

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



農林水産省
食料産業局

議 題



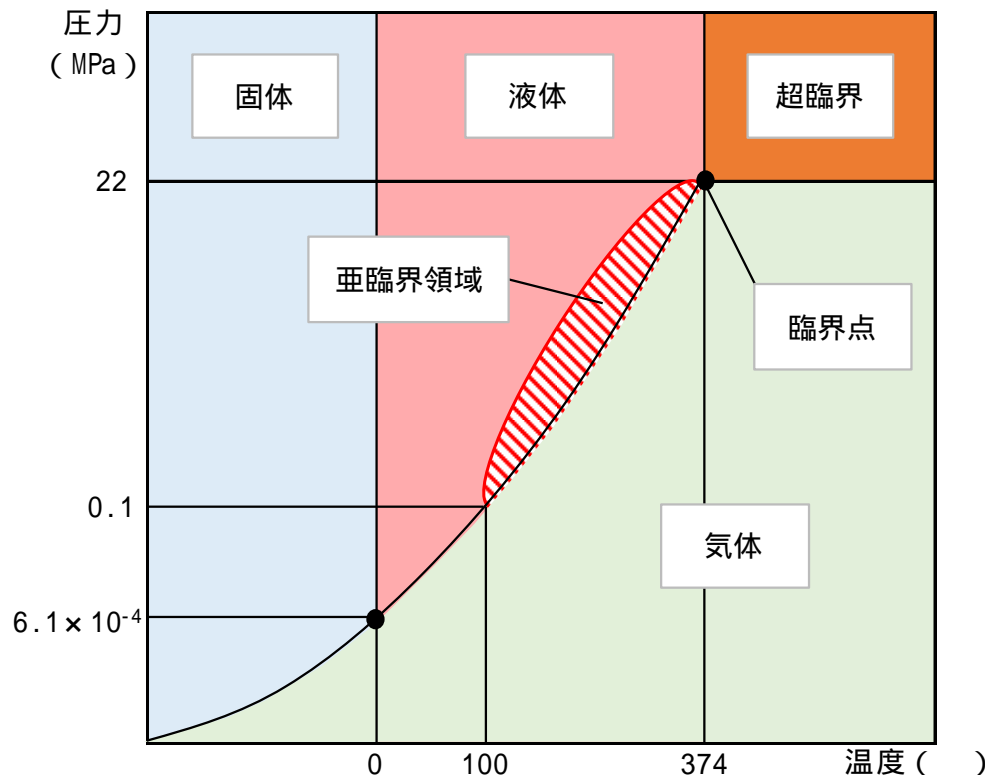
第1回 食品等のリサイクルの新たな展開を目指す亜臨界水処理技術の導入検討委員会

1. 亜臨界水処理技術の概要
2. 入口（原料）と出口（製造物）、先行事例の整理
3. 先行事例を踏まえた亜臨界水処理技術の可能性、導入が期待される分野
4. 既存の制度等との整合性に対する課題、対応
5. 実機試験等の実施計画

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 °C・0.1 MPa～374 °C・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 °C）付近で最大値を示し、その時のH⁺及びOH⁻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. 入口（原料）と出口（製造物）、先行事例の状況

- 亜臨界水処理技術は、食品廃棄物や家畜排せつ物、木質バイオマスなどの多様な入口（原料）と飼肥料製造や原料の無害化、高効率で安価なメタン発酵などの多様な出口（製造物）への技術展開が見込まれる。
- 事務局により確認した亜臨界水処理技術の先行事例は資料4のとおりであるが、商用化されている事例や実証段階である事例など、技術の到達レベルは様々である。なお、商用化されている国内事例は少ない。
- 技術の到達レベル別の導入状況（国外含む）は、商用化されている例として肥料製造（液肥含む）が多く、実用化段階にある例として飼料製造、メタン発酵前処理施設など、研究段階の例として原料の無害化などが挙げられる。

入口（原料）

- ・食品廃棄物 ・家畜排せつ物
- ・木質バイオマス ・下水汚泥
- など



出口（製造物）

- ・飼料 ・肥料 ・メタン発酵原料
- ・重金属など有害物質の除去
- ・プラスチックの減容化 など

先行事例の一部

原料	製造物	技術レベル	技術の内容
水産加工残さ	アミノ酸液肥	商用化（国内）	鮭の加工残さを原料にアミノ酸含有量5.3%の液肥を製造・販売。当該液肥の栽培試験の結果、化学肥料の約1.6倍の収量を確認。
食品残さ等	肥料化	商用化（国外）	食品残さや鶏糞を原料に有機肥料を製造・販売。発酵は2週間程度で完了し、アンモニアの発生が抑えられ臭気を抑制。
食品残さ 下水汚泥	メタン発酵原料	実用化段階	メタン発酵の前処理施設として導入。その後のメタン発酵プロセスにおいて、汚泥減量化率が60～80%（従来式は30～50%）、処理時間が5日（従来式は30日程度）を実現。
ホタテのウロ	無害化（重金属の除去）	研究段階	カドミウムなどの重金属が蓄積されたホタテのウロを亜臨界水処理。重金属が結合していたタンパク質が分解され、重金属は溶出・分離。

先行事例における技術レベルの傾向

主な技術	技術レベル	要因
肥料化	商用化	製造プロセスが単純
飼料化	実用化段階	可消化率や嗜好性の評価が必要
メタン発酵		発酵プロセスなど関連技術や施設が多い
無害化	研究段階	様々な原料、条件に対する無害化の検証が必要

先行事例①



アミノ酸液肥の製造等

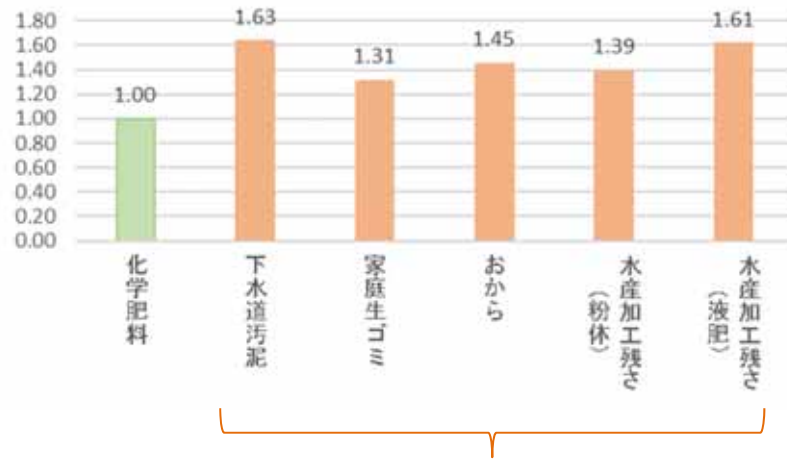
商用化段階

形式：バッチ式

処理条件：圧力20気圧、温度200、処理時間120分

- 北海道において、鮭の加工残さを原料にアミノ酸含有量5.3%の液肥を製造・販売。特殊肥料として認定されており、旭川市や美唄市などの農家で利用
- 鮭の加工残さの他、様々な有機物を原料に栽培試験を実施した結果、化学肥料の約1.3～1.6倍の収量を確認
- 家畜排せつ物から肥料製造している事例では、焼却処分する場合に比べ、燃料費 1 / 8、その他ランニングコスト 1 / 3

(独) 北海道農業研究センターによる
青梗菜・収穫量比較結果



亜臨界水処理液肥

アミノ酸の効果

- ・ 植物は、根から吸収した硝酸態窒素をアンモニアへ還元し、その後、炭素同化物（糖）と反応しアミノ酸を生成している。
- ・ アミノ酸は代謝を繰り返して様々なアミノ酸に変換するため、アミノ酸を直接吸収することで、様々なアミノ酸をスムーズに生成。また、アミノ酸生成時に必要な糖の消費を減らす。
- ・ また、たん白質の生成量は、20種類のアミノ酸のうち最も少ないアミノ酸の量に依存する（桶の原理）。このため、飼料中のアミノ酸バランスが悪い場合、たん白質の生成に使用されないアミノ酸は窒素化合物として排せつされ、土壌や河川等の汚染の原因となる。
- ・ このため、効率的なたん白質の生成及び環境汚染を低減するために飼料としてアミノ酸を給与。

先行事例②



木質飼料の製造、フルボ酸の生成

実用化段階

形式：バッチ式

処理条件：圧力1.3MPa、温度190、処理時間30分

- 北海道において、木質チップを原料に肉牛用の飼料を製造。飼料製造時の副産物としてフルボ酸（有機酸）が生成。
- 亜臨界水処理により、チップ中の形状が崩れ細粒子化が進むとともに甘酸っぱい香り。亜臨界水処理によりチップ中のリグニンが壊れ、セルロースが露出するとともに、加水分解により糖へ分解される。
- 人工ルーメン法による消化試験の結果、慣行粗飼料に比べても遜色の無い消化性（給与実証試験を継続中）。



▼ 亜臨界水処理



木質飼料の特性

- ・粗飼料効果が高く、消化障害の発生防止、採食意欲の持続など良好な生理的効果
- ・高温下で処理され、貯蔵性が高い
- ・原料に農薬汚染の心配がなく、製造過程でも化学薬品等は使用しない。
- ・枝肉の皮下脂肪割合が低下し、赤肉が多くなる。
（「研究の“森”から」森林総合研究所）
- ・現在、北海道で製造されている飼料についても同様の特性が確認されている

フルボ酸の効果

- ・フルボ酸とは、植物などが微生物により分解されてできる腐食物質のうち、水溶性の無定形高分子有機酸
- ・自然界では、鉄を含む多くの金属（ミネラル類）と錯体を形成し、ミネラルを植物体内に送り込み、成長を促進する機能を果たすとされる。
- ・木質飼料の副産物として生成されるフルボ酸は、自然由来と比べて1,000~1万倍の濃度。

先行事例③

メタン発酵前処理施設

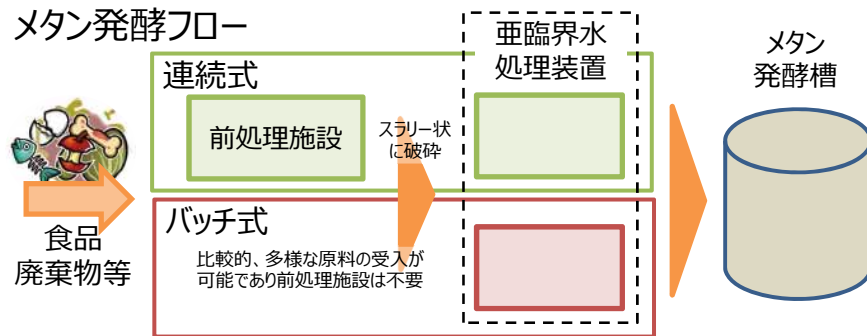
実用化段階

形式：連続式

処理条件：圧力 3 MPa 、 温度140～180 、 処理時間30分

- 従来式のメタン発酵では、発酵槽内において多様な細菌の分解作用によりたん白質などの有機物を低分子化し、最終的にメタン菌によりメタンガスへと変換。原料投入からガス発生までの全工程で30日程度要している。
- 有機物の低分子化を亜臨界水処理技術により行うことで、全工程が10日程度まで短縮され、発酵槽の規模が縮小。
- また、発酵槽内に多様な細菌が混合している従来方式に比べ、効率的な低分子化が可能。メタン発酵の原料増。

メタン発酵フロー



亜臨界水処理技術導入による効果

	従来式	亜臨界水処理
発酵時間	30日程度	5～10日程度
メタン発酵効率	50～60%	80～90%
発酵残さ	投入原料の 1 / 2	投入原料の 1 / 5

従来式のメタン発酵 全工程：30日程度		亜臨界水処理技術導入 全工程：10日程度	
発酵槽内 約30日	炭水化物やたん白質などの固形有機物	亜臨界水処理装置 1時間以内	炭水化物やたん白質などの固形有機物
	↓ 好気性、嫌気性細菌による加水分解		↓ 高速加水分解により低分子化
	単糖類、アミノ酸など		
	↓ 更に分解		
	有機酸		
	↓ 酸生成菌による分解		
低分子の有機酸（主に酢酸）	低分子の有機酸やアミノ酸		
↓ メタン菌による変換	発酵槽内数日	↓ メタン菌による変換	
メタンガス／二酸化炭素		メタンガス／二酸化炭素	



3. 先行事例を踏まえた亜臨界水処理技術の可能性、導入が期待される分野



- これまでの先行事例を踏まえて、亜臨界水処理技術の導入により可能なこと、効果は下記のとおり。
- 今後、亜臨界水処理技術の導入が期待される入口側（原料）、出口側（製造物など）において、どのような効果が発現されるのか、また、どのような課題があり、検証等が必要なのかを整理。

入口側（原料）

◆原料の適用

- 多様な有機物の分解が可能
 - ・飼肥料に向かない原料である骨や脂肪なども分解
 - ・温度等の条件を変更することで様々な原料に対応可能
- プラスチックの分解
 - ・プラスチックは本来、炭素原子同士の強固な結合により加水分解が起こらない。
 - ・一方で、亜臨界水処理によるプラスチックの分解については、民間企業等においても試験が実施されており、その中では、ビニール等の汎用プラスチックは液状化し、目視では、プラスチックの固形物は確認されない。
 - ・プラスチックがどこまで分解されているのか、どのような分解過程をたどっているかは不明。

◆想定される効果

- 多様な有機物の循環利用
- 分別手間の解消、人件費縮減

◆課題

- 原料（動物性・植物性食品廃棄物や木質バイオマスなど）ごとの適切な処理条件（温度、圧力、処理時間）
- 原料ごとに収集運搬などの条件も異なる
- プラスチックの分解については継続した検証が必要
- プラスチックが分解される過程が明らかになった後においても、実用化に向けては、プラスチックの種別ごとに分解される処理条件を整理する必要

今後の検証等の
方向性

- ・原料ごとの温度等の処理条件の検討、整理とともに、収集運搬条件も踏まえた事業性の検討
- ・プラスチックの種別ごとに亜臨界水処理による分解について継続して検証するとともに、分解過程を整理

3. 先行事例を踏まえた亜臨界水処理技術の可能性、導入が期待される分野

出口側（製造物）①

◆肥料化

- 先行事例を踏まえた可能性
 - ・亜臨界水処理により、たん白質などの動物性食品廃棄物はアミノ酸へ、植物性食品廃棄物は有機酸へ迅速に分解
 - ・有機酸は吸収されにくい土中のミネラルなどに作用し、養分吸収を助ける働きを持つ
 - ・有機酸を多く含むと酸性土壌となる恐れがある一方で、たん白質の分解時にはアンモニアが含まれ中性に。このため、植物性と動物性の食品廃棄物が混合している生ゴミは原料として優位
 - ・一般的な有機肥料と比べ発酵日数が短縮（2週間程度）
- 想定される効果
 - ・付加価値の高い肥料製造
 - ・堆肥場の規模縮小、繰り返し労力等の削減、臭気の低減
 - ・農家の感触として連作障害の抑制や、病気に強い作物が生産されるなど営農面での効果
- 課題
 - ・商用化においてアミノ酸含有量などを保証する必要があり、適切な原料の組み合わせや効率的な肥料成分の確認方法が必要
 - ・競合する肥料との定量的な差別化、効果の見える化

◆飼料化

- 先行事例を踏まえた可能性
 - ・過去の実証では可消化率や嗜好性は良好
- 想定される効果
 - ・高温下で処理されることから安全。輸入飼料の代替飼料
 - ・アミノ酸が多く含まれることが確認されれば、家畜体内における効率的なたん白質の生成、排せつされる窒素化合物の削減
- 課題
 - ・商用化においてアミノ酸含有量などを保証する必要があり、適切な原料の組み合わせや効率的な飼料成分の確認方法が必要
 - ・競合する飼料との定量的な差別化、効果の見える化
 - ・肥育試験や食味試験が不十分

◆有用物抽出

- 先行事例を踏まえた可能性
 - ・香り成分やDHAなどを加水分解により分離し、抽出
- 課題
 - ・多様な原料、製造物が想定され効果的なマッチングが必要

今後の検証等の方向性

- ・肥料や飼料の機能性を向上、確保するために、原料の組み合わせ方など、効果的な製造方法の検討
- ・機能性及び効果の定量的な評価、市場へ普及見込み（消費者の感触）の確認
- ・これらについて、収集運搬などのライフサイクルコストも含めた事業性の検討

3. 先行事例を踏まえた亜臨界水処理技術の可能性、導入が期待される分野

出口側（製造物）②

◆メタン発酵前処理施設

○先行事例を踏まえた可能性

- ・従来式では発酵槽内で行われる有機物の低分子化に要する日数を、亜臨界水処理技術前処理により短縮
- ・従来式に比べ、メタン発酵効率が上昇し、有機物を無駄なく活用
- ・また、亜臨界水処理したビニール等の汎用プラスチックは高級アルコールに分解され、これらをメタン菌が分解することでガスの発生量も増（研究段階：民間企業における研究シーズ）

○想定される効果

- ・バイオガス発生量が増えることによる収益増
- ・発酵槽の規模縮小、発酵残さの減によるコストの縮減
- ・分別手間の解消、人件費削減

○課題

- ・プラスチックの分解については継続した検証が必要
- ・特にプラスチックの分解によるガスの発生増については確認が必要
- ・消化液（発酵残さ）の液肥利用は、分解によるプラスチックの残存が無いことが確認できなければ不可。水処理が必要。

	従来式	亜臨界水処理
発酵時間	30日程度	5～10日程度
メタン発酵効率	50～60%	80～90%
発酵残さ	投入原料の 1 / 2	投入原料の 1 / 5

今後の検証等の方向性

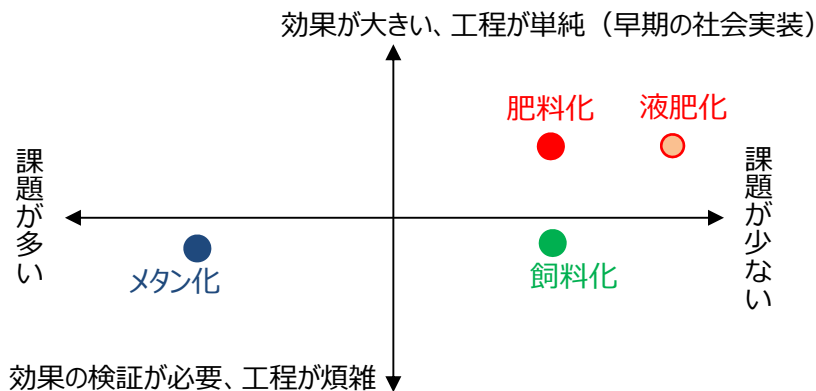
- ・プラスチックの亜臨界水処理による分解について継続して検証するとともに、分解過程を整理
- ・収集運搬などのライフサイクルコストも含めた事業性の検討

亜臨界水処理技術の導入が期待される分野

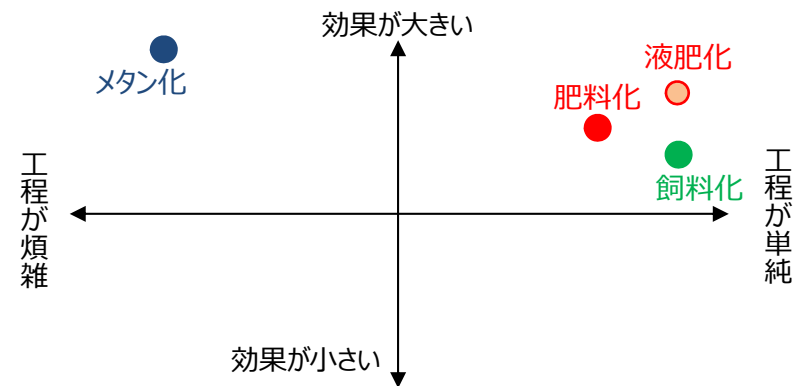
- 先行事例を踏まえた効果や課題・技術の到達レベル、事業における工程の煩雑から導入が見込まれる分野を整理
- 現時点では、単一の原料からの液肥製造が最も効果が明らかであり、工程も少なく商用化の実績もある
- 今後、技術的な課題が解消され、多様な原料を、分別等の手間無く利用することが可能となれば、例えばメタン発酵の分野においては収益増・コスト低減の双方での効果が得られることが期待される
- ただし、この指標には事業性や市場への導入見通しが含まれていないため、これらの検討が今後、必要

導入分野の方向性（イメージ）

現時点の技術レベル



課題（技術の進展、効果の検証）が解消された場合

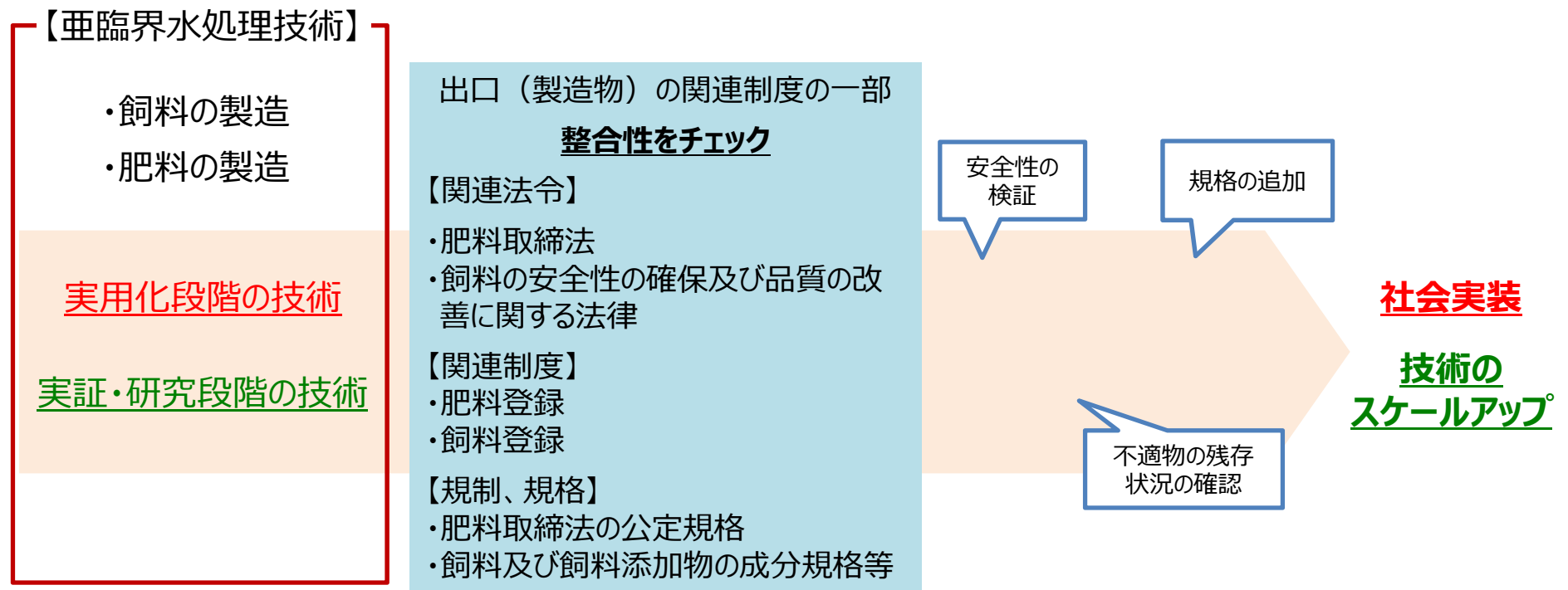


プラスチックなどの飼肥料に向かない原料は分別したケースで整理

- ・ 液肥化は、現時点においては、付加価値の高い出口として商用化されているものの原料は単一なため、多様なバイオマスへの適用性は低い。今後の検証により、多様な食品廃棄物を原料とした製造方法が確立されれば、食品廃棄物の再生利用につながることを期待される。
- ・ 肥料化は、現時点においては、液肥化に比べて付加価値が明確ではないものの、多様なバイオマスへの適用性は高い。今後、肥料の機能が検証されることで、製造物の付加価値を高め、食品再生事業の経営安定に寄与することが期待される。
- ・ 飼料化は、効果の検証はこれからであり、原料も単一（木質バイオマス）なものである。今後、食品廃棄物を原料とした飼料においても機能が検証され、製造物の付加価値を高めることで、食品等の再生事業の経営安定に寄与することが期待される。
- ・ メタン化は、他と比べて、メタン発酵や発電など工程が煩雑であり、インシャルコストも高い。しかし、今後の検証によりプラスチックなどの分解やガス発生量の増が明らかになることで、他と比べても更に多様なバイオマスを受け入れることができ、さらに収益性などの効果へもつながることが期待される。

4. 既存の制度等との整合性に対する課題、対応

- 社会実装のためには、出口側（飼料、肥料などの製造物）に関連する既存の法令、制度、規制や規格との整合性を確認するとともに、整合させるために制度面で対応が必要なもの、技術面でスケールアップなどが必要なものを整理。
- 実証・研究段階にある技術についても、これらを踏まえながら、効率的な技術の実証・研究が必要。



4. 既存の制度等との整合性に対する課題、対応

①食品廃棄物を原料とする飼料製造

関連制度：飼料の安全性の確保及び品質の改善に関する法律 第4条、第23条、他

- 飼料の安全性の確保及び品質の改善に関する法律（昭和28年法律第35号。飼料安全法。）第4条の規定に基づき、**基準に合わない方法により飼料を製造したり、規格に合わない飼料を製造、使用することは禁止**されている。（基準、規格は、飼料及び飼料添加物の成分規格等に関する省令（昭和51年農林省令第35号）に規定）
- 飼料安全法第23条の規定により、農林水産大臣は、有害畜産物が生産され、又は家畜等に被害が生ずることにより畜産物の生産が阻害されることを防止するため、**①有害な物質を含む飼料、②病原微生物に汚染された飼料、③使用の経験が少なく有害でない旨の確証がないと認められる飼料**等の製造等を禁止することができる。
- 飼料品質表示基準に従い配合飼料の代謝エネルギー又は可消化養分総量を表示するに当たり、各原材料の栄養価（飼料の公定規格の備考の別表に収載）を用いて算出することから、配合飼料の原材料として受け入れられるためには、**栄養価の設定が必要**である。

亜臨界水処理技術の導入時の課題、対応

制度面

- (1) これまで亜臨界水処理により食品廃棄物から飼料を製造している事例はなく、飼料としての安全性を確認する必要。なお、木質バイオマスは確認済み。
- (2) BSEの発生防止の観点から、動物由来たん白質の飼料利用には制限
- (3) 配合飼料の原材料として利用が進むためには、成分量（処理される原料）が安定しており、また、消化試験を実施の上、栄養価について公定規格に収載される必要。

技術面

- (1) 配合飼料の原材料として受け入れられるためには、
 - ① 乾燥粉末化が必須
 - ② 生産量、原料内容が安定している必要
 - ③ 栄養価を定めるための家畜を用いた消化試験を実施する必要
- (2) 食品廃棄物の分別手間を解消するため、原料にプラスチック容器が混合される場合は、その分解物の具体的成分と残存量、毒性、畜産物への残留性に係る知見が必要。

4. 既存の制度等との整合性に対する課題、対応

②食品廃棄物を原料とする肥料製造

関連制度：肥料取締法 第4条、第5条、第25条他

- 肥料取締法（昭和25年法律第127号）第4条の規定に基づき、普通肥料を業として生産しようとする者は、**その銘柄ごとに登録を受けなければならない**。（普通肥料の公定規格は、「肥料取締法に基づき普通肥料の公定規格を定める等の件」（昭和61年農林水産省告示第284号）に規定）
- 肥料取締法第5条の規定により、**公定規格が定められていない普通肥料は、仮登録を受けなければならないこととされており、仮登録の申請に当たっては、同法第6条の規定により、植物に対する害に関する栽培試験の結果の提出が必要**。
- 肥料取締法第25条の規定により、**肥料に、その品質を低下するような異物、例えば本法の肥料に該当しない土砂のようなものの混入を禁止**している。

亜臨界水処理技術の導入時の課題、対応

制度面

- (1) これまで亜臨界水処理により食品廃棄物から普通肥料を製造している事例はなく、新たに公定規格を定める必要。このため、
 - ① 肥料の安全性（有害物質による植物・人畜への影響等）が確保されていることを確認できることが必要。
 - ② 肥料成分や異物が混入しない等の品質が確保されていることが確認されることが必要。
- (2) また、食品廃棄物の分別手間を解消するため、原料にプラスチック容器が混合される場合は、分解物も含めてプラスチック等が残存した場合、法第25条の違反となる

技術面

- (1) 肥料の原料・材料として受け入れられるためには、
 - ① 肥料成分及び効果を明らかにする必要。
 - ② 有害成分の分析、植物の栽培試験を実施する必要
- (2) プラスチック容器が混合される場合、その分解物も含めて、具体的な残存成分の検出方法及び残存形態・残存量、さらには肥料効果、植物、人畜への影響に係る知見が必要。