

# 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：一般財団法人 電力中央研究所、代表名：理事長 平岩 芳朗

---

コンソーシアム内実施者（再委託先除く）：  
双日株式会社（幹事企業）  
Green Earth Institute株式会社  
DIC株式会社  
東レ株式会社  
ダイセル株式会社

# 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）

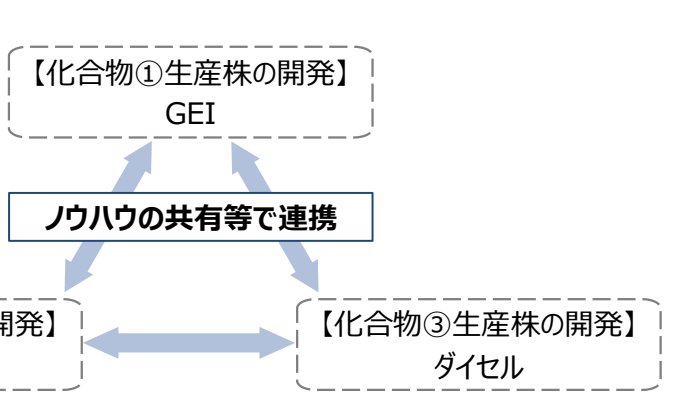
### 【研究開発項目2】化成品を生成する組換え水素細菌の開発

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

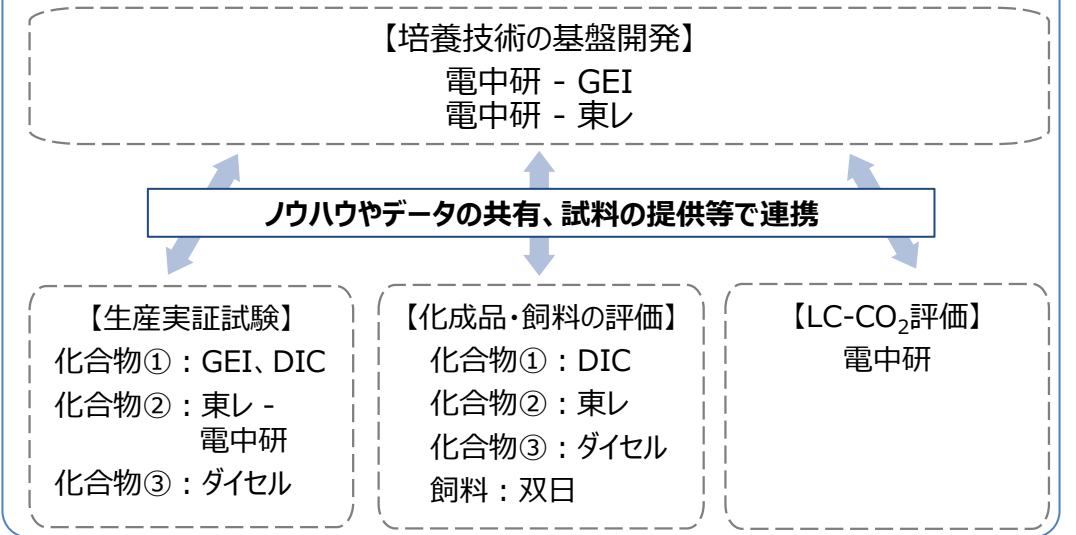
**連携**

課題のフィードバック

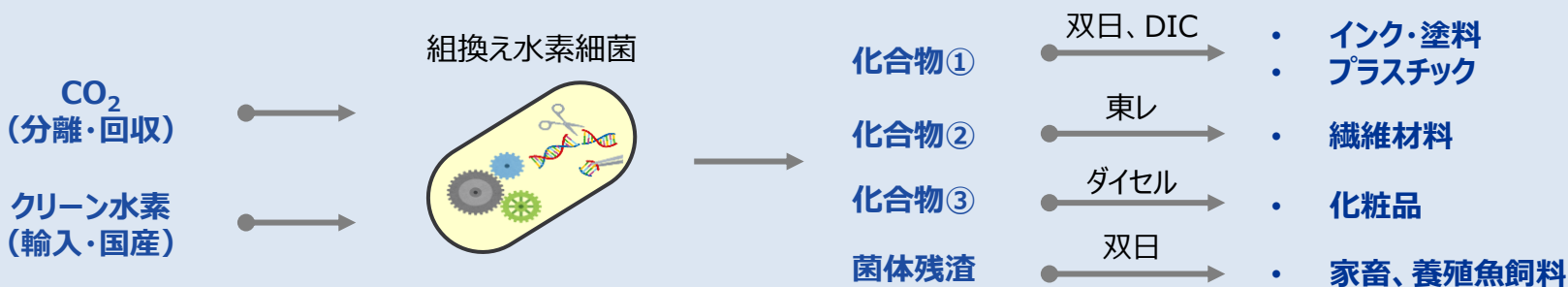
### 【研究開発項目3】水素細菌の培養技術の開発と実証

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、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

## 2050年カーボンニュートラルの実現に電気事業が担う役割は大きい

### 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)

- 電気事業を含むエネルギー・転換部門は日本のCO<sub>2</sub>排出量の約39%を占め、業界としての排出量削減への取り組みが求められている。
- 火力発電でのカーボンフリー燃料使用やCCUS/カーボンリサイクル技術等の活用によるイノベーションを踏まえた脱炭素化が求められている。
- 水素は国際的な地政学的リスクを回避し、エネルギー供給・調達リスクの低減に資するばかりでなく、同時にCO<sub>2</sub>排出量の削減にも貢献するカーボンフリーなエネルギーであり、2050年カーボンニュートラルに向けて水素社会の実現が期待されている。

#### (経済面)

- 日本での2030年の脱炭素関連投資は一定の仮定の下、150兆円と見込まれている。
- 脱炭素を進める企業へ融資を優遇する措置が開始され、企業の環境的価値が投資の基準となりつつあり、企業の財務戦略に脱炭素へのコミットが求められている。

#### (政策面)

- 政府として2030年までのCCS事業化に向けた事業環境整備（国内法整備、政府支援策等）、カーボンリサイクルの技術開発や実用化の推進が示されている。
- 2050年カーボンニュートラル実現に向け、国際的に炭素税の導入などが検討され、日本では国際競争力強化のため経済社会システム（GXリーグ）が検討されている。

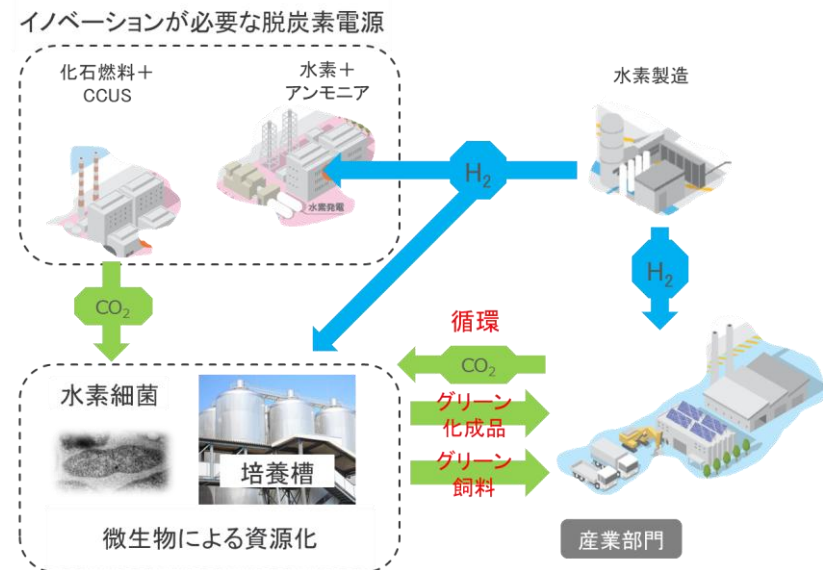
#### (技術面)

- CCUSにおいて脱炭素を達成する抜本的な技術は現状なく、革新技术を創造するイノベーションが不可欠となっている。CO<sub>2</sub>を未利用資源として水素細菌を触媒に水素により化成品を生産するカーボンリサイクルは、化石資源を使わないCO<sub>2</sub>の再資源化技術としてカーボンニュートラルに向けた重要なオプションとなり得る。

- 市場機会：バイオエコノミーの世界市場は200兆円(2030年)、ヘルスケア・素材・食品で高い成長が予測されている。また、グリーン製品への潜在的な消費者ニーズは高く、高付加価値製品として新しい市場機会の創造が期待される。
- 社会・顧客・国民等に与えるインパクト：これまで化石燃料から合成されてきた身近な製品である樹脂や化粧品基材をCO<sub>2</sub>から直接生産することにより業界として新たな環境価値を提供するとともに、産業界の脱炭素化を牽引する大きなインパクトがある

### 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においては、発電事業は大量の水素とCO<sub>2</sub>を扱うこととなり、経済性が確保できれば、CO<sub>2</sub>の再資源化も同時に行う事業への展開により事業構造の変化が起こりうる。



2050年カーボンニュートラルの実現に向けて安定供給、経済性、環境保全の同時達成を前提に、供給と需要の両面から取り組み、革新的技術を生み出すイノベーション等を通じて積極的に挑戦する。

- 当該変化に対する経営ビジョン：「持続可能で社会に受容されるエネルギーシステム」を2050年の日本の目指す姿の一つとして定め、脱炭素技術の開発に加え、エネルギーの新しい利用のあり方や供給の強靱化に関わる研究を推進し、得られた知見を社会実装することで電気事業や社会の発展に貢献していく。

# 1. 事業戦略・事業計画 / (2) 市場のセグメント・ターゲット

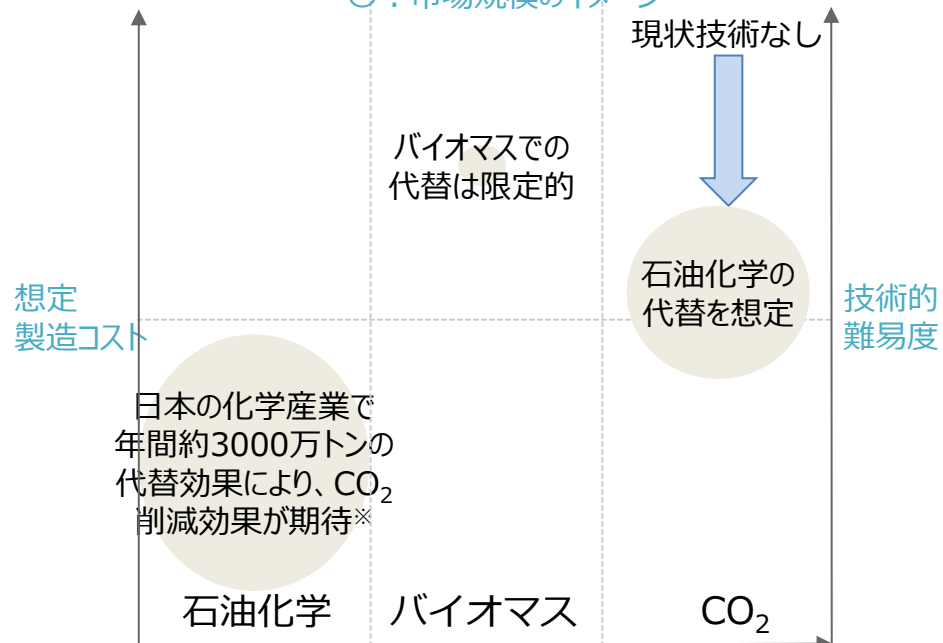
## 化学品製造市場のうちCO<sub>2</sub>を原料とする物質生産を新規市場として想定

### セグメント分析

- 化学産業の排出CO<sub>2</sub>の約半分がナフサ分解による基礎化学品の製造過程等に起因する<sup>1)</sup>。水素細菌によるCO<sub>2</sub>からのものづくりに転換することで、排出削減効果を得る。
- 更に、菌体残渣の飼料化により、飼料製造時のCO<sub>2</sub>削減効果も得る。

(化学品製造市場のセグメンテーション)

○：市場規模のイメージ



CO<sub>2</sub>削減効果

- 1) 社会実装計画 (R4.10)
- 2) バイオプラスチックロードマップ (R3.1)
- 3) 水産油脂年間

### ターゲットの概要

#### 化学品

#### 市場概要と目標とするシェア・2040年

- 開発対象：バイオ樹脂原料、繊維原料
- 国内生産目標：200万トン<sup>2)</sup>
- 目標：シェア10%程度

#### 飼料

#### 市場概要と目標とするシェア・2040年

- 開発対象：魚粉代替飼料
- 国内消費量：約18万トン<sup>3)</sup>
- 目標：シェア10%程度

### 【将来的に世界市場にも展開】

需要家	主なプレイヤー	推定消費量	課題	想定ニーズ
化学品製造業	化学品・繊維・塗料・インキメーカー	約5億トン <sup>1)</sup> (2040年)	• CO <sub>2</sub> を原料とした化学品の製造が困難	• CO <sub>2</sub> 削減効果が明確な原材料の提供
飼料産業	養魚・畜産飼料メーカー	約2000万トン <sup>1)</sup> (2040年)	• 飼料としての登録用件の満足性	• CO <sub>2</sub> 削減効果が明確な原材料の提供 • 新たな飼料原料としての付加価値 (高栄養等)
培養技術の適用によりCO <sub>2</sub> 利用を促進				
電気事業	発電事業者	196万トン/年 <sup>4)</sup>	• 大規模CO <sub>2</sub> 削減のための水素細菌の超大量培養	• 大量のCO <sub>2</sub> 固定・利用

4):モデルプラントとしてLNG火力(複合) 85万kw 1機, 設備稼働率70%を想定

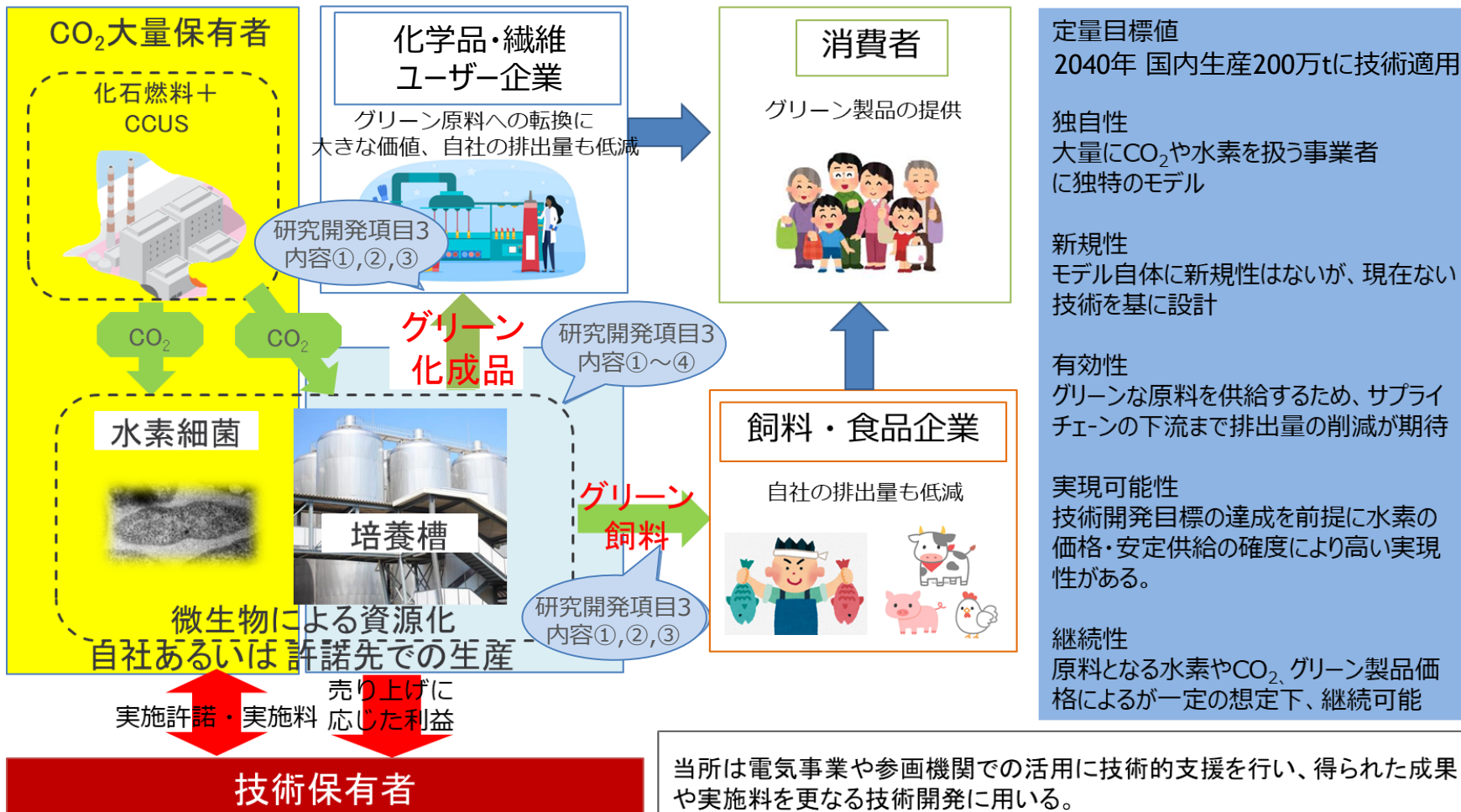
# 1. 事業戦略・事業計画 / (3) 提供価値・ビジネスモデル

## CO<sub>2</sub>化学品・飼料（グリーン製品）生産事業の創造・拡大を支援

### 社会・顧客に対する提供価値

- 社会への提供価値
  - これまでにないCO<sub>2</sub>化学品生産技術の開発・提供によりカーボンニュートラルと水素社会の推進に貢献
- 顧客に対する提供価値
  - CO<sub>2</sub>排出削減の手段の提供により脱炭素電源の実装を推進
  - 海外の化石燃料を使用する電源への国際展開
  - 化学品生産におけるカーボンフリー原料への転換
  - カーボンフリー飼料への転換
  - 環境戦略としての活用による企業イメージの向上
  - 炭素税対応
  - ESG投資の呼び込み
  - 融資の優遇措置の取得

### 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



# 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)

## CO<sub>2</sub>を原料としたバイオ由来製品や飼料試作品の認定への適合性を検証

### 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

#### ★1: バイオ由来原料の認定への適合

CO<sub>2</sub>を原料とした製品について、配合などを工夫した試作品を作製し、認定を得ることで国の識別表示制度を活用し、他製品との差別化を図る。また、これらの製品を加工してグリーン購入法に規定される環境物品の製造も視野に入れる。

#### ★2: 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製品製造の収益向上につなげる。また、無駄のないCO<sub>2</sub>の循環に心がけ、環境優位性を担保する。

#### ★3: CO<sub>2</sub>削減効果の定量化

削減効果を納得性のある定量値として示すため、国際標準に基づき、実測によりLCA評価を行い、CO<sub>2</sub>の資源化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への貢献を表出する。

#### ★4: 新規培養技術の展開

無機の気体 (H<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>) から有機物を生み出すバイオプロセスに実用例はなく、既存の培養法への応用や、バイオ以外の分野への応用も含め広範囲な知財を確保する。

### 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)

- 国内ではバイオマス由来製品や生分解プラスチックなどのバイオ由来製品の認証制度があるが、新規のCO<sub>2</sub>を原料とした製品の認定への適合に基準がない。
- 国や関連機関が調達に環境物品の選択に努めることが法で規定されている。
- 飼料や飼料添加物に認可を得るには飼料安全法の規格への適合が必須で、遺伝子組換え菌体を飼料に適用する場合には安全性情報の提出や製造基準の適合を得る必要がある。
- LCA評価に関する規格 (ISO14040)は存在するが、水素細菌プロセスの評価については手法の確立が必要である。

#### (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)

- CO<sub>2</sub>を原料に化成品を生産する微生物の培養方法や、生育に係る代謝の制御方法などの技術開発を行うとともに、これらに関わる知的財産を蓄積してきた。
- LCA手法の開発に長年携わっており、実プロセスでの実測にも経験を有する。

### 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
- CO<sub>2</sub>削減製品としての付加価値の明確化

#### 知財戦略

- 新規培養技術として培養手法やバイオリアクターの設計など可能な限り広範囲な知的財産の確保

# 1. 事業戦略・事業計画 / (4) 経営資源・ポジショニング

## CO<sub>2</sub>細菌研究の強みを活かして、社会・顧客に対して水素利用・脱炭素に資するものづくりを提供

### 自社の強み、弱み (経営資源)

#### ターゲットに対する提供価値

- CO<sub>2</sub>を資源とする新たなものづくり技術
- 水素を利用した新たなものづくり技術
- CO<sub>2</sub>大量排出者の脱炭素手段
- 地政学リスクを排除した国内生産手段

#### 自社の強み

- CO<sub>2</sub>を利用する細菌について培養方法や生理学的・遺伝学的解明に豊富な研究実績
- 生物学、工学、理学、計算科学、社会経済学など多岐に渡る分野の研究者を保有
- CO<sub>2</sub>大量排出者との連携

#### 自社の弱み及び対応

- 研究開発事業者であるため、製品の製造・販売は事業の想定範囲外
  - 製造メーカーや商社と連携

### 他社に対する比較優位性

	技術	顧客基盤	サプライチェーン	その他経営資源
自社	(現在) • CO <sub>2</sub> を利用する細菌の培養や代謝解析・遺伝子改変技術を保有	• CO <sub>2</sub> 大量排出者と連携した研究開発事業を推進 • 大学やメーカー等と共同研究を推進	• 製品の製造・販売に実績なし	• 多様な分野の研究者資源・研究実績 • 国内外の研究ネットワーク • 培養研究の基礎実験設備と研究棟
	(将来) • CO <sub>2</sub> を原料として製品を生産するバイオ技術に研究力を醸成し、知的財産を取得	• 脱炭素・水素利用に国内外でのビジネスシーズを提供し、CO <sub>2</sub> 大量排出者との連携を強化 • 新たなものづくり提案により社会貢献し、研究機関としての価値も高める	• CO <sub>2</sub> 大量排出者、製造メーカー、商社と連携してチェーン構築に技術的協力を行い、更なる技術開発の知己を得る	• 研究人材の育成 • 実用実績の積上げ • 中規模実験設備の導入による実用化研究力の強化
競合研究所	• バイオ部門においてはバイオマス为原料とした発酵研究が主体	• 公益に資するため顧客は社会全体	• 製品の製造・販売に実績無し	• 特化した研究分野の研究者が揃っている

# 1. 事業戦略・事業計画 / (5) 事業計画の全体像

## 約8年間の研究開発の後、2035年頃の事業化、投資回収を想定

### 投資計画

		研究開発				事業化	投資回収	計画の考え方・取組スケジュール等
		2023-2025年度...	2026-2027年度	...	2028-2030年度...	2035年度頃		
売上高	-	...	-	...	-	...	<ul style="list-style-type: none"> <li>GI基金にて基本技術を確立、特許化を完了。</li> <li>2035年度頃からライセンス収入を想定。</li> <li>水素価格や商用化の投資等を含めて変動の可能性あり。</li> <li>化成品と飼料の合計を想定。</li> </ul>	
研究開発費	約10億円（本事業の支援期間）					...	<ul style="list-style-type: none"> <li>GI基金事業内にて、商用化に必要な技術を確立。</li> <li>本事業の支援期間後は商用化に向けた技術支援を行う。</li> </ul>	
取組の段階	研究開発の開始	...	ベンチ・パイロットスケール	...	実証スケール	...	投資回収	
CO <sub>2</sub> 削減効果	-	...	-	...	-	約15万t/y	<ul style="list-style-type: none"> <li>生産物1kgへのCO<sub>2</sub>固定量と石化代替を合計したCO<sub>2</sub>削減効果（検討するLCA評価により変動する可能性がある）</li> <li>社会実装計画のアウトカムに記載のCO<sub>2</sub>削減効果の算定から想定。</li> <li>化成品と飼料の合計を想定。</li> </ul>	

# 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

- 水素細菌により無機の気体（H<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>）から有機物を生み出す技術に関して、培養法等の新規な知見・ノウハウを知的財産として確保する。
- 知的財産の確保を前提に知見を学術論文に発表し、オープンイノベーションを促進する。
- 培養規模を徐々にスケールアップし、各スケールで実現可能性を検証することで顧客ニーズの充足を確認する。
- 菌体残渣の分析により飼料規格への適合性を確認する。
- LC-CO<sub>2</sub>の算定結果について外部有識者を招いて評価を受ける。

- 電力中央研究所 我孫子地区内に数百 Lパイロット培養設備を開発の上、設置し、野生株を対象に生産速度の実現可能性を検証する。
- また、連携する企業が開発した遺伝子組換え株について、開発した培養技術を適用し、同設備を使用して、菌体や生産物の生産性を検証する。
- 更に、連携する企業が設置する数千 L実証培養設備の設計に培養の基本情報を提供し、制作・設置・運転に協働する。

- CO<sub>2</sub>を原料とする化学品・飼料という新たな価値をCO<sub>2</sub>削減効果や認証・規格により明確化し、連携する企業の販売戦略に活用する。
- また、水素生産者やCO<sub>2</sub>大量排出者とも連携し、脱炭素電源の推進とCO<sub>2</sub>を資源とする新たなものづくりの両立に役立つ更なる研究開発の推進を図る。
- これらを通じて社会実装への技術的支援を行うことで電気事業や社会の発展に貢献する研究機関として存在価値を高める。

#### 進捗状況

- 種々のガス供給条件下において増殖評価を実施し、効率的な水素供給手法の開発を推進した。
- 安全な水素細菌の培養に資するガス供給手法の基礎コンセプトを見出し、知財確保に向けて検討を進めた。

- 数 L規模の培養設備を導入し、更なるスケールアップに向けた培養試験を実施している。

- 非競争領域として発足したCO<sub>2</sub>を原料としたバイオものづくりのCO<sub>2</sub>削減効果の評価や、認証に関する分科会に参加し、コンソーシアム間での意見交換を行った。

#### 国際競争上の優位性

- 水素とCO<sub>2</sub>から化学物質を生産するバイオプロセスは国内外で商業化事例がなく、水素・脱炭素社会下での新規ものづくりとして優位性がある。

- 数百 L規模のリアクターを保有することでフレキシブルに菌株の生産評価に対応する
- 評価結果が良好だった場合にはコンソーシアム内の大規模培養システムに引き継ぎ、事業化を促進する
- 国外競合他社においても、そのような取り組みは存在しないため、国内外における検証プラットフォームとなりうる

- 国外企業に先駆け、国際的競争力がある国内企業とともに研究開発に着手することで、国際的な技術的優位性と市場の先行的な確保につなげる。
- 国外には脱炭素志向の強い企業が多く、グローバルなビジネスネットワークを有するメーカーや商社とアライアンスを組むことで集客力が期待できる。

# 1. 事業戦略・事業計画 / (7) 資金計画

## 国の支援に加えて、7.4千万円規模の自己負担を予定

### 資金調達方針

	2023-2025 年度	...	2026-2027 年度	...	2028-2030 年度	2035 年度以降
事業全体の資金需要	約10億円					本事業期間において水素細菌培養技術を完了させ、実証試験において検証を行う。その後、コンソーシアム内の企業に対して、商用化に向けた技術開発、LCA評価の支援を行う
うち研究開発投資	約10億円					
国費負担※ (委託又は補助)	約9.2億円					
自己負担	約0.7億円					

※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】

- 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	現状	達成レベル	解決方法	実現可能性 (成功確率)
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"> <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>	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%)
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"> <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>	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%)
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"> <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>	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"> <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

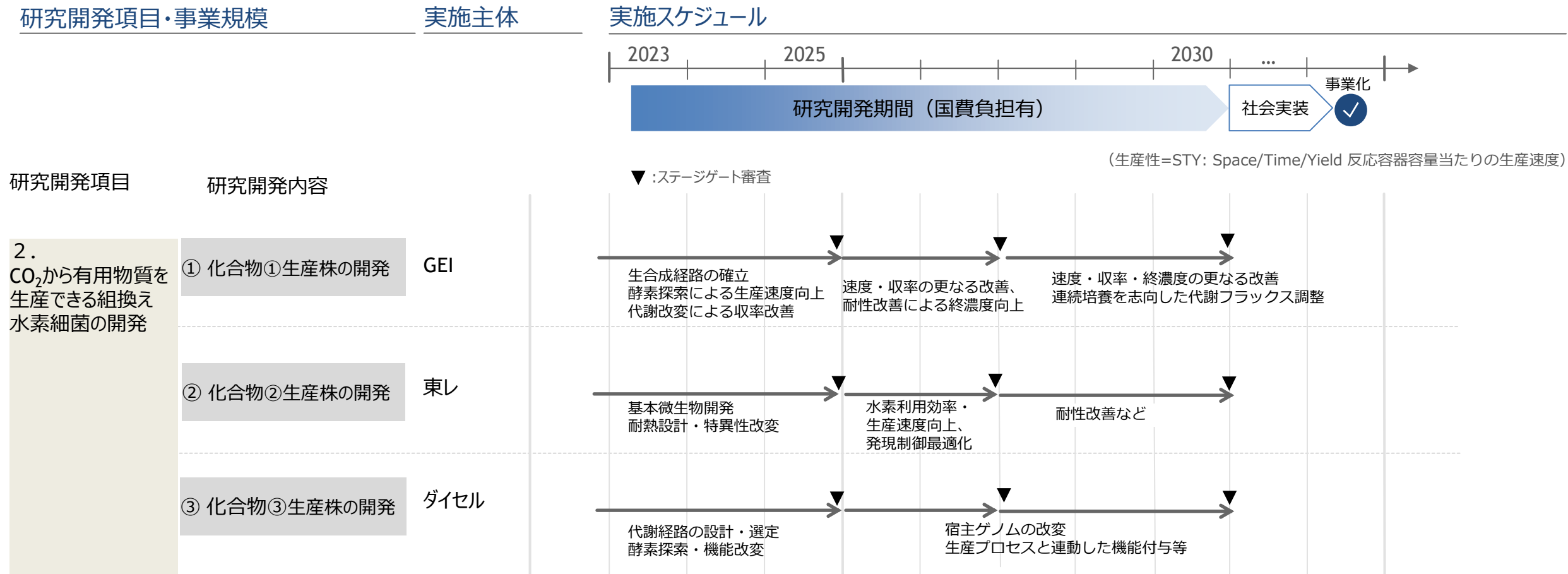
### 【研究開発項目3】

	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"> <li>菌体生産速度 A g/Lを数十 Lスケールで達成</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>マイルストーンは達成</li> <li>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</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> </ul>
2 物質生産実証試験	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> </ul>	<p>&lt;化合物①&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> <li>数十 L規模リアクターデータへのCFDモデル適用</li> <li>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</li> </ul> <p>&lt;化合物②&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> </ul> <p>&lt;化合物③&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>生産培養条件の効果確認</li> <li>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</li> </ul>	<p>&lt;化合物①&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>CFDモデル作成は概ね予定通り</li> </ul> <p>&lt;化合物②&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>概ね予定通り</li> </ul> <p>&lt;化合物③&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> </ul>
3 化成品/菌体飼料の評価	<p>&lt;精製プロセスの確立、化成品の評価&gt;</p> <p>化合物①:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> </ul> <p>化合物③:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>品質低下要因となる臭気原因物質の推定</li> </ul> <p>&lt;飼料の評価&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>野生株菌体の栄養成分の把握と配合適正量を決定</li> </ul>	<p>&lt;精製プロセスの確立、化成品の評価&gt;</p> <p>化合物①:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>模擬反応液を用いた精製条件の検討</li> </ul> <p>化合物③:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>発酵液からの化合物③濃縮、精製検討と簡易臭気評価</li> </ul> <p>&lt;菌体飼料&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>今年度のマイルストーンは達成済</li> </ul>	<p>&lt;精製プロセスの確立、化成品の評価&gt;</p> <p>化合物①:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>今後ラボ蒸留および膜装置導入し、技術検討を進める</li> </ul> <p>化合物③:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> </ul>
4 プロセスのLC-CO <sub>2</sub> 評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>生産フローを作成し、バウンダリを設定</li> <li>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</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> <li>バックグラウンドデータの継続的な情報収集</li> <li>異なる原料調達フローごとのCO<sub>2</sub>排出量推算</li> <li>CO<sub>2</sub>を原料とした物質生産のLC-CO<sub>2</sub>評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> </ul>

## 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. 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

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

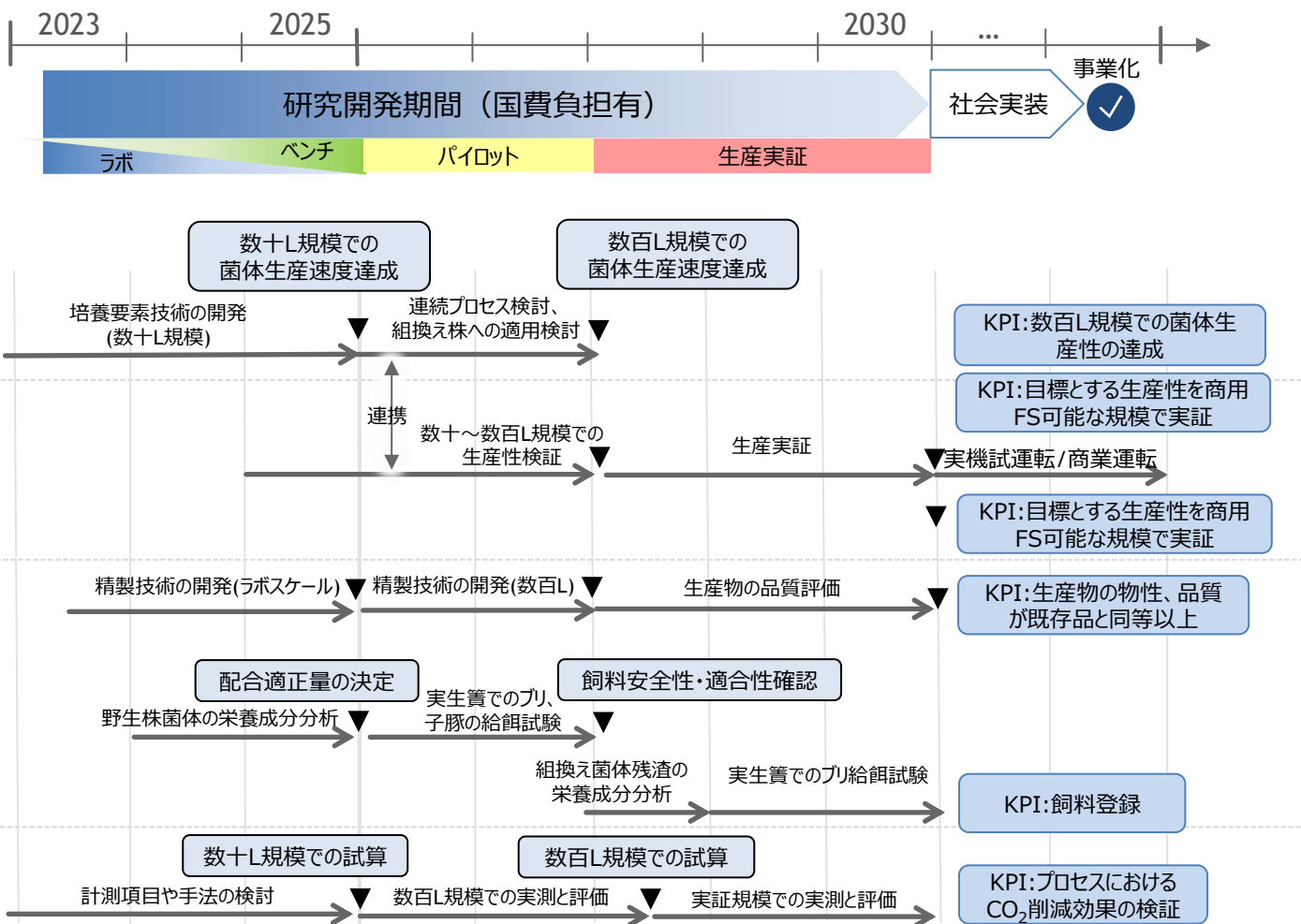
GEI、DIC、東レ、電中研、ダイセル

③化成品/菌体飼料の評価

双日、DIC、GEI  
東レ  
ダイセル

④LC-CO<sub>2</sub>評価

電中研

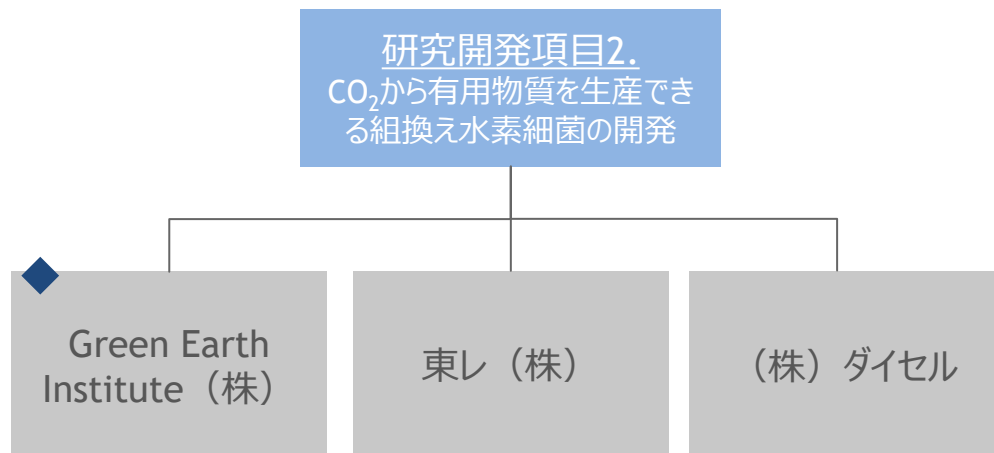


▼:ステージゲート審査

## 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）

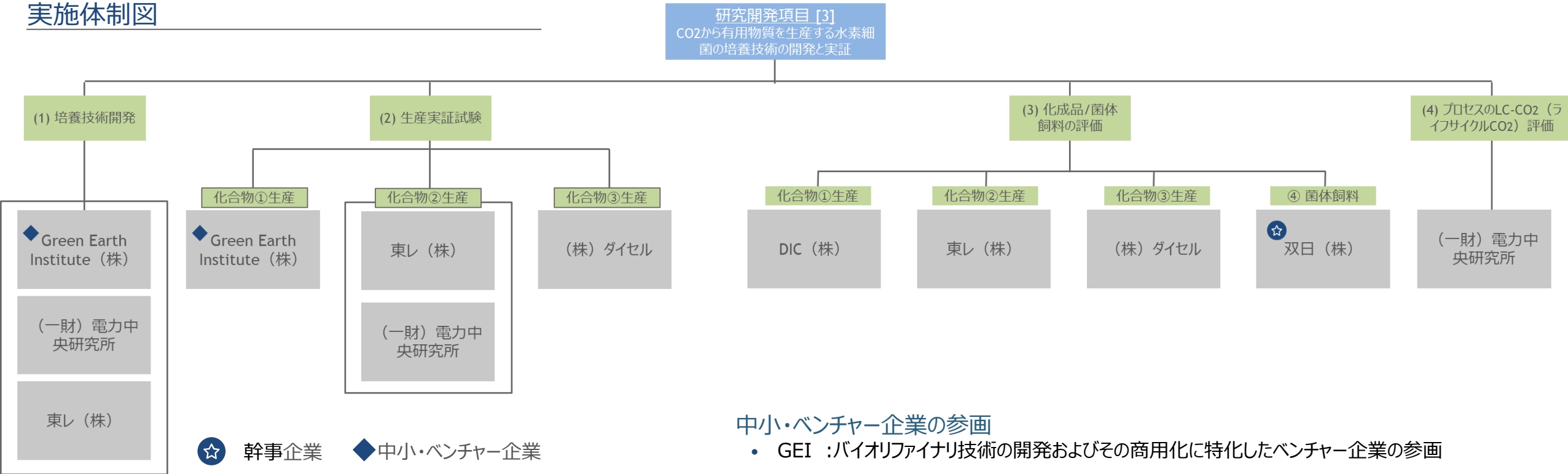
##### 共同実施者以外の本プロジェクトにおける他実施者等との連携

- 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-CO<sub>2</sub>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 <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> <div data-bbox="1788 735 2448 1103" 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・CO<sub>2</sub>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 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</p> </div>
	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>

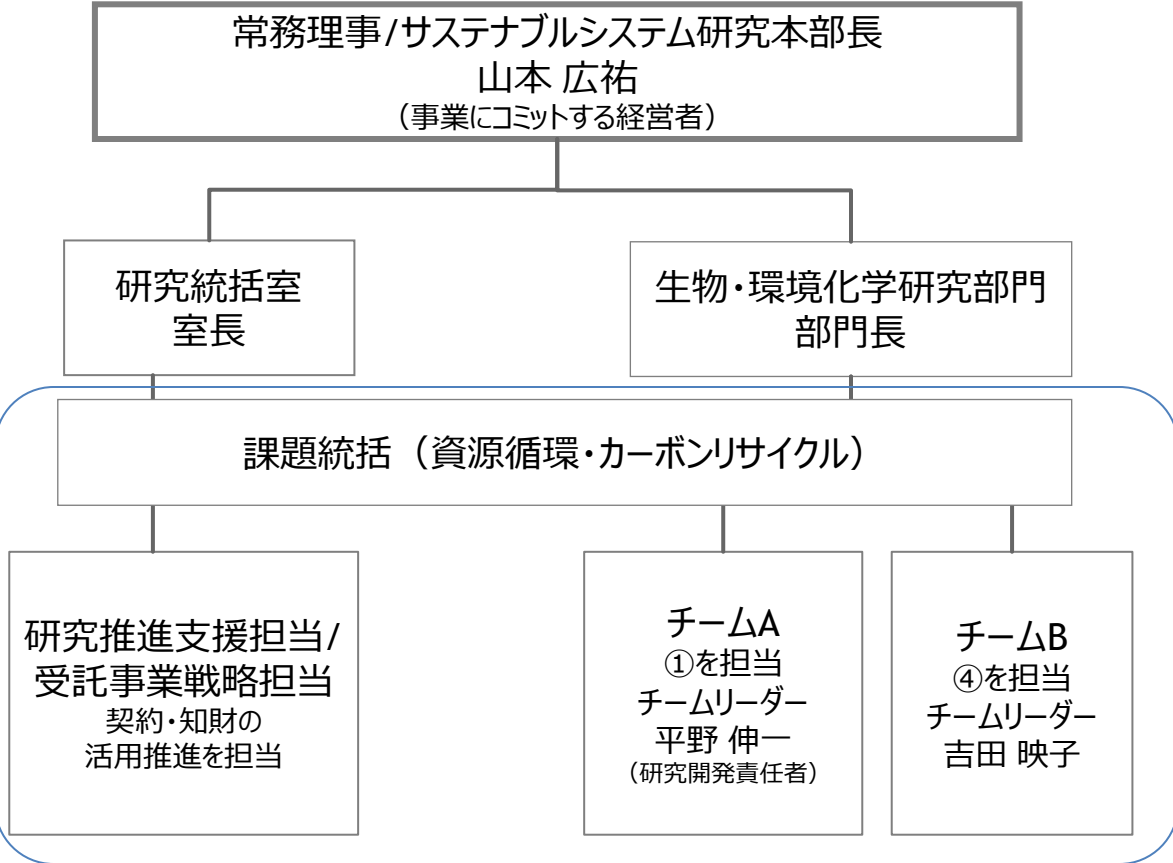
# 3. イノベーション推進体制

(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



連携

#### 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/チームリーダー
  - 平野 伸一：研究開発項目3.①と④を担当
- 担当チーム
  - チームA：研究開発項目3.①を担当（専任1人、併任4人規模）
  - チームB：研究開発項目3.④を担当（専任1人、併任4人規模）合計6名を想定
- チームリーダー
  - チームA 平野 伸一
  - チームB 吉田 映子

##### 部門間の連携方法

- 研究開発責任者は月一回以上の進捗報告会を開催し連携を図る
- 課題統括は月一回以上研究本部長に情報を共有、必要に応じて相談する

### 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

## 経営者等による本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
  - 当所は、2050年に日本がありたい姿として「サステナブルなエネルギーで支える安全で豊かな社会」を設定、その実現のため7つの目標を掲げ研究開発を推進している。
  - 7つの目標のひとつ「ゼロエミッション火力の実現」の達成に向け、当所が取り組む2035年に向けた研究開発の道筋として「資源循環・カーボンリサイクルの確立」を位置づけ、これに則って戦略を策定し、CO<sub>2</sub>および廃棄物の再資源化システム構築に必要な研究開発を進めている。
- 事業のモニタリング・管理
  - 経営会議にて事業の進捗状況を確認し、管理のうえ、必要な判断・所内指示を実施して行く。
  - 経営会議においては、NEDO殿を初めとするステークホルダーの意見、競合他社の状況等も共有し、総合的な判断を行う。
  - 事業化に係る投資意思決定に際しては、研究成果の実現性、ステークホルダーの導入意思、民間企業へのライセンス状況等を参考として把握し、研究資源の投入と回収を考慮しつつ、総合的に判断を行う。

### 事業の継続性確保の取組

- 本事業は経営の施策・活動方針の一部となっており、経営層全体として、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

## 経営戦略の中核に本事業を位置づけ、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所戦略
  - 電気事業は安全を最優先に、電気を安定的に、できるだけ安い価格で、環境に配慮して提供することが重要である基本方針の下で電力安定供給の確保とともに、カーボンニュートラルの実現に向けた電源脱炭素化と電化推進に取り組んでいる。
  - 電中研はGXリーグに参画していないが、電力各社（北海道、東北、東京HD、東京EP、北陸、中部、関西、中国、四国、九州、沖縄、JERA、電源開発）が参画しており、そのカーボンニュートラルに向けた活動に貢献するため全所として研究開発を実施している。
- 経営戦略への位置づけ、事業戦略・事業計画の決議・変更
- コーポレートガバナンスとの関連付け
  - 中期経営計画（最新2024年版）を定め、当所は2050年の「サステナブルなエネルギーで支える安全で豊かな社会」の実現に向けた研究開発の方針を示し、推進体制を整備している。
  - 事業計画は、数年に1度を基本として目標を策定する。また、前述の経営会議等による進捗管理をとおして、必要に応じて事業計画の変更を行う。

#### 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
  - 年に一度発行している事業活動報告に、本事業の成果を記載し、ステークホルダーや社会への情報発信をしていく。
  - 本事業への参画機関と協調し、研究成果をプレスリリース等で対外的に公表していく。
  - バイオ関連の学会等にて積極的に情報発信を行う。
  - 電気事業連合会と協調し、2025 大阪・関西万博にて本事業に関連した情報発信を行った。
- 企業価値向上とステークホルダーとの対話
  - 本事業の概要、成果について、電気事業等のステークホルダーや関連団体に対して設備見学を含め、適宜説明を実施している。

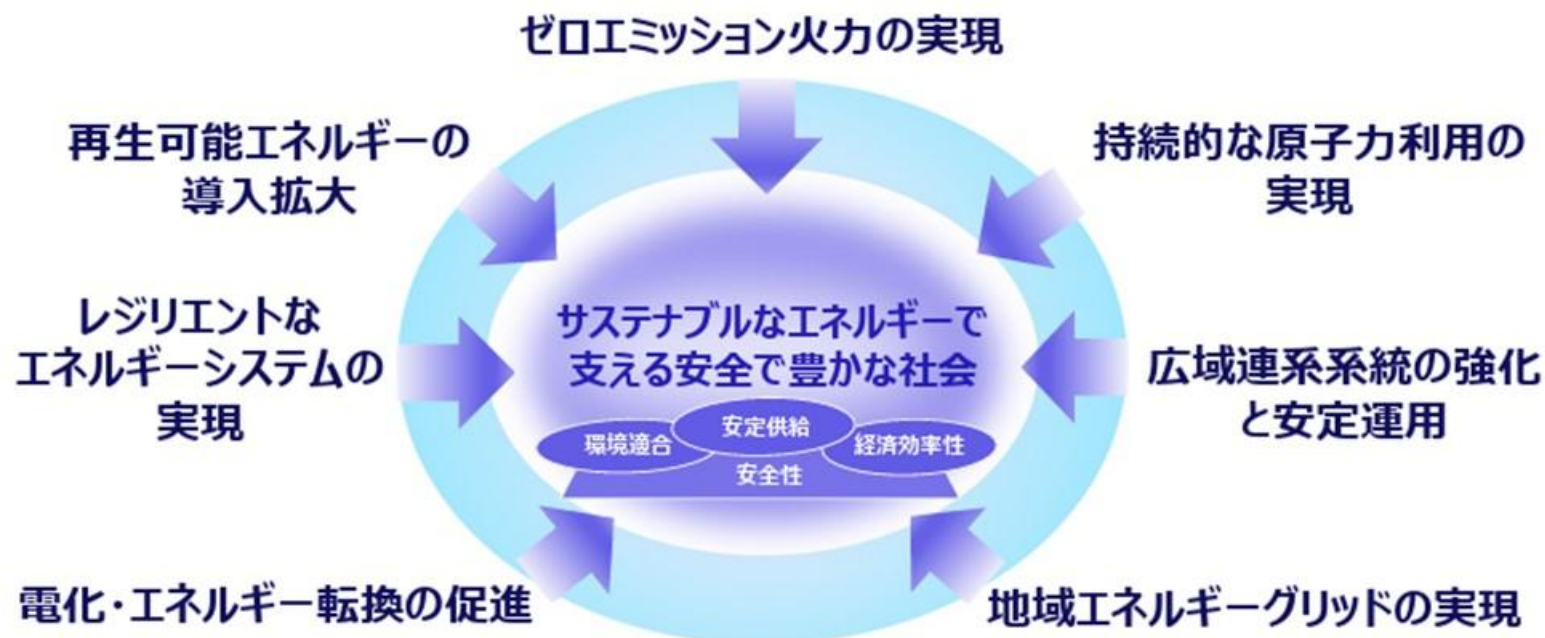
### 3. イノベーション推進体制／（3）マネジメントチェック項目② 経営戦略における事業の位置づけ

## 温室効果ガス排出削減のための取組状況

電中研では、日本の温室効果ガス排出削減のため、技術開発、調査研究、政策提言など、幅広い分野で取り組んでいます。具体的には、再生可能エネルギーの導入促進、脱炭素電源、CO<sub>2</sub>回収・貯蔵技術、CO<sub>2</sub>有効活用技術の開発および技術の標準化・制度化、そして社会全体の意識改革を促すための情報発信を行っています\*。

中期経営計画(2024年6月) [https://criepi.denken.or.jp/intro/pdf/mtmp\\_240628.pdf](https://criepi.denken.or.jp/intro/pdf/mtmp_240628.pdf)

◆ 2050年に「**持続可能なエネルギーで支える安全で豊かな社会**」を実現するため、当所は「**7つの目標**」を掲げ、研究開発を推進する。



\*一部は電中研報告として発信されIPCC等の国際的な取り組みにも活用されています  
<https://criepi.denken.or.jp/hokokusho/pb/reportSearch>

### 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

- 本事業への人材・設備・資金の投入方針
  - 経営会議で決定した事業計画に基づいて、研究本部で具体的な研究計画を策定し、人材・設備・資金等の経営資源を適切に配分する。
  - サステナブルシステム研究本部内で、本事業にかかわる分野の研究者を配置する。また、研究の進捗に応じて博士研究員等の新規採用を行った。
  - サステナブルシステム研究本部内（千葉県我孫子市）にある研究棟内に設備を設置し、効率的な事業推進を行う。
- 機動的な経営資源投入、実施体制の柔軟性確保
  - 経営会議で決定した事業計画に基づいて、研究本部で策定した研究計画について、研究部門での実施に本部で自律的に経営資源の投入を図る。また、研究の実施に人材や研究設備の投入を柔軟に本部で判断して実施する。
  - 研究本部内で人材や研究設備が確保できない場合は、関連研究機関や大学での共同研究などを推進する。

#### 戦略的な研究推進体制の整備と人材育成

- 戦略的な研究推進体制の整備
  - 2021年度に実施した組織改編により、自立・自律的運営体制の確立のため研究本部制とし、研究本部内の連携を強化した。
  - また、研究本部で運営を行う研究統括室を設置し、柔軟な運営を可能にした。
  - 戦略課題を設定し、新たに課題統括を研究統括室に配置し、研究部署間の連携を図る調整役とした。
- 若手人材の育成
  - 経験豊富な研究者とともに、若手人材を登用する等、今後の脱炭素化に向かう十数年スパンの事業構造転換を念頭に、効率的かつ効果的な人材育成、ノウハウの伝承を行う。
  - 別途、研究本部において、本件に関係する次世代の革新的な技術シーズや研究開発を実施するにあたり、科研費を含む他競争的資金を活用し、オープンイノベーションを推進する。

# 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

- 想定した開発手法において成果が認められない
- 競合他社が同種材料を用いた改良技術を開発  
対応⇒改良技術保有会社との共同研究の検討
- 想定した経費内で本研究開発の遂行ができない  
対応⇒原因の究明と開発費の見直し
- 想定した期間内で本研究開発が完了しない  
対応⇒原因の究明と工程の見直し
- 本研究開発を安全に行えない  
対応⇒原因の究明と安全管理の徹底
- 担当経営者、研究開発責任者やチームリーダーなどの脱退  
対応⇒適当な人材の選定および配置

#### 社会実装（経済社会）におけるリスクと対応

- 社会情勢変化により目標とするCO<sub>2</sub>の固定化量が変化して当該技術では満足できない。  
対応⇒当該技術と別の技術を併用して目標を達成する
- 水素価格等の当該技術を実装する費用が高い  
対応⇒広域的に原材料の調達先を検討する
- 当該技術の実装を安全に行えない  
対応⇒安全対策方法の見直しを行う

#### その他（自然災害等）のリスクと対応

- 自然災害などで研究開発および社会実装の中止  
対応⇒災害の状況により本事業の一時凍結または、中止を検討する
- 委託先、外注先などの倒産  
対応⇒委託先、外注先の状況を確認  
上記、委託先などの変更が可能であれば計画の変更をおこなう



#### ● 事業中止の判断基準：

- 研究機関内の問題（目標の未達、開発費用、実施工期など）が解決されなければ中止
- 当該技術の研究開発および社会実装の際に安全を確保できなければ中止
- 大規模な自然災害で、本研究開発や社会実装が不可能と判断された場合は中止
- 委託先などが、倒産し担当先の変更が技術的・経済的に不可能であり、本研究開発および社会実装の進行が不可能な場合は中止
- 社会情勢の変化等により当該技術の適用に伴う費用が高騰した場合等により事業性が無いと判断した場合は中止