



概要版

潤いある未来へ

下水道展 '22東京 併催企画

「コンサルタントにおける脱炭素の取り組み」講演会

下水道における脱炭素化に向けたアプローチ手法



株式会社 日水コン

下水道事業部 東部事業マネジメント部 天野 猛

本日の内容

1. 下水道における脱炭素化に関する検討の手順
2. 下水道における脱炭素化に関する検討の内容

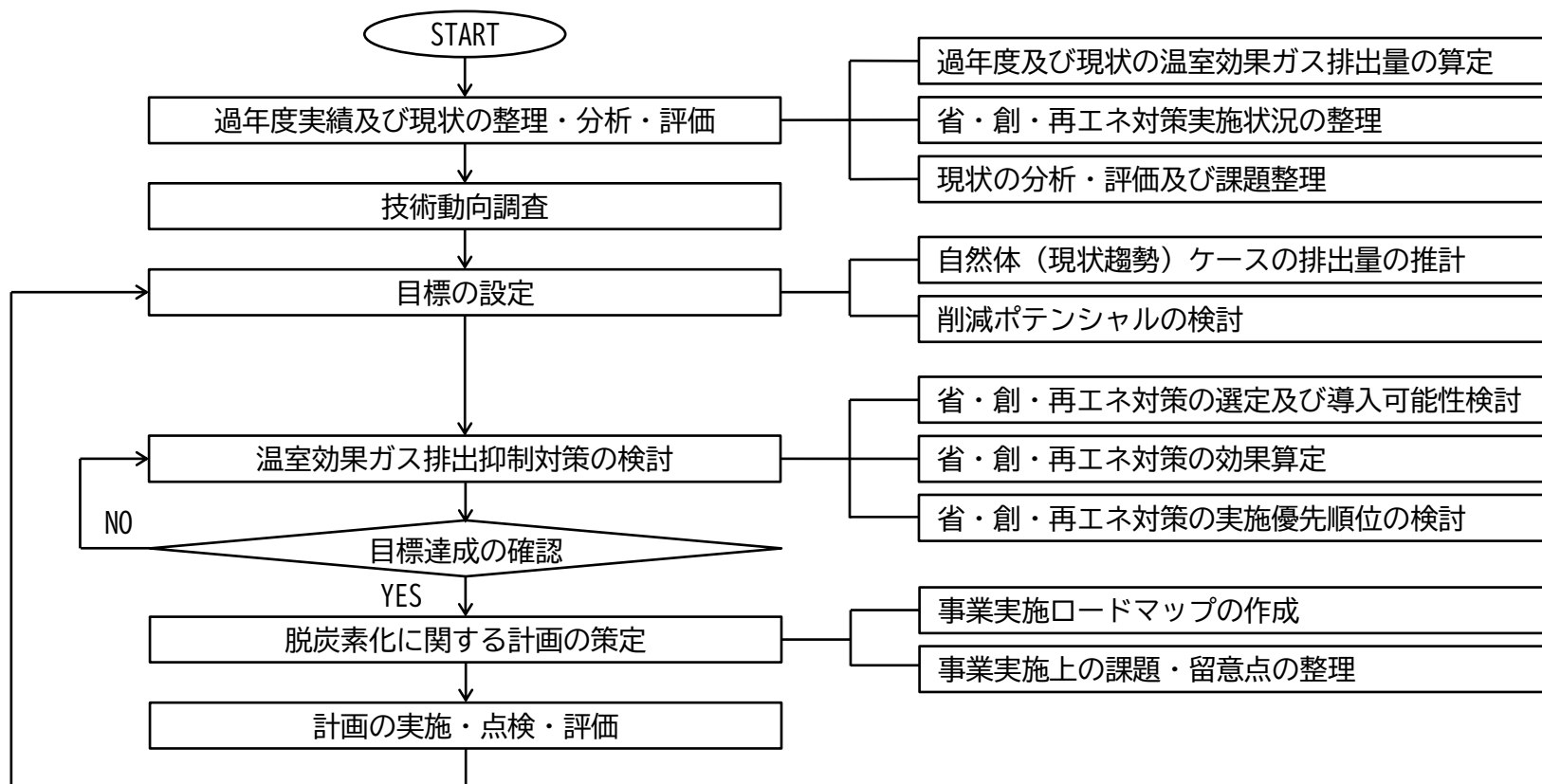
○ 参考

【検討1】 電力自立の可能性について（試算）

【検討2】 電力自立の可能性について（統計データの分析）

1. 下水道における脱炭素化に関する調査検討の手順

■下水道における脱炭素化に関する調査検討フロー(案)



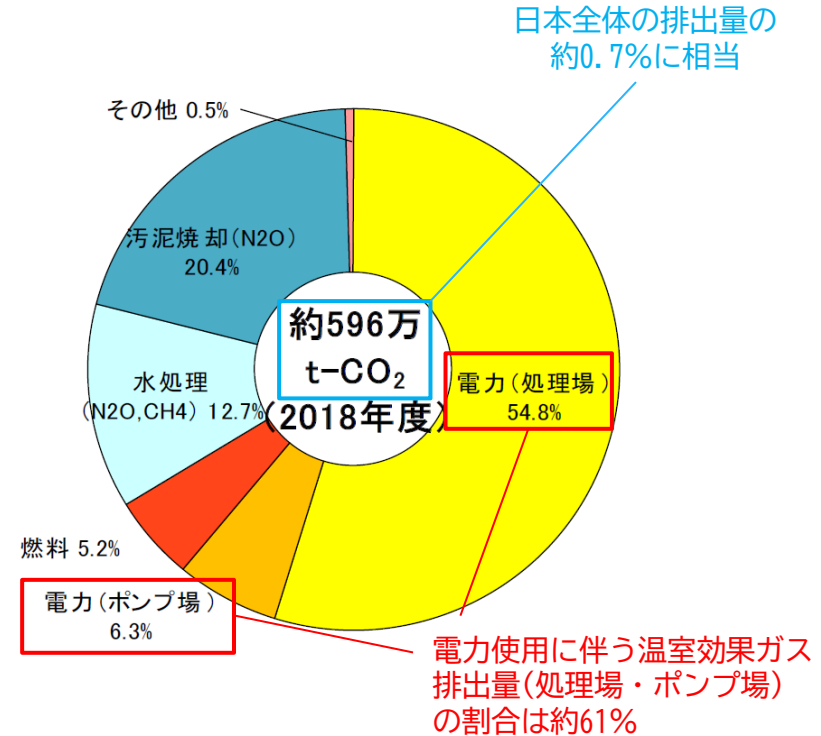
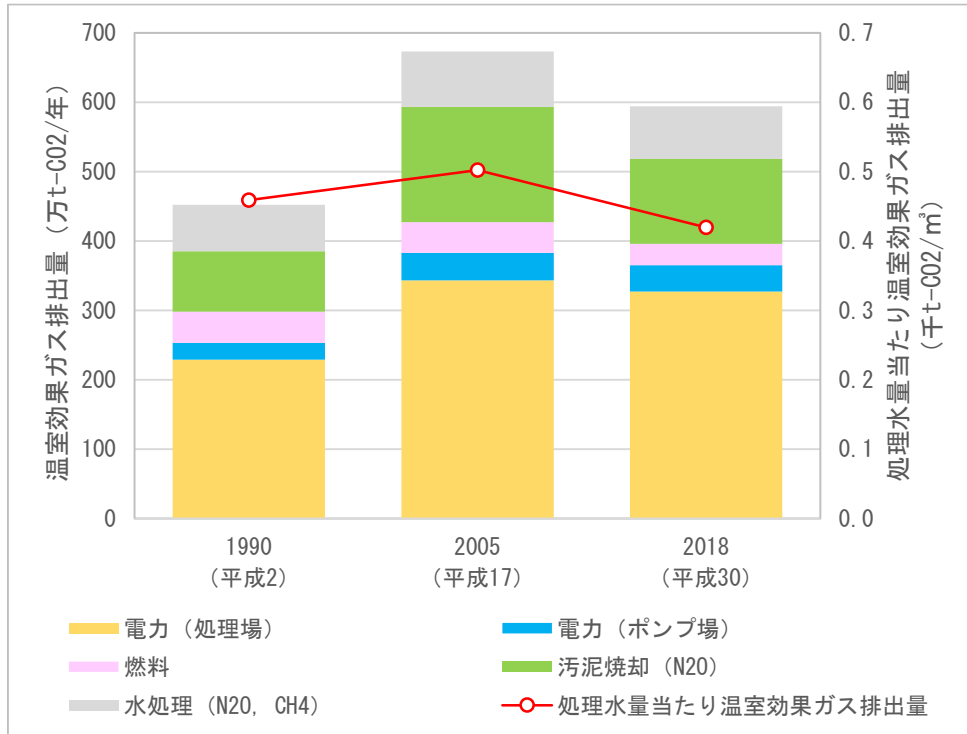
下水道における脱炭素化に関する調査検討フロー(案)

※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」（平成28年3月）の「下水道温暖化対策推進計画策定の基本フロー」をアレンジ。

2. 下水道における脱炭素化に関する調査検討の内容

■過年度実績及び現状の整理・分析・評価

過年度及び現状の温室効果ガス排出量の算定



全国の下水道の温室効果ガス排出量及び同原単位

※処理水量は一次処理水量を除く。
出典：国土交通省資料をもとに作成

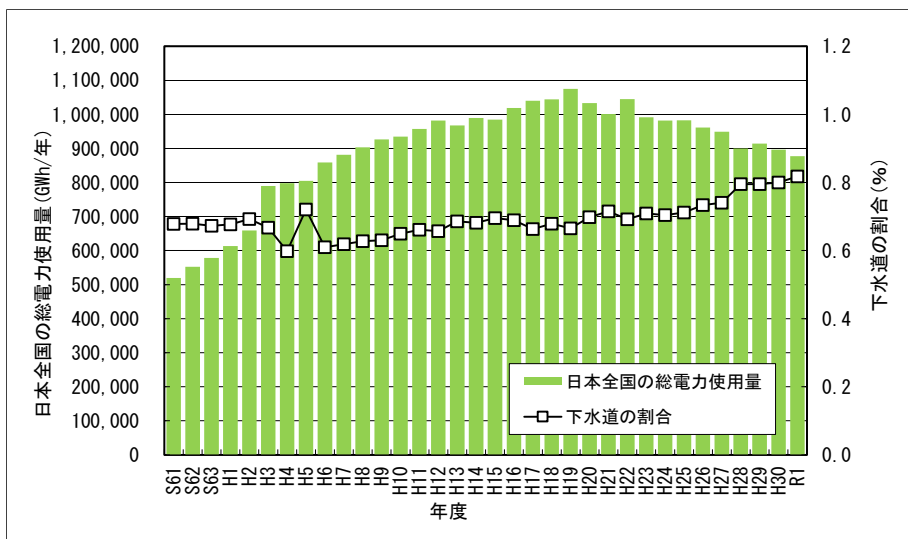
全国の下水道の温室効果ガス排出量

※平成30年度下水道統計、資源有効利用調査より国交省作成
出典：国土交通省資料

■過年度実績及び現状の整理・分析・評価

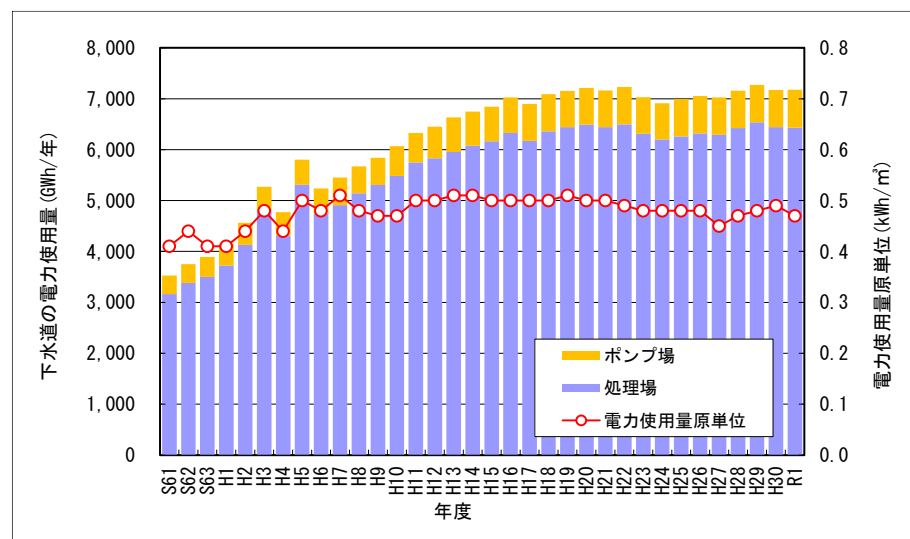
過年度及び現状の温室効果ガス排出量の算定

- 近年の日本全国の総電力使用量は減少傾向、下水道の電力使用量は概ね横這い傾向。
- 日本全国の総電力使用量に対して下水道が占める割合は年々増加（令和元年度：0.82%）。
- 処理水量当たり電力使用量原単位は微減傾向（令和元年度：0.47kWh/m³）。



日本全国の総電力使用量及び下水道が占める割合

出典：下水道統計

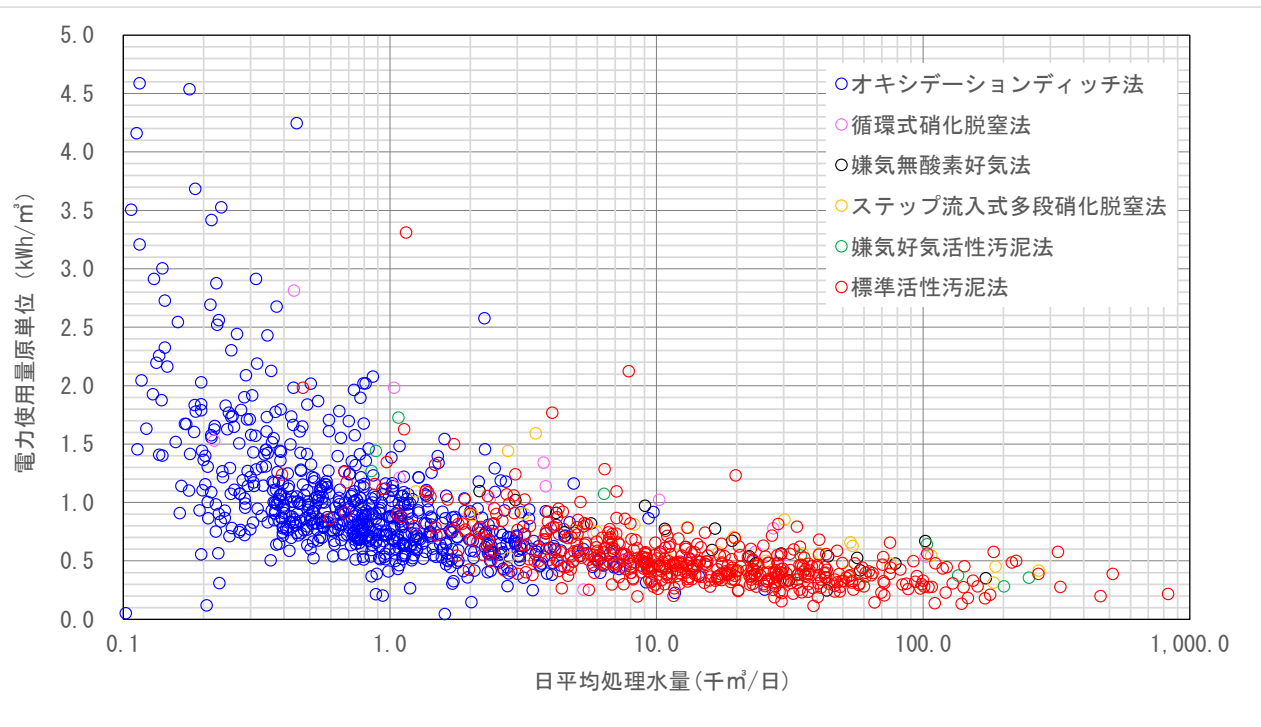


全国の下水道の電力使用量及び同原単位

出典：下水道統計

■過年度実績及び現状の整理・分析・評価

現状の分析・評価及び課題整理



➤ 全国の下水処理場の電力使用量データを規模別・処理方式別に整理し、標準値やベンチマーク目標水準等を把握。

➤ 類似する規模・処理方式の処理場と比較することにより、対象処理場の現在のポジショニングを分析。

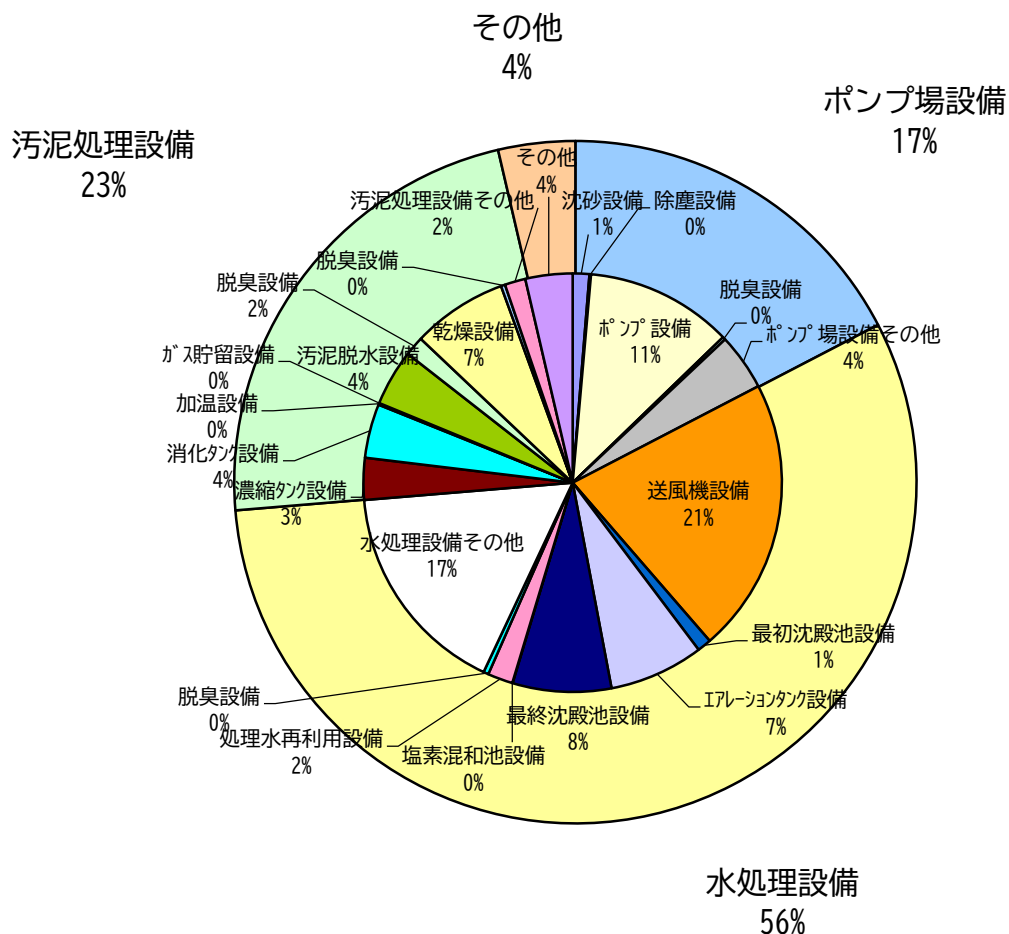
全国の下水処理場の水処理方式別電力使用量原単位

※水処理施設以外の電力使用量を含む。

出典：令和元年度版 下水道統計

■過年度実績及び現状の整理・分析・評価

現状の分析・評価及び課題整理



電力使用量の内訳の分析結果（事例）

➢ 設備の運転方法・稼働時間等についてヒアリングにより把握し、電力使用量の内訳を推計。

➢ 電力使用の傾向の見える化を図る。

➢ 電力使用の傾向から処理場の特性を把握するとともに、省エネルギー対策の重点ポイントを抽出。

➢ 電力使用について「固定的要素の大きい設備」「変動的要素の大きい設備」に分類し、将来予測の際の参考とする。

■技術動向調査

国土交通省B-DASHプロジェクト 創エネ・省エネ技術一覧

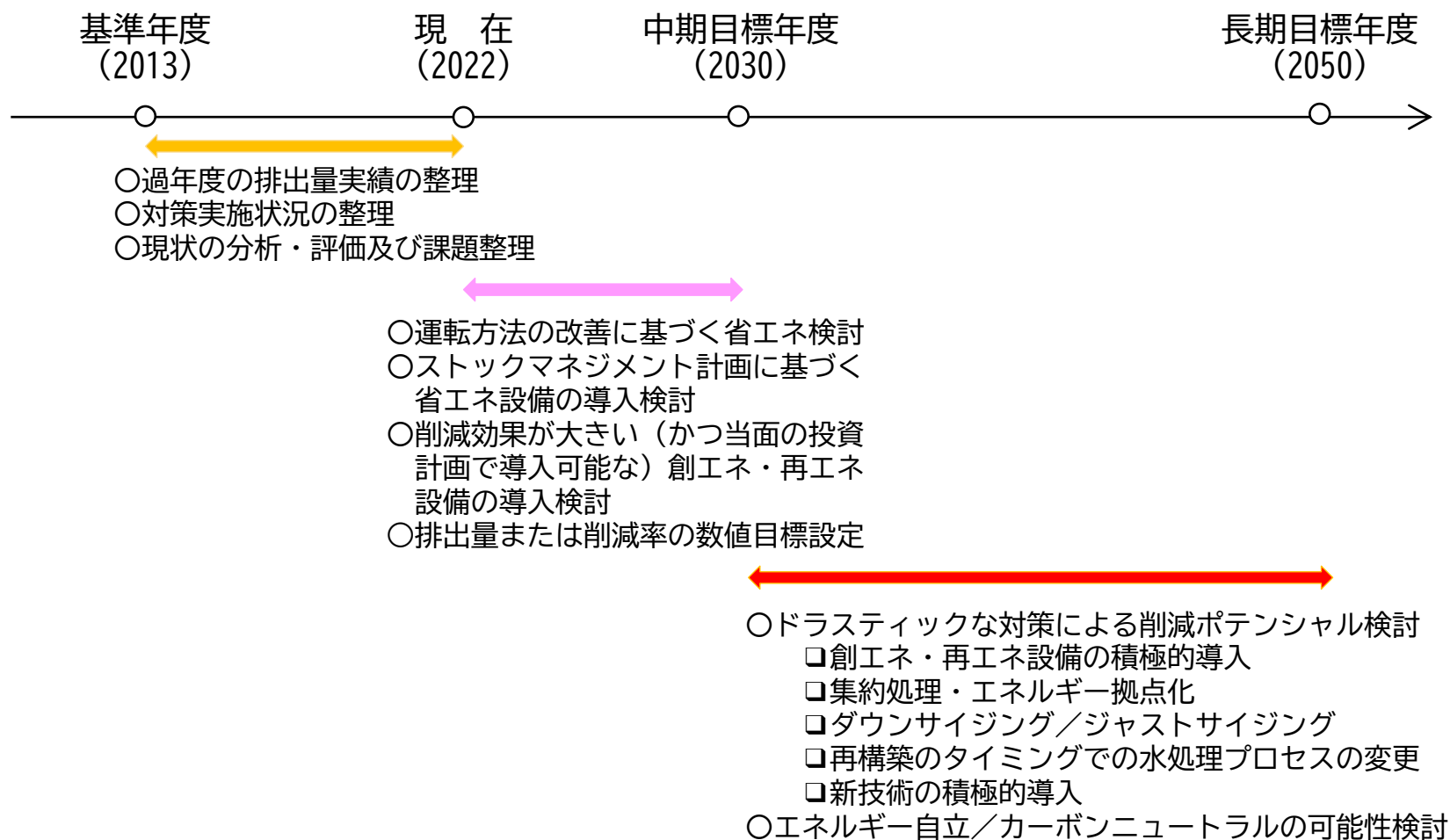
国土交通省B-DASHプロジェクト 創エネ・省エネ技術一覧

| 技術分野 | テーマ | 実証技術名 | 創エネ | 省エネ |
|---------------|----------------|--|-----|-----|
| 下水汚泥 処理・利用 | 固液分離・ガス回収・ガス発電 | 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 | ○ | ○ |
| | ガス回収・ガス精製 | 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 | ○ | ○ |
| | 固形燃料化 | 温室効果ガスを抑制した水熱処理と担体式高温消化による固形燃料化技術 | ○ | ○ |
| | 固形燃料化 | 廃熱利用型 低コスト下水汚泥固形燃料化技術 | ○ | ○ |
| | リン回収 | 栄養塩除去と資源再生（リン）・革新的技術実証研究 | | ○ |
| | バイオマス発電 | 脱水・燃焼・発電を全体最適化した革新的下水汚泥エネルギー転換システム | ○ | ○ |
| | バイオマス発電 | 下水道バイオマスからの電力創造システム | ○ | ○ |
| | 水素創出 | 水素リーダー都市プロジェクト ～下水バイオガス原料による水素創エネ技術の実証～ | ○ | |
| | 下水汚泥の有効利用 | 脱水乾燥システムによる下水汚泥の肥料化、燃料化技術 | ○ | ○ |
| | 下水汚泥の有効利用 | 自己熱再生型ヒートポンプ式高効率下水汚泥乾燥技術 | | ○ |
| | 地産地消バイオマス | 高効率消化システムによる地産地消エネルギー活用技術 | ○ | ○ |
| | 温暖化対策汚泥焼却 | 温室効果ガス削減を考慮した発電型汚泥焼却技術実証研究 | ○ | ○ |
| | 中規模消化 | 高濃度消化・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 | ○ | ○ |
| 水処理 | 窒素除去 | 固定床型アナモックスプロセスによる高効率窒素除去技術 | | ○ |
| | 省エネ型水処理 | 無曝気循環式水処理技術 | | ○ |
| | 省エネ型水処理 | 高効率固液分離技術と二点D0制御技術を用いた省エネ型水処理技術 | | ○ |
| | ICTを活用した運転制御 | ICTを活用した効率的な硝化運転制御技術 | | ○ |
| | ICTを活用した運転制御 | ICTを活用したプロセス制御とリモート診断による効率的な水処理運転管理技術 | | ○ |
| | ダウンサイジング水処理 | DHSシステムを用いた水量変動追従型水処理技術実証研究 | | ○ |
| | ICT活用高度処理 | 単槽型硝化脱窒プロセスのICT・AI制御による高度処理技術 | | ○ |
| その他 | 下水熱利用 | 管路内設置型熱回収技術を用いた下水熱利用に関する実証研究 | ○ | ○ |
| | バイオガス集約・活用 | メタン精製装置と吸蔵容器を用いた集約の実用化に関する技術実証研究 | ○ | |
| | 下水熱車道融雪 | ヒートポンプレスで低LCCと高COPを実現する下水熱融雪システム | ○ | ○ |

出典：国土交通省国土技術政策総合研究所資料より該当技術を抜粋

■目標の設定

中期目標／長期目標に対する調査検討アプローチ(案)



■目標の設定

自然体（現状趨勢）ケースの排出量の推計／削減ポテンシャルの検討

➤目標を設定するために以下の2ケースの排出量について推計・試算する。

(1)自然体（現状趨勢）ケースの排出量の推計

- ☞ 省エネ・創エネ・再エネ対策を実施しない場合の温室効果ガス排出量を試算する。
- ☞ 人口減少に伴う処理水量の減少を考慮することが望ましい。

(2)削減ポテンシャルの検討

- ☞ 省エネ・創エネ・再エネ対策をフルに実施した場合のカーボンニュートラル達成の実現性・到達度について確認する。
- ☞ ドラスティックな内容を含む複数のシナリオをもとに試算を行う。

- [例]
- ① スtockマネジメント計画に基づく省エネ機器導入シナリオ
 - ② ①+太陽光または風力発電導入シナリオ
 - ③ ②+消化プロセス・消化ガス発電導入シナリオ
 - ④ ③+汚泥集約処理・エネルギー利用シナリオ
 - ⑤ ④+地域バイオマス受入シナリオ
 - ⑥ ⑤+低動力型水処理プロセスへの変更シナリオ
-

■目標の設定

削減ポテンシャルの検討（試算）

【検討1】電力自立の可能性について（試算）

■目標の設定

削減ポテンシャルの検討（試算）

【目的】

嫌気性消化及び消化ガス発電を採用しているモデル下水処理場において、電力自給率をさらに向上させる方策（表-1）に着目し、それらの方策の組み合わせにより、エネルギー回収効果がどの程度まで向上するのか、その到達度について把握する。

【試算条件】

- 小規模下水処理場(処理人口25千人, 処理水量10千m³/日)
- 水処理方式：標準活性汚泥法
- 汚泥処理方式：分離濃縮＋消化＋脱水
- 消化ガス利用方式：消化ガス発電(発電効率32%)

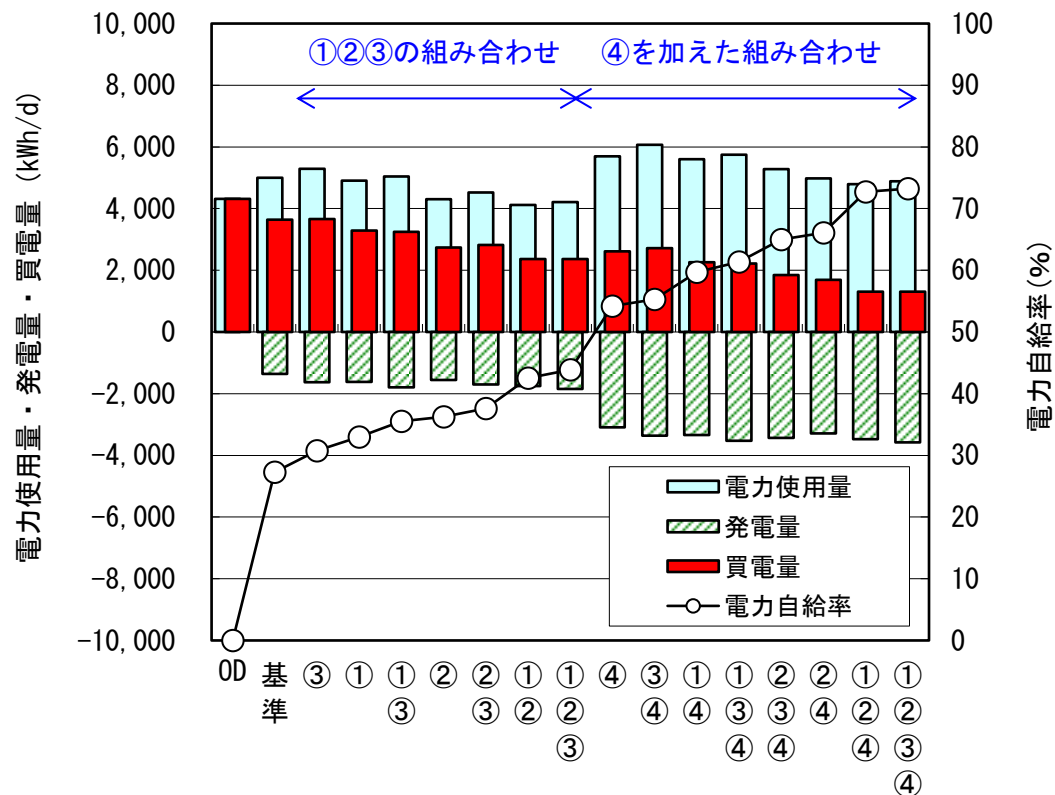
表-1 着目した電力自給率向上策

| No | コンセプト | 具体方策 | 具体技術 | 設計諸元 |
|----|---------------|-----------|----------------|---|
| ① | より多くの有機物を回収する | 初沈汚泥回収量増加 | 高速ろ過 | 一次処理SS除去率 基準ケース 50% ⇨ 75% |
| ② | 〃 | 余剰汚泥回収量増加 | 低MLSS運転 | MLSS濃度 基準ケース 2,000mg/L ⇨ 1,000~1,500mg/L |
| ③ | 有機物の分解率を高める | 汚泥分解率向上 | オゾン処理 超音波処理 | 余剰汚泥分解率 基準ケース 40% ⇨ 60% |
| ④ | 外部から有機物を受け入れる | 外部バイオマス受入 | 消化タンクへの受入 | 家庭系生ごみ排出量原単位 200g/人・日 事業系生ごみ=家庭系生ごみ×1/2 |

⇨ 「基準ケース」と「方策実施ケース(①②③④の組み合わせ15ケース)」についてモデル設計を行った。

■目標の設定

削減ポテンシャルの検討（試算）



➤試算では、省エネ・創エネ対策の実施により、電力自給率は70~80%程度まで到達する結果となった。

方策①～④の組み合わせによる電力自給率の到達度

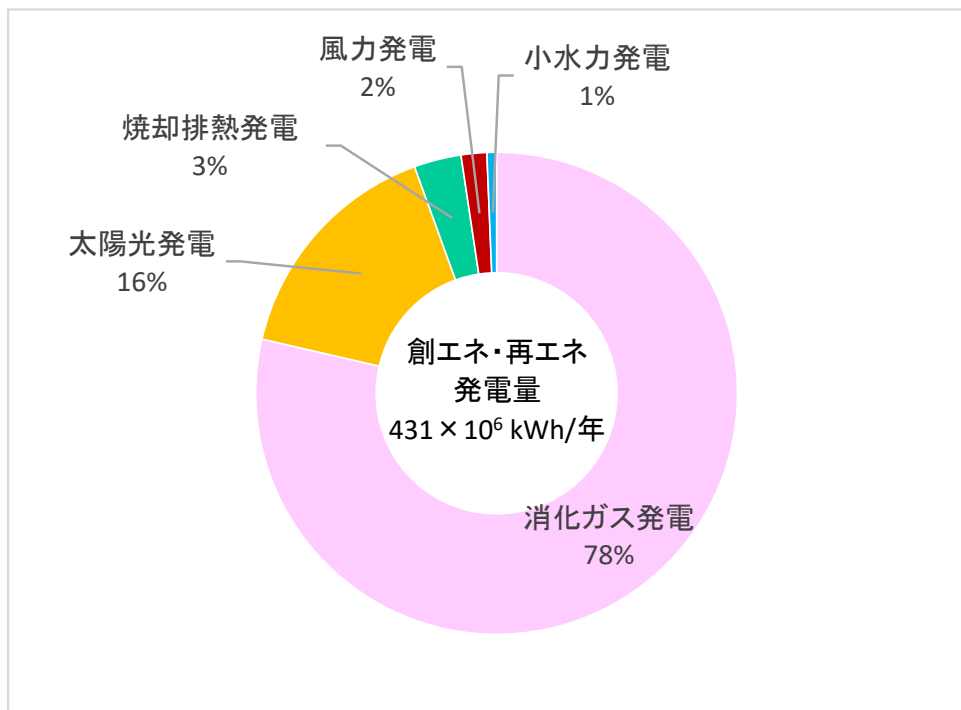
■目標の設定

削減ポテンシャルの検討（統計データの分析）

【検討2】電力自立の可能性について（統計データの分析）

■目標の設定

削減ポテンシャルの検討（統計データの分析）



創エネ・再エネ発電量

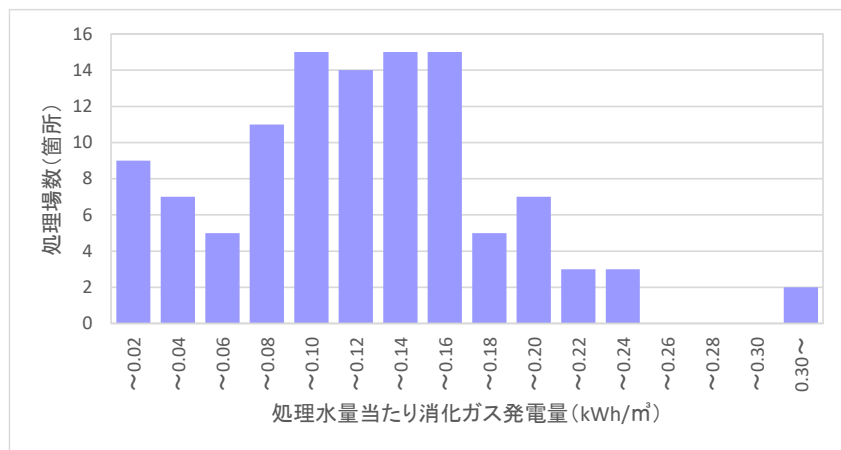
出典：令和元年度版 下水道統計

- 創エネ・再エネ発電量は431 × 10⁶ kWh/年
（処理場電力使用量 6,433 × 10⁶ kWh/年の6.7%）
- 消化ガス発電量が最も多く、78%を占める。

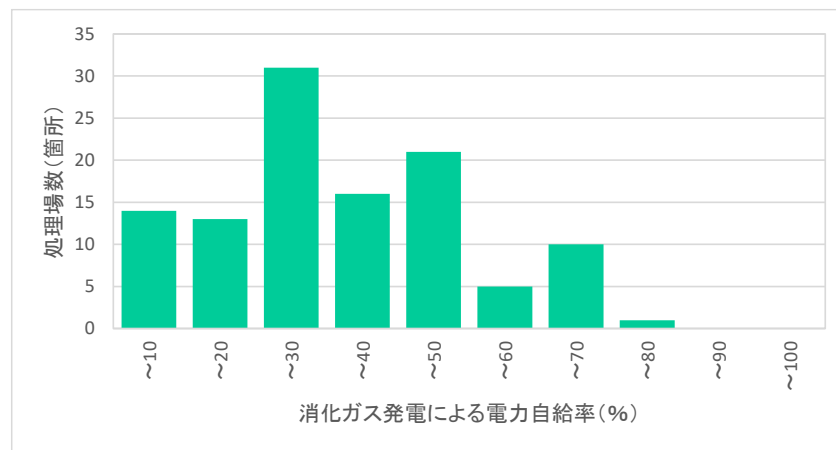
■目標の設定

削減ポテンシャルの検討（統計データの分析；消化ガス発電）

- 処理水量当たり消化ガス発電量は概ね0.08～0.16kWh/m³（平均0.11kWh/m³）。
- 消化ガス発電による電力自給率は20～30%の処理場が最も多い。70%を超える処理場もある。
- 全国平均ベースで単純計算すると、処理場の処理水量当たり電力使用量（平均0.47kWh/m³）に対して、電力自給率は23%（ $=0.11 \div 0.47 \times 100$ ）となる。



処理水量当たり消化ガス発電量別処理場数



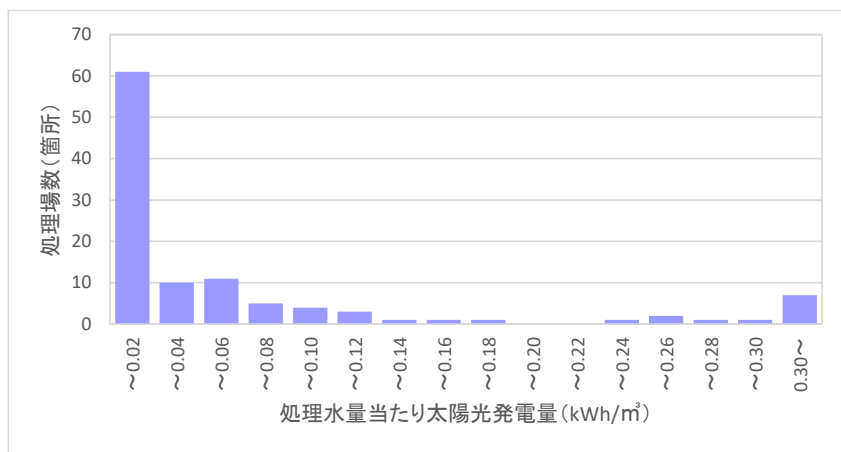
消化ガス発電による電力自給率別処理場数

※地域バイオマスを受け入れている処理場、FITを活用して売電を行っている処理場を含む。 出典：令和元年度版 下水道統計のデータを整理

■目標の設定

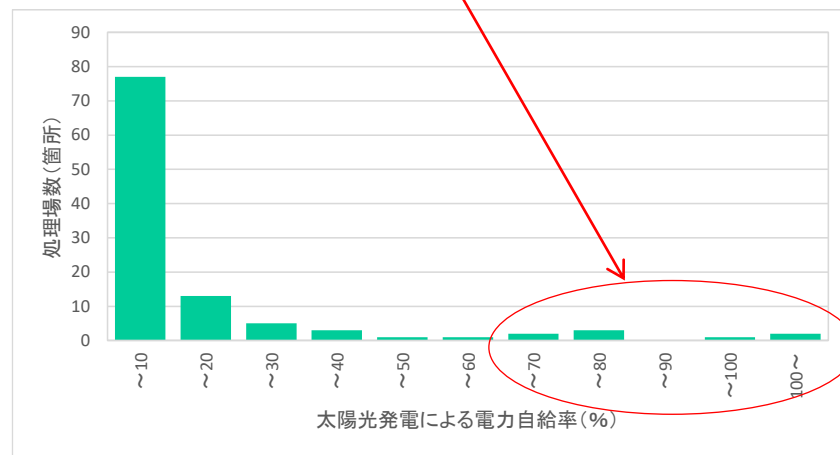
削減ポテンシャルの検討（統計データの分析；太陽光発電）

- 処理水量当たり太陽光発電量は、0.02kWh/m³未満の処理場が多い（平均0.015kWh/m³）。
- 太陽光発電による電力自給率は10%未満の処理場が多い。
- 電力自給率が高い事例もある（60%以上は全て日平均処理水量30千m³/日未満の処理場）。



処理水量当たり太陽光発電量別処理場数

※FITを活用して売電を行っている処理場を含む。



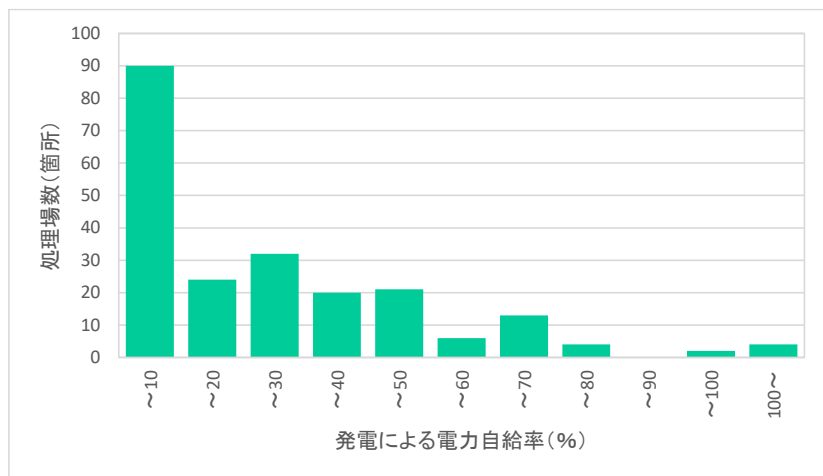
太陽光発電による電力自給率別処理場数

出典：令和元年度版 下水道統計のデータを整理

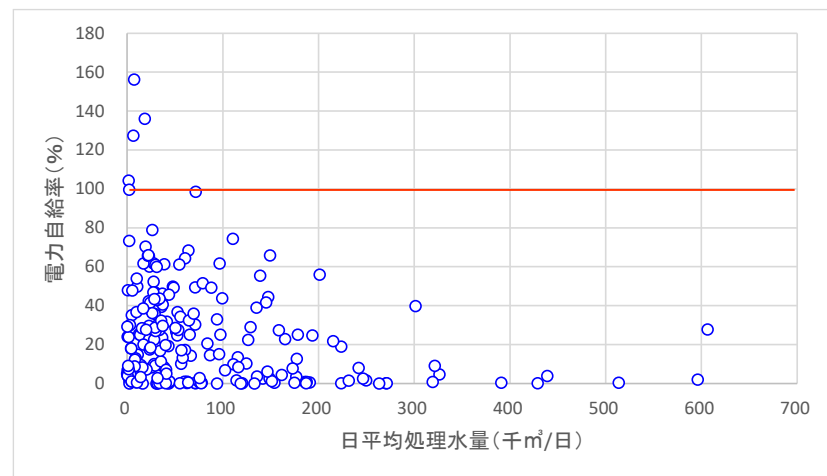
■目標の設定

削減ポテンシャルの検討（統計データの分析；創エネ・再エネによる発電）

- 創エネ・再エネによる発電（消化ガス発電・焼却排熱発電・太陽光発電・風力発電・小水力発電）を実施している処理場では、電力自給率10%未満の事例が多い。
- 電力自給率が高い事例もある。
特に小規模処理場で、太陽光または風力発電により電力自立を達成している事例がある。



創エネ・再エネ発電による
電力自給率別処理場数



日平均処理水量と
創エネ・再エネ発電による電力自給率

※いずれもFITを活用して売電を行っている処理場を含む。

出典：令和元年度版 下水道統計のデータを整理

■ 温室効果ガス排出抑制対策の検討

省エネ・創エネ・再エネ対策の選定及び導入可能性検討

下水道における温室効果ガス排出抑制対策メニュー（1/2）

| 区 分 | | 対策メニュー | | |
|------------------------|----------------------------|---------------------------------|-----------|---------------------------------------|
| 温室効果ガスの排出の抑制等に資する設備の選択 | 共通事項 | 各種制御システムの導入 | 省エネ（設備対応） | |
| | | 高効率機器，エネルギー消費効率の高い電動機の導入 | | |
| | | 設備の台数及び容量・規模の適正化 | | |
| | 最初沈殿池設備 | 樹脂製等軽量チェーンの導入 | | |
| | 反応タンク設備 | 微細気泡散気装置の導入及び送風機との組合せによる送風量の適正化 | | |
| | 最終沈殿池設備 | 樹脂製等軽量チェーンの導入 | | |
| | 高度処理設備 | エアリフトポンプの導入 | | |
| | | アナモックス反応による高効率窒素除去技術の導入 | | |
| | 汚泥消化設備 | 汚泥消化タンク，加温設備の断熱強化 | | |
| | | 機械攪拌式汚泥消化タンク攪拌機の導入 | | |
| | 汚泥脱水設備 | 後続プロセスを踏まえた低含水率脱水設備の導入 | | |
| | 個別事項 | 汚泥焼却設備 | | 燃焼用空気予熱汚泥予備乾燥等のための熱回収設備の導入 |
| | | | | 汚泥廃熱を白煙防止空気加熱に活用するための設備の導入又は白煙防止装置の廃止 |
| | | | | 汚泥焼却炉の断熱強化 |
| | | | | 流動焼却炉の熱媒体の漏えいの防止 |
| 燃焼温度の高温化 | | | | |
| 総合管理のための設備 | 一酸化二窒素の排出量が少ない焼却炉への更新 | | | |
| | 監視制御システムにおけるエネルギー管理システムの導入 | | | |
| 未利用エネルギー活用のための設備 | 省エネ型の監視制御設備の導入 | 創エネ | | |
| | 消化ガス有効利用設備の導入 | | | |
| | 下水汚泥固形燃料化設備の導入 | | | |
| | 焼却炉廃熱有効利用設備の導入 | | | |
| | 太陽光発電設備の導入 | 再エネ | | |
| 小水力発電設備の導入 | | | | |
| 風力発電設備の導入 | | | | |
| | 下水熱利用設備の導入 | | | |

出典：環境省「温室効果ガス排出削減等指針」の内容を整理・加筆修正

■ 温室効果ガス排出抑制対策の検討

省エネ・創エネ・再エネ対策の選定及び導入可能性検討

下水道における温室効果ガス排出抑制対策メニュー（2/2）

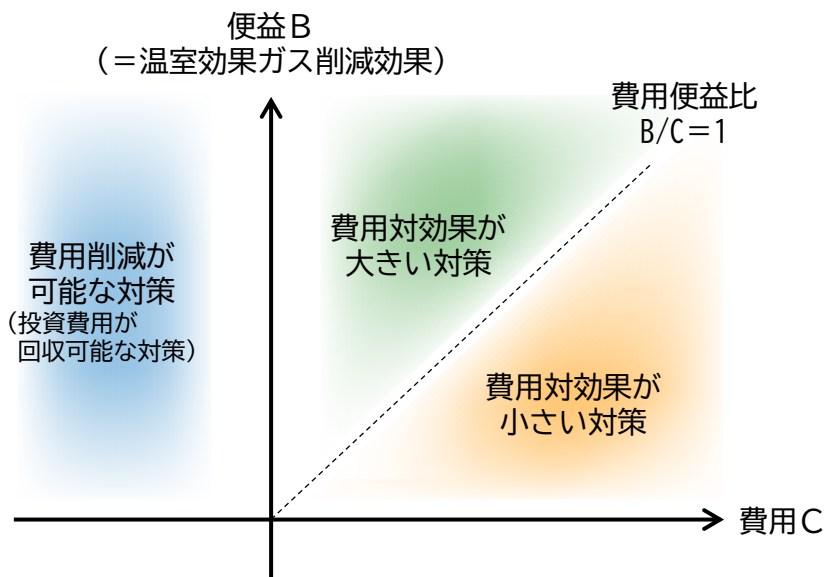
| 区 分 | | 対策メニュー | 省エネ（運転管理対応） |
|--------------------------|---|------------------------------------|--------------|
| 温室効果ガスの排出の抑制等に資する設備の使用方法 | 共通事項 | 機器の間欠運転 | |
| | 前処理揚水設備 | 流入水量に応じた池数制御 | |
| | | 管渠調整池を利用した主ポンプ揚水量の平準化 | |
| | 最初沈殿池設備 | 流入水量に応じた池数制御 | |
| | | スカム除去設備におけるスカム捕捉効率の向上 | |
| | 反応タンク設備 | 散気装置の目詰まり防止対策による圧力損失の低減及び酸素溶解効率の回復 | |
| | | 間欠散水等による消泡水量の適正化 | |
| | 最終沈殿池設備 | スカム除去設備におけるスカム捕捉効率の向上 | |
| | 高度処理設備 | 砂ろ過装置生物膜ろ過装置の洗浄時間管理 | |
| | 個別事項 | 汚泥消化設備 | 投入汚泥濃度の適切な管理 |
| 汚泥の温度の適切な管理 蒸気温水の有効利用 | | | |
| 汚泥脱水設備 | 供給汚泥濃度の適切な管理 | | |
| | 搬送装置を含む脱水機系列の制御 | | |
| 汚泥焼却設備 | 焼却炉の適正負荷率での運転 | | |
| | 投入汚泥性状の調整による補助燃料の低減，自燃時間の拡大 | | |
| | 白煙防止装置の廃熱利用等による効率的運用又は停止 排ガス処理水量の低減 | | |
| 脱臭設備 | 脱臭設備における脱臭空気量の低減のための臭気発生源の拡散防止，発生臭気の漏えい防止発生臭気と一般換気との分離 | | |
| 総合管理のための設備 | 処理水質とエネルギー消費量を適正に管理した水処理施設の運転 排出汚泥性状とエネルギー消費量を適正に管理した汚泥処理施設の運転 | | |

出典：環境省「温室効果ガス排出削減等指針」の内容を整理・加筆修正

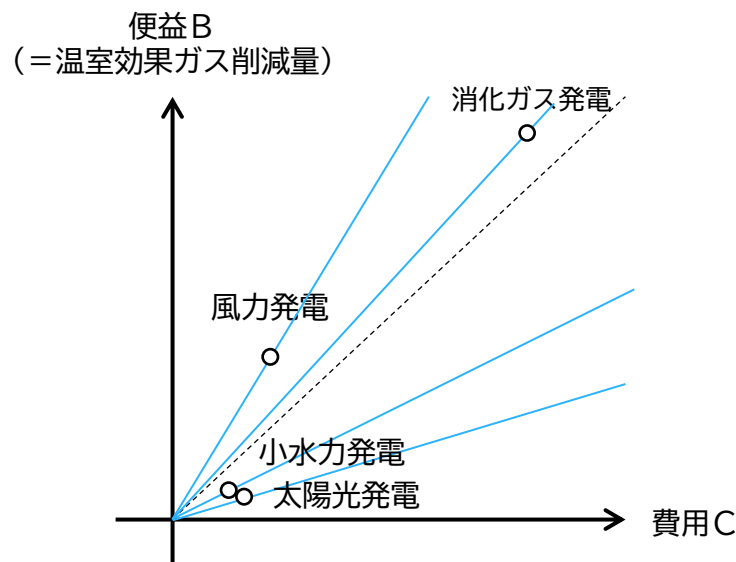
■ 温室効果ガス排出抑制対策の検討

省エネ・創エネ・再エネ対策の実施優先順位の検討

- 導入可能性検討により適用性が高いと判断された温室効果ガス排出抑制対策について、温室効果ガス削減量、コスト、費用対効果、改築のタイミング等を考慮して**実施優先順位**を設定する。



費用対効果の観点からみた
温室効果ガス削減対策の分類イメージ



温室効果ガス削減対策の費用対効果の
検討イメージ（検討事例）

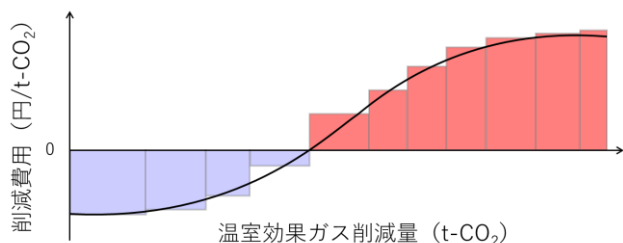
※事例における検討結果をイメージ化した
ものであり、縮尺等は正確ではない。

■ 目標達成の確認

限界削減費用曲線を用いた検討（目標達成に必要な費用の検討）

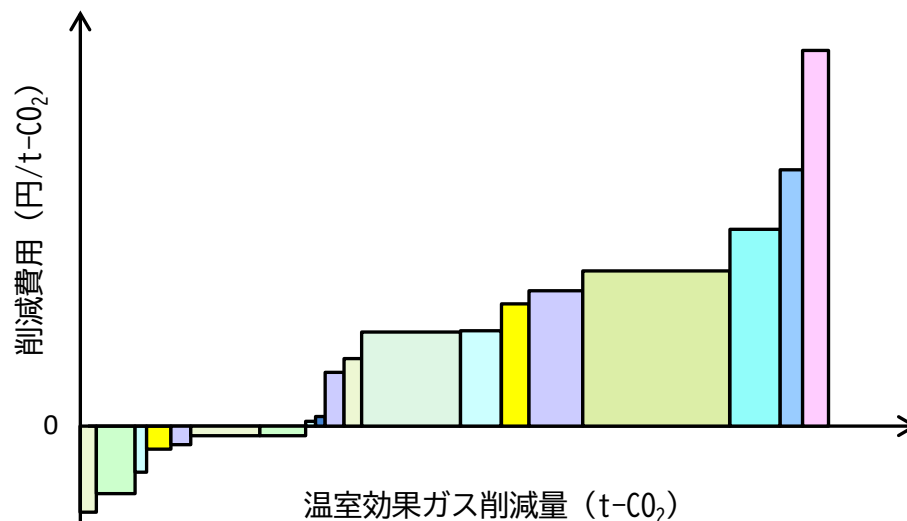
- 各対策技術別の削減費用をもとに**限界削減費用曲線**を作成することにより、目標達成に必要な削減費用（ある削減量を達成するのに必要な総費用を削減量で除したもの）を把握する。

- 温室効果ガス削減量（削減ポテンシャル）を横軸に、その対策による1t-CO₂当たりの費用を縦軸にとり、費用対効果の高い対策から順に並べる。



温室効果ガス削減対策の限界削減費用曲線

- 「温室効果ガスの限界削減費用」とは、一般に「温室効果ガスの排出量を追加的に削減するために必要な費用」と定義される。



温室効果ガス削減対策の限界削減費用曲線による検討イメージ

ご清聴有り難うございました。