

資料編

1. 実証研究結果

1. 1 実証研究概要

1. 1. 1 実証設備

(1) 研究名称

温室効果ガス削減を考慮した発電型汚泥焼却技術実証研究

(2) 実施者

JFE エンジニアリング(株)・日本下水道事業団・川崎市共同研究体

(3) 実施期間

平成 29 年 8 月 25 日～平成 30 年 3 月 31 日(平成 29 年度 委託研究期間)

平成 30 年 7 月 12 日～平成 31 年 3 月 29 日(平成 30 年度 委託研究期間)

(4) 実施場所

実証設備設置場所:川崎市入江崎総合スラッジセンター

(所在地:神奈川県川崎市川崎区塩浜 3-24-12)

(5) 処理対象

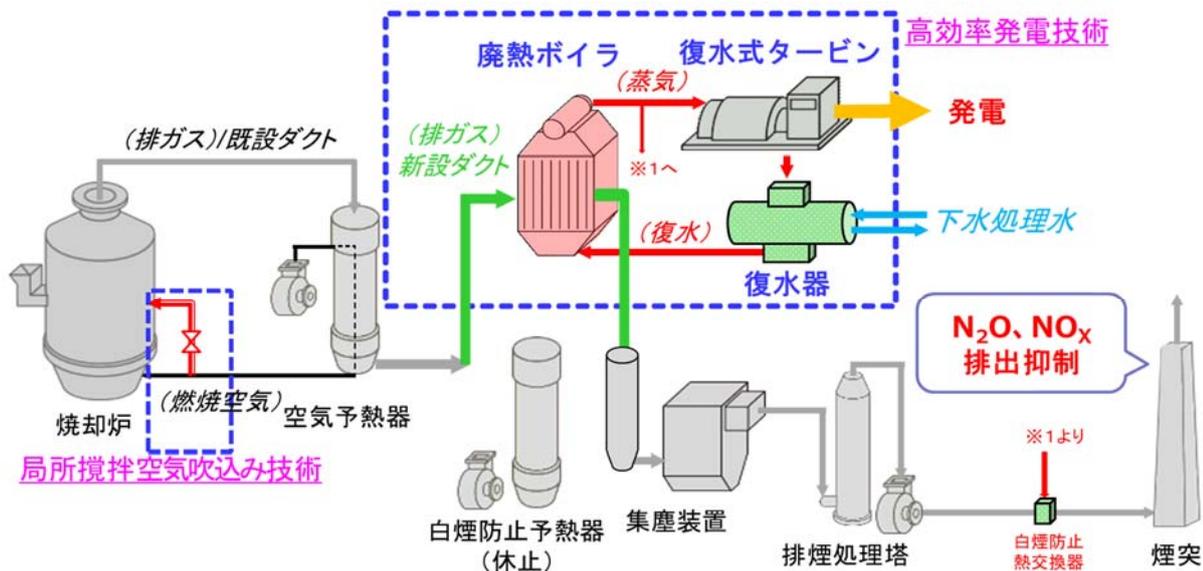
本設備の処理対象は混合生汚泥とした。

(6) 処理規模

焼却量は 120wet-t/日(低負荷)～150 wet-t/日(定格)～170 wet-t/日(高負荷)とした。

(7) 実証設備フロー

図資 1.1.1-1 に本実証設備の概略フローを示す。



図資 1.1.1-1 実証設備概略フロー

1. 1. 2 運転条件とスケジュール

(1) 運転条件

表資 1.1.2-1 に実証運転を行った運転条件を示す。

表資 1.1.2-1 運転条件一覧

	局所攪拌空気吹込み	
負荷(wet-t/日)	あり	なし
低負荷(120)	実施	実施
定格負荷(150)	実施	実施
高負荷(170)	実施	実施
低含水(140 ^{※1})	実施	実施せず ^{※2}

※1 低含水試験時は含水率が低下するため、固形物負荷が定格と同等程度になるように焼却量を設定した。

※2 低含水試験については、ポリマの変更等を実施し、運転時間に余裕がないため、局所攪拌空気吹込みなしのデータについては取得できなかった。

1. 実証研究結果

(2) スケジュール

表資 1.1.2-2 に実証工程を示す。

表資 1.1.2-2 実証工程

実証項目			平成 29 年度			平成 30 年度			
			6-9 月	10-12 月	1-3 月	4-6 月	7-9 月	10-12 月	1-3 月
準備期間	高効率発電技術	設計制作	→						
		現地工事		→					
	局所攪拌空気吹込技術	設計制作	→						
		現地工事		→					
試験期間	試運転				→				
	実証試験				→	→	→	→	→
	連続運転試験					→			→

※平成 30 年度 4 月-6 月の自主研究成果についても春季試験として参考までにデータを記載した。

1. 2実証運転データ一覧

下記工程で四季の実証運転を行った。実証運転により得られた運転データを下記の項目についてそれぞれ示す。

1. 2. 1 発電設備運転結果

下記に低負荷、定格、高負荷、低含水の各運転条件における運転結果を表資 1.2.1-1～4 に示す。なお、春季と冬季の高負荷運転において投入量に差がみられるが、評価については投入熱量を基準に行っているため、問題ないと考えられる。

表資 1.2.1-1 低負荷運転結果一覧

	春季	夏季	秋季	冬季 ^{※1、※2}
焼却量(wet-t/日)	117	120	130	125
投入熱量(GJ/h)	11.6	12.5	13.1	-
発電量(kW)	230	290	360	-
消費電力量(kW)	509	551	560	-

※1 高効率発電設備の冬季低負荷試験は実証フィールドの運転状況により取得できなかった。

表資 1.2.1-2 定格負荷運転結果一覧

	春季	夏季	秋季	冬季 ^{※2}
焼却量(wet-t/日)	150	150	151	154
投入熱量(GJ/h)	14.9	16.6	14.8	15.4
発電量(kW)	420	605	448	385
消費電力量(kW)	529	552	567	560

表資 1.2.1-3 高負荷運転結果一覧

	春季	夏季	秋季	冬季 ^{※2}
焼却量(wet-t/日)	154	165	158	174
投入熱量(GJ/h)	17.2	16.0	16.0	17.5
発電量(kW)	545	514	482	506
消費電力量(kW)	552	565	572	600

表資 1.2.1-4 低含水運転結果一覧

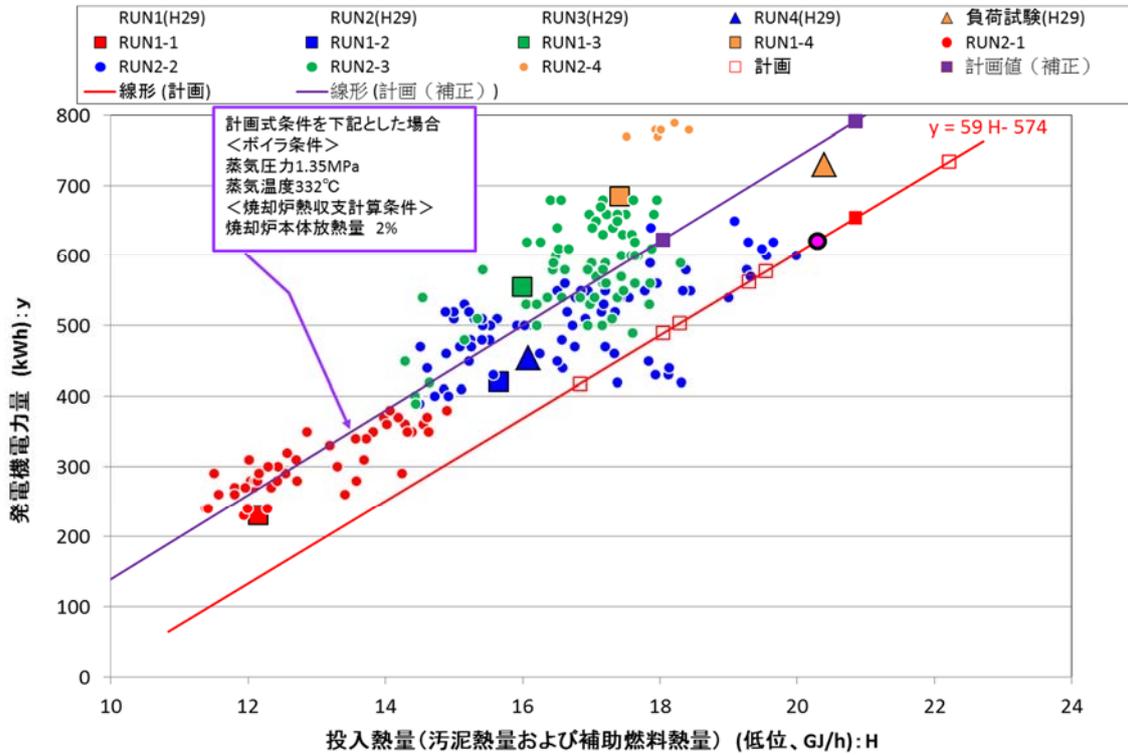
	春季	夏季	秋季	冬季 ^{※2}
焼却量(wet-t/日)	138	136	140	139
投入熱量(GJ/h)	17.8	18.8	15.8	
発電量(kW)	690	730	683	616
消費電力量(kW)	559	563	569	592

※2 冬季試験において発電量が低く見えるのは、炉内温度が不安定で、炉内温度の上昇にエネルギー

1. 実証研究結果

を消費したためであると考えられる。

表資 1.2.1-1~4 に示した各運転条件について、炉への投入熱量と発電量の関係を図資 1.2.1-1 として以下に示した。



図資 1.2.1-1 投入熱量に対する発電量の関係

以上の結果より、ほぼ全ての点が設計値(赤線)を上回り、目標を満足していることが示された。なお、紫色の線は設計値に対し、下記条件を試運転時の運転データより得られた条件に変更して試算した設計値(補正)である。

表資 1.2.1-5 変更した試算条件

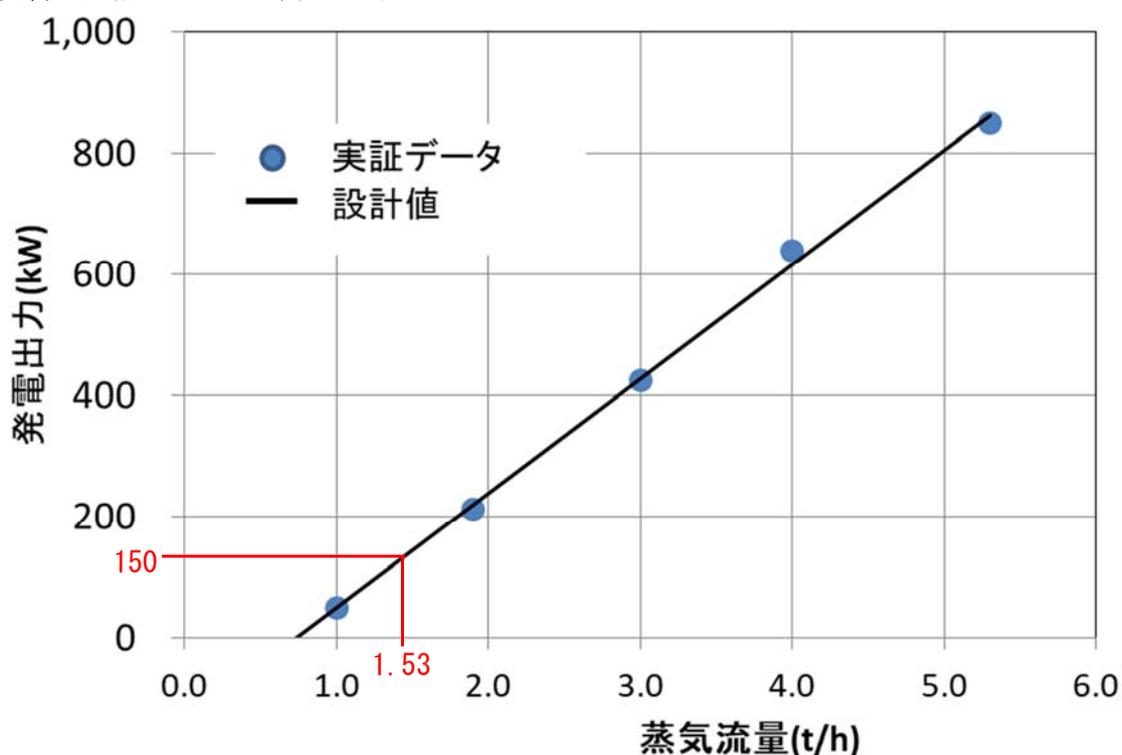
	設計値	設計値(補正)
炉体放熱	5%	2%
主蒸気圧力	1.5	1.35
主蒸気温度	353	332

また、復水式タービンの運転可能範囲を確認するため、蒸気量を変化させて復水式タービンを運転し、運転可能範囲の評価を行った。結果を図資 1.2.1-2、表資 1.2.1-6 に示す。

表資 1.2.1-6 蒸気流量と発電量の関係

負荷*	(-)	1/4	2/4	3/4	4/4
蒸気流量	(t/h)	1.9	3.0	4.0	5.3
発電出力	(kW)	213	425	638	850

※負荷は定格 850kW に対する比率



図資 1.2.1-2 蒸気流量と発電量の関係

以上の結果より、本実証技術で用いた復水式タービンを用いて、適用範囲の下限である 60t/日【16ds-t/日】程度、発電量 150kW の規模における蒸気発生量(1.53t/h)においても発電設備の運転が可能であることが示された。

1. 2. 2 局所攪拌空気吹込み設備運転結果

(1) N₂O 削減率

各運転条件における N₂O 濃度と削減率を以下の表資 1.2.2-1~4 に示す。春季～秋季試験については砂層の不流動を防止するため、流動空気量を十分に調整することが難しく、十分な削減効果を得られない結果となった。砂層の流動不良対策を実施した冬季試験については、目標とした 50%削減を満足する結果となった。

表資 1.2.2-1 低負荷 N₂O 削減率一覧

	春季		夏季		秋季		冬季	
	なし	あり	なし	あり	なし	あり	なし	あり
局所攪拌空気吹込み	なし	あり	なし	あり	なし	あり	なし	あり
N ₂ O 濃度 (ppm-12%O ₂)	150	96	269	229	228	162	107	61
N ₂ O 削減率 (%)	-	36	-	15	-	29	-	43

表資 1.2.2-2 定格負荷 N₂O 削減率一覧

	春季		夏季		秋季		冬季	
	なし	あり	なし	あり	なし	あり	なし	あり
局所攪拌空気吹込み	なし	あり	なし	あり	なし	あり	なし	あり
N ₂ O 濃度 (ppm-12%O ₂)	155	132	115	101	147	100	87	41
N ₂ O 削減率 (%)	-	15	-	12	-	32	-	53

表資 1.2.2-3 高負荷 N₂O 削減率一覧

	春季		夏季		秋季		冬季	
	なし	あり	なし	あり	なし	あり	なし	あり
局所攪拌空気吹込み	なし	あり	なし	あり	なし	あり	なし	あり
N ₂ O 濃度 (ppm-12%O ₂)	173	111	118	118	95	156	120	54
N ₂ O 削減率 (%)	-	36	-	0	-	-	-	55

表資 1.2.24 低含水 N₂O 削減率一覧

	春季		夏季		秋季		冬季	
	なし	あり	なし	あり	なし	あり	なし	あり
局所攪拌空気吹込み	なし	あり	なし	あり	なし	あり	なし	あり
N ₂ O 濃度 (ppm-12%O ₂)	なし	66	なし	57	なし	88	なし	15
N ₂ O 削減率 (%)	なし	-	なし	-	なし	-	なし	-

※低含水試験については運転時間の関係でブランクデータなし。

資料編

なお、N₂O の削減率については以下の式に従い算出した。

$$\text{N}_2\text{O 削減率 (\%)} = \frac{\text{局所攪拌空気吹込み設備停止時のN}_2\text{O 濃度} - \text{運転時のN}_2\text{O 濃度}}{\text{局所攪拌空気吹込み設備停止時のN}_2\text{O 濃度}} \times 100$$

ただし、各濃度については 12 %O₂ 補正值とする。

また、局所攪拌空気吹込み設備運転時の N₂O 排出係数については、冬季定格負荷運転時のデータを用い、以下の式に従い算出した。

$$\text{N}_2\text{O 排出係数 (t-N}_2\text{O/wet-t)} = \text{排ガス中の N}_2\text{O 濃度 (ppm)} \times \text{排ガス量 (Nm}^3\text{/h)} \times \text{N}_2\text{O 密度 (1.978 kg/Nm}^3\text{)} \times 10^{-9} / \text{汚泥投入量 (wet-t/h)}$$

排ガス中の N₂O 濃度については、酸素濃度による補正前の数値を用いるため、以下のように算出した。

$$\text{排ガス中の N}_2\text{O 濃度 (ppm)} = 41.3 \text{ ppm} - 12\% \text{O}_2 \times \frac{21\% - 6.7\% (\text{測定箇所における酸素濃度})}{21\% - 12\%} = 65.6$$

また、1. 2. 1 発電設備運転結果より、冬季定格試験時の投入量は 154wet-t/日、時間あたりに換算すると 6.42wet-t/h となる。排ガス量については1. 2. 4分析結果より冬季定格 試験時の排ガス量 11500 Nm³/h を採用し計算を行うと、N₂O 排出係数は以下の通りとなる。

$$\text{N}_2\text{O 排出係数 (t-N}_2\text{O/wet-t)} = \frac{65.6 \times 11500 \times 1.978 \times 10^{-9}}{6.42} = 0.000232$$

1. 実証研究結果

(2) NOx削減率

各運転条件における NOx 濃度と削減率を以下の表資 1.2.2-5～8 に示す。なお、削減率の基準となるブランクデータについては、局所攪拌吹込み設備設置前 3 年のデータ平均値 (52ppm-12%O₂) とした。低負荷運転時には砂層の流動不良防止のため、燃焼空気比率を最適な条件まで操作することが出来ず、十分な効果が得られなかった。

表資 1.2.2-5 低負荷 NOx 削減率一覧

	春季		夏季		秋季		冬季	
	なし	あり	なし	あり	なし	あり	なし	あり
局所攪拌空気吹込み	なし	あり	なし	あり	なし	あり	なし	あり
NOx 濃度 (ppm-12%O ₂)	52	81	52	147	52	25	52	97
NOx 削減率 (%)	-	-	-	-	-	53	-	-

表資 1.2.2-6 定格負荷 NOx 削減率一覧

	春季		夏季		秋季		冬季	
	なし	あり	なし	あり	なし	あり	なし	あり
局所攪拌空気吹込み	なし	あり	なし	あり	なし	あり	なし	あり
NOx 濃度 (ppm-12%O ₂)	52	19	52	10	52	12	52	13
NOx 削減率 (%)	-	63	-	81	-	78	-	76

表資 1.2.2-7 高負荷 NOx 削減率一覧

	春季		夏季		秋季		冬季	
	なし	あり	なし	あり	なし	あり	なし	あり
局所攪拌空気吹込み	なし	あり	なし	あり	なし	あり	なし	あり
NOx 濃度 (ppm-12%O ₂)	52	16	52	8.5	52	12	52	12
NOx 削減率 (%)	-	69	-	84	-	78	-	78

表資 1.2.2-8 低含水 NOx 削減率一覧

	春季		夏季		秋季		冬季	
	なし	あり	なし	あり	なし	あり	なし	あり
局所攪拌空気吹込み	なし	あり	なし	あり	なし	あり	なし	あり
NOx 濃度 (ppm-12%O ₂)	52	13	52	25	52	22	52	41
NOx 削減率 (%)	-	75	-	52	-	58	-	21*

※砂層温度制御の不調により砂層温度が上昇し、その影響で NOx 濃度が上昇したため、削減率が低下した。

なお、NO_x の削減率については以下の式に従い算出した。

$$\text{NO}_x \text{ 削減率}(\%) = \frac{\text{局所攪拌空気吹込み設備設置前 3 年のデータ平均値} - \text{運転時の NO}_x \text{ 濃度}}{\text{局所攪拌空気吹込み設備設置前 3 年のデータ平均値}} \times 100$$

ただし、各濃度については 12 %O₂ 補正值とする。

以上の結果より、N₂O については砂層の不流動対策を実施した冬季試験のみで 50%削減を満足する結果となった。N₂O の発生源である脱水汚泥中の窒素含有率が年間を通してほぼ一定であること、脱水汚泥の発熱量は年間を通してほぼ一定であり、年間を通して冬季試験と同等の高温化が可能であることから、冬季の結果をもって本実証技術の性能とする。NO_x については低負荷条件において一部性能を満足することができなかったが、今後の共同研究において検討を進める予定である。また、今回の実証フィールドの汚泥中の窒素含有率は一般的汚泥性状よりも高いため、他の処理場においても今回評価された性能は確保されると考えられる。

1. 2. 3 実証設備効果

実証運転によって得られた運転データを基に、運転に必要な費用を算出し、経費回収年及び総費用(年価換算値)の縮減効果を試算した。加えてエネルギー削減効果、温室効果ガス削減効果についても各運転条件ごとに評価した。評価結果を以下に示す。

表資 1.2.3-1 試算結果一覧

処理規模 [wet-t/日] (固形物量) [ds-t/日]	60 (15.6)	100 (26.0)	150* (39.0)	200 (52.0)
投入熱量 [GJ/h]	7.9	11.7	17.0	22.7
費用回収年 [年]	39.2	17.9	12.0	9.8
総費用(年価換算値) 縮減効果 [%]	-6.0	-2.2	0.5	2.2
エネルギー削減効果 [%]	17.2	49.9	97.6	125
温室効果ガス削減効果 [%]	51.2	52.8	69.7	72.9

※150t/日については、実際の実証試験結果より試算を行った。

1. 実証研究結果

(1) コスト

試算によって得られた費用回収年及び総費用(年価換算値)縮減効果を以下に示す。さらに実証データから得られた推算式を用いて、60t/日、100t/日、200t/日の条件について推算を行い、規模の変化によるコスト構造の変化を確認した。なお、試算については § 10 評価項目に示した試算方法を用いて行い、発電による電力費削減効果及び白煙防止予熱器停止による点検費用、交換費用削減効果については導入効果として負の値で積算した。

表資 1.2.3-2 試算した費用回収年

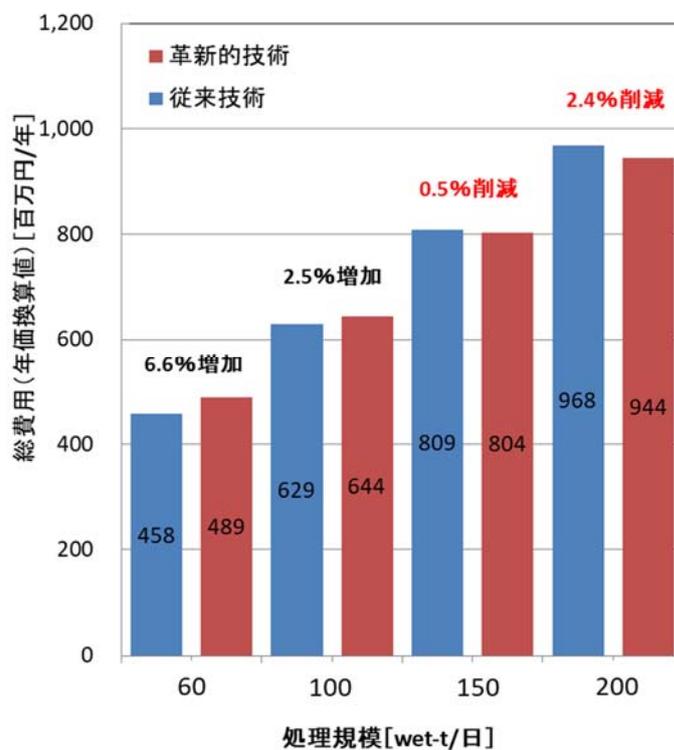
処理規模 [wet-t/日] (固形物量) [ds-t/日]	60 (15.6)	100 (26.0)	150* (39.0)	200 (52.0)
投入熱量 [GJ/h]	7.9	11.7	17.0	22.7
工事費 [百万円/年]	45.0	53.9	65.1	76.3
維持管理費 [百万円/年]	18.4	18.6	18.8	19.0
導入効果 [百万円/年]	-33.1	-57.1	-88.1	-119
費用回収年 [百万円/年]	39.2	17.9	12.0	9.8

※150t/日については、実際の実証試験結果より試算を行った。

表資 1.2.3-3 試算したコスト

処理規模 [wet-t/日] (固形物量) [ds-t/日]	60 (15.6)	100 (26.0)	150* (39.0)	200 (52.0)
投入熱量 [GJ/h]	7.9	11.7	17.0	22.7
従来技術	工事費 [百万円/年]	235	313	394
	維持管理費 [百万円/年]	224	315	414
	総費用(年価換算値) [百万円/年]	458	629	809
革新的技術	工事費 [百万円/年]	280	367	459
	維持管理費 [百万円/年]	242	334	433
	導入効果 [百万円/年]	-33.1	-57.1	-88.1
	総費用(年価換算値) [百万円/年]	489	644	804
総費用(年価換算値)縮減効果 [%]	-6.0	-2.2	0.5	2.2

※150t/日については、実際の実証試験結果より試算を行った。



図資 1.2.3-1 総費用(年価換算値)縮減効果

1. 実証研究結果

(2) エネルギー削減効果

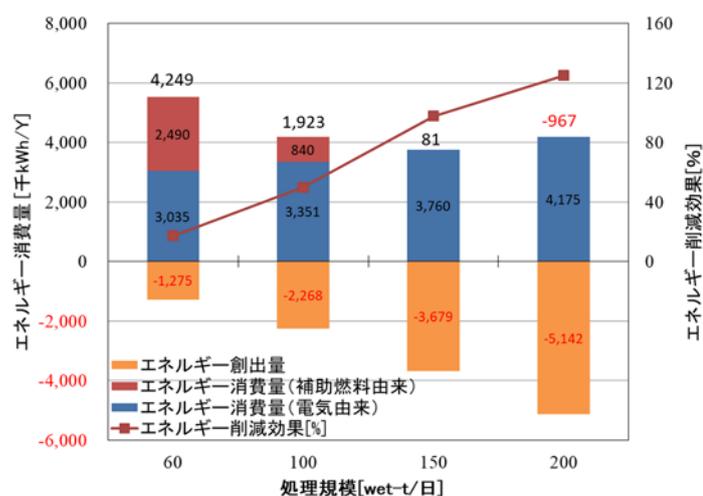
実証結果及び試算によって得られたエネルギー消費量及びエネルギー削減効果を以下に示す。さらに実証データから得られた推算式を用いて、60t/日、100t/日、200t/日の条件について推算を行い、規模の変化によるエネルギー削減効果の変化を確認した。

なお、試算については § 10 評価項目に示した試算方法を用いて行い、エネルギー創出量については、消費エネルギーを削減する効果を持つため、負の値として表記した。

表資 1.2.3-4 試算したエネルギー消費量

処理規模 [wet-t/日] (固形物量) [ds-t/日]		60 (15.6)	100 (26.0)	150* (39.0)	200 (52.0)
投入熱量 [GJ/h]		7.9	11.7	17.0	22.7
従来技術	エネルギー消費量(電気由来) [千 kWh/Y]	2,642	2,998	3,443	3,888
	エネルギー消費量(補助燃料由来) [千 kWh/Y]	2,490	840	0	0
	エネルギー消費量[千 kWh/Y]	5,582	3,838	3,443	3,888
革新的技術	エネルギー消費量(電気由来) [千 kWh/Y]	3,035	3,351	3,760	4,175
	エネルギー消費量(補助燃料由来) [千 kWh/Y]	2,490	840	0	0
	エネルギー創出量 [千 kWh/Y]	-1,275	-2,268	-3,679	-5,142
	エネルギー消費量[千 kWh/Y]	4,249	1,923	80.8	-967
エネルギー削減効果 [%]		17.2	49.9	97.6	125

※150t/日については、実際の実証試験結果より試算を行った。



図資 1.2.3-2 エネルギー消費量削減効果

(3) 温室効果ガス削減効果

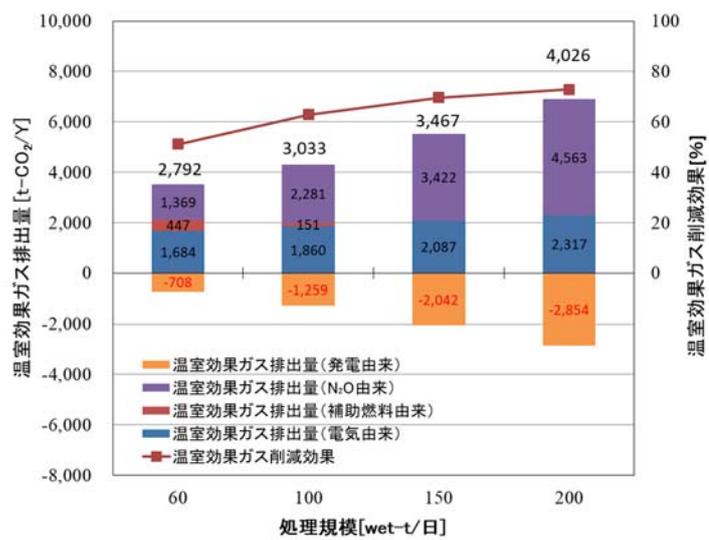
実証研究結果及び試算によって得られた温室効果ガス排出量及び温室効果ガス削減効果を以下に示す。さらに実証データから得られた推算式を用いて、60t/日、100t/日、200t/日の条件について推算を行い、規模の変化による温室効果ガス削減効果の変化を確認した。なお、試算については § 10 評価項目に示した試算方法を用いて行い、発電による温室効果ガス排出量は、発電によって得られた電力相当量の二酸化炭素を削減したものとして負の値として積算した。

表資 1.2.3-5 試算した温室効果ガス排出量

処理規模 [wet-t/日] (固形物量) [ds-t/日]		60 (15.6)	100 (26.0)	150* (39.0)	200 (52.0)
投入熱量 [GJ/h]		7.9	11.7	17.0	22.7
従来技術	温室効果ガス排出量(電気由来) [t-CO ₂ /Y]	1,466	1,664	1,911	2,158
	温室効果ガス排出量(補助燃料由来) [t-CO ₂ /Y]	447	151	0	0
	温室効果ガス排出量(N ₂ O 由来) [t-CO ₂ /Y]	3,806	6,343	9,514	12,686
	温室効果ガス排出量[t-CO ₂ /Y]	5,719	8,158	11,425	14,843
革新的技術	温室効果ガス排出量(電気由来) [t-CO ₂ /Y]	1,684	1,860	2,087	2,317
	温室効果ガス排出量(補助燃料由来) [t-CO ₂ /Y]	447	151	0	0
	温室効果ガス排出量(N ₂ O 由来) [t-CO ₂ /Y]	1,369	2,282	3,422	4,563
	温室効果ガス排出量(発電由来) [t-CO ₂ /Y]	-708	-1,259	-2,042	-2,854
	温室効果ガス排出量[t-CO ₂ /Y]	2,792	3,033	3,467	4,026
温室効果ガス削減効果[%]		51.2	62.8	69.7	72.9

※150t/日については、実際の実証試験結果より試算を行った。

1. 実証研究結果



図資 1.2.3-3 温室効果ガス排出量削減効果

1. 2. 4 分析結果

(1)汚泥分析結果

実証運転時に実施した汚泥分析の結果を以下に示す。

表資 1.2.4-1 汚泥分析結果(通常運転)

		春季平均	夏季平均	秋季平均	冬季平均
水分(%)		74.8	74.3	75.2	75.4
可燃分比率(%)		86.7	83.9	88.3	86.9
成分	C(%)	47.4	47.9	48.5	49.4
	H(%)	7.59	7.53	7.42	7.40
	O(%)	38.8	38.3	37.8	36.8
	S(%)	0.49	0.61	0.62	0.61
	N(%)	5.64	5.66	5.59	5.72
低位発熱量 (kJ/kg-DS)		17,300	17,020	18,013	18,010
高位発熱量 (kJ/kg-DS)		19,608	19,330	20,316	20,306

表資 1.2.4-2 汚泥分析結果(低含水)

		春季	夏季	秋季	冬季
水分(%)		71.7	71.6	72.9	73
可燃分比率(%)		86.8	87.3	87.3	87.4
成分	C(%)	47.2	49.1	48.9	49.0
	H(%)	7.69	7.57	7.19	7.40
	O(%)	39.0	36.7	37.4	37.2
	S(%)	0.51	0.57	0.63	0.59
	N(%)	5.59	5.97	5.86	5.67
低位発熱量 (kJ/kg-DS)		17,290	17,990	18,370	17,890
高位発熱量 (kJ/kg-DS)		19,598	20,300	20,673	20,187

1. 実証研究結果

(2) 排ガス分析結果

実証運転時に行った排ガス分析の結果を以下に示す。なお、排ガス分析は発電設備及び局所攪拌設備運転時に、集塵装置と排煙処理塔の間よりサンプリングを行い実施した。

① 春季

表資 1.2.4-3 汚泥分析結果(春季)

		低負荷	定格負荷	高負荷	低含水
湿りガス量	Nm ³ /h	16,200	15,600	20,300	20,600
乾きガス量	Nm ³ /h	10,600	10,900	13,400	13,000
排ガス温度	°C	186	188	212	219
排ガス静圧	kPa	-3.1	-3.2	-3.4	-3.5
排ガス流速	m/s	12.3	11.9	16.3	16.8
排ガス水分量	vol%	34.6	30.4	34.2	37
ダスト濃度	g/Nm ³	0.027	0.056	0.047	0.031
ダスト濃度(12%O ₂)	g/Nm ³	0.025	0.041	0.03	0.019
硫黄酸化物濃度	ppm	420	550	430	680
硫黄酸化物濃度(12%O ₂)	ppm	320	390	280	430
亜酸化窒素濃度	ppm	130	160	180	120
水銀濃度	μg/Nm ³	34	51	27	69
水銀濃度(12%O ₂)	μg/Nm ³	30	37	17	40
ガス状水銀濃度	μg/Nm ³	34	51	27	69
ガス状水銀濃度(12%O ₂)	μg/Nm ³	30	37	17	40
粒子状水銀濃度	μg/Nm ³	0.003 未満	0.003 未満	0.078	(0.0086)
粒子状水銀濃度(12%O ₂)	μg/Nm ³	0.003 未満	0.003 未満	0.05	(0.0052)
窒素酸化物濃度	ppm	86	48	27	12
窒素酸化物濃度(12%O ₂)	ppm	77	35	17	7
酸素濃度	%	11	8.6	6.9	6.1
CO ₂ 濃度	%	9.8	11.2	110	12.6
O ₂ 濃度	%	9.2	8.4	8.4	6
CO濃度	%	5 未満	5 未満	5 未満	5 未満
N ₂ 濃度	%	81.0	80.4	80.6	81.4

② 夏季

表資 1.2.4-4 汚泥分析結果(夏季)

		低負荷	定格負荷	高負荷	低含水
湿りガス量	Nm ³ /h	18,900	20,900	21,900	21,700
乾きガス量	Nm ³ /h	15,000	16,500	16,900	14,700
排ガス温度	°C	203	213	218	217
排ガス静圧	kPa	-3.6	-4	-5.3	-3.5
排ガス流速	m/s	14.9	17	18.2	17.6
排ガス水分量	vol%	20.5	21.2	22.9	32.3
ダスト濃度	g/Nm ³	0.26	0.31	0.45	0.24
ダスト濃度(12%O ₂)	g/Nm ³	0.22	0.21	0.3	0.16
硫黄酸化物濃度	ppm	340	590	540	550
硫黄酸化物濃度(12%O ₂)	ppm	300	400	350	380
亜酸化窒素濃度	ppm	210	130	220	70
水銀濃度	μg/Nm ³	34	34	23	27
水銀濃度(12%O ₂)	μg/Nm ³	30	23	15	18
ガス状水銀濃度	μg/Nm ³	34	34	22	27
ガス状水銀濃度(12%O ₂)	μg/Nm ³	30	23	15	17
粒子状水銀濃度	μg/Nm ³	0.011	0.4	0.42	0.17
粒子状水銀濃度(12%O ₂)	μg/Nm ³	0.01	0.26	0.28	0.11
窒素酸化物濃度	ppm	130	12	13	13
窒素酸化物濃度(12%O ₂)	ppm	110	8	9	9
酸素濃度	%	10.6	11	7.5	7.5
CO ₂ 濃度	%	8.6	7.8	114	11
O ₂ 濃度	%	10.8	7.8	7.6	8
CO濃度	%	10	5 未満	5 未満	5 未満
N ₂ 濃度	%	80.6	81.2	81.0	81.0

1. 実証研究結果

③ 秋季

表資 1.2.4-5 汚泥分析結果(秋季)

		低負荷	定格負荷	高負荷	低含水
湿りガス量	Nm ³ /h	19,700	21,400	22,500	22,400
乾きガス量	Nm ³ /h	13,600	13,400	15,500	15,600
排ガス温度	°C	208	205	206	219
排ガス静圧	kPa	-3.7	-4	-5.7	-3.6
排ガス流速	m/s	15.6	17	18.4	18.2
排ガス水分量	vol%	31.0	37.4	31.0	30.4
ダスト濃度	g/Nm ³	0.27	0.25	0.25	0.52
ダスト濃度(12%O ₂)	g/Nm ³	0.22	0.17	0.18	0.36
硫黄酸化物濃度	ppm	480	440	490	550
硫黄酸化物濃度(12%O ₂)	ppm	390	310	350	380
亜酸化窒素濃度	ppm	220	180	180	120
水銀濃度	μg/Nm ³	58	37	34	74
水銀濃度(12%O ₂)	μg/Nm ³	46	25	24	50
ガス状水銀濃度	μg/Nm ³	57	36	33	74
ガス状水銀濃度(12%O ₂)	μg/Nm ³	46	25	23	50
粒子状水銀濃度	μg/Nm ³	0.15	0.062	0.74	0.23
粒子状水銀濃度(12%O ₂)	μg/Nm ³	0.12	0.043	0.52	0.16
窒素酸化物濃度	ppm	24	12	12	28
窒素酸化物濃度(12%O ₂)	ppm	19	8	8	19
酸素濃度	%	9.7	8.1	8.2	7.8
CO ₂ 濃度	%	9.6	11.6	10.8	10.6
O ₂ 濃度	%	9.8	7.8	8.4	8.4
CO濃度	%	10	5未満	50	5未満
N ₂ 濃度	%	80.6	80.6	80.8	81.0

④ 冬季

表資 1.2.4-6 汚泥分析結果(冬季)

		低負荷	定格負荷	高負荷	低含水
湿りガス量	Nm ³ /h		17,900	32,000	16,400
乾きガス量	Nm ³ /h		11,500	18,900	11,000
排ガス温度	°C		208	220	201
排ガス静圧	kPa		-3	-5.2	-2.9
排ガス流速	m/s		14.2	26.6	12.8
排ガス水分量	vol%		35.6	40.9	33.2
ダスト濃度	g/Nm ³		0.37	1.2	0.33
ダスト濃度(12%O ₂)	g/Nm ³		0.23	0.73	0.21
硫黄酸化物濃度	ppm		590	790	660
硫黄酸化物濃度(12%O ₂)	ppm		370	480	420
亜酸化窒素濃度	ppm		180	130	33
水銀濃度	µg/Nm ³		67	55	71
水銀濃度(12%O ₂)	µg/Nm ³		43	33	45
ガス状水銀濃度	µg/Nm ³		67	54	71
ガス状水銀濃度(12%O ₂)	µg/Nm ³		43	33	45
粒子状水銀濃度	µg/Nm ³		0.13	0.57	0.097
粒子状水銀濃度(12%O ₂)	µg/Nm ³		0.087	0.35	0.061
窒素酸化物濃度	ppm		12	19	66
窒素酸化物濃度(12%O ₂)	ppm		8	12	42
酸素濃度	%		6.9	6.3	6.9
CO ₂ 濃度	%		12.2	13.0	12.2
O ₂ 濃度	%		6.8	6.4	6.6
CO濃度	%				
N ₂ 濃度	%		81.0	80.6	81.2

※ 定格負荷については局所攪拌停止時の排ガス分析データ

1.3 その他検証事項と提言

実証運転において判明した事項と提言について、以下の項目についてそれぞれ示す。

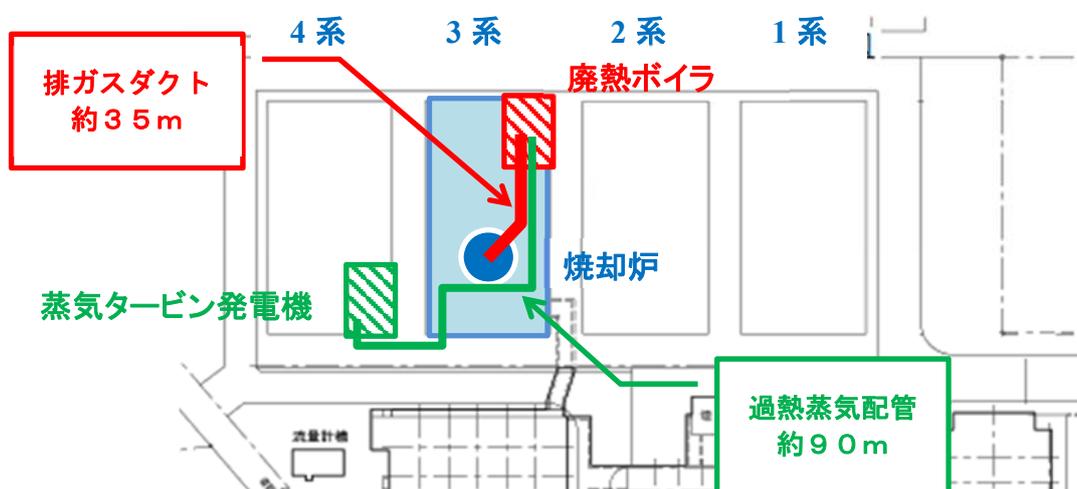
- 1.3.1 ダクト配管の放熱量について(熱損失の抑制対策)
- 1.3.2 復水器冷却水について(器内付着物の影響)
- 1.3.3 焼却炉流動不良について(革新的技術の性能に与える影響)
- 1.3.4 ダクト灰堆積について(切り替えダンパ操作時の留意点)
- 1.3.5 ボイラーストブロー洗浄頻度について(ボイラ内堆積灰の除去対策)
- 1.3.6 局所攪拌空気吹込み装置損傷について(革新的技術の改良)
- 1.3.7 脱水機低含水率運転について(汚泥低含水率化による発電効果と留意点)
- 1.3.8 革新的技術追加に際しての検討項目(既設電気設備への影響)

1.3.1 ダクト配管の放熱量について(熱損失の抑制対策)

通常の新設の焼却設備の場合、排熱回収に関する設備のダクトや配管は最短となるように配置等が最適に設計されるため、ダクトや配管からの放熱量は関連する機器の放熱量に含む形で計画を行うことができる。

一方、既存の焼却設備に廃熱回収に関する設備を追加設置する場合、配置上の制約を受けることとなるため、関連するダクトや配管を最短となるように設計を行うことが困難な場合が多い。この場合、関連するダクトや配管からの放熱量を別途考慮する必要がある。

今回の実証設備では、既存の焼却設備の追加設置を行ったため、焼却炉等から廃熱ボイラまでの排ガスダクトや廃熱ボイラから蒸気タービン発電機までの過熱蒸気配管のダクト長や配管長さが非常に長くなった。



図資 1.3.1-1 排ガスダクトおよび過熱蒸気配管の状況

しかし、実証設備の計画時において通常の焼却設備と同様に放熱量の検討を行ったため、ダクトや配管からの放熱量を十分に考慮することなく設備の建設が建設された。このため、放熱量が想定以上に大きな量となり、実証設備設置後に実施した実証試験の結果、発電性能が計画よりも大幅に低くなる一因となった。

そこで、ダクトおよび配管について表面温度の計測を実施して、放熱量の推定を行い、対策の検討をおこなった。

表資 1.3.1-1 排ガスダクトおよび過熱蒸気配管から熱損失の状況

推定原因	ダクト表面からの放熱	蒸気配管表面からの放熱
確認方法	表面温度計測、計算確認	表面温度計測、計算確認
状況確認	・計測確認 →表面温度 57～72℃、放熱量 849MJ/h、フランジ部で 100℃以上の高温部あり	・計測確認 →表面温度 32～40℃、放熱量 88MJ/h
対策検討	・保温強化 →①排ガスダクト(耐火物) 放散熱量を 1/2 とするためには現状 25mm の保温を 50mm 以上に変更 ②排ガスダクト 放散熱量を 1/2 とするためには現状 75mm の保温を 175mm 以上に変更	・保温強化 →放散熱量を 1/2 とするためには現状 50mm の保温を 125mm 以上に変更 →フランジ部分の保温の施工状況を確認し、必要な場合は保温の強化を行う

これらの問題を回避するためには、既存焼却設備に発電設備を追加設置する場合は、計画段階から個別の装置からの放熱量に加えて、ダクトや配管からの放熱量を考慮することが必要となる。

実証設備では保温の追加施工により保温厚みを増やすことで放熱量を削減し、発電量を向上させることで計画通りの発電性能を実現することができた。

表資 1.3.1-2 排ガスダクトおよび過熱蒸気配管から熱損失の抑制効果

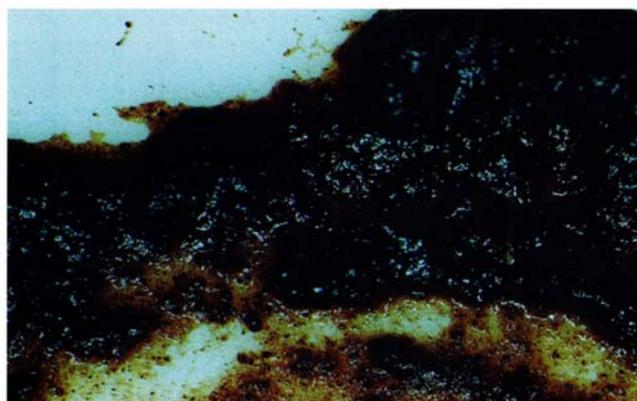
項目	排ガスダクト(耐火物)	排ガスダクト	過熱蒸気配管
対策	保温強化 25mm→50mm	保温強化 75mm→175mm	保温厚み変更 50mm→125mm
結果	放熱量 約 50%減		
発電出力への効果	約 18kWh		約 3kWh
発電出力への効果	約 0.5kWh/m (排ガスダクト)		約 0.03 kWh/m (過熱蒸気配管)

1. 3. 2 復水器冷却水について(器内付着物の影響)

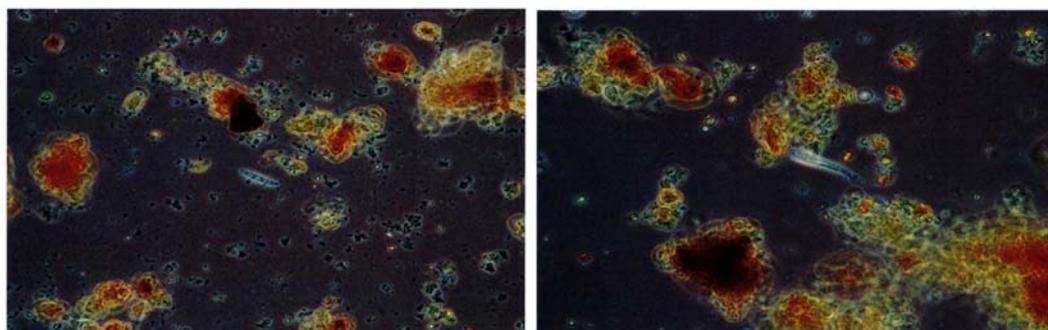
2018年10月に点検した所、冷却水側に付着物が確認された。放置を継続すると付着物が成長し、復水式タービン排気の復水が悪化する恐れがあるため、付着物の確認を行った。



図資 1.3.2-1 復水器冷却水側の状況



図資 1.3.2-2 付着物 拡大写真(28倍)



図資 1.3.2-3 付着物 顕微鏡写真 (200倍)

図資 1.3.2-3 より付着物は、プランクトンが含まれているものの強い腐食性の汚泥でない事が分かった。この付着物を避けるため定期点検時に器内の清掃を実施する。

1. 3. 3 焼却炉流動不良について(革新的技術の性能に与える影響)

局所攪拌空気量を増加させるためには、流動化空気を少なくする必要がある。ただしこの場合、流動状況が悪化し、砂層温度のばらつきや燃え殻(不燃物)の堆積等、安定した操業に支障が出る場合がある。

実証運転で、砂層温度のばらつきが確認され、局所攪拌空気量を増加出来ない場合があった。

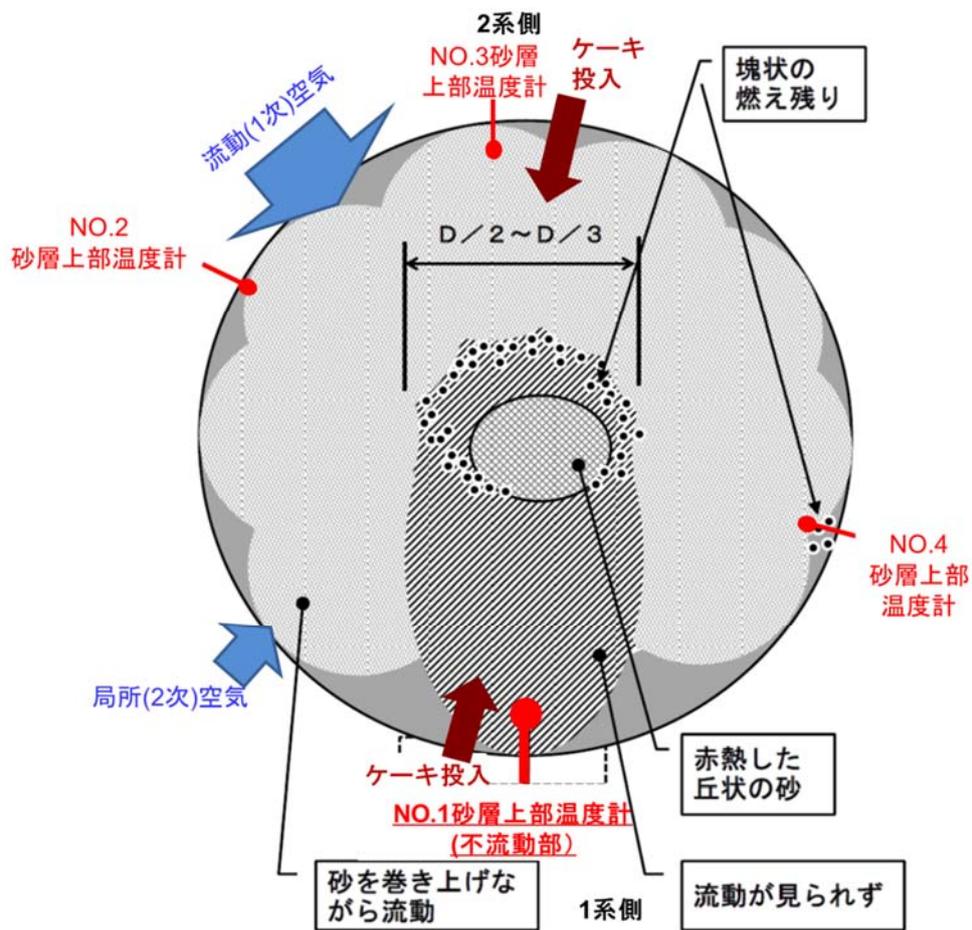
砂抜き後の炉内状況確認、クリンカは確認されなかったものの多数の燃え残りを確認した。その結果、多量燃え残りの影響による砂層不流動と推定できる。原因は、計量コンベア異常時の過剰投入と推定した。

<参考:不流動の実績>

- ・運転立上げ時砂の敷き均し不十分(再度敷き均し、立上げにより解消)
- ・装置的には熱交換器不具合による1件のみ

2018年10月30日 停止直後に状況を確認した(砂層流動時)。焼却炉頂から砂層の一部(No.1砂層上部温度計付近)に流動不良状態を確認した。

その直後、操業を停止した直後に点検した結果を次に示す。



図資 1.3.3-1 炉内調査結果



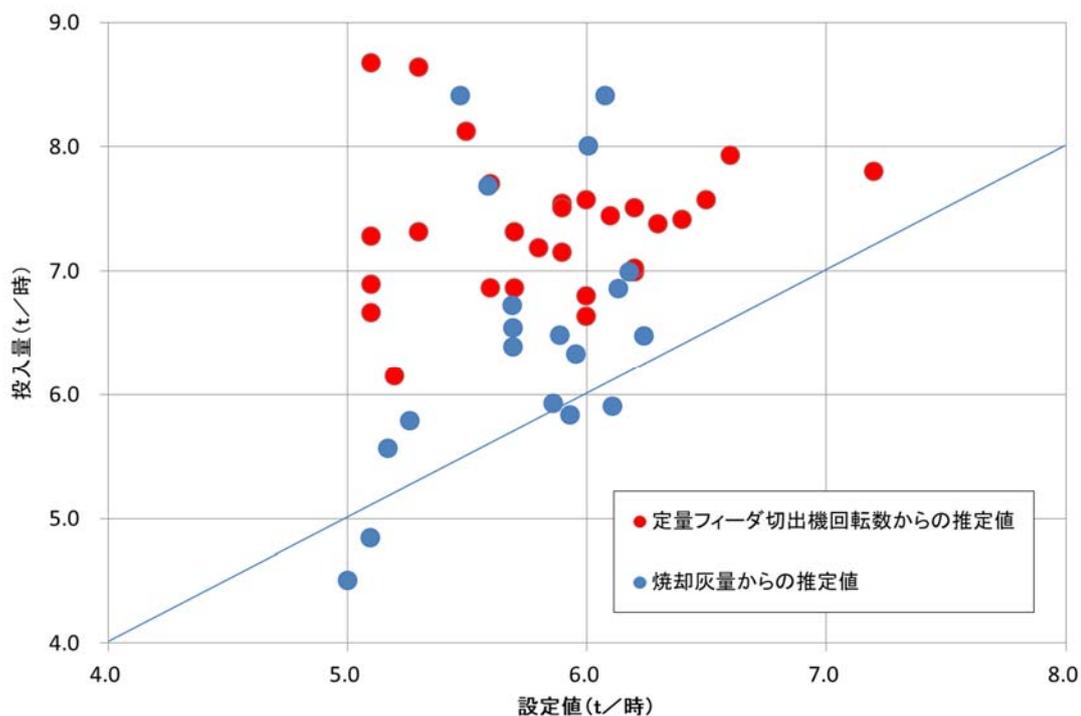
図資 1.3.3-2 燃え殻

1. 実証研究結果

原因を計量コンベヤ異常時の過剰投入と推定したのは、次の通り、①散気装置には異常が無かったこと、②投入量の定量フィーダ切出機回転数からの推定値および焼却灰量からの推定値が設定値を超える値となっていたことからである。



図資 1.3.3-3 炉内点検状況(清掃後 異常無し)



図資 1.3.3-4 計量コンベヤ異常時の投入量の推定値

なお、流動砂の状況によって砂入替えの必要がある。

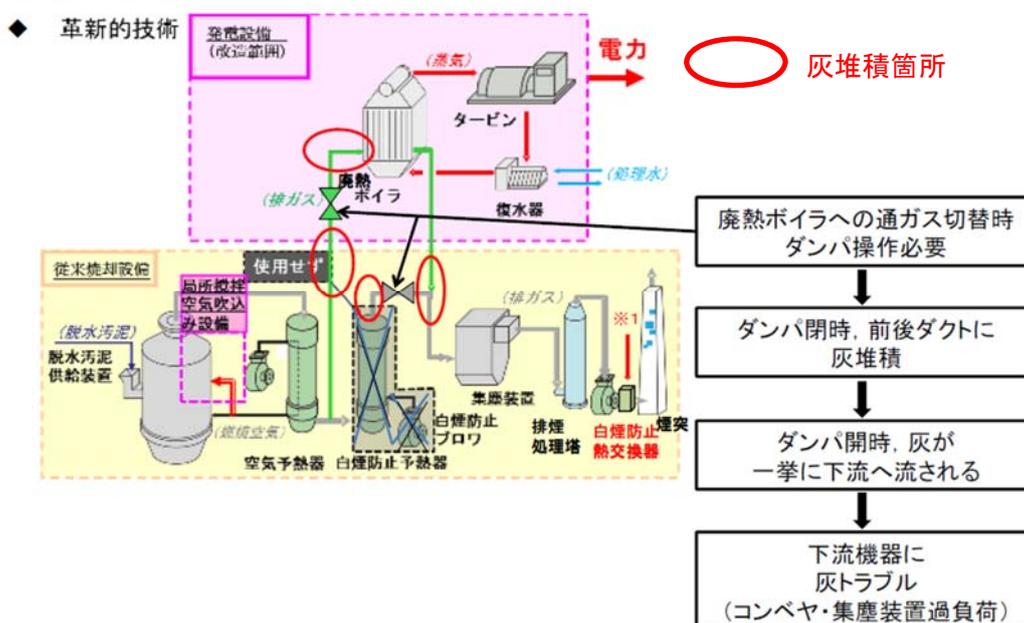
工場によって毎年交換から、2～3年毎の交換をしている実績が有る。炉(対象汚泥)に合わせた維持管理が必要である。

1.3.4 ダクト灰堆積について(切り替えダンパ操作時の留意点)

廃熱ボイラへの通ガス切替時には排ガスラインを切り替えるためにダンパ操作が必要である。ボイラを使用していない場合(革新的技術を適用していない状況)ダンパは閉である。この時、ダンパ前後ダクトに灰が堆積してしまう。(ダンパは完全密閉が困難なため、わずかな排ガス流れに伴った灰が徐々に堆積する。)

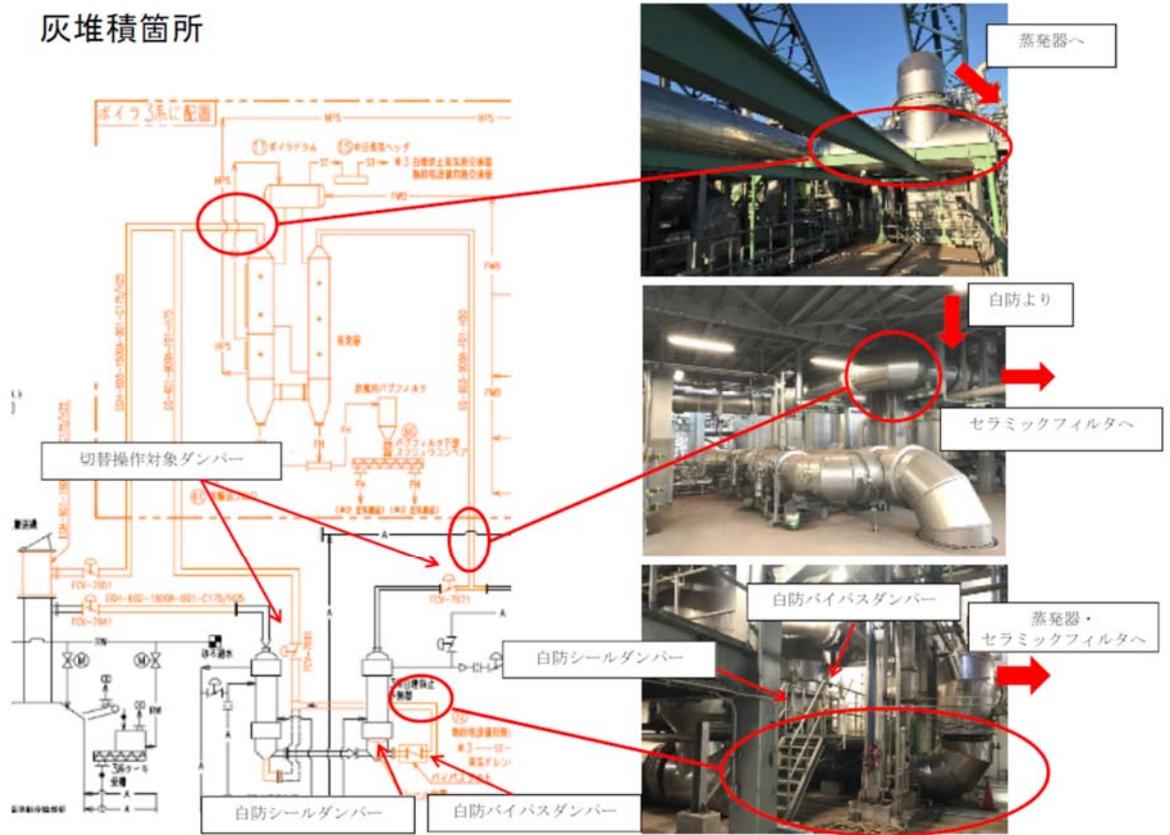
廃熱ボイラを使用開始する時にダンパを開くが、その時、堆積していた灰が一举に下流へ流される。その場合、下流機器に灰トラブル(コンベヤ・集塵装置過負荷)が発生する。

水平ダクト部における灰堆積 発電開始時トラブル



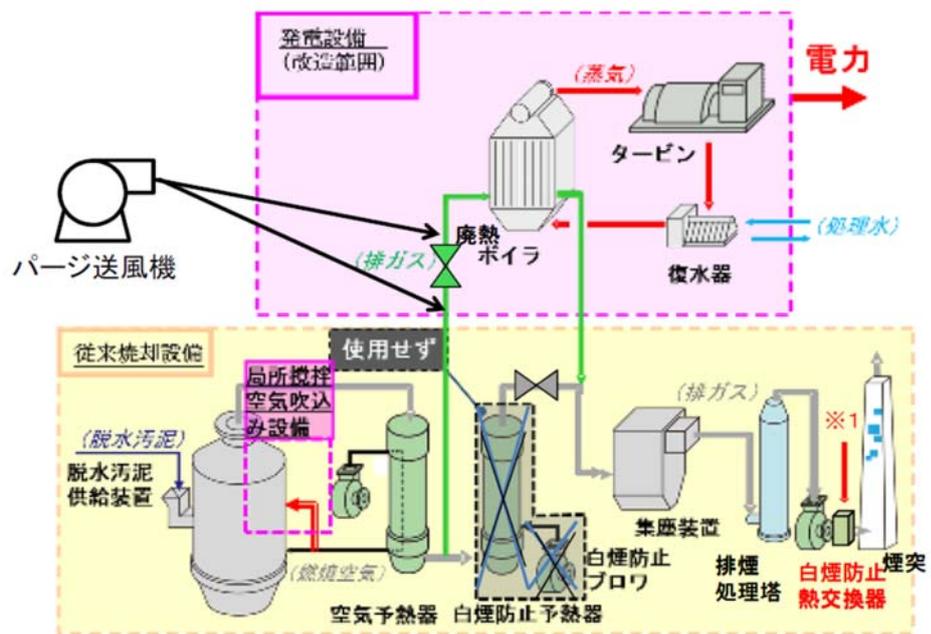
図資 1.3.4-1 水平ダクト部における灰堆積

灰堆積箇所



図資 1.3.4-2 水平ダクト部における灰堆積場所

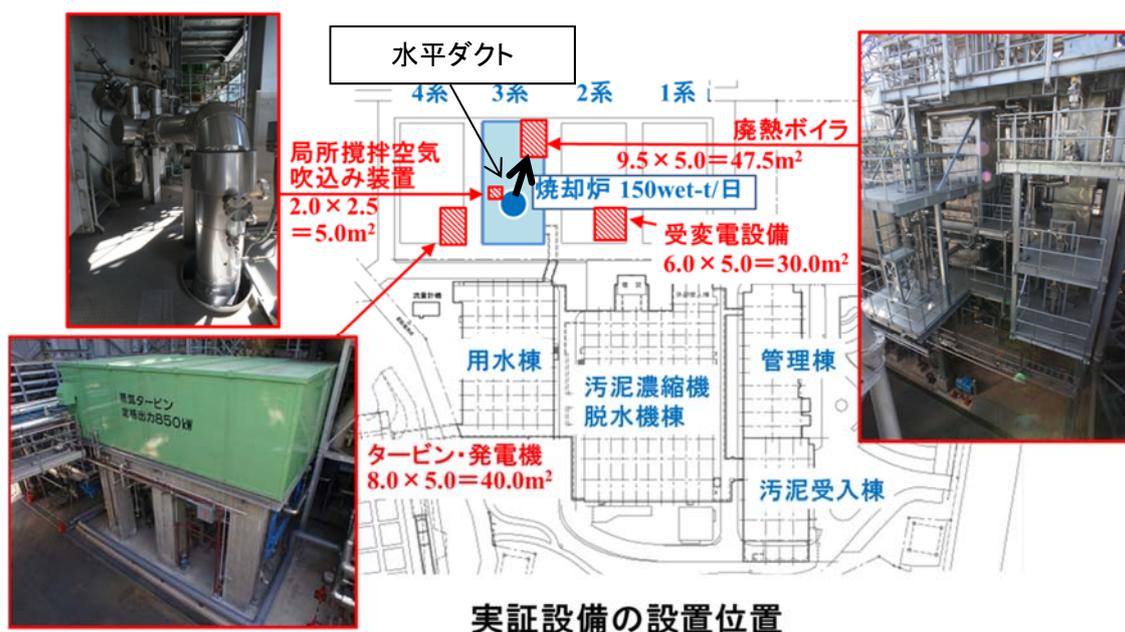
このトラブルを避けるためには、水平部に灰堆積が発生しない様にパージ(通ガスしていない間、ダンパからのリークを防ぐ)する事が必要である。



図資 1.3.4-3 水平ダクト部における灰堆積対策

なお、発電焼却設備を追加設置する場合には、上記のような対策を考える必要がある。これは追加設置の場合、追加機器の配置に既存機器からの制約が有り、水平の排ガスダクトが発生する事が避けられないからである。

発電焼却設備を新設する場合には、極力水平ダクトを設けない様にする事が重要である。



図資 1.3.4-4 追加設置する場合の水平ダクト

1.3.5 ボイラーストブロー洗浄頻度について(ボイラ内堆積灰の除去対策)

今回の実証試験においては、灰の除去に実績が十分な蒸気式ストブローを採用した。ボイラーストブローの洗浄頻度は、万一のボイラ灰閉塞を回避するために、安全側に頻度を多くして1回/4時間とした。(実際はボイラ水管が汚れないために1回/1週間程度とすることを検討している。)

一方、廃熱ボイラから発生する蒸気を発電に極力利用するためには、蒸気式ストブローの使用頻度を下げるか、蒸気を使用しない灰除去装置を設置する事が好ましい。1回/1週間程度の実施頻度にする事ができれば、ストブローによる発電量への影響はほぼ無視できるものと考えられる。

表資 1.3.5-1 廃熱ボイラの灰除去装置 (汚泥焼却対応)

	メリット	デメリット
ストブロー (蒸気式、実証運転で使用)	灰払落し効果が高い	蒸気を使用するので、 発電量が減少
ストブロー (圧縮空気式)	蒸気を使用しないので、 発電量が増加	灰払落し効果が 若干低い
ノッカー (圧縮空気式)	蒸気を使用しないので、 発電量が増加	灰払落し効果が 低い

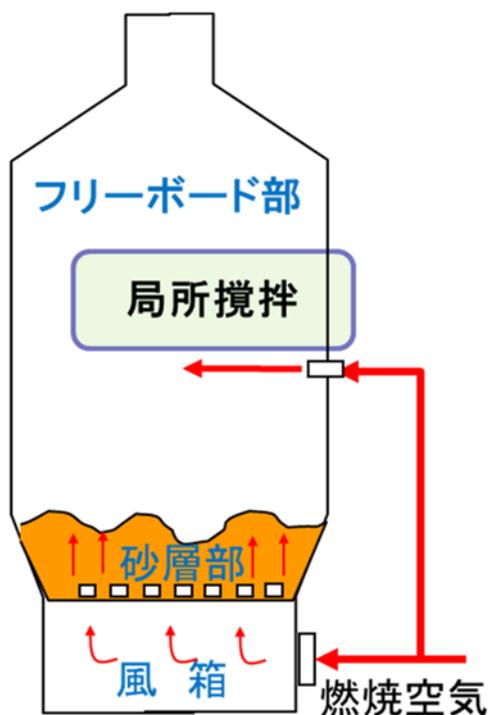
一方、今回の試験で停止前に168時間、ストブローを動作させずボイラでの灰閉塞状況を確認した。その結果、灰の状況に問題無く168時間までストブロー間隔を広げることが出来る事が分かった。

今後の自主研究において、他種類の廃棄物等を対象としたボイラを調査し、ストブロー(圧縮空気式)やノッカーの使用が出来ないかを検討する。

1.3.6 局所攪拌空気吹込み装置損傷について(革新的技術の改良)

排ガス性状を改善するため、今回の実証では局所攪拌空気吹込み装置を設置した。

これは、ノズル入口バルブ開度の調整で、空気が通過する格子数(面積)を限定できるため、汚泥性状変動等で空気量変化時にバルブの制御で流速制御が可能と出来るものである。



図資 1.3.6-1 局所攪拌空気吹込み装置

2018年10月の休炉時に炉内確認した所、下図に示す通り、流速調整用格子板がはがれていた。



図資 1.3.6-2 流速調整用格子板損傷状況

1. 実証研究結果

砂抜き後の炉内では、下のものが回収・確認された。



図資 1.3.6-3 流速調整用格子板回収物

対策として、格子を強化した対策品に交換し、その後の試験を実施した。



図資 1.3.6-4 流速調整用格子板(対策品)

1.3.7 脱水機低含水率運転について(汚泥低含水率化による発電効果と留意点)

近年の脱水機は性能向上が進み、脱水汚泥含水率は低下する傾向にある。また、高効率発電技術の発電量向上には、脱水汚泥の含水率を低減させることは更なるエネルギー利用効果が期待できるため、焼却設備の観点からは高効率汚泥脱水機を導入する事は望ましい。

一方で、汚泥の低含水化は既設汚泥搬送の形式によって注意が必要となる場合がある。例えば、配管圧送で汚泥を焼却炉へ供給している既設設備では、低含水汚泥化した汚泥をそのまま配管圧送する事は難しい場合が多く、既設汚泥圧送ポンプの性能を上回るような配管圧損の発生も予想される。この場合、増加した配管内圧力を逃がすため、汚泥圧送配管に滑剤注入装置などを追加する必要がある。また、汚泥搬送距離と圧損によっては既設汚泥圧送ポンプの形式や、圧送配管の耐圧レンジを上げる必要があるなど、汚泥搬送設備全体としての再検討が必要になる場合があることも留意したい。

そこで、本試験では焼却設備の観点から、低含水率汚泥による焼却発電への効果を確認すべく、実証設備で焼却処分している下水汚泥について、机上試験・実機試験によりポリマ種類と含水率の関係を調査し、現状より含水率を低減できる凝集剤を選定した。また、本試験で既設脱水機を交換する事は現実的に困難であり、また既設ポリマは濃縮・脱水の兼用となるため、貯槽内の使用ポリマをすべて入れ替える事は難しい。そこで、今回は脱水機で使用するポリマを限定的に変えることにより、汚泥の低含水率化を行い焼却発電の運転試験を実施した。なお、既設汚泥搬送設備はコンベヤで構成されており、特に改造工事を行わず試験を実施した。

以上を踏まえ、四季の試験より夏季試験を例として以下に示す。

・表資 1.3.7-1 は既設ベルトプレス脱水機の設定変更をまとめたものである。

表資 1.3.7-1 脱水機通常運転から設定変更した主な条件

調整箇所	通常時 → 試験時
下ろ布緊張圧力	2.5kgf/cm ² → 3.0kg/cm ²
布速度	6～10 目盛(平均 8 程度) → 7 目盛
泥供給量	8～13 m ³ /h(平均 10m ³ /h 程度) → 10.5 m ³ /h
薬注率	0.45 %～0.6 % → 0.4 %～0.8 %

1. 実証研究結果

・表資 1.3.7-2 の含水率測定用の汚泥サンプルは 2 つ(No. 1、No. 2)採取する事とした。
 なお、表の赤色部は、ポリマ効果が現れた時刻である。

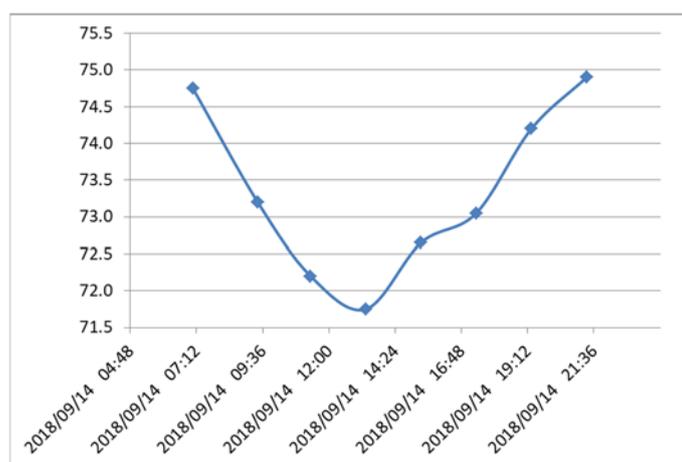
表資 1.3.7-2 夏季低含水率試験 含水率変化

夏季試験	No. 1	No. 2	平均
2018/09/14 07:04	76.3	73.2	74.8
2018/09/14 09:25	73.2	-	73.2
2018/09/14 11:20	72.1	72.3	72.2
2018/09/14 13:20	71.7	71.8	71.8
2018/09/14 15:20	71.4	73.9	72.7
2018/09/14 17:20	72.9	73.2	73.1
2018/09/14 19:20	74.3	74.1	74.2
2018/09/14 21:20	74.7	75.1	74.9

注1)7:00 試験ポリマに変更

注2)含水率は焼却炉前でゲットにて測定

(定量ホoppaによる既設汚泥との混合時間遅れ有)



図資 1.3.7-1 夏季低含水率試験 含水率変化

・図資 1.3.7-1 で示す通り、ポリマ効果が現れている時間帯の汚泥含水率は、試験開始時の含水率に比べ、3.2～3.3 ポイントの低下が確認された。

つづけて、表資 1.3.7-3 および、表資 1.3.7-4 に低含水率汚泥が焼却炉へ投入されている時の高効率小型復水式タービンの発電状況を以下に示す。なお、この低含水運転時は、既設炉内フリーボード部・炉出口部の温度上昇といった、炉内焼却排ガスの温度上昇が起こり、既設焼却炉の後段にある既設熱交換器(空気予熱器)保護のため、炉頂より水を連続噴霧し試験を実施した。

表資 1.3.7-3 夏季低含水率試験 含水率変化表

RUN	期間	確認項目	焼却量 (wet-t/日)		含水率 (%)		
			想定	実績	想定	実績	
夏季	2-1	8/27~28	低負荷運転	120	120	74	73~76
	2-2	9/3~4	定格運転	150	150	74	72~74
	2-3	8/30~9/1	高負荷運転	160~170	165	74	74~76
	2-4	9/14	低含水運転	140	136	72	72~73
	2-5	9/19~	NOxブランク	150	150	74	74

表資 1.3.7-4 夏季低含水率試験 含水率変化表

高効率発電技術 RUN	結果	
	発電出力(kW)	発電量(kWh/ds-t)
1-1	230	192
1-2	420	272
1-3	545	323
1-4	690	424
2-1	290	229
2-2	605	360
2-3	514	301
2-4	730	454

以上のとおり、低含水の汚泥を焼却する場合に、既設焼却炉の焼却排ガス温度が大きく上昇する事を確認した。これは、焼却炉内の熱量増加を示しており、実際に高効率発電技術で更なる発電が可能な状態となったといえる。

なお、既設焼却炉で低含水率汚泥運転を実施する場合は、後段にある既設熱交換器の排ガス温度設計値を超えるような排ガス温度になる可能性もある。この場合、後段設備の保護装置(炉頂水噴霧スプレー連続噴霧状態の最適化・能力アップ、他)など、必要な対応を考慮しておく。

このように、汚泥の低含水率化は、先で述べた汚泥搬送設備の適正化検討、炉内焼却排ガス温度上昇等、様々な焼却設備の条件変更が起こり得るが、発電効率向上へ大きく影響することが分かった。

1.3.8 革新的技術追加に際しての検討項目(既設電気設備への影響)

革新的技術の追加設置に当たり、受電設備や制御盤等の改造が必要となる。その際に検討が必要な項目と、実証フィールドにおける対応を以下に示す。

1) 高効率発電設備

高効率発電設備の設置に当たっては、既存設備との取り合い点となる遮断器盤、高圧受電設備及び発電機盤、発電機遮断器盤、タービン起動盤等の大型の盤設置が必要となる。設置を検討する施設の電気室内に設置可能なスペースがあれば電気室内に設置するのが望ましいが、設置スペースがない場合は盤を屋外仕様とし、屋外への設置を検討する。

実証フィールドにおいては、電気室内への設置が難しかったため、高圧線の取り合い遮断器のみ、既設設備の予備盤を利用し電気室内に設置し、高圧受電設備から発電機遮断器盤までの各盤を屋外設置とした。表資 1.3.8-1 に実証フィールドにおいて設置した各盤の寸法を例として示す。

表資 1.3.8-1 実証フィールドにおける各盤寸法

名称	寸法(W×H×D)	備考
焼却蒸気タービン盤(遮断器盤)	-	既設設備との責任分界点、 既設予備盤を利用
高圧受電設備	3,600×2,500×2,100	補機類用の変電設備を含む
タービン起動盤	1,900×2,700×1,000	タービン操作用
発電機盤	1,100×2,700×1,500	発電機操作用
発電機遮断器盤	1,100×2,700×2,300	

その他補機類の現場制御盤については、通常の焼却設備と同様に各設備の近傍に設置する。実証フィールドにおいても各補機類の近傍に設置した。

2) 局所攪拌空気吹込み設備

局所攪拌空気吹込み設備の制御盤については、その他補機類の現場制御盤と同様に、局所攪拌空気吹込み設備の近傍に設置する。実証フィールドにおいても、局所攪拌空気吹込み設備の近傍に設置した。

2. 簡易算定式

2.1 建設費簡易算定式

(1) ボイラ1基に対してタービン1基を設置する場合

4つの処理規模(60wet-t/日、100 wet-t/日、150 wet-t/日、200 wet-t/日 各1炉構成)の試算結果(資料編3. ケーススタディ参照)を基に、直線近似を行ったものを、建設費の算定式とした。表資 2.1-1 にボイラ1基に対してタービン1基を設置する場合の各設備の建設費算定式を示す。また、図資 2.1-1~5 にボイラ1基に対してタービン1基を設置する場合の各設備の規模と建設費の関係を示す。

表資 2.1-1 革新的技術導入時の建設費算定式(ボイラ1基:タービン1基)

項目		単位	算出式
発電設備	設備新設に合わせて新設の場合	百万円	$y=2.15x+326$
	発電設備のみ追加設置の場合		$y=2.42x+340$
電気設備	設備新設に合わせて新設の場合		$y=0.311x+53.3$
	発電設備のみ追加設置の場合		
土木設備	設備新設に合わせて新設の場合		$y=0.134x+6.58$
	発電設備のみ追加設置の場合		
局所攪拌 空気吹込 み設備	設備新設に合わせて新設の場合		$y=0.0142x+0.791$
	局所攪拌空気吹込み設備のみ追加設置の場合		

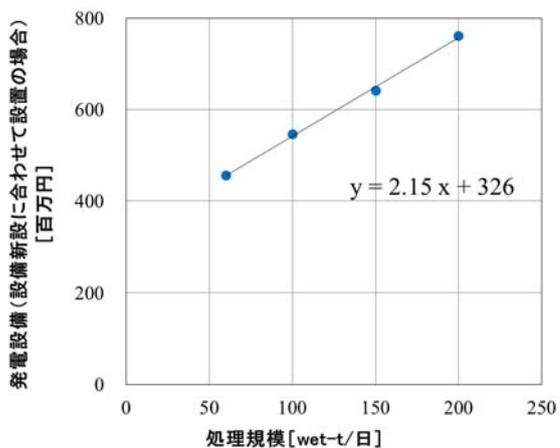
※x:汚泥投入量(wet-t/日)、y:建設費(百万円)、焼却炉1基を対象とする。

備考

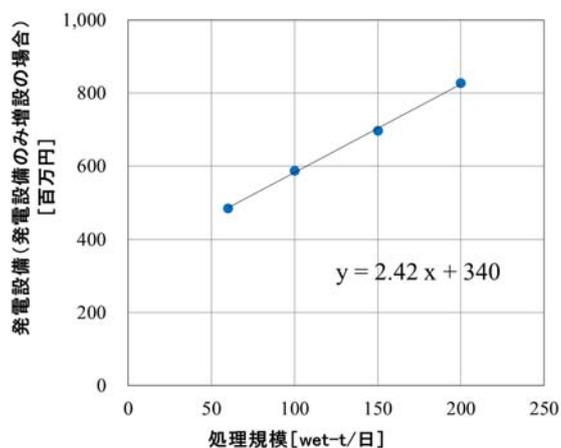
1. 発電設備のみ増設の場合には、排ガスダクトや蒸気配管が設備新設に合わせて設置する場合より長くなるため、建設費が大きくなる。ダクト/配管長は今回の実証設備で計上した。
2. 電気設備、土木設備は、発電設備の設置が設備新設時か増設かに関わらず、同一費用とした。これは、必要となる仮設費用を発電設備に計上したためである。
3. 建設費の対象範囲

発電設備	: 廃熱ボイラ/ポンプ/復水設備/純水設備 ・ 発電設備(タービン一式)・取合ダクト/配管
局所攪拌空気吹込み設備	: ノズル・ダンパ類
電気設備	: 発電設備に関わる受配電/制御/計装設備
土木設備	: 発電設備に関わる基礎
4. 局所攪拌空気吹込み設備のみを考える場合の電気設備/土木設備建設費は、吹込み設備が無い場合からの増額は考慮の必要無い。(設備がダクト/ダンパ類の増加だけのため。)

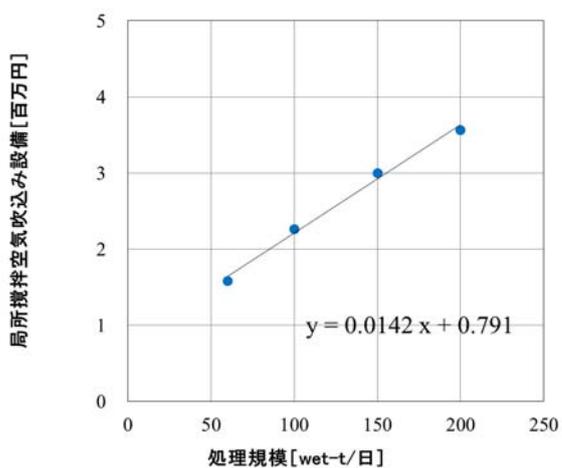
2. 簡易算定式



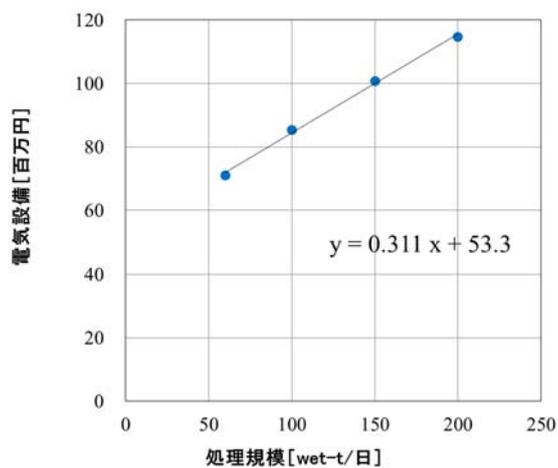
図資 2.1-1 発電設備建設費
(設備新設に合わせて設置の場合)



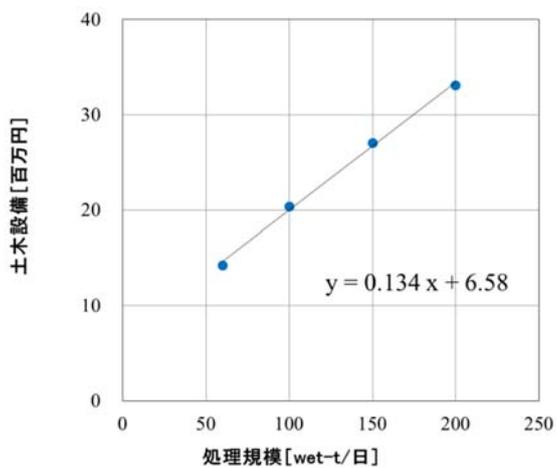
図資 2.1-2 発電設備建設費
(発電設備のみ増設の場合)



図資 2.1-3 局所攪拌空気吹込み設備



図資 2.1-4 電気設備



図資 2.1-5 土木設備

(2)ボイラ2基に対してタービン1基を設置する場合

4つの処理規模(60wet-t/日、100 wet-t/日、150 wet-t/日、200 wet-t/日 各1炉構成)の試算結果(資料編3. ケーススタディ参照)を基に、直線近似を行ったものを、建設費の算定式とした。表資 2.1-2 にボイラ2基に対してタービン1基を設置する場合の各設備の建設費算定式を示す。また、図資 2.1-6～10 にボイラ2基に対してタービン1基を設置する場合の各設備の規模と建設費の関係を示す。

表資 2.1-2 革新的技術導入時の建設費算定式(ボイラ2基:タービン1基)

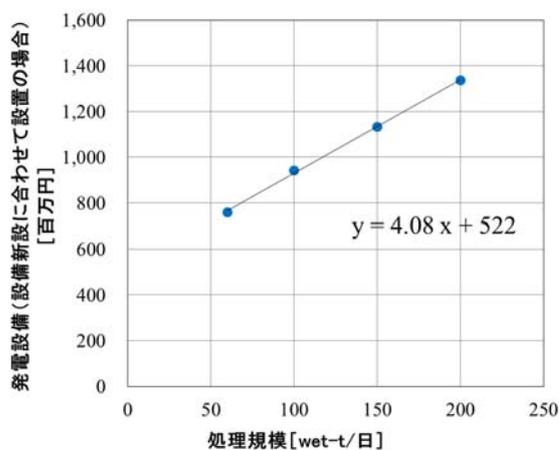
項目		単位	算出式
発電設備	設備新設に合わせて新設の場合	百万円	$y=4.08x+522$
	発電設備のみ追加設置の場合		$y=4.62x+548$
電気設備	設備新設に合わせて新設の場合		$y=0.622x+107$
	発電設備のみ追加設置の場合		
土木設備	設備新設に合わせて新設の場合		$y=0.268x+13.2$
	発電設備のみ追加設置の場合		
局所攪拌 空気吹込 み設備	設備新設に合わせて新設の場合		$y=0.0284x+1.58$
	局所攪拌空気吹込み設備のみ追加設置の場合		

※x:汚泥投入量(wet-t/日)、y:建設費(百万円)、焼却炉1基を対象とする。

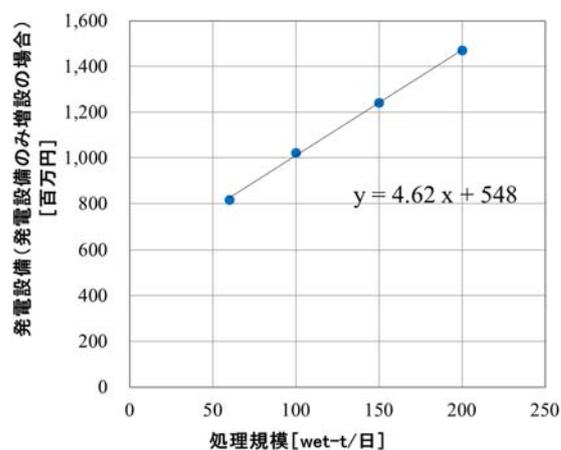
備考

1. 廃熱ボイラ2基に対してタービン1基を設置する場合の費用については、機械設備費、電気設備費、土木建築費、局所攪拌空気吹込み設備費をそれぞれ2倍し、タービン1基分の設備費を除いたものとする。
2. 発電設備のみ増設の場合には、排ガスダクトや蒸気配管が設備新設に合わせて設置する場合より長くなるため、建設費が大きくなる。ダクト/配管長は今回の実証設備で計上した。
3. 電気設備、土木設備は、発電設備の設置が設備新設時か増設かに関わらず、同一費用とした。これは、必要となる仮設費用を発電設備に計上したためである。
4. 建設費の対象範囲
 - 発電設備 : 廃熱ボイラ/ポンプ/復水設備/純水設備・
取合ダクト/配管 各2式
・発電設備(タービン一式)1式
 - 局所攪拌空気吹込み設備 : ノズル・ダンパ類 各2式
 - 電気設備 : 発電設備に関わる受配電/制御/計装設備 各2式
 - 土木設備 : 発電設備に関わる基礎 各2式
5. 局所攪拌空気吹込み設備のみを考える場合の 電気設備/土木設備建設費は、吹込み設備が無い場合からの増額は考慮の必要無い。(設備がダクト/ダンパ類の増加だけのため。)

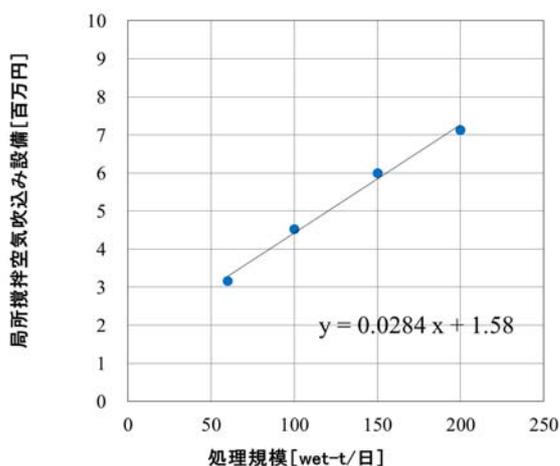
2. 簡易算定式



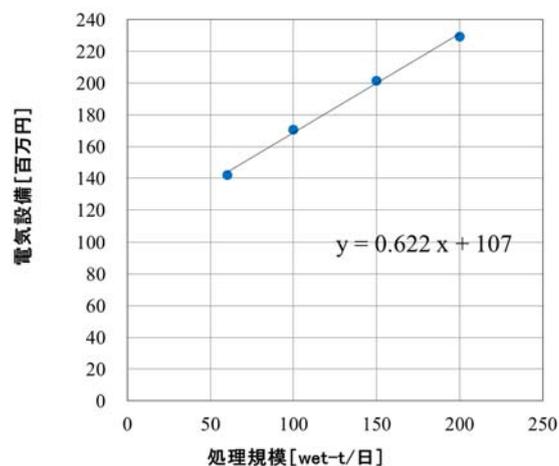
図資 2.1-6 発電設備建設費
(設備新設に合わせて設置の場合)



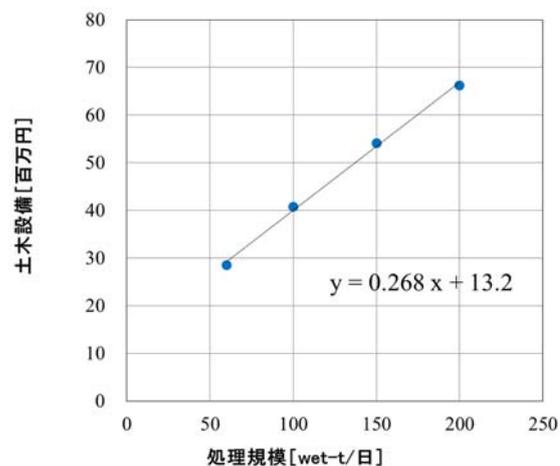
図資 2.1-7 発電設備建設費
(発電設備のみ増設の場合)



図資 2.1-8 局所攪拌空気吹込み設備



図資 2.1-9 電気設備



図資 2.1-10 土木設備

2.2 ユーティリティ消費量算定式

実証結果および収支計算を元に、直線近似を行ったものをユーティリティ消費量の算定式とした。
表資 2.2-1 に各ユーティリティの消費量の算定式を示すとともに、各々の算出根拠を示す。

表資 2.2-1 革新的技術導入時のユーティリティ消費量算定式

項目	単位	算出式	算出根拠
消費電力量(焼却設備)	kWh	$y=1.12 x_1+266$	実証結果
消費電力量(発電設備)	kWh	$y=0.119 x_1+65.1$	実証結果
発電電力量(上記以外)	kWh	$y=33.1 x_2-102$	収支計算・容量計算
薬品使用量	m ³ /h	$y=(0.0150 x_1+0.737)$	収支計算
上水使用量	m ³ /日	$y=(0.0274 x_1+1.35)$	収支計算

※ x_1 :汚泥投入量(wet-t/日) x_2 :投入熱量(GJ/h)

y:消費電力量、発電電力量または使用量

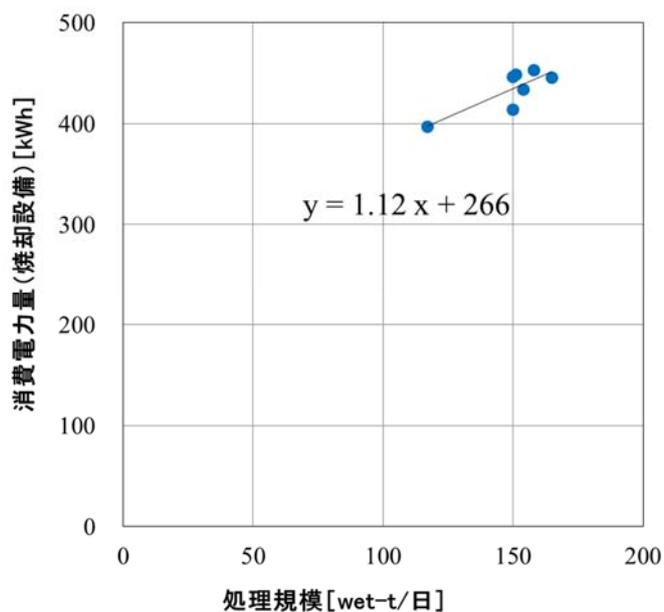
備考

- 局所攪拌空気吹込み設備のみを考える場合の ユーティリティーは、吹込み設備が無い場合からの増額は考慮の必要無い。(設備がダクト/ダンパ類の増加だけのため。)

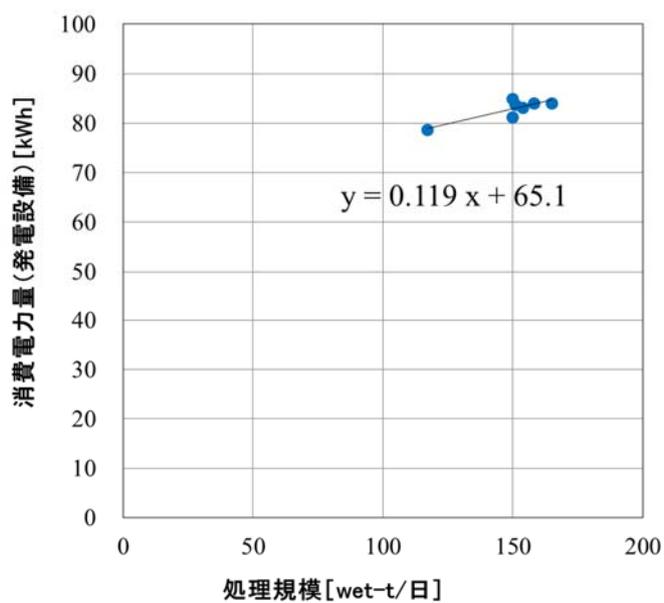
2. 簡易算定式

(1) 消費電力量

各汚泥投入量に対する焼却設備及び発電設備の消費電力量の実証結果を基に、直線近似を行ったものを、使用電力の算定式とした。図資 2.2-1 に処理規模と消費電力量(焼却設備)の関係、図資 2.2-2 に処理規模と消費電力量(発電設備)の関係を示す。



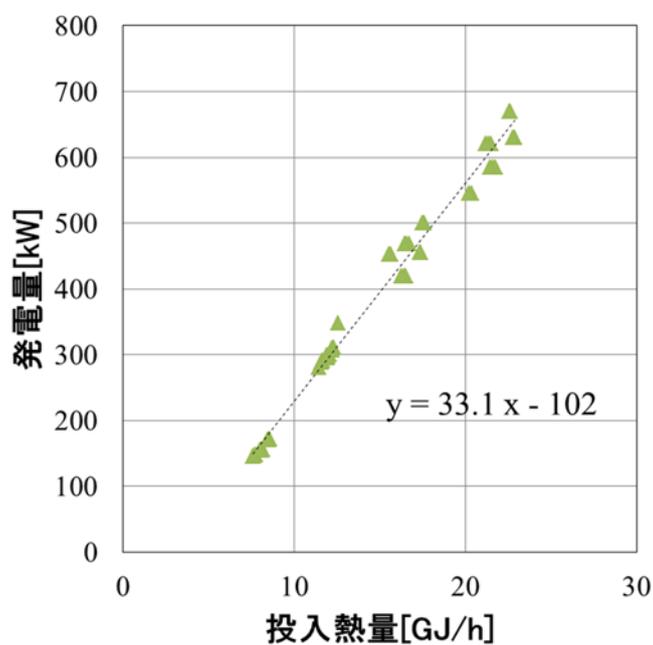
図資 2.2-1 処理規模と消費電力量(焼却設備)



図資 2.2-2 処理規模と消費電力量(発電設備)

(2) 発電電力量

収支計算・容量計算結果および実証研究結果に基づいて、投入熱量に対する発電量の直線近似を行い、それぞれ算定式とした。図資 2.2-3 に投入熱量と発電電力の関係を示す。



図資 2.2-3 投入熱量と発電量

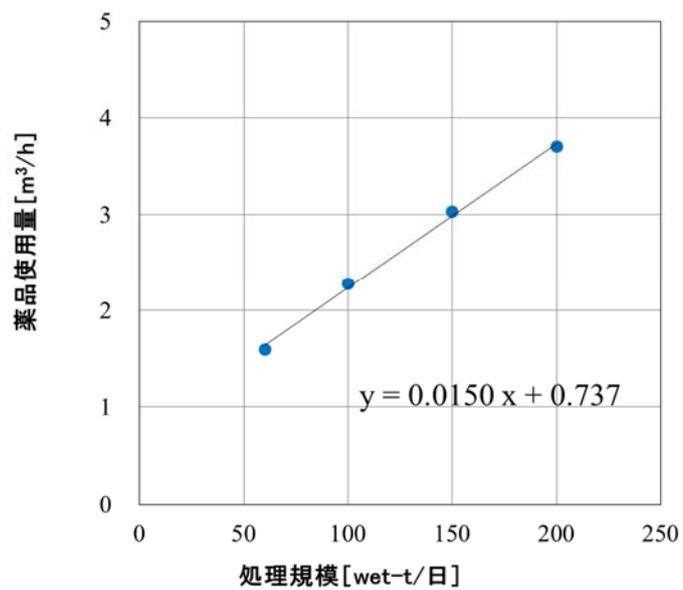
(3) 薬品使用量

汚泥投入量 150wet-t/日における薬品使用量は、収支計算より 3.03m³/h である。この値について、0.7 乗則により前後の汚泥投入量における薬品使用量を推算したものを表資 2.2-2 に示す。これに対して直線近似を行ったものを薬品使用量の算定式とした。図資 2.2-4 に処理規模と薬品使用量の関係を示す。

表資 2.2-2 処理規模と薬品使用量

処理規模 (wet-t/日)	60	100	150	200
薬品使用量 (m ³ /h)	1.59	2.28	3.03	3.71

2. 簡易算定式



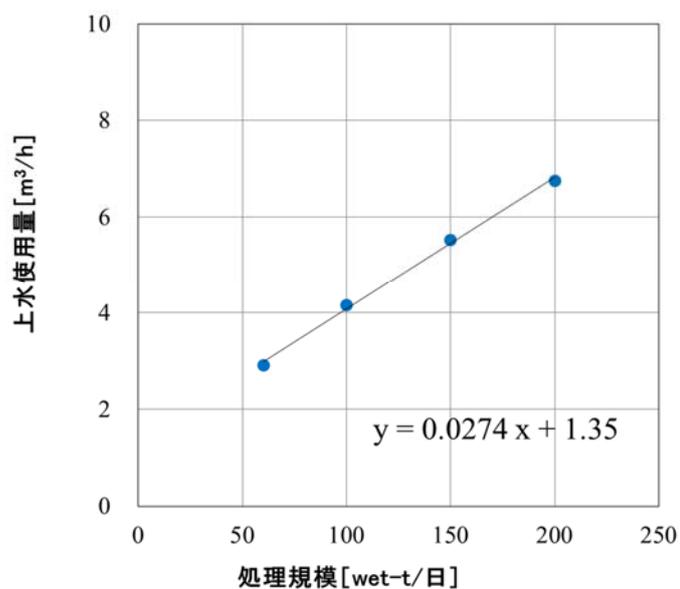
図資 2.2-4 処理規模と薬品使用量

(4) 上水使用量

汚泥投入量 150wet-t/日における上水使用量は、収支計算より 5.53m³/日である。この値について、0.7 乗則によって前後の汚泥投入量における上水使用量を推算したものを表資 2.2-3 に示す。これに対して直線近似を行ったものを上水使用量の算定式とした。図資 2.2-5 に処理規模と上水使用量の関係を示す。

表資 2.2-3 処理規模と上水使用量

処理規模 (wet-t/日)	60	100	150	200
上水使用量 (m ³ /日)	2.91	4.16	5.53	6.76



図資 2.2-5 処理規模と上水消費量

2. 簡易算定式

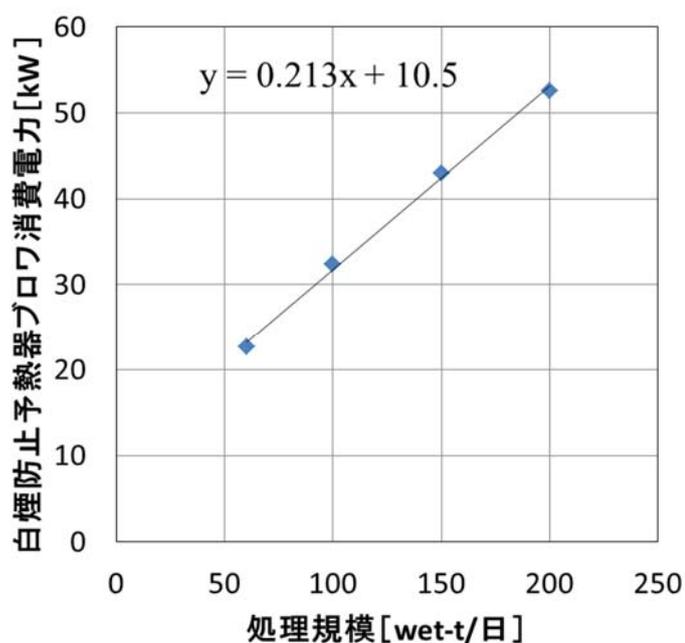
(5) その他導入効果

廃熱ボイラ導入に伴い、白煙防止予熱器を設置しない、もしくは休止するため、白煙防止ブロワ分の消費電力が焼却設備の消費電力量からその他導入効果として除くものとする。

汚泥投入量 150wet-t/日としたときの白煙防止ブロワの消費電力は43kWである。この値について、0.7乗則により前後の汚泥投入量における白煙防止ブロワの消費電力をを推算したものを表資 2.2-4 に示す。これに対して直線近似したものを白煙防止ブロワの消費電力の算定式とした。図資 2.2-6 に処理規模と白煙防止ブロワの消費電力の関係を示す。

表資 2.2-4 処理規模と白煙防止ブロワ消費電力

処理規模(wet-t/日)	60	100	150	200
消費電力(kW)	23	32	43	53



図資 2.2-6 処理規模と白煙防止ブロワ消費電力

2.3 点検補修費算定式

(1) 発電設備

汚泥投入量 150wet-t/日の設備において、発電設備の主要機器である蒸気タービンおよび廃熱ボイラ設備の15年間分の保守点検費用の合計を年平均し、18百万円/年の点検補修費がかかるとした。(点検補修費用として、タービン設備、ボイラ設備等一式の年次点検平均費用を算出対象とした。)

なお、発電設備の保守点検費は設備規模が変化しても大きく変わらないと考えられるため、施設規模によらず、同価格として計上するものとする。

(2) その他導入効果

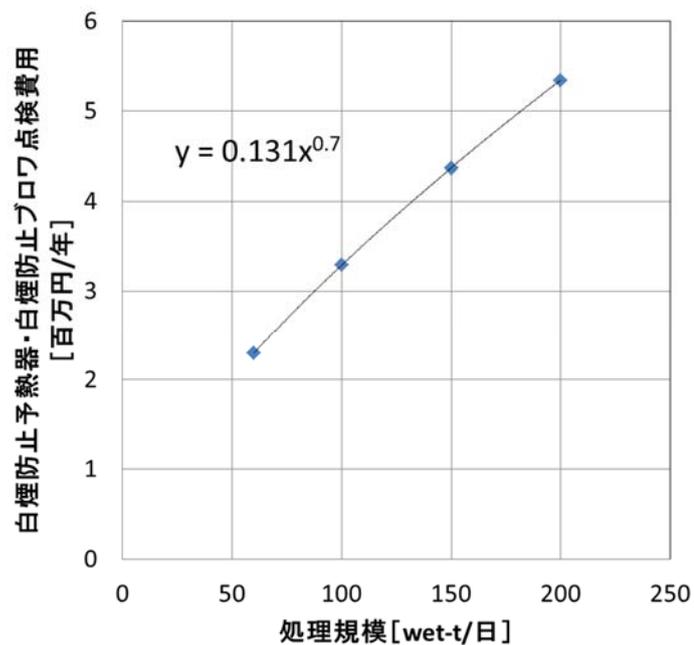
廃熱ボイラ導入に伴い、白煙防止予熱器を設置しない、もしくは休止するため、白煙防止ブロワ及び白煙防止予熱器の点検・整備費と、白煙防止予熱器の更新費用を点検・整備費から除くものとする。

汚泥投入量 150wet-t/日としたときの白煙防止予熱器及び白煙防止ブロワの点検費用を 4.37 百万円/年、白煙防止予熱器の更新工事費用を 333 百万円とし、10年に一度交換を実施するものとして、1年あたりの更新費用を 33.3 百万円/年とした。これらの値について、0.7 乗則により前後の汚泥投入量における白煙防止ブロワの点検費用及び白煙防止予熱器の点検・更新費用を推算したものを表資 2.3-1 に示す。これに対して直線近似したものを白煙防止ブロワ及び白煙防止予熱器の点検・整備費の算定式、白煙防止予熱器更新費用の算定式とした。図資 2.3-1 に処理規模と白煙防止ブロワ及び白煙防止予熱器の点検・整備費用の関係、図資 2.3-2 に処理規模と白煙防止予熱器の更新費用の関係を示す。

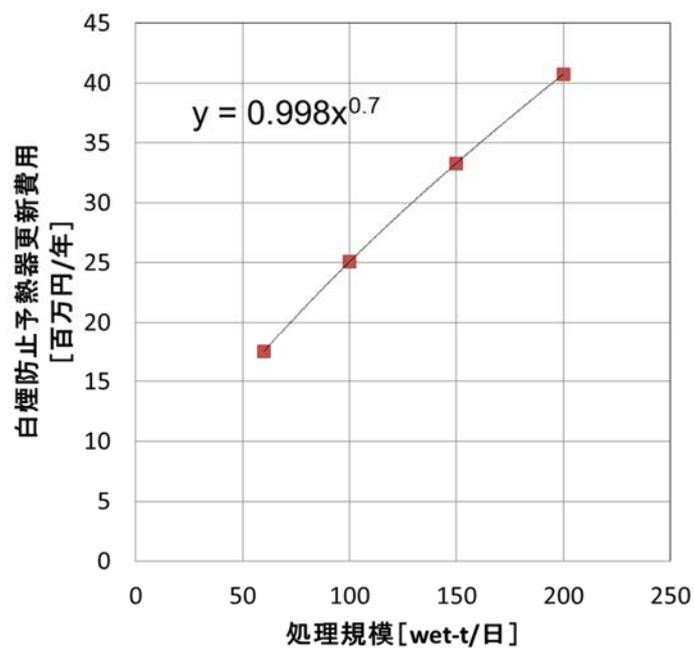
表資 2.3-1 処理規模と白煙防止ブロワ、白煙防止予熱器点検整備費の関係

処理規模 (wet-t/日)	60	100	150	200
点検整備費 (百万円/年)	2.3	3.3	4.4	5.3
白煙防止予熱器更新費用 (百万円/年)	17.5	25.1	33.3	40.7
その他導入効果合計 (百万円/年)	19.8	28.4	37.7	46.1

2. 簡易算定式



図資 2.3-1 処理規模と白煙防止ブロワ及び白煙防止予熱器の点検・整備費用の関係

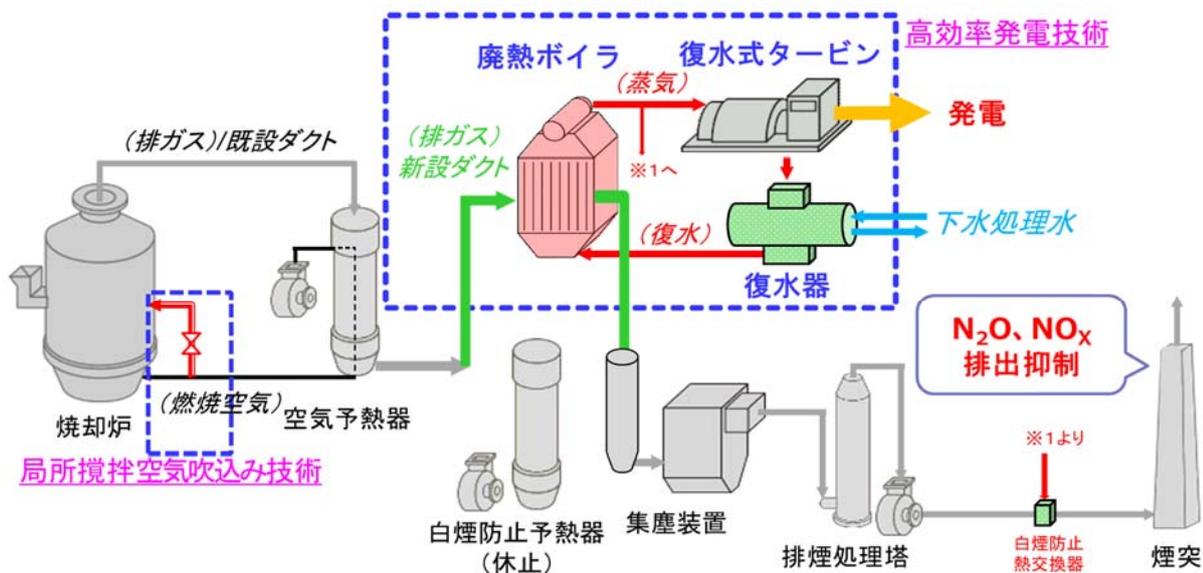


図資 2.3-2 処理規模と白煙防止予熱器の更新費用の関係

2.4 フロー、配置

1) フロー

本技術のフロー図を図資 2.4-1 に示す。



図資 2.4-1 フロー図(追加設置の場合)

上図は、既設炉に追加設置する場合である。

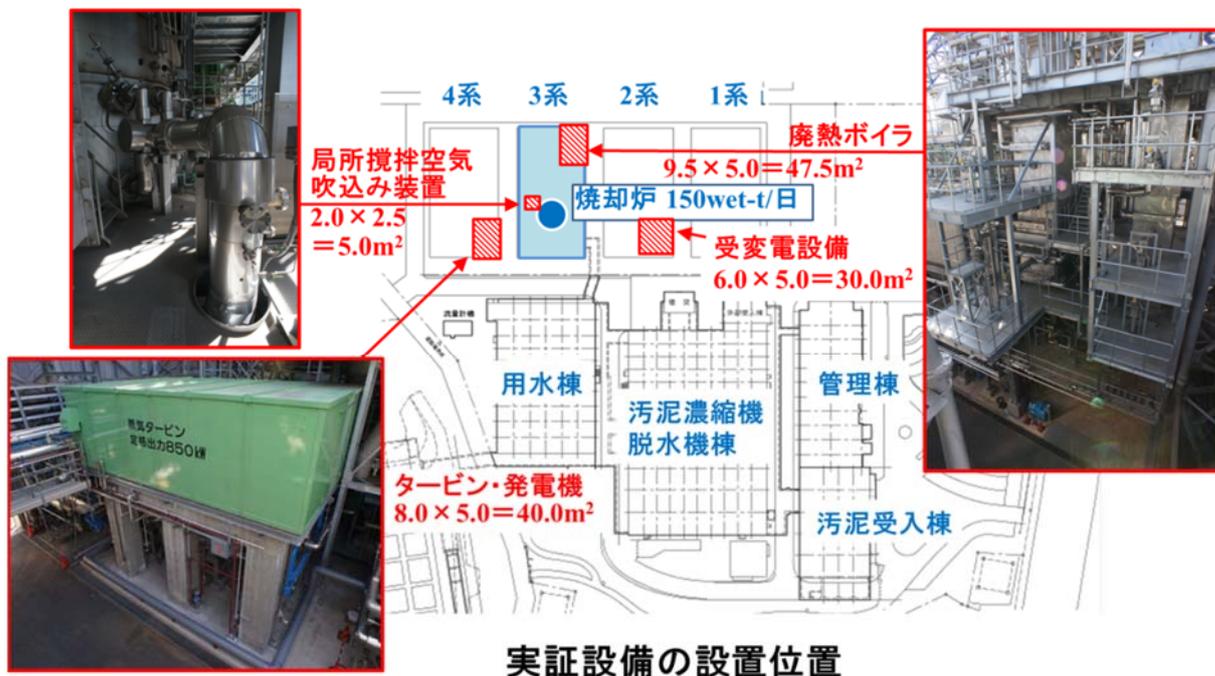
一括新設する場合には、白煙防止予熱器が不要となり、廃熱ボイラからの蒸気で排ガスを昇温させる白煙防止熱交換器を設置すれば良い。

2. 簡易算定式

2) 配置

① 本実証試験時

実証試験時の配置を下図に示す。



図資 2.4-2 配置図(実証試験時)

備考

1. 蒸気タービン発電機は、実証試験では設置場所がタービン発電機メンテナンス工場の至近であった為、メンテナンス時の取出し部品置場や部品整備スペースを省いている。このため、標準的なスペースより狭くなっている。
2. 廃熱ボイラは、実証試験では設置場所に高さ制約があるため、ボイラを2つのパスに分割しており、標準的なスペースより平面設置範囲が広がっている。

② 本文 §9 導入シナリオで示した条件毎の設備規模

4つの処理規模(60wet-t/日、100 wet-t/日、150 wet-t/日、200 wet-t/日)や汚泥性状/補助燃料種類/設備数により、導入シナリオを設定した。

それぞれの導入シナリオ毎に配置を検討出来る様に、

廃熱ボイラ

蒸気タービン発電機

局所攪拌空気吹込み装置

焼却設備への発電設備の配置

の標準的配置例を示す。

表資 2.4-1 シナリオ毎設備規模等

シナリオ 1					
-「高効率発電焼却技術」、「局所攪拌空気吹込み技術」を一括追加設置-					
No.	規 模	汚泥性状	補助燃料	設備数	備考
1-1	60(wet-t/日)[16(ds-t/日)]	混合生汚泥	都市ガス	1	
1-2	100(wet-t/日)[26(ds-t/日)]				
1-3	150(wet-t/日)[39(ds-t/日)]				低含水率混合生汚泥
1-4					
1-5		消化汚泥	消化ガス	1	
1-6			灯油		
1-7					
1-8	200(wet-t/日)[52(ds-t/日)]	混合生汚泥	都市ガス		
シナリオ 2					
-「高効率発電焼却技術」、「局所攪拌空気吹込み技術」を一括新設(もしくは更新設置)-					
2	150(wet-t/日)[39(ds-t/日)]	混合生汚泥	都市ガス	1	
シナリオ 3					
-「高効率発電焼却技術」を追加設置後、「局所攪拌空気吹込み技術」を 設備更新時に段階追加設置-					
3	150(wet-t/日)[39(ds-t/日)]	混合生汚泥	都市ガス	1	

表資 2.4-2 シナリオ毎廃熱ボイラ・発電設備規模

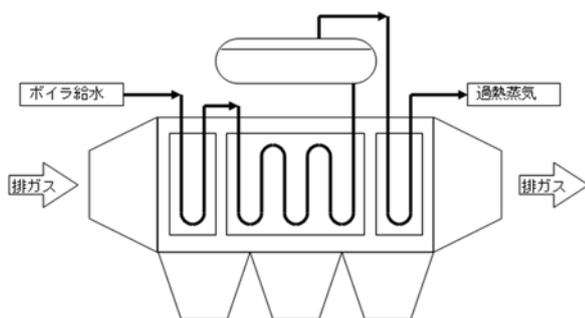
No.	規模 [wet-t/日]	蒸気量(廃熱ボイラ規模) [t/h]	発電量(発電設備規模) [kW]	備考
1-1	60	1.36	161	
1-2	100	2.03	287	
1-3	150	3.12	430	
1-4	150×2 炉	3.12×2 炉	1,025	
1-5	150	3.54	486	
1-6	150	3.10	478	
1-7	150	3.23	454	
1-8	200	4.20	649	
2	150 (新設)*	3.12	430	
3	150	3.12	430	

* 特記外:追加設置

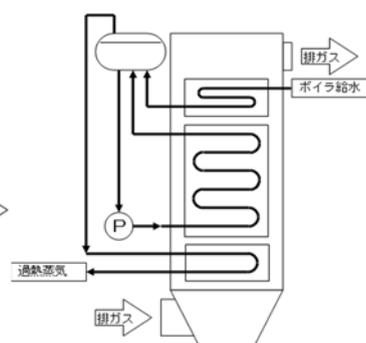
③ 廃熱ボイラ

熱源となる排ガス中のダストが多い廃棄物焼却設備に設置する廃熱ボイラには、運転中のダストの除去が比較的容易な水管式ボイラが採用される。水管式ボイラには、一般的に広く用いられている横型と、設置面積が少なくてすむ比較的小規模の設備に用いられる縦型がある。横型の場合、小型のものを除いて自然循環式が採用されるが、縦型の場合、自然循環が困難なため循環ポンプによる強制循環が行われることが多い。

また、発電に用いる蒸気は、乾燥等の熱源として用いる飽和蒸気ではなく飽和蒸気をさらに過熱した過熱蒸気を使用される。このため、発電用の廃熱ボイラは、ボイラへの給水を予熱するエコノマイザ（予熱器、節炭器）とボイラ本体に加えて、スーパーヒーター（過熱器）が設置される。

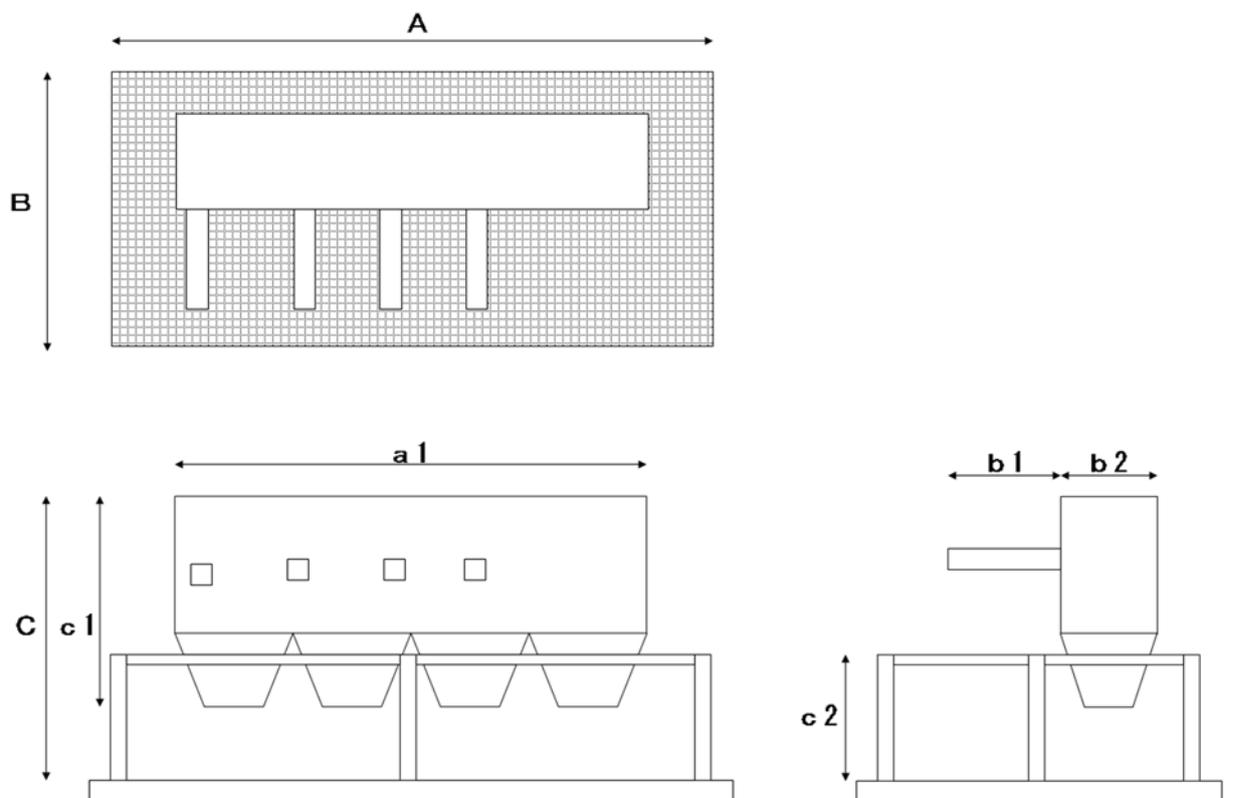


図資 2.4-3 横型ボイラ



図資 2.4-4 縦型ボイラ

(i) 横型



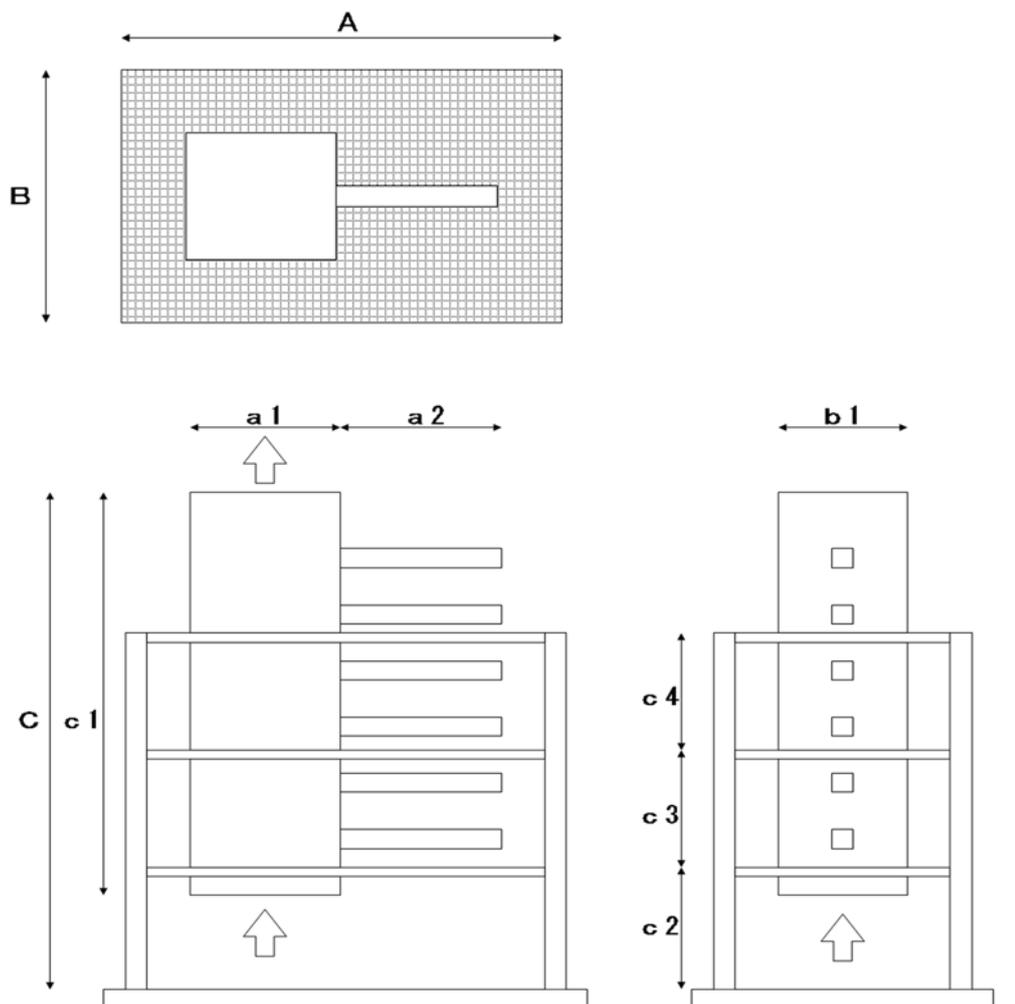
図資 2.4-5 廃熱ボイラ(横型)の標準的な配置例

表資 2.4-3 設備容量ごとの標準的な寸法例

(mm)

設備容量	60、100 [wet-t/日] (蒸気量~5.0t/h)	150、200 [wet-t/日] (蒸気量 5~10.0t/h)	備考
A	15,000	17,000	
a1	12,500	14,500	
B	10,000	12,000	
b1	2,500	4,500	
b2	3,000	4,000	
C	8,000	10,000	
c1	7,000	8,500	
c2	5,000	5,000	

(ii) 縦型



図資 2.4-6 廃熱ボイラ(縦型)の標準的な配置例

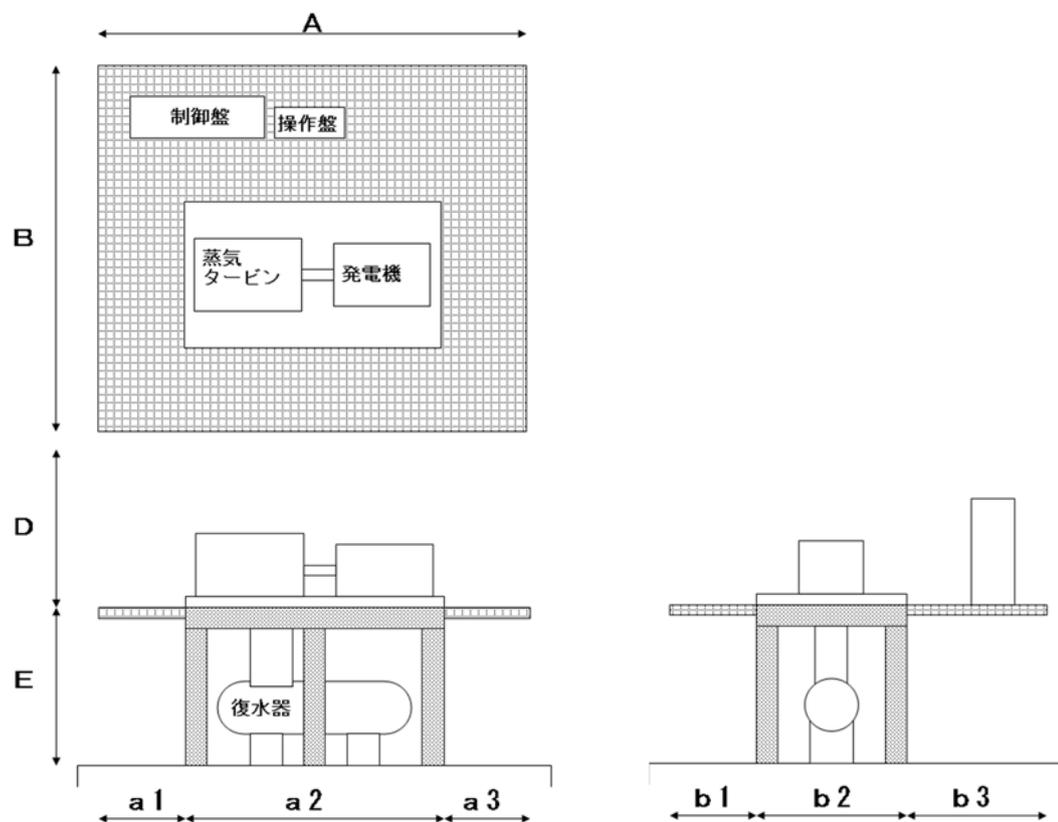
表資 2.4-4 設備容量ごとの標準的な寸法例 (mm)

設備容量	60、100、150、200 [wet-t/日] (蒸気量~5.0t/h)	備考
A	8,000	
a1	3,000	
a2	2,500	
B	4,000	
b1	1,800	
C	16,500	
c1	13,500	
c2	3,500	
c3	3,500	
c4	3,500	

④ 蒸気タービン発電機

蒸気タービン発電機においては、一般に蒸気の供給がタービンの上部から、蒸気の排出がタービンの下部から行われる。これは、蒸気が凝縮して発生するドレンの排出を考慮したものとなっている。

蒸気タービン発電機を用いた発電設備の標準的な配置例と寸法例を以下に示す。



図資 2.4-7 発電機の標準的な配置例

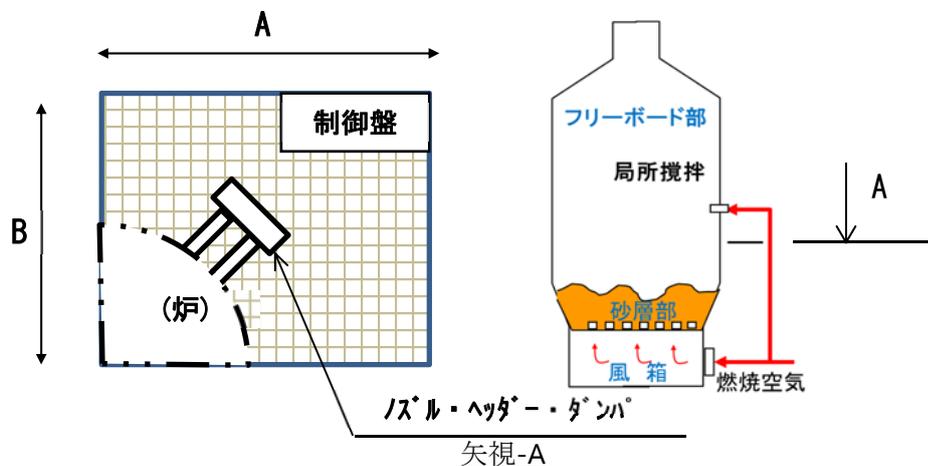
表資 2.4-5 設備容量ごとの標準的な寸法例

(mm)

設備容量	60、100、150、200 wet-t/日 (発電量 ~1,000kW)	150 wet-t/日×2 炉 (発電量 1,000~1,500kW)	備考
A	10,000	10,500	
a1	2,500	2,500	
a2	6,000	6,500	
a3	1,500	1,500	
B	12,000	12,500	
b1	4,000	4,000	
b2	3,000	3,500	
b3	5,000	5,000	
D	5,000	5,000	荷役設備(ホイスト等)の吊り代を除く
E	5,000	5,000	

⑤ 局所攪拌空気吹込み装置

本装置は、汚泥焼却規模によらず、同じスペースとなる。



図資 2.4-8 局所攪拌空気吹込み装置の標準的な配置例

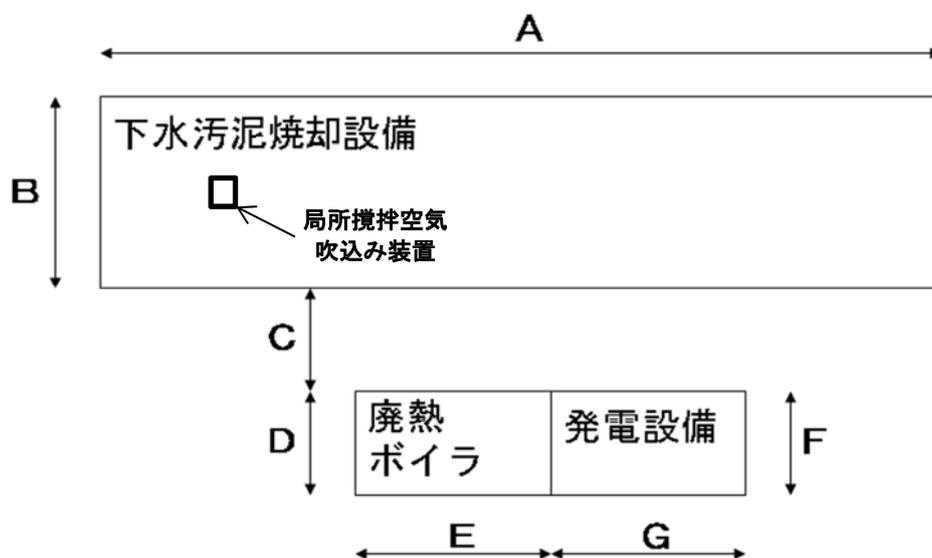
表資 2.4-6 設備容量ごとの標準的な寸法例

(mm)

設備規模	60、100、150、200、150×2 炉 [wet-t/日]	備考
A	2,000	
B	2,500	

⑥ 焼却設備への発電設備の配置

(a) 既設の焼却設備に発電設備を設置する場合



図資 2.4-9 焼却設備への発電設備の標準的な配置例

表資 2.4-7 設備容量ごとの標準的な寸法例

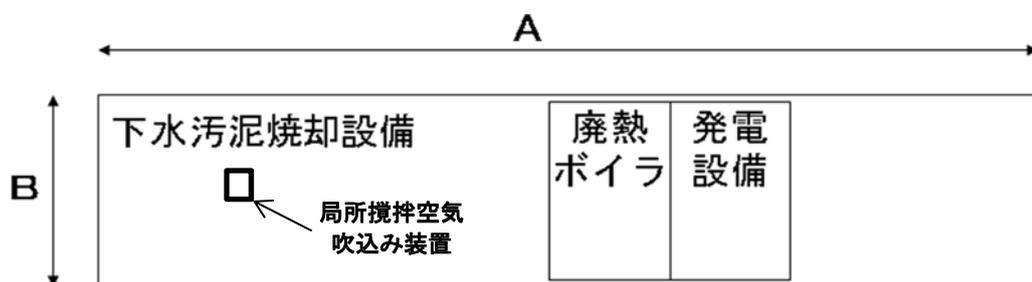
(mm)

設備容量	60、100 [wet-t/日]		150 [wet-t/日]		200 [wet-t/日]	
	横型	縦型	横型	縦型	横型	縦型
A	35,000	35,000	40,000	40,000	42,000	—
B	18,000	18,000	20,000	20,000	22,000	—
C	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	—
D	10,000	4,000	10,000	4,000	12,000	—
E	15,000	8,000	15,000	8,000	17,000	—
F	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	—
G	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000	—

※ A、B寸法は実績工場での平均的な標準寸法である。

※ C寸法については最小必要寸法で、消防法上の保有空地などについては別途考慮する必要がある。

(b) 新規に焼却設備を建設する場合に発電設備を設置する場合



図資 2.4-10 焼却設備への発電設備の標準的な配置例

表資 2.4-8 設備容量ごとの標準的な寸法例 (mm)

設備容量	60、100 [wet-t/日]		150 [wet-t/日]		200 [wet-t/日]	
	横型	縦型	横型	縦型	横型	縦型
ボイラ						
A	50,000	45,000	54,000	48,000	56,000	—
B	18,000	18,000	20,000	20,000	22,000	—

3. ケーススタディ

3.1 従来技術

(1) 建設費

建設費は、機械設備、電気設備、土木建築施設の設置に係る工事費を対象とし、60wet-t/日、100wet-t/日、150wet-t/日、200wet-t/日の処理規模を試算対象とした。

機械・電気設備費については、実態調査結果に基づく回帰分析による費用関数を用いた。

土木建築設備費については、機械設備主要部は屋外設置とし、建屋(ブロワ室、電気室、制御室等)は既存施設を利用するものとし、機械基礎、防液堤等の増築費を計上した。また、本工事範囲としては整地済の既存敷地に建設されるものとし、造成費、杭打設費、既設建築物の撤去費等は含まないこととした。土木建築設備費の算出には、実態調査結果に基づく回帰分析による費用関数を用いた。

- ・土木建築建設費(建屋:電気、ブロワー室程度)

$$Y_{91} = 2.42Xd^{0.0094}$$

- ・機械建設費

$$Y_{91} = 1.888Xd^{0.597}$$

- ・電気建設費

$$Y_{91} = 0.726Xd^{0.539}$$

なお、 Y_{91} は建設費(億円)、 X_d は設備規模(wet-t/日)を示す。

なお、「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)^{3.1-1)}より、利子率 2.3%とし、機械設備(発電)、機械設備(局所攪拌設備)、電気設備の耐用年数をそれぞれ15年、土木建築設備の耐用年数を45年として年価換算を行った。

消化汚泥焼却炉の建設費については使用する補助燃料に関らず混合生汚泥焼却炉の建設費と同額とし、計算は省略する。

$$\text{建設費年価} = \text{建設費} \times \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad i: \text{利子率} \quad n: \text{耐用年数}$$

1) 60wet-t/日(混合生汚泥)

土木建築費

$$2.42 \times (60\text{wet-t/日})^{0.0094} = 2.52 \text{ 億円}$$

機械設備費

$$1.888 \times (60\text{wet-t/日})^{0.597} = 21.8 \text{ 億円}$$

電気設備費

$$0.726 \times (60\text{wet-t/日})^{0.539} = 6.60 \text{ 億円}$$

3. ケーススタディ

2) 100 wet-t/日 (混合生汚泥)

土木建築費

$$2.42 \times (100 \text{ wet-t/日})^{0.0094} = 2.53 \text{ 億円}$$

機械設備費

$$1.888 \times (100 \text{ wet-t/日})^{0.597} = 29.5 \text{ 億円}$$

電気設備費

$$0.726 \times (100 \text{ wet-t/日})^{0.539} = 8.69 \text{ 億円}$$

3) 150 wet-t/日 (混合生汚泥)

土木建築費

$$2.42 \times (150 \text{ wet-t/日})^{0.0094} = 2.54 \text{ 億円}$$

機械設備費

$$1.888 \times (150 \text{ wet-t/日})^{0.597} = 37.6 \text{ 億円}$$

電気設備費

$$0.726 \times (150 \text{ wet-t/日})^{0.539} = 10.8 \text{ 億円}$$

4) 200 wet-t/日 (混合生汚泥)

土木建築費

$$2.42 \times (200 \text{ wet-t/日})^{0.0094} = 2.55 \text{ 億円}$$

機械設備費

$$1.888 \times (200 \text{ wet-t/日})^{0.597} = 44.6 \text{ 億円}$$

電気設備費

$$0.726 \times (200 \text{ wet-t/日})^{0.539} = 12.6 \text{ 億円}$$

表資 3.1.1-1 建設費一覧(既設設備)

処理規模	wet-t/日	60	100	150	200	150	150
汚泥性状	-	混合生	混合生	混合生	混合生	消化	消化
補助燃料	-	都市ガス	都市ガス	都市ガス	都市ガス	消化ガス	灯油
土木建設費	億円	2.52	2.53	2.54	2.55	2.54	2.54
機械建設費	億円	21.8	29.5	37.6	44.6	37.6	37.6
電気建設費	億円	6.60	8.69	10.8	12.6	10.8	10.8
合計	億円	30.9	40.7	50.9	59.8	50.9	50.9
土木建設費	百万円/年	9.1	9.1	9.1	9.2	9.1	9.1
機械建設費	百万円/年	173	235	299	355	299	299
電気建設費	百万円/年	52.5	69.1	86.0	101	86.0	86.0
合計	百万円/年	235	313	394	465	394	394

(2) 維持費

維持費については建設費と同じくバイオソリッド活用基本計画策定マニュアルより下記式を用いて算出する。なお、試算を行う仮想汚泥焼却炉の運転日数は 330 日/年、24 時間連続運転とする。

また、消化汚泥焼却炉の維持管理費については使用する補助燃料に関らず混合生汚泥焼却炉の維持管理費と同額とし、計算は省略する。

- ・流動焼却設備維持管理費(電力、燃料、薬品費、補修費、人件費)

$$Y_{93} = 0.287Xy^{0.673}$$

なお、 Y_{93} は維持管理費(百万円/年)、 Xy は年間処理脱水汚泥量(wet-t/年)を示す。

1) 60 wet-t/日(混合生汚泥)

年間処理脱水汚泥量

$$60\text{wet-t/日} \times 330 \text{日} = 19,800 \text{ wet-t/日}$$

維持管理費

$$0.287 \times (19,800\text{wet-t/日})^{0.673} = 224 \text{ 百万円/年}$$

2) 100 wet-t/日(混合生汚泥)

年間処理脱水汚泥量

$$100\text{wet-t/日} \times 330 \text{日} = 33,000 \text{ wet-t/日}$$

維持管理費

$$0.287 \times (33,000\text{wet-t/日})^{0.673} = 315 \text{ 百万円/年}$$

3) 150 wet-t/日(混合生汚泥)

年間処理脱水汚泥量

$$150\text{wet-t/日} \times 330 \text{日} = 49,500 \text{ wet-t/日}$$

維持管理費

$$0.287 \times (49,500\text{wet-t/日})^{0.673} = 414 \text{ 百万円/年}$$

4) 200 wet-t/日(混合生汚泥)

年間処理脱水汚泥量

$$200\text{wet-t/日} \times 330 \text{日} = 66,000 \text{ wet-t/日}$$

維持管理費

$$0.287 \times (66,000\text{wet-t/日})^{0.673} = 503 \text{ 百万円/年}$$

表資 3.1.2-1 維持管理費一覧(既設設備)

処理規模	wet-t/日	60	100	150	200	150	150
汚泥性状	-	混合生	混合生	混合生	混合生	消化	消化
補助燃料	-	都市ガス	都市ガス	都市ガス	都市ガス	消化ガス	灯油
維持管理費	百万円/年	224	315	414	503	414	414

3. ケーススタディ

(3) 総費用(年価換算値)

総費用(年価換算値)の算出にあたっては、建設費を年価換算したものと、維持管理費を合算することで行った。

表資 3.1.3-1 総費用(年価換算値)一覧(既設設備)

処理規模	wet-t/日	60	100	150	200	150	150
汚泥性状	-	混合生	混合生	混合生	混合生	消化	消化
補助燃料	-	都市ガス	都市ガス	都市ガス	都市ガス	消化ガス	灯油
土木建設費	百万円/年	9.1	9.1	9.1	9.2	9.1	9.1
機械建設費	百万円/年	173	235	299	355	299	299
電気建設費	百万円/年	52.5	69.1	86.0	101	86.0	86.0
合計	百万円/年	235	313	394	465	394	394
維持管理費	百万円/年	224	315	414	503	414	414
総費用 (年価換算値)	百万円/年	458	628	809	968	809	809

(4) エネルギー消費量

エネルギー消費量の算出にあたっては、電気、補助燃料の使用に関するものを対象とし、薬品に関するものについては除外した。補助燃料の使用については、各処理規模ごとに熱収支計算を実施し、必要な補助燃料使用量を決定した。計算に用いた定数を以下に示す。

なお、「下水道における地球温暖化対策マニュアル」(環境省・国土交通省、平成28年3月)^{3.1-2)}より、補助燃料として使用した消化ガス由来のエネルギーについてはエネルギー消費量に含まないものとして計算を行った。

表資 3.1.4-1 定数一覧

項目	単位	定数
都市ガス発熱量	MJ/Nm ³	44.8 ^{*1}
消化ガス発熱量	MJ/Nm ³	22.3 ^{*2}
灯油発熱量	MJ/L	36.7 ^{*1}
A 重油発熱量	MJ/L	39.1 ^{*1}
エネルギー/電力換算係数	kWh/MJ	0.2778 ^{*1}

※1「温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル」(環境省・経済産業省)^{3.1-3)}

※2「バイオマスの利活用に関する政策評価書」(総務省)^{3.1-4)}

エネルギー消費量の計算例を150wet-t/日、混合生汚泥焼却を代表として以下に示す。

1) エネルギー消費量(電気由来)

消費電力量については、消費電力に運転時間を乗じて算出するものとする。

$$\begin{aligned} \text{従来設備の消費電力(kW)} &= 1.12 \times 150 (\text{wet-t/日}) + 266 \\ &= 435 \end{aligned}$$

資料編

$$\begin{aligned} \text{エネルギー消費量(電力由来)} (\text{千 kWh/年}) &= 435 \times 330 (\text{日/年}) \times 24 (\text{h/日}) \times 10^{-3} \\ &= 3,443 \end{aligned}$$

2) エネルギー消費量(補助燃料由来)

従来設備の補助燃料使用量は、焼却炉の熱収支計算によって決定する。例示条件での熱収支計算の結果、補助燃料使用量が 0 となったため、エネルギー消費量(補助燃料由来)も 0 となるが、参考までに計算式を示す。

$$\begin{aligned} \text{エネルギー消費量(補助燃料由来)} (\text{千 kWh/年}) &= \text{補助燃料使用量} (\text{Nm}^3/\text{h}) \times \text{運転日数} \\ & (\text{日/年}) \times \text{運転時間} (\text{h/日}) \times \text{補助燃料エネルギー原単位} (\text{MJ/Nm}^3) \times 10^{-3} \times \text{換算係数} \\ & (\text{kWh/MJ}) \end{aligned}$$

以上の結果より、エネルギー消費量は下記の通りとなる。

$$\begin{aligned} \text{エネルギー消費量(従来設備)} (\text{千 kWh/年}) &= 3,443 + 0 \\ &= 3,443 \end{aligned}$$

表資 3.1.4-2 エネルギー消費量一覧

処理規模	wet-t/日	60	100	150	200	150	150
汚泥性状	-	混合生	混合生	混合生	混合生	消化	消化
補助燃料	-	都市ガス	都市ガス	都市ガス	都市ガス	消化ガス	灯油
処理状況	-	助燃	助燃	自燃	自燃	助燃	助燃
補助燃料 使用量	m ³ /h kg/h	24.6	8.3	0	0	492	205
エネルギー 消費量 (補助燃料)	千 kWh/年	2,490	840	0	0	0	20,809
エネルギー 消費量(電力)	千 kWh/年	2,642	2,998	3,443	3,888	3,443	3,443
合計	千 kWh/年	5,132	3,838	3,443	3,888	3,443	24,252

(5) 温室効果ガス排出量

温室効果ガス排出量の算出にあたっては、下記項目について算出した。なお、燃焼排ガスより排出される CH₄ については、一酸化二窒素と比較して排出係数及び地球温暖化係数が小さく、温室効果ガス排出量に対する寄与が小さいため、炉内で完全燃焼されるものとして本試算においては含まないものとした。温室効果ガス排出量の算出にあたっては、ユーティリティ(電気、燃料)の使用、燃焼の結果生成される N₂O に係るものを対象とし、薬品に係るものは除外した。

3. ケーススタディ

1) 二酸化炭素(CO₂)

本システム技術に用いるユーティリティ(電気、補助燃料)の定常運転中に排出されるものを対象とした。ユーティリティ使用量は実証結果に基づき算出した。焼却している汚泥由来二酸化炭素はバイオマス炭素由来のため、試算の対象外とした。各原単位については表資 3.1.5-1 に記載した。

なお、「下水道における地球温暖化対策マニュアル」より、消化ガス由来の二酸化炭素については温室効果ガスに含まないものとして計算を行った。

2) 一酸化二窒素(N₂O)由来 CO₂

焼却炉の運転時に燃焼排ガスより排出される N₂O については、「温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル」(環境省・経済産業省)^{3.1-3)}より従来の高温焼却型汚泥焼却炉の排出係数 0.000645t-N₂O/wet-t と汚泥処理量(wet-t/日)を乗じて算出し、温室効果ガス換算係数の 298 を乗じて算出した。

表資 3.1.5-1 温室効果ガス排出量原単位

項目	単位	係数
N ₂ O	t-N ₂ O/wet-t	0.000645
都市ガス	t-CO ₂ /千 Nm ³	2.23
消化ガス	t-CO ₂ /千 Nm ³	1.33
灯油	t-CO ₂ /kL	2.49
A 重油	t-CO ₂ /kL	2.71
電力	t-CO ₂ /千 kWh	0.555

温室効果ガス排出量の計算例を 150wet-t/日、混合生汚泥焼却を代表として以下に示す。

① 温室効果ガス排出量(電気由来)

電気由来の温室効果ガス排出量は、電気由来エネルギー消費量に対し、温室効果ガス排出量原単位を乗じて算出する。

$$\begin{aligned} \text{温室効果ガス排出量(電気由来)} (t\text{-CO}_2/\text{年}) &= \\ &= 3,443 (\text{千 kWh}/\text{年}) \times 0.555 (t\text{-CO}_2/\text{千 kWh}) \\ &= 1,911 \end{aligned}$$

② 温室効果ガス排出量(補助燃料由来)

補助燃料由来の温室効果ガス排出量は、補助燃料消費量に対し、温室効果ガス排出量原単位を乗じて算出する。なお、例示条件の場合補助燃料由来のエネルギー消費量が 0 のため、温室効果ガス排出量も 0 となるが、参考までに計算式を示す。

$$\begin{aligned} \text{温室効果ガス排出量(補助燃料由来)} (t\text{-CO}_2/\text{年}) &= \\ &= \text{補助燃料消費量} (\text{Nm}^3/\text{h}) \times 330 (\text{日}/\text{年}) \times 24 (\text{h}/\text{日}) \\ &\quad \times 10^{-3} \times \text{温室効果ガス排出量原単位} (t\text{-CO}_2/\text{千 Nm}^3) \end{aligned}$$

③ 温室効果ガス排出量(N₂O 由来)

N₂O 由来の温室効果ガス排出量は、処理量に対して排出係数を乗じて N₂O 排出量を算出し、得られた N₂O 排出量に対して温室効果ガス排出量原単位を乗じて算出する。

$$\begin{aligned} \text{N}_2\text{O 排出量(t-N}_2\text{O/年)} &= 0.000645 \times 150 (\text{wet-t/日}) \times 330 (\text{日/年}) \\ &= 31.9 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{温室効果ガス排出量(N}_2\text{O 由来) (t-CO}_2\text{/年)} &= 31.9 \times 298 (\text{t-CO}_2\text{/t-N}_2\text{O}) \\ &= 9,514 \end{aligned}$$

以上の結果より、温室効果ガス排出量は下記の通りとなる。

$$\begin{aligned} \text{温室効果ガス排出量(従来技術) (t-CO}_2\text{/年)} &= 1,911 + 0 + 9,514 \\ &= 11,425 \end{aligned}$$

表資 3.1.5-2 温室効果ガス排出量一覧

処理規模	wet-t/日	60	100	150	200	150	150
汚泥性状	-	混合生	混合生	混合生	混合生	消化	消化
補助燃料	-	都市ガス	都市ガス	都市ガス	都市ガス	消化ガス	灯油
電力由来	t-CO ₂ /年	1,466	1,664	1,911	2,158	1,911	1,911
補助燃料由来	t-CO ₂ /年	447	151	0	0	4,869	5,102
N ₂ O 由来	t-CO ₂ /年	3,806	6,343	9,514	12,686	9,514	9,514
合計	t-CO ₂ /年	5,719	8,158	11,425	14,844	16,294	16,527

- 3.1-1) 「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」,
国土交通省・公益社団法人日本下水道協会 平成 16 年 3 月
- 3.1-2) 「下水道における地球温暖化対策マニュアル」
環境省・国土交通省、平成 28 年 3 月
- 3.1-3) 「温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル」
環境省・経済産業省 平成 30 年 6 月
- 3.1-4) 「バイオマスの利活用に関する政策評価書」
総務省 平成 23 年 2 月

3.2 革新的技術

(1) シナリオの設定

革新的技術のケーススタディを行なうにあたり、革新的技術を挿入するシナリオを検討する。本技術の導入が有効と考えられる典型的なシナリオは次の3例である。

- ・シナリオ1「高効率発電焼却技術」、「局所攪拌空気吹込み技術」を一括追加設置
- ・シナリオ2「高効率発電焼却技術」、「局所攪拌空気吹込み技術」を一括新設、もしくは更新設置
- ・シナリオ3「高効率発電焼却技術」を追加設置後、

「局所攪拌空気吹込み技術」を設備更新時に段階追加設置

また、この他に次のような詳細条件の違いも考えられる。

- ・汚泥が混合生汚泥の場合、もしくは消化汚泥の場合
- ・補助燃料が都市ガス、消化ガス、液体化石燃料(灯油、A重油)の場合
- ・場内の複数の焼却設備から蒸気を回収・発電する場合
- ・高効率脱水機の採用により脱水ケーキの低含水率化が実施されている場合

そこで、革新的技術のケーススタディとして先のシナリオ1~3の3種の検討を行なうが、代表的なシナリオであるシナリオ1については詳細条件を加味し、細かな8条件を設定することとした。

表資 3.2.1-1 シナリオ一覧

シナリオ1 -「高効率発電焼却技術」、「局所攪拌空気吹込み技術」を一括追加設置-					
No.	規模	汚泥性状	補助燃料	設備数	備考
1-1	60(wet-t/日)[16(ds-t/日)]	混合生汚泥	都市ガス	1	
1-2	100(wet-t/日)[26(ds-t/日)]				
1-3	150(wet-t/日)[39(ds-t/日)]				
1-4				2	300wet-t/日
1-5	141(wet-t/日)[39(ds-t/日)]	低含水率混合生汚泥		1	
1-6	150(wet-t/日)[39(ds-t/日)]	消化汚泥	消化ガス		
1-7			灯油		
1-8	200(wet-t/日)[52(ds-t/日)]	混合生汚泥	都市ガス		

既存 焼却設備

↑

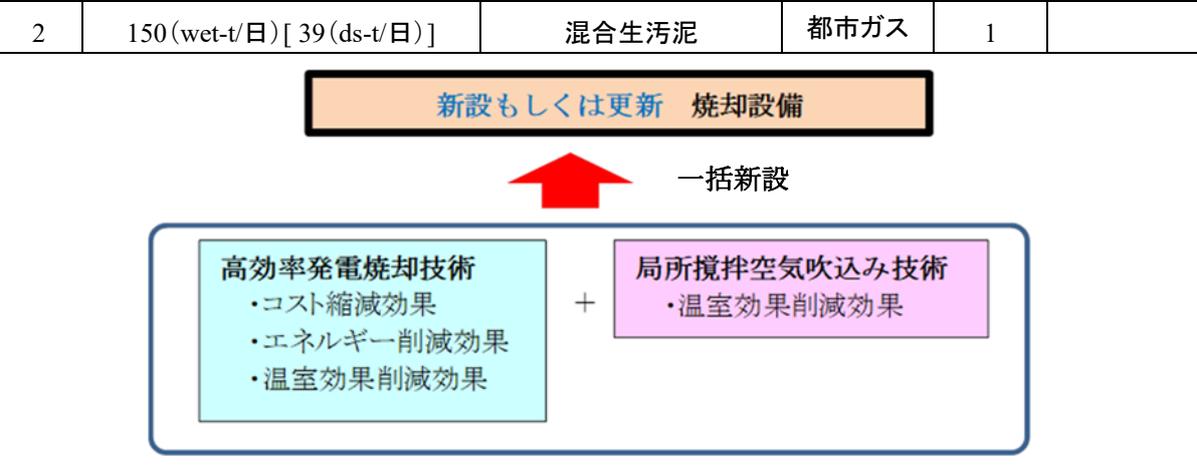
一括追加設置

高効率発電焼却技術
 ・コスト削減効果
 ・エネルギー削減効果
 ・温室効果削減効果

+

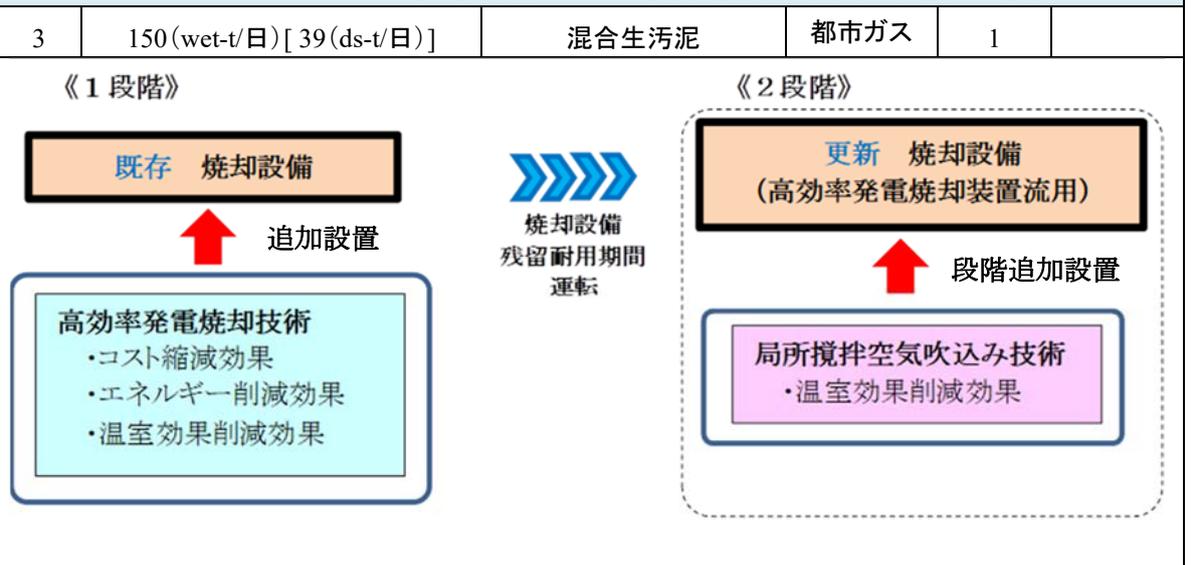
局所攪拌空気吹込み技術
 ・温室効果削減効果

シナリオ2 -「高効率発電焼却技術」、「局所攪拌空気吹込み技術」を一括新設(もしくは更新設置)-



シナリオ3 -「高効率発電焼却技術」を追加設置後、

「局所攪拌空気吹込み技術」を設備更新時に段階追加設置-



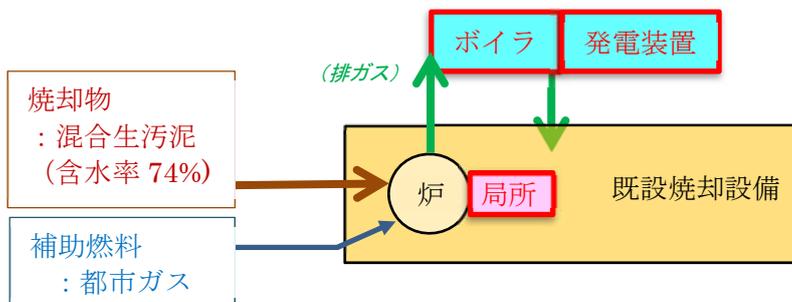
(2)各シナリオ内容

1)シナリオ1「高効率発電焼却技術」、「局所攪拌空気吹込み技術」を一括追加設置8条件について以下に示す。

- No. 1-1 : 60(wet-t/日)[16(ds-t/日)]、混合生汚泥、都市ガス
- No. 1-2 : 100(wet-t/日)[26(ds-t/日)]、混合生汚泥、都市ガス
- No. 1-3 : 150(wet-t/日)[39(ds-t/日)]、混合生汚泥、都市ガス
- No. 1-8 : 200(wet-t/日)[52(ds-t/日)]、混合生汚泥、都市ガス

混合生汚泥を補助燃料都市ガスを用いて焼却する代表的な例であり、異なる焼却規模4例(60、100、150、200(wet-t/日))を設定したものである。

いずれも焼却炉1基に対し、ボイラ、発電装置も1基設置する条件としている。

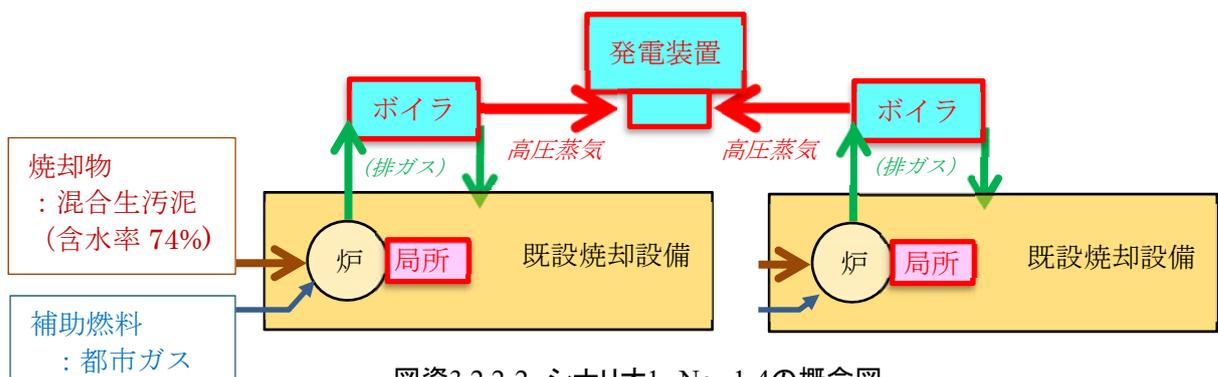


図資3.2.2-1 シナリオ1 No.1-1～1-3、1-8の概念図

- No. 1-4 : 150(wet-t/日)[39(dry-t/日)]、混合生汚泥、都市ガス 設備数:2、(300 wet-t/日)

複数の焼却炉と各炉に設置したボイラから蒸気を回収し、1台の発電装置を稼働する例である。先の代表的な例に倣い、混合生汚泥を補助燃料都市ガスを用い焼却する条件とし、焼却規模は150(wet-t/日)×2設備=300(wet-t/日)と設定した。

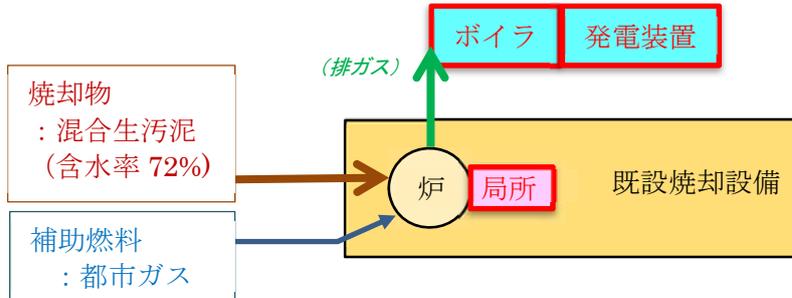
2設備より蒸気を得ることができれば、発電装置の大容量化が可能となる。大容量化による効率向上などの効果もあり、発電量は増え費用対効果も高まるが見込める。



図資3.2.2-2 シナリオ1 No. 1-4の概念図

・No. 1-5 : 141(wet-t/日)[39(ds-t/日)], 低含水率混合生汚泥、都市ガス

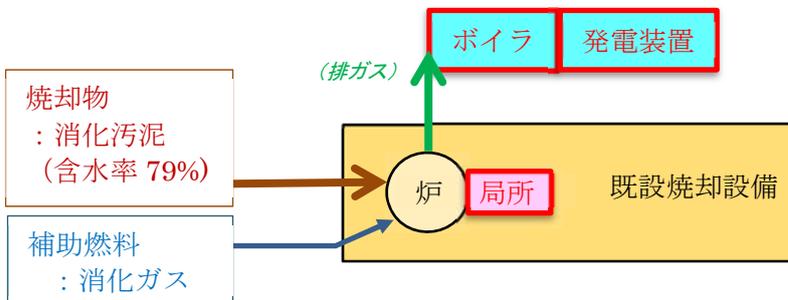
近年検討が進んでいる高効率脱水機が導入されていることから、含水率が72%と低いケースを設定した。なお、汚泥の種類は混合生汚泥、補助燃料は都市ガス、焼却規模は150(wet-t/日)とした。



図資3.2.2-3 シナリオ1 No.1-5の概念図

・No. 1-6 : 150(wet-t/日)[39(ds-t/日)], 消化汚泥、都市ガス

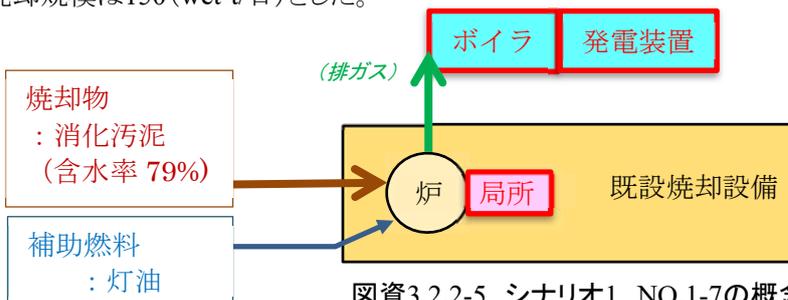
混合生汚泥ではなく、消化汚泥を焼却する例であり、補助燃料を消化ガスとした。焼却規模は150(wet-t/日)とした。



図資3.2.2-4 シナリオ1 No.1-6の概念図

・No. 1-7 : 150(wet-t/日)[39(ds-t/日)], 消化汚泥、灯油

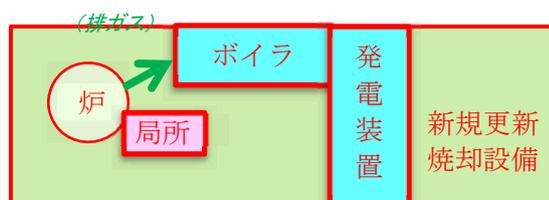
No.1-6と同様、混合生汚泥ではなく、消化汚泥を焼却する例であるが、補助燃料を灯油とした。焼却規模は150(wet-t/日)とした。



図資3.2.2-5 シナリオ1 NO.1-7の概念図

2) シナリオ2 「高効率発電焼却技術」、「局所攪拌空気吹込み技術」を一括新設(もしくは更新設置)

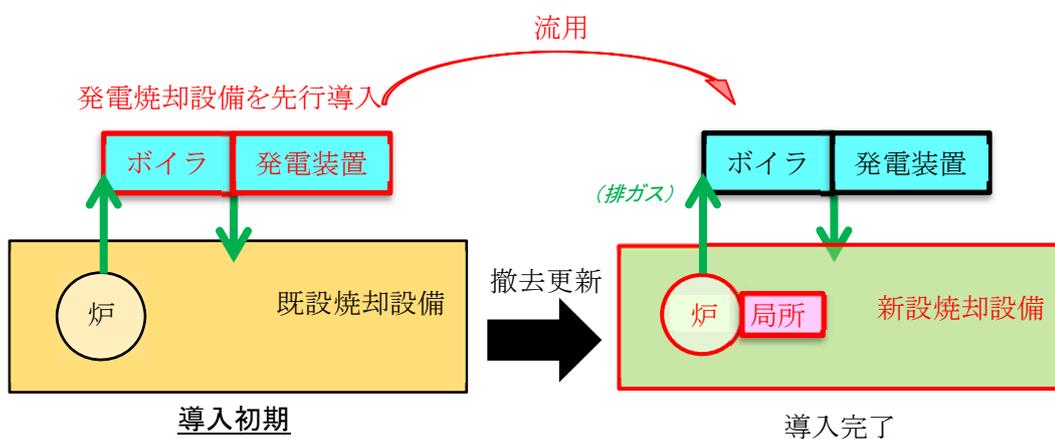
焼却設備の更新と発電焼却設備を同時更新で構築するシナリオである。
 架台の共通化や熱ロスの少ない機器レイアウト・ダクトルートを採用できる。



図資3.2.2-6 シナリオ2 の概念図

3) シナリオ3 「高効率発電焼却技術」を追加設置後、「局所攪拌空気吹込み技術」を設備更新時に段階追加設置

発電焼却設備を既設焼却設備撤去に影響が無い位置へレイアウトし、焼却排ガスダクトとボイラを繋ぐ。
 そして、焼却炉更新工事に合わせて、局所攪拌空気吹込み装置を設置する例である。



図資3.2.2-7 シナリオ3 の概念図

(3) 高効率発電技術と局所攪拌空気吹込み技術を各々単独導入した場合の技術適用条件・推奨条件

- 1) 高効率発電技術の単独設備導入
適用・推奨条件を、表資 3.2.3-1 に示す。

表資 3.2.3-1 高効率発電技術のみを導入する場合の適用・推奨条件

適用条件
焼却規模が約 60wet-t/日(約 16ds-t/日) 以上※であること。
※複数炉に設置ができる条件(ボイラーを各炉に設置、発電機は共通 1 台)の場合、コスト縮減効果が改善されることから、60wet-t/日(約 16ds-t/日)規模でも適応可能
焼却炉形式が、流動床式、循環流動層式、階段ストーカ式であること
脱水汚泥含水率が 85%未満(一般的脱水機の上限值)であること
推奨条件
100wet-t/日以上規模であること 白煙防止の必要が無い、もしくは必要な熱量が少ないこと 余剰の消化ガスがあること

- 2) 局所攪拌空気吹込み技術の単独設備導入
適用・推奨条件を、表資 3.2.3-2 に示す。

表資 3.2.3-2 局所攪拌空気吹込み技術のみを導入する場合の適用・推奨条件

適用条件
焼却炉形式が流動床式であること
二段燃焼、およびそれに類する設備を保有していないこと
脱水汚泥含水率が 85%未満(一般的脱水機の上限值)であること
推奨条件
—

(4) シナリオ毎の検討結果

上記シナリオ 1(No. 1-1~1-8)、シナリオ 2、シナリオ 3 の条件を基に検討を行った
以下に結果を示す。

1) 建設費

建設費は、本実証技術に関する機械設備、電気設備、土木建築施設の設置に係る工事費を対象とし、各シナリオについて試算を行ったものと、流動床型汚泥焼却炉の建設に関する費用(資料編 3.1 従来技術参照)を足し合わせたものについて年換算、総費用(年価換算値)の評価を行った。

機械・電気設備費については、容量計算などにより機器の仕様を決定し、機器の単価を乗じてこれを積算するとともに、機器費を材料費として扱い、工費(労務費)を計上した。

土木建築設備費については、機械設備主要部は屋外設置とし、建屋(ブロウ室、電気室、制御室等)は既存施設を利用するものとし、機械基礎、防液堤等の増築費を計上した。また、本工事範囲としては整地済の既存敷地に建設されるものとし、造成費、杭打設費、既設建築物の撤去費等は含まないこととした。

以上の試算結果より、局所攪拌・発電設備の建設費算定式を算出し、表資 3.2.4-1、2 に示した。詳細は資料編 2.1 建設費算定式を参照のこと。

表資 3.2.4-1 革新的技術導入時の建設費算定式(ボイラ 1 基:タービン 1 基)

項目		単位	算出式
発電設備	設備新設に合わせて新設の場合	百万円	$y=2.15x+326$
	発電設備のみ追加設置の場合		$y=2.42x+340$
電気設備	設備新設に合わせて新設の場合		$y=0.311x+53.3$
	発電設備のみ追加設置の場合		
土木設備	設備新設に合わせて新設の場合		$y=0.134x+6.58$
	発電設備のみ追加設置の場合		
局所攪拌 空気吹込 み設備	設備新設に合わせて新設の場合		$y=0.0142x+0.791$
	局所攪拌空気吹込み設備のみ追加設置の場合		

※x:汚泥投入量(wet-t/日)、y:建設費(百万円)、焼却炉 1 基を対象とする。

表資 3.2.4-2 革新的技術導入時の建設費算定式(ボイラ 2 基:タービン 1 基)

項目		単位	算出式
発電設備	設備新設に合わせて新設の場合	百万円	$y=4.08x+522$
	発電設備のみ追加設置の場合		$y=4.62x+548$
電気設備	設備新設に合わせて新設の場合		$y=0.622x+107$
	発電設備のみ追加設置の場合		
土木設備	設備新設に合わせて新設の場合		$y=0.268x+13.2$
	発電設備のみ追加設置の場合		
局所攪拌 空気吹込 み設備	設備新設に合わせて新設の場合		$y=0.0284x+1.58$
	局所攪拌空気吹込み設備のみ 追加設置の場合		

※x:汚泥投入量(wet-t/日)、y:建設費(百万円)、焼却炉 2 基を対象とする。

汚泥焼却炉部分の建設費の算出には、「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)より、下記式をそれぞれ用いた。

また、ケース 1-4 についてはケース 1-3 と同じタービンを発電機のみ変更して 1 基設置するものとして試算を行った。その他ボイラ等の仕様は 1-3 と同等とした。

- ・土木建築建設費(建屋:電気、ブロワー室程度)

$$Y_{91}=2.42Xd^{0.0094}$$

- ・機械建設費

$$Y_{91}=1.888Xd^{0.597}$$

- ・電気建設費

$$Y_{91}=0.726Xd^{0.539}$$

なお、 Y_{91} は建設費(億円)、 X_d は設備規模(wet-t/日)を示す。

なお、「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、利子率 2.3%とし、機械設備(発電)、機械設備(局所攪拌設備)、電気設備の耐用年数をそれぞれ 15 年、土木建築設備の耐用年数を 45 年として年価換算を行った。

$$\text{建設費年価} = \text{建設費} \times \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad i: \text{利子率} \quad n: \text{耐用年数}$$

建設費の計算例をケース 1-3(150wet-t/日、混合生汚泥焼却)を代表として以下に示す。

局所攪拌・発電設備分

§ 10 評価項目、表 15-2、3 革新的技術導入時の建設費算定式より、以下の通り局所攪拌・

3. ケーススタディ

発電設備の建設費を算出した。

・発電設備

$$\begin{aligned} \text{発電設備建設費(百万円)} &= 2.42 \times 150(\text{wet-t/日}) + 340 \\ &= 703 \end{aligned}$$

・局所攪拌空気吹込み設備建設費

$$\begin{aligned} \text{局所攪拌空気吹込み設備建設費(百万円)} &= 0.0142 \times 150(\text{wet-t/日}) + 0.791 \\ &= 2.9 \end{aligned}$$

・電気設備

$$\begin{aligned} \text{電気設備建設費(百万円)} &= 0.311 \times 150(\text{wet-t/日}) + 53.3 \\ &= 100 \end{aligned}$$

・土木設備

$$\begin{aligned} \text{土木設備建設費(百万円)} &= 0.134 \times 150(\text{wet-t/日}) + 6.58 \\ &= 26.7 \end{aligned}$$

§ 10 評価項目の建設費年価換算式及び表 15-5 各設備の耐用年数より、年価換算を行った。

・発電設備(年価)

$$\begin{aligned} \text{発電設備建設費(年価)(百万円/年)} &= 703 \times \frac{0.023 \times (1+0.023)^{15}}{(1+0.023)^{15}-1} \\ &= 56.0 \end{aligned}$$

・局所攪拌空気吹込み設備(年価)

$$\begin{aligned} \text{局所攪拌空気吹込み設備建設費(年価)(百万円/年)} &= 2.9 \times \frac{0.023 \times (1+0.023)^{15}}{(1+0.023)^{15}-1} \\ &= 0.23 \end{aligned}$$

・電気設備(年価)

$$\begin{aligned} \text{電気設備建設費(年価)(百万円/年)} &= 100 \times \frac{0.023 \times (1+0.023)^{15}}{(1+0.023)^{15}-1} \\ &= 8.0 \end{aligned}$$

・土木設備(年価)

$$\begin{aligned} \text{土木設備建設費(年価)(百万円/年)} &= 26.7 \times \frac{0.023 \times (1+0.023)^{45}}{(1+0.023)^{45}-1} \\ &= 1.0 \end{aligned}$$

以上の結果より、局所攪拌・発電設備に関する建設費年価は 65.1 百万円/年となる。その他のケースの計算結果については、下記表に示した。

表資 3.2.4-3 建設費一覧(発電・局所攪拌吹き込み設備のみ)

ケース	-	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	1-7	1-8	2	3
処理規模	wet-t/日	60	100	150	150× 2	150	150	150	200	150	150
土木建設費	百万円	14.6	20.0	26.7	54.1	25.5	26.7	26.7	33.4	27.1	26.7
機械建設費 (発電設備)	百万円	485	582	703	1,543	681	703	703	824	641	703
機械建設費 (局所攪拌)	百万円	1.6	2.2	2.9	6.0	2.8	2.9	2.9	3.6	3.0	2.9
電気建設費	百万円	72	84.4	100	202	97.1	100	100	116	101	100
合計	百万円	573	689	833	1,804	806	833	833	977	772	833
土木建設費	百万円/年	0.5	0.7	1	1.9	0.9	1.0	1.0	1.2	1.0	1.0
機械建設費 (発電設備)	百万円/年	38.6	46.3	56	123	54	56	56	65.6	51	56
機械建設費 (局所攪拌)	百万円/年	0.13	0.18	0.23	0.48	0.22	0.23	0.23	0.29	0.24	0.23
電気建設費	百万円/年	5.7	6.7	8.0	16.0	7.7	8.0	8.0	9.2	8.0	8.0
合計	百万円/年	45	54	65	141	63	65	65	76	60	65

革新的技術の建設費は、従来焼却設備の建設費に局所攪拌・発電設備の建設費を加えたものとなる。表資 3.2.4-1 の結果に表資 3.1.1-1 に示した従来設備の建設費を加えた革新的技術の建設費を下記表に示す。

表資 3.2.4-4 建設費一覧(革新的技術)

ケース	-	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	1-7	1-8	2	3
処理規模	wet-t/日	60	100	150	150×2	150	150	150	200	150	150
機械建設費	百万円	2,175	2,951	3,759	7,519	3,620	3,759	3,759	4,464	3,429	3,759
機械建設費 (発電設備)	百万円	485	582	703	1,543	681	703	703	824	641	703
機械建設費 (局所攪拌)	百万円	1.6	2.2	2.9	6.0	2.8	2.9	2.9	3.6	3.0	2.9
電気建設費	百万円	732	953	1,181	2,364	1,142	1,181	1,181	1,378	1,182	1,181
土木建設費	百万円	267	273	281	563	280	281	281	288	281	281
合計	百万円	3,661	4,762	5,927	11,994	5,725	5,927	5,927	6,958	5,537	5,927
機械建設費	百万円/年	173	235	299	598	288	299	299	355	273	299
機械建設費 (発電設備)	百万円/年	38.6	46.3	56.0	123	54.2	56.0	56.0	65.6	51.0	56.0
機械建設費 (局所攪拌)	百万円/年	0.13	0.18	0.23	0.48	0.22	0.23	0.23	0.29	0.24	0.23
電気建設費	百万円/年	58.2	75.9	94.0	188	90.9	94.0	94.0	110	94.1	94.0
土木建設費	百万円/年	9.6	9.8	10.1	20.2	10.0	10.1	10.1	10.4	10.1	10.1
合計	百万円/年	280	367	459	930	443	459	459	541	428	459

2) 維持管理費

本実証技術の維持管理費は、焼却炉部分の維持管理費と、革新的技術実証設備の維持管理費を足し合わせたものとする。

焼却炉部分の維持管理費については、建設費と同じくバイオソリッド活用基本計画策定マニュアルより下記式を用いて算出する。なお、試算を行う仮想汚泥焼却炉の運転日数は 330 日/年、24 時間連続運転とする。

また、消化汚泥焼却炉の維持管理費については使用する補助燃料に関らず混合生汚泥焼却炉の維持管理費と同額とし、計算は省略する。

- ・流動焼却設備維持管理費(電力、燃料、薬品費、補修費、人件費)

$$Y_{93} = 0.287Xy^{0.673}$$

なお、 Y_{93} は維持管理費(百万円/年)、 Xy は年間処理脱水汚泥量(wet-t/年)を示す。

革新的技術の維持管理費については本システムに用いるユーティリティ(電気、上水、薬品)について、実証研究から得られたデータを用い、定常運転時について推算した。点検補修費については廃熱ボイラ及びタービンに必要な法定点検を積算した。なお、発電した電力は全量場内で利用するものとし、発電設備の消費電力から発電電力を差し引いたものから消費電力費を算出した。各ユーティリティ単価については表資 3.2.4-5 に記載した。発電電力量については発電出力に運転時間を乗じて算出した。

また、焼却設備で利用される電気、補助燃料については、従来技術における維持管理費に含まれるものとし、本実証設備におけるユーティリティ消費には含まないものとした。

各ユーティリティ消費量の試算には表資 3.2.4-6 ユーティリティ消費量算定式に示した式を用いた。

さらに、発電設備の設置により休止する設備については、表資 3.2.4-7 の通り、動力及び点検整備費、交換に関する費用が不要になるものとしてその他導入効果として負の値で積算を行った。

発電設備の点検補修費については汚泥投入量 150wet-t/日の設備において、発電設備の主要機器である蒸気タービンおよび廃熱ボイラ設備の 15 年間分の保守点検費用の合計を年平均し、18 百万円/年の点検補修費がかかるとした。

なお、発電設備の保守点検費は設備規模が変化しても大きく変わらないと考えられるため、施設規模によらず、同価格として計上するものとする。

各算定式の詳細については資料編 2.2 ユーティリティ消費量算定式、2.3 点検補修費算定式を参照のこと。

表資 3.2.4-5 ユーティリティ単価

項目	単価	備考
電気	15 円/kWh	
上水	200 円/m ³	
ボイラ薬品	20 円/m ³	添加量が微量のため、希釈後のボイラ給水流量あたりの費用より計算した。

表資 3.2.4-6 ユーティリティ消費量算定式

項目	単位	算出式	算出根拠
消費電力(焼却設備)	kW	$y=1.12x_1+266$	実証結果
消費電力(発電設備)	kW	$y=0.119 x_1+65.1$	実証結果
発電電力(上記以外)	kW	$y=33.1 x_2-102$	収支計算・容量計算
薬品使用量	m ³ /h	$y=(0.0150 x_1+0.737)$	収支計算
上水使用量	m ³ /日	$y=(0.0274 x_1+1.35)$	収支計算

※ x_1 :汚泥投入量(wet-t/日) x_2 :投入熱量(GJ/h)

y:消費電力、発電電力または使用量

表資 3.2.4-7 白煙防止予熱器及び白煙防止ブロワ停止に伴う導入効果

項目	対象機器	単位	算出式	算出根拠
点検整備費用	白煙防止予熱器	百万円/年	$y=0.131x^{0.7}$	容量計算
	白煙防止ブロワ			
更新費用	白煙防止予熱器	百万円/年	$y=0.998x^{0.7}$	容量計算
削減電力	白煙防止ブロワ	kW	$y=0.213x+10.5$	容量計算

※x:汚泥投入量(wet-t/日) y:費用または、削減電力

維持管理費の計算例をケース 1-3(150wet-t/日、混合生汚泥焼却)を代表として以下に示す

① 局所攪拌・発電設備分

維持管理費については消費電力、薬品費、上水費、点検・補修費を対象とし、各算定式より算出した。

・消費電力(局所攪拌・発電設備)による電力消費

$$\begin{aligned} \text{消費電力(kW)} &= 0.119 \times 150 (\text{wet-t/日}) + 65.1 \\ &= 82.9 \end{aligned}$$

・発電電力による電力削減

$$\begin{aligned} \text{投入熱量(GJ/h)} &= (6,250 (\text{kg/h}) \times (1-0.74) \times 17,586 (\text{kJ/kg-DS}) \\ &\quad - 2,500 (\text{kJ/kg-H}_2\text{O}) \times 6,250 (\text{kg/h}) \times 0.74) \times 10^{-6} \\ &\quad + 0 (\text{m}^3/\text{h}) \times 44.8 (\text{MJ/Nm}^3) \times 10^{-3} \\ &= 17.0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{発電電力(kW)} &= 33.1 \times 17.0 \text{ (GJ/h)} - 102 \\ &= 461 \end{aligned}$$

・白煙防止ブロワ停止による電力削減

$$\begin{aligned} \text{白煙防止ブロワ停止による電力削減(kW)} &= 0.213 \times 150 \text{ (wet-t/日)} + 10.5 \\ &= 43.0 \end{aligned}$$

よって以上の結果より、局所攪拌・発電設備の消費電力は下記の通りとなる。

$$\begin{aligned} \text{局所攪拌・発電設備の消費電力(kW)} &= 82.9 - 461 - 43 \\ &= -421 \end{aligned}$$

また、消費電力量については消費電力に運転時間を乗じて算出する。

$$\begin{aligned} \text{消費電力量(千 kWh)} &= -421 \times 330 \text{ (日/年)} \times 24 \text{ (h/日)} \times 10^{-3} \\ &= -3,335 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{局所攪拌・発電設備の電力費(百万円/年)} &= -3,335 \times 15 \text{ (円/kWh)} \times 10^{-3} \\ &= -50.1 \end{aligned}$$

発電による電力費削減は負の値として維持管理費に計上する。

・薬品費

$$\begin{aligned} \text{薬品消費量(m}^3\text{/h)} &= 0.0150 \times 150 \text{ (wet-t/日)} + 0.737 \\ &= 3.0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{薬品費用(百万円/年)} &= 3.0 \times 20 \text{ (円/m}^3\text{)} \times 330 \text{ (日/年)} \times 24 \text{ (h/日)} \times 10^{-6} \\ &= 0.48 \end{aligned}$$

・上水費

$$\begin{aligned} \text{上水消費量(m}^3\text{/日)} &= 0.0274 \times 150 \text{ (wet-t/日)} + 1.35 \\ &= 5.46 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{上水費用(百万円/年)} &= 5.46 \times 200 \text{ (円/m}^3\text{)} \times 330 \text{ (日/年)} \times 10^{-6} \\ &= 0.36 \end{aligned}$$

・点検・補修費

§ 10 評価項目より、18 百万円/年の維持管理費を計上した。

維持管理費

以上の試算結果より、局所攪拌・発電設備の維持管理費は下記の通りとなる。

$$\begin{aligned} \text{維持管理費(百万円/年)} &= 0.48 + 0.36 + 18 \\ &= 18.8 \end{aligned}$$

※電力費については発電による削減効果のほうが大きいいため、維持管理費からは除くものとする。

② 既設設備分

既設設備の維持管理費は、§ 10 評価項目に示した流動焼却設備維持管理費より

$$\begin{aligned} \text{維持管理費(百万円/年)} &= 0.287 \times (150 \text{ (wet-t/日)} \times 330 \text{ (日/年)})^{0.673} \\ &= 414 \end{aligned}$$

表資 3.2.4.8 維持管理費一覧(革新的技術)

ケース	-	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	1-7	1-8	2	3
維持管理費 (焼却炉)	百万円/年	224	315	414	829	829	414	414	503	414	414
消費電力 (発電設備)	kW	72.2	77.0	82.9	166	81.8	82.9	82.9	88.8	82.9	82.9
消費電力削減 (白煙防止ブロワ)	kW	-22.6	-32.4	-43	-86	-41.1	-43	-43	-52.6	-43	-43
発電電力	kW	-161	-287	-461	-1,025	-493	-478	-454	-649	-461	-461
消費電力 (実証設備)	kW	-111	-242	-421	-945	-453	-438	-414	-613	-421	-421
電力費	百万円/年	-13.2	-28.7	-50.1	-112	-53.8	-52.0	-49.2	-72.8	-50.1	-50.1
薬品消費量	m ³ /日	38.3	54.8	72.7	145	69.6	72.7	72.7	88.9	72.7	72.7
薬品費	百万円/年	0.25	0.36	0.48	0.96	0.46	0.48	0.48	0.59	0.48	0.48
上水消費量	m ³ /日	2.9	4.2	5.5	11.1	5.3	5.5	5.5	6.8	5.5	5.5
上水費	百万円/年	0.19	0.27	0.36	0.73	0.35	0.36	0.36	0.45	0.36	0.36
点検・補修費	百万円/年	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
合計	百万円/年	229	305	383	736	362	381	384	449	383	383

3) 費用回収年

下記計算式にて算出する。

$$\text{費用回収年} = \frac{\text{建設費(百万円)}}{\text{導入効果(百万円)} - \text{維持管理費(百万円)}}$$

① 建設費

発電設備及び局所攪拌空気吹込み設備設置で増額となる設備費

② 維持管理費

発電設備及び局所攪拌空気吹込み設備設置で増額となる維持費

③ 導入効果

発電設備を付加することによる電力削減効果等

費用回収年の計算例をケース 1-3(150wet-t/日、混合生汚泥焼却)を代表として以下に示す

その他導入効果の算出

§ 10 評価項目より、発電設備導入に伴い休止される白煙防止予熱器及び白煙防止ブロワの点検・交換費用及び電力費用を負の値として計上する。

点検整備費用削減

$$\begin{aligned} \text{白煙防止ブロワ及び熱交換器点検費用削減(百万円/年)} &= 0.131 \times 150(\text{wet-t/日})^{0.7} \\ &= 4.4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{白煙防止熱交換器更新費用削減(百万円/年)} &= 0.998 \times 150(\text{wet-t/日})^{0.7} \\ &= 33.3 \end{aligned}$$

以上の結果より、局所攪拌・発電設備の導入効果を消費電力削減による導入効果とその他導入効果の和として算出する。

導入効果

$$\begin{aligned} \text{導入効果(百万円/年)} &= -50.1 - 4.4 - 33.3 \\ &= -87.8 \end{aligned}$$

費用回収年の算出

§ 10 評価項目より、費用回収年を算出する。

$$\begin{aligned} \text{費用回収年(年)} &= \frac{703+2.9+100+26.7}{87.8-18.8} \\ &= 12.1 \end{aligned}$$

表資 3.2.4-9 費用回収年一覧(革新的技術)

ケース	-	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	1-7	1-8	2	3
建設費(発電設備)	百万円	573	689	833	1,804	806	833	833	977	772	833
維持管理費(発電設備)	百万円/年	18.4	18.6	18.8	37.7	18.8	18.8	18.8	19.0	18.8	18.8
発電による導入効果	百万円/年	13.2	28.7	50.1	112	53.8	52.0	49.2	72.8	50.1	50.1
その他導入効果	百万円/年	19.8	28.4	37.7	75.3	36.0	37.7	37.7	46.1	37.7	37.7
費用回収年	年	39.2	17.9	12.1	12.0	11.4	11.8	12.2	9.8	11.2	12.1

4) 総費用(年価換算値)

総費用(年価換算値)は建設費を年価換算したものと、維持管理費を対象とした。算出した総費用(年価換算値)より、総費用(年価換算値)縮減効果を下記の通り算出し、評価を行う。

$$\text{総費用(年価換算値)縮減効果} = \left(1 - \frac{\text{総費用(年価換算値)(革新的技術)}}{\text{総費用(年価換算値)(従来技術)}}\right) \times 100$$

総費用(年価換算値)の計算例をケース 1-3(150wet-t/日、混合生汚泥焼却)を代表として以下に示す

§ 10 評価項目より、総費用(年価換算値)削減効果を算出する。なお、革新的技術の建設費及び維持管理費は、従来設備の建設費及び維持管理費に局所攪拌・発電設備の建設費及び維持管理費を加えたものとする。

① 革新的技術の総費用(年価換算値)

・建設年価(革新的技術)

$$\begin{aligned} \text{建設年価(革新的技術)(百万円/年)} &= 394 + 65.1 \\ &= 459 \end{aligned}$$

・維持管理費(革新的技術)

$$\begin{aligned} \text{維持管理費(革新的技術)(百万円/年)} &= 414 + 18.8 \\ &= 433 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{革新的技術の総費用(年価換算値)(百万円/年)} &= 459 + 433 - 87.8 \\ &= 805 \end{aligned}$$

② 従来技術の総費用(年価換算値)

$$\begin{aligned} \text{従来技術の総費用(年価換算値)(百万円/年)} &= 394 + 414 \\ &= 809 \end{aligned}$$

以上の結果より総費用(年価換算値)削減効果(%)は下記式で算出できる。

$$\begin{aligned} \text{総費用(年価換算値)削減効果(\%)} &= \left(1 - \frac{805}{809}\right) \times 100 \\ &= 0.5 \end{aligned}$$

表資 3.2.4-10 総費用(年価換算値)一覧(革新的技術)

ケース	-	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	1-7	1-8	2	3
建設費	百万円/年	280	367	459	930	443	459	459	541	428	459
維持管理費 (従来設備)	百万円/年	224	315	414	829	397	414	414	503	414	414
維持管理費 (発電設備)	百万円/年	18.4	18.6	18.8	37.7	18.8	18.8	18.8	19.0	18.8	18.8
導入効果	百万円/年	-33.1	-57.1	-87.8	-188	-89.8	-89.7	-86.9	-119	-87.8	-87.8
総費用 (年価換算値) (革新的技術)	百万円/年	489	644	805	1,609	769	803	806	944	774	805
総費用 (建年価換算値) 縮減効果	%	-6.6	-2.5	0.5	0.5	1.0	0.7	0.4	2.4	4.3	0.5

5) エネルギー削減効果

エネルギー削減効果については、本実証設備を付加しない場合のエネルギー消費量に対して、本実証設備を付加した場合の正味のエネルギー消費量の削減率により評価を行う。

エネルギー消費量の算出にあたっては、ユーティリティ(電気、燃料)の使用に係るものを対象とし、薬品に係るものは除外した。各原単位については表資 3.2.4-11 に示した。

なお、「下水道における地球温暖化対策マニュアル、環境省・国土交通省、平成 28 年 3 月」より、補助燃料として使用した消化ガス由来のエネルギーについてはエネルギー消費量に含まないものとして計算を行った。

エネルギー創出量は、物質収支・熱収支計算結果ならびに蒸気タービン発電機の性能目安から求められる発電電力量とし、負の消費量として計上した。なお、エネルギー創出量とエネルギー消費量を足した値を、正味のエネルギー消費量とした。

エネルギー削減効果の計算には電力基準で算出したエネルギー消費量を用いた。

$$\text{エネルギー削減効果} = \left(1 - \frac{\text{エネルギー消費量(革新的技術)} + \text{発電によるエネルギー創出量}}{\text{エネルギー消費量(従来技術)}} \right) \times 100$$

表資 3.2.4-11 試算に用いた定数一覧

	単位	定数
都市ガス発熱量	MJ/Nm ³	44.8 ^{*1}
消化ガス発熱量	MJ/Nm ³	22.3 ^{*2}
灯油発熱量	MJ/L	36.7 ^{*1}
A 重油発熱量	MJ/L	39.1 ^{*1}
エネルギー/電力換算係数	kWh/MJ	0.2778 ^{*1}

※1「温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル」(環境省・経済産業省)

※2「バイオマスの利活用に関する政策評価書」(総務省)

ケース 1-4(150wet-t/日 2 炉に対して 1 基のタービン)においてエネルギー削減効果がケース 1-3(150wet-t/日)に対して改善している理由は、タービン 1 基分の消費電力が削減されているためである。

エネルギー消費量の計算例をケース 1-3(150wet-t/日、混合生汚泥焼却)を代表として以下に示す

① エネルギー消費量(電気由来)

・革新的技術

革新的技術の消費電力は、従来技術の消費電力と局所攪拌・発電設備の消費電力及びその他導入効果による消費電力の削減の和となる。なお、消費電力量については、消費電力に運転時間を乗じて算出するものとする。

従来技術の消費電力(kW) = 435

革新的技術の消費電力(kW) = 435 + 82.9 - 43

= 475

$$\begin{aligned}\text{エネルギー消費量(電気由来)}(\text{千 kWh/年}) &= 475 \times 330(\text{日/年}) \times 24(\text{h/日}) \times 10^{-3} \\ &= 3,759\end{aligned}$$

・従来技術

$$\begin{aligned}\text{従来技術の消費電力(kW)} &= 1.12 \times 150(\text{wet-t/日}) + 266 \\ &= 435\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{エネルギー消費量(電気由来)}(\text{千 kWh/年}) &= 435 \times 330(\text{日/年}) \times 24(\text{h/日}) \times 10^{-3} \\ &= 3,443\end{aligned}$$

② エネルギー消費量(補助燃料由来)

・革新的技術

革新的技術の補助燃料消費量は、焼却炉の熱収支計算によって決定する。

実証運転条件においては補助燃料使用量が 0 のため、エネルギー消費量(補助燃料由来)も 0 となるが、参考までに計算式を示す。

$$\begin{aligned}\text{エネルギー消費量(補助燃料由来)}(\text{千 kWh/年}) &= \text{補助燃料使用量}(\text{Nm}^3/\text{h}) \times \text{運転日数} \\ &(\text{日/年}) \times \text{運転時間}(\text{h/日}) \times \text{補助燃料エネルギー原単位}(\text{MJ/Nm}^3) \times 10^{-3} \times \text{換算係数} \\ &(\text{kWh/MJ})\end{aligned}$$

・従来技術

革新的技術と同様に、実証運転においては補助燃料使用量が 0 のため、エネルギー消費量(補助燃料由来)も 0 となる。

③ エネルギー創出量

・革新的技術

発電電力量については発電出力に運転時間を乗じて算出するものとし、エネルギー消費量に対して負の値のエネルギー創出量として計上する。

$$\begin{aligned}\text{エネルギー創出量(千 kWh/年)} &= -461 \times 330(\text{日/年}) \times 24(\text{h/日}) \times 10^{-3} \\ &= -3,655\end{aligned}$$

④ エネルギー削減効果

§ 10 評価項目より、革新的技術と従来技術のエネルギー削減効果を算出する。

・革新的技術

$$\begin{aligned}\text{エネルギー消費量(千 kWh/年)} &= 3,759 + 0 - 3,655 \\ &= 104\end{aligned}$$

・従来技術

$$\begin{aligned}\text{エネルギー消費量(千 kWh/年)} &= 3,443 + 0 \\ &= 3,443\end{aligned}$$

よってエネルギー削減効果は以下の式で表される。

$$\begin{aligned}\text{エネルギー削減効果}(\%) &= \left(1 - \frac{104}{3,443}\right) \times 100 \\ &= 97.0\end{aligned}$$

表資 3.2.4-12 エネルギー削減効果一覧

ケース	-	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	1-7	1-8	2	3
汚泥性状	-	混合生	混合生	混合生	混合生	混合生	消化	消化	混合生	混合生	混合生
補助燃料	-	都市ガス	都市ガス	都市ガス	都市ガス	都市ガス	消化ガス	灯油	都市ガス	都市ガス	都市ガス
補助燃料使用量	m ³ /h kg/h	24.6	8.3	0	0	0	462	205	0	0	0
エネルギー消費量 (補助燃料)	千 kWh/年	2,490	840	0	0	0	0	20,809	0	0	0
エネルギー消費量 (電力)	千 kWh/年	3,035	3,351	3,759	7,518	3,692	3,759	3,759	4,175	3,759	3,759
エネルギー創出量	千 kWh/年	-1,275	-2,268	-3,655	-8,115	-3,906	-3,784	-3,598	-5,142	-3,655	-3,655
合計	千 kWh/年	4,249	1,923	104	-598	-215	-25.6	20,970	-967	104	104
エネルギー削減効果	%	17.2	49.9	97.0	109	106	101	13.5	125	97.0	97.0
電力自給率	%	42.0	67.7	97.2	108	106	101	95.7	123	97.2	97.2

6) 温室効果ガス排出量

温室効果ガス排出量の算出にあたっては、下記項目について算出した。なお、燃焼排ガスより排出される CH₄ については一酸化二窒素と比較して排出係数及び地球温暖化係数が小さく、温室効果ガス排出量に対する寄与が小さいため、炉内で完全燃焼されるものとして本試算においては含まないものとした。温室効果ガス排出量の算出にあたっては、ユーティリティ(電気、燃料)の使用、燃焼の結果生成される N₂O に係るものを対象とし、薬品に係るものは除外した。

温室効果ガス削減効果は下記の式に従い算出した。

$$\text{温室効果ガス削減効果} = \left(1 - \frac{\text{温室効果ガス排出量(革新的技術)}}{\text{温室効果ガス排出量(従来技術)}}\right) \times 100$$

a) 二酸化炭素(CO₂)

本システム技術に用いるユーティリティ(電気、補助燃料)の定常運転中に排出されるものを対象とした。ユーティリティ使用量は実証結果に基づき算出した。焼却している汚泥由来二酸化炭素はバイオマス炭素由来のため、試算の対象外とした。各原単位については表資 3.2.4-13 に記載した。発電によって得られた電力については相当量の CO₂ 排出量を温室効果ガス排出量から除いた。

なお、「下水道における地球温暖化対策マニュアル、環境省・国土交通省、平成 28 年 3 月」より、消化ガス由来の二酸化炭素については温室効果ガスに含まないものとして計算を行った。

b) 一酸化二窒素(N₂O)由来 CO₂

革新的技術を導入した焼却炉の運転時に燃焼排ガスより排出される N₂O については、実証試験の結果より排出係数 0.000232kg-N₂O/wet-t を用いて算出し、温室効果ガス換算係数の 298 を乗じて算出した。

表資 3.2.4-13 温室効果ガス排出量原単位

項目	単位	係数
N ₂ O	t-N ₂ O/wet-t	0.000232
都市ガス	t-CO ₂ /千 Nm ³	2.23
消化ガス	t-CO ₂ /千 Nm ³	1.33
灯油	t-CO ₂ /kL	2.49
A 重油	t-CO ₂ /kL	2.71
電力	t-CO ₂ /千 kWh	0.555

温室効果ガス排出量の計算例をケース 1-3 (150wet-t/日、混合生汚泥焼却)を代表として以下に示す。
 なお、試算については § 10 評価項目に示した試算方法を用いて行い、発電による温室効果ガス排出量は、発電によって得られた電力相当量の二酸化炭素を削減したものと負の値として積算した。

① 温室効果ガス排出量(電気由来)

電気由来の温室効果ガス排出量は、電気由来エネルギー消費量に対し、温室効果ガス排出量原単位を乗じて算出する。

・革新的技術

$$\begin{aligned} \text{温室効果ガス排出量(電気由来) (t-CO}_2\text{/年)} &= \\ &= 3,759 \text{ (千 kWh/年)} \times 0.555 \text{ (t-CO}_2\text{/千 kWh)} \\ &= 2,086 \end{aligned}$$

・従来技術

$$\begin{aligned} \text{温室効果ガス排出量(電気由来) (t-CO}_2\text{/年)} &= \\ &= 3,443 \text{ (千 kWh/年)} \times 0.555 \text{ (t-CO}_2\text{/千 kWh)} \\ &= 1,911 \end{aligned}$$

② 温室効果ガス排出量(補助燃料由来)

補助燃料由来の温室効果ガス排出量は、補助燃料消費量に対し、温室効果ガス排出量原単位を乗じて算出する。なお、実証条件の場合補助燃料由来のエネルギー消費量が 0 のため、温室効果ガス排出量も 0 となるが、参考までに計算式を示す。

$$\begin{aligned} \text{温室効果ガス排出量(補助燃料由来) (t-CO}_2\text{/年)} &= \\ &= \text{補助燃料消費量 (Nm}^3\text{/h)} \times 330 \text{ (日/年)} \times 24 \text{ (h/日)} \\ &\quad \times 10^{-3} \times \text{温室効果ガス排出量原単位 (t-CO}_2\text{/千 Nm}^3\text{)} \end{aligned}$$

③ 温室効果ガス排出量(N₂O 由来)

N₂O 由来の温室効果ガス排出量は、処理量に対して排出係数を乗じて N₂O 排出量を算出し、得られた N₂O 排出量に対して温室効果ガス排出量原単位を乗じて算出する。

・革新的技術

$$\begin{aligned} \text{N}_2\text{O 排出量(t-N}_2\text{O/年)} &= 0.000232 \times 150 \text{ (wet-t/日)} \times 330 \text{ (日/年)} \\ &= 11.5 \\ \text{温室効果ガス排出量(N}_2\text{O 由来) (t-CO}_2\text{/年)} &= 11.5 \times 298 \text{ (t-CO}_2\text{/t-N}_2\text{O)} \\ &= 3,422 \end{aligned}$$

・従来技術

$$\begin{aligned} \text{N}_2\text{O 排出量(t-N}_2\text{O/年)} &= 0.000645 \times 150 \text{ (wet-t/日)} \times 330 \text{ (日/年)} \\ &= 31.9 \\ \text{温室効果ガス排出量(N}_2\text{O 由来) (t-CO}_2\text{/年)} &= 31.9 \times 298 \text{ (t-CO}_2\text{/t-N}_2\text{O)} \\ &= 9,514 \end{aligned}$$

④ 温室効果ガス排出量(発電由来)

発電由来の温室効果ガス排出量は、発電によるエネルギー創出量分に相当する温室効果ガス排出量を削減したものとして、負の値として計上する。

$$\begin{aligned}\text{温室効果ガス排出量(発電由来)} &= -3,655(\text{千 kWh/年}) \times 0.555(\text{t-CO}_2/\text{千 kWh}) \\ &= -2,029\end{aligned}$$

⑤ 温室効果ガス排出量削減効果

以上の結果より、革新的技術と従来技術の温室効果ガス排出量は下記の通りとなる。

・革新的技術

$$\begin{aligned}\text{温室効果ガス排出量(革新的技術)}(\text{t-CO}_2/\text{年}) &= 2,086 + 0 + 3,422 - 2,029 \\ &= 3,480\end{aligned}$$

・従来技術

$$\begin{aligned}\text{温室効果ガス排出量(従来技術)}(\text{t-CO}_2/\text{年}) &= 1,911 + 0 + 9,514 \\ &= 11,425\end{aligned}$$

よって温室効果ガス排出量削減効果は下記の通りとなる。

$$\begin{aligned}\text{温室効果ガス排出量削減効果}(\%) &= \left(1 - \frac{3,480}{11,425}\right) \times 100 \\ &= 69.5\end{aligned}$$

表資 3.2.4-14 温室効果ガス削減効果一覧

ケース	-	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	1-7	1-8	2	3
電気由来	t-CO ₂ /年	1,684	1,860	2,086	4,172	2,044	2,086	2,086	2,317	2,086	2,086
補助燃料由来	t-CO ₂ /年	447	151	0	0	0	0	5,102	0	0	0
N ₂ O 由来	t-CO ₂ /年	1,369	2,281	3,422	6,844	3,212	3,422	3,422	4,563	3,422	3,422
発電由来	t-CO ₂ /年	-708	-1,259	-2,029	-4,504	-2,168	-2,100	-1,997	-2,854	-2,028	-2,028
合計	t-CO ₂ /年	2,792	3,033	3,480	6,513	3,088	3,408	8,613	4,026	3,480	3,480
温室効果ガス削減効果	%	51.2	62.8	69.5	71.5	71.4	70.2	47.9	72.9	69.5	69.5

4. 発電設備設置時の法令に基づく届出等

汚泥焼却設備設置時の適用法令(大気汚染防止法、水質汚濁防止法、騒音規制法、振動規制法、建築基準法、ダイオキシン類対策特別措置法)に加え、発電設備設置時の法令に基づく届出等を以下に示す。

なお、各自治体による上乗せ規制がある場合があるので、個別の確認が必要である。

(1) 消防法及び火災予防条例等

焼却炉、ボイラの設置について、「設置届出」、また、補助燃料、作動油等の危険物を指定数量以上貯蔵または取扱う場合、「危険物設置許可申請(貯蔵所・取扱所)」、さらにすでに届出がなされている既存焼却設備を更新する場合や増設する場合などは「変更届出」が必要となる場合があるため、管轄の消防署に確認を行う。

(2) 電気事業法

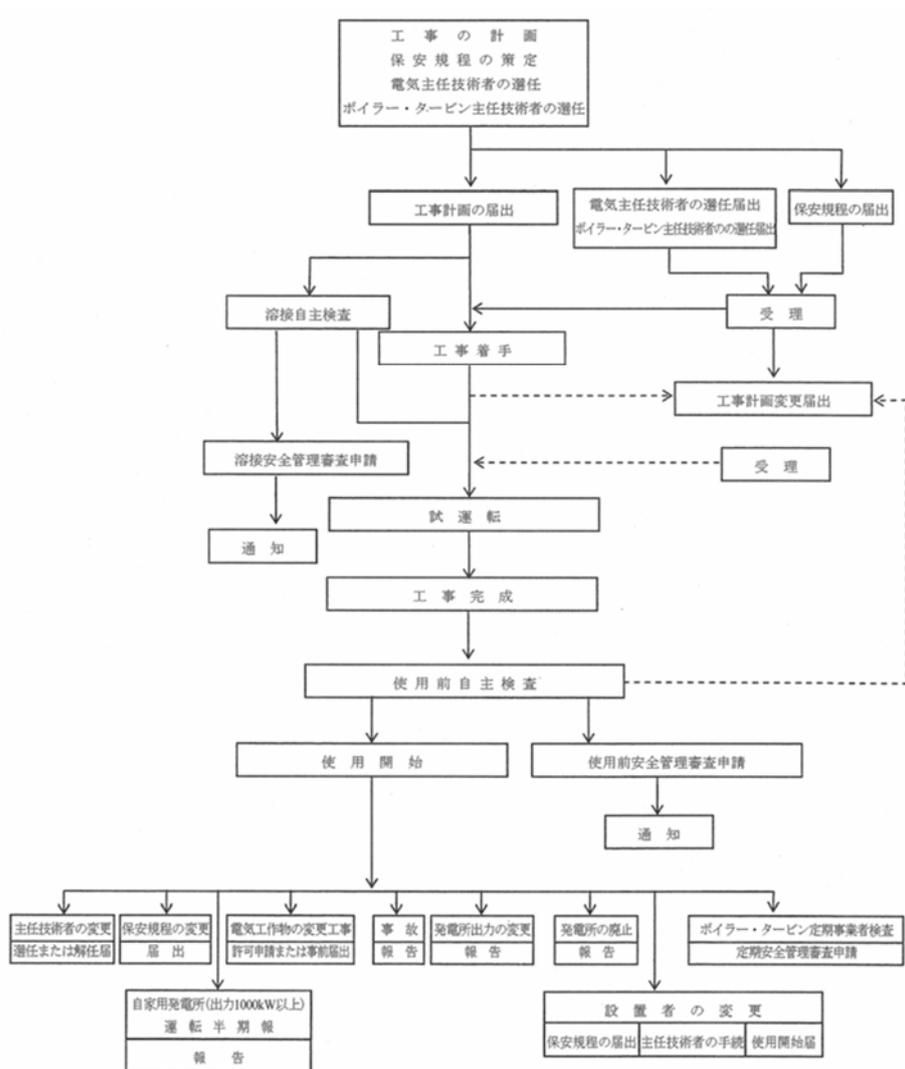
1) 手続き

出力 90 万 kW 未満の火力発電所であって汽力(蒸気)を原動力とするものを設置する場合、電気事業法第 48 条第 1 項の規定により経済産業大臣に工事計画届出の提出等、必要な手続きを行わなければならない。

- ①工事計画届出
- ②保安規定の策定
- ③電気主任技術者の選任
- ④ボイラー・タービン主任技術者の選任
- ⑥使用前自主検査
- ⑦使用前安全管理審査
- ⑧定期安全管理審査

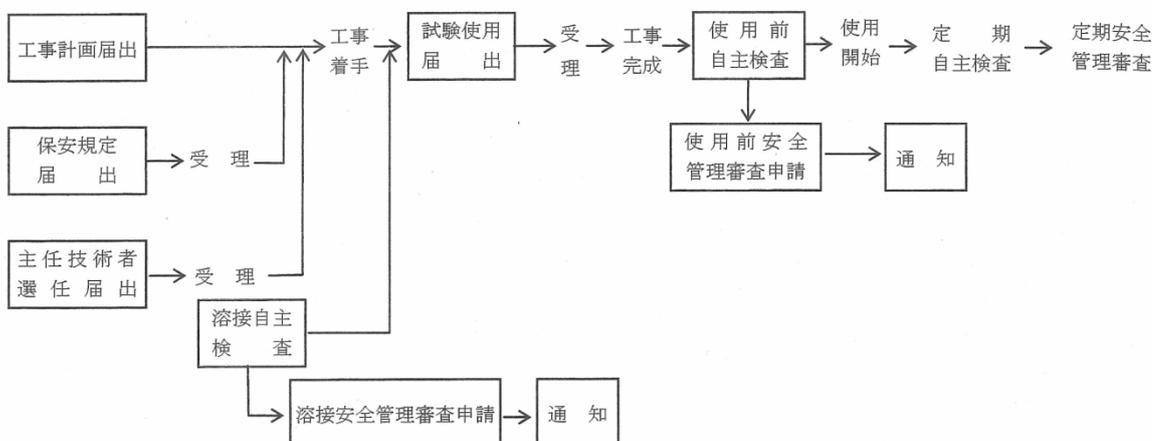
このうち、①工事計画届出の添付資料として「発電所から電力系統への送電関係一覧図」、および「遮断器の三相短絡容量計算書」が必要であるため、電力会社への自家用電気使用の申込を早期にしておく必要がある。(上記計算書のうち、受電地点の三相短絡容量は電力会社より入手するものである。)

経済産業局への手続きを図資 4-1 に、申請及び検査の工程を図資 4-2 に示した。使用開始以後定期検査を受検することが義務付けられている。また、工事計画届出及び、許可申請に係る関連法規をまとめて表資 4-1 に示した。



図資 4-1 汽力発電所を設置する場合の手続図(90 万 kW 未満の場合)

(出典:NEDO 廃棄物発電導入マニュアル改訂版, 2001)



図資 4-2 電気事業法の適用を受ける場合の申請及び検査の工程

(出典:全国都市清掃会議 ごみ処理施設整備の計画・設計要領 2017 改訂版, 2017, P.326)

表資 4-1 自家用電気工作物設置者のための電気事業法関係諸法令抜粋(汽力発電設備)

法令等 項目	電気事業法	政令	省令
1総則条項 目的 用語の定義 自家用電気工作物定義	第1条 第2条 第38条	施工令第1条	施行規則第1条 施行規則第48条
2工事計画 2-1工事計画届出	第48条		施行規則第65条～67条
3主任技術者 (電気及びボイラ・タービン主任技術者) 3-1選任、解任 3-2免状の種類	第43条 第44条		施行規則第52条～55条 施行規則第56条
4保安規定	第42条		施行規則第50条、51条
5電気工作物検査 5-1使用前安全管理検査 5-2ボイラ・タービン等の 溶接安全管理検査 5-3定期安全管理検査 5-4立入検査	第50条の2 第52条 第55条 第107条		施行規則第73条の2～9 施行規則第79条～86条 施行規則第95条
6電気工作物の維持 自家用電気工作物の維持技 術基準適合命令	第39条、40条		技術基準を定める省令
7その他 7-1特定供給 7-2事故その他の報告	第17条 第106条	施行令第5条第2項	施行規則第20、21条 報告規則第2～5条

2) ボイラー・タービン主任技術者の選任

発電設備付施設にあつては、圧力によって下記のように規定されている。(電気事業法第43条、第44条、同施行規則第52条、第56条)

- ・圧力 5,880kPa 未満のタービン : 第2種ボイラタービン主任技術者
- ・上記以外 : 第1種ボイラタービン主任技術者

但し、圧力 2,940kPa 未満、1,470kPa 未満かつ出力 5,000kW 未満の場合には第2種ボイラタービン主任技術者の選任対象が緩められる。

ボイラー・タービン主任技術者の選任については、設置者の従業員から免状所持者を選任する必要があるが、免状未所持のものでも選任できる例外制度が存在する。ボイラー・タービン主任技術者の選任条件を表に示す。

表資 4-2 ボイラー・タービン主任技術者の選任条件

条件		火力発電所(自家用電気工作物)				
条件	発電出力	200kW 未満	5,000kW 未満	—	—	—
	使用圧力	1,000kPa 未満	1,470kPa 未満	2,940kPa 未満	5,880kPa 未満	5,880kPa 以上
	最大蒸発量	4t/h 未満	—	—	—	—
資格保有者	兼任	○(2 事業所まで)				
	外部選任 (派遣等)	○	○	○	○	○
資格を 保有しない 者	許可選任	○ (条件 1)	○ (条件 2)	○ (条件 3)	○ (条件 4)	○ (条件 5)

自家用電気工作物に該当するものであれば、兼任、外部選任、許可選任制度を利用することができる。ボイラー・タービン主任技術者の兼任は 2 事業所までに制限されている。また、許可選任可能な条件は、自家用電気工作物に該当する設備の発電出力や最大使用圧力等の条件によって異なる。ボイラー・タービン主任技術者の許可選任条件を表に示す。

表資 4-3 ボイラー・タービン主任技術者の許可選任条件

条件 1	<p>① 学校教育法による高等学校又はこれらと同等以上の教育施設において機械工学の過程を修めて卒業した者</p> <p>② 学校教育法による高等学校又はこれらと同等以上の教育施設を卒業した者又は高等学校卒業程度認定試験合格者であって、火力発電所の工事、維持または運用に関する実務に通算して1年以上従事した者</p> <p>③ 1 級海技士(機関)、2 級海技士(機関)又は 3 級海技士(機関)として海技士の免許を受けているもの</p> <p>④ 労働安全衛生法のボイラー取扱い技能講習を修了した者であって、労働安全衛生法施行令第 20 条第 5 号イからニまでに掲げるボイラーを 4 か月以上取り扱った経験がある者</p> <p>⑤ 特級ボイラー技士免許、1 級ボイラー技士免許、2 級ボイラー技士免許を受けている者</p> <p>⑥ エネルギー管理士免状の交付を受けている者エネルギー管理士の試験及び免状の交付に関する規則第 29 条の表の上欄に掲げる熱分野専門区分に応じた同表の下欄に掲げる試験科目又は同規則別表第 1 の第 1 欄に掲げる熱分野専門区分に応じた同表の第 2 欄に掲げる修了試験科目に合格したことによりエネルギー管理士 免状の交付を受けたものに限る)</p> <p>⑦ 技術士(機械部門に限る。)の 2 次試験に合格した者</p>
条件 2	<p>① 学校教育法による高等学校又はこれらと同等以上の教育施設において機械工学の過程を修めて卒業した者</p> <p>② 1 級海技士(機関)として海技士の免状を受けているもの</p> <p>③ 特級ボイラー技士免許又は 1 級ボイラー技士免許を受けている者</p> <p>④ エネルギー管理士免状の交付を受けている者(エネルギー管理士の試験及び免状の交付に関する規則第 29 条の表の上欄に掲げる熱分野専門区分に応じた同表の下欄に掲げる試験科目又は同規則別表第 1 の第 1 欄に掲げる熱分野専門区分に応じた同表の第 2 欄に掲げる修了試験科目に合格したことによりエネルギー管理士 免状の交付を受けたものに限る)</p> <p>⑤ 技術士(機械部門に限る。)の 2 次試験に合格した者</p> <p>⑥ 条件 1②に掲げる者であって、出力 200kW 以上かつ圧力 1,000kPa 以上の火力発電所又は燃料電池発電所の工事、維持又は運用に関する実務に通算して 2 年以上従事した者</p> <p>⑦ 条件 1③(2 級海技士(機関)又は 3 級海技士(機関)として海技士の免許をうけた者に限る。)又は⑤(2 級ボイラー技士免許を受けているものに限る。)に掲げる者であって、出力 200kW 以上かつ圧力 1,000kPa 以上の火力発電所又は燃料電池発電所の工事、維持又は運用に関する実務に通算して 2 年以上従事した者</p> <p>⑧ ①から⑦までに掲げる者と同等以上の知識及び技能を有すると認められるもの</p>

条件 3	<p>①学校教育法による短期大学若しくは高等専門学校又はこれらと同等以上の教育施設において機械工学の過程を修めて卒業した者</p> <p>②条件 2 に掲げる者(⑥及び⑦に掲げる者を除く。)であって、圧力 1,470kPa 以上の火力発電所又は燃料電池発電所の工事、維持又は運用に関する実務に通算して 3 年以上従事した者</p>
条件 4	<p>①学校教育法による大学(短期大学を除く。)又はこれと同等以上の教育施設において機械工学の過程を修めて卒業した者</p> <p>②条件 3 に掲げる者であって、圧力 2,450kPa 以上の火力発電所又は燃料電池発電所の工事、維持又は運用に関する実務に通算して 2 年以上従事した者</p>
条件 5	<p>条件 4 に掲げる者であって、圧力 2,450kPa 以上の火力発電所又は燃料電池発電所の工事、維持又は運用に関する実務に通算して 3 年以上従事した者</p>

(3) 労働安全衛生法

1) 手続き

タービン発電設備を設置しない廃熱ボイラには、労働安全衛生法が適用される。なお、発電用と工場用に併用するボイラの取扱いについては、通商産業省(経済産業省)より下記の見解(昭和40年7月1日付40公局第566号)が出されている。

通商産業省(経済産業省)(昭和40年7月1日付40公局第566号)より抜粋

- a 2個以上のボイラから発生する蒸気を発電用の蒸気タービン又は往復機関及び発電用以外の用途に併用する場合、
- b 1個のボイラから発生する蒸気を発電用の蒸気タービン又は往復機関及び発電用以外の用途に併用する場合、
その蒸発量の2分の1以上を発電用に充当するボイラは、電気工作物として取扱うものとする。

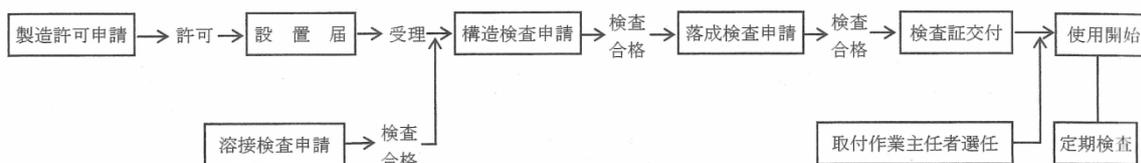
これは、ボイラ自体の安全性について、電気事業法の規制でも労働安全衛生法の規制でも同等の安全性が確保されるためであり、一つのボイラが労働安全衛生法と電気事業法の両方に適用されるということはない。

焼却施設内で蒸気タービン発電を行っている場合でもボイラは労働安全衛生法の適用を受ける場合もあるので、小型の発電設備(誘導発電機など)を設置する場合は申請上留意する必要がある。

労働安全衛生法において必要な手続きを以下に挙げる。

- ①ボイラー取扱作業主任者の選任
- ②ボイラー据付作業の指揮者の選任
- ③整備業務の就業制限
- ④製造許可
- ⑤設置届
- ⑥構造規格
- ⑦構造検査
- ⑧溶接検査
- ⑨落成検査
- ⑩使用検査
- ⑪定期自主検査
- ⑫性能検査

申請及び検査の工程を図資4-3に示した。使用開始後毎年性能検査を受検することが併せ規定されている。



図資 4-3 労働安全衛生法の適用を受ける場合の申請及び検査の工程

(出典:全国都市清掃会議 ごみ処理施設整備の計画・設計要領 2017 改訂版, 2017, P.326)

2) ボイラー取扱作業主任者の選任

取扱者については、労働安全衛生法の適用を受ける場合は、ボイラ及び圧力容器安全規則第 24 条で伝熱面積の大小によって表のように規定しているので、ボイラ設置に当たっては資格者の用意が必要である。

表資 4-4 ボイラ取扱者(労働安全衛生法の適用を受ける場合)

伝熱面積	取扱主任者
500m ² 以上	特級ボイラ技士
500m ² 未満25m ² 以上	特級及び1級ボイラ技士
25m ² 未満	特級、1級及び2級ボイラ技士

但し、伝熱面積は同一施設内に設置される取扱い対象の全ボイラの合計伝熱面積で規制される。