

事業戦略ビジョン

実施プロジェクト名：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
実施者名：双日株式会社（幹事企業） 代表名：代表取締役 社長CEO 植村 幸祐

コンソーシアム内実施者（再委託先除く）：
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

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）

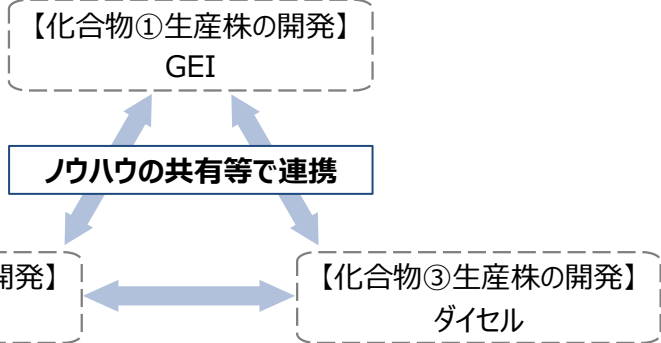
【研究開発項目2】化成品を生成する組換え水素細菌の開発

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

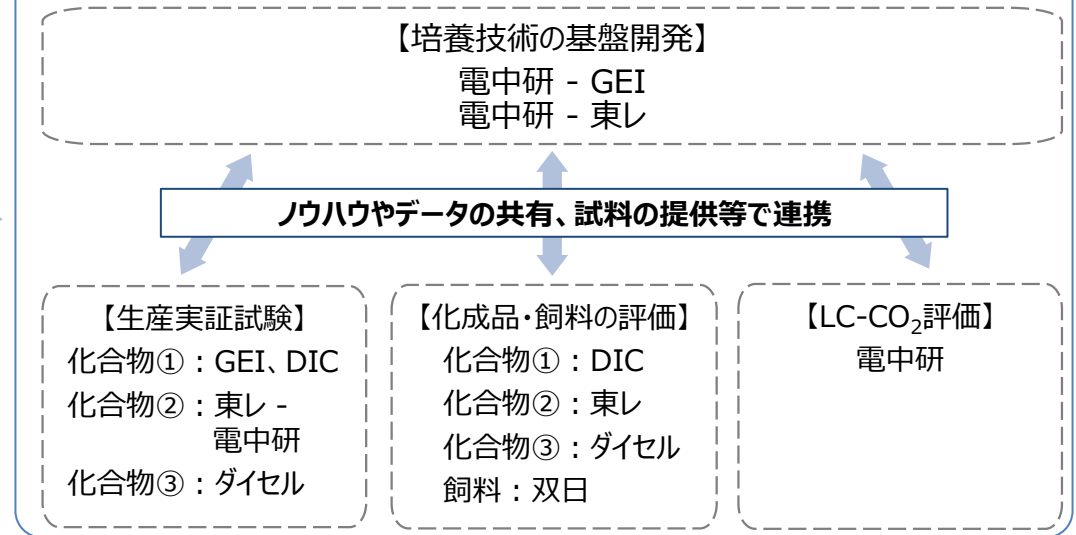
連携

課題のフィードバック

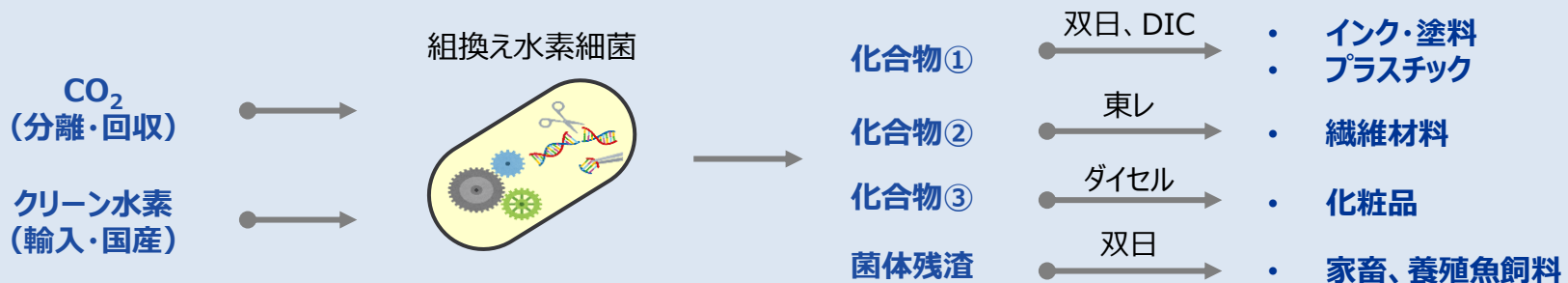
【研究開発項目3】水素細菌の培養技術の開発と実証

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、CO₂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

クリーンな水素の社会普及とともに、CO₂を原料とした化学品・素材産業の構造転換が進むと予想

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)

- 地球温暖化による異常気象・自然災害の深刻化
- 低炭素・脱炭素効果のある原料への関心・需要の高まり

(経済面)

- 企業の財務戦略における脱炭素へのコミット
- 環境価値の高い製品を求める消費者ニーズの高まり
- 水素の製造・輸送コストの低下

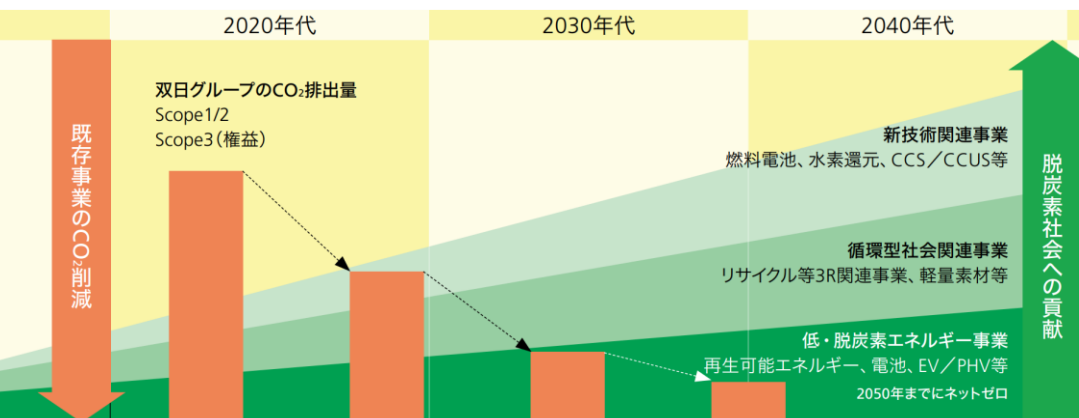
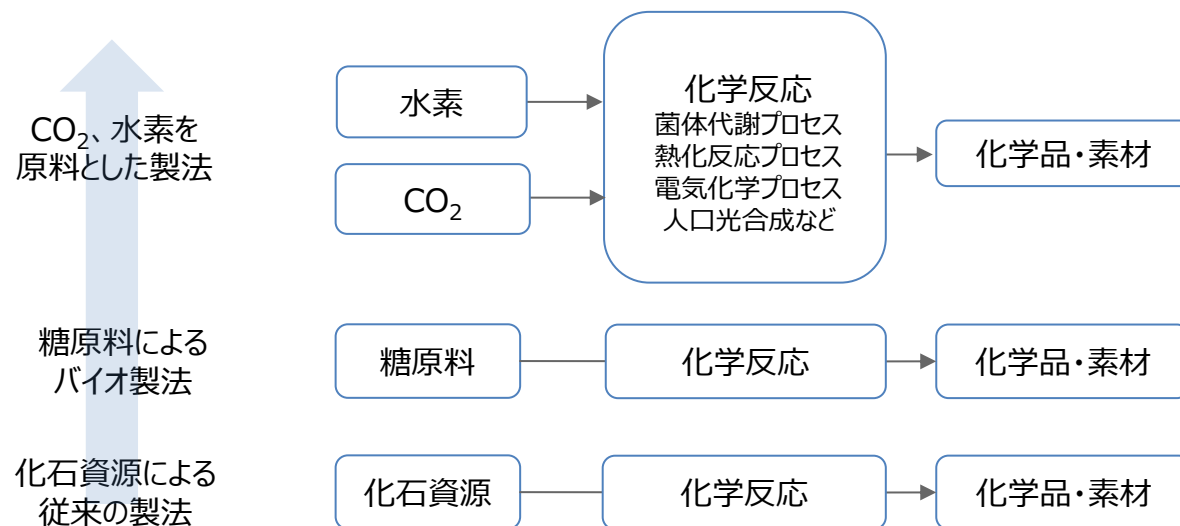
(政策面)

- 各国税制及び国境炭素税導入の検討
- 官民連携による先進的技術の開発促進

(技術面)

- ゲノム編集による微生物改変のプラットフォーム化
- 微生物の培養・精製技術の高度化
- CO₂・水素利用等の技術革新と社会普及

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)

- 脱炭素効果の高い製品に対する政府・製造者・消費者各方面からの需要の高まり (認識に変化なし)

(社会・顧客・国民等に与えるインパクト)

- CO₂削減による温暖化対策への貢献

(当該変化に対する経営ビジョン)

- CO₂排出を「リスク」と捉え、削減を加速させるとともに、「機会」と捉え、新たなビジネスを構築する

1. 事業戦略・事業計画 / (2) 市場のセグメント・ターゲット

水素細菌で製造される複数の化成品をターゲットとして想定

セグメント分析

- 脱炭素効果の高い、CO₂を原料とした水素細菌の開発に取り組む
- 化学産業における脱炭素化ニーズの高まりを捉え、幅広い製品へ展開可能な汎用化学品をターゲットとする

| 原料 | 評価項目 | 製品種別 | | |
|-----------------|--|--|--|--|
| | | 燃料 | 汎用化学品 | 高機能樹脂 |
| CO ₂ | <ul style="list-style-type: none"> 脱炭素効果 技術成熟度 製品単価 市場規模 | <ul style="list-style-type: none"> ○ × 低 大 | <ul style="list-style-type: none"> ○ × 中 中 | <ul style="list-style-type: none"> ○ × 高 小 |
| 糖 (バイオ) | <ul style="list-style-type: none"> 脱炭素効果 技術成熟度 製品単価 市場規模 | <ul style="list-style-type: none"> △ △ 低 大 | <ul style="list-style-type: none"> △ △ 中 中 | <ul style="list-style-type: none"> △ △ 高 小 |
| 化石 | <ul style="list-style-type: none"> 脱炭素効果 技術成熟度 製品単価 市場規模 | <ul style="list-style-type: none"> × ○ 低 大 | <ul style="list-style-type: none"> × ○ 中 中 | <ul style="list-style-type: none"> × ○ 高 小 |

ターゲット概要

汎用化成品をターゲット製品として設定

- 目的化合物は、塗料、インキに加え、プラスチック、繊維素材、化粧品等の様々な製品の原料となる

市場概要と目標とするシェア・時期

- カーボンフットプリントに関する制度設計及びトレーサビリティの向上により、化学産業における脱炭素効果の高い原料へのニーズが2020年代後半に高まることが予想される
- 菌体残渣を有効利用し、飼料化することで脱炭素効果と経済性を向上させることが可能

需要家

課題

想定ニーズ

目的化合物

- 塗料・インキ・プラスチック製造業
- 繊維素材製造業
- 化粧品製造業

- 既存製品の原料は化石資源に依存している
- 既存製造プロセスにおいてはCO₂が発生する
- 最終製品への付加価値・サステナビリティの訴求

- 各種用途において、Scope3を評価した際のGHG排出量を大幅に軽減できる原料資材

菌体残渣

飼料産業
(家畜・養魚用)

- 飼料価格の高騰
- 持続可能で安定供給可能な飼料調達源の確保

- 代替素材対比CO₂削減
- コスト競争力

1. 事業戦略・事業計画 / (3) 提供価値・ビジネスモデル

周辺インフラ整備も主導し、水素細菌を用いた製造事業を創出、競争力・優位性を獲得

顧客に対する提供価値

(社会への提供価値)

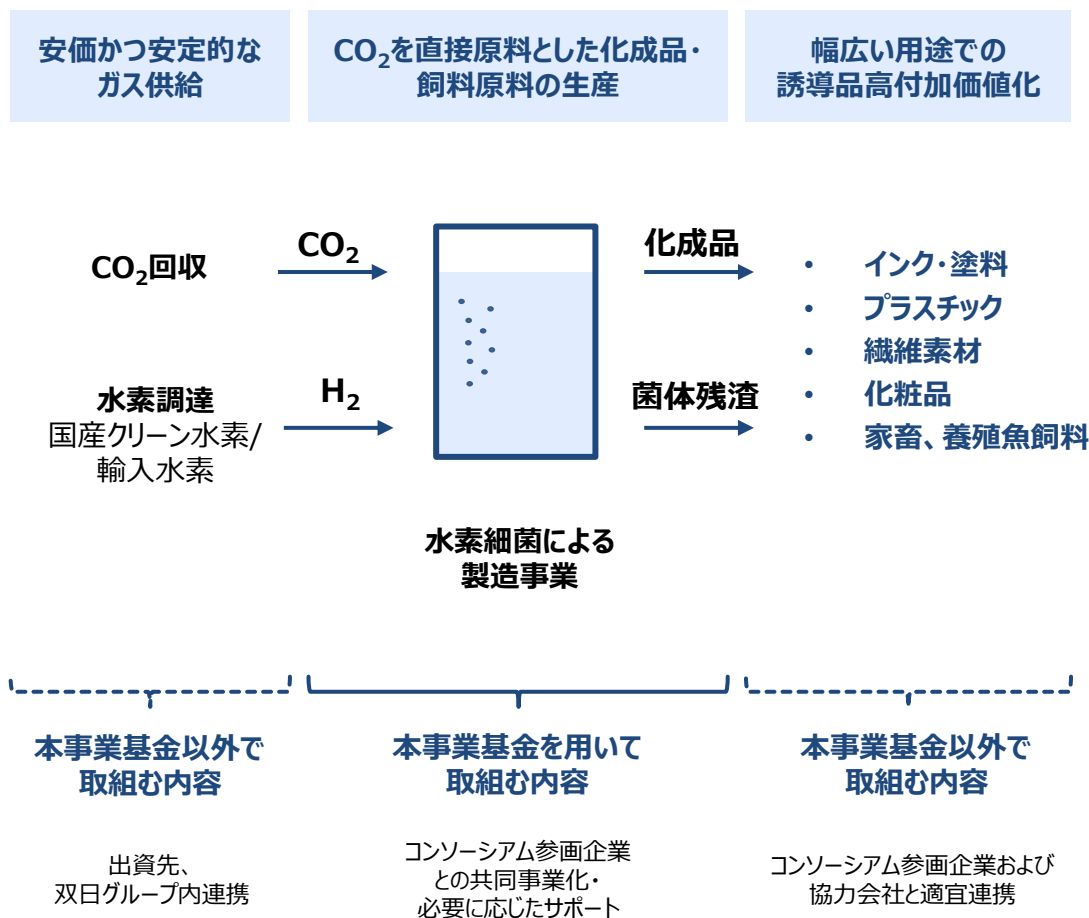
- 脱炭素化が困難な産業である火力発電所、製鉄所等からのCO₂を利用し、化学品等を製造・提供することによって脱炭素化に貢献
- 菌体残渣をたんぱく源として利用することにより食料競合のジレンマ解消

(顧客に対する提供価値)

- 安価かつ安定的に低炭素化学品等を製造・提供
- 家畜や養殖業界における飼料不足解消
- 低炭素化製品の提供による企業の環境戦略への活用

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)と研究開発計画の関係性

- コンソーシアム参画企業と適宜連携し、包括的な事業を手掛けることで、バリューチェーンの競争力獲得を目指す



(定量目標値)

- 化合物①生産量 : 数万トン
- 飼料生産量 : 数千トン
- CO₂削減量 : 数万トン

(独自性)

- 独自に組換えを施した水素細菌を用いて、化学品・飼料を製造。

(有効性)

- グローバルなネットワークを駆使した製品販売・誘導品の高付加価値化に加え、水素供給事業、CO₂回収事業を組み合わせ、競争力を獲得。

(実現可能性)

- 他菌体研究の実績および、生成代謝経路を踏まえ現実的なKPIを設定。

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)

CO₂を原料としたバイオ由来製品や飼料の認定への適合性を検証

標準化戦略の前提となる市場導入に向けての取組方針・考え方

(バイオ由来原料の認定への適合)

- CO₂を原料に生産した化学品について、国の識別表示制度に基づいた認定を取得することで、他製品との差別化を図る

(飼料や飼料添加物の規格への適合)

- 菌体残渣の成分分析などを実施し、飼料や飼料添加物の規格を得ることで収益性向上につなげる

(CO₂削減効果の定量化)

- 実測によるLCA評価を行い、国際標準に基づくCO₂の資源循環製品として価値を高めるとともに、カーボンニュートラルの実現に貢献する

国内外の動向・自社のルール形成(標準化等)の取組状況

(国内外の標準化や規制の動向)

- 水素細菌の利用は現状、野生株のみ
- その他の微生物はCO₂固定化が遅い
- LCAの測定手法は未確立
- 遺伝子組換えを施した水素細菌の飼料認証の実績は無い

(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)

- GEIと共同で、糖を原料としたバイオプロセスの開発に取り組んでいる

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)

標準化戦略

- バイオ由来原料としての認定取得と識別表示による差別化
- 飼料や飼料添加物としての登録と環境優位性の確保
- CO₂削減製品としての付加価値の明確化

知財戦略

- 培養手法やバイオリアクターの設計などの新規培養技術に関わる広範囲な知的財産の利用権の確保

1. 事業戦略・事業計画 / (4) 経営資源・ポジショニング

環境事業の経験とグローバルネットワークを活かし、社会・顧客に脱炭素化ソリューションを提供

自社の強み、弱み (経営資源)

ターゲットに対する提供価値

- 低炭素製品の提供
- 地政学リスクに左右されない国産品の安定供給
- CO₂の固定化による発電、製鉄、セメント産業等の脱炭素化
- 家畜・養殖産業への低炭素なタンパク源の提供







自社の強み

- 環境製品の販売・投資実績
 - バイオポリエチレン、バイオメタノール、バイオMEG、リサイクルプラスチック等
 - 安価な水素製造技術 (ターコイズ水素)
 - 飼料・食料などの幅広い販売先へのアクセス
 - 製鉄、セメント産業等のCO₂供給源アクセス

自社の弱み及び対応

- 単独での菌体開発や培養技術のノウハウを有していない
 - コンソーシアム形成によって克服する

競合との比較

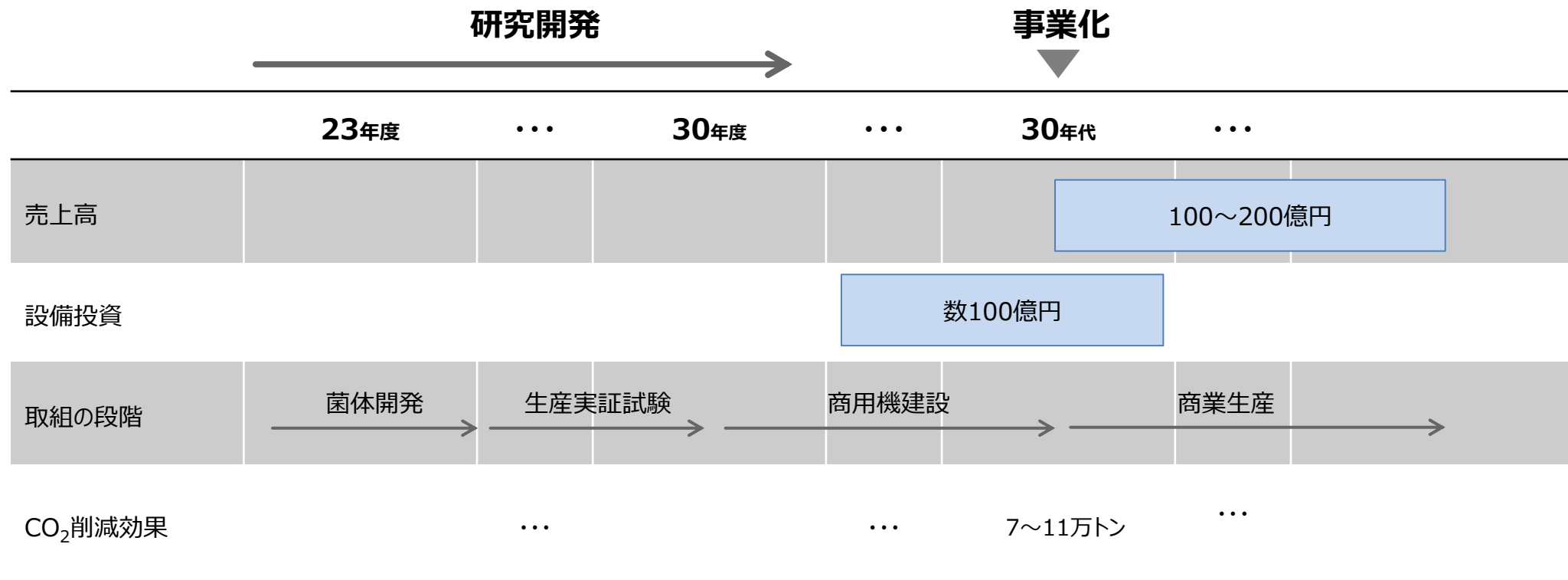
| | 技術 | 顧客基盤 | サプライチェーン | その他経営資源 |
|------|---|---|--|---|
| 自社 | <ul style="list-style-type: none"> • 低炭素型製品の製造技術を保有する企業への出資を通じた技術開発を実施  | <ul style="list-style-type: none"> • 多岐にわたる化学製品を国内外企業に販売 • 養殖事業への出資及び製品販売  | <ul style="list-style-type: none"> • 化学製品の販売・投資活動を通じて、原料調達から製品販売までの幅広いチェーンを構築  | <ul style="list-style-type: none"> • バイオMEG、ケミカルリサイクル事業等への出資  |
| 競合他社 | <ul style="list-style-type: none"> • 石油化学により化学品を製造 | <ul style="list-style-type: none"> • 化石資源由来の製品を工業原料、インク原料などの用途として販売 | <ul style="list-style-type: none"> • 原油輸入から精製、製品製造までの自社グループ内のチェーンを保有 | <ul style="list-style-type: none"> • 製油所、水素製造設備等の資産及び操業経験 |

1. 事業戦略・事業計画 / (5) 事業計画の全体像

2030年度までの研究開発の後、2030年以降の事業化、2040年以降の投資回収を想定

投資計画

- ✓ 本事業終了後、事業化にむけて商用機の建設を行い2030年代での事業化を目指す。



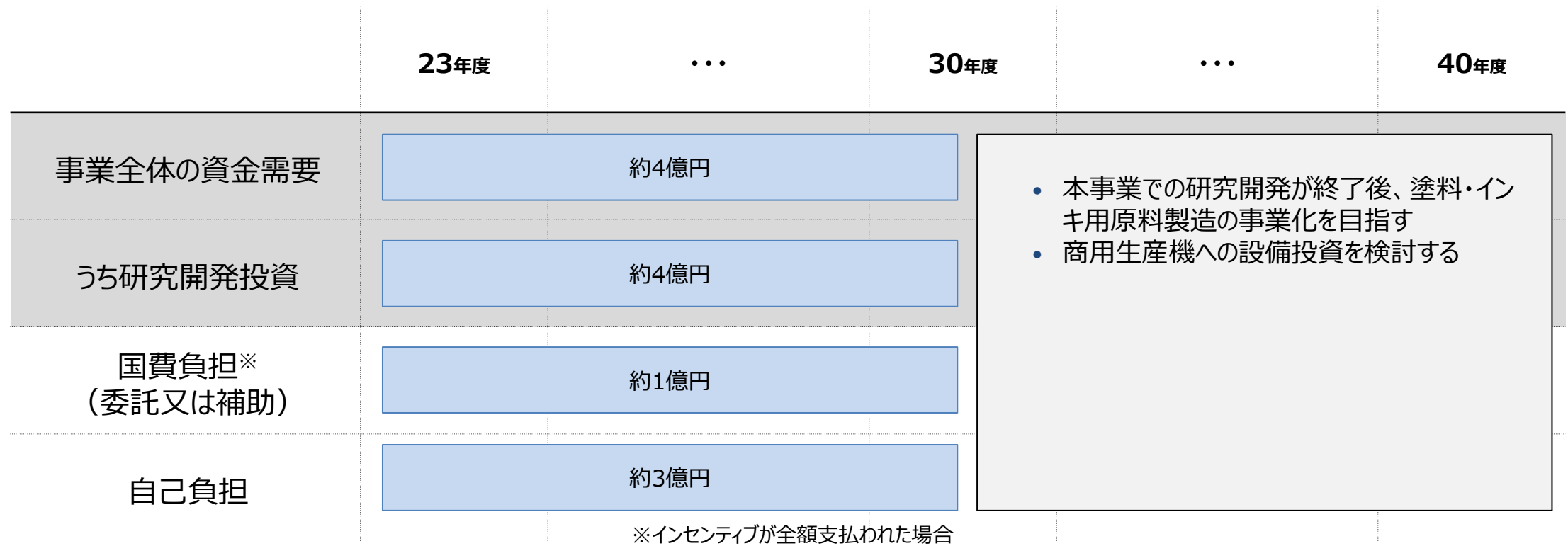
1. 事業戦略・事業計画 / (6) 研究開発・設備投資・マーケティング計画

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">• コンソーシアム内の成果の共有によって開発を促進• 組換え菌体の残渣の飼料登録 | <ul style="list-style-type: none">• 数十L、数百L、数千L規模の培養設備を段階的に導入し、実証を行う• 分離抽出・精製技術について必要設備機器の導入・開発を行う• 本基金外での安価な水素の供給手法についても検討 | <ul style="list-style-type: none">• 従来の化石由来製品や、その他化学品の取扱いによる顧客基盤を活用したマーケティングを実施• 組換え菌株の飼料登録を行い、代替タンパクとして市場普及を目指す |
| 進捗状況 | <ul style="list-style-type: none">• 幹事会社として、コンソーシアム全体の研究開発進捗の状況把握・共有化を実施している | <ul style="list-style-type: none">• 社会実装を実現する上で、CO₂/H₂の調達が必要であるため、その調達に向けた調査等を継続的に行っている• 精製技術を持つ企業・技術のリスト化を行い、比較検証を進めている | <ul style="list-style-type: none">• 水素細菌飼料の活用先である畜産・養殖を行う企業へのマーケティングを実施• 化合物①のプロジェクト関係企業での需要調査を実施 |
| 国際競争上の優位性 | <p style="text-align: center;">▼</p> <ul style="list-style-type: none">• CO₂を原料とする微生物の中で、CO₂固定化速度が最も高いとされる水素細菌を宿主として選択• 国際的競争力を持った化学メーカーやスタートアップ、研究機関とのコンソーシアム | <p style="text-align: center;">▼</p> <ul style="list-style-type: none">• 小規模での基礎開発から、大型培養での実証までを一貫して行うことで、競争優位性を獲得• コンソーシアム内において複数の目的生産物種の製造実証を目標設定しており、知見の相互活用によって様々な化学品の製法に対応した設備の開発・設計を行うことで優位性を獲得 | <p style="text-align: center;">▼</p> <ul style="list-style-type: none">• 双日グループとしての脱炭素化に向けて、バイオものづくりへ積極的に参加・関与• 様々な産業に接点のある、総合商社ならではの事業構築• 双日のグローバルのビジネスネットワークを通じた販売・マーケティング活動が可能 |

1. 事業戦略・事業計画 / (7) 資金計画

国の支援に加えて、3億円規模の自己負担を予定



2030年度以降での社会実装を見据えた、グリーンかつ安価な素製造技術を獲得

Hycamite社のご紹介

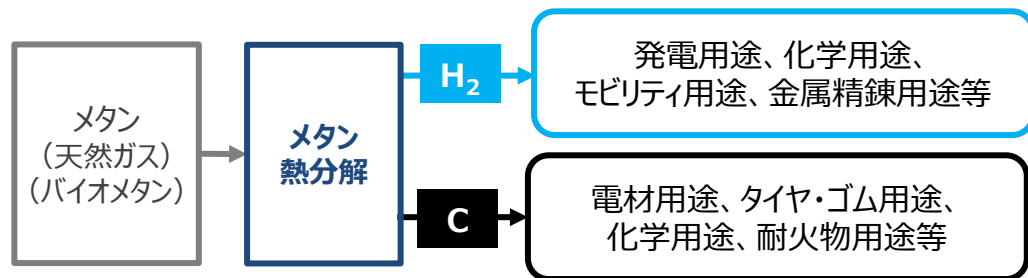
- 双日は2023年7月、「ターコイズ水素」の製造技術を有するフィンランドのスタートアップ "Hycamite TCD Technologies Oy" に出資を実施。



| | |
|-----|------------------------------|
| 会社名 | Hycamite TCD Technologies Oy |
| 所在地 | フィンランド、コッコラ (Kokkola) |
| 設立 | 2020年 |

ターコイズ水素とは

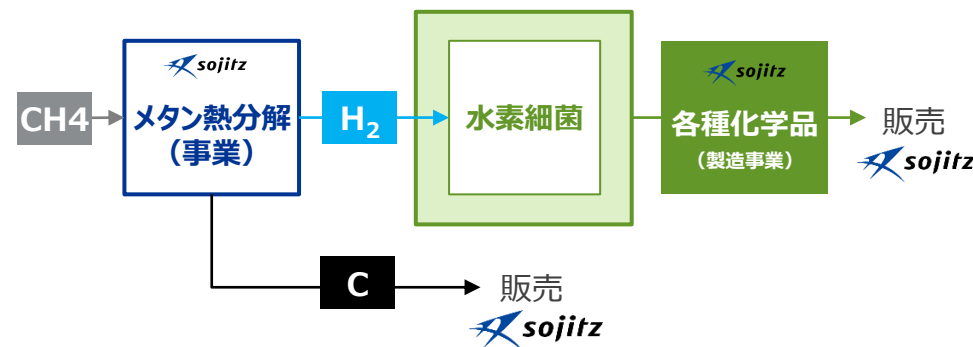
- メタンガスを水素と固体炭素に熱分解することによって得られる水素。



水素細菌プロジェクトでの活用

- 水素細菌による化成品製造技術の開発・実証に先駆け、2020年代後半での水素製造事業を展開予定。
- ターコイズ水素は製造プロセスにおけるCO₂排出がないことから、水素細菌事業との親和性が期待できる。

事業化のイメージ



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. CO₂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

CO₂とH₂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. 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

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-CO₂評価

アウトプット目標

CO₂とH₂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

H₂とCO₂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-CO₂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CO₂やH₂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CO₂削減効果を明確にするため、実測に基づいた精緻なLC-CO₂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 | 化合物①生産株の構築 目標KPIに定めた生産性を達成 | ・水素酸化細菌組換え手法確立 ・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) | 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) | <ul style="list-style-type: none"> 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"> 遺伝子組換えによる生合成経路導入 高生産化のための酵素遺伝子探索・変異導入 収率向上のための副生成物経路遮断 連続培養を志向したフラックスバランスの改善 育種による目的化合物への耐性獲得 | 代謝経路構築 (90%) 酵素探索・最適化 (50%) 代謝フラックス最適化 (50%) 目的化合物への耐性獲得 (70%) |
| 2 化合物②生産株の開発 | 化合物②生産株の構築 目標KPIに定めた生産性を達成 | ・化合物②を生産する水素細菌を取得 ・目的物質生産のためのボトルネック解決策を推定。 ・新しい課題の解決策を実施中 (TRL3) | 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) | <ul style="list-style-type: none"> 代謝経路最適化 <ul style="list-style-type: none"> オミクス解析によるフラックスの把握 副産物経路の遮断などによる生産経路の強化 酵素設計 <ul style="list-style-type: none"> 分子動力学的シミュレーションによる設計 遺伝子発現最適化 (産総研連携) <ul style="list-style-type: none"> 計算科学による配列設計 連続培養向け最適化 (産総研連携) <ul style="list-style-type: none"> オミクス解析による課題把握と組換えによる改良 進化論的育種による連続培養向け株への改良 | スマセル技術適用に社内実績 (80%) 酵素開発は高難易度 (40%) 発現最適化は別株で実績 (80%) 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%) |
| 3 化合物③生産株の開発 | 化合物③生産株の構築 目標KPIに定めた生産性を達成 | 組換え大腸菌で化合物③人工代謝経路を構築済み 水素細菌での人工代謝経路を構築中 (TRL2) | 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) | <ul style="list-style-type: none"> 人工代謝経路の設計および選定 酵素遺伝子の探索・評価 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 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 | 異種発現効率に課題 (95%) AI予測の実証に課題 (80%) |

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"> 微細気泡の導入などCO₂とH₂の効果的供給方法を開発 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 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 | 不水溶性H ₂ 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"> 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 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 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 生産物の分離・精製のため、膜技術を適用 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 | <ul style="list-style-type: none"> 他細菌の目的化合物組換え生産株の開発実績 (70%) 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%) 商用規模の連続発酵実証経験、国際実証での経験(80%) 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%) |
| 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"> 生産物の機能性評価、分離・精製の検討 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 プリ、子豚での給餌試験による安全性評価 飼料としての配合を検討し、販売可能な品質、形状を確立 | 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 ₂ 評価 | 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 ₂ 評価を行う (TRL5) | <ul style="list-style-type: none"> 各培養規模でLC-CO₂の算定に必要なインベントリ情報を実測し、プロセスのCO₂削減効果を算定 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 | 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CO₂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。
- CO₂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CO₂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 (H₂, O₂, CO₂) 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-CO₂評価

- 生産フローを作成し、バウンダリを設定
- CO₂とH₂を出発物質に菌体と物質を生産する上記プロセスのLC-CO₂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CO₂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

- CO₂・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、残課題の整理が完了した。
- 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

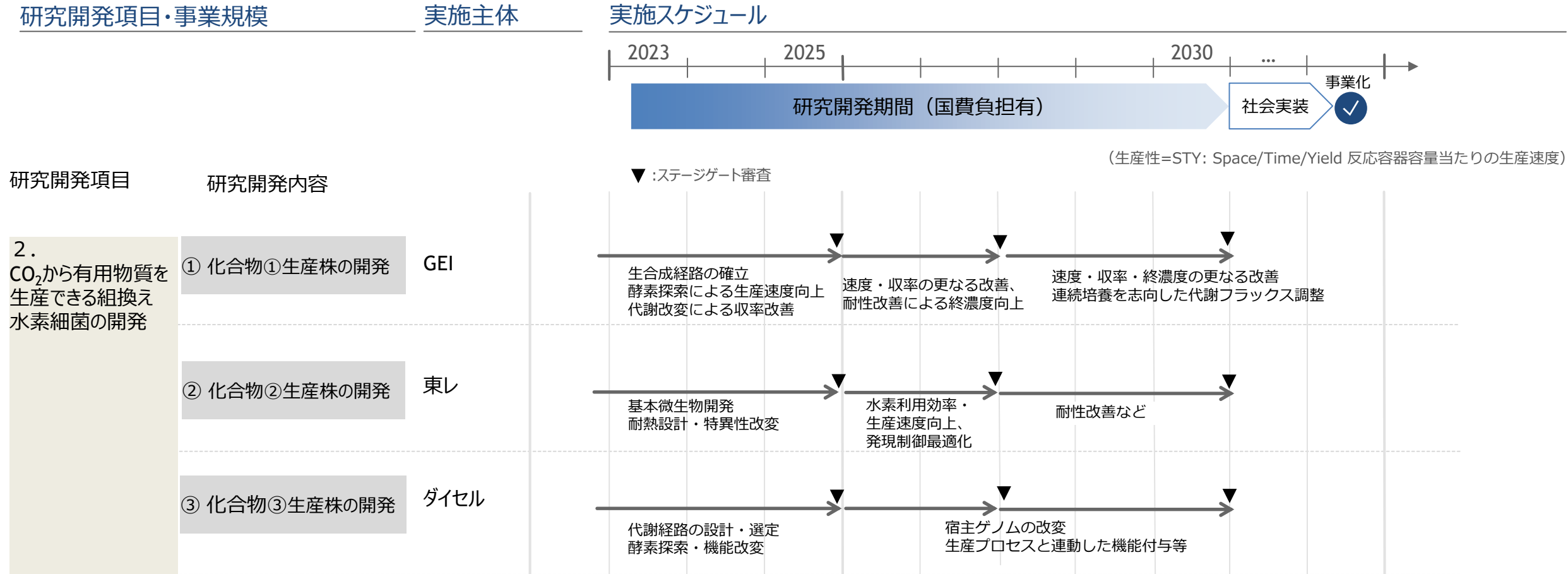
【研究開発項目3】

| | 直近のマイルストーン | 残された技術課題 | 解決の見通し |
|------------------------------|--|---|--|
| 1 高度培養技術の基盤開発 | <ul style="list-style-type: none"> 菌体生産速度 A g/Lを数十 Lスケールで達成 | <ul style="list-style-type: none"> 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 | <ul style="list-style-type: none"> 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 |
| 2 物質生産実証試験 | <ul style="list-style-type: none"> 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 | <p><化合物①></p> <ul style="list-style-type: none"> 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 <p><化合物②></p> <ul style="list-style-type: none"> 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 <p><化合物③></p> <ul style="list-style-type: none"> 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 | <p><化合物①></p> <ul style="list-style-type: none"> CFDモデル作成は概ね予定通り <p><化合物②></p> <ul style="list-style-type: none"> 概ね予定通り <p><化合物③></p> <ul style="list-style-type: none"> 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 |
| 3 化成品/菌体飼料の評価 | <p><精製プロセスの確立、化成品の評価></p> <p>化合物①:</p> <ul style="list-style-type: none"> 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 <p>化合物③:</p> <ul style="list-style-type: none"> 品質低下要因となる臭気原因物質の推定 <p><飼料の評価></p> <ul style="list-style-type: none"> 野生株菌体の栄養成分の把握と配合適正量を決定 | <p><精製プロセスの確立、化成品の評価></p> <p>化合物①:</p> <ul style="list-style-type: none"> 模擬反応液を用いた精製条件の検討 <p>化合物③:</p> <ul style="list-style-type: none"> 発酵液からの化合物③濃縮、精製検討と簡易臭気評価 <p><菌体飼料></p> <ul style="list-style-type: none"> 今年度のマイルストーンは達成済 | <p><精製プロセスの確立、化成品の評価></p> <p>化合物①:</p> <ul style="list-style-type: none"> 今後ラボ蒸留および膜装置導入し、技術検討を進める <p>化合物③:</p> <ul style="list-style-type: none"> 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 |
| 4 プロセスのLC-CO ₂ 評価 | <ul style="list-style-type: none"> 生産フローを作成し、バウンダリを設定 CO₂とH₂を出発物質に菌体と物質を生産する上記プロセスのLC-CO₂を実測値を基に算定 | <ul style="list-style-type: none"> 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CO₂排出量推算 CO₂を原料とした物質生産のLC-CO₂評価 | <ul style="list-style-type: none"> 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-CO₂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】

研究開発項目・事業規模

実施主体

実施スケジュール

研究開発項目

研究開発内容

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

①高度培養技術の基盤開発

電中研、GEI、東レ

②物質生産実証試験

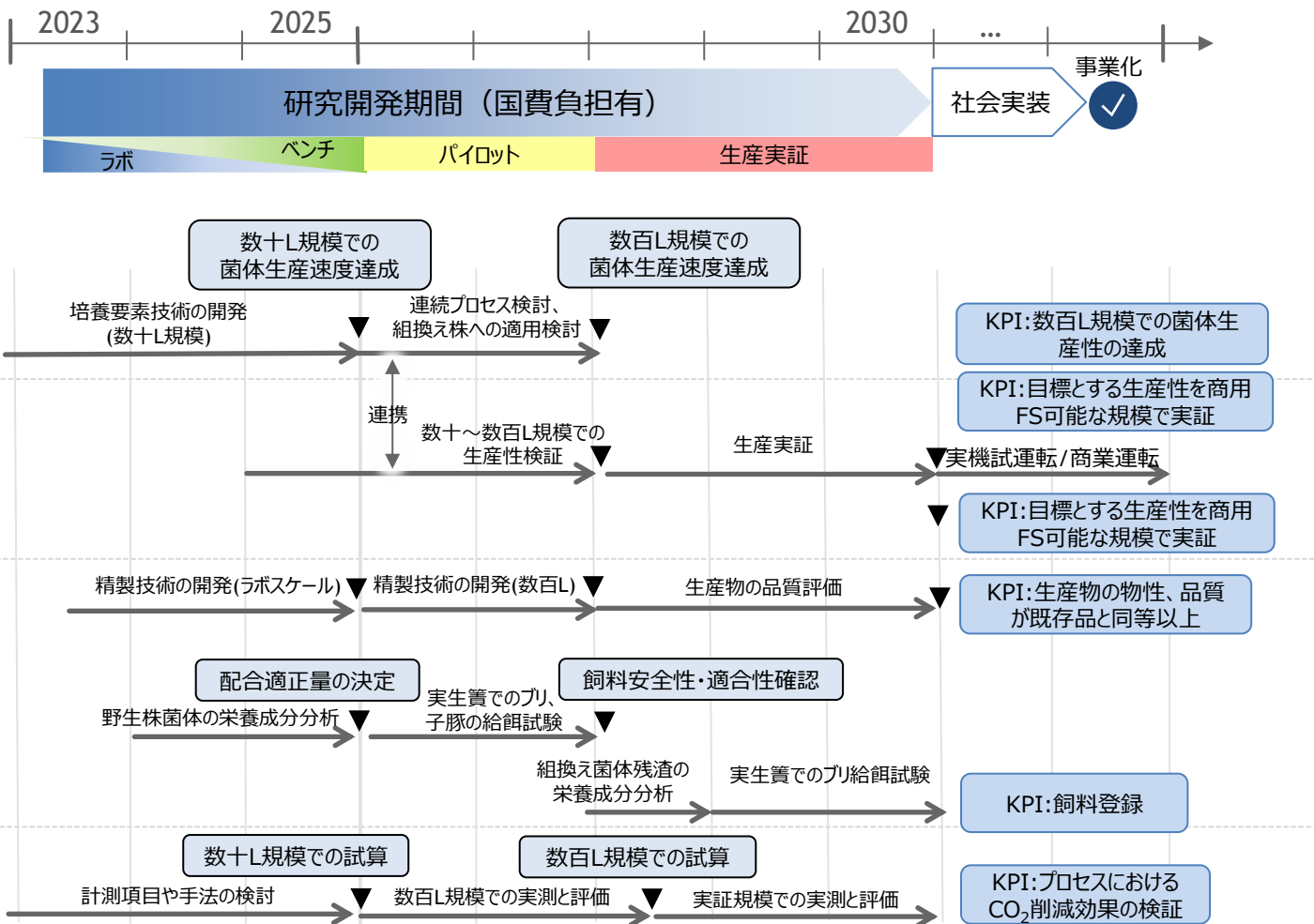
GEI、DIC、東レ、電中研、ダイセル

③化成品/菌体飼料の評価

双日、DIC、GEI
東レ
ダイセル

④LC-CO₂評価

電中研

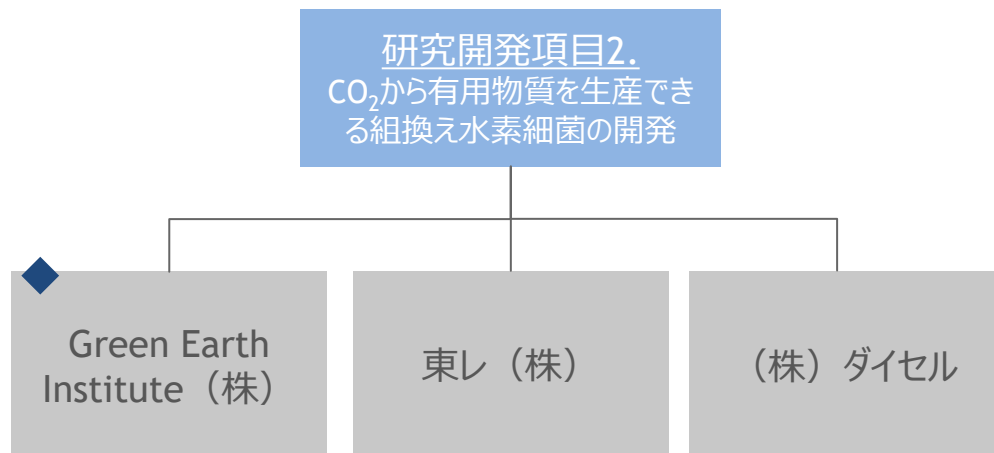


▼:ステージゲート審査

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）

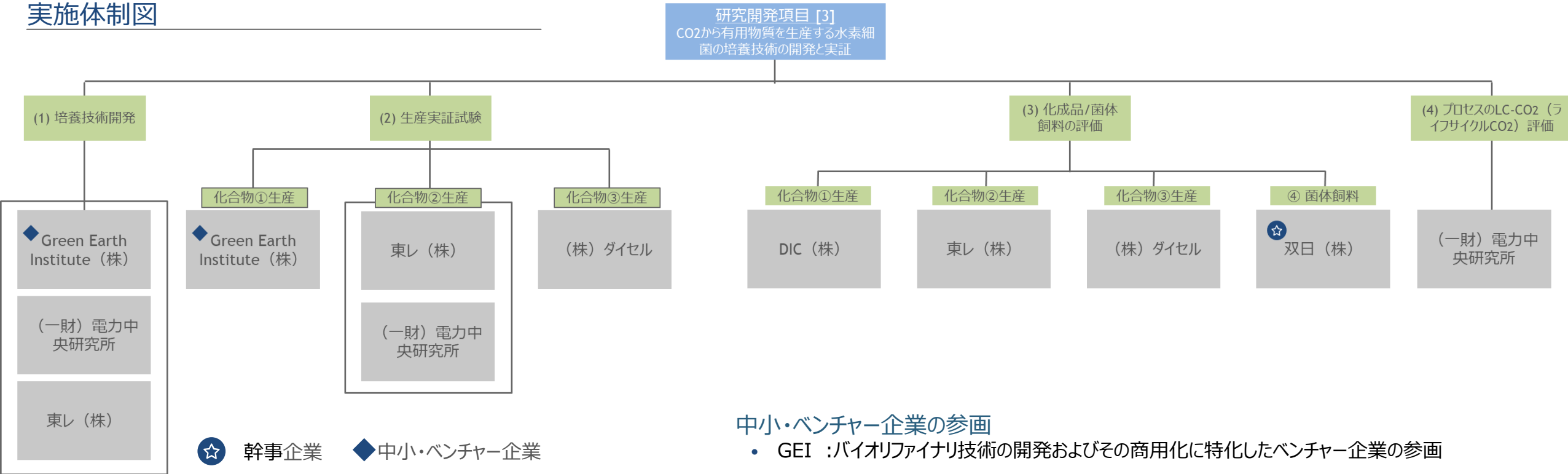
共同実施者以外の本プロジェクトにおける他実施者等との連携

- 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



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

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-CO₂評価

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 ₂ 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"> 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) 組換え株の開発受託業務で得た知見・ノウハウ (GEI) | <ul style="list-style-type: none"> 組換え菌体の商用化実績 (GEI) 組換え菌 (水素細菌以外) 取扱い実績 (GEI) |
| | 2 化合物②生産株の開発 | <ul style="list-style-type: none"> 微生物改変技術、ナイロンモノマー微生物技術 (東レ) https://www.toray.co.jp/news/details/20220817150637.html 酵素AI設計・シミュレーション技術 https://staff.aist.go.jp/kameda-tomoshi/index2.html 酵素生産実用菌の育種技術 (東レ) https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589014X21001110?viewFullText=true 膜利用発酵プロセスのスケールアップ技術 (東レ) https://cs2.toray.co.jp/news/toray/newsrrs01.nsf/0/AFB55CAF3DF5A0E649258076002F6B18 | <ul style="list-style-type: none"> 独自のモノマー前駆体ターゲット保有 (東レ) 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) 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 |
| | 3 化合物③生産株の開発 | <ul style="list-style-type: none"> 化合物③生産に関わる特許技術 (ダイセル) 特許5787360 (https://patents.google.com/patent/JP5787360B2/ja) 微生物の取り扱い、物質生産技術 (ダイセル) https://www.nature.com/articles/d42473-020-00552-8 ヒドロゲナーゼ発現ベクター (ダイセル、東大) 特開2013-32 | <ul style="list-style-type: none"> ガス利用培養の実績・知見 (ダイセル) 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 |
| | 共通技術および共通のリスクとその対策 | <ul style="list-style-type: none"> <i>Hydrogenophilus</i>の代謝特性解析 (電中研/東大) http://www.extremophiles.jp/gakkaishi_old/jjse16_2v3.pdf 水素細菌の代謝制御技術 (電中研) 特許6241906, 特許5104005, 特許5985331 <i>Hydrogenophilus</i>の遺伝子組換え技術 (公知情報) | <p>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</p> <p>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</p> |

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 ₂ 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"> 水素細菌を含むCO₂ 利用細菌の培養技術 (電中研) 特許6241906, 電中研報告U94055, U92058, U90020, https://jsbba2.bioweb.ne.jp/jsbba_db/download_pdf.php?p_code=4C01a08&pdf=2020, doi:10.1007/s00284-006-0151-1 バイオリクター技術 (電中研) 電中研報告U96011, U97012, U98051, U99054, V12011 | <ul style="list-style-type: none"> CO₂利用細菌の数十年の研究実績 (電中研) 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) |
| | 2 物質生産実証試験 | <ul style="list-style-type: none"> 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) 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) 非可食バイオマスからの連続培養技術 (東レ) https://www.env.go.jp/earth/ondanka/cpttv_funds/pdf/db/168.pdf 実証プラント技術・省エネ濃縮技術 (東レ) https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_100989.html バイオ用途向け中空糸膜技術 (東レ) https://cs2.toray.co.jp/news/film/newsrrs01.nsf/0/0C1F0DAE7B2253BE49258797000398EE 水素社会に向けた取り組みと関連技術 (東レ) https://www.toray.co.jp/story_economist/ 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) 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) 膜分離技術 (東レ、ダイセル、DIC) https://prtimes.jp/main/html/rd/p/00000014.000035577.html https://www.daicel.com/business/field/other https://www.toray.co.jp/news/details/20211119133725.html | <ul style="list-style-type: none"> 商用生産スケールまでのスケールアップ実績 (GEI) 水素細菌以外による生産技術開発ノウハウ (GEI) 精製プロセスでの膜分離技術活用 (東レ、ダイセル、DIC) 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) 水素調達・コスト見通し (東レ) <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"> 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) 新規材料の飼料適合性評価技術 | <ul style="list-style-type: none"> 不純物の同定と低減プロセス構築のノウハウ (ダイセル) 飼料の成分分析ならびに効果検証を行う技術を保有 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 |
| | 4 LC-CO ₂ 評価 | <ul style="list-style-type: none"> LCA評価技術 (電中研) 電中研報 V19004,C1808, Y06, V13021, V10025 | <ul style="list-style-type: none"> LCA手法の開発実績と実プロセスでの実測の経験 (電中研) |

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・CO₂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
CO₂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

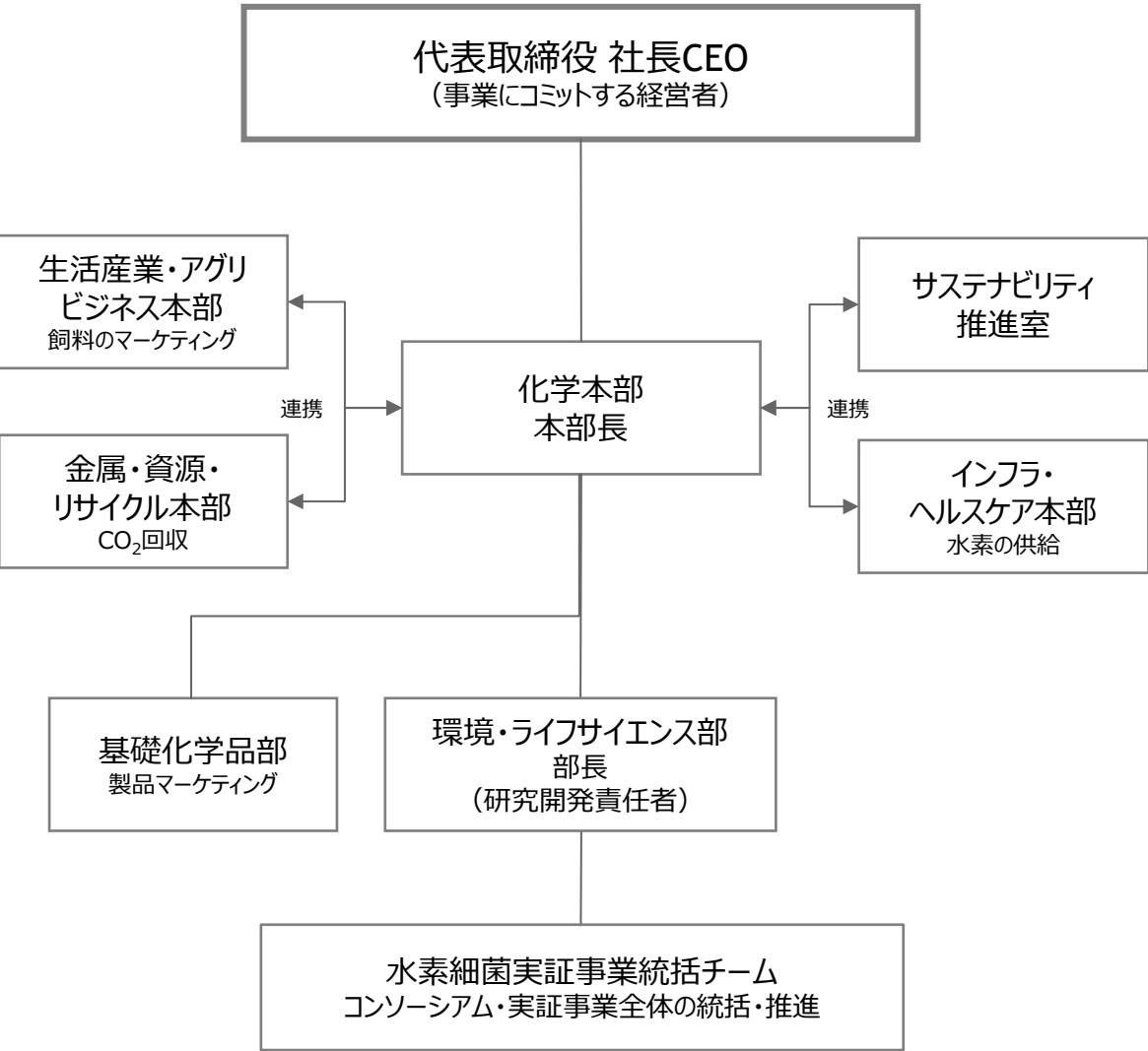
3. イノベーション推進体制

(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
 - 環境・ライフサイエンス部 部長
- 化学本部担当チーム
 - 水素細菌実証事業統括チーム（併任2人）
幹事会社として本事業の統括、推進
チーム内会議（毎週）、本部長への報告（毎月）

部門間の連携方法

- 水産・家畜飼料を販売している生活産業・アグリビジネス本部と連携し、菌体残渣の飼料化に向けた調査・対応を行う
- 原料となるCO₂の回収や、安価なグリーン水素の調達においては、金属・資源・リサイクル本部、インフラ・ヘルスケア本部と連携し、事業化を促進する
- サステナビリティ推進室は、全社グループの脱炭素・サステナビリティ関連の取り組みを進めており、適宜本件のサポートを得る

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

経営者等による水素細菌を活用した低炭素化学品製造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
 - 双日は、CO₂排出を「リスク」と捉えその削減を加速することで来たる脱炭素社会への耐性を高めるとともに、この移行を新たな「機会」と捉え、幅広い分野においてビジネス構築を進めていくことをサステナビリティ・チャレンジにおける脱炭素の位置づけとして掲げている
- リスク管理
 - 双日グループの各事業におけるCO₂排出リスクを評価・特定
 - 投融資審議会にて個別事業リスクを審議
 - 経営会議を通じた各本部への周知
 - ステークホルダーダイアログにおいて気候関連の「リスク」と「機会」が双日の事業に与える影響について討議・確認
- 事業のモニタリング・管理
 - 四半期毎に経営層によるヒアリング・研究開発及び事業開発の進捗を確認
 - 毎年経営説明会にて投資家及びステークホルダーに進捗を報告
 - ステージゲート毎に社内の幅広いステークホルダーの出席の下、実証事業の進捗状況を報告し、経営資源の投入を判断

経営者等の評価・報酬への反映

- 双日の役員報酬制度は完全に業績連動型となっており、①脱炭素、②社会課題、③ガバナンス及び④ヒトの4つの評価指標に基づき支給される
- 「①脱炭素」に関して、前年度のCO₂削減実績及び取り組み状況が評価基準となっており、経営者のコミットメントが報酬に反映される

事業の継続性確保の取組

- 本事業は、双日の2050年の脱炭素・サステナビリティ戦略・方針と一致しており、経営陣として、本事業の進捗、方向性を共有し、経営者の任期完了後の交代時においても事業進捗を遅滞させることない継続性を確保する

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

経営戦略の中核に脱炭素事業を位置づけ、企業価値向上とステークホルダーとの対話を推進

経営会議等コーポレート・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
 - 2023年度よりGXリーグへ参画しており、CO₂排出量の実績値を報告している
 - 双日グループでは、既存事業は国際的なCO₂の排出定義（Scope）別に「削減目標」を策定、また、新規事業の取り組みにあたっては、脱炭素社会に向けた移行をグループの成長の「機会」と捉え、各種事業を積極的に推進している
- 双日の脱炭素ロードマップ
 - 双日は、これまで、事業を通じた「社会課題の解決」を「自社の強み」に変え、事業基盤を拡充、成長させてきた
 - エネルギーの供給・確保という社会課題に対して、国内外で多くの資源ビジネスを行い解決の一端を担うとともに、それを自社の収益に繋げている
 - 近年、地球温暖化への注目が集まっており、世界的にカーボンニュートラルに向けた潮流が加速する中、エネルギーは、よりグリーンな使用・供給への移行が求められている
 - 双日グループは2018年8月に気候関連財務情報開示タスクフォース（TCFD）の最終提言への賛同を表明した
 - 気候変動に関する双日の「リスク」と「機会」について、TCFD提言のフレームワークを活用し全社戦略を策定、各組織へ浸透させている
- コーポレートガバナンスとの関連付け
 - CEOが委員長を務めるサステナビリティ委員会を設置し、サステナビリティ委員会で検討・協議された方針や課題等を経営会議及び取締役会へ報告
 - 取締役会はこのプロセスを監督し、必要に応じて対応を指示
 - 本事業もサステナビリティ委員会等と連携し、定期的な報告等を実施

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
 - 統合報告書をはじめとするIR活動において、株主・投資家・ステークホルダー及び社会に情報発信する
 - 本事業への参画機関と協調し、研究成果、プレスリリースを対外的に公表する
 - 中期経営計画のIR資料
 - 統合報告書
 - 双日のESGをテーマ別に紹介するESG BOOKを作成・説明会開催する
- ステークホルダーとの対話
 - 全てのステークホルダーと建設的な対話を通して、双日の企業価値の向上を目指す

企業価値に関する指標との関連性

- 双日は、企業理念に掲げる「新たな価値と豊かな未来を創造」に向け、双日が得る価値、社会が得る価値の“2つの価値”の最大化を目指している
- 中期経営計画2026 – Set for Next Stage – で価値創造＝企業価値の向上として定義し、PBR1倍超を常態化し、更なる向上を実現する

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

- 中期経営計画2023で定めた注力領域「エッセンシャルインフラ・ヘルスケア」「素材・サーキュラーエコノミー」「成長市場Xマーケットイン志向」の解像度を上げ、更にDX・GXを追加し、戦略的強化領域を再設定。6,000億円の成長投資とヒトへの投資を計画
当事業は戦略的強化領域である「エネルギー・素材・サーキュラーエコノミー」領域に分類される。加速していく循環型社会への実現に向けて、将来の収益に貢献する事業への種蒔きを積極的に推進する方針
- 革新技术/事業の創出にあたり、自前主義にこだわることなく、スタートアップや大学等外部のリソースを積極的に活用する体制を構築しており、既に大学発や海外のスタートアップ企業への投資を実行
- 当事業は7つある本部のうち化学本部が中心に取り組む。化学本部では、①戦略領域（環境分野、ライフサイエンス分野）、②知見のある領域（メタノール分野、C5ケミカル分野）での事業投資を実行し、規模感のある収益獲得を基本方針としており、本件は環境分野における中心事業
- 本事業の推進にあたり、バイオ分野に知見のある人材を採用。社内にR&D機能は持たないものの、本コンソーシアムでの開発に深く関与し、事業化を推進

専門部署の設置と人材育成

- 環境関連プロジェクトを専門に取り扱う「環境プロジェクト課」での推進
 - 化学本部内で環境プロジェクト案件を推進する環境・ライフサイエンス部環境プロジェクト課が担当
 - 飼料分野に知見が深い、生活産業・アグリビジネス本部と共同で市場開拓を実施
- 人材育成
 - 双日では人材戦略における目指す姿として「多様性と自律性を備える『個』の集団」を掲げており、人材KPIを設定している。データドリブンな人的資本経営を実践するとともに、外部環境や人事施策の浸透の変化に応じて各種KPIの見直しができるように、柔軟性をもたせた「動的KPI」という考え方を取り入れており、社員一人ひとりの成長が双日の成長へとつながる仕組みづくりを推進
 - 当事業は若手人材育成・女性活躍の重要な場であると認識

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、自然災害等の事態に陥った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

- 定めたKPIを達成する水素細菌を開発できないリスクに対し、定期的なコンソーシアム内の連携による技術開発、システム設計、条件変更等の施策を講じる
- 水素ガス使用と爆発リスクに対して、水素爆発限界範囲外でのガス取り扱いを前提に生産プロセスを開発

社会実装（経済社会）におけるリスクと対応

- 研究開発費用の超過リスクに対して、費用超過要因の解析、実証内容・スケジュールの見直しを検討
- 遺伝子組換え生物由来飼料の使用に対する法制化の遅延リスクに対して、政府機関との情報交換を緊密に行い、制度設計に関する情報を的確に把握
- 原料水素の価格が想定通りに下がらないリスクに対して、輸入水素のみならず、地産地消のターコイズ水素等、幅広い調達ルートを確保

その他（自然災害等）のリスクと対応

- 自然災害リスクに対して、過去の自然災害の記録を確認し、地理的な災害リスクを考慮して実証設備や生産設備の設置を検討
- 必要に応じて適切な保険の付保を実施
- 遺伝子組換え菌株の漏洩リスクに対して、培養槽周囲にタンク容量相当以上の流出防護壁を設置。加えて、排水経路下流で流出シャットダウン対策を実行



● 事業中止の判断基準：

- 社会情勢の変化により、低炭素ケミカルの市場ニーズ・普及可能性が著しく低い場合
- 予想外の要因により、双日の資本力・投資能力が低下し、開発断念せざる得ない場合
- より優れた類似技術が先行して市場に投入され、後追いで参入余地がない場合
- FSおよび実証を通じて上記リスクが顕在化し、当初想定していた事業性・経済性・実現性・安全性が見込めない場合