

2050年カーボンニュートラルの実現に貢献するための 下水道分野における技術開発

安倉直希・岩渕光生・田嶋 淳・三宮 武

1. はじめに

2020年10月臨時国会の首相所信表明演説において、我が国は2050年までにカーボンニュートラル（以下「CN」という。）を目指すことが宣言された。下水道分野から排出されるGHGは、年間約600万t-CO₂（2018年度）¹⁾であり、国内の総排出量の約0.5%に相当する。当該分野でも温室効果ガス（以下「GHG」という。）の削減が必要である。

国土技術政策総合研究所下水道研究部（以下「国総研」という。）では、2018年度に下水道事業における省エネや下水道資源有効利用の新技術開発、導入促進等を目的として下水道技術開発会議エネルギー分科会²⁾（以下「分科会」という。）を設置し、事務局を務めてきた。2021年度には分科会において、下水道分野のGHG排出削減に関する2030年までの中期目標及び2050年までの長期目標の達成に期待される技術開発等を検討することとした。具体的には、水処理・汚泥処理におけるGHG削減、創エネ・再エネ、下水処理システム全体の最適化、他分野への貢献等である。

本報では、分科会委員のご意見を踏まえ、分科会の成果として下水道の技術開発と導入において取組むべきこと等を取りまとめたので報告する。

2. 2030年に向けて取組むべきこと

2.1 2030年に向けた下水道分野における目標と取組の方向性

地球温暖化対策計画において、下水道分野では、省エネルギーの促進、下水汚泥のエネルギー化（創エネ）の促進、焼却の高度化、再生可能エネルギーの利用拡大により、GHGを2013年度比で約208万t-CO₂削減することとしている。以下に各分野の目標値と目標達成に向けた取組の方向性を示す¹⁾。

(1) 省エネルギーの促進

省エネルギーの促進により、電力消費量の年率約2%の削減を確保し、約60万t-CO₂削減としている。現状の電力使用量は横ばいからやや増加傾向であるため、一層の取組促進が必要である。

(2) 下水汚泥のエネルギー化（創エネ）の促進

下水汚泥エネルギー化率を37%まで向上させることで、約70万t-CO₂削減としている。2019年度末時点で下水汚泥エネルギー化率は約24%であり、自治体の導入計画の確実な実施、更なる取組の拡大が必要である。

(3) 焼却の高度化

一酸化二窒素（N₂O）排出削減のため、高温焼却実施率100%、新型炉への更新等により、約78万t-CO₂削減としている。2019年度末時点では高温焼却実施率は約73%であり、改築更新時に高温焼却への確実な更新、更なる排出削減に向けた取組が必要である。

(4) 再生可能エネルギーの利用拡大

下水処理場内等への導入促進により、約1万t-CO₂削減としている。2019年度末時点で、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の再生可能エネルギー利用がされている。目標は達成見込みである。

2.2 2030年目標達成に向けた議論と技術開発項目

2.1に記載した目標値、取組の方向性を踏まえ、分科会で検討した2030年目標達成のために導入すべき技術及び技術開発項目を以下に記載するとともに、導入すべき技術例を図-1に整理する。

(1) 省エネルギーの促進

水処理設備について、処理方式や処理規模に応じ、寄与率の高い反応タンク設備関連の効果的・効率的な技術の導入・開発を推進する。汚泥処理設備については、重油等石油系燃料利用が減少していることなど効果が見えているものの、未対策の処理場もあることから、処理方式や処理規模に応じ、寄与率の高い汚泥濃縮機、消化タンク攪拌機、汚泥脱水機等の効果的・効率的な技術の導

入・開発を推進する。上記設備の個別導入にとどまらず、水処理、汚泥処理についてシステム全体として省エネ対策を推進することが重要である。一方で、あまり猶予のない2030年までの時間的制約や地方公共団体の厳しい経営状況等から、省エネ設備への更新が困難な処理場が存在することを踏まえ、消費電力や運転状況の見える化などのエネルギーマネジメントを通じた運転管理の工夫により消費電力を削減する等、ハード整備に頼らない総合的な取組を徹底することが必要である。

(2) 下水汚泥のエネルギー化（創エネ）の促進

創エネは、そのポテンシャルに対して活用の余地が大きい。固形燃料化技術やバイオガス利用等、下水汚泥のエネルギー化に関わる効果的・効率的な技術の導入等を推進する。あまり猶予のない2030年までの時間制約等から、大がかりな創エネ施設の導入が困難な処理場が存在することを踏まえ、例えば、小型発電設備の導入等、比較的簡易な設備の付加による未利用バイオガスの活用を推進する。

(3) 焼却の高度化

引き続き、下水汚泥の焼却施設における燃焼の高度化や N_2O 排出量の少ない焼却炉及び下水汚泥

固形燃料化施設の設置を推進するための効果的・効率的な技術の導入等を推進する。その際、焼却熱を有効活用し、化石燃料の使用を抑制してエネルギー自立化を促進する。

(4) 再生可能エネルギーの利用拡大

引き続き下水熱利用等の効果的・効率的な技術の導入等を推進する。

(5) その他の重要事項

(1) ～ (4) について、2030年までに実装可能な技術の開発を推進するとともに、2050年も見据え、調査研究等も含めた技術開発やモデル事業を通じ、部分最適にとどまらず、下水道のシステム全体で最適化を推進する。また、脱炭素化に向けたグランドデザインを各下水道事業で描き、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。

3. 2050年に向けて取組むべきこと

3.1 分科会における2050年に向けた取組概要

分科会では3.2に示す2050年における下水道分野のGHG排出量の感度分析的な試算を行い、GHG排出削減に効果的な技術分野を検討した。また、下水道に関連する他分野の技術開発動向等

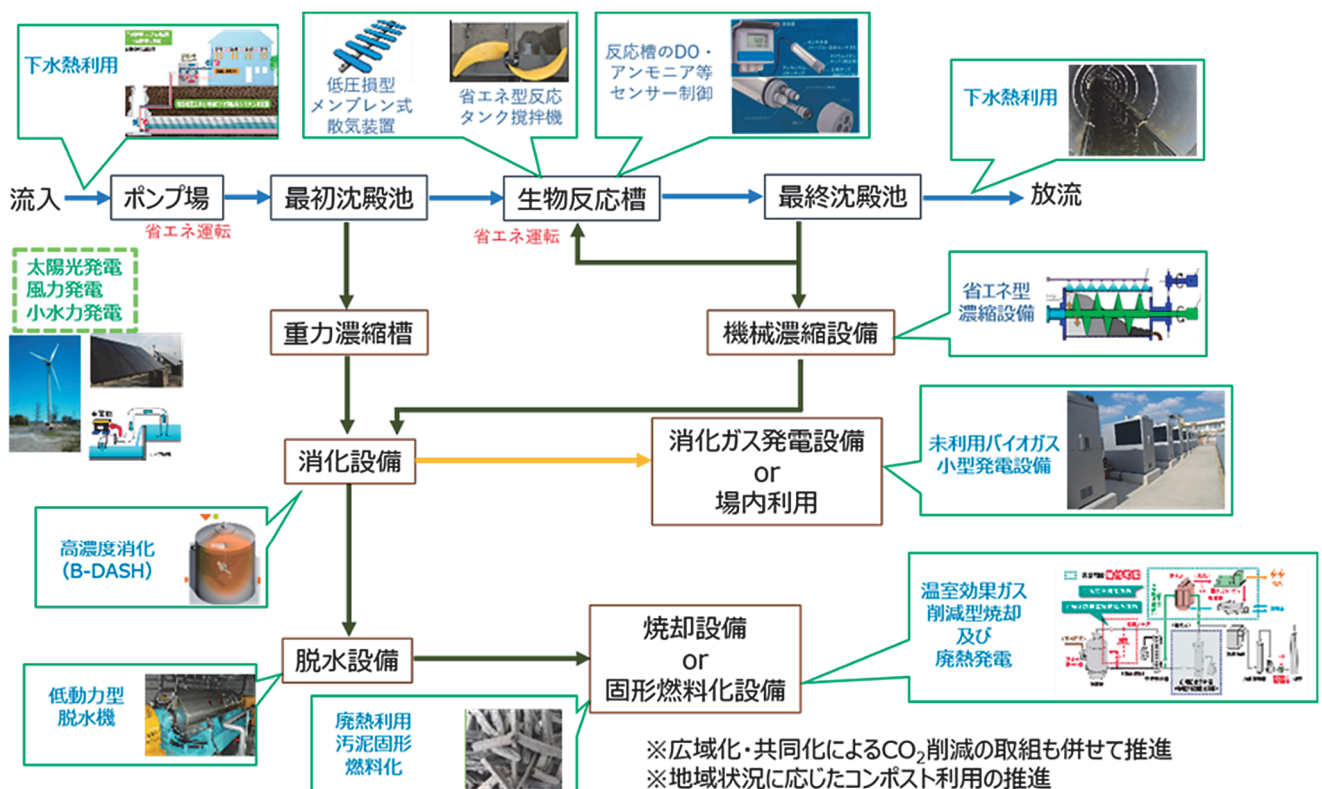


図-1 2030年目標達成のために導入すべき技術例

を考慮して、下水道における技術目標、技術開発項目を整理した。

3.2 2050年度GHG排出量試算

現行の取組の延長線上で実施されることが想定される取組を考慮した「現行トレンドシナリオ」及びCNの実現のために更なる技術革新を考慮した「ゲームチェンジシナリオ」についてGHG排出量を試算した。ゲームチェンジシナリオでは、更なる技術開発とともに生ごみ等の有機性廃棄物の一体処理などの地域連携等の効果が大きいことを示した。具体的には、次に示す取組を全て行った場合には、下水道分野のCN実現の可能性があるという試算結果となった（図-2）^{2)・3)}。

・省エネ対策の実施

最初沈殿池における流入有機物の除去率（回収率）向上に伴う必要送風量削減とICTを活用した効率的運転管理等による反応槽の動力削減及びポンプ場で使用する燃料のカーボンフリー燃料への代替。

・水処理・汚泥処理のエネルギー使用量を下水道のシステム一体で削減

最初沈殿池における有機物の回収率向上により、有効利用できる汚泥量を増加。

・消化の促進等により、徹底的にバイオガス生成

消化率の向上に加え、消化ガス中のCO₂とカーボンフリー水素を反応させてメタン生成量を増やす、いわゆるメタネーションにより発生する消化ガスの有効利用。

・生ごみ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

発生汚泥を全量消化槽に投入し、さらに、投入汚泥量（乾燥重量ベース）の50%の地域バイオマス投入することにより発生する消化ガスを増加させ、有効利用。

・バイオガス発電廃熱などの熱をフル活用

総合効率85%によるコージェネレーション。

・水処理・汚泥処理過程で発生するN₂Oの抑制対策の実施

水処理過程で発生するN₂O等の排出抑制方策の確立と汚泥焼却による排出量のさらなる削減。

・コンポスト利用などの他分野のCO₂削減に資する取組の推進

消化汚泥の全量コンポスト化により化学肥料の製造削減に伴うCO₂削減量も計上。

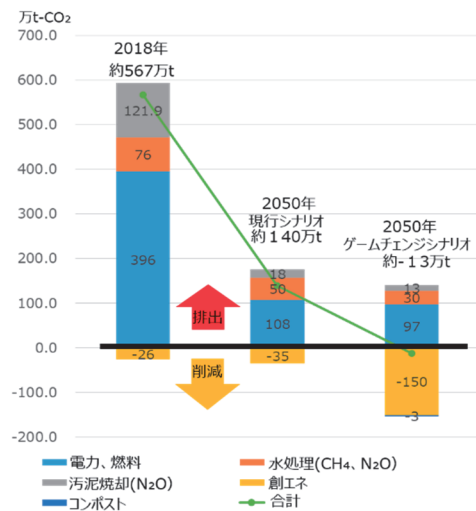


図-2 2050年におけるGHG排出量試算の結果

3.3 2050年目標達成に向けた技術の整理

3.2に示す試算の結果及び下水道分野と下水道に関連する他分野における技術開発動向を踏まえ、CNの実現に向けて重要と考えられる①全体最適化に関する事項、②CH₄、N₂Oの排出削減に関する事項、③指標化、定量化並びに技術開発制度に関する事項、④創エネルギー・再生可能エネルギーに関する事項、⑤地域バイオマスの活用に関する事項、⑥農林水産物生産及び高付加価値製品に関する事項を「2050年CN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」として整理した。その中では、16の技術目標、52の具体的な技術開発項目を示した。また、特に2050年に向けて対策効果が大きく、速やかに技術開発を進めるべき25の技術開発項目を『実用化されていない技術分野』と『実用化されている技術はあるが、更なる改善やメニューの充実を図るべき技術分野』に分類・整理した（表-1、表-2）。

4. まとめ

2021年度の分科会における様々な議論、委員のご意見を踏まえ、2030年及び2050年に向け、下水道分野がCNに貢献しうる技術開発項目等を整理した。分科会では引き続き、表-1、表-2に記載の技術開発目標1-1、2-8、3-1、4-1、4-2、及び13-1等の検討を行うとともに、それ以降もGHG排出削減技術やシナリオに係る不断の検討、見直しを行い、下水道分野がCNの実現に貢献できるよう取り組んでいく。

表-1 技術開発項目『実用化されていない技術分野』

①全体最適化に関する事項 技術目標1 下水道施設の省エネ・創エネとあわせたエネルギー消費最小化とエネルギー自立に向けた技術開発 技術開発項目1-1 下水道施設の省エネ・創エネとあわせたエネルギー消費最小化とエネルギー自立 技術目標2 水処理・汚泥処理の最適化に資する技術開発 技術開発項目2-8 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 技術開発項目2-9 化石燃料使用機器の電化やカーボンフリー燃料利活用
②CH₄、N₂Oの排出削減に関する事項 技術目標3 下水道から排出されるCH₄、N₂Oの排出削減に関する技術開発 技術開発項目3-1 水処理におけるN ₂ O発生機構の解明、微生物群集構造の解析・制御等による排出抑制技術の実用化
④創エネルギー・再生可能エネルギーに関する事項 技術目標8 下水道施設と下水資源を活用したエネルギー生産技術の開発 技術開発項目8-4 膜ろ過・嫌気処理による省エネ・創エネ型水処理技術 技術目標9 汚泥直接、汚泥由来バイオガスや硫化水素などからメタン、水素、CO₂等の有効利用ガス成分の効率的な分離・濃縮、精製、回収技術の開発 技術開発項目9-3 余剰電力・メタンガスや太陽光発電を用いて製造したカーボンフリー水素を活用したメタネーション技術
⑤地域バイオマスの活用に関する事項 技術目標12 地域の間伐材等の未利用資源を活用して脱水効率、消化効率、焼却効率を向上させる技術の開発 技術開発項目12-5 地域で発生したバイオマス・プラスチック等を用いた焼却炉の効率的運転 技術開発項目12-6 高負荷水・バイオマス受入に関する評価手法や受け入れ技術 技術目標14 下水中の多様な物質の効率的回収に関する技術の開発 技術開発項目14-1 下水・下水汚泥構成元素の分離・リサイクル技術等の開発
⑥農林水産物生産及び高付加価値製品製造に関する事項 技術目標16 高付加価値製品等の製造技術の開発 技術開発項目16-4 バイオマスから製造する製品、資材等の無害化、安全性確保に関する技術

表-2 技術開発項目『実用化されている技術はあるが、更なる改善やメニューの充実を図るべき技術分野』

①全体最適化に関する事項 技術目標2 水処理・汚泥処理の最適化に資する技術開発 技術開発項目2-1 水処理・汚泥処理の全体最適化による省エネ技術 技術開発項目2-2 ICT、AIを活用した省エネ水処理技術（流入水量・水質の変動にあわせた曝気風量の制御や酸素溶解効率の向上等によるエネルギー最適化） 技術開発項目2-3 送風プロセスの最適化による省エネ技術 技術開発項目2-4 活性汚泥法代替の曝気を行わない省エネ型水処理技術 技術開発項目2-7 エネルギーマネジメント
②CH₄、N₂Oの排出削減に関する事項 技術目標3 下水道から排出されるCH₄、N₂Oの排出削減に関する技術開発 技術開発項目3-4 N ₂ O排出量の少ない、より高度な焼却技術
③指標化、定量化並びに技術開発制度に関する事項 技術目標4 ベンチマーキング手法を活用した、事業主体のエネルギー効率改善促進 技術開発項目4-1 エネルギー効率に関する適切な技術的指標、ベンチマーキング手法の導入を支援する技術 技術開発項目4-2 省エネ・創エネ・省CO ₂ 性能の合理的な定量化手法
④創エネルギー・再生可能エネルギーに関する事項 技術目標8 下水道施設と下水資源を活用したエネルギー生産技術の開発 技術開発項目8-6 汚泥炭化（乾燥、水熱炭化）、熱分解ガス化等による燃料化技術の効率化 技術目標9 汚泥直接、汚泥由来バイオガスや硫化水素などからメタン、水素、CO₂等の有効利用ガス成分の効率的な分離・濃縮、精製、回収技術の開発 技術開発項目9-2 バイオガス、汚泥及び処理水から直接水素を抽出製造する技術 技術目標10 嫌気性消化に関する各種バイオマス受け入れも視野に入れた運転管理方法や既存システムの改良技術の開発 技術開発項目10-2 高濃度濃縮技術、汚泥可溶化、マイクロ波の活用等消化性能を向上させる等による既存消化槽の高効率エネルギー生産・回収型への転換技術 技術目標11 熱利用による下水処理場でのエネルギー利用効率化技術の開発 技術開発項目11-1 バイオガス発電、汚泥焼却等の廃熱利用の効率化に関する技術
⑤地域バイオマスの活用に関する事項 技術目標12 地域の間伐材等の未利用資源を活用して脱水効率、消化効率、焼却効率を向上させる技術の開発 技術開発項目12-2 様々な状態で発生する、剪定枝、除草刈草、廃棄物等の受け入れ、前処理、メタン発酵技術 技術目標13 下水処理場における多様なバイオマス利用技術を比較するためのLCC評価及びLCA評価等に関する技術の開発 技術開発項目13-1 各種バイオマスのバイオマス有効利用技術のLCC、LCA分析・評価に関する技術
⑥農林水産物生産及び高付加価値製品製造に関する事項 技術目標16 高付加価値製品等の製造技術の開発 技術開発項目16-3 汚泥炭化（乾燥、水熱炭化）、発酵等による肥料化技術の効率化

研究機関や民間企業等においても、技術開発・実証に資する国の支援制度等も活用しつつ、CNに向けた技術を進展させることに期待したい。

謝 辞

本検討にあたり様々なご意見、ご指導をいただいた分科会委員の皆様に謝意を表します。

参考文献

- 1) 脱炭素社会への貢献のあり方検討小委員会：脱炭素社会への貢献のあり方検討小委員会報告書、

<https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/content/001476160.pdf>（参照日2022年6月21日）

- 2) 下水道技術開発会議エネルギー分科会：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等に関するエネルギー分科会報告書、
http://www.nilim.go.jp/lab/eag/pdf/202203_energybunkakaihoukokusyo.pdf（参照日2022年6月21日）
- 3) 下水道技術開発会議エネルギー分科会：（別紙）エネルギー分科会報告書 参考資料、http://www.nilim.go.jp/lab/eag/pdf/202203_energybunkakaihoukokusyo_besshi.pdf（参照日2022年6月21日）

安倉直希



国土交通省国土技術政策総合研究所下水道研究部水処理研究室 交流研究員
AGURA Naoki

岩淵光生



研究当時 国土交通省国土技術政策総合研究所下水道研究部水処理研究室 主任研究官、現 国土交通省水管理・国土保全局下水道部下水道企画課下水道国際・技術室 下水道国際推進官
IWABUCHI Mitsuo

田嶋 淳



研究当時 国土交通省国土技術政策総合研究所下水道研究部水処理研究室 室長、現 国土交通省水管理・国土保全局下水道部下水道企画課下水道国際・技術室 室長
TAZIMA Atsushi

三宮 武



研究当時 国土交通省国土技術政策総合研究所下水道研究部 下水道エネルギー・機能復旧研究官、現 同研究部部長
SANNOMIYA Takeshi