

1 実証研究結果

1.1 実証研究概要

(1) 研究名称

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

(2) 実施者

(株) 大原鉄工所・西原環境(株)・(株) N J S・長岡技術科学大学・北海道大学・長岡市共同研究体

(3) 実証期間

平成30年度委託研究：平成30年8月28日～平成31年3月29日

令和元年度委託研究：令和元年8月10日～令和2年3月31日

自主研究：令和2年4月1日～令和2年7月31日

※本資料には、自主研究期間のデータも合わせて記載する。

なお、本編における各数値には自主研究期間のデータは含まれない。

(4) 実証場所

表資1-1に実証場所である新潟県長岡市中之島浄化センターの施設概要を示す。

中之島浄化センターは平成9年4月の供用開始から22年を経過しており、電気・機械設備の老朽化がみられる。

また、最終生成物である脱水ケーキは、搬出後民間企業にて焼却処分されているが、その民間委託費は16,000円/wet-tと高額であり、下水道事業の経営改善のため、施設維持管理費の縮減が求められている。

今回の実証試験では重力濃縮槽から発生する重力濃縮汚泥全量を対象とし、既設汚泥処理棟の北東にあるスペースに実証設備を建設した。

表資1-1 中之島浄化センターの施設概要

項目	内容
処理場名	長岡市 中之島浄化センター
供用開始	平成9年度
現有水処理能力	4,500m ³ / 日 (日最大)
流入水量実績	2,520m ³ / 日 (日最大)
水処理方式	OD法
汚泥処理方式	重力濃縮→機械脱水(ベルトプレス)→外部搬出処分

図 資 1-1 に中之島浄化センターの処理フローを示す。

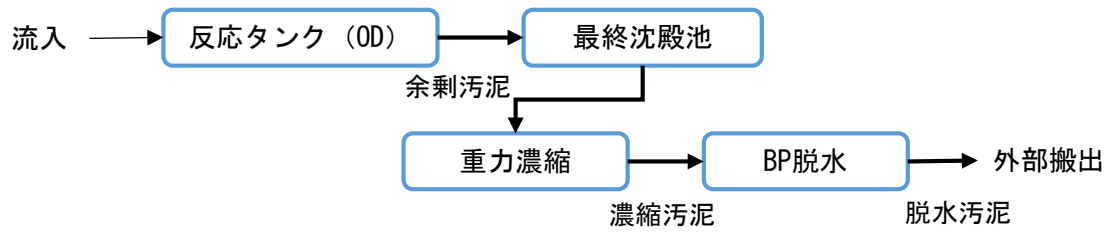


図 資 1-1 中之島浄化センター 処理フロー

図 資 1-2 に中之島浄化センターの場内配置図を示す。

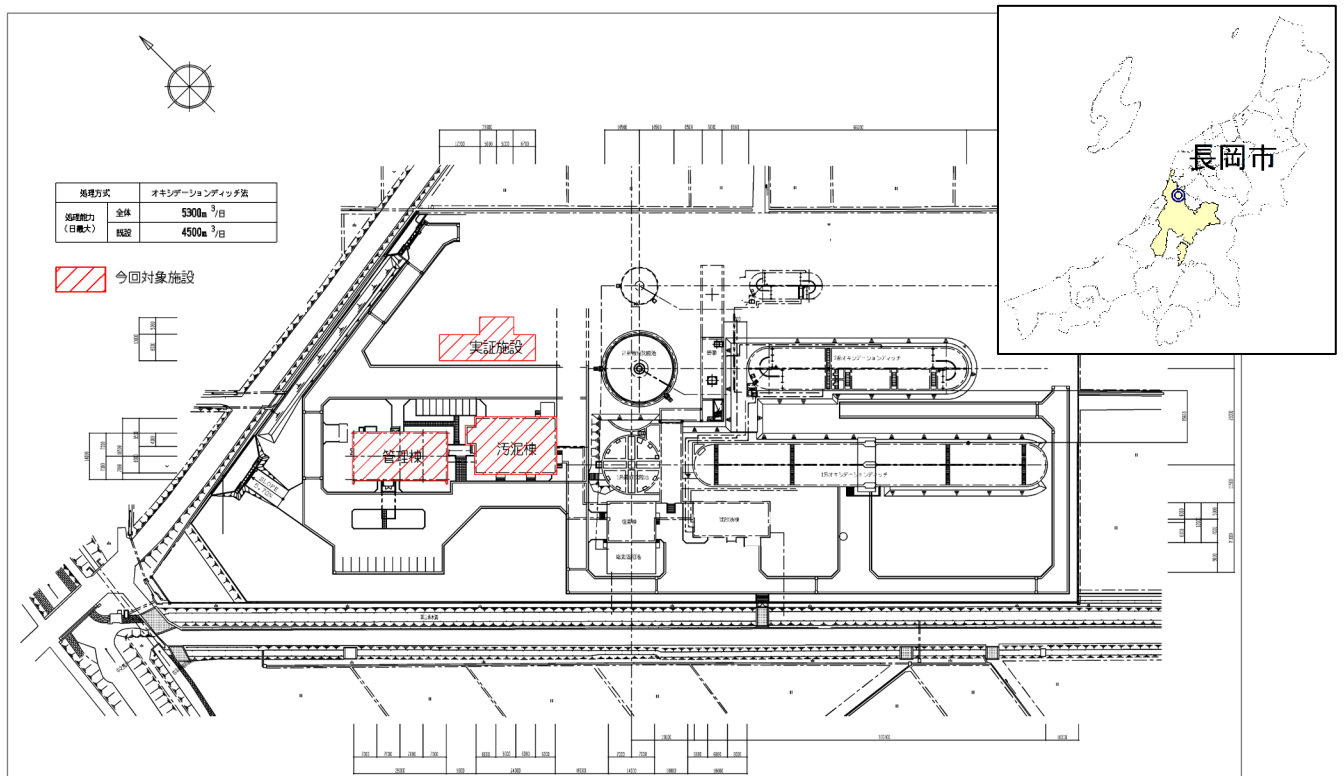


図 資 1-2 中之島浄化センター 場内配置図

1.1.1 実証設備

図 資 1-3 に実証フローと要素技術の概要、表 資 1-2 および表 資 1-3 に実証設備の設計諸元を示す。

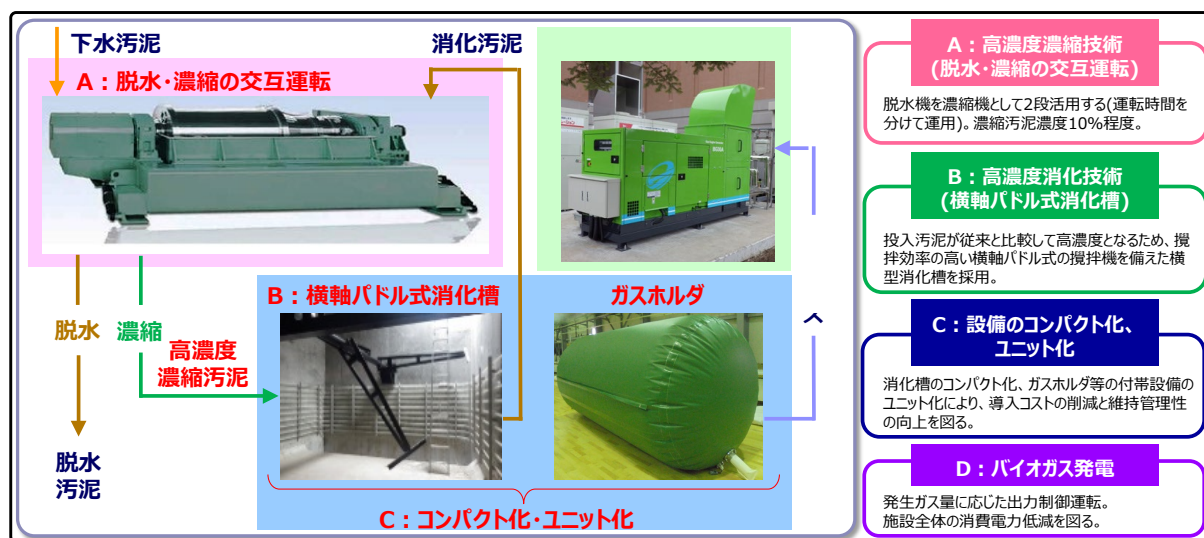


図 資 1-3 実証設備フロー

表 資 1-2 高濃度消化槽設計諸元

項目	設計諸元
消化槽型式	横型消化槽
攪拌方式	横軸パドル式
投入汚泥濃度	TS10%程度 (含水率 90%程度)
消化槽サイズ	L: 4m × W: 6m × H: 4m
滞留日数 (HRT)	30 日
消化温度	37°C
消化率	40%以上 (目標値)
バイオガス発生量	0.3N m ³ /投入 VS-kg (目標値)

表 資 1-3 バイオガス発電機設計諸元

項目	設計諸元
型式	ガスエンジン式
定格出力	25kW
出力調整幅	50~100%
電圧	3φ、200V
周波数	50Hz

1.1.2 実証工程

表 資 1-4 に実証工程を示す。

表 資 1-4 実証工程（上段：平成30年度、下段：令和元年度）

工事内容	年度	平成30年度								
	月	9	10	11	12	1	2	3		
1.申請・届出関係		-----								
2.土木・建築関係										
土木工事				=====	=====	=====				
防食塗装工事					=====	=====	=====			
建築工事						=====	=====	-----	-----	
3.設備関係										
1)濃縮・脱水設備										
機器製作		=====	=====	=====						
現場施工				=====	=====	=====	=====	=====		
2)消化・発電設備										
機器製作		=====	=====	=====	=====	=====				
現場施工							=====	=====	-----	-----
4.試運転・データ採取										----->
5.成果報告等				▽第1回検討会			▽現地説明会		第2回検討会▽	評価委員会▽

研究内容	年度	R1年度												R2年度(自主研究)			
	月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月
1.高濃度濃縮技術																	
安定運転の検証		-----															
維持管理性の検証		-----															
評価期間(外注分析する期間)							夏	秋			冬		春				
2.高濃度消化技術																	
消化効率検証		-----															
評価期間(外注分析する期間)							夏	秋			冬		春				
補正値の妥当性の検討(連続試験)																	
3.設備コンパクト化・ユニット化																	
評価・検証		-----															
4.バイオガス発電																	
発電量検証																	
全体の効果		-----															
成果報告等						第1回検討会▽				▽第2回検討会 現地説明会▽		▽第3回検討会 評価委員会▽					

————— 計画 ————— 実施

1.2 実証目標と成果

実証研究の成果は、本システムを構成する4つの技術とその評価項目・目標値およびシステム全体の効果に分類し整理を行った。本実証研究における成果概要を表資1-5に示す。

表資1-5 実証研究の成果概要

技術		評価項目	評価指標	目標値	令和元年度 実証試験状況	令和元年度 実証成果
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%)	実証施設の遠心脱水機で夏期、秋期、冬期の実証試験を実施。 ※運転条件(遠心効果、差速、薬品注入率)を可変させ、濃縮汚泥濃度、SS回収率の傾向を確認した。	【実証施設遠心脱水機実証成果】 ・遠心効果の低下に伴い濃縮汚泥濃度が低下する傾向であった。 ・最適値 夏期、秋期：600 G 冬期：800 G ・高濃度濃縮時の薬品添加率の最適値は夏期 0.87%/TS、秋期 0.60%/TS、冬期 0.80%/TS であり脱水時の30~70%程度で運転可能であった。 ・差速の増加に伴い濃縮汚泥濃度が低下する傾向であった。 ・最適値 夏期、秋期：10.0min ⁻¹ 冬期：9.0min ⁻¹ ・傾向確認試験の結果を基に連続運転を実施し安定性の確認を行った結果、いずれの期間においても目標値を満足することができた。
			(日平均) SS回収率 95 %以上	実証施設の遠心脱水機で夏期、秋期、冬期の実証試験を実施。	分離液は常に良好で目標値のSS回収率95 %以上が得られた。	(日平均) SS回収率95 %以上
		脱水運転の安定性	含水率	(日平均) 含水率 85 %以下	実証施設の遠心脱水機で夏期、秋期、冬期の実証試験を実施。 ※運転条件(差速、薬品注入率)を可変させ、濃縮汚泥濃度、SS回収率の傾向を確認した。	【実証施設遠心脱水機実証成果】 ・脱水時の高分子凝集剤の薬品添加率の最適値は夏期 2.30 % / TS、秋期 2.20 % / TS、冬期 1.20% / TSであった。冬期は含水率の低下が困難となり、凝集剤の変更を行ってポリ鉄併用とした。ポリ鉄の最適添加量は3,400 ppm(体積比)であった。 ・差速の低下に伴い脱水汚泥含水率が低下する傾向であった。

資料編

技術		評価項目	評価指標	目標値	令和元年度 実証試験状況	令和元年度 実証成果
A	脱水機を用いた高濃度濃縮技術	脱水運転の安定性	含水率	(日平均) 含水率 85 %以下	実証施設の遠心脱水機で夏期、秋期、冬期の実証試験を実施。 ※運転条件(差速、薬品注入率)を可変させ、濃縮汚泥濃度、SS回収率の傾向を確認した。	・最適値 夏期: 1.8 min ⁻¹ 秋期: 2.5 min ⁻¹ 冬期: 3.2 min ⁻¹ ・傾向確認試験の結果を基に連続運転を実施し安定性の確認を行った結果、いずれの期間においても目標値を満足することができた。
			SS回収率	(日平均) SS回収率 95%以上 (遠心脱水機)	実証施設の遠心脱水機で夏期、秋期、冬期の実証試験を実施。	・分離液は常に良好で目標値のSS回収率95%以上が得られた。
		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滿	実証施設での検討を実施	・脱水機の故障時対応方法についてまとめた。 ・維持管理時間や人工等については比較対象と同程度になることを確認した。
B	高濃度消化技術	消化効率	消化率	消化率 40 %以上	令和元年7月に消化槽立ち上げ完了その後、HRT30日にて試験継続し、夏季、秋季、冬季のデータを採取	目標値達成 実規模実証施設の消化率は32.3%だが、本編§18(4)に示す連続試験であることを加味しての補正をかけることで目標値40%を達成した。
			バイオガス発生量	バイオガス発生量 0.3 Nm ³ /投入 VS-kg	令和元年7月に消化槽立ち上げ完了その後、HRT30日にて試験継続し、夏季、秋季、冬季のデータを採取	目標値達成 実規模実証施設のバイオガス発生量は0.22 Nm ³ /投入 VS-kgだが、本編§18(4)に示す連続試験であることを加味しての補正をすることで目標値0.30 Nm ³ /投入 VS-kgを達成した。

資料編

技術		評価項目	評価指標	目標値	令和元年度 実証試験状況	令和元年度 実証成果
C	設備コンパクト化・ユニット化	維持管理性	維持管理動線・維持管理時間	維持管理動線・維持管理時間、点検箇所数が従来技術未満	今回実証規模について算出、評価を報告する。	目標達成 従来技術規模と比較し、年間 10 km (約 2 時間) の維持管理動線の削減。 点検箇所数の減少。
		必要敷地面積	必要敷地面積	必要敷地面積削減率 30 %	今回実証規模について算出、評価を報告する。	今回実証規模における必要敷地面積削減率 30 % 従来技術必要敷地面積 850.5 m ² 革新的技術必要敷地面積 591.3 m ²
		費用	建設費	従来技術と比較し 40 %削減	今回の実証規模について報告を行う	今回実証規模における建設費 削減率 46 % 従来技術 建設費 40.4 百万円 / 年 革新的技術 建設費 21.8 百万円 / 年
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日から系統連系を開始した。 1月13日から発電機の稼働時間を自動制御した運転を開始した。	目標達成 運転可能条件時に発電機が自動で運転・停止を繰り返すことを確認した。
全体の効果 (FS等)		費用	建設費および維持管理費	従来技術と比較し、建設費+維持管理費の合計で40%削減	日最大処理水量 12,500 (m ³ / 日) にて評価を行う。(本実証研究のテーマ応募時に国より試算条件として提示させた施設規模)	建設費+維持管理費 : 削減率 40 % 従来技術 : 165.8 百万円 / 年 革新的技術 : 98.1 百万円 / 年
		省エネ	年間消費電力量		日最大処理水量 12,500 (m ³ / 日) にて評価を行う。(本実証研究のテーマ応募時に国より試算条件として提示させた施設規模)	電力量 : 削減率 22 % 従来技術 : 電力量 185.62 千 kwh / 年 革新的技術 : 電力量 144.69 千 kwh / 年
		省CO ₂	年間発生CO ₂		日最大処理水量 12,500 (m ³ / 日) にて評価を行う。(本実証研究のテーマ応募時に国より試算条件として提示させた施設規模)	温室効果ガス排出量 : 削減率 4.4 % 従来技術 : CO ₂ 944 t-CO ₂ / 年 革新的技術 : CO ₂ 902 t-CO ₂ / 年

1.3 実証結果

本項で示す A, B および D 技術に関する最適運転条件および質的・量的変動に対する処理の安定性について、概要を表 資 1-6 に示す。

表 資 1-6 最適運転条件と安定性

項目	最適運転条件	安定性
A：脱水機を用いた高濃度濃縮	<ul style="list-style-type: none"> ・遠心効果：600 ～ 800 G ・差速：9.0 ～ 10.0 min⁻¹ ・薬注率：0.6 ～ 0.87 %/TS 	<ul style="list-style-type: none"> ・濃縮汚泥濃度：8.9 ～ 10.9 % (平均：9.72 %)
A：脱水機を用いた消化汚泥脱水(全量余剰)	<ul style="list-style-type: none"> ・遠心効果：2,000 G ・差速：3.2 min⁻¹ ・薬注率： <ul style="list-style-type: none"> ○高分子のみ(一液) 高分子 2.2 ～ 2.3 %/TS ○無機併用(二液) 高分子 1.2 %/TS 無機 3,400 ppm(流量比) 	<ul style="list-style-type: none"> ・脱水汚泥含水率：84.5 ～ 85.0 % (平均：84.8 %)
B：高濃度消化	<ul style="list-style-type: none"> ・投入汚泥の pH：6.4 ～ 7.2 ・有機酸：1000 mg-Ace./L 以下 ・遊離アンモニア：400 mg/L 以下 	<ul style="list-style-type: none"> ・ガス発生量：0.17～0.26Nm³ / kg-投入 VS (平均 0.22 Nm³ / kg-投入 VS) ・消化率：22 ～ 39 % (平均 32.3 %) ・pH：7.5 ～ 8.2 (平均 7.8) ・遊離アンモニア：61 ～ 370 mg / L (平均 198 mg/ L) ・有機酸：14 ～ 97 mg-Ace./L (平均 48 mg-Ace./L) ・脱硫後メタン濃度：54 ～ 61 % (平均 58 %)
D：バイオガス発電	<ul style="list-style-type: none"> ・脱硫後メタン濃度：55 ～ 65 % ・脱硫後二酸化炭素濃度：35 ～ 45 % ・脱硫後硫化水素：10 ppm 以下 ・発電電力：20 kW にて自動制御運転 	<ul style="list-style-type: none"> ・発電電力量：540 ～ 648 kWh / 週 (平均 582 kWh / 週)

1.3.1 脱水機を用いた高濃度濃縮技術

a) 設計諸元

既設脱水機を高濃度濃縮と脱水で2段活用する場合の設計諸元は以下のとおりである。

表 資 1-7 既設脱水機を2段活用する場合の設計諸元

運転方法	汚泥濃度（含水率）
高濃度濃縮時	TS10%程度（含水率90%程度）
脱水時	TS15%以上（含水率85%以下）

b) 高濃度濃縮運転における最適化条件

高濃度濃縮運転は通常の脱水運転から濃縮汚泥濃度が低く（脱水汚泥含水率が高く）なるように各操作因子の調整を行う。

各操作因子と濃縮汚泥濃度の傾向は汚泥性状や使用している凝集剤等の影響により変化するため、状況に合わせた調整を行う。

1) 調査概要

① 調査項目

本研究では2段活用脱水機として遠心脱水機を採用し新設している。この脱水機を用いて高濃度濃縮運転を行い検証した。検証内容は、以下の3項目について確認を行った。

なお、以降の実証結果の「春季」は、実証研究終了後に自主研究として実施した研究の結果である。

- i) 汚泥性状変動の傾向（夏期、秋期、冬期、春期）
- ii) 遠心効果や薬注率、差速の運転条件の傾向（夏期、秋期、冬期、春期）
- iii) 連続運転時の安定性（夏期、秋期、冬期、春期）

② 分析項目

分析項目を表 資 1-8 に示す。

表 資 1-8 調査分析項目

		検体名	分析項目	備考
汚泥性状 変動調査	夏期、秋期、 冬期、春期	余剰汚泥	TS、SS、VS、pH、M-アルカリ度、アニオン度、 粗蛋白質、繊維状物、T-P、T-N	外部に 分析依頼
運転条件 傾向調査	夏期、秋期、 冬期、春期	余剰汚泥	TS	現地分析
		高濃度濃縮汚泥	TS	
		分離液	目視による確認	
安定性 確認調査	夏期、秋期、 冬期、春期	余剰汚泥 詳細分析	TS、SS、VS、pH、M-アルカリ度、アニオン度、 粗蛋白質、繊維状物、T-P、T-N	外部に 分析依頼
		余剰汚泥	TS、SS、VTS	
		濃縮汚泥	TS	
		分離液	SS	

2) 調査結果

① 汚泥性状

夏期、秋期、冬期の調査時の余剰汚泥の分析結果を表 資 1-9 に示す。

表 資 1-9 余剰汚泥分析結果

	TS	SS	VTS	アルカリ度	アニオン度	繊維状物		粗タンパク質
						100メッシュ	200メッシュ	
						%/TS	%/TS	
夏期調査 (9月)	1.49	1.38	84.8	280	0.433	3.0	10.1	39.7
	1.49	1.39	84.7					
	1.51	1.41	84.8					
	1.49	1.39	84.9					
秋期調査 (11月)	1.45	1.36	87.1	170	0.456	4.1	18.4	46.9
	1.48	1.34	87.3					
	1.47	1.36	87.2					
	1.47	1.35	87.4					
冬期調査 (1月)	1.48	1.39	87.5					
	1.28	1.25	87.2	190	0.455	4.2	22.7	47.7
	1.31	1.24	87.2					
	1.34	1.11	87.3					
春期調査 (5月)	1.32	1.17	87.9					
	1.30	1.23	87.8					
	1.29	1.14	88.1	170	0.500	3.1	14.5	47.6
	1.29	1.14	87.9					
	1.31	1.13	88.1					
	1.30	1.16	88.1					
	1.33	1.11	88.0					

※春期調査は自主研究期間データ

夏期と比較して秋期冬期は TS や SS の値が若干低下し、VS の値が高くなる傾向がみられた。

② 運転条件傾向調査

i) 遠心効果

夏期 ～ 春期に実施した遠心効果の傾向調査結果を図 資 1-4 ～図 資 1-7 に示す。

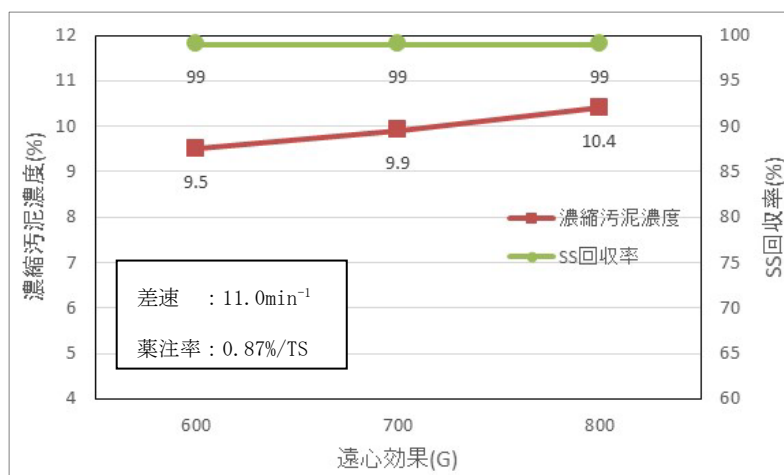


図 資 1-4 夏期調査時遠心効果傾向

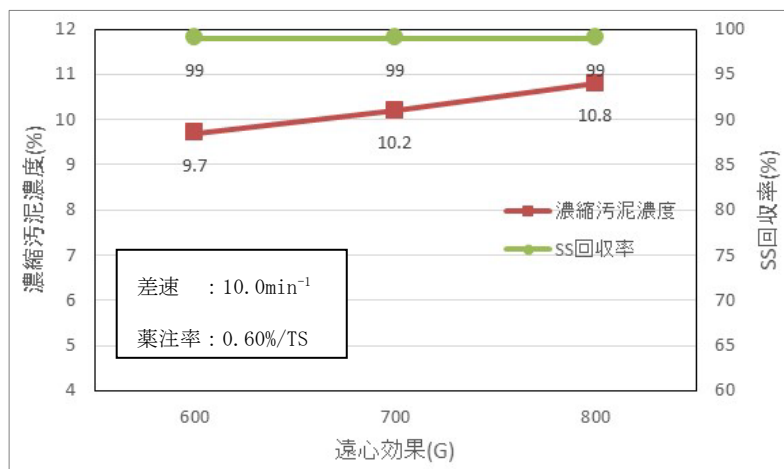


図 資 1-5 秋期調査時遠心効果傾向

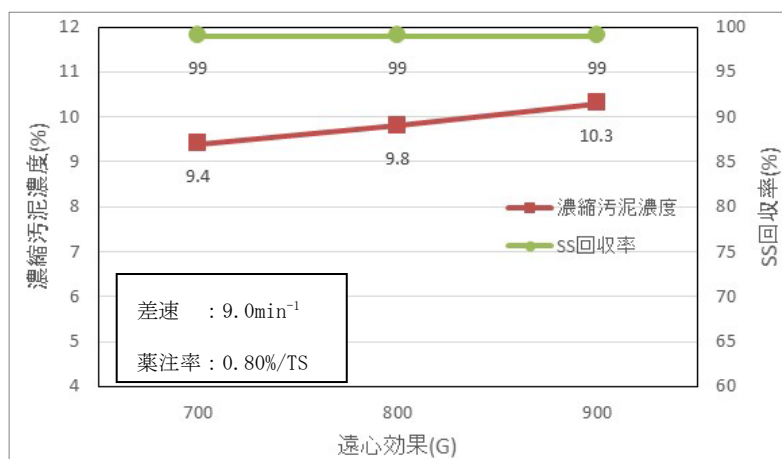


図 資 1-6 冬期調査時遠心効果傾向

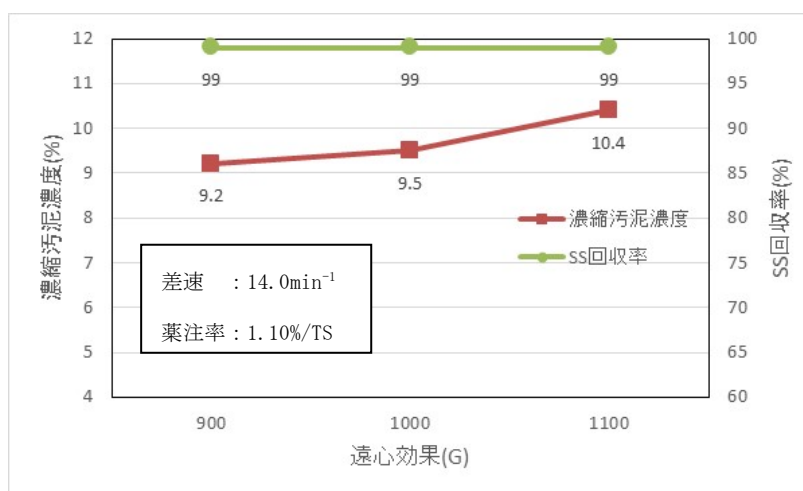


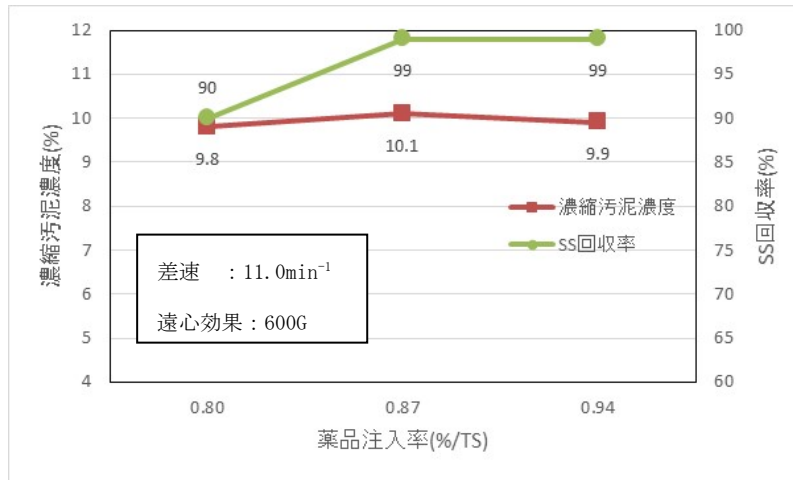
図 資 1-7 春期調査時遠心効果傾向

※春期調査は自主研究期間データ

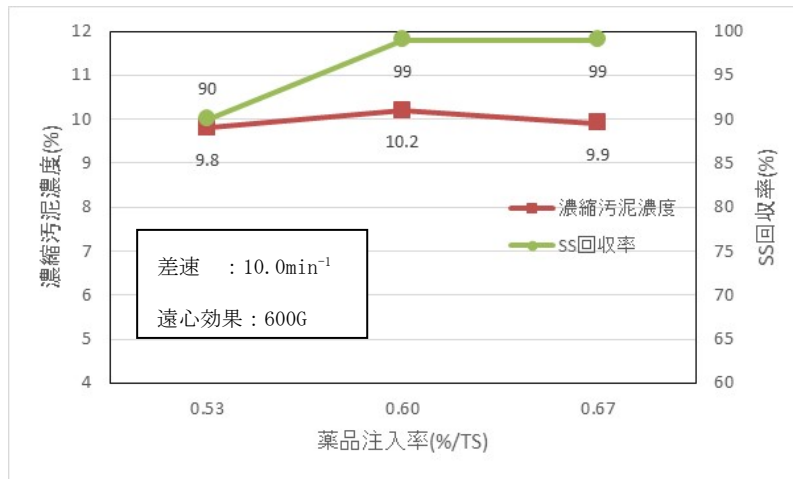
いずれの調査時においても遠心効果の上昇とともに濃縮汚泥濃度が高くなる傾向を示した。最適な遠心効果は夏期調査と秋期調査時で 600 G、冬期調査時で 800 G、春期調査で 1100G と判断した。

ii) 薬品注入率

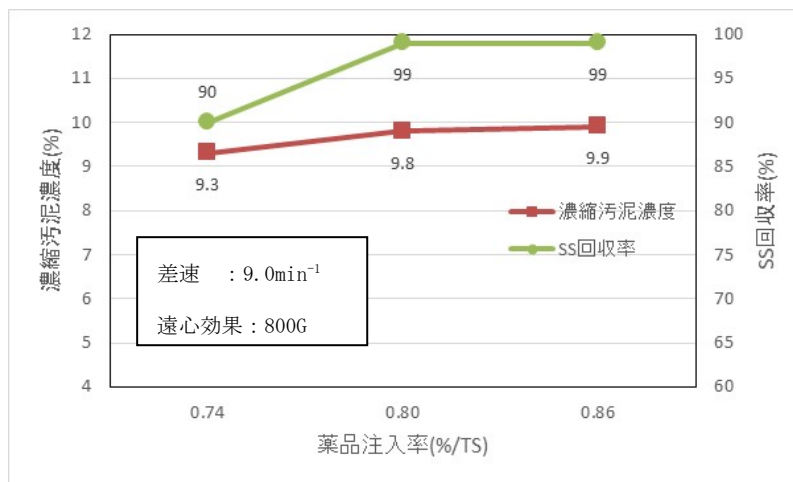
夏期～春期に実施した高分子凝集剤の薬品注入率の傾向調査結果を図 資 1-8 ～図 資 1-11 に示す。



圖資 1-8 夏期調査時藥品注入率傾向



圖資 1-9 秋期調査時藥品注入率傾向



圖資 1-10 冬期調査時藥品注入率傾向

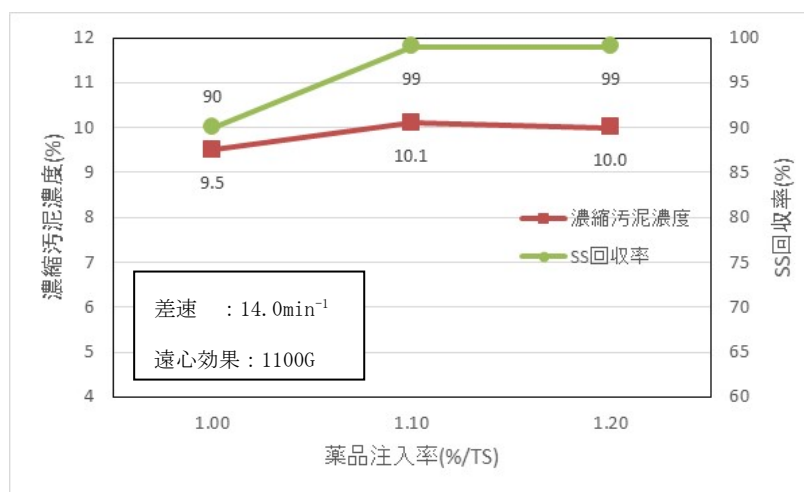


図 資 1-11 春期調査時薬品注入率傾向

※春期調査は自主研究期間データ

夏期～春期の期間、高濃度濃縮運転での高分子凝集剤の薬品注入率は0.60 ～ 1.10 % / TS 程度であった。冬期および春期は消化汚泥の脱水状況により高分子凝集剤を変更したが高濃度濃縮運転における薬品注入率に関して差異は見られなかった。

iii) 差速

夏期～春期に実施した差速の傾向調査結果を図 資 1-12～図 資 1-15 に示す。

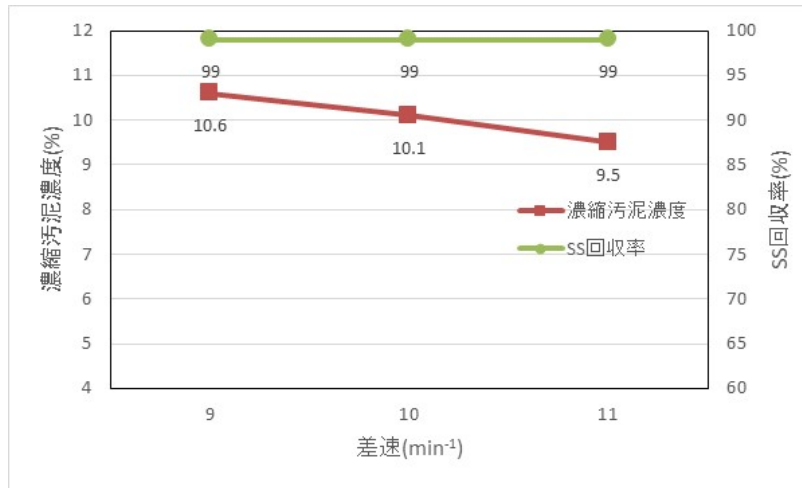


図 資 1-12 夏期調査時差速傾向

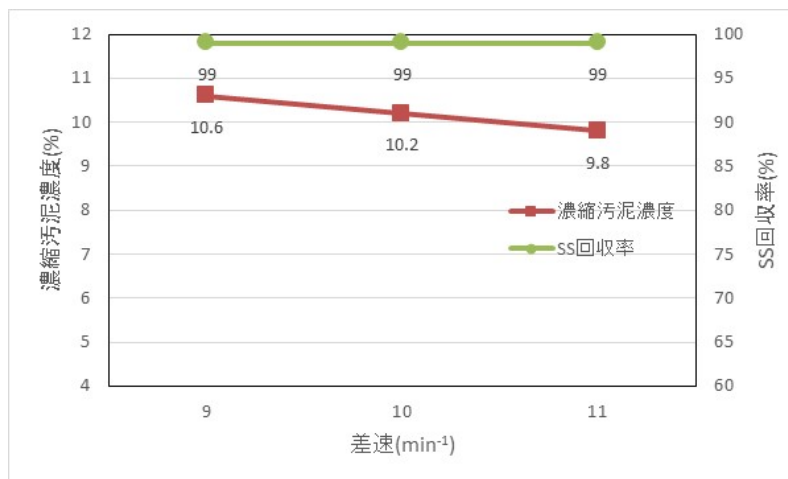


図 資 1-13 秋期調査時差速傾向

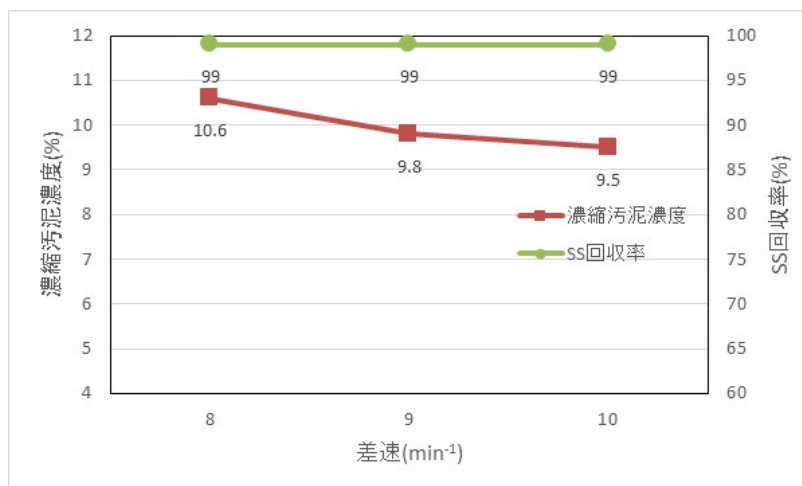


図 資 1-14 冬期調査時差速傾向

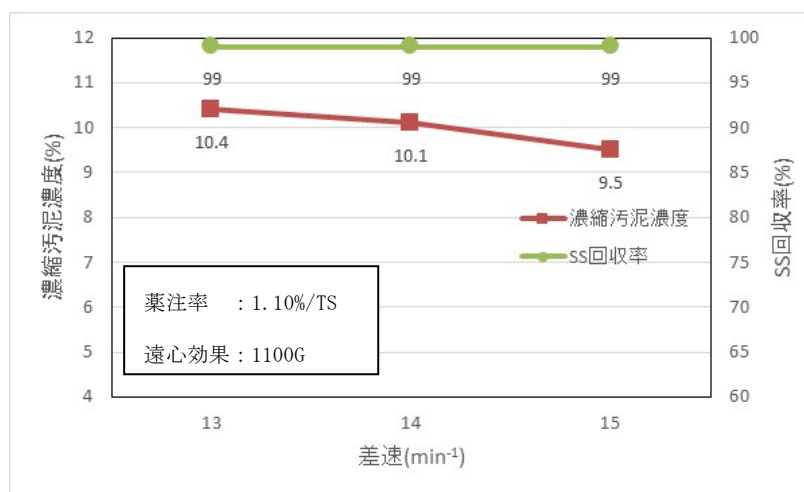


図 資 1-15 春期調査時差速傾向

※春期調査は自主研究期間データ

いずれの調査時においても差速の低下とともに濃縮汚泥濃度が高くなる傾向を示した。濃縮汚泥濃度が 10.0%に最も近い最適な差速は夏期調査と秋期調査時で 10.0 min⁻¹、冬期調査時で 9.0 min⁻¹、春期調査時で 14.0 min⁻¹判断した。

iv) 運転条件まとめ

各調査時の最適運転条件を表 資 1-10 に示す。

表 資 1-10 調査時最適運転条件

	遠心効果	薬品注入率	差速
	G	%/TS	min ⁻¹
夏期	600	0.87	10.0
秋期	600	0.60	10.0
冬期	800	0.80	9.0
春期	1100	1.07	14.0

以上の傾向調査結果をもとに運転条件を決定し、連続運転時の安定性の確認を行った。

③ 連続運転時の安定性調査

傾向調査結果をもとに運転条件を決定し連続運転を行った。連続運転結果を図 資 1-16 ～図 資 1-19 に示す。

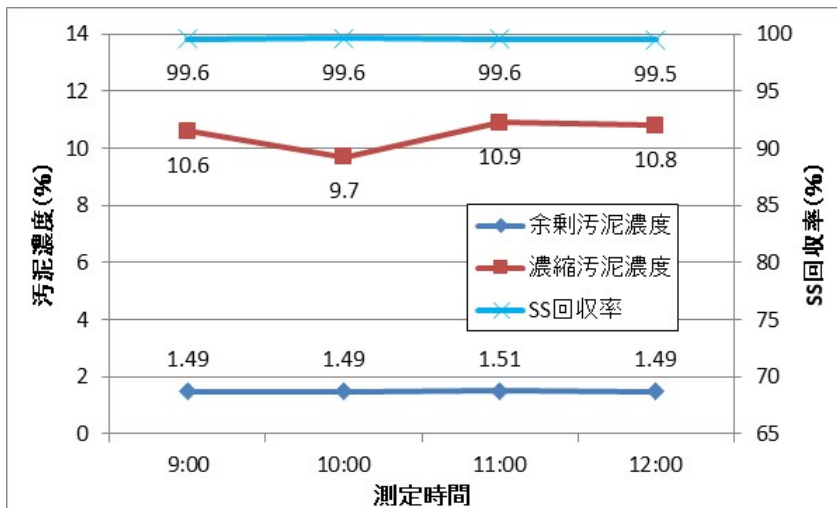


図 資 1-16 夏期連続運転結果

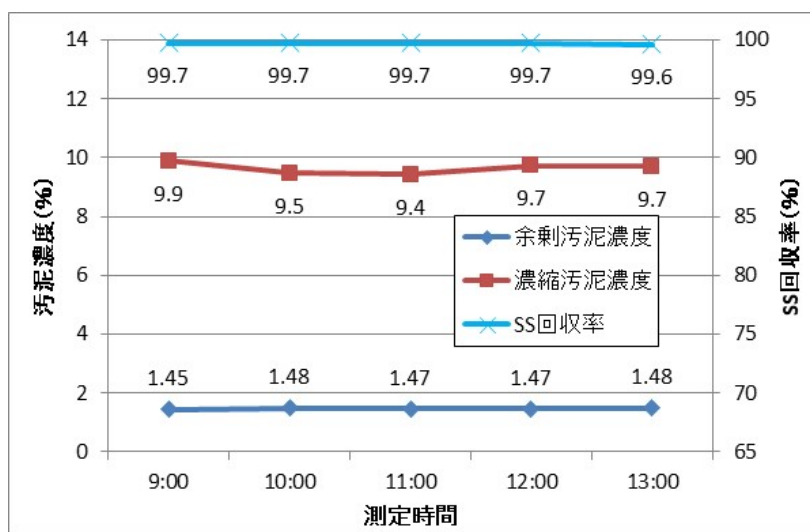


図 資 1-17 秋期連続運転結果

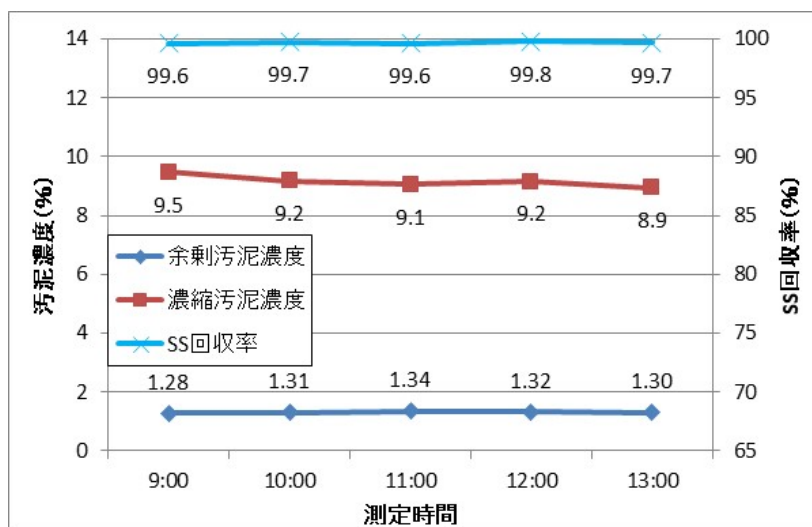


図 資 1-18 冬期連続運転結果

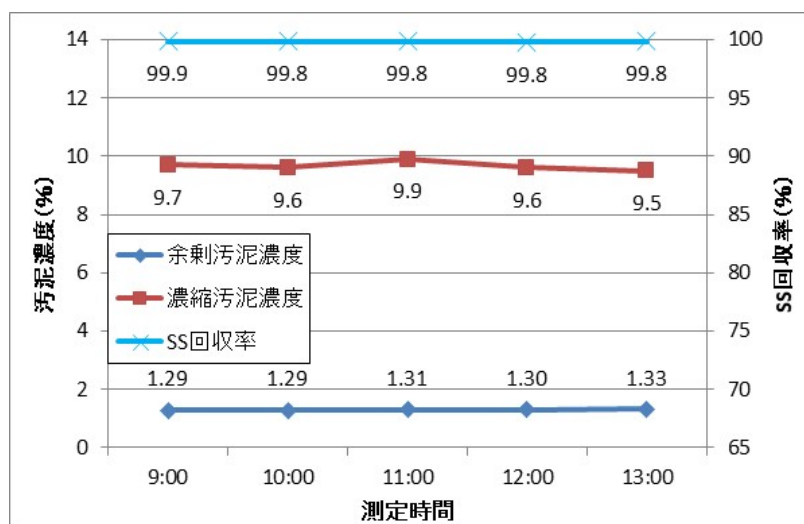


図 資 1-19 春期連続運転結果

※春期調査は自主研究期間データ

冬期調査時の最後のポイントにおいて濃縮汚泥濃度 8.9 %と若干目標値を下回る値となったが、差速を変更することで十分に調整可能なものである。

それ以外の値についてはいずれも目標値が得られており、かつ安定した運転が可能なが確認された。

1.3.2 脱水運転時の最適化条件

脱水運転は脱水汚泥含水率が低くなるように各操作因子の調整を行う。

各操作因子と脱水汚泥含水率の傾向は汚泥性状や使用している凝集剤等の影響により変化するため、状況に合わせた調整を行う。

実証施設の汚泥洗浄槽の調査結果と遠心脱水機の脱水運転調査結果について以下に示す。

a) 汚泥洗浄槽調査

1) 調査項目

本実証設備では以前実施した予備調査等の結果から汚泥脱水時の薬注率低下や高濃度消化汚泥の取り扱い性の向上を目的に汚泥洗浄槽を採用した。この汚泥洗浄槽の検証内容を以下に示す。

- ① 汚泥洗浄による汚泥性状変化の確認
- ② 返流水負荷の確認
- ③ 脱水時の薬注率の傾向（ビーカー試験により確認）

2) 分析項目および頻度

分析項目および想定する検体数を表 資 1-11 に示す。

表 資 1-11 汚泥洗浄槽分析項目および検体数

	検体名	検体数	分析項目	備考
汚泥洗浄 調査	消化汚泥	3	TS、VS、アニオン度、M-アルカリ度、粘度、T-N、T-P	各調査時に確認
	希釈消化汚泥	3	TS、VS、アニオン度、M-アルカリ度、粘度、T-N、T-P	
	洗浄汚泥	3	TS、VS、アニオン度、M-アルカリ度、粘度、T-N、T-P	
	洗浄排水	3	BOD、COD、SS、T-P、T-N	

3) 調査結果

① 汚泥洗浄による汚泥性状変化

各調査時の消化汚泥（洗浄前消化汚泥）、処理水で希釈した希釈消化汚泥、洗浄槽から引き抜いた洗浄汚泥（洗浄後消化汚泥）の性状を表 資 1-12 ～表 資 1-15 に示す。

表 資 1-12 夏期消化汚泥性状

試料名	TS	SS	VTS	アルカリ度	アニオン度	繊維状物		粗タンパク質
						100メッシュ	200メッシュ	
	%	%	%/TS	CaCO ₃ mg/L	m·eq/g·TS	%/TS	%/TS	%/TS
洗浄前消化汚泥	7.95	7.51	83.2	測定不能	0.499	20.8	45.3	33.5
希釈消化汚泥	0.62	0.56	78.9					
洗浄後消化汚泥	1.70	1.57	82.3	650	0.507	27.6	46.6	33.2

表 資 1-13 秋期消化汚泥性状

試料名	TS	SS	VTS	アルカリ度	アニオン度	繊維状物		粗タンパク質
						100メッシュ	200メッシュ	
	%	%	%/TS	CaCO ₃ mg/L	m·eq/g·TS	%/TS	%/TS	%/TS
洗浄前消化汚泥	7.01	6.93	83.8	測定不能	0.618	13.3	34.1	37.8
希釈消化汚泥	0.64	0.53	67.4	720	0.565	1.3	35.9	32.8
洗浄後消化汚泥	1.48	1.43	82.8	780	0.541	18.1	35.3	36.0

表 資 1-14 冬期消化汚泥性状

試料名	TS	SS	VTS	アルカリ度	アニオン度	繊維状物		粗タンパク質
						100メッシュ	200メッシュ	
	%	%	%/TS	CaCO ₃ mg/L	m·eq/g·TS	%/TS	%/TS	%/TS
洗浄前消化汚泥	7.10	6.88	83.6	測定不能	0.673	14.8	24.1	37.3
希釈消化汚泥	0.69	0.58	67.0	700	0.571	15.5	42.2	37.8
洗浄後消化汚泥	1.40	1.32	82.2	820	0.530	20.8	28.8	36.2

表 資 1-15 春期消化汚泥性状

試料名	TS	SS	VTS	アルカリ度	アニオン度	繊維状物		粗タンパク質
						100メッシュ	200メッシュ	
	%	%	%/TS	CaCO ₃ mg/L	m·eq/g·TS	%/TS	%/TS	%/TS
洗浄前消化汚泥	7.10	6.88	83.6	測定不能	0.673	14.8	24.1	37.3
希釈消化汚泥	0.69	0.58	67.0	700	0.571	15.5	42.2	37.8
洗浄後消化汚泥	1.40	1.32	82.2	820	0.530	20.8	28.8	36.2

洗浄前消化汚泥と希釈消化汚泥のSSの濃度からみると希釈倍率は13倍程度となっていた。TS、SS以外の項目ではあまり各汚泥に差異は見られなかったが、希釈消化汚泥と洗浄後消化汚泥の値を比較するとアニオン度が若干低下する傾向がみられた。

② 返流水負荷の確認

消化汚泥の洗浄排水（洗浄分離液）の性状を表 資 1-16 に示す。

表 資 1-16 洗浄排水性状

	TS	SS	VTS	T-N	T-P	BOD	CODMn
	mg/l	mg/l	%/TS	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
夏期調査時	1100	460	75.3	200	37	64	340
秋期調査時	1000	350	76.2	210	38	150	340
冬期調査時	1100	600	75.6	200	38	150	430
春期調査時	990	300	73.8	220	38	170	360

消化汚泥洗浄排水中の各濃度は T-N 200 mg / L 程度、T-P 38 mg / L 程度、BOD 64～170 mg / L、CODMn 340 ～ 430 mg / L であった。

消化汚泥の洗浄排水量は消化汚泥の引き抜き量が 2.1 m³ / 日程度であり、希釈倍率を 13 倍とすると希釈汚泥量が 27.3 m³ / 日となる。ここから洗浄後消化汚泥を沈殿分離後 8 m³ / 日程度引き抜いているため 1 日当たりの洗浄排水は 19.3 m³ / 日（≒ 20 m³ / 日）となる。令和元年度の実績から流入汚水量を見ると 2,000 ～ 2,300 m³ / 日であるため水量負荷は 1 %未満であり、水処理に与える影響は小さいものと判断された。

③ 脱水時の薬品注入率の傾向

希釈する水量により洗浄消化汚泥の脱水時の薬品注入率がどのように変化するかビーカー試験を実施した。

消化汚泥単独では濃度が高すぎ凝集フロックが観察できないこと、かつ濃度を同等にすることにより最適薬注率の判断がしやすいことから、洗浄前の消化汚泥と洗浄後消化汚泥をサンプリングし、以下のように調整した汚泥を対象に最適薬品注入率の検討試験を行った。試験結果を表 資 1-17 に示す。

- a. 洗浄前の消化汚泥を既設洗浄後消化汚泥の TS 濃度と同等になるように蒸留水を用いて希釈した検体
- b. 洗浄前の消化汚泥を 10 倍に希釈して固液分離し、上澄みを除去して既設洗浄後消化汚泥の TS 濃度と同等になるように調整した検体
- c. 既設の洗浄後消化汚泥
- d. 洗浄前の消化汚泥を 20 倍に希釈して固液分離し、上澄みを除去して既設洗浄後消化汚泥の TS 濃度と同等になるように調整した検体

表 資 1-17 洗浄水量別ビーカー試験結果

試料名		TS	最適薬品 注入率	薬品減量率
		%	%/TS	%
消化汚泥	a.希釈のみ	1.41	3.8	0
	b.10倍希釈後濃縮分離	1.40	2.3	39.5
	c.既設洗浄汚泥 (13倍希釈後濃縮分離相当)	1.40	1.9	50.0
	d.20倍希釈後濃縮分離	1.39	1.7	55.3

消化汚泥を希釈だけした検体 a の最適薬品注入率は 3.8 % / TS であった。これは一般的な消化汚泥の値と比較してかなり高い値であった。10 倍希釈後調整の検体 b の最適薬品注入率は 2.3 % / TS で薬品減量率は約 40 % であった。既設の洗浄汚泥であることを検体 c の最適薬品注入率 1.9 % / TS で薬品減量率は 50 % で、20 倍希釈の検体 d の最適薬品注入率は 1.7 % / TS、薬品減量率 55.3 % であった。

今回の結果から汚泥性状分析結果ではあまり変化が確認できなかったが、汚泥量の 10 倍から 20 倍程度の水量で汚泥を洗浄することにより、脱水時の薬品使用量は 40 ~ 50 % 程度削減できる可能性が確認された。

b) 脱水機運転調査

1) 調査項目

本実証設備の遠心脱水機は高濃度消化汚泥の洗浄汚泥を対象に脱水を行うため、処理量や薬注率、差速等の傾向確認を行い、最適な脱水運転条件の検討を行う。その結果をもとに連続運転時の安定性の調査を行い、季節変動についても確認した。検証は、以下の 3 項目について実施した。

- ① 汚泥性状変動の傾向（夏期、秋期、冬期、春期）
- ② 薬注率、差速の運転条件の傾向（夏期、秋期、冬期、春期）
- ③ 連続運転時の安定性（夏期、秋期、冬期、春期）

2) 分析項目

分析項目を表 資 1-18 に示す。

表 資 1-18 脱水機運転調査分析項目

		検体名	分析項目	備考
汚泥性状 変動調査	夏期、秋期、 冬期、春期	洗浄消化汚泥	TS、SS、VS、PH、M-アルカリ度、アニオン度、 粗蛋白質、繊維状物、T-P、T-N	外部に 分析依頼
運転条件 傾向調査	夏期、秋期、 冬期、春期	洗浄消化汚泥	TS	現地分析
		脱水汚泥	TS	
		分離液	目視による確認	
安定性 確認調査	夏期、秋期、 冬期、春期	洗浄消化汚泥 詳細分析	TS、SS、VS、PH、M-アルカリ度、アニオン度、 粗蛋白質、繊維状物、T-P、T-N	外部に 分析依頼
		洗浄消化汚泥	TS、SS、VS	
		脱水汚泥	TS	
		分離液	SS	

3) 調査結果

① 汚泥性状

各調査時の洗浄後消化汚泥の分析結果を表 資 1-19 に示す。

表 資 1-19 洗浄後消化汚泥の分析結果

	TS	SS	VTS	アルカリ度	アニオン度	繊維状物		粗タンパク質
						100メッシュ	200メッシュ	
						%/TS	%/TS	
夏期調査 (9月)	1.70	1.57	82.3	650	0.507	27.6	46.6	33.2
	1.66		80.8					
	1.66		81.0					
	1.64		81.0					
秋期調査 (11月)	1.48	1.43	82.8	780	0.541	18.1	35.3	36.0
	1.55		83.0					
	1.49		82.5					
	1.48		82.1					
	1.43		82.9					
冬期調査 (1月)	1.40	1.32	82.2	820	0.530	20.8	44.2	35.6
	1.39		82.3					
	1.41		82.4					
	1.32		82.4					
	1.40		82.4					
春期調査 (5月)	1.57	1.49	83.4	1100	0.771	14.4	28.8	36.2
	1.53		83.2					
	1.51		83.1					
	1.56		83.2					
	1.53		83.5					

※春期調査は自主研究期間データ

夏期と比較すると他の時期の汚泥はTS、SSの値が低くなり、VS、アルカリ度、アニオン度の値が高くなる傾向がみられた。夏期に比べて他の時期の汚泥は難脱水性を示す傾向であった。

c) 運転条件傾向調査

1) 薬品注入率

a. 高分子凝集剤注入率

夏期～春期に実施した高分子凝集剤の薬品注入率の傾向調査結果を図 資 1-20 ～図 資 1-23 に示す。

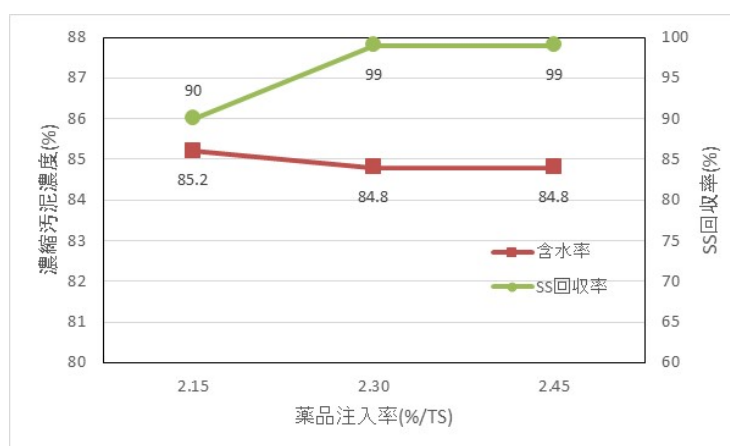


図 資 1-20 夏期調査時高分子凝集剤薬品注入率傾向

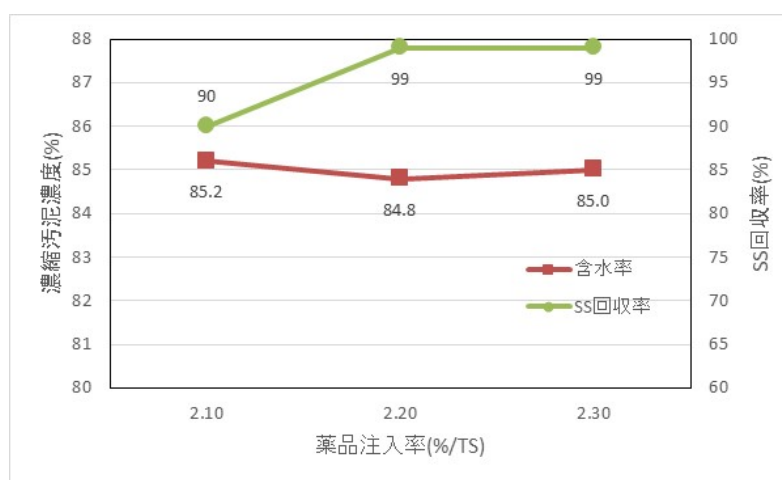


図 資 1-21 秋期調査時高分子凝集剤薬品注入率傾向

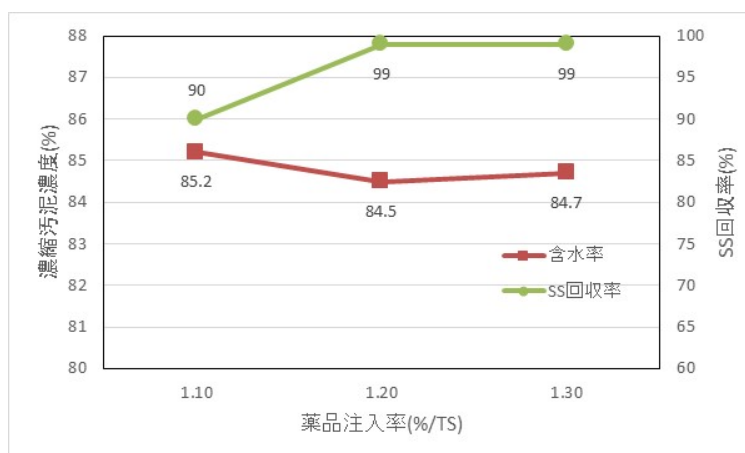


図 資 1-22 冬期調査時高分子凝集剤薬品注入率傾向

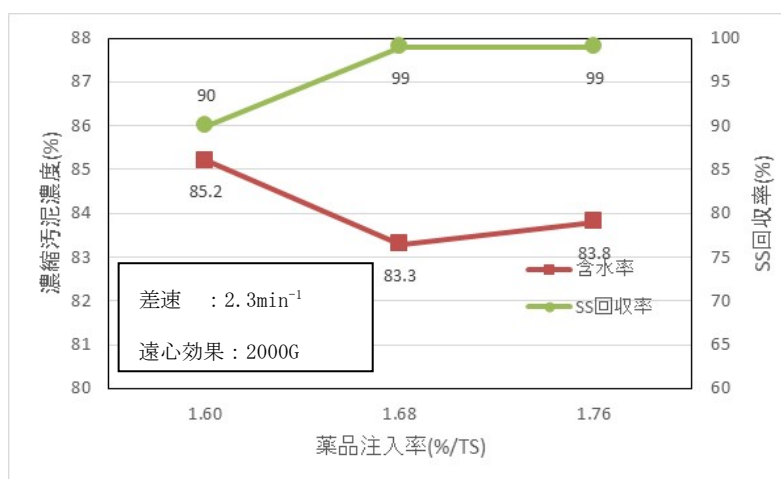


図 資 1-23 春期調査時高分子凝集剤薬品注入率傾向

※春期調査は自主研究期間データ

夏期、秋期の脱水運転での高分子凝集剤の薬品注入率は 2.20 ～ 2.30 % / TS 程度であった。薬品注入率としては高い値であったが良好な分離液が得られ安定した運転が可能であった。

12 月中旬から洗浄後消化汚泥と使用していた高分子凝集剤の適合が悪くなり、脱水汚泥含水率 85 %以下を満足することが困難な状況となった。そのため改めて凝集剤の選定試験を実施した結果、無機凝集剤であるポリ鉄を併用した 2 液調質の方が高分子凝集剤の使用量が削減でき、かつ脱水汚泥含水率の低下が見込めたため、12 月下旬から仮設でポリ鉄の注入設備を設けて 2 液調質での脱水状態を確認した。冬期と春期の薬品注入率の傾向は 2 液調質によるもので、薬品注入率は 1.20～1.70 %と低下し、安定した運転が可能であった。

b.無機凝集剤（ポリ鉄）添加量

冬期と春期に実施した無機凝集剤の添加量の傾向調査結果を図 資 1-24 および図 資 1-25 に示

す。

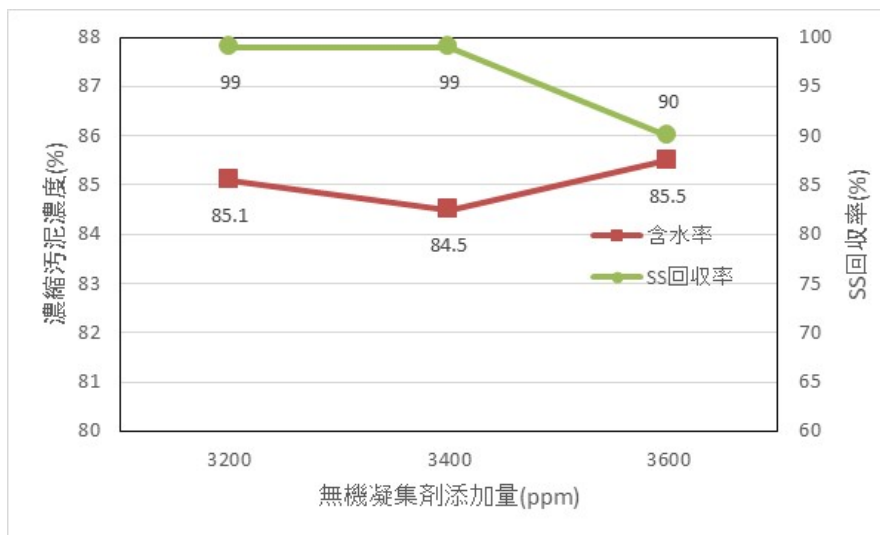


図 資 1-24 冬期調査時無機凝集剤薬品注入率傾向

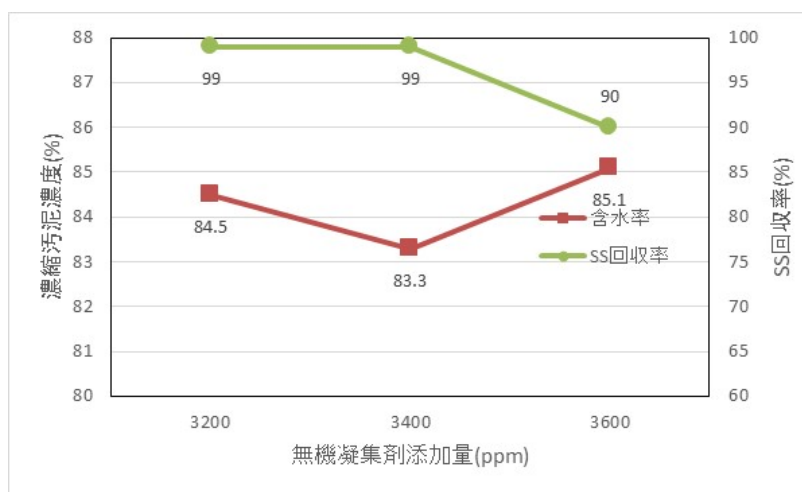


図 資 1-25 春期調査時無機凝集剤薬品注入率傾向

※春期調査は自主研究期間データ

無機凝集剤添加量は体積比の値である。添加量 3,400 ppm (汚泥 1 m³ に対して 3.4 L) までは添加量の増加とともに脱水汚泥含水率が低下する傾向であったが、3,600 ppm まで添加すると高分子凝集剤とのバランスが崩れ、脱水汚泥含水率の上昇、分離液の悪化がみられた。冬期と春期における最適な無機凝集剤の添加量は 3,400 ppm と判断した。

2) 差速

夏期～春期に実施した差速の傾向調査結果を図 資 1-26～図 資 1-29 に示す。

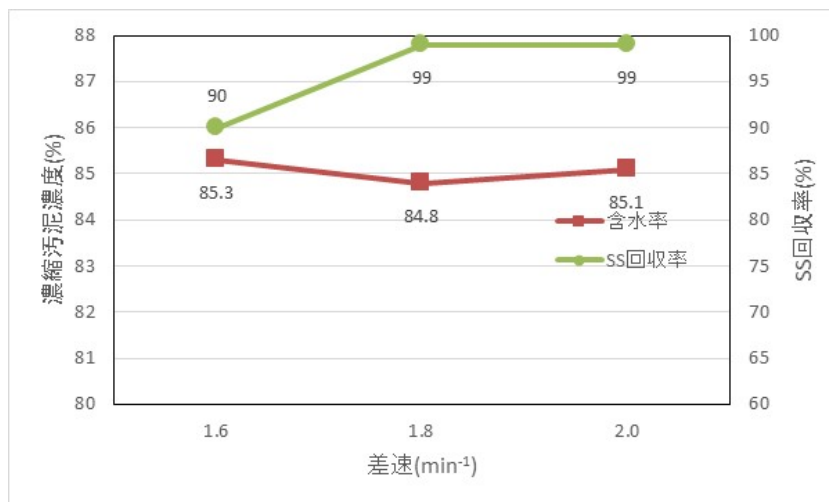


図 資 1-26 夏期調査時差速傾向

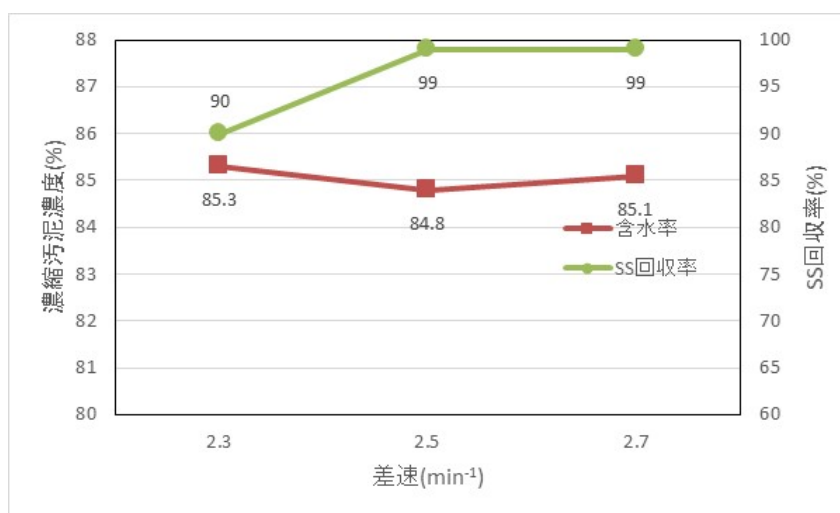


図 資 1-27 秋期調査時差速傾向

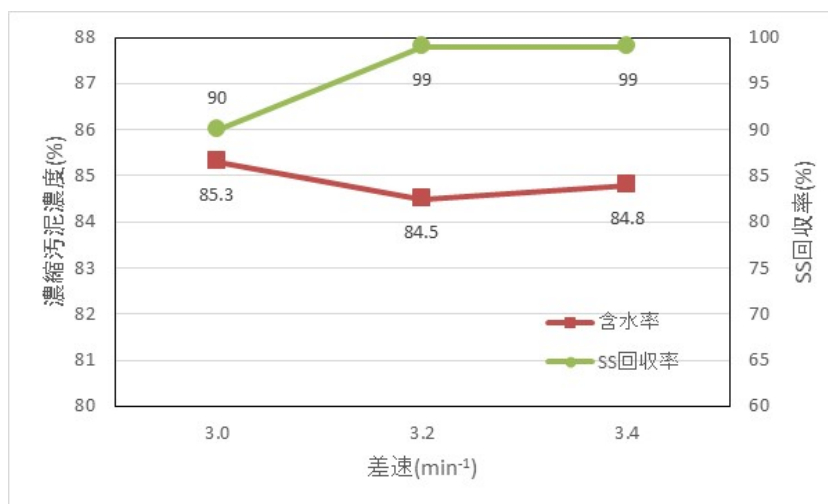


図 資 1-28 冬期調査時差速傾向

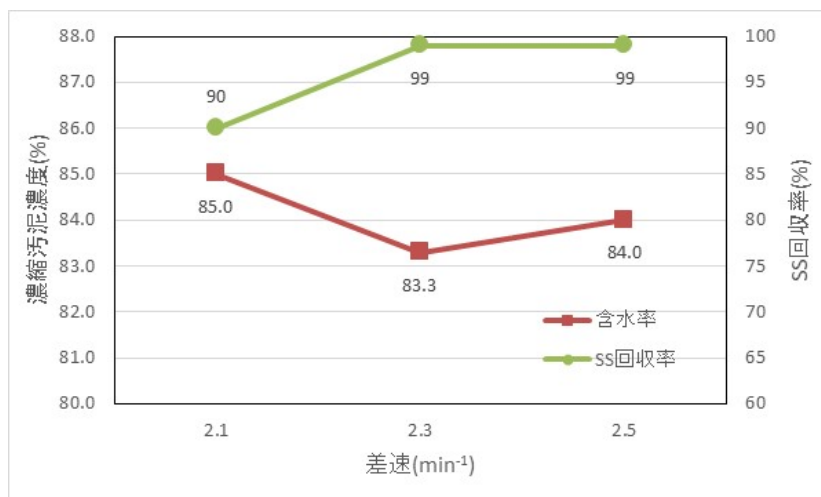


図 資 1-29 春期調査時差速傾向

※春期調査は自主研究期間データ

いずれの調査時においても差速の低下とともに脱水污泥含水率が低下する傾向を示し、低すぎると分離液の悪化、含水率の上昇する結果であった。最適な差速は夏期調査時で 1.8 min^{-1} 、秋期調査時で 2.5 min^{-1} 、冬期調査時で 3.2 min^{-1} 、春期調査時で 2.3 min^{-1} 判断した。

d) 運転条件まとめ

各調査時の最適運転条件を表 資 1-20 に示す。

表 資 1-20 調査時最適運転条件

	遠心効果	高分子凝集剤 注入率	無機凝集剤 注入量	差速
	G	%/TS	ppm	min ⁻¹
夏期	2000	2.30	0	1.8
秋期	2000	2.20	0	2.5
冬期	2000	1.20	3400	3.2
春期	2000	1.70	3400	2.3

※春期調査は自主研究期間データ

以上の傾向調査結果をもとに運転条件を決定し、連続運転時の安定性の確認を行った。

e) 連続運転時の安定性調査

傾向調査結果をもとに運転条件を決定し連続運転を行った。連続運転結果を図 資 1-30 ～図 資 1-33 に示す。

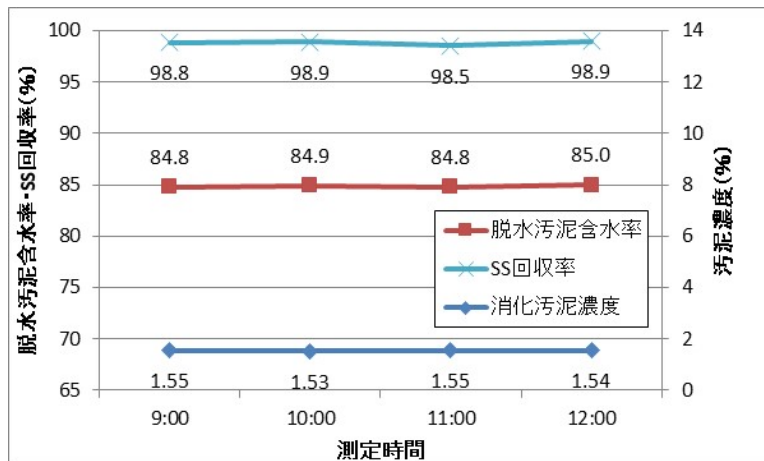


図 資 1-30 夏期調査時連続運転結果

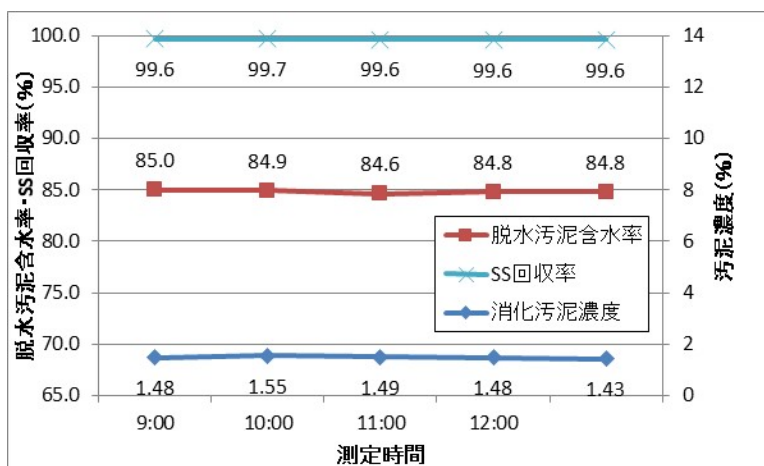


図 資 1-31 秋期調査時連続運転結果

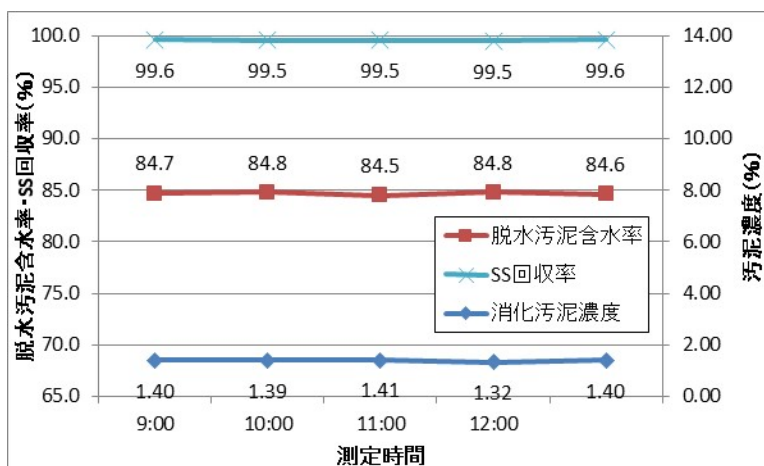


図 資 1-32 冬期調査時連続運転結果

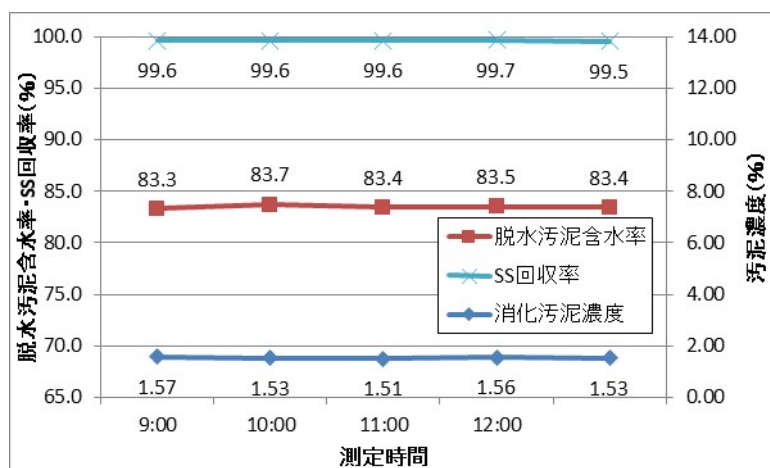


図 資 1-33 春期調査時連続運転結果

※春期調査は自主研究期間データ

いずれの調査機関においても目標値が得られており、かつ安定した運転が可能なが確認された。

1.3.3 高濃度消化技術

a) 最適化条件

消化状態を把握するため、表 資 1-21 に示す分析を実施した。基準値を外れた場合は原因の調査を行う。また発酵阻害に係る管理指標は pH、遊離アンモニア、有機酸であり、基準値を一定期間超えた場合は負荷を抑えて調整するものとした。なお、消化における適切な状態とは各基準値を満たしている状態だと考え、基準をみたすことを最適化条件とした。

表 資 1-21 高濃度消化測定項目

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	3 回/週
	TS (%)	10 以下	3 回/週
	VS (%)	—	1 回/週
	TOC (g/kg)	—	1 回/週
	有機酸 (VFA) (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
バイオガス	ガス発生量 (Nm 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

※BOD、アルカリ度は消化汚泥のみ実施

b) 処理の安定性

高濃度消化技術における安定性の評価では、消化槽立ち上げ時の安定性および定常運転時 (HRT30 日 3 回転以降) かつ前述の最適化条件下において、メタン発酵反応が安定的に進行することを確認する。なお、処理の安定性確認については、実証施設とパイロットプラントにおける試験結果をそれぞれ整理する。

1) OD 法(実規模実証施設)

① 立ち上げ計画

消化槽の立ち上げは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。また、種汚泥移送の簡易化およ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とした。

種汚泥分析結果から、低負荷での立ち上げ期間を設けるものとし、約3カ月間HRT100日、75日、50日、40日、35日と徐々に負荷を増加させ、最終的に定常運転であるHRT30日とした。平成28年に行っていた自主研究を基に、表資1-22の条件で試験を実施した。本実証試験における立ち上げ手順を以下に示す。

表資1-22 実規模実証施設の消化条件

項目	条件
消化槽形式	横型消化槽
攪拌方式	横型パドル式
消化槽サイズ	96m ³ (L:6m×W:4m×H:4m)
使用種汚泥	下水消化汚泥(標準活性汚泥法)
使用基質	下水消化汚泥(OD法)
投入汚泥濃度	10%程度(含水率90%程度)
消化日数(HRT)	30日
消化方式	湿式
消化温度	37~40℃

表資1-23 実規模実証施設の消化槽立ち上げ計画

	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月
種汚泥投入	■							
加温		■						
汚泥投入		■						
HRT(日)		100	75	50	40	35	30	
消化効率確認								■

i) 種汚泥性状の確認

立ち上げに使用した種汚泥は、近郊の下水処理場で採取した消化汚泥を使用した。平成 28 年度 B-DASH 予備調査における高濃度消化試験で使用した種汚泥と、本実証試験で使用した種汚泥の性状を表 資 1-24 に示す。

表 資 1-24 B-DASH 予備調査と本実証試験における種汚泥性状の比較

分析項目	予備調査	本実証試験
TS (%)	3.74	1.6
VS (%)	2.53	1.0

予備調査では HRT40 日から立ち上げを開始し安定的に設計 HRT まで到達することができている。今回の実証試験では、使用する種汚泥の VS 濃度が予備調査時と比べ約 2.5 倍の濃度差があったが、本実証試験と予備調査時と投入 VS 負荷を合わせる目的から、HRT を予備調査時の 2.5 倍である 100 日として、立ち上げを開始した。

ii) 消化槽加温状況

定常運転では消化槽加温用の熱源は発電機の排熱回収により得られた温水を利用するが、立ち上げ期間中は発電機の燃料となるバイオガスの発生が無い場合バックアップ用の灯油ボイラーを使用した。

2019 年 2 月 22 日に加温を開始し消化槽温度の上昇を確認できており、同年 3 月 3 日に目標温度 37 °C に達した。3 月 3 日以降は消化槽温度が安定しており、37°C を確保している。加温開始後の消化槽温度を図 資 1-34 に示す。

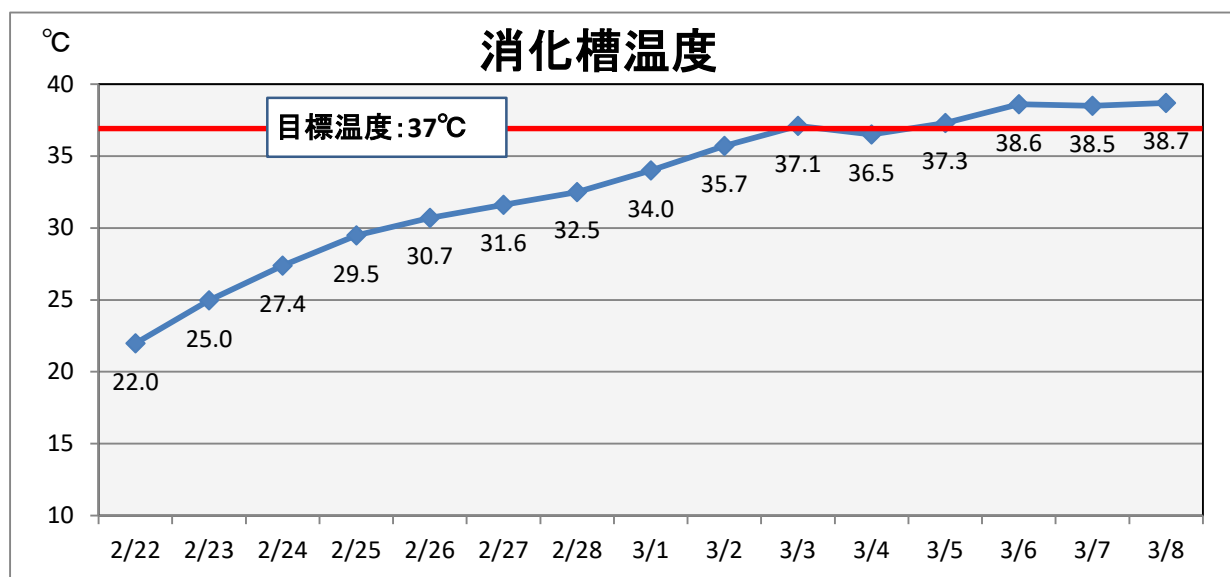


図 資 1-34 消化槽の温度推移

iii) 立ち上げの留意点

立ち上げの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およ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ることとする。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 °C 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 資 1-25 に示す分析を実施した。特に重要な管理指標は pH、遊離アンモニア、有機酸であり、基準値を一定期間超えた場合は負荷を抑えて調整するものとした。

表 資 1-25 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)	2.7~3.1	1回 / 日
汚泥	pH (—)	6.4~7.2	3回 / 週
	TS (%)	10 以下	3回 / 週
	VS (%)	—	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
バイオガス	ガス発生量 (Nm 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、T-P、アルカリ度は消化汚泥のみ実施

② 定常運転時の安定性 (実規模実証施設)

本試験は表 資 1-22 のとおりに実施した。HRT30 日で消化槽内が 3 回転後に完全に消化槽内が対象基質に入れ替わったと判断し、それ以降のデータで評価した。

i) pH

図 資 1-35 に投入汚泥および消化汚泥の pH について示す。HRT30 日 3 回転以降において、投入汚泥の pH は一時的なばらつきはあるものの、概ね 6.3~7.0 の範囲で推移した (平均 6.7)。一方、消化汚泥は概ね平均値の 7.9 前後で安定して推移した。344 日が一時的に高くなっているが、測定器の校正が不十分だったためと考えられる。

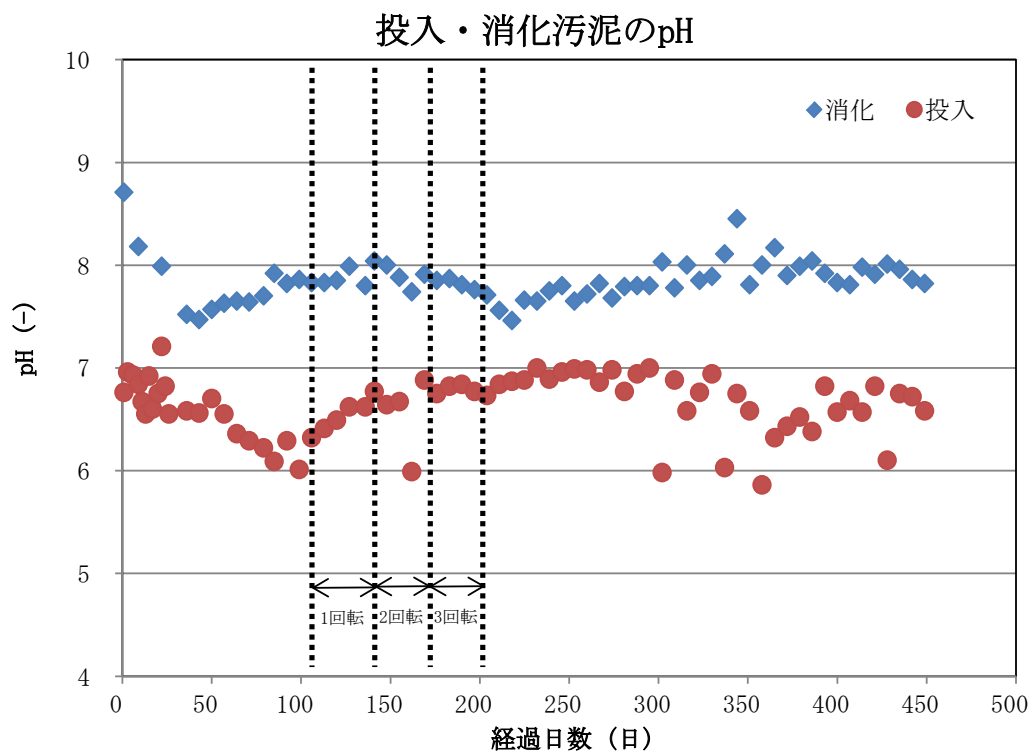


図 資 1-35 実規模実証施設の投入・消化汚泥の pH

ii) アンモニア

図 資 1-36 に消化液のアンモニア性窒素濃度（以下、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ）および遊離アンモニア（以下 $\text{NH}_3\text{-N}$ ）濃度を示す。アンモニアによるメタン発酵の阻害について、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度により評価した報告は少ないが、 $\text{NH}_3\text{-N}$ は $\text{NH}_4^+\text{-N}$ と比べて極めて毒性が高いため、本試験では $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度を管理目標として設定した。 $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度は Anthonisen らの計算式を用いて $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度、消化温度（=T）、pH から算出した。

$$\text{NH}_3 - \text{N}(\text{mg} / \text{L}) = \frac{\text{NH}_4^+ - \text{N}(\text{mg} / \text{L})}{\exp\left(\frac{6344}{273 + T}\right) + 10^{\text{pH}}}$$

出典：Anthonisen, A.C., R.C. Loehr, T.B.S. Prakasam, and E.G. Srinath (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.

$\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度は HRT30 日に達するまで上昇し続け、HRT30 日以降は 2,240 ~ 3590 mg-N / L（平均 3080 mg-N / L）で推移した。 $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度は上式の通り pH に大きく依存するが、先述の通り消化汚泥の pH に大きな変動はなかった。そのため、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度の影響因子の 1 つである $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度に連動するように増減したと考察する。 $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度については、経過日数 344 日は pH の影響により管理目標値以上を示したが、それ以外は管理目標値以下である 400 mg-N/L を下回る 61~370 mg-N / L の間で変動し、HRT30 日 3 回転以降の平均は 198 mg-N / L であった。

HRT30 日に達するまで $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度が上昇している理由として、槽内の投入汚泥濃度の増加が影響していると推察する。

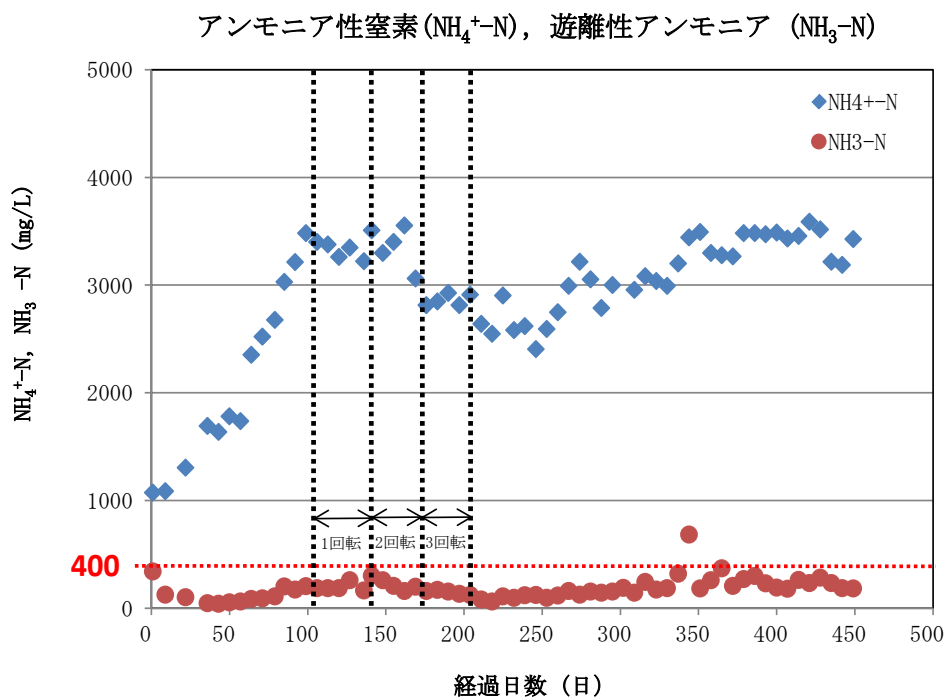


図 資 1-36 実証施設の消化汚泥の NH_4^+-N 濃度および NH_3-N 濃度

iii) 有機酸

本試験では有機酸とは酢酸、プロピオン酸、*n*-酪酸、*iso*-酪酸、*n*-吉草酸、*iso*-吉草酸の6種を指す。本報告では各有機酸をそれぞれ酢酸に換算し、合算した値を示す。

図 資 1-37 に示すように全ての試験実施期間において有機酸濃度の基準値である 1,000 mg-Ace./L を下回った。HRT30 日 3 回転以降は 14 ~ 97 mg-Ace./L (平均 48 mg-Ace./L) で推移した。

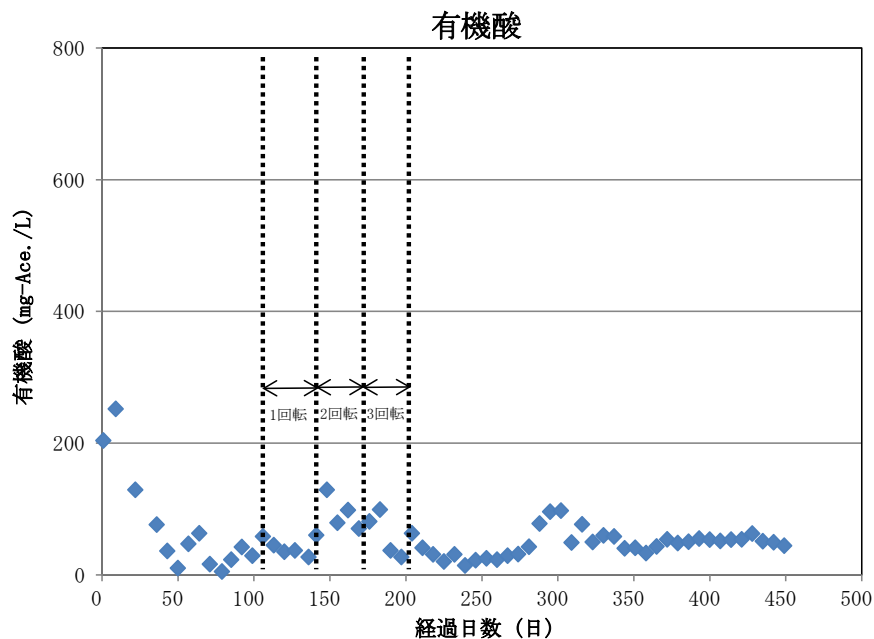


図 資 1-37 実証施設の消化汚泥の有機酸

上記の pH、NH₃-N 濃度、VFA 濃度の結果から一時的な阻害が起こっていた可能性があるものの、試験実施期間中は問題なくメタン発酵反応が安定的に進行したと判断した。

iv) 投入有機物当たりのガス発生量

投入 VS 当たりのガス発生量を図 資 1-38 に示す。本研究の消化効率の評価として、投入 VS 当たりのガス発生量の目標を 0.3 Nm³ / kg-投入 VS と定めたが、HRT30 日 3 回転以降は 0.17~0.26 Nm³ / kg-投入 VS (平均 0.22 Nm³ / kg-投入 VS) と目標に達成しなかった。

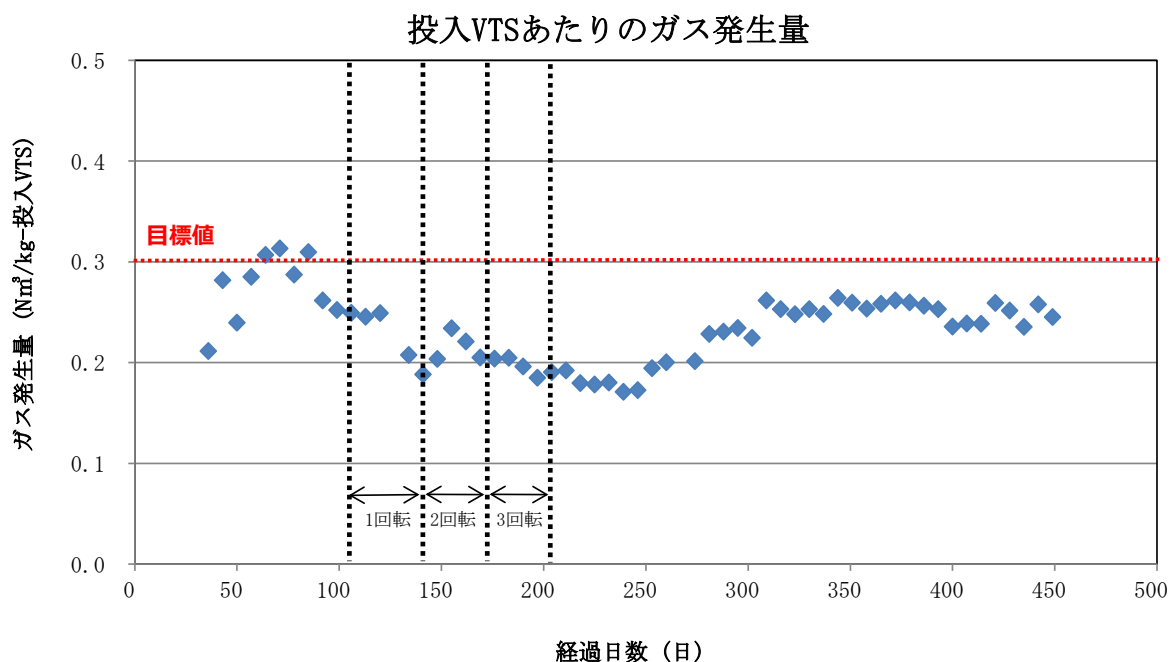


図 資 1-38 実証施設の投入 VS あたりのガス発生量

v) 消化率

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 FS_1 : 投入汚泥の無機分 (%) , VS_1 : 投入汚泥の有機分 (%)
 FS_2 : 消化汚泥の無機分 (%) , VS_2 : 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」

消化率を図 資 1-39 に示す。ガス発生量同様に消化効率の評価として、消化率の目標を 40 % と定めたが、HRT30 日 3 回転以降は 22 ~ 39 % (平均 32.3 %) と目標に達成しなかった。

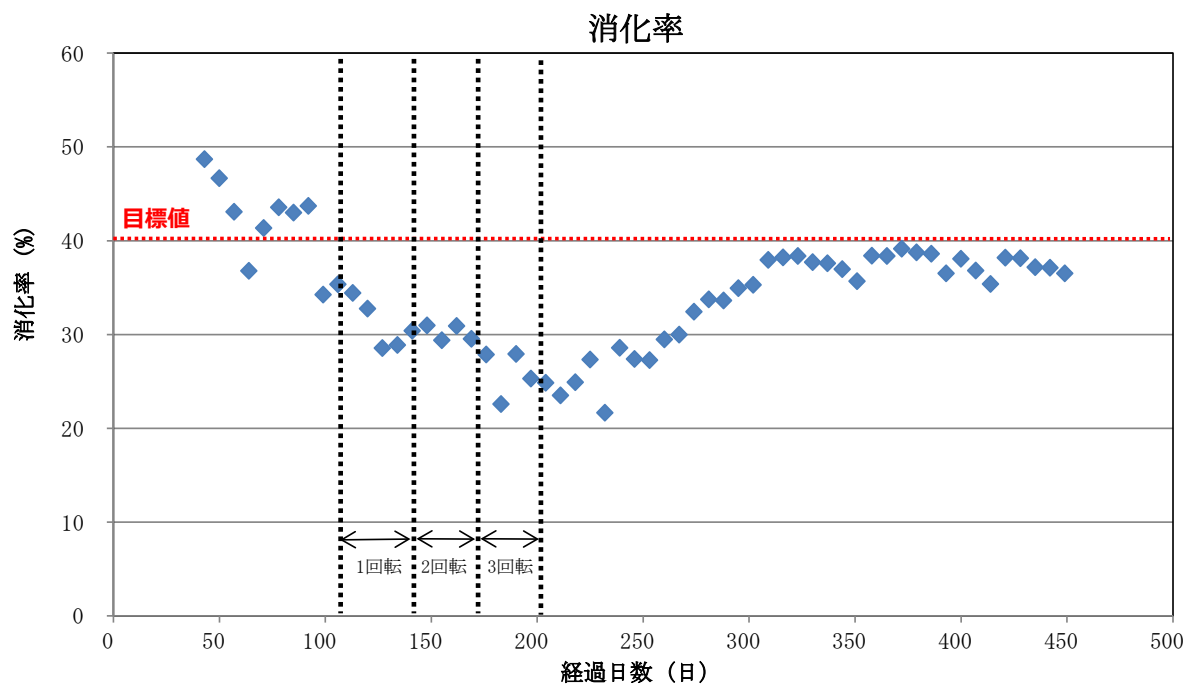


図 資 1-39 実証施設の消化率

vi) メタンガス濃度

消化槽から得られたバイオガス中のメタン濃度を図 資 1-40 に示す。全ての試験実施期間においてメタンガス濃度は比較的安定しており、HRT30 日 3 回転以降は 54～61 % (平均 58 %) であった。この結果は後段に控えるバイオガス発電機の要求バイオガス濃度の 55～65 % を満たしている。実際に得られたバイオガスにて後述するバイオガス発電の試験を実施した。

経過日数 246 日から 302 日まで徐々にメタン濃度が低下し、309 日に上昇した理由として、今回の試験条件において測定機器の校正が不十分であったためである。

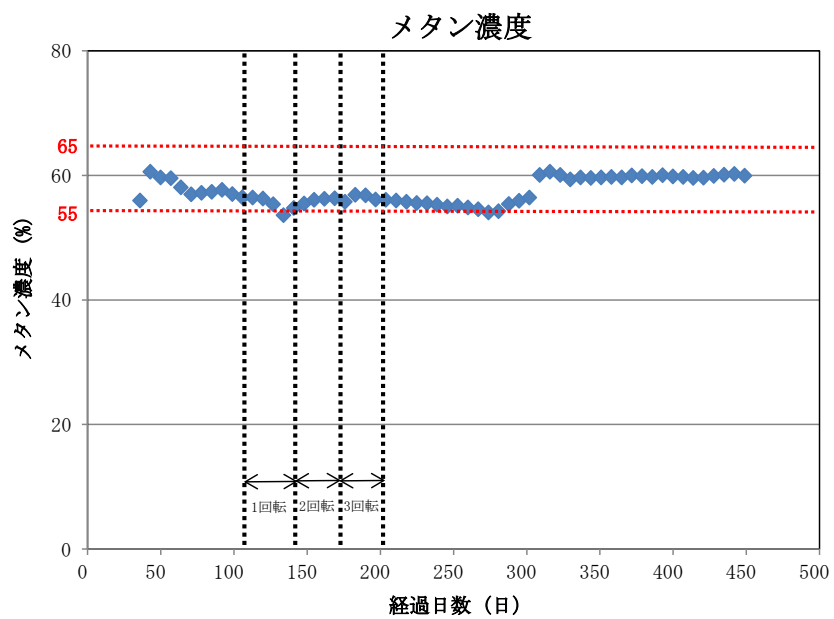


図 資 1-40 実証施設のメタン濃度

③ 維持管理方針

維持管理は「1) OD法(実規模実証施設)」で示した分析を行うことに加え、定められた項目に沿って維持管理を実施する。実規模実証施設の維持管理項目は表 資 1-26 に示すとおりである。

表 資 1-26 高濃度消化維持管理項目、実施頻度および管理値(その1)

点検項目			
点検箇所	機器	項目	頻度
ガスホルダー 1体型消化槽	消化槽攪拌機	グラウンドパッキン部の漏水がないか	A
		外観の目視検査で異常ないか	A
		盤内部のインバータより電流値を記録する	A
		駆動減速機に異常音または音の急激な変化がないか	A
		駆動減速機の表面温度が周囲温度+60℃以内であるか	A
		サイトグラスより消化槽の内部を目視確認し異常がないか	A
		据付ボルトに緩みがないか	毎週
		駆動減速機の油量が範囲内におさまっているか	毎週
		給油	給油リストによる
	汚泥引抜ポンプ	異常音・振動がないか	動作時
		外観の目視検査で異常ないか	A
	ガスバック室	水封弁水位記録(太い側、下面から何cmか)	A
		水封弁水位記録(細い側)	A
	エアコンプレッサー	水抜きを行う	A
		異常音・振動の有無はないか	動作時
		圧力表示値の記録	A
		吸引ろ過器フィルターの清掃	1ヶ月毎
	エアポンプ	供給エア量メータの記録	A
	温水循環ポンプ (ポンプ後を記録すること)	圧力表示記録	A
		異常音・振動はないか	A
熱交換ユニット (吐出側を記録すること)	温度表示記録	A	
	圧力表示記録	A	
加圧給水ユニット	異常音・振動はないか	動作時	
	圧力表示記録	A	
	タンク内水量を確認する	毎週	
メタン発酵	TS測定	毎週	
	pH測定	毎週	
消化槽加温装置	灯油ボイラー	周囲に可燃物がないことを確認する	A
		排気筒の損傷、詰りがないことを確認する	A
		油タンク、送油経路において油にじみがないことを確認する	A
	灯油タンク	残量確認	A
		防油堤の状況	A
	消化ガスボイラー	周囲に可燃物がないことを確認する	A
		排気筒の損傷、詰りがないことを確認する	A
	灯油ボイラー 温水循環ポンプ	圧力表示値の記録	A
		異常音・振動はないか	A
		流量の記録	A
	消化ガスボイラー 温水循環ポンプ	圧力表示値の記録	A
		異常音・振動はないか	A
		流量の記録	A
	ガス発電機 温水循環ポンプ	圧力表示値の記録	A
		異常音・振動はないか	A
		流量の記録	A
	放熱器	異常音・振動はないか	動作時
		配管を目視確認し異常がないか	毎週
ファンの状態を目視確認し、異常がないか		毎週	
加圧給水ユニット	異常音・振動はないか	動作時	
	圧力表示記録	A	
	タンク内水量を確認する	毎週	

A:月曜、水曜、金曜実施

表 資 1-27 高濃度消化維持管理項目、実施頻度および管理値（その2）

点検項目			
	機器	項目	実施頻度
ガスクリーニング ユニット	除湿機 クーラー	温度表示値記録（クーラーの前面パネルの値を記録すること）	A
		フィルターの目詰まり確認・清掃をおこなう	1ヶ月毎
	脱硫装置	冷却部の水位がパイプより上にあるか	A
		外観の目視検査で異常ないか	A
	シロキサン除去装置	外観の目視検査で異常ないか	A
	ガスブースター	異常音・振動の有無	A
		吐出圧の記録	A
	ガス分析計	Vベルト目視、張力の確認	3ヶ月毎
酸素(O ₂)濃度の記録		A	
硫化水素(H ₂ S)濃度の記録		A	
メタン(CH ₄)濃度の記録		A	
		サンプリング管に水が溜まってないか	A

A:月曜、水曜、金曜実施

2) 標準活性汚泥法(パイロットプラント)

実証施設が設置される中之島浄化センターの水処理方式はOD法を採用しており、本実証施設で受け入れる汚泥についてもOD法から発生した汚泥を対象に実証研究を実施している。汚泥性状・性質が一般的に異なる標準活性汚泥法からの汚泥を対象にしたパイロット試験により標準法汚泥での処理の安定性を確認する事で、今後の本システムを普及展開促進へ資するものとする。

① 立ち上げ計画

標準活性汚泥法の汚泥を用いた消化試験を計画・実施した。平成28年に行った自主研究と比較するために、表資1-28の条件で試験を実施した。なお自主研究に倣い、投入汚泥は標準活性汚泥法で処理している近隣下水処理場の脱水汚泥をTS10%になるように希釈した汚泥を使用した。

表 資 1-28 パイロットプラントの装置概要

項目	条件
消化槽形式	横型消化槽
攪拌方式	横型パドル式
消化槽サイズ	1m ³ (L:1.6m×W:0.8m×H:0.9m (水深0.8m))
使用種汚泥	下水消化汚泥 (標準活性汚泥法)
使用基質	下水脱水汚泥 (標準活性汚泥法)
投入汚泥濃度	10%程度 (含水率90%程度)
消化日数 (HRT)	30日
消化方式	湿式
消化温度	37 ~ 40℃

実規模実証施設の立ち上げ方にならない、低負荷での立ち上げ期間を設けるものとし、表資1-29の

ように約3カ月間HRT100日、75日、50日、40日、35日と徐々に負荷を増加させ、最終的に定常運転であるHRT30日とした。

表資 1-29 パイロットプラントの消化槽立ち上げ計画

	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
種汚泥投入				▮									
濃縮汚泥投入				▮									
HRT(日)				100	75	50	40	35	30				
分析				▮									
評価項目の計測									▮		▮		

i) 種汚泥性状の確認

立ち上げに使用した種汚泥は実規模実証施設と同じ近郊の下水処理場で発生した消化汚泥を使用した。表 資 1-30 に示すとおり、実規模実証試験立ち上げ時の種汚泥性状と極めて近い値だったため、HRT100 日から開始した。

表 資 1-30 予備調査と実証試験、本パイロットプラント試験における種汚泥性状の比較

分析項目	予備調査	実証試験	本パイロットプラント試験
TS (%)	3.74	1.6	1.8
VS (%)	2.53	1.0	1.2

ii) 立ち上げの留意点

立ち上げの留意点は以下のとおりである。

- 実規模実証施設と同じ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。
- 使用する種汚泥量が非常に少量だったため、消化槽容量の全量を搬送・投入した。
- 消化槽への負荷は低負荷から徐々に負荷を上げることとする。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 °C に上昇後、汚泥投入を開始した。
- 実規模実証施設と同様に消化状態を把握するため、表 資 1-25 に示す分析を実施した。特に重要な管理指標は pH、遊離アンモニア、有機酸であり、基準値を一定期間超えた場合は負荷を抑えて調整するものとした。ただし、水位は 0.70 ～ 0.78 m を基準値とする。

② 定常運転時の安定性 (パイロットプラント)

本試験は表 資 1-29 のスケジュールで実施した。HRT30 日で消化槽内が 3 回転後に完全に消化槽内が対象基質に入れ替わったと判断し、それ以降のデータで評価した。

i) pH

図 資 1-41 に示すように HRT30 日 3 回転以降の消化汚泥 pH は 7.6 ~ 8.1 (平均は 7.9) で推移し、試験の実施期間通して非常に安定した。投入汚泥は基質や希釈倍率の変動により、pH が 4.7 ~ 6.1 の間で変動したが、HRT30 日 3 回転以降は比較的安定し、試験実施には影響がないと判断した。HRT30 日 3 回転以降の平均は 5.1 であった。

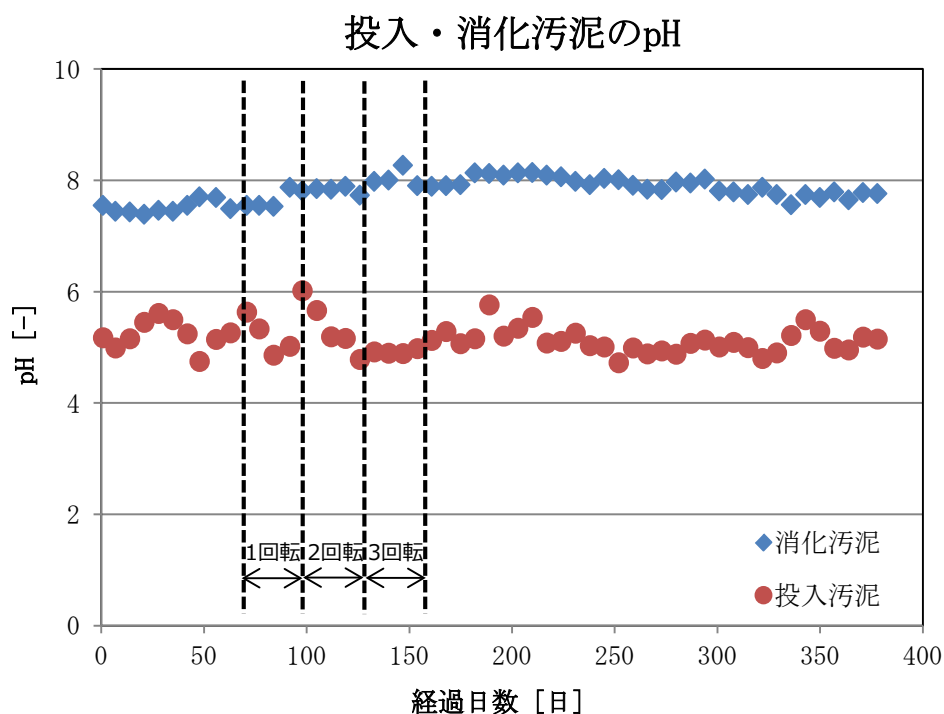


図 資 1-41 パイロットプラントの投入・消化汚泥の pH

ii) アンモニア

図 資 1-42 に消化液の $\text{NH}_4^+\text{-N}$ および $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度を示す。

$\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度は HRT30 日 2 回転目に達するまで上昇し続け、HRT30 日以降は 2,920 ~ 4,520 mg-N / L で推移した。 $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度は上式のとおり $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度と pH、消化温度に影響を受け、特に pH に大きく依存する。しかし、先述の通り消化汚泥の pH に大きな変動はなかったため、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度の影響因子の 1 つのである $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度に連動するように増減したと考察する。 $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度は経過日数 210 日、217 日にそれぞれ 400、408 mg-N/L になったが、それ以外の日は基準値である 400 mg-N / L を下回る 111 ~ 387 mg-N/L (平均 244 mg-N / L) で変動した。

HRT30 日 2 回転目に達するまで $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度が上昇している理由として、槽内の投入汚泥濃度の増加が影響していると考える。

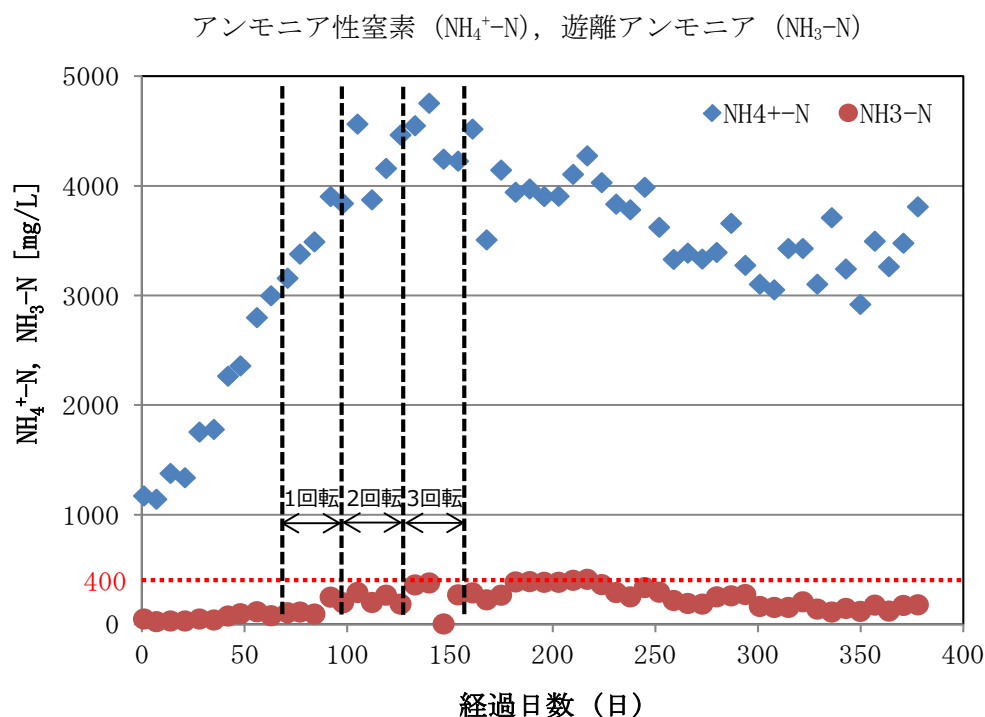
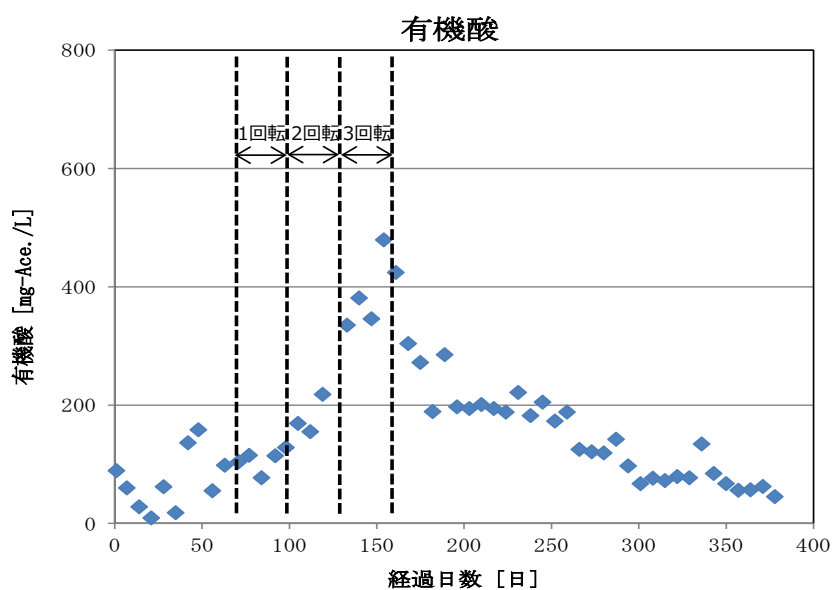


図 資 1-42 パイロットプラントの消化汚泥の $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度および $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度

iii) 有機物 (VFA)

本試験では有機酸とは酢酸、プロピオン酸、*n*-酪酸、*iso*-酪酸、*n*-吉草酸、*iso*-吉草酸の6種を指す。本報告では各有機酸をそれぞれ酢酸に換算し、合算した値を示す。

図資 1-43 に示すように全ての試験実施期間において有機酸濃度の基準値である 1,000 mg-Ace./L を下回った。経過日数 154 日では 479 mg-Ace./L まで上昇したが、直後に有機酸濃度が減少したため、槽内の蓄積はないと判断して試験を続行した。なお、HRT30 日 3 回転以降の平均は 153 mg-Ace./L であった。



図資 1-43 パイロットプラントの消化汚泥の有機酸

上記の結果から一時的なアンモニア阻害は生じたが蓄積はなく、それ以外の試験期間は基準値内で推移しており、メタン発酵反応が問題なく安定的に進行したと判断した。

iv) 投入有機物あたりのガス発生量

投入 VS あたりのガス発生量を図資 1-44 に示す。自主研究の HRT30 日 3 回転以降が $0.28 \sim 0.28 \text{ Nm}^3 / \text{kg-投入 VS}$ (平均 $0.28 \text{ Nm}^3 / \text{kg-投入 VS}$) に対し、パイロットプラント試験の $0.40 \sim 0.67 \text{ Nm}^3 / \text{kg-投入 VS}$ (平均 $0.50 \text{ Nm}^3 / \text{kg-投入 VS}$) であった。

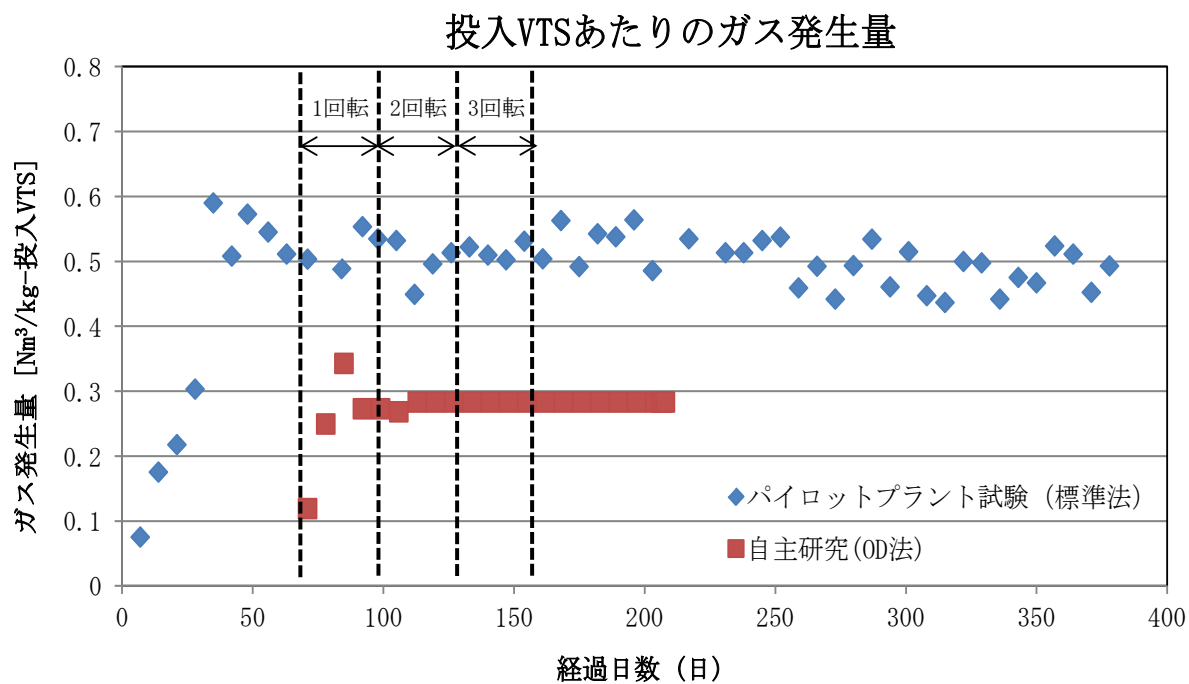


図 資 1-44 パイロットプラントの投入 VS あたりのガス発生量

v) 消化率

消化率を図 資 1-45 に示す。自主研究の HRT30 日 3 回転以降が 50 % (平均 50 %) であったがパイロットプラント試験の 55 ~ 71 % (平均 63 %) であった。

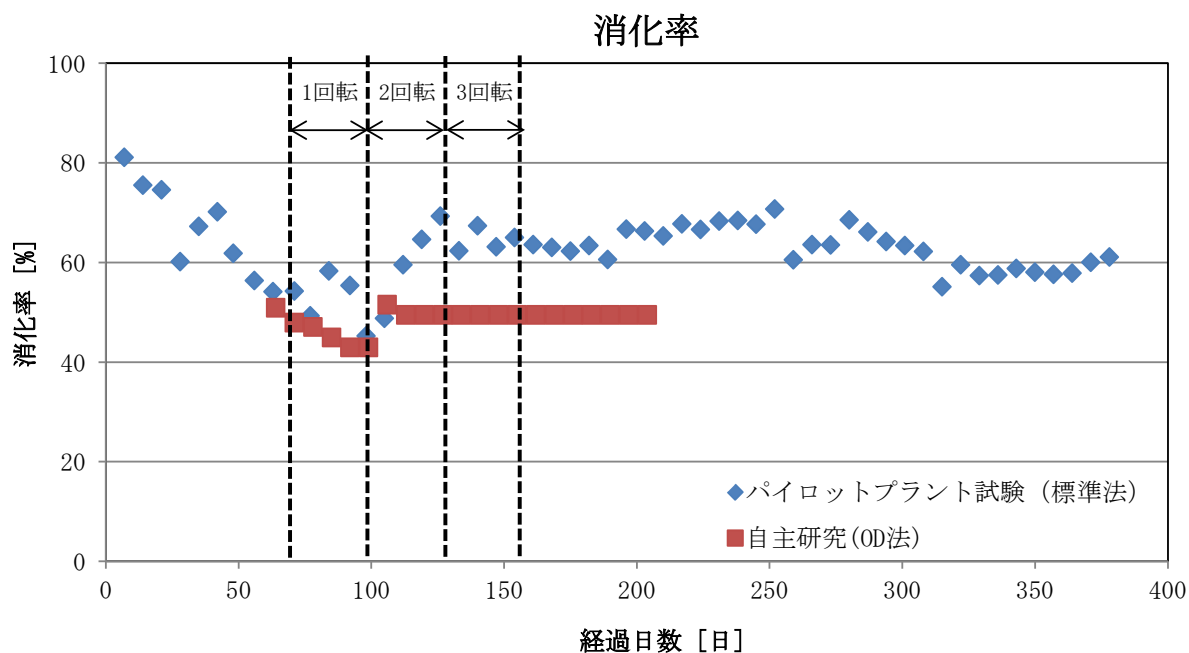


図 資 1-45 パイロットプラントの消化率

vi) メタンガス濃度

図 資 1-46 に示すとおり、自主研究の HRT30 日 3 回転以降が 65 ~ 66 % (平均 65 %) であったが、パイロットプラント試験の 58 ~ 67 % (平均 61 %) とメタンガス濃度に関しては大きな差異は見られなかった。また、表 資 1-38 に示すバイオガス発電の基準値を満たす結果であった。

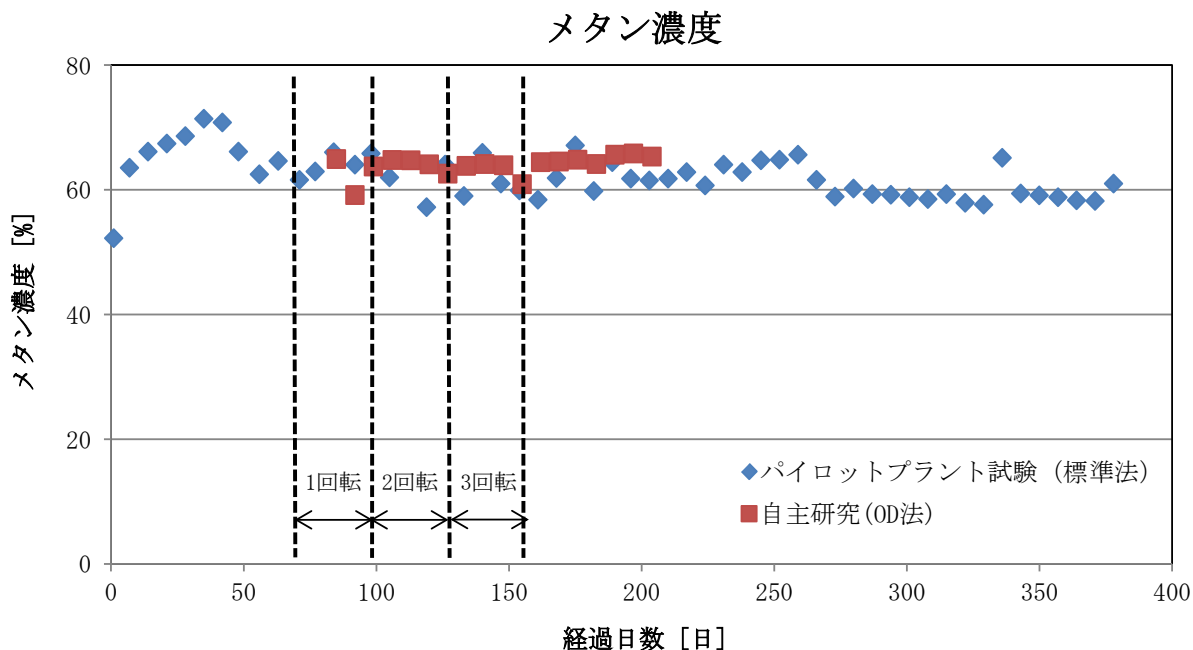


図 資 1-46 パイロットプラントのメタン濃度

3) SRT と消化率・バイオガス発生量の関係

① 消化率

実証試験より消化率の平均は 32.3 % であるが、図 資 1-47 に示す SRT と消化率の関係および回分試験 (パイロット試験) と連続試験 (実証試験) の関係により、本技術を OD 法処理場 (SRT 最頻値 30 日の場合) に適用したときに想定される消化率は 40% 程度となる。このように、実証目標である消化率 40% は、回分試験のような理想的な状態及び SRT の最頻値 30 日の場合を想定しているものである。

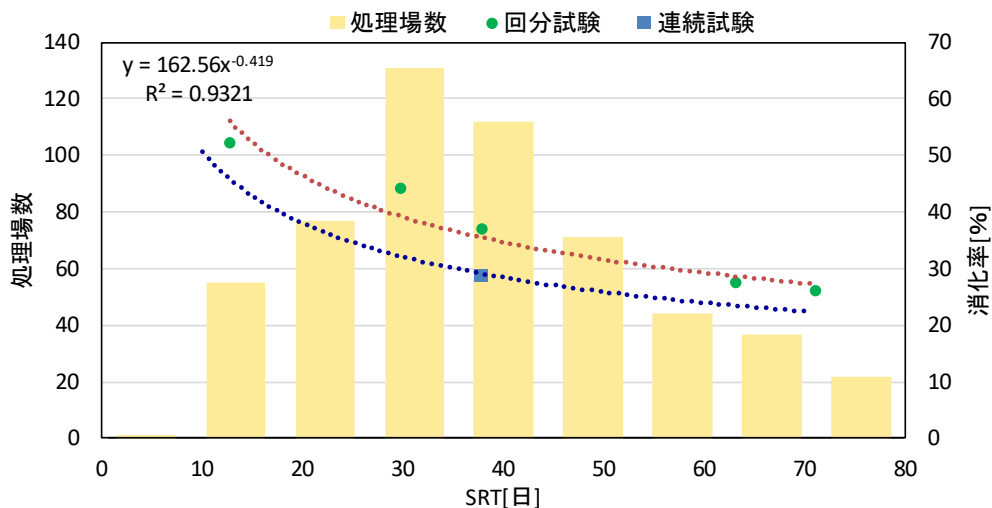


図 資 1-47 SRT と消化率の関係

② バイオガス発生量

実証試験よりバイオガス発生量の平均は $0.22 \text{ Nm}^3/\text{kg}$ -投入 VS であるが、図 資 1-48 に示す SRT とバイオガス発生量の関係およびバッチ試験（ラボ試験）と連続試験（実証試験）の関係により、本技術を OD 法処理場（SRT 最頻値 30 日の場合）に適用したときに想定されるバイオガス発生量は $0.3 \text{ Nm}^3/\text{kg}$ -投入 VS となる。このように、実証目標であるバイオガス発生量 $0.3 \text{ Nm}^3/\text{kg}$ -投入 VS は、回分試験のような理想的な状態及び SRT の最頻値 30 日の場合を想定しているものである。

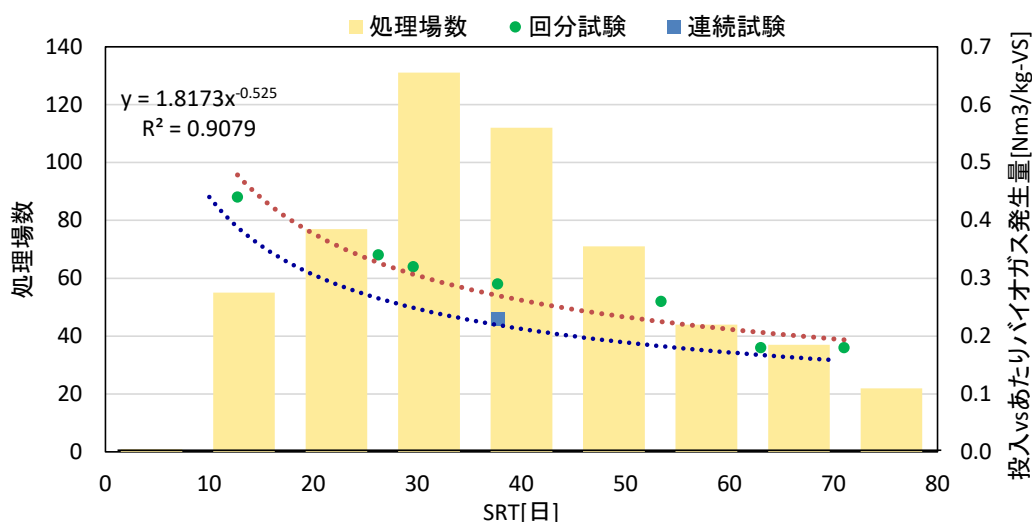


図 資 1-48 SRT とバイオガス発生量の関係

1.3.4 設備コンパクト化・ユニット化

a) 評価方法

評価は、従来技術との比較を行うため、実証施設と同規模（日最大処理水量 約 $2,500 \text{ m}^3 / \text{日}$ ）の従来技術における施設配置計画を行い、「必要敷地面積」「維持管理動線・維持管理時間」「点検箇所数」の観点から評価を行う。評価項目および評価方法を表 資 1-31 示す。

表 資 1-31 評価項目と評価方法

評価項目	評価方法
必要敷地面積	「実証施設」および「従来技術」を対象に、施設面積を集計し、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する。
維持管理動線 ・維持管理時間	「実証施設」および「従来技術」を対象に、場内の維持管理動線を算定し、集約化に係る移動距離の削減効果（距離・時間）を評価する。
点検箇所数	「実証施設」および「従来技術」を対象に、施設の点検箇所数を集計し、コンパクト化・ユニット化に伴う、点検箇所数の削減効果を評価する。

b) 必要敷地面積

必要敷地面積の評価は、「実証施設」および「従来技術」を対象に施設面積を集計し、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確認する。

なお、従来技術の敷地面積は、実証施設と同規模（日最大処理水量 約 2,500 m³ / 日）の場合における施設配置計画を行い評価する。本実証施設の施設配置図を図 資 1-49 に、従来技術の施設配置図を図 資 1-50 に示す。

各必要敷地面積は表 資 1-32 に示すとおりであり、面積の削減効果は約 260 m²、約 30 %となった。

表 資 1-32 削減効果

項目	面積	概略寸法
本実証施設	591.3 m ²	36.5 m × 16.2 m
従来技術	850.5 m ²	31.5 m × 27.0 m
縮小分	259.2 m ² (30.5 %)	—

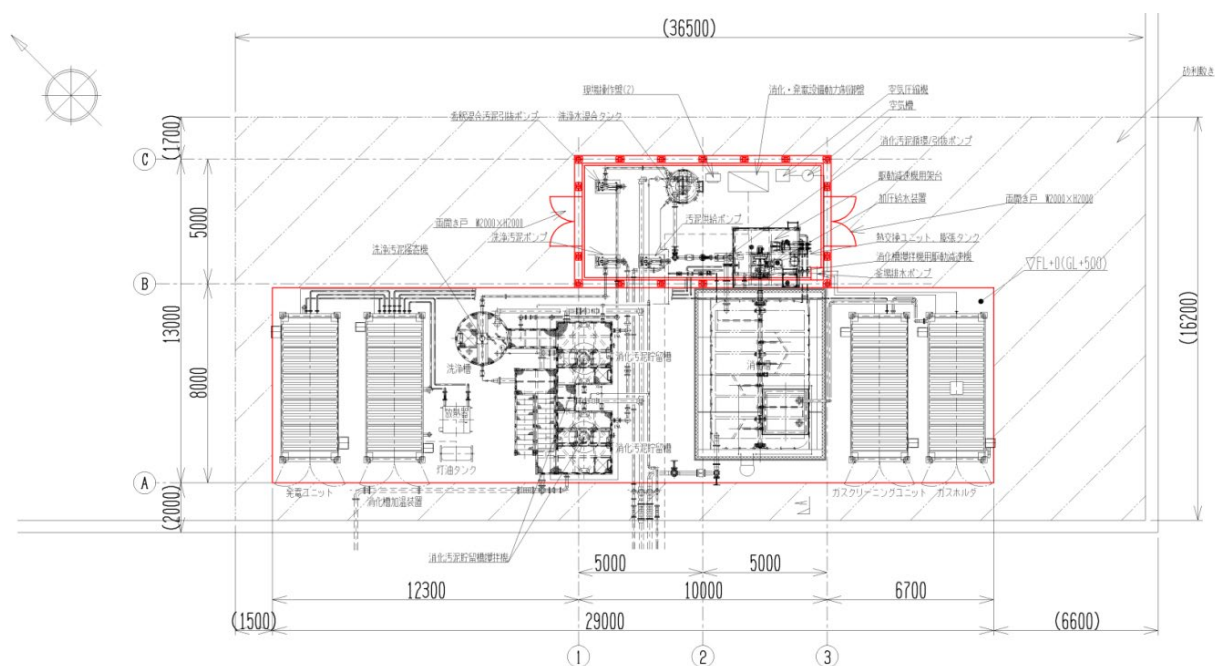


図 資 1-49 実証施設の施設配置計画

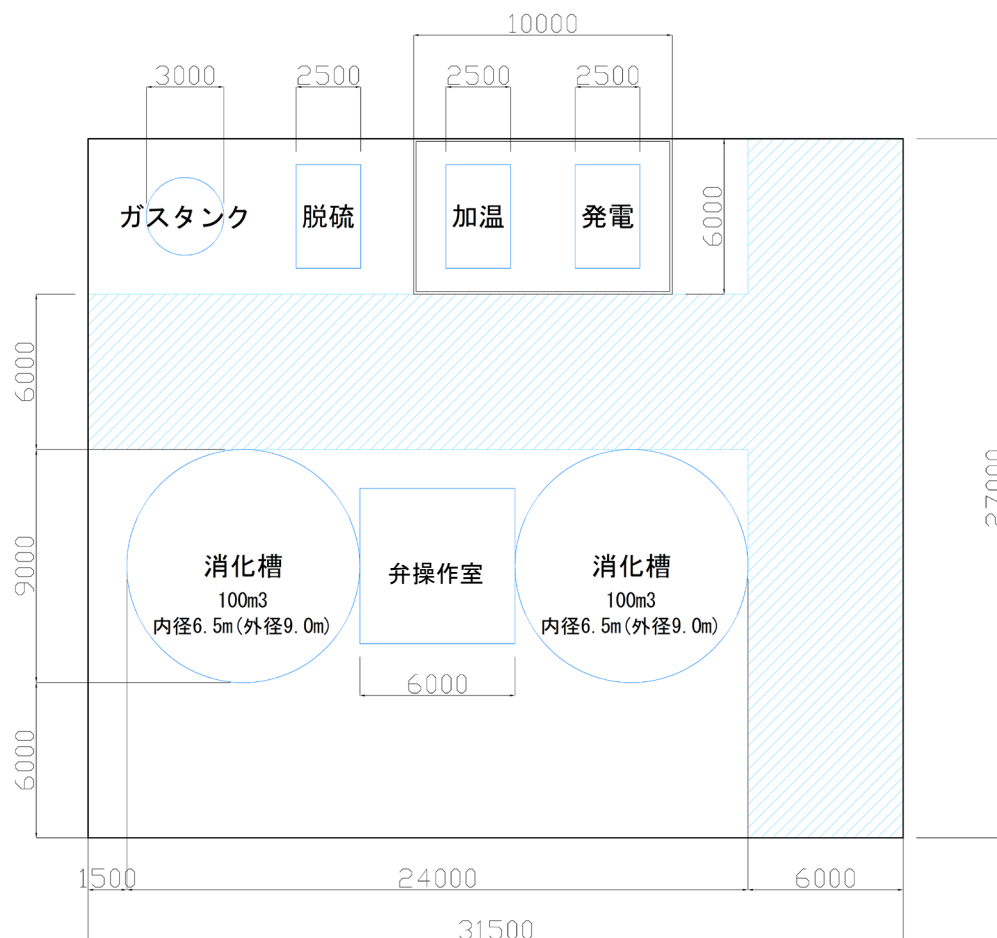


図 資 1-50 従来技術の配置計画

c) 維持管理動線・維持管理時間

維持管理動線・維持管理時間の評価は、「実証施設」および「従来技術」を対象に、場内の維持管理動線を設定し、集約化に係る移動距離の削減効果（距離・時間）を評価する。

なお、従来技術の維持管理動線は、前述の必要敷地面積評価と同様に実証施設と同規模施設の配置計画を元に評価する。

また、維持管理動線の設定にあたり、「点検箇所」は、「下水道施設維持管理積算要領-終末処理場・ポンプ場施設編-」に示される、汚泥消化タンク設備の各機器を対象とした。「点検頻度」は、積算要領に示される各機器と頻度にて設定を行い、「日常点検」・「1週間点検」・「1ヶ月点検」・「6ヶ月点検」・「1年点検」のそれぞれで移動距離を算出し、年間あたりの削減効果を算出する方針とした。

本実証施設および従来技術における維持管理動線図を図 資 1-51 に示す。

各維持管理動線の総距離は表 資 1-33 に示すとおりであり、削減効果は約 10 km、約 10 %となった。この維持管理動線の移動距離と、歩行速度（80 m / min）から年間の短縮時間を試算すると

約 2 時間程度の短縮効果が見られた。

(延長 9,972.6 m ÷ 歩行速度 80 m/min = 2.08 hour)

表 資 1-33 維持管理動線

単位：m

点検頻度	従来技術		革新技術		年間総距離 差分
	単距離	年間総距離	単距離	年間総距離	
日常点検	215.3	78,584.5	203.1	74,131.5	4,453.0
1週間点検	283.1	14,721.2	181.8	9,453.6	5,267.6
1ヶ月点検	302.7	3,632.4	292.9	3,514.8	117.6
6か月点検	228.6	457.2	185.3	370.6	86.6
1年点検	604.7	604.7	556.9	556.9	47.8
合計	1,634.4	98,000.0	1,420.0	88,027.4	9,972.6

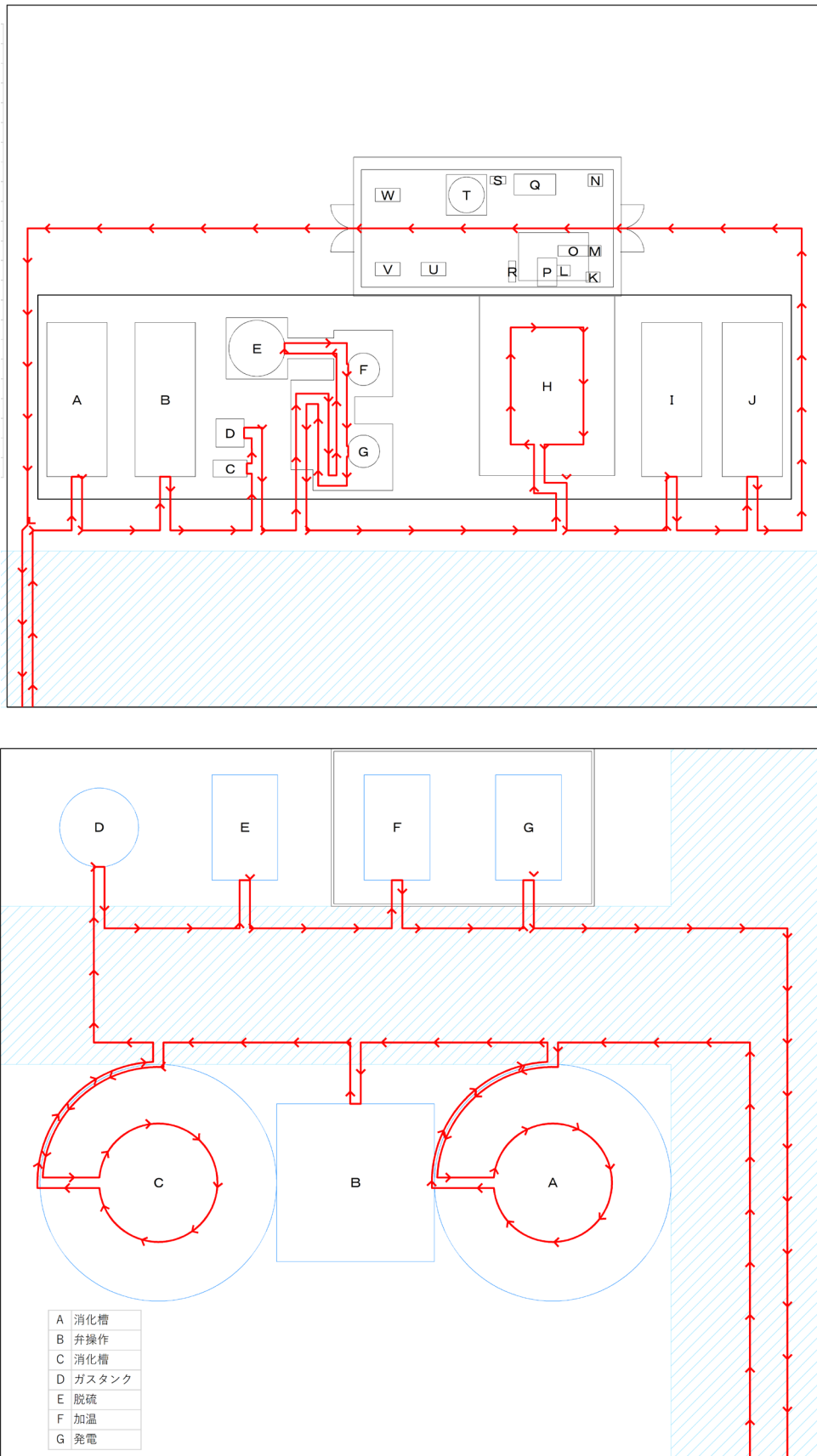


図 資 1-51 維持管理導線図 (上図：実証施設 / 下図：従来技術)

d) 点検箇所数

点検箇所数の評価は、「実証施設」および「従来技術」を対象に、施設の点検箇所数を集計し、コンパクト化・ユニット化に伴う、点検箇所数の削減効果を評価する。

なお、施設の点検箇所数は、前述の維持管理動線と同様に「下水道施設維持管理積算要領-終末処理場・ポンプ場施設編-」に示される、点検項目にて元に評価する。

点検箇所数の比較表 資を表 資 1-34、表 資 1-35 に整理する。ユニット化によって、別箇所にて点検調査を行っていた箇所が統合され、従来技術未満となる。ただし、点検項目内容は、従来技術と同程度となる事に留意する。

表 資 1-34 点検箇所数の比較 (その1)

設備名	機器名	分類	日常点検	定期点検							
				従来	新技術	1週間		1ヶ月			
				従来	新技術	従来	新技術	従来	新技術		
ガスホルダー 一体型消化槽	消化タンク	加温	1.安全弁,圧力の確認	○	○	1.ガス圧,スチーム圧の確認		○	○		
		無加温									
	汚泥ポンプ	電動機直結形	1.異音,漏度,圧力,弁開度,水漏れ,振動の確認	○	○			1.Vベルトの張り調整	○	○	
		Vベルト掛	2.グランドリキーン・メカニカルシールの確認	○	○			2.グランドリキーン・メカニカルシールの調整	○	○	
		回転数制御									
	自動弁	電動式	1.開度の確認	○	○			1.作動確認	○	○	
		空気作動式	2.漏れ確認	○	○			2.グランドリキーン・メカニカルシールの確認	○	○	
	覆拝機	ガスかくはん	1.異音,漏度,振動,圧力の確認	○	○	1.電流値,圧力の確認	○	○	1.Vベルトの張り調整	○	○
		機械かくはん	2.ガス漏れの確認	○	○						
	脱脂装置	乾式	1.注水の確認	○	○						
		湿式	2.ガス漏れの確認	○	○						
ガス貯留タンク	有水式	1.貯留量及びガス圧の確認	○	○			1.ガイドローラの注油	○	○		
	乾式	2.ガス漏れの確認	○	○							
余剰ガス燃焼装置	伊外燃焼形	1.燃焼の確認	○	○			1.作動確認	○	○		
	伊内燃焼形						2.ガス補給	○	○		
重油貯蔵施設 (小出構)	サービスタンク	1.貯留量の確認	○	○			1.工所抜きパイプの点検	○	○		
	(小出構)	2.漏れの確認	○	○							
(11)汚泥 消化タンク 設備	ガス,蒸気配管	配管,弁類	1.ドレンの確認 2.ガス漏れ,蒸気漏れの確認	○	○						
	ボイラ	温水ボイラ	1.低水位遮断し,断装置の作動確認 2.自動給水加減器の作動確認 3.軟水タンクの水位確認 4.ボイラ水のpH,軟水のpH及び硬度確認 5.清浄剤,脱酸剤の投入及びボイラ水の処理 6.各系統のバルブの作動確認 7.排煙温度計,炎検出装置の確認 8.バーナ操作リンク機構の作動確認 9.各機器の油層,ベルトの張り,異音,振動及び作動確認 10.燃焼状態,ばい塵発生状況確認 11.ボイラの水位と圧力の確認 12.スチームラインのブロー及び各部の漏れ,損傷の確認 13.各機器の電流,圧力 14.スチームヘッダの蒸気圧力及び蒸気漏れの確認 15.ガスブースターファンの異音,温度,振動,ガス漏れの確認 16.水面測定装置の機能点検 17.圧力筒の作動確認 18.風道の吹出口と吸込口の異物付着状況の確認	○	○			別表の定期自主点検表に準ずる 1.ボイラ (ボイラ及び圧力容器安全規則第32条準拠) 2.第1種圧力容器 (ボイラ及び圧力容器安全規則第67条準拠)	○	○	
		消化槽加温用ボイラ(伊内燃焼管式)	1.温度,圧力,給水量,異音,振動,ベルト,燃焼状態の確認	○	○					○	○
	軟水装置		1.水位,温度の確認	○	○						
	用水ポンプ	渦巻ポンプ	1.異音,漏度,圧力,弁開度,水漏れ,振動の確認	○	○			1.油量確認及びガス補給	○	○	
		タービンポンプ	2.グランドリキーン・メカニカルシールの確認	○	○			2.グランドリキーン・メカニカルシールの調整	○	○	
	その他	メタン発酵									

表 資 1-35 点検箇所数の比較 (その2)

設備名	機器名	分類	日常点検	定期点検									
				従来	新技術	6ヶ月		1年					
(11) 汚泥消化タンク設備	消化タンク	加温	1.安全弁、圧力の確認	○	○							ガスホルダー 一体型消化槽	
		無加温											
		汚泥ポンプ	電動機油結晶形	1.異音、温度、圧力、弁開度、水漏れ、振動の確認	○	○							ガスホルダー 一体型消化槽
			Vベルト駆動	2.グランドロック・メカニカルシールの確認	○	○	1.Vベルトの摩耗損傷の点検	○	○	1.潤滑油の確認	○	○	
			回転数制御				2.振動測定	○	○	2.点検清掃	○	○	
							3.カップリングゴムの摩耗の確認	○	○				
		自動弁	電動式	1.開度の確認	○	○							ガスホルダー 一体型消化槽
			空気を動作式	2.漏れ確認	○	○							
		攪拌機	ガスがくはん	1.異音、温度、振動、圧力の確認	○	○	1.取付ボルトのゆるみ、グリス補給	○	○				ガスホルダー 一体型消化槽
		機械がくはん	2.ガス漏れの確認	○	○	2.振動測定	○	○					
						3.潤滑油の確認	○	○					
	脱酸装置	乾式	1.注水の確認	○	○							ガスホルダー 一体型消化槽	
		連続式	2.ガス漏れの確認	○	○								
		湿式											
	ガス貯留タンク	筒体式	1.貯留量及びガス圧の確認	○	○							ガスホルダー 一体型消化槽	
		乾式	2.ガス漏れの確認	○	○								
	家畜ガス燃焼装置	炉外燃焼形	1.燃焼状況の確認	○	○							ガスホルダー 一体型消化槽	
		炉内燃焼形											
	亜油貯蔵施設 (小出機)	サービスタンク	1.貯留量の確認	○	○							ガスホルダー 一体型消化槽	
			2.漏れの確認	○	○								
	ガス、蒸気配管	配管、弁類	1.ドレンの確認	○	○	1.ガス漏れ確認(石けん水等使用)	○	○				ガスホルダー 一体型消化槽	
			2.ガス漏れ、蒸気漏れの確認	○	○								
	ボイラ	温水ボイラ	1.低水位燃焼しや断装置の作動確認	○	○							ガスホルダー 一体型消化槽	
			2.自動給水加減器の作動確認	○	○								
			3.軟水タンクの水位確認	○	○								
			4.ボイラ水のpH、軟水のpH及び硬度確認	○	○								
			5.清田剤、脱酸剤の投入及びボイラ水の処理	○	○								
			6.各系統のバルブの作動確認	○	○								
			7.排煙濃度計、火災検出装置の確認	○	○								
			8.バーナ操作パン機構の作動確認	○	○								
			9.各機器の油量、ベルトの張り、異音、振動及び作動確認	○	○								
			10.燃焼状態、ばい煙発生状況確認	○	○								
			11.ボイラの水位と圧力の確認	○	○								
			12.スチームラインのフロー及び各部の漏れ、損傷の確認	○	○								
			13.各機器の電流、圧力	○	○								
			14.スチームヘッドの蒸気圧力及び蒸気漏れの確認	○	○								
			15.ガスブースターファン、温度、振動、ガス漏れの確認	○	○								
			16.水面測定装置の機能点検	○	○								
			17.圧力降の作動確認	○	○								
			18.風道の吹出口と吸込口の異物付着状況の確認	○	○								
		消化槽加温用ボイラ(炉間埋管式)	1.温度、圧力、給水量、異音、振動、ベルト、燃焼状態の確認	○	○								
	軟水装置		1.水位、温度の確認	○	○							ガスホルダー 一体型消化槽	
	用水ポンプ	渦巻ポンプ	1.異音、温度、圧力、弁開度、水漏れ、振動の確認	○	○	1.Vベルトの摩耗損傷の点検	○	○	1.潤滑油の確認	○	○	ガスホルダー 一体型消化槽	
		タービンポンプ	2.グランドロック・メカニカルシールの確認	○	○	2.振動測定	○	○	2.点検清掃	○	○		
						3.カップリングゴムの摩耗の確認	○	○					
	その他	タンク架設											

e) 工期短縮

施設のコンタクト化・ユニット化に伴う工期短縮効果を試算した結果を表 資 1-36 に示す。概略検討結果には、約 180 日程度の短縮が見込まれた。

表 資 1-36 工期短縮の試算結果

項目	1年目												2年目												3年目												
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
従来技術	土木工事	汚泥消化槽2槽 12.5ヵ月												ガスタンク・脱硫棟基礎2.0ヵ月																							
	建設工事	消化棟6.0ヵ月						弁操作室4.0ヵ月																													
	機械設備工事	設計期間						制作期間						据付・試運転						総合試運転																	
	電気設備工事	設計期間						制作期間						据付・試運転						総合試運転																	
革新技術	土木工事	消化槽5ヵ月			機械・建築基礎板2.0ヵ月																																
	建設工事	消化棟4.0ヵ月																																			
	機械設備	設計・製作4.0ヵ月						据付3.0ヵ月						総合試運転2.0ヵ月																							
	電気設備	設計・製作4.0ヵ月						据付3.0ヵ月						総合試運転2.0ヵ月																							
従来	789	30	31	30	31	31	30	31	30	31	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	31	28	31	28	31										
新技術	609	30	31	30	31	31	30	31	30	31	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	30	31	28	31											
短縮日数	180	日																																			

1.3.5 バイオガス発電技術

a) 最適化条件

各種測定、およびバイオガス発生量に応じた出力制御を自動で行う。測定項目は「1.3.3 高濃度消化技術」で示したとおりである。

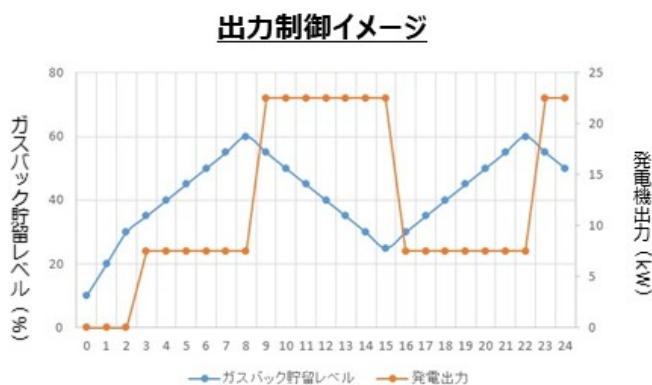


図 資 1-52 出力制御イメージ

発電機の最適運転条件 25 kW に対し、図 資 1-52 に示すように 50 ~ 100 % (12.5 ~ 25 kW) の範囲で出力制御を行い、極力発電機が停止しないような運転方法をとるのが一般的である。ただし実証施設からのガス発生量が少なく、低出力運転としてもガスの消費量が勝るため間欠運転とせざるを得ない。

また定格出力の 25 kW 運転では施設受電電力を超えてしまうタイミングがあるため、逆潮流を避けるため安全を考慮し発電機出力を 20 kW 固定とした。

b) 処理の安定性

バイオガス発電技術における安定性の評価では、最適条件において自動運転制御の安定性を確認した。

1) 立ち上げ計画

発電機の立ち上げは表 資 1-37 の工程で実施した。据え付けから系統連系開始まで時間がかかった理由は、電力会社との協議が長引いたことによる。

表 資 1-37 バイオガス発電技術の工程

	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
据え付け施工	■													
系統連系										■	■	■	■	■
運転状況										調整 ■	調整 ■	調整 ■	自動運転 ■	自動運転 ■
分析										■	■	■	■	■
評価項目の計測										■			■	

発生したバイオガスが発電に適しているかは表 資 1-38 の基準値にて確認した。

なお、発電機は平成 30 年度に製造を行い、工場検査では問題なく運転できることを確認した。

表 資 1-38 バイオガス発電 基準値

項目	基準値
メタン濃度 (%)	55～65
硫化水素 (ppm)	10 以下
シロキサン (ppm)	0.02 以下

※硫化水素、シロキサンは脱硫、シロキサン除去後の値

発電機の立ち上げにおける主な確認項目を表 資 1-39 に示す。

表 資 1-39 バイオガス発電機確認項目

項目	判定
発電電力	10～25kW の範囲で制御可能か
排熱回収	排熱回収により温水取り出しが可能か
系統連系	発電電力が系統へ接続できるか

2) 連続運転時の安定性

本試験は表 資 1-37 のとおりに実施した。結果は完全に連続運転が開始した 2020 年 1 月 24 日以降のデータを報告する。なお、実規模実証施設のある処理場の消費電力量が少ないため、発電機は 1 日約 45 分 / 回 × 5 ～ 7 回の間欠運転にて運用した。

① バイオガス性状

発電機で使用しているバイオガスの性状分析を表 資 1-40 に示す。これは実規模実証施設の消化槽から発生したバイオガスから不純物（硫化水素、シロキサン、水分）を除外したガスを使用した。

表 資中に発電機でのバイオガス使用条件範囲を併記したが、季節ごとの分析においては全ての分析項目において条件を満たしていることを確認した。

表 資 1-40 実証施設のバイオガス性状

採取日	メタン	二酸化炭素	硫化水素	オクタメチルシクロテトラシロキサン (D4)	デカメチルシクロペンタシロキサン (D5)
	% (V/V)	% (V/V)	ppm (V/V)	ppm (V/V)	ppm (V/V)
発電機使用条件範囲	55～65%	-	10 以下	0.02 以下	0.02 以下
2019/9/24	57	36	1.0 未満	0.0009 未満	0.0007 未満
2019/11/25	59	36	1.0 未満	0.0009 未満	0.0007 未満
2020/2/7	60	38	1.0 未満	0.0009 未満	0.0007 未満
2020/5/12	60	38	1.0 未満	0.0009 未満	0.0007 未満

※5 月調査は自主研究期間データ

② 発電電力量および運転時間

図 資 1-53 に週合計の発電電力量および運転時間を示す。2020 年 1 月 13 日～1 月 26 日までは

動作確認等の試運転期間であり、2月3日～2月16日と3月16日～3月22日の期間は、発電機の不具合で運転できない時間があったため、発電電力量および運転時間共に減少した。その期間以外の発電電力量は540～648 kWh / 週（平均582 kWh / 週）、運転時間は32.5～33.2 h / 週（平均32.8 h / 週）と安定した運転であった。

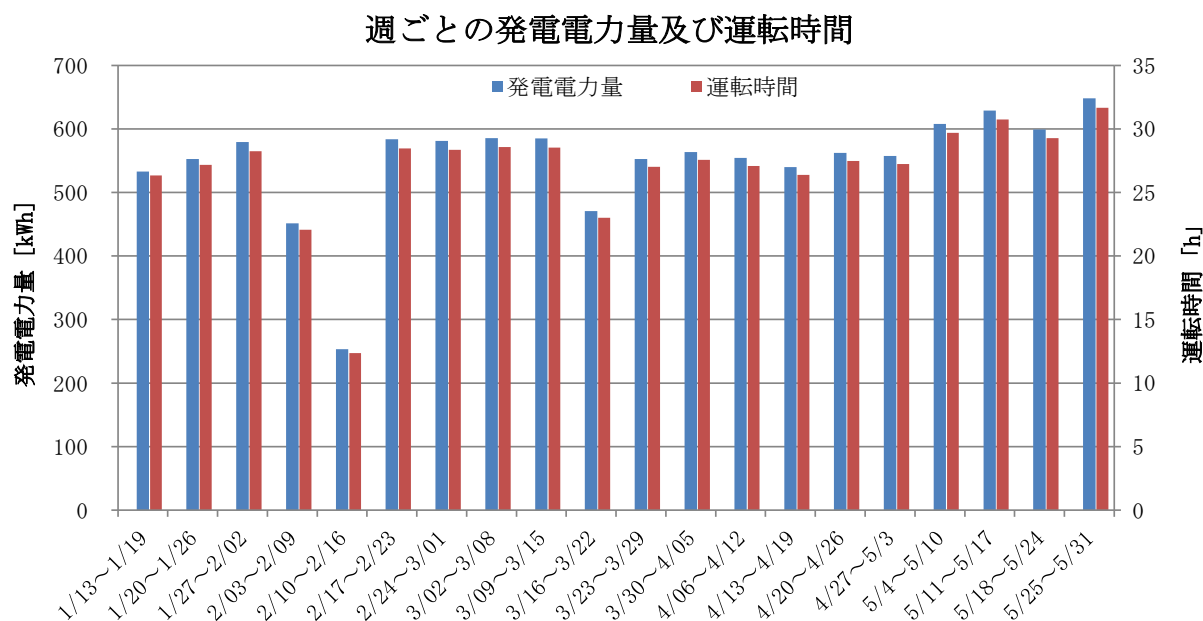


図 資 1-53 週合計の発電電力量および運転時間発電効率

※4月以降は自主研究期間データ

③ 発電効率

発電機の発電効率は下式から算出した。なお、メタンガス低位発熱量は 35.79 MJ/Nm³ とする。

$$\text{発電効率 (\%)} = \frac{\text{発電電力量(kWh)} \times 3.6 \text{ (MJ/kWh)}}{\text{ガス使用量 (Nm}^3\text{/h)} \times \text{メタン濃度 (\%)} \times \text{メタンガス低位発熱量 (MJ/Nm}^3\text{)}} \times 100$$

図 資 1-54 に週平均の発電効率を示す。先述のとおり 2月3日～2月16日の発電電力量および運転時間は少ないが、発電効率に関しては問題ないことを確認した。一方で、1月13日～1月26日と3月16日～3月22日の期間は計算から除外した。その結果、連続運転期間内の発電効率は32.5～33.2%（平均32.8%）であった。

発電電力量および運転時間、発電効率から発電機の運転の安定性を確認した。

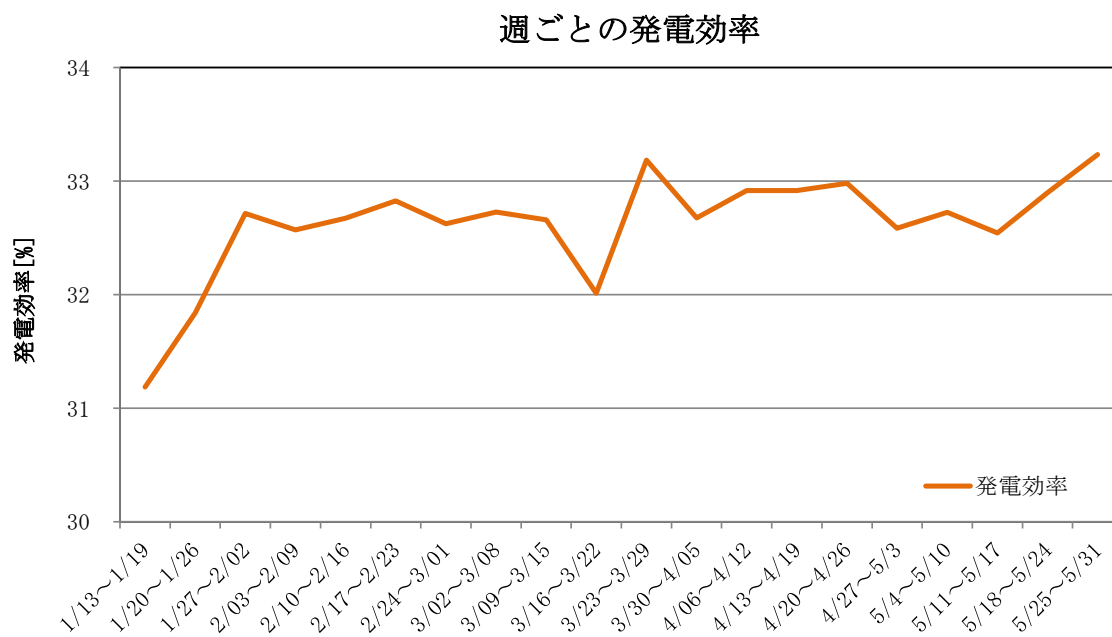


図 資 1-54 週平均の発電効率

※4月以降は自主研究期間データ

④ ガスパックレベルおよび発電電力の経時変化

図 資 1-55 に 2020 年 2 月 26 日のガスパックレベルおよび発電電力の推移を示す。

発電機の運転許可条件は消費電力の関係から処理場内送風機の運転時間内であること、ガスパックレベルが規定値以上であることの 2 つが揃っていないと認められない。グラフ中の送風機の運転時間内でガスパックレベルが低下している時間帯は発電機が貯留しているバイオガスを消費している状態を示す。また、発電機電力のグラフが急激に立ち上がり、急降下するまでの時間が発電機の稼働時間である。このことから、ガスパックレベルに応じて発電機が自動で運転停止ができること、始動性に問題ないことを確認した。

一方、7:30、14:30、18:30 は送風機の運転時間外であるが、ガスパックレベルが低下している理由はバイオガスボイラを使用しているためである。発電機からの排熱およびバイオガスボイラの加熱された温水は消化槽の加温に使用した。発電機およびバイオガスボイラが停止中の消化槽の加温は灯油ボイラを使用した。

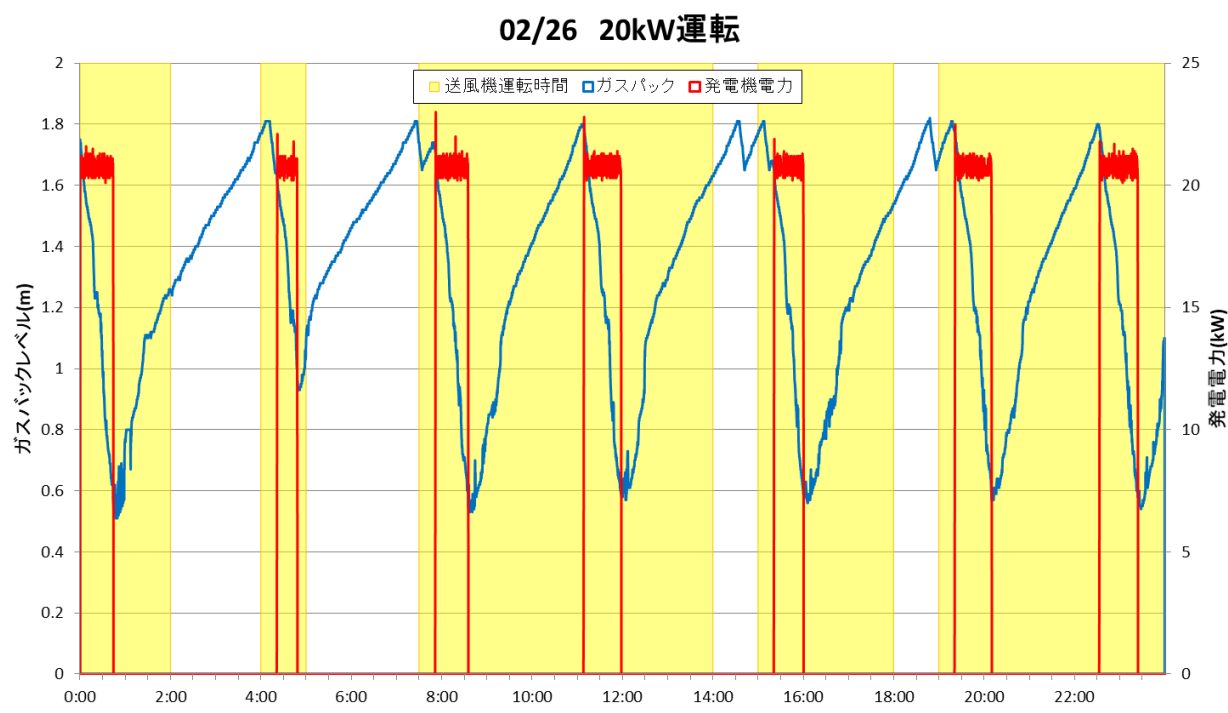


図 資 1-55 ガスパックレベルおよび発電電力の推移 (2020/2/26)