品を経由し生活排水として下水に流入しており、湖沼や内湾などの閉鎖性水域へ多量のリンが流入すると富栄養化などの水環境問題を惹き起こすことになる。このためリンは、生活排水や産業排水の重要な規制項目となっている。排水等に含まれるリンを除去する方法には、生物学的脱リン法、凝集沈殿法、吸着法などがあるが、生物学的脱リン法や凝集沈殿法は、0.01ppmオーダーの低濃度まで安定して除去することが難しい、汚泥が多量に発生し処分費用が増加するなどの問題がある。吸着法は、低濃度までリンを除去可能だが、従来の吸着剤では吸着速度が遅いため、大量の排水等の処理には多量の吸着剤が必要となり、装置が大きくなるなどの問題があった。このように従来のリン除去法にはそれぞれ課題があり、低濃度まで効率よく排水中のリンを除去し、除去したリンを肥料などに利用できる技術が求められている。弊社は排水に含まれるリンを高速で除去できる吸着剤と、この吸着剤を用いたリン除去・回収

システムを開発した。2006年度から日本下水道事業団と下水二次処理水や汚泥処理返流水を対象に共同研究を実施し、さらに2012年3月からは霞ヶ浦浄化センターにおいて、実証プラントによる一年間の連続運転を実施し、年間を通して下水処理中のリン濃度を極低濃度（年平均0.03mg/L）に安定して除去されることを確認した。また、本法により回収されたリンは極めて純度が高く、リン酸工業のリン鉱石の代替や、肥料原料として利用可能であることも確認された。高速リン吸着剤は、水環境問題だけではなく、リン資源問題の解決にも貢献できると期待される。

1. 高速リン吸着剤

弊社の吸着剤は、排水からのリンの除去と回収を目的に新たに開発されたものである。高速で排水中のリン酸態リンを吸着除去できるのが最大の特長である。このため、従来の吸着剤では実用上困難であった下水などの大量の水への適用が可能となった。

リン吸着剤は、外観は写真1に示したように均一な粒径（約0.6mm）の球であるが、その内部は特殊な多孔構造で、球の表面と内側に数ミクロンの空隙とサブミクロンの孔を有している。このため排水中のリン酸態リンが内部まで高速に拡散することができる。図1は貫流容量の通水速度の関係を示しているが、高速リン吸着剤は高い通水速度においても十分な貫流容量を

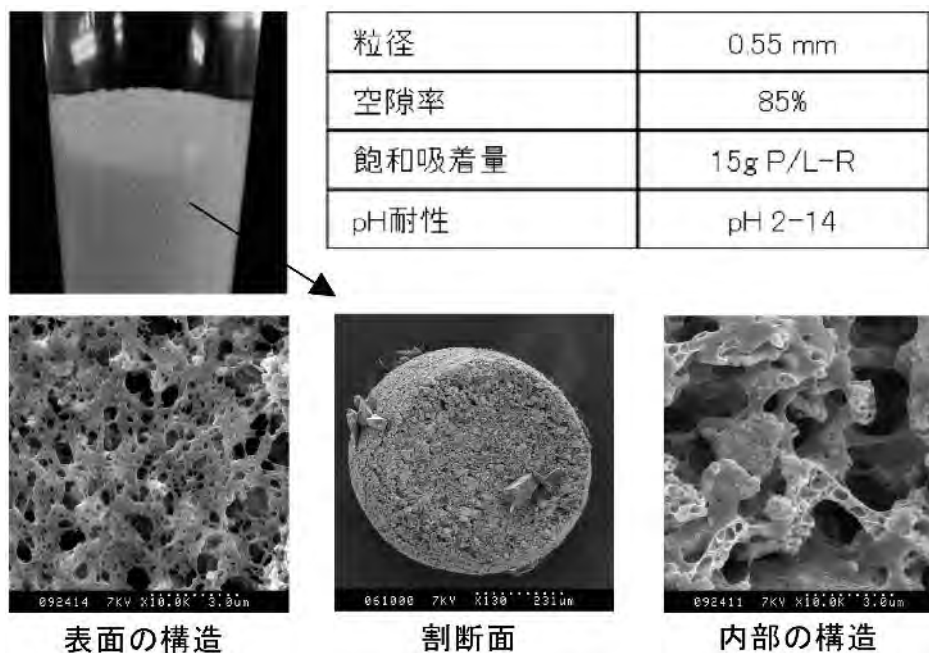
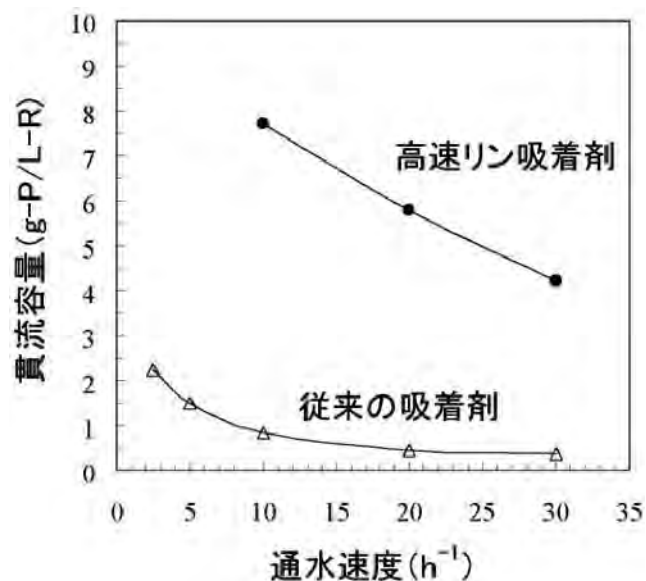


写真1 リン吸着剤の外観とミクロ構造

図1 貫流容量と通水速度
(原水リン濃度9 mg/L、破過濃度0.5 mg/L)

維持している。例えば、通水速度SV (Space Velocity) が20h⁻¹の時に貫流容量は6g-P/L-Rで、これは従来の吸着剤の10倍以上である。このため吸着剤の必要量は従来の吸着剤の1/10以下となり、システム全体も大幅にコンパクトにすることができる。

この吸着剤は吸着速度だけでなく、リン除去性やリン選択性、吸着脱着繰返し性にも優れている。

- 1) リン除去性：排水を吸着剤に通水するだけで、リン酸態リンを0.01mg/L以下の極低濃度まで除去

することができる。富栄養化はリン濃度が0.03mg/L程度の低濃度でも発生すると言われており、本吸着剤を用いれば閉鎖性水域へのリン流入を最小限に抑えられる可能性がある。

- 2) リン選択性：イオン選択性の順序は $\text{PO}_4^{3-} > \text{F}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Br}^-$ 、 Cl^- 、 NO_2^- 、 NO_3^- で、リン酸態リンに対して高い選択性を有している。下水のような排水には塩素イオンや硫酸イオンなどの各種イオンが多量に含まれているため、リン選択性の低い吸着剤ではすぐにリンを除去できなくなってしまう。本吸着剤はほぼリンのみを吸着するので、大量の排水を処理することができる。

- 3) 吸着脱着繰返し性：吸着されたリンはアルカリ水溶液で容易に脱着することができ、吸着剤は中和により再生することができる。この吸着剤は酸やアルカリに対し高い耐久性を持つため、吸着と脱着を繰り返しても吸着性能はほとんど劣化しない。

2. リン除去・回収システム¹⁾

このリン吸着剤を用いたリン除去・回収システムを開発した。本システムは、吸着剤が充填された吸着塔と、脱着したリンを回収する装置から構成されている。排水を吸着塔に通すだけで、排水中のリンを除去すると同時に除去したリンを連続的にリン酸塩として回収できる。リン除去・回収システムの模式図を図2に示した。このシステムは吸着、脱着、回収の3工程から構成されている。

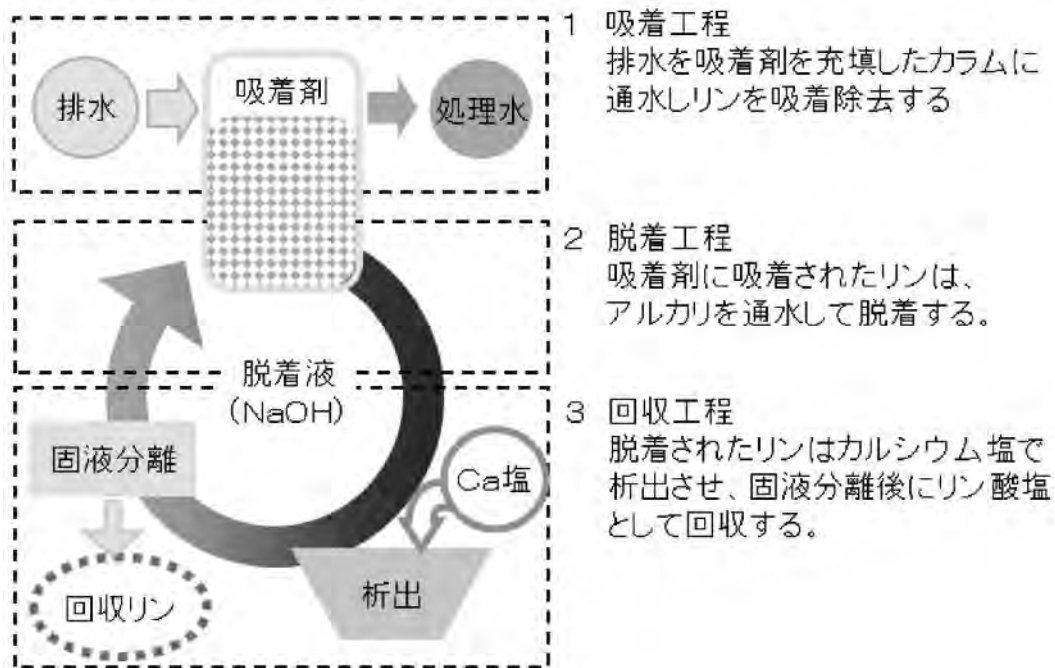


図2 リン除去・回収システムの模式図

1) 吸着工程：排水を吸着塔に通すだけでリン酸態リンはほぼ完全に吸着・除去される。吸着は貫流量に達するまでおこなうことができ、吸着塔をメリーゴーランド式とすれば連続的にリンを除去することができる。なお、排水に懸濁物質（SS）が多く含まれている場合は、前処理としてろ過装置が必要となる。

2) 脱着工程：所定量のリンが吸着された吸着塔にアルカリ水溶液（脱着液）を通すことによりリンは脱着される。脱着後の吸着塔は酸で中和し、再度吸着に供することができる。

3) 回収工程：脱着液中のリンは、生石灰を添加することによりヒドロキシアパタイト（HAP）として析出する。固液分離によりリンはHAPとして回収され、脱着液は次の脱着に再使用することができる。従来のリン除去法としては同時凝集法が一般的で、凝集剤としてポリ塩化アルミニウム（PAC）などが用いられる。同時凝集法は汚泥発生量が増大するため汚泥処理費が増大し、薬剤費を含めた処理コストが高くなる。本システムでは汚泥発生量の増大がなく、脱着液が再使用可能で薬剤費が少なく、すむため、条件によれば処理コストは同時凝集法よりも安価であることが期待できる。

3. 下水処理プロセスへの適用

日本下水道事業団と旭化成ケミカルズは、2006年度から共同研究として、下水二次処理水および汚泥処理返流水を対象にリン除去・回収システムの実証実験を行った。実験に用いたシステムは、吸着塔が三塔のメリーゴーランド式で、吸着と脱着、回収が全自動運転となっている。以下に、研究結果の概要を述べる。

1) 下水二次処理水への適用²⁾

実験を行った下水処理場は標準活性汚泥法で運転されており、二次処理水を砂ろ過した後に吸着塔に導入した。原水（二次処理水）と処理水（吸着塔通過後）の全リン濃度（TP）の経時変化を図3に示した。二次処理水のリン濃度は、下水処理場への流入水や生物処理の変動などにより大きく変化する。この期間中、原水のTPは0.1mg/Lから2mg/Lの範囲で大きく変動しているが、処理水のTPは安定して0.05mg/L以下を維持している。なお、この処理水のTPは、ほとんどが粒子状リンや有機性リンに由来するものであり、オルトリン酸態リン（OP）は約0.002mg/Lと極低濃度であった。なお、この実験で得られた回収リンは純度が高く、肥料等に利用可能であることがわかった。

2) 汚泥処理返流水への適用³⁾

前項の下水二次処理に引き続き、2009年度から汚泥

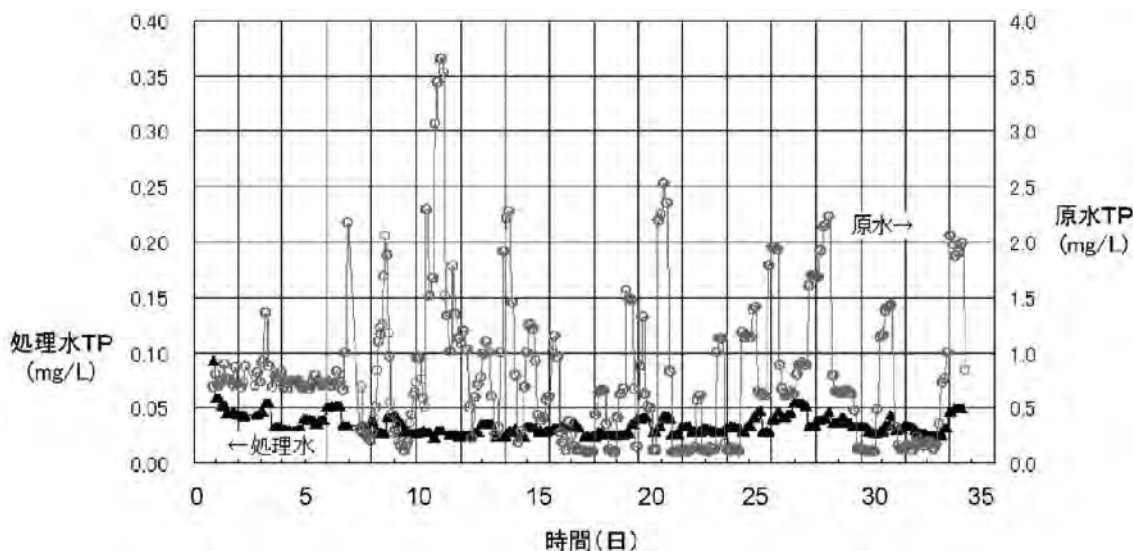
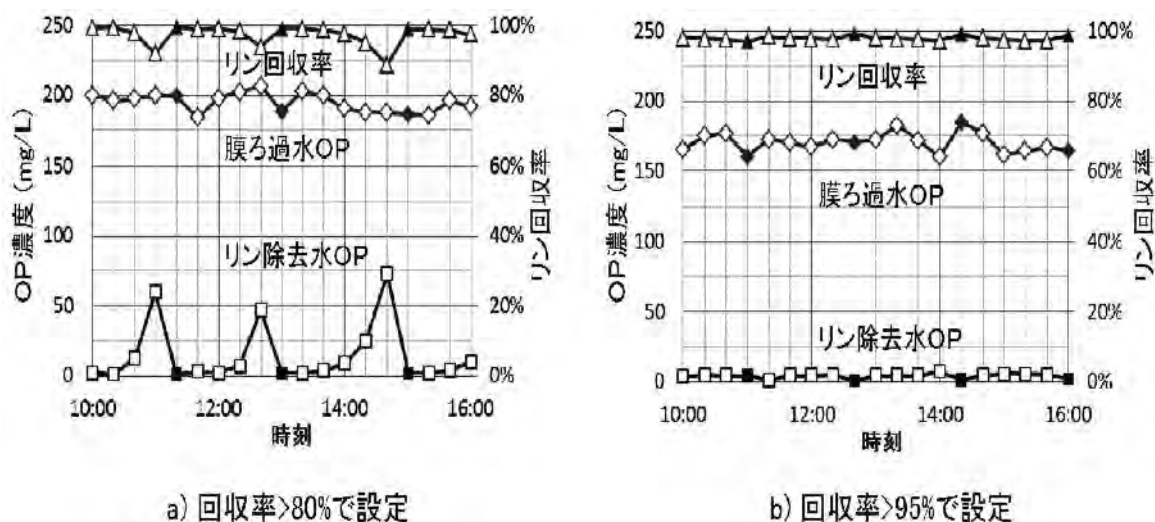


図3 原水と処理水のリン濃度経時変化



a) 回収率>80%で設定

b) 回収率>95%で設定

図4 リン除去連続運転(塗りつぶしたプロットの時点で吸着塔を切替)

処理返流水を対象とした実証実験を行った。本実験では汚泥処理返流水として嫌気性消化汚泥脱水ろ液を用いた。この脱水ろ液はSSが最大で約1,000mg/Lと多くまたその変動も大きいので、ろ過装置として浸漬型MF膜を使用した。脱水ろ液のOPも最大で250mg/Lと高濃度であったが、リンを確実に除去回収できることがわかった。なお、本システムは流入水と処理水の両方にリン濃度計が設置されているため、リンの回収率を自由に設定することができる。リン除去連続運転の結果を図4に示した。吸着塔の切替を調整することにより、回収率を80%以上や95%以上などに設定することが可能であった。

実験に用いた脱水ろ液にはオルトリン酸態リン以外に、アンモニウムイオンや硫酸イオン、炭酸イオンな

どの種々のイオンが多量に含まれていたが、本吸着剤はリン選択性が高いため、回収されたリン化合物(HAP)は純度がきわめて高いことがわかった。回収リンの分析値を表1に示した。肥料成分であるク溶性リン酸は副酸リン酸肥料の公定規格の約2倍であり、ヒ素やカドミウムなどの有害物は規格の1/100以下と少ないため肥料としての利用することが可能である。また、アルミニウムや鉄などの不純物も天然リン鉱石の高純度品よりも少ないため、リン酸工業のリン鉱石代替としても使用可能である。

3) 実証プラントの結果⁴⁾

上記の下水二次処理水を対象とした実験を踏まえて、2012年3月から茨城県の霞ヶ浦浄化センター内

表 1 回収リンの分析値

	項目	単位	本システム 回収リン	リン鉱石 高純度品	副産リン酸肥料 公定規格
主成分	ク溶性リン酸 ※1	%-P ₂ O ₅	26	—	> 15
	カルシウム	%	35.7	35	—
	リン	%	13.3	15.6	—
不純物	アルミニウム	%	0.06	0.23	—
	鉄	%	0.02	0.22	—
有害物	ヒ素	mg/kg	3.2	33	< 1040 ※2
	カドミウム	mg/kg	0.2	12	< 39 ※2
	クロム	mg/kg	1.4	186	—
	水銀	mg/kg	< 0.1	0.6	—
	ニッケル	mg/kg	2.2	22	—
	鉛	mg/kg	0.4	2.4	—

※ 1 ク溶性リン酸： 2%クエン酸溶液に溶解するリンを P₂O₅として換算したもの。

※ 2 ク溶性リン酸が 26%の場合。



写真 2 実証プラントの外観

に設置した処理水量500m³/日の実証プラントにおいて一年間の連続運転を実施した。本プラントは、砂ろ過器や吸着塔、固液分離機などから構成されており、吸着塔は写真 2 に示す様に 3 塔メリーゴーランド式である。これは日本下水道事業団が茨城県からの受託により実施されたもので、下水道事業において下水処理プロセスの新技术を導入する際に必要となる外部委員会の評価を受けるための水質データを取得することを目的とした。下水処理水の全リン濃度（日間平均値）の年間平均値は1.1mg/Lで、0.5～2.1mg/Lで、0.5～2.1mg/Lの間で変動した。これに対し、本法はよる脱

リン後の放流水の全リン濃度（日間平均値）は、年間を通じて0.02～0.07mg/Lの間で低く安定しており、年間平均値は0.03mg/Lであった。この結果から2013年 3 月に開催された日本下水道事業による技術評価委員会において本法は従来のリン除去技術の10分の 1 以下の濃度レベルである放流水の全リン濃度0.1mg/L以下に適合する処理方法であると評価された。また、本評価結果を受け、2013年 6 月 4 日には、国土交通省により茨城県知に対して、本法が計画放流水質に適合した処理方法である旨が通知された。

表 2

排水の種類	全リン (mg/l)	オルトリン酸態リン (mg/l)
食品 1	110	106
食品 2	464	460
食品 3	209	204
メッキ	28000	5>
製薬 1	20	18
製薬 2	44	42
金属表面処理	55	53

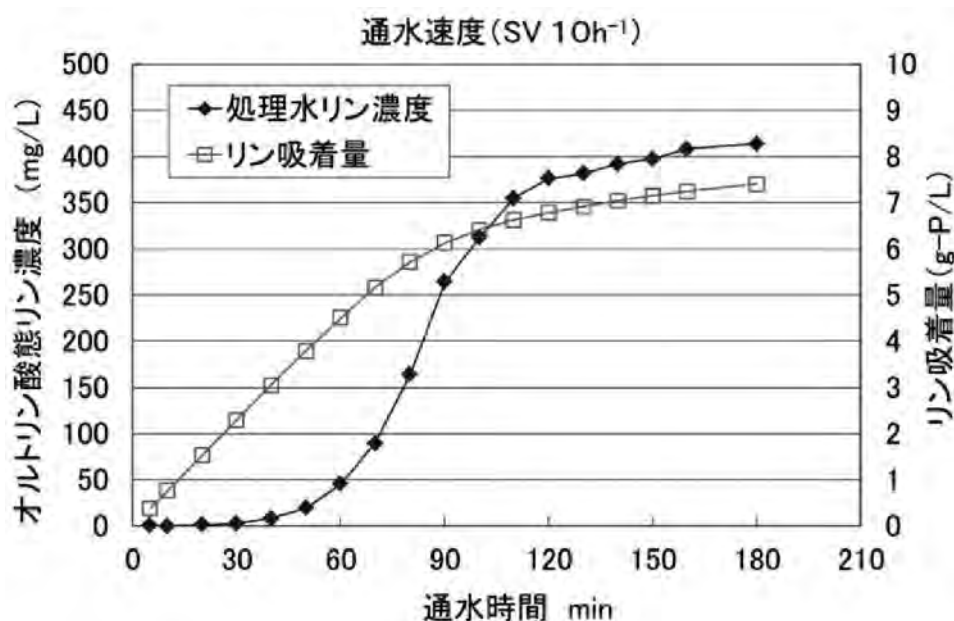


図 5 破過前の処理水オルトリン酸態リン濃度は0.5mg/L未満

4. 産業排水分野への適用

リンは、畜産、食品、電子産業等でも大量に排出されており、これら産業排水からのリン除去・回収も重要な課題である。たとえば、半導体や液晶ディスプレイパネルなどの電子産業分野では、エッチング液としてリン酸を使用する工程がある。発酵工程では、微生物の生育に必要な窒素成分やリン酸などを多く含む培地が使用される。微生物が使い切れなかった窒素成分やリン酸は精製工程から排出される廃水中に残存する。食用油の精製工程では、カルシウムやマグネシウムイオンがリン脂質と結合してできる不純物を取り除くために、多量のリン酸液が使われている。⁵⁾ これら

の工場排水中に含まれているリンは、放流水域の富栄養化による環境を汚染を防ぐ目的から、現状では凝集剤を添加するなどして、排水中から除去されている。表 2 に、各種産業排水中の全リン濃度とオルトリン酸濃度を示した。産業排水の特徴は、下水二次処理水と比較して、リン濃度が高く、リン成分の大半がオルトリン酸態リンであることが多いことである。このことは、高速リン吸着剤を用いた本リン除去・回収システムにより、下水二次処理水よりも、より効率的にリンを回収できる可能性があることを示唆する。図 5 に、本吸着剤を用いた、食品排水からリンを除去した結果の一例を示すが、排水中のオルトリン酸態リン濃度は460mg/Lに対して、破過前の処理水オルトリン酸態リン濃度は0.5mg/L未満に抑えられており、高いリン

濃度の食品排水に対しても、本吸着剤が適用可能であることが示唆された。

おわりに

高速リン吸着剤を用いたリン除去・回収システムは、システムがコンパクトであるだけでなく、リン除去性が高く、回収リンの純度が高いなどの優れた特長を有している。本システムは下水だけでなく工場などで発生するリン含有排水にも適用できる。さらに、すでに富栄養化が進んでいる湖沼などに適用し、湖沼からリンを回収すると同時に水環境を改善することも考えられる。リン資源問題と水環境問題の解決は日本だけでなく世界各国に共通の課題であり、日本で生れた技術が地球環境に少しでも寄与できればと願っている。

参考文献

- 1) Omori A., et al., High Efficiency Adsorbent System for Phosphorus Removal & Recovery. 4thIWA Leading-Edge Technology Conference & Exhibition on Water & Wastewater Technologies, 2007, p43.
- 2) 緑川ら、りん吸着回収システムの下水二次処理水への適用、第46 回下水道研究発表会講演集、2009、p709.
- 3) 福岡ら、高速吸着剤を用いたりん除去・回収システムによる汚泥処理返流水からのりん回収、第49 回下水道研究発表会講演集、2012、p187.
- 4) 橋本敏一 高速吸着剤を用いたリン除去・回収技術 月刊ビジネスアイエネコ、2013 10月、p84
- 5) 鈴木 秀男 植物油製造プロセスとリン回収 生物工学 2012年 第8号 p488

講座

排水からのリン回収・肥料化に関する取り組み

太平洋セメント(株) 明 戸 剛

キーワード：非晶質ケイ酸カルシウム水和物、肥料

1. はじめに

リンは、全ての生物にとって必要不可欠な元素であるとともに、食料生産をする上でも欠かすことのできない重要な元素である。人間の体を構成する元素重量比をみると、リンは、酸素、炭素、水素、窒素、カルシウムに次いで、6番目に存在比率が高い元素であり、主に骨格を形成する骨や、DNAに代表される遺伝物質に含まれる。また、肥料三要素（窒素、リン酸、カリウム）の一つでもあり、もしリンが無くなると食料生産ができなくなる。現在、世界規模でリン資源であるリン鉱石の枯渇が予測されており、リン鉱石産出国によるリン資源の囲い込みの動きや、新興国による旺盛な食料需要によるりん酸質肥料の価格高騰など、リン価格は乱高下している状況である。このような状況下、わが国ではリン資源を保有しておらず、必要なリン資源（主にリン鉱石）のほぼ全てを輸入に依存しているため、リン資源の安定確保に対する懸念が年々高まりつつある。一方で、社会の重要な基盤である下水道には、リン鉱石輸入量の4～5割にあたるリンが流入しているが、回収・再資源化されるリンは、その1割程度に過ぎないと言われている。また近年では、汚泥の集約化を進める自治体や、エネルギー回収や汚泥の減容化を目的とした嫌気性消化処理（メタン発酵処理）を行う下水処理場が増加している。これらの工

程がある処理場では、汚泥が取り込んだリンの排水中への吐き出しが促進され、返流水中のリン負荷が高くなるため、水処理系への悪影響も懸念される。

前述の返流水に限らず、排水中のリンを除去する方法としては、ポリ塩化アルミニウム（PAC）やポリ硫酸第二鉄等の凝集剤の使用が簡便だが、これらアルミニウム・鉄系の凝集剤の場合には、リンは除去できても除去物が化学的に安定で、植物が利用しにくいリン酸アルミニウムやリン酸鉄となるため、リン鉱石代替や肥料としての再資源化は難しい。

そこで、当社では小野田化学工業㈱と共同で、下水、し尿、畜産排水や、その他の産業で発生する排水から、リンを回収し、かつ肥料として再資源化が可能な資材として、非晶質ケイ酸カルシウム水和物「リントル®」を開発したので、その概要を紹介する。

2. 「リントル®」の開発

2.1 「リントル®」とは

今回開発したリントル®は、セメント・肥料のそれぞれの産業で培った材料技術を活用して開発した、ケイ酸カルシウム系の水和物を主体とした資材で、ケイ酸質原料と石灰質原料から製造される。既存のケイ酸カルシウム系の材料としては、建築物の外壁や内装パネルに使用されているALC（軽量気泡コンクリート）ボードやケイ酸カルシウム板（ケイカル板）が広く知



写真1 「リントル®」(左：スラリー、右：粉末)

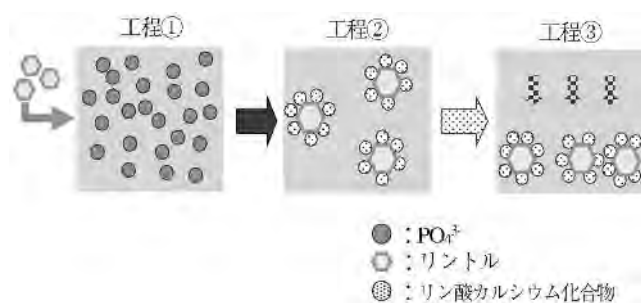


図1 リントル®によるリン回収のイメージ

られているが、これらの資材は結晶質の物質から構成されている。一方で本資材は、非晶質であるのが最大の特徴で、非晶質であるが故にリンとの反応性に優れている。また、リントル®によるリン回収物はリン酸カルシウム化合物であるため、酸に溶解しやすく、植物が吸収しやすいリン化合物である。本資材によるリン回収物は、「肥料取締法」の中の「副産りん酸肥料」として利用できるように材料設計している。

2.2 リントル®によるリン回収および肥料化の概要

リントルによるリン回収のイメージを図1に示す。まず、リン酸が溶存する排水にリントル®を添加し(工程①)、攪拌することによってリントル®とリン酸が反応し、リン酸カルシウム化合物が生成する(工程②)。静置すると生成したリン酸カルシウム化合物は、リントル®とともにすみやかに沈降する(工程③)。沈降したリン回収物は適宜、脱水・乾燥し、肥料や肥料原料として利用が可能である。既存のリン回収方法としてHAP法やMAP法といった晶析法が知られているが、これらの方法に比べて、回収設備および運転管理が簡便であることが特徴として挙げられる。

また、消石灰や塩化カルシウムのような、同じカルシウム系の材料による凝集沈殿法とは異なり、排水中に含まれている有機物のリン回収物への混入が少なく、肥料化(りん酸質肥料)の制約となる窒素分の混入を抑制できる。表1に下水汚泥脱水分離液から各種資材を用いて得られたリン回収物中の窒素濃度の測定

表1 下水汚泥脱水分離液からのリン回収物中の窒素

リン回収資材	窒素濃度 (%)
リントル®	0.04
消石灰	1.17
塩化カルシウム	1.78
「副産りん酸肥料」登録要件	1未満

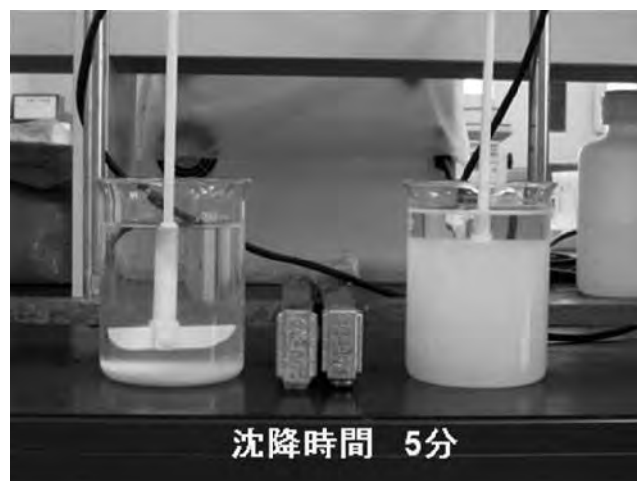


写真2 沈降性の比較(左：リントル®, 右：消石灰)

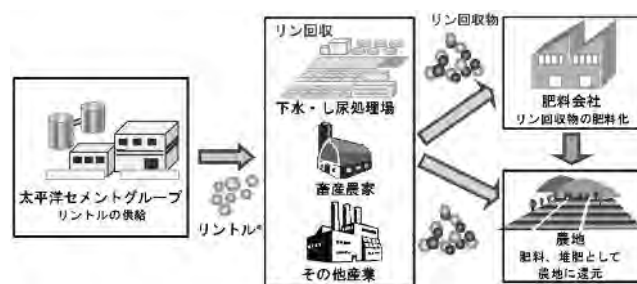


図2 リン回収から肥料化までの流れ

結果を示す。消石灰および塩化カルシウムと比較して、リントル®によるリン回収物は窒素濃度が非常に低く、有機物の混入が少ないことが分かる。

また、写真2のとおり、消石灰によるリン回収物は5分静置後も懸濁しているのに対し、リントル®ではビーカー底部に沈降しており、沈降性に優れているといえる。よって、ろ過(固液分離性)も容易である。

図2にリントル®によるリン回収から肥料化までの流れを示す。リントル®は太平洋セメントグループにて製造し、下水処理場、畜産農家、その他リンを排出する産業分野にて排水からリンを回収する。回収したリン回収物は、近隣の肥料会社にて肥料化して販売するか、地場の農家にて直接肥料あるいは堆肥として農地還元する地産地消も検討している。

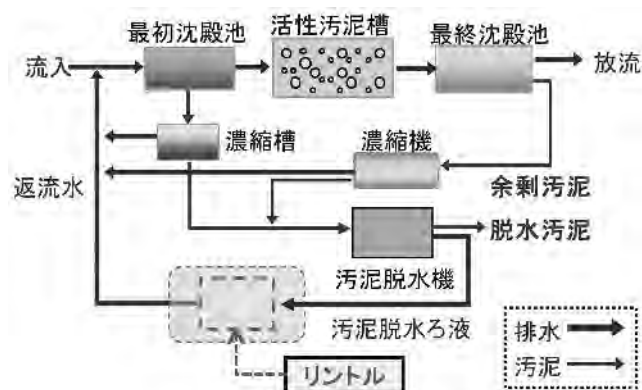


図3 下水処理フローとリントル適用箇所



写真3 実証試験設備

3. 下水からのリン回収¹⁾

3.1 下水からのリン回収の概要

我々が排出する生活排水には大量のリンが含まれ、その大部分が下水処理場に流入している。太平洋セメントでは、リン資源リサイクルの観点で大きなポテンシャルを有している下水分野への普及を目指し、検討を重ねてきた。図3に下水処理フローとリントルの適用箇所を示す。下水は沈殿・生物処理等により浄化され、河川や海域などに放流される。この生物処理の過程で発生する余剰汚泥は、脱水し（処理場によっては更に焼却）、汚泥脱水ケーキ（又は汚泥焼却灰）としてセメント資源化や埋め立て等により処理されている。この処理工程において、流入するリンの大部分は汚泥および汚泥の脱水で発生する汚泥脱水分離液に濃縮する。そこで、効率的なリン回収が可能な汚泥脱水分離液に着目した。なお、太平洋セメントでは下水汚泥の焼成処理による肥料化技術の開発も同時に進めており、本技術と組み合わせれば、下水処理工程のリンを90%以上肥料原料として資源化できると考えている²⁾。

3.1 下水分野における実証試験

下水分野では、2012年に北海道、函館湾流域下水道事務組合、(株)環境科学開発研究所、小野田化学工業(株)と「下水処理場におけるリン回収研究会」を設立し、函館湾浄化センター内にリントル®による連続処理式の実証試験設備を設置して、リン回収実証試験を実施している。本実証試験では、①各季節におけるリン回収性能の確認、②リン回収物の肥料成分および肥料特性の評価、③運転条件の最適化による処理効率向上の検討、について調査を行っている。本報では①、②について結果の概要を説明する。

写真 3 に実証試験設備の外観の写真を、図 4 に設備の概略図を示す。処理場に既設の汚泥脱水機から実

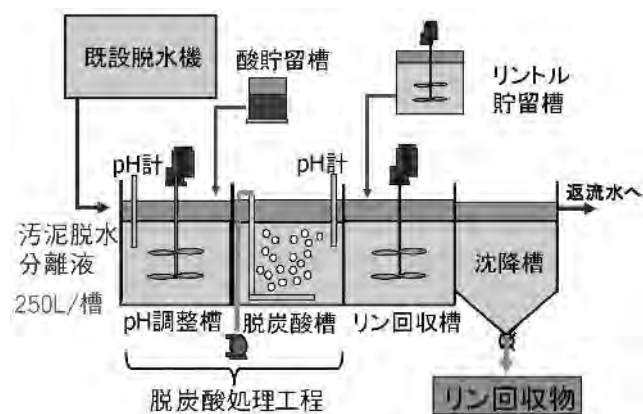


図4 実証試験設備の概要

証試験設備に脱水分離液を引き抜き、リン回収資材であるリントル®を添加してリン回収を行う。函館湾浄化センターでは汚泥の消化処理を行っているため、リントル®を用いたリン回収の阻害因子となる炭酸が脱水分離液中に高濃度で存在する。よって、本試験では脱水分離液に直接リントル®を添加してリン回収する条件の他に、前処理として炭酸を除去する（以降、脱炭酸と表記）条件も設定した。炭酸は、図4記載のpH調整槽で脱水分離液に酸を添加しpHを5.3～5.9に調整した後に、曝気槽でエアレーションすることにより除去した。また、各槽における滞留時間は15～60分とし、リン回収槽でのリントル®の添加量はリントル®に含まれるカルシウムと脱水分離液に含まれるリンのモル比（Ca/Pモル比）が2.0になるように設定した。

①各季節におけるリン回収性能の確認

季節ごとに試験を実施し、脱水分離液のリン濃度およびリン回収率の変動を確認した。結果を表2に示す。

汚泥脱水分離液のリン濃度は、春期から季節の推移とともに増加し、秋期および冬期のリン濃度が高いこ

表2 季節変動の確認

試験	脱炭酸処理	原水				リン回収後		
		pH	PO ₄ 濃度 (mg-P/L)	CO ₂ (mg/L)	SS (mg/L)	pH	PO ₄ 濃度 (mg-P/L)	リン回収率 (%)
春期	なし	7.9	223	2370	270	9.0	62	72
	あり	7.9	251	2280	380	8.8	29	88
夏期	なし	7.9	281	2500	170	9.0	75	74
	あり	8.0	286	2610	290	9.1	16	94
秋期	なし	7.7	343	2360	220	8.9	97	72
	あり	7.7	356	2420	290	8.8	43	88
冬期	なし	7.9	338	2440	310	9.3	67	80
	あり	7.8	327	2530	350	9.1	41	88

$$\text{リン回収率}(\%) = \frac{(\text{PO}_4\text{-P})_{\text{R}} - (\text{PO}_4\text{-P})_{\text{T}}}{(\text{PO}_4\text{-P})_{\text{R}}} \times 100 \quad (\text{式}-1)$$

(PO₄-P)_R: 原水のリン酸態リン濃度[mg/L]

(PO₄-P)_T: 処理水のリン酸態リン濃度[mg/L]

とを確認した。一方でリン回収率（式-1を用いて計算）は、季節によらず安定しており、脱炭酸処理を行わない場合には72～80%、行った場合には88～94%程度となり、十分なリン回収性能が確認された。

②リン回収物の肥料成分および肥料特性の評価

表4に季節ごとのリン回収物の肥料成分の分析結果を示す。脱炭酸処理を行わない場合、回収物のく溶性りん酸濃度は15～17%、行った場合には20～23%となり、副産りん酸肥料の規格である15%以上を満たす結果であった。また、ヒ素（As）、カドミウム（Cd）に関しても検出下限未満となり規格を満たした。以上の結果より、季節によらず安定的に肥料規格を満たすリン回収物を得られることが確認できた。また、得られたリン回収物を用いて小松菜の植害試験を実施した。結果を写真4に示す。リントル®によるリン回収物は、植物の生育上の異常は認められず、標準区および、同じ下水からのリン回収物である「岐阜の大地」と比較しても同等の生育状況であることを確認した。

4. おわりに

セメント産業では、多種多様な廃棄物を代替原燃料として受け入れ、資源循環している。下水処理場で発生する下水汚泥は、その主たるものであるが、近年、自治体によっては汚泥中のリン濃度が上昇傾向にあり、セメントの品質維持の側面から、受け入れを制限するケースが発生している。太平洋セメントでは、排水からリンを回収する本技術の他に、下水汚泥を肥料化する技術も開発している。これらの技術は、リン資源リサイクルのみならず、セメント産業が資源循環型社会を形成・維持するためにも、重要な技術であると

表4 リン回収物の肥料成分

試験	脱炭酸処理	く溶性りん酸 ^{*2} (%)	As (mg/kg)	Cd (mg/kg)
春期	なし	17.2	N.D. ^{*4}	N.D.
	あり	22.5	N.D.	N.D.
夏期	なし	16.7	N.D.	N.D.
	あり	21.2	N.D.	N.D.
秋期	なし	19.1	N.D.	N.D.
	あり	21.9	N.D.	N.D.
冬期	なし	15.2	N.D.	N.D.
	あり	20.3	N.D.	N.D.
肥料規格 ^{*1}		≥15.0	≤40 ^{*3}	≤1.5 ^{*3}

*1 副産りん酸肥料の規格

*2 クエン酸2%水溶液に溶解するP₂O₅量

*3 く溶性りん酸量1%あたりの許容量

*4 検出下限未満

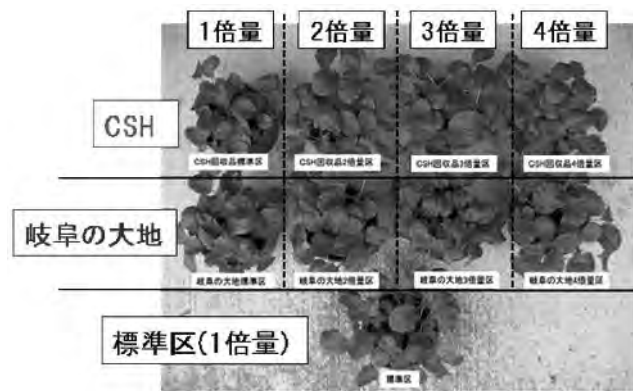


写真4 リン回収物を用いた植害試験の結果

捉えている。今後、リン資源リサイクルも含めた包括的な環境ソリューションの提供を目標に、セメント製造で培った技術力を結集し、技術の開発・普及に取り組んでいきたい。

最後に、今回は下水分野に関する取り組み状況について概要を説明したが、し尿、畜産、食品、化学分野等におけるリントル®の利用も検討しており、普及に向けた活動を展開している。

参考文献

- 1) 明戸 剛:「下水からの非晶質ケイ酸カルシウム水和物を用いたリン回収技術の開発」、第35回全国都市清掃研究・事例発表会講演論文集、251-253
- 2) 天本優作:「下水からのトータルりん回収システムの提案」、第24回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集2013、321-322

投稿報告

新たな下水汚泥固形燃料化技術 「S A 法固形燃料化技術」 について

佐藤工業株式会社 多角化事業統括部
バイオマス関連事業ユニット 佐々木 経一

キーワード：発酵、廃プラとの混合、石炭代替燃料、R P F 代替燃料

1. 本技術の概要

下水道処理の工程で発生する濃縮汚泥の脱水残さ（以下、「下水汚泥」とする）は、平成22年度実績で年間223万t-DS発生しており、平成8年に汚泥等減量化の努力義務規定が追加されて以降、法改正当時は38%だった下水汚泥のリサイクル率は平成22年度実績で78%となり、その内訳はセメント原料や建設資材利用が全体の60%を占めている。

しかし一方で下水汚泥をバイオマスとして捉えた場合、緑農地利用が10.6%、消化ガスが12.0%、汚泥燃料化が1.1%であり、その利用率は23.6%と低迷している。

このような状況に対し、国土交通省は平成24年8月に閣議決定された第3次社会資本整備重点計画で、下水道バイオマスリサイクル率に代わり、新たに消化ガス化や固形燃料化によって得られるエネルギー量を元に、下水汚泥エネルギー化率を指針に設定しており、平成22年度で約13%であったエネルギー化率を平成28年度までに29%を目標とすることでエネルギー化を推奨している。

本技術は下水汚泥を発酵乾燥させ、廃プラと混合・成形することで固形燃料を製造する技術である。従来の化石燃料を使用した乾燥処理と比較して、下水汚泥

を発酵乾燥するメリットは、

- ・化石燃料等外部からのエネルギーを使用せず、汚泥が保有するエネルギーを利用して乾燥するため、CO₂排出量の削減に寄与すること
- ・発酵乾燥処理工程により臭気物質が分解されるため、製造した固形燃料の臭気を軽減できること
- ・発酵乾燥処理工程により易分解性の有機物が分解されているため、保管時の安全性が従来品と同等かそれ以上であること

の3点が挙げられる。



写真1 S A 法固形燃料

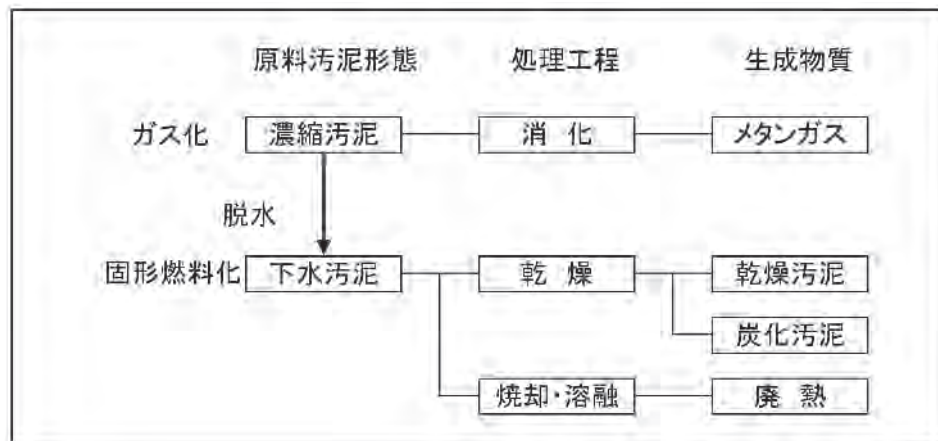


図1 従来の下水汚泥の燃料化技術

従来技術の場合、下水汚泥単独に対し、化石燃料を使用して乾燥、製造する固形燃料が主であったが、S A法固形燃料は下水汚泥の発酵乾燥処理物に、地域に賦存する廃プラを加えた新規の燃料である。廃プラは固化材となるだけではなく、高い発熱量を保持することで、従来の下水汚泥由来の固形燃料と比較して同等以上の発熱量をもつ固形燃料を製造する事が可能である。

2. 開発の目的

当社は本業である総合建設業以外に1970年代から畜産廃棄物の堆肥化に取り組んでおり、独自の発酵システムを含めた納入実績を保有している。また2000年代からは食品残さの堆肥化研究を開始し、現在は宮城県の利府町に当社が納入した施設を借り受け、SK・バイオマスリサイクルセンターとして実際に施設の運転稼働も行っている。

そして、食品残さ堆肥化施設の運転、稼働と並行して下水汚泥をターゲットとした堆肥化研究を開始した。しかし、ここで2つの大きな問題に直面した。1つは下水汚泥の発生状況、もう1つは下水汚泥堆肥の捌きである。

元来、下水汚泥は人口に比例して発生量が多くなるいわゆる「都市型」バイオマスであり、大都市圏に多く賦存する特徴をもっている。しかし、下水汚泥堆肥の捌き先は酪農地域や農村地域が主体であり、（原料の）供給と（製品の）需要のバランスが大きく偏る傾向がある。

これらの問題点を解決すべく注目したのが「下水汚泥発酵乾燥処理物の固形燃料化」である。

固形燃料となった製品の捌きについては、電力会社や製紙工場などの大口事業者と連携することで、安定的に捌くことが可能であり、CO₂などの温室効果ガス

を排出しないカーボンフリーな燃料として注目を集めている。既に数社の製紙会社から打診を受けており、微粉炭ボイラーやRPFボイラー等の補助燃料として利用することで温室効果ガスの削減に繋がる。また地域と連携し、ビニールハウスや温浴施設等に設置されている小型ボイラーへの利用も可能であり、地域の状況に合わせた事業提案が可能である。

製品の品質について、下水処理場から提供される下水汚泥は夾雑物が極端に少なく、成分値も安定しているため、当社が培ってきた発酵技術を組み合わせることで、安定的な発酵管理と製品の製造が可能である。

3. 本技術の概要

下水処理場から発生する汚泥を利用した従来の燃料化技術を図1に示す。

図1より下水汚泥の燃料化手法には、脱水前の濃縮汚泥を消化処理し、メタンガスを発生させ燃料として利用するガス化手法と、下水汚泥を直接燃料に加工する固形燃料化がある。固形燃料化技術は乾燥方式と炭化方式などに分類されている。本稿で紹介する好気性発酵を用いた下水汚泥の発酵乾燥・固形化技術（以下、「本技術」とする）は「乾燥技術」に分類される。

本方式の処理フローを図2に示す。

下水汚泥をあらかじめ製造しておいた発酵乾燥物と混合し、発酵の立ち上げに適切な含水率へと調整する。汚泥の団塊化を防ぐため、混合機や解砕機などを利用し、粒径を極力小さくした方が良い。下水汚泥と発酵乾燥物の混合物（以下、「混合物」とする）を発酵槽へ移送し、発酵処理を開始する。発酵槽では床に設置した配管からの通気とホイールローダによる切返しによって好気性発酵の円滑な立ち上げと発酵の維持を行い、5～6週間を目安に発酵乾燥による処理を行う。こうして製造した発酵乾燥物は、一部下水汚泥の

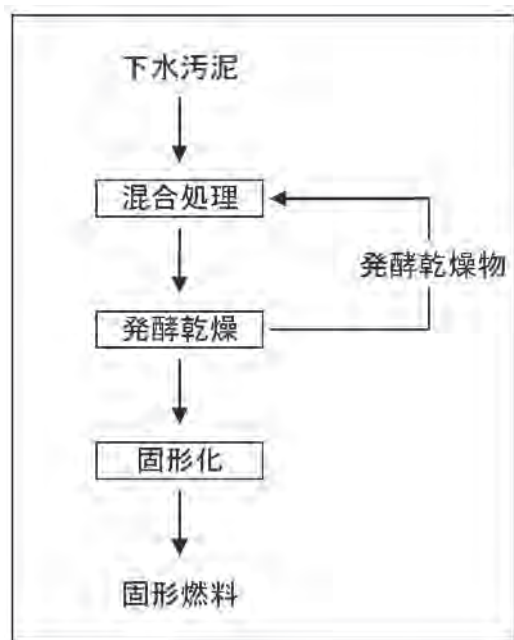


図2 本技術の処理工程フロー

水分調整材として利用され、その残りを固形化工程による処理を行う。

固形化工程では、発酵乾燥物と廃プラを一定の割合で混合し、RPFの製造に利用される減容固化機等によって円筒状に固形化し出荷される。減容固化機を使う理由は、減容する際の加圧と加温により廃プラが溶け、接着効果を発揮することによって燃料形状の安定性が増加することにある。またRPFを利用している事業者に対し、補助燃料としての販売を想定した形状

とすることも理由の1つである。なおエンドユーザーによっては固形化工程を省略し、発酵乾燥物を単体で、そのまま出荷することも可能である。(図3)

4. 従来技術との比較

本技術と従来技術のマテリアル比較を図4に示す。

汚泥（消化汚泥：含水率約80%、有機物量75%（乾物計算））を乾燥させ、固形燃料としての出荷（廃プラの混合は行わない）を想定した場合、図4に示すとおり、固形燃料の成分値としては含水率、低位発熱量ともに従来乾燥物の方が有利である。しかし、従来の乾燥技術では目標の水分を蒸発させるため、A重油換算で下水汚泥1トンあたり約54ℓのA重油が必要である。さらに、このA重油54ℓのCO₂排出量は約145 kgとなる。

それに対し、発酵乾燥技術では、乾燥の熱源を下水汚泥中の有機物に求め、微生物活動を介して乾燥を行うため、固形分中の有機物量が減少した上に含水率も高止まりするため、低位発熱量ベースで約5.0 MJ/kg（約1,200 kcal/kg）目減りするものの、乾燥熱源として必要な化石燃料の量はゼロである（但し、オペレーションに必要な重機稼動のための燃料は必要）。よって、汚泥自身が保有する内部エネルギーを利用した乾燥手法であるため、煩雑な機械装置を必要とせず、化石燃料の使用を最小限に抑えることが可能な手法であるといえる。

発酵乾燥汚泥については、従来乾燥汚泥に対し、低

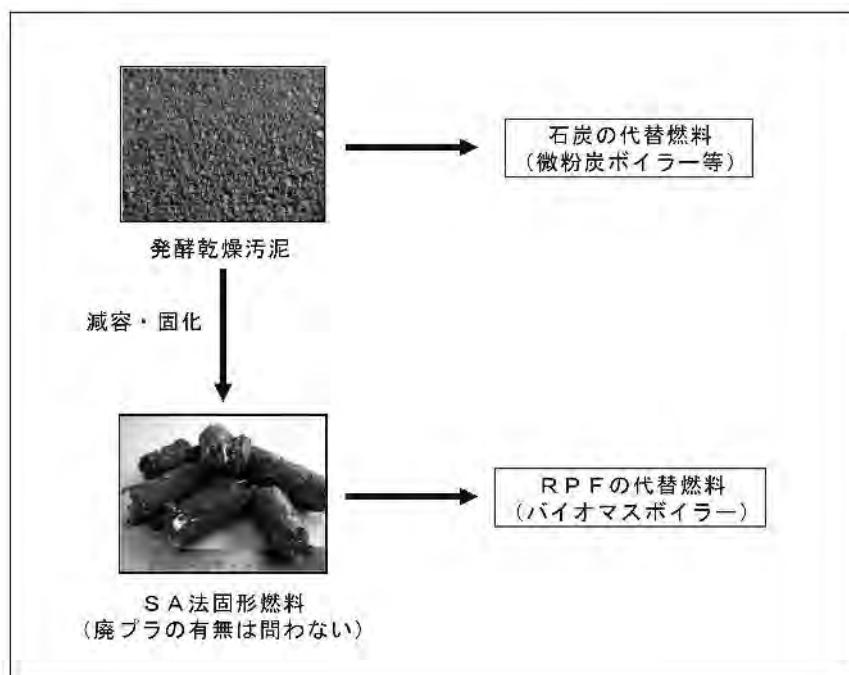


図3 発酵乾燥汚泥燃料の用途

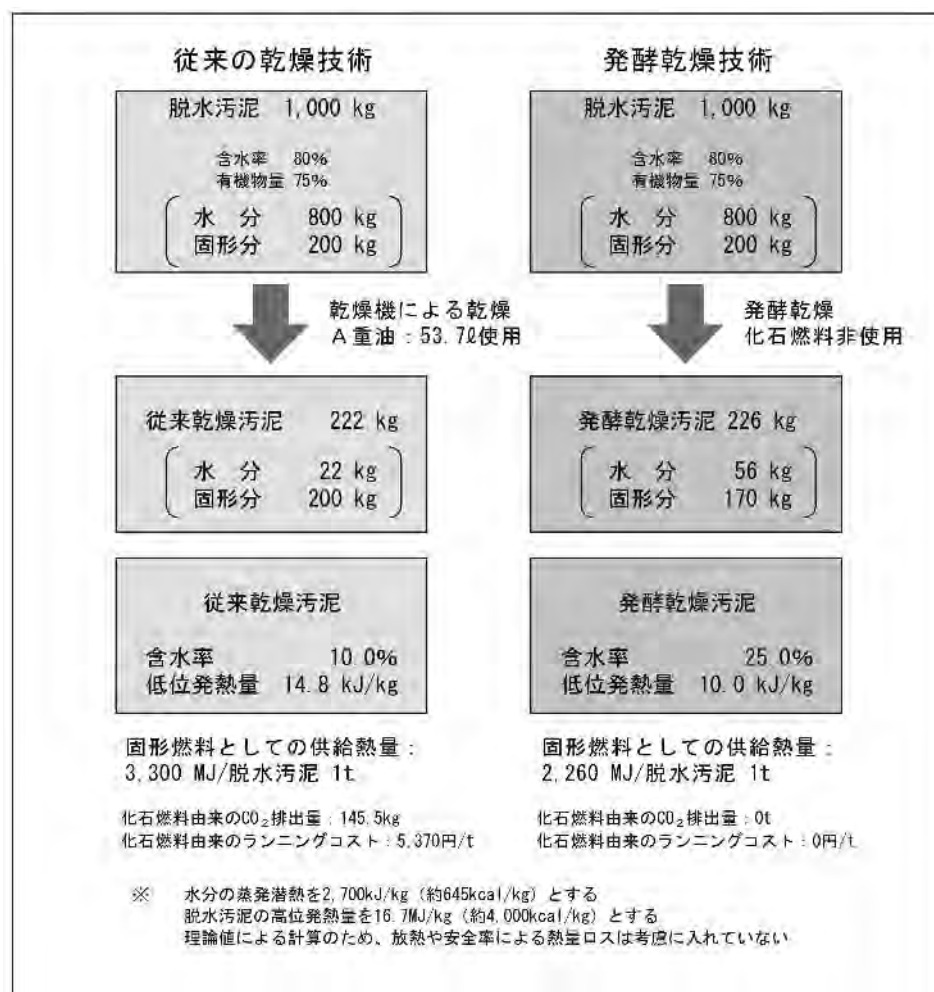


図4 従来の乾燥技術と発酵乾燥技術の材料比較

位発熱量等のスペックでは一步譲る形をとっているが、臭気や保管安全性（特に雨曝等の水分を含んだ場合）については高い評価を得られている。RPFの代替燃料にする場合、廃プラを混合（図5では重量比10%の混合）・固化することによって従来乾燥品と同等の発熱量を得ることが可能である。

従来乾燥技術等によって製造された下水汚泥固形燃料は、少なくない汚泥臭を伴っており、貯蔵時ならびに外部へ搬出する際の臭気が課題となっている。そのため、保管場所での脱臭設備の設置、運搬についてはジェットパッカー車の利用等、臭気が漏洩しない方法が求められる。しかし、本方式で製造された発酵乾燥物は好気性発酵によって臭気的主要原因となる低分子有機性物質（易分解性の有機物）が分解されるため、製品の臭気は大幅に低減されており、製品の保管、運搬に関して上記のような対策は必ずしも必要ではない。

さらに、発酵による低分子有機性物質の分解は、製品保管時の安全性の向上にも寄与する。固形燃料の発熱・発火となる原因は2つあり、1つは空気接触によ

る酸化に起因する酸化熱と、空気中の水分吸収と内部に付着した微生物活動に起因する発酵熱であり、どちらも固形燃料に含まれる低分子有機性物質が反応して発熱・発火する。

しかし、本技術では再発酵の原因となる低分子有機性物質が少ないため、再発酵による発熱、発火のリスクが非常に少ない。消防庁による報告書を元に固形燃料の安全性評価に則った評価を行った結果を図5に示す。その結果、従来乾燥技術による下水汚泥燃料よりも高い安全性評価が得られ、その評価は古紙と廃プラスチックを混合して製造したリサイクル燃料であるRPFと同等であるとの結果であった。

このように本技術は従来手法と比較して、様々な利点をもっているが、それだけに留まらない。汚泥乾燥に発酵技術を利用するため、発酵時に食品残さや木質等、他バイオマスと混合し、まとめて発酵乾燥処理を行う事が可能である。これにより、下水汚泥を含めたバイオマスの集約処理によるコストメリットも期待できる。

また、製造した固形燃料は様々な局面での利用が期

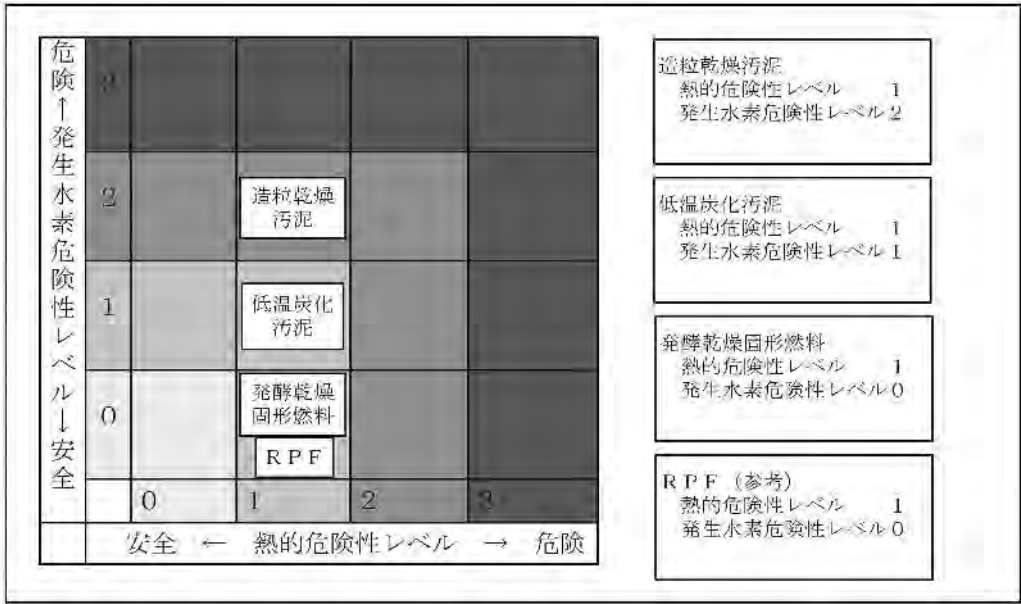


図5 下水汚泥固形燃料の安全性評価

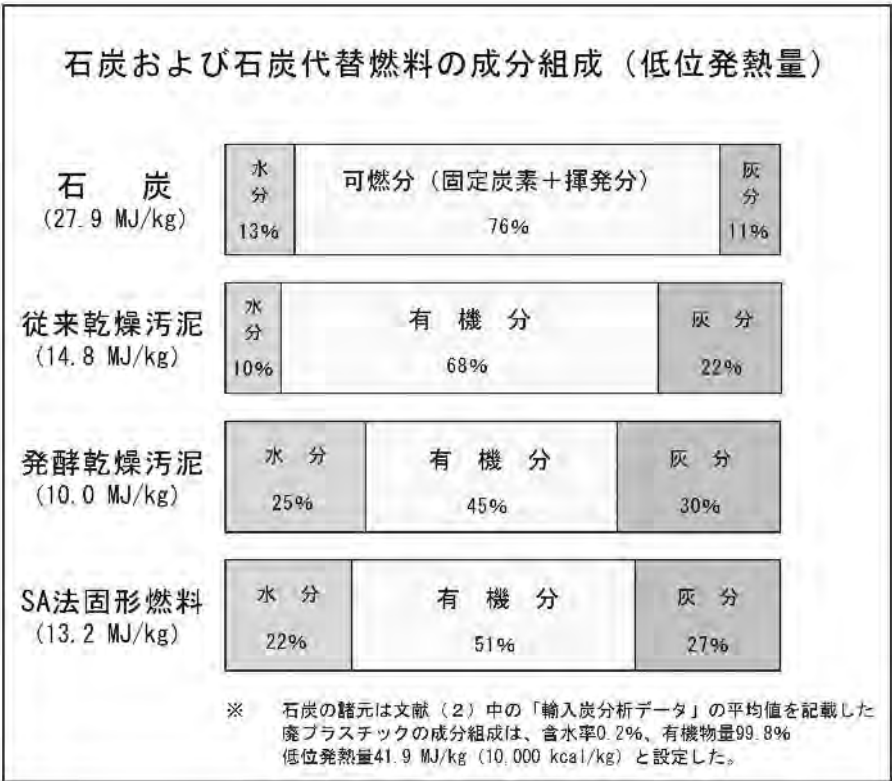


図6 石炭および石炭代替燃料の成分組成

待される。例えば、本文で紹介した廃プラと混合した円筒状の固形燃料は、製紙会社等に導入されているバイオマスボイラーへ利用が可能である。また、発酵乾燥物は粉体状であるため、電力会社等に導入されている微粉炭ボイラー等へも利用が可能であり、事業者やエンドユーザーの要望に応じた様々な局面での幅広い対応が可能である。(図3を参照)

5. 石炭燃料等との比較

石炭および石炭代替燃料の低位発熱量および成分組成を図6に示す。
石炭と比較した下水汚泥由来代替燃料の特徴は、「灰が多い」、「石炭の半分程度の熱量が見込める」こと

である。従来品の場合、石炭の約半分強の発熱量を確保する事が可能である。内部エネルギーを利用して乾燥した発酵乾燥汚泥でも約半分弱の発熱量が確保できている。これは、下水汚泥内部の有機分の発熱ポテンシャルが高いことを示しており、燃料としての価値を充分に見出せる数値であると推察している。

さらに、これら代替燃料の特徴として、本技術開発に使用した汚泥について、粒度やかさ比重等の性状が石炭と類似しているため、燃料の混合や燃焼装置への供給に際し、一部供給設備の“使い回し”も可能であるため、付帯設備にかかるコストを軽減できる特徴も持ち合わせている。

6. 課題と今後の展望

このように発酵技術を応用した本技術は、固形燃料の質や環境性に優れ、また機械装置や化石燃料を最小限に抑えているため、他方式と比較してコスト面でも優位に立つことが可能である。

しかし、一方で課題としては現状の発酵乾燥に約5～6週間の期間が必要であり、そのために広い敷地面積が必要となってくる。また発酵時に発生する臭気（主にアンモニア）対策も必要である。

現在、上記課題の解決のため、発酵乾燥工程を閉鎖された空間内で集中的に行う手法を開発中であり、開発状況は追って報告したい。

なお、本方式は平成24年度の建設技術審査証明（下水道技術）において、財団法人下水道新技術推進機構（現：公益財団法人日本下水道新技術機構）の審査を通過し、「S A法固形燃料製造技術」として証明された技術である。

<参考文献>

- (1) 消防庁：再生資源燃料等の安全の確保に係る調査検討報告書（2007）
- (2) 電力中央研究所：電中研レビューNo.46 微粉炭火力発電技術の高度化（2002）

投 稿 報 告

新居浜市「消化ガスの火力発電 利用による効果・・・下水道事業が 地球温暖化対策を先導する」

新居浜市環境部下水処理場

場長 片上 良樹

キーワード：消化ガス発電、地球温暖化対策、エネルギー有効利用

1. 新居浜市下水道事業の概要と現状

新居浜市は、四国の瀬戸内海側のほぼ中央に位置する人口約12万5千人の地方都市でその面積は234.30km²を市域としている。

元禄4年（1691年）に、世界でも類を見ない大鉱床をもつ別子銅山の開坑により、まちの近代化を推し進め、後の住友関連企業群を中心とした四国屈指の工業都市への発展の礎となった。

現在は、重化学工業を主体とした臨海工業都市として発展し重要港湾である新居浜港を有し、銅を素材とした造形物による街並み作り、自然と調和した文化・レクリエーション施設建設など、産業と文化の一体となった創造都市づくりを行っている。

本市の公共下水道事業は、昭和35年に雨水排除を目的とした合流式下水道による公共下水道を計画し着手した。昭和48年に終末処理場を含む公共下水道の基本計画を策定し、そのうち既成市街地322haについて第1期事業に着手後、昭和55年3月に新居浜市下水処理場（処理能力22,300m³/日）の供用を開始した。その後整備区域を拡大しながら、平成24年度末の整備状況としては、整備人口73,848人、普及率59.4%、整備面積1,884haとなっている。

2. 消化ガス有効利用の経緯

地球温暖化防止や循環型社会の構築が重要な課題となっているなか、嫌気性消化処理の段階で発生する消化ガスは、平成18年の事業計画当時、年間約60万m³発生し、その内約19万m³を消化槽加温用燃料として活用し、残りの約41万m³は、利用できずに余剰ガスとして燃焼処分し、有効利用率は31%だった。そのため、以前よりバイオマス資源として注目されている消化ガスの有効利用ができないか検討していたところ、平成18年11月、処理場近くにある住友共同電力㈱より燃焼処分している余剰ガスについて、NEDOの補助金を活用してエネルギー利用したいとの申し入れがあり、市としても有益な事業と判断されることから共同事業として実施することになった。

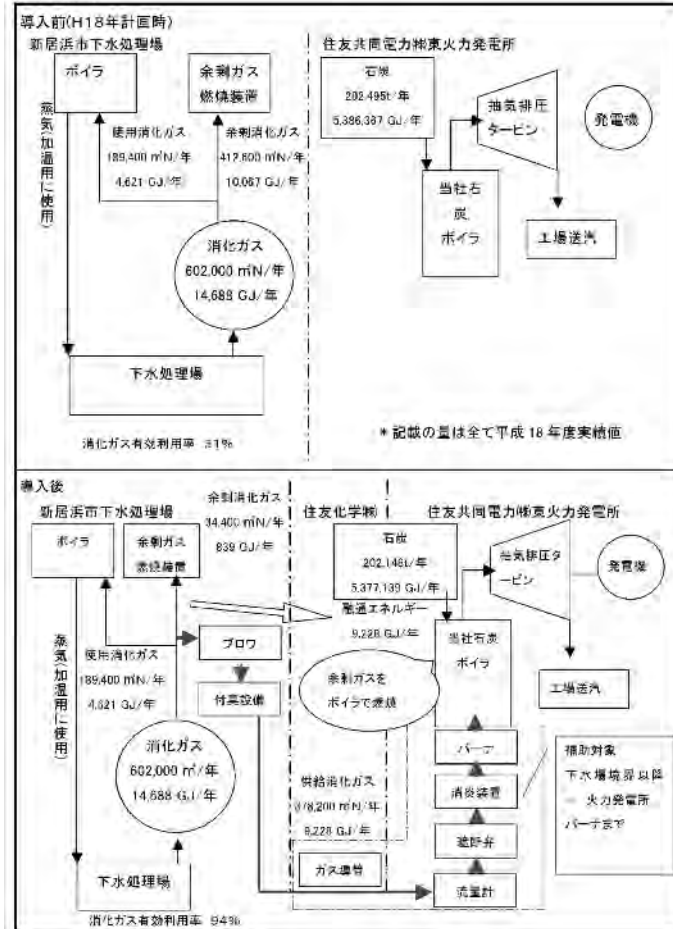
3. NEDO平成19年度エネルギー使用合理化事業者支援事業について

①事業の目的及び概要

新居浜市下水処理場で発生する消化ガスの余剰分を近接する企業の火力発電所の燃料として使用する事でエネルギーの有効利用を図る。

この事業はNEDO（独立行政法人 新エネルギー・

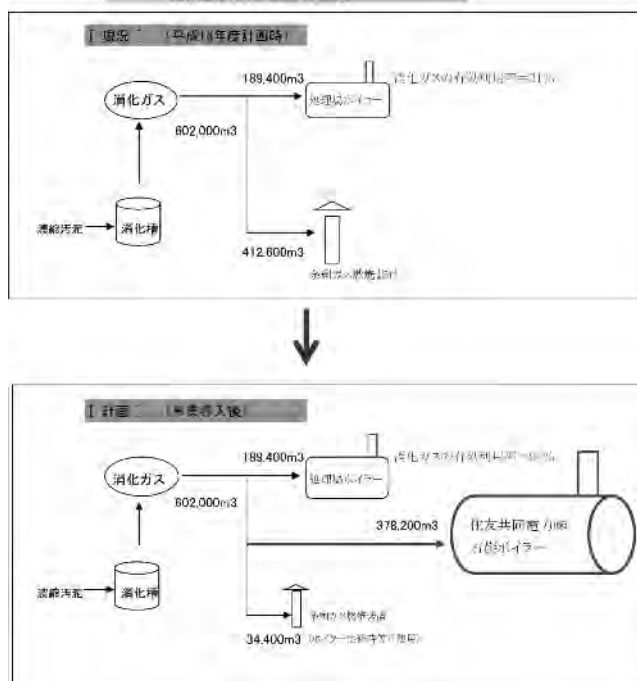
機能／構成図



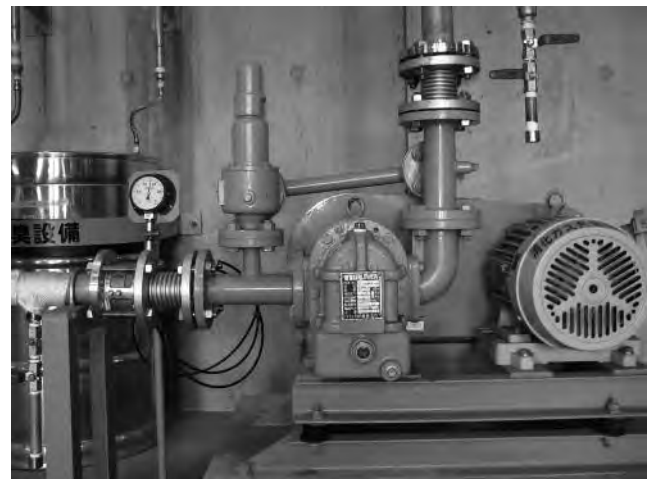
導入前と導入後



消化ガスフローシート



消化ガスフローシート



消化ガス供給ブロワ

産業技術開発機構)のエネルギー使用合理化事業者支援事業を活用したもので、事業費は約40百万円であり、そのうち約14百万円が国庫補助、約26百万円が企業の負担で実施した。

事業計画15年間で省エネ効果は原油換算約4,000kl、CO₂削減約14,600tが見込まれている。

②事業実施場所

新居浜市下水処理場、住友共同電力新居浜東火力発電所

下水処理場既設消化ガス配管より分岐し、ブロワ、付臭設備を経由して導管によって場外へ搬送される。導管は下水処理場分岐点以降、場外の住友化学(株)愛媛工場内を通過し、住友共同電力(株)新居浜東火力発電所まで敷設される。東火力発電所では、流量計、遮断弁、専用バーナを経由して5号ボイラへガスが投入される。安全装置として、緊急時にガスを遮断することのできる弁、消炎装置を設置する。圧力計、流量計によってガスを監視する。(図参照)

③事業期間

平成19年8月13日～平成20年1月31日

④事業費

総事業費	40,500 千円
(補助対象経費	27,707 千円)
補助金	13,853.5 千円 補助率1/2
	26,646.5 千円 住友共同電力(株)

⑤導入設備

全 体	ガス配管設備(導管延長1,900m) 1式
住友共電	バーナ燃焼設備、ガス流量計、消炎装置、監視計器
新居浜市	ガス供給ブロワ(3.7kw) 1台、付臭設備一式、安全装置、監視計器

⑥事業の効果 (H18年計画時)

供給消化ガス	378,000 m ³ N/年
二酸化炭素削減量	830 t-CO ₂ /年
原油換算省エネ量	234 kl/年

⑦売買単価について

消化ガス単価：1.5円/m³・Nとする。(平成34年10月1



ガスホルダ

日まで)

消化ガスの発熱量を石炭換算し燃料価値を8円/m³Nとし、事業計画(15年)の経費(工事費(市側は費用負担無し)、金利、固定資産税、維持管理経費等)を控除し1.5円/m³Nとした。

4. 現在の稼働状況と課題

平成20年2月の本格稼働から5年が経過し、順調に余剰ガス供給が進み、多少なりとも地球温暖化防止の一役を担っており、下水道におけるエネルギー有効利用を広く市民へPRすることが可能となり、市のホームページ等でも紹介し下水道と環境問題に対する関心が得やすくなった。

今後の課題としては、受け入れ側の火力発電所ボイラーへ供給できない期間(オーバーホールや点検のため年間約40日間停止)の短縮や、消化ガス発生量の増加につながる運転管理の改善を行い、安定した消化ガスの供給を目指し取り組んでいきたい。

投稿報告

鹿児島市における汚泥発酵肥料 「サツマソイル」の近年の動向と 利用促進

鹿児島市水道局下水道部下水処理課施設管理係長
堀切 一志

キーワード：安全（性）、循環

1. はじめに

鹿児島市の下水道は、昭和27年に汚水の排除方式を分流式により認可を受け事業に着手し、昭和30年11月には本市最初の錦江処理場が通水し、運転を開始している。その後、計画的に下水道の整備を進め、平成24年度末の普及率は行政区域人口に対して78.7%となっており、錦江処理場をはじめ南部処理場、南部処理場脇田分場、1号用地処理場、谷山処理場の5つの終末処理場で1日あたり約174,000m³の汚水を処理している。それぞれの終末処理場で発生する汚泥は南部処理場と1号用地処理場で脱水処理し、発生した脱水ケーキを全量下水汚泥堆肥化場で堆肥化し、有効利用している。

2. 下水汚泥の堆肥化に至る経緯

本市では、錦江処理場の運転開始当時は汚泥の量も少なく、嫌気消化・天日乾燥したのち肥料として近郊の農家に無償で利用してもらっていた。その後、処理区域の拡大に伴い処理水量は増加し、併せて汚泥の発生量も増加の一途をたどった。この増加する汚泥に対応するため昭和45年頃には汚泥の処理を天日乾燥から機械脱水に変更したが、その結果農家に利用されなく

なり、陸上埋立処分に頼らざるを得なくなった。

しかし、埋立処分は処分地の確保が難しく安定的な処分でないことから、当初は焼却を基本とする処分計画を策定することとしていたが、折からの石油ショックで、重油の安定的な確保が困難になることも予想されたため、下水汚泥を資源として再利用する循環型の処分形態について検討を進めることになった。なかでも資源として再利用する方法として堆肥化について検討することとなり、昭和50年度から51年度にかけて酵素添加、オガクズ添加、無添加方式の堆肥化実験を行い、脱水ケーキのpHが高くても十分に発酵し、また、堆肥化量を増大させないことから無添加の好気性発酵による現在の堆肥化方式を採用し、昭和56年度から稼働している。

当初は、販売価格や販路の確保等の問題で全量有効利用は難しい状況であったが、その後、販売価格の変更や制度の見直し等を行い平成8年度からは全量有効利用されているところである。

3. サツマソイルの概要

本市の終末処理場では、1日あたり約110トンの脱水ケーキが発生し、トラックで下水汚泥堆肥化場まで運搬し、全量を堆肥化している（図-1）。

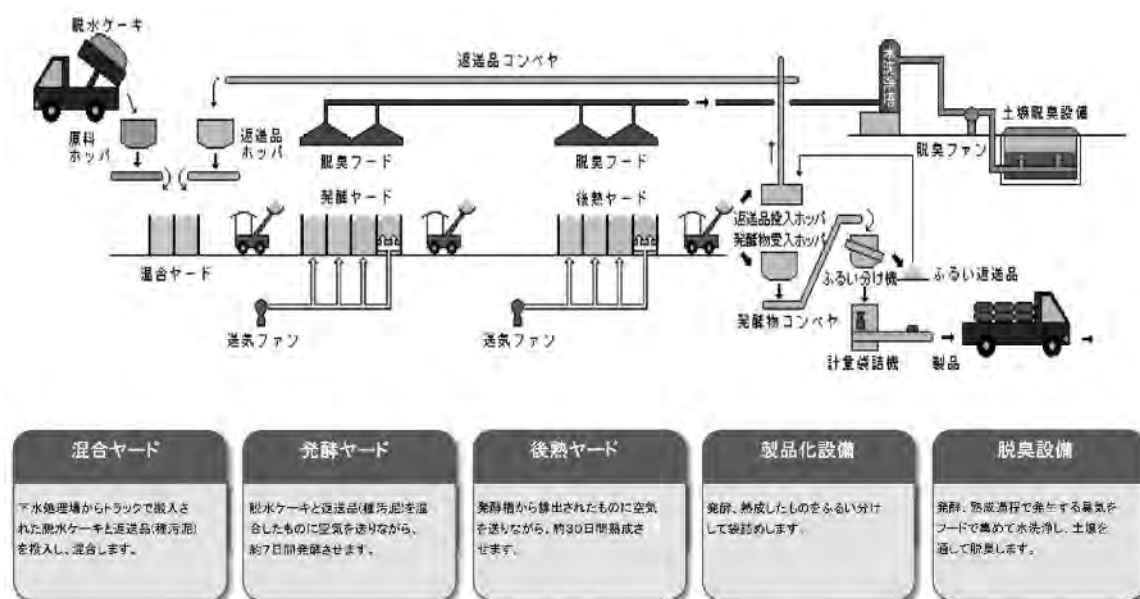


図-1 下水汚泥堆肥化フロー

脱水ケーキは種汚泥（返送品）と混合し、約40日間好気性菌で発酵させている。その過程で温度が70～80℃まで上昇し、病原菌や雑草の種子等は完全に死滅し、サラサラとした取扱いやすい製品となり、「サツマソイル」の製品名で販売している。

堆肥化製品は、ふるい分けしたものを第1種計量製品と袋詰め製品（20kg入、15kg入）として販売し、ふるい分けしないものを第2種計量製品として販売している。また、ふるい分けで残った分は種汚泥の一部として利用している。

サツマソイルは、当初、特殊肥料として鹿児島県に届け出を行い、販売していたが、平成12年に農林水産省の汚泥発酵肥料（普通肥料）として登録されて以降も、肥料取締法に基づく普通肥料の公定規格に適合する製品として生産されている。

4. サツマソイルの利用状況

本市の平成24年度のサツマソイルの年間取扱量は、約10,730トンで、その大部分である約10,420トン（97.4%）が第1種・第2種の計量製品として大口購入者に販売されており、一般購入者への販売量は約280トン（2.6%）で、袋詰め製品より第1種・第2種計量製品がやや多くなっている。また、約30トンが学校や研究機関などの公的機関への提供と、一般市民へのPRを目的として、地域まつり等のイベント会場にて試供品（1kg袋）の無償配布等に使用している。

大口購入者は普通肥料製造業者が大部分であり、それぞれが引き取った原料にサツマソイルを発酵促進助材、水分調整材、pH調整材として混合し、新しい普

通肥料の生産に利用されているところである。また、大口購入者に対しては、サツマソイル使用状況調査を行い、利用促進のお願いと新しい利用方法のための情報収集、また将来の販路確保・拡大のために長期的購入展望等の調査を行っている。

5. サツマソイルの含有成分

下水汚泥堆肥化場は、運転開始以来32年を経過しているが、この10年間のサツマソイルの含有成分の推移は（図-2～5）の通りである。

水分は10年間で若干減少しており、この3年は21%前後で推移している。強熱減量は有機物分解の程度を表すが、徐々に上昇してきており、この3年間は68%程度で推移している（図-2）。

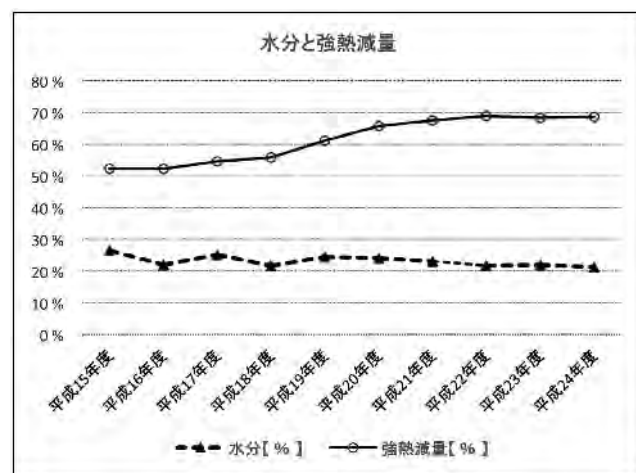


図-2 水分と強熱減量

肥効成分のうちカリは少なく、平成19年度までは0.1%程度の含有量であったが、若干上昇してきており、この3年間は0.2%程度である。窒素とリンも3%程度であったものが徐々に上昇してきており、窒素は3.7%程度、リンは5.0%程度となっている。これは終末処理場で放流水中のリンの除去率を高める水処理を行っているためであり、余剰汚泥中のリン含有量が増加したものである（図-3）。

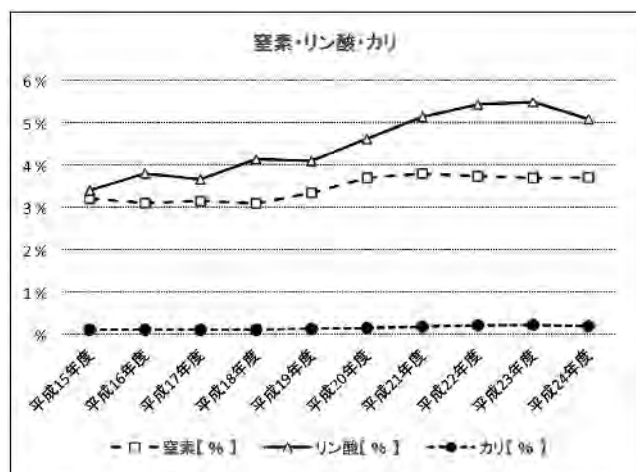


図-3 窒素・リン酸・カリ

サツマソイルに含まれている肥料取締法に基づく普通肥料の公定規格に定める汚泥肥料等に含有を許される有害成分のうち、水銀はここ10年間で減少してきており、平成24年度で0.21mg/kg程度、カドミウムは安定して0.8mg/kg程度である。

一方、ヒ素は一時上昇したが、この3年間は減少傾向にあり、平成24年度は3.2mg/kg程度である（図-4）。

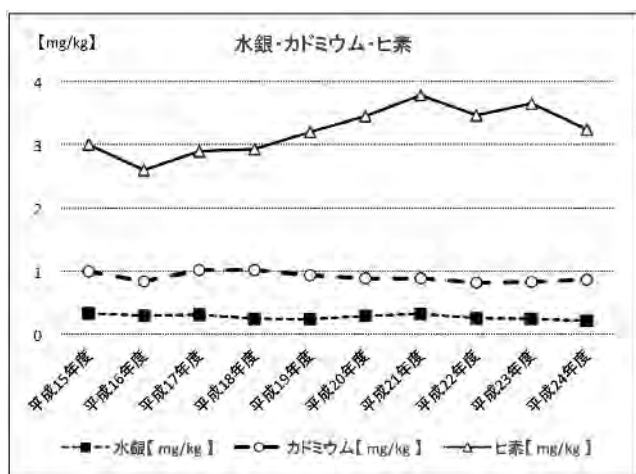


図-4 水銀・カドミウム・ヒ素

亜鉛は若干上昇してきており、この3年間は360mg/kg程度で推移している。

また、銅の含有も分析しており、10年前より若干上昇し、この3年間は130mg/kg程度で推移している（図-5）。

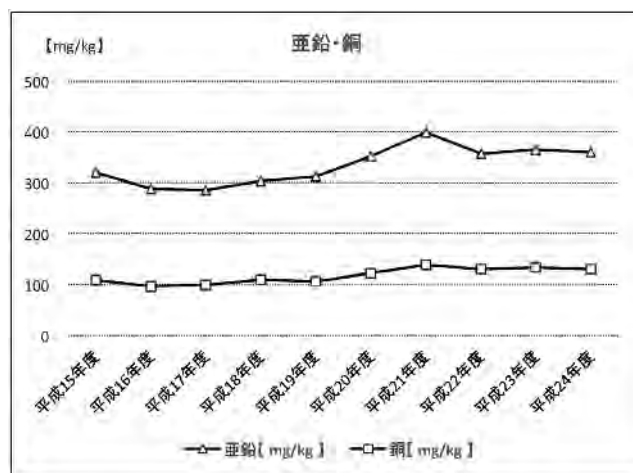


図-5 亜鉛・銅

さらに鉛、クロム、ニッケルの推移であるが、それぞれの公定規格100mg/kg、500mg/kg、300mg/kgに対して大幅に下回っており、平成24年度は、鉛は9mg/kg、クロムは14mg/kg、ニッケルは19mg/kg程度である（図-6）。

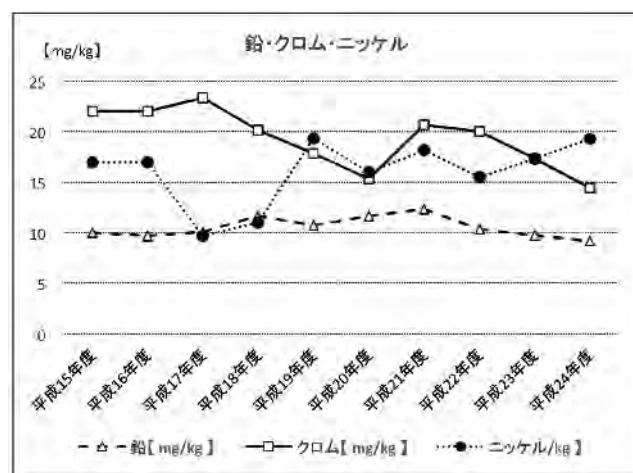


図-6 鉛・クロム・ニッケル

6. サツマソイルの試験委託の概要

本市では、サツマソイルの適正な施用方法の確立と安全性を確認するため、鹿児島県農業開発総合センターに試験委託を行っている。

試験委託の研究内容は次のとおりである。

- ・下水汚泥肥料（サツマソイル）の施用が作物の収量・品質及び跡地土壌の化学性に及ぼす影響（夏季）焼酎原料用サツマイモに対する施用試験

- （冬季）ブロッコリーに対する施用試験
- ・上記、施用試験結果を元に下水汚泥肥料施用の手引きの作成

7. おわりに

サツマソイルは、市民の認知度が低く、まだまだPR不足である。そこで、鹿児島大学と平成21年度から3年間かけて実施したサツマソイルの使用方法について共同研究を行い、より市民がサツマソイルを使いやすくなるためのパンフレットを新たに作成・配布し、身近な利用促進活動に取り組んでいるところである。さらに、作物の収量や土壌への影響調査等を対象とした試験委託を継続していくとともに、安全性を第一に考えたサツマソイルの施用の手引き等を作成する予定である。

最後に、汚泥処理・処分におけるリスクの分散も考慮しながら、循環型社会にふさわしい汚泥処理・処分方法について検討していく予定である。

投稿報告

信州における廃油・汚泥リサイクル 施設の取組事例 —地域ニーズに合った多種類の リサイクルに向けた工夫—

株式会社 南信サービス 代表取締役 竹村 博文

キーワード：リサイクルシステム、乾燥物、炭化物

1. はじめに

信州の自然の中で、市民等の皆様が農業を中心にゆったりと時間を過ごす落ち着いた日々の暮らし・営みの持続をお手伝いすること、併せて循環型社会の推進等に向けて、当社は、長野県では「南信」にあたる下伊那郡松川町元大島に昭和50年4月一般廃棄物処分受託業務、産業廃棄物収集運搬業・中間処分業等を事業内容として設立しました。

多くの汚泥関連業務を主に県下の自治体等から受託し、大型特殊吸引車10台、4トン特殊吸引車2台、大型ダンプ車4台、各種アームロール車7台、タンクローリー車2台、特殊高圧洗浄車2台等を保有することで様々な収集運搬を行うとともに、焼却設備1基、乾燥設備1基、炭化設備1基、脱水施設2基、油水分離設備2基、生物処理設備2基、分析室等を有することで多用途（有機汚泥、無期汚泥及び廃油、動植物性残渣）の汚泥処理を行うことにより、廃油・汚泥等のリサイクルの推進に携わっています。

2. 南信サービスのリサイクルシステム

(1) 汚泥リサイクル施設の概要

1) 処理能力と処理方式（写真-1を参照。）

- ①乾燥：2t/h×24h/日…直接熱風式回転乾燥機
- ②炭化：0.4t/h×24h/日…流動床式炭化炉
- ③焼却：1.5t/h×24h/日…流動床式焼却炉

2) 環境保全対策

本施設は、長野県条例を含む環境関係諸法規並びに、松川町環境保全条例を遵守した施設として建設し、さらにその基準は、これらの環境規制値に対して、松川自治会長、松川町、当社の3者で締結した環境保全協定書に基づく自主規制として施設を設置しました。

また、毎年、地域の皆様と話し合いの場を設けると



写真-1 焼却・炭化・排ガス処理設備

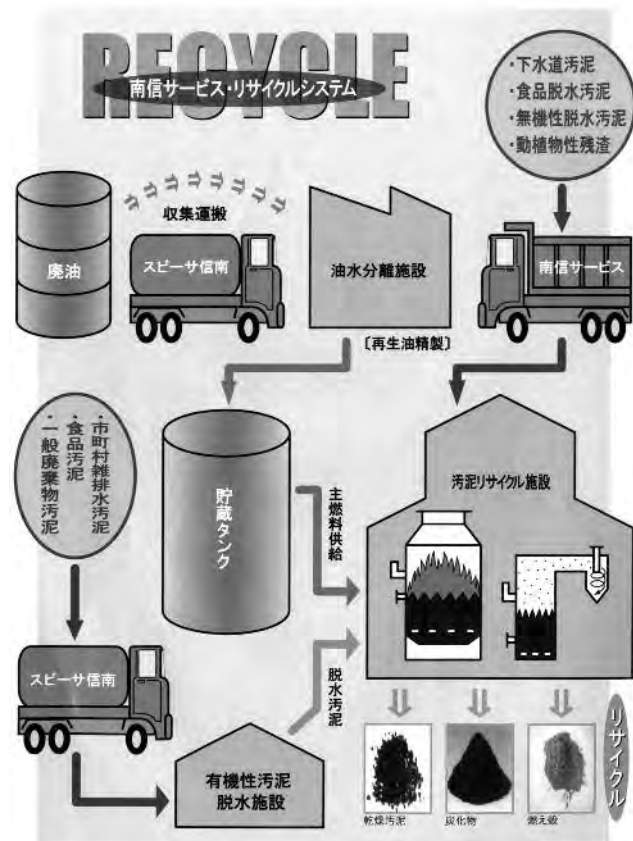


図-1 リサイクルシステムの概要

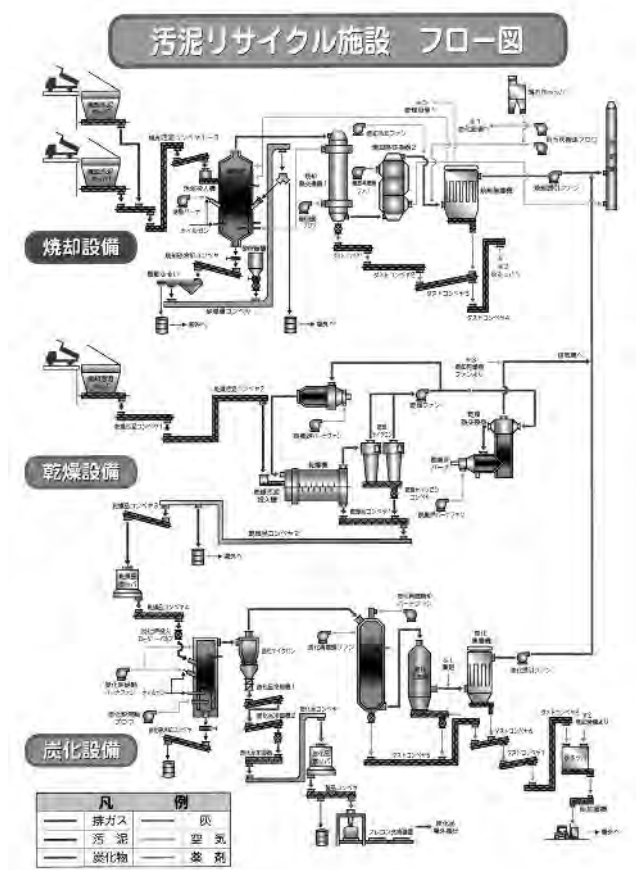


図-2 汚泥リサイクル施設のフロー図

ともに、各施設を見学いただいています。

(2) リサイクルシステムの概要 (図-1を参照。)

廃油については、収集運搬後、油水分離施設で再生油を精製し、貯蔵タンクで調整して汚泥リサイクル施設の主燃料として供給しています。

市町村雑排水汚泥、食品汚泥、一般廃棄物汚泥は、収集運搬後、有機性汚泥脱水施設により脱水し、脱水汚泥として汚泥リサイクル施設に供給しています。

また、下水道汚泥、食品系脱水汚泥、無機系脱水汚泥は、収集運搬後直接、汚泥リサイクル施設に供給しています。

焼却設備、乾燥設備や炭化設備からなる「汚泥リサイクル施設」では、燃烧・乾燥後「乾燥汚泥」、「炭化物」と「燃え殻 (焼却灰)」の3種類のリサイクル製品として製造しています。

(3) リサイクル方策と利用先計画

1) 汚泥リサイクルフロー (図-2を参照。)

各種脱水汚泥は、2つ (①キルン式乾燥機、②流動床式焼却炉) のルートに分けて、投入されます。①キルン式乾燥機へのルートは、「乾燥物」として製造され

る一方、さらに一部は③流動床式炭化炉へ投入され、「炭化物」として製造されます。②流動床式焼却炉へのルートは、「焼却灰」として製造されます。

2) 利用先計画

「乾燥物」は、土壌改良材や堆肥として利用され、「炭化物」は、電気炉用のコークス代替物として、また育苗土用の副資材 (混合材) として利用され、「焼却灰」は、インターロッキングや路盤材等の建設資材に利用されています。このように、3つの燃烧・乾燥・炭化設備のフローを組み合わせることにより、様々な利用ニーズ (利用先) に対応することができます。

3. 養豚場堆肥化施設における炭化物の施用効果

(1) 堆肥化施設 (A) のフローシートの改善

1) 従来のフロー

当時、堆肥化施設 (A) は、生糞尿20%、水分調整剤 (オガ粉・粃殻) 30%、戻し堆肥50%を約40日間かけてロータリー式攪拌装置 (開放直線型堆肥化方式) により堆肥化していましたが、2つの課題、すなわち①「水分調整剤の供給の逼迫」(オガ粉供給量の減少や

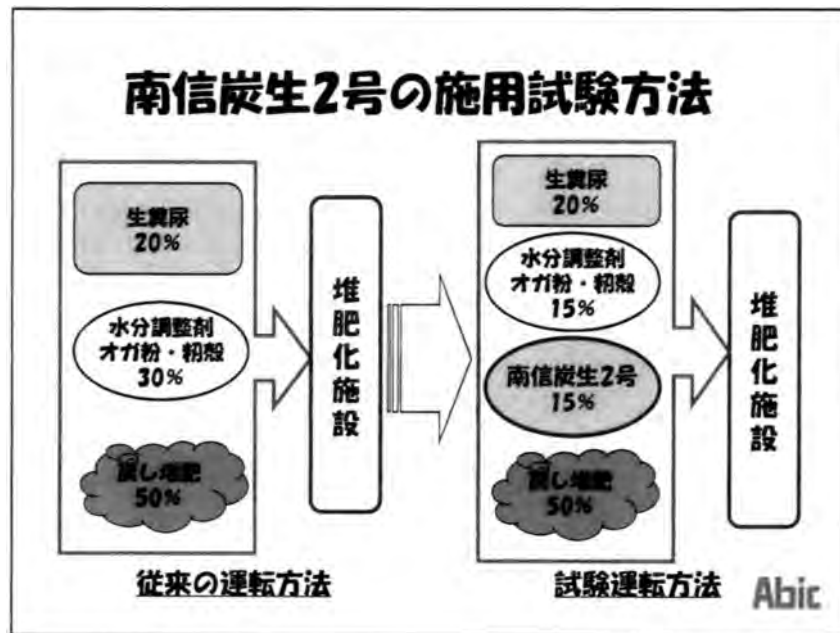


図-3 改善施用試験方法と堆肥化方法

物流コストの高騰による安価なオガ粉が入手困難)、
②「堆肥化施設からの臭気発生」(アンモニア濃度が高い)がありました。

2) 改善後のフロー (図-3を参照。)

乾燥設備を経由した乾燥汚泥の一部を炭化設備により炭化物(「南信炭生2号」^{※1}という。)を製造していますが、この南信炭生2号を水分調整剤の代替物として15%分^{※2}を施用し堆肥化するものです。

※1 信州リサイクル製品認定制度による認定を受けた製品です。

※2 内訳は、生糞尿20%、水分調整剤(オガ粉・粉殻)15%、南信炭生2号15%を混合攪拌・移送し、戻し堆肥50%です。

3) 施用の効果

10日目頃から、未熟堆肥のアンモニア吸着能の効果

が発現しはじめ、施設場内のアンモニア濃度が減少します。そこで、施用後の含有肥料成分量は炭素窒素比8.01となり、リン酸全量や加里全量が改善されています。また、施用後の含有重金属成分量は、規制値^{※3}を十分満足しています。

※3 「汚泥取締法」の汚泥肥料における含有を許される有害成分の最大量を示す。

4. おわりに

豊かな森の緑と清らかな水に誇りを持つ信州の自然の中で、市民等の地に足の着いた暮らしから琴線に触れて、ニーズに合った肥料等のリサイクル事業を応援していただき継続していければと思っています。

今後の汚泥等の有効利用は、人々と自然のかかわりから生まれる、農業を中心としたサステナブルなライフスタイルにとっての宝物なのかもしれません。

コ ラ ム

ハーバー・ボッシュに挑む！ ーバイオマスから「化学肥料」を製造ー

ハーバーとボッシュは、高校の化学でも取り上げる20世紀の巨人たちである。「空中窒素固定」技術の開発者である。この技術は窒素肥料製造の基礎となっている。

今の日本で化学肥料の製造は目立たない存在であるが、開発された当時この技術の誕生がドイツを第一次世界大戦の開戦に踏み切らせた一因とされるほどインパクトがあった。

当時日本でも、国家プロジェクトとして国産の独自技術の開発を急いだ。プロジェクトの遅れを国会で追求され、東京工業試験所（現産総研）所長が謝罪した記録が残る（Web検索の情報で恐縮。現代日本農業に欠かせない窒素肥料製造の技術開発を農業系研究機関が担当できなかったことは個人的にショック。）。

私は、バイオマスから窒素を抽出して無機肥料（有機物を含まない、「化学肥料」と同様な肥料）を作れないかと努力している。バイオマス中の炭素はエネルギーとして利用できるが、窒素は取り扱いに困る。環境に放り出すととんでもない汚染を引き起こすが、肥料として利用しようとする、お話しにならないぐらい低濃度である。

私の研究は、いまのところ、メタン発酵の消化液からアンモニアを気体状態で抽出して二酸化炭素ガスと反応させて固体を作ることに成功している。二酸化炭素ガスは、メタン発酵で生成されるバイオガスに約40%含まれるので、メタン発酵プロセス内で調達可能である。

アンモニアと二酸化炭素の反応は、ハーバーとボッシュの技術を基礎とした尿素肥料製造の一過程にもある反応である。しかし、太刀打ちできないのがコストである。私の技術では、まだ、市販の尿素肥料の価格で製造できない。

彼らの空中窒素固定は高温・高圧下で高価な触媒の力も借りて、空気中の窒素をアンモニアに変換する。これに対して、私の技術は既にアンモニアとして存在している窒素を固形にするだけである。しかし、とても及ばない。技術の「歴史」や「伝統」が違うのか？

光明はイタリアにありそうだ。彼の地では、アンモニア・ストリッピング法で消化液からアンモニアを抽出し、硫酸イオンと反応させて硫酸肥料を製造しているとのこと。メタン発酵槽と並ぶ背の高いストリッピング塔の写真を示して実施設が稼働していると、北京でのワークショップでイタリア・ミラノ大学教授が教えてくれた。

欧州の巨人たちに挑むには、欧州の風に吹かれて見る必要がありそうだ。

農研機構 農村工学研究所 山岡 賢

報告

第26回下水汚泥の有効利用に関するセミナー パネルディスカッション概要

会場：黒部市



座長 落 修一 （公財）日本下水道新技術機構資源環境研究部副部長

島田 正夫 日本下水道事業団技術戦略部資源技術開発課長代理

津森ジュン （独）土木研究所材料資源研究グループリサイクルチーム上席研究員

パネラー

佐伯 滋 富山県土木部都市計画課下水道班副主幹

西田 重雄 黒部市上下水道部次長工務課長 浄化センター所長

三宮 武 国土交通省水管理・国土保全局下水道部下水道企画課下水道国際・技術調整官

※パネラーは発言順。所属・役職は開催当時のもの。

○座長（落） 今日の講師の皆さま方からいろいろ話が出ました。このシンポジウムの進め方というのを考えてみまして、課題が大きく三つに分かれると思っています。一つはエネルギーの話です。それと緑農地利用とマテリアル利用という三つです。最初に、講師の方々に言い忘れたとか、これだけは言っておきたいということがありましたら。

○島田 先ほどの講演では、時間の都合上有効利用の全般的な話のみになり申し訳ありませんでした。下水



落座長

道事業団では汚泥のエネルギー利用についてもいろいろ取り組んでいます、大きく分けて固形燃料化とメタン発酵によるバイオガス化で、最近では下水熱や焼却廃熱からのエネルギー回収に関する調査研究も行っています。

湿潤系のバイオマスである下水汚泥においては、基本的にはメタン発酵によるバイオガス化が有利と考えられます。また消化残渣も貴重な有機肥料原料として利用できることから、ぜひそういう方向でのご検討もお願いしたいと思っています。



島田講師

■ 見える化が重要

○津森 国でも現在、ベンチマークの検討会でいろいろな指標をつくらうとしています。下水道管理者の皆さんやコンサルタントの方、プラントメーカーの方々から様々なお話を聞いて思ったのは、エネルギーやガス、リン、その他の金属とかもあります。下水処理場の全体の収支ですね、例えばどここのプロセスにどれだけのエネルギーのポテンシャルがあるかとかを明らかにしていったうえで、どの部分をどう使おうかというのが重要なのかということ、見える化をすることが重要ではないかと思っています。



津森講師

個々のそれぞれの処理場でプロセスの組み合わせ方というのは実際は違いますので、パーツパーツだけで話していても、前段の濃縮の部分で制約になって事業化ができないとか、後段の脱水で、脱水したものを運搬していくところで引っかかるとか、全体の収支、単純な設備だけの収支、スナップショット的な1日の収支だけではなくて、年間のサイクルも含めていろいろな物質、リン、消化ガスとか、そういうものの見える化をした上でどここの部分がまだまだ改善の余地があるのかということ、明らかにしたほうがいいのではないかと考えています。皆さんにぜひご検討いただきたいし、われわれもそういうかたちの提案を今後していきたいと考えています。

○佐伯 富山県で行っている下水汚泥処理に伴い発生する溶融スラグの有効利用先が、ほとんど建設資材の埋め戻し材としての利用となっています。これからは、もっといろいろな利用方法を研究していかなければならないと考えています。今回のセミナーでご参加の皆さまから様々な情報をいただきたいと思います。



佐伯講師

○西田 黒部市では先ほどからも説明しましたが、コーヒーかすと汚泥を混合させてガスを発生させます。そのときコーヒーかすを事業所から産業廃棄物として出していますが、一応、浄化センターに入った時点では、これを資源として利用しています。先ほど島田さんも言われていましたが、このへんあたりをルー

ルが、まだはっきりしていない部分もあり、私どもも視察を何件か受けるわけですが、そのあたりどうなっているのですかと言われたとき、はっきり返答ができないというジレンマと言いますか、小さい自治体としてはちょっと困っている部分はあります。



西田講師

○三宮 先ほど国の施策を中心にお話をさせていただきましたけれども、われわれとしては法令とか基準をつくり、技術開発や普及促進、財政支援などいろいろやらなくてはいけないと思っています。けれども、ただ国が何かやって、あるいはプレイヤーといいますか、自治体さんがやるだけでもなかなか進まない部分があると思っています。

今日は汚泥中心でしたけれど、下水熱の利用などもこれから進めようと思っている中では、下水熱利用の推進協議会をつくりました。これは平成24年から産官学連携で進めているもので、そういった情報交換の場となっております。この汚泥の有効利用などもそういう意味では、まさに産官学というか、官だけでも駄目だし民だけでも駄目だし、あと学というか研究しているだけでも駄目だと思いますので、そういった連携の場というか、そういったものが非常に必要だと思います。そういう意味でもこういう場も含めて情報交換でもできたらいいのではないかと考えているところです。



三宮講師

■ 今後の技術開発の方針

○座長 それではエネルギーの利用、省エネ、創エネについてですね。あるいは消化ガスの利用とか燃料化の利用につきまして、会場の方で、何かご意見やご質問がある方いらっしゃったら自由に発言してけっこうです。

○質問者A 下水汚泥の有効利用についての技術開発について、マテリアル系とエネルギー系の二つの大きなストリームがあると思うのですけれども、リーダーシッププロジェクトでもずいぶん前からマテリアル系で資源化の資源の回収というような技術がだいぶ出てきて、リンの回収などはほとんど基礎研究が終わっている段階だと思っています。もうすでに終わっている

とまでは言わないですけども、そろそろ資源化、希少金属の回収とかリンの回収といった基礎技術はだいたい目処がついているのではないかなと。そのへんの国土交通省の施策や研究の技術開発の施策、方針はどうなっているのかとか、事業団さんにお聞きしたいと思います。

○座長 それでは三宮さんまずお願いします。

○三宮 資源エネルギーの有効利用に関しまして、B-DASHに関しては特に消化ガスを発生させるとか利用する、それから固形燃料化、それから発電ですね。そういった意味ではB-DASHに関しては特にエネルギー関係に力を入れているというところは正直あると思います。

それから、資源回収ですね。これも特に下水汚泥に含まれているものとしてはリンが代表されるものだと思いますけれども、これまではコンポストとしての利用、またコンポストはリンだけではなくて窒素とかその他有効物など、ミネラル分とかありますけれども、コンポストの利用で、先ほど島田さんからのお話にもありましたけれども、風評とか思い込み的なところもあってなかなか進まない部分があります。それとあと、世界情勢等も含めてリンとして回収できる技術、そういったことも少しずつ始めているところかなと思っています。まとめると、かなりエネルギーにシフトしているというのは事実だと思います。

○島田 下水道事業団では10年以上前から下水や下水汚泥からのリン回収技術に取り組んできています。リン回収という点でいくつかの方法が技術的にはある程度確立されていますが、問題はコストです。回収したリン売却益の数倍の薬品代等のコストがかかり、その費用を下水道処理料金でカバーするには、下水道使用料を払っている利用者の理解を得ることが難しいのではと思います。

下水汚泥中にはリン以外にも窒素や各種ミネラル分が豊富に含まれていますから、特に地方都市では欧米と同じように有機質肥料原料として積極的に利用することが望ましいと考えています。

大都市では、先ほど座長がお話されたように汚泥焼却灰をリン鉱石の代替品として利用することも今後ありうると思います。

○座長 新しく技術開発に取り組んでいるというようなことは今のところないですか。

○島田 最近では「高速リン吸着剤を用いたリン除去・回収技術」というテーマで取り組んできましたが、処理水のリン除去が主目的で、あわせて回収されたリンの資源化の可能性についても検討しています。本技術のランニングコストは、従来技術である凝集剤添加によるリン除去と比較して安価であり、回収されたり

ンも副産リン酸肥料の公定規格を満足しているという結果が得られています。リン回収が目的というより、あくまでも放流水の水質改善や汚泥消化プロセスにおけるMAP閉塞対策における副産物としてリンが回収できるという形であれば、今後事業化の可能性も広まると思います。

■ 各種法令

○座長 他に何か意見や質問はございませんでしょうか。主にエネルギーのことでまずはお願いします。

○質問者B まず先ほど西田さんが言われましたけれども、下水処理場を地域のいろいろなエネルギーの拠点にしたいということで、ミックスでやる分には構わないのですけれども、事業系の廃棄物だとか、枯れ草など、一般廃棄物、産業廃棄物を入れようとするすと、県なり政令市の環境サイドのほうのいろいろな法解釈があらうかと思っています。そのあたりを国交省さんなり環境省さんなり、どのへんまで詰められているのかを聞きたいのが一つと、先ほどFITということで固定価格の買取制度があるのですけれども、これらのバイオガスの値段の動向はどのようになってくるのか、もしわかれれば教えていただきたいのですが。

○三宮 まず一つ目の、これは廃棄物処理法との関係だと思いますけれども、これまでも例えば下水処理場にいろいろ他のバイオマス、生ゴミとかそういったものを一般廃棄物、産業廃棄物を入れる場合にはどうしても廃棄物処理法を適用しなくてはいけないと。今現在は法律上というか、そこを例えばアセスメント部材とか、そういうことでいろいろご苦勞もあることだと思っています。そのあたりもう少しやりやすい方法はないとか、そのあたりは国土交通省としても環境省と意見交換はやっていきたいと思っています。

その一つとして、バイオマス産業都市というのは省庁連携でバイオマスを有効に使っていく都市に関しては採択されたところは積極的に応援していきましようという制度なども25年度からできていますので、そういったものも活用していただけたらと思っています。これは、下水道関係だと新潟市さんが今年採択されているのですけれども、そういったことも含めていろいろと意見交換とか連携などが取れたらいいなと思っています。

それから、固定価格買取制度FITの関連のこの価格の部分ですけれども、これは今日の資料にも若干触れさせてはいただいているのですけれども、買取価格とか買取期間とか、このへんに関しましては、経済産業省のほうで関係する大臣、国土交通大臣や農水大臣や環境大臣といったところと協議をした上で、中立的

な第三者機関に意見を聞いた上で決めていくということになっています。

太陽光などはかなり設置が進んできたりして、若干値段が今回下がることになるということですが、バイオマスに関しては今のところはまだそこまでの普及していないということで、今年に関してはまだ今までのままといいことで聞いています。今後また普及が進んでいけばちょっと価格が下がるとか、そういうことにはなってくると思いますけれども。そんな状況です。

○座長 今のFIT、先ほど地域のバイオマスの話かと思うのですが、西田さんも経験から何かありましたら。簡単にスムーズにできたよとか。

○西田 今日会場に来ておられますけれども、前部長がかなり計画から関わって取り組まれており、昨日も少しお話させてもらった中で、やはりB/Cだけではなく、この取り組みをやったという中かなり環境的に優しいというので非常にいい施設になったのではないかと考えています。

○座長 他のパネラーの方で何かやり方や意見などありましたら。実際、最初にやる時には、最初は大変苦労されるとおもいますが、動くしかないのですよね。とにかく動くしかない。ルールがないと思ったほうがいいぐらいで。ただ、法律を守らなくては行けないので、先ほど三宮さんが言われましたけれども、バイオマス・ニッポンというのを何年前に立ち上げて、それには全ての関係する省庁が入っているのです。

それで進めていこうというふうになっていて、いざやるとなったときにぶつぶつ言ったら駄目なのですよね。だからそのときは逆にこちらから説得して、この法律と今言われたことはどういうふうに整合が取れているのですかというのを確認していく。

それと、環境行政というのは国土交通省というか、下水道の行政と違ってほとんどが都道府県に任されています。だから都道府県で考え方が違います。これは間違いないことです。そういうこともあって、それぞれの自治体で、それぞれで切り抜けていくしかないということですね。逆に今いろいろな制度がありますけれども、その制度が自分たちを守ってくれていると。だから取り組まない理由はないのです。よほど悪いものをするというのだったら別ですが、バイオマスをそういうふうに位置づけているところはどこにもありませんので、そういう意味でぜひ取り組んでいただければと思います。

■ 建設資材利用

○座長 今までは建設資材利用といったいろいろな技術開発を各都市さんがやられてたくさんのメニューがあったのですが、最近は今日紹介していただいた富山県の例、ごく限られています。あと一つはセメント化です。そういうマテリアル利用というか、そういう手法について、佐伯さんはこういうのをやりたいとかあるかと思いますが。



○佐伯 発表でも述べさせていただきましたが、富山県では、溶融スラグの利用率が平成21年度ぐらいまではほぼ100%だったのですが、最近3年間では、80%近くまで下がってきている状況にあり、今後、別の有効利用先を模索していかなければならないと考えております。現在、力を入れて研究していきたいと考えている利用方法は、アスファルト骨材への利用ということです。今回のセミナーで、パネル展示されておられる金沢舗道さんは、下水汚泥の焼却灰をフィラーの代替品として混入したアスファルト混合物を研究しておられますが、当県では、汚泥処理の方法が溶融式ですので、発生した溶融スラグをアスファルト骨材の代替として有効利用できないか、そして溶融スラグを混入したアスファルト合材を県内の公共工事にスタンダードに使用して行けないかと考えています。

富山県内では、県東部の広域圏事務組合さんのクリーンセンターから発生した一般廃棄物の焼却灰溶融スラグが入ったアスファルト合材が実用化され、公共工事に使用されているという事例もございますので、実用化までの過程における試験施工や、品質管理方法などを参考にさせていただきながら、下水汚泥溶融スラグ混入のアスファルト合材の実用化に向けて研究していきたいと考えています。

また、兵庫県さんの流域下水道において、下水汚泥溶融スラグの相当量をアスファルト骨材として有効利用しておられるということが過去のセミナーでも発表されていますので、ノウハウなど情報収集させていただきながら進めていきたいと思っています。

○座長 先ほどエネルギーとからめて今思い出したのですが、溶融スラグでメタン発酵槽をつくってもらえないかなど。それはできないことはないと思いますので、ぜひメタン発酵槽の材料として使ってもらってバイオガスを生産してほしい。ぜひ、富山県内でどこか実用化してもらえたら相当大きなインパクトになるのではないかと私は思うのですけれども。

■ 地産地消への課題

○座長 マテリアル利用について会場の皆さんからもあまり出ていないのですね。やはりエネルギーの方に相当意見をいただいています。一つ最適なシステムとしてやっていく時に、どのようなことをまず検討したらいいかという課題整理みたいなところをしてくれないかというのが意見として出ています。このへんについてはどうですか。エネルギー、マテリアル利用の両方を含めてですけれども、それは緑農地利用にも絡むでしょうが、そういうときのもっとも大きな課題というのは何だろうか。取り組むまでの関連で見たと

きに、先ほど津森さんが規模とか地域とか言われましたけれども、一番大きなことは何でしょうか。

○津森 全体の話なのか個別技術の話なのかというところでちょっと戸惑ってしまうところがあるのですが、汚泥の有効利用について、私自身が一番の課題だと思っている一つは、地域の特性によってずいぶん変わって、なかなか標準的なやり方でこれがいいよというものが決まりきらないところがあるのです。国としても恐らく三宮さんがあとから話をされる機会があればということでしたが、目標というのがどうもはっきりしていないなという気がします。

○座長 それは各自治体でということですかね。各フィールドで。

○津森 各フィールドというよりね。先ほど廃掃法上の問題が一つ大きな問題になっているという意味も考えると、私自身提案したいのは、県なりが一つの単位でもって目標をはっきりとされるほうがよりいいのかなど。それもクローズの範囲で。県の中でどういう収支があるのかということをもう少し明確にしたほうがいいのかなど。

ただ、現実困っていることが何かどうかによって県によってずいぶん色合いが違うかなとは理解しています。実はこの前、北海道に行って、北海道に道庁の取り組みを聞いたときには、道庁自体は畜産や酪農などいろいろなボリュームがありますから、農林部局が主になって、道としてもかなり明確なバイオマスの目標や計画を今つくられているそうです。この前はつい先日パブコメをしたとおっしゃっていました。下水道だけで考えずにバイオマス全体として県がクローズできる範囲で明確な目標なりを持ったほうがいいのではないかというのを感じました。汚泥の問題、地産地消とか個別分散と言われるだけに、より目標をどういう単位で誰が考えるのかというのが一つ大きな課題だと思っています。

○座長 ありがとうございます。建設資材化というか、セメントに大部分が流れていって、発生した汚泥の7割が焼却されていて、その灰の大部分というのはセメント化に流れていっているのですけれども、富山県さんみたいなケースというのはそんなに多くなくて、それもコストとかいろいろなものとの兼ね合いがあると思います。

■ 緑農地利用

○座長 緑農地利用というのは非常に古くて、下水道で検討してきたのが40～50年になります。し尿などを言ったらもう江戸時代からずっと、それこそ人類が出現してからそういうのはあるのですしょうけれども。

統計上はけっこう安定して利用されていて、急激な伸びというのがあるわけではありませんが、着実に伸びていっているというのが実際です。パネラーの島田さん、緑農地利用を進めるポイントを。

○島田 私は講演の中で、下水汚泥の有する特性を最も効率的に活用する方法としてはメタン発酵によるバイオガスエネルギー回収と、その消化残渣を有機肥料として緑農地利用することと述べました。現に、欧米では循環型社会の最も理想的な方法として下水汚泥の大部分はメタン発酵+緑農地利用が行われています。残念ながらわが国では「下水汚泥=重金属=有害物」といったマイナーなイメージが付きまとっています。確かに昭和40年代から50年代にかけて重金属濃度が高い下水汚泥が発生していた時期がありました。水質汚濁改善を最優先して、除害施設の不十分な工場排水も下水道に受け入れていた頃の話です。講演の中でも説明しましたように現在の下水汚泥中の重金属起源は工場排水ではなく水道水や食糧起源のものです。その濃度は昭和50年代に比べ1/3～1/10になっており、農林水産省のデータでも明らかになっていますが、工場排水を全く受け入れていないコミブラなど浄化槽汚泥の重金属濃度よりもはるかに低いのが実態です。

今回のセミナーにも参加されていますが、山形市さんや佐賀市さんでは下水汚泥からメタン発酵による積極的なエネルギー回収と消化汚泥のコンポスト化による緑農地利用を進めておられます。両市以外にも仕事から全国各地の下水汚泥コンポスト施設や実際に下水汚泥肥料を利用している農家の方とお話させていただくことも多くありますが、使ってみてはじめてその効果に驚き、3ヶ月前に予約しないと汚泥肥料が入手できないという報告もよく聞いています。

皆さんの中で、下水汚泥有効利用法をご検討している方がおられましたら、ぜひこのような先進都市を視察するなど積極的に取り組んでいていただきたいと思います。

■ 地域をあげて努力

○三宮 今、佐賀市さんの話が出まして、佐賀市さん来られているというのであれば、もしコメントがあれば言っていただければ非常にいいかなと思うのですけれども。私が伺っているところでは下水道汚泥からつくったコンポストの品質の高さとかいったことを農家の方に理解をしてもらうために地元のNPO法人などと連携して勉強会などで、地域をあげてそういった取り組みをされたら。実際にできている物も非常にいい物ができているということを見てもらうということに取組まれたということも聞いたりしています。地域

をあげて努力されていることが大事なのかなと思っています。

○座長 佐賀市さんに聞いてみましょうかね。

○佐賀市 先ほど言われましたように、私どもについては農家と一緒にしようと。つまり目的を私どもが汚泥をどうにかしようではなくて、農家さんから見た下水道ということに取り組んでいます。ただ、まだまだ過程でございまして、講演で座長が言われましたように、LCCですね。つまりものすごい費用かけて肥料をつくるのは簡単なのです。税金を投入してですね。ただし、最後に私も非常に印象に残ったのですけれども、LCCとLCAは同じだということで今思っています。そしたら、どうしたら一般に販売されている肥料と同等以上に扱えるか、コストを下げられるかというのが今日一番残った印象です。

○座長 下水汚泥の肥料というのは大きく今、二つの分類があります。一つは灰を肥料とする方法と、あとコンポスト乾燥汚泥や有機質のものが 있습니다。どれにも必ず汚泥という名前がついています。それを業界の人たちは汚泥を抜きたいというのです。ところが、有機質の肥料で登録されているのを見ると、ものすごい量の汚泥肥料があるのです。FAMIC（農林水産消費安全技術センター）というところがあって、そこに行って問い合わせたら、下水がちょっとでも入っていると汚泥という名前が付くと。なぜかと思いました。例えば20%以上だったら汚泥という名前を付けさせてくださいと。そうしなければ私たちは責任もって提供できませんという話をしたのです。ところが彼らにしてみれば、汚泥を出すのは基本的に下水道に関わる自治体ですよ。そうすると、責任が全部自治体に被ってくるわけです。よくよく聞くと。そういう方針なのですね。だから、ちょっとでも下水の汚泥が入っていれば汚泥肥料という形で今、登録されている。これが実際です。

■ マイナーなイメージが

○座長 佐賀市さんから言われましたけれども、汚泥という名が付くものがもう下水汚泥までもいいから、それはものすごくいいものだ。他のものと区別するというぐらいのことを今度はやっていかなくてはいけないのではないかと。先ほど島田さんが言われましたけれども。使っている人はずっと使っていて、それとこの前、国土交通省のプロジェクトの中で農業利用とか植物のことを進めていこうというときに、アンケートが回ってきたと。自治体の人からですね。うまくいっていると。うまくいっているけれども農家の人から出さないでくれと言われている。そ

れは理由が二つあって、一つは他の人も真似るということ。あと一つは汚泥という名が付いているということ。これら二つのことであると。人が真似るというのは戦略ですからわかるのですけれども、あとの汚泥の名が付くということで非常に商売する上で流通上問題があるのでそれは出さないでくれというのがあったらしいです。

今回のアンケートの中で、直接口に入るのに使うのはまずいのではないかという意見の方もいらっしゃるのですが、実際はそういうような、先ほどから島田さんが一生懸命解いていらっしゃるように、そんなに危ないものではないのです。下水の灰もそうです。下水の灰もものすごくいい資源でミネラルいっぱい、リンはその一部でしかない。カリからシリカからすべて大事で、そういうのが下水の汚泥の中にはすべて含まれています。だから、直接使うこともできるし私が県の農業試験場に内々に調べてもらったときにはでっかいメロンが送られてきて、これはあなたが渡した灰の産物だと言われてすごく感激したのを覚えています。それぐらい価値のあるものです。だから、決しておかしくなくて、肥料登録すればOKです。肥料登録するのは簡単です。そういう意味でぜひ肥料登録して、先ほどの佐賀市さんではないですが、仲間をつくっていただいて、農家の人たちと一体になってやっていけることが農業利用のポイントだと思いますので、ぜひそういうかたちで取り組んでいただければと思います。

○西田 最終的に乾燥汚泥という製品の中で私のとこ

ろは「くろべ緑花王」というかたちで肥料登録をさせていただきまして、希望される市民の皆さまに、春先から秋口までですが、月一回無償で配布をしています。あと、県内に柿園の生産者がおられまして、そちらに有価で年間5tという、そんなにたくさんの量ではないのですけれども販売をしています。

あと最近では、市内でリサイクルの木材チップを肥料化されておられる民間の業者さんに、窒素分が少ないということで、私どもの緑花王とミックスさせて新たな肥料として生産販売をしているというのが黒部の状況です。

○質問者C 私は今の仕事に就く前には、かなり長く廃棄物行政に従事をしていまして、三宮さんや島田さんのお話を聞いていると、他の方もそうなのですから、かなり廃棄物処理を目の敵にしておられるような印象を受けたのですけれども、そのことは置いておきまして、以前の仕事の経験から言いますと、今ここでお話を伺っていると下水汚泥というのは肥料として非常にいいものだと、私もそれは思います。

ただ、佐賀市さんが今言われたように、使ってもらわなくてはいけないし、だけれども私が以前の職場で民間の団体の方を引率して、下水の汚泥ではないのですけれども汚泥のコンポストをつくる施設の視察に案内したことがあります。帰り際にその工場の方が5kgぐらいのバックですかね、「これはうちの製品です。ぜひ試しに使ってみてください」と。そしたらその団体のリーダーの方が「ありがとうございます。今



日はいい勉強ができました。頑張ってください」と。それでバスに乗ってバスが発射して手を振った直後にその方がなんとと言われたかと思ったら「こんなものを使っつった葉っ葉が食えるか」と。

われわれがいくら下水汚泥は肥料として効果があると言ってもなかなか使ってもらうのは難しいということがその一言で。要するに、環境衛生とか廃棄物の適正表示が付いても啓発に携わっている方が言われた言葉で、これは難しいなと私は思いました。ですから、ここで話された内容をいかに外部に発信していくかということが課題ではないかと思うのです。

○座長 パネラーの方どうぞ。

○島田 ただいまのご指摘は、私もあちこちでよく耳にすることです。残念ながらわが国では多くの方が「下水汚泥＝有害物」というマイナーなイメージを持っているのが現状だと思います。先日国が主催する「食品リサイクル法に基づく食品残渣の有効利用法」に関する会議で、下水処理場で生ごみを受け入れ下水汚泥との混合メタン発酵によるエネルギー回収と緑農地利用を行っている全国の事例紹介を行いました。ところがその会議のメンバーの一人である有名な大学の先生から「下水汚泥を畑に撒くなんてとんでもない、畑は廃棄物の処分場ではない」と猛烈な反対意見が出されました。その先生は30年前の下水汚泥のイメージをいまだお持ちなのだと、大変残念な気持ちになりました。

私はこの汚泥有効利用セミナーに毎年講師として参加させていただいておりますが、毎回講演時間の半分は「下水汚泥の資源的価値の重要性」についてお話させていただいています。資源の大部分を海外からの輸入に頼っているわが国において、下水汚泥は将来にわたって絶えることのない貴重な国産バイオマス資源です。下水汚泥に対する誤った認識を払拭しその有用性について、今回セミナーにご参加の皆さんからも幅広くPRに努めていただければと考えています。

■ 地域単位でPR

○質問者D 帯広市も100%緑農地還元してしまして、先ほどおっしゃられたとおり使っている方が非常に多いということと、あと、風評被害は非常に心配されているところです。私どもは先ほど説明もあったとおり、下水汚泥というのは非常に有効なものだということを利用して四つの組合をつくりまして、その中で完熟堆肥を使っているというような状況ですが、一番大切なのは安心・安全だと思うのです。先ほど意見がありましたが、この場でだけではなくて、国とか下水道やられる事業者さんのほうが音頭を取っ

ていただいて、まず資源循環は当然なのですけれども合わせて安全ですよ。非常に有効な肥料ですよということをPRして、広報活動などをしていただければと思っています。

○座長 下水道協会にも「再生と利用」という本があって、皆さん読んでくださっていますでしょうか。できればそこで好事例で毎回出していただけたいと思いますね。そういう意味でもぜひそういう形をやっていただけたいと思います。ありがとうございます。

○津森 一ついいですか。私は実家が農村にあるので農業サイドの立場から、農家の方のおっしゃる人のことのほうがよくわかるなと思うのです。われわれは農林水産省の関係の農業環境技術研究所とか、そういうところともバイオマス利用について共同研究や議論をやっていますし、今、落座長からお話がかった「再生と利用」という本というのはいろいろな各県の農業試験場とかそういうところとは話を進めながらやっているということもあります。ただ、これはもう農水省の関係の技術者の方がおっしゃっているのですけれども、農家の方というのは基本的に国とか学者の言うことはまず信じないということ言われています。ただ、口コミは非常に信じるということをよく言われているのです。何が言いたいかというと、なぜやはり不安になるかということを考えると、どういうものが入っているのかわからない、自信を持ってないということがあるのではと、感覚的なものですね。

緑農地還元については非常にクローズドの地域の範囲、つまり農家の方が見える範囲で丁寧にやっていかなければしょうがないでしょうし、そこに理解が得られないところでは一足飛びにはなかなか進まないような気がしています。これはたぶん廃棄物の問題全般、非常に難しい問題であり、広域に移動するものだとさまざまな問題がありますけれども、先ほど計画は県単位ぐらいが一番いいのかなというように私はこれまでの経験では考えているのです。もう一つ、利用といった段階になると、特に農業という関係だとPRしてもあまり信じられないとか信じてもらえない。やはりどういう過程でできているものか、誰が出したものかというのを理解してもらって、納得できる範囲でやっていくのがまずは取っ掛かりではないかと、私自身は思っています。ある程度、利用が進んでいるところの話を聞くと、どうやってつくっているかとか、どこから流れてくるかっていうことが分かる小規模なところが多いし、どういう由来のものが入っているのかというのがわかっているから農業関係者は使われているような気がします。ですから、理解を進めていくのは国や自治体、行政がいいものだ、安全だと言うのも必要だけれども、どうやってそれを納得してもらう

かという方策は地域単位ではないかと思っています。あともう一つ、話は違いますが、いろいろな方法を試してもらいたいと思っています。緑農地還元、エネルギーいろいろありますけれども、使い方の効率というのがあって、消化ガスでガスができるといったって全部ができるわけではないし、その残渣ができる。それをまた農地に還元するとか、また焼却するとかありますし、緑農地還元もある地域によっては、先ほどアンケートのお話で出ましたけれども、脱水汚泥の形で肥料メーカーに渡してしまっているということもあるので、ここに並んでいる方とかいろいろなところありますけれども、いろいろな経験がなかなかオープンにはなっていないのですね、実は。流通の問題もあるので秘訣は言いたくないと言われる市町村さんもあります。

ただ、われわれそういううんちくとかノウハウみたいなものはある程度聞いているので、ここの地域だったらこうしたほうがいいのかとか、言うことはできるのかもしれないので、またいろいろ気軽にご相談をしていただけるとお手伝いできるかなと考えています。また「再生と利用」の話でもうまくいっている事例ほど、特に農地の還元の方はあまり話したくないということをよく耳にします。つまり成功事例が表に出てきていないということも一つの問題で、そこはどうやって解決するのか課題だとは思っています。

○座長 明日、古畑先生が講演されますが、ペーパーを見ていただくと、いかに下水汚泥の肥料というのがいいのかというのが出ていますし、問題は先ほどいろいろご指摘されましたけれども、安心・安全をどうやって担保しているということが大事で、先ほど工場見学されてバスの中でそういうものは使わないと言われて、たぶんつくるところはすごくショックを受けられたのかもしれないし、独特の臭いがするものもありますし、そういうことがうまくクリアできるということが大事ではないかと思っています。

■ 固形燃料化

○島田 固形燃料化について少し説明させていただきます。下水汚泥のエネルギー利用法の一つとして乾燥または炭化による固形燃料化事業が徐々に増えつつありますが、この事業化にあたって3つのポイントがあります。

第1点目は、固形燃料の安定した需要家（利用先）を見付けることです。下水汚泥を固形燃料化すれば誰でも使ってくれるというものではありません。需要家としては石炭ボイラーを有している発電事業者や製紙工場などですが、固形燃料の量もあまりに少量では相手にしてくれませんので、一般には大規模処理場に限

定されるのが一般的です。

第2点目は、逆有償の問題です。固形燃料を仮に1トン当たり1000円で引き取っても良い（購入）という需要家がいたとしても、固形燃料をそこまで運搬するコストがその売却コストを上回る場合は有価物（固形燃料）の取引ではなく廃棄物の処理に該当し、廃掃法に基づき「産業廃棄物処分施設」としての法的手続きをとるよう行政指導されていました。固形燃料事業化の大きなネックになっていたためかねてより見直し要求を行ってきましたが、この3月に規制緩和措置の一貫として一部見直しされることになりました。「確実に燃料として利用が行われる場合においては、その需要者に引き渡された時点で廃棄物とはみなさなくてよい」ということになりました。

第3点目は、得られる固形燃料のエネルギー価値と製造のための投入エネルギーの関係です。含水率80%の脱水ケーキ1トンを固形燃料化する場合、約800Lの水を取り除く必要があります。水分100Lを蒸発乾燥するのに10Lの灯油が必要といわれていますから、80Lの化石燃料を消費して約0.2トンの乾燥固形物が得られることになります。0.2トンの乾燥固形物のエネルギーポテンシャルは灯油換算で80～100L程度です。燃料化設備の電力エネルギーまで考慮すると、エネルギー収支的には微妙となります。

乾燥に要するエネルギーを化石燃料ではなくメタン発酵による消化ガスを利用したり、近隣にごみ焼却場などがある場合は、その余剰熱源を利用することが望まれます。

また、最近開発された機内二液調質型遠心脱水機などの低含水率型脱水機との組み合わせなども検討の価値があると思います。

■ 下水汚泥の有効利用を進めるために

○座長 佐伯様、何かコメントなどありましたらいただけますか。

○佐伯 富山県では、今後も下水汚泥の処理に関しては、溶融方式で行っていきますので、発生する溶融スラグの有効利用先について、先ほど述べた、アスファルト骨材のみならず、様々な利用先の研究を進めることを喫緊の課題として取り組んでいきたいと考えています。また、それらに加えて、下水汚泥並びに溶融スラグに含まれる貴重な資源の開発の可能性について、他機関とも連携しながら探求していきたいと考えております。

○座長 西田さんのところではディスポーザーもやっていますよね。

○西田 ディスポーザーですけれども、先ほどの報告

の中でも言っていたのですが、黒部市の全世帯の約半分ぐらいの6000基を計画として持っている中で、今現在400基でまだなかなか計画には遠い状況ですが、利用された方はゴミ出しなどいろいろと非常に便利なものだと言っていて、さらに私どもとすれば従来の下水道管を利用してそのまま処理場まで持っていけるということで、生ゴミの処理としてみても非常に有効なものかなと考えています。

先ほど固形燃料ということで、黒部市の場合いろいろな分野で資源を有効に利用していきたいということで、乾燥汚泥が年間1000tぐらい出るわけですが、当然、肥料としても利用するわけですが。さらに汚泥の、残りの部分を今、中小規模の民間の火力発電の燃料として有価で処理していきたいという考えで進めているわけですが、このPFI事業もまだ管理・運営が3年足らずという中で全体15年のまだ始まったばかりということから、SPCさんと連携を図りながら、よりいい管理・運営を実施していきたいと考えています。

○三宮 今、われわれは下水道ビジョンの見直しというのを、平成17年に下水道ビジョン2100というのがつくられたのですが、その見直しの作業というのを始めたところでありまして、下水道政策研究会というのを始めています。第一回の会合が先日行われたのですが、先ほどから、下水汚泥は非常にある面でいいものだという話をしている中で、でもやはり広報などがもう一つかなという話が出ていたのかなと思っています。その下水道政策研究会の中でも下水道はあまり自分の中だけでクローズしていて、なかなか外に出ていないというか、そういったご指摘も多くの方からいただいたところなんです。今回いろいろないい事例もありますよとか、そういったことも含めて、この下水汚泥の有効利用ということを今、自分たちの中ではなくて、直接にもしかしたら関係ないかもしれない、あるいは

非常に関係あると思われる方、そういったことを問わず発信していくということ、これが大事かなと思っています。

国ももちろんそれに向けて取り組んでいきたいと思っていますけれども、皆さんもそういったことも意識してこれから業務に励んでいただけたらいいのかなと思います。

○座長 いろいろと会場の方からも意見をいただいたりしてきました。エネルギーが逼迫しているというのは事実で、これが各自治体、下水道事業の経営を苦しめていくというのは明らかです。できればエネルギーの開発、嫌気性消化でもいいですし、固形燃料化でもいいですから取り組んでいってもらいたい。

日本はなんだかんだ言いながら農業の国です。例えば燃料をつくって、その燃料で温室を暖めて、普通は灰を捨てますが、出てきた灰はものすごくいい灰ですので、そのままちゃんと肥料として使っていきます。だからそういう全体のフローというか使い方も処分という観点は相当なくなってくるのではないかと私は考えていて、そして、各パネラーの人たちも一つ一つ細かく説明してくださったのです。会場の皆さん方も一つの流れというのをぜひ一回絵を描いてみてくださいませんか。そうすると、絵を描いたときに何か足りない、何があればここは成功するというのがあったら、このパネラー含めて私どもに問い合わせで情報をくだされば一生懸命お手伝いしますので、是非そういう観点で下水汚泥の有効利用というのを進めていきたいと思っています。

ちょっと雑駁になってしまいましたが、今日はパネラーの皆さんありがとうございました。それと、会場の皆さん長時間にわたりどうもありがとうございました。これで閉会にさせていただきます。ありがとうございました。

ニュース・スポット

関係団体の動き

BISTRO下水道推進チーム会合について

編集委員会事務局

キーワード：未利用資源、食との連携、資源循環

1. はじめに

国土交通省が昨年打ち出した「食と下水道の連携」。地域に潜在する下水処理水や下水汚泥といった下水道資源の活用を通じ、食の世界と下水道とをマッチングさせ、下水道界の魅力を向上させる画期的な取り組みとして注目を集めた。その中、全国の地方公共団体に既に有効利用を行っている事例を収集・発信し、下水道資源のさらなる有効利用の促進をめざす「BISTRO下水道推進戦略チーム」(事務局＝国土交通省、日本下水道協会 以下「BISTRO推進チーム」という。)が昨年8月発足した。東京ビッグサイトでの第一回会合を皮切りに、11月に帯広市、今年2月に佐賀市でそれぞれ地方会合を開催。各会合には産官学から計30団体が参加し、議論を通じて情報の共有を図った。今回、帯広市、佐賀市での第二回、第三回会合の様子をレポートする。

2. BISTRO推進チームin帯広市

第二回会合は11月28、29の両日、帯広市にて開催された。北海道・東北地方の地方公共団体を中心に15団体(国交省、北海道開発局、北海道、帯広市、北見市、岩見沢市、八戸市、岐阜市、佐賀市、日本土壤協会、データベース、岩戸堆肥クラブ、日本下水道施設管理業協会、下水道新技術機構、メタウォーター)が出席、地元新聞社も取材に訪れていた。

28日は、市内のとかちプラザで各団体における下水

道資源の活用事例を報告。

帯広市は下水汚泥の緑農地利用をテーマに登壇。市の帯広川下水終末処理場で発生する汚泥を十勝川浄化センターまで運搬し乾燥処理をしたのち、緑農地利用を推進している利用組合が保有する施設で堆肥化、利用を行っている事例を紹介。同市で発生する下水汚泥は100%緑農地利用を実施しているとした。

そのほか帯広市からは、同市を中心に19市町村から成る十勝地域で進めているブランディング戦略「フードバレーとかち」についても解説があった。地域における高い食糧自給率や広大な耕地、水・空気・長い日照時間といった良質な自然環境など、地域が持つ優位性を活かした地域産業活性化の取り組みに関心が集まった。

データベースのテーマは「下水汚泥堆肥化の取り組みと利用状況について」。同社が維持管理業務を受託している十勝川流域下水道浄化センターで発生した汚泥を由来とする堆肥の成分分析結果を報告し、有害成分の含有量が肥料取締法に基づく基準をすべてクリアしたことや、実際に使用されている農場での土壌モニタリングでも有害金属含有量に大きな変化は見られなかったと報告した。

堆肥の製造工程を担っている岩戸堆肥クラブは「使用者(農業)側からみた下水汚泥の緑農地利用」を



第二回会合の様様

テーマに報告。堆肥に対するマイナスイメージの払拭などを課題として挙げた。

八戸市のテーマは「八戸市の脱水ケーキの緑農地利用の現状について」。市内2事業者に委託し、発生した下水汚泥を堆肥化処分（緑地還元）していることを報告し、今後の課題として下水汚泥由来肥料で生産された食物に消費者が敬遠傾向にあることなどを挙げ、さらなる広報の必要性を指摘した。

日本土壌協会は「平成24年度下水汚泥由来肥料の窒素肥効試験について」と題し、下水汚泥由来肥料など有機質肥料の窒素の肥効を推定する「植物体の窒素化合物の分画法」を用いた調査結果を報告した。

また、翌29日は施設見学を実施。岩戸堆肥クラブが管理する堆肥場を視察した。

3. BISTRO推進チームin佐賀市

2月13、14の両日には、第三回会合が佐賀市のメートプラザ佐賀で開催された。九州地方の地方公共団体のほか、下水道由来堆肥を使用している農家や処理水の放流先で海苔養殖業を営む漁協職員も参加し意見を述べた。参加団体は18団体（神戸市、鳥取市、佐賀市、熊本県、鹿児島市、日本土壌協会、国交省、帯広市、愛知県、佐賀県、熊本市、熊本県・苓北町、味の素、下水道新技術機構、日本下水道施設管理業協会、データベース、水ing、土木研究所）。

佐賀市は下水道資源を活用した事例を紹介。処理水放流先の海苔養殖業のため、海苔の生育時期に合わせて処理水の栄養塩類含有量を変動させる「季別運転」では、放流先の海苔が市場で最高値をつけるまでになったと報告。下水汚泥の堆肥化では、処理場の維持管理会社や堆肥化会社、さらには使用者である地域住民一体となって推進し、定期的に堆肥の勉強会を開催するなど事業の出口を明確に意識し、戦略的に取り組んでいると説明した。そのほか、下水処理水で藻類バイオマスを培養し、ジェット燃料を精製する構想まで明らかにした。

熊本市は下水処理水の農業用水利用の取り組みを紹介。同市の西部浄化センター周辺の農場は慢性的な水不足に悩まされており、地元からの要請を受ける形で平成18年に利用団体と対象作物、処理水の水質基準、責任の所在等を含めた協定を締結していると報告。課題として、地元紙に誤解を招くような記事を掲載されたことがあることから、PRが過ぎると風評被害が懸念されることを挙げた。

苓北町は、生ゴミ・牛ふん・下水汚泥を堆肥化、販売し、地元農地に還元する循環型社会に向けた取り組みを紹介。当初は、多くの畜産農家が使用していたものの、近年は堆肥の販売量が減少したことや堆肥化施設の老朽化が課題となっているとして、今後は利用促進を呼びかけるとともに、設備・機器のメンテナンス等を通して経費削減に努めるとした。



発酵熱で堆肥から湯気が上がる

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

きを指定する等、原稿作成又は修正に必要な事項を明記して下さい。

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

4 お支払方法等

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

なお、送金（振込）手数料は、貴社負担にてお願いします。

5 申込み先及び問合わせ先

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

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

(参考)

「再生と利用」特集企画予定

- 第144号（平成26年7月発行予定）
平成26年度下水汚泥資源利用等に関する予算及び研究内容と方針の解説
- 第145号（平成26年10月発行予定）
下水汚泥利用の事業スキームについて
下水汚泥を用いたカスケード利用について
- 第146号（平成27年1月発行予定）
バイオガス固定価格買取制度導入事例
バイオマス産業都市構想の取組み報告
- 第147号（平成27年4月発行予定）
第27回下水汚泥の有効利用に関するセミナー特集

「再生と利用」広告掲載申込書

公益社団法人 日本下水道協会 御中

(該当箇所にご記入及び○印を付けて下さい。)

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

上記のとおり申し込みます。

平成 年 月 日

会 社 (団 体) 名 ㊟

住 所 〒

担当者所属・職・氏名 ㊟

TEL
FAX

[広告代理店経由の場合に記入]

広 告 代 理 店 名 ㊟

住 所 〒

担当者所属・職・氏名 ㊟

TEL
FAX



施設見学で佐賀市浄化センターを訪れた

鹿児島市は汚泥発酵肥料・サツマソイルの製造工程やPR施策などを紹介。販路の拡大や安定した購入者の確保、市民へのPRを推進していく必要があるとした。

味の素は、佐賀市で製造している堆肥と同社から排出される発酵副産物（P菌体）を混合する官民連携事業の取り組みを紹介。約1年に及ぶ共同研究を経て、さきごろ「P菌体混合肥料（通称：Pちゃん肥料）」として販売を開始していると報告。Pちゃん肥料ではアミノ酸成分が向上したほか、これで栽培した作物は、無添加肥料で栽培した作物よりも、旨み、見た目などで高評価を得ているとした。

翌14日の施設見学会では、佐賀市浄化センターや浄化センター内にある堆肥化施設、さらに堆肥を使用している農家宅を訪問。一行は、浄化センターで水処理工程を学んだのち、堆肥化施設で堆肥の臭いや性状などを確認。農家宅では、実際に堆肥を使用した感想などを聞いた。

4. おわりに

25年度は、計三回の会合を行ったBISTRO推進チーム、特に、地方開催は普段会う機会のない、団体同士のマッチングの場として有効に機能していた。会合後の懇親会では、恒例の自己紹介タイムなどを経てお互いが打ち解け合った雰囲気での今後の資源循環のあり方などさまざまな議論が交わされた。

また、懇親会では下水汚泥由来肥料で栽培された作物を使用した料理（BISTROレシピ）が提供されるなど、まさに食と下水道の連携を体現した取り組みとなっている。

今後、下水道由来肥料や下水再生水を用いて育てられた作物のレシピ集の発刊が予定されているほか、事務局側も26年度以降も継続して会合を開く考えで、さらなる発展にますます期待が高まる。

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

きを指定する等、原稿作成又は修正に必要な事項を明記して下さい。

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

4 お支払方法等

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

なお、送金（振込）手数料は、貴社負担にてお願いします。

5 申込み先及び問合わせ先

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

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

(参考)

「再生と利用」特集企画予定

- 第144号（平成26年7月発行予定）
平成26年度下水汚泥資源利用等に関する予算及び研究内容と方針の解説
- 第145号（平成26年10月発行予定）
下水汚泥利用の事業スキームについて
下水汚泥を用いたカスケード利用について
- 第146号（平成27年1月発行予定）
バイオガス固定価格買取制度導入事例
バイオマス産業都市構想の取組み報告
- 第147号（平成27年4月発行予定）
第27回下水汚泥の有効利用に関するセミナー特集

「再生と利用」広告掲載申込書

公益社団法人 日本下水道協会 御中

(該当箇所にご記入及び○印を付けて下さい。)

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

上記のとおり申し込みます。

平成 年 月 日

会 社 (団 体) 名	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133回「再生と利用」編集委員会

日 時：平成25年12月10日（火）

場 所：本会中会議室

出席者：野池委員長、尾崎、姫野、津森、島田、西田、川崎、濱田、工藤、長谷川、北折、西本福田、吉村（代理）の各委員

議 題：①第142号「再生と利用」編集内容について
②第143号「再生と利用」編集方針(案)について
③平成26年度計画について
④その他・情報交換について

概 要：①第142号「再生と利用」編集内容について事務局から資料4のとおり報告し了承された。

②第143号「再生と利用」編集方針（案）について

事務局から、資料5のとおり説明を行った。第143号については黒部市汚泥有効利用セミナーを特集記事とする。ニューススポットにおけるBISTRO下水道の紹介については帯広市と併せて、佐賀市も掲載可能か検討する。特別報告及び海外事例報告等において適切な掲載論文（B-DASH等）があるかどうか編集委員にても検討することとする。

③平成26年度計画 について

事務局から、資料9のとおり説明を行った。特集テーマの民間活力の取組みについては、エネルギー利用においてはPFIやSPCのスキームの紹介となるが、肥料利用についてはユーザー目線からの紹介として留意するものとする。特集テーマ名の「バイオマスタウン構想」については、その名称を「バイオマス産業都市構想」と改める。

講座においては再生可能エネルギー全般についての紹介も検討することとし、政府間パネルの論説においては環境省等に適切な執筆者がいれば検討いただくとする。今後は再生水利用についても投稿報告等で紹介していくとする。

④その他・情報交換について

水田利用から土地利用型の畑作に転換する場合、有機物の補足として下水汚泥も使え

るようにしたいが、重金属の問題が懸念視されており、そのあたりの安全性を広く認知していくべきである。

またメタン発酵残渣である液肥利用が遅れており、そのあたりどう進めていくのか課題がある。

肥料利用促進のため、農業従事者に対しインタビュー方式で記事にしていくことも検討すべきである。微生物製剤による消化ガス量を増加させる技術については今後注目していくべきと考える。

今年度協会内で立ち上げた下水汚泥利用促進検討調査専門委員会において新たなマニュアルを発刊予定であるが、「再生と利用」を有効な情報源として活用していく予定である。

第2回下水汚泥由来肥料利用小委員会

日 時：平成26年1月20日（月）

場 所：本会中会議室

出席者：藤原主査、中川副主査、大上、山根（代理）、岡、堀切、井上（研）、三宅、井上（恒）、杉山、山田、菅原の各委員

議 題：①目次構成（案）及び箱書き（案）について
②アンケート送付先（案）及び送付内容（案）について
③帯広市アンケート結果について
④ヒアリング報告について
⑤中間骨子案について
⑥今後のスケジュールについて

概 要：①目次構成（案）及び箱書き（案）について事務局から資料1、資料2のとおり説明を行った。

放射能に関する記述については、肥料に関する法令と規則の中に入れることとした。B-DASHの記載範囲については事務局にてたたき案を再度示すこととした。「課題と整理」については「対応策」の言葉も入れることとした。

②アンケート送付先（案）及び送付内容（案）について

事務局から資料3、資料4のとおり説明を行った。

アンケートについては下水道管理者からエンドユーザまでどのように流れているのか分析できる内容にすることとした。コンポスト等を取止めた事例についてもヒアリングすることとした。また民間処分団体にその利用先を聞きヒアリングすることとした。

③帯広市アンケート結果について
事務局から資料5のとおり説明を行った。
エンドユーザから興味深い結果が得られたため、後のアンケートの問い合わせのための回答者の連絡先を明記することとした。

④ヒアリング報告について
事務局から資料6のとおり説明を行った。
F A M I CやJ A等の肥料関連の貴重な意見を伺うことができ、来年度F A M I Cの方にも当小委員会に加わっていただくとした。

⑤中間骨子案について
事務局から資料7のとおり説明を行った。
25年度に実施した検討概要を3月末に对外公表することとする。

⑥今後のスケジュール
事務局から資料8のとおり説明を行った。
下水汚泥利用促進検討調査専門委員会は2月26日、次回小委員会は5月の開催予定とする。

第2回下水汚泥エネルギー利用小委員会

日 時：平成26年1月23日（木）

場 所：本会中会議室

出席者：斉藤副主査、安陪、池田、井上、村井、八嶋、村岡、田尻、三宅、緒方、日高、碓井、福沢、高田の各委員

議 題：①目次構成（案）及び箱書き（案）について
②下水汚泥有効利用支援事業中間報告について
③アンケート送付先（案）及び送付内容（案）について
④中間骨子案について
⑤今後のスケジュールについて

概 要：①目次構成（案）及び箱書き（案）について
事務局から資料1、資料2のとおり説明を行った。
エネルギー利用に関する放射性物質の品質基準はないが、廃掃法のからみはあるため、関係法令で一般論として書くこととした。その他必要に応じて放射性物質の移行収支などにも触れた方がいいとの意見があった。B-DASHについては来年度のガイドラインまでに盛り込めればとした。焼却排熱や他バ

イオマスの事例についてはその他技術として一つの節にまとめることとした。

②下水汚泥有効利用支援事業中間報告について

事務局から資料3、資料4のとおり説明を行った。

報告書の内容について、ガス発電のF I Tの導入条件は不透明であり、事務手間などを考慮した場合、従来の場内利用をメインで報告することとした。支援事業の審議については来年度の委員会まで行うこととした。F I Tにおいて基本的に消化タンクは補助対象となることであった。ガス会社へのアンケートについてはガスの受入条件も質問するようにすることとした。

③アンケート送付先（案）及び送付内容（案）について

事務局から資料4、資料5のとおり説明を行った。

各担当委員宛に送付することとしたが、北九州市に関連するアンケートについては調整をお願いした。

④中間骨子案について

事務局から資料6のとおり説明を行った。
25年度に実施した検討概要を3月末に对外公表することとする。

⑤今後のスケジュール

事務局から資料7のとおり説明を行った。
また固形燃料J I S原案の説明も行った。
下水汚泥利用促進検討調査専門委員会は2月26日、次回小委員会は5月の開催予定とする。

第2回下水汚泥建設資材利用小委員会

日 時：平成26年1月29日（水）

場 所：本会中会議室

出席者：服部主査、小池副主査、大上、石田、永井、稲葉、木村、桜井、島田、岩見、細川の各委員

議 題：①目次構成（案）及び箱書き（案）について
②アンケート送付先（案）及び送付内容（案）について
③中間骨子案について
④今後のスケジュールについて

概 要：①目次構成（案）及び箱書き（案）について
事務局から資料1、資料2のとおり説明を行った。
指標やコストについては第5節の「評価と見直し」のところに載せることとする。放射性物質の記述については他委員会との絡み

もあり、基準や法令の中で述べていくこととした。過去の有効利用実態に対し、最新の実態についてはその傾向分析をすることとした。全体のポリリウムを考慮しJISは参考程度の紹介とする考えもある。また環境庁告示46号の評価手法については見直しも必要ではないかとの意見があった。本マニュアルは過去のガイドラインやマニュアルも踏まえ、コンパクトにまとめていく事とした。

②アンケート送付先（案）及び送付内容（案）について

事務局から資料3、資料4のとおり説明を行った。

有価物としての売却と廃棄物としての支払いについてもヒアリングすることとした。課題と対応策を記述する中で取止めた事例も盛り込むとする。

③中間骨子案について

事務局から資料5のとおり説明を行った。
25年度に実施した検討概要を3月末に对外公表することとする。

好事例については「再生と利用」やアンケート結果を参考に記述していくこととする。

⑤今後のスケジュール

事務局から資料6のとおり説明を行った。
またセメント資源化システムとしてキルン排熱を利用した下水汚泥乾燥システムの紹介を行った。

下水汚泥利用促進検討調査専門委員会は2月26日、次回小委員会は5月の開催予定とする。

第2回下水汚泥利用促進検討調査専門委員会

日時：平成26年2月26日（水）

場所：本会第一・二会議室

出席者：花木委員長、藤原、姫野、梶本（代理）、倉本、津森、山本、岩見（代理）、古畑の各委員

議題：①目次構成（案）及び箱書き（案）について

②中間骨子案について

③アンケート送付先・送付内容について

④今後のスケジュールについて

概要：①目次構成（案）及び箱書き（案）について
事務局から資料1、資料2のとおり説明を行った。

放射性物質にかかる記述については、共通項目の各種法令で記載することとした。肥料利用はユーザーに直接配布か、肥料会社

への引き受けなのか解析することとした。
また自治体がどの分野技術を選択すべきか判断するまでの手順を示すこととし、適切に有効利用されているかのリスク管理もできるようにすることとした。また下水汚泥の全般的な特性を示し、また各分野技術でも下水汚泥の特性を示すようにした。下水汚泥の種類によって、作られる肥料や作物により使う肥料が異なるので、これらについても記述することとした。

第5章を評価と見直し等にして、3つの分野のアンケート結果より、課題点・問題点を整理し、マニュアル作成に反映させることとした。

②中間骨子案について

事務局から資料3のとおり説明を行った。

「エシカル・マーケティング」が一般的でないため削除して、環境的価値を踏まえたマーケティング概念で示すこととした。本マニュアルが設計指針に記載されている技術のみ対象のように見えるため、記載方法を修正することとした。本骨子案は3月末に下水道協会のホームページにパワーポイントで公表することとする。

③アンケート送付先・送付内容について

事務局から参考資料5、参考資料6のとおり説明を行った。

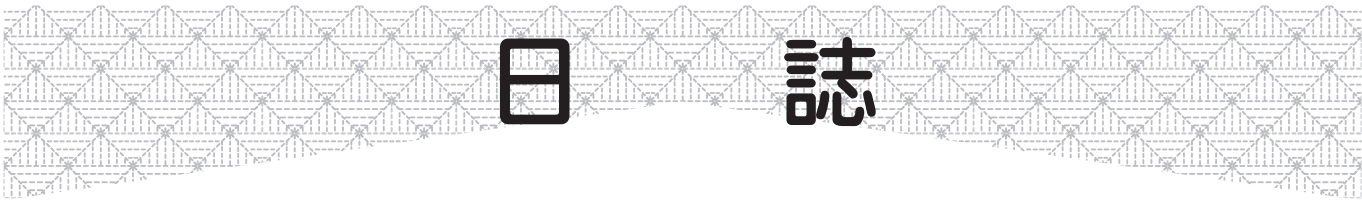
どの時期に下水汚泥を有効利用したいのかアンケート内容の前提条件を記載することとする。各自治体に下水汚泥のリサイクルを推進する仕組みがあるかどうか聞くこととした。

④今後のスケジュールについて

事務局から資料3のとおり説明を行った。

中間骨子案は7～10日間程度で確認頂くとした。4月末までにアンケート結果を整理し、小委員会で審議することとした。

次回委員会は6月の開催予定とする。



平成25年12月10日	第133回「再生と利用」編集委員会	本会中会議室
平成26年 1 月20日	第 2 回下水汚泥由来肥料利用小委員	本会中会議室
平成26年 1 月23日	第 2 回下水汚泥エネルギー利用小委員会	本会中会議室
平成26年 1 月29日	第 2 回下水汚泥建設資材利用小委員会	本会中会議室
平成26年 2 月26日	第 2 回下水汚泥利用促進検討調査専門委員会	本会第一・二会議室

次号予告

（題名は執筆依頼の標題ですので
変更が生じることもあります）

論 説：「次世代型ストーカ焼却システムと消化ガス発電 システムのLCA」	研究紹介：「バイオマスからの水素発酵における研究につ いて」 「太陽光を利用した活性汚泥の光メタン発酵シス テムの開発」
特 集：平成26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 「平成26年度下水道事業予算の概要について」 「農林水産省におけるバイオマスの総合利用推進 の方針について」 「日本下水道事業団における汚泥の処理・有効利 用に関する調査研究の概要」 「土木研究所における下水汚泥に関する調査」 「資源循環研究部における技術開発について」	講 座：エネルギー化技術の最新動向について 特別報告：「農業集落排水汚泥の利活用実証事業の紹介」 投稿報告：「熊本市における下水処理水の農業用水利用につ いて」 報 告：「下水汚泥有効利用促進マニュアルについて」 ニューススポット：「日本・インドネシア水環境に関するワー クショップ」 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) (26.3.1現在)		
委 員 長	日本大学大学院教授・東北大学名誉教授	野 池 達 也
委 員	秋田県立大学生物資源科学部教授	尾 崎 保 夫
委 員	長岡技術科学大学准教授	姫 野 修 司
委 員	国土交通省水管理・国土保全局下水道部下水道企画課資源利用係長	安 陪 達 哉
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）	津 森 ジュン
委 員	地方共同法人日本下水道事業団技術戦略部課長代理	島 田 正 夫
委 員	(独)農業・食品産業技術総合研究機構 東北農業研究センター水田作研究領域主任研究員	西 田 瑞 彦
委 員	(独)農業環境技術研究所連携推進室長	川 崎 晃 男
委 員	(一財)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	冠 城 敏 之
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	山形市上下水道部浄化センター水質係長	工 藤 守 守
委 員	横浜市環境創造局下水道施設部栄第二水再生センター長	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 A 4 版 (270頁) 価格5,500円 会員価格4,500円

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

主な改訂を目次（追加項目を下線）にて示すと、以下のとおりです。

目 次

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

編 集 後 記

歳を重ねて思うのですが、経済的に成功する経営者は単純な倹約家ではなく、メリハリのあるお金の使い方をするような気がします。明日を開拓するものにはドンと使いますが、その場限りで消えるものには使わないものです。例えば、仕事上の知識を深める本代、資格取得費、技術習得費、健康増進費にはお金を削らないのです。

まず、自分の質を高めて仕事の効率や収入増に繋がられる人生の計画を作るようです。そのため、家賃やもうけを生み出す資本（不動産・設備等の固定資産）の獲得には熱心なようです。家賃を取られる側ではなく、取る側に回るのは、昔から地価の高いこの国では生きてゆくポイントなのかもしれません。減価償却費を通じてプラスのキャッシュフローとなりますが、元手はちゃんと用意するのです。記念日を決めた夫婦旅行や、健康のためにお金を使うことも大切です。一方、支出はどこを削るのか、飲み代や葬式代等の交際費・儀礼費、タクシーやコンビニ等で使う日用雑貨、葬式や戒名代、結婚式の費用は削る余地があるようです。固定費のかかる車は実用

のみがお勧めですし、金遣いでストレス発散しない、無駄買い・衝動買いをしないため、買い物メモを持って行きましょう。家計簿を付けるのは大変ですが、家賃、携帯代、会費等の固定費は可視化しておきたいもので、見えることが倹約の第一歩かもしれません。

ところで、江戸時代は、災害救済の進んだ社会であり、大地震があると「お救い米」が配られたそうです。素早く支給されており、10日ぐらいで救援米の配布が始まるといわれます。また、津波の被災地は「潮入り^{しおいり}」と呼ばれ、5年も10年も年貢が減免されたそうです。被災地復興には、江戸人の知恵に学びたいものです。

これからはグローバル化、国際競争の時代ですが、これまでに培った処理技術等をいかに伝承していくか、皆様の知恵こそが価値を生む、イノベーションを展開する、これにかかるお金（支出）はむしろ増やした方が良いのではありませんか。なお、家族が仲良く、風通しが良い職場で、皆さん健康なのが、何より経済効果が高いと思うのです。（AK）

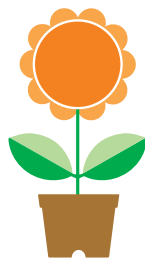
「再生と利用」

Vol. 38 No. 143 (2014)

平成26年4月30日 発行
(平成25年第4)

発行所 公益社団法人 日本下水道協会

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



再生と利用

公益社団法人 日本下水道協会

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