

「革新的 GX 技術創出事業(GteX)」
研究開発計画書
＜領域: バイオものづくり＞

令和5年5月



未来創造研究開発推進部

目次

1. 背景・目的
 - ・GX 推進における各領域の重要性と現状の課題等
 - ・既存事業や他プロジェクトとの関係
2. 目標
 - ・各領域で達成したい目標
 - ・目標設定の考え方、達成困難性
3. 期待する波及効果
 - ・目標達成後に期待する効果
 - ・CO₂削減効果、経済波及効果等の社会・経済インパクト
4. 研究開発テーマ
 - ・研究開発目標の達成に向けた各研究開発テーマ名および研究開発内容
 - ・各チームの達成目標およびマイルストーン、ステージゲート設定
 - ・想定される研究開発体制
 - ・予算
5. 研究開発マネジメント
 - ・評価の進め方
 - ・データ活用(DX)や大型放射光施設等との連携
 - ・人材育成、国際連携
 - ・知財の取り扱い
 - ・社会実装に向けた取り組み・計画等

1. 背景・目的

本領域では、年間 8,090 万トンの CO₂ が排出される化学、繊維、食品飲料製造業などの幅広い産業にバイオものづくり技術を適用するために、多様な脂肪族化合物や芳香族化合物(ゴム製品、プラスチック、化学繊維等の素材もしくはその原料)、SAF¹をはじめとする次世代燃料²などの化学品の種類・生産効率の向上や多様化・機能の拡大、CO₂ の固定化能の向上等を目指し、微生物／植物による次世代バイオものづくりシステム基盤につながる研究を推進する。また、広い視野を持ち展開力のある人材を育成・輩出していくことも目的とする。

本研究開発計画書は、文部科学省が策定した基本方針、研究開発方針³に基づき策定する。

・GX 推進における各領域の重要性と現状の課題等

- 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。カーボンニュートラルの実現といった観点でみると、炭素の固定経路としては、微生物や植物による CO₂ の直接資源化などの方法が存在する。バイオマス資源や大気中の CO₂ 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ひとつである。
- 日本の部門別 CO₂ 排出量(電気・熱配分後)によれば、製造業・工学プロセスが占める割合は 35.6%である(2020 年度データ)⁴。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 8,090 万トンの CO₂ が排出されている。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、CO₂ 排出削減への貢献が期待できる。
- また、バイオものづくりは一般的に、水溶液での反応であり、生体触媒の使用、常温常圧の反応、天然原料を用いる、毒性物質や危険物を使用しないなど、環境調和性が高いとされている。
- 一方で、バイオものづくりは、生物の反応であるため、上記のように基本的に水溶液での培養・反応・操作であり、生物ゆえに有機化合物の高濃度生産は

¹ SAF: Sustainable Aviation Fuel の略

² 未利用資源からの製造など

³ 「革新的 GX 技術創出事業(GteX)」基本方針及び研究開発方針(令和 5 年 4 月)
(https://www.mext.go.jp/a_menu/kaihatu/kankyouene/detail/1417737_00001.htm)

⁴ 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

現状では難しいことや、石油由来物質のような精製物のカスケード利用が困難であることもあり、水溶液からの分離回収や廃水処理も含めて目的生産物のコストが高くなる、といった問題点がある。

- このため、バイオものづくりを拡大していくためには、現在使われていない微生物など生物資源およびその生物情報の利用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。
- こういった課題があるものの、1953年のワトソン・クリックによるDNAの二重らせん構造の発見、1971年の組換え技術の成功以来、バイオテクノロジーは急速に進展している。例えば、ゲノム解析技術は、ヒトゲノムプロジェクトの際には13年と30億ドルを投じる必要があったが、次世代シーケンサーの登場と普及、解析能力の向上によって数時間と1,000ドル以下で可能になってきており、さらなる高速化、低コスト化は確実である。また、ゲノム編集技術も2012年のCRISPR/Cas9の登場以降、急速に進歩しており、2021年ゲノム編集技術を使って品種改良したトマトの販売が我が国で始まり、社会に身近な存在になりつつある。同時に、資源循環、倫理的・法的・社会的な観点からの検討も重要になっている。これらのバイオテクノロジー技術の急速な進展は、半導体を初めとする工学的技術の他に、同様に急速に進化しているIT・AI技術との融合によるところが大きく、膨大な解析データを高速な処理、結果の出力や予測をすることが出来るようになったためである。
- これらを背景に、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⁵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⁶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⁷もある。
- 我が国は、国土が南北に長く、海、山、火山、平野など様々な地形を有し、これらの環境で生育する多種多様な生物資源を有している。歴史的にも、味噌・醤油・日本酒に代表される発酵生産技術とその産業には強みを持っている。
- また、バイオものづくり技術は、ポテンシャルが高く、幅広い研究開発が必要という特徴がある。この点を踏まえ、アカデミアの役割としては、ゲームチェンジにつながる革新的技術シーズの開発や、バイオものづくり分野の産業を加速さ

⁵ 「2020 McKinsey Global Institute Analysis」

⁶ 合成生物学: Engineering Biology

⁷ 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

せる基盤(未知の微生物の探索や未知の代謝経路等の解明等)を整備していくことが求められる。また、将来の成長を推進していく人材を持続的に育成していくことが期待される。

・既存事業や他プロジェクトとの関係

- グリーンイノベーション基金(以下「GI 基金」という)「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」(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、以下「NEDO」という。)では、以下を目的・概要中に挙げている⁸。革新的な素材や燃料などの異分野事業者との共同開発の促進等を通じて、バイオものづくりの中核を担う微生物等改変プラットフォーム事業者と大規模発酵生産とバイオものづくり製品の生産を担う製造事業者・事業会社の育成・強化を図るとともに、プラットフォーム事業者による高効率な微生物開発技術を活用することで微生物等が持つ CO₂ 固定能力を最大限に引き出し、バイオマス原料を用いない CO₂ を原料としたバイオものづくりによりカーボンリサイクルを推進するために必要となる各要素の技術的な課題の解決を図る。さらに、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し、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することで、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す。
- 「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」(NEDO)では、以下を事業の狙いとして挙げている⁹。バイオものづくり産業の基盤として、バイオ資源活用促進のための各種技術や従来法にとらわれない次世代生産技術開発等を実施する。次世代生産技術としてはスケールアップや回収、破碎、分離、精製等まで含め、工業化に向けた生産プロセスに関わる技術の開発と検証を目指す。
- 「バイオものづくり革命推進事業」(NEDO)では、以下を目的・概要中に挙げている¹⁰。多様な原料と多様な製品を出口としたバイオものづくりのバリューチェーンの構築に必要な技術や社会システム実証を行い、バイオものづくりへの製造プロセスの転換とバイオものづくり製品の社会実装を推進し、ひいては我が国の産業競争力の強化と社会課題解決を実現する。具体的には、バイオものづくり原料の調達のための技術開発やシステム実証を行うとともに、バイオも

⁸ 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」プロジェクトに関する研究開発・社会実装計画 (<https://www.nedo.go.jp/content/100953312.pdf>)

⁹ 「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」基本計画 (<https://www.nedo.go.jp/content/100919315.pdf>)

¹⁰ バイオものづくり革命推進事業研究開発計画 (<https://www.nedo.go.jp/content/100959177.pdf>)

のづくりの付加価値の源泉を握る微生物等改変プラットフォームの育成や微生物等の改良技術の開発、量産化のための製造技術開発・実証等を行う。

- 戦略的創造研究推進事業 先端的低炭素化技術開発(ALCA)(JST)(2010～2022 年度)¹¹において、バイオテクノロジー関連の多様な課題が推進されてきた。この成果を本事業ではさらに発展させることを目指す。
- 令和 5 年度より、戦略的創造研究推進事業「先端的カーボンニュートラル技術開発(ALCA-Next)」(JST)が開始される予定であり、本事業との強い連携構築を目指す。

2. 目標

・各領域で達成したい目標

- 微生物等により生産可能な、例えば、多様な脂肪族化合物や芳香族化合物(ゴム製品、プラスチック、化学繊維等の素材もしくはその原料)、SAFをはじめとする次世代燃料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CO₂の固定化能の向上を実現する。
- 例えば、微生物で生産が困難な物質の植物での生産や、バイオマス資源のCO₂吸収能拡大など植物によるバイオものづくり技術の向上
- バイオものづくりに幅広く貢献する基盤技術の整備・高度化
- 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。産業界はバイオプロセスに精通した人材、Dry と Wet をつなげる人材、スケールアップの素養がある人材を求めており、そのような人材の育成にも取り組む。

・目標設定の考え方、達成困難性

- バイオものづくりはCO₂削減など環境負荷低減という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。その背景となるバイオテクノロジーは DNA の二重らせん構造の発見以来、特に次世代シークエンサーやゲノム編集の登場以後、急速に進展している。バイオものづくりは、この技術が産業に直結する分野の一つといえる。
- 一方で、バイオものづくりの商業生産に際しての現在の問題点として、生産できる化学品の種類が限定的であること、目的生産物の生産量の拡大が難しい、精製まで含めたコストが高くなる、といったボトルネックがある。本領域ではこれらのボトルネックを解決することを目指す。
- 現代のバイオテクノロジーは、これまで以上に自動化技術などの工学的技術

¹¹ <https://www.jst.go.jp/alca/>

の他、特に AI をはじめとする情報技術(IT)、数理科学など幅広い研究開発が必要なことが特徴であり、様々な分野の研究者がチームを組むことがボトルネックを突破するために効果的であると考えられる。さらに、革新的な技術開発や新たな科学的知見を出し続けることは必須であり、この点においてアカデミアの貢献が求められる。

- これらを背景に世界中でバイオ人材のニーズが増している。また、我が国の国際的な研究コミュニティでのプレゼンス低下が深刻化していることも問題である。本領域では、既存の研究者ネットワークに留まらず幅広い分野に裾野を広げ、将来の産業構造や社会的要請も意識しながらバイオエコノミーの世界市場の中心的プレーヤーとして、また 2050 年カーボンニュートラルのための技術開発を担う持続的な人材育成も重要である。

3. 期待する波及効果

・目標達成後に期待する効果

- 世界水準の研究開発の実施(研究開発テーマ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 TRL¹²の増加、企業との共同研究数等)による本分野における国際競争力の強化
- 人材育成(博士号取得者を含む高度人材の輩出)による産業界、ひいては本分野の裾野拡大への貢献
- 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)等による本分野における産業界への貢献

・CO₂削減効果、経済波及効果等の社会・経済インパクト

- 経済産業省の「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」プロジェクトでは、この事業の成果が社会実装された場合¹³として、以下の目標値が示されている。

世界の CO₂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、

¹² Technology Readiness Level: IEA(International Energy Agency)の基準に準拠する。

¹³ 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。

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。そのため、波及効果の高い技術の開発を目指す。

4. 研究開発テーマ

・研究開発目標の達成に向けた各研究開発テーマおよび研究開発内容

微生物等により生産可能な、例えば、多様な脂肪族化合物や芳香族化合物(ゴム製品、プラスチック、化学繊維等の素材もしくはその原料)、SAFをはじめとする次世代燃料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CO₂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DNA合成・ゲノム編集技術や培養等のエンジニアリング技術の開発など、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。また、微生物で生産が困難な物質の植物での生産や光合成の効率化などによるCO₂吸収能拡大を目指す。

これらのために、合成生物学とIT・AIとの融合などを図り、CO₂を原料として吸収・固定化等し、効率的に有用物質の生産が可能となる微生物・植物等を開発するための革新的技術を開発する。なお、企業のボトルネック課題にも迅速に対応するため、産業動向等に応じて、研究開発テーマ等を見直す。

また、それぞれの研究開発テーマの特徴を踏まえ、適切な研究期間を設定するため、研究開発テーマについて短期、中期、長期に分類する。短期課題、中期課題、長期課題の考え方としては次のA～Cのとおりである。

- A. GI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新技術開発(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革新的技術開発(長期課題)

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・導入、生産物を効率よく高生産する微生物の開発、新規酵素の容易な導入方法やスクリーニング方法の開発(A、B)
- iii. CO₂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、安価な培地でも富栄養培地と同様に増殖できる微生物、高温あるいは低温、有機溶媒などの過酷な環境や環境変化にかかわらず増殖・生産・活性を維持できるロバストな微生物の探索や活用(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、高速に植物を改変する技術の開発(B、C)

③ 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、極限環境下などにおける新たな生物資源の探索や生物情報の活用(C)
- ii. DBTL¹⁴技術に関する革新的技術の開発(例:機能予測のアルゴリズム開発、数理科学による生物情報解析の開発、ゲノム編集・DNA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 等)(B、C)
- iii. CO₂ 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、相互作用に寄与する物質の同定、これらに係る代謝経路の探索・解明、植物の生育促進に貢献する微生物や物質を単離・同定する技術(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、新規高活性酵素の創製(B、C)
- v. 微生物や植物の培養等に係るスケールアップに向けたシミュレーションなどのエンジニアリング要素技術の開発(A、B)

➤ 中核研究チーム

◇ 微生物研究中心チーム

有用物質を生産するための微生物を中心とした設計・作出から有用物質の生産に至る一貫通貫の次世代バイオものづくりプラットフォームの基盤となる研究を行う。

具体的には、バイオ生産に最適な個体や細胞の選択等による有用微生物の作出に向け、有用物質生産のための代謝経路や細胞制御系のコンピュータを活用した設計(Design)、ロボティクスの活用による、設計した微生物の並列・高速作出(Build)、構築した微生物細胞の自動化機器によるハイスループット評価(Test)、機械学習やルール抽出、データ管理(Learn)からなる一連の

¹⁴ 有用な微生物・植物の開発を迅速かつ効率的に行うために、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)。

DBTL サイクルの各要素を次世代型にする。また、生産物質の種類・機能拡大、生産性向上等、CO₂ 固定能の向上に向けて、有用な微生物の探索、未利用リソースの開発や代謝経路解明等を行う必要がある。さらに DBTL サイクルにより作出した有用微生物を化学品の生産につなげる生産プロセス研究を推進する。あわせて、微生物のみならず、植物で見いだした新たな代謝経路の微生物への取り込みや、無細胞での解析等他の要素の研究も総合的・統合的に推進する。これら一連の研究を元に、微生物を中心としたバイオものづくりの次世代プラットフォーム確立を目指すとともに、得られた研究成果を GI 基金等の NEDO 事業等につなげる。また、事業開始早々に、植物研究中心チームと密に連携して、本領域内で使用するデータプラットフォーム構築を行い、バイオものづくり基盤となるデータ集積を推進する。

◇ 植物研究中心チーム

有用物質を生産するための植物を中心とした設計・作出から有用物質の生産に至る一貫通貫の次世代バイオものづくりプラットフォームの基盤となる研究を行う。

具体的には、微生物の場合と同様に、植物リソースをはじめとした生物情報を用いて、一連の DBTL サイクルの開発を進める。微生物では生産が困難な物質の植物でのバイオ生産や植物の CO₂ 固定能の向上に向けて、植物リソースに関して生産や生育条件等の性質の情報の高速評価や、植物のほか微生物等の生物情報も対象範囲に含みバイオものづくりに資する未知代謝経路解明等を行い、有用植物・有用植物細胞、有用代謝経路を得る。さらに、次世代ゲノム編集・DNA 合成技術等の開発、遺伝子導入技術の開発、植物の高速育種法の開発等ゲノム構築や遺伝子導入・育種に関する開発を行う。さらに、植物で見いだされる有用な新規代謝経路を活用して微生物でのバイオ生産を実現することが有効な場合も多いことから、微生物や無細胞等の他の要素の研究も総合的・統合的に推進して、微生物における生産物質の種類・機能拡大、生産性向上も目指す。これら一連の研究を元に、植物を中心としたバイオものづくりの次世代プラットフォーム確立を目指すとともに、得られた研究成果を GI 基金等の NEDO 事業等につなげる。また、事業開始早々に、微生物研究中心チームと密に連携して、本領域内で使用するデータプラットフォーム構築を行い、バイオものづくり基盤となるデータ集積を推進する。

➤ 基盤技術研究チーム

◇ 生物間相互作用の探索・解析研究チーム

微生物同士、植物同士あるいは微生物・植物間において行われている相互

作用(コミュニケーション)(以下「生物間相互作用」という。)によって、微生物や植物は新たな機能を獲得し、単一の微生物や植物のみでは実現が困難な生育や物質生産を実現することが出来る。このため、異なる複数種における生物間相互作用を、中核研究チームの DBTL サイクルで作出された微生物／植物を用いた生産プロセスに活用することは、さらなる生産性向上等のために有効である。

本チームでは、生物間相互作用の解析を通じて、それを担っているエキソソームや化学物質(以下「生物間相互作用制御物質」という)の解析、それに係る細胞内の代謝経路、遺伝子等の探索等の生物学的機能や作用機序を解明する。そして、例えば、生物間相互作用制御物質を培養液中に加えることで、単一では難培養な微生物の培養や、微生物や植物での高生産培養を可能にする、あるいは微生物群や植物・微生物コンソーシアムを用いて物質生産性や CO₂ 固定能を向上させること等に寄与する基盤技術開発を行う。また、生物間相互作用やそれに係る代謝経路等の探索・解明を行い、その機能を微生物／植物バイオものづくりプラットフォームに活用する。

◇ 人工系による評価システム研究チーム

中核研究チームにおける DBTL サイクルのうち、Build の高度化・迅速化や生産プロセスに関する研究に資することを中心とした基盤技術開発を行う。無細胞によるアプローチは、試験管内での反応をベースとするために高速であり、微生物細胞や、植物細胞を用いた有用物質生産株を構築する前段階として、酵素や代謝遺伝子クラスター開発等のプロトタイピングを行うことで Build を高度化・迅速化できる。さらに、これらの評価系は生物では困難な物質(細胞への毒性が高い等)生産や物質生産の低コスト化など微生物／植物バイオものづくりプラットフォームの機能向上にも有効と期待される。具体的には、無細胞によるバイオ分子を用いた測定、新規人工酵素の創製、有用な代謝遺伝子クラスターの構築を迅速に行える無細胞系の構築や超高速な評価システムの開発を行う。

◇ 解析技術高度化・情報数理科学研究チーム

中核研究チームにおける DBTL サイクルのうち、Test の高度化に資することを中心としたバイオ解析技術の開発等や、Design および Learn の高度化に資することを中心としたバイオ情報の数理的解析の開発やチーム横断的なデータ共有およびデータプラットフォーム構築等に資する基盤技術開発を行う。

解析技術高度化に関しては、例えば、バイオものづくりに寄与する質量解析、構造解析、ゲノム・発現解析等オミックス解析をはじめとする解析技術・計測

技術の高感度化、ハイスループット化に取り組む。また、サンプルの取り扱いや簡便に高い再現性が得られる手法等の開発等にも取り組む。

情報数理科学研究に関しては、例えば、ゲノム配列からタンパク質の機能予測あるいはその逆にタンパク質からのゲノム配列予測、タンパク質の機能構造相関の予測等、AIをはじめとする数理科学による生物情報解析の開発に取り組む。

➤ 革新的要素技術研究

原則として、公募は「チーム型研究」が対象となるが、採択後にチームに合流しチームの一員として研究開発を実施することを前提に、IT・AI など幅広い分野からのバイオものづくりに必要な1つの要素技術に特化した研究開発や、新原理に基づくバイオものづくりに関するグループ単位での提案も可能とする。これらは、採択された場合、PO 等によってチームへの合流が調整される。

・各チームの達成目標およびマイルストーン、ステージゲート設定

各チームの達成目標やマイルストーンを以下に記載するが、あくまで例示であり、各提案においては申請者が自ら研究開発テーマの目的に適した合理的かつ野心的な目標とマイルストーンを設定することとする。加えて、研究開発成果の産業界への展開に向けて、必要十分な研究開発体制や適切な研究開発スケジュールが設定されていることを要する。

各チームにおいては、設定された達成目標・マイルストーンをもとに、研究開発開始後 3 年度目・5 年度目を実施するステージゲート評価において達成状況を確認し、研究開発の継続可否、また研究開発体制の見直し等を行う。

➤ 各チーム共通の達成目標・マイルストーンの考え方

- ◇ 短期課題(A): NEDO などの事業や企業で、社会実装が進められているバイオものづくりに資する技術開発について、ボトルネックとなっている技術課題について、解決に資する原理・メカニズムあるいは、代替手法の提示。3 年程度を想定。
- ◇ 中期課題(B): 新規のバイオものづくりに資する技術開発について、社会実装に向けて使われる可能性が高い技術や得られる CO₂ 削減効果の提示。5 年程度を想定。
- ◇ 長期課題(C): これまで確立されていない、新規のバイオものづくりに資する次世代革新的技術開発について、社会実装に向けて使われる可能性が高い技術やそれによって得られる CO₂ 削減効果の提示。10 年程度を想定。

➤ 中核研究チーム

中核研究チームでは、3年程度で、解析の大規模化・自動化、技術の統合技術を確立し、基盤技術研究チームの成果をスムーズに取り込める技術と体制を確立する。事業実施の早期に知財支援、ELSI¹⁵、人材育成など各チームへの支援体制を整える。5年程度で、これらの統合技術による成果を創出する。10年後には我が国におけるバイオものづくりの中核的なチームとしてのプレゼンスとなる。さらに、微生物中心、植物中心の研究チームとして例えば以下のような達成目標・マイルストーンを設定する。

◇ 微生物研究中心チーム

3年程度で、CO₂固定能が高い等CO₂排出削減に寄与できる有用微生物・遺伝子等の探索・新規代謝経路の開発の成果を得る。それらを用いて5年度程度でその生産物の種類・機能拡大、生産性向上、CO₂固定能の向上について成果を得るとともに、革新的な微生物によるバイオものづくりを実証する。これらの成果によって、例えば、多様な脂肪族化合物や芳香族化合物(ゴム製品、プラスチック、化学繊維等の素材もしくはその原料)、SAFをはじめとする次世代燃料などの化学品の種類・生産効率の向上や多様化・機能の拡大などについての成果を得る。10年後には次世代微生物バイオものづくりプラットフォームを確立する。研究の推進にあたっては、既存の生産プロセスとバイオものづくりによる生産プロセスのライフサイクルアセスメント(LCA)も考慮する等。

◇ 植物研究中心チーム

3~5年度程度で、未知代謝経路解明、新規遺伝子デリバリー技術の開発、高速な育種方法の開発の成果を得て、CO₂排出削減につながる道筋を示す。5年程度で次世代ゲノム編集・DNA合成技術の開発については革新的な成果を創出する。また、植物で見いだされる有用な新規代謝経路を活用して微生物でのバイオ生産も実現する。さらに、5年程度で目的とする生産物である化学品の生産までに至る植物バイオものづくりプラットフォームを立ち上げるとともに、植物リソースを活用した革新的なバイオものづくりを実証する。これらの成果によって、例えば、多様な脂肪族化合物や芳香族化合物(ゴム製品、プラスチック、化学繊維等の素材もしくはその原料)、SAFをはじめとする次世代燃料などの化学品について、植物によるバイオ生産(微生物での生産が困難な物質等)や、微生物によるバイオ生産(植物由来の代謝経路等

¹⁵ 倫理的・法的・社会的課題(Ethical, Legal and Social Issues)

の微生物への導入等)を実現することで、10 年程度後には他所へ移設可能な汎用的なプラットフォームとして確立する。研究の推進にあたっては、既存の生産プロセスとバイオものづくりによる生産プロセスのライフサイクルアセスメント(LCA)も考慮する。等。

➤ 基盤技術研究チーム

◇ 生物間相互作用の探索・解析研究チーム

3 年程度で、物質生産に資する生物間の相互作用の解析やその手法開発について取組み、物質生産向上に寄与しうる生物間相互作用(相互作用に関わる代謝経路の探索・解析や遺伝子の解析、生物間相互作用制御物質の同定や作用機序の解明等含む)について有用な成果を得る。5 年程度で、生物間相互作用の解析例の種類・機能を拡大し、生産量拡大・生産の堅牢性向上等に寄与しうる生物間相互作用制御物質の同定や作用機序の解明を通じて、バイオプロセスの生産性向上および省エネルギー化や、植物の CO₂ 固定能の向上等、CO₂ 排出削減についての効果を見いだす。また、これらの成果をつなげ、事業開始から 10 年目には、生物間相互作用を活用した機能を微生物／植物バイオものづくりプラットフォームに実装するための成果を得ることを目指す。また、生物間相互作用を増強する遺伝子改変や安価な生物間相互作用制御物質の利用、有用微生物コンソーシア培養方法の開発によって、生産の大規模化を可能とする原理と実証の成果創出も目指す。等。

◇ 人工系による評価システム研究チーム

微生物／植物における物質生産での DBTL での各ステップにおける無細胞での評価系の構築に取組む。3-5 年程度で、バイオものづくりに用いられる、例えば、高活性な酵素開発、代謝遺伝子クラスター最適化、高感度・高選択性バイオセンサーをはじめとした物質生産の高効率化・CO₂ 固定能の向上等に直結するステップを評価出来る技術(プロトタイピング)を創出する。5 年後には、これらの評価系での結果を細胞系に取りこんだ検証を得て、さらに無細胞での評価系の精度向上に取り組み、CO₂ 排出削減に資する代謝経路の設計やゲノム改変の成果を得る。また、これらの成果をつなげ、事業開始から 10 年目には、微生物／植物バイオものづくりプラットフォームに組み込まれて、DBTL における Build、Test のステップを高速化するような成果を生み出すことをめざす。等。

◇ 解析技術高度化・情報数理科学研究チーム

3~5 年程度で、バイオものづくり研究に資する解析技術(質量解析、構造解

析等)の高感度化、ハイスループット化、簡便な解析手法等を実現するための成果を創出する。また、これらの成果をつなげ、事業開始から5~10年程度で、例えば、質量分析を伴わないプロテオミクス、*in situ*での構造解析、ゲノム解析での革新的な解析技術や、未知のゲノム・RNA配列からタンパク質の機能を高精度に予測、あるいはその逆のタンパク質からのゲノム配列予測についての精度向上の成果を創出することを旨とするとともに、細胞設計の高速化・高精度化に資する計算科学の成果を得ることも目指す。これらの成果を用いた代謝経路設計、ゲノム改変やバイオプロセス開発を行うことで、物質生産におけるCO₂排出削減につながる成果を得ることを目指す。また、事業開始から10年目には、これらの成果が本領域外でも使用できるデータプラットフォームに組み込まれて、DBTLにおけるTestや、DesignおよびLearnを高速化・高精度化するような成果を生み出す等。

・想定される研究開発体制

- 本領域においては、様々な分野の融合・連携、上記研究開発テーマに関する革新的技術の統合や、先端機器や研究基盤の構築・共用化を行うことで成果を最大化することができるという特徴を踏まえた研究開発実施体制とする。
- 具体的には、上記研究開発テーマ①~③に関する技術を統合し、GXに貢献するための研究成果を中心的に創出していくための「中核研究チーム」を設け、バイオものづくりに資する「微生物研究中心チーム」、「植物研究中心チーム」の2チーム¹⁶を置く。これら中核研究チームが、化学品の多様化、生産効率の向上、CO₂の固定化能の向上に関する研究、基盤技術に関する研究等を総合的・統合的に行うとともに、バイオものづくり分野の人材育成や先端機器の共用、ELSIの支援機能など研究の中核として担当する。また、中核研究チームの他、複数の研究開発テーマの技術の高度化や組み合わせを進める「基盤技術研究チーム」を設け、中核チームと連携して研究開発を行う体制とする。各タイプのチームは具体的には下記のような要件を必要とする。
- 中核研究チーム:チーム毎にチームリーダー(チーム長)を置き、以下の要件を備え、バイオものづくり分野の研究開発や人材育成を主導的に推進する役割を果たすこととする。
 - ◇ 要件
 - 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

¹⁶ それぞれ微生物や植物のみならず、例えば、植物で見つけた新規有用代謝経路を微生物に導入してバイオものづくりにつなげるなど、他の要素の研究を総合的・統合的に推進し、その成果をGI基金等のNEDO事業等につなげていくチームとする。

- 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. 上記の研究開発テーマ例①～③のうち、複数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、DNA 合成・ゲノム編集技術や培養等のエンジニアリング技術の高度化・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) の取組を通じた基盤技術研究チームの支援 等
- 基盤技術研究チーム: 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の高度化や組み合わせ、複数機関の第一線級の研究者が参画する基盤技術研究チームを複数置き、中核研究チームの補完や独創的な研究の推進を行う。チーム毎にチームリーダーを置き、中核研究チームと連携して研究開発を実施する。例えば、下記のようなチームが想定される。
- ◇ 生物間相互作用の探索・解析研究チーム
(物質の生産性向上につながる微生物・植物間相互作用、これに係る微生物／植物の代謝経路の探索・解明 等を行う。技術例: 根と微生物、微生物同士の相互作用物資の同定、これに係る代謝経路等の探索・解明、等)
 - ◇ 人工系による評価システム研究チーム
(物質生産の無細胞による評価系の開発 等を行う。技術例: 物質生産に係る技術の開発、新規高活性酵素開発創製、代謝遺伝子クラスターの最適化、等)
 - ◇ 解析技術高度化・情報数科学研究チーム
(バイオ解析基盤技術の開発、バイオ情報の数理的解析の開発、チーム横断的なデータ共有およびデータベース構築支援 等を行う。技術例: 遺伝子機能解明高度化技術、分子構造解析高度化技術、質量分析技術高度化開発、AI による機能予測、データベース構築 等)
- 必要に応じて、企業におけるボトルネック課題に対して迅速に対応するためのチーム横断の研究体制を設定し、早期の社会実装も促す。
- 各研究チームは様々な要素技術の集合体であり、大規模な体制となることが想定されるため、機動的なマネジメントを目的に、チームリーダーは必要に応じて、PO の指示のもと、当該研究チームの中に要素技術をまとめたグループを設定することが可能であり、一体となった研究開発を推進するチームを編成する。

- 原則として、公募の単位は「チーム型研究」となるが、研究開発開始後にチームに合流することを前提に、バイオものづくりに必要な1つの要素技術に特化した研究開発や、新原理に基づく単独のグループでの提案も可能とする。これらは、フィージビリティを検証した上で、最終的に各研究チームに組み入れるかどうか、POによって判断される。
- 各研究チームに関しては、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、中核研究チームを中心として各研究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研究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を目指す。

・予算

総額 120 億円程度

5. 研究開発マネジメント

- 本事業におけるステージゲート評価は3年度目と5年度目に行うほか、研究課題の性質を踏まえ、各年度においても必要に応じて、POによるチーム体制や方向性等の評価・見直しを行う。これらのために、POを長とする会議体を設ける。
- 各チーム間でのスムーズな情報共有のために、POおよび領域アドバイザー、研究参加者、JST関係者の参加する会議を開催する。必要に応じて、産業界との意見交換などのために、領域外部から参加も可能とする。
- 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。
- 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、中核研究チームを中心に整備し、共用を推

進する。あわせて、これら基盤の専門スタッフも整備していくことを推進する。

・評価の進め方

- PO は、研究開発の進捗状況や研究開発成果を把握し、領域アドバイザーや外部専門家の協力を得て、研究開発課題のステージゲート評価や事後評価を実施する。
- ステージゲート評価は、研究開始後 3 年度および 5 年度目を原則として実施する。また、事後評価は研究開発終了後できるだけ早い時期または研究開発終了前の適切な時期に実施する。その他、PO が必要と判断した時期にステージゲート評価を行う場合がある。
- ステージゲート評価および事後評価は、研究開発の開始当初に計画された研究開発期間の途中段階あるいは終了時点において、PO が各評価の評価基準に基づき評価する。ステージゲート評価は、採択時点での研究シーズの多様性を確保しつつ、領域全体でより効果的な研究開発成果を得るために実施する。
- ステージゲート評価にあたっては、アカデミアの関係者による技術的な進展の評価に加えて、NEDO や企業等の関係者の協力を得て、社会実装の可能性の観点等からも評価を行う。その際、過去の研究進捗のみならず、以後の研究進捗の余地や、当該技術が持つ将来的な市場波及性等から総合的に評価することにも留意する。
- 評価結果によっては、研究開発課題の早期終了(中止)や研究開発課題間の調整、体制見直し等の措置を行う場合がある。
- 目標達成の評価方法
 - ◇ 研究開発テーマ毎の目的性を踏まえた上で、GHG¹⁷削減効果・経済波及効果に対して量的な貢献等に繋がるか、産業界の抱えるボトルネック課題解決への貢献に繋がるか、科学的にも優れたものであり革新性があるか、などという観点で、提案者自らが設定した目標に対し、総合的に達成度を評価するものとする。各研究開発チームの一体的な評価に加え、各要素技術の発展についても、評価に加味することとする。
 - ◇ 企業等の参画など、研究成果の展開に資する研究開発体制が構築出来ていたか、バイオ分野における高度人材輩出に向けて、積極的な学生・若手研究者の巻き込みを行っているかなどについても評価の観点とする。

¹⁷ GHG: Green House Gas の略

・データ活用(DX)や大型放射光施設等との連携

- 効率的なバイオものづくり研究を行うためには、微生物や植物のオミックス情報と物質生産の相関を解明し、ゲノム配列の改変や代謝経路の改変などにつなげていく必要がある。このためには、これらのデータを効果的に引き出し利用し、得られたデータをフィードバック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、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や終了後の公開の在り方)については、研究開発開始時に中核研究チームを中心に本プロジェクト参画者と JST を中心に本プロジェクト参画者との間で議論した上で、JST が策定する。また、事業進捗を踏まえて適宜改定する。その際、効果的な研究推進の観点から、ネガティブデータの取り扱いなどについても考慮することとする。また、産業界の利活用は企業連携や成果を社会実装につなげるという点において重要であることを踏まえ、産業界の利活用の在り方もあわせて検討する。
- 放射光施設等¹⁸や、スーパーコンピュータ「富岳」など大型研究施設利用を希望する場合は、GteXにおいて共用での使用が可能ないように配慮する。
- 他分野で整備しているデータプラットフォーム(例:マテリアルインフォマティクス)と連携し、効率的な研究を推進することは重要である。

・人材育成、国際連携

- 研究実施にあたっての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修士・博士課程学生等の参画を奨励する。学生同士が交流し切磋琢磨できる環境を整えることで、博士課程進学率の向上、ひいては人材育成に繋げる。海外の大学や研究機関にも相互に行き来し、海外研究者と情報交換が行える仕組みを積極的に取り入れる。
- 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。
- 我が国の本分野での研究コミュニティでのプレゼンス確保、最新の研究情報の共有などを通じて、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す。そのために、我が国の強みと相補的な研究開発成果や技術等を有する合成生

¹⁸ SPring-8、J-PARC、NanoTerasu、大学共同利用機関等

物学等に関する同志国の海外トップレベルの研究機関等との戦略的な連携や、海外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、研究者の海外派遣、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。

・知財の取り扱い

- 国際的な産業競争力の強化や事業化の推進に資する知的財産の取得、活用を目指す。一元的な知財管理を行うため、PO 等を中心として JST 内に知的財産を運営する委員会を設置し、事業の研究開発成果の展開シナリオ等を検討した上で、本領域に係る知的財産の取扱方針を定め、適切に運用する。
- 当該委員会は、研究成果について、オープン・クローズに留意しつつ、必要に応じて権利化の要否やその後の取扱いについて判断し、その結果に基づいた取り扱いを委託先の研究機関に要請する。例えば、排他力の強い特許を取得するため、必要となる追加実験の実施や、一定期間は外部発表や特許出願を遅らせる等の依頼を行う。

・社会実装に向けた取り組み・計画等

- ガバニングボードなどを通じた NEDO 等との連携体制を検討する。JST と NEDO との事業間連携を促進するため、両事業の研究統括をする関係者が具体的な事業間連携を定期的に議論できる場や、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などを設ける。
- 我が国の産業競争力強化の観点から、JST および中核研究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。また、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実用化を見据えた戦略的な特許取得を推進するが、国外への技術流出リスク等については十分に留意する。そのために、オープンイノベーションや事業化等に関する十分なノウハウ・経験を有する専門家等から成る体制を整備し、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・策定する。
- 具体的には、中核研究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する。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。研究開始後は、PO は研究成果やデータ等の取り扱いにおいて適切なマネジメント

を実施し、研究者とともに企業等とのコミュニケーションを図りながら研究成果を社会実装につなげていく仕組みの具体化を進める。

- 将来的に研究成果の展開が期待できる既存の企業等への展開のみを前提とせず、スタートアップ創出による成果展開も視野に入れる。

以上