

第4章 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

本章では、下水道分野と関連する他分野の技術開発の動向の把握及びカーボンニュートラルの実現可能性に関するシナリオ検討を通じて、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として導入すべき技術分野や技術開発の方向性を示す。

(1) 下水道分野と関連する他分野の技術開発の動向

下水道技術ビジョンロードマップの進捗状況を把握するために実施した文献調査（技術開発レポート2019）¹⁾によると、以下の技術開発が少ない。これらについては、引き続き取組の推進が必要と認識している。

- ・下水道の水処理・汚泥処理由来で排出される N_2O に関する研究開発
- ・創エネについては、中小の処理場を対象とした技術や熱利用技術についての研究開発
- ・下水処理場において、地域バイオマス（各地域で発生する有機性廃棄物）の共同処理や有効利用等を実施することに関する研究開発

また、（一社）日本下水道施設業協会に対し、「今後、2050年脱炭素社会への貢献等、中長期的に技術開発に取り組んでいく予定のテーマ」を紹介いただくアンケート調査（以下「アンケート調査」という。）を実施した。13社から回答をいただいた。その中では、「FO膜による水処理技術」、「MBR式メタン発酵システム」、「外部バイオマス受入れ可能な高効率水処理技術」、「メタン発酵技術の効率化」に関する技術開発について回答があった。

これらを踏まえ、水処理由来で排出される N_2O に関しては、ラポレベルでのメカニズムに関する研究やデータの蓄積を推進する必要があること、社会構造の変化や水循環・環境、物質循環、エネルギー等を踏まえた将来の下水道のあり方や評価の手法が、今後の研究課題であること等が認識された。

他分野にも下水道に関連する技術開発の進展が見込まれているものがある。2020（令和2）年12月に経済産業省及び関係省庁により策定された「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」より、以下の可能性が示唆される。

- ・水素（2,000万t）、アンモニア（3,000万t）、合成メタン（2,500万t）など、下水道由来となり得る資源について、2050年に向けて大幅な需要を見込むことができる。
- ・ガス事業者がガスの脱炭素化とコジェネ導入推進等を行い、次世代熱エネルギー供給を推進することとなっており、下水道で創出したガス、熱、電気エネルギー等との連携が図られる。
- ・地域で発生する有機性廃棄物の一体処理によるコスト低減策を今後検討することとなっており、地域社会全体でバイオマスの有効活用、最適化が図られる。
- ・ CO_2 回収技術の実証等の技術開発が推進される。

また、2021（令和3）年12月に農林水産省が策定した「みどりの食料システム戦略」によると、化学肥料の使用量を2050年までに30%削減し、堆肥等への置き換えをすることとなっており、汚泥発酵肥料や汚泥由来のリン等が活用される。

これらの動向を踏まえ、下水道の保有する資源が活用されること等が期待される。

(2) 議論における意見

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ついて議論する中で、委員から、以下の意見をいただいた。

1) 脱炭素社会に向けた下水道のあり方について

- ・下水処理システムそのものを含めて新しい技術開発の余地があるかも視点に入れるべきである。
- ・2050年には水循環、物質循環を考えた時に現状よりも高度な水処理が求められるというシナリオや地先に応じて下水道で栄養塩類を取り過ぎないというシナリオも考慮すべきである。
- ・放流水質のレベルとエネルギー消費量の関係性についても議論しても良いと考える。
- ・窒素等の下水道への排除基準について、将来的に見直しても良いのではないかと考える。
- ・水処理におけるN₂Oの削減については、現状で対策を立てることが困難。引き続きデータを蓄積し、分析していくことが重要。
- ・リン除去の際にポリリン酸蓄積細菌等がN₂Oを生成することがわかっている。嫌気好気活性汚泥法(AO法)の省エネ目的で間欠運転を行うことがN₂Oの発生等に与える影響という観点でもデータを収集すべきである。

以下、「第三章(2)2030年目標達成のための導入すべき技術及び技術開発項目の議論における意見等」と「第四章(2)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議論における意見等」の双方に関連するため、再掲。

- ・脱炭素化について、下水道・流域管理・社会システム全体の最適化の観点で、評価方法も含めて考える必要がある。また、その効果について積極的に発信していくべきである。
- ・下水道のCO₂削減効果だけでなく、社会全体でCO₂排出削減に資することも考えていくべき。また、カーボンオフセットが機能する仕組みを考えることも重要。
- ・CO₂排出に関するベンチマーク指標を検討する必要がある。
- ・地方公共団体は、老朽化対策、雨水対策など、並行して取り組むべき課題を様々に抱えている。地方公共団体が取り組みやすいように具体的な方策を示すべきである。
- ・独自技術を採用してもらうためにも、DB、DBOなどの発注制度の転換も進めるべきである。
- ・現在の改築更新やストックマネジメント制度の中で進めていくと、部分的な取組が中心になってくる。システム全体としての取組を進めにくい仕組みになっている。処理場や地域の特性に応じたランドデザインを描きながらリノベーションを進めていくべきである。
- ・下水道の中だけではなく、関係する他分野にも貢献するという視点でランドデザインを描くべきである。
- ・積極的にカーボンニュートラルの技術を海外に売り出していく政府戦略が重要。
- ・間欠運転は省エネ目的には良いが土木躯体に悪影響な場合がある。資産管理の観点も留意すべきである。

- ・脱炭素のために下水道使用料の単価を上げることは難しい。法律等による義務化等が施策推進の動機付けになると思う。また、脱炭素化の推進が各下水道事業管理者のメリットと感じられるようにすることも課題。
- ・電源構成の変化により温室効果ガスは減るが、それに関わらず省エネ等によりエネルギー使用量を削減していくことが重要。

2) 下水道が有する資源・エネルギーの有効活用について

- ・廃棄物処理事業との連携強化が重要である。
- ・窒素、アンモニア回収や肥料等の他分野の研究開発と連携し、推進するべきである。
- ・汚泥処理等に必要な熱エネルギーをコジェネで確保し、残りの余剰消化ガスは都市ガス化して「地産のカーボンニュートラルエネルギー」として環境価値を加え、外部供給することが有望である。
- ・消化ガスの水素化は、現時点では供給体制と比べて水素需要が低水準であり、供給先の確保が課題となる。また、水素製造コストが追加でかかることや水素導管供給コストは導管インフラ等の整備コストがかかる上、高圧ガス保安法、ガス事業法等の規制が厳しいという問題を抱えている。

以下、「第三章（2）2030年目標達成のための導入すべき技術及び技術開発項目の議論における意見等」と「第四章（2）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議論における意見等」の双方に関連するため、再掲。

- ・消化ガス発電の効率は、現状では40%程度。廃熱を十分に利用する必要がある。
- ・廃熱利用ができる場所にて発電するなど、技術開発とともに、社会の仕組みを考える必要がある。

（3）シナリオに基づいたカーボンニュートラルの実現可能性に関する試算と効果的な技術分野

2018年度時点で下水道分野からは、約600万t-CO₂が排出されている。そこで、下水道分野、下水道と関連する他分野の技術開発の動向を踏まえ、どのような対策・技術分野が2050年カーボンニュートラルの実現に貢献することができるか検討するために、2つのシナリオに応じた感度分析的な試算を行った。シナリオは、現行の取組の延長線上で実施されると想定される取組を考慮した「現行トレンドシナリオ」と下水道分野でのカーボンニュートラルの実現をするために必要な取組を考慮した「ゲームチェンジシナリオ」について設定した（表4-1）。両者を比較し、有為な技術分野を“見える化”するため、削減効果の試算を実施した。なお、表4-1記載の各条件は全処理場に一律に反映させたものである。

1) 現行トレンドシナリオ、ゲームチェンジシナリオ共通の試算の条件

- ・2050年度の総人口は国立社会保障・人口問題研究所が予測する出生中位推計値²⁾を踏まえて、1億2百万人とし、また、下水道処理人口普及率は2020年度実績の80.1%³⁾で推移する。下水

道処理人口を8千2百万人とする。

- ・処理水量、一人当たりの処理水量、発生汚泥量については、下水道統計（平成30年度版）⁴⁾及び国土交通省が実施した汚泥有効利用に関する調査⁵⁾から1人当たりの処理水量、発生汚泥量を算出して2050年度の下水道処理人口に乗じることで処理水量（約119億m³/年）、発生汚泥量（約1,727千t-DS/年）とした。
- ・高度処理水量については、下水道処理人口の84.9%が高度処理を必要するとし（国土交通省調査より）、必要な高度処理の普及率が100%に到達するとした（高度処理水量（約70億m³/年））。
- ・電力に由来するCO₂の排出係数については、地球温暖化対策計画で定める2030年の排出係数0.25kg-CO₂/kWh⁴⁾とした。
- ・焼却する汚泥量については、発生汚泥量の内56%が焼却されるとした（2018年度実績）。

2) 現行トレンドシナリオの試算条件

これらに対して、図4-1に示す処理工程を全国の下水处理場で実施したと仮定した。

- ・電力使用量については、処理設備に現在の省エネ技術である高効率散気装置、センサー技術等を用いたDO制御技術等が普及するとともに、運転管理の最適化に取組まれる。それらの結果、単位水量当たりの電力使用量は2018年度時点の0.51kWh/m³⁴⁾よりも36%削減される。
- ・燃料の使用については、下水道における地球温暖化対策マニュアル⁷⁾で示された排出係数を用いて、人口減少の割合だけ燃料使用量が減少する。
- ・水処理に伴って排出されるN₂Oについては、現在までに排出メカニズム等で不明な部分が多く、対策までは達しない。現行の排出係数（処理水量当たり二次処理：142mg-N₂O/m³、高度処理：11.7mg-N₂O/m³⁶⁾）として、水量に乗ずる。
- ・汚泥焼却に伴って発生するN₂Oについては、焼却炉がすべて現在の排出係数のトップランナー値である0.226kg-CO₂/t-wet（アンケート調査より）が適用される焼却炉に置き換わり、当該排出係数に汚泥発生量に乗ずる（汚泥含水率80%で換算）。
- ・創エネについては、B-DASHプロジェクトで実証された高濃度消化・消化ガス発電を行うとし、消化汚泥、未消化汚泥ともに、現行の新型焼却炉による焼却を行うものとした。なお、このとき消化ガス発電や焼却炉の廃熱利用が行われる。

上記における具体的な条件として、発生汚泥量のうち、74%が消化槽に投入されることとした。この数値は、2030年度時点で目標とする下水汚泥エネルギー化率37%に相当する^{※1}。また、発生汚泥の固形分の80%が有機物であり、消化率は60%⁸⁾、廃熱等の利用と合わせて総合効率75%⁹⁾としてエネルギー利用されることとした。焼却炉の廃熱利用は過年度のB-DASHプロジェクト¹⁰⁾の効果を用いた。

※1：現在の下水汚泥エネルギー化率の算出に当たっては、下水汚泥固形物分（DS）の約80%が有機物、消化率として約50%が考慮されている。そのため、最大でも下水汚泥固形物分の40%ということになる。これまでのトレンド等から単純に外挿して数字を求めると、誤った数字で試算してしまう恐れがある。消化槽への投入率であれば、最大で100%となる数字であり、その恐れが無い場合、分科会において、新たに「汚泥エネルギー化投入率」を定義した。（表4-1。ただし、消化率については、可溶可等による向上

を見込むことができる。)

3) 現行トレンドシナリオの試算結果

現行トレンドシナリオでは、2050年において、電力の使用に伴って間接的に排出されるCO₂、燃料の使用に伴って直接的に排出されるCO₂、水処理、汚泥処理から直接的に排出されるN₂Oに対し、創エネによる効果を差し引いたとしても、約140万t-CO₂が排出されるという試算結果となった。

4) ゲームチェンジシナリオの試算条件

ゲームチェンジシナリオでは、図4-2に示す処理工程を全国の下水处理場で実施したと仮定した。

- ・電力使用量については、現行トレンドシナリオで導入した省エネ機器に加え、最初沈殿池ではB-DASHプロジェクトで実証した超高効率固液分離等の技術¹¹⁾を用い、できる限り多くの生汚泥を回収する。その結果、反応槽に流入する有機物が減少し、反応槽において必要な送風量は減少する。ICTを活用して的確な送風量を設定することで、電力使用量を減少させる。それらの結果として、単位水量当たりの電力使用量は、2018年度時点の0.51kWh/m³よりも41%削減される。
- ・燃料の使用については、太陽光発電によって生成した水素などのカーボンフリー燃料となり、現在、燃料の使用が残ると想定している場外ポンプ場でもCO₂ゼロエミッション化が達成される。
- ・水処理に伴って排出されるN₂Oについては、排出のメカニズムが解明され、排出抑制技術が確立される。現行の高度処理の排出係数11.7mg-N₂O/m³を適用する。
- ・汚泥焼却に伴って発生するN₂Oについては、現在の排出係数のトップランナー値0.226kg-CO₂/t-wet(アンケート調査より)からさらに改善が見込まれると仮定し、0.151kg-CO₂/t-wet(アンケート調査より)とする(汚泥含水率80%で換算)。
- ・創エネについては、現行トレンドシナリオよりも以下について、進展する。発生汚泥量の100%が消化槽に投入される。これらに加え、発生汚泥量の50%(固形分当たり)の生ごみや木質バイオマスを消化槽に投入し、バイオガスを増加させる。(消化率については、下水汚泥は60%⁸⁾、生ごみは85%¹²⁾、木質バイオマスは30%¹²⁾。)さらに、太陽光発電等で製造した水素(カーボンフリー水素)を用いて、消化槽中のCO₂と反応させてCH₄発生量を増加させるメタネーションにより、消化ガスのメタン濃度は下水汚泥由来は67%、生ごみ由来は95%、木質バイオマス由来は34%とする。これらのバイオマスから発生したバイオガスによる発電と焼却炉の廃熱等の利用と合わせて総合効率85%¹³⁾としてエネルギー利用される。
- ・消化後の汚泥については、発生汚泥量の約44%を化学肥料の代替として堆肥化(コンポスト化)し、コンポストとしていない汚泥については、現行トレンドと同様に焼却する。

5) ゲームチェンジシナリオの試算結果

ゲームチェンジシナリオでは、2050年において電力の使用に伴って間接的に排出されるCO₂、

燃料の使用に伴って直接的に排出される CO₂（ただし、燃料については、ゼロエミッション化で実質ゼロ）、水処理、汚泥処理から直接的に排出される N₂O に対して、創エネの効果により、マイナス約 13 万 t-CO₂、すなわち、概ねカーボンニュートラルが達成できるという試算結果となった。

これらの現行トレンドシナリオ及びゲームチェンジシナリオに基づく試算結果を 2018 年度の下水道からの CO₂ 排出量と合わせて、図 4-3 に示す。これらの試算から、以下の取組がカーボンニュートラルの実現に向けて、貢献度が高いことを確認した。

- ・省エネ対策の実施
- ・水処理・汚泥処理に伴うエネルギー使用量を下水道のシステム一体で削減
- ・生ゴミ等の地域バイオマスを含めて一体的に有機性廃棄物処理を実施
- ・消化の促進とともに、CO₂、カーボンフリー水素を活用した徹底的なバイオガスの生成を実施
- ・バイオガス発電の廃熱など、熱もフルに活用
- ・水処理・汚泥処理過程で発生する N₂O の抑制対策の実施
- ・コンポスト利用など、下水道に関連する他の分野の CO₂ 削減に資する取組も推進

当該試算においては下記の課題を考慮していない。

- ・超高効率固液分離等の技術を用いて回収した生汚泥の増加に伴う発電量の増加分
- ・水処理から発生する CH₄ への対策
- ・下水熱利用の普及
- ・下水処理場やポンプ場内における太陽光発電の促進
- ・バイオガスの生成や熱利用における、需給の年間変動の考慮
- ・処理方式や規模、地域社会の状況

これらを詳細に考慮すると、試算結果等は変わりうることになる。

なお、上記以外にも効果的な水処理・汚泥処理、エネルギー利用を排除するものではない。

表 4-1 2050 年カーボンニュートラルの実現可能性に関する試算のシナリオ

		現行トレンドシナリオ	ゲームチェンジンシナリオ
総人口 (下水道処理人口、下水道処理人口普及率)		102 百万人 (82 百万人、80.1%)	
処理水量 (一人当たり処理水量)		119 億m ³ /年 (146 m ³ /人/年)	
高度処理水量 (二次処理水量)		70 億m ³ /年 (49 億m ³ /年)	
発生汚泥量 (一人当たり発生汚泥量)		1,727 千 t -DS/年 (21.2kg-DS/人/年)	
電力由来の CO ₂ 排出係数		0.25kg-CO ₂ /kWh	
追加の対策	電力	・従来型省エネ対策：電力の 36% 削減（高効率散気装置、DO 制御技術、運転管理等）	・B-DASH 技術も活用した省エネ対策：電力の 41% 削減（左記に加え、流入有機物の除去技術及び ICT を活用した運転管理により、反応槽の送風に係る電力をそれぞれ 14% 及び 13% 削減）
	燃料	—	・カーボンフリー燃料（太陽光発電によって生成した H ₂ 等）による場外ポンプ場の CO ₂ ゼロエミッション化
	水処理に伴う N ₂ O	— (排出係数について、高度処理では 11.7mg/m ³ 、二次処理では 142mg/m ³ を使用（現行の排出係数）)	・N ₂ O 排出抑制技術が確立することを前提とし、全処理水量に対して、現行の高度処理の排出係数 11.7mg/m ³ を使用
	汚泥焼却に伴う N ₂ O	・排出係数は現在のトップランナー値である 0.226kg-CO ₂ /t-wet を使用	・メーカーヒアリング等による更なる排出係数の改善が見込まれると仮定し、0.151 kg-CO ₂ /t-wet を使用
	創エネによる効果	・汚泥エネルギー化投入率 ^{※1} を 74%（2030 年度目標の下水汚泥エネルギー化率 37% に対応した数値） ・廃熱を回収し、総合効率 75% でエネルギー化	・汚泥エネルギー化投入率を 100%、更に発生汚泥量に対して 50% の生ゴミや木質等の地域バイオマスを混合消化。 ・各有機性廃棄物の消化率は下水汚泥 60%、生ゴミ 85%、木質バイオマス 34%。 ・メタネーションによるメタン濃度が 60% から 67% に増加すると仮定。 ・廃熱を回収し、総合効率 85% でエネルギー化
その他	—	・汚泥肥料（コンポスト）により化学肥料を代替	

※1：下水汚泥エネルギー化投入率：下水汚泥中の有機物重量のうち、エネルギー利用のために消化槽に投入された重量の割合と定義

全国処理場のモデル化

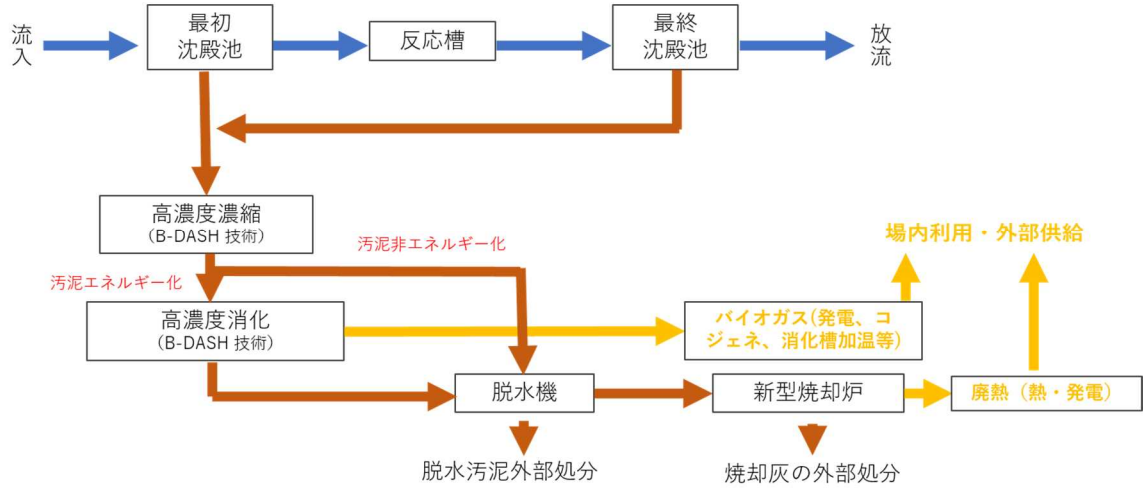


図 4-1 現行トレンドシナリオの処理フロー

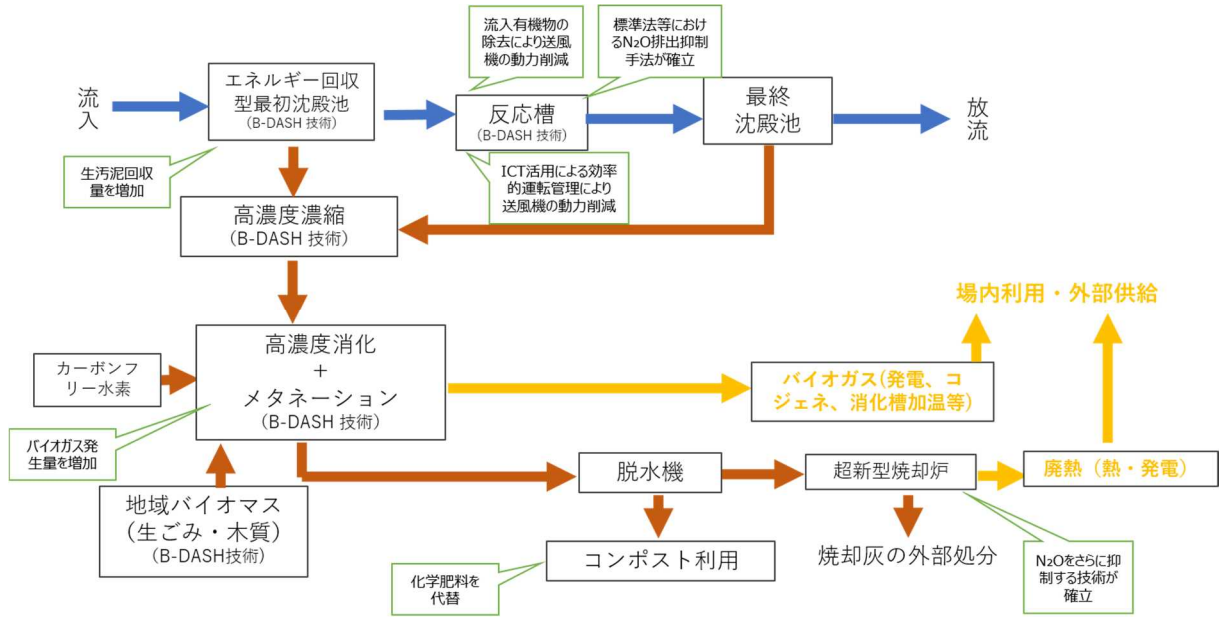


図 4-2 ゲームチェンジシナリオの処理フロー

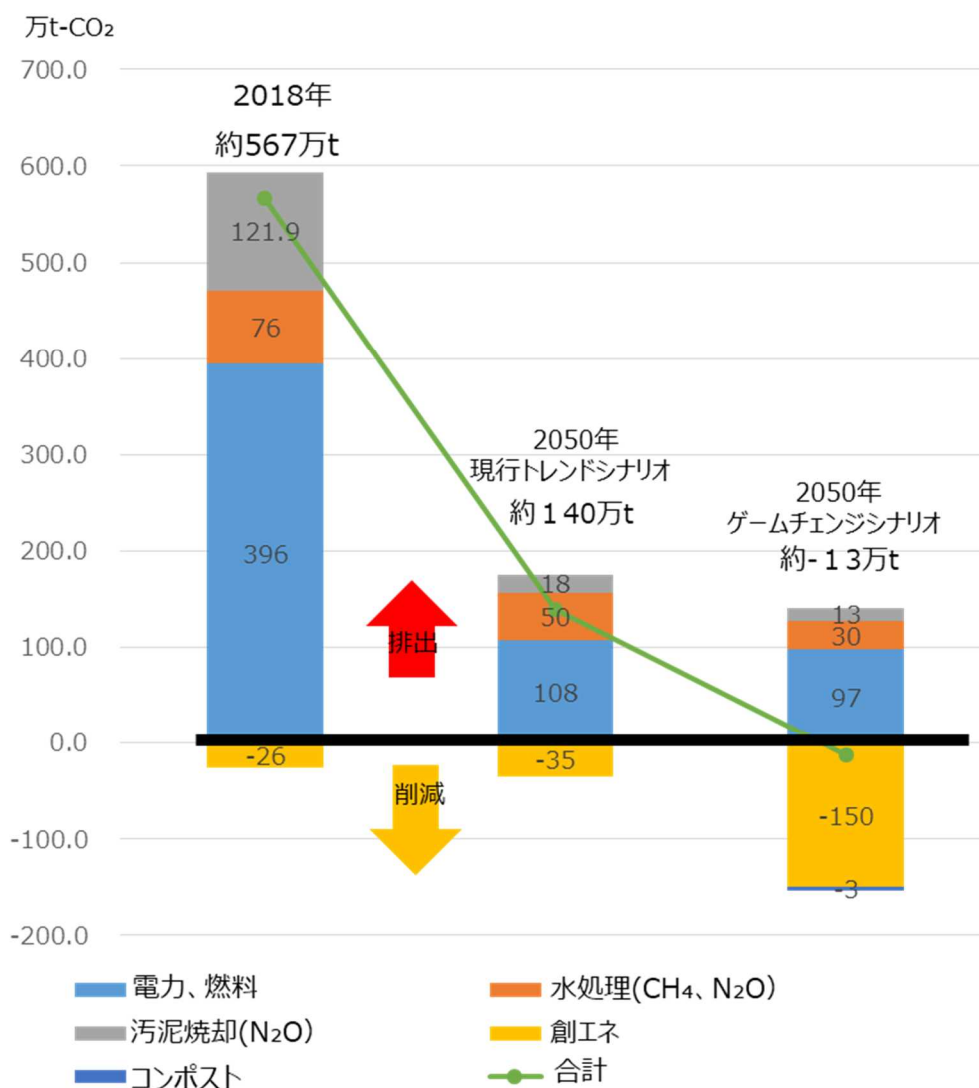


図 4-3 現行トレンドシナリオとゲームチェンジシナリオによる 2050 年の下水道からの CO₂ 排出量の試算結果

(4) 導入すべき技術分野や技術開発の方向性

下水道技術ビジョンのロードマップに示す下水道分野と下水道に関連する他分野の技術開発動向及びシナリオ別の試算並びに令和3年度下水道技術開発会議エネルギー分科会における議論を踏まえ、2050年カーボンニュートラルの実現に貢献するために導入すべき技術分野や技術開発の方向性について、次のとおり整理する。

1) 導入すべき技術分野

- ・下水中の有機物を水処理過程の中でも可能な限り回収し、エネルギー回収効率を向上するとともに水処理に係る負荷を減らすことで、エネルギーの消費量を抑えるなど、水処理・汚泥処理に係るエネルギー使用量をシステム一体的に削減する技術。
- ・個別設備についての省エネ化・無動力化技術やエネルギー消費の見える化、運転管理手法の改

善をセットで行うエネルギーマネジメント手法の開発。また、これまで燃料が使用されている設備の電化促進やカーボンフリー燃料の利用を可能とする技術。

- ・生ゴミ等の地域バイオマスを含めて一体的に有機性廃棄物処理を実施するための前処理や消化等に関する技術。汚泥の可溶化など消化性能の向上を図る技術やCO₂、カーボンフリー水素を活用して、徹底的にバイオガス生産量を増加させる技術。
- ・エネルギー化の過程で発生する廃熱の利用及び利用推進のための技術。
- ・有機物以外にもアンモニアやリン等を回収し、効率的に肥料化・エネルギー化を図る技術。
- ・下水熱利用を促進する技術。
- ・水処理・汚泥処理過程で排出されるCH₄やN₂Oの抑制対策技術。
- ・CO₂削減効果の評価手法、下水道事業者などが目標設定するためのベンチマーク手法や性能指標設定手法に関する技術。
- ・下水道のデジタル化を通してオペレーションの省力化や省エネ化を推進するためのICT技術（AI、センシング、制御技術）。 等

2) 技術開発の方向性

導入すべき技術分野に関連する技術開発を総合的に推進する。

技術開発にあたっては、地域の人口減少に伴う水量や水質の変化及びコストも踏まえ、地域特性や処理方式、規模に応じた柔軟性のある持続可能性の高いメニューの整備についても今後検討する。また、下水道に関連する他分野の技術開発等の取組の成果を賢く活用する。

開発した技術の導入においては、各下水道事業者が脱炭素化に向けたグランドデザインを描き、それらを地球温暖化対策の推進に関する法律に基づく実行計画等にも反映して、着実に推進する。

地球全体のカーボンニュートラルに貢献するという視点も重要であることから、本邦技術の海外展開を支援するための標準化やガイドライン等の作成など技術的な支援も引き続き推進する。

また、今後の研究課題として残る社会構造の変化や水循環・水環境、物質循環、エネルギー等を勘案した将来的な下水道・流域管理・社会システムの全体最適やあり方、調達制度等の仕組みに関する事項についても技術的な見地から継続的に調査・研究する。

なお、本整理に留まらず、今後も不断の検討、見直しを行い、下水道分野がカーボンニュートラルの実現に大きく貢献できるよう取組む。

図 4-4 に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～を示す。

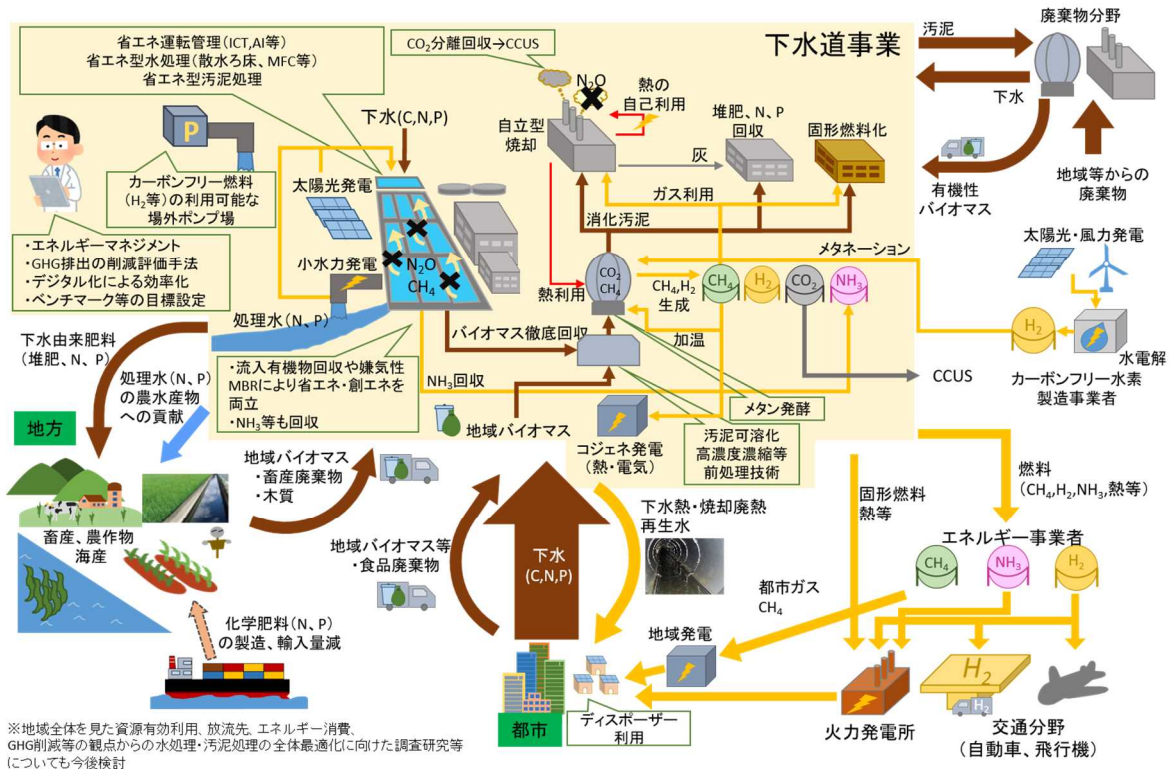


図 4-4 脱炭素社会に貢献する循環のみち下水道
 ~カーボンニュートラル実現に資する技術のイメージ~

参考文献

- 1) 国土交通省国土技術政策総合研究所：国土技術政策研究所資料_No.1116_下水道技術開発レポート 2019、pp29-31、令和 2 年 6 月
- 2) 国立社会保障・人口問題研究所：日本の将来推計人口（平成 29 年推計）、人口問題研究資料 第 336 号、p81、2017 年
- 3) 国土交通省：令和 2 年度末の令和 2 年度末の汚水処理人口普及状況について、令和 3 年 8 月 31 日 https://www.mlit.go.jp/report/press/mizukokudo13_hh_000477.html、2022.3.28 参照
- 4) (公社) 日本下水道協会：下水道統計（平成 30 年度版）、p108、令和 2 年
- 5) 国土交通省水管理・国土保全局下水道部：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、令和 2 年 3 月
- 6) 環境省：地球温暖化対策計画 における対策の削減量の根拠、令和 3 年 10 月 22 日 <http://www.env.go.jp/earth/211022/kohyou.pdf>、2022.3.28 参照
- 7) 環境省、国土交通省：下水道における地球温暖化対策マニュアル、p27、pp34-35、平成 28 年 3 月
- 8) 国土交通省国土技術政策総合研究所：国土技術総合研究所資料_No.1139_B-DASH プロジェクト No.31_高濃度硝化・省エネ型バイオガス精製による効率的エネルギー利活用技術導入ガイドライン（案）、p145、令和 2 年 12 月

- 9) 国水事第 38 号_国土交通省水管理・国土保全局下水道事業課長通知：下水道事業におけるエネルギー効率に優れた技術の導入について、平成 29 年 9 月 15 日
- 1 0) 国土交通省国土技術政策総合研究所：国土技術総合研究所資料_No.1093_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（案）、令和元年 11 月
- 1 1) 国土交通省国土技術政策総合研究所：国土技術総合研究所資料_No.736_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）、平成 25 年 7 月
- 1 2) 国土交通省国土技術政策総合研究所：国土技術総合研究所資料_No.737_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）、p74、平成 25 年 7 月
- 1 3) (一社) 日本ガス協会 HP：ガスコージェネレーションシステムの仕組み
<https://www.gas.or.jp/gas-life/cogeneration/shikumi/>、2022.3.28 参照