

大都市下水処理場でのエネルギー化技術導入シナリオの設計：燃料消費フリーに着目して

王 柯樺¹・中久保 豊彦²

¹ 学生会員 博士後期課程 お茶の水女子大学 大学院人間文化創成科学研究科生活工学共同専攻
E-mail: g1970703@edu.cc.ocha.ac.jp

² 正会員 准教授 お茶の水女子大学 基幹研究院自然科学系 (〒112-0012 東京都文京区大塚 2-1-1)
E-mail: nakakubo.toyohiko@ocha.ac.jp

日本の下水汚泥リサイクル戦略はエネルギー利用に焦点を当てた段階へと移行しており、大都市下水処理場を中心に行われている脱水汚泥の焼却（エネルギー回収なし）をエネルギー化技術へと転換していくことが求められる。脱炭素に向けた戦略検討において、系統電力のCO₂排出係数が低下していくことを想定した場合、化石燃料の直接消費に伴うCO₂排出の削減を優先する戦略が求められる。そこで本研究では14の大都市を対象とし、下水処理場において外部燃料最小化を目指すエネルギー化技術の導入シナリオを設計した。2015年度を基準年として、中期目標年である2030年度を評価対象年とする。評価の結果、エネルギー収支は2015年度の3,848 TJ/yearに対して2030年度には-1,511 TJ/year（139%削減）となること、温室効果ガス排出量は同様に617 kt-CO₂eq/yearに対して-109 kt-CO₂eq/year（118%削減）となることを示した。

Key Words : sewage sludge, energy conversion, digestion, primary energy balance, greenhouse gases

1. はじめに

温室効果ガス（GHG）の大幅な削減に向け、日本の地球温暖化対策を総合的かつ計画的に推進するための計画である「地球温暖化対策計画」が2016年5月13日に閣議決定された。同計画では中期目標（2030年度に2013年度比で26%削減）が定められ、各主体が取り組むべき対策を明らかにし、削減目標達成への道筋が具体化されている。その先の長期目標としては、2020年10月の第203回臨時国会での内閣総理大臣所信表明演説において、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、2050年カーボンニュートラルが打ち出されている。

下水道事業は大量のGHGを排出している事業であり、下水道事業においても積極的に地球温暖化対策に取り組むことが求められている。また、日本は資源・エネルギーの供給源を海外に依存しており、2018年における日本のエネルギー自給率11.8%は他のOECD諸国と比べると低水準である。そのため、資源・エネルギー安全保障の確立が不可欠であり、2014年4月に閣議決定された「第4次エネルギー基本計画」では「再生可能エネルギーについては、2013年から3年程度、導入を最大限加速していき、その後も積極的に推進していく」とされている。下水汚泥は下水処理場で年間を通して安定して発生する特徴を持つバイオマスであり、「バイオマス活用推進基本

計画」（2016年9月改訂版）において、下水汚泥についてもバイオガス化や固形燃料化等によるエネルギーとしての利用を推進することが掲げられている。

下水道部門におけるGHG排出のうち、電力の使用によるCO₂の排出が54%と最も多く（水処理：38%、汚泥処理：16%）、一方で汚泥処理分野では焼却等によるN₂Oの排出（24%）と燃料由来CO₂の排出（6%）が大きな割合を占めている¹⁾。電力の使用によるCO₂の排出削減については、主にポンプ動力分野（揚水・送水）ならびに水処理分野での課題として位置付けられる。ただし、将来的には電源構成の低炭素化により電力CO₂排出係数が低下することが期待でき、排出係数の低下がGHG排出の削減に寄与する可能性が高い。そのため、下水道部門でのGHG排出の削減を求めるには、汚泥処理分野での焼却等によるN₂Oの直接排出や燃料由来CO₂の排出の削減対策がメインとなる。排出削減に向け、エネルギー回収を伴わない脱水汚泥の高温焼却プロセスを、エネルギー化技術へと更新していく必要がある。ここで、脱水汚泥の焼却は大都市下水処理場を中心に行われていること、エネルギー化技術の導入には一定の脱水汚泥処理量の確保が求められることを踏まえ、本研究では大都市を対象とする。

下水汚泥エネルギー化技術は国土交通省²⁾で提示されており、脱水汚泥のエネルギー化に着目し、焼却・廃熱

発電と固形燃料化を対象とする。それらの技術を下水処理場に導入する場合、下水処理場における消化槽の設置特性、消化ガスの利用可能性を踏まえたシステム設計が求められ、本研究では焼却・廃熱発電と固形燃料化の技術選択にあたり、消化プロセスとの連動を踏まえた設計を行う。汚泥処理分野において燃料の直接消費をなくすことを最優先に考えると、焼却・廃熱発電システムでは消化を行わず直接脱水汚泥を焼却することにより、固形燃料化システムでは消化を併用してバイオガスを乾燥用燃料として活用することにより、燃料消費フリーなシステムへと転換することが可能となる。

本研究では、大都市下水処理場を対象とし、下水汚泥エネルギー化技術の導入シナリオ（外部燃料最小化シナリオ）を作成することを目的とする。多くの大都市下水処理場においては、 N_2O 排出削減を図るための高温焼却炉（850°C焼却対応）への移行が2005～2015年にかけて行われており、焼却炉の耐用年数（約15年）を踏まえると、2020～2030年に次期更新期を迎えることとなる。本研究では2015年度を基準年として、中期目標年である2030年度を評価対象年とする。また、下水道部門においても中期目標に対する到達可能性を評価することが求められるため、外部燃料最小化シナリオの導入による全国レベルでの下水道部門に対する貢献度を分析する。

2. 技術導入シナリオの設計

(1) 対象とする下水処理場と焼却・溶融炉の更新設定

本研究では14の大都市、札幌市、仙台市、さいたま市、千葉市、東京都区部、横浜市、川崎市、名古屋市、京都市、大阪市、神戸市、広島市、北九州市、福岡市を対象とした。東京都区部の下水汚泥発生量が多く、下水汚泥の処理は3つの区域で行われているため、東京都区部I, II, IIIに分けて検討する。これら大都市の下水汚泥処理フロー図を、下水道統計・2015年度実績値²⁾を参考に整理した。

本研究では、脱水汚泥の処理プロセスについて、エネルギー回収を伴わない焼却（大阪市のみ溶融）をエネルギー化技術へと転換する戦略を検討する。対象とするエネルギー化技術は、3つの焼却・廃熱発電システム（低圧蒸気・高温水からの発電方式、高圧蒸気からの発電方式、低圧蒸気からの発電方式+汚泥乾燥）、2つの固形燃料化システム（乾燥造粒、低温炭化）である。

各都市における脱水汚泥発生量を踏まえ、各処理場における焼却炉の更新判定を行った。判定アルゴリズムは以下に示す①～④に従う。

① 2015年度における汚泥処理設備及び運転状況、処理能力、炉数、各炉の導入年次²⁾を整理する。

- ② 2020年9月時点でエネルギー化技術の導入計画が策定済みである計画を整理する。
- ③ 焼却炉の耐用年数を12年（稼働率75%の条件）として、2020年度、2025年度、2030年度の時間断面での更新判定を行う（継続、新設、廃止より選択）。各処理場で5年ごとの時間断面で推計した脱水汚泥処理量を踏まえて炉の稼働率を求め、炉の使用期間が耐用年数を超えた場合に新設/廃止を選択する。新設時においては、2030年度時点で炉の稼働率が70%～80%の区間に近づけるように更新するエネルギー化技術の処理能力及び炉数を設定する。
- ④ 2030年度の時間断面を含め、更新されなかった焼却炉については、2010年度以前に設置された炉を対象に、2030年度より休止するとした。2010年度以降に設置された炉は、既にエネルギー化技術が導入されている設定とした。

(2) 外部燃料最小化シナリオの設計

更新時における下水汚泥エネルギー化技術の選択については、外部燃料最小化シナリオを作成した。

下水処理場が消化プロセスを保有する場合、汚泥中有機物の一部を分解して消化ガスを回収できる一方、脱水汚泥の固形物中有機分率が低下する。焼却・廃熱発電システムの導入にあたっては、消化ありの場合、二液調質脱水機が導入できない、補助燃料なしで脱水汚泥を焼却できないといった課題が生じる。一方で固形燃料化システムに対しては、消化ありの場合、乾燥用燃料に消化ガスを活用できるという利点がある。Wang and Nakakubo⁴⁾では、焼却・廃熱発電システムは消化と連動させない技術導入が、固形燃料化システムは消化と連動した技術導入が優位となることを明らかにした。技術導入戦略とした、消化を有しない下水処理場が焼却・廃熱発電システムを選択することは焼却における補助燃料消費をなくすことにつながり、消化を有する処理場が固形燃料化システムを選択することは乾燥用燃料の直接消費をなくすことができる。この導入戦略により、外部からの燃料供給に依存しないシステムの構築が可能となる。この方向性を具現化した外部燃料最小化シナリオを作成した。

外部燃料最小化シナリオの具体化にあたっては、消化槽の設置を踏まえた導入戦略が検討される。消化の有無、脱水汚泥処理を担う処理場での消化ガスの利用可能性を踏まえ、汚泥処理インフラ特性を8タイプに分類した。特性と導入計画の考え方を表-1に示す。基本的なコンセプトはタイプAとタイプBでの導入計画である。タイプA（消化槽保有のない場合）では二液調質型脱水機を導入して焼却・廃熱発電を行い、タイプB（消化槽を保有しており、消化ガスを脱水汚泥処理プロセスで使用可能な場合）では固形燃料化を導入する。

表-1 大都市下水処理場の特性と外部燃料最小化シナリオにおける導入計画

類別	大都市下水処理場の特性 ^a	導入計画
タイプA	(i)なし (ii)あり (iii)直接脱水汚泥 (iv)なし	二液調質型脱水機を導入し、二液調質脱水汚泥を焼却・廃熱発電する。
タイプB	(i)あり (ii)あり (iii)消化脱水汚泥 (iv)なし	消化脱水汚泥を固形燃料化する。消化ガスは固形燃料化プロセスにおける乾燥用燃料として利用する。
タイプC	(i)あり (ii)なし (iii)消化脱水汚泥 (iv)なし	脱水汚泥変換プロセスを導入せず、消化ガスはガスエンジンでの発電に利用する。ただし、タイプE/Gの他処理場から処理機能を統合する場合、エネルギー化技術を導入して消化ガスを燃料使用する。
タイプD	(i)あり (ii)なし (iii)消化汚泥 (iv)なし	脱水機と脱水汚泥変換プロセスを導入せず、消化ガスはガスエンジンで発電に利用する。ただし、タイプE/Gの他処理場から処理機能を統合する場合、脱水機とエネルギー化技術を導入して消化ガスを燃料使用する。
タイプE	(i)なし (ii)あり (iii)消化脱水汚泥 (iv)なし	下水処理場を閉鎖し、処理機能をタイプCまたはDの処理場に統合する。タイプCまたはDの処理場において消化ガスのみで乾燥用燃料が賅える場合、固形燃料化を導入する。賅えずに燃料が不足する場合、乾燥機付き焼却・廃熱発電を導入する。
タイプF	(i)なし (ii)なし (iii)直接脱水汚泥 (iv)あり	セメントキルンでの脱水汚泥の焼却を停止する。二液調質型脱水機を導入し、二液調質脱水汚泥を焼却・廃熱発電する。
タイプG	(i)あり (ii)なし (iii)消化脱水汚泥 (iv)あり	セメントキルンでの脱水汚泥の焼却を停止する。下水処理場を閉鎖し、処理機能をタイプCまたはDの処理場に統合する。タイプCまたはDの処理場の消化ガスのみで乾燥用燃料が賅える場合、固形燃料化を導入する。賅えずに燃料が不足する場合、乾燥機付き焼却・廃熱発電を導入する。
タイプH	(i)あり (ii)あり (iii)直接脱水汚泥と消化脱水汚泥 (iv)あり	セメントキルンでの脱水汚泥の焼却を停止する。消化脱水汚泥に対しては乾燥造粒を導入する。直接脱水汚泥に対しては二液調質型脱水機を導入し、二液調質脱水汚泥を焼却・廃熱発電する。

^a(i)消化槽の保有状況：あり/なし
(ii)脱水汚泥変換プロセス（高温焼却、熔融など）の保有状況：あり/なし
(iii)処理汚泥の種類：直接脱水汚泥/消化脱水汚泥/消化汚泥
(iv)脱水汚泥の処理委託としてのセメントキルン焼却：あり/なし

消化槽を保有しているにも関わらず、消化ガスを脱水処理プロセスにおいて使用できない処理場が3都市（東京都区部Ⅰ、大阪市、神戸市）において存在する。燃料の直接消費の最小化に向け、東京都区部Ⅰでは、南部スラッジプラント（タイプE）を閉鎖し、処理機能を森ヶ崎水再生センター（タイプD）に移転する。森ヶ崎水再生センターで確保できる消化ガス量は乾燥用燃料を代替でき、石炭火力発電所への委託を想定して低温炭化を導入する。大阪市では、平野下水処理場（タイプE）の汚泥処理機能を放出下水処理場に、舞洲スラッジセンター（タイプE）の機能を大野下水処理場（タイプD）に移転する。放出下水処理場（タイプD）の消化ガス量は乾燥用熱源に代替でき、低温炭化を導入する。大野下水処理場で確保できる消化ガス量では乾燥用熱源が不足するため、乾燥機付き焼却システムを導入する。神戸市では、トラック輸送された脱水汚泥の処理を担う東部スラッジセンター（タイプE）の機能を東灘処理場（タイプC）に移転し、乾燥機付き焼却システムを導入する。

タイプHに該当する、直接脱水汚泥と消化脱水汚泥を同時に処理している北九州市の日明浄化センターでは、セメント工場における石炭消費の最小化を目指すこととし、消化脱水汚泥に対しては乾燥造粒、直接脱水汚泥に対しては焼却・廃熱発電が導入されるとした。

外部燃料最小化シナリオにおいて設定した脱水汚泥に対するエネルギー化技術の導入結果を表-2に示す。

表-2 各都市でのエネルギー化技術の導入結果

都市名	脱水汚泥エネルギー化技術の導入
札幌市	焼却・廃熱発電-B (400)
仙台市	焼却・廃熱発電-B (245), 乾燥造粒 (150)
さいたま市	焼却・廃熱発電-B (400)
千葉市	焼却・廃熱発電-B (400), 乾燥造粒 (150)
東京都区部Ⅰ	低温炭化 (800)
東京都区部Ⅱ	焼却・廃熱発電-B (1050)
東京都区部Ⅲ	焼却・廃熱発電-B (700)
横浜市	低温炭化 (700)
川崎市	焼却・廃熱発電-B (450)
名古屋市	焼却・廃熱発電-B (825)
京都市	低温炭化 (350)
大阪市	低温炭化 (250), 焼却・廃熱発電-C (450)
神戸市	焼却・廃熱発電-C (350)
広島市	焼却・廃熱発電-A (50), 低温炭化 (125)
北九州市	焼却・廃熱発電-A (165), 乾燥造粒 (80)
福岡市	焼却・廃熱発電-C (125), 乾燥造粒 (125)

()内は処理能力の値。単位：t/day

A: 低圧蒸気・高温水からの発電方式, B: 高圧蒸気からの発電方式, C: 低圧蒸気からの発電方式+汚泥乾燥

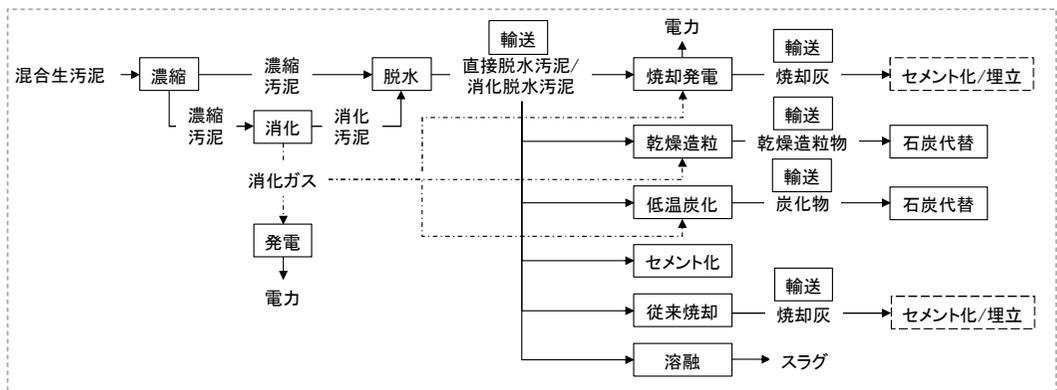


図-1 評価バウンダリー

3. 物質・エネルギー収支解析

(1) 対象とするシステム

評価バウンダリーを図-1に示す。対象とする脱水汚泥の処理技術は、従来型の高湿焼却（廃熱発電なし）、熔融、セメントキルンでの焼却、エネルギー化技術に分類される焼却・廃熱発電、乾燥造粒、低温炭化である。消化槽を保有する処理場において、エネルギー化技術導入前の消化ガスの利用方式はガスエンジンでの発電とする。エネルギー化技術導入後は、消化ガスの利用方法として、ガスエンジンでの発電、乾燥用燃料、焼却の補助燃料のいずれかが選択され、化石燃料の直接消費をなくす選択が優先される。固形燃料化により産出される乾燥造粒物、炭化物については、石炭の代替利用を想定した。乾燥造粒物はセメント工場で、炭化物は石炭火力発電所で使用されるとした。

(2) 下水汚泥収支の解析と処理能力の設定

各都市での下水汚泥の処理量は、人口予測データ³⁾より2015年度から2030年度において推計した下水道人口を踏まえて設定した。

汚泥の輸送について、生混合汚泥ならびに消化汚泥等の送泥管路での輸送は解析対象外とした。脱水汚泥、焼却灰、固形燃料のトラックでの輸送を対象とする。最終処分先または固形燃料の受入先への輸送距離はGoogleマップを用いて距離データを取得した。

(3) エネルギー収支の解析とGHG排出量の勘定

エネルギー収支の解析にあたって、各処理場での固形物中有機物率ならびに消化槽での有機物分解率は下水道統計³⁾を参考し実績値を用いる。エネルギー化技術の導入に伴う熱収支の解析と燃料消費量の推計は、Wang and Nakakubo⁴⁾で開発した熱収支解析モデルを用いて行った。電力、燃料のCO₂排出係数ならびに脱水汚泥処理プロセ

スでのCH₄、N₂O排出係数を付録表-1にまとめた。メタンガスならびに一酸化二窒素の地球温暖化係数はそれぞれ25 t-CO₂eq/t-CH₄、298 t-CO₂eq/t-N₂Oとした。

(4) 全国下水道部門を対象としたGHG排出量の推計

大都市下水処理場を対象としたエネルギー化技術の導入が、下水道部門におけるGHG排出削減の中期目標に対する到達可能性にどの程度貢献するかを分析するため、下水道統計³⁾を活用して全国レベルでの下水道部門・全体（ポンプ動力分野、水処理分野、汚泥処理分野、その他）におけるGHG排出量（2015年度値）を推計した。

系統電力の2030年度におけるCO₂排出係数について、環境省⁶⁾は国全体の排出係数の目標値として0.370 kg-CO₂/kWh（使用端）を掲げている。本研究ではGHG排出削減効果の寄与度分析において、2030年度の電力CO₂排出係数（目標値）を当てはめるケースも対象とした。

4. 評価結果

(1) 汚泥処理分野でのシナリオ解析結果

エネルギー収支の解析結果を図-2に示す（電力は受電端熱効率を36.9%として一次エネルギー換算）。外部燃料最小化シナリオに基づく技術導入により、下水処理場での化石燃料の直接消費を2030年度には完全になくすことにつながり、2015年度の収支3,848 TJ/yearに対し、2030年度における収支が-1,511 TJ/yearとなり、139%の削減に到達した。

GHG排出量の解析結果を図-3に示す。2015年度の排出量617 kt-CO₂eq/yearに対し、2030年には-109 kt-CO₂eq/yearまで低下し、118%の削減効果が得られた。

(2) GHG削減目標（中期目標）に対する貢献度

全国レベルでの下水道部門・汚泥処理分野における

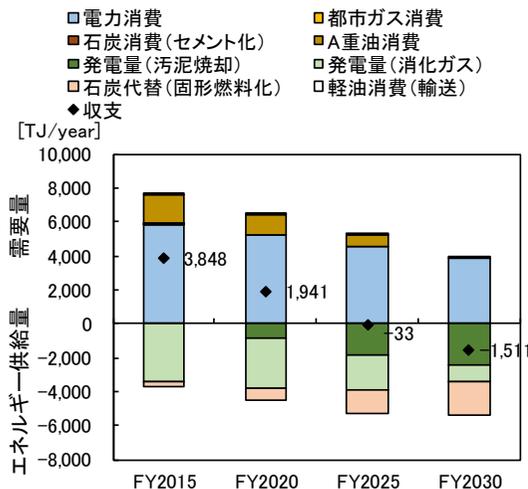


図2 一次エネルギー消費量による評価結果

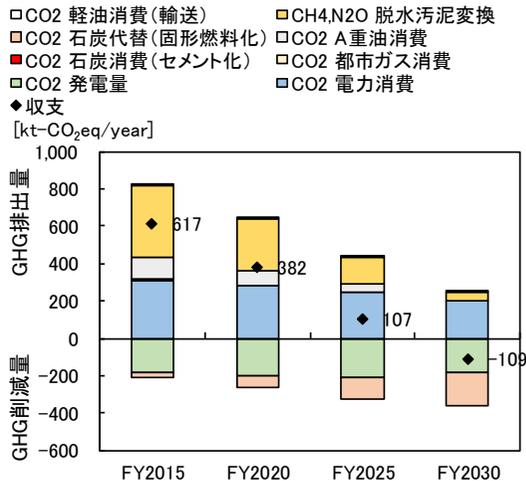
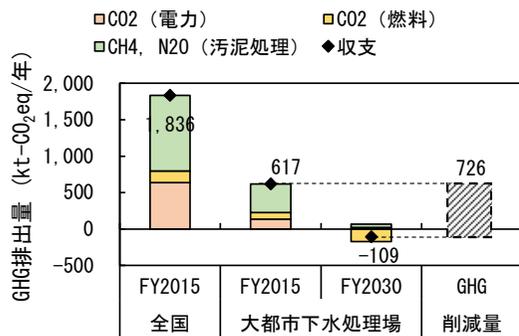


図3 GHG排出量による評価結果

GHG 排出量の推計結果を踏まえ、大都市下水処理場での下水汚泥エネルギー化技術の導入による貢献度を分析した結果を図-4に示す。大都市に着実にエネルギー化技術を実装することにより 726 kt-CO₂eq/年の削減効果が得られ、汚泥処理分野に限定すると、2015 年度比で 2030 年度に 40%の削減が可能となる試算結果が得られた。汚泥処理分野に限定して GHG 削減を検討した場合、系統電力の CO₂ 排出係数の低下を考慮せずとも中期目標 (26%削減) を十分に達成できることを示した。

下水道部門における電力消費については、系統電力の CO₂ 排出係数の低下により、自動的に GHG 排出削減が進むことが予想できる。電力の低炭素化を反映させた分析結果を図-5に示す。電力の低炭素化のみを反映する場合、全国下水道部門・全体で 2030 年度に 19%の削減 (2015年度比) が可能である。さらに、大都市下水処理場での外部燃料最小化シナリオの効果 (燃料の直接消費ゼロ) と合わせ、2030年度に 34%の削減 (2015年度比) が達成できる。

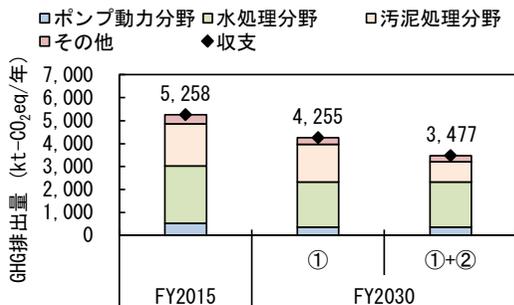


バウンダリー：汚泥処理分野
電力の CO₂ 排出係数：2015 年度実績値

図4 全国汚泥処理分野での GHG 排出削減効果分析

5. 結論

- ① 外部燃料最小化シナリオの導入により、2030 年度を目標年度として大都市下水処理場における化石燃料の直接消費をなくし、外部燃料に依存しない汚泥資源化システムを形成できることを示した。その環境性能として、2015 年度比で 2030 年度にエネルギー収支を 139%、GHG 排出量を 118%、それぞれ削減できることが明らかになった。
- ② 汚泥処理分野に限定して GHG 削減に対する外部燃料最小化シナリオの貢献度を分析した結果、2015 年度比で 2030 年度に 40%の削減が可能であることを示した。加えて、系統電力の CO₂ 排出係数の低下を考慮すると、全国下水道部門・全体で 2030 年度に 34%の削減 (2015 年度比) が達成できることを示した。



- ①：電力 CO₂ 排出係数の低下を反映；
- ②：外部燃料最小化シナリオの導入を反映

バウンダリー：下水道部門・全体
電力の CO₂ 排出係数：2030 年度目標値を適用

図5 全国下水道部門での GHG 排出削減効果分析

付録表-1 電力、燃料のCO₂排出係数ならびに汚泥処理由来のCH₄、N₂O排出係数

項目		GHG排出係数				引用
		CH ₄ 排出係数		N ₂ O排出係数		
焼却	850°C	0.0097	kg-CH ₄ /t-wet	0.645	kg-N ₂ O/t-wet	国交省 ⁷⁾
	900°C	0.0097	kg-CH ₄ /t-wet	0.100	kg-N ₂ O/t-wet	
固形燃料化	造粒乾燥	0	kg-CH ₄ /t-wet	0.0000	kg-N ₂ O/t-wet	
	汚泥炭化	0	kg-CH ₄ /t-wet	0.0312	kg-N ₂ O/t-wet	
セメント原料化	1000°Cで焼却	0.0097	kg-CH ₄ /t-wet	0.0095	kg-N ₂ O/t-wet	
		CO ₂ 排出係数				
都市ガス		49.9		kg-CO ₂ /GJ		環境省 ⁸⁾
A重油		69.2		kg-CO ₂ /GJ		
一般炭		90.6		kg-CO ₂ /GJ		
軽油		68.6		kg-CO ₂ /GJ		
電力 (2015年度実績値)	北海道電力	0.669		kg-CO ₂ /kWh		環境省 ⁹⁾
	東北電力	0.556		kg-CO ₂ /kWh		
	関東電力	0.500		kg-CO ₂ /kWh		
	中部電力	0.486		kg-CO ₂ /kWh		
	関西電力	0.509		kg-CO ₂ /kWh		
	中国電力	0.697		kg-CO ₂ /kWh		
九州電力		0.509		kg-CO ₂ /kWh		
2030年度全国電力(使用端)目標値		0.370		kg-CO ₂ /kWh		環境省 ⁶⁾

参考文献

- 国土交通省：下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン—平成29年度版一，2018.
- 日本下水道協会：平成27年度版下水道統計，2017.
- 公営ジャーナル，下水処理場ガイド，2016.
- Wang, K. and Nakakubo, T.: Strategy for introducing sewage sludge energy utilization systems at sewage treatment plants in large cities in Japan: A comparative assessment, Journal of Cleaner Production, Vol.316, Article.128282, 2021.
- 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）.
- 環境省：電気事業における低炭素社会実行計画.
- 国土交通省：下水道における地球温暖化防止推進計画策定の手引き—改訂版一，2015.
- 環境省：温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル，2015.
- 環境省：電気事業者別のCO₂排出係数（2015年度実績），2016.

(Received August 23 2021)

DESIGN OF ENERGY CONVERSION TECHNOLOGY INTRODUCTION SCENARIO IN LARGE CITIES'S SEWAGE TREATMENT PLANTS: FOCUSING ON ZERO FUEL CONSUMPTION

Kehua WANG and Toyohiko NAKAKUBO

The sewage sludge recycling strategy in Japan is shifting to focus on energy utilization. This strategy requires that facilities switch from incinerating (with no energy recovery) dewatered sludge, which is the current treatment in many large cities sewage treatment plants, to using energy conversion technologies. In strategic studies for decarbonization, it is possible to consider that the CO₂ emission factor of grid power will decrease, and it is necessary to prioritize the reduction of CO₂ emissions associated with the direct consumption of fossil fuels. Therefore, in this study, we designed an introduction scenario of energy conversion technology aiming at minimizing external fuel in sewage treatment plants, targeting 14 large cities. We designed a technology introduction roadmap for 2030, with 2015 as the base year. As results, the energy balance was -1,511 TJ/year (a 139% reduction) compared to the base value of 3,848 TJ/year in FY2015. In addition, greenhouse gas emissions were -109 kt-CO₂eq/year (a 118% reduction) compared to the base value of 617 kt-CO₂eq/year in FY2015.