

## 資料6

全体最適化に向けた検討について

# 全体最適化に向けた検討について

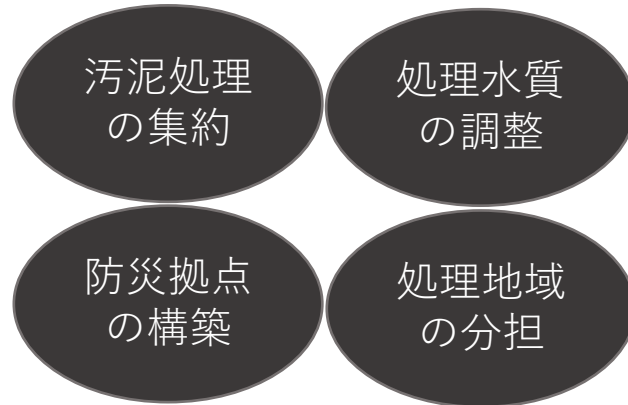
- ・ 持続可能社会の実現においては国内の温室効果ガス排出量削減の他、下水道資源の利活用、廃棄物バイオマス受け入れによる消化ガスの生産拡大やエネルギー創出など、下水道分野のみに限定されない領域を含む全体最適化が必要となる。
- ・ 現在進めている個別の検討項目を含めた広範な事項を統合して、地域社会を包含する形の全体最適化の検討を目標とする。

## 下水道分野の最適化

### 1つの処理場の最適化

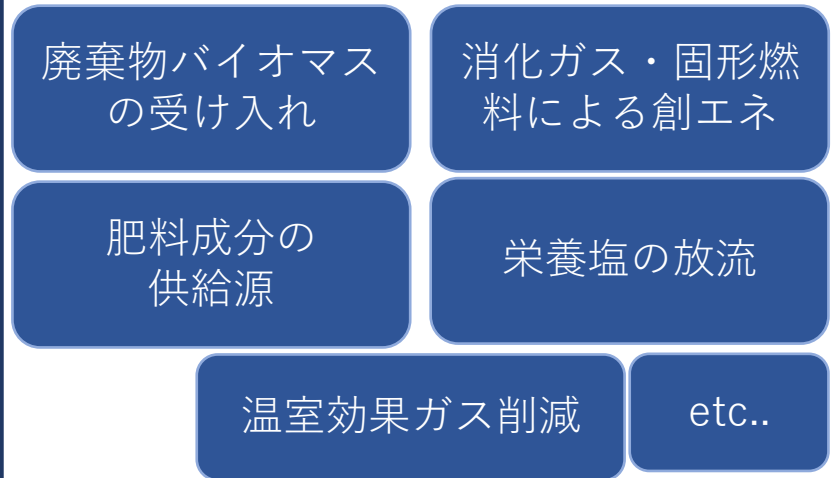


### 複数の処理場間の最適化



下水道分野において最適化が完結

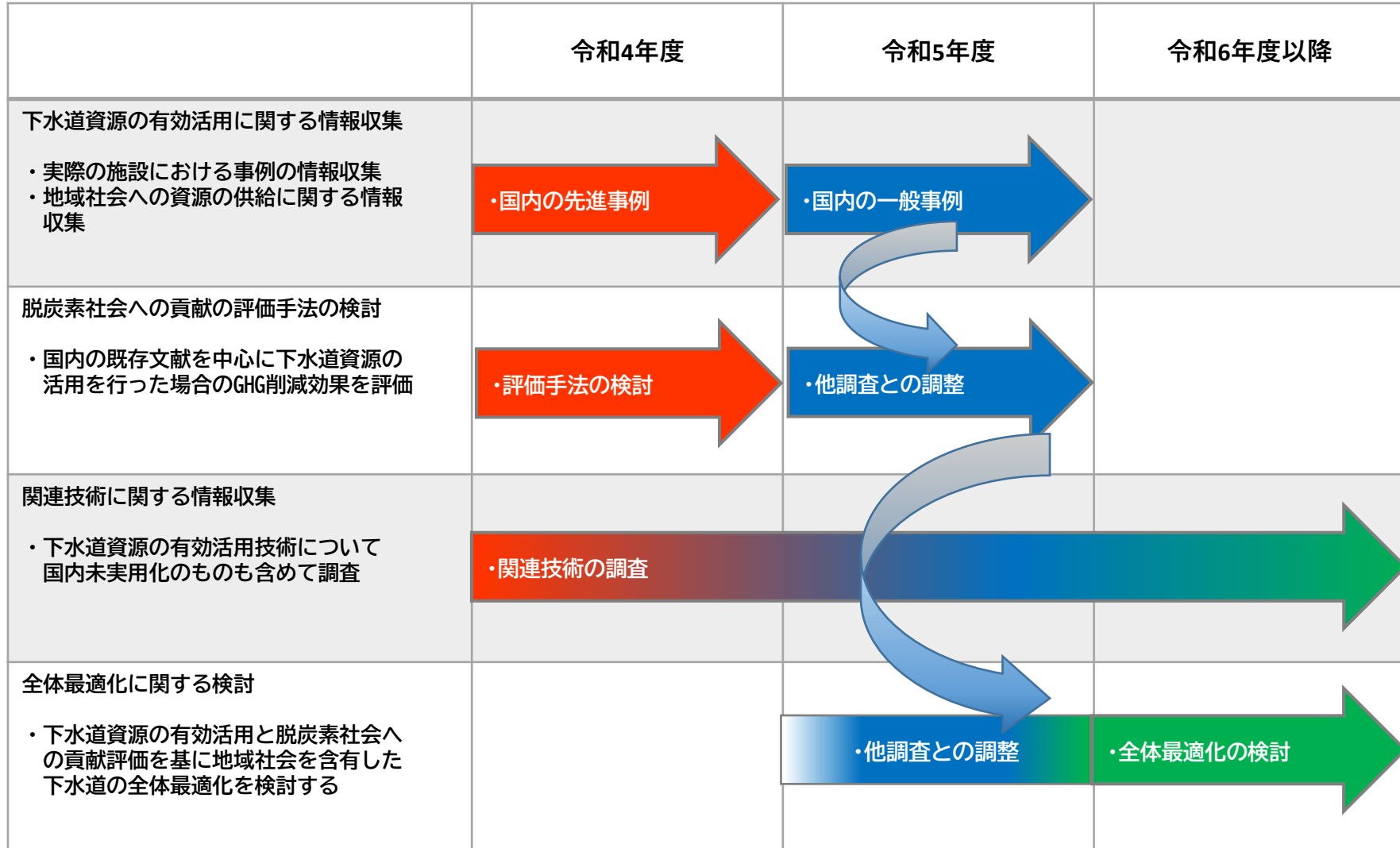
## 全体最適化



下水道分野に加え地域社会を包含するスコープを想定

- ・ 全体最適化については、当面の検討事項として下水道の他分野貢献や廃棄物の一体処理を現在の下水道システムに統合した、下水道・流域管理・社会システムの全体最適化の議論に備えたモデルの構築を目標とする。
- ・ 現在検討が進められている項目に加えて、全体最適化のあり方について社会のニーズを適宜反映しながらモデルをアップデートしていく。

# 全体最適化に向けた検討について



## 参考資料

脱炭素社会への貢献のあり方検討小委員会報告書 参考資料  
R3 下水道技術開発会議エネルギー分科会報告書、同参考資料  
より抜粋

## 2050年脱炭素社会の実現に貢献するための下水道の姿

- 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。また、多様な主体と連携を進めることによって、下水道が有するポテンシャルを最大活用し、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。これからの我々の社会を脱炭素・循環型へと転換することを先導する「グリーンイノベーション下水道」が下水道事業の目指すべき姿である。



※1：第1回 脱炭素社会への貢献のあり方検討小委員会 資料より

※2：下水汚泥を全てバイオガス利用 (約300万m<sup>3</sup>) し水素として活用したケースとして、H26 B-DASHプロジェクトの実績 (下水道バイオガス2,400m<sup>3</sup>/日 → 水素 3,300m<sup>3</sup>/日 (燃料電池約65台分)) から算出

※3：H30年度の処理水量 (約14,400,000 千m<sup>3</sup>) に対し、一人あたりの水使用量216L/日 (東京都水道局HPより) として算出



## 下水道資源活用による地域活性化(海外事例)

### 海外における地域経済活性化・雇用創出の事例

#### 【ドレスデン市(ドイツ)の事例】

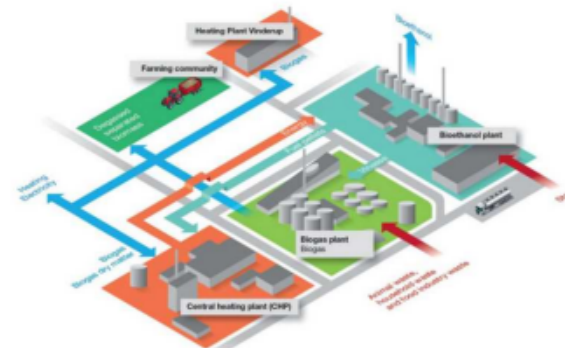
- メタンガスを発生・回収させてコージェネレーション設備の駆動に用いることで、下水処理施設に必要な電力の80%を賄う。
- ガスを回収した後の下水汚泥残渣は、農場や堆肥化工場に運ばれて使用。
- ドレスデンに加え、周辺自治体からの排水も処理しており、約67万人が接続。
- ドレスデン市(51%)と公益事業会社(49%)が共同出資して設立されたシュタットベルケが運営



- 約400人の従業員と約20人の研修生を雇用し、地元経済に貢献。
- 年間7,000人が参加する排水処理施設のガイド付きツアーや年齢ごとに準備された科学教室を実施し、環境教育の場を提供。

#### 【マービーク生物資源工場(デンマーク)の事例】

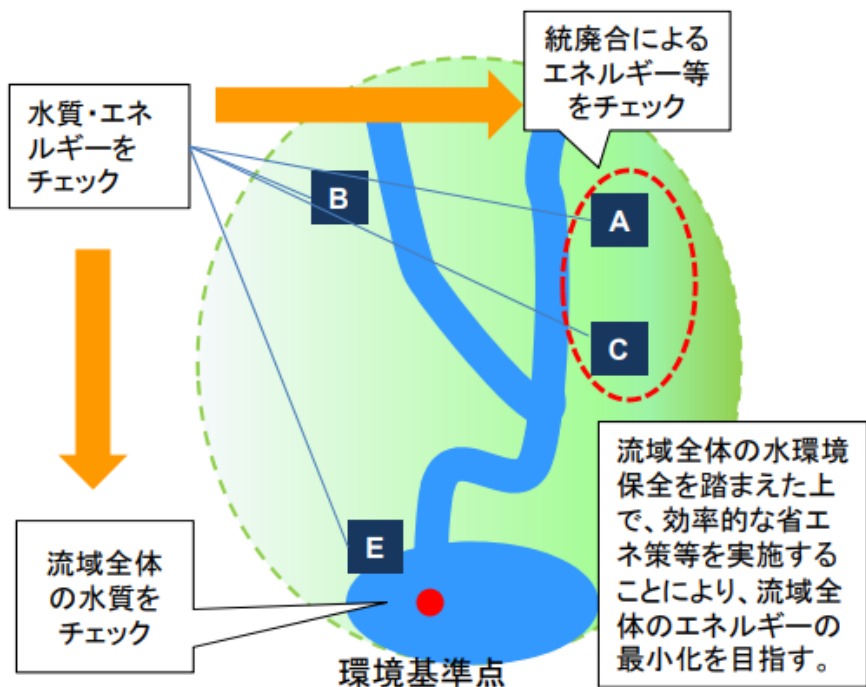
- 家畜糞尿、下水汚泥、バイオマス廃棄物などを原料に肥料、バイオガスを生産。また、麦わらから製造したバイオエタノール、有機ゴミを原料とした電気、熱を地域へ供給。
- 運営組織は、農業組合と畜産組合、及び近隣のユーティリティ企業との共同出資により設立。
- バイオガスプラントは、栄養塩の地下水・河川・湾への流出を抑制し農村地域経済と雇用の発展を目的とした環境事業として計画実施。



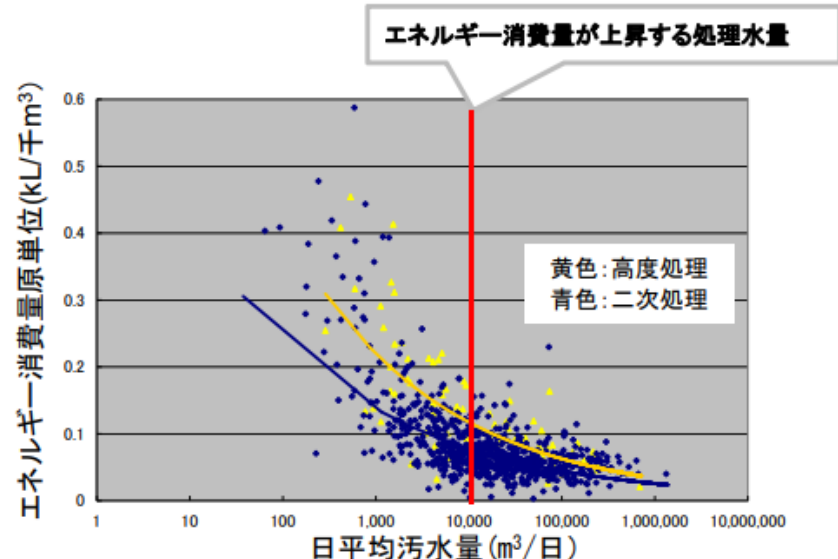
- プラントの運転とバイオマス資源の回収で28人の雇用を地元で創出。
- 社会経済的側面として、農業生産量の維持、域内のエネルギー輸入コストの削減、発電量の域外への売電により、20年間で約17億円の効果を試算。
- 2012年実績で、域外から5,000人以上の見学者の誘致に成功。

## 流域別下水道整備総合計画

- 「公共用水域の水質環境基準の維持達成に加え、エネルギー効率を考慮した処理レベルの設定等を可能にする流総計画の構築」を中期目標に掲げた新下水道ビジョンを踏まえ、平成27年1月に流総計画の調査指針を改定。
- 水量規模が大きいほどスケールメリットがはたらき、エネルギー消費量が有利になることから、エネルギー消費量を勘案して計画処理水質を決定することを原則化。
- 下水道の根幹的施設の配置にあたっては、必要に応じて費用やエネルギー消費量、実施体制等を総合的に勘案した上で、広域化を踏まえた統廃合等の組み合わせを検討し、水質環境基準等を効率的に達成するように位置づけ。



### エネルギーと処理水量の関係

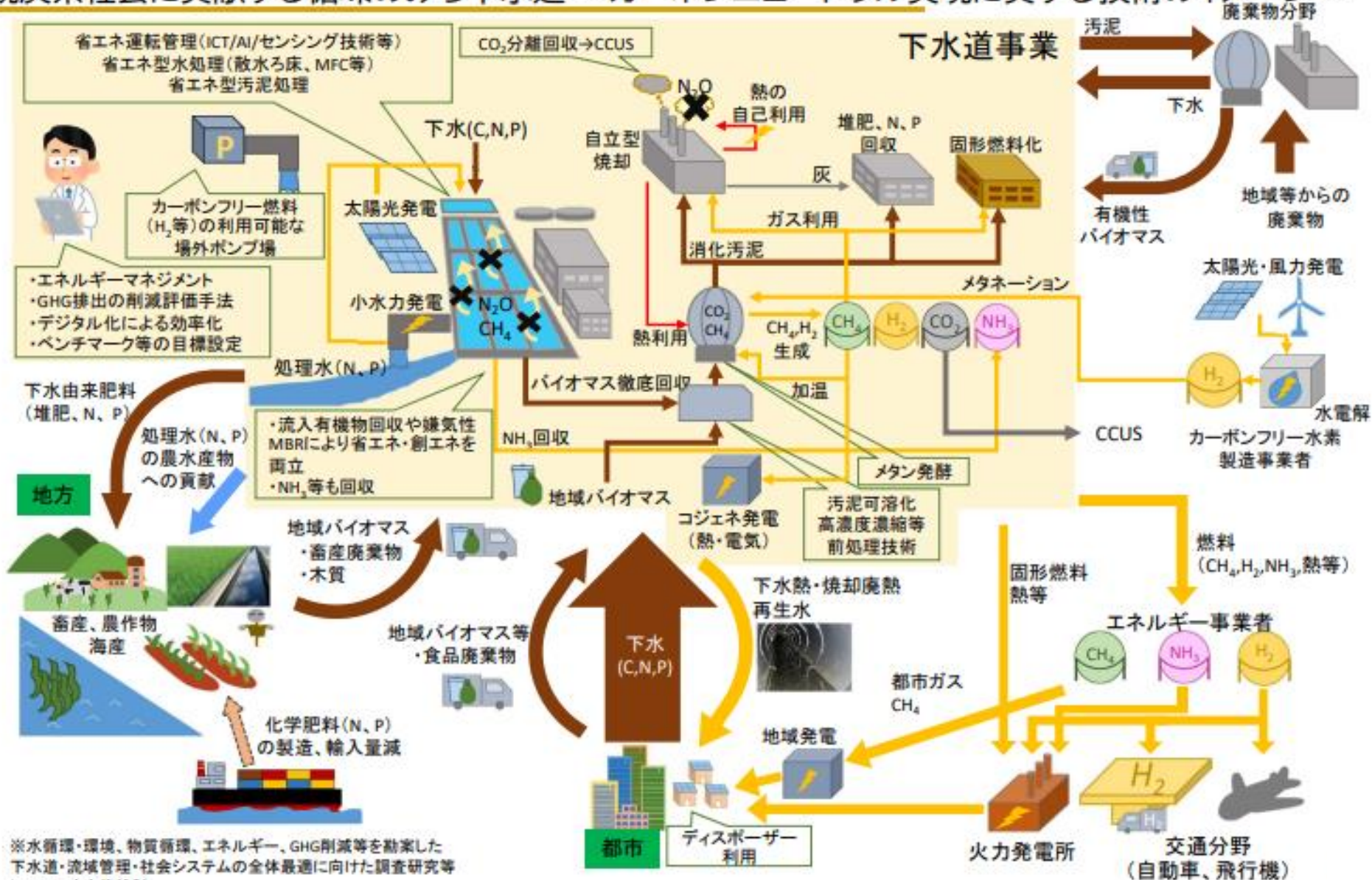


注) 二次処理: 標準活性汚泥法と同程度に下水を処理することができる方法



R3 エネルギー分科会報告書 参考資料より

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



# R3 エネルギー分科会報告書 参考資料より

## 7. 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に関する参考資料

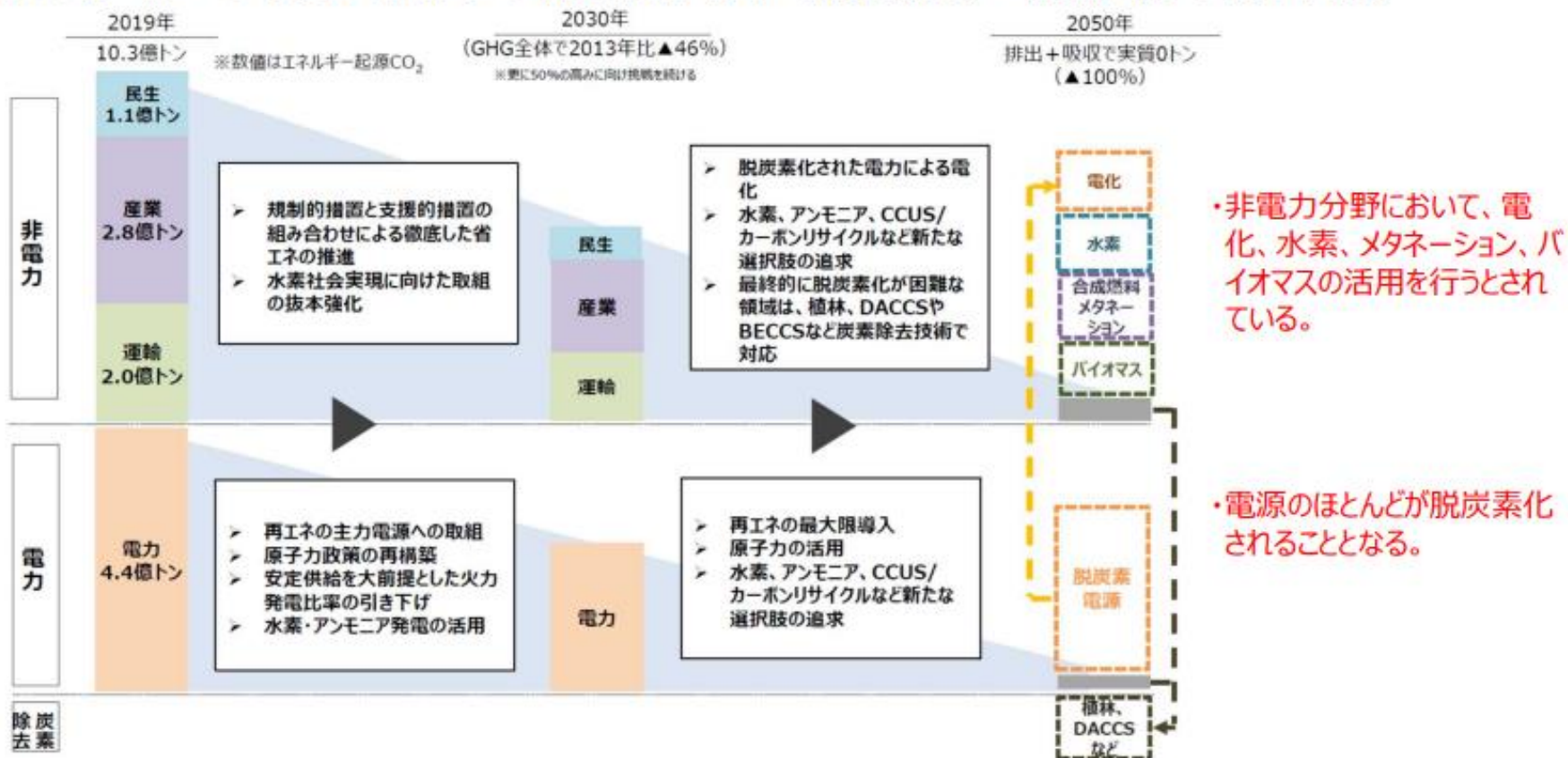
### 1. 技術開発の動向について ④他分野との連携

#### ○エネルギー基本計画（令和3年10月閣議決定）

カーボンニュートラル実現に向けた課題と対応のポイントとして次の位置づけあり。

電力部門では再エネ等の活用と水素・アンモニア発電、CCUS/カーボンリサイクルによる火力発電などのイノベーションを追求すること。非電力部門では、電化推進、電化が困難な部門では水素や合成メタンなどの活用。等

#### ○2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略（グリーン成長戦略）（関係省庁 令和3年6月）





# R3 エネルギー分科会報告書 参考資料より

## 7. 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に関する参考資料

### 1. 技術開発の動向について ④他分野との連携

○2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略（グリーン成長戦略）（関係省庁 令和3年6月）



～下水道分野と関連が強い分野～

#### 1. 洋上風力・太陽光・地熱

・脱炭素電源として、次世代型太陽電池の技術開発

#### 2. 水素・燃料アンモニア

・水素については2030年300万吨、**2050年2,000万吨**程度の導入量を目指す。

・アンモニアについては2030年300万吨、**2050年3000万吨**の燃料等としての国内需要を想定。

#### 3. 次世代熱エネルギー

・メタネーションなどによる合成メタンを**2050年2500万吨**供給を目指す。

#### 8. 物流・人流・土木インフラ

・下水道の省エネ化、下水熱利用の促進（**2025年までに案件形成に集中的に取り組む。**）

・建設施工のカーボンニュートラルの実現

#### 9. 食料・農林水産業

・有機農業の取組面積拡大、化学農薬・化学肥料の低減

#### 11. カーボリサイクル・マテリアル

・CO<sub>2</sub>吸収型コンクリートの低コスト化を目指す。  
・低コストかつ高効率なCO<sub>2</sub>分離回収技術の開発。2050年の世界市場10兆円の3割シェアを目指す。

#### 13. 資源循環関連

・下水道バイオマスの活用拡大（**2025年までに案件形成に集中的に取り組む。**）  
・有機性廃棄物の一体処理によるコスト低減策の検討を**2040年まで実施。**  
・排熱利用型地域熱供給、オンライン熱輸送の向上など回収したエネルギー利用の高度化・効率化

※他にも、自動車の電動化、微細藻類由来のジェット燃料、分散型エネルギー、次世代グリッド等に関する取組に関する記載あり。



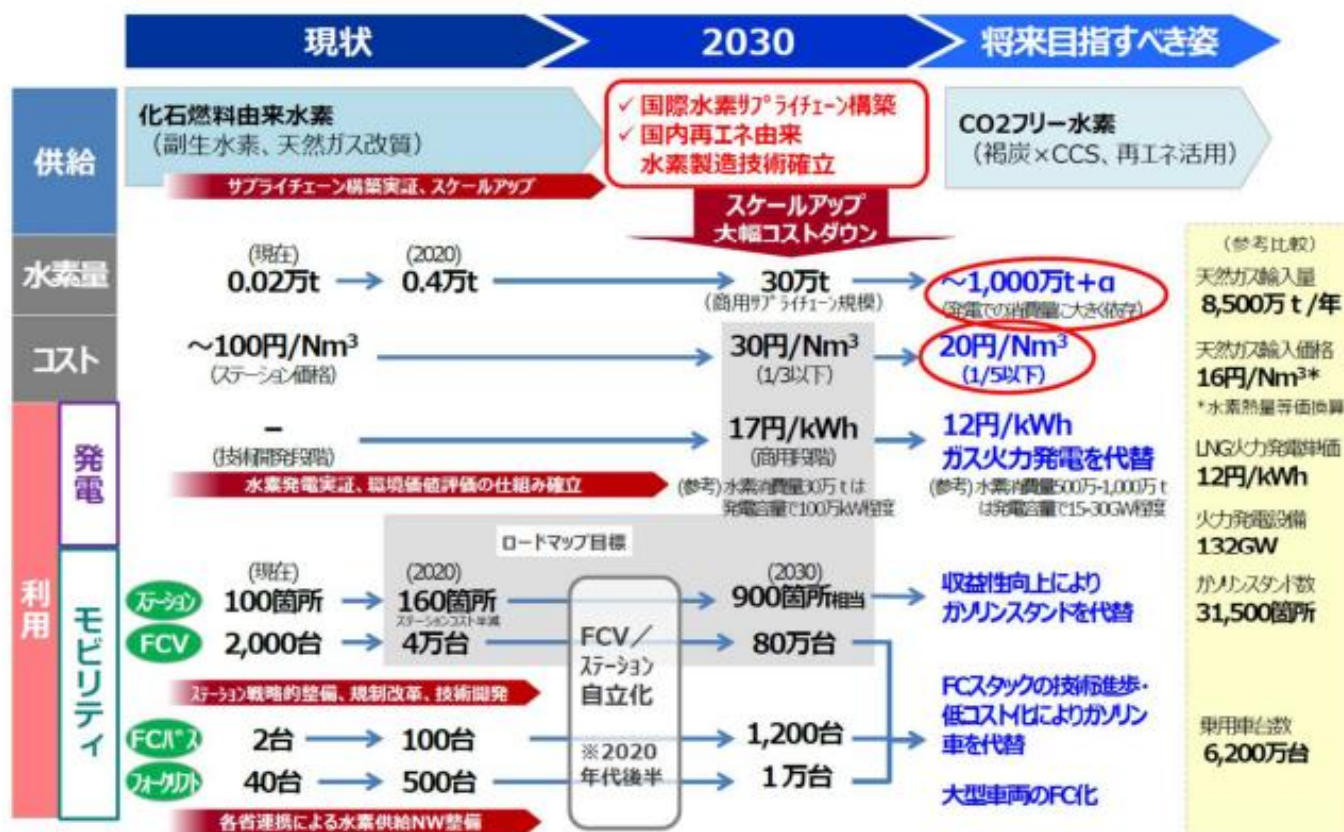
# R3 エネルギー分科会報告書 参考資料より

## 7. 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に関する参考資料

### 1. 技術開発の動向について ④他分野との連携 水素

- グリーン成長戦略において、水素については**2050年2,000万トン**程度の導入量を目指す。また、カーボンフリー水素の製造コストの削減を図り**20円/Nm<sup>3</sup>**を目指す。
- 水素基本戦略では、**2030年水素ステーション900箇所、FCV80万台等を目指す**。さらに将来的にはガス火力発電の代替となることを目指していくなど、**需要が大きく増加する見通し**。

### 水素基本戦略のシナリオ



## R3 エネルギー分科会報告書 参考資料より

### 7. 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に関する参考資料 1. 技術開発の動向について ④他分野との連携 アンモニア

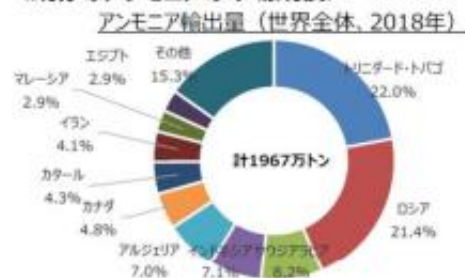
- グリーン成長戦略において、アンモニアについては石炭火力における混焼や専焼のための技術開発を推進。
- 今後、石炭火力発電に加えて、船舶や工業炉等への用途拡大も見込まれるため技術開発や大量供給確保のためのサプライチェーン構築が課題。
- 2030年300万トン、**2050年3000万トン**の燃料等としての国内需要を想定。

#### 総合資源エネルギー調査会 資源・燃料分科会 (2020年12月2日)

##### 燃料アンモニアの活用に向けた取組

- 燃焼してもCO<sub>2</sub>を排出しないアンモニアは、新たな燃料としての活用が期待される。すでに肥料用途を中心に国際的な貿易インフラが整っており、燃料用途のための高圧化や冷却化等の技術的課題も少ない。
- 今後、石炭火力混焼に加え、船舶や工業炉等への用途拡大も見込まれ、**技術開発や、大量供給確保のためのサプライチェーン構築等が課題。**

##### <既存のアンモニアの市場規模>



##### <アンモニアサプライチェーンのイメージ>



##### アンモニア混焼技術開発





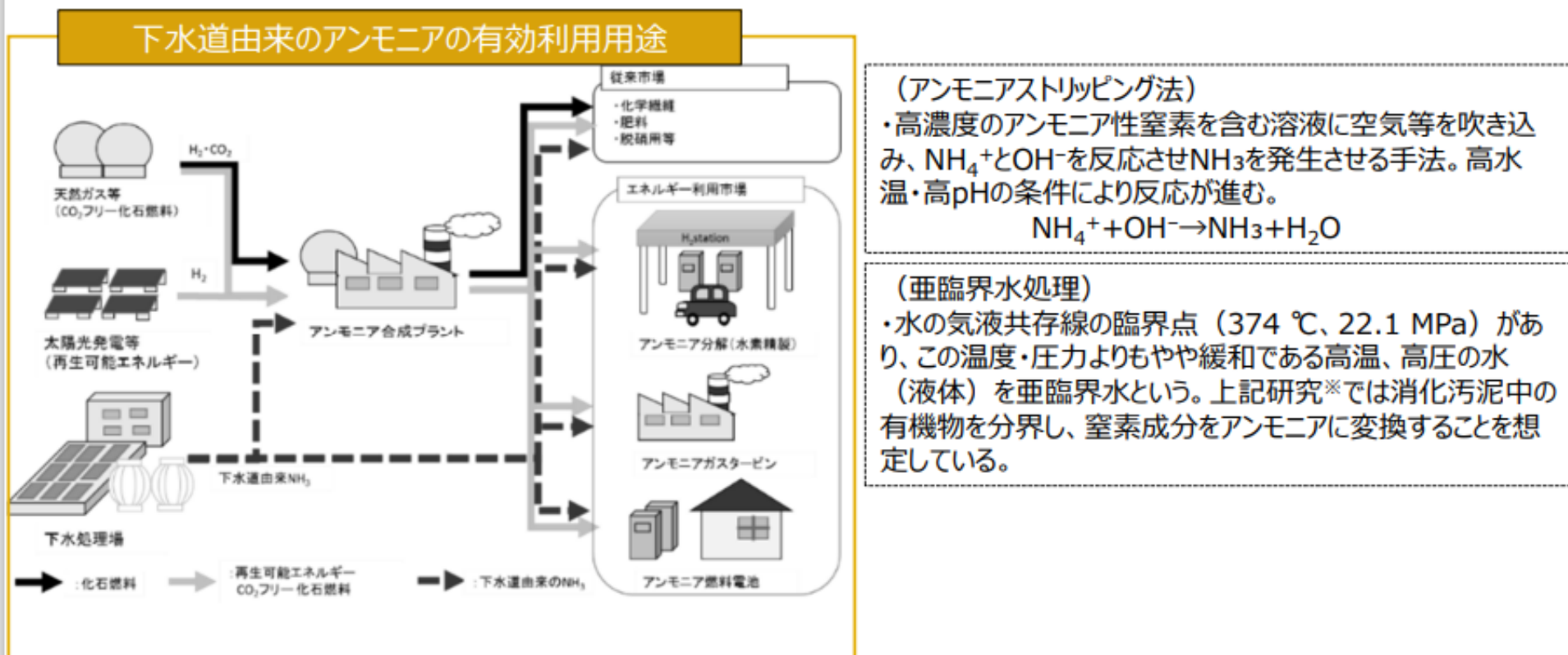
# R3 エネルギー分科会報告書 参考資料より

## 7. 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に関する参考資料

### 1. 技術開発の動向について ④他分野との連携 アンモニア

- アンモニアについては、国総研の研究において全国の処理場で発生する消化汚泥の脱水ろ液からアンモニアストリッピング法で回収した場合のポテンシャルとして約1.2万t-NH<sub>3</sub>/年（2015年輸入量20万t/年の約6.3%相当）であることを試算。
- また、近年の研究※では、下水処理場における窒素収支を調査し、汚泥が有する窒素ポテンシャルを約15.2万t-N/年と試算。また汚泥固形中の窒素を亜臨界水処理によるアンモニア化により、エネルギー利用した際のCO<sub>2</sub>削減効果約56.1万t-CO<sub>2</sub>/年と試算。

※出典：小島啓輔、加藤雄大、隅倉光博、川本徹 下水処理場における窒素由来のエネルギーポテンシャルの試算とその利用に関する考察, 下水道協会誌, Vol58, No. 708, pp.78-86, 2021.



## R3 エネルギー分科会報告書 参考資料より

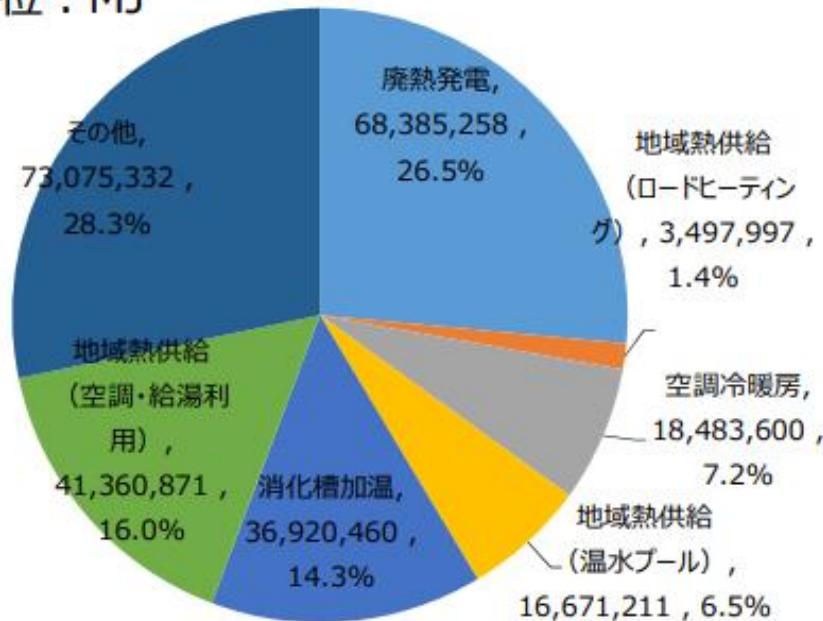
### 7. 2050年カーボンニュートラルの実現に貢献するための下水道技術に関する参考資料

#### 1. 技術開発の動向について ④他分野との連携 熱利用

- 下水道分野における熱利用は、下水熱は32カ所（発熱量約90TJ）、下水汚泥焼却廃熱利用を実施している施設34カ所（有効利用熱量約3,400TJ）、バイオガス発電のコージェネ廃熱利用等を取り組まれている。
- 焼却廃熱は、場内利用だけではなく、地域の熱供給源としての役割も果たしているケースもある。

#### 下水汚泥焼却廃熱利用状況の内訳

単位：MJ



焼却熱の温水プールへの活用  
(川崎市入江崎総合スラッジセンター)



焼却熱を六甲アイランド共同住宅地区へ供給  
(神戸市東部スラッジセンター)

出典 平成31年度下水汚泥等の資源有効利用状況に関する調査業務報告書 国土交通省下水道部 令和2年3月より作成



## R3 エネルギー分科会報告書 参考資料より

### 7. 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に関する参考資料

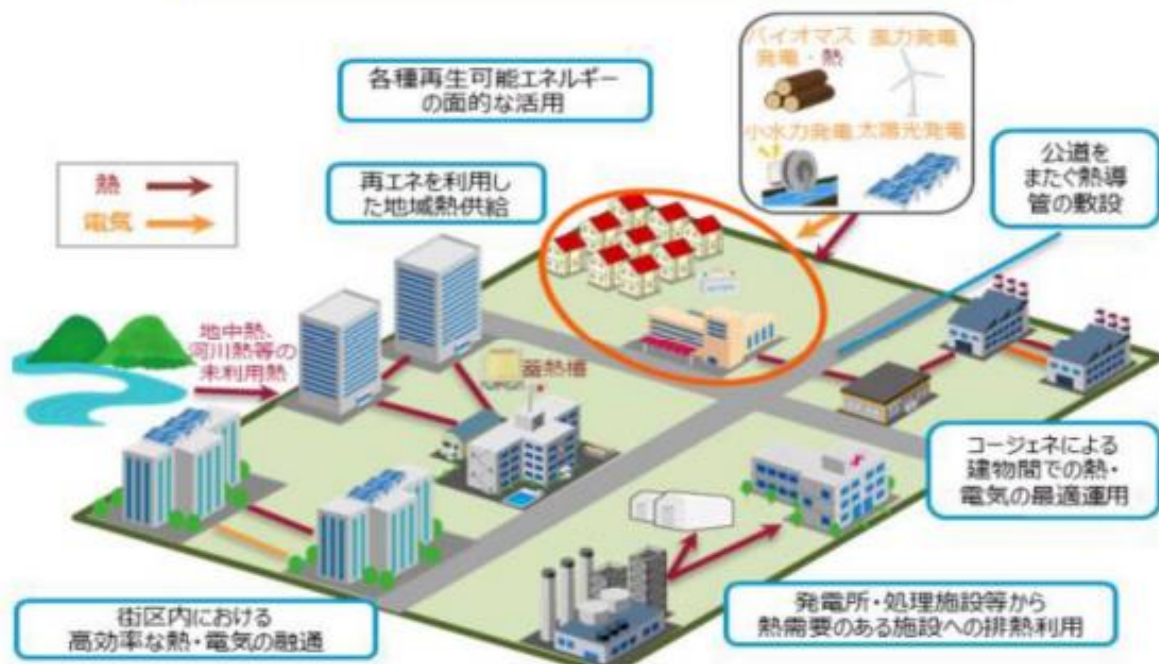
#### 1. 技術開発の動向について ④他分野との連携 熱・バイオガス利用

○グリーン成長戦略において、ガスの脱炭素化とコジェネ導入推進を核として、「ガス事業者が、地方自治体や同業種・他業種と連携し、次世代熱エネルギー供給を主体的に推進。」とされており、下水汚泥由来のメタンガスや処理場で発生した廃熱についても、**地域の分散型エネルギーシステムへの一角として連携・導入が期待される。**

※東邦ガスは知多市南部浄化センターの余剰バイオガスを都市ガスの原料として活用している事例有り。

○また、グリーン成長戦略において、合成メタンへ転換の上、コジェネの導入推進を目指しており、「**2050年までに合成メタン2500万トン**を供給」することとしており、**ガスの脱炭素化には大きな需要が見込まれる。**

#### 分散型エネルギーシステムのイメージ



出典：METI 再生可能エネルギー大量導入・次世代電力ネットワーク小委員会

#### メタネーション技術

- ・太陽光発電を用いた水分解により精製された水素を活用し、消化におけるメタン発生量の促進等期待。
- ・また、下水道施設から発生したCO<sub>2</sub>を回収し、メタネーション施設での活用も期待。



出典：資源エネルギー庁資料



# R3 エネルギー分科会報告書 参考資料より

## 7. 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に関する参考資料

### 1. 技術開発の動向について ④他分野との連携 地域バイオマス

- グリーン成長戦略において、バイオマス資源の拡大やメタン発酵エネルギー回収の向上等について2030年までに取り組むこととされており、その後の**2040年まで有機性廃棄物の一体処理によるコスト低減策の検討を実施する**とされている。
- 生ゴミ等や下水汚泥由来のバイオマスを**一体的に処理をすることで効率よくエネルギー回収をする技術が求められている。**

### ⑬資源循環関連産業の成長戦略「工程表」

- 導入フェーズ： 1. 開発フェーズ 2. 実証フェーズ 3. 導入拡大・コスト低減フェーズ 4. 自立商用フェーズ
- 具体化すべき政策手法： ①目標、②法制度（規制改革等）、③標準、④税、⑤予算、⑥金融、⑦公共調達等

	2020年	2021年	2022年	2023年	2024年	2025年	～2030年	～2040年	～2050年
	循環経済への移行								循環経済への移行も進めつつ、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
Recovery	○エネルギー回収の高度化・効率化 焼却施設の運転効率向上、生活系生ごみの大規模バイオガス化技術の確立・発電効率向上、バイオマス資源（下水道バイオマス・伐採木等）の活用拡大 先進事例の横展開						メタン発酵エネルギー回収の向上、消化液等の有効活用	有機性廃棄物の一体処理によるコスト低減策の検討	先進事例の横展開、低コスト化
	○回収したエネルギー利用の高度化・効率化 排熱利用型地域熱供給、オフライン熱輸送の向上等 先進事例の横展開						エネルギー回収の全体効率の向上策、導入拡大策の検討		低コスト化

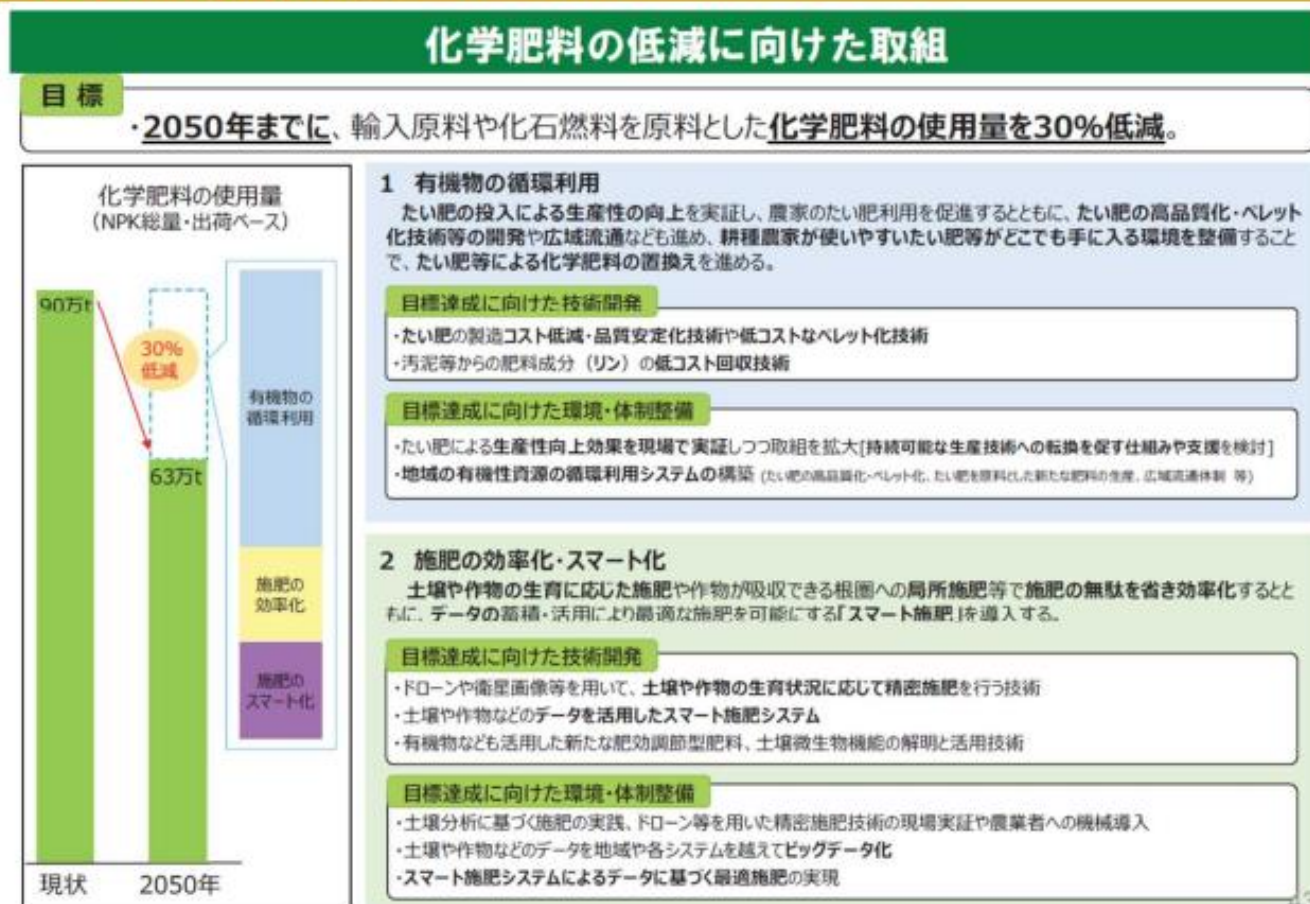


## R3 エネルギー分科会報告書 参考資料より

### 7. 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に関する参考資料

#### 1. 技術開発の動向について ④他分野との連携 農業等利用技術

- 「みどりの食料システム戦略」において、**化学肥料の使用料の30%低減**が位置づけられ、その代替として、**有機物の循環利用等**が位置づけられている。
- 技術開発項目として、**堆肥の製造コスト低減・品質安定化技術**や**低コストなペレット化技術**、**汚泥等からの肥料成分（りん）の低コスト回収技術**が位置づけられている。





## R3 エネルギー分科会報告書 参考資料より

### 7. 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に関する参考資料

#### 1. 技術開発の動向について ④他分野との連携 農業等利用技術

- 下水道発食材については「じゅんかん育ち」として処理水や下水汚泥由来肥料等を活用し、米、野菜作り、リ等が生産されている。
- 汚泥肥料は高温発酵、乾燥、炭化による肥料化が取り組まれH28採択B-DASH（鹿沼市、大川原市）においては乾燥技術による肥料化について実証。
- 肥料の栄養素となる汚泥中のリンを回収については、H24採択B-DASH（神戸市）において、消化汚泥から直接リンを回収する技術が実証された。下水道のリンポテンシャルは海外から輸入するリン約10%に相当。
- 効率的に下水・汚泥由来のリン、アンモニア等資源の有効活用を可能とする技術開発が必要。

#### じゅんかん育ち

①処理水  
栄養塩を含んだ処理水を利用した  
水稻や海苔養殖\*等



※海苔養殖等に配慮し、成長期の冬に  
栄養塩を多く供給

#### ②肥料

下水汚泥を発酵して肥料化



#### ③熱・CO2

CO2をハウス内での栽培に活用



#### リン回収技術（H24採択B-DASH）



神戸市東灘処理場リン除去回収実証プラント 処理汚泥量239m<sup>3</sup>/日



## R3 エネルギー分科会報告書 参考資料より

### 7. 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に関する参考資料

#### 1. 技術開発の動向について ④他分野との連携 CO<sub>2</sub>分離回収利用

- グリーン成長戦略において、低コストかつ高効率なCO<sub>2</sub>分離回収技術の開発。2050年の世界市場10兆円の3割シェアを目指すとしている。また、「高効率なCO<sub>2</sub>分離回収技術を開発し、コスト低減」を図り2024年から実証事業を行うこととなっている。
- バイオガスや焼却排ガス中のCO<sub>2</sub>を分離回収し、場外の農業・工業利用やメタネーションへの活用などカーボンリサイクルが期待される。
- 下水道分野においては、バイオガス中のCO<sub>2</sub>分離・回収技術（H27採択B-DASH 佐賀市）でPSA法（加圧と減圧を繰り返しCH<sub>4</sub>,CO<sub>2</sub>を連続的に分離・回収する方法）による実施事例がある。

#### ⑪カーボンリサイクル・マテリアル産業

●導入フェーズ：  
1. 開発フェーズ 2. 実証フェーズ 3. 導入拡大・コスト低減フェーズ 4. 自立商用フェーズ

（カーボンリサイクル）の成長戦略「工程表」●具体化するべき政策手法：①目標、②法制度（規制改革等）、③標準、④税、⑤予算、⑥金融、⑦公共調達等

※代表事例を記載	2021年	2022年	2023年	2024年	2025年	～2030年	～2040年	～2050年
<b>●分離回収</b> コスト目標 (/CO <sub>2</sub> t) 低圧ガス： 30年 2千円台 高圧ガス： 30年 千円台 DAC： 50年 2千円台 目標規模 50年 世界で約25億 CO <sub>2</sub> t	○排ガス由来 ・高効率なCO <sub>2</sub> 分離回収技術を開発し、 <b>コスト低減</b>			・大規模実証			・更なるコスト低減による導入拡大	
	○大気由来 (DAC) ・ムーンショット型研究開発制度等を活用した、 <b>大気からのCO<sub>2</sub>直接回収 (DAC) 技術の研究開発</b> (エネルギー効率向上、コスト低減)							・実証による更なる低コスト化



固体吸収材



分離膜

2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略（グリーン成長戦略）（関係省庁 令和3年6月）

## 7. 2050年カーボンニュートラルの実現に貢献するための 下水道技術に関する参考資料

### 1. 技術開発の動向について ⑤連携対象となる他分野技術開発事例

○下水道分野の技術開発には他分野の技術開発との連携・活用が必要。

#### ムーンショット型研究開発

・総合科学技術・イノベーション会議（CSTI）において、日本発の破壊的イノベーションの創出を目指し、挑戦的な研究開発（ムーンショット）を推進するものとして、「ムーンショット型研究開発制度」が創設

・NEDOが取り組む開発として窒素化合物を回収、資源転換、無害化する技術の開発があり、産総研、東京大学が個別プロジェクトに取り組んでいる。

・例えば東京大学ではゼオライトを用いたアンモニア回収技術に関する開発に取り組んでいる（処理水や焼却排ガスからの回収への活用が期待される）。

○NEDOが取り組む目標

ムーンショット目標4

「2050年までに、地球環境再生に向けた持続可能な資源循環を実現」

(2) 窒素化合物を回収、資源転換、無害化する技術の開発

研究開発プロジェクト	プロジェクトマネージャー
産業活動由来の希薄な窒素化合物の循環技術創出—プラネタリーバウンダリー問題の解決に向けて	国立研究開発法人産業技術総合研究所 川本 徹
窒素資源循環社会を実現するための希薄反応性窒素の回収・除去技術開発	国立大学法人東京大学 脇原 徹

#### 農業分野における技術開発

・みどりの食料システム戦略（令和3年5月農林水産省）において2050年までに、化学肥料30%低減を目指すこととしている。

・化学肥料の使用量低減に向けた技術開発・普及（2040年頃から）の一例として、処理汚泥中の有害物質を取り除く技術の構築が位置づけられている。

#### 有害物質を取り除く技術の構築

<資源回収の一例>



※第3回脱炭素小委員会 農林水産省資料を一部加筆

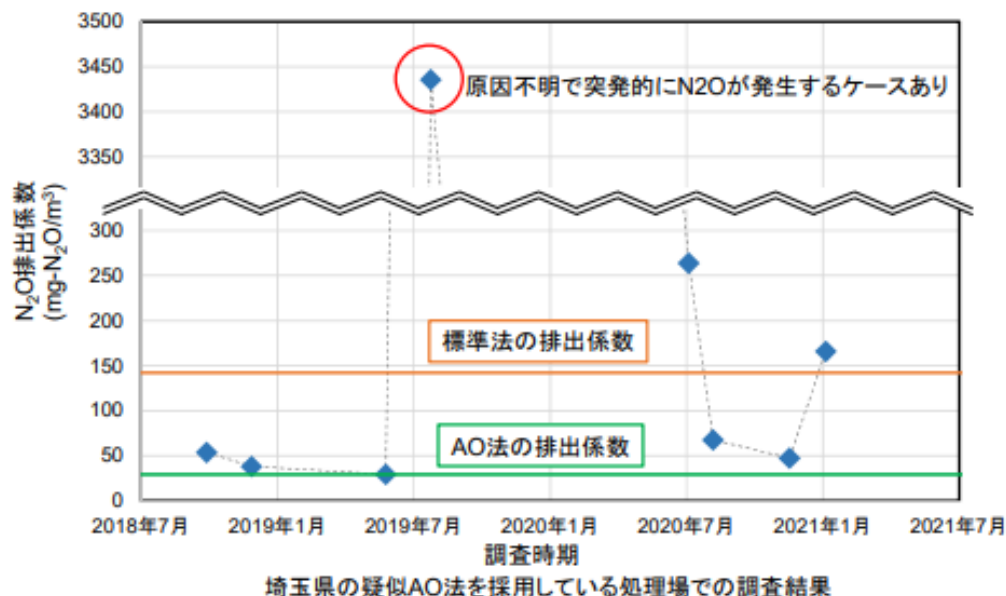
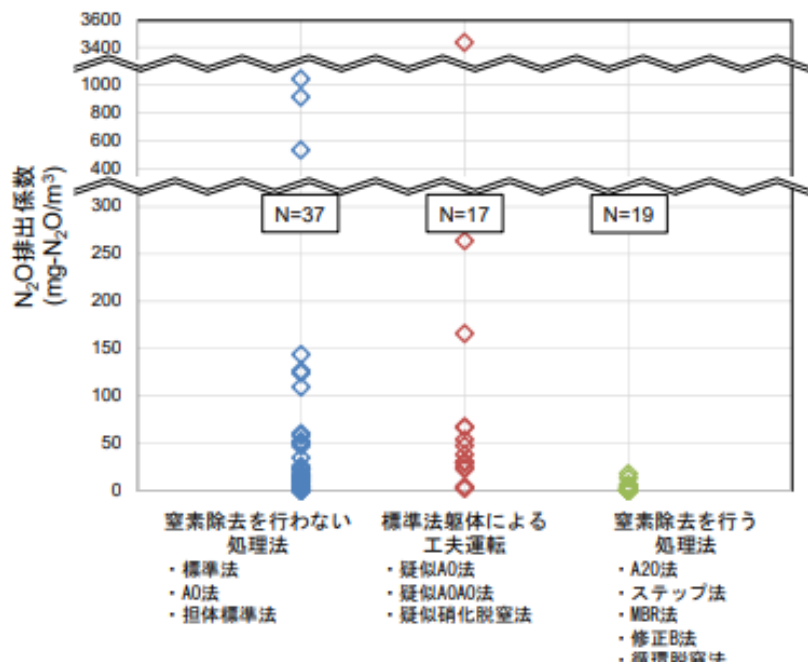


## R3 エネルギー分科会報告書 参考資料より

### 7. 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に関する参考資料

#### 1. 技術開発の動向について ⑥水処理に伴い発生するN<sub>2</sub>O対策

- 標準法に比較して、高度処理の排出係数が小さいことがわかっているが、標準法の中でも排出量に大きな差が出ている。
- 調査時期によって大きく排出量が異なることがある。また、標準法を疑似AOとすることで、一定程度排出量を削減できている可能性がある。
- 今後、次の取組を推進することにより、**排出係数や抑制対策の検討につなげていく。**
  - ・同じ処理法でも排出量が異なる要因や、突発的に発生する要因を微生物解析やリアクターを用いた実験などにより明らかにしていく。
  - ・現行の排出係数が妥当であるかどうか、実態調査を行い、データの蓄積を進めていく。



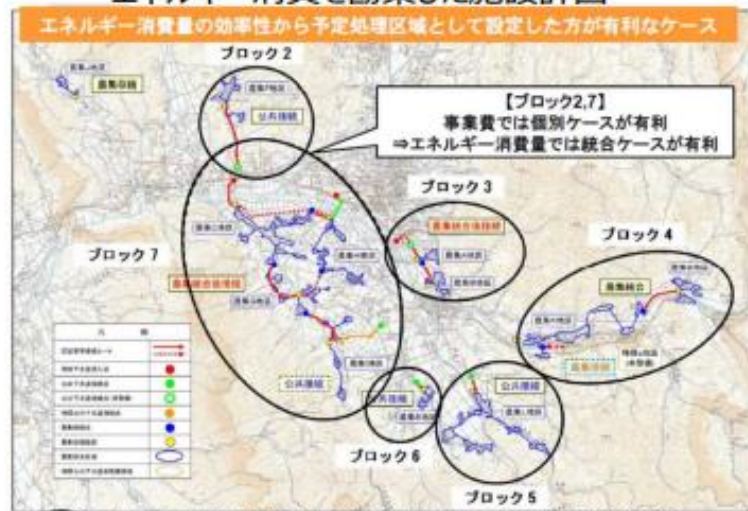
# R3 エネルギー分科会報告書 参考資料より

## 7. 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に関する参考資料

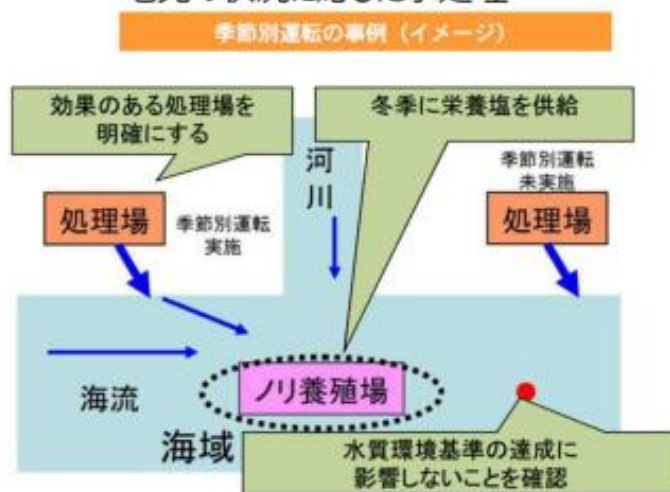
### 1. 技術開発の動向について ⑦エネルギーの観点からみた水処理

- 下水処理の処理水質については、下水道法令に基づく計画放流水質や水質汚濁防止法に基づく一律排水基準や環境基準の達成が困難な地域（東京湾、伊勢湾、瀬戸内海）における総量規制基準等に従い設定される。
- その具体的な配置計画としては下水道法に基づく流域下水道整備総合計画（流総）に、環境基準達成のための処理方式や処理規模等が位置づけることとなっている。
- 流総については下水道法施行規則の改正を受け平成27年10月にその指針と解説の改定がなされ次の事項についても考慮できることとなった。
  - ・水質環境基準の目標に加えて、下水道管理者として地域の実情や特性を勘案し、水質環境基準以外の目標（季節別目標水質、エネルギーに関する目標など）を定めること
  - ・発生源別目標負荷量や計画処理水質は、エネルギー消費量も勘案した上で設定
- 2050年カーボンニュートラルを見据えると、環境基準や経済性だけではなく、社会全体をみた資源有効利用、放流先、エネルギー消費、GHG削減等の観点からの水処理・汚泥処理の仕組みの将来的なあり方やその評価手法についても今後の研究課題となりうる。

エネルギー消費を勘案した施設計画



地先の状況に応じた水処理



出典 四次元流総（概要）