

廃棄物処理技術検証結果概要書

流動床式ガス化改質システムによるごみ処理技術

三菱重工環境・化学エンジニアリング株式会社

令和8年5月

一般財団法人 日本環境衛生センター

II. 検証結果(性能・特徴等)と実用化に際しての留意事項

【性能項目】1. 性能の安定性(1) 適応範囲

【検証結果 (性能・特徴等)】

- ・計画ごみ質は以下のとおりであり、実証試験に用いたごみは岩手県久慈広域連合の収集ごみである。

表1 計画ごみ質

	低質ごみ	基準ごみ 【設計点】	高質ごみ
水分 (%)	60.44	47.91	35.38
灰分 (%)	4.91	6.46	8.01
可燃分 (%)	34.65	45.63	56.61
低位発熱量 (kcal/kg) (kJ/kg)	1,194 (4,999)	1,762 (7,377)	2,330 (9,755)

- ・実証試験に用いた実際のごみのごみ質について、低位発熱量は計画値の基準ごみ質より高い傾向にあった。また、三成分は水分が低く可燃分が高い傾向にあった。

表2 ごみ質分析結果

項目	低位発熱量 (kJ/kg) (kcal/kg)	三成分 (%)			単位 容積重量 (kg/m ³)	元素分析 (%)						種類組成 (乾ベース (%))						
		水分	灰分	可燃分		炭素	水素	酸素	窒素	硫黄分	塩素分	紙・ 布類	合成樹 脂・ゴ ム類	木・ 竹・ わら類	厨芥類	不燃物	その他	
測定 値	2022/2/21	10930 (2,610)	43.65	9.29	47.06	118	28.06	4.01	14.15	0.49	0.06	0.29	41.70	37.21	0.87	15.29	0.73	4.20
	2022/2/21	8,760 (2,090)	50.62	7.37	42.01	120	24.92	3.38	13.20	0.32	0.03	0.16	43.96	31.33	1.04	18.62	4.61	0.44
	2023/3/9	13,860 (3,310)	40.41	5.26	54.33	218	34.79	4.81	13.39	0.97	0.10	0.27	51.23	41.01	1.67	3.28	0.07	2.74
	2023/3/9	13,210 (3,160)	40.18	6.15	53.67	232	33.39	4.94	13.94	0.48	0.05	0.87	54.35	40.35	1.45	1.19	0.02	2.64
	2023/3/24	14,100 (3,370)	37.00	5.75	57.25	230	34.43	4.89	16.91	0.60	0.04	0.38	44.73	40.00	7.13	5.16	0.47	2.51
	2023/3/24	15,720 (3,760)	36.03	4.16	59.81	242	37.10	5.21	16.41	0.68	0.03	0.38	45.79	48.21	2.87	1.67	0.00	1.46
	2023/6/21	9,830 (2,350)	38.49	8.08	53.43	138	30.31	4.04	18.20	0.47	0.04	0.37	46.86	27.28	13.68	5.97	5.52	0.69
	2023/6/21	9,160 (2,190)	41.30	5.60	53.10	137	31.52	4.00	16.48	0.66	0.06	0.38	58.41	26.36	6.25	5.50	1.22	2.26
	2023/7/10	8,910 (2,130)	47.76	5.64	46.60	260	26.19	3.64	15.73	0.48	0.03	0.53	44.40	42.89	5.99	0.71	0.58	5.43
	2023/7/10	10,230 (2,440)	43.07	5.85	51.08	266	28.15	4.06	16.88	1.52	0.06	0.41	47.91	44.94	2.46	1.02	0.09	3.58
	2023/7/14	9,430 (2,250)	46.18	5.83	47.99	274	26.81	3.62	16.36	0.79	0.04	0.37	51.70	35.77	4.20	1.38	0.07	6.88
	2023/7/14	10,660 (2,550)	36.73	6.94	56.33	255	29.53	3.94	21.65	0.68	0.04	0.49	48.15	37.41	4.07	5.27	0.74	4.36
	2023/11/22	8,700 (2,080)	50.20	5.59	44.21	148	24.35	3.25	15.74	0.39	0.03	0.45	57.23	22.72	4.89	11.58	3.14	0.44
	2023/11/22	9,330 (2,230)	48.01	4.59	47.40	139	26.11	3.37	16.45	0.15	0.03	1.29	43.71	32.97	6.65	14.39	0.76	1.52
	2024/12/21	16,650 (3,980)	29.60	6.76	63.64	199	40.31	5.82	16.77	0.37	0.05	0.32	48.30	50.22	0.32	0.69	0.07	0.40
	2024/12/21	14,550 (3,480)	32.52	5.26	62.22	200	37.86	5.40	18.21	0.28	0.03	0.44	52.84	45.47	0.39	0.78	0.00	0.52
	平均	11,502 (2,749)	41.36	6.13	52.51	207	30.86	4.27	16.28	0.58	0.05	0.46						
最大	16,650 (3,980)	50.62	9.29	63.64	274	40.31	5.82	21.65	1.52	0.10	1.29							
最小	8,700 (2,080)	29.60	4.16	42.01	118	24.35	3.25	13.20	0.15	0.03	0.16							

【性能項目】1. 性能の安定性(2) ごみ処理能力

【検証結果 (性能・特徴等)】

① 乾燥機の処理能力、性能及び安定性

- ・乾燥機の計画処理量は20t/日であるが、定期的な内部の点検・清掃のため1日あたり20時間程度の運転と4時間程度の停止を繰り返すバッチ運転とした。なお、乾燥ごみはヤードに一旦貯留するため、ガス化炉とは縁が切れている。
- ・処理能力は、2024年8月1日～8月5日の運転期間の実績で確認している。この期間において、20t/日(20t/20h)以上の処理能力を有している。
- ・性能は、実証試験運転全期間の分析データで確認している。乾燥機の出口ごみ水分の計画値は基準ごみ質時で目標15%としていたが、過乾燥で発火が生じるリスクが急激に増大することが判明したため、実証試験の過程で目標を常用20%に変更した。乾燥後の乾燥ごみの水分は平均値で常用20%程度まで乾燥できている。

表 3 乾燥機の処理実績

期間	破碎ごみ 処理量	試験運転時間 ^{※1}		負荷運転 時間 ^{※2}	ごみ処理能力 ^{※3}	
	(t)	(日)	(h)	(h)	(t/h)	(t/日)
2024/8/1 ~ 2024/8/5	109.2	5	120	93.8	1.164	21.8
小合計	109.2	5	120	93.8	1.164	21.8
2023/1/27 ~ 2023/2/14	227.3	19	456	227.8	0.998	12.0
2023/3/5 ~ 2023/3/11	66.5	7	168	66.1	1.006	9.5
2023/3/13 ~ 2023/3/14	18.4	2	48	18.3	1.005	9.2
小合計	312.2	28	672	312.2	1.000	11.2
2023/3/17 ~ 2023/3/29	176.2	13	312	172.3	1.023	13.6
2023/6/2 ~ 2023/6/8	101.3	7	168	93.6	1.082	14.5
2023/7/23 ~ 2023/7/27	80.6	5	120	78.7	1.024	16.1
2023/7/31 ~ 2023/8/4	74.8	5	120	74.5	1.004	15.0
小計	432.9	30	720	419.1	1.033	14.4
2023/11/10 ~ 2023/11/24	240.5	15	360	236.4	1.017	16.0
2024/4/20 ~ 2024/5/2	184.0	13	312	215.4	0.854	14.2
小合計	857.4	58	1392	870.9	0.984	14.8
2023/7/28 ~ 2023/7/30	50.0	3	72	49.8	1.004	16.7
小合計	50.0	3	72	49.8	1.004	16.7
2023/6/12 ~ 2023/7/21	667.2	40	960	638.6	1.045	16.7
2024/6/28 ~ 2024/8/6	731.8	40	960	735.5	0.995	18.3
小合計	1399.0	80	1920	1374.1	1.018	17.5
合計	2618.6	169	4056	2607.0	-	-

※1：試験運転時間＝試験日数×24時間

※2：負荷運転時間＝給じん時間

※3：ごみ処理能力 (t/h) = ごみ処理量 (t) / 負荷運転時間 (h)
ごみ処理能力 (t/日) = ごみ処理量 (t) / 試験運転時間 (日)

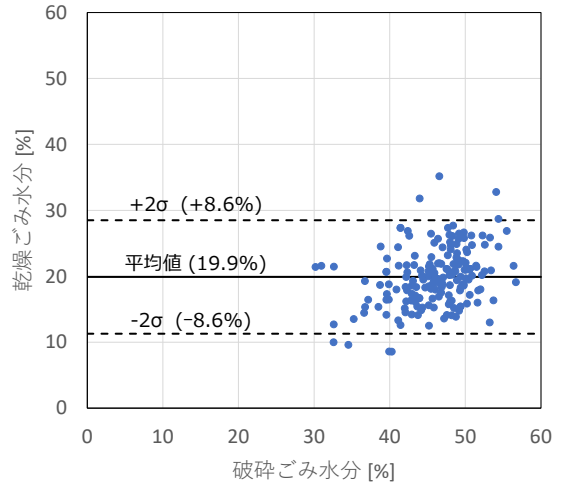


図 2 乾燥ごみ水分

- 安定性は、上記の乾燥後の乾燥ごみの水分に加え、連続運転時の経時変化で確認している。連続運転時の経時変化について、乾燥機出口排ガス温度が安定している。

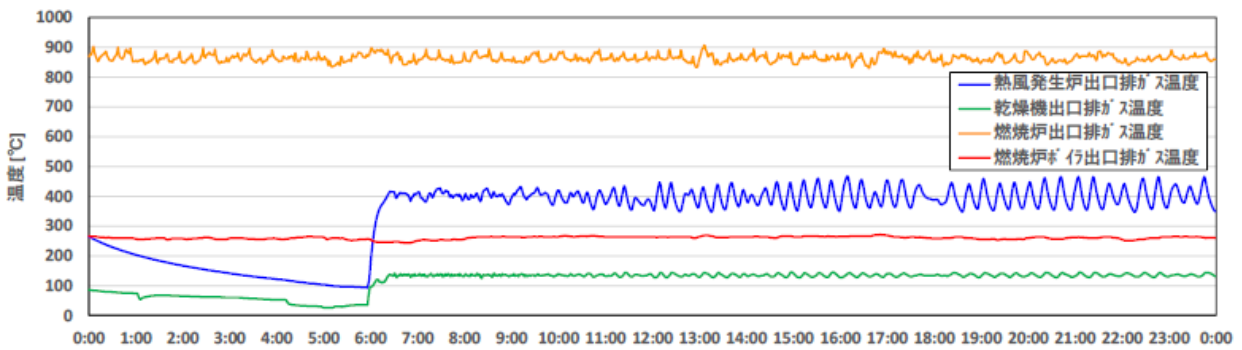
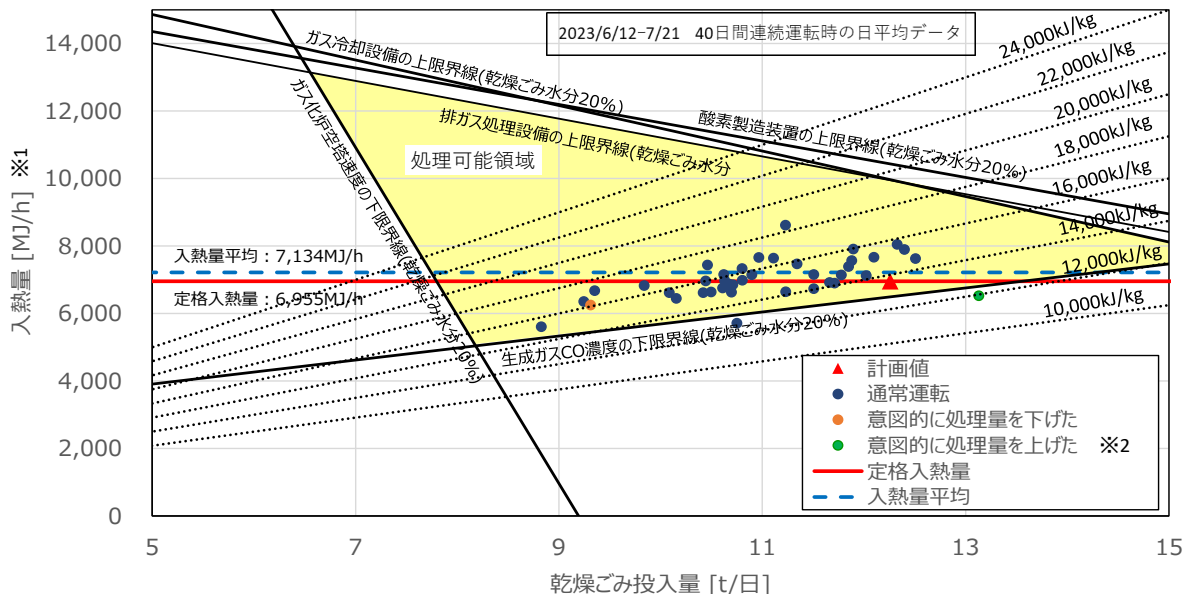


図 3 連続運転時の経時変化 (2023 年 7 月 10 日)

②ガス化・改質工程の処理能力、性能及び安定性

- ごみの低位発熱量が計画値より高かったため、入熱量で管理して運転をしている。処理能力は、連続運転時の日平均データで確認している。平均入熱量は、ほぼ定格入熱量 (6,955MJ/h) で運転できている。



※1: 入熱量は乾燥ごみ推定 LHV (直近ごみ質分析値と当日ごみ水分値から算出) と乾燥ごみ処理量から推算
 ※2: 乾燥ごみの低位発熱量が低いことが、運転データ (乾燥ごみの水分分析値、生成ガス量、CO 濃度のデータなど) から明らかだったことから、意図的に処理量を上げた。

図 4 実証施設におけるガス化炉のごみ処理能力

- 性能は、(1) エタノール製造設備に供給する生成ガスの性状と (2) すず、タール、熱分解残渣 (チャー) の生成抑制の 2 点について確認をしている。
 - (1) エタノール製造設備に供給する生成ガスの性状は、生成ガスのろ過式集じん器出口濃度で確認している。目標とする濃度の生成ガスが得られている。
 - (2) すず、タール、熱分解残渣 (チャー) の生成抑制について、 $[H_2O]/[C]$ とガス化率の関係で確認している。水蒸気を供給することで乾燥ごみ中の炭素分を効率よくガス化し、すず、タール、熱分解残渣 (チャー) の生成を抑制することで高いガス化率を得ている。また、原料の乾燥ごみ中の炭素に対して水蒸気を $[H_2O]/[C]=1.3\sim 2.0$ の範囲で添加し、熔融炉、改質炉で所定の高温域を形成することで、タール類やすずを十分に改質できている。

表 4 生成ガスの性状

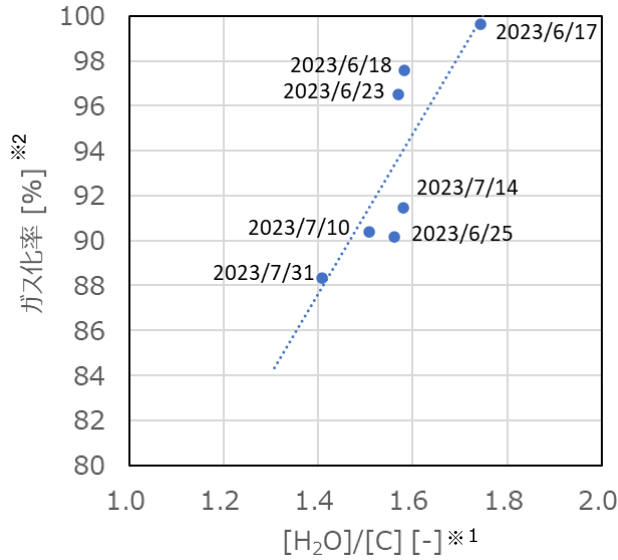
項目	目標値
CO (vol%-wet ^{※1})	10.0 以上 ^{※2}
O ₂ (vol%-wet ^{※1})	1.0 以下 ^{※3}
H ₂ (vol%-wet ^{※1})	12.0 以上 ^{※4}
タール (mg/m ³)	100 以下
ばいじん (g/m ³)	0.02 以下

※1: 40℃飽和
 ※2: 好ましくは15%以上
 ※3: 好ましくは0.5%以下
 ※4: 好ましくは18%以上

表 5 生成ガスのろ過式集じん器出口濃度

測定項目	測定結果
CO (%)	11.9
O ₂ (%)	0.8
H ₂ (%)	16.7
タール (mg/m ³)	0.4
ばいじん (g/m ³)	0.005

※測定箇所: ろ過式集じん器出口
 測定日: 2023/11/23



※1 $[H_2O] / [C] = (\text{ごみ中水分のモル数} + \text{供給した水蒸気のモル数}) / \text{ごみ中のCのモル数} \times 100\%$

※2 $\text{ガス化率} = (\text{生成ガス中Cのモル数} - \text{出滓口バーナLPG中Cのモル数}) / \text{ごみ中Cのモル数} \times 100\%$

図5 ガス化・改質プロセスの[H₂O]/[C]とガス化率の関係

- 安定性の確認は、投入量制御を行った際のガス性状の経時変化で確認している。ごみ投入量制御を行うことで、CO濃度：10%、H₂濃度：12%以上が確実に達成できている。

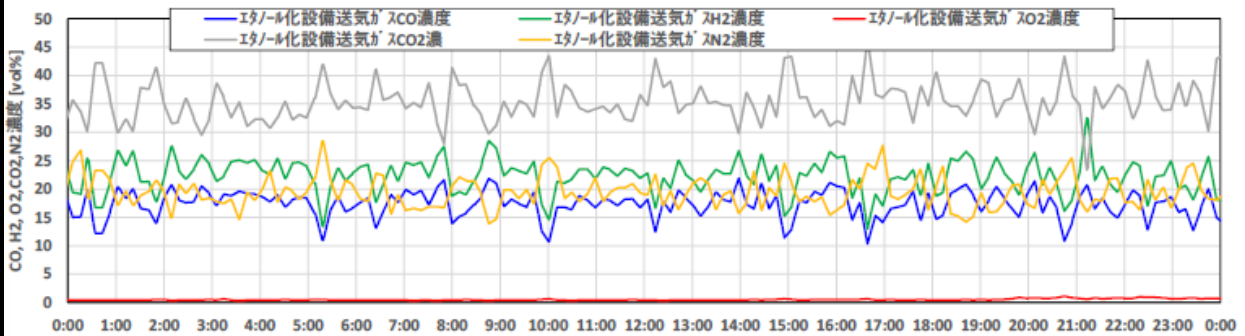


図6 投入量制御を行った際のガス性状の経時変化例(2024年7月29日)

【性能項目】1. 性能の安定性(3) 処理残渣の性状

【検証結果（性能・特徴等）】

・処理残渣に該当するものとして、不燃物、飛灰及び溶融スラグがある。

①不燃物

- ・熱しゃく減量はごみ処理施設性能指針の基準値 5%を満たしている。
- ・重金属類等は埋立基準値（「金属等を含む産業廃棄物に係る判定基準（総理府令第5号）」）を満たしている。
- ・ダイオキシン類含有量はダイオキシン類対策特別措置法の基準値 3ng-TEQ/g 以下を満たしている。

表 6-1 不燃物の熱しゃく減量

項目	基準値	2023. 7. 10	2023. 7. 14
ガス化炉不燃物 (%)	≤5	0. 8	0. 4

表 6-2 不燃物中のダイオキシン類含有量測定結果

項目	基準値	2023. 7. 10
ダイオキシン類濃度 (ng-TEQ/g)	≤3	0. 18

表 6-3 不燃物の溶出試験結果

項目	基準値	2023. 7. 10	2023. 7. 14
Pb (mg/L)	≤0. 3	<0. 03	<0. 03
Cd (mg/L)	≤0. 09	<0. 009	<0. 009
As (mg/L)	≤0. 3	<0. 03	<0. 03
T-Hg (mg/L)	≤0. 005	<0. 0005	<0. 0005
Cr ⁶⁺ (mg/L)	≤1. 5	<0. 15	<0. 15
Se (mg/L)	≤0. 3	<0. 03	<0. 03
アルキル水銀 (mg/L)	不検出	不検出	不検出
1, 4-ジオキサン (mg/L)	≤0. 5	<0. 05	<0. 05
pH	—	—	10. 6

※溶出試験方法：環境庁告示第13号

②飛灰

- ・飛灰は薬剤処理（キレート）している。
- ・重金属類等の溶出試験について埋立基準値（「金属等を含む産業廃棄物に係る判定基準（総理府令第5号）」）を満たしている。
- ・ダイオキシン類含有量はダイオキシン類対策特別措置法の処理基準値 3ng-TEQ/g 以下を満たしている。

表 7-1 飛灰中（薬剤処理後）のダイオキシン類含有量測定結果

項目	基準値	2023. 7. 10
ダイオキシン類濃度 (ng-TEQ/g)	≤3	0. 00083

表 7-2 飛灰溶出試験結果（薬剤処理後）

項目	灰種類	飛灰（薬剤処理後）	
	薬剤	キレート剤	
	基準値	2023. 7. 10	2023. 7. 14
Pb (mg/L)	≤0. 3	<0. 03	<0. 03
Cd (mg/L)	≤0. 09	<0. 009	<0. 009
As (mg/L)	≤0. 3	<0. 03	<0. 03
T-Hg (mg/L)	≤0. 005	<0. 0005	<0. 0005
Cr ⁶⁺ (mg/L)	≤1. 5	<0. 15	<0. 15
Se (mg/L)	≤0. 3	<0. 03	<0. 03
アルキル水銀 (mg/L)	不検出	不検出	不検出
1, 4-ジオキサン (mg/L)	≤0. 5	<0. 05	<0. 05
pH	—	—	12. 0

※溶出試験方法：環境庁告示第13号

③溶融スラグ

- ・重金属類等について、特別管理産業廃棄物の判定基準（廃棄物処理法施行規則第1条の2）の溶出基準（埋立基準）を満たしている。
- ・ダイオキシン類含有量はダイオキシン類対策特別措置法の処理基準値 3ng-TEQ/g 以下を満たしている。

表 8-1 溶融スラグ中のダイオキシン類含有量測定結果

項目	基準値	2023. 7. 10	2023. 7. 14
ダイオキシン類濃度 (ng-TEQ/g)	≤3	0. 032	0. 014

表 8-2 溶融スラグの重金属類等溶出試験結果

項目	基準値	2023. 7. 10	2023. 7. 14
Pb (mg/L)	≤0. 3	<0. 03	<0. 03
Cd (mg/L)	≤0. 09	<0. 009	<0. 009
As (mg/L)	≤0. 3	<0. 03	<0. 03
T-Hg (mg/L)	≤0. 005	<0. 0005	<0. 0005
Cr ⁶⁺ (mg/L)	≤1. 5	<0. 15	<0. 15
Se (mg/L)	≤0. 3	<0. 03	<0. 03
アルキル水銀 (mg/L)	不検出	不検出	不検出
1, 4-ジオキサン (mg/L)	≤0. 5	<0. 05	<0. 05
pH	—	—	7. 5

※溶出試験方法：環境庁告示第13号

【性能項目】2. 環境保全性(1)大気汚染防止

【検証結果（性能・特徴等）】

- ・排気筒の排ガスは乾燥機排ガス、オフガスを受け入れた排ガスであり、ボイラ、バグフィルタを経由している。排ガスの基準値は、久慈市との協定値を満たしている。

表 9 排ガス性状

測定日	項目	基準値 ^{※1}	法基準値	排気筒
2023年7月10日 (O ₂ 12%換算値、 但し、窒素酸化物 は O ₂ 16%換算 値、硫黄酸化物は 換算なし)	ばいじん (g/m ³ N)	≤0.02	≤0.2	<0.001
	塩化水素 (ppm)	≤200	≤430	2.2
	硫黄酸化物 (ppm)	≤100	≤2,463 ^{※3}	27
	窒素酸化物 (ppm)	≤230	≤230 ^{※4}	27
	一酸化炭素 ^{※2} (ppm)	≤50	≤100	2
	ダイオキシン類 (ng-TEQ/m ³ N)	≤5	≤5	0.0001
	全水銀 (mg/m ³ N)	≤0.03	≤0.03	0.0012

※1:久慈市との協定値 ※2:連続分析計の値
 ※3:K値17.5での算出値 ※4:乾燥炉としての基準

【性能項目】2. 環境保全性(2)水質汚濁防止

【検証結果（性能・特徴等）】

- ・エタノール製造も含めた久慈の実証施設として排水を無放流にしているため、排水に係る環境保全項目は適用されない。ただし、実用施設では排水を放流することも想定されるため、排水の重金属類とダイオキシン類を測定している。測定した排水について、ガス洗浄設備から大量の排水が発生し、これをスラグ水砕水槽に排水していることからスラグ水砕水を対象とした。スラグ水砕水の重金属含有量は、水質汚濁防止法に定める排水基準値以下である。またスラグ水砕水のダイオキシン類についてもダイオキシン類対策特別措置法の排出基準値以下(10pg-TEQ/1 以下)であった。

表 10-1 スラグ水砕水重金属類含有量分析結果

項目	基準値 ^{※1}	2023. 7. 14	計量方法
Pb (mg/L)	≤0.1	<0.01	JIS K0102 54.4
Cd (mg/L)	≤0.03	<0.003	JIS K0102 55.4
Cr ⁶⁺ (mg/L)	≤0.2	<0.05	JIS K0102 65.2.5
T-Hg (mg/L)	≤0.005	0.0016	環告59号付表2
As (mg/L)	≤0.1	<0.01	JIS K0102 61.4
Se (mg/L)	≤0.1	<0.01	JIS K0102 67.4
pH	— ^{※2}	8.9	JIS K0102 12.1

※1:排水処理設備設計に必要な項目。水質汚濁防止法より抜粋。
 ※2:pH調節前の為、ここでは基準外とする。

表 10-2 スラグ水砕水ダイオキシン類分析結果

項目	基準値 [※]	2023. 7. 14
ダイオキシン類 (pg-TEQ/L)	≤10	8.9

※:ダイオキシン類対策特別措置法による。

【実用化に際しての留意事項】

- ・下水道放流出来ない場合、ガス洗浄減湿塔の排水は、排水処理設備で処理を行い再利用する必要がある。その際、水収支の点で排水を再利用しても、再利用水の全量を需要側で利用しきれない可能性がある点に注意する必要がある。また、一般的な排水処理設備の場合、再利用水中の塩類やダイオキシン類および重金属類が濃縮する可能性があることから、引き抜きを行い、プラント排水の塩類やダイオキシン類および重金属類濃度に留意する必要がある。

【性能項目】2. 環境保全性(3)悪臭防止

【検証結果（性能・特徴等）】

- ・設備特有の悪臭源はないが、一般的なごみ処理施設と同様の悪臭対策を実施している。保証値は久慈市との協定値であり、敷地境界の臭気指数はその値を満たしている。

表 11 敷地境界の臭気分析結果

項目	2023. 7. 10				保証値
	敷地境界① (東側)	敷地境界② (北側)	敷地境界③ (西側)	敷地境界④ (南側)	
臭気指数	10未満	10未満	10未満	10未満	12以下

【性能項目】2. 環境保全性(4)騒音・振動防止

【検証結果（性能・特徴等）】

- ・本施設では騒音・振動の規制値はないが、規制値の有無については立地によることから、各機器における騒音・振動対策は、一般的な廃棄物焼却施設と同程度の対策は必要となる。但し、建屋を必要最小限にした場合に、屋外設置になる設備については、個別に騒音・振動対策が必要になる設備もある。

【性能項目】3. 資源循環性・脱炭素性

【検証結果（性能・特徴等）】

(1) 資源循環効果、脱炭素効果

- ・本技術における評価としては、発電や熱利用ではなく生成ガスのエタノール化への資源化利用として評価した。
- ・乾燥ごみ中の炭素分のうち32%がエタノール製造原料として利用され、CO からエタノール転換率を60%と想定すると、炭素有効利用率は19%となる。
- ・生成ガス中のCO₂濃度は25~40%と高濃度になることから、より効率的にCO₂回収を行うことが期待できる。

Category	Environment Target	Minimum Target	Actual Furnace Performance
Gasification carbon loss (red)	0	0	1
CO ₂ from gasification (green)	55	80	65
Ethanolization loss (blue)	18	8	13
Ethanolization effective utilization (orange)	27	12	19

図 7 廃棄物ガス化改質実証試験における炭素収支

COからエタノールへの転換率は、CO中のCの内エタノール中に含まれたCの割合を転換率と定義した上で、現状の久慈実証実績（約41%）とここからの伸び代を考慮し目標値60%としている（積水殿見解）

【実用化に際しての留意事項】

- ・本検証では生成ガスを利用したエタノール製造に注目したが、脱炭素の観点でCO₂を最小化できるベストなモデルの検討が望まれる。例えば、生成ガス中のCO₂濃度が高くCO₂回収も行いやすいという特徴を生かして、CCUSとの組合せや、別途CO₂をCOに変換する技術を用いて、エタノール収率を向上するとともに、CO₂排出量を削減するなどのアイデアがある。なお、モデル検討に際しては、リサイクルしたカーボン価値やカーボンプライスを含めた経済性に留意する必要がある。

【性能項目】4. 総合機性能

【検証結果（性能・特徴等）】

(1) 安定稼働

- ・実証試験において40日間（2回）の連続運転と延べ169日間の運転実績がある。
- ・実証施設の試験運転日数：169日（令和5年1月27日～令和6年8月6日）
 連続運転日数：40日間（令和5年6月12日～令和5年7月21日）
 40日間（令和6年6月28日～令和6年8月6日）

表 12 乾燥機の処理実績（再掲）

期間	破砕ごみ 処理量 (t)	試験運転時間※1		負荷運転 時間※2 (h)	ごみ処理能力※3	
		(日)	(h)		(t/h)	(t/日)
2024/8/1 ～ 2024/8/5	109.2	5	120	93.8	1.164	21.8
小合計	109.2	5	120	93.8	1.164	21.8
2023/1/27 ～ 2023/2/14	227.3	19	456	227.8	0.998	12.0
2023/3/5 ～ 2023/3/11	66.5	7	168	66.1	1.006	9.5
2023/3/13 ～ 2023/3/14	18.4	2	48	18.3	1.005	9.2
小合計	312.2	28	672	312.2	1.000	11.2
2023/3/17 ～ 2023/3/29	176.2	13	312	172.3	1.023	13.6
2023/6/2 ～ 2023/6/8	101.3	7	168	93.6	1.082	14.5
2023/7/23 ～ 2023/7/27	80.6	5	120	78.7	1.024	16.1
2023/7/31 ～ 2023/8/4	74.8	5	120	74.5	1.004	15.0
小計	432.9	30	720	419.1	1.033	14.4
2023/11/10 ～ 2023/11/24	240.5	15	360	236.4	1.017	16.0
2024/4/20 ～ 2024/5/2	184.0	13	312	215.4	0.854	14.2
小合計	857.4	58	1392	870.9	0.984	14.8
2023/7/28 ～ 2023/7/30	50.0	3	72	49.8	1.004	16.7
小合計	50.0	3	72	49.8	1.004	16.7
2023/6/12 ～ 2023/7/21	667.2	40	960	638.6	1.045	16.7
2024/6/28 ～ 2024/8/6	731.8	40	960	735.5	0.995	18.3
小合計	1399.0	80	1920	1374.1	1.018	17.5
合計	2618.6	169	4056	2607.0	-	-

※1：試験運転時間＝試験日数×24時間

※2：負荷運転時間＝給じん時間

※3：ごみ処理能力 (t/h) = ごみ処理量 (t) / 負荷運転時間 (h)
 ごみ処理能力 (t/日) = ごみ処理量 (t) / 試験運転時間 (日)

表 13 ガス化炉の処理実績

期間	乾燥ごみ 処理量 (t)	試験運転時間※1		負荷運転 時間※2 (h)	ごみ処理能力※3		平均 入熱量 (MJ/h)	入熱 負荷率 (%)	備考
		(日)	(h)		(t/h)	(t/日)			
2023/1/27 ～ 2023/2/14	142.2	19	456	447.3	0.318	7.6	4,916	70.7	ガス化炉砂層温度変化試験 (低負荷試験)
2023/3/5 ～ 2023/3/11	51.7	7	168	164.1	0.315	7.6	5,127	73.7	ガス化炉空塔速度変化試験 (低負荷試験)
2023/3/13 ～ 2023/3/14	14.6	2	48	47.2	0.31	7.4	5,203	74.8	風箱流量配分変化試験 (低負荷試験)
小合計	208.5	28	672	658.6	0.317	7.6	4,989	71.7	低負荷試験
2023/3/17 ～ 2023/3/29	121.3	13	312	286.8	0.423	10.2	7,099	102.1	100%負荷試験(その1)
低負荷燃重 ～ 2023/6/8	67.1	7	168	158.5	0.423	10.2	6,723	96.7	6号珪砂試験 (100%負荷試験(その 1))
2023/7/23 ～ 2023/7/27	53.3	5	120	119.8	0.445	10.7	6,434	92.5	流動化蒸気流量低減試験 (その1) (100%負荷試験(その 1))
2023/7/31 ～ 2023/8/4	48.9	5	120	118.5	0.413	9.9	6,987	100.5	流動化蒸気流量低減試験 (その2) (100%負荷試験(その 1))
小計	290.6	30	720	683.6	0.425	10.2	6,882	98.9	100%負荷試験(その1)
2023/11/10 ～ 2023/11/24	156.7	15	360	349.9	0.448	10.4	6,923	99.5	100%負荷試験(その2)
2024/4/20 ～ 2024/5/2	143.2	13	312	301.6	0.475	11.0	7,620	109.6	100%負荷試験(その3)
小合計	590.5	58	1392	1335.1	0.442	10.6	7,058	101.5	100%負荷試験
2023/7/28 ～ 2023/7/30	37.2	3	72	72	0.517	12.4	7,854	112.9	過負荷試験
小合計	37.2	3	72	72	0.517	12.4	7,854	112.9	過負荷試験
2023/6/12 ～ 2023/7/21	439.9	40	960	948.1	0.464	11.1	7,131	102.5	連続運転(その1)
2024/6/28 ～ 2024/8/6	471.2	40	960	947.9	0.497	11.9	7,436	109.6	連続運転(その2)
小合計	911.1	80	1920	1896	0.481	11.5	7,187	103.3	連続運転
合計	1,747.40	169	4,056	3,961.70	-	-	-	-	

※1：試験運転時間＝試験日数×24時間

※2：負荷運転時間＝給じん時間

※3：ごみ処理能力 (t/h) = ごみ処理量 (t) / 負荷運転時間 (h)
 ごみ処理能力 (t/日) = ごみ処理量 (t) / 試験運転時間 (日)

(2) スケールアップ

- ・実証試験で得られた炉床熱負荷から、1炉当たりの限界は100t/日・炉程度となる。ガス化改質炉にした場合200t/日まで望めることから、ガス化炉において200t/日（100t/日×2炉）のものを想定している。

(3) 実用性

- ・実用施設の構成は以下のとおりである比較的高カロリーごみが入り可能な湾岸工業地帯の大都市を想定したものである。なお、乾燥機は併設せず、蒸気発生装置としてストーカ炉を併設するものである。

表 14 実証施設と実用施設の設備構成・規模の比較

項目		実証施設	実用施設
炉形式		流動床ガス化改質溶融方式	流動床ガス化改質溶融方式
炉数		1 炉	2 炉
対象ごみ		一般ごみ	都市部の高カロリーごみ (3,000kcal/kg)
処理能力		20t/日×1系列＝(乾燥機: 20t/日 ガス化炉: 12.26t/日)	ガス化炉100t/日×2系列＝200t/日 焼却炉144t/日×1系列
前処理方式		二軸破碎	二軸破碎
乾燥炉		熱風式	—
蒸気発生装置 (乾燥排気処理)		燃烧炉+ボイラ	焼却炉(ストーク式) +ボイラ
給じん方式		コンベヤによるホッパ投入	ピット&クレーン方式
ガス化方式		流動床式	流動床式
溶融方式		旋回溶融式	旋回溶融式
ガス冷却方式		水噴射方式	水噴射方式
(排ガス 処理方式 による)	SOx	—	乾式脱硫(消石灰吹込み) (又は湿式脱硫等)
	HCl	—	乾式脱塩(消石灰吹込み) (又は湿式脱塩等)
	NOx	—	付帯設備(EGR+SCR)
	ばいじん	バグフィルタ	バグフィルタ
	ダイキソ	バグフィルタ	バグフィルタ(活性炭吹き込み)
処改 理質 方ガ ス式	HCl	乾式脱塩(消石灰吹込)	乾式脱塩(消石灰吹込)
	ばいじん	バグフィルタ	バグフィルタ
	硫化水素、シアン	ガス洗浄塔(アルカリ洗浄)	ガス洗浄塔(アルカリ洗浄)
	水分除去	減湿塔(40℃まで冷却)	減湿塔(40℃まで冷却)
その他		給水設備、飛灰処理装置、灰出し設備 (排水処理設備は別設備)	給水設備、排水処理設備、飛灰処理装置、 灰出し設備、建築設備等施設の運営に 必要な一切の設備
備考(設置場所)		久慈市	湾岸工業地帯の大都市を想定

【実用化に際しての留意事項】

- ・エタノール製造施設は、生成ガスの輸送を考慮するとガス化施設に近接して設置される必要があることから、実用化に際しては、エタノール製造施設の併設を前提とした敷地を確保する必要がある。

<p>【性能項目】5. 安全性</p> <p>【検証結果（性能・特徴等）】</p> <p>①安全性について、以下の項目を検討している。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・生成ガスの漏洩対策 ・ガス化炉生成ガスの爆発性 ・給じん装置内での発火 ・冷却処理後生成ガスの爆発性 ・労働安全衛生 <p>②緊急時の措置として、以下の項目を検討している。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・停電時 ・非常停止時 <p>【実用化に際しての留意事項】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ガス化改質工程において、トラブル等で処理が一時停止した際の再起動に際には、ガス化炉以降の系統内に未燃ガスが滞留している可能性があるため、爆発に留意する必要がある。 ・破砕工程におけるリチウムイオン電池の発火対策が必要である。

<p>【性能項目】6. 維持管理性</p> <p>【検証結果（性能・特徴等）】</p> <p>(1)操作・点検性</p> <p>①有資格者</p> <ul style="list-style-type: none"> ・必要とされる管理者の要件を示す。これらは従来技術と同等である。 <p style="text-align: center;">表 15 ガス化施設に必要な管理者の要件</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>管理者の要件の種類</th> <th>要件の内容</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ごみ処理施設技術管理者</td> <td>ごみ処理施設の維持管理責任者</td> </tr> <tr> <td>電気主任技術者</td> <td>電気設備の維持管理</td> </tr> <tr> <td>危険物取扱者乙種第四類</td> <td>補助燃料の貯蔵取扱管理</td> </tr> <tr> <td>ボイラ技士</td> <td>ボイラの運営維持管理</td> </tr> <tr> <td>第二種酸素欠乏危険作業主任者</td> <td>酸素欠乏危険場所の管理</td> </tr> <tr> <td>クレーン運転士</td> <td>ごみクレーンの操作（5t以上のクレーン設置時）</td> </tr> <tr> <td>特定化学物質等作業主任者</td> <td>排水処理設備薬品等の取扱管理</td> </tr> </tbody> </table> <p>②運転要員</p> <ul style="list-style-type: none"> ・必要とされる運転人員数は従来技術と同等である。 <p style="text-align: center;">表 16 ガス化施設に必要な運転人員（実用施設）</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="2">項目</th> <th>実用施設</th> <th>備考</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="10">ガス化改質炉</td> <td>責任者</td> <td>1</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>運転マネージャー</td> <td>1</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>整備マネージャー</td> <td>1</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>ボイラ技術者</td> <td>1</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>電気技術者</td> <td>1</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>事務員</td> <td>1</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>計量員</td> <td>1</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>プラットホーム作業員ほか</td> <td>3</td> <td>灰クレーン含む</td> </tr> <tr> <td>運転員</td> <td>20</td> <td>5名×4班</td> </tr> <tr> <td>整備員</td> <td>4</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>焼却炉</td> <td>運転員</td> <td>4</td> <td>1名×4班</td> </tr> <tr> <td colspan="2">合計</td> <td>38</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>	管理者の要件の種類	要件の内容	ごみ処理施設技術管理者	ごみ処理施設の維持管理責任者	電気主任技術者	電気設備の維持管理	危険物取扱者乙種第四類	補助燃料の貯蔵取扱管理	ボイラ技士	ボイラの運営維持管理	第二種酸素欠乏危険作業主任者	酸素欠乏危険場所の管理	クレーン運転士	ごみクレーンの操作（5t以上のクレーン設置時）	特定化学物質等作業主任者	排水処理設備薬品等の取扱管理	項目		実用施設	備考	ガス化改質炉	責任者	1	-	運転マネージャー	1	-	整備マネージャー	1	-	ボイラ技術者	1	-	電気技術者	1	-	事務員	1	-	計量員	1	-	プラットホーム作業員ほか	3	灰クレーン含む	運転員	20	5名×4班	整備員	4	-	焼却炉	運転員	4	1名×4班	合計		38	-
管理者の要件の種類	要件の内容																																																										
ごみ処理施設技術管理者	ごみ処理施設の維持管理責任者																																																										
電気主任技術者	電気設備の維持管理																																																										
危険物取扱者乙種第四類	補助燃料の貯蔵取扱管理																																																										
ボイラ技士	ボイラの運営維持管理																																																										
第二種酸素欠乏危険作業主任者	酸素欠乏危険場所の管理																																																										
クレーン運転士	ごみクレーンの操作（5t以上のクレーン設置時）																																																										
特定化学物質等作業主任者	排水処理設備薬品等の取扱管理																																																										
項目		実用施設	備考																																																								
ガス化改質炉	責任者	1	-																																																								
	運転マネージャー	1	-																																																								
	整備マネージャー	1	-																																																								
	ボイラ技術者	1	-																																																								
	電気技術者	1	-																																																								
	事務員	1	-																																																								
	計量員	1	-																																																								
	プラットホーム作業員ほか	3	灰クレーン含む																																																								
	運転員	20	5名×4班																																																								
	整備員	4	-																																																								
焼却炉	運転員	4	1名×4班																																																								
合計		38	-																																																								

③運転基本操作

・立上げ、立下げ時のフローは以下のとおりである。

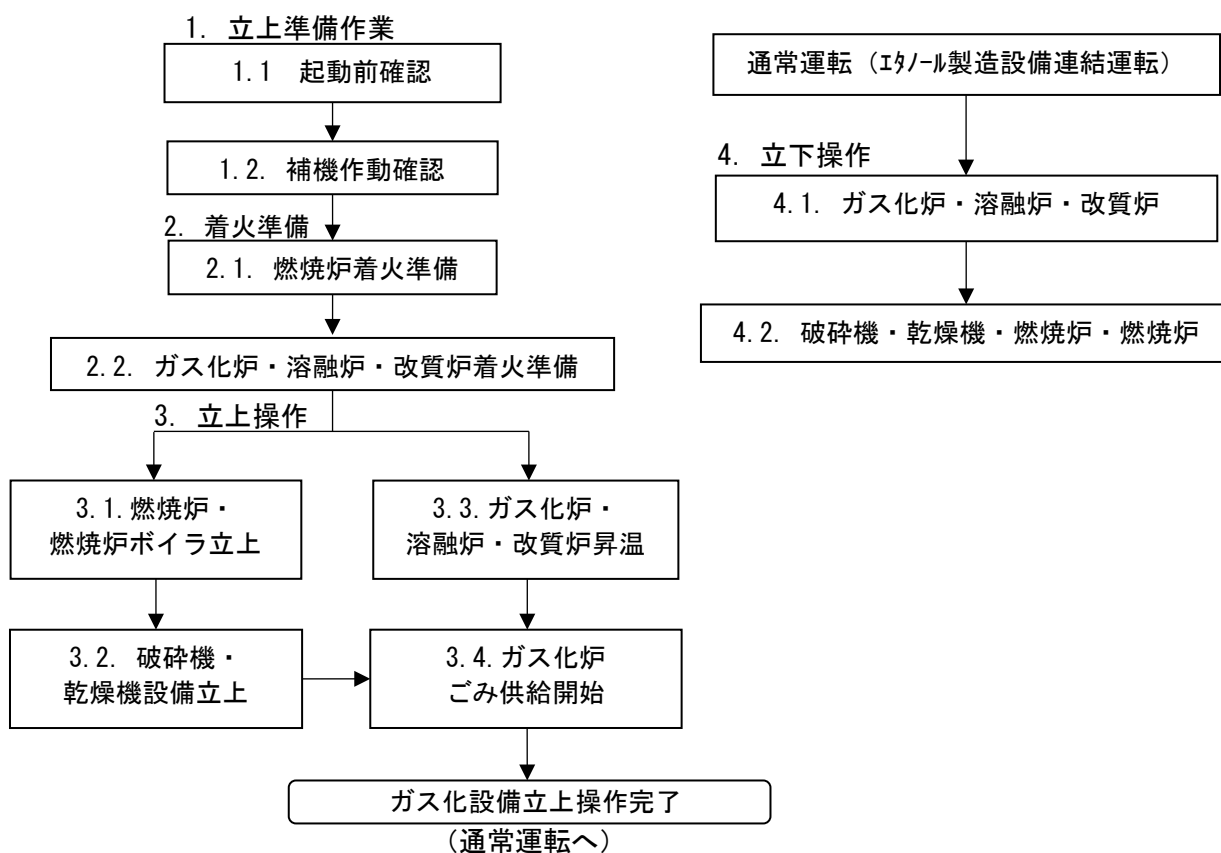


図8 立上げ立下げフロー

④通常運転操作

- ・ガス化炉のごみ質変動と基本操作は以下のとおりであり、空気量、ごみ供給量、補助燃料量等を制御することにより適正に運転されている。実用施設においても実証施設と同様な方式の運転制御システムを用いることで、従来のガス化溶融炉と同様な運転操作が行える。
- ・ガス化炉の温度管理操作は、ごみ供給量と流動化酸素量の増減で行い、旋回室の温度管理操作についても改質酸素量の増減で行う。以上の操作は、従来のガス化溶融炉運転を基本としており、複雑な操作は不要となっている。

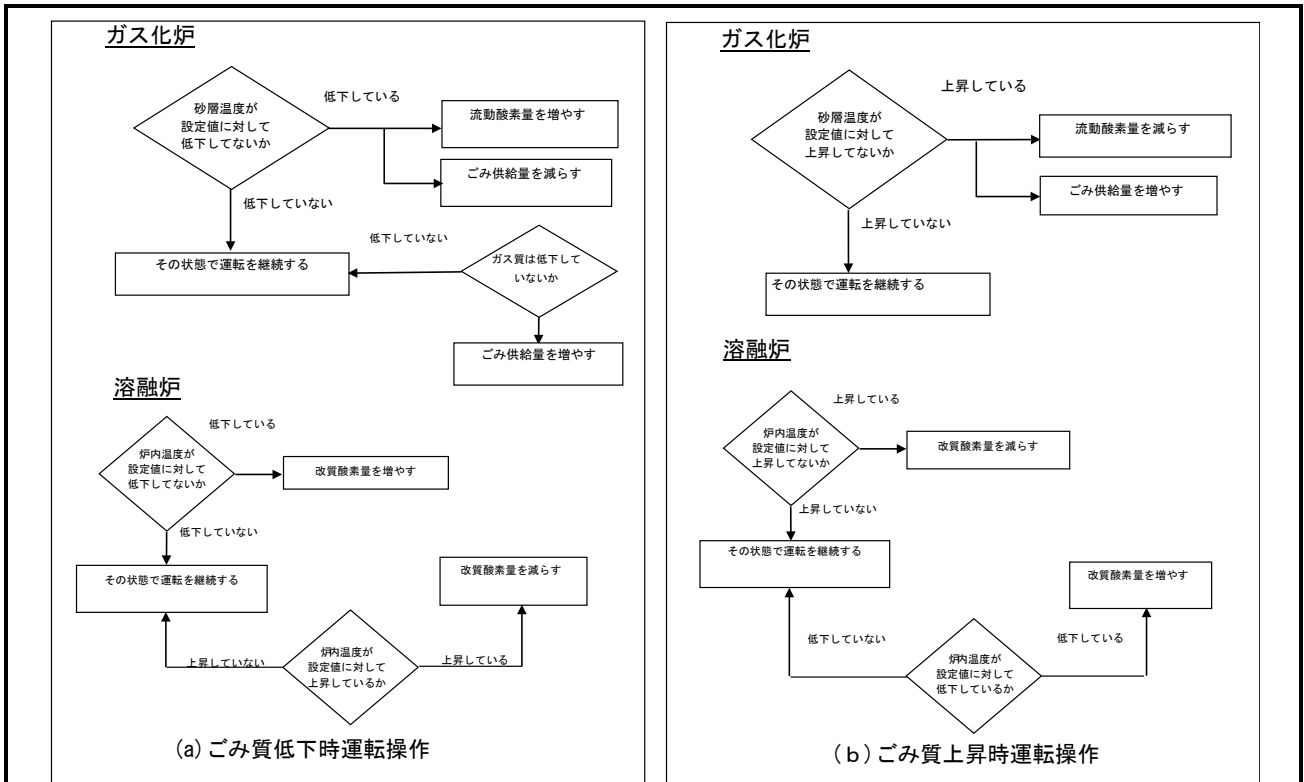


図9 ごみ質変動と基本制御操作

⑤緊急時の措置（停電時）

- ・設備保護のため非常用発電機による運転に切り替える。
- ・非常用発電機により、施設の安全を確保するための用役関連機器（計装用空気圧縮機、冷却水ポンプ等）を順次起動する。
- ・電源復旧時は通風系を点検後起動させ、排ガス酸素濃度が復帰してから各設備機器点検を実施する。昇温系の起動も設備点検と同様に酸素濃度復帰後とする。

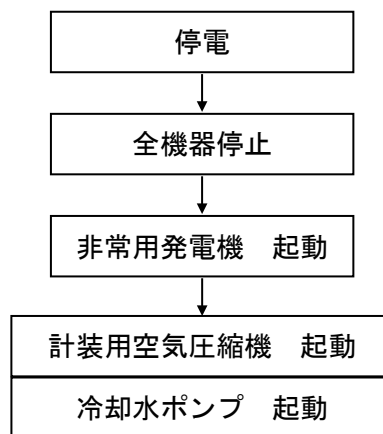


図10 ごみ質変動と基本制御操作

⑥緊急時の措置（非常停止時）

- ・非常停止スイッチにより設備を停止した場合は、ごみ及び補助燃料の供給を停止した後、通風系、排ガス処理系統を速やかに起動させる。
- ・通風系を起動させ、各酸素濃度計の指示値がすべて復帰したことを確認後、ボイラ、昇温系から順次起動する。

⑦緊急時の措置（その他）

- ・既存のガス化溶融炉に対して、本設備では炉内に可燃ガスが充満していることから緊急時には水封槽排水電動弁を開き、グラントフレア側にガスを排出することとしている。なお両設備とも無停電電源負荷とし、停止はさせないようにしている。
- ・万が一非常用発電機が起動失敗し、電源喪失状態となった場合のバックアップとして非常用窒素ポンベを設置しており、手動により炉内の窒素パージを行えるようにしている。

(2)補修性

①保守点検

- ・本設備の日常点検は、旋回室スラグ出滓口の溶損度確認、O₂バーナの作動確認等、旋回室関連の点検項目以外は、従来の流動床ごみ焼却炉と同様である。
- ・本設備の定期点検は、従来技術と比較して、溶融炉関連の点検項目以外は、従来の流動床ごみ焼却炉と同様である。溶融炉については、ガス化溶融炉の実績及び実証試験の結果から、6ヶ月に1回程度の頻度で内部点検を行い、耐火物の損耗状態等を確認する。

②補修頻度、耐用年数

- ・主要機器の補修頻度、耐用年数は以下のとおりである。

表 17 主要機器の補修頻度及び耐用年数

項目	耐用性	補修頻度
ガス化炉耐火材	10年	1回/年の定期補修時に必要に応じ部分補修を実施
溶融炉耐火材	5年	2回/年の定期補修時に必要に応じ部分補修を実施

【実用化に際しての留意事項】

- ・系内への空気流入は、目的とする生成ガスの濃度及び安全性に影響を及ぼすため、システム全体のシールについて特に留意する必要がある。
- ・エタノール製造施設は、都市計画法上の扱いが決まっていないため、設置にあたり自治体との事前協議が必要と思われる。エタノール製造施設を併設する際の設備に関する法規上の制約として、一般的なガス化溶融炉と大きく異なる（使用量が多い等）のが、水、燃料（製造したエタノール含）になるので、下水道法、消防法（危険物製造所／貯蔵所）、労働安全衛生法（ボイラ、圧力容器）、アルコール事業法（エタノール製造）等が挙げられる。これらに関する有資格者（ボイラ技士（特級）、特定化学物質及び四アルキル鉛等作業主任者等）も必要となることに留意する必要がある。

【性能項目】7. 経済性

【検証結果（性能・特徴等）】

(1) 建設費

- ・実用施設については、一般的なごみ焼却炉と比較して、ごみの前処理設備、酸素供給設備、排水処理設備等の付帯設備が従来設備より2割程度割高になり、必要スペースも2割程度増加するものと予想されるが、ガス量が少なく通風設備やバグフィルタなどの排ガス処理設備などが小型化できることなどの点や、近年建設費が大きく高騰しているなどの点などもあり、今後詳細検討が必要である。
- ・エタノール製造設備との併設が条件になるため、この建設スペースの確保が必要になる。

(2) 維持管理費

- ・実用施設において想定されるプラント用役は以下のとおりである。維持管理費については、生成ガスの利用先からのガス利用料が現状では想定できないことから、一般的なごみ焼却炉やガス化熔融炉との単純比較はできない。
- ・ごみのカーボンリサイクルにおける製造エタノールの価値が評価される状況において、別途検討する必要がある

表 18 プラント用役

前提条件	項目	実用施設	
	熱(エネルギー)回収方式 発電方式	焼却炉ボイラ なし	
		使用量	維持管理費 円/t(ごみ)
ユーティリ ティ	電力使用量	392 kWh/t(ごみ)	7,833
	LNG	2.06 Nm ³ /t(ごみ)	155
	LPG	—	—
	工業用水	9.79 m ³ /t(ごみ)	441
	A重油	0.27 L/t(ごみ)	25
	上水	0.98 m ³ /t(ごみ)	475
	灯油	0.05 L/t(ごみ)	6.4
	珪砂	2.48 kg/t(ごみ)	124
	排ガス処理	排ガス処理薬品(苛性ソーダ)	0.87 kg/t(ごみ)
消石灰		8.67 kg/t(ごみ)	286
活性炭		0.69 kg/t(ごみ)	227
アンモニア水		1.27 kg/t(ごみ)	369
ボイラ	ボイラ薬剤	0.02 kg/t(ごみ)	236
	保管剤	0.00 kg/t(ごみ)	3.0
	純水薬品(塩酸)	1.08 kg/t(ごみ)	47.5
	純水薬品(苛性)	1.62 kg/t(ごみ)	79.3
冷却塔	純水薬品(亜硫酸)	0.24 kg/t(ごみ)	3.8
	冷却水用薬剤	0.12 kg/t(ごみ)	203
脱臭装置	脱臭用活性炭	0.04 kg/t(ごみ)	30.3
ばいじん用安定剤	飛灰処理薬品(ホト)	1.53 kg/t(ごみ)	422
残渣・排水	熔融スラグ	0.027 t/t(ごみ)	1,370
	熔融飛灰処理物	0.008 t/t(ごみ)	376
	不燃物等	0.017 t/t(ごみ)	869
	焼却主灰	0.035 t/t(ごみ)	1,384
	焼却飛灰	0.048 t/t(ごみ)	1,919
	排水	3.264m ³ /t(ごみ)	653
合計		—	17,578

【実用化に際しての留意事項】

- ・エタノール化までを含めた全体の事業性に関しては、カーボンリサイクルにおける資源循環コスト評価及び生産量が重要な因子となることから、本システムの処理規模設定に際してはこれらの因子に十分留意する必要がある。
- ・ごみ質条件によっては焼却炉で回収される蒸気発生量がプラント内部で利用される蒸気量を上回り、余剰蒸気を復水器で復水することになる。用役削減の観点から、ごみ質に応じた焼却量の調整可否についても検討する必要がある。
- ・実用施設では、ガス化・改質に必要な蒸気をごみ焼却炉排ガスボイラで賄っている。経済性の改善のためには、改質ガスの熱回収による蒸気製造等を検討する必要がある。熱回収ボイラの検討に際しては、改質ガス性状に適したものとし、耐用性、安全性等に十分留意する必要がある。