

## バイオ研究グループ

### グループメンバー(2026年4月)

グループリーダー・主席研究員	乾 将行	研究員	Dhira Saraswati Anggramukti
副主席研究員	寺本 陽彦	研究員	岩佐 尚徳
副主席研究員	平賀 和三	研究員	松島 加奈
副主席研究員	宮本 正人	研究員	大沼 広宜
副主席研究員	畚野 信剛	研究員	西田 志穂
副主席研究員	北本 幸子	研究員	厨 祐喜
主任研究員	田中 裕也	研究員	上田 祐輝
主任研究員	須田 雅子	研究員	吉田 裕史
主任研究員	北出 幸広	研究助手	渡邊 淳子
主任研究員	長谷川 智	研究助手	池永 由布子
主任研究員	渡邊 彰	研究助手	水口 祥子
主任研究員	小暮 高久	研究助手	永守 美雪
主任研究員	久保田 健	研究助手	内藤 香枝
主任研究員	大井 潔	研究助手	池田 永子
主任研究員	橋本 龍馬	研究助手	岩島 素巳
主任研究員	猿谷 直紀	研究助手	吉田 佳世
主任研究員	清水 崇史	研究助手	フォークナー 真紀
主任研究員	内田 美枝	研究助手	栢村 里美
主幹	淵上 聡子	研究助手	初谷 良子
研究員	肥後 明佳	研究助手	江頭 梓
研究員	柏木 紀賢	職員	米田 和代
研究員	Dyah Candra Hapsari Subagyo	職員	小泉 真夕
研究員	新宅 みゆき	職員	西 淳子
研究員	黒石川 嵩幸	職員	岡田 亜弥
研究員	田島 直幸	職員	柳田 幸子

## 持続可能な社会の実現に向けたバイオものづくり技術の開発

### 1. はじめに

サステナビリティ(持続可能性)とは、「sustain(持続する)」と「ability(能力)」を組み合わせた言葉で、地球や社会のしくみが、将来に渡って機能を保ち、続いていく状態を指す。また、サステナブルな社会を実現するためには、「環境保護」、「社会開発」、「経済発展」という3つの柱が、相互に影響し合いながらバランスよく発展するシステムやプロセスを構築することが重要とされる。

このサステナブルな社会を実現するための一つのアプローチとして、バイオものづくり技術が注目されている。バイオものづくりとは、合成生物学やゲノム編集技術等のバイオテクノロジーと、近年発達するIoTやAI等のデジタル技術を融合させ、より効率的に遺伝子を改変する技術を活用して、微生物や動植物等の細胞から有用な物質を生産する最先端の技術革新である。この技術は、あくまで、自然界の生物学的メカニズムに基礎を置

くが、元来、微生物が自己のために細胞内で生産する物質に加え、ゲノム編集技術により導入した別の微生物が有する物質生産機能や、微生物が有する酵素の機能強化や機能停止させる等の技術を駆使し、最終目標物質を原料から効率的に大量生産させていく、言わば、生物活動を工業的な製造プロセスに応用する新しいアプローチであり、次の特徴と利点を有する。

バイオものづくりは、化学プロセスでの合成が難しい化合物を、微生物酵素による特異性の高いバイオプロセスを用いることにより、副産物の生成を抑えた高収率の合成を行える利点がある。微生物の細胞の中では、機能の異なる酵素が協調的に働くことで多段階の合成反応が進むため、炭素数の多い複雑な構造を有する物質の合成にも強みがある。バイオものづくりは、医薬品や食品等の産業領域で主に活用されてきたが、近年のバイオテクノロジーの急速な進展により、燃料や化学品・繊維

等の素材原料等、多様な産業領域への活用が広がっている。

バイオものづくりは、新しい製品開発や製造プロセスの転換という産業活動におけるイノベーションを推進しつつ、同時に、気候変動や食料不足、資源不足、海洋汚染等の地球規模の社会課題の解決の両立を実現可能であることが最大の利点である。現在の産業活動の中心である化学プロセスによる製造においては、多くの場合、環境負荷の大きい高温高圧での反応を必要とする。一方、バイオものづくりは、常温常圧での反応が可能であるため、化学プロセスと比べて CO<sub>2</sub> 排出量の削減が期待できる。また、バイオものづくりでは、バイオマス等、その成長過程で CO<sub>2</sub> を吸収した植物等の生物由来資源を原料として利用することが可能なため、石油等の化石資源に依存する化学プロセスとは異なり、気候変動に影響を及ぼす新たな CO<sub>2</sub> の排出を大幅に抑制することができる。更に、最先端のバイオものづくりでは、従来、埋め立てあるいは焼却等の環境負荷の大きい処理方法しかなかった化学製品由来の廃棄物や、これらを焼却して発生する CO<sub>2</sub> そのものを資源として産業活動に必要な燃料(バイオ燃料)や、新たな化学品(グリーン化学品)、あるいは、その出発原料として再生することが可能となりつつある。

このように、バイオものづくりは、石油資源から脱却し、環境に負荷をかけない製造方法によりカーボンニュートラルを達成するための技術として、また、海洋汚染等の社会課題を解決し、地球環境を未来に残していくための技術や廃棄物由来の未利用資源等の有効活用によるサーキュラーエコノミーを構築する技術として、更には、これらの技術革新がもたらすブランド力や国際的評価の向上が次世代の産業基盤を担い、投資を呼び込み、未来を支える経済基盤となっていく。これは、正に、サステナブルな社会の実現に不可欠な「環境保護」と「経済発展」をバランスよく発展させるために開発されるべき技術であるといっても過言ではない。RITE では早くからバイオものづくりに着目し、産業利用に向けた基盤整備に向けて、コア技術等の開発に積極的に取り組んできた。

本概説では、まず、RITE が保有するコア技術である

「RITE Bioprocess」<sup>\*1</sup> や「スマートセル創製技術」について説明し、次に、RITE が参画する各種国家プロジェクトにおける技術開発の取組み状況、特に、2025 年 11月に竣工した「RITE バイオものづくりセンター」における“バイオ×デジタル”技術分野における基盤技術開発の状況等について紹介する。最後に、社会実装を目指すための事業化への対応と今後の展望について述べる。

## 2. RITE のコア技術

### 2.1. 「RITE Bioprocess」

RITE は、代表的な工業微生物であり、他に類を見ない高い物質生産能力を有するコリネ型細菌の利用価値に着目し、そのコア技術開発に取り組んできた。その過程で、コリネ型細菌は「嫌気的条件下では増殖が抑制される一方、物質生産に必要な代謝機能は維持され、糖類を代謝して有機酸等を効率よく生成する現象を有する」ことを見出し、これをもとに、RITE 独自の技術として、増殖非依存型バイオプロセス「RITE Bioprocess」を確立した。「RITE Bioprocess」はバイオものづくりの社会実装を推進する上で、最も重要なコア技術の一つである(図 1)。以下にその3つの特長について簡単に述べる。

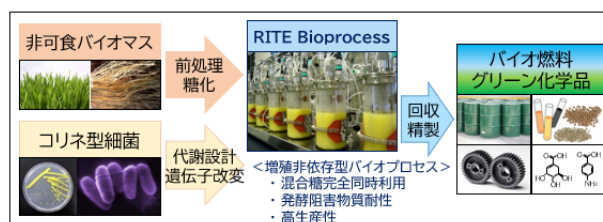


図1 「RITE Bioprocess」を利用した  
バイオものづくりの概念

#### 特長① 増殖非依存型バイオプロセス

自然界における発酵生産は、通常、微生物が増殖しながら物質を生産する。しかし、一定の嫌気的条件下や、増殖必須因子を取り除いた好気的条件下では、増殖は停止する一方で、目的とする物質生産が進行する「増殖非依存型バイオプロセス」を見出し、バイオプロセスを確立した(図 2)。「増殖非依存型バイオプロセス」は、従来は微生物の増殖に消費されていた栄養やエネルギーの

全てが、目的物質の生産のみに使用されるため、化学プロセスと同等以上の高い生産性を実現する技術である。

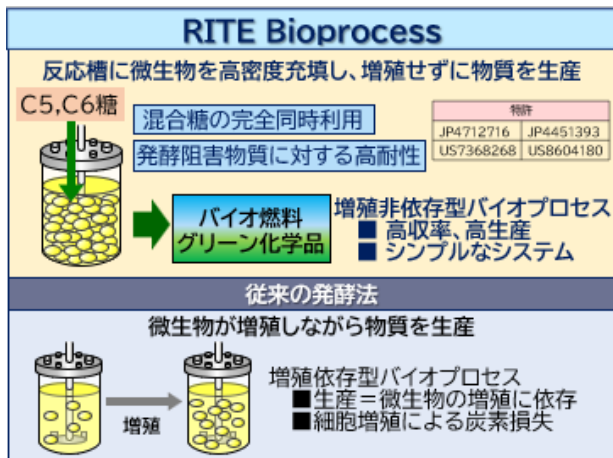


図2 「RITE Bioprocess」の特長①  
 (増殖非依存型バイオプロセス)

特長② 発酵阻害物質に対する高耐性

バイオものづくりでは、原料とするバイオマスや廃棄物由来の未利用資源の中に、微生物の増殖を阻害する物質が含まれることが多い。また、微生物に生産させた目的物質そのものが、微生物の増殖を阻害する等、菌体にダメージを与えることも多いことから、発酵生産可能な目的物質の種類が限定されてしまうことがある。一方、「RITE Bioprocess」は、微生物の増殖を伴わない生産システムであるため、様々な発酵阻害物質に対する耐性が高いという特長を有する(図3)。

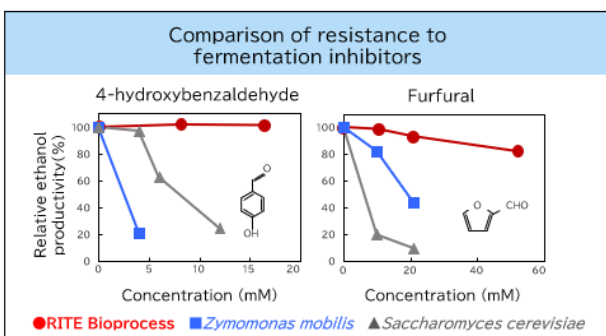


図3 「RITE Bioprocess」の特長②  
 (発酵阻害物質に対する高耐性)

従来では活用できなかった原料を用いて、あるいは、発酵生産が困難だった様々な物質を目的物質として、高い発酵生産性を達成することが可能である。

特長③ C5&C6糖類の完全同時利用

バイオものづくりで原料に利用されるバイオマスの多くは、非可食のセルロース系バイオマスである。非可食のセルロース系バイオマスからは、グルコース等のC6糖とキシロースやアラビノース等のC5糖の混合物が得られるが、通常、微生物は物質生産の炭素源としてC6糖を優先的に利用し、C5糖の利用効率は著しく低い。RITEでは、C5糖代謝遺伝子、並びに、C5糖輸送体遺伝子を宿主微生物に新たに導入することにより、C5糖の利用速度をC6糖と同等まで高めるプロセスを確立した(図4)。C5&C6糖類の完全同時利用技術は、非可食のセルロース系バイオマス原料を最大限に利用し、物質生産効率を最大限に高めることができる、バイオものづくりにおいて欠かせないコア技術である。

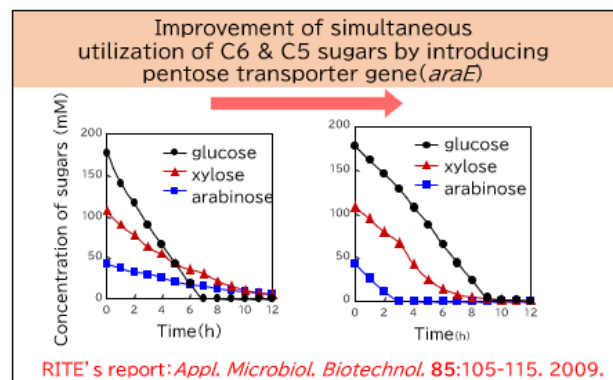


図4 「RITE Bioprocess」の特長③  
 (C5&C6糖類の完全同時利用)

2.2. スマートセル創製技術

スマートセルとは、遺伝子改変によって生物細胞の機能や代謝を精密に設計・制御し、物質生産能力を最大限に引き出した細胞である。生物情報を解析して理想的な細胞を設計するデジタル技術群と、それを実際の生産株に実装するバイオテクノロジーを総称して「スマートセル創製技術」と呼び、これによりスマートセルの効率的な育種が可能となる。RITEは、ターゲット化合物を設定した実証研究を通じて、スマートセル創製技術群の開発、及び、その有効性を示すことに成功した(図5)。

今後も技術改良を重ねながら、バイオ燃料やグリーン化学品等の多様な分野への応用を目指す。更に、スマ

ートセル創製技術、及び、それによって創出されたスマートセルを産業応用へと結び付けるため、実用化に伴う課題の解決を目的とした産業用スマートセル創製技術の開発プロジェクトが現在進行している。本プロジェクトの詳細については、3章5節の「産業用スマートセル」で解説する。

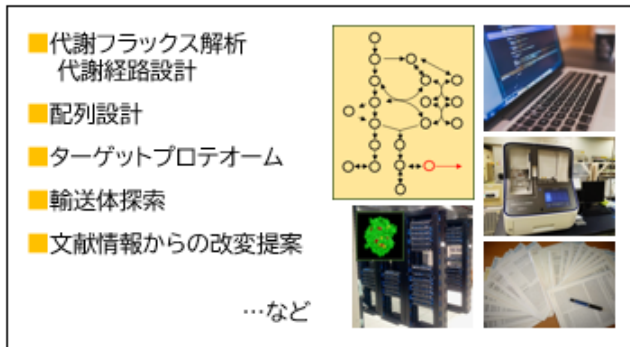


図5 スマートセル創製技術

### 2.3. 主な生産物質

RITE が高生産を実現した物質の一部を図6に示す。多くの物質で世界最高レベルの生産性を達成している。バイオ燃料では、エタノールやバイオ水素、更にはブタノールや高性能バイオジェット燃料素材がある。グリーン化学品では、L-乳酸、D-乳酸、アミノ酸に加え、芳香族化合物等の高機能化学品へと幅広い展開を図っている。

バイオ燃料	グリーン化学品
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ ガソリン混合・代替                             <ul style="list-style-type: none"> <li>・エタノール*</li> </ul> </li> <li>■ バイオジェット燃料                             <ul style="list-style-type: none"> <li>・イソブタノール*</li> <li>・n-ブタノール*</li> <li>・C9~C15 飽和炭化水素 + 芳香族化合物</li> </ul> </li> <li>■ バイオ水素</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 芳香族化合物                             <ul style="list-style-type: none"> <li>・シキミ酸(インフルエンザ治療薬タミフル原料)</li> <li>・フェノール*(フェノール樹脂, ポリカーボネート)</li> <li>・4-ヒドロキシ安息香酸*(ポリマー原料)</li> <li>・アニリン*(石油外天然資源タイヤ原料)</li> <li>・4-アミノ安息香酸*(医薬品原料)</li> <li>・プロトカテク酸*(化粧品原料)</li> </ul> </li> <li>■ 有機酸                             <ul style="list-style-type: none"> <li>・D-乳酸*, L-乳酸*(ステレオコンプレックス型ポリ乳酸)</li> <li>・コハク酸*</li> </ul> </li> <li>■ アミノ酸                             <ul style="list-style-type: none"> <li>・アラニン(キレート類)</li> <li>・バリン(次世代飼料用アミノ酸, 医薬品原料)</li> <li>・トリプトファン(次世代飼料用アミノ酸, 医薬品原料)</li> </ul> </li> <li>■ アルコール                             <ul style="list-style-type: none"> <li>・イソプロパノール(プロピレン原料)</li> <li>・キシリトール(甘味料)</li> </ul> </li> </ul>

\*: ポリマー原料 赤字: 世界的高水準生産達成

図6 「RITE Bioprocess」による主な生産物質

ポリマー等の原料として重要な基幹工業化学品である芳香族化合物は、医薬品、機能性栄養素材、香料、化粧品等の原料にもなる有用な高付加価値の化合物である。芳香族化合物は現在、主には石油、一部は天然の植

物等を原料として製造されているが、化石燃料からの脱依存、及び、環境保全、並びに、生産性確保の観点から、バイオものづくりでの生産に期待が寄せられている。自然界において、微生物の細胞内ではフェニルアラニン、チロシン、トリプトファンといったアミノ酸や、葉酸(ビタミン B9)、補酵素 Q 等、種々の芳香族化合物が生合成されている。これらの化合物は全て、微生物が有するシキミ酸経路と呼ばれる代謝経路から派生する。RITE は、バイオものづくり技術を駆使し、コリネ型細菌の代謝経路を自在にデザインすることで、非可食バイオマスを原料に、インフルエンザ治療薬タミフルの原料であるシキミ酸、機能性ポリマー原料として有望な 4-アミノ安息香酸、ポリマー、医薬品、化粧品、接着剤、香料(バニリン)の原料として有望な芳香族ヒドロキシ酸等の高生産バイオプロセスの確立に成功している。

### 3. 基盤技術開発(国家プロジェクト)

我が国は、バイオものづくりに対し、「経済成長と資源自律化により持続可能なものづくりを実現し、更に社会課題の解決を同時に追求するイノベーション」と位置づけ、その基盤技術開発を強力に後押ししている。RITE が参画する各種国家プロジェクトと、そこで RITE が開発を担うバイオものづくり技術の概要を図7に示す。

RITE は、NEDO のバイオものづくり革命推進基金事業やグリーンイノベーション基金事業に参画し、未利用資源から有用化学品を産み出すバイオアップサイクリング技術開発「ものづくり(プラットフォーム);3章1節」や CO<sub>2</sub>からの高機能接着剤原料のバイオ生産技術開発「ものづくり(CO<sub>2</sub>);3章2節」、廃棄繊維の再資源化のためのバイオ技術開発「ものづくり(繊維);3章3節」に取り組んでいる。更に、ムーンショット型プロジェクトとして、非可食バイオマスを原料としたマルチロック型の「海洋生分解プラスチック;3章4節」の開発研究にも挑戦している。また、JST の COI-NEXT(カーボンネガティブの限界に挑戦する炭素耕作拠点)事業に参画し、「バイオ水素;3章6節」に関する研究開発にも取り組む。以下に2026年度に RITE が参画している国家プロジェクトへの取組み状況について述べる。

RITEの 開発技術		バイオものづくり技術				
		機能解析	機能設計	機能発現・制御	菌株育種	生産株改良
バイオ 化学 品	原料/ バイオマス CO <sub>2</sub> など	3.1 バイオものづくりプラットフォーム 未利用原料から有用化学品を産み出すバイオアップサイクリング技術の開発				
		3.2 バイオものづくり(CO <sub>2</sub> ) バイオものづくり技術によるCO <sub>2</sub> を原料とした高付加価値化学品の製品化				
		3.3 バイオものづくり(繊維) 繊維 to 繊維の資源循環構築の実現に向けた革新的バイオアップサイクル技術の確立				
		3.4 海洋生分解プラスチック 非可食性バイオマスを原料とした海洋分解可能なマルチロック型バイオポリマーの研究開発				
		3.5 産業用スマートセル データ駆動型統合バイオ生産マネジメントシステム(Data-driven iBMS)の研究開発				
バイオ燃料		3.6 バイオ水素 バイオ燃料生産技術の開発				

図 7 参画する国家プロジェクトと RITE が開発を担うバイオものづくり技術の概要

### 3.1. バイオものづくりプラットフォーム「未利用原料から有用化学品を産み出すバイオアップサイクリング技術の開発」

2023 年度にスタートした NEDO「バイオものづくり革命推進事業 第 1 期」<sup>※2</sup>

この事業では、多様な原料を利用し、多様な製品を生み出すバイオものづくりのバリューチェーン構築を目指す。RITE はこの事業において高砂香料工業(株)、帝人(株)と共に課題提起を行い、それを解決する研究開発を開始した。

開発技術として、RITE が扱うコリネ型細菌専用の代謝モデルと、それを利用した代謝シミュレーション手法を開発している。培養の詳細なデータを利用することで従来よりも実際の生産状況に近いシミュレーションが可能となっている。また、極めて有用なデータが得られる一方で、良質なデータの取得が難しい技術として、細胞内に存在する低分子代謝物を網羅的に測定・分析するメタボローム解析が挙げられる。この解析手法に改良を加え、RITE のコリネ型細菌に特化し、更に、解析の流れを半自動化することに成功した。これにより精度の高いメタボローム解析ができるようになり、しかも RITE 内でサンプリングから解析までを完結させることが可能となっ

た。

また、昨年度に引き続き、未利用資源の組成や生産物による生産阻害効果(化合物による細胞毒性)に関わる情報等を格納したデータベース構築を進めている。集めたデータを用いて機械学習を行い、増殖や生産に重要な成分を特定させる等の拡張機能を実装した。

これらの育種技術を集約することで RITE の育種競争力を強化し、バイオものづくり産業への参入を希望する企業に対して、物質生産菌株と生産技術の両方を提供する「微生物開発プラットフォーム」としての役割を果たすことを目指す(図8)。そのための拠点としての新研究棟「RITE バイオものづくりセンター」を立ち上げた。Dry(コンピューターメインの情報解析による生産株設計)と Wet(生物学的実験、育種、培養、分析)の両機能を備え、効率的な生産株育種が可能となるよう整備を進めている。更に今後、企業からの一時滞在者が開発に必要な培養データ等を安心して取得できるよう、セキュリティ面の強化を図り、受け入れ体制を整備する予定である。RITE と各企業が「RITE バイオものづくりセンター」を通して、日本の産業競争力の強化と社会課題解決に繋げていくことを目指す。



図8 「微生物開発プラットフォーム」としての拠点

### 3.2. バイオものづくり(CO<sub>2</sub>)「バイオものづくり技術によるCO<sub>2</sub>を原料とした高付加価値化学品の製品化」※2

本プロジェクトは、わが国が掲げる「2050年カーボンニュートラル」の目標達成に向け、CO<sub>2</sub>を原料とした新しいバイオものづくり製品の開発と社会実装により、カーボンニュートラル実現に貢献するとともに、CO<sub>2</sub>の資源化による産業構造の変革を目指す。この中でRITEは、積水化学工業(株)と共同で本事業を2023年度から開始し、実施中である(事業期間:2023~2030年度の8年間の予定)。RITE/積水化学工業(株)が行う本事業の研究開発イメージを図9に示した。CO<sub>2</sub>を、積水化学が化学触媒でエネルギー準位が高い(生物が利用しやすい)COに高効率変換し、RITEはCOからCO資化菌等を用いたバイオプロセスによってエポキシ樹脂の原料となるポリマー原料に変換する。得

られたポリマー原料は、積水化学が二量化、エポキシ化を経て耐熱性接着剤を製造する。この高付加価値な耐熱性接着剤は、スマートフォン、航空機、自動車等のエレクトロニクス分野において、耐熱性が求められる部材の特殊な接着に用いられる。使用後は、燃焼してCO<sub>2</sub>にして同じスキームで資源循環のサイクルを回すことが可能である。

RITEは、これまでに培ってきたスマートセル技術とバイオ生産技術を活かし、CO資化菌等を用いて、最重要課題である①COからポリマー原料に変換可能な菌株の開発(高活性酵素の探索、酵素の高機能化改変、COから中間体の生産株構築等)と、②ポリマー原料の生産を可能とするバイオ生産プロセスの開発(プロセス設計、培養条件の最適化、連続プロセス開発)等について、主にラボスケールで実施中である。



図9 バイオものづくり技術によるCO<sub>2</sub>を原料とした高付加価値化学品の製品化イメージ

### 3.3. バイオものづくり(繊維)「繊維 to 繊維の資源循環構築の実現に向けた研究開発・実証/複合繊維素材のバイオ分離・バイオ変換を基盤とする革新的バイオアップサイクル技術の確立と高度化」<sup>※2</sup>

本プロジェクトは、国内の主要な繊維企業 5 社(帝人フロンティア(株)、倉敷紡績(株)、東レ(株)、日清紡テキスタイル(株)、日本毛織(株))と RITE が連携し、バイオ・ケミカル・メカニカル技術を統合することで、これまで廃棄されていた複合繊維素材の衣類について、合成繊維と天然繊維の両面の再資源化に対応した、世界初の「繊維 to 繊維資源循環システム」の構築を目指すもので、2025 年度から取組みを開始した。

衣類はその多くが合成繊維や天然繊維からなる複合素材で構成され、再資源化するためには複合素材の単一素材への分離が必要である。しかし、従来技術では分離過程で一部の素材が損傷されてしまうため、再資源化は限定的であった。この課題の解決を目指し、RITE はメカニカル・ケミカル技術等を活用した前処理技術、酵素や微生物による選択的バイオ分離技術、及び、高付加価値な繊維原料へのバイオ変換技術を開発し、これら技術を組み合わせることで、複合繊維素材から、ポリエステル(PET)のような合成繊維を選択的に分離し、天然繊維(綿、ウール)を単一繊維素材として回収するための技術開発を推進する。また、PET 等の合成繊維は繊維原料となる化学品、天然繊維は再生繊維として再利用する革新的技術の確立を目指す(事業期間:2025年度~2032年度の8年間)。

RITEは、①複合繊維中のPET繊維を温和な条件で選択的に酵素分解することにより、天然繊維の物性を損なうことなく分離することを可能とする高機能な酵素の探索・改良とその生産菌株開発、②PET繊維の分解産物を更に高付加価値な繊維原料となる化学品へ変換することを可能とする菌株の開発、及び、③これら PET の酵素分解、天然繊維の分離・回収、PET 分解物からの高付加価値化学品(繊維原料)生産を可能とする統合バイオプロセスの確立を目指す。

更に今後、各種合成繊維の分解酵素の探索・高機能化とそのデータベース構築、酵素スクリーニングや菌株育種を高速化する自動化ロボティクス技術の導入、繊維分解のプロセス解析や回収繊維の物性評価のための分析技術の確立、ベンチスケール検討のためのバイオプロセス設備の整備等に取り組み、これら技術を集約した衣類資源化プラットフォーム拠点の構築を進める(図 10)。

更に今後、各種合成繊維の分解酵素の探索・高機能化とそのデータベース構築、酵素スクリーニングや菌株育種を高速化する自動化ロボティクス技術の導入、繊維分解のプロセス解析や回収繊維の物性評価のための分析技術の確立、ベンチスケール検討のためのバイオプロセス設備の整備等に取り組み、これら技術を集約した衣類資源化プラットフォーム拠点の構築を進める(図 10)。

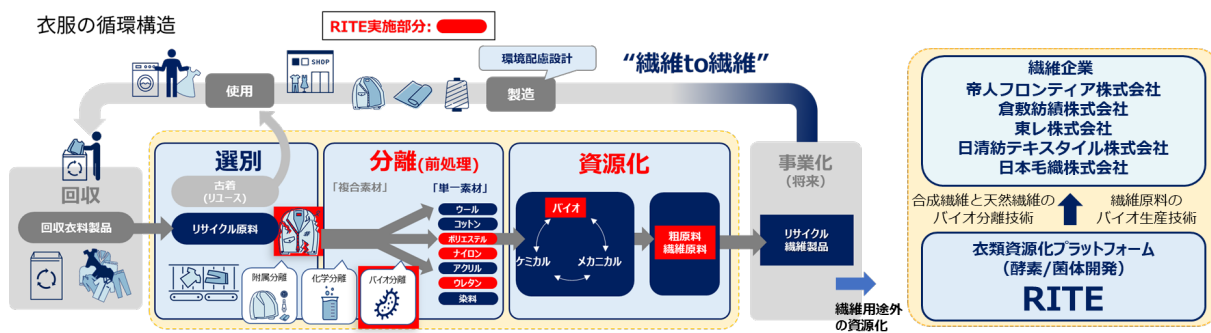


図10 繊維の資源循環システム構築における RITE の役割  
(PET 分解、天然繊維分離、PET 分解物の繊維原料へのアップサイクル)

### 3.4. 海洋生分解プラスチック「非可食性バイオマス为原料とした海洋分解可能なマルチロック型バイオポリマーの研究開発」<sup>※2</sup>

本プロジェクトでは、プラスチックに強靱性と分解性

の両立を実現するために、「マルチロック機構」を導入すべく研究開発を行っている(事業期間:2020 年度~2029 年度の10年間)。

マルチロック機構とは、使用時にはプラスチックの特

性である耐久性・強靱性を保って劣化を防ぐが、海洋環境中に誤って拡散した際には、光、熱、酸素、水、酵素、微生物、触媒等の複数の刺激を同時に加えられたときのみにポリマー結合が外れ、分解開始のスイッチが入り、高速なオンデマンド分解が実現可能となる機構である。

本プロジェクトにおいて実用化を目指す製品は、使用時に二次的な微細粉等を発生するタイヤ、農業資材、ゴーストフィッシングの要因となる漁網や釣具であり、いずれも海洋に流出すると回収が難しく、海洋生物や環境への悪影響が懸念されている(図11)。

RITE では、2025年度までに、マルチロック型プラスチックの分解開始のタイミングを人工的に制御可能とする技術の開発(分解酵素を活用した新技術開発への展開)を含めた研究開発を実施した。まず、探索して見出した「耐熱性のプラスチック分解酵素」を生分解性の担体(顆粒)に静電的に結合させた「担持酵素」を調製することで、酵素の耐熱性を飛躍的に向上させることに成功した。次に、これを熱溶融によってプラスチックに練りこんでプレス成型したフィルムを作製して海水にさらした結果、非常に速やかに酵素分解(オンデマンド分解)が生じることをラボレベルで証明した。更に、海洋フィールド試験によって、再現性良く短期間に分解が生じることを確認した(2024年度、2025年度)。今後はプラスチック分解酵素の高機能化や、プラスチックとの混練条件の最適化等を通じて、更に高速なオンデマンド分解を目指すとともに、結合様式が異なる数種のプラスチックを分解可能な酵素の探索と高機能化を進める。また、今後も非可食資源から海洋生分解プラスチック向け原料モノマーのバイオものづくりを進める。

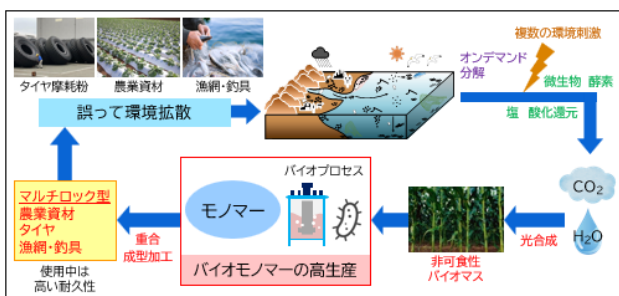


図 11 マルチロック型生分解性プラスチックの開発による資源循環の実現イメージ

### 3.5. 産業用スマートセル「データ駆動型統合バイオ生産マネジメントシステム(Data-driven iBMS)の研究開発」<sup>\*2</sup>

NEDO プロジェクト「カーボンリサイクル実現を加速するバイオ由来製品生産技術の開発」では、実験室レベルで最適化されたスマートセルが工業プロセスでもその能力を発揮できるよう、実用化に伴う課題を解決するための技術開発を実施している。2026年度はプロジェクト最終年度として開発技術の有効性を示した実例や社会実装への明確な道筋提示が求められる。RITE は本プロジェクトのテーマの一つである「データ駆動型統合バイオ生産マネジメントシステム(Data-driven iBMS)の研究開発」に初年度から参画し、バイオものづくり技術の実用化に伴う課題の内、高濃度の生産物による酵素活性低下と大型発酵槽内の不均一性に起因する問題を解決するための新規技術群の開発を進めている(図12)。

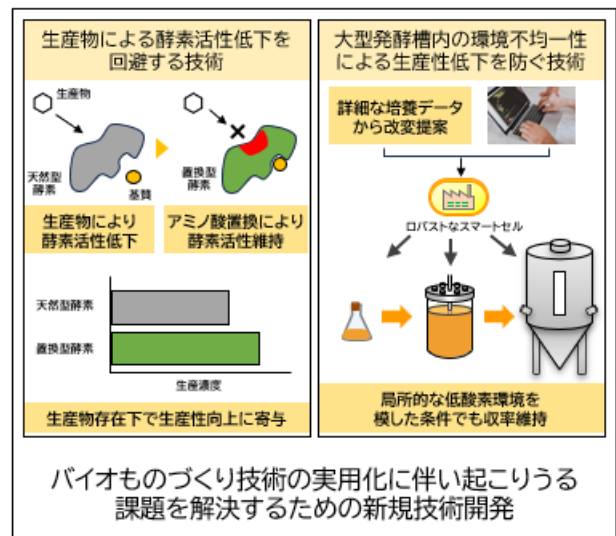


図 12 生産時に起こりうる問題の解決技術開発

連携研究機関と共に開発した、酵素のアミノ酸配列を適切に置換することで生産物による酵素活性低下を回避できる技術を利用し、2025年度は生産株を実際に育種し、ジャーファーマンターを用いた検討においてこの技術が生産性向上に寄与することを示唆する結果を得た。一方、スケールアップ時には温度や pH、原料、溶存酸素濃度等が局所的に偏った不均一環境になりやすい。このような環境下でも高い生産性を示すことができ

るロバストな生産株の設計技術開発を連携研究機関と共に目指してきたが、2025年度はロバスト性を付与することが期待できる遺伝子改変提案の検証についても実行した。この提案は RITE が取得した、局所的な溶存酸素濃度低下を再現した条件での詳細な遺伝子発現データ、代謝物データに基づいている。検証株を育種し、ジャーファーメンターで生産性を比較した結果、溶存酸素濃度が一時的に低下した条件でも収率を維持可能な改変を複数見出した。このような、実際の生産時に起こりうる問題の解決技術を開発し、有効性検証を行うことで、炭素循環型社会実現、持続的経済成長に資するバイオものづくり社会の実現を目指す。

### 3.6. バイオ水素「バイオ燃料生産技術の開発」

RITE は、2023 年度に始まった JST(国立研究開発法人科学技術振興機構) COI-NEXT(共創の場形成支援プログラム)「カーボンネガティブの限界に挑戦する炭素耕作拠点」に参画し、研究開発課題3(炭素耕作による燃料生産技術の開発)の中で、バイオ水素生産技術とバイオ液体燃料生産技術の開発を進めている(図 13)。本拠点ビジョンの達成に向け、光合成による CO<sub>2</sub> 固定量の大幅な増大を目指してバイオマス生産技術の開発を実施する参画機関と連携し、多様なバイオマスから高効率に燃料を生産するためのバイオ変換技術の確立を目指す。究極のクリーンエネルギーとして期待されており、カーボンニュートラル/カーボンネガティブの鍵となる CO<sub>2</sub> フリー水素生産プロセスの開発を中長期的な課題とし、これと共通の基盤技術を利用した液体燃料生産プロセスの開発を短中期的な課題として設定している。

バイオマス燃料生産技術の社会実装には、生産コストの低減が課題である。また、バイオマス原料の成分は多様であり、その組成は原料の種類によって大きく異なるため、画一的な技術で広範な需要を満たすのは難しい。これらの課題を解決するため、本拠点では、多様な熱化学、及び、生物学的変換技術の開発を一体的に進めることで技術融合・技術革新を実現し、経済性・環境性・社会受容性の観点から社会実装の実現性が高いシステムを選抜する。

RITE では、これまでに開発した高速バイオ水素生産プロセスを基盤とし、バイオマス由来糖類からの水素収率の大幅向上に向けた微生物触媒の開発に取り組んでいる。新規高収率水素生産微生物を構築するために導入した水素生成酵素の発現系の改良を進めており、同酵素の発現レベルの最適化により水素生産能が安定的に向上することを示している。また、RITE は、非可食バイオマスに由来する C6&C5 混合糖を高効率にエタノールに変換できるバイオプロセスを確立している。このプロセスに改良を重ね、非可食バイオマス糖化液からのエタノール生産試験で、他生物では消費しにくいキシロースをグルコースと同等以上の速度で消費し、両糖ともに完全に消費できることを示している。この技術で、エネルギー作物や炭素固定量の多いイネ、糖含量の多い微細藻類等から可能な限り全ての糖類を回収、エタノールに変換し、これを化学反応によりジェット燃料に変換する SAF(持続可能な航空燃料) 製造技術の確立を目指す。

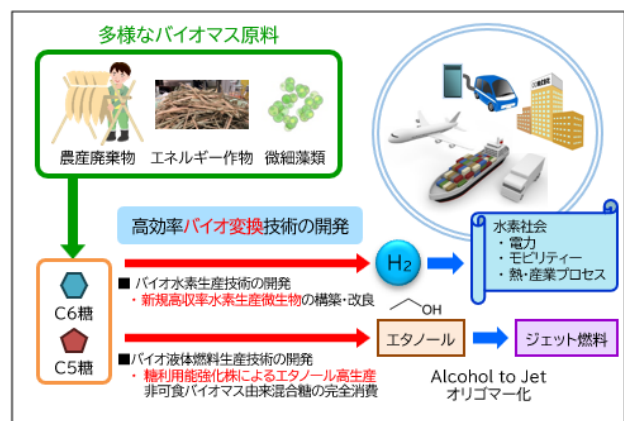


図 13 バイオ燃料生産技術の開発

## 4. 実用化への取り組み

### 4.1. グリーンケミカルズ(株)(GCC)

(本社・京都研究所:RITE 本社内、静岡拠点:住友ベークライト(株)静岡工場内)

(GCC ホームページは[こちら](#))

2010年2月、RITE は、住友ベークライト(株)と共同で、非可食バイオマスを原料として、バイオプロセスによるフェノール生産、及び、フェノール樹脂製造に関わる基盤技術開発を進めるために、グリーンフェノール・高機

能フェノール樹脂製造技術研究組合(GP 組合)を設立した。2014年5月、同組合をグリーンフェノール開発(株)(GPD)へ改組し、これが技術研究組合の株式会社化第1号となった。2018年4月には、同社の技術はフェノール生産以外にも有用な化合物を並行的に生産可能であるため、グリーンケミカルズ(株)(GCC)へ社名を変更した。2024年には、GCCの商標「グリーンケミカルズ」と「グリーンフェノール」が登録された。

GCCでは、グリーンフェノール生産技術開発で培った量産技術とノウハウを活用し、従来は高生産が難しいと考えられていた芳香族化合物等のグリーン化学品の量産技術を確立している。中でも付加価値の高い液晶ポリマー原料等の用途が有望な4-ヒドロキシ安息香酸(4-HBA)、化粧品・香料(バニリン)原料としての用途が見込まれるプロトカテク酸、抗インフルエンザ薬(タミフル)原料であるシキミ酸といった付加価値の高い化学品について、高い量産技術を有している。いずれの物質についても、その生産株の産業利用を目的とした遺伝子組換え生物等の第二種使用に関して、経済産業大臣の確認(大臣確認)を取得し、グリーン化合物の商品化や、事業化に向けたプロモーション活動を進めている(図14)。

現在、国内外の数多くの企業から引き合いをいただいているため、各ニーズに応じて、生産コストの更なる低減や製品の品質向上等の諸課題に取り組むことにより、バイオものづくりの社会実装を推進していく所存である。

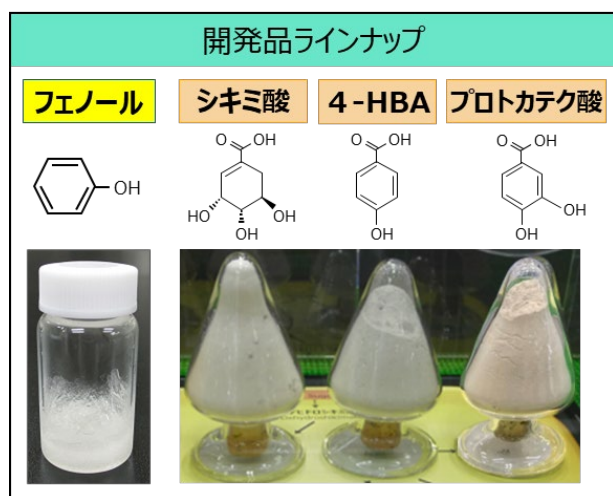


図14 GCCの主な開発品ラインナップ

#### 4.2. Green Earth Institute(株)(GEI)

(本社:東京都新宿区新宿三丁目5番6号 キュープラザ新宿三丁目6階、研究開発拠点:千葉県木更津市かずさアカデミアパーク)

(GEIホームページは[こちら](#))

2011年9月、RITEは、「RITE Bioprocess」を事業化するため、RITE 発のベンチャー企業として Green Earth Institute(株)を設立した。2021年12月、業績の発展に伴い、同社は東京証券取引所マザーズ市場に上場、2022年4月、市場再編によりグロース市場に移行した。

同社では、NEDO より受託したバイオファウンドリ事業、グリーンイノベーション基金事業、バイオものづくり革命推進事業等、国内外のパートナー企業等との研究開発、及び、事業化を推進させ、「垂直統合型バイオファウンドリ」を展開しようとしている

また、同社は、2025年7月に、木質バイオマスを原料とするバイオエタノール等の製造販売を行う「森空バイオリファイナリー合同会社」を合併で設立し、持続可能な航空燃料(SAF:Sustainable Aviation Fuel)の実現に取り組んでいる。

#### 4.3. 企業との共同研究

本概説で紹介している主な生産物質(2章3節)以外にも、数多くの物質についてバイオものづくりが可能であり、個社のニーズに応じた共同研究を展開中である。2020年10月の日本政府による「2050年カーボンニュートラル」宣言以降、特に、製品の海外展開を図る企業からの問い合わせや引き合いが急増し、共同研究の件数も増加している。「化石資源由来の製品を、できるだけ早期にバイオ由来の生産に転換したい」、「主力製品や主要原料を、中長期的に化石資源由来からバイオ由来に転換したい」、「自社製造により排出される廃棄物を原料として高付加価値バイオ製品を製造できないか」等、企業から寄せられる要望は様々である。RITE はこれまでに培った高度な専門性と豊富な経験に基づき、個社に寄りそうバイオものづくりの提案を行っている。

## 5. おわりに

RITE では、3章で紹介した国家プロジェクトへの取り組みも活用して、スマートセル創製技術をはじめとするバイオものづくり技術の高度化を、今後も継続して推進していく。2025 年11月に竣工した「RITE バイオものづくりセンター」では(図15)、これまで蓄積した RITE の技術力である「RITE Bioprocess」や「スマートセル創製技術」をベースに、国内の未利用資源を原料とする数多くの知見、難度技術、最先端の研究設備、また、コストパフォーマンスや競争力維持等の観点から個社での取り組みが難しい一定の規模を必要とする生産プロセスの開発技術等を駆使し、製品ごとに最適なバイオものづくり技術開発のサービスが提供可能である。

バイオものづくり産業への参入を望みながらためらう数多くの企業が必要とする物質生産菌株の開発を受託し、生産技術を提供するために、RITE が有するバイオの専門人材、研究設備、技術、情報等を集約した「微生物開発プラットフォーム」として、今後、我が国のスマートセルインダストリーの振興に寄与し、エネルギー分野、化学産業分野等において、バイオものづくりの社会実装が根付く近未来に貢献していきたいと考える。

これまで微生物生産が難しいとされてきた化合物も、RITE の最新技術により高生産を実現する可能性がある。バイオ転換を試みたい化合物をお持ちの企業様、廃棄物資源の高付加価値バイオ展開をご検討中の企業様、あるいは、RITE のバイオものづくりに魅力を感じた企業様は、ぜひ一度、RITE バイオ研究グループにご連絡ください。

「RITE バイオものづくりセンター」の詳細については、本 RITE Today のトピックス記事も併せてご覧ください。

※1 「RITE Bioprocess」は、RITE の登録商標（商標登録第 5796262 号）

※2 この成果は、NEDO(国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構)の委託・補助事業の結果得られたものです。



図 15 「RITE バイオものづくりセンター」