

1. 実証研究結果

1. 1 実証研究概要

(1) 実証研究

1) 研究名称

下水道バイオマスからの電力創造システムに関する技術実証研究

2) 実施者

和歌山市・地方共同法人日本下水道事業団・京都大学・株式会社西原環境・株式会社タクマ
共同研究体

3) 実施期間

平成 25 年 6 月 27 日～平成 26 年 3 月 31 日（平成 25 年度 委託研究期間）

平成 26 年 6 月 19 日～平成 27 年 3 月 31 日（平成 26 年度 委託研究期間）

4) 実施場所

実証施設設置場所：和歌山市中央終末処理場（所在地：和歌山県和歌山市三葛 510）

5) 処理対象

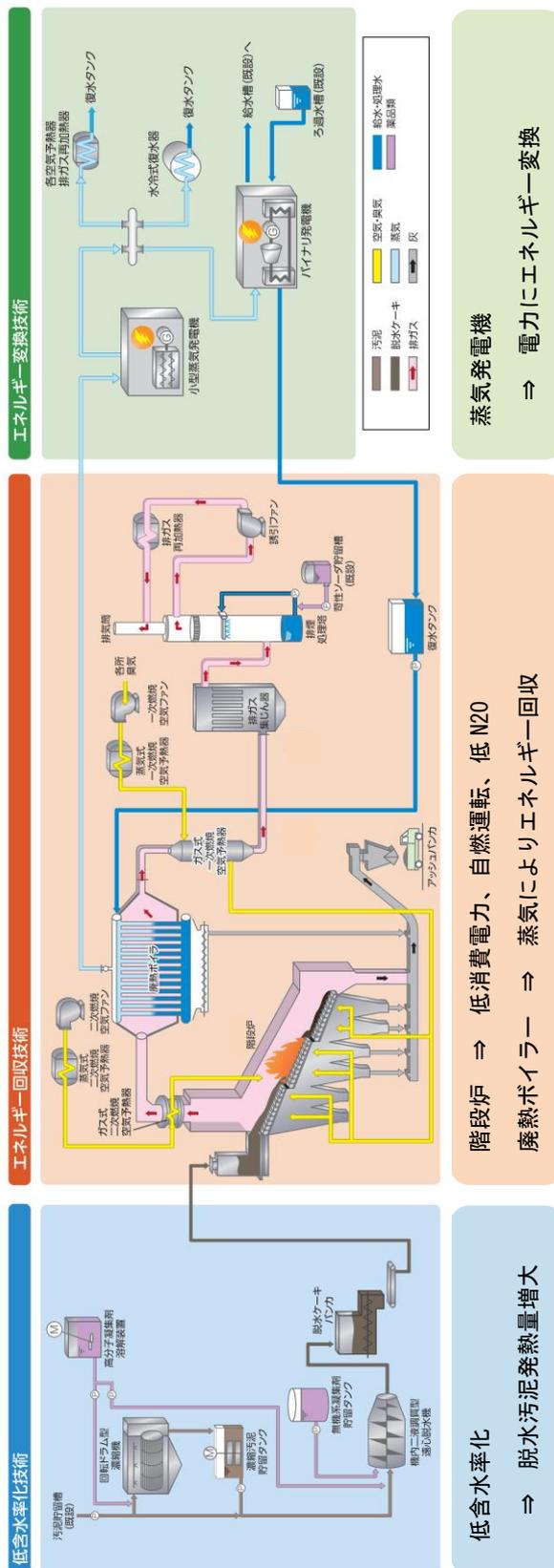
本設備の処理対象は混合生汚泥とした。

6) 焼却量

焼却量は 35t-wet/日とした。

7) 実証施設フロー

図資 1-1 に実証施設の概略フローを示す。



図資 1-1 実証施設概略フロー

8) 実証工程

表資 1-1 に実証工程を示す。

表資 1-1 実証工程

実証項目	平成 25 年度			平成 26 年度				特記事項
	6-9 月	10-12 月	1-3 月	4-6 月	7-9 月	10-12 月	1-3 月	
準備期間	実証施設の設計・製作	●————→						
	各種届出	●——→						
	実証施設設置工事	●————→						
試験期間	機器動作試験			●→				
	各設備の運転最適化			●→	●→	●→●→●→●→●→	●→	
	立上げ時の運転性能把握			●→	●→	●→	●→	
	四季変動データ収集			●→		●→	●→●→	
	負荷変動・停止時の対応検討				●→	●→●→●→	●→	
	その他データ収集					●→●→●→	●→	

(2) 結果まとめ

表資 1-2 に実証研究結果のまとめを示す。

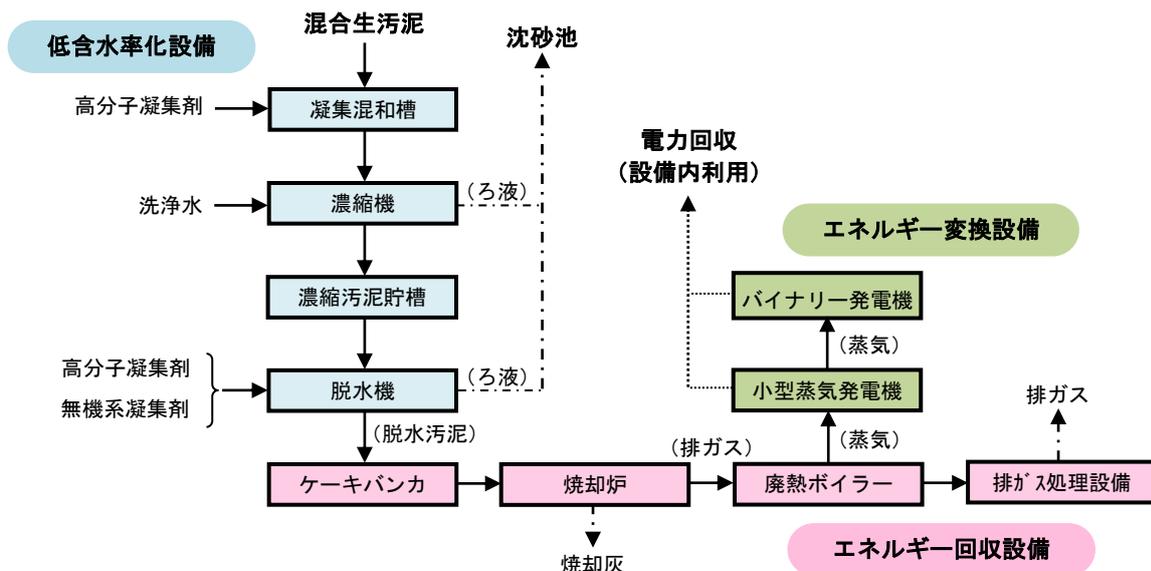
表資 1-2 実証研究結果まとめ

項目	結果
低含水率化技術	四季を通じて脱水污泥含水率 70%以下とすることができた (腐敗影響時を除く)
エネルギー回収技術	四季を通じて自燃できることを確認し、含水率が上昇し助燃が必要な場合においても、脱水污泥を環境性能として問題なく焼却することができた
エネルギー変換技術	計画通りの発電量が得られ、焼却設備消費電力を賄うことができた

1. 2 実証試験概要

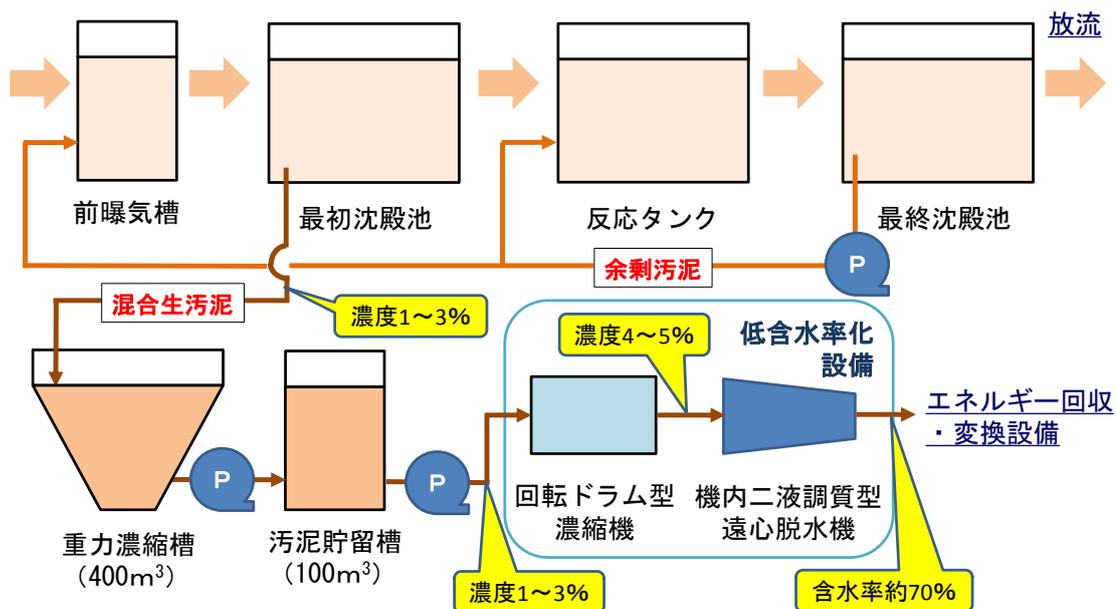
(1) 実証フロー

実証試験は和歌山市中央終末処理場に建設した実証施設にて行った。本実証設備は、低含水率化技術、エネルギー回収技術、エネルギー変換技術を用いた各設備により構成される。全体設備のフローを図資 1-2 に示す。実証試験は水処理工程から引き抜かれる混合生汚泥を対象に実施した。



図資 1-2 全体設備フロー

当該処理場の水処理を含めた汚泥処理のフローを図資 1-3 に示す。



図資 1-3 汚泥処理フロー図

(2) 運転スケジュール

当該処理場は他の処理場（北部終末処理場）からの脱水汚泥を受け入れており、その処理を既存の焼却炉（流動炉）で行っている。そのため、既存焼却炉運転との兼ね合いから、実証運転期間は月 10 日間程度とした。

また、実証運転開始直後は既存の焼却炉停止直後から水処理側含め貯留された汚泥を連続処理するため、24 時間連続運転を数日間実施する。その後、水処理側の管理値まで汚泥量が減った時点で汚泥処理を停止し、翌日からは日中のみの汚泥処理運転（約 10～12 時間）とした。なお、それ以外の時間（夜間）については、低含水率化設備、エネルギー変換設備は停止、エネルギー回収設備は温度保持とした。運転スケジュールの例を表資 1-3 に示す。

表資 1-3 運転スケジュールの例

日数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
準備・炉立上げ	→									
運転（24 時間連続）		→								
運転（日中のみ）				---→	→	→	→	→		
立下げ・片付け									→	

※破線部は低含水率化設備、エネルギー変換設備停止、エネルギー回収設備は温度保持

(3) 汚泥性状

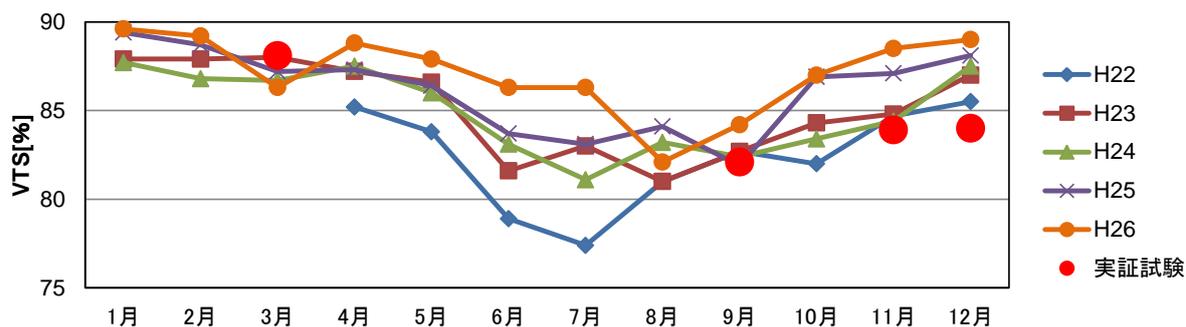
脱水汚泥含水率や性能の安定化にとって影響の大きい、低含水率化設備への投入汚泥（混合生汚泥）の性状について確認を行った。

1) 有機物濃度(VTS[%])

図資 1-4 に維持管理月報（平成 22 年度～平成 26 年度）による有機物濃度（VTS[%]）の年間特性と、実証期間中の有機物濃度（VTS[%]）特性を赤丸プロットで示す。

各年度により若干のバラツキはみられるものの、低水温期（12～4 月）は比較的高い値を示し、高水温期（5～11 月）には低下する傾向を示している。これは水温による汚泥活性度の変化に関連があると考えられ、混合生汚泥の傾向としては一般的なものであった。

実証期間中は過年度の変動特性に概ね一致しており、実証施設における平均的な特性、性状であったと判断できる。



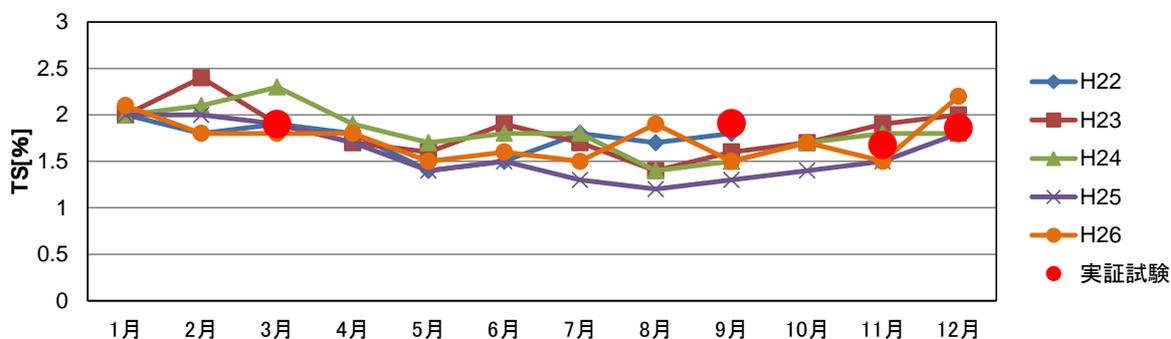
図資 1-4 有機物濃度の年間特性 (実証期間：赤丸)

2) 固形物濃度(TS[%])

図資 1-5 に維持管理月報 (平成 22 年度～平成 26 年度) による固形物濃度 (TS[%]) の年間特性と、実証期間中の固形物濃度 (TS[%]) 特性を赤丸プロットで示す。

低水温期 (12～4 月) は高い値を示し、高水温期 (5～11 月) は低下する傾向が見られるが、その傾向は比較的緩やかであった。

実証期間中は過年度の変動特性に概ね一致しており、実証サイトにおける平均的な特性、性状であったと判断できる。



図資 1-5 固形物濃度の年間特性 (実証期間：赤丸)

1. 3 低含水率化技術実証試験結果

低含水率化設備は、施設から排出される混合生汚泥を脱水処理し、後段のエネルギー回収設備に移送・投入する。低含水率化設備の運転性能はシステム全体の性能に大きな影響を与える因子であり、その特性の把握や安定性を評価することが重要である。そこで低含水率化設備から排出される脱水汚泥含水率や安定性に影響を及ぼす因子、運転の最適化方策等について実証・確認した。

(1) 運転条件

低含水率化設備の運転条件を表資 1-4 に示す。

表資 1-4 低含水率化設備の運転条件

管理項目	運転条件
高分子凝集剤薬注率（濃縮機）	約 0.3%-TS
高分子凝集剤薬注率（脱水機）	約 0.7%-TS
無機凝集剤薬注率（脱水機）	20%-TS 以下
処理汚泥量（濃縮機）	30.0m ³ /h
処理汚泥量（脱水機-濃縮有り）	10.5m ³ /h
処理汚泥量（脱水機-濃縮無し）	15.0m ³ /h
SS 回収率（濃縮機）	97%以上
SS 回収率（脱水機）	97%以上

(2) 運転性能評価

1) 運転性能

気温・水温・天候や処理状況等による汚泥性状変化が性能安定性に与える影響を、四季の試験により確認した。図資 1-6～13 に春季（3月）、夏季（8～9月）、秋季（11月）、冬季（12月）に実施した試験の結果を示す。データ取得期間は下記の通りである。

3月（春季）：平成 26 年 3 月 5～8 日

8～9月（夏季）：平成 26 年 8 月 31 日～9 月 5 日

11月（秋季）：平成 26 年 11 月 5 日～9 日

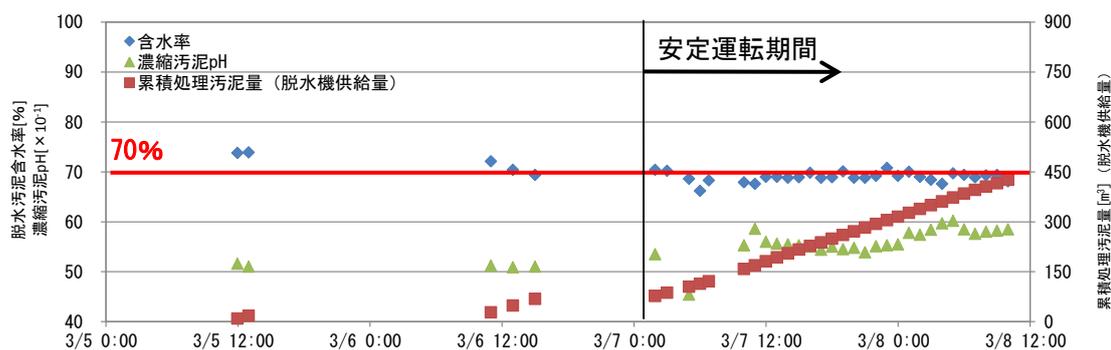
12月（冬季）：平成 26 年 12 月 3 日～ 9 日

低含水率化設備は、四季を通じて目標値である脱水汚泥含水率 70%を維持することが可能であった。しかし、汚泥を施設内に一時貯留したことの影響（腐敗）が原因と考えられる汚泥性状への影響が、安定した低含水率化性能に影響を与えることが確認された。

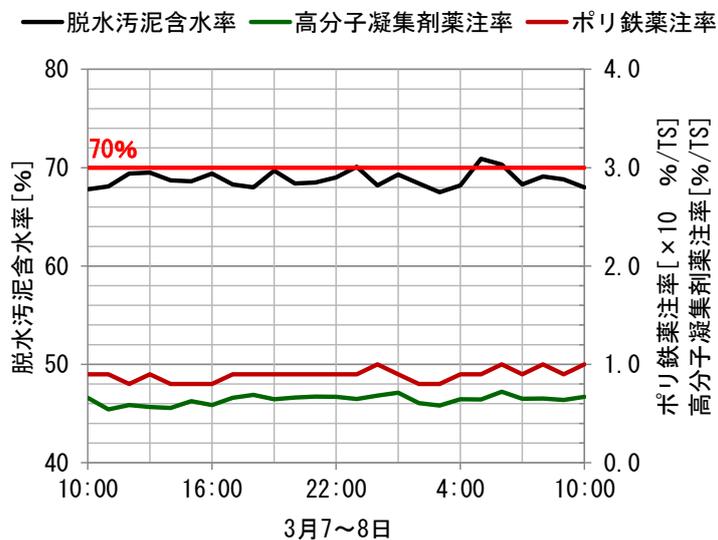
① 春季

図資 1-6 に春季（3 月）運転結果を示す。連続運転開始後約 2 日間は、70%を超える脱水汚泥含水率であったが、継続運転 3 日目以降は 70%程度での安定した運転が可能となった。その時の汚泥 pH 値はおおよそ 5.5 を超えた範囲にあった。なお、運転開始までの汚泥の貯留日数は 3 日であった。

図資 1-7 には安定運転期間中の連続サンプリングの結果（図資 1-6 からの一部抜粋）を示す。



図資 1-6 春季（3 月）運転結果

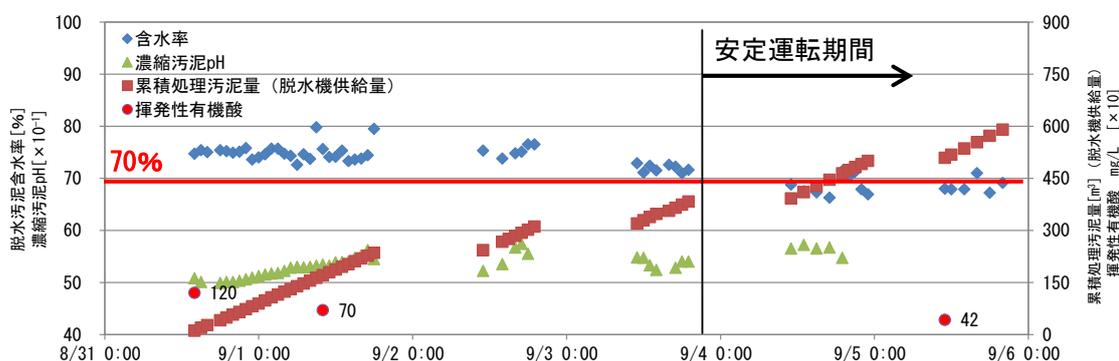


図資 1-7 春季（3 月）運転結果（安定運転期間）

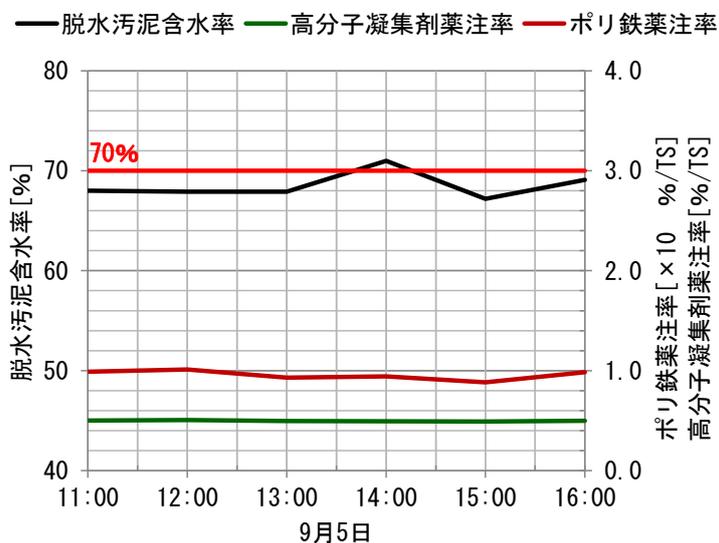
② 夏季

図資 1-8 に夏季（8～9 月）運転結果を示す。連続運転開始後 4 日間程度は、70%を超える脱水污泥含水率であったが、それ以降では 70%程度での安定した運転が可能となった。その時の污泥の pH 値はおおよそ 5.5 を超えており、春季と同等の範囲にあった。なお、運転開始までの污泥の貯留日数は 5 日であった。

図資 1-9 には安定運転期間中の連続サンプリングの結果（図資 1-8 からの一部抜粋）を示す。



図資 1-8 夏季（8～9 月）運転結果

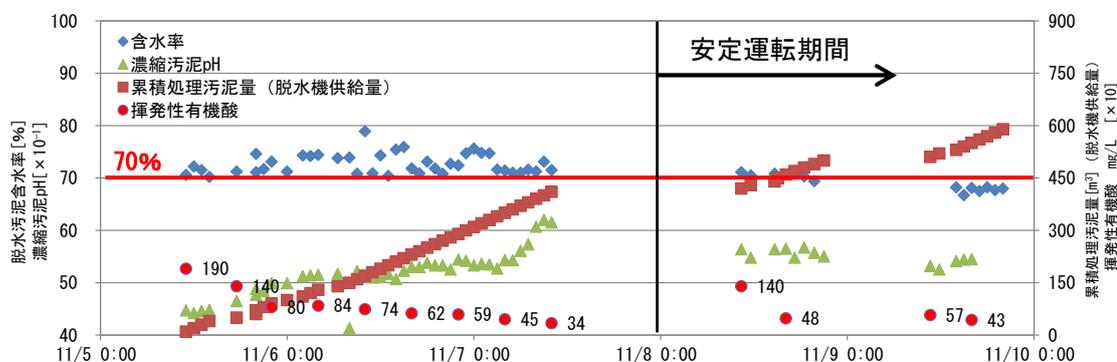


図資 1-9 夏季（8～9 月）運転結果（安定運転期間）

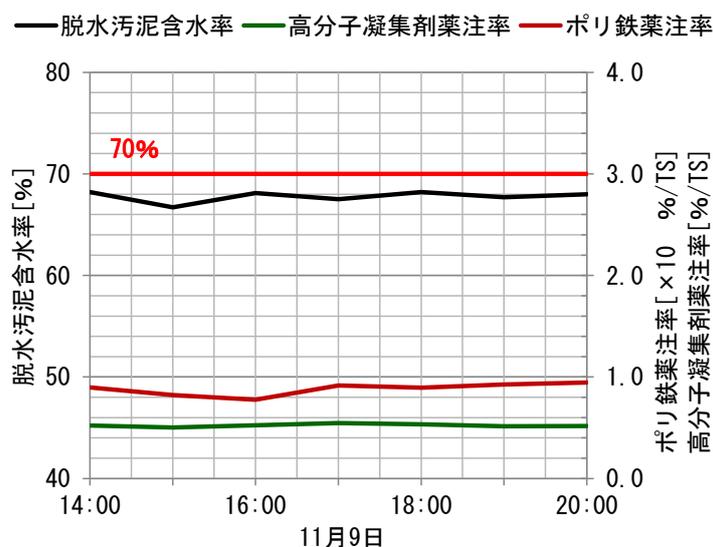
③ 秋季

図資 1-10 に秋季（11 月）運転結果を示す。連続運転開始時の汚泥 pH 値は、4.5 以下、揮発性有機酸は 1,900mg/L であり、夏季と比較して、貯留影響による汚泥の腐敗がより進行していると推察された。連続運転開始後 2 日間程度は、70%を超える脱水汚泥含水率であったが、それ以降では 70%程度での安定した運転が可能となった。その時の汚泥の pH 値はおおよそ 5.5 を超えており、春季、夏季と同等の範囲にあった。なお、運転開始までの汚泥の貯留日数は 3 日であった。

図資 1-11 には安定運転期間中の連続サンプリングの結果（図資 1-10 からの一部抜粋）を示す。



図資 1-10 秋季（11 月）運転結果

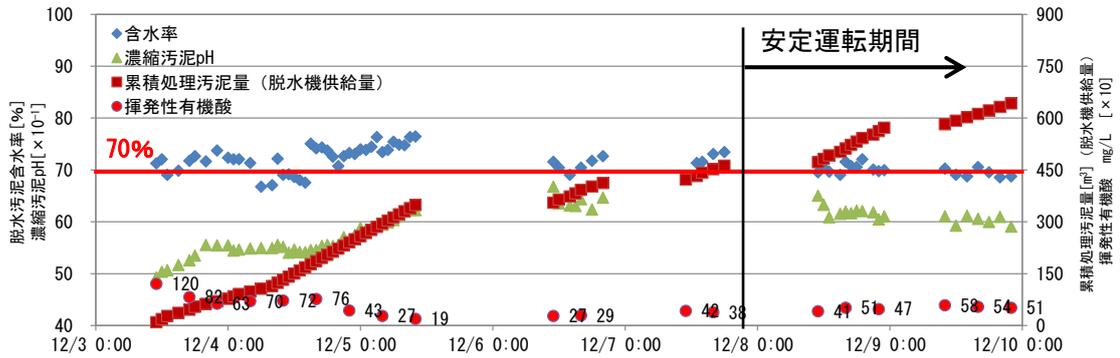


図資 1-11 秋季（11 月）運転結果（安定運転期間）

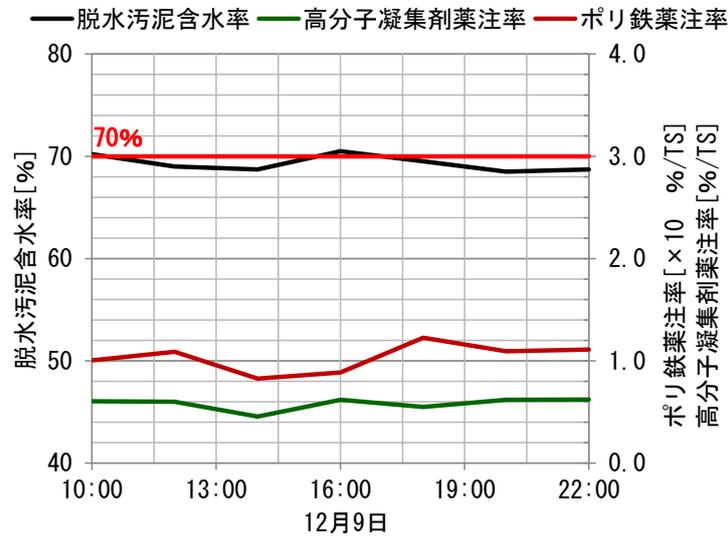
④ 冬季

図資 1-12 に冬季（12 月）運転結果を示す。連続運転開始後 5 日間程度は、70%を超える脱水汚泥含水率であったが、それ以降では 70%程度での安定した運転が可能となった。その時の汚泥の pH 値はおおよそ 5.5 を超えており、春季、夏季、秋季と同等の範囲にあった。なお、運転開始までの汚泥の貯留日数は 3 日であった。

図資 1-13 には安定運転期間中の連続サンプリングの結果（図資 1-12 からの一部抜粋）を示す。



図資 1-12 冬季（12 月）運転結果



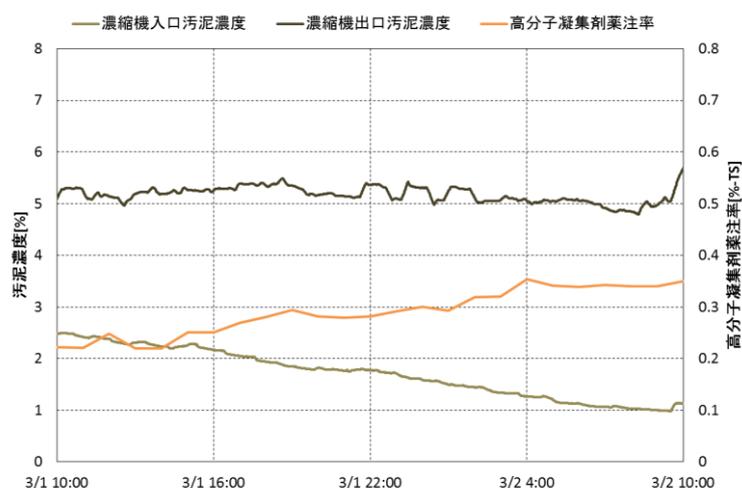
図資 1-13 冬季（12 月）運転結果（安定運転期間）

2) 汚泥濃度の安定化による性能評価

施設から発生する混合生汚泥濃度は、施設の運転状況等により変動する。本実証施設においては、汚泥濃縮機を導入することで脱水機への投入汚泥濃度が安定し、処理固形物の増大や脱水汚泥含水率の安定が可能となった。

① 汚泥濃縮機運転結果

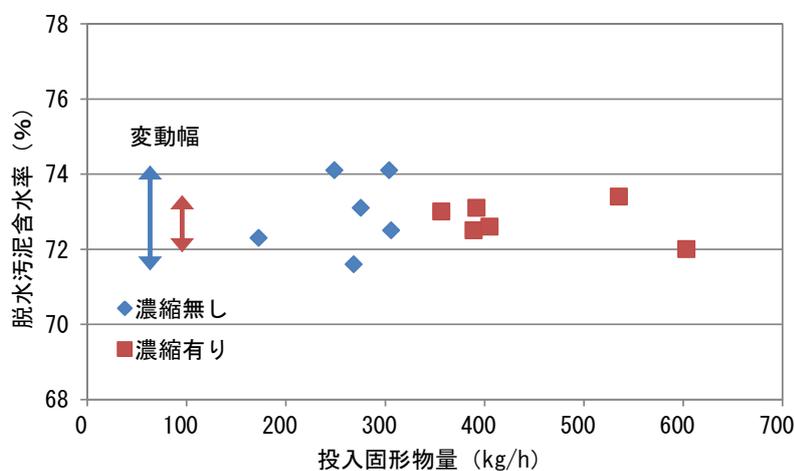
図資 1-14 に汚泥濃縮機の有無のそれぞれの汚泥濃度を示す。汚泥濃縮機を導入することで 1.0～2.5%の濃度変動が 4.8～5.6%に緩和されていることが確認できた。



図資 1-14 汚泥濃縮機の投入濃度と濃縮濃度の経時変化

② 汚泥脱水機運転結果

図資 1-15 に投入固形物量と脱水汚泥含水率との関係を示す。濃縮機有りの場合、脱水機への供給汚泥濃度が高くなり、脱水機で処理する固形物負荷が増大した。また、脱水汚泥含水率の変動幅が緩和され安定した。



図資 1-15 投入固形物量と脱水汚泥含水率

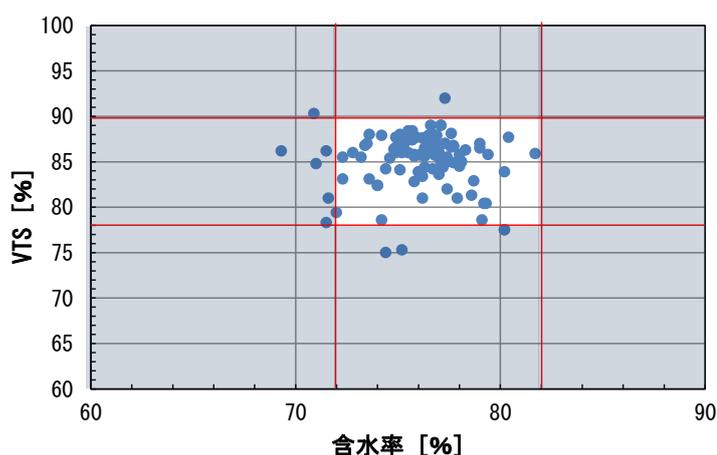
3) 低含水率化技術の一般性能

低含水率化技術の一般性能として、従来技術と比較して7～10ポイント（%）の範囲で含水率の低減が見込めることから、実証データならびに統計データを用いて一般性能の把握を行った。

① 従来技術脱水性能値の一般化

従来技術の脱水性能値の一般化については、平成22年度下水道統計データより下記条件にて抽出した。抽出したデータを図資1-16に示す。

- ・一般値の範囲は、水量30,000m³/日以上、混合生汚泥、高分子凝集剤のみを利用した施設を対象とした
- ・含水率は一般的な範囲として適当と判断できる72～82%の範囲とした
- ・VTSは一般的な範囲として適当と判断できる78～90%の範囲とした



図資1-16 従来技術の脱水性能値（平成22年度下水道統計より抽出）

② 実証施設サイトにおける実証結果

実証サイト（和歌山市中央終末処理場）の既設脱水機（ベルトプレス脱水機）の含水率は、従来技術の一般値範囲内（平均含水率78.6%）に位置しているが、低含水率技術の実証運転結果では、8～10ポイント%（実証施設では平均9ポイント（%））の含水率低減が得られた。

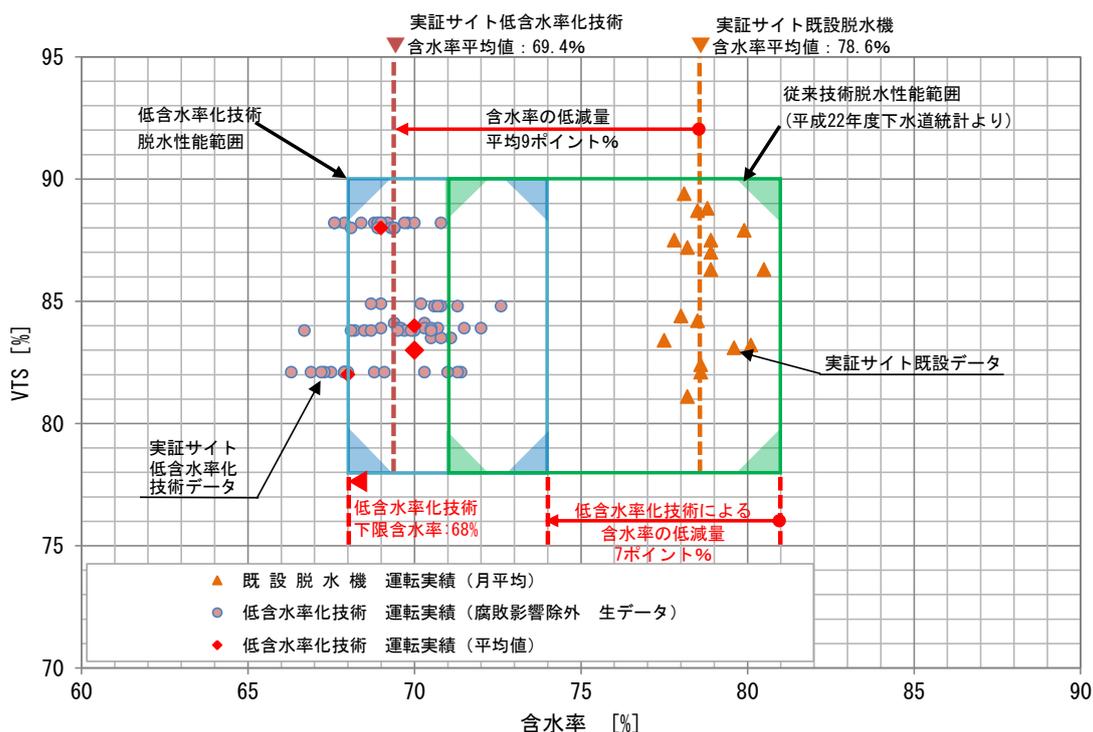
③ 低含水率化技術脱水性能値の一般化

低含水率化技術による脱水汚泥含水率の低減効果は、これまでの知見として7～10ポイント（%）が得られているが、一般化（幅広い汚泥性状に対する）に際して安定して得られる低減効果としては7ポイント（%）が適当と考えられる。この値は日本下水道事業団標準仕様書に示されている、遠心脱水機1液調質（従来技術）と機内2液調質（革新的技

術) の値の差とも同等であり妥当な値と言える。実証結果を踏まえた低含水率化技術の脱水性能範囲を図資 1-17 に示す。

一方、これまでの知見から、従来技術で含水率 75%程度以下に到達しているような比較的低含水率化が容易な汚泥性状においては、低含水率化技術を適用した場合でも、極端な低含水率(概ね 68%以下)を安定して維持できている実証サンプルは少ない。従って、低含水率化技術脱水性能値の一般化に際しての最低到達含水率は 68%に設定する。実証期間中に最も低下した含水率は約 66%(VTS82%)が得られているが、含水率には±2ポイント%程度の変動幅が見られたことから、安定して得られた含水率は 68%と見ることが妥当と考えられる。68%を最低到達含水率と設定した場合でも、従来技術一般値範囲における脱水汚泥含水率 75%までは、7ポイント低減に合致する。

なお実証サイトの実証結果のように、適用サイトによっては低含水率化技術の一般化低減量とした 7ポイント%を超える低減効果を得られることが期待でき、その場合には本システムの導入効果が大きくなることになる。そのため実際の導入検討に際しては、実規模試験や遠沈ろ過試験といったラボテスト等を実施し検討の根拠とすることが望ましい。



図資 1-17 低含水率化技術の脱水性能範囲

1. 4 エネルギー回収・変換技術実証試験結果

1. 4. 1 エネルギー回収技術

エネルギー回収設備は前段の低含水率化設備より供給される低含水率脱水汚泥を、炉内乾燥機能を強化した革新型階段炉にて焼却し、その焼却廃熱を廃熱ボイラーにて蒸気により熱回収をおこない後段のエネルギー変換設備で発電を行う。エネルギー回収設備は目標性能である自燃運転の可否やエネルギー回収量に加え、環境性能についても評価することが重要である。そこでエネルギー回収設備の運転の安定性や最適化、環境性能について実証・確認した。

(1) 運転条件

エネルギー回収設備の運転条件を表資 1-5 に示す。

表資 1-5 エネルギー回収設備の運転条件

管理項目	運転条件
焼却量	35t-wet/日 (1.46t-wet/時)
脱水汚泥含水率	70%以下 (変動範囲として 68~72%)
廃熱ボイラー常用圧力	0.98MPa・G

エネルギー回収設備の環境性能条件を表資 1-6 に示す。なお、排ガス性状については排気筒に設置した排ガス連続分析計にて連続測定を行った。

表資 1-6 エネルギー回収設備の環境性能条件

管理項目		規制値
排ガス (排気筒)	NOx	250ppm 以下 (O ₂ =12%換算)
	SOx	165ppm 以下 (O ₂ =12%換算、K 値=1.75 以下)
	CO	100ppm 以下 (O ₂ =12%換算、1 時間平均)
	HCl	700 mg/m ³ _N 以下 (O ₂ =12%換算)
	ばいじん量	0.15/m ³ _N 以下 (O ₂ =12%換算)
焼却灰	熱灼減量	10%以下 (埋立処分先の受入基準より)

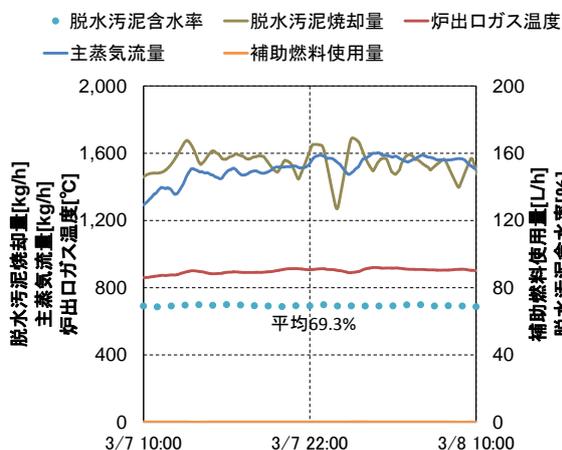
(2) 運転性能評価

1) 定格運転性能

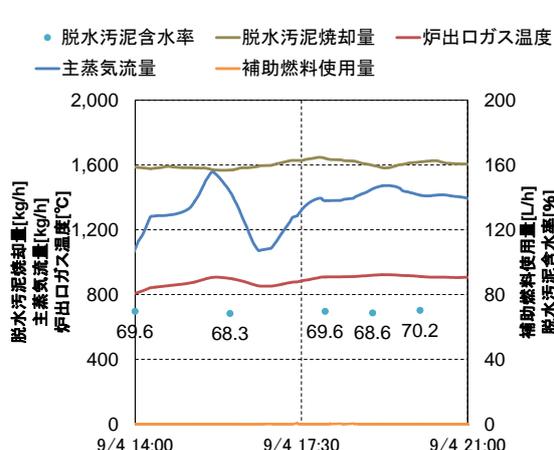
定格運転条件 (汚泥焼却量 1.46t-wet/h) における、各季節における焼却性能のトレンドデータを図資 1-18~21 に示す。トレンドデータの代表ポイントの結果を表資 1-7 に示す。

いずれの条件においても、自燃運転が安定的に継続できることを確認した。発生蒸気量につ

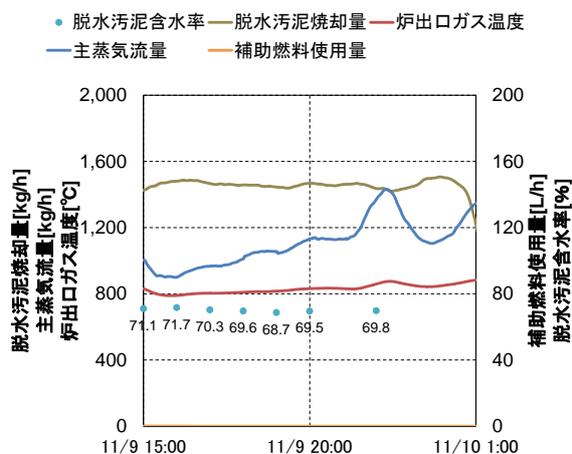
いては春季を除き、1.5t/h 未満であったが、春季以外は日中のみの間欠運転の影響によるものと考えられた。



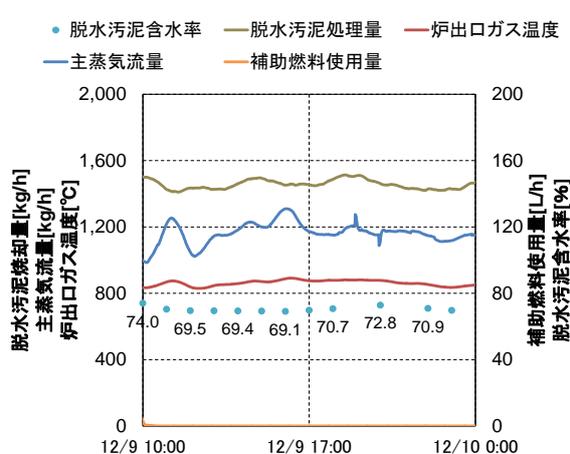
図資 1-18 春季（3月）運転時の性能



図資 1-19 夏季（8～9月）運転時の性能



図資 1-20 秋季（11月）運転時の性能



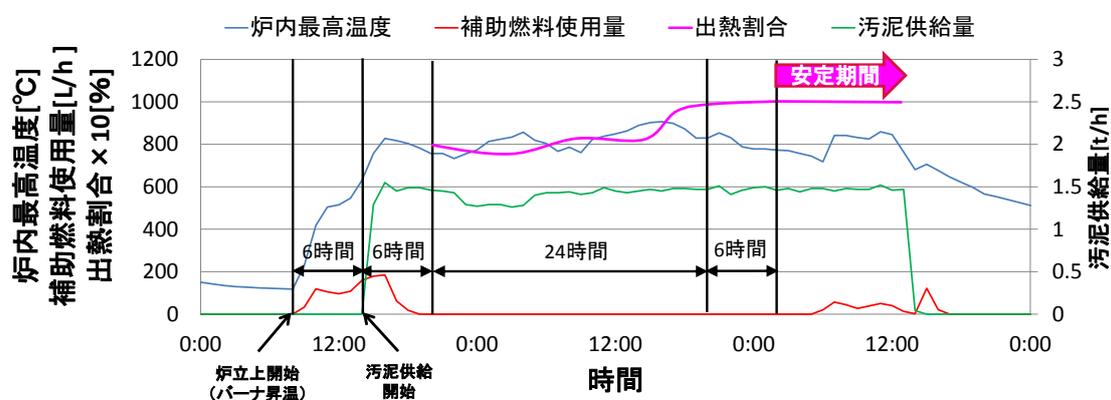
図資 1-21 冬季（12月）運転時の性能

表資 1-7 エネルギー回収設備の運転状況

項目	単位	設定条件	3月 (春季) 3/7-23時	8～9月 (夏季) 9/4-20時	11月 (秋季) 11/9-22時	12月 (冬季) 12/9-16時
含水率	[%]	70	69.9	70.2	69.8	69.1
炉出口温度	[°C]	800以上	903	907	855	876
燃烧空気比 (λ)	[-]	1.4程度	1.30	1.17	1.24	1.20
補助燃料使用量	[L/h]	0	0	0	0	0
発生蒸気量	[t/h]	1.5	1.54	1.39	1.21	1.17

1. 実証研究結果

焼却炉は一般的に入熱と計算上の出熱が一致するまでに一定の時間を要し、その期間は入熱の一部が炉材等の蓄熱に用いられ入熱に対して出熱が少なくなり焼却炉の後段に設置された廃熱ボイラーでの熱回収量すなわち発生蒸気量が少なくなったものと考えられた。そこで、入熱と出熱が一致するまでに必要な時間を各ポイントにおける熱収支計算結果から把握を行った。入熱に対する出熱割合を算出し、プロットした結果を図資 1-22 に示す。本結果から概ね汚泥供給開始後 30 時間程度、炉立上開始からでは 36 時間程度で入熱に対する出熱割合が 100% となり、概ね安定することが確認された。そのため、日中のみの間欠運転時は入熱の一部が蓄熱に使用されたため、発生蒸気量が目標性能を下回った。



図資 1-22 出熱割合安定までの時間（冬季：12月）

2) N₂O

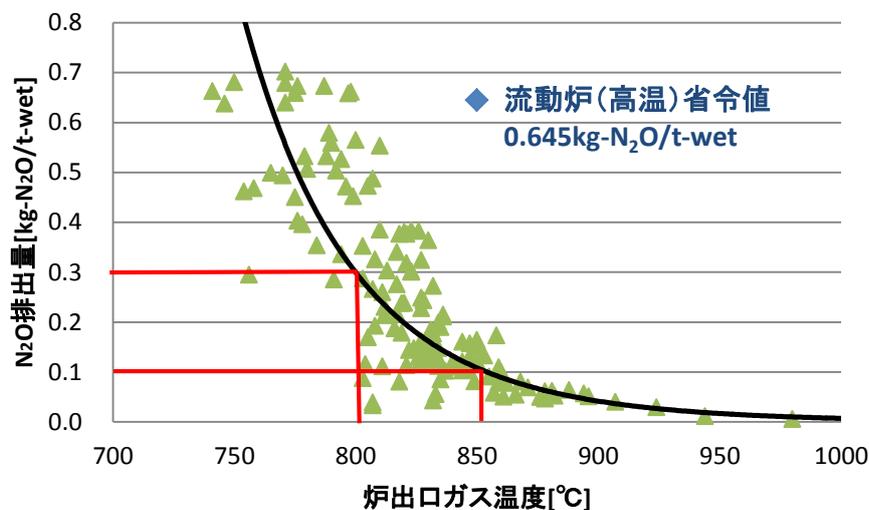
排気筒に設置した排ガス連続測定装置にて測定した N₂O を排出係数に換算したものを表資 1-8 及び図資 1-23 に示す。図資 1-23 の結果から炉出口排ガス温度と N₂O 排出係数について下記関係を導出した。

- ・ 炉出口排ガス温度 800°C ⇒ 0.3kg-N₂O/t-wet
- ・ 炉出口排ガス温度 850°C以上 ⇒ 0.1kg-N₂O/t-wet

よって、炉出口排ガス温度が 850°C 以上であれば、概ね当初目標であった 0.1kg-N₂O/t-wet 以下となり、流動炉（高温）の省令値の 1/6 程度となることを確認した。

表資 1-8 N₂O 排出係数

項目	単位	3月 (春季) 3/7-23時	8~9月 (夏季) 9/4-20時	11月 (秋季) 11/9-22時	12月 (冬季) 12/9-16時
N ₂ O 排出係数	[kg-N ₂ O/t-wet]	0.061	0.047	0.091	0.050

図資 1-23 炉出口ガス温度と N₂O 排出係数の関係

3) 負荷変動に対する性能把握

低負荷運転時性能として、定格負荷（1.46t-wet/h）の約 50%、高負荷運転時性能として定格負荷の約 120%の運転結果を表資 1-9 に示す。いずれの条件においても、排ガス性状は規制値を十分下回っており、環境性能として問題なく焼却処理が可能であることから、これらの負荷変動に対応できることを確認した。

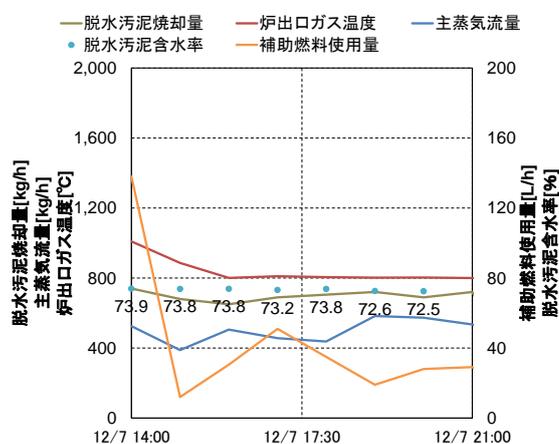
表資 1-9 低負荷・高負荷の運転状況

項目	単位	設計条件 規制値	低負荷 12/7-21 時	高負荷 12/8-22 時
污泥焼却量	[t-wet/h]	1.46	0.72	1.69
含水率	[%]	70	72.8	71.2
固形物当り焼却量	[t-ds/h]	0.45	0.20	0.49
炉出口温度	[°C]	800 以上	800	850
燃烧空気比 (λ)	[-]	1.4 程度	1.5	1.2
補助燃料使用量	[L/h]	0	29.1	0
発生蒸気量	[t/h]	1.5	0.6	1.5
合計発電量	[kW]	100 以上	0	105
NO _x 濃度	[ppm]	250 以下	13.2	23.9
CO 濃度	[ppm]	100 以下	8.4	13.9

低負荷運転時のトレンドデータを図資 1-24 に示す。

1. 実証研究結果

定格運転時に比較して自燃運転ができず、補助燃料使用量が必要となった。なお、発生蒸気量が 1.0t/h 未満と少なかったため、発電機の立ち上げができず、発電はできなかった。ただし上述のように焼却処理自体は問題なく運転できることを確認できた。



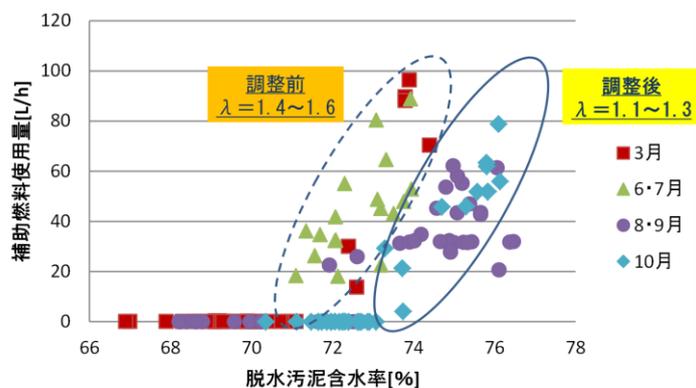
図資 1-24 低負荷運転時の焼却性能

4) 運転最適化

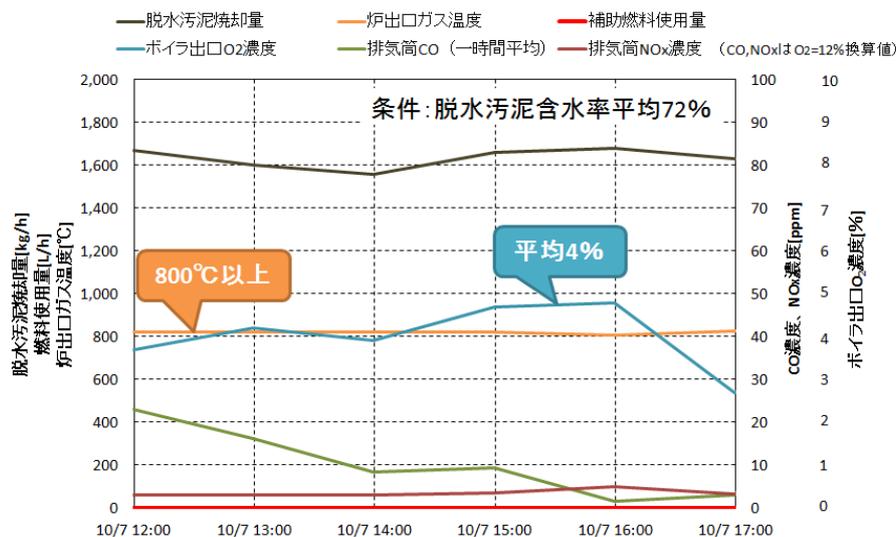
焼却負荷 90%以上 (1.3t-wet/h 以上)、炉出口排ガス温度 800°C以上の条件における脱水土泥含水率と燃料使用量との関係を図資 1-25 に示す。空気比 1.4~1.6 程度では概ね含水率 71%以上で補助燃料が必要であったが、空気比 1.1~1.3 程度では、概ね含水率 73%以下であれば自燃運転が可能となった。低空気比での運転調整を実施したことで、過剰な空気の供給による炉内の冷却が改善されたためである。

図資 1-26 に運転時のトレンドデータを示す。ボイラー出口 O₂ 濃度 4%前後 (空気比 1.2 程度) で、自燃運転を継続でき、安定した排ガス性状が得られていることを確認した。

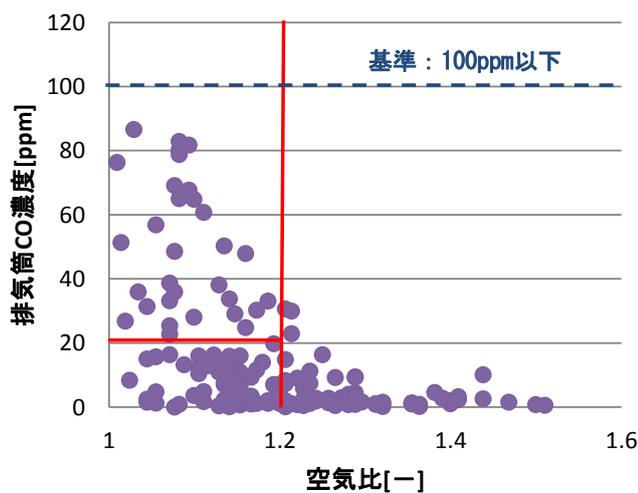
また、空気比と排気筒 CO 濃度との関係を図資 1-27 に示す。空気比 1.2 以上であれば CO 濃度 20ppm 以下を概ね満足できることから、本技術においては空気比 1.2 が下限値であると考えられる。



図資 1-25 脱水土泥含水率と補助燃料使用量



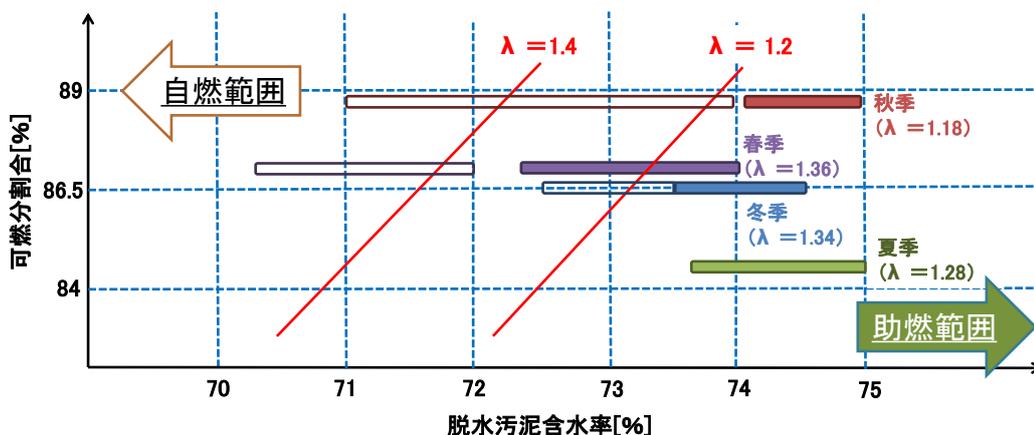
図資 1-26 低空気比運転時トレンドデータ



図資 1-27 空気比と排気筒 CO 濃度の関係

5) 自然範囲の確認

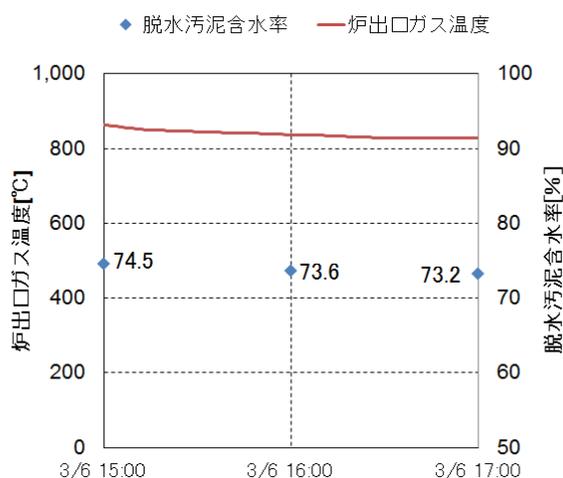
実証結果に基づき、含水率、可燃分変動範囲の各空気比における自然限界を算出したものを図資 1-28 に示す。算出条件として、炉出口排ガス温度は 800°C とした。また、本図に炉立上開始から 36 時間以降の熱的平衡状態のデータをプロット（白抜き：自燃、塗り：助燃）した結果、助燃範囲とも概ね合致することを確認した。



図資 1-28 実証設備における自燃限界

図資 1-29 に示すように、低空気比運転を行うことにより、含水率 72～73%の脱水汚泥を燃焼し、炉出口温度 800℃以上を維持した自燃運転が可能であることが確認できているが、燃焼空気予熱器の伝熱面積を増加させることで燃焼空気温度を増加させれば、熱収支計算上、さらに含水率の高い脱水汚泥でも炉出口温度 800℃以上が確保できる。

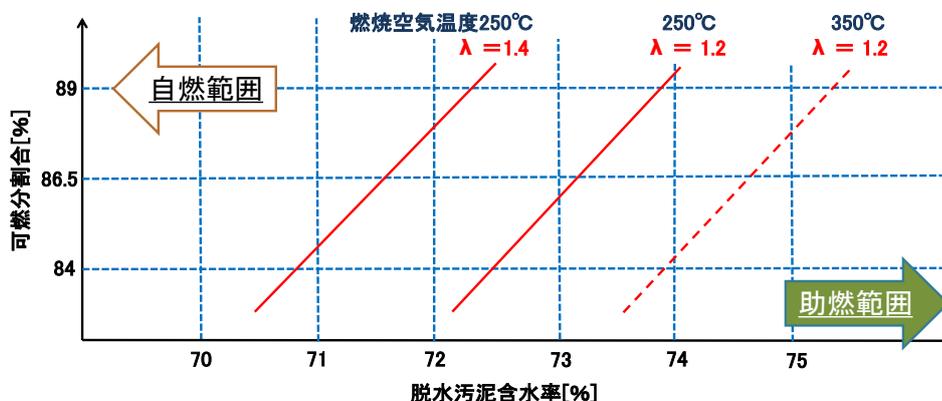
そこで、燃焼空気を電気ヒーターにより加熱し、模擬的に燃焼空気温度を約 270℃から約 360℃まで増加させた結果、自燃運転にて含水率約 73%を超える脱水汚泥を安定的に燃焼させ、かつ炉出口温度 800℃以上を維持することができた (図資 1-29)。また、この結果は熱収支計算の結果ともおおむね一致した。また、排気筒ガス CO 濃度も 10ppm 以下 (O₂=12%換算値) を維持し、環境性能として問題なく、焼却処理が可能であることを確認した。



図資 1-29 電気ヒーターによる燃焼空気温度上昇試験

以上の結果より、含水率が高い条件であれば、燃焼空気予熱器の伝熱面積を増加させ、燃焼空気温度を上昇させることにより、図資 1-30 に示すように自燃範囲の拡大が可能であ

る。

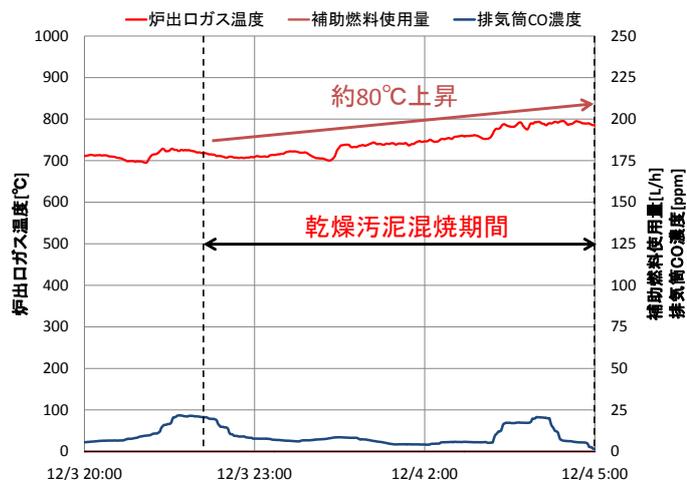


図資 1-30 自燃領域の拡大

6) 乾燥汚泥の混焼

含水率 73%の脱水汚泥と、含水率約 40%の乾燥汚泥との混焼試験を行った。脱水汚泥 1.28t-wet/h に対し、乾燥汚泥を 0.16t-wet/h 投入し、混合後汚泥の含水率は計算上、約 70% となった。

混焼試験時は、炉立上開始後 36 時間未滿で熱的平衡状態に達していない状態で、かつ補助燃料使用による影響を排除するため補助燃料を使用しない運転条件とした。混焼前後を比較すると、混焼によるみかけの含水率低下（約 3%）に相当する、約 80°C の炉出口ガス温度の上昇が確認できた（図資 1-31）。また、排気筒 CO 濃度も 1 時間平均で 10ppm 前後（O₂=12%換算値）を維持し、環境性能として問題なく焼却処理が可能であることを確認した。



図資 1-31 乾燥汚泥混焼時の炉出口排ガス温度確認

1. 4. 2 エネルギー変換技術

エネルギー変換設備は、廃熱ボイラーから発生する蒸気により発電を行うための設備であり、小型蒸気発電機とバイナリー発電機により構成される。個別の発電機の性能と、二つの発電機を組み合わせた場合の合計発電量について実証・確認した。

(1) 運転条件

エネルギー変換設備の運転条件を表資 1-10 に示す。

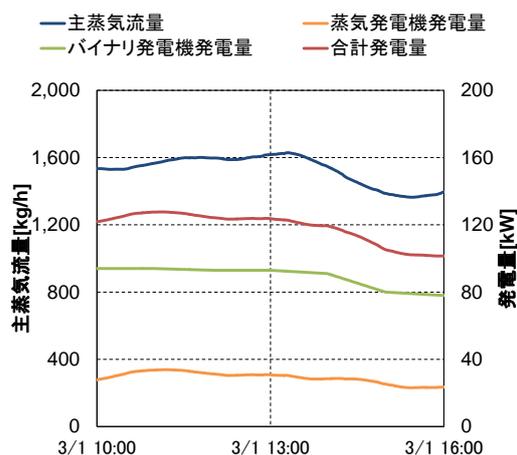
表資 1-10 エネルギー変換設備の運転条件

管理項目	運転条件
小型蒸気発電機入口蒸気圧力	約 0.9MPaG 以下
バイナリー発電機入口蒸気圧力	0.2MPaG 以下
バイナリー発電機冷却水量	約 85m ³ /h
バイナリー発電機冷却水温度	15~30°C

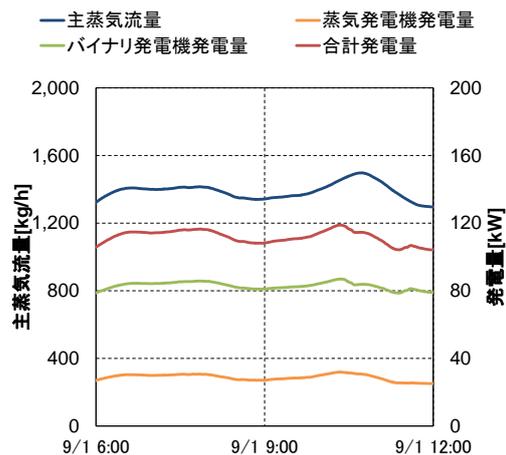
(2) 運転性能評価

1) 運転性能

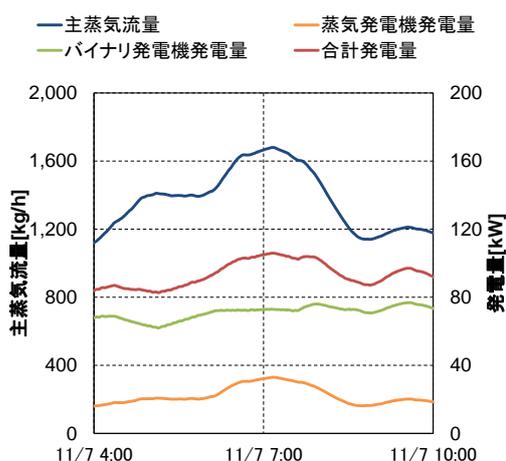
各季節における二つの発電機と合計発電量を示した発電性能のトレンドデータを図資 1-32 ~35 に示す。



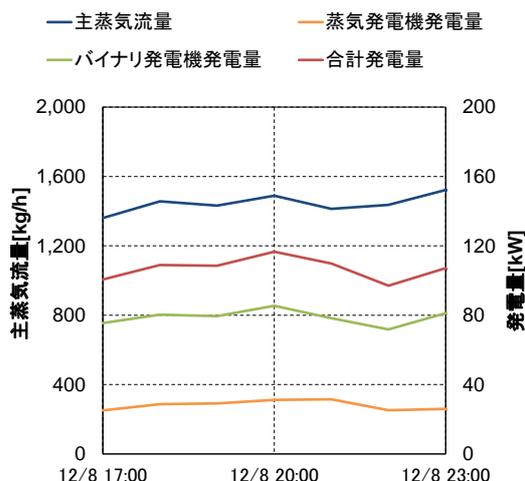
図資 1-32 春季 (3 月) 運転時の発電性能



図資 1-33 夏季 (8~9 月) 運転時の発電性能

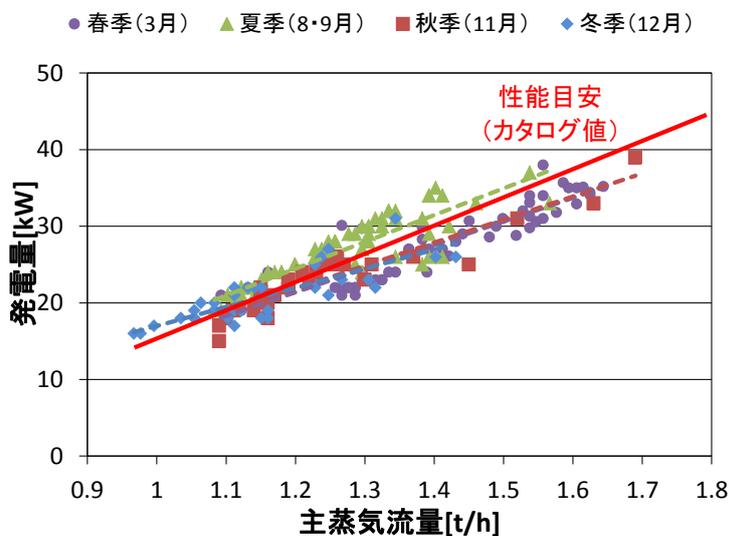


図資 1-34 秋季（11月）運転時の発電性能



図資 1-35 冬季（12月）運転時の発電性能

次に小型蒸気発電機について、3月、8～9月、11月及び12月の運転時の入口蒸気流量と発電量の関係を図資 1-36 に示す。本機の発電性能については四季変動に影響を受けず、概ね性能値通りの結果となった。

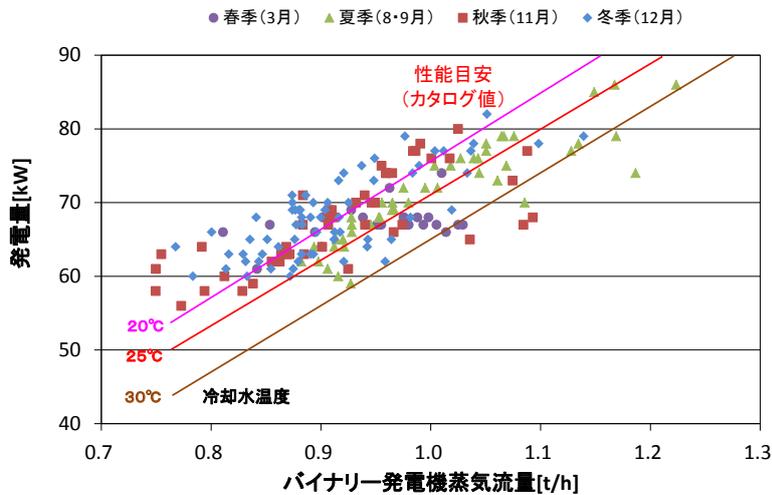


図資 1-36 小型蒸気発電機の発電性能

バイナリー発電機について、3月、8～9月、11月及び12月の運転時の入口蒸気流量と発電量の関係を図資 1-37 に示す。なお、入口蒸気流量は主蒸気流量から蒸気式空気予熱器及び排ガス再加熱器に使用する蒸気量を引いて算出した。また、表資 1-11 に各月の冷却水の測定結果の平均値を示す。なお冷却水量は年間を通じて概ね一定であった。

バイナリー発電機は冷媒の冷却性能により発電性能が変動するため、夏季は秋季及び冬季と比較すると、性能目安と同様に若干発電量が低い結果となった。

1. 実証研究結果



図資 1-37 バイナリー発電機の発電性能

表資 1-11 バイナリー発電機冷却水条件（平均）

項目	3月	7月	8~9月	10月	11月	12月
入口温度	18℃	28℃	28℃	27℃	24℃	20℃
出口温度	24℃	33℃	33℃	31℃	29℃	24℃
温度差	6℃	5℃	5℃	4℃	5℃	4℃

3月、8~9月、11月及び12月の合計発電量の結果例を表資 1-12 に示す。主蒸気流量 1.5t/h における合計発電量はいずれも 100kW 以上であり、目標性能を満足することを確認した。

表資 1-12 蒸気量約 1.5t/h における合計発電量

項目	3月 (春季)	8~9月 (夏季)	11月 (秋季)	12月 (冬季)
合計発電量	123kW	114kW	112 kW	110 kW

また、主蒸気流量 1.5t/h におけるバイナリー発電機の蒸気量算出に用いた各空気予熱器及び排ガス再加熱器の各季節における使用蒸気量を表資 1-13 に示す。本結果から、空気予熱器及び排ガス再加熱器に使用されている蒸気量は、季節により大きな差はなく、バイナリー発電機の供給蒸気量も概ね一定であると考えられる。

表資 1-13 空気予熱器及び排ガス再加熱器の使用蒸気量

項目	単位	3月 (春季)	8~9月 (夏季)	11月 (秋季)	12月 (冬季)
一次燃焼空気予熱器	[t/h]	0.08	0.07	0.05	0.07
二次燃焼空気予熱器	[t/h]	0.03	0.02	0.03	0.04
排ガス再加熱器	[t/h]	0.16	0.18	0.19	0.18
合計	[t/h]	0.27	0.27	0.27	0.29

2) 冷却水のスケール性評価

バイナリー発電機の冷却水であるろ過水の四季を通じた水質分析結果を表資 1-14 に示す。本結果のうち安定度指数の結果から、スケール性の低い水質条件が得られていたものと判断できる。なお年間を通じた冷却水量の低下は無かったことから、凝縮器において詰まりなどが発生しないことが確認できる。

表資 1-14 バイナリー発電機冷却水分析結果

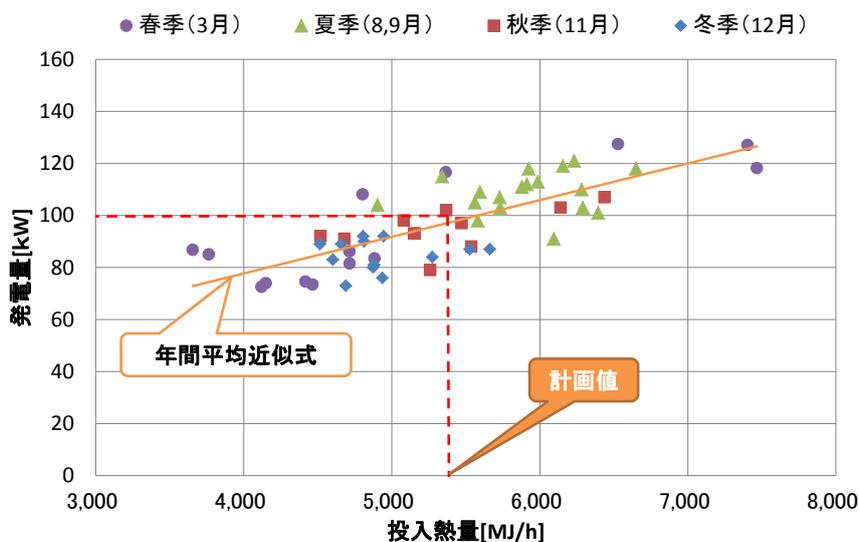
項目	単位	3/7 (春季)	9/8 (夏季)	11/6 (秋季)	12/4 (冬季)
pH (25°C)	-	6.9	7.4	7.7	7.4
電気伝導度	mS/m	66	150	220	86
酸消費量 (pH8.3)	mgCaCO ₃ /L	0	0	0	0
酸消費量 (pH4.8)	mgCaCO ₃ /L	71	78	99	74
全硬度	mgCaCO ₃ /L	140	140	160	100
カルシウム硬度	mgCaCO ₃ /L	100	82	85	59
SS	mg/L	6	<2	5	<2
BOD	mg/L	4	<1	<1	3
COD	mg/L	9.6	5.9	7.1	7.3
アンモニウムイオン	mg/L	<1	<1	4	<1
安定度指数*	-	9.6	8.6	8.4	9.1

※安定度指数 8 以上は腐食性、6 以下はスケール性を示す。

1. 4. 3 投入熱量と発電量の関係

図資 1-38 に脱水汚泥と補助燃料のエネルギー回収設備への投入熱量と、二つの発電機による合計発電量の関係を示す。投入熱量は、脱水汚泥の低位発熱量と汚泥供給量の積、ならびに補助燃料の低位発熱量と使用量の積を足し合わせて算出した。また、本結果は蓄熱による影響が低い範囲（立上げ開始後 36 時間以降）のデータにて整理を行った。

本結果から、この関係はほぼ比例関係になり、年間平均では計画時の投入熱量に対し、概ね目標発電量である 100kW が得られていることを確認した。



図資 1-38 エネルギー回収設備投入熱量と発電量の関係

1. 5 その他の実証研究結果

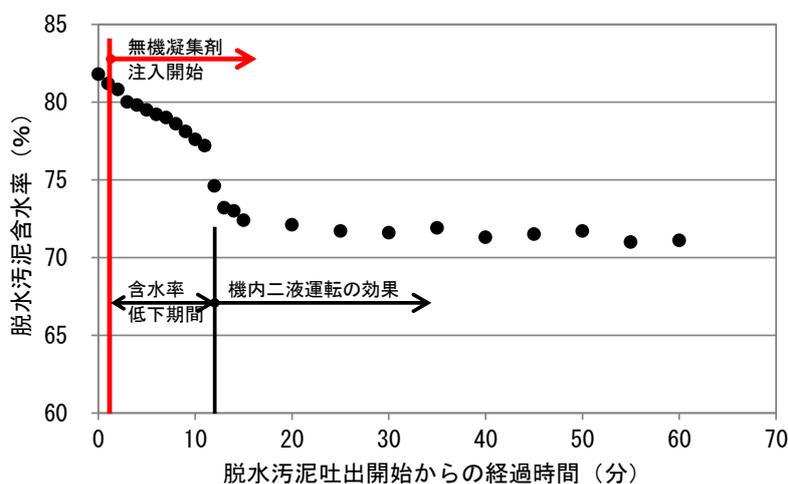
(1) 立上げ時の性能把握

1) 低含水率化設備

低含水率化設備の立ち上げは、汚泥供給ポンプ起動後、数分が経過した段階で無機凝集剤の供給を開始し、その後脱水汚泥が排出し始め、定常運転に進んでいく。

脱水汚泥が排出されてから15分間の脱水汚泥含水率の測定結果を図資1-39に示す。脱水汚泥が排出され始めて11分までは一定の傾きで含水率が低下していたが、12分目以降、含水率が急激に低下した。これは、無機凝集剤の効果により脱水が促進され、低含水率化した脱水汚泥が排出されはじめたことを示している。

以上の結果から、脱水汚泥が排出されてから概ね15分程で定常運転となったと判断した。



図資 1-39 脱水機立ち上げ時の脱水汚泥含水率

2) エネルギー回収設備

エネルギー回収設備の立ち上げ時の性能については、冷間時からの立上と再立上げ時について確認を行った。

① 冷間時からの立上時間と補助燃料使用量

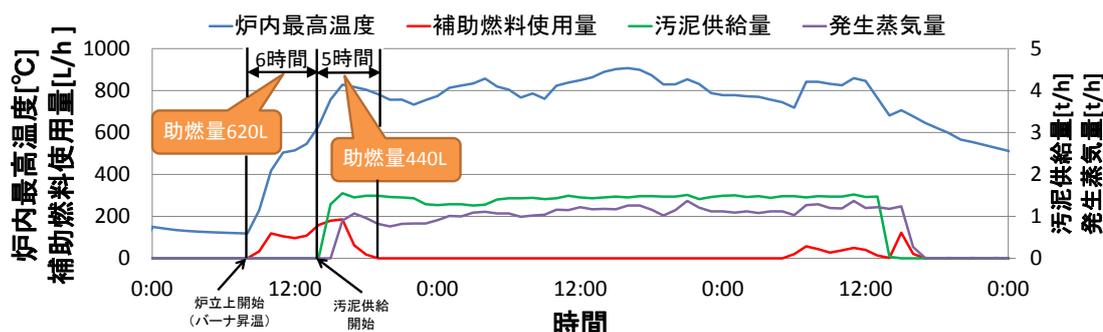
エネルギー回収設備の冷間時からの立上時間と補助燃料使用量の結果を図資1-40に示す。階段炉は炉内が煉瓦構造であるため炉内温度を急速に上げて炉材への支障がなく、速やかな昇温が可能であるため、ボイラー蒸気圧力の急激な上昇が無いことを確認した結果、立上げ時間は6時間、補助燃料使用量は700L程度となった。

また汚泥供給開始から自然運転までの所要時間は5時間で、補助燃料使用量は400L程度であり、冷間時から立上げを行い自然運転に至るまでの時間は概ね11時間程度で、補助燃料使用量は約1,100Lであった。

なお、上記条件は外気温が約15°Cと年間を通し比較的低い時期であるため、放熱を考慮

すると、本条件が最も補助燃料使用量が多い条件と考えられることから、ケーススタディを行うにあたっての一般化においては、今回の結果を基準とした。

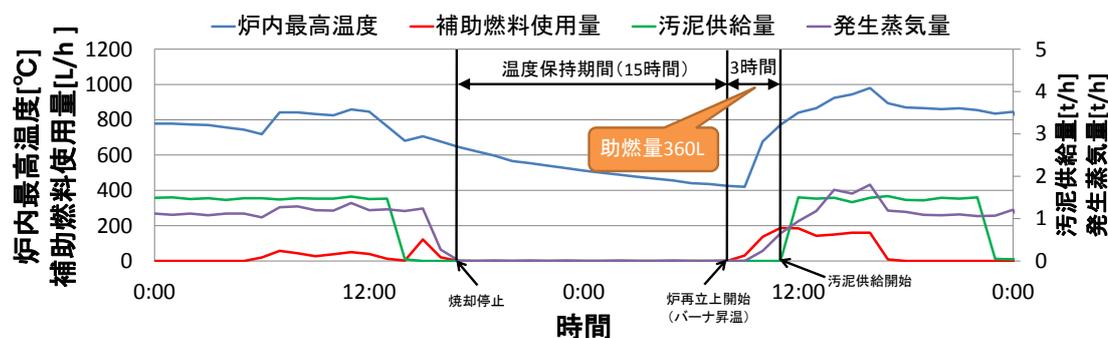
また、低含水率化設備の立上げ時には高含水率の脱水汚泥が排出されるが、上記データはその影響も含めて評価を行ったものであり、運転初期の助燃運転により問題なく処理できることも確認した。



図資 1-40 エネルギー回収設備の立上時間と補助燃料使用量（冬季：12月）

② 温度保持時及び再立上時の補助燃料使用量

温度保持時及び汚泥供給開始までの再立上時の補助燃料使用量について、12月運転時の結果を図資 1-41 に示す。温度保持期間は補助燃料を使用しない条件とした。15 時間の温度保持期間に対し、再立上げ時間は約 3 時間で、補助燃料使用量は約 400L であった。

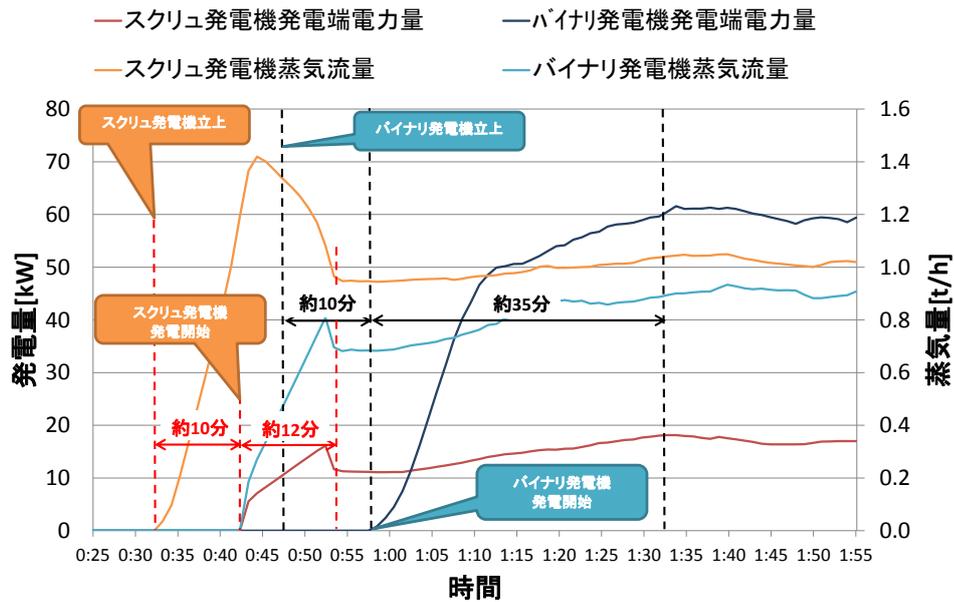


図資 1-41 エネルギー回収設備の再立上時間と補助燃料使用量（冬季：12月）

3) エネルギー変換設備

エネルギー変換設備の立ち上げ時の性能について確認を行った。

小型蒸気発電機及びバイナリー発電機の立ち上げ時の蒸気量と発電量の運転例を図資 1-42 に示す。いずれの発電機も立上条件の蒸気量は約 1.0t/h で、供給開始後約 10 分で発電を開始した。また発電量の安定までには小型蒸気発電機は約 12 分、バイナリー発電機は約 35 分であった。

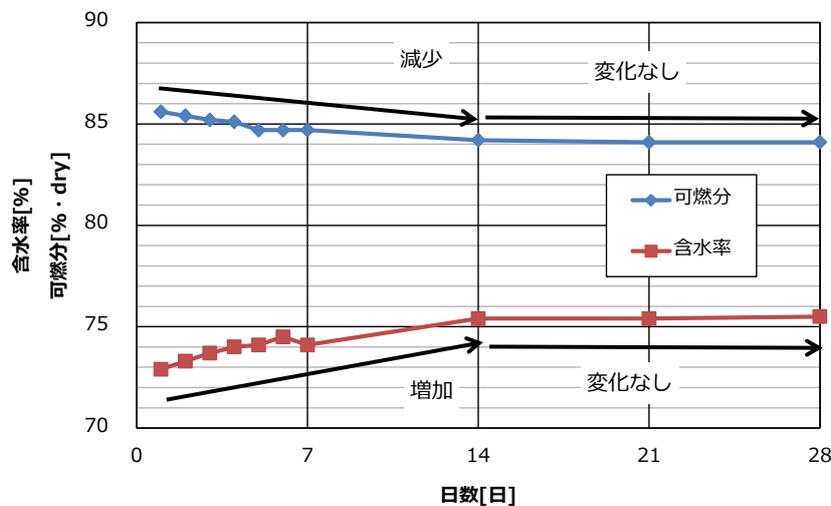


図資 1-42 発電機立ち上げ時の運転例

(2) 二液調質汚泥の貯留による脱水汚泥性状の変化

革新的技術より発生する脱水汚泥の日数経過による性状の変化を把握するため、脱水機出口より採取した脱水汚泥を密閉可能な袋内に入れ、25℃の条件にて保管し、開始から1、2、3、4、5、6、7、14、28日目の汚泥について、含水率及び可燃分を測定した。

図資 1-43 に含水率及び可燃分の経時変化を示す。開始から7日目まで一日ごとに、含水率は増加し、可燃分は減少した。また、14日目で含水率は最大、可燃分は最低の値となり、その後28日目まではほぼ一定の値となった。この間、含水率は約2.5%増加し、可燃分は1.5%減少した。その結果、低位発熱量としては約20%低下した。



図資 1-43 可燃分と含水率の経時変化

(3) 二液調質汚泥の臭気について

二液調質脱水汚泥は無機凝集剤であるポリ硫酸第二鉄を使用している。本凝集剤は脱水汚泥中のS分を固定するため、S分を含む臭気物質を抑制する効果がある。そのため、従来の一液調質脱水汚泥と比較した場合の臭気濃度（または指数）の確認を行うとともに、主たる臭気物質の濃度測定を実施し、一液調質脱水汚泥との比較を行った。

試験方法は既存及び実証設備脱水ケーキバンカ内臭気をサンプリングし、臭気濃度（指数）と各成分の分析を実施した。

既存及び実証設備脱水ケーキバンカ内臭気濃度（指数）の結果を表資 1-15 に示す。また各成分の分析結果を表資 1-16 に示す。いずれの結果からも実証施設バンカ内の濃度が低いことが確認でき、表資 1-16 の結果から、特に硫黄を含む臭気成分（硫化水素）が低いことが確認できる。

表資 1-15 臭気濃度及び臭気指数

項目	既存設備バンカ	実証設備バンカ
臭気濃度	100,000	32,000
臭気指数	50	45

表資 1-16 臭気測定結果

項目	単位	既存設備バンカ	実証設備バンカ
アンモニア	[ppm]	0.6	0.2
メチルメルカプタン	[ppm]	5.7	0.46
硫化水素	[ppm]	28	14
硫化メチル	[ppm]	1.1	0.82
二硫化メチル	[ppm]	0.39	0.17
トリメチルアミン	[ppm]	0.0022	0.019
アセトアルデヒド	[ppm]	0.1	0.15
プロピオンアルデヒド	[ppm]	0.017	<0.005
ノルマルブチルアルデヒド	[ppm]	<0.001	<0.001
イソブチルアルデヒド	[ppm]	<0.001	0.002
ノルマルパレルアルデヒド	[ppm]	0.01	<0.001
イソパレルアルデヒド	[ppm]	0.051	0.030
イソブタノール	[ppm]	<0.05	<0.05
酢酸エチル	[ppm]	<0.1	<0.1
メチルイソブチルケトン	[ppm]	<0.1	<0.1
トルエン	[ppm]	<1	<1
スチレン	[ppm]	<0.04	<0.04
キシレン	[ppm]	<0.1	<0.1
プロピオン酸	[ppm]	0.18	0.037
ノルマル酪酸	[ppm]	0.11	0.022
ノルマル吉草酸	[ppm]	0.025	0.0052
イソ吉草酸	[ppm]	0.028	0.022

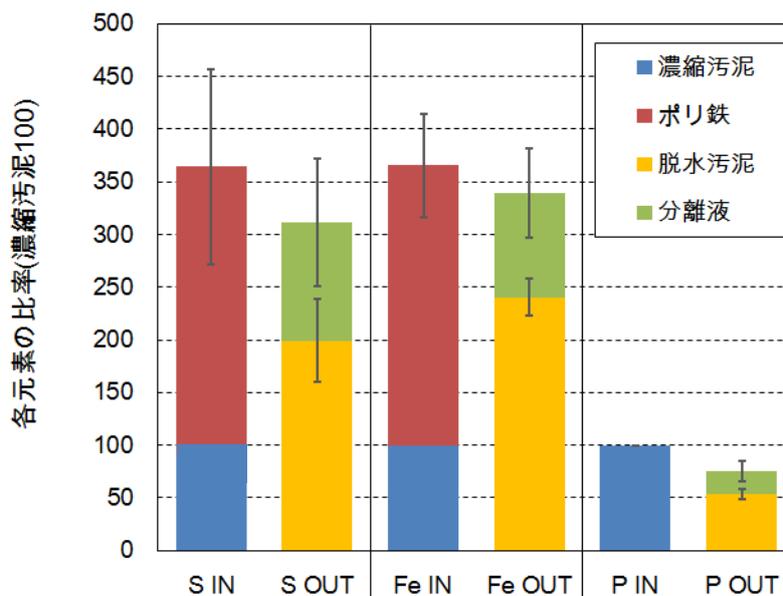
(4) 無機凝集剤添加による物質収支について

革新的技術に用いる汚泥脱水機は、従来の高分子凝集剤に加え、無機凝集剤であるポリ硫酸第二鉄（以下ポリ鉄）を機内添加する。ポリ鉄中にはFeとSが含まれるため、添加を行うことで汚泥中のこれらの成分が増加する。Feは焼却灰となるため、焼却灰の発生量に影響し、Sは燃焼によりSO_xとなるため、排煙処理塔での苛性ソーダ使用量に影響する。またポリ鉄は汚泥中のリンを固定化する効果もあることから、焼却灰中のリン濃度にも影響する。そのため、ポリ鉄添加によるFe、S、Pの収支について確認を行った。

濃縮汚泥に対し、二液薬注遠心脱水を想定した遠沈試験を行い、Fe、S、Pの元素収支の確認を行った。混合濃縮汚泥中の各元素を100とした場合の元素収支計算結果をまとめたものを図資 1-44 に示す。なお本試験においてポリ鉄の添加率は20%-TSとし、高分子凝集剤については、これらの元素を含まないことが明らかであることから、高分子凝集剤による投入分は考慮しな

かった。

本試験結果から、投入汚泥中の成分に対しては、Fe は 2.5 倍、S は 2.0 倍程度であった。また実機の機内二液調質型遠心脱水機周りの元素収支の調査の結果、ポリ鉄の添加率が概ね 10～20%-TS の範囲において、Fe は 1.6～2.5 倍、S は 1.5～2.0 倍程度であり、無機凝集剤薬注率に概ね比例することを確認した。



図資 1-44 二液薬注遠心脱水試験における元素収支まとめ