

再生と利用

2017 Vol. 42

No. 156

主要目次

- 口絵 BISTRO 下水道 in 下水道展 '17 東京
- 巻頭言 下水道資源への高まる期待 森岡 泰裕
- 論説 リン最前線ーリサイクルはどこへー 大竹 久夫、常田 聡

特集 肥料利用、リン回収、再生水利用

- 解説 「BISTRO 下水道」「じゅんかん育ち」の普及に向けた取り組み 高瀬 直樹
- 神戸市東灘処理場 資源再生（リン）の活用ー KOBÉ ハーベスト（大収穫）プロジェクトー 岡崎 裕一、平田 卓也、長田 朋之
- 汚泥発酵肥料「アキポスト」の利活用について 山岡 和男
- 汚泥利用・処理の国際標準化ー ISO/TC275/WG7 等への日本の貢献ー 山下 喬子
- 筑西市における下水汚泥コンポストについて 岩岡 和宏
- みやま市が進める資源循環の取り組みについてー液肥を利用した農業振興などー 坂田 隼一
- 岐阜市における下水汚泥焼却灰からのリン回収について 太田 淳一
- 下水汚泥焼却灰の特徴と焼成肥料化技術 今井 敏夫
- 下水処理水の農業利用など「BISTRO 下水道 in 佐賀」の取り組み 山口 賢一
- 熊本市における下水処理水の農業用水利用について 上田 信一
- 密閉縦型発酵装置による堆肥化について 竹内 和敏・荒川 友子
- 報告 山形市におけるコンポスト利用者の声 工藤 守
- 横浜市における再生水利用の一事例について 永嶋 祐輔
- 研究紹介 下水処理水再利用による飼料用米栽培ー日本有数の穀倉地帯での挑戦ー 渡部 徹
- 下水再生水の農業利用に関するガイドライン・手引きの現状と今後の研究の重要性 治多 伸介
- 食用きのこと栽培による下水汚泥の多段利用 山内 正仁
- 下水汚泥焼却灰およびアルカリ廃液を利用したリン酸の回収工程ー供試材料の詳細な元素組成および有機性有害成分の分析および合成したリン酸質肥料の肥効試験と植害試験ー 工藤 洋晃、菅原 龍江、佐々木昭仁 ほか
- 凝集沈殿処理を行った初沈汚泥のコンポスト化とその肥効に関する研究紹介 金子 秀寛、杉山宗一郎、出口 浩
- 平成 28 年度下水汚泥由来肥料等の窒素肥効試験と現地調査結果について 前田 明德、井上 恒久
- 下水汚泥由来繊維利活用システム 碓井 次郎
- 文献紹介 生物処理過程における抗生物質トリメトプリムの形質転換に関する新たな洞察 杉山 恵
- Q&A 汚泥発酵肥料の品質管理について 工藤 守
- ニュースポット 道の駅「とよとみ」地区の再生下水汚泥肥料の活用についてー山梨県中央市ー 日高 伸
- 国内最大規模の複合バイオマス施設「豊橋市バイオマス活用センター」が平成 29 年 10 月 1 日より本格稼働！ 春田 大喜
- メタン発酵消化液の液肥利用方法と液肥散布設備について 姫野 修司
- 資料 お知らせ（投稿のご案内、広告掲載申込）、汚泥再資源化活動、日誌・次号予告、編集後記・編集委員会委員名簿

BISTRO 下水道セミナーを開催 in 下水道展 '17 東京



会場には地方自治体などから 100 名を超える参加者が集う

農業利用の事例を共有

8 月 1～4 日に東京ビッグサイトで開かれた下水道展では「BISTRO 下水道」に関連したさまざまな取組が開催されました。

4 日は BISTRO 下水道推進戦略チーム特別企画のビストロ下水道セミナーが開かれ、会場には地方自治体などから 105 名が参加しました。セミナーは、肥料利用を行っている地方公共団体及び農業者、JA 等流通団体、学識研究者を講師に、下水汚泥由来肥料の有効利用率向上を目的に講演が行われました。

最初に、藤原拓・高知大学教育研究部自然科学系農学部門教授が「下水汚泥の肥料利用促進に向けて」と題して講演が行われました。下水汚泥のバイオマス利用、肥料利用促進には、農家や処理場にとっての付加価値を最大化することが重要だと指摘。農家にとっては、ニーズに応じ、生産性の向上につながる下水汚泥肥料の提供や、現場・現物・現実に応じた利用方法の確立、`じゅんかん育ち、によるイメージアップが必要としました。

その他、事例を紹介した講師は次のとおりです。

▽高橋邦昭・岩見沢市水道部下水道課係長▽峯淳一・岩見沢地区汚泥利用組合長▽田杉貴洋・富士市下水道部上下水道営業課営業担当▽養威頼・(有) アサギリ代表取締役▽吉岡俊和・深谷市環境水道部下水道工務課維持係長▽河内保之・(公財) 鹿沼市農業公社事務局次長▽小林新・JA 全農 耕種総合対策部営農・技術センター肥料研究室長。(敬称略・発表順)



藤原教授



高橋係長



峯組合長



田杉営業担当



養代表取締役



吉岡係長



河内次長



小林室長

BISTRO 下水道を PR in 下水道展 '17 東京



じゅんかん育ちの食材を PR



多くの来場者が足を止めた



大きく発育したマッシュルームなどを展示



佐賀市の海苔は試食も行われた

“じゅんかん育ち” の物産展

下水道展にあるパブリックゾーンの一角に、今年もビストロ下水道の特設コーナーを出展し、じゅんかん育ちの食材などを紹介しました。6自治体（青森県鶴田町〈ニンニク〉、岐阜県海津市〈グリーンパイア〉、神戸市〈スイートコーン〉、佐賀市〈海苔〉、霧島市〈マッシュルーム・ヒラタケ〉、長野県・川西保健衛生施設組合〈ブロッコリー・なす・トマト・きゅうり・肥料〉）が下水汚泥由来肥料で育った食材などを展示紹介しました。また新潟県、北海道岩見沢市もパネルや物産品等を展示し、ビストロ下水道が創出する地域の活力と食材の魅力を発信しました。

パブリックゾーンに訪れた多くの一般来場者が足を止め、下水道資源が想像する循環型農業に理解を深めていました。

口
絵

BISTRO 下水道 in 下水道展 '17 東京

巻
頭
言

下水道資源への高まる期待 森岡 泰裕 (5)

論
説

リン最前線 リンリサイクルはどこへ 大竹 久夫、常田 聡 (6)

特集 肥料利用、リン回収、再生水利用

解
説

- 「BISTRO 下水道」「じゅんかん育ち」の普及に向けた取り組み 高瀬 直樹 (13)
- 神戸市東灘処理場 資源再生（リン）の活用 － KOBE ハーベスト（大収穫）プロジェクト－
..... 岡崎 裕一、平田 卓也、長田 朋之 (19)
- 汚泥発酵肥料「アキポスト」の利活用について 山岡 和男 (23)
- 汚泥利用・処理の国際標準化 ～ ISO/TC275/WG7 等への日本の貢献～ 山下 喬子 (28)
- 筑西市における下水汚泥コンポストについて 岩岡 和宏 (32)
- みやま市が進める資源循環の取り組みについて ～液肥を利用した農業振興など～
..... 坂田 隼一 (37)
- 岐阜市における下水汚泥焼却灰からのリン回収について 太田 淳一 (41)
- 下水汚泥焼却灰の特徴と焼成肥料化技術 今井 敏夫 (46)
- 下水処理水の農業利用など「BISTRO 下水道 in 佐賀」の取り組み 山口 賢一 (51)
- 熊本市における下水処理水の農業用水利用について 上田 信一 (55)
- 密閉縦型発酵装置による堆肥化について 竹内 和敏、荒川 友子 (58)

報
告

- 山形市におけるコンポスト利用者の声 工藤 守 (64)
- 横浜市における再生水利用の一事例について 永嶋 祐輔 (66)

研究紹介

- 下水処理水再利用による飼料用米栽培 ―日本有数の穀倉地帯での挑戦― …… 渡部 徹 …… (70)
- 下水再生水の農業利用に関するガイドライン・手引きの現状と今後の研究の重要性 … 治多 伸介 …… (78)
- 食用きのこと栽培による下水汚泥の多段利用 …… 山内 正仁 …… (83)
- 下水汚泥焼却灰およびアルカリ廃液を利用したリン酸の回収工程
―供試材料の詳細な元素組成および有機性有害成分の分析および合成したリン酸質肥料の
肥効試験と植害試験― …… 工藤 洋晃、菅原 龍江、佐々木昭仁 ほか …… (89)
- 凝集沈殿処理を行った初沈汚泥のコンポスト化とその肥効に関する研究紹介
…………… 金子 秀寛、杉山宗一郎、出口 浩 …… (93)
- 平成 28 年度下水汚泥由来肥料等の窒素肥効試験と現地調査結果について
…………… 前田 明德、井上 恒久 …… (98)
- 下水汚泥由来繊維利活用システム …… 碓井 次郎 …… (114)

文献紹介

- 生物処理過程における抗生物質トリメトプリムの形質転換に関する新たなる洞察 … 杉山 恵 …… (120)

Q & A

- 汚泥発酵肥料の品質管理について …… 工藤 守 …… (121)

ニュースポット

- 道の駅「とよとみ」地区の再生下水汚泥肥料の活用について ―山梨県中央市― … 日高 伸 …… (122)
- 国内最大規模の複合バイオマス施設「豊橋市バイオマス利活用センター」が
平成 29 年 10 月 1 日より本格稼働！ …… 春田 大喜 …… (125)
- メタン発酵消化液の液肥利用方法と液肥散布設備について …… 姫野 修司 …… (127)

資料

- お知らせ（投稿のご案内、広告掲載申込） …… (132)
- 汚泥再資源化活動 …… (135)
- 日誌・次号予告 …… (137)
- 編集後記・編集委員会委員名簿 …… (138)

※本文中の表題で掲載した執筆者の所属団体・役職は、執筆当時のものです。

巻 頭 言

下水道資源への高まる期待

国土交通省水管理・国土保全局下水道部長

森岡 泰裕



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

下水道の資源・エネルギー利用に関しては、平成8年の下水道法改正における減量化努力義務化を経て、平成17年の「下水道ビジョン2100」において、下水汚泥を資源として捉える「循環のみち」という発想の転換がなされました。さらに、平成26年7月の「新下水道ビジョン」では、下水道が地産地消の地域づくりに積極的に貢献する姿が描かれ、平成27年7月の下水道法改正により、下水道管理者は「発生汚泥等が燃料又は肥料として再生利用されるよう努めなければならない」とされました。本年8月に国土交通省が策定した「新下水道ビジョン加速戦略」においても、下水道施設のエネルギー拠点化を図り、農業の生産性向上にも寄与していくことを掲げています。

現在、下水汚泥の資源やエネルギー等としての利用は25%です。全国で発生する下水汚泥をエネルギーとして利用した場合、約110万世帯分の電力消費量に相当するなど、下水道の有する豊富なポテンシャルを活かす余地はまだ残されています。平成23年に制定された固定価格買取制度（FIT法）の影響もあり、汚泥を消化して得られるバイオガスによる発電や、汚泥を固形燃料として利用するなどの取組が全国で111箇所（平成28年度末時点）と増加してきているところですが、今後より一層取組を推進していきたいと考えております。

下水汚泥には、肥料として欠かせない窒素、リンが含まれており、このような下水道資源を農作物の栽培などに有効利用し、農業などの生産性向上に貢献する取り組みを「BISTRO下水道」と称して推進しています。下水道資源を有効利用して作られた食材「下水道発食材」の普及にあたって、下水道に対する印象面が課題となっていました。そこで、下水道発食材について愛称の公募を行い、愛称を「じゅんかん育ち」に決定しました。今後、下水道資源を農作物の栽培などに有効利用する取り組みを進めている関係者と連携を進めて「じゅんかん育ち」を浸透・ブランド化させ、安全性と食材としての魅力について幅広く発信し、さらなる下水道資源の有効利用に向けて、取り組んでいきます。

また、リンは、食料生産に必要なだけでなく、電子部品、自動車、医薬品などの広範な製造業分野においても重要な資源です。しかしながら、我が国はリン鉱石資源を有しておらず、年間約40万トンのリン資源を輸入に頼っている現状です。リン鉱石の主要産出国は限られていることから、リン鉱石の価格が変動する可能性もあり、我が国では安定的なリン資源の確保に懸念があります。下水道には多量のリンが流入しており、全量を利用すれば、輸入量の1割強をまかなうことが可能です。下水中のリンの有効利用は流入量の約1割に留まっていますが、下水道からのリン回収は重要であると考えております。

下水道は、都市内の多くの汚水、雨水を集約しており、その処理水（下水再生水）や雨水を貴重な水資源として活用することにより、健全な水循環の維持又は回復に貢献することも求められています。また、地球温暖化に伴う気候変動により渇水が頻発化、長期化、深刻化し、さらなる渇水被害が発生することが懸念されています。生活用水量の約97%に相当する量になる処理水の再生水利用は、ますます重要さを増しています。今年8月には、渇水時等における下水再生水の緊急的な利用に係る課題とその対応等を取りまとめ、事例集を公表しました。事例集の活用等を通じ、適正な再生水利用の取り組みを促してまいります。

このように、下水道は今後ますますの期待を背負っていますが、下水道が有する資源のポテンシャルを最大限に発揮するためには、幅広い分野と連携して新たな成長分野を開拓し、ビジネスチャンスを生み出すなど、地域産業や我が国の経済を成長させる社会へと転換していくことが求められています。下水道の地域社会への一層の貢献を実現するため、国土交通省としても、改めて身を引き締めてまい進してまいります。

論 説

リン最前線－リサイクルはどこへ－

早稲田大学リンアトラス研究所

客員教授 大竹 久夫
所 長 常田 聡

キーワード：リンリサイクル、Pイノベーション、バリューチェーン、リンフロー

1. はじめに

1.27 億の日本人は、毎年約 4.6 万トンのリンを摂取しなければ生きていけない。経済的にも、国内に持ち込まれる年間約 52 万トンのリンがなければ、約 80 兆円の飲食料の最終消費が成り立たないばかりか、300 兆円を超えるわが国の工業総生産にも影響が出る。経済はともかく、日本人の生命を維持するためだけでも、少なくとも毎年約 4.6 万トンのリンを海外から輸入し続けなければならないという事実は、日本にとってリンの確保がいかに根幹的で避けて通れない重要な問題であるかを物語っている。

欧米ではいま、リン問題の解決のために多様な利害関係者が協力しあい分野を越えた総合的な取組みが始まっている。しかし、わが国では農業、肥料、下水道、浄化槽・し尿、食品や環境などの個別分野でリンが取扱われてはいるものの、分野を越えた取組みはまだ弱く俯瞰的な立場で政策を調整する動きもあまり見られない。わが国にはリンを専門とする研究者の数も非常に少なく、リンに関する「知の空白」と「政策の空洞化」ができていくように思えてならない。リン問題の最前線について考える時、わが国にはリン問題を俯瞰して総合的に政策を立案している部署もリンの科学と技術について専門的に研究している公的な機関もないという事実は認識しておく必要がある。いまリンの研究に取組むことそれ自体が「知のイノベーション」と言ってもよいのかもしれない。



写真 1 中国雲南省昆明市にある工場で製造された黄磷

2. 日本は本当に大丈夫か？

リンは DNA、細胞膜や骨などの成分として、また生物エネルギーの代謝においても不可欠な「いのちの元素」である。これまでに 120 近く発見されている元素の中でも、農業、工業、資源および環境のいずれの分野においても重要とされる元素はリンの他にはないだろう。人間にとりリンは特別な存在であることをよく理解しておかないと「枯渇する資源はリン以外にも沢山ある」との横並びの議論に陥りかねない。

日本列島には、いま約 1.27 億の人間が住んでいる。子供も含めた日本人の平均体重は大体 55kg でありその体重の約 1% がリンであるから、約 7 万トンのリンが日本列島に住む人間の体の中に存在していることが

わかる。この約7万トンのリンは代謝により日々入れ替わっており、子供も含めて日本人ひとりが毎日約1gのリンを摂取してほぼ等量を排泄する。したがって、日本人が生きていくためには、毎年約4.6万トンのリンが絶対的に必要となる。人間は飲食物からリンを摂取するが、いまの農業では国民に毎年約4.6万トンのリンを摂取させるためには、凡そその5倍の約24万トンのリンを肥料として必要とする。この量は、リン含有率13%のリン鉱石に換算すると約185万トンにもなる。たとえ日本の食料の半分以上を輸入に頼るとしても、残りの食料を国内で生産するためには、毎年約12万トンのリンが必要である。にもかかわらず、日本には資源と言えるだけのリン鉱石は存在せず、日本は国民の生存に必要なリンのほぼ総てを海外に依存している。今や日本人のDNAや骨や細胞に含まれるリンはみな外国製の輸入品と言ってよい。

いまのところリン鉱石は、支障なく中国、南アフリカ、ヨルダンおよびモロッコなどから輸入できている。しかし、石油やレアメタルなどと違って、国民の生存に絶対的に必要なリンについては、輸入に支障を来すことなど絶対にあってはならない。リンの輸入ができなくなれば、国内における農業生産は大打撃を受け、日本人の食料の約半分以上が失われる。リンの確保は食料の確保と同程度に重要であり、毎年約4.6万トンのリンを確実に国民に提供することは国の責務でもある。国の政策担当者には、「リンはいま輸入できているから困っていない」ではなく「リンは絶対に輸入できないといけない」との認識をもって頂きたい。

3. いま世界でなにが？

米国地質調査所(USGS)によれば、世界のリン鉱石の経済埋蔵量は約680億トンある¹⁾。しかし、USGSは資源国が公表したデータを集計しているだけであり、データの信頼性には以前から疑問が投げかけられているが、他に代わるものがないので皆これに頼っている。USGSは2016年の世界のリン鉱石の年間採掘量を約2.6億トンとしているが、これも信頼性が乏しくあまり当てにならない。例えば、中国が発表する採掘量は実際の倍も水増しされていることはUSGS自体も認めている²⁾。それでもあえてUSGSのデータに基づいて、リン鉱石の耐用年数(経済埋蔵量÷年間採掘量)を計算すると約260年になるから、少なくとも今世紀中にリン鉱石の経済埋蔵量が枯渇することはないだろう。

一方、世界のリン鉱石経済埋蔵量の約75%が旧スペイン領西サハラを含むモロッコ王国に集中しているという地政学的問題はよく知られている。しかし、よ

り重要なことは、耐用年数の計算にはリン鉱石の品質が全く考慮されていない点である。リン鉱石は安価で品質の良いものから掘り出される。品質の良いリン鉱石とは、リンの含有率(業界では $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ に換算した含有率BPLが用いられる)が高く、人体に有害な重金属類や天然放射性物質の含有率が低いものである。国際肥料工業協会(International Fertilizer Industry Association, IFA)のデータを見ると、世界で採掘されるリン鉱石の品質が著しく低下していることがわかる(図1)。今からわずか45年前の1970年には、市場に出るリン鉱石の約半分以上がBPL値で73%を越えていた。しかし、今ではBPL値が73%を越えるリン鉱石は全体の約15%にも達せず、40年前には捨てられていたBPL65%以下のリン鉱石が約1/4も占めている。もちろん、浮遊選鉱やリン抽出技術などの進歩があり、これまで捨てるしかなかった低品位のリン鉱石でも商品価値をもつようになったことは考えられる。しかし、世界の高品位リン鉱石の枯渇の進行は疑いようがなく、とくに中国においてはBPL65%以上のリン鉱石でさえあと十年余りで枯渇すると懸念されている³⁾。

多くのリン鉱石には、カドミウムや砒素などの有害重金属類やウランなどの天然放射性物質が含まれている。厄介なことに、世界最大の経済埋蔵量を誇るモロッコのリン鉱石が、カドミウムと天然放射性物質を多く含んでいる。欧州では現在肥料法の大改正が行われているが、その中には化学肥料のカドミウム規制値を現行の80mg/kg P_2O_5 から段階的に20mg/kg P_2O_5 にまで引き下げることが含まれている⁴⁾。この改正には、モロッコの国営企業であるOCP社は強く反発しており、カドミウムの規制値が40mg/kg P_2O_5 に下げられるだけでも、モロッコからのリン鉱石の輸出が90%も減少すると述べている。モロッコにとり、カドミウム規制の強化の動きが他の先進国にも波及すれば、世界の経済埋蔵量の約75%を占めるモロッコのリン鉱石は資源価値を失い宝の持ち腐れになりかねない。

世界のリン鉱石年間採掘量2.6億トンの約88%は産出国が自国で消費しており、輸出にまわるのは残りの約12%の0.3億トンに過ぎない⁵⁾。例えば米国は、国内のリン鉱石の耐用年数がまだ40年余りあり、現在でも年間約2,800万トンのリン鉱石を採掘しているが、1995年にはリン鉱石の海外輸出を停止し、1996年からはリン鉱石の輸入国になっている。米国は最盛期(1980年)には1,400万トンのリン鉱石を輸出していたものの、2015年には約400万トンのリン鉱石を輸入しており、米国だけでも差引き1,800万トンのリン鉱石が市場から消えている。米国フロリダ州のリン鉱石の採掘場では、リン鉱石を硫酸処理した際にできる

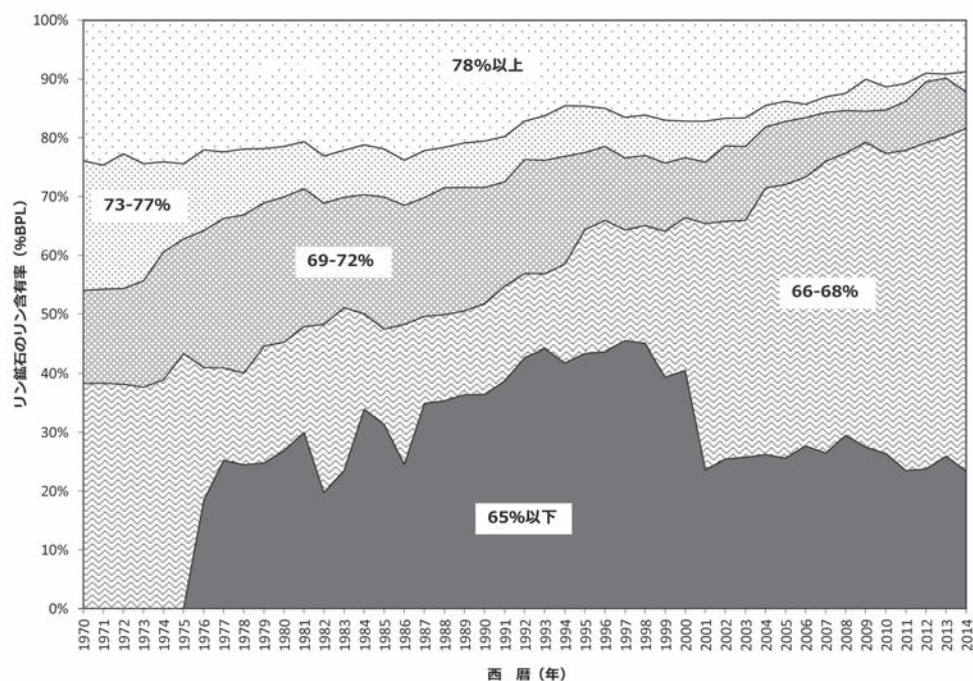


図1 世界のリン鉱石の品質(% BPL)の経年変化。BPLは $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ 換算値で、0.205倍するとリン含有率(% P)になる。出典 IFA Statistics (日本燐酸株) 用山博士ご提供)

副産物(リン石膏)に天然放射性物質が蓄積しており、これが地下水に混入して訴訟になっている。リン鉱石採掘終了後の環境修復には膨大な経費が掛かるため、今後米国内での新たなリン鉱山の開発は極めて難しくなるだろう。

米国を含めてリン鉱石の産出国は、リンをより付加価値の高い製品に加工して輸出するようになってきており、わが国が今後も現在同様に約4万トンのリンをリン鉱石として輸入し続けられるかどうかには疑問がある。単位重量当たりのリンの輸入価格は、当然リン鉱石よりも加工品の方が割高になるから、たとえリン鉱石の市場価格そのものには大きな変動がなくても、輸入国はリンをより高い値段で買わざるをえなくなる可能性がある。

日本は重量ベースで食飼料の約半分を海外から輸入しているが、小麦、大豆、とうもろこし、牛肉や豚肉の主な輸入相手国は、米国、カナダ、豪州、デンマーク、ニュージーランドやブラジルである。一方、リン鉱石の主な輸入相手国は、南アフリカ、ヨルダン、中国、ナウルおよびモロッコ王国であり、燐安の場合も中国、米国、サウジアラビアやモロッコである。明らかに、食料の輸入相手国と較べると、リンの輸入相手国は地政学的にみて難しいところが多い。

4. 日本のリンはどこにある？

早稲田大学リンアトラス研究所で現在作成中の日本のリンフローを図2に示す。日本のリンフローについては、これまでに東北大学松八重らの研究⁶⁾や国土交通省により作成されたもの⁷⁾などがあるが、いずれも2008年のリンショック以前のデータによるものである。わが国のリンフローはリンショックをはさんで一変しており、リンショック以前のリンフローの数値では現状を見誤る恐れがある。なお、図2の数値は2017年9月現在で公表資料等から推定した数値であるが、まだ未完成のものであり今後かなりの修正が必要な数値であるので、これらの数値が一人歩きするようなことは避けなければならない。

2016年現在、わが国には総量として年間約52万トンのリンが持ち込まれている。この内、食飼料や鉄鉱石などに含まれて国内に持ち込まれるリンが約29万トンあり、肥料を含むリン製品として輸入されているリンは約23万トンある。松八重らの2005年のデータと比較すると(表1)、輸入総リン量で約20%、肥料を含むリン製品として輸入されているリン量で約30%減少している。より詳しくみると、2005年に較べてリン鉱石が約60%、肥料が約70%、黄燐が約40%減少している。一方、燐安を含めた一次リン製品

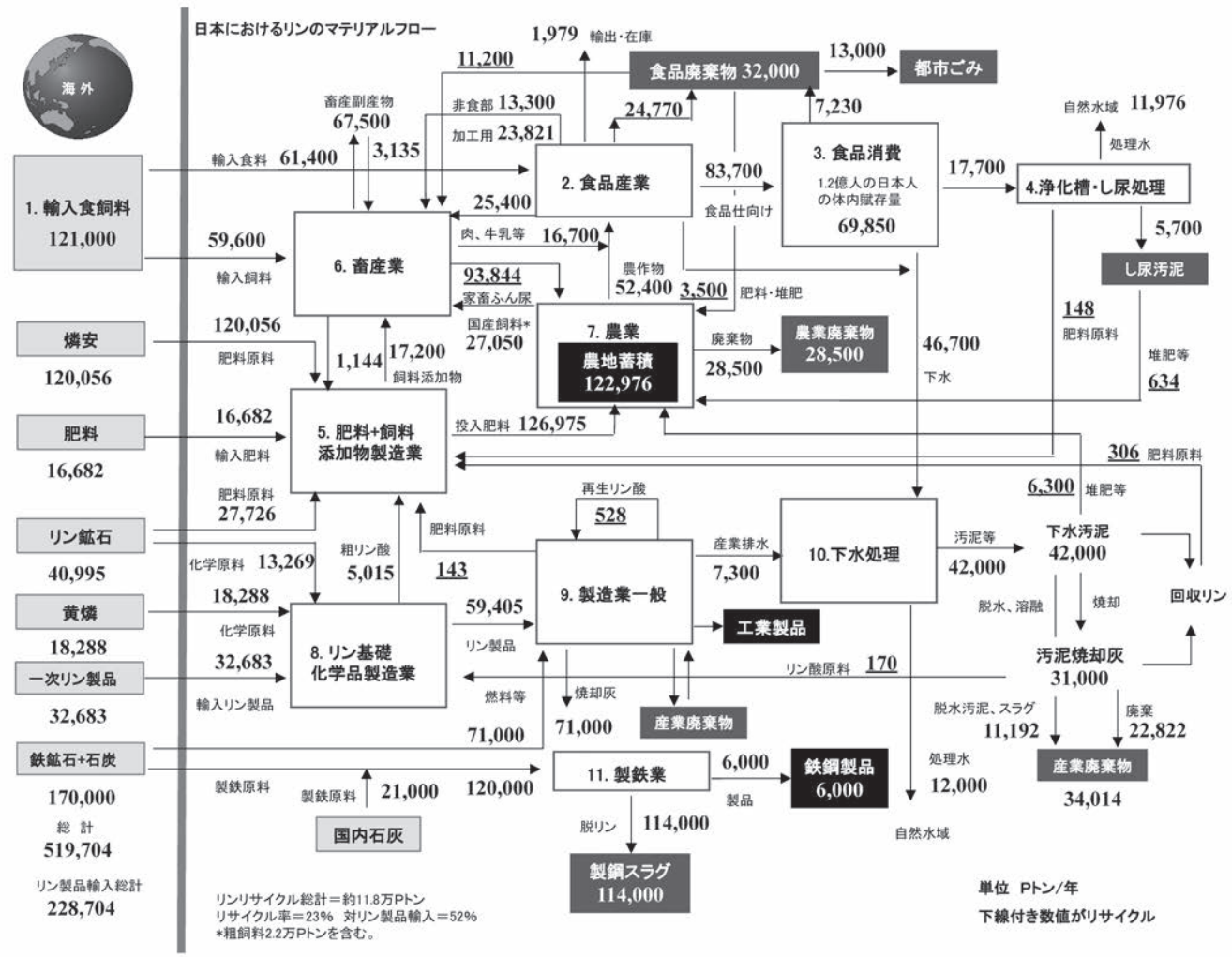


図2 日本におけるリンのマテリアルフロー。数値はまだ確定値ではない。

表1 2005年および2016年における日本へのリン持込量の比較（単位万Pトン／年）

	総リン量	食飼料	燐安	肥料	リン鉱石	黄燐	一次リン製品	鉄鉱石-石炭
2005年*	62.8	16.3	12.1	5.3	10.1	3.2	2.0	13.8
2016年	52.1	12.1	12.1	1.7	4.1	1.8	3.3	17.0

*2005年の数値は東北大学の松八重松ら⁶⁾および財務省統計より求めた。

（リン酸、縮合リン酸、塩化リンやリン酸塩など）の輸入量はほとんど変化していない。驚くことに、燐安を除く一次リン製品の輸入量でみると、2005年に較べて2016年には約65%も増加している。その結果、黄リンと一次リン製品（燐安を除く）の輸入合計量は、リン換算で2005年および2016年とも約5万トンとほとんど変化していない。このことは、わが国はリンショックを経験して、肥料関係のリンの輸入量は大幅に減ったものの、工業用のリンの輸入量は減らすことができなかったことを意味している。2008年のリン

ショック以降は、工業用のリンについても、黄燐よりも一次リン製品に加工されて輸入される量が圧倒的に増えている。

年間約12万トンのリンが輸入食飼料に含まれて国内に持ち込まれる一方で、約16.5万トンのリン（燐安12万トン＋肥料1.7万トン＋リン鉱石の1/3の2.8万トン）が肥料または飼料添加物の製造のために輸入されている。両者の合計約28万トンのリンの内、1.27億の日本人に消費される食料に含まれるリン（食品仕向け量）は約8.4万トン（約30%）に過ぎない。残り

のリンは、農地への蓄積（年間約12万トン）、麦わらなどの農業廃棄物（約3万トン）、家畜の肉や骨などの畜産副産物（約7万トン）や食品産業廃棄物（約3万トン）などに移行している。なお、家畜ふん尿中のリンは年間約9.4万トンと推測されるが、そのほとんどは農地に肥料や堆肥として還元されていると言われている。

一方、製造業分野では、リン基礎化学品製造業の分野に原料として投入される年間約 6.5 万トンのリンの内、約 0.5 万トン は粗リン酸（約 35% P_2O_5 ）として肥料用途になり、残りの約 6 万トンが広範な製造業分野で使われる⁸⁾。製造業分野には燃料用石炭に含まれる年間約 7 万トンのリンが流入するが、そのほとんどは焼却灰に移行し産業廃棄物になっていると思われる。製造業分野におけるリンの用途は多様であり、使用されたリンが製品へ移行する割合も製造業の分野ごとに大きく異なるため、まだその流れはほとんど把握できていない。しかし、製造業分野から廃棄物に移行するリンの割合は、農業分野に比べると遥かに少ない

ことが考えられる。また、製鉄業分野では原料となる鉄鉱石、石炭および石灰にリンが含まれており、年間約12万トンのリンが流入する。この内、製品に約0.6万トンのリンが移行し、残りの約11.4万トンのリンが製鋼スラグに含まれて排出されているようである⁶⁾。

国民が消費した食品中のリンは、下水道へ年間約 4.7 万トン、浄化槽・し尿処理へ約 1.8 万トン、そして残りの多くは家庭からの食品廃棄物（約 0.7 万トン）として排出される。下水道には他に産業分野からの約 0.7 万トンのリンも負荷される。し尿処理場および下水処理場で発生する汚泥には、それぞれ約 0.6 万トンおよび約 4.2 万トンのリンが含まれる。わが国における主な未利用リン資源には、製鋼スラグ（リンとして年間約 11.4 万トン）、食品廃棄物（約 3.2 万トン）、農業廃棄物（約 2.9 万トン）、下水汚泥（約 4.2 万トン）、やし尿汚泥（0.6 万トン）などが考えられる。この内、肥料や堆肥などにリサイクルされているリン量はまだ年間約 2.4 万トン（食品廃棄物より約 1.5 万トン＋浄化槽・し尿処理汚泥より約 0.08 万トン＋下水汚泥より

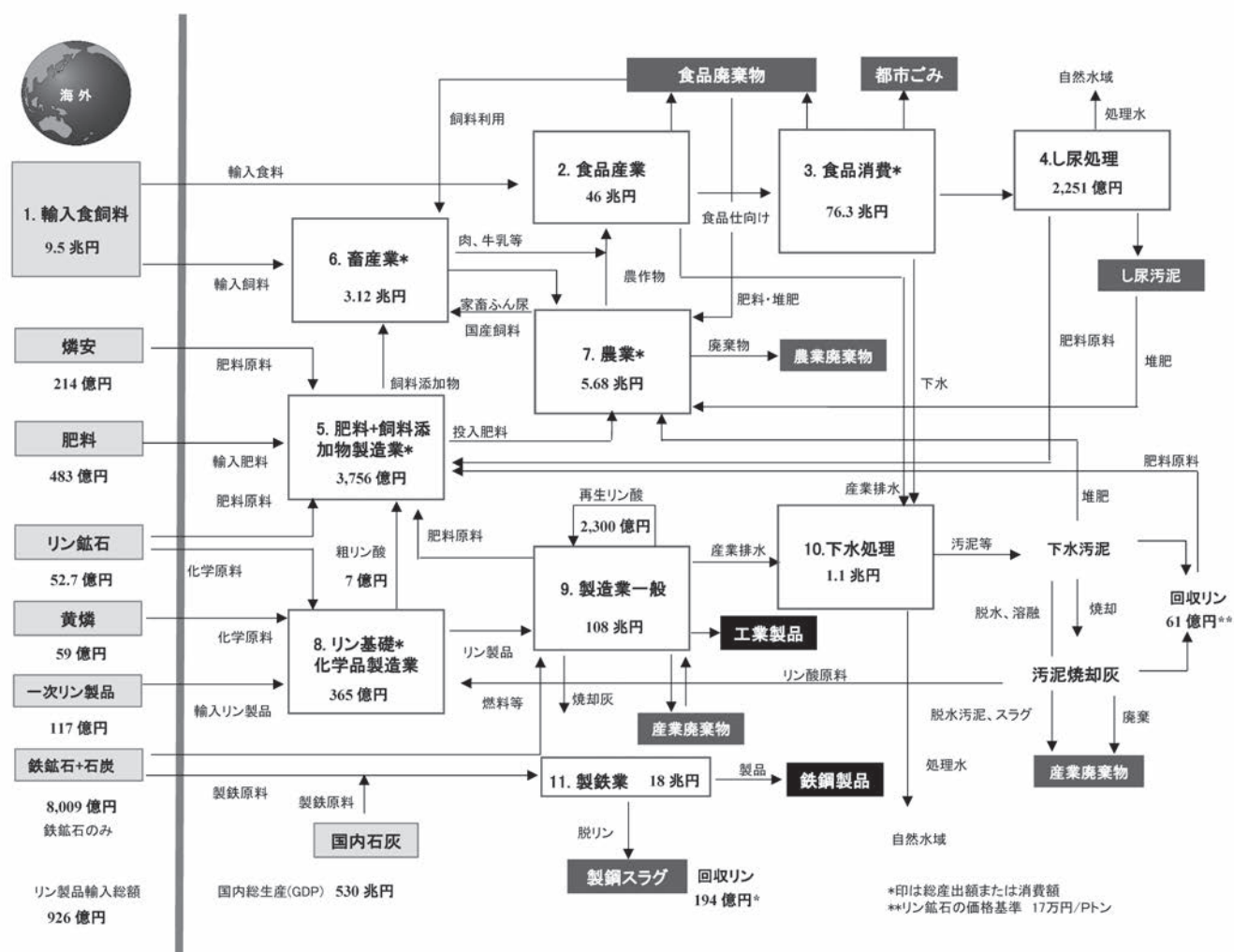


図3 日本のリン関連産業の経済的規模

り約 0.7 万トン + 製造業より約 0.07 万トン）に過ぎないが、家畜ふん尿が全量農業利用されていると仮定すると合計約 11.8 万トンになり、国内に持ち込まれるリンの総量に対するリサイクル率は約 23%になる。リン賦存量の大きさと回収のしやすさから今後、製鋼スラグ、食品廃棄物、下水汚泥およびし尿汚泥が、家畜ふん尿に続く有望な未利用リン資源になるものと思われる。

5. リンの経済学

リンの利用には次の三原則がある。①リンは人間が生存するために必要な量だけ絶対に確保されなければならない、②リンは人の健康に安全な状態で供給されなければならない、③食料生産のためのリンは安くななければならない。日本における飲食料の最終消費額は年間約 78 兆円もある（図 3）。日本人ひとり当たりで換算すると、1 日に約 1,650 円を飲食費に支出していることになる。これに比べ、食飼料の年間輸入総額は

約 9.5 兆円（日本の総輸入金額 66 兆円の約 14%）あるものの、リンの輸入に掛かる金額は、肥料（約 483 億円）、燐安（約 214 億円）、リン鉱石（約 53 億円）、黄燐（約 59 億円）および一次リン製品（約 117 億円）を合計しても約 0.1 兆円程度にしかない。しかし、それでもこのリンの輸入がなければ、年間約 78 兆円の食品消費による経済活動は成り立たない。

一方、畜産を除く農業総産出額は年間約 5.7 兆円あり、肥料の年間総生産額が約 0.38 兆円であるから、農業の生産コストに占める肥料の割合は約 7%程度と思われる。本来、食料は嗜好品ではなく国民の誰もが購入できるほど安くなければならないから、肥料は食料よりもさらに安くなければならない。肥料は安いのではなく、安くなければならないと考えるべきであろう。したがって、回収リンの用途を肥料のみに限定してしまうと、肥料価格の安さが事業の採算性を決めかねない。例えば、リン 1 トン当たりに換算したリン鉱石の輸入価格は約 17 万円であるから、回収リンの価格をこれと同程度とすると、製鋼スラグから 11 万

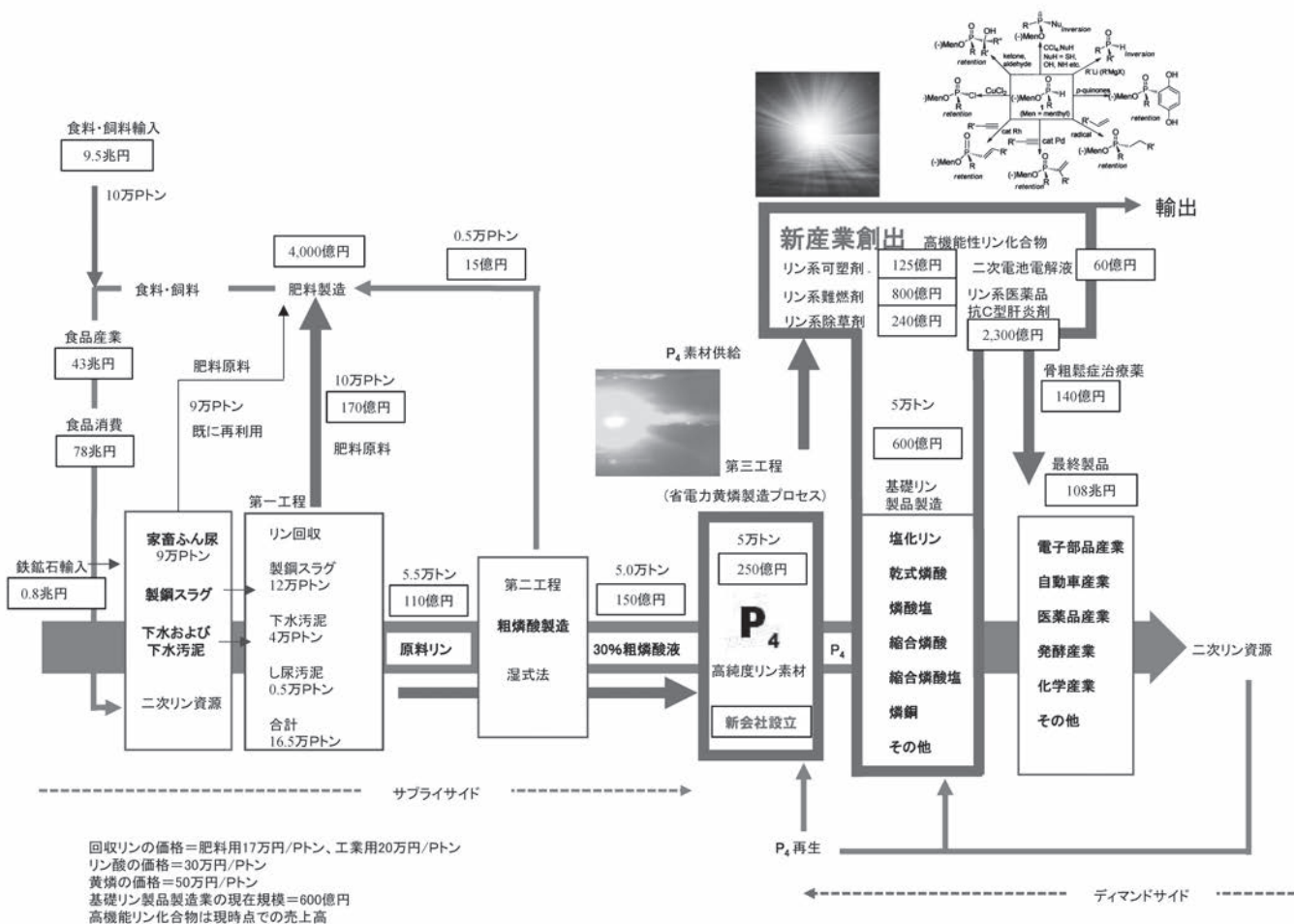


図 4 リン循環産業ビジョンによる未来のPバリューチェーン

トンおよび下水汚泥から4万トンの合計15万トンのリンを回収しても、年間約250億円程度の売上げにしかない。

リン1トン当たりに換算したリン製品の輸入価格は、黄燐が約31万円、リン酸が約21万円、燐安が約19万円程度であり、オキシ塩化リン、五塩化リンやホスホン酸などの黄燐由来のリン製品になると100万円以上するものもあるようである。国内リン基礎化学品製造業の年間総産出額は推定370億円程度であるが、その一方でリン系医薬品の抗C型肝炎ウイルス薬の国内販売額だけでも年間2,300億円にもなる。今後のリン回収においては、回収リンをより付加価値の高い製品にまで加工することを念頭に入れた方がよいように思われる。欧州におけるリン回収・再資源化技術の開発動向を見ても、下水汚泥焼却灰からリン酸を製造しさらに付加価値の高いリン製品を製造する技術の開発が主流になってきている⁴⁾。

図4に筆者らが提唱しているリン循環産業ビジョンによる未来のPバリューチェーンを示す⁸⁾。現在、わが国は主に農業目的で燐安、肥料およびリン鉱石の合計約18万トンのリンを海外から輸入している。将来的に、家畜ふん尿(約9万トン)、製鋼スラグ(約12万トン)、下水汚泥(約4万トン)およびし尿汚泥(約0.5万トン)の合計25.5万トンのリンの中から24万トン程度のリンを再資源化できる可能性はある。家畜ふん尿を除く回収リンの約10万トンを肥料用に今のリン鉱石のリン1トン当たり約17万円で販売し、5.5万トンを工業用にリン鉱石よりも少し高い価格の20万円/トンで販売できれば、総生産額は約280億円になる。国内リン酸メーカーは、110億円で買取った回収リンを原料に、35% P_2O_5 の粗リン酸液を製造しリン換算価格30万円/トン(約130円/kg P_2O_5)で販売すると、その売上げは約165億円になる。この内、0.5万トンのリンは肥料用途とし、残りの5万トンから黄燐を5万トンを製造する。黄燐の価格を現時点の輸入価格約31万円/トンの1.6倍の50万円/トンで販売できれば、売上げは約250億円になる。国内で黄燐5万トンが生産できれば、基礎リン化学品製造のためのリン輸入(現在総額約195億円)は不要になる。基礎リン化学品製造業の総生産額は、現在の約365億円に対して約1.6倍の600億円になることを期待したい。なお、黄燐を出発原料として製造できる高機能性リン化合物は、リン系可塑剤、リン系難燃剤、リン系除草剤、リチウム電池電解液、抗C型肝炎薬および骨粗鬆症治療薬の売上げだけでも現在3,665億円もある。

6. おわりに

「はじめに」でも述べたように、日本にはリンについての「知の空白」と「政策の空洞化」ができていているように思われてならない。政策担当者に「リンはいま輸入できており価格も高騰していないから困っていない」と言われても、リン問題を熟知していない限り、国民は頼りなく感じるだけで少しも安心することはできないだろう。リン問題については、リンに関するあらゆる情報を収集し「知のイノベーション」の先頭に立つことのできる専門機関が必要である。早稲田大学リンアトラス研究所はいま、リンに関するわが国唯一のシンクタンクとしてこの「知のイノベーション」に取り組んでいる。

参考文献

- 1) U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, Phosphate Rock, January 2017.
- 2) USGS 2015 Mineral Yearbook, Phosphate Rock, November 2016.
- 3) Rock Phosphate Reserves, China and Agrichemical Prices, March 2017.
<https://blog.spotchemi.com/rock-phosphate-reserves-china-and-agrichemical-prices/>
- 4) 早稲田大学リンアトラス研究所: 持続的リン利用への取組みをめぐる海外の動向2017年.
当研究所のホームページ <http://www.waseda.jp/prj-p-atlas/index.html> よりダウンロード可能.
- 5) R. W. Scholz et al.: Sustainable Phosphorus Management – A global Transdisciplinary Roadmap, Springer 2014.
- 6) K. Matsubae et al.: Virtual phosphorus ore requirement of Japanese economy, Chemosphere, 84: 767-772 (2011).
- 7) 下水道におけるリン資源化の手引き、国土交通省、平成22年4月.
- 8) 早稲田大学リンアトラス研究所平成27年度および28年度研究報告書.
当研究所のホームページよりダウンロード可能.

特集：肥料利用、リン回収、再生水利用

解 説

「BISTRO 下水道」「じゅんかん育ち」の
普及に向けた取り組み

国土交通省水管理国土保全局

下水道部流域管理官付 調整係長 高瀬 直樹

キーワード：BISTRO 水道、下水汚泥由来肥料、再生水利用、じゅんかん育ち

1. はじめに

下水道の普及に伴い、地域のバイオマス資源や水が下水処理場に集まり、下水処理場には水、窒素・リン、CO₂、熱エネルギーなどが集まってきます。特に、窒素・リンは、カリウムとともに肥料の三大要素に挙げられるなど、下水道は農業―「食」に貢献できる大きなポテンシャルを持っているといえます。これらの下水道資源を有効に活用し、循環型システムを構築する

ことで、実際に再生水の農業用水利用や下水汚泥のコンポスト化等、農業等に貢献している好事例が各地域で存在します。このように、各地域で下水道資源の有効利用に取り組んでも、これまではその情報を共有する場がないという課題がありました。そこで、平成25年8月に国土交通省と日本下水道協会が主導し、各地域での取り組みを「BISTRO 下水道」と銘打ち、その知名度アップと関係者のネットワーク強化による取組みの促進を図ることとしました。



図－1 食物の育成に貢献する下水道資源の主な活用方法

2. 下水汚泥由来肥料の特徴

2-1 安全性

(1) 下水汚泥中の重金属の例

肥料取締法上、下水汚泥を原料とする肥料は公定規格に適合することが必要な普通肥料に該当し、農林水産大臣に申請し、登録を受けることになります。下水汚泥有効利用促進マニュアル（2015年版、日本下水道協会）によれば、表-1のような結果になっており、コンポスト原料汚泥の重金属含有量は、最大でも肥料取締法上の規制値を超えていないことが報告されています。

(2) 土壌の継続的なモニタリングの例（十勝川環境複合事務組合）

下水汚泥由来肥料を施肥した土壌について、継続的にモニタリングした例として、十勝川環境複合事務組合の事例を紹介したいと思います。十勝川流域下水道浄化センターでは、脱水汚泥を乾燥処理し、下水汚泥再生利用組合の堆肥場において、乾燥汚泥をコンポスト化しており、利用組合員が圃場にコンポストを散布、順調に利用されています。表-2に、土壌モニタリング結果を記載しますが、重金属の土壌中含有量にはほぼ変化が見られず、重金属の蓄積については観察されていません。利用者の安心のため、土壌モニタリングの継続及び公開が重要であると考えます。

表-1 コンポスト原料汚泥の重金属含有量（乾物当たり）

項目		施設数	下水汚泥の含有量 (mg/kg)			(参考)公定規格(汚泥発酵肥料)における許容値の最大量 (mg/kg)
			平均	最大値	最小値	
ひ素	As	19	4.6	11.8	1.3	50
カドミウム	Cd	19	1.2	4.2	n. d.	5
水銀	Hg	19	0.53	1.6	n. d.	2
ニッケル	Ni	6	59	192	12	300
クロム	Cr	12	41	171	n. d.	500
鉛	Pb	14	28	72	0.84	100
亜鉛	Zn	22	886	2356	100	－
銅	Cu	18	218	987	62	－

表-2 土壌モニタリング結果

分析項目	平成19年度	平成20年度	平成21年度	平成22年度	平成23年度	平成24年度
水銀	0.08	0.08	0.08	0.07	0.06	0.08
カドミウム	0.5	0.2	0.1	0.5	0.2	0.2
ひ素	7	9.6	7.5	9.8	8	8.5
クロム	23	30	27	29	29	22
鉛		12	26	11	10	10
亜鉛	61	69	75	75	67	57
銅	36	34	42	36	31	32
ニッケル	11	15	15	14	13	13
マンガン	380	410	480	420	440	330

出典：下水汚泥有効利用促進マニュアル2015版（日本下水道協会）

(3) 安全管理の実施

平成 27 年 7 月に下水道法の一部改正が施行され、下水汚泥が燃料又は肥料として再生利用されるよう努めることが明確化されました。法改正に係る施行通知において、発生汚泥等の処理施設の更新に当たっては、燃料又は肥料として再生利用するための再生施設の整備を優先的に検討することとされ、下水汚泥の有効利用の拡大が求められているところです。また、肥料取締法に規定する肥料を生産する場合にあたっては、同法の関係規定を順守するほか、下水汚泥のより一層の利用促進を図るためには、下水道管理者が、利用者に安心感を与えることが重要です。「汚泥肥料中の重金属管理手引書」（平成 27 年 3 月改訂、農林水産省）に基づく品質管理を行うなど、良質な肥料の生産に努めることや農地への堆積等により周辺地域の生活環境の保全に支障を及ぼすことのないよう、肥料の生産場所、生産量、流通計画等について、地方公共団体の関係部局と十分な調整を図ることとし、適切に肥料を再利用するよう要請しています。また、平成 28 年 4 月には全国下水道主管課長会議においても、「BISTRO 下水道」の名称を用いて下水汚泥肥料の利活用を図る場合、下水道管理者が率先して、以下①～④に示す安全管理を実施するよう要請しています。

- ①「汚泥肥料中の重金属管理手引書」を踏まえたサンプリング検査計画書の作成
- ②原則として四半期毎に 1 回以上、年間で最低 4 回以上（年間の重金属濃度の変動傾向ができていない場合も同様）サンプリング検査を実施
- ③検査結果をホームページ等で公表
- ④年 1 回以上、ユーザーへの説明会を開催

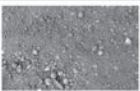
2-2 肥効特性

(1) 試験栽培の例

平成 28 年度の国交省の委託業務の中で、作物生育状況への影響調査を行いました。慣行区（化学肥料のみ施肥）と 3 つの実験区（A 市、B 市、C 市の 3 種類の下水汚泥由来肥料をそれぞれ施肥、表-3 参照）にて、ジャガイモ栽培を行い、作物の成分、品質、土壌等について分析を行いました。

その結果、ジャガイモの樹液糖度においては、図-2 のように慣行区と実験区 A～C で同等の結果が得られ、秀品率においては、化学肥料の多投入や急激な水分変化で発生する実割れが少なくなる効果が得られ、図-3 のように秀品率の向上が確認されました。

表-3 3種類の下水汚泥由来肥料

区分	肥料種類	性状
A市	汚泥発酵肥料 (消化汚泥)	
B市	汚泥発酵肥料 (消化汚泥)	
C市	汚泥乾燥肥料 (消化汚泥)	

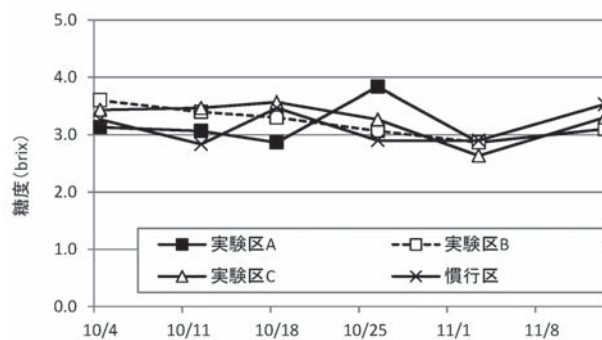


図-2 ジャガイモの樹液糖度

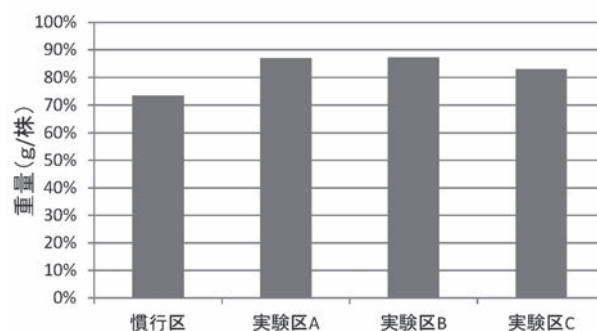


図-3 ジャガイモの秀品率

(2) 佐賀市における事例

佐賀市下水浄化センターでは、下水汚泥を肥料化し、地域に還元する取り組みが行われています。肥料製造過程においては、YM菌を混合した上に100℃近くで約45日間超高温発酵を繰り返した後、30日間熟成させることで、臭いのほとんど無い完熟堆肥となり、さらに地域の食品工場で発生する副産物を混合し発酵促進を図るなど、一工夫がなされています。佐賀市内のアスパラガス農家では、平成25年5月からこの下水汚泥由来肥料の使用を開始し、その後竹チップやもみ殻等と混ぜて施肥し、さらにキトサン液を散布するなどの農法を行い、その結果、図-4のようにアミノ酸含有量が上がるなどの品質向上や図-5のような収量の増加、農薬・肥料代の削減が確認されています。

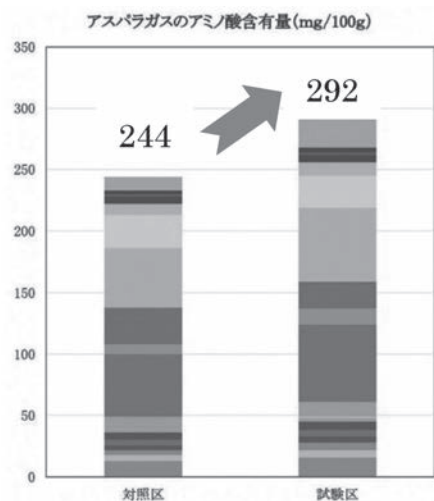


図-4 アスパラガスのアミノ酸含有量

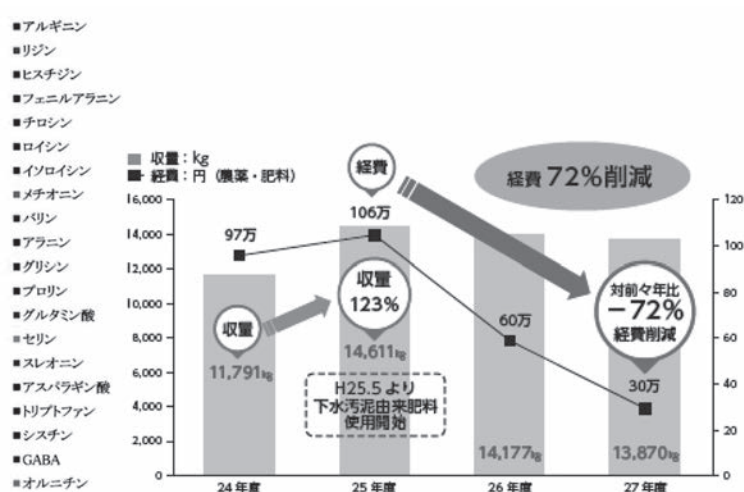


図-5 アスパラガスの収量と経費

出典：佐賀市上下水道局資料

2-3 普及展開

(1) 技術開発

BISTRO 下水道の水平展開にあたって、技術開発も重要な要素のため、国土交通省では、B-DASH や大学等の研究機関が有する先端的な技術の活用や実用化の促進、成果の普及のため、下水道技術研究開発公募 (GAIA プロジェクト) を実施しています。

①下水汚泥を用いた高付加価値きのこの生産技術及びその生産過程で発生する廃培地・炭酸ガスの高利用技術の開発 (鹿児島工業高等専門学校、GAIA プロジェクト)

下水処理場由来のバイオマスの利用拡大を目指し、下水汚泥 (脱水汚泥) をきのこ培地の栄養材とした培地で食用きのこの栽培試験を実施しました。この研究では、下水汚泥からの生産作物の用途拡大をめざし、下水汚泥に地域副産物である焼酎粕や竹材を組み合わせた「きのこ栽培用培地」を開発し、さらに、きのこ由来の炭酸ガスと廃培地から高付加価値作物を生産する「カスケード栽培技術」を開発することを目的としました。

ヒラタケ栽培では、下水汚泥を利用することで対照区と比較して遊離アミノ酸を 3.4 倍多く含む高付加価値きのこを栽培できることが分かり、下水汚泥堆肥を用いたマッシュルーム栽培試験では牛糞堆肥を併用することで、対照区と比較して収量が 1.5 倍程度増加することが分かりました。さらに廃培地を用いた作物栽培試験を実施し、廃培地は葉菜類の栽培に利用できることが明らかになりました。

②下水処理水再利用による飼料用米栽培に関する研究 (山形大学、GAIA プロジェクト)

本研究は、多肥栽培が可能な飼料用米の栽培において、窒素濃度が高い下水処理水を灌漑利用することで、処理水の浄化作用と水稻の収穫の両立を目指す研究です。下水処理水の持つポテンシャルを利用し、高付加価値な飼料米を栽培することを目的とするものです。

下水処理水を水田に連続灌漑することで、無施肥での飼料用米栽培が可能であり、かつ高タンパク質 (最大 14.6%) で栄養価の高い米が収穫できました。収量 (最大 14.1t/ha) も通常の水田よりも明らかに高く、土壌や玄米への有害金属の蓄積は見られず、飼料としての安全性も示しました。肥料コストゼロで高品質米を高収量で収穫できる本技術は、経済的なメリットが大きく、その米をウシが問題なく食べることを確認できました。

(2) BISTRO 下水道戦略チームの活動

平成 25 年 8 月、国土交通省と日本下水道協会で、下水道資源の有効利用に取り組んでいる地方公共団体等のネットワークとなる「BISTRO 下水道推進戦略チーム」を結成し、BISTRO 下水道の活動を開始しました。全国各地の先進的な取り組みを行っている農産地等で会合を開催し、BISTRO 下水道の取組の背景や成功の秘訣、苦労話、課題、そして鍵を握るキーマンの存在など、各地の好事例の貴重な情報が共有されています。さらに、課題を抱える地域等においても、地方公共団体や、学識者、

流通者、肥料および農業生産者、一般消費者等、知見を有する関係者や取り組みの推進に必要な関係者が集まり、食との連携を通じた下水道資源の有効利用の一層の可能性を探り、地域の課題解決、さらには好事例の水平展開へとつなげる活動を実施しています(写真－1)。現在までに、表－4に示すように、9回の会合、シンポジウム、下水道展への出展、さらに海外でのPRも行っています。



写真－1 第9回 BISTRO 下水道会合の様子(秋田県)
秋田県内における好事例の共有と食との連携を通じた
下水道資源の有効利用の可能性を議論

表－4 「BISTRO 下水道」戦略チーム会合等開催一覧

	開催時期	開催場所	概要
第1回	H25. 8	東京都	・ BISTRO 下水道推進戦略チーム結成・始動 【下水道展に合わせて開催】
第2回	H25. 11	北海道 帯広市	・ 「フードバレイとかち」による地域産業政策、下水汚泥肥料の製造・管理の現場を視察
第3回	H26. 2	佐賀県 佐賀市	・ 迷惑施設から「宝の水」、「宝の肥料」を生む歓迎施設に ・ マスコミなどへの積極的な広報により、佐賀市の取組は全国区に
第4回	H26. 7	大阪市	・ 日本コナモン協会会長、食文化研究家によるエコナモンクッキングショー ・ 期間限定の料理イベントを普及展開 【下水道展に合わせて開催】
第5回	H26. 10	北海道 岩見沢市	・ 岩見沢市と汚泥利用組合の協働による下水道資源循環型農業現場視察 ・ 組合員の後継者が積極的に取組に参加し始めるなど、次世代への継承に期待
－	H26. 11	高知大学	・ 第9回 IWA 国際シンポジウム：農産業における廃棄物管理問題－AGRO' 2014 の「ポスターセッション」に参加
第6回	H27. 1	広島県 廿日市市	・ 循環型農園施設「きなり村」を視察、美しい食材アーティチョークつぼみが印象的
－	H27. 4	韓国テグ市	・ 第7回世界水フォーラム日本パビリオンにおいてポスター展示
－	H27. 6	イタリア ミラノ市	・ ミラノ国際博覧会の日本館に「下水道が生み出すチカラ」を出展タイトルとして参画
第7回	H27. 7	東京都	・ ミラノ万博で使用した模型を会場で展示 【下水道展に合わせて開催】
第8回	H27. 11	山形県 鶴岡市	・ 世界的な著名シェフ奥田政行氏による食材の味分析イベントを開催 ・ GAIA「下水処理水再利用による飼料用米栽培に関する研究（山形大学）」を紹介
－	H28. 7	愛知県 名古屋市	・ 学識者、地方公共団体、流通団体、肥料会社、農家によるシンポジウムを開催 ・ BISTRO 下水道食材等のPR、販売を実施【下水道展に合わせて開催】
第9回	H28. 12	秋田県 秋田市	・ 汚泥発酵肥料の有効活用（ソバ、食用米、酒米、野菜）に関する好事例を共有 ・ 下水汚泥資源化への課題の共有や、課題解決に向けた意見交換を実施
－	H29. 8	東京都	・ 学識者、地方公共団体、流通団体、肥料会社、農家によるシンポジウムを開催 ・ じゅんかん育ち等のPRを実施【下水道展に合わせて開催】

(3) 愛称「じゅんかん育ち」の命名

「BISTRO 下水道」という名前は世に知れ渡るようになったが、「下水道」の名前はどうしてもマイナスイメージを与えていました。そこで、下水道発食材について「イメージ向上に資するとともに、国民に親しまれやすい」ことを目指し、愛称の公募を行いました。審査基準は、①食材を口にしたいと思う② BISTRO 下水道のイメージ向上に資する③広く国民に親しまれやすく記憶に残る④ BISTRO 下水道の狙いと趣旨が伝わる、という4点としました。多数の応募があり審査の結果、今年4月、「じゅんかん育ち」に決定しました。今後も農業生産者や一般消費者等幅広い主体と連携を進め「じゅんかん育ち」を浸透・ブランド化させ、安全性と食材としての魅力を発信するとともに、農業の生産性向上に繋がっていきたいと考えています。

3. おわりに

国土交通省は、肥料利用者に安心して下水汚泥由来肥料を使用して頂くとともに、「じゅんかん育ち」の消費拡大に向けた広報活動を継続して行っていきたいと考えています。そのためには、各地で行われている農業利用の工夫等の好事例を収集し、水平展開を行って参りたいと思います。今後、肥料の再利用の取り組みを行う下水道管理者への参考となる事例集を取りまとめる予定であり、各地での自律的な活動を促進していきたいと思います。

特集：肥料利用、リン回収、再生水利用

解 説

神戸市東灘処理場 資源再生(リン)の活用
－ KOBÉ ハーベスト(大収穫)プロジェクト－

神戸市建設局下水道部

施設担当部長 岡崎 裕一

施設課係長 平田 卓也

施設課 長田 朋之

キーワード：こうべ再生リン、資源循環

1. はじめに

下水道におけるリンは、放流水域の富栄養化の原因や、下水処理場内における汚泥配管の閉塞を引き起こす要因である。その一方で、農業におけるリンは、肥料の三大要素の一つであり、日本は全量を輸入に頼っている。下水道に流入しているリンの量は、輸入されるリンの約4～5割に相当するとの推計もある¹⁾。平成27年7月の法改正により下水汚泥を肥料等に再生利用することが努力義務として規定された。これにより、今まで以上に食糧生産に不可欠な貴重資源であるリンを下水道から効率的に回収し、農業分野への積極的な活用が求められることになった。

神戸市では、国土交通省の平成24年度下水道革新的実証事業に採択された「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－」(以下本プロジェクト)において、神戸市、水ing(株)、三菱商事アグリサービス(株)が共同研究体を結成し、消化汚泥からリン酸マグネシウムアンモニウム(MAP)としてリンを除去・回収する実証設備を建設し、平成25年2月より運転を開始した。

本プロジェクトで得られたリンは、成分分析や植害試験等を実施し、平成26年4月25日に「化成肥料」として肥料登録を行い、肥料や肥料原料としての市場

流通が可能となっている。

本稿では、本プロジェクトで得られたリン(以下「こうべ再生リン」)の回収、及び肥料としての活用について報告する。



写真1 リン再生実証設備

2. 「こうべ再生リン」除去回収システム

図1に本実証事業で用いる消化汚泥からのリン回収フローを示す。消化汚泥をリン回収装置(リアクタ)に投入し晶析を行い、生成されたMAPを定期的に回収したのち、洗浄・乾燥する。リン回収後の処理汚泥

は脱水機で脱水する。本装置は溶解性リンと一部の浮遊性リンを除去・回収対象にしており、図2の $\text{PO}_4\text{-P}$ とR-P（数十 μm 以上の粗粒子由来のリン）が相当する。

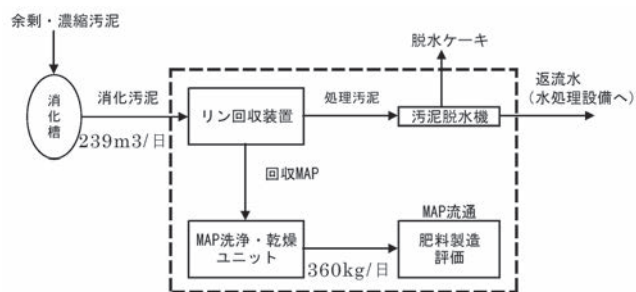


図1 消化汚泥からのリン回収フロー

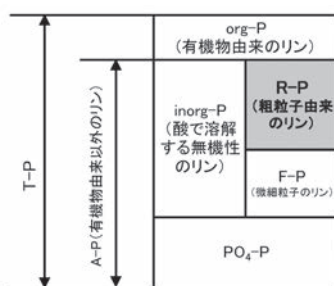


図2 消化汚泥のリンの形態²⁾

3. 農業関係者との協議

「こうべ再生リン」を神戸の農業で活用するため、農業事情に詳しい兵庫県・JA兵庫六甲・神戸市内の農業関係者と課題を確認した。

まず、「こうべ再生リン」が写真2に示すような粉状で風に飛ばされやすいため、扱いやすい大きな「粒状」にするのが望ましいとのことであった。



写真2 こうべ再生リン

また、「こうべ再生リン」がアンモニア性窒素（N）4.49%、く溶性りん酸（ P_2O_5 ）24.4%、く溶性苦土（ MgO ）13.6%という、肥料としては独特の成分となっている。このため、カリウムを加え三大要素がまとまった肥料として使いやすくし、土壌にも好影響を与えるためには、窒素のうち50%を有機質肥料とするのが望ましいとのことであった。

4. オリジナル配合肥料「こうべハーベスト」の開発

上記を踏まえ、平成26年度に窒素・リン・カリウム = 10% - 6% - 6% 配合とし、窒素の50%を有機質とした粒状のオリジナル配合肥料（以下「こうべハーベスト」）を共同研究者である水ing（株）と共同で開発した。「こうべハーベスト」は「こうべ再生リン」を20%配合している。「こうべハーベスト」を写真3に示す。多様な農作物にも利用できるような配合としており、農業関係者にとっても使いやすい肥料となっている。



写真3 こうべハーベスト

5. 試験栽培

「こうべハーベスト」を農業関係者の方に安心して使っていただくためには試験栽培をもとにした公的機関による肥料の効き具合や土壌調査による使いやすさの評価を得ることが必要であった。このため平成27年度に兵庫県の農業部門と肥料協会、JA兵庫六甲とスイートコーンでの試験栽培を行った。

栽培状況を写真4に示す。写真4で対象区と表記しているものは従来肥料を、試験区と表記しているものには「こうべハーベスト」を示している。生育・収穫物ともに従来肥料と変わらない様子が見られた。

収穫物測定結果を第1表に示す。測定項目である全

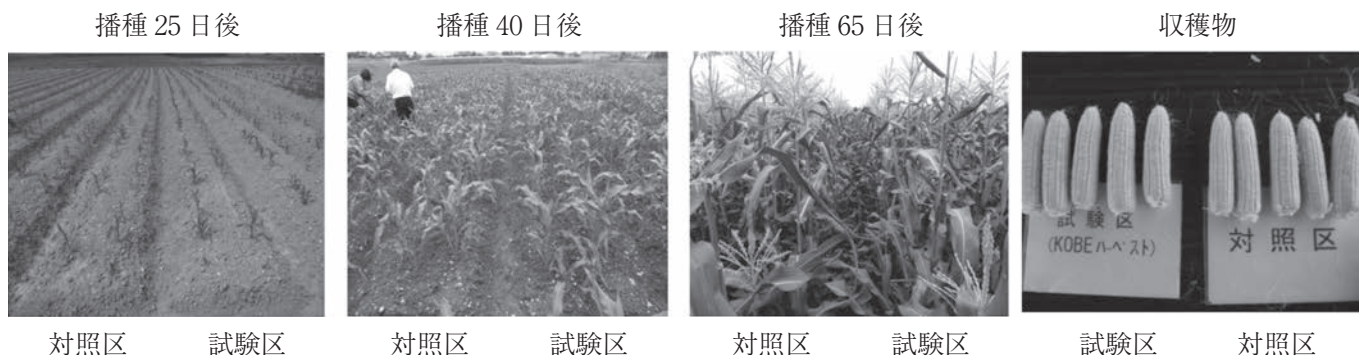


写真4 スイートコーン生育状況

重、果重、果長、果径は10株の平均値、糖度は3株の平均値で示している。ほとんど差はなく、個体差によるものと考えられる。収穫状況において、従来肥料と比べて差がないという結果が得られたので「こうべハーベスト」は使用しても問題ないという判断になった。農業の専門家からも、「従来肥料と比較しても生育・収量ともに遜色なく、普及の可能性が高い」と高評価をいただいた。

その他にもレタス、じゃがいも、キャベツ、ブロッコリーなどの秋冬作でも試験栽培をした結果、従来肥料と比較しても遜色ない生育が確認できた。

第1表 収穫物測定結果

	ハーベスト	慣行肥料
全重量	400 (g)	419 (g)
果重量	256 (g)	269 (g)
果長	19.2 (cm)	18.9 (cm)
果径	4.6 (cm)	4.9 (cm)
糖度	16.6 (%)	16.0 (%)



写真5 じゃがいも(左) キャベツ(右) 生育状況

6. 試験販売の開始

試験栽培と並行して、パッケージを神戸市クリエイティブディレクター監修の元、写真7に示すデザイン

ンに決定した。パッケージの表面では、リン資源が農村と都市を循環しているイメージを表し、裏面ではリン資源の貴重性や本プロジェクトの取組みを描き、J A兵庫六甲神戸西営農総合センターにおいて、平成27年12月から試験販売を開始した。

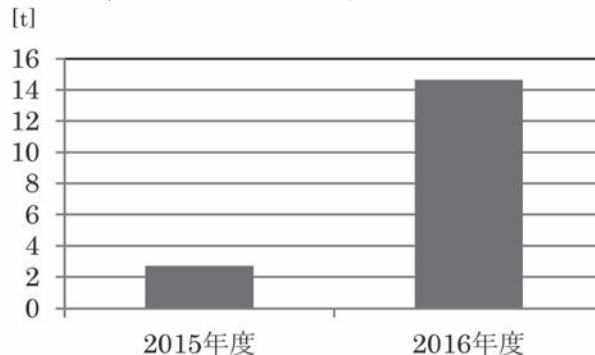


写真7 パッケージデザイン (表・裏)

7. 資源循環の拡大

「こうべハーベスト」試験販売量から算出した「こうべ再生リン」農地還元量の推移を第2表に示す。

第2表 こうべ再生リン農地還元量の推移



これは、こうべハーベストの販売量（2015 年度は約 700 袋、2016 年度は約 3700 袋）から「こうべ再生リン」の農地還元量を算出している。農地還元量が徐々に増えつつあるのは、本市が支援している「こうべ旬菜」等の生産グループである部会の栽培暦に採用されたからである。この様に都市と農村を繋ぐ資源循環の輪が形成されつつあると考えられる。

8. おわりに

「こうべ再生リン」を肥料として活用するために公民連携で行った活動とその後の展開について報告した。今後も肥料としての拡大を中心に、都市部の下水道で再生した「こうべ再生リン」を農村部に還元し、下水道と農業の連携による「地域資源の活用と地産地消」に貢献していきたい。

参考文献

- 1) 国土交通省都市・地域整備局下水道部
“下水道におけるリン資源化の手引き”
平成 22 年 3 月
- 2) 島村和彰、萩野隆生、平沢泉、石川英之、府中裕一
“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”
月刊下水道、vol43、No. 529、pp108-p117（2006）

特集：肥料利用、リン回収、再生水利用

解 説

汚泥発酵肥料「アキポスト」の
利活用について

上野台堆肥生産協同組合

専務理事 技術士（上下水道部門） 山岡 和男

キーワード：じゅんかん育ち、BISTRO 下水道、下水汚泥

1. はじめに

下水汚泥の利用形態は、コンポスト化などによる肥料利用と乾燥による燃料（エネルギー）利用がある。下水道法の一部が改正され単に埋め立て処分する処理や焼却処分方法は行えなくなった。上野台堆肥生産協同組合は、産業廃棄物処理を行う企業5社が平成13年に設立した。事業目的は、下水汚泥をコンポスト化し県内農家に有機質肥料として販売することであった。国土交通省が提唱している BISTRO 下水道の「じゅんかん育ち」を実践している。

秋田県の農業について、全国ランキングからみると、水田面積3位、耕地面積6位、農業就業人口1人あたり農業生産額29位と規模のわりには収入の低さが目立つ。かつて農聖と呼ばれた石川理紀之助を輩出した農業県秋田に必要とされるものは、美味しく、日持ちのする丈夫な農産物を作り他より高値で販売できる希望のもてる農業を目指すことだ。そのために必要とされるのが「土作り」であり土の健康を知ることだ。

2. 事業概要とアキポストの特徴

当組合のコンポスト事業は、民設民営方式で平成14年11月より稼働し今年で15年となる。秋田県中央流域下水道臨海処理センターの脱水汚泥を年間

3,000トン、地元大仙市と藤里町より約200トンの計約3,200トン进行处理し年間約600トンの下水汚泥コンポストを生産販売する。平成15年に肥料登録し翌16年4月より販売し今年で13年となる。商品名は秋田県で作られたコンポストとの意味合いから「アキポスト」と名付けた。現在販売価格は1トン当たり1万円（税抜）とかなり高い商品だが、毎年完売状態で推移している。発酵プロセスは、堆積発酵方式でコンクリートの発酵槽とブロワー、攪拌・運搬用のロードローダーと最もシンプルな構成である。機械的な要素はローダーくらいで、故障や更新に対して容易に対応可能である。含水率80～85%の脱水汚泥をコンポスト化するために、発酵処理が終了した種コンポストと発酵助剤として米糠、石灰などを混ぜ1次発酵（約7日間）を5～7回切替しを伴いながら行う。従来は通気性改善のために籾殻やおが屑等を添加する場合もあったが、当組合では一切添加しない。その後品質安定のために、攪拌を行いながら約1か月間堆積養生させ製品となる。製品の含水率は約20～25%で、原料の脱水汚泥から年間約2,000トンの水分が蒸発されたことになる。

発酵工程において、問題となるのが悪臭対策である。創業当初は土壌脱臭を行っていたが効果が低く、地域住民から苦情がでる状態が度々あった。約1,000m²の発酵槽から発生する悪臭物質（アンモニア、硫化水素、硫化メチル、メチルメルカプタン等）を毎分250m³

のプロワーで吸引しても臭気を完全に取り去ることはできなかった。そもそも微生物が有機物を分解する際に発生するこれらの悪臭物質を、機械的に集め処理することは自然の理にかなったものではないことに気づいた。悪臭物質を微生物で低減させる方法を模索するうちに、故小林達治博士^{*1}（京都大学）が研究されていた光合成細菌を利用することを当組合の工場長が考え付いた。光合成細菌とは、自然環境中の特に汚れた沼の底部や側溝の溜りなどに存在し前述の悪臭物質を好んで資化する微生物である。小林博士は、光合成細菌の土壤中における植物の根圏での様々な栄養供給や病原性微生物との拮抗作用など農業分野での研究を行っていた。コンポスト工場では、光合成細菌をラフな状態で大量に培養する方法を試行錯誤によって完成させ、全発酵槽の約半分の槽にスプリンクラーにより散布し悪臭発生の低減を行っている。ここ10年間に地域住民からの苦情は無く、工場の操業を止めたのかと冗談を言われるようになった。

製品の品質及び安全管理について、汚泥発酵肥料には重金属が含まれるためにリスク管理が重要だ。原料汚泥を受け入れる際毎月サンプリングして、最もリスクの高いカドミ、水銀、ヒ素、亜鉛の4項目について含有量の分析を行っている。肥料取締法では原料汚泥の溶出試験で良いことになっているが、当組合では、水際でのチェックを行っている。万が一基準を超えるような有害物質が確認された場合には、工程上発酵槽のロット単位で循環するため全槽に拡散する事は防げる。また、製品の管理において、製品販売開始以降の

重金属含有量、肥料成分量について分析を行っており十数年間ほぼ安定した結果を得ている（図-1）。また肥料成分は乾物で、全窒素約5%、リン酸約9%、カリ約1%含まれる（図-2）。リン資源の枯渇が問題となる中、極めて優秀な資源である。肥料の効果は、その成分量のみで生育や旨みへの効果を計る事には偏りがある。アキポストの肥料成分は化学肥料と比較すれば少なく、散布する手間も大きい。しかしながら、農家の有機質肥料への要望は肥料成分量だけではなく土壌改良効果に拘りを持っている。

有機質肥料の問題点の一つに、腐熟度が挙げられる。原料に含まれる有機分が多量に含まれる未熟な有機質肥料は、施肥され土壤中で窒素飢餓を発生させ一時的に窒素分が不足し植物に害を与えてしまう。当組合で製品の腐熟度はBOD（生物化学的酸素要求量）を目安としている。BODは水質指標に使われるものだが、有機質肥料にどのくらい有機分が残っているかを知る方法になる（図-3）。原料の脱水汚泥のBOD値は約31万ppm程度だが、アキポストは約10,000～4,000ppmまで低下している。また、有機質肥料と化学肥料との違いは、肥料に有益な微生物を多量に存在することだ。アキポスト1g中に約3億個の一般細菌、酵母菌、乳酸菌、枯草菌、放線菌、糸状菌が含まれる。土壌中には多種類の微生物が存在し互いに拮抗作用することによって、悪玉菌が蔓延の状態を防げるといわれている。アキポストに含まれるこれらの微生物が施肥され水田や畑地の土壌環境を整えてくれると考える。

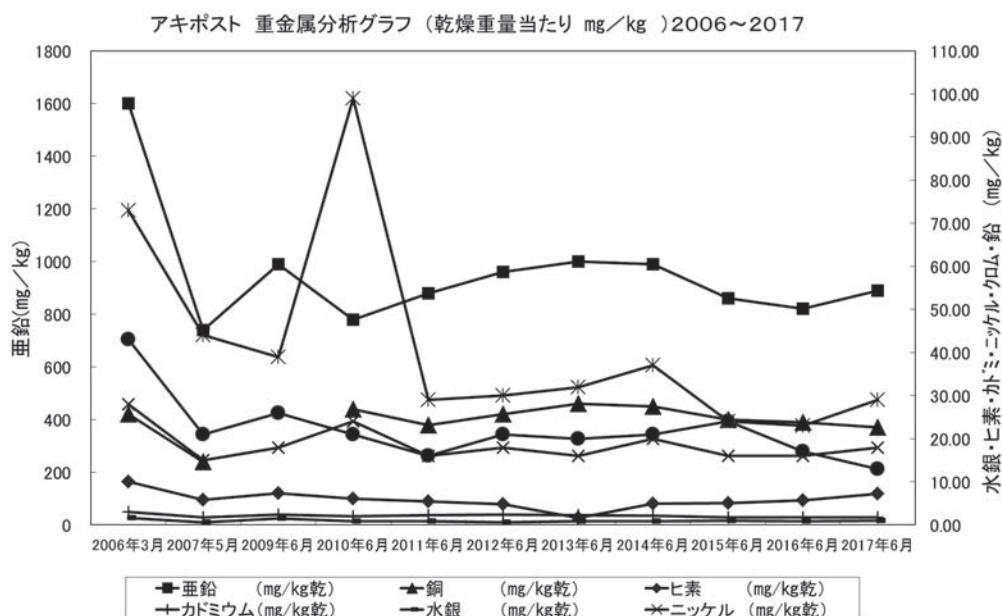


図 - 1 アキポストの重金属経年分析グラフ 2006～2017年

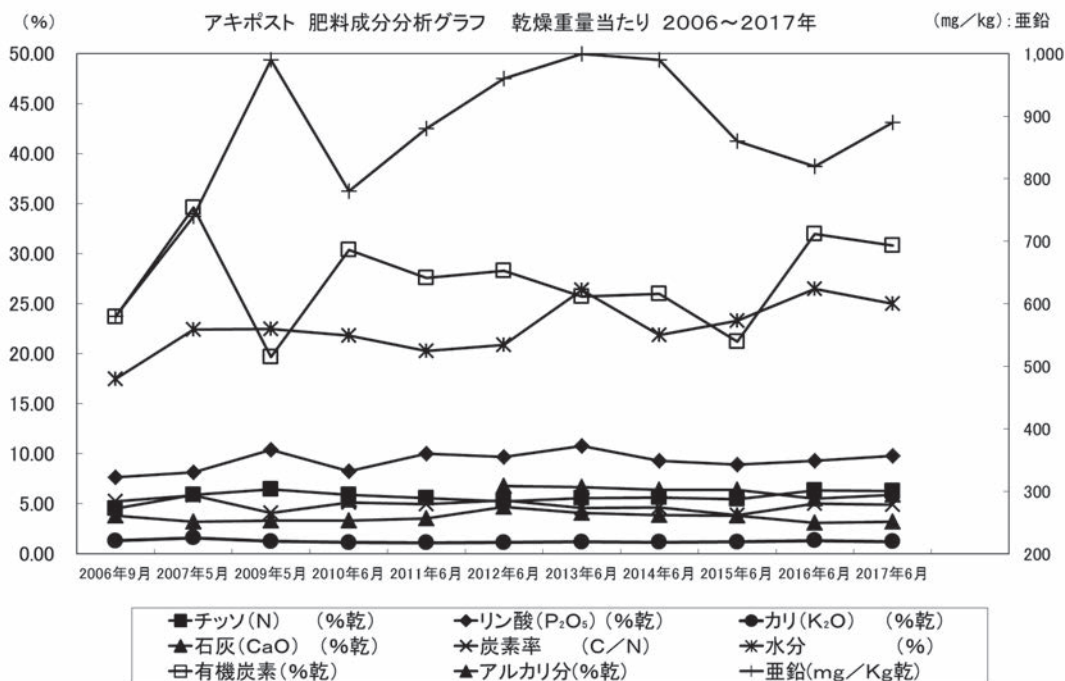


図 - 2 アキポストの肥料成分分析経年グラフ 2006～2017年

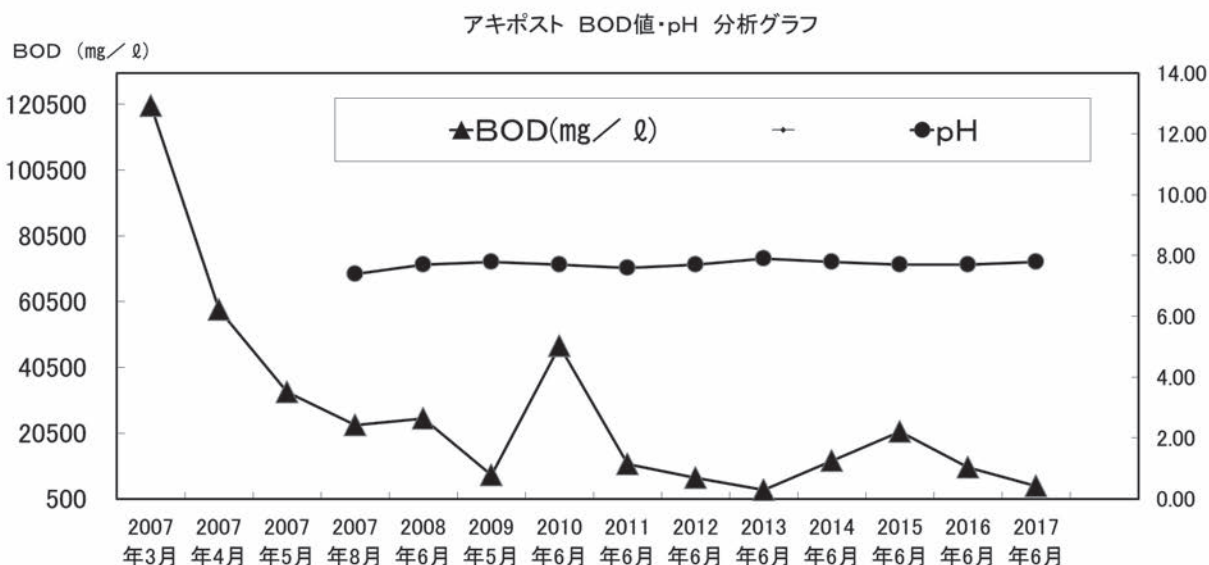


図-3 アキポストのBOD、pH経年分析グラフ 2007～2017年

3. アキポストの利活用の現場

アキポストを長年使用している農家は約40数名程度であるが、皆がリピーター客で毎年全量完売のため新規農家への販売が出来ない状態である。決して安くはない、しかも散布に手間がかかる有機質肥料を愛用して頂いて冥利に尽きる思いである。アキポストを使用して成果を上げている事例は、稲作をはじめとして、

蕎麦、枝豆、大根（秋田名物イブリガッコ用）、酒米（秋田銘酒やまとしづく用アキタ酒コマチ）、タバコなどがある。ここでは最も客観的に分かる事例を紹介する。主食米の流通において、米の品質と旨みを競い評価する民間組織に米・食味鑑定士協会*2がある。毎年各地でコンクールを開催し食味を競うものであるが、全国及び海外（アメリカ、台湾）からも約5,000検体が出品される。食味を分析する項目として、水分、蛋白、アミロース、脂肪酸について食味分析計*3で分析し

高得点のものをさらに味度計※4で分析しそれぞれ85点以上の検体がノミネートされる。ノミネートされた検体はコンクール会場で人による官能試験にかけられ金賞、特別賞が決定する。毎年熾烈な競争が繰り返られるため、協会の目的である優れた米づくり農家を育成する観点から受賞漏れした農家に対して食味値、味度値共に85点以上の検体をベストファーマー認定とした(図-4)。ベストファーマー認定及びコンクールの成績等はインターネットで掲示され確認できる。

当組合のアキポストを使用してコシヒカリを栽培しコンクールに出品している秋田県大仙の農家佐々木氏は、米・食味鑑定士協会から3回ベストファーマー認定された。認定を受けたコシヒカリは、バイヤーから約3割増しの価格で取引されるため経済的効果も伴うものである。平成22年度当初のアキタコマチは、食味値72点であった。平成26年度はコシヒカリを出品し91点まで上がり全国の最高点取得者の平均値に近づいている(図-5)。毎年食味値が変動する原因は、天候や気温の変動によるものと考えられるが、佐々木氏の数値も全国レベルと相関しており米の味は確実に向上している。

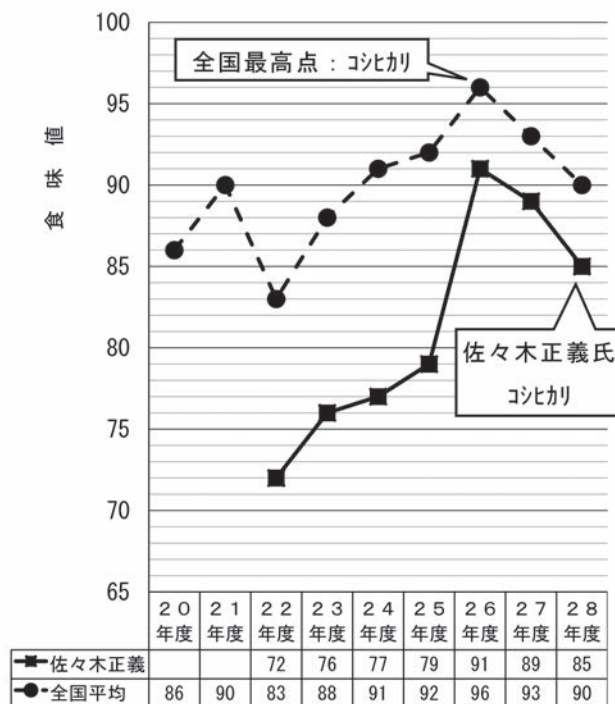


図-5 コシヒカリ食味値分析グラフ



図-4 ベストファーマー認定書

4. おわりに

汚泥発酵肥料「アキポスト」が産業廃棄物処理の枠を超えて、地域農家とこれまで絆を深めることが出来たことは人が必要としているモノを作ることが出来た証しであり、消費者（農家）と顔の見える事業を行ってきたと考える。今年7月アキポストを利用している農家と当組合が標榜する微生物農法の理解と普及促進のための「極楽饒土研究会」を設立した(図-6)。現在会員数は十数名だが、秋田県内でも進歩的な農家の集まりと考える。極楽饒土とは、筆者が作った造語で「饒」はゆたかとも読み「饒土」でゆたかなつち、ゆたかな土は楽しみの極みとの意味である。まさに土作りによって、立派な農産物をつくり楽しもうとの発想である。下水汚泥の処理に関しては、様々な手法や取組が紹介されており日本各地の地域に最も相応しい手法が採用される事を切に望むところである。コンポストの定義は、概ね有機性廃棄物を肥料化したものとされるが循環型社会を考えると下水汚泥の利用については、「コンポストファースト」を主張したい。秋田県では、下水汚泥＝良質な有機質肥料と捉える農家が増えており下水汚泥コンポストが量産できる体制作りが確立されることを願っている。今年9月8日に平成29年度「国土交通大臣賞（循環のみち下水道賞）」イ

ノベーション部門を受賞した。秋田県及び下水道資源の活用に共に研究を進めている秋田工業高等専門学校との三者で「産学官で創る食の地域ブランド! 拡がるじゅんかん育ち」が評価された(図-7)。賞を頂いた国土交通省、支援を頂いている秋田県及び秋田工業高等専門学校、アキポストを愛用している農家に謝意を表し終わりとする。

- ※1 小林達治：光合成細菌で環境保全 発行所：社団法人 農山漁村文化協会
- ※2 米・食味鑑定士協会：大阪府大阪市淀川区西中島 3-12-15
- ※3 食味分析計：静岡製機株式会社 静岡県袋井市山名町 4 番地の 1
- ※4 トーヨー味度メーター：東洋ライス株式会社 和歌山市黒田 12



図-6 極楽饒土研究会の設立

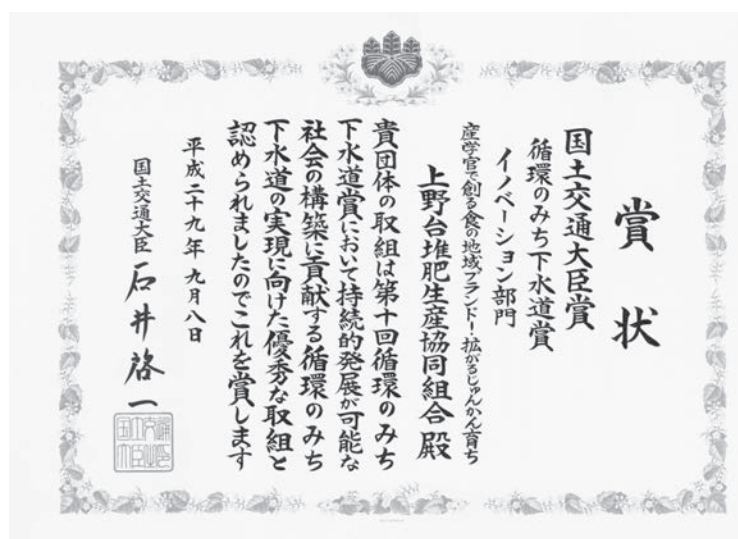


図-7 循環のみち下水道賞状

特集：肥料利用、リン回収、再生水利用

解 説

汚泥利用・処理の国際標準化
～ ISO/TC 275/WG 7 等への日本の貢献～

日本下水道事業団（ISO/TC 275 国内審議団体）

国際戦略室 山下 喬子

キーワード：国際標準化、日本主導、技術報告書の作成

1. はじめに

国際標準化機構（International Organization for Standardization, ISO）において、「汚泥の回収、再生利用、処理及び廃棄」に関する専門委員会 TC 275（Technical Committee, TC）が2013年に設置され、各種汚泥処理技術等の標準化案が作成されている。本稿では、TC 275における標準化作業グループ（Working Group, WG）のうち、汚泥からの資源回収に係るグループ（WG 7）等への日本の貢献について、11月開催の横浜総会の概要とともに報告する。

2. TC275について

2.1 経緯

TC 275は、2012年7月にフランスから「汚泥の回収、再生利用、処理及び廃棄」に関する新規のTC設置の提案を受け、2013年2月にISOの技術管理評議会（Technical Management Board, TMB）において設置が承認された専門委員会である。

これまでに4回の全体会議（第1回：2013年フランス・パリ会議¹⁾、第2回：2014年カナダ・トロント会議²⁾、第3回：2015年オーストラリア・シドニー会議³⁾、第4回：2016年アイルランド・ダブリン会議⁴⁾）が開催されてきた。なお、第5回の全体会議は

日本・横浜市にて2017年11月6～9日に開催予定である。

2.2 適用範囲（Scope）

TC 275の適用範囲は、第1回全体会議において議論され、「都市下水収集システム・し尿・雨水管理・上水処理施設・都市及び類似の工業排水の処理施設由来の汚泥及び産出物の、特性評価・分類・前処理・処理・リサイクル及び管理の方法に関する標準化（但し、工業由来の有害汚泥及び浚渫汚泥を除く）」と決定した。このように、TCとしては「任意の水処理施設からの汚泥」を対象とすることになったが、個別の文書の適用範囲は当該文書内において再定義される。

2.3 検討体制

TC議長（Chair）、事務局（Secretary）はフランスが務めている。

その他の国の主な参加形態はPメンバー（Participating member）とOメンバー（Observing member）の2通りがある。Pメンバーは、TC内の全ての事案への投票義務を負って、業務に積極的に参加し、会議に出席する。Oメンバーは、オブザーバーとして参加し、文書の配布を受け、コメントの提出と出席の権利を持つ。2017年8月現在、Pメンバーは日本、フランス、ドイツ、イギリス、オーストラリア、カナダ、中国等19ヶ国、Oメンバーは韓国、アルゼ

ンチン等 15 ヶ国が参加している。

具体の規格類の検討は、個別の WG において進められる。TC 275 では、第 1 回全体会議において表-1 に示す 7 つの WG が設置された。

全体会議では、基本的に全ての WG 会議が開催され、最終日の総会（Plenary）で参加者が一堂に会し、各 WG の活動状況が報告される。このほか、WG 個別の会議は Web 会議システムを活用しながら定期的に開催されている。

TC 275 に係るその他の詳細な情報については、過去に本誌に掲載された報告⁵⁾や、TC 275 の Web サイト (<https://www.iso.org/committee/4493530.html>) を参照されたい。

表-1 TC 275 に設置されている WG

	分野	座長(コンビーナ)
WG 1	用語の定義	オーストリア
WG 2	評価方法	フランス
WG 3	嫌気性消化	フランス
WG 4	土壌還元	カナダ・イスラエル
WG 5	熱操作	フランス
WG 6	濃縮と脱水	イタリア
WG 7	無機物及び栄養塩類の回収	日本

- ・ 座長は2016年末現在
- ・ 下線は日本が積極的に参加するWGを示す

2.4 日本国内の体制と対応経緯

日本は TC 設置当初より P メンバーとして参加している。日本下水道事業団は、一般社団法人日本下水道施設業協会と共に国内審議団体として活動し、TC や WG からの情報収集及び、産官学の有識者で構成される国内審議委員会を通じた国内の意見取りまとめを行ってきた。

7 つの WG が設置された第 1 回会議後に、将来の本邦技術の国際展開という観点から、国内にて日本の対応方針が検討された。その結果、日本の得意な技術分野を扱う WG 5 及び WG 7 が特に重要であると判断されたため、以降の会議にはこれらの WG に日本から専門家を派遣して議論に参加している。

3. WG 7（無機物及び栄養塩類の回収）の活動状況

3.1 WG の設置から日本のコンビーナ就任まで

WG 7 のテーマである「無機物及び栄養塩類の回収」は、ドイツをはじめとした欧州各国にとっても重要なテーマであると考えられていた。しかし、WG 4「土

壌還元」が欧州やカナダ、イスラエル等の各国の思惑も渦巻く中で激論されるのに対し、WG 7 では、イギリスが WG 座長（コンビーナ）に就任して 2014 年に開催された会議においてケーススタディを収集するという方針を立てた以降は、ほとんど議論が進んでいなかった。

さらに、2015 年のシドニー会議直前に座長が退任したため、この年に WG 7 会議は開催されなかったが、最終日の総会において、日本はケーススタディを用意して議論の準備があることと、各国の積極的な参加を呼びかけた。

日本の熱意が伝わったのか、前任の座長や事務局、その他会議出席者からは、後任の座長に日本（専門家として参加していた日立造船・大地佐智子氏）が就任するよう要望された。これを受けて、シドニー会議後に国内で検討した結果、座長を引受けることとなった。その後、参加国による新しい座長の承認投票が行われ、全投票者（12 ヶ国）からの賛成を受けて、2016 年 7 月に正式に日本の就任が決定した。

3.2 作業方針の決定（ダブリン会議）

2016 年、ダブリンにおいて、日本の大地座長による最初の WG 7 会議が開催された。会議では、作成しようとする文書案の適用範囲や構成について日本からプレゼンした後に、参加者同士で議論を行った（写真）。

議論の結果、WG 7 ではリンをはじめとした資源回収技術の体系的整理及びケーススタディの紹介を行う「技術報告書（Technical Report, TR）」の作成を目指すことで合意した。



写真 WG 7 会議の様子（左端が大地座長）

3.3 新業務項目提案投票の実施

ISO の規格類には表-2 に示す種類があり、国際規格（Internal Standards, IS）、技術仕様書（Technical Specifications, TS）、公開仕様書（Publicity Available Specifications, PAS）の作成を目指す場合には、規格

表-2 ISO規格類の種類

名称	文書の内容
国際規格 International Standards (IS)	TCによる検討、参加国代表による投票を受け、正式に発行された規格
技術仕様書 Technical Specifications (TS)	ISとして合意が直ちに得られない時に暫定的に適用する前段階規格
公開仕様書 Publicity Available Specifications (PAS)	ISの完成に先だって発行される中間仕様書
技術報告書 Technical Reports (TR)	参考データ(国代表組織による調査データや、他の国際機関による作業データ、国代表組織の規格に関連した最新技術のデータなど)やガイダンス

案の議論を開始する前にPメンバーによる投票で承認される必要がある。この投票は、新業務項目提案(New work item Proposal, NP) 投票と呼ばれる。一方、TR作成には、NP投票は義務付けられていない。

ところが、TC 275では、規格の種類に依らずNP投票を行って、参加国の同意を得て議論が進められている。ISOの規格開発ではTC毎に文化が異なると言われるが、このようなところにもTC 275の特徴が表われている。

先述したとおりTR作成を目指すこととしたWG 7では、NP投票は必須ではないが、TC 275の文化を踏襲して、日本が作成した作業方針に対するNP投票を2017年5月から7月にかけて実施した。

NP投票の結果、以下の内容が決定された。

- ・作業方針についての提案は「承認」された。
- ・5ヶ国（オーストラリア、カナダ、中国、日本、イギリス）からの専門家派遣の意思表示がなされた。
- ・提案内容は「TCの作業プログラム」として登録される。
- ・提案内容は今後「WG 7」で作業される。
- ・作業期間は「36ヶ月」とする。

なお、NP投票では投票したPメンバーの過半数(2017年版のISO/IEC 専門業務用指針では「3分の2以上」に変更されている)が賛成し、賛成Pメンバーが専門家を指名して積極参加の意思表示をすることが承認の要件となっている。

3.4 作業原案の作成

無事にNPが承認されたことを受け、日本国内では、投票時に寄せられた各国のコメントを参考にしながら、2017年11月の横浜会議に向けた作業原案(Working Draft, WD)の修正作業が進められている。現時点では、リン、窒素、硫黄、カリウムのほか金属

元素の回収技術に関する技術の紹介や、それらの回収プロセスの運転に係る留意事項、回収物に関する情報が整理されたTR形式のWD作成を目指している。このTRに本邦技術が多数掲載されることによって、それらの技術が世界標準になることが期待される。

今回の横浜会議では、最新のWD案を踏まえた議論が行われる予定である。

4. 横浜会議について

4.1 概要

今回の全体会議は2017年11月6～9日、横浜市にて開催される。初日の11月6日には日本主催での併催イベントとして、ワークショップと施設見学を実施する。そして、7～8日に各WGの会議が、9日に総会が開かれる予定である。

4.2 併催イベント

日本国内の関係者で議論した結果、今後の規格案作成を円滑に進めるための仕掛けとして、ワークショップと施設見学を行うこととした。

ワークショップは、WG 7に関連づけて「汚泥からの資源回収」をテーマに掲げ、国内外における汚泥からの資源回収の現状や政策、技術開発等についての情報共有と理解促進を図ることを目的とする。国内からは、国土交通省から国の施策と日本の状況についての情報提供を行う。国外からの講演者はフランス、フィンランド、ドイツを予定しており、EU圏の現状についての情報が提供される見込みである。

施設見学では、横浜市内の汚泥処理施設を訪問してTC 275に関連する実際の施設、日本の技術を見学し、参加者の理解促進を図る。

5. おわりに

日本が WG 7 のコンビーナに就任してから 1 年が経過し、国内では、技術や知見を有する関係各位の協力を得て、資源回収に係る WD の作成が精力的に進められてきた。横浜会議は、WD の内容について初めて本格的な議論が行われるため、WG 7 にとって非常に重要な会議となる。会議開催にあたってご協力いただいた横浜市はじめ関係各位に深く感謝申し上げます。

近年、汚泥からの資源回収に関しては、ドイツが近い将来にリン回収を義務付ける方針であったり、欧州標準化委員会（CEN）がリン回収技術に係る情報収集を進めるための議論を行ったりと、WG 7 設置当時よりも関係者の関心が高まっていると考えられる。したがって、各国の動向に細心の注意を払いながら、日本の技術を含め世界に役立つ TR が作成されるよう対応を続けていきたい。

参考文献

- 1) 鈴木、岡本、辻：汚泥の回収、再生利用、処理及び廃棄の国際規格化はじまる – ISO/TC275 第 1 回会議への参加報告、下水道協会誌、Vol.51, No.615, pp.71-73, 2014
- 2) 辻：ISO/TC275 汚泥の利用・処理 第 2 回トロント会議報告、下水道協会誌、Vol.52, No.629, pp.100-102, 2015
- 3) 山下：ISO/TC275（汚泥の回収、再生利用、処理及び廃棄）第 3 回シドニー会議参加報告、下水道協会誌、Vol.53, No.640, pp.114-115, 2016
- 4) 山下：ISO/TC275（汚泥の回収、再生利用、処理及び廃棄）第 4 回ダブリン会議報告、下水道協会誌、Vol.54, No.654, pp.95-96, 2017
- 5) 辻：「汚泥の回収、再生利用、処理及び廃棄」の国際規格化～ ISO/TC275 の活動状況と日本の対応～、再生と利用、Vol.39, No.148, pp.64-68, 2015

特集：肥料利用、リン回収、再生水利用

解 説

筑西市における
下水汚泥コンポストについて

筑西市上下水道部下水道課

課長補佐 岩岡 和宏

キーワード：石灰汚泥、自然発酵、カルシウム補給、土壌改良、非農家

1. はじめに

筑西市は、下館市、関城町、明野町、協和町が合併し、平成 17 年 3 月 28 日に誕生した都市です（H29.4.1 行政人口 106,458 人）。東京から北へ約 70km、茨城県の県西部に位置し、東西は約 15km、南北は約 20km で、面積は 205.3km² です。

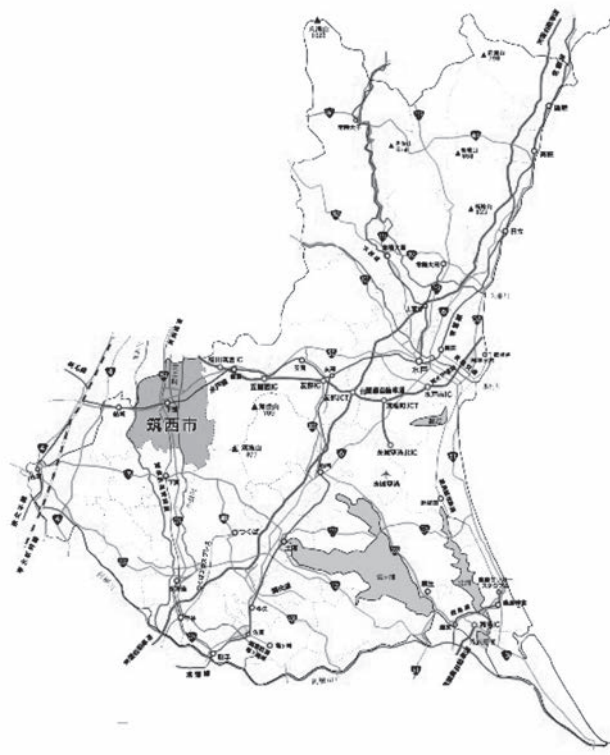
地形はおおむね平坦で、鬼怒川・小貝川などが南北に貫流し、肥沃な田園地帯を形成しています。

標高は、約 20m から 60m で、北部には、阿武隈山系の一部につながる丘陵地帯があり、その標高は約 200m となっています。

気候は太平洋型の気候であり、四季を通じて穏やかです。

優れた水利条件、土壌条件に恵まれた本市の農業は県内でも有数であり、水稻、麦、大豆を中心とした土地利用型農業をはじめ、畑地帯では、梨、こだますいか、トマト、きゅうり等の園芸作物の栽培が盛んです。

下水道事業に関連する特徴としては、平成 27 年国勢調査によると、可住地面積 195.59km² で全国 104 位（814 市区中）に対し、可住地人口密度が 555 人 /km² で全国 577 位（814 市区中）であり、整備効率の向上が難しい地理条件と言えます。



図－1 筑西市の位置図

2. 筑西市の下水道

本市の公共下水道は、下館処理区を単独公共下水道（一部フレックスプラン）、関城処理区を鬼怒小貝流域関連公共下水道、明野・協和处理区を小貝川東部流域関連公共下水道として整備を進めてきています。

市全域における平成 28 年度末の下水道整備率は 78.0%、水洗化率は 80.8%となっています。

(1) 単独公共下水道（下館処理区）

昭和 49 年に事業着手し、昭和 55 年に供用開始しています。終末処理場である下館水処理センターは供用開始から 37 年が経過していることから、施設・設備の老朽化が懸念されています。

また、下館処理区のうちフレックスプランである

川島処理区は、平成 4 年に事業着手し、平成 8 年に供用開始しています。フレックス処理場である川島水処理センターは、供用開始から 21 年が経過しています。

(2) 鬼怒小貝流域関連公共下水道（関城処理区）

平成 5 年に事業着手し、平成 13 年に供用開始しています。また、市街化調整区域の一部を特定環境保全公共下水道で整備を進めており、平成 10 年に事業着手し、平成 13 年に供用開始しています。

(3) 小貝川東部流域関連公共下水道（明野・協和处理区）

平成 9 年に事業着手し、平成 15 年に供用開始しています。

表－1 総括調書（平成 28 年度）

		下 館			（ 鬼 怒 小 貝 流 域 関 連 ）			（ 小 貝 川 東 部 流 域 関 連 ）			筑 西 市
		下館	フレックス		公共	特環		明 野	協 和		
全 体 計 画	目 標 年 次	平成38年度	平成38年度		平成38年度	平成38年度		平成38年度	平成38年度		
	面 積	1,187.0 ha	190.3 ha	1,377.3 ha	145.8 ha	413.2 ha	559.0 ha	577.5 ha	505.0 ha	1,082.5 ha	3,018.8 ha
事 業 計 画 (認可計画)	計 画 人 口	31,677 人	6,760 人	38,437 人			9,769 人	10,495 人	8,675 人	19,170 人	67,376 人
	目 標 年 次	平成34年度	平成34年度		平成32年度	平成32年度		平成30年度	平成30年度		
	面 積	656.4 ha	190.3 ha	846.7 ha	145.8 ha	151.4 ha	297.2 ha	205.6 ha	115.2 ha	320.8 ha	1,464.7 ha
	計 画 人 口	21,150 人	6,760 人	27,910 人			5,630 人	4,494 人	3,535 人	8,029 人	41,569 人
2016	H28	行 政 人 口		61,182 人			14,476 人	15,625 人	15,175 人	30,800 人	106,458 人
		整 備 面 積	506.19 ha	119.55 ha	625.74 ha	126.50 ha	131.45 ha	257.95 ha	157.85 ha	101.63 ha	259.48 ha
		整 備 人 口	19,254 人	3,871 人	23,125 人	3,041 人	3,016 人	6,057 人	3,246 人	2,877 人	6,123 人
		整 備 率	77.1 %	62.8 %	73.9 %	86.8 %	86.8 %	86.8 %	76.8 %	88.2 %	80.9 %
		処 理 面 積	506.19 ha	119.55 ha	625.74 ha	126.50 ha	131.45 ha	257.95 ha	157.85 ha	100.20 ha	258.05 ha
		処 理 人 口	19,254 人	3,871 人	23,125 人	3,041 人	3,016 人	6,057 人	3,226 人	2,835 人	6,061 人
		普 及 率	18.1 %	3.6 %	21.7 %	2.9 %	2.8 %	5.7 %	3.0 %	2.7 %	5.7 %
		水 洗 化 人 口	18,690 人	3,243 人	21,933 人	2,149 人	1,618 人	3,767 人	1,453 人	1,338 人	2,791 人
		水 洗 化 率	97.1 %	83.8 %	94.8 %	70.7 %	53.6 %	62.2 %	45.0 %	47.2 %	46.0 %
		汚水管渠延長		164,113.73 m	30,369.65 m	25,143.05 m	55,512.70 m	38,909.06 m	20,439.16 m	59,348.22 m	278,974.65 m

表－2 公共下水道施設の概要

施設名	所在地	供用開始 年月	敷地面積 (㎡)	延床面積 (㎡)	建築面積 (㎡)	処理能力	処理方式
下館 水処理センター	西石田 1120	昭和 55 年 9 月	46,989	13,847	6,011	17,400 m ³ /日	標準活性 汚泥法
川島 水処理センター	布川 1089-1	平成 8 年 4 月	3,260	965	965	3,840 m ³ /日	回分式 活性汚泥法
砂原 汚水中継ポンプ場	一本松 715-6	昭和 59 年 5 月	727	801	373	7.20 m ³ /分	-
旭ヶ丘 汚水中継ポンプ場	旭ヶ丘 2918-11	平成 2 年 6 月	115	31	14	0.36 m ³ /分	-
中之島 汚水中継ポンプ場	下岡崎 2-32-5	平成 4 年 6 月	819	650	308	4.89 m ³ /分	-

また、公共下水道以外の処理方式として、本市の農村部では農業集落排水事業による污水处理を行っています。市内に 26 の処理施設があり、現在建設中のものが 1 施設あります。年間処理人口が約 17,000 人、年間処理水量が約 1,800,000m³ となっています。

3. 下館污水处理センターにおけるコンポスト(汚泥堆肥)の製造及び出荷について

(1) 経緯

昭和 55 年に供用開始した下館污水处理センターでは、昭和 57 年から汚泥処理を開始したことにより、脱水汚泥（脱水ケーキ）が発生しました。

下水道処理区域の拡大に伴う水処理量及び汚泥処理量の増により、脱水汚泥量及び産業廃棄物としての処分量の増が予想されたため、処分費の削減と下水道資源の有効利用を目的に、平成 4 年に、県に特殊肥料生産事業の届け出を行い、平成 6 年度から、市直営でコンポストの製造を開始しました。

平成 9 年度以降、当污水处理センターの運営管理委託業者へコンポスト製造業務を委託しており、平成 12 年には肥料取締法に基づき、普通肥料（名称：ダテソイル）として農林水産大臣の登録を受けました。

製品の出荷先は、市内外の一般住民、学校、自治会、ボランティア団体等です。引き渡しは、当污水处理センターへの来所によるものとし、15kg 袋詰めまたはバラ積み込みとし、無料で提供しています。

(2) コンポスト施設の概要

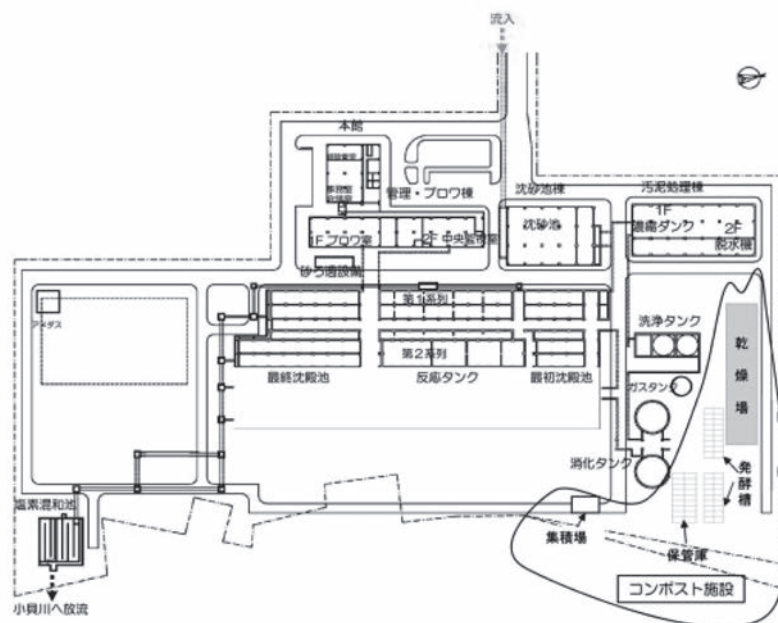
コンポスト施設は、当污水处理センター内の汚泥処理棟に近接した余裕地を利用し、市直営で建設しました。市職員の手づくりによる部分も多いため簡易な構造となっています。

コンポスト施設の主要な設備、機器は以下のとおりです。

- ①乾燥場：アスファルト舗装 1,210m²
- ②発酵槽：パイプハウス 2 棟（4 槽） 297m²
- ③保管庫：パイプハウス 1 棟 189m²
- ④集積場：1 棟 88m²
- ⑤袋詰機：1 基
- ⑥発酵槽ブロワー：1 台
- ⑦ホイルローダー：1 台
- ⑧トラクター：1 台

表－3 下館污水处理センターにおける水処理量・汚泥処理量の推移

	水処理		汚泥処理		
	処理水量		処理方法		汚泥量 (t / 年)
	m ³ / 年	m ³ / 日			
平成 26 年度	2,832,565	7,760	脱水 ケーキ	発生量	838.9
				うち処分量	79.2
			コンポスト化	脱水ケーキ量	759.7
				出荷量	128.9
				場内使用量	-
平成 27 年度	2,899,963	7,945	脱水 ケーキ	発生量	801.7
				うち処分量	48.4
			コンポスト化	脱水ケーキ量	753.3
				出荷量	103.7
				場内使用量	-
平成 28 年度	2,906,279	7,962	脱水 ケーキ	発生量	806.2
				うち処分量	42.9
			コンポスト化	脱水ケーキ量	763.3
				出荷量	88.7
				場内使用量	-



図－２ 下館水処理センター平面図

(3) コンポストの製造方法

①脱水ケーキを発酵槽（パイプハウス）へホイローダーで高さ 2m 程度に堆積します。

②発酵は、原則、自然発酵としています。
但し、以前は通気性を良くするため、ブローアーにより発酵槽 1 槽当たり、風量 $2\text{nm}^3/\text{min} \sim 3\text{nm}^3/\text{min}$ で送風し、発酵を促進していた時期もありました。

発酵時、温度は 70°C 程度まで上昇します。

③発酵後は温度が外気温に下がるまで置きます。

発酵所要日数の目安 春：35 日間
 夏：25 日間
 秋：30 日間
 冬：40 日間

④再発酵させるため、ホイローダーで槽外へ出し、切り返しを行い、槽内に戻し、②、③と同じ方法で再発酵させます。

⑤発酵が終了したものは、発酵槽から保管庫（パイプハウス）に移します。

⑥好天時に、舗装面に均等に敷き天日乾燥させます、この際、トラクターにロータリークラッシャーを付け、大きな塊を碎き、攪拌します。



発酵槽



切り返し



天日乾燥

- ⑦コンポストを 15kg のビニール袋に詰めダテソイルの完成となります。

※脱水ケーキを 50 t 仕込んだ場合、コンポストとなるのは約 22 t (56%減量) です。

※コンポスト完成までの所要日数は、夏で約 2.5 ヶ月、冬で約 4 ヶ月です。



完成品

(4) コンポストの主要成分等

窒素全量	りん酸全量	加里全量	石灰全量	銅全量	亜鉛全量	pH
2.8%	5.1%	0.07%	24%	280mg/kg	535mg/kg	7.6

コンポスト（ダテソイル）の成分の特徴は、石灰全量（カルシウム全量）の割合が多いことです。これは、汚泥処理の過程で、凝集剤として消石灰を使用しているためです。

主に、販売を目的としない自給的農家や家庭菜園を営む非農家に、畑や花壇等のカルシウムを補給するため、または、酸性が強くなった土の pH 値を中和するための土壌改良資材として活用されています。

コンポストの撒き過ぎに注意し、鶏糞や化成肥料と併用することで効果が期待できると考えています。

(5) 経費の比較（平成 28 年度実績ベース）

脱水ケーキを利用してコンポストを製造した場合の経費と、コンポストを製造せず、全量を最終処分委託した場合の経費の比較は次のとおりとなっており、コンポスト製造により、年間約 1 千万円の削減が図られています。

- ・脱水ケーキ最終処分委託費
 $23,220 \text{ 円/m}^3 \times 42.9\text{t} \div 1.10 \text{ (換算係数)}$
 $= 905,580 \text{ 円} \cdots \cdots \text{①}$

- ・下館水処理センター運転管理委託費のうち
 コンポスト製造業務費
 $13,335 \text{ 円} \times 466 \text{ 人 (年間延べ業務人数)}$
 $\div 6,214,000 \text{ 円} \cdots \cdots \text{②}$

●平成 28 年度実績による費用

$$\text{①} + \text{②} = 7,119,580 \text{ 円} \cdots \cdots \text{③}$$

- ・コンポストを製造せず、脱水ケーキ全量を
 最終処分委託した場合の費用
 $23,220 \text{ 円/m}^3 \times 806.2\text{t} \div 1.10 \text{ (換算係数)}$
 $= 17,018,149 \text{ 円} \cdots \cdots \text{④}$

◎年間経費削減額

$$\text{④} - \text{③} = 9,898,569 \text{ 円}$$

4. おわりに

下館水処理センターのコンポストについては、市の広報紙等での PR や出荷先の拡大に努めてきたわけではありませんが、苦情等も殆ど無く、毎年安定的に出荷されており、比較的順調に事業が展開出来ていると考えています。

苦情等が少ない理由としては、無償であること、前述のように、販売農家が使用するケースが殆ど無いこと、土壌改良剤としての効果が分かりづらいことなどが考えられます。

今後の課題としては、天日乾燥を行うため天候に左右されることがあり、雨天が続く場合、一定期間コンポストの製造が出来ないことです。特に、10 月から 2 月にかけてはコンポストの出荷量が多く、製造が間に合わないこともあることから、屋内型のコンポスト施設の整備が望まれています。但し、出荷先として販売農家を対象とすべきか、また、将来の農業集落排水との統合を見込んだ規模とするかなどクリアしなくてはならない問題はあります。

一方で、現在のコンポストが、成分等においてこの地域の風土に適していると考えた場合、先人たちが手間暇かけて作り上げた現在のコンポスト施設を補修・改良しながら、製造法についても踏襲すべきであるという意見もあります。

どちらにしても、市民等のニーズを最優先し、下館水処理センターの施設規模及び水処理、汚泥処理量の推移を勘案しながら、身の丈に合ったコンポスト製造を行ってまいりたいと考えています。

特集：肥料利用、リン回収、再生水利用

解 説

みやま市が進める資源循環の
取り組みについて
～液肥を利用した農業振興など～

みやま市環境経済部環境衛生課

循環型社会推進係 主査 坂田 隼一

キーワード：循環型社会、液肥、生ごみ、バイオガス

1. はじめに

本市は福岡県の南西に位置し、東部は女王卑弥呼伝説を伝える女山（ぞやま）や清水山が連なり、西部は海苔や魚介類等の宝庫である有明海に面している。また、市の西部を南北に清流矢部川、中央部を東西に飯江川が貫流し、肥沃な土壌を形成している。

基幹産業は農業で、第1次産業の比率が約16%と高く、福岡県の約3%、全国平均の約4%に比べ非常に特徴的である。

本市は平成20年9月に策定した「第1次みやま市総合計画」における「人・水・緑が光り輝き夢ふくらむまち」を実現するための環境関連施策・事業の基本指針として、平成22年3月に「みやま市環境基本計画」を策定した。また、平成24年には、化石燃料の枯渇、地球温暖化、東日本大震災における原子力発電所の事故を背景に再生可能なエネルギーを求める声が高まったことから、再生可能エネルギー導入可能性調査を実施した。平成25年度には再生可能エネルギー導入可能性調査の結果を基に生ごみ・し尿汚泥系メタン発酵発電設備導入可能性調査等を行っており、このような新たなエネルギー創出を産業振興に活かすべく平成26年に「みやま市バイオマス産業都市構想」を策定し、同年11月に国の関係7府省が推進する「バイオマス産業都市」に当時九州では初めて認定を受けた。さら

に、隣接する大木町と平成29年4月に「持続可能な循環型社会の構築に係る包括協定」を締結し、本市が計画する生ごみ・し尿汚泥等の廃棄物を資源とし液肥を製造する施設と同様の施設である「おおき循環センターくるるん」と連携することで、確実に循環型社会を構築する体制を整えてきた。

2. 循環型社会構築に向けた取り組み

現在、上述した経緯をふまえ、市内の一般家庭等から排出される生ごみ・し尿・浄化槽汚泥等を資源化する「みやま市バイオマスセンター」（以下「バイオマスセンター」という。）の建設工事を行っており、平



バイオマスセンター完成予想図

成 30 年秋頃の稼働開始に向け準備を進めている。本市は、バイオマスセンターを安定的に稼働させ、循環型社会を推進していくには、大きな柱が2つあると考えており、平成25年度より2つのモデル事業を実施し、バイオマスセンターの稼働に向けしっかりと取り組んできた。

3. 生ごみ分別モデル事業

1つ目の柱が、『生ごみ分別推進の取り組み』である。現在、本市の可燃ごみは、袋収集において、各世帯週2回の収集体制をとっているが、来年のバイオマスセンター稼働に合わせて、可燃ごみと生ごみを分別して収集する。生ごみを収集するにあたり、収集回数や収集方法等を決定するため、市内にモデル地区を設定し検討を行ってきた。平成28年度までの4年間で1,102世帯に協力いただき、各世帯に生ごみを分別するバケツを配布、10世帯毎に生ごみを出す桶を設置し、週2回桶を回収する方法を採用することとした。モデル事業参加者の意見としても、生ごみを分別することに対

する肯定意見が95%と高く事業を推進する後押しとなった。今年の2月から12月の期間に、生ごみ分別説明会を、行政区や隣組単位で市内約200か所を環境衛生課職員で手分けしてまわっているが、参加者も多く市民の関心の高さがうかがえる。



生ごみ分別の様子

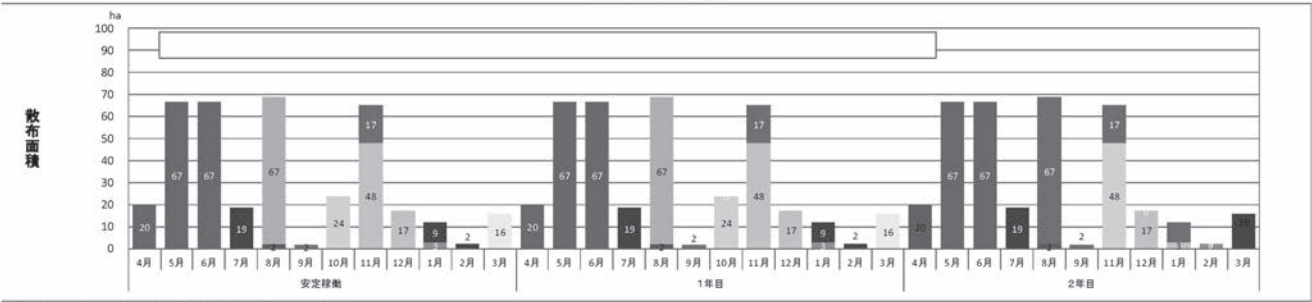
液肥散布計画（案）

散布対象作物	水稻	ナス（冬春）	レンコン	水稻（追肥）	苺	菜種	麦	高粱	アスパラ	ナス（夏秋）	家庭菜園
ha当たり液肥量	50 t/ha	90 t/ha	70 t/ha	25 t/ha	60 t/ha	70 t/ha	50 t/ha	70 t/ha	70 t/ha	90 t/ha	70 t/ha
散布時期	5月～6月	7月	8月	8月	9月	10月～11月	11月	11月～12月	12月～1月	1月～2月	年中
散布方法	液肥散布車	運搬車	運搬車	運搬車	運搬車	液肥散布車	液肥散布車	液肥散布車	運搬車	運搬車	運搬車

月	液肥生産量	液肥消費量	タンク残量 [※]	液肥散布（上段：散布量、下段：散布面積）										
				水稻	ナス（冬春）	レンコン	水稻（追肥）	苺		菜種		高粱	アスパラ	ナス（夏秋）
前年度3月			4,000 t											
4月	1,667 t	1,000 t	4,667 t	1,000 t 20 ha										
5月	1,667 t	3,333 t	3,000 t	3,333 t 67 ha										
6月	1,667 t	3,333 t	1,334 t	3,333 t 67 ha										
7月	1,667 t	1,667 t	1,334 t		1,667 t 19 ha									
8月	1,667 t	1,807 t	1,194 t			140 t 2 ha	1,667 t 67 ha							
9月	1,667 t	100 t	2,760 t					100 t 2 ha						
10月	1,667 t	1,667 t	2,760 t						1,667 t 24 ha					
11月	1,667 t	3,600 t	827 t							2,400 t 48 ha	1,200 t 17 ha			
12月	1,667 t	1,200 t	1,294 t								1,200 t 17 ha			
1月	1,667 t	1,000 t	1,960 t									200 t 3 ha	800 t 9 ha	
2月	1,667 t	200 t	3,427 t										200 t 2 ha	
3月	1,667 t	1,094 t	4,000 t											1,094 t 16 ha
計	20,000 t	20,000 t		7,666 t 153 ha	1,667 t 19 ha	140 t 2 ha	1,667 t 67 ha	100 t 2 ha	1,667 t 24 ha	2,400 t 48 ha	2,400 t 34 ha	200 t 3 ha	1,000 t 11 ha	1,094 t 16 ha

散布面積											
栽培面積（作付け面積）	1,790 ha	59 ha	4 ha	1,790 ha	88 ha	30 ha	1,913 ha	82 ha	6 ha	50 ha	10 ha
作付け面積に対する必要液肥量	89,500 t	5,310 t	280 t	44,750 t	5,280 t	2,100 t	95,650 t	5,740 t	406 t	4,500 t	700 t
作付け面積に対する散布面積割合	8.6 %	31.4 %	50.0 %	3.7 %	1.9 %	79.4 %	2.5 %	41.8 %	49.3 %	22.2 %	

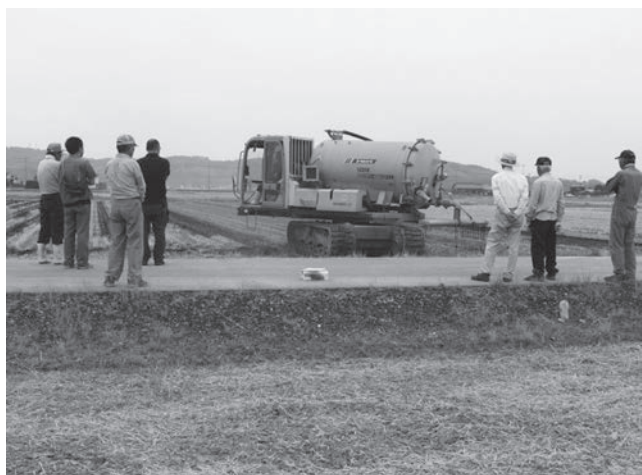
液肥散布面積



※設定年度の前年度末（3月末）の液肥タンク容量を4,000 tと設定した。

4. 液肥散布モデル事業

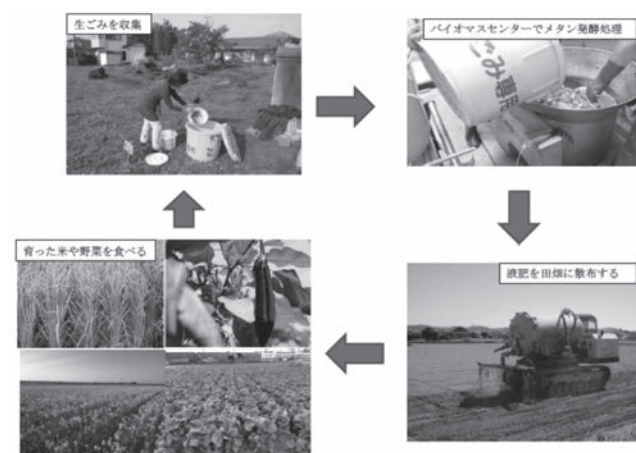
2つ目の柱が、『液肥利用推進の取り組み』である。本市は、前述のとおり基幹産業が農業であり、米を始め、麦、ナス、みかん、筍、高菜、セルリと園芸作物も盛んである。液肥利用について農家の集まりの中で呼びかけたが、各農家はそれぞれの栽培方法を確立し



液肥散布車による農地への液肥散布



運搬車によるナスハウスへの液肥散布



資源循環の環

ており、新しいことに取り組むことに慎重であることが分かった。その中でも、先進的な農家が手を挙げてくれたため液肥散布モデル事業がスタートした。モデル事業を行うにあたり、大木町から液肥や散布車の手配と全面協力をいただいた。

はじめは、米、高菜に液肥を利用したが、慣行農法と変わらず収穫できた。その後、菜種、ナス、レンコン、筍と試験作物が増えていく中で、普及センターに依頼し、水稻の慣行栽培と液肥栽培と比較試験を実施した。試験結果も慣行栽培と遜色ない結果となった。また、液肥で栽培した作物と化学肥料で栽培した作物（米、ナス、レンコン）で食味試験（食べ比べ）を実施した。参加者の約8割の方が液肥を利用して栽培した作物がおいしいとの結果がでた。

慣行栽培と比べ収穫がしっかりでき、食味も良くなり液肥に対する関心が高まっていく中で、液肥の生産量自体が全作物に供給できる量がないこと、作物によって肥料の散布時期が集中すること、散布方法も作物によっては工夫が必要なこと等新たな課題が出てきた。

5. 液肥利用研究会の設立

課題解決のためには、液肥利用についてしっかりとしたルール作りが必要であるため、モデル事業に参加した農家を中心に、平成27年8月に「みやま市液肥利用研究会（以下「研究会」という。）」を発足した。研究会のメンバーにはモデル事業参加者以外に、J A の水稻、野菜等の生産部会や法人、アドバイザーに普及センター、J A、市の農林水産課に入ってもらった。研究会では、液肥の年間散布計画を策定し、効率よい散布方法や散布料金等について検討し来年のバイオマスセンターの稼働に備えている。

6. 今後の展開

来年秋のバイオマスセンターの稼働に向け液肥利用推進により一層取り組んでいく必要がある。

今年度中には液肥散布料金を決定するが、水稻栽培において慣行農法では10アールあたり1万円程度かかるが、液肥利用料については安価に設定することで、農家の肥料代の負担軽減と散布も施設側が行うことで、農家の労力軽減にも繋げたい。

液肥は年間約20,000t製造される見込みであるが、製造された液肥は肥料登録をし、液肥を使って育てた作物のブランド化も進めていく予定である。

7. おわりに

生ごみを市民がしっかり分別する、液肥を市内の農地に還元する、この両輪がしっかりと回ることで、バイオマスセンターが安定して稼働していくことに繋がる。

市内で液肥を使って栽培した作物を各家庭で食し、出てきた廃棄物を資源として液肥が製造され農地に還元する。この循環の環を達成するため、今後も、両輪がしっかり回るよう事業を推進していきたい。



食味試験の様子

特集：肥料利用、リン回収、再生水利用

解 説

岐阜市における
下水汚泥焼却灰からのリン回収について

岐阜市上下水道事業部施設課

管理監 太田 淳一

キーワード：リン酸カルシウム、処理灰、国内流通

1. はじめに

本市の下水道は、昭和9年7月に、当時では画期的な分流式下水道を日本で最初に採用し、昭和12年7月には下水処理場（現中部プラント）が処理を開始した。当時の東京市・名古屋市・京都市・豊橋市に次ぐ国内5番目の下水処理場を有する都市となった。その後、北部プラント（北部処理区）が昭和41年7月に処理を開始し、南部プラント（南部処理区）が昭和48年6月に処理を開始するなど、市域の拡大とともに処理区域も拡大してきた。平成16年2月には、本市4番目の北西部プラント（北西部処理区）が処理を開始している。

こうした単独公共下水道と共に、平成3年4月に岐阜県が木曽川右岸流域下水道の供用を開始し、それに合わせて本市も流域関連公共下水道の供用を開始している。

現在の計画処理面積は、単独公共で6,087ha、流域関連で2,672ha、合わせて8,759haとなっている。また、平成27年度末での処理人口は381,350人、普及率が92.4%、水洗化率が86.5%といった状況である。

現在の下水道計画区域を図1に示す。

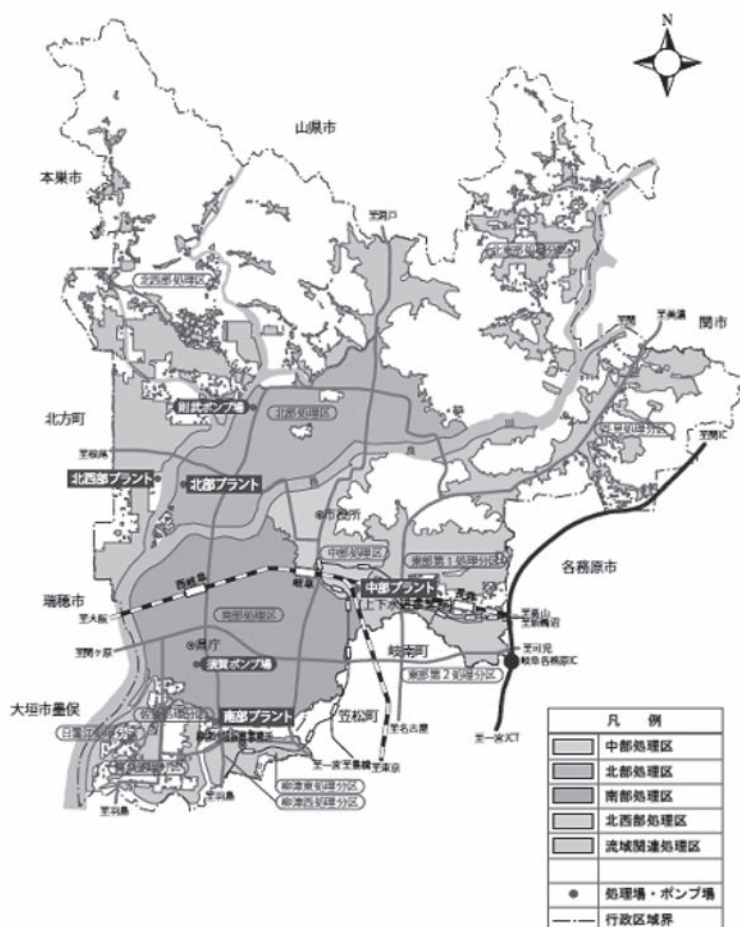


図1 岐阜市下水道区域図

2. リン回収事業の概要

(1) 焼成レンガ事業の終了

「下水汚泥焼却灰の処分と再利用」は、環境面も含め大きな課題であり、事業を経営する上で大きな費用負担を強いられてきた。

その解決策として考え出されたのが、焼却灰を100%使用する「れんが」を焼成する事業である。平成6年度から事業を開始し、主に市内の歩道や公園の舗装に使用されてきた。しかし、社会経済情勢が変動する中、大口の利用先である公共事業が減少してきたことや、焼成れんが施設の老朽化により更新時期を迎えることになったことから、「ゼロ・エミッション」を継続していくための新たな施策として「リン回収事業」に転換することで、15年間続けてきた「焼成れんが事業」を平成20年度末に終了している。

(2) リン回収技術開発の背景

地球上にある資源としてのリンは、経済的採掘において、今後50年～100年で枯渇するとも言われている。現在、リン鉱石を採掘している国は30ヶ国以上あるが、そのうち上位15ヶ国だけで全世界のリン鉱石採掘量の約95%を占め、中でも上位3カ国のリン鉱石採掘量は全体の約6割を占める（国土交通省都市地域整備局下水道部 2010）。そのような状況の中、産出国

ではリンを戦略物質として位置付け、資源保全のために輸出規制及び関税の引上げなどを行う動きもある。非産出国である我が国は、リン鉱石を100%輸入に頼っており、その輸入価格は図2に示すとおり、それまでトン当たり約1万円で推移してきたが、一時期に約7万円まで高騰した。現在は約2万円から約3万円の間を推移しているが、今後も一時期のように上昇する可能性もある。

リンは窒素及びカリウムと共に肥料の3大要素であり、植物の生育には必要不可欠であることから、食糧生産量に大きな影響を与えるものである。しかし、リンは元素であり、人工的に作り出すことはできない。

また、世界人口の増加及び発展途上国の経済成長により、将来食糧需要が増加すると予想され、リン鉱石の価格高騰や資源枯渇は、食糧危機に直結すると考えられる。

一方、本市では、平成10年から全プラントでの高度処理を位置付け、段階的に高度処理への転換を図ってきた。現在は全プラントの水処理においてリンが除去できるようになったため、下水汚泥に含まれるリンの含有量が高まり、焼却灰においてリン酸換算で20%～35%の、低品質リン鉱石に近い含有率となっている。

こうしたさまざまな背景の中で、「レンガ事業」から「リン回収事業」への技術開発を進めてきた。

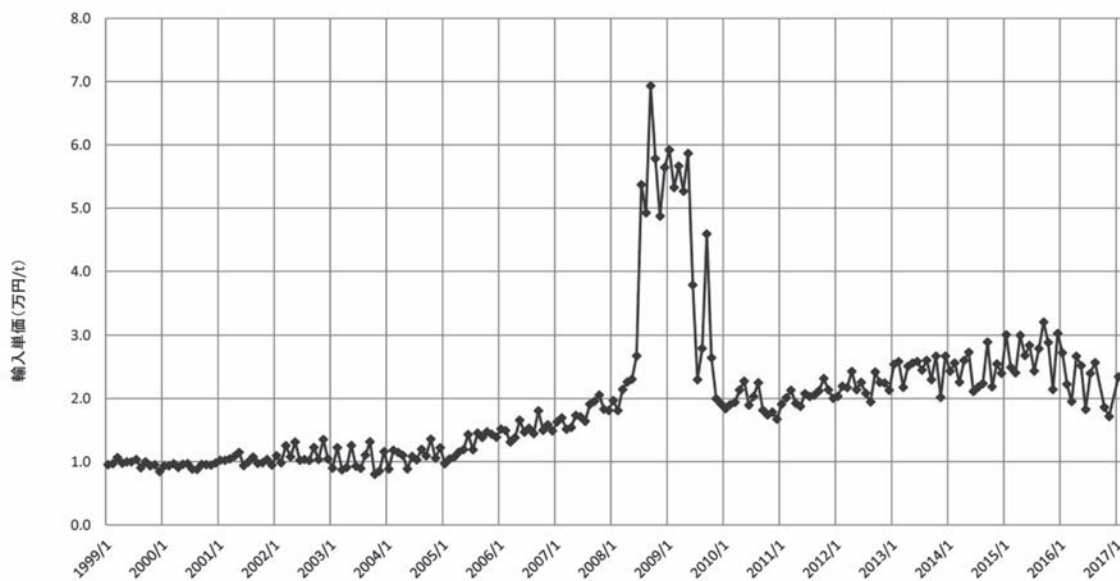


図2 リン鉱石の輸入平均価格

(3) リン回収事業開始の経緯

リン回収事業を開始するまでの経緯を以下に示す。

平成15年度 基礎研究を実施する中で、本市の提案により民間企業（日本ガイシ（現在のメタウォーター））との共同研究を開始

平成16年度 下水汚泥資源化・先端技術誘導プロジェクト（LOTUS Project）への参加

平成17年度 実証実験装置の設置（北部プラント内：旧焼成れんが施設）

平成18年度 SPIRIT21のLOTUS技術評価終了（平成19年度 技術評価証明書授与）

平成19年度 下水道法における事業認可を取得

平成20・21年度 肥料登録、リン回収施設建設（事業費：約7億円（建物は既設利用））（写真1参照）

平成22年度 施設稼動開始



写真1 リン回収施設全景

(4) リン回収方法の概要

各プラントで発生する汚泥は、焼却施設のある南部プラントからは焼却灰として、焼却施設の無い中部プラントと北西部プラントからは脱水汚泥・引抜汚泥として、リン回収施設のある北部プラントに集約している。

その汚泥から年間約700トンの焼却灰が発生しているが、その焼却灰から「リン酸カルシウムを主体とする混合物」（以下「リン酸カルシウム」として約200トン、「処理灰」（リンを低減した焼却灰）として約700トンを回収している。

この回収方法は「灰アルカリ抽出法」と呼ばれ、図3に示すように、まず、焼却灰に水酸化ナトリウム溶液を加え、1.5時間程度50℃～70℃に保ちながらリン酸イオンを抽出する。なお、水酸化ナトリウム溶液の加温には焼却炉の余剰熱を利用している。この工程を複数回行い、溶液と残った灰とを固液分離する。分離した溶液に水酸化カルシウムを加え、9時間程度20℃～50℃で反応させることにより、リン酸カルシウムを析出させ、固液分離により析出したリン酸カルシウムを回収する。また、この反応で残るアルカリ溶液は、水酸化カルシウム中の水酸化物イオンが溶液中に補充されるため、最初の工程に戻し循環利用することで薬液の使用量を低減している。回収したリン酸カルシウムは、水洗浄を行った後、濃縮、乾燥といった工程を経て、粉状または粒状にして、フレコンバッグに梱包している。また、残った灰については、水洗浄や酸洗浄を経て、処理灰として回収している。

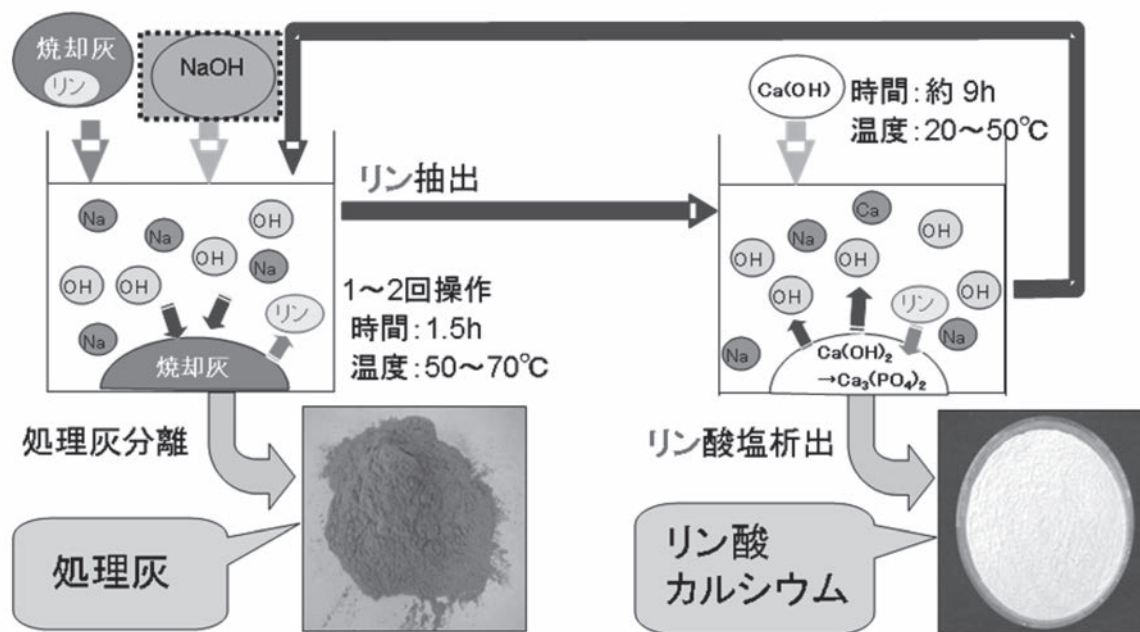


図3 リン回収原理

(5) リン酸カルシウムの特徴と利用

回収したリン酸カルシウムは、白色系で、無機質、下水臭がなく、肥料利用の場合の有害成分も基準以下で、「く溶性（緩やかな肥料の効果がある）」といった特徴があることから、主に単体肥料や複合肥料の原料としての利用のほか、その他工業用の原材料としても利用が可能である（写真2参照）。

リンの含有量はリン酸換算で25%～30%程度である。有害成分については、6項目（ヒ素、カドミウム、水銀、ニッケル、クロム、鉛）を定期的に検査しており、副産りん酸肥料規格（ヒ素、カドミウム）を満たすだけでなく、より厳しい基準である焼成汚泥肥料規格（水銀、ニッケル、クロム、鉛）を管理値としており、これを満たしたもののみを副産りん酸肥料「岐阜の大地」として販売している。

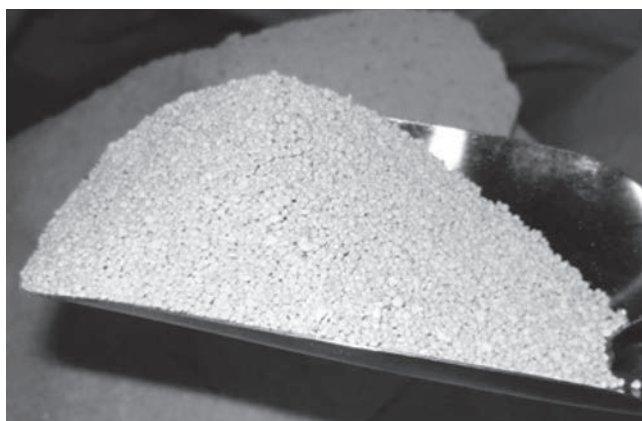


写真2 リン酸カルシウム

(6) 処理灰の特徴と利用

写真3に示すリンを低減した処理灰（リンを低減した焼却灰）は、褐色で、無機質、下水臭はなく、土壤汚染に係る環境基準を満たしていることから、舗装工事で使用する路盤材やアスファルトフィラー用石粉の代替といった利用が可能である。これまで、資材メー



写真3 処理灰

カーに土壤改良材として販売を行っているが、販売量が公共事業の需要に左右されることが多いため、民間の需要について調査を進め、利用用途の拡大と更なる販売先の確保に努めているところである。

(7) 副産りん酸肥料「岐阜の大地」

肥料登録に当たって、リン酸カルシウムに愛称をつけようということで、職員から公募し、「岐阜の大地」に決定した。この名称には、「肥料として地産地消を目指し、将来、この岐阜の地における資源循環型社会の構築を目指す」といった意味が込められたものである。

その後、この「岐阜の大地」は、栽培試験や植害試験を行い、登録の基準である「主成分量の保証」や「安全性」が認められ、平成21年3月、農林水産省に肥料規格「副産りん酸肥料」として含有率20%、25%、30%の3種類を登録することができた。

3. 肥料販売の現状と課題

「岐阜の大地」については、施設稼働開始時に販売先が決定しておらず、販売先を確保すべく、さまざまなPR活動を行ってきた。PR活動例としては、サンプルの配布、JA主催の地元営農家研修会での紹介、

く 溶 性 り ん 酸 肥 料

岐阜の大地

りん20

チッソ

0

リン酸

20

カリ

0

※写真は「岐阜の大地」で育てた野菜です。

「岐阜の大地」は、岐阜市がお届けする安心・安全なリン酸肥料です。

内容量:20kg

適用作物と効果

水稲、畑、果樹に使用できます。

- 作物の生長を早めます。
- 根の発育を促進し、発芽力を高めます。
- 根、茎、葉の数を増やします。
- 根茎、果実の品質が向上します。

特 徴

- 主要成分はリン酸カルシウム。
- アルカリ性の肥料で酸性土壌の改良に効果。
- 無臭で長期にわたって使用可能。
- 緩効性で、発芽から収穫まで効果が持続。
- 雨で流出しにくいので、川や海の環境に優しい。

施肥量の目安(kg/10a)

水稲・麦	野菜・果実	豆・芋類
20～30	50～120	30～50

土壌条件により増減して下さい。
石灰分を含みます。

写真4 岐阜の大地

地元広報誌への広告掲載、PR用チラシの作成及び配布等を鋭意行ってきた。これらの活動の成果として、現在「JAぎふ」と「JAにしみの」の各支店にて20kg入り袋を販売し、ご好評を頂いている（写真4参照）。

また、平成23年7月よりトン単位での大口販売を開始したところ、肥料メーカーへの販売量が徐々に増加しており、効率的で安定的な回収が求められるようになってきている。

今後も地元JAへの販売を通じた地産地消を優先させながら、リン資源のリサイクルを推進していきたい（図4参照）。

4. おわりに

平成27年7月に改正下水道法が施行され、下水汚泥を燃料、肥料として再生利用するよう、下水道管理者に対して努力義務が課せられた。このような流れを受けて、将来、国がリン資源を戦略的確保物質と定め、国を挙げて下水道からのリン回収を推進し、資源循環と国内流通モデルが確立されることを願うとともに、下水汚泥の燃料化、肥料化には相当の維持管理経費が必要となるため、国からの支援も期待したいところである。

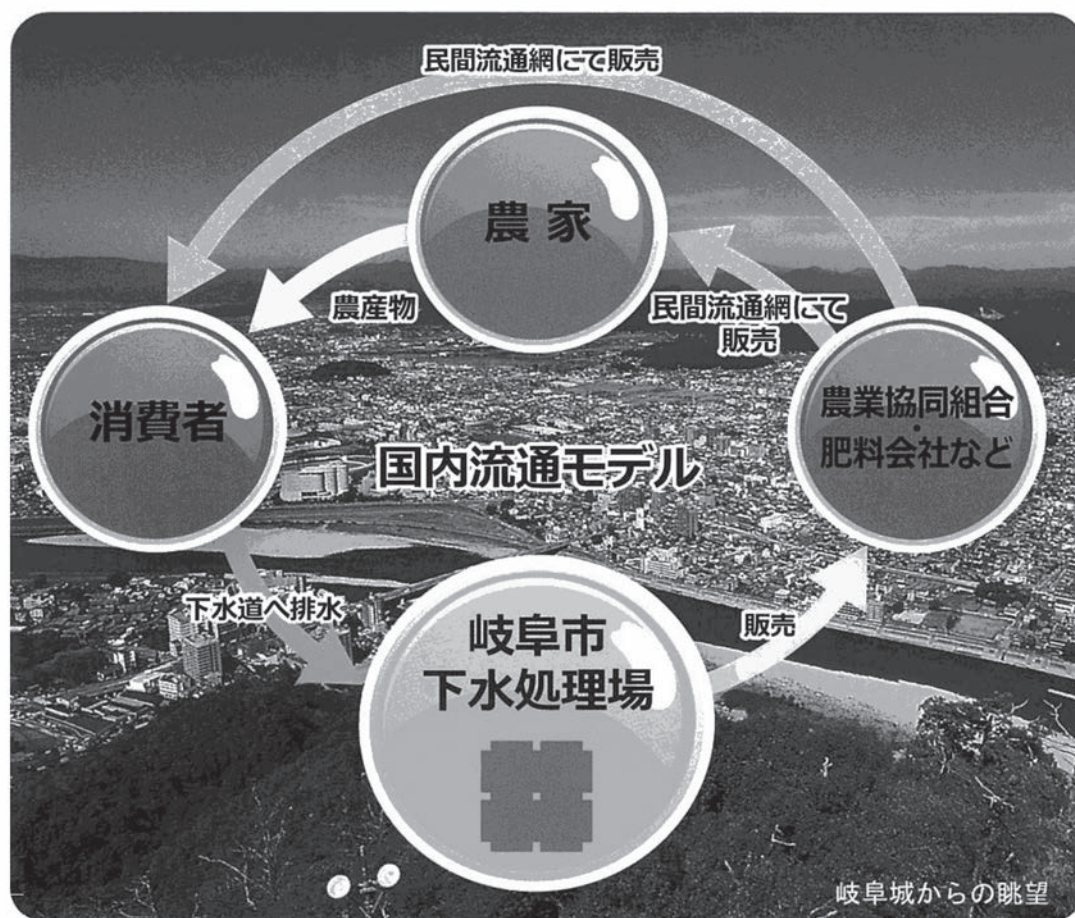


図4 国内流通モデル

特集：肥料利用、リン回収、再生水利用

解 説

下水汚泥焼却灰の特徴と焼成肥料化技術

太平洋セメント株式会社

中央研究所

業務グループ研究推進チーム 今井 敏夫

キーワード：下水汚泥焼却灰、炭酸カルシウム、焼成、けい酸りん肥、りん酸く溶性、けい酸可溶性

1. はじめに

リンは人間の生命維持活動にとって欠くべからざる元素のひとつである。世界人口の増加に伴い天然リン鉱石の消費量も増加するため、リン資源の枯渇が世界的に問題視されている。とりわけ天然資源を持たないわが国は、リン鉱石を海外からの輸入に依存しているため、2008年のリン鉱石の価格高騰を機に、リン資源の確保およびリサイクルに関する取組みが活発に行なわれている。国内におけるリンのフローを整理した松八重ら¹⁾によれば、効率的にリンを回収することができる場所は製鐵所、下水処理場および尿処理場である。これらのうち、下水処理場で発生する汚泥焼却灰は高濃度でリンを含有しており、もっとも有望な未利用リン資源である。2014年度の国土交通省の統計（乾燥重量ベース）によれば、下水汚泥の発生量は約234万トン、セメント原燃化利用をはじめとする有効利用量は約148万トンであり、リサイクル率は63%となっている²⁾。発生量全体の31%に相当する73万トンが、未利用のまま埋立処分されている。仮にその灰分率を12%、灰分の P_2O_5 濃度を25%とすると、P元素換算で約1万トンのリンが未利用のまま埋立処分されていることになる。

日本では下水処理場からリンを回収して肥料化する技術として、既にHAP法、MAP法、アルカリ抽出

法および部分還元溶融法などが確立されており一部実用化されている^{3)～7)}。筆者らは、より経済性の高い再資源化技術の確立を目指し、①非晶質ケイ酸カルシウムにより下水中のリンを回収して肥料化する技術、②下水汚泥焼却灰を焼成改質して肥料化する技術開発をおこなっている。前者の技術については既に本誌143号で紹介⁸⁾しているので、本論ではリン酸肥料原料としての下水汚泥焼却灰の特徴、下水汚泥焼却灰を原料の一部に用い焼成法で作製される肥料の特徴について紹介する。

2. 日本の下水汚泥焼却灰の特徴

リン酸肥料原料としての下水汚泥焼却灰（以下単に焼却灰と記す）の価値を評価するため、 P_2O_5 濃度に広がりを持つように国内の複数の下水処理場より、処理履歴の異なる10種類の焼却灰（A～J）を選定した（表1）。蛍光X線組成分析の結果、主成分は SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、CaOおよび P_2O_5 であり、これら5成分で80～91質量%を占めた。日本の下水処理は合流式および分流式に大別されるが、合流式（一部分流式を含む）を採用する下水処理場で発生した焼却灰には高 SiO_2 、高 Al_2O_3 、低 P_2O_5 という特徴が、これに対して、分流式（一部分流式を含む）を採用する下水処理場で発生した焼却灰には高 P_2O_5 、低 SiO_2 、低 Al_2O_3 という特徴があった。下水の排除方式が合流

式の場合には、雨水とともに石英、長石類および粘土鉱物類などの陸上土壌成分が焼却灰に混入するためである。下水の排除方式と焼却灰の化学組成の特徴は図1に示す鉱物組成によっても支持される。P₂O₅濃度が低いB灰は合流式に由来するが、AlPO₄が同定されず石英の（101）面の回折ピークおよび長石類のピークが卓越した。リン酸はリン酸マグネシウムカルシウムとして存在した。B灰と比較し、P₂O₅濃度が中程

度のG灰中の石英および長石類は相対的に減少するとともに、リン酸マグネシウムカルシウムおよびAlPO₄のピークが明瞭となった。P₂O₅濃度が高いJ灰は分流式に由来するが、AlPO₄およびリン酸カルシウムマグネシウムのピークがさらに明瞭となった。

肥料取締法で定められる「焼成汚泥肥料」の有害成分の公定規格を満足すれば、焼却灰は直接農用地に施肥することができる。そこで、どれくらいの割合の焼却灰が直接肥料化利用できるのかを知るため、肥料分析法⁹⁾にしたがって、肥料成分のく溶性（P₂O₅、K₂O、MgO）、可溶性（SiO₂）および焼却灰中の有害成分（Cr、Ni、As、Cd、HgおよびPb）濃度などを分析した。く溶性りん酸（C-P₂O₅）は肥料重量に対する2%クエン酸水溶液で溶解するりん酸の百分率である。りん酸く溶率（C/T-P₂O₅）は、全りん酸に対するく溶性りん酸の百分率で定義される。加里（K₂O）および苦土（MgO）についても、同様にして評価される。可溶性けい酸（S-SiO₂）は肥料重量に対する0.5モル塩酸で溶解するけい酸の百分率である。けい酸可溶率（S/T-SiO₂）は全けい酸に対する可溶性けい酸の百分率で定義される。

焼却灰の肥料特性の分析結果を表2に示すが、りん酸く溶率は、最低42.5%（J灰）、最高66.4%（B灰）

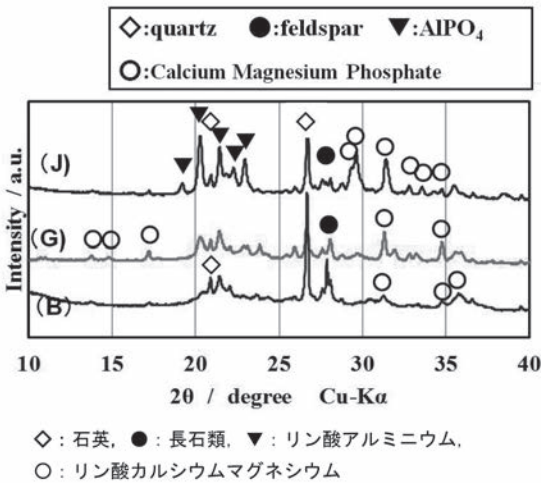


図1 下水汚泥焼却灰の鉱物組成例

表1 下水汚泥焼却灰の発生履歴と化学組成

焼却灰 の記号	排除 方式	発生履歴 凝集剤の 種類	焼却温度 (°C)	化学組成 (XRF-FP 法)								質量%	
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	
A	合流式	高分子	830	37.4	20.8	8.5	5.4	2.3	0.7	0.9	2.5	16.6	
B	合流式	高分子	860	36.0	23.0	9.2	7.6	2.7	1.0	1.0	1.4	15.6	
C	合流式	PAC	820	31.1	18.4	10.2	6.6	2.5	1.3	1.0	2.0	20.6	
D	合流式	PAC	820	22.1	17.8	9.3	9.0	2.7	2.3	1.0	2.6	25.4	
E	合流式	PAC	840	22.0	20.2	7.1	7.2	3.0	1.1	0.9	2.4	27.6	
F	分流式	高分子	850	26.8	14.3	8.7	10.1	3.1	1.0	0.6	2.0	22.4	
G	分流式	高分子	890	25.0	12.2	5.0	12.6	3.9	1.7	0.6	2.1	25.5	
H	分流式	高分子	820	20.3	12.4	8.1	11.6	4.9	0.5	0.6	2.7	31.3	
I	分流式	高分子	840	19.8	11.3	8.0	12.3	4.4	0.8	0.6	2.8	33.9	
J	分流式	高分子	820	18.9	11.1	5.9	10.0	5.4	0.6	0.8	3.9	36.0	

表2 肥料分析法による下水汚泥焼却灰の肥料特性

焼却灰 の記号	肥料成分 %								有害成分 mg/kg					
	く溶性 りん酸	りん酸 く溶率	可溶性 けい酸	けい酸 可溶率	く溶性 苦土	苦土 く溶率	く溶性 加里	加里 く溶率	Cr	Ni	As	Cd	Hg	Pb
A	6.16	49.5	0.95	2.1	0.81	50.0	0.36	15.5	102	79	43	4	0.12	246
B	9.15	66.4	5.78	14.8	0.78	53.9	0.24	42.3	133	216	21	7	3.19	81
C	8.20	61.6	0.87	2.1	0.65	65.7	0.15	25.0	224	279	22	8	Tr	72
D	13.11	54.3	1.99	7.2	1.85	70.3	0.72	48.3	276	442	26	4	Tr	92
E	12.84	49.9	2.10	7.2	2.14	74.1	0.66	55.5	337	479	61	4	Tr	128
F	13.91	61.6	1.35	4.3	2.39	79.9	0.30	32.6	89	125	26	5	0.16	129
G	15.91	60.8	1.10	3.7	2.89	71.0	0.44	50.0	89	245	30	3	0.03	113
H	15.44	49.8	0.89	4.4	2.50	39.9	0.96	45.7	52	51	22	1	ND	50
I	14.90	45.7	0.70	2.7	1.55	54.6	1.27	33.8	76	102	14	8	1.98	22
J	15.09	42.5	0.40	1.8	1.94	56.9	1.37	71.3	77	67	9	8	<0.05	22
焼成汚泥肥料に対する有害成分規格値									500	300	50	5	2	100

であり、平均は約 54% であった。焼却灰に含まれるリン酸は、アルミニウムや鉄と結合して、それぞれ AlPO_4 および FePO_4 として存在するとされており、これら三価の金属イオンで固定化されたリン酸は弱酸性水溶液では容易に溶け出ないとされている¹⁰⁾。本研究の結果によれば、約半分のリン酸が 2% クエン酸溶液で溶け出るという結果であった。焼却灰を直接肥料化利用した場合、焼却灰中の全りん酸のうちの約半分以上が作物に有効に吸収されることが期待できる。有害成分の公定規格に照らし合わせると、表 2 中でそのまま肥料利用ができる焼却灰は H 灰のみであった。図 2 は焼却灰の Cr 濃度と Ni 濃度との関係を示すが両者は正相関した。この結果は矢崎¹¹⁾の報告と同様であった。また、同図には合流式の焼却灰の Cr および Ni 濃度が高いことも示されている。図示しないが、他の有害成分 (As、Cd、Pb) についても、合流式由来灰で高濃度の傾向があった。上述のように、く溶性りん酸は焼却灰ごとで異なっており、また、ほとんどの焼却灰が有害成分の規格を満足しないため、焼却灰の直接肥料化利用は現実には困難であるといえる。

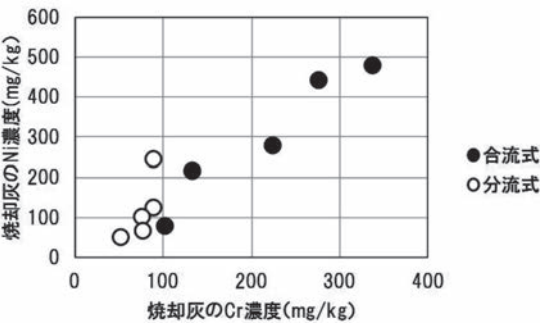


図2 下水污泥焼却灰のCr濃度とNi濃度との関係

3. 焼成肥料化技術

秋山¹²⁾は、焼却灰に炭酸カルシウムを添加して高温で焼成（以下 Ca 添加・焼成法と記す）すると、ゲーレンナイトおよびシリコカーノタイトが生成して、リン酸分の溶解率が顕著に向上することを示し、焼却灰がリン酸肥料原料として有用であることを報告した。今井ら¹³⁾は、リン酸濃度が大きく異なる 3 種類の焼却灰を用いて、秋山の報告をトレースした。その結果、元の焼却灰のリン酸濃度に関らず、CaO 濃度が 45 ～ 50% となるように成分調整することで、リン酸およびケイ酸の溶出が向上することを示した。

そこで表 2 の焼却灰に、焼成後の CaO 濃度が 45% となるように炭酸カルシウムを添加して、電気炉中、1,250 ないしは 1,300℃で 10 分間保持することで焼成肥料化した。得られた焼成肥料の特性を表 3 に示す。CaO による希釈のため、焼成肥料の全りん酸は元の焼却灰の全りん酸よりも低くなるが、りん酸く溶率は 50% 程度であったものがおおむね 80% 以上にまで向上した。このことは、植物体が有効に吸収することができるリン酸の割合が向上することを意味する。CaO の希釈効果はケイ酸についても同様であり、焼成肥料の全けい酸は元の焼却灰の約 65% になる。元の焼却灰のけい酸可溶率は 15% 未満であったが、焼成肥料のけい酸可溶率は 75% 以上にまで向上した。

図 3 は B 灰、G 灰および J 灰から作製した焼成肥料（それぞれ BF、GF および JF と記す）の粉末 X 線回折線図である。BF および JF にはゲーレンナイトおよびシリコカーノタイトの 2 相のみが同定された。GF にはゲーレンナイト、シリコカーノタイトおよびケイ酸 2 カルシウムが同定された。元の焼却灰の P_2O_5 濃度の増加に伴って、すなわち、BF、GF、JF の順にゲーレンナイト生成量は減少し、シリコカーノタイト

表3 焼成法により得られた肥料の特性

焼却灰 の記号	肥料成分 %								有害成分 mg/kg					
	く溶性 りん酸	りん酸 く溶率	可溶性 けい酸	けい酸 可溶率	く溶性 苦土	苦土 く溶率	く溶性 加里	加里 く溶率	Cr	Ni	As	Cd	Hg	Pb
AF	7.31	97.5	25.80	94.2	0.95	60.5	0.99	75.6	127	74	27	ND	ND	134
BF	8.17	99.6	22.78	96.4	1.04	56.2	0.60	88.2	148	151	13	2.0	<0.05	73
CF	9.97	97.8	22.43	89.2	1.09	77.9	0.62	66.0	194	168	15	<1.0	ND	49
DF	8.45	82.8	27.23	87.1	1.14	69.7	0.99	91.7	379	287	19	3.0	ND	81
EF	13.00	82.5	18.60	88.8	1.16	81.7	1.21	85.8	201	161	19	3.0	ND	63
FF	12.35	90.7	20.42	80.2	1.57	87.2	1.01	93.5	90	70	22	3.0	ND	65
GF	13.41	79.6	18.17	75.2	1.86	77.2	1.21	87.7	95	131	23	3.0	ND	71
HF	17.87	90.8	13.22	88.7	1.78	48.1	1.33	86.3	37	44	10	ND	ND	38
IF	19.54	89.0	13.75	85.7	1.01	51.0	1.32	80.0	100	46	<2	<1.0	<0.05	38
JF	17.10	97.2	13.60	91.9	1.42	81.1	1.80	90.9	47	19	14	1.7	<0.05	30
焼成污泥肥料に対する有害成分規格値									500	300	50	5	2	100
く溶性りん酸 5 % の熔成污泥灰けい酸りん肥の有害成分規格値									5000	500	200	7.5	5	300

生成量が増加した。シリコカーノタイトは、りん酸く溶率が低い AlPO_4 が石英、長石類および粘土鉱物類の SiO_2 と、炭酸カルシウムの CaO との反応により生成する。いっぽうゲーレナイトは石英、長石類、粘土鉱物類の SiO_2 および Al_2O_3 、 AlPO_4 の Al_2O_3 と炭酸カルシウムの CaO との反応により生成する。リン酸の全量がクエン酸易溶のシリコカーノタイトに存在するため、図4に示すようにシリコカーノタイトの生成量とく溶性りん酸とが相関した。また、ゲーレナイト生成量と可溶性けい酸との間にも正の相関が認められた(図5)。

炭酸カルシウムのみによる成分調整であるため、元の焼却灰の P_2O_5 濃度が低ければ焼成肥料のく溶性りん酸も低くなり、可溶性けい酸は高くなる。図6に示すとおり、く溶性りん酸と可溶性けい酸とのトレードオフの関係は明瞭であった。

表3には有害成分の分析結果とともに、焼却灰を直接肥料利用する場合(焼成汚泥肥料)の含有を許される有害成分の最大量およびく溶性りん酸5%の熔成汚泥灰けい酸りん肥の場合の含有を許される有害成分の最大量を併記した。

熔成汚泥灰けい酸りん肥は本研究の焼成肥料化法に最も類似する技術であるが、2012年に肥料取締法の

公定規格改正がなされて、日本国内において肥料として製造・販売することが認可された。熔成汚泥灰けい酸りん肥の場合、有害成分の規格値は焼却灰をそのまま肥料として利用する場合の規格値とは異なる。例えば、Pbの場合の上限値はく溶性りん酸1%につき0.006%と定められており、肥料のく溶性りん酸が5%であれば300mg/kgとなり、く溶性りん酸が10%であれば600mg/kgとなる。これは、肥料の主成分であるく溶性りん酸が高ければ施用量が少なくなるため、農用地への有害成分の持ち込み量も少なくなるという考え方に基づいている。本研究の結果では、焼成肥料AFのPbのみが焼成汚泥肥料の含有を許される有害成分の最大量を超過したが、将来、仮に本研究の汚泥灰焼成肥料が肥料取締法の中で正式に認可され、熔成汚泥灰けい酸りん肥と同等のレベルで有害成分の規格が設定されれば、その上限値を十分に下回るといえる。

4. 試験製造と栽培試験例

上述のように、Ca添加・焼成法によれば、リン酸およびケイ酸の溶出特性に優れた肥料化が達せられることを室内実験により確認した。そこで、パイロットスケールの連続製造試験および得られた肥料を用いた水稻栽培試験を実施した。

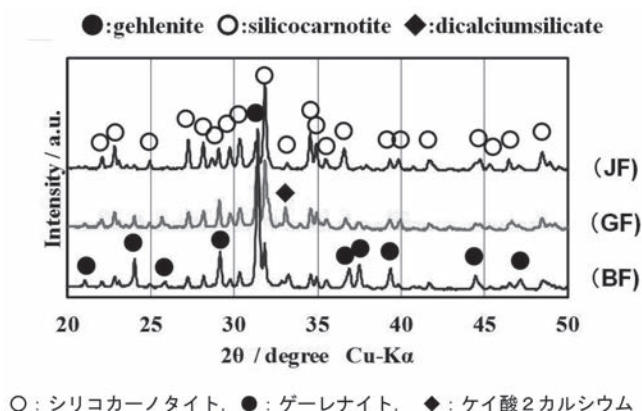


図3 焼成肥料の鉱物組成

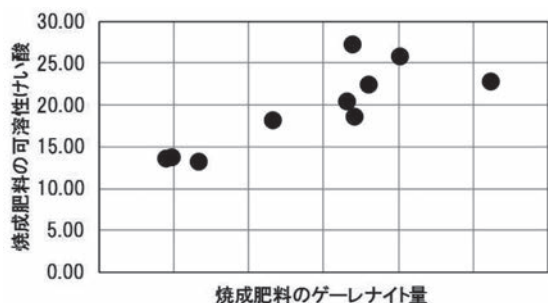


図5 焼成肥料のゲーレナイト量(211面)と可溶性けい酸との関係

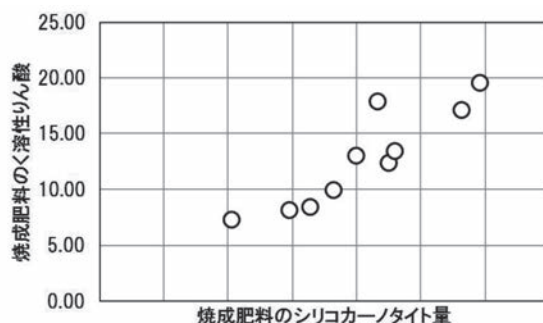


図4 焼成肥料のシリコカーノタイト量(330面)とく溶性りん酸との関係

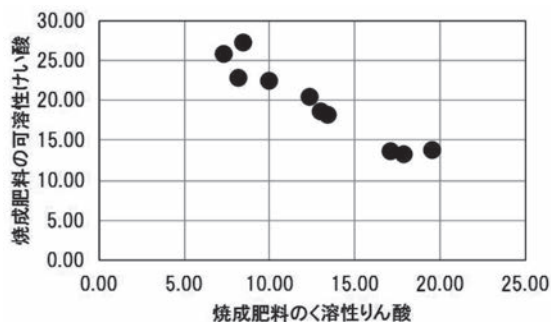


図6 焼成肥料のく溶性りん酸と可溶性けい酸との関係

連続製造試験は表 1 の P_2O_5 濃度が 20.6% の C 灰を用い、焼成後の CaO 濃度が 45% となるように炭酸カルシウムを添加、混合、造粒して、小型ロータリーキルン（直径 0.37m × 長さ 3.2m）により最高温度 1,230℃ で焼成肥料化した。

沖積土 3.0kg およびパイロット試験で作製した肥料を混合して、1/5000a ワグネルポットに詰め、常時湛水とした水稻（コシヒカリ）栽培試験をおこなった。図 7 は収穫直前の水稻の生育状況であるが、左から焼成肥料基準量区、同 2 倍量区、熔成けい酸りん肥基準量区、同 2 倍量区および無りん酸区の順である。同図に示すとおり、Ca 添加・焼成法により作製した焼成肥料の試験区に何ら生育阻害は認められず、けい酸りん肥として有効であることが確認された。

5. おわりに

このように、焼成法によれば従来そのままでは肥料として使いづらかった焼却灰を、特性の優れたけい酸りん肥に作り変えることができる。焼成法には、①製造工程が単純である、②肥効の高い肥料が得られる、③焼却灰の組成変動に対応できる、および④残渣が発生しない、などの特長がある。しかしながら、焼却灰および製品の収集・運搬、生産規模および拠点、経済性の評価など、未だ解決すべき多くの課題がある。末端販売価格 1,400 円／20kg での提供を目指し、技術開発を継続しているところである。今のところ下水汚泥焼却灰を原料の一部に用いて焼成法で得られる肥料は、法律的にその肥料化利用が認められてはいないが、肥料取締法の公定規格の改正がなされれば、下水汚泥（焼却灰）の有効利用に大きく寄与することができる。

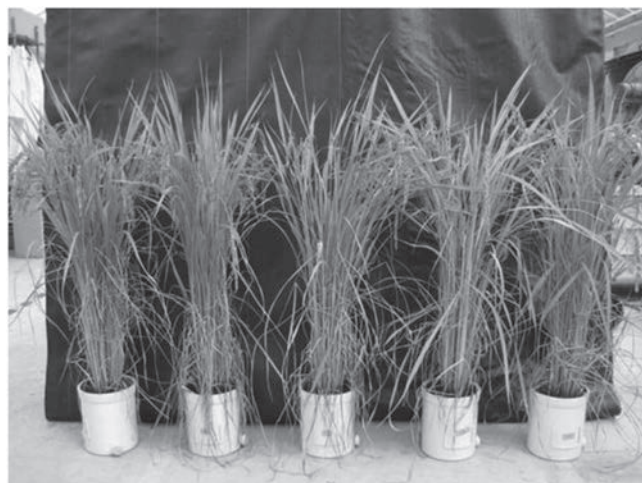


図7 収穫直前の水稻の生育状況

参考文献

- 1) 松八重一代, 久保裕也, 大竹久夫, 長坂徹也. 廃棄物からの人工リン資源回収. 社会技術研究論文集. 5, p.106-113, 2008.
- 2) http://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/crd_sewerage_tk_000124.html
- 3) 伊達知見. 返流水からの HAP 造粒法によるリン除去・回収の技術開発. 下水道協会誌. 47(573), p.33-37, 2010.
- 4) 島村和彰, 黒澤建樹, 渡邊昌次郎. 下水処理分野における晶析技術を利用したりん回収. エバラ時報. 227, p.3-8, 2010.
- 5) 黒澤建樹, 島村和彰, 築井良治. 下水からのリン回収技術. 再生と利用. 36 (135), p.110-117, 2012.
- 6) 中川 博. 岐阜市における下水汚泥焼却灰からのリン回収事業. 水環境学会誌. 34 (1), p.16-20, 2011.
- 7) 岩井良博, 定塚徹治, 小林剛, 亀屋隆志, 三宅祐一, 小松貴司, 高木禎史, 三品文雄. 下水汚泥焼却灰を原料とした熔成リン酸質肥料製造における各種成分比と溶融条件の影響. 廃棄物資源循環学会論文誌. 20 (3), p.203-216, 2009.
- 8) 明戸 剛. 排水からのリン回収・肥料化に関する取り組み. 再生と利用. 38 (143), p.115-118, 2014.
- 9) 肥料分析法 1992 年版. 農林水産省農業環境技術研究所編, pp.200, 日本肥料検定協会編, 1992.
- 10) 遠山岳史. 下水汚泥焼却灰からのリン酸回収技術の開発. 再生と利用, 39 (150), p.65-69, 2016.
- 11) 矢崎仁也. 下水汚泥の重金属. 下水汚泥. pp.67-82. 日本土壤肥料学会編. 1979.
- 12) 秋山 亮. 下水汚泥の肥料への利用. 季刊肥料. 109, p.110-114, 2008.
- 13) 今井敏夫, 三浦啓一. 焼成法による下水汚泥焼却灰のりん酸肥料化技術. 太平洋セメント研究報告. p.248-250, 2016.

特集：肥料利用、リン回収、再生水利用

解 説

下水処理水の農業利用など
「BISTRO 下水道 in 佐賀」の取り組み

佐賀市上下水道局

下水プロジェクト推進部

下水エネルギー推進係長 山口 賢一

キーワード：下水道資源（処理水）の農業利用、BISTRO 下水道 in 佐賀、バイオマス産業都市さが

1. はじめに

佐賀市下水浄化センター（以下、「下水浄化センター」という。）では、迷惑施設と思われがちな下水処理施設を、地域の方々に喜ばれる歓迎施設「宝を生む施設」に転換するため、処理水の農業・海苔養殖への利用、下水汚泥の堆肥化、消化ガス発電など、下水道資源の有効利用を積極的に進めています。

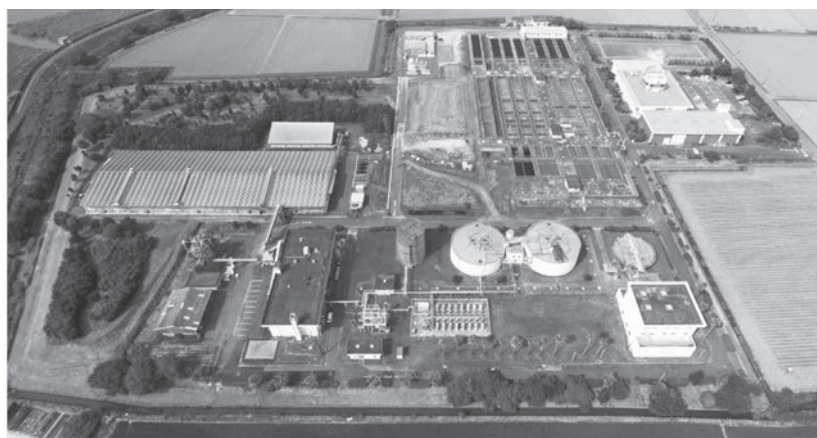
多様な主体が取り組む地球温暖化防止活動のノウハウや情報の共有等を目的として平成 29 年 2 月に開催された「低炭素杯 2017」においては、これら下水浄化センターの取り組みについて“昔に帰る未来型～佐

賀市下水浄化センターを「宝を生む施設」に～”と題して発表し、全国 951 の応募の中から最高賞の環境大臣賞グランプリに選定いただきました。

本稿では、処理水の農業利用を中心に、下水道が有する水・資源・エネルギーのポテンシャルを「食」に活用する取り組みについて紹介します。

2. 下水浄化センターの概要

下水浄化センター（写真－1）は昭和 53 年に供用を開始しました。平成 28 年度の日平均流入汚水量は 53,230m³/日、処理方式は標準活性汚泥法（4 系列）・担体投入標準活性汚泥法（3 系列）であり、処理水は



写真－1 下水浄化センターの全景

有明海に注ぐ本庄江川に放流しています。生態系豊かな有明海の近郊に位置し、周辺には農地が広がるなど、自然環境に恵まれています。佐賀市では自然環境との共存を目指し、平成19年10月からは有明海における海苔養殖に配慮した季別運転を、平成21年10月からは下水汚泥の堆肥化を、平成23年2月からは消化ガス発電を実施しています。また、処理水は「宝の水」と称され、農業分野でも液肥代わりや害虫防除等に広く利用いただいています。さらに、平成27年度には国土交通省のB-DASHプロジェクトの採択を受け、共同研究体の一員として、同省国土技術政策総合研究所の委託研究「バイオガス中のCO₂分離・回収と微細藻類培養への利用技術実証研究」に取り組みました。

3. 処理水の農業利用

下水浄化センターの処理水の農業利用の起源は、農業集落排水処理施設の処理水の農業利用です。農業集落排水処理施設の処理水を農地還元することで、微生物による生物分解が土壌改善につながると考え、無償で処理水を頒布していました。その効用は口コミで広がり、しだいに農家の方々など利用者が増えていき、農業集落排水施設では敷地が狭く不便であったため、下水浄化センターでの処理水頒布を開始することになりました。

下水浄化センターでは、図-1で示す通り、既設の圧送管から分岐・送水（写真-2）して、処理場入

分岐箇所

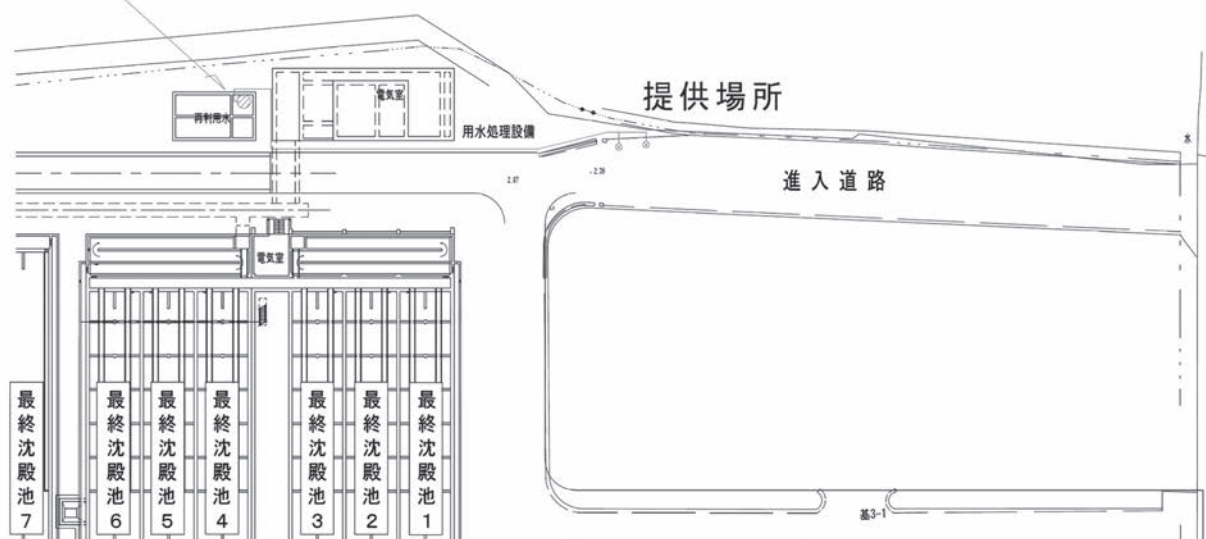


図-1 処理水の提供場所

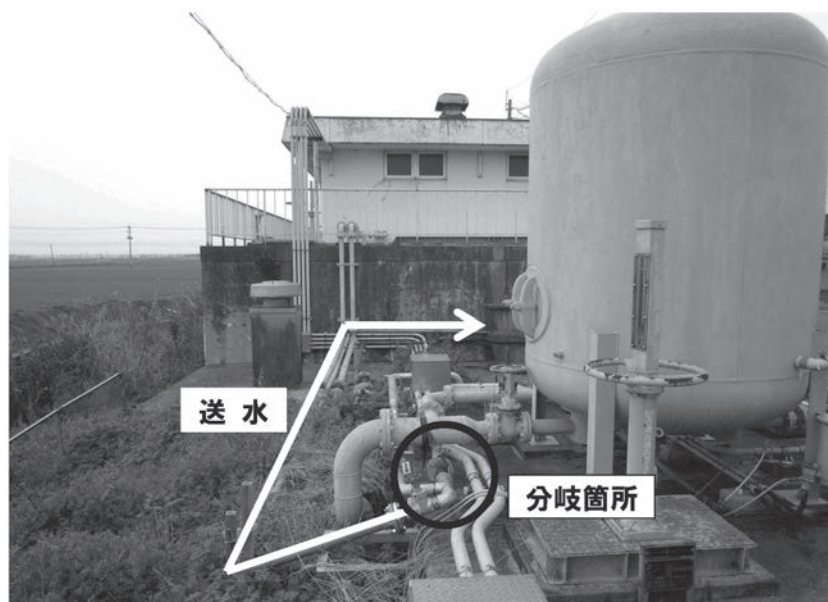


写真-2 分岐・送水

口付近まで配管し、場外に水取り場（写真－3）を設けて、農家の方々など利用者が無償で取水できるようにしています。蛇口をひねると処理水が取水できるようになっており、利用者が自らタンク等を用いて取水し、トラック等で運搬しています。

写真－4 は処理水を散布している様子です。農薬を処理水で薄めて散布することで、消毒に加えて処理水に含まれる窒素やリンの効果で施肥としての役割も持つとの声をいただいています。近隣のみならず数キロ離れた場所からも取水しに来ていただいております。みかん、いちご、玉葱等の活性肥料として、また、水稻や麦、大豆等の消毒用水として利用いただいています。さらに、処理水には脱臭効果もあるということで、牛舎の脱臭用としても幅広く利用いただいています。

4. BISTRO 下水道 in 佐賀

下水道資源の農業利用について、下水浄化センターでは処理水頒布のみならず、下水汚泥の堆肥化事業も進めています。下水汚泥の堆肥化事業は平成 21 年 10 月に開始し、栄養豊富で良質な下水道由来の肥料の製造に努めています。製造した肥料は下水浄化センターの敷地内で販売（20 円／10kg）されているのですが、口コミ等で評判が広まっていき、毎年完売、さらには小口利用者数が平成 23 年度の 1,680 人から平成 27 年度には約 1.85 倍の 3,120 人に増加しています。

処理水や下水道由来肥料の有効性については、NPO 法人循環型環境・農業の会等と協力して定期的に開催している農業勉強会（写真－5）においても広くお伝えしています。毎回、地元や県外から約 60 ～ 80 人の方々に参加いただいています。



写真－3 水取り場



写真－4 処理水の農業利用



写真－5 農業勉強会



図-2 佐賀市バイオマス産業都市構想

下水道資源を用いて生産された農産物等は評判も良く、市場で高い値段がつくなど、流通の面でも効果が上がつつあります。平成 27 年からは 3 年連続、イオン九州「佐賀うまいものフェア」において、「BISTRO 下水道 in 佐賀」と銘打ち、下水道由来肥料で栽培された作物や、処理水の放流先下流で養殖された海苔を出展するなど、下水道資源の有効性の PR に努めています。

5. 佐賀市バイオマス産業都市構想

前述のような下水浄化センターでの取り組みのほか、ごみ処理施設の清掃工場等でこれまで実施していた数々の取り組みを有機的に結びつけ、一つの構想としてまとめたのが「佐賀市バイオマス産業都市構想」(図-2)であり、平成 26 年 11 月にはバイオマス産業都市に選定されました。

佐賀市のバイオマス産業都市構想は、人の暮らしから始まり、暮らしからのごみや排水など、これまで廃棄されていたものを有効利用して資源エネルギーを創出し、それを産業振興や雇用創出につなげることであり、その実現に向けた一翼を下水浄化センターは担っています。

6. おわりに

平成 29 年 4 月には、BISTRO 下水道のブランドネームとして「じゅんかん育ち」という愛称が、国土交通省と GKP (下水道広報プラットフォーム) より発表されました。農業・海苔養殖への下水道資源の有効利用を推進する一員として、佐賀市としても、この下水道発食材の愛称「じゅんかん育ち」を浸透させ、下水道資源の有効利用に関する安全・安心や取り組みへの理解促進を図っていきたいと考えています。

処理水や下水道由来肥料を農家の方々が下水浄化センターまで足を運んで取りに来てくださるなど、地域の方々との良好なつながりが根付いてきたことは大変喜ばしいことです。今後とも下水道のポテンシャルを生かし、環境にやさしい低炭素・循環型社会の構築に向けた取り組みの推進に努めてまいります。

特集：肥料利用、リン回収、再生水利用

解 説

熊本市における下水処理水の
農業用水利用について

熊本市上下水道局

計画整備部

計画調整課長 上田 信一

キーワード：下水処理水、農業用水、水稲

1. はじめに

熊本市は、九州のほぼ中央に位置し、東に世界最大のカルデラ火山・阿蘇山を、西には豊饒の海・有明海を望み、阿蘇を源とする清冽で豊富な地下水に恵まれた「森と水の都」で、慶長年間、加藤清正公が築いた日本三大名城のひとつ肥後54万石熊本城を有する城下町であります。また、水前寺公園などの優れた歴史遺産や、幾多の先人によって築かれた豊かな伝統文化を受け継ぎながら、今日では人口約73万人を擁する九州中央に位置する拠点都市として着実な発展を遂げ、近隣市町村と共に100万人規模の広域都市圏を形成するに至っています。

本市は、政令指定都市移行を契機として、熊本県のみならず九州全体の発展に「貢献できる都市」、また、全国から、そして東アジアから「選ばれる都市」、更には、行政区の設置を生かして、これまで以上のきめ細かい市民サービスの充実を図ることなどによる「日本一暮らしやすい都市」の実現を目指していきたいと考えております。

このような変革を向えている本市の下水道事業では様々な環境保全の取り組みを行っています。ここでは、熊本市における下水処理水の農業用水利用についてご紹介いたします。

2. 中部浄化センターから下水処理水提供に至った経緯と実証実験の概要

本市の農業用水としての処理水再利用の取り組みは古く、全国でも実用例がなかった47年前の昭和45年、慢性的な水不足に悩む蓮台寺下水処理場（現在の中部浄化センター）周辺の石塘堰樋土地改良区からの要望から始まりました。

この土地改良区は、西部地区一帯の白川と坪井川に挟まれた約410haの区域であり、その農業用水は、市北部の八景水谷の湧水を主水源とする坪井川から取水されておりましたが、地下水の汲み上げによる湧水量の減少や市中心部の下水道の普及に伴う河川流出量の減少、更には干ばつでの水不足、河川改修の河床掘り下げにより取水性が悪化したため、慢性的な水不足になりました。

昭和30年代の干ばつ時には、度々、蓮台寺し尿処理場（現在の中部浄化センター）の処理水に着目され、緊急的に使用されましたが、窒素過多による徒長倒伏（※稲が長く伸び倒れてしまう）で減収となり、実用には至りませんでした。

しかしながら、農業用水としての処理水再利用への要望は根強く、昭和45年頃、当時の土地改良区役員会で干ばつ対策として、蓮台寺下水処理場（現在の中

部浄化センター)の処理水の利用が討議なされ、市に対し実用化に向けた処理水の利用と栽培試験の強い申し入れがなされました。

このことを受け、本市農林部（現在の農水局）において、当該石塘堰の立地条件などを総合的に検討した結果、干ばつ対策には最も有効な手段であると判断しましたが、この当時は全国的に下水処理水を本格的な農業用水とした実例がなく、未知の分野であったことから、まず、放流水の水質、性質、有害物質及び全国20万以上都市の処理場の水質、再利用の有無などの調査から始め、昭和50年の予備試験、昭和51年から6ヵ年の本試験に取り組むこととしました。

本試験は、処理場の一角に設けた試験圃場を9区画に分割し、処理水の希釈割合とそれに伴う適正施肥量の把握、処理水の影響、重金属などの調査研究を行う

こととし、試験の実施にあたっては、東京農大の石丸教授、九州農政局、熊本県農政部、熊本市農協、石塘堰樋土地改良区関係者による検討会を年8回実施し、綿密な再利用についての検討を行いました。

これと並行して、当時の建設省下水道試験場、日本下水道事業団及び農政局を通じ、全国各地の農業試験場からの情報収集に努め、よりの確な試験と対策の検討を行った結果、問題点と対策及び重金属等の安全性についての確認がされております。

この結果については、水質、水稻栽培試験方法、気象、試験結果、考察などについて、当時の本市農林部が「公共下水道処理水・農業用水実用化試験調査報告書」として纏められ、その中で次のように述べられています。

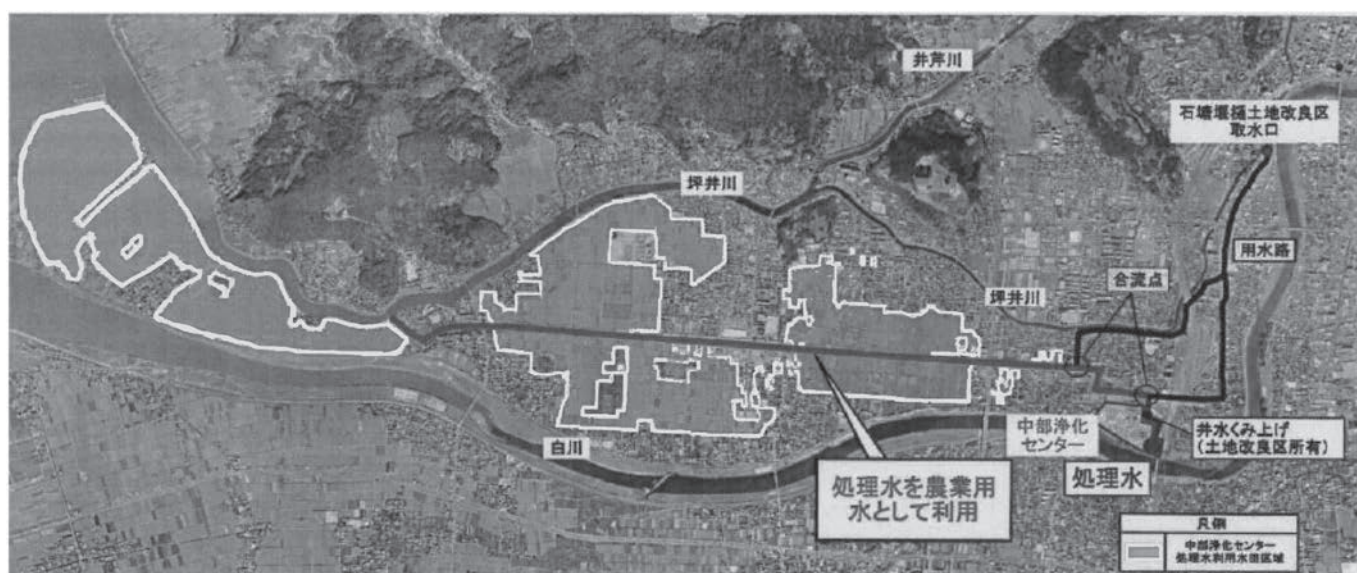


図-1 処理水供給水田位置図

表一1 農業用水再利用實施概要

実 施 場 所		石塘堰樋土地改良区（水田225ha、農家戸数529戸）
実 施 年 度		昭和60年度～現在
処 理 水	処 理 場 名	中部浄化センター
	現 有 処 理 能 力	64,800m ³ /日※ 全体計画日最大汚水量 63,300m ³ /日
	利 用 水 量	約27,000m ³ /日（過去5ヵ年平均：H20～H24）
	消 毒 法	次亜塩素滅菌
	送 水 距 離	0.1Km
	送 水 方 法	隣接する農業用水路へ自然流下
	放 流 水 質 （平成24年度：B系）	BOD：平均1.8（1.6～5.5）mg/ℓ SS：平均1.8（1.6～5.6）mg/ℓ
実 施 に 伴 う 試 験		試験田で試験：S51～56年度、現地試験：S57～59年度

- ①処理水、河川水とも窒素以外の各肥料成分については水稻生育に影響を与えないこと。
- ②処理水中の窒素形態は、その殆どが硝酸体窒素となっていることから、水稻生育に与える影響は小さいこと。
- ③前作の施肥の影響が強く現れること。
- ④慣行施肥の場合、河川水 100% 区の生育より、籾（もみ）数の増加や徒長傾向が現れるため、河川水と処理水の割合を 1:1 とし、慣行施肥量も半分程度で行えば安定した水稻栽培が可能であること。
- ⑤重金属等については、栽培期間を通じて処理水、河川水とも検出されていないことから、土壌や作物への蓄積はないものと考えられること。と報告されております。

この結果を受け、昭和 57 年から 3 ヶ年計画で現地経営田約 225ha（農家戸数 529 戸）へ供給し、関係農家の理解を深めるとともに施肥などの高度な栽培技術を確認するため、現地実証実験を実施し、昭和 60 年から本格的供給が開始されました。

3. さらなる下水処理水の水質向上に向けた取り組み

中部浄化センターでは、農業用水へ供給を始めたことをきっかけに、放流水質をいかに良好に保つかの検討・研究を行いました。

具体的には、中部浄化センターの処理系列が 2 系列あることから、A 系列の水処理に B 系列の汚泥脱離液などを負荷させ、B 系列の水処理の負荷を軽減して、水質を安定させ B 系列の処理水を農業用水として供給することとしました。

平成 27 年度実績としては、年間約 594 万^ト（日平均：約 1 万 6 千^ト）の処理水を幹線水路へ流しており、土地改良区の農家の皆さんから坪井川の水よりもきれいであると喜ばれております。

4. 終わりに

中部浄化センター処理水を農業用水として利用可能となった背景には、中部処理区が主に住宅地と商業地区であったことにより、水質の安定と重金属などが混入する可能性が少なかったことなどが要因と考えています。また、毎年のように水不足に悩まされていた土地改良区や関係農家の積極的な姿勢と全面的な協力が、処理水再利用の実現に大きな力を発揮したものと考えております。

処理水を本市における下水処理水の農業用水としての実用化は、処理水の再利用・処理場周辺の住民対策あるいは灌漑用水不足などに悩む全国の各市町村からの視察が多く、処理水再利用としての水循環の一助になったものと考えております。

今後も更なる社会全体の水循環における多方面にわたる構築へ向け、知恵を絞りながら努力していきたいと考えております。

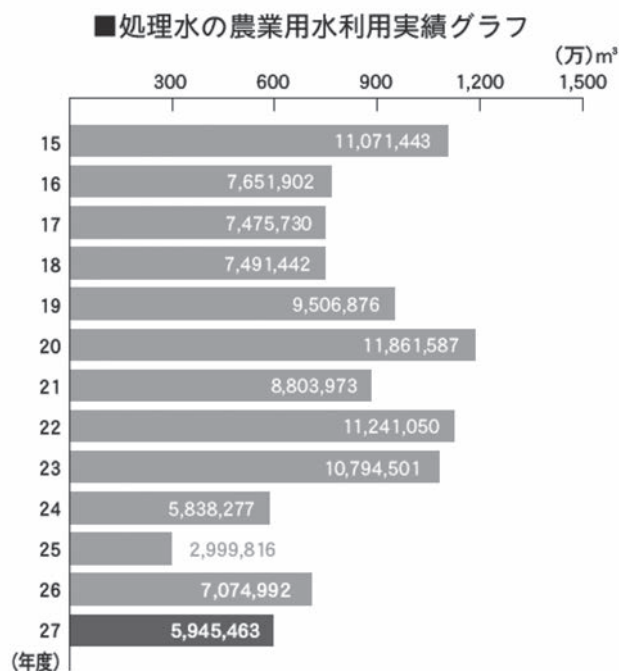


図-2 処理水の農業用水利用実績グラフ



写真-1 幹線水路を流れる処理水

特集：肥料利用、リン回収、再生水利用

解 説

密閉縦型発酵装置による
堆肥化について

中部エコテック株式会社

代表取締役 竹内 和敏

開発管理部 荒川 友子

キーワード：下水汚泥の肥料化・有効利用

1. はじめに

公害の無い環境を整えて我々が生活するには、循環社会を構築して行く事が重要であると考えます。人間が生活を営む上で廃棄される、生ゴミや下水・し尿汚泥などの残渣、あるいは畜産農家の排泄物などの有機廃棄物を、野積みしたり、素掘りで処分したりする行為は、土壌、水質、大気汚染を惹き起こし、地球環境を著しく壊し温暖化へと拍車をかける一つの要因になりかねない。

環境問題がとりわけ注目される昨今、有機廃棄物の処理方法においても、地球や生物に対してに負荷が軽減されるかが求められ、処理技術の課題となっている。

有機廃棄物処理の堆肥化処理は、循環社会に貢献できる一つの方法として挙げられ、処理装置により発酵処理された良質な堆肥は、土壌に入り作物に利用されることで、資源循環の一翼を担っている。

堆肥化処理技術の一つである「密閉縦型発酵処理装置」は微生物の発酵熱で乾燥・堆肥化をする装置として、畜産廃棄物や食品残渣、汚泥処理（畜産・下水）でその役目を果たしている。

下水汚泥は、乾物ベースでの有機物の割合が約80%であり、他の堆肥化原料（家畜糞約80%）と比

較して、同等の成分があるので、一部の耕種農家ではその利用価値が認識されている。

しかしながら、脱水汚泥の含水率は、脱水方式、汚泥発生源（生汚泥、余剰汚泥、混合汚泥）および消化工程の有無の相違等により幅があるが7～8割は水分であるので、微生物の発酵熱を利用した堆肥化発酵処理装置での処理は難しいと考えられており、その検討例は少ない。

本報告では、高含水率の下水脱水汚泥、農集排水汚泥等を密閉縦型発酵処理装置により乾燥減量化した事例及び、下水汚泥を密閉縦型発酵処理装置で堆肥化処理し肥料として利用している耕種農家へのヒアリングの一部を紹介する。

2. 好気性発酵の条件

堆肥化処理（好気性発酵）の基本は水分と通気の調整が最も重要である。水分が多いと通気性が悪くなり、嫌気状態となるので、有機物分解が進まなくなり、低級脂肪酸や硫化水素などの悪臭物質が発生し、良質な堆肥が得られない。表－1に示す様に、良い発酵条件には水分や通気量以外にもpHや温度も複雑に影響しあい、全ての条件のバランスをとり有機物を発酵乾燥処理させると、表－2に示すような良質の堆肥となる。

表－1 良い発酵をさせるための条件

	管理項目	条 件	備 考
①	有機物量	BOD値で数万 mg/L 以上必要 ¹⁾ 、 C/N比で40以下 ²⁾	
②	水分	55～70%程 ³⁾	汚泥はその性状にもよるが通気性確保 の為、副資材添加が必要 ²⁾
③	通気量	50～300L/m ³ ・分の範囲 ¹⁾	通気方式では適正通気量は材料の水分 や通気性によっても異なる
④	pH	中性区域	返送コンポスト等を使用して調整をす る場合もある
⑤	発酵温度	発酵設備内混合物の温度を65℃以 上、48時間以上保持する事 ²⁾	

表－2 良質な堆肥に求められる条件

	良質な堆肥の条件
①	病原菌、寄生虫卵が死滅していること（病原菌の死滅の条件は表－3 参照）
②	雑草種子が不活性化されていること（種子の死滅の条件は表－3 参照）
③	熟成が進行し、植物などへ悪影響がないこと
④	肥料取締法による基準を満足すること
⑤	有機物の腐熟化が進み土壌改良効果が高いこと（下水汚泥肥料の成分の一例 表－4 参照）
⑥	水分が低下していること
⑦	悪臭がしないこと
⑧	異物がいないこと
⑨	利用者にとって、製品堆肥の取扱い、施用が容易であること

表－3 病原菌、及び、雑草種子の死滅温度³⁾

(Golueke 1977)			(高林ら)			
病原菌の死滅温度			雑草種子の死滅温度			
種類	致死条件		種類	埋設条件		対照
	温度(℃)	時間(分)		50℃未満	60℃2日間	
チフス菌	55～60	30	メヒシバ	96	0	74
サルモネラ菌	56～60	15～60	ノエビ	72	0	87
大腸菌	60	20	カサツリグサ	56	0	30
赤痢菌	55	60	シロザ	26	0	16
ブドウ状球菌	50	10	オオイスタデ	8	0	53
連鎖球菌	54	10	スベリヒユ	85	0	91
ジフテリア菌	66	15～20	イヌビユ	68	0	70
ブルセラ菌	61	3	ヘノキグサ	7	0	51
アメーバ赤痢	65		クワクサ	26	0	19
条虫	55～60	5	陸稻	75	0	98
繊毛虫	62～65		大麦	16	0	96
アメリカ鈎虫	45	50	出展：「堆肥化の基本と利用側から見た品質」(2001)原田靖生 (財)畜産環境整備機構 (財)農業技術協会			
回虫	60	15～20				

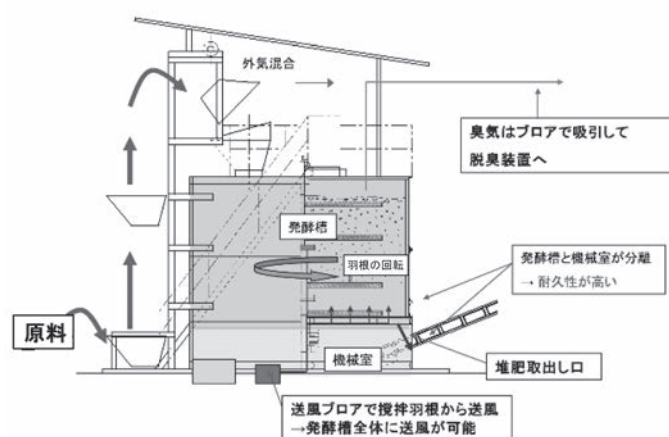
表－4 下水汚泥を原料とした肥料の成分

(密閉縦型発酵装置の取出し製品)			
分析項目	単位	分析値	備考
水素イオン濃度		8.20	現物ベース
含水率	%	31.90	現物ベース
強熱減量	%	62.90	乾物ベース
炭素全量	%	27.30	乾物ベース
有機炭素	%	27.20	乾物ベース
窒素全量	%	4.85	乾物ベース
リン全量	%	2.48	乾物ベース
カリウム全量	%	0.89	乾物ベース
電気伝導率	mS/cm	3.60	現物ベース
炭素窒素比		5.63	乾物ベース
磷酸全量	%	5.69	乾物ベース
加里全量	%	1.07	乾物ベース
大腸菌群数	cfu/g	不検出	
黄色ブドウ球菌	cfu/g	不検出	
サルモレラ菌		陰性	

3. 密閉縦型発酵装置の仕組み

図－1 に、密閉縦型発酵装置の稼働仕組みを示す。

好気性発酵技術の環境を整えたのが密閉縦型発酵装置である。装置は原料投入と取出し（①～④）を繰り返しながら発酵乾燥した堆肥を生産する。



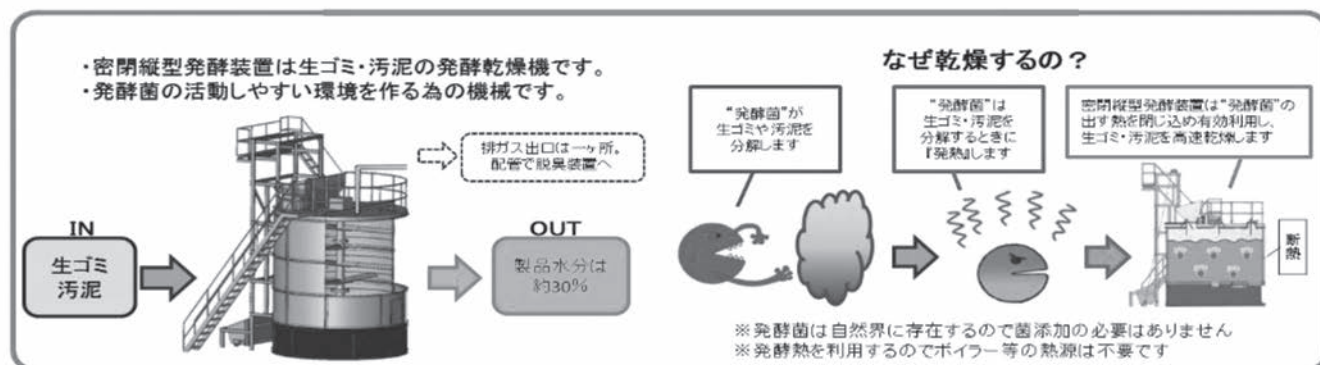
図－1 密閉縦型発酵装置の稼働の仕組み

<稼働の様子>

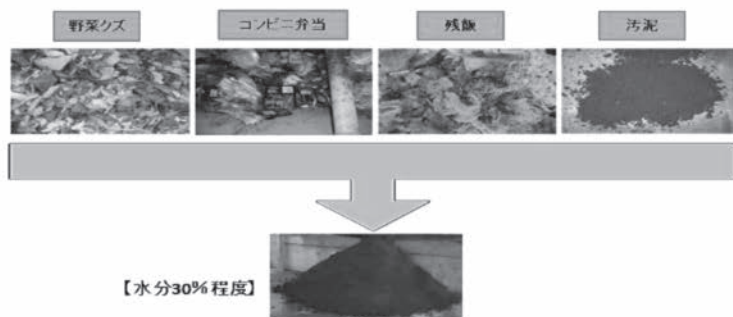
- ①原料を投入バケットに入れ、エレベーターで持ち上げ発酵槽に入れる。
- ②原料が機械内部に搬入される。
※原料の性状、カロリー、水分、pH の違いにより消石灰や廃白土などの pH 調整剤や発酵助剤を必要に応じて添加し発酵促進さる。
- ③通気孔のある攪拌羽で空気を入れながら 24 時間攪拌する。
- ④原料投入後、約 10 時間で温度 60℃ 以上になり、6 時間後に乾燥と共に温度が徐々に下がる。温度が下がった時点で製品を下部から取り出す（40℃ 程度）。
- ⑤④を毎日繰り返し行い連続運転することで、投入された原料は 14 日間の滞留を経て発酵乾燥され、乾燥した発酵堆肥となり装置から搬出される。

4. 密閉縦型発酵装置の乾燥原理

密閉縦型発酵装置による発酵・乾燥の仕組みを図－2 に示す。発酵菌は有機物を取込む際に発熱するが、同時に増殖することで発熱量が大きくなり、その熱で有機物の水分を蒸発させる。また、発酵槽内に熱を閉じ込めることで、長期間にわたり保温状態となり有機物を高速乾燥させる。



こんな原料を処理しています。



密閉縦型発酵装置のメリット

- ①施設の必要面積が少ない。
- ②脱臭対策が容易
臭気の出口が一つ所の為、配管で脱臭装置につなぐ事で外部に臭気が漏れません
- ③発酵熱利用で低ランニングコスト
①電気代 100,000円/月
②月間処理量 62,500kg/月(2,500kg×25日)
100,000円÷62,500kg=1.6円/kg
※生ゴミ1tが発酵した時の発熱量は重油588分と同等

図－2 密閉縦型発酵装置の乾燥の仕組み

5. 密閉縦型発酵装置を使用した下水汚泥の乾燥・減量試験

①目的

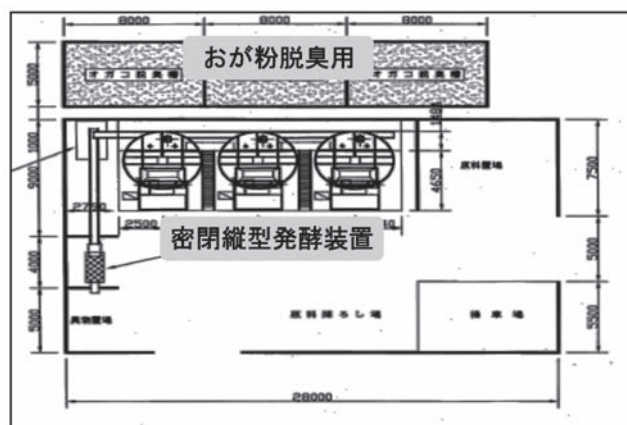
下水脱水汚泥や農集排水汚泥等などの高含水率の有機性廃棄物を密閉縦型発酵装置に投入し、含水率や容量や重量の推移を計測することで、密閉縦型発酵装置での高含水の有機性廃棄物の処理の適応性を検討した。

②試験方法

(1) 試験装置

試験装置配置図を図－3に示す。発酵乾燥機および材料受け入れピット、前調整機器、製品選別機等関連設備は、すべて建屋内に配置した。建屋に隣接して脱臭設備を配置した。

- ・密閉縦型発酵装置：3台
- ・発酵槽容量：56m³／台
(有効容量：49m³／台)
- ・処理能力：3.5～4.0t／日・台



図－3 試験装置配置図

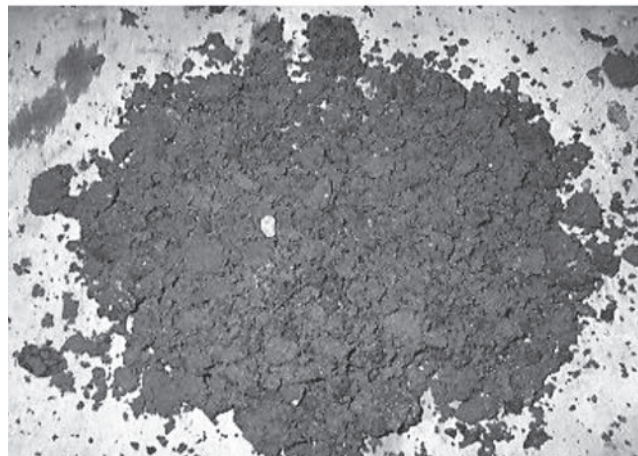
(2) 試験材料

- ・原料：公共下水道脱水汚泥、農業集落排水汚泥、食品残渣の混合物（写真－1参照）
- ・発生元：兵庫県 豊岡市内、鳥取県 境港市内
- ・含水率：80～85%
- ・副資材：木屑、廃白土

(3) 試験材料前調整と装置投入

- ・原料となる下水脱水汚泥等の含水率調整と好気性発酵槽内の通気性確保のため、原料脱水汚泥等と発酵済み材料（含水率約30%）および副資材（木屑、廃白土）を混合する（写真－2参照）。

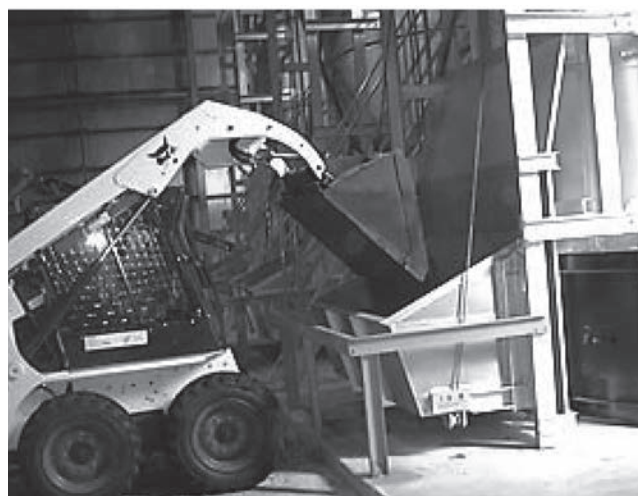
- ・前調整を終えた原料を投入用バケットへ移し、密閉縦型発酵装置の発酵槽上部の投入口から装置内部に投入する（写真－3参照）。



写真－1 原料の汚泥 含水率83%



写真－2 試験材料前調整の様子



写真－3 投入バケットに原料を投入する様子

- (4) 好気性発酵運転条件
- ・ 滞留時間：14 日
 - ・ 通気量：0.3m³/min（原料 1m³ 当り）
 - ・ 槽内温度：65 ～ 70℃

③試験結果

脱水下水汚泥を原料とした密閉縦型発酵装置による好気性発酵乾燥処理試験の結果を表－ 5 に示す。

滞留時間 14 日の発酵試験の結果、原料の含水率約 80 ～ 85％が、30％に低下した。また、水分の蒸発と好気性発酵による有機物の分解・ガス化により、原料の重量が 14 日後には約 35％に減量した。

④考察

一般的に、下水道脱水汚泥や食品残渣等の有機性廃棄物は含水率が高く（約 80％程度）乾燥や減容には相当なエネルギーが必要である。一方、これら有機性廃棄物の材料組成は有機物が約 80％程度と高いので、密閉縦型発酵装置に投入し、通風を伴う攪拌で好気性発酵を行うと好気性微生物による発酵熱により材料の温度は 65 ～ 70℃に上昇する。結果として、水分の蒸発および有機物の分解ガス化により材料の乾燥が進み、材料重量が減少する。

本試験結果では、原料重量が投入直後と比較して約 35％に減量した。この結果は、多大な費用や化石燃料を必要とし、地球温暖化対策や循環型社会形成を背景として、減量化が喫緊の社会的要請となっている有機性廃棄物の収集・運搬、埋立て処分、焼却において、処理工程の一端を担える可能性があると考えられる。好気性微生物による有機物の発酵熱により基質材料の減量化は、電気・ガスなどの外部投入エネルギーが極めて少なく社会の要請に応えられ、より省エネに寄与できるシステムと考えられる。

6. 密閉縦型発酵装置の肥料化の利用実績

表－ 6 に密閉縦型発酵装置を用いた肥料化の利用実績(使用バイオマス、施用作物、利用者の声)を示す。

密閉縦型発酵装置を用いた堆肥化肥料を多様な食材に施用することにより、利用者から様々なメリットのある声が届いている。

7. おわりに

下水やし尿汚泥の堆肥化物の有効利用についての取組は、昔から循環型社会の一環として我々の意識の中に根付いているものの、堆肥化処理の方法が曖昧であったが為に、病原菌が発生したり臭気問題が起こったりして、生活環境に悪影響を及ぼすようになり、いつの間にか一部では負のイメージとして捉えられてしまっている。

更に、化学技術の進歩によって、従来の堆肥に代わり使い勝手の良い化学肥料が台頭することとなり、「物資の循環」ではなく「新しく作られた物質が土壌に還元」されるようになってしまった。そして現代になって、その弊害が土壌や環境破壊の分野で問題となっている。

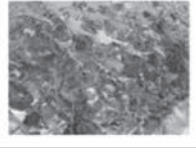
本来有機資源を土壌に還元することは自然界の中の営みとしては正しく、私どもは昔から根付く資源の有効活用の意識が少しでも浸透してもらえよう、堆肥化技術については、発酵の過程や処理工程ごとの物質の変化を曖昧ではなく科学的根拠を持って取り組む必要があると考えている。

また、当然のことながら、本報告にあるよう、堆肥化物の有効活用で生産された農産物の情報や生産者様の声は各々の現場の非常に率直な意見であると認識しており、私どもができる堆肥化物活用の啓蒙行動として今後も継続して発信していきたい。

表－5 密閉縦型発酵装置による好気性発酵乾燥処理試験結果

項目	原料(脱水下水汚泥等)	試験後の堆肥化物
処理量	10～12t/日 (発酵槽1台当たり3.5～4t/日)	約3.5t/日 (発酵槽1台当たり約1.1t/日)
含水率	80～85%	30%以下
処理前後の重量比	100%	約35% 水分蒸発、有機物ガス化による減少
参考) 臭気の変化 (アンモニア濃度)	1,000ppm	軽石脱臭後：10ppm 敷地境界：0.1ppm

表-6 密閉縦型発酵装置を用いた肥料化の利用実績

	原料バイオマス	施用作物 (食材)	利用者の声	
①	下水汚泥	牧草、コーン、 キャベツ	発酵スピードが速く、消臭対策が 容易。	
②	下水汚泥	かんきつ類	ランニングコストが安価。 元肥から追肥までの使用で、化学肥 料と比べ価格は1/5である。	
③	し尿汚泥	白菜、大根	肥料成分の高さが好評であり、在庫 の余りが無い。 畑の土壌がフカフカになり、収量は アップしている。	
④	食品廃棄物	トマト、ナス、 ネギ、キュウリ、 キャベツ他	アミノ酸が多く含まれ、作物に とっても「旨味」が有り、「吸収し 易い」肥料となっている。	
⑤	下水汚泥、 食品廃棄物	イチゴ、トマト、 トウモロコシ他	生育障害が発生せず、生育前期は 追肥なしで育つ。	
⑥	下水汚泥	サツマイモ	施用後の発酵ガスの心配がない。 追肥が窒素だけで済むのも利点で ある。	
⑦	食品廃棄物	落花生、トマト	臭いが少なく、作物の育ちが良い。	

参考文献

- 1) 羽賀清典「良質たい肥の生産と利用の促進についで」pp.3-4 (2007) (平成19年度耕畜連携たい肥利用促進研修会 基調講演資料)
- 2) 原田靖夫「堆肥化の基本と利用側から見た品質」p.83,88 (2001) 一般財団法人畜産環境整備機構、財団法人農業技術協会
- 3) 社団法人日本有機資源協会編 「コンポスト化マニュアル」 pp.74-77 (2003) 社団法人日本有機資源協会

報 告

山形市におけるコンポスト利用者の声

「再生と利用」編集委員会委員
山形市上下水道部浄化センター
副所長（水質担当）兼水質係長
工藤 守

キーワード：下水汚泥の肥料化、販売ルート、利用者

1. はじめに

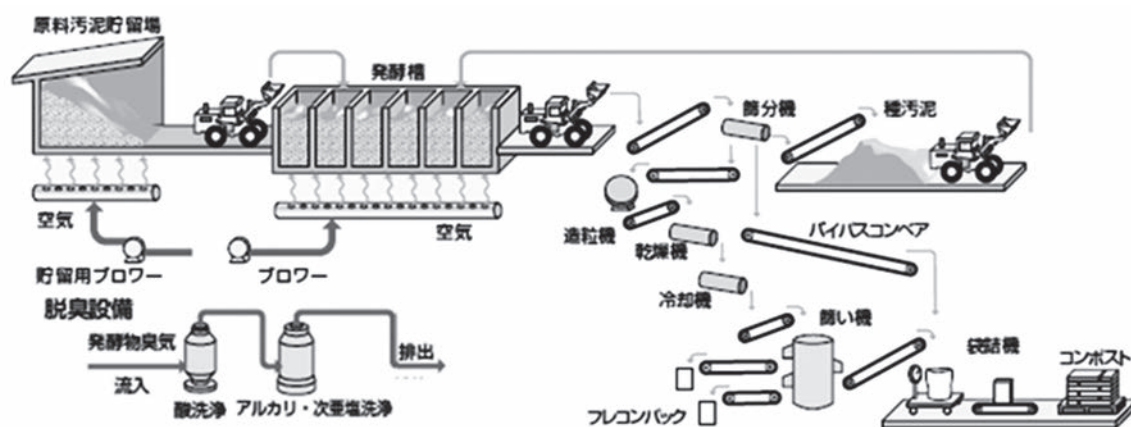
山形市の下水道事業は昭和 36 年に着手し、平成 28 年度末、普及率は 97.6%に達しています。

下水の処理は、昭和 40 年から現在の「山形市浄化センター」で簡易処理を開始し、昭和 46 年から活性汚泥方式で処理を行っています。

当市が下水道に着手した昭和 30 年代は、「合流式」

が主流であったが、当市の市街地には「山形五堰」といわれる「堰」が整備されており、農業用水としても利用されていたため、下水の排除方式は「分流式」を採用することとなりました。このことは、発生する脱水ケーキの質の安定にも繋がり、コンポスト化にとってありがたい選択であったと言えます。

また、処理場建設の昭和 40 年当初から、汚泥の嫌気性消化を取り入れており、昭和 63 年から「消化ガス発電」を行っています。



発酵設備/脱水ケーキを発酵させ、コンポスト化する設備です。発酵に必要な空気を床面より供給し、発酵させます。発酵期間は14日程度で、温度が約80℃まで上昇するため病原菌が死滅し、コンポストは非常に衛生的な状態となります。

造粒機/コンポスト製品に水を加えて、粒状にさせる設備です。乾燥機・冷却機/粒状になった製品(含水率約55%)を乾燥機にて乾燥後(含水率約40%)、冷却させます。(冷却乾燥後含水率約30%)

篩い機/コンポスト製品を0～3mm、3～7mm、7mm以上のサイズに分類します。

製品ホッパー・袋詰機/コンポスト製品を、自動で袋詰を行います。(20kg/袋)

脱臭設備/周辺地域の環境保全、処理場内の作業環境向上のため、酸、アルカリによる薬液洗浄方法の脱臭設備を設置しています。

図 1

2. 脱水ケーキのコンポスト化への取組みについて

当市では、発生する「脱水ケーキ」の処分法について、早くから農業への有効利用を検討し、昭和 55 年山形市西部の前明石地区に「前明石ケーキ処理場」を建設し、これにより処理場から発生する脱水ケーキをコンポスト化することが可能となりました。

当市のコンポスト化方式は、副資材として、おがくずや籾殻などを加えず、脱水ケーキのみを使用した無添加方式です。発酵を速やかに行うため、脱水ケーキの含水率が 65% 程度となるよう石灰と塩化第二鉄を加えた「フィルタープレス方式」による脱水を行っています。

発酵施設は、平面ショベル方式で、原料の脱水ケーキに発酵済みのコンポストを「種」として混合し、ショベルロードで週に 1、2 度切り返しを行いながら別の発酵槽へ移しています。

発酵日数は 2～3 週間で、その後、造粒・乾燥・冷却を行い、コンポスト製品となります。(図-1)

汚泥のコンポスト化を継続するためには、コンポストの生産量に見合うだけの安定した消費先の確保が絶対条件となります。当市では、コンポストの製造、販売を民間に一括委託したため、製品の販売については民間の販売ルートで、主に東北一円で販売することができました。

3. 利用者の声

前述のとおりコンポストの販売は委託業者の販売ルートを使っていますので、直接職員が利用者と合うことはありません。今回は山形コンポストを実際に利用していただいている方とお会いし、お話を伺いました。

○中川正司さん

10 数年来、それぞれ 5 反のプラム及び柿に山形コンポストを利用していただいています。使用した感想としては、「一気に効くと樹木を痛めるので、効き目がゆっくりとしているのがいい。」「果実が甘くなった。」「造粒しているので機械に詰まらない。」「土が軟らかくなった。」実際に歩いてみると園地がふかふかしていました。中川さんが使っているのを見て、近所の農家の方で使い始めた方もいるとのこと。

○鈴木亨さん

4 年前から使っていただいています。平成 22 年に新規就農者支援で新しく農業を始めた若い方です。5 棟のビニールハウスで、主にほうれん草を栽培しています。収穫時期を計算し、1 年中収穫が出来るようにして、契約しているスーパーに収めているそうです。また、チンゲン菜、水菜なども栽培しています。山形コンポストを使ってみての感想は、「臭いもなく、葉が肉厚になった。」「病気なども付かない」とのことです。価格も安いと言っていました。



4. おわりに

下水処理場は、人間社会が使用した「水」を自然の水系に返すための重要な施設であるが、同時に施設の建設や転管理には多くの資源やエネルギーを使用している。

「循環型社会の形成」が求められていますが、下水汚泥に豊富に含まれるリン、窒素を有効利用する方策としてコンポスト化は優れた方法と考えています。セメント化など、下水汚泥にはさまざまな有効利用がありますが、各自治体等の実情に合わせてうまく循環サイクルに組み込むことが重用ではないかと考えております。

報告

横浜市における再生水利用の 一事例について

横浜市環境創造局
都筑水再生センター
永嶋 祐輔

キーワード：販売事業、親水用水

1. はじめに

横浜市では、昭和 37 年に最初の終末処理場として、中部下水処理場（現：中部水再生センター）が稼働して以来、現在では 11 か所の水再生センターで下水処理、2 か所の汚泥資源化センターで汚泥の集約処理を実施している。また、11 か所の汚水中継ポンプ場、15 か所の雨水排水ポンプ場、46 か所のマンホール形式ポンプ場等の小規模ポンプ場を有し、横浜市民約 370 万人に対する下水道普及率もほぼ 100% に達している。年間下水処理水量は約 54,000 万 m^3 であり、この内年間約 940 万 m^3 を下水再生水（以下、「再生水」という。）として有効利用している。

2. 再生水の利用状況

再生水利用状況を図 1 に示す。再生水として有効利用されているのは下水処理水量の約 2% で、この内 92% が水再生センター内及びせせらぎ用水として利用されている（いずれも無償）。残り 8% は、販売用水として近隣の商業施設（ららぽーと横浜、日産スタジアム等）や再生水供給装置（写真 1）等で利用されている。なお、販売用水の内、再生水供給装置が占める割合は約 5% だが、経済性や、給水ホースを直結するだけで補給できる手軽さ等から利用者大変好評であり、横浜市としても貴重な有効利用先となっている。

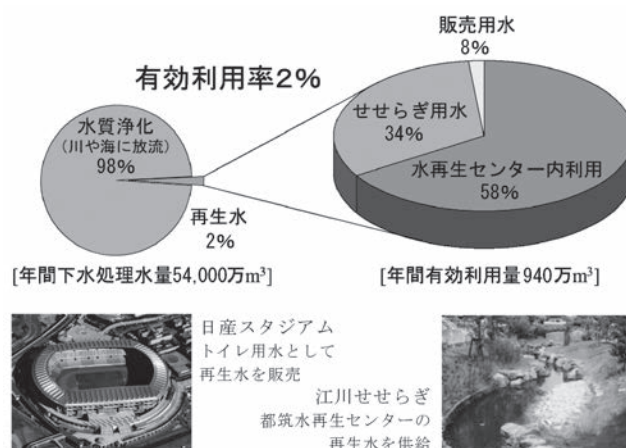


図 1 再生水利用状況



写真 1 再生水供給装置

3. 再生水利用の経緯

横浜市では、水再生センター内での再生水利用（散水栓やトイレ洗浄、ポンプのシール水*¹等）は各施設の稼働と同時に開始している。センター外では、平成2年度より開始したせせらぎの再生事業での利用、平成9年度に施行された旧建設省の「渇水対策施設整備事業」による再生水販売がある。平成6年度には横浜国際総合競技場（現：日産スタジアム）の建設に伴い、旧建設省から「再生水利用下水道事業」及び「熱利用下水道モデル事業」の採択を受け、横浜で初めて大規模施設への供給を開始した。現在では市内2か所の水再生センターから、オゾン処理された再生水を複数の施設へ供給しており、年間約24万m³利用されている。

* 1 ポンプ内部の液体の外部への漏れや、外部のごみや異物、埃などの内部への侵入を防ぐための水。

4. せせらぎ再生事業

都市化や周辺の下水道整備の進展に伴い、雨水は土の中にしみこみにくくなっていった。湧水を水源とした川や農業用水路、雨水排水路として利用されていた小川は水量が減少し、その役割を終えようとしていた。しかし周辺地域の市街化に伴い、都市に水と緑の潤いを与える水辺環境の構築や、親水性の増進が強く望まれようになっていった。そこで再生水は、安定した貴重な水源ととらえられ、横浜市ではこれを活用したせせらぎ再生事業を実施している。具体的には、都筑水再生センターよりオゾン再生水を送水している江川、神奈川水再生センターよりオゾン再生水を送水している入江川及び滝の川などがあり、清らかな水流の復活

や水流の確保を実現している。江川せせらぎにおける四季の様子を写真2に、入江川せせらぎを写真3に示す。

なお、せせらぎには水生生物が生息しているため、せせらぎに送水しているオゾン再生水を維持管理していく上で機器の点検や故障時の対応に苦慮している。また、送水管の延長も長いため、漏水対策に気を使っている。

5. 再生水販売事業

(1) 再生水供給装置

再生水供給装置（写真1）は市内7か所の水再生センター（北部第二、神奈川、中部、南部、都筑、金沢、栄第二）に設置されている。下水処理水をろ過した後、消毒した再生水が、市内の公共工事や委託等で利用する業者の方々を対象に販売されている。主に地盤改良等の工事用水や、下水道管路清掃等の洗浄用水として利用されている。販売は、使用予定量に応じた料金をあらかじめ納付していただき、水再生センターに設置された再生水供給装置から利用者が散水車等に給水し、給水量に応じた料金を後日精算する形態をとっている。利用料金は33.2円/m³（税抜き）である。

(2) 商業施設等への販売

水再生センターから施設へ配管を繋ぎ、直接送水による再生水販売事業を実施しており、販売された再生水は、商業施設等でトイレ用水等に利用されている。例えば、日産スタジアムには港北水再生センターから高度処理水をろ過、消毒及びオゾン処理した再生水が送水され、トイレ用水に使われている。さらに、その再生水は冷暖房、給湯用ヒートポンプの熱源としても有効利用されている。また、北部下水道センターでは、



写真2 江川せせらぎの四季



写真3 入江川せせらぎ

隣接する一般廃棄物焼却工場（資源循環局鶴見工場）に再生水を送水し、雑用水として利用されている。ちなみに、このセンターでは、汚泥消化ガス発電に加えて焼却工場の廃棄物発電電力を使用する電力系統連携が行われるなど、垣根を超えた資源の有効利用が行われている。なお、**写真4**に港北水再生センターと日産スタジアム、**写真5**に北部下水道センターと鶴見工場を示す。



写真4 港北水再生センター（左上）と日産スタジアム（下）



写真5 北部下水道センター（左）と鶴見工場（右）

6. オゾン処理された再生水

横浜市では、商業施設やせせらぎへ送水する再生水に対し、オゾン処理を行っている。当初は、下水処理水をろ過した後、消毒処理したものを送水していたが、次のような課題があった。①塩素系消毒による残留塩素が魚類などの水生生物に与える影響、②親水用水としたときの、ウイルス等衛生的観点から見たより高い

安全性の確保、③砂ろ過施設では除去できない栄養塩類に起因する藻類の発生、及びこれによる景観の悪化や維持管理上の手間、④下水処理水特有の臭気や色度、発泡による不快感、景観の悪化等である。これらを改善するためには、さらに高度な処理を行う必要があり、オゾンの強力な消毒及び脱臭、脱色、有機物の除去力等がこれらに対し効果的であるため、オゾン処理設備を導入した。**図2**に再生水製造フローを示す。

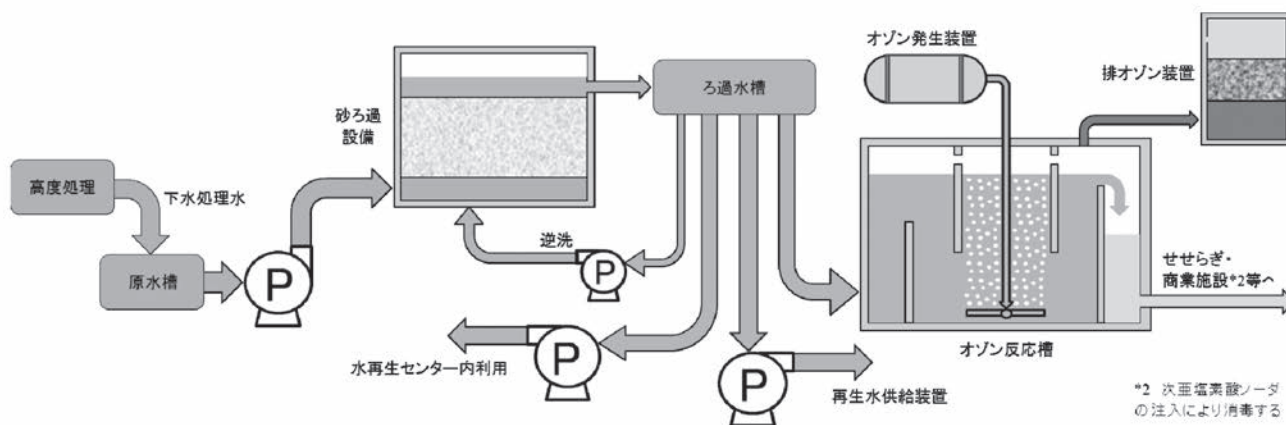


図2 再生水製造フロー

7. おわりに

下水道施設の役割は、汚水処理による公共水域の水質保全や雨水排除による浸水対策に加え、地球温暖化対策や循環型社会の貢献、世界の水・環境問題への国際貢献など市民を支えるインフラとして多様化している。また、下水は、資源として高いポテンシャルを持っている。

下水処理水の再利用用途としての上述の利用方法に加え、融雪用水や打ち水によるヒートアイランド対策や小水力発電など用途が多様化している。

今後も、引き続き、地域にあった水需要や利用形態、水質などに配慮するとともに、水再生センター内の有効利用方法の工夫も行い、積極的に利用していくことが重要だと考える。

研究紹介

下水処理水再利用による飼料用米栽培 － 日本有数の穀倉地帯での挑戦 －

山形大学農学部

教授 渡部 徹

キーワード：飼料用米，水田，収量，タンパク質含量，産学官連携，地域振興

1. はじめに

植物を用いた水質浄化は、低コストで省エネルギー、そして環境に優しい技術として、国内外で古くから研究が行われてきました。植物の生長による水中の窒素やリンの吸収、除去が期待できる一方で、生長した植物の処理、処分が常に課題となります。植物を用いた水質浄化技術が普及するには、その植物がいかに有効に利用できるかが重要です。水稻は、ヨシやアシと同じイネ科の植物で水質浄化機能が期待されるとともに、収穫される米は言うまでもなく我が国の主食をなす穀物であることから、利用価値の高い植物です。また、著者が平成 22 年 10 月に赴任した山形大学農学部が、日本有数の穀倉地帯である庄内平野に位置し、水稻栽培に関する研究が盛んな学部であることも、少なからず本研究の着想に影響を与えました。

上記の背景から、本研究は、水稻栽培による下水処理水の水質浄化という観点でスタートしました。当初は人間が食べる食用米を使用し、処理水に含まれる栄養塩類をできる限り水稻に吸収させることを目論んで、処理水を水田で循環灌漑する実験を行っていました¹⁾。処理水からの高い窒素除去性能が示された上に、1 シーズンの栽培では土壌や玄米に有害金属の蓄積がないことが確認できました。その一方で、水稻が窒素を吸収しすぎたために、草丈が高くなり倒伏の危険性が増す「過繁茂」となり、さらに、玄米のタンパク質含量が増えて食味が落ちてしまいました。これらの解決のために、翌年には灌漑利用する下水処理水を減ら

した実験を行いました。その結果、確かに食味は改善されたものの、収量が前年に比べて大幅に減ってしまいました²⁾。これらの経験より、下水処理水の灌漑による食用米の栽培では、収量と食味を同時に満足させることは難しいという結論に至りました。

その後は研究の戦略を見直し、食用米から飼料用米の栽培に切り替えました^{3) 4)}。飼料用米は、食用米と比べて窒素の吸収量が多い上に、茎が丈夫で倒伏にくい特性があります。また、タンパク質含量が高い玄米ほど飼料としての価値が高い、という利点もあります。よって、飼料用米の栽培では、過繁茂や食味低下を心配することなく、大量の下水処理水を水田に投入することができるわけです。実用化を考える場合には、少なくともポンプを必要とする循環灌漑はコスト高になることも懸念されたため、平成 27 年シーズンからは、下水処理水の「掛け流し」による飼料用米の栽培を行いました。本稿では、それ以降、現在に至るまでの研究成果について順を追って紹介したいと思います。

2. 水田模型を用いた栽培実験

平成 27 年シーズンの栽培実験は、写真 1 に示す水田模型を用いて行いました^{5) 6)}。栽培品種は「べこあおば」とし、土壌は山形大学農学部附属農場の水田の表層土を使用しました。灌漑用水は鶴岡市内の下水処理場（標準活性汚泥法を採用）からの放流水とし、これを水田模型に連続投入しました。水田模型は 6 系列用意し、表 1 に示す異なる条件のもとで栽培実験を



写真 1 水田模型の外観（左の木枠で囲まれた原水タンクからの下水処理水が、右の水田模型へと供給される）

表 1 水田模型を用いた栽培実験の条件⁵⁾

系 列	A	B	C	D	E	F
灌漑用水	処理水	処理水	処理水	水道水	処理水	処理水
灌漑水量 (L/d)	2 (11mm)	3 (17mm)	3	蒸発分 を補充	4.5 (25mm)	4.5
灌漑方法	暗渠へ 投入	暗渠へ 投入	暗渠へ 投入	田面へ 投入	暗渠へ 投入	田面へ 投入
排水方法	田面か ら排水	田面か ら排水	田面か ら排水	排水 なし	田面か ら排水	田面か ら排水
化学肥料*	P	P	P	N,P,K	P	P
MFC発電	有	有	無	有	有	有

* 基肥として、全系列にリン酸を160kg/ha。系列Dにだけ、窒素とカリも各160kg/ha。
追肥として、系列Dに窒素とカリを各100kg/ha。他の系列では追肥なし。

行いました。処理水は基本的に暗渠から投入することにしました。これは、前年までの研究から、処理水を田面ではなく暗渠から投入した方が、効率的に肥料成分が利用されることが予想されたためです。

6系列のうち、系列A、B、Eでは灌漑に用いる下水処理水の量に差をつけて、水稻の生長、玄米の収量や栄養成分に対する影響を調べました。系列EとFの比較では、処理水を暗渠から投入することによる効果を確認しました。系列Dだけは下水処理水を利用しませんでした。これは通常の水田を想定した系列であり、NPKすべての化学肥料を施用し、灌漑用水としての水道水を蒸発散で不足した分だけ追加しまし

た。飼料用米栽培では、食用米栽培の2倍程度まで施肥量を増やすことが推奨されています。系列Dではそれにしたがって最大限の施肥を行っており、その結果は通常の水田における飼料用米栽培のポテンシャル（＝想定される最大値）を示すものと見なしました。

なお、研究の興味のために、全系列の水田模型に微生物燃料電池（MFC）を設置しました。これについては詳細を割愛しますが、系列BとCの比較では、MFCによる発電の影響を見ることができます。

各系列で栽培された水稻の生長指標（草丈、茎数、SPAD）を比較すると、下水処理水を灌漑する系列B、C及びEにおける水稻の生長は、通常の水田におけ

表2 各系列で得られた収量と収穫された玄米の栄養成分（4 株の平均値）⁵⁾
（異なるアルファベットは、系列間に有意差があることを示す）

	標準値*	系列A	系列B	系列C	系列D	系列E	系列F
収量(t/ha)	8.0	8.3 a	7.3 a	8.4 a	8.3 a	9.0 a	8.6 a
粗タンパク質(%)	8.8	11.6 a	12.2 ab	12.2 ab	11.7 ab	13.1 b	11.6 a
粗脂肪(%)	3.2	2.5 a	2.6 a	2.4 a	2.4 a	2.5 a	2.5 a
可溶無窒素物(%)	85.6	83.6 a	82.7 a	82.8 a	83.5 a	82.4 a	83.6 a

* 通常の水田で栽培される同品種の標準値(収量は目標値)

るポテンシャル（系列D）と同程度でした。一方で、下水処理水投入量が少ない系列Aと、処理水を田面から投入する系列Fでは、生長がやや見劣りました。系列Fでは、田面から投入された処理水が表面を流れて放流されてしまうために、当初の予想通り、肥料成分が水稻に利用されにくかったのでしょう。

収量については、表2に示すように系列間で統計的な有意差はありませんが、その傾向をもとに考察します。下水処理水投入量が最も多い系列E（9.0t/ha）の収量が最大で、通常の水田を想定した系列Dを上回りました。系列Eと同じ量の処理水を田面から投入する系列Fでは収量がやや少なく、暗渠が設置されている水田では是非とも暗渠からの灌漑を試して欲しいと思います。

表2には、各系列で収穫された玄米の各栄養素の含有率も示します。粗タンパク質の含有率では、系列A-E間と系列E-F間に有意差が認められました。すなわち、下水処理水投入量を増加させること、そして、処理水を暗渠から投入することにより、タンパク質の含有率が上昇しました。飼料用米のタンパク質含有率の標準値8.8%に対して、系列Eではなんと13.1%にまで達していました。これは、掛け流し灌漑によって多くの処理水を投入した結果です。

脂肪や炭水化物の含有率は若干低いものの、タンパク質の含有率は標準値と比べて1.5倍も多く、下水処理水の掛け流し灌漑により家畜飼料としての価値の高い玄米を栽培することができました。

下水処理水の農業利用に対して、生産者や消費者が最も懸念する点が、農地土壌や生産物への有害物質（特に重金属）の蓄積です。そこで、実験の前後で土壌中の有害金属の含有量を測定したところ、銅を除いてほとんど増加しませんでした。銅の含有量については、下水処理水を使用していない系列Dでも増加しており、MFCに使った銅線の影響と見えています。米の中のカドミウムについては、食品衛生法にもとづく基準（玄米及び精米で0.4mg/kg以下）と照らし合わせると、

いずれの系列でも0.1mg/kg未満であり、安全性が確認されました。

土壌成分については、リンの含有量も重要です。この実験では、各系列に基肥として160kg/haのリン肥料を土壌に混ぜましたが、実験後の土壌を調べると、下水処理水を暗渠から投入する系列A、B、CおよびEでは30～70kg/haだけリン含有量が増加していました。この増加分を考えると、リン施肥量はもっと削減できると思います。下水処理水を利用していない系列Dでは、土壌中のリン増加量は7kg/haに過ぎませんでした。もともと下水処理水のリン濃度は高くありませんが、連続灌漑で大量に水田に投入することにより、基肥を補うリン供給源になりうるということが明らかとなりました。

平成28年シーズンにも、同じ水田模型を用いた栽培実験を行いました。論文投稿中のために詳細は割愛しますが、次のような成果が得られました。

- ・収量およびタンパク質含有率は、それぞれ最大で14.1t/ha、14.6%まで増加しました。
- ・リン酸の施肥は、短期的には必要ありませんでした。つまり、窒素とカリも含めてまったく無施肥で、高収量・高品質の飼料用米を栽培できます。ただし、年々土壌中のリン成分が減少するので、数年に一度はリン酸を施肥した方が良いでしょう。
- ・水田土壌を複数シーズンで連続使用しても、水稻の生長、玄米の収量や品質にはまったく影響はありませんでした。土壌や玄米への重金属の蓄積も見られませんでした。

3. 試験水田での実証試験

前述の通り、水田模型を用いた栽培実験では、下水処理水を連続灌漑することで、高タンパク質の飼料用米を高い収量で収穫できることが明らかとなりました。しかしながら、屋根で覆われていて雨の影響がなく、外気に比べて温度と湿度がやや高くなるなど、水

田模型の環境は必ずしも実際の水田環境と一致しません。そこで、平成 28 年シーズンからは、試験水田での本技術の実証試験を行いました。

鶴岡市内の下水処理場内に、塩素消毒後の下水処理水を連続的に灌漑する水田（5 m × 15 m）を 2 面用意しました（写真 2）。両水田とも、飼料用米「べこあおば」を栽培しました。下水処理水を灌漑する点を除き、栽培管理は通常の水田と同様です。

水田 A では、水田模型での実験をもとに地下 30cm に設置した暗渠からの灌漑を行いました。水田 B では、一般の水田と同様に田面からの灌漑を行いました。肥料については、リン酸（160kg/ha）のみを基肥として施用しました。移植（田植え）の間隔は 15cm × 30cm に 1 株としました。これは水田模型と同じ条件です。

移植 3 日後から連続灌漑を開始し、流量はおおよそ 3.8m³/d（水深 5cm 上昇に相当）にしました（中干し時を除く）。この流量は、水田模型で試した最大値（水深 2.5cm 上昇に相当）よりも大きく設定しました。水田が整備されたばかりで漏水が目立ち、模型と同等の流量では水尻まで水が届かない恐れがあったためです。

移植後は、両方の水田ともに水稻は順調に生長しました（写真 3）。水稻の生長指標としての草丈、葉色、茎数を見ると、2 つの水田での生長の差は小さかったです。前年度の水田模型での実験成果と比較すると、草丈や葉色はやや大きい程度であったが、茎数については明らかに多かったです。前述の通り灌漑水量を多くしたこと、屋根がないために日当たりが良かったことなどにより、水稻の生育はたいへん旺盛でした。茎数が多く草丈も高かったため、8 月後半には倒伏が発生しました（写真 4）。倒伏は田面水の窒素濃度が高い場所で深刻で、水田 A では暗渠の直上、水田 B で

は広範囲で倒伏が見られました。

倒伏が発生しても収穫はできますが、日当たりが悪くなるために登熟（粳への実の入り方）が悪くなります。また、穂や葉が水に浸かってしまうと腐敗も進むために、早めに水田から水を抜くことにしました。その結果として、総刈り取りで調べた収量は、水田 A で 9.1t/ha、水田 B で 7.5t/ha に留まりました。それでも水田 A では、平成 27 年シーズンの水田模型での収量（最大 9t/ha）を超えていました。また、局所的にはより高い収量が観測されていることから、灌漑方法の工夫などにより倒伏を抑制すれば収量の増加は十分に見込めると考えています。

収穫された玄米の粗タンパク質含有率は 11.2 ～ 14.1% であり、昨年度の実験装置の結果と遜色がなく、高タンパク質の米が収穫できました。この含有率は、全体的に見ると、水田 Bの方が水田 A よりやや高いようでした。

玄米中の有害金属含有量については、水田模型での実験結果と比較して目立って高い含有量を示す金属はありませんでした。玄米中の Cd、Pb、As に関する基準値との比較では、水田 A、B ともに平均値では大きく下回りました。

実験前後の水田土壌に含まれる有害金属（Cu、Cr、Zn、Cd、Pb、As）を分析した結果では、ほとんどの地点で実験後にそれらの含有量が減少しました。その減少分は水稻が吸収したか、または、掛け流し灌漑で土壌から洗い流されたか、のいずれかが考えられます。

さらに、ここで収穫された飼料用米を家畜が食べることを確認するために、ウシ（黒毛和種）を用いた嗜好性試験も行いました（写真 5）。試験方法を簡単に説明すると、我々の試験水田で栽培された米と、通常の水田で栽培された米を、ウシの前に並べて差し出します。一定時間経過後に、どちらの米がより多く消費

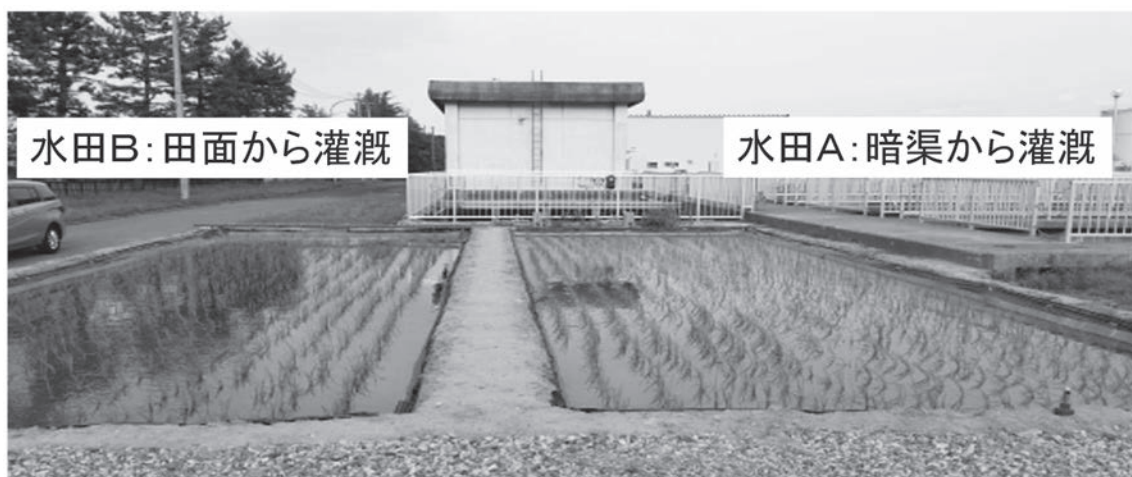


写真 2 下水処理場内に設置した実証水田（奥にある塩素混和池の水を水田に供給している）

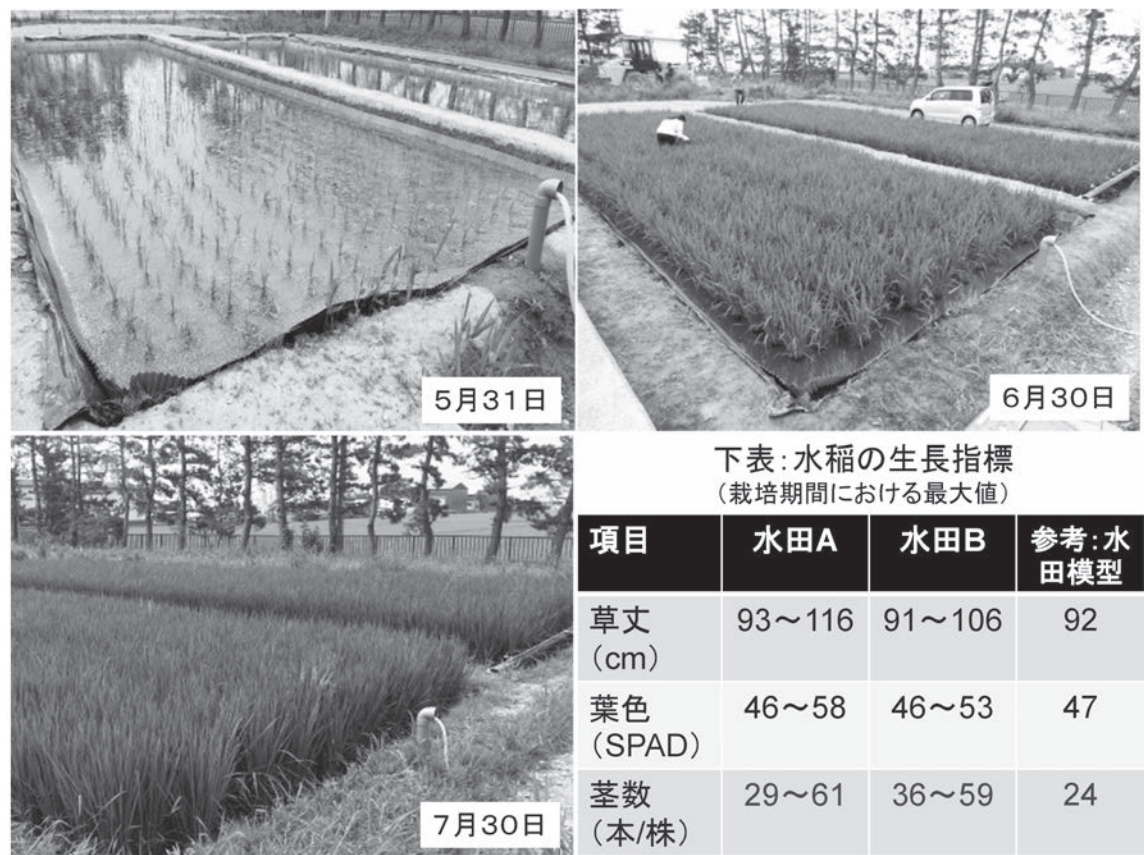


写真3 実証水田における水稻の生長



写真4 水稻の倒伏（水田B）

されたかを比較する手法です。その結果、2つの米に対するウシの嗜好性には差がなく、下水処理水灌漑で栽培される米は、問題なく飼料として利用できることが示されました。

平成29年シーズンも、この実証試験は継続しています。試験の目標は倒伏の抑制で、移植（田植え）の間隔を疎（30cm×30cmに1株）にし、かつ、連続灌漑の流量を減らして栽培を行っています。この原稿を執筆している現在で、両水田とも一部で倒伏が認められるものの前シーズンよりは軽度であり、このまま1週間後の収穫を迎えられることを願っています。



写真5 収穫された飼料用米のウシに対する嗜好性試験

4. 研究成果の普及に向けた活動

本研究では、最終的に、図1で示すような資源循環システムへの貢献を目指しています。現在も、畜産からの堆肥を水田で使って飼料用米を栽培する「耕畜連携」事業が行われています。ここで提案する資源循環システムは、さらに消費者を巻き込んだ大規模な循環です。

飼料用米栽培は現在、減反政策に代わる政策として国を挙げて推進されています。具体的には、飼料用米を栽培する農家に対して、その収量に応じた補助金（55,000～105,000円/10a）が支払われます。この政策により、急速に飼料用米を栽培する農家が増えていますが、それでも食用米の収穫量に比べるとまだ数%に過ぎません。その一番の理由は飼料用米の販売価格の安さで、補助金がいつまで続くか分からない現状ではなかなか踏ん切りがつかないようです。

県の農林水産部やJAなどの関係者へのヒアリングによると、飼料用米栽培に下水処理水を利用することに対しては、肥料コストを削減できるという点で多くの農家が興味を示してくれそうです。飼料用米栽培に対する補助金は上記の通り収量に連動しますので、代替肥料として下水処理水を存分に使ってより多くの飼料用米が収穫できれば補助金も増額するわけです。将来、高タンパク米の価値が畜産の現場で認められれば、

米の取引価格も上昇することでしょう。地域環境の視点では処理水からの環境負荷を削減する便益は言うまでもありません。その一方で、下水処理水をどのように処理場から個々の水田に運ぶかが実用化への障壁となりそうです。処理場に近い地域に「下水処理水による飼料用米栽培特区」を作り、その特区にのみ既存の灌漑水路に処理水を流すなどの工夫が必要かもしれません。

上記のようなメリットを地域で共有し、効率的に技術の普及を図るための仕掛け作りも行っています。平成28年4月には、山形大学、JA鶴岡、鶴岡市役所の3者による共同研究協定を締結し、地域で取り組む研究としての位置づけを明確にしました。同年5月には、山形県庁や民間企業（水コンサル、環境分析会社など）も巻き込んだ「下水再生水を活用した飼料用米栽培に関する勉強会」を発足し、技術普及に向けた課題について産官学で議論する体制を整えました。これまでに5回の会議を開催し、この飼料用米栽培の他にも、下水道資源の農業利用のアイデアを生み出すに至っています。

個々の農業従事者へのアピールも重要と考えており、平成28年シーズンには、JA鶴岡の作柄調査検討会の一環として、約50名の農家の方に試験水田を見学してもらいました。また、折りに触れてマスコミに取り上げてもらい（図2）、地域住民の関心の火を消さないように心がけています。

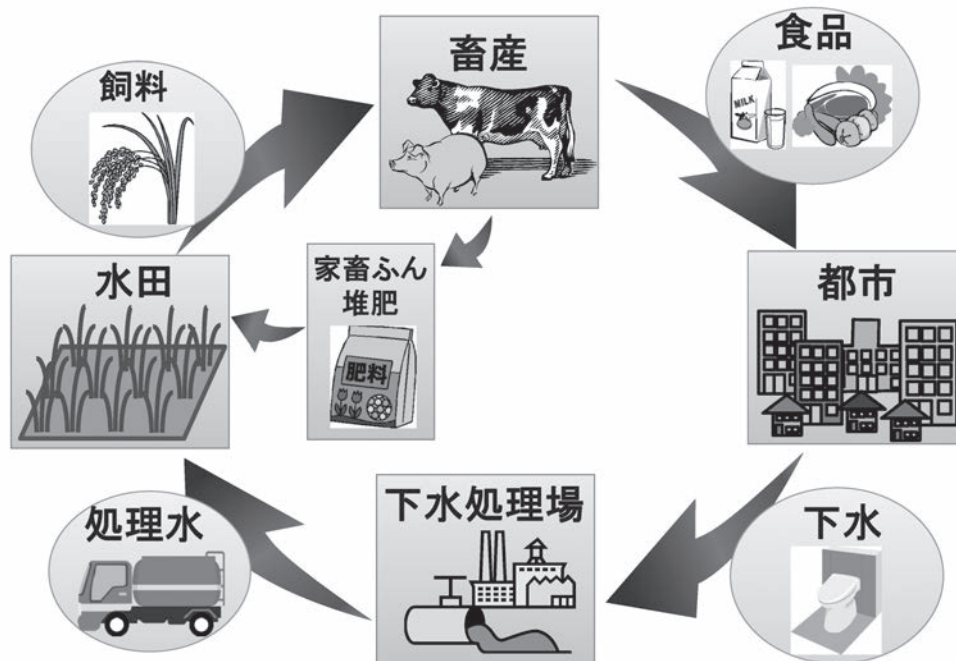


図1 本研究で目指す資源循環システム



図2 研究成果の普及のためのマスコミの活用

5. おわりに

本稿では、下水処理水再利用による飼料用米栽培に関する研究について、年度を追ってその取組状況を紹介しました。最新の研究成果については、学术论文投稿との兼ね合いがあり、簡単な説明に留めた部分もあります。その点についてはご容赦願います。

ここに紹介した通り、これまでのところ研究はおおむね順調に進んでいます。次の課題は、①実規模の水田での飼料用米栽培と、②収穫された米の家畜への長期給餌の2点です。①については次年度に実現すべく準備を進めています。②については、給餌量が少なく済むニワトリから始める予定ですが、①が実現できれば、より収益の大きいブタやウシの畜養の見通しが立ちます。

本研究の舞台となっている山形県鶴岡市は、日本で唯一のユネスコ食文化創造都市であり、食を前面に出した地域振興を指向しています。地域に根ざした研究機関としては、本研究の成果を普及させることで、「地産地消の取組の促進」や「農林水産物の付加価値の向上」を実現し、同市の振興に少しでも貢献できればと願っています。

この研究には、私の研究室のインドネシアやベトナム、中国からの留学生も参加しています。彼らを通じて、同じく米を主食とするアジアの国々に、本技術やその思想が広まっていくことも期待しながら毎日研究を進めています。

謝辞

本研究は、国土交通省 GAIA プロジェクト、文部科学省 COC プロジェクト、山形大学東北創生研究所の支援を受けて実施されました。実験や分析作業では、私の研究室の多くの学生諸君（村松亜由美、益子拓磨、Rizki Maftukahah、Pham Duy Dong、倉島須美子、蔡佳、Agnes Hoki Briliana Suhono、Tran Danh Lanh；敬称略）が汗を流してくれました。また、山形大学農学部の高橋健一教授、加来伸夫教授、佐々木由佳准教授、伊藤絃晃助教（現・熊本大学）、浦剣助教（現・東洋大学）、そして、山形大学工学部の佐々木貴史博士には、水稻栽培や調査分析に関する貴重な助言をいただきました。ここに、心からの感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 村松亜由美, 渡部徹, 佐々木貴史, 伊藤紘晃, 梶原晶彦, 下水処理水の循環灌漑による省資源型水稲栽培, 土木学会論文集 G(環境), 68(7), III_93-III_102, 2012
- 2) Ayumi Muramatsu, Toru Watanabe, Atsushi Sasaki, Hiroaki Ito, Akihiko Kajihara. Rice production with minimal irrigation and no nitrogen fertilizer by intensive use of treated municipal wastewater. *Water Science and Technology*, 70(3), 510-516, 2014
- 3) 村松亜由美, 渡部徹, 伊藤紘晃, 佐々木貴史, 梶原晶彦, 資源循環を目的とした都市下水処理水の循環灌漑による飼料用米栽培システム, 土木学会論文集 G(環境), 70(7), III_175-III_183, 2014
- 4) A. Muramatsu, H. Ito, A. Sasaki, A. Kajihara, T. Watanabe. Cultivation of rice for animal feed with circulated irrigation of treated municipal wastewater for enhanced nitrogen removal: Comparison of cultivation systems feeding irrigation water upward and downward. *Water Science and Technology*, 72(4), 579-584, 2015
- 5) 渡部徹, 倉島須美子, Pham Duy Dong, 堀口健一, 佐々木貴史, 浦剣, 下水処理水の連続灌漑による飼料用米の栽培とその栄養特性, 土木学会論文集 G(環境), 72(7), III_505-III_514, 2016
- 6) Toru Watanabe, Takuma Mashiko, Rizki Maftukhah, Nobuo Kaku, Dong Duy Pham and Hiroaki Ito. Nitrogen removal and power generation from treated municipal wastewater by its circulated irrigation for resource-saving rice cultivation. *Water Science and Technology*, 75(4), 898-907, 2017
- 7) Dong Duy Pham, Sumiko Kurashima, Nobuo Kaku, Atsushi Sasaki, Jian Pu, Toru Watanabe. Bottom-to-top continuous irrigation of treated municipal wastewater for effective nitrogen removal and high quality rice for animal feeding. *Water Science and Technology: Water Supply*, accepted

研究紹介

下水再生水の農業利用に関する ガイドライン・手引きの現状と 今後の研究の重要性

愛媛大学大学院農学研究科

治多 伸介

キーワード：再生水利用、ISO ガイドライン、かんがい利用の手引き（案）

1. はじめに

下水再生水の農業利用は、人口増加や、地球温暖化による気候変動の影響などを背景に、益々進行してきている世界的な水不足に対して、極めて有望な対応手段と考えられ、関連する技術の発展と普及が世界の多くの国々で強く望まれている [1]。

日本においても、下水再生水は、農業の貴重な水資源と考えられ、これまでも、その有効利用が行われてきた。ただし、その形態は、河川上流部に位置する下水処理場からの再生水が、自然に希釈されて下流で利用される「間接的利用」が主であり、再生水を農業に無希釈で利用する、世界で主流の「直接的利用」は、必ずしも多い状況にはなかった。しかし、気候変動の影響による水不足の進行に対応するため、また、下水処理技術の発展に伴う再生水の水質向上を背景に、再生水の「直接的利用」を積極的に推進しようとする地域も増えてきている。すなわち、再生水を「間接的利用」よりも、より計画的・効果的に利用して、農業収益の安定・向上に繋げようとする地域であり、例えば、沖縄県糸満市 [2] があげられる。

さらに、農林水産省は後述のように「農業集落排水施設の処理水のかんがい利用に関する手引き(案)[3]」を発刊し、国土交通省は、地方公共団体等のネットワークとなる「BISTRO 下水道推進戦略チーム」を平成 25 年から設置して、全国事例の情報共有化等を進める [4] といったように、国家戦略としても、再生水の農業利用の推進が、今まで以上に強く指向されつつ

ある。

このような状況の下、再生水の農業利用の安全・安心を支える基礎となる「ガイドラインや手引きの整備」が、着々と進行してきている。それらの内容と動向を理解しておくことは、日本各地において、今後、再生水利用を適切に行うために極めて重要である。その一方で、それらのガイドラインや手引きでは、未だ十分に対応できていない課題も残されている。それらの課題の解決は、更に安全・安心で効果的な再生水利用を実現していくために重要である。以上のことから、本稿では、近年設定された ISO (International Organization for Standardization: 国際標準化機構) ガイドライン [5～8] と農林水産省の手引き(案) [3] の概要を紹介するとともに、今後の課題を幾つか示すこととした。

2. ISO ガイドライン

(1) 設定の背景

再生水の農業利用に関しては、海外には、これまでも様々な基準・ガイドラインが存在し、特に有名なものとしては、WHO ガイドライン [9]、US EPA (米国環境保護庁) ガイドライン [10]、カリフォルニア州基準 Title 22 [11] がある。しかし、WHO ガイドラインは、発展途上国での経済性や実現可能性を重視する一方で、US EPA ガイドラインや Title 22 は、技術的に実現可能な最高水準を目指しているなど、それらの方向性や目標水準は異なり、それぞれの内容は統一されていなかった。そのようなことなどから、ISO

は国際標準規格の策定に着手し、平成 27 ～ 28 年に 4 部からなる「下水再生水のかんがい利用プロジェクトに関するガイドライン（ISO 16075）」を発刊した。これらの作成では、イスラエルが議長国となったが、日本も主要国メンバーとして大きく貢献した。

なお、ISO ガイドラインは、強制力を持たない指針であり、また、何らかの認証に繋げることを意図したものでもない。そのため、その活用方法は各国に任されていると言える。

(2) 内容の概要と特徴

「第 1 部：灌漑への再利用プロジェクトの基礎」[5] では、再生水の水質、気候、土壌といった、再生水利用を考える際の基本要素が、作物生育や人の健康に及ぼす影響等が解説されている。「第 2 部：プロジェクト開発」[6] では、再生水で育てられた作物の摂取や、再生水自体への直接暴露による人の健康リスクを低減するための基準等が示されている。「第 3 部：灌漑への再利用プロジェクトの構成要素」[7] では、送水設

備、貯留設備、配水設備、灌漑システムが適切に利用されるための水質条件や留意点等が示されている。「第 4 部：モニタリング」[8] では、再生水、作物、土壌、周辺環境、貯留設備におけるモニタリングの提案が行われている。

このように、ISO ガイドラインでは、再生水利用の計画から運用までの方針が包括的かつ分かり易く示されている点は大きな特徴のひとつであり、海外各国はもとより、日本での再生水利用においても、大いに参考になると考えられる。

例えば、再生水を安全に利用するための考え方としては、再生水水質の区分（表 1）と、再生水利用後の病原体の存在を低下させるための「バリア」と呼ばれる方策（表 2）の組み合わせで、表 3 のように灌漑対象にできる作物を決定するという考え方である。この考え方に従うと、表 1 の A 区分の水質の再生水は、バリアなしで生食用野菜に利用可能（ただし、別途定められた再生水水質のモニタリングは重要）であるものの、C 区分の再生水は、バリアなしでは生食用野菜

表 1 再生水の区分（[6] より抜粋、改変）

	BOD (mg/L)		SS (mg/L)		濁度 (NTU)		糞便性大腸菌群 (個/100mL)		対応する処理方式の例
	平均	最大	平均	最大	平均	最大	95%ile	最大	
A	≤5	10	≤5	10	≤2	5	≤10 または 検出下 限以下	100	二次処理、接触ろ過または膜処理と消毒
B	≤10	20	≤10	25	-	-	≤200	1000	二次処理、ろ過と消毒
C	≤20	35	≤30	50	-	-	≤1000	10000	二次処理と消毒
D	≤60	100	≤90	140	-	-	-	-	二次処理または凝集・急速沈澱

表 2 バリアの種類とバリア得点（[6] より、食用作物へのものを抜粋、改変）

バリアの種類		バリア 点数	病原体 の 除去効果 (log表示)
ドリップ灌漑	地上丈25cm以上に成長する作物への灌漑	1	2
	地上丈50cm以上に成長する作物への灌漑	2	4
	毛管現象で地表に水が到達しない深さでの灌漑	3	6
散水灌漑 ないし スプリンクラー灌漑	ウォータージェット(水流)から25cm以上高く成長する作物への灌漑	1	2
	ウォータージェット(水流)から50cm以上高く成長する果実への灌漑	2	4
耐候性カバー	ドリップかんがい、野菜とかんがい水を遮断する	1	2-4
病原体の死滅	収穫前に、かんがいを休止ないし中断をして死滅を補助する	1-2 ^{a)}	0.5~2 ^{a)} (1日あたり)
販売前の洗浄	サラダ用の作物、野菜、果物を飲用水ですすぐ	1	1
販売前の消毒	サラダ用の作物、野菜、果物を弱い消毒剤で洗浄し飲用水ですすぐ	1	2
皮むき	果物や根菜類の皮むき	1	2
調理	沸騰水に浸す、または高温加熱	3	6-7

a) 作物や気候による

表 3 再生水による灌漑に必要なバリア点数の提案（[6] より抜粋、改変）

	再生水の区分			
	A	B	C	D
生食用野菜	0	1	3	使用禁止
調理して食べる野菜と牧草地	0	0	2	使用禁止
野菜以外の食用作物(果樹園、ぶどう園)と園芸	0	0	1	3
家畜飼料や種子作物	0	0	0	1

には利用できず、利用するためにはバリア点数として3点を確保した上で利用することが望まれる。例えば、毛管現象で地表に水が到達しない深さでのドリップ灌漑を行うことが求められる。

ただし、ISO ガイドラインを実際に利用する場合には、気候の違い、土壌の違い、作物の違いなどの各国の地域特性を十分に考慮することが必要であることには、十分に留意する必要がある。すなわち、記載内容を単純に日本の全ての事例に適用すると、作物の生育や安全・安心に懸念が生じる可能性もありうる一方で、必要以上の水質の確保やモニタリングを実施してコスト高に繋がる可能性もある。

3. 農業集落排水施設の処理水のかんがい利用に関する手引き（案）

(1) 設定の背景

上述のように、ISO ガイドラインを、そのまま日本に適用することは、必ずしも適切でない場合があることから、農林水産省は、所管の農業集落排水施設の処理水（以下、集落排水処理水）を対象として、ISO ガイドラインの内容を意識しつつ、日本国内に対して、より日本での実用性が高い「かんがい利用の手引き（案）」[3]を平成29年3月に発刊した。この手引き（案）には、国内各地で調査された処理水の作物生育への影響調査の結果や、集落排水処理水の水質実態等が記載、考慮されている。そして、ISO ガイドラインは扱っていない再生水の水田利用にも言及し、また、現時点で国内唯一の再生水のかんがい利用ガイドラインでもある。従って、この手引き（案）は、公共下水道の再生水の農業利用を意図して作成されたものではないが、公共下水道でも参考になる点は多いと考えられる。

(2) 内容の概要と特徴

この手引き（案）では、第2章～第5章が、ISO ガイドラインの第1部～第4部に、それぞれ対応しており、ISO ガイドラインの全体を意識した内容となっている。

すなわち「第2章：処理水のかんがい利用するに当

たり検討すべき事項」では、塩分、栄養塩類（窒素、リン）、病原体への考え方と対応が述べられている。「第3章：作物と灌漑手法に応じた処理水質の考え方」では、集落排水処理水の水質実態を示すとともに、ISO ガイドラインにあてはめた場合の水質区分や推奨される利用範囲が示されている。「第4章：処理水を利用する灌漑施設と留意事項」では、日本の灌漑施設の構成と処理水利用時の留意点がまとめられている。「第5章：処理水を灌漑利用する場合のモニタリング」では、推奨されるモニタリングの頻度と地点が示されている。

このように、手引き（案）では、かなり具体的な再利用の方針が提示されており、日本の再生水利用の推進に大きく寄与する見解が提示されていると考えられる。例えば、以下のような内容である。

ISO ガイドラインで重要視されている塩害に関しては、集落排水処理水のハウス栽培での利用には配慮が必要である可能性があるものの、露地での利用において危惧する必要性は低い。また、集落排水処理水の重金属含有濃度は低いために、継続的モニタリングは必須ではなく、必要に応じて分析するのも良いとしている。

ISO ガイドラインの水質区分に、集落排水処理水の水質を当てはめると、標準的な水質はC区分（良好な水質の下水再生水）以上であり、灌漑水として十分利用できる水質となる。また、実際の水質はA区分（とても高い水質の下水再生水）～C区分（良好な水質の下水再生水）に分布しており、適切な維持管理によって、より安全で安定した水質の処理水が得られる。さらに、ISO の示したバリアの考え方を、実際の再生水水質と組み合わせて利用することで、リスク対応の検討が可能としている。ただし、水田への再利用では、水稻が窒素過多にならないように、再生水の窒素濃度が高い場合は、減肥やかんがい水量の制限が必要になる場合がある。

処理水質のモニタリングについては、処理施設毎に定められた水質管理（水質測定及び水質分析）及び浄化槽法に基づく保守点検・清掃・定期検査（水質検査）等を実施し、処理施設の適切な保守点検に努めること

が重要とされている。また、貯水施設の出口等の実際に利用される再生水の状態については、かんがい施設の責任者による定期的観察が大切であり、異常が認められた場合には、集落排水施設の管理者への連絡と、その際の水質分析を行うことが重要である。さらに、集落排水施設の管理者は、農家に対して、栽培する農作物を定期的に観察することや、再生水が広範に拡散しない灌漑手法を採用すること、そして、手や顔などに直接触れないように助言することが望ましい。また、管理者は、機器故障等で集落排水施設の処理機能に不具合が生じた場合や、処理槽の清掃等によって再生水質への影響が予想される場合には、農家に連絡することが望ましい。

4. 今後の課題

以上のように、ガイドラインや手引き（案）などが整備されたことで、今後、再生水の利用は、より広く普及していくことが期待される。その一方で、再生水の農業利用を更に円滑に推進するためには、未だ様々な研究課題が残されている。それらに対する日本での研究の進展は、国内のみならず海外での再生水利用の更なる発展にも大きく貢献できると考えられる。その課題の例を幾つか以下に述べる。

(1) 技術の低コスト化

ISO ガイドラインでは、再生水の水質区分とともに、それに対応する処理方法が併記されている。しかし、その示されている処理方法の採用は義務では無く、また、新しい技術の利用を妨げるものでもない。より低コストで高い水質が得られる技術の開発は、再生水の農業利用を益々発展させるために極めて重要である。また、この点は、再生水の水質モニタリング技術についても同様で、特に、病原体の簡易なモニタリング技術は重要と考えられる。

(2) より高い安全・安心の追求

再生水の農業利用では、収穫量の確保とともに、得られた農作物の食物としての安全・安心を十分に確保することが必要である。これらについては、ISO ガイドラインにおいても、重金属や病原体については良く考慮されており、そのガイドラインを遵守することが望まれる。しかしながら、世界の中でも、日本国民は、安全・安心に対する要望レベルが高い。それゆえ、ガイドラインの求めているものよりも、より高いレベルの安全・安心を、出来るだけ維持管理が容易で、かつ低コストで提供できる技術を開発することは重要と考えられる。近年、新たな水環境汚染物質として注目さ

れている医薬品や化粧品等のパーソナルケア製品（PPCPs：Pharmaceutical and Personal Care Products）は、今回の ISO ガイドラインでは対象外となっている。PPCPs は、再生水の灌漑利用では懸念する必要性は小さい、というのが様々な海外研究事例で述べられているものの、より高い安心・安全のためには、今後の更なる研究が望まれる。

(3) 新たな付加価値の創出

再生水利用の付加価値が高ければ高いほど、再生水の利用は更に普及すると考えられる。再生水中に含まれる窒素、リンはもとより、カリウムや微量重金属などの積極的かつ計画的な利用によって、肥料投入量の削減や、作物品質や味が向上できる可能性がある。このような、再生水中の有効物質を確実に安定して利用できる技術は未だ十分に確立できておらず、今後の技術発展が期待される。また、再生水を灌漑利用することで、農地土壌への吸着や作物吸収によって、処理水中のリン、窒素等が除去され、下流の海洋や河川へのそれらの汚濁負荷を大幅に減じられる可能性もある。このような水質浄化の効果を期待した再生水利用の積極的展開は、海外（特に米国カリフォルニア州）では一般的であるが、日本では、あまり認識されていない。この効果を、日本で、確実かつ効率的に発揮できる再生水の農業利用方法の検討も望まれる。

(4) 水田への利用についての研究と世界への発信

ISO ガイドラインをはじめとする、海外のガイドラインや基準では、水田への再生水利用に関する内容は脆弱である。その一方で、日本での再生水の水田利用の経験と研究は他国に比較して充実している [12]。水田利用へのニーズは、日本だけでなく、中国、韓国、台湾はもとより、タイなどの東南アジア諸国でも高まっている。そのため、日本は再生水の水田利用に関しては、世界のリーダーとして ISO ガイドラインの次回改定への貢献も視野に入れつつ、情報を世界に発信していくことが望まれる。例えば、農業集落排水施設では、近年の技術発展により、施設によっては、再生水が無希釈でも水田に利用できる窒素濃度（主態は硝酸態窒素で、濃度は 3mg/L 程度以下）を達成できるようになってきている。実際、著者らは、愛媛県の水田（写真 1）で、農業集落排水処理水を 20 年程度に渡って無希釈利用して、十分な収量の籾の収穫を得ている。また、この水田では、再生水中の窒素、リンが除去されるとともに PPCPs も除去されること [13] を明らかにしている。

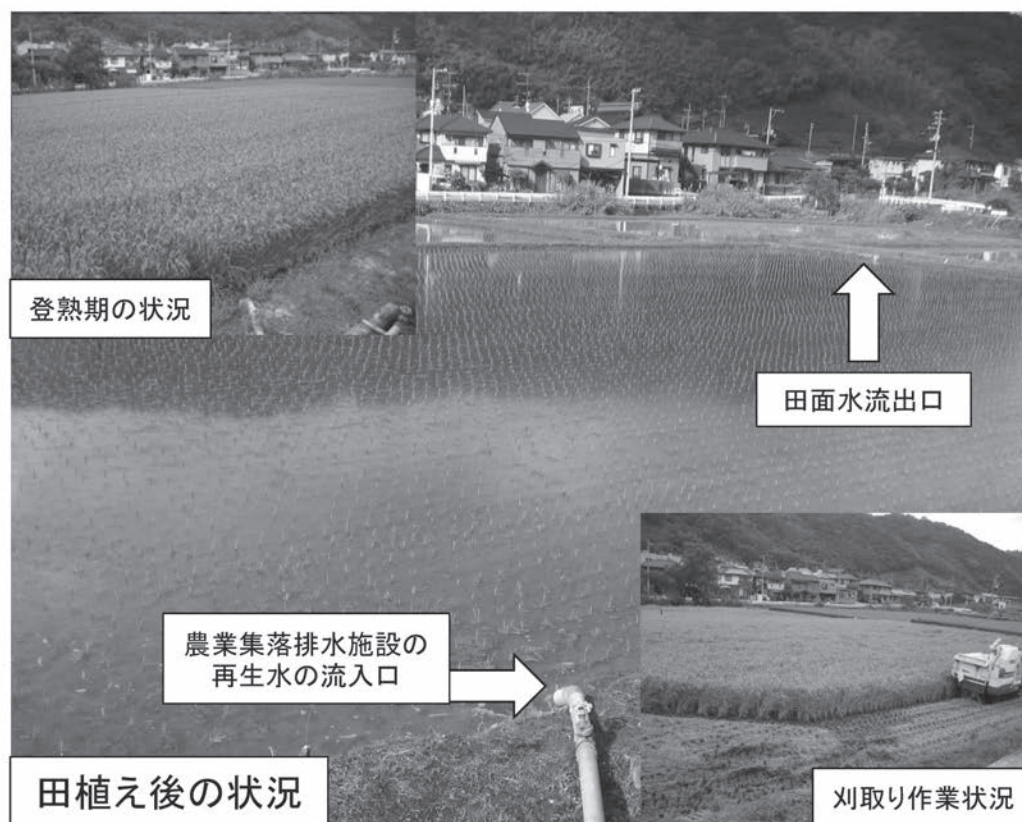


写真 1 農業集落排水施設の再生水の無希釈利用で約 20 年間の良好な水稻生育を得ている水田

引用文献

1. Takashi Asano ら著、監訳委員会訳 (2010) 水再生利用学：持続可能社会を支える水マネジメント、技報堂出版。
2. 糸満市 (2016) 再生水を農業用水に活用、実証プラントが本格稼働しました (<http://www.city.itoman.lg.jp/docs/2016030100021/>)
3. 農林水産省 (2017) 「農業集落排水施設の処理水のかんがい利用に関する手引き (案)」について (http://www.maff.go.jp/j/nousin/sekkei/nn/n_nouson/syuhai/170809.html)
4. 国土交通省水管理・国土保全局下水道部 (2013) 食と下水道の連携について～ BISTRO 下水道～ (<http://www.jswa.jp/recycle/bistro/pdf/meeting002-006.pdf>)
5. ISO (2015) ISO16175-1 Guideline for treated wastewater use for irrigation projects – Part1 : The basis of a reuse project for irrigation.
6. ISO (2015) ISO16175-2 Guideline for treated wastewater use for irrigation projects – Part2 : Development of the project.
7. ISO (2015) ISO16175-3 Guideline for treated wastewater use for irrigation projects – Part3 : Components of a reuse project for irrigation.
8. ISO (2016) ISO16175-4 Guideline for treated wastewater use for irrigation projects – Part4 : Monitoring.
9. WHO (2006) Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater - Volume 2 (http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/gsuweg2/en/)
10. US EPA (2012) 2012 Guidelines Water Reuse (<https://watereuse.org/wp-content/uploads/2015/04/epa-2012-guidelines-for-water-reuse.pdf>)
11. California Department of Public Health (2014) Regulations Related to Recycled Water (https://www.waterboards.ca.gov/drinking_water/certlic/drinkingwater/documents/lawbook/RWregulations_20140618.pdf)
12. 治多伸介、中矢雄二 (2011) 水田での再生水利用の現状と発展性、農業農村工学会誌、79 (11)、pp.813-816.
13. 治多伸介、中矢雄二 (2012) 再生水を利用した水田における PPCPs の除去機能、第 46 回日本水環境学会講演集、p.424.

研究紹介

食用きのこ栽培による
下水汚泥の多段利用

鹿児島工業高等専門学校
都市環境デザイン工学科
教授 山内 正仁

キーワード：食用きのこ、焼酎粕、カリウム、多段利用

1. はじめに

下水処理場は、人間活動、生産活動によって発生した汚水を衛生的に処理する施設である。現在、この処理施設から発生する下水汚泥や下水熱、リンなどの資源の活用促進が求められている。中でも、2015年の下水道法改正により発生汚泥等は燃料又は肥料として再生利用することが努力義務として規定された¹⁾。また、「循環型社会形成推進計画」においては、下水汚泥等のバイオマス系循環資源について、地域内で循環利用する取り組みを支援することが示されている^{1, 2)}。

筆者らはこれまでに各種食品副産物を用いた食用きのこ栽培技術を開発し、一部事業化に成功している^{3, 4, 5, 6)}。食用きのこの生理的特徴は子実体形成過程（生殖生長期）で多量のカリウムを必要とする点である⁷⁾。本来下水汚泥中のカリウム含有量は極端に少なく、下水汚泥をきのこ培地の単独の栄養材として利用することは困難であると考えられた。しかしその一方で、下水汚泥には微生物由来の核酸物質や蛋白質などきのこ子実体の収量や付加価値を高める成分が多く含まれている。このことから、下水汚泥とカリウムを豊富に含む

地域バイオマスとを組み合わせたきのこ栽培用培地を調製することで、下水汚泥のきのこ栽培への利用可能性を見出すことができると考えた。

また、きのこ栽培過程では、使用済み培地（廃培地（廃菌床））や高濃度の炭酸ガスが発生する。

筆者らはこれらのバイオマスを多段利用する研究を現在継続中である。ここでは、その内容と成果について一部紹介する。

2. 鹿児島県霧島市国分隼人クリーンセンターの下水汚泥利用の現状とその特徴

霧島市国分隼人地区の下水道終末処理場である国分隼人クリーンセンターでは、年間7万6千 m^3 の生汚泥が発生し、3,185トンの脱水汚泥を産業廃棄物として搬出している（27年度実績）。その全量は、県内の中間処理施設に搬入され、焼酎粕、家畜糞尿、食品汚泥等と混合し、発酵後、堆肥として再利用されている。

表-1、表-2に下水汚泥（脱水汚泥）、下水汚泥堆肥の一般成分、無機成分と重金属含有量の測定結果を示す。下水汚泥は粗蛋白質、粗繊維で一般成分の約6割を占め、一方、下水汚泥堆肥は粗蛋白質、粗灰分で、

表-1 下水汚泥（脱水汚泥）、下水汚泥堆肥の一般成分、無機成分

培地材料	粗蛋白質	粗脂肪	粗繊維	粗灰分	可溶無窒素物	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO
	(g/100g乾物)					(mg/100g乾物)			
下水汚泥（脱水汚泥）	36.0	9.4	24.5	10.2	19.9	6,179	472	109	156
下水汚泥堆肥	27.5	1.3	12.1	45.6	13.5	5,828	687	11,715	956

表 -2 各試料に含まれる重金属成分

培地材料	Cd	Pb	As	T-Hg	Ni	Cr
	(mg/kg乾物)					
下水汚泥（脱水汚泥）0.1未満		5.3	3.3	0.16	8.5	5.7
下水汚泥堆肥	0.9	11.0	7.8	0.5	31.8	25.2
汚泥肥料公定規格の許容最大量	5	100	50	2	300	500

その約7割を占めることがわかった。無機成分については、両材料ともリン酸が多く含まれ、きのこ子実体を形成させるために必要なカリウム量が極端に少ないことがわかる。カルシウムについては、下水汚泥堆肥に下水汚泥の107倍の量が含まれていた。これは、下水汚泥堆肥製造過程で焼酎粕を使用しているため、pHを炭酸カルシウムにより中和し、発酵を促進させたためと考えられる。重金属成分については、汚泥肥料公定規格の許容最大量より低く、下水汚泥（脱水汚泥）で1/10～1/90程度、下水汚泥堆肥で1/4～1/20程度であった。

3. 下水汚泥、下水汚泥堆肥を用いた食用きのこ栽培試験

3.1 下水汚泥(脱水汚泥)を用いたヒラタケ栽培試験

下水汚泥は、きのこの生殖成長期（子実体形成過程）に利用されるカリウム量が極端に少ない。このことか

ら、本試験では、カリウムを豊富に含む、地域食品廃棄物の焼酎粕を下水汚泥と併用利用する培地（針葉樹おが屑+下水汚泥+焼酎粕）を調製し、下水汚泥の培地栄養材としての利用可能性を子実体収量、品質、成分特性から検討した。なお、供試菌には栽培期間が短く、害菌に強いヒラタケ（H67号（中生）、（株）キノックス）を用いた。

表-3にヒラタケ栽培試験結果を示す。培地栄養材に下水汚泥、甘藷焼酎粕と下水汚泥を併用した試験区の菌周り日数は、対照区（針葉樹おが屑+米糠培地）と比較して2日間程度、総栽培日数は10日程度短縮される傾向にあった。大賀ら^{8,9)}は食用きのこの菌糸生長に及ぼす核酸関連物質の影響を調査するために、トルラ酵母を熱水抽出して調製したリボ核酸（RNA-M）と、それを酵素分解した5'-ヌクレオチドの混合物（RNA-Nt）を培地に添加し、核酸物質が菌糸の生育促進をもたらすことを報告している。下水汚泥の総核酸量は、33.2mg/g（乾物）であり、米糠（18.0mg/g（乾物））の1.8倍含まれている。このことが菌周り日数、総栽培日数の短縮に影響したと考えられる。加えて培地の物性（脱水汚泥の物性；体積が嵩む）・化学性（カリウム含有量）も、子実体形成促進の一因と見られる。子実体の形態学的特性、発生本数、収量は、対照区と顕著な差は認められなかった。培地10gあたりの収量性は下水汚泥と甘藷焼酎粕を併用した試験区で5.1gと高く、対照区と比較して20%収量

表 -3 ヒラタケ栽培試験結果

試験区 注1)注2)	菌周り日数	総栽培日数	形態的特性			発生本数	収量	培地重量	培地10g あたりの 収量性
			傘の最大径	傘の最大厚さ	柄の最大径				
(平均値±標準偏差)									
(日)	(mm)			(本/瓶)	(g/瓶)	(g/瓶)	(g)		
針葉樹おが屑＋米糠培地 (BL)	15.3±0.9	48.2±2.4	45.5±1.4	11.7±1.2	14.2±1.0	30.8±7.0	90.3±6.8	600	4.2
針葉樹おが屑＋下水汚泥培地	13.5±0.5	－	－	－	－	－	－	480	－
針葉樹おが屑＋下水汚泥＋ 甘藷焼酎粕培地	13.7±0.5	38.7±0.5	47.7±4.3	12.3±0.5	11.2±1.0	32.8±3.2	95.4±7.2	510	5.1

注1) 培地基材（針葉樹おが屑）、培地栄養材（下水汚泥、甘藷焼酎粕、米糠）の培地重量に占める割合はそれぞれ46%、50%。下水汚泥と甘藷焼酎粕を併用した試験区の培地重量に占める培地栄養材の割合は各25%（下水汚泥+甘藷焼酎粕で50%）。
注2) 全ての試験区、pH調整材として貝化石を培地重量の4%添加。

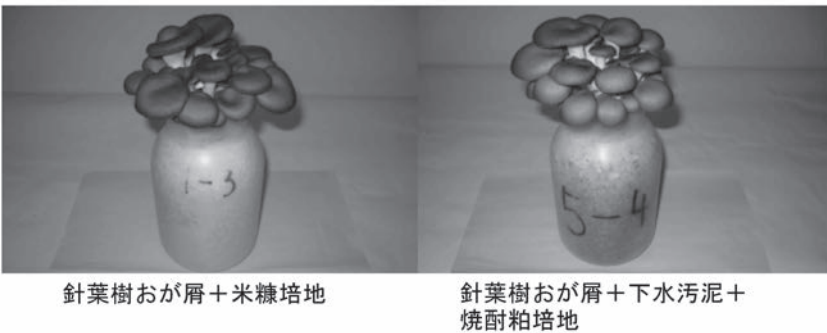


図 -1 収穫時のヒラタケ子実体

性が高まることがわかった。

なお、下水汚泥を単独の栄養材として用いた試験区では、菌周りは良好であったが、子実体は形成されなかった。関谷⁷⁾はカリウム量が極端に低いビール粕を栄養材に用いた培地（ビール粕培地；ブナおが粉 99.3g（乾物）＋ビール粕 79.2g（乾物））に KCl を添加し、きのこ子実体発生に及ぼすカリウム量の影響を調査している。その中で、子実体を安定的に発生させるためには、KCl をビール粕培地に 411mg/ 瓶（カリウムとして 215mg/ 瓶）添加することが必要なことを明らかにしている。ビール粕培地にはビール粕およびブナおが粉由来のカリウムが瓶あたりそれぞれ 50mg、114mg 程度含まれていることから、少なくとも培地中にはカリウムが 379mg/ 瓶必要と考えられる。下水汚泥を単独の栄養材として用いた試験区では培地中のカリウム量は 173mg/ 瓶であり、子実体形成には不十分であった。以上のことから、下水汚泥はきのこ培地の栄養材として単独では利用できないが、甘藷焼酎粕と併用することで、栄養材として利用可能ながわかった。

表-4 にヒラタケ子実体の一般成分、無機成分の分析結果を示す。培地栄養材に下水汚泥と甘藷焼酎粕を併用することで、蛋白質含有量が増加し、炭水化物量が減少した。ヒラタケ栽培では培地栄養材に高蛋白質の栄養材を使用すると子実体中の蛋白質量が増加することが報告されている¹⁰⁾。下水汚泥、甘藷焼酎粕に含まれる蛋白質の割合はそれぞれ 36.0%、24.7%であり、米糠（15.8%）と比較して高蛋白質であることから、これらの栄養材には窒素化合物が多量に存在し、子実体に吸収されたために相対的に炭水化物量が減少したと考えられる。無機成分は K、P が多く、灰分の 50～60%を占めた。また、食の安全性を確認するために、子実体中の重金属成分を調査したが検出されなかった。このことから、肥料取締法に基づく基準値以下の下水汚泥をヒラタケ栽培に用いた場合、重金属はきのこ子実体には移行しないことがわかった。つぎに、下水汚泥を用いた試験区で子実体中の蛋白質が増加したことから、遊離アミノ酸量を定量した。図-2 にその結果を示す。下水汚泥と甘藷焼酎粕を併用した培地でヒラタケを栽培すると遊離アミノ酸量は対照区の 3.4 倍に増加した。特に旨味成分のグルタミン酸は 7 倍、肝機能を高める効果やインスリン抵抗性改善に役立つロイシンは 5.7 倍、免疫機能を高めるアルギニンは 2.9 倍増加し、下水汚泥を培地材料に利用することで食品としての機能が向上する可能性を見出した。

以上の結果から、下水汚泥をヒラタケ栽培に利用することで、アミノ酸を多く含む高品質なきのこを生産できることがわかった。

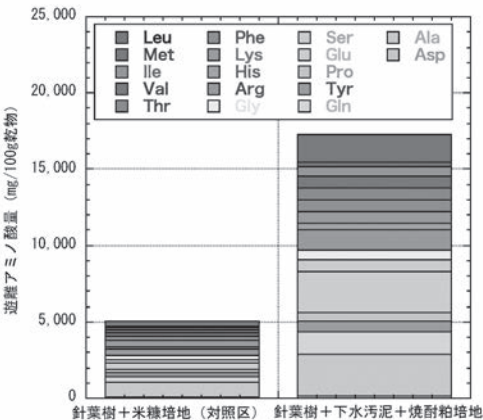


図-2 ヒラタケ子実体に含まれる遊離アミノ酸量

3.2 下水汚泥堆肥を用いたマッシュルーム（ツクリタケ、*Agaricus bisporus*）栽培試験

マッシュルームは他の食用きのこ栽培とは異なり、馬堆厩肥、牛堆厩肥やわら等をベースとした堆肥で栽培可能な食用きのこである。現在、マッシュルームは日本国内において年間 4,400 トン程度生産されているが¹¹⁾、近年の食の洋風化、多様化により、その需要は年々高まると推定される。またマッシュルームの市場単価は、年間を通して高く（800～1,000 円 /kg）¹²⁾、安全な国産品の増産が期待されている。このような背景から、本試験では、国内外初の試みとしてマッシュルーム栽培に下水汚泥堆肥を適用することが可能か、下水汚泥堆肥（市販品）と牛糞堆肥（市販品）の配合

表-4 ヒラタケ子実体の一般成分、無機成分の分析結果

試験区	蛋白質	脂質	炭水化物	灰分	P	K	Ca	Mg
	(g/100g乾物)				(mg/100g乾物)			
針葉樹おが屑＋米糠培地（BL）	35.1	1.8	56.8	6.3	1,171	2,523	N.D.	117
針葉樹おが屑＋下水汚泥＋甘藷焼酎粕培地	43.9	2.0	47.0	7.1	1,429	2,347	N.D.	133
七訂表値*	31.1	2.8	58.6	7.5	943	3,208	9.4	142

*七訂増補日本食品成分表-文部科学省抜粋

を25%ずつ変化させ培地を調製し、検討した。なお、培地水分率をマッシュルーム栽培に適した60%に調整した場合、堆肥から水分が分離し、培地底面に水分が貯まり易くなること、培地が硬く通気性が悪くなることから、本試験では培地の保水性を改善するために、広葉樹おが屑を水分調整材として添加した。

表-5に各試験区の収量(生)、発生個数を示す。収量は下水汚泥堆肥(25%) + 牛糞堆肥(75%)区が $252.9 \pm 7.1\text{g}$ と最も多く、ついで下水汚泥堆肥(50%) + 牛糞堆肥(50%)区、下水汚泥堆肥(75%) + 牛糞堆肥(25%)区の順であった。またこれらの収量結果は対照区の牛糞堆肥(100%)区と比較してそれぞれ1.8倍、1.6倍、1.2倍と多かった。これは、下水汚泥堆肥と牛糞堆肥を併用することで、生殖生長期に利用吸収される蛋白態窒素およびセルロース成分が培地中に多く含有されていたことが影響していると考えられる。一方、下水汚泥堆肥(100%)区では子実体発生は認められたが、他の試験区と比較して極端に少なかった。これは、生殖生長期に利用されるセルロースやカリウムが下水汚泥堆肥の成分特性から判断して少なかったことが影響したためと考えられる。

表-6にマッシュルーム子実体の一般成分分析結果を示す。下水汚泥堆肥(100%)区で栽培した子実体は、他の試験区と比較して蛋白含有量が高く、炭水化物量

が減少した。高橋ら¹³⁾は、マッシュルーム栽培期間中、子実体の窒素量、糖量を定量し、子実体の発生量が少ない場合、子実体中の窒素量が増加し、糖量が減少することを報告している。本試験においても同様な傾向が見られた。一方、下水汚泥堆肥と牛糞堆肥を併用した試験区および牛糞堆肥(100%)区で栽培したマッシュルーム子実体の一般成分には顕著な差は認められなかった。また、子実体の重金属については、Cd、Pb、As、T-Hgは検出されなかった。Ni、Crについては一部の子実体から検出されたが、一般的にマッシュルーム栽培に使用されている牛糞堆肥と同程度であったことから、下水汚泥堆肥の使用は問題ないと考えられた。

以上の結果から、下水汚泥堆肥はマッシュルーム栽培の単独の栄養材としての利用は難しいが、従来から使用されている牛糞堆肥と併用することで、収量増加が見込まれること、子実体中の重金属含有量が牛糞堆肥を単独で使用した試験区と同等であったこと、さらに一般成分など栄養成分等についても従来培地で栽培したものと遜色ないことから、下水汚泥堆肥はマッシュルーム培地に利用できると考えられる。

表-5 マッシュルーム栽培試験結果

試験区	収量(生)	個数
	(平均値±標準偏差)	
	(g/菌床)	(本/菌床)
下水汚泥堆肥(100%)培地	45.1 ± 5.3	4.0 ± 0.8
下水汚泥堆肥(75%)+牛糞堆肥(25%)培地	172.1 ± 5.4	13.0 ± 1.4
下水汚泥堆肥(50%)+牛糞堆肥(50%)培地	218.7 ± 8.3	18.0 ± 4.5
下水汚泥堆肥(25%)+牛糞堆肥(75%)培地	252.9 ± 7.1	34.3 ± 3.7
牛糞堆肥(100%)培地	140.5 ± 13.1	14.0 ± 4.2



図-3 下水汚泥堆肥(50%) + 牛糞堆肥(50%) 培地で栽培したマッシュルーム

表-6 各試験区の一一般成分分析結果

試験区	蛋白質	脂質	炭水化物	灰分
	(g/100g乾物)			
下水汚泥堆肥(100%)培地	47.1	3.5	38.8	10.6
下水汚泥堆肥(75%)+牛糞堆肥(25%)培地	40.3	5.2	42.8	11.7
下水汚泥堆肥(50%)+牛糞堆肥(50%)培地	41.2	4.7	43.5	10.6
下水汚泥堆肥(25%)+牛糞堆肥(75%)培地	40.0	3.2	46.3	10.5
牛糞堆肥(100%)培地	42.4	4.7	42.3	10.6

4. きのか栽培施設から発生する炭酸ガスおよびきのか廃培地を用いた作物栽培試験

本試験では、きのか栽培施設から発生するCO₂の農業利用を目的にパッションフルーツ葉面にCO₂を局所的に施肥する新技術を用いた。その結果、CO₂施肥は光合成速度および根の新鮮重と乾燥重を向上させ、果実品質においては糖度を向上させることがわかった(表-7参照)。また、マッシュルーム廃培地を堆肥の一般的な施肥法で、化学肥料と合わせて施用し、チンゲンサイの生育や品質に及ぼす影響について下水汚泥堆肥、牛糞堆肥と比較検討した。その結果、マッシュルーム廃培地を施用した試験区(下水汚泥堆肥と牛糞堆肥を併用した培地の廃培地)のチンゲンサイの生育は下水汚泥堆肥を施用した区や牛糞堆肥を施用した区よりも良好であった(図-4参照)。このことから、廃培地の肥効率は両堆肥と比較して高いものと推察される。以上の結果から、マッシュルーム廃培地は、牛糞堆肥などと同様に葉菜類に施用することができると考えられる。今後は、果菜類、根菜類など他の作物への利用についても検討したい。

5. おわりに

平成26年度～28年度に実施したGAIAプロジェクトにおいて、下水汚泥(脱水汚泥)や下水汚泥堆肥を食用きのか栽培に活用する研究を実施した。その結果、下水汚泥や下水汚泥堆肥は食用きのか栽培における単独の栄養材としては利用できないが、地域の食品廃棄物(焼酎粕)や畜産廃棄物(牛糞堆肥)と併用することで、高収量、かつ付加価値の高いきのかを栽培可能なことが明らかになった。また、廃培地やきのか栽培過程で発生する炭酸ガスの施肥についても作物増収や品質向上効果があることが認められた。このように、きのか栽培を通して下水汚泥、下水汚泥堆肥の付加価値を高めることに成功した。今後は、本プロジェクトで得られた基礎データをもとに、産学官民が連携して実装化に向けた検討を行い、「きのか生産を核とした下水道資源のカスケード利用システム」を構築したい。

表-7 CO₂施肥がパッションフルーツの樹体生育と果実品質に与える影響

処理区	光合成速度(μmol/m ² s)	地下部(g)		果実重	糖度
	1,000ppm	新鮮重	乾燥重	(g)	(Brix)
無処理区	10.3	87.6	15.5	77.2	16.4
CO ₂ 施肥区	15.5	119.9	18.8	76.5	17.0
有意差	*	*	*	n. s.	*

* : t検定により5%水準で有意差あり、n. s. : 有意差なし



図-4 廃培地を用いたチンゲンサイの栽培試験

左から牛糞堆肥、廃培地(下水汚堆肥泥25%+牛糞堆肥75%)、廃培地(下水汚泥堆肥50%+牛糞堆肥50%)、下水汚泥堆肥

参考文献

- 1) 国土交通省ホームページ：水防法等の一部を改正する一部施行等について（7月19日施行分）、<http://www.mlit.go.jp/river/suibou/suibouhou.html>、（2016年5月2日閲覧）
- 2) 細川恒：下水道法改正と下水汚泥の処理、JS技術情報メール、No.166、<http://www.jswa.go.jp/g/g5/g5m/y/pdf/y146.pdf>、2015.
- 3) 山内正仁、今屋竜一、山田真義、増田純雄、木原正人、米山兼二郎、原田秀樹：甘藷焼酎粕乾燥固形物を利用した高付加価値きのこ（エリンギ）の実用化に関する研究、土木学会環境工学論文集、Vol.44、pp.481-490、2007.
- 4) 山内正仁、小村洋美、山田真義、大六野洋、長野京子、内田一平：キノコ生産を核とした焼酎粕乾燥固形物の循環システムの構築、廃棄物資源循環学会論文誌、Vol.21、No.4、pp.155-164、2010.
- 5) 山内正仁、大六野洋、山田真義、八木史郎、原田直人、増田純雄、山口隆司：各種食用きのこへの食品廃棄物（焼酎粕、でん粉粕）の適用と廃培地の飼料利用、土木学会環境工学研究論文集、Vol.67、No.7、pp.449-459、2011.
- 6) 山内正仁、池田匠児、山田真義、八木史郎、渡慶彦、山口昭弘、山口隆司：発酵バガス・黒糖焼酎粕培地を用いたアラゲキクラゲ栽培技術の開発、土木学会論文集 G（環境）、Vol.71、No.7、Ⅲ_229-Ⅲ_237、2015.
- 7) 関谷敦：ビール粕を主成分とする培地におけるヒラタケ子実体の発生に及ぼすカリウムの添加効果、日本応用きのこ学会誌、Vol.7、No.2、pp.65-69、1999.
- 8) 大賀祥治、阿部正範、眞許勝弘、寺下隆夫：食用きのこの菌糸成長に及ぼす核酸関連物質の影響、日本応用きのこ学会誌、Vol.11、No.3、pp.119-122、2003.
- 9) 大賀祥治：担子菌の子実体発生に関与する遺伝子制御因子、科学研究費補助金研究実績報告（基盤研究 C、研究課題番号 12660153）、pp.1-40、2002.
- 10) 川井英雄、松沢睦子、伝川祐子、佐々木弘子、春日敦子、青柳康夫：菌床栽培ヒラタケおよびマイタケの子実体成分と培地との関係、日本食品工業学会誌、Vol.41、No.6、pp.419-424、1994.
- 11) 野菜情報サイト 野菜ナビ、<https://www.yasainavi.com/>
- 12) 独立行政法人農畜産業振興機構：ベジ探、<http://vegetan.alic.go.jp/sch7.do?outPutKbn=1>
- 13) 高橋善次郎、岡 信子：合成培地によるマッシュルーム培養 - IX、東洋食品研究所研究報告書、第 8 号、pp.346-353、1968.

研究紹介

下水汚泥焼却灰およびアルカリ廃液を利用したリン酸の回収工程 － 供試材料の詳細な元素組成および有機性有害成分の分析 および合成したリン酸質肥料の肥効試験と植害試験 －

岩手大学三陸復興推進機構 特任研究員
(現在：茨城県農業総合センター園芸研究所 流動研究員) 工藤 洋晃

(地方独立行政法人 岩手県工業技術センター) 菅原 龍江

(地方独立行政法人 岩手県工業技術センター) 佐々木昭仁
ほか

キーワード：リン回収、アルカリ廃液、アルカリ抽出法、リン酸質肥料、リン酸カルシウム

1. はじめに

環境省環境研究総合推進費補助金の支援を受け、「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」が実施された（平成 22 年～平成 24 年）。当該研究事業については本誌においても紹介されている¹⁾。この取組において、岩手県の公的研究機関（地方独立行政法人岩手県工業技術センター、岩手県農業研究センター、岩手県環境保健研究センター）、岩手大学農学部、岩手大学工学部、および岩手県内外の民間企業による産学官連携の下に研究グループを立ち上げ、リン資源循環システムの研究に取り組んできた。リン資源の用途は多岐にわたるが、本研究事業では、成果物である回収リンを主として肥料および電池材料として活用する手法を検討し、一連の研究結果により特許の取得に至った²⁾。本稿では、当該事業において、肥料製造を目的とした研究の中から、下水汚泥焼却灰からのリン回収工程について、日本土壤肥料学雑誌などに掲載された報文を中心に、有害成分の含有量やその移行に係る調査結果のほか肥料としての安全性評価について紹介する。

2. アルカリ抽出法による下水汚泥焼却灰からのリン抽出

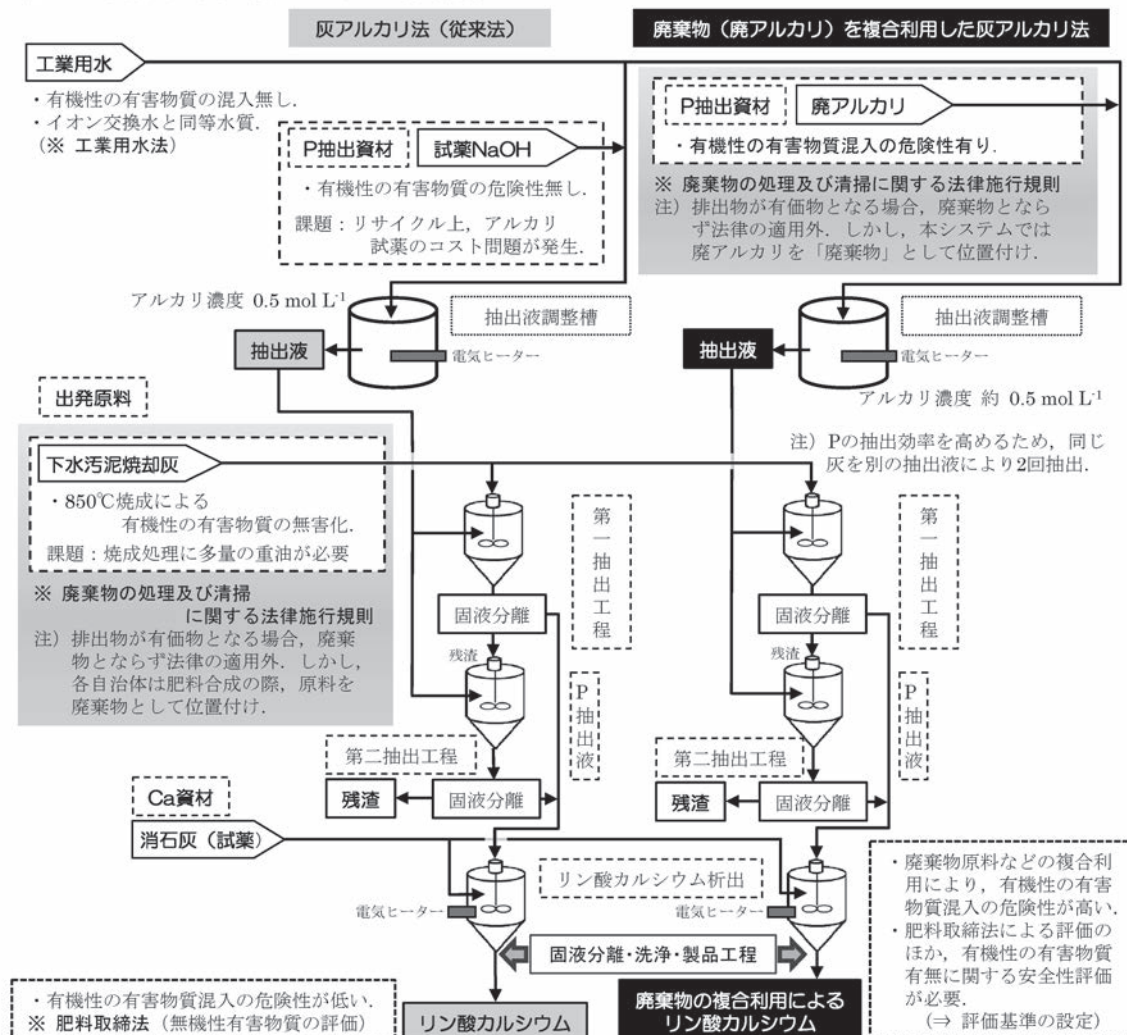
本研究事業では、下水汚泥焼却灰からのリン抽出方法として、アルカリ抽出法（灰アルカリ法³⁾）を中心に検討した。アルカリ抽出法を採用した理由やその効

果については既に報告されているが¹⁾、概説すると、酸抽出法と比べ下水汚泥焼却灰に含まれる有害重金属等の溶出抑制に効果的であり、リン抽出工程の設備に対する腐食対策管理費用の削減、回収リンの固形化（肥料化）などが容易であることが挙げられる。アルカリ抽出法においてもアルミニウムなどの両性元素は溶出されるが、本研究では、抽出条件（抽出温度およびアルカリ濃度）の制御により、両性元素の溶出低減を図っている⁴⁾。

本研究におけるアルカリ抽出法の最大の特徴は、県内の企業にて電子プリント基板製品の製造工程で排出される廃アルカリ（特別管理産業廃棄物）をリン抽出工程に利用する手法を検討した点である（図 1）。当時、本企業からのアルカリ廃液は、岩手県内において年間排出量が最も多いアルカリ廃棄物であった。下水汚泥焼却灰からのリン回収工程において、酸やアルカリを用いた湿式法を実施する場合、抽出に用いる薬剤のコストがしばしば課題となる。これに対して本研究では、高純度のアルカリ薬剤を廃アルカリで代替することで、リン抽出工程のコスト削減を図るとともに、廃アルカリの有効利用を果たす手法を提案した^{4), 5)}。これは、複数種類の産業廃棄物を組み合わせた多重利活用による再資源化のモデルケースといえるであろう。

一方、同一試料について高純度薬剤（硫酸）または廃酸による酸抽出を行なった場合は、リンの抽出効率を維持したまま有害重金属の溶出抑制を果たす抽出方法を見出せず、高度精製により有害重金属を除去する必要があった⁶⁾。そのため、アルカリ抽出法と比較し、回収リンの固形化（肥料化）までに複数段階の精製工

灰アルカリ法によるリン酸カルシウムの合成経路

図1 灰アルカリ法によるリン酸カルシウム合成のフローチャート(既報⁵⁾より転載)

程を要し、国内におけるリン酸回収工程としてアルカリ抽出が有利であると認められた。

3. 有害成分の詳細分析

産業廃棄物を資源化するうえで、原料由来の有害成分の混入に対する配慮は欠かせない。本研究で供試した下水汚泥焼却灰は焼成工程を経ていることから、有機性有害成分および低沸点の金属元素についてはほとんど含まないと想定された。また、廃アルカリの利用にあたっては、RoHS規制などの輸出規制および環境規制に対し多くの企業が対応しており、国内の廃棄物中に含まれる有害重金属の濃度は低いと想定された。

はじめに、供試材料の詳細な元素組成分析を実施し、下水汚泥焼却灰についてはICP発光分光分析法で検出可能な成分を中心に72元素を、廃アルカリについ

ては蛍光X線分析装置による簡易分析で検出された12元素の含有量を、それぞれ評価した。分析結果については日本土壤肥料学雑誌に発表された⁴⁾。特に下水汚泥焼却灰については、アルカリ溶融法により全溶解したことで真に全含有量の値が求められており、それらを標準添加法によりICP発光分光分析法で高精度に測定した(水銀など専用の測定方法を必要とする成分はそれを用いた)。

廃アルカリについては、水銀やカドミウムなど代表的な有害元素をほとんど含んでいないことが確認されたが、廃アルカリが発生した工場の製品(電子プリント基板製品)に由来する銅が20-60 mg L⁻¹含まれた⁴⁾。しかし、本研究のリン回収工程で作成した肥料(固形化した回収リン)においては、銅含有量が0.1 g kg⁻¹以下の値を示し、回収リンへの銅の移行が微量であることが明らかになった。さらに、他の有害元素につい

でも肥料取締法の許容値(焼却汚泥基準)未満であったことから、回収リンへの有害元素の移行や集積は認められず、安全性に問題が無いことが明らかであった⁴⁾。

次に、金属等を含む産業廃棄物に係る判定基準を定める省令別表第一など、関連する法令に照らし合わせて、有機性有害成分 20 項目の含有量を評価した。参照した法令およびそれを選定した根拠については、既報⁵⁾を参照願いたい。分析の結果、本研究で供試した材料からは基準値を上回る成分は見出されなかった⁵⁾。下水汚泥焼却灰は 850℃ 前後での焼成処理が行なわれていることから、有機性有害成分が基準値以下であった結果は期待通りであった。

一方、廃アルカリについては、電子プリント基板の洗浄工程から得られる性質上、基盤由来の樹脂破片などを含むことなどから、有機性有害成分の含有量については確認が必要と考えられた。しかし、ろ布などで廃アルカリ中の固形物を取り除いてから試験に用いたことなどから、電子基板由来の夾雑物による影響は無視できるレベルであったと判断された。さらに、固形化した回収リンについて、焼成処理を省略して分析に供したが、供試材料に有機性有害成分が含まれなかったことから当然の結果ではあるが、回収リンからは基準値を上回る成分は検出されなかった。

以上の結果から、供試材料および成果物について無機性・有機性の有害成分の含有量を詳細に調査した結果、基準値を上回る成分は認められず、回収リンの安全性が明らかになった。なお、本研究で実施した有害成分の分析において、既報^{4), 5)}で記述されたように関連法規に定められた基準値を参照した。個々の供試材料については該当する区分が明確であったが、本研究で作成した固形化回収リンは下水汚泥焼却灰に対して湿式の化学処理を実施していることから、例えば汚泥肥料等の公定規格には該当せず、参照すべき基準値の区分が定まらなかった。本研究のような、下水汚泥焼却灰と他の産業廃棄物(廃アルカリ)の組み合わせによる廃棄物の再資源化を促進するためにも、最終生成物の安全性評価基準が制定される必要性が高まっていると筆者らは感じている。

4. 肥料としての回収リンの評価

本研究のリン回収工程において得られた回収リン(リン酸カルシウム資材、図 2)の肥料効果について、公定法に則った評価を実施した⁵⁾。

はじめに、基礎性状としてリン酸含有量が 30% (w/w) 弱であり、市販のリン酸肥料と同等またはそれ以上のレベルであった。リン回収工程の特性上、固形化した回収リンは水溶性のリン酸はほとんど含まないが、含

まれるリン酸のほぼ全量がク溶性であり、高い肥効が期待された。

次に、回収リンを用いた栽培試験(肥効試験および植害試験)の結果、市販のリン酸肥料と同等の肥効が認められ、植害試験において安全評価上の条件を満たした。回収リンの性状分析において無機性・有機性の有害成分が基準値未満であったことから期待された通り、植害が発生しないことが栽培試験により確認され、本研究で作成した回収リンの安全性が高いことが明らかとなった。既報⁵⁾の栽培試験はポット栽培により実施されたが、筆者らが圃場レベルで実施した栽培試験においてもこの回収リンはリン酸肥料としての肥効が確認されている⁷⁾(図 3)。これらの結果から、本研究の回収リンはリン酸肥料として市販の化学肥料とほぼ同等の品質であることが明らかになった。

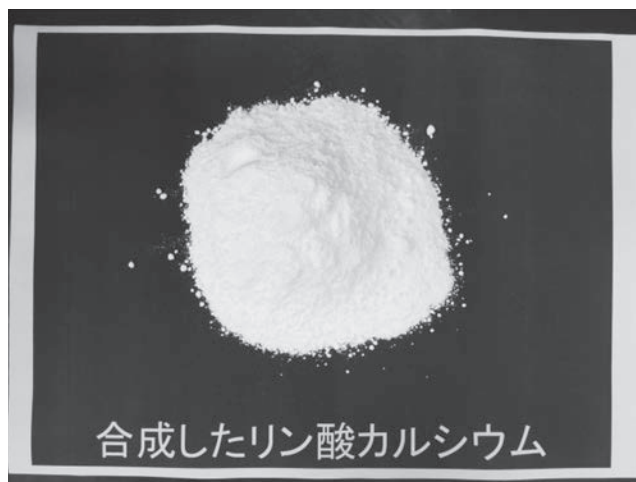


図 2 廃アルカリ法で下水汚泥焼却灰から合成したリン酸カルシウム肥料



図 3 回収リンを施肥した圃場試験の様子

5. おわりに

現在、リン資源は主に天然資源（リン鉱石）に依存しているが、資源枯渇への懸念やリン鉱石の戦略物資化などから明らかであるように、国内や地域におけるリン資源の安定供給を維持するため、代替資材の資源化技術を開発して資源確保の選択肢を広げておく必要がある（図4）。リン含量が高い資材や廃棄物は様々挙げられるが、本研究の供試材料である下水汚泥焼却灰は、リン酸含量が高く発生量も安定していることから、リン資源としての安定供給が期待できる。

下水汚泥焼却灰からのリン回収は、既に事業化されている事例が多く存在するが、例えば本研究で採用したアルカリ抽出法でも採算性が課題となることが多い。本研究で検討した手法では、リン抽出工程の薬剤として廃アルカリを活用することで採算性の改善を図り、高純度の薬剤をこれで代替できることを明らかにした。また、産業廃棄物の多重利活用による再資源化に際して最終成果物に無機性・有機性の有害成分が含まれないという重要な結果を得た。これは、リン回収工程において高度精製の工程の簡略化が期待され、採算性の改善を後押しする結果であった。また、下水汚泥の焼成により有機性有害成分の混入リスクが低いなどの結果予測が容易であった項目もあるが、精度の高い具体的なデータで報告した意義は大きい。

リン回収の採算性については、供試材料が下水汚泥焼却灰であることも有利な条件である。本研究事業では、下水汚泥焼却灰だけでなく、塗装スラッジを供試材料としてリン回収を行なった事例もあるが、塗装スラッジは発生過程に由来すると思われる油分やポリマーなどを除去するために、リン回収工程において焼成処理を行なっている⁸⁾。一方、下水汚泥焼却灰は発生過程で焼成工程を経由していることから、リン回収

工程において焼成工程を必要としない。ゆえに、本研究の手法では①リン抽出工程、②液層に移行したリンの固形化工程（リン酸カルシウム析出）、というようにわずかな工程で高品質の回収リン肥料を製造可能である。

本稿で紹介した通り、本研究の回収リンは肥料としての性能と安全性が証明された。ここで紹介した灰アルカリ法による、下水汚泥焼却灰からのリン回収はすでに実用化された技術であり³⁾、加えて、本研究の廃アルカリの安全性が明らかになった。本稿で紹介したリン回収工程は既にプラント試験による実証も果たしていることから、一連の手法は社会実装できるレベルに達していると筆者らは考えている。

参考文献

- 1) 佐々木昭仁、菅原龍江、阿部貴志、池浩之、佐藤佳之. 下水汚泥焼却灰を活用した産学官連携研究の概要. 再生と利用, 143: 87-95, 2014.
- 2) 佐々木昭仁、菅原龍江、八代仁、中澤廣、土岐規仁、晴山渉、河合成直、工藤洋晃、熊谷直昭、守屋由介、野入菜摘. リン酸鉄の回収方法. 特願2015-052515, 2015.
- 3) 守屋由介、坪井博和、池田裕一. 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: 833-838, 2009.
- 4) 佐々木昭仁、工藤洋晃、佐藤佳之、阿部貴志、菅原龍江、守屋由介、初山祥太郎、添田直希、河合成直. リン酸カルシウム肥料資材としての下水汚泥焼却灰およびアルカリ廃液原料の組成調査と合成リン酸カルシウムの肥料特性評価および原料由来の有害元素の移行調査. 土壤肥料学雑誌, 86: 291-299, 2015.
- 5) 佐々木昭仁、工藤洋晃、佐藤佳之、阿部貴志、菅原龍江、大友英嗣、菅原隆志、守屋由介、初山祥太郎、河合成直. 下水汚泥焼却灰とアルカリ廃液を原料としたリン酸カルシウム肥料資材の有機性の有害物質安全調査と肥効および植害試験. 土壤肥料学雑誌, 87: 438-449, 2016.
- 6) 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. 土壤肥料学雑誌, 83: 288-291, 2012.
- 7) 外山佳裕、工藤洋晃、大沼翔、立石貴浩、庄野浩資、渡邊学、佐川了、河合成直. 津波被害を受けた岩手県沿岸農地における発酵鶏糞およびフェザーミールの利用. 日本土壤肥料学会京都大会講演要旨集（学会発表）, 61: 144, 2015.
- 8) 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. 土壤肥料学雑誌, 84: 367-374, 2013.



図4 リン資源循環（リン酸質肥料による回収）のイメージ図

研究紹介

凝集沈殿処理を行った初沈汚泥のコンポスト化とその肥効に関する研究紹介

東京理科大学理工学部土木工学科

卒 研 生 金子 秀寛

卒 研 生 杉山宗一郎

教 授 出口 浩

キーワード：凝集沈殿汚泥、コンポスト化、肥効検証

1. はじめに

近年全国では、下水道整備はますます進み、国土交通省の資料¹⁾によれば、下水処理人口普及率は平成28年度末において78.3%に至った。しかしその一方で、地方都市・山村などの専門家の手が行き届かないような場所において下水処理プラントの維持管理・コストの問題はますます顕著な問題となってきている。それらの地域に適した維持管理が容易で省エネである小規模下水処理プラントは必要ではなかろうか。そこで本研究室では、千葉県、千葉県下水道公社、三機工業との4者共同で、未普及の解消かつ発生汚泥のコンポスト化を行い、余剰汚泥処理の要らないプラントの提案とコンポストを肥料として農地に還元することを主眼において研究に取り組んできた。水処理に関する研究成果は、その一部を報告してきている^{2) 3)}。

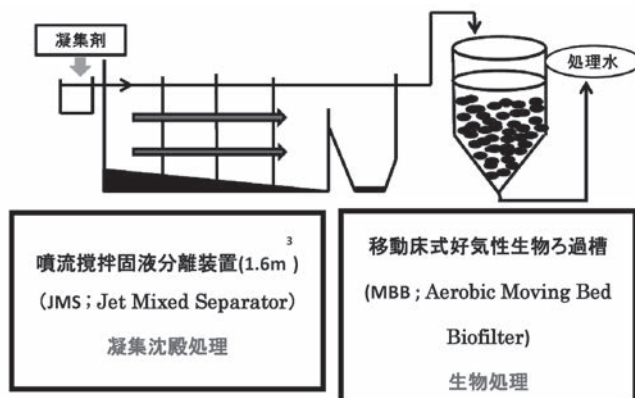
これらの要件を満たす図1のような噴流攪拌固液分離装置（JMS；Jet Mixed Separator）と移動床式好気性生物ろ過槽（MBB；Aerobic Moving Bed Biofilter）を組み合わせた小規模プラントについての研究を行ってきた。

JMS装置では下水中に含まれているSSなどを、凝集沈殿させる。凝集剤はポリシリカ鉄を用い、急速攪拌槽で混和されたのち、多孔板によって仕切られた槽に流入する。流下方向に下水が流れ、仕切りの穴を下水が通過することで発生する噴流によって凝集剤と下水を緩速攪拌しフロックの形成と成長を行う。この仕組みにより、無動力でフロックを形成し沈殿させるこ

とが可能となっており、省エネルギーに寄与している。

MBBはJMSによって処理された水（BOD値80mg/1程度）をアンスラサイトと呼ばれるろ材についた生物膜（BioFilter）を用いることで水処理（二次処理）を行う装置である。効率的かつ均等に処理するためにろ材を1時間ごとに装置の底部からエアリフト（各稼動は10分）によってタンク上部に輸送すると同時に洗浄を行い24時間でMBBろ材がろ層内を移動し一巡更新される仕組みになっている。洗浄によって剥離した生物膜を含む物資等はJMS装置に返送され汚泥として沈殿する。また、処理水のBOD値は10mg/l以下を維持できる。

以上のようにJMS-MBBプラントでは、JMSに少ないながらも汚泥が発生するため、沈殿汚泥のコンポストとしての利用（農地還元）を計画している。この



図－1 JMS-MBB 装置概略

ように発生汚泥を肥料化することで、未普及地域として残っている都市域ではない地域で汚泥処理の不要な水処理プラントとしての発展を期待している。

- 本研究ではJMS装置で発生した汚泥を主眼に置き、
(a) JMS-MBB装置から発生した汚泥（以下、汚泥）からコンポストを作成し、
(b) それを用いて植物を育て、コンポストによる植物の成長への影響を調査すること
を目的としている。

2. 実験方法

1) コンポストの作成方法

JMS-MBB装置より沈殿汚泥を取り出し、含水率が70%程度となるように脱水する。その後、副資材として汚泥に市販の「ピートモス」および「くん炭」を混ぜ合わせる。このとき汚泥、ピートモス、くん炭は質量比2:0.75:0.75程度の割合であり、混合物の含水率は50%程度となる。実験では凝集沈殿した汚泥を約10日間かけて収集および貯留し脱水を行った。これにより、合計で約7kgの脱水ケーキを得た。上記の副資材を用い、研究の用途別に脱水ケーキを3等分した。コンポスト作成では、結果として約3.5kg程度の混合物を得る。この混合物を発泡スチロール製の容器に移し、発酵させることによりコンポストを作成する。発酵の進行管理はコンポストの発熱を追跡することで行った。温度のモニタリングはコンポストに埋め込んだ温度計と対照とした箱内気中温度の差を調べることで発酵現象の進行を温度差として検出した。容器内のコンポストは発熱が終了するまで繰り返し等を一切行わずに放置した。

また、保温箱以外に、コンポストを練って花壇に漉き込んだもの、汚泥のまま花壇に漉き込んだものを実験ケースとして選定した。花壇に漉き込んだコンポストと脱水汚泥の発酵現象を観測するため、a) コンポスト、b) 脱水汚泥、c) 花壇の土について当該箇所の中心部分に温度計を埋設した。発酵現象の検出は、コンポストと脱水汚泥に設置した温度計と土の中に設置した温度計の差（30分毎計測）を調べることで行った。汚泥とコンポストに含まれる汚泥の量は等しく2kg程度であるが、副資材を含めた重さ、容積ではコンポストのほうが大きくなっている。調査した発熱現象の終息をもって、発酵の終了と考えれば発酵までに要する期間について測定が可能である。

2) 栽培植物の選定

実験で用いる植物の種類について検討を行った。栽培する植物に要求される条件としては、(a) 病害虫や

温度変化に強く、(b) 収穫までに期間が短い、(c) 植物体が大きくなりすぎないことが挙げられる。これらの要件は栽培環境を研究室内とし、限られた土の量で十分に結果を検証できるだけのサンプルを得なければならないという条件に起因する。以上の要件と栽培する季節を検討した結果、コマツナおよび異なる2種類のハツカダイコンのイザベル、コメットを栽培することとした。

3) 栽培に用いる土について

同種の植物におけるコンポストを使って育てた場合と、そうでない場合の成長を比較するため、容積9.61の二つのプランターを使って、それぞれに、a) 通常の土およびb) 通常の土にコンポストを重量で25%の割合で配合した土を約5.3kg投入した。ここで用いる通常の土とは、すべて東京理科大学内の草地で採取した土である。白いプランターに通常の土を、茶色いプランターにコンポストを配合した土を投入している。土の採取後、2種類の土にコンポスト以外の肥料は与えていない。なお、花壇に漉き込んだ実験ケースでは栽培実験を行っていない。

4) 栽培パターン

表－1のように、それぞれの条件で通常の土とコンポストを含む土で同じ株数となるように育てた。条件①、②では育苗用の土で種子を発芽させたのち、間引きをしてプランターに植え替えた。条件③、⑤では発芽用のロックウールを用いて発芽させたのち、間引きをした後にプランターに植え替えた。条件④ではプランターに種を直接筋蒔きして発芽後に間引きをした。プランターに植え付ける際に株同士の間隔は一定となるようにした。

表－1 栽培の条件

条件	品種	育苗方法	栽培回数	栽培した期間	栽培日数	各々の株数
①	イザベル	ポット	1回目	5月25日～6月23日	29日間	9
②	コメット	ポット	1回目	5月25日～6月26日	32日間	9
③	コマツナ	ロックウール	1回目	5月25日～6月30日	36日間	10
④	コメット	直播き	2回目	7月3日～8月1日	29日間	10
⑤	コマツナ	ロックウール	2回目	7月3日～8月7日	35日間	10

5) 栽培方法

病害虫による被害を避けるため、研究室内の南向きで植物が十分太陽光を浴びられる窓際にプランターにおいて、栽培を行った。栽培した植物はすべての種類で乾燥に強いとため、根腐れ等を防ぐ目的で水やりは基本的には土の表面が乾いてからとし、根焼けを防ぐため主に夕方から夜にかけての時間帯で水やりをおこ

なった。また、植物が太陽光の方向に向かって成長する性質の影響で、株が倒れこんでしまうおそれがあるため、定期的にプランターの向きを転換してなるべく植物がまっすぐ育ち、株同士の葉が互いに干渉にないようにした（図－2 参照）。



図－2 コマツナ栽培の様子

6) 収穫

植物の収穫時期については、植物の種類ごとに様子を観察しながら調節した。収穫は植物の種類ごとに、通常の土とコンポストを含む土の双方のプランターで、すべての株同時に行った。植物全体の成長具合を知るため、可食部のみの収穫とはせず、根を含めた植物全体を土から掘り起こして収穫を行った。この際、根をなるべく引きちぎらないように注意した。また、枯れ落ちそうな葉が落ちないように注意を払った。収穫した時間帯は、すべての条件で13時頃である。表－1の条件①の場合のみ、収穫後にいったん水を張ったトレイに株を入れて、十分水を吸わせた。しかし、条件②以降では後述する測定項目、乾物質量が重要であると考えたため、新鮮質量に影響を与える水を吸わせる行程は不要と判断してとり行わなかった。

7) 収穫した植物の測定

収穫した植物のそれぞれの株について、「新鮮質量」および「乾物質量」の2つを測定した。新鮮質量とは、植物を収穫した直後の植物の質量のことであり、水分を含んだ質量である（図－3 参照）。一方、乾物質量は収穫後の植物を炉乾燥させ、水分を完全に蒸発させた後に測定される植物の質量である。炉乾燥では最初の1時間程度を100℃に設定し、生理反応を停止させたのち、80℃で48時間以上炉乾燥を行った（図－4 参照）。



図－3 コマツナ新鮮質量測定の様子



図－4 炉乾燥したコマット

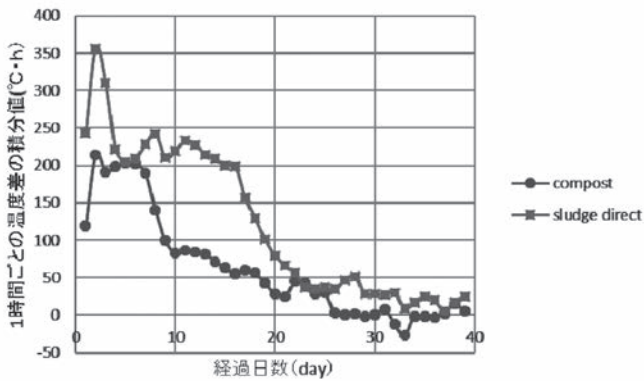
3. 実験結果と考察

1) コンポストの発熱量変化

コンポストを入れた箱の温度はセンサーの不良により、十分なデータが得られなかった。しかし、土中に埋めた汚泥とコンポストおよび花壇の土中の温度が測定されていたため、それらのデータを用い、コンポストや汚泥の発熱をグラフ化した。同時刻に測定されたコンポストと土、および汚泥と土の温度の差を発熱量とし、1時間ごとの値を積算して一日あたりの発熱量とし、発熱量を縦軸、経過日数を横軸にとり図－5のようにグラフ化した。

この結果より、初期の急激な温度上昇ののち徐々に発熱が収束し、コンポストでは作成から26日目で発熱が観測されなくなっていることが読み取れる。よってコンポストは本研究で用いた3.5kg程度ならば、切り替えしを行わなくても4週間程度で発酵が完了することが示唆される。また、コンポストと汚泥では発酵初期から中期において発熱量におおきな差が見られるが、これは発酵して発熱をしない副資材がコンポスト

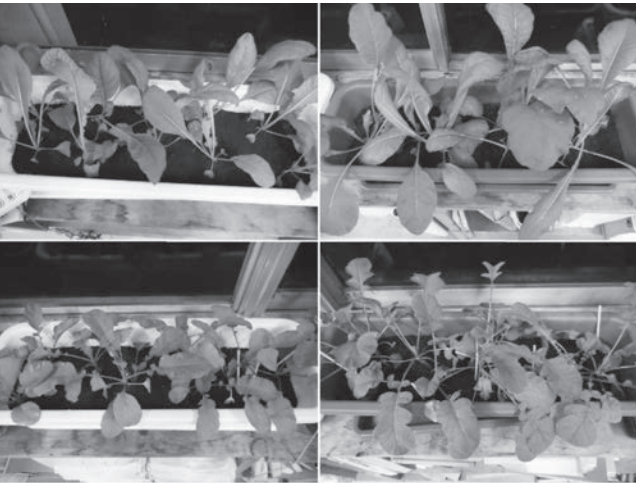
内の汚泥の発熱を吸収しているためと考えられる。さらに、この結果により副資材を投入したほうが、発酵反応が早く収束することが示された。



図－5 コンポストと汚泥の発熱経過

2) 成長過程の植物の様子

収穫直前の様子を図－6に示す。上段二つが条件⑤のコマツナで、下段の二つが条件④のコメットである。また、右側にコンポストで育てたものを、左側に普通の土で育てたものを配した。このように収穫直前の十分に成長した段階であれば、目視で十分コンポスト効果を確認できる。また、葉の色に関しても、コンポストで育てもののほうが濃い色になっていることが確認できる。



図－6 植物の成長過程（上段がコマツナ、下段がコメット、右側がコンポスト）

3) 収穫した植物の測定結果

表－1のように5つの条件で普通の土とコンポストのそれぞれで、新鮮質量と乾燥質量を測定し、ウェルチのt検定を有意水準5%で行った結果、表－2のような結果が得られた。ウェルチのt検定とはウェルチ

検定とも呼ばれ、2つの標本において分散が未知であり、分散が等しい保証も無いときに用いる正規分布の平均の差の検定方法である⁴⁾。すべての測定結果においてコンポストで育てた株の平均質量が普通の土で育てたものを上回っていたが、平均値の差の検定を行うと条件①②では有意差がないという結果が出た。

2種類のハツカダイコンよりもコマツナのほうがコンポストの影響が大きくでているが、これについては肥料による効果で葉の部分が大きく育つことにより、より光合成によって得られる栄養分が体重に大きく寄与していることによると考えられる。ハツカダイコンでは根を肥大化させる性質のため、土中から得られた栄養分が根にまわり、葉の面積が大きくなって光合成が促進されることによる栄養分を享受できず、コマツナのような葉物野菜よりコンポストの効果が薄くなったことが考えられる。

それぞれの条件によって、栽培期間中の温度件や日照条件が大きく違うため、比較は容易ではないが、同条件下における普通の土とコンポストでの植物の成長度合いに鑑みると、コンポストに肥料として有意な価値があることは明らかになったといえるだろう。

表－2 収穫後の質量測定結果

条件	品種	質量	全株の平均質量		t検定の結果
			普通の土	コンポスト	
①	イザベル	新鮮	7.93	10.07	有意差なし
		乾物	0.51	0.68	有意差なし
②	コメット	新鮮	9.92	14.72	有意差なし
		乾物	0.92	1.66	有意差なし
③	コマツナ	新鮮	6.88	14.25	有意差あり
		乾物	0.51	0.95	有意差あり
④	コメット	新鮮	6.65	13.47	有意差あり
		乾物	0.74	1.10	有意差あり
⑤	コマツナ	新鮮	8.39	21.78	有意差あり
		乾物	0.90	1.65	有意差あり

4. まとめと今後の展望

- 本研究の現時点の結果としては、
- (a) JMS 汚泥によるコンポストは1ヶ月程度で発酵が終わり、切り替えし等を行わずとも発酵過程は良好であった。
 - (b) コンポストは一定の肥料としての能力を示した。
- 今後の展望としては、コンポストの発酵完了の確認をより正確にするための実験や、他の野菜を用いた実験によってコンポストの肥料価値をより確かにしてい

くことなどが考えられる。今回の栽培では短期間で収穫可能な植物であったことから、より長期間の栽培が必要な植物でのコンポストの影響を調べる必要もあるだろう。

＜参考文献＞

- 1) 国土交通省（記者発表資料）汚水処理人口普及率が90%を突破しました！ http://www.mlit.go.jp/report/press/mizukokudo13_hh_000352.html
- 2) ハイブリッド水処理システムによる小規模下水処理実証試験、第54回下水道研究発表会公演集、高梨伸一、高橋千絵子、出口浩、小関多賀美、2017
- 3) ハイブリッド水処理システムにおける有機物除去特性、第54回下水道研究発表会公演集、三村和久、高橋千恵子、出口浩、高梨伸一、2017
- 4) 共立出版 統計解析入門 著：白旗慎吾 p121

研究紹介

平成 28 年度 下水汚泥由来肥料等の窒素肥効試験と 現地調査結果について

日本下水道協会 技術研究部 前田 明徳

日本土壌協会 営農推進部 井上 恒久

キーワード：施肥効果、土壌化学性、品質特性

I はじめに

（公社）日本下水道協会では下水汚泥緑農地利用に関する調査研究活動として、昨年度まで下水汚泥由来肥料の圃場試験を継続実施してきた。ここでは主に窒素の肥効性について調査をしており、下水汚泥由来肥料と化学肥料との相違点を明らかにしてきた。

これら当協会が実施してきた窒素肥効試験より、下水汚泥由来肥料等を野菜に施用した場合、肥料の種類や、野菜の種類によって窒素吸収経過が異なり、収量への影響が大きいことが認められ、化学肥料と同等以上の収量効果が得られた。

昨年度においてはさらに他地域の異なる数種類の下水汚泥由来肥料を用い、栽培期間の異なる野菜に対しての施肥効果を確認するとともに、これまで蓄積してきた調査データと合わせ、作物に対する窒素肥効の相関関係等を取りまとめた。

これらを取りまとめることにより、過去の知見と合わせ下記の情報提供が可能である。

- ・施設側は自社のコンポスト生産工程の原料及び配合特性に基づき、汚泥肥料に最適な作物種を利用側（農家・地域住民）に伝えることができる（作物種に応じたコンポスト、汚泥肥料の利用）。
- ・利用側（農家）は肥料コストの削減が図られる。

以上をふまえ、昨年度は具体的に下記の2点を中心に調査を実施した。

- ①消費者に対してPR度の大きいデータ収集・蓄積を目的とし、トマトおよびコマツナについてこれまでの収量調査に加え、評価事例の少ない旨味等の評価指標となる品質（糖度等の分析）についてそれぞれ化学肥料と比較した場合の調査。
- ②農業関係者へのイメージアップを目的として、先進的な農業利用の事例の現地調査を行うことによる、下水汚泥由来肥料の利用方法と作物品質の向上や土壌改良への効果特性調査。

II トマトおよびコマツナの収量・内部品質と下水汚泥由来肥料の特性の関係―圃場試験

1. 圃場試験概要

平成26年度から27年度にかけて、佐賀の下水汚泥由来肥料を用いてトマト果実の品質向上に与える効果を化学肥料と対比して調査した結果、7月下旬の2番果、及び8月初旬の3番果の糖度が化学肥料を用いた場合より高いという結果を得た。このように、下水汚泥由来肥料を用いた場合にトマト果実の糖度を高める可能性が示されたが、調査の時期が7月下旬～8月上旬に限られており、また供試した下水汚泥由来肥料の種類も佐賀のコンポスト1種類であったので、結果に対する適用は限定的な結果であるとも解釈できる。

そこで昨年度は供試下水汚泥由来肥料については、佐賀に加えて帯広、山形、苓北、鹿児島5種

類とした。またトマト果実の品質調査時期を7月下旬から9月までと前年より1ヶ月程度延長することにより、下水汚泥由来肥料のトマト果実品質向上効果が「収穫期間を通して安定的なものか」どうかを確かめることとした。また、これまで葉菜類の品質向上については下水汚泥由来肥料の施用効果を化学肥料と対比した検討は行っていなかった。そこで昨年度は連作が比較的容易なコマツナを試験対象作物に選び、5種類の下水汚泥由来肥料を用いて初夏および秋の2回栽培して収穫物の品質を調査し、高品質コマツナの安定栽培に適した下水汚泥肥料の性質の評価を行った。

表 1 試験圃場の作土の化学性
(白井市前原 H28.5)

項目		単位
pH	5.62	
腐植	4.8	%
全窒素	0.29	%
陽イオン交換容量	17.5	me/100g
交換性石灰	148	mg/100g
交換性苦土	16	mg/100g
交換性カリ	35	mg/100g
塩基飽和度	39	%
リン酸吸収係数	2970	
有効態リン酸	4.6	mg/100g

2. 試験方法ー共通

1) 試験圃場

- ・場所：千葉県白井市前原
- ・土壌：淡色黒ボク土（中粒質）
作土の化学性を表 1 に示す。
リン酸吸収係数は 2,970 と大きく、黒ボク土の特徴である土壌へのリン酸吸着力が強い。
一方、作物が利用可能な可給態リン酸は 4.6mg/100g と少ない。

2) 試験区

- ・下水汚泥由来肥料区：
下記 5 種類の下水汚泥由来肥料を供試し、産地の名称による佐賀、帯広、山形、苓北、鹿児島 の 5 つの試験区を設けた。
- ・対照区：化学肥料区（単肥－硫酸、過石、塩加を用いた）

供試した 5 種類の下水汚泥由来肥料の製法の特徴を表 2 に示す。

表 3 に今回供試した下水汚泥由来肥料の肥料成分の含有率を示す。また表 3 の下部に下水汚泥コンポスト、家畜ふん堆肥、菜種粕の肥料成分について、参考のために平均的な含量を示した。

供試下水汚泥肥料の肥料成分は、窒素含量は帯広が比較的高く、苓北で低い。

リン酸は山形、佐賀で高く、苓北で低い。カリ含量は原料に牛ふんを多く含む苓北で高く、その他の下水汚泥由来肥料では低い。なお、平均的な下水汚泥コンポストの肥料成分を牛ふん堆肥と比較すると、窒素、リン酸は 2 倍程度であり、カリ含量が少ないのが特徴である。

一般に有機質肥料に含まれる窒素化合物の作物に対する肥効には、速く効くものから遅く効くものまで幾つかのレベルが考えられる。それらの肥効レベルを推測する一つの方法として、筆者らは「植物体窒素化合物の粗分画法（植物栄養実験法 p.204~217 博友社）」を採用した。

表 2 供試下水汚泥由来肥料の特徴

肥料の略称	主要原材料および製法の特徴
帯広	脱水汚泥を乾燥処理後に堆肥場へ運搬(乾燥汚泥の含水率40%) 乾燥汚泥と、麦かん・家畜排泄物堆肥を、容量比3:2で混合、堆積 オーガー式攪拌機で10日間に4回の割合で攪拌 発酵期間 2～3ヶ月
山形	浄化センターで発生した下水汚泥を嫌気消化。 その後、消石灰と塩化第二鉄を加えて脱水処理し、堆積発酵 発酵期間 20～30日
佐賀	脱水汚泥18%、戻し堆肥76%、竹チツブ・P菌体・植物油含有白土それぞれ2% 堆積発酵、YM菌使用、ローダーによる切り返し、 発酵期間 45～50日
苓北	牛ふん38%、脱水汚泥6%、生ゴミ6%、戻し堆肥+バーク50% 攪拌発酵 25日間
鹿児島	脱水汚泥(石灰系)、戻し堆肥 堆積発酵、ローダーによる切り返し 発酵期間(一次7日、二次30日)

表 3 下水汚泥由来肥料の肥料成分

堆肥、有機質肥料の種類		肥料成分(現物当たり%)			水分 (%)
		窒素	リン酸	カリ	
供試下水汚泥由来肥料 (下水汚泥コンポスト)	帯広	3.3	3.8	0.4	38
	山形	2.4	5.1	0.2	30
	佐賀	2.7	4.8	0.3	35
	苓北	1.6	1.5	1.3	38
	鹿児島	3.1	4.0	0.2	29
・参考 堆肥、有機質肥料 の平均的成分	下水汚泥コンポスト	1.7	2.3	0.2	30
	牛ふん堆肥	0.9	1.0	1.1	55
	鶏ふん堆肥	2.4	4.9	2.6	25
	ナタネ粕	5.1	2.5	1.3	12

この分析法では窒素の形態を「A:非蛋白態窒素」、「B:可溶性蛋白質」、「C:膜結合性蛋白質」、「D:細胞壁構成蛋白質」の4つに区分する。A画分は速効性で水溶性、B画分も速効性であるが水に溶けず、C画分は緩効性、D画分は遅効性ないし難効性とみなされる。

供試した下水汚泥コンポストのC/N比および窒素形態画分を表4に示す。

C/N比は、原料が下水汚泥主体である佐賀が4.2と極めて低く、次いで帯広が6.4、鹿児島が6.7と低い。山形は石灰質の下水汚泥肥料で9.4と中程度である。一方、苓北は13.3であり、主原料の牛ふんと副資材のバークの割合が大きいことが影響しているものと考えられる。

窒素形態画分については、速効性のA+B画分は鹿児島、佐賀、帯広が50%程度と高い。苓北はそれらに比較して26%で半分程である。緩効性のC画分は苓北が43%と高く、それに比べて他の4つのコンポストでは25～33%と低い。難分解性のD画分は山形が41%と高く、ついで苓北が30%、その他3つのコンポストでは23～24%の範囲で低い。

3. 作物別施用試験

1) トマト

(1) 耕種概要:

○試験区の構成

・施肥量: 窒素 25 - リン酸 25 - カリ 25(kg/10a)

下水汚泥由来肥料を施肥した区(佐賀、帯広、山形、苓北、鹿児島)では、窒素の全量を下水汚泥由来肥料で充ち、カリの不足量を塩化カリで補った。リン酸の過剰量については調整していない。

対照の化学肥料区では単肥(硫酸、過石、塩加)を用いて上記の施肥量で施用した。

- ・1区画面積 1m × 4m = 4m²、各試験区2反復
- ・栽植密度: 畝幅 1m × 株間 100cm (1区画4株)

○栽培経過

- 5/27 耕起、畝立て、施肥
- 5/29 苗定植(品種: 桃太郎)
露地、マルチ栽培
- 7/13 一番果摘果開始
以降9/16まで原則として毎週1回収穫し、1番果～7番果について収穫調査を行った。
- 9/16 摘果終了
- 右図説明: トマトの着花位置と果実 -
下方から順に

第1～第7の花房に着果する。それぞれの花房で結実した果実を順に1番果、2番果、…、7番果と呼ぶ

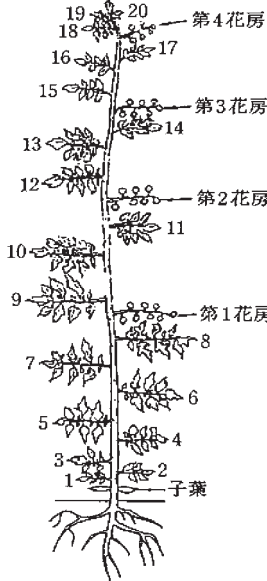


表 4 下水汚泥由来肥料の C/N 比、窒素形態画分

汚泥コン ポスト	水分	全窒素	炭素 %	C/N	A画分	B画分	C画分	D画分
帯広	38.0	3.33	21.4	6.4	15	31	31	23
山形	30.0	2.40	22.5	9.4	15	11	33	41
佐賀	34.9	2.67	11.3	4.2	17	33	26	24
苓北	38.1	1.57	20.8	13.3	7	19	43	30
鹿児島	29.0	3.11	20.7	6.7	21	31	25	23

(2) 調査項目

○収穫調査：

各収穫日に、試験区ごとに1株当りの果実重量、個数を測定

○果実の品質分析項目

- ・糖度：糖度計による
- ・ビタミンC（アスコルビン酸）：RQフレックスによる
- ・硝酸イオン濃度：RQフレックスによる

(3) 試験結果

○トマト果実の収量

5種類の下水汚泥肥料区と対照の化学肥料区について、7月下旬～9月の収穫時期を通して、ほぼ1週間おきに1番果から7番果までを株ごとに収穫し、トマト果実収量を調査した。

この収穫調査において、1番果は株によって結実が不揃いであったが、2番果以降では結実が揃い、株による収量のバラツキが小さかったので、収量の算出には1番果を除く2番果～7番果の株あたり果実重量（g/株）を用いた。結果を表5および図1、図2に示す

トマトの株当たり果実収量は、合計では、佐賀、帯広、山形の各試験区で、化学肥料区を上回った（表5）。

佐賀の試験区は、7月下旬から8月上旬の2番果および3番果の収穫量が他の試験区を上回り（図1）、この差が累積収量の差にも影響した（図2）。

下水汚泥由来肥料区の収量と肥料の窒素形態との関係を見ると、化学肥料区の収量に対する収量指数は、肥料の速効性窒素：（A+B）画分との間に正の相関が認められた（図3）。このような窒素画分の多い下水汚泥肥料では、化学肥料と同等以上の収量が期待できる。

○トマトの食味成分

（分析項目）

トマト果実の食味・品質の分析項目としては2番果～4番果について、糖度、ビタミンC（アスコルビン酸）、硝酸イオン濃度について分析を行った。

（分析結果）

・糖度

トマト果実の糖度を表6、図4に示す。

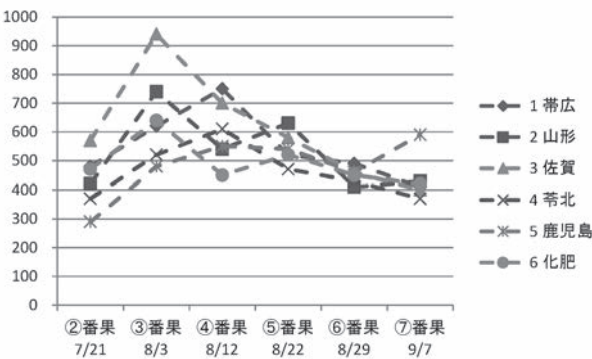


図1 トマトの果実収量（g/株）

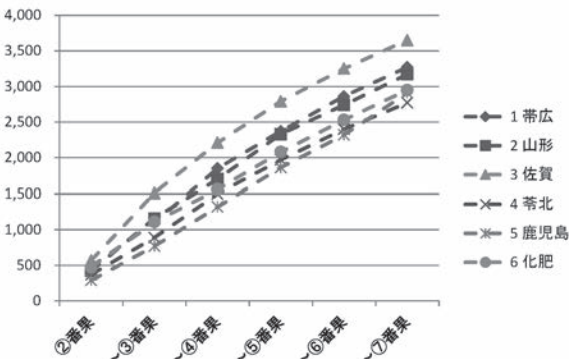


図2 トマトの果実累積収量（g/株）

表5 トマト果実収量

供試肥料	収量量(g/株)						計
	②番果 7/21	③番果 8/3	④番果 8/12	⑤番果 8/22	⑥番果 8/29	⑦番果 9/7	
帯広	480	620	750	520	490	410	3,270
山形	420	740	540	630	410	430	3,170
佐賀	570	940	700	580	460	400	3,650
苓北	370	520	610	470	430	370	2,770
鹿児島	290	480	550	540	460	590	2,910
化肥	470	640	450	520	450	420	2,950

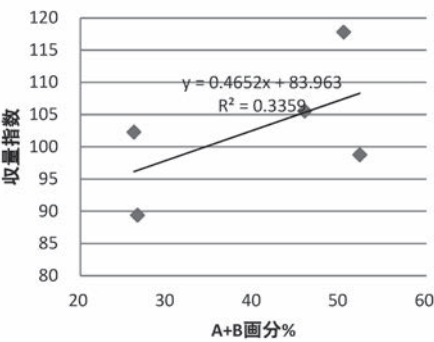


図3 トマト収量と下水汚泥肥料のA+B画分

表6 トマト果実の糖度

供試肥料	糖度(ブリックス)		
	②番果	③番果	④番果
帯広	4.8	5.5	5.4
山形	5.1	5.4	5.5
佐賀	5.1	5.5	5.6
苓北	4.9	5.5	5.4
鹿児島	5.0	5.4	5.0
化学肥料	4.8	5.3	5.1

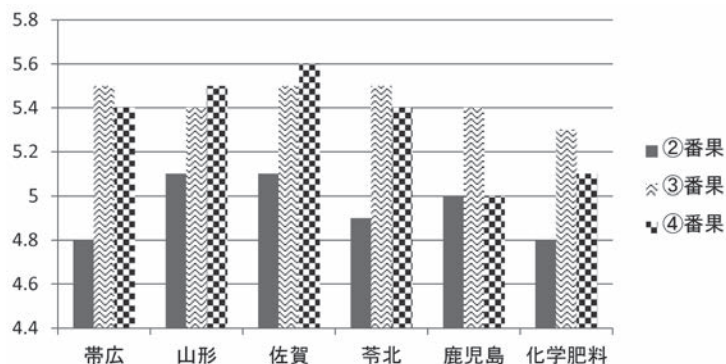


図4 トマト果実の糖度 (ブリックス)

表7 トマトのアスコルビン酸濃度

供試肥料	ビタミンC(アスコルビン酸)mg/kg		
	②番果	③番果	④番果
帯広	195	224	203
山形	207	185	189
佐賀	235	218	218
苓北	240	202	227
鹿児島	162	205	213
化学肥料	150	188	210

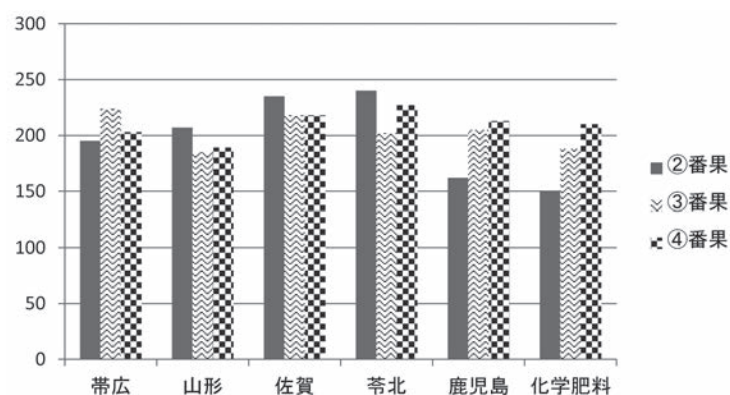


図5 トマトのアスコルビン酸濃度 (mg/kg)

2番果および3番果では、下水汚泥由来肥料区で化学肥料区より糖度が高い傾向で、4番果でも鹿児島を除く下水汚泥由来肥料区で化学肥料区を上回った(図4)。

・ビタミンC(アスコルビン酸)濃度

ビタミンC(アスコルビン酸)の濃度を表7、図5に示す。

2番果では、全ての下水汚泥由来肥料区で化学肥料区よりアスコルビン酸濃度が高く、3番果では山形を除く下水汚泥由来肥料区で化学肥料区を上回った。4番果では、帯広と山形が化学肥料区を下回り、化学肥料区との差は明らかでなかった。

・硝酸イオン濃度

下水汚泥由来肥料区、化学肥料区とも、果実の硝酸イオン濃度は検出下限濃度に近かったため、試験区による差は判然としなかった。

(4) 考察—トマトの収量、品質に対する下水汚泥由来肥料の効果—まとめ

トマトの収量については、下水汚泥由来肥料区の

佐賀が高く、帯広、山形の各区も化学肥料区を上回った。収量と肥料の窒素形態との関係では、速効性の窒素：(A+B)画分との間に正の相関が認められ、この窒素画分の多い下水汚泥肥料では、化学肥料と同等以上の収量が期待できると考えられる。

トマト果実の品質は、糖度が下水汚泥肥料区で化学肥料区をおおむね上回った。

また、比較的初期の果実(2番果、3番果)では、ビタミンC濃度も下水汚泥由来肥料区で高かった。

以上の結果から、下水汚泥由来肥料を用いることにより、2番果、3番果等の比較的初期の果実では、糖度が高くビタミンC濃度も高い高品質トマトが収穫可能と考えられた。

2) コマツナ

(1) 耕種概要

○試験区の構成

・試験区(供試肥料)の構成については、トマトの試験と同様である。

・施肥量：窒素15－リン酸15－カリ15(kg/10a)
下水汚泥由来肥料を施肥した区(佐賀、帯広、

山形、苓北、鹿児島（の 5 区）では、窒素の全量を下水汚泥由来肥料で充当し、カリの不足量を塩化カリで補った。リン酸の過剰量については調整していない。

対照の化学肥料区では単肥（硫酸、過石、塩加）を用いて上記の施肥量で施用した。

- ・ 1 区画面積 0.8m × 2m = 1.6m²、2 反復
- ・ 栽植密度：畝幅 80cm 2 条植え、株間約 20cm

○栽培経過

- 春夏作：6/24 播種、7/25 収穫
- 秋作：9/16 播種、10/28 収穫

（2）調査項目

○収穫調査

試験区別に区中央の 20 株を採取し、可食部重量を測定

○収穫物品質の分析項目

- ・ 糖度：糖度計による
- ・ ビタミン C（アスコルビン酸）：RQ フレックスによる
- ・ 硝酸イオン濃度：RQ フレックスによる

（3）試験結果

○コマツナの収量

- ・ 初夏および秋にコマツナを 2 回栽培し、春夏作

では 7 月、秋作では 10 月の収穫物について、各試験区の中央 20 株を採取して収量を調査した。

結果を表 8 および図 6 に示す。

収量は春夏作および秋作のいずれも化学肥料区が下水汚泥由来肥料区より高かった。化学肥料区の収量に対する下水汚泥由来肥料区の収量指数は、佐賀が 90 ～ 94 と比較的高く、次いで帯広、鹿児島が 60 ～ 80 程度であった。

下水汚泥由来肥料区の収量と肥料の窒素形態との関係を見ると、春夏作、秋作 2 作合計の収量は、肥料の速効性の窒素：（A+B）画分との間に正の相関が認められた（図 7）。

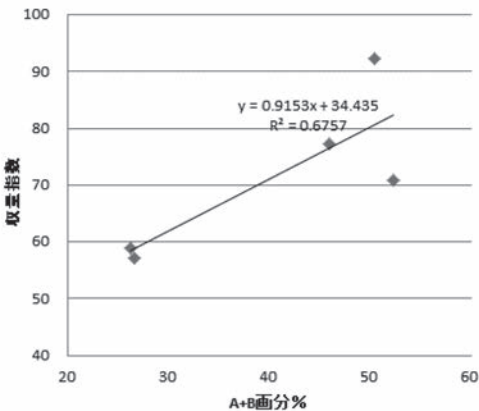


図 7 コマツナ収量と下水汚泥肥料の A+B 画分

○コマツナの食味成分
（分析項目）

コマツナ可食部の食味・品質の分析項目としては、糖度、ビタミン C（アスコルビン酸）、硝酸イオン濃度について分析を行った。

（分析結果）

・ 糖度

コマツナ可食部の糖度を表 9 および図 8 に示す。

コマツナの糖度は、苓北および山形の下水汚泥由来肥料区で高く、収穫量の小さい区で糖度が高い傾向であった。

・ ビタミン C（アスコルビン酸）濃度

コマツナ可食部のアスコルビン酸濃度を表 10 および図 9 に示す。アスコルビン酸濃度は、春夏作、秋作ともに下水汚泥由来肥料区で化学肥料区より高かった。下水汚泥由来肥料区の中では、苓北、帯広、山形の各区が比較的高い傾向であった。

表 8 コマツナの収量 (kg/m²)

供試肥料	①春夏作	②秋作
	収量 (指数※)	収量 (指数※)
帯広	1.45 (76)	1.13 (79)
山形	1.21 (63)	0.76 (53)
佐賀	1.80 (94)	1.28 (90)
苓北	1.17 (61)	0.74 (52)
鹿児島	1.21 (63)	1.16 (81)
化学肥料	1.91 (100)	1.43 (100)

※化学肥料区の収量指数を100とした場合

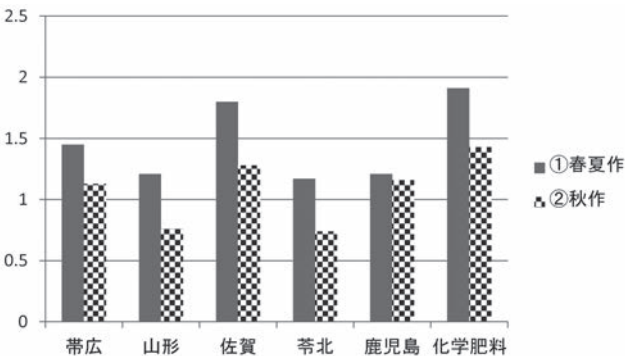


図 6 コマツナの収量 (kg/m²)

表 9 コマツナ可食部の糖度

供試肥料	可食部糖度 (ブリックス)	
	①春夏作	②秋作
帯広	3.0	2.7
山形	4.1	3.3
佐賀	3.3	2.7
苓北	4.2	3.3
鹿児島	3.6	2.6
化学肥料	3.2	2.5

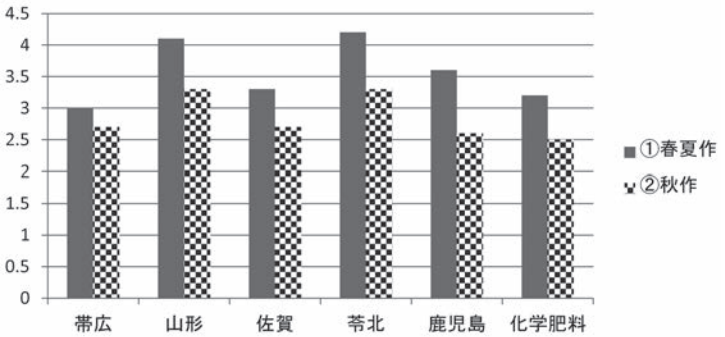


図 8 コマツナ可食部の糖度 (ブリックス)

表 10 コマツナのアスコルビン酸濃度

供試肥料	アスコルビン酸濃度 (mg/kg)	
	①春夏作	②秋作
帯広	290	150
山形	250	190
佐賀	220	160
苓北	270	220
鹿児島	240	160
化学肥料	190	120

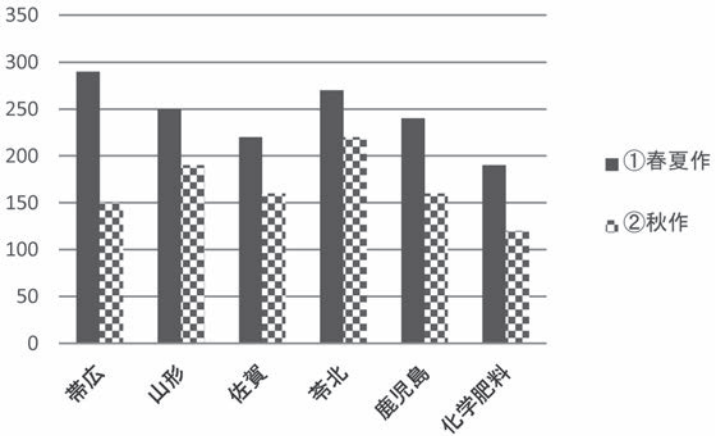


図 9 コマツナのアスコルビン酸濃度 (mg/kg)

表 11 コマツナの硝酸イオン濃度

供試肥料	硝酸イオン濃度 (mg/kg)	
	①春夏作	②秋作
帯広	380	290
山形	240	220
佐賀	360	310
苓北	280	190
鹿児島	320	240
化学肥料	450	330

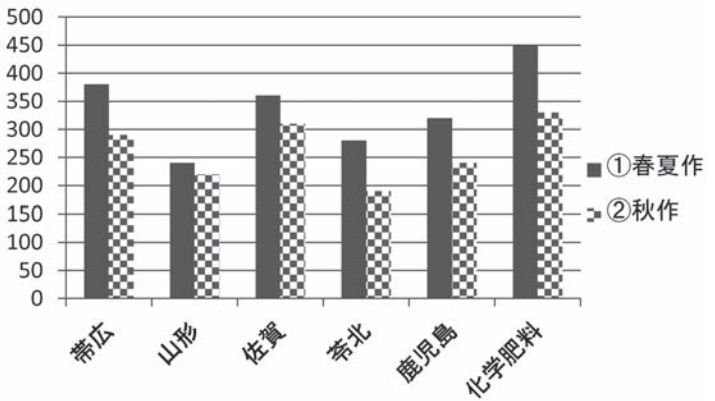


図 10 コマツナ可食部の硝酸イオン濃度 (mg/kg)

・硝酸イオン濃度

コマツナ可食部の硝酸イオン濃度を表 11 および図 10 に示す。硝酸イオン濃度は糖度とは逆に化学肥料区よりも下水汚泥由来肥料区で低く、中でも苓北および山形で低い傾向であった。

野菜等から摂取する硝酸イオンが人の体内で還元されると、健康に悪影響を及ぼす恐れがあるとも指摘されることから、コマツナの硝酸イオン濃度が低いことは望ましい品質であると考えられる。

(4) 考察－コマツナの収量、品質に対する下水汚泥由来肥料の効果－まとめ

コマツナの収量は、春夏作および秋作のいずれについても化学肥料区が下水汚泥由来肥料区よりも高かった。化学肥料区の収量指数を 100 とすると、下水汚泥由来肥料区は佐賀の指数が 90 ～ 94 と比較的高かったが、他の下水汚泥由来肥料区では 80 以下であった。

今年度およびこれまでの試験結果から、コマツナなどの生育期間の短い葉菜類については、下水汚泥肥料をはじめとする有機質肥料を用いる場合は初期生育が劣るため、化学肥料に収量が及ばないと考えられる。

一方、下水汚泥由来肥料区のコマツナの品質を化学肥料区と比較した結果から、糖度が高く、またアスコルビン酸濃度が高く、硝酸態窒素含量が低い傾向であったことから、高品質のものが得られた。

以上の結果から、短期作のコマツナ等の作物については、収量の向上より品質の向上を目的とする場合、下水汚泥由来肥料の施用は有効と考えられる。

Ⅲ 下水汚泥肥料等を連用している圃場の作物収量・品質と土壌の理化学性＜現地調査＞

ビストロ下水道等の活動を通じて、下水汚泥由来肥料を用いて作物の品質や収量が向上した例が数多く報告されている。そこでこれらの先進的な事例について、下水汚泥由来肥料及び汚泥堆肥の利用方法、作物品質の向上、土壌改良効果などについて実態の調査を行った。

1. 調査方法

下水汚泥由来肥料及び汚泥堆肥の連用圃場と近傍の対照圃場（主に化学肥料のみの施用）での聞き取りを行い土壌試料と作物を採取する。

1) 調査地域と調査対象作物

- ・佐賀市 アスパラガス
- ・大仙市 エダマメ
- ・苓北町 レタス

2) 調査項目

- ・農家への聞き取り調査（作物、施用量、施用時期、収量・品質、コスト、施用年数、施肥方法、他）
- ・土壌の理化学性調査（一般化学性、炭素・窒素、重金属成分、土壌物理性）
- ・品質調査：糖度、ビタミン C（アスコルビン酸）、硝酸イオン濃度など

2. 調査結果

1) 佐賀県佐賀市 アスパラガス

○聞き取り調査の概要（2016 年 10 月 19 日）

- (1) 調査地区：佐賀県佐賀市川副町の下水汚泥堆肥利用農家、および対照の川副町、諸富町の農家圃場
- (2) 土壌統群：グライ低地土
- (3) 作物目：アスパラガス（ビニールハウス栽培、品種：ウェルカム）
- (4) 肥料の種類：下水汚泥堆肥（自家製）
 - ・肥料の名称：YM 堆肥（自家製）
 - ・原料：毎年約 30t の YM 堆肥を作製し、農家圃場（ビニールハウス 30a）に施用しているが、その原料は佐賀市浄化センターの下水汚泥肥料 12t、モミガラ 3t、エノキ菌床 20t、竹チップ 10t の割合で混合。
 - ・生産：農家自家製。ハウス脇の空地に上記割合で混合した原料を堆積し、秋～翌年春にかけて発酵して堆肥化。
 - ・購入価格（製造コスト）：自家製 YM 堆肥の原料価格は、汚泥肥料 1,600 円 / 800kg、モミガラ 自家製、エノキ菌床 1,000 円 / 2t、竹チップ 1 万円 / 2t。これらの価格より、上記“原料”の項で記載した混合割合で YM 堆肥 30t を作製する際に必要な原料価格は、約 8 万 4 千円。
- (5) 下水汚泥肥料の施用量
 - ・使用の実績：自家製の YM 堆肥（下水汚泥堆肥）は、ビニールハウス内畑で、9 年～10 年間使用継続
 - ・購入量：下水汚泥肥料（佐賀浄化センター製）については 12t / 年
 - ・使用量：YM 堆肥 30t / 30a / 年

(6) 施用時期・施用方法

下水汚泥堆肥（YM 堆肥）は春作前に全量基肥として施用。

(7) 農家の感想

自家製の YM 堆肥を使う前は、アスパラガスが立ち枯れ病や灰色カビ病等にかかって弱り易かったが、それが解消され、アスパラガス収量が 2 割アップ。肥料は現在自家製の YM 堆肥のみの施用で、化学肥料を使用した時よりコストが削減できた。

○土壌の理化学性調査

(1) 調査圃場

調査圃場は佐賀市川副町、諸富町のアスパラガスを栽培する 3 つの農家圃場である。本

地域は主に水田利用（土壌はグライ土）で、アスパラガスはビニールハウス内で表土に有機物を多量施用し、高畝栽培で行っている。下水汚泥堆肥（YM 堆肥）を使用する農家圃場の表土の土壌を採取した。対照圃場は、川副町の近隣の（有機質肥料＋化成肥料）を使用する農家、および諸富町の（※肥効調節型肥料）を使用する農家圃場。

※注 水溶性の肥料成分を樹脂で覆って土壌中での溶出期間を作物の生育に合うようにコントロール・長期化した肥料

(2) 下水汚泥肥料施用土壌の理化学性

a. 化学性

土壌化学性の分析結果を表 12 に示す。3つの農家とも腐植含量が7.2%～7.6%と、グライ土の通常の腐植含量である3.8%より高く、また有効態リン酸が800mg/100gと土壌診断基準の50mg/100gを大きく上回っている。この傾向はどの農家も有機物を毎年多量に施用しているためと考えられる。下水汚泥肥料を原料とする

YM 堆肥を施用する No.1 の農家の土壌では CEC が60me/100g と、対照の農家土壌の約 40me/100g に比べて高い。

b. 圃場の重金属含有量

重金属含有量分析結果を表 13 に示す。亜鉛、銅を除くと、下水汚泥堆肥の連用によって土壌中の重金属濃度が高まるといった蓄積はみられない。3 農家の圃場とも土壌中の全量亜鉛濃度が土壌境基準の 120ppm（環境省暫定基準）を上回っており、対照の農家においても多量に家畜糞由来の堆肥を施用した影響と考えられる。

c. 土壌の物理性

土壌の物理性は根の生育、排水性・保水性・通気性などから土壌診断の重要な項目である。三相分布（固相・液相・気相）を分析した結果を表 14 に示す。

3 圃場とも固相の割合が 16 ～ 18% と低く、気相割合も 35% 以上と高く、作土の物理性は良好と考えられた。

表 12 佐賀市アスパラガス圃場の土壌化学性

アスパラガス圃場 (2016年10月19日採取) グライ土	p H	E C	アンモニア 態窒素	無機態 窒素	有効態 リン酸	リン酸 吸収 係数	C E C	腐植	塩基 飽和度
		mS/cm	mg/100g				meq/100g	%	
下水汚泥堆肥連用	6.25	1.05	1.9	60.9	840	2200	60.2	7.6	128
有機質肥料・化成肥料	6.17	1.11	1.4	56.2	827	2000	39.8	7.3	144
堆肥・肥効調節型肥料	5.96	3.57	1.9	150.8	807	2600	42.0	7.2	231

表 13 佐賀市アスパラガス圃場の土壌重金属含量

アスパラガス圃場 (2016年10月19日採取) グライ土	マンガン 全量	亜鉛 全量	銅 全量	クロム 全量	カドミウム 全量	ニッケル 全量	鉛 全量	砒素 全量	水銀 全量
	mg/Kg								
下水汚泥堆肥連用	793	516	136	34	1.1	28	2.2	4.8	0.5以下
有機質肥料・化成肥料	867	464	102	122	0.6	24	3.0	4.9	0.5以下
堆肥・肥効調節型肥料	4634	316	63	499	0.7	59	1.3	5.7	0.5以下

表 14 佐賀市アスパラガス圃場の土壌物理性

佐賀市アスパラガス農家 (2016年10月19日採取) グライ土	固相 %	液相 %	気相 %
下水汚泥堆肥連用	17.9	46.5	35.6
有機質肥料・化成肥料	16.7	48.1	35.2
肥効調節型肥料	16.9	47.3	35.8

○調査圃場の作物の品質

3 農家のアスパラガス品質の調査結果を表 15 に示す。下水汚泥由来 YM 堆肥を連年使用している農家のアスパラガスは、対照農家と比べて糖度は高くないが、(有機質肥料+化成肥料)を使用する農家よりもビタミン C が多く、硝酸イオンが少なかった。また(肥効調節型肥料)を使用する農家のアスパラガス品質は下水汚泥由来の YM 堆肥を使用する農家のアスパラガスと同様の傾向であった。

今回調査した 3 つの農家圃場では、前述したように表土に多量の有機物が投入されて土壌有機物が富化されているため、アスパラガス品質の違いが使用する肥料の違いだけによるものとは言えないが、上記の結果から、化成肥料よりも窒素が緩効性である下水汚泥由来肥料や肥効調節型肥料を用いる場合には、アスコルビン酸が多く、硝酸イオンが少ないという健康によいものが生産される傾向があると言える。

表 15 佐賀市アスパラガスの品質

佐賀市アスパラガス農家 (2016年10月19日採取) グライ土	糖度 (ブ릭ス)	アスコルビン酸 (mg/kg)	硝酸イオン (mg/kg)
下水汚泥堆肥連用	4.9	210	<15
有機質肥料+化成肥料	5.9	135	18
堆肥+肥効調節型肥料	5.0	164	<15

2) 秋田県大仙市 エダマメ

○聞き取り調査の概要(2016 年 8 月 5 日)

- (1) 調査地区：秋田県大仙市北野目字堂田野の農家圃場
- (2) 土壌統群：淡色黒ボク土
- (3) 作物目：エダマメ、トマト、ニンジン、セロリー、ピーマン、ナス、スイカ、トウモロコシ、キャベツなど多彩
- (4) 肥料の種類：下水汚泥肥料(普通肥料)
 - ・肥料の名称：コワクビコンボ、7.0kg/袋
 - ・原料：下水汚泥
 - ・生産事業所名：秋田県大仙市強首浄化センター
 - ・肥料の形態：ペレット(2～3mm)
 - ・主要な成分の含有量：窒素全量 7.0%、リン酸全量 3.9%、カリ全量 0.3%、C/N 比 6.0、銅全量 550mg/kg
 - ・購入価格：400 円/袋
- (5) 下水汚泥肥料施用量
 - ・使用の実績：平成 23 年～ H28 年の 6 年間継続
 - ・購入量：510 袋/6 年
 - ・使用量：平均約 400kg/10a/年
- (6) 施用時期・施用方法

下水汚泥肥料は春作と秋作の年 2 回使用(全量基肥)、その他に蔬菜肥料(JA)を 20kg/袋

を 4 袋/10a を購入している

(7) 下水汚泥肥料を使用している農家の感想

肥料の中心は下水汚泥肥料であり、家庭菜園用に利用している。収量、品質等に問題を感じない。堆肥の製造・購入は行っていない。下水汚泥肥料は年間 50～100 袋を購入しているが、地区に農業法人ができてから、ここ数年は予約しても必要な数量が手に入らない。

○土壌の理化学性調査

(1) 調査圃場

下水汚泥肥料を使用している農家のエダマメ(品種:湯上りムスメ)圃場から土壌を採取した。対照圃場は並びの農家のエダマメ畑から採取(圃場管理：牛糞堆肥 2t/年を購入して、長く使用している。肥料は蔬菜肥料(JA)を使用している)

(2) 下水汚泥肥料施用土壌の理化学性

a. 化学性

土壌の化学性の分析結果を表 16 に示す。対照圃場は牛糞堆肥を毎作連用しているために土壌養分が過剰傾向にあり、特に有効態リン酸が 398mg/100g と土壌診断基準(10～75mg/100g)を大きく上回っている。また塩基類の含量も高く、塩基飽和度が 155% と高く、全体に養分過剰気味である。

これに対し、下水汚泥肥料連用圃場では、

表 16 大仙市エダマメ圃場の土壌化学性

エダマメ圃場 (2016年8月5日採取) 淡色黒ボク土	p H	E C	アモニア 態窒素	無機態 窒素	有効態 リン酸	リン酸 吸収 係数	C E C	腐植	塩基 飽和度
		mS/cm	mg/100g				meq/100g	%	
下水汚泥肥料連用	6.06	0.45	1.6	23.2	182	1600	31.9	11.6	104
牛糞堆肥連用・化成肥料	6.83	0.57	1.7	26.1	398	1900	38.7	11.6	155

有効態リン酸や塩基飽和度は対照圃場ほど高くはなく、無機態窒素、腐植含量は牛糞堆肥連用圃場と同程度である（地力が維持されている）ことから、土壌の化学性は比較的好ましい状態にある。

b. 圃場の重金属含有量

重金属含量の分析結果を表 17 に示す。亜鉛を除くと通常の圃場土壌の重金属含量の範囲にあり、下水汚泥肥料の連用によって土壌中の重金属濃度が高まるといった重金属蓄積の傾向はみられない。むしろ対照とした牛糞堆肥連用圃場では、マンガン、亜鉛、銅濃度が高い。両圃場とも土壌中の全量亜鉛濃度が土壌環境基準の 120ppm（環境省暫定基準）を上回っているが、原因は明らかでない。

c. 土壌の物理性

三相分布（固相・液相・気相）を調査した結果を表 18、図 11 に示す。両圃場とも物理

性が良好な土壌が通常示す三相分布の値の範囲にあるが、下水汚泥肥料連用圃場では気相率が高いことから、より排水性が良好と考えられる。

○下水汚泥肥料連用圃場の作物の品質

エダマメ品質調査に関しては、対照圃場（牛糞堆肥連用・化成肥料）の播種時期が下水汚泥肥料連用圃場よりも 1 週間ほど遅く、両圃場の生育に差がみられたため、下水汚泥肥料連用圃場のエダマメと生育時期がほぼ同一と見られる試料を大仙市直売店にて購入した。

これら 3 種類のエダマメの品質分析の結果を表 19 に示す。下水汚泥肥料連用圃場のエダマメの品質は、対照圃場や直売所のエダマメに比べると糖度、アスコルビン酸が有意に高い傾向であったが、特にエダマメでは旨味の指標とされるグルタミン酸は中間的な値であった。また硝酸イオン濃度については、どれも検出下限値程度であった。

表 17 大仙市エダマメ圃場の土壌の重金属含量

エダマメ圃場 (2016年8月5日採取) 淡色黒ボク土	マンガン 全量	亜鉛 全量	銅 全量	クロム 全量	カドミウム 全量	ニッケル 全量	鉛 全量	砒素 全量	水銀 全量
	mg/Kg								
下水汚泥肥料連用	902	187	44	30	0.5	20	12.3	17.7	0.5以下
牛糞堆肥連用・化成肥料	1024	282	66	24	0.7	20	8.9	13.7	0.5以下

表 18 エダマメ農家圃場の土壌物理性

大仙市エダマメ圃場	固相 %	液相 %	気相 %
汚泥堆肥連用	28.3	28.1	43.6
牛糞堆肥・化学肥料	26.0	35.2	38.8

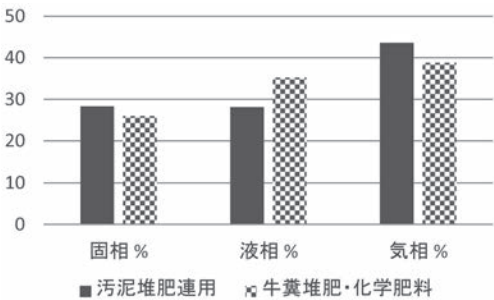


図 11 大仙市エダマメ圃場の土壌三相分布

表 19 大仙市エダマメの品質

エダマメ圃場 (2016年8月5日採取) 淡色黒ボク土	糖度 (ブrix値)	アスコルビン酸 (mg/kg)	硝酸イオン (mg/kg)	グルタミン酸 (mg/kg)
下水汚泥堆肥連用	20.7	390	<15	1750
牛糞堆肥連用・化成肥料	9.8	340	<15	322
大仙市直売点 (品種:湯上りムスメ)	13.5	349	<15	3320

3) 熊本県天草市苓北町 レタス

○聞き取り調査の概要(2016年10月26日)

- (1) 調査地区：熊本県天草市苓北町
下水汚泥肥料の原料：富岡浄化センター
下水汚泥堆肥の製造：苓北町堆肥センター
下水汚泥堆肥利用農家圃場、対照農家圃場
- (2) 土壌統群：細粒灰色低地土・灰色系
- (3) 作物目：水稻跡作レタス
- (4) 肥料の種類：下水汚泥堆肥（苓北有機大地：普通肥料）

- ・肥料の名称：苓北有機大地 15kg/袋
- ・原料：下水汚泥、生ごみ（家庭系）、牛ふん（契約農家）
- ・生産事業所名：苓北町堆肥センター
- ・肥料の形態：有機堆肥完熟、20kg/袋、バラ売り
- ・主要な成分の含有量：窒素全量 1.0%、リン酸全量 0.8%、カリ全量 1.0%、C/N 比 16.0
- ・購入価格：3000 円 /t

- (5) 下水汚泥堆肥の施用量
 - ・使用の実績：平成 3 年～（それ以前は牛糞堆肥を施用）
 - ・施用量：2t/10a（調査レタス圃場 30a、6t/年を施用）
 - ・購入量：5～20t/年

- (6) 施用時期・施用方法

水稻収穫（コシヒカリ、収穫 8 月）跡の 9 月に全面に施用した（地区のレタス農家の施用時期、施用量は同じ）。町からの要請等もあり、苓北有機大地を利用するようになった。時期になると広報誌によって注文書が届く。各農家は苓北町堆肥センターへ数量と場所を登録、散布組織（低コスト組合：コントラクター）によって、圃場への散布が行われる。苓北有機大地は堆肥として利用している。レタスの栽培は 10 月下旬定植、翌年 1 月に収穫する。レタス圃場

の肥料投入量は慣行施肥（窒素－リン酸－加里 18-21-10/10a）の 1/2 を化成肥料（やさいの友）で施用する。他に、苦土石灰 120kg、リン酸肥料を施用、追肥は行わない。

- (7) 農家の感想

稲わら全量を持ち出す（販売 3000 円 /10a）ので地力減退が懸念されるため、地力維持効果を苓北有機大地堆肥に期待している。土壌管理、レタス栽培の施肥は品種、出荷時期によって農家で異なるが、当地でも高齢化が進んでいるため、町による堆肥の生産、コントラクターによる堆肥の散布は助かっている。

○土壌の理化学性調査

- (1) 調査圃場

下水汚泥肥料を使用する農家のレタス圃場から土壌を採取し、農道を介した圃場（堆肥は施用していない、化学肥料のみ）を対照として土壌を採取した。

- (2) 下水汚泥堆肥連用土壌の理化学性

- a. 化学性

土壌化学性の分析結果を表 20 に示す。下水汚泥堆肥施用圃場は無機態窒素、CEC、腐植含量が対照圃場に比べて高いので地力が高いと考えられ、塩基の成分も比較的良好な圃場と言える。この結果、下水汚泥堆肥の連用により有機質資材、堆肥としての施用効果（地力の維持向上）が確認された。

- b. 圃場の重金属含有量

土壌の重金属含量の分析結果を表 21 に示す。下水汚泥堆肥の連用圃場ではマンガン、亜鉛、銅濃度がやや高い傾向にあるが、天然賦存量と同程度であり下水汚泥堆肥の連用によって重金属が蓄積しているとは言えない。

- c. 土壌の物理性

苓北町のレタスは灰色低地土の水田跡地で栽培されている。レタスの品質は通気性、排水性に影響をうける作物であり、土壌物理性

表 20 苓北町レタス圃場の土壌化学性

苓北レタス圃場 (2016年10月26日採取) 灰色低地土	p H	E C	アンモニア 態窒素	無機態 窒素	有効態 リン酸	リン酸 吸収 係数	C E C	腐植	塩基 飽和度
		mS/cm	mg/100g				meq/100g	%	
下水汚泥堆肥・3年連用	6.05	0.23	0.6	5.0	98	800	12.1	2.6	103
化学肥料のみ	6.48	0.07	0.6	1.0	92	700	9.9	1.9	111

表 21 苓北町レタス圃場の土壌重金属含量

苓北レタス圃場 (2016年10月26日採取) 灰色低地土	マンガン 全量	亜鉛 全量	銅 全量	クロム 全量	カドミウム 全量	ニッケル 全量	鉛 全量	砒素 全量	水銀 全量
	mg/Kg								
下水汚泥堆肥・3年連用	540	83	23	50	0.3	25	2.1	7.1	0.5以下
化学肥料のみ	486	62	13	45	0.2	24	2.0	6.1	0.5以下

の改善が大きな課題である。

土壌の三相分析の結果を表 22 及び図 12 に示す。下水汚泥堆肥連用圃場では対照圃場に比べて気相率が高まっていることから、優秀品率の向上が期待される。

○下水汚泥堆肥連用圃場の作物の品質

レタスの品質分析結果を表 23 及び図 13 に示す。調査した下水汚泥堆肥施用圃場と堆肥無施用圃場では栽培体系、出荷様式が異なるために、外部品質を直接比較することはできないが、内部品質に関しては、収穫期が同時期の場合には両者の優位性を比較することができる。このことを前提

として両者のレタスの品質を比較すると、糖度には圃場間で差がみられないが、可食部の硝酸イオン濃度は汚泥堆肥施用圃場で顕著に低い。

○レタス結球の充実度

レタス結球の充実度を比較するため、採取したレタスの半切断面を下の写真に示す。これより下水汚泥堆肥施用圃場のレタスの方が球の充実が良好と見受けられるが、これはレタスが肥大する際に、下水汚泥堆肥に含まれる窒素が化学肥料よりも緩効的なためと考えられる。

表 22 苓北町レタス圃場の土壌物理性

苓北町レタス圃場	固相 %	液相 %	気相 %
汚泥堆肥・3年連用	41.8	35.5	22.7
化学肥料のみ	53.6	43.6	2.8

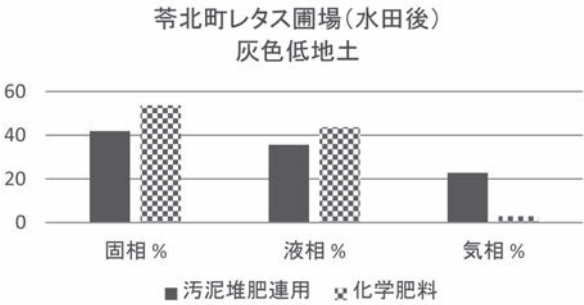


図 12 苓北町レタス圃場の土壌三相分布

表 23 苓北町レタスの品質 (2016 年 10 月 26 日採取)

天草郡苓北町圃場	一個体 重量(g)	結球横 幅(cm)	結球高 さ(cm)	糖 度 (Brix)	硝酸イ (mg/kg)
汚泥堆肥施用・3年連用	837.8	28.2	22.8	4.8	1450
堆肥等無施用	729.3	21.6	22.6	4.7	2705

(注 アスコルビン酸については、作物サンプルが過少のため分析未実施)

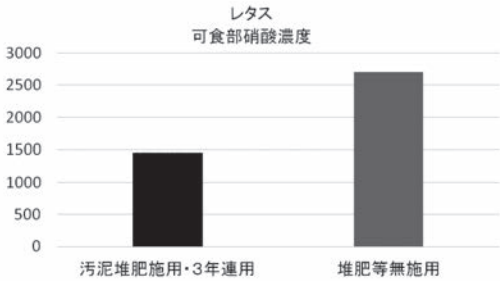


図 13 苓北町レタスの可食部硝酸イオン濃度

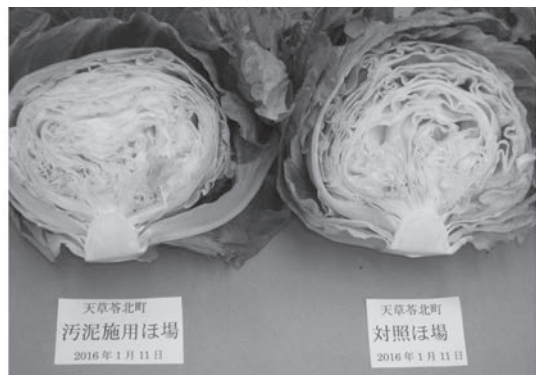


写真 レタス結球の充実度比較

結球の充実度（汚泥堆肥施用圃場のレタスは球の充実が良好）

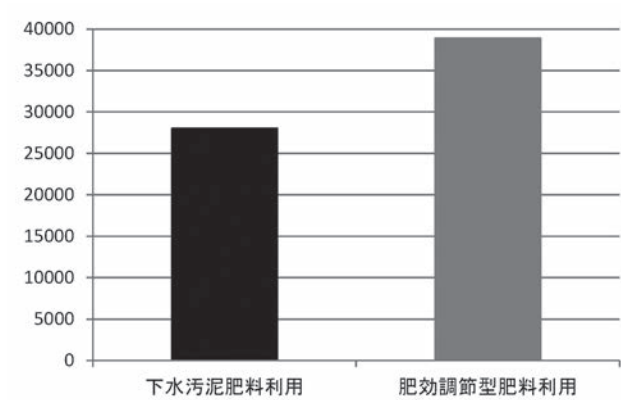


図 14 肥料コストの比較

Ⅳ 肥料のコスト比較について

アスパラガス栽培の調査結果から、下水汚泥由来YM堆肥を使用する場合の肥料コストを化成肥料と比較して図14に示す。YM堆肥利用の場合は10a当たりの肥料コストが約2万8千円であり、肥効調節型の化学肥料を利用する場合のコスト約3万9千円に比べ約28%減少した。下水汚泥由来肥料を、アスパラガス等の施肥量が多く栽培期間の長い野菜栽培で中心的に使用する場合、肥料コストの削減が可能と考えられる。

Ⅴ これまでの下水汚泥由来肥料等の窒素肥効試験のまとめ

平成21年度より下水汚泥由来肥料等を野菜に施用した場合の窒素肥効を、化学肥料と対比して調査した結果について、表24、表25のようにとりまとめた。

平成21年度から25年度まで、主に下水汚泥由来肥料の窒素形態の特徴と各種野菜の収量との関係について化学肥料と対比して調査した結果を表24に示す。

表 24 野菜の可食部収量と関連のあるコンポストの窒素形態画分と C/N 比

野菜品目	野菜種	野菜の 生育期間 (月)	下水汚泥肥料試験区の野菜収量の化学肥料区との比較			収量増と相関が高いコンポストの窒素形態、C/N比
			◎以上 ○同等、 △未満	収量上位試験 区の対化肥区 料収量(%)	試験年度	
葉菜類	コマツナ	1	△	(79,80%)	(H22,24)	A
	ハウレンソウ	2	△	(89%)	(H23)	A+B
	チンゲンサイ	2-3	○	(103%)	(H26)	A+B
	キャベツ	3-4	△	(91%)	(H23)	A+B
	ブロッコリー	3-4	△	(71,93%)	(H25,26)	A+B、低C/N
	ハクサイ	3-4	○	(108%)	(H21)	A+B+C
	タマネギ	>6	△	(94%)	(H24)	
根菜類	ダイコン	2	◎	(116,108%)	(H23,24)	A,A+B
	ニンジン	4-5	◎	(210%)	(H24)	低C/N
	ゴボウ	>6	◎	(127%)	(H24)	低C/N
果菜類	カボチャ	4-5	◎	(177%)	(H22)	C
	ナス	4-5	○	(103,108%)	(H25,27)	C
	ピーマン	5-6	△	(84%)	(H26)	低C/N
	コーン	3-4	◎	(151%)	(H24)	低C/N
豆類	エダマメ	2-3	◎	(121%)	(H27)	低C/N

(葉菜類について)

◎ 1 ～ 3 ヶ月の短期で収穫する葉菜類

生育期間が1～3ヶ月程度と短い葉菜類では初期生育の良否が、収量に直結するので下水汚泥由来肥料を用いた場合の収量は化学肥料区に及ばない場合が多く、下水汚泥由来肥料区の中では、速効性窒素画分 A、B が多い。これらの野菜で化学肥料と同等の収量を得るためには、初期生育を確保するために化学肥料（とくに窒素肥料）との併用が必要と考えられる。

◎ 3 ヶ月以上の中～長期間栽培して収穫する葉菜類

キャベツ、ブロッコリーでは、化学肥料区の収量が高く、下水汚泥肥料の窒素形態との関係では速効性の A または、A+B 画分と収量は正の相関を示すが、これらの野菜は生育初期～中期にかけて多くの窒素を吸収して外葉を形成し、結球や花蕾の形成に繋がるためである。従ってこれらの野菜は苗の定植前に早めに下水汚泥肥料を施用して土壌中である程度分解した後に苗を定植することにより、収量が高めることが可能である。

ハクサイは、下水汚泥肥料の窒素 A+B+C 画分と正の相関を示し、化学肥料区以上の収量が得られた。これは、緩効性の窒素 C 画分がこれらの野菜の生育中期以降に有効化して吸収され、収量を高めたためと考えられる。また露地野菜では生育期間中に化学肥料は流亡し易いために収量が低下したことも考えられる。

(根菜類、果菜類、豆菜類について)

◎根菜類

生育期間が2ヶ月程度のダイコンでは、速効性の窒素 A+B 画分の多い下水汚泥肥料で化学肥料と同等以上の収量を得ることが可能と考えられる。

生育期間の長いニンジンあるいはゴボウの収量は、下水汚泥肥料の C/N 比と負の相関を示すことから、C/N 比が小さい肥料で比較的高い収量を得ることができる。これらの作物は生育初期の窒素吸収が少なく、窒素吸収が旺盛になるまでに2ヶ月程度のラグ期があるため、この期間に化学肥料の窒素は降雨で流亡するが、下水汚泥肥料等の有機質肥料から微生物分解で生じた窒素は作物の生育中期以降に利用され、収量を高めたと推定される。

◎果菜類

ナス、カボチャ、コーンでは下水汚泥肥料区で、化学肥料区以上の収量が期待できる

カボチャ、コーンの露地栽培では、化学肥料区では肥料の流亡によって収量が低下するので、比較的緩効性の下水汚泥肥料区で収量が上回る傾向にある。

ピーマンは移植後1ヶ月余りで収穫が始まることから初期生育が遅れる下水汚泥由来肥料では化学肥料に収量が及ばないことが多い。

◎豆類

豆類で試験したのはエダマメだけであるが、生育に必要な窒素量が5kg/10aと少なく、また生育当初の窒素吸収も少ないめ、化学肥料に比べて緩効性の下水汚泥由来肥料で比較的高い収量を得ることが可能である。

表 25 には、平成 26 年度から 28 年度に収量とともに野菜の品質に対する下水汚泥肥料の効果を化学肥料と対比して調査した結果をとりまとめた。

果菜類のトマトでは下水汚泥由来肥料区の収量は化学肥料と同等であり（平成 26 年度～ 28 年度）、イチゴでも同等の収量を得ることが可能であった（平成 27 年度）。下水汚泥肥料の窒素形態との関係では、

表 25 野菜の収量、品質に対する下水汚泥由来肥料の肥料効果

野菜品目	野菜種	野菜の 生育期間 (月)	下水汚泥肥料試験区の野菜と化学肥料区の野菜との比較 (◎化学肥料区以上、○同等、△未満)						
			収量			品質			
			◎以上 ○同等、 △未満	試験年度	収量増と相関 が高いコンポ ストの窒素形 態、C/N比	糖度	アスコル ビン酸	硝酸	備考
果菜類	トマト	4	○	(H26,H27)	-	◎	◎	検出限界	2,3番果
	トマト	4	○	(H28)	A+B	◎	◎	検出限界	2,3,4番果
	イチゴ	4	○	(H27)	-	◎	○	検出限界	12月～1月 の果実
葉菜類	コマツナ	1ヶ月、2作 (春夏作、秋作)	△	(H28)	A+B	◎	◎	△	春夏、秋作

H28 年度に 5 種類の下水汚泥由来肥料を用いた試験を行った結果から、A+B 画分の多い下水汚泥由来肥料で比較的収量が高いという結果を得ている。

トマト果実の品質は、2 番果～4 番果の糖度が下水汚泥由来肥料区で高いこと、イチゴでは 1 種類の下水汚泥肥料を試験した結果ではあるが、12 月～1 月の収穫初期の果実糖度が高い結果を得た。

葉菜類のコマツナについては、収量は化学肥料区に及ばなかった。コマツナ等の生育期間の短い葉菜類については、化学肥料も併用することによって収量を確保することが必要となる。一方、コマツナの品質については、糖度やアスコルビン酸が下水汚泥由来肥料区で高く、また硝酸イオン濃度は逆に低いことから、高品質のものが得られる可能性が示された。

野菜品質に関するこれらの試験結果から、下水汚泥肥料を利用することによってトマトやコマツナでは化学肥料を用いる場合より糖度やアスコルビン酸濃度が高まること、イチゴについては糖度が高まるというように、高品質な収穫物が得られる可能性が示された。

さらに昨年度は、下水汚泥由来肥料を連用してアスパラガスやエダマメ、レタスを栽培している現地農家を調査し、化学肥料を使用している農家と比較した結果、下水汚泥由来肥料の連用によって野菜品質の向上、あるいは土壌物理性の改良や地力の向上による収量安定等のメリットが認められた。

これまでの下水汚泥由来肥料の窒素肥効試験において得られた以上の結果から、下水汚泥由来肥料を利用することにより、野菜の種類によって化学肥料と同等以上の収量が確保できること、また糖度やアスコルビン酸濃度を高めるなど野菜の品質が向上できることが示された。また現地農家圃場を調査した結果から、下水汚泥由来肥料を連用することによって化学肥料を用いる場合よりも土壌の物理性の改善と地力の向上が見られ、収量の安定や収穫物の品質向上等のメリットに繋がることが確かめられた。

下水汚泥由来肥料の効果的な農業利用に向けて、これらの情報が活用されることが望まれる。

研究紹介

下水汚泥由来繊維利活用システム

日本下水道事業団 技術戦略部

資源エネルギー技術課

課長代理 碓井 次郎

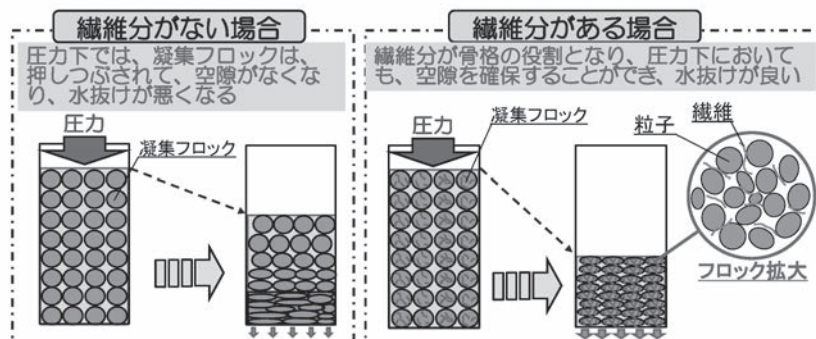
キーワード：下水汚泥由来繊維、繊維状物、脱水

1. はじめに

従来の汚泥処理では、汚泥濃度、有機分比（VTS）、M-アルカリ度、繊維状物など、様々な指標を用い、濃縮性や脱水性の影響度を検討してきた。汚泥中の繊維状物の効果については、図－1のように想定される原理から、これまでも脱水工程に有効に寄与する因子として位置づけられてきた。しかしながら、外部から古紙や合成繊維等を投入する以外に汚泥中に含有する繊維状物を制御する方法がなく、脱水機への供給汚泥はこれまで汚泥濃度を中心とした管理が中心であった。近年では、汚泥処分費の低減等に寄与する技術開発の一つとして、脱水汚泥を低含水率化させることを目的とした様々な脱水機の開発が行われてきた。しかしながら、いずれの低含水率型脱水機においても、その脱水性能は汚泥性状に大きく依存するのが実態であり、嫌気性消化を代表とする難脱水性の汚泥を低含水

率化するためには、薬品費が高額になることや含水率の低減効果があまり高くないといった課題が残されていた。そこで、日本下水道事業団（以下、JS という。）では、汚泥処理システムの合理化とバイオマスのマテリアル（助材）利用を実現するため、株式会社石垣との共同研究を通じ、脱水性能に大きく寄与する供給汚泥性状の中から繊維状物に着目し、その成分を下水汚泥由来繊維として効率的に回収し、脱水助材として脱水機に供給することで、脱水性を抜本的に改善する「下水汚泥由来繊維利活用システム」（以下、本システムという。）を開発した。

なお、本システムは、日本下水道事業団の第72回技術評価委員会（平成27年10月1日）において諮問され、下水汚泥由来繊維利活用システム専門委員会（委員長：李東北大学大学院工学研究科教授）の下で調査・審議し、第74回技術評価委員会（平成28年11月24日）の審議を経て、平成28年12月27日に答申されたものである。



図－1 濃縮・脱水時における汚泥中の繊維状物の役割

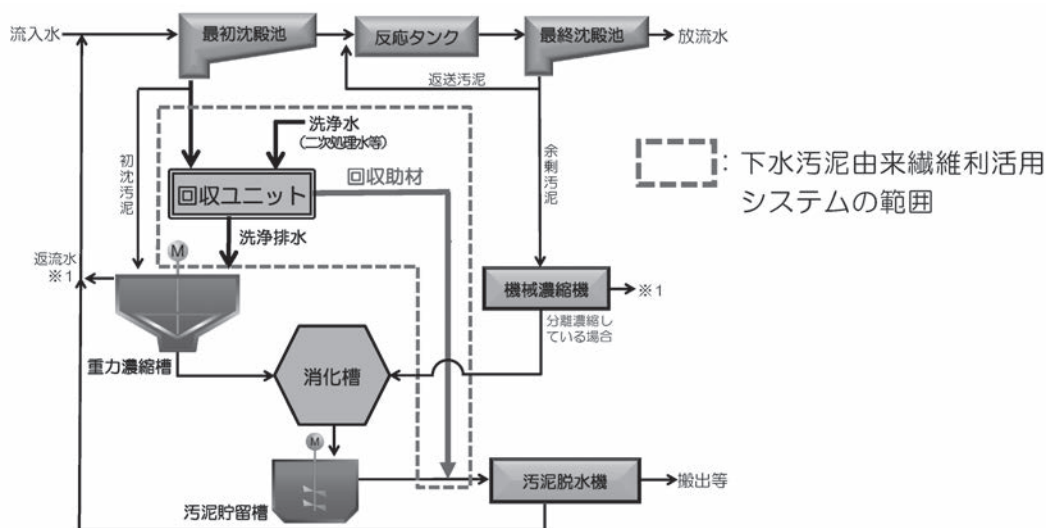
2. 本技術の概要

(1) システム概要

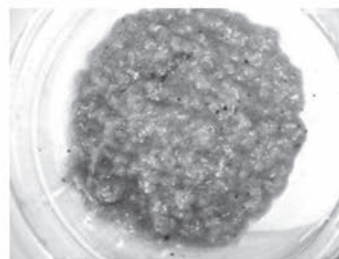
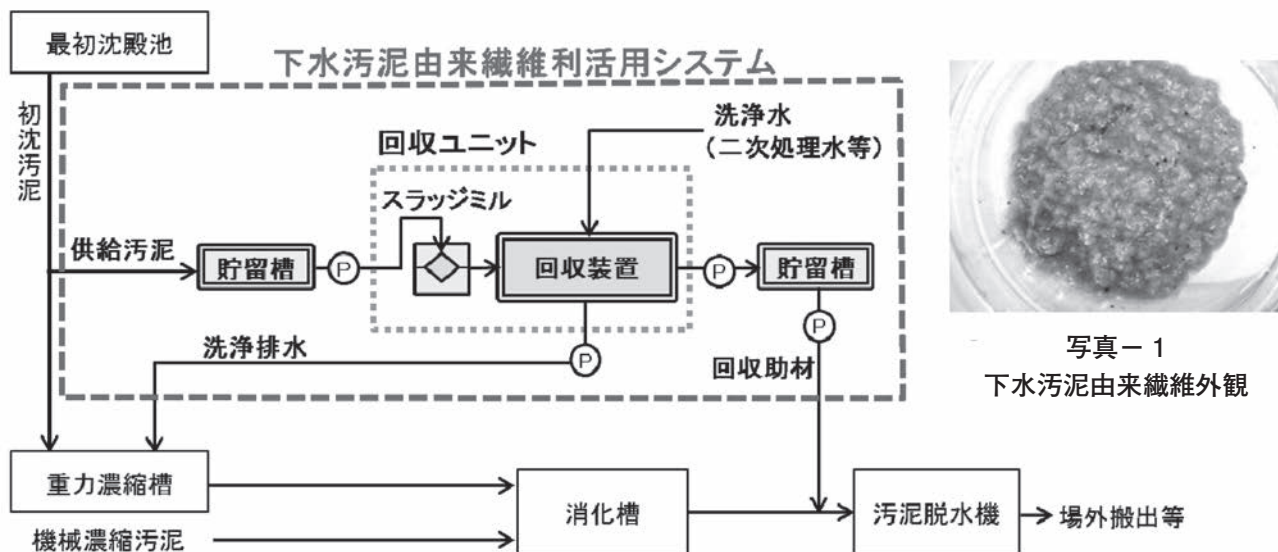
本システムの導入概念図を図－2に示す。

本システムは、「下水汚泥由来繊維」を「回収ユニット」により「回収助材」として効率的に回収し、これを汚泥脱水機に供給する汚泥に「添加」することで、脱水汚泥の低含水率化や凝集剤の低薬注率化等、「脱水性能を大幅に改善」するものである。

なお、下水汚泥由来繊維とは、下水処理場の最初沈殿池から引き抜かれた汚泥(以下、「初沈汚泥」という。)に含まれる繊維状物をいう(写真－1参照)。回収助材は、図－3に示す通り、初沈汚泥を高速回転するミル(以下、「スラッジミル」という。)で連続的に磨り潰した後に、回転ドラム型のメッシュスクリーンを具備する回収装置に供給し、二次処理水等を用いた洗浄水により連続的に洗浄しながら、排水と分離して取出したものである。



図－2 下水汚泥由来繊維利活用システムの導入概念図



写真－1
下水汚泥由来繊維外観

図－3 下水汚泥由来繊維利活用システムの処理フロー

(2) 下水汚泥由来繊維と回収助材の実態

初沈を有する7つの処理場において、繊維状物に関する流入実態調査を行った。表－1に助材の元となる繊維状物100メッシュの初沈への移行割合並びに初沈汚泥に含まれる繊維状物100メッシュの値を示す。

初沈における繊維状物の汚泥中への移行割合は、冬季と夏季とも95%を上回り、初沈汚泥にて繊維状物を回収することが有効であることがわかった。また、初沈汚泥中の繊維状物は、冬季と夏季の平均値で約45%であることが確認された。

回収ユニット廻りの供給汚泥と回収助材の下水汚泥由来繊維の比較は、図－4に示す通りである。

回収助材の評価は、回収ユニットに供給する初沈汚泥中の下水汚泥由来繊維を除くSS分（S1）及び下水汚泥由来繊維（F1）と回収ユニットから取り出された回収助材中のSS分（S2）及び下水汚泥由来繊維（F2）との関係から、以下の式により算出する。

助材純度 = $F2 / (F2 + S2) \times 100$

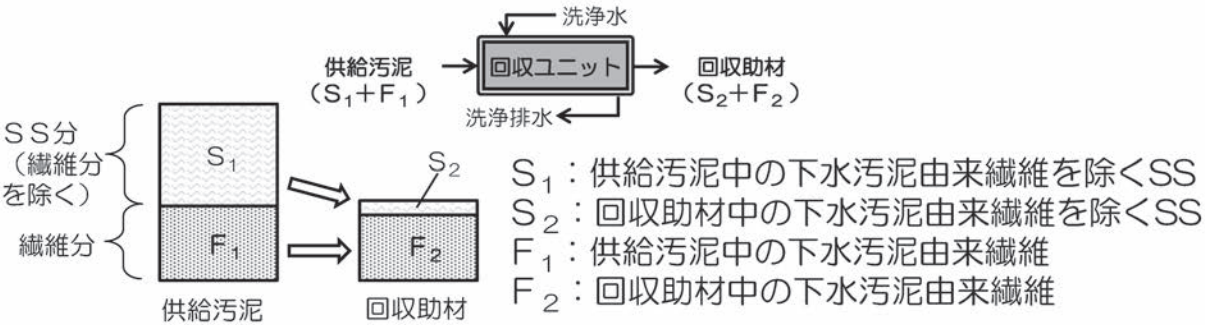
助材回収率 = $F2 / F1 \times 100$

助材純度は、回収ユニットの効率的な運転を考慮すると高い方が望ましい。これまでの実験結果では、供給汚泥と洗浄水量による影響を受けるが、助材純度は85%程度（供給汚泥濃度1%程度、洗浄水量を供給汚泥量の70%程度とした場合）であり、その時の助材回収率は、85%程度であった。

表－1 初沈汚泥中の繊維状物100メッシュの移行割合

処理場			初沈における繊維状物100メッシュ移行割合 (%) (※1)		初沈汚泥 繊維状物100メッシュ (%/SS)	
			冬季 (H25)	夏季 (H26)	冬季 (H25)	夏季 (H26)
①	群馬県内	A 処理場	97	91	47.1	46.4
②	滋賀県内	B 処理場	97	92	40.9	42.3
③	香川県内	C 処理場	95	93	44.2	39.5
④	栃木県内	D 処理場	98	99	53.4	47.0
⑤	長野県内	E 処理場	96	98	44.0	34.3
⑥	岡山県内	F 処理場	97	98	48.3	39.8
⑦	熊本県内	G 処理場	99	99	43.2	46.7
平均			97	96	45.9	42.3
			合計平均 約45%			

※1: 繊維状物移行割合 = (1－初沈流出水繊維状物100メッシュ量／初沈流入繊維状物100メッシュ量) × 100



図－4 供給汚泥と回収助材の下水汚泥由来繊維の比較

3. 本システムの導入効果

(1) 脱水汚泥含水率低減効果

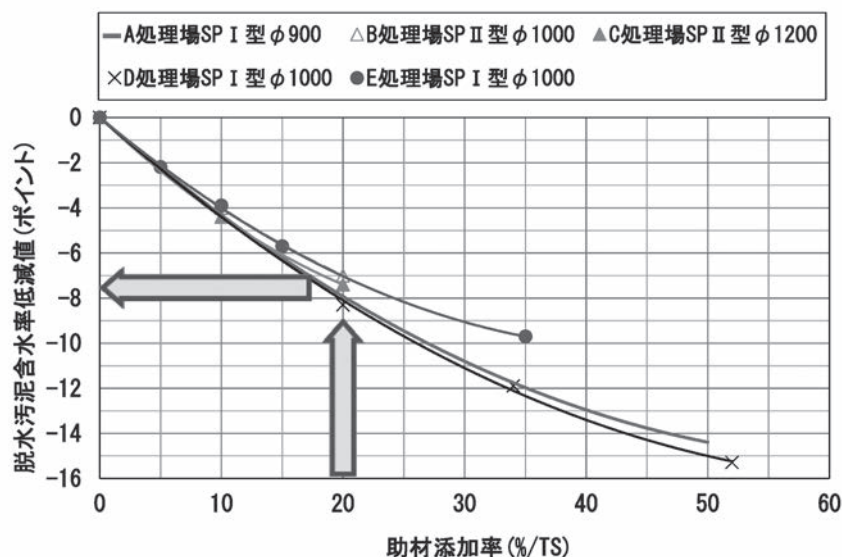
消化槽を有する処理場における実証実験結果の例として、助材添加率と脱水汚泥含水率の低減効果を図－5に示す。なお、A 処理場は四季を通じた実証実験結果で最も性能が出なかった値を多項式にて近似したも

ので、その他4箇所は1回の実証実験結果である。これらの処理場では、助材添加率20%の場合、脱水汚泥含水率が7～8ポイント低下（助材添加前の含水率83%、添加後の含水率が75～76%）していることがわかる。この低減曲線は処理場により変わるものと考えられるが、脱水汚泥の搬出条件に応じて助材添加率を調整し、処分費の低減が可能となる。

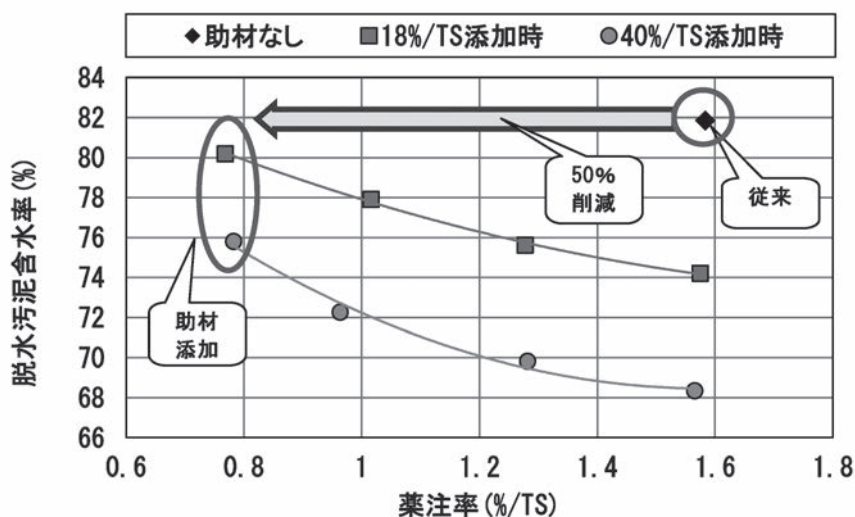
(2) 薬注率低減効果

助材添加による高分子凝集剤の薬注率低減効果を図－6に示す。従来の脱水汚泥含水率82%、薬注率1.6%/TSであったものが、助材添加率18%で、薬注率0.8%を達成しつつ同等以下の脱水汚泥含水率が得られた。

助材添加率40%では、薬注率0.8%を維持しながら、脱水汚泥含水率を76%にすることができた。これにより、助材添加が薬注率低減にも効果的であることが確認できた。



図－5 助材添加による脱水汚泥含水率の低減効果
(圧入式スクリープレス脱水機の事例)



図－6 助材添加による薬注率の低減効果
(圧入式スクリープレス脱水機の事例)

(3) 周辺施設への影響

1) 濃縮施設への影響

回収ユニットに使用する洗浄水は二次処理水又は砂ろ過水を用い、発生した回収装置の洗浄排水は、重力濃縮槽へ投入する。これまでの実験において、重力濃縮槽の濃縮性に影響がないこと、濃縮分離液

の水質が悪化することはないことが確認されている。

2) 消化施設への影響

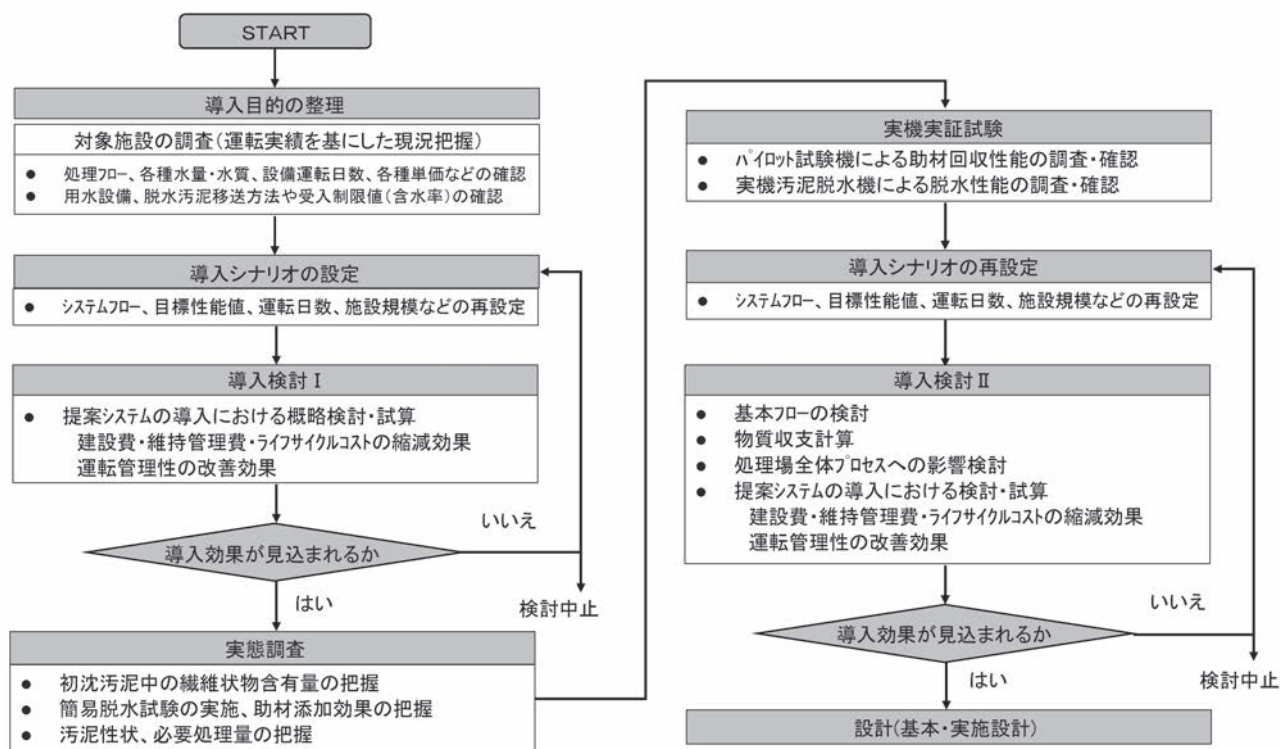
初沈汚泥から助材を回収した場合、消化槽へ供給する下水汚泥由来繊維が減少することから、発生するバイオガス量は減少する可能性がある。

(4) 導入検討フロー

図－7に本システムの導入検討フローを示す。本システムは、最初沈殿池を有する水処理方式を採用する下水処理場であって、難脱水性の改善が望まれる下水処理場を対象とする。導入にあたっては、初めに、当該処理場の維持管理データ等に基づき脱水性能改善によるコスト縮減等の導入効果について検討を行う。

導入効果が見込まれた場合、当該処理場における下水汚泥由来繊維の含有量の把握や回収助材の添加可能量を検討するため、当該処理場での実態調査を実施す

る。実態調査においては、初沈汚泥発生量や下水汚泥由来繊維の含有量の測定を行う。引き続き助材の回収率や助材純度、回収助材の添加による脱水性能の改善効果を検証するため、パイロット試験機を用いて助材回収実験を行うとともに、得られた回収助材を当該処理場の脱水機に供給することで、含水率や薬注率の低減効果を確認する実証実験を行う。なお、同一処理場内で複数の脱水機の種類を有する場合、脱水機の種類により助材添加率と脱水性能の改善効果が異なる場合があるので留意する。



図－7 本システムの導入検討フロー

(5) 汚泥処理・処分費用の削減

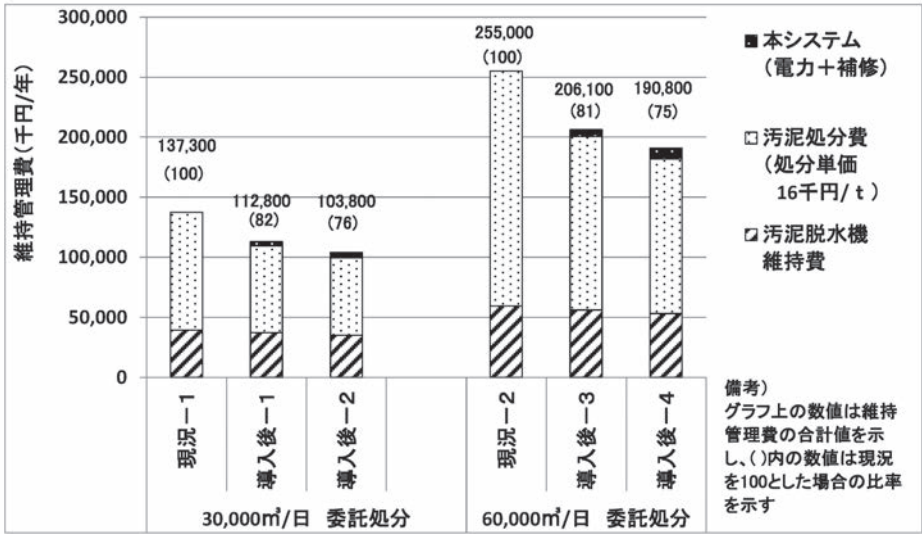
本システムの導入効果の検討にあたっては、回収ユニットの建設費や維持管理費に対して、脱水汚泥の低含水率化による汚泥処分費の削減額、高分子凝集剤の低薬注率化による高分子凝集剤購入費の削減額等について、総合的に評価する。一方、バイオガス量の減少に伴うバイオガス発電量の減少についても考慮する。

これまでの実験結果に基づき、下水処理場への導入

試算例を表－2に示す。現況の含水率83%から助材添加により75%、70%に低下させたことにより、図－8の通り、本システムに要する電力や補修費の増加分を考慮しても脱水汚泥の低含水率化による汚泥発生量の削減による汚泥処分費の縮減から、各ケースで年間の維持管理費が18-25%削減できることが確認された。

表ー 2 本システム導入による維持管理費試算のケース設定

ケース設定		汚泥処理条件		処理フロー
		脱水汚泥処分形態	設定含水率	
現況ー1	30,000m ³ /日 (日平均)	委託処分(埋立)	83%	消化汚泥 ⇒ 脱水機 ⇒ 脱水汚泥
導入後ー1		委託処分(埋立)	75%	回収助材↓
導入後ー2			70%	消化汚泥 ⇒ 脱水機 ⇒ 脱水汚泥
現況ー2	60,000m ³ /日 (日平均)	委託処分(埋立)	83%	消化汚泥 ⇒ 脱水機 ⇒ 脱水汚泥
導入後ー3		委託処分(埋立)	75%	回収助材↓
導入後ー4			70%	消化汚泥 ⇒ 脱水機 ⇒ 脱水汚泥



図ー 8 本システム導入による維持管理費の試算結果

4. おわりに

本システムの導入により、脱水汚泥低含水率化等の脱水性能改善による維持管理費の大幅な削減が期待できる。

なお、脱水汚泥含水率の低減による汚泥発生量の削減に加え、回収助材がトイレトペーパー由来のものであることから、脱水汚泥中の灰分が低下し発熱量が高くなるといった結果も得られており、脱水汚泥の後段に汚泥焼却炉がある場合においても本システムの有

意性は高まるものと想定される。一方で、消化槽に投入する初沈汚泥量が減少することからバイオガス発生量が減少するといった試験結果も得られており、下水処理場でバイオガス発電を採用している場合は、ガス発生量の削減を加味した導入効果を検証することが必要となる。本システムは、平成 29 年 2 月に JS 新技術導入制度における新技術 I 類に選定され、導入促進を図っていく予定である。今後の実機導入にあたっては、本稿で掲げた維持管理状況の確認、実態調査の実施を踏まえた確実な導入検討を行うことが望まれる。

文献紹介

生物処理過程における抗生物質トリメトプリムの形質転換に関する新たな洞察

New insights into the transformation of trimethoprim during biological wastewater treatment
Water Research 88 550-557 (2016)

キーワード：トリメトプリム、微量汚染物質、分解、形質転換生成物質、活性汚泥

医薬品の下水道への放出は主に排泄を介したまたはトイレでの直接処分による。ほとんどの下水処理場は栄養塩類と易分解性有機物を除去するように設計されているが、医薬品を除去する能力には限界があり、下水処理場が河川に流入するこれら微量汚染物質の主な発生源とされている。抗生物質等の放出は水生環境中に耐性病原体の発生を促す可能性があるため特に懸念される。現在ドイツ、スイス等の多くの国で議論されている微量汚染物質の放出軽減を目的とした下水処理場の改良は活性炭フィルターやオゾン処理等の高度処理に基づいているが、既に確立されている生物処理の改善にも関心が寄せられている。抗生物質トリメトプリム(TMP)は下水処理場で $\mu\text{g/L}$ レベルで検出され、河川には日本で $0.04\mu\text{g/L}$ までの濃度が報告されている(Murata et al., 2011)。TMPの下水処理場での除去、形質転換とその生成物(TP)に関するこれまでの報告は大きく異なっている。

そこで本論文の著者らは22万人相当の都市排水(BOD: 220mg/L 、全N量: 70mg/L 、全P量: 16mg/L)を処理する回分式活性汚泥槽(SBR)から採取した活性汚泥と都市排水を用い、12L規模のSBRで(固形物滞留時間: 10日間、水理学的滞留時間: 12時間、嫌気条件1時間後に好気条件2時間、曝気槽中の溶存酸素濃度: $1\sim 3\text{mg/L}$ 、温度: $15\sim 25^\circ\text{C}$ 、pH: $7.0\sim 7.5$)、流入と排出液を16ヶ月間採取しTMPとTP濃度を調査した。試験期間中平均で溶存有機炭素: 60%、アンモニア: 95%の除去が確認された。調査前半ではTMP除去率は平均34%と比較的低かったが、後半9ヶ月間では83%以上であった。TMP除去は生物学的プロセスであるため前半(3~9月)に反応槽内で増大した微生物に注目し、TMP分解能を示した汚泥にTMPを添加し培養実験を行った。活性汚泥は、低希釈: SBR流入液で1:1または高希釈: SBR排出液で20:1に希釈し、TMP添加濃度は低: $5\mu\text{g/L}$ または高: $500\mu\text{g/L}$ とした。低希釈汚泥ではTMP低濃度添加でTMP除去は速く、高濃度添加では遅かった。高希釈汚泥ではTMP低濃度添加でのみTMP除去が観察され

たが、低希釈汚泥よりも除去速度は遅かった。TMP高濃度添加ではヒドロキシル化によって形成されたTP306とヒドロキシル化とその後起きるいくつかの酸化還元反応によって形成されたTP324の2つのTPが確認された。TMP低濃度添加・低希釈汚泥ではTMPは脱メチル化され4-デスメチル-TMPを形成し、次いでこれが迅速にヒドロキシル化されTP292を、TP292が酸化されTP290を、TP290が加水分解され2,4-ジアミノピリミジン-5-カルボン酸(DAPC)を形成した。最初の3つのTPは定常状態での濃度が低く連続して形成し消失した。4つめのDAPCは安定で、その量はTMP90%相当であった。よって、TMPが3つのTPを介しDAPCに至る形質転換の経路がこの実験において主たる分解過程であることが判明した。速度論的解析のために、SBRにTMP $1\mu\text{g/L}$ を添加し循環無しで2日間運転した結果、汚泥は大過剰なので濃度を一定とみなしTMP除去はTMP濃度のみに依存するとした擬一次モデルが非常に高く結果と適合した。SBRで測定された懸濁体濃度 3.1gSS/L と2日間の運転で得た擬一次係数 $4.0\text{L}/(\text{gSS}\cdot\text{d})$ を使い擬一次反応式を反復することによってSBRにおけるTMP除去をモデル化すると、TMP除去率は嫌氣的条件下でTMP除去が無い場合は88%、好氣的条件下と同じ除去速度である場合は94%と予測された。現場の活性汚泥と都市排水を用いたSBRの平均TMP除去率が83%以上であることから、TMP濃度が低く汚泥濃度が高い現場のSBRに対して、TMP添加濃度が低く汚泥の希釈率が低い実験結果をモデル化すると良好な比較が可能となることが判明した。SBR流出液中のDAPCはTMP52%相当であった。残り48%分は汚泥中の求核剤によって4-デスメチル-TMPから他の付加生成物になった、あるいはDAPCがさらに形質転換し未知のTPが生じたと考えられる。TMP48%分の変遷は不明であるが、培養実験で見出された分解経路が現場のSBRにおけるTMP除去にとって重要な経路であることは明白である。

本論文の著者らは実験室規模でのSBRを用いた形質転換反応解析が環境内の微生物汚染物質の変化を評価するのに有用なツールであると評価した。また、TMPの初期濃度によってTMPの分解経路が異なった原因について、抗生物質であるTMPが形質転換に関与する細菌を阻害している可能性を挙げ、さらなる研究、例えば毒性試験、形質転換に関与する酵素の速度論的解析または遺伝子発現の確認等が必要であるとしている。

(農研機構・農業環境変動研究センター 杉山 恵)

Q & A

汚泥発酵肥料の品質管理について

キーワード：重金属類、管理手順、自主測定

Q1 下水汚泥を使った肥料に規制はありますか。

A1 汚泥発酵肥料を含め、汚泥肥料等は平成 12 年 10 月施行の肥料取締法の改正により、普通肥料として農林水産大臣の登録が必要となっています。

山形市でも「山形コンポスト」として平成 12 年 10 月 1 日に登録しています。

Q2 規制基準はどのようなものですか。

A2 含有が許される有害成分の最大量は、乾物当たりで以下のとおりです。

- | | |
|-----------|---------|
| (1) ひ素 | 0.005% |
| (2) カドミウム | 0.0005% |
| (3) 水銀 | 0.0002% |
| (4) ニッケル | 0.03% |
| (5) クロム | 0.05% |
| (6) 鉛 | 0.01% |

Q3 立入調査などはあるのですか。

A3 肥料取締法に基づいた立入調査があり、その結果は農林水産省のホームページで公表されています。

Q4 自主的な管理はどうしていますか。

A4 マニュアルとして「汚泥肥料中の重金属管理手引書」(平成 27 年 3 月改訂)が農林水産省より公表されています。基準を超えた製品を出荷することの無い様、自主測定を含めて管理手順等を定めることとしています。

当市では月 1 回の頻度で自主測定を行っています。基準に対して十分に低い値となっています。(表-1)。

Q5 原料である脱水ケーキの管理はどうしていますか。

A5 下水処理場での有害成分の除去は困難であるため、下水道への流入を阻むことが重要です。流入については下水道法や条例で規制されていますので、規制担当と連携してしっかりと管理していく必要があります。

当市では、製品であるコンポストと併せて脱水ケーキの自主測定も同時に行っています。また、脱水に使用する薬品などについても汚泥に影響する場合がありますので、薬品等の管理も行っています。

Q6 肥料化に際して気をつけていることはありますか。

A6 下水汚泥を使用した肥料については、いまだに「何が入っているのかわからない」と不安に感じている方もいます。自己の下水汚泥のみを利用してコンポストを製造する場合は自主管理を十分に行えばいいですが、民間の施設などを利用する場合には他の原料と合わせて作られることが多くなります。もしもこの肥料が基準を超過した場合、他の原料が原因であっても汚泥肥料等が違反したこととなります。民間施設等を利用する場合には、その施設の管理体制をしっかりと確認することが重要と考えます。

表-1 平成 28 年度自主測定結果

単位：mg/kg・DS

	最大	最小	平均	基準
ひ素	4.3	3.6	3.9	50
カドミウム	1.5	0.7	1.1	5
水銀	0.70	0.44	0.54	2
ニッケル	39	27	35	300
クロム	68	29	49	500
鉛	14	9	13	100

(山形市上下水道部浄化センター副所長(水質担当))

兼水質係長 工藤 守

ニュース・スポット

関係団体の動き

道の駅「とよとみ」地区の 再生下水汚泥肥料の活用について —山梨県中央市—

一般財団法人 日本土壤協会
常務理事 日高 伸

キーワード：農業集落排水汚泥、生ごみ、融合コンポスト、とよとみクリーン

南アルプスと八ヶ岳を展望できる中央市は山梨県のほぼ中央にあり、甲府盆地の南部に位置する。道の駅「とよとみ」は笛吹川の田園風景に沿った国道140号の豊富地区（中央市浅利）にあり、1998年に農産物の直売所として開設された。豊富地区（旧豊富村）は笛吹川を境に南側が御坂山塊の曽根丘陵に面して、東西5km、南北6km、総面積13.5km²で区画整備された農地には多品目の露地野菜と観光果樹園が広がっている。

中央市（2006年2月、2町1村の町村合併）豊富地区の耕地面積は1,350ha、1981年まではその6割以上が桑畑であり、全国一の蚕の産地であった。曽根丘陵の北面は下層が層厚の砂礫層で、層は細粒褐色森林土、有効土層は1m以上である。また、なだらかな傾斜地は排水がよく桑園に適している。わが国の養蚕業の衰退にみられるように、隆盛を極めた旧豊富村の養蚕も近代以降の産業構造の変化により、衰退の一途をたどり都市への労働流出、放棄桑園など村の生活環境や景観の悪化など様々なひずみが生じるようになった。1990年代に入ると、疲弊した養蚕農村と荒廃桑園等の未利用地を救済する農業農村の振興策や地域環境の整備を含めた事業が盛んに行われ、一時期は養豚業も盛んとなり耕種農家と畜産農家が連携した土づくりが行われるようになった。



中央市のHPより（一部改変）

土壌条件に恵まれた豊富地区は気象も盆地特有の寒暖差が大きく、年間の平均気温が14℃、年間降水量は約1,000mmと少ない。この地理的条件を活かして、抜根整地した桑園跡地に収益の高い果樹への転作が図られた。特に、土壌条件や昼夜の温度差、日照時間などに適しているモモ、スモモ、ブドウが計画的に改植されてきた。また近年、露地作物の主役はスイートコーンとなっている。桑からモモへの転換、高度な栽培技術を克服した豊富地区は、今日では地区内で生産されるモモやトウモロコシなど、その品質は全国に名を馳せるようになってきている。そこには村行政の一貫した姿勢がみられ、地域住民と相互の連携によって進められてきた感は否めない。その原点を探ると旧村の下水道事業に行き着く。

今日、豊富地区では汚泥をコンポスト化して、肥料や土づくり資材に活用し、エコファーマーを基幹とした環境にやさしいリサイクル農業が成立している。そこで生産された農産物は地産地消を推進する多彩なイベント等を通じて広く地区外にも販売されている。循環ループの中心となる施設が汚泥肥料を生産する「とよとみクリーンセンター」と農産物の販売・企画を担う「道の駅とよとみ」であり、重要な役割を担っている。

ここでは両者の連携、取り組み・下水道事業の経緯と汚泥コンポストの現状を紹介したい。それにはまず、全国の自治体に先駆けて1994年度に豊富村環境基本計画の推進を村議会として決定したことに注目したい。村の基本計画は「環境と豊かに共生する村」を軸に「環境共生型・循環型社会づくりの貢献」を目標としている。この背景には、長年シルクの里として発展してきた豊富村は自然の恵みを大切に、生命環境を保全する意識が培われていたことは言うまでもない。高度経済成長期に入ると豊富村の清涼な水辺環境も産業活動と社会生活の向上等により、水質の悪化が目立ってきた。当時は水質汚濁の改善には下水道の整備が唯一の手段とされ、1977年に行った村の住民意向調査でも53%の住民が下水道整備の必要性を上げている。これを受けて、村では1983年に下水道整備計画が策定され、事業化に向けた取り組みが具体化する。

都市を中心に整備されてきた下水道が流域下水道（二以上の市町村の区域にわたる）か公共下水道（市町村）かで騒がれていた当時、農林水産省の所管事業で整備される農業集落排水事業も本格的な展開期にあり、豊富村は農業集落排水事業の導入を決定する。事業の着手は1984年度に始まり、逐次下水道の整備を

進め、1996年5月を最後に、全村5地区に集落排水施設が整備され、水処理施設の整備事業を完了する。

現在、下水道人口は地区内の全家庭1,200世帯、約3,600人、下水道の普及率は100%である。5地区の集落排水施設から発生する汚泥はバキュームカーで回収して、し尿処理場へ運搬・処分を行ってきたが、環境共生型・循環型社会を目指す村の基本方針は変わらず、施設汚泥のコンポスト化に着手する。村内5カ所の間処理施設から集められた下水汚泥（水分率95%）を一括処理する汚泥処理施設「とよとみクリーンセンター」が1998年度に完成する。当施設では発酵過程で熱源として添加する稲わらやモミガラなどの副資材の入手が困難であったことから、無添加方式の発酵汚泥（発酵後の汚泥をコンポストという）の生産が行われ、コンポストは有機物肥料として、また土づくり資材として、農地への還元を奨励してきた。

コンポストの肥効に関しては、生活系由来は含有成分の組成がし尿系に近いことから、肥料効果が期待されていたが集落排水施設の汚泥は窒素・リンに比べカリ成分が少ないという特徴がある。とよとみクリーンセンターで生産された当初のコンポストは窒素1.6%、リン酸2.8%、カリ0.1%とカリが少なく、有機農業に取り組む農家からは肥料成分が高く、化学肥料を低減できる質の高いコンポストの要望が出されていた。

そこで、コンポストの品質向上が次の課題として浮上する。発酵汚泥に不足する肥料成分を補うために複数の資材を混合する方式「融合コンポスト化」を探ることになる。「融合コンポスト」とは、成分の濃度や成分のバランスなど高品質の堆肥を製造することを目的として、含有性成分に特徴を持った有機性廃棄物を混合した堆肥である。これまでのコンポストに不足しがちな窒素、カリを補給するために、今まで焼却処分されていた各家庭の生ごみを回収して、再資源として処理する施設「とよとみクリーンセンター生ごみ処理場」が整備され、2005年度から施設の運用が始まる。シルバーの人材活用によって、毎日回収される地区の家庭生ごみ（約1,000人、120kg/日）は粉碎・乾燥工程を経て、乾燥した生ごみ（34kg/日）がベルトコンベヤーでとよとみクリーンセンターの発酵槽に移される。発酵槽では加圧脱水された汚泥（5.6m³/日）と混合され、30日間の熟成過程を経て融合コンポスト「石灰系下水汚泥コンポスト、名称：とよとみクリーン、含水率25%、石灰30%含有」が生産（350kg/日）される。融合コンポストはこれまでの単独発酵のコンポストに比べ、窒素が約1.4倍、カリが約3倍に高まり、肥料成分の含有量、成分バランスが改善された。

融合コンポストの普及、施用に関しては山梨県総合農業試験場、八代農業改良普及センター、農協等が参



市内のマンホール 蓋には桑の葉と繭



とよとみクリーンセンターの施設、生ごみの処理

農業集落排水施設から汚泥の回収

回収された家庭生ごみ

融合コンポストの生産

商品名：とよとみクリーン

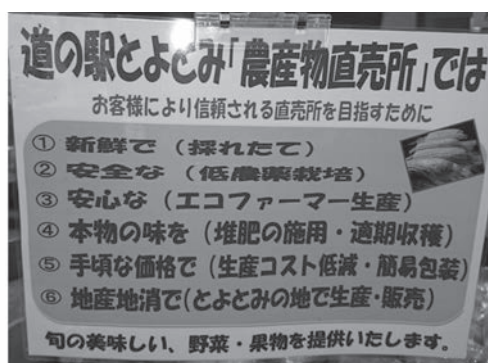
加した豊富村コンポスト肥料検討委員会での協議を踏まえて、融合コンポストの安全な施肥基準が作成されている。融合コンポストは210円/20kg・袋で販売され、そのほぼ全量が地区内の農家や一般家庭で利用されている。この間、生ごみの分別収集の徹底・指導（生ごみとして出せるもの、出せないもの、指定回収の袋「生分解性専用袋、298円/10枚・10L」の使用など）、事業に係わってきた行政担当者の苦労が垣間見られる。そして目標を共有化した地域住民の参加と協力があって達成できた業績といえよう。下水道の誘致から始まった環境行政に実に長い道のりがあったことに気づき驚きを感じる。

生産された農産物は道の駅とよとみに開設された農産物直売所等で販売されている。道の駅とよとみは現在、（一財）中央市農業振興公社（2001年）が豊富地区の方針（行政）を受け継ぎ、下水処理施設、農産物直売所、生産・出荷組織を連携させた中心的役割を担っている。道の駅の店内には特産品のモモ、村が誇るトウモロコシ（品種：ゴールドラッシュ）の他に野菜菜、ハウレンソウなど多品目の野菜が並び、生産技術の指導から都市との交流・企画まで活動は多岐に及ぶ。道

の駅とよとみの取り組みは高く評価され、農産物直売所は第1回直売所甲子園2009で日本一に輝いた。そして、公社が地域の資源循環型農業を推進する中心的役割を担い、エコファーマーを支援する取り組みなどが評価され、2011年度の第17回環境保全型農業推進コンクールで農林水産大臣賞を受賞している。

生産者エコファーマーの塚田敏さんに融合コンポスト「とよとみクリーン」の魅力について、感想を伺うことができた。モモとトウモロコシを中心に少量多品目の野菜を栽培している塚田さんは年間100袋/20kgのとよとみクリーンを果樹園（坪施用）、野菜畑（畦内施肥）に施用している。とよとみクリーンの効用としては、石灰資材・有機質資材の代替となり、収量を保ちながら肥料費を低減することができ、糖度の高いトウモロコシが生産できるようになったと評価は高い。

中央市役所市下水道課のご配慮により、旧豊富村の取り組み状況を詳細に伺うことができ、融合コンポスト「とよとみクリーン」の製造現場を拝見できたことに改めてお礼申し上げます。



道の駅「とよとみ」

地域資源循環利用で生産される農産物



生産者・塚田敏さん

2017年10月1日（直売所）

ニュース・スポット

関係団体の動き

国内最大規模の複合バイオマス施設 「豊橋市バイオマス利活用センター」が 平成 29 年 10 月 1 日より本格稼働！

「再生と利用」編集委員会事務局
公益社団法人 日本下水道協会企画調査部企画課
課長 春田 大喜

キーワード：バイオガス発電、メタン発酵

1. はじめに

豊橋市では、P F I（Private Finance Initiative）手法により整備を進めてきた国内最大規模の複合バイオマス施設である「豊橋市バイオマス利活用センター」（同市神野新田町）の本格稼働を、平成 29 年 10 月 1 日に開始しました。

当センターは、下水汚泥や生ごみ等のバイオマスを混合しメタン発酵させ、取り出したバイオガスを燃料に発電するとともに、発酵後の汚泥は炭化燃料に加工することで、バイオマスを 100%エネルギー化する施

設として注目されています。バイオガス発電では、一般家庭換算で約 1,890 世帯分に相当する電力（年間 680 万 kWh）を F I T（再生可能エネルギー固定価格買取制度）により電力会社へ供給し、炭化燃料は民間企業に燃料として供給されます。

「再生と利用」編集委員会事務局は、本格稼働直後の当センターに出向き、豊橋市のご担当者より本格稼働に至るまでの経緯等について様々な角度からお話をいただきましたので、その主な内容を紹介します。

2. 当施設を造ることになった背景

豊橋市では、第 5 次豊橋市総合計画において、「環境を大切にするまちづくり」を基本構想として掲げており、その個別計画となる豊橋市上下水道ビジョンでは「環境負荷の小さい下水道」を重要施策の一つとして掲げているなど、リサイクルの推進や環境負荷の低減といった方針が根付いていたことに加え、汚泥処理設備の老朽化による処理方式の変更や、汚泥を利活用する上で地元農家への肥料供給の先行きが見通せなくなったことを背景に、当センターの整備に関する検討が一挙に進んでいったとのことをお話を聞くことができました。



写真 -1 豊橋市バイオマス利活用センターの全景鳥瞰図



写真 -2 本格稼働当日の式典の様子



写真-3 場内に設置された2基のメタン発酵槽



写真-4 ガス発電設備の外観

3. 事業及び処理費等に関するスキーム

豊橋市は、平成24年12月の政策決定以降、下水道部局や環境部局を始めとする関係部局から成る検討会議を開き、PFI事業としての実施方針等を検討し策定されたとのことでした。実施方針では、①メタン発酵により発生したバイオガスの有効利用を図ること、②発酵後汚泥の利活用を図ることとされており、その事業類型は、設計・建設業務及びバイオマス処理に関する維持管理・運営業務は、市が費用を負担するサービス購入型とし、バイオガス及び発酵後汚泥の利活用業務は、その内容を特定せずにPFI事業者(以下、「事業者」という。)提案を基本とし、利活用に伴う収入を事業者自らのものとする独立採算型とされています。

さらに、独立採算型で得た事業者の収入は、その一部を市に還元するよう提案することとされました。

つまり、バイオマス処理をサービス購入型とすることで安定性を確保するとともに、バイオガス及び発酵後汚泥の利活用を独立採算型とすることで、市は維持管理費用を圧縮することができる事業スキームが構築されているとのことをお話をいただきました。

4. 整備着手から施設稼働に至るまでに苦労された点と、今後他の中小自治体などがこうした取組を検討していく際に留意された方がよいこと(これまでの経験から)

整備着手から施設稼働に至るまでに特にご苦労された点についてお聞きしたところ、一つには、生ごみといった下水道事業者では扱えないバイオマスとの混合という観点から、ごみ行政を担う環境部局との横の調整や連携に多くの労力を費やしたという点、さらに試運転期間中における生ごみの質の把握、PFI事業という特性上、スケジュールに制約がある中、確認や決定をしなければな

らない事項に関して検討に要する時間が十分に割けなかった点などのお話をいただくことができました。

さらに、豊橋市(人口:約38万人都市)よりも規模の小さな自治体が、今後こうした取組を検討していく際に、これまでの経験から留意したことがよいポイントなどを伺いました。お話をいただいた視点としては、「受入バイオマス」と「事業スキーム」の2点で、受入バイオマスに関しては、自治体側が管理する地域バイオマス(下水汚泥、し尿・浄化槽汚泥、生ごみ)の質や量(人口推移も見ながら)の把握と、受入バイオマスの種類や量に関する検討、「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」等関係法令の諸条件の整理をしておき、様々な可能性等に対し備えをしておくことが重要であるとのことをお話をいただきました。一方、事業スキームに関しては、民間事業者のノウハウを最大限引き出すとともに、サービス水準の維持を考慮し、リスク分担を明確化していくことが重要であるとのアドバイスをいただきました。

5. 今後の展望や課題

今回の複合バイオマス施設の稼働を契機に、“530(ごみゼロ)運動発祥の地豊橋”として、地域バイオマス利活用の基本モデルとして、全国においてもスタンダードになってもらうとありがたいといった点と、地域バイオマスは“貴重な資源”との意識が市民の皆さまに広く定着していただけるきっかけとなってもらえればとのことをお話をいただきました。

さらに、今後の課題についてお聞きしたところ、①地域バイオマスの質や量の安定的な確保、②サービス水準維持のための適切なモニタリングの実施、③本事業の効果的なPRとのご回答をいただき、本格稼働が終着点でなく、これからが重要であるとの熱い思いを感じました。

最後に、現地取材にご協力いただきました豊橋市並びにご担当者の皆さまに感謝申し上げます。

ニュース・スポット

関係団体の動き

メタン発酵消化液の液肥利用方法と 液肥散布設備について

国立大学法人 長岡技術科学大学
准教授 姫野 修司

キーワード：メタン発酵、バイオガス、畜産廃棄物、
液肥利用

1. はじめに

これまで下水汚泥の農業分野への有効利用としては、汚泥の好気処理コンポスト化による緑農地利用やHAP、MAPなどで作成したリン肥料技術、汚泥焼却灰から作成したリン肥料技術などがある。いっぽう、近年は再生可能エネルギー生産の必要性や再生可能エネルギーの固定価格買取制度の普及などにより、下水汚泥、食品廃棄物、一般廃棄物中の生ゴミ、畜産糞尿などの有機性廃棄物の嫌気性消化工程（メタン発酵処理）を経てバイオガス発電する事業が注目されている。下水道分野における汚泥の嫌気性消化技術は汚泥減容化のために古くから行われ、発生した消化液（消化残渣）については、水処理系に返送し、通常の水処理系と合わせて処理後に放流される。

しかし、下水汚泥以外のバイオマスを活用しメタン発酵を行った場合は、発生した消化液は後述する液肥として有効利用を行うか、有効利用できない場合は新たな水処理設備を設けて廃水処理を行う事になる。しかし、水処理に要する薬剤費や電気代が事業性を悪化させることになる。また、日本では消化液の液肥利用は一部北海道や九州では家畜糞尿や農業残渣を原料に用いたメタン発酵消化液が液肥利用されているが、広くは行われていない。

今後、食品廃棄物、生ゴミや北海道以外での家畜糞尿を用いたメタン発酵処理や地域において下水汚泥や

生ゴミに他のバイオマスを加えた混合メタン発酵処理を進めていくにあたり、消化液の有効利用が課題になる。また、下水道分野においても地域によっては液肥として利用することができれば汚泥の有効利用に貢献可能となる。

本稿ではあまり知られていないメタン発酵消化液の液肥利用方法、液肥散布方法およびそれに必要な設備について北海道の事例を中心に紹介する。また、日本ではあまり知られていない液肥散布設備について海外での事例を紹介する。

2. 家畜糞尿処理の流れ

日本における消化液の液肥利用が最も多く実施されている北海道での乳牛飼育で発生した糞尿の有効利用・処理の流れを紹介する。

一般に酪農施設では、糞尿の他に敷料、搾乳関連排水（パーラー排水）が発生する。これらを好気処理を行い堆肥利用するケース、嫌気処理（メタン発酵）を行い液肥利用するケース、それらを組み合わせるケースがある。

本稿では北海道恵庭市にある有限会社小林牧場を事例として説明する（図1）。本施設は、乳牛300頭を飼育している牧場で、北海道においては中規模の牧場である。糞尿や敷料が1日あたり29トン発生し、それらを中温メタン発酵処理を行っている。メタン発酵により約1,000Nm³/日のバイオガスが発生し、それらを燃料としたバイオガス発電を行うことで100kWの電力を生産し、全量固定価格買取制度を利用して売電している（写真1）。また、コージェネシステムにより得られた熱は消化槽の加温や滅菌等の蒸気として全量有効利用されている。

この施設の特徴は、消化液を液肥として利用する際に固液分離を行い、得られた固形分を好気発酵を行うことで敷料を製造している（写真2）。消化汚泥は、北海道の冬期間（マイナス20℃程度）においても汚泥の自己熱のみで好気発酵処理は進み、約5日間かけ

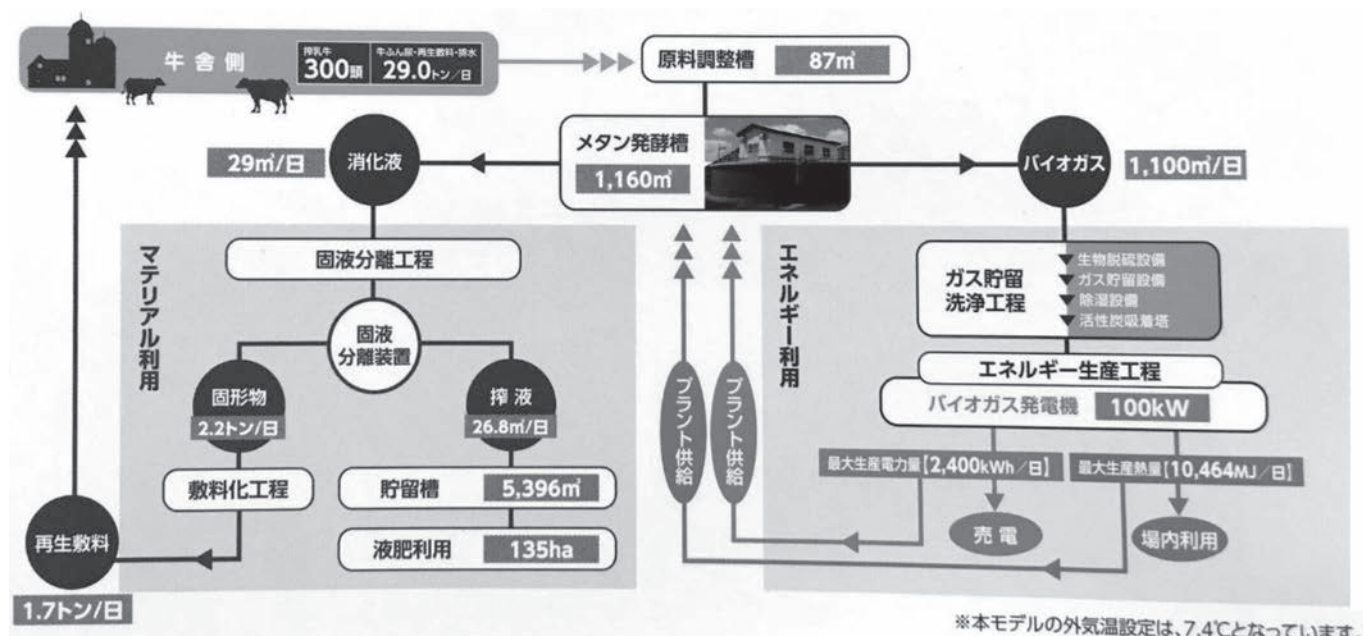


図1 乳牛糞尿の循環利用システムの例（コーンズバイオガス提供）



写真1 2台(50kW, 100kW)のバイオガス発電機



写真2 消化残渣から製造した敷料

て敷料が作られる。発酵温度は 60℃ に達し、病原菌等も大幅に減少する事が確認されている。

近年、酪農において口蹄疫など感染症対策は最重要課題であり、口蹄疫など感染ルートが詳細に分かっておらず、外部から持ち込まれた敷料等の可能性も指摘されており、敷料を自給自足することで感染症対策が期待されている。また、地域によって価格は異なるが乳牛飼育時の敷料購入費は約 10,000 円 / 頭 / 年と言われており、これらの外部コストを抑えることにも貢献している。さらに本施設では一部敷料の販売も行われている。

また、フローには記されていないが仔牛の育成過程で発生した糞尿、敷料は堆肥製造に用いられる。これらの分約10%は、堆肥として圃場に還元される。し

たがって毎日約 10% 程度が糞尿と敷料の循環外に排出されることとなり循環システムの安定性が確保されている。

3. 家畜糞尿消化液と下水汚泥消化液の成分の比較

液肥として散布される消化液の成分について、下水汚泥消化液と比較し、表1に示す。固形分濃度は、糞尿消化液の方が高く、窒素分も多く含まれている。窒素分の約半分が即効性の肥料成分であるアンモニア態窒素として含まれているため、化学肥料の代わりに使用できる。また、リンの含有量は下水汚泥消化液よりも高いものの、窒素やカリウムに対して少ない。

表 1 消化液の成分の比較

成分	乳牛糞尿消化液	下水汚泥消化液
固形分濃度	4～6%	1.5～2%
pH	6.8～7.5	6.5～7.8
全窒素	3,000～5,000mg/L	500～1,000mg/L
アンモニア態窒素	1,000～2,000mg/L	500～1,000mg/L
硝酸態窒素	<1mg/L	<1mg/L
リン酸	1,000～1,500mg/L	500～700mg/L
カリ	3,000～4,000mg/L	100～200mg/L

4. 液肥散布の考え方

小林牧場には飼料を生産するため、牧草、デントコーン（家畜飼料用トウモロコシ）の圃場がそれぞれ130ha、60ha 合わせて190ha がある。そのうち約130ha の圃場に対して液肥散布が行われている。液肥の散布は、牧草は年に3回（1番草、2番草、3番草と3回程度刈り取る）を行い、デントコーンは1回散布される。液肥の散布量は、液肥成分中の窒素を基準に圃場に必要な量から施肥計画を行う。小林牧場では、牧草には1回あたり液肥を1～1.3 t/10 a、デントコーンには4～6 t/10 a 散布している。別の液肥利用検討においても消化液を液肥として圃場に均一に散布する際には4～5 t/10 a が適量とされている¹⁾。

また、液肥散布は一年のうち限られた期間だけなので、消化液の処理設備を有さない場合は、180日（半年）分の消化液の貯留設備を設けることが定められており、約5,400m³の貯留槽が設置されている（写真3）。なお、貯留槽は覆蓋されていないが良好に発酵処理された消化液は臭気も低い。



写真 3 液肥（消化液）の貯留槽

5. 液肥散布方法

液肥を散布する際に圃場が複数点在し、牧場と離れている場合も多く、小林牧場では液肥散布車輛として8 t 散布トラックを使用している。貯留槽からトラックへの搬送は、ドライバーが運転席からリモコン操作で一人で液肥の充填作業が可能である（写真4）。圃場への散布はトラックの後部に接続された散布ノズルから行う。約8 tの液肥散布は4～5分で完了し、何度か貯留槽と圃場を往復して散布を行う（写真5）。また、牧場内の圃場への液肥散布にはトラクターで10 t タンクを牽引して散布を行う（写真6）。



写真 4 液肥を散布車に補給している様子



写真 5 牧草地への液肥の散布



写真 6 トラクターによる液肥車の牽引

6. 日本における水田への液肥散布

畑地である牧草やデントコーンの圃場に液肥散布車輛を乗り入れる事は問題無いようであったが、水田においては重機が圃場に入ることによって圃場が平滑ではなくなるなどの問題が出る場合がある。福岡県大木町、熊本県山鹿市のように小型のキャタピラーを装着したスラリースプレッドによる液肥散布の事例もある（写真7、写真8）。



写真7 小型液肥散布車での水田への散布（大木町）



写真8 小型液肥散布車での水田への散布（山鹿市）

7. 海外での液肥散布と設備

日本では液肥散布自体が主に北海道と九州で行われていることもあり、本州では散布車を見る機会がほとんど無い。また、日本で使用されている酪農関連の機械や設備は欧米製のものが多く、液肥散布車も海外では様々な散布方法や大きさのものが市販されている。そこで、ヨーロッパで開催される農業関連の大規模な展示会である AGRITECHNICA や Euro Tier で展示されていた液肥散布車を紹介する。

欧米の農業は大規模化が進んでおり、液肥散布車輛も散布幅が3, 4メートルのものから20メートル以上

ある大型のものもある（写真9、写真10）。欧米では、広大な圃場内に農耕機械の倉庫を設置し、機械設備は圃場から出す事がないため、道路幅などを考慮する必要がないため、大型ものが多い。



写真9 大型液肥散布設備の例



写真10 散布ノズルがタンク横に格納される様子

また、液肥は圃場の表面に散布すると流出しやすいため土壌中に直接散布する事が望ましい。それらのためにノズル先端を土壌中に埋没させる機種もある（写真11、写真12）。また、その際には土壌の凹凸を各ノズルが吸収するサスペンション機能を有した機種もある（写真13～15）。



写真11 土壌中に液肥散布するためのノズルの例



写真 12 土壌中に液肥散布するためのノズルの例

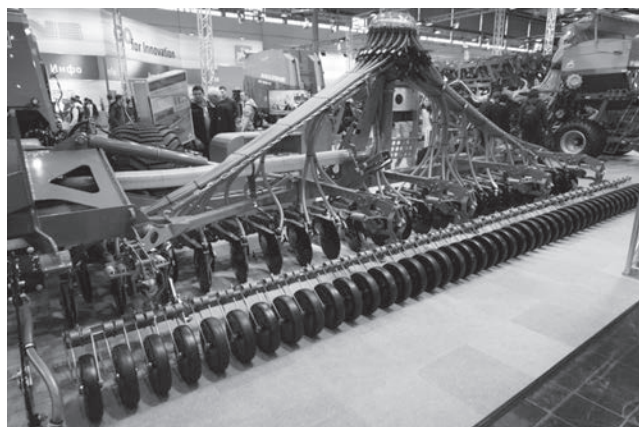


写真 14 土壌の凹凸を吸収する散布ノズルの例

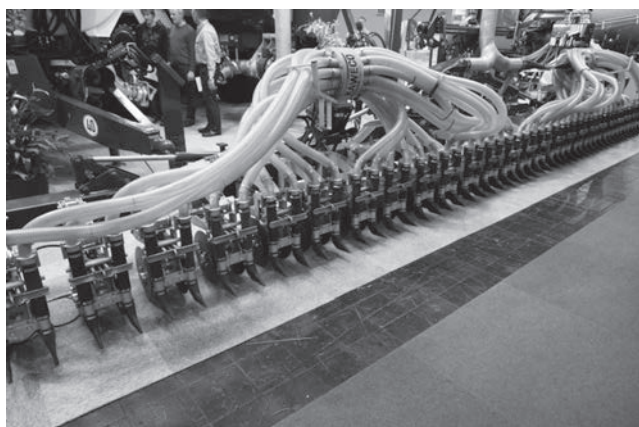


写真 13 土壌の凹凸を吸収する散布ノズルの例



写真 15 土壌の凹凸を吸収する散布ノズルの例

8. まとめ

本稿では、北海道での乳牛糞尿のメタン発酵施設を事例に消化液の液肥有効利用や液肥散布方法を紹介した。また、液肥利用が盛んに行われているヨーロッパでの液肥散布設備を紹介した。

液肥散布方法や散布設備は海外の方が技術的に進んでいることから、現時点で日本の実情に合った方法や設備を導入する事でさらに高効率化や低コスト化が図られると考えられる。

今後は日本においても液肥の散布効率を考えると大型車両で散布を行うことが重要となるが、圃場への輸送に一般道路を走行する必要があるなど、生産規模の拡大や生産効率の向上など日本の酪農の課題を解決するためには、海外で使用されている大型散布車の活用等が課題となるであろう。

謝辞

有限会社小林牧場には圃場への液散布と施肥方法について取材と、液肥散布を実施していただいた。コーンズバイオガスには家畜糞尿メタン発酵施設および液肥散布車両について情報提供いただいた。ここに深謝の意を評す。

参考文献

- 1) (独) 農業・食品産業技術総合研究機構：「地域活性化のためのバイオマス利活用技術の開発（バイオマス利活用モデルの構築・実証・評価）」

お知らせ

民間企業の投稿のご案内

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

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

投稿要領

（資格）

1. 本誌への投稿対象は、下水汚泥の有効利用に携わる民間企業のうち公益社団法人 日本下水道協会の会員となります。しかしながら非会員の場合でも、当会が会員と同等の調査研究の技術力を有する団体と特に認めるものであれば投稿対象とします。

（原稿掲載の取扱い）

2. 原稿掲載の適否は、「再生と利用」編集委員会が決定します。

（掲載可否の判断基準）

3. 掲載適否の主な判断基準は、次の3. 1、3. 2、3. 3、3. 4によります。

3. 1 単に汚泥処理に関する投稿文でなく、下水汚泥の有効利用の促進に資するものであること。

3. 2 特定の団体、製品、工法、新技術等を宣伝することを目的とした投稿文（客観的、合理的な根拠を示すことなく、優秀性、優位性、有効性等について具体名を挙げて記述）でないこと。

ただし、次の場合は除く。

①特定の団体、製品、工法、新技術等の紹介が目的であっても、優秀性、優位性、有効性等の客観性かつ合理的な根拠を明確にし、下水汚泥の有効利用の促進に資すると認められるもの。

②特定の団体、製品、工法、新技術等の名称を記述しているが、単に論文の主旨をわかりやすく伝えるために用いており、投稿文の趣旨とは直接関係のない場合。

3. 3 特定の団体、製品、工法、新技術等を誹謗中傷する内容を含む投稿文でないこと。

3. 4 その他編集委員会が適当と考える事項について適合していること。

（原稿の作成、部数、送付先等）

4. 原稿の作成は、次のとおりとします。

4. 1 査読用 複写原稿2部（図表、写真を含みます）

4. 2 事務用 複写原稿1部（図表、写真を含みます）

5. 原稿の送付先は、下記の担当に送付して下さい。

（校正）

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

（著作権等）

7. 掲載した原稿の著作権は著者が保有し、編集著作権は、本会が所有します。

原稿登載区分

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

担当：公益社団法人 日本下水道協会 企画調査部企画課

住所 〒101-0047 東京都千代田区内神田2-10-12（内神田すいすいビル8階）

電話 03-6206-0679（直） FAX 03-6206-8529（直）

お知らせ

「再生と利用」への広告掲載方依頼について

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

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

記

1 発行誌の概要

発行誌名	再生と利用
仕 様	A4判、本文・広告オフセット印刷
総 頁 数	本文 約140頁
発行形態	年 3 回発行（創刊 昭和53年）
発行部数	2,280部
配布対象	地方自治体 関係官庁（国交省、農水省等） 研究機関 関連団体（下水道、農業等）

2 広告掲載料・広告寸法等

掲載場所	サイズ	刷色	広告寸法	紙質	広告掲載料 （1 回当り）
表 3	1 頁	4 色	縦255×横180	アート紙	154,000円
後付	1 頁	1 色	縦255×横180	金マリ菊/46.5kg	41,000円
後付	1/2頁	1 色	縦120×横180	金マリ菊/46.5kg	25,000円

※ 表 3 は指定頁になります。原則として 2 回以上の継続掲載とします。

※ 広告掲載料は、消費税込みの金額です。

3 広告申込方法及び留意事項

- (1) 広告掲載は、本誌の内容に沿った広告に限り行います。
- (2) 広告掲載のお申込みは、掲載月の40日前（3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い合わせ先は、下記の広告業務委託先までお願い致します。

広告業務委託先 株LSプランニング（担当：「再生と利用」広告係）

〒135-0033 東京都江東区深川2-12-4-201

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

Mail : info@lsweb.co.jp

汚泥再資源化活動

第 144 回「再生と利用」編集委員会

日 時 平成 29 年 6 月 27 日（火）10：00～12：00

場 所 日本下水道協会 第 2、3 会議室

出席者 森田、姫野、重村、島田、落、日高、杉山、
西田、工藤、西島、並木、鈴木、柳原、佐藤
（代理濱田）、（事務局；村井、春田、前田、
遠藤）

議事概要

①第 143 回編集委員会及び第 2 回幹事会議事概要について

- ・事務局から第 143 回（資料 2）の説明を行った。編集委員会議事概要については、事務局より、委員会以前に各委員にメールにて確認をお願いし、そこで修正意見等が出た場合のみ委員会当日に報告する方針であることを説明し了承を得た。
- ・第 2 回編集委員会幹事会議事概要（資料 3）の説明を行った。

（アンダーライン部分を説明）委員からの異論意見は出ず了承を得た。

②第 155 号「再生と利用」編集内容報告について

- ・資料 No. 4 にて説明（7 月下旬には、発刊できる見込み）
- ・今年度より自治体委員の皆様にご当番制にて執筆をお願いすることにした。
- ・Q & A の中で未消化汚泥の全量消化とはどのようなことかと質問があり、福岡市にある中部汚泥処理センターは敷地が狭小条件において 2 段階消化を行っている。それを 1 段階消化にして全量消化を行ったということです。その手法について書いています。と回答された。

③平成 29 年度編集方針・体制について

- ・資料 5、6 について説明を行った。
- ・平成 29 年度編集方針・体制に関する委員からの異論意見は出ず了承を得た。
- ・委員会議事の中で、なぜ 10 月は、メール審議なのかという質問があった。
- ・事務局回答、6 月は、年度最初で新メンバーの委員の方がいるため実施、また、2 月は、次年度に向けた意見調整のため実施する。10 月は、

9 月に幹事会等があるためメール審議としたと回答した。

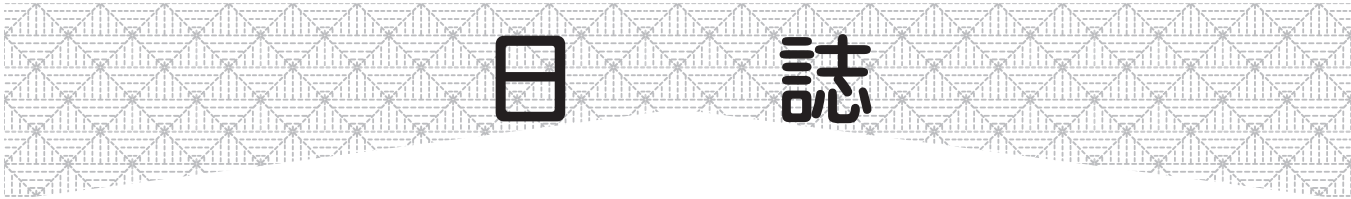
- ・森田委員長より改めて、自治体委員の取材並びに執筆に関し、委員会の活性化のために行う旨の趣旨説明をもらった。自治体委員の理解を得た。

④第 156 号「再生と利用」編集方針について

- ・巻頭言は、国交省下水道部長に執筆依頼済みです。
- ・論説は、リンアトラス研究所大竹氏に依頼済みです。題名は、執筆者に一任している。
- ・特集テーマは、神戸市に依頼済みである。那覇市、横須賀市においては、執筆できないとの返答があった。
- ・愛媛大学農学部治多先生に執筆依頼している。編集委員会にて討議願いたい。
- ・下水汚泥焼却灰からの焼成肥料の製造について、太平洋セメント(株)の案件についても論議願いたい。
- ・香川県多度津町に再生水利用の取り組みについて執筆できないとの返答があった。
- ・下水汚泥を堆肥化し肥料利用の取組、上野肥料生産協同組合山岡氏は、執筆依頼を受けていただけになった。
- ・ISO/TC275 日本下水道事業団山下氏は、依頼を受けていただけになった。
- ・報告については、肥料利用 2 件茨城県筑西市、みやま市においては、依頼を受けてもらった。
- ・岐阜市のリン回収と肥料利用についても依頼を受けていただけになった。
- ・研究紹介については、下水処理水利用による飼料用米栽培に関する研究、下水汚泥を用いた高付加価値きのこ生産技術については、山形市渡部先生、鹿児島高専山内先生に執筆依頼を受けていただけになった。
- ・下水汚泥焼却灰からのリン回収工程におけるアルカリ廃液の利用・有機性有害成分の分析および試作した回収リン酸肥料の肥効試験と食害試験について農研機構工藤氏が執筆依頼を受けていただけになった。
- ・下水汚泥由来繊維利活用システムについて日本下水道事業団碓井氏に依頼を受けてもらった。

- ・ニュースポット／コラムについては、日本コンクリート工業のリン回収について、幹事の方々にメール審議してもらった結果「再生と利用」の趣旨から外れるため掲載を取りやめとした。
- ・再生水利用について那覇市、多度津町は、以前から取り組んでいるが、今も続けて取り組んでいるといった内容で執筆してもらったかどうか？
- ・愛媛大学農学部治多先生は、沖縄県糸満市京都大学田中先生がプロジェクトを行っていてそこに治多先生が参加され沖縄県におけるマニュアル作りを行ったいろいろな知見があり、執筆に前向きである。
- ・以前田中先生に依頼したことがある。当時は、プロジェクト中なので執筆は後ほどということだったが内容については、問題なかった。執筆してもらってよいのではとの意見があった。
- ・太平洋セメントの焼却灰焼成肥料については、古い技術であるが、リンが高騰した時に下水汚泥からリン採取することから始まった。高熱処理するためセメント会社で可能となっている。農水省にも関係しており技術的には問題ない。民間企業の技術紹介も掲載してもよいことになっているのでは？
営利目的での掲載に利用されることも懸念されることから、実績など客観性を示すものも必要となるのでは？このため、本件に関しては、①本技術研究に関し、どこかでプレゼンした資料やデータ。②客観的に技術の検証などといった2次資料、③肥料登録（証明）していることの提示や確認、など事務局より先方（太平洋セメント株）に再度提示等を求めていく（記載する方向で）こととする。
- ・姫野委員にお願いしている「コラム」の液肥利用で北海道、鳥取県で実施している取組について、みやま市に執筆依頼している内容と重複しないように配慮する必要があるとの意見があった。
ただし、北海道、鳥取の液肥利用は、下水汚泥でなく畜産及び生ゴミに由来するものなので写真を中心にした構成でよいのではないかとの意見が出た。

- ・長野県中野市の汚泥発酵肥料コンポストの執筆は、なぜNGなのか知りたい。担当者に確認したところ組織で検討したところ執筆できないとの返答があった。
 - ・事務局より、今回のテーマに関し事務局独自で調査し依頼を行ったが記事確保に苦慮したことを報告。特に再生水利用に関する記事確保は、難しい。日高委員より、再生水利用事例が多い沖縄県農業試験場（農業研究センター）の担当に連絡し、改めて、事務局に紹介してくれることになった。
 - ・報告において横浜市の再生水利用について、執筆を考えているとの意見があった。「報告」は、委員の取材形式と聞いているが、取材形式でなくともよいのか？また、執筆者は委員以外でも構わないのか？
どちらでも構わない、今後調整していけばよいのではとの意見があった。
 - ・熊本市の再生水利用については執筆依頼したのか？
依頼したが前回執筆した内容と変わらないためNGとなった。
 - ・島田委員より、佐賀市の農業集落排水での再生水活用事例が有名で、処理水を無償で提供しており、こうした状況を視覚的に示す写真等入手してはどうかとの意見があった。
 - ・再生水を工業用水として利用しているところがあるのでそれらを記事にしたらどうかという意見があった。
 - ・自治体にお願いするとなかなか引き受けてもらえないのは、先方側の負担がかかるためインセンティブが働かないので、事例として紹介していくような掲載スタイルもメニューとしてまとめて行っはどうかとの意見があった。
 - ・熊本市における再生水の取組について、再度委員長より執筆依頼の要請をしていただけることになった。
- ⑤その他、意見交換について
- ・島田委員より8月2日に下水道展テクニカルツアーを予定しているので、参加の紹介があった。



平成 29 年 6 月 27 日
平成 29 年 10 月 3 日

第 144 回「再生と利用」編集委員会
第 3 回「再生と利用」幹事会

本会第 2・3 会議室
本会中会議室

次号予告

（題名は執筆依頼の標題ですので
変更が生じることもあります）

論 説：「下水汚泥及び他バイオマスを利用したメ
タン発酵の最新技術について」
「バイオマスエネルギーの電力会社の受入
れ」
特 集：「B－dash ガイドライン化技術」
「下水熱の利用」の取組
「石川県における固定価格買取制度による
バイオマス発電や混合消化の取組」
「下水処理場で地域バイオマス利活用」
「混合消化の取組」

「ガス発電の取組」
など
報 告：「汚泥消化ガスと発電」P F I 事業につい
て
研究紹介：「水草バイオマスの持続可能な収穫と利活用
による湖沼生態系保全技術の確立」
「メタン発酵プロセス」
「小規模メタン発酵」
そ の 他：会報、行事報告、関係団体の動き

編集後記

今年度2回目の号となります第156号では、肥料利用・リン回収・再生水利用の取組を特集テーマに編集しました。前号の編集後記でも書かせていただきましたように、下水道が有する資源のポテンシャルを積極的に活かしていこうとする動きが加速している中、その手法として今回特集テーマに掲げた肥料利用やリン回収、再生水利用といった観点も非常に重要な位置づけにあると思います。こうした状況を踏まえ、本号の編集方針としては、特に自治体での取組では、大都市のみならず、地方部の自治体で行われている様々な取組をできるだけ多く紹介するとともに、自治体のみならず、産官学での最新の取組や研究紹介などもより多く紹介していくことで多様な情報を読者の皆さまにお届けすることをコンセプトに編集しました。

とりわけ、本号の「論説」でご執筆いただきました早稲田大学リンアトラス研究所の大竹客員教授には、今回の執筆をお願いする際に、私ども人間が生活を営んでいくにあたって“リン”がいかに重要で欠かせない資源であるか、世界の需給事情を踏まえ今後日本がどのように

リン資源を確保していくべきか、そしてその利活用を検討していくべきかなど、様々な角度から非常に奥深いお話しをいただくことができました。こうした内容が「論説」の中でも詳しく記されていますので、是非興味深く読んでいただければ幸いです。

その他、本号の「ニュース・スポット」では、今回、編集委員会事務局として、本年10月1日に本格稼働したばかりの豊橋市バイオマス利活用センターの現地へ出向き、当センターを管理する豊橋市の担当者様から、本事業の計画段階から本格稼働に至るまでの経緯等について取材をさせていただき、取材により入手した情報を掲載させていただきました。こうした情報が、今後このような取組を検討される自治体などの皆さまの参考となれば幸いです。

最後になりますが、今回は今年度最後の発刊号としまして、下水熱やエネルギー利用の取組にスポットを当て、引き続き、読者の皆さま方に有用で魅力ある情報をお届けできるような編集内容に努めてまいりたいと考えておりますので、乞うご期待ください。(TH)

「再生と利用」編集委員会委員名簿

		(順不同・敬称略) (29.10.31現在)
委員長	日本大学生産工学部土木工学科教授	森田弘昭
委員	長岡技術科学大学准教授	姫野修司
〃	国土交通省水管理・国土保全局下水道部 下水道企画課資源利用係長	土屋美樹
〃	国立研究開発法人土木研究所 先端材料資源研究センター上席研究員	重村浩之
〃	地方共同法人日本下水道事業団技術戦略部 資源エネルギー技術課	島田正夫
〃	(公財)日本下水道新技術機構資源循環研究部副部長	落修一彦
〃	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 東北農業研究センター水田環境グループ長	西田瑞彦
〃	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 農業環境変動研究センター有害化学物質研究領域 無機化学物質ユニット上級研究員	杉山恵
〃	(一財)日本土壌協会 常務理事	日高伸生
〃	札幌市下水道河川局事業推進部 豊平川水処理センター管理係長	田中暁
〃	山形市上下水道部浄化センター副所長(水質担当)兼水質係長	工藤守治
〃	東京都下水道局計画調整部 技術開発課統括課長代理(技術開発担当)	並木圭
〃	横浜市環境創造局下水道施設部 北部下水道センター担当課長(資源化担当)	西島寛朗
〃	名古屋市上下水道局技術本部計画部技術開発室 主査(技術開発担当)	柳原邦宏
〃	大阪市建設局下水道河川部水環境課担当係長	鈴木隆司
〃	広島市下水道局管理部管理課水質管理担当課長	花尾裕士
〃	福岡市道路下水道局下水道施設部施設管理課長	佐藤浩

「再生と利用」

Vol. 42 No. 156 (2017)

平成29年11月30日 発行
(平成29年第2)

発行所 公益社団法人 日本下水道協会

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

書籍案内

「下水汚泥有効利用促進マニュアル」

～持続可能な下水汚泥の有効利用を目指して～

平成 27 年 7 月 日本下水道協会発行

頒布価格 (CD-ROM 付) 26,000 円

員頒布価格 (CD-ROM 付) 13,000 円

本書は下水汚泥由来の資源・エネルギーの一層の有効活用に向けた時代ニーズに応えるため、これまでの下水汚泥有効利用関連の図書を 1 冊に統合したマニュアルです。

これまで、「下水汚泥の建設資材利用マニュアル（案）2001 年版」、「下水汚泥の農地・緑地マニュアル 2005 年版」、等 を刊行し、一部の修正・見直しを行ってきました。

このような中、肥料利用においては汚泥由来の有機質肥料について調査を行い作物への施用効果の知見が蓄積されてきており、建設資材利用においては 1 部リニューアルを行ってきましたが、直近における民間や自治体の事例等を新たに調査し提供していく必要があり、またエネルギー利用においては近年バイオガスや固形燃料化などの有効利用技術手法も多様化しております。

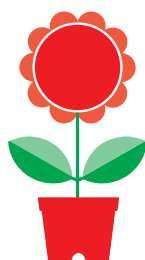
そこで、肥料利用、建設資材利用、エネルギー利用の 3 分野の技術を統合し、会員等の地域ニーズに適合した総合的な活用手法等を提供するため、最新の動向及び技術を盛り込んであります。

マニュアル目次構成

- 第 1 章 総則
- 第 2 章 下水汚泥利用促進の現状及び動向
- 第 3 章 各分野技術のマネジメント (Plan&Do)
 - 第 1 節 総説
 - 第 2 節 下水汚泥肥料
 - I 下水汚泥を原料とする肥料の基本事項
 - II 肥料化の適用事例
 - III マーケティングの充実に向けての課題と方策
 - 第 3 節 下水汚泥建設資材
 - I 下水汚泥を原料とする建設資材の基本事項
 - II 建設資材の適用事例
 - III マーケティングの充実に向けての課題と方策

- 第 4 節 下水汚泥エネルギー化
 - I 下水汚泥を原料とするエネルギーの基本事項
 - II エネルギー化技術の適用事例
 - III マーケティングの充実に向けての課題と対応策
- 第 4 章 総合的な評価と見直しの考え方
 - 第 1 節 評価の基本的な考え方と評価手法
 - 第 2 節 見直しによる改善・更新等に当たっての考え方
- CD-ROM の添付内容 (目次)
 - 1. 下水汚泥・有効利用にかかる主な各種法令一覧
 - 2. 公共事業における利用促進の具体事例 (マニュアル記載以外の事業実施事例)
 - 3. 汚泥有効利用促進に関する診断チェックシート

問合せ先 (公社) 日本下水道協会 技術研究部技術指針課
電話 03-6206-0369
FAX 03-6206-0796



再生と利用

公益社団法人 日本下水道協会

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