

第2章 下水道事業における温室効果ガス排出に関わる現状と課題

本章では、我が国の温室効果ガス削減の中長期目標及び下水道分野における現状と取組並びに課題について示す。

(1) 我が国の温室効果ガス削減の中長期目標

我が国では、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脱炭素社会（カーボンニュートラル）の実現を目指すべく、図2-1に示すような中長期の目標を設定している。

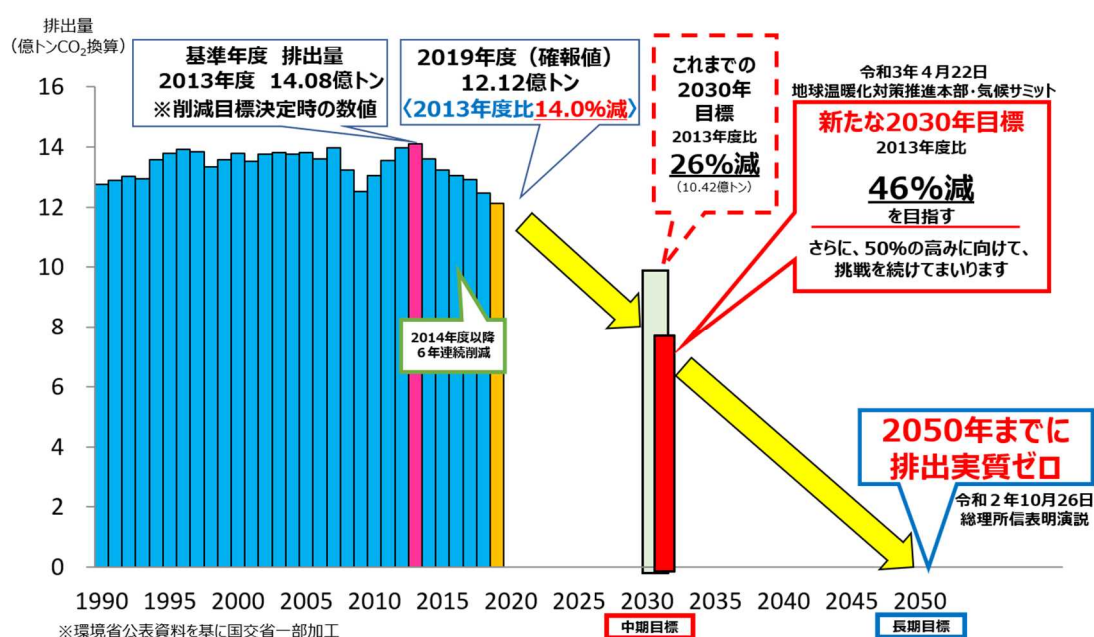


図2-1 我が国の温室効果ガス削減の中長期目標¹⁾

(2) 下水道分野の温室効果ガス排出削減とポテンシャル活用

2018（平成30）年度の下水道分野における温室効果ガス排出量は約600万t-CO₂¹⁾であり、日本全体の排出量約12.4億t-CO₂の0.5%に相当する。実行計画を策定する地方公共団体の事務事業活動に占める割合は比較的高く、例えば、東京都下水道局では35%との報告²⁾がある。図2-2に下水道からの温室効果ガス発生量を示す。

水処理、汚泥処理における電力や燃料の使用に伴う間接的な排出が過半を占め、他に下水汚泥の焼却工程で排出されるN₂O、水処理工程で排出されるCH₄、N₂Oがある。

一方で、下水道では、汚泥処理の消化過程で発生する消化ガス（バイオガス）等、資源として活用可能な創エネルギー（以下「創エネ」という。）ポテンシャルも有している。更に、敷地や施設上部を活用した太陽光パネル、下水熱の利用などの再生可能エネルギー（以下「再エネ」という。）ポテンシャルの余地もある。図2-3に下水道分野における創エネ/再エ

ネの取組状況を示す。

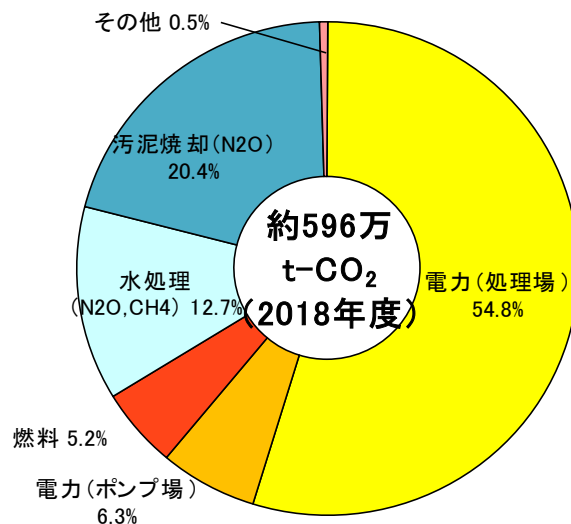


図 2-2 下水道からの温室効果ガスの発生量¹⁾

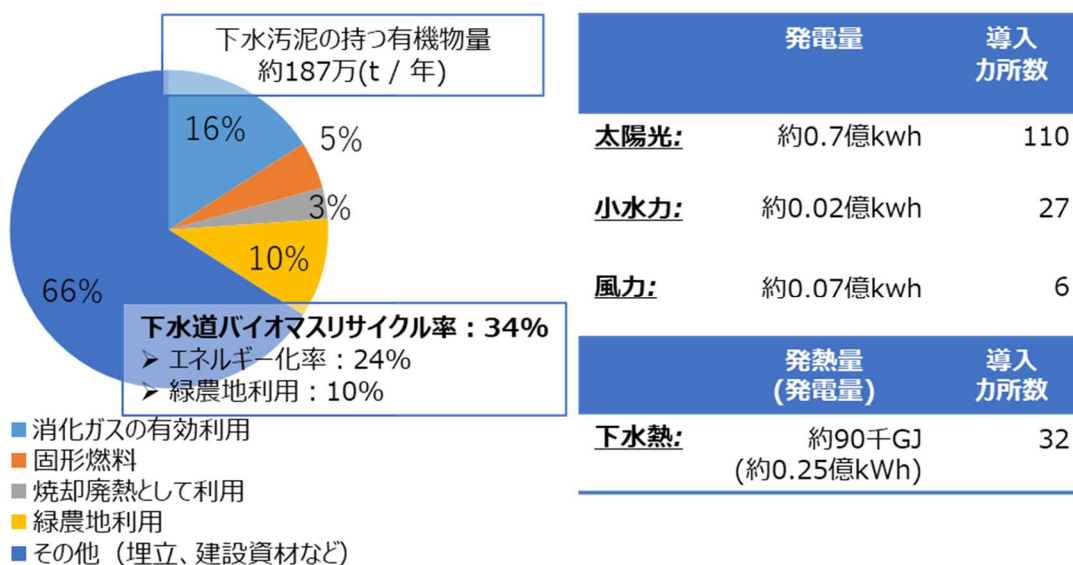


図 2-3 令和元年度の下水道分野における創エネ/再エネの取組¹⁾

(3) 下水道分野の温室効果ガス排出量の推移

図 2-4 に下水道における温室効果ガス排出量の 1990 (平成 2) 年度から 2018 (平成 30) 年度までの推移を示す。一時増加し、その後は減少に転じているが、2018 年度は 1990 年度よりも多く排出されていたという結果になっている。処理水量はその間、増加傾向にある。

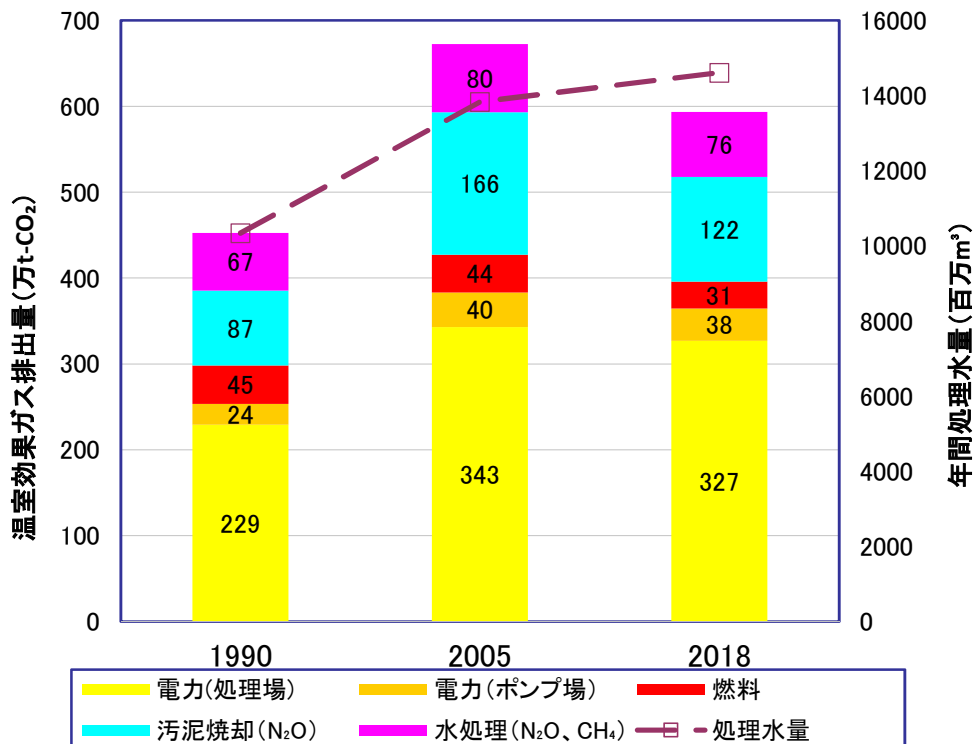


図 2-4 下水道における温室効果ガス排出量の推移³⁾

(4) 下水道分野のエネルギー消費量の推移

図 2-5 に下水処理水量の推移、図 2-6 に下水処理場の電力使用量の推移を示す。下水処理場内の電力使用量は、処理水量の増加に伴い増加しており、処理水量当たりの電力使用量は、横這いから増加傾向にある。処理水量のうち、消費電力量の大きい高度処理水が増加傾向にある。

図 2-7 に下水道における燃料使用量の推移、図 2-8 にはその内のガス系の燃料使用量の推移を示す。下水道における燃料使用量は横這い傾向にある。燃料使用の内訳については、重油等の石油系燃料使用量が減少しており、ガス系の燃料の使用量は増加している。また、ガス系燃料の使用量のうち、消化ガスの利用量が増加している。

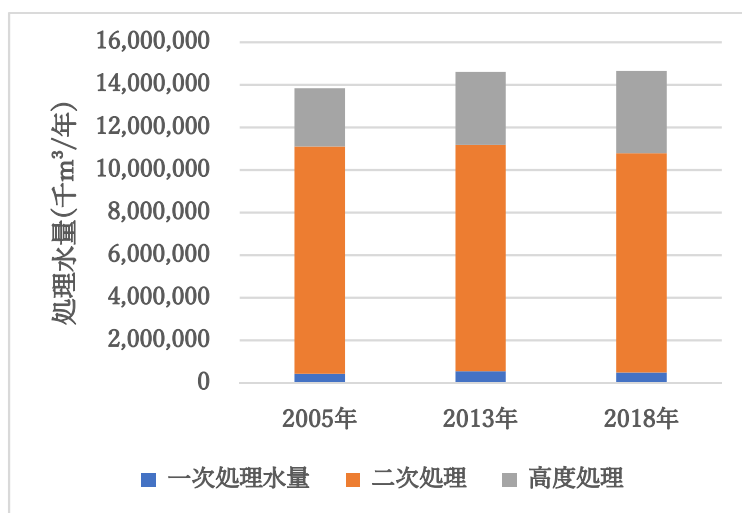


図 2-5 下水処理水量の推移⁴⁾

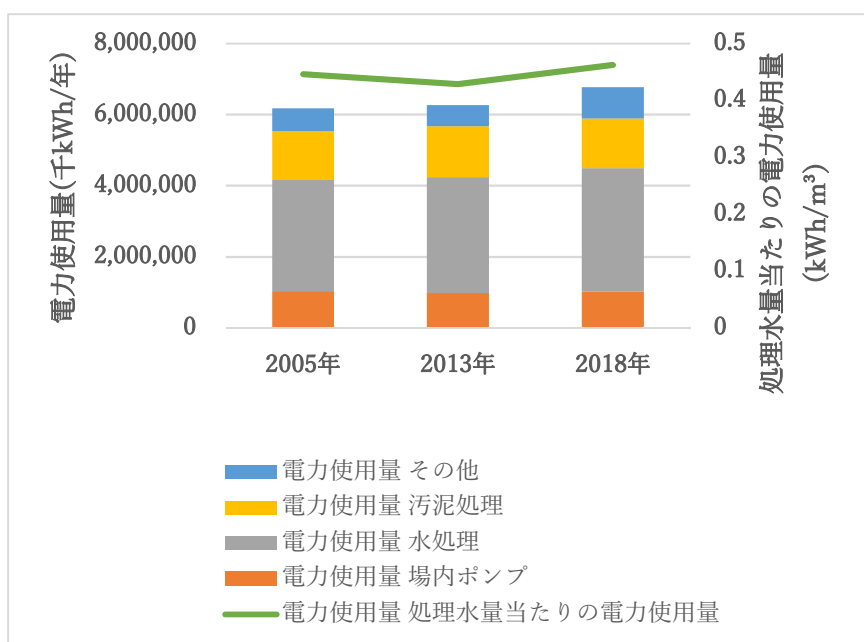


図 2-6 下水処理場の電力使用量の推移⁴⁾

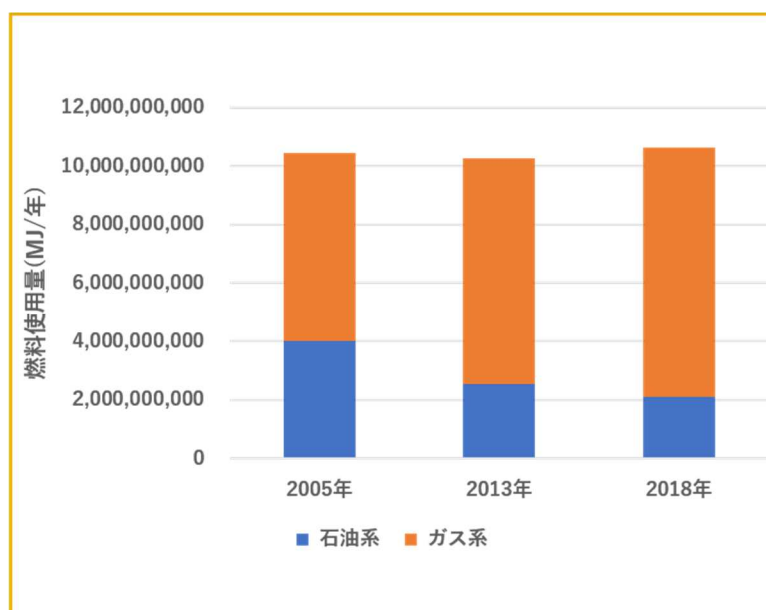


図 2-7 下水道における燃料使用量の推移⁴⁾

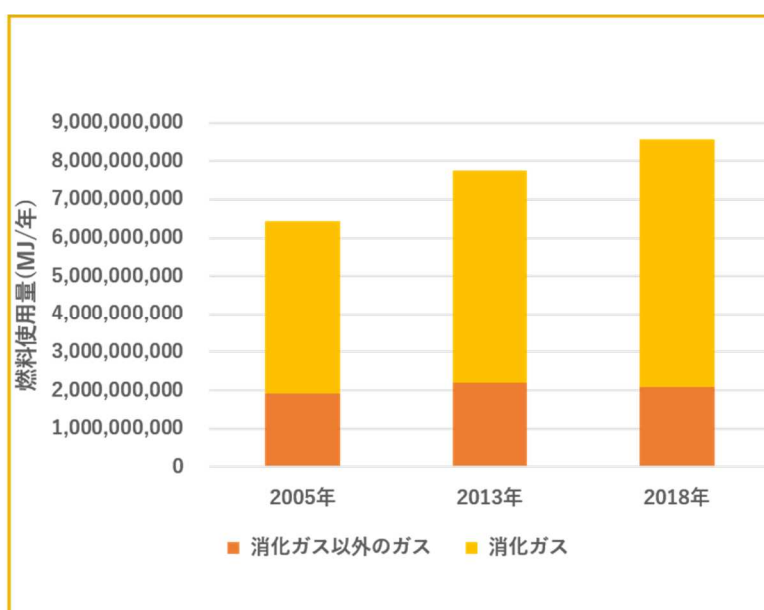


図 2-8 下水道におけるガス系の燃料使用量の推移⁴⁾

(5) 下水処理場の規模別の温室効果ガス排出量

図 2-9 に下水処理場の処理規模別の CO₂ 排出量を示す。処理水量 5 万 m³/日以上 of 下水処理場からの排出量が 5 割以上を占めている。また、1 万 m³/日未満の排出量も 2 割強を占めている。

図 2-10 にオキシデーションディッチ法 (OD 法)、標準活性汚泥法、嫌気無酸素好気法 (A₂O 法) について、処理規模別にエネルギー消費量原単位を示す。高度処理法の A₂O

法のエネルギー消費量原単位が大きくなっている。また、小規模処理場で多く採用されている OD 法では、処理規模が 1,000m³/日程度の場合、標準活性汚泥法とほぼ変わらない値となっている。

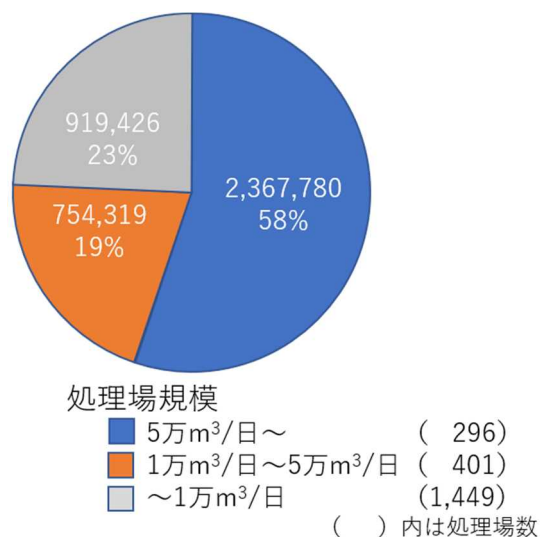


図 2-9 下水処理場の規模別の CO₂ 排出量(円グラフ内の数字の単位:t-CO₂/年)⁴⁾
(平成 30 年度版 下水道統計に基づきエネルギー由来の CO₂ を試算)

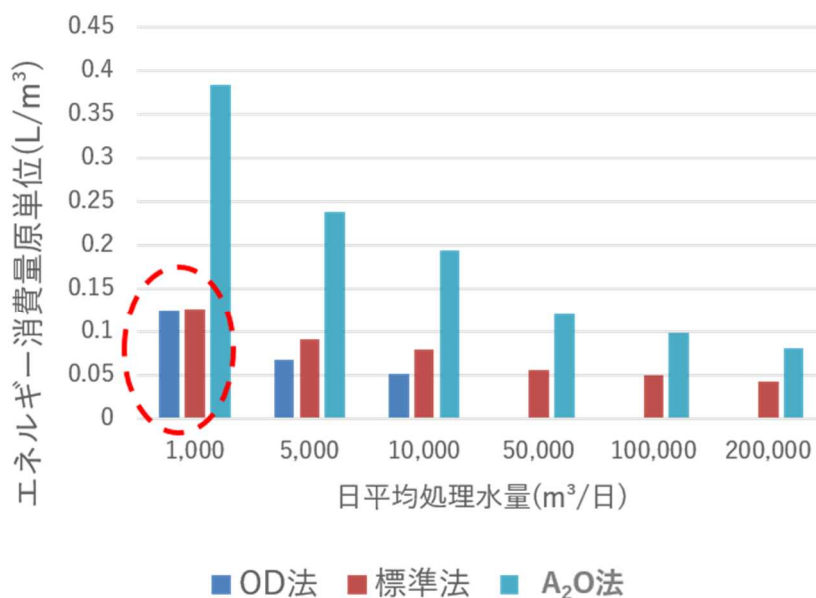


図 2-10 処理方式、処理規模別エネルギー消費量原単位⁵⁾

(6) 効率的・効果的な省エネ対策

図 2-11 に日平均流入水量 4 万 m³/日規模、焼却設備が場内には無い下水処理場における設備別の消費エネルギーの割合を事例として示している。送風機の割合が 3 割程度を占め、最も多い。

また、表 2-1 に日平均汚水量約 2 万 m³/日の実際の下水処理場の現場において、省エネを検討した際の対策項目別の削減量、図 2-12 には、対策項目別の割合（寄与率）の事例を示す。散気装置の高効率化や水中攪拌機の省エネ化などの省エネ機器の導入が約 53%の寄与率、流入負荷変動に合わせて送風機の号機を切替える運転方法の改善が約 47%の寄与率となった。

図 2-13 に当初の状態から運転方法を改善したことによる消費エネルギーの削減効果（約 14%削減）、運転方法を改善した状態を基準として、さらに省エネ機器を導入したことによる消費エネルギーの削減効果（約 18%削減）の事例を示す。

図 2-14 は、「令和 3 年度に国土交通省水管理・国土保全局下水道部において実施した省エネに関するアンケート結果」より、下水処理場の処理規模別に反応タンクのシステムとしての省エネ対策の実施状況を抜粋したものである。反応タンクのシステムとしての省エネ対策とは、散気装置の高効率機器導入という部分最適ではなく、例えば、DO 制御等システムの導入、送風機の消費電力分析と運転改善の実施、送風機の台数・風量・回転数制御システムの導入、高効率プロアの導入等、反応タンクに関連する設備の導入や運転の工夫を単独ではなく、システムとして捉えて取組を実施していることを指す。反応タンクのシステム全体としての省エネ対策を実施していない処理場の割合が大きく、また、大規模処理場と比較して、小規模処理場で対策が進んでいないと見ることができる。図 2-15 には反応タンクにおいて、システム全体で省エネ対策を導入する場合のイメージ図を示す。

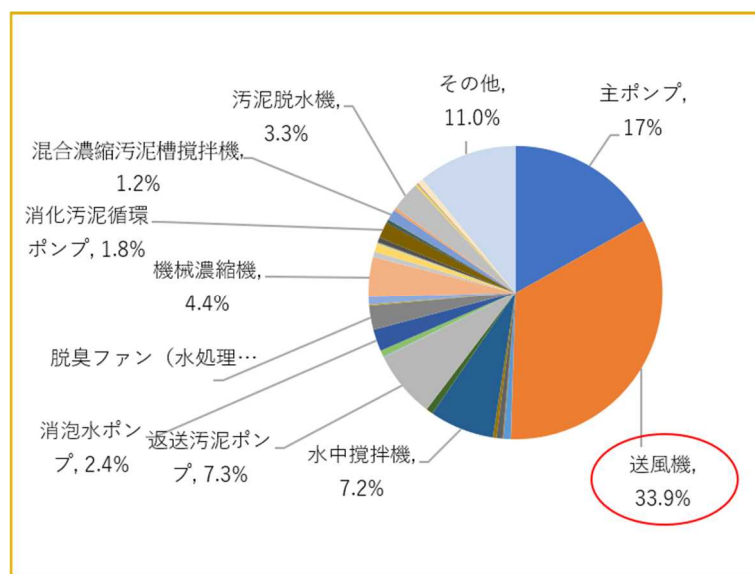


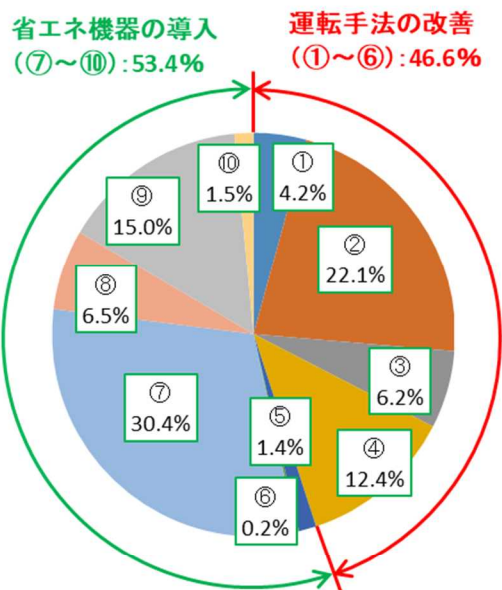
図 2-11 下水処理場の設備別の消費エネルギーの割合⁶⁾

(日平均流入水量 4 万 m³/日規模、焼却設備が場内には無い処理場の事例)

表 2-1 下水処理場における省エネ対策と削減電力量⁶⁾

(日平均流入水量 2 万 m³/日規模、焼却設備が場内には無い処理場の事例)

| 区分 | 設備 | 省エネ対策 | 削減電力量 (千 kWh/年) |
|----------|-------|---|--------------------|
| 運転方法の改善 | 汚水ポンプ | ① 主ポンプの運転号機の見直し | 62.7 |
| | 送風機 | ② 前曝気風量半減による一台運転時間の長期化及び流入負荷変動に合わせた号機切替時期の適正化 | 22.1 |
| | 水処理 | ③ 反応タンク嫌気槽の水中攪拌機の間欠運転 | 91.9 |
| | | ④ 返送汚泥ポンプの異径プーリへの交換 | 184.0 |
| | 汚泥処理 | ⑤ 機械濃縮汚泥貯留槽攪拌機の間欠運転 | 20.8 |
| | | ⑥ 混合汚泥貯留槽の腐敗防止ブロアの冬季停止 | 3.1 |
| 小計 | | | 689.8 |
| 省エネ機器の導入 | 送風機 | ⑦ 散気装置を高効率散気装置へ更新 | 449.8 |
| | | ⑧ 送風機を更新 | 96.0 |
| | 水処理 | ⑨ 水中攪拌機（嫌気槽）を省エネ型反応タンク攪拌機に更新 | 222.2 |
| | | ⑩ 返送汚泥ポンプの電動機低出力化とインバータの導入 | 22.5 |
| | 小計 | | |
| 合計 | | | 1,480.3 |



グラフ中の番号は下記の設備の省エネ対策

| 設備 | 省エネ対策 |
|-------|--|
| 汚水ポンプ | ①主ポンプの運転号機の見直し |
| 送風機 | ②前曝気風量半減による1台運転時間の長期化及び流入負荷変動に合わせた号機切替時期の適正化 |
| 水処理 | ③反応タンク嫌気槽の水中攪拌機の間欠運転 |
| | ④返送汚泥ポンプの異径プーリへの変換 |
| 汚泥処理 | ⑤機械濃縮汚泥貯留槽攪拌機の間欠運転 |
| | ⑥混合汚泥貯留槽の腐敗防止フロアの冬季停止 |
| 送風機 | ⑦散気装置を高効率散気装置へ更新 |
| | ⑧送風機を更新 |
| 水処理 | ⑨水中攪拌機（嫌気槽）を省エネ型反応タンク攪拌機に変更 |
| | ⑩返送汚泥ポンプの電動機低出力化とインバータの導入 |

図 2-12 下水処理場における省エネ対策項目別の寄与率の割合⁶⁾
 (日平均流入水量 2 万 m³/日規模、焼却設備が場内に無い処理場の事例)

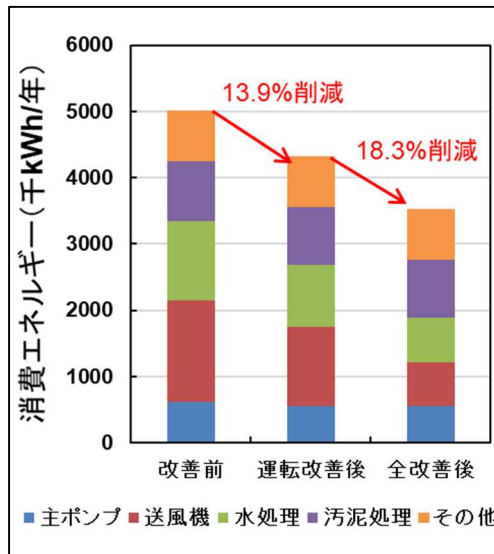


図 2-13 下水処理場における省エネ対策による消費エネルギー削減効果の事例⁶⁾
 (日平均流入水量 2 万 m³/日規模、焼却設備が場内には無い処理場の事例)

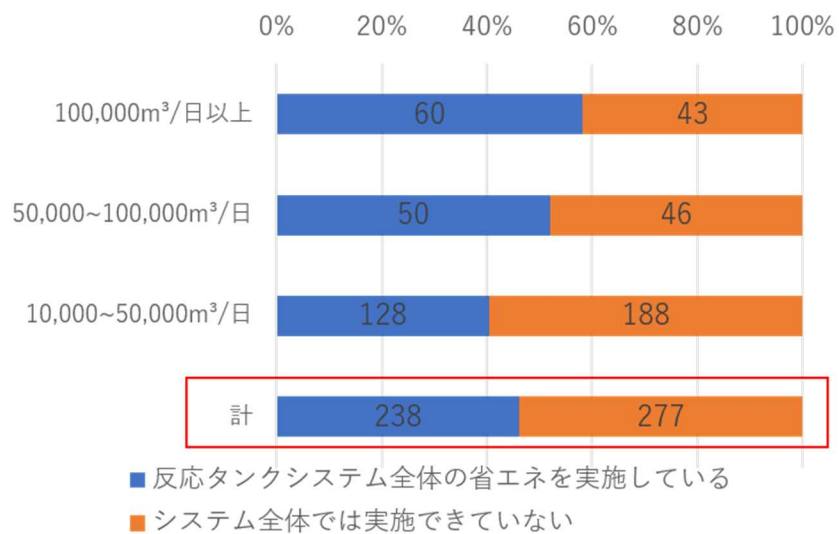


図 2-14 下水処理場の処理規模別の反応タンクのシステムとしての省エネ対策^{※1}実施状況

※1：「反応タンクのシステムとしての省エネ対策」とは、散気装置の高効率機器導入という部分最適ではなく、例えば、DO 制御等システムの導入、送風機の消費電力分析と運転改善の実施、送風機の台数・風量・回転数制御システムの導入、高効率ブローアの導入等、反応タンクに関連する設備の導入や運転の工夫を単独ではなく、システムとして捉えて取組を実施していること

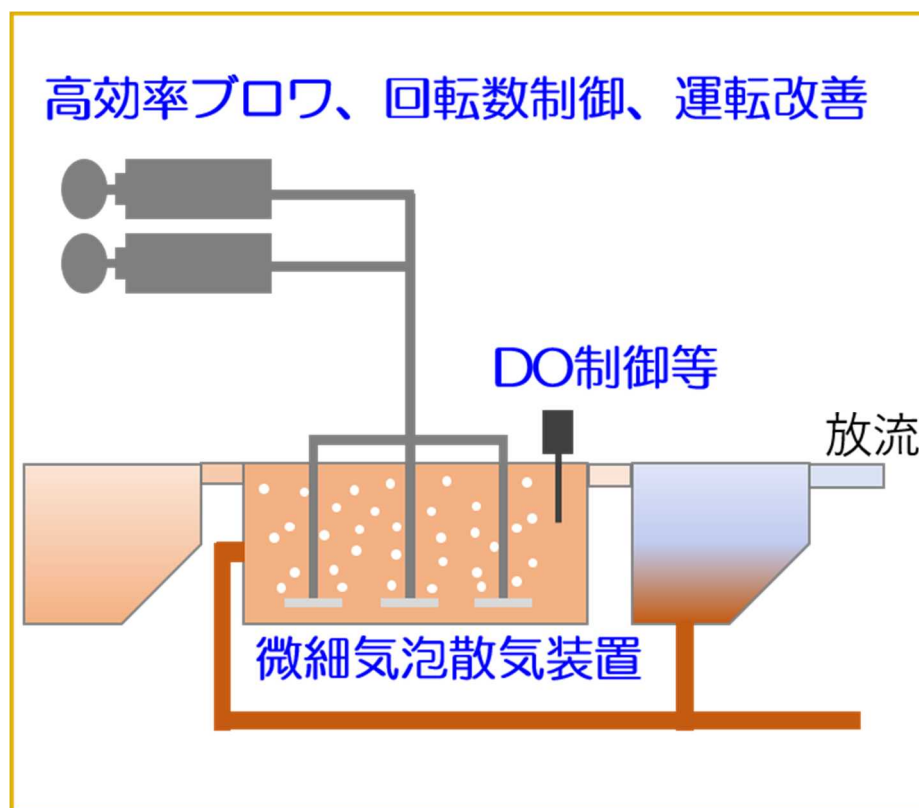


図 2-15 反応タンクシステム全体で省エネ対策を導入した場合のイメージ

(7) 創エネの状況

図 2-16 に下水汚泥発生重量に対する創エネ等の割合を示す。下水汚泥中の有機物をバイオガス発電や固形燃料等、化石燃料代替のエネルギー源として利用された割合を示す下水汚泥エネルギー化率は 24%（令和元年度）に止まっている。また、消化工程を導入している処理場において、全体で 3.77 億 m³/年の消化ガスが発生している。このうち、消化ガス発電、消化槽の加温等に有効利用がなされていない未利用バイオガスは、約 5,300 万 m³/年あり、消化ガス発生量の約 14%に相当する⁷⁾。

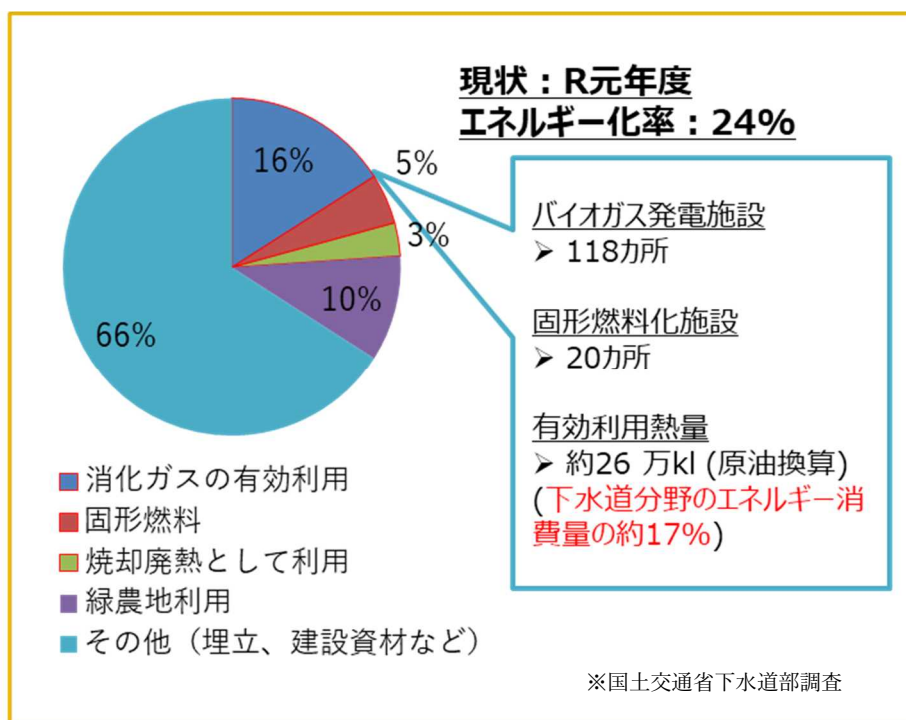


図 2-16 下水汚泥発生重量に対する創エネ等の割合¹⁾

(8) 再エネの状況

下水道施設では、太陽光発電、小水力発電、風力発電及び下水熱利用等の再エネを活用することで、温室効果ガスを削減するポテンシャルを有している。

仮に全下水処理場において、水処理施設の上部空間（未利用部分）に太陽光発電を導入した場合^{※1)}には、約 2.5 億 kWh（下水道分野の電力消費量の約 3.3%）、処理水の放流時の落差を活用することが可能な下水処理場に小水力発電を導入した場合^{※2)}には、約 0.05 億 kWh（下水道分野の電力消費量の約 0.07%）、下水の有する総熱量をすべて活用した場合^{※1)}には約 20,000 千 GJ（発電量に換算すると約 55 億 kWh）（約 90 万世帯の熱利用量に相当）の電力等を得ることができるという試算がある¹⁾。

※1：物理的、技術的に設置可能な箇所から算出してのものであり、採算性は考慮していない。

※2：調書によるポテンシャル調査より作成。

これらに対し、実績としては、太陽光発電を実施している下水処理場は 110 箇所（発電量約 0.7 億 kWh）、小水力発電を実施している下水処理場は 27 箇所（発電量約 0.02 億 kWh）、下水熱が導入されている箇所は 32 箇所（発電量約 90 千 GJ（発電量に換算すると約 0.25 億 kWh）、風力発電を 6 箇所（発電量約 0.07 億 kWh）となっている。

(9) 下水汚泥焼却に伴う N₂O 排出状況

図 2-17 に下水汚泥焼却に伴う N₂O の排出量と N₂O の発生が抑制される 850℃以上の高温焼却の実施率の推移を示す。高温焼却の実施や排出係数の低い新型炉への更新等によ

り、下水汚泥の焼却に伴って発生する N₂O の排出量は減少傾向にある。

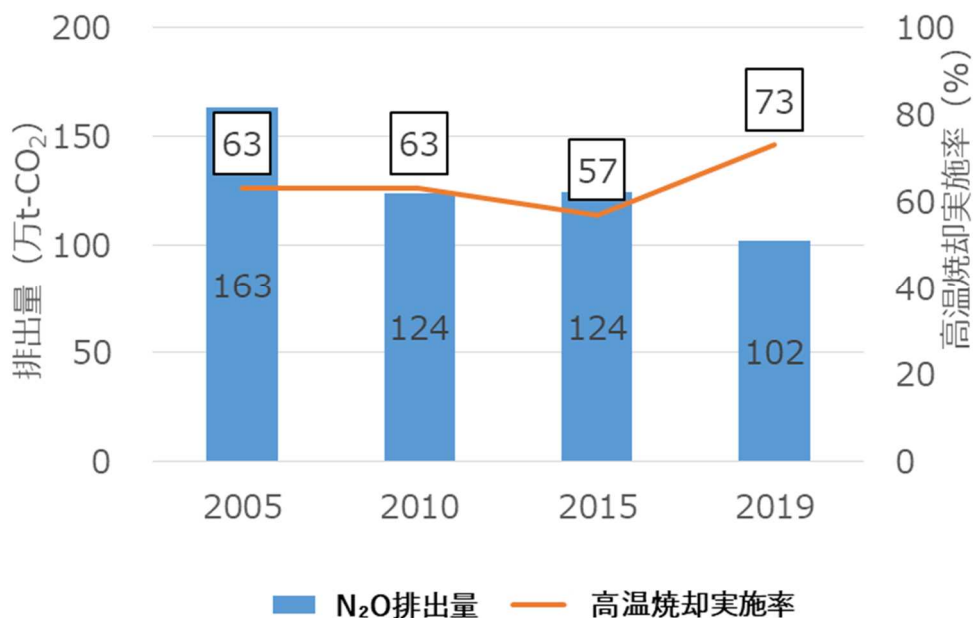


図 2-17 下水汚泥の焼却に伴う N₂O の排出量と高温焼却実施状況の推移¹⁾

(10) 水処理に伴う N₂O、CH₄ の排出状況

図 2-18 に水処理に伴う N₂O、CH₄ の排出量の推移を示す。横這いとなっている。いずれも発生メカニズムに不明な点が多く、抑制対策が明確になっていない。

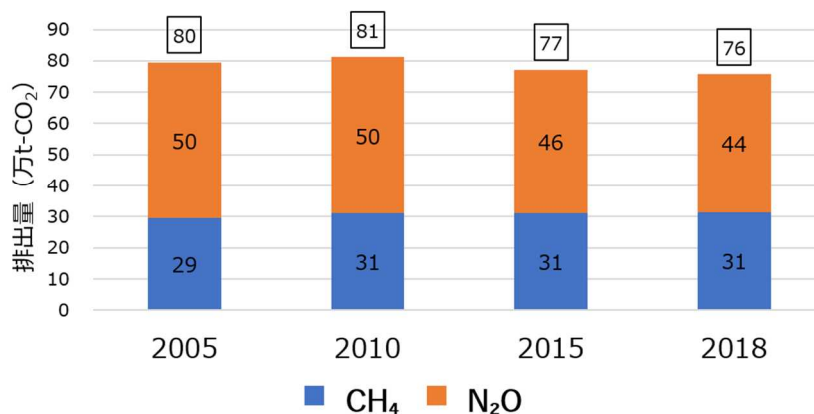


図 2-18 水処理に伴う N₂O、CH₄ の排出量の推移¹⁾

(11) 地球温暖化に対する下水道分野の制度等

地球温暖化に対する下水道分野の法制度、予算制度、ガイドライン等を表 2-2 に示す。

表 2-2 地球温暖化に対する下水道分野の法制度等¹⁾

| | 法制度 | 予算制度、ガイドライン等 |
|---------------------|--|---|
| 省エネ | <p>省エネ法 (S54 制定、H25 改定)</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤一定規模以上の事業者エネルギー使用状況の報告義務 ➤エネルギー消費原単位の年率 1%削減努力義務 | <p>ガイドライン</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤水質とエネルギーの最適管理のためのガイドライン (H30. 3) ➤下水処理場のエネルギー最適化に向けた省エネ技術導入マニュアル (案) (R1. 6) <p>予算制度等</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤下水道革新的技術実証事業 (B-DASH プロジェクト) (H23) ➤消化槽等の消費電力量を交付要件化 (H29) |
| N ₂ O 対策 | | <p>予算制度等</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤焼却炉・熔融炉の設置・改築において、廃熱回収率や消費電力量削減率を交付要件化 (高温焼却と同等以上の N₂O 排出削減が出来ることを前提) (H29) |
| 創エネ | <p>下水道法改正 (H27)</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤汚泥等の再生利用の努力義務化 | <p>ガイドライン</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤下水処理場における地域バイオマス利活用マニュアル (案) (H29. 3) ➤広域化・共同化計画策定マニュアル (案) (H31. 3) ➤下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン-改訂版- (H30. 1) <p>予算制度等</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤下水道革新的技術実証事業 (B-DASH プロジェクト) (H23) ➤民間活力イノベーション推進下水道事業 (H26) ➤設備更新における廃熱利用型炉の交付要件化 (H29) ➤下水道エネルギー拠点化コンシェルジュ事業 (H30) ➤下水道リノベーション推進総合事業 (R2) |
| 再エネ | <p>都市の低炭素化の促進に関する法律 (H24)</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤民間事業者の下水熱利用に係る規制緩和 <p>下水道法改正 (H27)</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤熱交換器設置の規制緩和 | <p>ガイドライン</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤下水熱マニュアル (案) の策定 (R3 改訂) ➤下水熱ポテンシャルマップ作成の手引き (H27. 3) <p>予算制度等</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤下水道革新的技術実証事業 (B-DASH プロジェクト) (H23) ➤エネ特事業 (上下水道・ダム施設の省 CO₂ 改修支援事業) との連携 ➤FIT の活用による民間連携 |

※下水道事業の各予算については記載した分類以外にも活用可能

(12) 下水道事業における温室効果ガス排出に関する課題

以上に述べてきた下水道事業における温室効果ガス排出に関わる現状を踏まえると、温室効果ガス削減の中長期の目標達成に向けては、以下の課題が認識される。

- ・ 下水道分野の消費エネルギーの過半を占める電力について、処理水量当たりの電力使用量は横這いから増加傾向にあり、一層の削減努力が求められる。
- ・ 下水処理場における消費エネルギーへの寄与が大きい反応タンクの省エネについて、散気装置の高効率機器導入という部分最適ではなく、それに加えて DO 制御等システムの導入、送風機の消費電力分析と運転改善の実施等も含めたシステム全体としての取組が求められる。
- ・ 有効利用されていない未利用バイオガスは、消化ガス発生量の約 14%であり、これらについても、利用促進が求められる。
- ・ 太陽光発電の実施や下水熱の利用等の再エネについては、下水道の有するポテンシャルを踏まえると、さらなる促進が求められる。
- ・ 水処理に伴って排出される N_2O や CH_4 については、発生メカニズムの解明と排出抑制の対策が求められる。

参考文献

- 1) 国土交通省水管理・国土保全局下水道部 HP：
http://www1.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/mizukokudo_sewerage_tk_000734.html、
2022.3.28 参照
- 2) 東京都下水道局：アースプラン 2017、平成 29 年 3 月
- 3) 国土交通省国土技術政策総合研究所 HP：
http://www.nilim.go.jp/lab/eag/pdf/20211008_2-4_ondanka.pdf、2022.3.28 参照
- 4) (公社) 日本下水道協会：平成 17 年度版下水道統計、平成 25 年度版下水道統計、平成 30 年度版下水道統計
- 5) 国土交通省水管理・国土保全局下水道部：流域別下水道整備総合計画調査 指針と解説、平成 27 年 1 月
- 6) (公財) 日本下水道新技術機構：活性汚泥法等の省エネルギー化技術に関する技術資料、平成 26 年 3 月
- 7) 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