

令和 6 年度
食品ロス削減緊急対策事業
事業実施結果報告書

食品ロス削減緊急対策モデル支援事業

沖縄県内で発生するおからの資源化スケールアップ実証

事業実施者 バイオアルケミー株式会社
対象年度 令和 6 年度

目次

1. 概要	4
1.1 事業の概要	4
1.2 実証の位置づけ	4
1.3 主要成果の整理	5
2. 事業の背景・目的	6
2.1 食品ロス削減と資源循環	6
2.2 おからの発生と再利用上の課題	6
2.3 おからの法的位置づけ	7
2.4 沖縄県における地域的課題	8
2.5 飼料・肥料代替資源の必要性	9
2.6 本事業の目的	9
3. 国内外の産業動向と本事業の位置づけ	10
3.1 海外における社会実装の進展	10
3.2 国内における研究・実装状況	10
3.3 本事業の位置づけ	11
4. 実施体制と関係機関	11
4.1 実施主体	11
4.2 原料供給・装置開発・研究環境	12
4.3 改善を前提とした検討体制	13
5. 実施内容	13
5.1 実施方針	13
5.2 対象原料と前提条件	13
5.3 スケールアップ装置の導入	14
5.4 実施場所の見直しと実証環境整備	14
5.5 年間を通じた運用試験	15
5.6 工程別検証	16
5.7 評価項目とデータ取得	16
5.8 季節変動への対応	17
5.9 高含水原料の取扱い	17
5.10 回収・分離と生成物評価	17
6. おから処理における技術的課題と検討	17

目次（続き）

6.1 原料性状の変動	17
6.2 高含水・腐敗性への対応	18
6.3 スケールアップ時の運転安定性	18
6.4 回収・分離工程	18
6.5 品質確認と利用可能性評価	19
6.6 工程間連携と実装上の課題	19
7. 実証結果	19
7.1 処理期間	19
7.2 減量化	19
7.3 運転安定性と再現性	20
7.4 回収・分離性	20
7.5 第三者分析	20
7.6 実証結果の総括	21
8. 食品ロス・CO2 削減効果と波及効果	22
8.1 食品ロス削減量の試算	22
8.2 CO2 削減効果の試算	22
8.3 地域内資源循環への効果	22
8.4 横展開の考え方	23
9. 事業成果・効果の検証方法	23
9.1 基本方針	23
9.2 処理性能の評価	24
9.3 生成物品質の評価	24
9.4 環境効果の評価	24
9.5 スケールアップ適合性の評価	24
10. 課題と今後の展望	25
10.1 本事業で認識した課題	25
10.2 今後の展開	26
11. まとめ	26
12. 参考資料	27

1. 概要

1.1 事業の概要

本事業は、沖縄県内で継続的に発生する豆腐製造副産物であるおからを対象に、生物処理による資源化技術のスケールアップ実証を行ったものである。対象原料は県内豆腐製造事業者から発生する高含水のおからであり、当社が複数年にわたり蓄積してきた処理実績を基盤として、より大きな処理規模への展開を見据えた装置導入、実証環境整備、運用試験、評価方法の整理を一体的に進めた。

本事業で重視したのは、単に「生物処理ができるか」を確認することではない。食品製造現場から原料を受け入れ、一定期間の処理を行い、生成物を回収・分離し、その品質を確認するまでの一連工程を、実運用に近い条件で成立させられるかを検証した。社会実装では、前段の処理性能だけでなく、原料の搬入・保管、装置への投入、作業負荷、回収性、品質、周辺環境への配慮などが同時に成立する必要があるためである。

令和 6 年度の事業期間を通じ、多数の反復運用を行い、季節変動や原料性状の揺らぎを含む条件下でデータを蓄積した。結果として、処理期間の短縮、残渣の大幅な減量化、生成物の栄養成分、運転上の重点確認項目等について、次段階の社会実装に接続できる基礎情報を得ることができた。

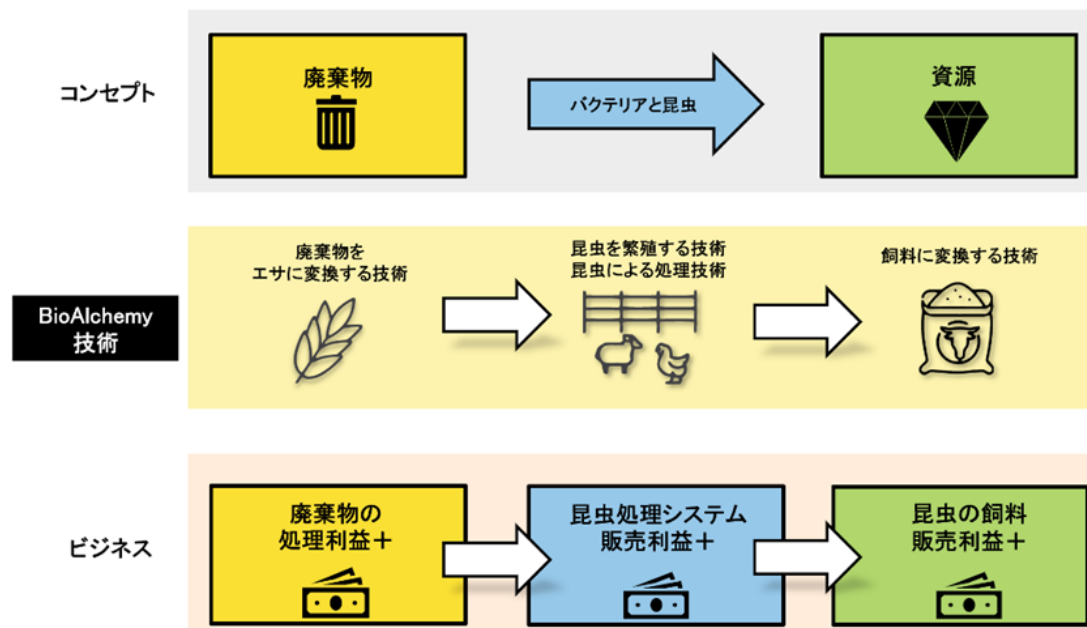


図 1 資源循環モデルと事業コンセプト

1.2 実証の位置づけ

本事業は、基礎研究の開始を目的としたものではなく、これまでに得られていた知見を、実際の食品製造副産物を継続的に取り扱う環境へ移し、処理規模を拡大する際の成立性を検証する段階として位置づけた。したがって、評価対象は生物の成長そのものに限らず、運転の安定性、回収性、生成物品質、環境負荷低減効果、作業性などを含む。

特に、高含水で腐敗しやすいおからを継続的に扱う場合、原料の状態は日々一定ではない。製造直後から性状が変化しやすく、保管・搬送・投入までの時間や周辺環境の影響も受ける。このような

実際の原料を用いて通年で検証した点は、研究室レベルの単発試験とは異なる本事業の重要な特徴である。

また、装置導入と運用試験を並行して進めることで、装置単体の性能だけでなく、原料受入れから生成物回収までの「処理系全体」を見直した。これにより、処理規模を拡大する際に必要となる工程連携、作業性、設備運用上の論点を整理し、工程横断での実装検証を進めた。

本事業の評価視点

本事業では、処理性能だけでなく、生成物品質、環境負荷低減、安定運転、回収・分離の実用性、社会実装に向けた工程連携を一体的に評価した。

1.3 主要成果の整理

項目	本事業で確認・整理した内容	本事業での評価上の意味
継続実証	複数年の既存知見を基盤に通年で反復運用	単発試験ではなく通年での安定性を評価
処理期間	多くの試験で 7～10 日前後で目標状態への到達を確認	処理速度と運用回転性の主要指標
減量化	条件により残渣減量率が最大 80%以上	食品副産物処理量の削減効果を示す指標
回収・分離	実用性を評価できる高い回収性・分離性を確認	後段工程の実用性を評価
生成物品質	第三者分析で乾物換算粗タンパク質 56.2%等を確認	資源利用可能性を検討する基礎
環境効果	一定の運転モデルで年間約 150t の食品ロス削減、約 32.7t-CO ₂ /年の削減可能性を試算	社会・環境面の波及効果を評価
実装準備	規模拡大に向けた設備・運用上の論点を整理	規模拡大に向けた工程・設備上の論点を整理

成果検証フレーム

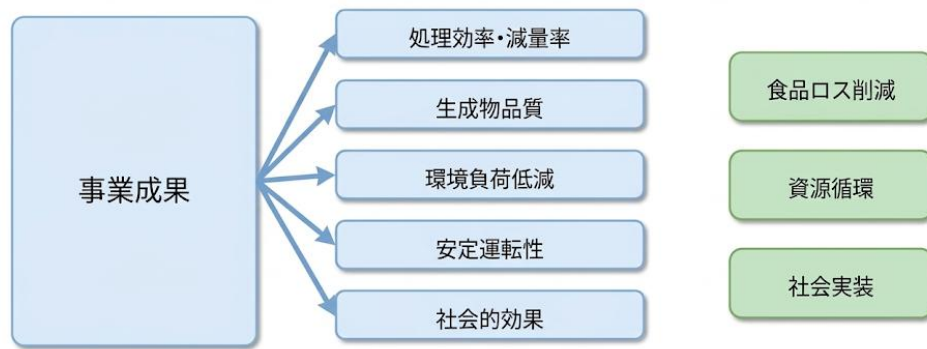


図 2 成果検証フレーム

2. 事業の背景・目的

2.1 食品ロス削減と資源循環

食品ロス削減は、食品を作り過ぎない、売れ残りを減らすといった発生抑制だけで完結する課題ではない。食品製造では、製品を作る過程で一定量の副産物が不可避免的に発生するため、発生を抑える取組と並行して、やむを得ず生じる未利用資源をどのように循環させるかが重要である。

2023 年度の食品ロス量は約 464 万トンと推計されている。食品廃棄物を焼却・処分する場合には、収集運搬、保管、処理設備、エネルギー等の負担が発生する。他方、食品副産物には栄養成分や有機物が残されていることが多く、適切な方法で再資源化できれば、廃棄物処理と資源供給の双方の課題に働きかけることができる。

本事業は、この「処分対象から資源へ」という考え方を、沖縄県内で継続的に発生するおからを対象に具体化したものである。単なる減量化ではなく、処理後に飼料・肥料等の原料として利用可能な資源へ転換できるかを含めて評価した点に特徴がある。

2.2 おからの発生と再利用上の課題

おからは、豆腐・豆乳の製造工程から発生する代表的な食品製造副産物であり、国内では年間約 66～70 万トン規模が発生すると整理されている。栄養成分を含む一方で、水分率が高く、腐敗や品質変化が進みやすいため、保管・輸送・再利用の制約が大きい。

おからの課題は「食べられる素材なのに使われていない」という単純な問題ではない。発生場所と利用場所が離れている場合には、水分を大量に含んだ状態で輸送する必要があり、重量当たりの物流効率が低い。さらに、日々まとまった量が発生するため、受入先が一時的に途切れただけでも保管スペースや処理費の負担が急増する。こうした性質から、継続的・安定的な再利用ルートを構築することが難しい。

おからの再利用が難しい理由は、発生量、水分、保存性、物流、利用先という複数の条件が相互に関係している点にある。豆腐製造に伴って日々発生する一方、利用側の受入量やタイミングは必ず

しも発生側と一致しない。高含水で長期保管に向かない原料では、この需給の時間的なずれを在庫として吸収することが難しく、安定した処理先を確保できない場合には短期間で処理負担が顕在化する。

そのため、おからの資源化には、単に有用成分を取り出す技術だけではなく、継続的に受け入れられること、原料状態の変動を前提として運転できること、比較的短期間で処理できること、処理後の生成物を安定して回収し利用へ接続できることが求められる。本事業では、これらを個別の課題としてではなく、一連の運用系として検証した。

また、食品製造副産物の資源化では、処理技術の性能だけでなく、排出事業者にとって日常業務の中で無理なく引き渡せることも重要である。原料供給側の製造工程を大きく変更しなければ成立しない仕組みでは継続利用が難しいため、本事業では実際の製造現場から発生する原料を用い、受入れから処理までの実務性を含めて評価した。

観点	おからの特徴	再利用上の課題
発生	豆腐製造に伴い継続的に発生	製造を継続する限り処理が必要
水分	高含水で重量が大きい	輸送・保管効率が低い
保存性	時間経過で性状が変化しやすい	迅速な受入れ・処理が必要
用途	栄養成分を含む	品質・衛生・安定供給の確認が必要
処理	再利用先が不足すると廃棄処理に依存	処理コストと環境負荷が発生

また、沖縄県内で対象とした生絞り由来のおからは、一般的な加熱工程を経たおからとは製造工程が異なり、保存性や品質管理の観点から、より慎重な取扱いが必要な原料として位置づけた。

2.3 おからの法的位置づけ

おからの再利用を考える際には、技術面だけでなく、廃棄物としての法的位置づけも重要である。最高裁判所平成 11 年 3 月 10 日第二小法廷決定、いわゆる「おから事件」では、物の性状、排出の状況、通常の取扱い形態、取引価値の有無、事業者の意思等を総合的に勘案して「不要物」に該当するかを判断する考え方が示された。

この判例から、本来利用可能な成分を含む副産物であっても、実際の取引形態や処理実態によっては廃棄物として扱われ得ることが分かる。したがって、資源循環を進めるためには、単に技術的に処理できるだけではなく、安定した品質、継続的な利用先、適正な取引・管理の仕組みまで含めて整備する必要がある。

本事業では、技術実証によって「処理できる」ことを確認するだけでなく、生成物の第三者分析や環境効果の評価を行い、将来の資源利用に向けた根拠を積み上げることを重視した。これは、おからを処理対象から資源へ転換する上で、技術と制度・市場の両面が必要であるとの認識に基づく。

2.4 沖縄県における地域的課題

沖縄県は豆腐文化が根付いた地域であり、県内では継続的におからが発生する。県内では年間約 2,400 トンのおからが廃棄物として処理されていると推計されている。さらに、離島県であることから、廃棄物や再資源化原料を長距離輸送する場合のコスト負担が大きく、地域内で循環させる仕組みの重要性が高い。

沖縄では、廃棄物処理施設の容量や搬送条件も本土とは異なる。高含水の副産物を遠方まで運び、焼却等で処理する仕組みだけに依存すると、物流・処理の双方で負担が大きくなる。そのため、発生場所の近くで処理し、地域内で再資源化する分散型の考え方には一定の合理性がある。

また、亜熱帯気候は生物処理にとって利点となる面がある一方、高温多湿による原料の変質や運転環境への影響もある。年間を通じた運転を実際に行うことで、単純に「温暖だから有利」と評価するのではなく、季節ごとの運転上の留意点を整理する必要があることが確認された。

沖縄県で地域内資源循環を成立させるためには、処理設備だけを単独で整備するのではなく、原料発生場所との距離、日々の搬入、処理後資源の利用先までを一体として考える必要がある。とくに高含水原料は重量の多くを水分が占めるため、長距離輸送を前提とするよりも、発生地域の近くで資源化する方が運用上の合理性を持ちやすい。

一方で、地域内処理には設置場所、周辺環境、作業動線、保管スペースなどの条件が伴う。本事業期間中に実施場所の見直しが必要となった経験からも、処理技術の成立性と立地・運用条件は切り離して考えられないことが明確になった。沖縄での実証は、技術性能だけでなく、地域条件の中で継続運用できる仕組みを検討する意味を持つ。

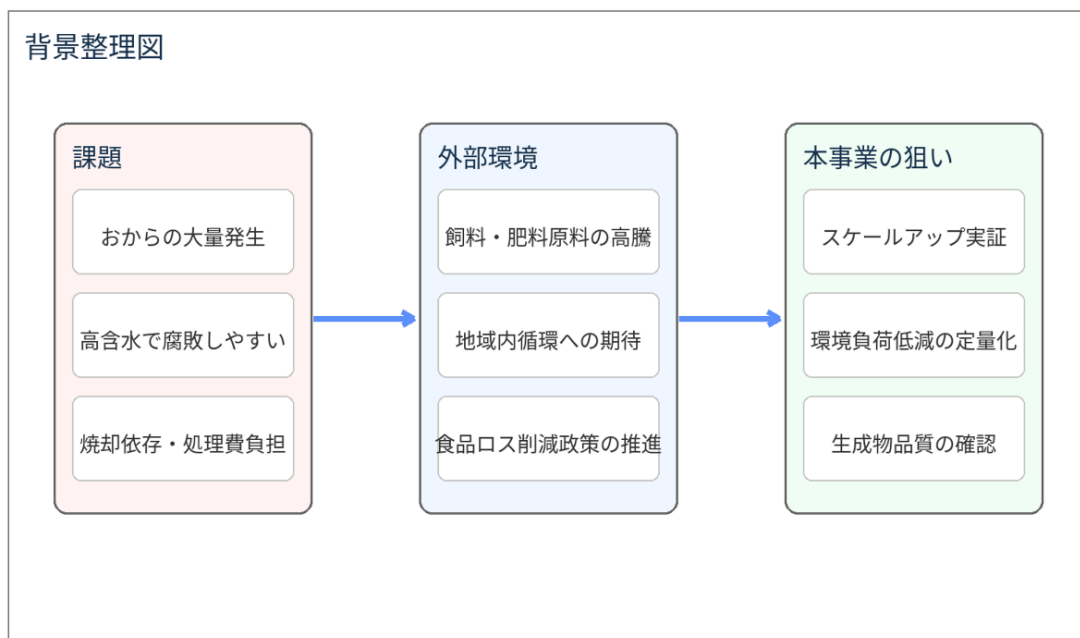


図 3 背景整理図

2.5 飼料・肥料代替資源の必要性

近年、飼料・肥料の価格変動は、農業・畜産・養殖事業者の経営に大きな影響を与えている。とりわけ輸入原料への依存度が高い分野では、国際市況、為替、輸送費等の影響を受けやすい。国内で

継続的に発生する食品副産物を原料として、飼料・肥料に利用可能な資源を生産できれば、食品ロス削減と原料調達リスクの双方に働きかけることができる。

本事業では、処理後に得られた生成物について第三者機関による一般成分分析を行い、飼料原料としての利用可能性を検討する基礎データを得た。なお、本事業の分析は一般成分を中心としたものであり、個別用途への適合性や最終製品としての安全性を包括的に保証するものではない。実際の用途展開に当たっては、関係法令、用途別の品質規格、必要な追加分析等を踏まえた検討が必要である。

2.6 本事業の目的

以上を踏まえ、本事業では、沖縄県内で発生する高含水のおからを対象として、生物処理・資源化技術をより大きな処理規模へ展開するための実証を行い、次段階の社会実装に必要な基礎情報を取得することを目的とした。

1. 食品製造副産物を継続的に受け入れ、安定して処理・減量化できるかを確認する。
2. 処理後に得られる生成物の回収性と品質を確認し、資源利用の可能性を評価する。
3. 装置導入、作業動線、工程間連携を含む実運用上の課題を整理し、規模拡大に向けた基礎を整える。
4. 食品ロス削減量と CO2 排出削減効果をモデル試算し、社会・環境面での効果を整理する。

本事業は、各項目について一つの最高値を追求することではなく、処理性能、安定運転、回収性、品質、環境効果のバランスを確認する実証として設計した。

3. 国内外の産業動向と本事業の位置づけ

3.1 海外における社会実装の進展

有機性副産物を昆虫等の生物機能によって処理し、タンパク質や有機質資源へ転換する技術は、海外では研究段階から商業化段階へ移行しつつある。欧州やアジアを中心に大規模な商業生産施設が整備され、自動化、垂直多段化、環境制御、データ管理等を組み合わせた生産システムの開発が進んでいる。

この動きの背景には、養殖・畜産向けの代替タンパク質需要、食品・農業副産物の再資源化ニーズ、廃棄物処理負担の低減、循環経済への投資拡大がある。すなわち、昆虫由来資源は「飼料原料を生産する産業」と「有機物を処理する産業」の両方の性格を持ち得る。

一方、海外の大規模事業は、地域ごとに入手しやすい原料、気候、規制、販売先が異なり、そのまま沖縄へ移植できるものではない。とくに高含水で保存性の低いおからを主原料とする場合、原料供給と処理設備の距離、日々の受入れ、運転環境、回収工程等を地域条件に合わせて設計する必要がある。

3.2 国内における研究・実装状況

国内では、大学・研究機関等を中心に、昆虫を利用した有機物処理や飼料化に関する研究が進められている。一方、研究室規模で成立する条件を、継続的に発生する食品副産物の処理へ移行する際

には、物量、作業性、季節変動、原料品質、周辺環境、回収・分離など、研究室試験とは異なる課題が生じる。

本事業では、この研究から実装への間に存在するギャップを埋めることを重視した。複数条件を通年で反復し、結果を装置や運用の見直しへ戻すことで、単発試験では把握しにくい課題を抽出した。

研究段階から社会実装段階へ移行する際には、処理対象となる量が増えるだけではない。原料の受入れ、保管、投入、複数処理単位の管理、回収、清掃、品質確認など、研究室では個別に扱うことができた作業が連続した工程として発生する。そのため、スケールアップは単純な寸法拡大ではなく、工程数と運用上の接点が増える過程でもある。

さらに、社会実装では一回の成功よりも、繰り返し運転した際の再現性と異常時の扱いやすさが重要になる。設備能力が十分であっても、日常作業の負荷が大きい、回収工程が滞る、原料変動に弱いといった問題があれば、継続的な事業運転は難しい。本事業では、こうした実装段階特有の評価軸を意識して試験を進めた。

この観点から、本事業の成果は特定の最適条件を得たことだけではなく、研究成果を実際の食品副産物処理へ移す際に、どの工程を同時に評価すべきかを整理したことにもある。処理性能、設備、作業、品質、環境影響を同じ運用系の中で確認したことが、次段階の実証に向けた基礎となった。

段階	主な評価対象	本事業で重視した点
基礎研究	生物の成長、基質適性、基本反応	既存知見として活用
パイロット実証	反復性、原料変動、作業性	通年の運用試験で確認
社会実装準備	工程連携、設備、品質、環境影響	本事業で論点整理
商業運転	安定連続運転、コスト、供給・販売	今後の実装段階で検討

3.3 本事業の位置づけ

バイオアルケミー株式会社は、OISTにおける研究成果を基盤として設立され、食品廃棄物や有機性副産物の再資源化技術について研究・実証を進めてきた。本事業では、既存の複数年の経験を前提に、おからという地域課題の大きい原料へ対象を絞り、装置・運用・品質・環境効果を一体で評価した。

本事業では、特定の装置や単一条件のみを評価するのではなく、原料の変動を含む実運用環境で複数の工程をつなぎ、処理系全体として安定運転へ近づけることを重視した。

本事業の位置づけ

基礎研究の成果を「実際の食品副産物を継続処理する運用」へ移し、次段階の社会実装に必要な論点を整理するパイロット・スケールアップ実証。

4. 実施体制と関係機関

4.1 実施主体

本事業の実施主体はバイオアルケミー株式会社であり、研究開発、実証試験、試験運用、モニタリング、データ取得、工程改善、成果整理を一体的に進めた。現場試験とデータ整理を分断せず、試験で得られた結果を次の運用や装置改善へ反映する短い改善サイクルを重視した。

事業期間中には、原料供給、装置、試験、分析、成果整理の各要素を並行して進める必要があった。そのため、研究担当だけで完結する体制ではなく、原料排出事業者、設備開発事業者、研究環境等との連携を組み合わせた。

4.2 原料供給・装置開発・研究環境

原料面では、県内豆腐製造事業者との連携により、日常的に発生するおからを継続して受け入れ、実際の発生条件に即した試験を行った。これにより、均一な研究用基質ではなく、製造現場から継続的に発生する原料を扱う際の課題を評価できた。

装置面では、株式会社アイセル沖縄とスケールアップ装置の設計・構築・改良に関する技術協議を行った。限られた設置面積の有効活用、作業性、清掃性、保守性、将来の拡張性等を含めて検討し、実証結果を設備面の改善へ反映した。

また、OISTの入居環境を活用し、試作・改良や分析に必要な研究基盤を利用した。これにより、試験結果を比較的短い期間で装置・工程の見直しへ戻すことができた。

区分	主な役割	本事業での位置づけ
バイオアルケミー株式会社	実証、データ取得、工程改善、成果整理	事業主体
県内豆腐製造事業者	おから供給、搬入調整	原料供給・搬入に関する連携
株式会社アイセル沖縄	装置設計・構築・改良	装置設計・構築・改良に関する技術連携
OIST 入居環境	共通設備・試作環境の活用	研究・試作環境の活用

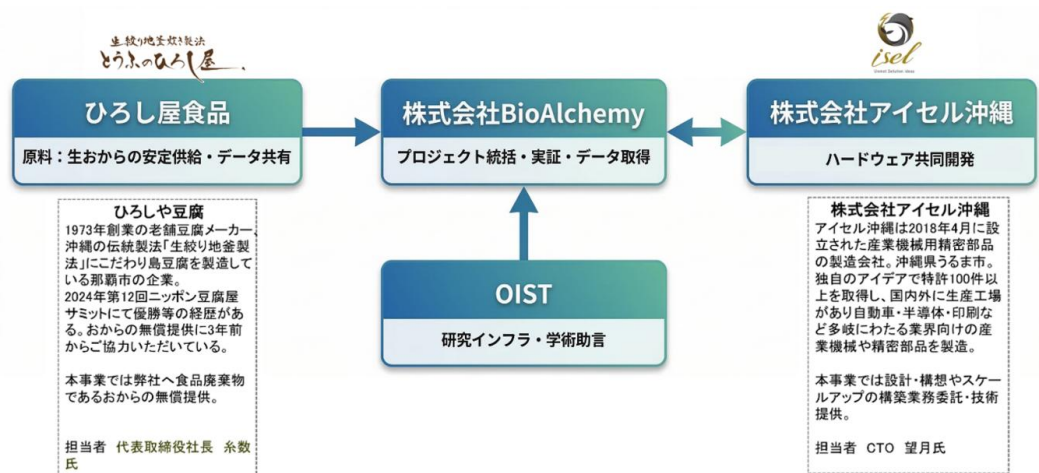


図4 実施体制の概要

4.3 改善を前提とした検討体制

本事業では、定期会議の回数そのものではなく、実証で生じた課題を必要な関係者と迅速に共有し、改善へ反映することを重視した。原料受入れ、設備、環境、回収、品質等、論点ごとに必要な担当者と協議し、その結果を次の試験へ反映した。

この個別協議型の進め方により、机上の設計と現場運用のずれを小さくし、装置だけでなく処理系全体の改善を進めることができた。とくに、原料状態、設備条件、作業性の相互関係を短いサイクルで確認できたことが、実証の継続性向上につながった。

5. 実施内容

5.1 実施方針

本事業では、食品製造現場から発生するおからを継続的に受け入れ、生物処理を経て生成物を回収・評価するまでの全体工程を実証対象とした。処理工程の一部だけが成立しても、前後工程の作業性や品質に問題があれば社会実装にはつながらないため、工程横断で評価した。

実施内容は、大きく「原料受入れ・状態確認」「処理前の準備」「生物処理」「回収・分離」「生成物の品質確認」「データ整理・改善」に区分できる。各工程を個別に評価するだけでなく、工程間のつながりと全体運用への影響を含めて検証した。

実施内容の参考図

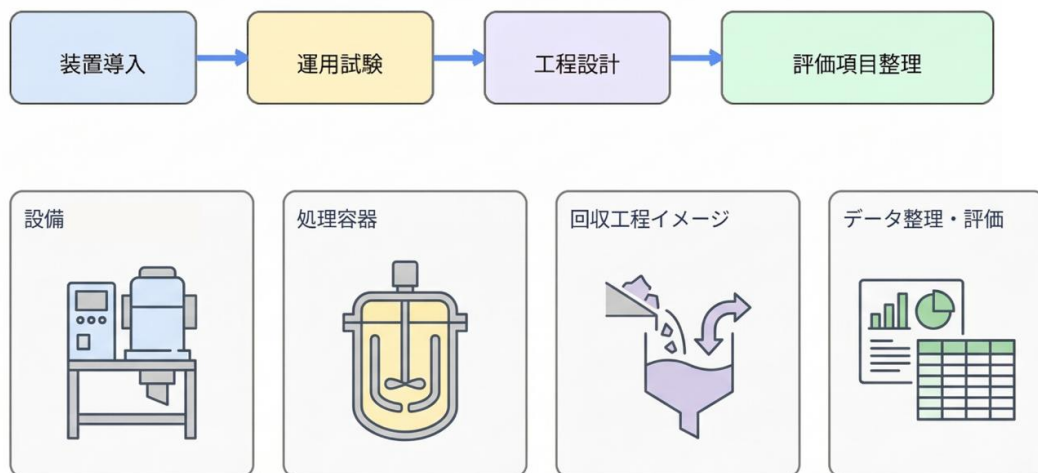


図 5 実施内容の参考図

5.2 対象原料と前提条件

対象原料は県内豆腐製造事業者から発生する高含水のおからとした。製造現場から日々発生する原料は、研究用に均質化された材料とは異なり、時間経過、製造条件、保管条件等によって性状が変動する。この変動を前提として処理系を設計することが、実装に向けた重要な条件である。

本事業では、受入れ時の状態、保管中の変化、処理工程への影響を継続的に観察し、どのような状態変化が運転安定性や回収工程に影響するかを整理した。こうした観察結果を、原料受入れ時の確認方法や後段工程の改善に反映した。

5.3 スケールアップ装置の導入

処理規模の拡大に向け、実証用のスケールアップ装置を導入した。装置の検討では、単純に処理容器を大型化するのではなく、複数の処理単位を効率的に運用し、投入・回収・点検・清掃が継続できる構成を重視した。

装置開発においては、設置面積、作業動線、構造強度、メンテナンス性、将来の拡張性等を検討した。生物処理は、装置のスペックだけで性能が決まるものではなく、原料、処理環境、作業工程との統合が必要であるため、運用試験から得た知見を装置側へフィードバックした。

装置導入後は、実際の運用を通じて作業動線、投入・回収のしやすさ、点検・清掃時の扱いやすさを確認し、設備と運用の双方から改善点を整理した。

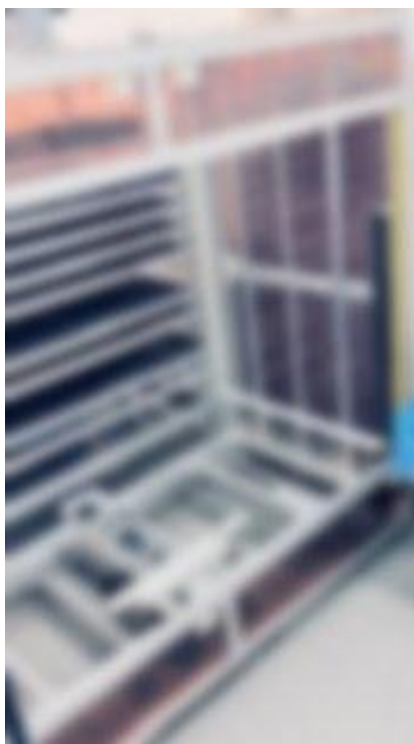


写真 1 実証用スケールアップ設備

5.4 実施場所の見直しと実証環境整備

当初は原料供給元に近接した場所での設備設置を想定していたが、事業期間中に候補地の利用条件が変化し、実施場所の見直しが必要となった。そのため、当社拠点を中心とする実証環境へ切り替え、装置配置、原料搬入、処理、回収、記録の各作業が継続できるよう環境を再構成した。

この変更により、当初想定とは異なる制約下で実証を進めることとなったが、限られた空間の中で処理系を成立させるための作業動線や設備配置を見直す機会ともなった。社会実装では理想的な専用施設だけでなく、既存施設や限られた敷地へ導入する場面も想定されるため、実施場所の変更を含む現場対応は実装面で有用な経験となった。

5.5 年間を通じた運用試験

本事業では、単発の最良条件を得ることよりも、季節や原料の変化を含む環境で反復運転し、安定性を確認することを重視した。事業期間を通じて多数の試験を繰り返し、処理期間、回収量、残渣状態、周辺環境、作業性等を継続的に記録した。

事業前半には既存方式を用いた運用を継続し、装置導入後は新たな設備を用いた検証へ移行した。これにより、設備導入前後で何が改善し、どの課題が残るかを確認することができた。運用試験の価値は、試験回数そのものではなく、反復する中で結果のばらつきや異常事象を把握し、改善へつなげた点にある。

反復運転では、良好な結果だけでなく、原料状態や季節、作業状況の違いによって結果が変動する場面も記録した。こうしたデータは、単発試験では「例外」として扱われやすいが、商業運転では日常的に起こり得る変動である。結果のばらつきを含めて把握することで、どの変動が繰り返し現れるのか、どの工程で早期に兆候を捉えるべきかを整理できる。

また、運用の安定性は平均的な処理性能だけで決まるものではない。状態が変化した場合に作業者が把握しやすいこと、必要な見直しを行った後に運転を継続できること、点検・清掃を含めて日常業務として回せることも重要である。本事業では、処理結果と作業上の観察を併せて残すことで、継続運転の評価につながる記録体系を整えた。

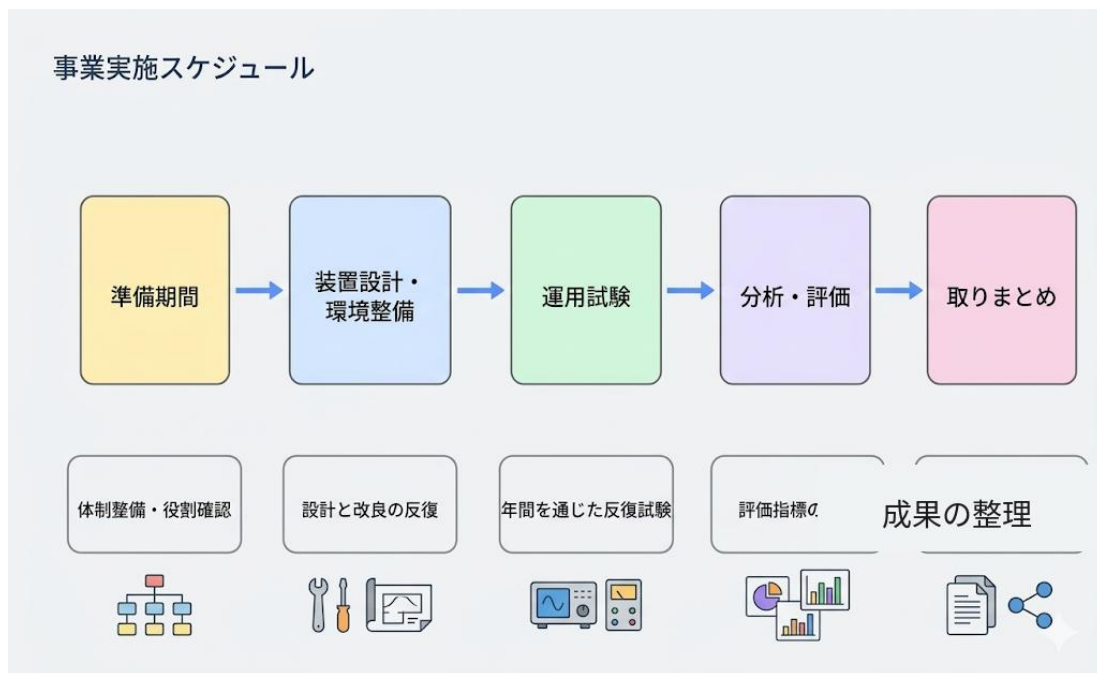


図 6 事業実施スケジュール

5.6 工程別検証

工程別には、原料受入れ、処理前準備、生物処理、回収・分離、乾燥・品質確認までを対象とした。前工程の状態が後工程へ影響するため、各工程を独立に最適化するのではなく、全体として安定するかを評価した。

工程	主な確認観点	主な評価内容
原料受入れ	状態確認、保管、搬入の実務性	原料変動と運転への影響を確認
処理前準備	均一性、取り扱い性、処理への適合	処理適合性と作業性を評価
生物処理	処理期間、安定性、周辺環境への影響	処理期間、安定性、周辺環境への影響を評価
回収・分離	回収性、作業性、残渣の扱いやすさ	後段工程の成立性と作業性を評価
乾燥・品質確認	保存性、分析サンプル、成分確認	品質確認と第三者分析により評価

全体運用	作業動線、ボトルネック、改善点	工程間のつながりと改善点を整理
------	-----------------	-----------------

5.7 評価項目とデータ取得

各試験では、原料の状態、処理期間、回収量、残渣量、生成物品質、周辺環境、作業性等を共通の観点で記録した。目的は、単に「育った／育たなかった」「減った／減らなかった」という印象評価ではなく、複数の試験を比較できる形でデータを残すことである。

スケールアップ実証では、処理速度だけを最大化しても実装できない。例えば、処理が速くても回収工程に過大な作業が必要であれば運転コストが増える。また、減量率が高くても周辺環境への影響が大きければ継続運転は難しい。このため、処理性能、回収性、品質、周辺環境、作業性を総合的に評価した。

各評価項目は独立しているわけではない。処理期間を短縮することができても、回収性や品質が低下すれば全体としての実用性は高まらない。また、生成物品質が良好でも、原料受入れや後処理に過大な作業を要すれば、継続運転の負担となる。このため、本事業では一つの指標を最大化するのではなく、複数指標のバランスを見る考え方を採用した。

この総合評価の考え方は、将来処理規模を拡大する際にも重要である。規模拡大によって新たに生じる制約が、処理性能、設備、作業性、品質のどこに現れるかを把握し、工程全体として改善する必要がある。本事業で蓄積したデータは、その判断を行うための基礎となる。

5.8 季節変動への対応

沖縄の気候は年間を通じて比較的温暖であり、生物処理に有利な側面がある。しかし、夏季の高温多湿、冬季の気温低下など、季節ごとに運転へ異なる影響が生じる。事業期間を通じて試験を継続したことで、短期実験では把握しにくい季節変動の影響を整理した。

季節変動を前提に運転条件を見直す必要があること、原料状態と設備環境の双方を確認すること、異常兆候を早期に捉えて運用へ反映することが重要であると整理した。

5.9 高含水原料の取扱い

高含水のおからは、時間経過に伴う性状変化が早く、処理工程の安定性に影響しやすい。実証では、受入れから処理開始までの管理、原料状態の確認、処理中の変化、回収工程への影響を継続的に観察した。

その結果、高含水原料の処理では、生物の成長だけでなく、原料の物性、周辺環境、回収・分離までを一体で考える必要があることが明確になった。複数要因を総合的に評価することで、高含水原料に適した運用方針を整理した。

5.10 回収・分離と生成物評価

処理後には、生成物と残渣を適切に回収・分離し、用途に応じて扱える状態にする必要がある。おからは高含水であるため、処理状態によっては後段の分離が難しくなる。このため、前段の処理性能だけでなく、回収・分離まで含めて実用性を評価した。

複数回の実証を通じて、高い回収性・分離性を確認し、後段工程が社会実装上の重要な評価対象であることを整理した。回収・分離工程の評価結果は、前段の処理状態や作業負荷の見直しにも反映した。

回収した生成物については、日本食品分析センターによる一般成分分析を実施し、乾物換算で粗タンパク質 56.2%、粗脂肪 22.4%、粗灰分 7.2%を確認した。これにより、利用可能性を検討するための客観的な基礎データを得た。

6. おから処理における技術的課題と検討

6.1 原料性状の変動

食品製造副産物を実用的に処理する際の第一の課題は、原料が完全に一定ではないことである。おからは同一工場から発生する比較的均質な副産物であるものの、製造ロット、経過時間、保管状態等により性状が変化する。小規模な研究試験では原料条件を固定できるが、実運用ではこの変動を受け入れながら処理する必要がある。

本事業では、原料の変動を「例外」として排除するのではなく、通常運転で発生する前提条件として扱った。結果として、原料状態を確認し、その変化を後段の処理結果と関連付けて記録することの重要性が明確になった。

6.2 高含水・腐敗性への対応

高含水原料では、保管中の性状変化、臭気、カビ等への配慮が必要である。これらは処理性能だけでなく、作業環境や回収工程にも影響するため、単一の指標で管理することは難しい。

高含水原料に対して複数の前処理・調整方法を比較検討し、処理状態や後段工程への影響を確認した。その結果、実運用上の重点確認項目を整理し、原料状態に応じて工程全体を調整する必要性を確認した。

6.3 スケールアップ時の運転安定性

処理規模を大きくすると、研究室レベルでは顕在化しなかった偏りや局所的な状態変化が生じやすくなる。複数の処理単位を同時に運転する場合、同じ条件を設定しても、位置や投入状態の違いにより結果に差が生じることがある。このため、量産化では「均一に運用する能力」自体が性能の一部になる。

本事業では、通年の反復運転を通じて、スケールアップ時に重点的に確認すべき論点を整理した。とくに、処理単位間のばらつきや局所的な状態変化を把握し、異常兆候を早期に捉えて運用へ反映することの重要性を確認した。

処理単位が増えると、個々の処理結果の差が設備全体の処理能力や作業計画へ影響する。したがって、規模拡大では個々の処理単位で高い性能を得ることに加え、複数単位を同じ手順で取り扱い、結果のばらつきを管理できることが求められる。これは装置構造だけで解決できる問題ではなく、原料受入れ、作業手順、点検、記録を含む運用設計の課題である。

本事業では、設備と運用を分けて評価せず、実際の作業を通じて相互の影響を確認した。この結果、規模拡大に向けては、処理能力そのものと同時に、作業の再現性、保守・清掃のしやすさ、結果を比較できるデータ取得の仕組みを整えることが重要であると整理した。

6.4 回収・分離工程

社会実装では、処理後の生成物を安定して回収できることが不可欠である。処理前半の減量・成長が良好であっても、回収・分離に過大な時間や人手を要する場合、設備全体の稼働率は低下する。高含水原料を扱う本事業では、後段工程の作業性を独立した評価項目として扱った。

実証の結果、回収・分離工程について実用化に向けた成立性を確認した。一方、その性能は前段の原料状態や処理後の性状と密接に関連するため、後段だけを切り離して最適化するのではなく、全工程として設計する必要があることが分かった。

6.5 品質確認と利用可能性評価

生成物を資源として利用するためには、量だけでなく品質を確認する必要がある。本事業では、第三者機関による一般成分分析を行い、粗タンパク質、粗脂肪、粗灰分等を確認した。これにより、処理後に得られる生成物が単なる残渣ではなく、栄養成分を有する資源であることを客観的に示す基礎が得られた。

一方、飼料・肥料として実際に製品化・販売する場合には、用途ごとに必要な規格、法令、追加分析、品質保証等を別途満たす必要がある。本事業の一般成分分析結果だけをもって、すべての用途に対する安全性や適合性を断定するものではない。

6.6 工程間連携と実装上の課題

本事業では、個々の工程を個別に成立させるだけでなく、原料受入れ、処理、回収・分離、品質確認までを一つの運用系としてつなぐことが重要であることを確認した。前段の状態は後段の作業性や品質に影響し、後段で生じた課題を前段へ戻して見直す必要があるためである。

このため、運用試験では、処理性能だけでなく、作業動線、原料変動、季節影響、回収性、設備の扱いやすさを同時に確認し、工程間の相互作用を整理した。こうした工程横断の評価により、社会実装へ移行する際に優先して改善すべき論点を明確にすることができた。

7. 実証結果

7.1 処理期間

事業期間中の多数の反復試験では、条件が適合した複数の試験において、投入後 7～10 日前後で目標状態へ到達することを確認した。一般的な文献や既存試験で 14～21 日程度を要するとされる条件と比較すると、処理・育成期間をおおむね 2 分の 1 から 3 分の 1 程度へ短縮し得る成果である。

処理期間の短縮は、同一設備で年間に実施できる運転回数、必要な保有スペース、作業回転、原料滞留時間等に影響するため、社会実装上の重要な成果である。

7.2 減量化

処理後の残渣量については、条件により大幅な減量化が確認され、最大で80%以上の減量率に達するケースがあった。また、目視上でも固形残渣がごく少ない状態となる試験が確認された。

この成果は、食品副産物の処理量そのものを減らすだけでなく、後段の残渣保管、運搬、清掃等の負担軽減につながる可能性がある。一方、減量率だけを高くすることが最終目的ではなく、生成物の回収量や品質、運転安定性とのバランスが重要である。

7.3 運転安定性と再現性

通年の反復運転を行ったことで、単回の最高値だけではなく、条件の揺らぎがある中でどの程度安定して運転できるかを評価できた。結果として、複数回の試験で処理期間や減量化の傾向を再確認し、次段階のスケールアップ検討に必要な基礎データを蓄積した。

また、良好な結果だけでなく、原料状態や季節、装置・作業条件によって結果が変動する場面も記録した。こうした変動を含むデータは、商業運転で起こり得る問題を事前に把握し、標準作業や設備設計へ反映するために重要である。

7.4 回収・分離性

回収・分離工程では、複数回の実証を通じて高い回収性と分離性を確認し、社会実装に向けた後段工程の成立性を確認した。

この工程が重要なのは、処理後に得られた資源を用途別に扱うためである。処理性能が高くても、回収に過大な作業を要する場合、連続運転のボトルネックとなる。本事業では、処理と回収を一体で評価する必要性を確認した。

7.5 第三者分析

生成物について、日本食品分析センターによる一般成分分析を実施した。分析結果は以下のとおりである。

分析項目	現物ベース	乾物換算	位置づけ
水分	30.4%	-	試料状態の確認
粗タンパク質	39.1%	56.2%	飼料原料としての栄養評価の基礎
粗脂肪	15.6%	22.4%	エネルギー成分の基礎
粗灰分	5.0%	7.2%	無機成分の基礎
粗繊維	5.9%	8.5%	繊維成分の基礎

粗タンパク質は、分析機関の標準的な窒素換算法による「粗タンパク質」の値であり、個別アミノ酸組成や消化率を直接示すものではない。本事業では、第三者分析によって栄養成分を客観的に確認できたことを成果として位置づける。

この結果は、生成物の利用可能性を検討する上で重要な基礎データである。実際の用途展開に当たっては、対象用途ごとの法令・規格、品質管理、追加分析等を踏まえて評価する必要がある。

7.6 実証結果の総括

本事業では、高含水のおからを対象に、処理期間の短縮、残渣の大幅な減量化、高い回収・分離性、生成物の栄養成分確認、通年での運転データ取得を実現した。これにより、研究室内の基礎検討から、実運用を想定したスケールアップ検証へ進むための基礎が整った。

なお、7～10 日前後の処理期間や最大 80%以上の減量率は、すべての原料状態・すべての運転条件で一律に得られることを意味するものではない。実際の食品製造副産物は状態が変動するため、成果値は適合した条件で確認された性能として捉え、反復運転による傾向や変動幅と併せて評価する必要がある。

本事業では、このように成果値と運転の再現性を区別して整理した。高い性能を確認できたことに加え、どのような評価項目を継続して記録すべきか、処理性能と後段工程をどのように関連付けて評価すべきかを明確にしたことが、社会実装に向けた実証としての成果である。

分類	主な成果
処理性能	多くの試験で 7～10 日前後で目標状態への到達を確認
減量化	最大 80%以上の残渣減量を確認
安定運転	通年の反復運転により、変動を含む運用データを蓄積
回収・分離	実用化に向けた高い回収性・分離性を確認
品質	第三者分析で乾物換算粗タンパク質 56.2%、粗脂肪 22.4%、粗灰分 7.2%
実装準備	処理規模拡大に向け、工程・設備・運用上の論点を整理

8. 食品ロス・CO2 削減効果と波及効果

8.1 食品ロス削減量の試算

本事業で実証した処理技術を一定規模で安定運用した場合の食品ロス削減効果をモデル試算した。年間 300 日相当の稼働を想定したモデルでは、年間約 150 トンの高含水食品副産物を焼却等の処分ルートから資源化ルートへ転換できる可能性が示された。

この数値は令和 6 年度中に実際に年間 150 トンを処理した実績値ではなく、実証結果を基に設定した運転モデルの試算値である。したがって、実績値とは区別して評価する必要がある。

項目	モデル試算	備考
年間処理・資源化量	約 150 トン/年	一定規模・年間稼働を想定したモデル
評価の意味	焼却等に回る高含水副産物を資源化へ転換	実績値ではなく社会実装時の可能性
主な波及	処理負担の軽減、地域内資源循環	実装条件により変動

8.2 CO2 削減効果の試算

環境負荷低減については、高含水のおからを焼却処理する場合と、生物処理によって資源化する場合を比較する考え方にに基づき、焼却回避による CO2 排出削減効果を試算した。年間約 150 トンを処理するモデルに対して、焼却時の排出原単位 0.2181 t-CO2/t を用いた場合、年間約 32.7 t-CO2 の削減効果となる。

計算は「150 トン × 0.2181 t-CO2/t ≒ 32.7 t-CO2/年」である。本事業では、この値を焼却回避を中心としたモデル試算として整理した。

CO2 削減値の位置づけ

年間約 32.7 t-CO2 は、焼却回避を中心としたモデル試算である。輸送削減、代替飼料・肥料による追加効果等は算定に含めていない。

8.3 地域内資源循環への効果

食品製造副産物を発生地域の近くで処理し、再び地域内で利用可能な資源へ転換することができれば、遠距離輸送や焼却への依存を抑えることができる。沖縄県のような離島地域では、資源の移出入コストが相対的に高いため、地域内循環の意義は大きい。

また、食品製造事業者にとっては、日々発生する副産物の安定した処理先が確保されること自体が事業継続上の価値となる。資源化側では、継続的に発生する比較的均質な原料を確保できる。この両者を接続することが、本事業が目指す地域循環モデルの基本である。



図 7 地域内資源循環の基本フロー

8.4 横展開の考え方

本事業の成果は、おからだけに限定されるものではなく、高含水で腐敗しやすい食品製造副産物の資源化を検討する際の考え方として応用可能性がある。ただし、原料が変われば水分、栄養成分、粒度、保存性等も変化するため、本事業で得られた条件をそのまま転用することはできない。

横展開において重要なのは、原料ごとに適合性を確認し、処理性能だけでなく、回収性、品質、法令上の取扱い、利用先まで含めて評価することである。原料特性が異なれば、必要な評価や運用条件も変化するため、個別の適合性確認が必要となる。

また、横展開の成立性は生物処理の適合性だけでは判断できない。原料の発生量と季節性、回収・保管方法、搬送距離、生成物の品質、利用先、法令上の取扱い等を総合的に確認する必要がある。地域ごとに原料と利用先の組合せが異なるため、資源循環モデルは地域条件に合わせて設計することが重要である。

本事業で得た意義の一つは、こうした適合性を評価する枠組みを実際の高含水食品副産物で検証したことである。原料性状から処理、回収、品質、環境効果までを連続して確認する考え方は、他の食品製造副産物の検討においても基礎的な評価枠組みとして活用できる。

9. 事業成果・効果の検証方法

9.1 基本方針

本事業では、単回の最高値だけで成果を判断せず、反復運転を通じた傾向と再現性を重視した。処理性能、生成物品質、環境負荷低減効果、スケールアップ適合性、実装可能性の各観点からデータを整理し、複数の指標を組み合わせて評価した。

この考え方は、社会実装を目指す技術において特に重要である。例えば、処理期間が短くても回収工程が安定しなければ事業運転は成立しない。逆に、品質が良好でも処理量や作業負荷に大きな制約があれば、処理事業としての効果は限定される。そのため、工程全体のバランスを評価した。

9.2 処理性能の評価

処理性能については、投入原料、処理日数、回収量、残渣量等を記録し、処理期間と減量化の傾向を評価した。主要成果として、処理期間 7～10 日前後、残渣減量率最大 80%以上を確認した。

また、結果のばらつきや不成立となった試験も含めて記録し、原因整理と改善に活用した。良好な結果だけでなく、変動や異常事象を含めて評価したことが、運転標準化に向けた基礎となった。

9.3 生成物品質の評価

生成物品質については、回収した試料を第三者機関へ送付し、一般成分分析を行った。第三者による測定値を用いることで、生成物の栄養成分を客観的に評価した。

一般成分分析は、生成物の栄養的な特徴を把握する基礎である。実際の飼料・肥料用途への展開では、対象用途に応じた追加分析、法令・規格の確認、品質管理体制の整備が必要であり、本事業の成果はその入口となるデータと位置づける。

9.4 環境効果の評価

食品ロス削減効果については、想定運転モデルに基づく年間処理量を算定した。CO₂ 削減効果については、その年間処理量に焼却時の排出原単位を乗じて算出し、実績値とは区別したモデル試算として評価した。

本事業の実装によって、輸送削減、飼料・肥料代替、処理施設負荷低減等の追加効果が生じる可能性はあるが、本事業の CO₂ 削減値には定量的根拠が確認できる焼却回避分を中心に計上した。

9.5 スケールアップ適合性の評価

スケールアップ適合性は、処理量の増加だけでなく、作業性、装置、原料供給、回収工程、季節変動を含めて評価した。多数の反復運転により、規模拡大時に検討すべき論点を整理できたことを成果とする。

この評価により、処理量の増加だけでなく、作業性、設備、原料供給、回収工程、季節変動を一体で捉える必要があることが明確になった。

スケールアップ適合性の判断では、個々の性能値を単純に合算するのではなく、処理系の中で最も制約となる工程が全体能力を左右するという観点が重要である。原料受入れが滞れば処理設備に余力があっても稼働できず、回収工程が遅れば次の処理へ移行できない。このため、本事業では工程間のつながりを含めて評価した。

この総合評価により、処理性能だけを見た場合には見落としやすい作業性、設備運用、品質確認等を、社会実装に必要な性能の一部として位置づけた。今後の規模拡大においても、同じ評価軸を継続することで、技術的な改善が実際の運転能力向上につながっているかを確認できる。

評価観点	主な評価方法	本事業で確認した内容
処理性能	反復運転、処理期間、減量化	7～10 日前後、最大 80%以上
生成物品質	第三者一般成分分析	56.2%、22.4%、7.2%等
回収・分離	複数回の工程評価	高い回収性・分離性を確認
環境効果	モデル年間処理量と排出原単位	約 150t/年、約 32.7t-CO ₂ /年
実装適合性	通年運転、工程横断評価	規模拡大に向けた論点整理

10. 課題と今後の展望

10.1 本事業で認識した課題

本事業により、食品製造副産物の生物処理・資源化について、処理性能と社会実装の両面で一定の基礎を得た。一方、商業運転へ移行するためには、安定した連続運転、省力化、設備保守、原料変動への対応、生成物品質の安定化、法令・規格への適合など、複数の課題を継続して検証する必要がある。

特に、処理規模が大きくなるほど、単一工程の最適化ではなく、原料受入れから回収までの全体最適が重要になる。また、省力化や設備運用を進める際には、異常状態を早期に把握し、安定運転へ戻すための監視・管理の考え方を整える必要がある。

課題区分	今後必要となる取組	本事業での検討方向
運転安定性	連続運転での再現性・異常対応の確認	運転標準化に向け継続検証
省力化	搬入・投入・回収等の作業負荷低減	作業負荷低減を継続検討
品質	原料変動下でも安定した品質を確保	品質評価・管理を継続
設備	保守性・清掃性・拡張性の検証	運用性を踏まえた設備改善
社会実装	法令、用途規格、供給・利用体制の整理	制度・供給・利用体制を含め検討

10.2 今後の展開

今後は、本事業で得られた成果と課題を基盤に、より安定した運転、省力化、生成物品質の確認、環境効果の継続評価を進めることが重要である。社会実装では、技術性能だけでなく、食品製造事業者が継続的に原料を供給できること、処理後の資源を適正に利用できること、設備を安全かつ安定して運用できることが必要である。

また、本事業で確立した評価の考え方は、他の食品製造副産物を検討する際にも活用できる。個々の原料に対して新たな適合性確認は必要であるが、「原料性状－処理性能－回収性－品質－環境効果」を一連の流れで評価する枠組みは共通して利用できる。

今後は、令和 6 年度に得られた成果を基礎として、実運用における安定性、省力化、品質評価、社会実装条件の検討を継続する。

社会実装に当たっては、処理設備の完成度だけでなく、原料排出事業者からの安定した受入れ、運転を担う人員と保守体制、生成物の品質管理、利用側との連携、関係法令への適合を同時に整える必要がある。食品副産物の資源化は、処理設備だけで完結する事業ではなく、排出側と利用側をつなぐ運用体制によって成立するためである。

また、地域内循環を継続するためには、原料供給量と処理能力のバランス、設備の立地、搬入経路、周辺環境への配慮、生成物の利用需要等を地域単位で整理することが重要となる。令和 6 年度事業で得た工程横断の評価結果を基に、こうした社会実装条件を含めて検討を進めることが必要である。

11. まとめ

令和 6 年度食品ロス削減緊急対策事業では、沖縄県内で継続的に発生する高含水のおからを対象として、生物処理による資源化技術のスケールアップ実証を行った。複数年にわたり蓄積してきた知見を基盤に、装置導入、実証環境整備、通年の反復運転、工程横断での評価、第三者分析、環境効果の試算までを一体的に実施した。

主要な成果として、多くの試験で 7～10 日前後で目標状態へ到達すること、条件により残渣減量率が最大 80%以上に達すること、回収・分離工程について高い実用性を確認したこと、生成物の第三者分析により乾物換算粗タンパク質 56.2%、粗脂肪 22.4%、粗灰分 7.2%を確認したことが挙げられる。

さらに、一定の社会実装モデルを前提とした場合、年間約 150 トンの食品ロスを資源化ルートへ転換し、焼却回避を中心に年間約 32.7 t-CO₂ の削減に寄与する可能性を試算した。これらは実績値とモデル試算を区別して評価する必要があるが、地域内資源循環の効果を具体的に説明する指標となる。

本事業の意義は、単一の高性能値を得たことだけではない。高含水原料を実際に受け入れ、季節変動を含む条件で反復運転し、装置・作業・回収・品質まで含めて課題を整理したことにある。これにより、研究室レベルの検討から社会実装へ移行するための基礎が整った。

今後は、安定運転、省力化、品質保証、法令・用途適合等の検証を進め、食品副産物を地域内で循環させる実装モデルとしての確立を目指す。

本事業の成果の要点

地域課題となっている高含水食品副産物を対象に通年の実証を行い、処理期間、減量化、回収・分離、生成物品質、環境効果の面で具体的な成果を得た。これらの成果を基盤として、社会実装に向けた検討を継続する。

成果区分	主な確認事項	今後の検討
処理性能	多くの試験で 7～10 日前後で目標状態への到達を確認	通年安定性と再現性の確認
減量化	条件により残渣減量率が最大 80%以上	原料変動下での再現性向上
生成物品質	第三者分析で乾物換算粗タンパク質 56.2%等を確認	用途別の品質評価・規格確認

環境効果	年間約 150t の資源化、約 32.7t-CO ₂ /年の削減可能性をモデル試算	実装条件に応じた評価の精緻化
設備・運用	工程横断で作業性・設備・回収性を評価	省力化、保守性、運転標準化の継続検討

12. 参考資料

本報告書の背景説明および成果評価に関連する主な資料を以下に示す。

- 農林水産省「食品ロス及びリサイクルをめぐる情勢」
- 最高裁判所 平成 11 年 3 月 10 日 第二小法廷決定（いわゆる「おから事件」）
- 農林水産省「みどりの食料システム戦略」関連資料
- 日本食品分析センター 本事業生成物の一般成分分析試験成績書
- バイオアルケミー株式会社 令和 6 年度食品ロス削減緊急対策事業 実証データ・実験記録