

SIPにおける資源循環の取り組みが地域バイオコミュニティへ展開

1. 研究の背景と開発目標

研究の背景と必要性

未利用バイオマス資源の循環を実現するためには、ある地域で排出される廃水や廃棄物の種類や量を把握し、その効果的な処理と利活用が求められます。SIP第2期における資源循環の取り組みの一環として、新潟県長岡市で稼働している生ごみバイオガス発電センターにおいて、メタン発酵消化液の効率的な処理に向けた実証実験を行いました（図1）。

技術開発目標

スマートバイオプロセスコンソーシアムにおける産学官連携により、生ごみバイオガス発電センターにパイロットスケールの膜分離リアクターを設置して、2020年12月～2021年11月の約1年間に渡り、センサにより各種水質データを蓄積するとともに菌叢データを取得しました。これらのデータから、膜の閉塞を引き起こす微生物群の特定と、膜閉塞の将来予測システムを開発することを目指しました。

2. 達成した成果の概要

① 既存のパイロットスケール膜分離リアクターに、pH、温度、酸化還元電位、溶存酸素量などを測定するためのセンシングシステムをアドオンしました。センサデータと膜差圧データに基づきデータサイエンス的な解析を実施し、膜閉塞の発生に関連するパラメータを見出しました。

② 膜ろ過量を高負荷（1.12 L/min）・低負荷（0.56 L/min）と変化させた際に膜に付着した微生物群を比較したところ、異なる微生物群が膜面に特徴的に存在することが明らかとなりました。この結果は、処理する廃水の量によって膜閉塞の原因が異なることを示しています。

今後、これら膜閉塞原因微生物のゲノムや代謝産物に関する情報を明らかにし、センサデータから見出された制御指標パラメータとの関連付けをすることで、膜閉塞を事前に予測するシステムが創出されることが期待されます。

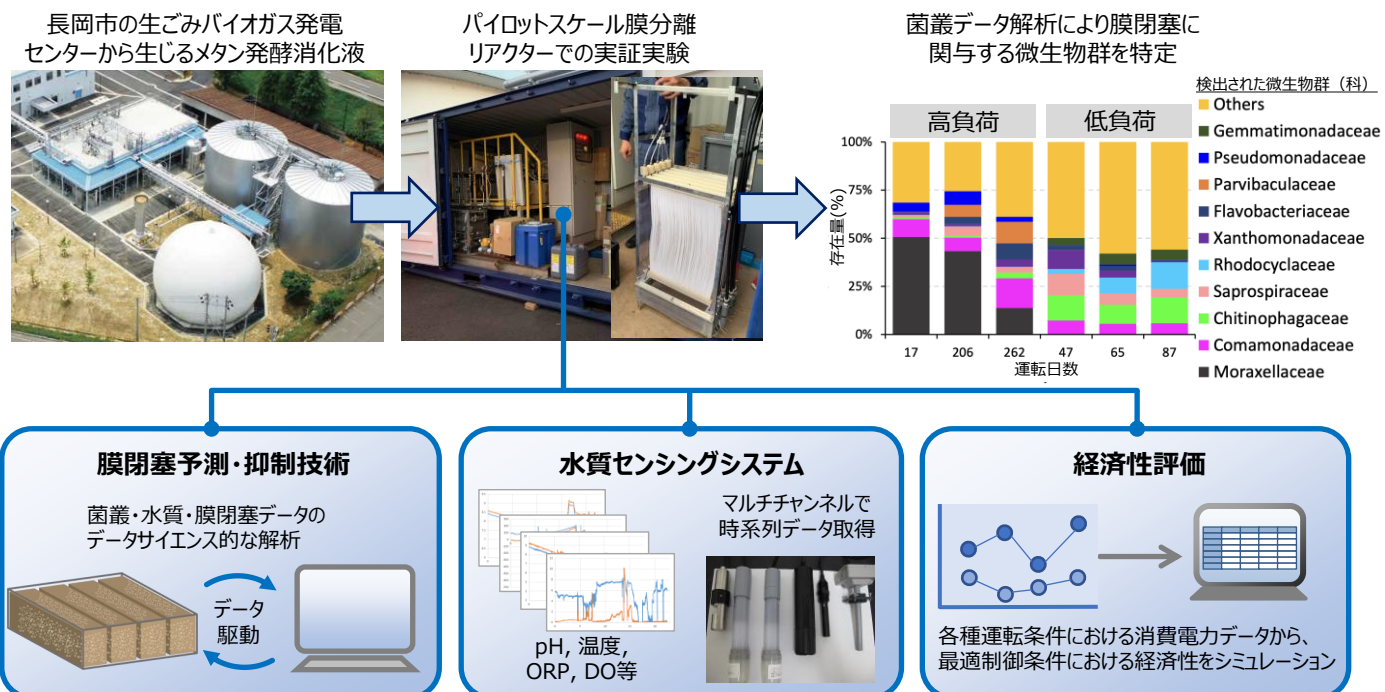


図1. 長岡市生ごみバイオガス発電センターでのメタン発酵消化液処理実験

【具体的成果】（つづき）

SIPでのメタン発酵消化液を対象とした資源循環の取り組みをひとつの契機として、内閣府の地域バイオコミュニティ拠点に長岡市が認定されました。さらに、長岡地域の中核産業のひとつである稲作における資源循環や、有機性廃棄物を含む未利用生物資源の循環を確立するための2つの研究プロジェクトへ発展しました（図2）。

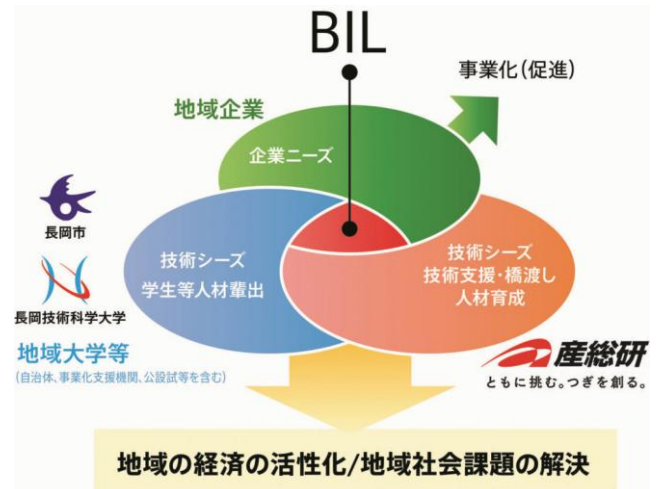
これらのプロジェクトでは、SIPスマートバイオプロセスコンソーシアムに参加した機関が関わっており、資源循環に関連する企業との協働により地域経済の活性化に向けた取り組みが進められています。

共創の場形成支援プログラム(COI-NEXT)

“コマどころ”新潟地域共創による資源完全循環型バイオコミュニティ拠点
代表機関 長岡技術科学大学、幹事自治体 長岡市、
幹事機関 (株)ちとせ研究所、参画機関 産総研ほか



<https://coi-next.nagaokaut.ac.jp/>

長岡・産総研 生物資源循環
ブリッジ・イノベーション・ラボラトリ

https://nagaoka-biocommunity.jp/nagaoka_aist_bil/

図2. 長岡市で実施されている地域資源循環の確立に向けた研究プロジェクト

3. 社会実装の展望と波及効果

想定されるユーザー（成果の受け渡し先）と活用方向

膜分離リアクターは標準活性汚泥プロセスに比べて槽内の微生物濃度を高く保持できるため、高濃度有機性廃水を排出する製造プロセスへの導入が見込まれます。

社会実装の実績

社会実装の実績はまだありませんが、センサシステムは既存廃水処理プロセスへのアドオンも可能です。ご興味がありましたら下記問い合わせ先へご連絡ください。

今後の発展可能性と期待される波及効果

SIP第2期におけるメタン発酵消化液の処理試験の実施をひとつのきっかけとして、長岡市における地域全体の資源循環の確立に向けた取り組みに発展しました。今後も、他の自治体や地域バイオコミュニティ等とも協力体制を構築し、バイオエコノミー社会に求められる資源循環技術の開発に取り組みます。

- 研究課題名 : スマートバイオ社会を実現するバイオプロセス最適化技術の開発
実施機関 : 国立研究開発法人産業技術総合研究所、国立研究開発法人理化学研究所、三菱ケミカル株式会社、株式会社ちとせ研究所、長岡市、長岡技術科学大学
問い合わせ先 : スマートバイオプロセスコンソーシアム事務局
SIP_C2i_Conso-jimu@aist.go.jp

廃水処理で活躍する微生物の機能と多様性を理解する

1. 研究の背景と開発目標

研究の背景と必要性

スマートフードシステムにおける食品や飲料の生産から消費に至る各ステップからは、フードロスを含む大量の廃棄物や廃水が生じます。このような有機性廃棄物・廃水の処理に係るコストは莫大であるため、将来のサーキュラーバイオエコノミー社会の形成に向けて、環境的・経済的な負荷を最小限に抑えた新しい廃水処理技術の開発が必要となります。

技術開発目標

活性汚泥プロセスに代表される生物学的廃水処理の安定化と低コスト化を目指し、産業廃水ならびに都市下水を処理する実規模プロセスを対象として微生物叢などのバイオデータを蓄積し、水質等の物理化学データとの統合解析により廃水処理の好不調の鍵を握る微生物群を特定することを目指しました。

2. 達成した成果の概要

- ① スマートバイオプロセスコンソーシアムに参加した民間企業や自治体の協力のもと、汚泥・廃水サンプルの16S rRNA遺伝子アンプリコンシーケンスを実施して菌叢構造データを取得しました。さらに、代表的なサンプルについてはショットガンメタゲノムシーケンスを実施し、1,000個以上の微生物ドラフトゲノム情報を取得しました。
- ② 異なる種類の廃水を処理する7つの活性汚泥プロセスから3年間に渡り採取した600サンプルの菌叢データから、全プロセスに共通して存在する106科の微生物群を見出しました(図1)。さらに、処理性能に関連する全炭素濃度と全窒素濃度と、これら共通微生物群の存在量との相関分析を実施し、有機物や窒素成分の除去に関与する微生物群を特定することに成功しました。
- ③ 共通微生物群には、他の微生物を捕食する微生物や、他の微生物に寄生する微生物が含まれていました。これらの捕食・寄生性の微生物は、廃水の全炭素濃度や全窒素濃度が低い条件において存在量が増加することが明らかとなり、低栄養条件で他の微生物を捕食、あるいは他の微生物に寄生することにより栄養源を確保していることが示唆されました(図2)。

【具体的成果】

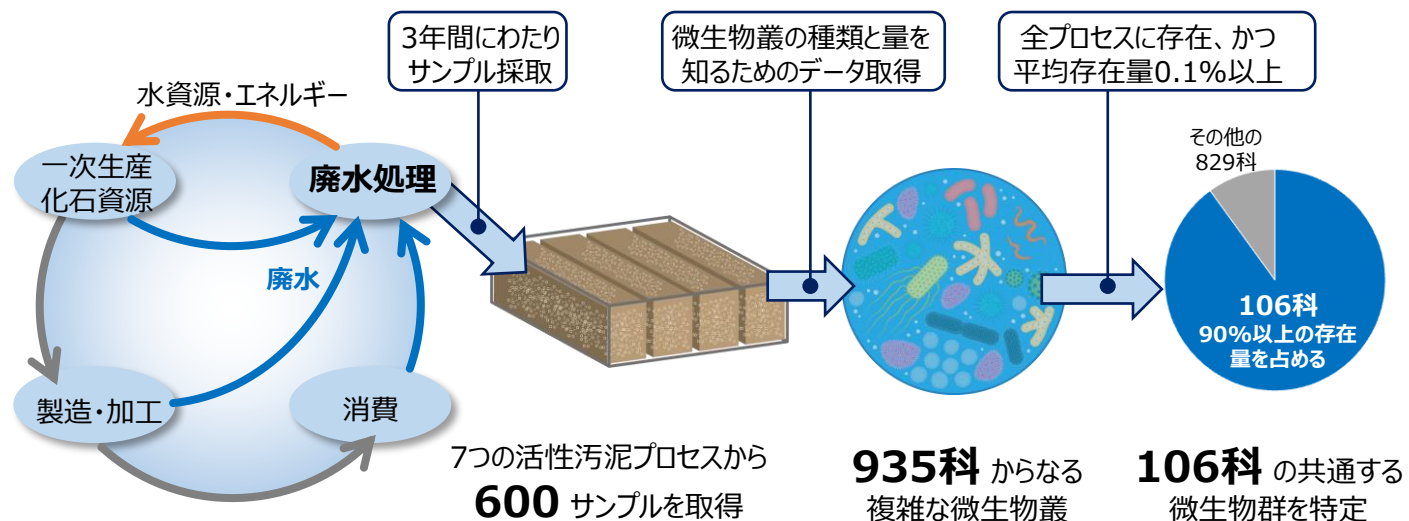


図1. 循環型社会における廃水処理の位置付けと廃水処理バイオデータから見出された共通微生物群

【具体的成果】（つづき）

活性汚泥プロセスでは、水の浄化に伴い好気性微生物が増殖することで余剰菌体が大量に生じるため、その低減が一つの課題になっています。本研究では、廃水処理プロセスに生息する捕食・寄生性細菌の機能を有することをゲノムレベルで明らかにしました。今後、これらの捕食・寄生性細菌の生物機能を活かした余剰菌体低減技術の開発に向けた取り組みを推進します。

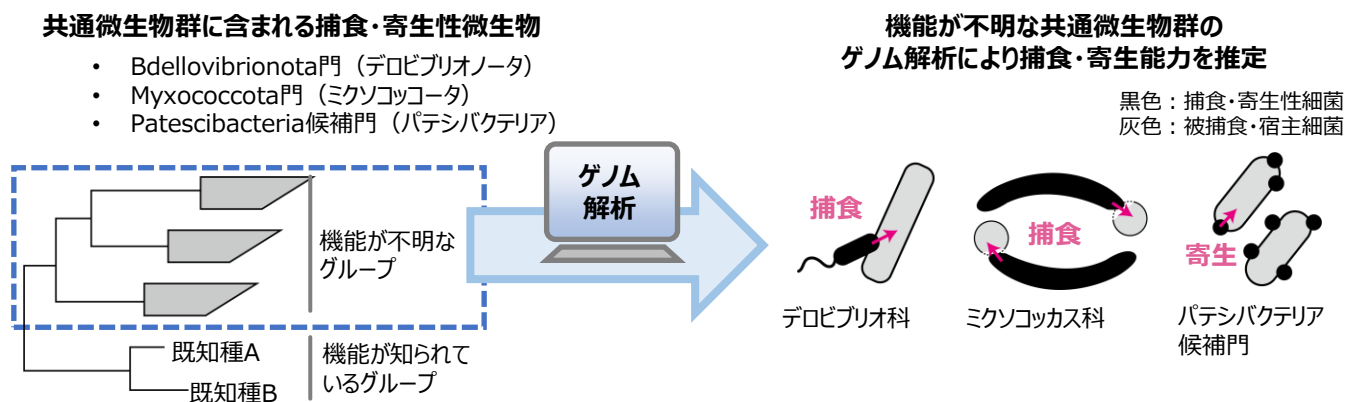


図2. 廃水処理プロセスに生息する捕食・寄生性細菌のゲノム解析

参考情報

- Kuroda et al. (2023) Water Research X 20:100196, doi: 10.1016/j.wroa.2023.100196
- プレスリリース記事「廃水処理に利用される活性汚泥プロセスに共通する微生物群を特定」
https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2023/pr20230905_2/pr20230905_2.html

3. 社会実装の展望と波及効果

想定されるユーザー（成果の受け渡し先）と活用方向

- 本研究の成果は、食品系・化学系企業などにおける既設の生物学的廃水処理プロセスを対象とした、バイオデータ解析に基づく処理の安定化や高度化に向けての活用が見込まれます。

社会実装の実績

- 16S rRNA遺伝子アンプリコンシークエンス情報、ショットガンメタゲノムシークエンス情報、廃水処理微生物ドラフトゲノム情報の各種バイオデータを日本DNAデータバンク(DDBJ)に登録し、廃水処理におけるバイオ×デジタルの取り組みに活用します。
- アクセッション番号：DRA015582, DRA016086

今後の発展可能性と期待される波及効果

- バイオエコノミー社会の形成に伴い、バイオものづくりプロセスの新規導入が見込まれます。本研究で得られた廃水処理バイオデータは、そのような新規製造プロセス導入時における最適な廃水処理システムの検討においても活用が見込まれます。

研究課題名 : スマートバイオ社会を実現するバイオプロセス最適化技術の開発
 実施機関 : 国立研究開発法人産業技術総合研究所
 問い合わせ先 : スマートバイオプロセスコンソーシアム事務局
 SIP_C2i_Conso-jimu@aist.go.jp

プロセス全体最適化のための経済性・環境性評価

1. 研究の背景と開発目標

研究の背景と必要性

ある地域に賦存する未利用バイオマス資源を有効利用して付加価値の高い製品を創出し、地域の物質循環と経済循環を促進することがサーキュラー・バイオエコノミーの実現に向けた主要な手段であるが、その経済性・環境性を客観的かつ簡便に評価する手法は存在していなかった。SIP第2期における資源循環の取り組みの一環として、バイオエコノミーシミュレーションツールの開発を行いました。

技術開発目標

農業、工業、商業、都市生活等から成る地域バイオエコノミーネットワークに、高度化された廃水処理技術が導入された場合の経済性・環境性を評価できるシミュレーションツールを開発することを目指しました。

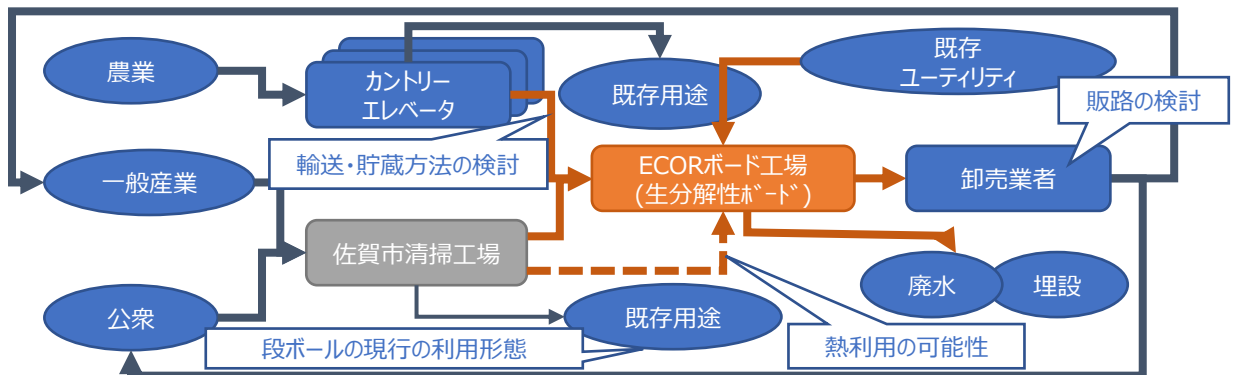
2. 達成した成果の概要

- ① 地方自治体内での廃水の有効活用や未利用バイオマス資源の循環を含めたフードバリューチェーンの全体最適化が可能なシミュレーションツールを作成しました。シミュレーションツールでは地域経済性の評価も可能となっています。
- ② モデル地域内での種々のデータを入力し、経済、環境影響に関する評価を行い、その効果を検証しました。また、本PJで開発されている技術（廃水処理、新規基盤技術など）の経済的・環境的検証を行い、その効果を明らかにしました。

本シミュレーションツールを活用することにより、バイオプロセス製造施設の最適立地や各種バイオプロセスの補完的な組み合わせの予測や、廃水処理を含むバイオプロセスのコスト削減のみならず、バイオプロセスによる物質生産への投資、バイオエコノミーを実現するための政策策定などの包括的かつ精度の高い意思決定が可能になることが期待されます。

【具体的成果】

佐賀市における未利用廃棄物のうち、賦存量の多いセルロース系バイオマスの資源化を図るため、環境対応型ECORボードと、既存木質ボードの製造工場導入シナリオを比較したところ、ECORボードの環境性・経済性評価における優位性が認められた（図1）。



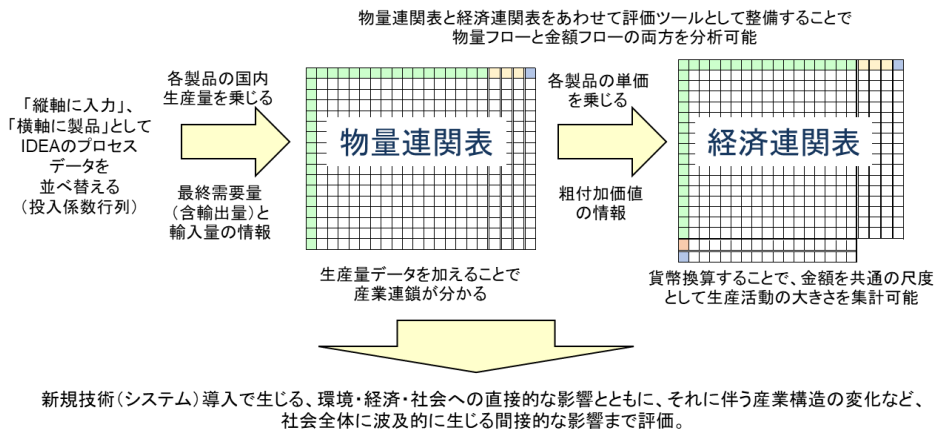
ケーススタディー	エネルギー消費量 [GJ/ton]	GHG排出量 [t-CO ₂ eq/ton]
ECOR ボード	◎	◎
木質ボード	△	△

図1. シミュレーションツールを活用したケーススタディー

【具体的成果】（つづき）

実証試験を行っている廃水処理プロセス（MBR）が地域に導入されたときの、環境負荷・コスト低減効果の算出を行いました。

また、産総研で開発している物量連関表及び経済連関表（図2）を用い、MBRが標準活性汚泥法による下水処理施設の代わりに導入されたとしたときに、産業構造へ波及的に生じる影響を検討しました。



<https://riss.aist.go.jp/research/20220209-2012/>

図2. 物量連関表・経済連関表の作成方法

3. 社会実装の展望と波及効果

想定されるユーザー（成果の受け渡し先）と活用方向

想定ユーザー（シミュレーションツール）：各自治体の廃棄物処理担当部署および関連施設、事業の受託事業者など。

活用方向：ゼロカーボンシティや脱炭素先行地域など、自治体には持続可能な戦略を策定するニーズが多くあります。多くの戦略では再生可能エネルギーの需供給拡大が掲げられていますが、手詰まりになっており、サーキュラーバイオエコノミーに対する期待が大きくなりつつあります。経済性や環境性といった効果が本シミュレータによって段階的に定量化されることは、各自治体の戦略にとって必須になると考えられます。

社会実装の実績（アウトリーチ活動）

佐賀市より、令和4年度～5年度現在までにおいて、本事業の説明を210件実施しました。その対象は市民、自治体、企業、産業団体、学術団体など幅広いです。

今後の発展可能性と期待される波及効果

カーボンリサイクルや再生可能エネルギーによるカーボンニュートラル社会の実現が、コストや制度の観点から課題が示されている中、本シミュレーターはサーキュラーバイオエコノミーに対する期待を、関係者内外に創出することができます。

また、サーキュラーバイオエコノミーは多くのステークホルダーと連携することで実現するため、段階的な施策などを構築可能であり、エコシステムを構築するうえで重要な指針を示すことができます。

研究課題名 : スマートバイオ社会を実現するバイオプロセス最適化技術の開発
 実施機関 : 国立研究開発法人産業技術総合研究所、佐賀市バイオマス産業推進課
 問い合わせ先 : スマートバイオプロセスコンソーシアム事務局
 SIP_C2i_Conso-jimu@aist.go.jp