

電気化学プロセスを主体とする 革新的CO₂大量資源化システムの開発



PM : 杉山正和

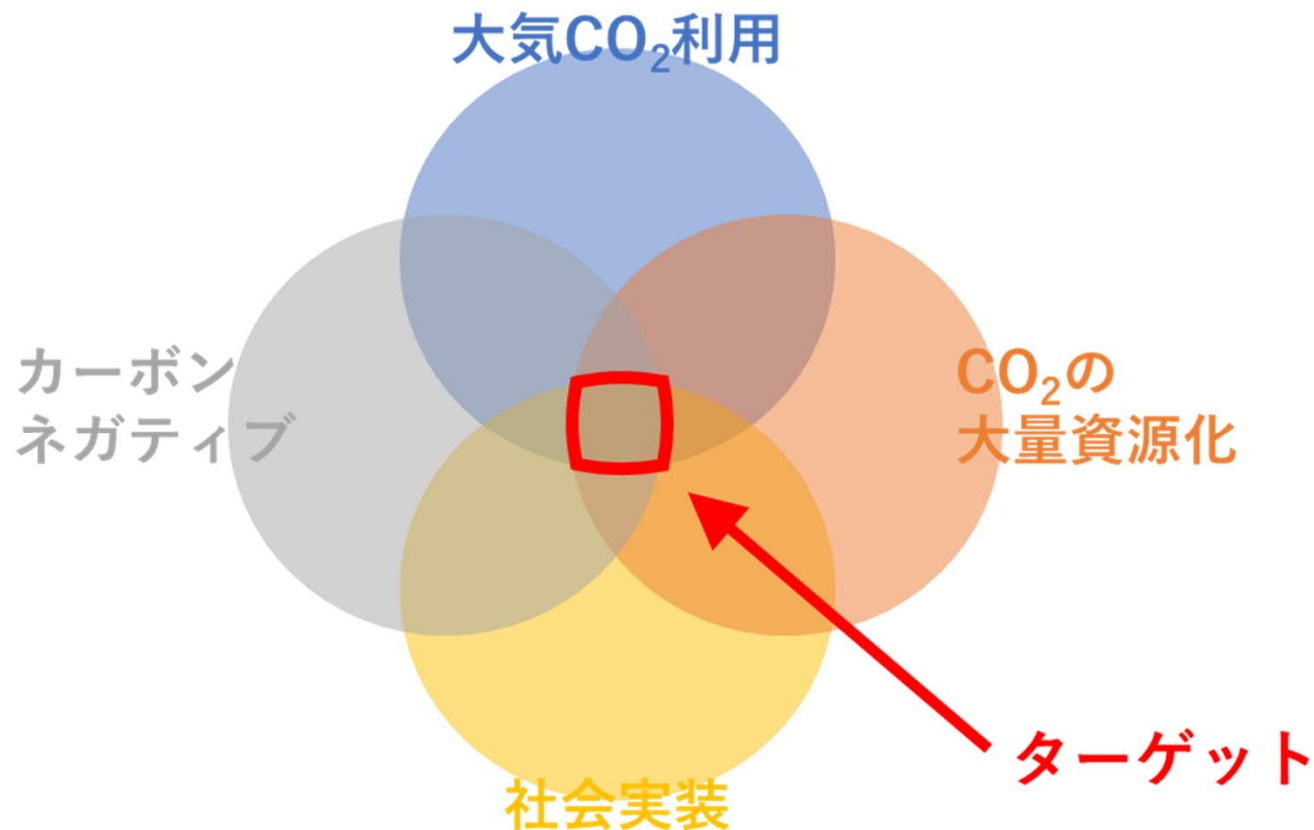
国立大学法人東京大学 先端科学技術研究センター 所長・教授

PJ参画機関 :

国立大学法人東京大学、国立大学法人大阪大学、国立研究開発法人理化学研究所、
UBE株式会社、清水建設株式会社、千代田化工建設株式会社、古河電気工業株式会社

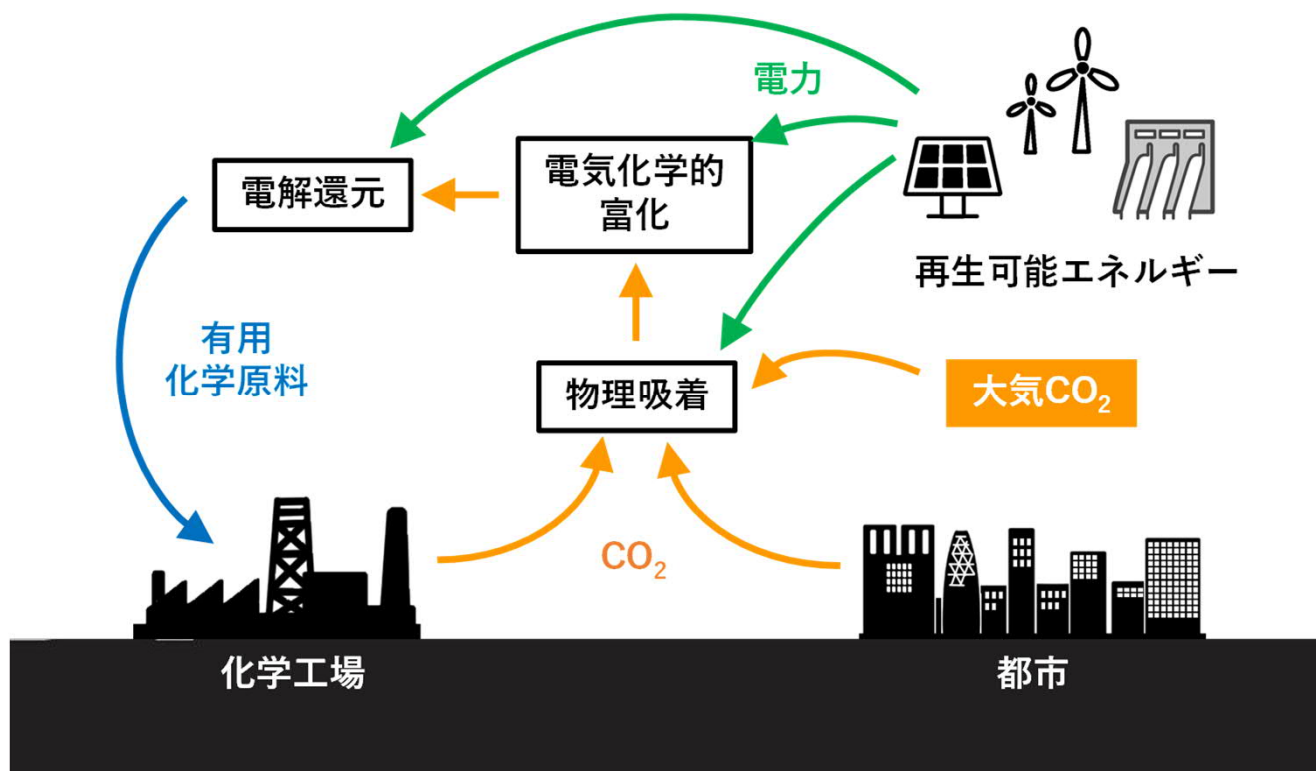
■ 研究開発ポリシー

- 大気CO₂利用
- カーボンネガティブ
- 大量資源化 (CO₂排出 1億 ton/年削減@2050)
- 社会実装/工業化・事業化検討



(2029年度最終目標)

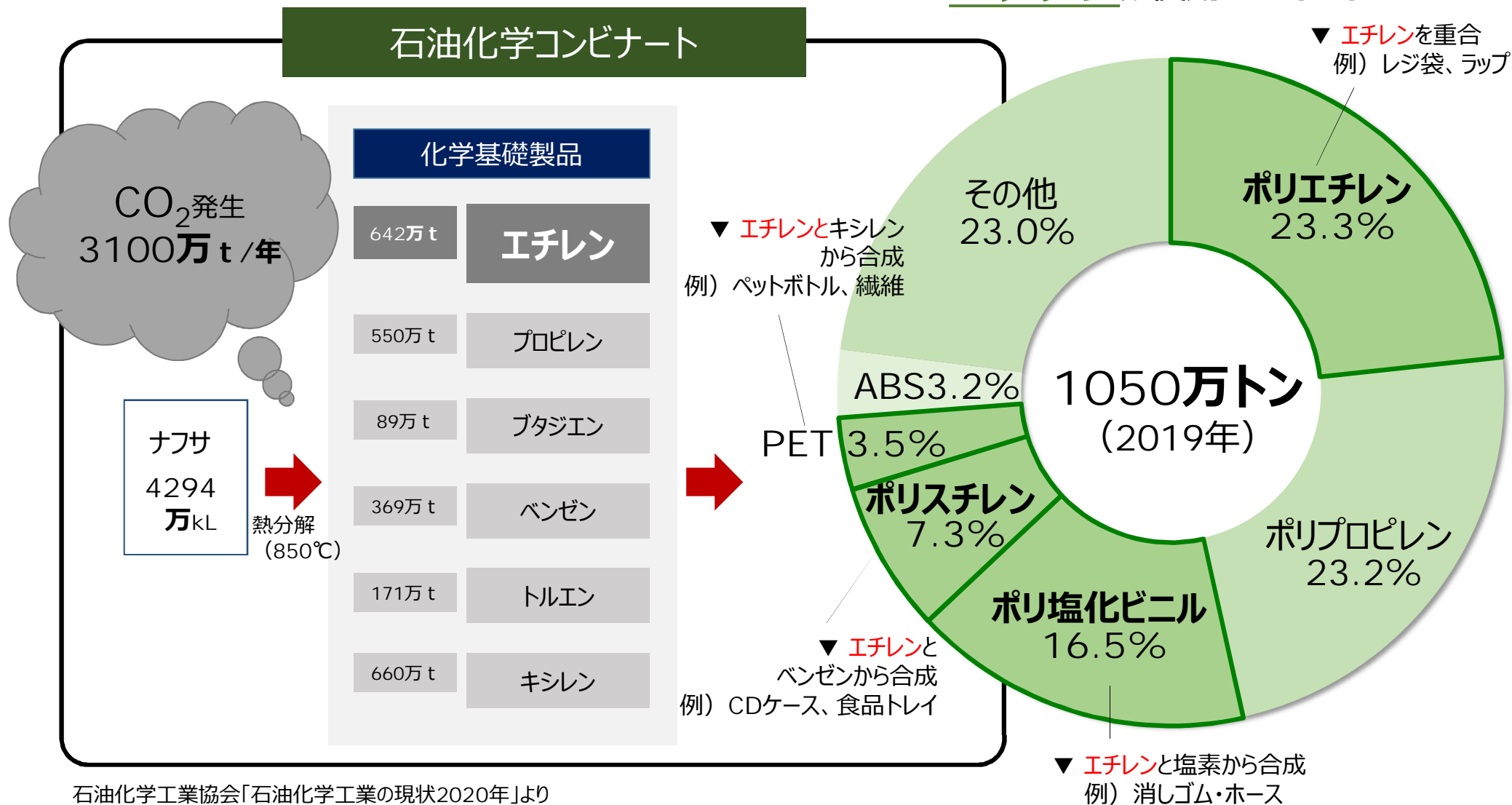
大気中CO₂を回収・有用基礎化学品へ大量資源化するシステムを電気化学プロセスを主体に開発する



プラットフォームエネルギーである
電気エネルギーを用いたCO₂循環システムの構築
～ CO₂排出1億 ton/年削減@2050に向けて～

目標プロダクト：エチレン

プラスチック製品の約半分に
エチレンが使用されている。



石油化学工業協会「石油化学工業の現状2020年」より

都市型DAC-Uシステム(人工光合成)



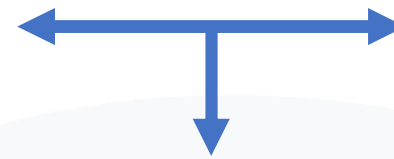
ビルは「まちの空気清浄器」

都市部

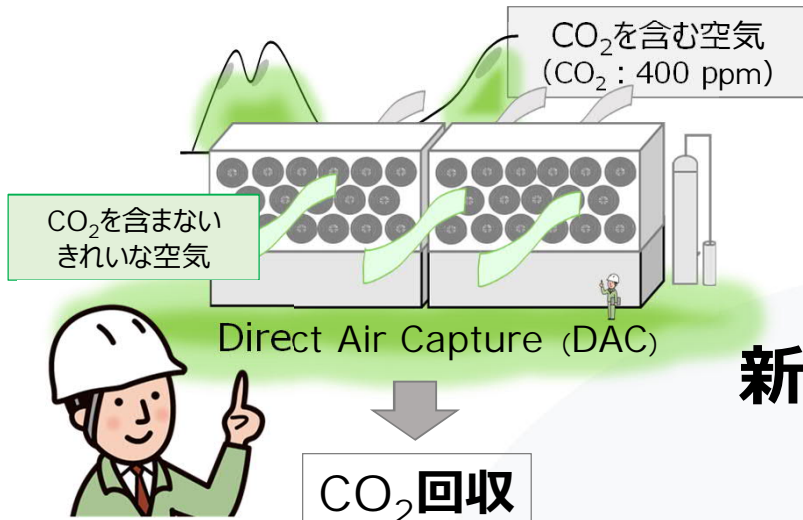


ビルには、
空調換気システムがあるね

融合化

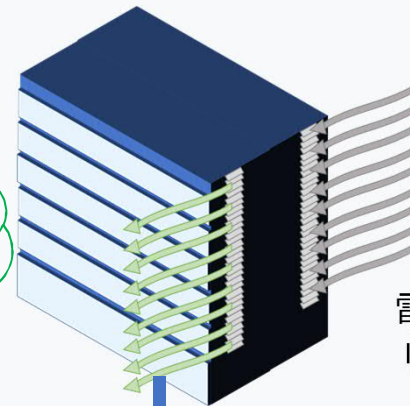


新規な都市型DAC



設置には
広い場所が必要だね

きれいな
空気



空気
+ CO₂

ビルが「DAC」
の代わりになるね



CO₂

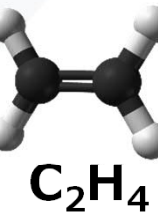
CO₂ + 水



水

電気化学
リアクター

有用な化学品

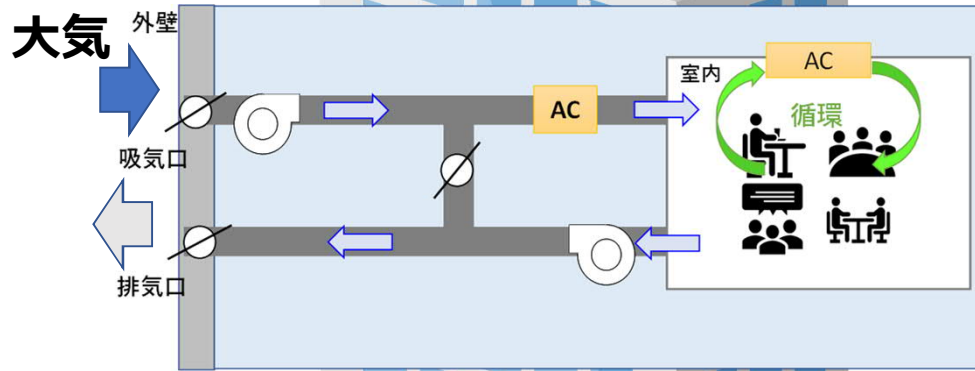


将来は、CO₂と水から
身近な物が作れるようになるよ

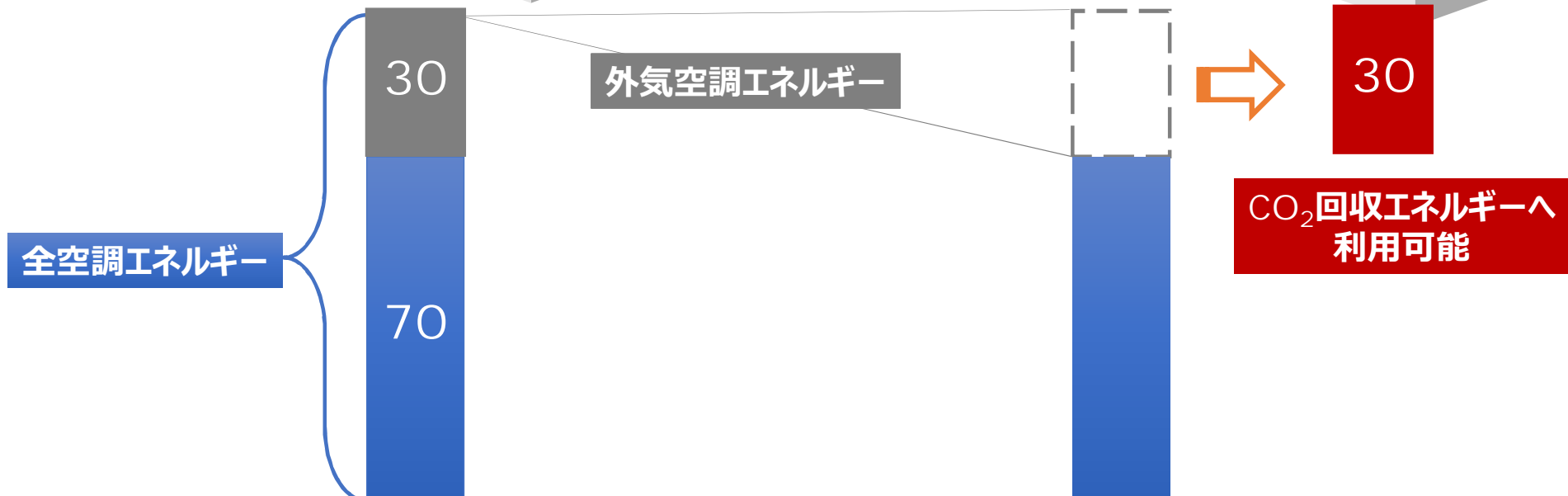
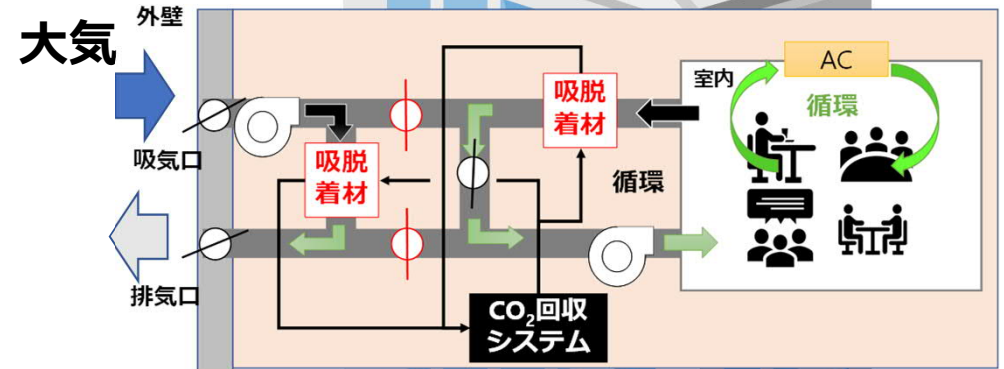


大気からも室内空気からもCO₂を回収

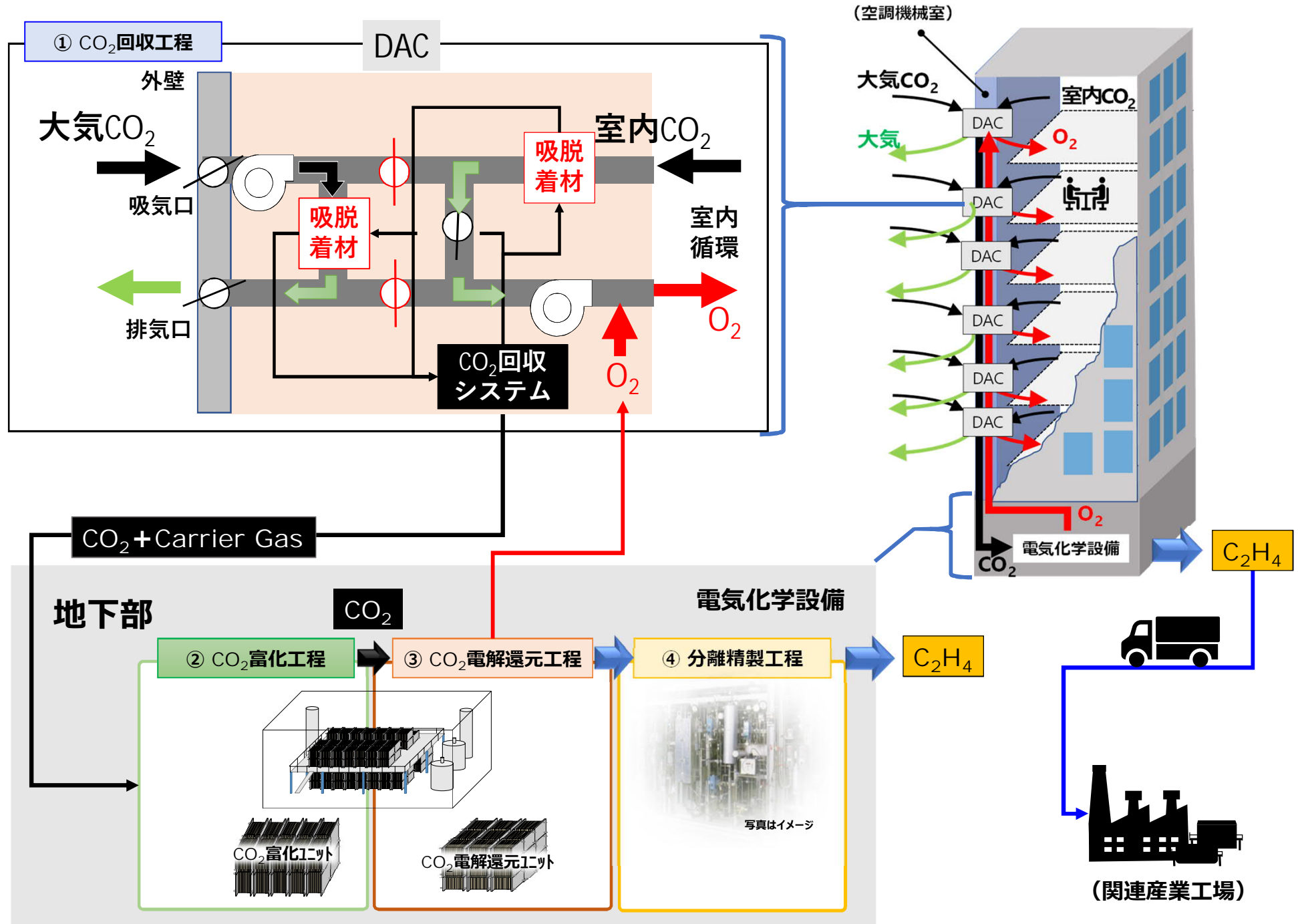
既設（空調換気システム）



本技術 新規な空調換気システム



「都市型人工光合成」(CO₂と酸素も循環)



様々なシーンに対応したスケールラブルな社会実装形態

移送物質

CO_2
二酸化炭素



CO₂

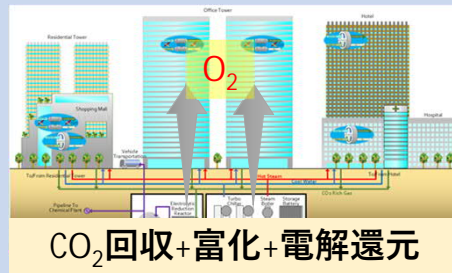
電解還元

エチレン製造 ⇒ 化学工場

電解装置を都市部より離れた場所に設置

- エチレン
- ブタジエン
- エチレングリコール

C_2H_4
エチレン

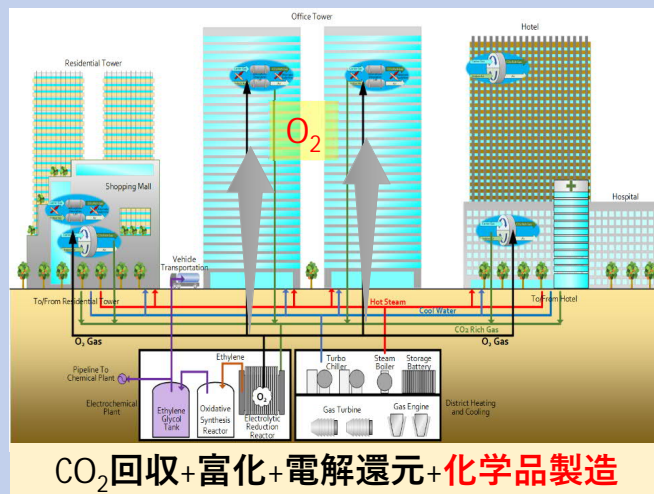


C₂H₄

化学工場

- ブタジエン
- エチレングリコール

$C_2H_6O_2$
エチレングリコール
(EG)

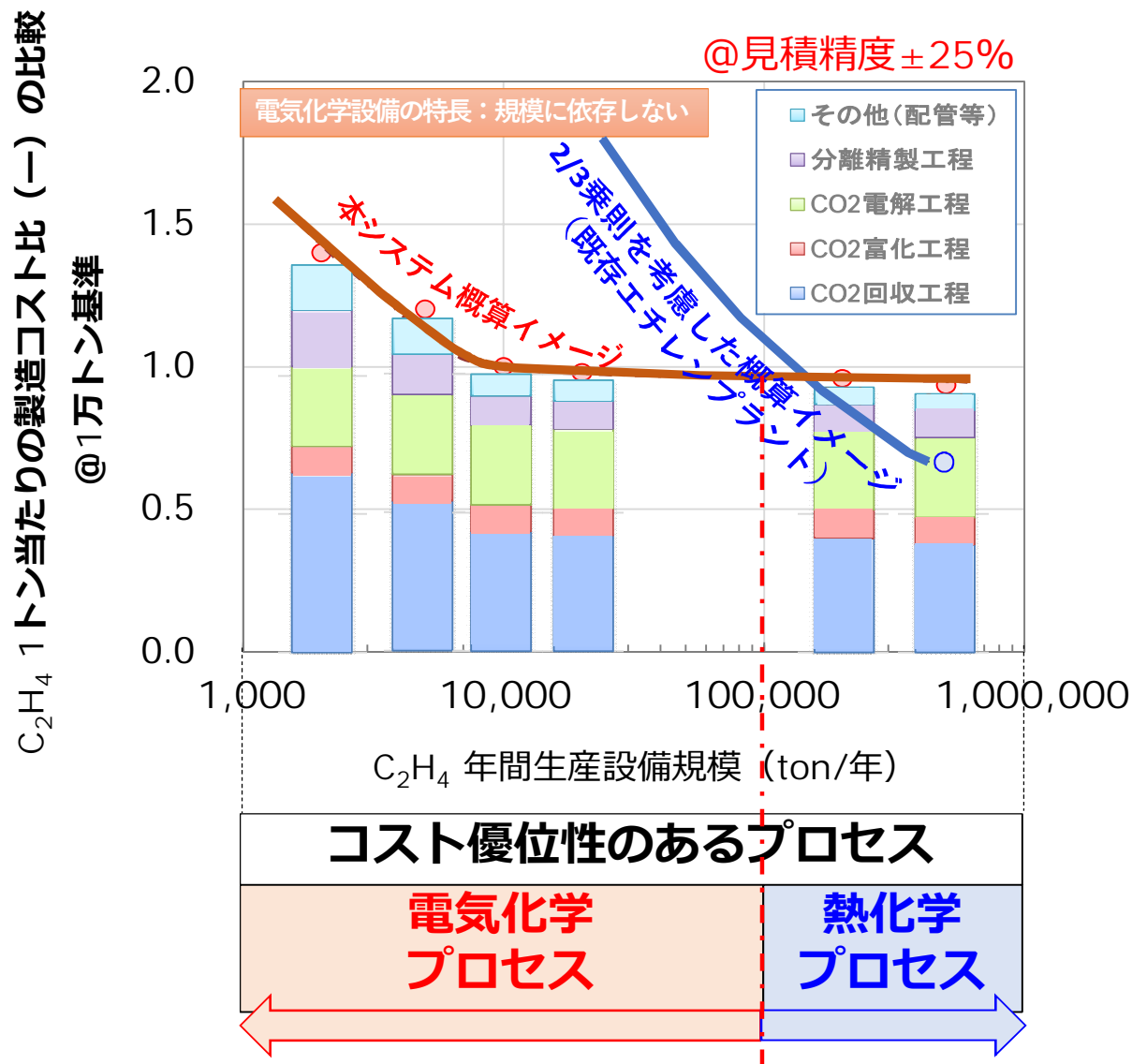


EG

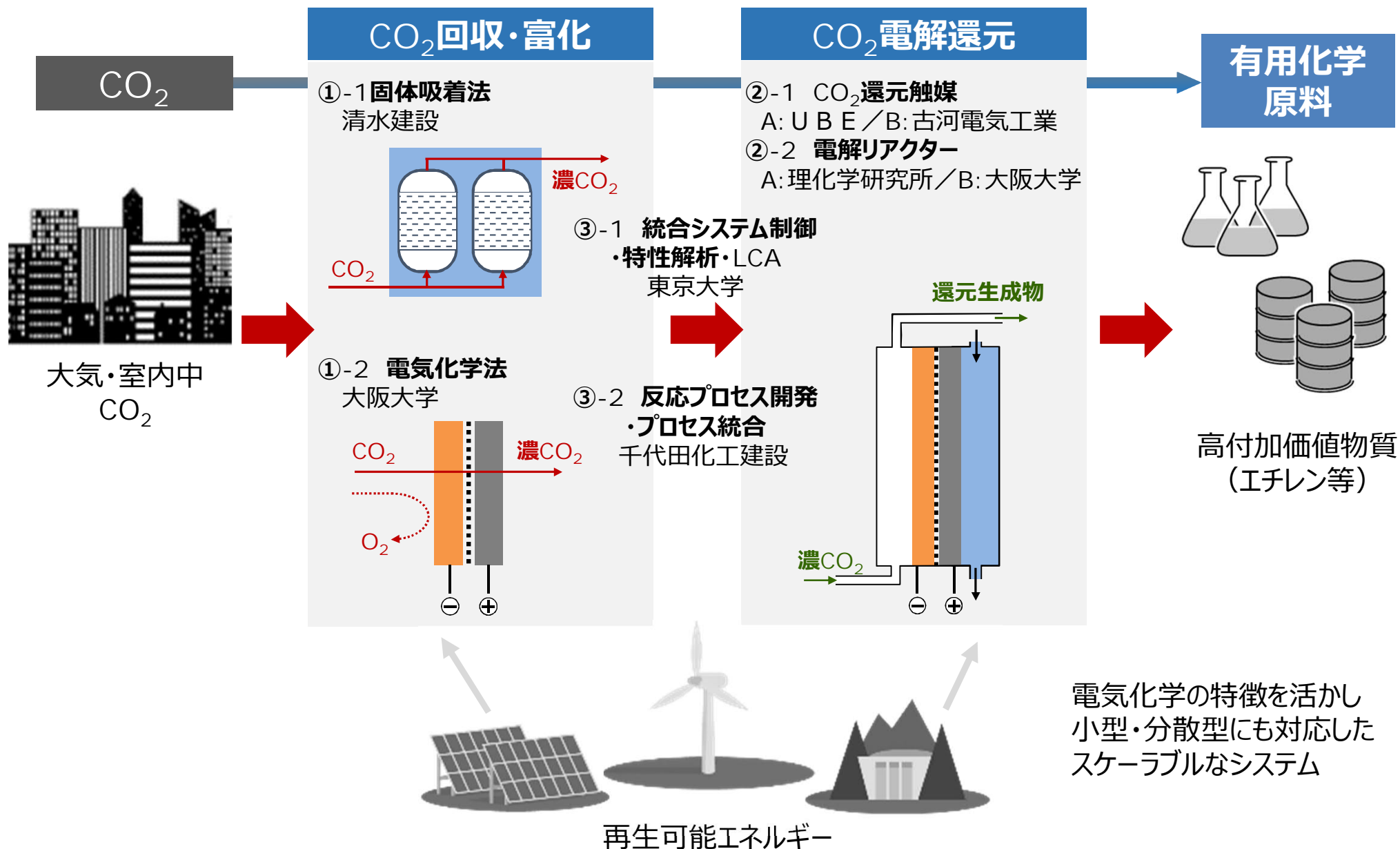
関連産業工場

不凍液・溶剤・化粧品・
ポリエステル原料等

エチレン生産 1 トンあたり概算製造コスト


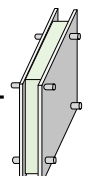


- CO₂回収から化学原料まで一気通貫システム、各機関が分担して開発



開発項目・役割分担

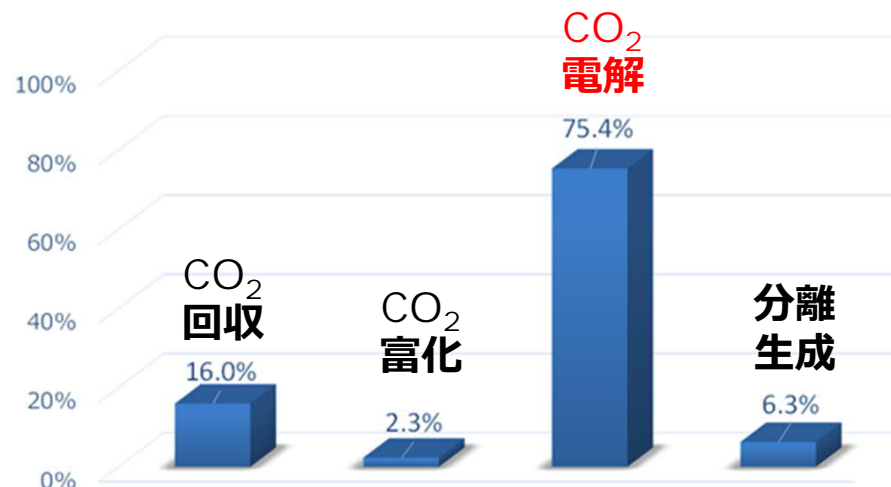
- 開発項目：部材からシステムまで広くカバー
- 役割分担：連携開発を基本とした責任体制を構築。積極的な外部連携も積極的

研究開発項目		研究分担 (基礎検討/工業化検討)			
CO ₂ 回収富化工程	固体吸着法によるCO ₂ 回収 	清水建設	協業企業		
	電気化学法によるCO ₂ 富化 	大阪大学	協業企業		
CO ₂ 電解還元工程	リアクター部材	触媒 	化学材料・素材	大阪大学	UBE
		機能性触媒担体	構造形成・制御		古河電工
		GDE電極 		古河電工、協業企業	
		MEAリアクター 	膜	理化学研究所	協業企業
			構造体		協業企業
スタック 					
システム統合化	反応プロセス開発・プロセス統合 統合システム制御・特性解析・LCA評価 	東京大学	千代田化工建設		

年度	2022	2024	2029
CO ₂ 排出量※ (t-CO ₂ /t-C ₂ H ₄)	+1.0 ~ +1.5 デバイス開発/検証	+0.5 ~ +1.0 実験室規模 1,000時間	< -0.5 パイロットプラント 5,000時間
内) 運転時CO ₂ 排出量	-0.5 ~ 0.0 (5.0~4.5 V, FE= 55 ~65%)	-1.0 ~ -0.5 (4.5~3.8 V, FE= 55 ~80%)	< -2.0 (3 V, FE= 80%)
内) 設備CO ₂ 排出量	+1.5	+1.5	+1.5

※大気CO₂回収からエチレン生成までのシステム全体のCO₂排出量（設備込）

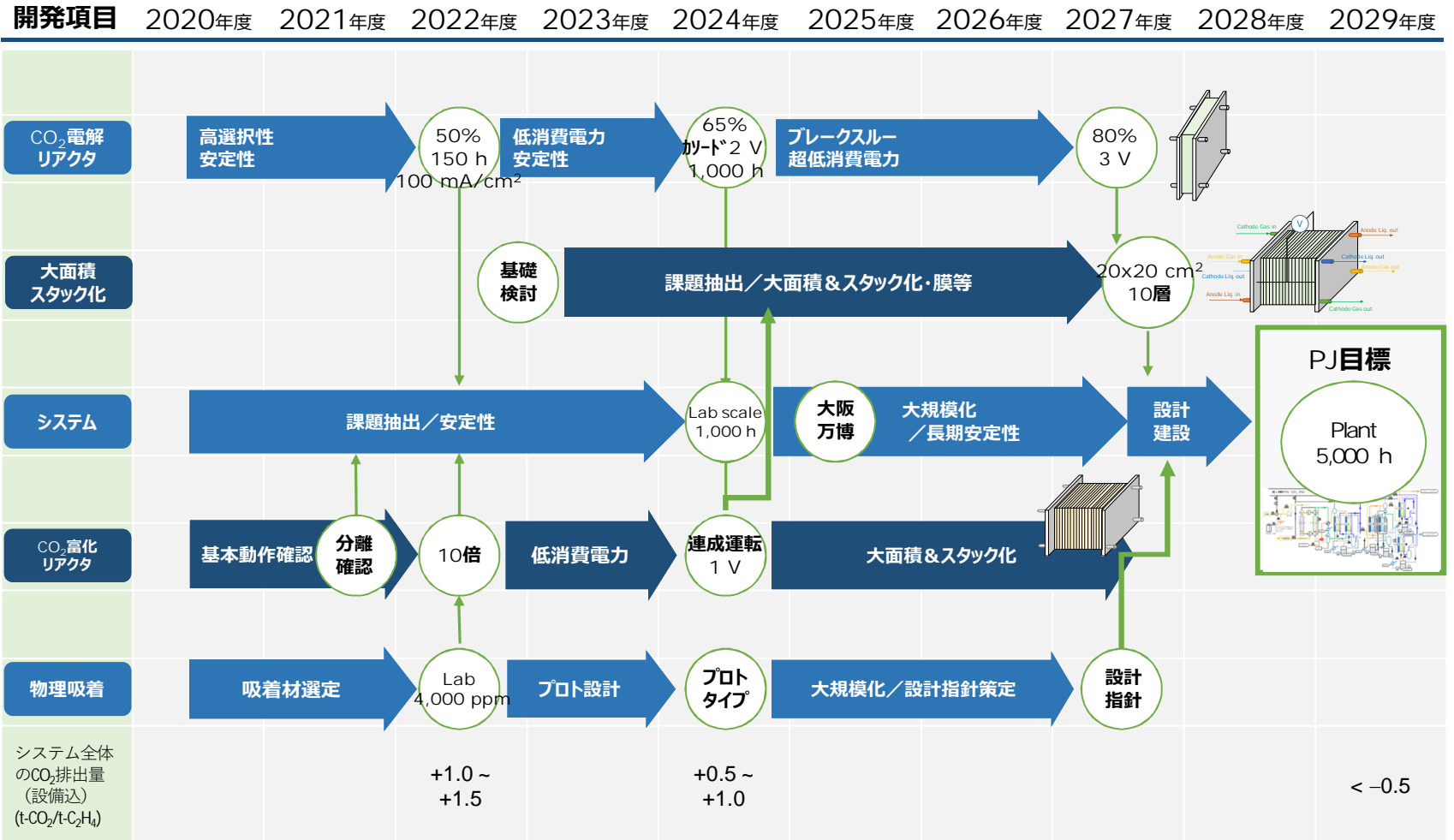
各工程に必要なエネルギー割合



- 精度±20%の粗々試算
- 電力のCO₂排出量として太陽光発電30g-CO₂/kWhを仮定
- 設備に関わるCO₂排出量を含む

開発スケジュール

- 2029年度目標： Pilot実証 5,000 h



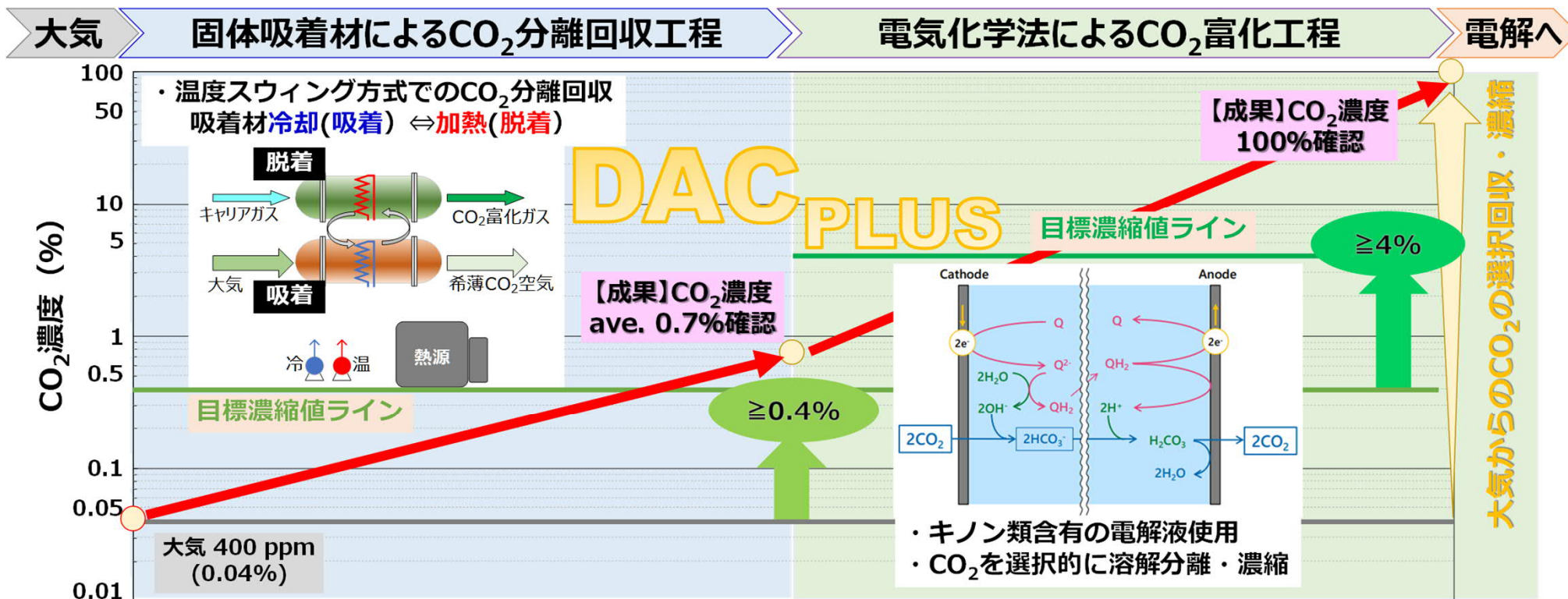
進捗・成果 CO₂回収・富化 (1/2)

□ CO₂回収：濃縮達成 0.04% ➔ ave. 0.7%

22年度目標：0.4%

□ CO₂富化：濃縮達成 0.7% ➔ 100%

22年度目標：10倍濃縮



大気CO₂ (0.04%) ➔ CO₂濃度100%へ濃縮

固体吸着材によるCO₂分離回収工程

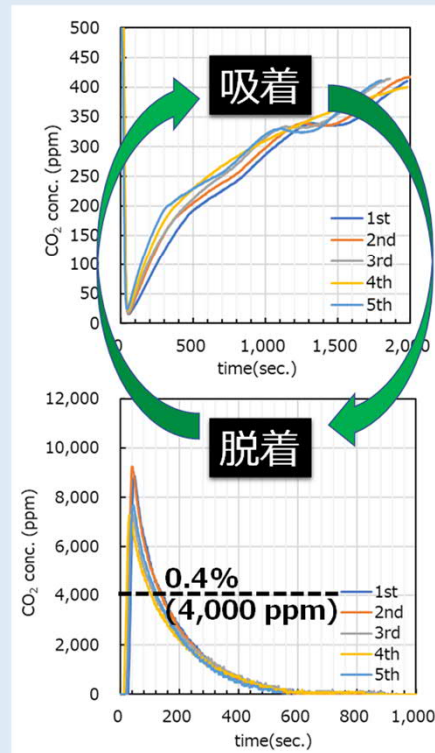
- 有効な吸着材の選定
- 大気の10倍(0.4%)を超えるCO₂濃度での分離回収達成
- 吸脱着繰返し性能を確認



高精度ガス
吸着量測定装置



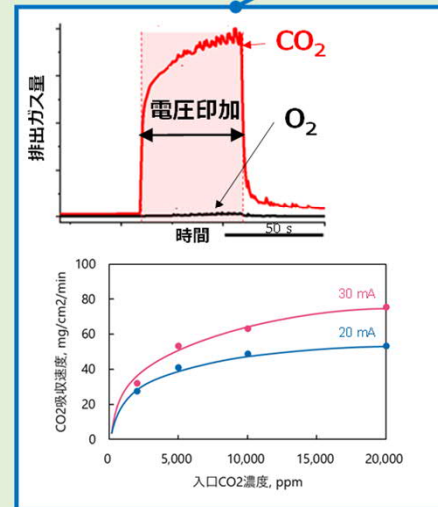
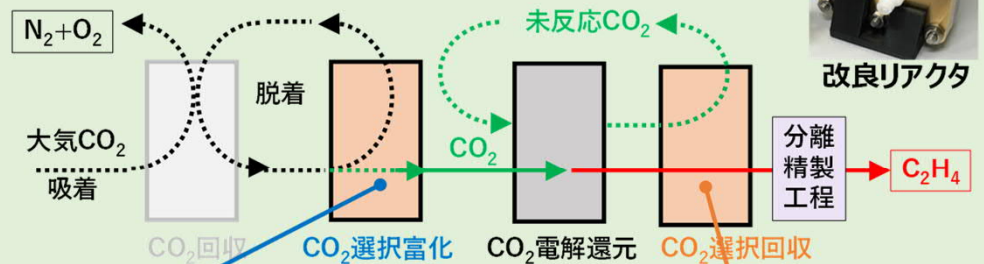
吸脱着実験装置



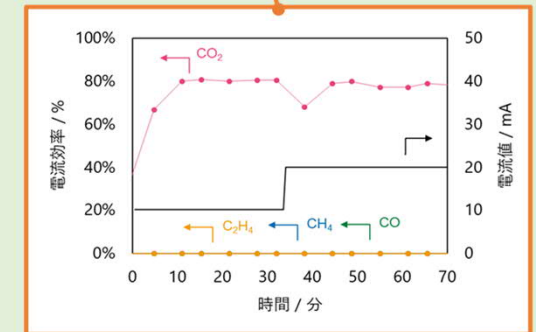
例) 吸脱着繰返し結果一例
 吸着 : 15°C CO₂濃度400 ppm
 脱着 : 90°C

電気化学法によるCO₂富化工程

- 混合ガス中のCO₂濃度0.2%⇒100%への濃縮を確認
- CO₂電解出口ガス(未反応CO₂/C₂H₄)からのCO₂選択的分離(CO₂富化セルの利用範囲拡大)
- 電極およびリアクタ改良による低電圧化
- 性能劣化要因の特定



混合ガスからの分離特性の確認
(抜粋)



例) CO₂/C₂H₄選択分離の実例

進捗・成果 CO₂電解還元 (1/3)

□ 世界最高レベルの高電流密度

- ・ 高電流密度 (2,000 mA/cm²) 下でC₂+ FE80% **実証**

□ 電流効率の向上／動作電圧の低減

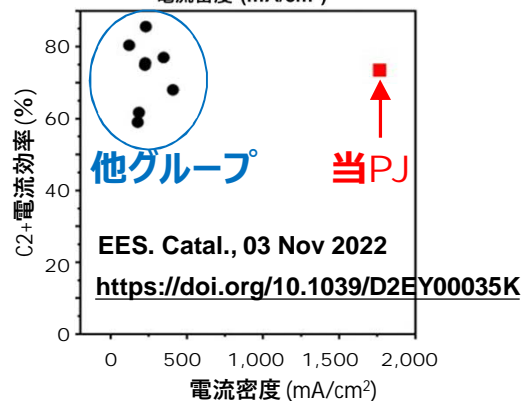
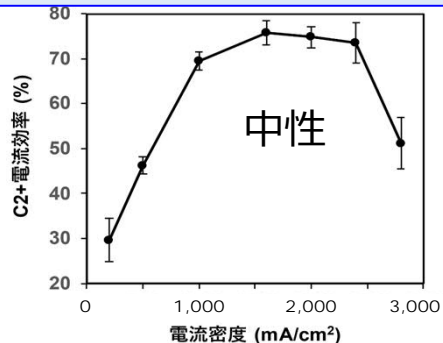
- ・ C₂H₄電流効率 60%、2極間動作電圧4 V **達成**

世界トップ

22年度 目標 : 100 mA/cm²

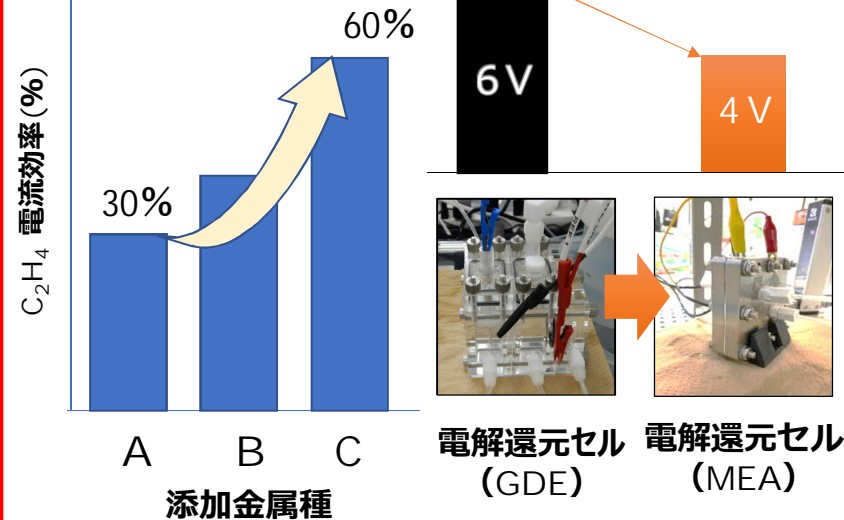
24年度 KPI 目標
CO₂排出量(t-CO₂/t-C₂H₄)
+0.5~+1.0

- 電流密度 2,000 mA/cm²
- C₂+ 電流効率 80% **実証**

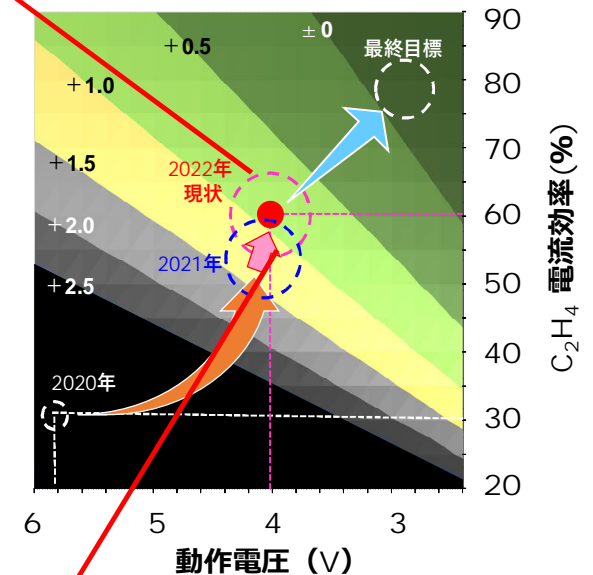


電流効率の電流密度の両立

- 電流効率 60%
- 2極間動作電圧4 V **達成**

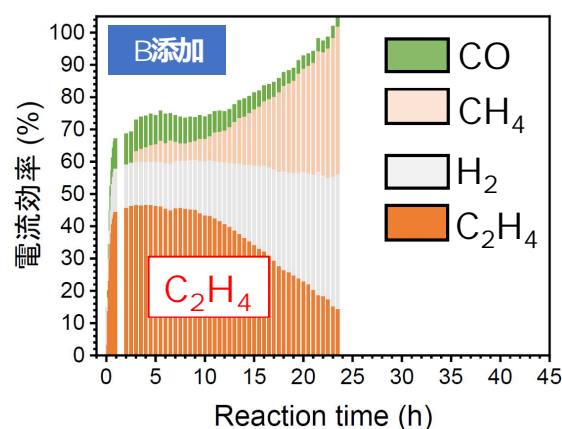


触媒選択性の向上 動作電圧の低減

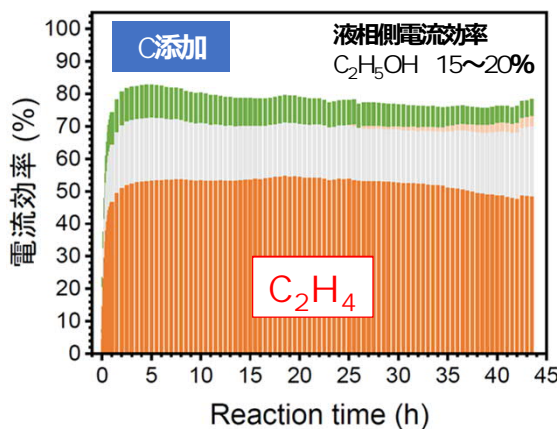


高電流密度、電流効率の向上、動作電圧の低減 達成

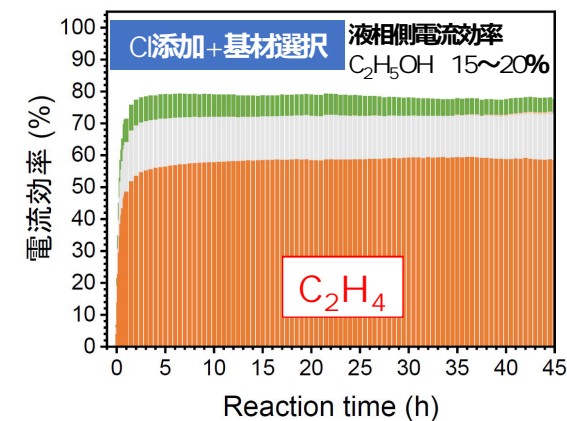
□ C₂H₄電流効率と安定性の同時向上



触媒改良



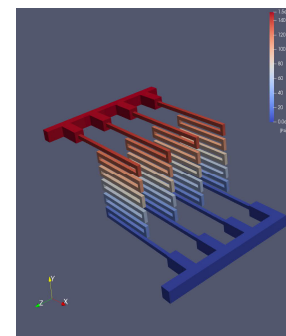
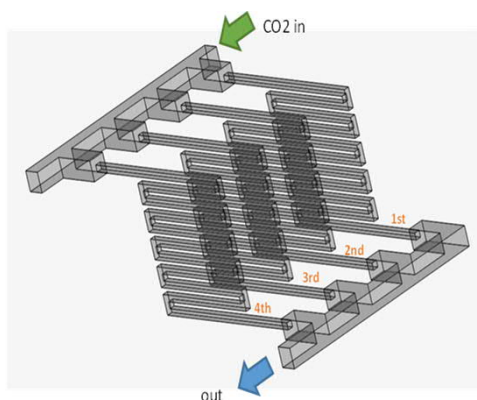
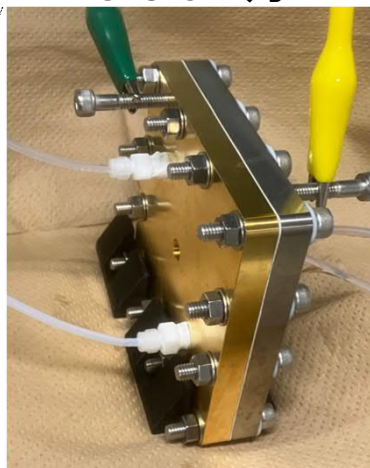
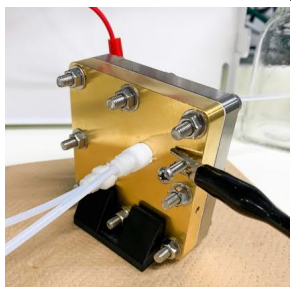
基材変更



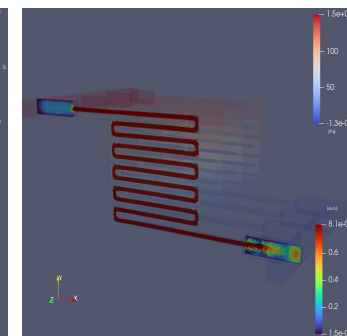
□ 大面積化・スタック化

5.0 cm角

2.5 cm角



圧力分布



流速分布

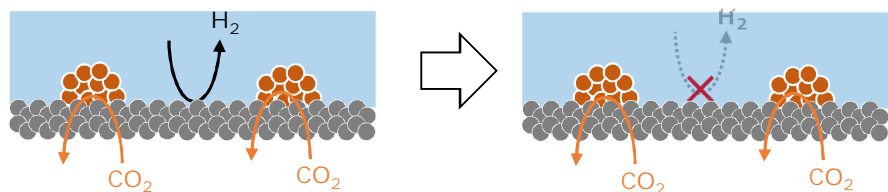
- 開発電極を搭載した5.0 cm角サイズのリアクタ運転開始
- 流路の in / out 共通化によるガス・液分配率をCFDで評価

C₂H₄電流効率 & 安定性の進展 / MEA型セルの大面積化・スタック化の検討開始

■ 電流効率の向上方策

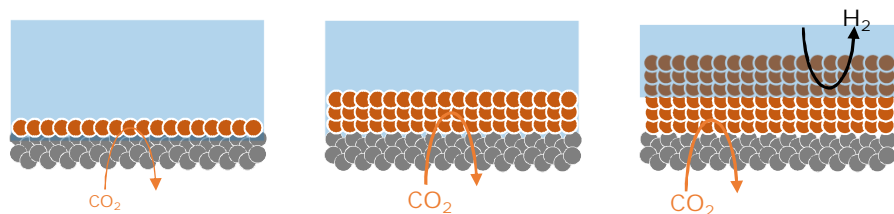
□ vs. 水素

① マクロな水素発生サイトの徹底的排除



② 標的電流値に応じた適切な触媒構造制御

例) 標的電流値に応じた適切な触媒担持量

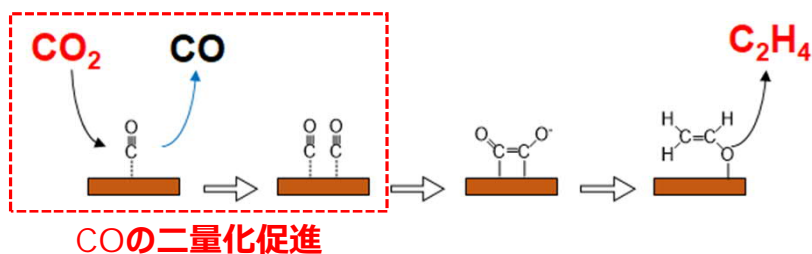


電流密度：小
電流効率：大

電流密度：大
電流効率：大

電流密度：大
電流効率：小

□ vs. 他のCO₂還元生成物

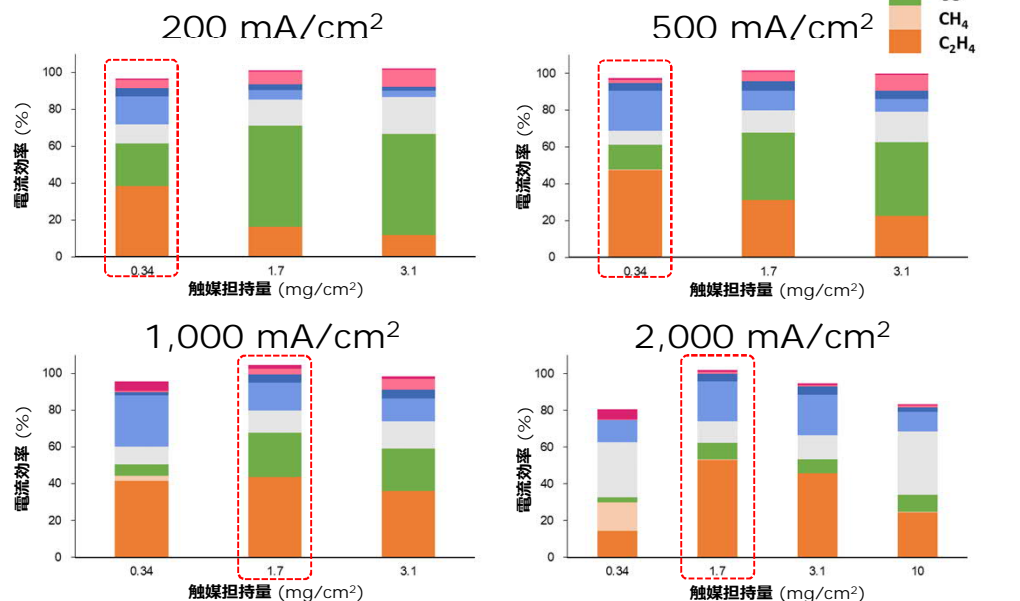


方策

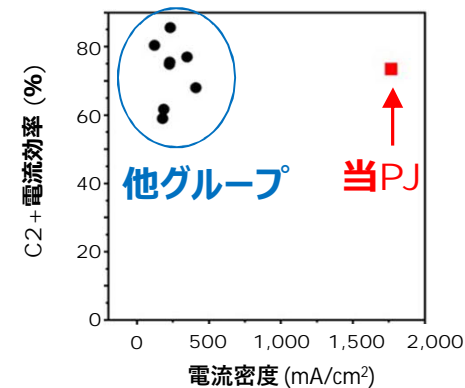
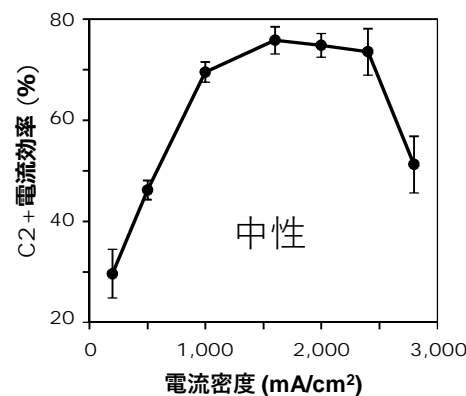
- 触媒/電極の適度な多孔化によるCO局所分圧の向上
- 電流密度上昇によるCO局所分圧の向上

■ 電極の最適設計指針の確立

標的電流密度に合わせた調整が可能に

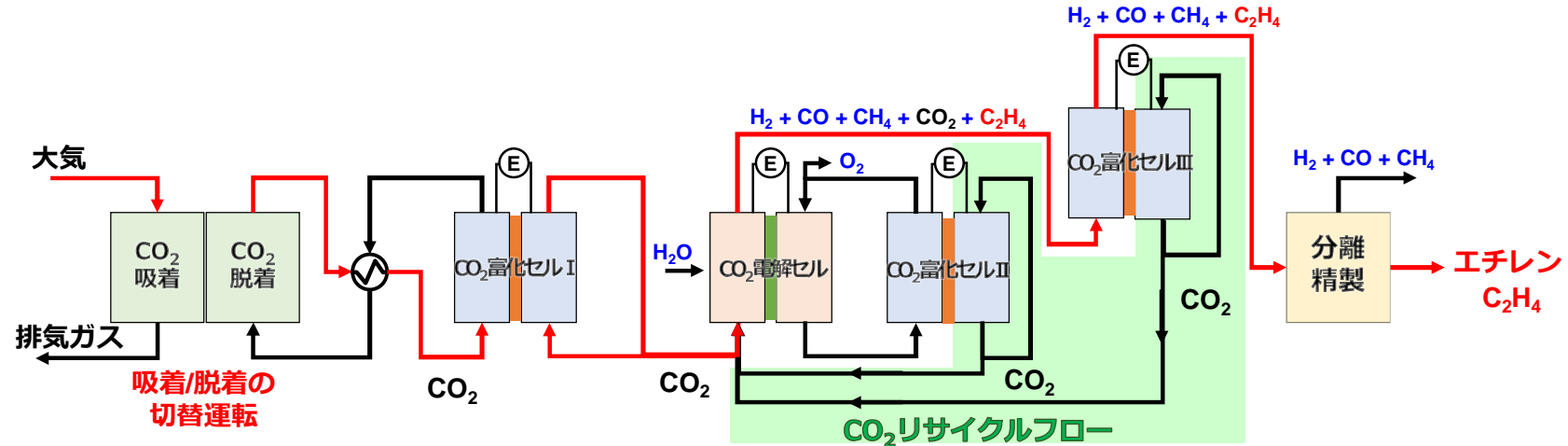


■ 電流効率の電流密度の両立

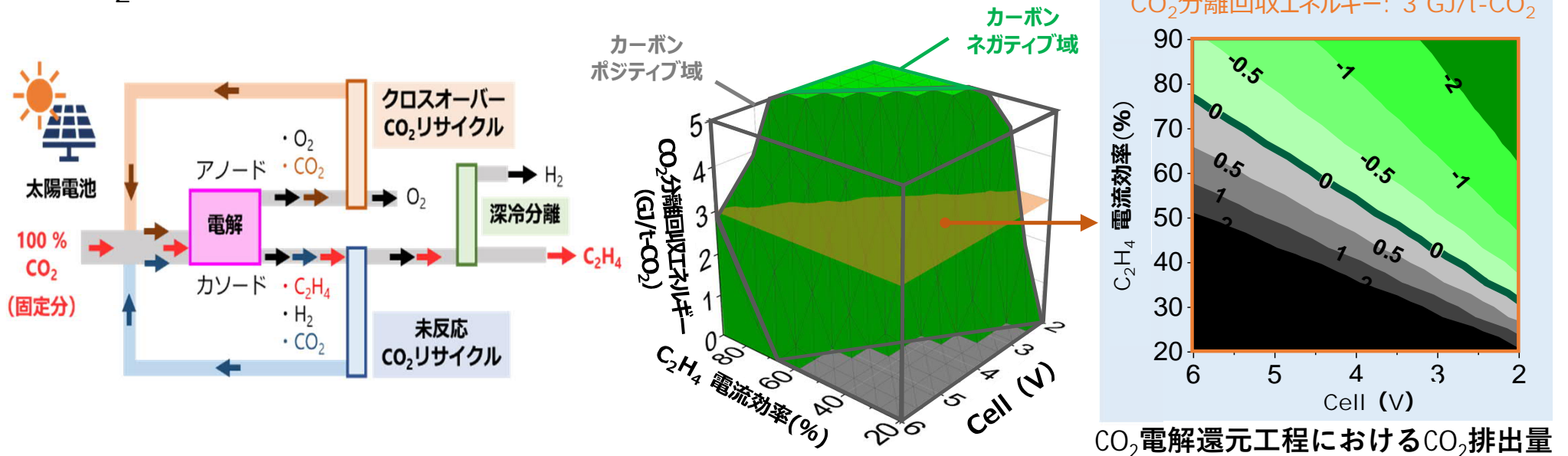


電極の最適設計指針を確立

□ 統合システムの設計：富化セルを活用したCO₂リサイクルフロー導入



□ CO₂リサイクルのLCA評価



CO₂電解還元工程におけるCO₂排出量

排出CO₂ < 固定化CO₂ 達成に必要な運転条件を明確化

□ 学会・新聞・雑誌等による技術紹介／実績（2020.9～2022.8）

公開状況	件数	備考
学会発表	27	電気化学会、日本化学会、応用物理学会、ECS等
論文・解説	8	EES Catalysis、ACS Applied Nano Materials等
雑誌・新聞・展示会他	15	雑誌（1）プレス（8）リリース（2）展示会（2）インタビュー・HP（1）等

□ 学会・新聞・雑誌等による技術紹介

- ・電気化学会（9月）@5件 発表予定
- ・PVSEC-33（11月）@1件 発表予定

□ シンポジウム開催・展示会の参画等を計画・企画中

- ・CEATEC2022（10月）
- ・PVSEC-33（11月）
- ・電気化学を活用した分散型カーボンニュートラルシンポジウム（12月）

□ 知的財産（累積）：9件出願

Ultra-high-rate CO₂ reduction reactions to multicarbon products with a current density of 1.7 A cm⁻² in neutral electrolytes †

Asato Inoue,^a Takashi Harada,^{id} ^{ab} Shuji Nakanishi^{*ab} and Kazuhide Kamiya ^{id} ^{*ab}

大阪大学（高速電解）の成果
EES Catalysis（英国王立化学会）
に掲載される。

EES. Catal., 03 Nov 2022

様々な媒体を通じた国民への発信および知財権利化の推進

□ 成果まとめ

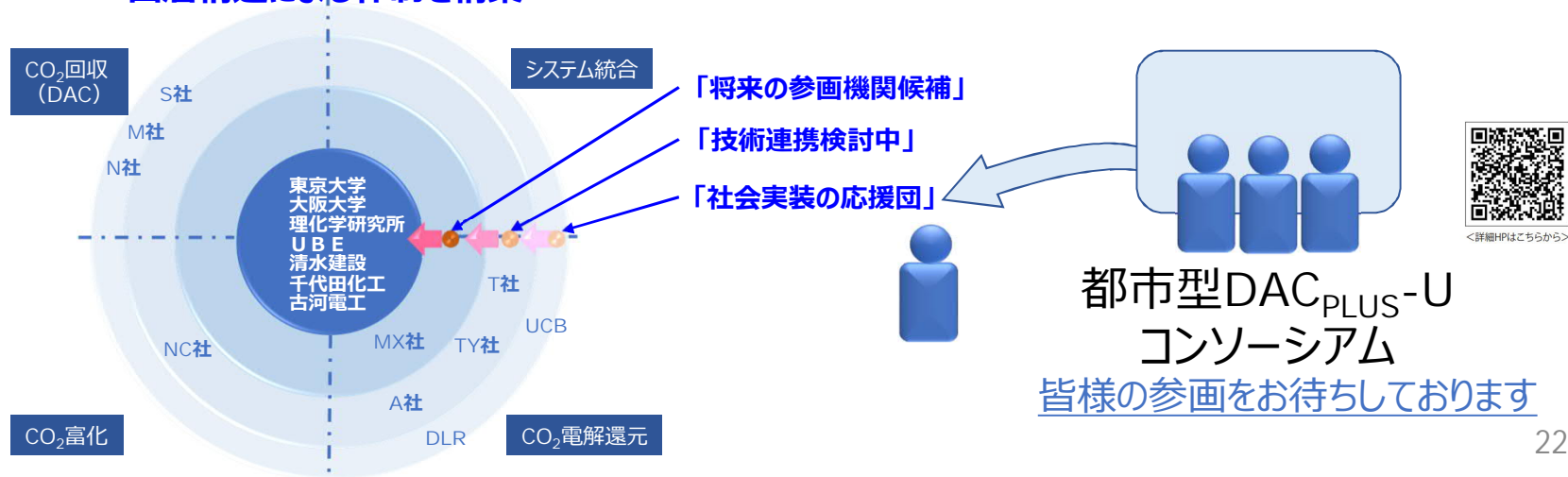
テーマ	主な成果	今後の課題
CO ₂ 回収・富化工程	・ 大気CO ₂ 400 ppmからCO ₂ 濃度100%までの濃縮に成功	・ プロトタイプ的设计・製造 ・ 低駆動電圧化・長期安定運転
CO ₂ 電解還元工程	・ 高電流密度 (2,000 mA/cm ²) 下でC ₂ + FE80%実証 ・ エチレンへのFE 60%、2極間動作電位4 V 達成	・ 電流効率、電流密度、安定性を同時満足する電極開発
システム統合・LCA	・ 大気CO ₂ からエチレン製造までの概念設計・LCA実施	・ 「CO ₂ 富化+CO ₂ 電解」連続評価 ・ LCAの精度向上

□ 今後の開発目標

時期	研究開発の対象規模	CO ₂ 排出量目標 (1 tonのエチレン製造当たり)
2024年度	実験室規模のシステム	+0.5~+1.0 ton以下
2029年度	パイロットプラント	-0.5 ton以下 (カーボンネガティブ、及び連続稼働5,000 h達成)

□ 社会実装化に向けた取組

四層構造による体制を構築



END