

# 事業戦略ビジョン

実施プロジェクト名：水素細菌によるCO<sub>2</sub>とH<sub>2</sub>を原料とする革新的なものづくり技術の開発  
実施者名：Green Earth Institute株式会社 代表名：代表取締役CEO 伊原 智人

---

共同実施者（再委託先除く）：  
双日株式会社（幹事企業）  
一般財団法人電力中央研究所  
DIC株式会社  
東レ株式会社  
株式会社ダイセル

# 目次

## 0.コンソーシアム内における各主体の役割分担

### 1. 事業戦略・事業計画

- (1) 産業構造変化に対する認識
- (2) 市場のセグメント・ターゲット
- (3) 提供価値・ビジネスモデル
- (4) 経営資源・ポジショニング
- (5) 事業計画の全体像
- (6) 研究開発・設備投資・マーケティング計画
- (7) 資金計画

### 2. 研究開発計画

- (1) 研究開発目標
- (2) 研究開発内容
- (3) 実施スケジュール
- (4) 研究開発体制
- (5) 技術的優位性

### 3. イノベーション推進体制（経営のコミットメントを示すマネジメントシート）

- (1) 組織内の事業推進体制
- (2) マネジメントチェック項目① 経営者等の事業への関与
- (3) マネジメントチェック項目② 経営戦略における事業の位置づけ
- (4) マネジメントチェック項目③ 事業推進体制の確保

### 4. その他

- (1) 想定されるリスク要因と対処方針

# 0. コンソーシアム内における 各主体の役割分担

# 0. コンソーシアム内における各主体の役割分担

## 各機関の強みを活かし、組換え水素細菌の開発、培養技術開発・実証を一体となって推進

【全体の取り纏め】：双日（幹事企業）

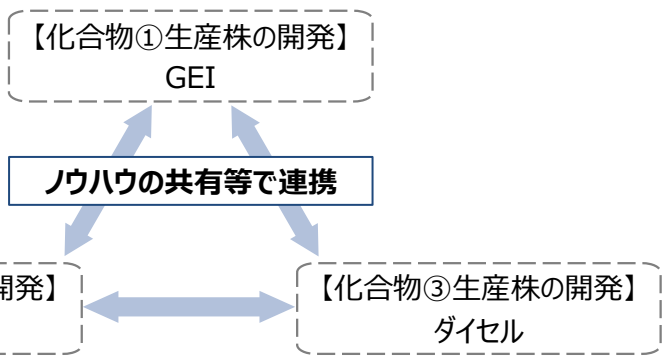
### 【研究開発項目2】化成品を生成する組換え水素細菌の開発

実施内容：

PHBから派生する化成品を高生産する水素細菌の開発

※目的生産物

- 化合物①
- 化合物②
- 化合物③



遺伝子組換え株の提供  
継続的な組換え株の改良

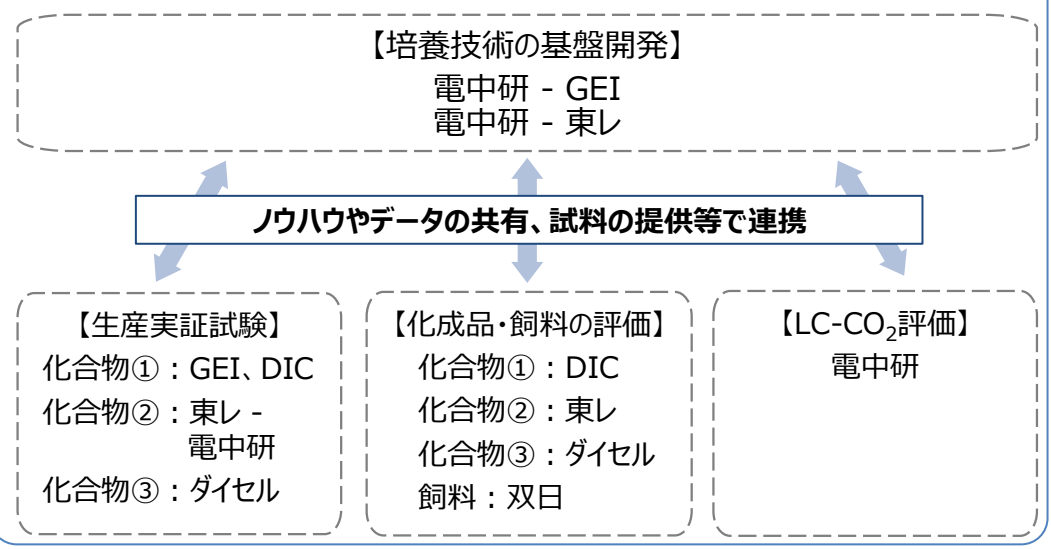
**連携**

課題のフィードバック

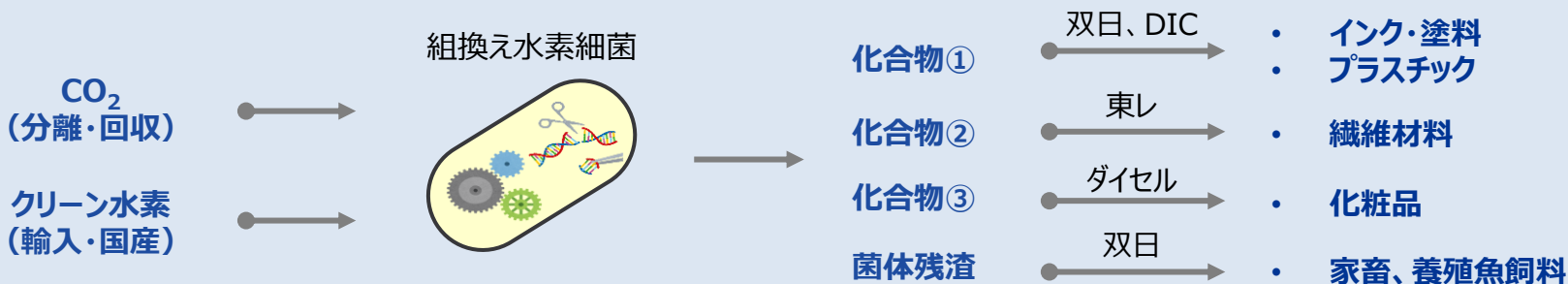
### 【研究開発項目3】水素細菌の培養技術の開発と実証

実施内容：

段階的なスケールアップ、社会実装に向けた検証



コンソーシアムで連携した事業体で、CO<sub>2</sub>を直接原料とした化成品・飼料原料の生産・販売を通じ、幅広い用途での誘導品高付加価値化を目指す



# 1. 事業戦略・事業計画

# 1. 事業戦略・事業計画 / (1) 産業構造変化に対する認識

## 脱石油・脱炭素化等の変化によりバイオものづくり産業が急拡大すると予想

### カーボンニュートラルを踏まえたマクロトレンド認識

#### (社会面)

- 地球温暖化・異常気象の頻発
- 脱炭素化の要請
- 石油からバイオへという流れ

#### (経済面)

- 化石資源・化石燃料関連企業へのダイベストメント
- バイオ技術の進展を踏まえたバイオものづくりへの移行

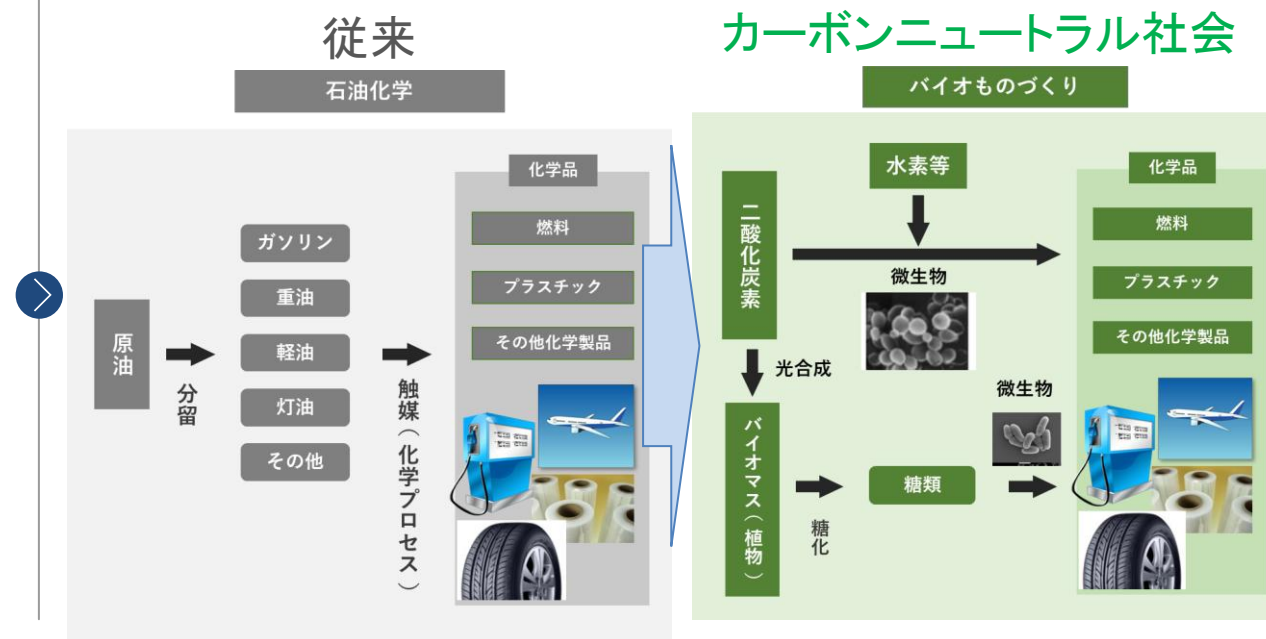
#### (政策面)

- 2050カーボンニュートラル目標
- 世界各国でのカーボンプライシング制度・炭素税等の導入
- 欧米中を中心としたバイオものづくりへの政策的な支援の強化

#### (技術面)

- 遺伝子組み換え技術の深化
- バイオものづくりプロセス・開発の拡大
- 水素・二酸化炭素利用技術開発の進展

### カーボンニュートラル社会における産業アーキテクチャ



#### ● 市場機会 :

- 化学品分野において石油からバイオという流れが本格化し、バイオ化学品市場が伸長 (市場機会に対する認識については、提案時から変化無し)

#### ● 社会・顧客・国民等に与えるインパクト :

- 化学品といえば「バイオ化学品」ということが当たり前の社会の実現

#### ● 当該変化に対する経営ビジョン :

バイオものづくり産業におけるプラットフォームとして、バイオものづくりにかかわるあらゆる課題に対して、ソリューションを提供し、バイオ化学品の社会実装を推し進める

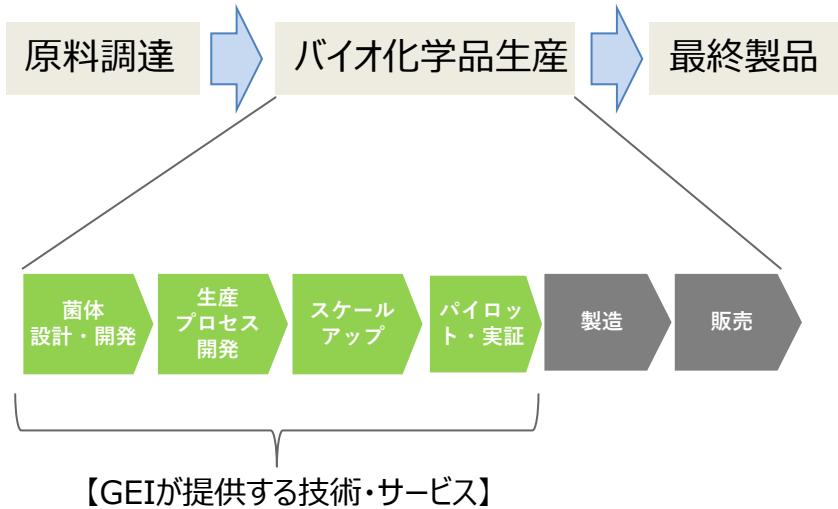
# 1. 事業戦略・事業計画 / (2) 市場のセグメント・ターゲット

## バイオものづくり市場のうち菌体改良・バイオプロセス開発のサービスを提供する

### セグメント分析

バイオものづくり産業の中で、気体を使った発酵プロセス技術はまだ社会実装できておらず、この分野でのトップランナーを目指す。そのため、気体を使った発酵プロセスに関し、菌体開発からパイロット実証までのすべての課題に対するソリューションを提供する

### バイオものづくりのサプライチェーン



- ① 水素酸化細菌を使った化合物①生産技術のライセンス
- ② 組換え菌の飼料化の技術・ノウハウのライセンス
- ③ 気体を使った発酵のバイオファウンドリサービス（研究開発受託業務）
- ④ 気体を使った発酵プロセスの設備パッケージ販売（パイロット～商用）

### ターゲットの概要

#### 市場概要と目標

- ① 水素酸化細菌を使った化合物①生産技術のライセンス：ランニングロイヤリティ3%
- ② 組換え菌の飼料化の技術・ノウハウのライセンス：ランニングロイヤリティ3%
- ③ 気体を使った発酵のバイオファウンドリサービス（研究開発受託業務）シェア：50%
- ④ 気体を使った発酵プロセスの設備パッケージ販売（パイロット～商用）シェア：50%

#### ①水素酸化細菌を使った化合物①生産技術のライセンス

需要家	課題	想定ニーズ
化合物①生産事業者 (SPC：双日・DICら)	・ 製造コストを下げる必要あり	・ バイオ樹脂など

#### ②組換え菌の飼料化の技術・ノウハウのライセンス

需要家	課題	想定ニーズ
組換え菌を使う発酵メーカー	・ 飼料としての承認が必要	・ 新規飼料

#### ③気体を使った発酵のバイオファウンドリサービス（研究開発受託業務）、④気体を使った発酵プロセスの設備パッケージ販売（パイロット～商用）

需要家	課題	想定ニーズ
化学メーカー	・ 菌体や培養に関する設備、経験がない	・ 菌体開発 ・ プロセス開発
大学・スタートアップ	・ 商用化に向けた設備、経験がない	・ スケールアップ ・ パイロット・実証テスト
培養メーカー	・ 気体を使った発酵プロセスに関する設備、経験がない	・ 商用設備の設計

# 1. 事業戦略・事業計画 / (3) 提供価値・ビジネスモデル

## バイオものづくり事業の発展のためのサービスを提供する事業を創出/拡大

### 社会・顧客に対する提供価値

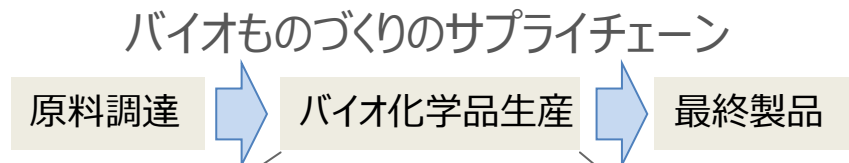
- 「バイオ化学品の上市請負」というサービス

バイオ化学品を作りたいという顧客に対して

- その顧客の状況に応じて、菌体開発、生産プロセス開発、スケールアップ、パイロット・実証テストまでのサービスを菌体の種類やフェーズに関わらず提供



### ビジネスモデルの概要（製品、サービス、価値提供・収益化の方法）



GEIが提供するサービス



菌体A →

菌体B →

菌体C →

菌体の種類やどのフェーズの段階でも対応可能



本プロジェクトにより、水素細菌を使ったバイオものづくりにかかる一連のソリューションサービスが提供可能に

# 1. 事業戦略・事業計画 / (3) 提供価値・ビジネスモデル (標準化の取組等)

## 菌体によって製造する化学品の国際的な炭素計測ルール・安全対応策・組換え微生物の残渣の飼料としての利用に関する標準化

### 標準化を活用した事業化戦略 (標準化戦略) の取組方針・考え方

今後、化学品や飼料についても、そのLCA、特にCO2排出量が、ユーザーの関心の対象となり、CO2排出量が見える化し、他の製品と比べて、CO2排出量の小さいことが価値を持つことになる。

以下要素の標準化によって、世界各地での事業化を可能とする。

- 原料のLCA
- 菌体製造のLCA
- 低CO2排出な培養プロセス
- 防爆、環境対応等の安全対応策の確立
- 飼料認証

### 国内外の動向・自社の取組状況

(国内外の標準化や規制の動向)

- 水素酸化細菌は非組換え細菌のみ
- その他の菌はCO2固定化が遅い
- LCA手法が未確立
- 飼料認証実績無し

(これまでの自社による標準化、知財、規制対応等に関する取組)

- バイオフィューエル事業において、バイオものづくりのプロセスに適合したLCAによるCO2排出量算出モデルの構築に取り組んでいるところ

### 本事業期間におけるオープン戦略 (標準化等) またはクローズ戦略 (知財等) の具体的な取組内容 (※推進体制については、3.(1)組織内の事業推進体制に記載)

(標準化を目指しオープンな戦略を取る分野)

- LCA
- 飼料認証

(知的財産としてクローズな戦略を取る分野)

- 菌体培養技術
- 飼料化技術
- 防爆、環境対応などのノウハウ

# 1. 事業戦略・事業計画 / (4) 経営資源・ポジショニング

## バイオものづくり専門の強みを活かして、社会・顧客に対してバイオものづくりプロセスの社会実装という価値を提供

### 自社の強み、弱み (経営資源)

#### ターゲットに対する提供価値

- CO2を直接原料とするバイオものづくりの各プロセスでの課題へのソリューション提供
  - CO2を直接原料とする化合物①生産菌体の開発
  - 化合物①生産条件の最適化
  - ベンチスケールから実証スケールまでのスケールアップ
  - 実証設備の導入と運用



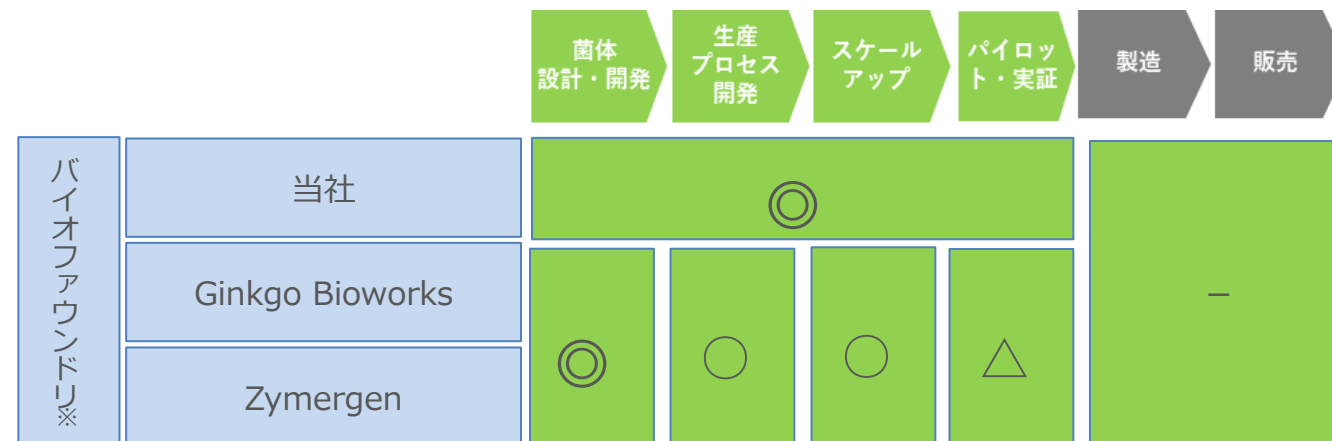
#### 自社の強み

- バイオものづくり専門企業として、菌体開発から実証テスト実施までの各プロセスの知見
- バイオファウンドリ事業における3000L発酵槽の導入と様々な菌体の生産実証などの知見

#### 自社の弱み及び対応

- 実証設備を設置する場所を保有していない
  - 賃借可能な候補予定地あり
- 水素を扱ったことがない
  - 賃借予定先での水素の扱いの知見を活用

### 競合との比較



※ バイオファウンドリ：合成生物学や未利用微生物の実用化も含めた微生物等の育種から生産に必要な大量培養に至るまでのバイオ生産システム

菌体開発からパイロットテストまでを一貫して対応可能。  
NEDOのバイオファウンドリ事業に採択され、様々な菌体、プロセスを扱う生産実証試験を実施しているところ

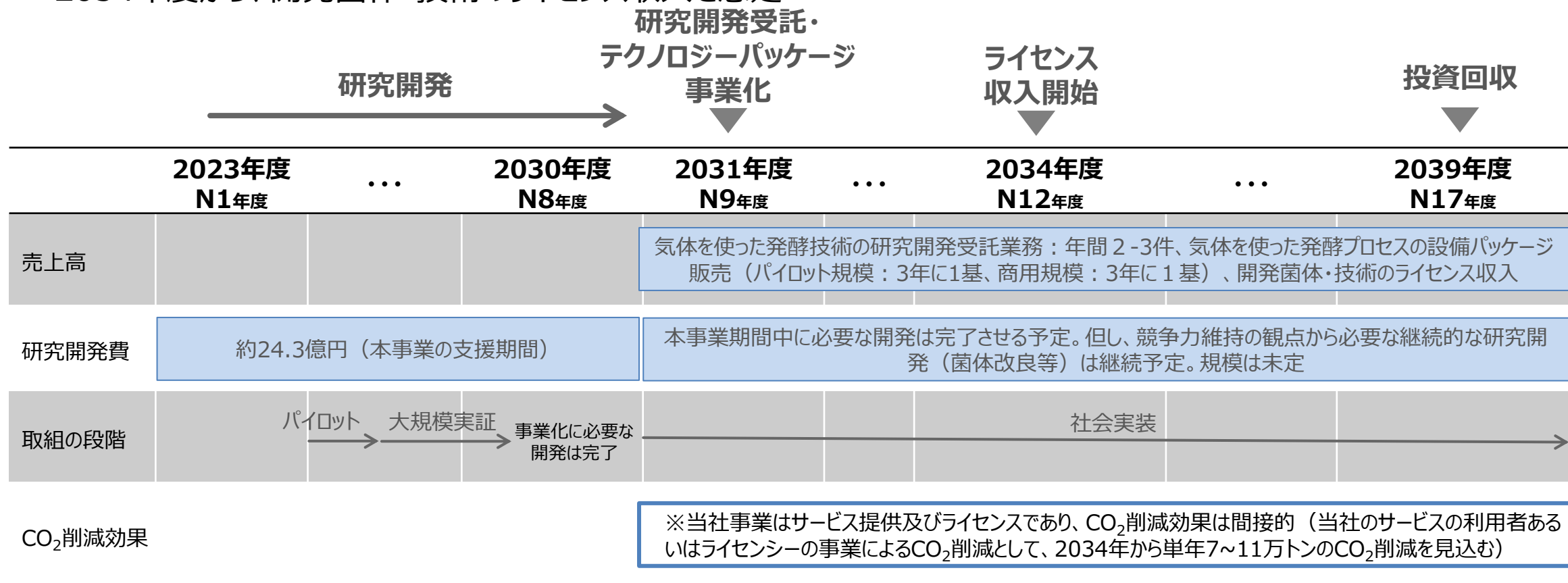
Ginkgo BioworksとZymergenは一緒になり、組織としても拡大しており、特に菌体の設計・開発の部分での投資額は大きいとみられ、菌体の開発を効率的に実施できる可能性がある。本課題については、開発期間の短縮のために、外部のリソースを利用することも検討中

# 1. 事業戦略・事業計画 / (5) 事業計画の全体像

## 2031年度からサービス提供を開始、2034年度からライセンス収入獲得を想定

### 事業計画

- ✓ 2031年度から、気体を使った発酵のバイオファウンドリサービス（研究開発受託業務）を年2～3件受託、気体を使った発酵プロセスの設備パッケージ販売（パイロット～商用）をパイロットと商用がそれぞれ3年に1基ずつのペースでの販売を想定
- ✓ 2034年度から、開発菌体・技術のライセンス収入を想定



# 1. 事業戦略・事業計画 / (6) 研究開発・設備投資・マーケティング計画

## 研究開発段階から将来の社会実装（設備投資・マーケティング）を見据えた計画を推進

	研究開発・実証	設備投資	マーケティング
取組方針	<ul style="list-style-type: none"><li>できる限り多くの水素酸化細菌による気体を使った発酵プロセスの開発が進むことを目指す。</li><li>その1つの成功事例として、経済的・社会的なインパクトの大きな化合物①を菌体開発から実証スケールまでの開発を実施</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>2000Lの発酵槽の実証結果をもとに、バイオファウンドリ事業で得られた高度なCFDなどを使ったスケールアップの知見により、最初の水素酸化細菌の商用プラントの設計を可能とする。</li><li>気体を使った発酵プロセスの培養設備は、従来の発酵槽とは機構が異なり、培養プロセスにおける鍵となるパラメータも異なることから、新しい発酵設備パッケージが必要となる</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>化合物①バイオ品については、DIC、双日などのパートナー企業との協力で、拡販する。</li><li>副産物であるGMO水素細菌残渣の飼料・肥料としての販売に目途を付ける</li><li>本事業での実績をもとに、気体を使った発酵プロセスについて、菌体開発から実証までの一連の課題を解決するための設備・ノウハウを蓄積し、研究開発を受託できることをアピールする</li><li>本事業での実績をもとに、気体を使った発酵設備パッケージの受注を目指す</li></ul>
進捗状況	<ul style="list-style-type: none"><li>水素酸化細菌の遺伝子組換え手法を確立した</li><li>組換え水素酸化細菌により化合物①生産を確認した。現在、CO2からの生産性向上のための検討を実施中。</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>ガス培養に適合した培養槽 2 基およびその周辺機器を導入した。</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>化合物①バイオ品のニーズ調査開始</li><li>日本におけるGMO菌体残渣の飼料・肥料利用の制度の調査を実施。農水省において制度検討され、2025年6月に告示された。</li></ul>
国際競争上の優位性	<ul style="list-style-type: none"><li>世界においても、水素酸化細菌を使った商用化の実績はまだなく、国際間での競争状況にあることから、一早く、スケールをアップして、商用化を実現することが重要である。</li><li>そのための重要なツールである、気体の挙動も正確にシミュレーションできる高精度のCFDとスケールダウンモデルを、バイオファウンドリ事業で整備できることから、優位性が確保できる</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>最も培養速度が速い水素酸化細菌の遺伝子組換えを行い、当該菌体を使った世界初の商用スケールの培養技術を確立することで新しい脱炭素培養技術の分野において、培養設備やプロセスにおいて、トップランナーの地位を獲得する</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>水素酸化細菌により、化合物①バイオ品の大量生産を実現すれば、プラスチックの分野で脱炭素培養技術が使えることになり、他の化学品への普及が進む</li></ul>

## マーケティング GMO残渣利用の標準化

### GMO残渣利用の標準化

### 肥料

### 飼料

#### 課題

- 発酵残渣を肥料や飼料に有効活用し、廃棄コスト及び環境へ影響を削減したい。
- しかしGMO残渣となると肥料、特に飼料にはハードルが高いのではないかと予測。
- 農水省やFAMIC(独立行政法人農林水産消費安全技術センター)等への確認が、まず必須。

- 法令確認の限りでは、原料へのGMO使用に対する規制は無いように感じられた。
- 肥料登録は間口は広いが、登録までのステップが長いように感じられた。
- 肥料登録に知見のある会社と組んで効率的に進める事が良いと感じられた。

- 飼料安全法では、GMO使用に関して曖昧（農水大臣の確認、各種許認可、食経験有り、等で可となる）
- GMO由来の酵素について、メーカーは酵素自体にGMOは含まれないため、問題ないと推測。日本での法適用は未確認。

#### 現在

- 飼料肥料共に、知見のある会社と組んで、農水省、FAMICへの確認から、拡販に至るまでを、協力して取り組む事とした。
- 独自に農水省へ接触して知見を得たのちに、協力会社からも、FAMIC担当窓口により詳しく打診を行い、登録への準備方法を確認した。

- FAMICへ確認し、GMOの登録に関しては問題無しとのこと。
- 「肥料の品質の確保等に関する法律」に基づき、肥料公定規格に沿って登録を粛々と進めれば良いと確認。
- FAMICへ相談や提出に必要な資料、データ、試験等を確認した。

- 農水省は飼料安全法に沿うかのみで判断。
- 故に「GMO無し」は、FAMICに確認を取り、登録作業を進めればOK
- 「GMO有り」は、「飼料の安全性評価基準及び評価手続きの制定について」に基づき、家畜へ投与検証等の安全性確認が必要。

#### 今後

- 肥料、飼料登録に向けて必要となる、試験、データ収集、工程検討を進める。
- 肥料、飼料の市場拡販時に必要な供給形態(要乾燥か)を確認しつつ、サンプル供給へ。
- 流通・販売経路・価格等の調査、及び顧客へのサンプル検証を協力会社と共に進める。

- 原料の発生工程、肥料の製造工程（乾燥等）、成分分析（有害成分含む）等がある程度決まった時点で、FAMICへ再確認。
- 製造ロット毎のばらつきに関して確認が必要。
- 上記内容が準備出来次第、FAMIC、科学飼料協会等に相談→肥料登録へ進める。

- 農水省（消費・安全局畜水産安全管理課飼料安全基準班）に働きかけた結果、GMO残渣使用に必要な安全性基準の見直しを準備する委員会が立上げられ、2025年6月20日に告示された。結果、GMO残渣の飼料登録が検討自体が可能となった。

# 1. 事業戦略・事業計画 / (7) 資金計画

## 国の支援に加えて、7億円規模の民間負担を予定

	2023年度 N1年度	...	2030年度 N8年度	2031年度~ N9年度~
事業全体の資金需要	約25億円			<p>本事業期間中に必要な開発は完了させ、事業終了後すぐに研究開発受託及びテクノロジーパッケージ販売を始める予定。但し、競争力維持の観点から必要な継続的な研究開発（菌体改良等）は継続予定。規模は未定。 なお、当社のビジネスモデルでは、自ら生産設備に対する投資等は予定していない。</p>
うち研究開発投資	約24億円			
国費負担※ (委託又は補助)	約18億円			
民間負担	約7億円			

※インセンティブが全額支払われた場合

## 2. 研究開発計画

## 2. 研究開発計画 / (1) 研究開発目標

# アウトプット目標を達成するために必要な複数のKPIを設定

### 研究開発項目

2. CO<sub>2</sub>から有用物質を生産できる組換え水素細菌の開発

### アウトプット目標

CO<sub>2</sub>とH<sub>2</sub>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。

### 研究開発内容

① 化合物①生産株の開発

② 化合物②生産株の開発

③ 化合物③生産株の開発

### KPI

化合物①生産株の構築  
項目3と連動し、目標KPIに定めた生産性を達成

化合物②生産株の構築  
項目3と連動し、目標KPIに定めた生産性を達成

化合物③生産株の構築  
項目3と連動し、目標KPIに定めた生産性を達成

### KPI設定の考え方

実施項目3で目標とする「現行品の1.2倍の価格」の目途がつく生産性から推定して設定

実施項目3で目標とする「現行品の1.2倍の価格」の目途がつく生産性から推定して設定  
(現状の糖からの化合物②の生産速度と同等)

実施項目3で目標とする「現行品の1.2倍の価格」の目途がつく生産性から推定して設定

## 2. 研究開発計画 / (1) 研究開発目標

# アウトプット目標を達成するために必要な複数のKPIを設定

### 研究開発項目

3. CO<sub>2</sub>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

### 研究開発内容

① 高度培養技術の基盤開発

② 物質生産実証試験

③ 化成品/菌体飼料の評価

④ プロセスのLC-CO<sub>2</sub>評価

### アウトプット目標

CO<sub>2</sub>とH<sub>2</sub>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。

### KPI

野生株を用いて、目標に定めた菌体生産速度を達成

実施項目2で開発した組換え株を用いて、開発した高効率菌体培養により、数百～数千Lスケールで以下の生産性を実証

生産物の物性や臭気等品質が既存の化成品と同等以上  
菌体残渣を使った飼料として登録

H<sub>2</sub>とCO<sub>2</sub>を出発物質に菌体と物質を生産する上記プロセスにおけるLC-CO<sub>2</sub>を実測値を基に算定

### KPI設定の考え方

生理特性に基づいたCO<sub>2</sub>やH<sub>2</sub>の供給や培養工学的アプローチにより、培養規模に関わりなく、現行の世界最高水準の菌体生産速度を維持することから設定

現行品の1.2倍程度の価格の達成の目途を得て、更に大規模な商用プロセスのフィジビリティスタディが可能となる生産性の実証

最終製品の原材料として市場受容性に必須  
法令上の安全性・成分量の確保から必須

プロセスのCO<sub>2</sub>削減効果を明確にするため、実測に基づいた精緻なLC-CO<sub>2</sub>算定が必須

## 2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容 (全体像)

### 各KPIの目標達成に必要な解決方法を提案

#### 【研究開発項目2】

	KPI	現状	達成レベル	解決方法	実現可能性 (成功確率)
1 化合物①生産株の開発	<p>化合物①生産株の構築</p> <p>目標KPIに定めた生産性を達成</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>水素酸化細菌組換え手法確立</li> <li>組換え体のガス培養による化合物①関連物質の生成確認 (TRL2)</li> </ul>	<p>研究開発項目3との連携で、化合物①生産のKPI設定を満たす組換え株の構築 (TRL6)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>野生株が持つPHB高生産性代謝経路を利用した生産菌の開発                             <ul style="list-style-type: none"> <li>遺伝子組換えによる生合成経路導入</li> <li>高生産化のための酵素遺伝子探索・変異導入</li> <li>収率向上のための副生成物経路遮断</li> <li>連続培養を志向したフラックスバランスの改善</li> </ul> </li> <li>育種による目的化合物への耐性獲得</li> </ul>	<p>代謝経路構築 (90%)</p> <p>酵素探索・最適化 (50%)</p> <p>代謝フラックス最適化 (50%)</p> <p>目的化合物への耐性獲得 (70%)</p>
2 化合物②生産株の開発	<p>化合物②生産株の構築</p> <p>目標KPIに定めた生産性を達成</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>化合物②を生産する水素細菌を取得</li> <li>目的物質生産のためのボトルネック解決策を推定。</li> <li>新しい課題の解決策を実施中 (TRL3)</li> </ul>	<p>研究開発項目3との連携で、化合物②生産のKPI設定を満たす組換え株の構築 (TRL6)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>代謝経路最適化                             <ul style="list-style-type: none"> <li>オミクス解析によるフラックスの把握</li> <li>副産物経路の遮断などによる生産経路の強化</li> </ul> </li> <li>酵素設計                             <ul style="list-style-type: none"> <li>分子動力学的シミュレーションによる設計</li> </ul> </li> <li>遺伝子発現最適化 (産総研連携)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>計算科学による配列設計</li> </ul> </li> <li>連続培養向け最適化 (産総研連携)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>オミクス解析による課題把握と組換えによる改良</li> <li>進化論的育種による連続培養向け株への改良</li> </ul> </li> </ul>	<p>スマセル技術適用に社内実績 (80%)</p> <p>酵素開発は高難易度 (40%)</p> <p>発現最適化は別株で実績 (80%)</p> <p>水素を用いた連続培養系の構築が未知数。但し、別微生物、化合物で実績 (40%)</p>
3 化合物③生産株の開発	<p>化合物③生産株の構築</p> <p>目標KPIに定めた生産性を達成</p>	<p>組換え大腸菌で化合物③人工代謝経路を構築済み</p> <p>水素細菌での人工代謝経路を構築中 (TRL2)</p>	<p>研究開発項目3との連携で、化合物③生産のKPI設定を満たす組換え株の構築 (TRL6)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>人工代謝経路の設計および選定</li> <li>酵素遺伝子の探索・評価</li> <li>水素細菌への遺伝子導入および発現検討AI予測、情報科学的手法などを活用した酵素機能改変および向上</li> <li>代謝シミュレーション、ゲノム育種等を利用した宿主ゲノムの改変</li> </ul>	<p>異種発現効率に課題 (95%)</p> <p>AI予測の実証に課題 (80%)</p>

## 2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容 (全体像)

### 各KPIの目標達成に必要な解決方法を提案

#### 【研究開発項目3】

	KPI	現状	達成レベル	解決方法	実現可能性 (成功確率)
1	高度培養技術の基盤開発	目標KPIの菌体生産速度を達成	数十 L規模での培養 (TRL2) ↔ 生産実証規模の培養で所定の菌体生産速度 (TRL5)	<ul style="list-style-type: none"> <li>微細気泡の導入などCO<sub>2</sub>とH<sub>2</sub>の効果的供給方法を開発</li> <li>菌体生産における律速因子の特定や培養工学的変数の把握</li> <li>培養のモデル化とともに増殖の律速因子を極力排除した高効率菌体生産バイオリアクターを開発</li> </ul>	不水溶性H <sub>2</sub> の菌体への安全かつ効率的な供給に課題 (70%)
2	物質生産実証試験	実施項目2で開発した組換え株を用いて数百～数千Lスケールで生産性を実証	合成経路の設計 合成経路の一部を組み込んだ組換え体の取得に着手、1 L未満での培養 (TRL2) ↔ 商用生産の設備仕様や生産条件を取得 (TRL6)	<ul style="list-style-type: none"> <li>パイロットでの最適培養条件と菌体生産性の知見に基づいて、高性能CFDソフトウェア、スケールダウンモデルを活用した培養のスケールアップを検討</li> <li>これまでのスケールアップ事例の知見を活かしたシミュレーションなどのバイオファンドリ拠点(数千 L規模の培養)の知見を活かし、培養の実証設備の設計・建設(協力機関と連携)適用</li> <li>連続培養の達成のため、菌体分離用の中空糸膜技術を適用</li> <li>生産物の分離・精製のため、膜技術を適用</li> <li>排気ガスからの膜分離によるリサイクルプロセスの開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>他細菌の目的化合物組換え生産株の開発実績 (70%)</li> <li>気体を基質としたリアクターのスケールアップに課題 (70%)</li> <li>商用規模の連続発酵実証経験、国際実証での経験(80%)</li> <li>アジピン酸前駆体や乳酸などで発酵液精製の経験あり(90%)</li> </ul>
3	化成品/菌体飼料の評価	既存の化成品と同等以上(物性、臭気)/菌体残渣を飼料登録	生産例なく未着手(TRL1)/類似の細菌で登録実績なし (TRL2) ↔ 既存品(生産物と飼料)と同等以上の品質 (TRL5)	<ul style="list-style-type: none"> <li>生産物の機能性評価、分離・精製の検討</li> <li>臭気原因物質の分析及び同定、不純物低減のための精製条件の確立</li> <li>プリ、子豚での給餌試験による安全性評価</li> <li>飼料としての配合を検討し、販売可能な品質、形状を確立</li> </ul>	原因物質の除去プロセスに課題 (80%)/現在、他の菌体での実績あり (70%)
4	プロセスのLC-CO <sub>2</sub> 評価	CO <sub>2</sub> とH <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> を実測値を基に算定する。	小規模培養でのインベントリ実測に着手 (TRL2) ↔ 最大規模の培養での実測によりLC-CO <sub>2</sub> 評価を行う (TRL5)	<ul style="list-style-type: none"> <li>各培養規模でLC-CO<sub>2</sub>の算定に必要なインベントリ情報を実測し、プロセスのCO<sub>2</sub>削減効果を算定</li> <li>学協会・関連団体から有識者を招き、算定結果の評価を受ける</li> </ul>	インベントリ情報の実測を前提に削減効果が見積り可能 (80%)

## 2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容 (これまでの取組)

### 各KPIの目標達成に向けた個別の研究開発の進捗度

#### 【研究開発項目2】

##### 1 化合物①生産株の開発

###### 直近のマイルストーン

- 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生産を確認
- 目標生産性を達成

###### これまでの (前回からの) 開発進捗

- RNAseq解析とメタボローム解析に基づき、物質生産時に発現低下が見られたCO<sub>2</sub>固定化関連遺伝子の過剰発現を、副生物生成に関与が示唆される遺伝子に入れ替える形で導入することで実施し、対応する形質転換体を14種作製・評価し、化合物①生産への影響を確認した。
- CO<sub>2</sub>以外の炭素源を添加した際の化合物①生産試験を実施し、化合物①生産能の増減を評価した。
- 上記結果から、フィードバック阻害がCO<sub>2</sub>からの化合物①生産に対して有効に働くという仮説設定が提唱された。類似の効果が期待できる遺伝子過剰発現による化合物①生産性向上可能性について検討すべく、菌株の作製および評価試験を実施中。

###### 進捗度

- △ 本事業取扱い株において化合物①生産向上につながる事が期待される遺伝子変異体の作製は順調に進むが、期待したほど化合物①生産性が向上しない。また、5L槽でのガス培養でバイアル培養での化合物①生産性が見られず、安定的に化合物①生産を実現できる培養条件の設定が必要である。

##### 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生産を確認
- 目標生産性を達成

- 必要な遺伝子の高発現化を目指して、プロモーター検討、遺伝子設計、可溶化検討などを実施した。その過程で鍵酵素の高発現化が宿主の生育を阻害する現象が多発、原因を調査したところ反応中間体の蓄積が細胞毒性を示すことが示唆された。
- 産総研と協議の上、中間体の蓄積を防ぐように鍵酵素の発現量を調整する遺伝子設計を実施する方針とした。
- 誘導によって鍵酵素を高発現させる組換え水素細菌を取得。項目3で開発した東レ10L培養設備を用いた試験において、2g/L以上の化合物②を確認しマイルストーンを達成した。
- 化合物②合成酵素の改変について、酵素の評価を完了し機械学習を開始した。

- マイルストーンを達成
- 酵素改変の機械学習を開始
- 新たな課題抽出と計画を策定中

##### 3 化合物③生産株の開発

- 組換え体のガス培養により化合物③生産を確認
- 目標生産性を達成

- 水素細菌形質転換のための細胞への核酸導入手法を確立した。
- プラスミドによる遺伝子導入手法を確立し、導入した遺伝子の発現を確認した。
- 遺伝子組換えによるゲノムの構造変異導入手法を確立し、遺伝子破壊による表現型を確認した。
- 薬剤耐性遺伝子をゲノムに残さないためのマーカーレス組換え手法を確立した。
- 遺伝子組換えおよびプラスミド導入により、細胞内に代謝デザイン経路を導入し、生産候補株を作出した。
- 複数プロモーターと酵素の組合せによるコンストラクトを構築、評価を実施した。
- 代謝酵素を複数種導入し、比較的活性の高い酵素を見出した。

- △ 化合物③生産が極微量であり、安定して確認できていない。更なる発現効率の向上検討をするとともに、構築した生産菌が化合物③生産できる培養条件を探索中。

## 2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容 (これまでの取組)

### 各KPIの目標達成に向けた個別の研究開発の進捗度

#### 【研究開発項目3】

##### 直近のマイルストーン

##### これまでの (前回からの) 開発進捗

##### 進捗度

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

- 基質ガス (H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>) の利用特性を解明し、増殖に反映できる高効率培養法を確立
- 数十 L規模のリアクターを用い、目標とする菌体生産性を達成

- 実施計画の通り進捗している。

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>
- 研究開発項目[2]で構築した菌株から選抜した株について、5 L培養槽で微細気泡化ガスを用いた化合物①生産株の培養実験を実施し、各種設定条件での培養を実施した。
  - 電中研に既設の培養槽の槽モデルの作成を完了し、実現象に近い挙動を示すCFDモデルを作成した。現在、実験データとより整合性が取れるような調整を行っている。
- <化合物②>
- 10L連続培養設備の開発に向けて、発酵槽の改造を完了した。現在ポンプや接手などの選定、設計中。
- <化合物③>
- 社内安全基準を満たすラボ検討用のミニジャー設備を導入した。
  - 研究開発項目[2]で構築した組換え株をLスケールで培養、得られた菌体を用いて生産評価を実施、微量の化合物③が検出された。
  - 代謝評価系を構築し、中間代謝物を複数種生産候補株から検出した。

- <化合物①>
- 概ね想定通り進捗している。
- <化合物②>
- 概ね想定通り進捗している。
- <化合物③>
- 概ね想定通り進捗している。

3 物質生産実証試験

- <精製プロセスの確立、化成品の評価>
- 化合物①:
- 想定プロセスフローの一次提案および当該プロセスの妥当性検証
- 化合物③:
- 品質低下要因となる臭気原因物質の推定
- <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

- <精製プロセスの確立、化成品の評価>
- 化合物①:
- 導入した蒸留およびゼオライト膜装置を用いて検討を実施
  - 蒸留検討に関して、1塔目では塔頂温度 & 段数と化合物①の留出口スとの相関を、2塔目では塔頂温度と共沸成分比との相関を解明
  - ゼオライト膜検討に関して、処理温度 / 背圧 / 流量の各種条件と、透過液 / 非透過液の各組成の相関を解明。また、工業用の化合物①の規格である0.1%以下を達成。
- 化合物③:
- 化合物③濃縮に適用可能な膜モジュールの調査を実施し、今後の検討候補とする膜選定を実施した。
- <飼料の評価>
- 水素細菌残渣の栄養成分分析結果に基づき、水産飼料作成時の配合比率を決定した。

- <精製プロセスの確立、化成品の評価>
- 化合物①:
- 実施計画の通り進捗している。
- 化合物③:
- 概ね実施計画の通り進捗している。
- <飼料の評価>
- 実施計画の通り進捗している。

4 プロセスのLC-CO<sub>2</sub>評価

- 生産フローを作成し、バウンダリを設定
- CO<sub>2</sub>とH<sub>2</sub>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<sub>2</sub>を実測値を基に算定

- 水素細菌菌体と化合物を同時に生産するシステムにより既存プロセスを置き換えた場合のCO<sub>2</sub>削減効果を推算した。
- フォアグラウンドプロセスデータとして、数十 L規模のリアクターにおける水素細菌培養時の電力消費量、原料消費量、菌体生産量を実測した。

- 実施計画の通り進捗している。

## 2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容 (今後の取組)

### 個別の研究開発における技術課題と解決の見通し

#### 【研究開発項目2】

##### 1 化合物①生産株の開発

###### 直近のマイルストーン

- 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生産を確認
- 目標生産性を達成

###### 残された技術課題

- フィードバック阻害作用代替遺伝子導入株の化合物①生産評価
- 5 L槽における各種遺伝子組換え体の副生物の測定
- 遺伝子組換え体の副生物測定データや他宿主株のRNAseq解析に基づく本事業取扱い株での化合物①生産性向上のための指針作成

###### 解決の見通し

- CO<sub>2</sub>・水素からの化合物①生産できる他宿主株を見出したことで、そのオミクス解析データを本事業取扱い株と比較することで当該株での化合物①生産性向上の糸口が見出されることが期待される。

##### 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生産を確認
- 目標生産性を達成

- 改良鍵酵素の設計と評価 (産総研連携)  
→機械学習で作成した酵素の評価
- 化合物②耐性株の育種と探索  
→宿主選定
- 組換え水素細菌の取得と培養評価  
→前駆体生産経路の強化と異種酵素の発現強化  
+ 酵素発現バランスの最適化
- ラボガス培養設備を用いた組換え水素細菌の培養とガス消費マテバウ取得

- マイルストーンを達成
- 開発計画の妥当性がある程度確認され、残課題の整理がついた。
- 発現バランスの最適化設計実施、現在評価中

##### 3 化合物③生産株の開発

- 組換え体のガス培養により化合物③生産を確認
- 目標生産性を達成

- 代謝中間体から化合物③への変換に必要な遺伝子の機能発現
- 副生物経路の遮断

- 生産菌構築についてはコンソーシアム内知見を活用する
- 化合物③生産は宿主保有経路の活用と遺伝子最適化により可能
- 遺伝子導入技術向上と評価系確立を背景とし検討サイクルを加速する

## 2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容 (今後の取組)

# 個別の研究開発における技術課題と解決の見通し

### 【研究開発項目3】

- 1 高度培養技術の基盤開発
- 2 物質生産実証試験
- 3 化成品/菌体飼料の評価
- 4 プロセスのLC-CO<sub>2</sub>評価

#### 直近のマイルストーン

- 菌体生産速度 A g/Lを数十 Lスケールで達成
- 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
- <精製プロセスの確立、化成品の評価>  
化合物①：  
• 想定プロセスフローの一次提案および当該プロセスの妥当性検証  
化合物③：  
• 品質低下要因となる臭気原因物質の推定  
<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
- 生産フローを作成し、バウンダリを設定  
• CO<sub>2</sub>とH<sub>2</sub>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<sub>2</sub>を実測値を基に算定

#### 残された技術課題

- マイルストーンは達成
- 数十 L規模リアクターを用いた培養条件の検討による菌体・物質生産性の向上
- <化合物①>  
• 数 L規模リアクターデータに基づくCFDモデルの調整完了  
• 数十 L規模リアクターデータへのCFDモデル適用  
• 数十 Lスケールでの実培養とCFDモデル予測の比較とCFDモデルの修正  
<化合物②>  
• 設計したラボ培養装置の動作確認と、水素細菌の培養プロセス構築  
→物質収支測定と連続培養改造  
<化合物③>  
• 生産培養条件の効果確認  
• ミニジャースケール以上での低水素濃度条件における培養評価及びプロセス構築
- <精製プロセスの確立、化成品の評価>  
化合物①：  
• 模擬反応液を用いた精製条件の検討  
化合物③：  
• 発酵液からの化合物③濃縮、精製検討と簡易臭気評価  
<菌体飼料>  
• 今年度のマイルストーンは達成済
- 数十 L規模リアクターでのフォアグラウンドプロセスの実測  
• バックグラウンドデータの継続的な情報収集  
• 異なる原料調達フローごとのCO<sub>2</sub>排出量推算  
• CO<sub>2</sub>を原料とした物質生産のLC-CO<sub>2</sub>評価

#### 解決の見通し

- 数十 L規模リアクターを用い、種々の条件下で培養、物質生産データを収集する
- <化合物①>  
• CFDモデル作成は概ね予定通り  
<化合物②>  
• 概ね予定通り  
<化合物③>  
• コンソーシアム内の水素細菌培養に関する知見を活用することで検討を進める
- <精製プロセスの確立、化成品の評価>  
化合物①：  
• 今後ラボ蒸留および膜装置導入し、技術検討を進める  
化合物③：  
• 生産菌株の構築、発酵生産が確認された後、発酵液を用いた検討を進める
- 数十 L規模リアクターにおいても運転に伴うフォアグラウンドプロセスデータを取得し、LC-CO<sub>2</sub>評価に活用する

## 2. 研究開発計画 / (3) 実施スケジュール

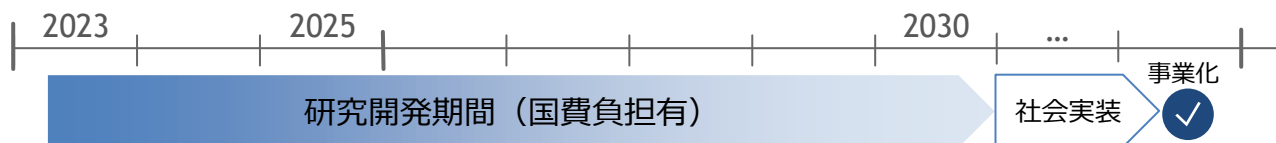
### 複数の研究開発を効率的に連携させるためのスケジュールを計画

#### 【研究開発項目2】

研究開発項目・事業規模

実施主体

実施スケジュール



(生産性=STY: Space/Time/Yield 反応容器容量当たりの生産速度)

研究開発項目

研究開発内容

▼ :ステージゲート審査

2.  
CO<sub>2</sub>から有用物質を  
生産できる組換え  
水素細菌の開発

① 化合物①生産株の開発

GEI

生合成経路の確立  
酵素探索による生産速度向上  
代謝改変による収率改善

速度・収率の更なる改善、  
耐性改善による終濃度向上

速度・収率・終濃度の更なる改善  
連続培養を志向した代謝フラックス調整

② 化合物②生産株の開発

東レ

基本微生物開発  
耐熱設計・特異性改変

水素利用効率・  
生産速度向上、  
発現制御最適化

耐性改善など

③ 化合物③生産株の開発

ダイセル

代謝経路の設計・選定  
酵素探索・機能改変

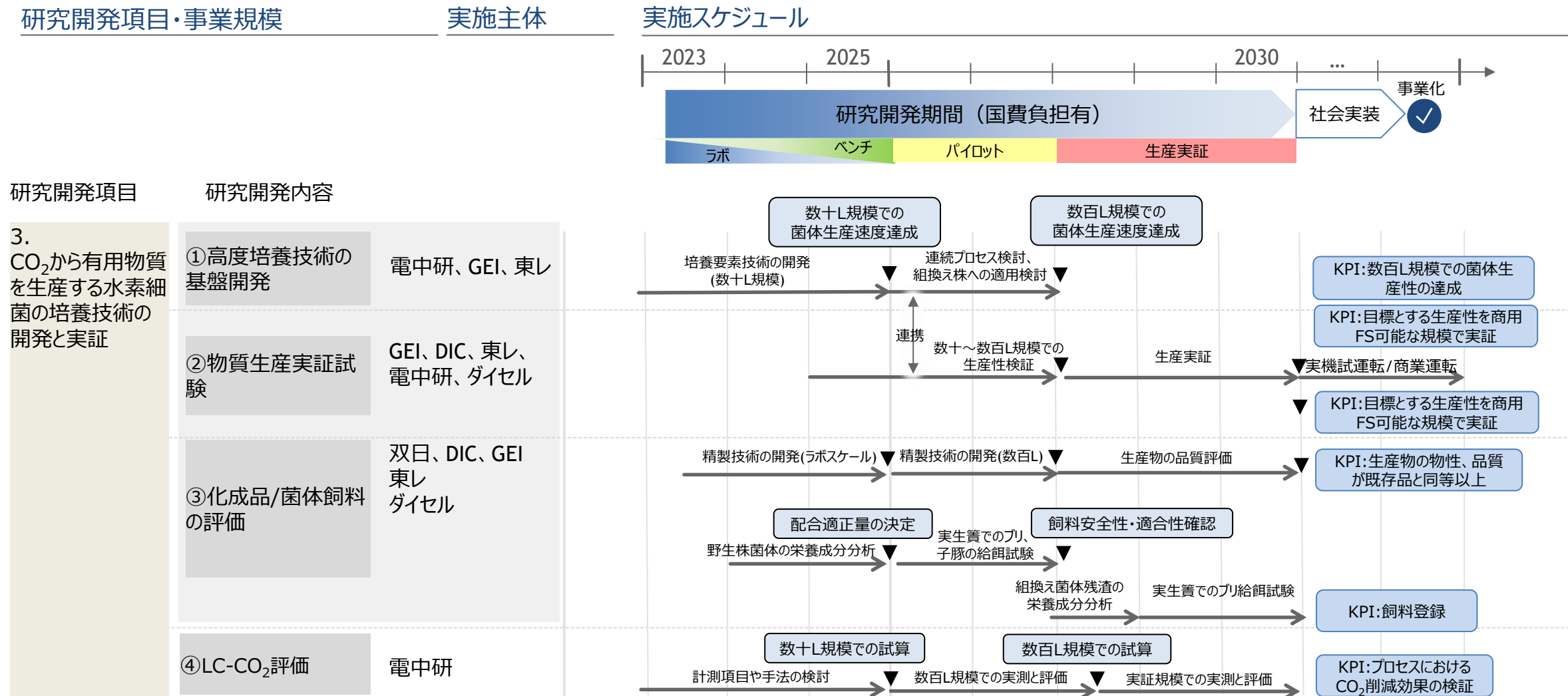
宿主ゲノムの改変  
生産プロセスと連動した機能付与等

【研究開発項目2】で相互の積極的な技術交流により、効果的な連携を図る。  
【研究開発項目3】と連携しながら効果的に生産性の向上を図る。  
特に、培養技術開発における知見の提供を受けて開発に活用する。

## 2. 研究開発計画 / (3) 実施スケジュール

### 複数の研究開発を効率的に連携させるためのスケジュールを計画

#### 【研究開発項目3】

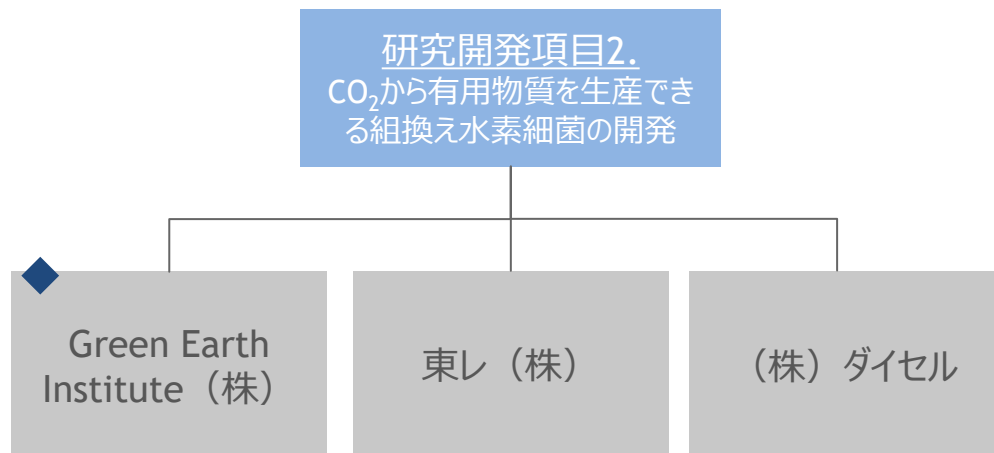


▼:ステージゲート審査

## 2. 研究開発計画 / (4) 研究開発体制

### 各主体の特長を生かせる研究開発実施体制と役割分担を構築

#### 実施体制図



3社間ならびに【研究開発項目3】との連携が前提であり、菌株の改変並びに培養等の情報交換を行う。また、開発した菌株は【研究開発項目3】で使用する。

☆ 幹事企業    ◆ 中小・ベンチャー企業

#### 各主体の役割と連携方法

##### 各主体の役割

- GEI : 研究開発項目2のとりまとめ、化合物①生産株の開発、研究開発項目3との連携窓口
- 東レ : 化合物②生産株の開発
- ダイセル : 化合物③生産株の開発

##### 中小・ベンチャー企業の参画

- GEI : バイオリファイナリ技術の開発およびその商用化に特化したベンチャー企業として創業したGEIは、当該分野に幅広い技術的知見や事業化に向けたチャンネルを有し、特に最近ではバイオファウンドリ事業によるバイオ技術のスケールアップに強みを獲得していることから、同企業が本事業に参加することで技術開発と事業化の加速が期待される。一方、中小企業単独ではハードルが高い水素細菌の気体培養のような新規技術基盤開発を本事業を通じて実行できることは、GEIとしても事業拡大の観点から大きなメリットとなる。

##### 研究開発における連携方法（共同実施者間の連携）

- 定期的な会議による共通基盤技術・情報の共有（研究開発項目2と3で共同実施）  
1回/1か月以上で幹事が研究開発項目3と連携した「定例会」を開催
- 水素細菌の遺伝子組換え技術を確立するため、必要な情報交換会を担当者間で開催
- 人的交流、培養設備の共用（研究開発項目3の培養技術開発担当や実証担当）

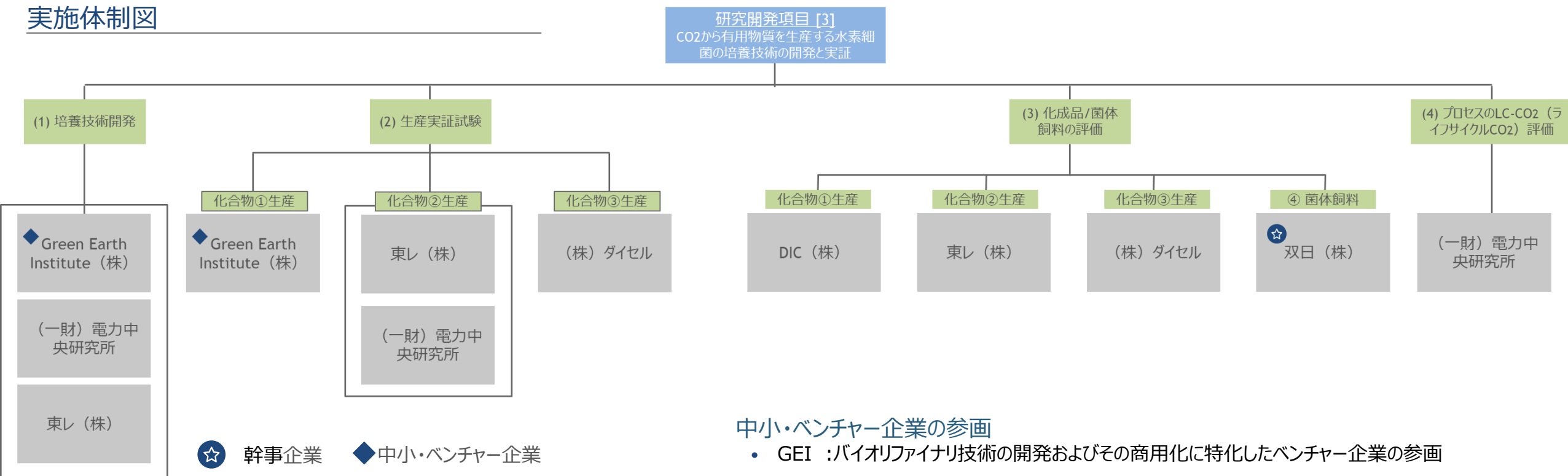
##### 共同実施者以外の本プロジェクトにおける他実施者等との連携

- 研究開発項目3と培養・分離・精製技術について連携
- 本プロジェクトの非競争領域での協議会が発足され、当コンソーシアムとして全ての分科会に担当者を配置することでそれぞれの項目について連携可能性を模索

## 2. 研究開発計画 / (4) 研究開発体制

### 各主体の特長を生かせる研究開発実施体制と役割分担を構築

実施体制図



#### 各主体の役割

- 双日 : 研究開発項目3のまとめ、菌体の飼料適合性評価、飼料登録  
研究開発項目2との連携窓口、研究開発項目2と3の全体まとめ
- GEI : 化合物①の生産実証、培養槽のスケールアップ
- DIC : 化合物①の生産実証における分離精製を実証
- 東レ : 化合物②の生産実証、分離・精製
- ダイセル : 化合物③の生産実証、分離・精製
- 電中研 : 培養技術開発、LC-CO<sub>2</sub>評価

#### 中小・ベンチャー企業の参画

- GEI : バイオリファイナリ技術の開発およびその商用化に特化したベンチャー企業の参画

#### 研究開発における連携方法（共同実施者間の連携）

- 定期的な会議による共通基盤技術・情報の共有（研究開発項目2と3で共同実施）  
1回/1か月以上で幹事が研究開発項目2と連携した「定例会」を開催  
1回/年を目安に経営に過年度の成果報告及び将来の開発方針に合意（コミットメント）
- 研究開発項目3で開発しているガス培養技術についての成果報告会を開催
- 培養設備の共用（研究開発項目2で開発した菌株のパイロットと実証設備での培養を許容）

## 2. 研究開発計画 / (5) 技術的優位性

### 国際的な競争の中においても技術等における優位性を保有

研究開発項目	研究開発内容	活用可能な技術等	競合他社に対する優位性・リスク
2. CO <sub>2</sub> から有用物質を生産できる組換え水素細菌の開発	1 化合物①生産株の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>組換え株作製に係る特許技術 (GEI) 特許第7118460号、特許第6894650号、特許第6668577号、WO2020208842 (A1)</li> <li>組換え株の開発受託業務で得た知見・ノウハウ (GEI)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>組換え菌体の商用化実績 (GEI)</li> <li>組換え菌 (水素細菌以外) 取扱い実績 (GEI)</li> </ul>
	2 化合物②生産株の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>微生物改変技術、ナイロンモノマー微生物技術 (東レ) <a href="https://www.toray.co.jp/news/details/20220817150637.html">https://www.toray.co.jp/news/details/20220817150637.html</a></li> <li>酵素AI設計・シミュレーション技術 <a href="https://staff.aist.go.jp/kameda-tomoshi/index2.html">https://staff.aist.go.jp/kameda-tomoshi/index2.html</a></li> <li>酵素生産実用菌の育種技術 (東レ) <a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589014X21001110?viewFullText=true">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589014X21001110?viewFullText=true</a></li> <li>膜利用発酵プロセスのスケールアップ技術 (東レ) <a href="https://cs2.toray.co.jp/news/toray/newsrrs01.nsf/0/AFB55CAF3DF5A0E649258076002F6B18">https://cs2.toray.co.jp/news/toray/newsrrs01.nsf/0/AFB55CAF3DF5A0E649258076002F6B18</a></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>独自のモノマー前駆体ターゲット保有 (東レ)</li> <li>連続培養プロセス、膜分離に関する高い技術 (省エネ濃縮技術、水処理膜製品、バイオ用分離膜の活用) (東レ)</li> <li>水素細菌組換え株取得の遅れ ⇒対策：酵素AI設計・シミュレーション</li> </ul>
	3 化合物③生産株の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>化合物③生産に関わる特許技術 (ダイセル) 特許5787360 (<a href="https://patents.google.com/patent/JP5787360B2/ja">https://patents.google.com/patent/JP5787360B2/ja</a>)</li> <li>微生物の取り扱い、物質生産技術 (ダイセル) <a href="https://www.nature.com/articles/d42473-020-00552-8">https://www.nature.com/articles/d42473-020-00552-8</a></li> <li>ヒドロゲナーゼ発現ベクター (ダイセル、東大) 特開2013-32</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ガス利用培養の実績・知見 (ダイセル)</li> <li>副産物の増加による生産物の品質低下 (ダイセル) ⇒対策：代謝改変による生産最適化</li> </ul>
	共通技術および共通のリスクとその対策	<ul style="list-style-type: none"> <li><i>Hydrogenophilus</i>の代謝特性解析 (電中研/東大) <a href="http://www.extremophiles.jp/gakkaishi_old/jjse16_2v3.pdf">http://www.extremophiles.jp/gakkaishi_old/jjse16_2v3.pdf</a></li> <li>水素細菌の代謝制御技術 (電中研) 特許6241906, 特許5104005, 特許5985331</li> <li><i>Hydrogenophilus</i>の遺伝子組換え技術 (公知情報)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>リスク：水素細菌組換え株取得の遅れ 生産経路に関する他社特許の回避 培養技術の不足</li> <li>対策：研究開発項目2間の情報交換や研究開発項目3との培養技術の連携</li> </ul>

## 2. 研究開発計画 / (5) 技術的優位性

### 国際的な競争の中においても技術等における優位性を保有

研究開発項目	研究開発内容	活用可能な技術等	競合他社に対する優位性・リスク
3. 水素細菌によりCO <sub>2</sub> から有用物質を生産する培養技術の開発と実証	1 高度培養技術の基盤開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>水素細菌を含むCO<sub>2</sub> 利用細菌の培養技術 (電中研) 特許6241906, 電中研報告U94055, U92058, U90020, <a href="https://jsbba2.bioweb.ne.jp/jsbba_db/download_pdf.php?p_code=4C01a08&amp;pdf=2020">https://jsbba2.bioweb.ne.jp/jsbba_db/download_pdf.php?p_code=4C01a08&amp;pdf=2020</a>, doi:10.1007/s00284-006-0151-1</li> <li>バイオリクター技術 (電中研) 電中研報告U96011, U97012, U98051, U99054, V12011</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>CO<sub>2</sub>利用細菌の数十年の研究実績 (電中研)</li> <li>パイロット規模までの高効率バイオリクター開発実績 (電中研)</li> </ul>
	2 物質生産実証試験	<ul style="list-style-type: none"> <li>DoE (実験計画法)、高性能CFDソフトウェア、スケールダウンモデルを活用したスケールアップ技術 (GEI)</li> <li>バイオフィアウンドリ事業における生産技術開発ノウハウ (GEI)</li> <li>非可食バイオマスからの連続培養技術 (東レ) <a href="https://www.env.go.jp/earth/ondanka/cpttv_funds/pdf/db/168.pdf">https://www.env.go.jp/earth/ondanka/cpttv_funds/pdf/db/168.pdf</a></li> <li>実証プラント技術・省エネ濃縮技術 (東レ) <a href="https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_100989.html">https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_100989.html</a></li> <li>バイオ用途向け中空糸膜技術 (東レ) <a href="https://cs2.toray.co.jp/news/film/newsrrs01.nsf/0/0C1F0DAE7B2253BE49258797000398EE">https://cs2.toray.co.jp/news/film/newsrrs01.nsf/0/0C1F0DAE7B2253BE49258797000398EE</a></li> <li>水素社会に向けた取り組みと関連技術 (東レ) <a href="https://www.toray.co.jp/story_economist/">https://www.toray.co.jp/story_economist/</a></li> <li>嫌気発酵による工業的なモノづくり技術および知見 (ダイセル) 2020525.pdf, 2020316.pdf (daicel.com)</li> <li>化合物③製造技術および高品質確保のための精製、分析技術 (ダイセル)</li> <li>膜分離技術 (東レ、ダイセル、DIC) <a href="https://prtimes.jp/main/html/rd/p/00000014.000035577.html">https://prtimes.jp/main/html/rd/p/00000014.000035577.html</a> <a href="https://www.daicel.com/business/field/other">https://www.daicel.com/business/field/other</a> <a href="https://www.toray.co.jp/news/details/20211119133725.html">https://www.toray.co.jp/news/details/20211119133725.html</a></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>商用生産スケールまでのスケールアップ実績 (GEI)</li> <li>水素細菌以外による生産技術開発ノウハウ (GEI)</li> <li>精製プロセスでの膜分離技術活用 (東レ、ダイセル、DIC)</li> <li>不純物の同定と低減プロセス構築のノウハウ (東レ、ダイセル)</li> <li>水素調達・コスト見通し (東レ)</li> </ul> <p>⇒対策：自社水素PJとの連携、コスト情報入手</p>
	3 化成品/菌体飼料の評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>化合物③製造技術および高品質確保のための精製、分析技術 (ダイセル)</li> <li>新規材料の飼料適合性評価技術</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>不純物の同定と低減プロセス構築のノウハウ (ダイセル)</li> <li>飼料の成分分析ならびに効果検証を行う技術を保有</li> <li>遺伝子組換え菌体の飼料利用への制度的な制限のリスク</li> </ul>
	4 LC-CO <sub>2</sub> 評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>LCA評価技術 (電中研) 電中研報 V19004,C1808, Y06, V13021, V10025</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>LCA手法の開発実績と実プロセスでの実測の経験 (電中研)</li> </ul>

各研究開発内容の共通のリスクと対策

リスク：水素培養の安全性確保  
水素・CO<sub>2</sub>調達・コスト見通し  
実証試験地確保  
製品の品質

対策：研究開発項目2と3間の情報交換や連携  
CO<sub>2</sub>調達（協力機関：発電事業者）  
安全性に配慮したエンジニアリング  
分析・製品化評価

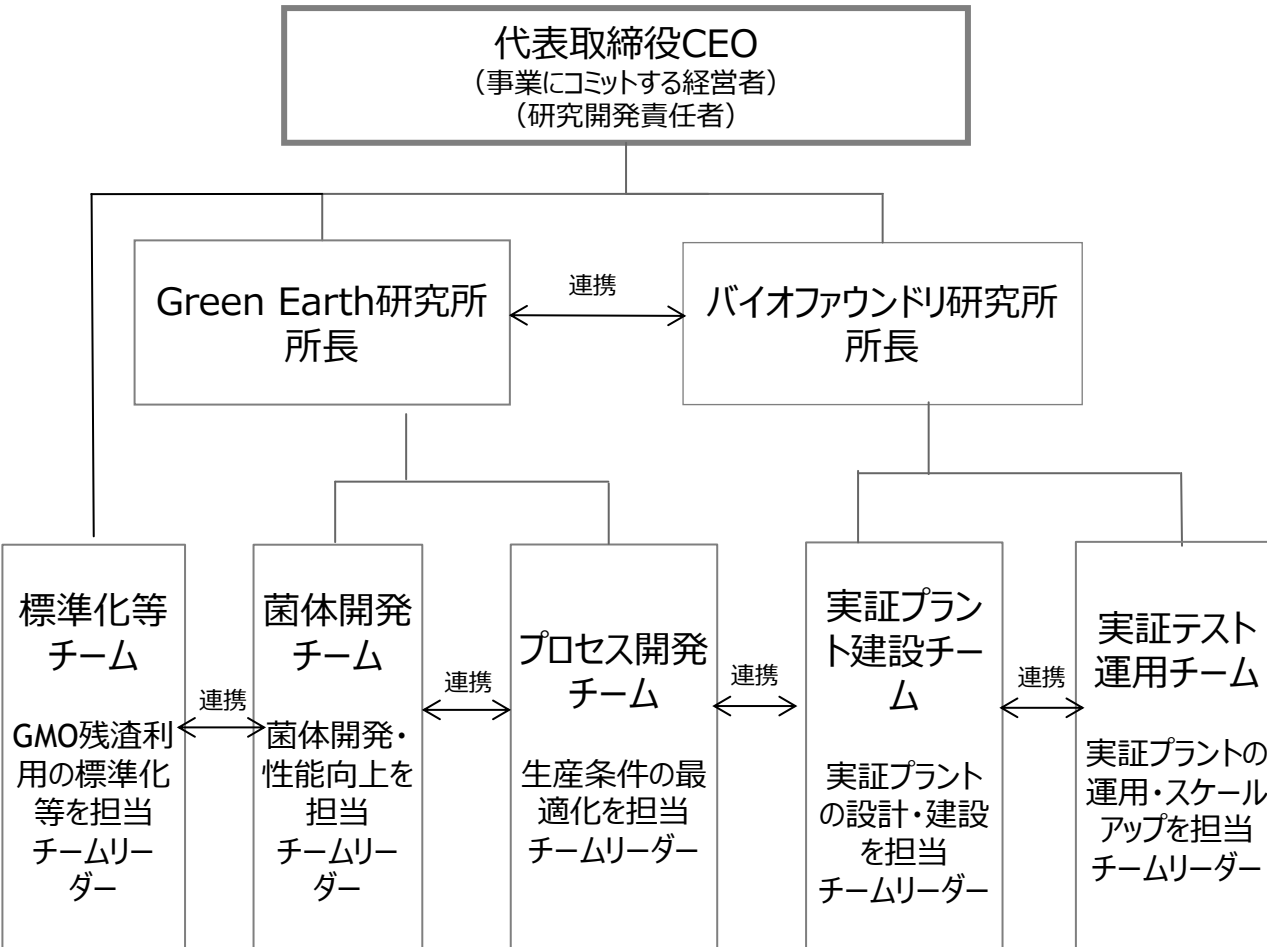
# 3. イノベーション推進体制

(経営のコミットメントを示すマネジメントシート)

### 3. イノベーション推進体制／（1）組織内の事業推進体制

## 経営者のコミットメントの下、専門部署に複数チームを設置

#### 組織内体制図



#### 組織内の役割分担

##### 研究開発責任者と担当部署

- 研究開発責任者
  - 代表取締役CEO：本プロジェクトを統括
- 担当チーム
  - 菌体開発チーム：化合物①の菌体開発・性能向上を担当（専任3人、併任4人規模）
  - プロセス開発チーム：化合物①の生産条件の最適化を担当（専任2人、併任2人規模）
  - 実証プラント建設チーム：実証プラントの設計・建設を担当（専任2人、併任2人規模）
  - 実証テスト運用チーム：実証プラントの運用・スケールアップを担当（専任6人、併任4人規模）
  - 標準化等チーム：組換え微生物の残渣の飼料としての利用に関する標準化等を担当（併任2人規模）
- チームリーダー
  - チームリーダー：グリーン化学品生産菌の開発等の実績
  - チームリーダー：酵素のパイロット生産等の実績
  - チームリーダー：エタノール実証プラント建設・稼働、バイオフィアウンダリ事業の運営等の実績
  - チームリーダー：木質バイオマスのプロジェクトにおける発酵残渣の肥料飼料活用の標準化等の実績

##### 部門間の連携方法

- 社内に研究開発責任者をヘッドとするGI進捗確認会議を設置

### 3. イノベーション推進体制／（2）マネジメントチェック項目① 経営者等の事業への関与

## 経営者等による事業への関与の方針

### 経営者等による具体的な施策・活動方針

- 経営者のリーダーシップ
  - GEIのミッション（「グリーンテクノロジーを育み、地球と共に歩む」）の達成のコア事業として位置づける  
⇒本事業採択のプレスリリースの中で、本事業が弊社のミッションの達成に貢献することを目指している趣旨を明記
  - 自らが研究開発責任者となり、社内外に本事業の重要性を示す  
⇒代表自らが研究開発責任者に就任
  - 従来の糖由来のバイオものづくりプロセスを超えるプロセスにトライすることでスタートアップ企業らしいチャレンジ精神を体現  
⇒成長可能性資料の中で「二酸化炭素を原料とするようなバイオリファイナリー分野の新しい基盤技術の開発」を成長戦略の一つとして明記
- 事業のモニタリング・管理
  - CEO及び研究所長の2名の取締役が本事業のマネジメントを実施  
⇒代表取締役CEOが研究開発責任者、取締役・GE研研究所長が菌体・プロセス開発チームの取りまとめ責任者
  - CEO自らが研究開発責任者として、GI進捗確認会議を主宰し、事業の進め方・内容に対し、適切なタイミングで指示を出すシステムを構築  
⇒CEO主導でGI進捗確認会議を実施
  - NEDOのバイオフィアウンドリ事業で構築しているバイオリファイナリー分野の有識者からのアドバイスを受ける予定  
⇒バイオフィアウンドリ事業の運営委員の意見を聴取
  - GEIとしては、本事業を通じて、4つの事業化を目指しており、それぞれについて、利益を上げられるKPIを設定  
⇒化合物①のライセンス料、水素細菌の組換え受託、プロセスの開発受託、テクノロジーパッケージの事業化について検討を進めた

### 経営者等の評価・報酬への反映

- 本事業の進捗状況は、随時、取締役会に報告され、取締役の報酬の決定に反映される見込み  
⇒取締役報酬改定にあたって、本事業の成果の良否を反映

### 事業の継続性確保の取組

- 経営層が交代する場合であっても、本事業はGEIのコア事業として継続するように引継ぎを実施  
⇒後任の代表取締役CEOに本事業の研究開発責任者に着任することを想定

### 3. イノベーション推進体制／（3）マネジメントチェック項目② 経営戦略における事業の位置づけ

## バイオリファイナリー分野の専門企業として、企業価値向上とステークホルダーとの対話を推進

#### 取締役会等コーポレート・ガバナンスとの関係

- カーボンニュートラルに向けた全社戦略
  - GXリーグへの参画は現時点で未定
  - GEIはバイオリファイナリー分野の専門企業としてカーボンニュートラルは大部分の事業が当然に目指している姿
- 経営戦略への位置づけ、事業戦略・事業計画の決議・変更
  - GEIのミッション「グリーンテクノロジーを育み、地球と共に歩む」が、カーボンニュートラルの実現に向けてのコミットメントを示しており、当該ミッションは社内外に周知済み
  - 東京証券取引所に提出している「事業計画及び成長可能性に関する資料」の中で、弊社の経営戦略・事業戦略を明記
  - 本事業の進捗状況は、随時、取締役会に報告され、本事業に関係している取締役の報酬の決定に反映される見込み
  - GEIの事業戦略の中で、本事業は注力分野の1つである「二酸化炭素を原料とするようなバイオリファイナリー分野の新しい基盤技術の開発」と位置付けられるもの
- コーポレートガバナンスとの関連付け
  - GEIの取締役としてはミッションへのコミットメントは前提

#### ステークホルダーとの対話、情報開示

- 中長期的な企業価値向上に関する情報開示
  - バイオリファイナリー専門企業として、価値協創ガイダンスが志向している社会のサステナビリティ（持続可能な社会に対する要請への対応）と企業のサステナビリティ（企業が長期的かつ持続的に成長原資を生み出す力（稼ぐ力）の維持・強化）は一致しており、対外的な報告書の中で、それらを示していく予定
  - 採択後、2023年4月3日に「NEDO グリーンイノベーション基金事業に「水素細菌によるCO<sub>2</sub>とH<sub>2</sub>を原料とする革新的なものづくり技術の開発」が採択決定～脱炭素社会・資源循環社会の実現に向けて、CO<sub>2</sub>を原料として化学品を作る研究開発実証を実施～」をニュースリリース
  - NEDOとの契約締結後、2023年8月4日に「水素細菌によるCO<sub>2</sub>とH<sub>2</sub>を原料とする革新的なものづくり技術の開発」に向けてNEDOと契約締結」をニュースリリース
- ステークホルダーとの対話
  - 毎四半期実施している機関投資家との対話の中で、本事業の内容と意義、GEIにとっての価値を説明済み

### 3. イノベーション推進体制／（4）マネジメントチェック項目③ 事業推進体制の確保

## 機動的に経営資源を投入し、社会実装、企業価値向上に繋ぐ組織体制を整備

#### 経営資源の投入方針

- 全社事業ポートフォリオにおける本事業への人材・設備・資金の投入方針
  - 本事業は、GEIの事業の柱である、菌体開発、プロセス開発、スケールアップ全てが関わる事業であることから、現在の人員を中心にチームを構成しつつ、新規メンバーとして、7月に2名、9月に1名を採用
  - 設備については、既存のGE研に近いKIC分室にて、遺伝子組換え実験および簡易なガス培養・分析を実施できるラボの立ち上げを完了
  - 実証プラントについては、人的、設備的なリソースも持つ設置候補地あり
  - NEDOのバイオファウンドリ事業で得られる知見も本事業に活用
- 機動的な経営資源投入、実施体制の柔軟性確保
  - 本事業は、長期間であり、多くの研究開発分野にまたがっていることから、事業の進捗や環境変化を踏まえ、体制の見直しを、迅速かつ柔軟に実施
  - 標準化等のチームを設置
  - 現在、実施しているNEDOのバイオファウンドリ事業と同様、大手企業と協力

#### 専門部隊の編成と人材育成

- GIチームの設置
  - 当社の各部門に横断的な事業であることから、各部門の優秀なメンバーからなる本事業のためのGIチームを編成。
- 人材育成
  - 本事業が比較的長い期間にわたるものであり、この事業を通じて、経験者から若手や新人への知見の移管を進めることを目指す
  - 本事業には様々な企業や大学、研究機関が参画することから、それらの組織との協業を積極的に行うことで、GEIの人材の成長を期待
  - GEIは研究開発型ベンチャーとして、ファブレスを基本としており、研究開発の人的資源が最大の資産であり、本事業の活動を通じた成長を通じて人的資源経営の実現につなげる。
  - 本事業を通じて3名の新規採用を実現し、今後の弊社の事業の成長に必要な人材確保に寄与している

# 4. その他

## 4. その他 / (1) 想定されるリスク要因と対処方針

### リスクに対して十分な対策を講じるが、開発継続が困難等と判断される場合には事業中止も検討

#### 研究開発（技術）におけるリスクと対応

- 化合物①生産菌の遺伝子組換えがうまくいかず、想定した収率、生産性が達成できないリスク  
→ 同じチーム内の他のグループとの連携を図るとともに、必要に応じて、大学等の外部機関の協力を得る
- スケールアップがうまくいかず、再現性が確認できないリスク  
→ 気体によるプロセスのため予測できない阻害要因が考えられることから、CFDの高度化を図り、スケールアップの精度を上げ、設備等を改良する

#### 社会実装（経済社会）におけるリスクと対応

- 水素社会が到来せず、水素のコストが下がらず、技術が確立できても、経済的に事業として成り立たないリスク  
→ 水素に関する情報収集に努め、水素のコストが下がる見込みが立たない場合は、より高付加価値の化学品の開発を目指す
- GMOを使用した発酵残渣の活用が農水省に認められない場合、産廃処理費用分のコストが成果物のコストに上乗せされ、価格競争力が下がる。

#### その他（自然災害等）のリスクと対応

- 地震、台風その他天災などのリスク  
→ 本開発を一旦中断の上、天災が収束後、開発計画、スケジュールの見直す



#### ● 事業中止の判断基準：

- 技術開発において、上記のリスク対応を行っても、改良がうまくいかず、再現性が確認できない場合
- 開発可能な高付加価値の化学品が見つからないか、見つかったとしてもその生産菌体が開発できない場合
- 開発計画、スケジュールを変更しても、開発継続が困難であると判明した場合