

グリーンイノベーション基金事業／ バイオものづくり技術によるCO₂を直接原料とした カーボンリサイクルの推進

2024年度 WG報告資料

2024年7月12日

バイオ・材料部

目次

- 1．プロジェクトの概要
- 2．プロジェクトの実施体制
- 3．プロジェクトの実施スケジュール
- 4．プロジェクト全体の進捗
- 5．実施企業等の取組状況とNEDO委員会での意見
- 6．プロジェクトを取り巻く環境
- 7．NEDOによる社会実装に向けた支援に関する取組状況

（参考 1）プロジェクトの事業規模

（参考 2）研究開発進捗のマイルストーン

（参考 3）各コンソーシアムの事業概要

（参考 4）NITEによるGIフォーラム設立

1 - 1. プロジェクト概要

- 本プロジェクトは、以下の研究開発項目 1 ～ 3 を実施することにより、**従来石化由来原料で製造されてきた製品の原料をCO₂へ転換**すること、また、**ケミカルプロセスを微生物等のバイオプロセスに転換**することにより、GHG削減を目指すものである。

研究開発概要

研究開発項目 1

有用微生物の開発を加速する微生物等改変プラットフォーム技術の高度化

微生物ライブラリや代謝物DBの拡充、AI技術等を用いた効率的な微生物設計システムの開発、ロボティクスやセンシング技術を駆使したゲノム、微生物構築、微生物性能試験等の生物化学的な実験の効率化、収集した代謝物を統合処置するためのシステム開発等、DBTLを構成する各要素技術開発

研究開発項目 2

CO₂を原料に物質生産できる微生物等の開発・改良

CO₂を吸収・固定化し物質を生産する代謝経路を持つ微生物に対する遺伝子組換え等の手法や、高い物質生産性を有する既存の産業微生物に対するCO₂を吸収・固定化し物質を生産する代謝経路の組み込みといった手法を用いた、商用化可能な産業用微生物の開発

研究開発項目 3

CO₂を原料に物質生産できる微生物等による製造技術等の開発・実証

CO₂を原料として物質生産ができる微生物の培養方法の最適化、培養規模のスケールアップ（セミコマーシャルレベルまで）、目的物質の分離、精製、加工技術の開発、及び、物質生産実証に伴うLCA評価



アウトプット目標

1. 2030 年までに、DBTL サイクルの 1 サイクルあたりの時間を短縮するための技術開発、さらに、サイクル回数を削減しコストを低減する技術確立し、有用微生物の開発期間を最大 1 / 10 程度に短縮する技術確立。
2. 2030 年までに、一般的な天然株と比較して物質生産機能または CO₂固定化能を 5 倍程度向上させ、商用レベルで物質生産できる微生物（商用株）を開発、もしくは既に物質生産機能または CO₂固定化能の高い微生物にゲノム編集等を行って生産機能等を保ちながら従来とは異なる原料・目的物質を利用可能な微生物（商用株）を開発。
3. 2030 年までに、微生物等を用いて、CO₂ を原料として生産した物質の製造コストが、2030 年時点の代替候補の製品の 1.2 倍以下となる技術を開発。

1 - 2. プロジェクト概要

- 6つの課題が採択され研究開発を実施（幹事機関：カネカ、ちとせ研究所、積水化学工業、双日、NITE、富士フイルム）
- CO₂を原料に物質生産を行う独立栄養微生物として、各コンソーシアムでそれぞれ、①水素酸化細菌（CO₂、H₂、O₂を利用）、②CO資化菌（COを利用）、③微細藻類（光合成を利用）、の3種類について開発中
- 水素酸化細菌とCO資化菌では安全で効率的な「ガス発酵」技術について、藻類では独自の培養技術（フォトバイオリアクター）について大規模実証を実施

各コンソーシアムの研究開発概要

研究開発項目 1

有用微生物の開発を加速する微生物等改変プラットフォーム技術の高度化

- 水素酸化細菌やCO資化菌など独立栄養微生物の利活用プラットフォーム（NITE）構築。PJ期間中は「GIフォーラム」で利用可能とし、PJ終了後はNITEで公開予定。
- 水素酸化細菌（カネカ）や微細藻類（ちとせ研究所）の改変プラットフォームを構築。

研究開発項目 2

CO₂を原料に物質生産できる微生物等の開発・改良

- 【水素酸化細菌】既に従属栄養で製造している生分解性プラスチック「PHBH」（カネカ）、現在は化石燃料から製造している化成品の原料（双日）をターゲットとして、生産微生物開発。
- 【CO資化菌】現在は化石燃料から製造している化成品の原料（積水化学工業）を生産する微生物開発。
- 【藻類】光合成による高生産を目指した藻類開発を行い、樹脂、化粧品、燃料、飼料、食品等の多様な製品に応用展開（ちとせ研究所）。

研究開発項目 3

CO₂を原料に物質生産できる微生物等による製造技術等の開発・実証

- 【水素酸化細菌】【CO資化菌】従来のバイオマス原料からの微生物生産とは異なる、安全で効率的な「ガス発酵」プロセスの開発（カネカ、双日、積水化学工業、富士フイルム）が必要。
- 【藻類】効率的なフォトバイオリアクターによる光合成生産を目指して、100haの大型実証（ちとせ研究所）。

2-1. プロジェクトの実施体制

- 本プロジェクトでは、CO₂を原料とした水素酸化細菌によるPHBHの生産プロセスを確立し、低コストなバイオポリマーを社会実装すること、また、CO₂バイオファウンドリを確立することによって「CO₂を原料としたバイオものづくり」の裾野を拡げることを目指し、研究開発項目①CO₂バイオファウンドリの確立、②バイオポリマー生産微生物育種、③生産実証に取り組む。

CO₂からの微生物による直接ポリマー合成技術開発

テーマ名・事業者名	実施内容	事業期間
<u>CO₂からの微生物による直接ポリマー合成技術開発</u> ・株式会社カネカ（幹事）（※） ・日揮ホールディングス株式会社 ・株式会社バックス・バイオイノベーション（※） ・株式会社島津製作所	【研究開発項目①】：代謝設計技術、微生物ライブラリの迅速構築及び高品質データの迅速集積技術を開発。これらをデータベースによって相互に連携し、データから知識を創出するAI技術を開発して、育種の期間を1/10へ短縮する。 【研究開発項目②】：CO₂固定化能力が5倍に向上したポリマー生産微生物開発、ガラス転移点の異なる3種類以上のバイオポリマー生産微生物育種を行う。 【研究開発項目③】：安全で高効率なガス発酵プロセスを構築し、CO₂を直接原料とするPHBHのセミコマーシャルプラントを建設し生産実証を行う。また、CO₂を直接原料とする多様な微生物に対応する生産プロセス開発基盤を構築する。	2023年度～2030年度

2-2. プロジェクトの実施体制

- **本プロジェクトでは、効率的にバイオマス原料を生産することができる微細藻類の育種及びその育種方法の高度化と、生産するバイオマス原料を樹脂、燃料、化粧品、飼料、食品等の多様な成分を、MATSURI参画企業80社以上に展開して用途開発**することを目指し、研究開発項目①実用微細藻類の非遺伝子組換えゲノム編集・調整基盤開発、②脂質生産性を従来比5倍以上へ改良する、高効率な非遺伝子組換えゲノム編集・調整、③代替候補品の製造コストと同等以下にする、生産プロセスの開発・実証に取り組む。

光合成によるCO₂直接利用を基盤とした日本発グローバル産業構築

テーマ名・事業者名	実施内容	事業期間
光合成によるCO ₂ 直接利用を基盤とした日本発グローバル産業構築 ・株式会社ちとせ研究所（※）	【研究開発項目①】：育種開発に要する期間を従来比1/10とする、実用微細藻類の非遺伝子組換えゲノム編集・調整基盤開発 【研究開発項目②】：脂質生産性を従来比5倍以上へ改良する、高効率な非遺伝子組換えゲノム編集・調整 【研究開発項目③】：代替候補品の製造コストと同等以下にする、生産プロセスの開発・実証	2023年度～2030年度

2-3. プロジェクトの実施体制

- 本プロジェクトでは、**CO₂を原料とした高付加価値化学品の社会実装**を目指し、積水化学工業株式会社が保有するCO資化菌による物質生産技術と、RITEが保有する高毒性の芳香族化合物の高生産技術を活用して、CO₂をCOへと変換して原料化、研究開発内容② CO₂を原料に物質生産できる微生物等の開発・改良、③ CO₂を原料に物質生産できる微生物等による製造技術等の開発・実証に取り組む。

バイオものづくり技術によるCO₂を原料とした高付加価値化学品の製品化

テーマ名・事業者名	実施内容	事業期間
<u>バイオものづくり技術によるCO₂を原料とした高付加価値化学品の製品化</u> ・積水化学工業株式会社（幹事）（※） ・公益財団法人地球環境産業技術研究機構（RITE）	【研究開発項目②】：CO ₂ を原料に物質生産できる微生物等の開発・改良 【研究開発項目③】：CO ₂ を原料に物質生産できる微生物等による製造技術等の開発・実証	2023年度～2030年度

2-4. プロジェクトの実施体制

- 本プロジェクトでは、**水素酸化細菌によるCO₂とH₂を原料とした化成品、菌体の高効率生産技術の確立**を目指し、研究開発項目②化成品を生産する組換え水素細菌の開発、③水素酸化細菌の培養技術の開発と実証、に取り組む。

水素細菌によるCO₂とH₂を原料とする革新的なものづくり技術の開発

テーマ名・事業者名	実施内容	事業期間
水素細菌によるCO ₂ とH ₂ を原料とする革新的なものづくり技術の開発 ・双日株式会社（幹事） ・一般財団法人電力中央研究所 ・Green Earth Institute株式会社 ・DIC株式会社 ・東レ株式会社 ・株式会社ダイセル	【研究開発項目②】：化成品を生産する組換え水素酸化細菌の開発 【研究開発項目③】：水素酸化細菌の培養技術の開発と実証	2023年度～2030年度

2-5. プロジェクトの実施体制

- 本プロジェクトでは、CO₂固定微生物及び関連するデータを集約し、培養情報やゲノム情報をはじめとする様々なデータを国内の産業界やアカデミア等が一元的に検索することができる「**CO₂固定微生物利活用プラットフォーム**」の構築及び**有用微生物の開発期間を最大1／10程度に短縮する技術の確立**を目指し、研究開発項目①-1 CO₂固定微生物の探索及び有用情報の整備、①-2 バーチャルCO₂固定微生物・単離菌のゲノム情報の収集、①-3 CO₂固定微生物の機能情報のDB化と検索ツールの開発、①-4 CO₂固定微生物利活用プラットフォームの構築に取り組む。

CO₂固定微生物利活用プラットフォームの構築

テーマ名・事業者名	実施内容	事業期間
<u>CO₂固定微生物利活用プラットフォームの構築</u> ・独立行政法人製品評価技術基盤機構（幹事） ・国立研究開発法人海洋研究開発機構 ・国立大学法人茨城大学 ・国立大学法人京都大学 ・国立大学法人東京大学 ・大学共同利用機関法人情報・システム研究機構 国立遺伝学研究所 ・大学共同利用機関法人情報・システム研究機構データサイエンス共同基盤施設ライフサイエンス統合データベースセンター ・bitBiome株式会社	【研究開発項目①】：有用微生物の開発を加速する微生物等改変プラットフォーム技術の高度化	2023年度～2030年度

2-6. プロジェクトの実施体制

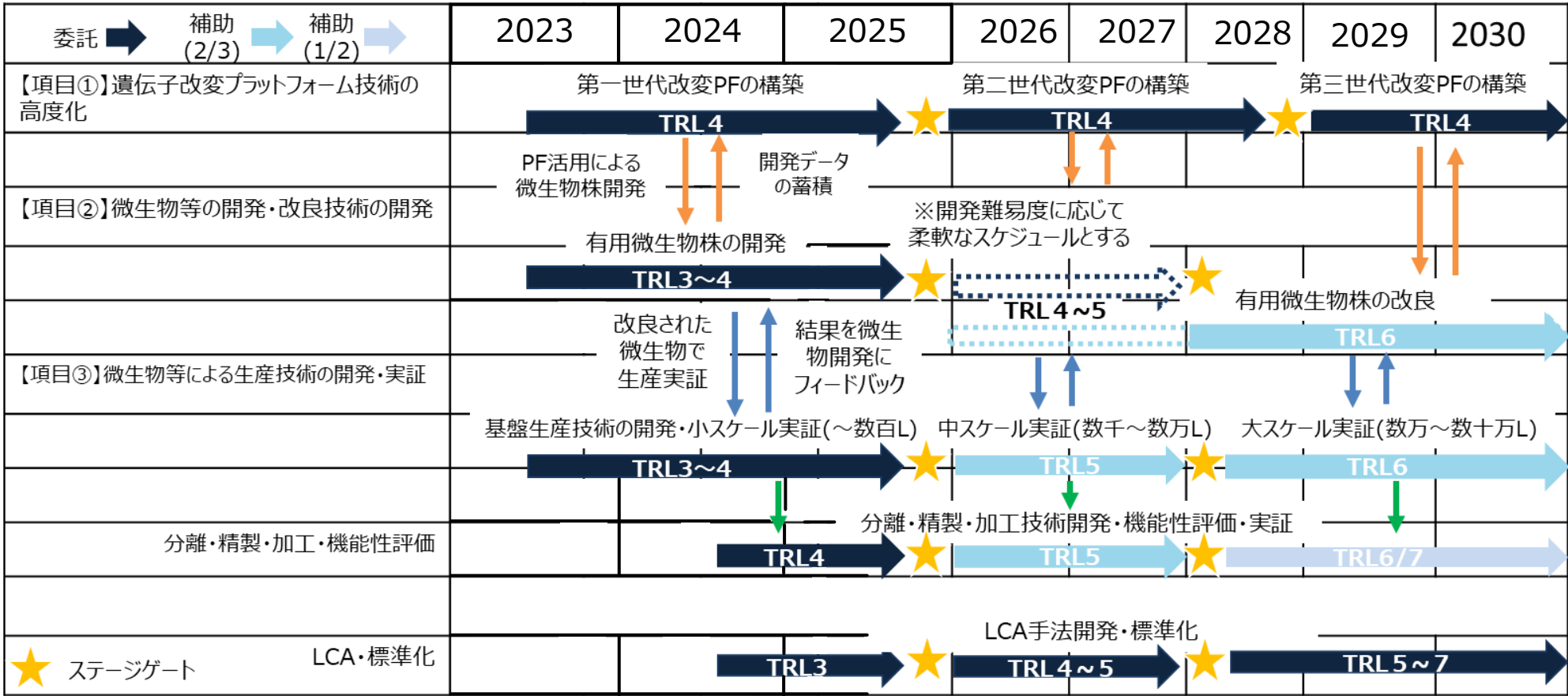
- 本プロジェクトでは、富士フイルムが有するファインケミカルからバイオまでの多様なものづくりの実績や、バイオサイエンスとエンジニアリングの幅広い技術といった強みを活かし、**CO₂から直接、物質生産ができる水素酸化細菌によるバイオ生産プラットフォームを構築**、自社製品の製造のみならず、開発受託（CDMO）ビジネスの展開や、将来、製造受託（CMO）機能を果たすことで、**CO₂を直接原料としたバイオものづくりビジネスの裾野を拡げ、カーボンニュートラル化の実現に寄与**することを目的として、研究開発項目③ CO₂を原料に物質生産できる微生物による製造技術等の開発・実証に取り組む。

CO₂を原料に物質生産できる微生物等による製造技術等の開発・実証

テーマ名・事業者名	実施内容	事業期間
CO ₂ を原料に物質生産できる微生物等による製造技術等の開発・実証 ・富士フイルム株式会社	【研究開発項目③】：CO ₂ を原料に物質生産できる微生物による製造技術等の開発・実証	2023年度～2030年度

3. プロジェクトの実施スケジュール

- 毎年度、2回の技術・社会実装推進委員会を実施（2023年度のみ、契約年度のためサイトビジットと同時開催で1回）
- 1～2年度に一度、コンソーシアムごとにサイトビジット（NEDO技術・社会実装推進委員会視察）を実施
- ステージゲート審査①：2025年10月、ステージゲート審査②：2027年10月頃を予定



4. プロジェクト全体の進捗

- 委員からの指摘もあり、NITEが研究開発項目1で開発するプラットフォームについて、早い段階から事業者が利用できるように、「**GIフォーラム**」を設立
- 昨今の建築業界における納期遅延の影響により、**今後の大規模プラント建築等のスケジュールに影響が出る可能性が高く**、必要に応じて計画の見直しを検討中

「技術面」

<実施企業等の主な取組状況>

<NEDO委員会による主な意見>

「研究開発の進捗度」等について

- 遺伝子改変プラットフォーム技術の高度化（研究開発項目1）及び微生物等の開発・改良技術の開発（研究開発項目2）は、全体的に順調に進捗。
- 微生物等による生産技術の開発・実証（研究開発項目3）は、培養槽の納期遅れや特注品、爆発混合気を扱うための研究棟建設や研究室工事の納期遅れといった外部環境の変容によって若干の遅延がある。



- スクリーニングやフィールドワークといった際限なく継続可能な実施内容は、**ゴールを明確化する必要がある。**
- **育種の基盤技術をや効率的で安全なガス発酵等**の共通の課題は非競争領域において**コンソ間で情報共有**するなど、研究開発を効率化する必要がある。
- **項目2の育種と項目3のスケールアップは連動（プロセスを意識した育種）し、「出戻りのない育種」が重要で、両項目は一体となって進めるべき。**

「研究開発の見通し」等について

- 微生物等による生産技術の開発・実証（研究開発項目3）では、今後培養規模をスケールアップしていくが、昨今の建築業界の納期遅延でその工期が大きく遅れることがリスクとして検出される。



- **複数の培養手法の並列検討やスケールアップ計画の前倒しなど柔軟に対応するべき。**
- 2030年度の事業終了後に社会実装を目指すにあたり、**継続して支援することを検討できないか。**

「事業面」

<実施企業等の主な取組状況>

<NEDO委員会による主な意見>

「市場機会の認識」、「社会実装に向けた取組状況」等について

- 具体的な物質生産を目標とし、最終製品が定まっている研究開発においては、ターゲット市場を把握し、個社ごとに目標とする市場占有率やそのための戦略が練られている。一方で、最終製品が定まっていないケースでは、市場機会の認識や社会実装に向けた取組が必ずしも具体的になっていない。



- 各プロジェクトの目的物質を原料とした製品を社会実装するにあたり、**LCAに関し、CO₂吸収量を詳細に捉えるとともに、並行してプロセスマスの熱バランス、H₂や培地成分のバランスなどを考慮してバイオプロセスのインベントリ整備方法を確立する必要がある。**

「ビジネスモデル」等について

- 水素等の原料調達、菌体残渣の食品・飼料への展開、CO₂によるものづくり製品の認証制度の制定といった標準戦略などコンソーシアムの枠を越えて協調できる領域が見受けられる（研究開発項目共通）



- **標準化など非競争領域を見極め、協調できる内容については、コンソーシアムの枠を越えて検討を進め、社会実装までの期間短縮を目指すこと。**
- 市場の立ち上げ期、普及期などのフェーズごとに、**オープン＆クローズ戦略の検討**を行う体制を構築すること。

5－1．実施企業等の取組状況とNEDO委員会での意見

CO₂からの微生物による直接ポリマー合成技術開発

カネカコンソーシアム（株式会社カネカ（幹事）、日揮ホールディングス株式会社、株式会社バックス・バイオイノベーション、株式会社島津製作所）

研究開発項目1 <u>ガス発酵バイオフィアウンドリの確立</u> <u>(代謝設計技術、微生物の迅速構築</u> <u>技術、高速評価システム)</u> ・株式会社バックス・バイオイノベーション <u>多検体かつ高速生産性評価システム</u> ・株式会社島津製作所	<u>取組状況</u> - ターゲット化合物から、代謝経路及び酵素を設計するためのワークフローに必要な要素抽出、課題抽出を完了。(バックス) - 乳酸関連遺伝子から乳酸分解の遺伝子を特定、乳酸分解能の欠損株を取得(バックス) - 液中に直接ガス交換をするためのバブリングノズルを試作。A素材で良好な気泡径での送気を確認。（島津製作所） <u>委員からの助言</u> - ファウンドリ事業における菌株の育種（スクリーニング）について、有望な菌株を選定できた場合、最終目標である産業化に向けて必要なことに特化した研究に進むなど、柔軟に取り組むこと。
研究開発項目2 <u>バイオポリマー生産微生物等の開発・改良</u> <u>PHBH生産株・生産性向上株の開発</u> ・株式会社カネカ（幹事）	<u>取組状況</u> - 遺伝子A,B破壊株、強化株を育種し、ポリマー蓄積速度及び生産速度が向上する可能性を見出した。 <u>委員からの助言</u> - ポリマー生産菌における菌体育種について、各種取得データの評価議論や理論面計算面での裏付け整理を行うこと。 →同位体標識を用いた炭素フラックス解析等を行い、律速工程や副産物の経路の解析等を実施し、菌体育種のデータと比較しながら開発を進める。
研究開発項目3 <u>CO₂を原料に物質生産できる微生物等による製造技術等の開発・実証</u> <u>安全・高効率なガス発酵プロセス開発、PHBHのセミコマーシャルプラントの開発・実証</u> <u>LCA評価</u> ・株式会社カネカ（幹事） ・日揮ホールディングス株式会社 ・株式会社島津製作所	<u>取組状況</u> - 燃烧試験結果を反映させたガス培養実験の実施、安全にガスを取り扱うための安全指針を作成し、GIバイオPJ全体へ共有した。(日揮) - 安全指針に沿って、200Lベンチ設備(培養槽及び建屋)の仕様を決定、建築に着手。（カネカ） <u>委員からの助言</u> - ガス培養の安全指針に関し、ルール形成に対する基本的な考え方、および国内外の標準化／規制動向を幅広く監視し、戦略形成している点を評価する。 - 培養槽方式選定における技術的判断については、気泡径分布と拡散係数、気泡による流動推進力、微生物消費速度と連携した水素利用効率、リサイクルの手法、消費動力等相互に関係する要素が多いため、事前の理論に基づく技術検討議論とその構成の定量的整理（CFD検証等を含む）を行うこと。 →CFD解析等を用いて発酵槽内の各種ガス分布の解析、爆発混合気の形成を回避し、最適な原料ガスを供給できるアドバンス制御ロジックの開発を行う。

5－2．実施企業等の取組状況とNEDO委員会での意見

光合成によるCO₂直接利用を基盤とした日本発グローバル産業構築

株式会社ちとせ研究所

研究開発項目 1 育種開発に要する期間を従来比1/10とする、 実用微細藻類の非遺伝子組換えゲノム編集・ 調整基盤開発 ・株式会社ちとせ研究所	<u>取組状況</u> ・ 標的遺伝子の選定を完了、変異株ライブラリへの遺伝子導入手法、スクリーニングの前処理条件を決定した。 <u>委員からの助言</u> ・ 遺伝子選定については、ゲノム編集のほかに遺伝子組換えによりノックイン、ノックダウン、ノックアウトを同時並行で進めるべき。
研究開発項目 2 脂質生産性を従来比5倍以上へ改良する、高 効率な非遺伝子組換えゲノム編集・調整 ・株式会社ちとせ研究所	<u>取組状況</u> ・ 育種元株の選定及び候補株の育種条件、培養条件及び脂質分析条件の検討を開始した。 <u>委員からの助言</u> ・ 開発する元株の選択における育種改変株のスクリーニングについて、現段階で入手可能な株を対象とし、数十から数百株単位でより広い株の評価を検討すること。 →ドロップレット技術を活用した高効率かつハイスループットのスクリーニング条件を確立、幅広いスクリーニングに取り組む予定。
研究開発項目 3 代替候補品の製造コストと同等以下にする、生 産プロセスの開発・実証 ・株式会社ちとせ研究所	<u>取組状況</u> ・ フラスコスケールでの脂質湿式抽出条件を検討において、乾燥工程なしで従来法以上の脂質抽出を可能とする条件を見出した。 ・ 20L規模の小規模実機実証脂質抽出試験を実施、ラボスケールでの従来法の比例量を越える脂質抽出を確認した。 ・ 原料として利用する発電所排気ガスの性状成分分析を実施、環境・衛生基準を参照し、初期基準値を作成中。 <u>委員からの助言</u> ・ 商業プラントの計画からバックキャストして整理すべき事、ラボと実証の評価系の違い等、試験系で違いが出るものは、理論的背景に基づく議論と整理を行うこと。 →商用規模へのスケールアップからのバックキャストを意識した実施計画としている。 ・ 使用する排ガスの組成については、今後も変動があることを前提に排ガスの変動幅の見極めと変動範囲の決定、それに基づいたプロセスフロー及び標準化方法を検討すること。 →PBRへの排ガス投入量及びそのCO₂濃度と微細藻類による固定量（バイオマス生産）の相関性を確認するところから開始する。 ・ どのような特許、あるいはノウハウをライセンスアウトするのか、知財戦略を具体化すること。

5 – 3. 実施企業等の取組状況とNEDO委員会での意見

バイオものづくり技術によるCO₂を原料とした高付加価値化学品の製品化

積水コンソーシアム（積水化学工業株式会社（幹事）、公益財団法人地球環境産業技術研究機構）

研究開発項目2 CO₂を原料に物質生産できる微生物等の開発・改良 ・積水化学工業株式会社（幹事） ・公益財団法人地球環境産業技術研究機構（RITE）	取組状況 - CO資化菌で高発現可能なプロモーターを取得及び遺伝子破壊の薬剤選択系を構築。（RITE） - CO資化能をもつ新規菌株の探索において、100株以上のCO資化菌を分離。（積水） - COガスを原料として、CO資化菌を用いた目的物質の生産を確認、2023年度の生産量目標を達成。（積水、RITE） 委員からの助言 - 仮に事業の途中で生産株を新規株に切り替える場合、組換え系の開発、代謝改変、酵素機能の開発に時間を要することが想定されるため、研究開発成果を迅速に活かせるように、2025年度までの研究開発計画に落とし込むこと。 →2025年度までに、新規株スクリーニング結果を評価し、組換え株の必要性を判断するよう研究開発計画を見直した。 - バイオプロセスに適用する菌株の育種に関して、開発方法を整理すること。 →2024年度末までに、LCAや経済性、操作性、安全性をも加味、菌体育種の開発方法及び物質生産方式を絞り込む。
研究開発項目3 CO₂を原料としたエポキシ接着剤の製造実証 (連続生産プロセス、分離・精製、前処理プロセスの開発等) ・積水化学工業株式会社（幹事） ・公益財団法人地球環境産業技術研究機構（RITE）	取組状況 - CO資化菌の1週間連続培養に成功（積水） - ラボスケールで、CO資化菌を培養しながら生産物を吸着するプロセスを開発中。（RITE） - 遺伝子組換え株及びCO資化菌の実培養上清において、目的物質への変換を確認。（RITE） - 目的物質への変換プロセスフローを作成、各工程ごとのコスト計算を実施し、理論値ベースのコスト試算完了。（積水） - ストーカ炉とバイオプロセスの接続をする前処理プロセス開発において、実ガス分析及び小型実ガス実証設備基本設計を完了。（積水） 委員からの助言 - ガス培養のスケールアップは、商用プラントの計画からバックキャストして、各段階での評価系、試験方法、技術課題を論理的に整理・議論し、予備検討しながら進めること。 →菌評価と並行して、スケールアップの各段階の評価系、試験方法、技術課題を整理しプロセス開発を進める。 - ごみ処理場排出ガスは、その流量と不純物の構成が経時的に変動するため、プロセスの設計は安全性に配慮した上で、運転の安定性を考慮し、前処理設備を設計すること。 →排ガス中不純物のうち、変動と安全性に懸念があるガスは4種程度特定しており、プロセスへの影響にを考慮して小型実証設備の設計を進めている。 - ex-ante(事前的) LCAの結果が得られていると評価する。

5－4．実施企業等の取組状況とNEDO委員会での意見

水素細菌によるCO₂とH₂を原料とする革新的なものづくり技術の開発

双日コンソーシアム（双日株式会社（幹事）、一般財団法人電力中央研究所、Green Earth Institute株式会社、DIC株式会社、東レ株式会社、株式会社ダイセル）

研究開発項目2 CO₂から有用物質を生産できる組換え水素細菌の開発 (化合物の生産株の開発) ・Green Earth Institute株式会社 ・東レ株式会社 ・株式会社ダイセル	<u>取組状況</u> ・ 目的物質A生産株の開発で、遺伝子組換えに要するプラスミドを構築、形質転換条件を検討。（Green Earth Institute） ・ 目的物質B生産株の開発で、必要遺伝子と破壊対象遺伝子を選定、目的物質の耐性評価および形質転換を検討。（東レ） ・ 目的物質C生産株の開発で、従属/独立栄養条件での培養における培養特性を検討。（ダイセル） <u>委員からの助言</u> ・ 目的物質生産の途中までの共通代謝系の強化、酵素の改良などは、目的とする最終生産物が異なる実施者も共同で行うことで、開発を効率化すべき。 ・ 各事業者目的産物別に各々菌株の育種改良を実施しているが、水素酸化細菌の組換え系・発現系の開発、代謝改変の共通部分等については、情報共有・連携を図ること。 →コンソーシアム内の水素細菌の組換えに関する知見を共有して開発を進める。
研究開発項目3 CO₂から有用物質を生産する水素細菌の培養技術の開発と実証 (高度培養技術の基盤開発、物質生産実証試験、化成品/菌体飼料の評価、プロセスのLC-CO₂評価) ・双日株式会社（幹事） ・一般財団法人電力中央研究所 ・Green Earth Institute株式会社 ・DIC株式会社 ・東レ株式会社 ・株式会社ダイセル	<u>取組状況</u> ・ 水素細菌に効率よく水素を供給する手法を開発中、各手法が増殖に及ぼす影響を評価するための基礎培養システムを構築（電中研） ・ 目的物質Aの濃縮に適用する膜モジュールの候補を選定（DIC） ・ 目的物質Bにおいて、水素4%以下の爆発混合気外での簡易Jar培養を実施（東レ） ・ 目的物質Cにおいて、爆発混合気に対する安全対策を整理（ダイセル） ・ 培養後の菌体残渣の評価について実施、評価先との協議を継続（双日） <u>委員からの助言</u> ・ 最終規模プラントの計画（設備や運転管理システム）からバックキャストして整理しておくべきこと、ラボ・パイロットと最終規模の評価系の違い等、試験系で差異が出る性格のものは、理論的背景に基づく議論・整理など技術的検討を実施すること。 →CFDシミュレーションやNEDOバイオファンドリ拠点での知見を活かし、培養実証設備の設計及び建設していく方針である。 ・ 菌体残渣の有効活用に向けて、体制の強化や、外部から得られる知見、人材ネットワークを社内に蓄積する仕組みを構築すること。 → GIバイオものづくり事業全体として菌体残渣利用の分科会が発足、コンソーシアムとして省庁等との連携状況を共有、今後の進め方について検討している状況。

5 – 5 . 実施企業等の取組状況とNEDO委員会での意見

CO₂固定微生物利活用プラットフォームの構築

NITEコンソーシアム（製品評価技術基盤機構(NITE)（幹事）、東京大学、茨城大学、京都大学、海洋研究開発機構(JAMSTEC)、国立遺伝学研究所(遺伝研)、データサイエンス共同利用基盤施設ライフサイエンス統合データベースセンター(DBCLS)、bitBiome株式会社)

研究開発項目1 有用微生物の開発を加速する微生物等の改変プラットフォーム技術の高度化 ・製品評価技術基盤機構（幹事、NITE） ・東京大学 ・茨城大学 ・京都大学 ・海洋研究開発機構(JAMSTEC) ・国立遺伝学研究所(遺伝研) ・データサイエンス共同利用基盤施設ライフサイエンス統合データベースセンター(DBCLS) ・bitBiome株式会社	取組状況 ・ NITEコンソーシアムが取得したCO₂固定微生物や関連情報をプロジェクト終了後の一般公開を待たずに参画機関に先行提供し、プラットフォームの利便性向上に向けたヒアリングやデータ共有の協力を得る新たな連携体「GIフォーラム」を設立。（コンソーシアム） ・ 環境サンプル、微生物、データの授受や権利に関するルールの整備。（コンソーシアム） ・ 新規CO₂固定微生物の分離(候補株として3株程度)、NBRCへの寄託準備(14株)、CO₂固定微生物保有機関への寄託呼びかけ。（NITE、茨城大学、東京大学） ・ 既存CO₂固定微生物（メタン菌）の代謝経路に関する解析開始。（JAMSTEC） ・ 遺伝子操作系構築のためのマーカー遺伝子に関する知見の整理。（京都大学） ・ MAG、SAG、単離菌ゲノム解析の技術的検討・受け入れ体制の確認。（遺伝研、bitBiome、JAMSTEC、NITE） ・ 培養条件・培地に関するデータベースであるTogoMediumにおいて用語の統一化、CO₂固定微生物の培養条件の調査と対応を実。施（DBCLS、遺伝研、NITE） ・ タンパク質三次元構造シミュレーションのための環境構築に着手。（bitBiome） 委員からの助言 ・ これまでに無い特徴あるプラットフォームを構築しようとする試みであり、我が国のCO₂を原料としたバイオものづくり産業の裾野を拡げる強力なツールとして、期待。 ・ 各種菌株のスクリーニングに加え、それら個々の菌株の全代謝解析と培養、タンパク質の構造等の解析は膨大な作業であり、際限がなくなるため、本事業によって研究開発の到達点を明確化し、将来はユーザー寄託型のデータベースに移行することも考慮するべき。 →本PJで収集・提供する菌株の情報は1,500株以上。全ての菌株について、培養条件等の基礎情報とゲノム解析データを付与するが、代謝解析、タンパク質解析等は菌株に対するニーズや有用性を踏まえて、特定の菌株を選抜する予定。また、プラットフォームから提供するデータの一部はユーザー寄託型であり、菌株やデータを利用した者からフィードバックされたデータを掲載することとしている。 ・ 本事業が目指すプラットフォームを先行事例（海外）等と比較し、プラットフォームの機能面の優位性を確保すること。 →これまでの調査結果では、CO₂固定微生物をターゲットにしたデータベースは存在せず、その点において優位性があると言える。 ・ 特に優れた性能を有するCO₂固定化微生物については、当該微生物自体の応用についても、知財化できるかどうか検討すること。 →本PJの目的は、日本企業等によるCO₂固定微生物を用いた事業化を推進すること。GIフォーラムに先行提供するRD株においては、広く参画企業に利活用してもらえるようオリジナル株自体は特許の請求項にできない旨を利用規約で規定しているが、改変株や利用方法については企業による特許単独取得を可能としている。利用する企業は競争原理の中で発明に繋げ、社会実装を実現することに注力してもらう考え方としている。
--	--

5－6．実施企業等の取組状況とNEDO委員会での意見

CO₂を原料に物質生産できる微生物等による製造技術等の開発・実証

富士フイルム株式会社

研究開発項目3 連続ガス培養システム開発 (連続ガス培養システム開発、分離・精製・加工システム開発、LCA実施等) ・富士フイルム株式会社	<u>取組状況</u> - 野生株の菌体懸濁液を用いて、菌体数の定量化手法を確立。 - 菌体懸濁液の濁度より、菌体数・菌体の乾燥重量(DCW)への換算式を取得。 - LC/MS/MSにて目的物質を定量する系を確立。 - 混合ガスの溶解方式案を策定、実証装置の仕様を検討。 気泡小径化によるガス溶解の原理を確認し、課題を抽出した。 - 培養槽形状等、気泡径及びガス溶解速度の関係を数値解析により明確化した。 - 廃菌体資源化技術の開発において、フィルターでの菌体分離を確認した。 - LCA定量化項目の選定、物質測定及びLCA関連国際標準化の動向を分析した。 <u>委員からの助言</u> - 連続ガス発酵の防爆技術の特許を出願している点を評価する。 - 他にどのような化合物をターゲットとするのか2024年度中に選定すること →GI基金事業の他コンソーシアムとの協力も視野に菌株選定の情報収集を行う。 - 小スケールの段階で、様々なデータを取得したうえで条件検討、培養装置の仕様を具体化し、スケールアップ検討においては、培養規模拡大に伴う課題解決に注力すべきである。 →少量(3L)培養や、模擬槽でのガス供給位置・方式の変更などの対応を追加検討し、培養シミュレーションと組み合わせて仕様決定へつなげる。 - LCAに関し、CO₂吸収量を詳細に捉えるとともに、並行してプロセスマス・ヒートバランスをとることも可能と思われる。H₂や培地成分のバランスなど、バイオプロセスのモデル化において従来から問題となっている点であり、バイオプロセスのインベントリ整備方法として確立してほしい。 →定量化は、CO₂吸収量だけでなく大気や水質への影響度等もフォーカスしていく。
---	--

6. プロジェクトを取り巻く環境

- DBTLサイクル技術については、世界各国で公的機関や民間企業による微生物等改変プラットフォームの整備が進められている。
- バイオマス原料からの従属栄養微生物に代わり、CO₂を原料とする独立栄養微生物によるものづくりの技術開発に世界各国で関心が高まっており、**2050年には化学品の25%がCO₂原料で製造され、同20%とされるバイオマス原料の製造よりも大きくなる**との予想もある（Renewable Carbon Initiative）。

研究開発項目 1

有用微生物の開発を加速する微生物等改変プラットフォーム技術の高度化

研究開発項目 2

CO₂を原料に物質生産できる微生物等の開発・改良

研究開発項目 3

CO₂を原料に物質生産できる微生物等による製造技術等の開発・実証

主な最新動向

- 各国でDBTLサイクル技術の各プロセス効率化によるサイクル全体の短縮や、基点となる物質の微生物製造技術の整備が進められている。
- 公的機関による技術開発の他に、民間企業としては、**アメリカのGinkgo BioworksやZymergenなど「従属栄養での」プラットフォームがいくつか台頭**。
- 水素酸化細菌：各国で注目が集まり始め、遺伝子組換え菌で燃料や化成品製造を目指した研究開発が着手。非組換え菌では、**Solar Foods（フィンランド）などが食品や飼料の分野で事業化が進められている**。
- CO資化菌：**アメリカのLanzaTech（積水化学工業株式会社とも連携）は独自に開発したCO資化菌により種々の製品を製造**。
- 藻類：光合成プロセスを利用したバイオものづくりに関して、国内外プレイヤーが複数存在し、特に航空燃料用途の開発が進んでいる。
- 水素酸化細菌・CO資化菌：安全で効率的な「ガス発酵」プロセスについて各国で研究開発が進められている。
- 藻類：光合成プロセスを利用したバイオものづくりに関して、国内外プレイヤーが複数存在し、**特に航空燃料用途の開発が進んでいる**。油脂生産などで、**Viridos（アメリカ）は4000平米の開放槽。Cemvita Factory（アメリカ）はパイロットスケール（培養容量55 k L）、2023年4月開設**
 - * 株式会社ちとせ研究所は、5 ha（培養面積約50,000平米、培養容量約4,000 k L）規模で実証中、**本PJでは100ha（100万平米）実証に進む**

7. NEDOによる社会実装に向けた支援に関する取組状況

- 2023/10/11「BioJapan 2023」への出展、参加者向けのセミナーを実施、本プロジェクト参画機関である株式会社カネカ、積水化学工業株式会社、株式会社ちとせ研究所よりCO₂を原料とした新しいバイオものづくり製品の社会実装とCO₂の資源化による産業構造の変革を目指した研究開発事業について紹介した。
- 2023年度に、バイオものづくり技術によるCO₂を直接原料としたカーボンリサイクルの推進に関する調査を実施。CO₂を直接原料とする独立栄養条件でのバイオものづくりにターゲットを絞り、国内外での研究開発状況、周辺特許や各テーマにおけるターゲット物質の市場性等の最新情報の調査・分析し、その結果について、本プロジェクトの実施者向けに成果報告会を行った。
(2024/4/16)



BioJapan 2023 NEDOセミナー (2023/10/11)
「バイオものづくり技術によるグリーンイノベーション実現に向けた取り組み



2023年度調査事業 成果報告会 (2024/4/16)
「バイオものづくり技術によるCO₂を直接原料としたカーボンリサイクルの推進
に関する調査

(参考 1) プロジェクトの事業規模

プロジェクト全体の関連投資額※

※ プロジェクト実施企業等が、事業終了後の期間を含めて見積もった社会実装に向けた取組（グリーンイノベーション基金事業による支援を含む）にかかる関連投資額

10,383億円

グリーンイノベーション基金事業の支援規模

	事業規模	支援規模
研究開発項目 1 有用微生物の開発を加速する微生物等改変プラットフォーム技術の高度化	164億円	164億円
研究開発項目 2 CO ₂ を原料に物質生産できる微生物等の開発・改良	88億円	85億円
研究開発項目 3 CO ₂ を原料に物質生産できる微生物等による製造技術等の開発・実証	2038億円	1814億円
社会実装に向けた支援 2025 年大阪・関西万博と連携した社会実装実証等	9億円	9億円

(参考 2) 研究開発進捗のマイルストーン

CO₂からの微生物による直接ポリマー合成技術開発

・カネカコンソーシアム（株式会社カネカ（幹事）、日揮ホールディングス株式会社、株式会社島津製作所、株式会社バックス・バイオイノベーション）

研究開発項目 1 CO₂を原料とするガス発酵バイオファウンドリの確立

アウトプット目標

研究開発項目 1

CO₂を原料とするガス
発酵バイオファウンドリ
の確立
・株式会社バックス・バ
イオイノベーション

CO₂を原料とする微生物の育種を迅速に行うために、高精度かつ高速な代謝設計技術、ロボティクスによって多様性をもった微生物ライブラリの迅速構築および高品質データの迅速集積技術を開発する。これらの要素技術をデータベースによって相互に連携して、さらにデータから知識を創出するAI技術を開発して、育種の期間を1/10へ短縮する第三世代のCO₂バイオファウンドリを確立する。

実施内容

1-1:
ガス発酵に適した微生物代謝設計技術の開発

1-2:
CO₂を原料とする微生物の迅速構築技術の開発

マイルストーン

[1-1-1] ガス代謝に最適なゲノムスケールの代謝反応モデルの開発：実験値との乖離が●●%以内（2025年）

[1-1-2] 人工代謝経路から細胞設計までに要する時間を●●日/サイクル以内（2025年）

[1-2-1] 高度な育種を実現するための多様な遺伝子パーツの創出：●●種以上（2025年）

[1-2-2] 高度な育種と迅速なライブラリ構築を可能とする基盤技術の開発：●●株以上（2025年）

(参考2) 研究開発進捗のマイルストーン

CO₂からの微生物による直接ポリマー合成技術開発

・カネカコンソーシアム（株式会社カネカ（幹事）、日揮ホールディングス株式会社、株式会社島津製作所、株式会社バックス・バイオイノベーション）

研究開発項目1 CO₂を原料とするガス発酵バイオファウンドリの確立

アウトプット目標

研究開発項目1

CO₂を原料とするガス
発酵バイオファウンドリ
の確立
・株式会社島津製作
所

CO₂を原料とする微生物の育種を迅速に行うために、高精度かつ高速な代謝設計技術、ロボティクスによって多様性をもった微生物ライブラリの迅速構築および高品質データの迅速集積技術を開発する。これらの要素技術をデータベースによって相互に連携して、さらにデータから知識を創出するAI技術を開発して、育種の期間を1/10へ短縮する第三世代のCO₂バイオファウンドリを確立する。

実施内容

1-3:
CO₂を原料とする微生物の多検体かつ高速での生
産性評価システムの開発

マイルストーン

[1-3-1] 第一世代 CO₂を原料とする微生物の生産性評価システム基盤の開発：
●●●株(2025年)

[1-3-2] 第二世代 CO₂を原料とする微生物の生産性評価システムの多検体化技術の
開発： ●●●株(2027年)

[1-3-3] 第三世代 CO₂を原料とする微生物の生産性評価システムの高精度化・高速化
技術の開発： ●●●株(2030年)

(参考2) 研究開発進捗のマイルストーン

CO₂からの微生物による直接ポリマー合成技術開発

・カネカコンソーシアム（株式会社カネカ（幹事）、日揮ホールディングス株式会社、株式会社島津製作所、株式会社バックス・バイオイノベーション）

研究開発項目1 CO₂を原料とするガス発酵バイオファウンドリの確立

アウトプット目標

研究開発項目1

CO₂を原料とするガス
発酵バイオファウンドリ
の確立
・株式会社バックス・バ
イオイノベーション

CO₂を原料とする微生物の育種を迅速に行うために、高精度かつ高速な代謝設計技術、ロボティクスによって多様性をもった微生物ライブラリの迅速構築および高品質データの迅速集積技術を開発する。これらの要素技術をデータベースによって相互に連携して、さらにデータから知識を創出するAI技術を開発して、育種の期間を1/10へ短縮する第三世代のCO₂バイオファウンドリを確立する。

実施内容

1-4:
育種期間短縮に向けた要素技術の統合によるガス
発酵バイオファウンドリの開発

マイルストーン

[1-4-1] 育種プラットフォームの高度化：第一世代（2025年；育種期間●/●）

[1-4-2(1)] CO₂からのポリマー生産収率・生産速度向上を実現するための育種プラットフォーム開発：（研究開発項目2-2のKPIを参照）

[1-4-2(2)] 育種プラットフォームの進化・実証のための菌株開発：CO₂から化合物●種以上合成する菌の育種（2025年）

(参考 2) 研究開発進捗のマイルストーン

CO₂からの微生物による直接ポリマー合成技術開発

・カネカコンソーシアム（株式会社カネカ（幹事）、日揮ホールディングス株式会社、株式会社島津製作所、株式会社バックス・バイオイノベーション）

研究開発項目2 バイオポリマー生産微生物等の開発・改良

アウトプット目標

研究開発項目2 バイオポリマー生産微生物等の開発・改良 ・株式会社カネカ（幹事）	CO ₂ 固定化能力が 5 倍に向上したポリマー生産微生物開発, 3 種類以上のバイオポリマー生産微生物育種	
	実施内容	マイルストーン
	2-1: PHBH生産微生物開発	[2-1-1] 3HH組成が2~6mol%のPHBH®生産微生物育種（2025年） [2-1-2] 3HH組成が10mol%以上のPHBH®生産微生物育種（2027年）
	2-2: ガス収率向上菌株創出	[2-2-1] H ₂ からのポリマー生産収率を理論収率の50%(2025年度) [2-2-2] ポリマー生産速度を現行の1.5倍以上(2025年度)
	2-3: 多様な物性を有するPHA生産微生物育種	[2-3-1]多様なバイオポリマー生産微生物育種（2030年）

(参考2) 研究開発進捗のマイルストーン

CO₂からの微生物による直接ポリマー合成技術開発

・カネカコンソーシアム（株式会社カネカ（幹事）、日揮ホールディングス株式会社、株式会社島津製作所、株式会社バックス・バイオイノベーション）

研究開発項目3 CO₂を原料に物質生産できる微生物等による製造技術等の開発・実証

アウトプット目標

研究開発項目3

CO₂を原料に物質生産できる微生物等による製造技術等の開発・実証

・株式会社カネカ（幹事）
・日揮ホールディングス株式会社
・株式会社島津製作所

安全で高効率なガス発酵プロセスを構築し、①CO₂を直接原料とするPHBHのセミコマーシャルプラントを建設し生産実証を行う。②CO₂を直接原料とする多様な微生物に対応する生産プロセス開発基盤を構築し、統合型バイオファウンドリ機能を実証する。

実施内容

3-1:
安全で高効率なガス発酵プロセスの構築

・日揮ホールディングス株式会社
・株式会社島津製作所

3-2:
CO₂を原料とするPHBHのセミコマーシャルプラントによる生産技術の開発・実証

・株式会社カネカ（幹事）
・日揮ホールディングス株式会社

3-3:
生産プロセス開発基盤の構築と統合型バイオファウンドリの機能実証

・日揮ホールディングス株式会社

マイルストーン

[3-1-1] 安全なガスハンドリング手法の確立（2025年度）
[3-1-2] ガス培養の要素技術確立（2025年度）
[3-1-3] ガス培養槽の設計指針の確立（2030年度）
[3-1-4] ガス発酵の最適条件を導き出すための多角計測技術の確立（2025年）多角計測データ収集、統合、解析支援ソフトの開発（2027年度）

[3-2-1] PHBH®生産に適した●L以上の発酵槽の設計完了（2025年度）
[3-2-2] ●L以上の発酵槽での試験データに基づくPHBH®セミコマーシャルプラントの設計指針の確立（2027年度）
[3-2-3] PHBH®セミコマーシャルプラントの設計・フィジビリティの確認（2027年度）
[3-2-4] セミコマーシャルプラントによるCO₂由来PHBHの成形品の試験生産（2030年度）
[3-2-5] 経済性検討の結果、商業プラントにおけるコストが代替製品と比較して1.2倍以下となることを確認（2030年度）

[3-3-1] ●Lから●Lの小規模スケールガス発酵装置を有した生産プロセス基盤の整備、およびガス発酵におけるスケールアップデータの取得（2025年度）
[3-3-2] ガス発酵スケールアップファクターの把握（2027年度）
[3-3-3] ●L以上の発酵槽で開発微生物を生産実証し、ガス発酵スケールアップ指針を確立（2030年度）
[3-3-4] 商業プラントにおける製造コストが代替製品と比較して1.2倍以下となる生産プロセスを構築（2030年度）

(参考 2) 研究開発進捗のマイルストーン

光合成によるCO₂直接利用を基盤とした日本発グローバル産業構築

・株式会社ちとせ研究所

研究開発項目1 育種開発に要する期間を従来比1/10とする、実用微細藻類の非遺伝子組換えゲノム編集・調整基盤開発

テーマ名・事業者名

アウトプット目標

研究開発項目1

育種開発に要する期間を従来比1/10とする、実用微細藻類の非遺伝子組換えゲノム編集・調整基盤開発
・株式会社ちとせ研究所

- 産業利用価値の高い微細藻類を従来比1/10期間で非組換えゲノム編集・ゲノム調整できる基盤を開発する。

実施内容

マイルストーン

①ゲノム編集プラットフォーム

ゲノム設計からゲノム編集株機能確認までを5ヶ月で実行できる系3種以上確立(2025年度)

②ゲノム調整プラットフォーム

蛍光・散乱光ベースで微細藻類1バッチで100万クローンをソーティング(2025年度)

研究開発項目2 脂質生産性を従来比5倍以上へ改良する、高効率な非遺伝子組換えゲノム編集・調整

テーマ名・事業者名

アウトプット目標

研究開発項目2

脂質生産性を従来比5倍以上へ改良する、高効率な非遺伝子組換えゲノム編集・調整
・株式会社ちとせ研究所

- ゲノム編集・ゲノム調整および生産技術とを組み合わせ、非組換えで脂質生産性を5倍以上向上させる。

実施内容

マイルストーン

①ゲノム編集・ゲノム調整株の取得

脂質生産性を向上させる2つ以上の独立した形質を付与し、なおかつ生産性を2倍以上にする(2025年度)

②産業用培養システムによる安全性評価および脂質生産性の確認

400 L培養での評価系確立(2025年度)

(参考 2) 研究開発進捗のマイルストーン

光合成によるCO₂直接利用を基盤とした日本発グローバル産業構築

・株式会社ちとせ研究所

研究開発項目3 代替候補品の製造コストと同等以下にする、生産プロセスの開発・実証

テーマ名・事業者名 アウトプット目標

研究開発項目3-1
生産技術基盤構築
・株式会社ちとせ研究所

- ・ 2030年までに、微細藻類を用い、光合成由来素材の製造コストが2030年時点の代替候補製品と同等価格以下となる技術を開発する。
- ・ 小規模なベンチスケール (5 ha) から中規模パイロットスケール (100 ha) へと段階的に実証のスケールアップを実施し、商用スケール (2,000 ha) へと適用可能な技術開発・実証を実施する。

実施内容

①生産システム開発および最適化

②循環システム開発および最適化

③生産設備低資源化

④100 haスケールアップ

マイルストーン

新規培地及び曝気手法の開発 (2025年度)

新規回収手法及び湿潤原料貯蔵開発 (2025年度)

現地環境に合わせた仕様、設計、計画の調整 (2025年度)

実生産地選定、契約、地形・土壌調査、基本仕様・設計の完了 (2025年度)

(参考 2) 研究開発進捗のマイルストーン

光合成によるCO₂直接利用を基盤とした日本発グローバル産業構築

・株式会社ちとせ研究所

研究開発項目3 代替候補品の製造コストと同等以下にする、生産プロセスの開発・実証

テーマ名・事業者名

アウトプット目標

研究開発項目3-2
用途開発・市場展開
・株式会社ちとせ研究所

- ・ 2030年までに、微細藻類を用い、光合成由来素材の製造コストが2030年時点の代替候補製品と同等価格以下となる技術を開発する。
- ・ 小規模なベンチスケール (5 ha) から中規模パイロットスケール (100 ha) へと段階的に実証のスケールアップを実施し、商用スケール (2,000 ha) へと適用可能な技術開発・実証を実施する。

実施内容

マイルストーン

①分離・精製

20 L規模の試験において、従来法に要するエネルギー量の90 %以下で新規抽出法を実施する (2025年度)

②加工実証・用途開発

5品以上の食品原料及び食品製品開発 (2025年度)

(参考 2) 研究開発進捗のマイルストーン

光合成によるCO₂直接利用を基盤とした日本発グローバル産業構築

・株式会社ちとせ研究所

研究開発項目3 代替候補品の製造コストと同等以下にする、生産プロセスの開発・実証

テーマ名・事業者名

研究開発項目3-3
LCA基準設定
・株式会社ちとせ研究所

アウトプット目標

- ・ CEF認証取得に必要な情報を揃えるためにパイロットスケール (100 ha)プラントデータを用いて商用生産規模のLCA計算・予測手法の基準を設定する。
- ・ CEF認証ではカバーされない、水使用、食品競合のLCA基準も設定する。

実施内容

①CEF認証

②持続可能性基準の設定

マイルストーン

CO₂排出/固定量算出根拠の公開 (2025年度)

CO₂アロケーション、水資源、農地利用の基準を設定すべき根拠の公開
(2025年度)

(参考2) 研究開発進捗のマイルストーン

バイオものづくり技術によるCO₂を原料とした高付加価値化学品の製品化

・積水コンソーシアム（積水化学工業株式会社（幹事）、公益財団法人地球環境産業技術研究機構）

研究開発項目2 CO→芳香族化合物生産微生物の開発

テーマ名・事業者名

研究開発項目2
CO→芳香族化合物生産微生物の
開発
・積水化学工業株式会社（幹事）
・公益財団法人地球環境産業技術研
究機構

アウトプット目標

✓ 2030年までに、既に物質生産機能またはCO₂固定化能の高い微生物に遺伝子組み換え等を行って生産機能等を保ちながら
従来とは異なる原料・目的物質を利用可能な微生物を開発

実施内容

①CO→芳香族化合物/物質X
生産微生物開発

②物質X→芳香族化合物
生産微生物・酵素の開発

マイルストーン

CO→ポリマー原料「0.5 g/L」相当生産確認
(2025年度)

CO→ポリマー原料「0.5 g/L」相当生産確認
芳香族化合物生産酵素活性4倍
(2025年度)

(参考2) 研究開発進捗のマイルストーン

バイオものづくり技術によるCO₂を原料とした高付加価値化学品の製品化

・積水コンソーシアム（積水化学工業株式会社（幹事）、公益財団法人地球環境産業技術研究機構）

研究開発項目3 CO₂を原料としたエポキシ接着剤の製造実証

テーマ名・事業者名

研究開発項目3
CO₂を原料としたエポキシ接着剤の製造実証
・積水化学工業株式会社（幹事）
・公益財団法人地球環境産業技術研究機構

アウトプット目標

✓ 2030年までに、微生物等を用いてCO₂を原料として生産した接着剤の製造コストが、2030年時点の代替候補製品の1.2倍以下となる技術を開発する

実施内容

①CO→芳香族化合物生産プロセス開発
・連続生産プロセス開発
・分離・精製方法開発

②エポキシ接着剤の生産方法の開発
・高機能化法開発
・エポキシ合成法開発
・接着剤開発

③その他
・ストーカ炉とバイオプロセスとを接続するための前処理プロセスの開発
・環境性能および経済性評価

マイルストーン

・ラボスケール(～10L) でCO資化菌を連続培養達成
・目的物質生産プロセスの決定
・芳香族化合物回収率60%
(2025年度)

・高機能化体50 g/バッチ
・エポキシ50 g/バッチ
・現行品と同等の接着性能±10%を確認
(2025年度)

・実ガス由来不純物の影響を3種類以上評価完了
・ラボ試験データを用いた環境性能評価及び経済性評価完了
(2025年度)

(参考 2) 研究開発進捗のマイルストーン

水素細菌によるCO₂とH₂を原料とする革新的なものづくり技術の開発

・双日コンソーシアム（双日株式会社（幹事）、一般財団法人電力中央研究所、Green Earth Institute株式会社、DIC株式会社、東レ株式会社、株式会社ダイセル）

研究開発項目2 CO₂から有用物質を生産できる組換え水素細菌の開発

テーマ名・事業者名	アウトプット目標	
研究開発項目2 CO ₂ から有用物質を生産できる組換え水素細菌の開発 ・Green Earth Institute株式会社 ・東レ株式会社 ・株式会社ダイセル	✓ CO ₂ とH ₂ を利用して増殖し、ポリマー原料(PHB)を蓄積する性質を持つ水素細菌について、PHB代謝経路等を改変し、生来では生産されない有用物質に変える組換え株を物質毎に創製する。また、研究開発項目3の培養技術と組み合わせ、一定の生産性を達成する。	
	実施内容	マイルストーン
	①化合物①生産株の開発	・化合物①生産株の構築 ・組換え体のガス培養により化合物①の生産を確認 ・化合物①生産量 x g/Lを達成（2025年度）
	②化合物②生産株の開発	・化合物②生産株の構築 ・組換え体のガス培養により化合物②の生産を確認 ・化合物②生産量 y g/Lを達成（2025年度）
	③化合物③生産株の開発	・組換え生産株を構築し、化合物③の生成を確認 ・化合物③生産量 z g/Lを達成（2025年度）

(参考 2) 研究開発進捗のマイルストーン

水素細菌によるCO₂とH₂を原料とする革新的なものづくり技術の開発

・双日コンソーシアム（双日株式会社（幹事）、一般財団法人電力中央研究所、Green Earth Institute株式会社、DIC株式会社、東レ株式会社、株式会社ダイセル）

研究開発項目3 CO₂から有用物質を生産する水素細菌の培養技術の開発と実証

テーマ名・事業者名	アウトプット目標	
研究開発項目3 CO₂から有用物質を生産する水素細菌の培養技術の開発と実証 ・双日株式会社（幹事） ・一般財団法人電力中央研究所 ・Green Earth Institute株式会社 ・東レ株式会社 ・株式会社ダイセル ・DIC株式会社	✓ CO ₂ とH ₂ を利用する水素細菌について、高度培養技術を確立し、世界最高水準の菌体生産速度を達成する。また、現行品の1.2倍程度の価格で経済性を獲得できるプロセスを設定し、大型培養規模で実証する。	
	実施内容	マイルストーン
	①高度培養技術の基盤開発	菌体生産速度 A g/Lを数十 Lスケールで達成 (2025年度)
	②物質生産実証試験	研究開発項目[2]で開発した組換え株を用いて数十Lスケールで生産性を実証 化合物①: x g/L 化合物②: y g/L 化合物③: z g/L (2025年度)
	③化成品/菌体飼料の評価	<化成品の評価> 品質低下要因となる不純物の推定 <飼料の評価> 野生株菌体の栄養成分の把握と配合適正量を決定 (2025年度)
	③プロセスのLC-CO ₂ 評価	・生産フローを作成し、バウンダリを設定 ・CO ₂ とH ₂ を出発物質に菌体と物質を生産する上記プロセスのLC-CO ₂ を実測値を基に算定 (2025年度)

(参考 2) 研究開発進捗のマイルストーン

CO₂を固定微生物利活用プラットフォームの構築

・NITEコンソーシアム（製品評価技術基盤機構(NITE)（幹事）、東京大学、茨城大学、京都大学、海洋研究開発機構(JAMSTEC)、国立遺伝学研究所(遺伝研)、データサイエンス共同利用基盤施設ライフサイエンス統合データベースセンター(DBCLS)、bitBiome株式会社）

研究開発項目1 有用微生物の開発を加速する微生物等の改変プラットフォーム技術の高度化

テーマ名・事業者名	アウトプット目標	
研究開発項目1 有用微生物の開発を加速する微生物等の改変プラットフォーム技術の高度化 ・製品評価技術基盤機構（NITE）（幹事） ・東京大学 ・茨城大学 ・京都大学 ・海洋研究開発機構（JAMSTEC） ・国立遺伝学研究所(遺伝研) ・データサイエンス共同利用基盤施設ライフサイエンス統合データベースセンター（DBCLS） ・bitBiome株式会社	「今後様々な事業者の挑戦が期待できる我が国の「微生物によるCO₂の直接資源化」の開発速度を上げ、バイオものづくりを促進する」ために、本事業では、CO₂からのバイオものづくりの開発環境の基盤整備を行い、CO₂固定微生物利活用プラットフォームを構築・運用することで、CO₂固定能を有する生産用微生物の開発期間を最大1／10程度に短縮することを目標にする。 収集したCO₂固定微生物株は生物資源保存・提供機関として実績のある独立行政法人製品評価技術基盤機構（NITE）より安定的に提供するとともに、構築したCO₂固定微生物利活用プラットフォームについては、NITEの既存のデータベース（微生物横断プラットフォーム：DBRP）の管理体制に沿って運営・管理し、情報を継続的に提供し続けるとともに、さらなる情報拡充に努め、CO₂固定微生物を用いたバイオものづくりのための開発基盤として継続的に維持していく。	
	実施内容	マイルストーン
	①CO ₂ 固定微生物の探索及び有用情報整備	提供可能となるCO ₂ 固定微生物:400株以上 CO ₂ 固定経路関連遺伝子候補の選定・解析着手：25種類以上 (2025年度)
	②バーチャルCO ₂ 固定微生物・単離菌のゲノム情報収集	MAG：80サンプル以上、SAG：50サンプル以上、単離菌ゲノム:300株以上 (2025年度)
	③CO ₂ 固定微生物の機能情報のデータベース化と検索ツールの開発	ツールのプラットフォーム搭載：1件以上 培地DBへのデータ追加：20件以上 三次元構造予測：10M遺伝子産物以上 (2025年度)
	④CO ₂ 固定微生物利活用プラットフォーム構築	プロトタイプDB開発 (2025年度)

(参考2) 研究開発進捗のマイルストーン

CO₂を原料に物質生産できる微生物による製造技術等の開発・実証

・富士フイルム株式会社

研究開発項目3 CO₂を原料に物質生産できる微生物等による製造技術等の開発・実証

テーマ名・事業者名

研究開発項目 I -1
水素細菌の評価システム
構築
・富士フイルム株式会社

アウトプット目標

- 水素細菌のバイオ生産量を定量化するシステムを構築する

実施内容

①菌体密度

マイルストーン

培養液中の水素細菌の菌体密度 γ (g * /L)の定量化
(2025年度)

②物質生産量 (物質生産速度)

水素細菌1g(DCW)が単位時間あたりに生産する物質生産量 β (g/(g * ·hr)の定量化
(2025年度)

テーマ名・事業者名

研究開発項目 I -2
培養環境の最適化
・富士フイルム株式会社

アウトプット目標

- ガス・培地成分やプロセス条件等の最適化
- 菌の生物学的特性に基づいたプロセス条件等の最適化提案
- 培養条件に適した菌の最適化

実施内容

③培養環境 (培地/ガス組成等)

マイルストーン

目的物質を生産する水素細菌において、バイオ生産量の目標値を実現する、もしくは実現見通しを示す

(参考 2) 研究開発進捗のマイルストーン

CO₂を原料に物質生産できる微生物による製造技術等の開発・実証

・富士フイルム株式会社

研究開発項目3 CO₂を原料に物質生産できる微生物等による製造技術等の開発・実証

テーマ名・事業者名

アウトプット目標

研究開発項目 I -3
連続ガス培養システム開発
・富士フイルム株式会社

- ・ 2030年に、量産化スケールにて、アミノ酸の連続生産の実証を行う。
- ・ 既存技術以上の産生速度を目標とする。

実施内容

マイルストーン

④防爆基本システム

H₂: 4%未満またはO₂: 5%未満を満たす小スケール実証
(2025年度)

⑤ガス高速溶解基本技術

各ガス溶解速度 (H₂: ●●、O₂: ●●、CO₂: ●●(L/L/min)) を小スケールで実現する
(2025年度)

⑥連続菌体分離基本技術

連続菌体/上清分離操作を行った際に、菌体密度を維持する小スケール実証

⑦培養スケールアップ

●●Lスケールでの実証

⑧培養環境(培地/ガス)制御システム

培養槽内の状態のセンシングと、培養支配要因へのFB制御システムの実現

(参考2) 研究開発進捗のマイルストーン

CO₂を原料に物質生産できる微生物による製造技術等の開発・実証

・富士フイルム株式会社

研究開発項目3 CO₂を原料に物質生産できる微生物等による製造技術等の開発・実証

テーマ名・事業者名

アウトプット目標

研究開発項目Ⅱ
分離・精製・加工システム
開発
・富士フイルム株式会社

水素細菌からの産生物質の精製加工と菌体資源化の技術見極め（～2025年※）と量産化スケールのシステム実証（2030年）を行う。

実施内容

マイルストーン

⑨アミノ酸精製加工技術

目標品質に到達、或いは到達見通しを示す
(2025年度)

⑩アルコール等精製加工技術

※アルコール等精製加工技術は生産菌株入手以降に検討開始する

⑪廃菌体資源化技術

既存の廃菌体の資源化に関する技術比較、メタン発酵等の外注テストより候補技術を絞り込む(2025年度)

テーマ名・事業者名

アウトプット目標

研究開発項目Ⅲ
LCA実施等
・富士フイルム株式会社

本バイオ生産システムのCO₂吸収量の定量化及びその手法の構築（2025年度）。事業化後の国内標準化、国際標準化を達成のために、本取り組みで定量化する吸収量が、CO₂減算分としてグローバルに認められるシステムを構築する（2030年度）。

実施内容

マイルストーン

⑫CO₂吸収量の定量化等

定量化環境の整備
標準化動向の調査分析等

⑬CO₂吸収量等の評価手法の開発とその
標準化

標準化内容案を作成及び提案先を選定

(参考 3) CO₂からの微生物による直接ポリマー合成技術開発

【研究開発項目①②③】

事業の目的・概要

【研究開発項目①】：高精度かつ高速な代謝設計技術、微生物ライブラリの迅速構築および高品質データの迅速集積技術を開発する。これらの要素技術をデータベースによって相互に連携し、データから知識を創出するAI技術を開発して、育種の期間を1/10へ短縮するCO₂バイオフィウンドリを確立する。

【研究開発項目②】：CO₂固定化能力が5倍に向上したポリマー生産微生物開発、ガラス転移点の異なる3種類以上のバイオポリマー生産微生物育種を行う。

【研究開発項目③】：安全で高効率なガス発酵プロセスを構築し、CO₂を直接原料とするPHBHのセミコマーシャルプラントを建設し生産実証を行う。また、CO₂を直接原料とする多様な微生物に対応する生産プロセス開発基盤を構築し、統合型バイオフィウンドリ機能を実証する。

実施体制

※太字:幹事企業

株式会社カネカ、日揮ホールディングス株式会社、株式会社
バックス・バイオイノベーション、株式会社島津製作所

事業期間

①②③2023年度～2030年度(8年間)

事業規模など

❑ 事業規模 (① + ② + ③) :約1540億円

❑ 支援規模 (① + ② + ③) * : 約1092億円

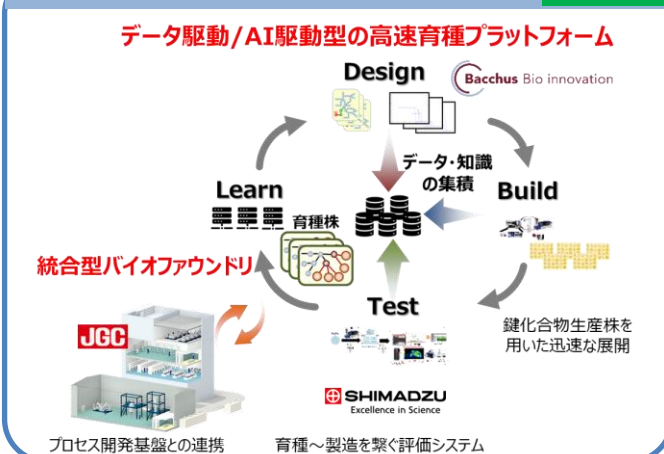
*インセンティブ額を含む。今後ステージゲート等で事業進捗等に合わせ合理化見込み補助率等 (インセンティブ率は10%)

① : 委託、② : 委託 → 2/3、③ : 委託 → 2/3 → 1/2

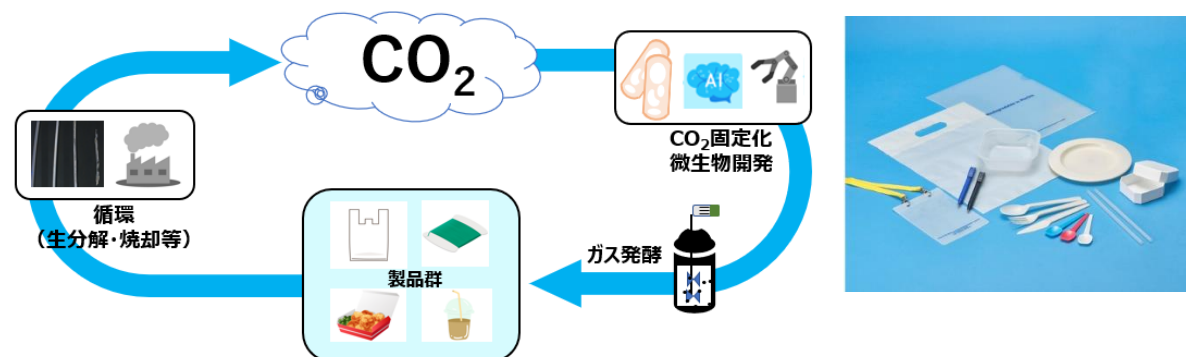
① CO₂バイオフィウンドリの確立

事業イメージ

②バイオポリマー生産微生物育種 + ③生産実証及びバイオフィウンドリ機能の実証



生分解性バイオポリマー事業



(参考3) 光合成によるCO₂直接利用を基盤とした日本発グローバル産業構築

事業の目的・概要

【研究開発項目①】：要する期間を従来比1/10とする、実用微細藻類の非遺伝子組換えゲノム編集・調整基盤開発

【研究開発項目②】：脂質生産性を従来比5倍以上へ改良する、高効率な非遺伝子組換えゲノム編集・調整

【研究開発項目③】：代替候補品の製造コストと同等以下にする、生産プロセスの開発・実証

事業体制

株式会社ちとせ研究所

事業期間

①②③2023年度～2030年度(8年間)

実施規模

□ 事業規模（①＋②＋③）：約555億円

□ 支援規模（①＋②＋③）：約450億円*

*インセンティブ額を含む。今後ステージゲート等で事業進捗等に合わせ合理化見込み

□ 補助率等（インセンティブ率は10%）

①：委託、②：委託 → 2/3、③：委託 → 2/3 → 1/2

事業イメージ

①ゲノム編集・調整期間の短縮＋②非遺伝子組換えゲノム編集・調整による脂質生産性向上＋③生産プロセスの開発・実証



(参考3) グリーンイノベーション基金事業／バイオものづくり技術によるCO₂を直接原料としたカーボンリサイクルの推進
バイオものづくり技術によるCO₂を原料とした高付加価値化学品の製品化

【研究開発項目②③】

事業の目的・概要

積水化学の強み(CO資化菌による物質生産技術)とRITEの強み(高毒性の芳香族化合物の高生産技術)を活かし、**CO₂からプラスチック原料(モノマー)を経由し、自社製品に循環される新しいパスを創造しカーボンリサイクルを実現**

実施体制

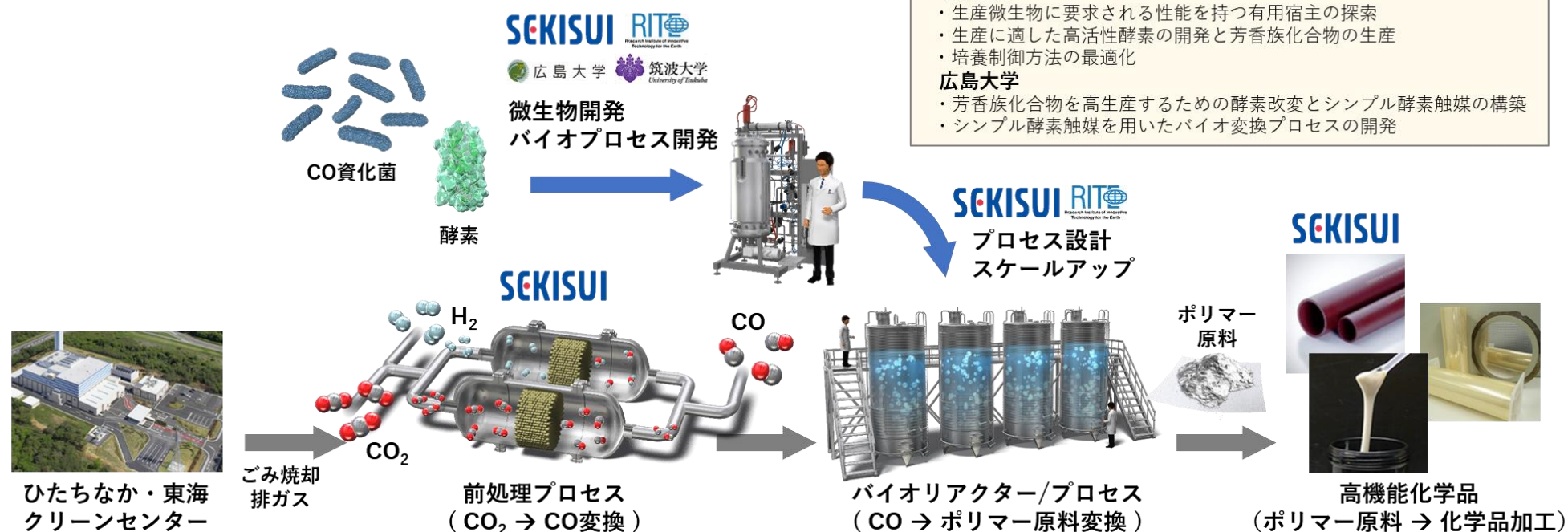
※太字: 幹事企業

積水化学工業株式会社、
公益財団法人地球環境産業技術研究機構

事業期間

②③2023年度～2030年度(8年間)

事業イメージ



事業の目的・概要

水素細菌によるCO₂とH₂を原料とした各種化成品、飼料原料の高効率生産技術を確立し、化成品の化石由来原料からの転換、および飼料の代替タンパクのニーズに対応した、国際競争力のある製造事業を構築する

- 研究開発項目②：化成品を生産する組換え水素細菌の開発
- 研究開発項目③：水素細菌の培養技術の開発と実証

実施体制

双日株式会社、一般財団法人電力中央研究所、
Green Earth Institute株式会社、DIC株式会社、
東レ株式会社、株式会社ダイセル

太字：幹事企業

事業期間

②③ 2023年度～2030年度(8年間)

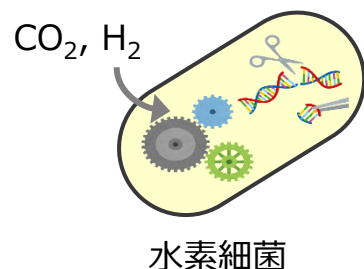
事業規模など

- 事業規模（②＋③）：約68億円
- 支援規模（②＋③）：約50億円*
- 補助率等（インセンティブ率は10%）
②：委託（2/3）、③：助成（2/3～1/2）
*インセンティブ額を含む。今後ステージゲート等で事業進捗等に合わせ合理化見込み

事業イメージ

②化成品を生産する組換え水素細菌の開発

- 野生株の持つ高いPHB（ポリヒドロキシ酪酸）生産能を活用し、各種化成品を高生産する菌株を開発



- 各種化成品の生産
 - プラスチック
 - インク、塗料
 - 繊維
 - 化粧品 などの原料
- 菌体残渣を飼料活用

③水素細菌の培養技術の開発と実証

- 段階的スケールアップを通じて高度培養技術を確立
- Life Cycle-CO₂を適切に評価し、製品に環境価値を付与

ラボ/ベンチ

パイロット

実証

実施内容

- ①培養技術の基盤開発
- ②生産実証試験
- ③化成品・飼料の評価
- ④LC-CO₂評価

(参考 3) CO₂固定微生物利活用プラットフォームの構築

【研究開発項目①】

事業の目的・概要

- 「CO₂固定微生物利活用プラットフォーム」を構築する。本プラットフォームにCO₂固定微生物及び関連するデータを集約し、培養情報やゲノム情報をはじめとする様々なデータを国内の産業界やアカデミア等が一元的に検索することを可能にする。
- 2030年までに、DBTLサイクルの1サイクルあたりの時間を短縮するための技術開発と、サイクル回数を削減しコストを低減する技術確立することで、有用微生物の開発期間を最大1／10程度に短縮する技術確立する。

実施体制

※太字：幹事機関

独立行政法人製品評価技術基盤機構、国立研究開発法人海洋研究開発機構、国立大学法人茨城大学、国立大学法人京都大学、国立大学法人東京大学、大学共同利用機関法人情報・システム研究機構 国立遺伝学研究所、大学共同利用機関法人情報・システム研究機構データサイエンス共同基盤施設ライフサイエンス統合データベースセンター、bitBiome株式会社

事業規模など

- 事業規模：約33億円
- 支援規模*：約33億円
*インセンティブ額を含む。今後ステージゲート等で事業進捗等に合わせ合理化見込み
- 補助率等
委託（インセンティブ率は10%）

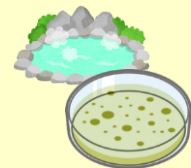
事業期間

2023年度～2030年度(8年間)

事業イメージ

① CO₂固定微生物の探索及び有用情報の整備

- ・環境サンプル（温泉水等）の採取
- ・環境サンプルからの新規微生物の分離と提供体制整備
- ・微生物の生育情報の収集と整備
- ・酵素・代謝経路の解析とデータ収集



② バーチャルCO₂固定微生物・単離菌のゲノム情報の収集

- ・微生物のゲノム解析
- ・環境サンプルから直接ゲノム情報を取得

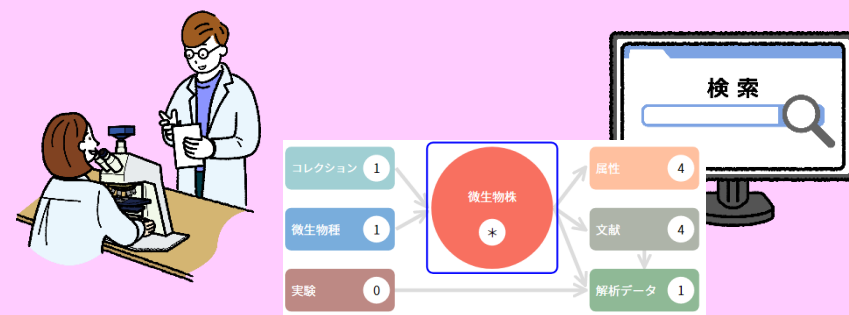


③ CO₂固定微生物の機能情報のDB化と検索ツールの開発

- ・CO₂固定に関わる代謝経路情報の整備と検索ツール開発
- ・ゲノム情報からCO₂固定に有用な遺伝子を検出するツールを開発
- ・三次元構造予測による有用遺伝子産物の探索とデータ整備

④ CO₂固定微生物利活用プラットフォームの構築

- ・CO₂固定微生物とその関連情報の集約
- ・ユーザーへのヒアリングを行い、バージョンアップ
- ・国内ユーザー向けに開発・提供し、産業化を支援



事業の目的・概要

- ・原料のCO₂供給から製品製造までのバリューチェーンを構築、商用生産までのスケールアップや製造技術の高度化を推進
- ・CO₂を原料とした新しいバイオものづくり製品の社会実装とCO₂の資源化による産業構造の変革

実施体制

富士フイルム株式会社

事業期間

③2023年度～2030年度(8年間)

事業規模など

- | | FY23～25年 | FY26～30年 |
|---|----------|----------------|
| □ 事業規模 | ：約20億円 | 約二百数十億円 |
| □ 支援規模 | ：約20億円* | 約百数十億円 |
| * インセンティブ額を含む。今後ステージゲート等で事業進捗等に合わせ合理化見込み。 | | |
| □ 補助率等 | ： 委託 | → 助成 (2/3～1/2) |

事業イメージ

複合ガス（CO₂、H₂、O₂）から、有機物を安全かつ効率的に生産できるプラットフォーム技術を開発し、量産化スケールで実証する。

- ・ 自社販売、CDMO、ソリューションビジネスを通じて、新しいバイオものづくりの社会実装に努め、サステナブル社会実現へ貢献する。
- ・ 当社の様々な製品、サービス等で培ったコア技術を本事業に展開し、発展させることでCO₂資源化の実現を目指す。



写真フィルム



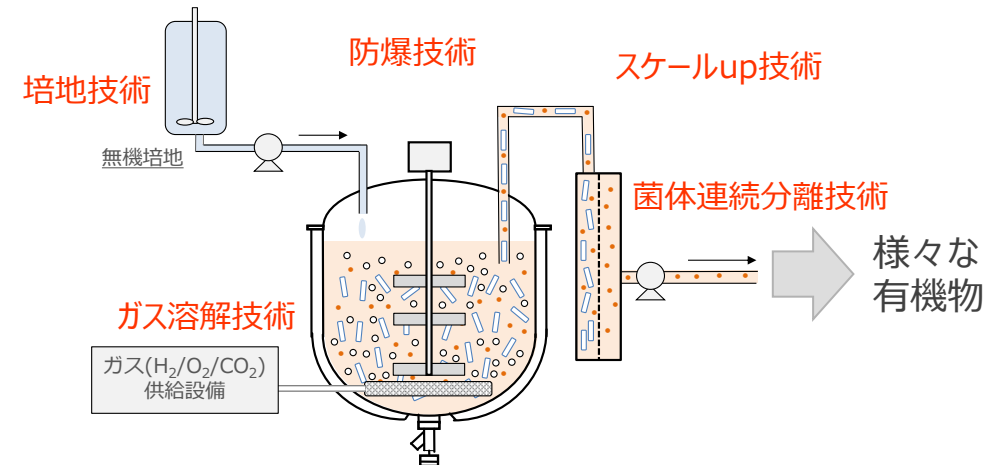
バイオCDMO



培地・試薬



化粧品



CO₂の資源化を目指すバイオ生産イメージ図

NITEによる菌株・データプラットフォームの活用 ～グリーンイノベーションフォーラム（GIフォーラム）設立～

独立栄養微生物でものづくりをしたい事業者（GIコンソ以外の国内事業者も含む）と
「PJ中に早期に連携する仕組み」として設立

CO₂からのバイオものづくりを志す企業等とコンソーシアムが
GIフォーラムを介して連携するwin-winの関係の実現

CO₂からのバイオものづくりに必要な技術基盤の整備を進め、我が国のCO₂を直接原料とした
バイオものづくり産業の活性化とカーボンニュートラルに貢献



GIフォーラム（2024年～2030年度）

CO₂からのバイオものづくりを志す企業等



会則への
同意・入会
申込

入会
許可

菌株・
データへの
ニーズの
把握

菌株・
データの
先行提供

フィード
バック
データの
提供

プラットフォームの
利用とヒアリング
勉強会、情報交換
会の実施

nite
コンソーシアム

産業ニーズに基づきプロジェクトで収集した菌株やデータ等の
成果物をプロジェクト期間中からGIフォーラム参画企業に先
行して提供し、CO₂からのバイオものづくりの加速に貢献

2031年度以降



構築したプラッ
トフォームから菌株・
データの一般公開