

「革新的 GX 技術創出事業 (GteX)」

研究開発方針

<領域：バイオものづくり>

(素案)

令和 5 年 3 月

文部科学省

研究振興局

研究開発局

## I. 背景・目的

### (1) 2050年の社会像から見たバイオものづくりの重要性

バイオものづくりは、地球規模での社会的課題の解決と経済成長との両立を可能とする、二兎を追える研究分野である。バイオものづくり技術とは、ゲノム編集等により機能を高めた微生物や植物等を用いて、バイオマス資源や大気中のCO<sub>2</sub>を原料として、バイオプラスチックや機能性素材等の化学品を生産することが可能となる、カーボンリサイクル技術の一つであり、カーボンニュートラル社会の実現に向けた有力なキーテクノロジーの一つである。

日本の部門別CO<sub>2</sub>排出量(電気・熱配分後)によれば、製造業・工業プロセスが占める割合は35.6%である(2020年度データ)<sup>1</sup>。このうち、特にバイオものづくりに関連する化学、繊維、食品飲料からは21.8%にあたる年間8090万トンのCO<sub>2</sub>が排出<sup>1</sup>されている。従って、これらの業種については、今後、バイオものづくりを活用した技術に転換等することによりCO<sub>2</sub>排出削減への貢献が期待できる。

一方で、バイオものづくりは、既存の石油由来物質などの化学品に比べてコストが高いこと、生産できる化学品の種類が限定的であること等の課題<sup>2</sup>が示されており、今後、技術を更に展開していくためには、低コスト化や新規の代謝経路の開発などにより生産可能な化学品の種類・機能や生産量の拡大などが必要不可欠である。

世界的には、ゲノム解析・編集技術の進歩やIT・AI技術との融合の加速等を受け、バイオテクノロジーを活用した「バイオエコノミー」の世界市場は、2030～2040年に200兆円～400兆円に成長すると予想<sup>3</sup>されている。また、米国では、令和4年9月の大統領令において、今後10年以内に世界の製造業の3分の1以上が合成生物学(Engineering Biology)利用の可能性があると分析しており、サプライチェーン強化、国内バイオ製造拡大、イノベーション促進、次世代研究者育成等に対して、集中投資を行う方針が示された。また、中国では、1,000億ドル以上の政府投資が研究開発に投じられている旨の報告<sup>4</sup>もある。

我が国は、南北に長い領土から生まれる多様な環境や、火山や深海といった極限環境を有し、そのような幅広い条件下に生息する特徴的な微生物が存在していることや、これまでに培ってきた微生物による発酵生産技術などの強みを有している。

米国や中国をはじめ国際的な競争が激化している中で、我が国の地理的特徴

<sup>1</sup> 環境省「2020年度(令和2年度)温室効果ガス排出量(確報値)について」より算出

<sup>2</sup> グリーン成長戦略(2021年6月)

<sup>3</sup> 「2020 McKinsey Global Institute Analysis」

<sup>4</sup> 米中経済・安全保障調査委員会が2021年11月に議会に提出した2021年版年次報告書

やバイオ技術の強みも生かしつつ、産業界とアカデミアが連携し、ゲノム編集・合成技術等により CO<sub>2</sub>の固定化能の向上、生産できる化学品の種類の多様化や生産性の向上につながる未知の代謝経路や革新的な微生物を開発し、社会実装を進めていくことが急務である。さらには、生産できる化学品の種類の多様化に向けては、植物によるバイオものづくり技術により、微生物では生産できない多様な構造をもつ有用物質、脂溶性物質等の生産も必要となっている。

## (2) 我が国の戦略、目標

カーボンニュートラルやグリーントランスフォーメーションに向けた各種戦略（グリーン成長戦略、クリーンエネルギー戦略等）において、バイオものづくりは重点分野の一つとして位置づけられている。

グリーン成長戦略においては、政府は、今後 10 年間の集中的な取組により、低コスト化を進め、2035 年までに商業ベースで生産可能な化学品の種類・機能を拡大し、大気中の CO<sub>2</sub>を原料とするバイオものづくりについては、培養に適した微生物株の開発等により、基盤技術を確立し、2040 年頃からの実用化を目指すとしている。

## (3) 産業界との協働、アカデミアの役割

前述の通り、バイオものづくり技術の開発においては、低コスト化、生産可能な化学品の種類・機能の拡大、生産量の拡大などにつなげていくことが重要である。

現在、経済産業省において、主に企業を対象に革新的技術の研究開発・実証から社会実装まで継続して支援するため、「グリーンイノベーション基金事業」の「バイオものづくり技術による CO<sub>2</sub>を直接原料としたカーボンリサイクルの推進」等により、既知の物質生産機能または CO<sub>2</sub>固定化能の高い微生物を用いて、ゲノム編集等により従来とは異なる原料・目的物質を利用可能な微生物の開発や、微生物などによる化学品の生産の大規模スケール化、実証等を推進している。

このように企業における製造の大規模スケール化などの実用化フェーズの技術開発を進める一方で、アカデミアにおける研究では、多様な化学品的を生産可能となる新規の代謝経路の開発、短時間かつ自由自在に微生物を改変できる革新的技術（ゲノム編集・合成技術、革新的な DBTL<sup>5</sup>の開発など）の開発など、バイオものづくりの基盤的な研究開発を推進していくことが重要で

---

<sup>5</sup> 有用微生物の開発を迅速かつ効率的に行うためには、AI やロボティクス等のデジタル技術を最大限に活用して、生物のゲノムや代謝経路情報を基に目的の機能を発現する遺伝子を設計・合成し（デザイン：D）、合成した遺伝子を搭載した微生物を作り（ビルド：B）、搭載した遺伝子が目的の機能を発現したかテストし（テスト：T）、得られたデータを学習・分析し、代謝経路の設計等に反映させる（ラーン：L）一連のサイクル（DBTL サイクル）を高速で行うこと。

ある。

また、多様な産業に適用可能なバイオものづくり技術の実用化、市場の獲得に向けては、産業界とアカデミアのより一層緊密な連携・協働のもと、企業側の開発・実装とアカデミア側の原理解明・革新技术開発をすり合わせながら取り組むことで、カーボンニュートラルを実現するための革新的なGX技術の開発により非連続なイノベーションを創出し、そして将来の成長を支える人材を持続的に育成していくことが本事業に期待される。

## II. 研究開発目標・研究開発テーマ

### (1) CO<sub>2</sub>削減や産業界への貢献

バイオものづくり技術とは、前述のとおり、ゲノム編集等により機能を高めた微生物や植物等を用いて、大気中のCO<sub>2</sub>や光合成によってCO<sub>2</sub>が固定化されたバイオマス資源を原料として、バイオプラスチックや機能性素材等の化学品を生産することが可能となるカーボンニュートラル社会の実現に向けた有力なキーテクノロジーのひとつである。

経済産業省グリーンイノベーション基金事業<sup>6</sup>では、この事業の成果が社会実装された場合<sup>7</sup>として、以下の目標値が示されている。

世界のCO<sub>2</sub>の削減効果（ポテンシャル推計）

約13.5億トン／年（2040年）

約42.1億トン／年（2050年）

経済効果（世界市場規模推計）

約65.4兆円（2040年）

約199.4兆円（2050年）

この目標を実現するためには、バイオものづくり技術を幅広い産業に適用し、多様な物質を作れるようにするとともに、安価に生産することが鍵となる。このためには、微生物等により生産可能な、C<sub>4</sub>以上の長鎖の工業原料・多様な芳香族化合物（ゴム製品、プラスチック、化学繊維等の原料）、SAF(Sustainable Aviation Fuel)をはじめとする次世代燃料<sup>8</sup>などの化学品の種類・機能の拡大や物質生産の効率性の向上、物質生産を行う際のCO<sub>2</sub>の固定化能の向上、微生物に化学品を生産させるためのより効率的なゲノム合成・編集技術の開発など、産業界とアカデミアが一体となって技術の開発を目指すことが求められる。

<sup>6</sup> 「バイオものづくり技術によるCO<sub>2</sub>を直接原料としたカーボンリサイクルの推進」プロジェクト

<sup>7</sup> 素材（容器包装用途のプラスチック）、繊維（化学繊維、動物性繊維）、燃料（灯油、ジェット燃料）等について、2040年に20%、2050年には50%がコスト目標（既存製品の1.2倍以下のコスト）を達成した場合

<sup>8</sup> 未利用資源からの製造など

本事業では、これらの技術開発を進めるにあたり、企業が産業化する際にボトルネックとなっている技術課題への対応や独創的な発想の下でゲームチェンジとなるような革新的技術の開発を推進する。また、同時に、大学等における基盤的な研究開発の成果が社会実装に可能な限り早期につながるように、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下「NEDO」という。）事業との事業間連携の促進や産業界のニーズを取り込む体制の構築などの本領域の研究マネジメントを行うことで、上記のCO<sub>2</sub>の削減効果や経済効果に関する目標に貢献する。

また、企業への人材供給源となるようバイオものづくり分野の人材育成も一体的に推進することで、バイオものづくりの産業構造の変革に対応した技術シーズや博士号取得者を含む高度人材を産業界に供給し、産業界にも貢献する。

なお、この研究開発を推進に当たっては、LCA（ライフサイクルアセスメント）や資源循環、倫理的・法的・社会的課題（ELSI）の観点も考慮しながら取り組む必要がある。

以上を踏まえて、以下のアウトプット、アウトカム目標を参考に、事業の効果測定を行い、随時、事業運営に反映する。

#### <アウトカム目標>

(例)

- ・世界水準の研究開発の実施（研究開発実施項目の内容に関わる被引用件数の多い論文数、国際共著論文数、革新技術のTRL<sup>9</sup>の増加、企業との共同研究数等）
- ・博士号取得者を含む高度人材の輩出
- ・出口事業、企業等への橋渡し（企業への研究成果の導出数、ベンチャー企業の創設等）

#### <アウトプット目標>

(例)

- ・先端機器や研究基盤の構築数・共用機器の利用者数
- ・研究データの蓄積
- ・取組に参加する企業数
- ・支援している研究テーマ（チーム）数 等

---

<sup>9</sup> Technology Readiness Level:IEA (International Energy Agency) の基準に準拠する。

## (2) 研究開発テーマの考え方

上述のとおり、本領域では、アカデミアの強みを活かし、生産可能な石油由来物質や石油代替物質などの化学品の種類・機能の拡大、生産効率の向上、さらにはCO<sub>2</sub>の固定化能の向上につながることを目指した研究開発テーマを設定する。

具体的には、バイオものづくり技術により生産できる化学品の拡大や物質生産の効率化をするためには、目的物質ごとに、最適な代謝経路を持つ微生物の生産株・生産技術を開発する必要がある。また、効率的な微生物開発を行うためには、微生物や植物のゲノム配列から特定の物質を効率的に生産する代謝経路をオミックス解析技術、構造解析等により解明し、ゲノム配列の改変につなげていくことが必要である。また、このために、これらの微生物や植物に係る代謝経路、遺伝子等のデータを集約するデータプラットフォームの整備も重要である。さらに、植物によるバイオものづくり技術については、微生物では生産できない物質の生産や、光合成の効率化によるCO<sub>2</sub>の大量吸収等を通じてカーボンニュートラルへの貢献可能性が期待できるなどの特徴があるため、並行して推進していくことが必要である。

また、それぞれの研究開発テーマの特徴を踏まえ、各研究開発テーマについて短期、中期、長期に分類する。それぞれの考え方は次のA～Cのとおりである。

- A. グリーンイノベーション基金などのNEDO事業や企業の技術開発の中でボトルネックとなっている基礎課題の解決（短期課題）
- B. 今後企業が実用化する上で求められる革新的技術開発（中期課題）
- C. 将来的な企業の実用化検討に向けて非連続なイノベーションが不可欠な次世代革新的技術開発（長期課題）

上記を踏まえ、生産効率の向上や化学品の多様化等のための微生物研究や、化学品の多様化・機能の拡大、CO<sub>2</sub>の固定化能の向上等のための植物研究、それらの基盤となる技術開発もあわせて推進する。研究開発テーマ例とそれぞれの研究開発期間は以下の通りとする。なお、ここに記載の研究開発テーマ例に限らず、国立研究開発法人科学技術振興機構（以下「JST」という。）は本領域の目標に適合した提案者の独創性の高い提案を担保する。

### 【具体的な研究開発実施項目例及び短期・中期・長期の分類】

- ① 微生物
  - i) 化学品の生産への展開の元になる必要最小限機能を有するハブ細胞

(ベーシックセル)の開発などの革新的な微生物のプラットフォーム整備 (B、C)

- ii) 石油由来物質や石油代替物質などの化学品を生産する有用遺伝子・新規酵素の探索、新規代謝経路などの開発 (A、B)
- iii) CO<sub>2</sub>から直接化学品の生産を行うことなどが可能な有用微生物の探索・開発 (B、C)

## ② 植物

- i) 植物の生合成で行われている複雑な代謝経路の機序解明、光合成効率の向上、石油由来物質や石油代替物質などの化学品の生産や有用物質の生産性を高める新規代謝経路などの開発 (A、B)
- ii) 植物細胞の脱分化や再分化、植物個体に直接遺伝子を導入する技術など、植物に有用遺伝子を導入するための革新的な技術の開発 (B、C)

## ③ 横断・基盤技術

- i) 微生物や植物に係る代謝経路、遺伝子等に係るデータプラットフォームの整備 (C)
- ii) DBTL 技術に関する革新的技術の開発 (例：ゲノム編集・合成技術、AI 技術、ロボット・自動化、オミックス解析技術、イメージング技術、構造解析技術) (B、C)
- iii) CO<sub>2</sub>排出削減に貢献する生物間相互作用解析、微生物-植物相互作用の解明 (B、C)
- iv) 無細胞によるバイオ分子を用いた測定、物質生産に係る技術の開発 (B、C)

## Ⅲ. 研究開発実施体制

### (1) チーム編成の考え方

本領域においては上記の研究開発テーマを実施する複数の「チーム」により構成される。

上記Ⅱ(2)の研究開発テーマ例①～③を総合的に実施する革新的な技術の開発を行うチーム(「革新的技術チーム」)を設ける。加えて、本領域では、様々な分野の融合・連携や先端機器や研究基盤の構築・共用化を行う必要があり、研究開発実施上の実質的な連携を行うことが有効と考えられるため、研究開発を統合・加速するチーム(「統合・加速チーム」)を全国に複数

(2つ程度) 設定する。また、アカデミアの独創的な研究シーズを積極的に活用するため、個別の優れた技術を保有する研究者について、チームに相乗効果をもたらすことが期待できる場合には公募により追加で参加することを推奨する。

各チームに関しては、前述の研究開発テーマの分類を参考に、研究課題の性質に応じて研究開発期間を設定し、研究開発成果の社会実装の早期展開を促す。また、各チームと企業との連携を進めるため、統合・加速チームを中心として各チームと企業が対話する場を設ける。

企業の技術課題への対応や各チームにおける研究課題の社会実装を促進するため、POの判断等により、チーム横断の研究体制を必要に応じて構築する。

また、JSTでは令和5年度からは戦略的創造研究推進事業「ALCA-Next」を開始することとしており、当該事業をはじめ、JSTが実施する本事業と関連する他事業の研究課題について、国内の研究リソースを有効に活用する観点から、実効的な連携体制の構築することを推奨する。

(各チームのイメージ)

・革新的技術チーム

ボトルネック課題の克服等に向けて、複数の研究開発テーマ例の技術を組み合わせ、複数機関の第一線級の研究者が参画する革新的技術チームを複数置き、チーム毎にチーム長を置き、下記の統合・加速チームと連携して研究開発を実施する。(例：微生物や植物における有用遺伝子・新規酵素の探索などを行う微生物・植物リソース研究チーム等)

・統合・加速チーム

革新的な技術の開発を行う中で、以下の要件を備えるチームに関しては、「統合・加速チーム」として、バイオものづくり分野の研究開発の統合・加速や人材育成などを推進する役割を果たす。

【統合・加速チームの要件 (例)】

- i) 生物学・情報科学・化学など様々な分野における第一線級の研究者が集積し、連携する体制
- ii) 他分野との融合や産業界との連携のハブとなる機能
- iii) 上記Ⅱ(2)の研究開発課題例①～③のうち、複数項目の研究開発を実施し、統合する機能



- iv) 先端機器や研究基盤の整備・共用（解析機器の整備、解析技術の提供、データプラットフォーム整備、ゲノム編集・合成技術の高度化・提供など）
- v) 産業界のニーズを取り込む体制
- vi) 知的財産戦略・ELSI の支援機能
- vii) 人材育成機能
- viii) 上記 i) ～vii) の取組を通じた革新的技術チームの支援 等

## (2) 有機的かつ一体的に研究を推進する体制の構築

有機的かつ一体的に研究を推進するため、PO 及び各チーム長、さらに必要に応じて本事業内外の関係者が定期的に一堂に会し、研究の進捗状況、研究連携、問題意識の共有、産業界のボトルネック課題への対応などを検討する体制を整備し、効果的に事業を推進する。

## (3) 共用設備・研究基盤の在り方

本領域を実施するにあたり、高額な設備や、一機関においては使用頻度が限られる設備等については、研究費の効率的な執行の観点から、「統合・加速チーム」において整備し、共用を推進する。

### 【研究基盤の例】

#### i) 解析機器等の整備・共用

- ・ NMR など構造解析に必要な機器等の整備・共用し、高度な解析技術を提供
- ・ オミックス解析、イメージング等に必要な機器を整備・共用し、高度な解析技術を提供
- ・ スーパーコンピューターの利用できる環境の整備

#### ii) データプラットフォームの整備

- ・ 微生物や植物に係る代謝経路、遺伝子等に係るデータ

#### iii) ゲノム編集・合成技術の提供

- ・ 国産のゲノム編集・合成技術の開発・高度化を進め、開発等した技術を提供

## (4) データ活用 (DX)

効率的なバイオものづくり研究を行うためには、微生物や植物のゲノム配列から特定の物質を効率的に生産する代謝経路を解明し、ゲノム配列の改変につなげていくために、微生物や植物に係る代謝経路、遺伝子等のデータが必要となる。目的物質ごとに最適な代謝経路を持つ微生物開発などを進めていくために

は、これらのデータを効果的に利用できる基盤が必要となるため、参画する研究者間で共有できるデータプラットフォームの整備が重要である。

このため、本事業に参画する研究者は、本事業で創出される研究データを、原則、指定するデータプラットフォームに格納することとする。ただし、データの具体的な運用方針（例：データフォーマット、格納するデータの種類、知的財産戦略等も踏まえて事業期間中の公開の在り方）については、JSTにおいて、研究開発開始時に統合・加速チームを中心に本プロジェクト参画者との間で議論し策定すると共に、事業進捗を踏まえて適宜改定する。

#### （５）国際連携

グローバルなネットワークの核になっていくことを目指して、合成生物学等に関する海外のトップレベルの研究機関との戦略的な連携や、海外のトップレベルの研究者を招聘した国際シンポジウムの開催、研究者の派遣、受け入れ等による人的ネットワークの構築などを促進する。高い技術を持ちながら、実証や標準化、市場導入で後れを取ることにならないよう、本事業においても、国際的な視野に立った研究開発を推進する。特に大学院生を含めた若手研究者の国際経験の支援を積極的に行う。

#### （６）若手の積極的な参画・育成

研究実施にあたって中心的なポジションや研究開発の方向性を検討する場等への若手研究者の参画、本事業への多様な分野の博士課程学生等の参画を奨励する。

また、本事業に参加する各機関の若手研究者や学生が交流・成果発表する場を設けることや企業と対話する場に可能な限り参加できるようにすることなどにより、人材育成の取組を推進する。

### IV. 研究開発マネジメント

#### （１）マネジメント体制

研究開発の推進にあたっては、PO が、バイオものづくり技術動向に限らず、社会的動向も捉えつつ、研究開発の方向性を示し、新たな人材（異分野研究者、若手）も積極的に巻き込んだオールジャパン体制のチームを構築し、各研究者の独創的なアプローチを最大限発揮できるようフレキシブルな運営を行うことが重要である。

PO を補佐する者として、関連動向（国内外の技術動向、国内／グローバル市場の動向、標準化・制度面等）や、LCA や ELSI の観点からも助言を行えるよう、人文・社会科学の知見や多様な外部人材等を活用しながら課題を推進する体制

を整える。また、産業界側からも適切な助言が行えるような人材（企業経験者等）を含めることを推奨する。その上で、PO は、研究開発の進捗等を的確に把握をした上で、研究開発開始時の形に囚われることなく、チーム体制や方向性、プロジェクト構成を機動的に見直す。

#### （２）ステージゲート、評価の観点

研究課題の性質を踏まえ、中期課題、長期課題に関しては、ステージゲート評価を行う年度を設定する。短期的な課題に関しては、定期的にモニタリング・評価を行い、効果的に事業を進める。毎年度の具体的な運用は、JST において定める。

#### （３）企業の関与、社会実装に向けた具体的な取組

統合・加速チームを中心に産業界からのニーズを取り込む体制を整備し、迅速に企業からのボトルネック課題に対応するとともに、重要な技術シーズに関しては知的財産に関するマネジメントを十分に行い、大学等における基盤的な研究開発の成果が社会実装に可能な限り早期につながるようにする。

#### （４）経済産業省や NEDO との連携

文部科学省と経済産業省との政策連携や、JST と NEDO との事業間連携を促進するため、両事業の研究統括や両事業に参画する研究者、企業等が両事業の研究発表会の場に参画できる仕組みや、定期的に意見交換できる枠組みを設ける。

これにより、産業界におけるボトルネック課題の明確化や、産業界におけるアカデミアの研究成果の早期の展開等、産学の相互連携を進めていく。

#### （５）オープン・クローズの考え方

経済安全保障の観点に留意しつつ、知財マネジメント、オープン・クローズ戦略について方針を検討・策定した上で進める。

#### （６）技術情報の管理

我が国の産業競争力強化の観点から、JST 及び統合・加速チームを中心に我が国技術の国際競争力や海外における類似の研究開発動向を分析した上で、国内経済への波及効果が期待される場合には、海外の先端技術の取り込みや国際共同研究を推進する。他方で、本事業の研究開発成果の社会実装に際しては、国内産業に十分な付加価値を生み出すことや用途、国外への技術流出リスク等について十分に留意する。

## V. その他

研究開発方針に含めるべき新たに主要な研究開発テーマ追加、あるいは研究開発テーマの方向性の変更が生じた際には、文部科学省が有識者の助言を得て必要な手続きを行った上で改訂する。