

「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」 (中間評価)

(2020年度～2026年度 7年間)

プロジェクトの概要 (分科会資料抜粋)

評価分科会開催：2022年9月6日(火)

NEDO材料・ナノテクノロジー部

1. 事業の位置付け・必要性 (1) 事業の目的の妥当性

公開

◆事業実施の背景と事業の目的

<世界的な動向>

- OECDにより、バイオテクノロジーは経済生産に大きく貢献できる市場（産業群）としてバイオエコノミー（Bioeconomy）という概念が提唱された。
- 世界各国がバイオエコノミーの発展に関連した戦略政策を策定。

Bioeconomy Policies around the World

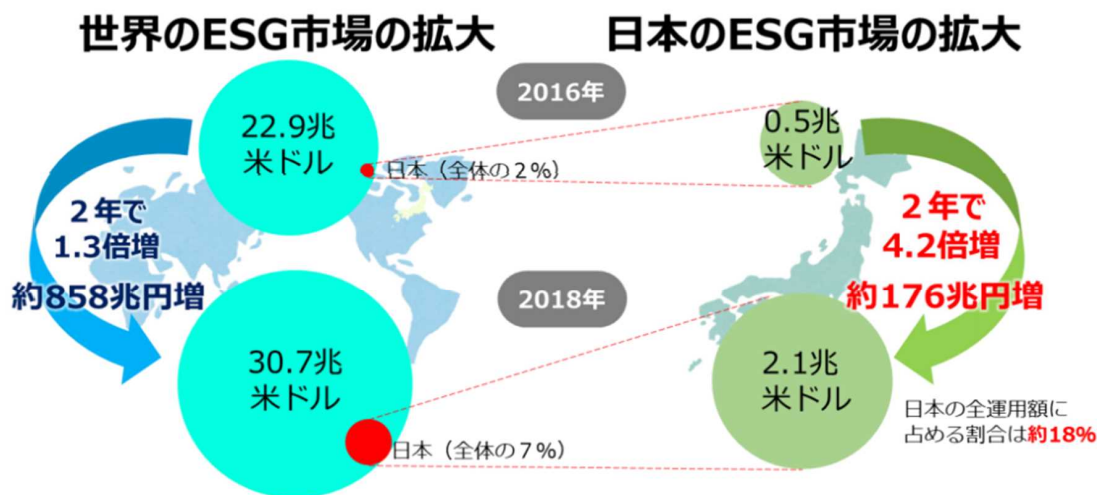


出典：“German Bioeconomy Council”

◆事業実施の背景と事業の目的

＜ESG投資の拡大＞

- 環境（Environment）、社会（Social）、企業統治（Governance）を考慮して投資をおこなう「ESG投資」が世界中で拡大している。環境への配慮は企業にとっても取り組むべき重要課題。
- 先進国を中心に、企業も生き残りをかけて、カーボンニュートラルを目指す技術のイノベーションの開発に大規模な投資をおこなっている。



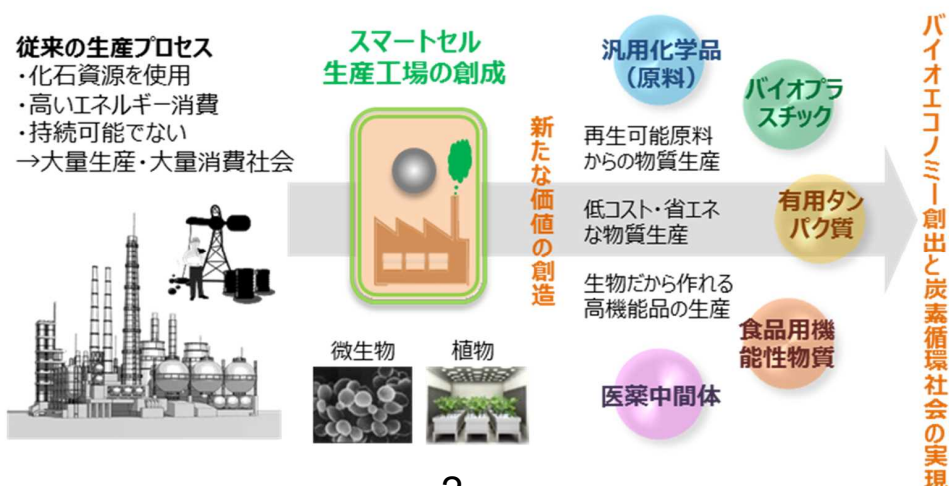
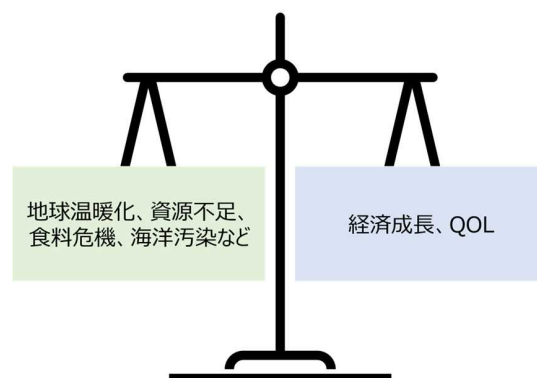
(出典) NPO法人 日本サステナブル投資フォーラム公表資料より環境省作成

出典：地球温暖化対策の推進に関する制度検討会 第2回資料 http://www.env.go.jp/earth/ontaihou/mat02_2.pdf

◆事業実施の背景と事業の目的

＜バイオものづくりの重要性＞

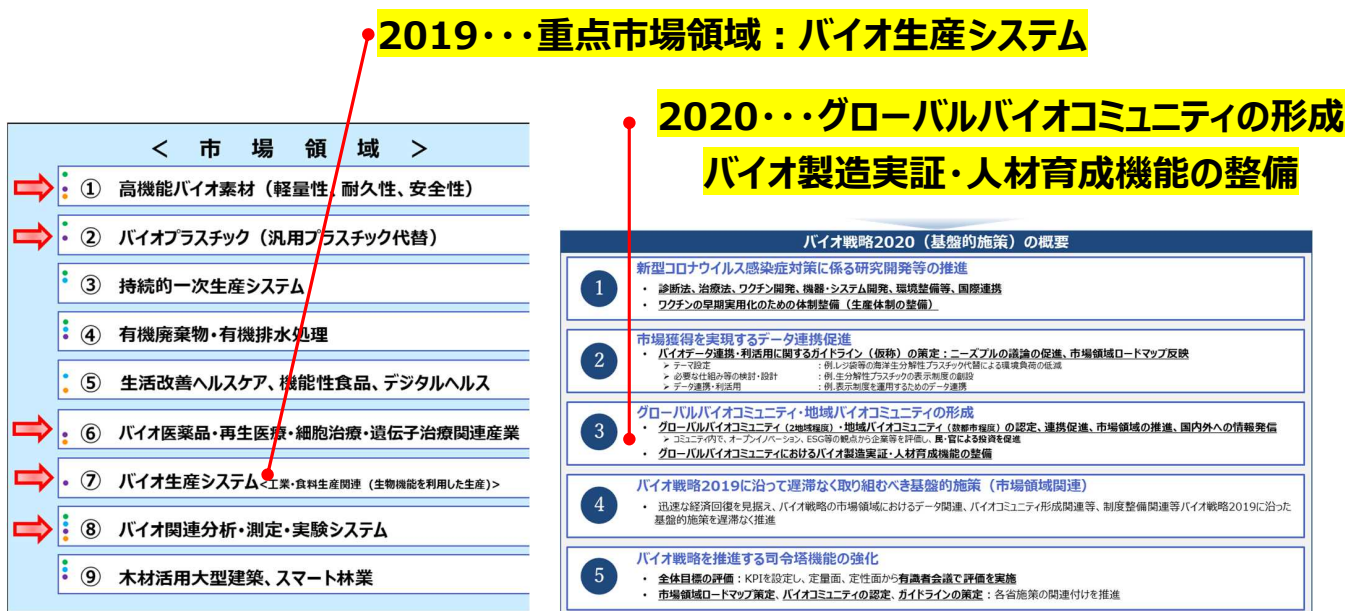
- 産業界には温室効果ガス削減、炭素循環社会の実現等の社会課題解決と持続的経済成長の両方が求められてきている。
- 課題解決に必要な重要技術としてバイオ技術は重要な選択肢のひとつといえる。
- 持続可能な社会に向けて生物機能を活用したものづくりの加速を目指す



◆政策的位置付け

<日本のバイオエコノミー戦略>

- 「バイオ戦略」(2019)。2030年に世界最先端のバイオエコノミー社会の実現に向けて、重点市場領域にバイオ生産システムが設定されている。
- 「バイオ戦略」(2020)。グローバルバイオコミュニティを2地域(東京圏・関西圏)認定し、バイオ製造実証・人材育成機能の整備を進めることに言及されている。



引用: バイオ戦略2019及びバイオ戦略2020

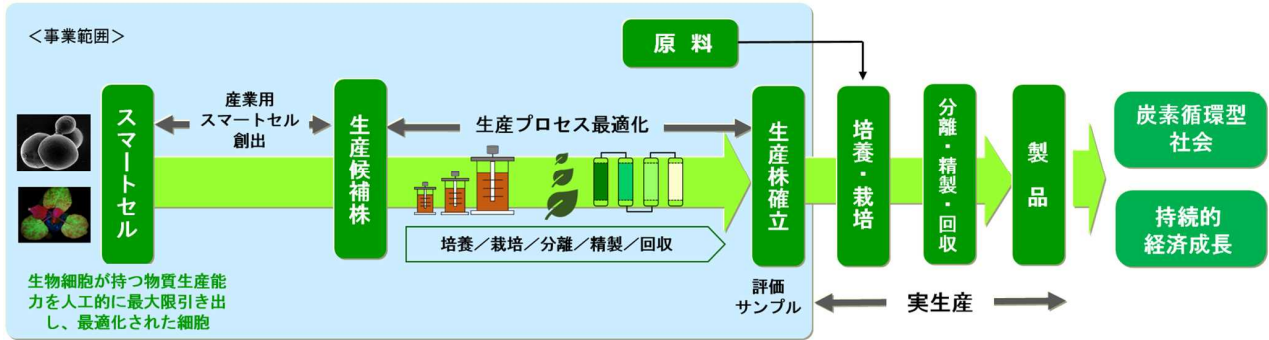
◆NEDOが関与する意義

- **社会的必要性: 大**
・ 環境負荷低減、炭素循環社会の構築等、地球規模の課題解決に貢献。
- **一社単独での研究開発の難易度: 高**
・ 生物学、化学工学、情報科学等の複数分野の融合が必要。
・ 多様な技術が求められ、効率的な開発を進めるためには産学官の英知の結集を要する。
- **国主導で実施する必要性: 有**
・ 現状技術ではコスト的に見合わないため民間企業には市場原理に基づく研究開発実施のインセンティブが期待できない領域。
・ バイオプロセスのLCAは標準的な評価手法が確立されておらず、PJを通じてコンセンサスを得ながら開発を進める必要がある。
- **波及効果をもたらす分野: 大**
・ 本事業は工業(ものづくり)産業の競争力強化に貢献するアウトプットが期待できる。
・ 開発する基盤技術は医療・ヘルスケア分野、エネルギー分野、農畜水産分野へも展開可能。



N E D O が も つ こ れ ま で の 知 識 、 実 績 を 活 か し て 推 進 す べ き 事 業

＜本事業の概要＞



研究開発項目①バイオ資源活用促進基盤技術開発
研究開発項目②生産プロセスのバイオファウンドリ基盤技術開発

＜共通基盤＞

● バイオものづくりに関わる各種技術開発

バイオ資源活用促進のための技術、生産プロセスに関わる各種技術

● バイオ生産実証拠点の整備

実生産への橋渡しを可能とするスケールを有し、スケールアップ・プロセス検討や試作を可能とする場

● 人材育成

バイオものづくりに関わる基礎・応用・実用段階の実習など

研究開発項目③産業用物質生産システム実証 (2021年度～)

● バイオ由来製品創出を目指す企業テーマの研究を支援

(助成事業での実施。一部委託フェーズからの開始テーマもあり)

2. 研究開発マネジメント

(1) 研究開発目標の妥当性

◆ バイオものづくり拡大に向けた産業上の課題

産業上の課題（技術）

- 産業生産に適した宿主の性能向上
- 産業用スマートセル開発や生産物を得るまでのプロセス開発期間の短縮化、省力化
- 次世代生産プロセス技術の確立
- 実生産に至るの技術・ノウハウが熟練者に依存しており新規参入が難しい など

産業上の課題（実証）

- 研究開発着手機会
- ベンチ～パイロットスケール研究開発投資

生産プロセス最適化

産業用スマートセル創出

スマートセル設計

目的生成物を作るための代謝経路デザインが可能になりつつある

産業上の課題（人材・環境）

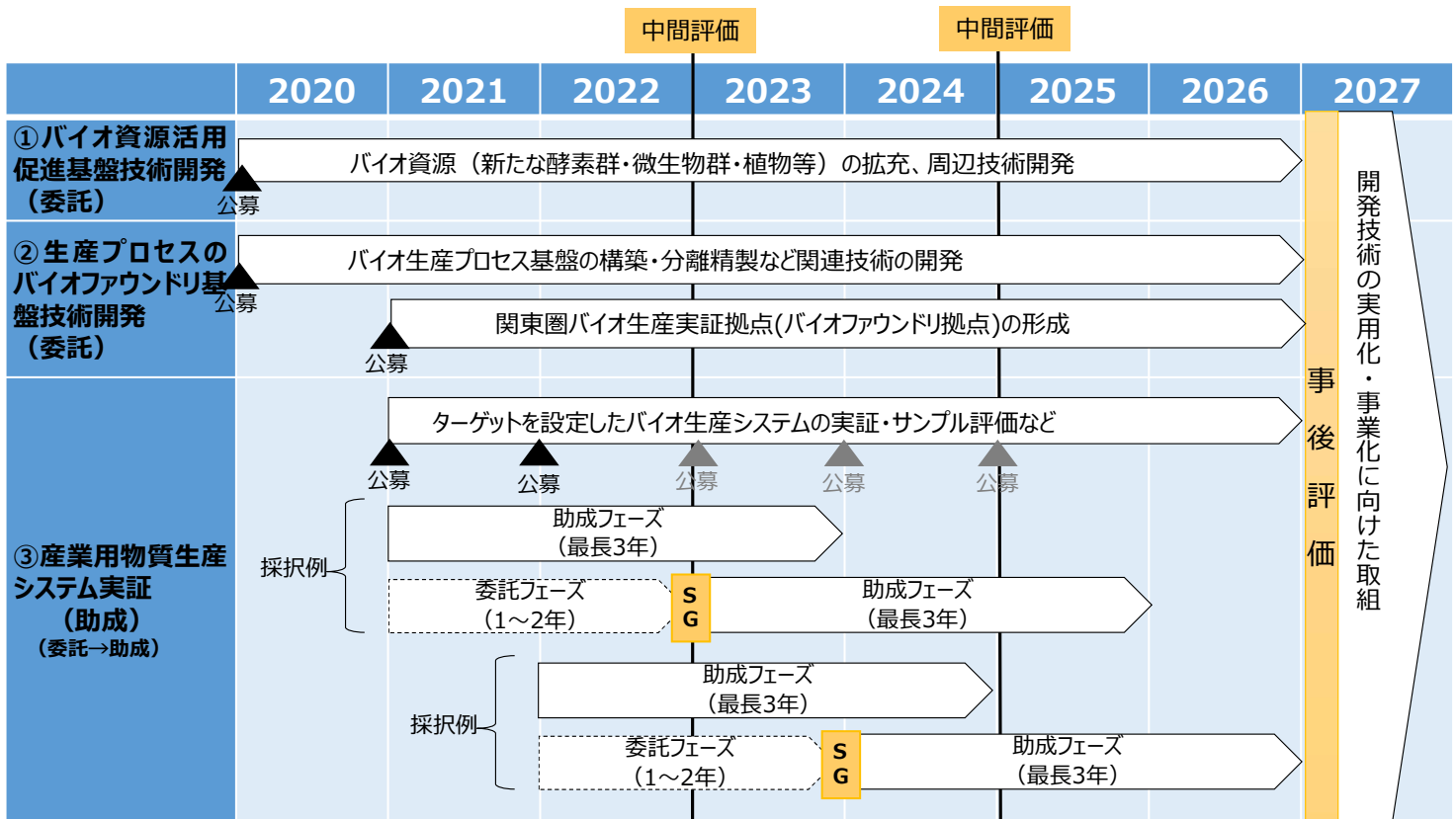
- 経験が少ない企業がバイオものづくりに参入する研究開発環境の不足。
- 基礎～実践がわかるものづくり人材の育成。

※令和2年度補正予算（微生物発酵生産実証拠点の取組追加）

バイオ由来製品
社会実装

試作評価 実生産

◆研究開発計画



※LCA評価手法を取り入れた技術課題の解決や新たな技術を理解する人材育成も行う。本事業で形成するバイオファウンドリ拠点では、必要に応じて試行ユーザーの一部利用を含む運用を可能とする

◆事業の目標

【共通基盤：研究開発項目①②】

研究開発項目① 「バイオ資源活用促進基盤技術開発」	委託	研究開発項目② 「生産プロセスのバイオファウンドリ基盤技術開発」	委託
<p>【中間目標 (2022年度)】 バイオものづくりの社会実装促進に要する酵素、微生物、植物等の新規バイオ資源候補を20件以上提案する。</p> <p>【中間目標 (2024年度)】 バイオものづくりの社会実装促進に要する酵素、微生物、植物等の新規バイオ資源候補を40件以上提案し、その中から20個以上有用なものを選抜し評価する。</p> <p>【最終目標 (2026年度)】 バイオものづくりの社会実装促進に要する酵素、微生物、植物等の新規バイオ資源候補を100件以上提案し、その中から20個以上有用なものを選抜・評価し、ユーザーとなる企業に提供可能な状態とする。</p> <p>■根拠 代謝経路設計を具現化し、産業用スマートセルを創出するには既知の酵素変換・活性、生物宿主では限定されるのが現状。バイオプロセスの革新を加速するため、新規な酵素群・微生物・植物等の生体触媒の合理的な取得を目標に設定した。</p>		<p><バイオ生産プロセス基盤技術の開発></p> <p>【中間目標 (2022年度)】 次世代のバイオ生産システム基盤が、評価サンプルとなる生産物が得られる環境であることを1例以上のモデル生産物で確認する。また、生産プロセス情報等に基づく産業用スマートセル開発に向けて、生産と育種を関連づけさせることができる統合解析システムのプロトタイプを開発。</p> <p>【中間目標 (2024年度)】 具体的な生産物事例を設定し、次世代のバイオ生産システム基盤の基本設計が実生産への橋渡しをする上で有効であることを最低1つのターゲットで検証する。また、産業用スマートセル開発に向けて、生産と育種を関連づけさせることができる統合解析システムの有効性を検証する。</p> <p>【最終目標 (2026年度)】 産業用スマートセルの開発や生産物を得るまでのプロセスについて、開発期間の短縮化、プロセスの省力化等が可能であることを実証する。また、次世代生産技術への育種モデルの変換を目指した拡張性のある統合解析システムを確立する。</p> <p>■根拠 植物ではダウンストリームプロセスの工業化が求められており、次世代のバイオ生産システム基盤開発を目標とした。また、微生物ではスケールアップで生じる生産性の低下等の課題をバイオとデジタルの融合により解決することを目指した目標を設定。微生物バイオファウンドリは共用の生産実証拠点としての機能を構築し実効性を確認する目標を設定した。</p>	
		<p><関東圏バイオ生産実証拠点(バイオファウンドリ拠点)の形成></p> <p>【中間目標 (2022年度)】 発酵槽から生産ターゲット物質の分離・精製処理を含む、微生物を用いた物質生産の実用化検証が可能なバイオファウンドリ拠点を形成し検証を開始する。</p> <p>【中間目標 (2024年度)】 バイオファウンドリ拠点を活用して企業・アカデミア等が実用化を進める生産ターゲット物質について複数例検証を行いながらバイオファウンドリ機能の改善点を明確にするとともに、ものづくり人材の育成プログラムを作成する。</p> <p>【最終目標 (2026年度)】 検証事例を増やしてバイオファウンドリ拠点の実効性を示すとともに、ものづくり人材の育成プログラムの運用を開始する。</p>	

◆事業の目標

【研究開発項目③】

研究開発項目③

委託

助成

「産業用物質生産システム実証」

特定の生産ターゲットを設定した上で、目的物質の生産性向上を狙うとともに、量産化を見据えて生産プロセスの最適化を図り、産業用スマートセル等の生物機能を活用した物質生産による生産物のサンプル評価を行う。

なお、研究開発段階に応じて委託又は助成で実施することとし、各フェーズで設定している事業期間以内で研究開発を終了する又はステージゲートによるフェーズ移行を求める。

【達成目標】

○委託フェーズ（研究開発期間は、原則1～2年以内）

開発終了時点で、産業用物質生産システム検証を開始できる基本的な株やデータの取得が完了していること。

○助成フェーズ（研究開発期間は、原則1～3年以内）

開発終了時点で、評価サンプルによる生産物評価により、性能、環境合理性、経済性等の面で総合的に競争力があること。

■根拠

バイオ由来製品の社会実装をスムーズに行うためには、生産ターゲットのサンプル評価を進めることで開発スピードの高速化・効率化・確実性を向上させ、生物機能活用による物質生産における課題を解決する必要がある。高生産性生物開発が未着手の場合でラボ実験による基本株を取得する等のチャレンジングな研究開発を要するものは、委託フェーズからの研究開発を可能としている。また、ステージゲートを設けることでさらなる研究開発費投入の妥当性を確認するスキームとしている。

◆プロジェクト費用

(単位：百万円)

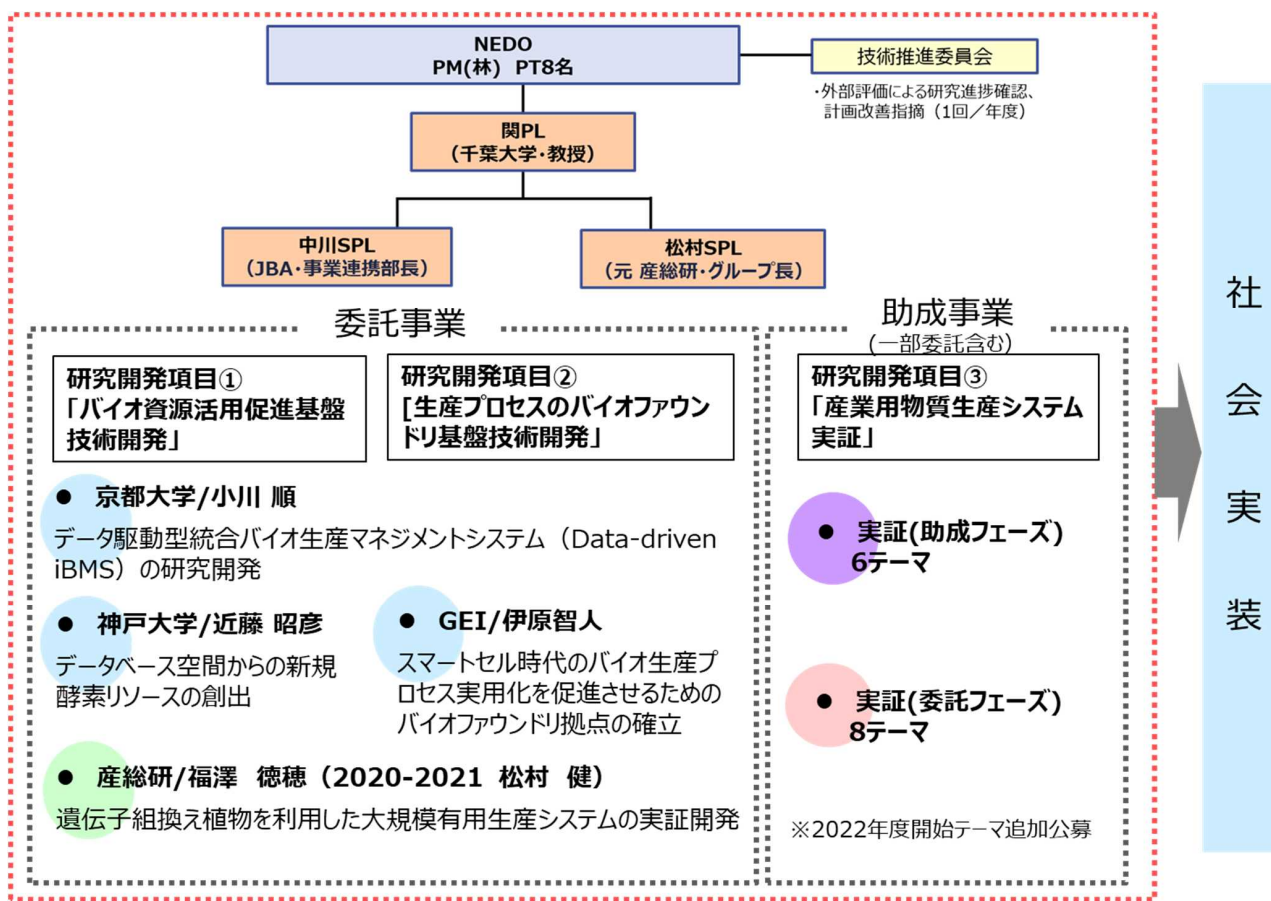
研究開発項目	2020年度	2021年度	2022年度 ^{(*)3}	合計
①バイオ資源活用促進基盤技術開発 ②生産プロセスのバイオファウンドリ基盤技術開発	1,773 ^{(*)1}	2,572 ^{(*)2}	(3,495) ^{(*)2}	(7,839)
③産業用物質生産システム実証	—	300	(376)	(676)
政府予算（合計）	1,773	2,872	3,871	8,516

*1 令和元年度補正予算。

*2 通常予算及び令和2年度補正予算を含む実績。

*3 2022年度費用は予定。

◆研究開発の実施体制 (1/2)



3. 研究開発成果 (PJ全体) (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆研究開発項目毎の目標と達成状況 (1/3)

研究開発項目	目標 (2022年度)	成果	達成度 (2022年度末)
研究開発項目① 「バイオ資源活用促進基盤技術開発」	バイオものづくりの社会実装促進に要する酵素、微生物、植物等の新規バイオ資源候補を20件以上提案する。	酵素、微生物、植物等の新規バイオ資源候補を50件獲得済み。 今年度末までの取組によってさらに成果蓄積が期待できる。 具体的には、 ・有用遺伝子資源28件 (Acyl-CoA synthetase遺伝子、糖変換酵素遺伝子、脂質変換酵素遺伝子、オキシダーゼ、オキシゲナーゼなど) ・各種炭素源を使用可能な油脂酵母6株 ・有用化合物生産につながる酸化還元反応や脱炭酸反応などのテンプレート酵素10件、人工酵素プロトタイプ5件を獲得 ・新規宿主植物の開発において、モデル遺伝子の発現レベルを3倍以上に増加可能な植物体候補を予備の実験で獲得。さらに発現増加可能な組換え植物体・ゲノム編集植物体を選抜中など	◎
研究開発項目② 「生産プロセスのバイオファウンドリ基盤技術開発」	次世代のバイオ生産システム基盤の基本設計に目途が立ち、評価サンプルとなる生産物が得られる環境であることを1例以上のモデル生産物で確認する。また、生産プロセス情報等に基づく産業用スマートセル開発に向けて、生産と育種を関連づけさせることができる統合解析システムのプロトタイプを開発する。	【植物】 ・宿主改変から大規模抽出精製まで一貫した大規模植物生産の開発を実施。up-streamから、down-streamに至るまで新規の技術開発の一例として、有用物質抽出・精製システム開発ではパイロットプラントスケールの試作機的设计・製作・改造等を進め、 基本設計に目途が立ちつつある。 また、破砕処理システムでは目的タンパク質の抽出効率が中間目標値を大幅に上回る結果を得る等、 生産物が得られるシステムであることを確認した。	◎
		【微生物】 ・「培養データ駆動型統合バイオ生産マネジメントシステム」開発を実施。その 構成要素となる主要な技術群は2022年度末時点での技術目標を達成する見込み。 油脂酵母を事例として 生産物が得られる方法論であることを確認する結果が得られた。 さらに、異なる宿主・ターゲット物質での応用を進める計画がある。 ・また、 生産プロセス情報等に基づく産業用スマートセル開発のための統合解析システムのプロトタイプが2022年度末にできる見込み。 例えば、測定培養データを元に、宿主細胞の「収率」「生育速度」「生産フェーズ」の最適化のための細胞内代謝のダイナミクス解析技術を開発し、大腸菌および油脂酵母モデルを適用し新たな改変箇所を提案可能である結果が得られている。 ・さらに、生産と育種を関連付けさせて開発期間を短縮するため、 必要とされるデータを集積し、統合的に活用できる環境の整備ができつつある。 ・ LCA・TEA検証のため、 油糧酵母、SL生産株の培養における炭素収支や卓上培養槽運転に伴う電力消費のデータを取得。 シミュレーターver.1を2022年9月開発完了見込み。	◎

※主要な成果を記載。詳細は事業原簿を参照。

◆研究開発項目毎の目標と達成状況 (2/3)

研究開発項目	目標 (2022年度)	成果	達成度 (2022 年度末)
研究開発項目② 「生産プロセスのバイオファウンドリ基盤技術開発」	発酵槽から生産ターゲット物質の分離・精製処理を含む、微生物を用いた物質生産の実用化検証が可能なバイオファウンドリ拠点を形成し、モデル生産物で検証を開始する。	<p>【バイオファウンドリ拠点】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・関東圏に発酵槽から生産ターゲット物質の分離・精製処理を含む実証拠点の構築を整備中。新設建屋の施工事業者を選定し、設計についてのデザインレビュー（開発、設計の審査）を実施。運営委員会を設置し、各種法規制の順守のため運営マニュアルを策定するなど、バイオファウンドリ拠点の運用方針を策定2022年度中に最大3,000L規模の発酵槽を備える実証設備を完成させ、1種のターゲットを用いたスケールアップ検証予定。 ・最大1,500L規模の既存の発酵槽設備で1種のターゲットを用いたスケールアップ検証に着手済み。 ・さらに、高性能CFDソフトウェア・スケールダウンモデルを利用したバイオ生産プロセスの最適化手法とスケールアップ実証手法の開発、マイクロ波技術を使ったバイオ生産プロセスの低コスト化・省エネ化・低炭素化等の周辺技術開発を進めている。 ・2020年度実施者の取組の中から神戸大・阪大・大工大・京大・ちとせ研究所が整備・開発を進めている設備をもとに、関西圏バイオファウンドリ拠点化を検討し着手。本格稼働またはPJ内研究の支援を行い、PJ外からの受入れ仕組みを構築中。 <p>【人材育成】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・バイオ生産プロセスにおける最適化及びスケールアップ手法、CFD解析手法の研修、バイオファウンドリ設備を使ったバイオ生産プロセスの運転の実習等の研修資料の完成。予定を前倒して、2022年の秋から研修を開始。 ・大阪工大に教育施設として設置完了。人材育成プログラム（基礎・応用セミナー）基礎編受講実績61名。NEDO特別講座として一般公開を開始。 	◎ (人材育成取組は前倒し成果)

※主要な成果を記載。詳細は事業原簿を参照。

◆研究開発項目毎の目標と達成状況 (3/3)

研究開発項目	目標 (2022年度)	成果	達成度 (2022 年度末)
研究開発項目③ 「産業用物質生産システム実証」	<p>以下の内容を基本としつつ、用いる生物種やターゲット物質等によって目標が大きく異なることから、具体的な定量目標は研究開発テーマ毎に別途実施計画書において定める。</p> <p>【委託フェーズ】研究開発期間終了時点で、産業用物質生産システム検証を開始できる基本的な株やデータの取得が完了している。</p> <p>【助成フェーズ】研究開発期間終了時点で、評価サンプルによる生産物評価により、性能、環境合理性、経済性等の面で総合的に競争力があることを示す。</p>	<p>全ての実施テーマは、事業化に向けて解決すべき各種課題について毎年度の目標を定めて研究開発を実施。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・助成フェーズの実施テーマは、スケールアップ検討を進めることにより各テーマにおける毎年度目標を達成している(または達成見込み)。一部ターゲット物質の生産性向上に関して期待通りの成果が出なかったテーマがあるが、今後培養条件の再検討を行う等課題解決を進めている。 ・委託フェーズの実施テーマは、産業用物質生産システム検証を開始できる基本的な株やデータの取得が進展している。ステージゲート段階での目標クリアに向けて研究を推進。助成フェーズでのスケールアップ検証準備を実施計画に含んでいるテーマでは、培養条件の確認など着実に研究を進めている。 	○

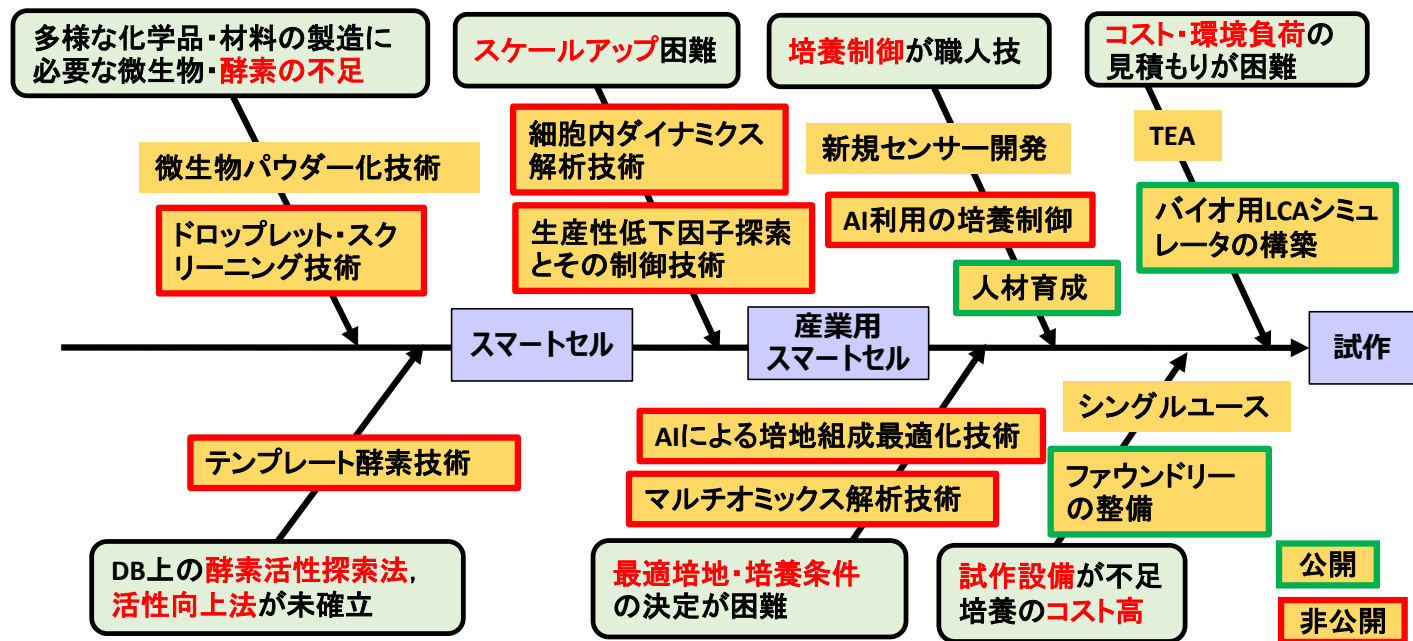
※主要な成果を記載。詳細は事業原簿を参照。

◆ バイオプロセスの課題と本PJにおける研究開発技術の関係

研究開発項目①②

バイオプロセス開発における**製品試作段階**までの主要課題と、本プロジェクトで開発する主要な基盤技術

➡ 開発技術の実用化



研究開発項目③

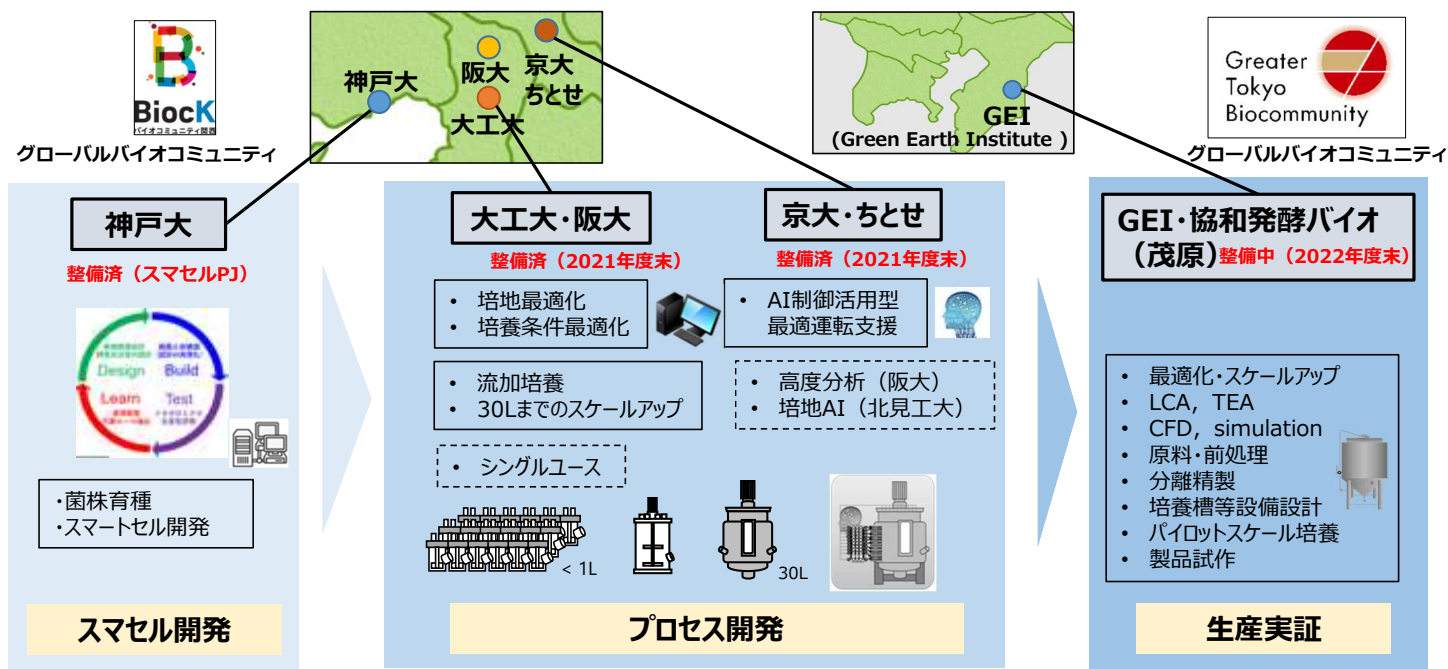
企業テーマによるバイオ由来製品の実用化開発

➡ 事業化

3. 研究開発成果 (微生物・基盤) ◆ 具体的な成果と意義

◆ バイオフィウンドリ拠点の形成

- ・ バイオプロセス開発プラットフォームとして、バイオフィウンドリを整備
- ・ グローバルバイオコミュニティと連携して、一貫した人材育成と開発支援



バイオプロセス開発プラットフォーム

現地調査会(8/17)
見学場所

生産プロセス開発プラットフォーム
実用化検証及びバイオプロダクション人材育成拠点 (大阪工業大学)



プラットフォーム

最適化・試作支援機能

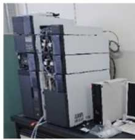
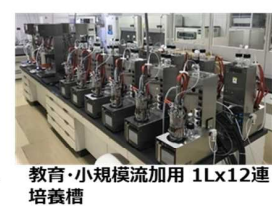
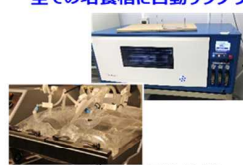
小規模多連バッチ培養 (培地、基本条件探索) ~ 実証規模流加培養 (プロセス最適化)

人材育成

実技教育機能

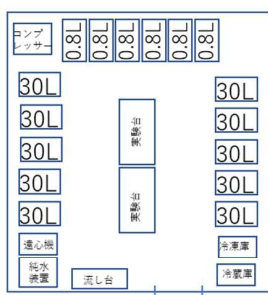
培養装置の正しい使い方 (操作設計) を教える
実技・座学セミナー (基礎 & 応用) を定期開催

全ての培養槽に自動サンプラーを整備



現地調査会(8/17)
見学場所

生産プロセス開発プラットフォーム
実用化検証及びバイオプロダクション人材育成拠点 (京都大学・ちとせ研究所)



プラットフォーム

生産プロセス開発

・小規模バッチ・流加培養 (基本条件探索)
・30L規模流加・並列培養 (プロセス最適化・自動化検討)
・サンプル作成 (0.8L・30L Jarを用いたサンプル試作)

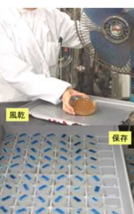
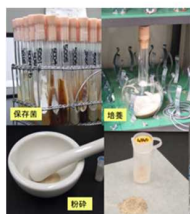
バイオリソース探索

・微生物パウダー作成・スクリーニング系の構築
・宿主・酵素・遺伝子スクリーニング (微生物パウダーライブラリー等を活用)

人材育成

バイオ生産の産業化事例に学び、技術開発、事業開発に資する経験知を提供

- ・産業微生物学 (講義)
- ・循環型バイオ事業開発 (講義)
- ・産業化支援バイオリソース探索 (講義・実技)
- ・バイオ生産データサイエンス (講義・実技)



◆成果の普及・知的財産権の確保に向けた取組

年度	特許			論文		その他外部発表				受賞実績
	国内	外国	PCT	査読付き	その他	学会発表・講演	新聞・雑誌等への掲載	展示会への出展	その他	
2020	1	1	3	2	6	18	1	1	1	1
2021	30	13	7	28	3	87	9	12	10	4
2022～(見込含む)	35	14	12	40	2	75	15	13	10	0
PJ期間合計	66	28	22	70	11	180	25	26	21	5

プレスリリース(実績) [リリース日・リリース主体]

2020年度 2件 [2020.8.25 NEDO、2020.9.11 宇部興産]

2021年度 8件 [2021.7.7 NEDO、2021.7.7 アクプランタ、2021.7.7 東海物産、2021.7.9 Noster、2021.8.23 NEDO、2021.8.27 GEI、2021.9.6 マイクロ波化学、2022.2.7 GEI]

2022年度 7件 [2022.5.24 NEDO、2022.5.24 GEI、2022.7.1 NEDO、2022.7.1 大阪工業大学、2022.7.1 GEI、2022.7.4 大阪大学、2022.7.31 NEDO]

(2022年7月時点)

4. 成果の実用化・事業化に向けての取組及び見通し

◆成果の活用・ユーザーに向けて成果を普及させる取組・情報発信

【共通基盤】

- 開発技術(成果)の見える化
⇒技術集約ホームページを制作中(10月公開予定)
- バイオフィンディ拠点、順次プロジェクト内外から利用者を受入れ
⇒PJ内参画企業の利用希望を調査
⇒研究開発項目③において公募する実証テーマに関して
バイオフィンディ拠点利用希望を確認。
- 人材育成、順次プロジェクト内外から受講者を受入れ
⇒バイオものづくり人材育成講座(NEDO特別講座)を開講
⇒各拠点のホームページにプログラム内容を公開。
⇒プレスリリースで周知。

◆波及効果

- 経済波及効果 : 約6兆円(2030年度)市場に働きかけ
- CO₂削減効果 : 360百万 t/年

(2022年7月時点、研究開発項目③実施企業テーマの企業化計画を基に試算。)

概要

		最終更新日	2022年8月30日
プロジェクト名	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	プロジェクト番号	P20011
担当推進部/ PMまたは担当者	材料・ナノテクノロジー部 PM 林 智佳子 (2020年2月～8月、2021年4月～現在) 材料・ナノテクノロジー部 PM 坂井 至 (2020年9月～2021年3月) 材料・ナノテクノロジー部 永井 良憲 (2020年4月～2022年3月) 材料・ナノテクノロジー部 伊藤 雅人 (2020年6月～現在) 材料・ナノテクノロジー部 土谷 浩史 (2020年11月～現在) 材料・ナノテクノロジー部 金田 晃一 (2021年3月～2021年9月) 材料・ナノテクノロジー部 薩摩 和正 (2021年5月～現在) 材料・ナノテクノロジー部 小笠原 真人 (2021年5月～現在) 材料・ナノテクノロジー部 田村 昂一 (2021年10月～現在) 材料・ナノテクノロジー部 澤田 和敏 (2021年10月～現在) 材料・ナノテクノロジー部 長谷川 義基 (2022年2月～現在) 材料・ナノテクノロジー部 秋葉 幸範 (2022年3月～現在) 材料・ナノテクノロジー部 峯岸 芙有子 (2022年7月～現在)		
0. 事業の概要	<p>バイオによるものづくりは、化学プロセスと比較して省エネルギーでの物質生産が可能であるとともに、原料を化石資源に依存しないバイオマスからの物質生産も可能であり、炭素循環型社会実現と持続的経済成長に資するものづくりへの変革が期待できる。バイオによるものづくりを加速させるためには、原料から最終製品に至るボトルネックの解消が求められている。本事業では、新たなバイオ資源の拡充や分離・精製、回収等を含むバイオ生産プロセスを開発する。また、生産プロセス条件と育種の関連付けが可能となる統合解析システム等の開発を行う。さらに実生産への橋渡しを効果的に行うバイオファウンドリ基盤を整備し、バイオ由来製品の社会実装の加速とバイオエコノミーの活性化に貢献する。</p> <p>研究開発項目①「バイオ資源活用促進基盤技術開発」(委託) 研究開発項目②「生産プロセスのバイオファウンドリ基盤技術開発」(委託) 研究開発項目③「産業用物質生産システム実証」(委託、助成)</p>		
1. 事業の位置 付け・必要性 について	<p>パリ協定、SDGs 等において産業界には CO₂ 削減、炭素循環型社会の実現等社会課題の解決と持続的経済成長の両方が求められてきているが、近年の合成生物学等の発展に伴い、世界では様々な産業がバイオ化していく情勢となっている。欧米、中国等では、バイオエコノミー (バイオテクノロジーが経済生産に大きく貢献できる市場 (産業群)) の拡大に向け、国家戦略を策定し加速度的に投資を拡大している。特にものづくり分野での成長が見込まれている中、循環型社会形成に向けた課題解決にバイオが担える役割は大きいと考えられる。</p> <p>日本では2019年6月に10年ぶりに新たなバイオ戦略が策定され、2030年に世界最先端のバイオエコノミー社会を実現することが目標として掲げられた。高機能バイオ素材、バイオプラスチック、生物機能を利用した生産システム等の9つの市場領域について重点的な取組強化が打ち出され、バイオものづくりを加速させる技術・環境・人材育成の必要性が示された。</p> <p>現状技術ではコスト的に見合わないため民間企業の市場原理に基づく研究開発のインセンティブが期待できない領域であり、生物工学・化学工学・情報科学など複数分野の融合が必要であり産学官の英知の結集する NEDO 事業として実施する意義がある。</p>		
2. 研究開発マネジメントについて			
事業の目標	<p>研究開発項目①「バイオ資源活用促進基盤技術開発」</p> <p>【中間目標 (2022年度)】 バイオものづくりの社会実装促進に要する酵素、微生物、植物等の新規バイオ資源候補を20件以上提案する。</p> <p>【中間目標 (2024年度)】 バイオものづくりの社会実装促進に要する酵素、微生物、植物等の新規バイオ資源候補を40件以上提案し、その中から20個以上有用なものを選抜し評価する。</p> <p>【最終目標 (2026年度)】 バイオものづくりの社会実装促進に要する酵素、微生物、植物等の新規バイオ資源候補を100件以上提案し、その中から20個以上有用なものを選抜・評価し、ユーザーとなる企業に提供可能な状態とする。</p>		

	<p>研究開発項目②「生産プロセスのバイオフィアウンドリ基盤技術開発」</p> <p>【中間目標（2022年度）】 次世代のバイオ生産システム基盤の基本設計に目途が立ち、評価サンプルとなる生産物が得られる環境であることを1例以上のモデル生産物で確認する。また、生産プロセス情報等に基づく産業用スマートセル開発に向けて、生産と育種を関連づけさせることができる統合解析システムのプロトタイプを開発する。 発酵槽から生産ターゲット物質の分離・精製処理を含む、微生物を用いた物質生産の実用化検証が可能なバイオフィアウンドリ拠点を形成し、モデル生産物で検証を開始する。</p> <p>【中間目標（2024年度）】 生産パラメーター情報等をフィードバックして開発する産業用スマートセルを用いて、具体的な生産物事例を設定し、次世代のバイオ生産システム基盤の基本設計が実生産への橋渡しをする上で有効であることを最低1つのターゲットで検証する。生産プロセス情報に基づく産業用スマートセル開発に向けて、生産と育種を関連づけさせることができる統合解析システムの有効性を検証する。 バイオフィアウンドリ拠点を活用して企業・アカデミア等が実用化を進める生産ターゲット物質について複数例検証を行いながらバイオフィアウンドリ機能の改善点を明確にするとともに、ものづくり人材の育成プログラムを作成する。</p> <p>【最終目標（2026年度）】 産業用スマートセルの開発やサンプル評価をするための生産物を得るまでのプロセスについて、開発期間の短縮化、プロセスの省力化等が可能であることを実証する。また、次世代生産技術への育種モデルの変換を目指した拡張性のある統合解析システムを確立する。 企業・アカデミア等が実用化を進めるターゲット物質についての検証事例を増やしてバイオフィアウンドリ拠点の実効性を示すとともに、ものづくり人材の育成プログラムの運用を開始する。</p> <p>研究開発項目③「産業用物質生産システム実証」</p> <p>以下の内容を基本としつつ、用いる生物種やターゲット物質等によって目標が大きく異なることから、具体的な定量目標は研究開発テーマ毎に別途実施計画書において定める。</p> <p>【委託フェーズ】 研究開発期間終了時点で、産業用物質生産システム検証を開始できる基本的な株やデータの取得が完了している。 【助成フェーズ】 研究開発期間終了時点で、評価サンプルによる生産物評価により、性能、環境合理性、経済性等の面で総合的に競争力があることを示す。</p> <p>なお、研究開発段階に応じて委託又は助成で実施することとし、各フェーズで設定している事業期間以内で研究開発を終了する又はステージゲートによるフェーズ移行を求める。</p>								
事業の計画内容	主な実施事項	2020fy	2021fy	2022fy	2023fy	2024fy	2025fy	2026fy	
	研究開発項目① 「バイオ資源活用促進基盤技術開発」								
	研究開発項目② 「生産プロセスのバイオフィアウンドリ基盤技術開発」								
	研究開発項目③ 「産業用物質生産システム実証」								

	会計・勘定	2020fy	2021fy	2022fy	2023fy	2024fy	2025fy	2026fy	総額
事業費推移 (会計・勘定別に NEDO が負担した実績額 (評価実施年度については予算額) を記載) (単位:百万円)	一般会計	—	—	—	—	—	—	—	—
	特別会計 (電源・需給)	1,773	2,872	3,871	—	—	—	—	8,516
	開発成果促進財源	—	—	—	—	—	—	—	—
	総 NEDO 負担額	1,773	2,872	3,871	—	—	—	—	8,516
	(委託)	1,773	2,757	3,655	—	—	—	—	8,185
	(助成) : 助成率 2/3, 1/2	0	115	216	—	—	—	—	331
開発体制	経産省担当原課	商務・サービスグループ 生物化学産業課							
	プロジェクトリーダー	PL : 国立大学法人千葉大学 教授 関 実 SPL : 一般財団法人バイオインダストリー協会 事業連携推進部長 中川 智 SPL : 元 国立研究開発法人産業技術総合研究所 松村 健							
	プロジェクトマネージャー	材料・ナノテクノロジー部 バイオエコノミー推進室 室長 林 智佳子							
	実施先	<p>研究開発項目①「バイオ資源活用促進基盤技術開発」 研究開発項目②「生産プロセスのバイオフィアウンドリ基盤技術開発」</p> <p>(1) 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 【委託先】 京都大学、九州大学、(株)ニコンソリューションズ、(独)製品評価技術基盤機構、長岡技術科学大学、早稲田大学、広島大学、(株)オンチップ・バイオテクノロジーズ、(国研)産業技術総合研究所、東京大学、花王(株)、UBE(株)、不二製油グループ本社(株)、新潟薬科大学、(公財)地球環境産業技術研究機構、東北大学、佐竹マルチミクス(株)、合同酒精(株)、大阪工業大学、大阪大学、(株)ちとせ研究所、(一財)バイオインダストリー協会 【再委託】 (国研) 医薬基盤・健康・栄養研究所、函館工業高等専門学校、鶴岡工業高等専門学校、長岡工業高等専門学校、都城工業高等専門学校、鹿児島大学、信州大学、岡山大学、九州大学、東京大学、徳島大学、北見工業大学、ナノミストテクノロジーズ(株)、サラヤ(株)、大阪工業大学 【共同実施】 龍谷大学、徳島大学、(株)396 バイオ、三菱ケミカル(株)、ヤスハラケミカル(株)、天野エンザイム(株)、(株)カネカ、Noster(株)、(株)ダイセル、NRI システムテクノ(株)、三井化学(株)、AGC(株)、北海道糖業(株)、協和発酵バイオ(株)、神戸天然物化学(株)、(株)カネカ、(株)ミツワフロンテック、三菱商事ライフサイエンス(株)、(株)日立プラントサービス、ビジネスエンジニアリング(株)、(株)丸菱バイオエンジ、(株)エイブル、味の素(株)、天野エンザイム(株)、東レ(株)</p> <p>(2) データベース空間からの新規酵素リソースの創出 【委託先】 神戸大学、東京大学、九州大学、(国研)理化学研究所、出光興産(株)、小川香料(株)、花王(株)、高砂香料工業(株)、長瀬産業(株)、不二製油グループ本社(株) 【再委託先】 千葉大学</p> <p>(3) スマートセル時代のバイオ生産プロセス実用化を促進させるためのバイオフィアウンドリ拠点の確立 【委託先】 Green Earth Institute(株)、協和発酵バイオ(株) 【再委託先】 (株)小榎屋、マイクロ波化学(株)、北海道大学</p>							

		<p>(4) 遺伝子組換え植物を利用した大規模有用物質生産システムの実証開発 【委託先】(国研)産業技術総合研究所、北海道大学、東京大学、鹿島建設(株)、デンカ(株)</p> <p>研究開発項目③「産業用物質生産システム実証」</p> <p>(1) 大腸菌発酵による酸化型グルタチオン高生産技術の開発 【助成先】(株)カネカ 【共同研究先】神戸大学、大阪大学</p> <p>(2) ポリアミド原料の発酵生産技術開発 【助成先】東レ(株) 【共同研究先】(国研)産業技術総合研究所</p> <p>(3) 天然ヒト型長鎖セラミド高効率生産システムの開発と実証 【助成先】福岡醤油醸造協同組合 【共同研究先】九州大学、(国研)産業技術総合研究所、(国研)理化学研究所</p> <p>(4) 微生物によるグリチルレチン酸および類縁体の生産システム実証 【助成先】住友化学(株) 【共同研究先】大阪大学</p> <p>(5) 次世代グリーンバイオ素材「HYA50」のインライン自動化生産システム開発 【助成先】Noster(株) 【共同研究先】京都大学、(株)ダイキンアプライドシステムズ</p> <p>(6) 製紙工場における第二世代糖生産システム実証 【委託先】三菱製紙(株) 【再委託先】(株)Biomaterial in Tokyo</p> <p>(7) 超耐熱性プロテアーゼを活用した感染制御技術の社会実装実証 【委託先】サラヤ(株)、岡山理科大学</p> <p>(8) 糸状菌が生産する農薬活性天然物の生産性向上システムの構築、実証 【委託先】(株)MMAG 【共同実施先】(国研)産業技術総合研究所</p> <p>(9) <i>Bacillus</i> 属細菌による抗菌環状リポペプチド生産システム実証 【委託先】(株)カネカ 【共同実施先】神戸大学、群馬大学</p> <p>(10) バイオプロセスによるイミダゾールジペプチドの効率的生産法の開発 【委託先】東海物産(株)、早稲田大学</p> <p>(11) コリネ菌によるバイオソプロパノール生産システム実証 【委託先】Green Earth Institute(株)</p> <p>(12) ジャガイモシストセンチュウ孵化促進物質(PCN-HF)大量生産システムの構築 【助成先】ホクサン(株) 【共同研究先】(国研)産業技術総合研究所</p> <p>(13) エピジェネティクス代謝変換技術を用いた高集積糖生産システムの実証 【委託先】アクプランタ(株)、東京工業大学、高崎健康福祉大学</p>
--	--	--

		(14) 生物メタネーションとバイオ燃料製造を可能とする新排水処理プロセスの開発 【委託先】 大成建設(株)、埼玉大学、中部大学、(公財)かずさ DNA 研究所		
情勢変化への対応	<p>【2021 年度追加公募の実施】</p> <p>バイオ戦略 2020 等の政策的位置づけを踏まえ、令和 2 年度補正予算により研究開発項目②「生産プロセスのバイオファウンドリ基盤技術開発」の一環として関東圏バイオファウンドリ拠点形成を実行するため、公募により体制を決定し着手した。</p> <p>【国内外の動向把握】</p> <p>NEDO 技術戦略研究センター(バイオエコノミーユニット)と連携し、政策動向・技術動向などを調査。また、研究開発推進のための特許・先行技術調査などを実施計画の一部に盛り込み動向を把握しながら研究開発を推進。</p> <p>【コロナ禍の状況下での対応】</p> <p>プロジェクト開始当初より、緊急事態宣言等により出社制限があったことで研究計画の一部遅延や半導体不足による研究機器の導入遅れが発生したケースがあった。やむを得ない事情を勘案し契約変更により研究計画及び予算の後倒しを行って研究継続をはかったことで、その後に遅れを挽回し中間目標の達成に大きな影響はでなかった。</p>			
中間評価結果への対応	—			
評価に関する事項	事前評価	2019 年度実施 担当部 材料・ナノテクノロジー部		
	中間評価	2022 年度実施、2024 年度実施 (予定)		
	事後評価	2027 年度実施 (予定)		
3. 研究開発成果について	研究開発項目	目標	成果	達成度 (2022 年度末)
	研究開発項目①「バイオ資源活用促進基盤技術開発」	バイオものづくりの社会実装促進に要する酵素、微生物、植物等の新規バイオ資源候補を 20 件以上提案する。	<p>酵素、微生物、植物等の新規バイオ資源候補を 50 件獲得済み。今年度末までの取組によってさらに成果蓄積が期待できる。</p> <p>具体的には、</p> <ul style="list-style-type: none"> ・有用遺伝子資源 28 件 (Acyl-CoA synthetase 遺伝子、糖変換酵素遺伝子、脂質変換酵素遺伝子、オキシダーゼ、オキシゲナーゼなど) ・各種炭素源を使用可能な油脂酵母 6 株 ・有用化合物生産につながる酸化還元反応や脱炭酸反応などのテンプレート酵素 10 件、人工酵素プロトタイプ 5 件を獲得 ・新規宿主植物の開発において、モデル遺伝子の発現レベルを 3 倍以上に増加可能な植物体候補を予備的実験で獲得。さらに発現増加可能な組換え植物体・ゲノム編集植物体を選抜中など 	◎ (設定目標を上回った件数が得られた)
	研究開発項目②「生産プロセスのバイオファウンドリ基盤技術開発」	次世代のバイオ生産システム基盤の基本設計に目途が立ち、評価サンプルとなる生産物が得られる環境であることを 1 例以上のモデル生産物で確認する。ま	【植物】 ・宿主改変から大規模抽出精製まで一貫した大規模植物生産の開発を実施。up-stream から、down-stream に至るまで新規の技術開発の一例として、有用物質抽出・精製システム開発では	◎ (人材育成取組は前倒し成果)

	<p>た、生産プロセス情報等に基づく産業用スマートセル開発に向けて、生産と育種を関連づけさせることができる統合解析システムのプロトタイプを開発する。</p> <p>発酵槽から生産ターゲット物質の分離・精製処理を含む、微生物を用いた物質生産の実用化検証が可能なバイオファウンドリ拠点を形成し、モデル生産物で検証を開始する。</p>	<p>パイロットプラントスケールの試作機的设计・製作・改造等を進め、基本設計に目途が立ちつつある。また、破碎処理システムでは目的タンパク質の抽出効率が中間目標値を大幅に上回る結果を得る等、生産物が得られるシステムであることを確認した。</p> <p>【微生物】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・「培養データ駆動型統合バイオ生産マネジメントシステム」開発を実施。その構成要素となる主要な技術群は2022年度末時点での技術目標を達成する見込み。油脂酵母を事例として生産物が得られる方法論であることを確認する結果が得られた。さらに、異なる宿主・ターゲット物質での応用を進める計画がある。 ・また、生産プロセス情報等に基づく産業用スマートセル開発のための統合解析システムのプロトタイプが2022年度末にできる見込み。例えば、測定培養データを元に、宿主細胞の「収率」「生育速度」「生産フェーズ」の最適化のための細胞内代謝のダイナミクス解析技術を開発し、大腸菌および油脂酵母モデルを適用し新たな改変箇所を提案可能である結果が得られている。 ・さらに、生産と育種を関連付けさせて開発期間を短縮するため、必要とされるデータを集積し、統合的に活用できる環境の整備ができつつある。 ・LCA・TEA 検証のため、油糧酵母、SL 生産株の培養における炭素収支や卓上培養槽運転に伴う電力消費のデータを取得。シミュレーターver.1を2022年9月開発完了見込み。 <p>【バイオファウンドリ拠点】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・関東圏に発酵槽から生産ターゲット物質の分離・精製処理を含む実証拠点の構築を整備中。新設建屋の施工事業者を選定し、設計についてのデザインレビュー（開発、設計の審査）を実施。運営委員会を設置し、各種法規制の順守のため運営マニュアルを策定するなど、バイオファウンドリ拠点の運用方針を策定2022年度中に最大3,000L規模の発酵槽を備える実証設備 	
--	--	--	--

			<p>を完成させ、1種のターゲットを用いたスケールアップ検証予定。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・最大1,500L規模の既存の発酵槽設備で1種のターゲットを用いたスケールアップ検証に着手済み。 ・さらに、高性能CFDソフトウェア・スケールダウンモデルを利用したバイオ生産プロセスの最適化手法とスケールアップ実証手法の開発、マイクロ波技術を使ったバイオ生産プロセスの低コスト化・省エネ化・低炭素化等の周辺技術開発を進めている。 ・2020年度実施者の取組の中から神戸大・阪大・大工大・京大・ちとせ研究所が整備・開発を進めている設備をもとに、関西圏バイオファウンドリ拠点化を検討し着手。本格稼働またはPJ内研究の支援を行い、PJ外からの受入れ仕組みを構築中。 <p>【人材育成】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・バイオ生産プロセスにおける最適化及びスケールアップ手法、CFD解析手法の研修、バイオファウンドリ設備を使ったバイオ生産プロセスの運転の実習等の研修資料の完成。予定を前倒しして、2022年の秋から研修を開始。 ・大阪工大に教育施設として設置完了。人材育成プログラム（基礎・応用セミナー）基礎編受講実績61名。NEDO特別講座として一般公開を開始。 	
	<p>研究開発項目 ③「産業用物質生産システム実証」</p>	<p>以下の内容を基本としつつ、用いる生物種やターゲット物質等によって目標が大きく異なることから、具体的な定量目標は研究開発テーマ毎に別途実施計画書において定める。</p> <p>【委託フェーズ】 研究開発期間終了時点で、産業用物質生産システム検証を開始できる基本的な株やデータの取得が完了している。</p> <p>【助成フェーズ】 研究開発期間終了時点で、評価サンプルによる生産物評価により、性能、環境合理性、経済</p>	<p>※詳細は各テーマの事業原簿を参照。全ての実施テーマは、事業化に向けて解決すべき各種課題について毎年度の目標を定めて研究開発を実施。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・助成フェーズの実施テーマは、スケールアップ検討を進めることにより各テーマにおける毎年度目標を達成している（または達成見込み）。一部ターゲット物質の生産性向上に関して期待通りの成果が出なかったテーマがあるが、今後培養条件の再検討を行う等課題解決を進めている。 ・委託フェーズの実施テーマは、産業用物質生産システム検証を開始できる基本的な株や 	○

		<p>性等の面で総合的に競争力があることを示す。</p>	<p>データの取得が進展している。ステージゲート段階での目標クリアに向けて研究を推進。助成フェーズでのスケールアップ検証準備を実施計画に含んでいるテーマでは、培養条件の確認など着実に研究を進めている。</p>	
<p>投稿論文</p>	<p>2020年度：査読付き1件、その他1件 2021年度：査読付き22件、その他3件 2022年度：査読付き25件、その他0件（見込み含む）</p>			
<p>特許</p>	<p>2020年度：国内出願2件、外国出願0件、PCT出願2件 2021年度：国内出願2件、外国出願1件、PCT出願3件 2022年度：国内出願23件、外国出願7件、PCT出願6件（見込み含む）</p>			
<p>その他の外部発表 (プレス発表等)</p>	<p>2020年度：プレス発表2件、学会発表・講演28件、新聞等掲載2件 2021年度：プレス発表8件、学会発表・講演67件、新聞等掲載12件 2022年度：プレス発表9件、学会発表・講演64件、新聞等掲載15件 (2022年8月時点)</p>			
<p>4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて</p>	<p>研究開発項目①「バイオ資源活用促進基盤技術開発」 研究開発項目②「生産プロセスのバイオフィアウンドリ基盤技術開発」</p> <p>【共通基盤（微生物）】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・個々の成果の実用化に向けた取組を進めるとともに、関東圏バイオフィアウンドリ拠点の形成着手を契機に、実施者の取組をベースに関西圏バイオフィアウンドリ拠点化検討を進めた。プロジェクト全体でバイオプロセス開発プラットフォームとして主要な成果をまとめた拠点化を進め、各拠点が有機的な連携関係のもと機能できる形を協議し取組を強化している。 ・特に人材育成に関しては、プロジェクト参画機関を対象に試行を進めて公開準備をしてきた講座を含め全体カリキュラムを整理し、NEDO 特別講座の枠組みを活用して一般に向けてバイオものづくり人材育成講座を開講した。 <div style="text-align: center;"> <p>研究開発ステージ</p> </div> <p>・その他、開発された各種の成果の実用化を促すため、ワークフローの作成を進めている。将来的には外部機関のボトルネック課題に対してどの技術を活用すべきか可視化可能なワークフロー図を作成する予定。</p> <p>・実用可能な要素技術として、1. 機械学習等の情報解析システムによるプレート酵素選定技術、2. 計算科学的手法に基づく人工酵素構築技術、3. 高機能性プレート酵素/人工酵素の提供、4. ハイスループット活性評価システム（全自動ハイスループット活性評価システム、微小ゲルビーズを用いたハイスループット酵素アッセイシステム）、5. ハイスループット可溶性評価技術、6. 基質特異性の高速多様化技術基質結合イベントを指標とした新規スクリーニング法を想定している。単体もしくは組み合わせを活用したビジネスモデルの検討している。</p>			

	<p>【共通基盤（微生物・バイオファウンドリ）】 ・バイオファウンドリ拠点の核となる建屋を新設し、同建屋にバイオ生産プロセスを開発するために必要な設備をできる限り備え、様々な生産実証案件に対応できるようにする。さらに、生産実証を実施可能な適切な情報管理体制を整える。また、短期間に最適な条件を確立し、スケールアップできる拠点となるために、高度な CFD やスケールダウンモデルを開発する。低コスト、省エネのバイオ生産プロセスを提示できる拠点となるために、マイクロ波技術や原料の新しい前処理技術等を開発、導入する。バイオ生産プロセスの商用化に必要と考えられる製造コスト試算や LCA による CO2 排出量算出等のサービスを提供できるようにする。この拠点において、日本のバイオものづくりの基盤となる人材を育成する。</p> <p>【共通基盤（植物）】 ・植物による物質生産に関しては、本プロジェクトで開発した技術の社会実装のために、知財調査を行い、特許出願やノウハウ化に努め、学会発表はもとより、バイオビジネスにおけるパートナーリングイベントを活用することで、積極的に対外的発信や情報交換を行い、国内外の企業にライセンス契約による実用化を働きかけている。産業技術総合研究所・北海道大学で取り組んでいる、新規に開発された宿主植物の種子においては、種子そのものがライセンス契約等により提供可能なため、それを踏まえたマテリアルの管理を行うと共に、特許出願に向けた準備を進めている。また、鹿島建設株式会社においては、国内外の遺伝子組換え植物工場での有用物質生産を計画する事業者に対して施設受注につなげていけるよう、ホームページ、各種関連イベントやセミナーなどを通じて PR を進め、成果を知財化し、施設受注における競争優位性を高めるほか、ライセンス販売が可能な体制を整えている。</p> <p>研究開発項目③「産業用物質生産システム実証」 ・本プロジェクトにおいて事業化に向けた課題解決を図り、助成フェーズ終了時点で評価サンプルによる生産物評価により、性能、環境合理性、経済性等の面で総合的に競争力があることを示す。並行して、プロジェクト終了後の企業化計画に基づき、NEDO 事業終了後の取組として、試作品、試験的サービス等の社会的利用（顧客への提供等）が開始される、2030 年までに製品・サービス等として社会実装されることを目指す。</p>	
5. 基本計画に関する事項	作成時期	2020 年 2 月 作成
	変更履歴	2020 年 9 月 改訂 プロジェクトマネージャー交代に伴う改訂 2021 年 2 月 改訂 別紙 1 研究開発項目②の記載内容変更 2021 年 3 月 改訂 別紙 1 研究開発項目②の記載追記 2021 年 4 月 改訂 プロジェクトマネージャー交代に伴う改訂 2022 年 4 月 改訂 人材育成の運用等記載追記