小規模下水処理場を対象とした 低コスト・省エネルギー型高濃度メタン発酵技術 ガイドライン（案）

大原鉄工所・西原環境・ＮＪＳ・長岡技術科学大学
・北海道大学・長岡市共同研究体

目次

１．革新技術の概要と目的

２．革新的技術の概要

３．革新的技術の導入効果

４．革新的技術の計画・設計

５．革新的技術の維持管理

６．実証期間中に行った技術上の工夫・改善点

７．問い合わせ先

１． 革新技術の概要と目的

◆1-1.下水道事業が抱える課題

○ 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、その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。

○ 日本の下水処理場の大半を占める小規模下水処理場においては、汚泥処分費の縮減、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の利活用システムの導入が進んでいない。

⇒汚泥の減容化とバイオガス化を行うメタン発酵システムはスケールメリットが働き、小規模処理場への適用は割高になることが最大の理由

◆1-2.下水道ビジョンとの関連

○ 新下水道ビジョン（平成26年7月）

「循環のみち下水道」の進化

水・資源エネルギーの集約・自立・供給拠点化

○ 第下水道ビジョン加速戦略（平成29年8月）

２ 加速すべき重点項目と基本的な施策

重点項目Ⅱ　下水道の活用による付加価値向上

⇒これらに寄与できる技術

1． 革新技術の概要と目的

◆1-3.革新的技術の特徴と課題解決のアプローチ

小規模下水処理場では脱水機の運転日数・稼働率が低い傾向にある。既設脱水機を機械濃縮機として２段活用することで、消化槽投入汚泥の高濃度化による消化槽容量を縮減（設備のコンパクト化によるコスト縮減）するとともに、バイオガス発電による消費電力の削減を行うことで、これまで導入が困難であった小規模処理場へのメタン発酵システムの導入促進を図る。

A：高濃度濃縮技術（脱水・濃縮の交互運転）

脱水機を濃縮機として2段活用する(運転時間を分けて運用)。濃縮汚泥濃度10%程度。

B：高濃度消化技術（横軸パドル式消化槽）

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。

C：設備のコンパクト化、ユニット化

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。

D：バイオガス発電

発生ガス量に応じた出力制御運転。
施設全体の消費電力低減を図る。

1． 革新技術の概要と目的

◆1-4.革新的技術の普及対象範囲（ターゲット）

（1/2:標準活性汚泥法）

項目		日平均流入汚水量（m³/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（m³/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

・・・導入によりＢ/Ｃが１以上となる範囲
・・・他処理場からの集約処理を前提として、Ｂ/Ｃが１以上となる範囲

◇本実証事業の目標消化率（40%）、ガス発生量（0.3Nm³/kg-投入VS）で整理すると

○ B/Cが１以上になる処理場は99箇所

○ 他処理場からの脱水汚泥の集約処理を前提として、B/Cが１以上になる処理場は194箇所

１． 革新技術の概要と目的

◆1-5.革新的技術の導入により期待される効果

○経済面
・消化設備導入コストの削減
・維持管理費（汚泥処分費、電力費）の削減
○環境面
・温室効果ガス排出量の削減
○社会面
・下水処理場のエネルギー拠点化

2． 革新的技術の概要

◆2-1.技術の概要

技術A；脱水機を用いた高濃度濃縮技術

○脱水・濃縮の交互運転
運転条件（運転時間・遠心効果・薬注率・差速）の設定により、「高濃縮運転」および「脱水運転」の切り替えを行い、脱水機を濃縮機として利用する。

①高濃度濃縮技術
(脱水・濃縮の交互運転)

脱水機を濃縮機として2段活用する(運転時間を分けて運用)。濃縮汚泥濃度10%*程度。

下水汚泥

①脱水・濃縮の交互運転（対象：遠心脱水機）

濃縮汚泥
濃度
10%程度

濃縮

技術B：高濃度消化技術（横軸パドル式消化槽）

脱水

脱水汚泥

含水率
85%程度

2． 革新的技術の概要

◆2-1.技術の概要

技術Ｂ ；高濃度消化技術

〇横軸パドル式消化槽
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。

②高濃度消化技術
(横軸パドル式消化槽)

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

横型高濃度消化槽
・槽本体は長方形（RC構造）
・高濃度汚泥の撹拌に対応するため
　横軸パドル式の撹拌機を装備
・構造が非常にシンプル

10%

濃縮

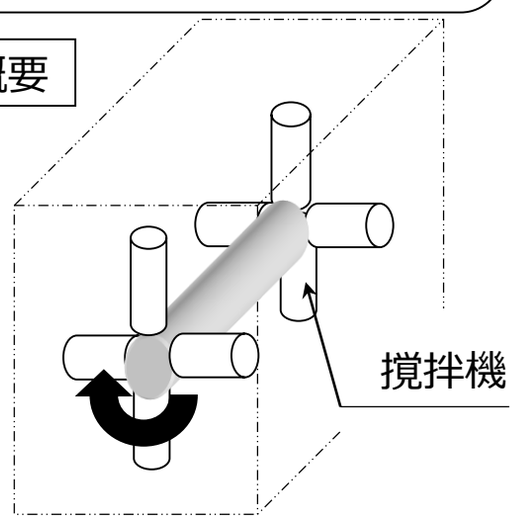
②横軸パドル式消化槽

内部の状況

消化日数30日、消化温度37℃

脱水

構造概要



消化槽は新設を想定。未活用の槽がある場合は貯留槽として再利用

2． 革新的技術の概要

◆2-1.技術の概要

技術C；設備のコンパクト化・ユニット化

○主要機器のユニット化
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。

③設備のコンパクト化、ユニット化

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。

消化槽

ガスホルダ

発電設備

③コンパクト化・ユニット化

ガスホルダ（ガスバック）、発電機はコンテナ内に機器・配管などを完了（ユニット化）した状態で現地に設置する。
すべてのコンテナは同じ形状ではなく、機器の維持管理面を考慮した構造をしている。

2． 革新的技術の概要

◆2-1.技術の概要

技術D；高濃度消化技術

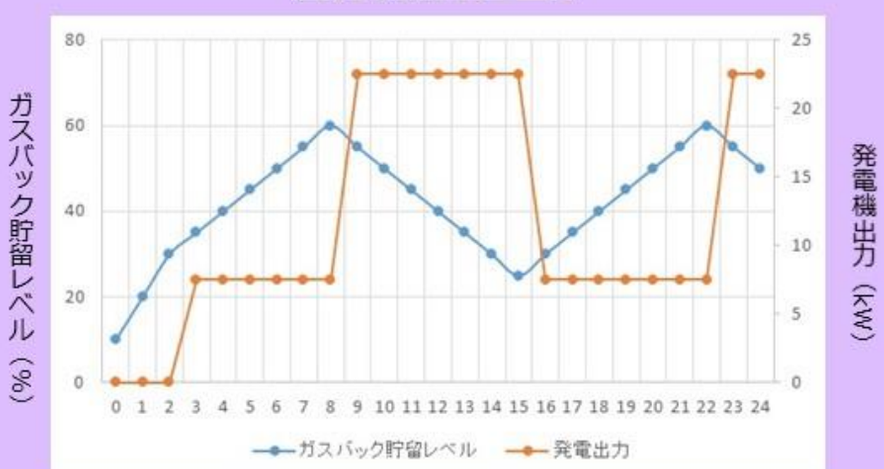
○バイオガス発電機の出力制御
　ガス発生量に自動で追従して出力調整を行う。(エンドユーザーの電力消費の都合や電気使用トレンドに合わせて出力制御を行う。)

④バイオガス発電

発生ガス量に応じた出力制御運転。施設全体の消費電力低減を図る。

④バイオガス発電

出力制御イメージ



２．革新的技術の概要

◆2-2.実証研究結果

技術		評価項目	評価指標	目標値	結果	評価
A	脱水機を用いた高濃度濃縮技術	濃縮運転の安定性	汚泥濃度	（日平均） 濃縮汚泥濃度10% （±1%）	・スクリュープレス脱水機について他処理場にて実証試験済。 ・実証施設については9月に夏季、11月に秋季、2月に冬季、5月に春季の試験済	実証施設で目標値達成 濃縮汚泥濃度10.0%
			ＳＳ回収率	（日平均） SS回収率95%以上	・スクリュープレス脱水機について他処理場にて実証試験済。 ・実証施設については9月に夏季、11月に秋季、2月に冬季、5月に春季の試験済	実証施設で目標値達成 SS回収率99%以上
		脱水運転の安定性	含水率	（日平均） 含水率85%以下	・実証施設については9月に夏季、11月に秋季、2月に冬季、5月に春季の試験済	実証施設で目標値達成 脱水汚泥含水率84.9%
			ＳＳ回収率	（日平均） SS回収率 95%以上（遠心脱水機） 90%以上（ベルトプレス脱水機）	・実証施設については9月に夏季、11月に秋季、2月に冬季、5月に春季の試験済	実証施設で目標値達成 SS回収率98%以上
		維持管理性	維持管理時間・人工	維持管理時間・人工、点検項目数が従来技術未満	・維持管理時間・人工、点検項目数が従来技術未満	目標値達成
B	高濃度消化技術	消化効率	消化率	消化率40%以上	HRT30　3回転以降平均：34.0%	補正値にて達成（連続試験の補正　34%→約40%）
			ガス発生率	ガス発生率0.3Nm^3/投入VS-kg	HRT30　3回転以降平均：0.23Nm^3/kg－投入VS	補正値にて達成 （連続試験の補正　0.23→約0.3Nm^3/kg-投入VS）

2． 革新的技術の概要

◆2-2.実証研究結果

技術		評価項目	評価指標	目標値	結果	評価
C	設備コンパクト化・ユニット化	維持管理性	維持管理導線・維持管理時間	維持管理導線・維持管理時間、点検箇所数が従来技術未満	・実証規模にて年間約10km、約2時間の削減 ・点検箇所数が減少	目標達成 年間約10km、約2時間の削減、点検箇所数が減少
		必要敷地面積	必要敷地面積	必要敷地面積削減率30%	・従来技術と比較し、必要敷地面積削減率30%	目標達成 必要敷地面積削減率30%
		費用	建設費	従来技術と比較し、40%削減	・従来技術と比較し、46%削減	目標達成 建設費46%削減
D	バイオガス発電	発電電力	発電電力量	ガス発生量に追従した発電制御運転の確立	・11月8日に系統連系開始 ・1月13日から自動制御運転開始	目標達成 発電量：平均81.6kWh
全体の効果（FS等）		費用	建設費及び維持管理費	従来技術と比較し、LCC 40%削減	・実証施設の場合、従来技術と比較し、LCC 25%削減 ・他の処理規模においては試算中	目標達成 2,000m^3/日で25%以上削減 10,000m^3/日で41%削減
		省エネ	年間消費電力量		・実証施設の場合、従来技術と比較し、1.5 千KWh/年削減	目標達成 2,000m^3/日で1.5 千KWh/年削減
		省CO_2	年間発生CO_2		・実証施設の場合、従来技術と比較し、36.4 t-CO_2/年削減	目標達成 2,000m^3/日で36.4 t-CO_2/年削減

２．革新的技術の概要

◆2-3.技術の適用条件・推奨条件

適用条件

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。
・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。

３）その他条件
汚泥処分費を支出していること。

推奨条件

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
・汚泥の消化率が高いこと
・汚泥からの消化ガス発生率が高いこと

２）設備規模に関する条件
・日平均汚水量10,000m^3/日までの処理場であること
・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

３）その他条件
・貯留槽を保有していること
・汚泥処分費単価が高いこと

3． 革新的技術の導入効果

◆3-1.導入効果を評価する方法

革新的技術の導入により期待される効果

○ 経済面
・消化設備導入コストの削減
・維持管理費（汚泥処分費、電力費）の削減
○ 環境面
・温室効果ガス排出量の削減
○ 社会面
・下水処理場のエネルギー拠点化

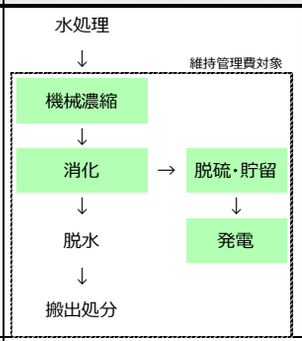
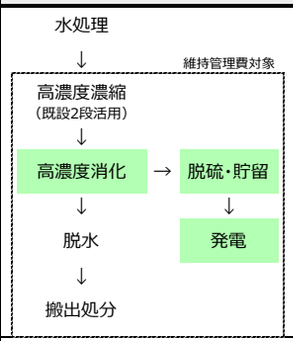
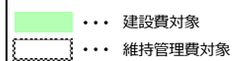
効果の評価方法

◆評価項目
○ 経済面
・総費用削減効果（年価費用）
・エネルギー消費量削減効果
○ 環境面
・温室効果ガス排出量削減効果
◆試算方法
・従来法　　：「バイオソリッド利活用基本計画策定マニュアル」（平成16年3月）
・革新的技術：積み上げ計算

3．革新的技術の導入効果

◆3-2.ターゲット規模での検証結果

試算条件（日平均10,000㎥/日で比較）

項目		単位	従来技術	革新的技術	備考
概略フロー図		–			
流入水量	日最大処理水量	m^3/日	12,500	12,500	≒ 10,000× 1.25
	日平均処理水量	m^3/日	10,000	10,000	実績
SS	流入水質	mg/L	149	149	容量計算書
	放流水質	mg/L	9	9	容量計算書
汚泥量	汚泥発生率	%	75.0%	75.0%	容量計算書
	発生汚泥量	kg-DS/日	0.14	0.14	
	初沈汚泥固形物量/余剰汚泥固形物量		2.0	2.0	
	発生固形物量	t-DS/日	1.750	1.750	日最大における発生量
	1%換算汚泥量（日最大）	m^3/日	175	175	日最大における汚泥量
	1%換算汚泥量（日平均）	m^3/日	149	149	日平均における汚泥量
	濃縮汚泥濃度	%	2.2	2.2	
	消化汚泥量	t-DS/日	1.050	1.298	投入汚泥VTS80% 消化率50%（従来技術） 消化率32.3%（革新技術）
	脱水汚泥量	t/日	6	7	含水率82%（日最大における発生量）
	脱水汚泥量	t/年	1,810	2,237	含水率82%　日平均／日最大比0.85
消化ガス	消化ガス発生量	Nm^3/年	217,175	95,557	日平均／日最大比0.85、 VTS80%　500Nm3/t-VTS（従来技術）、220Nm3/t-VTS(革新技術)
	消化ガス利用量	Nm^3/年	206,316	90,779	消化ガス発生量×0.95（利用率） ※排熱で加温
	消化ガス発電電力量	千kWh/年	354.86	156.14	21.5MJ/Nm3　発電効率32% 自己消費電力　10%
	消化ガス発電機必要容量	kW	47	21	
	消化ガス発電機設置容量	kW	50	50	25kW×2台(従来技術）、1台（革新技術）

3．革新的技術の導入効果

◆3-2.ターゲット規模での検証結果

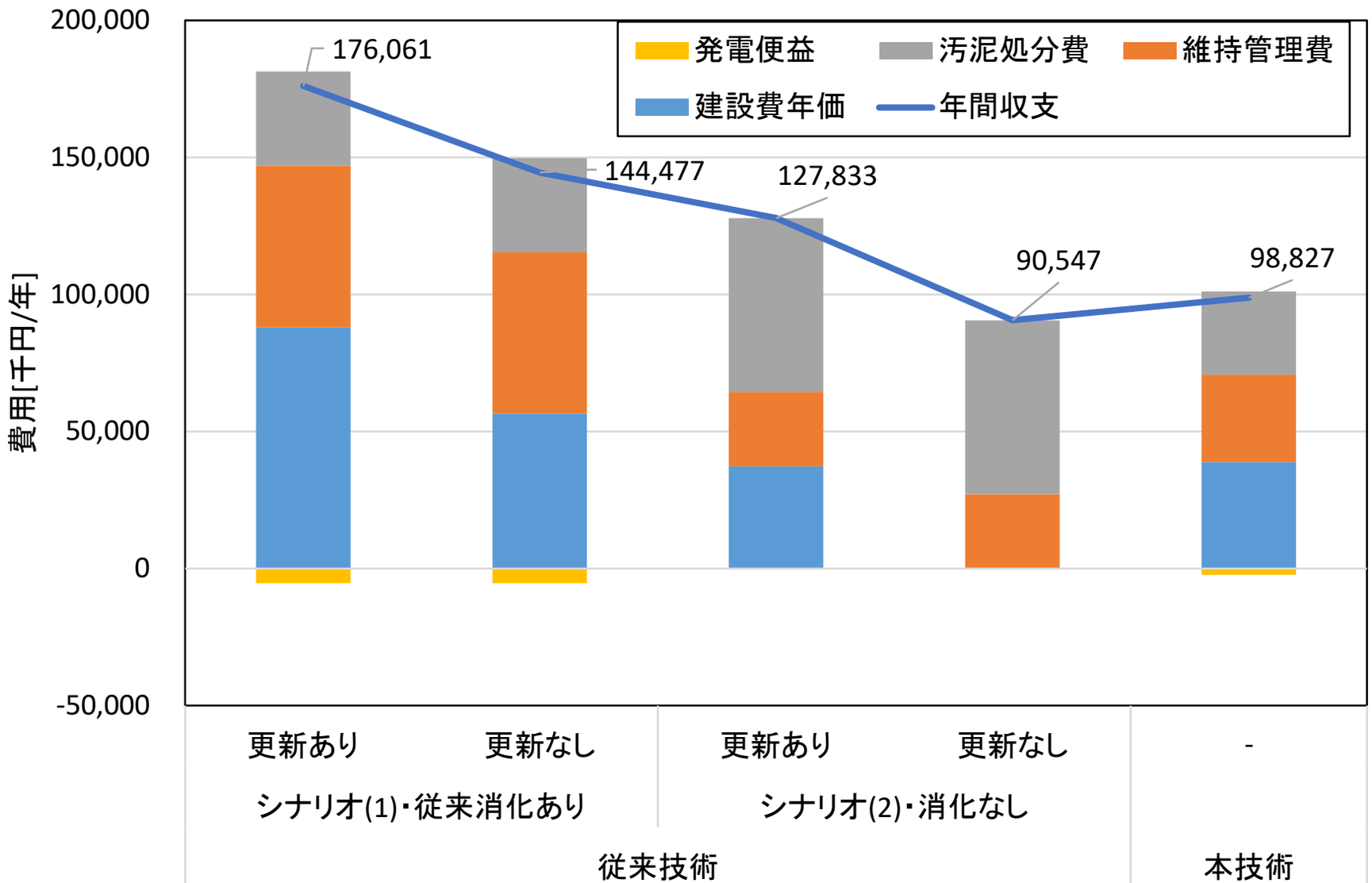
試算条件（日平均10,000㎥/日で比較）

項目	従来技術				革新的技術
	既設消化有		既設消化無		-
	濃縮機更新有	濃縮機更新無	濃縮機更新有	濃縮機更新無	-
総費用削減効果	○	○	○	○	○
エネルギー消費量削減効果	○		○		○
温室効果ガス排出量の削減効果	○		○		○

3．革新的技術の導入効果

◆3-2.ターゲット規模での検証結果

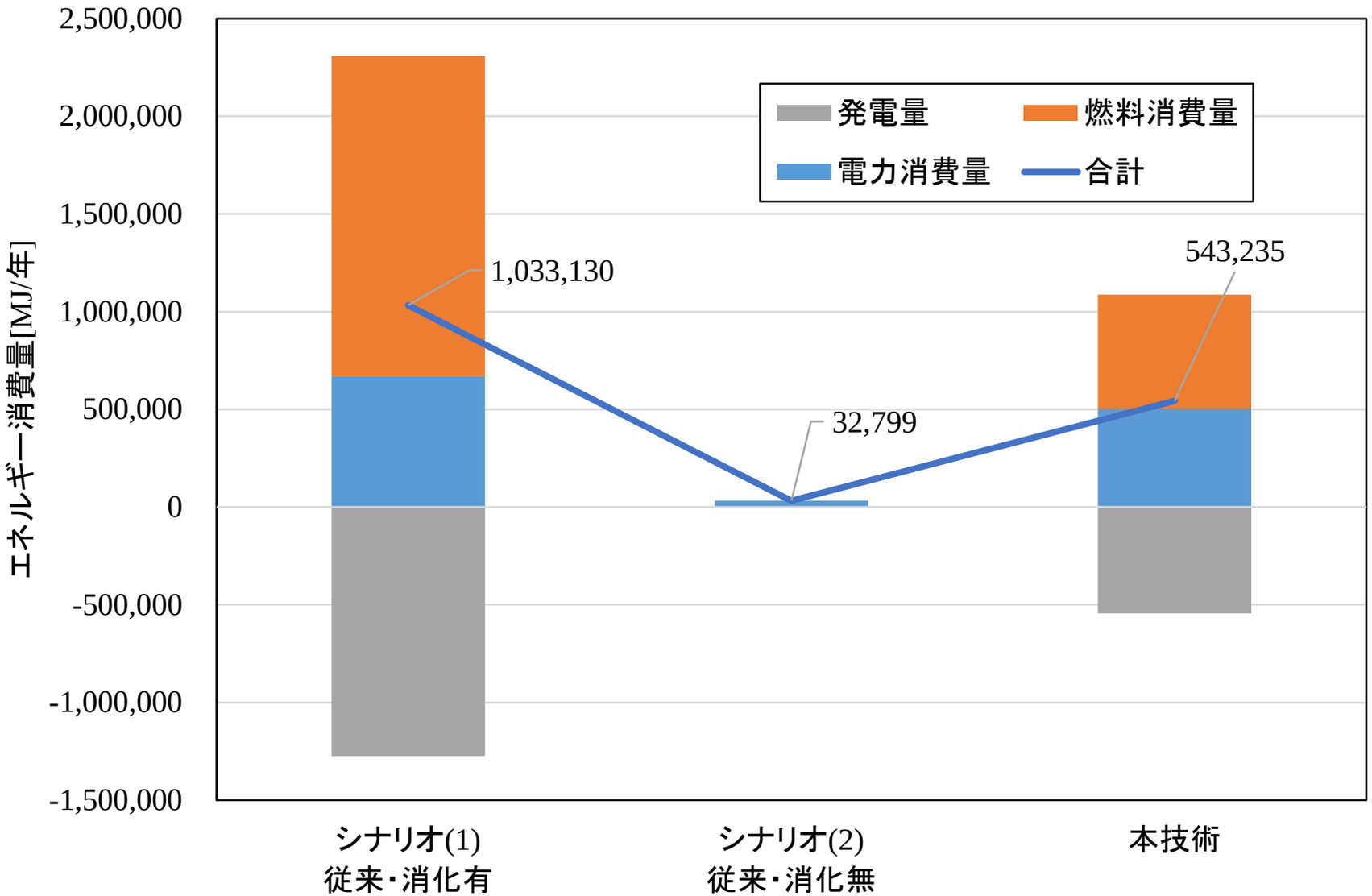
総費用削減効果（年価費用）



3． 革新的技術の導入効果

◆3-2.ターゲット規模での検証結果

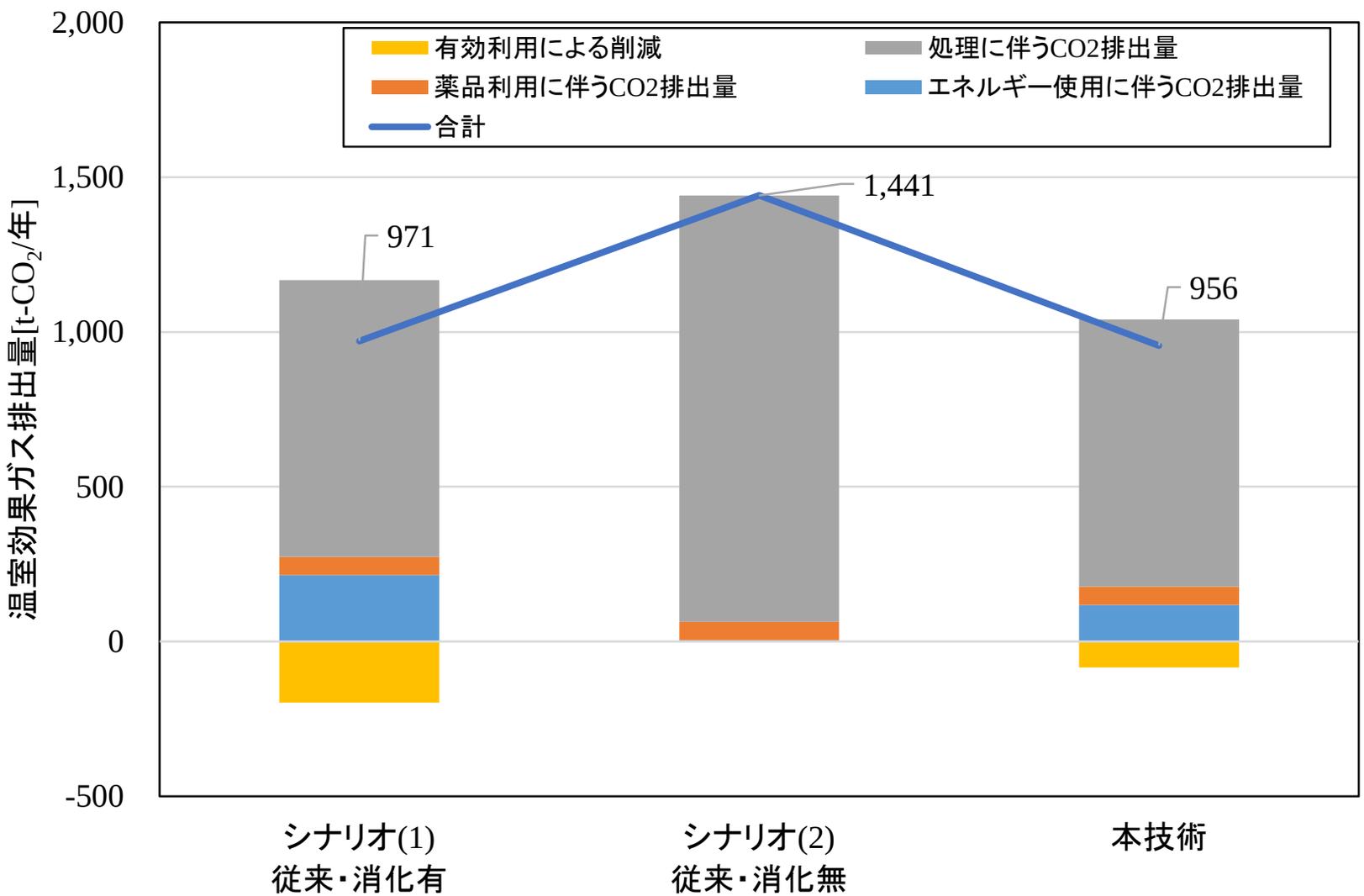
エネルギー消費量削減効果



3．革新的技術の導入効果

◆3-2.ターゲット規模での検証結果

温室効果ガス排出量削減効果



４．革新的技術の計画・設計

◆既存施設への影響及び留意点

１）既存施設への影響
従来処理として嫌気性消化工程を有していない処理場においては、
返流水負荷の増加が見込まれる。

２）関係法令の確認
①水質汚濁防止法
②電気事業法
③消防法
④建築基準法
⑤ガス事業法
⑥その他関係法令

５．革新的技術の維持管理

◆既存施設への影響及び留意点

１）脱水機の運転（濃縮運転と脱水運転）

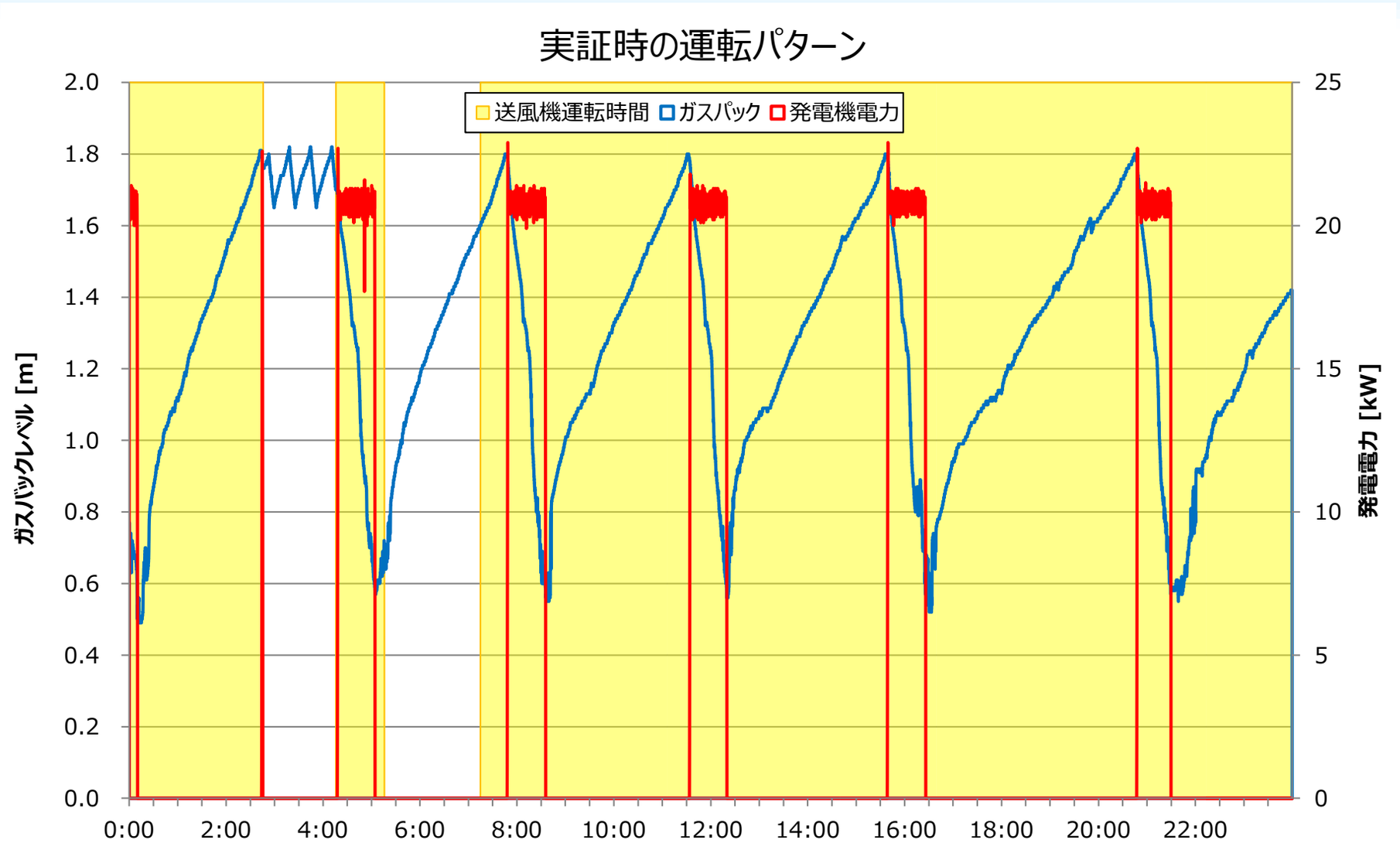
・既存脱水機を高濃度濃縮機として活用するため、交互運転となる。

・濃縮運転と脱水運転で運転設定（処理量・薬注率が）異なるため、運転開始前に所定の設定に切り替えを行う。

２）消化・発電設備の運転管理

・消化プロセスが無い処理場に新たに本技術を導入する場合は、新たに消化・発電プロセスの運転管理項目が追加（消化汚泥性状分析、消化ガス分析）

6． 実証期間中に行った技術上の工夫・改善点



○一般的にはガスバックの貯留レベルによりバイオガス発電機を発停、発電電力は処理場に系統連系
○小規模処理場では処理場の電力負荷が低い
⇒ガスバックの貯留レベルの他、送風機運転時間帯（黄色領域）に合わせて発電機が運転許可となる制御を実施

７．問い合わせ先

国土交通省 国土技術政策総合研究所	下水道研究部下水処理研究室 〒305-0804茨城県つくば市旭1 TEL:029-864-3933　FAX:029-864-2817 URL　http://www.nilim.go.jp/lab/ecg/index.html
株式会社大原鉄工所	営業本部　環境営業部 〒940-8605新潟県長岡市城岡2-8-1 TEL:0258-24-2351　FAX:0258-24-8201 URL　https://www.oharacorp.co.jp/
株式会社西原環境	技術本部 〒108-0022東京都港区海岸3-20-20ヨコソーレインボータワー3階 TEL:03-3455-3606　FAX:03-3455-7033 URL　https://www.nishihara.co.jp/
株式会社ＮＪＳ	東部支社　東京総合事務所　環境マネジメント部 〒105-0023東京都港区芝浦1-1-1 TEL：03-6324-4308　FAX：03-6324-4322 URL http://www.njs.co.jp/
長岡技術科学大学	環境社会基盤工学専攻　資源エネルギー循環研究室 〒940-2188新潟県長岡市上富岡町1603-1 TEL･FAX:0258-47-9623 URL　https://whs.nagaokaut.ac.jp/reclab/
北海道大学	工学研究院環境創生工学部門　水代謝システム分野　水環境保全工学研究室 〒060-8628北海道札幌市北区北13条西8 TEL:011-706-6277　FAX011-706-6277 URL　http://www.eng.hokudai.ac.jp/labo/aqua/
長岡市	土木部下水道課 〒940-0062新潟県長岡市大手通2-2-6（ながおか市民センター3F） TEL:0258-39-2235　FAX:0258-39-2266 URL　https://www.city.nagaoka.niigata.jp/