

資料編

1. 実証研究結果	132
1. 1 実証研究概要	132
1. 2 実証目標と成果	136
1. 3 実証結果	140
1. 4 システム制御に関する調査	151
1. 5 汚泥有効利用に関する調査	156
1. 6 環境への影響	170
2. ケーススタディ	178
2. 1 費用関数設定条件	178
2. 2 費用関数について	179
2. 3 ケーススタディ例	181
3. 参考文献	189
4. 問い合わせ先	190

1. 実証研究結果

1. 1. 実証研究概要

(1) 研究名称

脱水乾燥システムによる下水汚泥の肥料化、燃料化技術実証研究

(2) 実施者

月島機械（株）・サンエコサーマル（株）・日本下水道事業団・鹿沼市・（公財）鹿沼市農業公社
共同研究体

(3) 実証期間

平成 28 年度委託研究：平成 28 年 7 月 12 日～平成 29 年 3 月 27 日

平成 29 年度委託研究：平成 29 年 8 月 22 日～平成 30 年 3 月 30 日

(4) 実証場所

表資 1-1 に実証場所である鹿沼市黒川終末処理場の施設概要を示す。

黒川終末処理場は鹿沼市が管理する公共下水道施設の中では最も大きく、水処理方式としては標準活性汚泥法を採用し、現有の水処理能力は 34,000 m³/日であり、一般的な中規模下水処理場といえる。

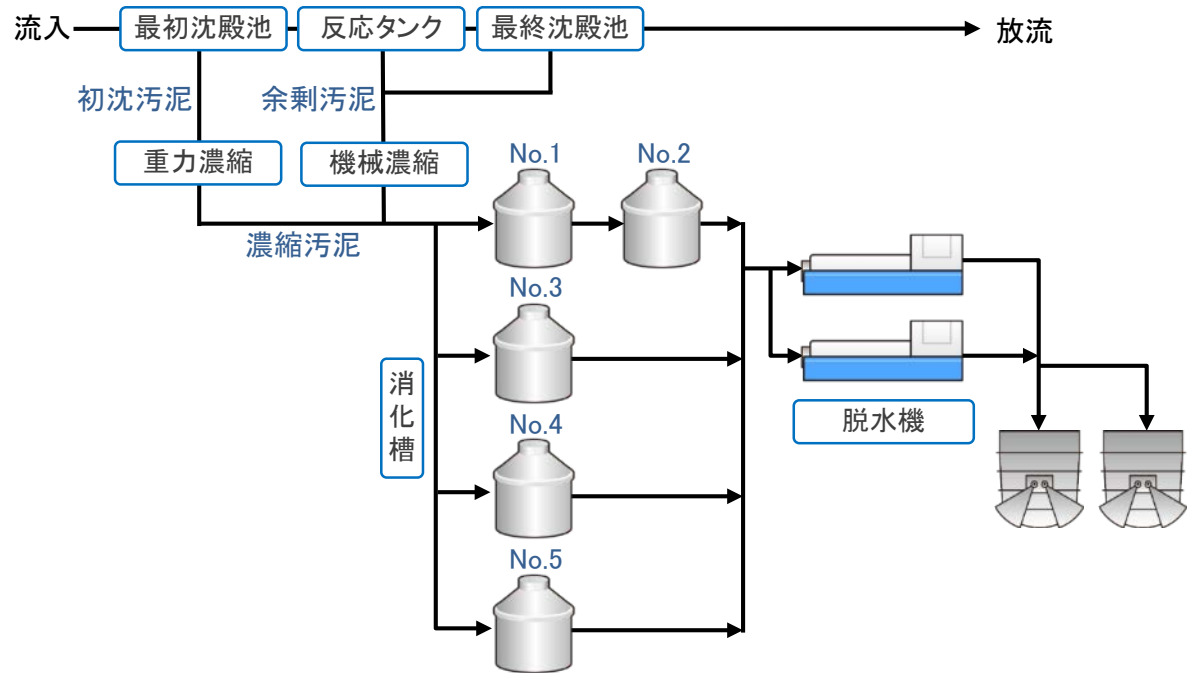
汚泥処理では消化設備を有し、発生する消化汚泥を脱水設備にて脱水処理し、その脱水汚泥を外部処分委託している。

今回の実証試験では消化設備から発生する消化汚泥を対象とし、既設汚泥処理棟の横にあるスペースに実証設備を建設した。

表資 1-1 黒川終末処理場の施設概要

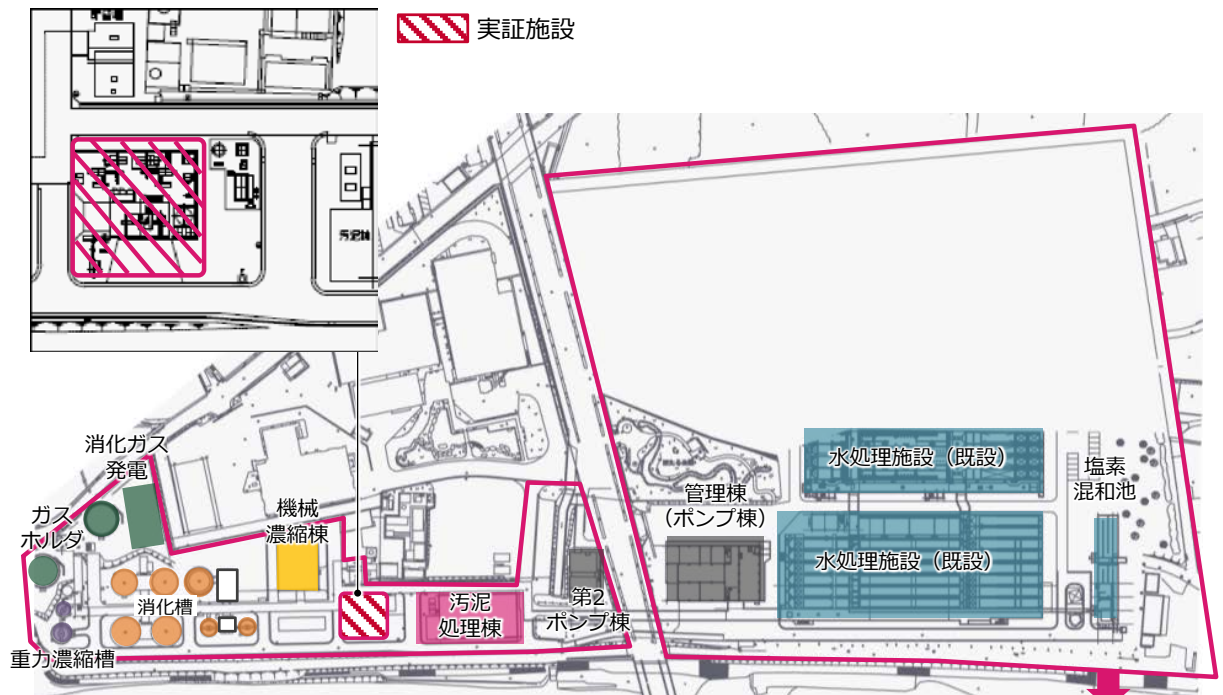
項 目	内 容
処理場名	鹿沼市黒川終末処理場
供用開始	昭和 51 年 6 月 1 日
現有水処理能力	34,000m ³ /日（日最大）
流入水量実績	27,200m ³ /日（日平均）（H 29.3 末現在）
水処理方式	標準活性汚泥法
汚泥処理方式	分離濃縮→消化→脱水→外部委託処分

図資 1-1 に黒川終末処理場の処理フローを示す。



図資 1-1 黒川終末処理場 処理フロー

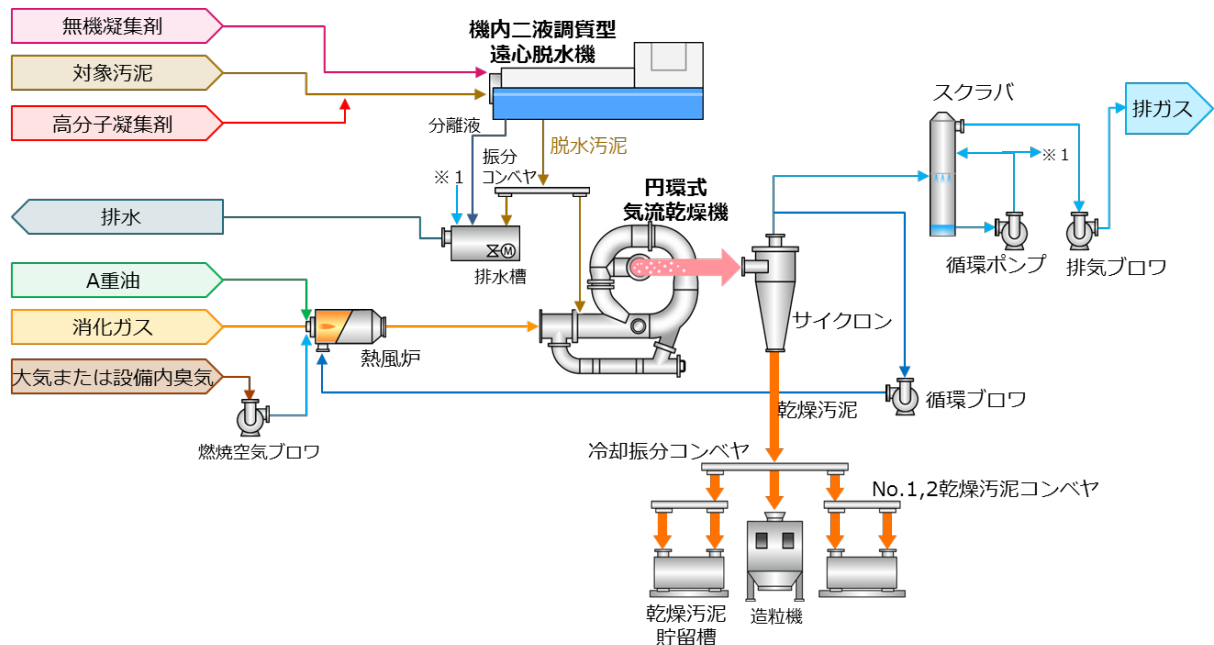
図資 1-2 に黒川終末処理場の場内配置図を示す。



図資 1-2 黒川終末処理場 場内配置図

1. 1. 1 実証設備

図資 1-3 に実証フロー、表資 1-2 に実証設備仕様を示す。



図資 1-3 実証フロー

表資 1-2 実証設備 設計条件

設備、性能項目		設 定 値	
脱水条件	対象汚泥	消化汚泥	混合生汚泥
	汚泥処理量	4.2m ³ /h	2.1m ³ /h
	無機凝集剤注入率	～30%	～20%
	高分子凝集剤注入率	1.9～3.1%	0.7～1.0%
	脱水汚泥含水率	77～81%	74～76%
	SS 回収率	95%以上	95%以上
乾燥条件	熱風条件	200～500℃	200～550℃
	脱水汚泥処理量	340kg-wet/h	286kg-wet/h
	乾燥汚泥含水率	10～50%	10～50%

1. 1. 2 実証工程

表資 1-3 に実証工程を示す。

表資 1-3 実証工程（上段：平成 28 年度、下段：平成 29 年度）

	平成28年						平成29年		
	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
実証設備の詳細設計									
届出・手続き									
手配・製作									
土木・基礎工事									
機械工事 機器据付・配管工事									
電気工事									
試運転									
実証実験									
データ解析									
報告書作成									
検討会・委員会				▽		▽	▽	▽	▽

実証項目			平成29年度											
			第1四半期			第2四半期			第3四半期			第4四半期		
			4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
長期安定 運転	連続運転自動 制御調査	連続運転 自動制御												
	設備の損耗に関する調査													
各種汚泥に 対する 性能調査	消化汚泥（3シーズン）													
	混合生汚泥（4シーズン）													
	OD汚泥（1シーズン）													
有効利用 （肥料）	肥料分析													
	コンポスト試験													
	肥効試験													
有効利用 （燃料）	燃焼性の確認													
	貯留安全性の確認													
事業性評価														
報告書とりまとめ														
ガイドライン（案）作成														
検討会・委員会・打合せ									▽	▽	▽	▽	▽	▽

1. 2 実証目標と成果

表資 1-4 に実証目標と成果を示す。

表資 1-4 実証目標と成果（1）

分類	内容	評価指標	目標値（根拠）	実証成果
				結 果
システム性能調査	消化汚泥	消費動力	902kWh/t-ds（従来脱水＋乾燥と同等）	635kWh/t-ds
		燃料使用量	重油 460L/t-ds（従来脱水＋乾燥の 25%減）	234 L/t-ds （無機 10%、乾燥汚泥含水率 30%設定時）
		乾燥汚泥含水率	10～50%に調整可能	10～50%に調整可能
		環境分析	規制値を満足すること	満足した
	混合生汚泥	消費動力	891kWh/t-ds（従来脱水＋乾燥と同等）	635kWh/t-ds
		燃料使用量	重油 295L/t-ds（従来脱水＋乾燥の 25%減）	249 L/t-ds （無機 5%、乾燥汚泥含水率 30%設定時）
		乾燥汚泥含水率	10～50%に調整可能	10～50%に調整可能
		環境分析	規制値を満足すること	満足した
	O D汚泥	消費動力	864kWh/t-ds（従来脱水＋乾燥と同等）	635kWh/t-ds
		燃料使用量	重油 441L/t-ds（従来脱水＋乾燥の 25%減）	280 L/t-ds （無機 0%、乾燥汚泥含水率 30%設定時）
		乾燥汚泥含水率	10～50%に調整可能	10～50%に調整可能
		環境分析	規制値を満足すること	満足した

表資 1-4 実証目標と成果（2）

分類	内容	評価指標	目標値（根拠）	実証成果
				結 果
システム制御調査	連続運転	乾燥汚泥含水率	含水率 10、30、50%。目標値±5pt 以内 (24h 平均) であること	目標値に対して±2pt 程度の変動を示した。
		連続運転時間 夜間無人運転	24h 自動制御により安定運転可能なこと、 夜間、設備に作業員が付かなくても運転可能なこと	乾燥汚泥含水率 30%の条件にて 各季節において 24 時間安定運転ができた。
	自動制御の評価	乾燥汚泥含水率	外的要因に対し、目標乾燥汚泥含水率が ±5pt 以内で連続運転できること	通常の運用における外的要因に 対しては目標乾燥汚泥含水率±5pt 以内で運転できた。

表資 1-4 実証目標と成果（3）

分類	内容	評価指標	目標値（根拠）	実証成果
				結 果
有効利用・肥料化	肥料分析	肥料成分、重金属、溶出試験、植害試験	各種汚泥において、肥料取締法の基準を満たすこと	消化、混合生、OD のいずれの汚泥も基準値を満足した
	肥効試験	収穫量	同等の収穫量において 化学肥料 50～70%削減	汚泥肥料を利用することで 化学肥料費用を 60%削減できた
	コンポスト化試験	幼植物栽培試験	左記試験にて阻害なく成長すること	消化汚泥、混合生汚泥いずれの堆肥でも、問題なく生育した

表資 1-4 実証目標と成果（4）

分類	内容		実証目標	目標値（根拠）	実証成果
					結 果
有効利用・燃料化	燃 料 分 析	消化	総発熱量、水分	15MJ/kg 以上、20%以下	16.5MJ/kg、12.0%
		混合生	総発熱量、水分	15MJ/kg 以上、20%以下	16.9MJ/kg、14.1%
	設備の評価		操作性	問題なく搬送できること	実設備において問題なく搬送できた。
	貯留評価		安全性	安全に貯留できること	乾燥汚泥貯留槽及び有効利用ユーザーでの大型の貯留ホッパ（50m ³ 程度）において安全に貯留できることが確認された。 脱水汚泥と同様に換気処置が必要である。
	燃焼性評価		炉の運転条件	焼却炉で安定的に燃焼できること	混焼率 5～6%で問題なく燃焼できた。
	事業性 評価		総費用（年価換算値）の低減	薬注率、消費電力 燃費	従来技術に比べ 51%低減

1. 3 実証結果

1. 3. 1 脱水乾燥性能に関する調査

(1) 消化汚泥

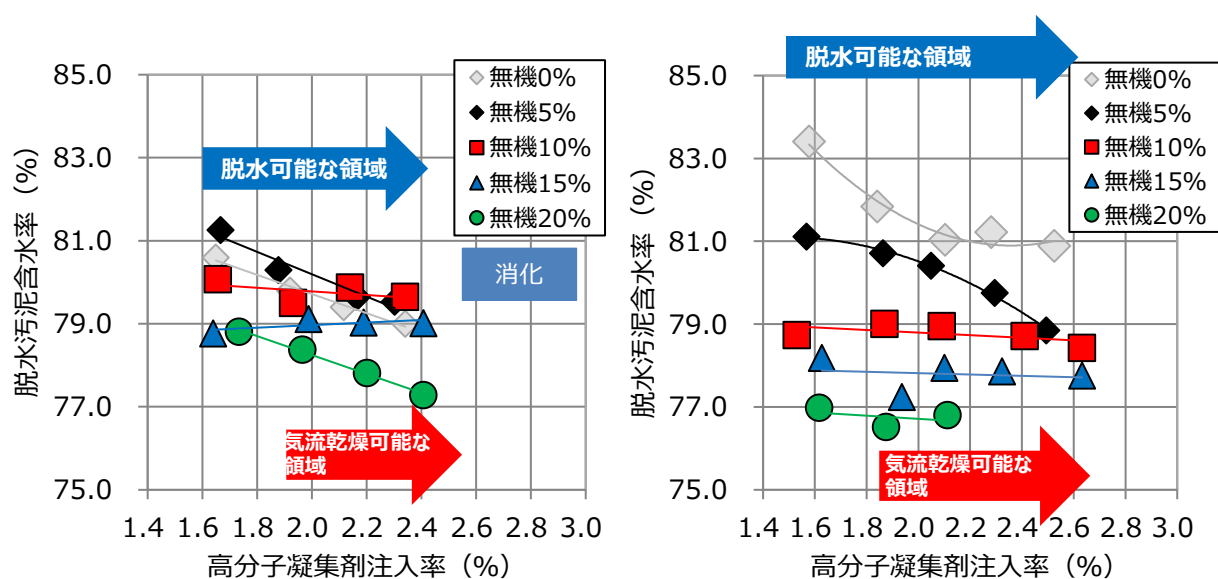
脱水乾燥システム性能に関する調査結果を基にした代表的な運転条件と運転結果を表資 1-5 に示す。

表資 1-5 脱水乾燥システムの代表的な運転条件

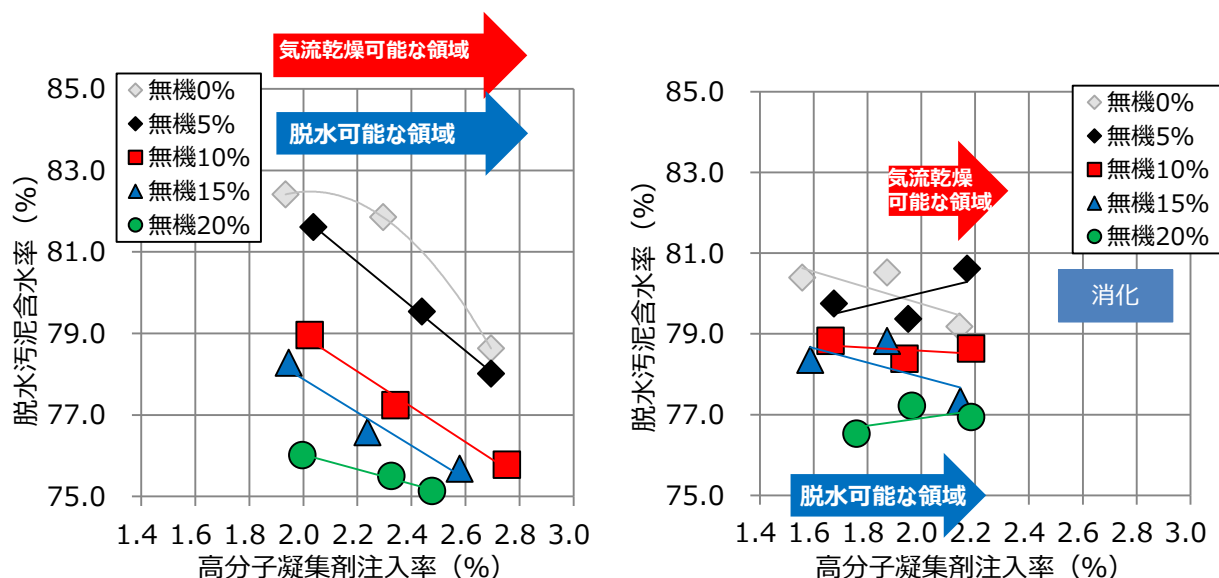
対象汚泥	汚泥種		消化汚泥		
	性状		TS : 1.7~1.8%、VTS : 79~80%、繊維状物 100Me' : 7.5~9.4%		
脱水条件	汚泥処理量		4.2m ³ /h		
	薬品注入率	無機凝集剤	10%		
		高分子凝集剤	1.9%		
	遠心力		2800G		
乾燥条件と結果	脱水汚泥含水率		78%程度		
	乾燥汚泥含水率		10%	30%	50%
	熱風温度		389~526℃	291~400℃	250~300℃
	燃料原単位		311 L/t-ds	234 L/t-ds	158 L/t-ds

① 凝集剤注入率の調査

消化汚泥について、高分子凝集剤注入率の調査を行った。図資 1-4、1-5 に高分子凝集剤注入率と脱水性能の関係を示す。



図資 1-4 高分子凝集剤注入率と脱水汚泥含水率の関係 (左: 冬季調査、右: 春季調査)



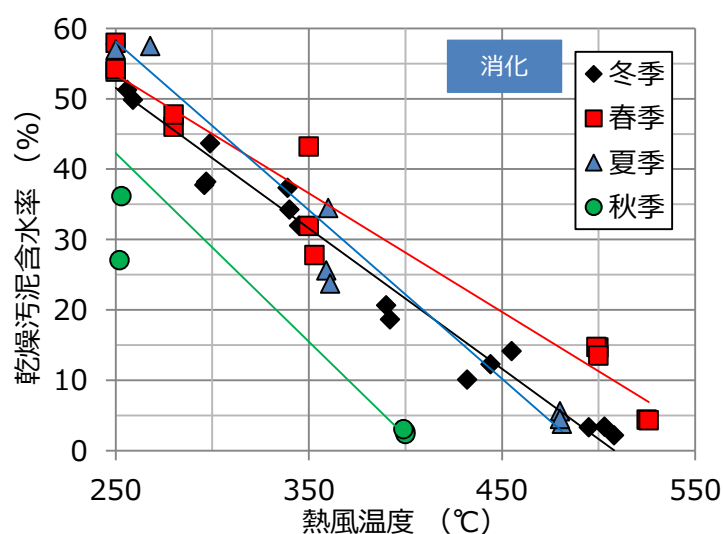
図資 1-5 高分子凝集剤注入率と脱水汚泥含水率の関係（左：夏季調査、右：秋季調査）

- ・高分子凝集剤については 1.6%以上で脱水可能となり、1.9%以上で気流乾燥機に適した汚泥性状となることが確認された。
- ・無機凝集剤については、0%においても脱水が可能な場合もあるが、全季節を通じて 10%以上の注入率において気流乾燥機に適した汚泥性状となることが確認された。
- ・設備全体の薬品、電力、重油代を考慮した汚泥処理費用を試算した結果、高分子凝集剤、無機凝集剤ともに注入率を低く設定したほうが、費用が抑えられることが分かった。

② 運転条件の調整

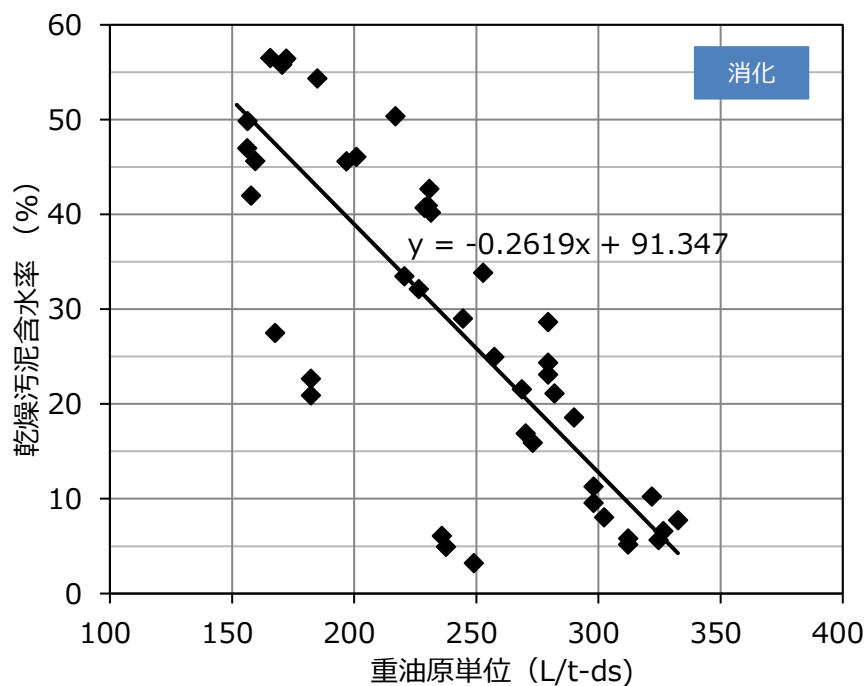
図資 1-6 に代表的な熱風温度と乾燥汚泥含水率の関係を示す。

- ・乾燥機の運転条件である熱風温度設定については、熱風温度 250～550℃の範囲では、およそ 10%～50%の乾燥汚泥に調整できることを確認した。



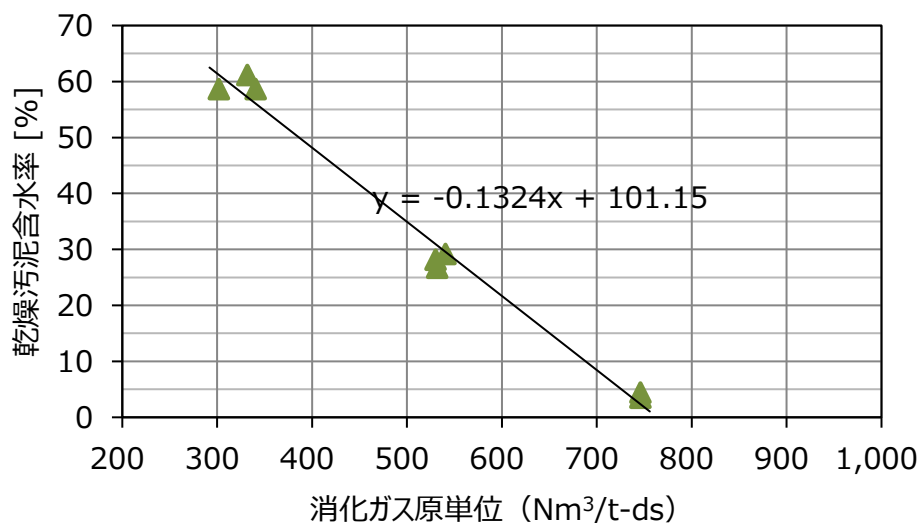
図資 1-6 熱風温度と乾燥性能の関係（消化汚泥）

この熱風温度と乾燥汚泥含水率の関係を、1年を通した原単位あたりの重油量と乾燥汚泥含水率とした結果を図資 1-7 に示す。この近似直線から乾燥汚泥含水率が 30%とする際に必要な重油原単位は 234L/t-ds であることを確認した。



図資 1-7 重油原単位と乾燥汚泥含水率の関係（消化汚泥）

また熱風炉の燃料として重油でなく消化ガスを使った際の消化ガス量と乾燥汚泥含水率の関係を図資 1-8 に示す。乾燥汚泥含水率 30%のためには消化ガス原単位が 533Nm³/t-ds であることが確認された。



図資 1-8 消化ガス量と乾燥汚泥含水率の関係

(2) 混合生汚泥

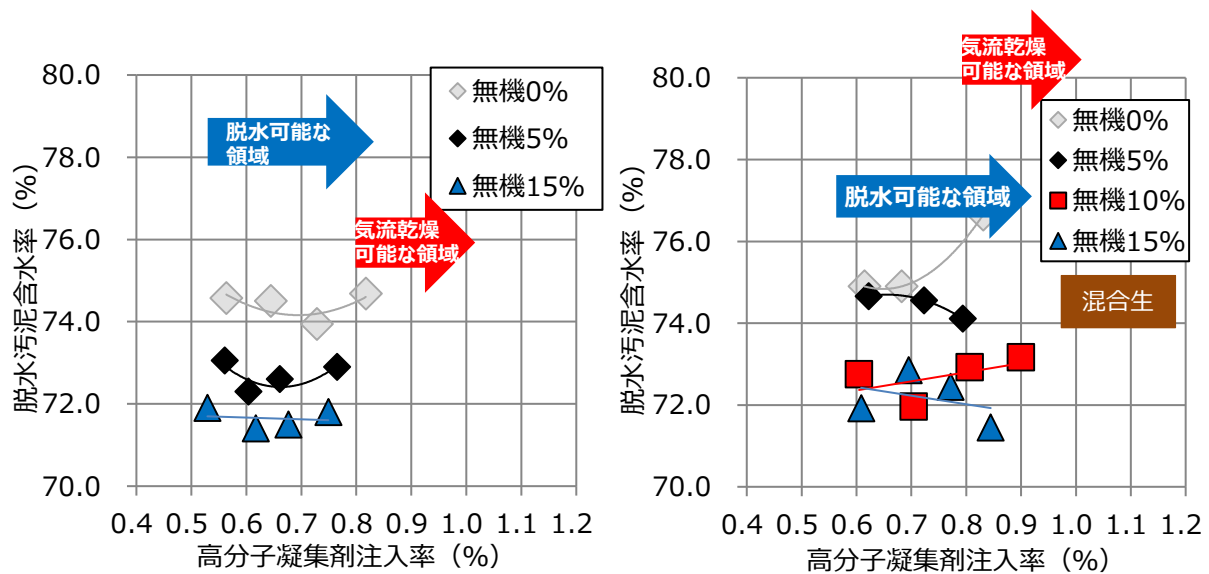
脱水乾燥システム性能に関する調査結果を基にした代表的な性能を表資 1-6 に示す。

表資 1-6 脱水乾燥システムの代表的な運転条件

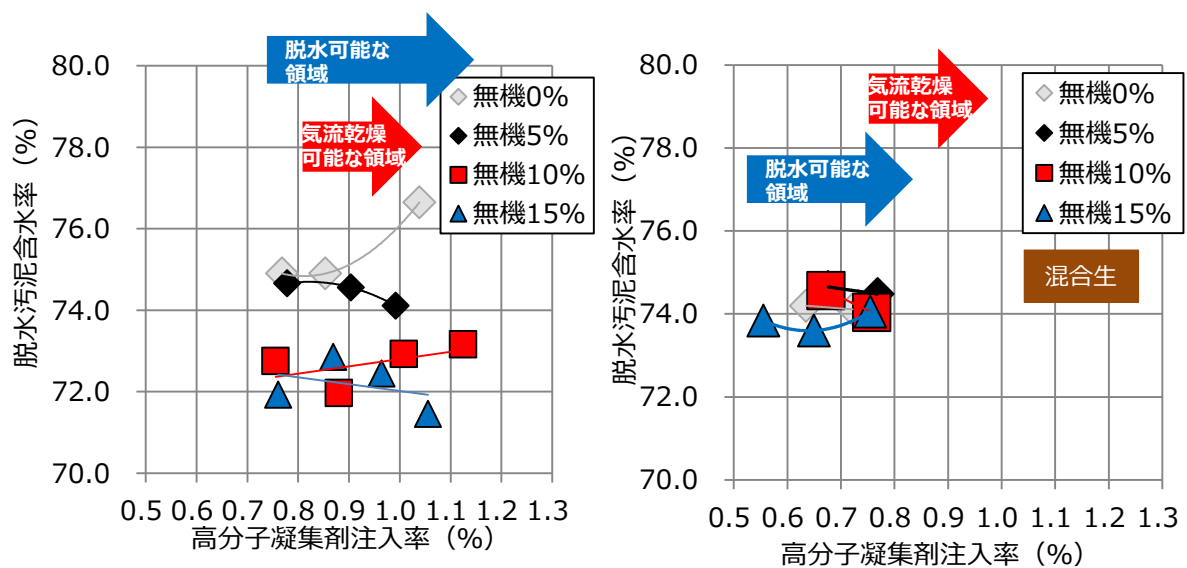
対象汚泥	汚泥種		混合生汚泥		
	性状		TS : 3.6%、VTS : 89%、繊維状物 100Me' : 28%		
脱水条件	汚泥処理量		2.1m ³ /h		
	薬品注入率	無機凝集剤	18%		
		高分子凝集剤	1.0%		
	遠心力		2800G		
	脱水汚泥含水率		74%程度		
乾燥条件と結果	乾燥汚泥含水率		10%	30%	50%
	熱風温度		525~575℃	380~425℃	259~289℃
	重油原単位		332L/t-ds	249 L/t-ds	165 L/t-ds

① 凝集剤注入率の調査

混合生汚泥について、高分子凝集剤注入率の調査を行った。図資1-9、図資1-10に高分子凝集剤注入率と脱水性能の関係を示す。



図資 1-9 高分子凝集剤注入率と脱水汚泥含水率の関係 (左: 春季調査、右: 夏季調査)



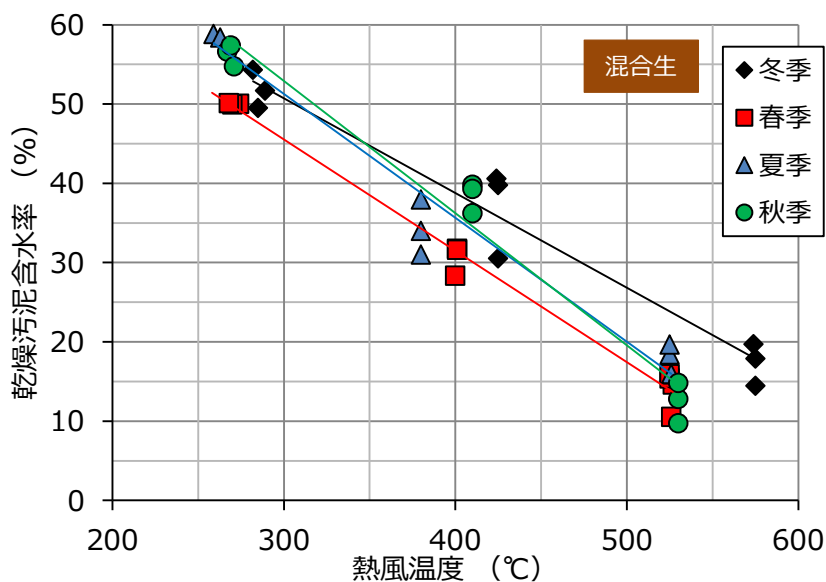
図資 1-10 高分子凝集剤注入率と脱水污泥含水率の関係（左：秋季調査、右：冬季調査）

- ・ 高分子凝集剤については、全季節を通じて脱水可能であるのは0.8%以上であり、0.8%以上で気流乾燥機に適した污泥性状となることが確認された。
- ・ 無機凝集剤については、0%においても乾燥は可能であるが、脱水污泥の粒径が大きく最低到達含水率が10%以上となった。注入率5%以上で気流乾燥機に適した污泥性状となることが確認された。
- ・ 設備全体の薬品、電力、重油代を考慮した污泥処理費用を試算した結果、高分子凝集剤、無機凝集剤ともに注入率を低く設定したほうが費用は抑えられることが分かった。

② 運転条件の調整

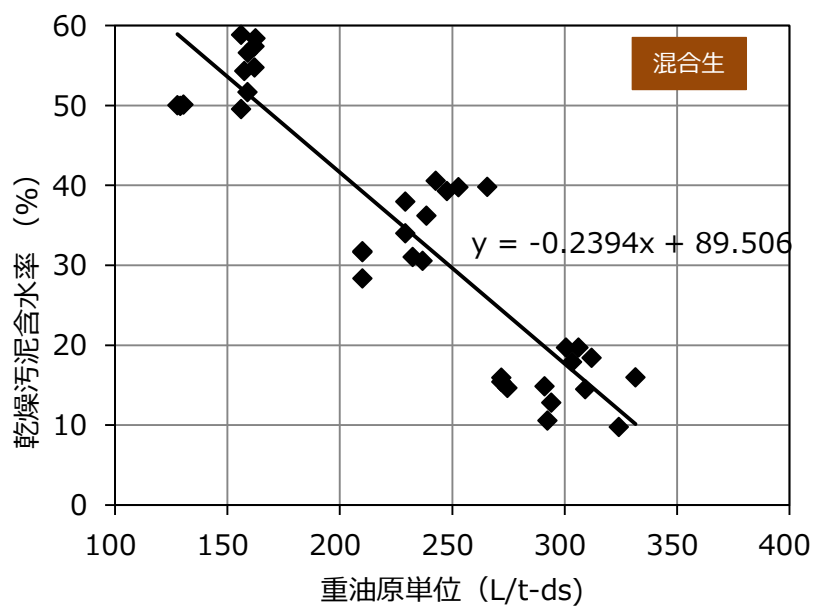
図資 1-11 に代表的な熱風温度と乾燥汚泥含水率の関係を示す。

- ・乾燥機の運転条件である熱風温度設定については、熱風温度 250～550℃の範囲では、およそ 10%～50%の乾燥汚泥に調整できることが確認された。



図資 1-11 熱風温度と乾燥性能の関係（混合生汚泥）

この熱風温度と乾燥汚泥含水率の関係を、1年を通した原単位あたりの重油量と乾燥汚泥含水率とした結果を図資 1-12 に示す。この近似直線から乾燥汚泥含水率が 30%とする際に必要な重油原単位は 249L/t-dsであることを確認した。



図資 1-12 重油原単位と乾燥汚泥含水率の関係

(3) OD汚泥

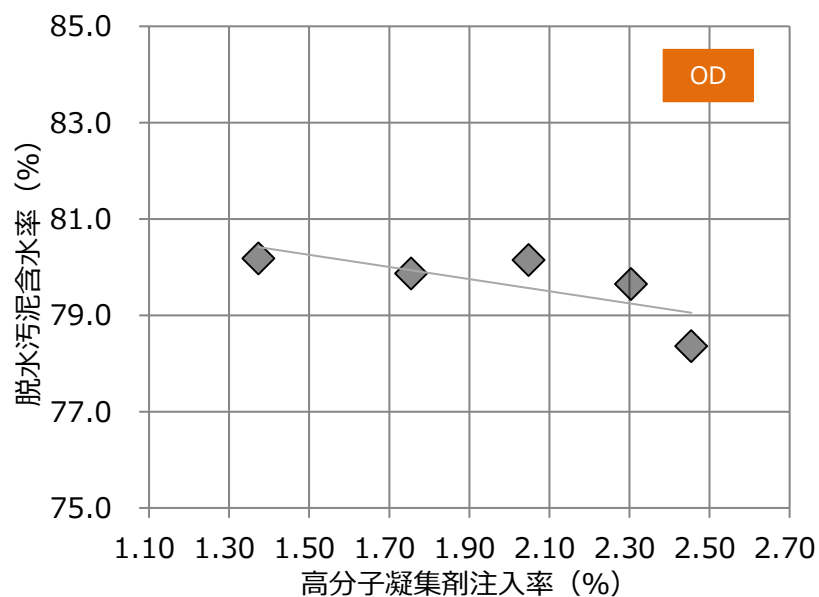
脱水乾燥システム性能に関する調査結果を基にした代表的な性能を表資 1-7 に示す。

表資 1-7 脱水乾燥システムの代表的な運転条件（OD汚泥：夏季のみ）

対象汚泥	汚泥種		OD 汚泥		
	性状		TS : 0.9%、VTS : 85%、繊維状物 100Me' : 3%		
脱水条件	汚泥処理量		6.3m ³ /h		
	薬品注入率	無機凝集剤	0%		
		高分子凝集剤	1.9%		
	遠心力		2800G		
	堰高さ		設定 3		
	脱水汚泥含水率		81%程度		
乾燥条件と結果	乾燥汚泥含水率		10%	30%	50%
	熱風温度		483~486℃	339~370℃	258~269℃
	燃料原単位		366 L/t-ds	280 L/t-ds	194 L/t-ds

① 凝集剤注入率の調査

OD汚泥について、高分子凝集剤注入率の調査を行った。図資1-13に高分子凝集剤注入率と脱水性能の関係を示す。

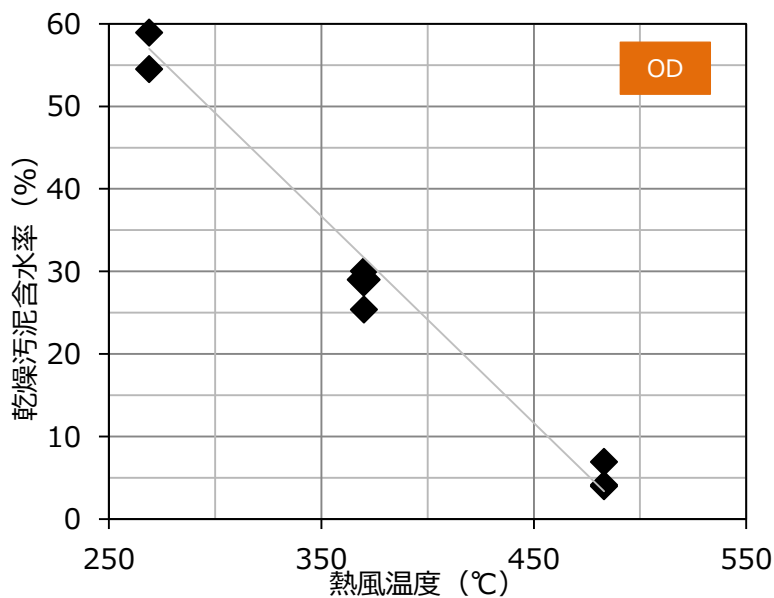


図資 1-13 高分子凝集剤注入率と脱水汚泥含水率の関係（夏季調査）

② 運転条件の調整

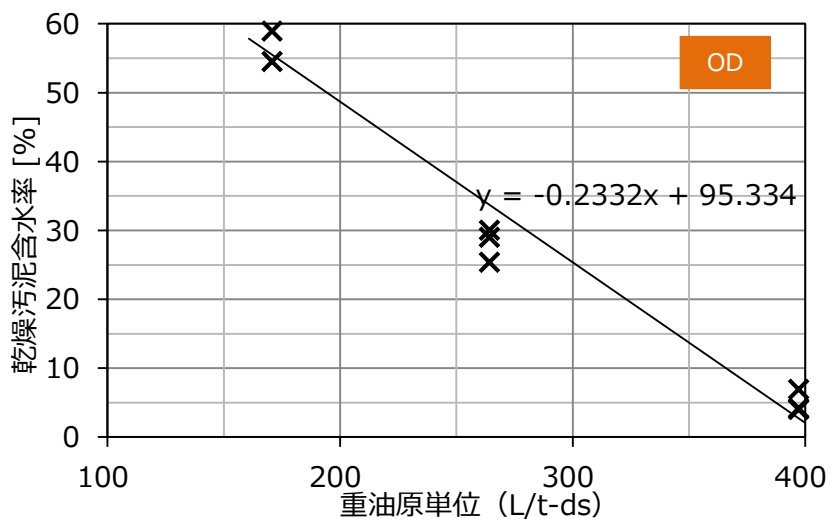
図資 1-14 に代表的な熱風温度と乾燥污泥含水率の関係を示す。

- ・乾燥機の運転条件である熱風温度設定については、250～500℃に設定することで、乾燥污泥含水率を 10～50%に調整できることが確認された。



図資 1-14 熱風温度と乾燥性能の関係 (OD 污泥)

この熱風温度と乾燥污泥含水率の関係を、1 年を通した原単位あたりの重油量と乾燥污泥含水率とした結果を図資 1-15 に示す。この近似直線から乾燥污泥含水率が 30%とする際に必要な重油原単位は 280L/t-ds であることを確認した。



図資 1-15 熱風温度と乾燥性能の関係 (OD 污泥)

(4) ベルトプレス脱水機と円環式気流乾燥機の組合せ性能調査

本技術は機内二液調質型遠心脱水機と円環式気流乾燥機を組み合わせた脱水乾燥システムであるが、既存の処理場ではすでに脱水機が設置されており、乾燥設備の導入を検討している場合に脱水機の耐用年数などの点から脱水乾燥システムを導入することが困難な事例も考えられる。こうした処理場では既存の脱水設備を活用し、円環式気流乾燥機と組み合わせる方法が想定されるため、ここで遠心脱水機以外の脱水機、特に既存の下水処理場で最も稼働台数の多いベルトプレス脱水機との組合せについて検証した。

今回の調査では、脱水乾燥システムの円環式気流乾燥機の部分を使用し、遠心脱水機をベルトプレス脱水機に置き換えて実験を行った。置き換えた脱水乾燥システムの設備仕様を表資 1-8 に示す。

本調査では、消化汚泥を対象として実験を行った。処理条件および実験結果を表資 1-9 に、熱風温度と乾燥汚泥含水率の関係を図資 1-16 に示す。

表資 1-8 使用した各設備の仕様および性能

設備名		実証設備
脱水	機種	0.5m 幅ベルトプレス脱水機
	定格ろ過速度	70kg-ds/m (2.5m ³ /h)
	高分子凝集剤注入率%	1.7
	無機凝集剤注入率%	0～20
乾燥	定格汚泥処理量 kg-wet/h	325
	熱風温度℃	250～550
	燃料	A 重油
	乾燥汚泥含水率%	10～50

注) 上記性能、仕様値は消化汚泥を対象とした場合の数値を示す。

表資 1-9 調査条件と結果

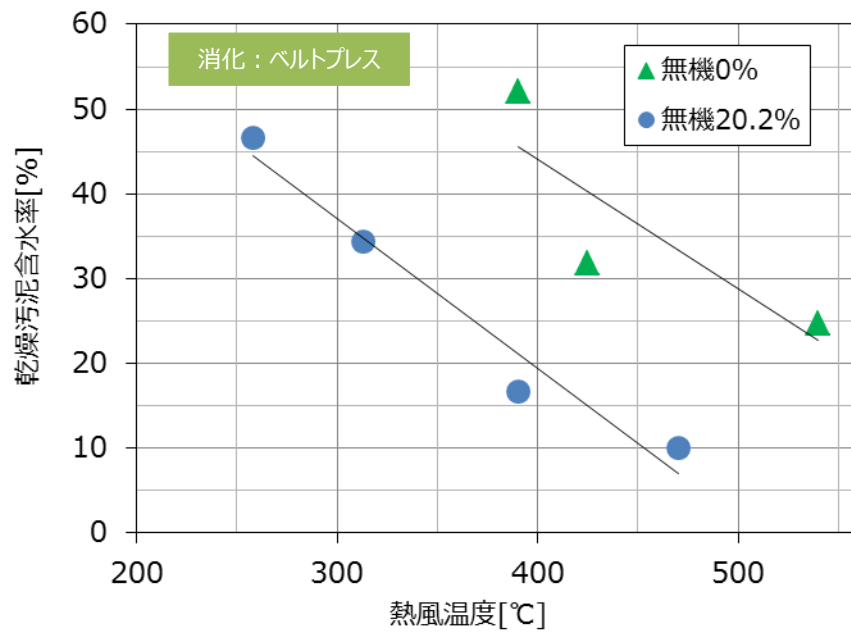
調査日		平成 29 年 10 月 23、24 日	
使用機器		ベルトプレス脱水機（実験機） ＋円環式気流乾燥機（実証設備）	
対象汚泥	汚泥種	消化汚泥	
	性状	TS : 1.5%、VTS : 80.7%、繊維状物 100Me' : 9.7%	
固定条件	汚泥処理量	4.2m ³ /h	
	熱風温度	—	
調査条件	高分子凝集剤注入率	1.7%	
	無機凝集剤注入率	0%	20.2%
脱水 運転条件	脱水汚泥含水率	83%程度	78%程度
	SS 回収率	97%	96%
乾燥 運転結果	乾燥汚泥含水率	25～50%	10～50%

無機凝集剤を注入しない場合は、脱水汚泥含水率は 82.6%、無機凝集剤を約 20% 注入した場合は、脱水汚泥含水率が 78.1% と約 4 ポイント下がる結果となった。SS 回収率は 96～97% 程度で大きな違いはない。

熱風温度と乾燥汚泥含水率との関係を図資 1-16 に示す。凝集剤として無機凝集剤を約 20% 入れた場合は、熱風温度を変更することで、乾燥汚泥含水率を約 10～50% の範囲で調整可能であることを確認できた。無機凝集剤が 0%（使用しない）の場合は、乾燥汚泥含水率約 25～50% の範囲での調整となり、ばらつきも大きくなった。

いずれの条件も、ベルトプレス脱水機から板状で排出された脱水汚泥が、コンベヤで運ばれていくうちに細くなり乾燥機に投入しても問題なく乾燥できた。ただ、無機凝集剤 0% と 20% では、乾燥機投入前の汚泥は 0% のほうが含水率が高いこと、また脱水汚泥の粒径が、無機凝集剤 0% は 20% に比べて大きな塊（破片）が多い。これらの要因から、乾燥効率が落ちて無機凝集剤 0% では乾燥汚泥含水率 10% への調整が難しい結果になったと思われる。

引き続き検証を続けていく予定である。



図資 1-16 乾燥性能における熱風温度の影響

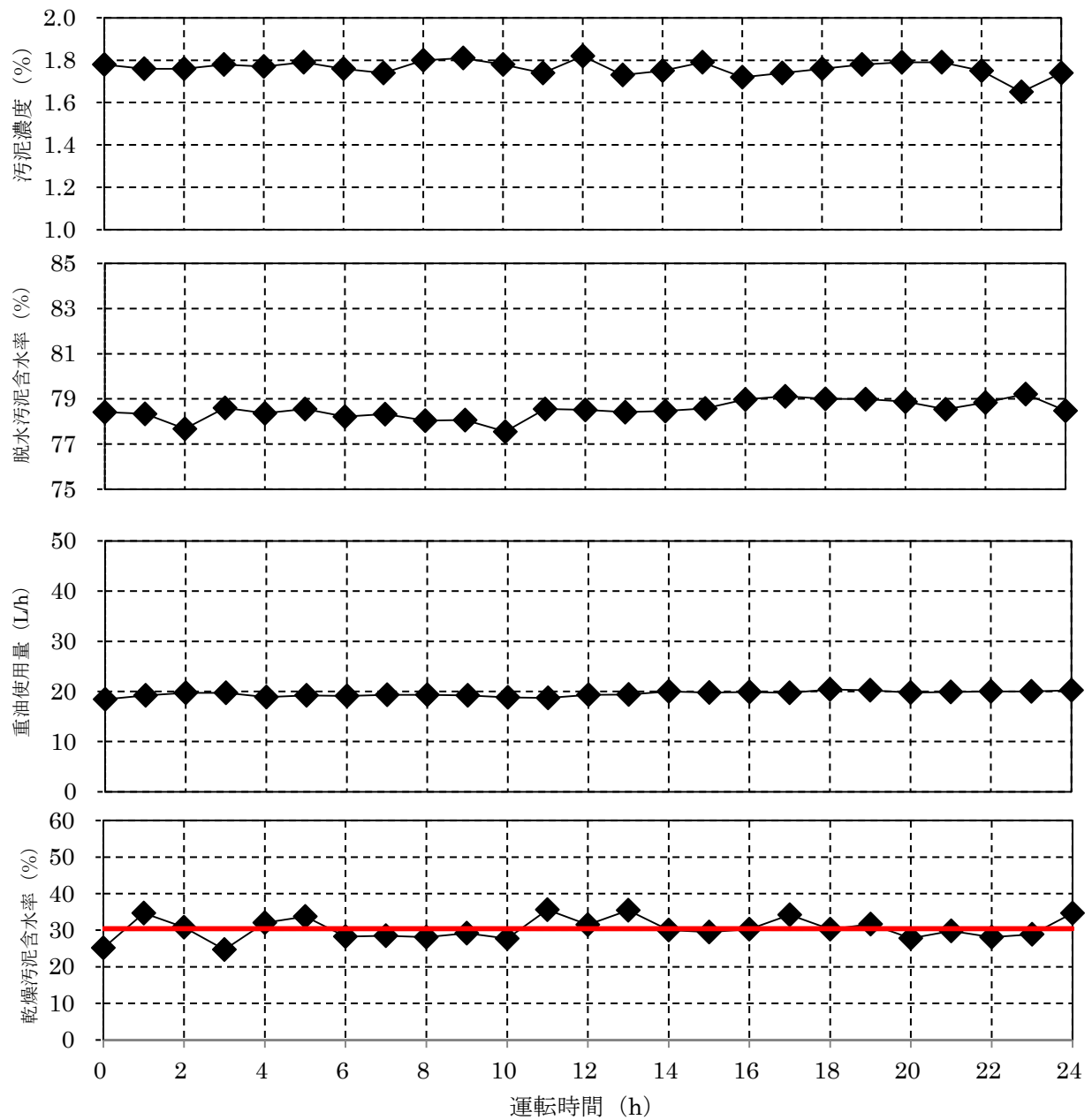
1. 4 システム制御に関する調査

表資 1-10～1-12 に各種汚泥において、自動制御による各季節における 24h の連続運転結果を、図資 1-17、図資 1-18 に連続運転結果のグラフを示す。消化汚泥、混合生汚泥いずれにおいても、乾燥汚泥含水率を 30%に設定した場合、自動制御にて 24h 安定的に運転が可能であった。また、乾燥汚泥含水率の 24 時間平均値は、30%±5pt 以内となり、投入した汚泥の汚泥濃度や脱水汚泥の含水率の変動することに伴い、乾燥汚泥の含水率も変動するが、1 日分の平均含水率では±5pt 以内となることを確認した。

表資 1-10 連続運転結果（消化汚泥）

設備、性能項目	目標値 () は設計値	運転条件と結果 設定含水率 30%			
		冬季	春季	夏季	秋季
汚泥処理量	4.2m ³ /h	4.2m ³ /h	4.2m ³ /h	4.2m ³ /h	4.2m ³ /h
	—	1.7～1.8%	1.6～1.7%	1.5～1.6%	1.3～1.5%
無機凝集剤 注入率	(20%)	20%	20%	20%	20%
高分子凝集剤 注入率	(2.4%)	1.9%	1.9%	1.9%	1.9%
脱水汚泥含水率	(78%)	77.6～78.5%	78.7～79.9%	75.1～ 81.0%	78.8～82.3%
SS 回収率	95%以上	95%以上	95%以上	95%以上	95%以上
熱風条件	—	395℃	375℃	325℃	274℃
A 重油使用量 (原単位 L/t-ds)	460	264	239	217	194
電力使用量 ¹⁾ (原単位 kWh/t-ds)	902	635	635	635	635
乾燥汚泥含水率 (24h 平均)	10～50%	30.4%	30.0%	26.4%	31.7%

1) 電力使用量は、各機器の電流値を測定し、実機に必要な機器分を加算した数値である

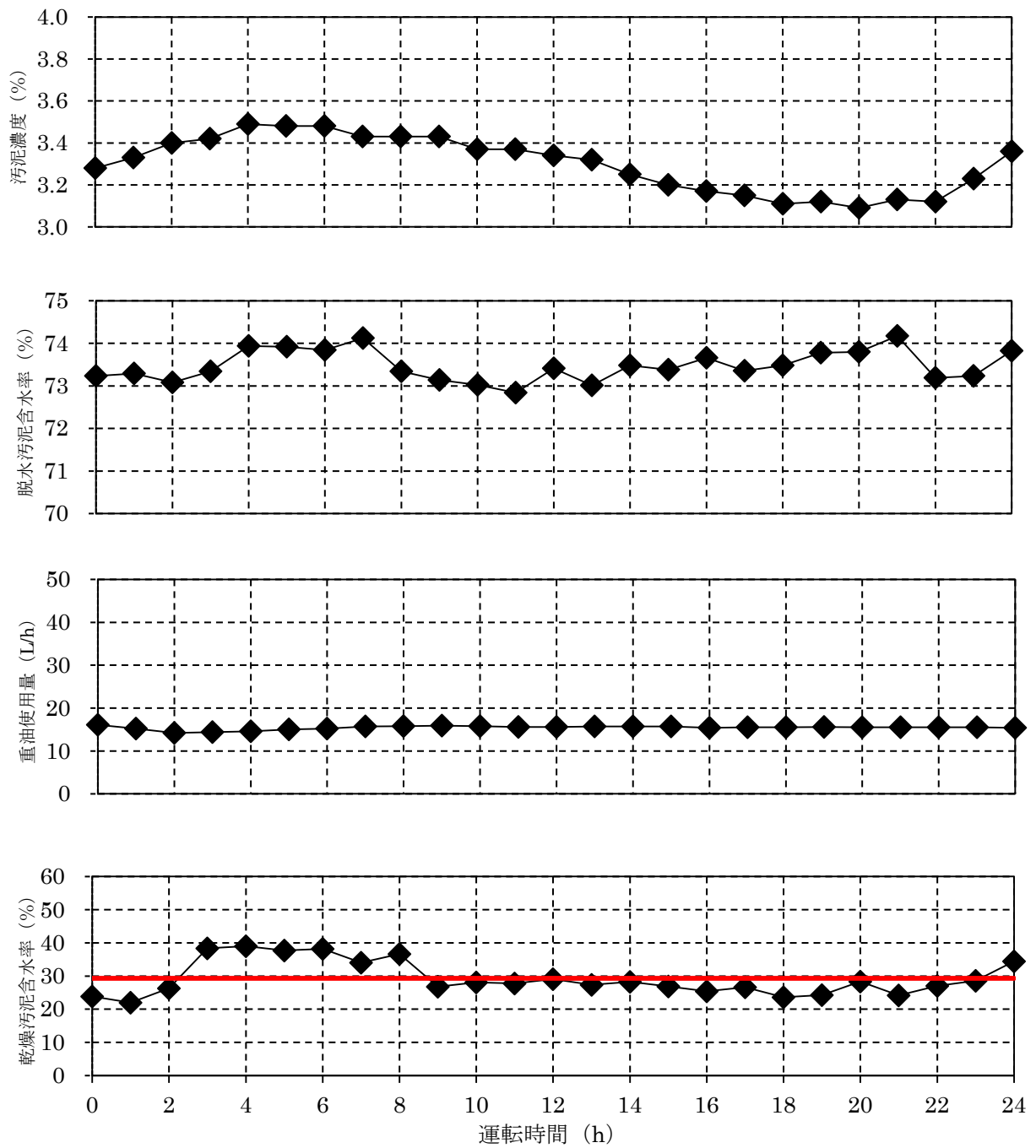


図資 1-17 連続運転結果（消化污泥、冬季）

表資 1-11 連続運転結果（混合生污泥）

設備、性能項目	目標値 () は設計値	運転条件と結果 設定含水率 30%			
		冬季	春季	夏季	秋季
污泥処理量	2.1m ³ /h	2.1m ³ /h	2.1m ³ /h	2.1m ³ /h	2.1m ³ /h
	—	3.0～3.5%	3.0～3.3%	2.8～3.3%	2.9～3.2%
無機凝集剤 注入率	(20%)	15%	16%	17%	17%
高分子凝集剤 注入率	(1.0%)	0.8%	0.9%	0.8%	0.8%
脱水污泥含水率	76%	72.8～74.2%	71.9～74.4%	72.5～75.4%	72.6～76.9%
SS 回収率	95%以上	95%以上	95%以上	95%以上	95%以上
熱風条件	—	420℃	355℃	345℃	405℃
A 重油使用量 (原単位 L/t-ds)	295	223	196	206	243
電力使用量 ¹⁾ (原単位 kWh/t-ds)	891	635	635	635	635
乾燥污泥含水率 (24h 平均)	10～50%	29.8%	25.8%	29.0%	28.1%

1) 電力使用量は、各機器の電流値を測定し、実機に必要な機器分を加算した数値である



図資 1-18 連続運転結果（混合生汚泥、冬季）

表資 1-12 連続運転結果 (OD 汚泥:夏季のみ)

設備、性能項目	目標値 () は設計値	運転条件と結果 設定含水率 30%
		夏季
汚泥処理量	4.2m ³ /h	6.3m ³ /h
	(1.5%)	0.9%
無機凝集剤注入率	(20%)	0 %
高分子凝集剤注入率	(1.0%)	1.9%
脱水汚泥含水率	79%	79.7～81.4%
SS 回収率	95%以上	95%以上
熱風条件	—	322℃
A 重油使用量 (原単位 L/t-ds)	441	264
電力使用量 ¹⁾ (原単位 kWh/t-ds)	864	635
乾燥汚泥含水率 (24h 平均)	10～50%	28.1%

1) 電力使用量は、各機器の電流値を測定し、実機に必要な機器分を加算した数値である

1. 5 汚泥有効利用に関する調査

1. 5. 1 乾燥汚泥の肥料利用

(1) 肥料性状分析

乾燥汚泥をそのまま肥料として用いることの可否を確認するため、肥料取締法に定められた主な成分量、有害成分量、汚泥の溶出試験の各項目の分析結果を表資 1-13、1-14 に示す。

表資 1-13 主な成分量及び有害成分に関する評価結果

項 目		単位	許容値	消化汚泥	混合生汚泥	OD 汚泥
主な成分量	亜鉛	mg/kg	—	520	300	520
	窒素	%	—	6.19	6.43	7.48
	りん酸	%	—	4.26	3.13	1.72
	加里	%	—	0.20	0.18	0.19
	石灰	%	—	1.81	0.70	1.04
	銅	mg/kg	—	560	320	900
	水分	%	—	16.8	16.8	23.2
	C/N 比	—	—	5.91	6.96	5.57
有害成分量	カドミウム	mg/kg	5	<1	<1	<1
	水銀	mg/kg	2	0.48	0.30	0.23
	ヒ素	mg/kg	50	4.2	2.4	2.6
	ニッケル	mg/kg	300	22	14	16
	クロム	mg/kg	500	27	18	23
	鉛	mg/kg	100	<1	2	2

主な成分量は許容値はなく、肥料登録の際に分析することが義務付けられた項目である。

表資 1-14 汚泥の溶出試験結果

項目	基準値※	分析結果			項目	基準値※	分析結果		
		消化	混生	OD			消化	混生	OD
アルキル水銀化合物	不検出	不検出	不検出	不検出	1・2-ジクロロエタン	0.04	<0.0004	<0.0004	<0.0004
水銀またはその化合物	0.005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	1・1-ジクロロエチレン	1	<0.002	<0.002	<0.002
カドミウム又はその化合物	0.3	<0.005	<0.005	<0.005	シス-1・2-ジクロロエチレン	0.4	<0.004	<0.004	<0.004
鉛又はその化合物	0.3	<0.005	<0.005	<0.005	1・1・1-トリクロロエタン	3	<0.0005	<0.0005	<0.0005
有機リン化合物	1	<0.1	<0.1	<0.1	1・1・2-トリクロロエタン	0.06	<0.0006	<0.0006	<0.0006
六価クロム化合物	1.5	<0.02	<0.02	<0.02	1・3-ジクロロプロペン	0.02	<0.0002	<0.0002	<0.0002
ヒ素又はその化合物	0.3	0.017	0.019	0.015	チウラム	0.06	<0.0006	<0.0006	<0.0006
シアン化合物	1	<0.1	<0.1	<0.1	シマジン	0.03	<0.0003	<0.0003	<0.0003
ポリ塩化ビフェニル	0.003	<0.0005	<0.0005	<0.0005	チオベンカルブ	0.2	<0.002	<0.002	<0.002
トリクロロエチレン	0.3	<0.002	<0.002	<0.002	ベンゼン	0.1	<0.001	<0.001	<0.001
テトラクロロエチレン	0.1	<0.0005	<0.0005	<0.0005	セレン又はその化合物	0.3	<0.005	0.009	<0.005
ジクロロメタン	0.2	<0.002	<0.002	<0.002	1・4-ジオキサン	0.5	<0.05	<0.05	<0.05
四塩化炭素	0.02	<0.0002	<0.0002	<0.0002					

(2) 肥効試験

以下の項目について試験を行い、乾燥汚泥の肥料成分についての効果の評価を行った。

- ① 窒素成分の無機化率
- ② ポット試験による作物生育調査
- ③ 実圃場における作物生育調査（第2章 § 13 参照）

① 窒素成分の無機化率

乾燥汚泥の窒素は、家畜糞尿などを由来とする肥料同様に有機成分が多いため、土壤中で分解された無機態窒素が作物に吸収・利用される。

試験方法は、乾土に供試肥料と水分を投入し、定温器の中で保温し、1週間ごとに $\text{NO}_3\text{-N}$ と $\text{NH}_4\text{-N}$ の量を分析した。

測定結果を表資 1-15 に示す。4週間で無機化率は約 34%との結果となった。

表資 1-15 無機化率測定結果

		施用直後	1週目	2週目	3週目	4週目
$\text{NH}_4\text{-N}$	[Nmg/乾土100g]	4.2	8.9	0.9	0.1	0
$\text{NO}_3\text{-N}$	[Nmg/乾土100g]	0	5.6	14.7	16.3	16.8
合計	[Nmg/乾土100g]	4.2	14.5	15.6	16.4	16.8
無機化率	[%]	8.4	29	31.2	32.8	33.6

② ポット試験による作物生育調査

無機化試験結果を考慮し、化学肥料使用時と同程度の収量が得られる施肥量の確認試験を行った。条件を表資 1-16 に示す。各条件にてポットを 3 連とし、それぞれコマツナの新芽試験を行った。発芽状態および生育状況について、写真を図資 1-19 に、発芽率と生育結果を表資 1-17 に示す。化学肥料で育てた条件と比較し、①の試験結果をふまえて窒素成分として 3 倍の量施肥した条件において、化学肥料で育てた同程度の収量結果となった。

表資 1-16 ポット試験条件

施肥条件		N、P、K [kg/10a]
化学肥料		10、6、10
無窒素区		0、6、10
汚泥肥料	基準量区	10、6、10 (K は硫酸加里を施肥)
	3 倍量区	30、18、10 (K は硫酸加里を施肥)
	4 倍量区	40、24、10 (K は硫酸加里を施肥)



図資 1-19 発芽状態と生育状況の写真

表資 1-17 発芽率および生育結果

		発芽率(%)			草丈(cm)	収量(g/ポット)
		9/21	9/22	9/23	10/13	10/13
化学肥料		64	100	100	17.4	83.3
無窒素区		57	97	100	13.2	44.2
汚泥肥料	基準量区	59	96	100	14.6	56.0
	3倍量区	51	99	100	16.3	79.4
	4倍量区	65	100	100	17.5	89.3

③ 実圃場における作物生育調査

これまでの①②の試験結果を元に、大規模な圃場での栽培試験を行った。

圃場における乾燥汚泥肥料の農業機械での扱いやすさを確認するため、乾燥汚泥肥料はペレットとし、散布はブロードキャスターを用いて実施した。図資 1-20 に汚泥肥料（ペレット）と散布に用いたブロードキャスターを示す。



図資 1-20 散布した乾燥汚泥肥料（ペレット）（写真左）と
散布に用いたブロードキャスター（写真右）

2017年7月12日に汚泥肥料の施肥および大豆の播種を行った。その後8月上旬には供試区が早く葉の色が濃くなるという現象があったが、それ以降供試区、慣行区ともに同様の成長状態であることが確認された。図資 1-21 および図資 1-22 に生育状況がわかる写真を示す。

2017年9月12日時点では、供試区の生育状況がよく、草丈が慣行区に比べて全体的に高い印象を受けたが、その後の生育状況では大きな違いは見られなかった。



図資 1-21 2017年9月12日時点での生育状況



図資 1-22 2017年11月8日時点での生育状況

コンバインによる収穫状況と収穫した大豆を図資 1-23 に示す。



図資 1-23 コンバインによる収穫状況（写真左）と収穫した大豆（写真右）

汚泥肥料を用いた供試区は 260kg/10a、従来の化学肥料を用いた慣行区は 227kg/10a となり、同等の収量となることを確認した。

1. 5. 2 乾燥汚泥のコンポスト利用

消化汚泥および混合生汚泥の乾燥汚泥を用い、コンポスト化について評価を行った。

① 発酵試験方法および条件

汚泥を有効利用する場合、そのまま肥料として用いる以外に、汚泥肥料と副資材を混合して、好気発酵させた汚泥発酵肥料（堆肥）としての利用がある。本試験では消化汚泥および混合生汚泥の乾燥汚泥を用いてコンポスト試験を行い、堆肥としての利用可否について検証する。

汚泥を主原料としたコンポスト化試験では、汚泥単独で実施する場合もあるが、通気性や水分調整などのため副資材を混合する方法とした。副資材はバーク、ピートモス、オガクズ、剪定枝チップ、わら類、コーヒー粕などが用いられるが、本試験ではコンポスト化における基質の栄養源としての米ぬかと、炭素源を兼ねたオガクズ、通気性改善のためのもみがらを副資材として使用した。

表資 1-18 に乾燥汚泥と副資材の混合比を示す。乾燥汚泥と副資材は容積比＝1：1とし、消化汚泥、混合生汚泥それぞれ 2 条件で実施した。

表資 1-18 乾燥汚泥と副資材の混合条件

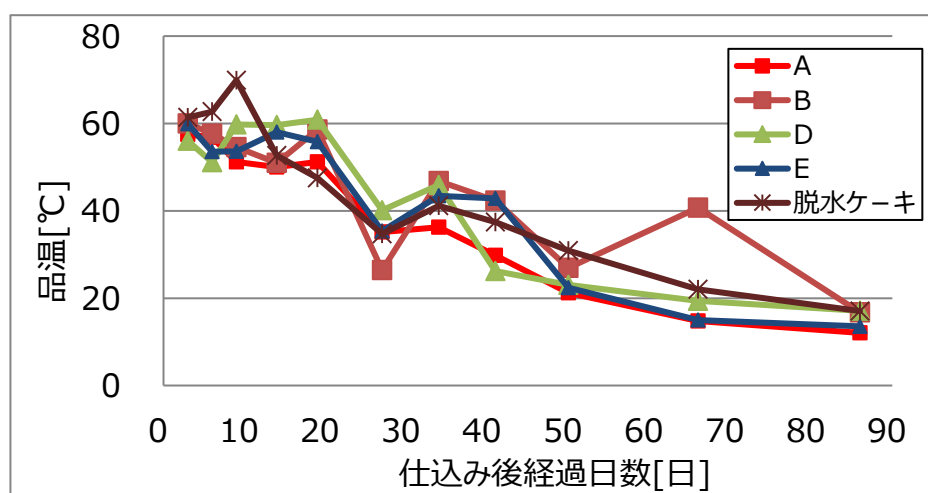
区	汚泥種	乾燥汚泥・副資材混合量			
		乾燥汚泥[kg]	副資材混合物[kg]		
			米ぬか	オガクズ	もみがら
A	消化汚泥	84	51	5.9	3.0
B	消化汚泥	138	83.6	9.5	4.9
D	混合生	115	69.8	8.0	4.1
E	混合生	136	66.5	-	4.9

乾燥汚泥の含水率は 19.1～21.3%であったため、副資材（含水率 11.5～15.2%）と混合後、加水して含水率が 60～70%となるよう調整して発酵を開始した。消化汚泥の A と B は重量比 1 : 1.5 とし、混合生汚泥では副資材量を一部変更した条件とした。

また各条件区ともに切り返しは、試験開始後、3 日後、6 日後、9 日後、14 日後、19 日後、27 日後、34 日後、41 日後、50 日後、66 日後に実施した。切り替えしは 2.4m³の発酵槽から内容物を堆肥ヤードで取り出し、加水後ショベルローダーで攪拌し、また発酵槽に充填して発酵室内で管理した。品温および外気温の変化状況を表資 1-19、図資 1-24 に示す。仕込み 3 日後で消化汚泥、混合生汚泥それぞれ 56～60℃まで温度が上昇し、一部さらに温度上昇するサンプルもあるが 2 週間ほど保持した後、徐々に下がっていった。

表資 1-19 品温および外気温の変化状況

作業内容	年/月/日	仕込み後 経過日数	消化乾燥汚泥		混合乾燥汚泥		外気温 (作業時)	参 考
			A	B	D	E		脱水ケーキ
混合攪拌	2017/9/23	3	57.5	60.0	56.0	59.9	20.3	61.4
	2017/9/26	6	56.8	57.7	51.2	53.5	26.4	62.7
	2017/9/29	9	51.2	54.6	59.8	53.6	24.1	69.9
	2017/10/4	14	50.0	51.0	59.6	58.0	25.1	52.7
	2017/10/9	19	51.2	58.6	60.9	55.8	25.4	47.6
	2017/10/17	27	35.2	26.5	40.1	35.4	14.4	34.7
	2017/10/24	34	36.2	46.8	45.9	43.4	16.0	41.2
	2017/10/31	41	29.8	42.3	26.2	42.8	19.5	37.4
	2017/11/9	50	21.2	27.0	23.1	22.4	18.0	30.9
	2017/11/25	66	14.8	40.7	19.4	15.0	7.0	22.1
堆肥ふるい	2017/12/15	86	12.1	16.8	17.1	13.6	2.5	17.1

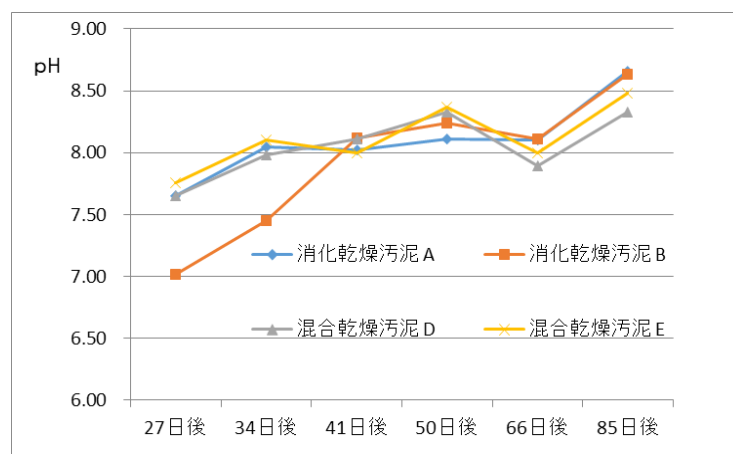


図資 1-24 品温の推移状況

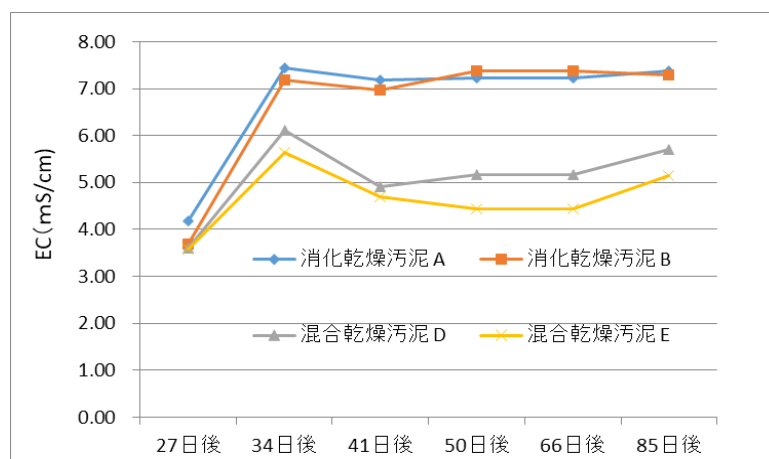
② pH、EC、発芽率の推移

図資 1-25、図資 1-26 に pH と EC の推移を、図資 1-27 に発芽率の推移を示す。発芽試験は熱水抽出法による日本土壌協会の試験方法に準じて行い、発芽判定は蒸留水を用いた対照区の発芽（50 粒の 80%以上が発芽）を目安として実施した。

堆肥化過程においては、アンモニアの発生およびその後の酸化による硝酸への変化があるため、初期の pH が上昇することがグラフからも確認できる。EC については、27 日後より 34 日後にかけて上昇し、消化汚泥が約 7mS/cm、混合生汚泥が約 5mS/cm の値で一定となった。

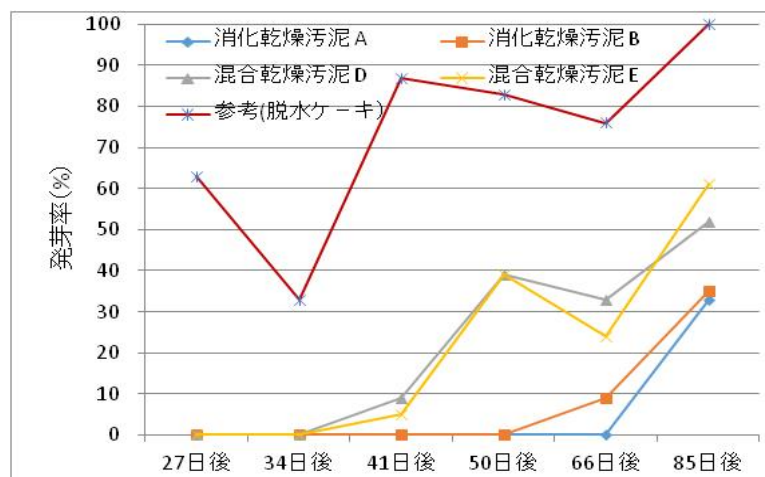


図資 1-25 pH の推移



図資 1-26 EC の推移

発芽試験は 41 日後以降に混合生汚泥で発芽が確認できはじめ、66 日後および 85 日後に消化汚泥での発芽が確認された。消化汚泥の有機物分解がゆっくり進行しているため、分解しきれていない成分が熱水抽出により液側に移行したものとみられる。



図資 1-27 発芽率の推移

③ 幼植物栽培試験

pH、EC、発芽試験を堆肥化過程において適宜行うことで、ある程度腐熟度の判定が可能ではあるが、発酵槽内での有機物の分解速度の違いなどにより値にばらつきがみられることが多い。易分解性有機物が分解した（一次発酵）とされる品温低下時以降、農地に施用しても障害が少ないと言われておりコマツナによる幼植物栽培試験を行うことにより、堆肥としての利用可能性を確認した。

1) 試験方法

土壌に堆肥および肥料（N、P、K）と水を混合し、コマツナを 18 粒播種して栽培を行った（播種：2018 年 1 月 17 日）。堆肥は、消化汚泥・混合生汚泥それぞれ試験を行ったものについて未熟な堆肥とされる 13mm 以上のものを除いたサンプルについて試験を行った。

2) 試験結果

コマツナの草丈および新鮮重を表資 1-20 に、コマツナの生育状況を図資 1-28 に示す。発芽は堆肥を施用しなかった無施用区と変わらず、その後の生育にも障害は見られなかった。播種してから約 1 か月間のみの栽培であったが、地上部の生育状況を調査すると草丈および新鮮重ともに無施用区より良好な生育状況を示していた。

したがって、堆肥化が進み 13mm 以下となったものについては障害なく利用可能と考えられる。

表資 1-20 幼植物栽培試験の生育結果

区	草丈[cm]	新鮮重[g]
無施用	8.5	14.20
堆肥/乾燥汚泥（消化）	9.5	15.54
堆肥/乾燥汚泥（混合生）	10.3	14.44



図資 1-28 コマツナの幼植物栽培試験（2018 年 2 月 21 日）

1. 5. 3 乾燥汚泥の燃料利用

乾燥汚泥の燃料利用時の特性として、燃焼性、安全性、臭気及び設備対応について評価した結果を示す。

(1) 燃焼性評価

燃焼性については、JIS Z 7312 の規格への適合性を確認するため、消化汚泥、混合生汚泥について分析を行った。分析結果は、第2章 §13 に記載のとおりであり、規格に適合していることを確認した。

(2) 安全性評価

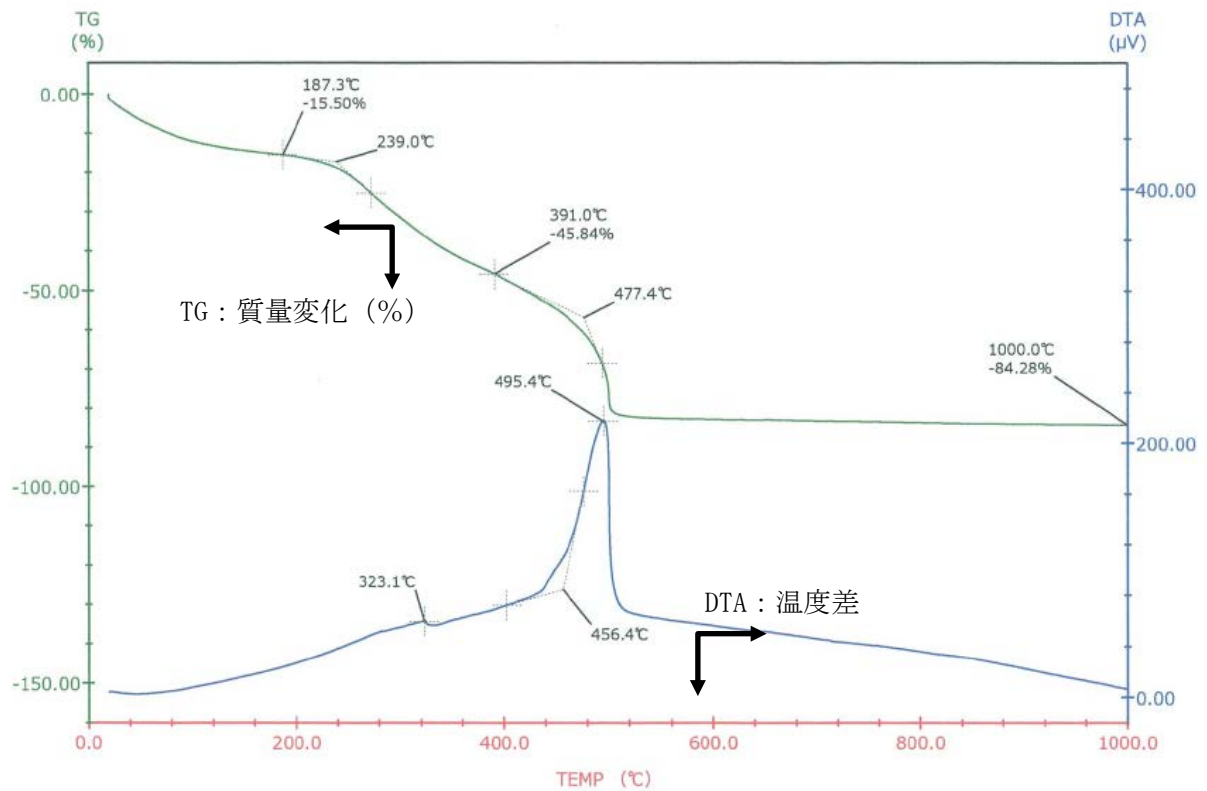
安全性については、自然発火試験、可燃性ガス発生試験、粉塵爆発試験、熱重量測定および示差熱分析を行った。自然発火試験、可燃性ガス発生試験、粉塵爆発試験については、第2章 §13 にも記載のとおり結果となった。熱重量測定および示差熱分析の結果を以下に示す。

消化および混合生汚泥の乾燥汚泥を熱重量示差熱同時測定装置(TG-DTA)にかけて、熱重量(TG)と示差熱(DTA)分析を行なった。

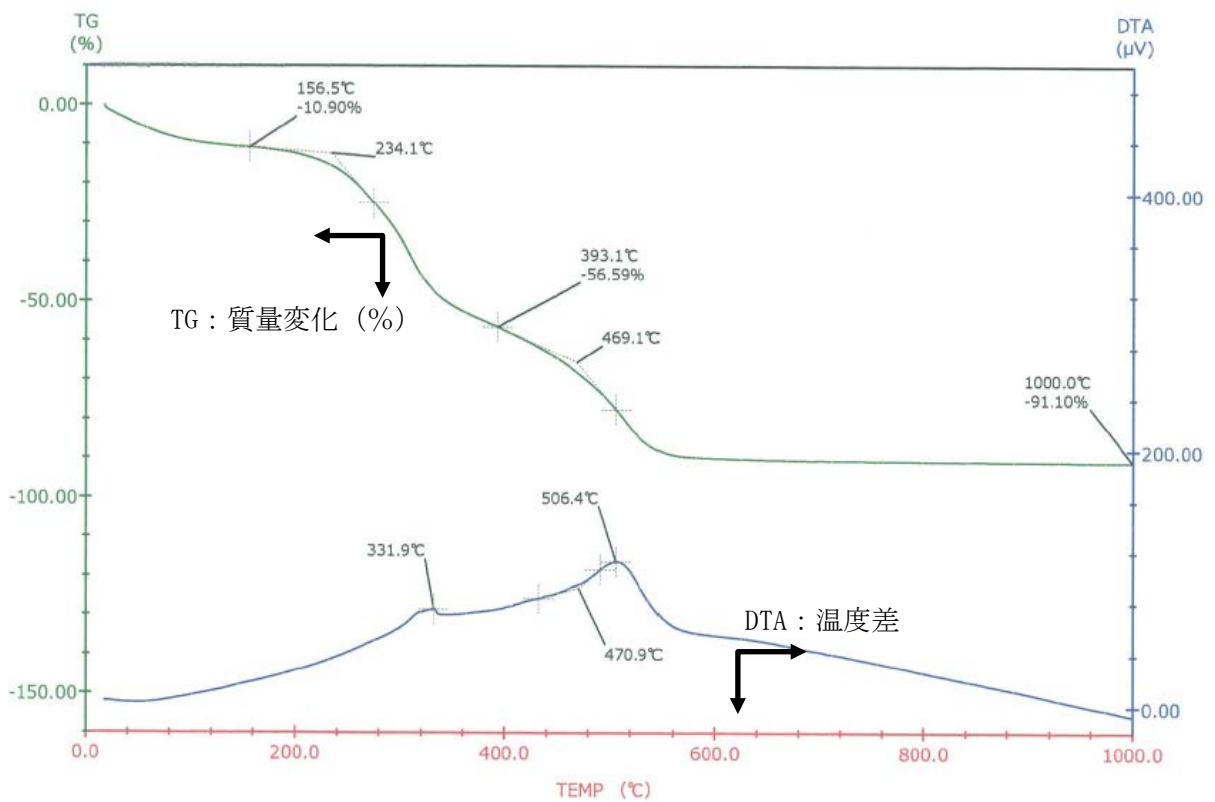
図資 1-29 に消化汚泥の乾燥汚泥の TG-DTA チャートを、図資 1-30 に混合生汚泥の乾燥汚泥の TG-DTA チャートを示す。また図資 1-29、1-30 から読み取った質量変化の値を表資 1-21 に示す。なお、表資 1-19 中のマイナスの数値は元の重量からの減量を意味する。

表資 1-21 熱重量測定質量変化の読取値

試料名	質量変化 (wt%)			
	160℃	190℃	390℃	1000℃
消化汚泥	—	-16	-46	-84
混合生汚泥	-11	—	-57	-91



図資 1-29 TG-DTA チャート (消化汚泥)



図資 1-30 TG-DTA チャート (混合生汚泥)

消化汚泥、混合生汚泥いずれも 100℃台までの質量の減少は乾燥汚泥中に含まれる水の蒸発に伴うものと予想される。次の急激な質量の減少は乾燥汚泥中の揮発分に由来するものと予想され、400℃台で見られる急激な質量減少は、残りの固定炭素を主成分とする有機物の燃焼に由来するものと予想される。2 段階目の減量の幅は消化汚泥よりも混合生汚泥のほうが大きく、揮発分が多く含まれていることを示す。3 段階目の減量については消化汚泥のほうが急激であり、発熱の度合いも大きい。これは揮発せずに残っている有機分が消化汚泥のほうが多く、着火後は激しく燃焼することを示している。

（３）搬送貯留設備の評価

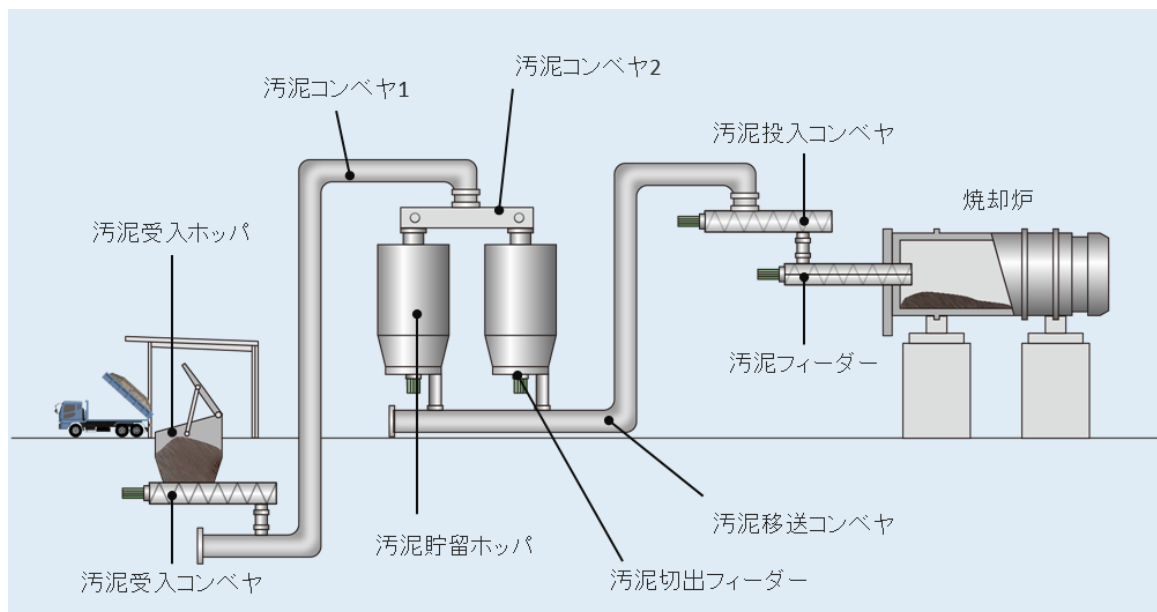
本試験では、乾燥汚泥を共同研究体の一員であるサンエコサーマル社の産業廃棄物炉に投入し、産業廃棄物と混焼することにより評価した。同社の焼却炉に投入するための搬送貯留設備は、これまで脱水汚泥の搬送を行っていたため、乾燥汚泥の搬送に問題がないか確認が必要であり、以下の改造及び運転調整を行い、確認試験を行った。表資 1-22 に機器と対応策と試験結果を、図資 1-31 に設備の評価対象を示す。

表資 1-22 搬送貯留設備における対応策と試験結果

機器名	型式	対応策	調査結果
汚泥受入 ホッパ	角型	流れ出し制限 板の取り付け	後段への汚泥の流れ出しもなく、問題なく貯留できた。低含水率の場合、受入時に粉塵がまうため、シートにて養生した。
汚泥 コンベヤ 1	チェーンコンベヤ	バケットを挿 入し、搬送能 力の増強	3～4t/h 程度 ^{注1)} の搬送能力が確認された。運転中の電動機電流値も定格の 50%程度で連続運転できた。
汚泥移送 コンベヤ	チェーンコンベヤ	バケットを挿 入し、搬送能 力の増強	300～400kg/h 程度の搬送能力が確認された。運転中の電動機電流値も定格の 50%程度で連続運転できた。

注 1) 1 日の発生量 2 t を約 0.5h 程度で搬送できた。ただし、汚泥受入コンベヤの回転数を変えた運転確認は行なっていないため、最大搬送能力としての確認は未実施である。

- ・スクリーフィーダー付角型の汚泥受入ホッパについてはスクリー部を介して後段の設備への汚泥の流れ出しを制限するための部品を取り付けた。
- ・フライトコンベヤについては紛粒状の汚泥の搬送性能を向上するため、バケットを挿入した。
- ・スクリーコンベヤ、ベルトコンベヤについては特に改造や調整を行わずに問題なく搬送できた。
- ・サークルフィーダーについては特に改造や調整を行わずに問題なく搬送できた。

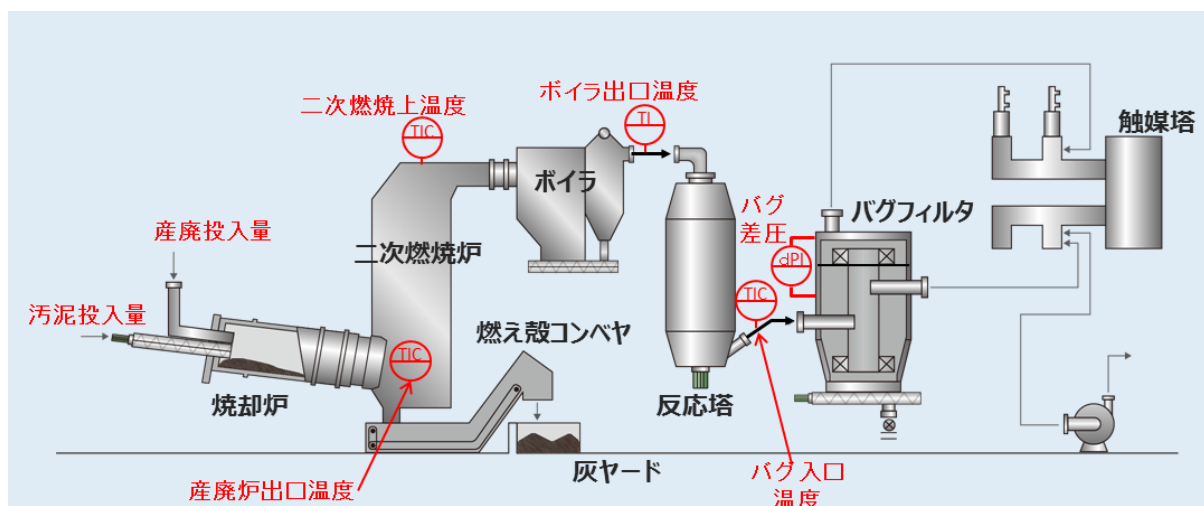


図資 1-31 燃料利用における設備面の評価対象

(4) 燃焼性評価

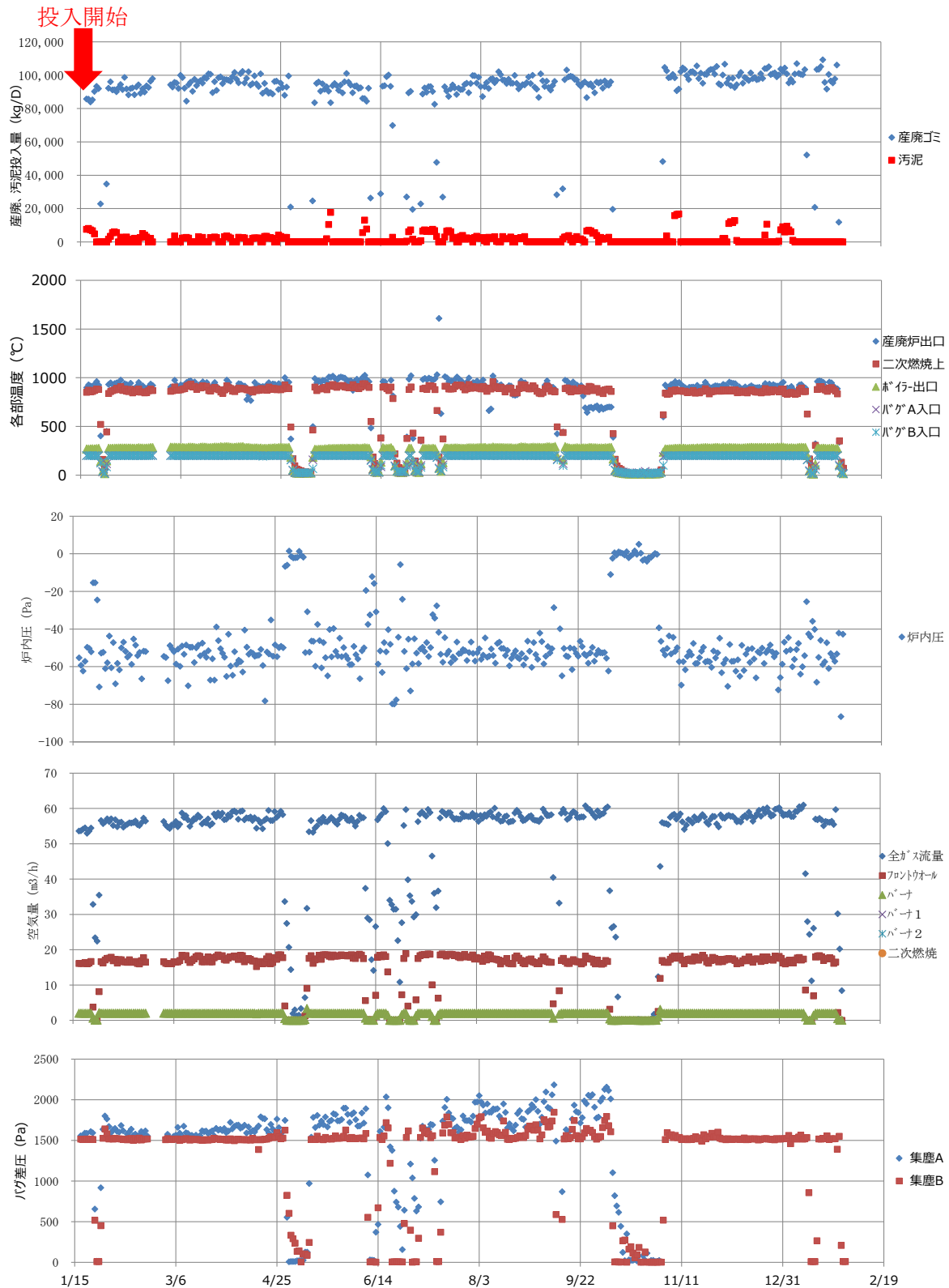
脱水乾燥システムから発生する乾燥汚泥を、サンエコサーマル社の焼却炉に投入し、実際の燃焼性を確認した。内容としては、混焼した際に温度が急変する場所の有無、炉内圧やバグフィルタの差圧などの変化の有無について確認した。

図資 1-32 に焼却炉の概略フローおよび確認した温度の測定箇所等を示す。



図資 1-32 焼却炉 概略フロー

図資 1-33 に約 1 年間測定した結果を示す。サンエコサーマルの焼却炉において混焼率 5～6% 程度で混焼したところ、温度や圧力の急激な変化はなく問題なく燃焼できた。



図資 1-33 燃料利用における燃焼性の評価結果

1. 6 環境への影響

環境への影響については実証結果に基づき、以下の項目について評価し、いずれも規制値以下であることを確認した。

(1) 排ガス性状

表資 1-23 に、各種汚泥において乾燥汚泥含水率 30%にて運転した際の煙突での排ガス性状に関する評価結果を示す。全ての項目で規制値を満足していることを確認した。

(2) 臭気

表資 1-24 に各種汚泥における敷地境界での臭気に関する評価結果を、図資 1-34 に測定した敷地境界の場所を示す。全ての地点において臭気指数 10 以下であり、現在当該地域での規制値はないものの、最小値である臭気指数 10 以下が適用された場合を想定しても規制値を満足できることを確認した。

(3) 騒音

図資 1-35 に設備周辺での騒音の測定場所を、表資 1-25 に設備周辺での測定結果を示す。全ての場所において、設備の稼動による騒音への影響は極めて軽微であるといえる。

(4) 排水性状

表資 1-26 に各種汚泥において本技術から発生した排水の性状分析結果を示す。従来脱水（既設脱水設備）と比較が可能な一般項目については、各項目において同等以下の結果であった。

本技術では顕著な排水水質への影響は認められず、水処理への影響については従来脱水と同程度であるといえる。これは円環式気流乾燥機における滞留時間が短く、乾燥汚泥自体の品温が比較的低温に保たれるため、たんぱく質や揮発性有機分が熱の影響を受けにくいためと考えられる。

表資 1-23 排ガス性状に関する評価結果（１）

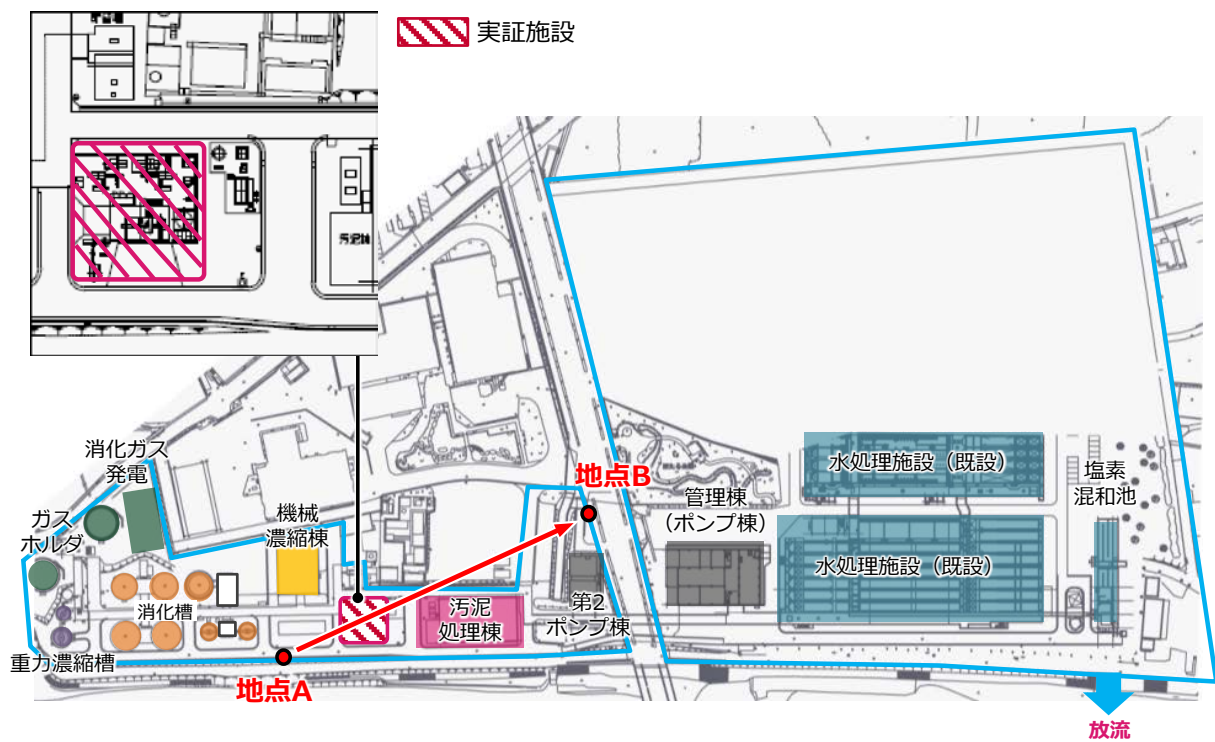
項目	単位	混合生汚泥	消化汚泥	OD 汚泥
水分量	%	9.7	9.2	7.6
排ガス温度	℃	43	46	46
平均流速	m/s	12.2	11.5	10.1
湿り排ガス流量	m ³ /h	680	630	560
乾き排ガス流量	m ³ /h	610	570	520
ダスト濃度	g/m ³	0.026	0.049	0.036
ダスト濃度 (O ₂ 16%換算値)	g/m ³	0.023	0.038	0.031
ダスト流量	kg/h	0.016	0.028	0.019
残存酸素量	vol%	15.3	14.5	15.2
窒素酸化物濃度	volppm	21	21	24
窒素酸化物濃度 (O ₂ 16%換算値)	volppm	18	16	21
窒素酸化物流量	m ³ /h	0.013	0.012	0.012
硫黄酸化物濃度	volppm	1 未満	1	1 未満
塩化水素濃度	volppm	2 未満	2 未満	2 未満

表資 1-23 排ガス性状に関する評価結果（2）

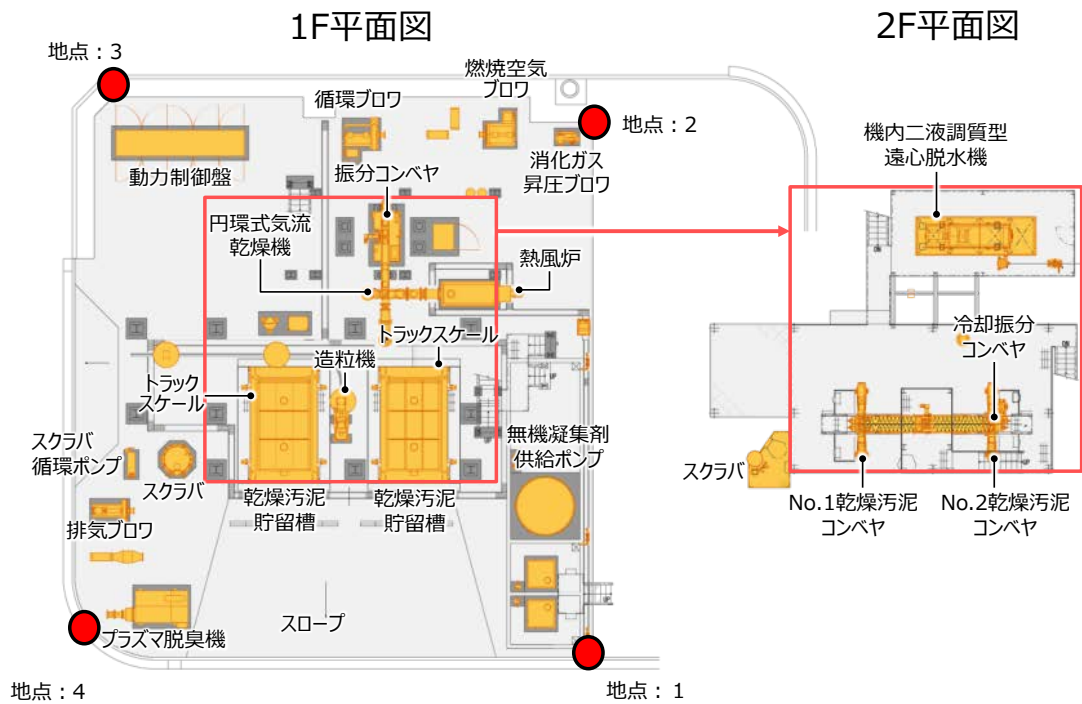
項 目		単位	混合生汚泥	消化汚泥	OD 汚泥
銅及び その化合物	粒子状	mg/m ³	0.001	0.002	0.002
	ガス状	mg/m ³	0.040	0.01 未満	0.01 未満
亜鉛及び その化合物	粒子状	mg/m ³	0.021	0.030	0.020
	ガス状	mg/m ³	0.77	0.01 未満	0.01 未満
カドミウム及び その化合物	粒子状	mg/m ³	0.0003 未満	0.0003 未満	0.0003 未満
	ガス状	mg/m ³	0.003 未満	0.003 未満	0.003 未満
鉛及び その化合物	粒子状	mg/m ³	0.001 未満	0.002	0.001 未満
	ガス状	mg/m ³	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満
マンガン及び その化合物	粒子状	mg/m ³	0.005 未満	0.005 未満	0.005 未満
	ガス状	mg/m ³	0.05 未満	0.05 未満	0.05 未満
クロム及び その化合物	粒子状	mg/m ³	0.005	0.029	0.008
	ガス状	mg/m ³	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満
砒素及び その化合物	粒子状	mg/m ³	0.001 未満	0.001 未満	0.001 未満
	ガス状	mg/m ³	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満
セレン及び その化合物	粒子状	mg/m ³	0.001 未満	0.001 未満	0.001 未満
	ガス状	mg/m ³	0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満
六価クロム化合物		mg/m ³	0.005 未満	0.005 未満	0.005 未満
水銀及びその化合物		mg/m ³	0.0005 未満	0.0005 未満	0.0005 未満

表資 1-24 敷地境界における臭気に関する評価結果

項 目	単 位	規制値	混合生汚泥		消化汚泥		OD 汚泥	
			A	B	A	B	A	B
アンモニア	ppm	1 未満	0.1 未満	0.1 未満	0.1 未満	0.1 未満	0.1 未満	0.1 未満
メチルメル カプタン	ppm	0.002 未満	0.0002 未満	0.0002 未満	0.0002 未満	0.0002 未満	0.0004	0.0003
硫化水素	ppm	0.02 未満	0.002 未満	0.002 未満	0.002 未満	0.002 未満	0.002 未満	0.002 未満
硫化メチル	ppm	0.01 未満	0.001 未満	0.001 未満	0.001 未満	0.001 未満	0.001 未満	0.001 未満
二硫化メチル	ppm	0.009 未満	0.0009 未満	0.0009 未満	0.0009 未満	0.0009 未満	0.0009 未満	0.0009 未満
トリメチル アミン	ppm	0.005 未満	0.0006	0.0005 未満	0.0005 未満	0.0005 未満	0.0005 未満	0.0005 未満
アセトアルデヒド	ppm	0.05 未満	0.005 未満	0.012	0.009	0.010	0.007	0.008
プロピオン アルデヒド	ppm	0.05 未満	0.005 未満	0.005 未満	0.005 未満	0.005 未満	0.005 未満	0.005 未満
ノルマルブチルア ルデヒド	ppm	0.009 未満	0.0009 未満	0.0009 未満	0.0009 未満	0.0009 未満	0.0009 未満	0.0009 未満
イソブチルアルデ ヒド	ppm	0.02 未満	0.002 未満	0.002 未満	0.002 未満	0.002 未満	0.002 未満	0.002 未満
ノルマルバレルア ルデヒド	ppm	0.009 未満	0.0009 未満	0.0009 未満	0.0009 未満	0.0009 未満	0.0009 未満	0.0009 未満
イソバレルアルデ ヒド	ppm	0.003 未満	0.0011	0.0003 未満	0.0003 未満	0.0003 未満	0.0003 未満	0.0003 未満



図資 1-34 敷地境界における臭気測定



図資 1-35 騒音測定場所

表資 1-25 騒音に関する測定結果

地 点	1	2	3	4
運転時 (dB)	60	75	72	60
暗騒音 (dB)	56	72	73	56

表資 1-26 排水性状に関する評価結果 (1/2)

分析項目	単位	消化汚泥		混合生汚泥		OD 汚泥	
pH	—	7.4 (17℃)		6.0 (23℃)		7.0 (21℃)	
SS	mg/L	150		81		180	
BOD	mg/L	63		140		290	
COD	mg/L	180		60		100	
塩化物イオン	mg/L	45		26		29	
窒素含有量	mg/L	260		38		120	
アンモニア性窒素	mg/L	230		21		120	
リン含有量	mg/L	67		15		37	
硫酸イオン	mg/L	220		170		200	
ノルマルヘキサン抽出物質含有量 (鉱物油類)	mg/L	2		2 未満		2 未満	
ノルマルヘキサン抽出物質含有量 (動植物油脂類)	mg/L	2		2		2 未満	
カドミウム及びその化合物	mg/L	0.003	未満	0.003	未満	0.003	未満
シアン化合物	mg/L	0.1	未満	0.1	未満	0.1	未満
有機リン化合物	mg/L	0.1	未満	0.1	未満	0.1	未満
鉛及びその化合物	mg/L	0.01	未満	0.01	未満	0.01	未満
六価クロム化合物	mg/L	0.02	未満	0.02	未満	0.02	未満
砒素及びその化合物	mg/L	0.01	未満	0.01	未満	0.01	未満
水銀及びアルキル水銀 その他の水銀化合物	mg/L	0.0005	未満	0.0005	未満	0.0005	未満
アルキル水銀化合物	mg/L	不検出		不検出		不検出	
PCB	mg/L	0.0005	未満	0.0005	未満	0.0005	未満
トリクロロエチレン	mg/L	0.002	未満	0.002	未満	0.002	未満
テトラクロロエチレン	mg/L	0.0005	未満	0.0005	未満	0.0005	未満
ジクロロメタン	mg/L	0.002	未満	0.002	未満	0.002	未満
四塩化炭素	mg/L	0.0002	未満	0.0002	未満	0.0002	未満
1,2-ジクロロエタン	mg/L	0.0004	未満	0.0004	未満	0.0004	未満
1,1-ジクロロエチレン	mg/L	0.002	未満	0.002	未満	0.002	未満
シス-1,2-ジクロロエチレン	mg/L	0.004	未満	0.004	未満	0.004	未満

表資 1-26 排水性状に関する評価結果 (2/2)

分析項目	単位	消化汚泥		混合生汚泥		OD 汚泥	
1. 1. 1-トリクロロエタン	mg/L	0. 0005	未満	0. 0005	未満	0. 0005	未満
1. 1. 2-トリクロロエタン	mg/L	0. 0006	未満	0. 0006	未満	0. 0006	未満
1. 3-ジクロロプロペン	mg/L	0. 0002	未満	0. 0002	未満	0. 0002	未満
チウラム	mg/L	0. 0006	未満	0. 0006	未満	0. 0006	未満
シマジン	mg/L	0. 0003	未満	0. 0003	未満	0. 0003	未満
チオベンカルブ	mg/L	0. 002	未満	0. 002	未満	0. 002	未満
ベンゼン	mg/L	0. 001	未満	0. 001	未満	0. 001	未満
セレン及びその化合物	mg/L	0. 01	未満	0. 01	未満	0. 01	未満
ほう素及びその化合物	mg/L	0. 1	未満	0. 1	未満	0. 1	未満
ふっ素及びその化合物	mg/L	0. 08	未満	0. 08	未満	0. 11	
1. 4-ジオキサン	mg/L	0. 05	未満	0. 05	未満	0. 05	未満
フェノール類含有量	mg/L	0. 2	未満	0. 2	未満	0. 8	
銅含有量	mg/L	0. 1	未満	0. 1	未満	0. 1	未満
亜鉛含有量	mg/L	0. 3		0. 3		0. 2	
溶解性鉄含有量	mg/L	3. 2		3. 4		0. 2	
溶解性マンガン含有量	mg/L	0. 4		0. 8		0. 3	
クロム含有量	mg/L	0. 02		0. 02	未満	0. 02	

2. ケーススタディ

2. 1 費用関数設定条件

費用関数を算出するにあたり、条件を以下のとおりとした。

2. 1. 1 対象処理場条件

対象汚泥ごとに処理場の条件を表資 2-1 に示す。

表資 2-1 対象処理場条件

汚泥種		混合生汚泥	消化汚泥
水処理方式		標準活性汚泥法	標準活性汚泥法
汚泥濃縮方式		分離機械濃縮	分離機械濃縮
汚泥処理方式		脱水	消化→脱水
汚泥処理量 t-ds/日	最大	0.2～15.7	0.3～13.0
	日平均	上記×0.8	上記×0.8

2. 1. 2 試算条件

(1) 建設費

本技術は既設脱水機棟内に建設することが可能であるため、機械設備工事のみを算定した。機器と工事の内容を表資 2-2 に示す。

表資 2-2 建設費に含まれている項目

機器	脱水乾燥設備		熱風炉、円環式気流乾燥機、サイクロン、循環ブロワ、燃焼空気ブロワ
	汚泥供給設備		既設貯留槽を流用し、汚泥供給ポンプのみ計上
	高分子凝集剤注入設備		既設溶解設備を流用し、高分子凝集剤供給ポンプのみ計上
	無機凝集剤注入設備		無機凝集剤供給ポンプ、無機凝集剤貯留槽
	処理水供給設備		既設を流用し、処理水供給配管のみ配管工事に考慮
	排ガス処理設備		スクラバ、スクラバ循環ポンプ、排ガスブロワ、プラズマ脱臭機（混合生汚泥時のみ計上）
	燃料供給 設備	外部燃料	既設燃料貯留槽を流用し、燃料供給ポンプのみ計上
		消化ガス	消化ガス昇圧ブロワ
工事	乾燥汚泥搬送・貯留設備		冷却コンベヤ、汚泥貯留槽
	据付工事		上記機器の機械基礎及び据付工事
	配管工事		上記機器の配管工事
	電気工事		上記機器の動力制御盤及び動力制御盤からの二次側配線工事
土木建築工事	土木建築工事		既設汚泥棟に設置することを前提とし、別途土木建築工事は見込まない。

(2) 維持管理費

維持管理費としては、補修費、薬剤（高分子凝集剤、無機凝集剤）、人件費、電力費及び燃料費を考慮する。

表資 2-3 に維持管理費の試算条件を示す。なお、電力については実証研究で得られた条件を基に、実設備で想定される機器仕様にて消費動力を検討した数値となっている。

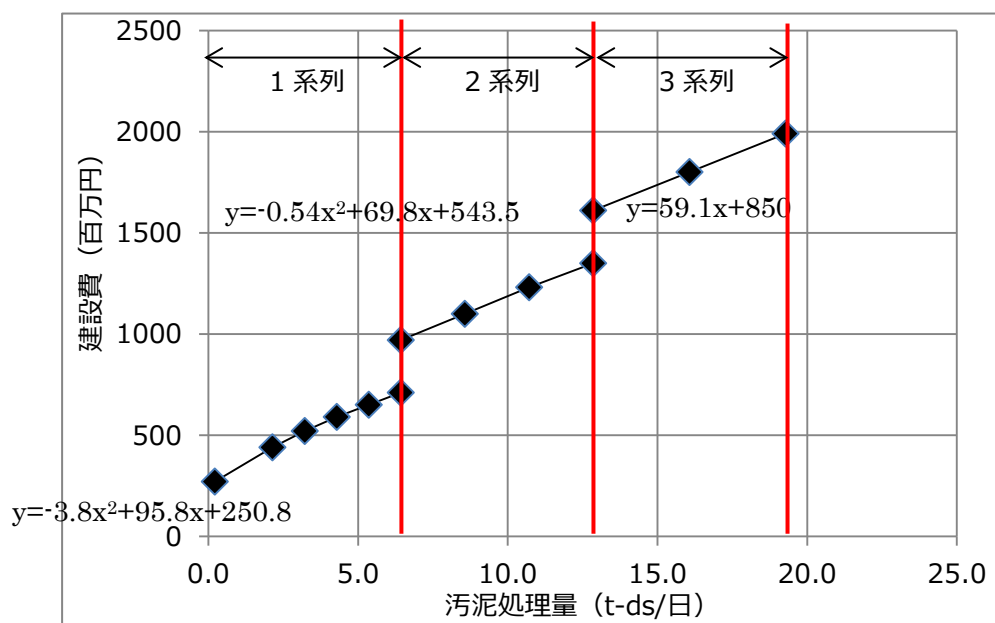
表資 2-3 維持管理条件

		混合生汚泥	消化汚泥
脱水	高分子注入率	0.8%	1.9%
	無機注入率	5%	10%
	脱水汚泥含水率	74%	79%
乾燥	燃料原単位	249L/t-ds	234L/t-ds
	乾燥汚泥含水率	30%	
その他 条件	電力原単位	635kW/t-ds	635kW/t-ds
	稼動条件	335 日/年、24h 稼動	
	補修費	年価として機器費の 3%を想定した	
	人件費	日中 1 名、夜間は中央監視兼任のため考慮しない。	

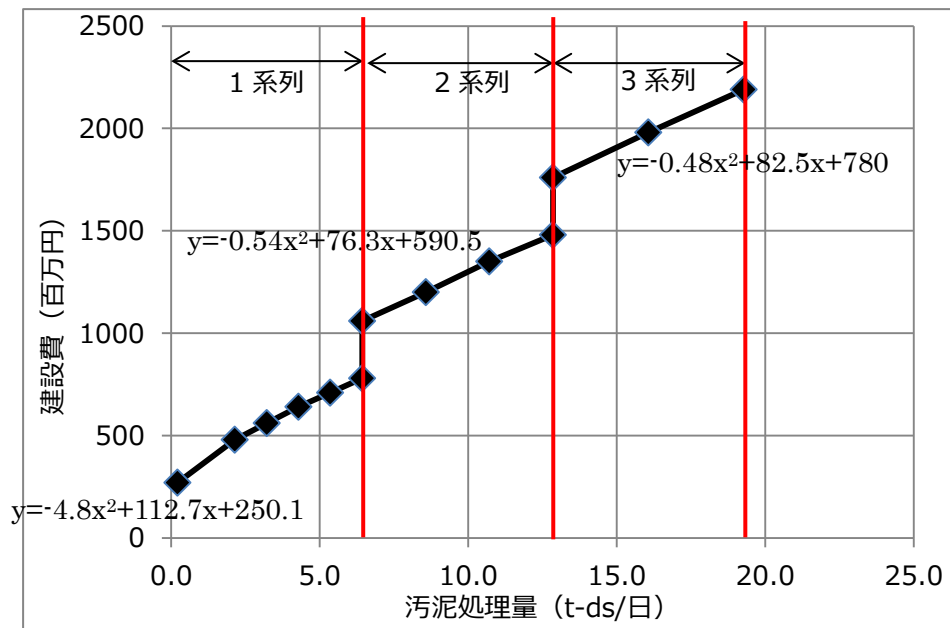
2. 2 費用関数について

2. 2. 1 建設費

建設費の費用関数は、消化汚泥および混合生汚泥を対象とした脱水乾燥システムの建設工事（機械工事費）を想定して整理した。計算結果を図資 2-1 に示す。また汚泥処理量が大規模になった場合は複数系列を設置することが想定されるため、1～3 系列それぞれにおける費用関数を整理した。



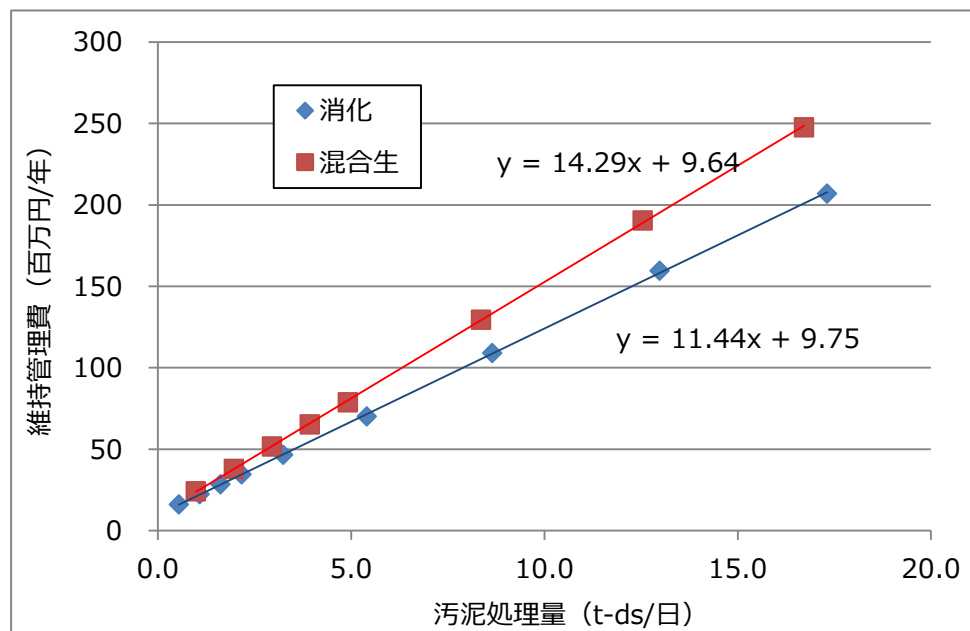
図資 2-1 建設費の費用関数（消化汚泥の場合）



図資 2-1 建設費の費用関数（混合生汚泥の場合）

2. 2. 2 維持管理費

維持管理費の費用関数を整理した結果を図資 2-2 に示す。費用のうちユーティリティーに関連する費用が支配的となるため、汚泥処理量に対して一次式での近似となった。



図資 2-2 維持管理費の費用関数

2. 3 ケーススタディ例

2. 3. 1 検討条件

(1) 対象処理場条件

中小規模の処理場での総費用（年価換算値）は、第2章第3節にて試算しているのので、ここでは大規模処理場の場合の総費用（年価換算値）と、乾燥汚泥の有効利用において、肥料の利用期間が限られていた場合の総費用（年価換算値）の試算を行う。肥料の利用期間が限られている場合の試算は、中小規模および大規模それぞれにおいて試算する。表資2-4に大規模の場合の対象となる処理場の条件を示す。

表資 2-4 対象処理場条件

汚泥種		消化汚泥	混合生汚泥
処理水量 m ³ /日	最大	80,000～160,000	42,500～85,000
	日平均	64,000～128,000	34,000～68,000
水処理方式		標準活性汚泥法	標準活性汚泥法
汚泥濃縮方式		分離機械濃縮	分離機械濃縮
汚泥処理方式		分離機械濃縮→消化→脱水	分離機械濃縮→脱水
汚泥量 t-ds/日	最大	8.6～17.3	8.4～16.8
	日平均	6.9～13.8	6.7～13.4

(2) 比較対象機種

大規模処理場における本技術との比較技術は、従来脱水＋従来焼却（以降、従来焼却という）及び従来脱水＋従来乾燥（以降、従来乾燥という）とした。肥料の利用期間が限られている場合については、従来乾燥との比較とする。

(3) 単価設定

表資2-5に単価設定を示す。なお、汚泥の有効利用時は有効利用先まで汚泥を運搬する費用を計上した。燃料については、消化汚泥処理場では消化ガスは場内で発生したガスが無償、混合生汚泥処理場では外部からA重油を補給する前提とした。

表資 2-5 単価設定

項目		条件
汚泥処分費	外部委託	焼却灰：18,000 円/t、有効利用：0 円/t
	有効利用	焼却灰：7,000 円/t、乾燥汚泥：5,000 円/t（輸送費）
薬品費	高分子	1,000 円/kg
	無機	88 円/kg
電力		15 円/kWh
燃料		消化ガス 無償、A 重油 71 円/L

(4) 試算条件

1) 大規模処理場の場合

①建設費

建設費の対象とその試算方法を表資 2-6 に示す。従来技術については、『バイオソリッド利活用基本計画（下水汚泥処理総合計画）策定マニュアル』（公益社団法人日本下水道協会）もしくは国土技術政策総合研究所作成の費用関数に基づき試算した。一方、本技術は 2. 2 で導出した費用関数により試算した。

今回の FS では、脱水処理まで行っている処理場を前提とし、従来脱水と本技術は既設脱水機棟に建設する前提である。一方、従来乾燥設備は大型であり、既設の脱水機棟に建設するのが困難であるため、土木、電気も新設する前提としている。

表資 2-6 建設費条件（y：各種建設費（百万円/年））

		従来焼却	従来乾燥	本技術
脱水	機械	消化： $y=7.6817X^{0.6233^{1)}$ 混合： $y=19.156X^{0.4171^{1)}$ X：汚泥処理量 t-wet/d（最大）	左記	3)
焼却 ・ 乾燥	機械	$y=1.8888X^{0.597} \times (109.9/98.3) \times 100^{2)}$ X：汚泥処理量 t-wet/d（最大）	$y=0.319X^{0.971} \times (109.9/98.3) \times 100^{2)}$ X：汚泥処理量 t-wet/d（最大）	
	土木	$y=2.426X^{0.0094} \times (109.9/98.3) \times 100^{2)}$ X：汚泥処理量 t-wet/d（最大）	$y=0.123X^{0.941} \times (109.9/98.3) \times 100^{2)}$ X：汚泥処理量 t-wet/d（最大）	
	電気	$y=0.726X^{0.539} \times (109.9/98.3) \times 100^{2)}$ X：汚泥処理量 t-wet/d（最大）	$y=0.0659X^{0.809} \times (109.9/98.3) \times 100^{2)}$ X：汚泥処理量 t-wet/d（最大）	

- 1) 全国の脱水・乾燥設備を保有する施設・処理場を対象に実施したアンケートを元に算出した費用関数（国土交通省国土技術政策総合研究所 平成 29 年度 下水道革新的技術の評価のための基礎資料作成業務 報告書）
- 2) 『バイオソリッド利活用基本計画（下水汚泥処理総合計画）策定マニュアル』（公益社団法人日本下水道協会）より費用関数により試算
- 3) 本技術 費用関数により試算

②維持管理費

表資 2-7 に維持管理費の試算方法を示す。本技術は今回の実証研究にて得られた代表的な運転条件を基に設定した。

表資 2-7 維持管理条件（y：各種維持管理費（百万円/年））

		従来焼却	従来乾燥	本技術
維持 管理 費	脱水	消化： $y=99.699X^{0.8313}/1000^{2)}$ 混合： $y=189.45X^{0.7096}/1000^{2)}$ X：汚泥処理量（t・ds/年）	消化： $y=99.699X^{0.8313}/1000^{2)}$ 混合： $y=189.45X^{0.7096}/1000^{2)}$ X：汚泥処理量（t・ds/年）	消化： $y=11.44x+9.75^{3)}$ 混合： $y=14.29x+9.64^{3)}$ x：汚泥処理量 t・ds/日（日最大）
	焼却 ・ 乾燥	$y=0.287X^{0.673} \times (109.9/98.3)^{2)}$ X：汚泥処理量 t・wet/d（平均）	$y=0.362X^{0.585} \times (109.9/98.3)^{2)}$ X：汚泥処理量 t・wet/d（平均）	
汚泥 処分 費	汚泥 処分	外部委託	有効利用	有効利用
	含水 率	混合生：78% 消化：83%	30%	30%
	処理 単価	15,000 円/t ⁴⁾	19,000 円/t ⁴⁾	5,000 円/t

- 1) 消化ガスが使用できる場合は、消化ガス使用量を熱量換算で試算し、不足する分について、重油を使用する前提とする。
- 2) 全国の脱水・乾燥設備を保有する施設・処理場を対象に実施したアンケートを元に算出した費用関数（国土交通省国土技術政策総合研究所 平成 29 年度 下水道革新的技術の評価のための基礎資料作成業務 報告書）
- 3) 本技術 費用関数により試算
- 4) 全国の脱水・乾燥設備を保有する施設・処理場を対象に実施したアンケートを元に算出した費用関数（国土交通省国土技術政策総合研究所 平成 29 年度 下水道革新的技術の評価のための基礎資料作成業務 報告書）

2) 肥料の利用期間が限られている場合

肥料の利用期間が限られている場合の建設費と維持管理費については、第 2 章第 3 節と同様とする。

2. 3. 2 検討結果

(1) 大規模処理場の場合

1) 消化汚泥の場合

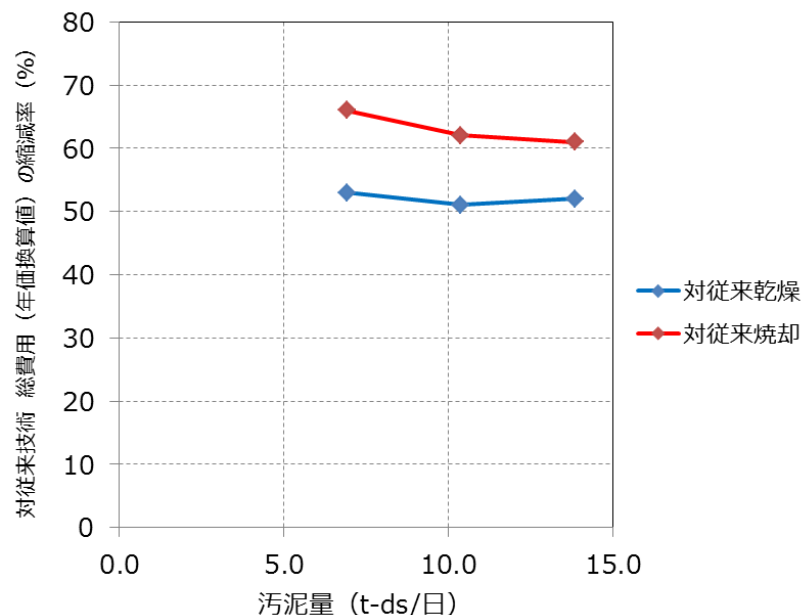
図資 2-3 に大規模、消化汚泥処理場における従来技術に対する総費用（年価換算値）の縮減効果を示す。

①従来焼却に対する導入効果

規模が大きいほど導入効果が低い傾向を示したが、これは本技術の建設費が相対的に上がったためと推察される。ただし、幅広い領域で縮減率 60%以上と高い導入効果が確認された。

②従来乾燥に対する導入効果

幅広い領域で縮減率 50%以上と高い導入効果が確認された。



図資 2-3 従来技術に対する総費用（年価換算値）の縮減率

（消化汚泥処理場、処理水量 80,000～160,000m³/日、日平均汚泥量 6.9～13.8t-ds/日）

2) 混合生汚泥の場合

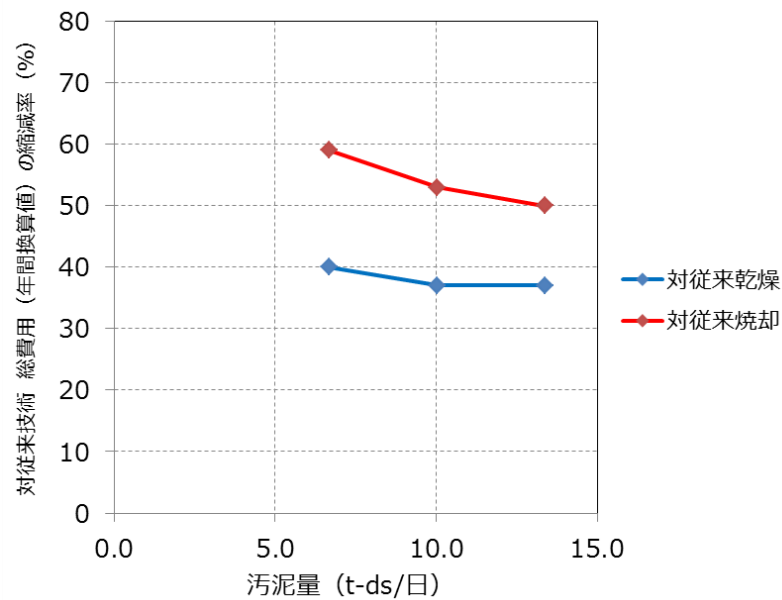
図資 2-4 に大規模、混合生汚泥処理場における従来技術に対する総費用（年価換算値）の縮減効果を示す。

① 従来焼却に対する導入効果

規模が大きいほど導入効果が低い傾向を示したが、これは本技術の建設費が相対的に上がったためと推察される。ただし、幅広い領域で縮減率 50%以上と高い導入効果が確認された。

② 従来乾燥に対する導入効果

幅広い領域で縮減率 40%程度と高い導入効果が確認された。



図資 2-4 従来技術に対する総費用（年価換算値）の縮減率
 （混合生汚泥処理場、処理水量 42,500～85,000m³/日、日平均汚泥量 6.7～13.4t-ds/日）

（２）肥料の利用期間が限られている場合

乾燥汚泥を肥料として有効利用する場合、年間を通しての需要がない場合も多い。そこで従来技術として肥料利用期間（中小規模：４ヶ月の場合、８か月の場合、大規模：４か月の場合）ごとにケーススタディを実施した。

表資 2-8 に肥料利用が１年のうち４ヶ月のみの場合での比較を示す。従来乾燥では４ヶ月間のみ肥料利用し、残りの８か月間は産廃処分する。一方、本技術では残りの８か月は燃料として利用した場合とする。総費用（年価換算値）の結果として 55% の導入効果が得られる試算となった。

表資 2-8 肥料利用が４ヶ月の場合

項目	内容	
	従来乾燥	本技術
処理水量	最大 60,000m ³ /日（平均 48,000m ³ /日）	
汚泥処理量	30t-wet/日（既設脱水汚泥量）（5.19t-ds/日）	
乾燥汚泥含水率	30%（肥料）	30%（肥料）と 20%未満（燃料）
有効利用期間 ¹⁾	４か月（春と秋）	１年中（肥料 ４か月、燃料 ８か月）
有効利用費用	5,000 円/t	
産廃処理費	19,000 円/t	
汚泥処分費	7.4t-wet/日×120 日×5,000 円/t + 7.4t/日×245 日×19,000 円/t = 38.9 百万円/年	7.4t-wet/日×120 日×5,000 円/t + 6.5t/日×245 日×5,000 円/t= 12.4 百万円/年
その他維持管理費	147.3 百万円/年	86.9 百万円/年
建設費	213.1 百万円/年	80.4 百万円/年
総費用（年価換算値）	399.3 百万円/年	179.7 百万円/年
削減率	—	55%

1) 某処理場における肥料利用の乾燥汚泥とその他産廃処分する汚泥の固形物量比より設定。

また地域によって肥料利用の期間が異なるため、8 か月での試算例を表資 2-9 に示す。従来乾燥で 8 か月間は肥料利用し、残りの 4 ヶ月間は産廃処理とする。一方、本技術では残りの 4 ヶ月間を燃料として利用した場合、総費用（年価換算値）の結果として 53%の導入効果が得られる試算となった。

表資 2-9 肥料利用が 8 ヶ月の場合

項目	内容	
	従来乾燥	本技術
処理水量	最大 60,000m ³ /日（平均 48,000m ³ /日）	
汚泥処理量	30t-wet/日（既設脱水汚泥量）（5.19t-ds/日）	
乾燥汚泥含水率	30%（肥料）	30%（肥料）と 20%未満（燃料）
有効利用期間 ¹⁾	8 か月	1 年中（肥料 8 か月、燃料 4 か月）
有効利用費用	5,000 円/t	
産廃処理費	19,000 円/t	
汚泥処分費	7.4t-wet/日×240 日×5,000 円/t + 7.4t/日×125 日×19,000 円/t = 26.5 百万円/年	7.4t-wet/日×240 日×5,000 円/t + 6.5t/日×125 日×5,000 円/t= 12.9 百万円/年
その他維持管理費	147.3 百万円/年	86.9 百万円/年
建設費	213.1 百万円/年	80.4 百万円/年
総費用（年価換算値）	386.8 百万円/年	180.2 百万円/年
削減率	—	53%

1) 某処理場における乾燥汚泥と他処理場で処分する汚泥の固形物量比より設定。

また中小規模ではなく、大規模な処理場における試算例を表資 2-10 に示す。肥料利用期間は 4 か月間とした。この場合においても、総費用（年価換算値）の結果は 55%の導入効果が得られる試算となった。

表資 2-10 肥料利用が 4 ヶ月の場合（大規模）

項目	内容	
	従来乾燥	本技術
処理水量	最大 120,000m ³ /日（平均 96,000m ³ /日）	
汚泥処理量	60t-wet/日（既設脱水汚泥量）（10.39t-ds/日）	
乾燥汚泥含水率	30%（肥料）	30%（肥料）と 20%未満（燃料）
有効利用期間	4 か月（春と秋）	1 年中（肥料 4 ヶ月、燃料 8 か月）
有効利用費用	5,000 円/t	
産廃処理費	19,000 円/t	
汚泥処分費	14.8t-wet/日 × 120 日 × 5,000 円/t + 14.8t/日 × 245 日 × 19,000 円/t = 77.8 百万円/年	14.8t-wet/日 × 120 日 × 5,000 円/t + 13.0t-wet/日 × 245 日 × 5,000 円/t = 24.8 百万円/年
その他維持管理費	235.7 百万円/年	162.2 百万円/年
建設費	394.3 百万円/年	134.5 百万円/年
総費用（年価換算値）	707.7 百万円/年	321.5 百万円/年
削減率	—	55%

3. 参考文献

- 1) 下水道施設計画・設計指針と解説 2009 年版、社団法人日本下水道協会
- 2) 下水道用語集 2000 年版、社団法人日本下水道協会
- 3) 低動力型高効率遠心脱水機技術マニュアル、日本下水道新技術機構、2007 年 8 月
- 4) バイオソリッド利活用基本計画（下水污泥処理総合計画）策定マニュアル、社団法人日本下水道協会、平成 16 年 3 月
- 5) 平成 28 年度の電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等の公表について、環境省地球環境局地球温暖化対策課ウェブサイト
- 6) エネルギー源別標準発熱量及び炭素排出係数の改定について、資源エネルギー庁、平成 27 年 4 月 14 日
- 7) 下水道における地球温暖化対策マニュアル～下水道部門における温室効果ガス排出抑制指針の解説～平成 28 年 3 月、環境省・国土交通省
- 8) 『廃棄物処理施設の基幹的設備改良マニュアル』環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課