

電気エネルギーを利用し大気CO₂を固定する バイオプロセスの研究開発



PM：加藤創一郎

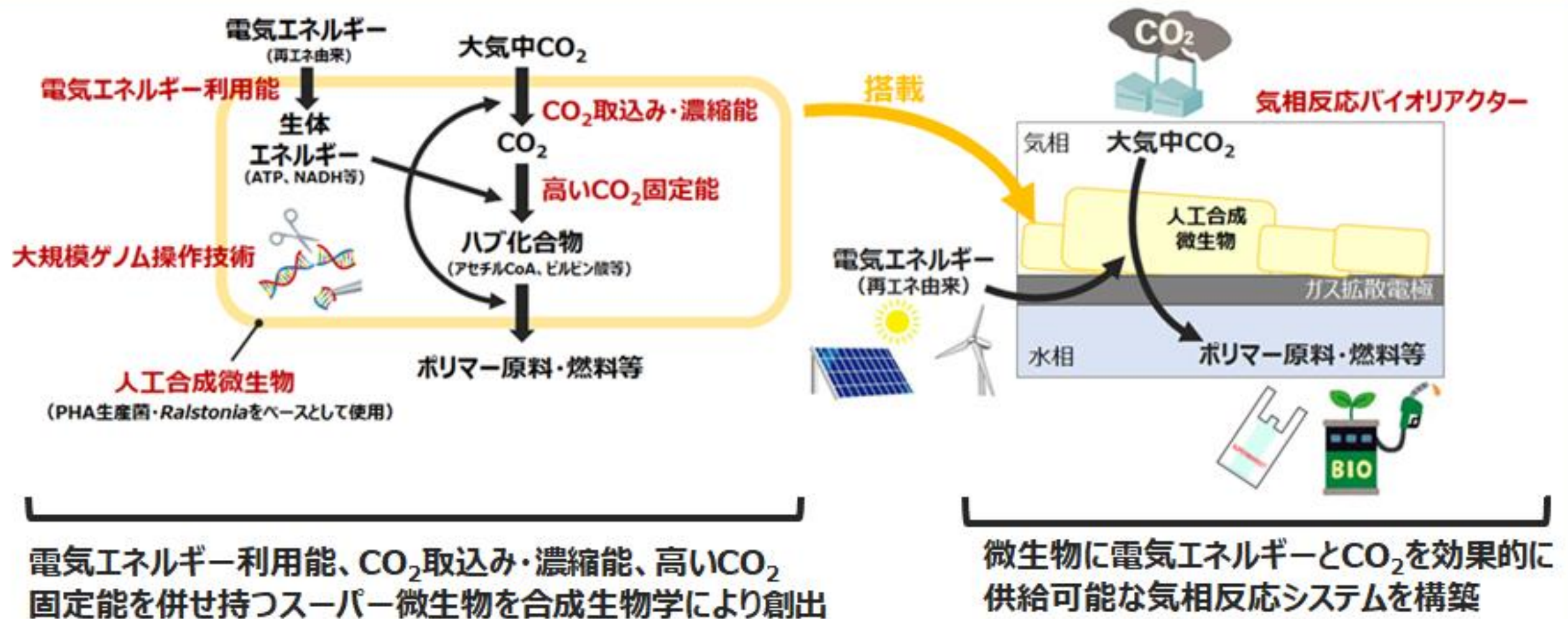
国立研究開発法人産業技術総合研究所・主任研究員

PJ参画機関：東京工業大学、名古屋大学

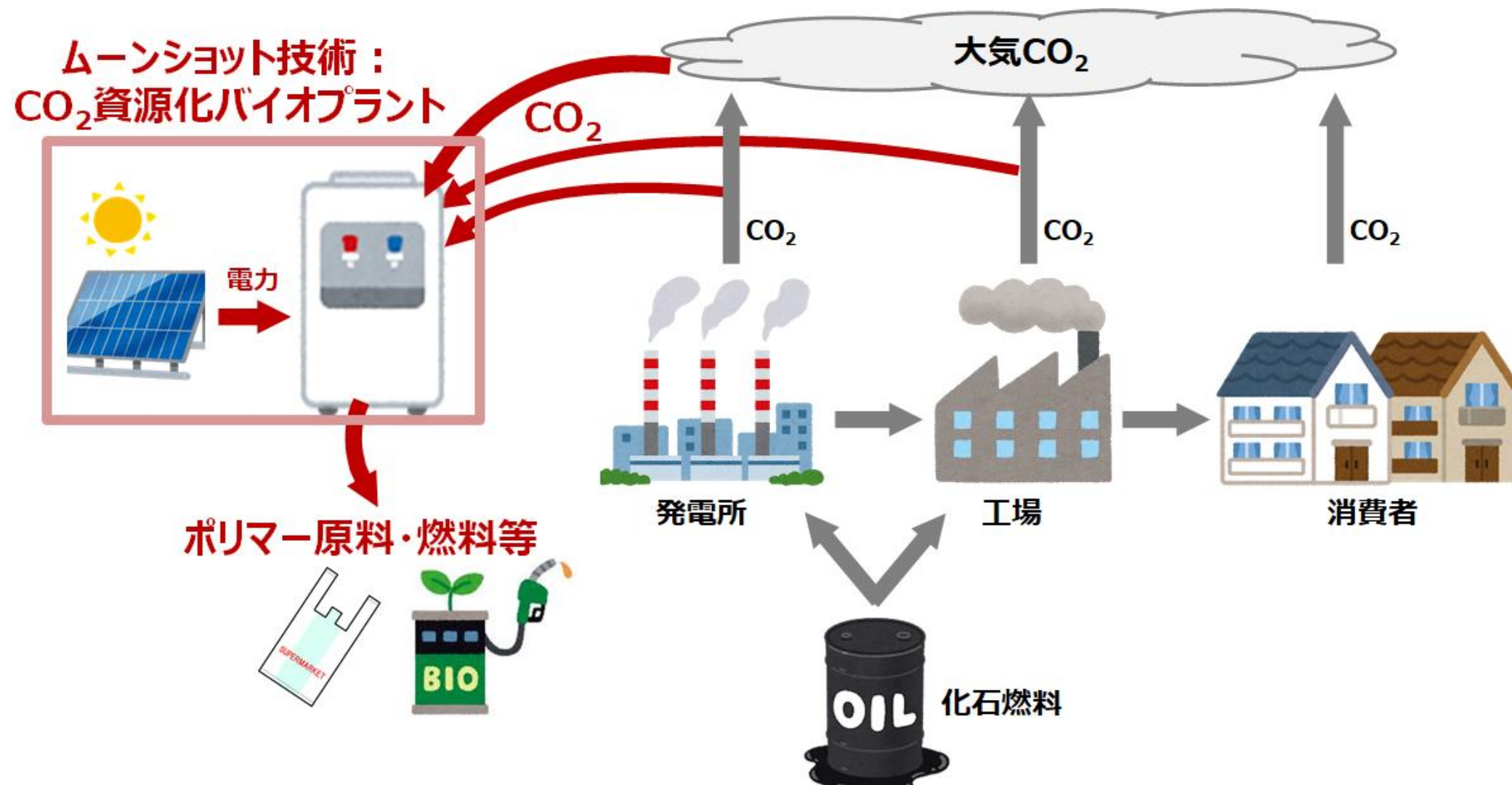
研究開発期間：2020年度～2022年度

研究開発概要・PJ全体目標

- 微生物を用いた革新的なネガティブエミッション技術の開発
- 電気エネルギーを利用し大気中CO₂を植物の50 倍以上の効率（1 m²あたり年間50 kgの大気CO₂を吸収）で有用有機物に変換
- PJ達成目標（2022年度）：「電気利用CO₂固定微生物の人工合成」と「気相反応リアクターの構築」を実現し本技術の実証可能性を明確に示すこと

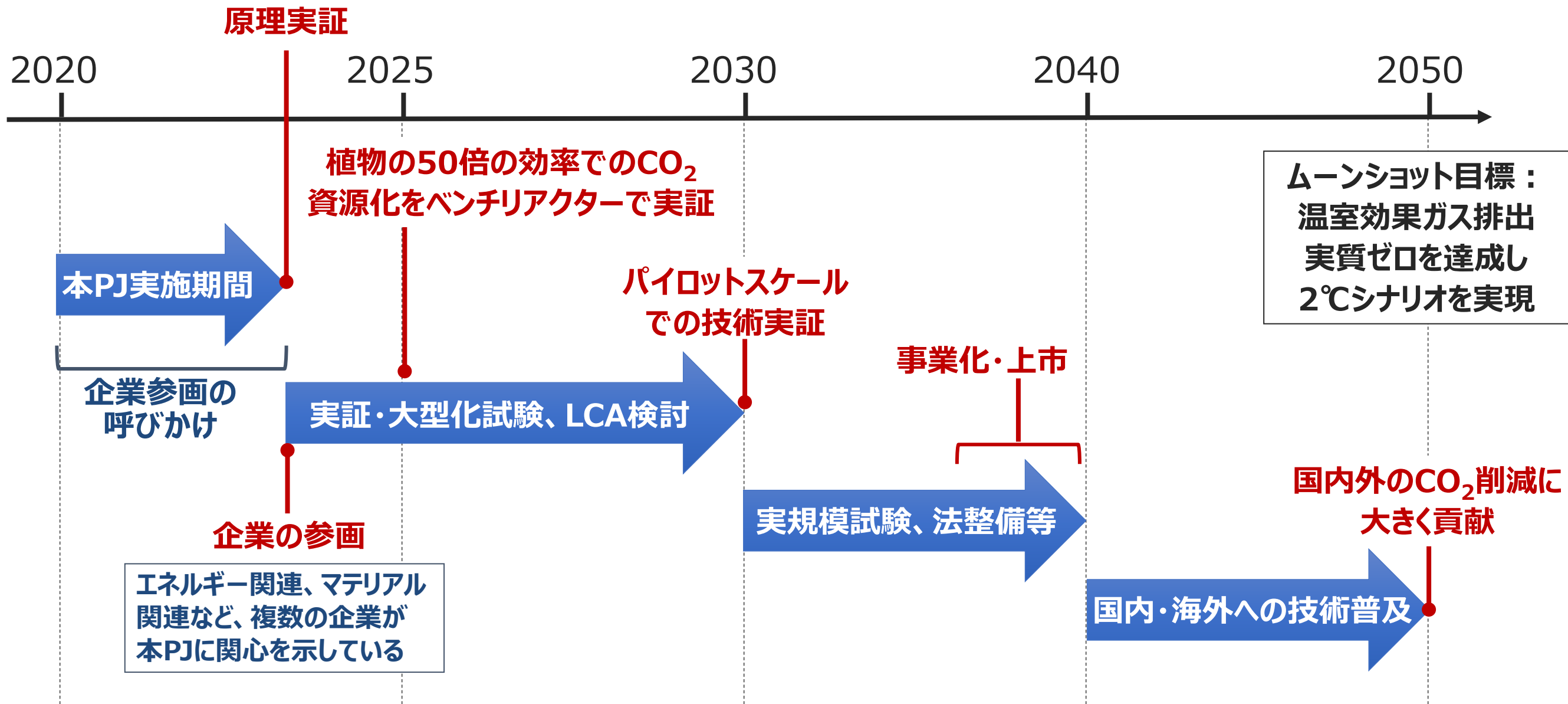


社会実装のイメージ



- * 大気中CO₂の削減（排ガス由来等、高濃度CO₂も可能）
- * 再生可能エネルギー由来の電力を利用（夜間余剰電力含む）
- * バイオプラスチック・燃料の新規供給源

開発スケジュール



■ 年間50万トンのCO₂固定を実現：ネガティブエミッション目標値の3%程度に貢献

■ 年間21万トンの有機物生産を実現：国内バイオプラ・燃料生産の10%程度に貢献

研究開発項目・実施体制

■PJ達成目標（2022年度）：

気相反応リアクターを使用し微生物による電気利用CO₂固定の実証可能性を示す

プロジェクト統括・合成微生物創出（産総研・加藤）

①ゲノム操作技術の開発

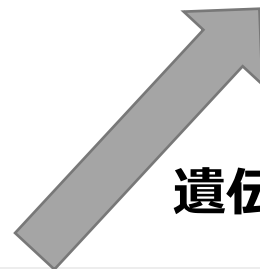
- ・長鎖DNA導入技術
- ・プロモーターライブラリ

②-4. 電力利用CO₂固定微生物の作製

電気利用菌、低濃度CO₂固定菌、
電気利用・低濃度CO₂固定菌など随時作製



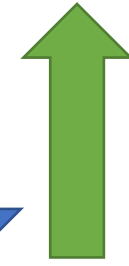
ゲノム操作
技術を提供



遺伝子情報を提供



菌株提供



リアクター技術を
提供

要素技術開発

- ②-1. 電気利用能の付与
(東工大・福居)
- ②-2. CO₂取込み・濃縮能の付与
(神戸大・蘆田)
- ②-3. CO₂固定能の強化
(東工大・藤島)

気相リアクター開発

- ③-1. 気相反応バイオリアクターの構築
(名古屋大・堀)
- ③-2. バイオ-ガス拡散電極の構築
(大阪大・中西)

1. ゲノム操作技術の開発 (産総研)

■ 本PJでの目標 :

*Ralstonia*の長鎖DNA導入技術を含むゲノム操作基盤技術を構築する

■ 研究開発内容 :

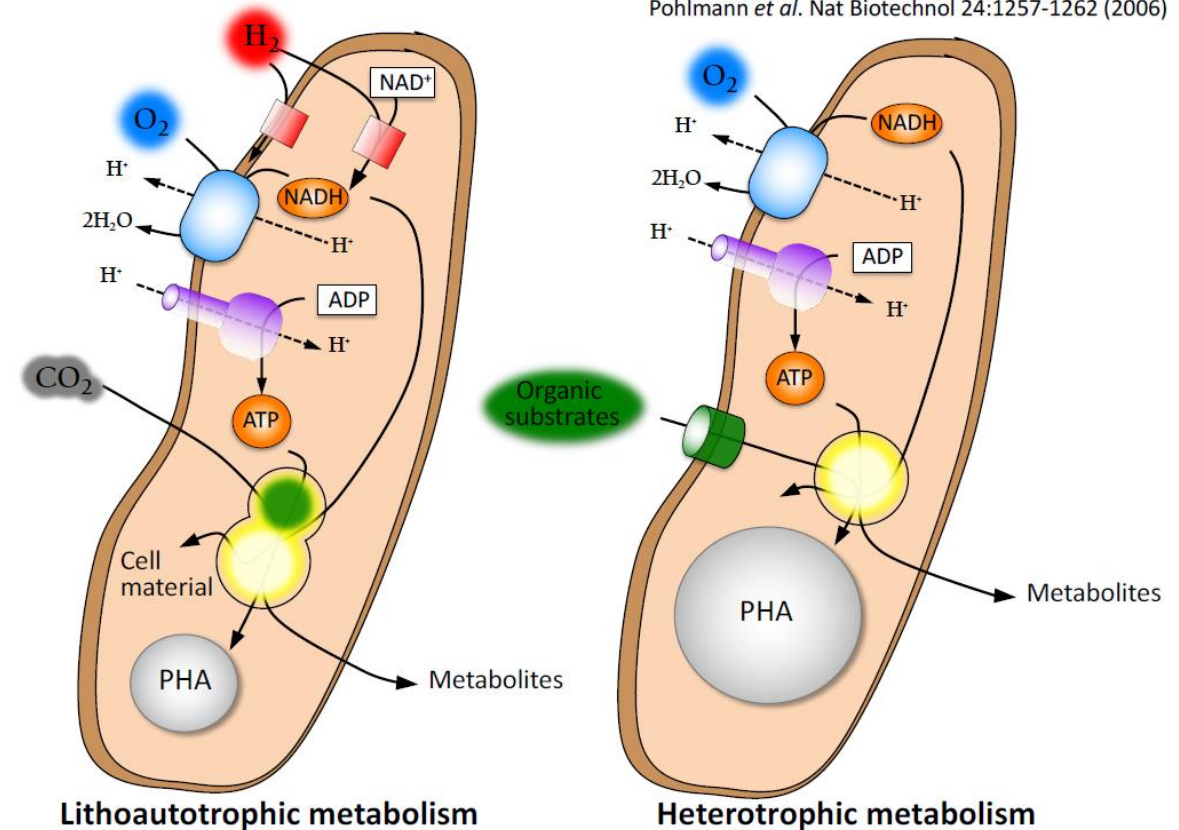
- * 大腸菌等で使用されている長鎖DNA操作ベクターの改良や、Cre-Loxシステム等の導入により数百kb相当の長鎖DNAの導入を実現
- * 各遺伝子を適切な量発現させるために必要なプロモーターライブラリを開発

■ 主な成果 :

- * 長鎖DNA導入ベクターの構築、長鎖DNA導入法の確立
- * 低濃度CO₂条件での網羅的遺伝子発現解析を実施
→CO₂固定条件で機能するプロモーター候補を選出

化学合成無機独立栄養細菌 *Ralstonia eutropha* H16株

Pohlmann et al. Nat Biotechnol 24:1257-1262 (2006)



2-1. 電気利用能の付与 (東工大)

■本PJでの目標：

*Ralstonia*に異種微生物の電子伝達パスを導入し、電流消費活性を付与する

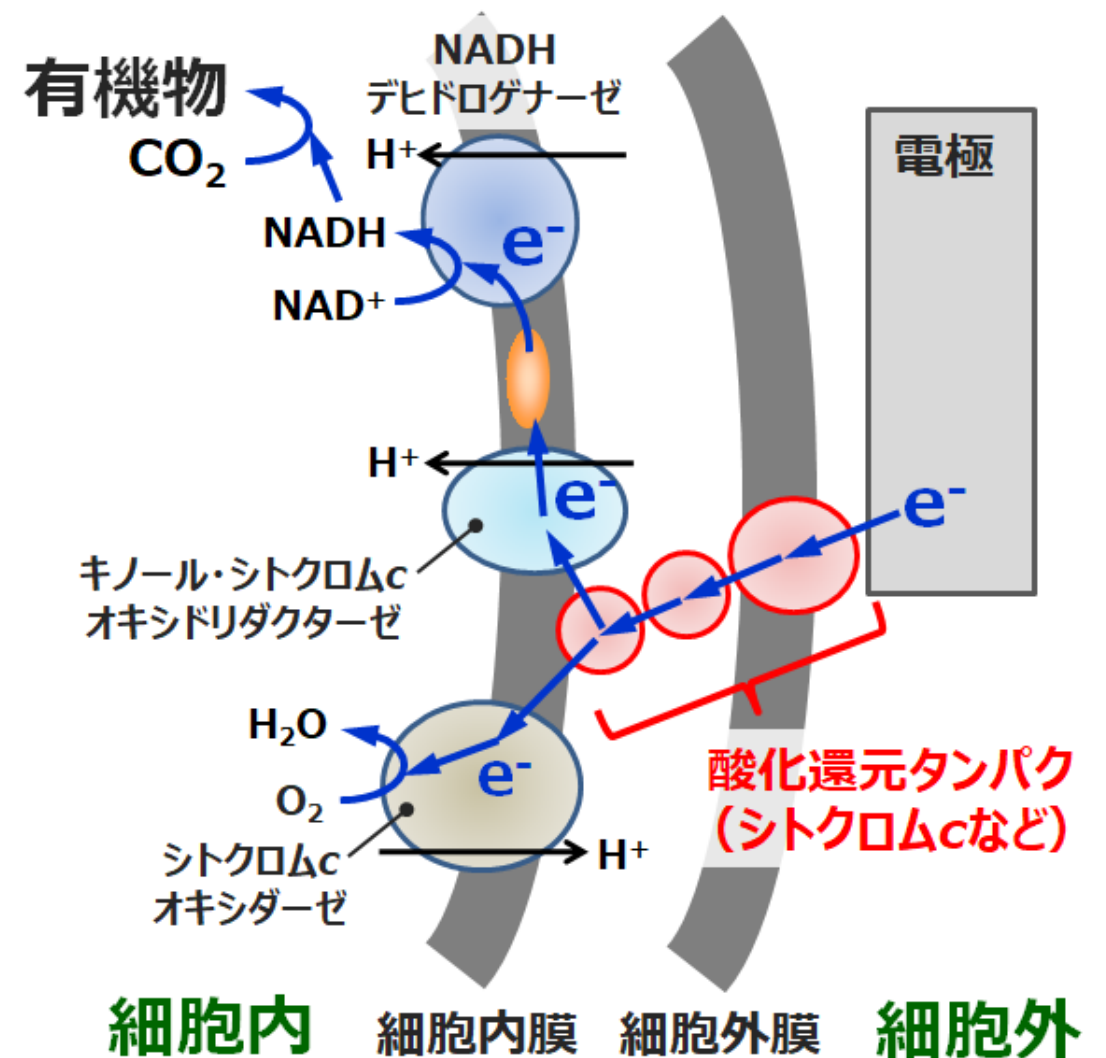
■研究開発内容：

- * 電流消費活性を有する*Shewanella*や*Acidithiobacillus*の電子伝達系タンパクの*Ralstonia*での異種発現
- * 電極から獲得した電子により生体エネルギー(ATP)と還元力(NADHなど)を生産しカルビン回路を駆動できる*Ralstonia*株を作製

■主な成果：

- * *Acidithiobacillus*の電子伝達系タンパクの導入・発現に成功
- * *Ralstonia*への電極反応活性の付与に成功

*Shewanella*の電流消費機構



2-2. CO₂取込み・濃縮能の付与 (神戸大)

■本PJでの目標：

*Ralstonia*に異種微生物の無機炭素濃縮系を導入し、CO₂取込み・濃縮能を付与する

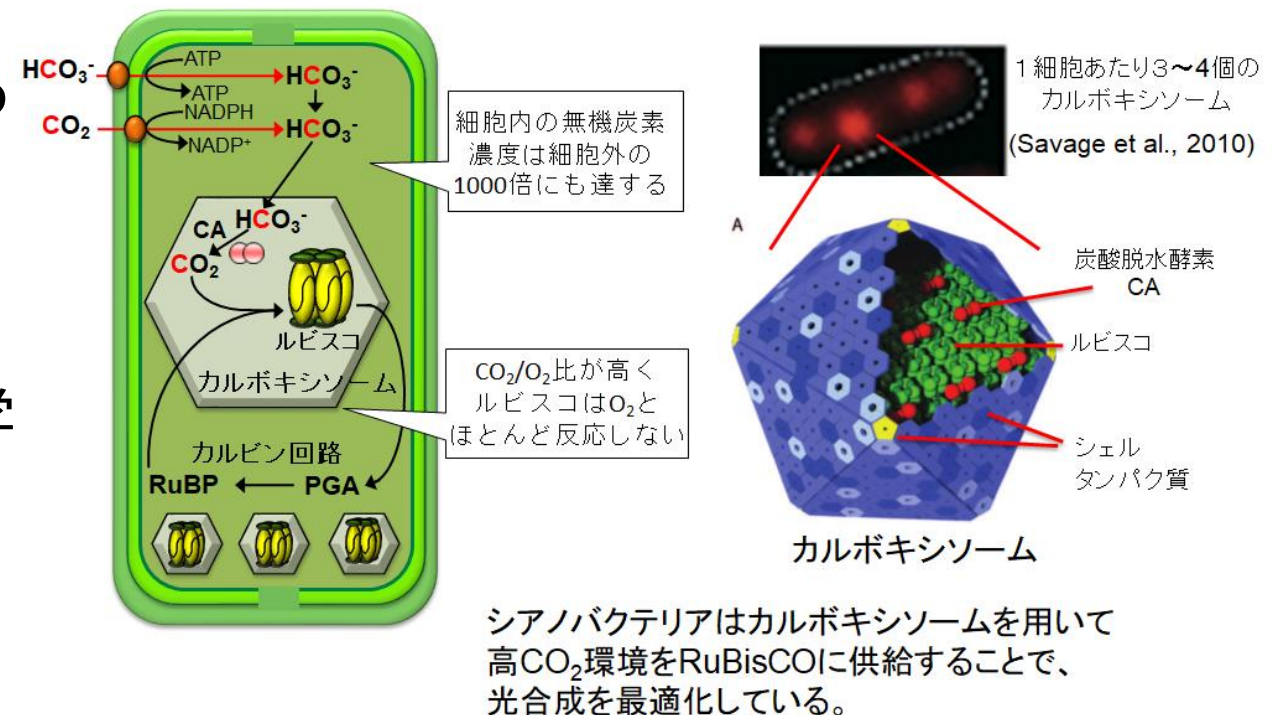
■研究開発内容：

- * シアノバクテリア、*Halothiobacillus*で機能するCO₂輸送タンパク、カルボキシソーム、炭酸脱水素酵素を*Ralstonia*に導入し、無機炭素の取込み・細胞内濃縮能を付与する
- * Rubisco発現量の調節、および分子進化工学により作製した機能改良型Rubiscoを*Ralstonia*に導入し、大気CO₂資源化能のさらなる強化を試みる

■主な成果：

- * 内在、外来のRubiscoの*Ralstonia*への導入・発現に成功
- * CO₂濃縮機構遺伝子の導入を試験中

シアノバクテリアの無機炭素濃縮系



2-3. CO₂固定能の強化（東工大）

■本PJでの目標：

半人工的なCO₂固定経路の導入等により、*Ralstonia*のCO₂固定活性を向上させる

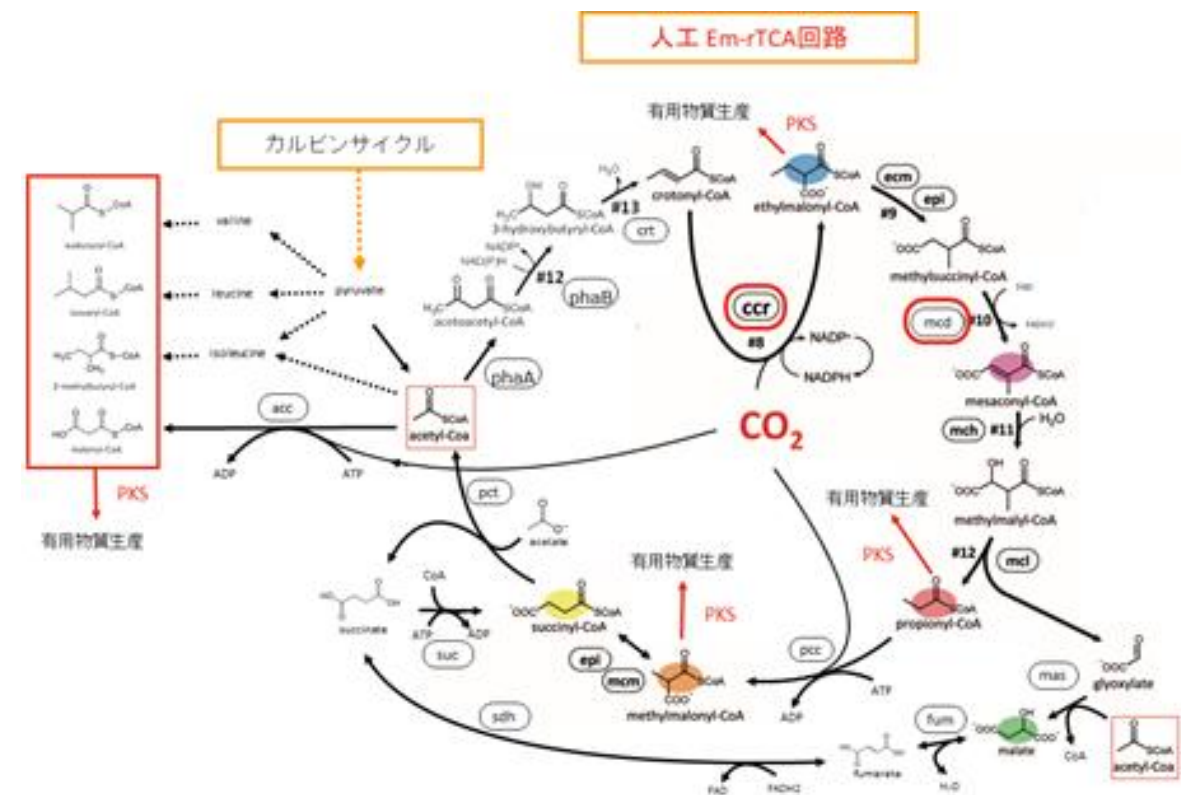
■研究開発内容：

- * CO₂固定酵素などのカギとなる数種類の酵素の付加により、効率的なCO₂固定を可能にする半人工代謝経路をデザインする
- * 当該経路を*Ralstonia*に導入し、CO₂資源化能を向上させる

■主な成果：

- * 半人工的なCO₂固定経路（Em-rTCA回路）をデザイン
- * 経路に必要なCO₂固定酵素の導入・発現を試験中

本PJの実施に向けデザインした半人工CO₂固定経路（Em-rTCA回路）



3. 気相反応バイオリアクターの構築 (名大・阪大)

■本PJでの目標：

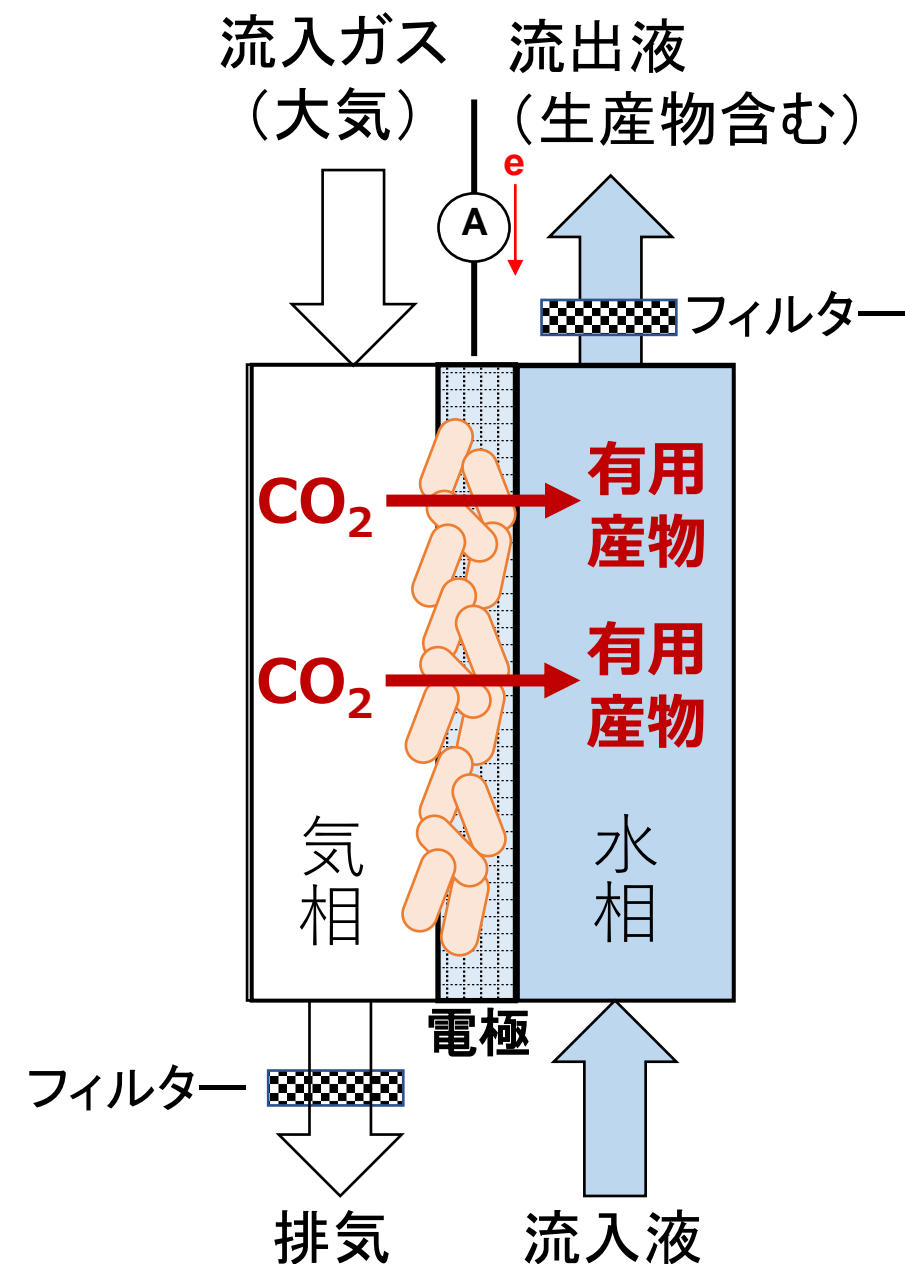
気相反応リアクター、バイオーガス拡散電極により、*Ralstonia*のCO₂固定速度を向上可能であることを実証する

■研究開発内容：

- * 気相・液相・固相の3相の同時接触を可能にする新規微生物リアクターを設計・構築する
- * 電極上の微生物（生物触媒）にガス状のCO₂、水素イオン、および電子を同時に供給することのできるガス拡散電極を開発する

■主な成果：

- * プロトタイプ気相反応リアクターを作製
- * メタン酸化反応をモデルとし気相反応が高速化可能であることを実証
- * 付着性繊維タンパクの導入により*Ralstonia*の電極付着能を向上



研究開発概要・PJ全体目標

- 微生物を用いた革新的なネガティブエミッション技術の開発
- 電気エネルギーを利用し大気中CO₂を植物の50 倍以上の効率
(1 m²あたり年間50 kgの大気CO₂を吸収) で有用有機物に変換
- PJ達成目標 (2022年度) : 「電気利用CO₂固定微生物の人工合成」と「気相反応リアクターの構築」を実現し本技術の実証可能性を明確に示すこと

