

廃棄物処理技術検証結果概要書

加水分解前処理を適用したメタンガス化システム

三菱重工業株式会社

令和8年5月

一般財団法人 日本環境衛生センター

検証結果の概要

I. 申請技術の概要

1. 申請技術の名称	加水分解前処理を適用したメタンガス化システム
2. 申請者	三菱重工業株式会社
3. 対象廃棄物	一般廃棄物（可燃ごみ）
4. 処理方式	加水分解、メタン発酵
5. 検証対象施設	三菱重工業株式会社 総合研究所 加水分解設備：0.8t/バッチ×6～8バッチ/週 メタン発酵設備：0.5t/日（混合調整槽への投入量）

6. 申請技術の概要と検証範囲

本技術は、加水分解（水熱）前処理を適用することにより、夾雑性の高い可燃ごみ等から厨芥、紙等のバイオマスを選別回収し、メタンガス化システムにおいて安定したバイオガスの回収を可能とすることで、脱炭素社会や資源循環型社会の構築に貢献可能な技術である。

検証対象技術の範囲は加水分解工程（不適物分離まで）とメタン発酵工程（混合調整槽以降）から構成され、加水分解工程はバッチ式、メタン発酵工程は連続式での運転方式となっている。

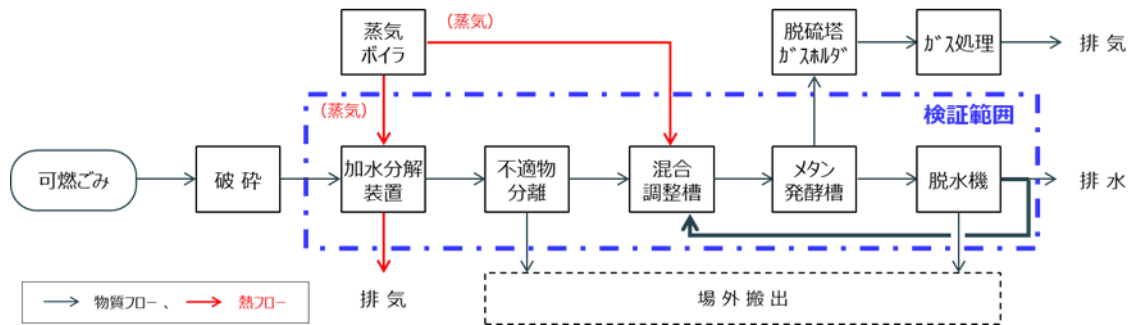


図1 実証施設のフローと検証範囲

各工程の実証試験設備の概要は以下のとおりである。

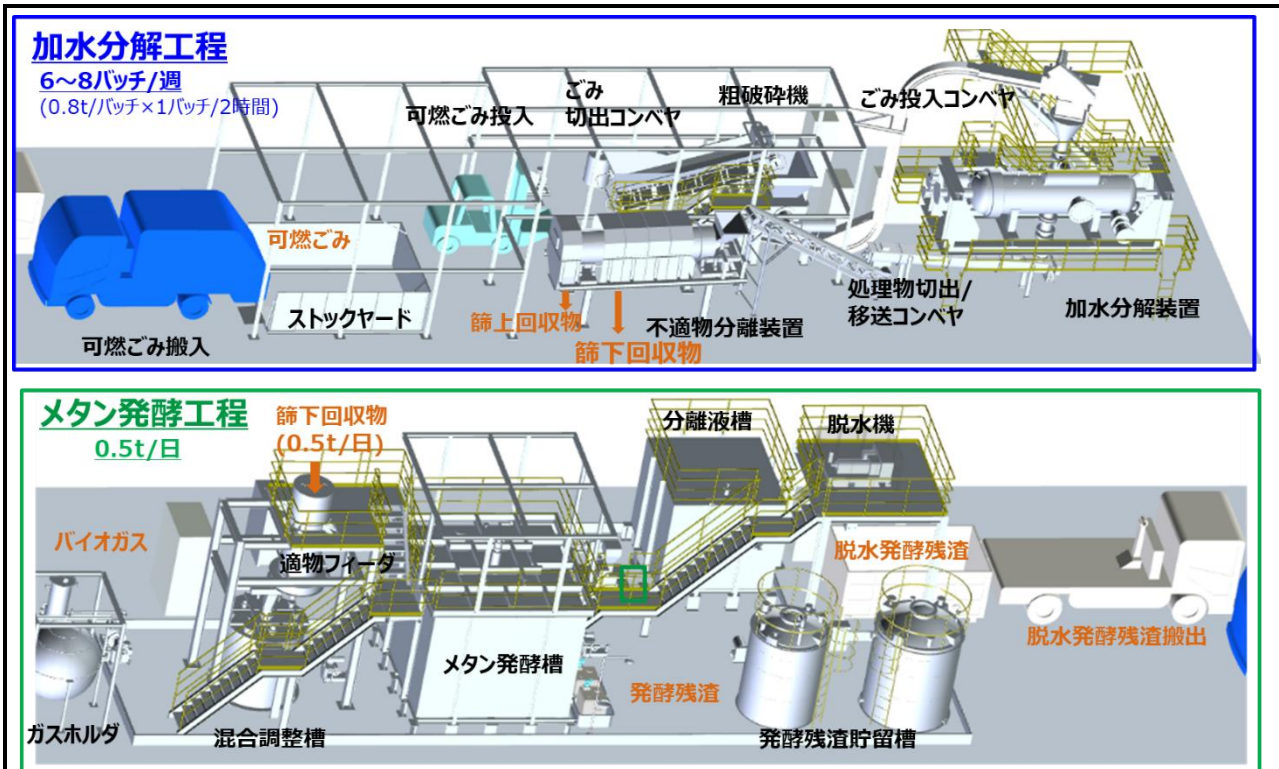


図2 実証試験設備の概要

不適物分離では、図3に示すように、加水分解処理物をメタン発酵に供給する適物を中心とした篩下回収物と不適物を中心とした篩上回収物に分離する。

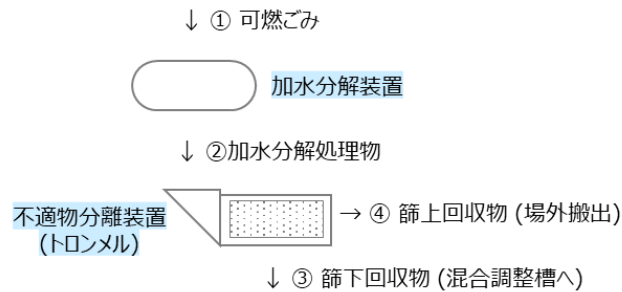


図3 不適物分離装置廻りの物質の流れ

7. 試験実施期間	令和6年(2024年)11月～令和7年(2025年)7月
8. 技術の特徴	①メタンガス化に適したバイオマスの細粒化による高効率選別回収 ②高効率選別回収によるバイオガス発生量の増大とメタン発酵プロセスの運転安定化 ③脱水分離液循環による窒素濃度適正化と排水量の削減
9. 検証終了期日	令和8年5月11日
10. 台帳登録番号	JESC-AA-R7-02

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】技術の特徴

【検証結果（性能・特徴等）】

評価対象技術の特徴は下記の通りである。

・メタンガス化に適したバイオマスの細粒化による高効率選別回収

分別回収や手作業による選別作業といった人手をかけることなく、加水分解処理の適用によりメタンガス化に適したバイオマス成分のみを細粒化し、プラスチック、金属等のメタンガス化に適さない成分はそのままの形状を残すことで、後段の不適物分離装置で容易に、かつ高効率でバイオマス成分を選別回収可能となる。

これにより、従来の機械式破碎選別方式と比較し、加水分解＋不適物分離の適用により、夾雑性の高い原料から、より高い選別回収率でメタンガス化に適したバイオマスを安定して確保可能となる。

・高効率選別回収によるバイオガス発生量の増大とメタン発酵プロセスの運転安定化

メタン発酵プロセスの原料として加水分解処理物を供給することにより、これまでは湿式メタン発酵ではバイオガスが発生しにくいとされた紙類に対しても、高い分解率でバイオガスが発生可能となり、前述した原料の高効率選別回収とあわせ、バイオガス発生量の増大が可能となる。

また、原料(篩下回収物)の性状が均一化していること、保管が可能のため投入負荷の平準化が図れることから、運転安定化に向けて専門的な知識と経験が必要とされるメタン発酵プロセスの運転管理も容易となる。

・脱水分離液循環による窒素濃度適正化と排水量の削減

紙類を含む可燃ごみを対象として湿式メタン発酵を行う場合、原料(可燃ごみ)に含まれる窒素量から、原料固形物濃度調整における希釈により窒素濃度が低下することが懸念される。そのため、メタン発酵プロセスにおいて混合調整槽の希釈水として窒素を含んだ脱水分離液を循環利用し、窒素源として薬品等の添加を行うことなく、メタン発酵プロセス全体の窒素濃度を適正化しメタン発酵プロセスの安定化を図るとともに、脱水分離液の循環利用により湿式メタン発酵プロセスから排出される排水量の削減が可能となる。

【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）】

本実証では、全国平均のごみ組成(令和5年度)を計画値とする。

実証試験期間における搬入可燃ごみ(家庭系一般廃棄物、危険物/破碎困難物の除去前)の組成分析結果(乾重量ベース)、及び計画値である全国平均のごみ組成(令和5年度)を表1に示す。

組成分析結果及び計画値である全国平均のごみ組成(令和5年度)を比較すると、搬入可燃ごみの性状は計画ごみ組成を中心に一定の範囲にある。

表1 搬入可燃ごみの組成分析結果と設計ごみ質(乾重量ベース)

	組成比 [%] (乾重量ベース)							三成分 [%]		
	厨芥類	紙類	布類	草木類	プラ類	不燃物類	その他	水分	可燃分	灰分
搬入可燃ごみ組成分析結果(平均値)	14.0	45.1	7.6	10.9	17.5	3.3	1.7	45.5	47.4	7.1
設計ごみ質(全国平均 令和5年度)	11.4	42.7 (48.5)	5.8	10.1	24.6	2.3	3.2	44.2	49.2	6.6

【実用化に際しての留意事項】

生分解性プラスチックの分解特性

小型加水分解装置＋メタン発酵バッチ試験(回分試験)において、生分解性プラスチックであるポリ乳酸の分解性が確認された。今後、収集可燃ごみに生分解性プラスチック(ポリ乳酸等)の混入増加が

想定される場合は、その効果と対策に留意する必要がある。

【性能項目】 1. 性能の安定性 (2) ごみ処理能力 能力・性能

【検証結果 (性能・特徴等)】

処理規模はメタン発酵設備： 0.5t/日 (篩下回収物の混合調整槽への投入量として)とする。

上記の篩下回収物を確保するため、可燃ごみの搬入量、及び加水分解装置の処理規模は下記の通りとする。

可燃ごみ搬入量： 5.3t/週 (搬入日 2~3 日/週 × 2~2.5t/搬入日)

加水分解設備： 0.8t/バッチ×6~8 バッチ/週※ (1~2 バッチ/日)

※ ごみ質・適物回収量に応じて処理量の調整を実施

①加水分解/不適物分離工程 (設備) の処理能力・性能

加水分解装置は 投入→昇温→反応→排出 のバッチ処理を行う。この運転方法に合わせて、加水分解装置前段の粗破砕機への可燃ごみ投入/粗破砕から、後段のバッチでの不適物分離までの一連の運転をバッチ処理で実施した。

加水分解処理量の経時変化を図 4 に示す。計画処理能力は 0.8t/バッチであり、運転初期 (~28 日目) における機器調整のため、1 バッチあたりの供給量を 0.75t/バッチに調整して運転した。29 日目以降は、安定して 0.8t/バッチの運転を継続した。

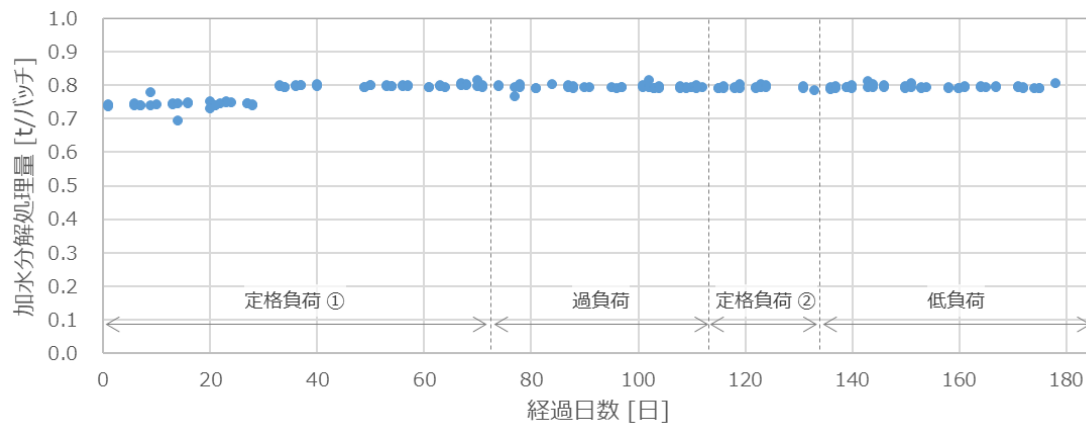


図 4 加水分解処理量の経時変化

不適物分離について、不適物分離装置廻りの物質の流れは前掲図 3 に示した通りである。

加水分解装置から排出された②加水分解処理物は、不適物分離装置 (トロンメル) に投入され、適物を中心とした③篩下回収物と、不適物を中心とした④篩上回収物とに分離される。③篩下回収物はメタン発酵原料としてメタン発酵プロセスに供給する一方、④篩上回収物は場外搬出される。

不適物分離装置の 1 バッチあたりの②加水分解処理物投入量 (=③+④ 計算値)、③篩下回収量、④篩上回収量、及び篩下回収率 (=③/②) を表 2 に示す (いずれも湿重量ベース)。不適物分離装置の篩下回収率 (=③/②) は、全期間を平均して 62.9% となった。

表 2 不適物分離装置 1 バッチあたりの平均回収量 (単位 : [t/バッチ])

②加水分解 処理物投入量	③篩下回収量	④篩上回収量	篩下回収率 (③/②) [%]
0.89	0.56	0.33	62.9

不適物分離装置での篩下/篩上回収物の適物と不適物の比率 (湿重量ベース) を表 3 に示す。

表3 篩下/篩上回収物の適物と不適物の比率（湿重量ベース、平均値）

篩下回収物		篩上回収物	
適物 [%]	不適物 [%]	適物 [%]	不適物 [%]
94.9	5.1	45.7	54.3

また、適物回収率/不適物除去率(平均値)を表4に示す。
 適物回収率は79.7%、不適物除去率は84.1%(どちらも湿重量ベース、平均値)であった。
 適物回収率/不適物除去率の考え方は下記に示した計算式によるものである。

- ・適物回収率（バイオマス等適物回収率）

$$= \text{③篩下回収物中の適物量} \div \text{①可燃ごみ中の適物量(厨芥、紙)}$$

$$\text{※③篩下回収物の適物量} = \text{③篩下回収物量} - \text{③篩下回収物中 不適物量}$$
- ・不適物除去率（プラ等不適物除去率）

$$= 1 - (\text{③篩下回収物中 不適物量} \div \text{①可燃ごみ中の不適物量(厨芥、紙 以外)})$$

表4 不適物分離装置での適物回収率/不適物除去率（平均値）

適物回収率 [%]	不適物除去率 [%]
79.7	84.1

②メタン発酵工程（設備）の処理能力

メタン発酵工程の処理能力は、メタン発酵槽投入量の希釈前重量を基準にするため、混合調整槽への篩下回収物投入量をもって、メタン発酵工程への処理能力を確認した。

実証試験期間における混合調整槽への篩下回収物の投入量の経時変化を図5に示す。実証試験期間を通して、計画投入量である0.5t/日以上の投入量で運転できていた。

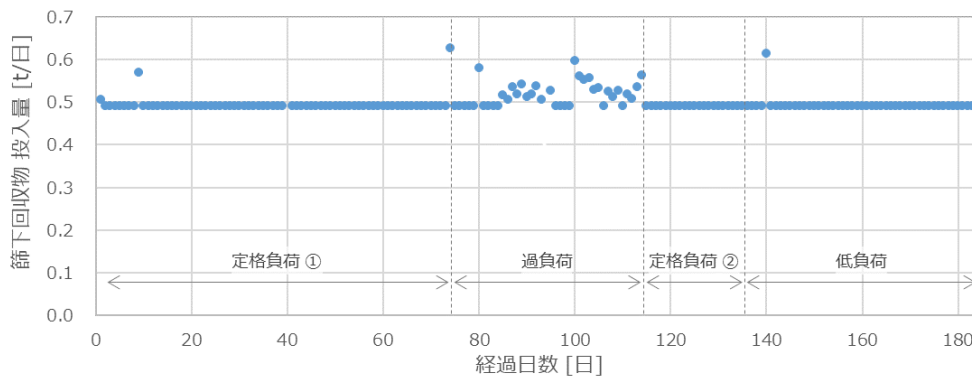


図5 混合調整槽への篩下回収物投入量の経時変化

③発酵残渣処理工程（設備）における処理能力

実証試験期間における発酵残渣脱水設備の処理量経時変化を図6に示す。計画処理量1.0m³/時の遠心脱水機により発酵残渣の脱水を行い、実証試験期間における稼働日あたりの平均処理量は2.7m³/日となった。

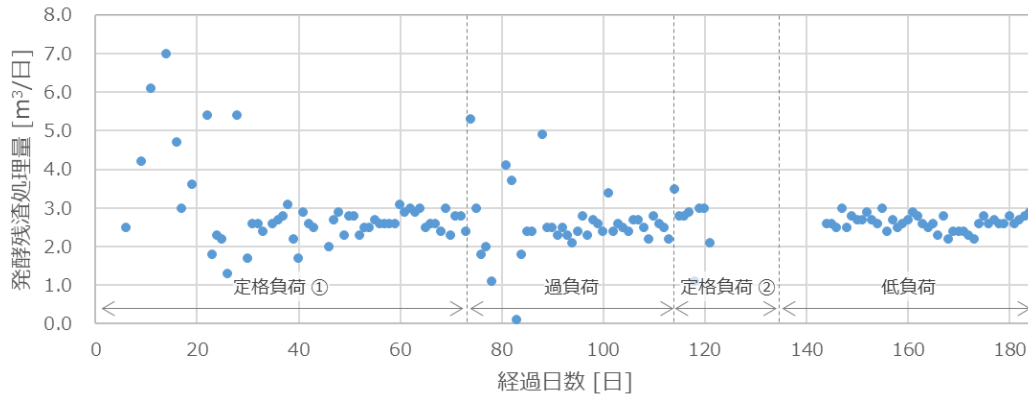


図 6 発酵残渣処理量の経時変化

【性能項目】1. 性能の安定性(2) ごみ処理能力 安定性

【検証結果 (性能・特徴等)】

①加水分解/不適用分離工程 (設備) における処理の安定性

加水分解処理の1バッチあたりの収支を図7に示す。全期間平均では、可燃ごみは計画値である0.80t/バッチの投入を実施し、0.24t/バッチの飽和蒸気を供給し反応させた後、0.15t/バッチの蒸気/凝縮水が排出され、加水分解処理物が0.89t/バッチ排出され、安定して処理できている。

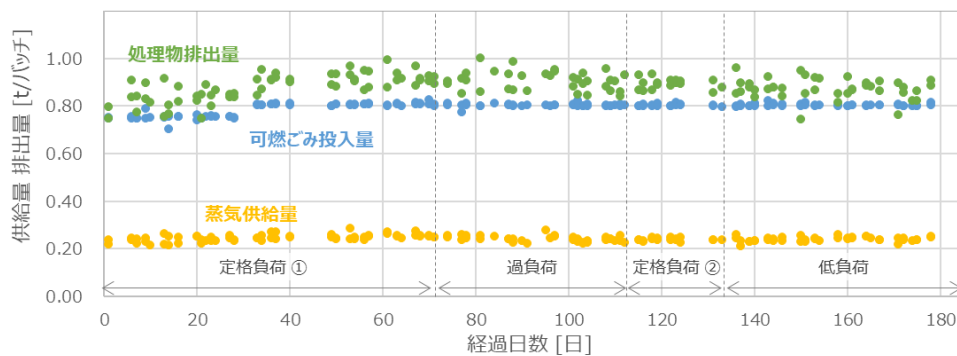


図 7 加水分解処理廻りの1バッチあたりの収支

不適用分離装置廻りにおける篩下回収率は48~74%まで大きく変動する結果となった。不適用分離装置は3~4日/週の間欠運転となるため、停止期間中にスクリーンに付着した加水分解処理物が固着し、スクリーンの目詰まりが発生することが確認された。このため、篩下回収量の減少と篩上回収量の増加による篩下回収率の低下が起こっていると考えられる。

篩下回収率の低下は、スクリーンの清掃により70%まで回復することも確認されており、定期的なスクリーン清掃により高い篩下回収率の維持を図ることができる。(実用施設では、点検口からブラシ等を用いて1回/月程度での清掃を実施。)

②メタン発酵工程 (設備) における処理の安定性

メタン発酵槽投入量/引抜量、HRT(実績)の経時変化を図8に示す。発酵槽HRTに関しては、バイオガス化による有機物の分解、メタン発酵槽加温のための蒸気注入があること、メタン発酵槽の液位が一定となるよう引抜量を調整していることをふまえ、発酵残渣引抜量(平均値)を用いてHRT実績値を算出した。全期間における平均として、HRT15日での運転を実施した。

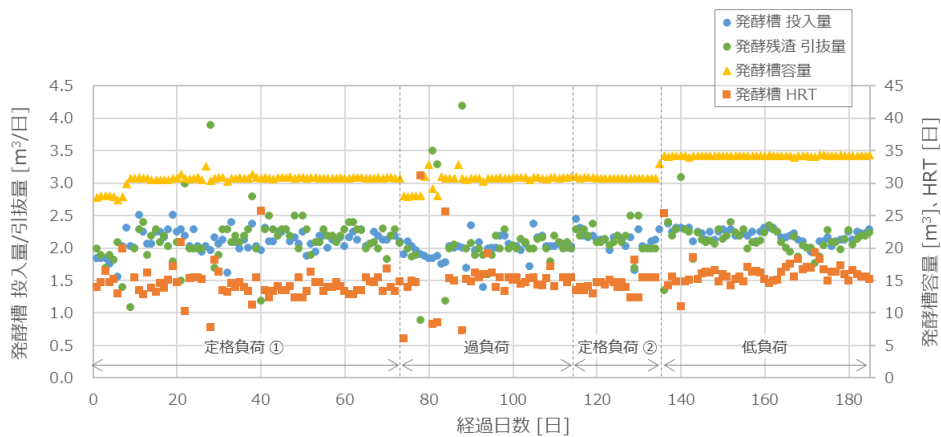


図8 メタン発酵槽 投入量/引抜量、HRT(実績)の経時変化

実証試験期間におけるバイオガス発生量の経時変化は図9に示した通りであり、平均値は73.8Nm³/日、標準偏差は8.7Nm³/日、変動係数は0.12となっている。

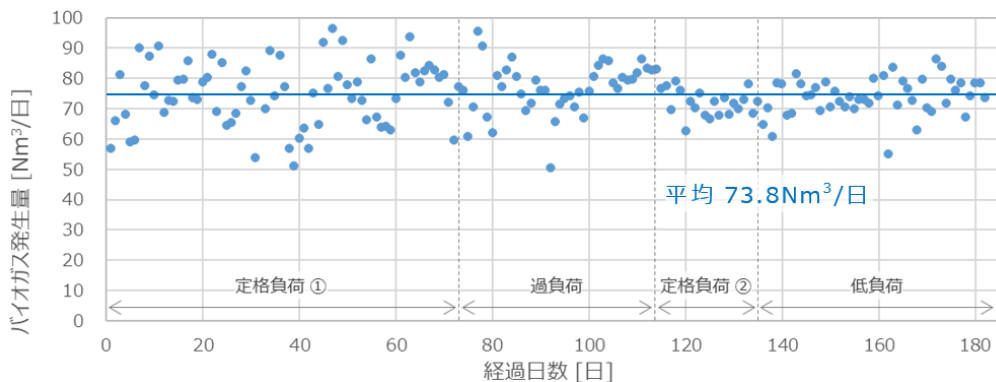


図9 バイオガス発生量の経時変化

バイオガス発生量の安定性に関し、処理規模の小さい実証試験設備特有の事象として、メタン発酵槽への投入は1回/日、1時間程度のバッチ投入とした。実証試験初期は投入のタイミングが安定していなかったため、日単位(0~24時)のバイオガス発生量の変動も大きかった。一方で、運転操作が安定し投入のタイミングが一定となつてからは、日単位でのバイオガスの発生量も安定していることが確認できた。

また、実証試験期間におけるバイオガス中のメタン濃度の経時変化は図10に示した通りであり、実証試験期間におけるバイオガス中のメタン濃度平均値は54.8%、標準偏差は1.0%、変動係数は0.02であり、性能指針における性能に関する要求基準である50%以上となっており、安定した性能となっている。

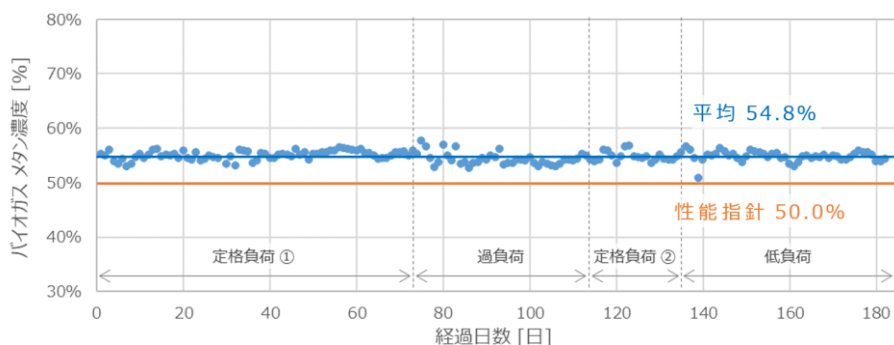


図10 バイオガス中のメタン濃度の経時変化

投入加水分解物(篩下回収物)量、及びバイオガス発生量(実測値)とメタン濃度から求めた、投入加水分解物(篩下回収物)あたりバイオガス発生量(CH₄濃度 50%換算)を図 11 に示す。投入加水分解物(篩下回収物)あたりのバイオガス発生量は、循環交付金の 1/2 補助要件である 350kWh/t=150Nm³/t(メタン濃度 50%換算)を安定して上回る性能となっていることを確認した。なお、加水分解処理で用いられる蒸気(水分)が篩下回収物に取り込まれるが、これを考慮しても基準を上回る性能となっている。

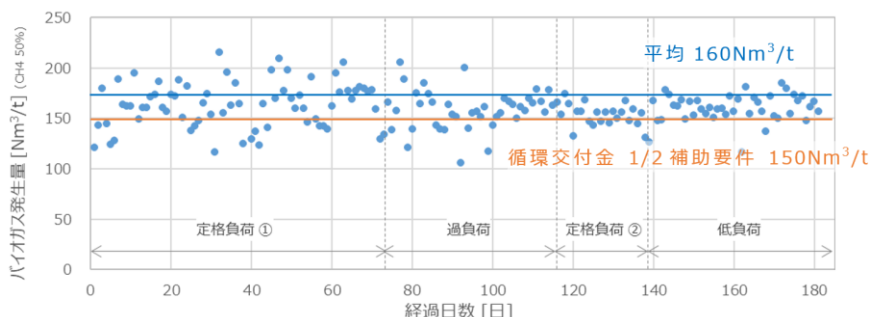


図 11 投入加水分解物(篩下回収物)あたりバイオガス発生量(CH₄濃度 50%換算)の経時変化

【実用化に際しての留意事項】

不適物分離装置の保守点検・清掃

不適物分離装置が間欠運転となる場合に、停止期間中にスクリーンへの付着物が乾燥固着することでの目詰まりが発生し、篩下回収率の低下が生じていた。実証試験では定期的なスクリーン清掃により篩下回収率が回復することが確認できたが、実用施設においては、対象とする可燃ごみ組成や加水分解装置/不適物分離装置の稼働時間等により、適切な保守点検・清掃を計画する必要がある。

【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)】

実証試験設備の物質収支は図 12 の通りであり、5.2t/週の受入に対して、発酵不適物 2.1t/週であり、脱水発酵残渣は 0.3t/週であった。

なお、物質収支は実績(計測値)に基づく収支のため誤差が生じている。

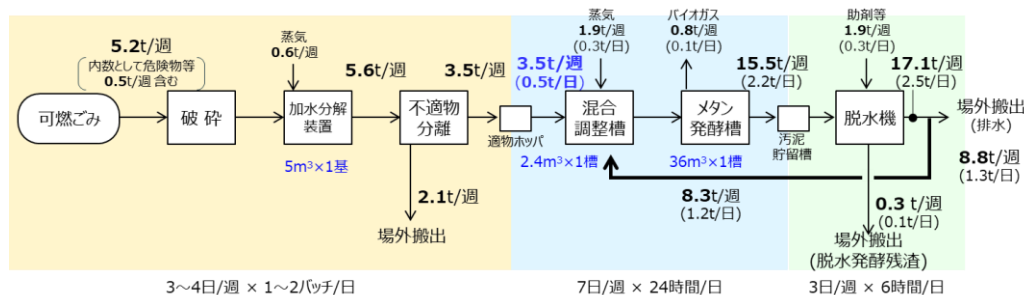


図 12 実証試験設備(分離液 循環あり)の物質収支

①発酵不適物、脱水発酵残渣

発酵不適物(篩上回収物)、脱水発酵残渣が持つ発熱量は、表 5 に示した通りであり、篩上回収物は搬入された可燃ごみとほぼ同等の発熱量を持つことが確認された。(原料や残渣が持つ高位発熱量は、元素分析の結果から Steuer 式を用いて算出した。)

表 5 篩上回収物、脱水発酵残渣の発熱量 [単位: MJ/t]

	高位発熱量(HHV)	低位発熱量(LHV)
篩上回収物	10,360	8,460
脱水発酵残渣	8,410	6,350

発酵残渣の脱水に関して、可燃ごみ中に含まれる紙ごみ等の繊維質が発酵残渣にも含まれるため、高分子凝集剤の添加がない運転でも TS 濃度 40% (含水率 60%) の脱水性となった。

②脱水分離液

返送脱水分離液の水質に関しては、BOD 1, 200 mg/L、T-N 1, 600 mg/L 程度であり、混合調整槽での希釈水として問題なく利活用可能であることを確認した。

【性能項目】2. 環境保全性(1) 悪臭防止

【検証結果 (性能・特徴等)】

今回の検証範囲では、悪臭防止を環境保全上評価した。

実証試験設備における加水分解装置では、反応後の加水分解装置内の蒸気を、脱気タンクを經由し、活性炭処理を経て大気に排出している。加水分解装置から排出され脱気タンクに投入される前(処理前)と脱気タンクを經由し活性炭処理後(処理後)の臭気成分分析結果を表 6 に示す。

なお、実用施設においては、排出ガスは混合調整槽に送られ、施設全体の臭気と合わせて脱臭設備で処理することで、負荷変動、ピーク値の抑制を図ることとする。

表 6 加水分解装置排出蒸気の活性炭処理前後における臭気成分分析結果 (平均値 n=3)

測定項目	採取場所	処理前	処理後
	単位		
アンモニア	ppm	103	0.2
メチルメルカプタン	ppm	158	0.002未満
硫化水素	ppm	0.07	0.02未満
硫化メチル	ppm	14	0.01未満
二硫化メチル	ppm	8.1	0.009未満
トリメチルアミン	ppm	2.0	0.0005未満
アセトアルデヒド	ppm	4.4	0.10
プロピオンアルデヒド	ppm	3.0	0.05未満
ルマルブチルアルデヒド	ppm	0.36	0.01未満
イソブチルアルデヒド	ppm	2.1	0.02未満
ルマルバレルアルデヒド	ppm	0.31	0.02未満
イソバレルアルデヒド	ppm	7.3	0.01
イソブタノール	ppm	2.2	0.09未満
酢酸エチル	ppm	7.3	0.3未満
メチルイソブチルケトン	ppm	0.5	0.2未満
トルエン	ppm	3.0	1未満
スチレン	ppm	8.7	0.07
キシレン	ppm	5.2	0.1未満
プロピオン酸	ppm	0.028	0.005未満
ルマル酪酸	ppm	0.002	0.002
ルマル吉草酸	ppm	0.002	0.0005未満
イソ吉草酸	ppm	0.035	0.001

【実用化に際しての留意事項】

加水分解装置からのオフガスには、高濃度で変動のある悪臭物質が検出されている。実用施設では、このガスを混合調整槽を通過させ熱回収及び希釈水としての水回収を行った上で他の臭気と統合し、薬液洗浄＋活性炭吸着処理する計画としている。実用化に際し、脱臭設備入口ガス性状の設定には、上記の濃度変動を十分考慮する必要がある。

【性能項目】 2. 環境保全性(2) 騒音・振動防止

【検証結果（性能・特徴等）】

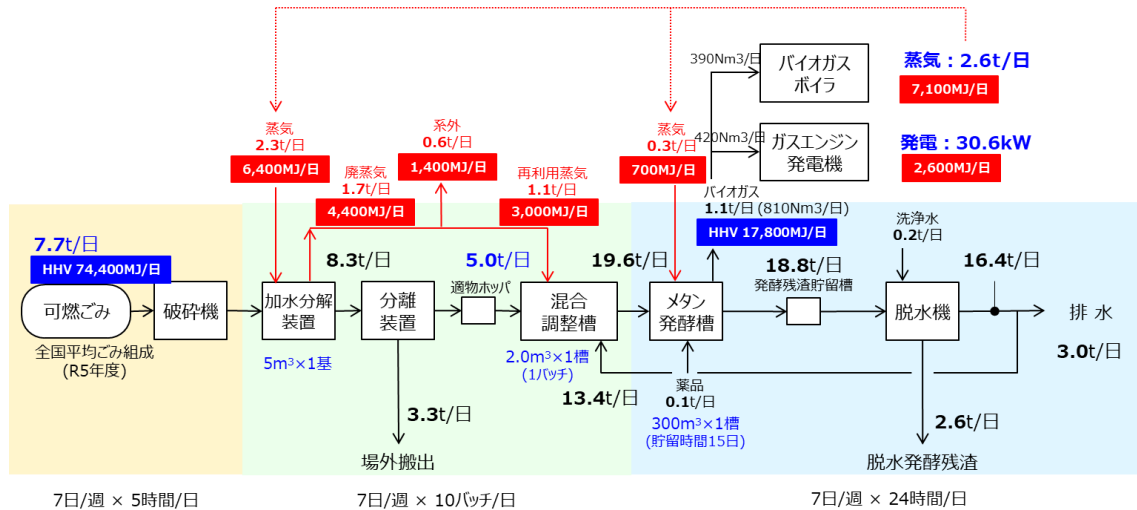
実証試験期間において騒音・振動の計測は行っていないものの、騒音や振動の発生源となるポンプやファン等は汎用の渦巻きポンプ、一軸ポンプ等である。加水分解装置も攪拌は行っているものの低速での回転となっており、大きな騒音や振動の発生源とはならない。

【性能項目】 3. 再資源化性

【検証結果（性能・特徴等）】

①生成バイオガスの利用

実用施設規模を7.7t/日とし、検証技術である④加水分解+湿式メタン発酵プロセスでは、発生するバイオガス(810Nm³/日)を用いて、優先的にプロセスで必要となる蒸気を生成し、余剰となるバイオガスで発電を行う場合、必要となる蒸気量(2.6t/日)は全量供給可能であるとともに、施設全体で必要となる電力量(48.2kWh/h)の6割にあたる30.6kWh/hの発電が可能となる結果となった。



注) 各数値は仮値であり、今後の検討に基づき見直される可能性があります

図 13 ④加水分解+湿式メタン発酵の基本フローシート（試算例）

②脱水発酵残渣の肥料利用可能性

発酵残渣については焼却処理を基本としているものの、将来的な取組みとして、発酵残渣の肥料としての利用可能性を調査するため、発酵残渣の肥料成分について分析した。

これら重金属の値は原料に由来するものではあるが、今回の分析結果は許容値と比べて十分低い値となっていることが確認された。

一方で、肥料化に関しては、安全性の点から留意が必要となる物質(例えば、清缶剤等)もあることから、こうした懸念のある原料に対する分別収集システムが確立されるといった条件が整った場合に、肥料化としての実装を模索することとする。

表 7 脱水発酵残渣の肥料成分分析結果（平均値 n=3）

測定項目	単位	平均値 (n=3)	許容値	分析方法
水分	%	58.4	—	肥料等試験法 3.1.a
灰分	%	9.8	—	肥料等試験法 3.2.1
pH	-	8.1	—	肥料等試験法 3.3.a
電気伝導率 (25℃)	mS/cm	1.02	—	肥料等試験法 3.4.a
窒素全量 (N)	%	0.92	—	肥料等試験法 4.1.1.a
リン酸全量 (P2O5)	%	0.29	—	肥料等試験法 4.2.1.a
加里全量 (K2O)	%	0.09	—	肥料等試験法 4.3.1.c
石灰全量 (CaO)	%	3.2	—	肥料等試験法 4.5.1.b
苦土全量 (MgO)	%	0.26	—	肥料等試験法 4.6.1.b
炭素窒素比 (C/N比)	-	18.3	—	肥料等試験法 4.11.2.a
ヒ素 (As)	mg/kg	< 1	50	肥料等試験法 5.2.a
カドミウム (Cd)	mg/kg	1.1	5	肥料等試験法 5.3.e
水銀 (Hg)	mg/kg	< 0.1	2	肥料等試験法 5.1.a
ニッケル (Ni)	mg/kg	28	300	肥料等試験法 5.4.e
クロム (Cr)	mg/kg	107	500	肥料等試験法 5.5.g
鉛 (Pb)	mg/kg	10	100	肥料等試験法 5.6.e

【実用化に際しての留意事項】

バイオガス利用に際してのガス供給量の安定化

投入量あたりのバイオガス発生量について、実証試験では短時間投入での完了時間のばらつきによる日単位の数値変動が見られた。実用施設では、バイオガス利用に際して安定したガス供給ができるように、投入時間を長くすることによる時間単位でのバイオガス発生量の変動抑制に加え、ガスホルダ容量の適切な設計が必要である。

資源化としての発酵残渣の肥料利用

メタン発酵残渣の利用方法は検証範囲外であるが、加水分解/不適物分離処理によりメタン発酵投入物中のプラスチック等の不適物混入率が低いこと、湿式メタン発酵の採用により発酵残渣中の更なる不適物分離が可能であることから、発酵残渣の肥料利用の可能性を検討している。実用化に際して発酵残渣を肥料利用する場合は、発酵残渣不適物分離装置を設置し、加水分解処理におけるボイラ蒸気に含まれる薬品やプラスチックに由来する有害物、生分解性プラスチックに含有する添加剤の影響可能性について、確認する必要がある。

【性能項目】 4. 総合機能性

【検証結果（性能・特徴等）】

①安定稼働（延べ試験運転時間 180 日間以上の実績、うち、過負荷及び低負荷連続試験期間をそれぞれ 30 日以上の実績）

実証試験は、まず、定格負荷条件での運転を 2024/11/27～2025/3/9 の 73 日間にわたり実施した。その後、過負荷条件での運転を 2025/3/10～4/20 の 41 日間、再度、定格負荷条件での運転を 2025/4/21～5/11 の 21 日間、低負荷条件での運転を 2025/5/12～7/6 の 49 日間にわたり、それぞれ実施した。

実証試験期間中、年末年始対応や配管閉塞等による運転停止が生じたが、運転阻害要因に対する対策が実施され、合計 184 日間の運転実績を確認した。また、構成設備の補修頻度、耐用性等が示されており、安定稼働が可能であると考えられた。

表 8 性能確認条件

運転条件	混合調整槽 投入 TS 濃度	期 間 (投入日基準)	日 数	積算日数
定格負荷①	10%	11/27～3/9 (* 12/27～1/24、2/3 は除く)	73	73
過負荷	11%	3/10～4/20 (* 3/17 は除く)	41	114
定格負荷②	10%	4/21～5/11	21	135
低負荷	9%	5/12～7/6 (* 5/16～22 は除く)	49	184

②スケールアップ

実用施設規模は、実証試験設備の処理規模の 10 倍を基本とし、メタン発酵プロセスにおける混合調整槽への篩下回収物への投入量を 5.0t/日とすることを基本とする。この時、可燃ごみの計画処理量としては、加水分解+不適物分離による篩下回収物の回収率を考慮し、7.7t/日の処理規模となる。

(1)加水分解プロセス

加水分解プロセスの実用施設処理規模については、篩下回収物の回収率を考慮し、可燃ごみ搬入量を 7.7t/日とする。

設計基準として、処理量は実証設備と同規模の 0.8t/バッチ (7.7t/日) となる。

(2)メタン発酵プロセス

メタン発酵プロセスの実用施設処理規模については、混合調整槽への篩下回収物の投入量を 5.0t/日とする。

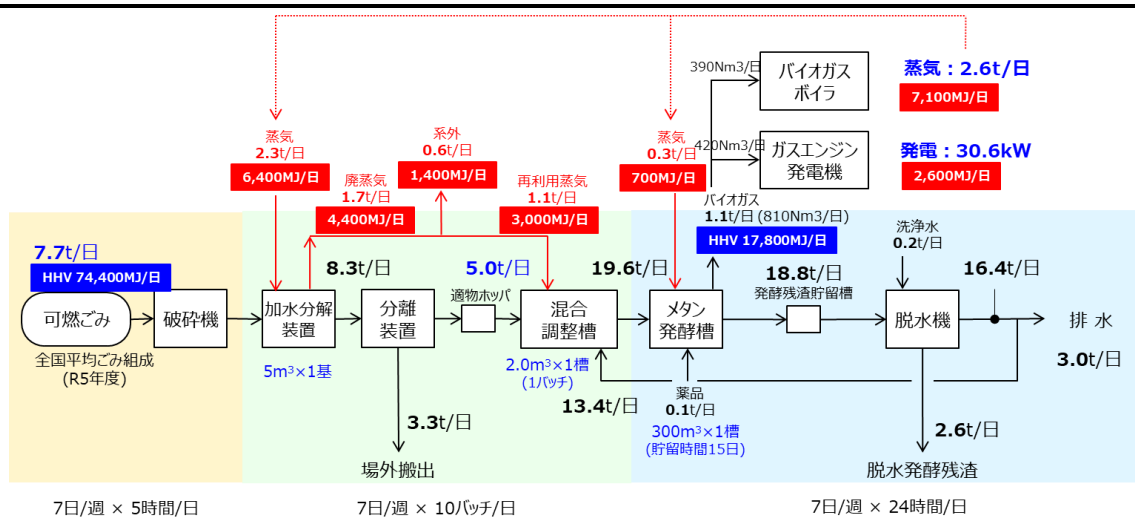
設計基準は以下の通りである。

- ・メタン発酵 処理量：5.0t/日 (混合調整槽への篩下回収物投入量として)
- ・メタン発酵槽投入容積負荷：4.5～5.5kg-VTS/日/m³
- ・メタン発酵槽温度：約 55℃ (高温発酵)、メタン発酵 滞留日数：15 日
- ・メタン発酵槽投入負荷：9～11%

③実用性

処理規模はメタン発酵プロセスへの篩下回収物の投入量として 5.0t/日 (実証施設の 0.5t/日の 10 倍相当)とし、前処理での篩下回収物の回収率を考慮し、可燃ごみの受入量として 7.7t/日と設定した。

実用施設 (7.7t/日)での基本フローシート及び物質・熱収支を図 14 に示す。



注) 各数値は仮値であり、今後の検討に基づき見直される可能性があります

図 14 実用施設の基本フローシート及び物質・熱収支

搬入した可燃ごみ 7.7t/日に対し、加水分解+不適合物分離により、メタン発酵プロセスの原料となる篩下回収物が 5.0t/日回収される。これをメタン発酵プロセスの原料として投入することで、メタン発酵にて 810Nm³/日 (CH₄濃度 50%換算) のバイオガスを生成可能となる。

実証試験設備では加水分解装置からの廃蒸気は脱気タンクを経由して大気放出した。一方、実用施設では加水分解装置からの廃蒸気は混合調整槽(気相部)に投入し、混合調整槽循環液と接触した後、プロセス全体の脱臭設備で処理した上で大気放出する。

また、篩上分離物、脱水発酵残渣は本検証では処理の範囲外だが、実用施設では場外搬出となる。脱水分離液について、その一部を循環により混合調整槽へ循環するが、それ以外は排水処理が必要となる。

【実用化に際しての留意事項】

スケールアップについて

メタン発酵プロセスに関し、10 倍程度のスケールアップが可能と判断されるが、さらなるスケールアップにあたっては、これまでの食品廃棄物を対象としたメタンガス化施設の実績をもとに、エネルギー自立性を含めて慎重に検討する必要がある。

【性能項目】 5. 安全性

【検証結果 (性能・特徴等)】

防災性、労働安全衛生性について工程別に整理すると以下の通りである。

①受入前処理設備・加水分解設備における発火対策

実用施設における危険物を完全に分別することや可燃ごみ全量の X 線検査は現実的でないため、破砕機は低速二軸破砕機を採用する。破砕機から投入コンベヤ、ごみ貯留ホッパ、加水分解装置、不適合物分離装置、混合調整槽への各搬送設備には、熱・火災検知、CO 濃度モニタリングシステム、消火散水システムを適宜設置する。

加水分解装置は反応中は無酸素環境となるが、投入・排出工程では空気が入るため、装置への消火散水システムの設置を検討する。

②加水分解設備における火傷防止

加水分解装置および蒸気・排気ラインは高温となるため、保温材による火傷防止を行う。実証設備では排出工程が開放系であるため、監視作業では保護具着用を徹底した。

実用施設においても同様に、高温部には保温材による火傷防止を施工する。

③メタン発酵・ガス処理設備におけるバイオガス漏洩対策

実証施設では、メタン発酵槽とガスホルダをシートで囲い負圧管理とすることで、バイオガス漏洩時の施設内拡散を防止した。また、水封の開放時にも屋外排気できるよう配管で屋外へ排気できるように対策した。

実用施設では、CH₄（配置場所：メタン発酵槽上部）、H₂S（配置場所：メタン発酵槽下部）のガスセンサーを配置し、リーク時にもガスが滞留せず屋外へ排気できる配置とする。

【性能項目】6. 維持管理性

【検証結果（性能・特徴等）】

①操作・点検性

実用施設の運転管理項目

実用施設における運転管理項目を表9に示す。

表9 実用施設の運転管理項目

区分	概要	チェック方法	管理指標逸脱時の対処方法
① pH	メタン生成菌はほぼ中性付近のpHを好み、メタン発酵の最適pHは6.8～7.6である。生ごみ等のメタン発酵においてはアンモニア性窒素濃度が比較的高いので、pHは一般的に7.2～8.0の範囲にある。	pH計 (ハンディpH計)	投入原料の選別、投入負荷量を調整する。
② 温度	メタン発酵は、操作温度域により中温の35℃前後、高温の55℃前後で行われている。高温発酵は加水分解率や病原性微生物の死滅率が高く、発酵速度が速くて高負荷を実現しやすい反面、アンモニア阻害を受けやすい。それに対して、中温発酵は分解速度が遅いもののアンモニア阻害を受けにくく、細菌叢が多様であり、安定性がある。	温度計 (ハンディ温度計)	加温蒸気の温度制御範囲を調整する。
③ 有機酸	メタン発酵の中間生成物として有機酸が生成されるが、速やかにメタン生成に利用されるので通常有機酸の濃度は低い。このため、有機酸の挙動把握により、メタン発酵槽の状況を知ることができる。ただし、バランスを崩して、有機酸の蓄積が起こった場合にはメタン菌死滅のリスクがあるため、有機酸の濃度を測定し、メタン発酵槽の状況を知ることが望ましい。	有機酸濃度計 (手分析orパック) *VFA：揮発性有機酸	メタン発酵槽に投入する負荷を下げる。
④ アンモニア	メタン発酵においてタンパク質の分解に伴いNH ₄ ⁺ が生成する。このNH ₄ ⁺ はメタン生成菌増殖の栄養成分になるなど不可欠な成分であるが、濃度が高くなると有機酸の蓄積やメタン生成速度の低下などメタン発酵阻害が起こる。	NH ₄ -N計 (手分析)	アンモニア濃度が管理指標を下回った場合は、投入原料の選別を行い窒素分の多い原料を投入する。それでもアンモニア濃度が管理指標以下の場合は、アンモニア源となる薬品（尿素、重炭酸アンモニウム）を添加する。アンモニア濃度が管理指標を上回った場合は、投入原料の選別を行い窒素分の少ない原料を投入する。
⑤ アルカリ度	アルカリ度は酸を中和する溶液の容量を示す指標であり、メタン発酵プロセスの安定性に関わる。	アルカリ度分析計 (手分析)	アルカリ度は、pH、アンモニア濃度と関係があるので対策は、pH、アンモニア濃度と同様。
⑥ 硫化水素	メタン発酵において、原料中の硫黄成分が硫化水素H ₂ Sの生成をもたらす。バイオガス中の硫化水素濃度は、数百ppmから数千ppmの範囲で変化する。濃度が高くなると、バイオガスの品質を低下させるだけでなく、メタン発酵を阻害する可能性がある。	検知管 (手分析)	投入原料に含まれる硫黄分による、高濃度となる場合には、投入原料の選別、投入負荷量を調整する。
⑦ 滞留時間	滞留時間は、有機物の分解率と運転の安定性に影響を及ぼすだけでなく、投入負荷とも関連する重要な指標である。高い分解率を得るには滞留時間を長くする必要があり、高温発酵では一般的には15日程度以上とする。	メタン発酵 投入量で調整	原料の搬入調整を行うとともに、搬入変動に耐えられる貯留設備を設ける。
⑧ ガス発生量	ガス発生量は、処理対象物の量・質に直接影響を受ける。負荷変動等による阻害によりメタン生成菌等の活性が低下すると、ガス発生量も少なくなる。 COD1kg(分解)あたりのメタン生成量(理論値)： 0.35Nm ³ -CH ₄ /kg-COD	ガスホルダレベルと バイオガス使用量 から算出	投入原料の質と量から想定されるガス発生量に対し実際のガス発生量が少ない場合は、メタン菌の増殖速度が低下しているか阻害物質が増えている可能性がある。このようなケースでは引抜き量を抑えてメタン菌の濃度低下を防ぐ運転をする。
⑨ メタン濃度	バイオガス中のメタン濃度の急激な低下はメタン発酵の阻害と連動するケースが多い。	CH ₄ 濃度計	メタン濃度の低下は、メタン菌の活性低下の予兆であり、前述のいずれか又は複数の対策を行います。

メタン発酵槽引抜ポンプ（メタン発酵槽注入薬品関係を含む）

[運転操作] ・メタン発酵設備の連動運転を起動する

- ・篩下回収物は混合調整槽に投入され、液位と温度制御で所定の TS 濃度と温度に調整される
- ・タイマーにより、メタン発酵槽への投入/引抜ポンプが自動起動/停止する
- ・メタン発酵槽は常時攪拌し、蒸気による温度コントロールと発酵槽の pH、バイオガス圧力が監視される

ガス利用設備

[機器] メタン発酵槽～乾式脱硫塔～ガスホルダ～

ガスエンジン発電機/バイオガスボイラ/余剰ガス燃焼装置

[運転操作] ・メタン発酵槽で発生したバイオガスは脱硫後、ガスホルダに貯留される

- ・ガスホルダの貯留量に応じ、発電機/ボイラが、選択した優先順に自動起動/停止、自動台数制御する
- ・ガスが利用しきれない場合は、余剰ガス燃焼装置で処理する

発酵残渣処理設備

[機器] 不適用分離装置/不適用脱水機※～発酵残渣貯留槽～脱水機～

分離液槽/脱水残渣ホoppa（※ 発酵残渣を肥料化する際のオプション）

[運転操作] ・脱水機は発酵残渣貯留槽の液位で自動起動/停止する（脱水助剤が必要な場合は脱水助剤ポンプは脱水機に連動）

- ・脱水助剤溶解装置は、溶解槽の液位により自動運転する

脱臭設備

[機器] 臭気ファン～薬液洗浄塔～活性炭吸着塔

[運転操作] ・臭気ファンは手動で連続運転し、各所の臭気を薬液洗浄+活性炭吸着で処理後、大気に排気する

②補修性

保守点検項目、補修頻度

日常点検では、加水分解装置、分離装置、メタン発酵槽 及び付帯設備等の各設備の安定稼働を維持し、メタン発酵異常(ガス発生量減少、pH 変動、温度異常など)や設備トラブルの早期発見・未然防止を図る。

○頻度：毎日(始業前・終業時、運転中も定期的に)

○内容：

- ・搬入可燃ごみの搬入/投入状況、性状の確認
- ・各設備の異常音、振動、漏れの確認
- ・計装データ、分析データの確認
- ・各設備の油量、潤滑状態の確認

定期点検では、各機器の詳細点検、清掃を行うとともに、消耗部品交換により設備寿命の延長と安定稼働確保。発酵プロセスの健全性を保つ。

○頻度：3ヶ月～半年に1回、またはプラント運転条件に応じて調整

※法令点検(消防法、環境関連法規)に準拠。

○内容：

- ・各設備の運転停止下での内部点検/清掃、
- ・計装機器(センサー)の校正、点検
- ・各設備の消耗部品交換(メンテナンス)
- ・安全設備(ガス検知器、火報等)の点検

加水分解装置に関しては、圧力容器としての法定点検(1回/年)とともに、運転時に低速回転する攪拌軸、及び投入/排出弁等についても1回/年の頻度(計画)で保守点検を実施していく。

耐用年数

実用施設における主要機器の耐用年数(参考)を表 11 に示す。設備・機器の耐用年数は、ごみの処理量や質、型式や材質等によって大きく異なるとともに、実際の設置環境や使用条件によっても変動するため、実際の耐用状況をふまえて決定していく必要がある。

表 11 実用施設 主要機器の耐用年数(参考)

機 器	対象箇所	耐用年数(参考)
コンベヤ	ケーシング	5～15 年
	フライト	5～15 年
粗破碎機	ケーシング	15～20 年
	ロータ	5～15 年
加水分解装置		15～20 年
不適物分離装置		7～10 年
メタン発酵槽		15～20 年
メタン発酵槽攪拌機		7～10 年
ガスホルダ		10～15 年
発電機		7～10 年
ボイラ		7～10 年
脱水機		10～15 年

【性能項目】7. 経済性

【検証結果(性能・特徴等)】

①建設費

従来の機械式破碎選別+乾式メタン発酵方式(横型)と比較すると、本システムでは加水分解装置が新たに設置される装置となるが、機械式破碎選別装置の簡素化や湿式メタン発酵方式の採用による発酵槽廻りの機器の簡素化が期待されることもあり、建設費はほぼ同等あるいはそれ以下と考えられる。

②維持管理費

施設の運営条件によって異なるが、実用施設(7.7t/日)における年間及び処理トンあたりの概算維持管理費(人件費を除く)を表 12 に示す。加水分解+湿式メタン発酵プロセスでは、発生するバイオガス(810Nm³/日)を用いて、優先的にプロセスで必要となる蒸気を生成し、余剰となるバイオガスで発電を行うこととしている。

表 12 実用施設(7.7t/日)における概算維持管理費(年間及び処理トンあたり)

1. 用役費		[千円/年]	[円/t]
電力費 (@24円/kWh)		9,000	3,200
燃料費		0	0
薬品費 (加水分解+メタン)		3,800	1,400
薬品費 (排水処理)		3,300	1,200
計		16,100	5,800
2. 保守・修繕費		[千円/年]	[円/t]
保守・修繕費		12,000	4,300
法定点検		2,000	700
計		14,000	5,100
3. 売電収入		[千円/年]	[円/t]
売電 (@35円/kWh)		7,700	2,800
合計 (1.+2.-3.)		22,400 千円/年	8,100 円/t

※ 試算条件は 2025 年度時点

※ 電力費(買電)単価は基本料金を含む実質単価

※ プラント用水として井水利用を想定