I. 実証試験

I-1. 実証試験の概要

(1) 実証研究

1) 研究名称

脱水・燃焼・発電を全体最適化した革新的下水汚泥エネルギー転換システムの技術実証研究

2) 実施者

メタウォーター・池田市共同研究体

3) 実証期間

平成 25 年 6 月 25 日から平成 26 年３月 31 日まで（平成 25 年度委託研究期間）

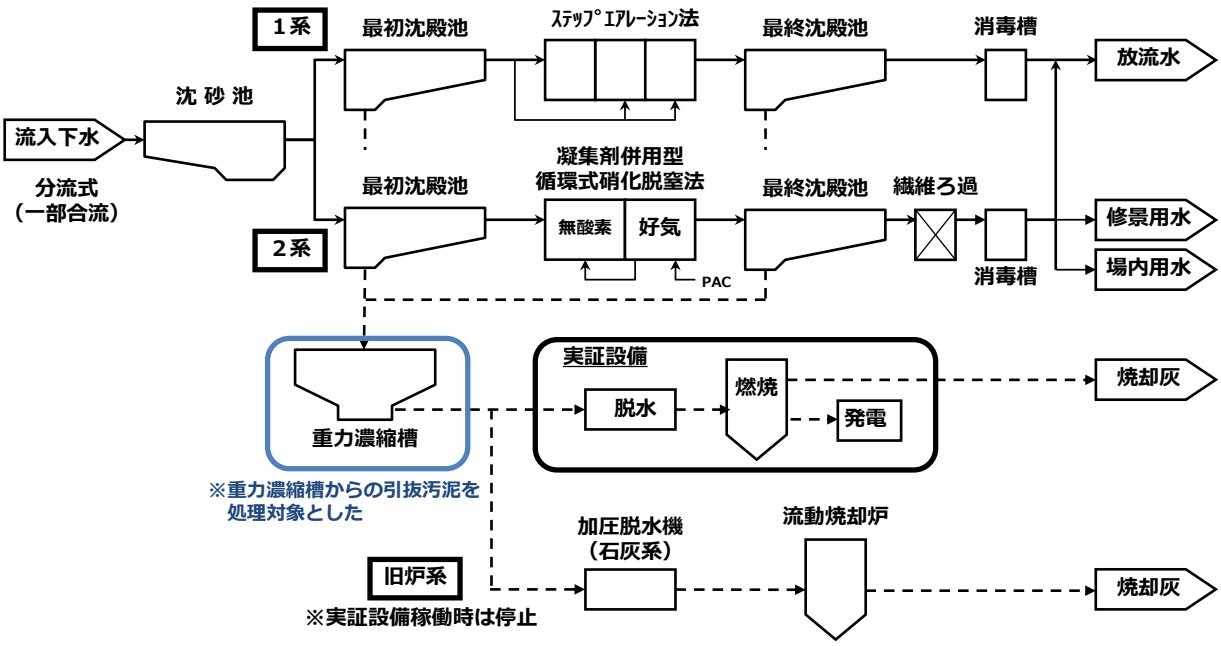
平成 26 年 6 月 25 日から平成 27 年３月 31 日まで（平成 26 年度委託研究期間）

4) 実施場所

池田市下水処理場　（所在地：大阪府池田市ダイハツ町３－１）

5) 処理対象

図資 1-1 に示した、池田市下水処理場の１系および２系水処理設備の最初沈殿池および最終沈殿池から排出された最初沈殿池汚泥および余剰汚泥を混合した、「混合汚泥」を重力式濃縮槽で濃縮したものを対象とした。



図資 1-1　実証試験での処理対象汚泥

6)　処理能力

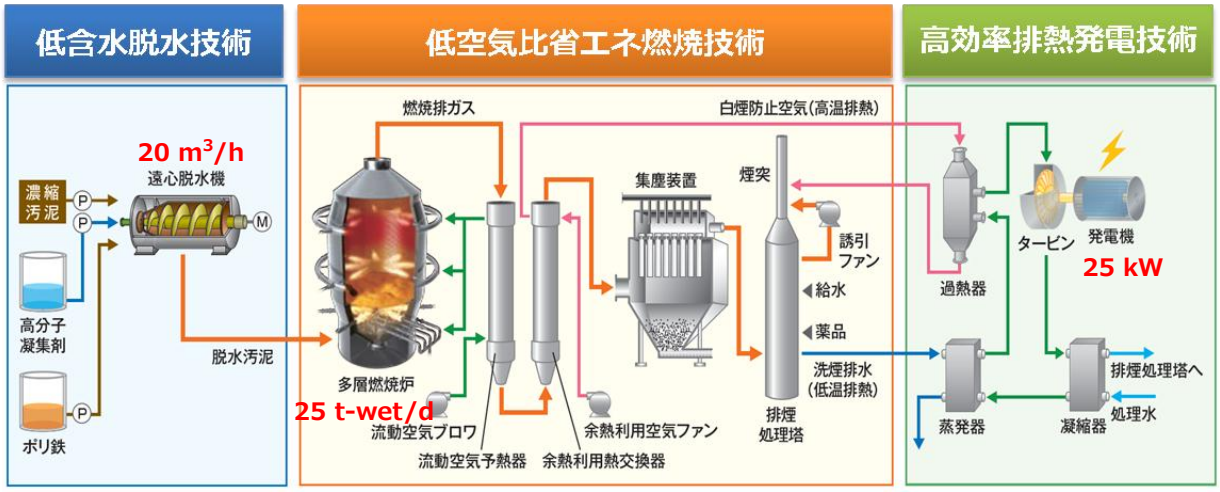
実証設備の定格能力を**表資 1-1** に示した。実証設備に建設にあたり、脱水設備および燃焼設備の定格能力は、過去３年の池田市下水処理場の濃縮汚泥固形物量、可燃分率と、低含水脱水設備で見込まれる脱水汚泥の含水率を考慮して設定した。発電設備の電気事業法上の届出出力は、過去３年の最大可燃分率と、二次処理水温度の季節変化を考慮して設定した。

表資 1-1　実証設備の定格能力

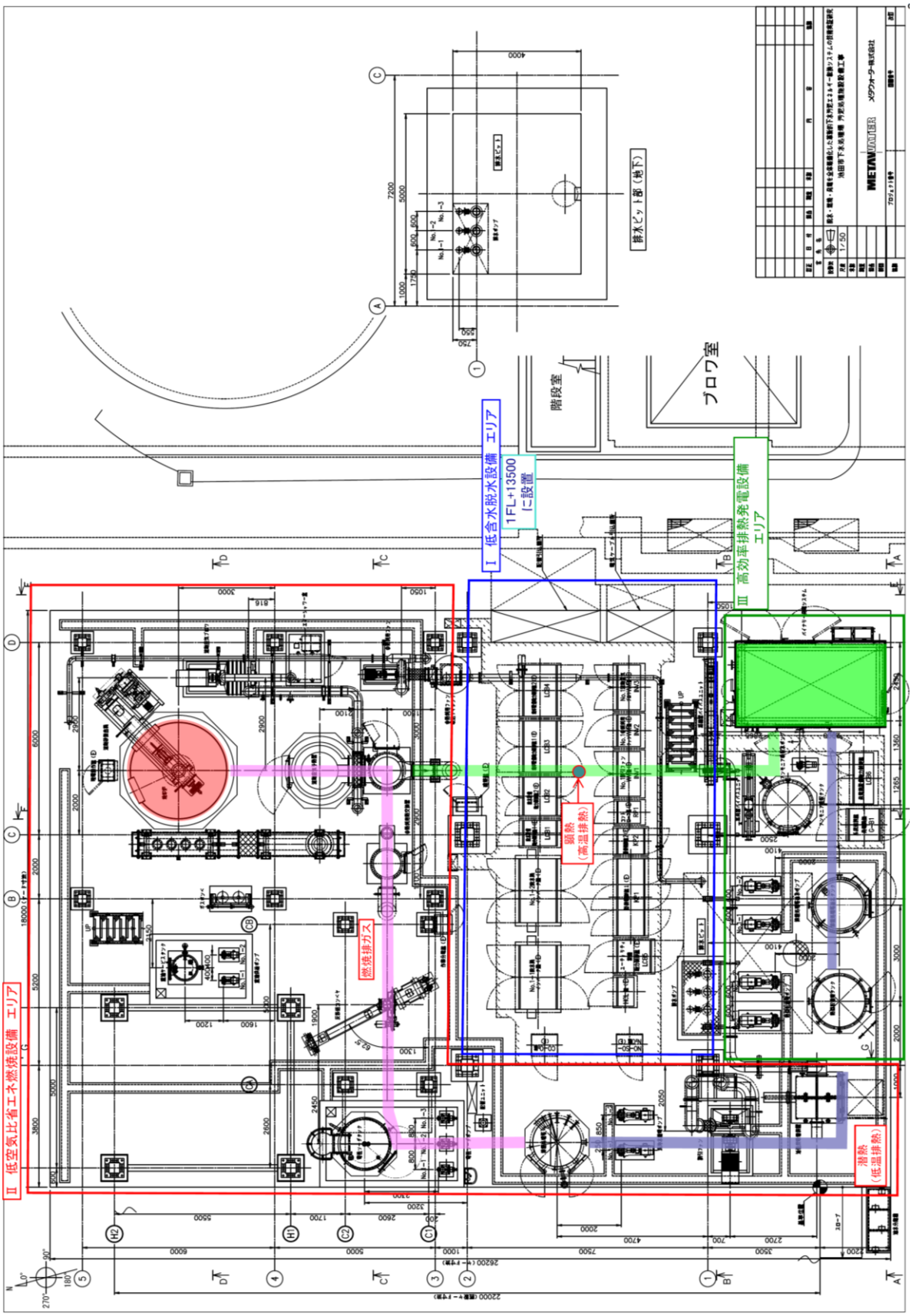
設　備	定格能力	備　考
低含水脱水設備	20 m^3/h	13-20 m^3/h で運転可能
低空気比省エネ燃焼設備	25.2 t-wet/d	含水率 76%時
高効率排熱発電設備	25 kW	届出出力 37 kW

7)　実証設備フロー

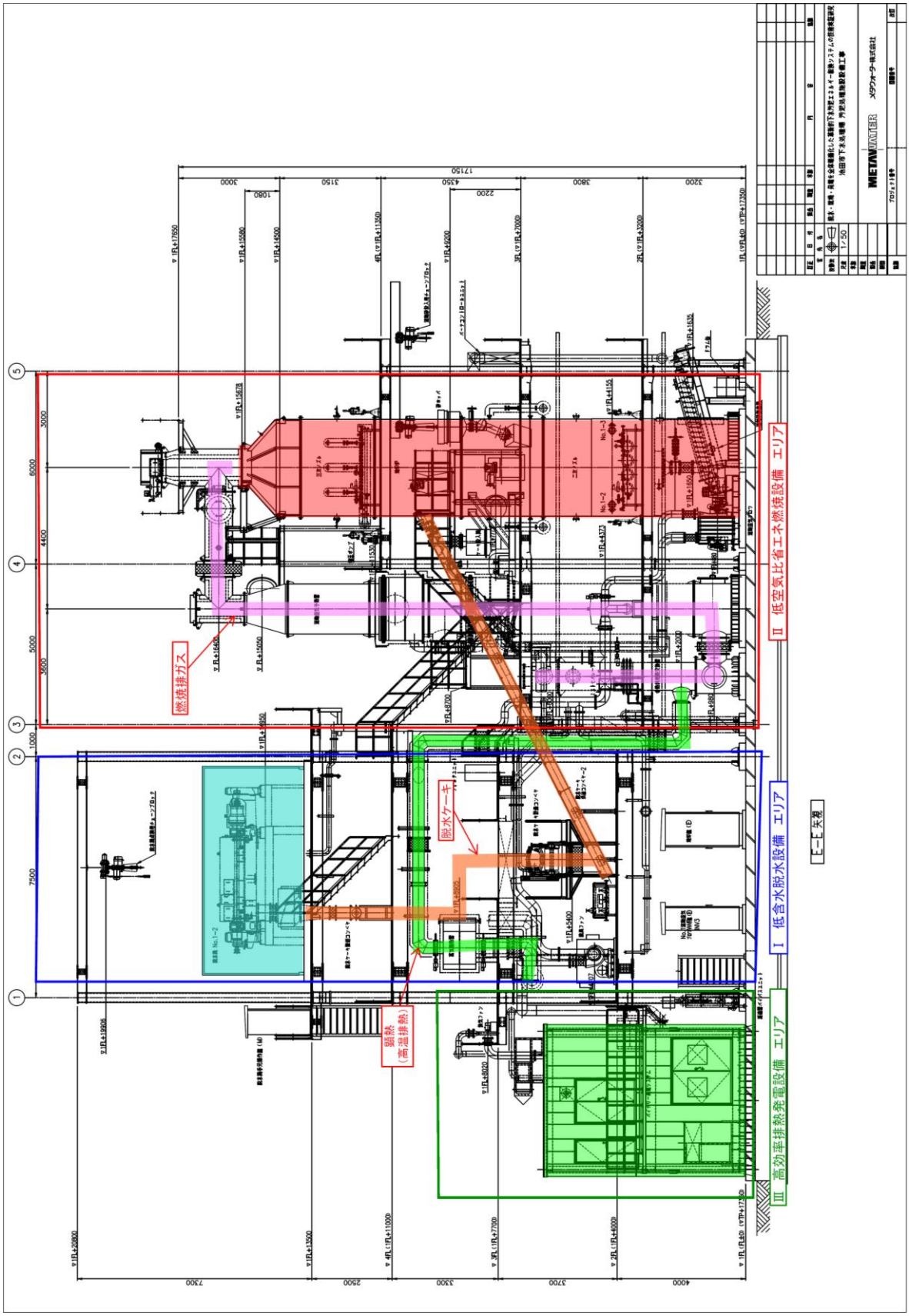
実証設備は、低含水脱水設備、低空気比省エネ燃焼設備、高効率排熱発電設備の３つの設備から構成されている。実証設備のフローおよび配置図を**図資 1-2～図資 1-4** に示した。脱水設備は焼却炉上部に設置され、設置面積の縮減と低含水率脱水汚泥の移送に係るエネルギーの低減を図っている。燃焼設備は実証ヤードの北東端に設置され、そこから南西側に流動空気予熱器等の塔類、中央付近には集塵装置（セラミックフィルタ）、南西端には排煙処理塔と煙突が備えられている。発電設備は実証ヤード南東端に設置されたパッケージに収納されており、また一連の設備の制御を司る電気設備は、汚泥搬送エリア下部の空間にまとめられている。これらの設備は、面積約 470 m^2（南北 26.2 m×東西 18 m）の矩形敷地内に配置された。



図資 1-2　実証設備のフロー



図資 1-3　実証設備の平面図



図資 1-4　実証設備の立面図

8) 実施工程

表資 1-2 に、実証研究の全体工程を示した。平成 25 年度は主に実証設備の建設工事、平成 26 年度に実証試験を行った。

表資 1-2 実証研究の全体工程

実証項目		平成 25 年度			平成 26 年度			
		6-9 月	10-12 月	1-3 月	4-6 月	7-9 月	10-12 月	1-3 月
工事期間	実証設備の設計・制作	→	→					
	実証設備の土木・設置工事	→	→	→				
試験期間	試運転			→				
	定格負荷試験			→ 春季試験	→	→ 夏季	→ 秋季 → 冬季	
	変動負荷試験					→		→
	連携・最適化機能確認運転						→ コスト → GHG	

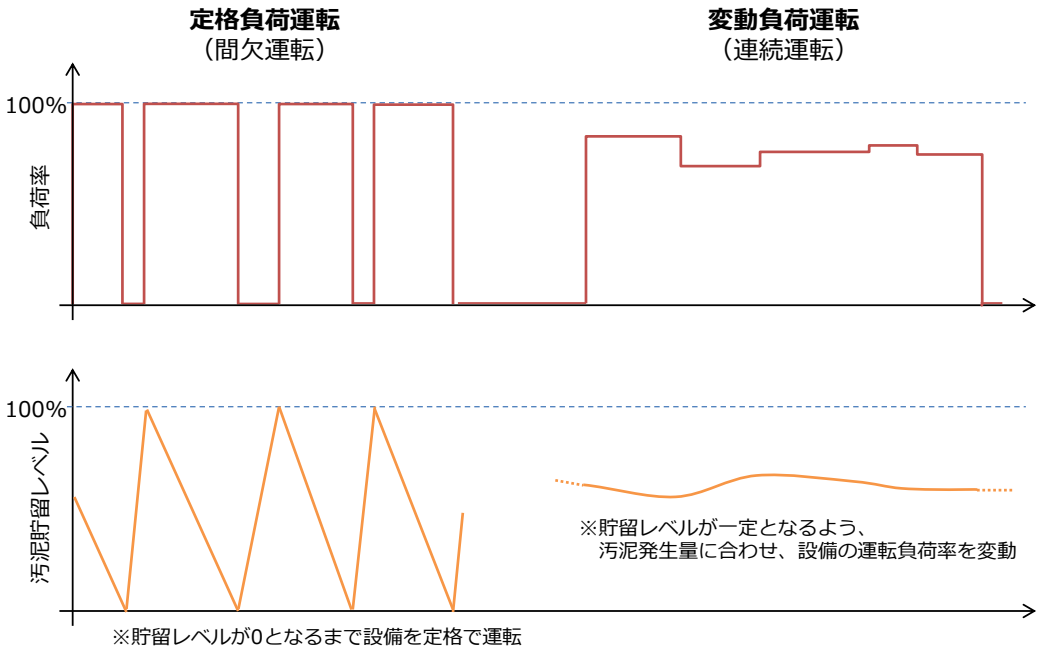
※平成 26 年度 4 月の自主研究成果についても、春季試験データとして参考までに一部を本書に掲載。

(2)　実証設備運転条件

実証設備は、その目的に応じて定格負荷および変動負荷の条件で運転され、それぞれ**表資 1-3** に示す項目について、評価・確認を行った。なお定格負荷試験では、設備の定格負荷量で連続的に運転するのに必要な汚泥を確保することが困難なため、**図資 1-5** に示したような適宜、貯留を行い間欠的な運転を行った。

表資 1-3　実証設備の運転条件

負荷条件	評価・確認項目	備　考
定格負荷	・定格条件下で本システムの基本性能を確認 ・季節変動の設備能力への影響を評価	四半期に 一度実施
変動負荷	・汚泥の発生量に合わせた負荷条件（実際の運用に近い条件）での本システムの性能を確認 ・負荷率と性能の相関データを評価	上記以外の 期間で実施



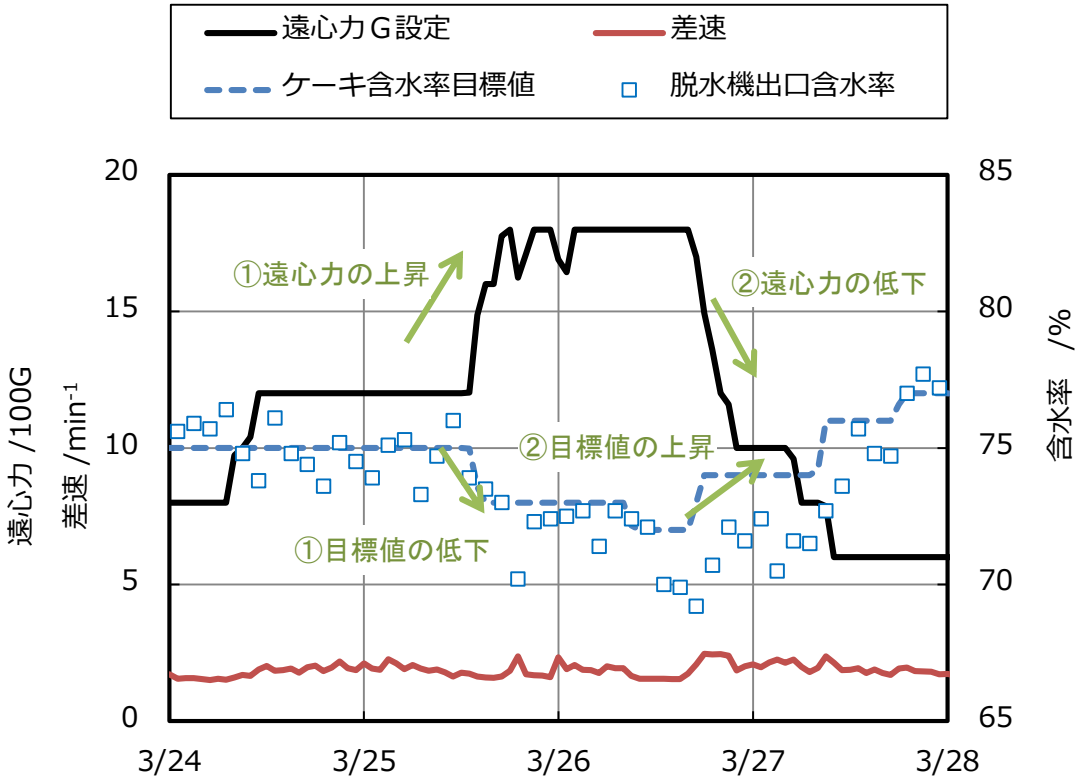
図資 1-5　定格負荷運転と変動負荷運転

I-2. 基本性能確認結果

第２章で示した本システムが具備する各技術的特徴および基本性能について、実証試験による確認を行った。

(1) 低含水脱水設備の性能確認結果

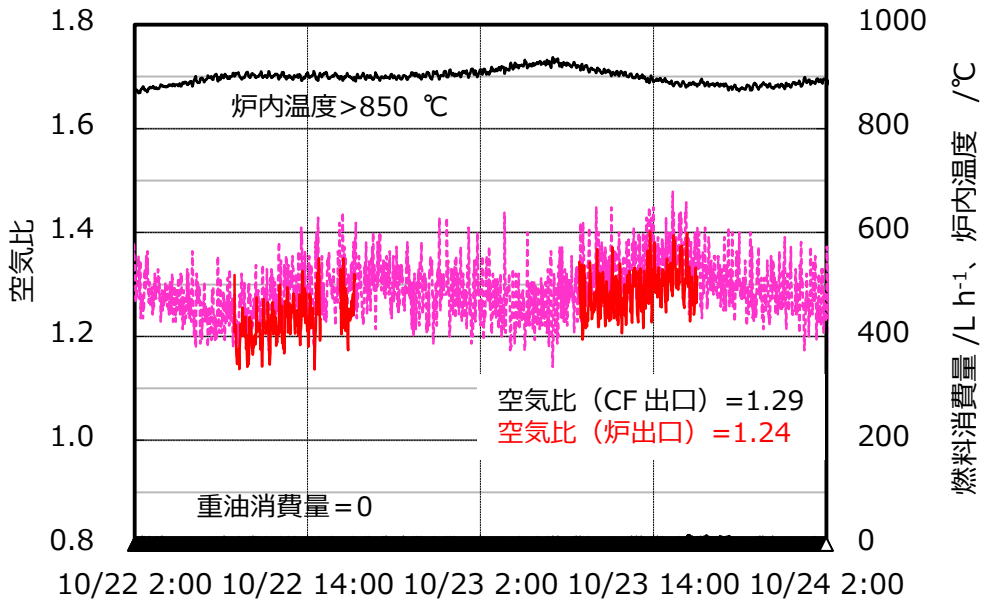
本技術は、低動力型高効率遠心脱水機（機内二液調質型）に、薬注率、遠心力、差速等の運転パラメータを脱水機内部で自律的に決定し、所定の脱水汚泥性状（含水率）を得るのに要する電力費、薬品費を総合的に最小化するソフト的な機能（自律制御機能）を加えた設備である。自律制御機能の発揮を確認できる、脱水設備の運転状況を**図資 1-6** に示した。平成 25 年 3 月 25 日の正午頃に脱水汚泥含水率の目標値を意図的に低下させたところ、図中①に示した通り、脱水設備は差速および遠心力を調整し、脱水機出口の脱水汚泥含水率が目標値通り低下することを確認した。3 月 26 日～27 日には脱水汚泥含水率の目標値を再度意図的に上昇させたが、ここでも図中②に示した通り、差速および遠心力が自動的に調整され、脱水機出口の脱水汚泥含水率は上昇した。このように、脱水汚泥含水率目標値を脱水設備に入力することで、脱水設備が自律的に運転条件を選択・調整し、概ね目標通りの脱水汚泥含水率が得られることを確認した。また、含水率を調整の際には、条件変更によるコストへの影響が小さい、差速、遠心力の増減が優先され、遠心力による脱水が限界に達した後に無機凝集剤の注入が行われ、当初設計にて意図した通りに、自律的に脱水設備が動くことを確認した。



図資 1-6 自律制御機能による脱水汚泥含水率の上下

(2)　低空気比省エネ燃焼設備の性能確認結果

本技術は「モデル予測制御」を活用して燃焼空気を砂層と炉上部の複数の箇所から導入し、低燃費、低 N_2O を実現する「多層燃焼技術」に、排ガス中の酸素濃度の情報をさらに追加して低空気比での安定運転を図るものである。燃焼設備の運転データを**図資 1-7** に示した。重油消費量が 0（自燃）かつ空気比 1.3 以下の運転を安定的に実現することを確認した。また、このとき炉内温度（フリーボード中部での温度）は 850℃以上を保持して安定的に推移しており、燃焼と炉内熱バランスの維持が問題無く行われていることが確認された。



図資 1-7　低空気比運転データ（10 月 22 日～24 日）

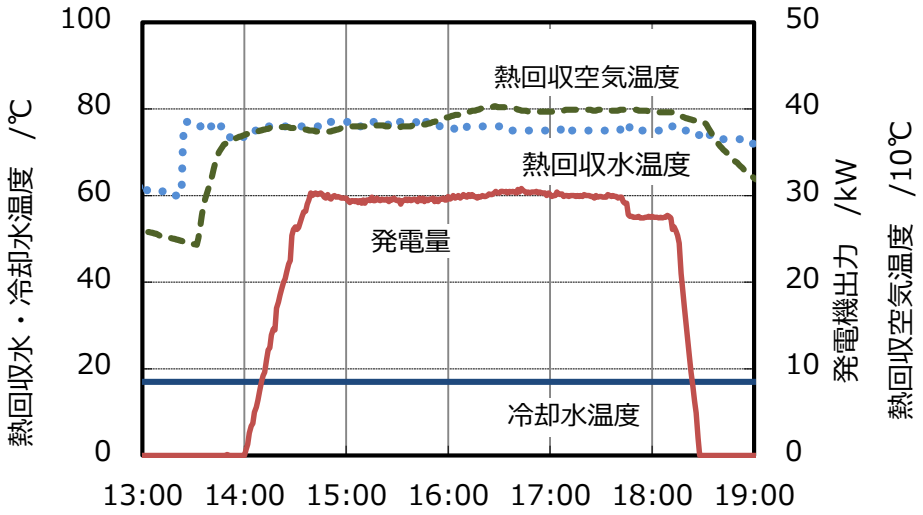
次に、実証設備の規模における化工計算および容量計算による従来技術の消費電力量試算結果と実証設備での消費電力量測定結果との比較を**表資 1-4** に示した。低空気比化に伴いファン、ブロワ類の消費電力が低減し、従来技術に対し 40%以上の消費電力量削減が図られることを確認した。なお、従来技術の消費電力量は含水率 76%を中心とし、汚泥変動を考慮して電動機を選定のうえ、電動機負荷率を 70%として試算した。また、実証設備の消費電力量測定において、ファン・ブロワ類は回転数制御により流動空気量に合わせて消費電力量が変動するため、表中の期間における連続測定の平均値を採用し、ポンプ類は、回転数固定での運転を行っているため、通年で変化しないものとし、夏季（8/20）および冬季(12/9)の定格運転時に実施した測定結果が概ね変化のないことを確認したうえで、その平均値を採用した。

表資 1-4　燃焼設備の省電力化の確認結果

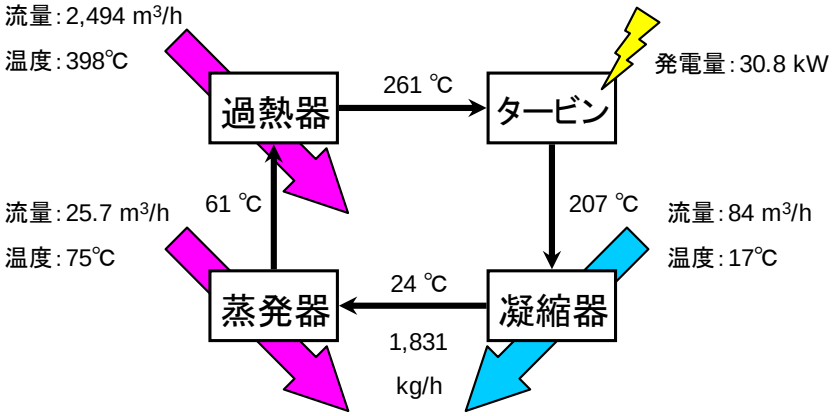
		従来技術（試算値）	実証設備（実測値）			
			春季 4/15 9:00 -11:00	夏季 7/18 8:00 -12:00	秋季 10/23 17:00 -21:00	冬季 12/11 0:00 -11:00
汚泥量 (t-DS/d)		6.0	6.3	6.0	6.0	6.2
空気比 (-)		1.45	1.35	1.27	1.24	1.33
脱水汚泥含水率 (%)		76	75	73	75	75
消費電力 (kW)	流動空気ブロワ	38.5	19.3	22.1	20.5	22.4
	誘引ファン	21.0	5.8	4.6	5.0	6.1
	余熱利用ファン	7.7	3.9	3.5	3.4	3.3
	洗浄水循環ポンプ	5.3	4.1			
	熱回収循環ポンプ	-	5.8			
	合　計	72.5	38.9	40.1	38.8	41.7
電力削減率 (%)		-	▲46	▲47	▲46	▲42

(3)　高効率排熱発電設備の性能確認結果

本技術は下水汚泥焼却設備から排出される排ガスおよび排水に含まれる顕熱および潜熱を利用し、低沸点の熱媒体としてアンモニア水等を用いた２熱源バイナリーサイクルによって発電することを特徴とする設備である。実証試験期間における最大発電量（＝30.8 kW）を達成した2014/3/12 の発電量トレンドを**図資 1-8** に、最大発電時の熱バランスを**図資 1-9** に示した。最大発電量を達成した条件においては、低温の排水熱の温度と高温の排ガス熱の温度が双方とも設計の温度に到達していることを確認した。



図資 1-8　最大発電時の発電量トレンド（2014/3/12）



図資 1-9　最大発電時の熱バランス（2014/3/12 16:00 頃の値）

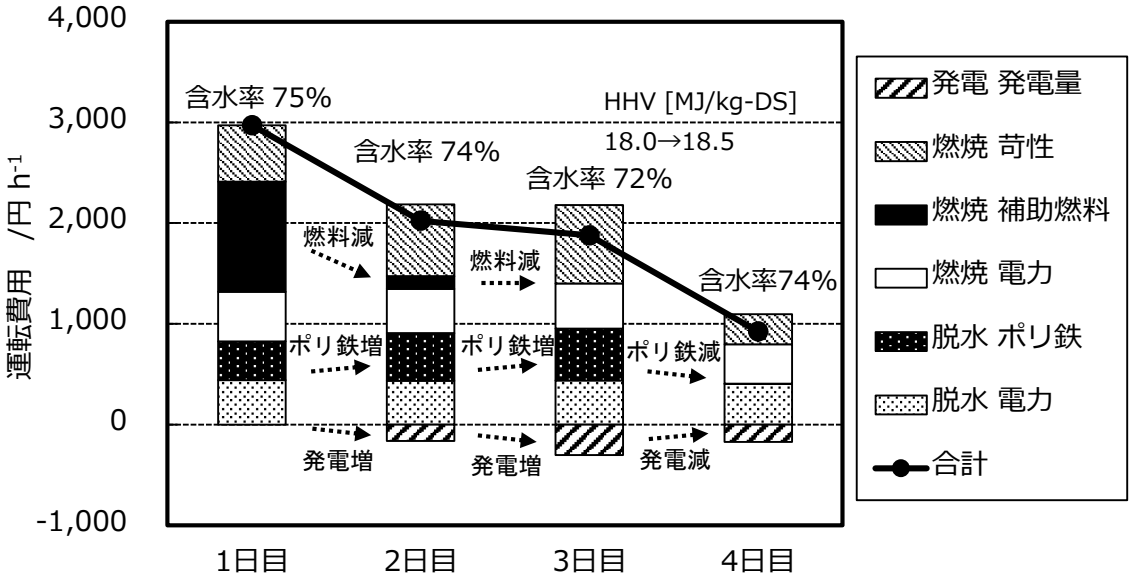
(4)　連携・最適化機能の動作確認結果

連携・最適化機能が設計の意図通りに働くことを確認するため、秋に運転コスト最適運転試験を、冬に温室効果ガス最適運転試験を実施した。それぞれの試験を行った 4 日間の運転コストおよび温室効果ガス排出量の推移を**図資 1-10**、**図資 1-11** に示した。縦軸の運転コストおよび温室効果ガス排出量の値は、**表資 1-5** に示した各単価、温室効果ガス排出量の原単位の値に、脱水設備の電力、無機凝集剤、燃焼設備の電力、補助燃料、苛性ソーダの使用量、発電設備の発電量をかけて算出した。これらは、含水率等の変化に対して変動する項目であり、実証設備における連携・最適化機能はこれらの項目を対象としている。

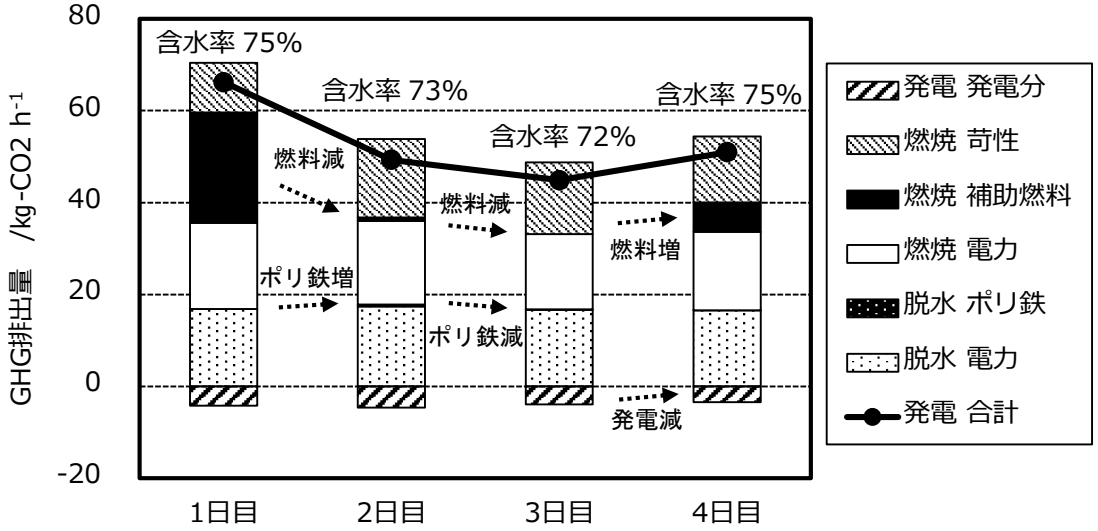
運転コスト最適機能の確認においては、脱水汚泥の含水率が約 75%と高く、燃焼設備にて補助燃料を多く使用している状況を意図的に作り出しそこから試験を開始した（**図資 1-10**、1 日目）。3 設備の連携・自動最適化機能を作動させると、脱水設備が自動的にポリ鉄の添加量を増加させ、脱水汚泥の含水率が 74%まで低下し燃焼設備での補助燃料費が低減した。またそれに伴う排熱量の増加により発電設備の発電量も増加し、システム全体のコストが徐々に低減した（1～3 日目）。その後、汚泥性状の変化（汚泥発熱量の増加）および含水率がさらに 72%まで低下したことで、燃焼設備の炉内温度が上昇したため、連携・最適化機能は過自燃気味であると判断し、脱水設備はポリ鉄添加量および遠心力を低下させ、自燃境界付近とみられる 74%程度まで含水率を上昇させた。このとき発電量は減少したが、それ以上に脱水設備における消費電力および薬品消費量の低減に起因する費用低減効果が大きく、システム全体のコストは極小化した（3～4 日目）。

温室効果ガス排出量最適機能についても、脱水汚泥の含水率が約 75%と高く、燃焼設備にて補助燃料を多く使用している状況を意図的に作り出し、そこから試験を開始した（**図資 1-11**、1 日目）。3 設備の連携・自動最適化機能を作動させると、脱水機はポリ鉄添加量等の運転条件を調整し脱水汚泥の含水率を 72%まで低下させ、燃焼設備における補助燃料使用量が低減することで、システム全体の温室効果ガス排出量を低減させた（1～3 日目）。その後、連携・最適化制御を切り、脱水機の運転条件を固定して運転を実施したところ、徐々に汚泥の脱水性が低下して含水率が上昇し、補助燃料使用量が増加、発電量が低下し、温室効果ガス排出量は増加した。

以上の結果から、連携・最適化機能によって個別設備の費用増減を超えて、システム全体で費用および温室効果ガス排出量が低減することが確認された。



図資 1-10　運転コスト（変動分）の内訳と推移（25t-wet/d 規模）



図資 1-11　温室効果ガス排出量（変動分）の内訳と推移（25t-wet/d 規模）

表資 1-5　運転コスト試算の単価

項 目		単 価	GHG 排出量
脱水	電力	15 円/kWh	0.55 kg-CO_2/kWh
	ポリ硫酸第二鉄	20 円/kg	0.044 kg-CO_2/L
燃焼	電力	15 円/kWh	0.55 kg-CO_2/kWh
	補助燃料	90 円/L	2.71 kg-CO_2/L
	苛性ソーダ(20%)	36 円/L	1.42 kg-CO_2/L
発電	発電量	15 円/kWh	0.55 kg-CO_2/kWh

(5)　臭気分析

実証設備に関わる臭気について分析し、結果を基準等と比較し、それを満足することを確認した。

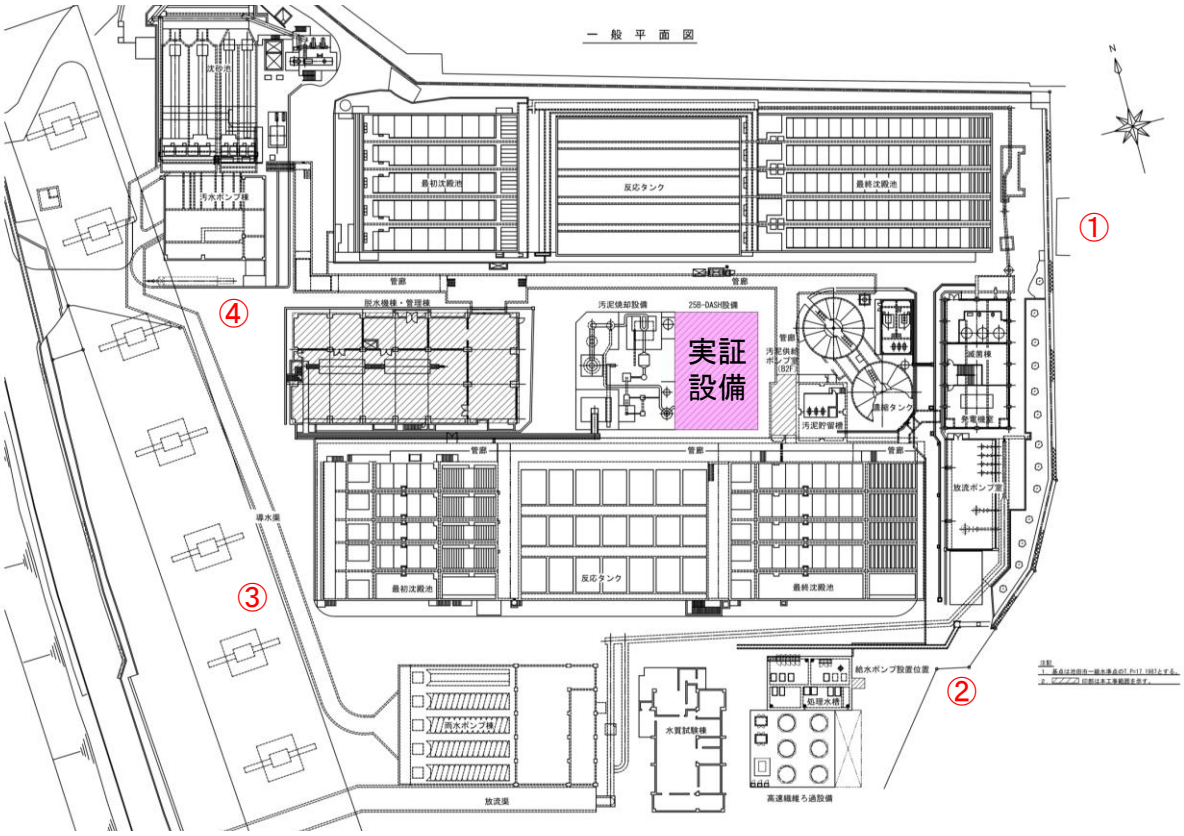
1)　測定日

第 1 回：2014 年 2 月 12 日（実証設備稼働前）

第 2 回：2014 年 3 月 19 日（実証設備稼働後）

2)　測定場所：

池田市下水処理場内の**図資 1-12** に示す敷地境界４地点で測定を実施した。また、測定日の気象条件を**表資 1-6** に示す。



図資 1-12　臭気・騒音測定地点

表資 1-6　測定日の気象状況

測定日	項目		測定地点 ①	②	③	④
2014 年 2 月 12 日	気温	℃	11.5	11.8	11.4	12.1
	湿度	%	36	33	35	31
	風向	―	NNW	NW	N	E
	風速	m/s	1.7	1.0	1.0	2.4
2014 年 3 月 19 日	気温	℃	18.9	16.8	19.8	21.0
	湿度	%	28	33	23	22
	風向	―	ENE	ENE	NNW	ESE
	風速	m/s	1.0	Calm	1.3	2.2

3)　測定結果：

実証設備稼働前後に実施した、臭気測定の結果の比較を**表資 1-7** に示す。いずれの測定点においても、臭気濃度、臭気指数は設備稼働前後で測定限界以下の値となっていた。また、特定悪臭物質※の測定結果も、いずれも測定下限値以下の値となっていた。

表資 1-7　設備稼働前後の臭気測定結果の比較

項目	測定地点	2014 年 2 月 12 日（設備稼働前）	2014 年 3 月 19 日（設備稼働後）
臭気濃度	①	＜10	＜10
	②	＜10	＜10
	③	＜10	＜10
	④	＜10	＜10
臭気指数	①	＜10	＜10
	②	＜10	＜10
	③	＜10	＜10
	④	＜10	＜10

※　特定悪臭物質：悪臭防止法施行規則第五条による以下の 22 物質

アンモニア、メチルメルカプタン、硫化水素、硫化メチル、ニ硫化メチル、トリメチルアミン、アセトアルデヒド、プロピオンアルデヒド、ノルマルブチルアルデヒド、イソブチルアルデヒド、ノルマルバレルアルデヒド、イソバレルアルデヒド、イソブタノール、酢酸エチル、メチルイソブチルケトン、トルエン、スチレン、キシレン、プロピオン酸、ノルマル酪酸、ノルマル吉草酸、イソ吉草酸

(6)　騒音測定

実証設備に関わる騒音について分析し、結果を基準等と比較し、それを満足することを確認し

た。

1) 測定日

第 1 回：2013 年 3 月 18 日（実証設備建設前）

第 2 回：2014 年 3 月 19 日～20 日（実証設備稼働後）

2) 測定場所：

図資 1-11 に示す敷地境界 4 地点で測定を実施した。処理場の西側は阪神高速道路に面し、また南側 1 km程度の場所に大阪国際空港が存在しているため、暗騒音値が高い地域となっている。

3) 測定結果：

実証設備稼働後に実施した、騒音測定結果（等価騒音レベル）を**表資 1-8** に示す。騒音測定は、昼間（午前８時から午後６時)、夕（午後６時から午後９時)、夜間（午後９時から翌日午前６時)、朝（午前６時から午前８時）の時間帯において、各測定地点にて各 10 分間実施した。なお、騒音集計時、飛行機、救急車、暴走車、対象施設以外の設備音で影響の過大な音については除外処理（ポーズ処理）を行った。いずれの測定地点、測定時間帯においても規制値を満足する値となった。また、従来の汚泥処理設備稼働中に実施した騒音測定結果を**表資 1-9** に示す。①～④の地点で、実証設備および従来の汚泥処理設備の騒音値は概ね同等の値となっていた。

表資 1-8　等価騒音レベル測定結果（実証設備稼働後）

測定地点	時間帯	測定開始日時		測定結果 dB	規制値 dB
①	昼間	3/19	16:03	57.7	70
	夕	3/19	18:47	57.9	65
	夜間	3/19	21:59	58.1	60
	朝	3/20	6:47	60.4	65
②	昼間	3/19	15:45	58.6	70
	夕	3/19	18:29	58.2	65
	夜間	3/19	21:42	57.7	60
	朝	3/20	6:31	59.5	65
③	昼間	3/19	15:05	58.6	70
	夕	3/19	18:13	58.6	65
	夜間	3/19	21:16	57.2	60
	朝	3/20	6:17	59.6	65
④	昼間	3/19	14:44	60.1	70
	夕	3/19	18:00	59.3	65
	夜間	3/19	21:01	57.2	60
	朝	3/20	6:01	60.0	65

備考）騒音の主要音源は、道路走行車および実証設備

表資 1-9　実証設備と従来の汚泥処理設備の等価騒音レベル比較

測定地点	時間帯	従来設備稼働時 測定開始日時	従来設備稼働時 測定値	実証設備 測定値※
①	昼間	2013/3/18 14:00～15:20	63.1	57.7
②			60.9	58.6
③			59.0	58.6
④			58.3	60.1

※実証設備の騒音値は 2014 年 3 月 19 日（昼間）における測定値

(7)　環境性能【補足】

第２章第３節および**資料編Ⅰ**に示した、環境性能評価時における各評価基準値の根拠について解説する。

1)　排ガス

廃棄物焼却炉出口からの排ガス組成については、大気汚染防止法施行令、大気汚染防止法施行規則およびダイオキシン類対策特別措置法により、次の①～⑤に示す項目が規制対象となっている。

①　硫黄酸化物の排出基準値（K 値規制）

硫黄酸化物の排出基準値は、次の式により算出した硫黄酸化物の量とする。

$$\mathrm{q} = \mathrm{K} \times 10^{-3} {H_e}^2$$

q　：硫黄酸化物の許容排出量（Nm³/h）

K　：地域により定められる値

H_e　：次の算式により補正された排出口の高さ（m）

$$H_e = H_0 + 0.65\left(H_m + H_t\right)$$

$$H_m = \frac{0.795\sqrt{Q \cdot V}}{1 + \frac{2.58}{V}}$$

$$H_t = 2.01 \times 10^{-3} \cdot \mathrm{Q} \cdot (\mathrm{T} - 288) \cdot \left(2.30 \log \mathrm{J} + \frac{1}{J} - 1\right)$$

$$\mathrm{J} = \frac{1}{\sqrt{Q \cdot V}}\left(1460 - 296 \times \frac{V}{T - 288}\right)$$

H_o　：排出口の実高さ（m）

Q　：15℃における排出ガス量（m³/s）

V　：排出ガスの排出速度（m/s）

T　：排出ガスの温度（K）

本実証設備の場合、K 値は 1.75（大阪府池田市）と定められており、排出口の高さ、排ガス性状より、排出基準値は 241 ppm となる。

項　目		単　位	数　値	備　考
K	規制K値	-	1.75	大阪府池田市
	排出乾ガス量	Nm^3/h	5,780	測定値
T	排出ガス絶対温度	K	352	測定値
Q	換算排出ガス量（15℃）	m^3/s	1.69	
	排出口の口径	φm	0.4	設計値
V	排出ガスの排出速度	m/s	16.48	
J		-	262.9	
H_t		-	1.00	
H_m		-	3.63	
H_o	排出口実高さ	m	25.2	設計値
H_e	補正された排出口の高さ	m	28.2	
q	硫黄酸化物の許容排出量	Nm^3/h	1.39	規制値
		ppm	241	規制値

（計算式）

Q　＝ 5,780 × (273+15) /273 × 1/3,600 = 1.69 m^3/s

V　＝ 5,780 ×　352/273 × 1/3,600 / $(0.4^2\pi/4)$ = 16.48 m/s

J　＝ (1,460 - 296 × 16.48/(352 -288)) / $(1.69 \cdot 16.48)^{1/2}$ ＝ 262.9

H_t　＝ 2.01×10^{-3} ・1.69・(352-288)・(2.30log(262.9) ＋ 1/262.9 - 1) ＝ 1.00

H_m　＝ 0.795 × $(1.69 \cdot 16.48)^{1/2}$ / (1 + 2.58/16.48) ＝ 3.63

H_e　＝ 25.2 ＋ 0.65 × (3.63 + 1.00) ＝ 28.2 m

q　＝ $1.75 \times 10^{-3} \times (28.2)^2$ ＝ 1.39 Nm^3/h

⇒ 1.39 / 5,780 × 1,000,000 ＝ 241 ppm

② ばいじんの排出基準値

廃棄物焼却炉におけるばいじんの規制基準値を**表資 1-10** に示す。本実証設備の場合、規模が定格 25.2 t-wet/日（＝1.05 t-wet/h）であるため、ばいじんの排出基準値は 0.15 g/Nm^3 となる。

表資 1-10　処理能力毎のばいじん排出基準値

処理能力	排出基準値※ g/Nm^3
4t/h 以上	0.04
2～4t/h	0.08
2t/h 未満	0.15

※O_2 12%換算濃度

③　有害物質の排出基準値

有害物質の排出基準値については**大気汚染防止法**にて、カドミウムおよびその化合物、塩素、塩化水素、弗素・弗化水素および弗化珪素、鉛およびその化合物の5つが規制対象となっているが、廃棄物焼却炉に関連する規制項目は塩化水素のみであり、その基準値は700 mg/Nm^{3}となっている。

④　窒素酸化物の排出基準値

窒素酸化物の排出基準値については、**大気汚染防止法施行規則 第5条**およびに同別表3の2に定められているが、下水汚泥焼却設備は別表3の2の「**二七　令別表第一の一三の項に掲げる廃棄物焼却炉のうち前二項に掲げるもの以外のもの**」にあたり、酸素濃度12%換算値で250 ppmが排出基準値となる。

⑤　ダイオキシン類の許容限度

廃棄物焼却炉の排出口から大気中に排出されるガスに含まれるダイオキシン類の許容限度を**表資1-11**に示す。本実証設備の場合、規模が定格25.2 t-wet/日（＝1.05 t-wet/h）であるため、許容限度は5 ng-TEQ/Nm^{3}となる。

表資1-11　施設規模等とダイオキシン類の排出許容限度

施設規模等	許容限度 ng-TEQ/Nm^3
火格子面積が2 m^{2}以上または、 焼却能力が200 kg/h以上2000 kg/h未満	5
焼却能力が2000 kg/h以上4000 kg/h未満	1
焼却能力が4000 kg/h以上	0.1

2)　焼却灰からの有害元素等の溶出量基準値

下水汚泥の焼却灰（ばいじん）を廃棄する場合、産業廃棄物として**廃棄物の処理及び清掃に関する法律**の適用を受け、その埋立処分に関しては溶出試験による基準値が定められている。この基準値を**表資1-12**に示す。

また、**下水道法施行令**の発生汚泥等の処理の基準の中で、汚泥の埋立処分を行う場合には、あらかじめ熱しゃく減量15%以下に焼却し、または含水率85%以下にすることと定められており、**ダイオキシン類対策特別措置法**および**ダイオキシン類対策特別措置法施行令**の規定に基づき、**廃棄物焼却炉に係るばいじん等に含まれるダイオキシン類の量の基準及び測定の方法に関する省令**の中で、廃棄物焼却炉に係るばいじん等に含まれるダイオキシン類の量の基準は、3 ng-TEQ/gと定められている。

表資 1-12　金属等を含む産業廃棄物に係る判定基準値（処分に係る判定基準値）

規制項目	基準値 mg/L
アルキル水銀化合物	不検出
水銀又はその化合物	0.005
カドミウム又はその化合物	0.3
鉛又はその化合物	0.3
六価クロム化合物	1.5
砒素又はその化合物	0.3
セレン又はその化合物	0.3
1,4-ジオキサン	0.5

3)　臭気

特定悪臭物質の規制については、**悪臭防止法施行規則**により、敷地境界線（第１号）、気体排出口（第２号）、排出水（第３号）の 3 か所での基準値が定められている。敷地境界線における規制基準値（第１号規制基準値）は、各地域の都道府県知事及び市長により、**表資 1-13** に示す臭気指数※もしくは特定悪臭物質濃度によって、当該区域の実情に応じて臭気強度 2.5～3.5 に相当する範囲で定められている。

※臭気指数　＝　log（臭気濃度）× 10

本実証設備（大阪府池田市）の場合、第 1 号規制は特定悪臭物質濃度による規制が採用されており、基準値は臭気強度 2.5 相当の値と定められている。

表資 1-13　悪臭規制基準値の範囲

	規制対象	臭気強度		
		2.5	3.0	3.5
臭気指数による規制	臭気指数	10～15	12～18	14～21
臭気物質濃度による規制（単位：ppm）	アンモニア	1	2	5
	メチルメルカプタン	0.002	0.004	0.01
	硫化水素	0.02	0.06	0.2
	硫化メチル	0.01	0.05	0.2
	二硫化メチル	0.009	0.03	0.1
	トリメチルアミン	0.005	0.02	0.07
	アセトアルデヒド	0.05	0.1	0.5
	プロピオンアルデヒド	0.05	0.1	0.5
	ノルマルブチルアルデヒド	0.009	0.03	0.08
	イソブチルアルデヒド	0.02	0.07	0.2
	ノルマルバレルアルデヒド	0.009	0.02	0.05
	イソバレルアルデヒド	0.003	0.006	0.01
	イソブタノール	0.9	4	20
	酢酸エチル	3	7	20
	メチルイソブチルケトン	1	3	6
	トルエン	10	30	60
	スチレン	0.4	0.8	2
	キシレン	1	2	5
	プロピオン酸	0.03	0.07	0.2
	ノルマル酪酸	0.001	0.002	0.006
	ノルマル吉草酸	0.0009	0.002	0.004
	イソ吉草酸	0.001	0.004	0.01

4)　騒音

騒音については、規制基準値を**表資 1-14** に示すとおり、騒音規制法により時間区分および区域区分ごと規制基準値が定められている。なお、測定点は敷地境界線上にて実施される。

なお、本実証設備は第４種区域に位置し、昼間（8～18 時）70dB、朝・夕（6～8、18～21 時）65dB、夜間（21～翌 6 時）60dB と定められている。

表資 1-14　騒音規制基準値の範囲

区域の区分※2 ＼ 時間の区分※1	昼間	朝・夕	夜間
第一種区域	45dB 以上 50dB 以下	40dB 以上 45dB 以下	40dB 以上 45dB 以下
第二種区域	50dB 以上 60dB 以下	45dB 以上 50dB 以下	40dB 以上 50dB 以下
第三種区域	60dB 以上 65dB 以下	55dB 以上 65dB 以下	50dB 以上 55dB 以下
第四種区域	65dB 以上 70dB 以下	60dB 以上 70dB 以下	55dB 以上 65dB 以下

※1 昼間とは、午前七時又は八時から午後六時、七時又は八時までとし、朝とは、午前五時又は六時から午前七時又は八時までとし、夕とは、午後六時、七時又は八時から午後九時、十時又は十一時までとし、夜間とは、午後九時、十時又は十一時から翌日の午前五時又は六時までとする。

※2 前項に規定する第一種区域、第二種区域、第三種区域及び第四種区域とは、それぞれ次の各号に掲げる区域をいう。

一　第一種区域、良好な住居の環境を保全するため、特に静穏の保持を必要とする区域

二　第二種区域　住居の用に供されているため、静穏の保持を必要とする区域

三　第三種区域　住居の用にあわせて商業、工業等の用に供されている区域であって、その区域内の住民の生活環境を保全するため、騒音の発生を防止する必要がある区域

四　第四種区域　主として工業等の用に供されている区域であって、その区域内の住民の生活環境を悪化させないため、著しい騒音の発生を防止する必要がある区域

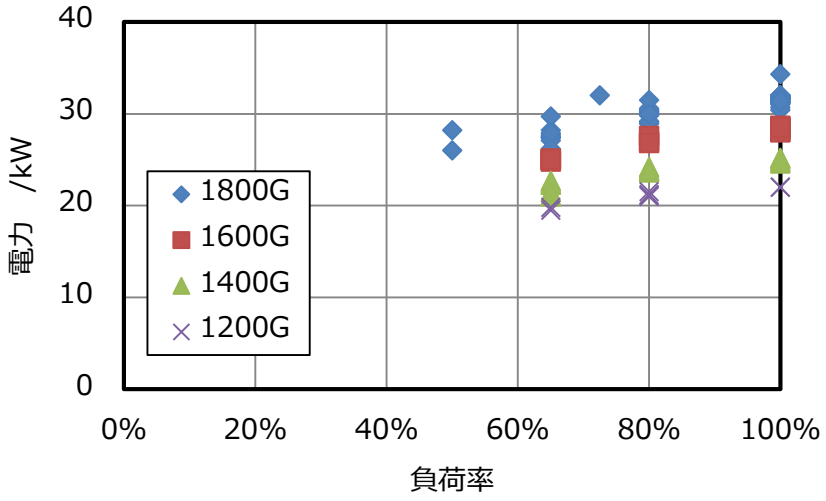
I-3. 性能影響因子の調査結果

実証試験により得られた性能影響因子の調査結果を整理し、本システムの導入効果が高い条件（適用条件、推奨条件および設計、運転手法）について整理した。

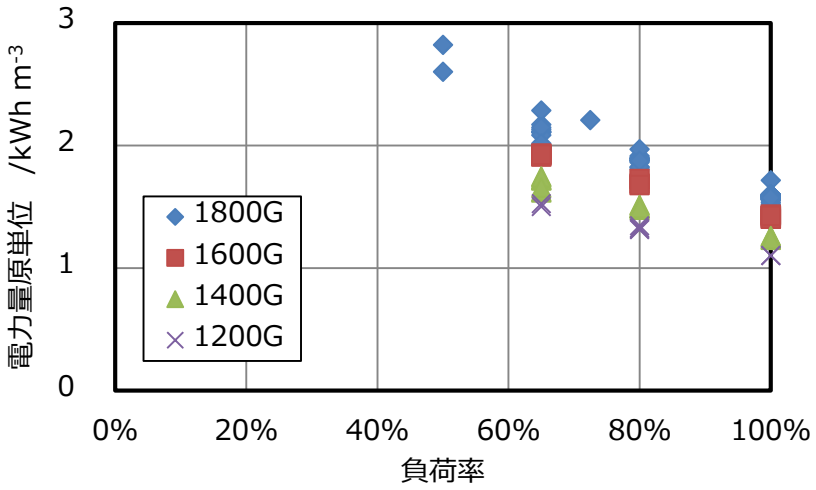
(1) 低含水脱水設備の性能影響因子

1) 負荷率の影響

脱水設備における負荷率と消費電力量、電力量原単位（消費電力量を処理汚泥量で割ったもの）の相関を**図資 1-13** および**図資 1-14** に示した。負荷率が増加すると消費電力も増加するが、消費電力量原単位で整理した場合、処理量が定格に近い程効率的となった。



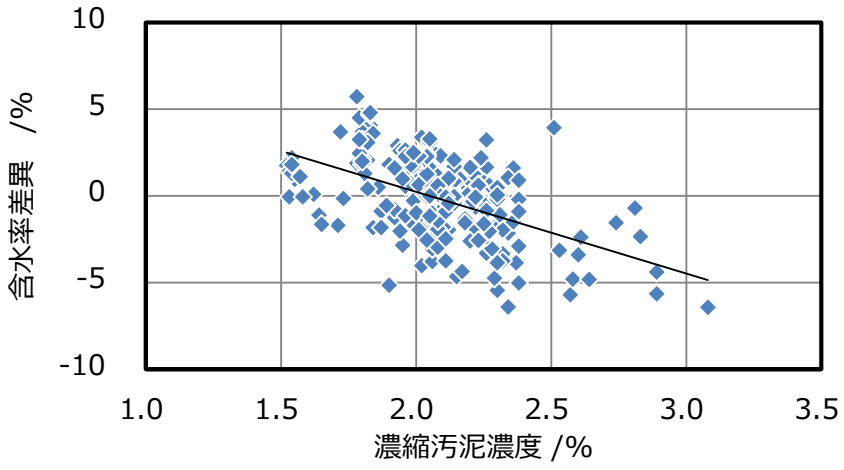
図資 1-13 処理汚泥量と脱水機消費電力



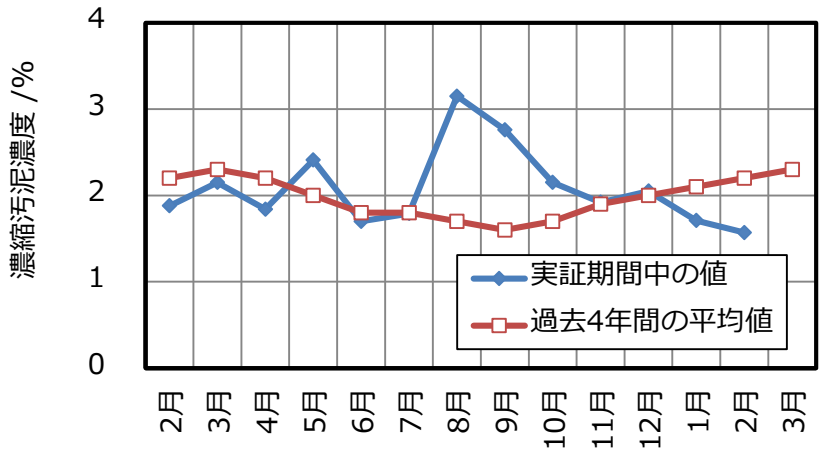
図資 1-14 処理汚泥量と脱水機電力量原単位

2)　汚泥性状の影響

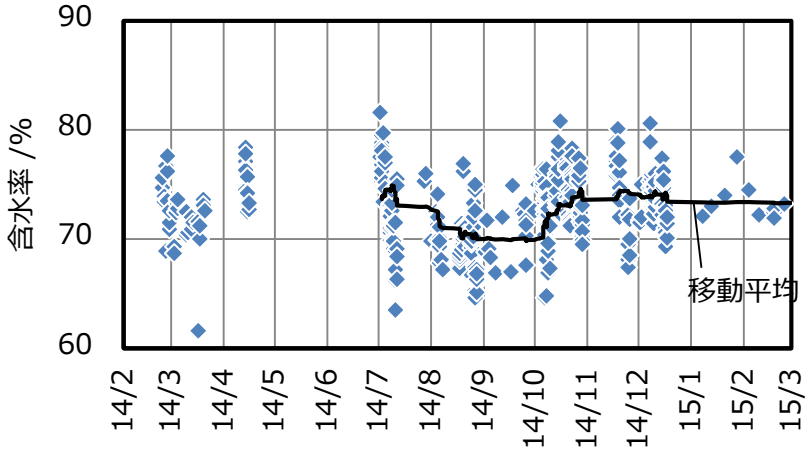
濃縮汚泥濃度と含水率調整機能の精度の関係を**図資 1-15** に示す。濃縮汚泥濃度の月変動は**図資 1-16** に、実証期間中の脱水汚泥の含水率の推移を**図資 1-17** に示した。脱水汚泥の含水率は、実証試験において幅広いデータを取得するために脱水条件を変動させたため、その値の幅が大きいが夏季を除いた平均では、自燃可能な性状となる 74%程度の含水率となっている。また、濃縮汚泥濃度と含水率差異（実測含水率－目標含水率）には相関があり、濃縮汚泥濃度が高いほど、含水率差異は低くなる傾向があった。定量的には濃縮汚泥濃度が 0.5 ポイント変動すると、含水率差異は 2.0 ポイント程度影響を受けることを確認した。



図資 1-15　濃縮汚泥濃度と含水率差異の相関



図資 1-16　実証期間中の濃縮汚泥濃度の月変動

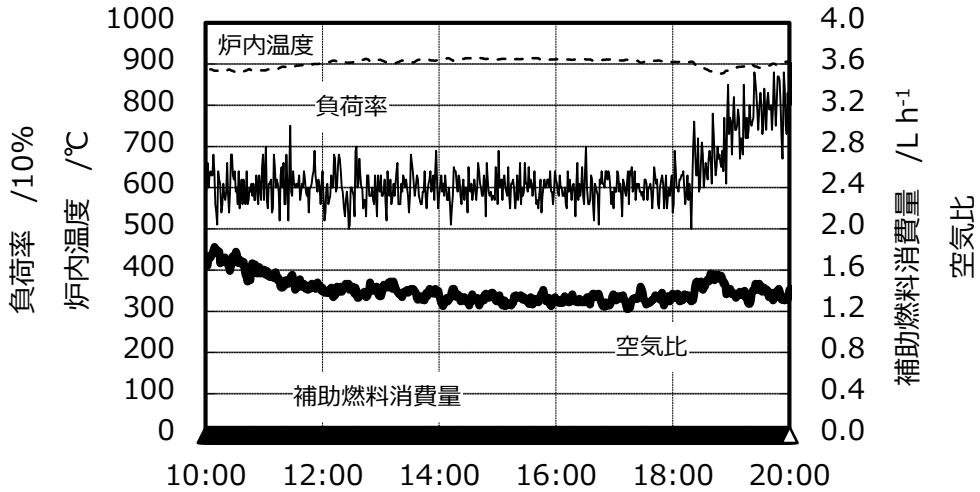


図資 1-17　実証期間中の脱水汚泥含水率の変動

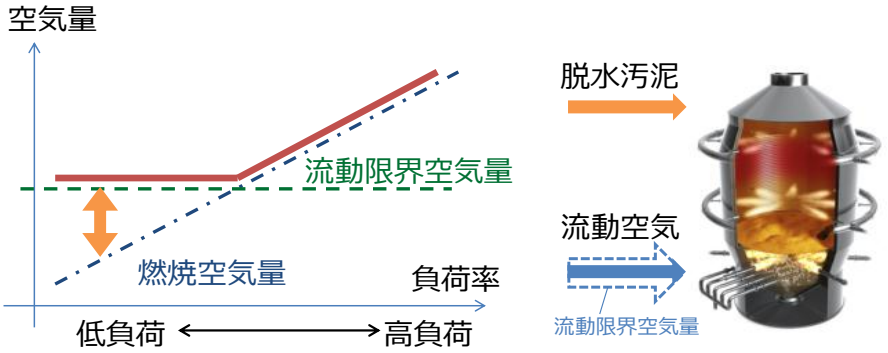
(2)　低空気比省エネ燃焼設備の性能影響因子

1)　負荷率の影響

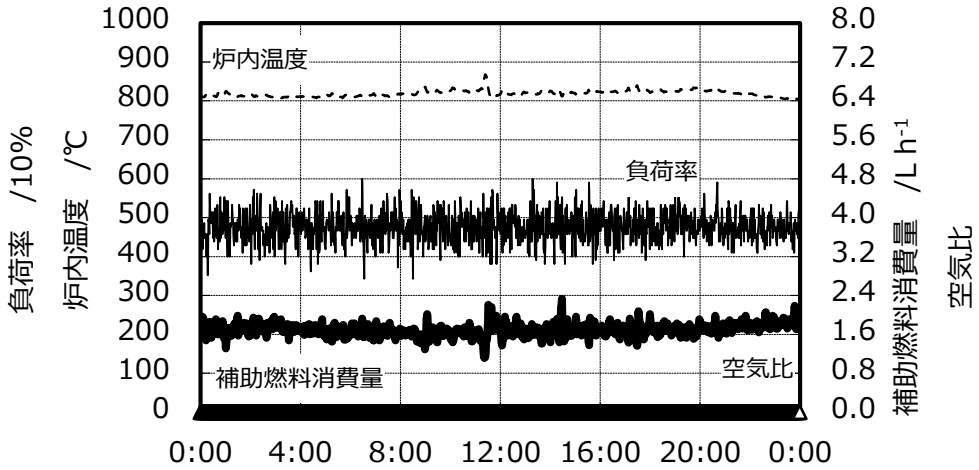
実証設備では、負荷率 60%まで自燃運転と低空気比運転（空気比 1.3 以下）を両立出来ることを確認した。**図資 1-18** に負荷率 60%における運転トレンドを示した。ただし、**図資 1-19** に示したように負荷率をさらに下げて低空気比運転を狙う場合には、汚泥投入量に合わせて燃焼空気量も低減させる必要があるが、燃焼炉の流動砂を流動させるために最低限必要な空気量以下には下げることが出来ないため、空気比 1.3 以下での運転が困難であることも確認した。なお、自燃運転のみであれば、負荷率 50%程度であっても達成できることを実証試験にて確認している。負荷率 50%における運転トレンドを**図資 1-20** に示した。



図資 1-18　負荷率 60%での燃焼設備運転トレンド（2015/2/19）



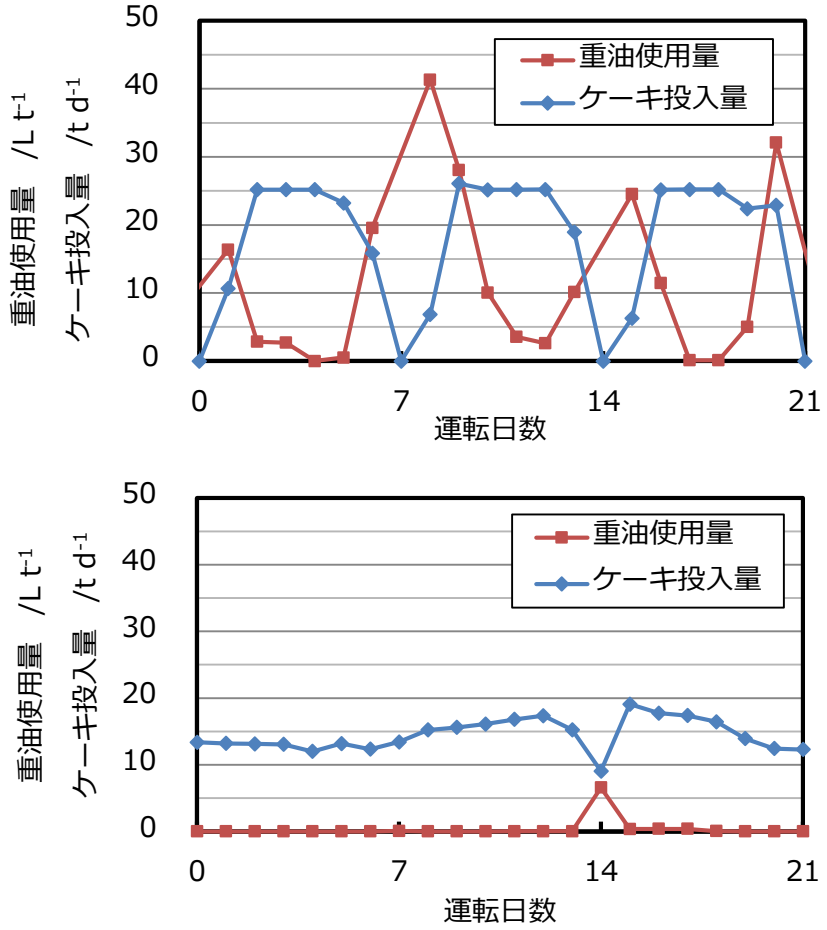
図資 1-19　低負荷率条件下における空気量の関係



図資 1-20　負荷率 50%での燃焼設備運転トレンド（2015/1/7）

2)　稼働率の影響

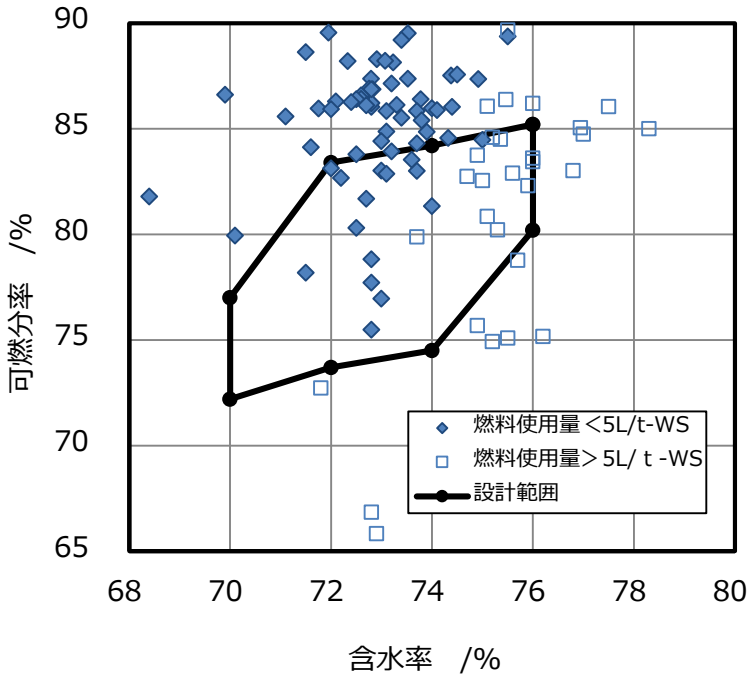
本技術は、汚泥を補助燃料消費量＝0（自燃運転）にて燃焼することを特徴としているが、設備の立上げ時においては、停止期間中に温度が低下した炉を昇温するための補助燃料が必要である。そのため、設備を間欠的に稼働すると燃料消費量が増加する傾向がある。しかし、汚泥発生量を一定とすると、稼働率を高くとるためには負荷率を落とす必要があり、両者にトレードオフの関係が存在する。**図資 1-21** に、燃焼設備を定格負荷にて間欠運転した場合および 50～70%程度の負荷で連続運転した場合の、補助燃料使用量の実証試験結果を示した。25 t-wet/d の定格負荷での運転では、起動・停止時に多くの補助燃料を消費した。一方で定格以下での運転では、補助燃料の消費量は小さくなった。ただし、この知見は一般的なものではなく、設備の設計条件、起動・停止間隔、汚泥性状等に応じて損得が入れ替わる可能性があることに留意する。



図資 1-21　間欠運転（上）および連続運転（下）時の補助燃料使用量

3)　汚泥性状の影響

脱水汚泥性状（有機分率、含水率）と補助燃料消費量の関係を**図資 1-22** に示す。汚泥の可燃分率が高い場合、高い含水率であっても自燃運転が可能である。自燃可能な汚泥含水率（自燃境界含水率）よりも汚泥含水率が高い場合には、補助燃料消費量が大きくなるが、汚泥含水率が低い場合には、過自燃の懸念がある。なお、本システムでは連携最適化機能により、燃焼炉内の温度を監視して脱水汚泥含水率を調整しており、汚泥性状（有機分率）が変化した場合にも、つねに最適な汚泥含水率に自動的に調整することが可能である。

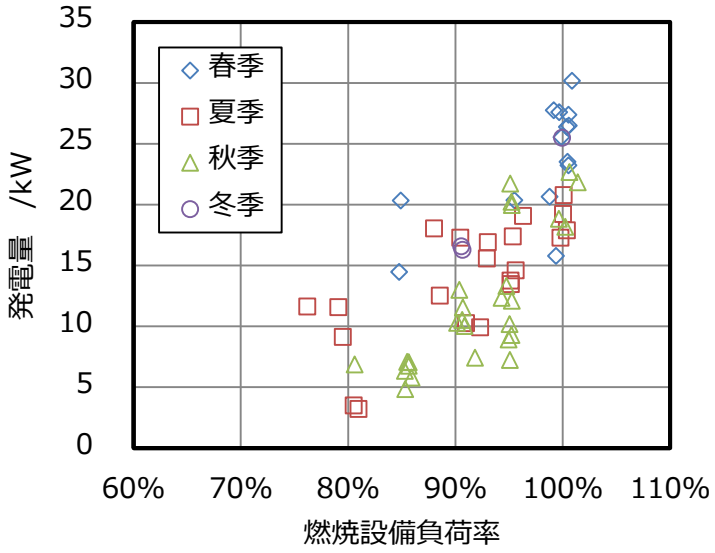


図資 1-22　脱水汚泥性状と補助燃料消費量の関係

(3)　高効率排熱発電設備の性能影響因子

1)　負荷率の影響

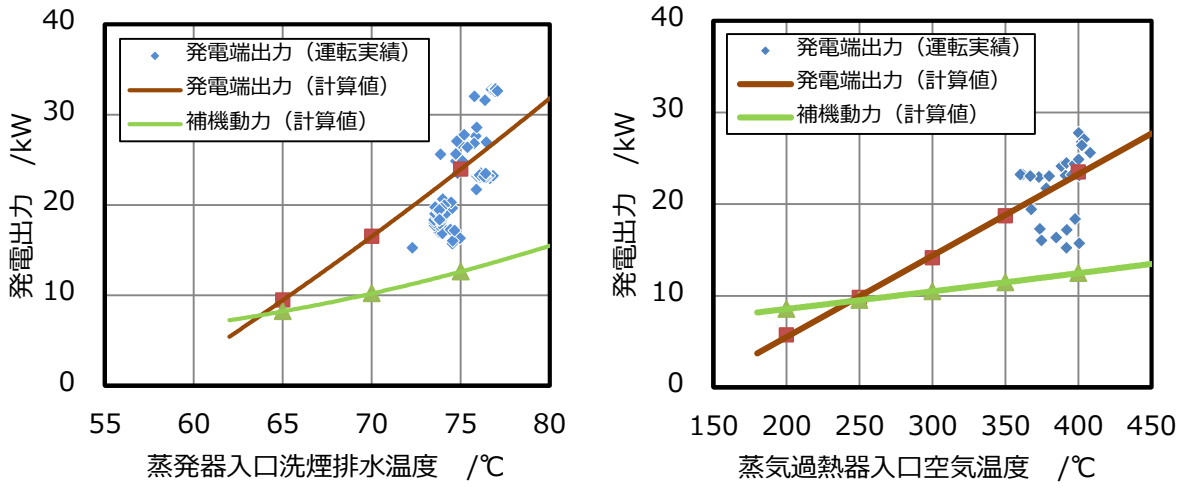
燃焼設備の負荷率と、発電量の相関を**図資 1-23** に示す。燃焼設備の負荷率増加に伴い、燃焼炉への汚泥由来の熱供給量、後段の発電設備に与えられる排熱量が増加し、発電量も増加した。



図資 1-23　燃焼設備の負荷率と発電量の相関

2)　熱源温度と発電量

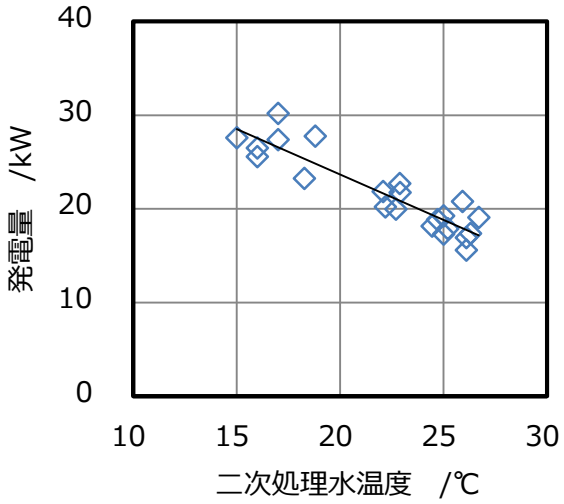
図資 1-24 に排熱発電設備の２つの熱源の温度と発電量の相関を示した。熱回収空気は 300℃以上、洗煙排水は 70℃以上で、自己消費を上回る水準の発電量が確保できた。熱源がこれらの温度を下回る場合には、発電が困難であるため、回収熱量の増加を図るため燃焼設備の熱回収用熱交換器や排煙処理塔の改造や更新が必要である。



図資 1-24　熱源温度と発電出力

3)　冷却水温度の影響

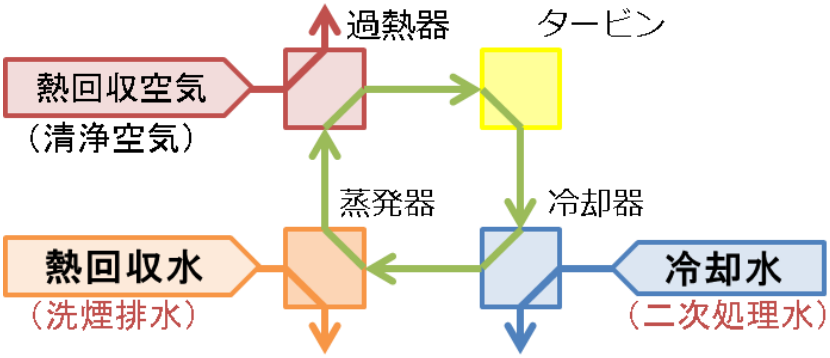
1 年間の実証結果より求めた、冷却水温と発電量の関係を**図資 1-25** に示す。冷却に利用する二次処理水温度が低いほど発電量が増加しており、二次処理水温の上下によって、15kW から 30kW の範囲で変化が見られた。



図資 1-25　冷却水温度と発電量の相関

I-4.　発電設備の熱交換器におけるスケーリングの評価

本高効率排熱発電設備は、地熱発電や海洋温度差発電などに用いられている低温度差発電技術を応用したものであり、基本的には同じ運転維持管理手法を用いることが出来るが、低温熱源に下水汚泥焼却設備の排煙処理塔排水を、冷却水に二次処理水を利用しているため、**図資 1-26**、**表資 1-15** に示す通り、比較的スケール発生リスクの高い蒸発器および凝縮器（冷却器）でのスケール生成傾向について確認を行った。スケール生成傾向の確認は、U 値の推移確認、伝熱面の目視確認、水質評価（リーズナー安定度指数：RSI）の 3 方法にて実施した。



図資 1-26　高効率排熱発電設備の構成

表資 1-15　各熱交換器におけるスケーリングリスク

	アンモニア水との熱交換媒体	スケーリングリスク
過熱器	排ガスと熱交換した清浄空気	小
凝縮器（冷却器）	SS 除去した二次処理水	中
蒸発器	溶解性物質を多く含む洗煙排水	大

(1)　リーズナー安定度指数(RSI)による評価

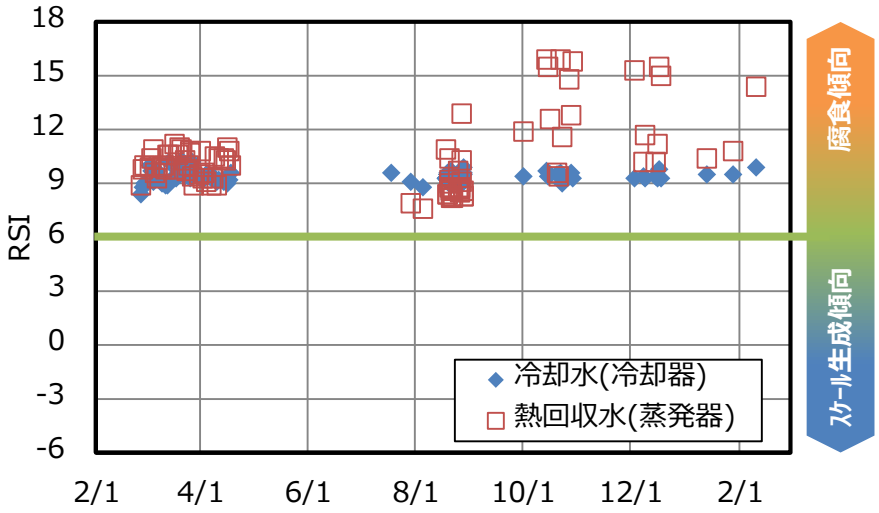
実証期間中における、冷却水および熱回収水のリーズナー安定度指数(RSI)を**図資 1-27** に示す。いずれも常に 6 以上の値を示しており、スケール生成傾向は示さなかった。なお、腐食については、冷却水および熱回収水と接触する部位にステンレスを用いるなどの対策済みである。

※リーズナー安定度指数（RSI）

実際の pH と炭酸カルシウム飽和 pH（pHs）により与えられる指数（＝2pHs-pH）で、水の腐食性、スケール性の評価指標。安定度指数が 7 以上は腐食性、6 以下はスケール性を示す。

RSI　＝　2pHs－pH

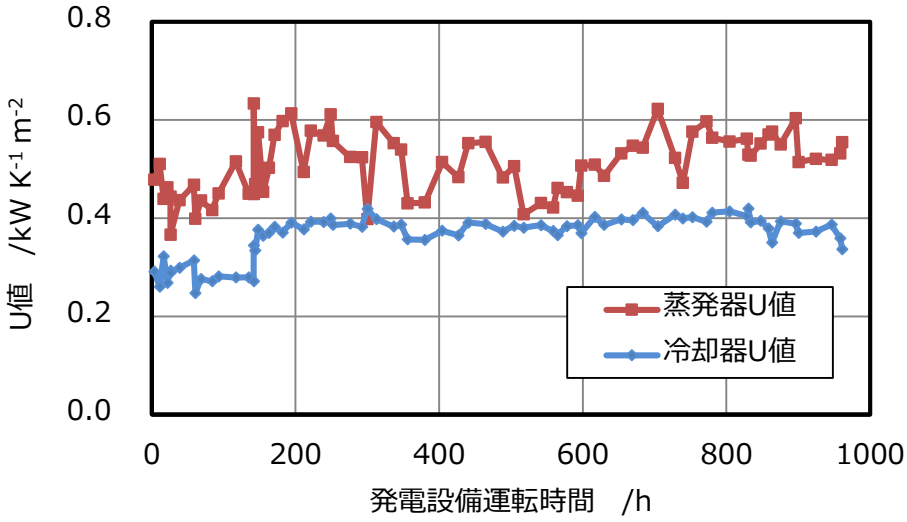
pHs　：SS、温度、Ca 硬度、M アルカリ度の関数



図資 1-27　冷却水および熱回収水のスケール/腐食傾向

(2)　U 値の推移による評価

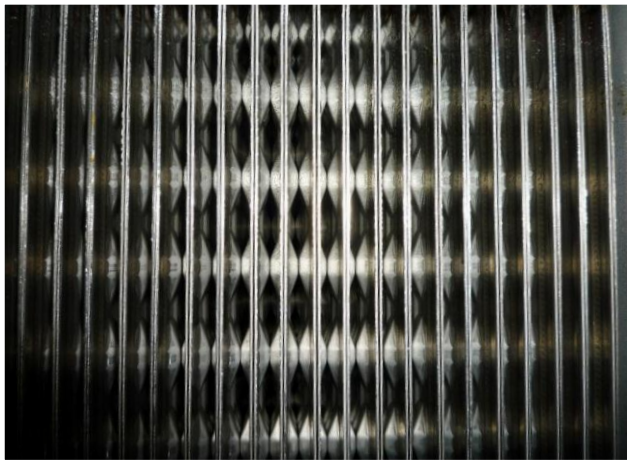
図資 1-28 に、蒸発器および凝縮器（冷却器）の U 値（§30　（1）参照）の推移を示す。実証試験期間中、蒸発器、凝縮器のいずれにおいても U 値の低下は見られなかった。



図資 1-28　蒸発器および凝縮器（冷却器）の U 値推移

(3)　熱交換器内部の解放点検

実証試験の終盤である 3 月に、蒸発器および凝縮器の伝熱面の解放点検を実施した。**図資 1-29** に、洗煙排水入口側の蒸発器伝熱面（高温側）の様子を示す。なお、実証設備の蒸発器に接する洗煙排水の原水および凝縮器に接する冷却水には二次処理水を繊維ろ過処理したものを利用した。解放目視点検の結果、いずれの位置においても目立った汚れや腐食は見られなかった。



図資 1-29　蒸発器伝熱面の状況（洗煙排水入口側）