

# 事業戦略ビジョン

実施プロジェクト名：バイオものづくり技術によるCO<sub>2</sub>を原料とした高付加価値化学品の製品化



実施者名：積水化学工業株式会社

代表者名：代表取締役社長 清水 郁輔

コンソーシアム内実施者：公益財団法人地球環境産業技術研究機構

代表者名：バイオ研究グループ・グループリーダー・主席研究員 乾 将行

# 目次

## 0.コンソーシアム内における各主体の役割分担

- (1) 役割分担
- (2) 事業戦略ビジョンサマリ

## 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 ※研究開発項目毎に作成

- (0) 全体概要
- (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

各機関が保有する強みを結集し、CO<sub>2</sub>を原料とした高付加価値化学品の製品化により、世界のカーボンリサイクルに貢献

共同実施者

**SEKISUI**  
積水化学工業株式会社  
(幹事会社)

再委託先  
国立大学法人  
筑波大学  
筑波大学  
University of Tsukuba

再委託先  
国立大学法人  
広島大学  
広島大学

**RITE**  
Research Institute of Innovative  
Technology for the Earth  
公益財団法人  
地球環境産業技術研究機構  
(RITE)

「CO→中間体→高機能エポキシモノマー」生産法開発

微生物探索  
酵素開発・培養評価

微生物探索  
・培養評価

酵素開発

酵素探索・酵素機能改変  
・培養評価

「CO<sub>2</sub>→CO→中間体→高機能エポキシモノマー」生産プロセス開発

全体

小スケール

小スケール

全体

高機能エポキシモノマー  
→高機能接着剤の  
生産法開発

研究開発項目

CO<sub>2</sub>を原料に物質生産できる微生物等の開発・改良

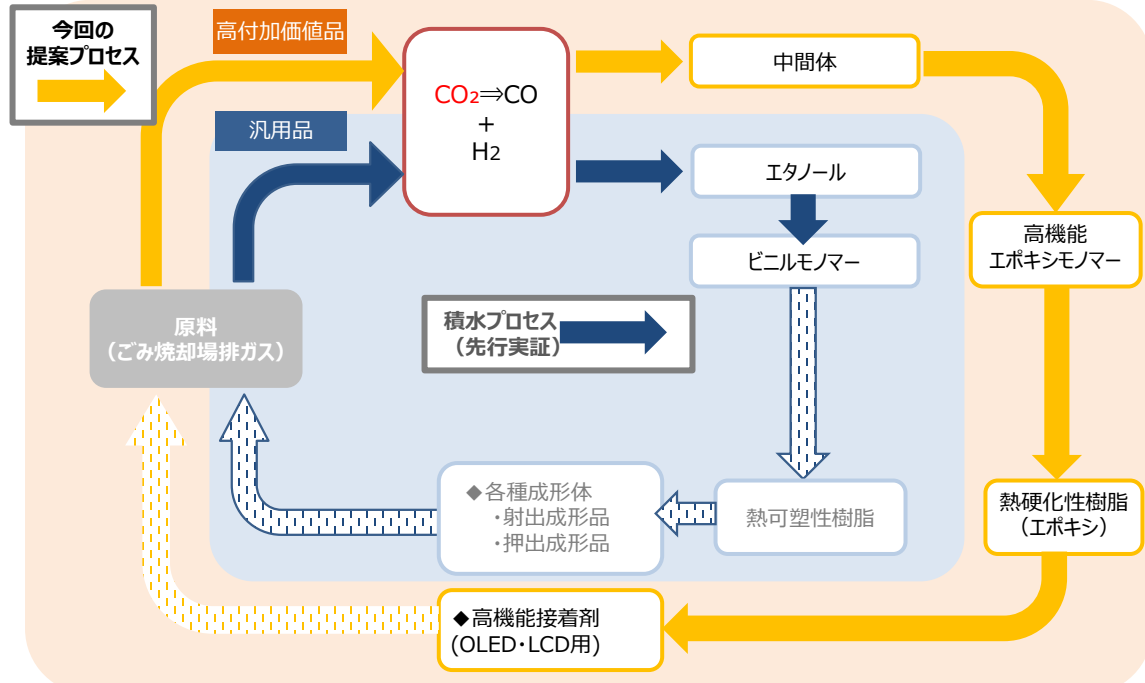
CO<sub>2</sub>を原料としたバイオエポキシ接着剤の製造実証

# バイオものづくり技術を核として廃棄物燃焼ガス（CO<sub>2</sub>）から高付加価値化学品の製造プロセスを確立し、世界のカーボンリサイクルに貢献

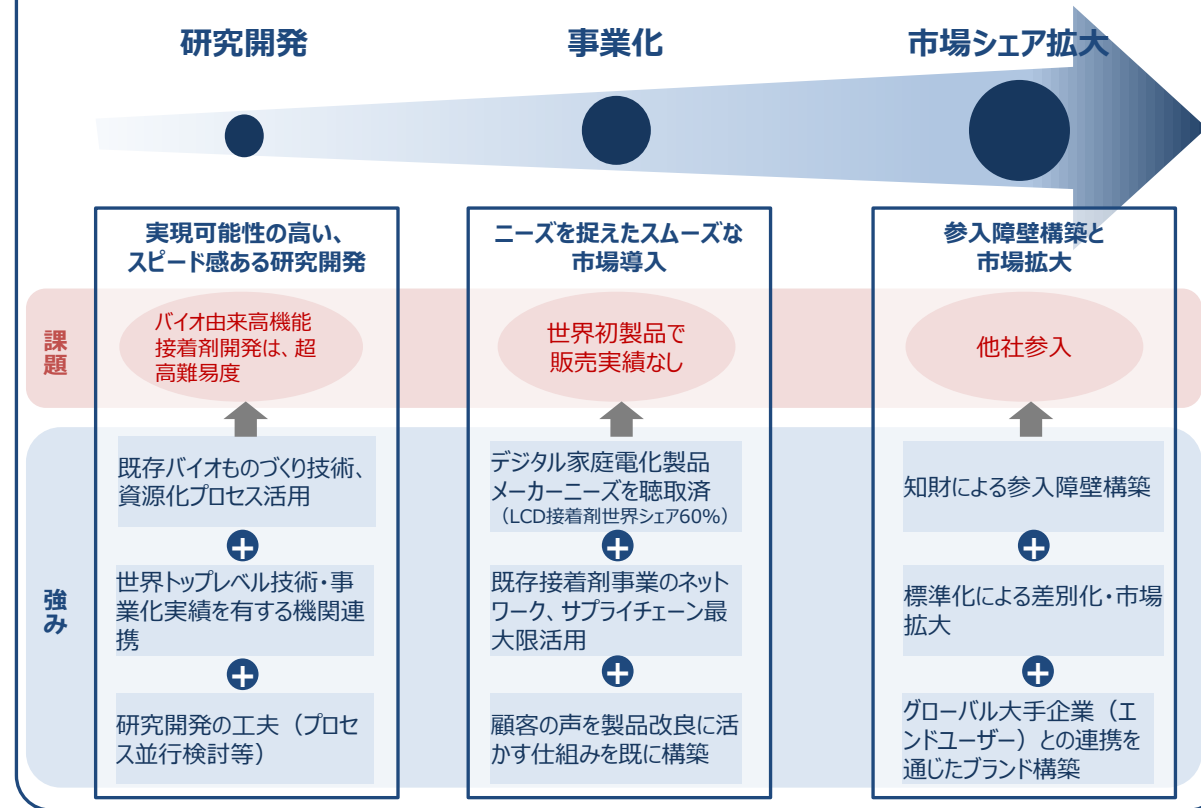
## サマリ

### What? どのような世界を実現したいのか?

先行実証している積水プロセスの強み（嫌気培養技術、スケールアップ技術等）を活かし、CO<sub>2</sub>からプラスチック原料（モノマー）を経由し、自社製品に循環される新しいパスを創造しカーボンリサイクルを実現



### Why? なぜ可能なのか?



CO<sub>2</sub>を原料とした高付加価値化学品の製品化により、世界のカーボンリサイクルに貢献

# 1. 事業戦略・事業計画

# パリ協定を契機に、世界的にカーボンニュートラルを目指す動きが加速

## カーボンニュートラルを踏まえたマクロトレンド認識

### 政治的環境

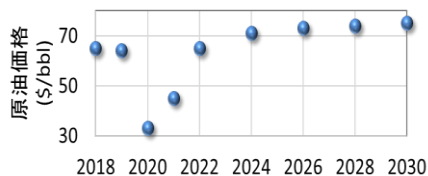
- パリ協定等に基づく温暖化ガス抑制規制
  - 既存エネルギー市場の縮小 (石炭、原油)
- 炭素税の導入



## PEST分析

### 経済的環境

- 2050年カーボンニュートラルに賛同国拡大
- ロシア、ウクライナ戦争による原油価格の高騰



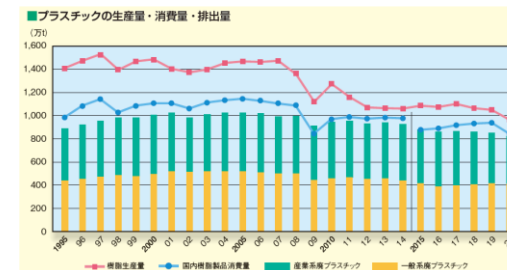
石油価格の不透明感



### 社会的環境

- バイオエコミー社会の進展
- 循環利用による製品・素材利用率の向上

着実に進む  
廃プラスチック  
の有効利用



出典：(一社)プラスチック循環利用協会

### 技術的環境

- バイオテクノロジーへの積極投資
- プラスチック循環社会実現の為の技術急成長



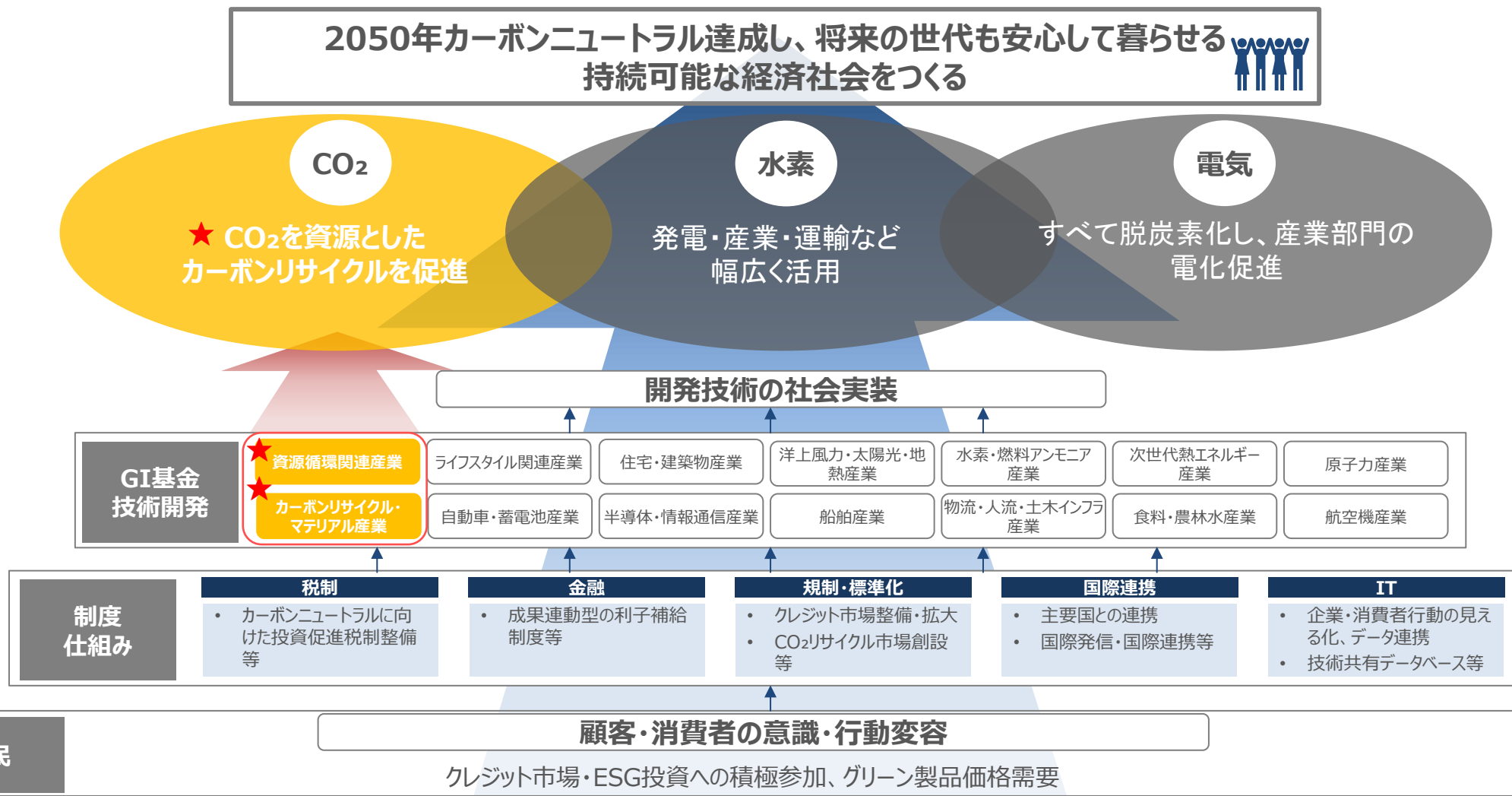
出典：当社HP

# カーボンニュートラル達成のためには、CO<sub>2</sub>を資源としたカーボンリサイクルを促進することが重要

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

★ … 当社における市場機会

見取り図  
設計図

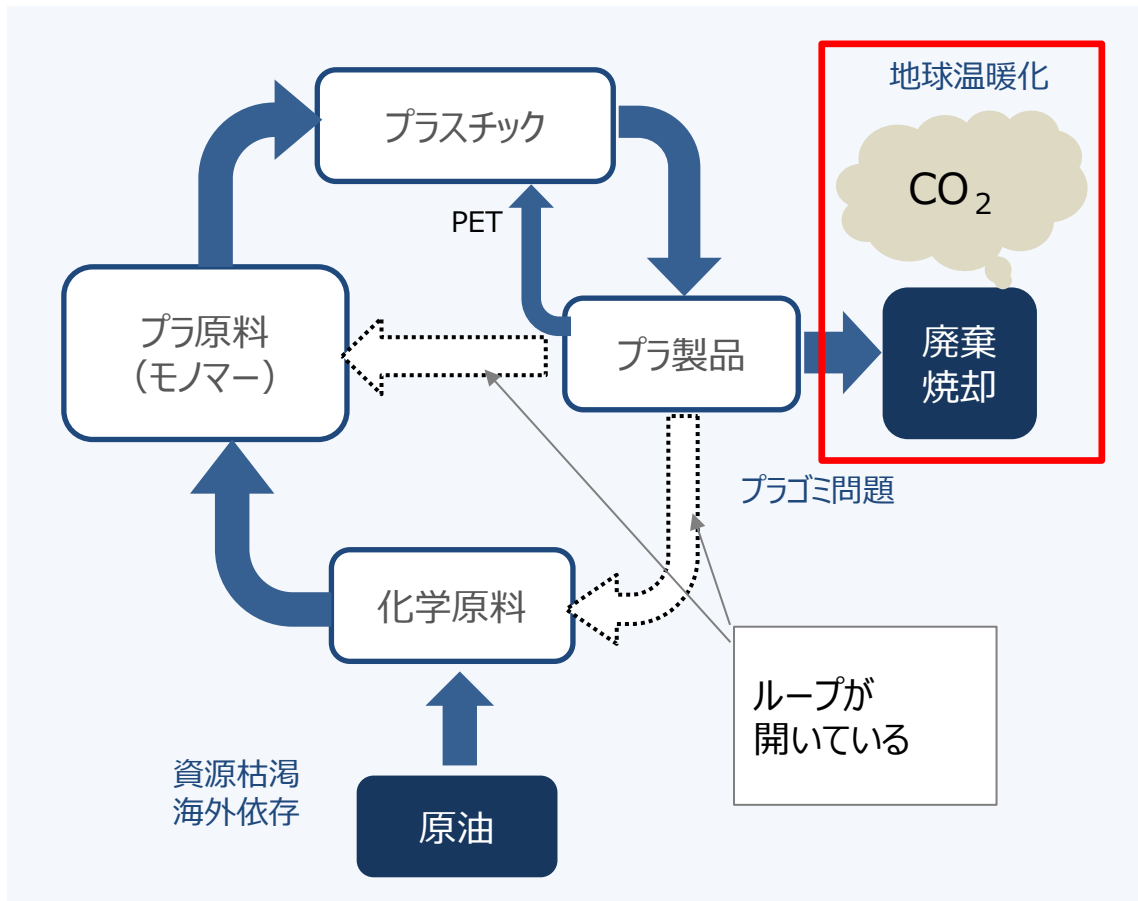


1. 事業戦略・事業計画 / (1) 産業構造変化に対する認識

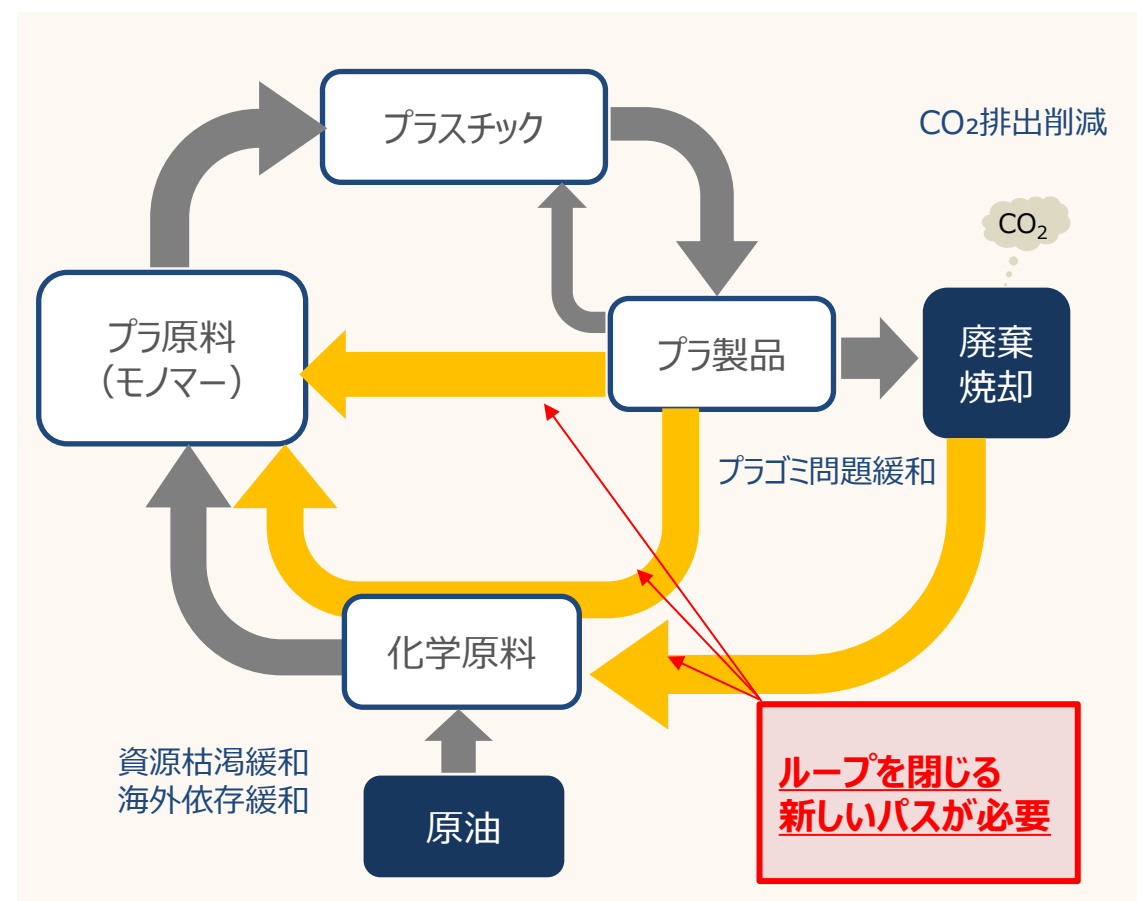
一方、プラスチック業界においては廃プラスチックの焼却過程で多くのCO<sub>2</sub>を排出  
カーボンリサイクルに向け、ループを閉じる新たなパスが必要

市場機会\_プラスチック循環の課題

現状：非循環型



今後：循環型



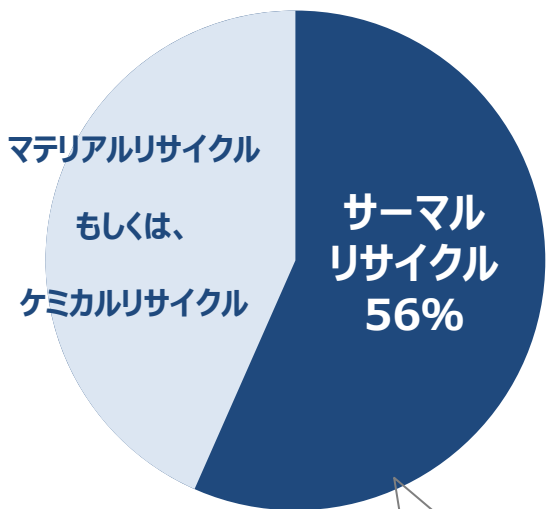
## 廃棄物処理施設を活用し、CO<sub>2</sub>からプラスチック原料へ再生する手法の潜在ニーズを市場機会と認識

### 市場機会\_廃棄物処理施設を活用した原料化

リサイクルの現状

#### 廃プラのリサイクル方法割合

サーマルリサイクルでは、廃プラの多くを焼却。熱として回収されるのみで、物質循環にはほとんど寄与せず。



当社の着目点

#### ループを閉じる手法に対する当社着眼点

サーマルリサイクルで焼却したものは  
全てCO<sub>2</sub>になる

そのCO<sub>2</sub>を原料化する取り組みは、  
実用化例ほぼ無し

当社の着目点

#### 01 石油化学基地で 大規模原料化

- 石油化学プラントのFCC（ナフサクラッカー）活用
- 国内 4, 5 拠点
- 数10~100万t/年・基
- オレフィン原料を再生（C2、C3、C4等）

#### 02 国内滞留PET等 既存プラの原料化

- PET：ケミカル再生工場
- 国内 数十拠点、数万t/年・拠点
- TA、BHET（EG付加体）まで解重合⇒再生（例）ペトリファインテクノロジー

#### 03 廃棄物処理施設 を活用して原料化

- 廃棄物処理施設の活用
  - ・ 国内 > 1,000 拠点
  - ・ 数千~数万t/年・拠点
- C1原料を化学原料化
  - ・ 焼却炉→CO<sub>2</sub>→合成ガス→化学原料

#### 04 完全リサイクル可能 なプラスチック開発

- 重合⇔解重合が自在に制御できるプラスチック材料（低エネルギー消費）
- オンデマンド解重合が可能
- アップサイクリング（高機能化）が可能。強度・耐久性に優れる

← 広域・大規模

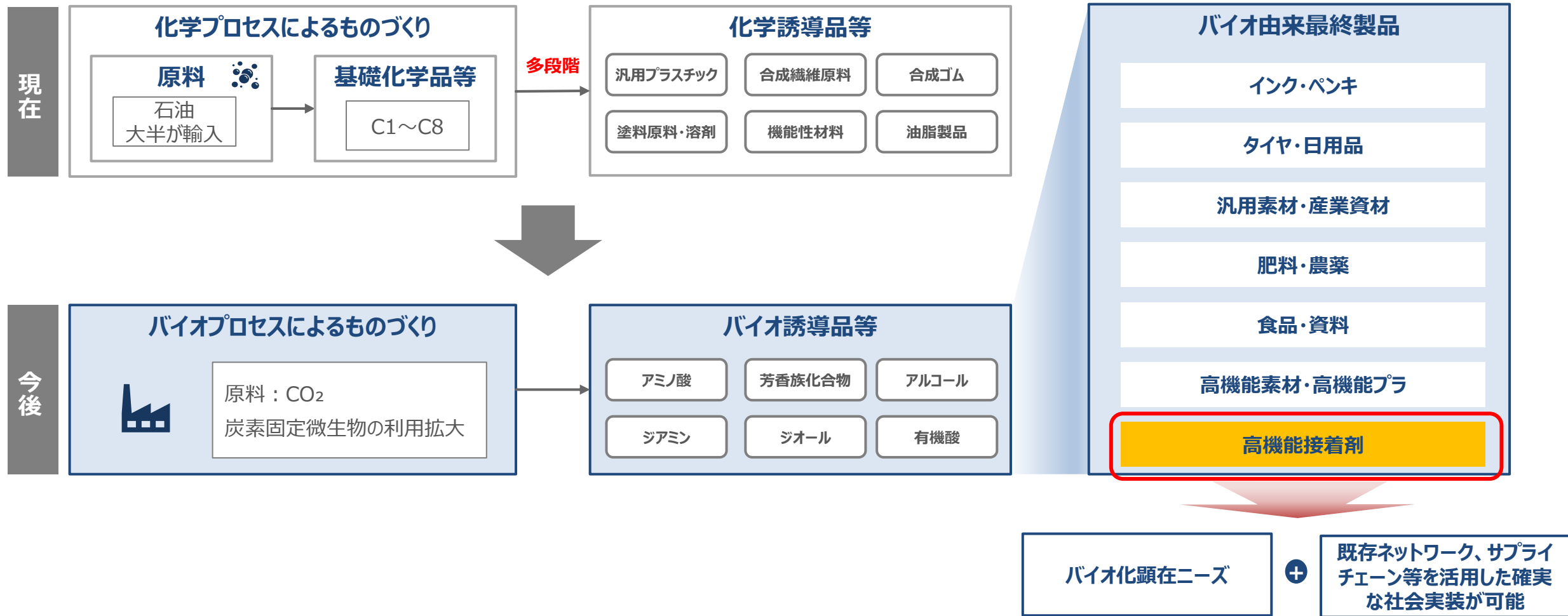
分散型・中小規模 →

実用化検討・現場実証段階（経済産業省・環境省）

基礎研究が必要

# 当社は接着剤事業を有しており、超高難易度とされているバイオ化ニーズが顕在

## 市場機会\_高機能接着剤



\* 出典：経済産業省「「バイオものづくり技術によるCO<sub>2</sub>を直接原料としたカーボンサイクルの推進」プロジェクトの研究開発・社会実装の方向性」P.6を基に当社作成

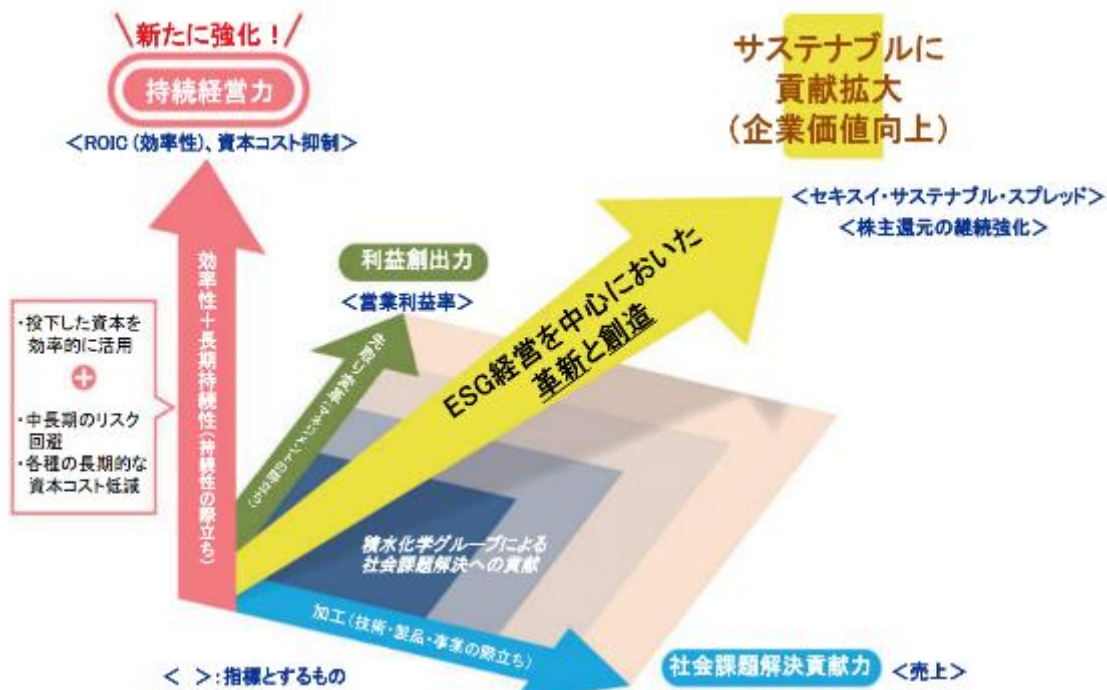
1. 事業戦略・事業計画 / (1) 産業構造変化に対する認識

当社は、「ESG経営を中心においた革新と創造」をビジョンに掲げており、今回のチャレンジング、かつイノベティブな取り組みを重要な経営課題として位置づけ、事業成果にコミットする

当該変化に対する経営ビジョン

ビジョン

- 社会課題解決に対するサステナブルな貢献拡大により、企業価値を向上させる



本テーマの事業ポジション

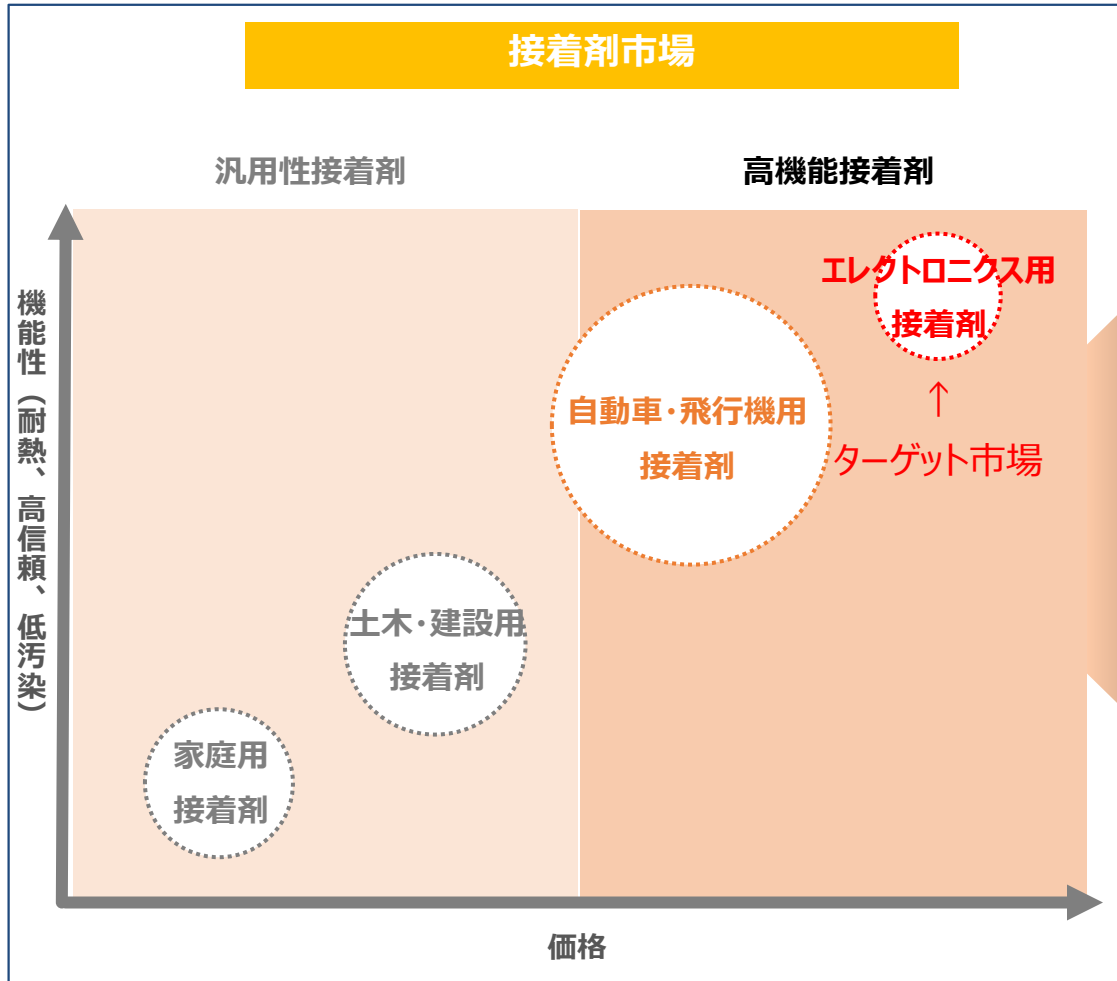
- 各ドメインで、コア技術の延長線上でイノベーションに挑戦し、新事業を創出する。
- 本テーマが中期経営計画に明確に記載されている。



## エレクトロニクス用接着剤は、バイオ化ニーズが顕在化しており、かつ高価格での販売はバイオ技術のコスト高を吸収できる可能性が高く、事業採算性の観点からもリスクが低い市場と判断

### セグメント分析

#### ターゲット市場



#### 選定理由

##### 1 高機能、高価格接着剤

- バイオ技術によるコスト高を許容しやすい

##### 2 バイオ化ニーズが顕在化

- 家電メーカーの高機能接着剤のバイオ化ニーズが顕在化

##### 3 既存接着剤事業のサプライチェーンを活用した早期市場導入可能

- 当社はLCD用接着剤において高い世界シェア

##### 4 将来の拡張性

- 確立した技術の展開で、大きな市場を獲得することが可能  
有機EL(OLED)、マイクロLED用接着剤の普及拡大

# 1. 事業戦略・事業計画 / (2) 市場のセグメント・ターゲット

**本事業はバイオ高耐熱接着剤に限定するが、この技術を用いて、モノマー販売、さらには多様なポリマー作製技術につなげ世界のバイオ化を牽引**

## 事業化Step

本GI基金の範囲

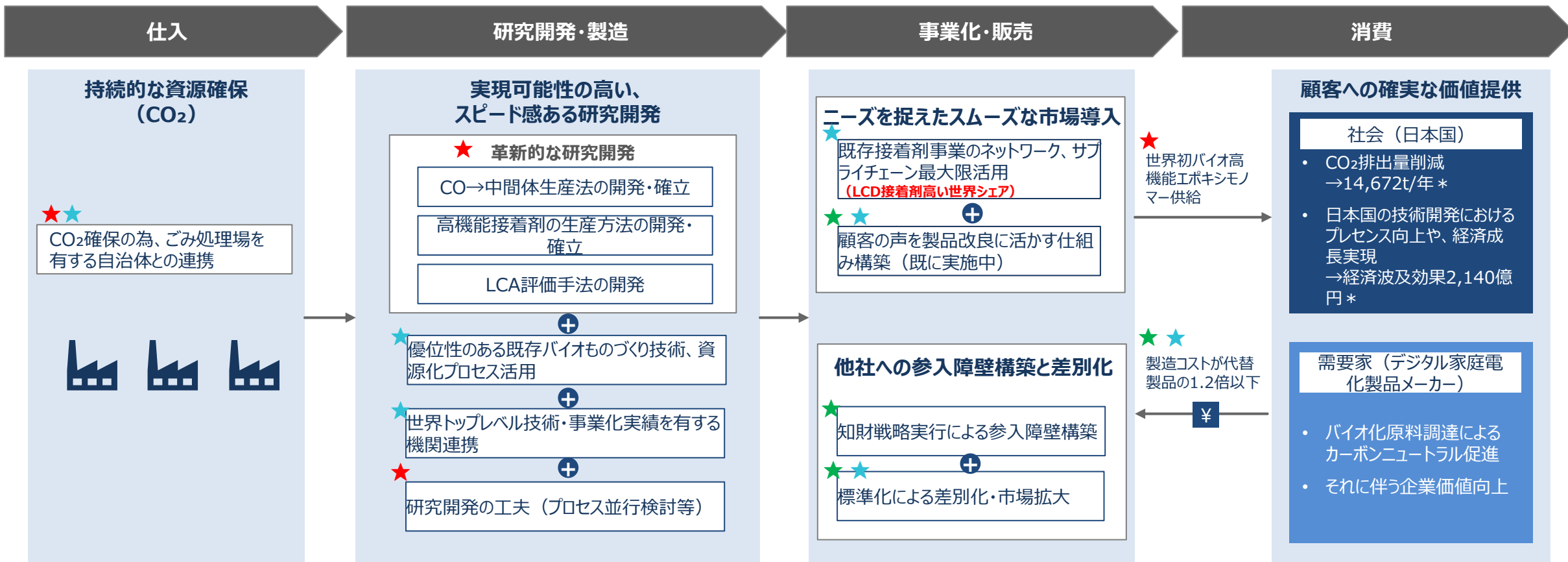
	Step 1	Step 2	Step 3
概要	高機能バイオ接着剤の製造・販売	高機能バイオモノマーの製造・販売	熱硬化性バイオ樹脂の製造・販売
狙い	■ 世界に先駆け、廃棄物処理施設を活用したケミカルリサイクルを実現	■ 上流原料を抑えるため、大量生産技術を確立し、高機能バイオモノマーを大手化学メーカーに販売	■ 本技術をポリイミドポリマー、フェノール樹脂等に横展開
用途例	エレクトロニクス  前面板/筐体固定 フォトレックB MEMSセンサー フォトレックE カメラモジュール フォトレックA フォトレックE LCD フォトレックA フォトレックS OLED フォトレックE	航空・自動車 	高機能フィルム、摺動部品 
市場規模 (2050)	390億円/年	2,140億円	2兆9,800億円
CO2削減 (2050)	197t/年	14,672t/年	4億2,200wt/年

\* 市場規模：2031年の市場規模を当社推計（出典：富士キメラ総研社。2021 ディスプレイ関連市場の現状と将来展望」、2018 ディスプレイ関連市場の現状と将来展望（下巻）(株)富士キメラ総研、REPORT OCEAN社有機ELの世界市場、(株)グローバルインフォメーション2021年9月「複合材料における熱硬化性樹脂の世界市場」 1\$ = 138円

# 革新的な技術開発や、既存技術・ネットワークを最大限活用し、スムーズな市場導入を実現。知財・標準化戦略により市場シェアを拡大し、CO<sub>2</sub>を資源としたカーボンリサイクルを実現する

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

★…独自性・新規性   ★…優位性   ★…継続性



※2040年時点数値（STEP2：バイオ高機能エポキシモノマーの場合）詳細後述

# 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)

## 顧客、行政機関とも協力し、「CO<sub>2</sub>を資源としたカーボンリサイクル」実現に向け、標準化により顧客・消費者に新たな価値観を醸成し、世界のCO<sub>2</sub>排出削減に貢献

### 標準化の取組

#### 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

##### 目的

「CO<sub>2</sub>を資源としたカーボンリサイクル」実現に向け、顧客・消費者に新たな価値観を醸成し、世界のCO<sub>2</sub>排出削減に貢献。

##### 自社強み

現状日本では、ごみ (廃プラスチック) の殆どが焼却され多くのCO<sub>2</sub>を排出。当社技術により、**ごみ (炭素由来の資源) を有価物として固定化**し、CO<sub>2</sub>削減の実現が可能。

##### 取組方針

**当社技術的強みを国際展開**し、世界の「CO<sub>2</sub>を資源としたカーボンリサイクル」を実現するためには、相応のコストアップが市場に許容される必要がある。そのために、**国際レベルのルールを作り、新たな価値付け**を行う。

#### シナリオ1 LCA評価

- 顧客・消費者の理解を得るため、資源循環におけるGHG排出を含めた環境負荷削減効果をLCA評価により可視化。

#### シナリオ2 認証制度への追加検討

- リサイクル由来成分の含有量等による循環プラスチック部素材としての認証を検討し、製品の高付加価値化を実現。

#### 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

- 一般社団法人日本化学工業協会 (以下、JCIA) がリサイクルプラスチック製品の市場醸成を目指し、ISO 認証等により世界に通用する認証取得を進め、付随する品質規格やプロセス認証、各段階におけるリサイクル由来成分の含量等の規格・認証を検討。<sup>\*1</sup>

##### ■ 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

- 当社はJCIA会員であり、当社代表取締役社長は協会の理事 (役員) <sup>\*2</sup>として協会活動に参加。
- 耐久消費財を対象に一般財団法人Sustainable Plastics Initiative (SusPla)にてSPC認証の基準や運用策定に携わり、パイロット運用開始、26年4月からは実運用。<sup>\*3</sup>

#### 本事業期間におけるオープン戦略 (標準化等) の取組内容

- 01 LCA算出基準を提示し、バイオプロセスの環境負荷低減効果を定量化
- 02 JCIAの活動を通じ、CO<sub>2</sub>由来製品の認証制度等を追加検討する
- 03 国際レベルの認証制度等についてエンドユーザーへ直接働きかけ、提案する

\*1 : 一般社団法人日本化学工業協会2020年12月18日「廃プラスチックのケミカルリサイクルに対する化学産業のあるべき」

\*2 : 2022年11月14日時点

\*3 : CLOMA普及促進部会・技術部会・国際連携部会の構成企業・団体の紹介2022年10月31日時点 (<https://cloma.net/wp-content/uploads/2021/02/WG-companies-groups.pdf>)

# 世界トップレベルのバイオものづくり技術（嫌気培養技術等）、既存接着剤事業（LCD接着剤世界シェア）は当社の強み

## 自社の強み、弱み

提供価値

<社会>

- CO<sub>2</sub>排出量削減
- 日本国の技術開発におけるプレゼンス向上や、経済成長実現

<顧客（需要家）>

- バイオ化原料調達によるカーボンニュートラル促進
- それに伴う企業価値向上

強み

- **既存バイオものづくり技術、資源化プロセスの活用**
- **既存接着剤事業のノウハウ、ネットワークの活用**
- 標準化戦略による差別化
  - JCIA会員、かつ当社代表取締役が理事として参画。CO<sub>2</sub>由来製品の認証制度等の検討が可能

弱み

- グローバル展開時の拠点不足
  - 製造販売拠点の構築計画立案検討

世界トップレベルのバイオものづくり技術（嫌気培養技術等）、  
既存接着剤事業のノウハウ、ネットワークを本事業に  
タイミング良く活かすことが出来る

### 01 世界トップレベルのCO<sub>2</sub>→CO変換触媒技術

- 当社ではCO<sub>2</sub>をCOに変更し、COからのエタノール生産の事業化進行中
- 世界トップレベルのCO<sub>2</sub>→CO変換触媒技術の活用が可能

### 02 微生物によるCO→エタノール生産の実証プラント

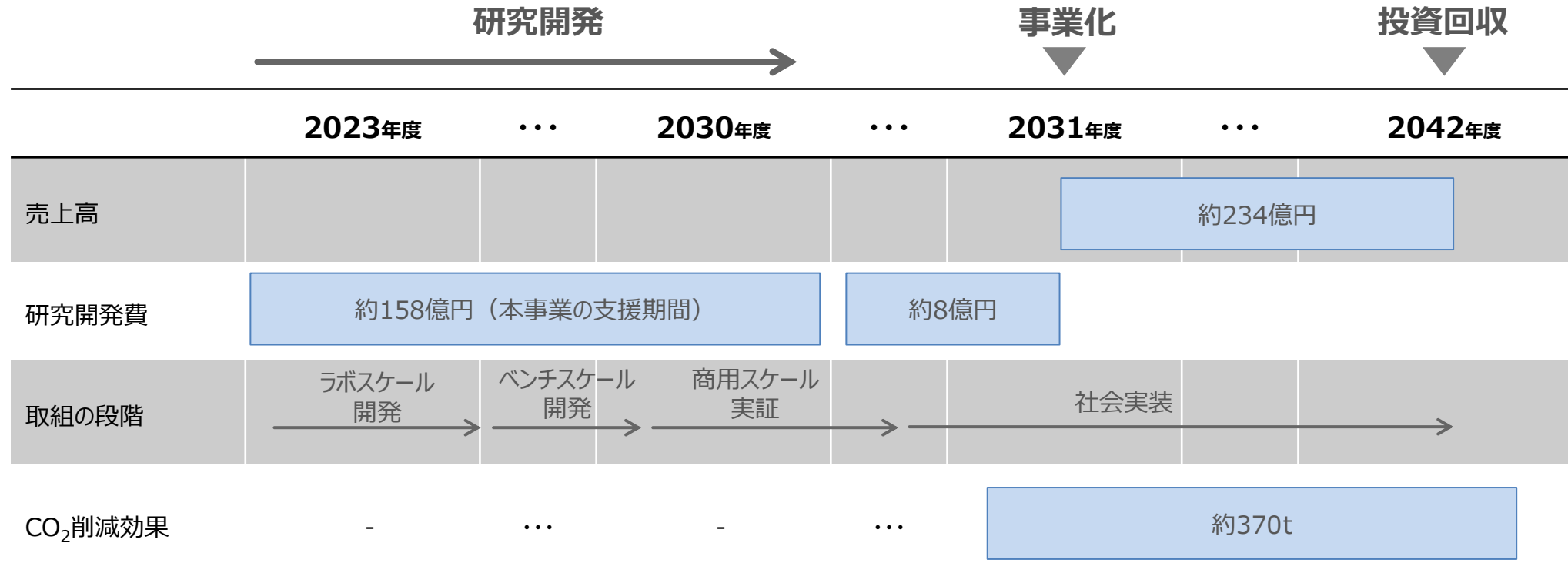
- 廃棄物焼却炉排ガスの資源化プロセス（CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub> → CO + H<sub>2</sub>O）を確立
- 微生物によるCO→エタノール生産の実証プラントを保有

### 03 既存接着剤事業のノウハウ、ネットワークの活用

- LCD用接着剤世界シェア。既存事業の顧客基盤、サプライチェーンおよび技術活用が可能



## 8年間の研究開発の後、2031年頃の事業化、事業化11年目の投資回収を想定



## 社会実装（市場ニーズ）を見据えた、マーケット・イン視点での研究開発を推進

マーケティング

研究開発・実証

設備投資・立地戦略等

取組方針

時間軸

国際競争上の優位性

### ①スムーズな市場導入

- ・既存ネットワーク、キーマン人脈を活かしたスピード導入
- ・代替製品の1.2倍以下の価格実現

**バイオ原料由来製品と合わせて、CO2由来開発品エンドユーザーへのヒアリングを継続**

### ②顧客の声を活用した継続的な改良

- ・顧客とともに商品開発・改良
- ・既存の仕組み（月1顧客フィードバックmtg）継続

**顧客要求を反映した社内評価を継続**

### ③顧客戦略を通じたブランド構築、参入障壁引き上げ、標準化（市場拡大）

- ・グローバル大手企業（エンドユーザー）との連携強化、大手ブランドを活用したブランド構築
- ・顧客への標準化働きかけ、提案

**標準化を目指した活動を継続**

### ■ 他社よりスムーズな市場導入

- ・LCD用接着剤高い世界シェア。顧客ネットワーク（業界最大手含む）、人脈活用が可能

### ①市場ニーズと合致した研究開発計画

- ・製造コストが代替製品の1.2倍以下
- ・CO<sub>2</sub>排出量代替製品の0.8倍以下
- ・顧客の声に応じて都度見直し

**製造コスト、CO<sub>2</sub>排出量を算出、おおむね計画通り進捗中**

### ②実現性高く、スピード感ある研究開発推進

- ・世界トップレベルの技術や事業化実績を有する機関の連携
- ・CO→芳香族化合物のプロセス並行検討。短時間で生産プロセス構築
- ・既存保有技術（嫌気培養、接着剤製造技術等）の最大限活用

**装置メーカーと仕様決定、エンジメーカーとプロセス設計検討**

### ③知財による参入障壁構築と、標準化による差別化・市場拡大

**化合物構造・製造時の酵素の基本知財出願**

### ■ 既存バイオものづくり技術、資源化プロセス活用

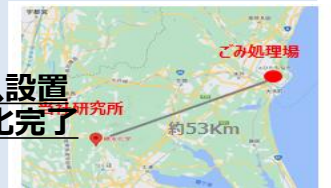
- ・世界トップレベルのCO<sub>2</sub>→CO変換触媒技術
- ・微生物によるCO→エタノール生産実証プラント

### ①CO<sub>2</sub>確保の為、ごみ処理場を有する自治体の参画合意獲得

場所：茨城県ひたちなか市 処理量：200 t

特徴：

当社基礎研究場の近隣施設は新しく、運転実績あり。試験を実施するためのユーティリティ（水）を確保することも可能



**不発弾調査・伐根・フェンス設置  
クリーンセンター内の整地化完了**

### ②自社ノウハウの最大限活用

- ・自社（ラボ、破棄物処理場）にて多数実績にある水素、一酸化炭素ガスに関わる安全設計の導入

**新棟建設完了し、50L規模の培養槽と前処理設備を連結。CO<sub>2</sub>から酢酸の生成に成功**

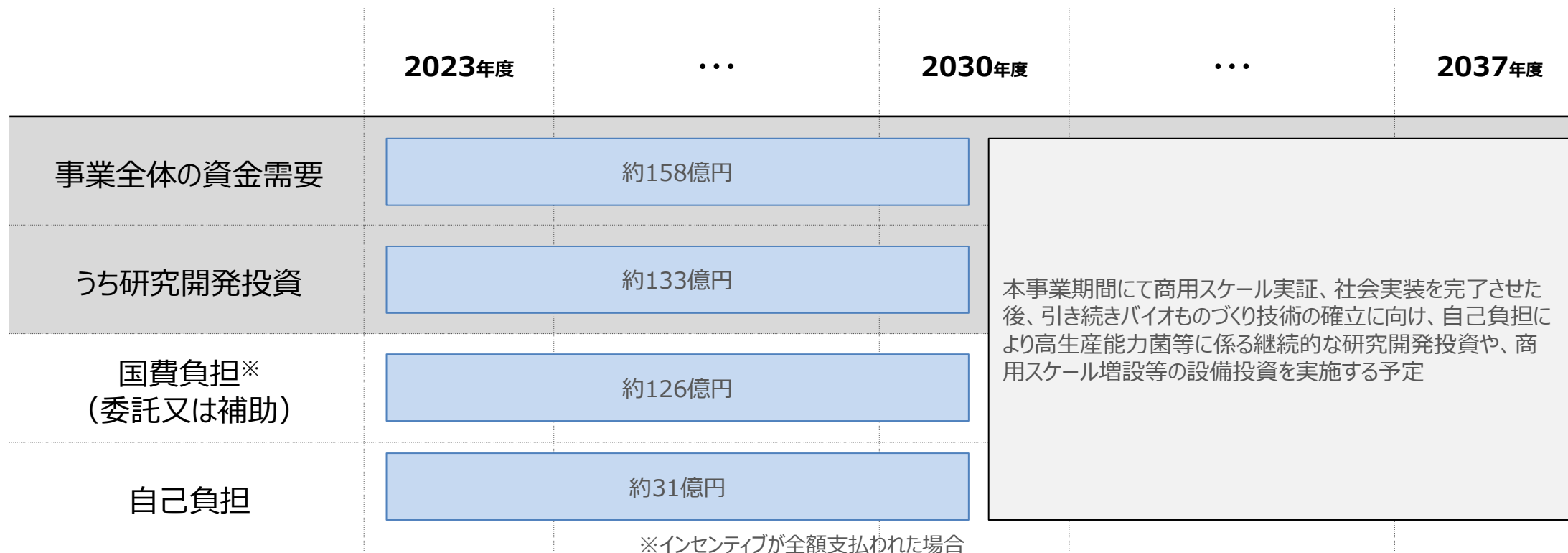
### ■ 世界最速でのサプライチェーン構築

- ・ごみ（CO<sub>2</sub>）からの原料製造は、世界に先駆けた取り組みであり、世界最速のごみ処理場とのネットワーク構築が参入障壁を構築

1. 事業戦略・事業計画 / (7) 資金計画

当社は2025/3期末時点で120,895百万円の現預金を保有しており、当該事業計画を実施するために必要な資金計画や経営資源を有している

資金調達方針



## 2. 研究開発計画

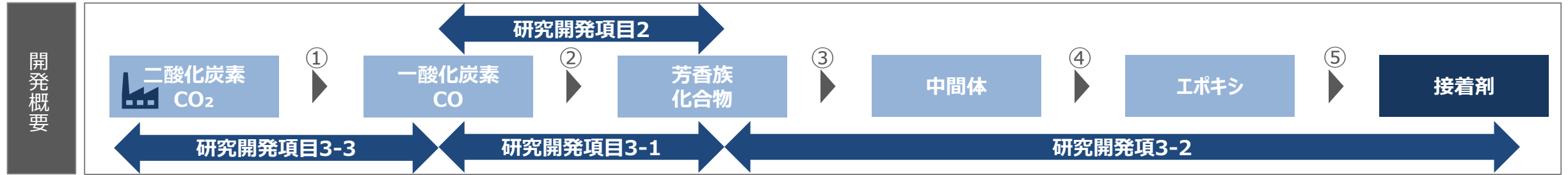
## 2. 研究開発計画 / (0) 全体概要

ポリマー原料の光反応・エポキシ化により石化由来樹脂と同等の耐熱性および接着性能を確認済み  
CO原料としたポリマー原料生産微生物・プロセスを開発することで、CO<sub>2</sub>由来エポキシ接着剤生産を実現する

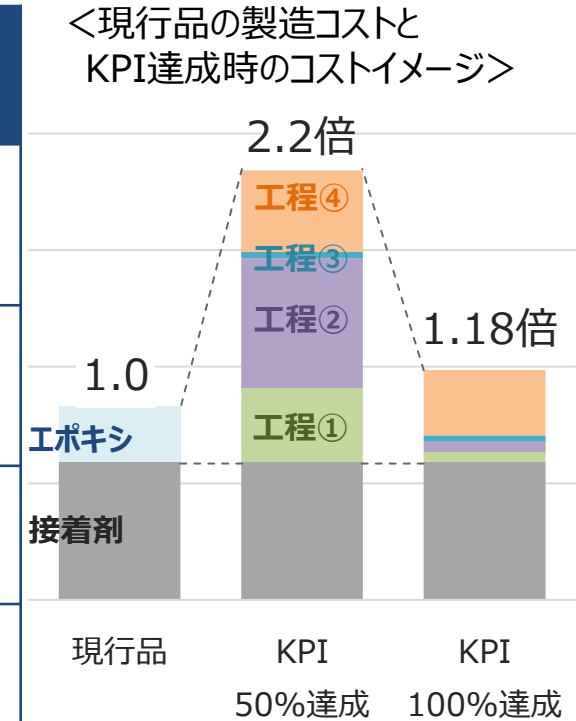


## 2. 研究開発計画 / (0) 全体概要

「接着剤の製造コスト現行品比1.2倍以下」を実現するための、研究開発項目2および3の主要KPI  
 目標生産量とコストネックとなるキープロセスを解決することにより、コスト1.2倍以下を達成



工程	① CO <sub>2</sub> → CO	② CO → 芳香族化合物	③ 芳香族化合物 → 中間体	④ 中間体 → エポキシ	⑤ エポキシ → 接着剤
コストネック要素	水素コスト	高生産株開発 培養液量	中間体回収率 溶媒使用量	CO <sub>2</sub> 由来品では 製造実績なし	CO <sub>2</sub> 由来品では 製造実績なし
解決策	水素廃棄量のミニマイズ	生産速度向上 連続生産化 回収・精製収率向上	反応・精製工程最適化 溶媒の未使用・少量化	-	-
研究開発項目2	-	目標生産量以上	-	-	-
KPI	研究開発項目3 水素廃棄量30%未満 (投入に対して)	目標生産量以上 回収率85%以上	回収率85%以上 溶媒使用量50%以下	目標生産量	現行石化由来製品と 同等以上の接着性能



# 世界トップレベルの技術や事業化実績を有する機関の連携で、プロジェクトの成功を実現

開発概要



役割分担

**2**

CO<sub>2</sub>を原料に物質生産できる微生物等の開発・改良

**CO→芳香族化合物生産法・微生物開発**

<b>実施者</b>		CO資化菌技術 (物質生産、培養制御)
<b>共同実施者</b>		世界トップレベルの芳香族化合物の高生産実績
<b>再委託先</b>		世界初の微生物由来芳香族化合物の生産実績
<b>再委託先</b>		低コスト新規酵素反応技術

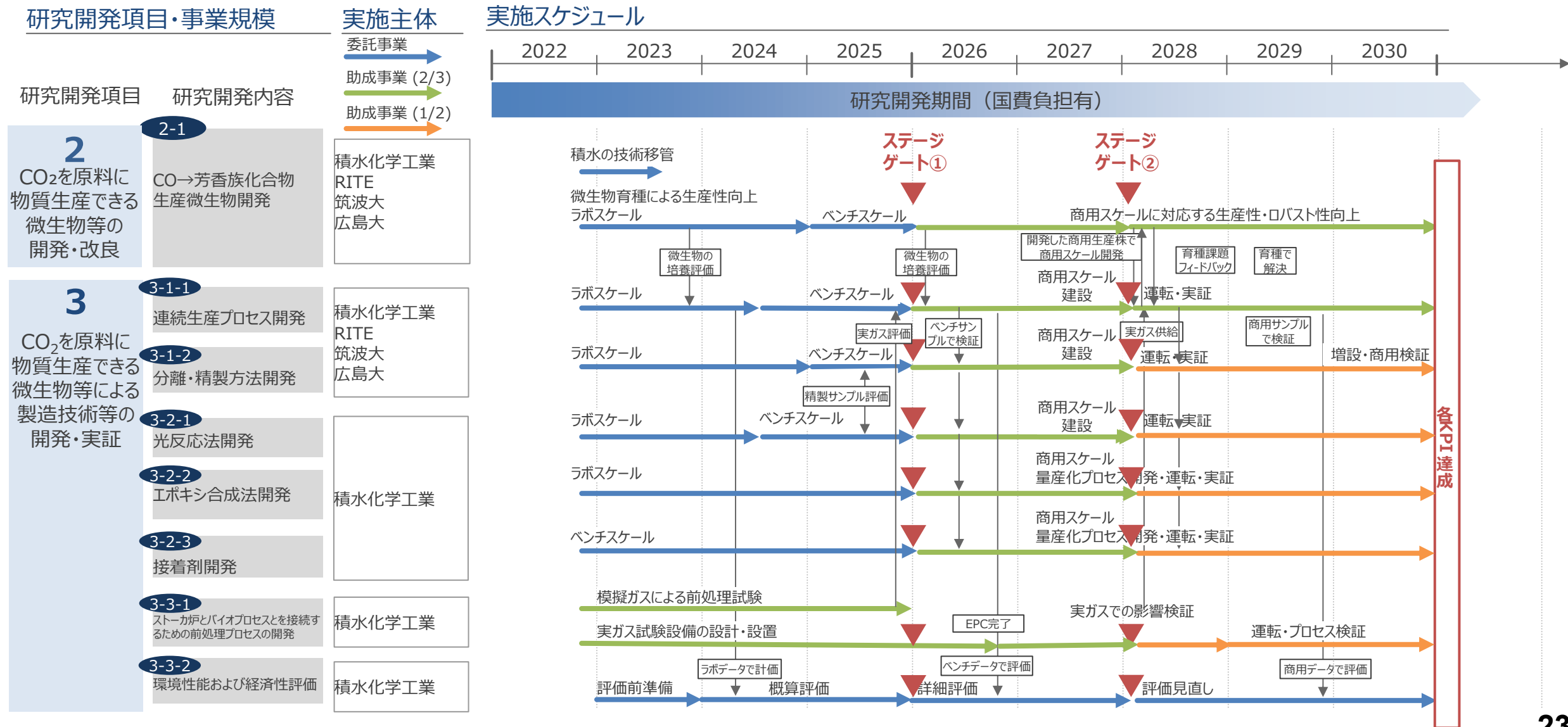
**3**

CO<sub>2</sub>を原料に物質生産できる微生物等による製造技術等の開発・実証

CO <sub>2</sub> →CO触媒変換プロセス	CO→芳香族化合物生産プロセス開発	光反応法開発	エポキシ合成法開発	接着剤開発
 世界トップレベルのCO <sub>2</sub> →CO変換触媒技術	 CO→エタノール生産の実証プラント実績 芳香族化合物の生産プロセス開発・スケールアップ技術 微生物物質生産の事業化実績	 光反応を利用した多数の製品化実績	LCD用接着剤シェアNo1	
環境性能, 経済性評価		環境省受託事業等での評価実績		

## 2. 研究開発計画 / (0) 全体概要\_全体実施スケジュール

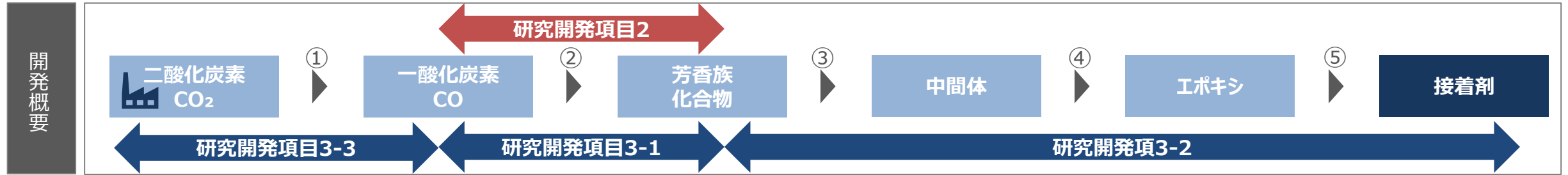
### 全体スケジュール概要および研究開発項目間の関係



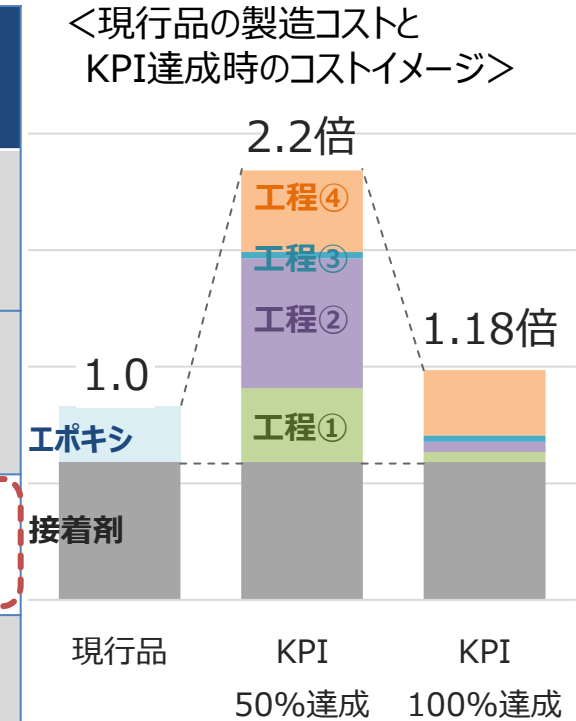
## 研究開発項目2

## 2. 研究開発計画 / (0) 全体概要

「接着剤の製造コスト現行品比1.2倍以下」を実現するための、研究開発項目2および3の主要KPI  
 目標生産量とコストネックとなるキープロセスを解決することにより、コスト1.2倍以下を達成



工程	① CO <sub>2</sub> → CO	② CO → 芳香族化合物	③ 芳香族化合物 → 中間体	④ 中間体 → エポキシ	⑤ エポキシ → 接着剤
コストネック要素	水素コスト	高生産株開発 培養液量	中間体回収率 溶媒使用量	CO <sub>2</sub> 由来品では 製造実績なし	CO <sub>2</sub> 由来品では 製造実績なし
解決策	水素廃棄量のミニマイズ	生産速度向上 連続生産化 回収・精製収率向上	反応・精製工程最適化 溶媒の未使用・少量化	-	-
研究開発項目2	-	目標生産量以上	-	-	-
KPI	研究開発項目3 水素廃棄量30%未満 (投入に対して)	目標生産量以上 回収率85%以上	回収率85%以上 溶媒使用量50%以下	目標生産量	現行石化由来製品と 同等以上の接着性能



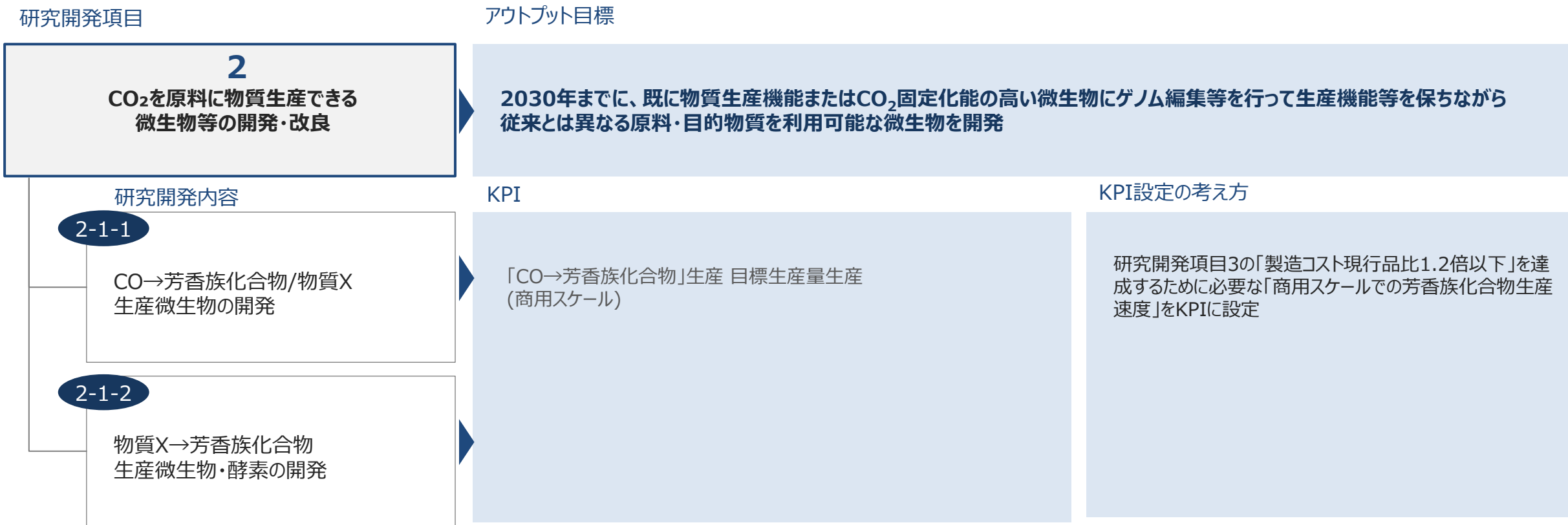
2. 研究開発計画 / (0) 全体概要

連携機関の保有する技術を結集・展開し、【CO→芳香族化合物 目標生産量】を実現する微生物、プロセスを開発

KPI 2-1	「CO→芳香族化合物」生産 目標生産量達成 (商用スケール)				
	1段階生産において芳香族化合物毒性による生産性低下を考慮し、2段階生産によるCOから低毒性の物質Xを介した芳香族化合物生産の二方法を並行開発				
芳香族化合物毒性	<table border="1"> <tr> <th data-bbox="191 428 1312 499">1段階生産</th> <th data-bbox="1312 428 2497 499">2段階生産</th> </tr> <tr> <td data-bbox="191 499 1312 871"> <p>CO → <b>CO資化菌</b> → 芳香族化合物</p> <p><b>解決策</b> → 毒性耐性 (耐性菌探索と高速変異技術による耐性付与) <b>CO資化菌</b></p> <p>SEKISUI 筑波大学 耐性菌探索 独自の単細胞分離培養デバイス・技術 探索効率×1000以上※ ※従来の微生物探索法と比較</p> <p>RITE 高速変異技術で芳香族化合物への耐性向上 有用変異集積 独自のミューター 変異導入技術 → 変異誘発、解析、耐性向上 高耐性株 高速・高効率 耐性向上</p> </td> <td data-bbox="1312 499 2497 871"> <p>CO → <b>CO資化菌</b> → 物質X → <b>微生物/酵素</b> → 芳香族化合物</p> <p><b>解決策</b> → 毒性回避 (芳香族化合物耐性が高い微生物/酵素の活用) <b>微生物/酵素</b></p> <p>RITE 芳香族化合物高耐性のコリネ型細菌を活用した変換プロセス構築</p> <p>大腸菌 酵母 コリネ菌 芳香族化合物耐性のコリネ型細菌活用</p> <p>SEKISUI 広島大学 シンプル酵素触媒法構築</p> <p>微生物 シンプル酵素触媒 芳香族化合物 非生物系のため毒性の影響なし</p> </td> </tr> </table>	1段階生産	2段階生産	<p>CO → <b>CO資化菌</b> → 芳香族化合物</p> <p><b>解決策</b> → 毒性耐性 (耐性菌探索と高速変異技術による耐性付与) <b>CO資化菌</b></p> <p>SEKISUI 筑波大学 耐性菌探索 独自の単細胞分離培養デバイス・技術 探索効率×1000以上※ ※従来の微生物探索法と比較</p> <p>RITE 高速変異技術で芳香族化合物への耐性向上 有用変異集積 独自のミューター 変異導入技術 → 変異誘発、解析、耐性向上 高耐性株 高速・高効率 耐性向上</p>	<p>CO → <b>CO資化菌</b> → 物質X → <b>微生物/酵素</b> → 芳香族化合物</p> <p><b>解決策</b> → 毒性回避 (芳香族化合物耐性が高い微生物/酵素の活用) <b>微生物/酵素</b></p> <p>RITE 芳香族化合物高耐性のコリネ型細菌を活用した変換プロセス構築</p> <p>大腸菌 酵母 コリネ菌 芳香族化合物耐性のコリネ型細菌活用</p> <p>SEKISUI 広島大学 シンプル酵素触媒法構築</p> <p>微生物 シンプル酵素触媒 芳香族化合物 非生物系のため毒性の影響なし</p>
1段階生産	2段階生産				
<p>CO → <b>CO資化菌</b> → 芳香族化合物</p> <p><b>解決策</b> → 毒性耐性 (耐性菌探索と高速変異技術による耐性付与) <b>CO資化菌</b></p> <p>SEKISUI 筑波大学 耐性菌探索 独自の単細胞分離培養デバイス・技術 探索効率×1000以上※ ※従来の微生物探索法と比較</p> <p>RITE 高速変異技術で芳香族化合物への耐性向上 有用変異集積 独自のミューター 変異導入技術 → 変異誘発、解析、耐性向上 高耐性株 高速・高効率 耐性向上</p>	<p>CO → <b>CO資化菌</b> → 物質X → <b>微生物/酵素</b> → 芳香族化合物</p> <p><b>解決策</b> → 毒性回避 (芳香族化合物耐性が高い微生物/酵素の活用) <b>微生物/酵素</b></p> <p>RITE 芳香族化合物高耐性のコリネ型細菌を活用した変換プロセス構築</p> <p>大腸菌 酵母 コリネ菌 芳香族化合物耐性のコリネ型細菌活用</p> <p>SEKISUI 広島大学 シンプル酵素触媒法構築</p> <p>微生物 シンプル酵素触媒 芳香族化合物 非生物系のため毒性の影響なし</p>				
課題 低生産性	<table border="1"> <tr> <th data-bbox="191 871 1312 1406">1段階生産</th> <th data-bbox="1312 871 2497 1406">2段階生産</th> </tr> <tr> <td data-bbox="191 871 1312 1406"> <p>CO → <b>CO資化菌</b> → 芳香族化合物</p> <p><b>解決策</b> → CO資化能に優れた芳香族化合物/物質Xの高生産株構築 <b>CO資化菌</b></p> <p>SEKISUI CO資化菌関連技術 有価物生産技術 CO資化菌 培養制御技術 組換え技術 CO資化菌物質高生産化</p> <p>RITE SEKISUI 筑波大学 スマートセル技術で芳香族化合物/物質Xの高生産株構築</p> <p>設計(Design) 構築(Build) DBTL サイクル 学習(Learn) 試験(Test) 芳香族化合物高生産化</p> </td> <td data-bbox="1312 871 2497 1406"> <p>物質X → <b>微生物/酵素</b> → 芳香族化合物</p> <p><b>解決策</b> → 酵素高活性化・高収率化 <b>微生物/酵素</b></p> <p>RITE 機械学習を活用したコリネ型細菌酵素の高速高機能化</p> <p>変異導入 機械学習 FB 活性評価 短期間で酵素活性を向上</p> <p>SEKISUI 広島大学 高収率なシンプル酵素触媒法構築</p> <p>芳香族化合物前駆体 低温菌 低温菌酵素熱失活 組換え酵素活性 副産物なし 芳香族化合物 目的物収率 &gt;98%</p> </td> </tr> </table>	1段階生産	2段階生産	<p>CO → <b>CO資化菌</b> → 芳香族化合物</p> <p><b>解決策</b> → CO資化能に優れた芳香族化合物/物質Xの高生産株構築 <b>CO資化菌</b></p> <p>SEKISUI CO資化菌関連技術 有価物生産技術 CO資化菌 培養制御技術 組換え技術 CO資化菌物質高生産化</p> <p>RITE SEKISUI 筑波大学 スマートセル技術で芳香族化合物/物質Xの高生産株構築</p> <p>設計(Design) 構築(Build) DBTL サイクル 学習(Learn) 試験(Test) 芳香族化合物高生産化</p>	<p>物質X → <b>微生物/酵素</b> → 芳香族化合物</p> <p><b>解決策</b> → 酵素高活性化・高収率化 <b>微生物/酵素</b></p> <p>RITE 機械学習を活用したコリネ型細菌酵素の高速高機能化</p> <p>変異導入 機械学習 FB 活性評価 短期間で酵素活性を向上</p> <p>SEKISUI 広島大学 高収率なシンプル酵素触媒法構築</p> <p>芳香族化合物前駆体 低温菌 低温菌酵素熱失活 組換え酵素活性 副産物なし 芳香族化合物 目的物収率 &gt;98%</p>
1段階生産	2段階生産				
<p>CO → <b>CO資化菌</b> → 芳香族化合物</p> <p><b>解決策</b> → CO資化能に優れた芳香族化合物/物質Xの高生産株構築 <b>CO資化菌</b></p> <p>SEKISUI CO資化菌関連技術 有価物生産技術 CO資化菌 培養制御技術 組換え技術 CO資化菌物質高生産化</p> <p>RITE SEKISUI 筑波大学 スマートセル技術で芳香族化合物/物質Xの高生産株構築</p> <p>設計(Design) 構築(Build) DBTL サイクル 学習(Learn) 試験(Test) 芳香族化合物高生産化</p>	<p>物質X → <b>微生物/酵素</b> → 芳香族化合物</p> <p><b>解決策</b> → 酵素高活性化・高収率化 <b>微生物/酵素</b></p> <p>RITE 機械学習を活用したコリネ型細菌酵素の高速高機能化</p> <p>変異導入 機械学習 FB 活性評価 短期間で酵素活性を向上</p> <p>SEKISUI 広島大学 高収率なシンプル酵素触媒法構築</p> <p>芳香族化合物前駆体 低温菌 低温菌酵素熱失活 組換え酵素活性 副産物なし 芳香族化合物 目的物収率 &gt;98%</p>				

## 研究開発項目3のコスト1.2倍の達成に必要な芳香族化合物生産速度をもつ微生物を開発

### 研究開発項目2の研究開発目標



## 拠点間で成果を共有し研究開発推進、ステージゲートで生産株を選択し、KPIを達成

### 研究開発項目2の研究開発内容

2-1-1

	KPI	現状	達成レベル	解決方法	実現可能性 (成功確率)
CO→芳香族化合物/ 物質X生産微生物開発	<p>「CO→芳香族化合物」 生産目標生産量生産 (商用スケール)</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> <p><b>【対象反応】</b></p> <p>CO ↓ <b>CO資化菌</b> ↓ 芳香族化合物/ 物質X</p> </div>	<p>芳香族生産法を 決定 「CO→物質X」 ラボスケール 目標生産速度 到達 → <b>TRL 3</b></p>	<p>「CO→芳香族 化合物」 生産 目標生産量生 産 (商用スケール) <b>(TRL 7)</b></p>	<p><b>【積水化学】CO資化菌技術(組換え、培養制御)を共有し RITE・筑波大と連携し開発促進</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 培養評価                             <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 方法：CO培養技術による高生産条件探索</li> <li>・ 方法：代謝解析による育種課題抽出</li> </ul> </li> <li>■ 微生物育種                             <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 方法：高活性酵素探索・開発</li> </ul> </li> </ul> <p><b>【RITE】世界トップレベルの芳香族化合物や脂肪族化合物の高生産 技術を活かし、CO資化菌向けに独自に開発した遺伝子組 換えツールと組換え技術を用い「物質X生産株」を開発</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 微生物育種                             <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 方法：遺伝子組換え法最適化で育種短期化</li> <li>・ 方法：スマートセル開発技術で短期高生産化</li> <li>・ 方法：CO固定経路の強化等</li> <li>・ 方法：高速高機能化技術で酵素高活性化</li> <li>・ 方法：菌株耐性化</li> </ul> </li> </ul> <p><b>【筑波大】芳香族化合物の高生産技術を活かし、有用宿主探索と 独自育種技術で芳香族化合物高生産株開発</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 有用宿主探索                             <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 方法：ハイスループットスクリーニング法で有用宿主獲得 (芳香族化合物耐性、CO高資化性など有用性質株)</li> </ul> </li> <li>■ 微生物育種                             <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 方法：独自の育種開発サイクルで高生産化</li> <li>・ 方法：高活性酵素探索・開発</li> </ul> </li> </ul>	<p>積水化学工業の CO→エタノール生産 等のCO資化菌技術</p> <p>RITEの様々な芳香 族化合物の世界トッ プレベルの高生産実 績</p> <p>筑波大の微生物探 索技術、芳香族化合 物の高生産実績</p> <p>以上の技術の連携で 実現可能性は高い <b>(80%)</b></p>

## 拠点間で成果を共有し研究開発推進、ステージゲートで生産株を選択し、KPIを達成

### 研究開発項目2の研究開発内容

2-1-2

物質X→芳香族化合物  
生産微生物・酵素開発

KPI

「CO→芳香族化合物」  
生産  
目標生産量生産  
(商用スケール)

【対象反応】

物質X

↓  
微生物

↓  
芳香族化合物

現状

微生物生産を  
決定  
「物質X→芳香  
族化合物」  
ラボスケール  
目標生産速度  
到達  
(TRL 3)

達成レベル

「CO→芳香族  
化合物」生産  
目標生産量生産  
(商用スケール)  
  
(TRL 7)

解決方法

【積水化学】

- 酵素活性
  - AIを援用した酵素改変による活性向上

【RITE】芳香族化合物毒性耐性のコリネ型細菌を用いた  
RITEバイオプロセス

- 代謝経路設計と育種
  - 方法：人工代謝経路、変換酵素の設計による  
物質X→芳香族化合物の最適代謝経路  
設計
  - 方法：代謝経路の強化、高機能化酵素の導入  
など
- 酵素活性・安定性向上、菌株耐性化など
  - 方法：高速高機能化技術で活性向上
  - 方法：芳香族化合物耐性化

【広島大】芳香族化合物を高生産できる変換酵素の開発

- 酵素活性・安定性向上
  - 方法：ハイスループットなスクリーニング法による高活  
性変異体の取得
  - 方法：構造情報を活用した分子進化による高活  
性化

実現可能性  
(成功確率)

2拠点で並行開発し  
成功確率向上

広島大はポリマー素材  
となる各種化学品を  
100%近い高収率で  
生産実績あり

RITEは糖から様々な  
芳香族化合物の世界  
トップレベルの生産実  
績あり

以上より、実現可能  
性は高い(90%)

## 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

#### 研究開発内容

2-1-1 2-1-1①  
CO→芳香族化合物/  
物質Xの生産微生物の育種・評価技術  
開発



2-1-1②  
CO→芳香族化合物/  
物質Xの生産微生物開発



2-1-1③  
CO資化菌探索に基づきCO→芳香族化合物/  
物質Xの生産微生物開発



#### 直近のマイルストーン

CO→ポリマー原料  
「〇〇 g/L」相当  
生産確認



#### これまでの (前回からの) 開発進捗

- ・ラボスケールバイオリアクタ(2.5L)でCO→物質X 目標生産速度を達成
- ・核酸アナログや適応進化実験によるCO高増殖株、生産物耐性株の育種実施中
- ・培地コスト低減等を目的に、CO資化菌培地の天然培地成分(酵母エキス)をアミノ酸に変更し、更に増殖速度の低下を引き起こさないアミノ酸を除いた培地を開発

- ・CO資化菌向けに新たに開発した遺伝子組換え系を活用し、スマートセル技術を適用してCOから物質Xに至る経路の発現強化に成功し、ガス培養条件を検討した。
- ・安全対策を施した専用建屋 (バイオものづくり実験棟) が完工した。CO資化菌の嫌気培養時における代謝産物分析等を行った。
- ・芳香族化合物生産酵素の遺伝子を大腸菌宿主を用いて探索し高活性で新規な酵素遺伝子を複数見出した。また、コドン最適化や変異導入を行い、CO資化菌で高発現させた。

- ・新たに環境試料から341株を単離し、内1株でCO消費を確認した。
- ・前回までに得られた生産物耐性候補遺伝子群をプラスミドベースで発現させた組換え大腸菌およびCO資化菌を構築した。
- ・上記菌株の生産物耐性試験を実施し、4種の候補遺伝子で耐性能の向上を確認した。
- ・プロトプラストPEG法およびRecA依存的相同組換え法を開発し、CO資化菌染色体への外来配列導入を確認した。

#### 進捗度

進捗度：◎  
計画を前倒しで進捗

進捗度：◎

- ・計画通りに進行した。
- ・高活性な新規酵素を見出し、変異導入等により高機能化を行った。
- ・専用建屋を活用してガス培養条件の検討を行った。

進捗度：◎

- ・計画通りに進行。
- ・生産物耐性遺伝子を4種選出。
- ・CO資化菌へのゲノム組み込み手法を確立

## 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

#### 研究開発内容

2-1-2 2-1-2①  
物質X→芳香族化合物変換微生物の開発



2-1-2②  
物質X→芳香族化合物変換酵素の開発



2-1-2③  
物質X→芳香族化合物変換微生物・酵素の開発



#### 直近のマイルストーン

CO→ポリマー原料「〇〇 g/L」相当生産確認

酵素活性向上

#### これまでの (前回からの) 開発進捗

・スマートセル技術を適用して物質Xから芳香族化合物に至る経路上の主要な経路上の遺伝子発現を強化した生産株を構築し、目標生産速度以上の芳香族化合物への安定した変換を達成した。  
また、副生成物が培地中に蓄積することを見出し、これらの低減を行った。

・芳香族化合物変換酵素を発現させたシンプル酵素触媒で芳香族化合物を目標速度の約10倍の生産を確認したが、変換ルート変更に伴い酵素の改変とコリネ型細菌での発現を行うために計画変更した。  
・改変酵素を効率的に取得するためのスクリーニング系の構築により、従来酵素よりも高活性を示す酵素変異体を取得した。  
・改変酵素の生化学的パラメーターによる評価を実施した。

・至適pHシフトの酵素改変実施し、中性で活性最大8倍向上

#### 進捗度

進捗度：◎  
・物質Xから芳香族化合物に至る主要な経路上の遺伝子発現を強化した株を構築した。  
・目標生産速度以上の芳香族化合物生産を達成した。

進捗度：◎  
・酵素改変とスクリーニングを着実に実施。  
・改変酵素の基質親和性や触媒効率の向上を確認した。

進捗度：◎  
計画通りに進捗

## 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

#### 研究開発内容 直近のマイルストーン

2-1-1 2-1-1①  
CO→芳香族化合物/物質Xの生産微生物の育種・評価技術開発

SEKISUI

2-1-1②  
CO→芳香族化合物/物質Xの生産微生物開発

RITE  
Research Institute of Innovative Technology for the Earth

2-1-1③  
CO資化菌探索に基づくCO→芳香族化合物/物質Xの生産微生物開発

筑波大学  
University of Tsukuba

CO→ポリマー原料「○○ g/L」相当生産確認

#### 残された技術課題

- ・生産物耐性の向上
- ・CO増殖速度の向上
- ・アミノ酸非添加培地での高増殖株の育種

- ・遺伝子組換え等を通じたCO増殖速度向上
- ・生産物耐性化

- ・選出した生産物耐性候補遺伝子の機能解析と生産物耐性への寄与の評価
- ・候補遺伝子をCO資化菌に導入・発現させた際の耐性向上と培養特性への影響評価

#### 解決の見通し

- ・生産物耐性株は獲得できており、さらなる高濃度環境下での適応進化実験等で育種を継続する。
- ・高濃度CO環境下での適応進化実験や、RITEと連携し変異型CO固定酵素(CODH)の導入により解決する。
- ・低濃度アミノ酸培地、アミノ酸非添加培地での適応進化実験により解決する。

- ・CO増殖速度向上、生産濃度向上、生産速度の向上という技術課題を解決する。

- ・高濃度生産物耐性を有する菌株のゲノム解析およびトランスクリプトーム解析から、14種の生産物耐性候補遺伝子の選出に成功した。
- ・CO資化菌に利用可能な発現ベクターの構築および形質転換手法の確立により、候補遺伝子群を導入した形質転換体の構築、形質転換体の生産物耐性の検証が可能となった。

## 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

#### 研究開発内容 直近のマイルストーン

2-1-2 2-1-2①  
物質X→芳香族化合物変換微生物の開発



2-1-2②  
物質X→芳香族化合物変換酵素技術開発



2-1-2③  
物質X→芳香族化合物変換微生物・酵素の開発



CO→芳香族化合物  
「〇〇 g/L」相当  
生産確認

酵素活性〇倍

#### 残された技術課題

- ・芳香族化合物生産株の育種
- ・収率の向上

- ・酵素活性の向上

- ・酵素活性の向上

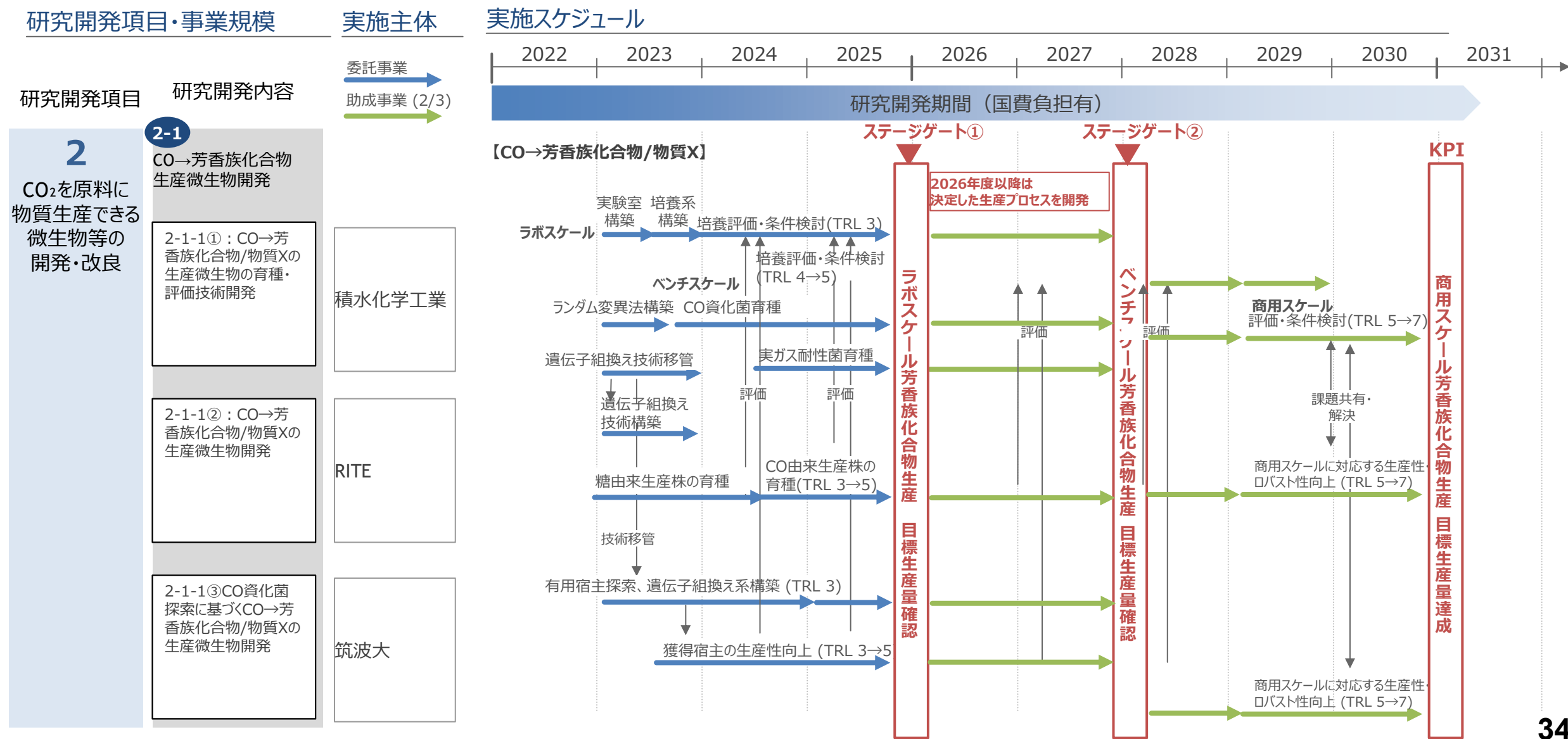
#### 解決の見通し

- ・芳香族化合物生産株を更に遺伝子改良し、収率向上を目指す

- ・酵素のランダム変異ライブラリーからのスクリーニング、立体構造情報を利用した変異予測により活性を向上した変異体を取得できている。さらなるスクリーニングや変異体の組み合わせにより、さらなる活性と発現量を向上できる見込み

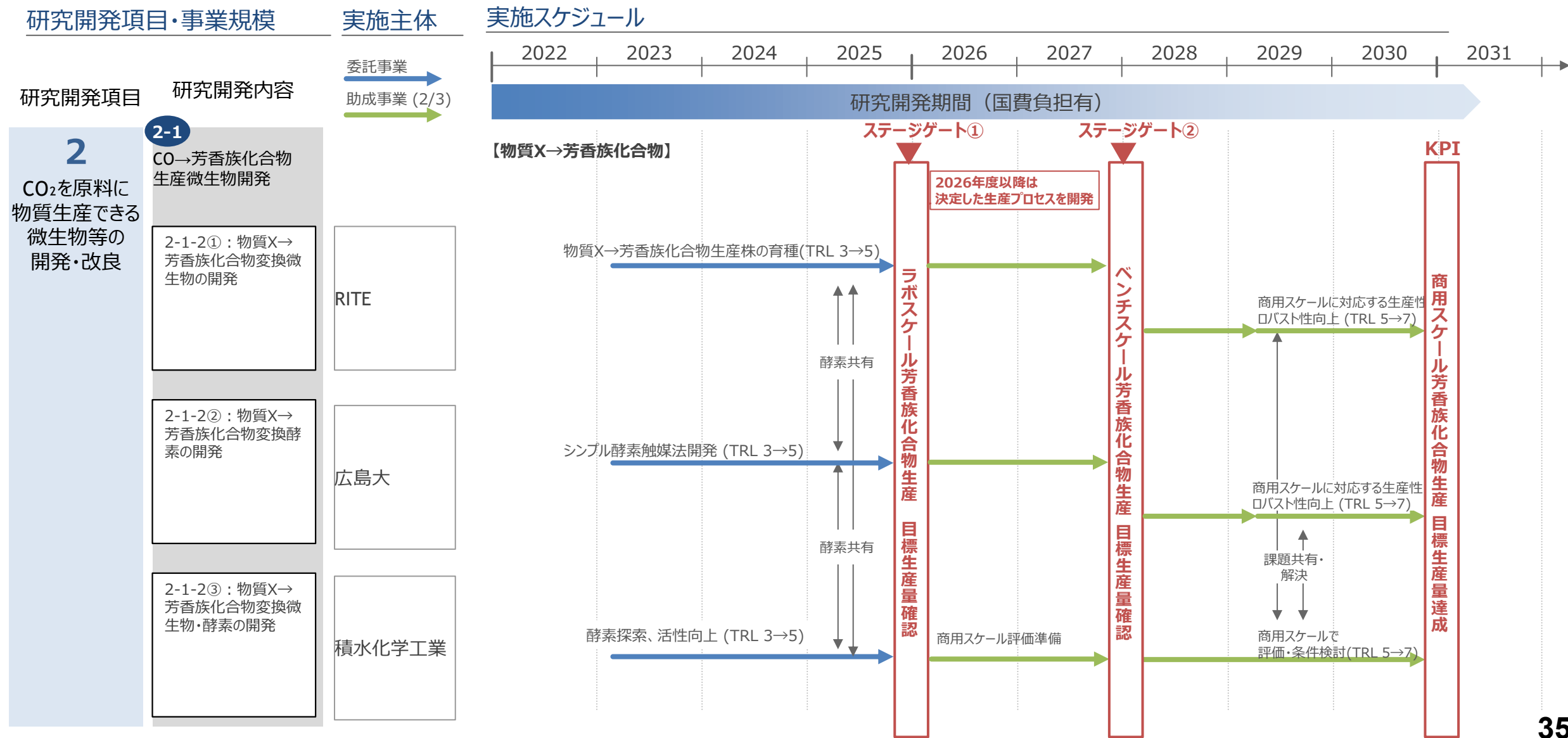
- ・活性が不十分の場合、酵素活性の向上、至適pHシフトにより獲得した酵素に対し、再度活性向上の改変を実施

## 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



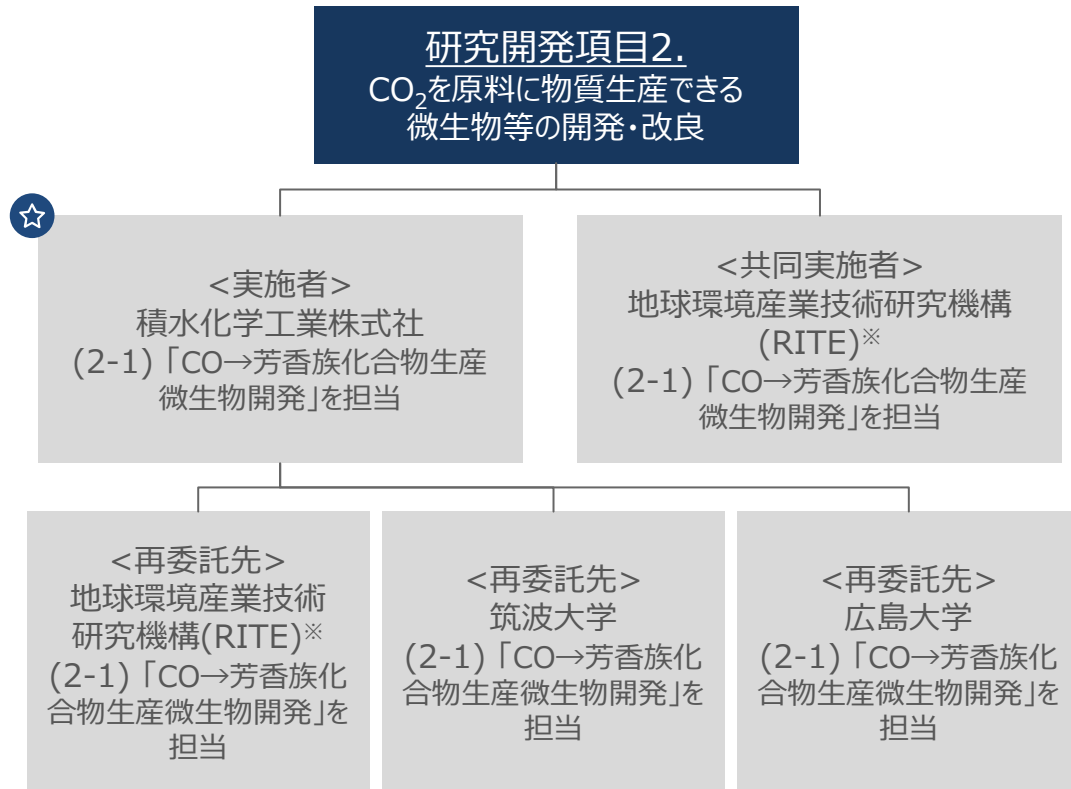
## 2. 研究開発計画 / (3) 実施スケジュール

### 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



## 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



☆ 幹事会社

### 各主体の役割と連携方法

#### 各主体の役割

- 研究開発項目2全体の取りまとめは、積水化学が行う。
- 積水化学は、宿主探索・酵素開発・培養評価を担当する。
- 地球環境産業技術研究機構 (RITE) は、育種・酵素開発・培養評価を担当する。  
※当初は共同実施者として、ステージゲート後(2027年度以降)は積水化学の再委託先とする。
- 筑波大学は、宿主探索・育種・酵素開発・培養評価を担当する。
- 広島大学は、酵素変換プロセス・酵素開発を担当する。

#### 研究開発における連携方法（共同実施者間の連携）

- 積水化学は、RITEと筑波大学が開発した微生物の培養評価を実施する。
- 積水化学と筑波大学は、連携して宿主探索を実施する。
- RITEと筑波大学は、微生物育種の成果を共有し連携して開発する。
- 各機関は定例打合せ（四半期毎以上の頻度）を実施し、進捗を共有・管理する。
- 知的財産権およびデータ取り扱いに関する合意書を各機関間で別途締結する。
- 積水化学と筑波大学は、開発促進のため筑波大学に集中研を設置する可能性がある。

#### 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1の採択機関 (NITE) と連携し微生物開発を加速する可能性がある。

#### 中小・ベンチャー企業の参画

- 酵素改変を、当該技術を有するベンチャー企業に外注し、開発を加速する。

## 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	実施主体	活用可能な技術等	競合他社に対する優位性・リスク
<p><b>2</b></p> <p>CO<sub>2</sub>を原料に物質生産できる微生物等の開発・改良</p>	<p><b>2-1</b></p> <p>CO → 芳香族化合物生産微生物開発</p>	積水化学	<ul style="list-style-type: none"> <li>CO資化菌を用いたCO→エタノール生産のプラント技術 (基本特許：特許第6689729号他登録：35件、出願中：66件)</li> <li>CO資化菌を用いたCO→イソプレン生産技術 (特許6546674号、特許6355562号、特許6375227号、他15件)</li> <li>CO資化菌の連続培養ノウハウ・人材</li> <li>環境中からの新規酵素取得ノウハウ・人材</li> </ul>	<p><b>優位性：ゴミガスからCO資化菌を用いた物質生産の例は世界的に実証プラント開発実績がある積水は世界トップレベル</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>CO→エタノール生産1kL/dayの実証プラント</li> <li>CO→イソプレン生産実績</li> <li>ラボ(0.005~2L),パイロット(エタノール生産20kL/y),実証プラント(エタノール生産 1kL/day)の大量培養スケールアップの実績</li> <li>CO資化菌研究10年以上の技術蓄積</li> <li>未知の新規酵素取得の実績を持つ技術力</li> </ul> <p>リスク：CO利用のベンチャー、他企業の追従</p>
		RITE	<ul style="list-style-type: none"> <li>スマートセル開発技術 (Metab.Eng.65:232(2021),特許第6685388号(2020), US11,359,217(2022))</li> <li>人工代謝経路の設計技術 (同上, 特許第6685388号(2020) US11,359,217(2022))</li> <li>芳香族化合物生産技術 (Appl. Environ. Microbiol. 84:e02587-17(2018), Metab. Eng. 65:232(2021),特許第6327653号(2018), 特許第6327654号(2018),特許第6685388号(2020))</li> <li>ハイスループット酵素探索・酵素の高機能化技術</li> <li>RITEバイオプロセスによる物質生産技術と実績 (Biotechnol. Bioeng. 110:2938(2013), Metab. Eng. 38:204(2016), 特許第5698655号(2015), 特許第6302073号(2018))</li> <li>微生物の耐性向上技(Appl. Environ. Microbiol. 81:2284(2015),)</li> <li>遺伝子組換え技術と実績(J. Microbiol. Methods. 146:13(2018), Microbiology 156:3609(2010), Appl. Microbiol. Biotechnol. 81:1107(2009))</li> <li>大量培養技術(90 L, 500 L), 事業化大量培養実績(380 kL)</li> </ul>	<p><b>優位性：世界トップレベルの芳香族化合物等の高生産技術と実績</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>高効率生産株の作製と高生産の実績 (有機酸、アミノ酸、アルコール類、芳香族化合物等)</li> <li>事業化の実績：バリニ、アラニン (ノウハウと人材)</li> <li>パイロットテスト：フェノール、4-ヒドロキシ安息香酸、プロトカテク酸、シキミ酸 (ノウハウと人材)</li> <li>酵素の高機能化実績 (ノウハウと人材)</li> <li>嫌気性細菌 (クロストリジウム菌) の遺伝子組換え技術</li> <li>ミューテーター変異導入法による耐性化実績 (ノウハウと人材)</li> </ul> <p>リスク：海外ベンチャーによる技術模倣</p>

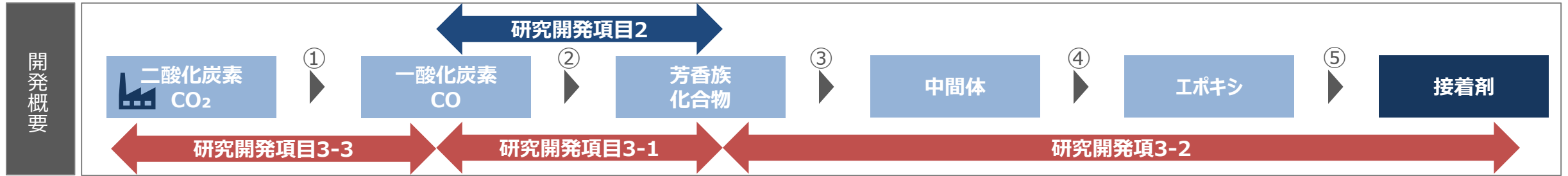
## 国際的な競争の中においても技術等における優位性を保有

研究開発項目	研究開発内容	実施主体	活用可能な技術等	競合他社に対する優位性・リスク
<p>2</p> <p>CO<sub>2</sub>を原料に物質生産できる微生物等の開発・改良</p>	<p>2-1</p> <p>CO →芳香族化合物生産微生物開発</p>	筑波大学	<ul style="list-style-type: none"> <li>ハイスループット菌探索、代謝分析、芳香族化合物生産プラットフォーム技術、酵素探索、改良技術 (特許第6570514号(2019), WO2019168203A1/US11352652B2(2019), 特許第6796927号(2020), 特開2021-180166, 特願2022-159637, Sci. Rep. 6, 25764 (2016), Front. Bioeng. Biotechnol. 10, 843843(2022) 他)</li> <li>0.3~30 kLの大量プロセス構築技術・ノウハウ (Process Biochem. (2019), Adv. Sustainable Syst. (2020), Biosci. Biotechnol. Biochem. (2022), Appl. Microbiol. Biotechnol. (2018), Macromolecules (2016)他) 国プロ: S I Pスマートバイオ産業・農業基盤技術事業(2019-2023), JST・CREST事業(2013-2017), JST・ALCA事業(2010-2017), NEDO・バイオマスエネルギー先導技術研究開発事業(2009-2011)</li> </ul>	<p><b>優位性: 新規生産株の開発実績多数</b> <b>芳香族化合物生産20年以上の実績</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>微生物用の最先端機器既設 (5億円相当)</li> <li>筑波大・微生物サステナビリティ研究センターの専門家集団による支援</li> <li>微生物の開発から大量培養までの一貫型開発</li> <li>大型プロジェクト研究の参画実績多数</li> <li>独自の事業化母体の設立準備中</li> </ul> <p>リスク: 強力な欧米バイオベンチャーの出現と追従</p>
		広島大学	<ul style="list-style-type: none"> <li>シンプル酵素触媒法、酵素遺伝子最適化、遺伝子導入法 (AMB Express, 3(1), 69, 2013; JBB, 125(2), 180-184, 2018)</li> <li>固定化酵素技術、熱処理条件の最適化技術 (IJMB, 42(10), 1319-1324, 2015)</li> <li>ポリマー素材の生成系への適用、酵素の繰り返し、連続使用技術、酵素反応条件の最適化、生成物精製 (J. Biotechnol., 312, 56-62, 2020; J. Biotechnol., 323, 293-301, 2020; BBB, 85(3), 728-738, 2021; JBB, 132(5), 445-450, 2021; 特願2018-124796低温菌を用いたイタコン酸の製造方法)</li> </ul>	<p><b>優位性: 従来の酵素技術と比較し低コストな酵素反応技術</b> 簡易酵素抽出、生物毒性の回避、補酵素再生経路との連携、多様な中温性酵素群から選抜し変換系を設計 中温に近い低温で培養可能、酵素発現システム確立、変換酵素の耐熱性による調製法確立 シンプル酵素触媒の固定化手法確立、固定化触媒による連続反応が可能、高速・高収率変換</p> <p>リスク: 膜結合型酵素の発現、熱処理による酵素活性への影響 細胞凝集による細胞取扱や変換反応への影響 酵素反応の持続性、芳香族化合物の難水溶性</p>

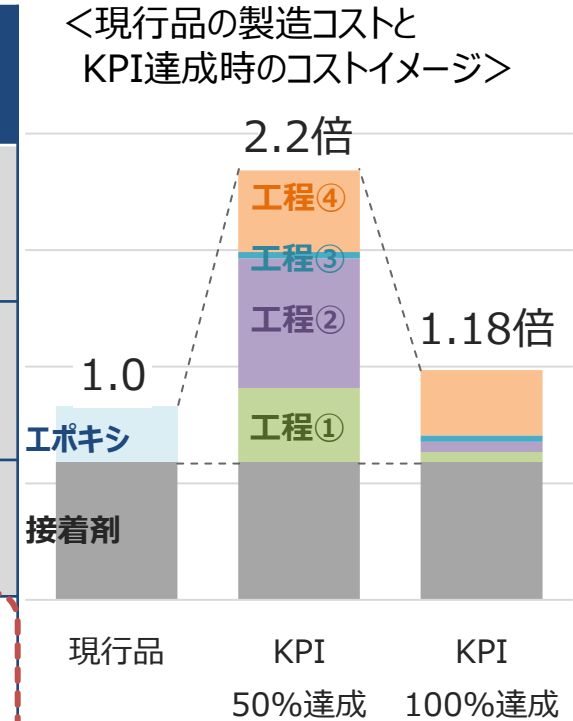
## 研究開発項目3

## 2. 研究開発計画 / (0) 全体概要

「接着剤の製造コスト現行品比1.2倍以下」を実現するための、研究開発項目2および3の主要KPI  
 目標生産量とコストネックとなるキープロセスを解決することにより、コスト1.2倍以下を達成



工程	① CO <sub>2</sub> → CO	② CO → 芳香族化合物	③ 芳香族化合物 → 中間体	④ 中間体 → エポキシ	⑤ エポキシ → 接着剤
コストネック要素	水素コスト	高生産株開発 培養液量	中間体回収率 溶媒使用量	CO <sub>2</sub> 由来品では 製造実績なし	CO <sub>2</sub> 由来品では 製造実績なし
解決策	水素廃棄量のミニマイズ	生産速度向上 連続生産化 回収・精製収率向上	反応・精製工程最適化 溶媒の未使用・少量化	-	-
KPI	研究開発 項目2	-	目標生産量以上	-	-
	研究開発 項目3	水素廃棄量30%未満 (投入に対して)	目標生産量以上 回収率85%以上	回収率85%以上 溶媒使用量50%以下	目標生産量
				現行石化由来製品と 同等以上の接着性能	



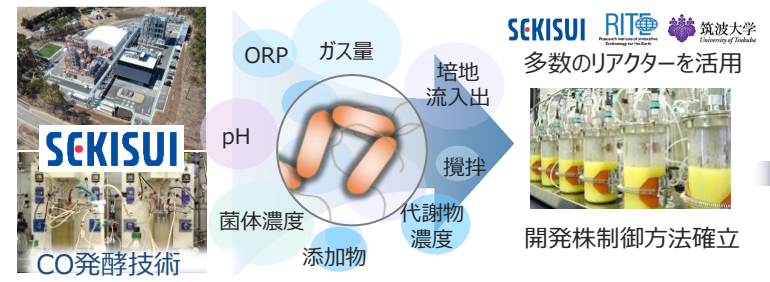
# 研究開発項目2で開発した微生物を用いて、コスト1.2倍を達成する芳香族化合物生産プロセスを開発

**KPI 3-1** 「CO→芳香族化合物」生産 目標生産量達成 (商用スケール)  
芳香族化合物回収率 85%

**解決策** 培養制御ノウハウの再構築と不安定化要因の除去システムの構築 (積水化学・RITE・筑波大)

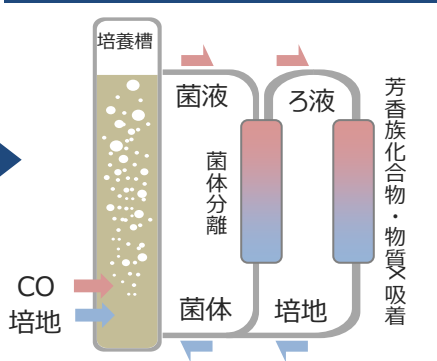
連続培養の不安定性

**(1) 培養制御技術の最適化** 【積水化学・RITE・筑波大】

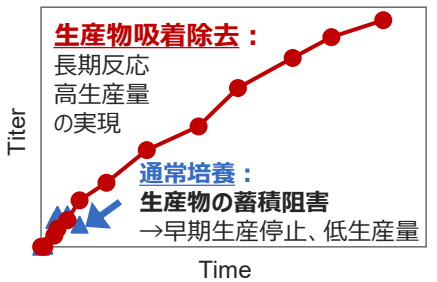
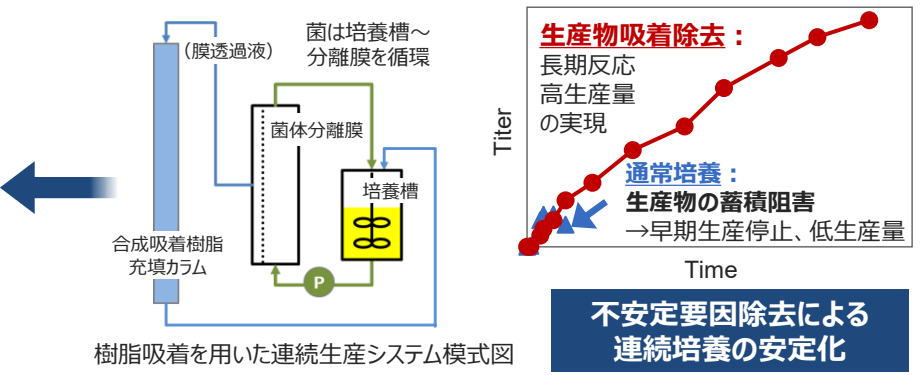


積水化学のCO資化菌培養制御技術を  
開発株に最適化

**連続生産プロセスの長期安定化**



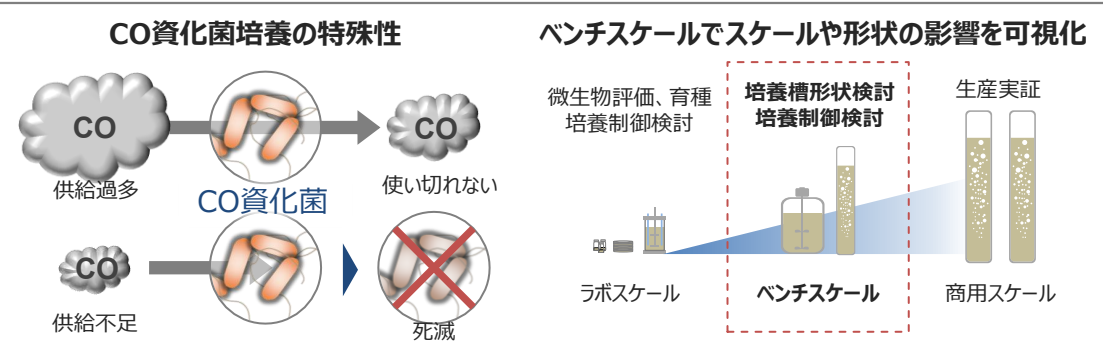
**(2) 生産物の除去による培養安定化** 【積水化学・RITE】



不安定要因除去による  
連続培養の安定化

課題

**解決策** 多段階培養スケールアップ (積水化学・RITE・筑波大)

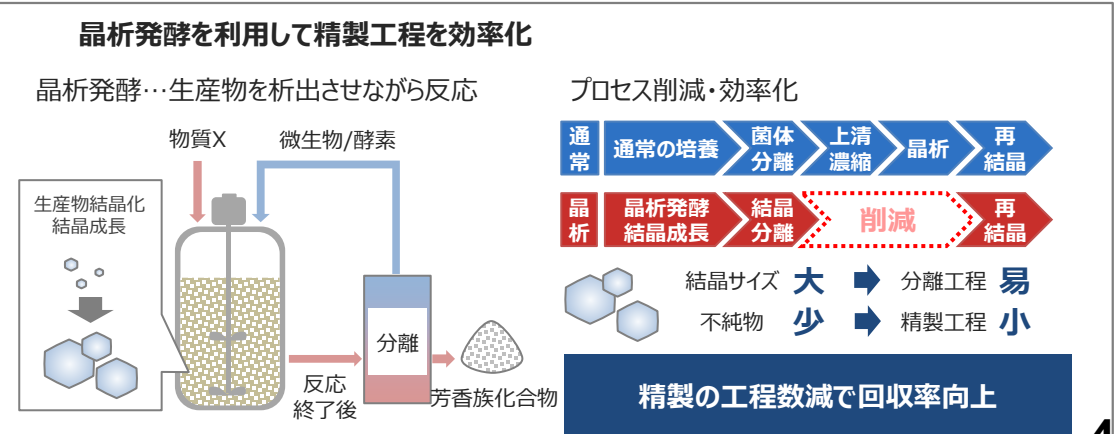


CO培養 ➡ ガスの滞留制御が重要  
≒スケールやリアクター形状の影響大

スケールアップを多段階化  
短期間で確実なスケールアップ可能

精製による回収率の悪化

**解決策** 分離回収法の効率化 (積水化学・RITE・広島大)



通常	通常の培養	菌体分離	上清濃縮	晶析	再結晶
晶析	晶析発酵 結晶成長	結晶分離	削減	再結晶	
	結晶サイズ 不純物	大 少	➡	分離工程 精製工程	易 小

精製の工程数減で回収率向上

## 2. 研究開発計画 / (0) 全体概要

- 研究開発項目3-1で生産した芳香族化合物を用いて、コスト1.2倍を達成するエポキシ接着剤製造プロセスを開発
- 研究開発項目3-1に供給可能なCO製造プロセスの開発およびトータルプロセスの環境性能及び経済性を評価

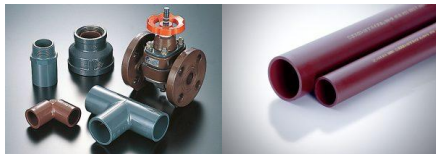
KPI  
3-2

エポキシ接着剤生産 目標生産量達成

- 1 中間体 目標生産量生産 ・ 回収率 85%以上
- 2 エポキシ 目標生産量生産
- 3 現行石化由来製品と同等以上の接着性能

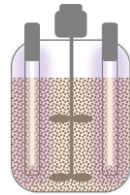
### 解決策 反応効率の向上による不純物低減

(1) 固液分散光照射反応のCPVCプロセス条件を展開

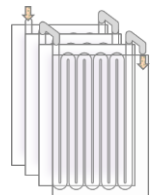


積水化学工業で事業化している塩素化塩ビ (CPVC)

(2) リアクター形状を最適化 反応効率・回収率向上



A. 光反応リアクター



B. 光反応フローリアクターイメージ

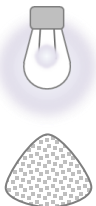
リアクター形状のメリット比較イメージ

	A	B
反応効率	△	○
スケールアップ	△	○
省エネルギー	△	○
設備費	○	△
開発要素	○	△

未反応物質による回収率の低下要因を除去

### 解決策 溶媒使用量低減プロセスの開発

溶媒不使用



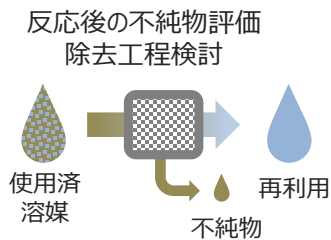
水分散系 & 固体照射検討

溶媒使用量低減



反応時溶液の高濃度化

溶媒リサイクル



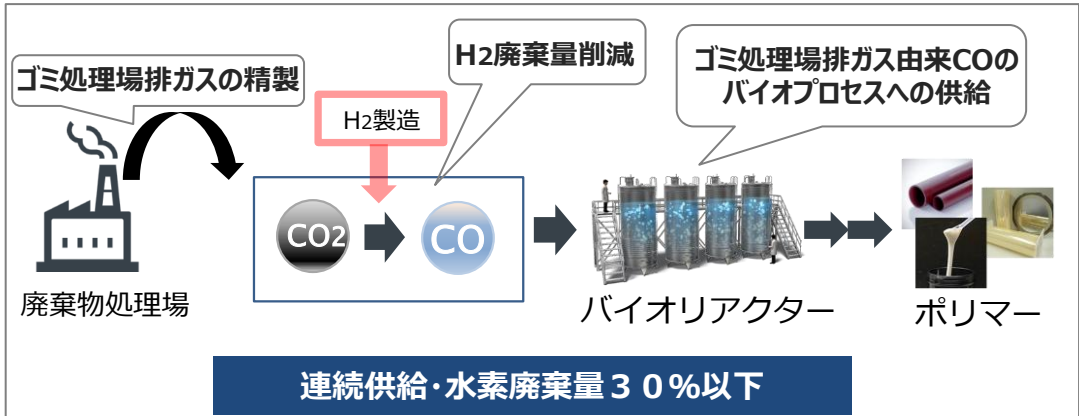
溶媒使用量を50%以下※に低減

※現行ラボプロセス対比

KPI  
3-3

CO<sub>2</sub>→CO: 連続運転・目標供給量達成・投入水量に対して廃棄量3.0%以下  
 経済性評価: 接着剤1kg当たり製造コストを算定し代替候補製品の1.2倍以下  
 環境性能評価: CO<sub>2</sub>削減効果を算定しCO<sub>2</sub>排出量が代替候補製品の0.8倍以下

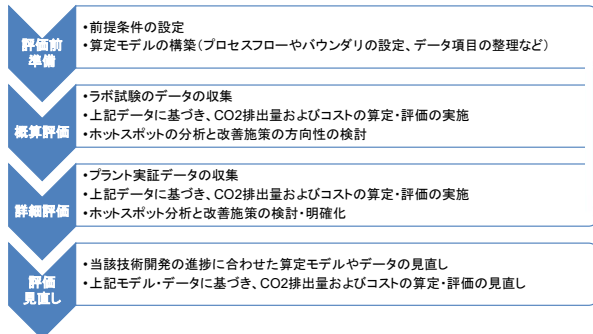
### 解決策 微生物の要求仕様充足及び水素廃棄量削減プロセス開発



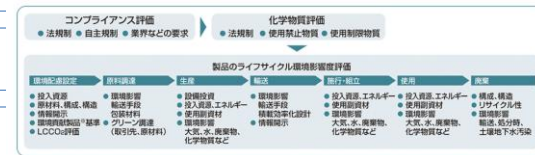
供給ガス仕様・水素廃棄量

課題

### 解決策 ラボ開発、プラント実証と連携しデータ収集・モデル構築



環境影響度評価部署との連携



[https://www.sekisui.co.jp/sustainability\\_report/eco/initiatives/others/env\\_risk/](https://www.sekisui.co.jp/sustainability_report/eco/initiatives/others/env_risk/)

評価手法の議論を通じた知見の活用

[https://www.sekisui.co.jp/news/2023/1385755\\_40075.html](https://www.sekisui.co.jp/news/2023/1385755_40075.html)

環境性能評価および経済性評価方法確立

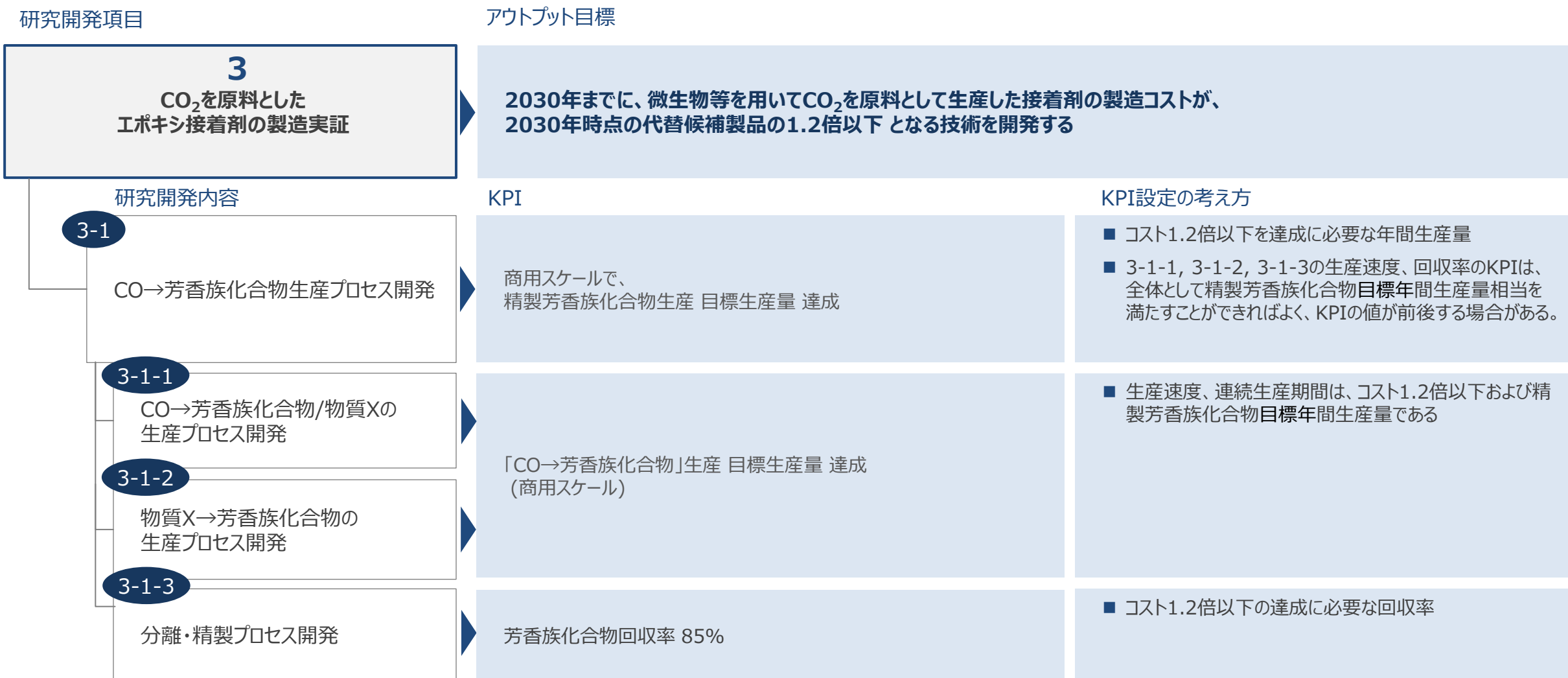
低回収率

課題

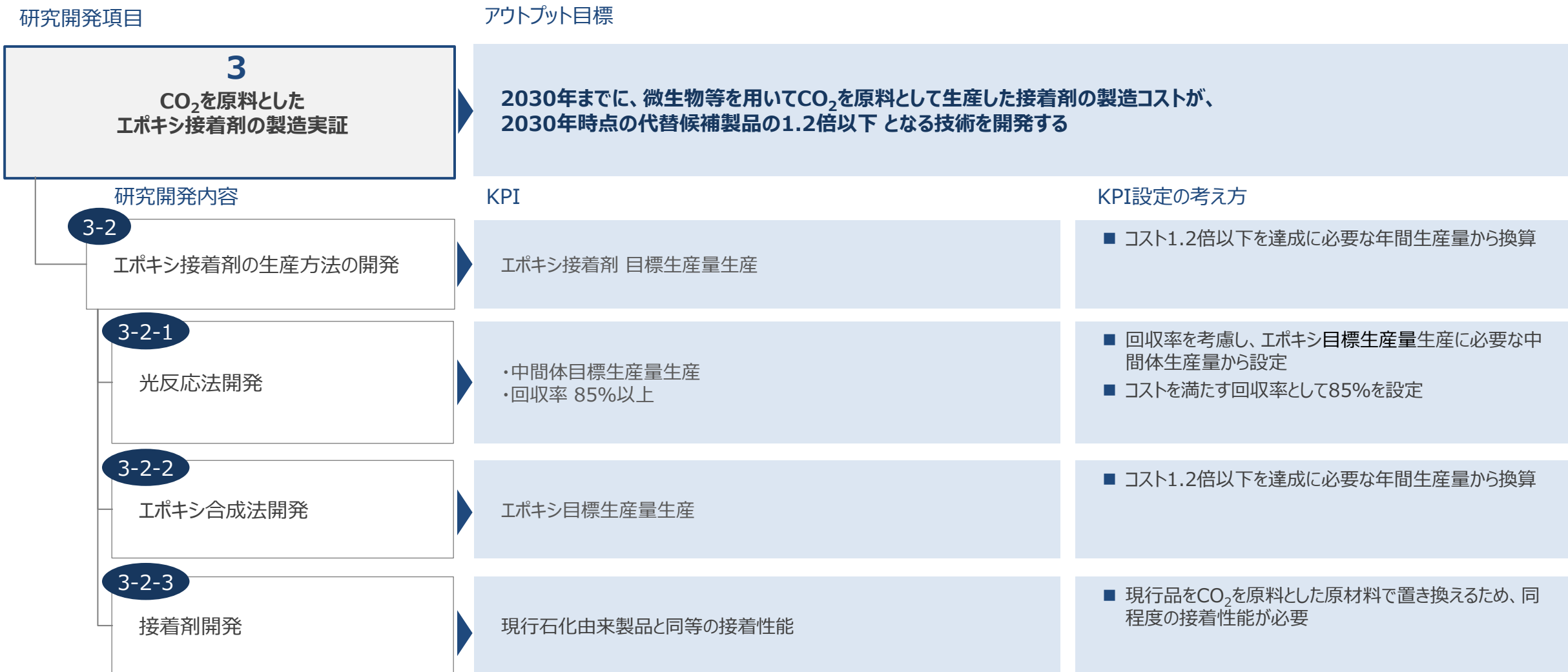
溶媒使用量

LCA&経済性算出方法未確立

## 接着剤の製造コスト現行品比1.2倍以下の実現を達成するために必要な複数のKPIを設定



## 接着剤の製造コスト現行品比1.2倍以下の実現を達成するために必要な複数のKPIを設定



## 2. 研究開発計画 / (1) 研究開発目標

# 接着剤の製造コスト現行品比1.2倍以下の実現を達成するために必要な複数のKPIを設定

研究開発項目	アウトプット目標	KPI	KPI設定の考え方
<b>3</b> CO <sub>2</sub> を原料とした エポキシ接着剤の製造実証	<b>3</b> 2030年までに、微生物等を用いてCO <sub>2</sub> を原料として生産した接着剤の製造コストが、 2030年時点の代替候補製品の1.2倍以下 となる技術を開発する		
研究開発内容 <b>3-3</b> その他		—	—
<b>3-3-1</b> ストーカ炉とバイオプロセスとを接続する ための前処理プロセスの開発	・バイオプロセスへCOガス供給 ・目標供給量達成（商用運転） ・投入水素量に対して廃棄量30%以下	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 製造コスト1.2倍以下の達成に必要な接着剤年間生産量から必要CO供給量を換算</li> <li>■ 製造コスト1.2倍以下の達成にはコストインパクトが大きいと想定される水素を、投入量に対して廃棄量30%以下とすることが必要と想定</li> </ul>	
<b>3-3-2</b> 環境性能および経済性評価	・接着剤1 kg当たり製造コストを算定し代替候補製品の1.2倍以下達成 ・CO <sub>2</sub> 削減効果を算定しCO <sub>2</sub> 排出量が代替候補製品の0.8倍以下達成	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ バイオエポキシ接着剤の製造コストを算定し現行品と同程度の製造コストであることを検証する</li> <li>■ 新規バイオプロセスのCO<sub>2</sub>排出量算定モデルを構築し、環境影響評価も実施することで、現行品よりCO<sub>2</sub>削減効果を有することを検証する</li> </ul>	

## 積水化学のCO資化菌培養制御技術、RITEと筑波大学の芳香族化合物生産プロセス技術を融合し、実現

	KPI	現状	達成レベル	解決方法	実現可能性 (成功確率)
<p><b>3-1-1</b> CO→芳香族化合物/ 物質Xの生産プロセス開発</p>	「CO→芳香族化合物」生産 目標生産量 達成	「CO→物質X」 ラボスケール 目標値以上の 連続生産 (TRL 3)	「CO→芳香族 化合物」生産 目標生産量 達成(商用スケール)  (TRL 7)	<p><b>【積水化学】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ ラボ→ベンチ→商用スケールへの段階スケールアップ</li> <li>■ ガス発酵の長期連続培養のノウハウ</li> </ul> <p><b>【RITE】</b>高生産培養プロセス開発</p> <p><b>【筑波大】</b>独自のCO資化菌を活用した高効率な生産プロセス開発 複数の菌株・条件を同時に検討し、CO利用と物質X生産を最大化する最適条件を効率的に探索。</p>	積水化学のCO→エタノール実証プラント実績、RITE・筑波大の500 L規模の生産のスケールアップ実績、各機関の連続生産プロセスの開発実績があり、可能性は高い <b>(80%)</b>
<p><b>3-1-2</b> 物質X→芳香族化合物 の生産プロセス開発</p>		「物質X→芳香族 化合物」 ラボスケール 目標値以上の 生産速度到達 (TRL 3)			
<p><b>3-1-3</b> 分離・精製プロセス開発</p>		芳香族化合物回収率 85%	芳香族化合物 回収率 85% (TRL 7)		
	試薬芳香族化合物 回収率 90% (TRL 2)		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 晶析発酵、溶媒抽出、樹脂吸着などの様々な手法による精製経験やノウハウの応用</li> </ul>		

## 2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容

### 積水化学の光反応技術および接着剤開発ノウハウを応用し、CO<sub>2</sub>由来接着剤を開発

3-2-1

光反応法開発

KPI

中間体  
目標生産量生産  
回収率 85%以上

現状

中間体収量  
目標生産速度  
到達  
回収率86%  
ラボスケール  
(~1L)  
(TRL 2)

達成レベル

中間体  
目標生産量生産  
回収率85%以上  
(TRL 7)

解決方法

- 光反応の反応効率、速度の向上
  - ・ 反応溶媒、光量、攪拌等の最適化
  - ・ 反応リアクターの検討（形状、LED等）
  - ・ 想定不純物による反応への影響評価
- 商用スケールへのスケールアップおよび運用
  - ・ 商用スケールで反応可能なリアクターの設計
  - ・ 微生物生産芳香族化合物を用いた光反応

実現可能性  
(成功確率)

光反応の知見および  
関連事業化実績が多く  
実現可能性は高い  
(85%)

3-2-2

エポキシ合成法開発

エポキシ  
目標生産量生産

エポキシ回収率  
90%  
ラボスケール  
(~1L)  
(TRL 3)

エポキシ  
目標生産量生産  
(TRL 7)

- 既存事業の連携会社と協力し、スケールアップを考慮した反応、精製プロセスを構築

一般的な化学品反応、  
精製工程のため、条  
件最適化およびスケ  
ールアップは実現可能  
性は高い (95%)

3-2-3

接着剤開発

現行石化由来製品  
と同等の接着性能

芳香族化合物  
(試薬)を用い  
た接着剤試作済  
(現行品比)  
(TRL 3)

現行石化由来  
製品と同等の接  
着性能  
(TRL 7)

- 配合および反応条件の最適化による接着剤物性最適化

当社において多数の  
接着剤製品上市済  
み。配合や反応条件  
の知見も豊富なため、  
実現可能性は高い  
(95%)

## 環境省プロ、NEDOプロでの開発知見により実現可能性は高い

### 研究開発内容

3-3-1

ストーカ炉とバイオプロセスとを接続するための前処理プロセスの開発

KPI

連続してバイオプロセスへCOガス供給  
目標供給量達成  
(商用運転)  
投入水素量に対して  
廃棄量30%以下

現状

後段バイオプロセスの要求仕様への調整に向けて、前処理プロセスへの不純物影響を5種類評価完了、全プロセスの水素廃棄量削減検討は未実施  
(TRL3)

達成レベル

後段要求を満たすガスの連続供給  
目標供給量達成  
投入水素量に対して廃棄量30%以下  
(TRL 7)

解決方法

- 本事業で使用する微生物に特有の廃棄物由来ガスの前処理プロセス開発
  - 不純物種類・濃度の制御プロセス開発
  - CO/H<sub>2</sub>組成比の制御プロセス開発
  - 実排ガスを原料としたCO<sub>2</sub>変換試験機の建設・運転
  - 3-3-2の評価結果を反映したプロセス開発
  - 水素廃棄量を最少化するプロセス条件探索

実現可能性  
(成功確率)

これまでの開発・実証実績の知見により  
実現可能性高い  
(90%)

3-3-2

環境性能および経済性評価

接着剤1 kg当たり製造コストを算定し代替候補製品の1.2倍以下達成  
CO<sub>2</sub>削減効果を算定しCO<sub>2</sub>排出量が代替候補製品の0.8倍以下達成

概略LCA・コスト計算  
(TRL1)

コスト:代替候補製品の1.2倍以下  
CO<sub>2</sub>排出量:代替候補製品の0.8倍以下




■ 各プロセス毎および全体の経済性評価, LCA評価

- 前提条件の設定、算定モデルの構築
- 各プロセス毎の経済性評価, LCA評価の実施
- 実機データでの全体の経済性評価, LCA評価の実施
- 評価結果に基づく、さらなるコスト削減およびCO<sub>2</sub>排出量削減の手段の検討

これまでの開発・実証・連携実績の知見により実現可能性が高い  
(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

研究開発内容	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
<p>3-1-1 3-1-1① CO→芳香族化合物 /物質X の生産プロ セスの開発</p> 	<p>ラボスケールでCO資 化菌を連続培養</p> <p>ベンチスケールでCO資 化菌を連続培養</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ラボスケールでCO連続培養期間を目標値以上到達</li> <li>・ベンチスケールでの培養期間を目標値以上到達</li> </ul>	<p>進捗度：○</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・計画通りに進捗</li> </ul>
<p>3-1-1② CO→芳香族化合物 /物質X の生産プロ セスの開発</p> 		<ul style="list-style-type: none"> <li>・ラボスケールでCO連続培養期間の目標値に到達</li> </ul>	<p>進捗度：○</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・計画通りに進捗</li> </ul>
<p>3-1-1③ CO 資化菌探索に 基づくCO→芳香族 化合物/物質X の生 産プロセスの開発</p> 	<p>CO培養実験構築</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・環境由来の微生物の培養条件を検討し、得られた条件を用いて、S36株が最も高い生産能を有していることを確認した。</li> <li>・S36株の増殖及び生産がアミノ酸の添加により促進されることを確認した。</li> </ul>	<p>進捗度：○</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・計画通りに進捗</li> </ul>




## 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

研究開発内容	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
<p>3-1-2 3-1-2① 物質X→芳香族化合物の微生物変換プロセスの開発</p> 	ラボスケールで目的芳香族化合物生産確認	<ul style="list-style-type: none"><li>芳香族化合物生産基本株を改良し、芳香族化合物の目標生産速度を達成した</li></ul>	進捗度：○ ・計画通りに進捗
<p>3-1-2② 物質X→芳香族化合物の酵素変換プロセスの開発</p>  広島大学		<ul style="list-style-type: none"><li>宿主微生物の培養をジャーファーメンターにより行い、増殖の向上と酵素活性を維持する培養条件を見出した。</li><li>酵素発現株を構築し、フラスコおよびジャーファーメンターによる培養と酵素活性を確認した。</li></ul>	進捗度：○ ・酵素発現と増殖をともに向上させる条件の検討を順調に進めている。
<p>3-1-2③ 物質X→芳香族化合物の微生物・酵素変換プロセスの開発</p> 	ラボの結果からコスト試算完了	<ul style="list-style-type: none"><li>各培養法 (バッチ、流加、連続培養) のPFD、MB作成、コスト影響試算実施</li></ul>	進捗度：○ ・計画通りに進捗




## 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

研究開発内容	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
<p>3-1-3 3-1-3① 芳香族化合物/物質Xの精製プロセスの開発</p> 	ポリマー原料回収率 〇〇%	・ルート決定に伴い積水化学に開発を集約	進捗度：○ ・ルート決定に伴い積水化学に開発を集約（回収率は、FY24に目標値以上を達成済）
<p>3-1-3② 物質X→芳香族化合物の酵素変換における精製プロセスの開発</p>  広島大学		・酵素変換の反応液からpHを変動することで芳香族化合物を精製する条件を見出し、高収率での芳香族化合物を取得した。	進捗度：○ ・計画通りに進捗
<p>3-1-3③ 精製プロセスの商用スケール開発</p> 		■ 物質X濃縮 ・高圧膜濃縮・蒸発濃縮で最大15倍の濃縮を確認  ■ 芳香族化合物精製 ・晶析る過後の回収率は目標値達成 ・晶析時の結晶サイズ増大による生産性向上を検討中	進捗度：○ ・計画通りに進捗



## 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

研究開発内容	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
3-2-1 3-2-1 光反応法開発 	中間体 ○g/バッチ	<ul style="list-style-type: none"><li>・目標値の1~2倍量g/バッチで光二量化を実施し、少量g/バッチ時と同じ商社時間で98%の合成率を達成</li><li>・培地成分を影響について評価し、芳香族化合物と培地成分が反応してしまうことを確認 →培地をフィルターろ過することで光反応への影響改善</li></ul>	進捗度：○ 25年度計画を前倒しで進捗
3-2-2 3-2-2 エポキシ合成法開発 	エポキシ ○g/バッチ	<ul style="list-style-type: none"><li>・目標値g/バッチでエポキシ合成実施 →収率・反応率を評価中</li><li>・確立した合成プロセスを展開し、外注先で試作・精製 →評価中</li></ul>	進捗度：○ 計画通りに進捗
3-2-3 3-2-3 接着剤 開発 	性能±○○%	<ul style="list-style-type: none"><li>・試薬から合成したエポキシで接着剤試作 現行品の接着剤と比較し、マイルストーン目標の性能を達成</li></ul>	進捗度：○ 計画通りに進捗

## 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

研究開発内容	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
<p>3-3-1</p> <p>ストーカ炉とバイオプロセスとを接続するための前処理プロセスの開発</p> 	<p>実ガス由来不純物の影響を3種類上評価完了</p>	<p>実ガス分析年4回完了, 実ガス由来不純物5種類について模擬ガスボンベを作成し、ラボ加速試験 (1年相当) で前処理プロセスに対する影響はないことを確認 EPCフェーズ開始 (設備本体、ユーティリティー、付帯ユニット等の詳細設計開始) 現地整地工事完了</p>	<p>○ 計画通りに進捗</p>
<p>3-3-2</p> <p>環境性能および経済性評価</p> 	<p>フォア/バックグラウンドプロセス明確化</p>	<ul style="list-style-type: none"><li>候補ルートのLCA・コストの比較実施、物質Xルートがコスト・LCAともに低く、このルートに決定</li><li>物質XルートについてLCA・コストを詳細計算実施、コストは1.2倍以下見込み、LCA(GHG排出)は全対策できれば化石由来同等まで削減可能だが要検討</li></ul>	<p>○ 計画通りに進捗</p>

## 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

#### 研究開発内容

3-1-1 3-1-1①  
CO→芳香族化合物/物質Xの生産プロセスの開発 (ラボ～商用スケール)

SEKISUI

3-1-1②  
CO→芳香族化合物/物質Xの生産プロセスの開発 (ラボ～ベンチスケール)

RITE  
Research Institute of Innovative  
Technology for the Earth

3-1-1③  
CO資化菌探索に基づくCO→芳香族化合物/物質Xの生産プロセスの開発

筑波大学  
University of Tsukuba

#### 直近のマイルストーン

ラボスケールでCO資化菌を連続培養達成

生産プロセスの決定

ベンチスケールでCO資化菌を連続培養達成 (2025年度末)

培養プロセス開発 (分離株の評価)

#### 残された技術課題

・異なる方式のバイオリアクタでの培養検討および性能比較

・CO資化菌の連続生産プロセスの開発  
・ベンチスケール開発 (スケールアップ)

・各菌株のCO利用能・物質X生産能の評価  
・高生産性株の選抜と、それに適した培養条件の最適化  
・最適条件のスケールアップの検討

#### 解決の見通し

・異なる方式のベンチスケールバイオリアクタを用いて培養条件検討実施。先に導入した方式ではすでに目標値の期間の培養に成功しているため、ラボおよびベンチ機培養条件を展開することで十分に解決可能と予想。

・育種して得たCO資化菌を用いた連続生産プロセスをさらに開発することで、増殖速度の向上や生産濃度や生産速度の向上が可能と予想

・構築済みの小スケールボトル培養系を活用することで、多数の菌株・条件を並列に評価できるため、CO利用能および物質X生産能の特性比較は短期間で実施可能となった。  
・有望株のスケールアップおよび連続培養については、積水化学と協調・分担を調整することで遂行可能である。

## 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

#### 研究開発内容

#### 直近のマイルストーン

#### 残された技術課題

#### 解決の見通し

3-1-2 3-1-2①  
物質X→芳香族化合物の微生物変換プロセスの開発



3-1-2②  
物質X→芳香族化合物の酵素変換プロセスの開発



3-1-2③  
物質X→芳香族化合物の微生物・酵素変換プロセスの開発



ラボスケールで目的芳香族化合物の生産確認



- ・物質Xから芳香族化合物への変換プロセス開発
- ・ベンチスケール開発 (スケールアップ)



- ・宿主微生物、酵素発現株のスケールアップ培養



- ・培養プロセスの決定

・これまでの検討状況から、連続生産プロセスの構築という技術課題は解決可能と予想

・2L～50L培養槽を用い、培養スケールアップにおいて、宿主微生物や酵素発現株の増殖と酵素発現を指標として評価することでスケールアップした培養条件を設定できる見込み。

・培養方法(バッチ、流加、連続)ごとのPFD・MB作成しコスト試算し、RITEの実験データを含め決定する。

## 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

#### 研究開発内容

#### 直近のマイルストーン

#### 残された技術課題

#### 解決の見通し

3-1-3 3-1-3①  
芳香族化合物/物質Xの精製プロセスの開発



ポリマー原料回収率  
○%

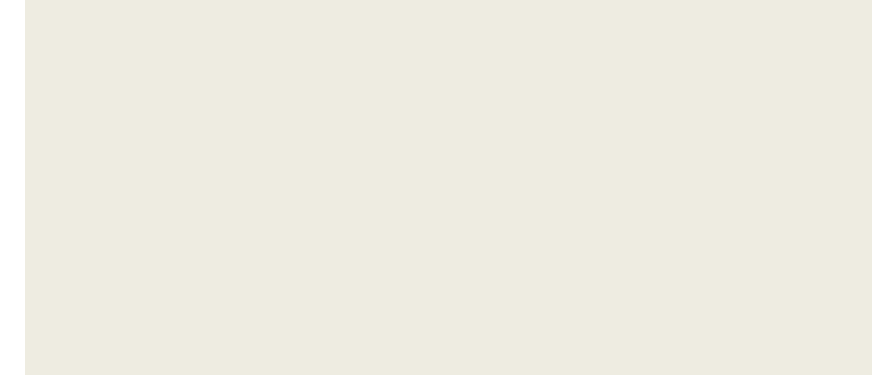
ルート決定に伴い2025年度以降は積水化学工業に集約



3-1-3②  
物質X→芳香族化合物の酵素変換における精製プロセスの開発



ルート決定に伴い2025年度以降は積水化学工業に集約



3-1-3③  
精製プロセスの商用スケール開発






- ・スケールアップ検討
- ・芳香族化合物精製工程の生産性向上
- ・物質X濃縮方法の決定

- ・ベンチ機導入し検討
- ・結晶サイズと濾過性の関係解析し結晶サイズ最適化
- ・菌体凝縮等による除菌工程の最適化
- ・濃縮方法候補は選定済み、データ取得し、収率・コスト・LCAの観点で決定

## 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

研究開発内容	直近のマイルストーン	残された技術課題	解決の見通し
<p>3-2-1 3-2-1 光反応法開発</p> 	二量化体 ○g/バッチ	<ul style="list-style-type: none"><li>・スケールアップ、特に光照射の効率を考慮した反応槽の設計</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>・光装置メーカーと協議しながら照射効率を検討</li><li>・光反応設計エンジニア会社を選定し、光反応装置の設計を協議</li><li>・実績ある会社と連携することで解決する</li></ul>
<p>3-2-2 3-2-2 エポキシ合成法開発</p> 	エポキシ ○g/バッチ	<ul style="list-style-type: none"><li>・スケールアップした際の反応効率達成</li><li>・エポキシ化反応後の精製純度、不純物影響</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>・反応条件を細かく振っていくことで最適条件を決定</li><li>・文献や特許調査により、エポキシ反応の別法を入手</li><li>・精製法についても特許調査から方法を入手</li></ul>
<p>3-2-3 3-2-3 接着剤開発</p> 	性能±○%	<ul style="list-style-type: none"><li>・性能と操作性の両立</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>・エポキシ原料は液状の方が操作性が良いために、液状を優先的に検討</li><li>・事業部にアクリレートで高性能化するノウハウあり</li></ul>

## 2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容 (今後の取組)

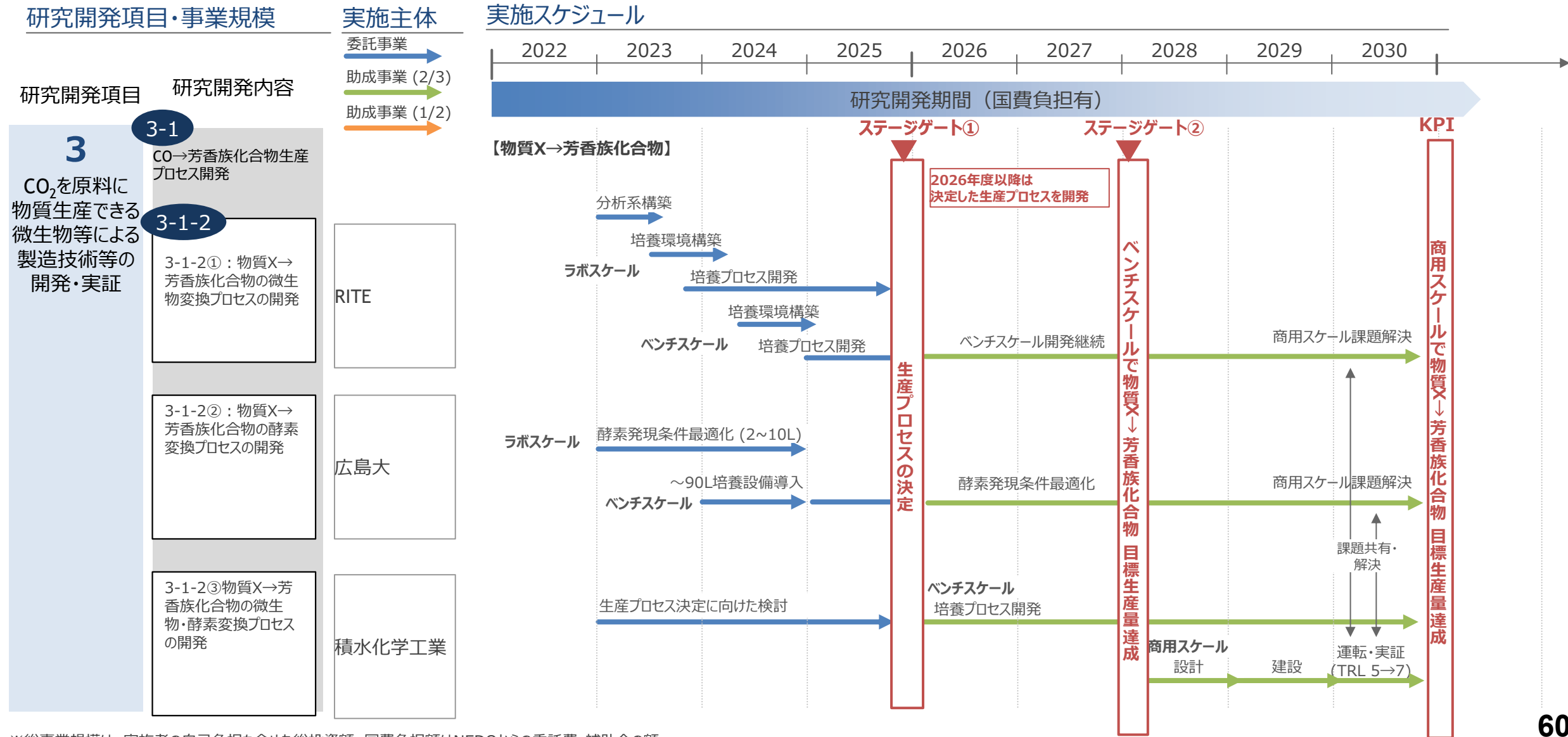
### 個別の研究開発における技術課題と解決の見通し





## 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

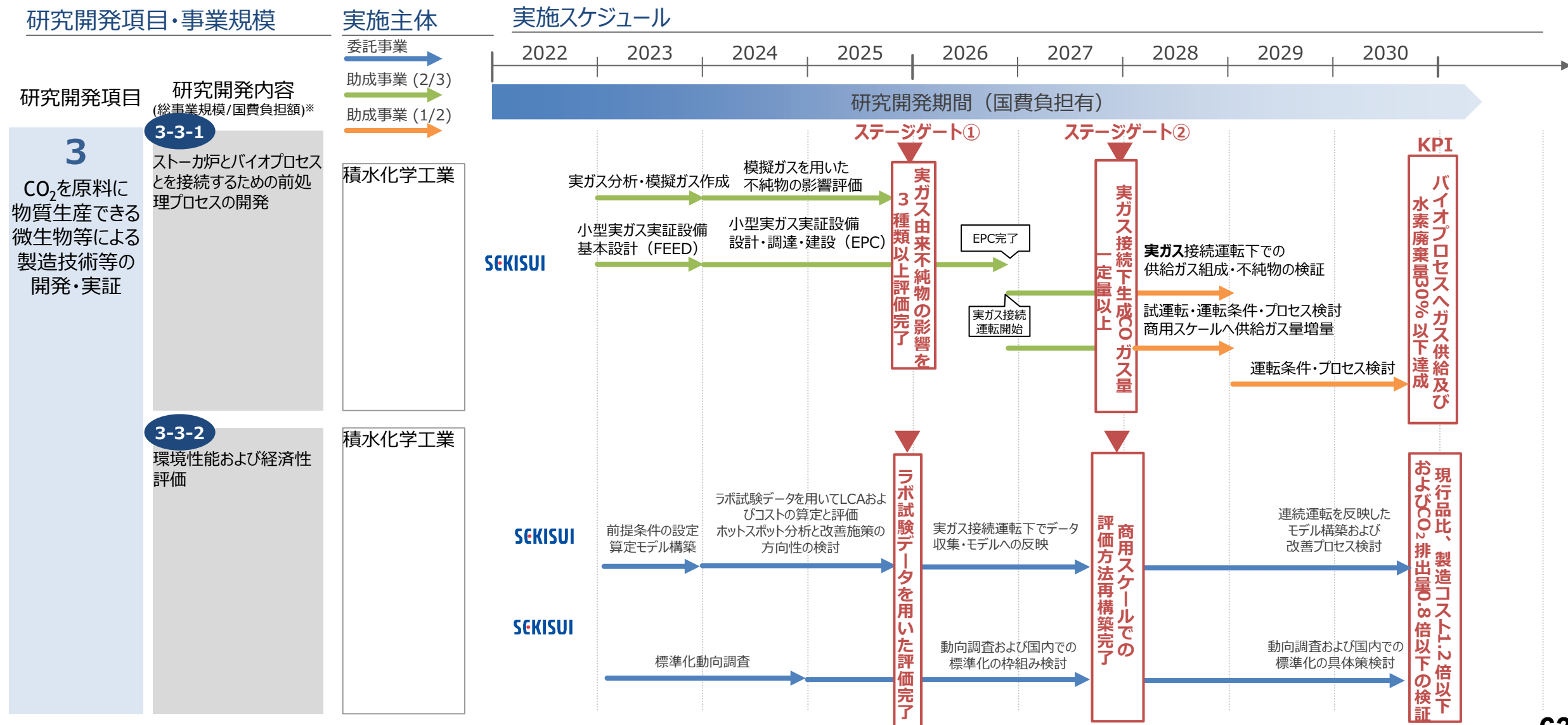


※総事業規模は、実施者の自己負担も含めた総投資額、国費負担額はNEDOからの委託費・補助金の額





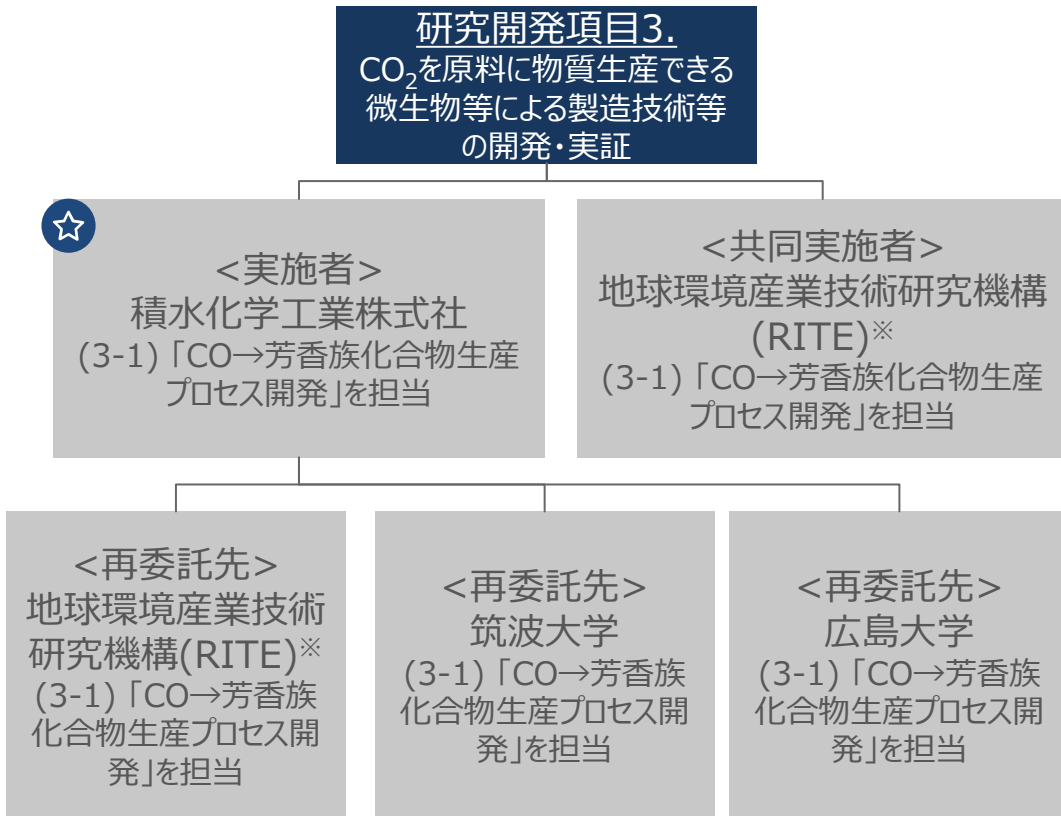
## 複数の研究開発を効率的に連携させるためのスケジュールを計画



\*総事業規模は、実施者の自己負担も含めた総投資額、国費負担額はNEDOからの委託費・補助金の額

## 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



☆ 幹事会社

### 各主体の役割と連携方法

#### 各主体の役割

- 研究開発項目3全体の取りまとめは、積水化学が行う。
- 積水化学は、「CO→芳香族化合物プロセス開発」の全体を担当する。
- 地球環境産業技術研究機構(RITE)は、「CO→芳香族化合物生産プロセス開発」の全体を担当する。  
※当初は共同実施者として、ステージゲート後(2027年度以降)は積水化学の再委託先とする。
- 筑波大学は、「CO→芳香族化合物生産プロセス開発」のベンチスケールまでの開発を担当する。
- 広島大学は、「CO→芳香族化合物生産プロセス開発」のベンチスケールまでの開発を担当する。

#### 研究開発における連携方法（共同実施者間の連携）

- 積水化学とRITEは連携し、商用スケールの生産プロセスを開発する。
- 広島大学・筑波大学はベンチスケールで開発し、商用スケールの開発は積水化学が主体で実施する。
- 各機関は定例打合せ（四半期毎以上の頻度）を実施し、進捗を共有・管理する。
- 知的財産権およびデータ取り扱いに関する合意書を各機関間で別途締結する。

#### 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 (特に大学、研究機関等のみで提案する場合、この記載は必須。)

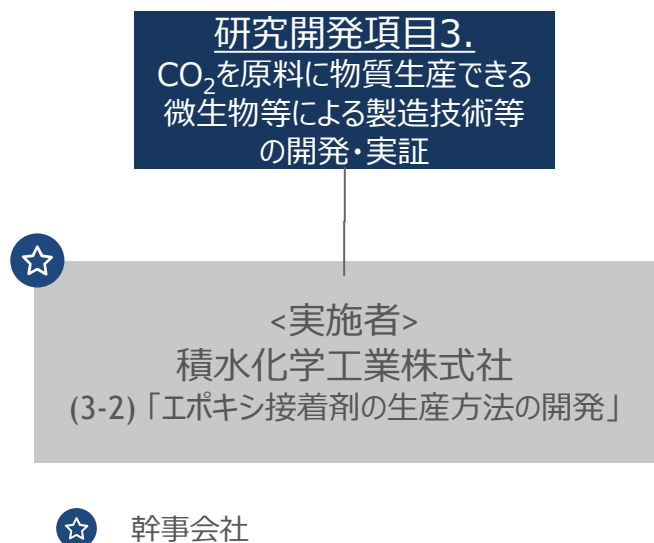
- 特になし

#### 中小・ベンチャー企業の参画

- 酵素改変を、当該技術を有するベンチャー企業に外注し、開発を加速する。

## 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



### 各主体の役割と連携方法

#### 各主体の役割

- 積水化学は、「エポキシ接着剤の生産方法の開発」を担当する。

#### 研究開発における連携方法（共同実施者間の連携）

- 積水化学内において、事業部間で連携して開発を進める。

#### 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 (特に大学、研究機関等のみで提案する場合、この記載は必須。)

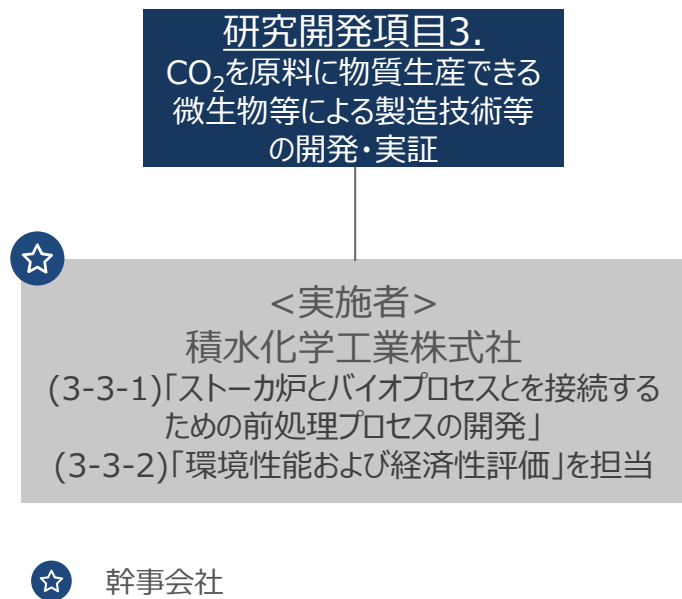
- 特になし

#### 中小・ベンチャー企業の参画

- 特になし

## 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



### 各主体の役割と連携方法

#### 各主体の役割

- 研究開発項目3全体の取りまとめは、積水化学が行う
- 積水化学は、(3-3-1)「ストーカ炉とバイオプロセスとを接続するための前処理プロセスの開発」の全体を担当する
- 積水化学は、(3-3-2)「環境性能および経済性評価」の全体を担当する

#### 研究開発における連携方法（共同実施者間の連携）

- 積水化学は共同提案者と連携し、環境性能評価および経済性評価を実施し開発を進める

#### 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

（特に大学、研究機関等のみで提案する場合、この記載は必須。）

- 特になし

#### 中小・ベンチャー企業の参画

- 特になし

## 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	実施主体	活用可能な技術	競合他社に対する優位性・リスク
<b>3</b> CO <sub>2</sub> を原料に物質生産できる微生物等による製造技術等の開発・実証	<b>3-1</b> 「CO→芳香族化合物」生産プロセス開発	積水化学工業	<ul style="list-style-type: none"> <li>CO資化菌を用いた連続培養プロセス開発ノウハウ</li> <li>CO資化菌を用いた培養のスケールアップノウハウ (CO→エタノール生産の実証プラント開発)</li> </ul>	<b>優位性：ゴミガス由来COからCO資化菌を用いたエタノール生産の実証プラント開発の実績</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>CO→エタノール生産 1 kL/dayの実証プラント</li> <li>CO→イソブレン生産</li> <li>ラボ(0.005~2 L),パイロット(エタノール生産20 kL/y),実証プラント(エタノール生産 1 kL/day)のスケールアップ実績</li> <li>CO資化菌研究10年以上の技術蓄積</li> </ul> リスク：ベンチャー、他企業の追従
		RITE	<ul style="list-style-type: none"> <li>微生物を用いた物質生産(ものづくり)の事業化実績 (Appl.Environ.Microbiol.79:1250(2013), ibid. 78:865(2012), ibid.87:159(2010),特許第5960701号 (2016), 特許第4745753号 (2011))</li> <li>スケールアップ開発技術 (Appl.Environ.Microbiol.84:e02587-17(2018), 特許第5932649号 (2016), 特許第5932660号(2016), 特許第5996434号(2016), 特許第5887277号(2016),特許第6327653号(2018), 特許第6327654号(2018), 国プロ(NEDO省エネPJ,NEDOスマートセルPJ)など)</li> <li>長時間連続生産プロセス開発技術 (Appl.Microbiol.Biotechnol.68:475(2005)、特許第4451393号(2010)、国プロ(NEDOものづくりPJ)など)</li> <li>分離・精製技術(RITEの晶析培養技術(未発表))</li> </ul>	<b>優位性：国際的競争力を有するアップストリーム技術とダウンストリーム技術</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>スマートセル作製技術</li> <li>世界トップレベルの高生産技術と実績</li> <li>ラボ(10 mL, 10 L)→ベンチ(90 L)→パイロット(500 L)の大量培養スケールアップの実績</li> <li>独自の工学的連続培養(反応)技術等と実績</li> <li>工学的連続培養(反応)プロセスの実績・晶析、膜、蒸留精製の実績(ノウハウ、経験と人材)</li> </ul>
		筑波大学	<ul style="list-style-type: none"> <li>芳香族発酵の最適化の実績 (BBB. 86:1114 (2022); Adv. Sus Syst. 2000193 (2020); Front. Bioeng. Biotechnol. 10, 843843(2022))</li> <li>大量培養精製技術 (Process Biochem. 77:100-105; 国プロ (SIP-BRAIN, JST-CREST/ALCAなど) ; 特許第6796927 (2020), WO2019168203A1)</li> </ul>	<b>優位性：微生物の開発から大量培養・精製までの一貫型開発。芳香族化合物の生産のノウハウの蓄積</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>芳香族化合物のスマートセル・発酵の実績</li> <li>バルク生産事業の起業準備中</li> </ul>
		広島大学	<ul style="list-style-type: none"> <li>シンプル酵素触媒および固定化酵素技術による長期利用技術 (AMB Express, 3(1), 69, 2013;IJMB, 42(10), 1319-1324, 2015; JBB, 125(2), 180-184, 2018)</li> <li>ポリマー素材の高収率生産、補酵素再生 (J. Biotechnol., 312, 56-62, 2020; 同, 323, 293-301, 2020; BBB, 85(3), 728-738, 2021; JBB, 132(5), 445-450, 2021;特願2018-124796)</li> </ul>	<b>優位性：酵素機能を最大限活用する触媒構築、既存固定化技術より活性低下が低く、長期間の高活性維持、繰り返し回数の実績</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>収率100%を実現可能な酵素触媒構築</li> <li>固定化による触媒の連続使用</li> <li>酵素発現システムの構築実績</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	実施主体	活用可能な技術	競合他社に対する優位性・リスク
<p><b>3</b> CO<sub>2</sub>を原料に物質生産できる微生物等による製造技術等の開発・実証</p>	<p><b>3-2</b> エポキシ接着剤の生産方法の開発</p> <p><b>3-2-1</b> 光反応法開発</p> <p><b>3-2-2</b> エポキシ合成法開発</p> <p><b>3-2-3</b> 接着剤開発</p>	<p>積水化学工業</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>光反応を用いた反応制御技術【光固液反応技術 (CPVC)】 特許：特許第7041264号 塩素化塩化ビニル系樹脂、他19件 【紫外線照射による精密ガス発生技術 (SELFA)】 特許：特許第5006497号 両面粘着テープおよび両面粘着テープの剥離方法、他12件 【光重合を用いた接着剤技術 (フォトレック)】 特許：特許第4643913号 液晶表示素子用シール剤、上下導通材料および液晶表示素子、他47件</li> <li>エポキシ合成技術 (協力会社)</li> <li>接着剤用エポキシ生産ノウハウ</li> <li>接着剤配合技術【エレクトロニクス製品用接着剤】 特許：特許第6978314号、特許第5508001号、特許第5091534号、他194件 出願中：29件 その他接着関連特許多数 特許：特許第7028830号 粘着テープおよび面材、他1000件以上</li> </ul>	<p><b>優位性：積水社内および既存事業サプライチェーン内に必要関連技術とノウハウ蓄積あり</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>溶液に分散した固体への光照射による反応を利用した事業実績あり</li> <li>光反応剤およびそれを活用した製品、均一反応のための装置設計</li> <li>光および熱を利用した精密設計接着剤事業あり</li> <li>サプライチェーン内に事業化済みのエポキシ合成法および精製法あり</li> </ul> <p><b>優位性：LCD向け接着剤世界シェアトップ</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>高機能エポキシ接着剤の既存事業あり</li> <li>ユーザー接点多数有し、ニーズ情報豊富設計が可能</li> </ul>

## 2. 研究開発計画 / (5) 技術的優位性

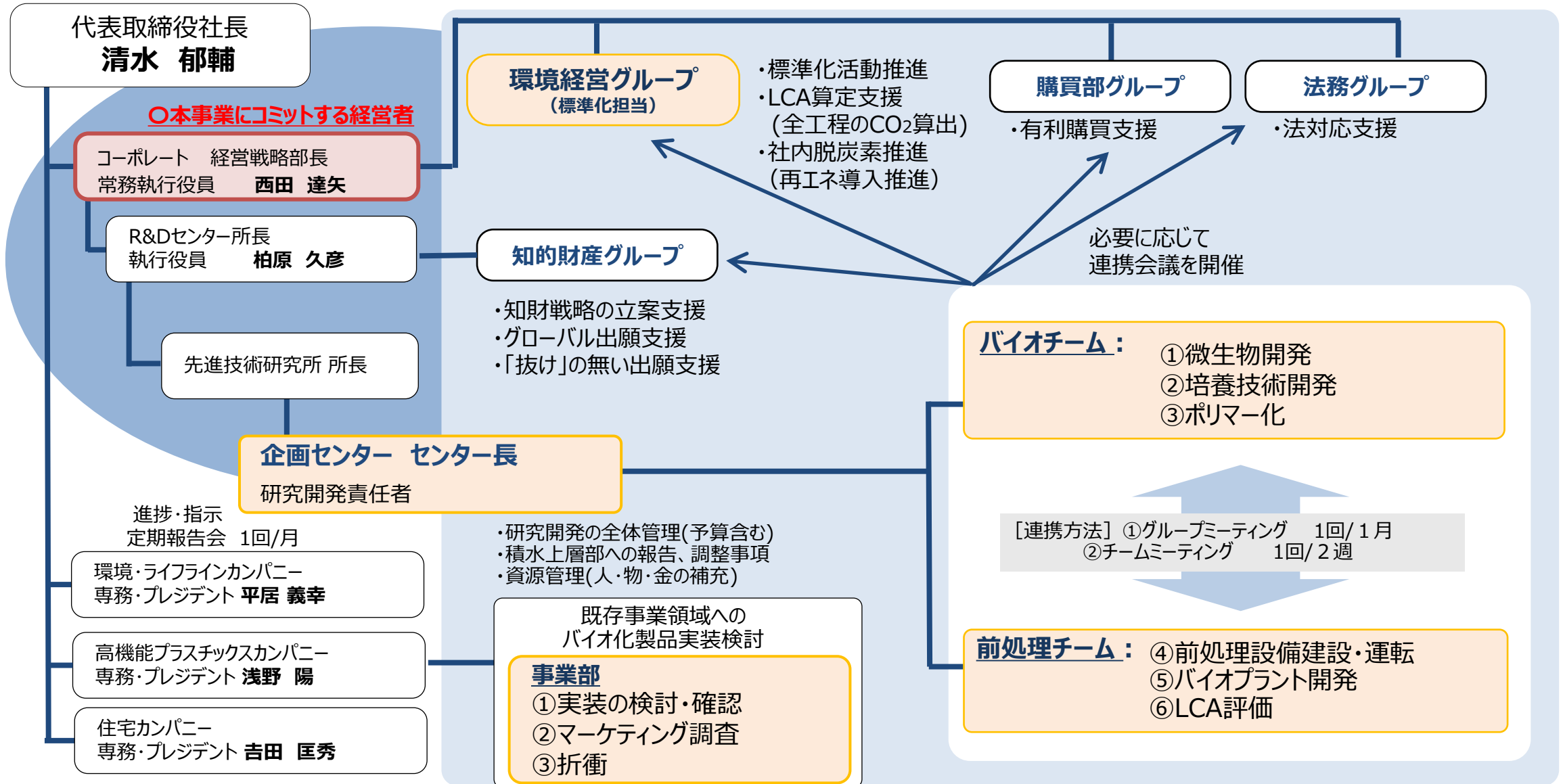
### 国際的な競争の中においても技術等における優位性を保有

研究開発項目	研究開発内容	実施主体	活用可能な技術	競合他社に対する優位性・リスク
3 CO <sub>2</sub> を原料に物質生産できる微生物等による製造技術等の開発・実証	3-3-1 ストーカ炉とバイオプロセスとを接続するための前処理プロセスの開発	積水化学工業	<ul style="list-style-type: none"> <li>CO<sub>2</sub>→COガス変換反応プロセスの開発・実証およびプラント運用知見、関連特許7件保持 特許：特開2021-049489, WO2019163968A1, WO2022029880A1, WO2022029884A1, 特開2022-135912, WO2022149536A1, 特許6843489</li> <li>複数種類のガス反応装置の設備設計および運用</li> <li>各種ガス分析設備保持、運用、関連特許1件保持 特許：特開2021-054706</li> <li>COガス使用における安全設備の設計および運用</li> </ul>	<p><b>優位性：高濃度CO生成技術の実証・運用知見</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>高濃度COを安定供給する技術保有</li> <li>CO<sub>2</sub>→COガス変換反応の設備設計・運用実績</li> <li>バイオと連続する化学設備の設計・運用実績</li> </ul> <p>リスク</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>開発候補微生物への安定したガス供給実績なし</li> <li>微生物培養に致命的な不純物が廃棄物由来ガスに含有</li> </ul>
	3-3-2 環境性能および経済性評価	積水化学工業	<ul style="list-style-type: none"> <li>CO<sub>2</sub>ガス→COガスプロセスの環境影響および経済性評価経験</li> <li>微生物を用いたバイオプラントの環境影響および経済性評価経験</li> </ul>	<p><b>優位性：これまでの開発・実証等での評価実績</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>当社社内での環境影響評価実績</li> <li>化学、バイオマス、カーボンサイクル等、幅広いプロセスを対象とした算出実績</li> <li>国内のみならず、国際的な評価ガイドラインを把握</li> <li>未来戦略LCA連携研究機構への参画</li> </ul> <p>リスク</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>国際的に認められるルール次第では、削減効果が認められない可能性がある</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)

## 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



## 経営者等によるバイオものづくり技術への関与の方針

<p>カーボンニュートラルにかかわる産業構造改革の仮説や自社の事業構造転換の方針を社内外に示し、その中に当該事業を位置づけるか</p>	<p>当社は、サステナブルな社会実現の為に、ESG経営を中心に、革新と創造で社会課題解決を目指し社内外に示している                  社外：当該事業は、インターネットHPに掲載されている長期ビジョン「Vision2030」の中に、「積水グループが目指す革新と創造の具体例」に登場している。                  (https://www.sekisui.co.jp/csr/vision2030/index.html)                  社内：社内イントラネット「SMILE」のトップ画面から「Vision2030」へアクセスし、社内用に編集された、より詳しい目標設定を含めた情報が閲覧できる。また、掲載時には、全社員に対して「社長の説明動画」の閲覧と、Visionに関する「理解度確認テスト」が実施され、社内設定された理解度の合格点（全問正解）取得まで何度も繰り返し受験する仕組みになっている。この仕組みによって、当社Visionは全社員に理解、浸透している。</p>
<p>経営者が、社内外の幅広いステークホルダーに対して、当該事業の重要性をメッセージとして発信するか</p>	<p>当社経営層は、上述した様に社内外に対して、経営方針を明確に示している。当該事業についての発信はまだ行っていないが、バイオものづくりという広い概念に対しては①～④のプレスリリースを行っている。今後、当該事業に進捗が見られた場合には、代表取締役社長 加藤から報道各社向け、又は、株主、ステークホルダーに対しての事業説明が行われ逐次発表されることになる。</p> <p>当該事業に関して、以下発信を行った。  <input type="checkbox"/>HP上でプレスリリース実施（2023/04）  <a href="https://www.sekisui.co.jp/news/2023/1386118_40075.html">https://www.sekisui.co.jp/news/2023/1386118_40075.html</a>  <input type="checkbox"/>BioJapan（2023/10）                  スポンサーセミナーにて登壇 10/11 14:00-15:00 F201                  NEDOブースにてポスター展示 10/11～10/13</p> <p>① 積水化学とVelocysがCO<sub>2</sub>由来合成燃料（e-SAF）の製造技術構築に向けた戦略的提携を開始   積水化学工業株式会社 (sekisui.co.jp)                  ② カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発 / CO<sub>2</sub>有効利用拠点における技術開発 / 研究拠点におけるCO<sub>2</sub>有効利用技術開発   積水化学工業株式会社 (sekisui.co.jp)                  ③ 「株式会社脱炭素化支援機構」への出資について   積水化学工業株式会社 (sekisui.co.jp)</p>
<p>経営層がガバナンスイノベーションやイノベーションマネジメントシステムを理解し、非線的な試行錯誤を推奨する組織制度・組織文化を醸成するか</p>	<p>当社経営陣は、成長を遂げるために、イノベーションを生み出し続けなければならないと理解しており、その権限下において、試行錯誤（チャレンジ）することを奨励する制度を繰り出している。                  例：社内公募制度・・・自ら飛躍する機会を公募にて提供し、マッチングすることで、従業員の期待に合う部署、仕事に着任できる制度</p>
<p>経営層が定期的に事業進捗を把握するために仕組みを構築しているか、経営層の時間の内、どの程度を当該事業に充当するか</p>	<p>経営者は、当該事業を含んだ月次進捗報告（設定されたマイルストーン達成状況と、諸報告事項）を受ける。また、取締役、執行役においては、テーマ報告会/月、テーマ審議会/半年（期）で担当者ごとに進捗管理、諸事項の報告を受ける仕組みが構築されており、1テーマに対して数時間の各担当からの報告、また質疑の時間が設定されている。</p>
<p>経営層が、事業の進め方、内容に対して適切なタイミングで指示を出せるか</p>	<p>経営者は、上記報告書によって、月次報告書によって、月次間隔で担当取締役、執行役に対して指示を出すことが出来る。担当取締役、執行役においても、月次、期（半年）単位の会議において、指示を出すことが出来る。</p>

## 経営者等によるバイオものづくり技術への関与の方針

マネジメントチェック項目 ①経営者等の事業への関与	経営者等による具体的な施策・活動方針	事業のモニタリング・管理	事業の進捗を判断するにあたり、社内外から幅広い意見を取り入れるか	当社は、会社法上の機関設計として、監査役会議設置会社を選択している。カンパニー制のもと、各カンパニーの事業環境変化に迅速に対応するため、監督機能（取締役）と業務執行機能（執行役員）の分離を行うことを目的として執行役員制度を導入し、幅広い意見を取り入れるとともに、社外取締役からの事業チェック機能など、社外ステークホルダーを意識した判断を実施する。
		事業化を判断するために、どのようなKPI・条件をあらかじめ設定しておくか	当社、研究開発課題テーマの着手から、最終、事業化までのステップを「GR制度」によって進捗・ステップ管理されている。ステップは0（ゼロ）～5までの6段階、それぞれのステップをクリアには厳格な定義があり、数値目標の設定を含め、運営されている。 （「GR制度」については社外秘のため、公開できない）	
		経営者の評価・報酬への反映	事業の進捗状況が、経営者や担当役員・担当管理職等の評価や報酬の一部に反映されるか	役員報酬：「統合報告書2025」（ <a href="https://www.Sekisui.co.jp/ir/document/annual/pdf/SC_IR2025_ALL_J.pdf">https://www.Sekisui.co.jp/ir/document/annual/pdf/SC_IR2025_ALL_J.pdf</a> ）P.70にて、役員報酬の決定プロセスに公開してある通り、指名・報酬等諮問委員会での審議を経て取締役会で決定することが規定されており、当該事業の進捗計画に差異が生じた場合、評価、報酬に反映される。 管理職：社内、基幹職（管理職）評価制度に基づき、半年毎の評価コミット（契約達成）によって上長、所属長により評価を受け、報酬が確定する「システム」がある。最終、本人への決定面談により、納得の上、フィードバック（評価・報酬に反映）される。
		事業の継続性確保の取組	経営陣が交代する場合にも事業が継続して実施されるよう、後継者の育成・選択等の際に当該事業を関連付ける等、着実な引継ぎを行うか	経営者の交代時においては、引継ぎ事項の一部となるが、当該プロジェクトの担当役員、または開発責任者からの詳細説明がなされる機会が設定されており、着実な引継ぎが行われる。

## 経営戦略の中核に位置付け、広く情報発信

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	取締役会等コーポレート・ガバナンスとの関係	カarbonニュートラルに向けた全社戦略	当該分野の範囲を超えたカーボンニュートラルに向けた取り組み又はイノベーション推進体制整備等において全社戦略を策定しているか	当社においては、2023年5月23日中期経営計画「Drive2.0」を全社員、ならびにステークホルダーに対して発信しており、この中期経営計画の中に、「環境への取り組み」として、SEKISUI環境サステナブルビジョン2050を掲げている。新中期取り組みとして、「原料樹脂の資源転換（非化石・再生材）」を発表し、全社戦略として位置付けている。統合報告書(2025年3月)にも経営者による具体的な施策・活動方針を明示している。
		経営戦略への位置づけ、事業戦略・事業計画の決議・変更	2050年カーボンニュートラルの実現に向けて、研究開発計画に関連する事業戦略又は計画を明確に経営戦略に位置づけ、取締役会で意思決定しているか。その内容を社内に関連部署に広く周知するか	当社においては、長期ビジョン「Vision2030」、または中期経営計画「Drive2.0」によって、取締役会の意思決定の上、全社員、ステークホルダーに対して、ESG経営の推進、および社会貢献（現在のカーボンニュートラル）に対するビジョンを公開し実践している。加えて、2050年カーボンニュートラルの実現に向けた施策及び新たな2030年目標を制定し当社ホームページ上で公開している。 <a href="https://www.sekisui.co.jp/news/2022/1379614_40074.html">https://www.sekisui.co.jp/news/2022/1379614_40074.html</a> 取締役会において、事業に関する決議内容は、幹部社員（セキュリティー社内規定に規定された幹部）までは周知される。よって、幹部社員以下には、内容によって幹部社員が判断し、その決議内容が周知される。
		議・変更	事業の進捗状況を取締役会等の重要な意思決定の場において定期的にフォローし、事業環境の変化等に応じて見直しを行うか	現状、取締役会の審議事項の中に、当該事業の報告は、R&D出た一のテーマ進捗報告と一部として報告されています。よって、事業環境変化等による役員からの助言、支援委よって、事業に見直しを行うことももちろんあります。
		議・変更	上記で決議された事業戦略・計画において、研究開発計画が不可欠な要素として、優先度高く位置づけられるか	事業戦略・事業計画の中で、研究開発計画が不可欠なテーマである場合、当然、事業戦略・事業計画の中で必要な優先度を勘案した結果、研究開発計画が不可欠と判断した場合、全体事業計画において、優先度を高く位置づけ、実施される。
		コーポレートガバナンスとの関係	上記の経営戦略や事業戦略・計画が目指す成果にも関連して、どのように取締役の選任、評価、報酬等が設定されているか	当社は、取締役会の機能を補完し、より経営の公正性・透明性を高めるため、指名・報酬等に関する任意の諮問委員会を設置している。持続的な成長と中長期的な企業価値の向上を図ることも目的に、過半数を独立社外役員とする諮問委員会にて取締役の構成、評価、報酬等を設定している。

## 経営戦略の中核に位置付け、広く情報発信

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	中長期的な企業価値向上に関する情報開示	全社的な経営戦略を示す株主・投資家に統合報告書等において、どのように事業戦略・計画を明示的に位置づけるか。その際、価値協創ガイダンス※1やTCFD等のフレームワークをどのように活用しているか	長期ビジョン「Vision 2030」実現のため、2023-25年度の中期経営計画「Drive 2.0」では、気候変動課題に対応する「環境」を重要課題として定め、環境長期ビジョンと環境中期計画において2019年度のTCFDシナリオ分析を基に資源循環方針及び戦略、ロードマップを策定し、脱炭素の取組加速に繋げている。資源循環方針では、脱炭素に資する製品・技術の開発や、販売した製品の廃棄物の削減、資源循環を推進するようなサービス・技術の確立が必要であると考え、資源循環を加速するイノベーションとサステナビリティ貢献製品の創出と拡大に取り組んでいる（統合報告書p43-57）。当該技術に基づく事業先約および計画は脱炭素および資源循環を加速する事業を生み出すものと位置づけられる。（ <a href="https://www.sekisui.co.jp/ir/document/annual/pdf/SC_IR2025_ALL_J.pdf">https://www.sekisui.co.jp/ir/document/annual/pdf/SC_IR2025_ALL_J.pdf</a> ）
	ステークホルダーとの対話、情報開示	採択された場合、研究開発の概要や事業の効果（社会的価値等）をリリースやIR等でどのように幅広く継続的に発信するか	当社では、本事業に採択された場合、当該事業の研究開発計画等についてのプレスリリースを予定している。また、ステークホルダーに対しても、積極的、継続的に公表する予定であり、TCFDや統合報告書を通じて株主・投資家に公表を行い、サステナビリティレポート・WEB等によりマルチステークホルダーに対しても毎年逐次進捗を報告していく予定である。（ <a href="https://www.sekisui.co.jp/sustainability_report/pdf/report_2025/sustainability_report2025.pdf">https://www.sekisui.co.jp/sustainability_report/pdf/report_2025/sustainability_report2025.pdf</a> ）
	ステークホルダーへの説明	事業の見通しや中長期的な企業価値への貢献、リスク等について、投資家や金融機関、取引先等のステークホルダーとどのように対話するか	投資家等に対しては、株主総会や機関投資家説明会、個人投資家説明会等を通して事業の位置づけに関する対話の機会を持つていく予定である。調達先に対しても、供給先に対してもサプライヤーに対してはリスク共有（確認）し、対話しながら進めていくが、特にCO <sub>2</sub> 調達先のごみ処理場の近隣住民に対してはプラント建設時に説明会等を個別に実施し、対話の機会を設ける予定である。一般国民に対しては成果が出た際にセミナー、フォーラム、展示会を通じて対話の場を持つていく予定である。
	企業価値に関する指標との関連性	中長期的な経営戦略において、株主・投資家との関係でどのような財務指標を重視し、目標として位置づけているか。特にPBRが1倍以下の場合、投資家の期待値を上げ、改善するためにどのような方策をとるのか	2023-25年度の中期経営計画「Drive 2.0」にて、持続経営力の強化に向けたKPIとして、ROICを導入し、この拡大に努めている。資本効率向上と長期的な広義の資本コスト低減により、持続経営力を高める指標として活用している。当該事業に対してかける社内工数や費用についても、コストではなく長期に利益をもたらす投資と考え、ROIC向上につなげると位置付けている。また、株主還元のコミットを強化・明確化するため、配当性向：40%以上、DOE：3%以上、総還元性向：D/Eレシオ0.5以下であれば50%以上中期計画の投資進捗、キャッシュポジション、株価を考慮し、適宜追加還元実施、自己株式消去：発行済株式総数の5%以内となるよう、新規取得見合い分を消却、を明記している。

### 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、着実に社会実装まで繋げられる組織体制を整備

<p>事業の進捗状況や事業環境の変化を踏まえ、必要に応じて、開発体制や手法等の見直し、追加的なリソース投入等を行う準備・体制（現場への権限移譲等）があるか</p>	<p>当社においては、必要に応じて、開発体制・環境の見直し、リソース投入を、現場起案で進める。特に開発要員については、「意思を持った研究員」を広く社内から募集する「公募制度」を利用するなど、積極的に実施している。権限は、現場管理者に集中しており、現場管理者からの上申によって、上位の人事、経営を入れた検討によって調整され、実施される。</p>
<p>社内や部門内容の経営資源に拘らず、目標達成に必要であれば、躊躇なく外部リソースを活用する用意があるか</p>	<p>現在においては、①社内・グループ会社のリソース、②関連技術を保有する外部取り仕切会社、③コンサルティング会社 の順番に必要なリソースを積極的に活用する体制を取っている。</p>
<p>プロトタイプを潜在顧客に提供することでフィードバックを得て、アジャイルに方針を見直す計画があるか</p>	<p>すでに、秘密保持契約（NDA）、共同開発契約を締結し、サンプルを供給している協業候補の企業がある。今後、実装事業検討の段階に入れば本事業でのサンプルも供給し、フィードバック情報からのアジャイルな製品反映も増えるような体制を強化する予定である。</p>
<p>中長期的な企業価値向上に向けた事業ポートフォリオの中で、本事業への経営資源配分をどのように位置づけ、統合報告等で示しているか</p>	<p>中期経営計画で新たにKPIとして採用したROIC（投下資本利益率）を、事業ポートフォリオの変革において活用する。また、ESG重要課題として定めた長期持続性に関するそれぞれの取り組みが広義の「資本コスト」をどれだけ抑制できるかという視点でモニタリングしている。</p>
<p>どのような人材をどの部署から（又は新たな採用することで）何名程度確保する予定か</p>	<p>23年度より、バイオ分野において、まず「社内FA制度」による自らの「意思を持った研究員」の補充を実施しており、GI基金の採択規模に合わせて、外部からの「キャリア採用」、社内においては「公募制度」あるいは「人事異動」によって計画的に補充する予定である。23年度：4名、24年度：4名確保予定</p>
<p>既存の設備、土地をどの程度活用するか</p>	<p>先進技術研究所（つくば市）にて基本技術の開発を行っており、ラボに設置されている5L程度までの培養設備、COを使用できる培養設備、H<sub>2</sub>やCOガスに対する安全設備が活用可能である。また、前処理用のラボ設備や共通設備として使用できる評価分析グループの分析設備も活用する計画。2024年度より敷地内にラボ・ベンチ用の開発用建屋の建設し、ベンチ機を導入している。</p>
<p>国費負担以外で、何に対してどの程度の資金を投じる予定か</p>	<p>主に、知的財産関連費用、研究開発費、研究員の人件費、ならびに共通管理費、また施設管理費など研究開発環境の維持、拡張に関する費用、また、設備費、原材料費を年間約4億円を予算化している。（自己負担分）</p>

## 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

マネジメントチェック項目 ③事業推進体制の確保	専門部署の設置と人材育成	専門部署の設置	機動的な意思決定を可能とする組織構造・権限設定を行っているか、例えば、経営者直轄の専門部署を設置するか	現状、本事業を担当する部署、開発責任者においては、実質的な事業責任者であり、承認された予算の仕様先、補充人員の選定など、すでに社内規定の範囲内での権限執行は可能となっている。ただし、決定内容、執行内容、についての報告義務はある。また、当社はカンパニー制をとっているが、当該部署は、経営者に最も近い本社機構の社会貢献案件を集中的に挑戦、開発するR&Dセンター（本社研究所）内になり、すでに経営者直轄部署である。
		事業環境の変化に合わせ、産業アーキテクチャや自社のビジネスモデルを負担に検証する体制を構築しているか	当該事業関係者は、「社内研鑽会」「テーマ検討会」において、当該部署以外の人員で構成される会合にて、テーマの実現性、ビジネスモデルなどの研鑽を実施する体制を構築しており、特に市場環境の変化に対して、機能的に分析、確認、討議を行うようにプログラムされている。	
		将来のエネルギー・産業構想転換を見据え、当該産業分野を中長期的に担う若手人材に対して、育成機会を提供するか	現在、当該部署に関連する大学からの新卒採用者の配慮など、年齢構成の平坦化を意識しているが、特に生産設備開発などの開発においては、「マイスター制度（社内規定）」に登録された技術熟達者の協力などを得ながら、若手人材の育成を促進していく取組も実施する予定である。	
		学会やアクセラレーションプログラム等の機会を通じて、アカデミアの若手研究者やスタートアップ企業との共同研究を推進するか	現在においても、複数の大学、また所属する若手研究者との共同研究においてのコラボレーションを実施しているが、今後も、その関係を維持するとともに、技術、方針が合う関連スタートアップ企業があり、事業が加速するなどのメリットがある場合は、躊躇なく共同研究、あるいは協業を推進する方針である。	
		本事業を通じた人材確保や育成を「人的資本経営」としてどのように中長期的な企業価値向上に位置づけ、統合報告等で示すか	当社グループは、「人材」を長期ビジョン実現に向けたイノベーションを生み出す原動力と位置づけ、多様な人材が挑戦し活躍できる活力あふれる職場づくりを推進している。 統合報告書2025 ( <a href="https://www.sekisui.co.jp/ir/document/annual/pdf/SC_IR2025_ALL_J.pdf">https://www.sekisui.co.jp/ir/document/annual/pdf/SC_IR2025_ALL_J.pdf</a> ) P43-57に記載	

# 4. その他

## リスクに対しては十分な対策を講じるが、研究開発目標、およびコスト目標未達成の場合には事業中止も検討する

### 想定リスク

★・・・事業中止の判断

#### 研究開発(技術)におけるリスクと対応

- ① **事業化予定時期に開発目標が達成できない**（芳香族化合物・エポキシモノマーの目標生産量未達成、接着剤性能不良）  
→既存バイオものづくり技術、資源化プロセス活用  
→世界トップレベル技術・事業化実績を有する機関連携  
→大学、研究機関の芳香族化合物プロセス並行検討等  
→事業化時期の見直し、**事業中止★**
- ② **生産の品質安定性が保てない**  
（不純物による接着剤品質の低下）  
→社内外の必要な生産、精製技術の導入  
→生産設備の入れ替え(設備投資増)
- ③ **接着剤の安全性、性能が確保できない**  
（有害性評価、接着剤性能未達、致命的な欠陥の発生）  
→発生メカニズムの解析による対処  
→事業化時期の見直し、**事業中止★**
- ④ **海外、また競合メーカーによる採用技術の特許取得、あるいは先行販売**  
→先んじて特許出願を推進する  
→知財戦略の立案と実行

#### 社会実装(経済社会)におけるリスクと対応

- ① **接着剤コストが目標に達しない為、市場に受け入れられない**  
→事業化時期の見直し、あるいは見合う市場のみの事業縮小、または、**事業中止★**
- ② **接着剤の施工法については、各分野毎に施工パートナーとの取り扱い規定、施工手順などを十分に協議し、マニュアル等を作成するが、イレギュラーが多く発生する場合の対処**  
→施工法、対処法のデータベース化によるトラブル発生時のノウハウを蓄積する
- ③ **海外、競合会社から同等性能の安価な製品が流入**  
→コスト競争力の強化、あるいはそれを払拭する性能向上で対処  
→特許の侵害可能性のチェック
- ④ **CO<sub>2</sub>を原料にした製品が社会に受け入れられない**  
→CO<sub>2</sub>削減を自社内の省エネや再エネ導入でCO<sub>2</sub>原料の置き換えが遅延の場合、事業戦略見直し

#### その他(自然災害等)のリスクと対応

- ① **ひたちなか東海クリーンセンター(ごみ焼却場)は海岸に近く、津波発生時には甚大な被害を受ける可能性が有る**  
→生産拠点の分散化、移転の検討
- ② **当社の経営状態の危機的状況が発生**  
→当該事業が利益を上げているならば、事業売却により、お客様への影響を最小限に留める事も可能
- ③ **培養資材、消耗材の枯渇、あるいは高騰によって、現状コストが維持できない状況の発生**  
→購入先変更、サプライチェーン変更  
→売価修正あるいは**事業中止★**
- ④ **ごみ処理場の設備トラブルやごみ収集のトラブルによる原料CO<sub>2</sub>の供給停止**  
→短期間の供給停止に耐えうるガス貯蔵用のバッファータンクの設置、運用
- ⑤ **地震災害などによる生産設備の故障、組換え微生物の漏洩**  
→培養設備周辺の拡散防止措置設備の設置および定期点検

#### 事業中止の基準

研究開発(技術)におけるリスクが解消できない場合

- ①：KPI未達成（2030年）
- ③：接着剤の必要性能未達成（2030年）

社会実装(経済社会)におけるリスクが解消できない場合

- ①：接着剤コストがKPI目標に達しない（2030年）