

3.10 下水道における資源・エネルギー回収等の最新動向 (下水道研究部長 高島 英二郎)

下水道研究部長高島でございます。よろしくお願いいたします。



写真-13 下水道研究部長 高島 英二郎

私のほうからは「下水道における資源・エネルギー回収等の最新動向」について、報告をいたします。

—スライド（下水道の役割）—

まず、下水道の役割の変遷です。一番上が明治33年、最初の下水道法が制定されたときの下水道の目的は「土地の清潔の保持」が目的でした。その後、昭和33年に下水道法の全面改正がありまして、「都市の健全な発達、公衆衛生の向上」これが下水道法の目的になったわけです。その後、水質汚濁が著しく進みまして、昭和45年のいわゆる公害国会で「公共用水域の水質保全」が下水道法の目的として追加されたわけです。

その後も下水道の役割というのは多彩なものになってきております。下水道法の目的規定はその後の追加はされていませんが、きょうの題目であります「下水道資源等の有効利用」でありますとか、「健全な水環境、資源循環を創出」など、「循環のみち下水道」への転換が目指されています。

—スライド（下水処理場のフロー例）—

次は下水処理場のフローです。大きく水処理と汚泥処理から成るわけです。最初沈殿池、最終沈殿池と2つの沈殿池がありまして、その間に生物処理、ここを反応タンクと言い、エアレーションを行い生物を活発に働かせるというプロセスがあります。最後に消毒して処理水を放流します。

下水道における資源・エネルギー回収等の最新動向

下水道研究部長
高島 英二郎

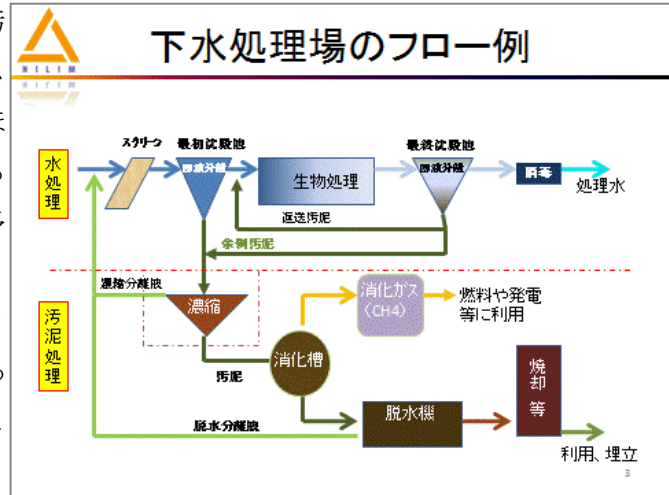
国土交通省
国土技術政策総合研究所
National Institute for Land and Infrastructure Management

下水道の役割

背景	下水道の役割
コレラの流行、浸水問題	土地の清潔の保持
生活環境への関心の高まり	都市の健全な発達 公衆衛生の向上
河川や海等の水質の悪化	公共用水域の水質保全
省エネ・リサイクル社会の到来	下水道資源等の有効利用
潤いのある空間への関心の高まり	健全な水循環・水環境の創出
安全・安心へのニーズの高まり	都市浸水対策の強化
都市型水害の頻発 進まない閉鎖性水域の水質改善	広域的な雨水排除 流域単位での高度処理の推進
地球温暖化への対応 循環型社会の構築	健全な水環境・資源循環を創出する 「循環のみち下水道」への転換

それから汚泥処理のほうは、沈殿池で沈殿させた汚泥を濃縮、それから消化・脱水・焼却というプロセスがあります。このうち濃縮・脱水というプロセスはほとんどの処理場で設けられていますが、消化それから焼却というプロセスは設けられていない処理場も多くあります。

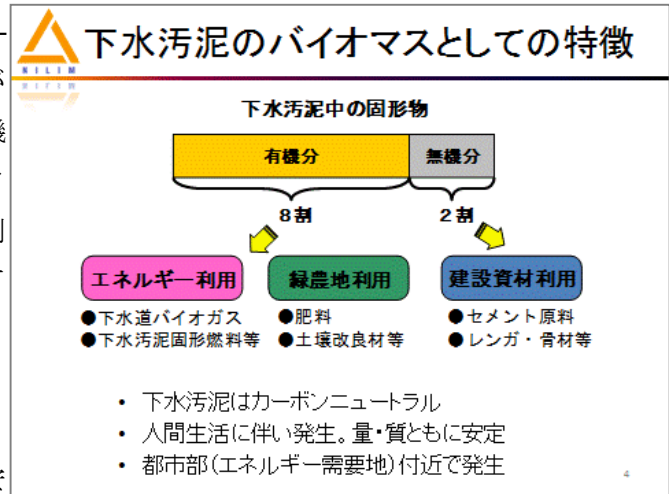
脱水のときに汚泥の水分を絞る際に、脱水分離液というのが出ます。これが水処理のほうに戻るわけであり、これが水処理のほうに悪い影響を与えるということもあります。



—スライド（下水汚泥のバイオマスとしての特徴）—

次に下水汚泥中の固形物についてですが、有機分が8割、無機分が2割という割合になっています。有機分のほうはエネルギー利用として、バイオガス（メタンガスが主体）、それから汚泥の固形燃料といった利用方法があります。それから緑農地に肥料などとして利用する方法。無機分の利用としては建設資材利用、セメント原料等の利用方法があるわけです。

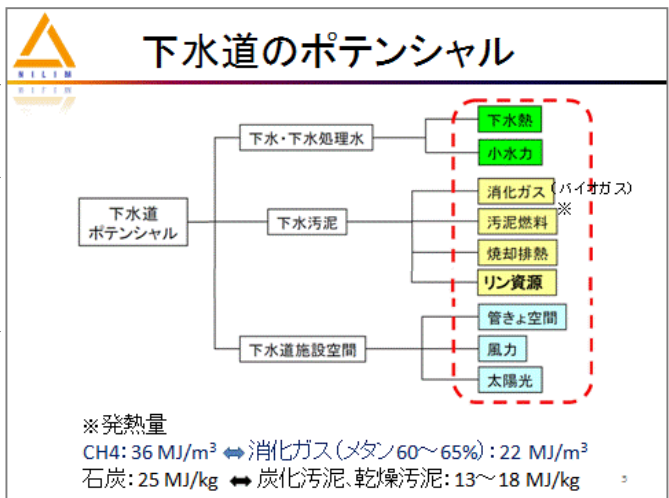
下水汚泥はカーボンニュートラルであるとともに、また人間生活に伴って発生し、量・質ともに比較的安定しています。それから下水処理場で発生しますので、都市部（エネルギー需要地）の近くで発生するというメリットがあるわけです。



—スライド（下水道のポテンシャル）—

次に下水道の資源・エネルギー関係のポテンシャルです。上が下水・下水処理水です。書いていませんが、下水処理水の再利用も下水道の資源です。それから下水には都市の排熱が多量に含まれており、下水熱利用というのがあります。

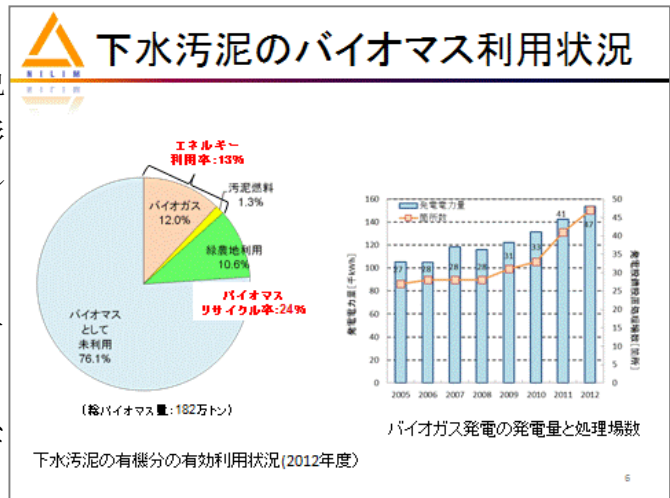
それから下水汚泥のほうですと、消化ガス（バイオガス）、汚泥燃料などがあります。これらの発熱量については、消化ガスはだいたい60%～65%がメタンです。純粋なメタンは、1立米当たり36MJ/m³の熱量があるため、消化ガスはだいたい22MJ/m³ということになります。それから一般的な石炭は25MJ/kg



の熱量があるため、消化ガスはだいたい22MJ/m³ということになります。それから一般的な石炭は25MJ/kgですけれども、炭化汚泥、乾燥汚泥のポテンシャルはだいたい13~18MJ/kgであり、これは燃料として十分使える熱量を持っているわけです。

—スライド（下水汚泥のバイオマス利用状況）—

次に下水汚泥のバイオマスの現在の利用状況です。左の円グラフは現在のバイオマスとしての利用状況であり、バイオガスが使われているのが12%、固形燃料として使われているのが1.3%。併せてエネルギー利用率としては13%。それから緑農地の肥料として使われているのが10.6%、これらを合わせるとバイオマスリサイクル率としては24%に留まっている段階で、まだ未利用が76.1%もあります。リサイクル率を高めていくことが国としての課題になっています。



右のグラフは、バイオガス発電の状況です。この折れ線グラフ、オレンジのほうは消化ガスによる発電を行っている処理場の箇所数。2012年現在で47箇所になっています。それに伴い、発電の電力量も増えているという状況であります。

—スライド（下水道革新的技術実証事業（B-DASHプロジェクト））—

次に「下水道革新的技術実証事業、B-DASHプロジェクトと呼んでおりますけれども、これは Breakthrough by Dynamic Approach in Sewage High technology Project の頭の文字を取り、B-DASHプロジェクトと呼んでおります。この事業は平成23年度からスタートしており、下水道の資源・エネルギー利用や、下水道の大幅なコスト縮減などを目指しているプロジェクトです。

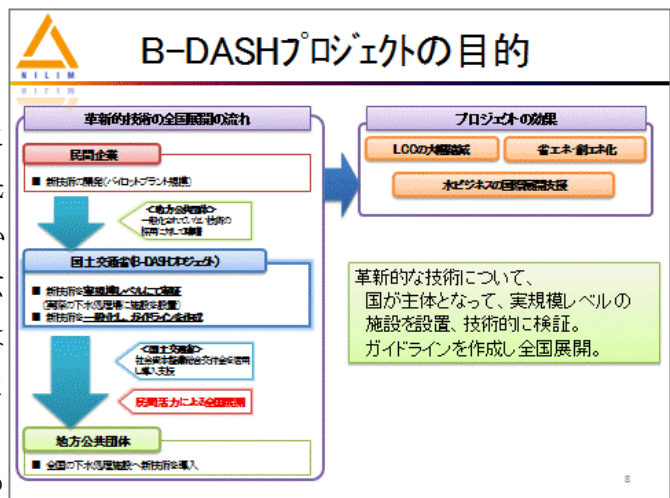
下水道革新的技術実証事業 (B-DASHプロジェクト)

Breakthrough by Dynamic Approach
in Sewage High technology Project

国土交通省
国土技術政策総合研究所
National Institute for Land and Infrastructure Management

—スライド（B-DASHプロジェクトの目的）—

B-DASHプロジェクトの内容です。民間企業においては新技術を開発しているわけですが、民間企業の中ではパイロットプラント規模の段階しかなかかなかできません。これを実際に地方公共団体に広めていくためには、壁があり、新しい技術というのはなかなか地方公共団体としては採用に躊躇してしまうということがあります。これをブレイクスルーすることが目的であり、国土交通省において、その新技術について実規模レベルで施設を地方公共団体の下水道のフィールドに設置し検証を行います。その結果により、ガイドラインを作成し全国展開につなげようということを目的にしています。



実施方法としては国総研が委託研究と言う形で、民間企業およびフィールドを提供する地方公共団体、こういった共同の研究体が主ですが、そこに委託研究という形で行っていただくスタイルを取っています。

革新的技術を全国の下水道施設に普及展開するというを目的にしており、効果としてはライフサイクルコスト（LCC）の大幅縮減、省エネ・創エネ化、それから水ビジネスの国際展開支援といった効果を期待しています。

—スライド（事例-1 固形燃料化（1））—

B-DASHプロジェクトの実例について、今年ガイドラインが策定されたものを中心にご紹介したいと思います。

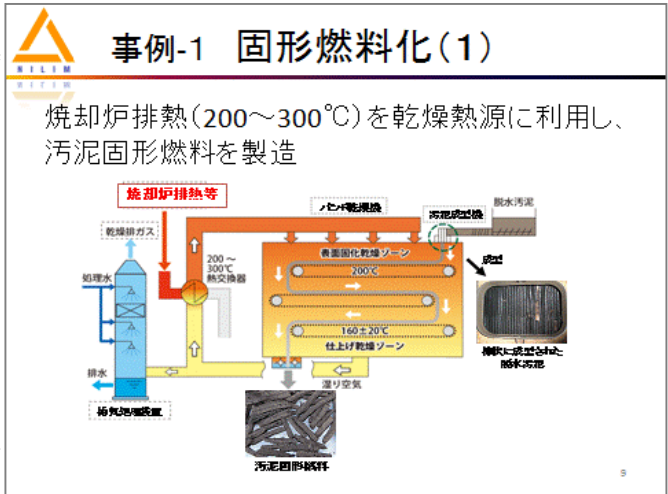
最初は固形燃料化の例です。この絵に描いてありませんけれども焼却炉がこの絵とは別にあるという前提の処理場において、焼却炉の排熱が200℃～300℃ぐらいありますので、これを乾燥のための熱源に利用して汚泥の固形燃料を製造するというものです。

脱水汚泥を、汚泥の成形機において棒状に成型して、この乾燥機の中に落とし、上から順番に下に移動させ乾燥を進め、固形燃料を作るというものです。

—スライド（事例-1 固形燃料化（2））—

同じものですが、脱水汚泥からこのようなプロセスで固形燃料を製造するというものです。実証の結果としましては、含水率が3.2～14.7%、発熱量が16～18MJ/kg-wet。We tというのは水を含んだ固形分当たりということです。

これが実証プラントの写真です。この部分が本体の乾燥機の部分になります。これは愛媛県の松山市で実証を行いました。

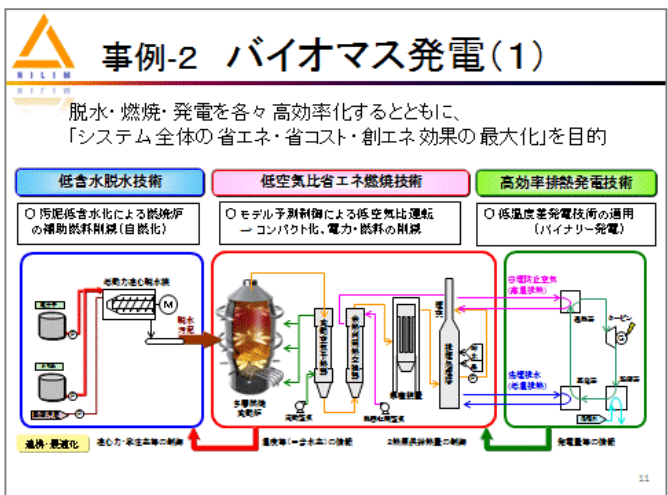


—スライド（事例-2 バイオマス発電（1））—

次にバイオマス発電の事例です。これは昨年度から今年度末までにかけて行っている実証実験です。

左から低含水脱水技術、低空気比省エネ燃焼技術、それから右が高効率排熱発電技術と、この3つをトータルで最適に組み合わせ、ベストな結果を出すことを目的にしています。

まずは脱水については、汚泥から水を絞るわけですが、これは高性能のもので含水率を低くできるものを



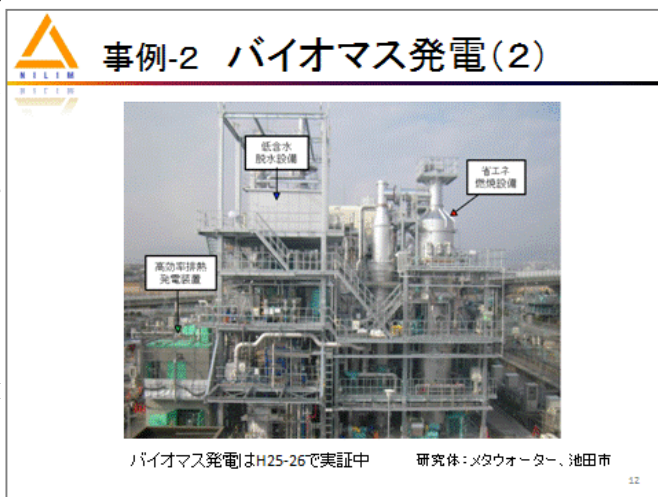
採用しています。それによって、この焼却炉で補助燃料なし、汚泥の持っている熱量のみで自ら燃焼する仕組みです。ただ、空気は入れて中を流動させる必要があります。その空気を吹き込む量を適切にコントロールし、空気比を低めることで電気の使用を削減するものです。

焼却の排熱を利用し、図の右側のように発電のタービンを回します。これについては2系統の熱源があり、通常の排熱、これがこの場合 400℃ぐらい、それから低温排熱のほうは灰ガスを洗浄する洗煙排水、これは 70℃ぐらいの温度があります。通常ですと 70℃はかなり低

いわけですが、この熱のサイクル、これは沸点が低いアンモニア水を使っており、低い温度でも沸騰して蒸気になるということで、この2つの熱源を使って、アンモニア水の蒸気でタービンを回し発電をするという技術です。

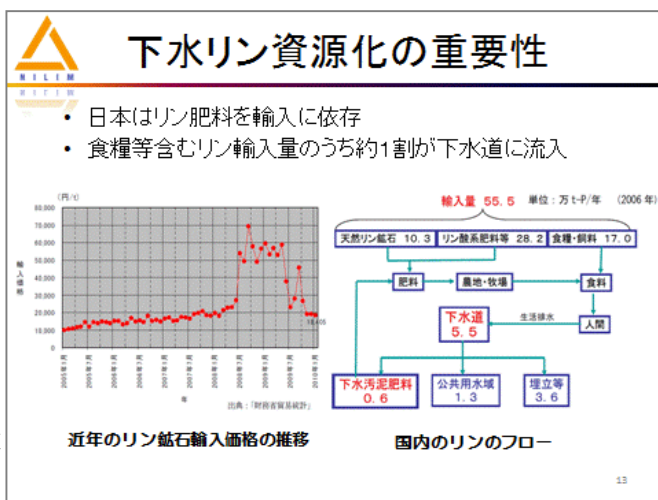
—スライド（事例-2 バイオマス発電（2））—

これがその写真であり、大阪府の池田市で現在実験中のものです。これは今年度いっぱい実証中ですので、ガイドラインは策定はその後になります。



—スライド8（下水リン資源化の重要性）—

次にリンについてご説明します。まず右のフロー図は、日本におけるリンのフローですが、リンというのは食料のもと、肥料の重要な要素です。天然リン鉱石、リン酸系肥料、これらはほぼすべて輸入に頼っています。それから食料についても日本はかなり輸入に頼っています。これらのリンを含む食料を、人間が食べて排泄するわけですが、それが下水道に入ってくる。その量が5.5万トンということで、総輸入量55.5万トンの1割ぐらいを占め、割合的には重要な位置を占めていると言えます。



このリンを現在活用できているのがまだ0.6トンに留まっており、これをさらに高めていく必要があると考えています。ちなみに、左のグラフはリンの輸入価格の変遷です。2008年に価格が非常に急騰しました。これは、このときに中国が関税を大幅にかけたことに端を発して価格の急騰が生じたものです。リンというのは人間の生命にとって不可欠な物質でありますので、国家戦略上、リンの有効活用は極めて重要であると考えております。

—スライド（事例-3 消化汚泥からのリン除去・回収）—

B-DASHプロジェクトで行ったのは、消化槽の消化汚泥から直接リンを除去・回収する技術です。消化のプロセスで汚泥が分解され、そのときにリン酸が生成され、またアンモニアも生成されるわけで、さらにマグネシウムを足らない分不足することによってリン酸マグネシウムアンモニウムという（略称MAP）、肥料として利用可能な物質が結晶として生成されます。このように、MAPの形状にすることにより、消化汚泥からリンを回収するという実証実験を行ったわけです。

事例-3 消化汚泥からのリン除去・回収

H24-25実証

【MAP晶析反応】 $Mg^{2+} + NH_4^+ + HPO_4^{2-} + OH^- + 5H_2O \rightarrow MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$ (MAP)
回収MAPは肥料として利用可能

研究者：水研・神戸市・三菱商事アグリサービス

—スライド（事例-4 下水熱利用（1））—

次に下水熱利用です。下水熱というのはこの左のグラフにあるように、年間通して比較的溫度が安定しています。グラフの青い線の外氣温はかなり変動していますが、赤い線の下水溫度は比較的安定しています。特に冬場においてはお湯の排水などが下水に入りますので、非常に暖房の熱源としては有利になるわけです。ヒートポンプを使う暖房を行う場合に、熱源溫度が空氣熱源よりも大幅に高いため、非常に有利になるということです。

事例-4 下水熱利用（1）

- 下水溫度は年間を通して安定。
- 下水を熱源に用いることで、ヒートポンプが高效率で運転可能。

15

—スライド（事例-4 下水熱利用（2））—

この熱利用の技術においては、下水管の内面にこのように螺旋状に熱媒体を循環させる細いパイプを内面に貼り付け、それによって下水中の熱を回収します。これを熱源に、ヒートポンプを用いて空調や給湯等に活用するという技術です。老朽化した管路の内面にこういった樹脂を巻きつけて、下水管を改築するときに合わせて、熱回収管を敷設することによって、有利に設置できることを期待しています。

事例-4 下水熱利用（2）

H24-25実証

研究者：綾水化学・大阪市・東亜グラウト

—スライド（事例-5 アナモックスによる高効率窒素除去（1））—

次がアナモックスによる高効率窒素除去です。下水の消化を導入する際の課題として、消化した汚泥を脱水する際の分離液は、アンモニア性窒素濃度が高いため、水処理に戻した際に悪影響を与えてしまうということがあ

ります。このため、効率的にこのアンモニア性窒素を除去する必要があるわけです。

アナモックスというのはオランダで発見された新規の生物学的窒素変換反応であり、アンモニアと亜硝酸から、これを窒素ガスに変換するという仕組みです。従来の方式だと、アンモニアを硝酸まで硝化するプロセスを経て、そこから窒素ガスに変換するというプロセスが通常ですが、この技術はこの赤いラインで窒素除去ができるため、たいへん省エネルギーな方法です。

—スライド（事例-5 アナモックスによる高効率窒素除去（2））—

この写真は熊本市で実験を行ったプラントであり、この亜硝酸にする細菌、それからアナモックスの細菌、これらをこういう担体というものに付着させて安定させ、処理を行うという内容です。

—スライド（技術導入ガイドラインの策定）—

ご紹介した技術につきまして、平成24年度～25年度の実証試験の成果を踏まえ、その成果を評価委員会で審議いただき、適切な内容であるということでガイドラインを今年策定・公表しています。

ガイドラインの内容としては、新技術のライフサイクルコスト（LCC）、エネルギーの消費量、温室効果ガス排出量などを算定し、従来技術と比較を行い、導入効果を提示しています。

B-DASHでは、昨年にバイオガスの活用関連技術のガイドラインも策定をしております。

内容は国総研のホームページに掲示していますので、ぜひご覧いただきたいと思っております。

本日はご清聴いただきまして誠にありがとうございました。

事例-5 アナモックスによる高効率窒素除去(1)

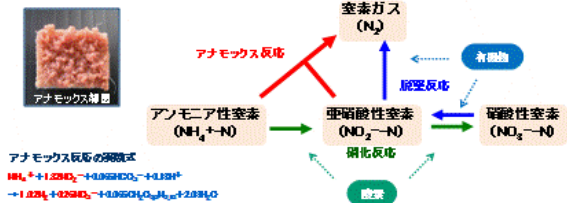
消化導入の課題

消化汚泥脱水液・・・アンモニア性窒素濃度が高い！

◆水処理施設の流入窒素量の増大 ◆放流水 窒素濃度の上昇

アナモックス(anammox)とは

- ◆1990年代にオランダで発見された、新規の生物学的窒素変換反応
- ◆嫌気条件下において、アンモニアと亜硝酸を、窒素ガスに変換
- ◆省エネルギーに窒素を低減



17

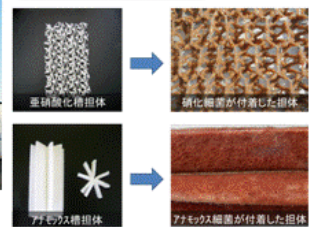
事例-5 アナモックスによる高効率窒素除去(2)

H24-25実証

▶安定した運転・・・固定化担体による菌の高密度化



各生物反応槽の固定床担体



研究体：熊本市・日本下水道事業団・タクマ

18

技術導入ガイドラインの策定

H24-25実証実験の成果をふまえ、ガイドラインを策定・公表

- ・廃熱利用型低コスト下水汚泥固形燃料化
- ・消化汚泥からのリン除去・回収
- ・管路内設置型熱回収技術を用いた下水熱利用
- ・固定床型アナモックスプロセスによる高効率窒素除去

新技術のLCC、エネルギー消費量、温室効果ガス排出量などを算定、従来技術と比較等、導入効果を提示

B-DASHでは(ほかに、バイオガス活用関連(H23-24実証)等のガイドラインも策定済

19

ガイドライン等詳細は、国総研 下水道研究部HPを。

ご清聴ありがとうございました。

20

【参考文献】

- 1) 国総研資料第 736 号, B-DASH プロジェクト No. 1 超高効率固液分離技術を用いたエネルギーマネジメントシステム導入ガイドライン (案), 2013.7.
- 2) 国総研資料第 737 号, B-DASH プロジェクト No. 2, バイオガスを活用した効果的な再生可能エネルギー生産システム導入ガイドライン (案), 2013.7.
- 3) 国総研資料第 802 号, B-DASH プロジェクト No. 3, 固定床型アナモックスプロセスによる高効率窒素除去技術導入ガイドライン (案), 2014.8.
- 4) 国総研資料第 803 号, B-DASH プロジェクト No. 4, 廃熱利用型 低コスト下水汚泥固形燃料化技術導入ガイドライン(案), 2014.8.
- 5) 国総研資料第 804 号, B-DASH プロジェクト No. 5, 管路内設置型熱回収技術を用いた下水熱利用導入ガイドライン (案), 2014.8.
- 6) 国総研資料第 805 号, B-DASH プロジェクト No. 6, 消化汚泥からのリン除去・回収技術導入ガイドライン(案), 2014.8.