

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：東レ株式会社 代表名：代表取締役社長 大矢 光雄

コンソーシアム内実施者：
双日株式会社（幹事企業）
電力中央研究所
Green Earth Institute株式会社
ダイセル株式会社
DIC株式会社

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）

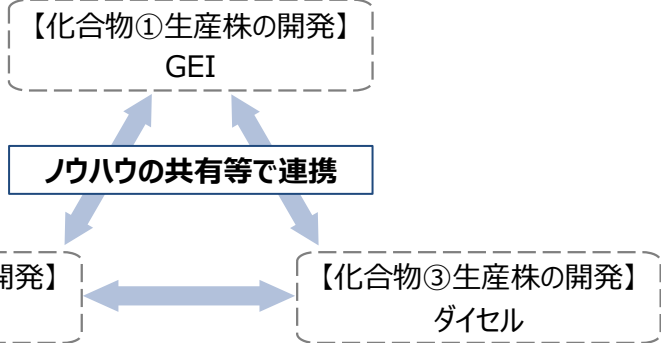
【研究開発項目2】化成品を生成する組換え水素細菌の開発

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

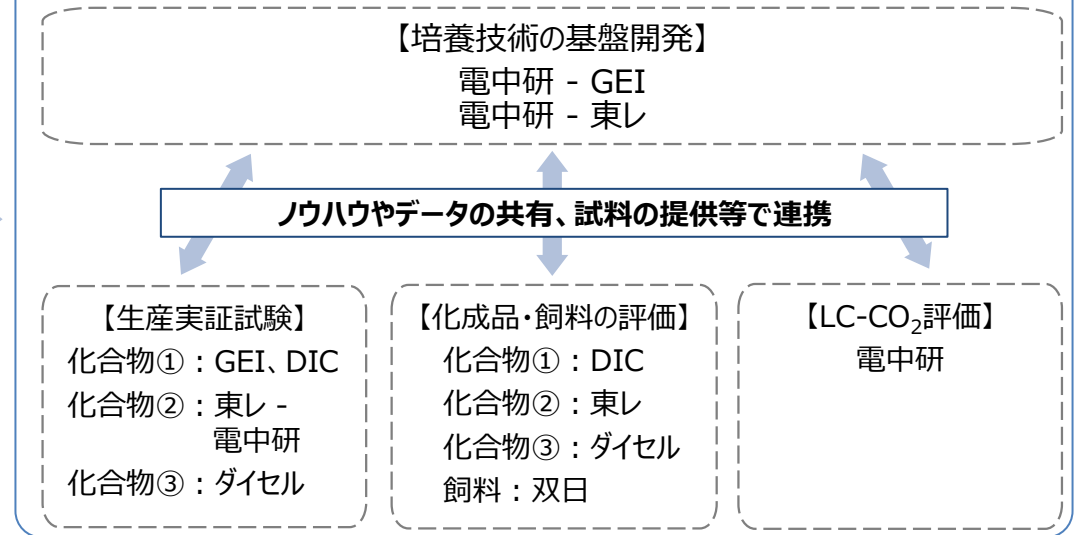
連携

課題のフィードバック

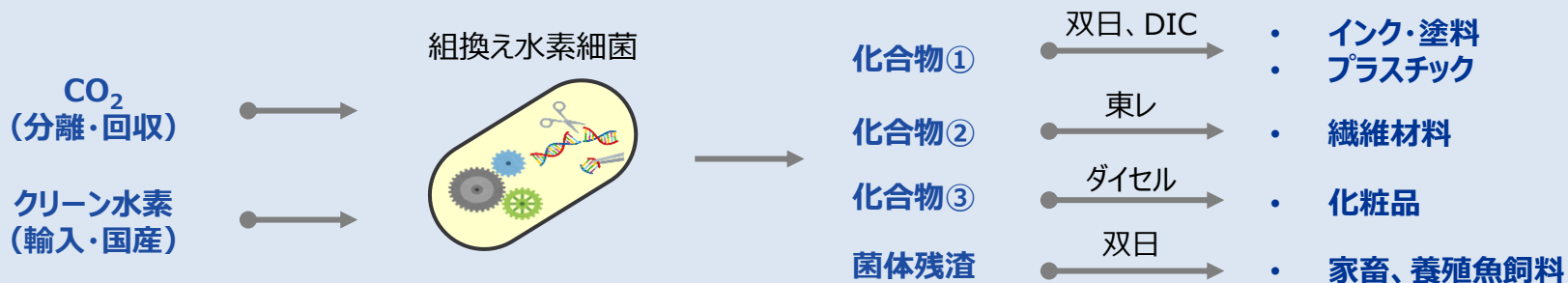
【研究開発項目3】水素細菌の培養技術の開発と実証

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

市場環境変化により、カーボンリサイクル製品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・政策面)

- 2020年12月に「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」を発表
- 2021年7月経産省カーボンリサイクル技術ロードマップでは、2040年代にCO₂直接利用する汎用化学品が普及するシナリオ
- 2021年10月第6次エネルギー基本計画が決定。水素社会実現に向けた取組の抜本強化。2050年水素コスト 20円/Nm³ (224円/kg_H₂)
- 2020年バイオ戦略においては合成生物学や微生物等の育種やプロセス高度化を図り、国際競争力を飛躍的に向上し、バイオ市場獲得を図る方針

(経済面)

- 原油高騰、円安等の影響を受けて、各種化学品の製造原価が高騰傾向
- ロシアからの供給減によりナフサ価格は高止まり。石化品モノマーも高騰
- EUにて炭素税導入が先行。21年度より中国でも排出権取引が開始
- EU石化企業中心にバイオナフサを原料とするマスマランス方式によるバイオ品が商用生産 (バイオPP, PE)

(技術面)

- 豪州ランザテックが排ガスからエタノール製造を実用化
- カリフォルニアKiverdiが水素細菌による“AirProtein”を発表

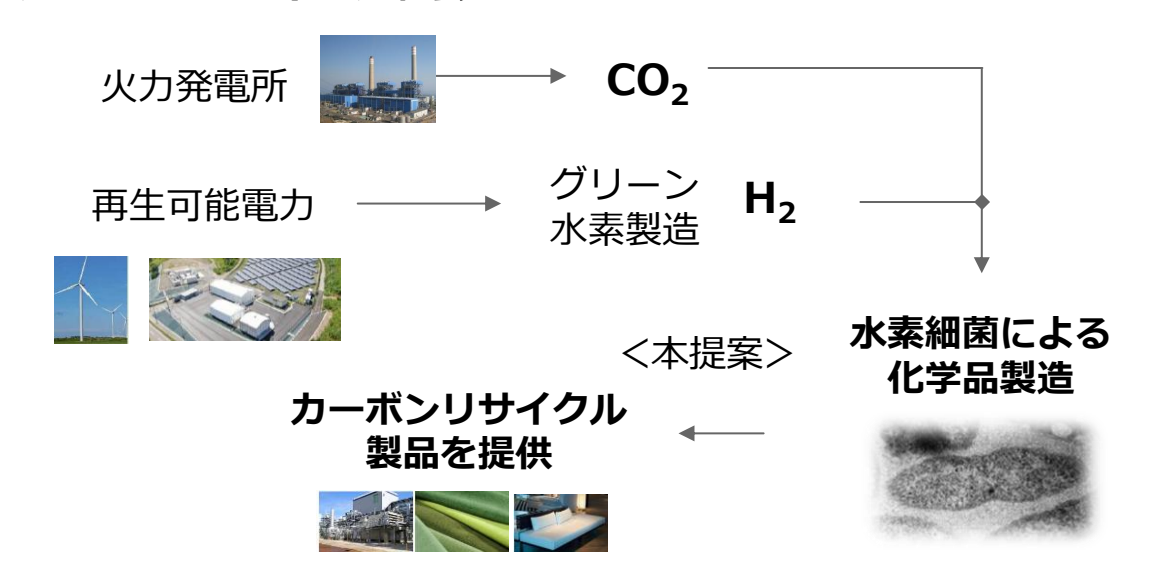
汎用石化品の価格高騰
サステナビリティ価値向上

→

カーボンリサイクル技術深化と
低GHG製品市場拡大

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

カーボンニュートラル社会



風力発電
向け複合材



電解質膜等



膜利用バイオ



革新技术・先端材料の提供により
社会のカーボンニュートラルに貢献

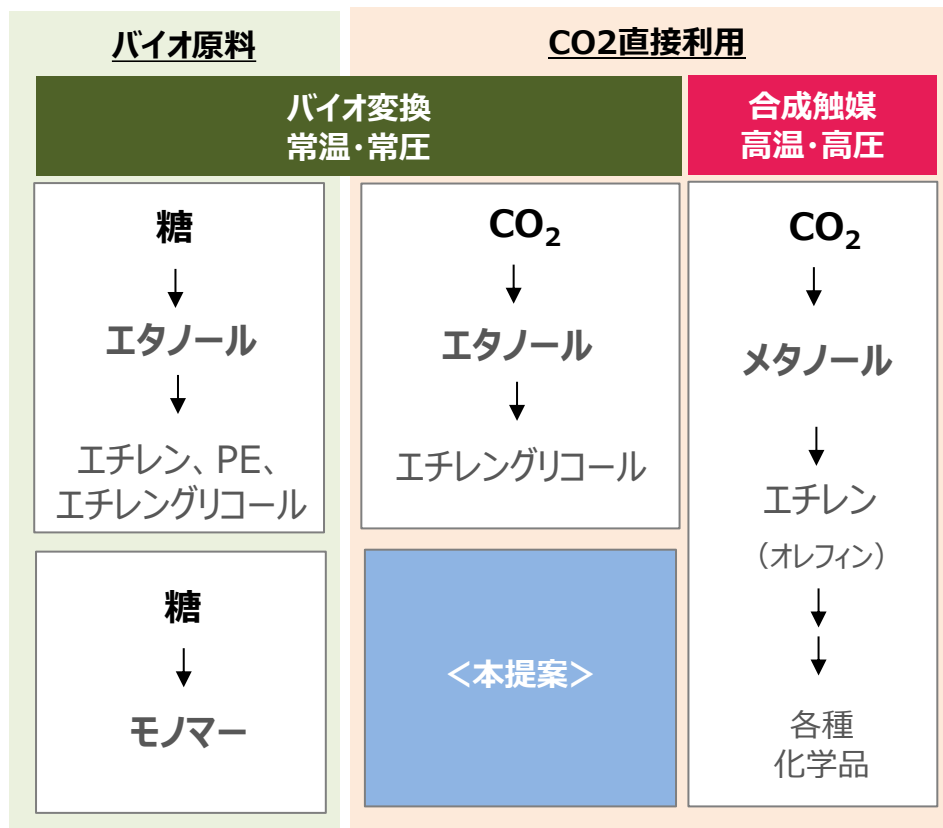
Green
Innovation

サステナビリティビジョン: https://www.toray.co.jp/sustainability/pdf/sustainability_j.pdf
長期経営ビジョン“Toray Vision 2030”: <https://www.toray.co.jp/greeninnovation/>

1. 事業戦略・事業計画 / (2) 市場のセグメント・ターゲット

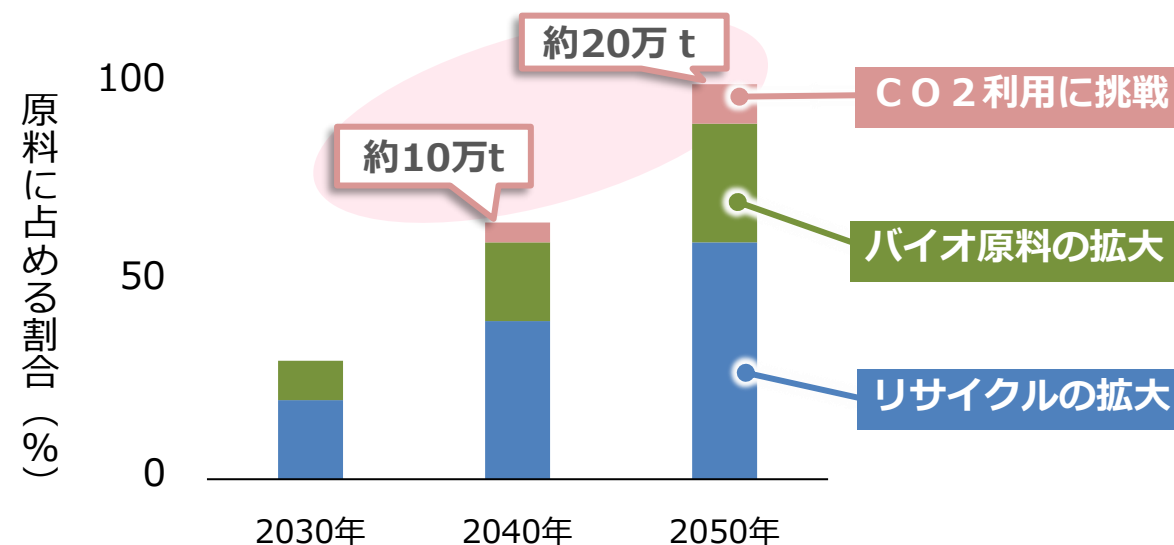
CO2直接利用原料をターゲットとして想定

セグメント分析



ターゲットの概要

将来CO₂利用の原料比率を増加



技術ライセンス・協業等でその他需要家に対応

1. 事業戦略・事業計画 / (3) 提供価値・ビジネスモデル

東レ膜利用バイオ技術を用いて、CO₂由来製品を創出

社会・顧客に対する提供価値

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

東レカーボン リサイクル製品を提供

<提供価値>

- ① 石化品同等で低GHG製品を提供
- ② 石化品代替を推進することで、
社会のカーボンニュートラルに貢献



製品・サービス

低GHGポリマー製品
(繊維、樹脂、等)

グリーンイノベーション製品の供給



4倍



ビジネスモデル

火力発電所CO₂資源を
原料にモノマー生産



研究開発計画の関係性

CO₂直接利用バイオ
ものづくり技術開発

産総研スマセル技術で研究加速



東レ膜利用バイオ技術を提供

<提供価値>

- ① 生産物の収率・生産性向上
- ② 生産物の省エネ・高効率精製



製品・サービス

分離膜



膜利用糖化プロセス

バイオマスの糖化プロセスに水処理用分離膜を適用することで、エネルギー削減とリサイクルによるコストダウンを実現するプロセス技術



ビジネスモデル

バイオ用途に展開



研究開発計画の関係性

技術実証
(電中研連携)



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)

最終製品における価値訴求・ブランディング

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

国内外の動向・自社の取組状況

製品LCI認証取得

1. LCI値を算出する前提条件 (原料LCI) を定める。
2. ロゴなどにより既存石化品や糖由来バイオ品と差別化を図る

事例① リサイクル繊維ブランド
「& +™ (アンドプラス)」



事例② バイオマス由来ポリマー
素材・製品の統合ブランド
「エコディア®」



1. 国内外の標準化や規制の動向

- LCAの測定手法は未確立
- 海外企業：
CO2由来タンパク質
CO2由来エタノール/MEG

2. 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

- 非可食バイオマス資源化の取り組み (タイ)
- バイオナイロン生産に向けた技術開発

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

- 競争力ある原料探索およびLCI前提値の決定
- 製品LCI 試算

知財戦略

- 出願・権利化。ブラックボックス化による技術コモディティ化抑制

1. 事業戦略・事業計画 / (4) 経営資源・ポジショニング

自社強み技術と社外オープンイノベーションで研究・開発を加速

自社の強み、弱み (経営資源)

他社に対する比較優位性

CO2利用
製品を提供



東レGの強み

- <東レコア技術>
- ・有機合成化学
- ・高分子化学
- ・バイオテクノロジー
- ・ナノテクノロジー
- <先端材料>
- 革新ポリマー、分離膜など

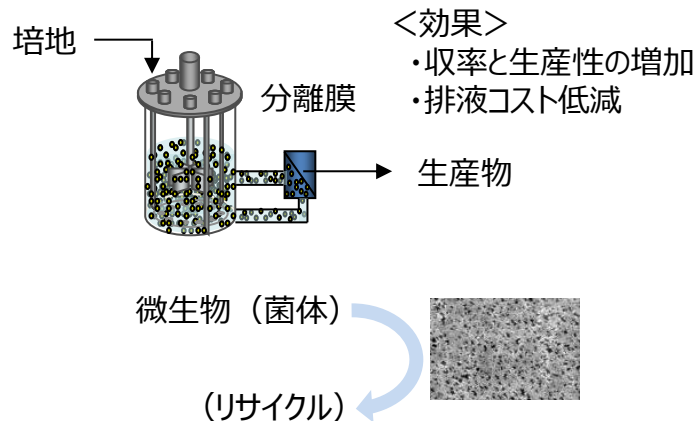


東レGの弱み・対応 (本事業)

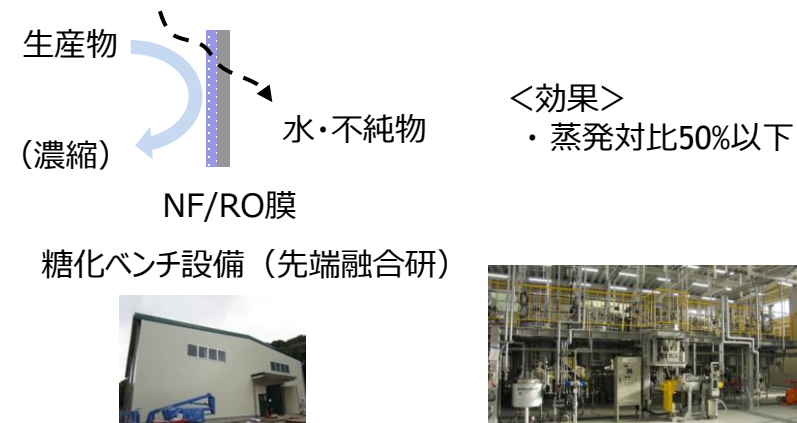
- A. 水素細菌スマセル技術
 - B. 水素細菌ガス培養プロセス
 - C. バイオ生産実証
- ⇒本事業参画と
オープンイノベーション

膜利用バイオ技術 -水処理膜をバイオプロセスに適用し効率化-

1. 連続培養プロセス



2. 膜利用精製プロセス-膜による省エネ濃縮-



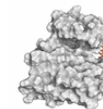
オープンイノベーション (電中研、産総研連携)

水素細菌ガス培養プロセス



水素細菌のガス供給
培養基本技術

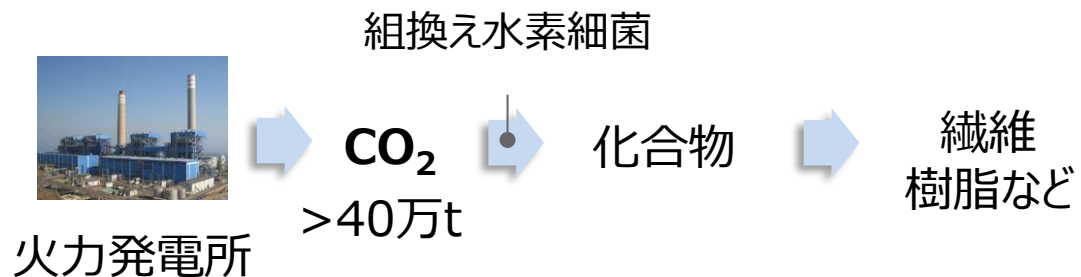
デジタル・AIスマセル技術活用



酵素・水素細菌
の評価

1. 事業戦略・事業計画 / (5) 事業計画の全体像

8年間の研究開発の後、40年以降の事業化を検討



2040年の事業環境予想

	現在	2040年
グリーン水素価格 (円/kg_水素)	1000	224~336
カーボンクレジット(円/kg_CO ₂)	0	20
原油価格 (\$/B:バレル)	70~90	125

		23年	~30年	~40年度	40年度以降	45年度以降	計画の考え方・取組スケジュール等
段階		研究開始	実証・商用FS完	事業化準備	SPC設立 商業生産	投資回収	<ul style="list-style-type: none"> GI基金にて基本技術を確認。商用設計FSを完了 その後10年をかけて事業準備を進め、40年より生産開始
売上		0	0	0	X億円		<ul style="list-style-type: none"> 販売価格 X円/kg と仮定
原価		-	-	-	X円/kg		<ul style="list-style-type: none"> 水素224円/kgと仮定
開発/ 事業投 資	自社負担	0円	X億円	X億円	X億円 SPC負担		<ul style="list-style-type: none"> 10万t/年生産スケールを想定。発電事業者や他の誘導体に関心ある化学品企業とSPC設立
	NEDO負担	0円	X億円	-	-		

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

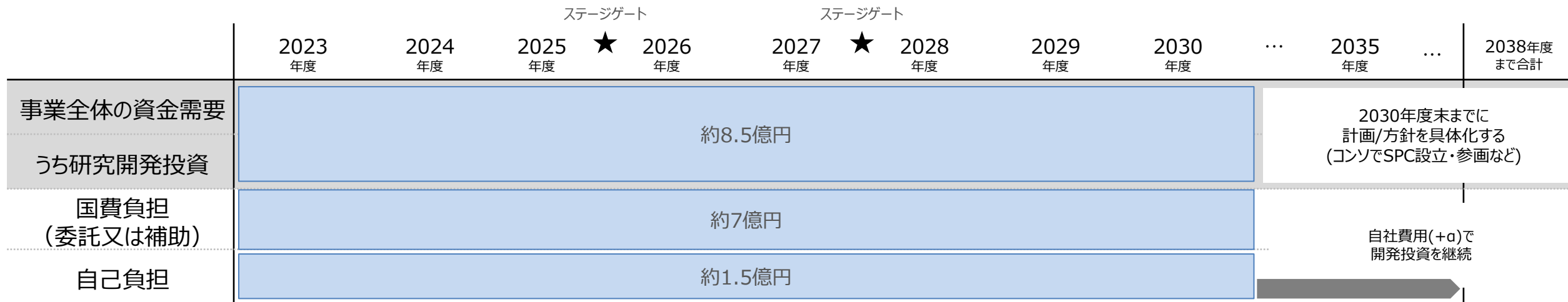
研究開発段階から将来の社会実装（設備投資・マーケティング）を見据えた計画を推進

	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">本基金事業では、膜利用バイオ技術を活用した水素細菌によるCO₂からの化学品生産技術を実証する。また電中研ガス培養技術、産総研スマセル技術を活用し、研究・開発を加速する。	<ul style="list-style-type: none">大量のCO₂供給が見込める火力発電所を将来の実用化の場所として想定する。実証設備は、電中研の設備を活用して実行する。商用機設計FSを行い、将来の商用設備投資費用を試算する。	<ul style="list-style-type: none">石化品同等（2040年時点）で製品を提供できる生産技術とカーボンプレジットを含めた仕組みを検討する。電中研共同でLCIと製品当たりのCO₂固定化を明確にする。
進捗状況	<ul style="list-style-type: none">モノマー生産水素細菌作製・生産プロセス水素細菌の遺伝子組換えを行い、目的物質の少量生産をラボ設備で確認した。ラボガス培養設備の試運転を完了させ、組換え水素細菌のガス培養を実施した。	<ul style="list-style-type: none">原料である火力発電所CO₂の評価を実施するために、候補地の選定を実施中。	<ul style="list-style-type: none">LCA評価（電中研共同） LCA試算の前提条件などの準備を開始した。
国際競争上の優位性	<ul style="list-style-type: none">東レ独自の連続培養プロセスおよび膜利用精製プロセス技術は、高性能分離膜を強みにシステム技術としての完成度も高く、知財を含め国際的な競争力を有する。	<ul style="list-style-type: none">菌体膜分離やモノマー膜精製プロセスについては、東レ先端融合研究所のベンチ設備を活用する。実機サイズの膜モジュール試験が可能であり、設備投資は不要でサンプル試作や実証試験を遂行できる。	<ul style="list-style-type: none">先行技術の導入も必要になる可能性があり、国際連携フレームワークが必要

1. 事業戦略・事業計画 / (7) 資金計画

着実に社会実装まで繋げられるように、国の支援に加えて、自社の経営資源を投入していく

資金調達方針



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	<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"> 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) 	<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"> 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 	<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"> 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) 	<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"> 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 	<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"> 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 	<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"> 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

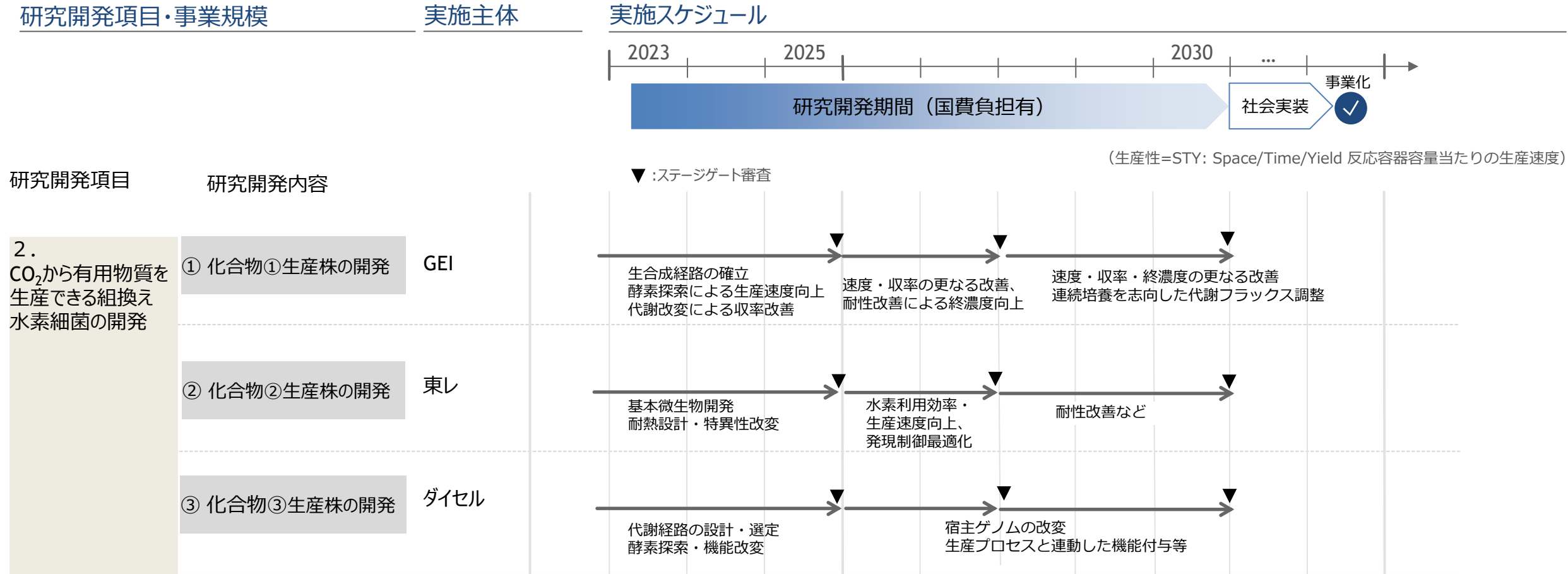
【研究開発項目3】

	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】

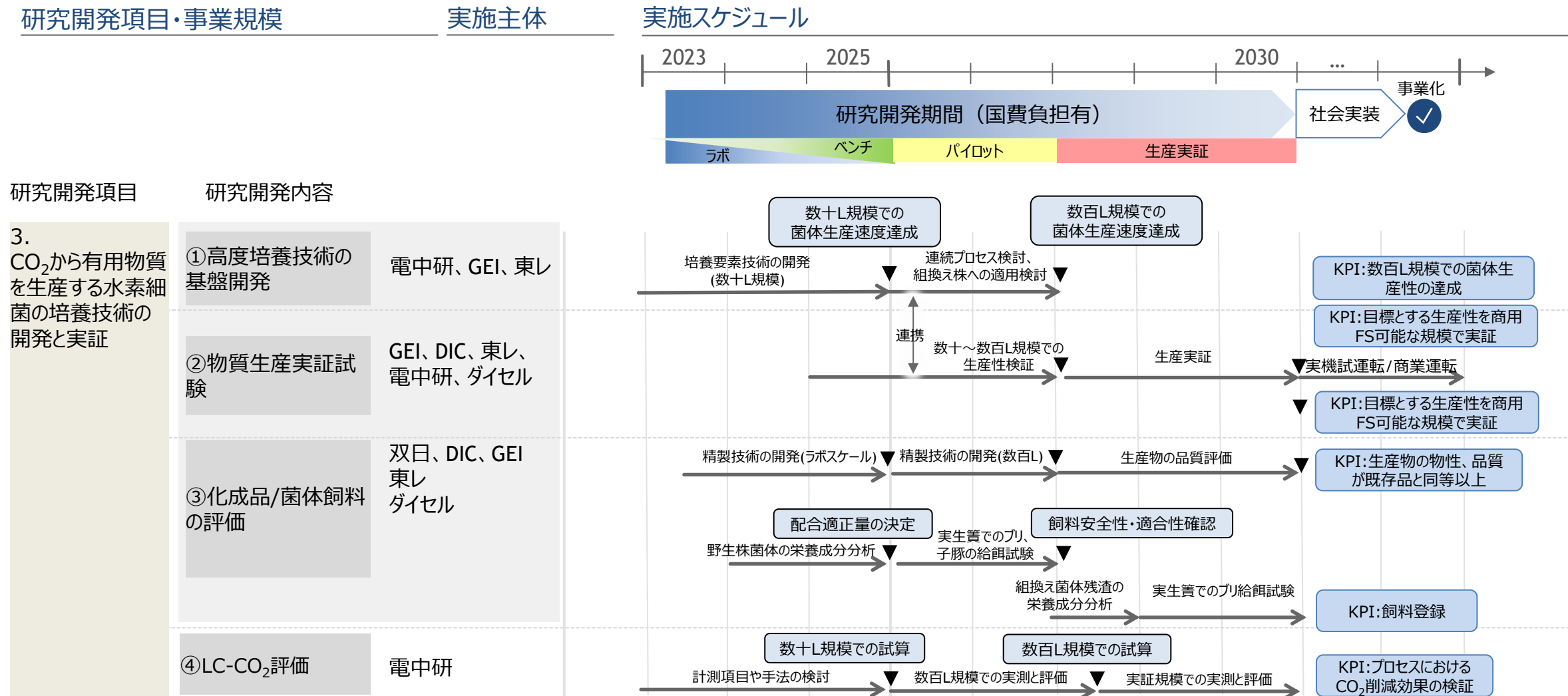


【研究開発項目2】で相互の積極的な技術交流により、効果的な連携を図る。
 【研究開発項目3】と連携しながら効果的に生産性の向上を図る。
 特に、培養技術開発における知見の提供を受けて開発に活用する。

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】

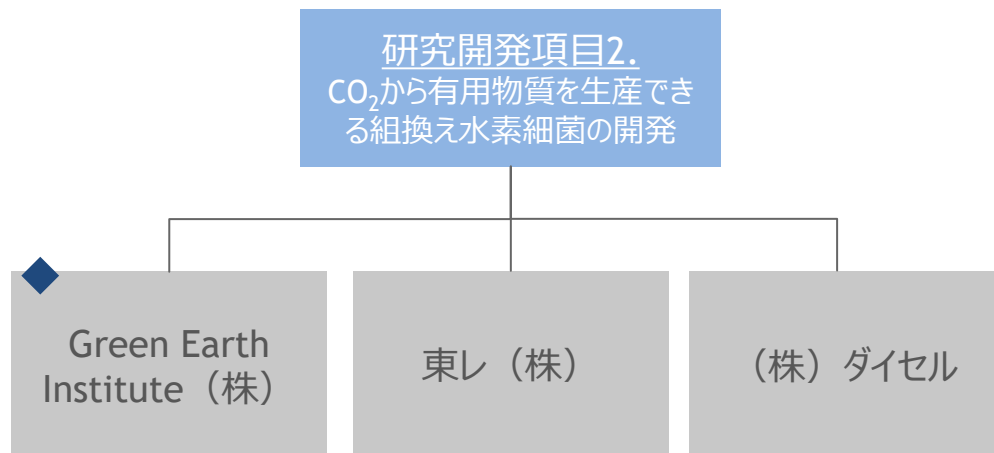


▼:ステージゲート審査

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）

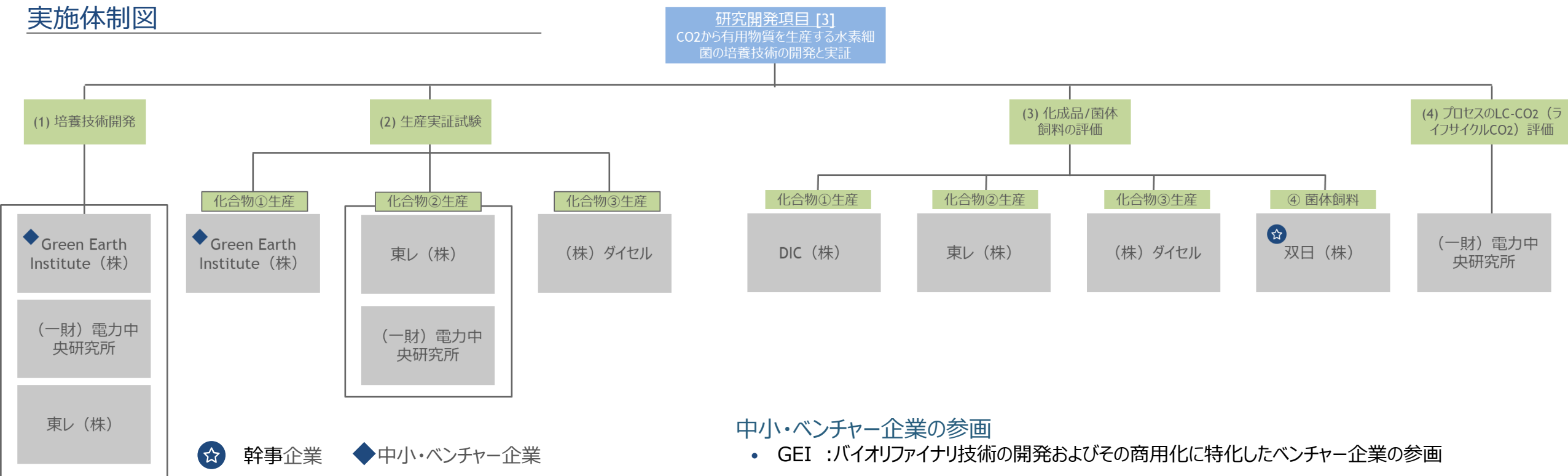
共同実施者以外の本プロジェクトにおける他実施者等との連携

- 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) 	<ul style="list-style-type: none"> 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 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

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> <div data-bbox="1791 736 2448 1105" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p><u>各研究開発内容の共通のリスクと対策</u></p> <p>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</p> <p>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</p> </div>
	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)

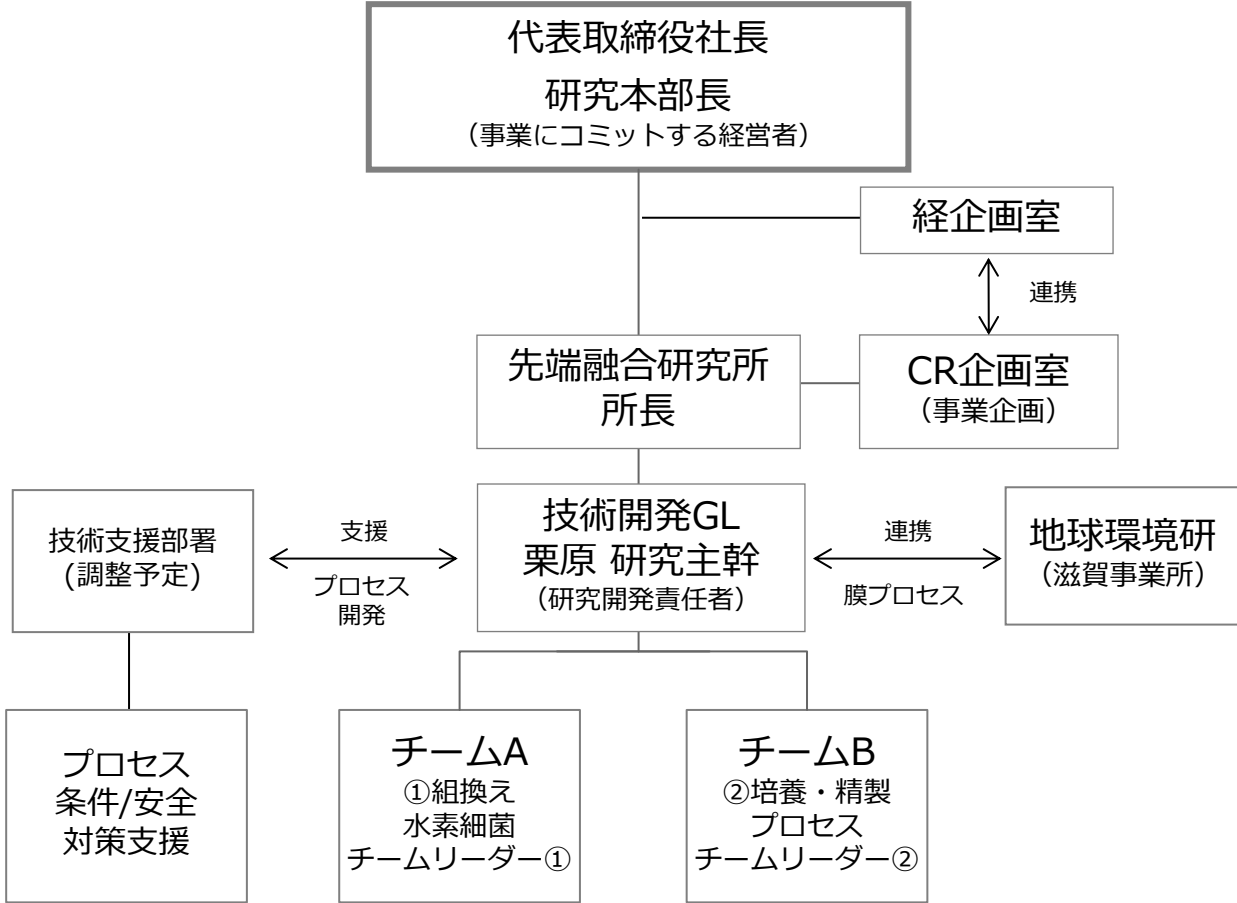
3. イノベーション推進体制

(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

プロジェクト体制図



組織内の役割分担

研究開発責任者と担当部署

- 技術開発責任者 先端融合研 栗原 研究主幹
- 担当チーム
 - チームA：①組換え水素細菌を担当
 - チームB：②培養・精製プロセスを担当
 - 技術支援：プロセス条件、安全対策を支援
- 事業企画 CR企画室（併任1人規模）

部門間の連携方法

- 部門間の連携を図るため定期的なPJ会議を開催する。（月1回を目安）
- 経営層へのトップミーティングを通じて進捗報告、経営判断を仰ぐ（年1回）

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

経営者等によるカーボンリサイクル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

（1）東レGサステナビリティビジョン

2050年に向け、東レグループが目指す、カーボンニュートラルの世界像とその実現のために取り組むべき課題を示した。

- ① 東レ製品によるCO₂排出抑制への貢献
- ② 水素等新エネルギー社会の実現
- ③ 製造段階CO₂排出抑制

サステナビリティ



わたしたちは、革新技术・先端材料の提供により、世界的課題の解決に貢献します



製品のライフサイクル全体を通じたCO₂排出の抑制

軽くて強い炭素繊維。航空機、自動車など用途をさらに拡大し、軽量化による燃費向上でCO₂排出抑制に貢献します。



新エネルギー社会の構築

風力・太陽光などでクリーンなエネルギーを作り、高性能の電池で貯める。さらには水素に転換・貯蔵し、燃料電池で動かす。新エネルギー社会を東レの素材が支えます。



製造段階でのCO₂削減

プロセス改善による省エネの推進、再生可能エネルギーの活用、石炭利用の削減などを通じて、製造段階でのCO₂削減を積極的に推進します。

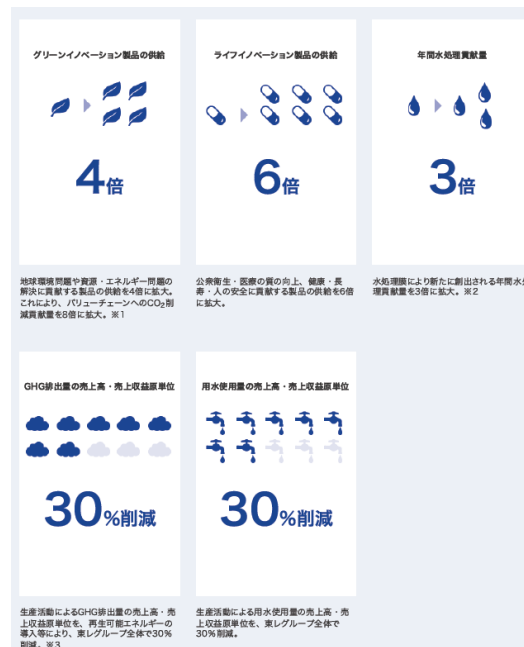
（2）長期経営ビジョン“TORAY VISION 2030”

2030年に向けた事業環境変化を想定し、数値目標を設定

- ① グリーンイノベーション製品を4倍
- ② プラスチック製品のバイオ化・リサイクル、水素普及に貢献

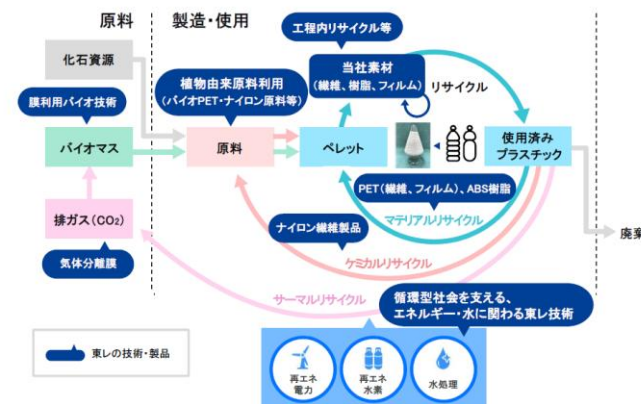
長期経営ビジョン“TORAY VISION 2030”

2030年までに想定される事業環境変化



重要課題（1）循環型社会実現に向けた取り組み

プラスチック製品のバイオ化・リサイクル、再エネ・水素普及や水の再利用等に貢献



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、着実に社会実装まで繋げられる組織体制を整備

経営資源の投入方針

- 実施体制の柔軟性の確保
 - （1）開発体制の見直し検討
必要に応じて、開発体制を見直し、リソース追加投入を検討する。
 - （2）オープンイノベーション推進
開発遅れ、新課題発生時には、必要に応じて、課題解決に繋がる技術や知見・ノウハウを保有する企業、アカデミア、研究組織との共同研究を実施し、挽回策を早期に講じる。
 - （3）外部リソース活用
躊躇なく外注先などの外部リソース活用を検討する。
- 人材・設備・資金の投入方針
 - （1）人材確保・投入
 - ①若手人材を社内関係部署、新入社員等から確保を検討する。
 - ②共同実施者である電中研で技術習得や実証試験を共同実施する。
 - （2）既存設備・土地活用
先端融合研究所にある既存ベンチ設備を活用して、分離精製や組換え微生物の培養を検討する。
 - （3）開発費（設備の減価費・人件費を含む）
短期的な経営指標に左右されず、研究投資を継続する。

専門部署の設置と人材育成

- 専門部署の設置
 - （1）微生物・バイオものづくり研究に取り組む先端融合研究所を専門部署として、研究技術開発を実施する。必要に応じて、他研究所と連携して研究開発を加速する。
 - （2）事業企画としては、本社・CR企画室（CR: Corporate research）、と共同で検討する。
 - （3）実証・スケールアップにおいては、プロセス専門部隊と共同実施する。
- 若手人材の育成
 - （1）人材育成
バイオものづくり、水素、CCUなどカーボンニュートラルの新技術開発を中長期的に担う若手優秀人材の育成を継続強化する。
 - （2）学会・社外連携活動
国際会議、学会・セミナー、社内連携等の機会を通じて、若手優秀人材の抜擢・育成を継続強化する。

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、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

- ・組換え水素細菌によるモノマー生産収率・生産速度改善の遅れ
 - 代謝解析により致命的な課題を早期判断
 - 共同実施者の他ターゲットへの変更・注力等、臨機応変に対応する
- ・水素ガス使用と爆発リスクへの対応
 - 換気装置の設置、酸素濃度系などによるモニターを徹底

社会実装（経済社会）におけるリスクと対応

- ・商用化資金調達不足
 - 本基金実施者との協同での商業資金の調達
 - 他需要家の参加による投資リスク分散も検討
- ・グリーン水素低コスト化の遅れ
 - グリーン水素事業者との連携を図り、技術進展を踏まえて、水素細菌の技術目標を見直す。
 - ブルー、ターコイズ等幅広く水素源を調査する。
- ・カーボンクレジット制度化の遅れ、炭素価格の伸び悩み
 - 固定化CO₂量の評価、LCA評価を実施

その他（自然災害等）のリスクと対応

- ・大規模地震
 - 水素使用時の緊急連絡体制、自動シャットダウン機構を導入し、安全対策を徹底
- ・暴風雨被害
 - 土砂崩れ危険地域、ハザードマップの確認
- ・組換え体漏洩防止のフェールセーフ
 - 発酵タンク周りにタンク容量相当以上の流出防止の防護壁を設置。加えて廃水経路下流で流出シャットダウンする対策を実行
 - 廃水経路マップと緊急時連絡網を設置。事業場全体でリスク共有徹底を図る



事業中止の判断基準 : 組換え水素細菌の生産プロセスで安全維持に不可欠であるが解決できない課題が生じた場合
: 急激なインフレ等により、資金調達できなくなった場合。自社経営が悪化し、研究開発の継続が難しい場合
: 水素単価の低コスト化の見通しや将来の供給可能性がなくなった場合（その他代替技術の進展を含む）
: 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と判断された場合
: 技術開発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・実現性が見込めない場合