

気候変動の緩和に向けた下水道技術のアプローチ

国土技術政策総合研究所 下水道研究部長
三宮 武

講演の概要

◆ 現状認識と目標

- ・気候変動の要因たる温室効果ガス削減の中長期目標
- ・下水道から排出される温室効果ガスと下水汚泥有効利用の現状
- ・2030年度における下水道の温室効果ガス削減目標
- ・下水道が有する再エネ・創エネポテンシャル
- ・「脱炭素社会への貢献のあり方検討小委員会報告(令和4年3月)」について

◆ 気候変動緩和(脱炭素化)に向けた国総研の役割と取組事例

- ・国総研の役割
- ・省エネの取組
- ・下水汚泥焼却に伴う N_2O 削減の取組
- ・水処理からの N_2O に対する取組
- ・創エネの取組

◆ まとめ

- ・下水道技術開発会議 エネルギー分科会の議論
- ・脱炭素社会に貢献する循環のみち下水道

講演の概要

◆ 現状認識と目標

- ・気候変動の要因たる温室効果ガス削減の中長期目標
- ・下水道から排出される温室効果ガスと下水汚泥有効利用の現状
- ・2030年における下水道の温室効果ガス削減目標
- ・下水道が有する再エネ・創エネポテンシャル
- ・「脱炭素社会への貢献のあり方検討小委員会報告(令和4年3月)」について

◆ 気候変動緩和(脱炭素化)に向けた国総研の役割と取組事例

- ・国総研の役割
- ・省エネの取組
- ・下水汚泥焼却に伴うN₂O削減の取組
- ・水処理からのN₂Oに対する取組
- ・創エネの取組

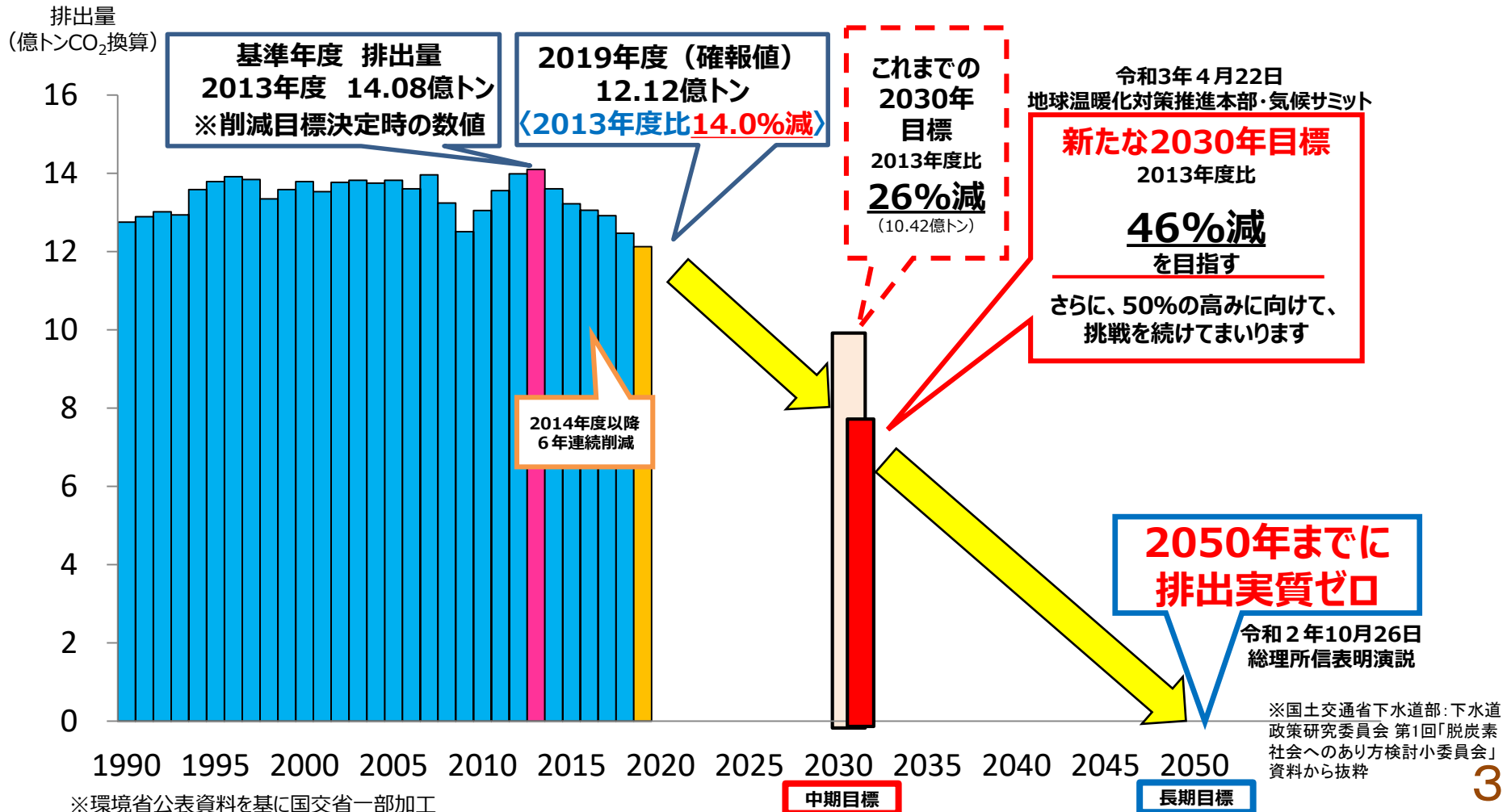
◆ まとめ

- ・下水道技術開発会議 エネルギー分科会の議論
- ・脱炭素社会に貢献する循環のみち下水道

1. 現状認識と目標

・気候変動の要因たる温室効果ガス削減の中長期目標

◆ 「2050年までに、温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする、すなわち2050年カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目指す」べく、中長期目標が設定されている。

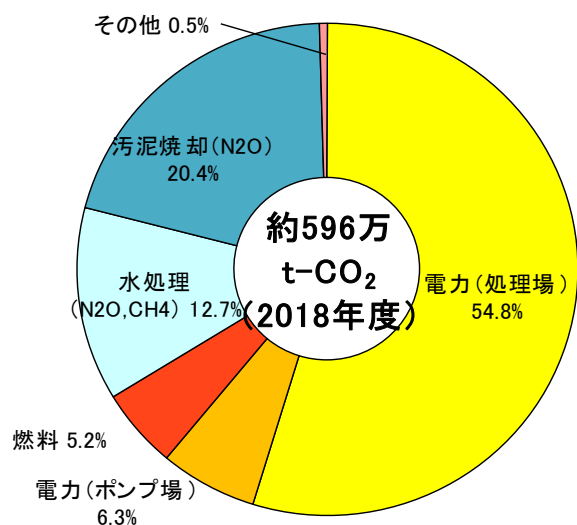


1. 現状認識と目標

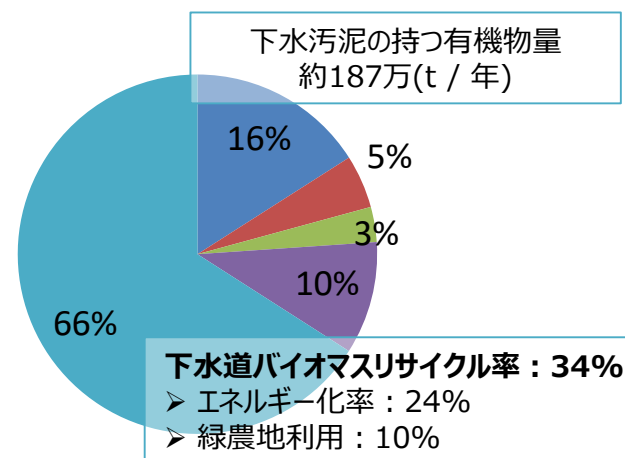
・下水道から排出される温室効果ガスと下水汚泥有効利用の現状

- ◆ 2018年度における下水道分野から排出される温室効果ガスは約600万t-CO₂であり、日本全体の排出量約12.4億t-CO₂の0.5%に相当。
- ◆ 自治体の事務事業から排出される温室効果ガスの大きな割合を占める。（例えば、東京都では、35%。（2014（平成26）年度）¹⁾）
 - 水処理、汚泥処理における電力、燃料消費に伴うCO₂の排出
 - 汚泥の焼却過程でのN₂O排出
 - 水処理過程でのCH₄、N₂Oの発生
- ◆ 下水汚泥バイオマスリサイクル率は34%。消化ガス用等のエネルギー化率24%、堆肥化等の緑農地利用は10%。

1) 東京都下水道局:アースプラン2017 p7、平成29年3月



下水道からの温室効果ガス発生量



- 消化ガスの有効利用
- 固形燃料
- 焼却廃熱として利用
- 緑農地利用

下水道分野で創エネ／再エネの取組

1. 現状認識と目標

・2030年度における下水道の温室効果ガス削減目標

地球温暖化対策計画において、

- ◆ 「2030年度における温室効果ガス排出量を2013年度比（CO₂換算で）**208万トン削減。**」
- ◆ 「2050年カーボンニュートラルに向けて更なる高みを目指す。」を目標としている。

温室効果ガス排出削減

省エネの促進

- 現状:** 電力消費量が増加傾向
- 目標:** 年率約2%の削減を確保し、**約60万t**を削減

焼却の高度化

- 現状:** 高温焼却率：約73%（R元年度）
- 目標:** 高温焼却率100%、新型炉*への更新により、**約78万t**を削減

※下水道における地球温暖化対策マニュアルにおいて、N₂O排出係数が高分子流動炉（高温：850℃）より低い炉

ポテンシャルの活用

下水汚泥のエネルギー化（創エネ）

- 現状:** 下水汚泥エネルギー化率：24%
（R元年度）
- 目標:** エネルギー化率を37%まで向上させることで、**約70万t**を削減

再エネ利用の拡大

- 現状:** 太陽光：約0.7 億kWh
 小水力：約0.02 億kWh
 風力：約0.07 億kWh
 下水熱：約90 千GJ
- 目標:** 導入推進により、**約1万t**を削減

1. 現状認識と目標

下水道が有する創エネ・再エネポテンシャル

- ◆ 地域の水・資源・エネルギーが集約される下水道では、脱炭素社会に貢献できる高いポテンシャルを有する。
- ◆ 下水汚泥の有する有機物の全エネルギーは、年間約120億kWhに上るとともに、上部空間を活用した太陽光発電や下水熱等の再生可能エネルギーポテンシャルも高い。

創エネポテンシャル

下水汚泥の持つ有機物の全エネルギーは、約4,200万 GJ
 (=約120億kWh)
 ⇒下水道分野の電力消費量の約156%に相当

下水汚泥の持つエネルギーポテンシャル

下水汚泥の持つ有機物の全エネルギー：約120億kWh

創エネポテンシャル※1

全処理場でバイオガス利用した場合：約10億kWh

焼却炉、消化槽を設置していない処理場でバイオガス
 発電した場合※2：約6億kWh

処理水量2万m³/日以上の処理場※3でバイ
 オガス発電した場合：約4億kWh

2018年度実績：約3.6億kWh

再エネポテンシャル

太陽光： ◆ 全処理場における水処理施設の上部（未利用部分）空間に導入した場合※2

約2.5 億kWh（下水道分野の電力消費量の約3.3%）

小水力： ◆ 2050年目標は処理水の放流時における落差を活用することが可能な処理場に導入した場合の発電量※1

約0.05 億kWh（下水道分野の電力消費量の約0.07%）

下水熱： ◆ 下水の有する熱総量※2

約 20,000 千GJ（約90万世帯の熱利用量）

出展：「国土交通省 脱炭素小委員会 参考資料」

※1: 消化率(50%)、消化ガスの有効利用率(90%)、消化ガス利用実績における発電への利用割合と発電効率等(約20%)を考慮
 ※2: 物理的、技術的に設置可能な個所から算出したものであり、採算性は考慮していない。
 ※3: ※2より、採算性を考慮、※4: 地方公共団体への調査に基づく

1. 現状認識と目標

脱炭素社会への貢献のあり方検討小委員会報告書(概要の抜粋 国土交通省、(公社)日本下水道協会)

- ◆ 脱炭素社会の実現に貢献する下水道の将来像を定め、関係者が一体となって取り組むべき総合的な施策とその実施工程表について、最新の知見や下水道関係者の意見、政府目標及び関連計画等を踏まえた上でとりまとめたもの
- ◆ 今後、関係者が戦略的に行う取組を定める際の指針として利用されることを期待するもの

脱炭素社会の実現に貢献する下水道の目指すべき姿

地球温暖化対策計画の2030年度目標達成及び2050年カーボンニュートラルの実現に向け、下水道施設自体の省・創・再エネ化を進めるとともに、多様な主体と連携を進めることが重要である。それによって、下水道が有するポテンシャルを最大活用して、スケールメリットはもちろん、これにとどまらず下水道を拠点とした新たな社会・産業モデルを創出するなど、環境・エネルギー分野の新展開、まちづくりや国際社会の脱炭素化、地域の活性化・強靱化等を牽引することが可能になる。これらを踏まえ、今後、我々の社会の脱炭素・循環型への転換を先導する「グリーンイノベーション下水道」を、下水道事業の目指すべき姿とする。

グリーンイノベーション下水道を実現するための3つの方針

- ①下水道が有するポテンシャルの最大活用、②温室効果ガスの積極的な削減、③地域内外・分野連携の拡大・徹底

施策展開の5つの視点

- ①ポテンシャル・取組の見える化、②戦略的な脱炭素、③イノベーションへの挑戦、④多様な主体との連携、⑤デジタル技術の活用

- ◆ 地球温暖化対策計画等の2030年度目標の達成、2050年脱炭素社会実現のための貢献に向け、これまでの取組を着実に進めるとともに、今後、施策をさらに強化して取り組むべき施策は以下の通り。

目標実現に向け強化すべき施策（見せる、繋げる、活かす）

1. 地域の活性化・強靱化に貢献する循環システムの構築
2. 効率的なエネルギー利用と良好な水質確保との両立
3. 取組の加速化・連携拡大に向けた環境整備
4. 脱炭素化を支えるシステム・技術のイノベーション
5. 本邦技術の競争力強化と戦略的な国際展開

講演の概要

◆ 現状認識と目標

- ・気候変動の要因たる温室効果ガス削減の中長期目標
- ・下水道から排出される温室効果ガスと下水汚泥有効利用の現状
- ・2030年における下水道の温室効果ガス削減目標
- ・下水道が有する再エネ・省エネポテンシャル
- ・「脱炭素社会への貢献のあり方検討小委員会報告(令和4年3月)」について

◆ 気候変動緩和(脱炭素化)に向けた国総研の役割と取組事例

- ・国総研の役割
- ・省エネの取組
- ・下水汚泥焼却に伴う N_2O 削減の取組
- ・水処理からの N_2O に対する取組
- ・創エネの取組

◆ まとめ

- ・下水道技術開発会議 エネルギー分科会の議論
- ・脱炭素社会に貢献する循環のみち下水道

2. 気候変動緩和策(脱炭素化)に向けた国総研の役割と取組事例

国総研の役割

- ◆ 国総研下水道研究部は、国としての広域・総合的観点から、以下の事項に重点を置き、下水道の技術政策の企画・立案・遂行に資する調査研究と技術マネジメントを行う。
- ・技術政策の基本となる関連情報を収集・分析。
その際、下水道の建設・管理のみならず、気候変動、災害、地方公共団体の経営状況等、広範な情報を対象とする。
- ・情報分析に基づき、技術的課題を明らかにし、必要な技術を開発、評価、誘導。
その際、将来の技術発展を展望するため、先進の知見も対象とする。
- ・国として技術の方向性を示すとともに、技術開発が効率的に行われるように、産官学の役割分担や連携支援など、多様な技術マネジメントを実施。
- ・研究・活動の成果を下水道技術ビジョン、技術基準原案、ガイドライン、データベース等に反映。情報発信や技術指導も実施。人材育成にも貢献。

2. 気候変動緩和策(脱炭素化)に向けた国総研の役割と取組事例

・省エネの取組

- 標準活性汚泥法(標準法)、高度処理法、オキシレーションディッチ法(OD法)を用いている下水処理場に対し、設置機器や運転状況、電力消費量等に関し、実態調査。調査結果を踏まえて機器構成を設定し、電力消費量算出式を作成。

(例)OD法を行う小規模下水処理場での算出式、実態との比較

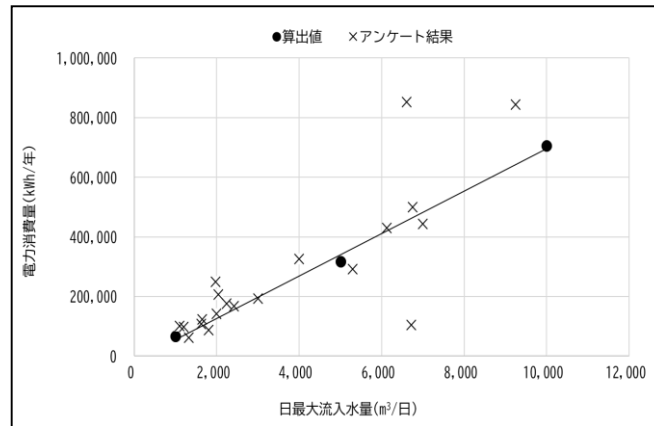


図1 水処理設備の電力消費量比較

表 算出式一覧

	日最大流入水量 x	電力消費量 y
水処理設備	1,000~10,000m ³ /日	$y = 71.234x - 16,663$
汚泥処理設備	1,000m ³ /日	$y = 6.9943x + 6,612$
	5,000m ³ /日	$y = 7.9844x + 5,705$
	10,000m ³ /日	$y = 4.4744x + 3,847$

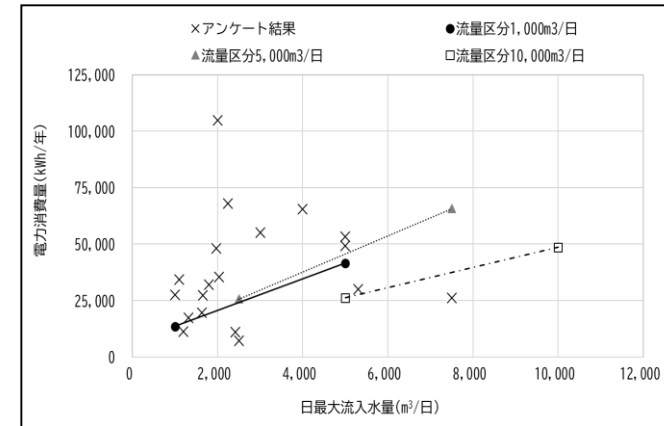


図2 汚泥処理設備の電力消費量比較

表 標準的な消費エネルギー※との比較

日最大汚水量 m ³ /日	日平均処理水量 m ³ /日	流入比率	標準的な消費エネルギー (ポンプとその他を除く) 千kWh/年	算出式から求めた 電力消費量 千kWh/年
1,000	700	0.7	144	81
5,000	3,500	0.7	495	363
10,000	7,000	0.7	842	754

2. 気候変動緩和策(脱炭素化)に向けた国総研の役割と取組事例

・省エネの取組

- ・設置機器の違いによる電力消費量の実態や各機器の特徴の把握を目的として、流入水量、水処理方式、污泥処理方式、設置機器の仕様等によるパターンを設定し、電力消費量を試算。
- ・今後、流入水量・水質、処理方式や設置機器の仕様等を入力することで、電力消費量を算出することが可能となる試算ツールを作成し、下水道管理者が、改築・更新時に機器の省エネ性能を踏まえた計画を策定するための一助となることを想定。

- ・散気装置を低圧損型膜式とした場合、散気板(旋回流式)と比較し、電力消費量が25%程度低減する(図1)。
 - ・消化設備がある場合、污泥処理機器の組み合わせパターンに依らず、創エネ分を考慮せずとも電力消費量が数%低減する(図2、図3)。
- 等の結果が得られた。

※図1~3とも、平均流入水量80,000m³/日の処理場において、水処理設備(最初沈殿池、生物反応槽、最終沈殿池)、污泥処理設備(濃縮設備、消化設備、脱水設備、污泥焼却設備)の電力消費量を試算。

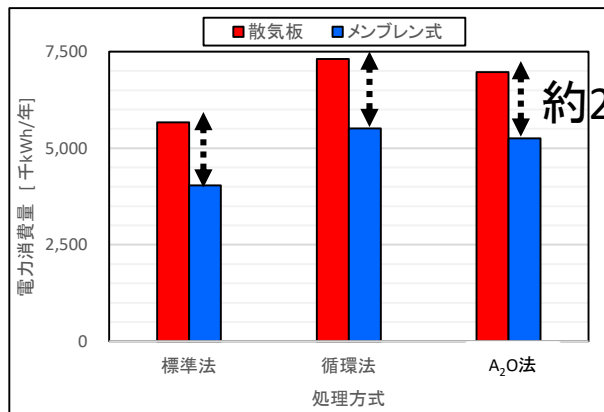


図1 散気装置別 水処理設備の電力消費量

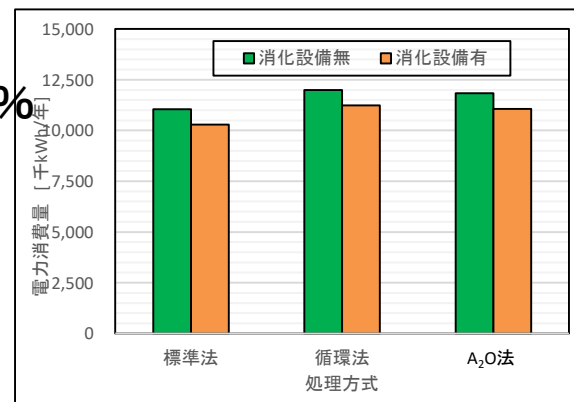


図2 水処理・污泥処理設備の電力消費量
(遠心濃縮設備-遠心脱水設備)

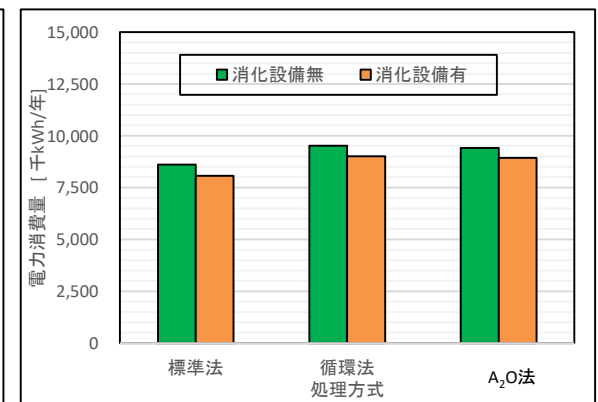
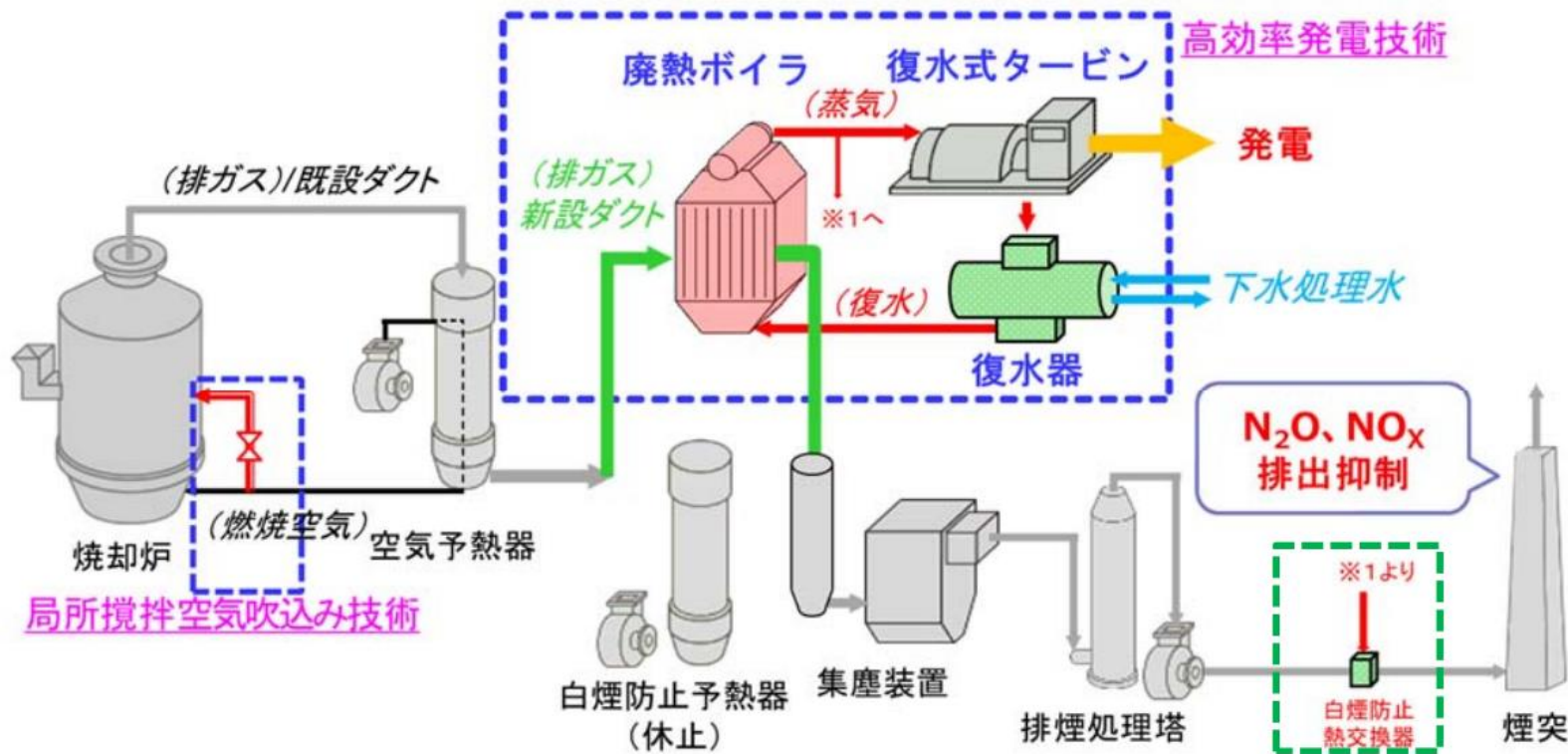


図3 水処理・污泥処理設備の電力消費量
(ベルト濃縮設備-スクリーンプレス脱水設備)

2. 気候変動緩和策(脱炭素化)に向けた国総研の役割と取組事例

・ 下水汚泥焼却に伴うN₂O削減の取組

- ・ 下水道革新的技術実証事業(B-DASHプロジェクト：国総研委託研究)において、下水汚泥焼却設備における化石燃料由来の電力消費量と、温室効果ガスである一酸化二窒素(N₂O)の排出量の大幅な削減を可能とする技術を実証。



出典：B-DASHプロジェクトNo.27 温室効果ガス削減を考慮した発電型汚泥焼却技術導入ガイドライン(案)

2. 気候変動緩和策(脱炭素化)に向けた国総研の役割と取組事例

・ 下水汚泥焼却に伴うN₂O削減の取組

- ・ B-DASHプロジェクトの中で、実証した下水汚泥焼却システムからのN₂O排出量原単位(排出係数)について調査を実施。
- ・ 環境省が設置、運営する温室効果ガス排出量算定方法検討会 廃棄物分科会に、国総研職員も委員として参加。

下水汚泥焼却過程におけるN₂O発生に関する調査結果

- ・ 前ページの実証技術(流動床炉)の焼却汚泥1トン当たりのN₂O排出係数
: 0.232kg-N₂O/t-wet
 - ・ 階段炉を用いたB-DASH実証技術の焼却汚泥1トン当たりのN₂O排出係数
: 0.1kg-N₂O/t-wet^{※1}
- どちらの排出係数の値も、現在日本において設定されている下水汚泥焼却炉におけるN₂O排出係数の最小値である0.263kg-N₂O/t-wet^{※2}よりも小さい値となっている。

※1: B-DASHプロジェクトNo.10 下水道バイオマスからの電力創造システム導入ガイドライン(案)

※2: 国立研究開発法人国立環境研究所: 日本国温室効果ガスインベントリ報告書2022年

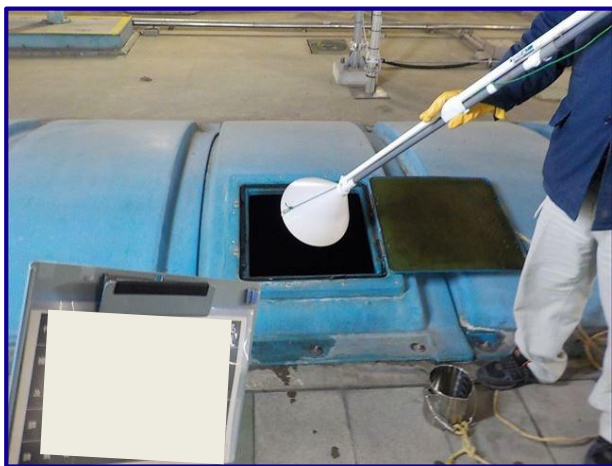
2. 気候変動緩和策(脱炭素化)に向けた国総研の役割と取組事例

・ 水処理からの N_2O に対する取組

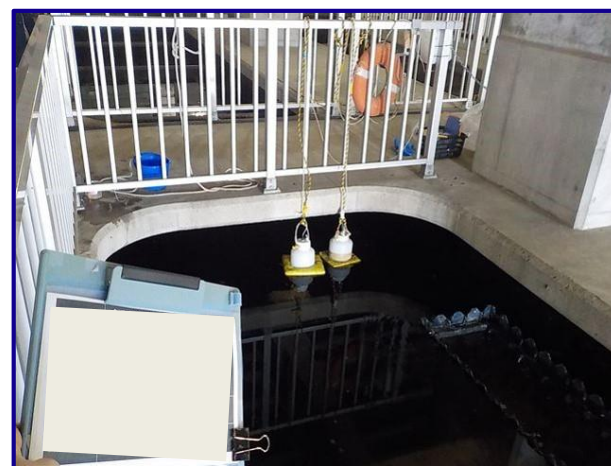
- ・ 実下水処理場から発生する N_2O の実態調査を平成19年度より全国約25ヶ所の処理場で計70回以上実施 → 平成25年の排出係数見直し時(温室効果ガス排出量算定方法検討会 廃棄物分科会)にデータ活用。
- ・ N_2O の発生メカニズム解明やそれを踏まえた排出量の抑制対策手法に関する調査研究を引き続き推進。

水処理過程における N_2O 発生に関する調査方法

- ・ N_2O の発生量は時間変動が大きく、採取場所の影響も大きい。
→ 国総研では、反応槽の4ヶ所から4時間毎に24時間、計7回サンプル採取。



好気槽でのサンプル採取



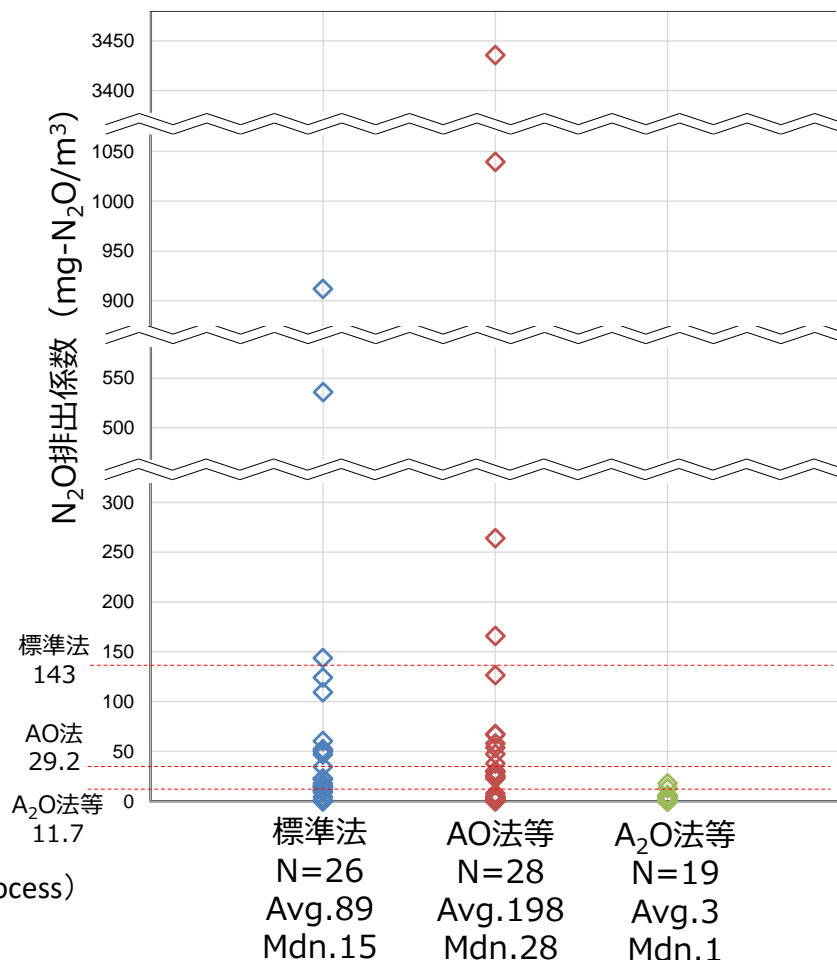
嫌気槽でのサンプル採取

2. 気候変動緩和策(脱炭素化)に向けた国総研の役割と取組事例

・ 水処理からのN₂Oに対する取組

N₂O調査結果の概要

- ・ 嫌気-無酸素-好気法 (A₂O法) 等の高度処理では、標準法や嫌気-好気法 (AO法) と比較してN₂Oの排出係数が平均して低い。
- ・ 標準法やAO法では、高度処理と同程度にN₂Oの排出係数が低い結果も多数ある一方で、一部の調査結果では非常に高い排出係数が算出されている。
- ・ 安定してN₂Oの排出量を抑制するために、高度処理へ更新していくことや、標準法やAO法で突発的に排出量が高くなる現象を抑えることが求められている。



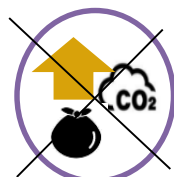
※ A₂O法 (Anaerobic-Anoxic-Oxic Process、A²/O Process、A2/O Process)
 AO法 (Anaerobic-Oxic Activated Sludge、A/O process)

2. 気候変動緩和策(脱炭素化)に向けた国総研の役割と取組事例

・創エネの取組

- ・ 下水処理と廃棄物処理を連携させ、廃棄物処理施設で焼却処分されている生ごみ等の地域バイオマスを下水道に受け入れ、地域全体でエネルギー等を効率的に回収する資源循環システムを構築する調査研究を実施。

焼却せずに下水へ！



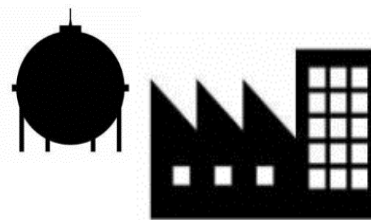
ごみ処理場



生ごみ



- ・一層の創エネ可能
- ・マテリアルの回収可能



下水処理場

※生ごみを下水処理場に取り込むイメージ

2. 気候変動緩和策(脱炭素化)に向けた国総研の役割と取組事例

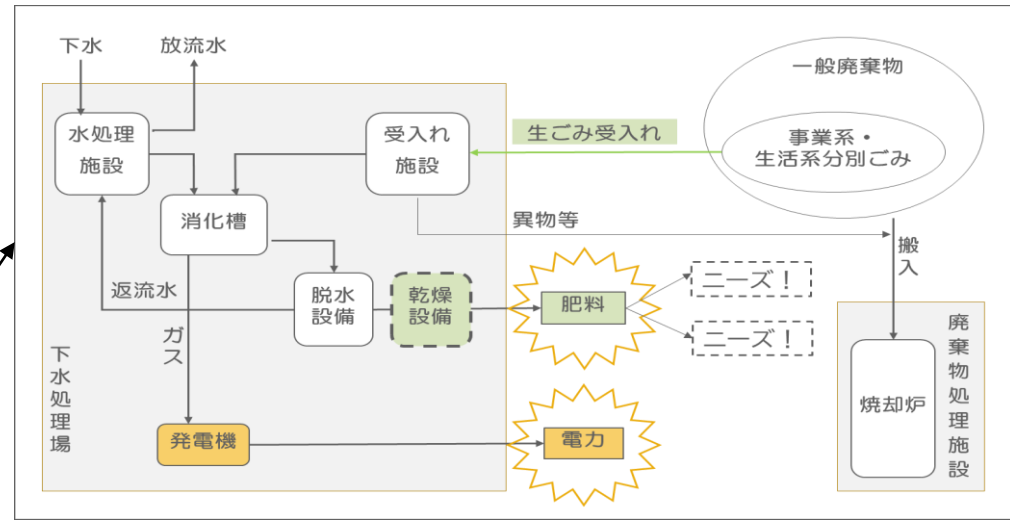
・創エネの取組

- ・ 計画段階や実証フェーズも含め、生ごみを受け入れているような先進的な取組を行ったことがある12箇所の下水处理場へアンケート調査を実施。
- ・ 上記先進事例の実態調査等を踏まえ、資源利用用途等の観点から、連携パターンを類型化して特性(有効性・課題)を整理。
- ・ 地方公共団体が手軽に利用できる手引書の作成へ向け、各連携パターンに係る経済性や環境性の評価手法を確立すべく、メーカーヒアリングを実施中。

→多くの事例において、消化ガス発電を実施しており、CO₂排出削減に効果。
 →連携のきっかけは、資源の有効利用という社会的ニーズによるものが多い。
 (既設の消化槽や肥料化施設等、有効利用関連施設が有るという前提ではなく。)

連携パターン	※資源化利用のメニュー	脱水污泥	生ごみ	
			事業系	生活系
1	(発電のみ) + 固形燃料化 + 肥料化 + リン回収 + 熱利用(焼却廃熱)	廃棄物処理施設へ搬出	受入れ	-
2			受入れ	受入れ
3		下水側で処分	受入れ	-
4			受入れ	受入れ
5		資源化	受入れ	-
6			受入れ	受入れ
7			受入れ	-
8		下水側で処分	受入れ	受入れ
9			受入れ	-
10		焼却	受入れ	-
11			受入れ	受入れ
12			受入れ	受入れ

連携パターン類型化一覧(案)



パターン8の例

講演の概要

◆ 現状認識と目標

- ・気候変動の要因たる温室効果ガス削減の中長期目標
- ・下水道から排出される温室効果ガスと下水汚泥有効利用の現状
- ・2030年における下水道の温室効果ガス削減目標
- ・下水道が有する再エネ・省エネポテンシャル
- ・「脱炭素社会への貢献のあり方検討小委員会報告(令和4年3月)」について

◆ 気候変動緩和(脱炭素化)に向けた国総研の役割と取組事例

- ・国総研の役割
- ・省エネの取組
- ・下水汚泥焼却に伴うN₂O削減の取組
- ・水処理からのN₂Oに対する取組
- ・創エネの取組

◆ まとめ

- ・下水道技術開発会議 エネルギー分科会の議論
- ・脱炭素社会に貢献する循環のみち下水道

3. まとめ

・下水道技術開発会議 エネルギー分科会

【下水道技術開発会議(平成27年度設置)】

下水道技術ビジョンのフォローアップを行うとともに下水道技術ビジョンを実現していくための技術開発の推進方策を検討することを目的に設置。

【エネルギー分科会(平成30年度設置)】

主に下水道資源・エネルギー技術などの新技術の開発および導入促進について、これまでの取り組みや課題の整理、今後の推進方策の検討などを行うことにより、下水道事業における新技術の導入を促進することを目的として、下水道技術開発会議規約に基づき設置。

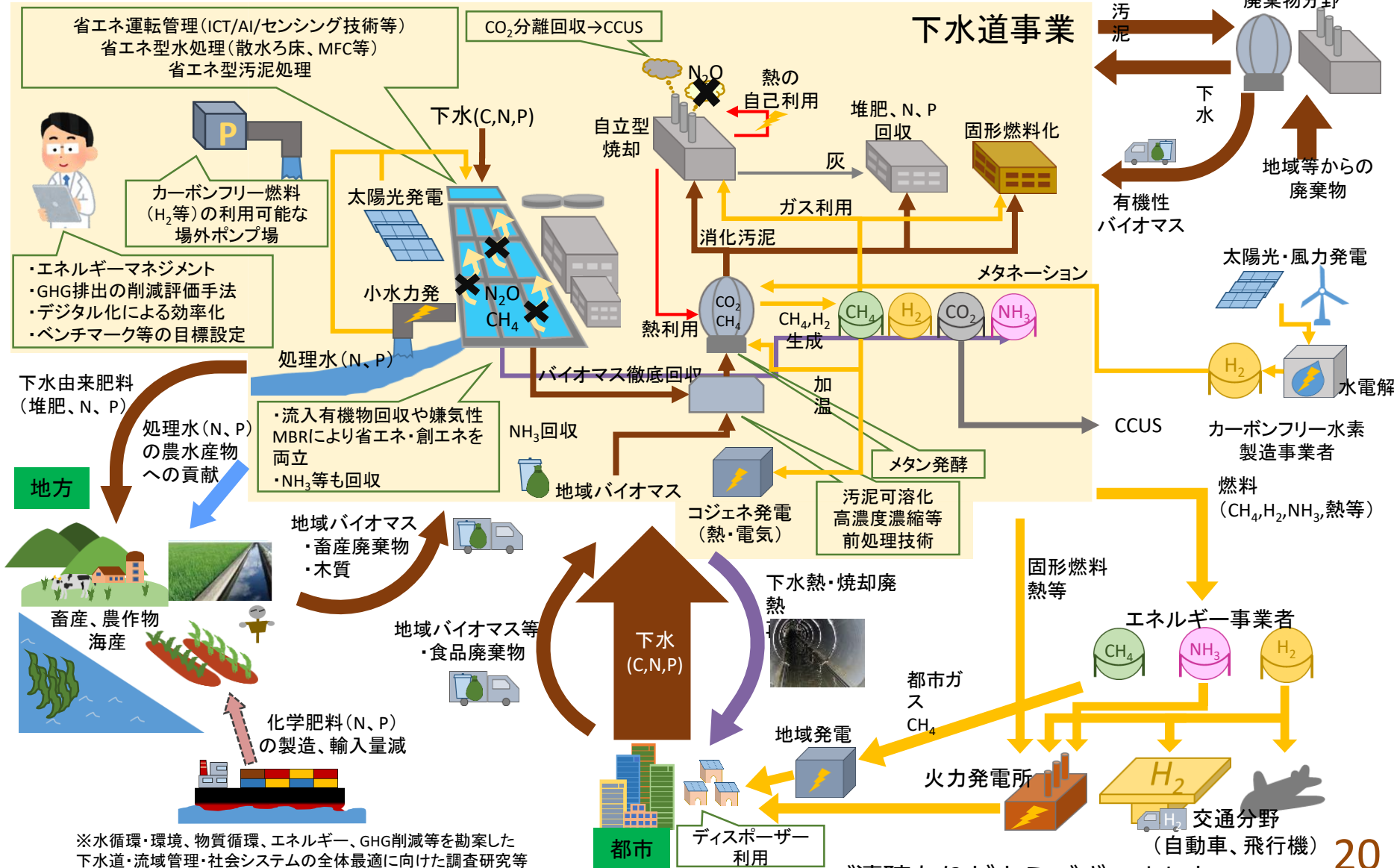
令和3年度エネルギー分科会検討結果概要

- ・地球温暖化対策計画で定める下水道分野の2030年度の温室効果ガス削減目標を達成するための具体的な導入技術例や技術開発項目例を整理。
- ・2050年カーボンニュートラルの実現に向けて、更なる技術導入・技術開発、他分野(廃棄物、農業、エネルギー分野等)との技術開発も含めた連携の必要性、
下水道・流域管理・社会システムのあり方等について幅広く議論。また、技術導入効果の感度分析を通じて、効果的な技術分野、留意点等を整理
- ・下水道技術ビジョンも踏まえ、16の技術目標、52の具体的な技術開発項目(うち、速やかに取り組むべき25項目を抽出)からなる「2050年カーボンニュートラルの実現に貢献するための下水道技術の技術開発ロードマップ」を作成。 等

3. まとめ

脱炭素社会に貢献する循環のみち下水道

～カーボンニュートラル実現に資する技術のイメージ～



※水循環・環境、物質循環、エネルギー、GHG削減等を勘案した下水道・流域管理・社会システムの全体最適に向けた調査研究等についても今後検討

ご清聴ありがとうございました。