

第2章 技術の概要と評価

第1節 技術の目的と概要

§5 技術の目的

本技術は、既存脱水機を高濃度濃縮機として2段活用し、消化槽投入汚泥の高濃度化による消化槽容量の縮減（設備コストの縮減）を図ることで、小規模処理場における嫌気性消化導入を推進し、バイオガス利活用を経済的に行えるシステムを構築することを目的とする。

【解説】

下水道事業の経営改善においては、下水道管理費に占める汚泥処分費は多くを占めているため、コスト縮減を図るとともに、再生可能エネルギーの利用を促進する必要がある。特に、処理規模が10,000m³/日以下の小規模な処理場においてはコスト縮減および下水由来の再生可能エネルギーであるバイオガス利活用システムの導入がいずれも進んでいない。これは、バイオガスを発生させるメタン発酵システムにはスケールメリットが働くため、逆に小規模における導入コストが割高となるということが最大の理由であると考えられている。

しかし、下水汚泥はエネルギーポテンシャルを有しており、さらなる資源の有効利用は、循環型社会や低炭素化社会の構築に向け、大きな役割を果たすことが期待されるものと考えている。

本技術は、消化槽投入汚泥の高濃度化を行い消化槽容量の縮減を図ることで設備コストを縮減することで小規模処理場における嫌気性消化導入を推進し、バイオガス利活用を経済的に行えるシステムを構築するものである。

なお、本ガイドラインでは、既存の脱水機を高濃度濃縮機としても利用することを「2段活用」と称す。

§6 本技術の概要

本技術は、小規模処理場に対する高濃度消化を低コストで導入する技術であり、以下の技術により構成される。

- (1) 高濃度濃縮技術
- (2) 高濃度消化技術
- (3) 設備のコンパクト化・ユニット化
- (4) バイオガス発電

【解説】

これまで小規模下水処理場においてメタン発酵システムの導入が進まなかった最大の理由は、スケールデメリットによる導入コストが割高であることである。

そこで、本技術は、以下の設備の導入を図り、建設費だけでなく維持管理費用についても大幅に縮減するものである。

- 高濃度消化槽の適用(投入消化汚泥濃度 10%程度)と攪拌性の良い横型発酵槽導入
- メタンガス発生量・質変動へ対応可能で低コストなマイクロガスエンジン発電機の導入
- 脱硫装置やガスホルダ設備のユニット化
- 既存施設や設備の有効利用(汚泥脱水機の濃縮・脱水の2段活用等)



図 2-1 本技術の概要

§7 高濃度濃縮技術の概要

既存脱水機を濃縮機として2段活用する。具体的には、運転時間を定め、既存脱水機の運転条件を切り替えて、脱水・濃縮の交互運転を行うものである。

【解説】

従来、濃縮機と脱水機は別であり、各工程に対して機械を設置する必要があった。本技術では、運転条件（運転時間・処理量（投入汚泥量、ろ過速度）・薬注率・汚泥の搬送速度（差速、ベルト走行速度）等）の設定により、「高濃度濃縮運転」および「脱水運転」の切替えを行い、脱水機を濃縮機として利用する。

濃縮汚泥濃度は、従来の機械濃縮の固形物濃度 4%（TS の重量%）程度に対し、10%程度の濃度とする。

なお、適用する脱水機の機種については特に制限を設けていない。フィールド処理場では、既設脱水機であったベルトプレス脱水機（平成 10 年設置）で高濃度濃縮運転の検証を行った結果、目標とする濃度よりも若干高い濃度での運転となった。このように、対象脱水機の製造時期等により、運転調整の幅や機能に違いがある場合も想定されるため、事前に既存脱水機で高濃度濃縮運転への適用性を確認することが望ましい。

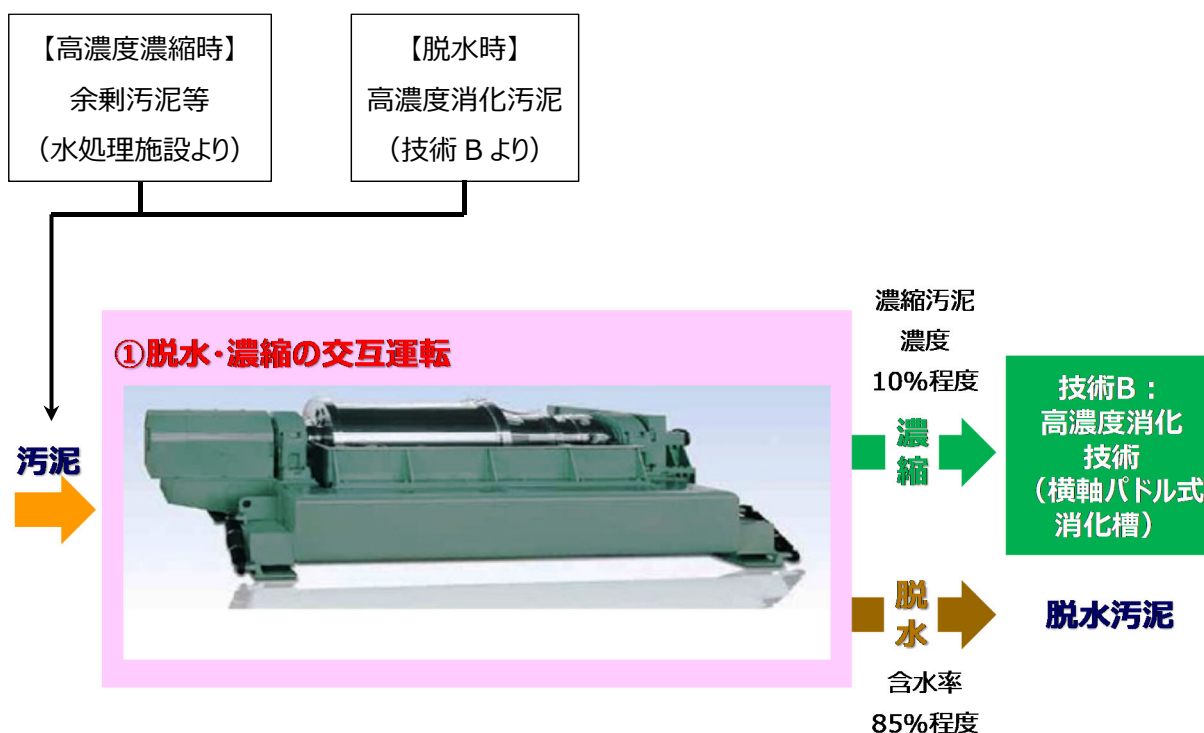


図 2-2 高濃度濃縮技術の概要

§8 高濃度消化技術の概要

投入汚泥が従来と比較して高濃度となるため、攪拌効率の高い横軸パドル式の攪拌機を備えた横型消化槽を採用する。

【解説】

従来、固形物濃度4%程度の濃縮汚泥を消化槽に投入しているが、本技術では高濃度濃縮を行った固形物濃度10%程度の高濃度濃縮汚泥を投入するものとし、施設のコンパクト化を図る。

高濃度汚泥を投入するため、攪拌効率の高い横軸パドル式の攪拌機を備えた横型消化槽を利用する。なお、攪拌効率の高い攪拌機とは国土交通省の補助金採択要件（「下水道事業におけるエネルギー効率に優れた技術の導入について」（国水下事第38号 平成29年9月15日））における一般的な中温消化の性能指標である「消費電力量280kWh/t-VS分解以下」と同程度の性能を高濃度で達成できる機器（日最大汚水量25,000 m³/日規模、もしくは50,000 m³/日規模）を指す。

横型高濃度消化槽の特徴は以下のとおりである。

- (1) 槽本体はRC構造の長方形である。
- (2) 高濃度汚泥の攪拌に対応するため、横軸パドル式の攪拌機を装備している。
- (3) 構造が非常にシンプルである。

なお、消化槽内は硫化水素による腐食環境下を想定しており、気相部には防食塗装、攪拌パドルはSUS製としている。



図 2-3 高濃度消化技術の概要

§9 設備のコンパクト化・ユニット化の概要

主要機器である消化槽、ガスホルダ、ガスクリーニング装置、消化槽加温装置、発電設備をユニット化することで、装置のコンパクト化、工期短縮、低コスト化を図る。

【解説】

消化槽のコンパクト化、ガスホルダ等の付帯設備のユニット化により、導入コストの削減と維持管理性の向上を図る。

ガスホルダ、発電機および周辺機器の配管を含め、ユニットとしてコンテナ内に設置することでコンテナ内で完結するシステムとする。

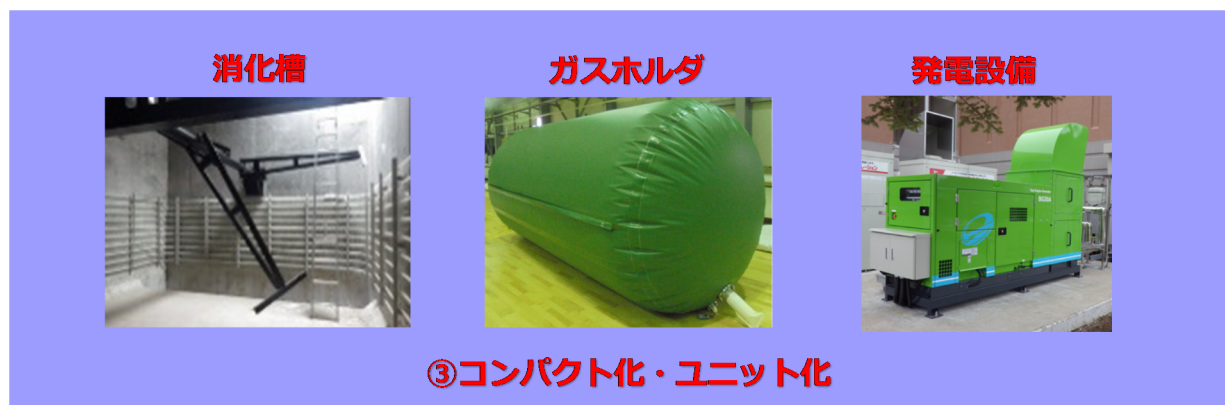


図 2-4 設備のコンパクト化・ユニット化



図 2-5 実証試験の完成図

§ 10 バイオガス発電技術の概要

発生ガス量に応じた出力制御運転を行い、施設全体の消費電力低減を図る。

【解説】

小規模処理施設では、ガス発生量の変動や質変動が大きく、スケールメリットにより導入コストが割高となっている。そこで、発生ガスを貯蔵するガスホルダの消化ガス貯蔵量に自動追従した発電制御運転を確立させ、導入及び維持管理コストの低減を行う。

本実証フィールドでは、市場で流通しており下水処理場での稼働実績があるバイオガス発電機のうち、最小出力である定格出力 25kW のバイオガス発電機を採用している。また発電した電力は、本実証フィールドに系統連携し、施設の使用電力を賄っている。しかし、この 25kW 出力の発電機でも、本実証フィールドにおけるバイオガス発生量に対しては定格出力が大きいため、本実証ではガスホルダの消化ガス貯蔵量および施設の使用電力に合わせた運転を行う。施設の消費電力をバイオガス発電量が上回った場合は、場外に電気が流れていかないように発電機を停止するか、余剰電力を売電することを考慮する。

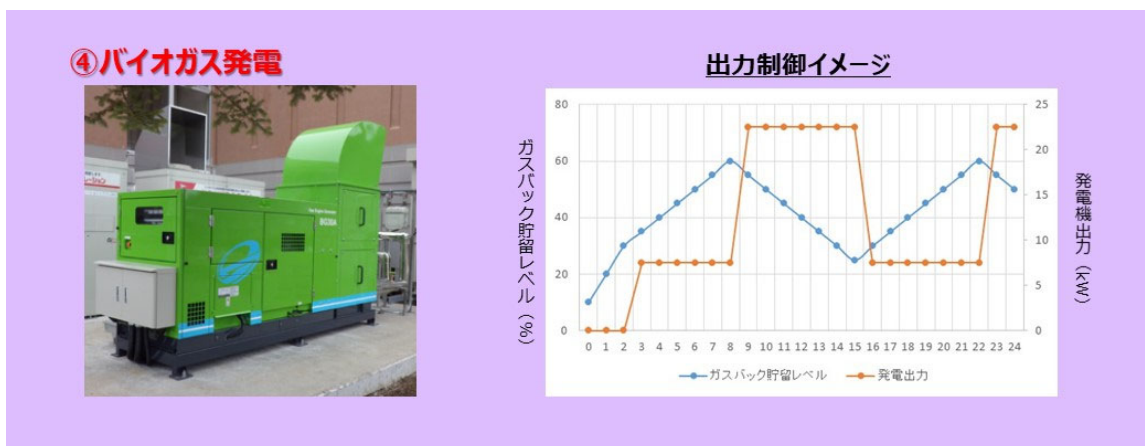


図 2-6 バイオガス発電の概要

第2節 技術の適用条件

§ 11 適用条件と推奨条件

本技術は、小規模処理場のオキシデーションディッチ法から発生する余剰汚泥および標準活性汚泥法から発生する生汚泥・余剰汚泥の脱水処理工程を持つ下水処理場に適用される。本技術の導入効果は、汚泥性状や処理場の条件等によって異なるため、「適用条件」を満たすことを基本とし、その中でも導入効果の高くなることが予想される「推奨条件」を併せて示す。

【解説】

(1) 適用条件

適用条件は以下のとおりである。

1) 水質、汚泥性状などの条件

標準活性汚泥法およびオキシデーションディッチ法で、設計指針に示された条件の範囲で運転している処理場であること。

2) 設備規模に関する条件

- ・脱水機の運転時間に余裕があり、濃縮・脱水運転の切替え運用が可能であること。
(詳細条件については § 12 参照のこと)
- ・消化設備、発電設備の設置スペースを未利用用地内等に確保できること。

(2) 推奨条件

更に本技術を導入した場合、特に導入効果が高くなると予想される推奨条件を以下に示す。

1) 水質、汚泥性状等の条件

- ・他の処理場の汚泥集約処理の意向があること
スケールメリットが働くため、小規模処理場では集約を行うほうが経済的に有利となる。ただし、導入を行う処理場の返流水の水処理への影響がない範囲で集約すること。
- ・汚泥の消化率が高く消化ガス発生率が高いこと
嫌気性消化を導入した際に、有機物の分解効率である消化率が高ければ高いほど、最終処分汚泥量が少なくなり、汚泥処分費の低減につながる。また、消化ガス発生率が高ければ高いほど、発電利用できる消化ガス量が多くなるため、消化ガス発電による便益が高くなり、経済性の確保につながる。なお、当該処理場に既設の消化槽が無い場合は、回分試験等で消化率について確認しておくことが望ましい。

2) 設備規模に関する条件

- ・日平均汚水量 10,000m³/日までの処理場であること
 ユニット施設の適用規模は消化槽容量 500m³ (5m×5m×20m) であり最大ユニット数の関係より 10,000m³/日以下の処理場への適用が望ましい。
- ・ユニット施設の規模は適用範囲内の大規模 (7,000~10,000m³程度) であること
 建設費はスケールメリットが働くためなるべく大規模とすることが望ましい。

3) その他条件

- ・貯留槽を保有していること
 高濃度濃縮汚泥の消化後の汚泥 (高濃度濃縮消化汚泥) を貯留可能な槽を保有していること。現在利用していない水槽や重力濃縮槽等を貯留槽として用いることができる。
- ・汚泥処分費単価が高いこと
 汚泥処分量を削減することで便益の確保を図るため、汚泥処分費単価が高ければ高いほど、処分費の削減効果が高くなる。
- ・汚泥処分に対して課題を有していること
 汚泥処分に対し、経済性等の課題を有していること。当該自治体の脱炭素等への取組方針に嫌気性消化の導入が位置づけられていること。

表 2-1 汚泥処分費単価と規模別処理場数

(1/2:標準活性汚泥法)

項目		日平均流入汚水量 (m ³ /日)						合計
		1,000未満	1,000 ~ 2,000未満	2,000 ~ 5,000未満	5,000 ~ 7,000未満	7,000 ~ 10,000未満	10,000以上	
脱水汚泥 処分単価 (円/t)	0 ~ 10,000未満	1	5	5	9	4	60	84
	10,000 ~ 16,000未満	2	2	17	6	0	10	37
	16,000 ~ 20,000未満	2	1	13	3	7	18	44
	20,000 ~ 30,000未満	3	4	10	4	5	21	47
	30,000以上	4	4	11	10	4	28	61
計		12	16	56	32	20	137	273

(2/2:OD)

項目		日平均流入汚水量 (m ³ /日)						合計
		1,000未満	1,000 ~ 2,000未満	2,000 ~ 5,000未満	5,000 ~ 7,000未満	7,000 ~ 10,000未満	10,000以上	
脱水汚泥 処分単価 (円/t)	0 ~ 10,000未満	57	14	12	0	2	1	86
	10,000 ~ 16,000未満	61	24	24	2	0	0	111
	16,000 ~ 20,000未満	62	19	16	3	0	0	100
	20,000 ~ 30,000未満	90	30	19	0	1	1	141
	30,000以上	149	25	16	3	1	0	194
計		419	112	87	8	4	2	632

本事業の消化率 (40%)、消化ガス発生量 (0.3Nm³/kg-投入 VS) とした場合、B/C>1.0 となる処理場は表 2-1 における黄色ハッチングの合計より標準活性汚泥法と OD 法で合わせて 99 箇所とな

る。他処理場からの脱水汚泥集約が可能な場合は $B/C > 1.0$ となる範囲がさらに広がり、表 2-1 におけるオレンジハッチングも加えて合計で 194 箇所と予想される。

§ 12 脱水機 2 段活用の適用条件

既存脱水機を濃縮・脱水の2工程に用いるため、運転時間に余裕がある必要がある。1週間あたりの濃縮・脱水工程に対する最大運転時間が下水処理場における既存脱水機の最大運転時間を超えないことが条件となる。

【解説】

脱水機 2 段活用の適用条件の考え方を以下に示す。

(1) 発生汚泥量の確認

処理場からの発生汚泥と消化汚泥の発生量割合を算出する。処理場からの発生汚泥はオキシデーションディッチ法の場合、余剰汚泥のみであり、標準法の場合、生汚泥と余剰汚泥の合計量となる。また、本法では高濃度濃縮を行うため消化汚泥の濃度も高く、これを直接脱水機で処理することは困難である。そのため、脱水の前段で消化汚泥の希釈・洗浄を行うが、その結果、発生汚泥量は以下のようになる。

濃縮対象汚泥量＝生汚泥^{※1}＋余剰汚泥脱水対象汚泥量の消化汚泥に対する割合×10倍^{※2}÷2倍
(洗浄濃縮倍率^{※3})

※1：生汚泥は発生する場合

※2：希釈倍率。数値は実証施設での運転設定より引用。

※3：洗浄時の洗浄水の倍率。数値は実証施設での運転設定より引用。

(2) 既存脱水機の最大運転時間と処理量の検討

既存脱水機の運用方法を検討し、1週間あたり最大何時間運用可能か決定する。

現状の稼働時間ではなく、処理場の維持管理体制等に合わせて最大時間を考慮する。

本技術における脱水機の2段活用を行った場合の脱水機運転時間の例を表 2-2 に示す。高濃度濃縮と消化汚泥脱水での総運転時間は、本技術適用前の1.5倍となる。

表 2-2 既存脱水機の処理量の設定例

区分	運転内容	運転時間(h)					
		月	火	水	木	金	合計
導入前	余剰汚泥脱水	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	21.0
導入後	高濃度濃縮	7.0	—	7.0	—	7.0	21.0
	消化汚泥脱水	—	6.2	—	5.0	—	11.2

システム導入前の脱水機運転時間＝21.0 時間/週

システム導入後の脱水機運転時間＝21.0 時間/週＋11.2 時間/週＝32.2 時間/週

→システム導入により、脱水機の総運転時間は 32.1 時間/週÷21.0 時間/週＝1.5 倍となる。

例) 処理場の維持管理時間：8 時間/日・平日 とすると

既存脱水機の立上げ・停止時間を 1 時間程度と想定して以下のとおりとなる。

既存脱水機運転可能時間＝7 時間×5 日間 ＝35 時間/週

(3) 既存脱水機適用可能性の検討

(1) より、1 週間あたりの濃縮運転時間と脱水運転時間を算出する。

濃縮運転時間＋脱水運転時間 < (2) で求めた最大時間 (1 週間あたり)
であれば、運転時間上の適用は可能となる。

濃縮運転時間 (時/週) ＝濃縮対象汚泥量 (m³/週) ÷濃縮処理量 (m³/時)

脱水運転時間 (時/週) ＝脱水対象汚泥量 (m³/週) ÷脱水処理量 (m³/時)

濃縮運転時間＋脱水運転時間 < 既存脱水機運転可能時間

§13 導入シナリオ

本技術を導入するシナリオ例を以下に示す。

- (1) 既存消化設備の更新のタイミングにおいて、従来技術の消化設備の代替として本技術を導入する場合
- (2) 消化設備の無い処理場に対して、消化設備の新設のタイミングにおいて、従来消化技術の代替として本技術を導入する場合

【解説】

以下に本技術を導入するシナリオ例と期待できる導入効果を解説する。(計算条件詳細および結果は、第3章第2節導入効果の検討例 (P. 44～P. 47 参照))

導入シナリオの検討を行うタイミングとしては、実際の設備更新よりも前の段階の汚泥処理構想や広域化・共同化計画を立案する段階が望ましい。

(1) 既存消化設備の更新のタイミングにおいて、従来技術の消化設備の代替として本技術を導入する場合

中小規模処理場において既存消化設備がある場合には、消化設備更新時に本技術を導入するシナリオを表 2-3 に示す。本技術を導入した場合、通常の消化設備に対してコンパクト化できるため、工期の短縮および建設費の削減が図られ、総費用の低減が期待できる。

表 2-3 導入シナリオ（1）

項目	内容								
概要	<p>既存消化槽を更新するタイミングに従来脱水機を2段階活用することで濃縮機更新コストを削減、高濃度消化設備を導入することで設備のコンパクト化が図られ、コスト低減を図る。</p>								
導入設備	高濃度消化槽、洗浄槽、脱硫装置、ガスホルダ、ガス発電設備								
導入メリット	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="295 981 454 1059">建設費</td> <td data-bbox="454 981 1418 1059">従来の消化槽及びガスホルダに対しコンパクト化・ユニット化がなされるため、コスト削減が可能。</td> </tr> <tr> <td data-bbox="295 1059 454 1171">維持管理費</td> <td data-bbox="454 1059 1418 1171">従来の消化槽及びガスホルダに対しユニット化がなされるため点検等の動線が少なく、また既存脱水機を濃縮にも用いることで機器点数が減り点検・修繕及び人件費のコスト削減が可能。更にガス発電機と比較して自動制御を行い、効率的な発電を行うため、コスト削減が可能。</td> </tr> <tr> <td data-bbox="295 1171 454 1227">汚泥処分費</td> <td data-bbox="454 1171 1418 1227">従来消化と同程度の消化率となるため、汚泥処分費は従来と変わらない。</td> </tr> <tr> <td data-bbox="295 1227 454 1281">有効利用</td> <td data-bbox="454 1227 1418 1281">効率的なガス発電を行うことで、発電量を従来より多く得られる。</td> </tr> </table>	建設費	従来の消化槽及びガスホルダに対しコンパクト化・ユニット化がなされるため、コスト削減が可能。	維持管理費	従来の消化槽及びガスホルダに対しユニット化がなされるため点検等の動線が少なく、また既存脱水機を濃縮にも用いることで機器点数が減り点検・修繕及び人件費のコスト削減が可能。更にガス発電機と比較して自動制御を行い、効率的な発電を行うため、コスト削減が可能。	汚泥処分費	従来消化と同程度の消化率となるため、汚泥処分費は従来と変わらない。	有効利用	効率的なガス発電を行うことで、発電量を従来より多く得られる。
建設費	従来の消化槽及びガスホルダに対しコンパクト化・ユニット化がなされるため、コスト削減が可能。								
維持管理費	従来の消化槽及びガスホルダに対しユニット化がなされるため点検等の動線が少なく、また既存脱水機を濃縮にも用いることで機器点数が減り点検・修繕及び人件費のコスト削減が可能。更にガス発電機と比較して自動制御を行い、効率的な発電を行うため、コスト削減が可能。								
汚泥処分費	従来消化と同程度の消化率となるため、汚泥処分費は従来と変わらない。								
有効利用	効率的なガス発電を行うことで、発電量を従来より多く得られる。								

（2）消化設備の無い処理場に対して、消化設備の新設のタイミングにおいて、従来消化技術の代替として本技術を導入する場合

ほとんどの小規模処理場においては嫌気性消化設備が導入されていないため、消化工程を導入することで、汚泥量の削減が図られ、汚泥処分費の削減につながることを期待される。

また、発生した消化ガス利用により電力費の削減にもつながると考えられる。

嫌気性消化工程を有していない処理場に対し、本技術を新規に導入する場合のシナリオ例を表2-4に示す。

表 2-4 導入シナリオ (2)

項目	内容	
概要	<p>消化槽を新設するタイミングに従来脱水機を 2 段活用することで濃縮機更新コストを削減、高濃度消化設備を導入することで汚泥処分費の削減が図られ、コスト低減を図る。</p>	
導入設備	高濃度消化槽、洗浄槽、脱硫装置、ガスホルダ、ガス発電設備	
導入 メリット	建設費	濃縮設備の更新を行わず、脱水機の 2 段活用を行うため、その分の建設費削減が図られるが、新規に消化設備を導入するため、建設費は従来よりも高価となる。
	維持管理費	消化導入による汚泥量削減効果により、汚泥処分費の低減が図られる。また、ガス発電による電力費の削減が図られ、コスト削減が可能。
	汚泥処分費	消化導入による汚泥量削減効果によりコスト削減が可能。
	有効利用	消化導入によるガス発電が可能。

第3節 実証研究に基づく評価の概要

§ 14 技術の評価項目

実証研究に基づく本技術の評価項目を以下に示す。

- (1) 設備性能（脱水機、高濃度消化）
- (2) 用地面積
- (3) 総費用（年価換算値）
- (4) 維持管理でのエネルギー消費量
- (5) 維持管理での温室効果ガス排出量

【解説】

本技術の導入検討においては、技術の性能指標を定量的に比較し、性能の優れた技術を選択できるように、評価項目、評価方法、評価結果を設定、提示する必要がある。本ガイドラインでは、本技術を評価した項目として、(1) 設備性能、(2) 用地面積、(3) 費用、(4) 維持管理でのエネルギー消費量、(5) 維持管理での温室効果ガス排出量について評価を行った。(評価結果は § 15 評価結果および資料編 1. 実証研究結果を参照)

用地面積、費用、エネルギー消費量および温室効果ガス排出量については、表 2-5 に示す評価対象処理場条件として、従来設備との比較として試算した。

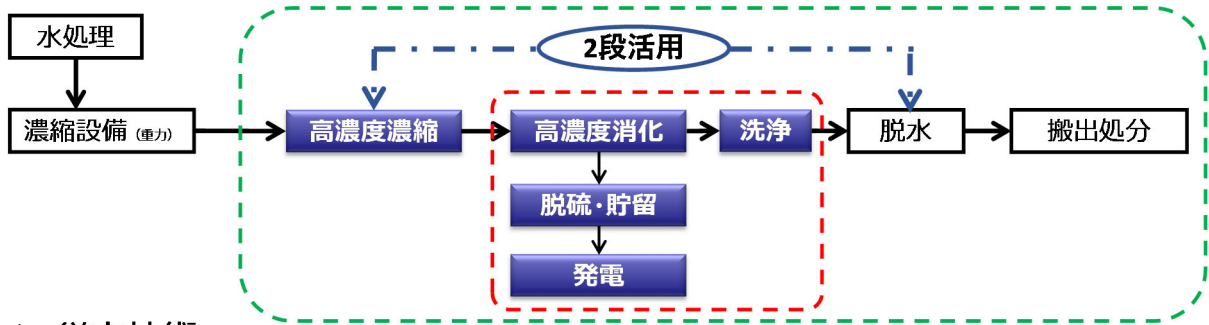
従来技術との比較については、シナリオ案 (1) の従来消化槽を導入する場合と比較する。シナリオ案 (2) の消化設備のない場合との比較については資料編参照のこと。

表 2-5 評価対象処理場条件

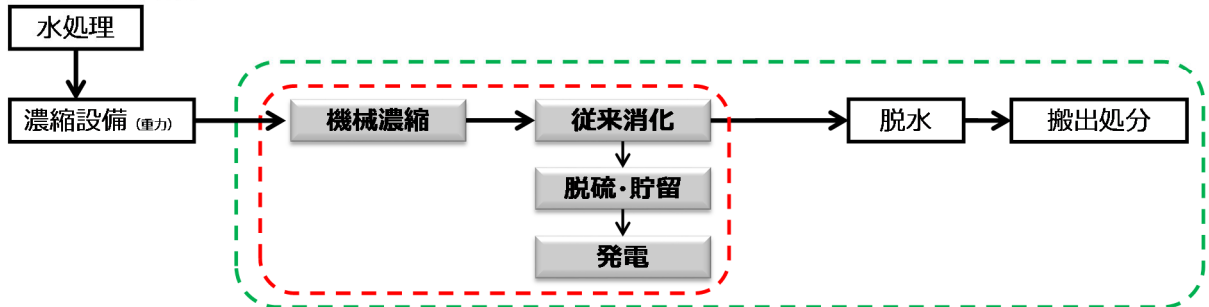
対象汚泥	余剰汚泥（発生汚泥全量対象）
水処理方式	オキシデーショディッチ法
処理水量	現有処理能力：4,500m ³ /日 現状流入水量：2,000m ³ /日
汚泥処理方式	重力濃縮→脱水（ベルトプレス）→搬出処分（民間）

従来設備との比較範囲を図 2-7 および図 2-8 示す。

◆ 本技術



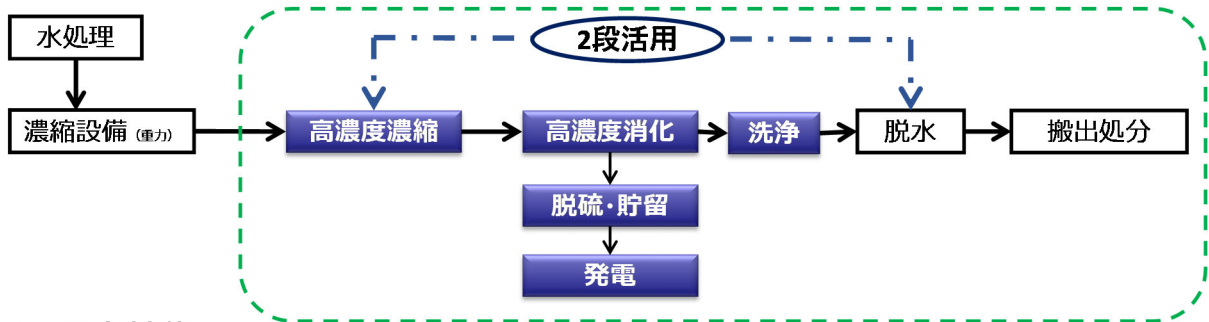
◆ 従来技術



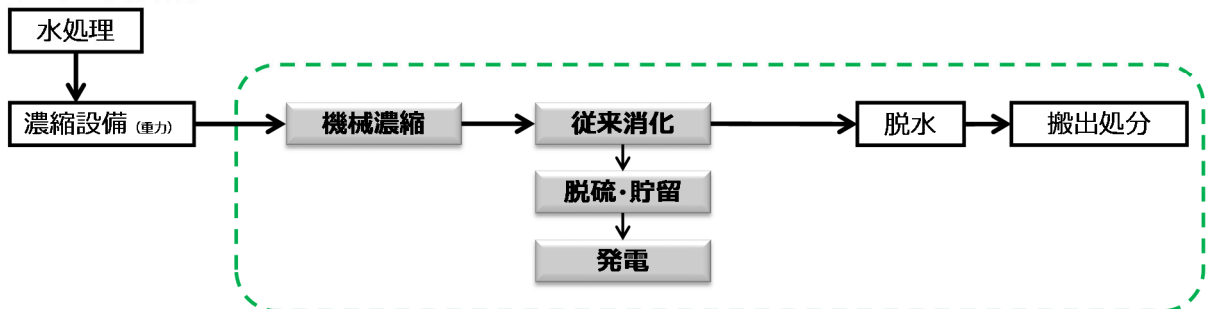
建設費試算範囲 (Red dashed box) 維持管理費試算範囲 (Green dashed box)

図 2-7 費用比較範囲

◆ 本技術



◆ 従来技術



エネルギー消費量・温室効果ガス排出量比較範囲 (Green dashed box)

図 2-8 維持管理のエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量比較範囲

(1) 設備性能

本技術の設備性能について、以下の項目を評価した。下記項目は本技術の維持管理費を算定する上で、必要な項目である。

1) 脱水汚泥含水率

本技術の脱水設備において得られる脱水汚泥含水率を評価する。

2) 消化率

本技術の高濃度消化設備において得られる消化率を評価する。

3) 消化ガス発生率

本技術の高濃度消化設備において得られる投入汚泥あたりの消化ガス発生量を評価する。

(2) 用地面積

本技術は、従来技術と比較して設備をユニット化し、コンパクト化することが可能である。従来技術の場合の必要用地面積と本技術の場合の必要用地面積を定量的に比較する。用地面積の比較範囲は、図 2-7 における建設費の比較範囲と同様とする。

(3) 総費用（年価換算値）

建設費（解体・廃棄費は含まない）、維持管理費を試算し、総費用（年価換算値）を建設費年価と維持管理費（年あたり）の合計として従来技術と比較・評価する。

費用比較の範囲は図 2-7 に示すとおりであるが、費用比較の項目を表 2-6 に示す。

表 2-6 費用比較の項目

項目	本技術	従来技術
建設費内訳	<ul style="list-style-type: none"> ● 土木、建築 ● 機器費 ● 電気機器費 ● 工事費（機械、電気） 	同左
維持管理費内訳	<ul style="list-style-type: none"> ● 電力費 ● 燃料費 ● 凝集剤費 ● 汚泥処分費 ● 人件費 ● 発電による電力削減便益 	同左

維持管理費算定の際の費用単価設定を表 2-7 に示す。

表 2-7 維持管理費算定時の費用単価設定

種類	項目	単位	単価
ユーティリティ	電力費	円/kWh	15
	灯油	円/L	70
	上水	円/m ³	200
	高分子凝集剤	円/kg	1,000
	ポリ鉄	円/kg	40
汚泥処分	汚泥処分費	円/t	23,000

(4) 維持管理でのエネルギー消費量

本技術を導入した際の維持管理時におけるエネルギー消費量について、従来技術と比較を行う。エネルギー消費量の比較範囲は図 2-8 に示すとおりである。

(5) 維持管理での温室効果ガス排出量

本技術を導入した際の維持管理時における温室効果ガス排出量について、従来技術と比較を行う。温室効果ガス排出量の比較範囲は、エネルギー消費量と同様、図 2-8 に示すとおりである。

なお、本研究では、処理場の施設消費電力に追従した消化ガス発電の運転に対する検証は行わない。

§ 15 技術の評価結果

本技術の実証研究における以下の項目の評価項目を示す。

- (1) 設備性能
- (2) 用地面積
- (3) 総費用（年価換算値）
- (4) 維持管理でのエネルギー消費量
- (5) 維持管理での温室効果ガス排出量

【解説】

(1) 設備性能

本技術の設備性能として、評価結果の一覧を表 2-8 に示し、評価項目に対する解説を加える。

表 2-8 本技術の設備性能の評価結果

評価項目	評価指標	単位	数値	
濃縮運転の安定性	汚泥濃度	%	10±1	
	SS回収率	%	95以上	
脱水運転の安定性	含水率	%	85以下	
	SS回収率	遠心脱水機	%	95以上
		ベルトプレス脱水機	%	90以上
消化効率	消化率	%	32.3	
	ガス発生率	Nm ³ /投入VS-kg	0.22	

1) 脱水汚泥含水率

季節を通じて、85.0%かそれ以下の数値となっている。(試験の詳細は、資料編 を参照)

2) 消化率

投入汚泥濃度 10%、消化日数 30 日、消化温度 37℃での連続運転を行い、安定的な消化を確認するため、馴致期間として 30 日間を 3 回転（約 100 日）運転を行い、その後の結果をまとめた。

消化率は以下の式により算出した。

$$\text{※消化率 (\%)} = \left(1 - \frac{FS_1 \cdot VS_2}{VS_1 \cdot FS_2}\right) \times 100$$

ここに

FS₁：投入汚泥の無機分 (%)

VS₁：投入汚泥の有機分 (%)

FS₂：消化汚泥の無機分 (%)

VS₂：消化汚泥の有機分 (%)

出典：「下水道施設計画・設計指針と解説、日本下水道協会」

●消化槽の立上方法および留意点

立上の方法および留意点は以下のとおりである。

- 他下水処理場で発生した消化汚泥を種汚泥として使用した。
- 種汚泥移送の簡易化及び立ち上げ時において汚泥性状・消化効率等に問題が発生した場合のハンドリングを容易とするため、使用する種汚泥量は消化槽容量の半分程度の 50 m³とした。
- 消化槽への負荷は低負荷から徐々に負荷を上げた。本実証試験では種汚泥分析結果より HRT100 日から開始。75 日、50 日、40 日、35 日、30 日と負荷を上げることとした。
- 種汚泥が規定温度である 37℃に上昇後、汚泥投入を開始した。
- 消化状態を把握するため、表 2-9 に示す分析（立ち上げ後の測定項目と同様）を実施した。特に重要な管理指標は pH、遊離アンモニア、有機酸（VFA）であり、基準値を逸脱した場合は負荷を抑えて調整した。

表 2-9 高濃度消化分析項目

	項目	基準値	頻度
消化槽	温度 [°C]	37～40	1 回/日
	水位 [m]	3.7～4.3	1 回/日
汚泥	pH [—]	6.4～7.2	1 回/日
	TS [%]	10 以下	1 回/日
	VTS [%]	—	1 回/週
	TOC [g/kg]	—	1 回/週
	有機酸 [mg-Ace/L]	1000 以下	1 回/週
	T-N [mg/L]	—	1 回/週
	T-P [mg/L]	—	1 回/週
	NH ₄ -N [mg/L]	400 以下 (遊離アンモニア換算)	1 回/週
	BOD [%]	—	1 回/週
	アルカリ度 [%]	—	1 回/週
消化ガス	ガス発生量 [N m ³ /h]	—	1 回/日
	メタン濃度 [%]	55～65	1 回/日
	二酸化炭素濃度 [%]	35～45	1 回/日
	硫化水素 [ppm]	10 以下	1 回/日

※有機酸、NH₄-N、BOD、アルカリ度は消化汚泥のみ実施

消化阻害因子としての有機酸およびアンモニアについては、文献より阻害の基準値を設定し、いずれも以下の基準値よりも低いことを確認した。

- ・有機酸の阻害基準値：1,000mg-Ace/L
- ・遊離アンモニアの阻害基準値：400mg/L

なお、遊離アンモニア濃度は下記の式より算出した。

$$\text{NH}_3 \text{ 算出式: } \text{遊離アンモニア濃度 (NH}_3\text{mg/L)} = 17/14 \times \text{全アンモニア N 濃度 (mg/L)} \times 10^{\text{pH} / (e^{(6344 / (273 + \text{水温}))} + 10^{\text{pH}}))}$$

出典：Anthonisen, A.C., R.C. Loehr, T.B.S. Prakasam, and E.G. Stinath (1976) Inhibition of nitrification by ammonia and nitrous acid (アンモニアと亜硝酸による硝化の阻害), *Journal of Water Pollution Control Federation*, 48 (5), 835-852.

(2) 用地面積

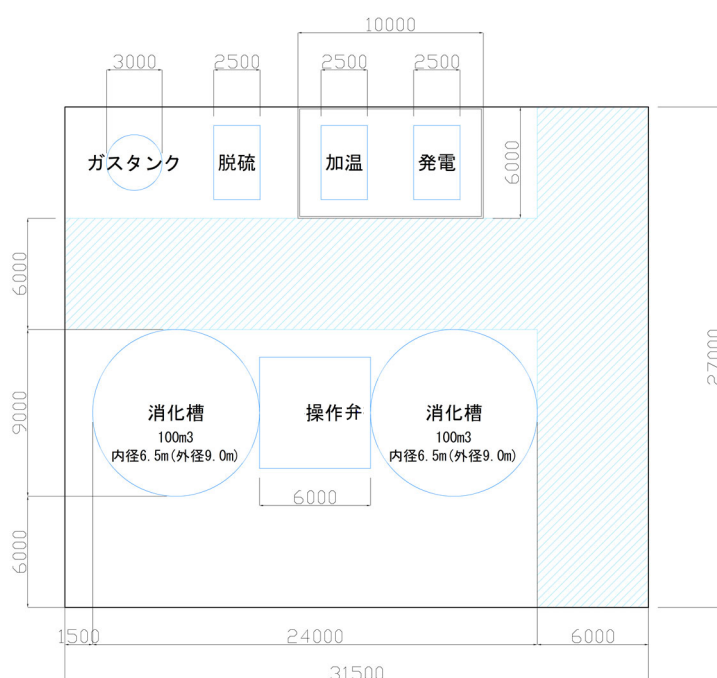
用地面積の比較は、「実証施設」に対して同程度の従来施設を設置した場合の必要敷地面積を比較し、コンパクト化・ユニット化に伴う必要敷地面積の削減効果を評価した。

従来技術については、実証試験を行っている処理場の敷地に対し配置をした場合の必要面積を算出した。

図 2-9 に示すように、従来技術の約 69.5%の面積で設置が可能となる。(規模の異なる場合の用地面積比較については、資料編 参照)

<従来技術>

850.5m² (31.5m × 27m)



<本技術>

591.3m² (36.5m×16.2m)

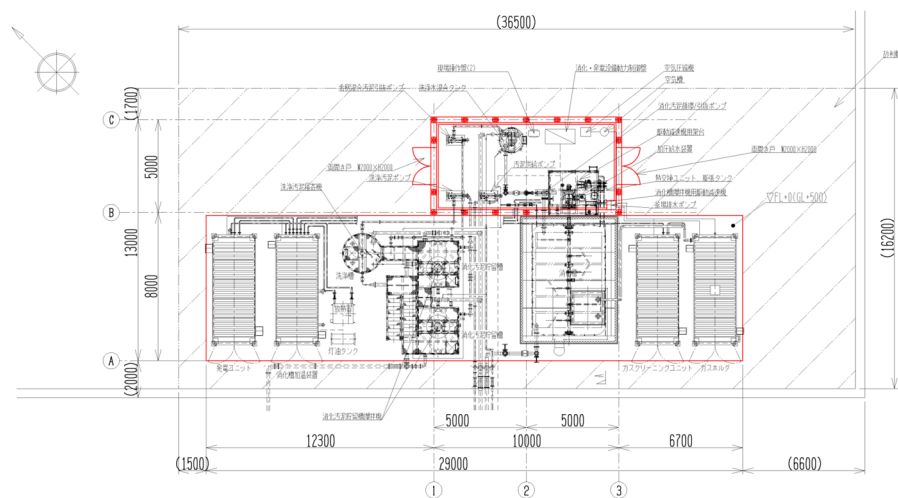


図 2-9 用地面積の比較

(3) 総費用 (年価換算値)

1) 建設費

表 2-5 の処理場に本技術を導入した際の建設費の算出結果を表 2-10 に示す。なお、本研究では費用の算出を簡便化するため、費用関数を作成し、それを用いている。費用関数については第 3 章第 1 節 § 18 を参照のこと。従来技術については従来技術の費用関数 (国土交通省水管理・国土保全局下水道部「下水汚泥広域利活用検討マニュアル」2019 年 3 月) より算出を行った。

結果として、従来技術と比較し約 54%の建設費となり、46%の費用削減となった。

表 2-10 建設費の比較

単位：百万円/年

施設	算出方法	
	従来技術	革新的技術
濃縮設備	16.2	-
消化設備	22.0	19.5
発電設備	2.3	2.3
合計	40.4	21.8
縮減分		18.6

2) 維持管理費

表 2-5 の処理場に本技術を導入した際の維持管理費の算出結果を に示す。

建設費と同様、新技術については第 3 章第 1 節 § 18 より設定した費用関数により算出し、従来技術については建設費と同様にマニュアル費用関数より算出を行った。

単位：百万円/年

施設	項目	算出対象	
		従来技術	革新的技術
濃縮設備		-	-
消化設備		12.2	13.8
発電設備		7.5	0.9
濃縮・脱水設備		39.2	16.6
その他	污泥処分費	34.4	30.4
	発電による便益	-5.3	-2.3
合計		88.0	59.4
縮減分			28.6

3) 総費用（年価換算値）

維持管理費を含む総費用（年価換算値）の比較結果を表 2-11 に示す。建設費と同様に費用関数を作成して処理場規模に当てはめている。（新技術における詳細計算等は、資料編 参照）

結果として、日平均処理水量 10,000m³/日程度の処理場における総費用（年価換算値）として、従来技術から約 44%の削減となった。なお、最小規模として設定している日平均処理水量 2,000m³/日程度の処理場であっても 25%以上の削減が見込まれており、従来技術よりも経済的に有利である。

表 2-11 総費用（年価換算値）の比較

単位：百万円/年

施設	項目	算出対象	
		従来技術	革新的技術
濃縮設備	建設費	31.6	-
消化設備	建設費	34.5	26.0
	維持管理費	12.2	13.8
発電設備	建設費	4.0	2.5
	維持管理費	7.5	0.9
土木建築	建設費	18.0	10.3
濃縮・脱水設備	維持管理費	39.2	16.6
その他	污泥処分費	34.4	30.4
	発電による便益	-5.3	-2.3
合計	建設費	88.1	38.8
	維持管理費・他	88.0	59.4
	合計	176.1	98.2
縮減分	建設費		49.3
	維持管理費		28.6
	合計		77.9

※試算対象処理場規模：日平均処理水量 10,000m³/日（12,500m³/日規模）

（4）維持管理でのエネルギー消費量

本技術導入によるエネルギー消費量の変化は、表 2-12 および図 2-10 に示すとおり、発電によ

る削減を含めると従来技術と比較して約1.9%の削減となる。

表 2-12 エネルギー消費量削減効果

項目		単位	従来技術	革新的技術
消費電力	重力濃縮設備	千kWh/年	0.77	0.77
	機械濃縮設備	千kWh/年	17.59	21.2
	消化設備	千kWh/年	9.87	7.89
	脱水設備	千kWh/年	3.81	3.51
	合計	千kWh/年	32.04	33.37
	削減量	千kWh/年	-	-1.33
発電量		千kWh/年	32.04	35.30
電力収支		千kWh/年	0.00	1.93
削減量		千kWh/年	-	1.93

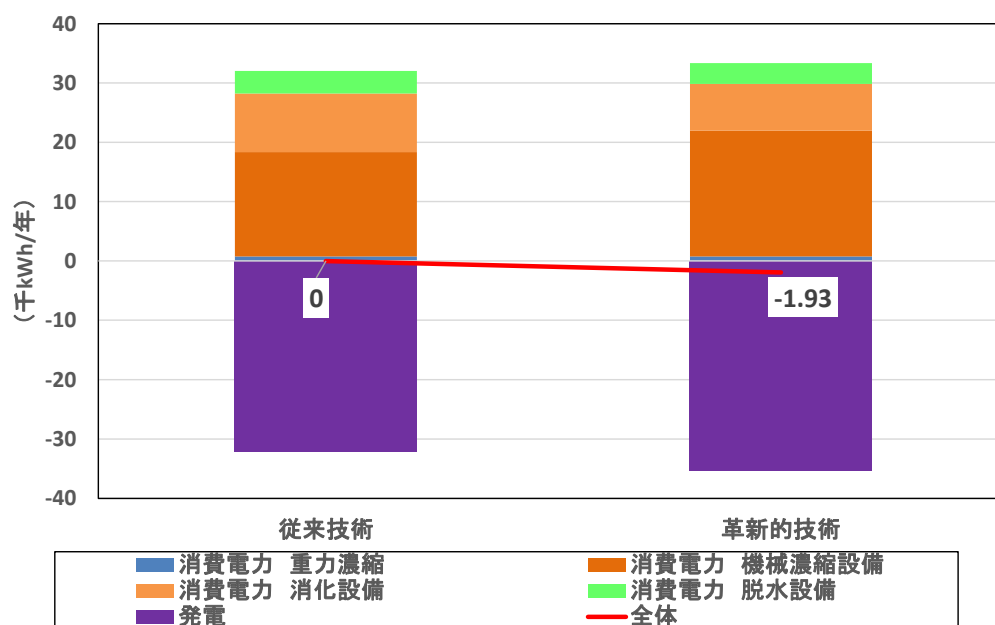


図 2-10 エネルギー消費量の比較

(5) 維持管理での温室効果ガス排出量

本技術導入時の温室効果ガス排出量を従来技術と比較した結果を表 2-13 および図 2-11 に示す。燃料使用量、脱水污泥埋立処分量の減少および発電による削減効果により、従来技術と比較して約 14.3t-CO₂/年の削減となった。

表 2-13 温室効果ガス排出量の比較

項目	従来技術		革新的技術	
	算定量	CO2排出量	算定量	CO2排出量
①電力使用	37,170.0 kWh/年	20,629.4 kg-CO ₂ /年	45,526.7 kWh/年	25,267.3 kg-CO ₂ /年
②燃料使用 (灯油)	17,264.5 L/年	42,988.6 kg-CO ₂ /年	5,986.0 L/年	14,905.1 kg-CO ₂ /年
③高分子凝集剤使用	1,092.0 kg/年	7,098.0 kg-CO ₂ /年	1,092.0 kg/年	7,098.0 kg-CO ₂ /年
④脱水污泥埋立処分	53.8 tDS/年	179,009.7 kg-CO ₂ /年	51.9 tDS/年	172,698.84 kg-CO ₂ /年
⑤発電による電力削減量	-70,810.0 kWh/年	-39,299.6 kg-CO ₂ /年	-42,924.0 kWh/年	-23,822.8 kg-CO ₂ /年
合計	—	210,426.1 kg-CO ₂ /年	—	196,146.5 kg-CO ₂ /年
現状からの削減量	—			14,279.6 kg-CO ₂ /年
	—			14.3 t-CO ₂ /年
削減量の貨幣換算	—			0.04 百万円/年

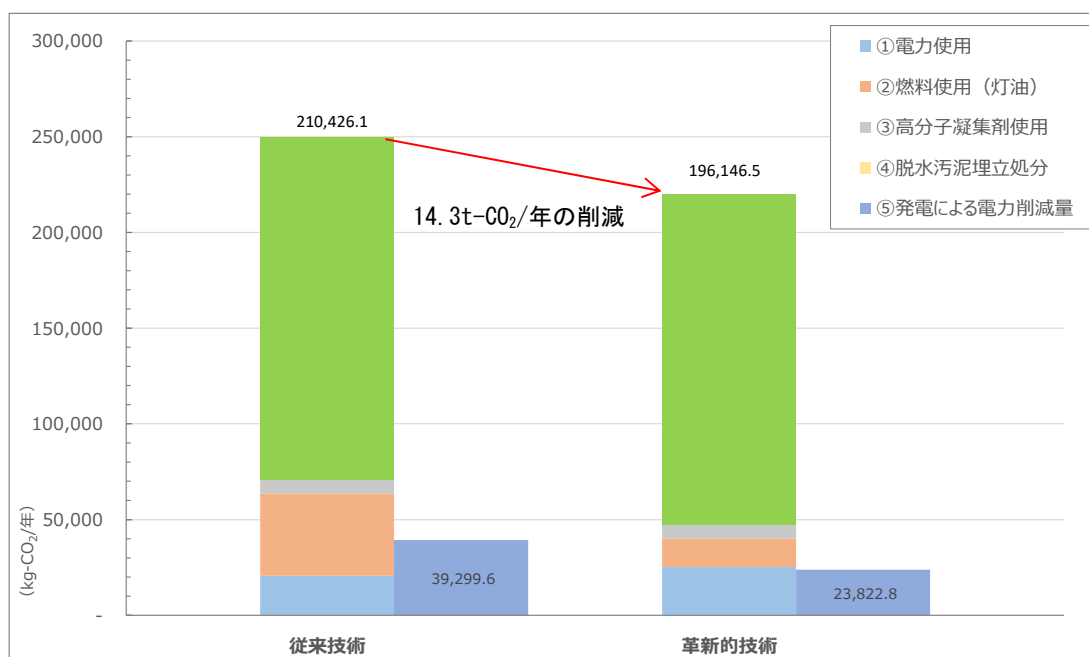


図 2-11 温室効果ガス排出量の比較