

# 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検討調査



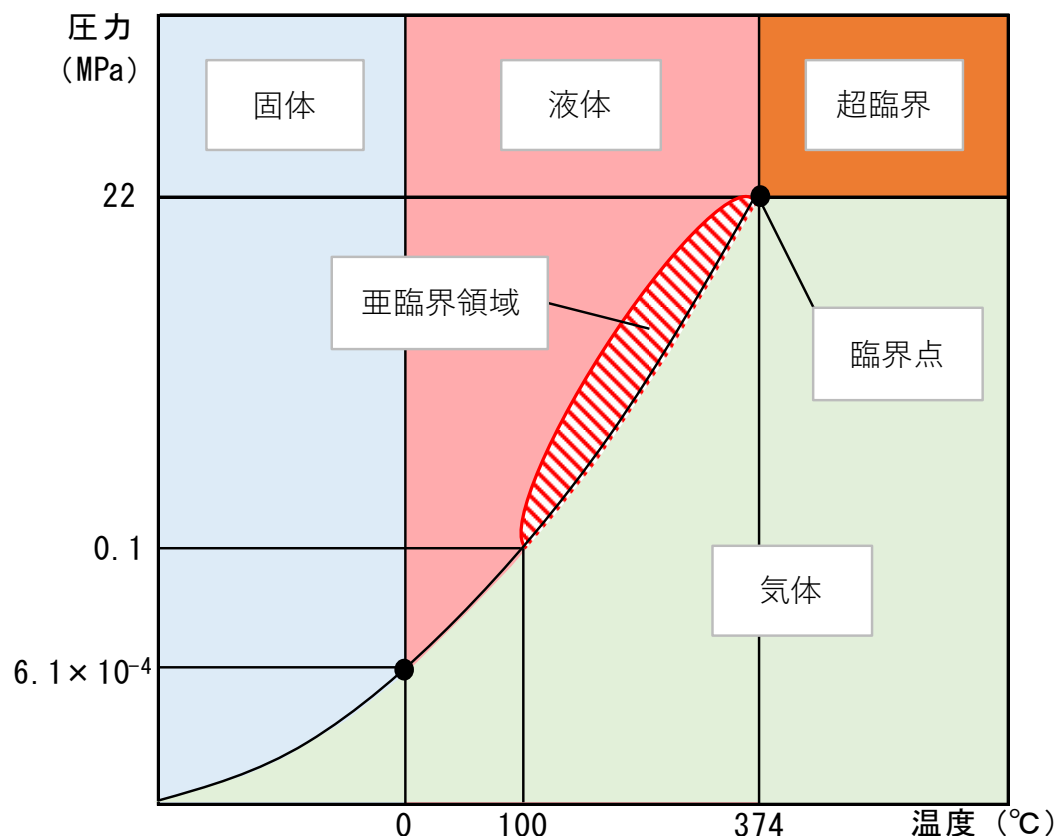
— 令和元～2年度の調査結果 —

令和3年4月

農林水産省  
食料産業局

# 1. 亜臨界水処理技術の概要

- 亜臨界水処理技術とは、高温・高圧領域（100℃・0.1 MPa～374℃・22.1MPa）で高速加水分解反応により有機物を効率的に分解することで、飼肥料などとして資源利用する技術。
- 水のイオン積は530K（＝約257℃）付近で最大値を示し、その時のH<sup>+</sup>及びOH<sup>-</sup>の濃度は常温時の30倍以上となる。これらのイオンによる、加水分解の起こりうる結合部位への攻撃がきわめて大きくなることで、急速に加水分解が進む。
- 亜臨界水処理技術にはバッチ式と連続式とがある。バッチ式は多様な有機物を原料とすることができる一方で、連続式はスラリー状の原料に限られる。しかしながら、連続式はサイクルごとの蒸気の加温、排出が不要でありエネルギー面では優位。



## 亜臨界水処理技術

### バッチ式

#### 【長所】

- ・多様な原料への適用が可能
- ・先行事例が多い

#### 【短所】

- ・サイクルごとに蒸気の加温、排出が必要

### 連続式

#### 【長所】

- ・24時間運転が可能
- ・バッチ式に比べ、投入エネルギーが少ない

#### 【短所】

- ・スラリー状の原料に限定  
(破碎、スラリー化が必要)

## 2. 令和元年度の調査結果

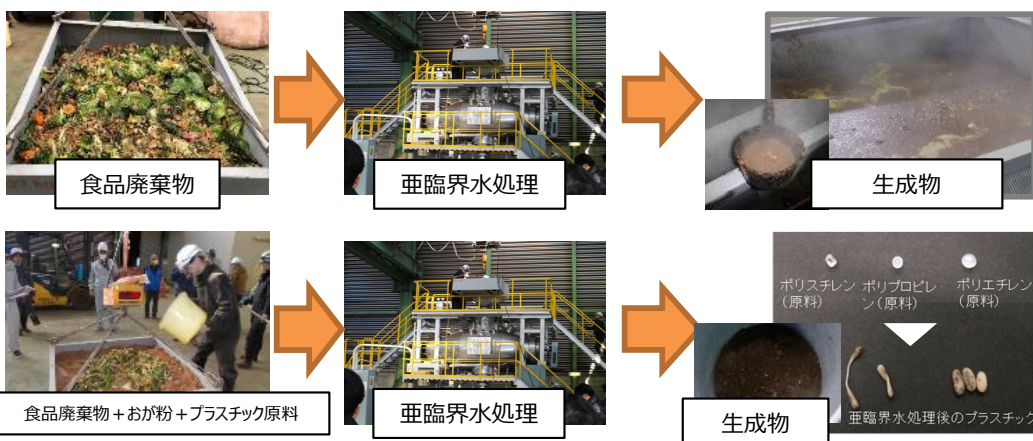
- スーパー等の食品小売業から排出される食品廃棄物を原料に、亜臨界水処理試験、メタン発酵試験を実施。
- 今回の食品廃棄物とプラスチックとおが粉を混合した試験では、プラスチックの加水分解は認められなかったが、大部分は熱溶解し、細粒化された。このため、飼料・肥料製造においては、プラスチックの加水分解ができる処理条件が判明しない限り、亜臨界水処理の導入による分別手間の軽減はできない。
- 食品廃棄物を亜臨界水処理することでメタン発酵によるバイオガス発生量が増加、発酵残さの減少が確認できた。

### 試験概要

- 食品小売店（スーパー等）から排出された食品廃棄物を原料に亜臨界水処理、メタン発酵試験を実施。
- 同一の原料により、亜臨界水処理の有無による飼肥料としての栄養成分、メタン発酵における効果の有無、プラスチックの加水分解を検証。

原料	処理温度	処理気圧
食品廃棄物	160℃	飽和蒸気圧
食品廃棄物 + プラスチック原料 + おが粉	190℃	飽和蒸気圧

※プラスチックが亜臨界水処理装置に付着するのを防ぐため、おが粉を投入。



### 飼料・肥料

- 亜臨界水処理により、食品廃棄物中の肉や魚が分解され、タンパク質中のアミノ酸が一部遊離し、吸収しやすく即効性がある飼料・肥料の製造が可能となる。
- 今回の食品廃棄物とプラスチックとおが粉を混合した試験では、プラスチックの加水分解は認められなかったが、大部分は熱溶解し、細粒化された。このため、飼料・肥料製造においては、プラスチックの加水分解ができる処理条件が判明しない限り、亜臨界水処理の導入による分別手間の軽減はできない。
- 亜臨界水処理導入費用の負担が大きく、飼料・肥料利用だけでなく、様々な用途で装置を活用する取組を検討することが望ましい。

### メタン発酵

- 事前分別を行った食品廃棄物を亜臨界水処理することで、バイオガス発生量の増加、発酵残さの減少が確認できた。これは、売電収入の増加、固形発酵残さの処分費の軽減につながるため、事業性の確保に貢献できる。
- ただし、今回の食品廃棄物とプラスチックとおが粉が混合した試験では、バイオガス発生量が減少した。

（令和2年度の取組）

亜臨界水処理の導入により事業性の向上が期待できるメタン発酵に焦点を絞り、最適処理条件の検討、機能性、事業性を検証。

# 3. 令和2年度調査：概要

- 食品廃棄物を原料としたメタン発酵施設への亜臨界水処理に焦点を絞り、事業効果が高くなる処理条件の検討、事業化に向けた課題を整理。
- 食品廃棄物を原料に、亜臨界水処理試験、メタン発酵試験を実施。試験結果より、施設規模の異なる3ケースで事業性を評価。

## 調査目的

- 令和元年度調査結果で、実現性の確保が期待できるとされたメタン発酵に焦点を絞り、事業効果が高くなる処理条件を検討し、事業化に向けた課題の整理を行う。

## 調査内容

### 機能性評価

再生利用が進んでいない食品廃棄物を原料に、異なる処理条件で亜臨界水処理を行い、メタン発酵における効果を整理し、機能性を評価。

### 事業性評価

試験結果より、施設規模の異なる3ケースにおいて、事業性を評価。

### 試験イメージ



番号	原料	温度条件	処理時間
1	食品廃棄物	150℃	30分
2	食品廃棄物	160℃	30分
3	食品廃棄物	180℃	30分
4	食品廃棄物	200℃	30分
5	食品廃棄物 + プラスチック	160℃	30分
6	食品廃棄物 + プラスチック	180℃	30分

# 4. 令和2年度調査：亜臨界水処理試験（1）

- 試験原料は、コンビニから排出された食品廃棄物を調査して、コンビニ食品廃棄物を模した標準食品残さを設定。
- 標準食品残さを利用して、プラスチックの有無や温度条件が異なる6ケースで亜臨界水処理を実施。

## 試験原料

- 再生利用が進んでいないコンビニから排出される食品廃棄物中の容器包装（廃プラスチックなど）の含有量を調査。



コンビニから排出された食品廃棄物

種類	重量比
食品廃棄物	93.9%
容器包装（廃プラなど）	6.1%

- 試験では、コンビニから排出される食品廃棄物は多種多様であるため、容器包装（廃プラスチックなど）と食品の種類を調査して、コンビニ食品廃棄物を模した「標準食品残さ」を設定。容器包装に利用されているプラスチックを調べ、同素材の容器を購入して実施。

試験に利用する食品、プラスチック量

食品の種類	使用量(g)	コンビニ弁当（模擬）	使用量 (kg)
ごはん	15,000	PS混合	1.044
食パン	4,000	PET	0.256
豚肉もも(焼き)	1,650	紙	0.228
魚(鮭・焼き)	1,650	包装袋	0.209
キャベツ(ゆで)	4,360	おにぎり袋	0.057
じゃがいも(水煮)	1,500	混合(デザートカップ)	0.036
なたね油	1,600	計	1.830
食塩	240		
合計	30,000		

## 亜臨界水処理試験状況

- 亜臨界水処理条件

番号	原料	温度条件	処理時間
1	食品廃棄物	150℃	30分
2	食品廃棄物	160℃	30分
3	食品廃棄物	180℃	30分
4	食品廃棄物	200℃	30分
5	食品廃棄物+プラスチック	160℃	30分
6	食品廃棄物+プラスチック	180℃	30分

※ 攪拌機運転周波数、処理圧力、放冷時間は全条件で統一。

- 亜臨界水処理試験状況



標準食品残さ



生成物



# 5. 令和2年度調査：亜臨界水処理試験（2）

- 亜臨界水処理により、食品廃棄物の固形物は温度が高いほど、黒く変色（炭化）。
- 亜臨界水処理により、プラスチックは温度を高くするほど、細粒化。

## 亜臨界水処理後の生成物

試験前	試験後					
	<p>150℃</p>  <p>固形物</p>	<p>160℃</p>  <p>固形物</p>	<p>180℃</p>  <p>固形物</p>	<p>200℃</p>  <p>固形物</p>		
	<p>160℃（プラあり）</p> 		 <p>ビニール</p>  <p>弁当容器(底)</p>  <p>弁当容器(ふた)</p>		<p>180℃（プラあり）</p>   <p>ビニール</p>  <p>弁当容器(底)</p>  <p>弁当容器(ふた)</p>	

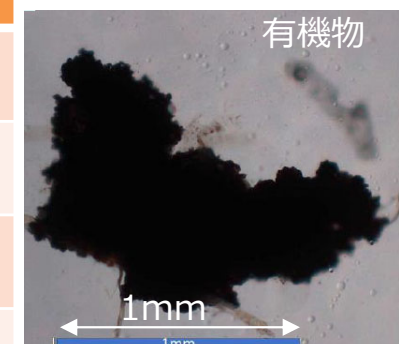
## 6. 令和2年度調査：プラスチックのふるい分け試験、顕微鏡観察試験

- 亜臨界水処理後のプラスチックの大きさをふるい分け試験で確認。
- 160℃で処理したものは粒度2mm未満、180℃で処理したものは粒度0.5mm未満のプラスチックは確認できなかった。

### プラスチックのふるい分け試験、顕微鏡観察試験

(単位：g)

	粒度	160℃ (プラあり)			180℃ (プラあり)		
		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あたり)	2.0mm~		16.42	38.75	17.83	45.34	
	1.0~2.0mm	0.884	0	0.88	1.382	0.92	
	0.5~1.0mm	1.125	0	1.12	2.096	1.40	
ろ液 (100gあたり)	1.0~2.0mm	0.23	0	0.23	0.064	0.03	
	0.5~1.0mm	0.628	0	0.63	0.274	0.09	
	0.25~0.5mm	0.032	0	0.03	0.407	0	
	0.1~0.25mm	0.113	0	0.11	0.196	0	
	0.05~0.1mm	0.016	0	0.02	0.033	0	



顕微鏡観察した  
有機物（上）とプラスチック（下）

※ ろ過残さ2.0mm未満は100gの抽出試験、ろ液の試験は200gの抽出試験。

※ 風乾後の重量で表示。

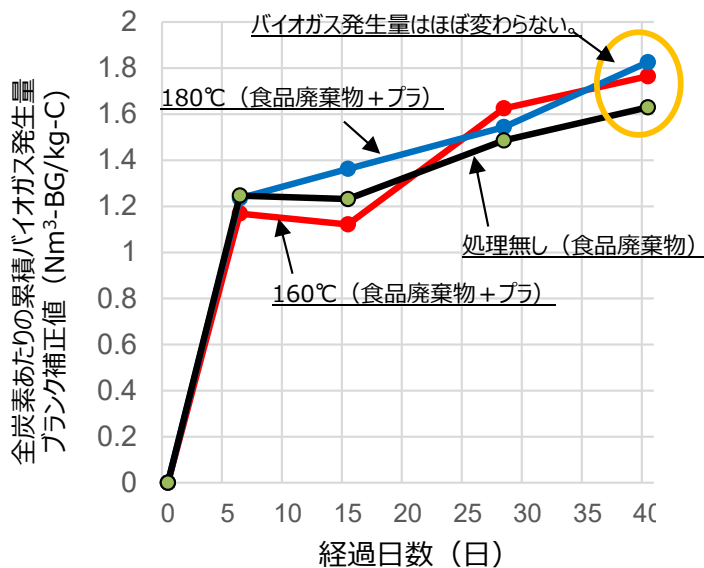
# 7. 令和2年度調査：メタン発酵試験（1）

コンビニ食品廃棄物を模した標準残さに亜臨界水処理を施した処理物を用いたメタン発酵試験より、

- 初期段階からメタンガス濃度が高く、発電可能な環境ができることを確認。
- 処理しなかった場合と同等のメタンガス発生量が早期に確保できるため、メタン発酵槽の滞留時間を短縮できる可能性がある。
- プラスチックを含んでいてもバイオガス発生量は減少しないものの、大幅な増加は確認できなかった。

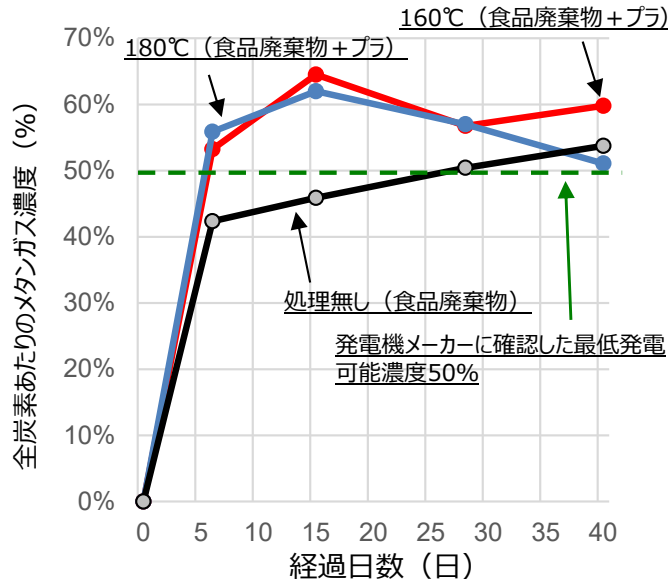
## バイオガス、メタンガス発生量

全炭素あたりの累積バイオガス発生量  
(プラ由来の炭素除去)



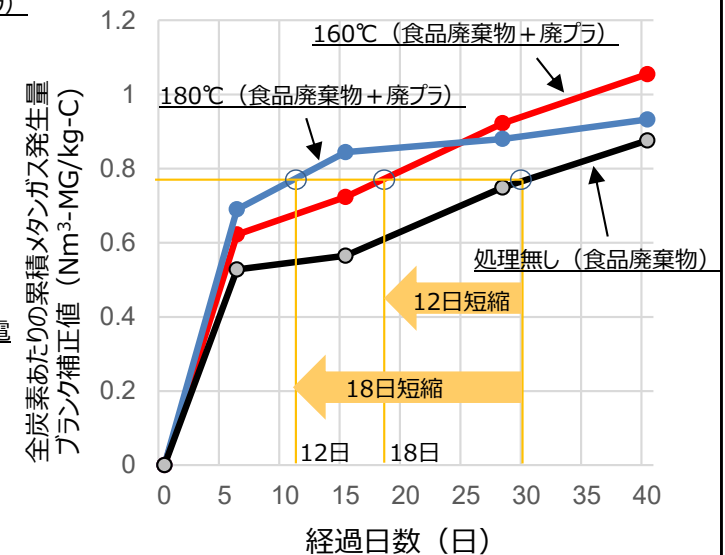
※回分式によるメタン発酵試験結果を基に、プラからバイオガスは発生していないと仮定して算出。

全炭素あたりのメタンガス濃度  
(プラ由来の炭素除去)



※回分式によるメタン発酵試験結果を基に、累積メタンガス量÷累積バイオガス発生量で算出。

全炭素あたりの累積メタンガス発生量  
(プラ由来の炭素除去)



※回分式によるメタン発酵試験結果を基に、プラからのメタンガスは発生していないと仮定して算出。  
※処理無しの30日時点（発電可能なメタン濃度を超える日数）と同等程度のメタンガス発生量となる日数で比較。



## 8. 令和2年度調査：メタン発酵試験（2）

コンビニ食品廃棄物を模した標準残さに亜臨界水処理を施した処理物をメタン発酵したのち、消化液の分析を実施。

- 亜臨界水処理により、固形物の分解が進み、発酵残さの発生量が減少。

### メタン発酵後の消化液分析結果

- 発酵残さの発生量を調査するため、メタン発酵（40日後）の消化液を分析

	TS分解率	VS分解率	TC分解率
160℃（食品廃棄物＋プラ）	76.4%	82.9%	77.8%
180℃（食品廃棄物＋プラ）	68.5%	79.7%	70.4%
処理無し（食品廃棄物）	69.8%	83.7%	81.5%

※ 消化液分析結果から算出。

プラからバイオガスは発生していないと仮定して、  
分解率を補正。

	TS分解率	VS分解率	TC分解率
160℃（食品廃棄物＋プラ）	83.3%	90.5%	87.8%
180℃（食品廃棄物＋プラ）	75.6%	88.4%	80.7%
処理無し（食品廃棄物）	69.8%	83.7%	81.5%

40日時点で、亜臨界水処理したほうが、TS（蒸発残留物）の分解率が高い（固形物の分解が進んでいる）ため、発酵残さ量は減少。

# 9. 令和2年度調査：事業性評価（1）

○ メタン発酵施設の施設規模ごとに、亜臨界水処理の導入で従来手法と比較して事業性が向上するかを検討。

## 事業性の検討手法

### 施設規模

処理量 70t/日

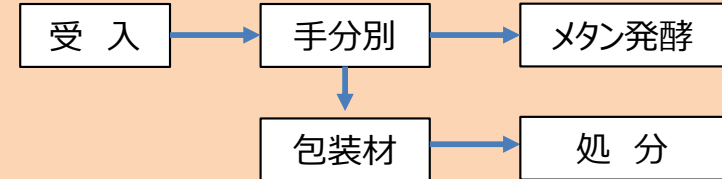
処理量 25t/日

処理量 12t/日

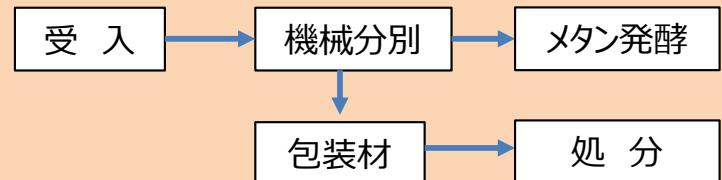


### 前処理手法

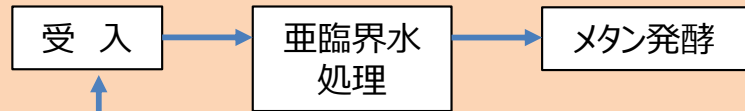
①手分別



②機械分別



③、④亜臨界水処理（160℃、180℃）



処理が不十分なもの、大きなプラ等は、再度亜臨界水処理をして細粒化。

# 10. 令和2年度調査：事業性評価（2）

事業性の評価は、

- コンビニ食品廃棄物を模した標準食品残さを用いた試験結果を踏まえて、バイオガス発生量、処分費等を算定。
- バイオマスエネルギー導入ガイドブックを基本に、メタン発酵施設の設備費、維持管理費などを算定。
- 減価償却期間を15年とし、投資回収年数を10年と12年に設定して、各ケースにおいて事業性が確保できるプラスチックを含む食品廃棄物の最低受取処分単価を試算。

## バイオガス量、処分費の算定

コンビニ食品廃棄物を模した標準食品残さを用いた試験結果を踏まえて、メタン発酵槽内における滞留時間を以下の通りに設定。

メタン発酵槽内の滞留時間

手分別	30日
機械分別	30日
亜臨界水処理（160℃）	20日
亜臨界水処理（180℃）	15日

食品廃棄物中の 廃プラ混合率	6.1%
-------------------	------

上記、滞留時間におけるバイオガス発生量、発酵残さ量を算出し、売電収入、廃棄物処分費を算定。

## 設備導入、維持管理費の算定

- メタン発酵施設の設備導入費、維持管理費は、「バイオマスエネルギー導入ガイドブック（国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構）」に記載の算出方法を基に算定。
- ただし、メタン発酵槽は「メタン活性いしかわモデル導入の手引き」に記載の計算式を参考にメタン発酵槽内の滞留時間に応じた容量で算出。
- 亜臨界水処理の設備導入費、維持管理費、手分別・機械分別手間、廃棄物処分費、分別時の有機物損失割合等は、業者見積りや聞き取り値を採用。

廃棄物 処分費	汚泥処分費	35,000円/t
	廃プラ処分費	50,000円/t
分別時における 有機物損失割合		手分別 3% 機械分別 10% 亜臨界水処理 0%

## 減価償却と投資回収年数

- 減価償却期間は、「バイオマスエネルギー導入ガイドブック（国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構）」を参考に15年と設定。
- 投資回収年数は、事業利益を考慮して10年、12年の2ケースを設定。
- 売電単価は39円/kWhと設定。
- 各ケースにおいて、事業性が確保できるプラスチックを含む食品廃棄物の最低受取処分単価を試算。

減価償却年数	15年
投資回収年数	10年、12年
売電単価	39円/kWh

# 11. 令和2年度調査：事業性評価（3）

事業性評価で用いた費用等の算出根拠は、以下のとおり。

## 算定項目

大項目	小項目	算出根拠
設備導入費	メタン発酵	バイオマスエネルギー導入ガイドブック（以下、「NEDOガイドブック」という。）より算出。
	分別機	メーカー見積より算出。
	亜臨界水処理	メーカー見積より算出。
年間支出	ユーティリティ、メンテナンス費	メタン発酵施設分はNEDOガイドブック、分別機などの前処理施設分は、メーカー聞き取りにより算出。
	人件費	NEDOガイドブック、メーカー聞き取りより人数算出×500万円/人。
	廃棄物処分費	産廃処理業者聞き取り単価より算出。
	減価償却費	NEDOガイドブックと同じ15年と設定。設備導入費÷15年で算定。
	支払い金利	NEDOガイドブックと同じ3%元本金等払いと設定。
	租税公課	NEDOガイドブックと同じ減価償却後の設備費×1.4%で算定。
	法人税	NEDOガイドブックより、税引き前利益×35.64%。
年間収入	受取処分費	受取処分量×受取単価。
	売電収入	39円/kWh×売電量。



## 12. 令和2年度調査：事業性評価（4）

今回の調査結果では、

○事業性が確保できる最低受取処分単価は、施設規模にかかわらず、手分別、機械分別といった従来方式より亜臨界水処理方式のほうが安価となり、事業性が高い結果となった。

### 結果

(単位：億円)

	処理量12t/日				処理量25t/日				処理量75t/日			
	手分別	機械分別	亜臨界(160℃)	亜臨界(180℃)	手分別	機械分別	亜臨界(160℃)	亜臨界(180℃)	手分別	機械分別	亜臨界(160℃)	亜臨界(180℃)
設備導入費	4.08	4.38	5.03	4.83	8.50	9.1	10.11	9.71	23.80	24.70	27.21	26.30
年間支出	2.11	1.96	2.01	1.97	4.24	3.96	3.79	3.71	11.61	10.41	10.07	9.87
減価償却費	0.27	0.29	0.34	0.32	0.57	0.61	0.67	0.65	1.59	1.65	1.81	1.75
維持管理費	1.84	1.67	1.67	1.65	3.67	3.35	3.12	3.06	10.02	8.39	8.26	8.12
年間売電収入	0.92	0.85	1.02	1.04	1.91	1.77	2.13	2.16	5.35	4.97	5.97	6.05
10年で投資回収するために必要な年間受取処分費	1.58	1.53	1.46	1.39	3.13	3.04	2.61	2.47	8.51	7.41	6.68	6.32
最低受取処分単価 (千円/t)	43	42	40	38	41	40	34	32	40	35	31	30
12年で投資回収するために必要な年間受取処分費	1.47	1.42	1.33	1.26	2.90	2.81	2.35	2.22	7.90	6.77	5.97	5.64
最低受取処分単価 (千円/t)	40	39	36	34	38	37	31	29	37	32	28	26

※詳細な計算方法は、「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検討調査事業報告書」を参照されたい。

# 13. 令和2年度調査：まとめ

コンビニ食品廃棄物を模した標準食品残さを原料に亜臨界水処理の機能性・事業性を調査。

## 【機能性】

- 容器包装を含むコンビニ食品廃棄物をそのまま、亜臨界水処理、メタン発酵しても、バイオガス発生量の減少は確認されないことから、プラスチック等の事前分別にかかる手間を省略できる可能性がある。
- 亜臨界水処理により、プラスチックは小さくなるが160℃では2mm、180℃では0.5mmのふりいで分別できるため、下水・河川へ、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、メタンはガス発生速度が上がることから、メタン発酵槽内の滞留時間（HRT）を短縮できると考えられる。
- また、TS分解率が向上することで、同じ期間中に発生する発酵残さ量は少なくなると考えられる。

## 【事業性】

- メタン発酵槽内の滞留時間を短縮できるため、メタン発酵槽の規模を縮小できる可能性がある。
- 発酵残さ量を少なくでき、事前分別を省略できる可能性があるため、廃棄物処分費を削減できる。
- 事業性が確保できる最低受取処分単価は、施設規模にかかわらず、手分別、機械分別といった従来方式より亜臨界水処理方式のほうが安価となり、事業性が高い結果となった。

なお、亜臨界水処理は、使用する原料や処理条件によって、分解の程度や、バイオガス発生量・メタンガス発生速度などが大きく異なる可能性があるため、導入にあたっては、機能性・事業性を十分に調査・検討されたい。