

令和 2 年度

食品等のリサイクルの新たな展開を目指す亜臨界水処理技術の導入調査委託事業

報告書

令和 3 年 3 月

株式会社 DA インベント

目次

1 事業概要	
1.1 事業目的	1
1.2 受注者	1
1.3 工期	1
2 メタン発酵施設への亜臨界水処理技術の導入事例の収集整理	1
2.1 目的	1
2.2 国内の事例調査	1
2.2.1 亜臨界水処理技術の導入事例ヒアリング調査	1
2.2.2 既存のメタン発酵プラント（亜臨界水処理なし）へのヒアリング調査	2
2.3 海外の事例調査	6
2.3.1 中国西寧市の事例	6
2.3.2 日本の環境を考慮した整理	7
2.4 亜臨界水処理条件及び事業化に向けた課題	9
2.4.1 メタン発酵施設における亜臨界水処理技術のメリットおよびデメリット	9
2.4.2 有識者へのヒアリング	9
3 亜臨界水処理技術のメタン発酵における機能性検討	10
3.1 試験計画	10
3.1.1 亜臨界水処理試験計画	10
3.1.2 メタン発酵試験計画	13
3.2 亜臨界水処理試験	14
3.2.1 原料について	14
3.2.2 標準食品残さの検討	20
3.2.3 亜臨界水処理結果	23
3.2.4 亜臨界水処理後の粒度分布	39
3.3 メタン発酵試験	45
3.3.1 試験方法	45
3.3.2 分析項目	45
3.3.3 原料の成分分析	46
3.3.4 メタン発酵試験結果	47
3.3.5 メタン発酵試験（連続式）	53
3.4 亜臨界水処理技術のメタン発酵における機能性の検討	58
4 メタン発酵施設における事業性の検討	59
4.1 目的	59
4.2 事業性の検討方法	59
4.2.1 前処理方法による事業性の比較	59
4.2.2 施設規模による事業性の比較	62
4.2.3 事業性の検討条件	62
4.3 事業収支算出結果	78
4.4 事業性の評価	78
4.4.1 評価結果	79
4.4.2 有識者の意見	85
5 まとめ	86

1事業概要

1.1事業目的

食品廃棄物の再生利用率は 28%と低く、特に外食産業ではプラスチックの分別に手間がかかるなどの要因から、再生利用が進んでいない。

一方で、亜臨界水処理技術は、プラスチック等の分別作業の省力化や飼肥料としての高付加価値化などが期待されたことから、昨年度事業において飼肥料製造及びメタン発酵施設への導入可能性について整理が行われた。

本事業では昨年度事業において事業実現の可能性が高いと判断されたメタン発酵施設への導入に焦点をあて、事業化に向けたさらなる課題の整理を行う。

1.2 受注者

株式会社 DA インベント

担当者 代表取締役 栄本信彦

連絡先 〒452-0823 愛知県名古屋市西区あし原町 86 番地

TEL : 052-505-6700

1.3 工期

令和2年8月18日～令和3年3月15日

2メタン発酵施設への亜臨界水処理技術の導入事例の収集整理

2.1目的

メタン発酵施設への亜臨界水処理技術の導入事例や研究成果等の情報収集を行い、亜臨界水処理条件及び事業化に向けた課題などを整理する。

2.2国内の事例調査

2.2.1亜臨界水処理技術の導入事例ヒアリング調査

亜臨界水処理技術をメタン発酵の前処理として導入試験を行っていた会社にヒアリングを行った。ヒアリング調査の内容については、農林水産省の担当者様に事前にご相談の上、不足している情報を明らかにして決定した。

（ヒアリング調査先：A社）

・亜臨界水処理技術の導入背景および現状

元々 R F 燃料の脱塩素技術として亜臨界水処理を検討していた経緯があり、この技術を幅広く利用するためメタン発酵の前処理の検討を始めた。対象物は食品廃棄物と下水汚泥で、食品廃棄物のみでは性状や量が安定しないため、下水汚泥も同時に処理する事とした。

処理は連続式の亜臨界水処理装置で行われ、亜臨界水処理物に水分が多いとエネルギーを多く使用するため、水分をいかに少なくするかが課題であった。

亜臨界水処理することにより、メタン発酵しやすい有機酸が増える。一方で、昇温・冷却速度が遅い場合、メタン発酵の阻害物質であるフルフラール類が生成されるため、注意が必要である。最終的なエネルギー投入量と亜臨界水処理投入で得られるエネルギーのバランスがとれないため、魅力ある設備の提案は難しいと判断され、現在は事業を継続していない。

・亜臨界水処理及びメタン発酵の条件

亜臨界水処理温度：130～180°C

亜臨界水処理圧力：5MPa 以下

メタン発酵温度：中温

メタン発酵滞留日数 (HRT) 6～8 日

亜臨界水処理を行うことで、滞留時間を短かくすることができるものの、発酵槽内の窒素や塩素濃度の調整が難しくなる。安定稼働が出来れば亜臨界水処理を行わない場合と比較して、発酵槽の容量を 1/10 に抑えることができ、プラントの設置面積も 1/2 で済むというメリットがある。

2.2.2 既存のメタン発酵プラント（亜臨界水処理なし）へのヒアリング調査

1) ヒアリング調査の概要

ア. ヒアリング調査の目的

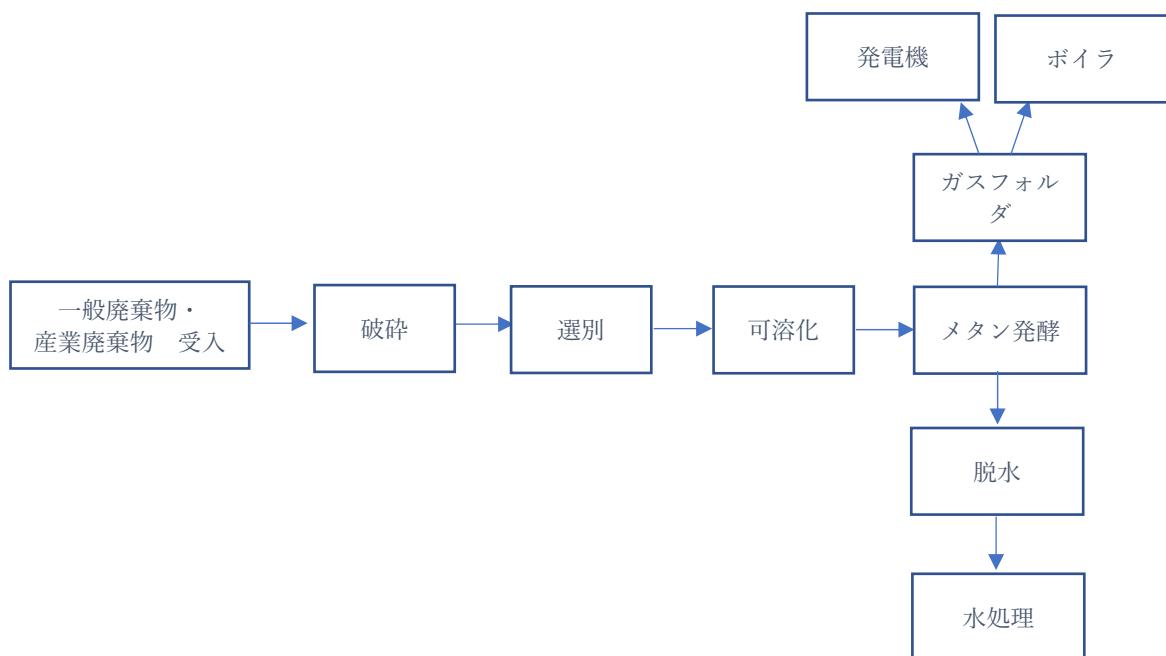
現状のメタン発酵プラント（亜臨界水処理なし）がどのような前処理をしていて、どのような課題があるかを明らかにするため、亜臨界水処理設備の導入の可能性があるか稼働中のメタン発酵施設担当者にヒアリング調査を行った。

イ. 調査項目

- ・原料投入量と比較したメタン発酵槽の規模について
- ・プラントのフローの適正度
- ・消化液の処理方法について
- ・その他課題
- ・亜臨界水処理設備の導入について

ウ. ヒアリング対象者

- ・一般廃棄物と産業廃棄物のメタン発酵処理を行っている業者（O 社）



- ・産業廃棄物のメタン発酵処理を行っている業者（G 社）

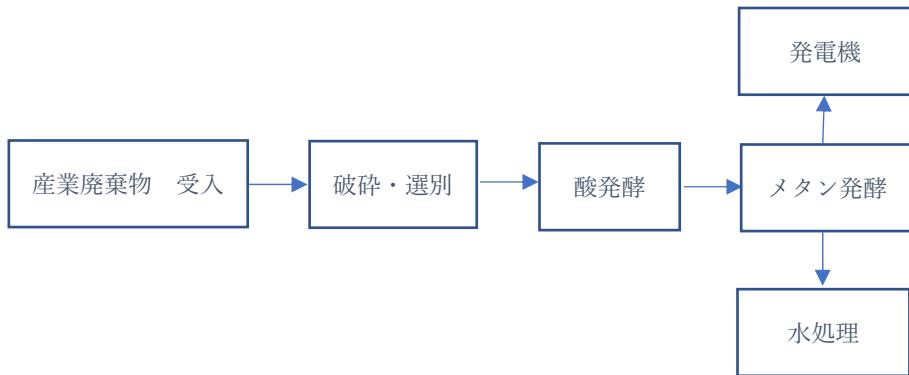


写真 2.2-4 選別後の廃プラスチック（選別機A）写真 2.2-5 選別後の廃プラスチック（選別機B）

2) ヒアリング調査結果

ア. 原料投入量と比較したメタン発酵槽の規模について

【O社】

- ・メタン発酵槽は $1,600\text{ m}^3 \times 2$ 基で合計 $3,200\text{ m}^3$ の容量
- ・1日固形物 30 トン、液状および泥状物 15 トン受入しており、固形物の約 15%(4 トン程度)は、運搬用ゴミ袋や包装容器で廃プラスチックとして除かれる。前処理として可溶化槽で $40^{\circ}\text{C} \cdot 3$ 日間処理して可溶化。発酵は滞留日数 30 日程度で運用されているが、原料を固形物濃度 90% になるよう加水しているため、発酵槽に対して原料はフルで投入されている状況であった。

【G社】

- ・産業廃棄物のみを対象としており、120 トン/日の受入。固形物濃度は 95% になるよう加水して調整。前処理として酸発酵を 37°C で 2~3 日間行う。発酵槽は $1,200\text{ m}^3 \times 2$ 基で合計 $2,400\text{ m}^3$ の容量。発酵の滞留日数は 20~30 日程度。

イ. プラントのフローの適正度

【O 社】

- ・紙パッケージやプラスチック等で個包装されている物をすべてホッパーの中へ投入しても、比重によって選別する選別機によって選別可能。
- ・1社当たり2トンずつぐらい、多数の会社から受入する事で成分の均一化が可能

【G 社】

- ・食品残さとプラスチック等が混合された状態で受入し、破碎分別後のプラスチック等は焼却又は洗浄後RPFとして燃料利用。
- ・プラント導入時の資金調達と設計は親会社によって行われており、装置毎に異なるメーカーの装置を使用している。

ウ. 運用上の不良箇所（パイプライン等の運搬経路の課題など）について

【O 社】

- ・可溶化槽の底に種や生米、繊維等が堆積する。そのため、4カ月に1回底に溜まった物をバキュームで吸い取り、焼却処分している。1回あたりに回収する量は20トン程度。
- ・発酵後の消化液を脱水機へ送る工程において、配管にりん酸化合物が固着し、配管が閉塞する。それを予防するため、月に1回、配管を外して洗浄している。

エ. 消化液の処理方法について

【O 社】

固液分離後、固体物は堆肥化の原料として、液体部分は水処理。

【G 社】

活性汚泥法により水処理、水処理後の固体分は堆肥化原料として利用し、液体部分は河川放流。

オ. その他課題

【O 社】

- ・プラントの運用においてコストがかかる順に①残さの処分費②脱水の高分子凝集剤③水処理費用
- ・固体物濃度90%になるよう原料に加水（処理水を利用）しているため、水処理する量も増える。

カ. 亜臨界水処理設備の導入について

【O 社】

- ・医療系の廃棄物処理に良いのでは。
- ・家庭系の一般廃棄物の受入検討等しているが、発酵し易いもので量を確保するのは難しいと思われる。

【G 社】

- ・現在の施設は 1,000 坪程度の面積が必要であるが、亜臨界水処理装置を導入する事で酸発酵槽等が省けて、規模縮小できるメリットがあると考える。
- ・有害物質（廃プラ）の無害化に活用できる可能性があると考える。

2.3 海外の事例調査

2.3.1 中国西寧市の事例

中国西寧市にレストランから排出される厨芥ごみを亜臨界水処理して、メタン発酵を行っている事例がある。中国では近年廃棄物や下水から精製した油を食用油として販売する問題が発生しており、レストランごみの適正処理に力が入れられている。本施設では、レストランごみに多く含まれ油分の除去、原料の均一化を目的に、メタン発酵施設の前処理に亜臨界水処理技術が採用されている。

メタン発酵ラインの受け入れ量は 100t/d で消化槽の規模は 3000 m³、HRT は 30 日で稼働している。処理プロセスフローを図 2.3-1 に示す。

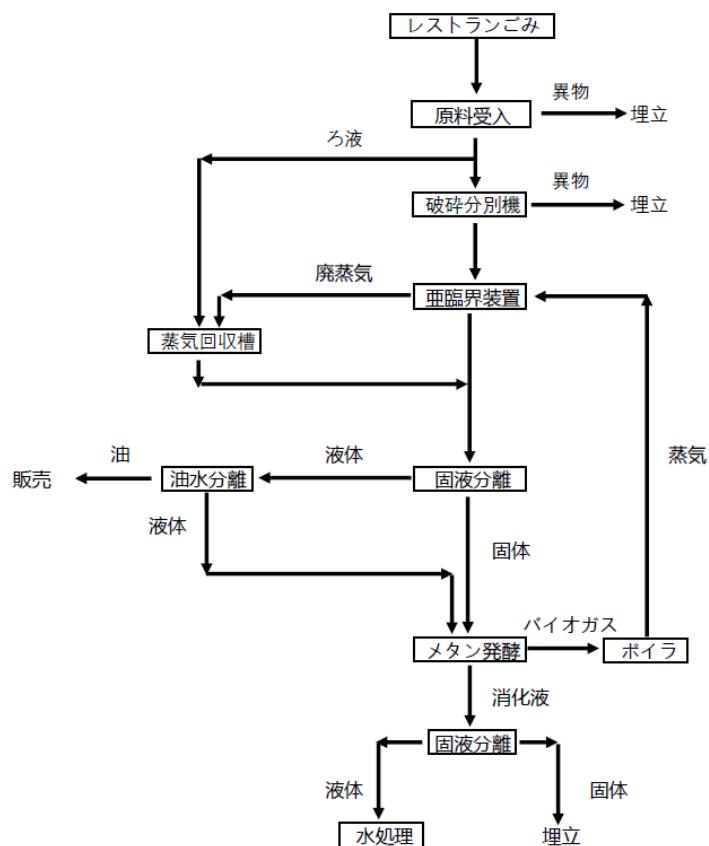


図 2.3-1 プロセスフロー

プラントフローの適正度について、亜臨界水処理により加熱された原料は粘度が低下して、油水分離工程の効率を上げている。

2.3.2 日本の環境を考慮した整理

日本では家庭の厨芥ごみは「一般廃棄物」として家庭内の他のごみと一緒に排出される。外食産業から排出される生ごみ・食べ残し等は「事業系一般廃棄物」として処理している場合が多い。外食文化が根付いている中国では大小さまざまな食堂レストランがあり、毎日大量の廃棄物が発生している。一部の排出者は行政のごみ処理場でごみ処理をしているが、廃棄物・食べ残しなどを有償で買い取って家畜のエサとして転売する業者、オイルトラップ・下水などの油を買い取って精製し食用油として転売する業者などがあり、処理の現実は複雑である。中国政府は食の安全、生態環境改善を厳しく遂行する方針を示して優先的な予算を付けごみ処理場を建設している。しかしながらごみ収集車を廻しても、排出者にとっては「ただで捨てる」ことになり協力的でない者も多数存在する。このように中国ではレストランごみを回収する時点で大きな課題を抱えている。今回紹介した西寧市では条例を発布し、ごみ回収を義務化し、罰則を設けて成果を上げている。西寧市で飲食店を開く際には、本件ごみ処理場に事前登録することが定められておりごみ収集の経路に組み込まれるため不法な処理をしにくい仕組みになっている。西寧市の方程式は中国国内で「西寧模式」として成功モデルの例となっている。

西寧市の食品残さはスープなどの液体の廃棄物も回収されるため水分が多く、水分率が87%程度である。日本のように固体物の状態で回収されるのではなく、液状で回収される点が大きな相違点となっている。そのまま亜臨界装置に入れるとエネルギー消費がかさむため、前段で水分を取り除く処理をしている。



写真 2.3-6 中国の廃棄物の例

- ・亜臨界水処理装置導入に向けた日本と中国における情勢の違い

表 2.3-1 に、西寧市のプラントにおける収支を記載する。本プラントでは、ごみの中に 3 % 程度含まれる油分を回収して工業用に販売する油販売費は販売単価が 54,600 円/トンと高いことから、収入の 20% を占める。この油分の回収には、亜臨界水処理装置をもちいることで、油水分離の効率を上げるとともに、エネルギーコストの削減を図っている。ただし、日本では、油販売費が中国ほど高額で取引されないことから、油販売による収入は期待できない。

また、中国では、日本に比べて都市部と農村部におけるインフラ整備状況の格差は大きい。本プラントがある地区においても、計画的な断水・停電が年に数回行われるため、稼働日数の確保が難しく、日本よりも不利な状況下にある。

表 2.3-1 経済データ（15.6 円/1 元で換算）

			単価(元)	数量(元)	年間金額(元)	年間金額(円)
1 収入		処理費用	215	73000	15,695,000	244,842,000
		油販売	3500	1186	4,151,000	64,755,600
		飼料販売	450	1460	657,000	10,249,200
		収入合計①			20,503,000	319,846,800
2 支出		光熱費			3,090,000	48,204,000
		消耗品			1,652,000	25,771,200
		人件費			2,968,600	46,310,160
		保守費			2,000,000	31,200,000
		汚泥廃棄	50	7847.5	392,375	6,121,050
		支出合計②			10,102,975	157,606,410
3 利益		①-②			10,400,025	162,240,390
4 初期設備総投資金額					60,944,600	950,735,760

メタン発酵を行う処理場ではメタン発酵槽から排出される消化液の処理も重要なポイントとなる。本プラントでは、消化液は固液分離したのち、固体分は埋め立て処理を行い液体分は排水処理して下水道に排出している。日本では、北海道を中心に、消化液を牧草地、畑に散布されているが、本州では多くが固液分離して処理されている。外食産業・小売業から発生する食品残さは、比較的油分を多く含むことから、プラントの設計の際には油分の影響を考慮した全体設計が重要だと思われる。

2.4 亜臨界水処理条件及び事業化に向けた課題

2.4.1 メタン発酵施設における亜臨界水処理技術のメリットおよびデメリット

調査で明らかとなったメタン発酵施設における亜臨界水処理技術のメリットおよびデメリットを以下にまとめます。

亜臨界水処理技術のメリット

- ・発酵槽の規模、プラント面積を小さくできる
- ・消化液を液肥化する際に滅菌する工程を省くことができる
- ・消化液の固体残さが減る

亜臨界水処理技術のデメリット

- ・導入コストとランニングコストに対してメリットがあるか
- ・異物が混合したごみを処理する際に排出される汚泥付きのプラの処理が高価
- ・連続式亜臨界水処理装置においてプラは事前に取り除く必要がある
- ・亜臨界水処理をすると消化液中の窒素が1.2倍になる

2.4.2 有識者へのヒアリング

今回調査した事例の他に事業化が進んでいない課題について有識者へのヒアリングを行った。9月9日と10日に行った第1回有識者会議にて、事業化を検討していたが現在は辞めている業者について、亜臨界水処理装置のメーカーのみが事業化検討を進めていて、実際に装置を使用するユーザーが検討の段階から加わっていなかった事が課題としてあげられた。その他、補助事業で実施している場合などは、補助事業の終了と共に検討を辞めている場合があり、事業化検討を継続するための資金調達も課題と思われる。との話を伺う事が出来た。

3 亜臨界水処理技術のメタン発酵における機能性検討

食品産業における食品リサイクル率を図 3.1-1 に示す。食品製造業から排出される廃棄物等は、量や性状が安定していることから、分別も容易なため既にリサイクルが進んでいる。一方、食品小売業や外食産業から排出される廃棄物等は包装された状態で廃棄されており異物が混入していたりして分別が難しく、また性状も安定しないため、リサイクルが進んでいない。食品リサイクル率を向上させるため、亜臨界水処理の対象物は食品小売業と外食産業から排出される原料に限定して調査を行った。

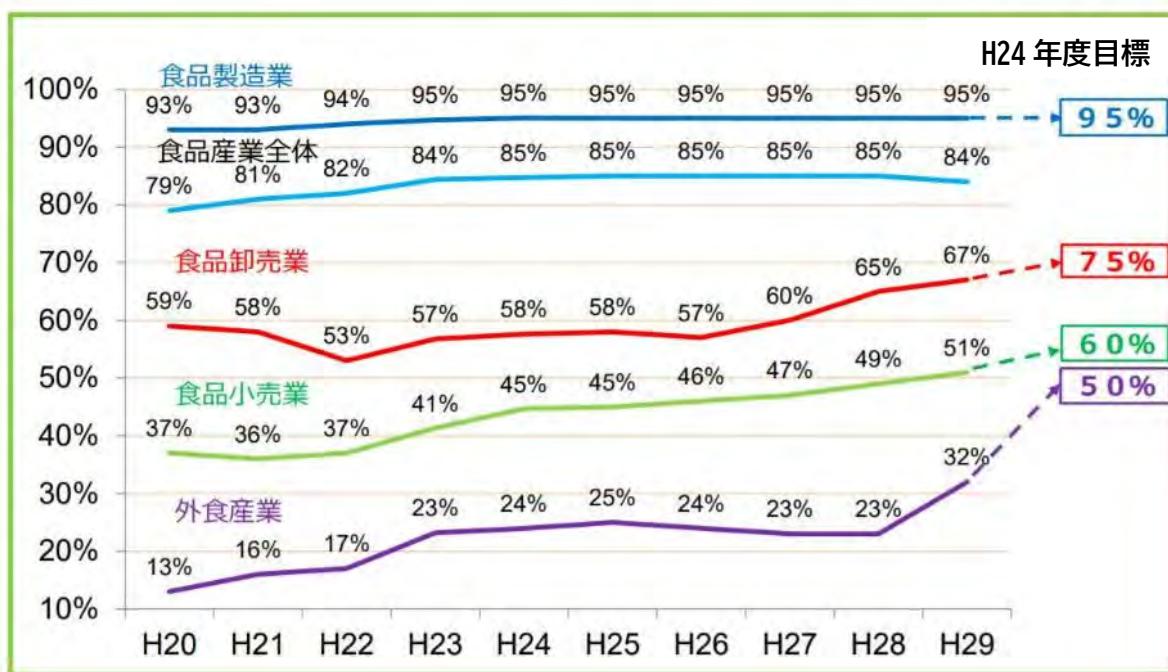


図 3.1-1 食品リサイクル率の推移（巻末資料3章-1）

3.1 試験計画

亜臨界水処理試験およびメタン発酵試験を実施するにあたり、事前に農林水産省食品産業局バイオマス循環資源課担当者様と協議し、有識者の意見も踏まえて試験計画を策定した。

3.1.1 亜臨界水処理試験計画

1) 目的及び概要

- メタン発酵の前処理として亜臨界水処理が及ぼす影響を明らかとする。
- ・メタン発酵に適した亜臨界水処理条件（温度・プラスチック有無・プラスチックの種類）
 - ・亜臨界水処理を導入した場合のマテリアル及びエネルギーフロー
 - ・イニシャル及びランニングコスト

2) 試験装置

実施場所：明治大学 黒川農場

装置容量：200 リッター、バッチ式

記録項目：装置内圧力・被処理物の装置内温度・装置内空間温度・

目標温度に到達するまでの時間・攪拌装置の回転速度 (0.1 秒毎に記録可)

生成物重量、燃料使用量、電力使用量、水使用量



写真 3.1-1 明治大学の亜臨界水処理装置

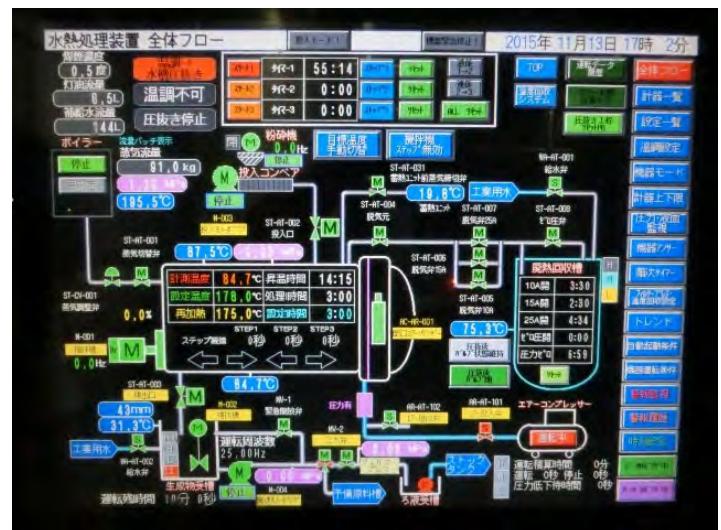


写真 3.1-2 亜臨界水処理装置制御盤

3) 使用原料

(1) 標準食品残さ

今回対象とする食品残さはリサイクル率の低いコンビニの食品残さを対象とする（原料検討の詳細は、「3.2.2 標準食品残さの検討」に記載）。原料の成分がメタン発酵に影響するため、食品残さの種類と混合割合を決めた標準食品残さを用いる。メタン発酵試験で用いる標準食品残さを表 3.1-1 に示す通り用意した。

亜臨界水処理試験 1 バッチで用いる食品残さは 30Kg、合計 6 バッチで 180Kg 使用する。

表 3.1-1 1 バッチの原料内訳

食品の種類	使用量 (g)
ごはん	15,000
食パン	4,000
豚肉もも (焼き)	1,650
魚 (鯵・焼き)	1,650
キャベツ (ゆで)	4,360
ジャガイモ (水煮)	1,500
なたね油	1,600
食塩	240
計	30,000

(2) 廃プラスチック

コンビニ、スーパー、レストランから廃棄される食品残さについて、事前に廃棄される食品残さと廃プラスチックの重量割合、含まれているプラスチックを調査した（調査の詳細は、「3.2.2 標準食品残さの検討」を参照）。調査結果より、含まれているプラスチックは、おにぎりの包装、パン・サンドウィッチの包装、弁当容器、麺類の容器、惣菜の容器などで、プラスチックの種類は PP, PS, PE, PET であり、全体の 6.1% がプラスチックであった。

4) 垂臨界水処理条件

表 3.1-2 垂臨界水処理原料および処理条件

番号	原料	温度条件	処理時間
1	標準食品残さ（プラなし）	150°C	30 分
2	標準食品残さ + コンビニ廃プラ 6.1% 混合	160°C	30 分
3	標準食品残さ（プラなし）	160°C	30 分
4	標準食品残さ + コンビニ廃プラ 6.1% 混合	180°C	30 分
5	標準食品残さ（プラなし）	180°C	30 分
6	標準食品残さ（プラなし）	200°C	30 分

処理時間については、早く分解される物については 30 分以内に分解され、分解に時間がかかる物は 60 分処理しても大きな差が無いことが有識者へのヒアリングにて明らかになった事から、処理時間は 30 分と設定した。

5) 分析項目

表 3.1-3 垂臨界水処理試験の分析項目

項目	対象
かさ比重	原料
粒度分布 (5mm, 2mm)	生成物
水分含有量、VS、炭素、窒素、pH	生成物

垂臨界水処理後の生成物について、5mm, 2mm のフィルターでそれぞれ固液分離を行い、粒度分布を明らかとする。また、顕微鏡によりマイクロプラスチックの有無も確認する。これにより、処理条件が分解に及ぼす影響が明らかになり、後に行うメタン発酵においても、垂臨界水処理条件の違いによる粒度分布とそれぞれのメタン発酵試験の結果を検証する事で、より詳細な機能性が評価できると考える。また、消化液の農業利用まで考えてマイクロプラスチックの有無も確認する。

3.1.2 メタン発酵試験計画

1) 目的及び概要

メタン発酵の前処理として亜臨界水処理を導入した場合の効果を明らかとする。また、最適な亜臨界水処理条件を検証する。

- ・バイオガスの組成、生成量及び期間
- ・メタン発酵の分解速度
- ・消化液に及ぼす影響
- ・亜臨界水処理有と無でのメタン発酵マテリアル及びエネルギーフロー
- ・イニシャル及びランニングコスト

2) 試験方法

実施場所：豊橋技術科学大学

今回の試験は、回分式で試験を7検体×3反復行う。その中から、ガス発生量および分解率が良かった2条件のみを選定し、連続式メタン発酵試験を行う。

まず、試験は100mlガラス瓶に種汚泥と原料を投入し、混合する。原料はTSで5%になるよう水分調整を行う。亜臨界水処理をしていない標準食品残さはミキサーで良く混合し、成分を均一にしてから成分分析を実施する。また、これらとは別に種汚泥のみの試験区も設定する。

表 3.1-4 メタン発酵試験（回分式）試験条件

発酵方式	湿式
温度	中温（36°C～38°C）
処理	回分式（バッチ）／100mlガラス瓶

表 3.1-5 メタン発酵試験（回分式）の原料

番号	原料	温度条件	処理時間
1	標準食品残さ（プラなし）	150°C	30分
2	標準食品残さ＋コンビニ廃プラ 6.1%混合	160°C	30分
3	標準食品残さ（プラなし）	160°C	30分
4	標準食品残さ＋コンビニ廃プラ 6.1%混合	180°C	30分
5	標準食品残さ（プラなし）	180°C	30分
6	標準食品残さ（プラなし）	200°C	30分
7	標準食品残さ（プラなし）	未処理・粉碎	

表 3.1-6 メタン発酵試験（回分式）の分析項目と測定頻度

項目	測定頻度
バイオガス発生量	試験後
バイオガスの組成 (CH ₄ , CO ₂ , N)	試験後
消化液中のTS(蒸発残留物)	
消化液中のVS(有機物量)	
TC(全炭素)	
TN(全窒素)	
NH ₄ (アンモニア態イオン)	試験前後
有機酸(C ₁ -C ₅)	
CODCr	
DOC	
DN	

試験のガス発生量および分解率の結果を踏まえて、2種類の原料を選定する。その後連続式のメタン発酵を30日間実施する。

表 3.1-7 連続式メタン発酵試験の分析項目と測定頻度

項目	測定頻度
バイオガス発生量	毎日
バイオガスの組成 (CH ₄ , CO ₂ , N)	5日後、10日後、 30日後
消化液中のTS(蒸発残留物)	
消化液中のVS(有機物量)	
TC(全炭素)	
TN(全窒素)	
NH ₄ (アンモニア態イオン)	試験前、5日後、 10日後、30日後
有機酸(C ₁ -C ₅)	
CODCr	
DOC	
DN	

3.2 亜臨界水処理試験

3.2.1 原料について

亜臨界水処理技術のメタン発酵における機能性を検討するうえで、使用する廃棄物について検討する。対象とする廃棄物は、リサイクル率の低いスーパーや飲食店の食品廃棄物、コンビニから廃棄される売れ残り弁当などの食品廃棄物が対象になる。そこで、それぞれについて調査を行った。

1) スーパーや飲食店からの食品廃棄物

調査は、スーパーや飲食店などの食品廃棄物のリサイクルに取り組む会社の協力を得て、愛知県下にあるスーパー2社合計14店舗と大型ショッピングセンター1店舗を対象に実施した。

調査結果は表 3.2-1 の通り。

表 3.2-1 食品廃棄物の調査対象

	種類	店舗数	特徴
調査対象 1	スーパーA	2 店舗	愛知県下に多数の店舗展開 内容は、キャベツの外葉 8割、白菜とレタス 2割
調査対象 2	スーパーB	12 店舗	愛知県、岐阜県、三重県に多数の店舗展開 内容は、レタス 8割、ご飯類 1割、フルーツ 1割
調査対象 3	ショッピングセンター	1 店舗	スーパー（パン屋含む）、フードコート 11 店舗、専門飲食店 4 店舗 内容は、スーパーとその他飲食店の廃棄物が半分ずつ。廃棄される種類は多様。



写真 3.2-1 廃棄物回収時の荷姿





写真 3.2-4 スーパーB の廃棄物（フルーツ類）



写真 3.2-5 スーパーB の廃棄物（ご飯類）



写真 3.2-6 ショッピングセンターの廃棄物
(スーパー関係)



写真 3.2-7 ショッピングセンターの廃棄物
(惣菜類)



写真 3.2-8 ショッピングセンターの廃棄物（パン屋）



写真 3.2-9 ショッピングセンターの廃棄物

（飲食店）



写真 3.2-10 ショッピングセンターの廃棄物

（飲食店）



写真 3.2-11 ショッピングセンターの廃棄物

（飲食店）

荷姿は、いづれも 45 リットルごみ袋であった（写真 3.2-12 参照）。なお、ごみ袋（容器）と廃棄物（内容物）は表 3.2-2 の通りごみ袋 0.5%、食品廃棄物 99.5% となった。



スーパーA



スーパーB



ショッピングセンター

写真 3.2-12 ごみ袋（容器）

表 3.2-2 スーパー等から排出される食品廃棄物の調査結果

	廃棄物総量	袋数	1 袋当たりの重量	袋の重量
スーパーA	543kg	84 袋	6.5 kg／袋	27g／袋
スーパーB	293kg	59 袋	5.0 kg／袋	27g／袋
ショッピングセンター	140kg	28 袋	5.0 kg／袋	27g／袋
平均	—	—	5.7kg／袋 (99.5%)	27g／袋(0.5%)

2) コンビニからの食品廃棄物に関する調査

・食品廃棄物中の容器と内容物の比率

写真 3.2-13 は、愛知県下のコンビニから排出されている 1 日分の食品廃棄物である。これらを対象に容器重量と内容物重量の調査を行い、結果は以下の通りとなった。



写真 3.2-13 コンビニから排出される食品廃棄物全体

表 3.2-3 コンビニから排出される食品廃棄物の容器と内容物の比率
(調査日:令和2年9月14日)

種類	重量	重量比
内容物（食品廃棄物）	9.56 kg	93.9%
容器（廃プラ等）	0.62 kg	6.1%

3) まとめ

今回調査したスーパーや飲食店の食品廃棄物、コンビニから廃棄される売れ残り弁当などの食品廃棄物を比較した結果、スーパーなどから廃棄される食品廃棄物は、大型のごみ袋（45 リットル袋）で運搬されることが多く、プラスチックの重量比率も小さい。このことから、ごみ袋等のプラスチック類を分別する手間も比較的容易であることがわかった。一方、コンビニからの食品廃棄物は、容器等のプラスチックと内容物を分別することが困難であり、飼料、肥料にリサイクルすることが難しいと思われた。

以上を踏まえ、有識者、農林水産省担当者と協議した結果、本事業で対象とする食品廃棄物をコンビニ食品廃棄物とした。

3.2.2 標準食品残さの検討

今回の事業で対象とするコンビニから排出される売れ残り弁当を中心とした食品廃棄物は、多種多様であるがゆえに試験で使用する原料については、同一のものを準備することは大変困難であると判断した。このため、標準食品残さを設定することを令和2年9月9、10日に有識者会議で諮り、了承を得たため、本試験で使用するコンビニ食品廃棄物について以下の点を調査し、標準食品残さを設定することとした。

- ・栄養成分 → 弁当のほか、おにぎり、サンドイッチも含めた売れ残り食品の成分調査
- ・容器種類 → 弁当容器、おにぎり、サンドイッチ包装など種類(PP、PE、PET等)とその重量比

1) 内容物(食品廃棄物)の成分調査

内容物(食品廃棄物)の成分について調査を行った。コンビニから実際に廃棄された廃棄物を収集し、商品の種類ごとに個数を調査した。商品1つ当たりの重さを測定し、種類ごとの合計重量を求めた(表3.2-4)。コンビニのホームページにて公開されている成分表より数種類の商品から商品1つ当たりの各成分を求め、各個数を掛けて成分ごとの重量を推計した。(表3.2-5)

表 3.2-4 コンビニからの廃棄物内訳および設定値

	※実測値 個数(個)	※実測値 1個の重さ(g)	※計算値 各重さ(g)
おにぎり	50	105	5,250
冷やし中華	2	400	800
カップ入りサラダ類	7	130	910
サンドイッチ	15	120	1,800
パン	21	90	1,890
袋入り野菜	10	130	1,300
おにぎり(2個入り)	8	210	1,680
惣菜(グラタン・たこ焼き等)	7	180	1,260
寿司類	9	160	1,440
弁当	14	400	5,600
スイーツ(ロールケーキ等)	6	90	540
フルーツ	1	120	120
合計	150	-	22,590

表 3.2-5 成分ごとの現物重量および割合

	たんぱく質 (g)	脂質 (g)	炭水化物 (g)	食塩相当量 (g)	水分※計算値
おにぎり	202	143	1,851	58	57%
冷やし中華	44	23	193	10	66%
カップ入りサラダ類	12	42	82	8	84%
サンドイッチ	195	300	422	24	48%
パン	179	360	715	25	32%
袋入り野菜	9	1	63	1	94%
おにぎり(2個入り)	57	31	536	16	62%
惣菜(グラタン・たこ焼き等)	110	107	275	18	60%
寿司類	85	136	500	25	48%
弁当	411	327	1,309	42	63%
スイーツ(ロールケーキ等)	31	76	117	1	58%
フルーツ	0	0	13	0	89%
合計重量(g)	1,335	1,546	6,076	227	-
割合	6%	7%	27%	1%	59%

コンビニの公式ホームページより

表 3.2-5 より明らかとなった成分割合になるよう、標準食品残さの使用量を以下の通り決定した。

表 3.2-6 標準食品残さの使用量(1バッチの量)

食品の種類	使用量(g)
ごはん	15,000
食パン	4,000
豚肉もも(焼き)	1,650
魚(鮭・焼き)	1,650
キャベツ(ゆで)	4,360
ジャガイモ(水煮)	1,500
なたね油	1,600
食塩	240
計	30,000

2) 容器（廃プラ等）の種類調査

容器（廃プラ等）の種類について調査を行った。

コンビニから廃棄される売れ残り食品廃棄物を2日分入手し、仕分け作業を行った。

写真3.2-14は仕分け対象全体の写真である。これらを、お弁当のように温めて食べるもの、サラダのように温めないもの、おにぎりのように温める+海苔が別包装、サンドイッチ類、デザート類といった種類に分別を行った。

（写真3.2-15、表3.2-7）



写真 3.2-14 調査対象全体



写真 3.2-15 種類別、特徴別に分類

表 3.2-7 コンビニの容器組成と重量

種類	割合	重さ (食品廃棄物 30 kgに対して)	特徴
①包装袋 (PP)	11%	209g	パン、野菜、サンドイッチ類
②おにぎり袋 (PP+PET)	3 %	57g	おにぎり袋
③PET	14%	256g	チルド透明容器
④PS混合容器	57%	1,044g	上下で違う素材、温め
⑤紙+袋の紙部分	12%	228g	紙+袋
⑥混合 (デザートカップ類)	2%	36 g	プリン、お菓子容器
合計	100%	1,830 g	

プラスチック容器に関しては、実際にコンビニが使用しているものを調達しようと試みたが、多くの弁当やその他食品は、コンビニ本部、弁当製造メーカー、容器メーカーが共同で開発した物であり、すべての素材、材料の流通経路、量の管理に至るまで契約がなされているため、たとえ試験といえども外部に流れる許可を得ることが出来なかった。このため、全くの同一のものではなく、同素材のものを容器専門店で調達することになった。

亜臨界水処理試験で使用する量は、全部で約 3.6 kg。予備も含めて全体で 5 kgを調達した。写真 3.2-16 は、標準食品残さ 30 kg当たりの容器写真である。



写真 3.2-16 標準食品残さ 30Kg 当たりの容器

3.2.3 亜臨界水処理結果

試験計画に基づき実施した試験状況は以下のとおり。

1) 原料の準備

(1) メタン発酵テストに必要な原料 20kg を製造するため、余裕を見て 30kg の標準食品残さを準備した。(表 3.2-8 食品別原料の使用量、写真 3.2-17)

表 3.2-8 食品別原料の使用量

食品の種類	使用量 (kg)
ごはん	15.00
食パン	4.00
豚肉もも (焼き)	1.65
魚 (鮭・焼き)	1.65
キャベツ (ゆで)	4.36
ジャガイモ (水煮)	1.50
なたね油	1.60
食塩	0.24
計	30.00



写真 3.2-17 使用原料および各重量

(2) 1バッチあたりの弁当容器等のプラスチックを準備 (表 3.2-9、写真 3.2-18)

表 3.2-9 プラスチック等種類別原料使用量

コンビニ弁当 (模擬)	使用量 (kg)
PS混合	1.044
PET	0.256
紙	0.228
包装袋	0.209
おにぎり袋	0.057
混合 (テザートカップ)	0.036
計	1.830



PS 混合 1.044kg



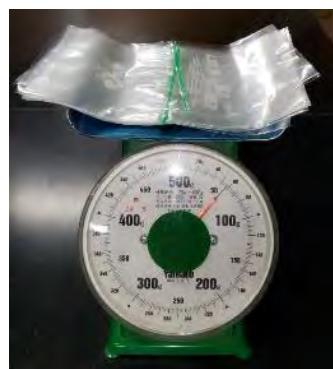
PET0.256kg



紙 0.228kg



包装紙(サンドイッチ用) 0.209kg



おにぎり袋 0.057kg



混合(デザートカップ) 0.036kg

写真 3.2-18 プラスチック等種類別重量

2)処理条件

表 3.2-10 1バッチごとの原料の種類と重量及び処理条件

run No.	原料 (Kg)		プラスチック等 (Kg)		計 (Kg)	処理温度 (°C)	処理時間 (分)	搅拌機運転周波数 (Hz)	放冷時間 (分)
1	標準食品残さ	30.00	なし	—	30.00	160	30	35	20
2	標準食品残さ	30.00	なし	—	30.00	180	30	35	20
3	標準食品残さ	30.00	なし	—	30.00	150	30	35	20
4	標準食品残さ	30.00	なし	—	30.00	200	30	35	20
5	標準食品残さ	30.00	あり	1.83	31.83	160	30	35	20
6	標準食品残さ	30.00	あり	1.83	31.83	180	30	35	20

run1 から run6 まで、6 パターンで試験を実施する。

3)試験

(1) 原料投入～運転開始～排出

①試験に使用する亜臨界水処理装置及びボイラ



写真 3.2-19 明治大学黒川農場 左：亜臨界水処理装置・右：ボイラー

②原料の準備

標準食品残さを 1 バッチ分ずつ小分けして準備した（1 バッチ分の原料の写真）



写真 3.2-20 標準食品残さ



写真 3.2-21 標準食品残さ+プラスチック等

③原料投入

比較的大きい固形状のものは前面より、小さいもの液状のものは上部より投入した。

投入口と前面蓋



写真 3.2-22 原料投入時の写真 前面および上部

④運転開始前準備

制御盤の亜臨界水処理条件設定画面において 1.温度測定位置・2.搅拌機 運転周波数・3.目標温度（処理温度）・4.再加熱温度・5.処理時間を設定した。



- 1.温度測定位置の設定：run1～6 下部で測定
- 2.搅拌機 運転周波数を設定：run1～6 35.0Hz で回転
- 3.目標温度（処理温度）設定：処理ごとに設定
- 4.再加熱温度の設定：処理ごとに設定
- 5.処理時間を設定：run1～6 30 分処理

写真 3.2-23 亜臨界水処理装置処理条件設定画面 (タッチパネル式)

条件を設定したのち亜臨界水処理を開始した。

⑤亜臨界水処理中の状況監視

亜臨界処理中は制御盤に現在の状況が表示されて自動で監視と制御を行った。

図 3.2-6 : run6 の 200°C 処理の例

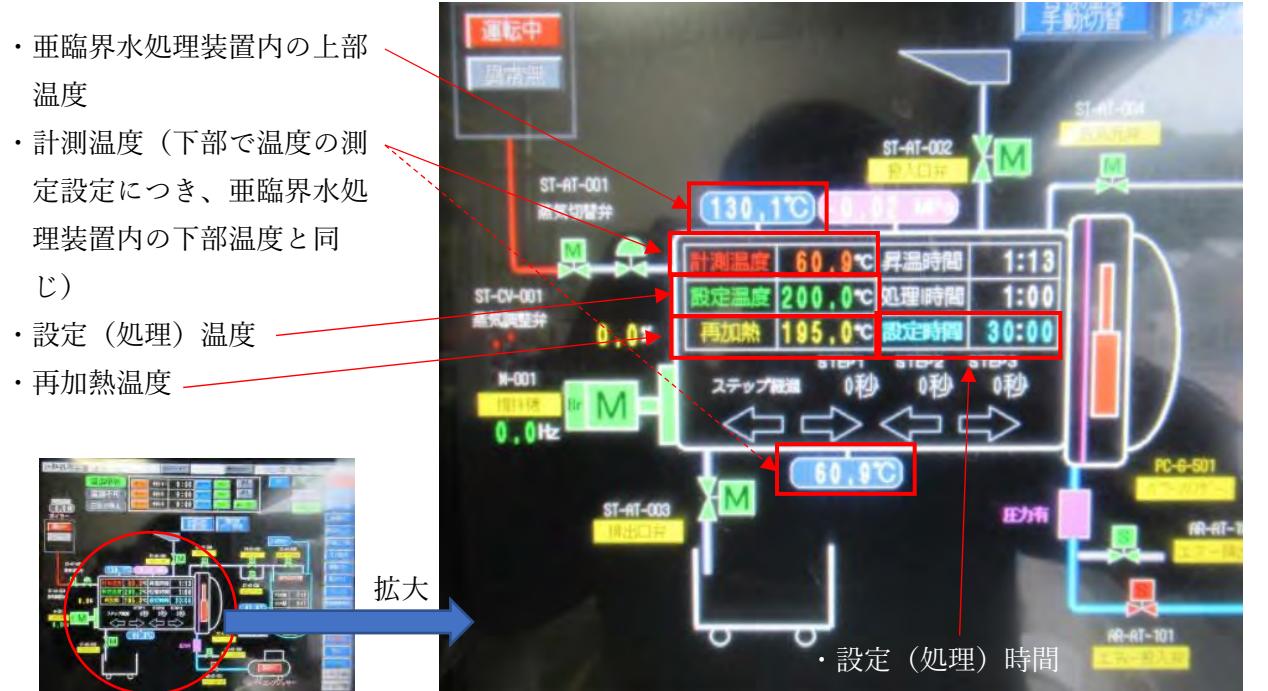


写真 3.2-24 操作画面に表示される各項目（1）

⑥設定（目標）温度達成時

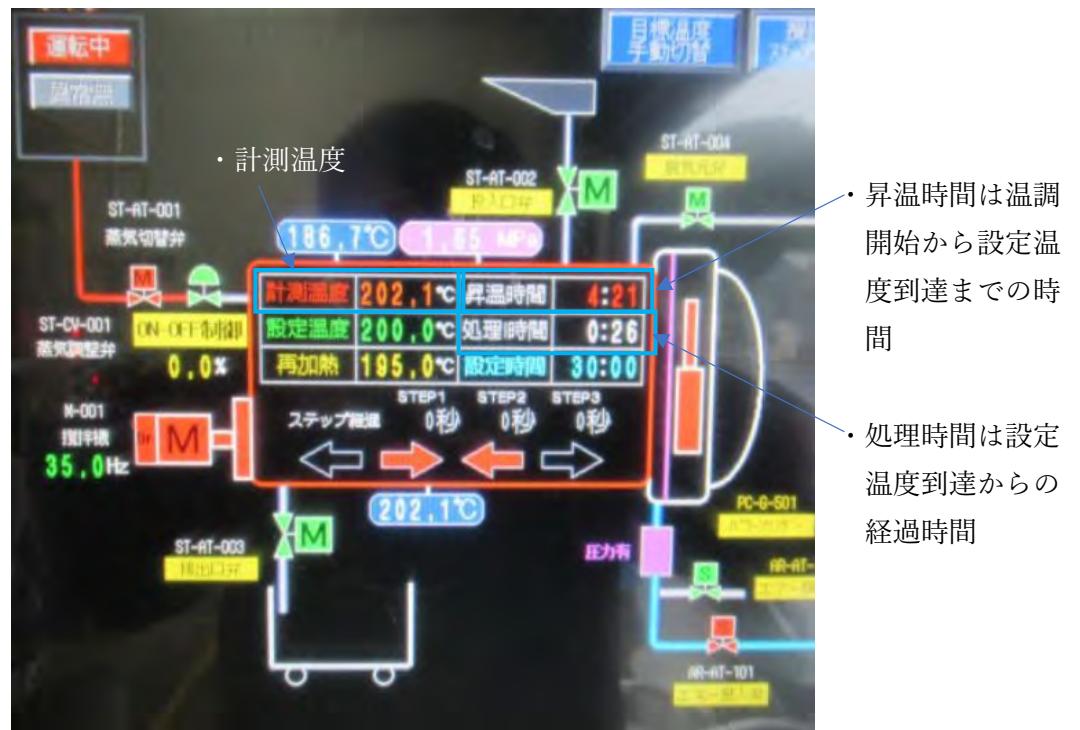


写真 3.2-25 操作画面に表示される各項目（2）

⑦亜臨界水処理が終了

高温の状態で蓋を開放すると内容物が噴き出すため、亜臨界水処理終了後に 20 分間の放冷を行った。

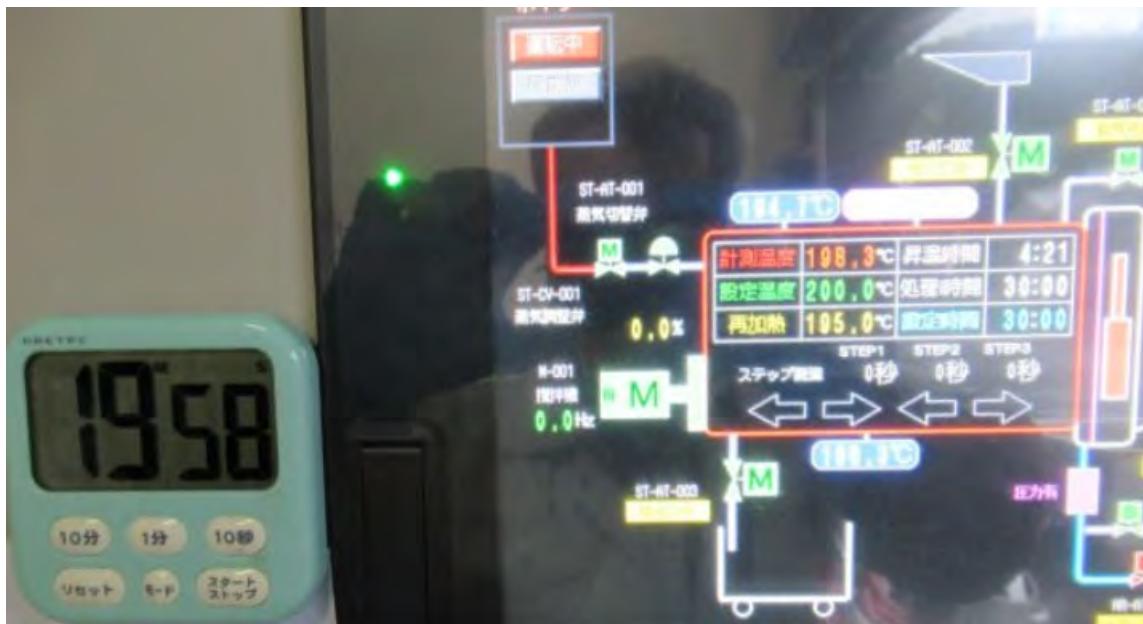


写真 3.2-26 放冷 20 分開始

⑧減圧

放冷 20 分後、亜臨界水処理装置内の圧力を蒸気回収槽に回収し、装置内の圧力が大気圧（0 壓）になったことを確認した。

⑨排出 1

亜臨界水処理装置側方の液体排出口から内容物を排出した。



写真 3.2-27 液体の排出

⑩排出 2

固体物は前方より排出した。



写真 3.2-28 固体の排出

⑪測定

排出作業完了後に各種測定を行った。

⑪-1 蒸気回収槽

水位計に取り付けられたメジャーにより測定

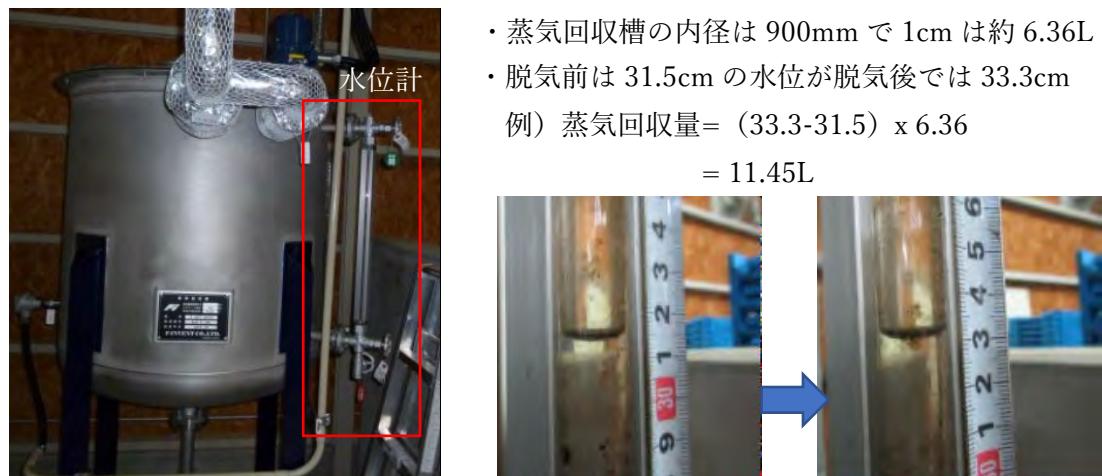


写真 3.2-29 蒸気回収量測定の様子

表 3.2-11 蒸気回収量

	単位	run1	run2	run3	run4	run5	run6
脱気前	cm	28.7	29.4	30.2	31.5	38.1	39.8
脱気後	cm	29.4	30.2	31.5	33.3	38.9	41.1
蒸気回収槽増加	cm	0.7	0.8	1.3	1.8	0.8	1.3
蒸気回収量	L	4.45	5.09	8.27	11.45	5.09	8.27

⑪-2 排出量

亜臨界水処理後の処理物の重量を測定した。



写真 3.2-30 排出量を計測

表 3.2-12 排出量（容器重量を除く）

	単位	run1	run2	run3	run4	run5	run6
排出量	kg	38.70	37.74	36.34	34.08	38.22	40.50

⑫固液分離

2 mmのザルにて固液分離作業を行った。



写真 3.2-31 2mm の網を使用した固液分離作業

⑬固体及び液体の測定

固液分離後の両者の重量を測定した。



写真 3.2-32 固液分離後の固体と液体の測定

表 3.2-13 ザルろ過後の重量（容器重量は除く）

	単位	run1	run2	run3	run4	run5	run6
2mmザルに残った 個体量	kg	7.42	4.92	9.74	12.98	11.34	9.84
2mmザル濾した液 体量	kg	30.22	32.24	25.04	20.62	24.56	27.68

⑭プラスチック等の残渣量

run5・run 6においてはプラスチック残さの重量を測定した。



写真 3.2-33 run5 のプラスチック等の残さ



写真 3.2-34 run6 のプラスチック等の残さ



写真 3.2-35 run5 の残さ量（左）と run6 の残さ量（右）

表 3.2-14 プラスチックの湿重量（容器重量は除く）

	単位	run1	run2	run3	run4	run5	run6
プラスチック湿重量	kg	—	—	—	—	1.04	0.74

⑯亜臨界水処理物の画像

run1～6 の処理物の写真。左側が 2 mm のザルの上に残った固形物、右側が 2 mm のザルを通過した液体物。



写真 3.2-36 run1 160°C処理



写真 3.2-37 run2 180°C処理



写真 3.2-38 run3 150°C処理



写真 3.2-39 run4 200°C処理



写真 3.2-40 run5 160°C処理（プラスチック有）



写真 3.2-41 run6 180°C処理（プラスチック有）

メタン発酵試験用の試料梱包



写真 3.2-42 メタン発酵用試験サンプル

各条件における試験結果を以下に示す。

表 3.2-15 試験結果

	単位	run1	run2	run3	run4	run5	run6
処理日	—	10月10日	10月10日	10月10日	10月10日	10月11日	10月11日
ごはん	kg	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
食パン	kg	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
豚肉	kg	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65
魚	kg	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65
キャベツ	kg	4.36	4.36	4.36	4.36	4.36	4.36
ジャガイモ	kg	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
なたね油	kg	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60
食塩	kg	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
原料(食残)	kg	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
PS混合	kg	—	—	—	—	1.044	1.044
PET	kg	—	—	—	—	0.256	0.256
紙	kg	—	—	—	—	0.228	0.228
包装袋 (PE)	kg	—	—	—	—	0.209	0.209
おにぎり袋(PP)	kg	—	—	—	—	0.057	0.057
混合 (デザートカップ)	kg	—	—	—	—	0.036	0.036
原料(プラ等)	kg	—	—	—	—	1.830	1.830
原料合計	kg	30.00	30.00	30.00	30.00	31.83	31.83
処理温度	°C	160	180	150	200	160	180
処理時間	分	30	30	30	30	30	30
攪拌機回転数	Hz	35	35	35	35	35	35
放置冷却	分	20	20	20	20	20	20
実験開始温度	°C	82.7	70.9	75.5	130.1	68.5	70.9
上昇温度	°C	77.3	109.1	74.5	69.9	91.5	109.1
排出量	kg	38.70	37.74	36.34	34.08	38.22	40.50
蒸気回収量	kg	4.45	5.09	8.27	11.45	5.09	8.27
蒸気投入量	kg	13.15	12.83	14.61	15.53	11.48	16.94
2mmザル滤した液体量	kg	30.22	32.24	25.04	20.62	24.56	27.68
2mmザルに残った個体量	kg	7.42	4.92	9.74	12.98	11.34	9.84
2mmザルに残った固体の含水率	%	67.3	60.25	66.95	60.35	59.25	46.5
乾燥重量	kg	4.99	2.96	6.52	7.83	6.72	4.58

3.2.4 亜臨界水処理後の粒度分布

160°Cおよび180°Cで亜臨界水処理した後の生成物について、2mm メッシュのザルろ過し、固液分離したものを試料とした。固体部と液体部をそれぞれ、2mm から 0.05mm メッシュ篩でろ過し、重量測定後、顕微鏡（生物顕微鏡）で形態を観察した。

亜臨界水処理後の固液分離調査結果を表 3.2-16 に示す。分離液を 2mm メッシュのザルろ過する過程で 5cm 以上の大型プラスチックは目視で分離した。ろ過残さ含水率を測定し、分別後の固体と液体の比率を求めた。180°Cでは 160°Cより分解が進み、プラスチックがあると固体比率が多くなった。

表 3.2-16 亜臨界水処理物の固液分離調査結果

Run (分解温度)		1 (160°C)	2 (180°C)	5 (160°C)	6 (180°C)
原料投入量 (kg)		30.00	30.00	31.83	31.83
現物重 (kg)	全分解物排出量	38.70	37.74	38.22	40.50
	ろ過液	30.22	32.24	24.56	27.68
	ろ過残さ	7.42	4.92	11.34	9.84
	大型プラスチック	—	—	1.04	0.74
	残渣含水率 (%)	67.3	60.3	59.3	53.5
乾物重 (kg)	ろ過残さ	2.43	1.96	4.62	4.58
	大型プラスチック	—	—	0.44	0.33
固液比 (%)	固体部	6.5	5.3	13.5	12.7
	液体部	93.5	94.7	86.5	87.3

プラスチックを含む原料について、ザルろ過した後の残さの状態を写真 3.2-43 に、2mm メッシュ篩上の状態を写真 3.2-44 に示す。160°C分解物は褐色であり、黒色と褐色の有機物が混在した。180°C分解物は黒色であり、プラスチックの小片がみられた。



写真 3.2-43 ザルろ過残さの状態 (100g)

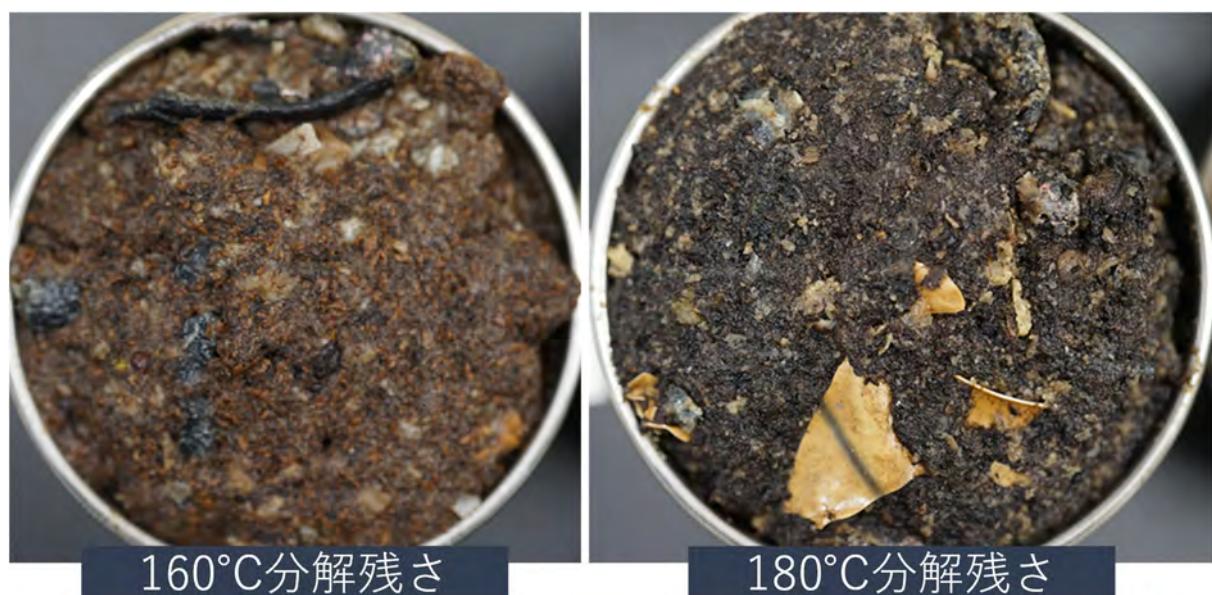


写真 3.2-44 2mm メッシュ篩上の状態

2mm 篩上のプラスチックのサイズがわかる写真を写真 3.2-45 に示す。160°C分解物は、黄白色のプラスチックが目立ち、黒色の物質も黄白色のプラスチックに黒色有機物が付着していた。180°C分解物は褐色の硬いプラスチックが多く、黒色有機物が付着しているものが多かった。

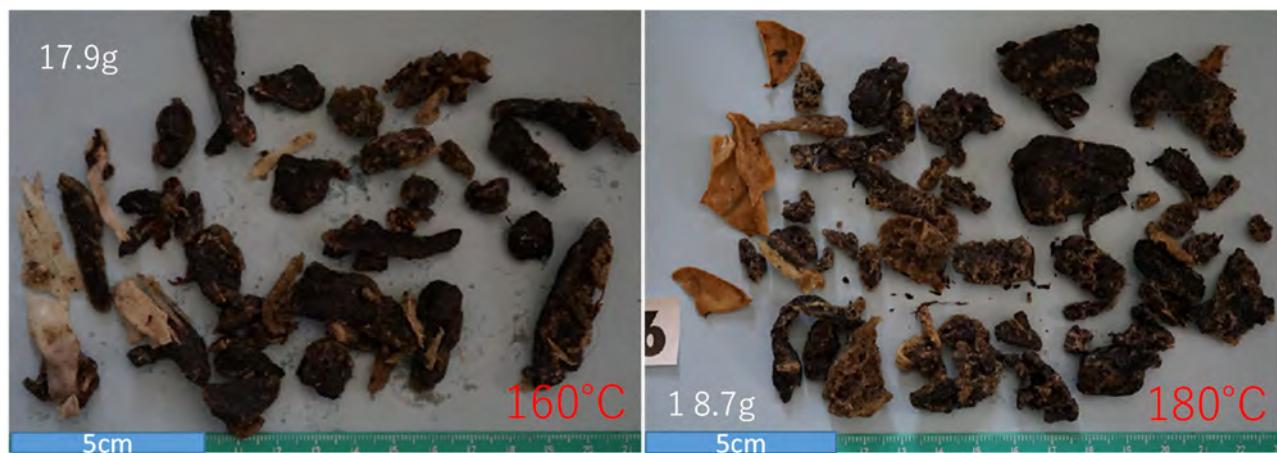


写真 3.2-45 2mm 篩上のプラスチック (160°C および 180°C)

2mm から 0.05mm メッシュ篩でろ過し、重量測定後、顕微鏡 (生物顕微鏡) で形態を観察した。160°C の結果を写真 3.2-46 に、180°C の結果を写真 3.2-47 に示す。160°C 分解物には、1mm 以下の黒色の不定形の物質が多くみられた。これは、分解し褐色化した有機物と思われる。また、細い纖維状の物質もみられ、これは糸状菌の菌糸ではなく、紙容器のセルロースであった。180°C の分解物中には、0.5~1mm の透明なプラスチック様物質が多くみられた。

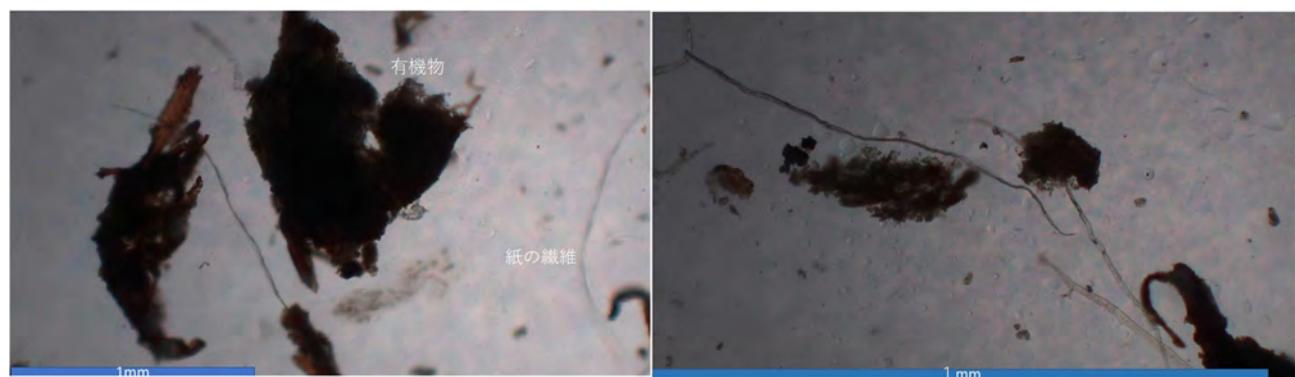


写真 3.2-46 160°C 分解物中の黒色物質

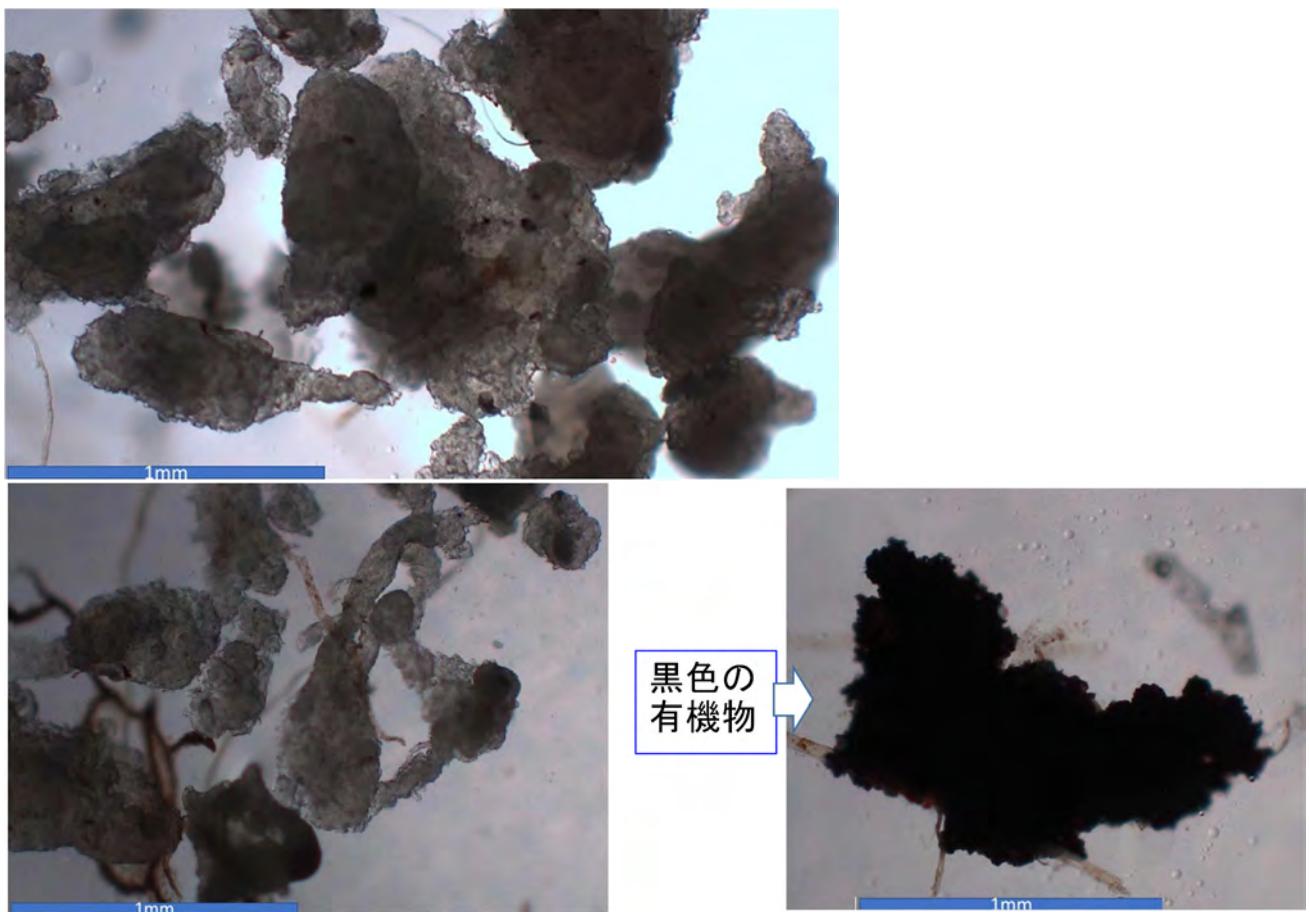


写真 3.2-47 180°C分解物中のプラスチック様物質

亜臨界水処理分解物の粒径別組成を表 3.2-17 に、亜臨界水処理物中プラスチックの粒度分布を表 3.2-18 に示す。

「ろ過残さ」と「ろ液」について、各メッシュのろ過物を風乾後に重量を測定し、プラスチックと有機物の区分は目視で行った。

プラスチックの粒度分布測定は各画分のプラスチックの風乾重を測定したが、油脂や有機物の付着がみられ、合計値が投入量 (1.62Kg) を超えるため、プラスチック間の比率として示した。160°C分解では、50mm 以上の原形を保ったプラスチックが多く、また全てが 2mm 以下の画分にあり、2mm メッシュろ過液にはみられなかった。180°C分解では、プラスチックが脆くなり、分解槽内の攪拌により細分化し、2mm 以下のマイクロプラスチックが約 26% 発生し、ろ過液中にも存在がみられた。

表 3.2-17 亜臨界水処理分解物の粒径別組成（単位は g）

試料	フルイのメッシュ	160°C分解物(R5)			180°C分解物(R6)		
		全重量	プラスチック	有機物	全重量	プラスチック	有機物
ろ過 残さ /100g	2.0mm<		16.42	38.75		17.83	45.34
	1.0mm	0.884	0	0.88	1.382	0.92	0.46
	0.5mm	1.125	0	1.12	2.096	1.40	0.70
	合 計		16.42	40.75		20.15	46.50
ろ液 /100g	1<2mm	0.230	0	0.23	0.064	0.03	0.03
	0.5mm	0.628	0	0.63	0.274	0.09	0.18
	0.25mm	0.032	0	0.03	0.407	0	0.41
	0.1mm	0.113	0	0.11	0.196	0	0.20
	0.05mm	0.016	0	0.02	0.033	0	0.03
	合 計		0	1.02		0.12	0.87

表 3.2-18 亜臨界水処理物中プラスチックの粒度分布

分解条件	160°C水熱分解物				180°C水熱分解物				
	単 位	g	kg	kg	%	g	kg	kg	%
ろ過 残さ	50mm<		0.44	19			0.33	12	
	2mm<	16.42	11.34	1.86	81	17.83	9.84	1.75	62
	1-2mm	0		0		0.92		0.09	3
	0.5-1mm	0		0		1.04		0.10	3
	小 計		2.30	100			2.27	80	
ろ過 液	1-2mm	0	24.56	0		0.95	27.68	0.26	9
	0.5-1mm	0		0		1.13		0.31	11
	小 計		0				0.57	20	
	合 計		35.90	2.30	100		37.52	2.84	100

粒度分布の測定結果について以下にまとめる。

- ・ 160°C分解では、プラスチック容器の形態がわかる状態のものが約1/5あり、残り4/5は破碎されていたが、2mm以下のものは見られなかった。
- ・ 180°C分解では、プラスチックが硬化し破碎されやすくなり、約3/4が数cm程度の破片となり、残り1/4は2mm以下のマイクロプラスチックになっていた。しかし、0.5mm以下の破片はみられなかつた。
- ・ 顕微鏡観察によるプラスチック分解の検討結果からみると、160°Cで水熱分解するとプラスチックは収縮固化するが、2mm程度の篩で分別可能となるが、180°C分解ではプラスチックが破碎され2mm以下のマイクロプラスチックとなり、分別が困難になる。
- ・ 顕微鏡観察結果からは、プラスチックの種類の判別は不可能であった。

3.3 メタン発酵試験（回分式）

標準食品残さに亜臨界水処理を施した処理物を用い、豊橋技術科学大学においてメタン発酵試験（回分式）を行った。

3.3.1 試験方法

図 3.3-1 に回分式メタン発酵試験の方法を示す。ここでは、バイオガス発生ポテンシャル量（発酵条件が良ければどの程度分解されるのか）を求める。

*包装容器には、プラスチックと紙が含まれる。以降紙を含む場合は略して容器と記載し、包装容器の中のプラスチックを示す場合はプラスチックと記載する。

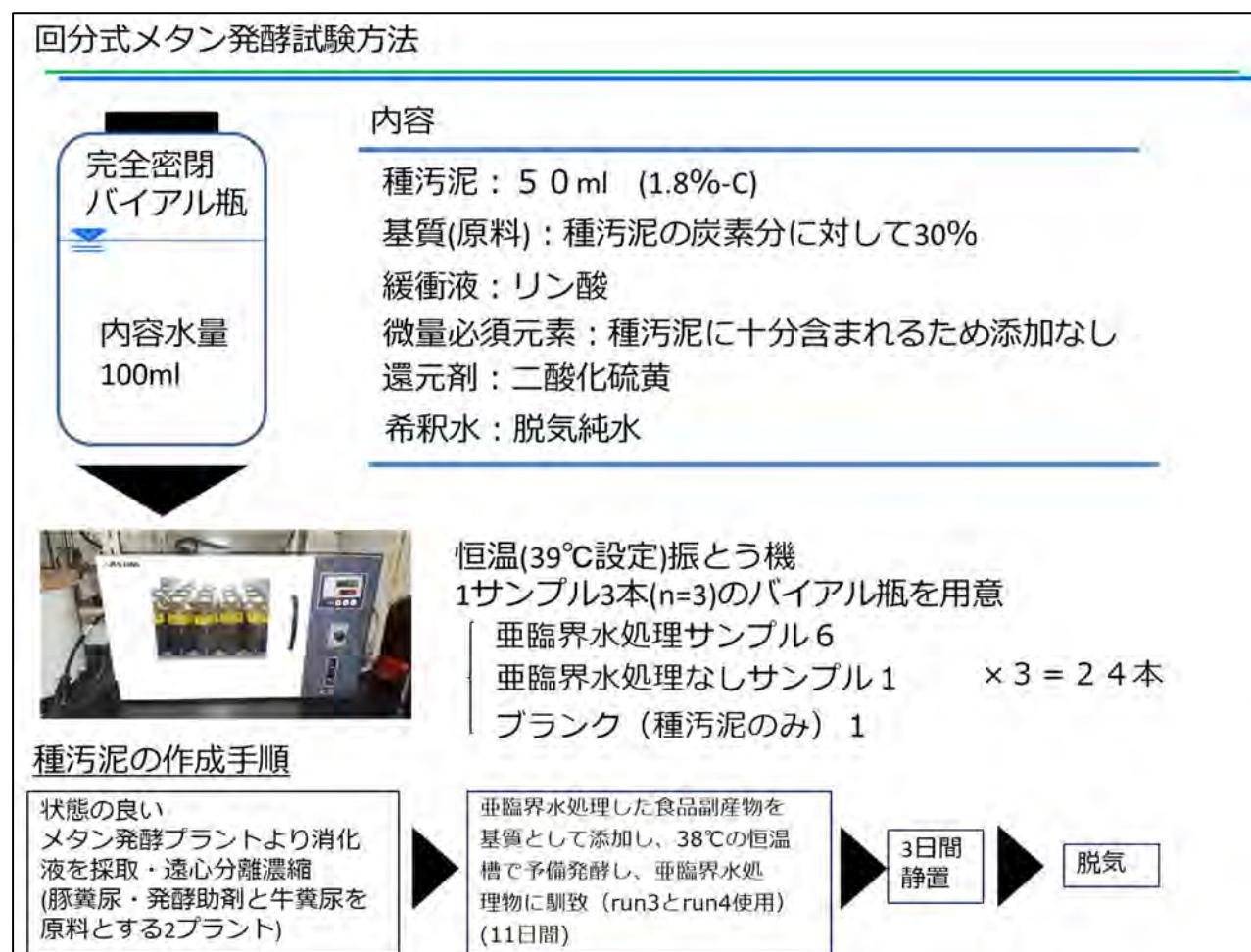


図 3.3-1 回分式メタン発酵試験方法

3.3.2 分析項目

- ・バイオガス発生量
- ・バイオガス組成
- ・TS: Total Solids 蒸発残留物
- ・VS(VTS): Volatile Total Solids 強熱減量

- ・ TC: Total Carbon 全炭素
- ・ TN: Total Nitrogen 全窒素
- ・ C/N : TC/TN
- ・ DOC : 溶存態有機炭素
- ・ DN : 溶存態窒素
- ・ 可溶化率: 各サンプルを 10 倍希釈し、その液を孔径 $0.45 \mu\text{m}$ のメンブレンフィルターをろ過して得られた脱離液中の溶存態有機炭素(DOC)量を TOC メーターにより測定し、その炭素量が全炭素量に占める割合で示した。

3.3.3 原料の成分分析

表 3.3-1 各サンプルおよび本メタン発酵試験に用いた種汚泥の成分等分析結果を示す。

表 3.3-1 各サンプルおよび種汚泥の成分分析結果

	TS (%-RM)	VS (%)	VS/TS (%)	TC (%-DM)	TN (%-DM)	C/N (-)	炭素可溶化率 (%)	DOC (mg/L-RM)	DN
容器なし									
run3	150°C	40.3	39.4	97.8	57.8	1.0	58.1	32	74,560
run1	160°C	73.5	72.1	98.2	69.0	0.8	90.2	21	106,416
run2	180°C	48.0	47.3	98.5	65.0	1.2	55.0	28	87,416
run4	200°C	32.1	31.3	97.4	66.5	1.4	48.9	42	89,736
容器あり									
run5	160°C	37.3	36.4	97.6	51.6	1.6	32.5	41	78,993
run6	180°C	33.1	32.2	97.1	53.3	1.5	36.2	52	91,825
処理なし		39.9	38.8	97.4	51.8	2.2	23.2	10	20,673
種汚泥		3.06	2.21	72.2	1.87	0.62	4.5		

RM : Raw Matter(湿潤状態)、 DM : Dry Matter(乾燥状態)

豊橋技術科学大学で行った亜臨界水処理後の原料分析では TS 値が高く検出されている。これは容器なしの亜臨界水処理条件のもので顕著で、例えば「160°C容器なし(run1)」を例にすると、明治大学において 32%程度だった TS が 73.5%程度と測定されており、そのまま評価に使用できないほど大きな差が出た。180°C容器なし (run2)、150°C容器なし (run3) も数値が高く、これに関連して炭素可溶化率は、同じ温度帯である run1 と run5、run2 と run6 をそれぞれ比較した場合、値が大きく異なり、可溶化しにくいと思われるプラスチック容器を混合した run5,run6 の値の方が、容器なしより 2 倍程度高い数値となっている。TS の分析結果が実際よりも高いくことからそれに関連して容器なしの可溶化率が低く算出されている。サンプリングの偏りなどが原因と考えられる。

一方、事業性の観点からみると、包装容器が混合した食品廃棄物をそのまま亜臨界水処理装置し、メタ

ン発酵することができれば、事前分別の手間が省けるとともに、事前分別による有機物量の減少を抑えことができる。このことから、容器を含む run5、run6 と亜臨界水処理なし（以下、「処理なし」と記載）に焦点をあてて考察を行うこととした。

* なお、上記理由により除外したが 150°C 容器なしはメタン濃度こそ低いもののバイオガス発生量が最も多くメタン発酵の前処理としての亜臨界水処理温度として適している可能性がある。今回実施しなかった容器あり 150°C 処理およびその粒度分布試験などはさらに検討したい条件であることを述べておく。

3.3.4 メタン発酵試験結果

図 3.3-2 に全炭素 (TC) 当たりの累積バイオガス発生量ブランク補正值を示す。

本メタン発酵試験において 180°C 容器あり、160°C 容器あり、処理なしのすべての条件で累積バイオガス量は 5 日目あたりまで急激に増加するものの、時間の経過とともに増加速度は鈍化していった。累積発生量は 40 日時点ではすべて同程度のバイオガス量を示したものの、処理条件によって、バイオガス発生速度に違いが見られた。

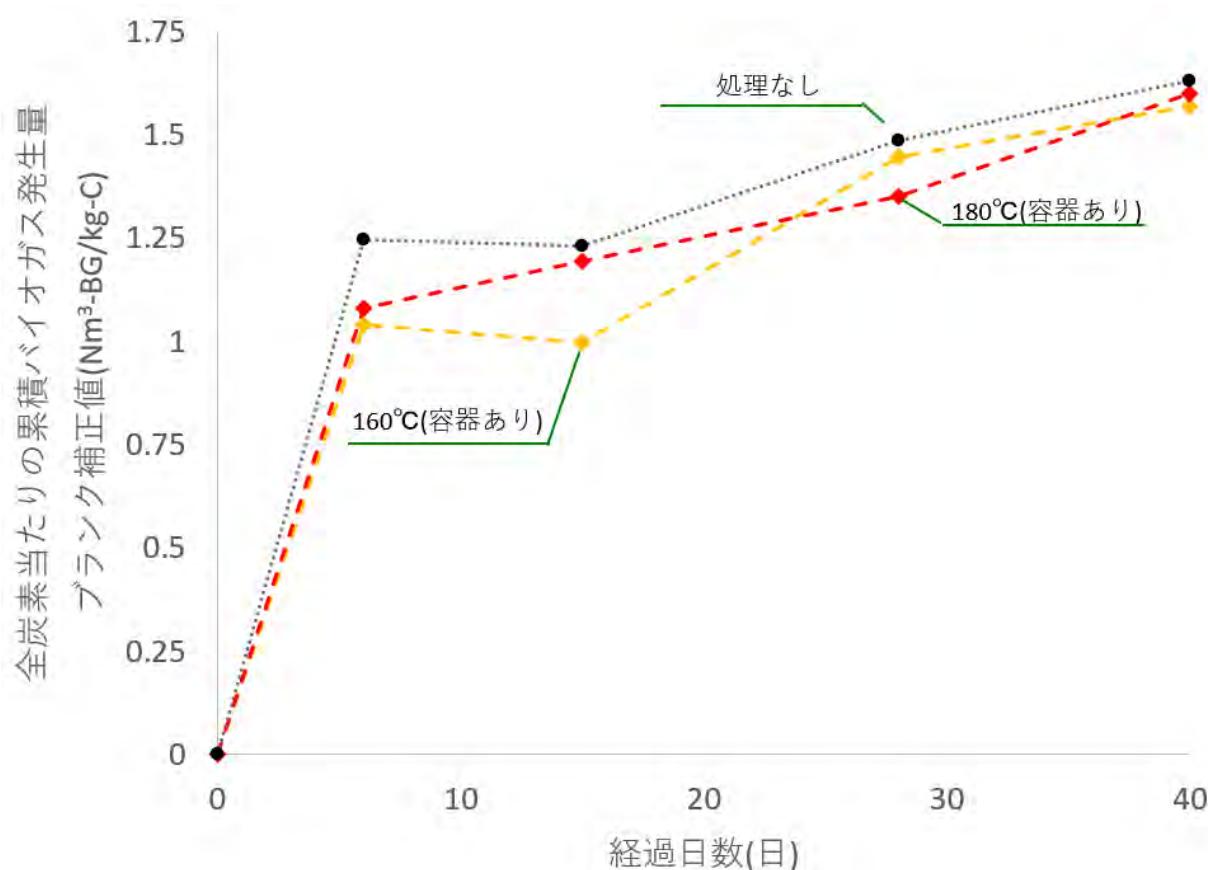


図 3.3-2 全炭素 (TC) 当たりの累積バイオガス発生量 (ブランク補正值)

データ整理にあたり、バイオガス発生量、メタンガス発生量の数値を、全炭素 1 kg あたりとして濃度差などの外因を取り除いて考察を行う。

また、炭素量をそろえてメタン発酵試験をしているものの、160°C容器あり、180°C容器ありにおいては、プラスチック中の炭素も含めているため、処理なしに比べて食品廃棄物量は少なくなっている。さらに、粒度分析結果から包装容器中のプラスチックは、小さくなつたが別の物質に変化したことが確認できず、プラスチックをメタン菌が消化し、バイオガスが発生した可能性は低い。このことから、中温発酵の環境下では、包装容器中のプラスチックからバイオガスは発生しないと仮定する。明治大学の実験では、0.44kg (160°C容器あり)、0.33kg(180°C容器あり)のプラスチックを除去しているため、それ以外のプラスチックは亜臨界処理液中に含まれているものとしてグラフ化する。厳密には紙の混入の影響なども考える必要があるが、実際のプラントにおいてもプラスチック入りの原料をそのまま亜臨界水処理する場合、紙などの混入は避けられないことを考えるとより現実を反映しているといえるのでそのまま使用することとした。

上記の内容で整理した累積バイオガス発生量の推移を示す。

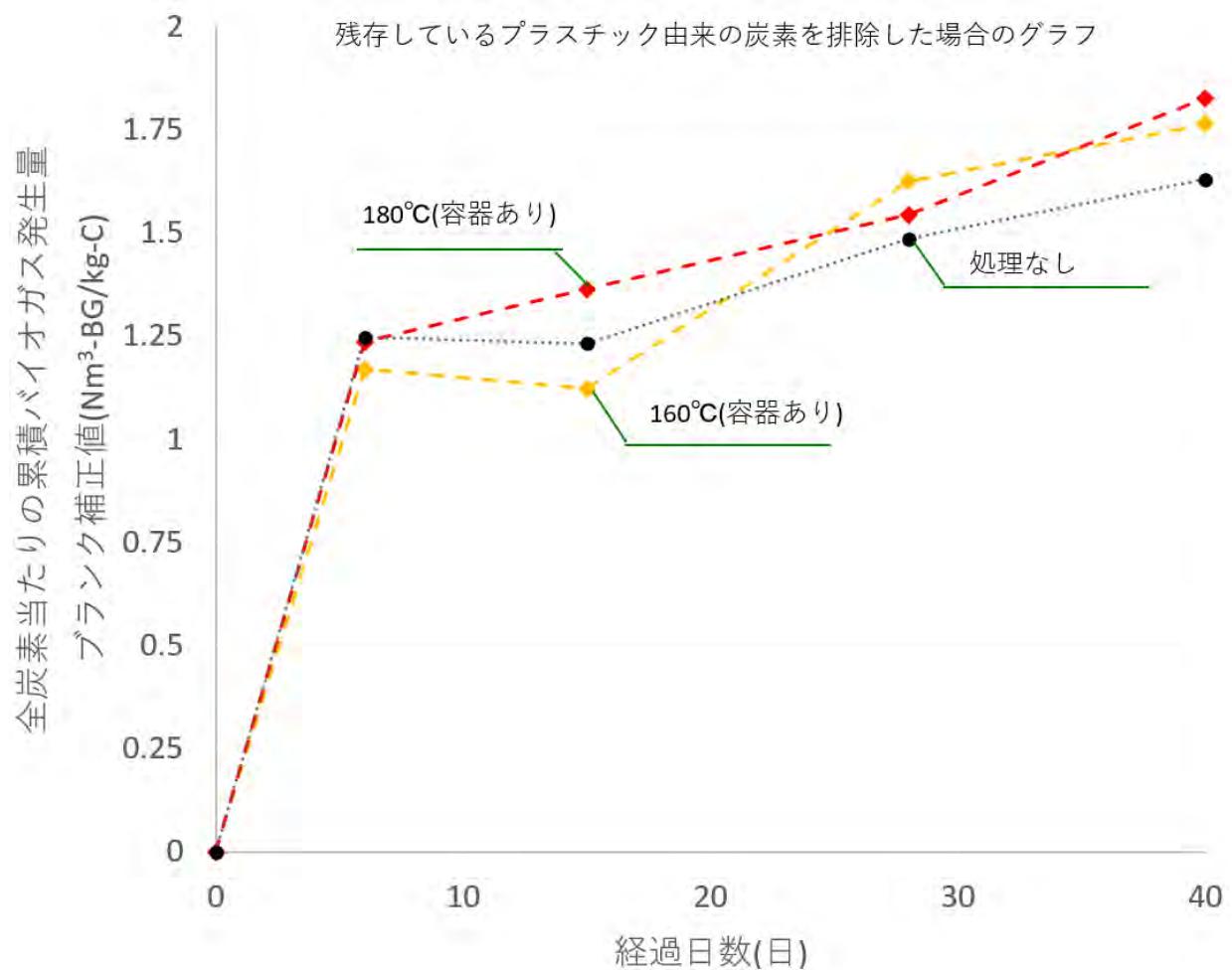


図 3.3-3 全炭素当たりの累積バイオガス発生量（プラ除外の場合）

15日時点では、160°C容器ありのバイオガス発生量が低いものの、28日、40日時点では、処理なしよりも高い数値を示した。また、メタンガス濃度の変化を図3.3-4に示す処理なしでは前半は低く、28日時点で発電可能となる50%を超える。一方、160°C容器あり、180°C容器ありは、6日時点から発電可能な50%以上のメタンガス濃度が検出されており、初期段階から発電が可能な環境ができている。160°C容器ありは、15日以降メタンガス濃度は減少していくものの、40日時点まで発電可能な環境を維持していた。このことから、亜臨界水処理した原料は、累積バイオガス発生量に極端な差がない場合、初期段階のCO₂の発生が少ないと言える。

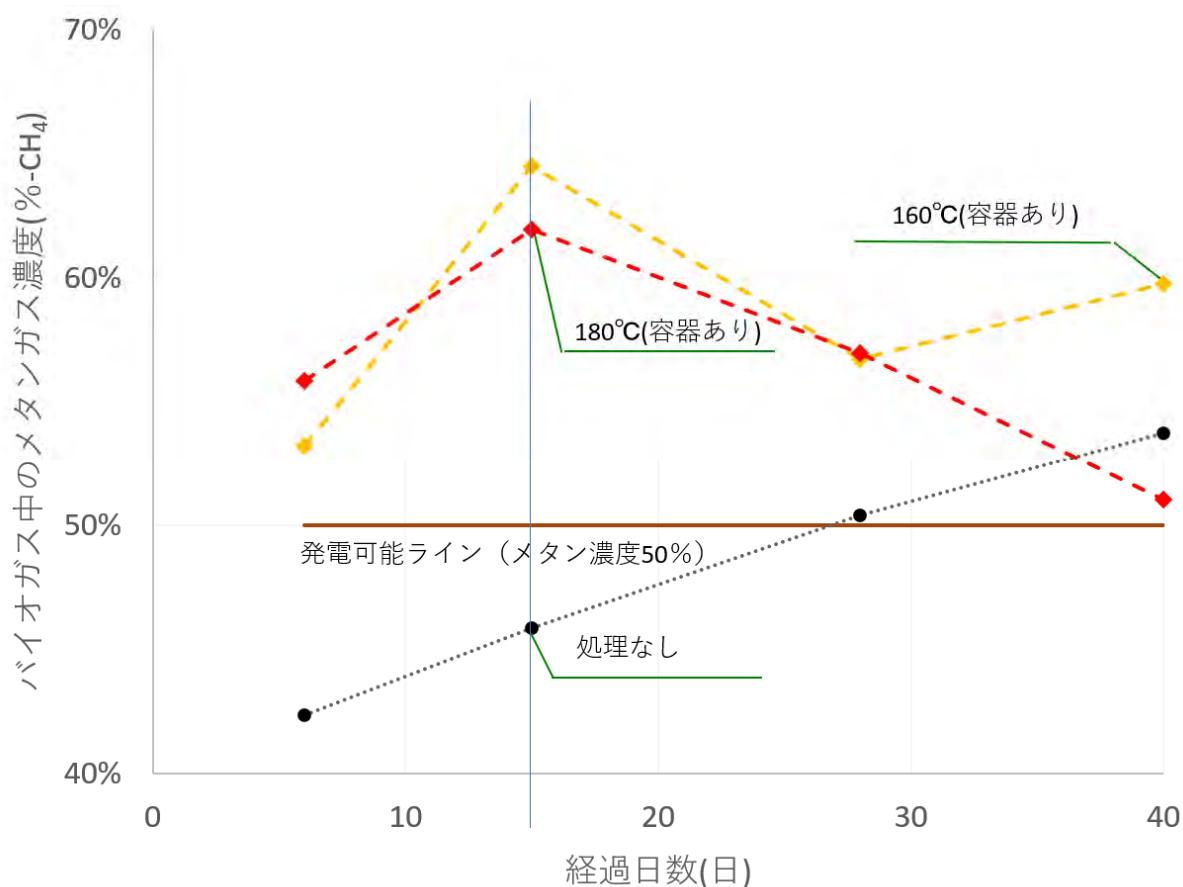


図3.3-4 バイオガス中のメタンガス濃度

メタンガス濃度の差は時間が経過するにつれて徐々に縮まっていくことから、処理なしの条件ではメタンガスに転換しにくい成分（例えば、油分）が、亜臨界水処理を行うことによってメタンガスに転換しやすくなっていると考えられる。常温で固形状の油脂などはメタン発酵の際に注意が必要とされ水理学的滞留時間（以下 HRT と記載）を長くとる要因ともなっている。中温発酵のHRTは一般的に20日から30日程度である。（表3.3-2、参考文献：野池達也 メタン発酵 技報堂 2009）が、設備の安定性を考慮すると油分などの分解に時間と要する成分が多い原料では長めに設定される場合が多い。

亜臨界水処理により、分解に時間を要する成分が分解しやすい状態になつていれば、HRT の短縮につながり、設備費・設備面積の大幅な削減要素となる。

表 3.3-2 有機性廃棄物のメタン発酵における高温発酵と中温発酵の性能比較

比較項目	高温メタン発酵	中温メタン発酵	備 考
運転温度	55 ℃前後	35 ℃前後	
分解速度	速	遅	
ガス発生速度	速	遅	
有機物負荷	大 (5.5~6.5kg/m ³ /d)	小 (2.0~3.0kg/m ³ /d)	高温発酵の方が単位容積当たりの処理能力が2~3倍高い
HRT	短 (10~20d程度)	長 (20~30d程度)	HRTの違いに伴い、発酵槽容積も異なる
油脂類の溶解	可能	困難な場合あり	中温発酵の場合、常温で固体の動物性脂肪は注意すべき
衛生化効果	大	小	病原体の不活性化、雑草種子の発芽抑制
加温に要するエネルギー	大	小	
発酵阻害を引き起こすアンモニウムイオン濃度	低 (2,500mg/L程度)	高 (7,000mg/L程度)	

参考文献：野池達也 メタン発酵 技報堂 2009

累積メタンガス発生量のグラフを図 3.3-5 に示す

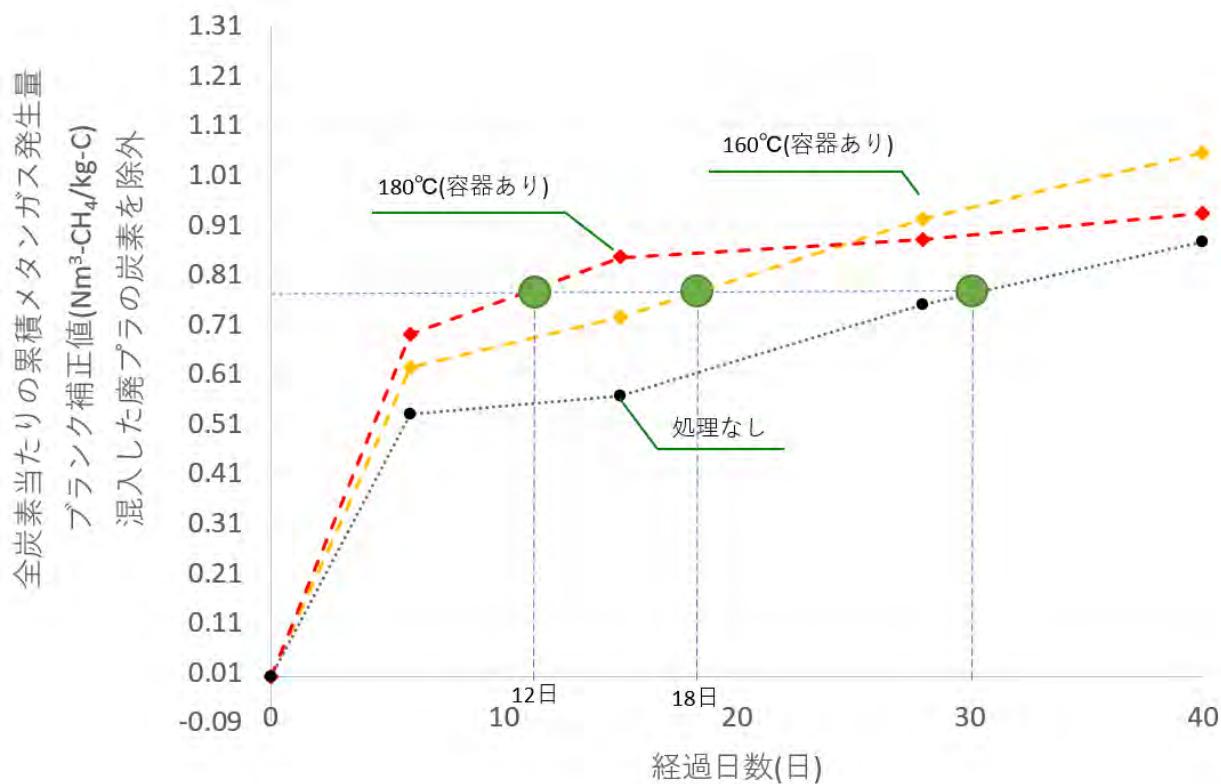


図 3.3-5 累積メタンガス発生量

バイオガス発電を行う際にはバイオガス量よりメタンガス量とバイオガス中のメタンガス濃度が重要となってくる。処理なし 30 日経過時点のメタンガス量を基準に比較すると、180°C容器ありでは 12 日目、160°C容器ありでは 18 日目でほぼ同量のメタンガスが発生している（図 3.3-5 中緑色丸印の比較）。このことから、処理なしの HRT を 30 日と仮定した場合、160°C容器ありでは 40% 短縮して HRT18 日、180°C容器ありでは 60% 短縮でき HRT12 日にすることができると考えられる。

（参考）メタン濃度と発電の関係

今回の試験にあたり国内のバイオガス発電機メーカーと、中国で米国製のバイオガス発電機を販売している企業と 2 社に聞き取りを行った。

中国企業の話によると、メタンガス濃度が低下するとエンジンの息継ぎが発生して思わぬトラブルや故障が発生するので発電を停止して、原料の調整などを行いメタンガス濃度が 50%（理想的には 55%）を超えたら発電を再開するという方法をとっているとのことだった。調整のため発電を止める期間のバイオガスは余剰ガス燃焼装置などで処分して無駄になる。

国内のメーカーに対する聞き取りでも中国の事例と同様に発電を止めるケースがあるが、低濃度（メタン濃度 47%）でも発電できるタイプの発電機も販売している。図 3.3-6 メタンガス濃度と発電出力の関係を示す。しかしながら、メタンガス濃度が 55% を下回ると徐々に発電量が低下していき、メタンガス濃度が 50% では最大出力の 70% の発電量となり（図 3.3-5 緑色点）、運転可能範囲下限となるメタンガス濃度 47% では最大出力の 50% の発電量となる。（図 3.3-6 燈色点）

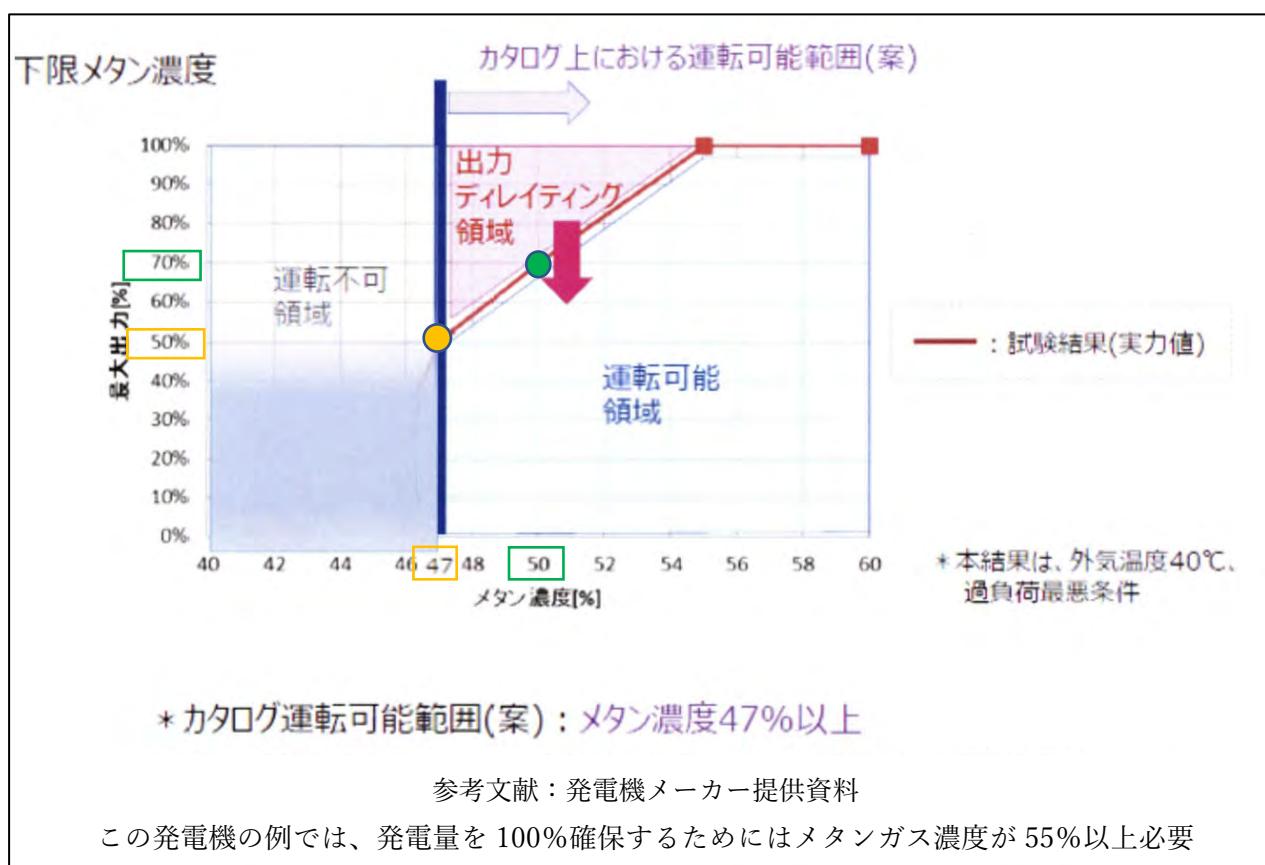


図 3.3-6 メタンガス濃度と発電出力の関係

発電量が低下するもしくは発電が停止するなどの現象は事業性に大きく影響する。特に固定価格買取制度（以下 FIT と記載）下で運営する事業体などには深刻な影響を与える。発電量の安定性、メタンガス濃度の改善を検討している事業者が、原料の調達（メタンガスが出やすい原料をより多く集めるなど）で解決できない場合、亜臨界水処理技術は有効な手段といえる。

表 3.3-3 各指標における分解率

		TS	VS	TC
		(分解%)		
容器なし				
run3	150	78.5	71.3	77.8
run1	160	54.2	55.8	59.3
run2	180	64.8	70.8	66.7
run4	200	61.6	71.3	40.7
容器あり				
run5	160	76.4	82.9	77.8
run6	180	68.5	79.7	70.4
処理なし		69.8	83.7	81.5
種汚泥		34.0	44.8	47.6

* run5 は 160°C 容器あり、run6 は 180°C 容器ありの数値

上記分解率のもととなるサンプルには先述した包装容器が混合されている。混入したプラスチックの影響を取り除いた分解率を表 3.3-4 に示す。

表 3.3-4 混入したプラスチックを除いた分解率

		TS	VS	TC
		(分解%)		
プラスチック除去				
run5	160	83.3	90.5	87.8
run6	180	75.6	88.4	80.7

TS 分解率は処理なしで 69.8%（表 3.3-3）、160°C 容器ありで 83.3%、180°C 容器ありで 75.6% であつ

た（表 3.3-4）汚泥の発生量を消化液に残る乾物ベースで考えると仮定すると、亜臨界水処理により分解が進む分汚泥の発生量が低減される。160°C容器ありよりも 180°C容器ありの削減率が悪い原因としてメタン発酵しにくいものが生成された可能性が考えられる。

次に VS 分解率を見ると処理なしで 83.7%（表 3.3-3）160°C容器ありで 90.5%、180°C容器ありで 88.4% となった（表 3.3-4）。亜臨界水処理を行った原料は処理なし原料より分解率が高い。また、図 3.3-3 においてメタンガス発生量は 160°C容器ありで 20% 程度、180°C容器ありで 25% 程度多いことが確認されていることから、亜臨界水処理で生成されるメタン発酵しにくい物質は、CO₂ を多く発生する炭水化物のようなものが主体であると考えられる。

コンビニからの食品廃棄物は油分が多い傾向にあるが、亜臨界水処理によりメタンガスに転換する速度が上がり、損失も少ない傾向にあることが確認できた。

3.3.5 メタン発酵試験（連続式）

回分式の結果を踏まえて、亜臨界水処理 160°C、亜臨界水処理 180°C の原料を使用して、豊橋技術科学大学において連続メタン発酵試験（以降連続試験と記載）を実施した。なお、連続式試験に用いる原料は、DA インベント清須工場において標準食品残さを亜臨界水処理したものを使用した。



写真 3.3-1 亜臨界水処理に使用した試験機

回分式でメタン濃度が発電可能範囲となる HRT が 160°C処理で 18 日、180°C処理で 12 日であったので、連続試験では HRT を両者の中間である 15 日に設定した。HRT が 15 日となるよう投入量を決めて実験装置に原料を投入する。その経過 3 週間記録してメタン発酵の各種データを測定することを目的とした。

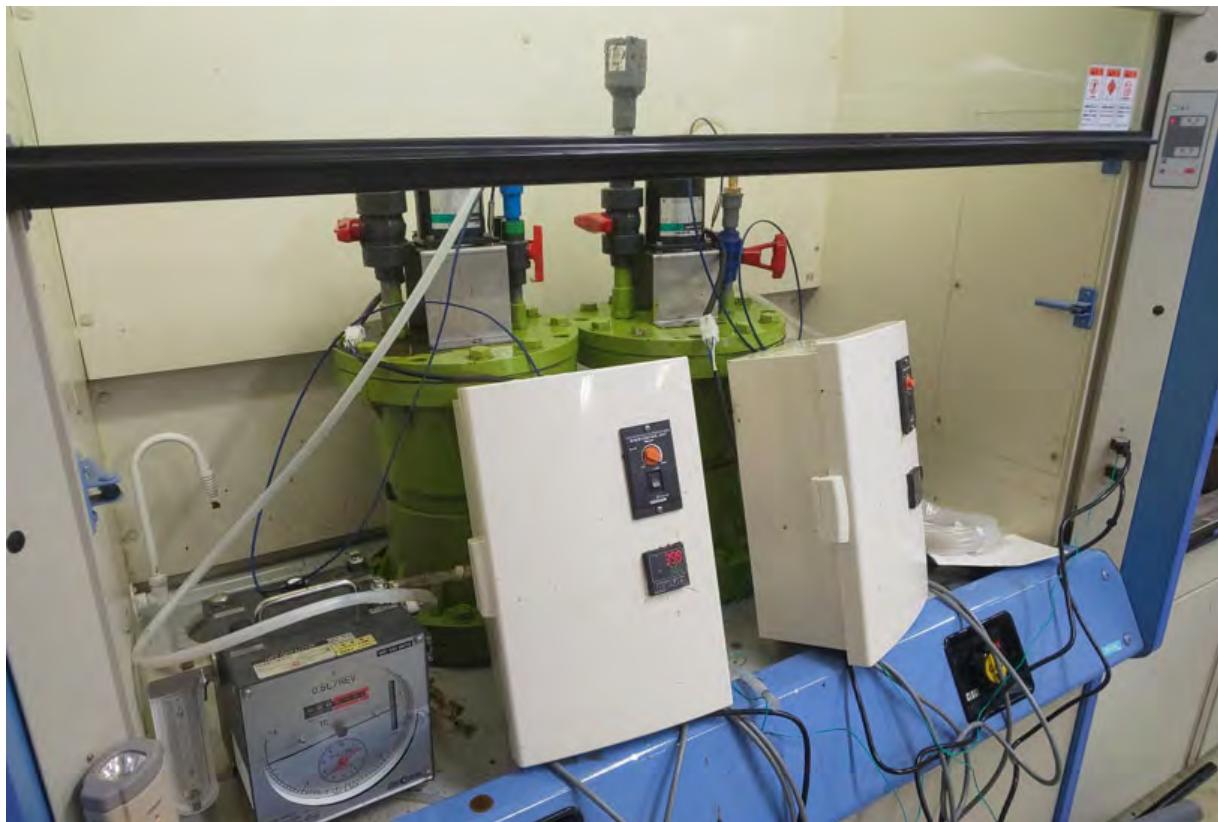


写真 3.3-2 連続式メタン発酵試験装置

表 3.3.5 標準食品残さ亜臨界水処理後のデータ

	単位	run1	run2
処理日	—	2月5日	2月5日
処理温度	°C	160	180
処理時間	分	30	30
原料投入量 (食品残渣)	kg	30	15
原料投入量 (プラスチック等)	kg	1.83	0.915
総投入量	kg	31.83	15.92
排出量	kg	48.53	41.18
投入蒸気量	kg	16.70	25.27
3cm以下 (固体)	kg	7.8	3.6
3cm以上 (固体)	kg	2.13	0.45
固体計	%	9.93	4.05
3cm以下 (液体)		36.63	36.54

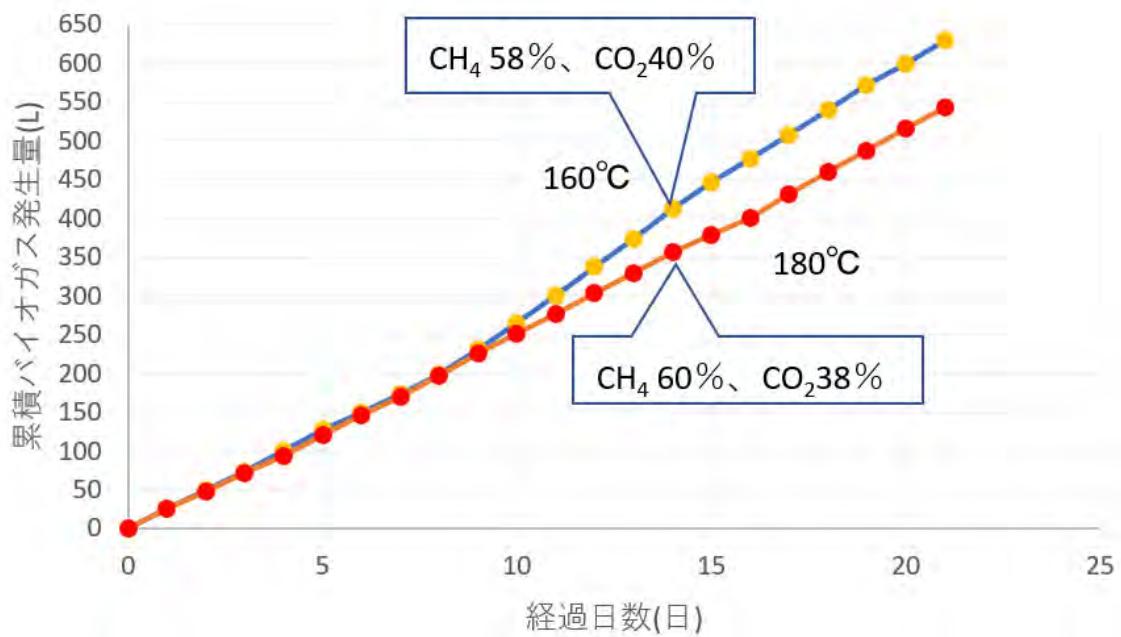


図 3.3-7 連続メタン発酵試験の累積バイオガス発生量

累積バイオガス発生量は 160°C 处理、180°C 处理ともに直線的に伸びている。
 メタンガス濃度は 14 日時点 180°C 处理が 60%、160°C 处理が 58% で回分式テストと同様発電機が稼働できる範囲となった。

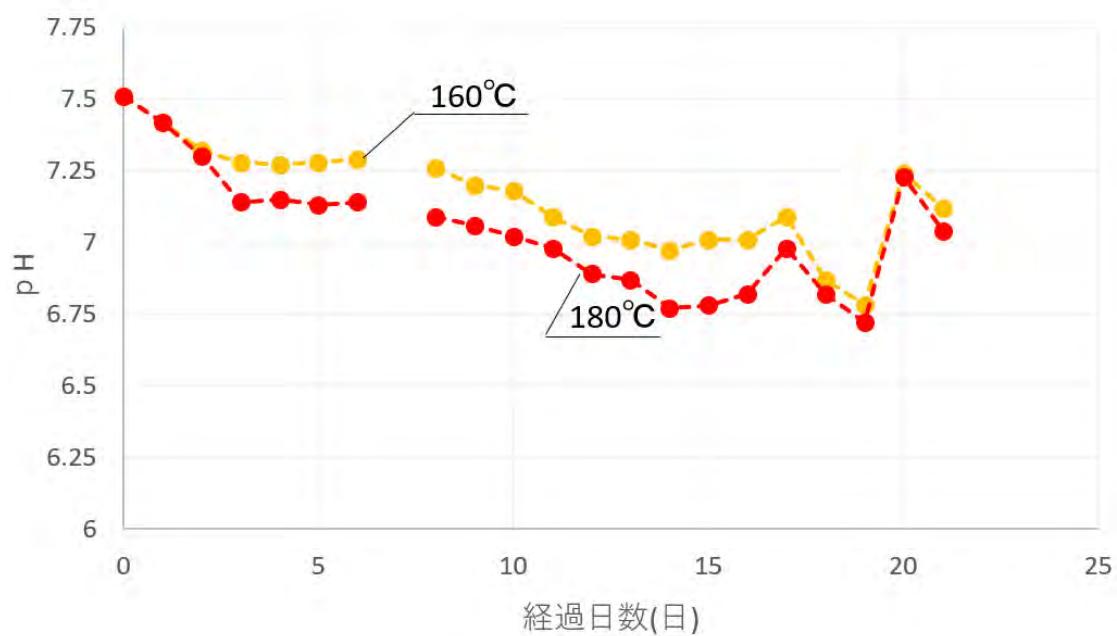


図 3.3-8 連続メタン発酵試験の pH

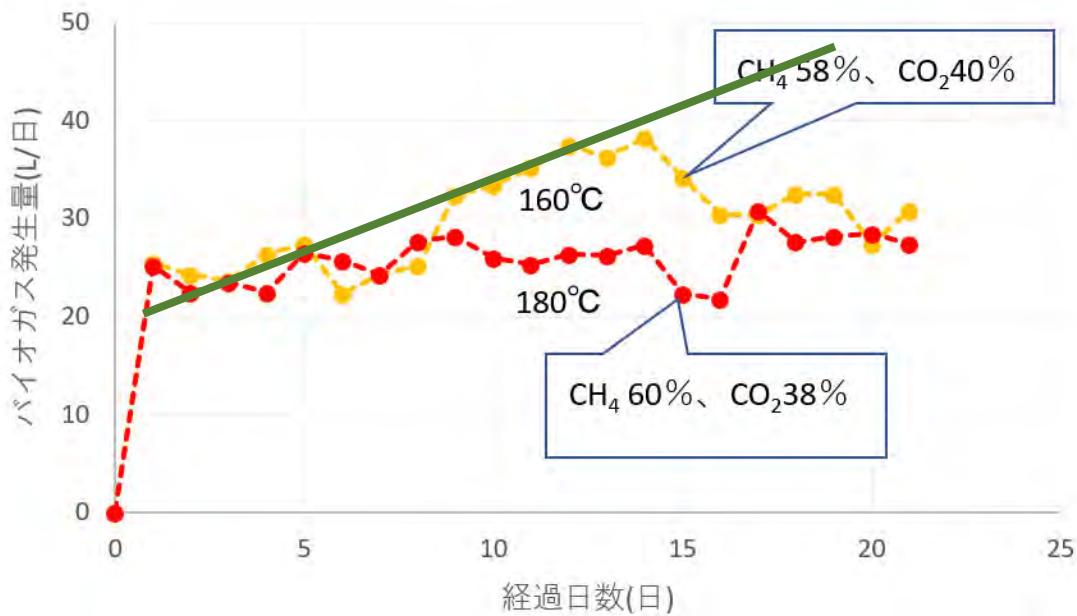


図 3.3-9 連続メタン発酵試験のバイオガス発生量

バイオガス発生量

連続試験の pH のグラフ図 3.3-8 において 10 日経過少し前に 180°C 处理の pH が下がり同時にメタンガス発生量も下がり始めた図 3.3-9。同様に 160°C 处理においても pH が下がり続け、両者のバイオガス発生量が不安定になった。そのため途中 pH 調整を行いバイオガス発生量は回復方向に推移したが不安定な状態であった。当初緑色線に沿って一日当たりのバイオガス発生量が上昇していく想定であったが、中盤以降図 3.3-9 のような結果になった。これは試験前のメタン菌の馴致が不十分であったためと考えられる。装置内環境に合わせて原料側の pH や量を調整しながら進めるべきところ HRT ありきで実施したことが原因と思われる。実際の社会実装においては、馴致を行うための十分な期間を確保する必要があると考えられる。

参考

豊橋技術科学大学で実施した性状分析で異常値を示した 160°C 容器なし、180°C 容器なしのサンプルについて、試験計画に基づき、亜臨界水処理、メタン発酵の再試験を行った。

図 3.3-10 に試験装置の構成、写真 3.3-2 に試験装置設置状況を示す。

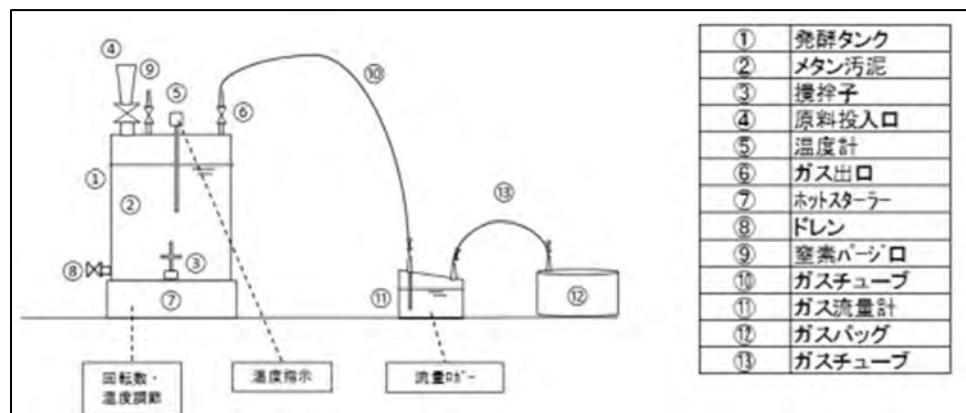


図 3.3-10 試験装置の構成

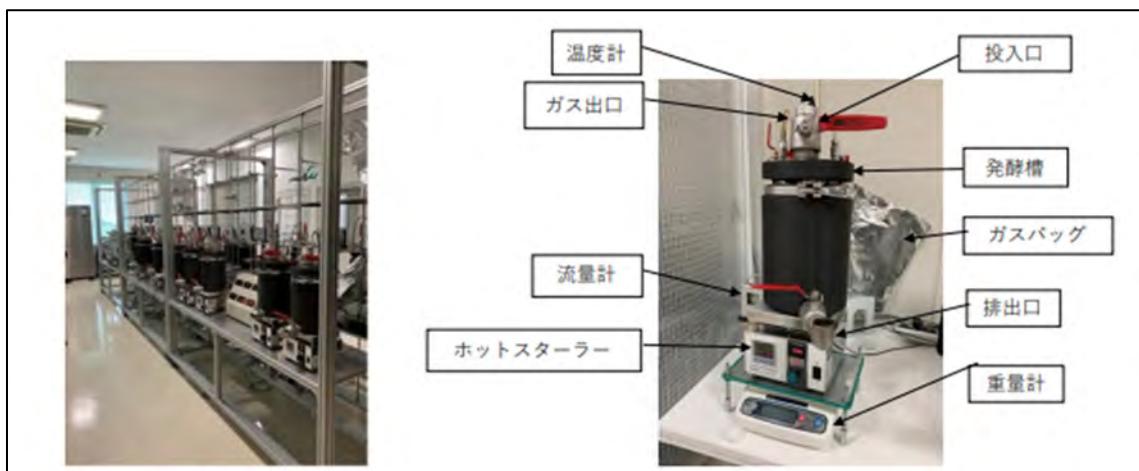


写真 3.3-3 試験装置および試験装置設置状況

詳細は巻末資料 3 – 3 短期ラボテスト報告書のとおり。原料の固形物量を基準とした TS あたりのバイオガス量メタンガス量、原料の有機物量を基準とした VS あたりのバイオガス量メタンガス量とともに 160°C 处理が最も良い結果となった。次いで未処理、180°C 处理の順であった。

メタンガス発生量を計算する際に CODcr の値を利用すると、発生するバイオガスのメタンガス濃度などに関係なく計算できる。

バイオガスラボのメタン発酵試験における CODcr 転換率の結果を示す（表 3.3-6 CODcr 転換率）。160°C 处理の CODcr 転換率は未処理より 10% 程度多い結果となった。次いで未処理、180°C 处理の順であった。

表 3.3-6 COD_{Cr} 転換率

	単位	未処理物	160°C	180°C
COD _{Cr} 転換率	%	75.3	86.8	59.1

CODcr 転換率はメタンガス発生量の指標となるため、160°C亜臨界水処理においては豊橋技術科学大学で行った容器ありと、ほぼ同様の傾向が確認できた。180°C亜臨界水処理では豊橋技術科学大学の容器ありより悪い結果となった。

3.4 亜臨界水処理技術のメタン発酵における機能性の検討

- ・包装容器を含むコンビニ食品廃棄物をそのまま亜臨界水処理、メタン発酵をしても、バイオガス量の減少が確認されなかった。このことから、プラスチック等の発酵不適物の事前分別にかかる手間の省略ができることがわかった。
- ・亜臨界水処理により、プラスチックは小さくなるが 160°Cでは 2mm、180°Cでは 0.5mm の篩で分別できるため、下水・河川へのマイクロプラスチックを放流する可能性は低い。
- ・亜臨界水処理により、油分などの分解しにくい物質が分解され、初期段階から発電可能なメタンガス濃度が確保でき、メタンガス発生速度があがることから、HRT の短縮をすることができると考えられる。(処理なしで 30 日目のメタンガス量を 160°C処理は 16 日 (40%短縮)、180°C処理は 12 日程度 (60%短縮) で確保できると考えられる。)
- ・亜臨界水処理することで TS 分解率が向上する。このため、同じ期間中に発生する汚泥量は少なくなると考えられる。

4 メタン発酵施設における事業性の検討

4.1 目的

亜臨界水処理装置をメタン発酵施設に導入した際に事業性があるかを検討する。検討に当たっては、前章で記述した試験結果をもとに、亜臨界水処理導入によるバイオガス発電量、発酵残さ量、メタン発酵槽の規模縮小などを考慮して検討を行う。

4.2 事業性の検討方法

4.2.1 前処理方法による事業性の比較

前章同様にコンビニの食品残さの成分に合わせた標準食品残さを原料に検討を行う。コンビニからの食品廃棄物は、弁当、おにぎり、菓子類、インスタント食品など多岐にわたり、個別にしっかり包装されているため、分別が容易ではない。現状ではメタン発酵処理する前に手作業による分別（以下、「手分別」という。）または機械による分別（以下、「機械分別」という。）を実施し、プラスチック等の発酵不適物を除去してから、メタン発酵槽に投入している。

しかし、今回の試験結果から亜臨界水処理を行えば、プラスチックが混入した状態でもバイオガス発生量が低下しないことがわかった。このことから、メタン発酵前の前処理を①手分別、②機械分別、③亜臨界水処理の3つのパターンで比較する。

（なお、今回の調査はコンビニから排出される食品廃棄物をモデルとしたものである。他の原料では、本結果と同じ結果となるかは不明である。このため、今回の検討を参考に事業性の検討を実施されたい。）



写真 4.2-1 食品廃棄物の包装容器と分別方式

まず、従来から実施されている①手分別、②機械分別について記述する。今回、コンビニからの食品廃棄物リサイクルに取り組む企業にヒアリングを行い、実態調査を行った。調査結果は以下のとおり。

【A 社】

- ・飼料化事業を進める際、実際にプラスチック容器混合ごみを引き受けた経験があり分別に苦慮。
- ・コンビニ弁当の廃棄物はしっかりと包装されているので分別が非常に困難。
- ・分別機を導入したが、分別したプラスチックのほうに大量の食品残さが付着する。
- ・処分の受け入れ価格は、引き受ける料金は 1 キロ当たり 35 円から 40 円。
- ・分別後のプラスチックの処分費は 1 キロ当たり 50 円必要。一番高いときは 1 キロ当たり 100 円払ったこともあり、処分費用が負担となる。

【B 社】

- ・コンビニ弁当などは、そもそも引き受ける業者が少ない。
- ・受け入れた際、手分別で作業をした経験があるが、一人 1 時間に 0.5~0.75 m³が限度
- ・機械を導入した際、コンビニ弁当は嵩が大きいので、機械の性能の半分程度しか処理できなかった。
- ・分離されたプラスチックは、食品残さが練られた汚泥状態で付着しており、その後洗浄作業などを試みたが非常に手間がかかる。
- ・処分の受け入れに 1 キロ当たり 35 円は必要。実際 40 円でもやりたくない。
- ・分離後の廃プラスチックは引き取り手がなく末端の排出者は 1 キロ当たり 50~60 円くらい要している。

ヒアリング調査の結果、手分別は膨大な作業手間を要し、機械分別は手間が減るものとのきれいにプラスチックと食品残さが分別できるわけではなく、廃プラスチック交じりの汚泥として処理をしなければならない。これは、メタン発酵槽に投入する有機物量の減量となるため、メタン発酵においてマイナス要因となる。



写真 4.2-2 手分別の様子



写真 4.2-3 プラスチックの分別機

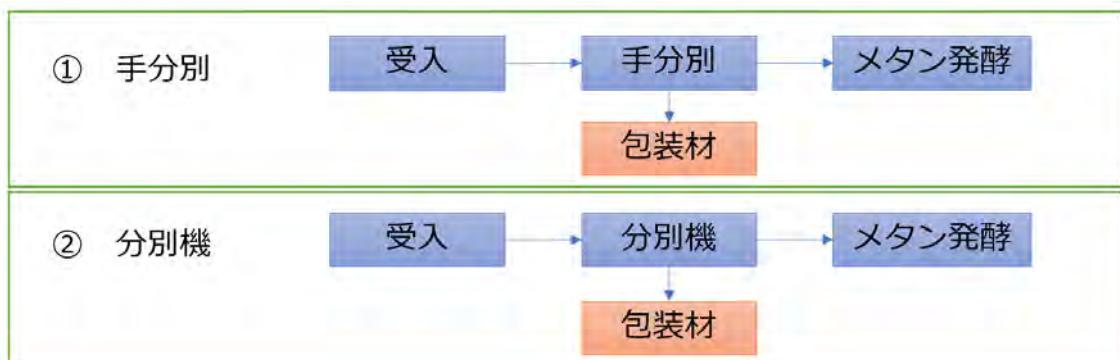


図 4.2-1 従来方式による処理フロー

一方、亜臨界水処理の場合は、処理物をそのままメタン発酵槽に投入できるため、有機物損失はないと考えられる。ただし、コンビニ弁当がらなどは、処理後も大きい形状で残り、機械搬送の支障になる可能性がある。このため、今回は亜臨界水処理後も残存する大きなプラスチックは、次の原料と混ぜて再度亜臨界水処理をおこない、小さくするフローを検討する。

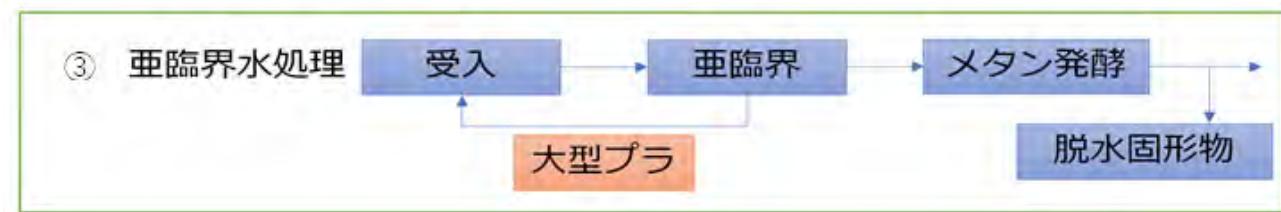


図 4.2-2 比較フロー

なお、亜臨界水処理は処理条件により光熱費が変わるほか、メタン発酵に要する HRT も異なる。このことから、①手分別、②機械分別、③亜臨界水処理（160°C）、④亜臨界水処理（180°C）の 4 パターンで比較検討を行う。

4.2.2 施設規模による事業性の比較

本調査で実施した原料の評価において、包装容器に入ったコンビニ弁当の嵩比重は 0.25 kg/L であった

施設規模の違いによる事業性の差異を考慮し、大型（70m³/日）、中型（25m³/日）、小型（12m³/日）の 3 パターンで検討を行う。

4.2.3 事業性の検討条件

事業性の検討においては、本事業で実施した試験データを活用して、バイオガス発生量、メタン発酵槽の規模、発酵残さ等を算定する。また、イニシャルコストの算定は、「国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 バイオマスエネルギー導入ガイドブック」（巻末資料4章－1、以下 NEDO ガイドブックと記載）における算出方法を基本とし、以下の考えにより評価を行う。

評価はイニシャルコスト、収入、支出を算出して、利益を求める。設備費は全額借り入れたと仮定して金利 3% 元本均等払いで算出し、法人税を 35.64% として、税引き後利益、キャッシュフロー、投資回収期間を算出より示す。（金利、法人税などの数値は NEDO ガイドブックの数値を使用した）

NEDO ガイドブックに基づき、減価償却年数は 15 年とするが、企業利益を考慮して投資回収年数を 10 年、12 年と設定し、それぞれの期間で投資金額を回収するためには原料受け入れ単価をどのように設定すればよいかを整理する。

・ HRT の決定

本事業における試験結果より、処理なし 30 日と同等のメタンガス量が確保できる日数は、160°C で亜臨界水処理をした場合は 18 日、180°C で亜臨界水処理をした場合は、12 日とした。今回は整理上、①手分別、②機械分別における HRT を 30 日、③亜臨界水処理（160°C）における HRT を 20 日、④亜臨界水処理（180°C）における HRT を 15 日と設定して検討する。

このため、バイオガス量、メタンガス量、TS 分解率、VS 分解率などは、各パターンの HRT に応じた数値を算出して利用する。

メタン発酵施設のイニシャルおよびランニングコストは NEDO ガイドブック 111 ページ記載の設定値および計算方法により算出した。

表 4.2-1 「国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 バイオマスエネルギー導入ガイドブック」

項目		百万円	設定値および計算方法
I	a.建設費	103	103 百万円とした。ここでは、導入事例データを参考に設定した <u>(34 百万円/ (t/日))</u> 。より詳細な検討を実施する場合は、メーカー見積もりをもらうと良い。
	b.建設費低減率 および補助率*%	0	FIT 制度の適用のため、0%と想定した。既存の支援制度を参考に自治体等にヒアリングするなどして見込み値を設定することになる。a に補助率を乗じることにより補助額が定まる。
	c.実質建設費	103	上記の a - b より実質建設費を算出
II	a.収入	40	①～④の合計
	①売電収入	8	売電単価×出力（売電分）×稼働日数×1日あたり稼働時間より算出。ここでは、自家消費率を 25%として、残りの 75%を固定価格買取制度下 <u>(39 円/kWh)</u> で売電すると想定。 (39 円/kWh×36kW×24h×330 日×(1 - 0.25) = 約 8.34 百万円)
	②熱販売収入	2	熱販売単価×熱販売量×販売先稼働日数×販売先稼働時間より算出。ここでは、内部利用による節約分を収入と想定し、熱販売単価については A 重油価格（大口ローリー販売単価）を参考に 2.3 円/MJ とした。ただし、ここにはメタン発酵槽加温に使用した熱量は含まず、プラント外での有効利用のみを計上する。ここでは、回収熱量の 75%をプラント外に供給すると想定する。 (2.3 円/MJ)×約 3GJ/日×330 日 = 2.3 百万円)
	③肥料等販売収入	0	処理の過程で発生する残さ等の肥料利用が想定される。ただし、販売価格や販売量は性状や地域の実情により変動し不透明なことから、ここでは外販は想定しない。 (無償提供として処理費も計上しない)
	④廃棄物処理収入	30	食品廃棄物処理量 (t) ×処理単価 (円/t) として収入を計上。ホテルや外食産業等の商業施設からの直接搬入や一般廃棄物収集事業者からの受入に際しての単価を計上。自治体が自ら実施する場合においても、他の方式で必要な処理費支出を回避するという名目での収入計上を行う。 本ケーススタディでは、30,000 円/t の受入費を想定し、収入として見込む。 (3t/日×330 日×30,000 円/t = 約 30 百万円)
	b.支出	27	①～⑦の合計（合計値の不一致は四捨五入による）
	①ユーティリティ費	10	メーカー見積もりをもらうと良い。ここでは、 <u>建設費の 10%</u> として、約 10 百万円/年とした。
	②メンテナンス費	1	ガスエンジンのメンテナンス費用を想定し、発電量に応じてメンテナンス費用が発生するものとして 5 円/kWh とした。
	③人件費	5	一般的なメタン発酵施設の場合を想定し、数トン/日規模～数十トン/日の場合、3～6 名程度の人員が必要とされる。食品工場等に導入する場合、専任は約 5 百万円/人と想定。シルバー人材等の活用により、人件費削減は可能。ここでは、専任を 1 名と想定し、5 百万円/年とした。
	④減価償却費	6	(実質建設費 - 残存価格 <実質建設費の 10%>) ÷ <u>耐用年数 <15 年></u> より算出
	⑤下水処理費	0	メタン発酵残さの下水放流を想定。下水道使用量は地域によって異なるが、ここでは 200 円/m ³ と想定。 なお、原料投入量の 200% の消化液が発生するとした。 (3t/日×200%) ×330 日×200 円/m ³ = 0.36 百万円)
	⑥支払い金利	3	借入期間、据置期間等を銀行と相談の上決定。ここでは、補助金以外の初期投資を全て <u>金利 3</u> で借り入れるものと仮定した。 (返済は元金均等払を想定)
	⑦租税公課	1	簡単のために実質建設費から毎年の減価償却した額の差を対象とする。この場合、(実質建設費 - 累積減価償却額) ×税率(1.4%)
c.税引前利益	13	上記の a - b より算出	
d.法人税等	5	事業の大きさ等により多少異なるが簡単のため <u>35.64%</u> を適用すればよいと思われる。c × 35.64% より算出。	
e.税引後利益	8	上記の c-d より算出	
f.減価償却費	6	b.の④と同値を設定	
g.毎年キャッシュフロー	14	上記の e+f より単年度のキャッシュフローを算出	

亜臨界水処理装置のイニシャルコストは、DA インベント社の基本構成の亜臨界水処理装置の価格を使用する。



写真 4.2-4 DA インベント製亜臨界水処理装置 (15 m³)

機械式分別機は、今回聴き取りに応じていただいた産業廃棄物処理業者が利用している高速回転型の破袋分別機を対象とする。



写真 4.2-5 破袋分別機 (例)

表 4.2-2 各項目と設置

比較する方式	①		従来方式 手分別	従来方式 機械分別	亜臨界方式 180℃	亜臨界方式 160℃	4/パターン
設備の規模	②	トン/日	小規模 12t	中規模 25t	大規模 70t		3/パターン
年間稼働日	③	日/年	365	設備を稼働する日数 年中無休			
受入日数	④	日/年	310	廃棄物を受け入れる日数 年始3日間、日曜日は受け入れ不可とする (365-3-365÷7)			
一日稼働時間	⑤	時間/日	24	24時間稼働交代制			
従業員月間就業時間	⑥	時間/月	174	作業員の月間労働時間 週40時間とする (365÷7×40÷12)			
電力固定買取価格	⑦	円/キロワット	39	FIT価格			

評価に使用する各種データ

本調査は各種項目を計算にもより求めて事業評価を行うこととなっている。そのため計算に使用する基本データを以下の通り設定した。

なお、基本ベースは豊橋技術科学大学におけるメタン発酵試験の数値および算出数値を使用している。一部計算により求めた数値、メーカーからの聞き取り数値などがある。(巻末資料4章-2)

1) 試験用原料の分析値

表 4.2-3 試験用原料の分析値

	TS	VS	VS/TS	TC	TN	C/N	可溶化率-C
	(%-RM)		(%)	(%-DM)			(%)
160℃	37.3	36.4	97.6	51.6	1.6	32.5	41
180℃	33.1	32.2	97.1	53.3	1.5	36.2	52
処理なし	39.9	38.8	97.4	51.8	2.2	23.2	10

2) 炭素量

亜臨界水処理後のサンプルにはプラスチックが混入している。その分炭素が多く含まれることになるため炭素ベースでの数値評価で誤差が発生する。プラスチックはメタン発酵しないと仮定して全量を差し引いた豊橋技術科学大学の算出値を使用した。ガス発生量などはそのまま使用しているが、全炭素当たりで記載されているものはプラスチック除去後のデータを使用している。なお排出される汚泥重量などの算出においても、プラスチックは分解しないと仮定して、混入・排出などの重量にはプラスチック全量を加算・減算して考え方の統一性を保持している。

3) メタンガス濃度

表 4.2-4 メタンガス濃度の測定結果 (%)

経過日数	15日	20日	30日
160°C	65	61	57
180°C	62	60	56
処理なし	46	48	51

4) バイオガス発生量

表 4.2-5 投入全炭素量当たりの累積バイオガス発生量 (Nm3/kg-C)

経過日数	15日	20日	30日
160°C	1.122	1.315	1.648
180°C	1.363	1.432	1.591
処理なし	1.231	1.329	1.510

各条件におけるバイオガス発生量・メタンガス発生量の測定日は実験開始から 6 日、15 日、28 日、40 日時点である。前述したとおり評価に使用する数値は、処理なしで 30 日、160°C処理で 20 日、180°C処理で 15 日の数値となるため、測定値を日割りで算出

5) メタンガス発生量

表 4.2-6 投入全炭素量当たりの累積メタンガス発生量 (Nm3/kg-C)

経過日数	15日	20日	30日
160°C	0.724	0.800	0.945
180°C	0.845	0.858	0.889
処理なし	0.565	0.636	0.770

6) 指標ごとの分解率

表 4.2-7 40 日時点の指標ごとの分解率 (%)

	TS	VS	TC
	分解 (%)		
160°C	83.3	90.5	87.8
180°C	75.6	88.4	80.7
処理なし	69.8	83.7	81.5

上記各条件の固形物 (TS)、有機物 (VS)、全炭素 (TC) の分解率は 40 日時点の測定である。分析に必要な数値は、それぞれの条件のバイオガスの発生量- 7) に比例して分解が進むと仮定して算出。

7) 累積バイオガス発生量

表 4.2-8 累積バイオガス発生量 (NmL)

経過日数	15日	20日	30日
160°C	420.220	468.451	551.297
180°C	472.947	491.141	531.461
処理なし	483.348	511.467	563.041

実験中のバイオガス発生量。(固形物量などをそろえていない数値)

8) TS 分解率 (固形物分解率)

表 4.2-9 TS 分解率 (%)

経過日数	15日	20日	30日
160°C	60.4	67.3	79.2
180°C	60.9	63.2	68.4
処理なし	56.6	59.9	65.9

9) VS 分解率 (有機物分解率)

表 4.2-10 VS 分解率 (%)

経過日数	15日	20日	30日
160°C	65.6	73.1	86.1
180°C	71.2	73.9	80.0
処理なし	67.9	71.8	79.1

10) TC 分解率 (全炭素分解率)

表 4.2-11 TC 分解率 (%)

経過日数	15日	20日	30日
160°C	63.6	71.0	83.5
180°C	65.0	67.5	73.0
処理なし	66.1	69.9	77.0

11) 原料中固体物量

表 4.2-12 原料中の固体物量

	処理前重量	処理後重量	除去分	原料量	TS%	TS	
160°C	31.83	38.22	0.44	37.78	37.3	14.09	kg-TS
180°C	31.83	40.5	0.33	40.17	33.1	13.30	kg-TS
処理なし	31.83	31.83	1.83	30.00	39.9	11.97	kg-TS
3%損失	31.83	31.83	2.73	29.10	39.9	11.61	kg-TS
10%損失	31.83	31.83	4.83	27.00	39.9	10.77	kg-TS

* 実験に使用した 30 kg の標準食品残さと 1.83 kg の包装容器の中の固体物重量から取り除いたプラスチックと分別により損失する有機物原料を引いて原料中固体物量を算出

12) 原料中炭素量

表 4.2-13 原料中の炭素量 (プラ混入分除去後)

	TS	TC%	TC	プラ分	炭素重量	
160°C	14.09	51.6	7.27	0.81	6.46	kg-C
180°C	13.30	53.3	7.09	0.89	6.20	kg-C
処理なし	11.97	51.8	6.20	0	6.20	kg-C
3%損失	11.61	51.8	6.01	0	6.01	kg-C
10%損失	10.77	51.8	5.58	0	5.58	kg-C

* 「11) 原料中固体物量」より TC (全炭素) を算出し「2) 混入している炭素量」を引いて炭素重量を算出

13) 原料 1 トン当たりの TS 重量 VS 重量

表 4.20-14 原料 1 トン当たりの TS 重量 VS 重量

処理方式	手分別	分別機	160°C	180°C
原料単位重量	1000	1000	1000	
原料プラ比率	6.10	6.10	5.03	
原料中廃プラ重量	61.0	61.0	50.3	
プラ除去後重量	939.0	939.0	949.7	
亜臨界水処理後倍率	1.00	1.00	1.20	1.27
有機物損失 (%)	3.0	10.0	0.0	0.0
有機物損失	28.2	93.9	0.0	0.0
発酵原料	910.8	845.1	1140.3	1208.3
TS	39.9	39.9	37.3	33.1
VS	38.8	38.8	36.4	32.2
発酵原料TS	363	337	425	400
発酵原料VS	353	328	415	389

* 亜臨界水処理後倍率

160°C倍率 1.20 * 160°C亜臨界水処理前後の倍率 (生成物重量 ÷ 投入原料重量)

180°C倍率 1.27 * 180°C亜臨界水処理前後の倍率 (生成物重量 ÷ 投入原料重量)

14) 原料 1 トンあたりのメタンガス発生量(Nm³/t-原料)

表 4.2-15 原料 1 トンあたりのメタンガス発生量(Nm³/t-原料)

	炭素量	6日	12日	15日	20日	28日	30日
160°C	6.46	126	140	147	162	187	192
180°C	6.20	134	154	164	167	171	173
処理なし	6.20	103	108	110	124	146	150
3%損失	6.01	100	104	107	120	142	146
10%損失	5.58	93	97	99	111	131	135

* 「12) 原料中炭素量」と「5) メタンガス発生量」からメタンガス発生量を求めて原料 1 トンあたりに換算している

15) 発電 1 kW あたりの消費メタンガス量

国内メーカーより聞き取りの計算式から、25 kW 発電タイプと 325 kW 発電タイプの二種類の発電機において、1 kW 発電するために必要なメタンガスの量を算出

なお、メタンガス濃度はメーカー カタログ値から、55% としている。(卷末資料 4 章 - 5)

発電に必要なメタンガス量の計算

バイオガスの発熱量計算

※条件：メタンガス低位発熱量 → メタン濃度 47%～100% : 19.5～36 MJ/m³N

メタン濃度 55% と仮定すると 47 : 19.5 = 55 : X

X = 22.819 MJ/m³N * バイオガス定位発熱量

バイオガス消費量 m³Nh = kW × 3.6 ÷ LHV (MJ/m³N)

= 78.1 × 3.6 ÷ 22.819

= 12.3213 Nm³ /h

* メーカー提出資料より

25kWタイプメタンガス消費量 (1kw あたり)

① バイオガス消費量 12.3213 Nm³/h 上記計算より

② メタン濃度 0.55 共通値

③ メタンガス消費量 6.8 Nm³/h ① × ②

④ メタンガス消費量 0.27107 Nm³/kw ③ ÷ 25kw (1kWあたり)

325kWタイプメタンガス消費量 (1kw あたり)

⑤ バイオガス消費量 160.5 Nm³/h カタログ値より

⑥ メタン濃度 0.55 共通値

⑦ メタンガス消費量 88.3 Nm³/h ⑤ × ⑥

⑧ メタンガス消費量 0.27162 Nm³/kw ⑦ ÷ 325kw (1kWあたり)

⑨ ④・⑧よりメタンガス消費量は

0.271 Nm³/kW

計算の結果、25kW タイプ:④、325kW タイプ:⑧とともに 0.271Nm³/kW 程度であったため 0.271Nm³/kW を使用する。

16) 原料 1 トンあたりの発電量 (kW/t-原料=kW/24h)

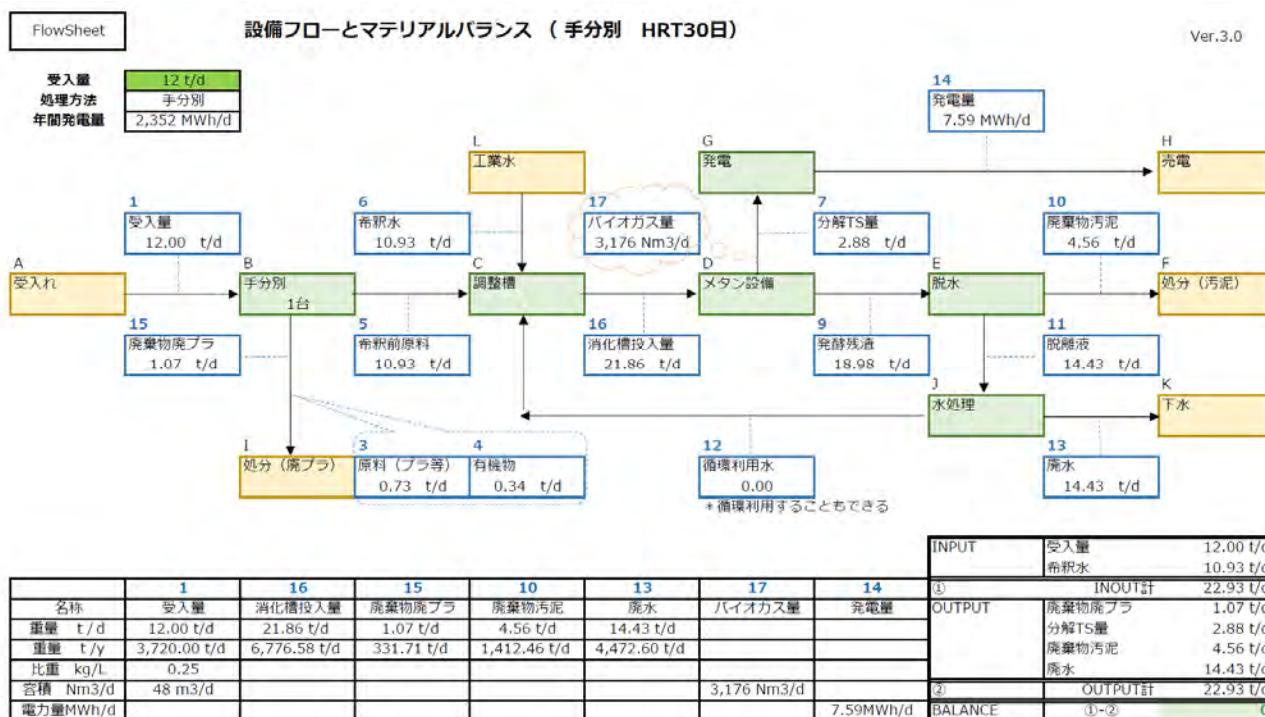
表 4.2-16 原料 1 トンあたりの発電量 (kW/t-原料=kW/24h)

	6	12	15	20	28	30
160°C	466	517	542	599	691	707
180°C	496	570	607	617	632	638
処理なし	379	397	406	457	539	554
3%損失	368	385	394	443	522	537
10%損失	342	358	366	411	485	498

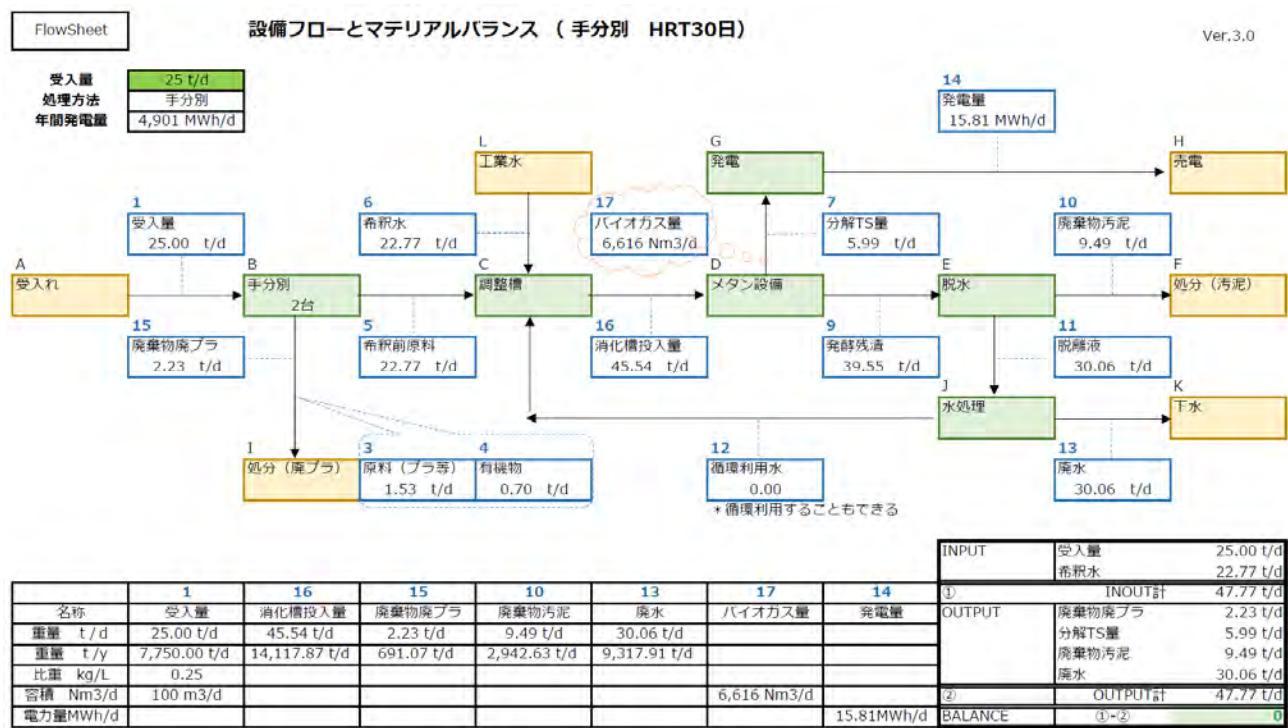
* 「14) 原料 1 トンあたりのメタンガス発生量」と「15) 発電 1 kW あたりの消費メタンガス量」より算出。

上記数値により作成したマテリアルフローと年間発電量を示す。(算出内容については、卷末資料 4 章 -2~5 として添付)

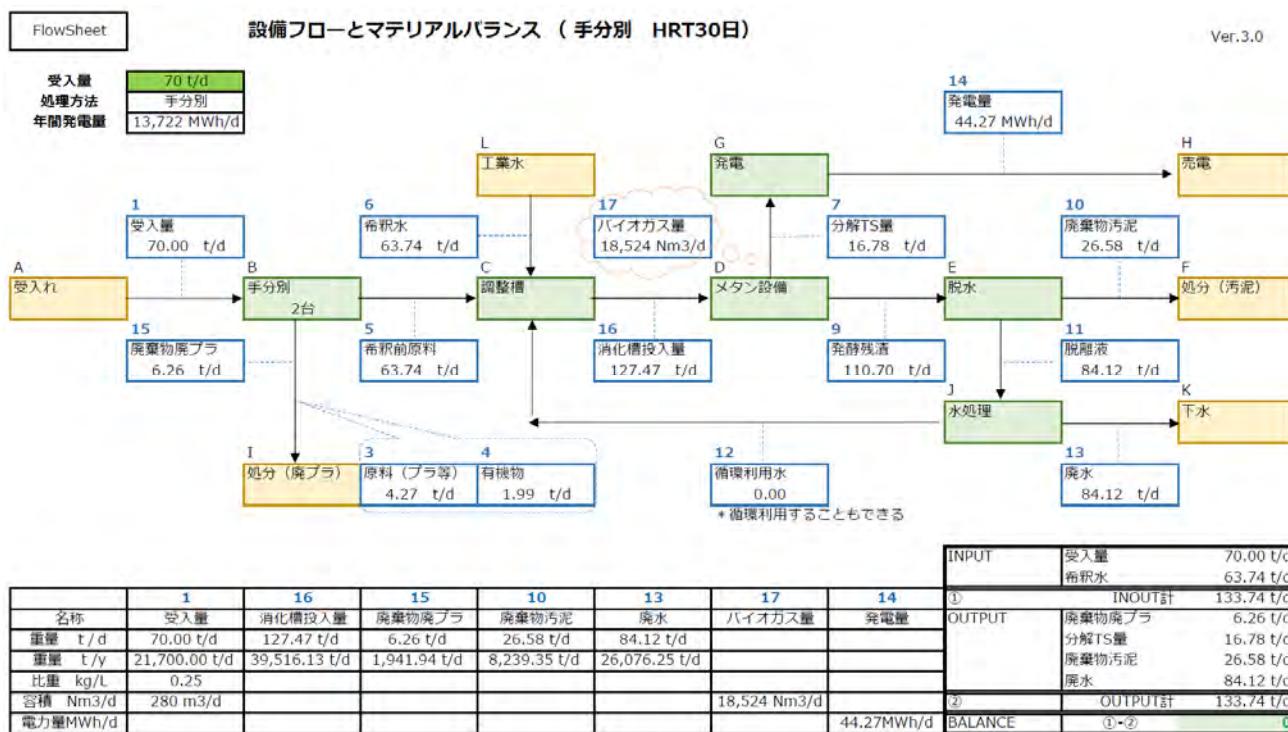
1. 手分別 (12t/d)



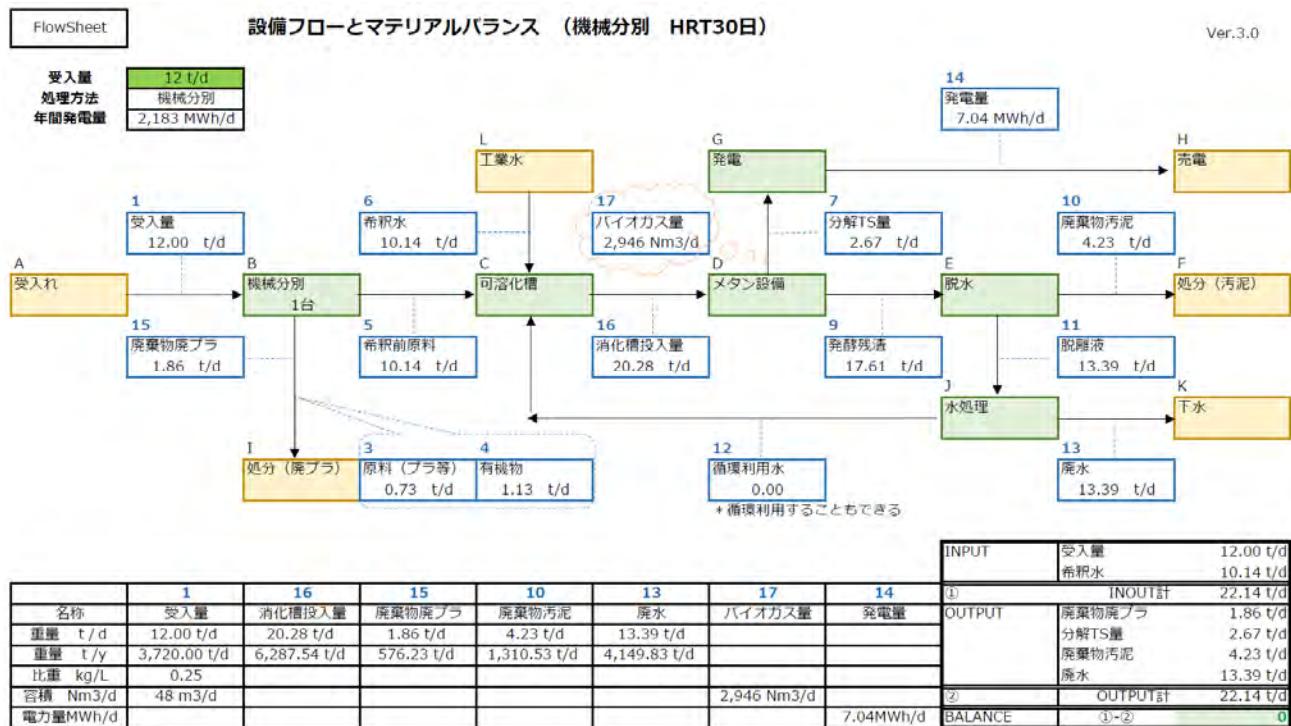
2.手分別 (25t/d)



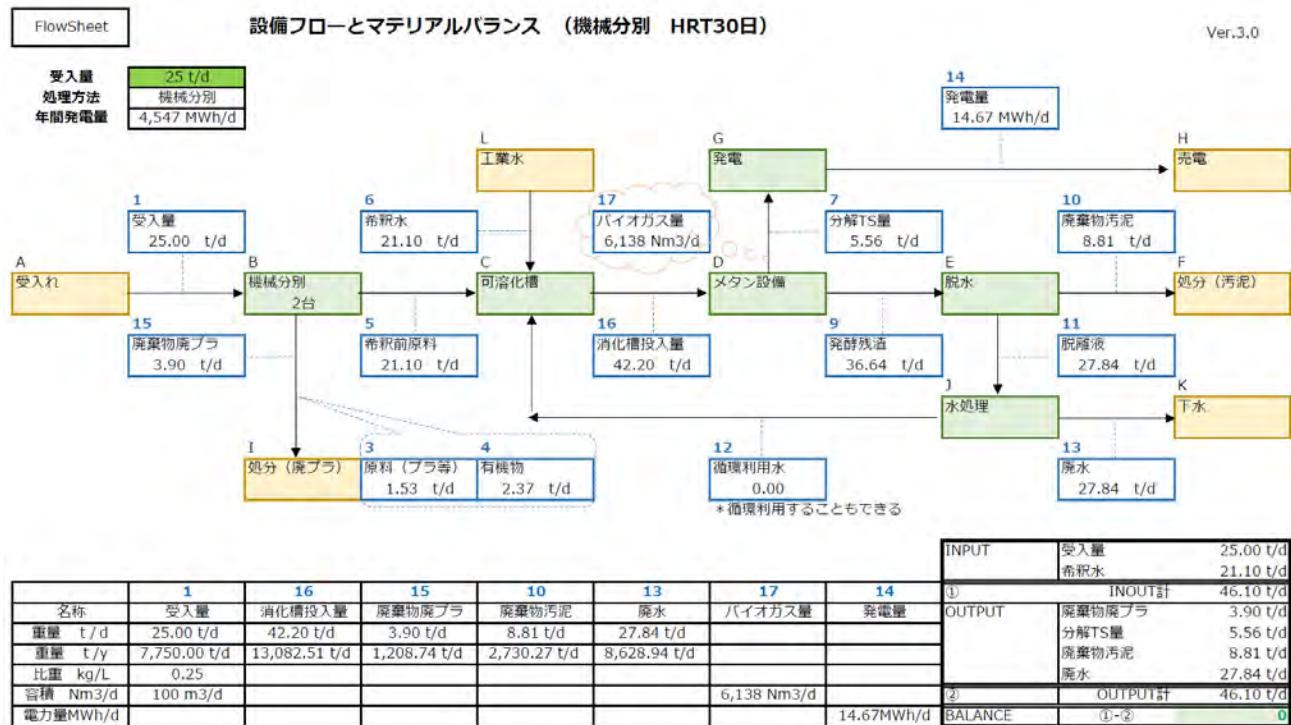
3.手分別 (70t/d)



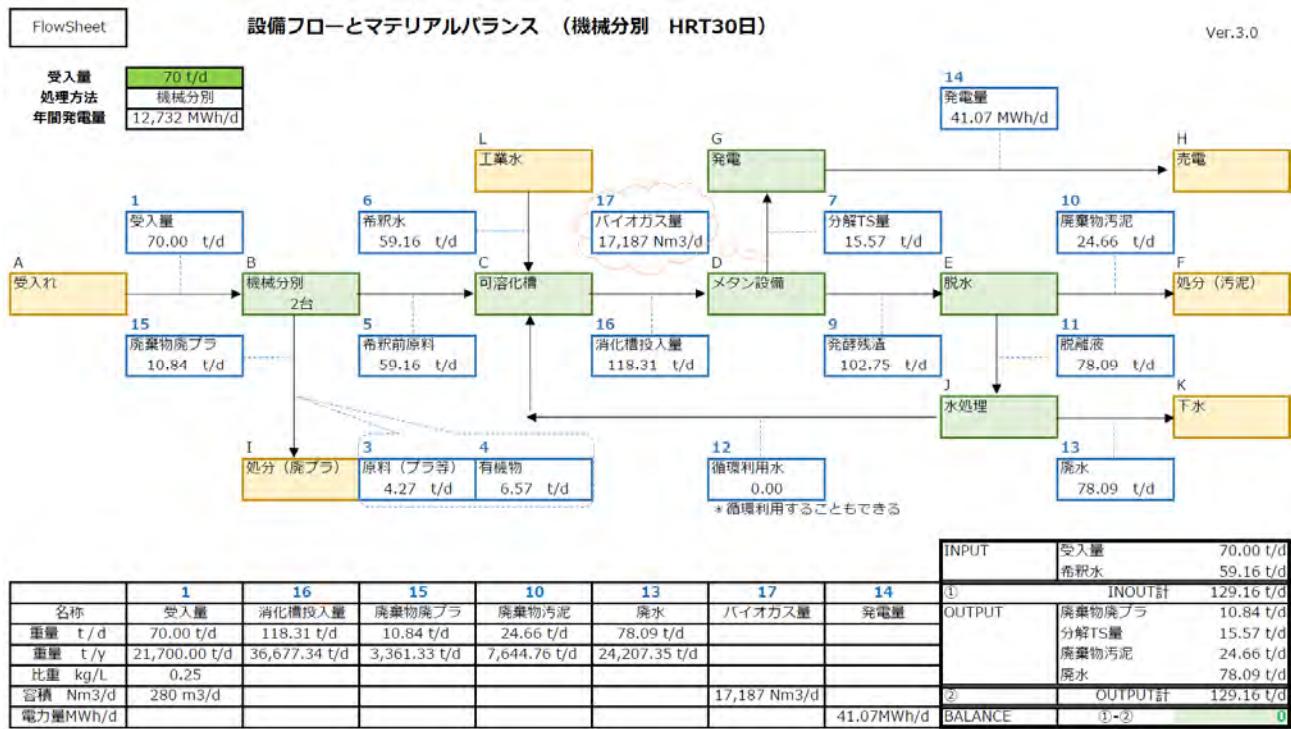
4. 機械分別 (12t/d)



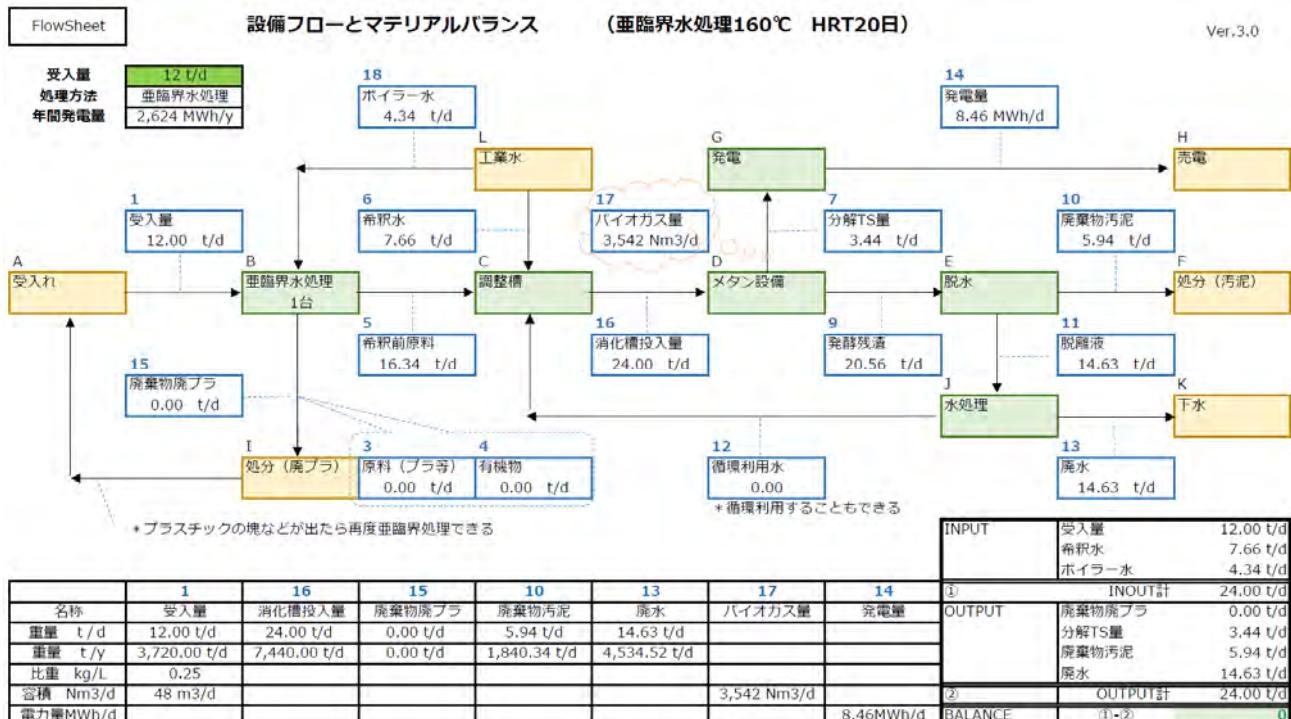
5. 機械分別 (25t/d)



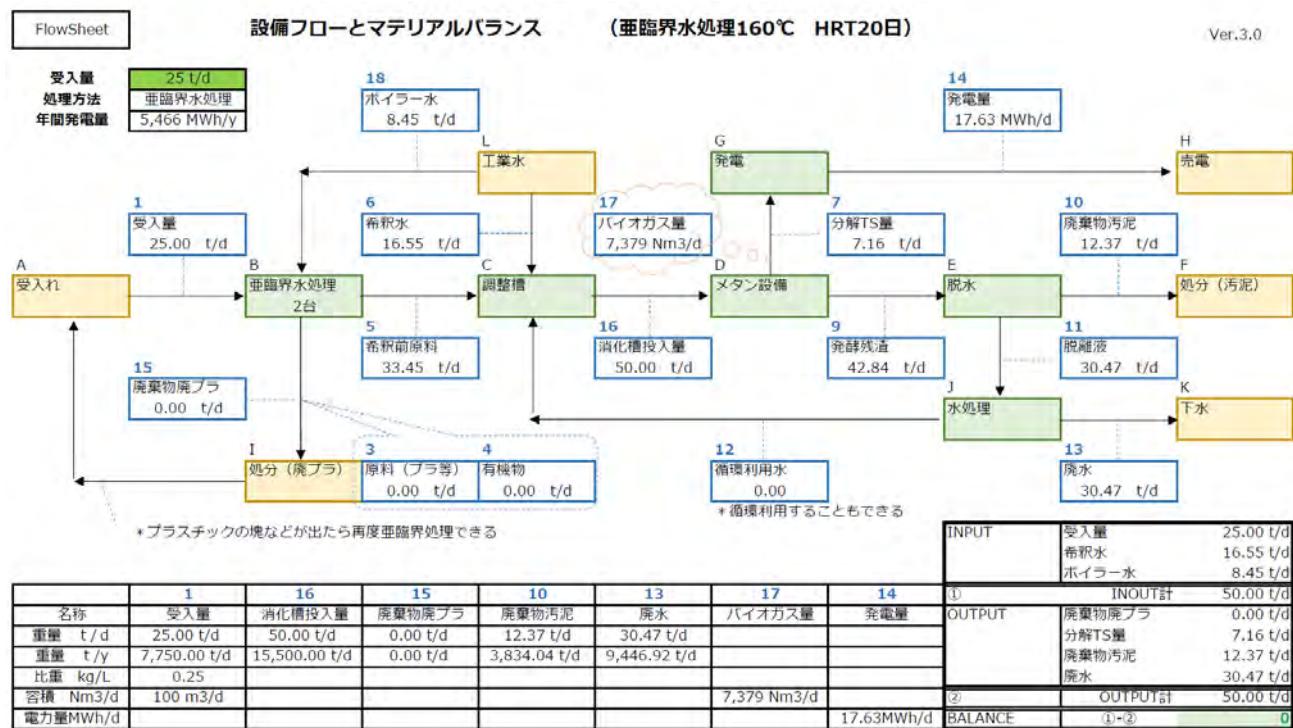
6.分別機 (70t/d)



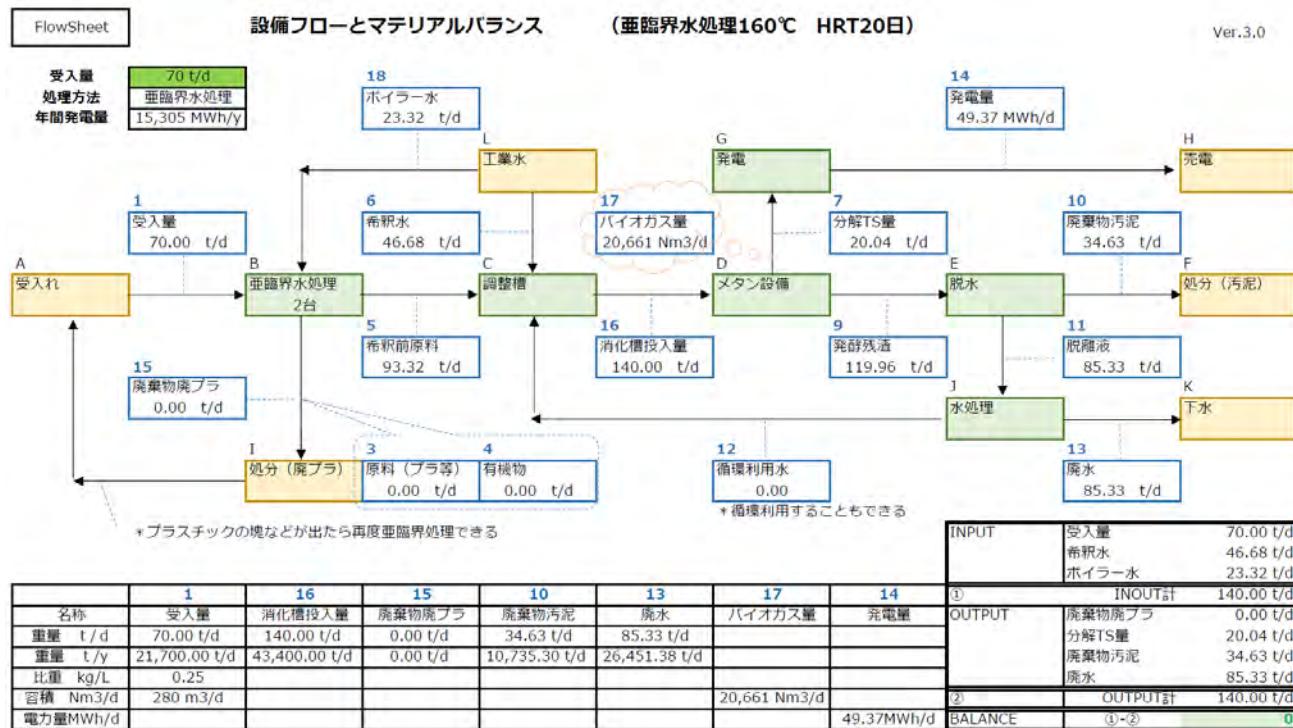
7. 亞臨界水處理 160°C (12t/d)



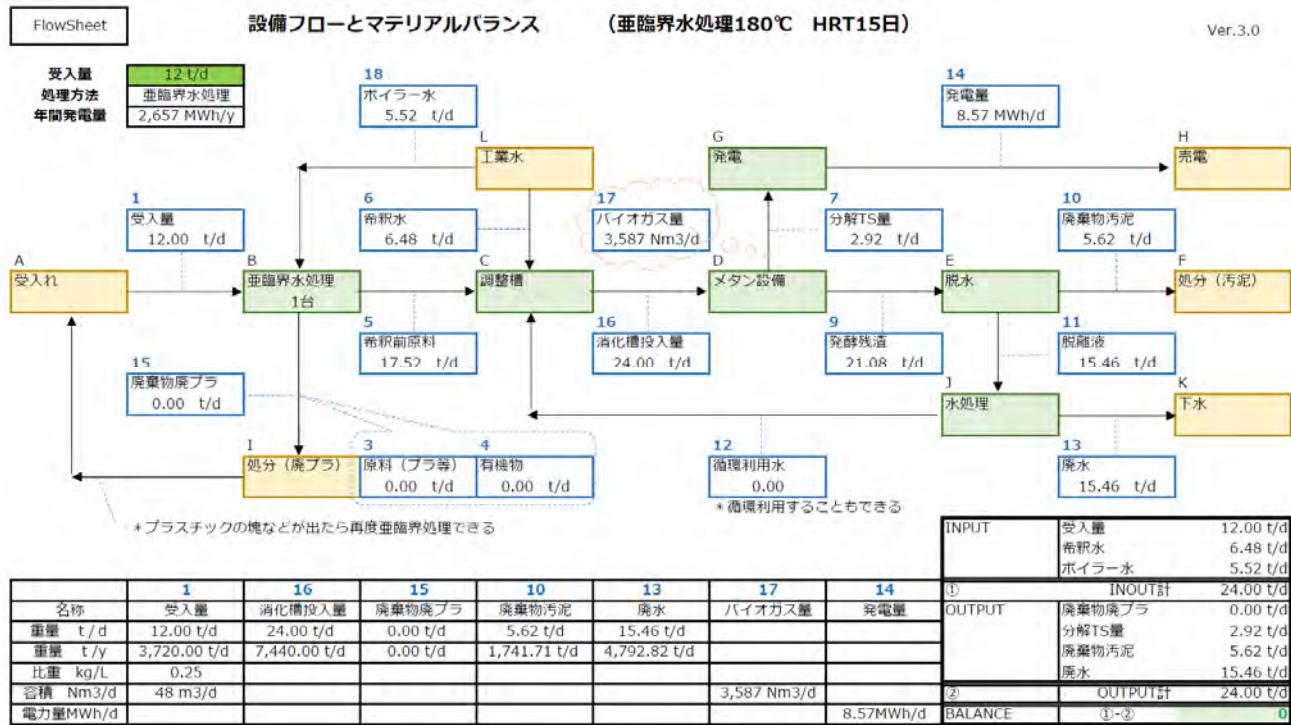
8. 亞臨界水處理 160°C (25t/d)



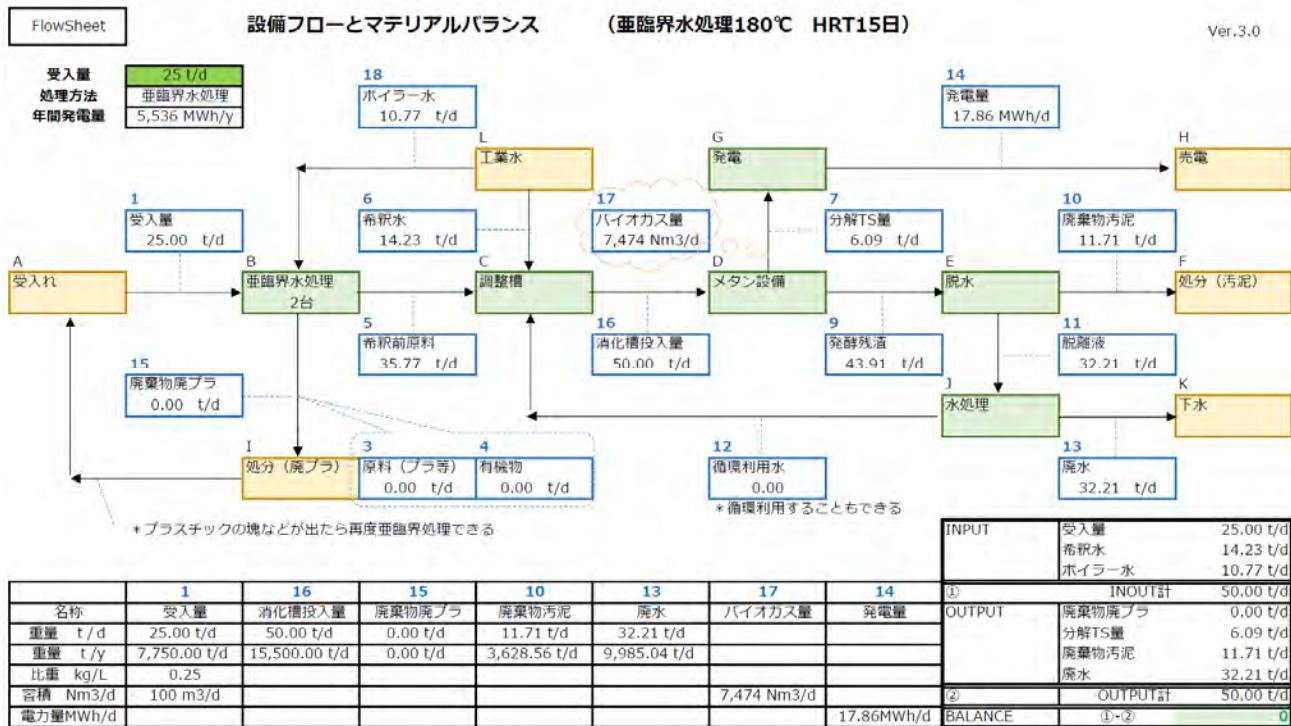
9. 亜臨界水処理 160°C (70t/d)



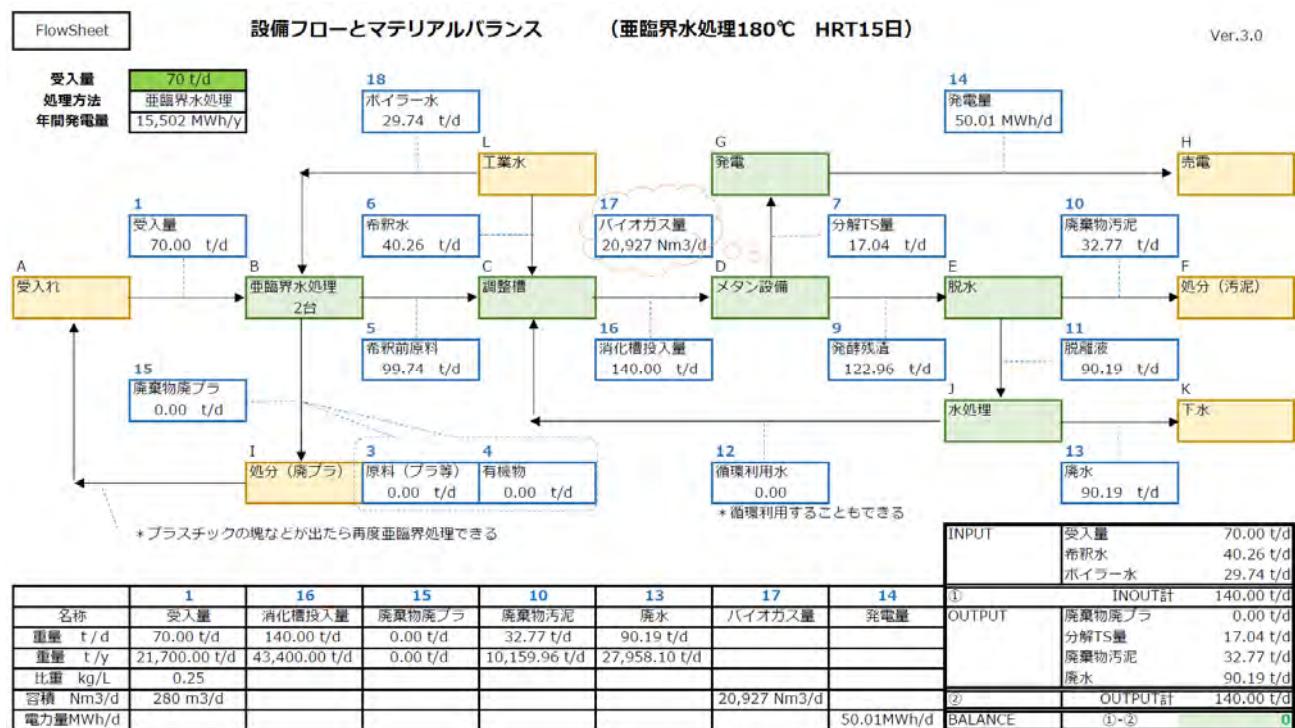
10. 亜臨界水処理 180°C (12t/d)



11. 亜臨界水処理 180°C (25t/d)



12. 亞臨界水處理 180°C (70t/d)



・事業収支に使用した項目とその根拠および算出根拠（計算書関連項）

事業収支の算出における各項目の設定根拠などは以下のとおり。

表 4.2-17 事業収支・事業性評価に使用した数値と算出根拠

	受入量	① トン/日	根拠	備考
イニシャルコスト	メタン発酵	② 億円	NEDOガイドブックより、HRT短縮によるメリットは根拠資料2より低減率を算出して計算	
	分別機	③ 億円	メーカー見積書より	
	亜臨界槽水処理装置	④ 億円	メーカー見積書より	
	イニシャルコスト合計	⑤ 億円	②、③、④の合計	②+③+④
収入	受取処分費	⑥ 億円	年間受け入れ量×35000円/トン	
	売電収入	⑦ 億円	年間発電量×39円/キロワット	
	収入合計	⑧ 億円	⑥、⑦の合計	⑥+⑦
支出	ユーティリティ（手分別）	⑨ 億円	NEDOガイドブックより建設費10%	
	ユーティリティ（分別機）	⑩ 億円	⑨+分別機の電気料金	
	ユーティリティ（亜160）	⑪ 億円	⑨+160°C亜臨界処理の燃料費+電気代	
	ユーティリティ（亜180）	⑫ 億円	⑨+180°C亜臨界処理の燃料費+電気代	
	メンテナンス費（手分別）	⑬ 億円	NEDOガイドブックより発電量×5円	
	メンテナンス費（分別機）	⑭ 億円	⑬+分別機イニシャル×6%×稼働率 メーカー聞き取り	
	メンテナンス費（亜160）	⑮ 億円	⑬+亜臨界装置イニシャル×6%×稼働率 メーカー聞き取り	
	メンテナンス費（亜180）	⑯ 億円	⑬+亜臨界装置イニシャル×6%×稼働率 メーカー聞き取り	
	合計人員	⑰ 人	手分別：NEDOガイドブックより（メタン設備のみの人員） 分別機：⑯+分別機運転人員 産廃業者聞き取り亜臨界：⑯+亜臨界装置運転人員 メーカー聞き取り	
	人件費 @500万円	⑯ 億円	⑰×500万円	⑰×⑯
	廃棄物処分費（廃プラ）	⑯ 億円	年間排出量×50000円/トン 産廃業者聞き取り	
	廃棄物処分費（汚泥）	⑯ 億円	年間排出量×35000円/トン 産廃業者聞き取り	
	支出合計	⑯ 億円	上記支出関連の合計	⑯～⑯、⑯～⑯ 合計
	年間粗利益	⑯ 億円	収入合計-支出合計	⑯-⑯
	減価償却 15年	⑯ 億円	イニシャルコスト÷償却期間（NEDOガイドブック）	⑯÷減価償却年数
	支払金利（均等3%初年）	⑯ 億円	金利12か月分（NEDOガイドブック）	全額借入元金均等払い金利初年度合計額
	租税公課	⑯ 億円	減価償却後の設備費×1.4%（NEDOガイドブック）	残存価格×1.4%
	税引き前利益	⑯ 億円	減価償却・金利支払い・租税公課支払い後の利益	⑯-⑯-⑯-⑯
	法人税	⑯ 億円	前期前利益×税率（NEDOガイドブック）	⑯×35.64%
	税引き後利益	⑯ 億円	法人税を差し引いた利益	⑯-⑯
	減価償却費	⑯ 億円	減価償却の金額	⑯÷減価償却年数
	毎年返済額	⑯ 億円	支払い元本12か月分	全額借入元金均等払い返済初年度合計額
	年間キャッシュフロー	⑯ 億円	返済支払い後の残金	⑯+⑯-⑯
	投資回収年数	⑯ 年	イニシャル回収までの期間	⑯÷（⑯+⑯）

4.3 事業収支算出結果

事業収支の算出結果は以下の通り。

表 4.3-1 事業収支算出結果

項目		単位	従来方式		亜臨界水処理方式		従来方式		亜臨界水処理方式		従来方式		亜臨界水処理方式		
方式	受入量		手分別	機械分別	160℃	180℃	手分別	機械分別	160℃	180℃	手分別	機械分別	160℃	180℃	
		トン/日	12	12	12	25	25	25	25	70	70	70	70	70	
イニ	メタン発酵	②	億円	4.08	4.08	3.73	3.53	8.50	8.50	7.81	7.41	23.80	23.80	22.21	21.30
シヤ	分別機	③	億円		0.30				0.60				0.90		
ルコ	亜臨界槽水処理装置	④	億円			1.30	1.30			2.30	2.30			5.00	5.00
スト	イニシャルコスト合計	⑤	億円	4.08	4.38	5.03	4.83	8.50	9.10	10.11	9.71	23.80	24.70	27.21	26.30
受入	受取処分費	⑥	億円	1.30	1.30	1.30	1.30	2.71	2.71	2.71	2.71	7.60	7.60	7.60	7.60
	売電収入	⑦	億円	0.92	0.85	1.02	1.04	1.91	1.77	2.13	2.16	5.35	4.97	5.97	6.05
	受入合計	⑧	億円	2.22	2.15	2.33	2.34	4.62	4.49	4.84	4.87	12.95	12.56	13.56	13.64
支出	ユーティリティ (手分別)	⑨	億円	0.41				0.85				2.38			
	ユーティリティ (分別機)	⑩	億円		0.45				0.93				2.49		
	ユーティリティ (亜160)	⑪	億円			0.48			0.99				2.79		
	ユーティリティ (亜180)	⑫	億円				0.49			1.00					2.84
	メンテナンス費 (手分別)	⑬	億円	0.12				0.25				0.69			
	メンテナンス費 (分別機)	⑭	億円		0.13				0.26				0.69		
	メンテナンス費 (亜160)	⑮	億円			0.20			0.39				0.69		1.02
	メンテナンス費 (亜180)	⑯	億円				0.20			0.39					1.03
	合計人員	⑰	人	13	7	7	7	24	12	8	8	62	17	14	14
	人件費 @500万円	⑱	億円	0.65	0.35	0.35	0.35	1.20	0.60	0.40	0.40	3.10	0.85	0.70	0.70
	廃棄物処分費 (廃プラ)	⑲	億円	0.17	0.29	0.00	0.00	0.35	0.60	0.00	0.00	0.97	1.68	0.00	0.00
	廃棄物処分費 (汚泥)	⑳	億円	0.49	0.46	0.64	0.61	1.03	0.96	1.34	1.27	2.88	2.68	3.76	3.56
	支出合計	㉑	億円	1.84	1.67	1.67	1.65	3.67	3.35	3.12	3.06	10.02	8.39	8.26	8.12
	年間粗利益	㉒	億円	0.38	0.48	0.65	0.69	0.95	1.14	1.73	1.81	2.93	4.17	5.30	5.52

いずれのケースも、「収入一支出」で利益が出る結果となった。

4.4 事業性の評価

事業性の評価では、収支のみの観点ではなくイニシャルコストを全額借り入れた場合を想定して、返済額、減価償却、税金などをある程度織り込んでいる。そのうえで投資回収期間 10 年間、12 年間の 2 ケースにおいて、受取処分費の単価がいくらであればよいかを算出した。

受取処分費の単価が低ければ、原料調達が容易で事業の安定性が高くなると考えた。算出された受取処分費の単価が市場単価より安価である場合、利益があがり事業性が高くなるといえる。

投資回収期間は「イニシャルコスト ÷ (税引き後利益+減価償却額)」で算出し、結果が 10 年および 12 年となるように受取処分費⑥を決め、1 トン当たりの単価を最低受取処分費㉒(投資回収期間を達成するための受取単価)として算出している。尚、1000 円未満の端数が出た場合はすべて繰り上げた。

4.4.1 評価結果

表 4.4-1 日量 12 トン処理 資回収期間 10 年の場合

項目		単位	従来方式		亜臨界水処理方式	
方式	受入量	① トン/日	手分別 12	機械分別 12	160℃ 12	180℃ 12
イニ	メタン発酵	② 億円	4.08	4.08	3.73	3.53
シャ	分別機	③ 億円		0.30		
ルコ	亜臨界槽水処理装置	④ 億円			1.30	1.30
スト	イニシャルコスト合計	⑤ 億円	4.08	4.38	5.03	4.83
収入	受取処分費	⑥ 億円	1.58	1.53	1.46	1.39
	売電収入	⑦ 億円	0.92	0.85	1.02	1.04
	収入合計	⑧ 億円	2.50	2.38	2.48	2.43
支出	ユーティリティ (手分別)	⑨ 億円	0.41			
	ユーティリティ (分別機)	⑩ 億円		0.45		
	ユーティリティ (亜160)	⑪ 億円			0.48	
	ユーティリティ (亜180)	⑫ 億円				0.49
	メンテナンス費 (手分別)	⑬ 億円	0.12			
	メンテナンス費 (分別機)	⑭ 億円		0.13		
	メンテナンス費 (亜160)	⑮ 億円			0.20	
	メンテナンス費 (亜180)	⑯ 億円				0.20
	合計人員	⑰ 人	13	7	7	7
	人件費 @500万円	⑱ 億円	0.65	0.35	0.35	0.35
	廃棄物処分費 (廃プラ)	⑲ 億円	0.17	0.29	0.00	0.00
	廃棄物処分費 (汚泥)	⑳ 億円	0.49	0.46	0.64	0.61
	支出合計	㉑ 億円	1.84	1.67	1.67	1.65
	年間粗利益	㉒ 億円	0.66	0.71	0.81	0.78
	減価償却 15年	㉓ 億円	0.27	0.29	0.34	0.32
	支払金利 (均等3.0%初年)	㉔ 億円	0.12	0.13	0.14	0.14
	租税公課	㉕ 億円	0.06	0.06	0.07	0.07
	税引き前利益	㉖ 億円	0.21	0.23	0.26	0.25
	法人税	㉗ 億円	0.08	0.08	0.09	0.09
	税引き後利益	㉘ 億円	0.14	0.15	0.17	0.16
	減価償却費	㉙ 億円	0.27	0.29	0.34	0.32
	毎年返済額	㉚ 億円	0.36	0.38	0.44	0.42
	投資回収年数	㉛ 年	10.00	10.00	10.00	10.00
	最低受取処分費	㉜ 円/トン	43,000	42,000	40,000	38,000

表 4.4-2 日量 12 トン処理 資回収期間 12 年の場合

項目		単位	従来方式		亜臨界水処理方式	
方式	受入量	① トン/日	手分別 12	機械分別 12	160°C 12	180°C 12
イニ	メタン発酵	② 億円	4.08	4.08	3.73	3.53
シャ	分別機	③ 億円		0.30		
ルコ	亜臨界槽水処理装置	④ 億円			1.30	1.30
スト	イニシャルコスト合計	⑤ 億円	4.08	4.38	5.03	4.83
収入	受取処分費	⑥ 億円	1.47	1.42	1.33	1.26
	売電収入	⑦ 億円	0.92	0.85	1.02	1.04
	収入合計	⑧ 億円	2.39	2.27	2.35	2.30
支出	ユーティリティ (手分別)	⑨ 億円	0.41			
	ユーティリティ (分別機)	⑩ 億円		0.45		
	ユーティリティ (亜160)	⑪ 億円			0.48	
	ユーティリティ (亜180)	⑫ 億円				0.49
	メンテナンス費 (手分別)	⑬ 億円	0.12			
	メンテナンス費 (分別機)	⑭ 億円		0.13		
	メンテナンス費 (亜160)	⑮ 億円			0.20	
	メンテナンス費 (亜180)	⑯ 億円				0.20
	合計人員	⑰ 人	13	7	7	7
	人件費 @500万円	⑯ 億円	0.65	0.35	0.35	0.35
	廃棄物処分費 (廃プラ)	⑯ 億円	0.17	0.29	0.00	0.00
	廃棄物処分費 (汚泥)	⑯ 億円	0.49	0.46	0.64	0.61
支出合計		⑯ 億円	1.84	1.67	1.67	1.65
年間粗利益		⑯ 億円	0.55	0.60	0.68	0.65
資本	減価償却 15年	⑯ 億円	0.27	0.29	0.34	0.32
	支払金利 (均等3.0%初年)	⑯ 億円	0.12	0.13	0.14	0.14
	租税公課	⑯ 億円	0.06	0.06	0.07	0.07
	税引き前利益	⑯ 億円	0.11	0.11	0.13	0.13
	法人税	⑯ 億円	0.04	0.04	0.05	0.04
	税引き後利益	⑯ 億円	0.07	0.07	0.08	0.08
	減価償却費	⑯ 億円	0.27	0.29	0.34	0.32
	毎年返済額	⑯ 億円	0.36	0.38	0.44	0.42
	投資回収年数	⑯ 年	12.00	12.00	12.00	12.00
	最低受取処分費	⑯ 円/トン	40,000	39,000	36,000	34,000

表 4.4-3 日量 25 トン処理 資回収期間 10 年の場合

項目		従来方式		亜臨界水処理方式	
方式	受入量	手分別 25	機械分別 25	160°C 25	180°C 25
イニ	メタン発酵	8.50	8.50	7.81	7.41
シャ	分別機		0.60		
ルコ	亜臨界槽水処理装置			2.30	2.30
スト	イニシャルコスト合計	8.50	9.10	10.11	9.71
収入	受取処分費	3.13	3.04	2.61	2.47
	売電収入	1.91	1.77	2.13	2.16
	収入合計	5.04	4.81	4.75	4.63
支出	ユーティリティ (手分別)	0.85			
	ユーティリティ (分別機)		0.93		
	ユーティリティ (亜160)			0.99	
	ユーティリティ (亜180)				1.00
	メンテナンス費 (手分別)	0.25			
	メンテナンス費 (分別機)		0.26		
	メンテナンス費 (亜160)			0.39	
	メンテナンス費 (亜180)				0.39
	合計人員	24	12	8	8
	人件費 @500万円	1.20	0.60	0.40	0.40
	廃棄物処分費 (廃プラ)	0.35	0.60	0.00	0.00
	廃棄物処分費 (汚泥)	1.03	0.96	1.34	1.27
支出合計		3.67	3.35	3.12	3.06
年間粗利益		1.37	1.47	1.63	1.57
年間粗利益	減価償却 15年	0.57	0.61	0.67	0.65
	支払金利 (均等3.0%初年)	0.24	0.26	0.29	0.28
	租税公課	0.12	0.13	0.14	0.14
	税引き前利益	0.44	0.47	0.52	0.50
	法人税	0.16	0.17	0.19	0.18
	税引き後利益	0.28	0.30	0.34	0.32
	減価償却費	0.57	0.61	0.67	0.65
	毎年返済額	0.74	0.79	0.88	0.85
	投資回収年数	10.00	10.00	10.00	10.00
	最低受取処分費	41,000	40,000	34,000	32,000

表 4.4-4 日量 25 トン処理 資回収期間 12 年の場合

項目		単位	従来方式		亜臨界水処理方式		
方式	受入量	①	トン/日	手分別 25	機械分別 25	160℃ 25	180℃ 25
イニ	メタン発酵	②	億円	8.50	8.50	7.81	7.41
シャ	分別機	③	億円		0.60		
ルコ	亜臨界槽水処理装置	④	億円			2.30	2.30
スト	イニシャルコスト合計	⑤	億円	8.50	9.10	10.11	9.71
収入	受取処分費	⑥	億円	2.90	2.81	2.35	2.22
	売電収入	⑦	億円	1.91	1.77	2.13	2.16
	収入合計	⑧	億円	4.82	4.58	4.48	4.38
支出	ユーティリティ (手分別)	⑨	億円	0.85			
	ユーティリティ (分別機)	⑩	億円		0.93		
	ユーティリティ (亜160)	⑪	億円			0.99	
	ユーティリティ (亜180)	⑫	億円				1.00
	メンテナンス費 (手分別)	⑬	億円	0.25			
	メンテナンス費 (分別機)	⑭	億円		0.26		
	メンテナンス費 (亜160)	⑮	億円			0.39	
	メンテナンス費 (亜180)	⑯	億円				0.39
	合計人員	⑰	人	24	12	8	8
	人件費 @500万円	⑯	億円	1.20	0.60	0.40	0.40
	廃棄物処分費 (廃プラ)	⑯	億円	0.35	0.60	0.00	0.00
	廃棄物処分費 (汚泥)	⑯	億円	1.03	0.96	1.34	1.27
支出合計		⑯	億円	3.67	3.35	3.12	3.06
年間粗利益		⑯	億円	1.15	1.23	1.37	1.32
粗利	減価償却 15年	⑯	億円	0.57	0.61	0.67	0.65
	支払金利 (均等3.0%初年)	⑯	億円	0.24	0.26	0.29	0.28
	租税公課	⑯	億円	0.12	0.13	0.14	0.14
	税引き前利益	⑯	億円	0.22	0.24	0.26	0.25
	法人税	⑯	億円	0.08	0.08	0.09	0.09
	税引き後利益	⑯	億円	0.14	0.15	0.17	0.16
	減価償却費	⑯	億円	0.57	0.61	0.67	0.65
	毎年返済額	⑯	億円	0.74	0.79	0.88	0.85
	投資回収年数	⑯	年	12.00	12.00	12.00	12.00
	最低受取処分費	⑯	円/トン	38,000	37,000	31,000	29,000

表 4.4-5 日量 70 トン処理 資回収期間 10 年の場合

項目		従来方式		亜臨界水処理方式	
方式	受入量	手分別	機械分別	160℃	180℃
イニ	メタン発酵	23.80	23.80	22.21	21.30
シャ	分別機		0.90		
ルコ	亜臨界槽水処理装置			5.00	5.00
スト	イニシャルコスト合計	23.80	24.70	27.21	26.30
収入	受取処分費	8.51	7.41	6.68	6.32
	売電収入	5.35	4.97	5.97	6.05
	収入合計	13.86	12.37	12.64	12.37
支出	ユーティリティ (手分別)	2.38			
	ユーティリティ (分別機)		2.49		
	ユーティリティ (亜160)			2.79	
	ユーティリティ (亜180)				2.84
	メンテナンス費 (手分別)	0.69			
	メンテナンス費 (分別機)		0.69		
	メンテナンス費 (亜160)			1.02	
	メンテナンス費 (亜180)				1.03
	合計人員	62	17	14	14
	人件費 @500万円	3.10	0.85	0.70	0.70
	廃棄物処分費 (廃プラ)	0.97	1.68	0.00	0.00
	廃棄物処分費 (汚泥)	2.88	2.68	3.76	3.56
支出合計		10.02	8.39	8.26	8.12
年間粗利益		3.84	3.98	4.38	4.24
税金	減価償却 15年	1.59	1.65	1.81	1.75
	支払金利 (均等3.0%初年)	0.69	0.71	0.78	0.76
	租税公課	0.33	0.35	0.38	0.37
	税引き前利益	1.23	1.28	1.41	1.36
	法人税	0.44	0.46	0.50	0.49
	税引き後利益	0.79	0.82	0.91	0.88
	減価償却費	1.59	1.65	1.81	1.75
	毎年返済額	2.07	2.15	2.37	2.29
	投資回収年数	10.00	10.00	10.00	10.00
	最低受取処分費	40,000	35,000	31,000	30,000

表 4.4-6 日量 70 トン処理 資回収期間 12 年の場合

項目		単位	従来方式		亜臨界水処理方式	
方式	受入量	① トン/日	手分別 70	機械分別 70	160℃ 70	180℃ 70
イニ	メタン発酵	② 億円	23.80	23.80	22.21	21.30
シャ	分別機	③ 億円		0.90		
ルコ	亜臨界槽水処理装置	④ 億円			5.00	5.00
スト	イニシャルコスト合計	⑤ 億円	23.80	24.70	27.21	26.30
収入	受取処分費	⑥ 億円	7.90	6.77	5.97	5.64
	売電収入	⑦ 億円	5.35	4.97	5.97	6.05
	収入合計	⑧ 億円	13.25	11.73	11.94	11.69
支出	ユーティリティ (手分別)	⑨ 億円	2.38			
	ユーティリティ (分別機)	⑩ 億円		2.49		
	ユーティリティ (亜160)	⑪ 億円			2.79	
	ユーティリティ (亜180)	⑫ 億円				2.84
	メンテナンス費 (手分別)	⑬ 億円	0.69			
	メンテナンス費 (分別機)	⑭ 億円		0.69		
	メンテナンス費 (亜160)	⑮ 億円			1.02	
	メンテナンス費 (亜180)	⑯ 億円				1.03
	合計人員	⑰ 人	62	17	14	14
	人件費 @500万円	⑯ 億円	3.10	0.85	0.70	0.70
	廃棄物処分費 (廃プラ)	⑯ 億円	0.97	1.68	0.00	0.00
	廃棄物処分費 (汚泥)	⑯ 億円	2.88	2.68	3.76	3.56
支出合計		⑯ 億円	10.02	8.39	8.26	8.12
年間粗利益		⑯ 億円	3.23	3.34	3.68	3.56
税金	減価償却 15年	⑯ 億円	1.59	1.65	1.81	1.75
	支払金利 (均等3.0%初年)	⑯ 億円	0.69	0.71	0.78	0.76
	租税公課	⑯ 億円	0.33	0.35	0.38	0.37
	税引き前利益	⑯ 億円	0.62	0.64	0.70	0.68
	法人税	⑯ 億円	0.22	0.23	0.25	0.24
	税引き後利益	⑯ 億円	0.40	0.41	0.45	0.44
	減価償却費	⑯ 億円	1.59	1.65	1.81	1.75
	毎年返済額	⑯ 億円	2.07	2.15	2.37	2.29
	投資回収年数	⑯ 年	12.00	12.00	12.00	12.00
	最低受取処分費	⑯ 円/トン	37,000	32,000	28,000	26,000

今回、コンビニ食品廃棄物を原料に投資回収期間を10年、12年の場合の最低受取処分費を算出した。小規模においては10年の場合38,000円/トンから43,000円/トン、12年の場合34,000円/トンから40,000円/トン。中規模においては10年の場合32,000円/トンから41,000円/トン、12年の場合29,000円/トンから38,000円/トン。大規模の場合10年の場合30,000円/トンから40,000円/トン、12年の場合26,000円/トンから37,000円/トンと算出された。今回の事業性の検討では、発酵残さの有効利用や排水の循環利用を考慮せずに検討を実施したが、プラスチックが混入した発酵残さも燃料化などで再利用はできる。また、プラスチックを亜臨界水処理なしの手分別、機械分別において排出される汚泥はプラスチックをほとんど含まないので、堆肥施設など受け入れができる環境であればさらに安価に廃棄物を処分できるので事業性が向上する。加えて、原料の組成の違いにより、メタンガスの発生量が変化することが想定されるため、炭水化物が非常に多いような原料となる場合は亜臨界水処理技術でメタン濃度が上がり事業が安定する方向になると考えられる。

亜臨界水処理方式の課題として、160°C処理の際2mm以上で排出される食品残さとプラスチックの混合物を食品残さとプラスチックに分別する装置や方法の確立があげられる。より低温で処理するなどの処理方法と分離方法が確立されれば、マイクロプラスチックの生成を止めながら、消化液の脱水固体物を堆肥として利用でき、消化液の液肥利用も可能となるなどさらに事業性が向上する可能性がある。

4.4.2 有識者の意見

事業性の評価結果について有識者に報告を行い、頂戴した意見を以下にまとめる。

・非常にわかりやすいまとめ方でよかったです。さらに踏み込んだ検討として廃棄されるプラスチックは少々汚れていてもリサイクルできるので、亜臨界水処理装置をマテリアルリサイクルの前処理としての機能も持たせることができるのでないか。この場合にもプラの分別ができる利点が生かせる。

・農業利用の観点から考えるとマイクロプラスチックを分別することがポイントである。もう少し温度が低い、120°C程度で処理することで、装置内で機械的にプラスチックを分別できるような構造とできれば排出物を肥料・液肥として利用できるので面白いのではないか。

・処理数量からのアプローチは今回の調査としてよい。もっと具体的に何人規模の都市であればどれくらいの規模がよいという指標、畜産廃棄物との混合処理などで有効性があげられるような評価を見たい。

・コンビニの食品廃棄物をモデルとして対象に選んだことはわかりやすい。ただし限定的なイメージにならないようにコンビニの食品廃棄物でなくとも最低受取単価の範囲でいろいろな廃棄物を受け入れることができることも表記するとよい。

5まとめ

現時点では明確な処理方法が確立していないコンビニ弁当の残さ処理において、亜臨界水処理技術の導入は分別せずに処理できる点、排出されるプラスチックが減容される点、作業環境が改善できる点などメリットがある。

小規模・中規模・大規模においてはいずれも最低廃棄物受取処分費がヒアリングした市場の受取廃棄物処分費に近い結果となった。いずれのケースにおいても手分別、機械分別といった従来方式に比べ、亜臨界水処理方式は事業性が良い結果となった。

最後になるが、コロナ過の中ご協力いただいたすべての方、ご指導をいただいたすべての方に心よりお礼を申し上げたい。