

最終報告書

(カーボンハーフ・ゼロエミッションを目指して)

令和4年12月

下水道カーボンハーフ実現に向けた地球温暖化対策検討委員会

目次

はじめに	1
1. 本委員会の議論の概要	2
1.1 下水道カーボンハーフ実現に向けた地球温暖化対策検討委員会の設置	2
1.2 委員会の検討経過	2
1.3 2030年カーボンハーフに向けた課題	3
1.4 2030年カーボンハーフと2050年ゼロエミッションの実現に向けて	3
1.5 2030年カーボンハーフ実現に向けた方策と目標	4
1.6 2050年ゼロエミッションを見据えたビジョン	5
2. 地球温暖化対策の現状と課題	6
2.1 近年の国や都の動向	6
2.1.1 国の動向	6
2.1.2 都の動向	7
2.2 下水道局における地球温暖化対策の取組	9
2.2.1 下水道の役割	9
2.2.2 下水道局における主要施策	10
2.2.3 主要施策の推進に伴う温室効果ガス排出量等の増加	12
2.2.4 下水処理に伴う温室効果ガスの排出	14
2.2.5 下水道事業における地球温暖化防止計画「アースプラン」	15
2.2.6 下水道事業におけるエネルギー基本計画「スマートプラン」	16
2.2.7 アースプラン・スマートプランの主な取組	17
2.3 2030年カーボンハーフに向けた課題	23
2.3.1 2030年における温室効果ガス排出量の見込み	23
2.3.2 処理工程における課題	24
3. 2030年カーボンハーフと2050年ゼロエミッションの実現に向けて	25
4. 2030年までの具体的な取組	26
4.1 アースプラン・スマートプランの再試算	26
4.1.1 人口推計	26
4.1.2 下水処理量及び汚泥処理量の推計	26

4.1.3 削減効果の再試算.....	27
4.2 アースプラン・スマートプランの取組の加速	27
4.2.1 省エネルギー型機器の導入.....	27
4.2.2 環境に配慮した焼却炉の導入	27
4.3 アースプラン・スマートプランの取組の強化	28
4.3.1 技術開発した設備の導入.....	28
4.3.2 再生可能エネルギーの更なる利用	29
4.3.3 維持管理の工夫	31
4.4 取組による地球温暖化対策効果の見込み.....	32
4.4.1 温室効果ガス排出量.....	32
4.4.2 エネルギー消費量・再生可能エネルギー電力利用割合	33
4.5 2030年カーボンハーフ実現に向けた目標.....	34
4.6 国の地球温暖化対策計画への貢献.....	34
5. 2050年ゼロエミッションを見据えたビジョン	35
5.1 各処理工程における課題	35
5.2 国内外における脱炭素化技術	37
5.2.1 国内事例	37
5.2.2 海外事例	37
5.3 2050年ゼロエミッションの実現に貢献する対策.....	38
5.3.1 徹底した温室効果ガスの削減に寄与する対策.....	38
5.3.2 社会への貢献に寄与する対策	39
5.4 下水道ポテンシャルの活用.....	40
5.5 革新的技術（ネガティブエミッション技術等）	41
5.6 2050年ゼロエミッションに向けたロードマップ	42
6. 委員からの意見.....	43
おわりに	45

参考資料

資料 1 下水道カーボンハーフ実現に向けた地球温暖化対策検討委員会設置趣旨

資料 2 下水道カーボンハーフ実現に向けた地球温暖化対策検討委員会委員名簿

はじめに

下水道事業は良好な水環境を創出する一方、電力や燃料など大量のエネルギーを必要とし、それに伴い多くの二酸化炭素等の温室効果ガスを排出している。そのため、東京都下水道局では下水道事業における地球温暖化防止計画「アースプラン」及びエネルギー基本計画「スマートプラン」を策定し、これらに基づいて計画的にエネルギー使用量や温室効果ガス排出量の削減に取り組んでいる。

そうした中、東京都は 2050 年までに世界の CO₂ 排出実質ゼロに貢献する「ゼロエミッション東京」の実現に向けて、2030 年までに温室効果ガス排出量を 2000 年比 50%削減する「カーボンハーフ」を表明し、温室効果ガス排出量の削減に向けた取組を加速している。

下水道局においても 2030 年カーボンハーフに向けた取組を加速するため、「下水道カーボンハーフ実現に向けた地球温暖化対策検討委員会」を設置し、温室効果ガス排出量の更なる削減に向けて検討を行うこととした。

本報告書は、2022 年 4 月から 2022 年 11 月にかけて「下水道カーボンハーフ実現に向けた地球温暖化対策検討委員会」において議題となった、2030 年度までに温室効果ガス排出量を 50%削減するための方策、下水道事業の実態を踏まえたエネルギーについての 2030 年度目標及び 2050 年ゼロエミッションを見据えた下水道事業のビジョンについての議論及び各委員からの意見を取りまとめたものである。

1. 本委員会の議論の概要

1.1 下水道カーボンハーフ実現に向けた地球温暖化対策検討委員会の設置

東京都は 2050 年までに世界の CO₂ 排出実質ゼロに貢献する「ゼロエミッション東京」の実現に向けて、2030 年までに温室効果ガス排出量を 2000 年比 50%削減する「カーボンハーフ」を表明し、取組を加速している。

下水道局においても 2030 年カーボンハーフに向けた取組を加速するため、「下水道カーボンハーフ実現に向けた地球温暖化対策検討委員会」を設置し、以下の事項について検討した。

- (1) 2030 年度までに温室効果ガス排出量を 50%削減するための方策
- (2) 下水道事業の実態を踏まえたエネルギーについての 2030 年度目標
- (3) 2050 年ゼロエミッションを見据えた下水道事業のビジョン
- (4) その他必要事項

1.2 委員会の検討経過

令和 4 年 4 月 26 日：下水道カーボンハーフ実現に向けた地球温暖化対策検討委員会（第 1 回）

- (1) 地球温暖化対策の現状
- (2) 今後の検討課題
- (3) その他

令和 4 年 6 月 23 日：下水道カーボンハーフ実現に向けた地球温暖化対策検討委員会（第 2 回）

- (1) 視察概要の説明
- (2) 省エネルギー・再生可能エネルギー設備等の視察
(森ヶ崎水再生センター・南部スラッジプラント)
- (3) 質疑応答

令和 4 年 7 月 19 日：下水道カーボンハーフ実現に向けた地球温暖化対策検討委員会（第 3 回）

- (1) 省エネルギーや再生可能エネルギー、N₂O 等の排出削減を促進する方策
- (2) 2030 年までの具体的な取組と 2050 年ゼロエミッションを見据えたビジョン

令和 4 年 10 月 11 日：下水道カーボンハーフ実現に向けた地球温暖化対策検討委員会（第 4 回）

- (1) 2030 年における温室効果ガス排出量とエネルギー消費量等の見通し
- (2) 2050 年ゼロエミッションを見据えたビジョン

令和 4 年 11 月 22 日：下水道カーボンハーフ実現に向けた地球温暖化対策検討委員会（第 5 回）

- (1) とりまとめ（報告書案）
- (2) その他

1.3 2030年カーボンハーフに向けた課題

下水道事業は良好な水環境を創出する一方、電力や燃料など大量のエネルギーを必要とし、それに伴い二酸化炭素（CO₂）を排出している。また、処理工程では CO₂ の 298 倍の温室効果を有する一酸化二窒素（N₂O）や 25 倍の温室効果を有するメタン（CH₄）が発生する。その結果、都庁の事務事業活動において下水道局は最大の温室効果ガス排出者となっている。そのため、下水道事業における地球温暖化防止計画「アースプラン」及びエネルギー基本計画「スマートプラン」を策定し、これらに基づいて計画的にエネルギー使用量や温室効果ガス排出量の削減に取り組んでいる。

しかし、現行計画の取組を推進した場合においても、2030年度の温室効果ガス排出量は2000年度比42%削減に留まり、カーボンハーフには8%不足する見込みである。

1.4 2030年カーボンハーフと2050年ゼロエミッションの実現に向けて

2030年カーボンハーフまでは10年を切っており、下水道局におけるカーボンハーフの実現においては既存技術や早期の実用化が期待される先進技術の導入を推進していくことが重要となる。このため、アースプランやスマートプランでの取組を加速・強化する必要がある。具体的には、省エネルギー型機器や環境に配慮した焼却炉の導入など、現行計画の取組を加速するとともに、新たに技術開発した設備の導入や再生可能エネルギーの更なる利用、維持管理の工夫など、現行計画の取組を強化する必要がある。

一方、2050年ゼロエミッションの実現に向けては、既存技術や先進技術の導入だけでは達成が困難である。このため、下水道ポテンシャルを最大限に活用するとともに、先進技術の導入推進、革新的技術の開発・導入により温室効果ガス排出量を徹底的に削減する必要がある。また、外部での下水熱の利用を促進するなど、下水道資源を利用した社会への貢献も重要である。（図1-1）



図 1-1 2030年カーボンハーフ及び2050年ゼロエミッションの実現に向けた取組方針

1.5 2030年カーボンハーフ実現に向けた方策と目標

2030年カーボンハーフ実現に向けて、現行計画の取組から以下の方策を実施し、温室効果ガス排出量とエネルギーについての見込みを算出した結果、2030年度の目標は『**温室効果ガス排出量50%以上削減**』となる。また、カーボンハーフに必要なエネルギー消費量と再生可能エネルギー電力利用割合は、「エネルギー消費量：約25%程度削減」、「再生可能エネルギー電力利用割合：45～50%程度」を目指して取り組む必要がある。（表1-1）

(1) アースプラン・スマートプランの再試算

最新の人口推計や導入予定の設備仕様を反映し、温室効果ガス排出量の見込みを再試算する。

(2) アースプラン・スマートプランの取組の加速

省エネルギー型機器の導入台数を現行計画より1割程度増加するとともに、環境に配慮した焼却炉の技術開発を加速する。

(3) アースプラン・スマートプランの取組の強化

技術開発した設備の導入、再生可能エネルギーの更なる利用、維持管理の工夫といった取組を推進する。

項目	東京都環境基本計画	下水道局	
	2030年目標値	2030年度見込み	2030年度目標値
温室効果ガス排出量 (カーボンハーフ)	50%削減	51%削減※1	50%以上削減

※1 51%削減の内訳：エネルギー起源CO₂排出量は31%削減、N₂O等排出量は66%削減

表 1-1 2030年カーボンハーフ実現に向けた目標

1.6 2050年ゼロエミッションを見据えたビジョン

浸水対策や合流式下水道の改善などの下水道機能の向上を図りながら、2050年ゼロエミッションの実現に貢献するためには、徹底した温室効果ガスの削減や社会への貢献が重要である。(図1-2)

(1) 徹底した温室効果ガスの削減

先進技術の導入推進、下水道ポテンシャルの活用と革新的技術の開発・導入が必要である。現時点で2050年に向けた技術を絞り込むことは困難であるため、基礎調査や技術動向を見ながら2030年頃までに導入する技術を絞り込み、産学公が連携して技術開発・導入を推進していくことが重要である。

(2) 社会への貢献

下水熱の有効利用の拡大等に取り組むとともに、低炭素アスファルトやコンクリート等を早期に導入していくなど下水道資源を利用していく必要がある。

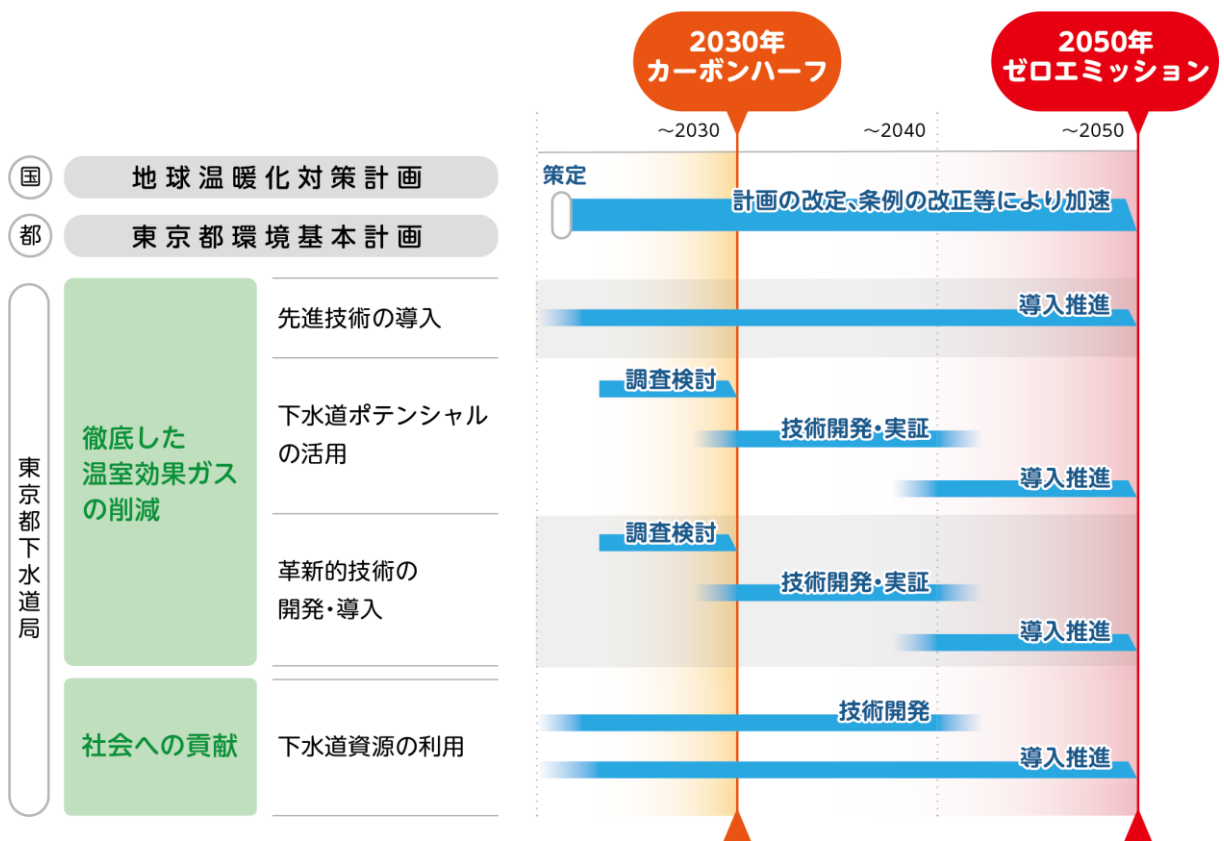


図 1-2 2050年ゼロエミッションの実現に向けたロードマップ案

2. 地球温暖化対策の現状と課題

2.1 近年の国や都の動向

2.1.1 国の動向

- ・2021年6月：「改正地球温暖化対策推進法」を公布
2050年カーボンニュートラルの実現について法律で明記された。
- ・2021年10月：「地球温暖化対策計画」及び「エネルギー基本計画」の改定
温室効果ガス排出量を2030年度46%削減（2013年基準）、さらに50%の高みを目指して挑戦することが表明された。

地球温暖化対策計画で示された温室効果ガス別その他の区分ごとの目標・目安において、下水道にかかわる項目として、エネルギー起源CO₂については「業務その他部門」、また「N₂O」、「CH₄」が該当する。（表2-1）また、下水道における取組としては、省エネルギー・創エネルギー対策の推進で約130万t-CO₂、また、下水汚泥焼却施設における燃焼の高度化等で約78万t-CO₂の排出削減が見込まれている。

	2013年度		2019年度		2030年度	
	実績	実績	2013年度比	目標・目安	2013年度比	
エネルギー起源CO ₂	1,235	1,029	-17%	677	-45%	【下水道】 ▶ 省エネルギー・創エネルギー対策の推進 （排出削減見込量130万t-CO ₂ ） ・処理水量当たりエネルギー起源CO ₂ 排出量： 2030年度 0.09t-CO ₂ /千m ³ ・下水汚泥エネルギー化率： 2030年度 37% ▶ 下水汚泥焼却施設における燃焼の高度化等 （排出削減見込量78万t-CO ₂ ） ・高温焼却化率：2030年度 100% ・新型炉、固形燃料化炉の設置 基数：2030年度 2基/年
産業部門	463	384	-17%	289	-38%	
業務その他部門	238	193	-19%	116	-51%	
家庭部門	208	159	-23%	70	-66%	
運輸部門	224	206	-8%	146	-35%	
エネルギー転換部門	106	89.3	-16%	56	-47%	
非エネルギー起源CO ₂	82.3	79.2	-4%	70.0	-15%	
メタン(CH ₄)	30.0	28.4	-5%	26.7	-11%	
一酸化二窒素(N ₂ O)	21.4	19.8	-8%	17.8	-17%	
代替フロンなど4ガス	39.1	55.4	42%	21.8	-44%	
温室効果ガス吸収源		-45.9		-47.7		
二国間クレジット制度(JCM)	官民連携で2030年度までの累積で1億t-CO ₂ 程度の国際的な排出削減・吸収量を目指す。我が国として獲得したクレジットを我が国のNDC達成のために適切にカウントする。					
温室効果ガス排出量・吸収量	1,408	1,166	-17%	760	-46%	

表 2-1 地球温暖化対策計画 温室効果ガス別その他の区分ごとの目標・目安

「地球温暖化対策計画」を基に作成

- ・2021年10月：「下水道政策研究委員会 脱炭素への貢献のあり方検討小委員会」を設置
脱炭素社会の実現に向けた目指すべき下水道のあり方などが検討された。
- ・2021年10月：「令和3年度下水道技術開発会議エネルギー分科会」を設置
下水道資源・エネルギー技術などの新技術の開発および導入促進について、これまでの取組や課題の整理、今後の推進方策が検討された。
- ・2021年12月：「国土交通省環境行動計画」の改定
「脱炭素社会」、「気候変動適応社会」、「自然共生社会」、「循環型社会」の実現に貢献するための、環境関連施策の実施方針を定めた。

2.1.2 都の動向

- ・2019年12月：「ゼロエミッション東京戦略」を策定
2050年のCO₂排出実質ゼロに貢献する「ゼロエミッション東京」の実現に向けたビジョンと具体的な取組・ロードマップが示された。
- ・2021年3月：「ゼロエミッション東京戦略2020 Update & Report」を策定
2030年カーボンハーフの実現に向けてゼロエミッション東京戦略をアップデートし、「都内温室効果ガス排出量50%削減」、「都内エネルギー消費量50%削減」、「再生可能エネルギーによる電力利用割合50%程度」を掲げた。(図2-1)

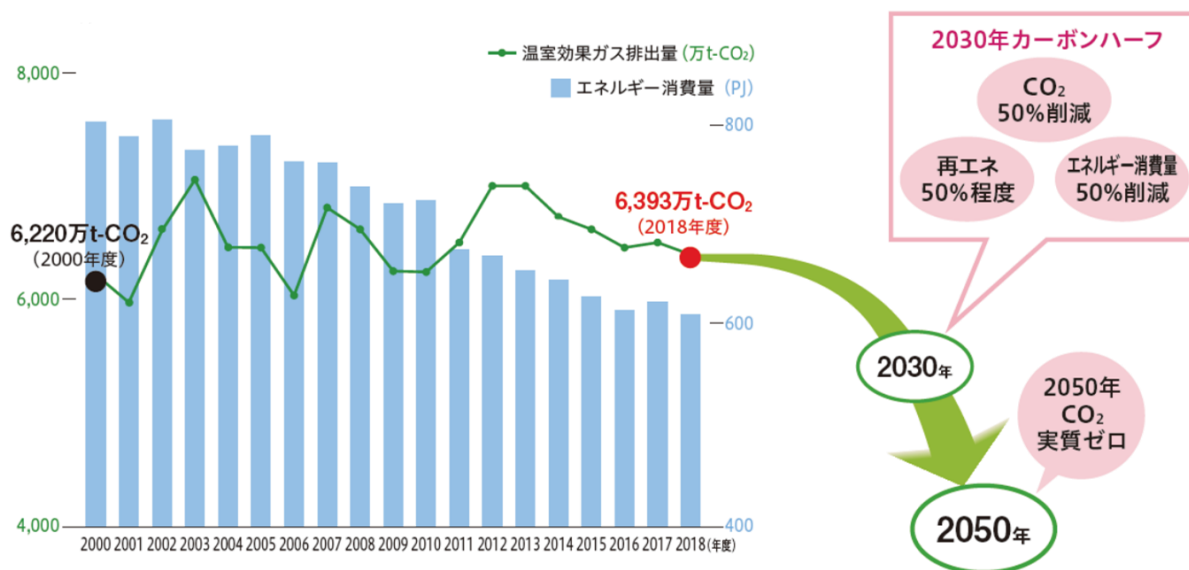


図 2-1 都内温室効果ガス排出量の推移等

東京都「ゼロエミッション東京戦略2020 Update & Report」より引用

- ・2021年3月：「ゼロエミッション都庁行動計画」を策定
具体的な率先行動や仕組・制度の変革など、脱炭素行動を一層加速させ、社会全体を力強く牽引するため、都庁の全庁的な取組を強力に推進することを掲げた。
- ・2022年2月：「2030年カーボンハーフに向けた取組の加速」を策定
カーボンハーフに向けた道筋を具体化し、直ちに加速・強化する主な取組が示された。
- ・2022年9月：「東京都環境基本計画」を策定
2050年のあるべき姿の実現に向けて2030年までの行動が極めて重要との認識から、具体的な目標と施策のあり方が示された。気候危機とエネルギー危機を契機とした脱炭素化とエネルギー安全保障の一体的実現を基本的な方針とし、エネルギーの脱炭素化と持続可能な資源利用によるゼロエミッションの実現を戦略のひとつとして掲げ、以下の目標を設定した。(表2-2)
なお、「N₂O」、「CH₄」などのその他ガスについての目標値は設定されていない。

<2030年全体目標>

- ・都内温室効果ガス排出量（2000年比）：50%削減（カーボンハーフ）
- ・都内エネルギー消費量（2000年比）：50%削減
- ・再生可能エネルギー電力利用割合：50%程度

<2030年部門別目標（業務部門）> ※下水道は業務部門に該当（表 2-2）

- ・エネルギー起源 CO₂ 排出量（2000年比）：約 45%程度削減
- ・エネルギー消費量（2000年比）：約 25%程度削減

単位：万 t-CO₂eq

	2000年 (基準)	2019年 (現状)		2030年			東京都 環境基本計画 (2016年策定) (2000年比)
	排出量	排出量	2000年比	排出量 (目安)	部門別目標 (2000年比)	2019年比	
産業・業務部門	2,727	2,763	1.3%	1,381	約50%程度削減	▲50.0%	20%程度削減
産業部門	679	381	▲43.9%	222		▲41.8%	
業務部門	2,048	2,382	16.3%	1,159	約45%程度削減	▲51.3%	(20%程度削減)
家庭部門	1,283	1,612	25.6%	728	約45%程度削減	▲54.8%	20%程度削減
運輸部門	1,765	940	▲46.7%	612	約65%程度削減	▲34.9%	60%程度削減
合 計	5,775	5,315	▲8.0%	2,721		▲48.8%	

エネルギー起源 CO₂ 排出量

単位：PJ

	2000年 (基準)	2019年 (現状)		2030年			東京都 環境基本計画 (2016年策定) (2000年比)
	消費量	消費量	2000年比	消費量 (目安)	部門別目標 (2000年比)	2019年比	
産業・業務部門	359	284	▲20.9%	233	約35%程度削減	▲18%	30%程度削減
産業部門	96	46	▲52.1%	36		▲22%	
業務部門	263	237	▲9.9%	197	約25%程度削減	▲17%	(20%程度削減)
家庭部門	186	190	2.2%	130	約30%程度削減	▲32%	30%程度削減
運輸部門	257	125	▲51.4%	90	約65%程度削減	▲28%	60%程度削減
合 計	802	598	▲25.4%	453		▲24%	

エネルギー消費量

表 2-2 部門別目標

東京都「東京都環境基本計画」より引用

2.2 下水道局における地球温暖化対策の取組

2.2.1 下水道の役割

東京都の下水道は、日常生活や都市活動で発生する汚水をきれいにして川や海に戻すほか、道路や宅地に降った雨水を速やかに排除するなど、安全で快適な生活環境の確保や良好な水循環の形成に必要不可欠な役割を担っている。

また、近年では再生水や下水熱など下水道が持つ資源・エネルギーの有効利用や下水道施設の上部空間の利用などにより、良好な都市環境を創出するという新しい役割も担っている。

下水道局では、特別区において下水の処理及び雨水の排除などの公共下水道事業を行うとともに、多摩地区において市町村の公共下水道から流入する下水を処理する流域下水道事業を行っている。(図 2-2、図 2-3) 区部と多摩地域では、20 か所の水再生センター、87 か所のポンプ所等の施設を 24 時間 365 日休むことなく稼働させ、1 日あたり約 546 万 m³ の下水と、その過程で発生する約 20 万 m³ の汚泥を処理している。(2020 年度実績)

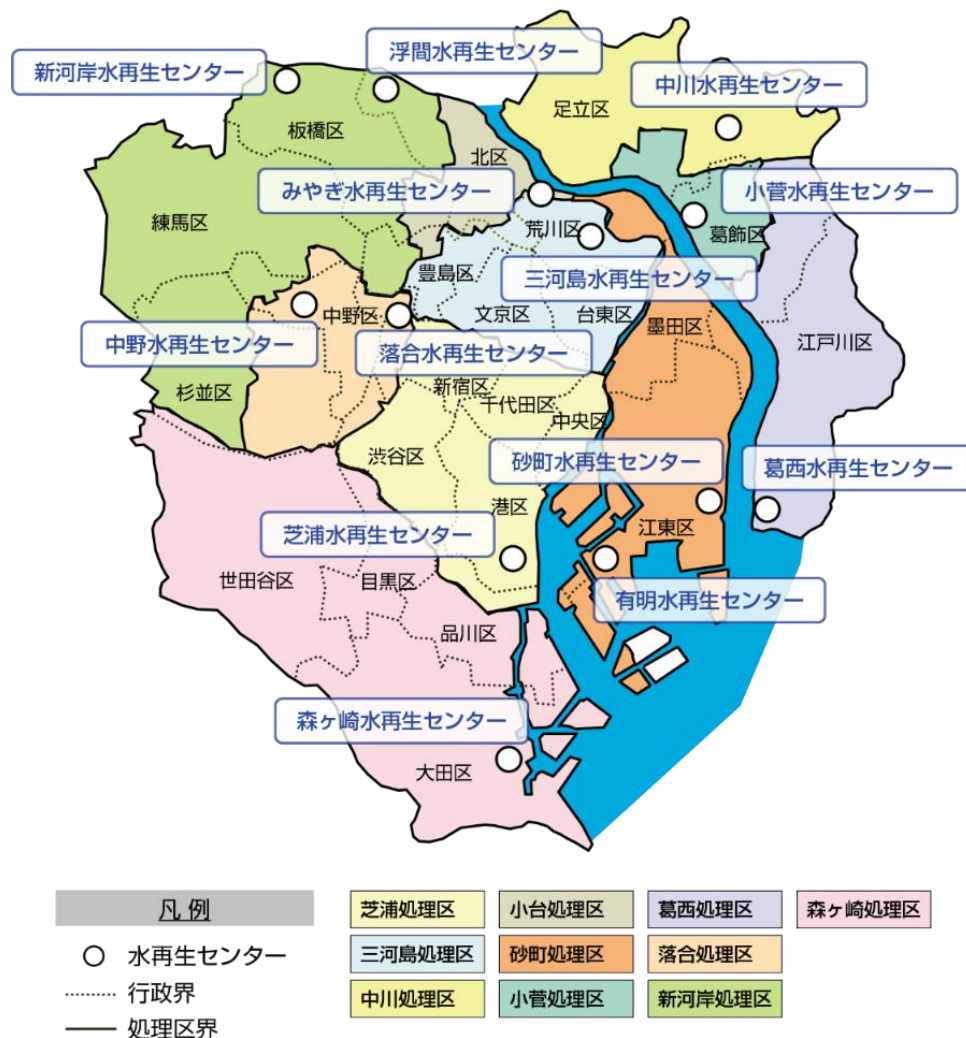


図 2-2 区部における水再生センターの配置と処理区

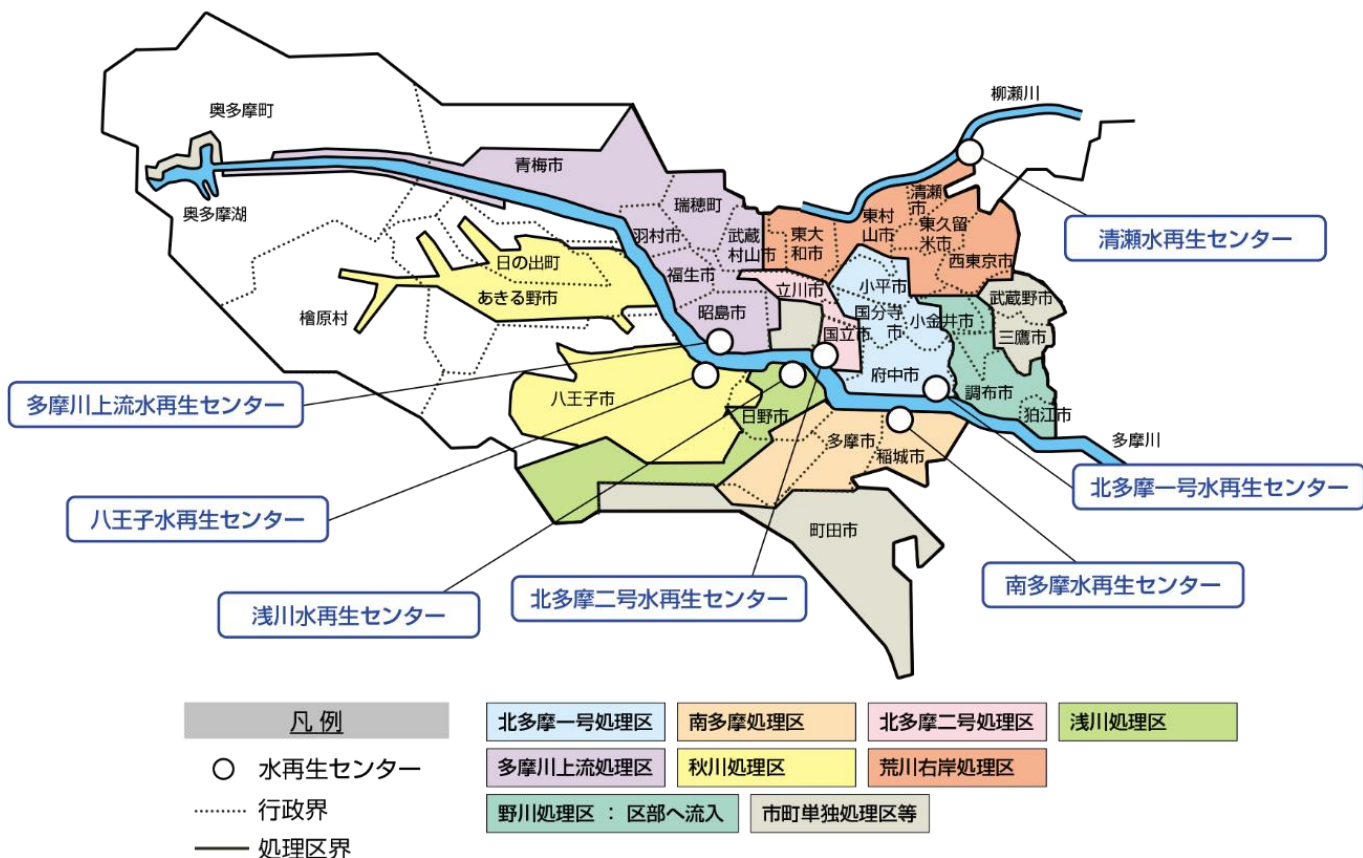


図 2-3 多摩地域において都が管理する水再生センターの配置と処理区

2.2.2 下水道局における主要施策

下水道の基本的な役割を担い続けるとともに、長期的な視点に立って下水道サービスの更なる向上を図るため、以下の3つの方針のもと各施策を推進している。(図 2-4)

＜お客様の安全を守り、安心して快適な生活を支える＞

(1) 再構築

老朽化した下水道管や水再生センターなどを再構築することで、将来にわたり安定的に下水を処理する機能や雨水を排除する機能などを確保する。

(2) 浸水対策

浸水対策を推進することで、都市機能を確保し、安全・安心な暮らしを実現する。

(3) 震災対策

首都直下地震などが発生したときに備え、震災対策を推進することで、下水道機能を確保するとともに緊急輸送道路などの交通機能を確保する。

(4) 汚泥処理の信頼性強化と効率化

汚泥処理の信頼性強化と効率化を推進することで、将来にわたり安定的に下水を処理する機能を確保する。

(5) 維持管理の充実

下水道管や水再生センターなどを適切に維持管理し、将来にわたり安定的に下水道機能を確保する。

<良好な水環境と環境負荷の少ない都市の実現に貢献する>

(1) 合流式下水道の改善

雨天時に合流式下水道から河川や海などへ放流される汚濁負荷量を削減することで、良好な水環境を創出する。

(2) 処理水質の向上

良好な水環境を創出するため、省エネルギーにも配慮しつつ、東京湾や多摩川などに放流される下水処理水の水質をより一層改善する。

(3) エネルギー・地球温暖化対策

エネルギー・地球温暖化対策を推進することで、エネルギー使用量や温室効果ガス排出量を積極的に削減し、環境負荷の少ない都市の実現に貢献する。

<最少の経費で最良のサービスを安定的に提供する>

(1) 公営企業の経営の原点である公共性と経済性が最大限に発揮され、最少の経費で最良のサービスを提供する。

(2) 技術力の向上や人材育成、健全な財政運営などにより経営基盤が強化され、お客さまのご理解やご協力のもと、安定的な事業運営を行う。

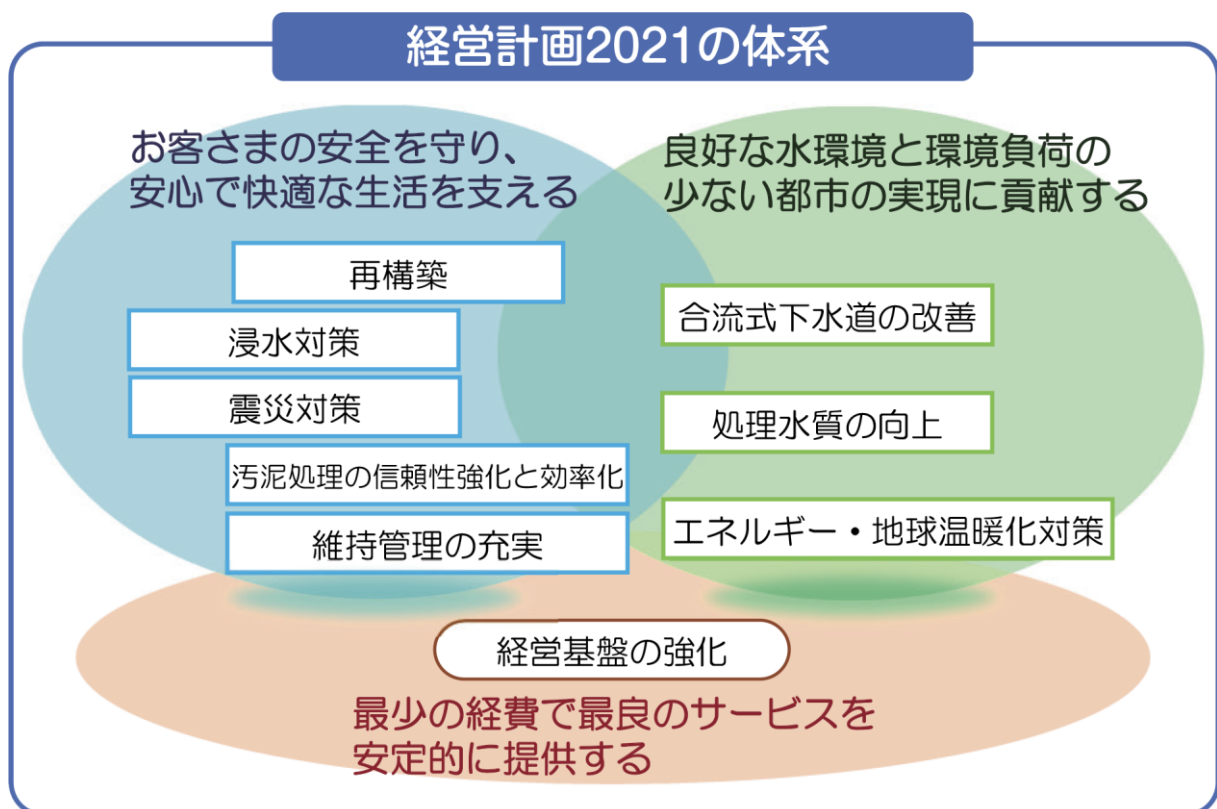


図 2-4 経営計画 2021 の体系

2.2.3 主要施策の推進に伴う温室効果ガス排出量等の増加

主要施策の推進により下水道機能は向上するが、その一方で「浸水対策」、「合流式下水道の改善」、「処理水質の向上」の取組によりエネルギー使用量や温室効果ガス排出量の更なる増加が見込まれる。

(1) 浸水対策

近年都市部では、大量の雨が短時間に下水道管に流入し、下水道管の能力を超えて発生する「内水氾濫」が増加している。浸水対策幹線や雨水貯留施設の整備、ポンプ所の能力増強などを推進し浸水被害を順次減らしているが、貯留した雨水は晴天時に水再生センターで処理するため、下水処理量や汚泥処理量が増加し、温室効果ガス排出量も増加する。また、ポンプ所の能力増強による揚水量の増加も温室効果ガス排出量増加の要因となる。(図 2-5)

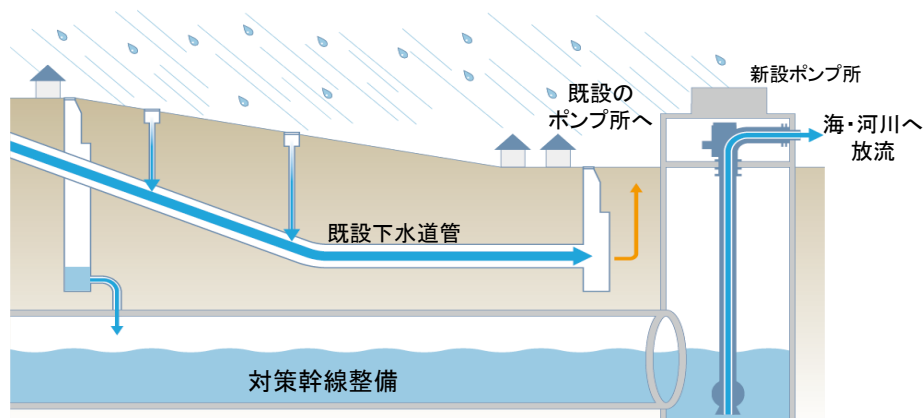


図 2-5 浸水対策のイメージ

(2) 合流式下水道の改善

合流式下水道は、汚水と雨水を一つの下水道管で集める方式であり、分流式下水道は汚水管と雨水管に分けて集める方式である。区部は主に合流式下水道で整備されているため、強い雨の日は、市街地を浸水から守るため、汚水混じりの雨水が河川などへ放流される。

雨天時に河川や海などに放流される汚濁負荷量を低減するため、降雨初期の特に汚れた下水を貯留する施設等を整備しているが、貯留した下水は降雨後に水再生センターで処理するため、処理水量の増加により温室効果ガス排出量が増加する。(図 2-6)

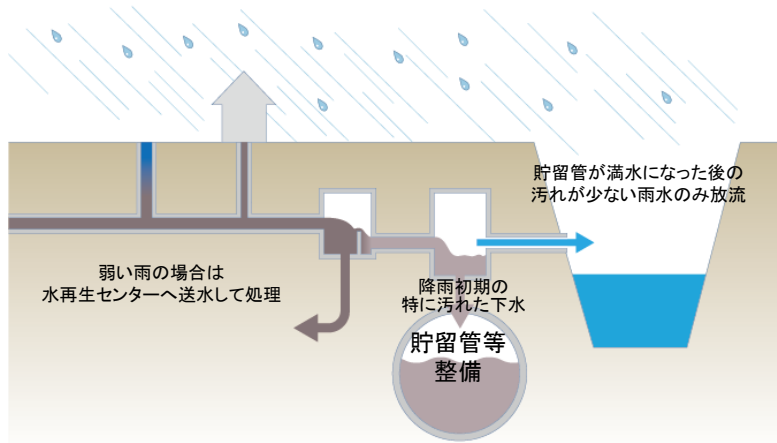


図 2-6 合流式下水道の改善イメージ

(3) 処理水質の向上

窒素・りん濃度上昇等により赤潮が発生すると、プランクトンの死骸等の分解に多量の酸素が消費され、生物の生息に悪影響を及ぼす。(図 2-7) 東京湾における赤潮の発生日数の削減に向け、発生要因の一つである下水処理水の窒素・りんの一層の削減を図るため、高度処理等の導入を推進している。

高度処理 (A₂O 法) の導入により、これまでの標準活性汚泥法に比べて窒素・りんが除去され処理水質の向上が図られるが、攪拌機等の付帯設備の増加によりエネルギー使用量が増加する。(図 2-8)



図 2-7 東京湾における赤潮発生の様子および海洋生物への影響例

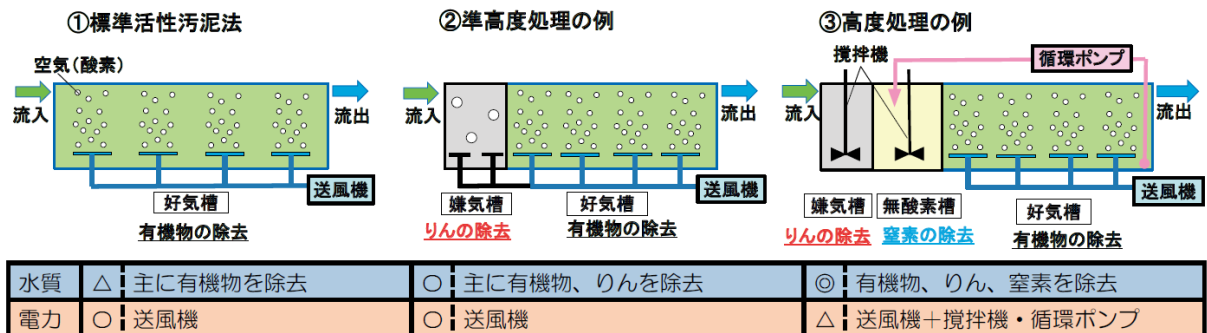


図 2-8 各処理法のイメージ

2.2.4 下水処理に伴う温室効果ガスの排出

下水処理は大きく水処理工程と汚泥処理工程に分けられ、その工程で電力や燃料など大量のエネルギーを必要とし、それに伴い CO₂ を排出している。(図 2-9) さらに、生物処理や汚泥焼却等で CO₂ の 298 倍の温室効果を有する N₂O や 25 倍の温室効果を有する CH₄ が発生するなど、多くの温室効果ガスを排出しており、都庁の事務事業活動において下水道局は最大の排出者となっている。(図 2-10)

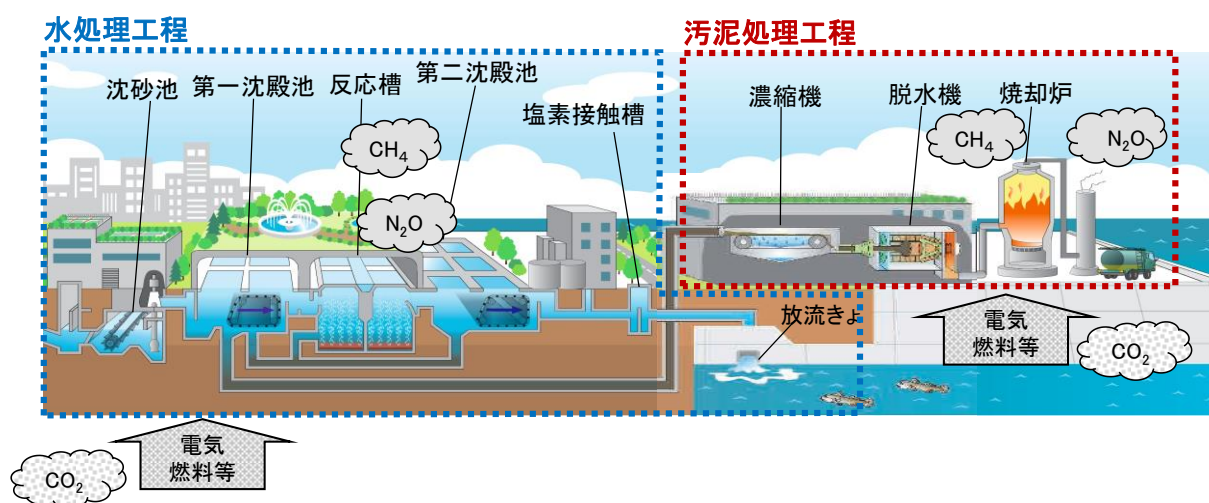


図 2-9 下水処理に伴う温室効果ガスの排出

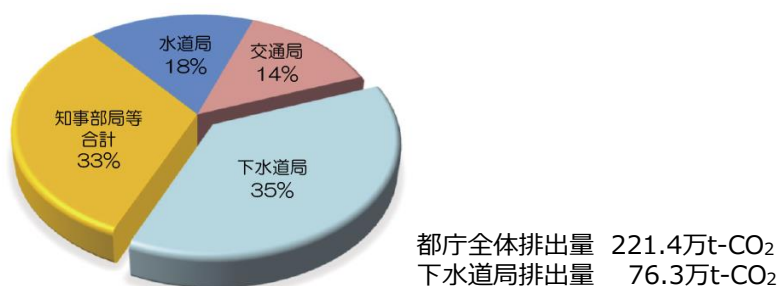


図 2-10 都庁の事務事業活動における局別温室効果ガス排出量の割合（2020 年度実績）

下水道局の温室効果ガス排出量の内訳を図 2-11 に示す。

水処理工程での電力使用による CO₂ 排出量①は、下水をくみ上げるポンプや反応槽へ空気を送るための送風機等で大量の電力を使用しており、局全体の 45.4%を占める。N₂O 等の排出量②は、汚水中の有機物を分解する際に反応槽で生成され、局全体の 13.7%を占める。

一方、汚泥処理工程での電力使用による CO₂ 排出量③は、濃縮、脱水、焼却工程で多くの電力を使用しており、局全体の 14.5%を占める。燃料使用による CO₂ 排出量④は、焼却工程で補助燃料として都市ガス等を使用しており、局全体の 5.1%を占める。N₂O 等の排出量⑤は、焼却工程で生成され、局全体の 12.4%を占める。

その他薬品などの使用による CO₂ 排出量⑥は、局全体の 8.8%を占める。

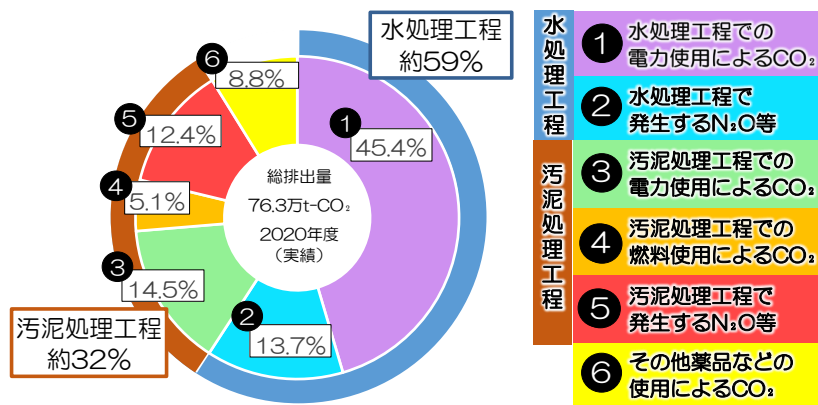


図 2-11 下水道局の温室効果ガス排出量の内訳 (2020 年度実績)

2.2.5 下水道事業における地球温暖化防止計画「アースプラン」

下水を処理するには多くの温室効果ガスを排出するため、下水道局は都の事務事業活動において最大の温室効果ガス排出者となっている。そのため下水道局は、具体的な温室効果ガスの削減目標や具体的な削減方法を定めた下水道事業における地球温暖化防止計画「アースプラン」を策定し、温室効果ガス排出量の削減に計画的に取り組んできた。

「アースプラン」は 2004 年に策定して以降、2010 年と 2017 年に改定した。改定に当たっては、東京都環境基本計画を踏まえ、「アースプラン 2004」では温室効果ガス排出量を 2009 年度までに 1990 年度比で 6%以上削減、「アースプラン 2010」では温室効果ガス排出量を 2020 年度までに 2000 年度比で 25%以上削減という目標を設定した。(図 2-12)

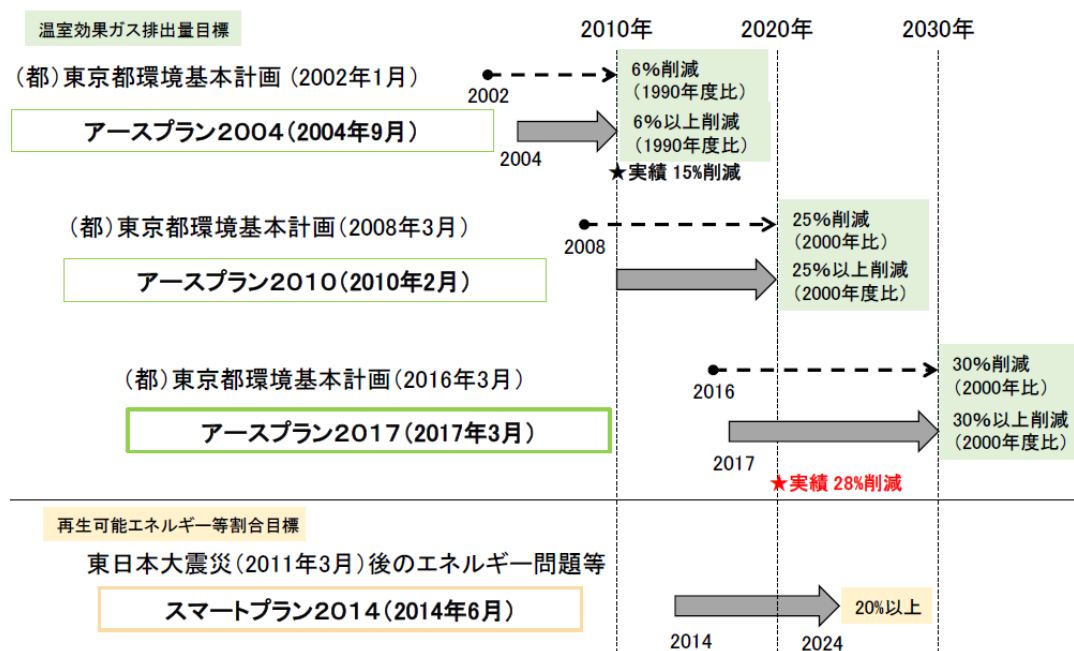


図 2-12 アースプランとスマートプランの変遷

現行計画である「アースプラン2017」では、東京都環境基本計画の改定を踏まえ、温室効果ガス排出量を2030年度までに2000年度比で30%以上削減するという目標に見直している。2020年度の温室効果ガス排出量は28%削減となり、25%以上削減という中間目標を達成した。

(図 2-13)

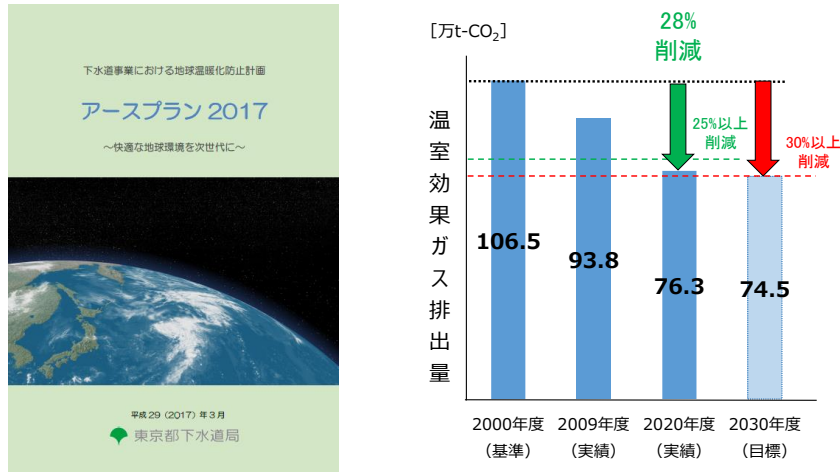


図 2-13 アースプラン2017における温室効果ガス排出量の目標と実績

2.2.6 下水道事業におけるエネルギー基本計画「スマートプラン」

2011年の東日本大震災後の電力危機を契機にエネルギー問題の重要性が一層増し、省エネルギー・創エネルギーの取組が規模の大小を問わず全国の下水道事業者にとって重要な課題となった。下水道局は、都内における年間電力使用量の約1%に当たる電力を消費する等、大量のエネルギーを必要としているため、エネルギー消費量の削減に大きな責務を負っている。

そのため下水道局は、下水道事業におけるエネルギー基本計画「スマートプラン2014」を2014年6月に策定し、下水道事業におけるエネルギー活用の高度化やエネルギー管理の最適化を図っている。この計画は、総エネルギー使用量に対する再生可能エネルギー等の割合を20%以上とすることを目指し、①再生可能エネルギー活用の拡大、②省エネルギーの更なる推進、③エネルギースマートマネジメントの導入、④エネルギー危機管理対応の強化の4つの取組を推進している。(図 2-14)

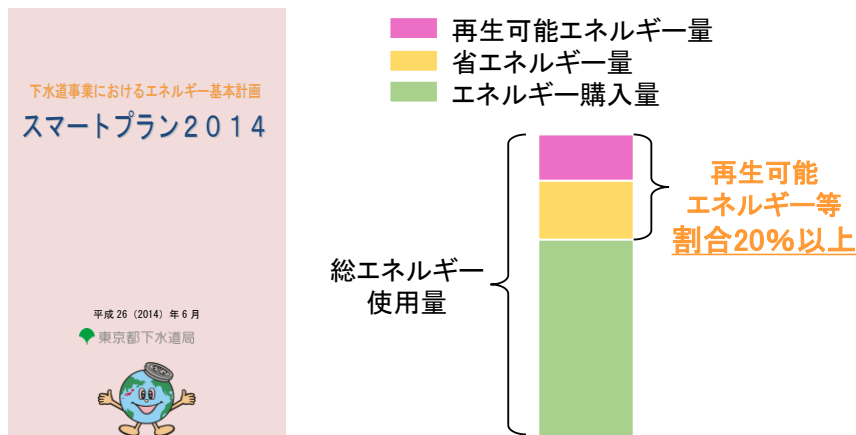


図 2-14 スマートプラン2014における再生可能エネルギー等の割合の目標

2.2.7 アースプラン・スマートプランの主な取組

これまでのアースプラン・スマートプランにおける主な取組を表 2-3 に示す。取組は省エネルギーの徹底、再生可能エネルギーの活用、処理工程・方法の効率化の3つに大別される。表中の星印は、アースプランの取組を開始した年次、またスマートプランに該当する取組を示している。

主な取組一覧			アースプラン			スマートプラン
			2004	2010	2017	
省エネルギーの徹底	水処理	微細気泡散気装置の導入	★	→	→	★
		省電力型攪拌機の導入	★	→	→	-
		ばっ気システムの最適化	★	→	→	★
		準高度処理の導入			★	★
		新たな高度処理技術の導入			★	★
	汚泥処理	省エネルギー型濃縮機の導入		★	→	★
		省エネルギー型脱水機の導入		★	→	★
		汚泥の低含水率化		★	→	-
	共通	重油から都市ガスへの燃料転換	★	→	→	-
		水再生センターにおける施設全体でのエネルギー管理 維持管理の工夫			★	★
再生可能エネルギーの活用	共通	太陽光発電	★	→	→	★
	水処理	小水力発電	★	→	→	★
		下水汚泥 汚泥処理	消化ガス発電		★	→
	汚泥炭化		★	→	→	★
	汚泥ガス化			★	→	★
	汚泥焼却時の廃熱を活用した発電		★	→	→	★
	下水熱 水処理	アーバンヒート	★	→	→	★
		下水の持つ熱エネルギーの活用	★	→	→	★
処理工程・方法の効率化 (環境に配慮した焼却炉の導入)	汚泥処理	汚泥の高温焼却	★	→	→	-
		汚泥処理のユニット化		★	→	-
		エネルギー自立型焼却炉の導入			★	★
		省エネルギー型焼却炉の導入		★	→	★
		広域的な運用による焼却炉の効率化			★	★

表 2-3 アースプラン・スマートプランの主な取組（次ページ以降に赤枠の取組を説明）

(1) 省エネルギーの徹底

水処理工程では微細気泡散気装置と、効率の良い送風機を組み合わせることによりばっ気システムの最適化を進めている。微細気泡散気装置は、小さな気泡を発生させることにより反応槽内の下水中に酸素が溶けやすくなるため送風量が抑えられ、従来の散気装置に比べて約2割の電力使用量を削減できる。ここに施設の実態に合わせて効率の良い送風機を組み合わせればばっ気システムを最適化することにより、さらに電力使用量を削減できる。(図 2-15)

汚泥処理工程では省エネルギー型汚泥濃縮機等の導入を進めている。従来の遠心力を利用した汚泥濃縮機から重力を利用して過濃縮するベルト型汚泥濃縮機へ更新することで電力使用量を大幅に削減できる。(図 2-16)

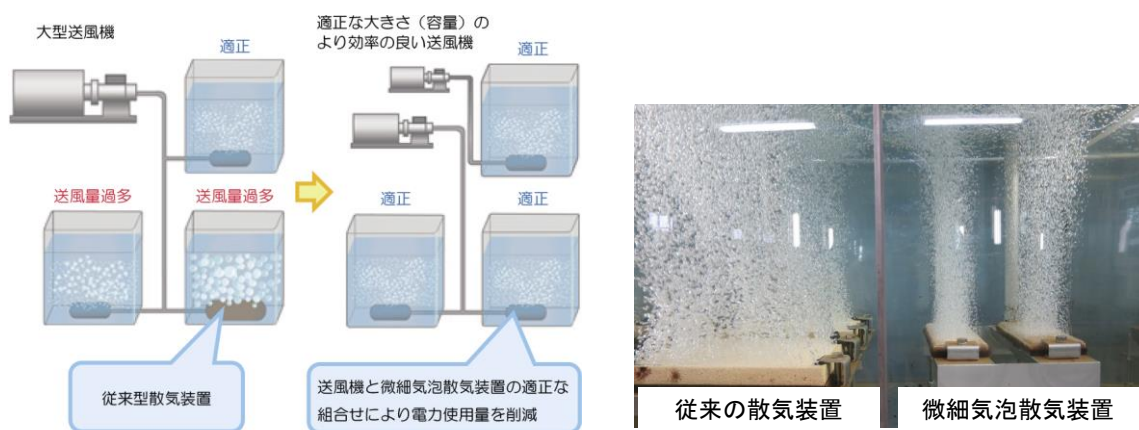


図 2-15 微細気泡散気装置と送風機の組合せのイメージ

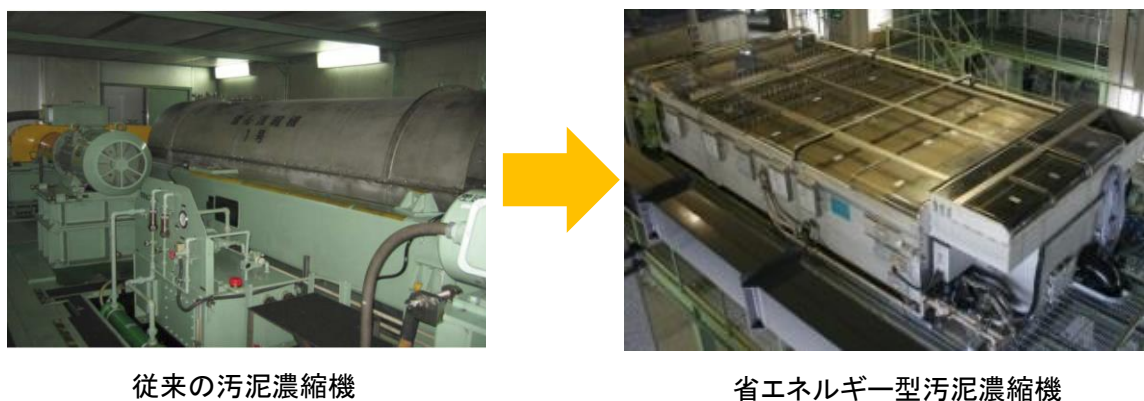


図 2-16 省エネルギー型汚泥濃縮機

(2) 再生可能エネルギーの活用（自然エネルギーの活用）

建物の屋上や施設の空間を活用し、太陽光発電設備の導入を進めている。森ヶ崎水再生センターでは反応槽の上部空間を活用し、1,000kWの太陽光発電を行っている。（図 2-17）



図 2-17 太陽光発電設備（森ヶ崎水再生センター）

(3) 再生可能エネルギーの活用（処理水のエネルギーの活用）

処理水の放流きよの放流落差から位置エネルギーを回収して発電する小水力発電設備を一部の施設で導入している。森ヶ崎水再生センターでは、東処理施設において110kW×2台、22kW×2台、西処理施設において11kW×1台の小水力発電を行っている。（図 2-18）

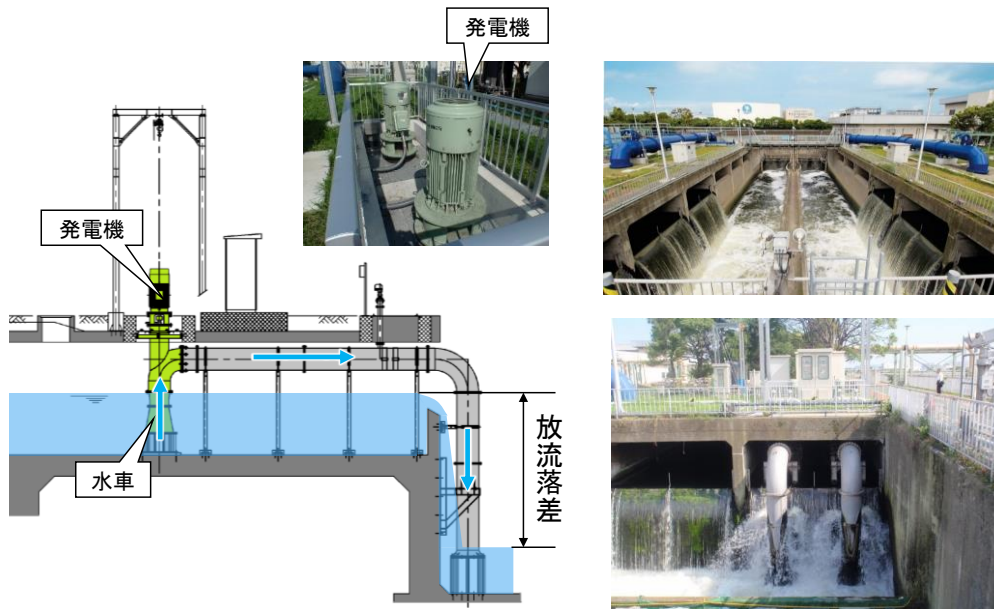


図 2-18 小水力発電設備（森ヶ崎水再生センター）

(4) 再生可能エネルギーの活用（下水汚泥のエネルギーの活用）

森ヶ崎水再生センターでは汚泥消化を行っており、メタンを主成分とした消化ガスを利用して 3,200kW の発電を行っている。また、東部スラッジプラントでは、汚泥から炭化物を製造して石炭の代替燃料として火力発電所等に供給している。（図 2-19）

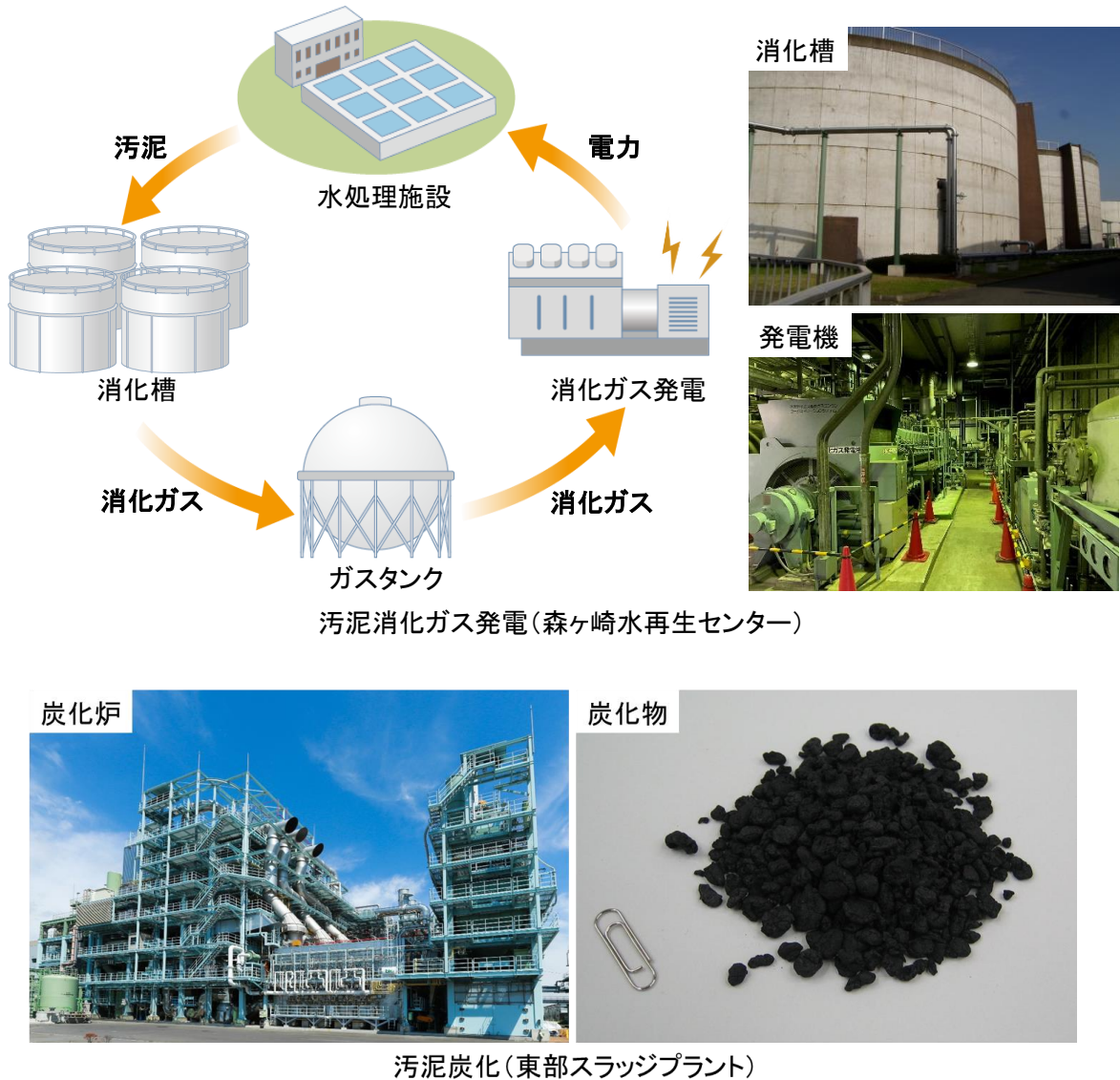
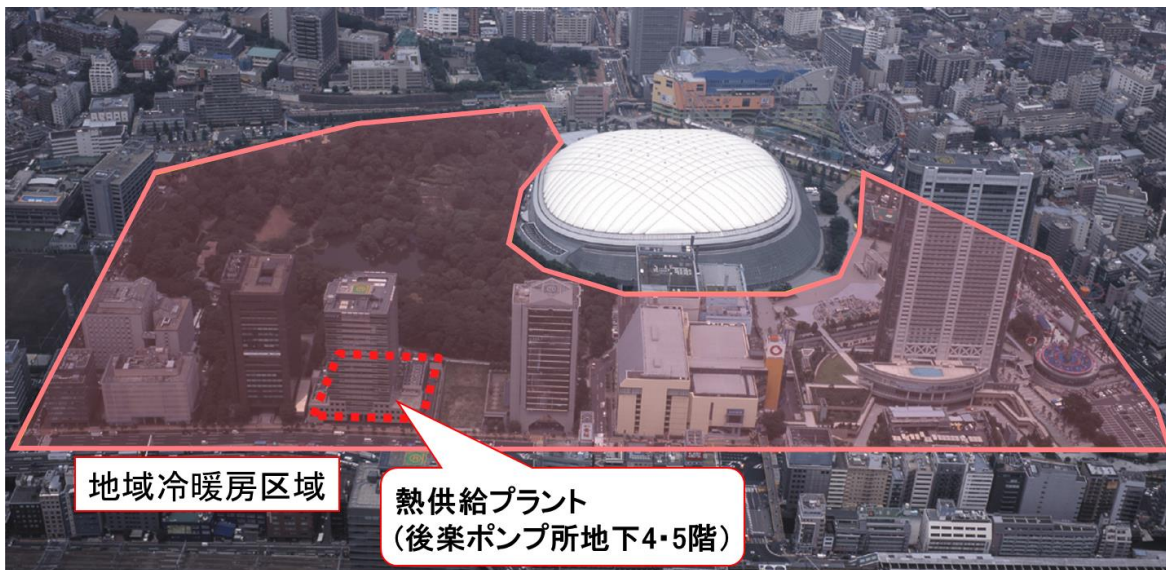
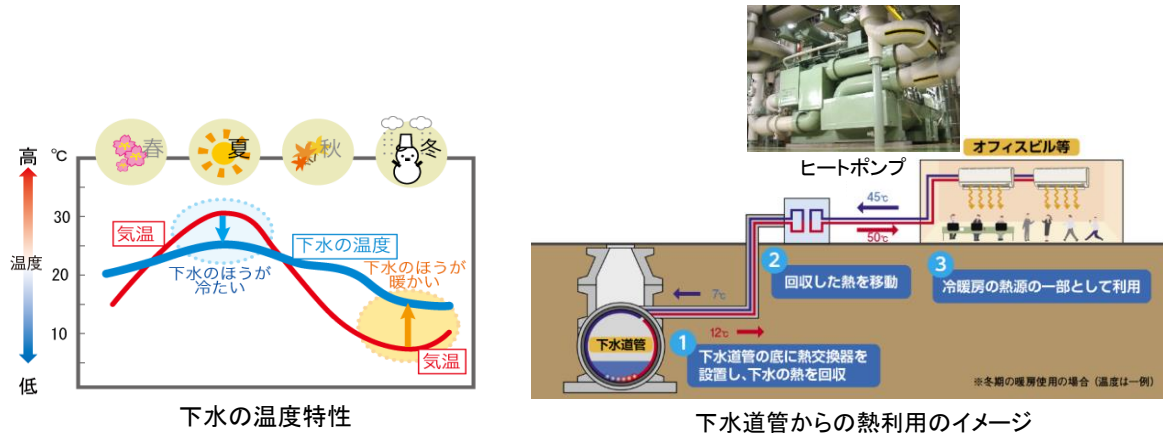


図 2-19 下水汚泥の有効活用

(5) 再生可能エネルギーの活用（下水熱の有効活用）

気温と比べ「夏は冷たく、冬は暖かい」という下水の温度特性を利用して、水再生センターの冷暖房の熱源として下水熱を利用している。また、東京ドーム周辺のオフィスビルやホテルなどへ下水熱を供給しているほか、個別のオフィスビル等へ冷暖房の熱源として下水処理水を供給している。

さらに、民間事業者等が下水道管に熱交換器を設置して、下水熱を回収し、オフィスビルなどの冷暖房の熱源の一部として利用できるような取組を推進している。（図 2-20）



下水熱を利用した地域冷暖房(後楽一丁目地区)

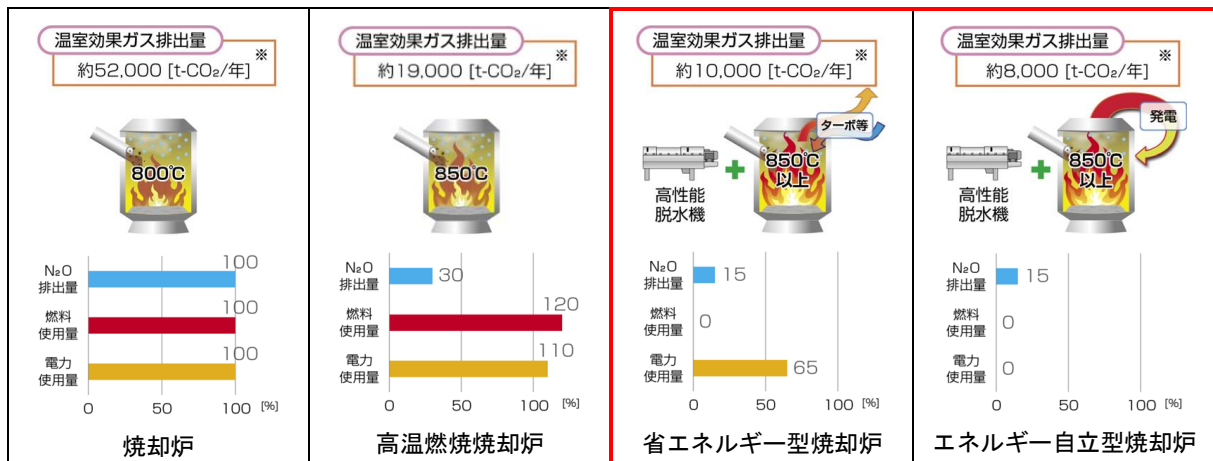
図 2-20 下水熱の有効利用

(6) 処理工程・方法の効率化（環境に配慮した焼却炉の導入）

下水道局では、温室効果ガス排出量を大幅に削減できる省エネルギー型焼却炉や、エネルギー自立型焼却炉を民間企業と共同研究して実用化し、導入を進めている。

800℃で燃焼する焼却炉の N₂O 排出量、燃料使用量、電力使用量を 100 としたときの各焼却炉との比較を図 2-21 に示す。850℃で燃焼する高温燃焼焼却炉は N₂O 排出量を大幅に削減できるが、燃焼温度を高めるためにエネルギーを使用するため、燃料や電力使用量が増加する。これに対し、省エネルギー型焼却炉やエネルギー自立型焼却炉は、脱水汚泥の含水率を低くできる高性能脱水機と組み合わせることにより運転時の燃料が不要となり、また、850℃以上で燃焼することで N₂O 排出量をさらに削減できる。

また、省エネルギー型焼却炉では排ガスを利用したターボなどの使用により電力使用量を大幅に削減できる。エネルギー自立型焼却炉では廃熱を利用した発電により、運転に必要な電力を自給することで、焼却炉の運転に必要な電力が不要となる。（図 2-22）



各焼却炉の比較（焼却能力 300t/日、稼働率 80%の場合）赤枠は下水道局で導入を推進している焼却炉

図 2-21 環境に配慮した焼却炉の導入



図 2-22 エネルギー自立型焼却炉（新河岸水再生センター）

2.3 2030年カーボンハーフに向けた課題

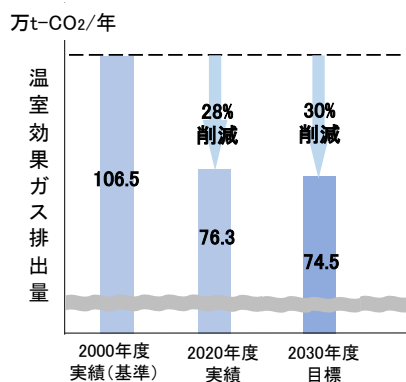
2.3.1 2030年における温室効果ガス排出量の見込み

地球温暖化防止計画「アースプラン2017」の取組を推進した場合の温室効果ガス排出量の見込みを図2-23(左)に示す。アースプラン2017では、電力の排出係数を固定係数(0.489t-CO₂/千kWh)としており、2020年度の実績は2000年度比28%削減であり、2030年度には30%削減の見込みとなる。

一方、2022年9月に策定された「東京都環境基本計画」と同様に、電力の排出係数を電気事業者別排出係数(以下「変動係数」という。)を用いて再試算した温室効果ガス排出量の見込みを図2-23(右)に示す。変動係数は2000年度(0.328t-CO₂/千kWh)よりも2020年度(0.441t-CO₂/千kWh)の方が大きくなることから、2020年度の削減率は21%削減となる。一方、2030年度(0.25t-CO₂/千kWh)は変動係数が大幅に改善され42%削減になると見込まれるが、カーボンハーフ(50%削減)には8%不足する。

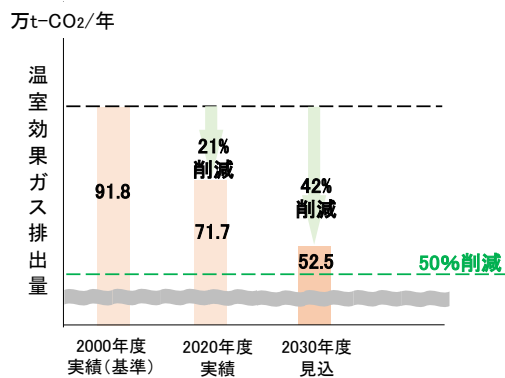
◇固定係数で算定した場合

電力の排出係数を0.489t-CO₂/千kWhに固定



◇変動係数で算定した場合

電力の排出係数は電気事業者の各年度の排出係数
2000年度:0.328、2020年度:0.441、2030年度:0.250t-CO₂/千kWh



固定係数：総量削減義務と排出量取引制度（東京都）などで使用している排出係数

変動係数：2000年度及び2020年度は東京電力の排出係数

2030年度は「2030年度におけるエネルギー需給の見通し（令和3年10月資源エネルギー庁）」における全電源平均の排出係数

図 2-23 「アースプラン2017」の取組による温室効果ガス排出量の見込み

2.3.2 処理工程における課題

下水道局の温室効果ガス排出量について、基準年度の2000年度実績と2020年度実績との各内訳の比較を図2-24に示し、2050年ゼロエミッションに向けた課題を述べる。

水処理工程の電力使用によるCO₂排出量①は、設備の省エネルギー化を進めているが、処理水質の向上や浸水対策などの下水道機能の向上の取組により増加している。一方、N₂O等の排出量②は、高度処理の導入によりわずかに減少している。そのため、下水道機能の向上の取組による電力増加への対応、大幅な省エネルギーを実現する機器やシステムの導入が課題である。さらに、N₂O等の効果的な削減対策や実態に合ったN₂O等の排出係数での算定といった課題がある。

汚泥処理工程の電力使用によるCO₂排出量③は、省エネルギー型焼却炉の導入や運転管理の工夫による省エネルギーによりわずかに減少している。また、燃料使用によるCO₂排出量④は、汚泥の低含水率化（含水率：74%以下）を進め、焼却時の補助燃料の使用量を削減できたことにより減少している。さらに、N₂O等の排出量⑤は、高温焼却炉の導入により大幅に減少している。これらについては、省エネルギー型機器の導入による電力や燃料削減の加速、あるいはN₂O等の更なる削減対策が課題となっている。

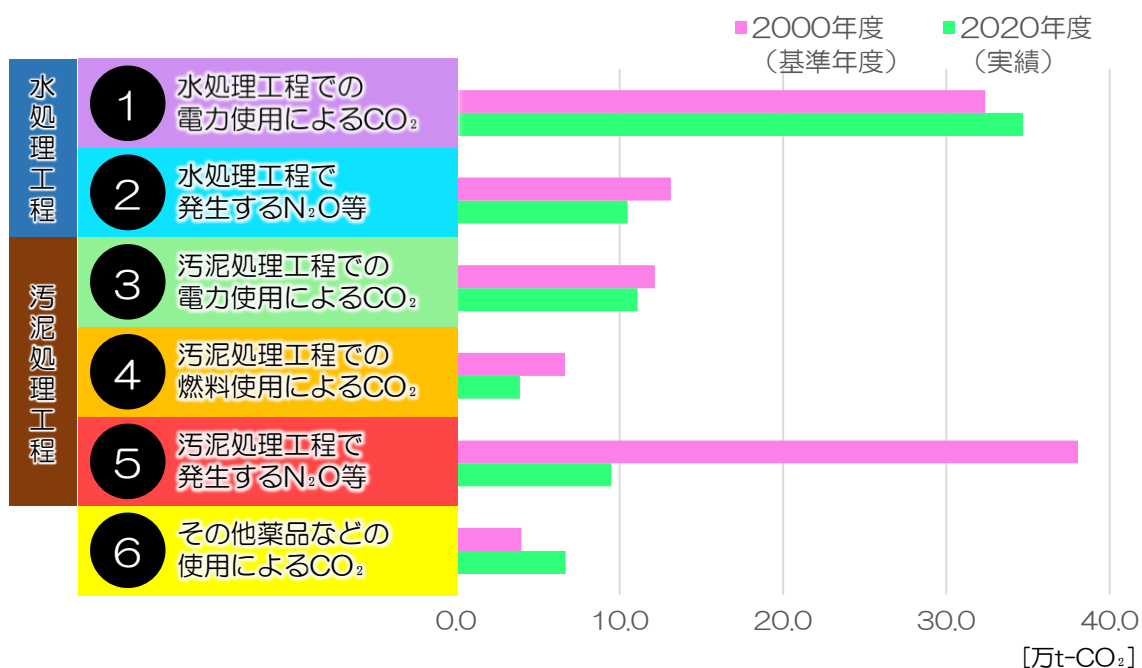


図 2-24 下水道局の温室効果ガス排出量の比較（2000年度と2020年度実績）

3. 2030年カーボンハーフと2050年ゼロエミッションの実現に向けて

2030年までの期間は10年を切っており、カーボンハーフの実現においては既存技術や早期の実用化が期待される先進技術の導入を推進していくことが重要となる。このため、アースプランやスマートプランでの取組を加速・強化する必要がある。具体的には、省エネルギー型機器や環境に配慮した焼却炉の導入など、現行計画の取組を加速するとともに、新たに技術開発した設備の導入や再生可能エネルギーの更なる活用、維持管理の工夫など、現行計画の取組を強化する必要がある。

一方、2050年ゼロエミッションの実現は、既存技術や先進技術の導入だけでは達成困難である。このため、下水道ポテンシャルを最大限に活用するとともに、先進技術の導入推進、革新的技術の開発・導入により温室効果ガス排出量を徹底的に削減する必要がある。また、外部での下水熱の利用を促進するなど、下水道資源を利用した社会への貢献も重要である。(図3-1)



図 3-1 2030年カーボンハーフ及び2050年ゼロエミッションの実現に向けた取組方針

4. 2030年までの具体的な取組

4.1 アースプラン・スマートプランの再試算

4.1.1 人口推計

全国と東京都の総人口の推計を図 4-1 に示す。全国では 2010 年を境に人口減少に転じているが、東京都の人口は 2025 年の 1,423 万人をピークに減少に転じ、2050 年には 1,295 万人になる見込みである。地域別では、区部は 2030 年、多摩・島しょは 2020 年に人口のピークを迎える見込みである。

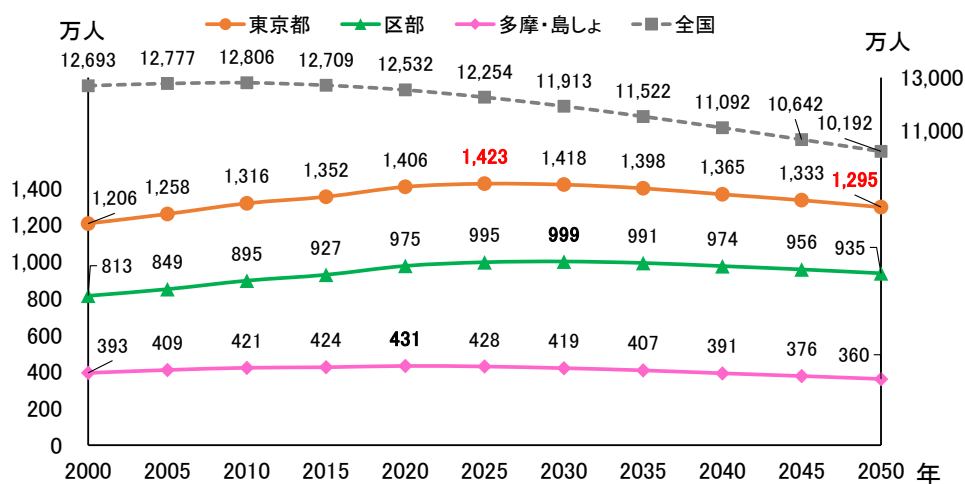


図 4-1 全国と東京都（区部、多摩・島しょ）の総人口の推計

東京都「未来の東京」を基に作成

4.1.2 下水処理量及び汚泥処理量の推計

人口推計、浸水対策及び合流式下水道の取組を考慮した、下水処理量及び汚泥処理量の推計を図 4-2 に示す。浸水対策や合流式下水道の改善に伴う貯留施設等の整備により下水処理量及び汚泥処理量は増加するが、2026 年以降の人口減少のため 2020 年代は概ね横ばいで推移すると予測される。2030 年以降は人口減少の加速に伴い、下水処理量及び汚泥処理量は減少する見込みである。

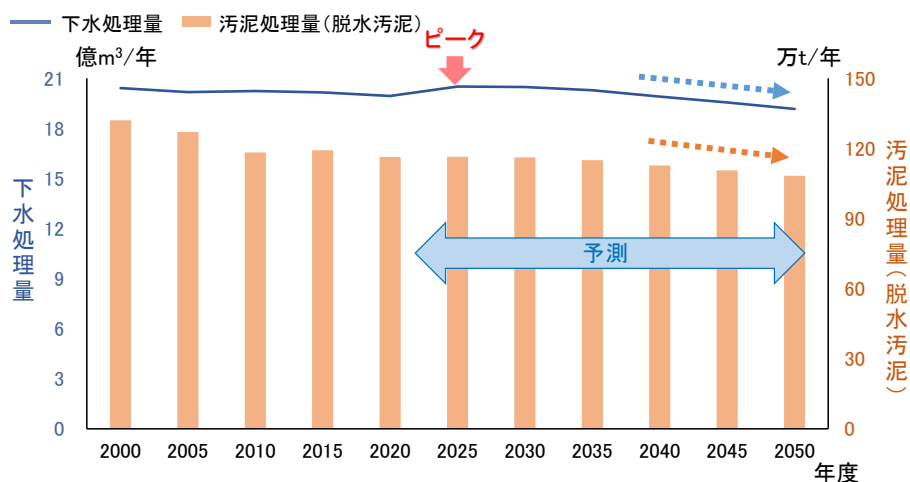


図 4-2 下水処理量、汚泥処理量の推計

4.1.3 削減効果の再試算

現行計画で見込んでいた削減効果を上回る取組があるため、削減効果の再試算を行う。例として、エネルギー自立型焼却炉は、共同研究の目標値を用いて削減効果を試算していたが、目標値を上回る性能の焼却炉が導入される予定である。

現行計画で見込んでいた削減効果（青枠）と新河岸水再生センターに導入された焼却炉の仕様（赤枠）との比較を図 4-3 に示す。電力使用量は目標値の 0kWh を上回る-160kWh、N₂O 排出量原単位も目標値 1.15kg-N₂O/t-DS を上回る 0.92kg-N₂O/t-DS となっており、再試算することで削減効果が向上する。

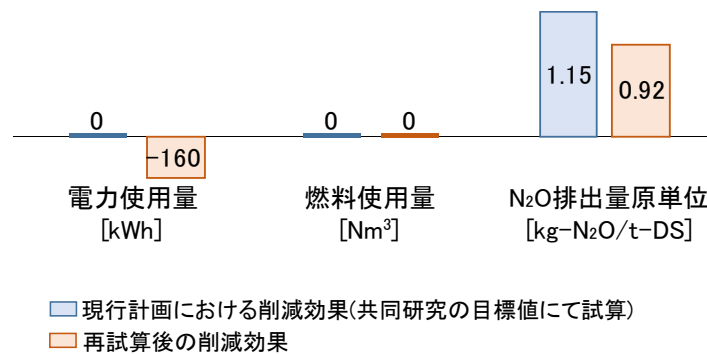


図 4-3 削減効果の再試算例（エネルギー自立型焼却炉）

4.2 アースプラン・スマートプランの取組の加速

4.2.1 省エネルギー型機器の導入

2023 年度以降の省エネルギー型機器の導入台数を現行計画より 1 割程度増加させる。具体的には、水処理工程では微細気泡散気装置の導入及びばっ気システムの最適化等を進め、汚泥処理工程では省エネルギー型濃縮機等の導入を加速する。

4.2.2 環境に配慮した焼却炉の導入

省エネルギー型焼却炉やエネルギー自立型焼却炉の導入を着実に推進するとともに、さらに高性能なエネルギー供給型焼却炉の技術開発を加速する。（図 4-4）

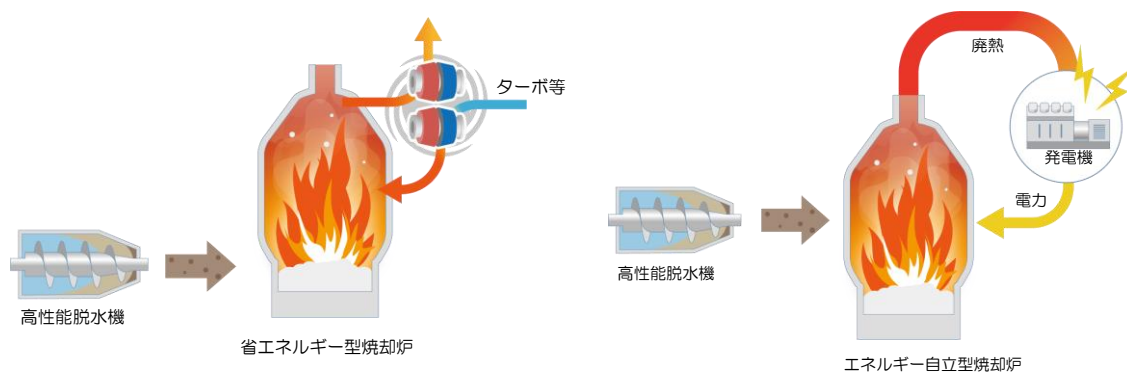


図 4-4 省エネルギー型焼却炉（左）及びエネルギー自立型焼却炉（右）のイメージ

4.3 アースプラン・スマートプランの取組の強化

4.3.1 技術開発した設備の導入

(1) エネルギー供給型焼却炉

汚泥処理工程ではエネルギー供給型焼却炉を開発する。この技術は焼却炉に汚泥を投入する前に乾燥工程を追加して汚泥の更なる低含水率化を図り、燃焼効率を高めて発電量を増加させる。

これまでのエネルギー自立型焼却炉では、焼却炉で使用する電力を発電して賄っていたが、エネルギー供給型焼却炉では焼却炉で使用する電力以上に発電し、焼却炉以外にも電力を供給して温室効果ガス排出量を削減できる。

2022年度に共同研究を開始する予定であり、2030年までの導入を目指す。(図 4-5)

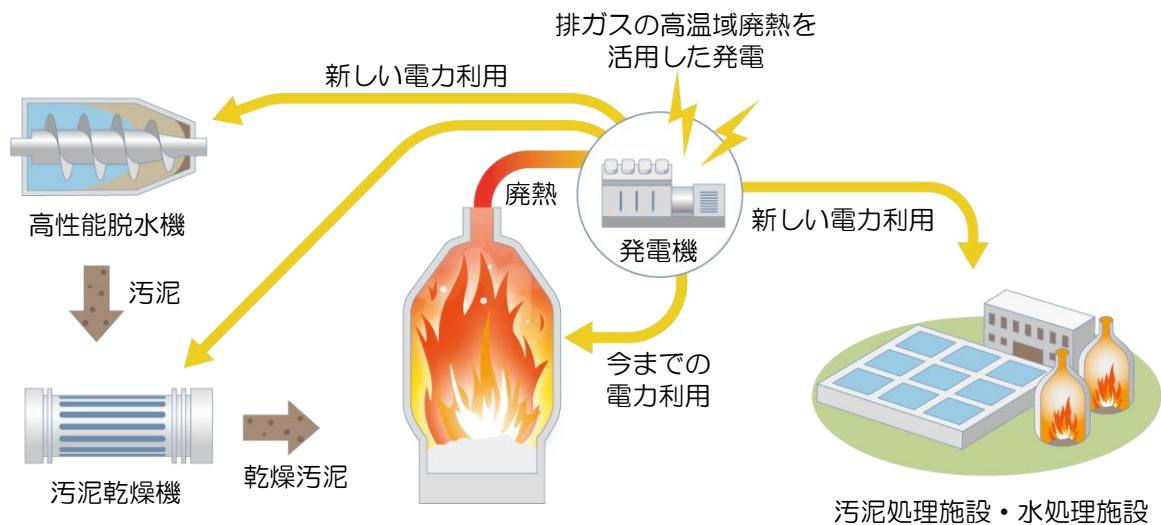


図 4-5 エネルギー供給型焼却炉 (イメージ)

(2) AI を活用した送風量制御技術

水処理工程では AI を活用した送風量制御技術を開発する。この技術はリアルタイムで収集した流入水の水質、反応槽内の水質や活性汚泥の濃度、処理水質、送風量など多くのデータを AI が解析して最適な送風量を算出し、送風機の運転と風量調節弁の開度を制御する。

これにより、流入水質に応じた送風機運転により必要最小限の電力使用で処理水質を良好に保つことができ、温室効果ガス排出量を削減することができる。

この技術については共同研究に既に着手しており、2030年度までの導入を目指す。(図 4-6)

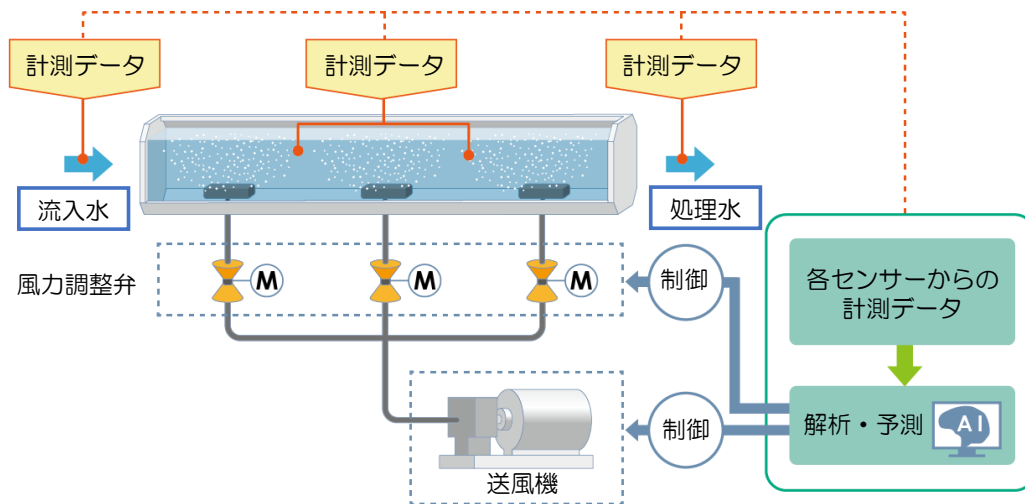


図 4-6 AI を活用した送風量制御技術（イメージ）

4.3.2 再生可能エネルギーの更なる利用

(1) 消化ガスを活用した新たな事業

森ヶ崎水再生センターの消化ガスを用いた発電事業（PFI 事業）が 2023 年度で終了予定のため、新たな事業の検討を進めている。消化ガスを活用した事業の例としては、消化ガス発電、水素製造、CO₂回収などが挙げられる。新たな事業では、消化ガスを最大限活用できる、より効率的なシステムを導入し、温室効果ガス排出量をさらに削減できるように検討する。

（図 4-7）

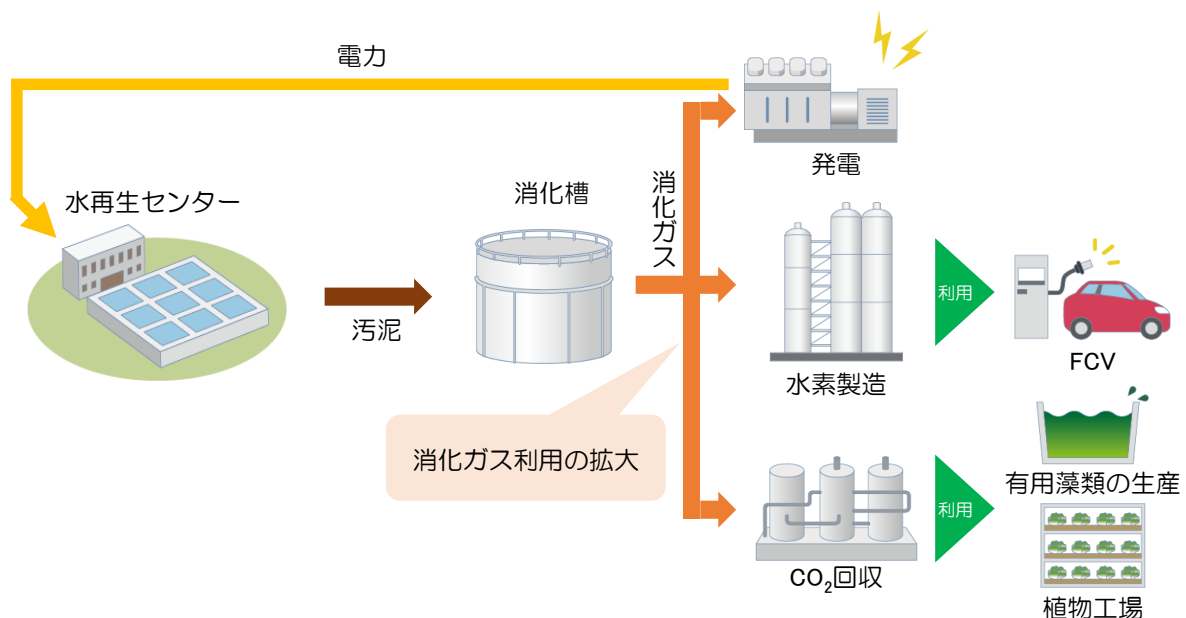


図 4-7 消化ガスを活用した新たな事業（イメージ）

(2) 太陽光発電

下水道局ではこれまで建物の屋上や施設の空間を活用し、48か所で約5,900kWの太陽光発電設備を導入している。(図4-8) 今後、施設上部や下水処理施設の再構築用地などにおいて、東京ソーラー屋根台帳等を活用して太陽光発電設備の設置場所を再検討し、導入拡大を目指す。(図4-9)



施設上部の設置例(森ヶ崎水再生センター反応槽上部) 下水処理施設の再構築用地などの設置例(南多摩水再生センター)

図4-8 太陽光発電設備の導入事例



図4-9 東京ソーラー屋根台帳 Copyright© Tokyo Environmental Public Service Corporation.

4.3.3 維持管理の工夫

下水道局ではこれまでエネルギー使用量や温室効果ガス排出量について、様々なデータを収集して分析を行ない、独自で運用改善及び設備更新による省エネルギーに取り組んできた。今後、専門家による省エネルギー診断を活用し、エネルギー管理についての現状分析や改善点などについてアドバイスを受け、更なる運用改善などにより効果的に省エネルギーを推進する。(図 4-10)



図 4-10 省エネルギー診断 (イメージ)

令和3年度下水道技術開発会議エネルギー分科会(第2回)資料より引用

「(公財)日本下水道新技術機構の脱炭素化への取組」を基に作成(参考: <http://www.nilim.go.jp/lab/eag/energybunkakai2.html>)

4.4 取組による地球温暖化対策効果の見込み

4.4.1 温室効果ガス排出量

アースプラン・スマートプランの再試算および取組の加速・強化を実施した場合の温室効果ガス排出量の見込みを図 4-11 に示す。2030 年度の温室効果ガス排出量は 45.3 万 t-CO₂ となり、2000 年度の温室効果ガス排出量 91.8 万 t-CO₂ に対して 51% 削減の見込みとなる。

水処理工程では、微細気泡散気装置などの省エネルギー型設備の導入台数の増加や、太陽光発電設備などの再生可能エネルギーの利用拡大に加え、電力の排出係数の改善により、電力使用による CO₂ は大幅な削減が見込まれる。汚泥処理工程では、省エネルギー型焼却炉やエネルギー自立型焼却炉の着実な導入に加え、エネルギー供給型焼却炉の導入により電力使用量や燃料使用量が一層削減され、エネルギー起源の CO₂ は大幅な削減が見込まれる。また、燃焼温度の更なる高温化により N₂O も一層削減する見込みである。

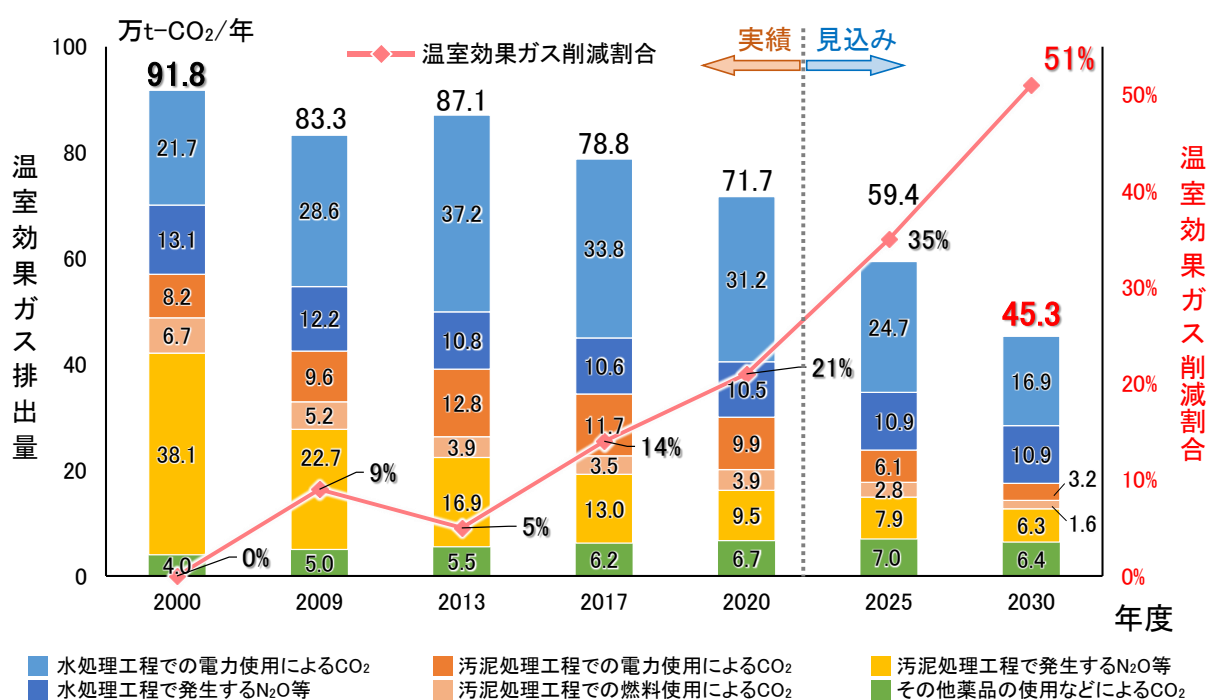


図 4-11 温室効果ガス排出量の見込み

4.4.2 エネルギー消費量・再生可能エネルギー電力利用割合

アースプラン・スマートプランの再試算および取組の加速・強化を実施した場合のエネルギー消費量及び再生可能エネルギー電力利用割合の見込みを図 4-12 に示す。2030 年度のエネルギー消費量は 3,565TJ となり、2000 年度比で 25%削減の見込みである。また、2030 年度の再生可能エネルギー電力利用割合は 45%の見込みとなる。

なお、再生可能エネルギー電力利用割合は、「購入電力量+発電再エネ電力量」に対する「購入再エネ電力量+発電再エネ電力量」の割合であり、下記の式にて算出している。

$$\text{再生可能エネルギー電力利用割合} = \frac{\text{購入再エネ電力量} + \text{発電再エネ電力量}}{\text{購入電力量} + \text{発電再エネ電力量}}$$

購入再エネ電力量：外部から購入した電力の内、再生可能エネルギーによる電力量

発電再エネ電力量：再生可能エネルギーを利用して発電し、消費した電力量

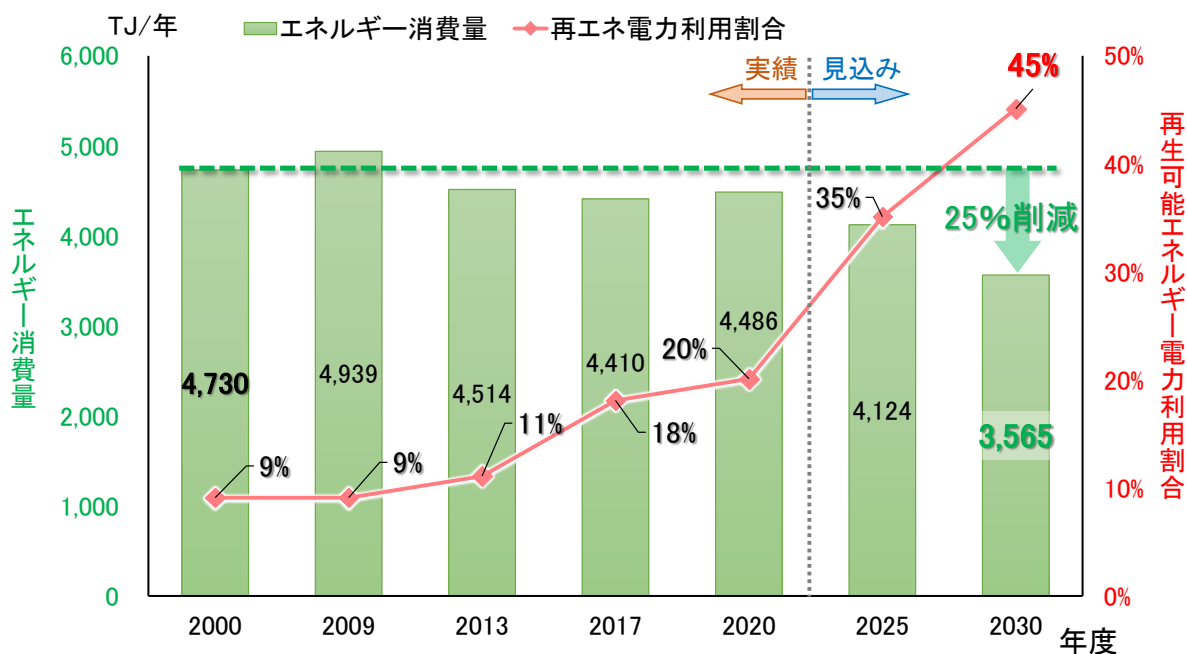


図 4-12 エネルギー消費量と再生可能エネルギー電力利用割合の見込み

4.5 2030年カーボンハーフ実現に向けた目標

2030年度における温室効果ガス排出量は51%削減が見込まれることから、2030年度の目標は『温室効果ガス排出量50%以上削減』と設定する。(表4-1) また、下水道事業ではエネルギー起源CO₂以外にN₂O等の温室効果ガスを排出しており、温室効果ガス排出量の削減にあたってはエネルギー起源CO₂とN₂O等の削減を総合的に勘案しながら取り組む必要があることから、エネルギー消費量と再生可能エネルギー電力利用割合は、「エネルギー消費量：約25%程度削減」、「再生可能エネルギー電力利用割合：45~50%程度」を目指して取り組む。

項目	東京都環境基本計画	下水道局	
	2030年目標値	2030年度見込み	2030年度目標値
温室効果ガス排出量 (カーボンハーフ)	50%削減	51%削減※1	50%以上削減

※1 51%削減の内訳：エネルギー起源CO₂排出量は31%削減、N₂O等排出量は66%削減

<温室効果ガス排出量の削減目標の達成に向けたエネルギー見込み>

- ✓ エネルギー消費量：25%削減見込み
- ✓ 再生可能エネルギー電力利用割合：45%※2見込み ⇒ 引き続き、50%程度を目指して取り組む

※2 45%の内訳：電力供給側の再エネ分38%、局の再エネ発電分7%(再エネ導入拡大：13,000kW→20,000kW)

表4-1 2030年カーボンハーフ実現に向けた目標

4.6 国の地球温暖化対策計画への貢献

下水道局の年間処理水量(約22億m³)は、全国の年間処理水量(約152億m³)の約14%(2019年度下水道統計)である。地球温暖化対策計画に示された下水道における2030年度の温室効果ガス削減量は208万t-CO₂(2013年度比)に対して、国と同様に試算した下水道局の温室効果ガス削減量は18.3万t-CO₂の見込みであり、全体の約9%に相当する。

表4-2に示すとおり、処理水量当たりのエネルギー起源CO₂排出量は、国の指標0.09t-CO₂/千m³に対して0.11t-CO₂/千m³であり、わずかに多くなる見込みである。区部の合流式下水道、東京湾の水質改善のための窒素除去率の向上など、東京都の下水処理の特性が影響していると推定される。その他の2つの指標では国の指標を達成する見込みであり、特に、新型炉・固形燃料化炉の設置基数は、国の指標64基に対して26基であり大きな貢献となる。

地球温暖化対策計画	国の指標 (2030年度時点)	当局の見込値 (2030年度時点)
省エネルギー・創エネルギー対策の推進 (排出削減見込量 130万t-CO ₂)		
処理水量当たりのエネルギー起源CO ₂ 排出量(t-CO ₂ /千m ³)※	0.09	0.11
下水道汚泥エネルギー化率(%)	37	57
下水汚泥焼却施設における焼却の高度化等 (排出削減見込量 78万t-CO ₂)		
下水汚泥焼却高度化率(%)	100	100
新型炉・固形燃料化炉の設置基数	64基	26基

※水処理工程のみで排出されるエネルギー起源CO₂排出量

表4-2 国の地球温暖化対策計画への貢献

5. 2050年ゼロエミッションを見据えたビジョン

2030年カーボンハーフの実現に向けては、既存技術や早期の実用化が期待される先進技術の導入により達成を目指す一方、2050年ゼロエミッションを実現するためには、水処理工程、汚泥処理工程ともに多くの課題があり、更なる先進技術や革新的技術の開発・導入が必要である。

5.1 各処理工程における課題

(1) 水処理工程の課題

電力使用によるCO₂排出量①の内訳(2020年度実績)は、揚水(汚水ポンプ等)が約30%、水処理(送風機)が約30%、その他が約40%となっている。(図5-1)今後、引き続き高効率設備の導入や送風量の最適化を図ったとしても、CO₂の削減効果は約1割程度であり、電力の排出係数の改善効果を見込んでも、2050年度の電力使用によるCO₂排出量は2020年度に対して5割程度の削減にとどまる見込みである。このため、ゼロエミッションの実現に向けては、革新的技術によるブレークスルーが必要である。

また、N₂O等の排出量②において、N₂Oの発生源の内訳(2020年度実績)は、標準活性汚泥法が約95%、AO法が約2%、A₂O法が約3%である。今後、標準活性汚泥法よりN₂Oの排出係数が小さいAO法やA₂O法の導入が拡大してもCH₄の削減効果がないため、N₂O等の削減効果は5割程度にとどまる見込みである。このため、ゼロエミッションの実現に向けては、N₂OやCH₄の発生を抑制する技術や除去する技術など、革新的技術の開発・導入が必要である。

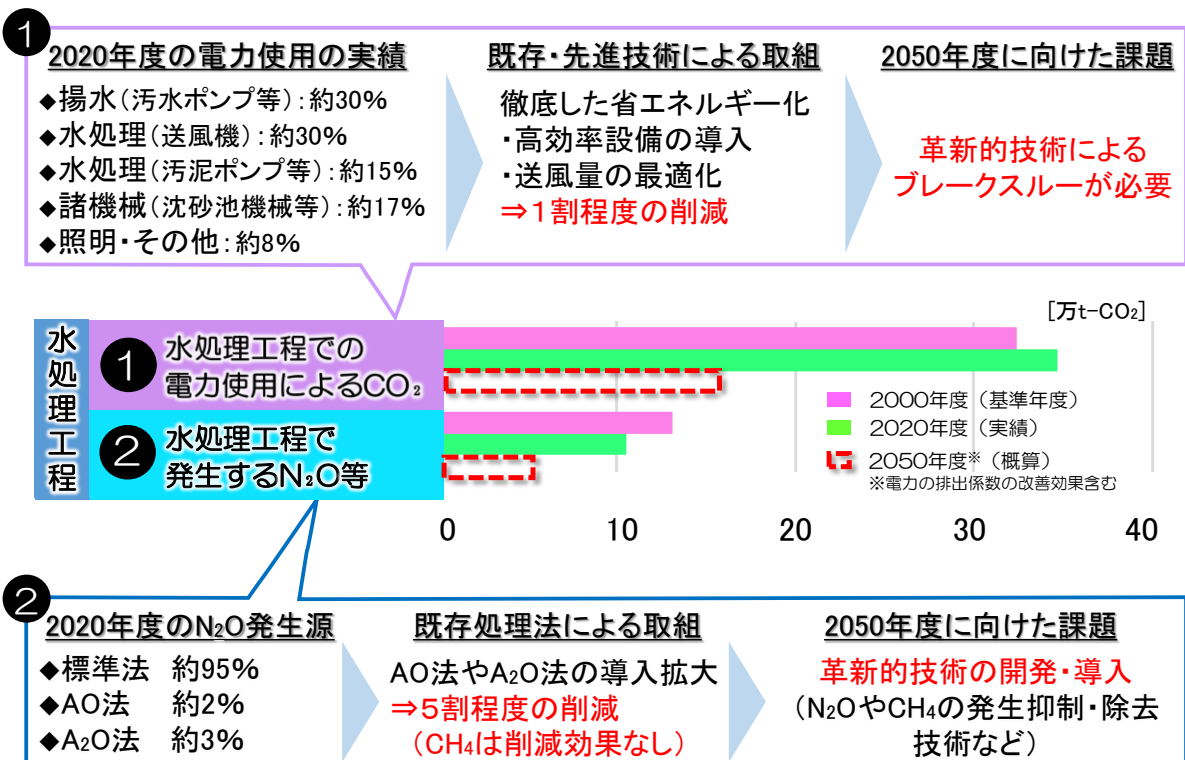


図 5-1 水処理工程における課題

(2) 汚泥処理工程の課題

電力使用による CO₂ 排出量③の内訳（2020 年度実績）は、濃縮・脱水・焼却が約 80%、照明・その他が約 20%である。（図 5-2）今後、省エネルギー型機器の導入や焼却炉などでの発電により CO₂ の削減効果は 7 割程度となり、電力の排出係数の改善効果を見込むと、2050 年度の電力使用による CO₂ 排出量はゼロに近づく。しかし、ゼロエミッションの実現に向けては、下水汚泥のポテンシャルをさらに活用し、水処理工程・汚泥処理工程にも電力を供給していく必要がある。

また、燃料使用による CO₂ 排出量④は、脱水汚泥の低含水率化によりゼロに近づく。

N₂O 等の排出量⑤は、850℃以上の高温焼却により削減効果が 8 割程度となる。このためゼロエミッションの実現に向けては、燃焼温度の更なる高温化及び N₂O 分解触媒などの導入が必要である。

その他薬品などの使用による CO₂ 排出量⑥において、下水処理で使用する薬品等は下水道機能を確保する上で不可欠であるが、使用量の削減や低炭素製品の使用などにより CO₂ 排出量を削減する必要がある。

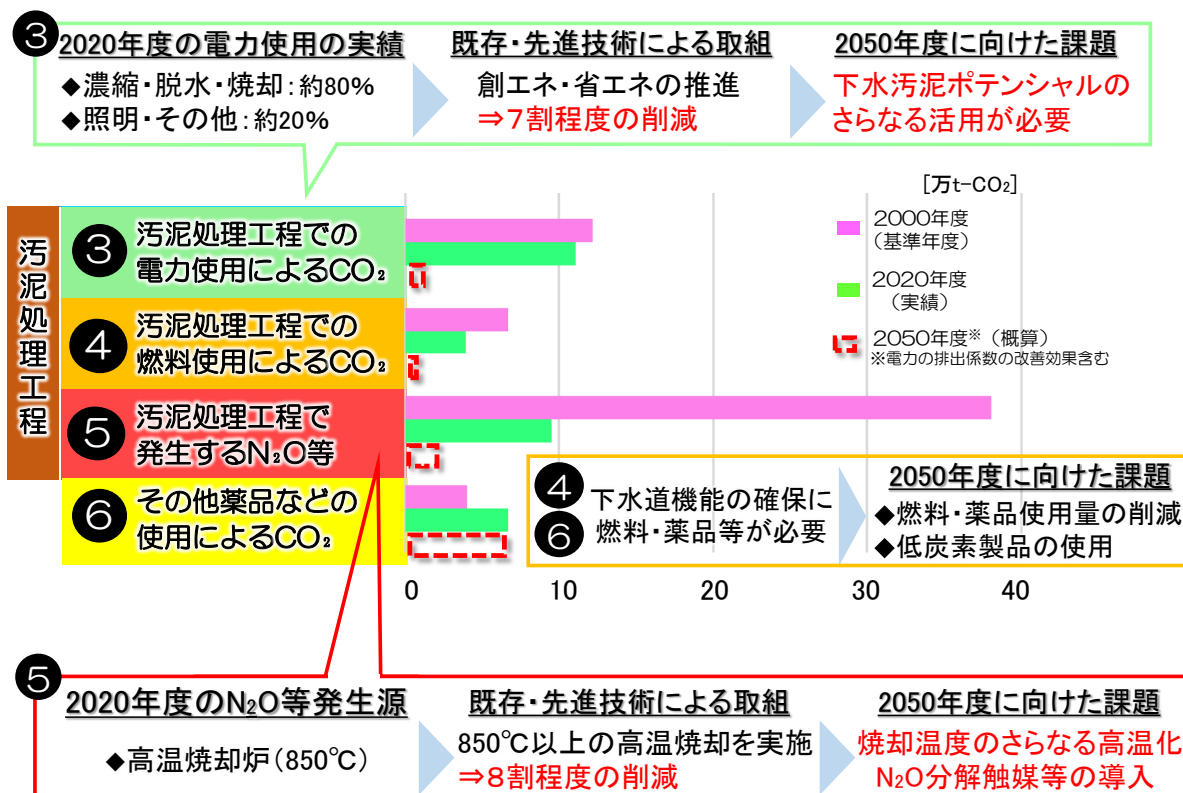


図 5-2 汚泥処理工程における課題

5.2 国内外における脱炭素化技術

5.2.1 国内事例

日本下水道事業団及び東京下水道設備協会から脱炭素化技術の紹介があった。これらの技術も参考にして新たな取組を検討していく必要がある。

(1) 日本下水道事業団からの紹介

「カーボンニュートラル型下水処理システムの開発」に向け、下水が有するエネルギーポテンシャルを最大限に利用する下水中の有機物回収/濃縮技術と創エネルギー技術の組合せや、これに従来の活性汚泥法に代わる超省エネルギー型の水処理技術をさらに組み合わせるなど、水処理・汚泥処理の全体最適化によりカーボンニュートラルを達成する新たな下水処理システムを開発する必要がある。今後 2 年間で動向調査を行い、その後 3 年間で基礎調査、2040 年までに実用化に向けて技術を開発する目標を掲げている。

(2) 東京下水道設備協会からの紹介

水処理設備においては、従来の送風機設備の高効率化などの更なる改善、処理水量と送風量の最適化運転、処理施設の規模に応じた大型送風機設備、個別送風機設備の使い分けなどにより省エネルギー化を進める必要がある。

汚泥処理設備においては、脱水汚泥の含水率の更なる低減、熱回収効率・発電効率の向上などの創エネルギーに係る技術開発を進める必要がある。

制御設備技術は今後大きく発展していく可能性が有り、下水道局は揚水設備、水処理設備、汚泥処理設備について精度の高いビックデータを保持していることから、ビックデータに基づく AI を活用した最適化運転が期待される。また、水処理を含めたセンターの全体最適化制御なども期待される。

5.2.2 海外事例

海外でエネルギー自給を達成している処理場（5 事例）を文献にて調査した。これらの技術も参考にして新たな取組を検討していく必要がある。

(1) 徹底した温室効果ガスの削減に関する取組

- 省エネルギー化の徹底
 - ・アナモックス細菌を使用した脱窒処理法
 - ・AI 制御を活用した汚泥処理システムの最適制御技術
- 再生可能エネルギーの利用拡大
 - ・風力発電の導入
- 下水道が有するポテンシャルの最大活用
 - ・有機物回収効率の高い水処理・汚泥処理技術
 - ・熱電併給(CHP : Combined Heat and Power)の導入

(2) 社会への貢献に関する取組

- ・余剰熱及び消化ガスから精製したガスを地域供給
- ・廃食用油等、バイオマスの受入

5.3 2050年ゼロエミッションの実現に貢献する対策

浸水対策や合流式下水道の改善などの下水道機能の向上を図りながら、エネルギー・地球温暖化対策を推進し、2050年ゼロエミッションの実現に貢献するためには、徹底した温室効果ガスの削減や社会への貢献が重要である。

5.3.1 徹底した温室効果ガスの削減に寄与する対策

(1) 既存技術や早期の実用化が期待される先進技術の導入の推進

早期の実用化が期待される先進技術の例として、エネルギー供給型焼却炉やAI制御を用いた水処理・汚泥処理技術がある。これらの技術は2030年以降も導入を推進する必要がある。

(2) 下水道ポテンシャルや下水道資源の最大限の活用、革新的な技術の開発・導入

下水道ポテンシャルや下水道資源を最大限に活用する例として、バイオマス発電や汚泥焼却廃熱発電、有機物回収効率の高い水処理・汚泥処理技術などが挙げられる。

また、革新的技術の例として、水処理工程における N_2O や CH_4 の発生抑制技術・回収技術や、窒素除去効率の高い水処理技術、ネガティブエミッション技術、次世代型太陽電池、小形風力発電、下水道エネルギーマネジメントシステムなどが挙げられる。

ゼロエミッションに向けた2050年の温室効果ガス排出量の考え方を図5-3に示す。5.1のとおり、既存技術や先進技術の導入を2050年まで継続した場合においても、温室効果ガス排出量をゼロにすることはできず、約30万 t-CO_2 の温室効果ガスを排出する見込みである。

そのため上記の対策のとおり、下水道ポテンシャルなどを最大限に活用するとともに、革新的技術の開発・導入により省エネルギーと創エネルギーを強力に推進することで、温室効果ガス排出量の更なる削減を目指す必要がある。しかし、下水道事業を実施する上で揚水などに係る電力や処理に係る薬品などは不可欠であり、省エネルギーと創エネルギーを推進しても温室効果ガス排出量をゼロにすることは困難である。そのため、革新的技術の1つであるネガティブエミッション技術にて、下水処理から発生するバイオマス由来の CO_2 を回収し、利用・貯留することで温室効果ガス排出量をオフセットするなどの対策が有効である。

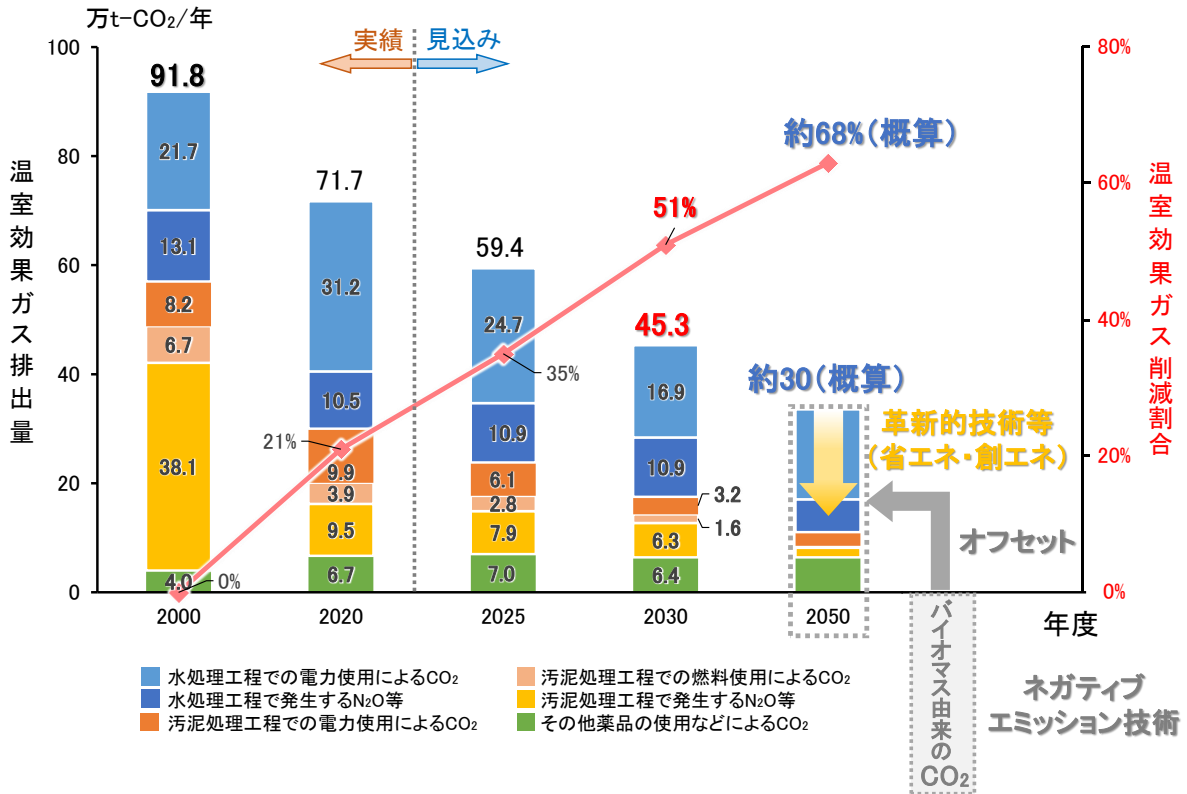


図 5-3 2050年ゼロエミッションの実現に向けた温室効果ガス排出量の考え方

5.3.2 社会への貢献に寄与する対策

(1) 下水道資源の利用拡大

現在、下水熱の供給は熱源水等を供給可能な水再生センター等周辺で行っているが、近年、下水道管渠から直接熱利用することが可能になり、下水道局でも民間事業者等による熱利用を推進している。今後も水再生センター周辺での熱利用に限定せず、それ以外の地域においても下水熱の有効利用を拡大していく必要がある。

また、近年、低CO₂アスファルトやコンクリート等が開発・導入されている。下水道局では、下水汚泥の焼却灰をコンクリート製品に活用しており、今後も機能向上を図った下水道資源由来の材料を社会へ提供していくことが重要である。

こうした下水道資源を利用した社会への貢献に努めていく必要がある。

5.4 下水道ポテンシャルの活用

2050年ゼロエミッションの実現においては、水処理・汚泥処理工程でエネルギーポテンシャルを最大限活用することが必要となる。本検討では、下水道のエネルギーポテンシャルを有機物の観点から整理を行った。(図 5-4)

流入下水(有機物)が有するポテンシャルを100%とした場合、現状で消化ガス発電や汚泥焼却廃熱発電、資源化により有効利用できているポテンシャルの割合は3%であった。未利用なポテンシャルは簡易放流や処理水による排出(16%)、焼却時の排ガス等の放出(41%)、反応槽での呼吸(40%)の計97%であった。また、下水処理に要する電力・燃料のエネルギーは44%相当であり、水処理において28%、汚泥処理において16%という内訳となっている。

上記の整理より、下水道ポテンシャルを更に活用するとともに、省エネルギー型機器の導入や再生可能エネルギーの利用を拡大することで、電力・燃料などのエネルギー使用量を削減することが重要である。例えば、ポテンシャルの利用として、第一沈殿池での有機物回収量の増加や汚泥焼却廃熱発電の強化といった検討が必要となる。

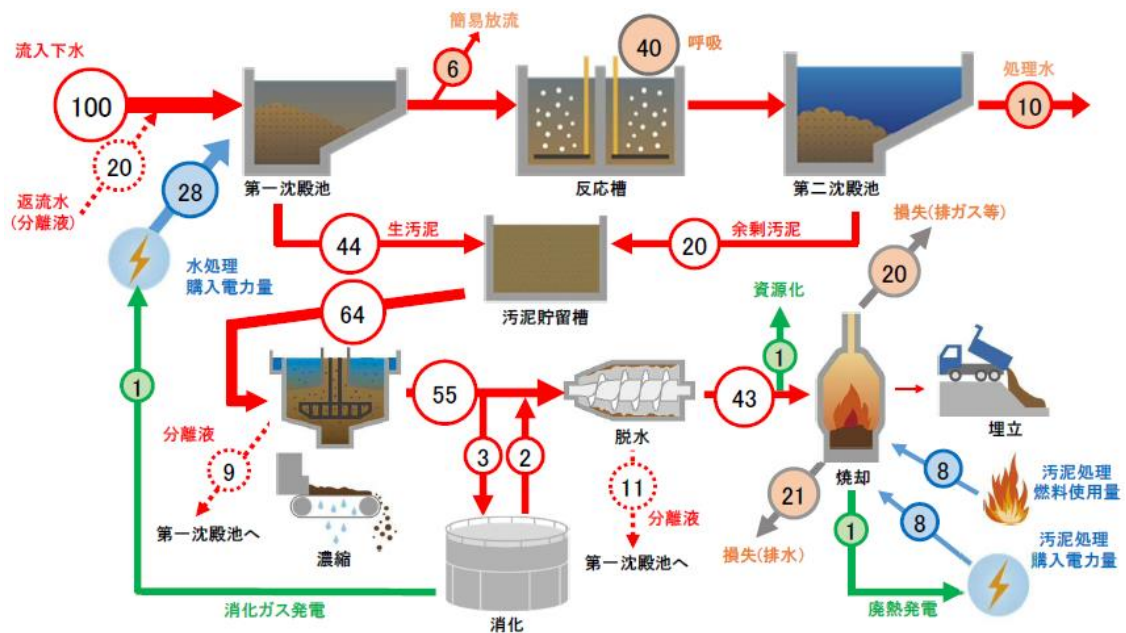


図 5-4 下水道ポテンシャル (令和2年度の区部実績から試算)

5.5 革新的技術（ネガティブエミッション技術等）

革新的技術の一つであるネガティブエミッション技術とは、バイオマス由来 CO_2 を回収して、利用・貯留する技術であり、カーボンオフセットとして期待される。下水汚泥を消化する工程で発生する消化ガスを利用した発電では、バイオマス由来 CO_2 が約 1 万 t/年排出されている。また、汚泥焼却ではバイオマス由来の CO_2 が約 45 万 t/年排出されている。前述のとおり、2050 年の温室効果ガス排出量は約 30 万 t- CO_2 の見込みであり、約 46 万 t- CO_2 をオフセットできれば、ゼロエミッションの実現が可能である。

水処理工程では、 NH_4^+ や CH_4 が発生しており、下水道資源としての有効活用の検討が必要である。ただし、水素やアンモニアの活用に関しては、エネルギー消費量や販売コスト等に課題があり、これらを踏まえて検討する必要がある。(図 5-5)

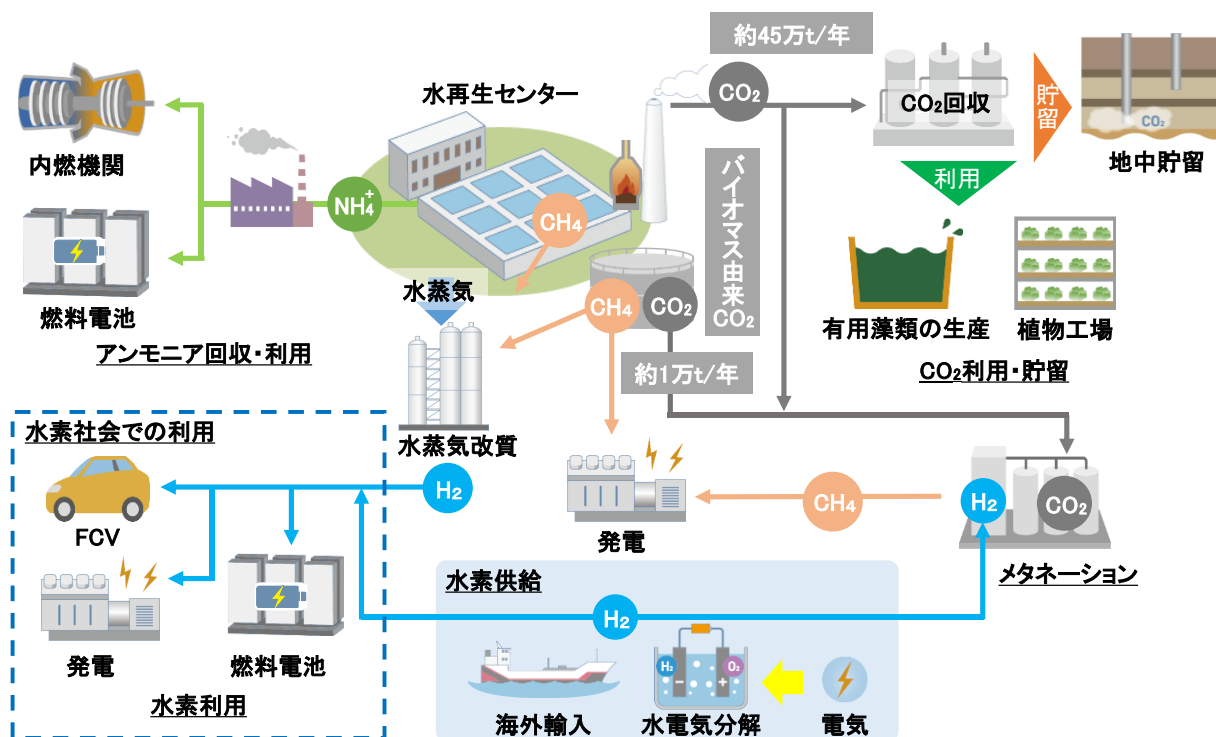


図 5-5 革新的技術のイメージ（ネガティブエミッション技術等）

5.6 2050年ゼロエミッションに向けたロードマップ

2050年ゼロエミッションの実現に向けて、徹底した温室効果ガスの削減を推進するには、革新的技術の開発・導入が必要である。現時点で2050年に向けた技術を絞り込むことは困難であるため、基礎調査や技術動向を見ながら2030年頃までに導入する技術を絞り込み、産学公が連携して技術開発・導入を推進していくことが重要である。(図 5-6)

また、社会への貢献については、下水熱の利用の拡大等に取り組むとともに、低炭素アスファルトやコンクリート等を早期に導入していくなど下水道資源を利用していく必要がある。

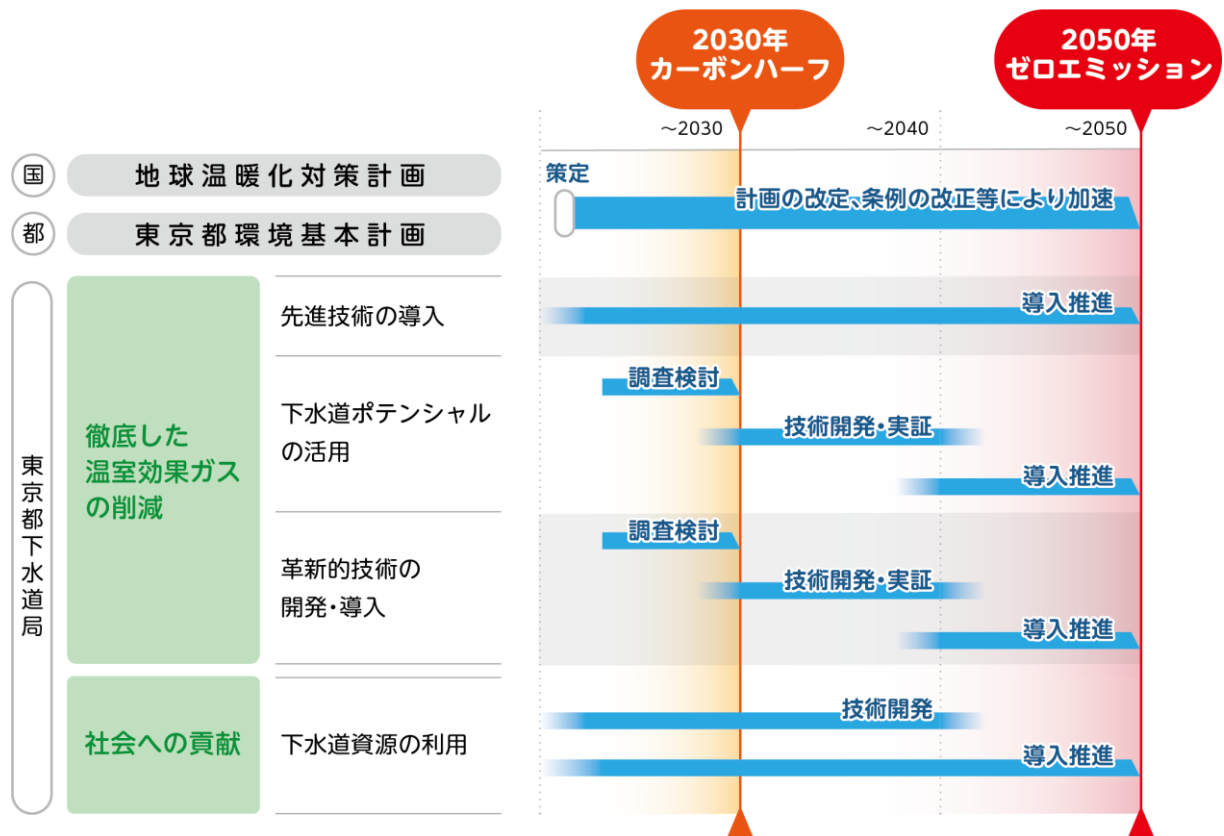


図 5-6 2050年ゼロエミッションの実現に向けたロードマップ

6. 委員からの意見

各委員会での委員からの主な意見は、以下のとおりである。

➤ 全体方針

- ・社会情勢の影響により、2030年の国の電源構成目標が変更となる可能性があるため留意する必要がある。
- ・電力構成目標が変更になることを見据え、変動係数に依存せず確実にCO₂排出量を削減できる取組について検討する必要がある。
- ・下水道事業は公的な側面と私的な側面があり、費用負担については、雨水公費、汚水私費の原則があるが、汚水処理の中には公的な側面もあるため、温暖化対策の財源の考え方を明確にする必要がある。
- ・地球温暖化対策は環境問題の解決に資する事業であるため、企業債としてグリーンボンドの活用を検討していく必要がある。また、グリーンボンドについて、小中学校や高校などで教えていくと、環境教育・金融教育にも貢献できる。

➤ 2050年ゼロエミッションを見据えたビジョン

○海外事例

- ・海外事例のエネルギー収支を明確にして東京都との違いを可視化することで、技術開発を重点的に行う箇所が見えてくる。また、バイオマスを受入れている処理場については、水質への影響などの情報を集めて外部からのエネルギー受入、回収に加え水質管理の状況等を調べる必要がある。
- ・海外のエネルギー自給を達成している処理場に導入されている技術は、広大な敷地を必要とするものもあるため、東京都の地域特性を考慮し導入する技術を整理する必要がある。

○徹底した温室効果ガスの削減に寄与する対策

- ・下水道のポテンシャルから、第一沈殿池での有機物回収率の向上による創エネルギー量の増加や、水処理工程でのエネルギーの削減量を試算し、下水処理システムの最適化を検討する必要がある。また、熱や位置エネルギー等の観点からもポテンシャルを整理することも重要である。
- ・下水道局が所有している膨大な維持管理データを、AIを活用した運転制御技術に活用していく上で、オープンデータ化といった仕組みを作ることで技術開発の加速が期待される。
- ・エネルギーマネジメントに当たっては、ベース電源と変動電源の位置付けについて、各再生可能エネルギーの特性を踏まえて整理する必要がある。変動電源の余剰電力は、電気分解による水素製造等の電力に使用するなど、活用先も含めた検討が必要である。
- ・高度処理の導入など処理水質の向上に伴い、エネルギー使用量が増加するというトレードオフの関係性に留意し、東京湾の水質状況とエネルギー使用量のバランスを見ながら下水道局のあるべき姿を検討する必要がある。

- ・東京都は敷地面積が小さく、施設の増設が困難なことから、省スペース化を実現することも技術開発の方向性として必要である。
- ・2050年ゼロエミッションの達成に向けて、焼却炉等から排出されるバイオマス由来のCO₂の回収によるネガティブエミッション技術が重要な方策となる。CO₂回収設備の導入コストが今後低下し、回収したCO₂の価格が上昇することで、新たな産業が生まれる可能性も高い。
- ・技術開発に当たっては、産学公が連携することが重要であり、開発に係るコストは公平性を担保する必要がある。他方で、開発した技術が無駄とならない仕組みが必要である。
- ・2050年ゼロエミッションに向けた検討は、「下水道政策研究委員会 脱炭素への貢献のあり方検討小委員会」やB-DASHプロジェクトなど、国等の機関と連携して取り組む必要がある。

○社会への貢献

- ・東京都が開発した新技術について、他の自治体に導入され脱炭素化に貢献している部分を可視化することで、地方自治体のリーダーとしての東京都の貢献が可視化できる。
- ・バウンダリーを下水道だけにするのではなく、国や都の全体に貢献できる部分があれば、積極的に仕組みを作っていくことが重要である。
- ・下水道局側の削減効果に寄与しない取組であっても、バウンダリーを広くとり、社会全体の地球温暖化対策に貢献できる取組効果は可視化することが重要である。
- ・国が「経済と環境の好循環」を掲げているように、下水道局が開発した技術の海外への輸出や新技術のショールームの役割を果たすことにより、経済的な循環をもたらすことで、カーボンハーフ及びゼロエミッションにかかる費用を確保するという視点も重要である。
- ・下水道ポテンシャルの計算方法の可視化により、他自治体の処理システムの検討に貢献できる。
- ・水処理工程で発生するN₂O排出係数の設定に、東京都のビッグデータに基づく知見を提供していただきたい。また、経験豊富な職員の運転制御の方法や経験を汎用化し、全国展開することで他自治体でも技術が活用されることを期待する。

➤ その他

- ・脱炭素に向けては、施設の周辺住民から理解を得ることも重要である。例えば、景観上の理由により稼働している焼却炉の白煙防止設備の停止が挙げられる。
- ・処理水量当たりのCO₂排出量は、合流式下水道の改善や処理水質の向上などの東京都の特性による影響があることを明確にする必要がある。

おわりに

本報告書は、本委員会で議題となった、2030年度までに温室効果ガス排出量を50%削減するための方策、下水道事業の実態を踏まえたエネルギーについての2030年度目標及び2050年ゼロエミッションを見据えた下水道事業のビジョンについての議論及び各委員からの意見を取りまとめたものである。

下水道局においては2030年カーボンハーフ及び2050年ゼロエミッションの実現を目指し、更なる温室効果ガス排出量の削減に向けて、本委員会での議論が活用されることを期待したい。

— 參考資料 —

下水道カーボンハーフ実現に向けた地球温暖化対策検討委員会

設置趣旨

東京都は 2050 年までに世界の CO₂ 排出実質ゼロに貢献するゼロエミッション東京の実現に向けて、2030 年までに温室効果ガス排出量を 2000 年比 50%削減するカーボンハーフを表明し取組を加速している。

下水道局においても 2030 年カーボンハーフに向けた取組を加速するため、「下水道カーボンハーフ実現に向けた地球温暖化対策検討委員会を設置するものである。

委員会では、次の事項を検討する。

- (1) 2030 年度までに温室効果ガス排出量を 50%削減するための方策
- (2) 下水道事業の実態を踏まえたエネルギーについての 2030 年度目標
- (3) 2050 年ゼロエミッションを見据えた下水道事業のビジョン
- (4) その他必要事項

下水道カーボンハーフ実現に向けた地球温暖化対策検討委員会

委員名簿

(50音順、敬称略)

(委員長)

なかじま ふみゆき
中島 典之 東京大学環境安全研究センター 教授

(委員)

なかざわ
中澤 さゆり 弁護士

ふじわら たく
藤原 拓 京都大学大学院工学研究科 教授

みやけ としか
三宅 十四日 日本下水道事業団 関東・北陸総合事務所
プロジェクトマネジメント室長

やまむら ひろし
山村 寛 中央大学理工学部 教授