

## 1. 実証研究結果

## 1. 1. 実証研究概要

## (1) 研究名称

中小規模広域化に資するバイオマスボイラによる低コスト汚泥減量化技術実証研究

## (2) 実施者

月島機械(株)・日鉄セメント(株)・高砂熱学工業(株)・室蘭工業大学・室蘭市水道部共同研究体

## (3) 実証期間

令和2年度委託研究：令和2年11月3日～令和3年10月29日

令和3年度委託研究：令和3年12月17日～令和4年3月31日

令和4年度委託研究：令和4年6月22日～令和5年3月31日

## (4) 実証場所

表資1-1に実証場所である室蘭市蘭東下水処理場の施設概要を示す。

蘭東下水処理場は室蘭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30,000 m<sup>3</sup>/日であり、一般的な中規模下水処理場といえる。

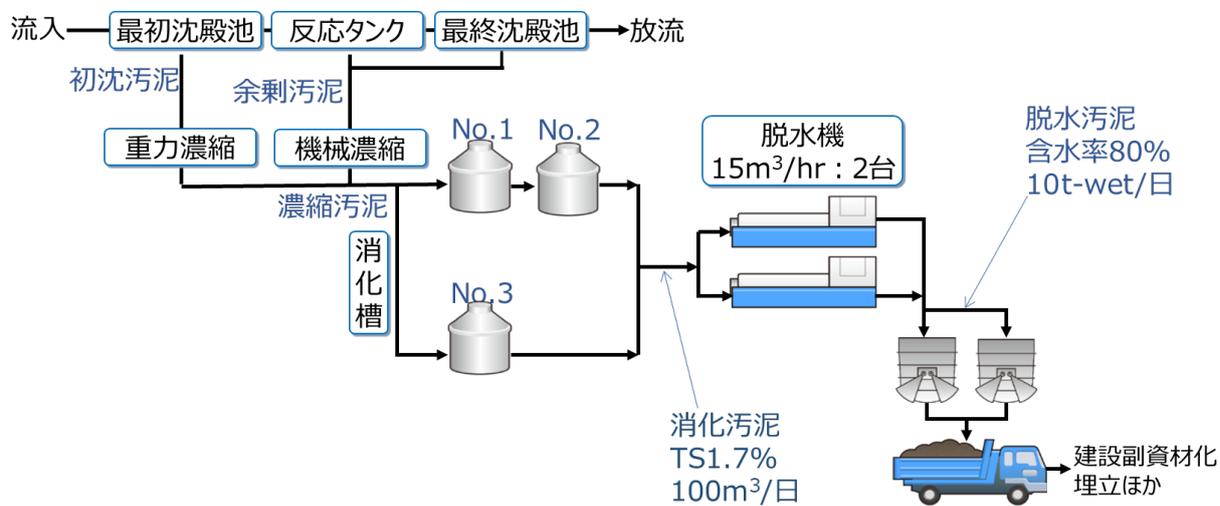
汚泥処理では消化設備を有し、発生する消化汚泥を脱水設備にて脱水処理し、その脱水汚泥を外部処分委託している。

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、既設水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 蘭東下水処理場の施設概要

項目	内容
処理場名	蘭東下水処理場
供用開始	昭和53年度
現有水処理能力	48,000m <sup>3</sup> /日 (日最大)
流入水量実績	30,000m <sup>3</sup> /日 (日平均) (R3.3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→遠心脱水→外部委託処分

図資 1-1 に蘭東下水処理場の処理フローを示す。



図資 1-1 蘭東下水処理場 処理フロー

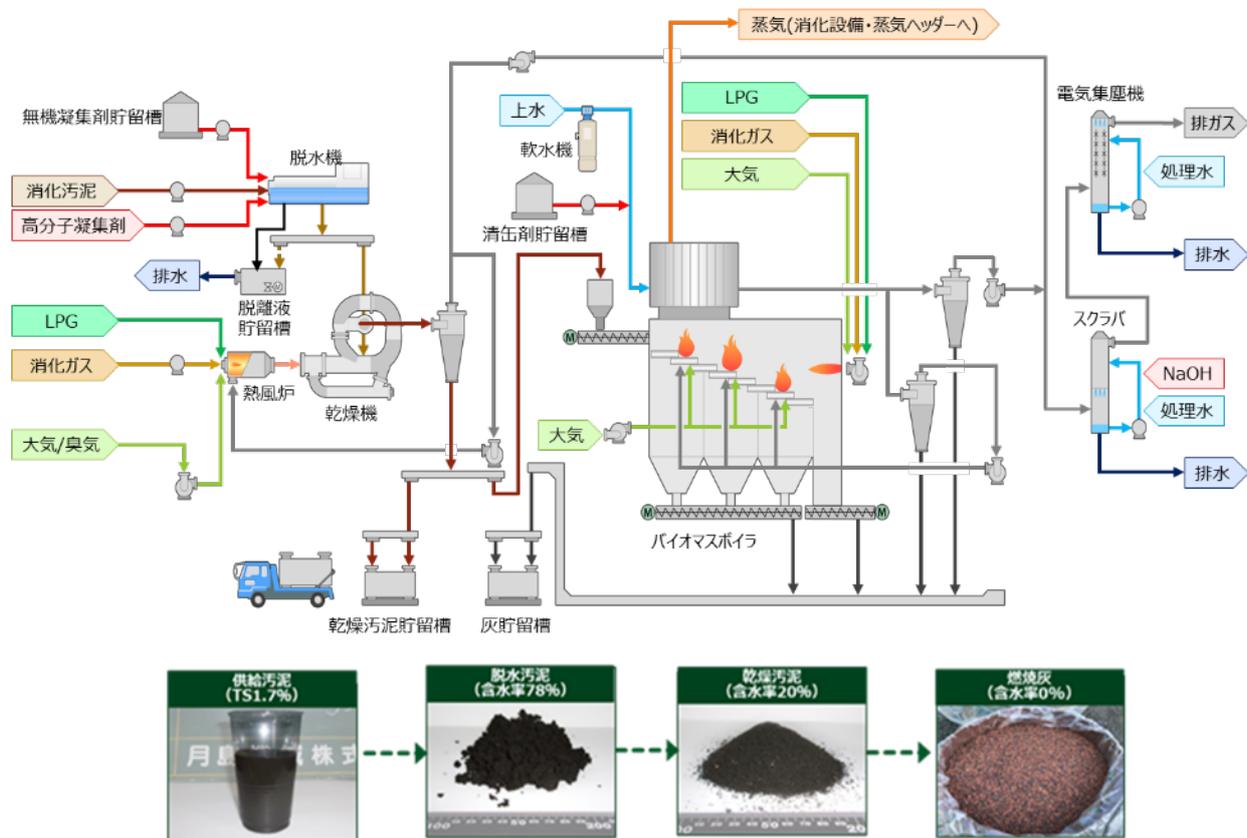
図資 1-2 に蘭東下水処理場の場内配置図を示す。



図資 1-2 蘭東下水処理場 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

設計条件	汚泥条件	消化汚泥 濃度 1.7%
	発生量	112m <sup>3</sup> /日 (1945kg-ds/日)
	稼働条件	24hr/日、6日/週
脱水乾燥	脱水機	汚泥処理量 5.5m <sup>3</sup> /hr (95kg-ds/hr)
	乾燥機	脱水汚泥処理量 380kg-wet/hr (含水率 75%)
	熱風炉	消化ガス使用量 41.1Nm <sup>3</sup> /hr (966MJ/hr)
バイオマスボイラ	乾燥汚泥消費量 105kg-wet/hr (含水率 10%) (95 kg-ds/hr)	
	伝熱面積 9.7m <sup>2</sup>	
	圧力 0.98MPa 以下	

## 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

		令和2年度		令和3年度				令和4年度			
		3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
		実証1年目				実証2年目		実証3年目			
		●————●				●————●		●-----●			
実証設備の設計・建設		■				自主研究		自主研究			
項目1 運転の 安定性の 検証	①運転の安定性検証				■	■	■	■	■		
	②最適運転状態の検証				■	■	■	■	■		
	③自動制御の検証								■	■	
項目2 広域化への 適用性の 検証	④外部脱水汚泥の処理 の検証（四季調査）					■	■	■	■		
	⑤地域バイオマスの 活用の検証（四季調査）					■	■	■	■		
項目3 乾燥汚泥 および 燃焼灰の 有効利用の 検証	⑥燃焼灰の有効利用の検証				■	■	■	■	■	■	
	⑦乾燥汚泥の有効利用の 検証				■	■	■	■	■	■	
項目4 ライフサイ クルコストの 検証	⑧ライフサイクルコスト 低減の検証				■		■		■		

## 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 (1/4)

分類	内容	実証内容	目的	目標
運転の安定性と維持管理性の検証	最適状態の検証	空気比、給気バランス、排ガス循環量、燃料滞留時間を調整し含水率および供給量毎の最適状態を確認する	最適運転パラメータ取得	ボイラ効率 40%以上
				スクラバ出口ばいじん濃度 0.3g/Nm <sup>3</sup> 以下
				灰の未燃分率割合 10%以下
				各条件における運転パラメータを取得すること
	運転安定性の検証	72hr の連続運転を実施する	連続運転の可否判定	連続運転できること
		解放点検	定期補修頻度把握	灰等の付着、摩耗状態と運転時間の関係を把握すること
	自動制御の検証	空気比、給気バランス、滞留時間の自動制御による運転の可否を確認する	無人化運転に向けた要素技術の確認	炉内温度を任意温度で一定に保つこと
				灰の未燃分率を 10%以下に保つこと
				火炎位置検出による失火防止制御可否を判定すること
	外部脱水汚泥処理の検証 (四季調査)	季節毎に外部脱水汚泥を 1t/日×3 日の乾燥試験を実施する	外部汚泥受入れの可否判定	問題なく 6hr 以上乾燥処理ができること
地域バイオマス活用の検証 (四季調査)	季節毎に地域バイオマスを 2.5t/日×3 日の燃焼試験を実施する	地域バイオマス活用時の性能把握	ボイラ効率 40%以上	
			スクラバ出口ばいじん濃度 0.3g/Nm <sup>3</sup> 以下	
			灰の未燃分率割合 10%以下	

表資 1-4 実証目標と成果 (2/4)

分類	内容	実証内容	目的	目標
乾燥汚泥および燃焼灰の有効利用に関する検証	燃焼灰の性状検証	有機分分析、重金属分析、溶出試験を実施する	有効利用への適用性判定	セメント利用に問題ないこと
		スクリーコンベヤ、ロータリーバルブ、フライトコンベヤでの搬送性を確認する	燃焼灰のハンドリング性把握	急激な摩耗、閉塞などが起きないこと
		貯留時の内部温度の経時変化を確認する	燃焼灰の貯留性把握	安全に貯留できること
	燃焼灰・乾燥汚泥の有効利用設備への適用性検証	適した受入れラインの検討を実施する	受入れに適したラインを特定	問題なく受入れができること
		圧送ポンプ、コンベヤ、バケットエレベータ、エアースライダー等での搬送性能を確認する	搬送性判定	問題なく搬送できること
	乾燥汚泥の肥料利用検証	有機分分析、肥料成分分析、重金属分析、溶出試験を実施する	肥料性判定	肥料法にて規定されている汚泥肥料の登録基準を満たすこと
植害試験の実施		肥料性能把握	悪影響がなく施肥効果が認められること	
LCC低減の検証	ライフサイクルコスト低減の検証	システム性能調査、制御調査において得られた代表的な運転条件を用いて、脱水乾燥システム+バイオマスボイラ設備のライフサイクルコストを試算し、従来技術との比較を行う	ライフサイクルコスト把握	従来の脱水汚泥外部処理に対してLCC25%低減できること

表資 1-4 実証目標と成果 (3/4)

分類	内容	評価指標	目標値 (根拠)	実証成果	
				結果	評価
運転の安定性と維持管理性の検証	最適状態の検証	ボイラ効率	40%以上	60~70%程度	目標達成
		ばいじん濃度	0.3g/m <sup>3</sup> 以下	0.08~0.29g/m <sup>3</sup> 程度	目標達成
		灰未燃分率	10%以下	2~5%程度	目標達成
		運転操作因子	各条件の最適値を特定すること	各条件の最適値を特定	目標達成
	運転安定性の検証	連続運転時間	72hr 運転できること	72時間連続運転を達成	目標達成
		不具合有無	補修項目・頻度を把握すること	解放点検により、補修頻度を類推	目標達成
	自動制御の検証	炉内温度	自動制御にて一定に保つこと	自動制御にて炉内温度を一定に保てることを確認	目標達成
		灰未燃分率	自動制御にて10%以下に保つこと	自動制御にて灰未燃分を10%以下に保てることを確認	目標達成
		画像認識による火炎位置の認識	画像認識による失火防止制御に向けた火炎位置認識技術を確立する	画像認識によって火炎位置を数値化できることを確認	目標達成
	外部脱水汚泥処理の検証 (四季調査)	外部脱水汚泥の受入れ可否	外部脱水汚泥を乾燥処理できること	四季にて乾燥可能できることを確認	目標達成
	地域バイオマス活用の検証 (四季調査)	ボイラ効率	40%以上	60~70%程度	目標達成
		ばいじん濃度	0.3g/m <sup>3</sup>	0.08~0.10g/m <sup>3</sup> 程度	目標達成
		灰未燃分率	10%以下	0%	目標達成

表資 1-4 実証目標と成果 (4/4)

分類	内容	評価指標	目標値 (根拠)	実証成果	
				結果	評価
乾燥汚泥および燃焼灰の有効利用に関する検証	燃焼灰の性状検証	セメント適用性 (分析結果)	セメント利用に問題ないこと	問題ないことを確認	目標達成
		ハンドリング性	急激な摩耗、閉塞などがないこと	問題ないことを確認	目標達成
		貯留性	温度上昇やガス発生がないこと	問題ないことを確認	目標達成
	燃焼灰・乾燥汚泥の有効利用設備への適用性検証	既存設備の受入可否	受入れ設備が問題なく運転できること	問題ないことを確認	目標達成
		ハンドリング性	搬送設備が問題なく運転できること	問題ないことを確認	目標達成
	乾燥汚泥の肥料利用検証	肥料性 (分析結果)	肥料法の成分を満足すること	満足した	目標達成
		栽培試験	施肥性が確認させること	満足した	目標達成
LCC 低減の検証	ライフサイクルコストの低減の検証	ライフサイクルコスト (建設費、薬品費、消費電力、補修費等)	従来の脱水汚泥外部委託処理と比較して 25%削減すること	LCC25%減を達成する条件を特定	目標達成

### 1. 3 実証結果

#### 1. 3. 1 バイオマスボイラ性能に関する調査

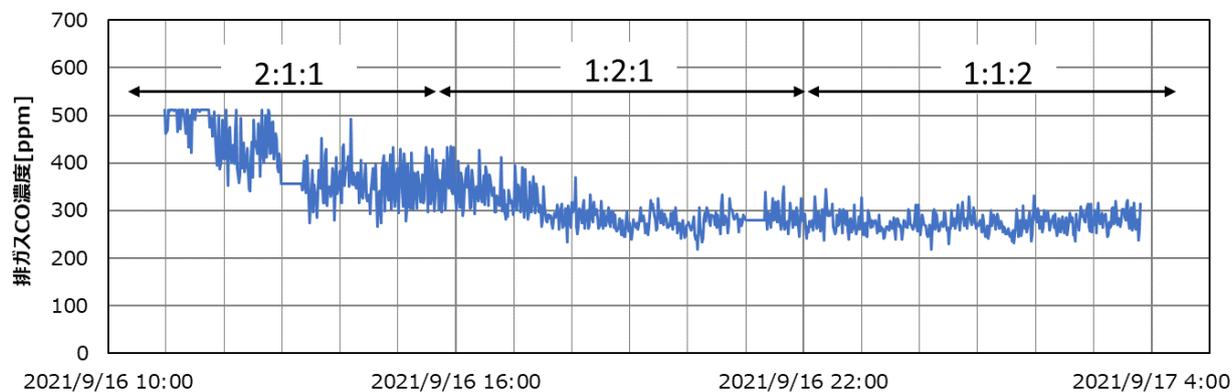
本章における語句の説明を以下に示す。

- ・ 給気バランス : 炉の上流、中流、下流の流量バランス  
例としては「上流:中流:下流」=「2:1:1」と表現する
- ・ 空気比 : 燃烧空気量の理論空気量に対する倍率  
空気比[-]=燃烧空気量[Nm<sup>3</sup>/hr]/理論空気量[Nm<sup>3</sup>/hr]
- ・ 排ガス循環比 : 燃烧空気量に対する排ガス循環量の割合  
排ガス循環比[-]=排ガス循環量[Nm<sup>3</sup>/hr]/燃烧空気量[Nm<sup>3</sup>/hr]

#### ① 給気バランスの調査

##### ・ 燃烧空気バランスについて

燃烧空気はストーカ炉の上流、中流、下流に任意の割合で分配が可能である。図資 1-4 に燃烧空気バランスを「上流:中流:下流」=「2:1:1」→「1:2:1」→「1:1:2」と変化させた場合を排ガス CO 濃度変化を示す。「1:2:1」へ変化させると燃烧状態が改善し、CO 濃度が減少する傾向が確認された。「1:1:2」のバランスは燃烧の原理的に不適であることが明らかのため、「1:2:1」を最適バランスとした。



図資 1-4 燃烧空気バランスと排ガス CO 濃度の関係  
(乾燥汚泥 55kg-ds/hr、空気比 2.9、排ガス循環比 0 の場合)

##### ・ 排ガス循環バランス

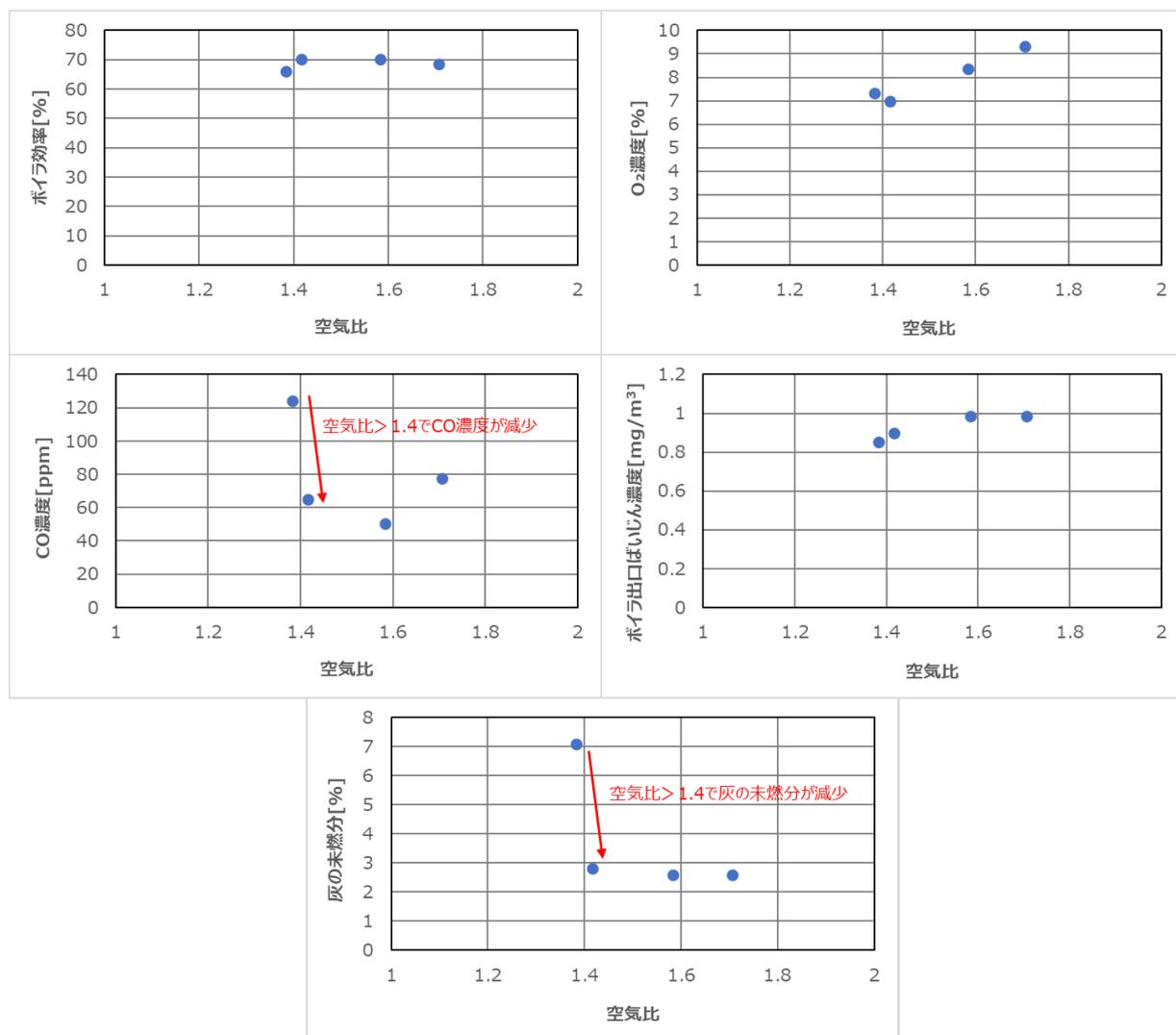
循環排ガスはストーカ炉の上流、中流、下流に任意の割合で分配が可能である。図資 1-5 に排ガス循環バランスを「上流:中流:下流」=「2:1:2」→「2:1:1」→「1:1:1」と変化させた場合の排ガス CO 濃度の変化を示す。「2:1:1」が最も良い燃烧状態であったため、「2:1:1」を最適バランスとした。



図資 1-5 排ガス循環バランスと排ガス CO 濃度の関係  
(乾燥汚泥 95kg-ds/hr、空気比 1.6、排ガス循環比 0.3 の場合)

## ② 空気比の調査

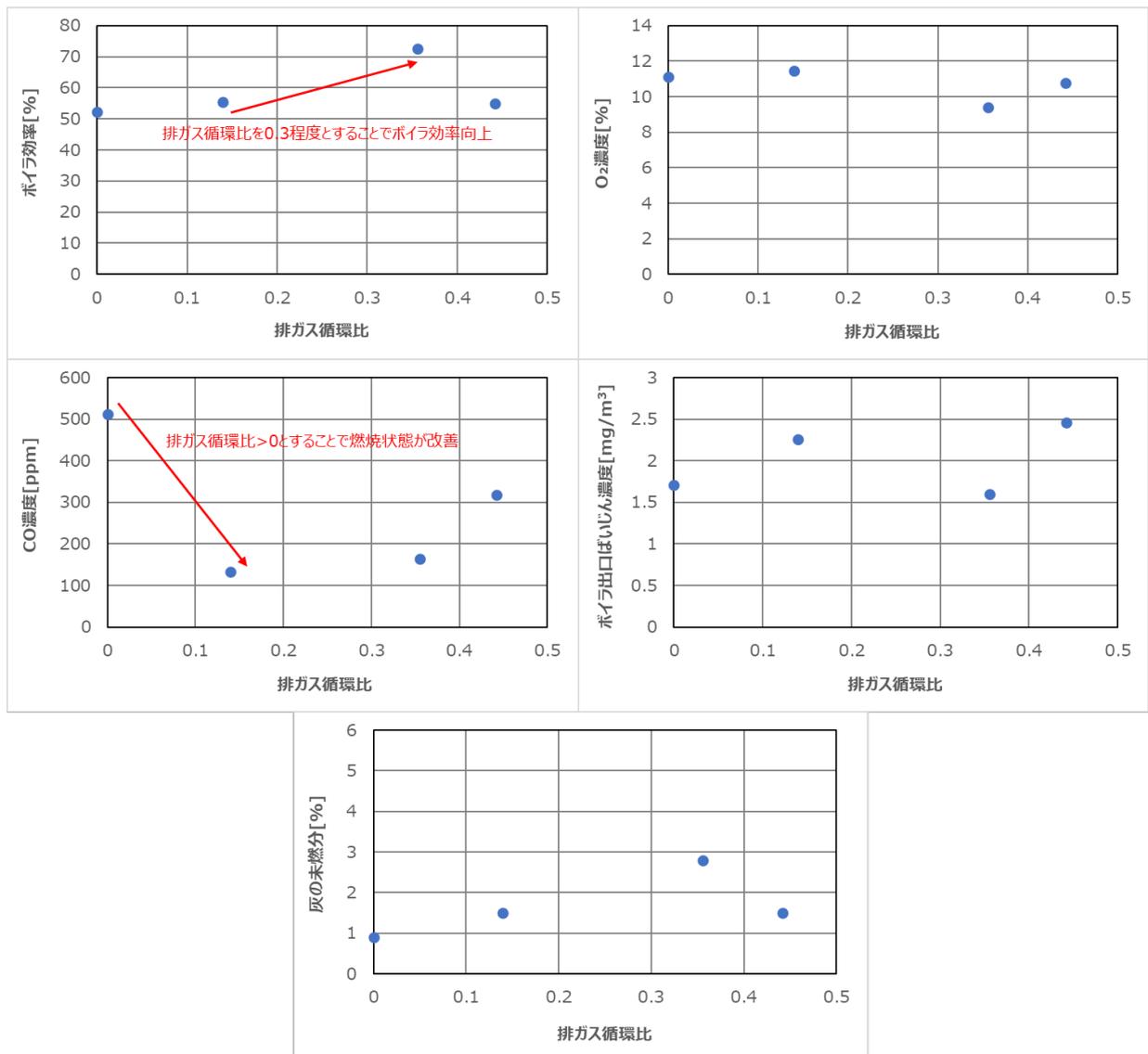
乾燥汚泥 95kg-ds/hr (含水率 10~20%) にて燃焼試験を実施したところ、排ガス循環を行わない場合に燃焼状態の指標となる排ガス CO 濃度が 500ppm を下回ることがなかった。そこで任意の排ガス循環比 0.45 にて空気比に対する燃焼状態の変動調査を行った。給気バランスについては「①給気バランスの調査」で検討した状態で調査を実施した。結果を図資 1-6 に示す。検討の結果、空気比 1.4 以上で燃焼状態の指標となる CO 濃度が改善されること、灰の未燃分が減少することが確認された。総合的に勘案し空気比 1.4 以上にて良好な燃焼状態となることがわかった。



図資 1-6 排ガス循環比 0.45 における空気比と各状態値の関係

### ③ 排ガス循環比の調査

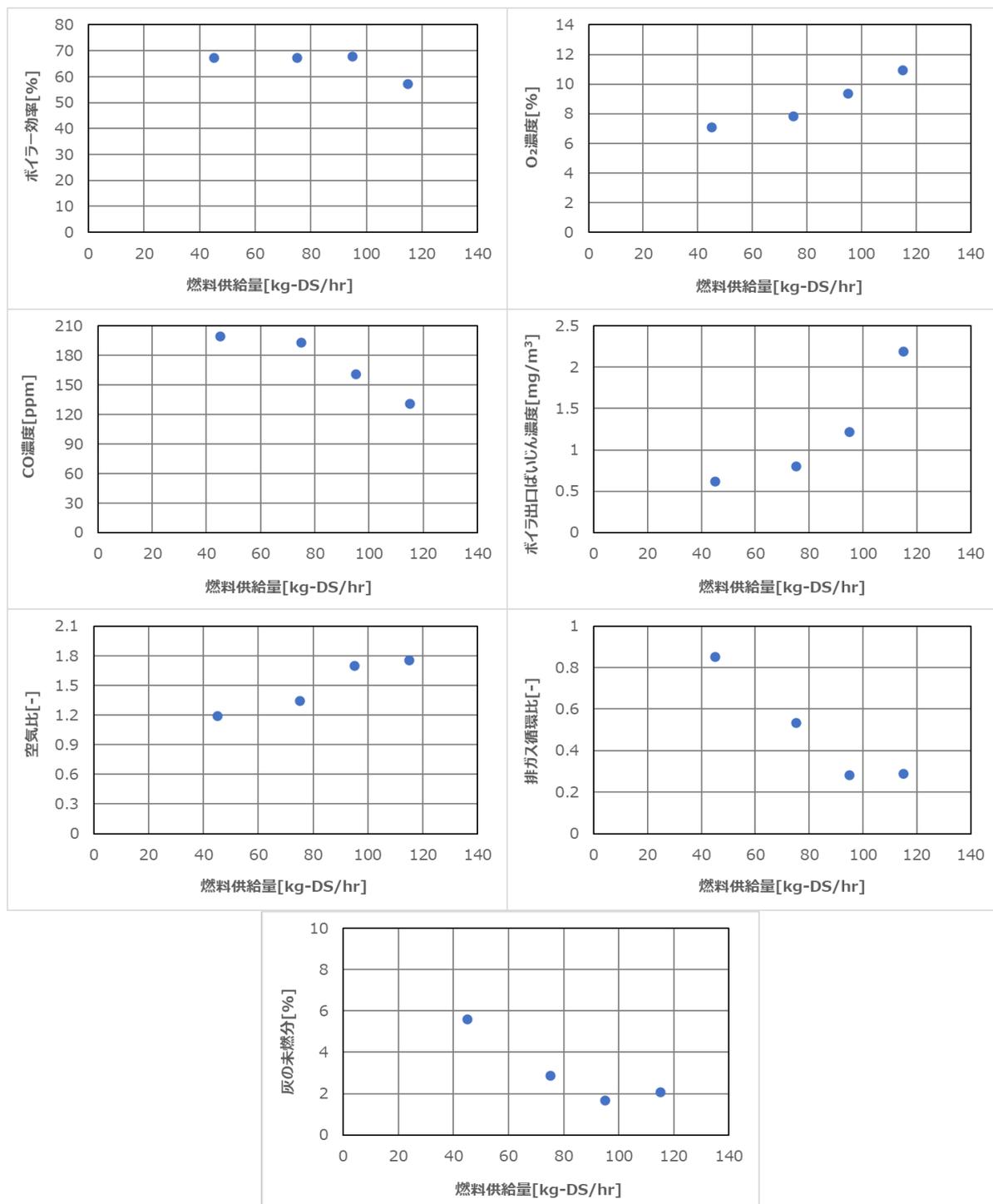
汚泥供給量 95kg-ds/hr にて空気比 1.4~1.9 程度の範囲で排ガス循環比に対する燃焼状態の変動調査を行った。給気バランスについては「①給気バランスの調査」で検討した状態で調査を実施した。代表例として空気比 1.7 における調査結果を図資 1-7 に示す。燃焼状態の指標となる CO 濃度が排ガス循環比を 0 以上にすることで改善されることが確認され、ボイラ効率は 0.3 程度で最も高くなることが確認された。総合的に勘案し、排ガス循環比 0.3 程度にて良好な燃焼状態となることがわかった。



図資 1-7 空気比 1.7 における排ガス循環比と各状態値の関係

## ④ 汚泥供給量毎の最適状態の決定

図資 1-8 および表資 1-5 に各供給量の最適状態値を示した。それぞれの最適状態は空気比については「②空気比の調査」、排ガス循環比については「③排ガス循環比の調査」と同様の調査を実施し、各値が良好になる状態を総合的に勘案した結果である。



図資 1-8 汚泥供給量毎の最適状態

表資 1-5 供給量毎の最適状態

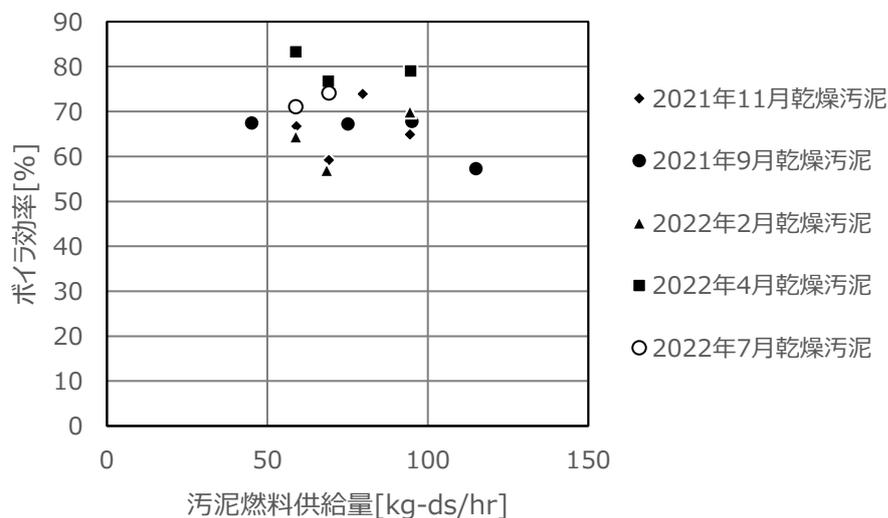
対象	燃料種	乾燥消化汚泥			
	性状	含水率 10~20%			
条件	燃料供給量	45kg-ds/hr	70kg-ds/hr	95kg-ds/hr	115kg-ds/hr
	空気比	1.2	1.3	1.7	1.8
	燃焼空気バランス	上流:中流:下流=1:2:1			
	滞留時間	26min			
	排ガス循環比*	0.9	0.5	0.3	0.3
	排ガス循環バランス	上流:中流:下流=2:1:1			
性能	熱効率	77%	76%	77%	65%
	ばいじん濃度分析値	目標値: 40%以上			
		-	-	0.19g/m <sup>3</sup>	-
	灰の未燃分率	目標値: 0.3g/m <sup>3</sup>			
0.5~5.3%					
		目標値: 未燃分率 10%以下			

※排ガス循環比=排ガス循環量(Nm<sup>3</sup>/hr)/燃焼空気量(Nm<sup>3</sup>/hr)

#### ⑤ ボイラ効率調査（四季調査）

図資 1-9 に最適運転状態の検証にて四季におけるボイラ効率を示す。

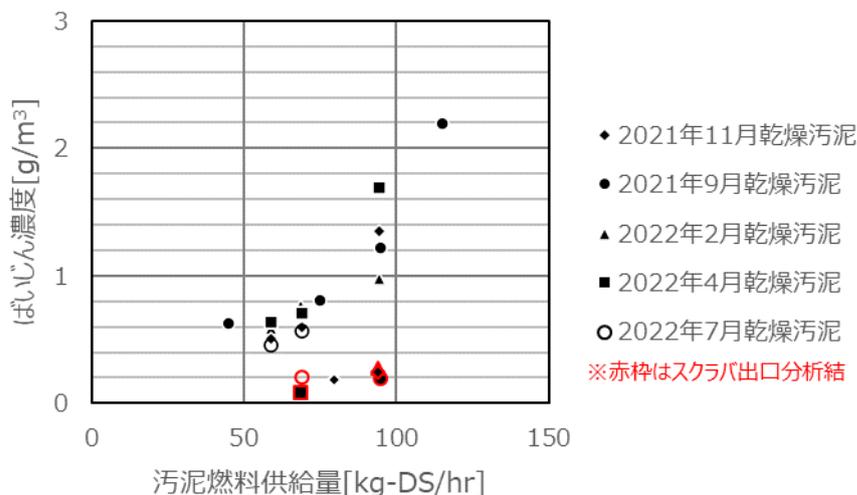
汚泥の供給量は 45~115kg-ds/hr、含水率 15~20%にて検証を実施し、表資 1-5 で示した最適運転状態にて試験を実施した。



図資 1-9 ボイラ効率

## ⑥ ばいじん濃度調査

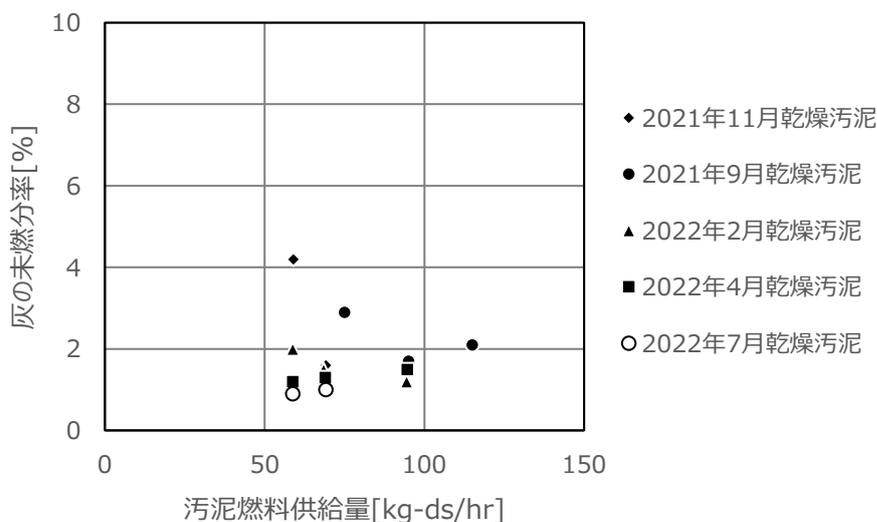
図資 1-10 にばいじん濃度調査結果を示す。ばいじん濃度計にして計測したボイラ出口（スクラバによる処理なし）濃度とスクラバ出口分析結果を併記した。ボイラ出口では  $0.3\text{g}/\text{m}^3$  を上回ったものの、スクラバによる排ガス処理により目標値を達成することができた。各供給量における運転は表資 1-5 で示した最適運転状態にて試験を実施した。



図資 1-10 ばいじん濃度

## ⑦ 灰の未燃分率調査（四季調査）

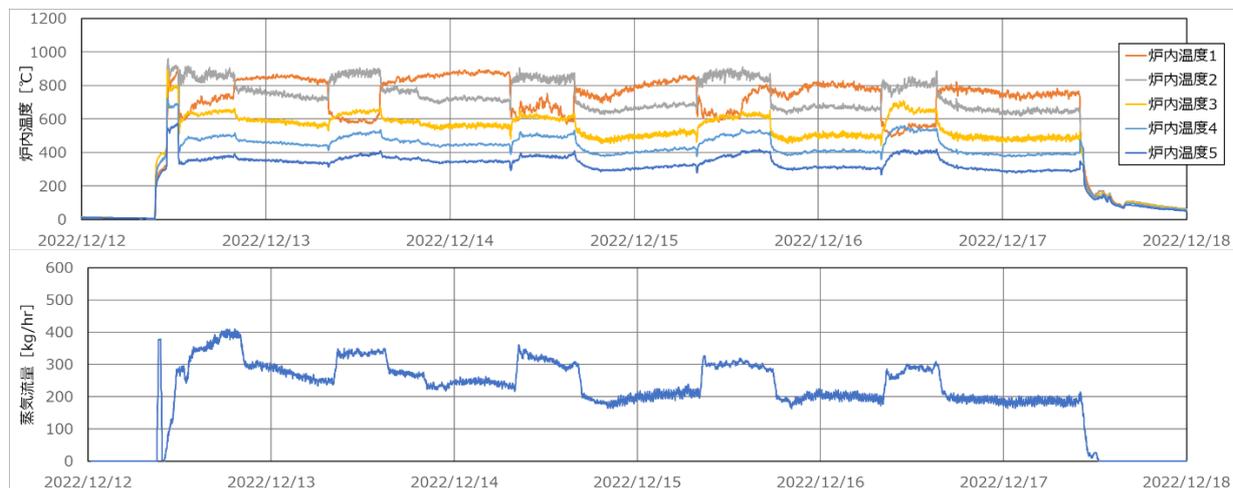
図資 1-11 に灰の未燃分率調査結果を示す。各季節にて灰の未燃分率は10%を下回り、目標を達成することができた。



図資 1-11 灰の未燃分率

## ⑧ 運転の安定性調査

図資 1-12 に連続運転結果を示す。目標である 72hr を超え、最終的には 5 日間の連続運転を実施した。日中(8:00~16:00 頃)に 95kg-ds/hr、夜間(16:00~8:00 頃)に 70kg-ds/hr にて連続運転を実施し、燃焼量を変動させても安定した運転が可能であることを確認した。



図資 1-12 連続運転結果 (炉内温度と蒸気流量推移)

図資 1-13 に内部点検結果を示す。急激な摩耗・破断等は確認されず、1年に1回の定期修繕にて設備が維持できると推測された。

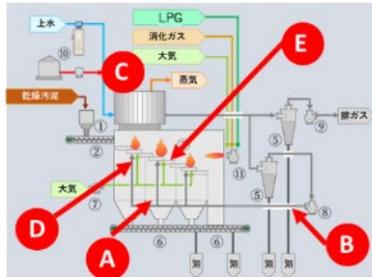
## A点における点検結果

A点における点検結果		2021年9月時点 (夏季)	2021年11月時点 (秋季)
	2022年2月時点 (冬季)	2022年5月時点 (春季)	2022年8月時点 (夏季)

異常な堆積や摩耗は認められなかった。(運転時間：約1000時間)

図資 1-13 内部点検結果 1

B点における点検結果

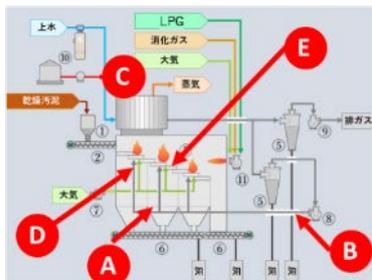


	2021年9月時点 (夏季)	2021年11月時点 (秋季)	
	2022年2月時点 (冬季)	2022年5月時点 (春季)	2022年8月時点 (夏季)

異常な堆積や摩耗は認められなかった。(運転時間：約1000時間)

図資 1-13 内部点検結果 2

C点における点検結果



	2021年9月時点 (夏季)	2021年11月時点 (秋季)	
	2022年2月時点 (冬季)	2022年5月時点 (春季)	2022年8月時点 (夏季)

異常な堆積や摩耗は認められなかった。(運転時間：約1000時間)

図資 1-13 内部点検結果 3

D点における点検結果

	2021年9月時点（夏季）	2021年11月時点（秋季）
2022年2月時点（冬季）	2022年5月時点（春季）	2022年8月時点（夏季）

異常な堆積や摩耗は認められなかった。（運転時間：約1000時間）

図資 1-13 内部点検結果 4

E点における点検結果

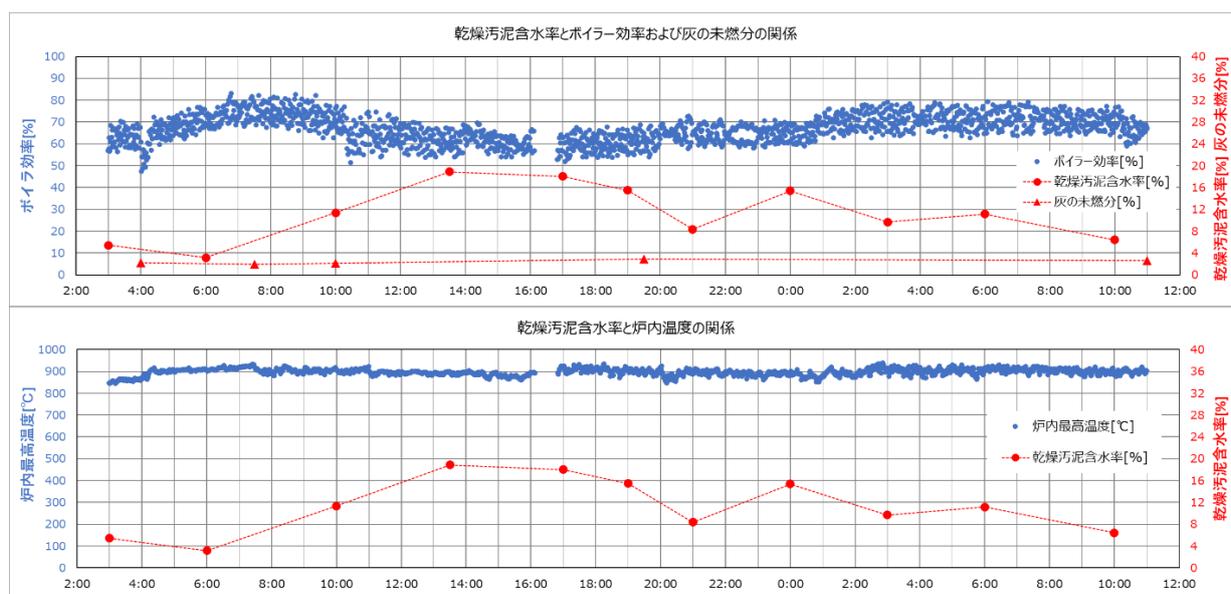
	2021年9月時点（夏季）	2021年11月時点（秋季）
2022年2月時点（冬季）	2022年5月時点（春季）	2022年8月時点（夏季）

異常な堆積や摩耗は認められなかった。（運転時間：約1000時間）

図資 1-13 内部点検結果 5

### ⑨ 含水率の影響調査

バイオマスボイラが要求する乾燥污泥含水率は 20%以下（実証前の自主研究にて試験を実施した上限含水率）である。本技術の実証運転を実施した 2021/9/13～10/2 の乾燥污泥ペレット含水率推移を図資 1-14 に示す。乾燥污泥含水率は 10～20%の間を不定期で推移していたことがわかる。この間に含水率に応じて燃焼状態が変動することはなかった。すなわち、バイオマスボイラ乾燥污泥による燃焼においては含水率を 10～20%に保つことで運転操作および性能に影響を与える影響を考慮することなく運転することが可能であることが明らかになった。

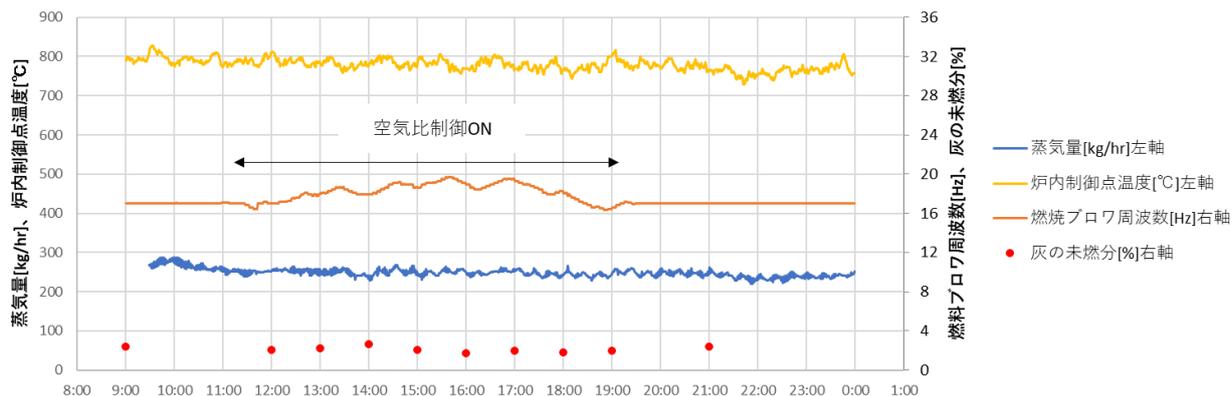


図資 1-14 含水率変動に対するボイラ効率・灰の強熱減量・炉内温度の変化

## 1. 4 自動制御に関する調査

### ① 空気比制御

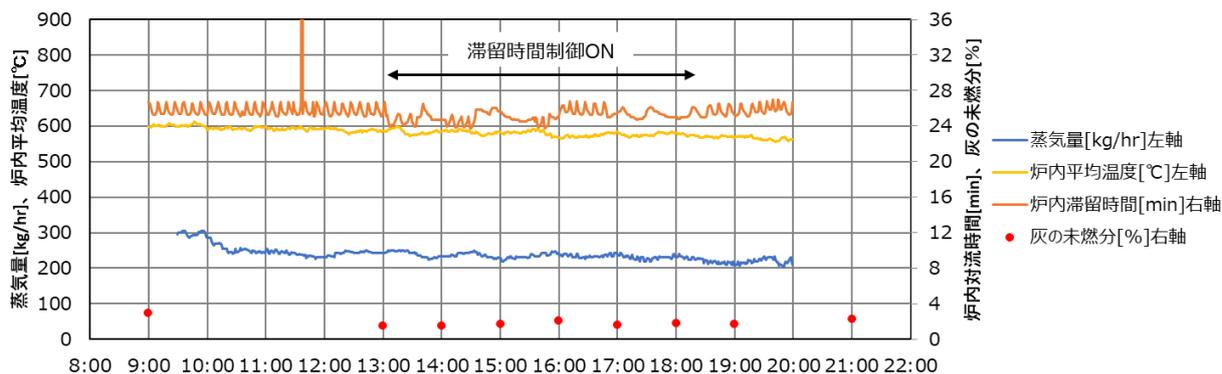
図資 1-15 に検証結果を示す。空気比制御により炉内の代表温度を一定に保つことができ、灰の未燃分率、蒸気量も変動していないことが分かる。ただし、今回は制御機能としての確認のみであり本制御の長期間にわたる有効性の検証は継続して検討が必要である。



図資 1-15 空気比制御の調査結果

### ② 滞留時間制御

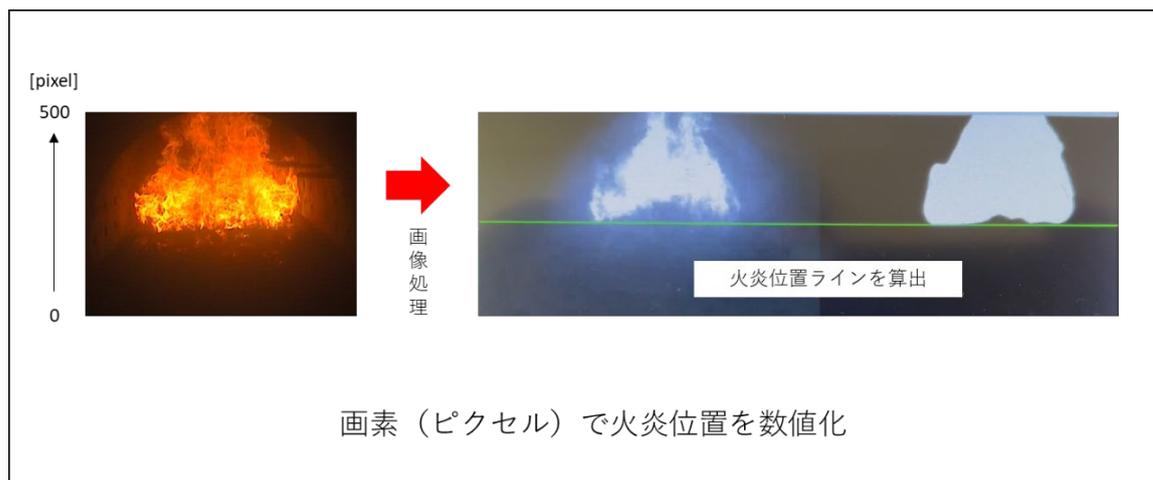
図資 1-16 検証結果を示す。乾燥汚泥の炉内滞留時間制御により炉内滞留時間を自動で調整することができ、灰の未燃分率、蒸気量も変動していないことが分かる。ただし、今回は制御機能としての確認のみであり本制御の長期間にわたる、有効性の確認は継続して必要である。



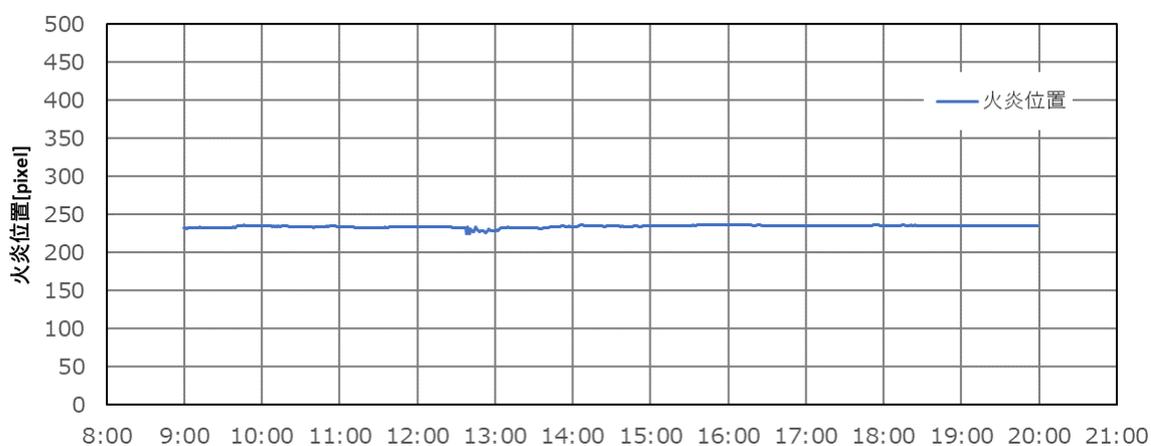
図資 1-16 滞留時間制御の調査結果

### ③ 火炎位置認識

図資 1-17 に画像認識による火炎位置の数値化のイメージを示す。また、図資 1-18 に火炎位置の数値化し、記録した結果を示す。従来は目視による感覚でしか確認ができなかった火炎の情報を数値化することに成功した。今後はこの情報を元に失火防止やアラームとしての活用の検討が必要である。



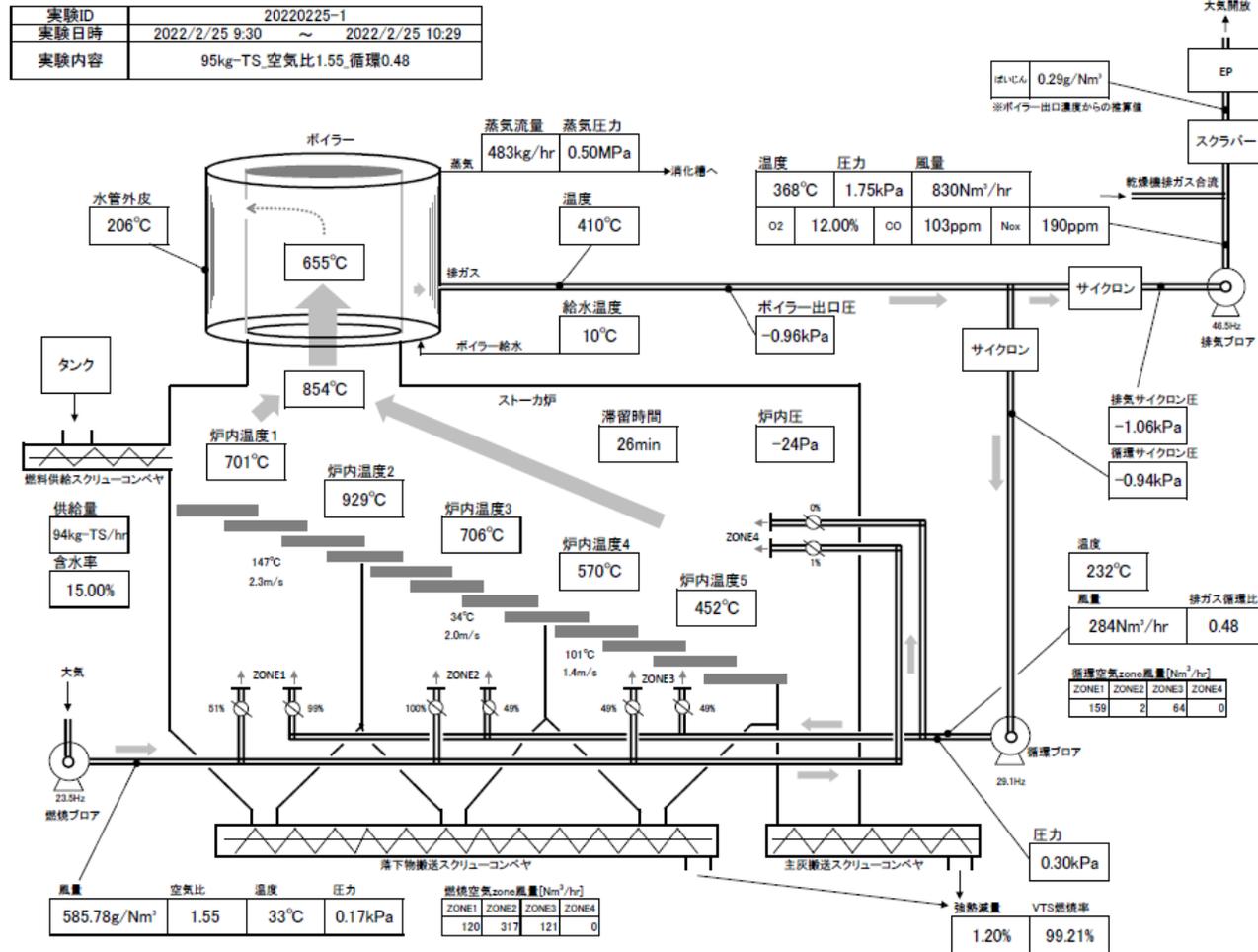
図資 1-17 火炎位置の数値化イメージ



図資 1-18 火炎位置の記録結果 (2022/12/22)

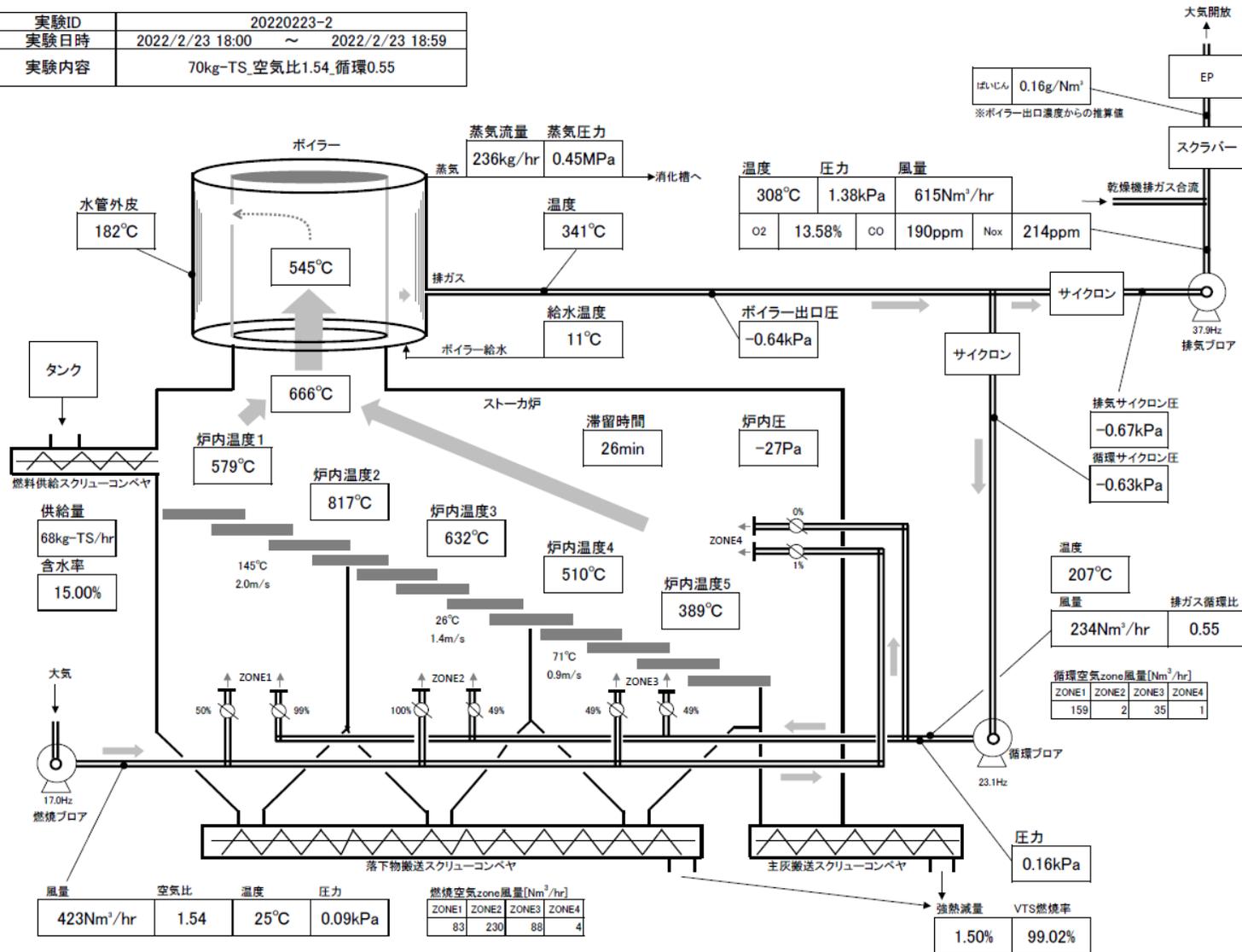
#### ④ 実測バランスシート

最適運転状態における汚泥供給量毎の実測バランスシートの代表例を図資 1-19～図資 1-21 に示す。正しく運転と計測が行われていることが確認された。



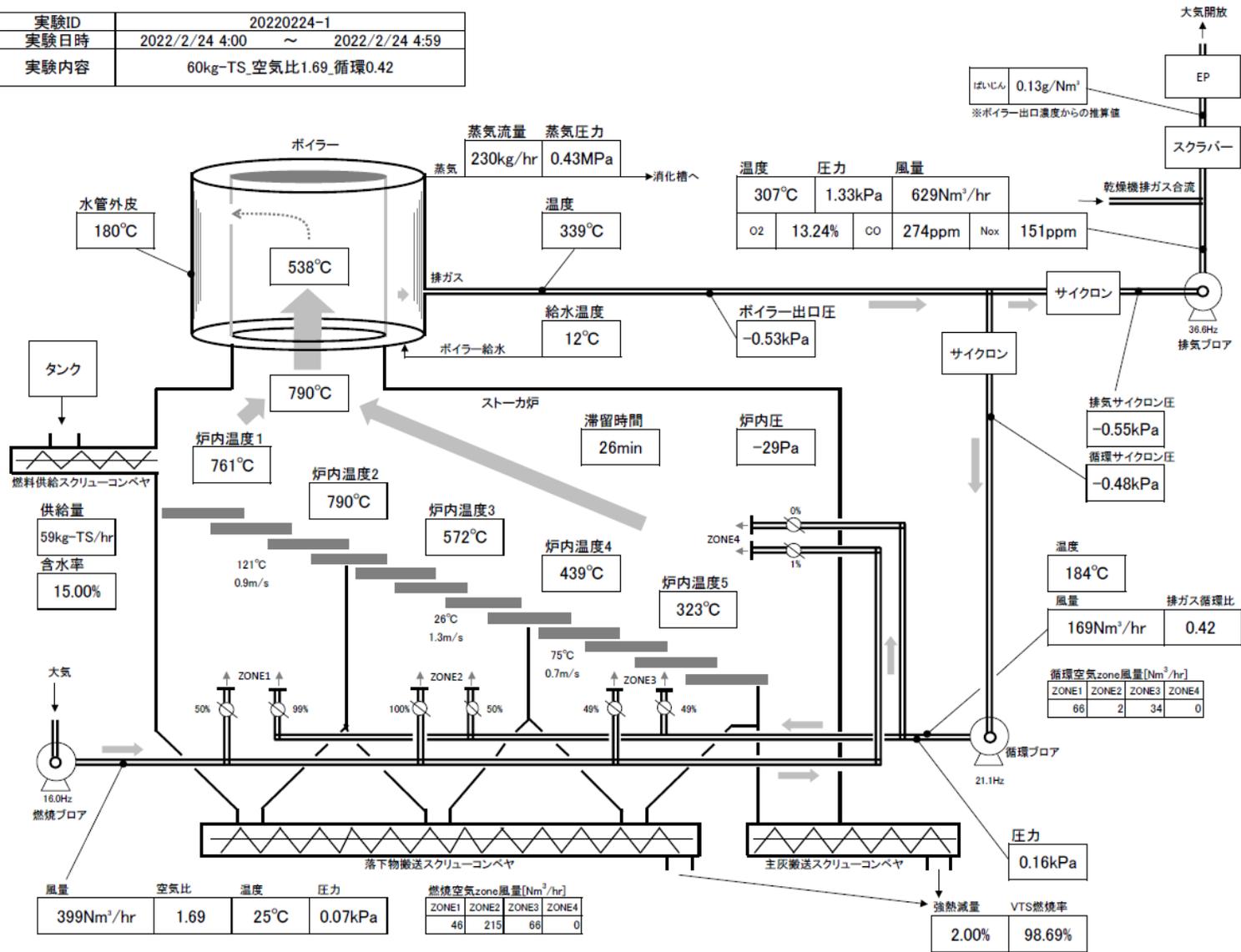
図資 1-19 95kg-TS/hr のバランスシート

実験ID	20220223-2
実験日時	2022/2/23 18:00 ~ 2022/2/23 18:59
実験内容	70kg-TS_空気比1.54_循環0.55



図資 1-20 70kg-ds/hr のバランスシート

実験ID	20220224-1
実験日時	2022/2/24 4:00 ~ 2022/2/24 4:59
実験内容	60kg-TS_空気比1.69_循環0.42



図資 1-21 60kg-ds/hr のバランスシート

## ⑤ 外部脱水汚泥処理調査（四季調査）

表資 1-6 に外部脱水汚泥処理の検証結果を示す。各季節にて乾燥処理が可能であることを確認した。処理場の諸事情により、夏季の調査のみ蘭東下水処理場の実証設備ではなく、月島機械R & Dセンターで実施した。

また、消化汚泥の性状分析結果を表資 1-7 に示す。脱水汚泥の受入処理を検討する際には脱水汚泥の物理的性状を表す含水率、繊維状物、砂分が±5%以内程度にあることが望ましい。ただし、最終的な検討には乾燥試験を実施するなどの詳細検討が必要である。

表資 1-6 外部汚泥の乾燥試験結果

項目	単位	運転結果				目標値
		21/11 秋季	22/2 冬季	22/5 春季	22/9 夏季	
脱水汚泥処理量	kg/hr	285	285	285	4.6	なし
脱水汚泥含水率	%	79	79	79	79	なし
乾燥汚泥含水率	%	12	24	20	15	なし
燃料使用量（重油換算）	L/t-ds	326	341	350	—	なし

表資 1-7 外部脱水汚泥の性状分析結果

項目	単位	冬	春	夏
含水率	%	79.2	79.2	79.4
灰分(600℃)	%-dry	19.8	19.2	24.4
元素組成 C	%-dry	44.8	41.5	37.59
元素組成 H	%-dry	6.31	6.4	6.3
元素組成 N	%-dry	6.44	5.4	6.0
元素組成 O	%-dry	21.1	26.0	24.6
全硫黄	mg/kg-dry	14,000	13,000	16,000
V-S	%-dry	—	—	1.6
V-Cl	%-dry	—	—	0.11
高位発熱量	kJ/kg-dry	18,800	18,600	18,220
低位発熱量	kJ/kg-dry	17,400	17,100	16,784
粗タンパク	%-dry	—	—	31.1
繊維状物 100 Mesh	%-dry	—	16.2	11.9
繊維状物 200 Mesh	%-dry	—	20.3	13.9
粗浮遊物 100 Mesh	%-dry	—	—	8.9
粗浮遊物 200 Mesh	%-dry	—	—	10.3
砂分 100 Mesh	%-dry	—	—	0.87
砂分 200 Mesh	%-dry	—	—	1.7

## ⑥ 外部バイオマス活用の調査（四季調査）

表資 1-8 に調査結果を示す。なお、未燃分率は 0%としているが、汚泥と比較して灰分が非常に少なく、飛灰として飛んでいくものも多く、分析できるほどの量がコンテナに貯留されなかったため 0%とした。また、表資 1-9 に木質ペレットの分析結果を示す。

表資 1-8 木質ペレット燃焼時のバイオマスボイラ性能

項目	単位	運転結果				目標値
		21/11 秋季	22/2 冬季	22/5 春季	22/9 夏季	
木質ペレット供給量	kg/hr	79.7	84	84	84	—
燃料含水率	%	8.3	9.5	9	9.6	—
発熱量	MJ/kg	18.5	18.2	18.4	18.2	—
苛性ソーダ	kg/t-ds	25	25	0	0	—
電力使用量	ボイラ kw/t-ds	126	126	124	136	—
ボイラ熱効率	%	62.9	83	67.3	68.4	40
ばいじん濃度	g/Nm <sup>3</sup>	0.066	0.033	0.064	0.11	0.3
灰未燃分率	%	0	0	0	0	10

表資 1-9 木質ペレット性状分析結果

項目	単位	分析の結果
水分	%	8.3
灰分	%/TS	0.4
元素組成 C	%-dry	50.8
元素組成 H	%-dry	6.8
元素組成 N	%-dry	0.75 未満
元素組成 O	%-dry	41.8
全硫黄	mg/kg-dry	100 未満
高位発熱量	kJ/kg-dry	20,400
低位発熱量	kJ/kg-dry	18,800

・他のバイオマス燃料についての調査

他のバイオマス燃料についての調査も実施した。エネルギー作物として NEDO 等で検討が行われている草本類であるエリアンサスの性状の例を示す。木質と熱量が変わらないこと、汚泥よりも灰分が少ない（灰の排出量が少ない）ことからバイオマスボイラにて燃料利用が可能であると考えられる。また、参考として（一社）日本木質バイオマスエネルギー協会の燃料用木質チップの品質規格を示す。本実証に使用したバイオマス燃料は木質ペレットであるが、当該規格に合致した木質チップの活用検討は今後の課題である。

表資 1-10 エリアンサスペレットの性状

分析項目	(単位)	エリアンサス +木質 50%	エリアンサス 100%	木質
直径	mm	6.2	6.5	6.0
長さ (≤40)	mm	100	100	100
長さ (45mm<)	mm	無	無	無
かさ密度	kg/m <sup>3</sup>	750	690	710
含水率	%	6.3	9.4	6.6
微粉	%	0.4	0.58	0.7
機械的耐久性 DU	%	98.2	92.9	97.4
高位発熱量	kJ/kg	18,870	17,100	20,290
低位発熱量	kJ/kg	17,360	15,920	18,940
灰分	%	1.8	5.9	0.6

※農研機構 HP より

表資 1-11 木質チップの規格

品質項目	単位	Class 1	Class 2	Class 3	Class 4
原料		幹、全木 未処理工場残材	幹、全木 未処理工場残材 灌木・枝条・末木等	幹、全木 未処理工場残材 灌木・枝条・末木等 剪定枝等 樹皮 未処理リサイクル材	幹、全木 未処理工場残材 灌木・枝条・末木等 剪定枝等 樹皮 未処理リサイクル材 化学処理工場残材 化学処理リサイクル材
チップの種類		切削チップ	切削チップまたは破砕チップ		
チップの寸法 P			P16、P26、P32 および P45 から選択		
水分(湿量基準) M	%	M25、M35 から選択	M25、M35、M45 および M55 から選択		
灰分 A	w-% dry <sup>※1</sup>	A1.0 ≤ 1.0%	A1.5 ≤ 1.5%	A3.0 ≤ 3.0%	A5.0 ≤ 5.0%
窒素 N	w-% dry <sup>※1</sup>	—	—	≤ 1.0 <sup>※2</sup>	
塩素 Cl	w-% dry <sup>※1</sup>	—	—	≤ 0.1 <sup>※2</sup>	
砒素 As	mg/kg-dry	—	—	≤ 4.0 <sup>※2</sup>	
クロム Cr	mg/kg-dry	—	—	≤ 40 <sup>※2</sup>	
銅 Cu	mg/kg-dry	—	—	≤ 30 <sup>※2</sup>	

注) 金属、プラスチック類、擬木(合成木材、複合木材)、土砂、石等の異物を含まないこと

※1 w-% dry: 質量パーセント(乾量基準)

※2 ただし、リサイクル材を取り扱わない工場を除く。リサイクル材を取り扱う工場では、重金属等について随時測定すること

(出所) 木質バイオマスエネルギー利用推進協議会「燃料用木質チップの品質規格」

#### ・下水道技術ビジョンとの関連性

下水道技術ビジョン 技術開発分野ごとのロードマップ⑩総エネ・再生可能エネルギー 課題 1 技術目標 1 (P. 63) の展望と本技術は関連すると考えられる。一般的な下水処理場では汚泥のエネルギーのみで乾燥処理も自立できるため外部バイオマスを活用する必要はないが、今後の下水処理場のエネルギー拠点化に伴った熱需要(外部への熱供給、加熱プロセスの増加等)の増加が起こった際には外部バイオマスのエネルギーを乾燥に使用することが可能である。

#### ・外部バイオマスの調達調査例

本実証で使用した木質ペレットは室蘭市の近隣市で生産している木質ペレットを調達した。その際に木質ペレットの情報は市のホームページ内で情報を得ることができた。バイオマス燃料は公営で生産・販売を実施している場合もあるため役所に問い合わせることで生産量・仕様などの情報が得ることができるところがある。また、地域におけるバイオマスのポテンシャル(林地面積、製材会社の有無、廃棄系バイオマス量等)の情報も役所に問い合わせることで情報を得ることができるところがあるため、初期調査は地域の役所に問い合わせることを推奨する。

### 1. 5 脱水 OD 汚泥の乾燥試験

本実証では消化脱水汚泥の受入れ試験（外部脱水汚泥を成型して乾燥する試験）を実施した。しかし、広域化を想定した場合、受入れる汚泥種は消化だけでなく、混合生汚泥および OD 汚泥となることも想定される。そのため、広域化を想定して混合生汚泥および OD 汚泥の受入れ試験が必要である。混合生汚泥に関しては H28 年度 B-DASH プロジェクトにて受入れ試験を実施済みであるので、受入れ試験が未実施である OD 脱水汚泥の受入れ試験を実施した。

#### (1) 対象汚泥

栃木県某所の OD 脱水汚泥を受入れ試験の対象とした。性状分析結果を表資 1-12 に示す。

表資 1-12 OD 汚泥の性状分析結果

含水率	%	85.8
強熱減量 (600°C)	%-dry	87.9
灰分 (600°C)	%-dry	12.1
灰分 (815°C)	%-dry	11.9
高位発熱量	kJ/kg-dry	20,600
低位発熱量	kJ/kg-dry	19,100
C	%-dry	45.6
H	%-dry	6.7
N	%-dry	8.7
O	%-dry	26.2
S	%-dry	0.90
V-S	%-dry	0.89
V-CI	%-dry	0.02
粗々ハク	%-dry	48.7
繊維状物 100 Mesh	%-dry	2.0
繊維状物 200 Mesh	%-dry	3.9
粗浮遊物 100 Mesh	%-dry	2.0
粗浮遊物 200 Mesh	%-dry	3.7
砂分 100 Mesh	%-dry	<0.1
砂分 200 Mesh	%-dry	<0.1

## (2) 乾燥試験結果

図資 1-22 に乾燥機の外観、汚泥の成型状況を、表資 1-13 に乾燥試験結果を示す。円環式乾燥機の主な運転パラメータである熱風温度、汚泥供給量の調整を行いそれらの関係を把握することができた。また、本乾燥試験は付着等により乾燥ができない場合があるため、乾燥処理が可能であることを確認することが主な目的である。OD 脱水汚泥の受入れが可能であることが示された。

図資 1-22 乾燥機の外観、汚泥の成型状況



表資 1-13 汚泥乾燥試験結果

脱水汚泥処理量	kg/hr	3.5				5.25	
脱水汚泥含水率	%	86					
熱風温度	°C	280	300	320	350	330	350
乾燥汚泥含水率	%	10.6	6	3.6	2.5	27.9	16.4

## 1. 6 乾燥汚泥の燃焼分析

本実証では消化乾燥汚泥のバイオマスボイラによる燃料利用を実証した。しかし、広域化を想定した場合、受入れる汚泥種は消化だけでなく、混合生汚泥および OD 汚泥となることも想定される。そのため、広域化を想定して混合生汚泥および OD 汚泥の燃料利用検討が必要である。そこで実験室での燃焼分析を実施し、混合生汚泥および OD 汚泥が燃料利用が可能であるかの検討を実施した。

### (1) 対象汚泥

それぞれの汚泥は以下の処理場にて採取した。

- 消化汚泥 : 室蘭市蘭東下水処理場
- OD 汚泥 : 栃木県某所
- 混合生汚泥 : 千葉県某所

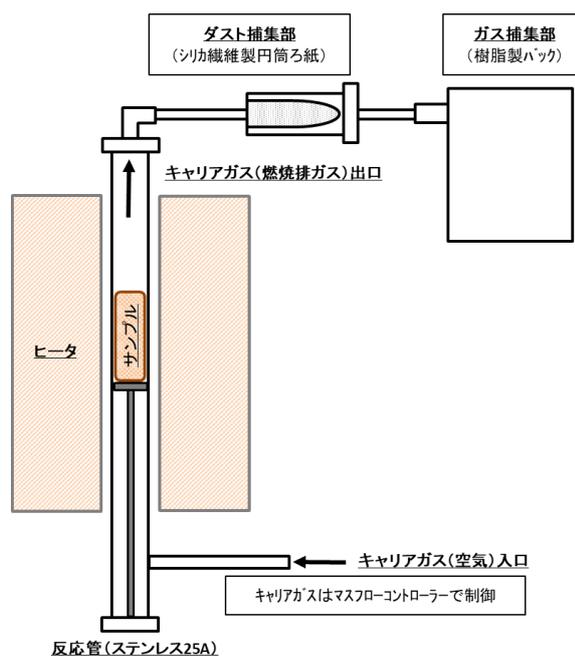
### (2) 試験方法

#### ・燃焼完了時間分析

示差熱分析計にて各汚泥を 900°C 加熱し、質量変化がなくなるまでの時間を燃焼完了時間とし、その数値を燃焼量で除した数値の比較を実施した。

#### ・燃焼排ガス分析

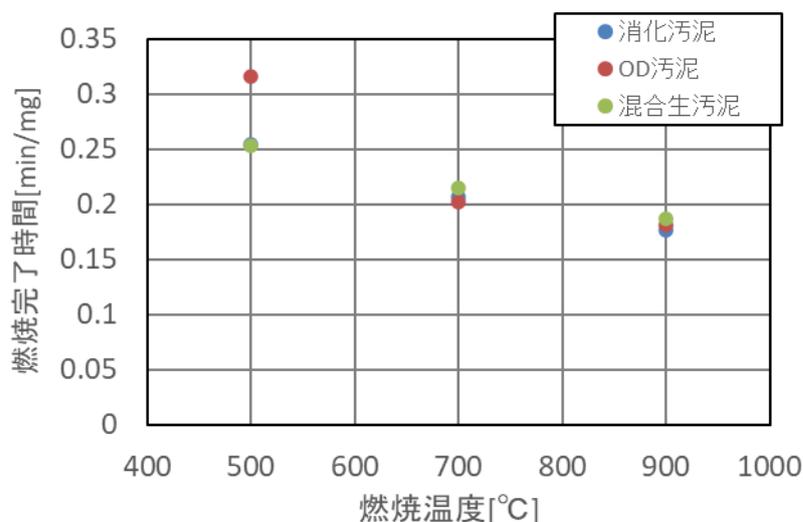
図資 1-23 に試験装置のフローを示す。各汚泥を試験装置で燃焼させ、捕集した固形物の重量測定および臭気指数分析を実施し、その数値の比較を実施した。



図資 1-23 燃焼排ガス試験装置フロー

### (3) 試験結果

図資 1-24 に燃焼完了時間分析結果、表資 1-14 に燃焼排ガス分析結果を示す。燃焼完了時間分析では 500℃燃焼で燃焼完了時間に差異が見られるものの、実際の燃焼炉温度 700℃以上では汚泥種によらず、同等の燃焼完了時間であることが確認された。つまり、OD 汚泥と混合生汚泥は消化汚泥と同様の燃焼操作にてバイオマスボイラにて活用が可能であることが示された。また、ばいじんおよび臭気指数においても汚泥種によらず同等の結果になっており、排ガス処理も消化汚泥と同様の操作とすることで混合生汚泥および OD 汚泥がバイオマスボイラにて活用が可能であることが示された。



図資 1-24 燃焼完了時間分析結果

表資 1-14 燃焼排ガス分析結果

		消化汚泥	混合生汚泥	OD 汚泥
燃焼量	g	17.1	10.7	12.6
臭気指数	—	55	51	54
ばいじん発生率	% wt	0.007	<0.01	<0.01

#### 1. 7 広域化の留意事項

##### ・脱臭設備の必要性について

実証設備にて消化脱水汚泥の乾燥試験を実施した際に、消化不良の汚泥が混入した可能性があり、臭気が近隣に漏れるトラブルが発生した。この結果から脱臭設備は必須とし、ケーススタディでは脱臭設備を含んだ設備を前提とし、建設費および燃料費を計上した。

## 1. 8 乾燥汚泥の性状分析

## (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 1-15、1-16 に示す。

表資 1-15 主な成分量および有害成分に関する評価結果（肥料成分）

項目	単位	許容値	秋	冬	春	夏	
主な成分量	亜鉛	mg/kg	—	880	790	850	900
	窒素	%	—	5.46	6.14	5.50	4.98
	りん酸	%	—	8.39	8.51	7.47	6.51
	加里	%	—	0.23	0.18	0.20	0.19
	石灰	%	—	4.11	4.46	4.60	3.86
	銅	mg/kg	—	170	180	180	190
	水分	%	—	12.8	18.9	19.6	16.1
	C/N 比	—	—	6.69	6.86	6.82	6.48
有害成分量	カドミウム	mg/kg	5	3	2	5 未満	2
	水銀	mg/kg	2	0.3	0.01 未満	0.45	0.41
	ヒ素	mg/kg	50	24	17	16	20
	ニッケル	mg/kg	300	23	17	19	25
	クロム	mg/kg	500	38	32	39	40
	鉛	mg/kg	100	2	2	20	2

※「肥料の品質の確保等に関する法律」より

※主な成分量の許容値はなく、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 1-16 乾燥汚泥の溶出試験結果（有害成分）（単位：mg/L）

項目	基準値*	秋	冬	春	夏
アルキル水銀化合物	検出されないこと	不検出	不検出	不検出	不検出
水銀又はその化合物	0.005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
カドミウム又はその化合物	0.3	0.005	0.005	0.005	0.005
鉛又はその化合物	0.3	0.005	0.005	0.007	0.005
有機リン化合物	1	0.1	0.1	0.1	0.1
六価クロム化合物	1.5	0.02	0.02	0.02	0.02
ヒ素又はその化合物	0.3	0.056	0.033	0.039	0.039
シアン化合物	1	0.1	0.1	0.2	0.1
ポリ塩化ビフェニル	0.003	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
トリクロロエチレン	0.3	0.002	0.002	0.002	0.002
テトラクロロエチレン	0.1	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
ジクロロメタン	0.2	0.002	0.002	0.002	0.002
四塩化炭素	0.02	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
1-2-ジクロロエタン	0.04	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004
1-1-ジクロロエチレン	1	0.002	0.002	0.002	0.002
シス-1-2-ジクロロエチレン	0.4	0.004	0.004	0.004	0.004
1-1-1-トリクロロエタン	3	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
1-1-2-トリクロロエタン	0.06	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
1-3-ジクロロプロペン	0.02	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
チウラム	0.06	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
シマジン	0.03	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003
チオベンカルブ	0.2	0.002	0.002	0.002	0.002
ベンゼン	0.1	0.001	0.001	0.001	0.001
セレン又はその化合物	0.3	0.007	0.005	0.011	0.005
1-4-ジオキサン	0.5	0.05	0.05	0.05	0.05

※「産業廃棄物に含まれる金属等の検定方法」（昭和48年環境庁告示第13号（環告13号））

## (2) 植害試験

植害試験を行い肥料効果の評価を行った。供試試料区と標準区の生育について、等分散性検定値Pは基準値となる0.05以上となり、等分散性が確認され、有意なデータであることが確認された。また、平均値の有意差検定値Pは基準値となる0.05以下となり、生育重量の平均値が供試試料区>標準区となり、乾燥汚泥が肥料として効果があることが確認された。これらにより乾燥汚泥を肥料として活用可能なことが確認された。図資 1-25 に概要を示す。

## (イ) 発芽及び生育調査成績

試験区	ポット No.	発芽調査成績		生育調査成績			異常症状
		8月25日	8月26日	8月29日	9月12日		
		発芽率 (%)	発芽率 (%)	葉長 (cm)	葉長 (cm)	生体重 (g/ポット)	
供 試 料 区 (T)	1	95	95	3.7	12.5	37.3	
	2	100	100	3.7	12.5	37.7	
	3	100	100	3.8	12.6	38.5	
	4	90	100	3.6	12.6	38.5	
	5	95	95	3.6	12.4	36.2	
	6	100	100	3.7	12.5	37.2	
	7	95	100	3.6	12.5	37.2	
	8	100	100	3.6	12.5	37.4	
	平均	97	99	3.7	12.5	37.5	無
標 準 区 (B)	1	100	100	3.6	11.2	28.8	
	2	95	100	3.6	11.3	29.9	
	3	95	95	3.6	11.4	30.6	
	4	100	100	3.6	11.3	29.8	
	5	95	100	3.7	11.3	29.2	
	6	90	95	3.7	11.3	29.0	
	7	100	100	3.7	11.4	30.2	
	8	90	95	3.8	11.4	29.5	
	平均	96	98	3.7	11.3	29.6	—

## (ロ) 合否判定のための供試料区 (T) と標準区 (B) の生体重の統計解析結果

T区及びB区の等分散性の検定 (F検定: 両側有意水準5%)			T区及びB区の平均値の差の検定 (t検定: 片側有意水準5%、等分散を仮定)		
分散比	境界値	p値	t値	境界値	p値
1.49	上限値 4.99 下限値 0.20	0.611	22.91	1.76	<0.001
有意差なし			有意差あり (T>B)		

## 分析・試験結果

項目	分析結果	単位	分析方法	注
水分	17.30	% (現物)	3.1. a 乾燥器による乾燥減量法	
窒素全量 (N)	4.81	% (現物)	4.1.1. b 燃焼法	
りん酸全量 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	5.92	% (現物)	4.2.1. a ハナドモリフテン酸アソモニウム吸光光度法	
加里全量 (K <sub>2</sub> O)	0.11	% (現物)	4.3.1. a フレーム光度法	

単位の%は質量分率

方法 (数字・記号記載の項目) は肥料等試験法 (2021) による

生育状態の写真  
(9月12日撮影) No. 1~4

図資 1-25 植害試験結果 (乾燥汚泥)

## 1. 9 灰の搬送性・貯留性調査

### (1) 概要

バイオマスボイラから排出された灰が、問題なく搬送できること、また、安全に貯留できることの調査を行った。

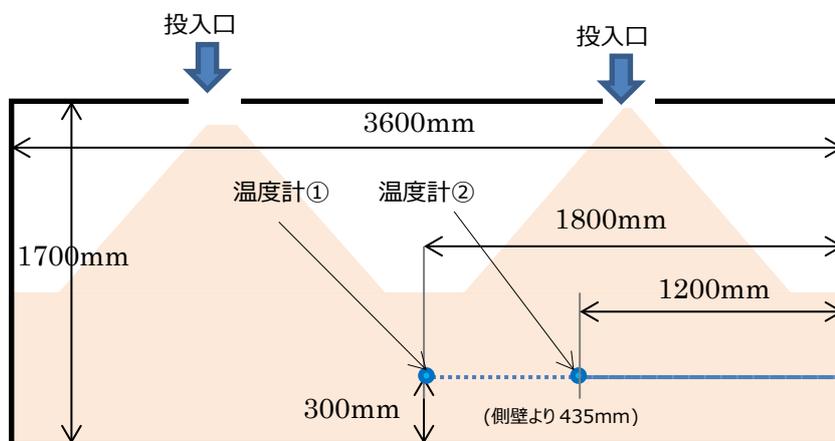
### (2) 調査方法

#### ① 搬送設備の調査

実証設備の灰の輸送設備である2軸スクリーコンベヤ、1軸スクリーコンベヤ、ロータリーバルブ、フライトコンベヤにおいて、搬送に問題ないことの調査を行った。

#### ② 灰の貯留性調査

灰貯留コンテナに、温度計(2本)を設置し、貯留中の温度変化を計測した。また、投入シュートから内部の空気をサンプリングし、CO濃度の測定を行った。図資 1-26 に灰貯留コンテナの概略図を記載する。



図資 1-26 灰貯留コンテナ概略図

### (3) 調査結果

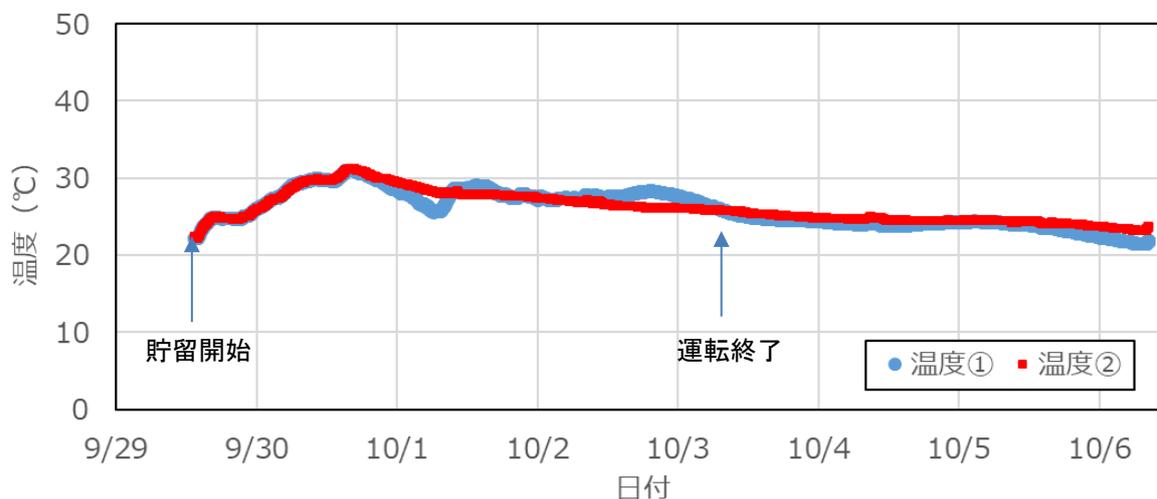
#### ① 搬送設備の調査

実証設備の灰の輸送設備である 2 軸スクリーコンベヤ、1 軸スクリーコンベヤ、ロータリーバルブ、フライトコンベヤにおいて閉塞、破断の問題は起きず、安定した搬送が可能であった。また、主灰にクリンカが生成されたが脆い形状をしており 2 軸スクリーコンベヤで破碎可能であった。

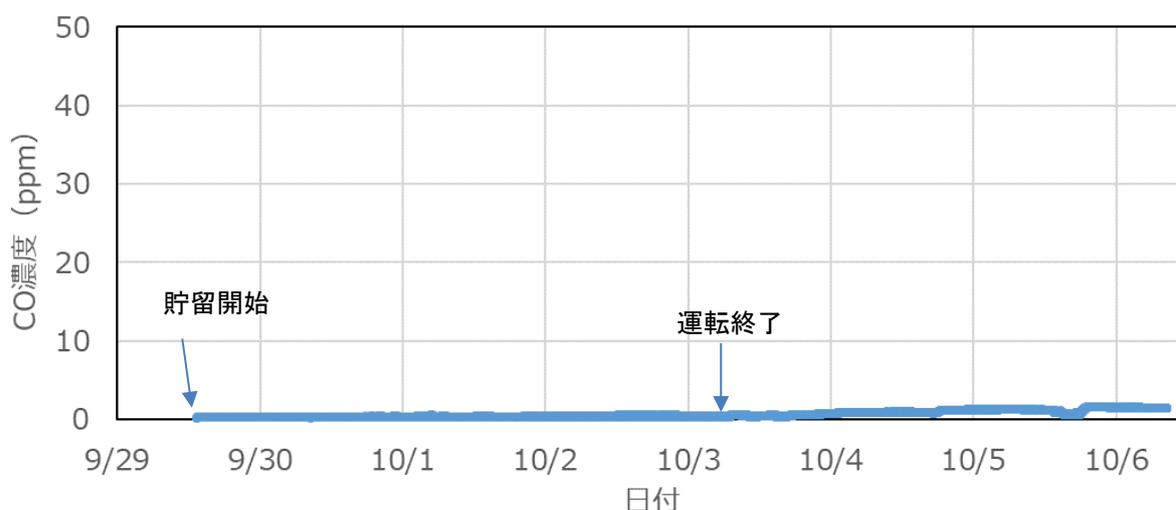
#### ② 灰の貯留性調査

図資 1-27 に灰貯留コンテナ内の温度変化を、図資 1-28 に灰貯留コンテナ内の CO 濃度変化を示す。

灰貯留コンテナ内の温度は、低く保たれており、酸化による発熱は見られなかった。また、CO 濃度も検出されたが 2ppm 未満と低い濃度であった。安全に貯留可能と評価できる。



図資 1-27 灰貯留コンテナ内の温度変化



図資 1-28 灰貯留コンテナ内の CO 濃度変化

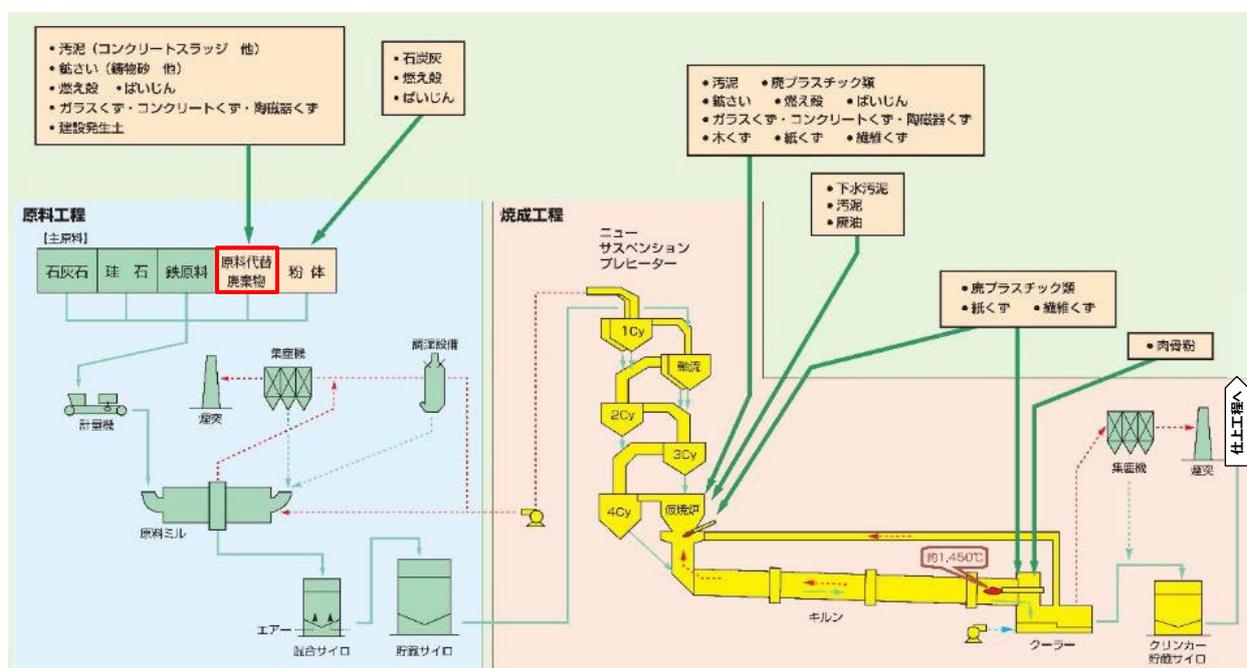
## 1. 10 有効利用設備における搬送・貯留設備の評価

## (1) 目的

セメント工場では、様々な廃棄物をセメント原料として受入れ有効利用している。乾燥汚泥およびバイオマスボイラで発生した焼却灰ほどの設備で受入れ可能か、問題なく受入れ、搬送、貯留可能か調査を行い、搬送・貯留における留意点を明らかにすることを目的とした。

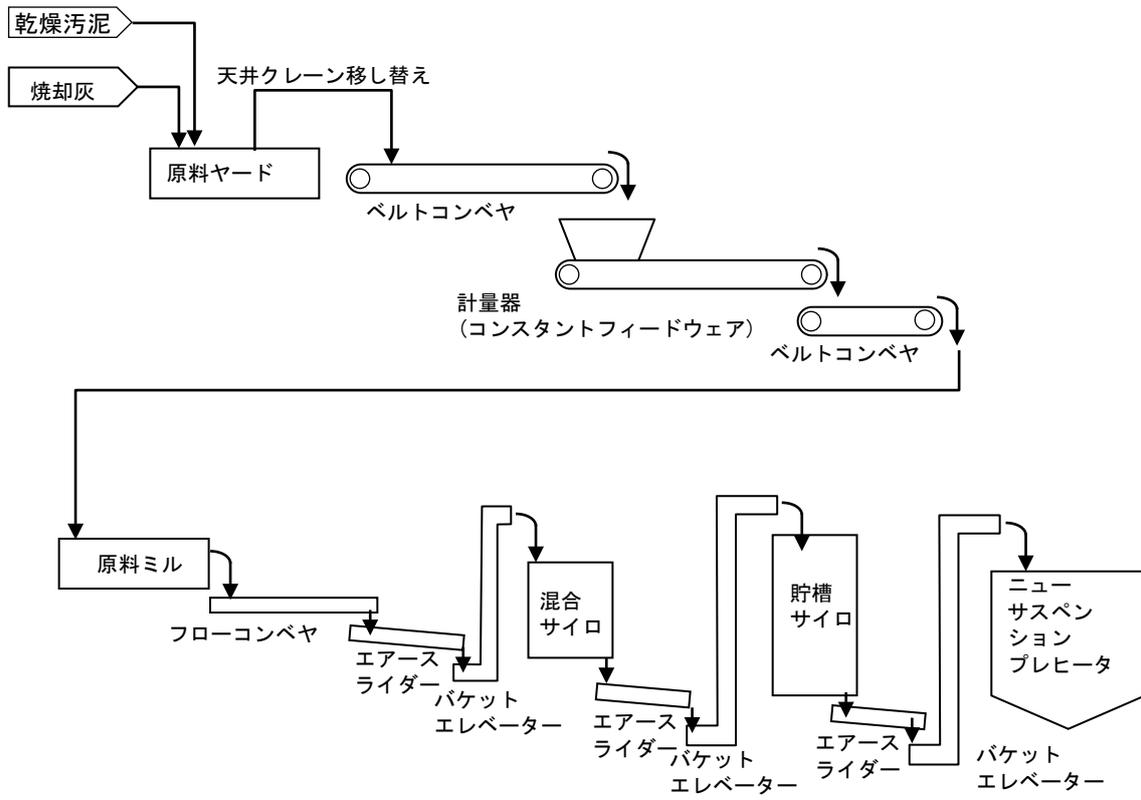
## (2) 設備概要

共同研究体である日鉄セメントの産廃処理系列の搬送・貯留設備を用いて各種設備への適用性を検討した。図資 1-29 に日鉄セメントのセメント工場の全体フローを示す。



図資 1-29 日鉄セメントのセメント工場の全体フロー

焼却灰は、原料代替廃棄物として受入れて、他の原料と共に有効利用を行う。図資 1-29 の「原料代替廃棄物」から「ニューサスペンションプレヒータ」までの搬送・処理フローを図資 1-30 に示す。



図資 1-30 日鉄セメントの焼却灰の搬送・処理フロー

### (3) 調査方法

実証設備で発生した焼却灰を、日鉄セメントの産廃処理系列の搬送・貯留設備に搬入、処理し、問題ないことの確認を行った。

## (4) 調査結果

投入場所については、乾燥汚泥、灰共に原料ピットが望ましいことがわかった。また、投入時の発塵は対策を要するほどではないことがわかった。ただし、少量ではあるが粉塵が発生することも確認されたため、実際の導入検討時には集塵ダクトの設置などの粉塵対策の検討が必要である。乾燥汚泥はコンテナの底面に付着しやすいため、事前にコンテナ内を攪拌してから原料ピットに投入することが望ましいこともわかった。

表資 1-17 に焼却灰および乾燥汚泥の日鉄セメントの搬送・貯留設備における調査結果を示す。また、設備内各所における運用状況写真を図資 1-31 に示す。

表資 1-17 日鉄セメントの産廃処理系列の搬送・貯留設備調査結果

機器名	調査結果	対応策
原料ヤード ピット	問題なし	—
原料ヤード ホッパ	問題なし	—
ベルトコンベヤ	問題なし	—
計量器	問題なし	—
原料ミル	問題なし	—
フローコンベヤ	問題なし	—
エアースライダー	問題なし	—
バケットエレベーター	問題なし	—
混合サイロ	問題なし	—
貯槽サイロ	問題なし	—
ニューサスペンションプレヒータ	問題なし	—



原料ヤード・ピット



原料ヤード・ホッパ



ベルトコンベヤ



ベルトコンベヤ

図資 1-31-1 産廃処理系列の搬送・貯留設備写真



計量器



原料ミル



フローコンベヤ



エアースライダー、バケットエレベーター、  
混合サイロ

図資 1-31-2 産廃処理系列の搬送・貯留設備写真



貯槽サイロ



ニューサスペンションプレヒータ



キルン

図資 1-31-3 産廃処理系列の搬送・貯留設備写真

## 1. 1.1 灰の性状調査

## 1. 1.1. 1 灰の性状調査（セメント利用）

灰のセメント利用に関する無機成分の分析結果を示す。実証ではこれらの成分で問題なく有効利用することができた。ただし、導入検討の際には受入れ先に確認を行う必要がある。

表資 1-18 灰の無機成分割合

項目	単位	秋	冬	春	夏
SiO <sub>2</sub>	mg/kg-dry	150,000	140,000	151,000	160,000
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	mg/kg-dry	70,000	58,000	66,000	71,000
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	mg/kg-dry	230,000	220,000	273,000	250,000
CaO	mg/kg-dry	130,000	150,000	155,000	130,000
MgO	mg/kg-dry	28,000	31,000	32,000	24,000
MnO	mg/kg-dry	2,700	2,700	3,000	2,700
Na <sub>2</sub> O	mg/kg-dry	4,800	5,300	7,000	5,700
K <sub>2</sub> O	mg/kg-dry	6,500	7,700	8,000	6,600
SO <sub>3</sub>	mg/kg-dry	16,000	14,000	15,000	20,000
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	mg/kg-dry	260,000	250,000	270,000	220,000
TiO	mg/kg-dry	6,700	7,200	8,000	7,500
T-Cl	mg/kg-dry	150	130	130	120
ZnO	mg/kg-dry	3,500	2,800	2,340	3,500
As	mg/kg-dry	31	20	22	29
PbO	mg/kg-dry	15	13	30	10
T-Cr	mg/kg-dry	200	150	106	190
Hg	mg/kg-dry	0.01 未満	0.01 未満	0.02	0.01 未満
F	mg/kg-dry	79	94	120	110
B	mg/kg-dry	45	4	39	47
Cd	mg/kg-dry	1 未満	1 未満	5 未満	1
Se	mg/kg-dry	2	1	1.7	1 未満
Sn	mg/kg-dry	9	17	19	16
CN	mg/kg-dry	1 未満	1 未満	2 未満	1 未満

## 1. 1. 1. 2 灰の性状調査・植害試験（肥料利用）

## （1）肥料性状分析

燃焼後の灰が乾燥汚泥からどのように変化しているかを確認するために、乾燥汚泥と同様の分析を実施した。分析結果を表資 1-19、1-20 に示す。燃焼により有害成分が増加している傾向はみられず、灰をそのまま肥料利用できることも確認された。

表資 1-19 主な成分量および有害成分に関する評価結果（肥料成分）

項目	単位	許容値※	秋	冬	春	夏	
主な成分量	亜鉛	mg/kg	—	2,500	2,200	—	2,800
	窒素	%	—	0.08	0.04	—	0.04
	りん酸	%	—	27.7	27.7	—	24.2
	加里	%	—	0.58	0.51	—	0.46
	石灰	%	—	13.8	16	—	13.1
	銅	mg/kg	—	510	590	—	590
	水分	%	—	0.1 未満	0.1 未満	—	0.1 未満
	C/N 比	—	—	3.32	3.06	—	9.3
有害成分量	カドミウム	mg/kg	5	1 未満	1 未満	5 未満	1
	水銀	mg/kg	2	0.01 未満	0.01 未満	0.017	0.01 未満
	ヒ素	mg/kg	50	29	20	22	29
	ニッケル	mg/kg	300	88	67	67	86
	クロム	mg/kg	500	200	150	106	190
	鉛	mg/kg	100	12	12	30	9

※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。

※「肥料の品質の確保等に関する法律」より

表資 1-20 灰の溶出試験結果（有害成分）（単位：mg/L）

項目	基準値	秋	冬	春	夏
アルキル水銀化合物	検出されないこと	不検出	不検出	不検出	不検出
水銀又はその化合物	0.005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
カドミウム又はその化合物	0.3	0.005	0.005	0.005	0.005
鉛又はその化合物	0.3	0.005	0.005	0.005	0.005
有機リン化合物	1	0.1	0.1	0.1	0.1
六価クロム化合物	1.5	0.02	0.02	0.02	0.02
ヒ素又はその化合物	0.3	0.22	0.068	0.13	0.11
シアン化合物	1	0.1	0.1	0.1	0.1
ポリ塩化ビフェニル	0.003	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
トリクロロエチレン	0.3	0.002	0.002	0.002	0.002
テトラクロロエチレン	0.1	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
ジクロロメタン	0.2	0.002	0.002	0.002	0.002
四塩化炭素	0.02	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
1・2-ジクロロエタン	0.04	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004
1・1-ジクロロエチレン	1	0.002	0.002	0.002	0.002
シス-1・2-ジクロロエチレン	0.4	0.004	0.004	0.004	0.004
1・1・1-トリクロロエタン	3	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
1・1・2-トリクロロエタン	0.06	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
1・3-ジクロロプロペン	0.02	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
チウラム	0.06	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
シマジン	0.03	0.0003	0.003	0.0003	0.0003
チオベンカルブ	0.2	0.002	0.002	0.002	0.002
ベンゼン	0.1	0.001	0.001	0.001	0.001
セレン又はその化合物	0.3	0.005	0.005	0.008	0.005
1・4-ジオキサン	0.5	0.05	0.05	0.05	0.05

※「産業廃棄物に含まれる金属等の検定方法」（昭和48年環境庁告示第13号（環告13号））

## (2) 植害試験

植害試験を行い肥料効果の評価を行った。供試試料区と標準区の生育について、等分散性検定値  $P$  は基準値となる 0.05 以上となり、等分散性が確認され、有意なデータであることが確認された。また、平均値の有意差検定値  $P$  は基準値となる 0.05 以下となり、生育重量の平均値が供試試料区 > 標準区となり、灰が肥料として効果があることが確認された。これらにより灰を肥料として活用可能なことが確認された。図資 1-32 に概要を示す。

## (イ) 発芽及び生育調査成績

試験区	ポット No.	発芽調査成績		生育調査成績			異常症状
		8月25日	8月26日	8月29日	9月12日		
		発芽率 (%)	発芽率 (%)	葉長 (cm)	葉長 (cm)	生体重 (g/ポット)	
供試料区 (T)	1	95	95	3.8	11.4	30.2	
	2	100	100	3.7	11.6	32.5	
	3	95	95	3.7	11.3	29.4	
	4	100	100	3.6	11.4	30.8	
	5	95	100	3.7	11.5	30.9	
	6	95	95	3.8	11.5	31.5	
	7	95	100	3.8	11.3	29.2	
	8	90	95	3.6	11.4	30.3	
	平均	96	98	3.7	11.4	30.6	無
標準区 (B)	1	100	100	3.6	11.2	28.8	
	2	95	100	3.6	11.3	29.9	
	3	95	95	3.6	11.4	30.6	
	4	100	100	3.6	11.3	29.8	
	5	95	100	3.7	11.3	29.2	
	6	90	95	3.7	11.3	29.0	
	7	100	100	3.7	11.4	30.2	
	8	90	95	3.8	11.4	29.5	
	平均	96	98	3.7	11.3	29.6	—

## (ロ) 合否判定のための供試料区 (T) と標準区 (B) の生体重の統計解析結果

T区及びB区の等分散性の検定 (F検定: 両側有意水準5%)			T区及びB区の平均値の差の検定 (t検定: 片側有意水準5%、等分散を仮定)		
分散比	境界値	p値	t値	境界値	p値
3.09	上限値 4.99 下限値 0.20	0.160	2.21	1.76	0.022
有意差なし			有意差あり (T>B)		

## 分析・試験結果

項目	分析結果	単位	分析方法	注
水分	0.34	% (現物)	3.1.a 乾燥器による乾燥減量法	
窒素全量 (N)	0.09	% (現物)	4.1.1.b 燃焼法	
りん酸全量 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	23.72	% (現物)	4.2.1.a パナモリブデン酸アンモニウム吸光光度法	
加里全量 (K <sub>2</sub> O)	0.28	% (現物)	4.3.1.a フレーム光度法	

単位の%は質量分率

方法 (数字・記号記載の項目) は肥料等試験法 (2021) による

生育状態の写真  
(9月12日撮影) No. 5~8

図資 1-32 植害試験結果 (灰)

## 1. 12 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、いずれも規制値および自主目標値以下であることを確認した。

### (1) 排ガス性状

表資 1-21 にボイラ出口、スクラバ出口および電気集塵機出口における排ガス性状に関する評価結果を示す。実証設備ではバックアップとして電気集塵機を設置しているが、スクラバ出口で目標値（ばいじん濃度 0.3g/m<sup>3</sup>、NO<sub>x</sub> 濃度 200ppm、SO<sub>x</sub> 濃度 150ppm）を満足していることを確認したため、実導入の排ガス処理はスクラバのみとなる予定である。また、温室効果が高い N<sub>2</sub>O 濃度も従来の焼却炉以下であることが確認された。

表資 1-21-1 ボイラ出口排ガス性状に関する評価結果

項目	単位	秋	冬	春	夏
水分量	%	12.8	11.6	—	11.9
排ガス温度	°C	370	347	—	364
平均流速	m/s	7.1	8.1	—	6.0
湿り排ガス流量	m <sup>3</sup> /hr	780	920	—	670
乾き排ガス流量	m <sup>3</sup> /hr	680	810	—	590
ばいじん濃度	g/m <sup>3</sup>	0.89	1.1	—	2.7
ばいじん濃度( O <sub>2</sub> 16%換算値)	g/m <sup>3</sup>	0.42	0.47	—	1.1
ばいじん流量	Kg/hr	0.61	0.89	—	1.6
残存酸素量	Vol%	10.4	9.2	—	8.8

表資 1-21-2 スクラバ出口排ガス性状に関する評価結果 (1/2)

項目	単位	秋	冬	春	夏
水分量	%	10.9	10.2	—	10
排ガス温度	°C	50	45	—	47
平均流速	m/s	18	17.9	—	15.4
湿り排ガス流量	m <sup>3</sup> /hr	1710	1740	—	1480
乾き排ガス流量	m <sup>3</sup> /hr	1520	1560	—	1330
ばいじん濃度	g/m <sup>3</sup>	0.19	0.27	0.079	0.2
ばいじん濃度 (O <sub>2</sub> 16%換算値)	g/m <sup>3</sup>	0.11	0.15	—	0.12
ばいじん流量	kg/hr	0.29	0.42	—	0.27
残存酸素量	vol%	12.4	11.7	—	12.7
窒素酸化物 NOx 濃度	volppm	150	140	—	87
窒素酸化物 NOx 濃度 (O <sub>2</sub> 16%換算値)	volppm	87	75	—	52
窒素酸化物 NOx 流量	m <sup>3</sup> /hr	0.23	0.22	—	0.12
硫黄酸化物 SOx 濃度	volppm	8	8	—	13
塩化水素濃度	volppm	16	12	—	14
N <sub>2</sub> O		—	30	31	12

表資 1-21-2 スクラバ出口排ガス性状に関する評価結果 (2/2)

項目		単位	秋	冬	春	夏
銅及び その化合物	粒子状	mg/m <sup>3</sup>	0.002 未満	0.031	—	0.012
	ガス状	mg/m <sup>3</sup>	0.002 未満	0.02 未満	—	0.02 未満
亜鉛及び その化合物	粒子状	mg/m <sup>3</sup>	2.2	6.0	—	2.9
	ガス状	mg/m <sup>3</sup>	0.055	0.031	—	0.06
カドミウム及び その化合物	粒子状	mg/m <sup>3</sup>	0.034	0.07	—	0.035
	ガス状	mg/m <sup>3</sup>	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 <sup>3</sup>	0.18	0.44	—	0.24
	ガス状	mg/m <sup>3</sup>	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 <sup>3</sup>	0.002 未満	0.004	—	0.003
	ガス状	mg/m <sup>3</sup>	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 <sup>3</sup>	0.002 未満	0.046	—	0.029
	ガス状	mg/m <sup>3</sup>	0.001 未満	0.01 未満	—	0.01 未満
砒素及び その化合物	粒子状	mg/m <sup>3</sup>	0.11	0.16	—	0.15
	ガス状	mg/m <sup>3</sup>	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 <sup>3</sup>	0.038	0.074	—	0.005
	ガス状	mg/m <sup>3</sup>	0.01 未満	0.01 未満	—	0.01 未満
六価クロム化合物		mg/m <sup>3</sup>	0.005 未満	0.005 未満	—	0.005 未満
水銀及びその化合物		mg/m <sup>3</sup>	0.0076	0.0077	—	0.0086

表資 1-21-3 電気集塵機出口排ガスに関する評価結果

項目	単位	秋	冬	春	夏
水分量	%	15.2	10.8	—	11.3
排ガス温度	°C	45	38	—	43
平均流速	m/s	18.7	18.9	—	16.3
湿り排ガス流量	m <sup>3</sup> /hr	1810	1880	—	1590
乾き排ガス流量	m <sup>3</sup> /hr	1530	1680	—	1410
ばいじん濃度	g/m <sup>3</sup>	0.01	0.005 未満	—	0.005 未満
ばいじん濃度(O <sub>2</sub> 16%換算値)	g/m <sup>3</sup>	0.004	0.004 未満	—	0.004 未満
ばいじん流量	kg/hr	0.009	0.009 未満	—	0.008 未満
残存酸素量	vol%	13.2	13.2	—	13.8

## (2) 臭気

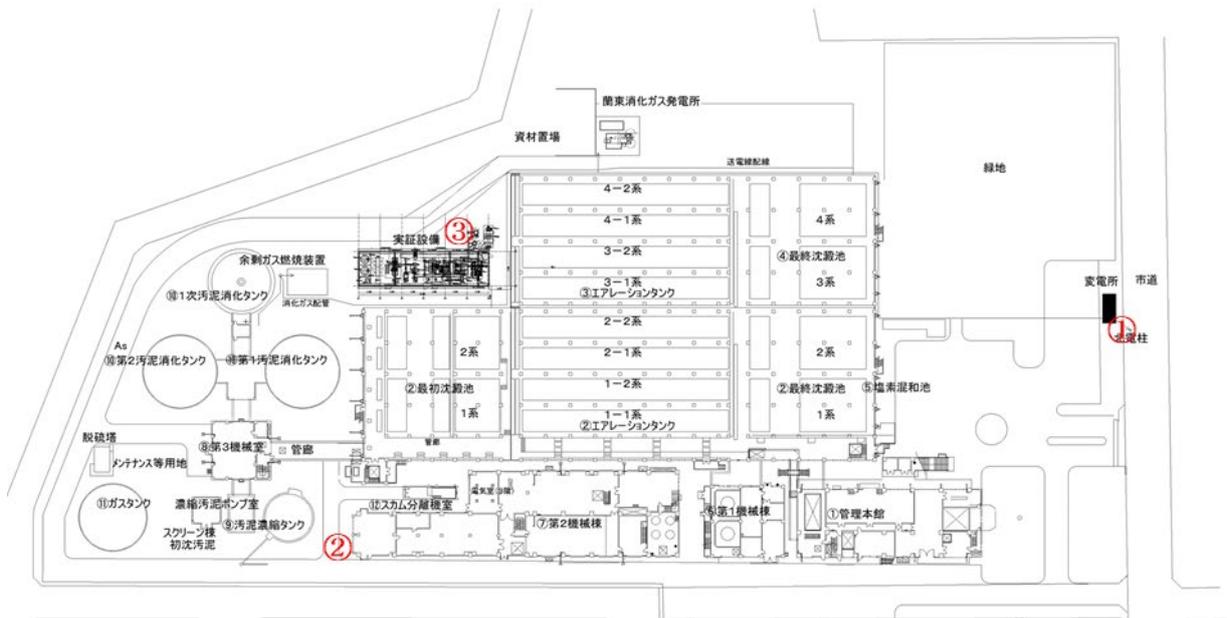
表資 1-22 に運転中のスクラバ出口および敷地境界での臭気に関する評価結果を、図資 1-33 に測定した敷地境界の場所を示す。敷地境界において無臭である時期とにおいを感じる時期があることが明らかになった。ただし、本設備由来の臭気であるかは不明である。また、本実証では敷地境界における臭気濃度の分析を行わなかったが、自治体の条例に合わせて分析を実施することが必要である。

表資 1-22-1 スクラバ出口における臭気に関する評価結果

項目	単位	秋	冬	春	夏
アンモニア	ppm	147	40	—	65
メチルメル カプタン	ppm	0.002 未満	0.0074	—	0.0087
硫化水素	ppm	0.006 未満	0.004 未満	—	0.004 未満
硫化メチル	ppm	0.001 未満	0.001 未満	—	0.001 未満
二硫化メチル	ppm	0.0009 未満	0.0009 未満	—	0.0009 未満
トリメチル アミン	ppm	0.0065	0.0061	—	0.0055
アセトアルデヒド	ppm	0.005 未満	0.01 未満	—	0.005 未満
プロピオン アルデヒド	ppm	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	0.002 未満	0.003 未満	—	0.002 未満
イソブチル アルデヒド	ppm	0.002 未満	0.003 未満	—	0.002 未満
ノルマルバレル アルデヒド	ppm	0.001 未満	0.003 未満	—	0.002 未満
イソバレル アルデヒド	ppm	0.001 未満	0.003 未満	—	0.002 未満

表資 1-22-2 敷地境界の臭気指数

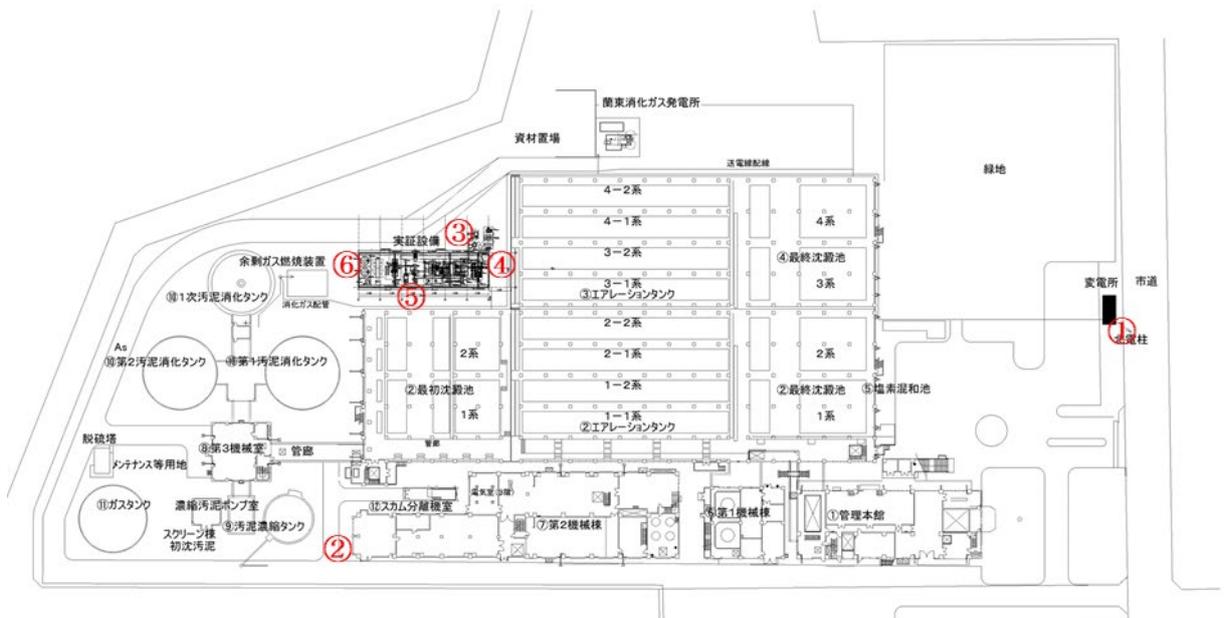
項目	秋	冬	春	夏
① 正門付近	10 未満	16	—	14
② 裏門付近	12	10 未満	—	13
③ 実証設備前	12	10 未満	—	16



図資 1-33 敷地境界における臭気測定

(3) 騒音

図資 1-34 に設備周辺での騒音の測定場所を、表資 1-23 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。



図資 1-34 騒音測定場所

表資 1-23 騒音に関する測定結果

測定時間	地点	敷地境界		設備周辺			
		①	②	③	④	⑤	⑥
6:00	運転時 (dB)	44.1	49.5	70.7	66	63.3	56.4
	暗騒音 (dB)	45	48.7	55	62.7	52.5	45.5
14:00	運転時 (dB)	58	61.5	70.6	64.2	66.2	58.1
	暗騒音 (dB)	58.8	52.6	57.3	61.3	52.9	52.4
19:30	運転時 (dB)	56.8	46.8	70.4	64.2	66.2	55.6
	暗騒音 (dB)	52.7	52	55.4	61	53.1	55.3
22:00	運転時 (dB)	45.3	49.8	71.1	66.2	63.1	55.5
	暗騒音 (dB)	51	50.3	55.5	60.4	53.1	54.1

#### (4) 排水性状

表資 1-24 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。本技術の運転による水処理後水質の変動は四季を通じて確認されなかったため、本技術の総合排水が水処理に悪影響を及ぼすことはないと考えられる。

表資 1-24 総合排水性状に関する評価結果 (1/2)

分析項目	単位	室蘭市基準	秋	冬	春	夏
pH	—	5 を超え 9 未満	7.9(16℃)	7.5(23℃)	7.5(17℃)	7.5(24℃)
SS	mg/L	600 未満	310	210	180	76
BOD	mg/L	600 未満	640	960	400	8
COD	mg/L	—	98	81	47	49
塩化物イオン	mg/L	—	130	560	140	150
窒素含有量	mg/L	240	290	240	280	210
アンモニア性窒素	mg/L	380	270	230	240	210
リン含有量	mg/L	32	52	41	23	30
硫酸イオン	mg/L	—	320	440	380	390
ノルマルヘキサン抽出物 質含有量(鉱物油類)	mg/L	5	2 未満	2 未満	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	30	3	2 未満	3	2 未満
カドミウム及び その化合物	mg/L	0.03	0.012	0.009	0.004	0.007
シアン化合物	mg/L	1	0.1 未満	0.2	0.1 未満	0.2
有機リン化合物	mg/L	1	0.1 未満	0.1 未満	0.1 未満	0.1 未満
鉛及びその化合物	mg/L	0.1	0.05 未満	0.04	0.02	0.04
六価クロム化合物	mg/L	0.2	0.03	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満
砒素及びその化合物	mg/L	0.1	0.02	0.07	0.02	0.04
水銀及びアルキル水銀 その他の水銀化合物	mg/L	0.005	0.0005 未満	0.0010	0.0010	0.0006
アルキル水銀化合物	mg/L	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出
PCB	mg/L	0.003	0.0005 未満	0.0005 未満	0.0005 未満	0.0005 未満
トリクロロエチレン	mg/L	0.1	0.002 未満	0.002 未満	0.002 未満	0.002 未満
テトラクロロエチレン	mg/L	0.1	0.0005 未満	0.0005 未満	0.0005 未満	0.0005 未満
ジクロロメタン	mg/L	0.2	0.002 未満	0.002 未満	0.002 未満	0.002 未満
四塩化炭素	mg/L	0.02	0.0002 未満	0.0002 未満	0.0002 未満	0.0002 未満
1,2-ジクロロエタン	mg/L	0.04	0.0004 未満	0.0004 未満	0.0004 未満	0.0004 未満
1,1-ジクロロエチレン	mg/L	1	0.002 未満	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	0.4	0.004 未満	0.004 未満	0.004 未満	0.004 未満

表資 1-24 総合排水性状に関する評価結果 (2/2)

分析項目	単位	室蘭市基準	秋	冬	春	夏
1.1.1-トリクロロエタン	mg/L	3	0.0005 未満	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	0.06	0.0006 未満	0.0006 未満	0.0006 未満	0.0006 未満
1.3-ジクロロプロペン	mg/L	0.02	0.0002 未満	0.0002 未満	0.0002 未満	0.0002 未満
チウラム	mg/L	0.06	0.0006 未満	0.0006 未満	0.0006 未満	0.0006 未満
シマジン	mg/L	0.03	0.0003 未満	0.0003 未満	0.0003 未満	0.0003 未満
チオベンカルブ	mg/L	0.2	0.002 未満	0.002 未満	0.002 未満	0.002 未満
ベンゼン	mg/L	0.1	0.001 未満	0.001 未満	0.001 未満	0.001 未満
セレン及びその化合物	mg/L	0.1	0.01 未満	0.02	0.01 未満	0.01
ほう素及びその化合物	mg/L	230	0.1 未満	0.1 未満	0.1 未満	0.1
ふっ素及びその化合物	mg/L	15	0.14	0.44	0.38	0.47
1.4-ジオキサソ	mg/L	0.5	0.005 未満	0.005 未満	0.005 未満	0.005 未満
フェノール類含有量	mg/L	5	0.2 未満	0.2 未満	0.2 未満	0.2 未満
銅含有量	mg/L	3	0.1 未満	0.1 未満	0.1 未満	0.1 未満
亜鉛含有量	mg/L	2	0.5	0.8	0.5	0.6
溶解性鉄含有量	mg/L	10	0.1 未満	0.1	0.1 未満	0.1 未満
溶解性マンガン含有量	mg/L	10	0.2	1.4	0.2	0.2
クロム含有量	mg/L	2	0.05 未満	0.02 未満	0.02 未満	0.02 未満
ダイオキシン類	pg-TEQ/L	10	0.22	1.4	4.8	0.1

## 1. 1.3 その他の分析データ

処理場の四季変化状況把握等のために実施した基礎的な分析結果を表資 1-25～表資 1-28 に示す。

## ・消化ガス性状

消化ガスはメタン濃度、二酸化炭素濃度は四季を通じて安定していることが確認された。

表資 1-25 消化ガスの性状分析結果

分析項目名	単位	秋	冬	春	夏
二酸化炭素	%	38	40	—	40
メタン	%	57	58	—	59
酸素	%	0.4	0.4	—	0.2 未満
一酸化炭素	%	0.2 未満	0.2 未満	—	0.2 未満
窒素	%	1.8	1.5	—	0.6
水分量	%	1.9	0.8	—	2.6
温度	℃	23	5.0	—	30
高位発熱量	kJ/m <sup>3</sup>	22,747	23,331	—	23,561
低位発熱量	kJ/m <sup>3</sup>	20,515	21,041	—	21,249
硫化水素	ppm	8.7	13	—	33

## ・脱水汚泥性状

四季を通じて脱水汚泥の性状も確認した。各数値に顕著な差は見られず、四季を通じて安定していることが確認された。

表資 1-26 脱水汚泥の性状分析結果

分析項目名	単位	秋	冬	春	夏	
含水率	%	78.1	79.1	80.1	79.4	
灰分	%/TS	28.9	28.5	30.5	29.0	
元素組成 C	%-dry	35.8	36.5	36.1	35.5	
元素組成 H	%-dry	6.62	4.68	5.66	6.04	
元素組成 N	%-dry	5.60	5.24	5.46	5.41	
元素組成 O	%-dry	21.0	23.4	20.6	22.0	
全硫黄	mg/kg-dry	20,000	16,000	16,300	21,000	
全塩素	mg/kg-dry	1200	1200	1100	840	
高位発熱量	kJ/kg-dry	16,100	16,900	16,100	16,200	
低位発熱量	kJ/kg-dry	14,600	15,900	14,800	14,800	
固定炭素	%-dry	5.7	6.2	8.4	2.3	
かさ比重 (かため)	-	0.608	0.696	0.787	0.656	
かさ比重 (ゆるめ)	-	0.468	0.459	0.551	0.555	
1,4-ジオキサン	mg/kg-dry	1 未満	1 未満	—	1 未満	
灰組成	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	7.66	6.33	6.60	7.22
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	25.3	23.9	25.8	28.9
	SiO <sub>2</sub>	%	16.8	14.9	14.5	16.9
	CaO	%	14.8	16.4	15.3	14.3
	MgO	%	3.03	3.6	3.0	2.44
	Na <sub>2</sub> O	%	0.47	0.47	0.70	0.50
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%	25.4	27.9	26.4	22.3
	K <sub>2</sub> O	%	0.79	0.88	0.80	0.79
	TiO <sub>2</sub>	%	0.70	0.74	0.80	0.86
	MnO	%	0.30	0.29	0.30	0.30
	SO <sub>3</sub>	%	0.71	0.71	4.50	1.46

## ・乾燥汚泥性状

乾燥汚泥は各数値に顕著な差異は見られず、四季を通じて安定していることが確認された。

表資 1-27 乾燥汚泥の燃料分析結果

分析項目名	単位	秋	冬	春	夏
含水率	%	18.6	18.9	19.6	16.1
灰分	%/TS	28.9	28.3	29.9	28.6
低位発熱量	kJ/kg-dry	14,800	15,700	15,100	15,000
高位発熱量	kJ/kg-dry	16,200	17,100	16,300	16,300
全硫黄	mg/kg-dry	22,000	1,9000	16,600	22,000
元素組成 C	%-dry	36.9	41.3	36.2	35.9
元素組成 H	%-dry	6.26	5.98	5.66	5.77
元素組成 N	%-dry	5.57	6.02	5.68	5.54
元素組成 O	%-dry	20.2	16.5	20.8	22.0
全塩素	mg/kg-dry	—	1,300	1,200	980
固定炭素	%-dry	—	7.9	8.9	2.8
かさ比重 (かため)	—	—	0.65	0.638	0.681
かさ比重 (ゆるめ)	—	—	—	0.568	0.602

## ・乾燥汚泥ペレット性状

乾燥汚泥と同様に乾燥汚泥ペレットも各数値に顕著な差異は見られず、四季を通じて安定していることが確認された

表資 1-28 乾燥汚泥ペレット燃料分析結果

分析項目名	単位	秋	冬	春	夏
含水率	%	16.8	15.3	18.3	17.2
灰分	%/TS	28.9	28.2	29.9	28.8
元素組成 C	%-dry	36.3	40	36.1	36.6
元素組成 H	%-dry	6.21	5.76	5.66	5.97
元素組成 N	%-dry	5.51	5.89	5.62	5.63
元素組成 O	%-dry	20.9	18.2	21.0	20.9
全硫黄	mg/kg dry	22,000	20,000	16,200	22,000
全塩素	mg/kg-dry	1,200	1,300	1,300	910
高位発熱量	kJ/kg-dry	16,300	17,100	16,300	16,500
低位発熱量	kJ/kg-dry	14,900	15,800	15,000	15,100
固定炭素	%-dry	7.0	7.5	8.7	1.9
かさ比重 (かため)	-	0.692	0.717	0.706	0.781
かさ比重 (ゆるめ)	-	0.607	0.590	0.662	0.748
直径	mm	6	6.1	-	6.0
長さ (L≤40 mmの質量割合)	%	100	100	-	100
長さ (L>40 mmの有無)	-	無	無	-	無
微粉	%	0.3	0.3	-	0.5
機械的耐久性	%	98.7	97.4	-	97.1

## ・消化汚泥性状

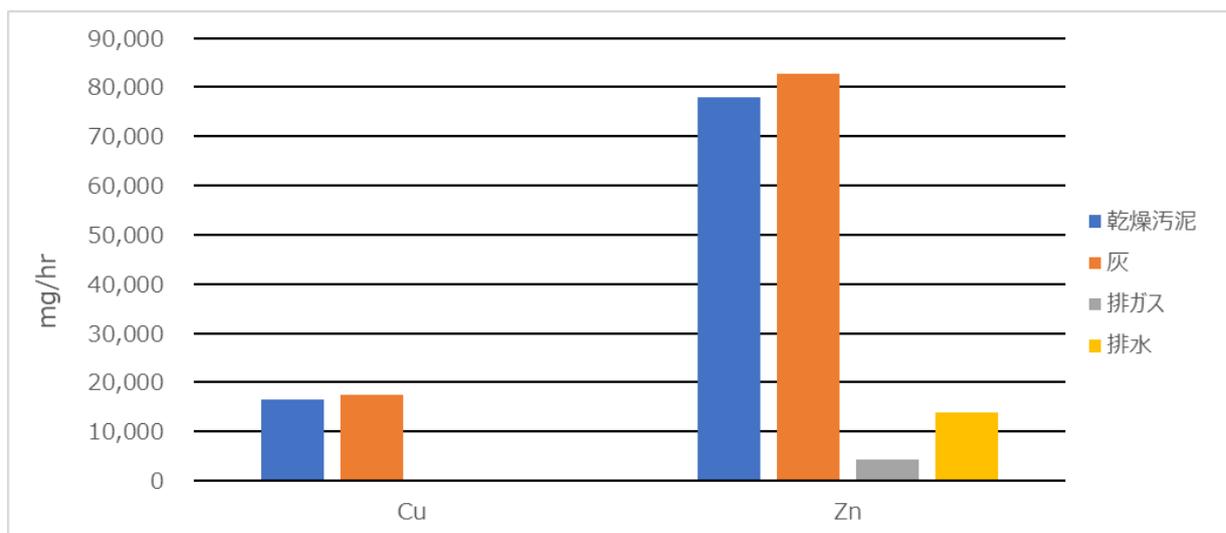
消化汚泥は各季節で各数値にばらつきがあることが確認された。定期的に性状分析を実施し、高分子凝集剤の注入率、無機凝集剤の注入率、脱水機のトルクおよび脱水機の洗浄頻度を調整する必要があることが判明した。

表資 1-29 消化汚泥の性状分析結果

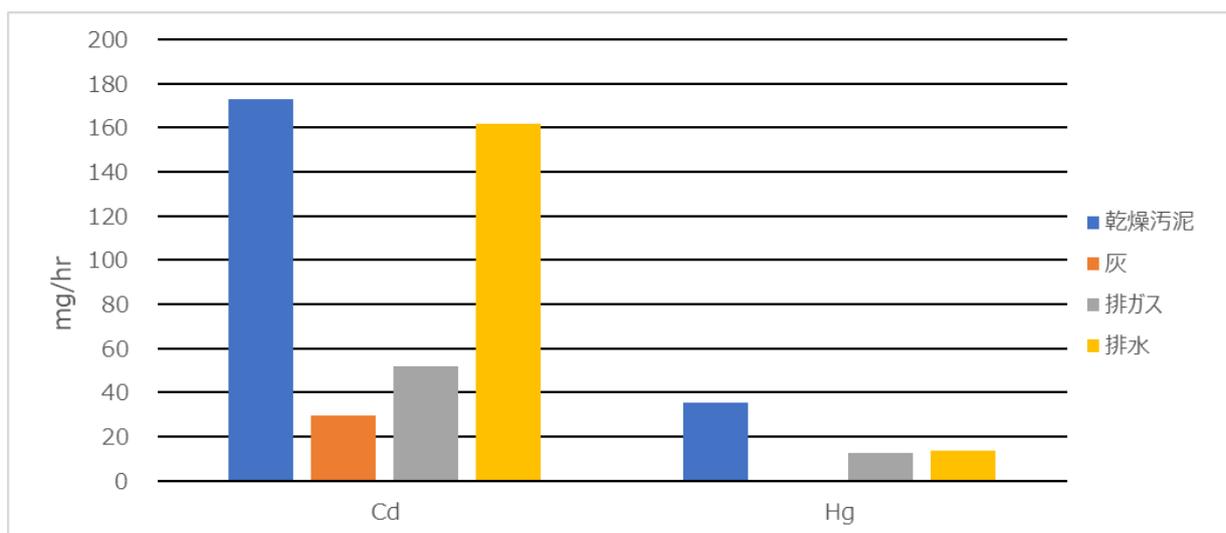
分析項目名	単位	秋	冬	春	夏
蒸発残留物	%	1.7	2	1.56	1.59
全蒸発残留物の強熱減量	%/TS	69	69	68.74	69.9
浮遊物質(SS)	mg/L	15,000	13,000	14,000	13,000
浮遊物質の強熱減量	%/SS	69	69	69.12	69.5
pH	pH	7.3(13°C)	7.3(14°C)	7.6(24°C)	7.3(22°C)
アルカリ度	CaCO <sub>3</sub> mg/L	2,700	2,500	2,700	2,800
アニオン度	meq/g-dry	0.46	0.72	0.57	0.29
CST 試験	sec	170	150	886	210
繊維状物 100 Mesh	%/SS	4.6	3.89	3.83	2.24
繊維状物 200 Mesh	%/SS	6.9	6.80	5.84	3.91
粗浮遊物	%/TS	4.0	—	—	—
粗浮遊物 100 Mesh	%/TS	—	2.73	2.78	1.58
粗浮遊物 200 Mesh	%/TS	—	3.82	3.81	2.39
粗タンパク	%/TS	32	22.9	28.93	28.6
全塩素	mg/kg dry	9,000	14,000	8,600	8,100
溶解性塩素	mg/L	—	170	120	130
砂分 100 Mesh	%/TS	0.63	0.49	0.26	0.09
砂分	%/TS	1.3	1.16	0.75	0.53
電気伝導率	mS/m	680	680	551	6.7
塩化物イオン	mg/L	150	—	—	—

### ・金属元素の物質収支まとめ

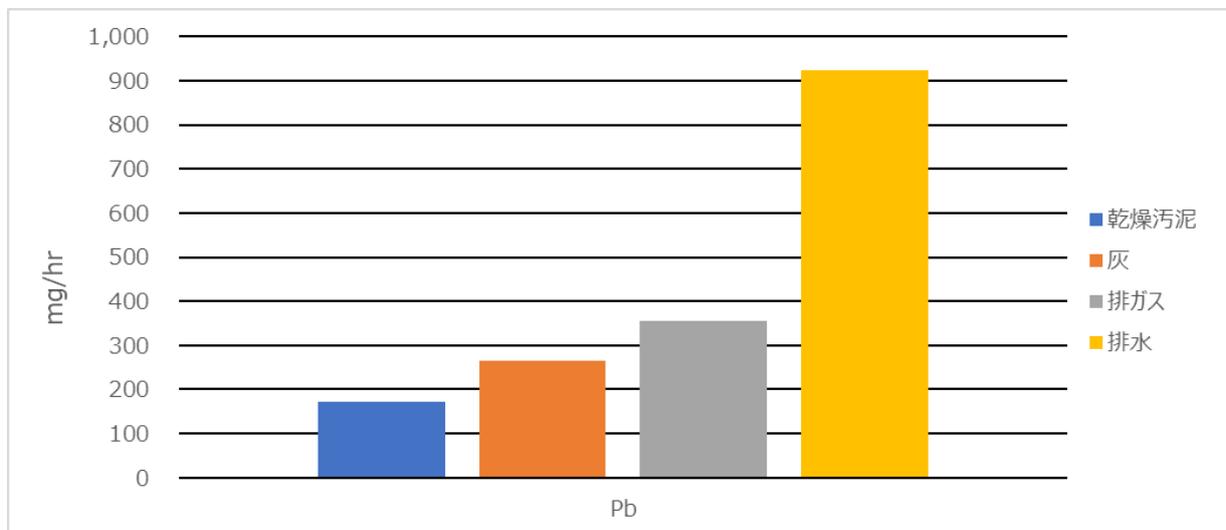
金属元素が処理工程でどのような挙動を示すかを確認するために2022年夏季の分析データを元に収支の確認を行った。図資 1-35～図資 1-38 に示す。Pb、Cr、Cd を除く元素で大まかな入出の一致が確認された。入出が一致しなかった元素に関しては「配管などの設備から溶出した」などの考察はできるが、実際の原因は不明である。



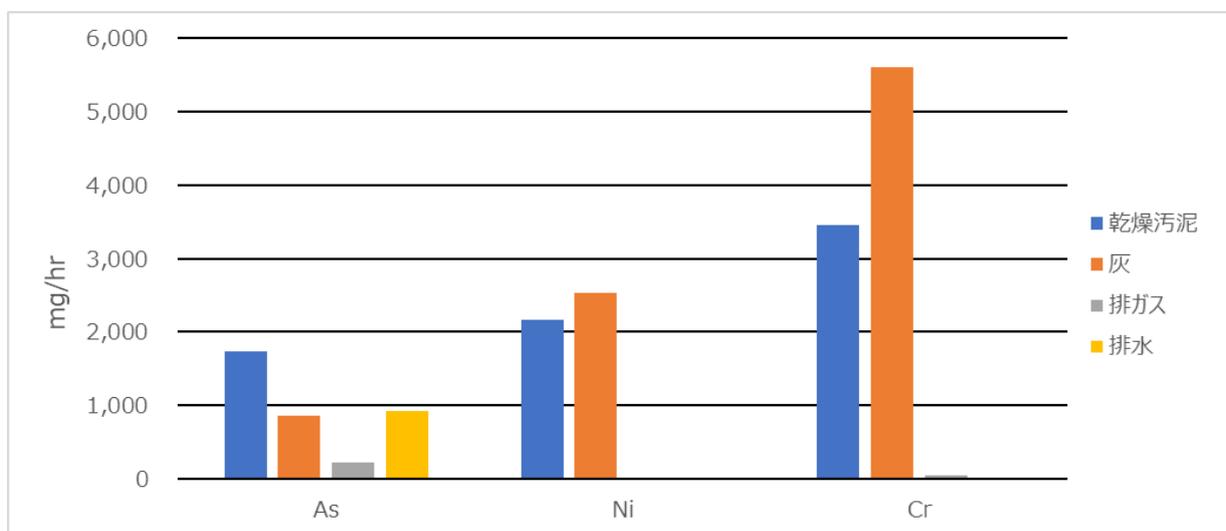
図資 1-35 Cu, Zn の流入出量



図資 1-36 Cd, Hg の流入出量



図資 1-37 Pb の流入出量



図資 1-38 As, Ni, Cr の流入出量

## 2. ケーススタディ

### 2. 1 検討条件

代表ケースでの総費用（年価換算値）は、第2章第3節にて試算しているため、ここでは

#### 1. 基幹処理場規模毎の集約汚泥量と導入効果の関係の試算

2. 脱水混合生汚泥を外部搬出している処理場への「消化設備＋発電設備＋本技術」導入試算を行う。2.は本技術の導入パターンとして最も汚泥のエネルギーを有効に使うことができるパターンである。

#### 2. 1. 1 試算条件

##### (1) 建設費の範囲

建屋を新設することを推奨するため、機械設備工事および土木工事を算定した。

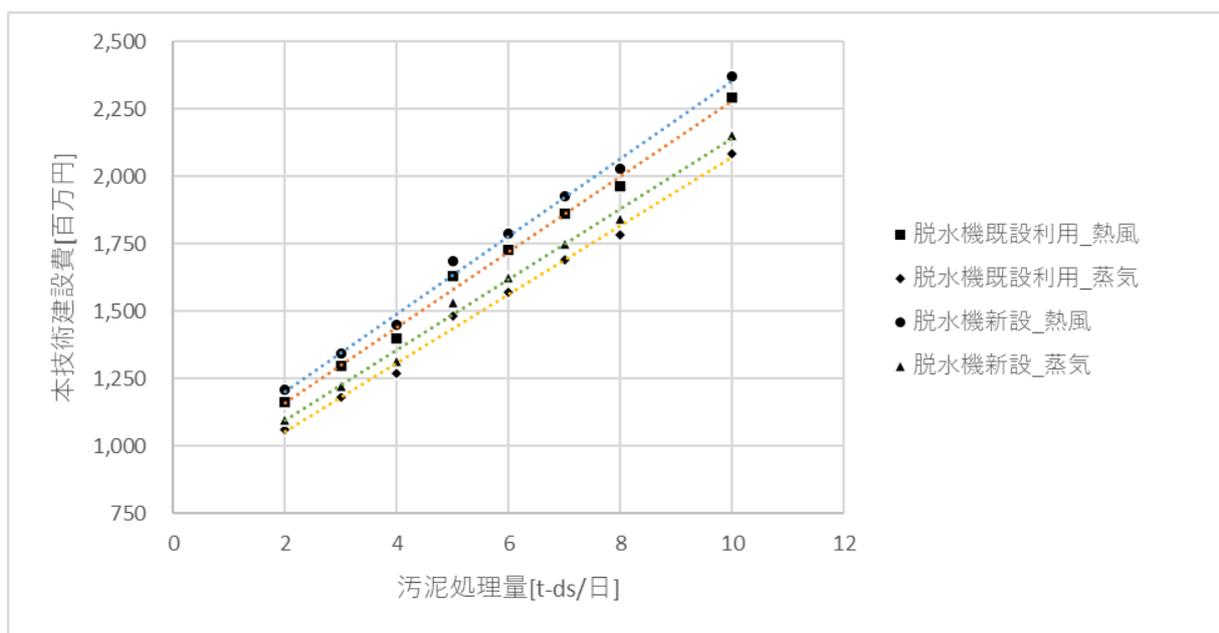
##### (2) 維持管理費の範囲

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、塩、清缶剤、苛性ソーダ等）、人件費、電力費および燃料費を考慮する。

## 2. 2 建設費の算出について

### 2. 2. 1 本技術の建設費算出

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本技術の建設工事を想定して整理した。試算結果を図資 2-1 および表資 2-1 に示す。脱水機を既設利用する場合、脱水機を新設する場合、蒸気で熱利用する場合、熱風にて熱利用する場合の費用関数を作成した。また、脱水乾燥システムは一系列を想定し、バイオマスボイラは並列設置を想定した。



図資 2-1 建設費の費用関数

表資 2-1 費用関数

y : 建設費[百万円] x : 汚泥処理量[t-ds/日] (日最大)

脱水機分類	熱利用方法	工種	式	x の範囲
新設	蒸気	機電	$y = 108.0 \cdot x + 699.1$	1.5 < x < 10
		土木	$y = 22.9 \cdot x + 134.3$	
	熱風	機電	$y = 118.8 \cdot x + 769.0$	
		土木	$y = 25.1 \cdot x + 147.7$	
既設利用	蒸気	機電	$y = 104.4 \cdot x + 666.2$	
		土木	$y = 22.9 \cdot x + 134.3$	
	熱風	機電	$y = 114.8 \cdot x + 732.9$	
		土木	$y = 25.1 \cdot x + 147.7$	

## 2. 2. 2 従来技術の建設費算出

表資 2-2 に従来技術の建設費を算出した費用関数を示す。

表資 2-2 従来技術の建設費費用関数

y : 建設費[億円] x : 汚泥量 (日最大) [m<sup>3</sup>/日]

対象	設備種類	式
脱水設備	機械設備	$y = 0.434 \cdot (x^{0.373})$
	電気設備	$y = 0.178 \cdot (x^{0.464})$
	土木設備	$y = 0.227 \cdot (x^{0.444})$

出典 : バイオソリッド利活用マニュアル<sup>4)</sup>

y : 建設費[億円] x : 脱水汚泥量 (日最大) [t/日]

対象	設備種類	式
焼却設備	機械設備	$y = 1.888 \cdot (x^{0.597})$
	電気設備	$y = 0.726 \cdot (x^{0.539})$
	土木設備	$y = 2.426 \cdot (x^{0.009})$

出典 : バイオソリッド利活用マニュアル<sup>4)</sup>

y : 建設費[億円] x : 投入汚泥量 (日最大) [m<sup>3</sup>/日]

対象	設備種類	式
消化設備	機械設備	$y = 0.516 \cdot (x^{0.385})$
	土木設備	$y = 0.169 \cdot (x^{0.539})$

出典 : バイオソリッド利活用マニュアル<sup>4)</sup>

y : 建設費[百万円] x : 消化ガス量 (日最大) [m<sup>3</sup>/日]

対象	設備種類	式
発電設備	総工費	$y = 0.413 \cdot (x^{0.798})$

出典 : 消化ガス発電普及のための導入マニュアル<sup>9)</sup>

## 2. 3 維持管理パラメータ

## 2. 3. 1 本技術および従来脱水・焼却の維持管理パラメータ

本技術および従来脱水・焼却の維持管理に関する設定を表資 2-3 に示す。なお、従来技術の維持管理費は表資 2-4 に示す費用関数より算出した。

表資 2-3 維持管理に関する設定

				従来脱水	従来焼却	本技術
薬品	高分子凝集剤	混合生	%-ds	0.8	0.8	0.8
		消化	%-ds	1.6	1.6	1.6
	無機凝集剤	混合生	%-ds	0	0	5
		消化	%-ds	0	0	10
	消泡剤		kg/t-ds	-	-	0.69
	苛性ソーダ		kg/t-ds	-	150	150
	清缶剤		kg/t-ds	-	-	0.81
	塩		kg/t-ds	-	-	0.81
上水		m <sup>3</sup> /t-ds	-	-	4.53	
機械工事費		%-機電工事費	-	-	75	
機器費		%-機械工事費	-	-	50	
補修費		%-機器費/年	-	-	3	
人件費		百万円/年	-	-	27	
撤去費		%-建設費	5	5	5	
従来脱水電力	混合生	kWh/t-ds	215	215	-	
	消化	kWh/t-ds	215	215	-	
従来焼却電力		kWh/t-ds	-	1,590	-	
脱水乾燥システム電力		kWh/t-ds	-	-	635	
バイオマスボイラ電力		kWh/t-ds	-	-	126	
重油使用量		L/t-ds	-	76.73	60	

緑：CO<sub>2</sub> 排出量算出に使用

青：LCC 算出に使用

赤：CO<sub>2</sub> 排出量および LCC 算出に使用

表資 2-4 従来技術の維持管理費

y : 維持管理費[百万円/年] x : 汚泥量 (日平均) [m<sup>3</sup>/年]

対象	設備種類	式
脱水設備	機械設備	$y = 0.039 \cdot (x^{0.596})$
	電気設備	$y = 0.002 \cdot (x^{0.533})$

出典：バイオソリッド利活用マニュアル<sup>4)</sup>

y : 維持管理費[百万円/年] x : 脱水汚泥量 (日平均) [t/年]

対象	設備種類	式
焼却設備	全設備	$y = 0.287 \cdot (x^{0.673})$

出典：バイオソリッド利活用マニュアル<sup>4)</sup>

## 2. 3. 2 消化設備および発電設備の維持管理パラメータ

表資 2-5 に消化設備・発電設備に関する維持管理設定を示す。なお、維持管理費は表資 2-6 に示す費用関数にて算出した。

表資 2-5 消化設備および発電設備の維持管理パラメータ

発電設備運転日数	日	300
消化設備電力	kWh/t-ds	50
発電機用活性炭	kg/Nm <sup>3</sup> -消化ガス	0.004
発電機用エンジンオイル	mL/Nm <sup>3</sup> -消化ガス	0.3

表資 2-6 消化設備および発電設備の維持管理費用関数

y : 維持管理費[百万円/年] x : 投入汚泥量 (日平均) [m<sup>3</sup>/年]

対象	設備種類	式
消化設備	全設備	$y = 0.171 \cdot (x^{0.390})$

出典：バイオソリッド利活用マニュアル<sup>4)</sup>y : 維持管理費[百万円/年] x : 消化ガス量 (日平均) [m<sup>3</sup>/日]

対象	設備種類	式
発電設備	全設備	$y = 0.014 \cdot (x^{0.890})$

出典：消化ガス発電普及のための導入マニュアル<sup>9)</sup>

## 2. 4 試算方法

## ①建設費

2. 2に示した費用関数を用いて算出した。計算方法に関しては本編3章を参照とする。

## ②維持管理費

2. 3に示した設定値を用いて算出した。計算方法に関しては本編3章を参照とする。

## 2. 5 原単位設定

## 2. 5. 1 単価設定

表資2-7に単価設定、表資2-8に輸送費用算出関数を示す。なお、単価設定は本技術の計算のみに使用し、従来技術の費用は費用関数にて算出した。

表資2-7 単価設定

薬品費	高分子		790 円/kg
	無機		37 円/kg
	苛性ソーダ		51 円/kg
	清缶剤		2000 円/kg
	塩		200 円/kg
上水			300 円/m <sup>3</sup>
電力			17 円/kWh
A 重油			80 円/L
基幹処理場	本技術導入前	汚泥輸送費	5.29 千円/t
	本技術導入後	灰処分費	18 千円/t
		灰輸送費	3.8 千円/t
被集約処理場	本技術導入前	汚泥輸送費	6.57 千円/t
	本技術導入後	汚泥輸送費	5.29 千円/t

表資2-8 輸送費用算出

y : 輸送単価[円/t] x : 輸送距離[km]

対象	式
汚泥	$y = 42.9 \cdot x + 4000.0$
灰	$y = 60.0 \cdot x + 2000.0$

2. 5. 2 CO<sub>2</sub> 排出原単位表資 2-9 に CO<sub>2</sub> 排出量設定を示す。表資 2-9 CO<sub>2</sub> 排出原単位

種類	単位	係数	設定根拠
軽油	t-CO <sub>2</sub> /kL	2.3724	温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル(Ver4.7) (令和3年1月) 環境省 <sup>8)</sup>
A 重油	t-CO <sub>2</sub> /kL	2.7096	温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル(Ver4.7) (令和3年1月) 環境省 <sup>8)</sup>
電力	t-CO <sub>2</sub> /kWh	0.000445	電気事業者別排出係数(特定排出者の温室効果ガス排出量算定用) R3.1.7 環境省・経済産業省 <sup>5)</sup>
汚泥埋立	t-CH <sub>4</sub> /t-脱水汚泥	0.133	温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル(Ver4.7) (令和3年1月) 環境省 <sup>8)</sup>
	t-CO <sub>2</sub> /t-脱水汚泥	3.325	
メタン-CO <sub>2</sub> 換算係数	t-CO <sub>2</sub> /t-CH <sub>4</sub>	25	
従来流動焼却設備 (高温)	t-N <sub>2</sub> O/t-脱水汚泥	0.000645	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 <sup>6)</sup>
	t-CO <sub>2</sub> /t-脱水汚泥	0.1922	
バイオマスボイラ 燃焼	t-N <sub>2</sub> O/t-脱水汚泥	0.000273	実証結果(春季試験結果より) ※含水率80%脱水汚泥換算値(表2-5参照)
	t-CO <sub>2</sub> /t-脱水汚泥	0.08135	
N <sub>2</sub> O-CO <sub>2</sub> 換算係数	t-CO <sub>2</sub> /t-N <sub>2</sub> O	298	温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル(Ver4.7) (令和3年1月) 環境省 <sup>8)</sup>
無機凝集剤	t-CO <sub>2</sub> /t	0.0308	廃棄物処理施設の基幹的設備改良マニュアル H27.3 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課 <sup>10)</sup>
高分子凝集剤	t-CO <sub>2</sub> /t	6.5	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28.3 環境省・国土交通省 <sup>6)</sup>
苛性ソーダ	t-CO <sub>2</sub> /t	0.60	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28.3 環境省・国土交通省 <sup>6)</sup>
燃費 (10t 車・軽油)	km/L	2.89	温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル(Ver4.7) (令和3年1月) 環境省 <sup>8)</sup>
活性炭	t-CO <sub>2</sub> /t	0.26	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 <sup>6)</sup>
エンジンオイル	t-CO <sub>2</sub> /t	2.7	重油と同等とした

### 2. 5. 3 消化ガス発電原単位

表資 2-10 に消化ガス発電に関する原単位を示す。発電によって得られた電力は汚泥処理への利用を優先し、余剰電力は外部へ供給することを想定した。

表資 2-10 消化ガス発電に関する原単位

消化率	%-VTS	50
消化ガス発生率	Nm <sup>3</sup> /t-VS	550
発電効率	%	36
消化ガス熱量	MJ/Nm <sup>3</sup>	21.5

### 2. 6 検討結果

#### 2. 6. 1 基幹処理場規模毎の集約汚泥量と LCC および CO<sub>2</sub> 排出量削減効果の関係の試算

##### 2. 6. 1. 1 対象処理場条件

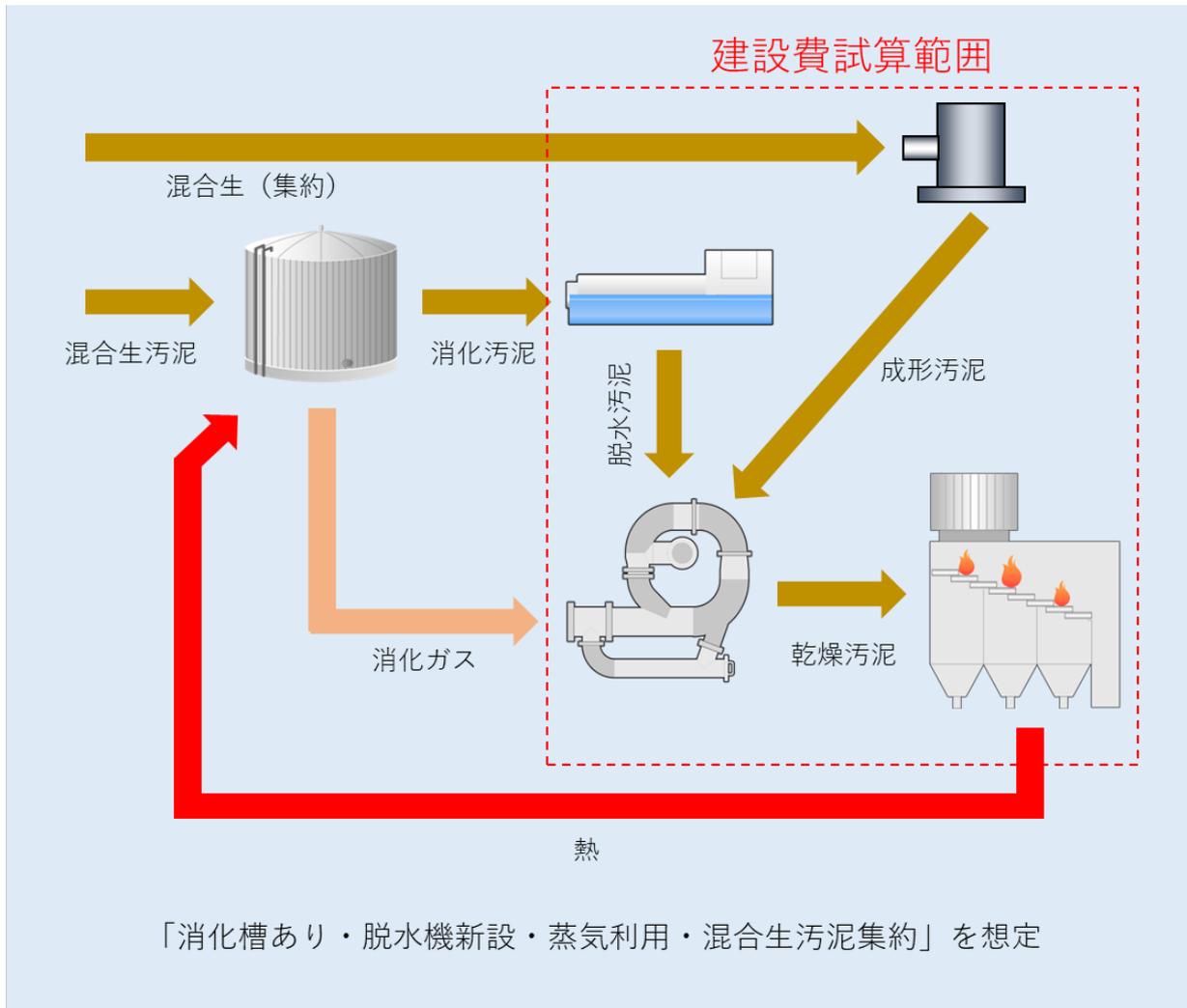
検討した条件を表資 2-11、2-12 に示す。表資 2-11 に可変とした検討条件である基幹処理場規模、集約量、産廃費用を示し、その他の固定とした条件は表資 2-12 に示す。また、被集約処理場数は 1 処理場とした。また、図資 2-2 に導入範囲を示す。脱水汚泥は埋立処分を想定した。

表資 2-11 可変条件

基幹 処理場	処理汚泥量	日最大	t/日	10.0 , 15.0 , 20.0 , 30.0 , 40.0
		日平均	t/日	8.0 , 12.0 , 16.0 , 24.0 , 32.0
	汚泥処分費		千円/t	10 , 15 , 20 , 25 , 30
被集約 処理場	処理汚泥量	日最大	t/日	0.0 , 2.5 , 5.0 , 7.5 , 10.0
		日平均	t/日	0.0 , 2.0 , 4.0 , 6.0 , 8.0
	汚泥処分費		千円/t	10 , 15 , 20 , 25 , 30

表資 2-12 固定条件

基幹処理場	污泥種類		消化污泥
	污泥濃度		1%
	水処理方式		標準活性污泥法
	污泥濃縮方式		分離機械濃縮
	污泥処理方式		消化 → 脱水
	脱水污泥含水率		82 %
	污泥/灰輸送距離	本技術導入前	30 km
本技術導入後		30 km	
被集約処理場	污泥種類		混合生污泥
	污泥濃度		1%
	水処理方式		標準活性污泥法
	污泥濃縮方式		分離機械濃縮
	污泥処理方式		混合生 → 脱水
	脱水污泥含水率		82 %
	污泥輸送距離	本技術導入前	60 km
本技術導入後		30 km	



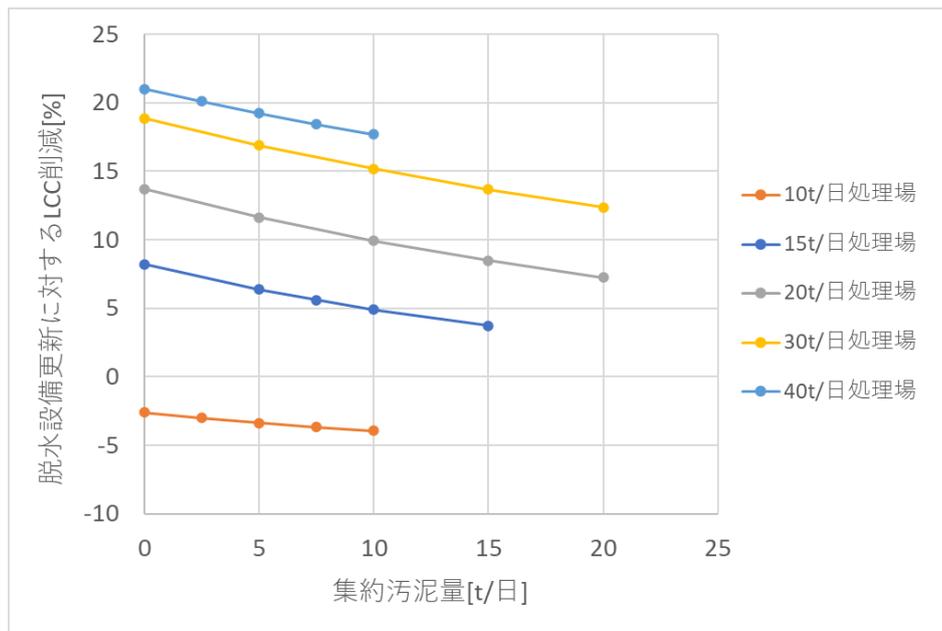
図資 2-2 本技術の導入イメージ

## 2. 6. 1. 2 LCC削減効果

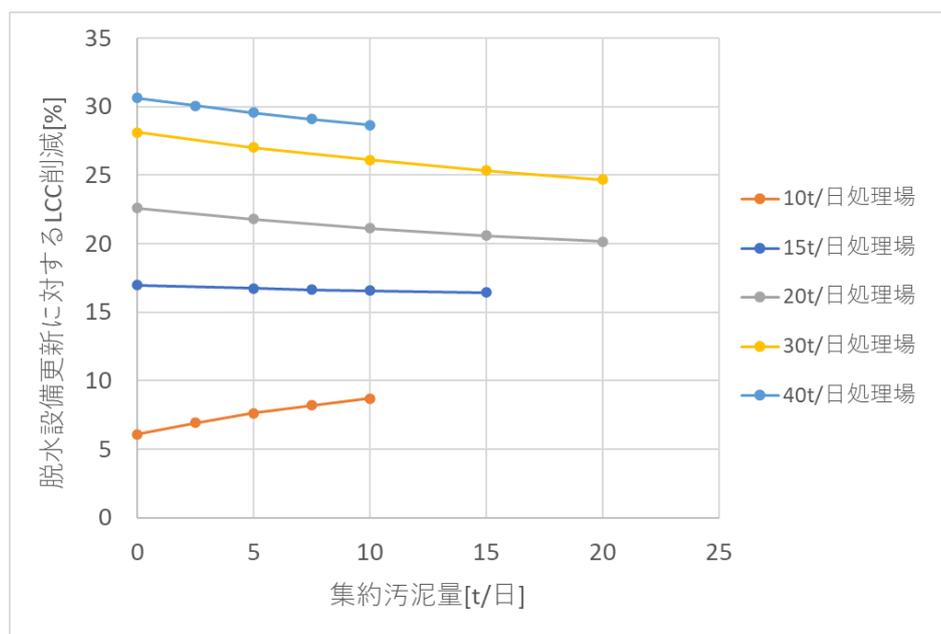
### ① 従来脱水に対する導入効果

処分費 10,000～30,000 円/t の試算結果を図資 2-3 に示す。以下のことが分かった。

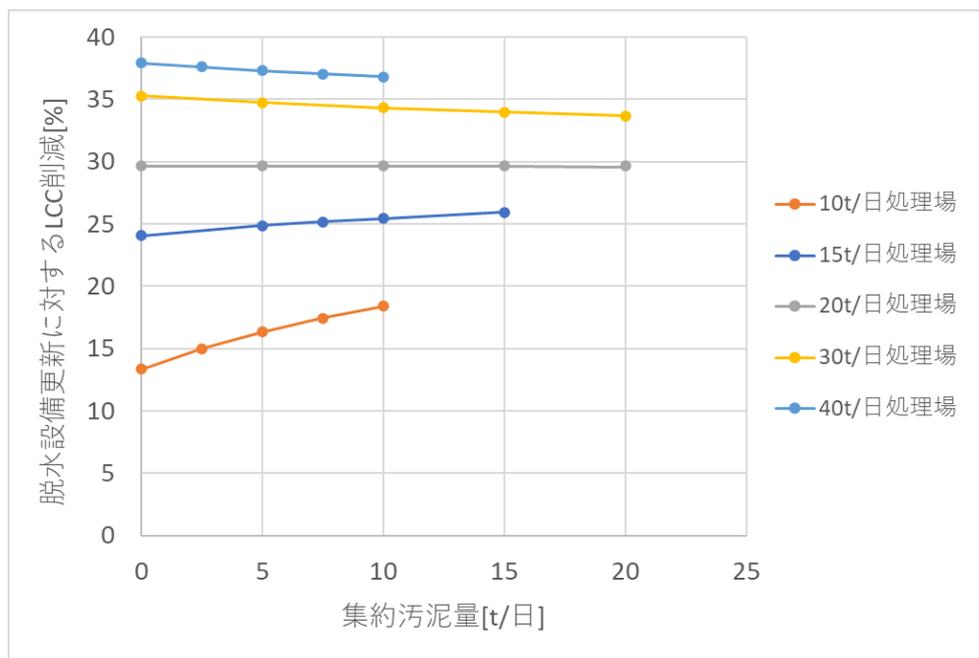
- ・ 処分費が 30,000 円以上では 10t/日の処理場に導入することで LCC25%削減が可能となる。
- ・ 処分費が 15,000 円では 30t/日の処理場に導入することで LCC25%削減が可能となる。
- ・ 処分費が 10,000 円では LCC25%削減を達成することが困難である。



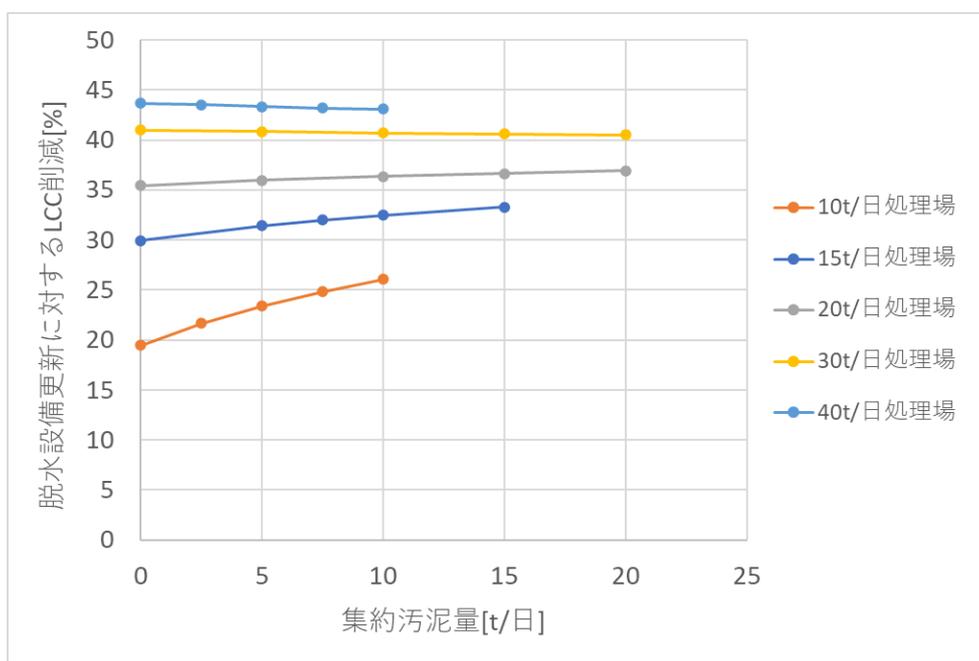
図資 2-3 従来脱水に対する導入効果 1 (汚泥処分費 10,000 円/t)



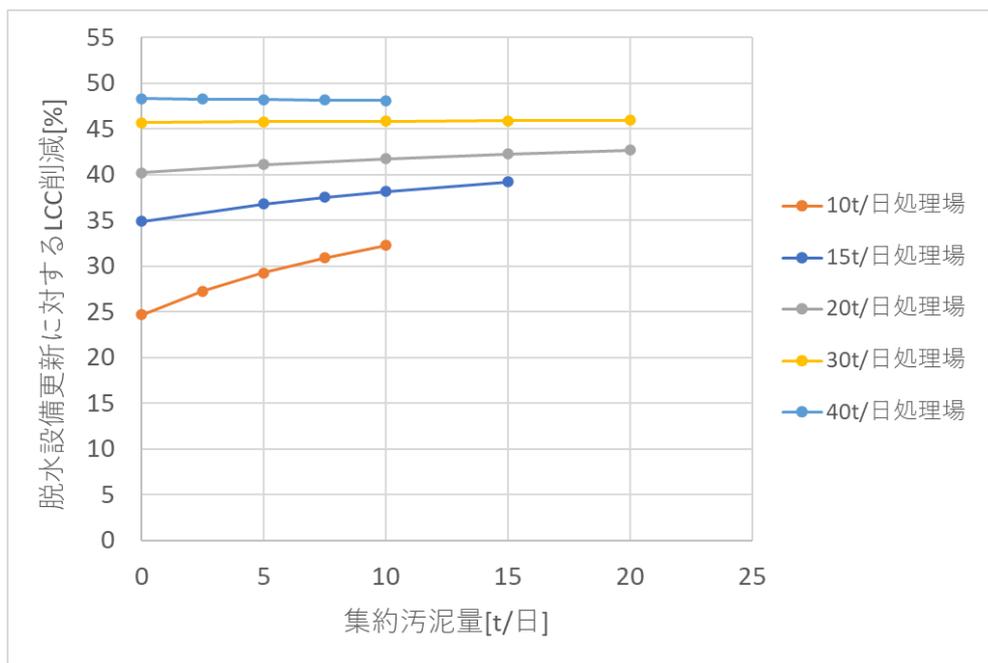
図資 2-3 従来脱水に対する導入効果 2 (汚泥処分費 15,000 円/t)



図資 2-3 従来脱水に対する導入効果 3 (汚泥処分費 20,000 円/t)



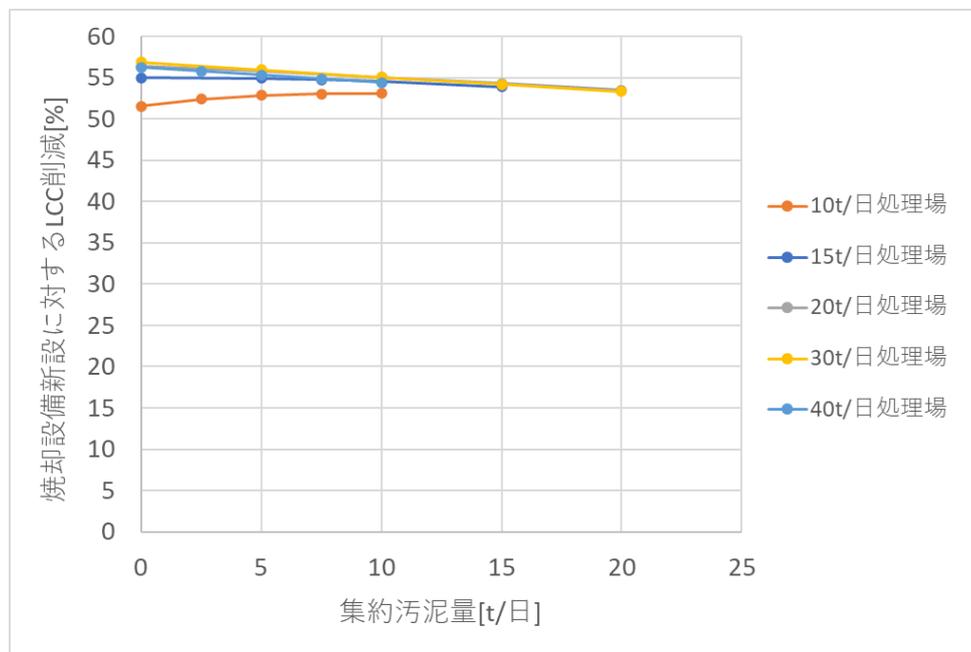
図資 2-3 従来脱水に対する導入効果 4 (汚泥処分費 25,000 円/t)



図資 2-3 従来脱水に対する導入効果 5 (汚泥処分費 30,000 円/t)

## ② 従来焼却に対する導入効果

図資 2-4 に試算結果を示す。灰の処分は従来焼却と同金額となるため、比較は 1 パターンとなる。建設費と維持管理費が支配的になるためすべてのケースにて 50%以上の削減効果となった。

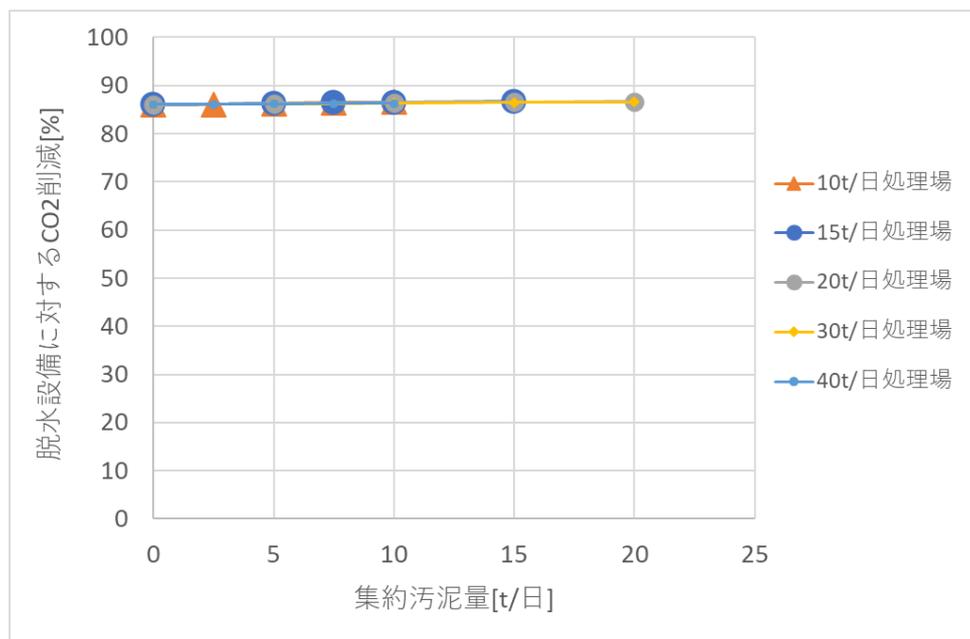


図資 2-4 従来焼却に対する導入効果

### 2. 6. 1. 3 CO<sub>2</sub>削減効果

#### ① 従来脱水に対する導入効果

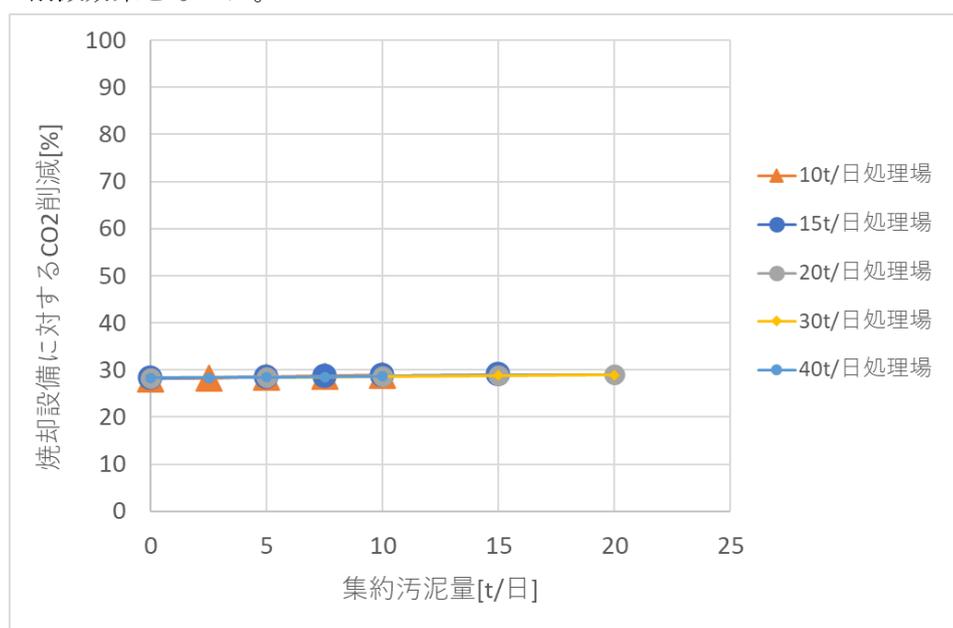
図資 2-5 に試算結果を示す。従来脱水の汚泥埋立処理の CO<sub>2</sub> 排出量が非常に多いため、すべてのケースにて削減効果が 80%以上となった。



図資 2-5 従来脱水に対する CO<sub>2</sub>削減効果

#### ② 従来焼却に対する導入効果

図資 2-6 に試算結果を示す。電力の消費量と燃焼による CO<sub>2</sub> 排出量差により全てのケースにて 30%程度の削減効果となった。



図資 2-6 従来焼却に対する CO<sub>2</sub>削減効果

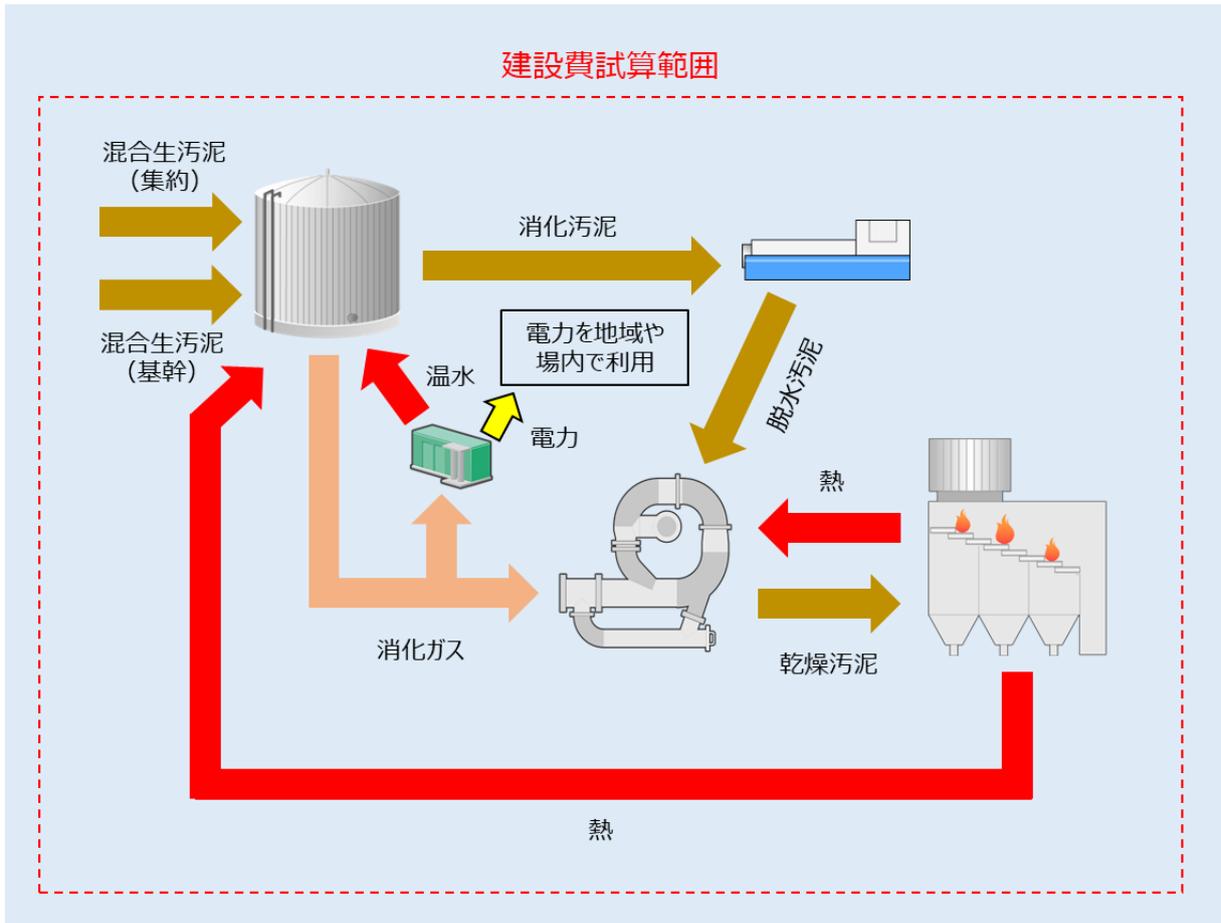
## 2. 6. 2 脱水混合生汚泥外部搬出処理場への「消化設備＋発電設備＋本技術」の導入試算

## 2. 6. 2. 1 対象処理場条件

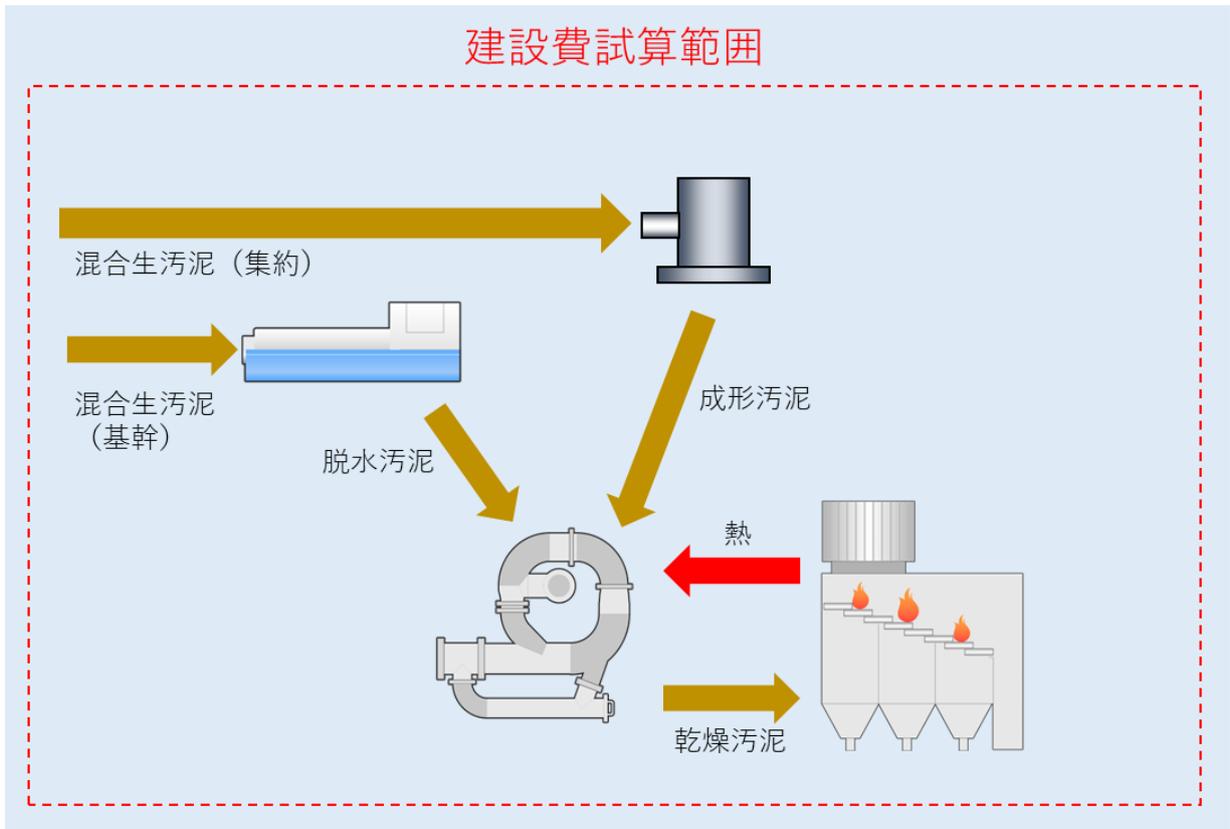
検討した条件を表資 2-13 に示す。基幹処理場を中規模処理場を想定し 15t/日とし、集約量を 10t/日とした。また、図資 2-7 に消化＋発電＋本技術の導入範囲を、図資 2-8 に本技術の導入範囲を示す。脱水汚泥は埋立処分を想定した。

表資 2-13 対象処理場条件

基幹処理場	汚泥種類		混合生汚泥
	汚泥濃度		1%
	水処理方式		標準活性汚泥法
	汚泥濃縮方式		分離機械濃縮
	汚泥処理方式		混合生汚泥 →脱水
	汚泥/灰輸送距離	本技術導入前	30 km
		本技術導入後	30 km
処理汚泥量	日最大	15 t-ds/日	
	日平均	12 t-ds/日	
被集約処理場 1	汚泥種類		混合生汚泥
	汚泥濃度		1%
	水処理方式		標準活性汚泥法
	汚泥濃縮方式		分離機械濃縮
	汚泥処理方式		混合生 →脱水
	汚泥輸送距離	本技術導入前	60 km
		本技術導入後	30 km
処理汚泥量	日最大	5 t-ds/日	
	日平均	4 t-ds/日	
被集約処理場 2	汚泥種類		混合生汚泥
	汚泥濃度		1%
	水処理方式		標準活性汚泥法
	汚泥濃縮方式		分離機械濃縮
	汚泥処理方式		混合生 →脱水
	汚泥輸送距離	本技術導入前	60 km
		本技術導入後	30 km
処理汚泥量	日最大	5 t-ds/日	
	日平均	4 t-ds/日	



図資 2-7 消化+発電+本技術の導入イメージ



図資 2-8 本技術の導入イメージ

## 2. 6. 2. 2 LCC 削減効果

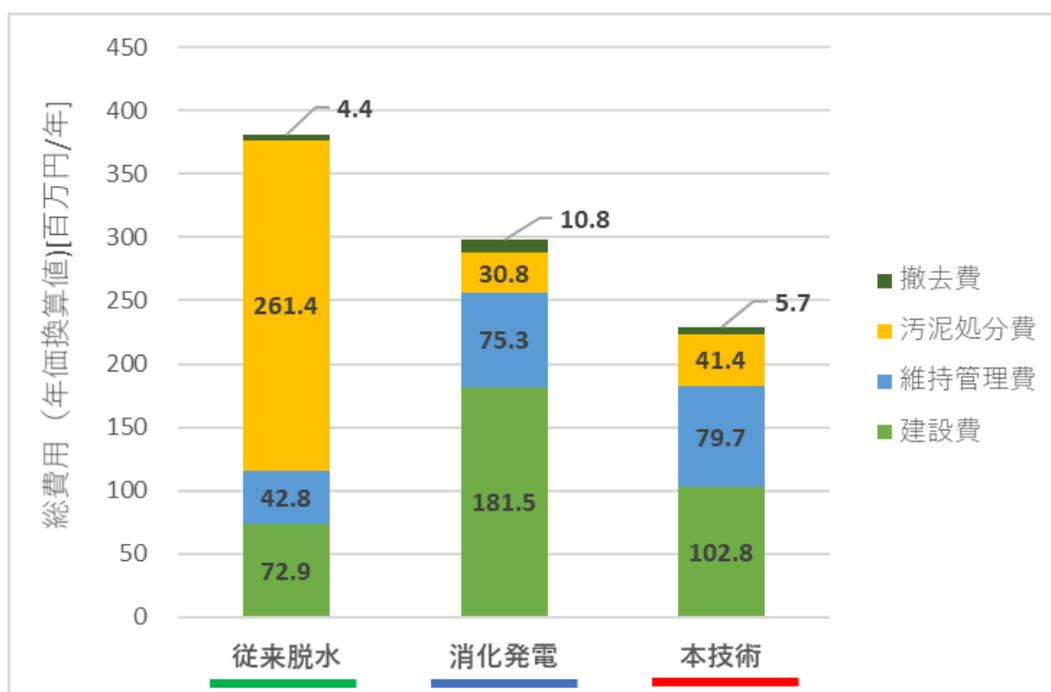
図資 2-9 に試算結果を示す。従来脱水は汚泥処分が高額になり、消化+発電+本技術は建設費が高額になるため、消化槽を設置せずに混合生汚泥を本技術で処理する方法がコスト面で最も優位になる試算結果となった。

従来脱水に対しての低減率 (%) =	$100 - \frac{229.5 \text{ 百万円/年}}{381.5 \text{ 百万円/年}} \times 100 = 39.8 \%$
消化 & 発電新設+本技術 に対しての低減率 (%) =	$100 - \frac{229.5 \text{ 百万円/年}}{298.4 \text{ 百万円/年}} \times 100 = 23.1 \%$

項目		従来脱水	消化発電	本技術
		百万円/年	百万円/年	百万円/年
建設費	脱水	72.9	—	—
	消化&発電	—	91.7	—
	本技術	—	89.8	102.8
	小計	72.9	181.5	102.8
撤去費		4.4	10.8	5.7
維持管理費	維持管理費	42.8	75.3	79.7
	汚泥処分費	261.4	30.8	41.4
合計		381.5	298.4	229.5

※小数点二位以下まで計算しているため、小数点一位に誤差が生じている場合あり

※設備需要電力を超過した発電電力は売電を仮定し、維持管理費の削減要素とした



図資 2-9 従来脱水・消化発電に対する導入効果

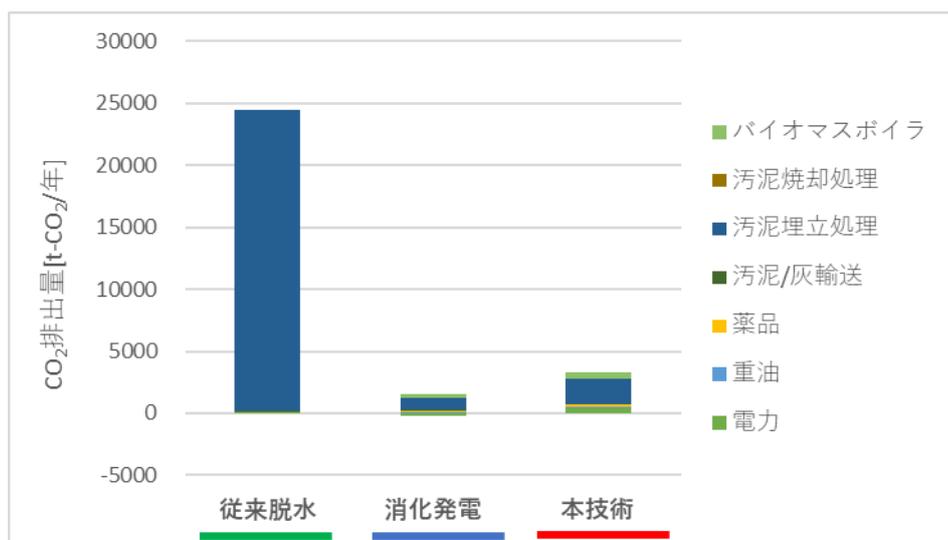
2. 6. 2. 3 CO<sub>2</sub>削減効果

図資 2-10 に試算結果を示す。消化＋発電＋本技術は発電設備による発電電力が設備需要電力を超える。そのため、超過した電力は外部へ供給（売電）すると仮定し、CO<sub>2</sub> 排出量をマイナスカウントとした。その結果、消化＋発電＋本技術は本技術の 40%、従来脱水の 5%となり非常に大きなCO<sub>2</sub> 削減効果がある試算結果となり、本技術に対してコスト面では優位ではなかったものの大きなCO<sub>2</sub>削減効果では優位であることが示された。

従来脱水に対しての低減率 (%) =	$100 - \frac{3282.5 \text{ t-CO}_2/\text{年}}{24487.9 \text{ t-CO}_2/\text{年}} \times 100 = 86.6 \%$
消化＆発電新設+本技術 に対しての低減率 (%) =	$100 - \frac{3282.5 \text{ t-CO}_2/\text{年}}{1322.3 \text{ t-CO}_2/\text{年}} \times 100 = -148.2 \%$

項目		従来脱水	消化発電	本技術
		t-CO <sub>2</sub> /年	t-CO <sub>2</sub> /年	t-CO <sub>2</sub> /年
維持 管理	電力	75.4	(230.7)	414.6
	重油	0.0	98.0	117.6
	薬品	41.0	125.5	150.8
汚泥 処理	汚泥/灰輸送	99.0	59.4	59.4
	汚泥埋立処理	24272.5	997.5	1995.0
	汚泥焼却処理	0.0	—	—
	バイオマスボイラ	—	272.5	545.1
合計		24487.9	1322.3	3282.5

※小数点二位以下まで計算しているため、小数点一位に誤差が生じている場合あり



図資 2-10 従来脱水・消化発電に対する導入効果

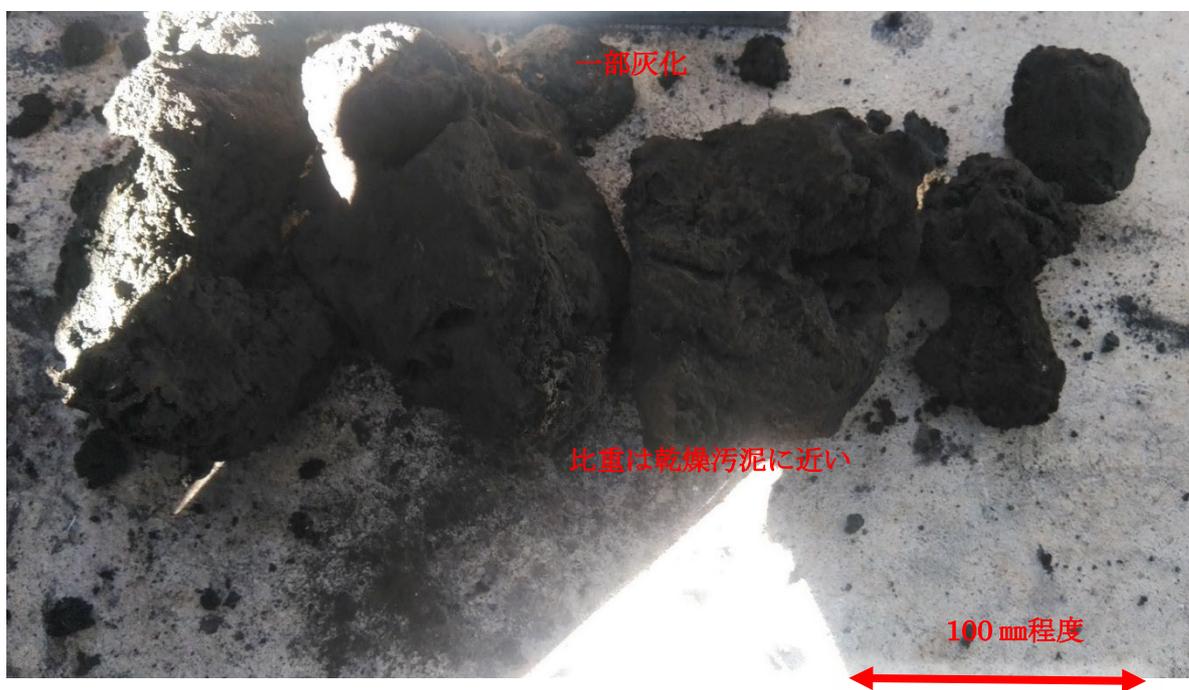
### 3. 他処理場にて発生した脱水乾燥システムの火災事故について

令和5年10月6日にH28年度B-DASHプロジェクトにて設置した脱水乾燥システムにおいて火災事故が発生した。本実証設備は脱水乾燥システムを含んでいるため、本事故をうけた対策を適用することが必要となる。以下に火災事故概要、原因および対策を示す。





図資 3-2 乾燥機内より排出された脱水汚泥



図資 3-3 乾燥機内より排出された脱水汚泥の内、炭化していたもの

② 循環ブロワ吐出配管

図資 3-4 に出火箇所であった循環ブロワ吐出配管の保温を外した箇所の写真を示す。同箇所に設置されていた伸縮接手は損傷していることが確認された。また、伸縮接手は耐熱キャンバス仕様（使用温度 150℃、最高使用温度 250℃程度）を採用していた。



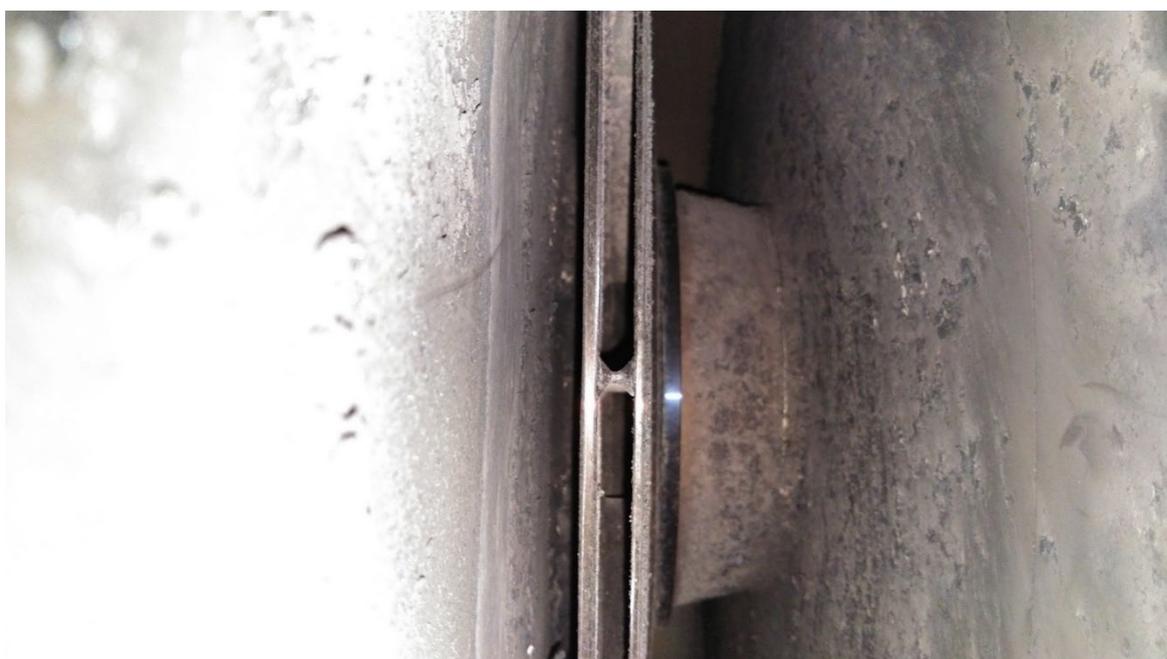
図資 3-4 循環ブロワ吐出配管の状況

③ 循環ブロウ内部

図資 3-5、図資 3-6 に循環ブロウ内部の状況を示す。下部や点検口付近に炭化した汚泥が付着していたが、ケーシングやインペラに目立った影響は認められなかった。下部に堆積しているものは殆どが乾燥物であり、通常運転時に堆積したものと推察される。



図資 3-5 循環ブロウ（ケーシング内部 下部）



図資 3-6 循環ブロウ（ケーシング内部 上中部）

### 3. 2 火災事故の原因

#### 3. 2. 1 火災原因

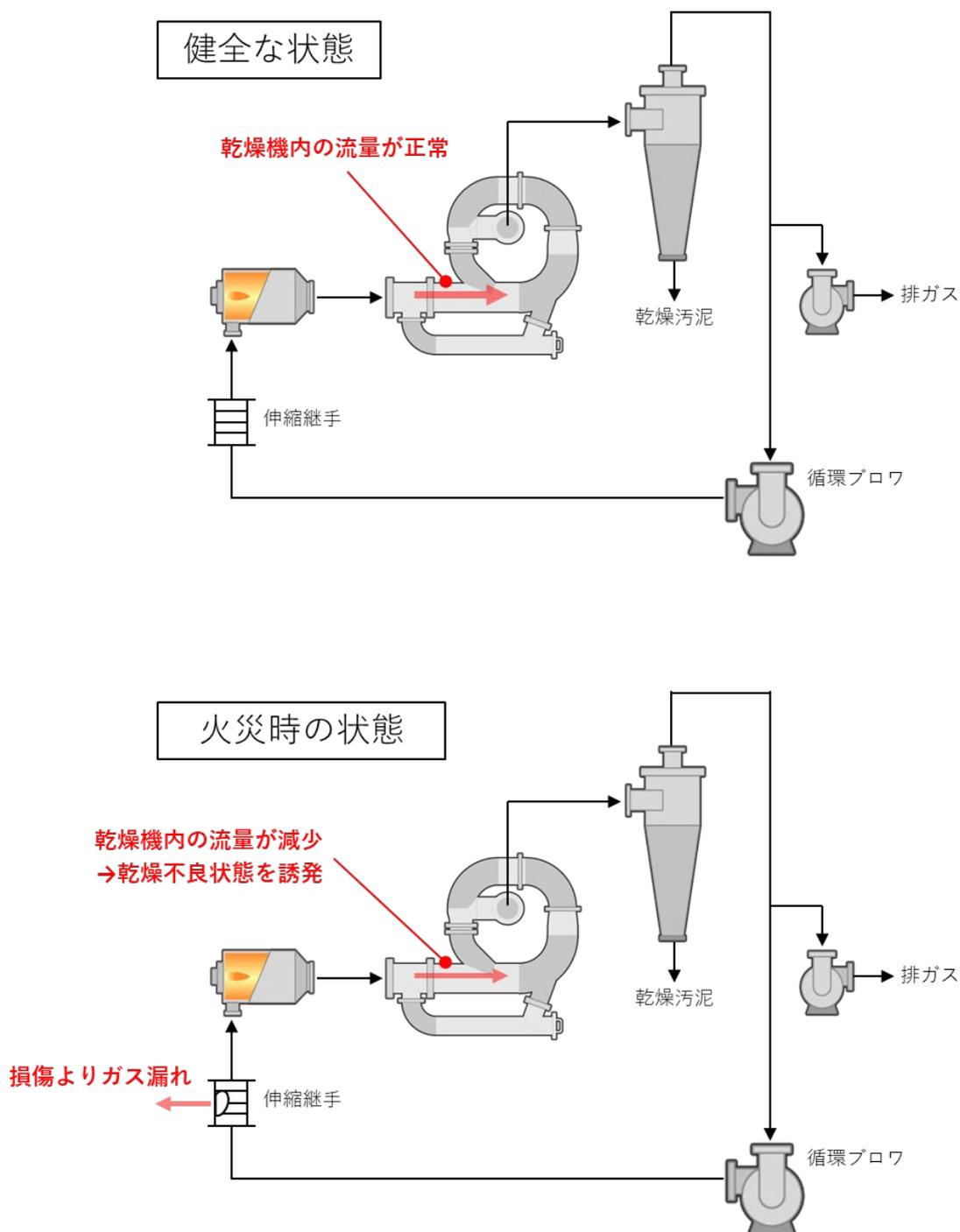
各種検証の結果、本火災事故の原因は「伸縮接手の損傷」であることが明らかとなった。表資3-1の①に本事故の原因となった伸縮接手の仕様を示す。また、②③の仕様の伸縮接手は損傷が確認されず、健全な状態であることが確認された。①の伸縮接手は耐熱性と耐摩耗性が低い仕様となっており、設備起動時等の一時的な高温や粉塵との接触により損傷に至ったと推測された。①の仕様の伸縮接手は一か所のみ設置されており、他の伸縮接手は②または③の仕様であった。

表資 3-1 脱水乾燥システムにおいて使用されている伸縮接手の仕様比較

	① キャンパスフレキ ※損傷品	② 保護付きキャンパスフレキ ※焼損しなかった仕様	③ 金属フレキ ※焼損しなかった仕様																																																																																																														
風洞の 主要な素材	シリコンシート PTFEシート	SUSメッシュ入りガラスクロス PTFEシート 鉄板 (SUS304)	鉄板 (SUS304)																																																																																																														
構造概要	珪藻シート(1.7mm)の単層構造	外気側より ・珪藻シート(4.7mm) ・SUS入り断熱材 ・断熱材保護スリーブ の3層構造	外気側より ・金属ペローズ ・ペローズ保護スリーブ の2層構造																																																																																																														
断面図	<table border="1"> <tr><td>7</td><td>補強布</td><td>G.C.</td><td>2</td><td>t2</td></tr> <tr><td>6</td><td>パッキン</td><td>1771374405</td><td>2</td><td>t3.2</td></tr> <tr><td>5</td><td>セットボルト&amp;ナット</td><td>SS400</td><td>4</td><td>M12</td></tr> <tr><td>4</td><td>ブレード</td><td>SUS304</td><td>8</td><td>φ4</td></tr> <tr><td>3</td><td>リング</td><td>SUS304</td><td>1</td><td>φ4</td></tr> <tr><td>2</td><td>フランジ</td><td>SUS304</td><td>2</td><td>φ9</td></tr> <tr><td>1</td><td>ボディ</td><td>上巻</td><td>1</td><td>t1.7</td></tr> </table>	7	補強布	G.C.	2	t2	6	パッキン	1771374405	2	t3.2	5	セットボルト&ナット	SS400	4	M12	4	ブレード	SUS304	8	φ4	3	リング	SUS304	1	φ4	2	フランジ	SUS304	2	φ9	1	ボディ	上巻	1	t1.7	<table border="1"> <tr><td>9</td><td>パッキン</td><td>34897299A</td><td>2</td><td>φ5</td></tr> <tr><td>8</td><td>厚み強化ナット&amp;SW</td><td>SUS304</td><td>6SET</td><td>M5x25L</td></tr> <tr><td>7</td><td>セットボルト&amp;ナット</td><td>SS400</td><td>3SET</td><td>M12</td></tr> <tr><td>6</td><td>補強布</td><td>34897299B</td><td>2</td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td>断熱材</td><td>SUS入りガラスクロス</td><td>1SET</td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td>巻きスリーブ</td><td>SUS304</td><td>1</td><td>t3</td></tr> <tr><td>3</td><td>スリーブ</td><td>SUS304</td><td>1</td><td>t3</td></tr> <tr><td>2</td><td>フランジ</td><td>SUS304</td><td>2</td><td>t9</td></tr> <tr><td>1</td><td>ボディ</td><td>別製</td><td>1SET</td><td>4PLY</td></tr> </table>	9	パッキン	34897299A	2	φ5	8	厚み強化ナット&SW	SUS304	6SET	M5x25L	7	セットボルト&ナット	SS400	3SET	M12	6	補強布	34897299B	2		5	断熱材	SUS入りガラスクロス	1SET		4	巻きスリーブ	SUS304	1	t3	3	スリーブ	SUS304	1	t3	2	フランジ	SUS304	2	t9	1	ボディ	別製	1SET	4PLY	<table border="1"> <tr><td>6</td><td>セットボルト&amp;ナット</td><td>SS400</td><td>4SET</td><td>M12</td></tr> <tr><td>5</td><td>ホルダー</td><td>SUS304</td><td>8</td><td>φ4</td></tr> <tr><td>4</td><td>スリーブ</td><td>SUS304</td><td>1</td><td>t1.5</td></tr> <tr><td>3</td><td>フランジ</td><td>SUS304</td><td>2</td><td>400A-J155K F.F.</td></tr> <tr><td>2</td><td>巻管</td><td>SUS304</td><td>2</td><td>φ4</td></tr> <tr><td>1</td><td>ペローズ</td><td>SUS316L</td><td>1</td><td>φ0.5</td></tr> </table>	6	セットボルト&ナット	SS400	4SET	M12	5	ホルダー	SUS304	8	φ4	4	スリーブ	SUS304	1	t1.5	3	フランジ	SUS304	2	400A-J155K F.F.	2	巻管	SUS304	2	φ4	1	ペローズ	SUS316L	1	φ0.5
7	補強布	G.C.	2	t2																																																																																																													
6	パッキン	1771374405	2	t3.2																																																																																																													
5	セットボルト&ナット	SS400	4	M12																																																																																																													
4	ブレード	SUS304	8	φ4																																																																																																													
3	リング	SUS304	1	φ4																																																																																																													
2	フランジ	SUS304	2	φ9																																																																																																													
1	ボディ	上巻	1	t1.7																																																																																																													
9	パッキン	34897299A	2	φ5																																																																																																													
8	厚み強化ナット&SW	SUS304	6SET	M5x25L																																																																																																													
7	セットボルト&ナット	SS400	3SET	M12																																																																																																													
6	補強布	34897299B	2																																																																																																														
5	断熱材	SUS入りガラスクロス	1SET																																																																																																														
4	巻きスリーブ	SUS304	1	t3																																																																																																													
3	スリーブ	SUS304	1	t3																																																																																																													
2	フランジ	SUS304	2	t9																																																																																																													
1	ボディ	別製	1SET	4PLY																																																																																																													
6	セットボルト&ナット	SS400	4SET	M12																																																																																																													
5	ホルダー	SUS304	8	φ4																																																																																																													
4	スリーブ	SUS304	1	t1.5																																																																																																													
3	フランジ	SUS304	2	400A-J155K F.F.																																																																																																													
2	巻管	SUS304	2	φ4																																																																																																													
1	ペローズ	SUS316L	1	φ0.5																																																																																																													
断面詳細		<p>ボディ詳細</p>																																																																																																															
最高耐熱温度	250℃	250℃	600℃																																																																																																														
常用耐熱温度	150℃	215℃	400℃																																																																																																														
耐圧	10kPa	12kPa	14kPa																																																																																																														
断熱要否	不要 ※キャンパスが高温になるため	不要 ※キャンパスが高温になるため	必要																																																																																																														
耐熱性評価	△ 配管内部ガスとキャンパスが直接接触 →ガス温度=キャンパス暴露温度 →常時120℃程度となり良好な状態とは言えない	○ 配管内部ガスとキャンパスの間に断熱材 →外気温≠キャンパス暴露温度 →常時30℃となり良好な状態	◎ 配管内部ガスとペローズが直接接触 →ガス温度=ペローズ暴露温度 →高温耐熱仕様のため問題なし																																																																																																														
耐摩耗性評価	△ 厚み1.7mmのシートのみ →粉塵がキャンパスに直接接触 →キャンパスが摩耗していく可能性が高い	◎ インナーシリーブおよび断熱材にて摩耗から保護 →粉塵がキャンパスに直接接触しない →キャンパスが摩耗して行く可能性は極めて低い →さらにキャンパス厚みが①の2.7倍	◎ インナーシリーブがペローズを摩耗から保護 →ペローズが摩耗していく可能性は極めて低い →さらに素材①②に比べて非常に摩耗に強い																																																																																																														
価格評価	◎ 安価	○ ①と②の間	△ 高価																																																																																																														
施工性評価	◎ 軽くて柔らかいため施工性が良い	◎ 軽くて柔らかいため施工性が良い	△ 重くて硬いため、①②と比較して施工性が悪い																																																																																																														
総合評価	△ 安価ではあるが性能不足	◎ 価格・性能・施工性のすべてにおいて適度	○ 高性能ではあるが価格および施工性に難あり																																																																																																														

## 3. 2. 2 火災発生のメカニズム

図資 3-7 に火災発生メカニズムのイメージ図を示す。現場検証より以下のメカニズムで火災が発生したことが明らかになった。



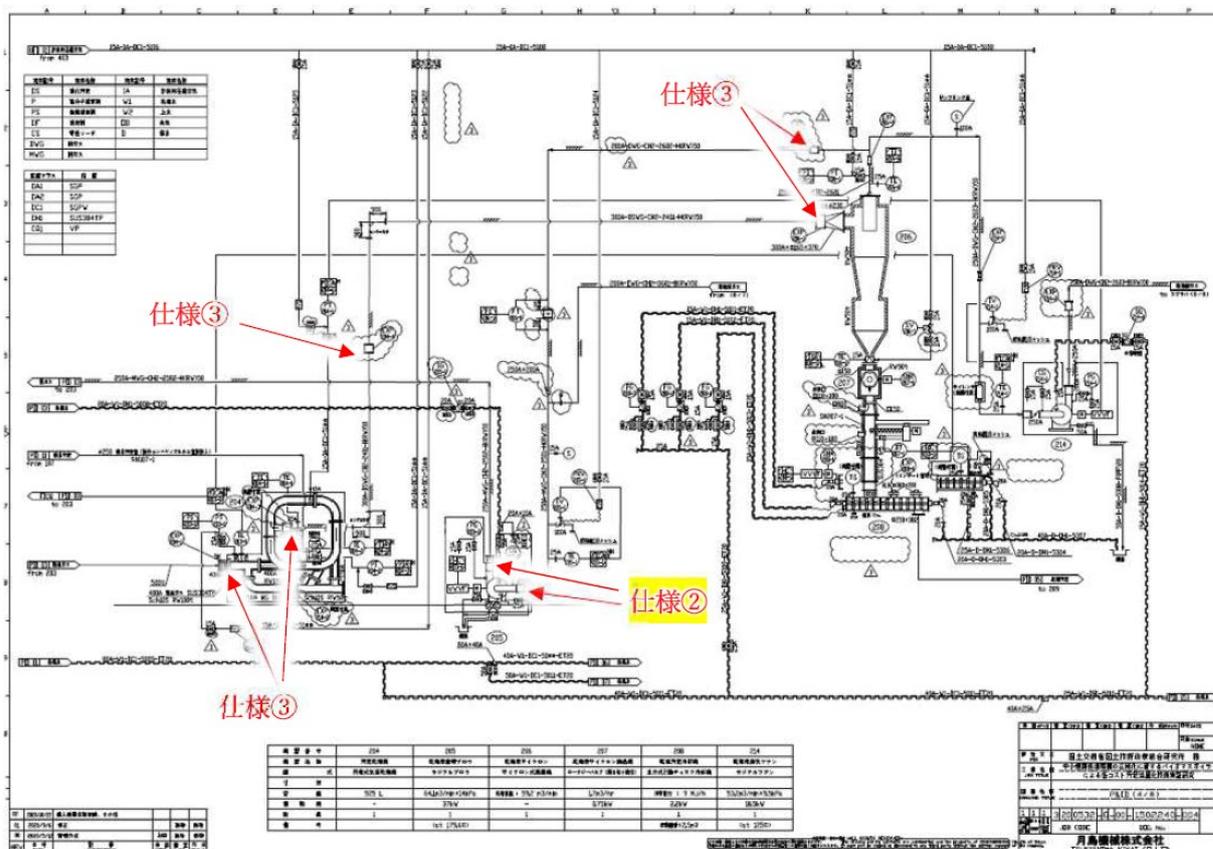
図資 3-7 火災原因のイメージ図

火災は伸縮継手の損傷による循環ガスの漏洩を起点に以下の流れで発生した。

- 伸縮継手の損傷から循環ガスの漏洩が発生
- 循環ガスが減少
- 乾燥機へ吹き込む循環ガスが減少
- 汚泥の乾燥が出来なくなり乾燥機内に汚泥が蓄積
- 蓄積した汚泥に熱風が当たり続け汚泥が燃焼
- 燃焼中の汚泥の粉が循環ガス経路内を循環
- 伸縮接手から炎が噴出しているところを発見
- 消防へ通報し、消火を実施

### 3.3 当実証設備の状況

火災事故を受けて蘭東下水処理場の実証設備の伸縮接手の仕様確認を行った。表資 3-1 の①の仕様の伸縮接手は設置されておらず、②または③の仕様であることを確認した。図資 3-8 に各伸縮接手の仕様番号を示す。また、図資 3-9 に②仕様の伸縮接手の外観の代表例を示す。開放点検も実施し、内部の損傷がないことも確認し、当実証設備では伸縮接手に起因する火災の可能性がないことを確認した。



図資 3-8 室蘭 B-DASH 実証設備 フレキ調査箇所



図資 3-9 伸縮継手の状態

### 3.4 火災防止対策

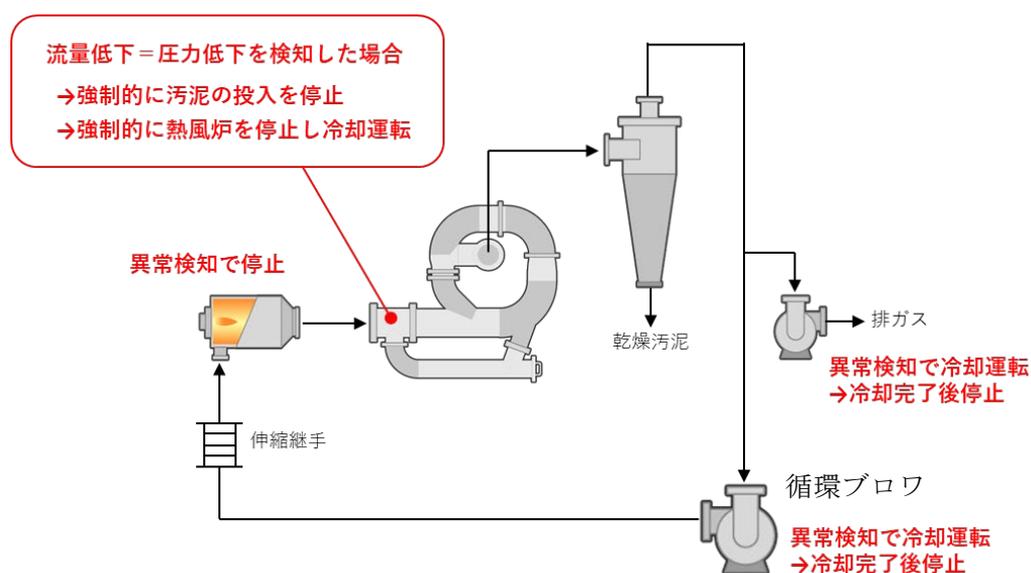
以下の対策を実施することとする。これらの対策により火災を防止する。

#### ・点検整備上の対策

『下水道維持管理指針』（公益社団法人日本下水道協会）に記載されている項目およびガイドラインで示した項目に追加して、「伸縮継手のガス漏洩確認」「接続部のガス漏洩確認」を重点的に実施し、ガス漏れや異常高温の異常が確認された場合は直ちに乾燥機を停止することとする。

#### ・運転制御上の対策

循環ガスが減少した場合に強制的に乾燥機を停止する制御を追加し、乾燥不良が発生し、乾燥機内に汚泥が蓄積する前に乾燥機を自動で停止することとする。イメージ図を図資 3-10 に示す。



図資 3-10 循環ガス流量低下時の自動停止イメージ図

### 3.5 まとめ

火災事故を受けて原因究明と対策考案を行った。また、本対策はガイドライン本編の第5章 P.152~153 へ反映した。

#### 4. 参考文献

- 1) 下水道施設計画・設計指針と解説 2019 年度版、公益社団法人日本下水道協会
- 2) 下水道用語集 2000 年度版、公益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、(公財) 下水道新技術推進機構、2007 年 8 月
- 4) 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、平成 16 年 3 月
- 5) 電気事業者別排出係数(特定排出者の温室効果ガス排出量算定用) R3.1.7 環境省・経済産業省
- 6) 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
- 7) 脱水乾燥システムによる下水汚泥の肥料化、燃料化技術導入技術ガイドライン(案)
- 8) 温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル(Ver4.7)(令和 3 年 1 月) 環境省
- 9) 消化ガス発電普及のための導入マニュアル(公財)日本下水道新技術機構、2016 年 3 月
- 10) 廃棄物処理施設の基幹的設備改良マニュアル、H27.3、環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課