

## “ビヨンド・ゼロ” 社会実現に向けたCO<sub>2</sub>循環システムの研究開発



PM：藤川茂紀  
九州大学 カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所 教授  
PJ参画機関：  
熊本大学・北海道大学・東京大学・鹿児島大学・大阪工業大学  
イリノイ大学・株式会社ナノメンブレン

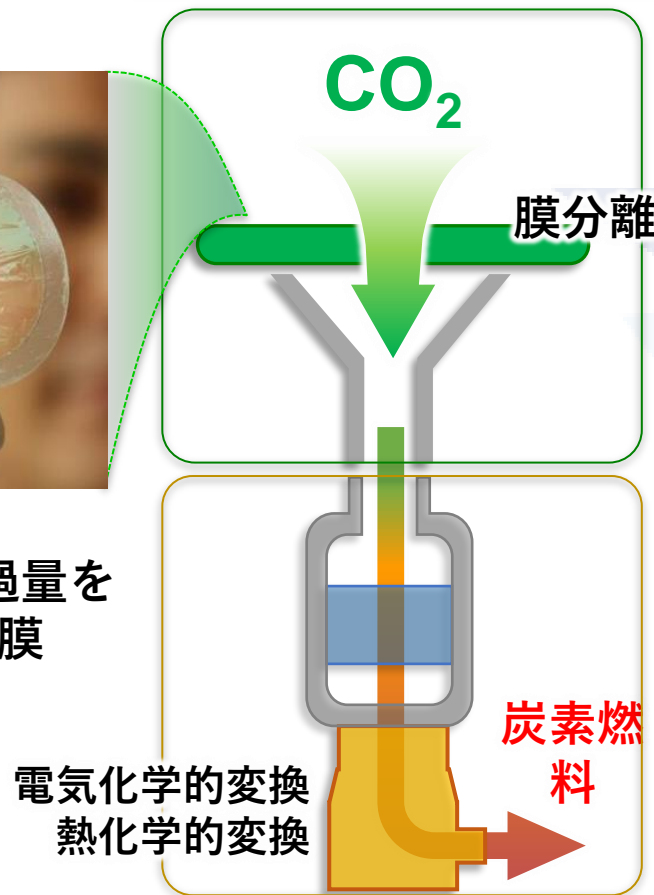
圧倒的に高いCO<sub>2</sub>透過量を持つ、独自開発の革新的な分離ナノ膜によって、これまで不可能と思われてきた、膜分離による大気からのCO<sub>2</sub>の回収を実現する。この膜分離ユニットと電気化学的/熱化学的CO<sub>2</sub>変換ユニットを連結して、大気CO<sub>2</sub>の回収から炭素燃料製造までを連続・一貫して行う「Direct Air Capture and Utilization (DAC-U)システム」を創出する。サイズ拡張性のあるDAC-Uシステムを分散配置し、地産地消型の炭素資源循環社会の構築に貢献する。

## 開発するDAC-U

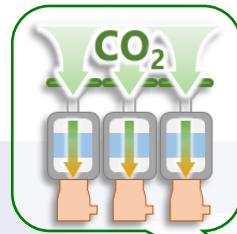
“場所に適したサイズ・規模のDAC-Uを分散配置”



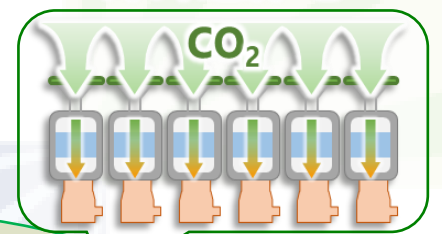
独自に開発した  
圧倒的に高いCO<sub>2</sub>透過量を持つCO<sub>2</sub>分離ナノ膜



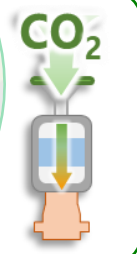
ビル/工場



郊外遊休地



家庭

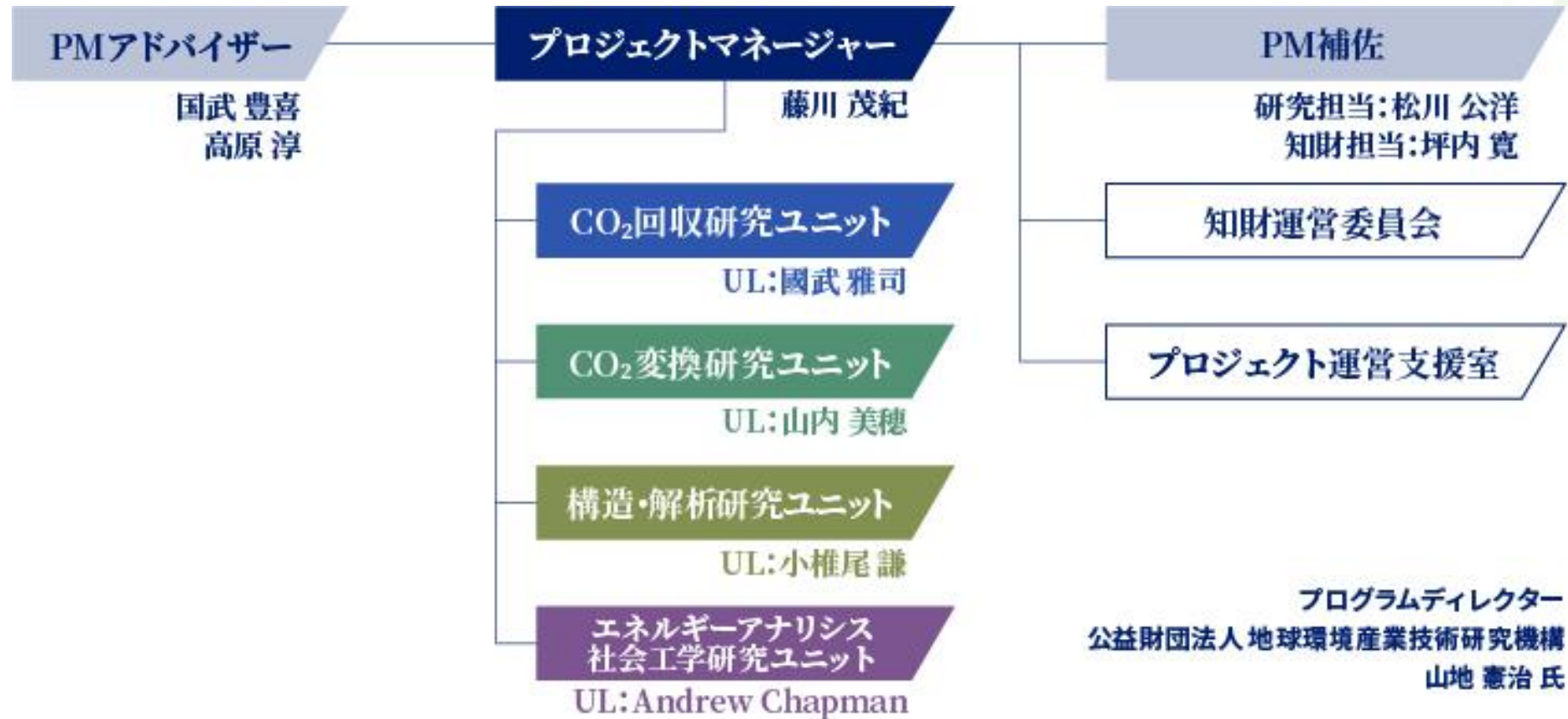


小規模店舗



地産地消型  
炭素資源循環社会

## 実施体制



## 実施期間

2020年8月～2029年3月（最大）

## 【プロジェクト最終目標】

小型・分散配置可能で、大気からのCO<sub>2</sub>回収と炭素資源変換までを連続して行う「Direct Air Capture and Utilization (DAC-U)システム」を創製

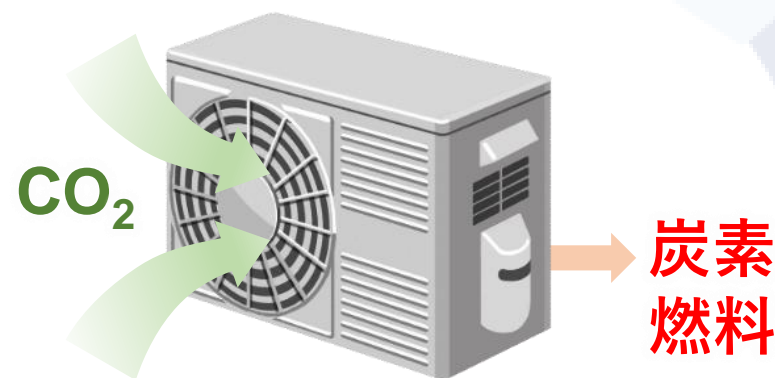
① 膜分離方式を用いたCO<sub>2</sub>回収ユニットの開発  
⇒高いスケールビリティを持ち、分散配置可能なCO<sub>2</sub>回収技術の実現

CO<sub>2</sub>分離ナノ膜

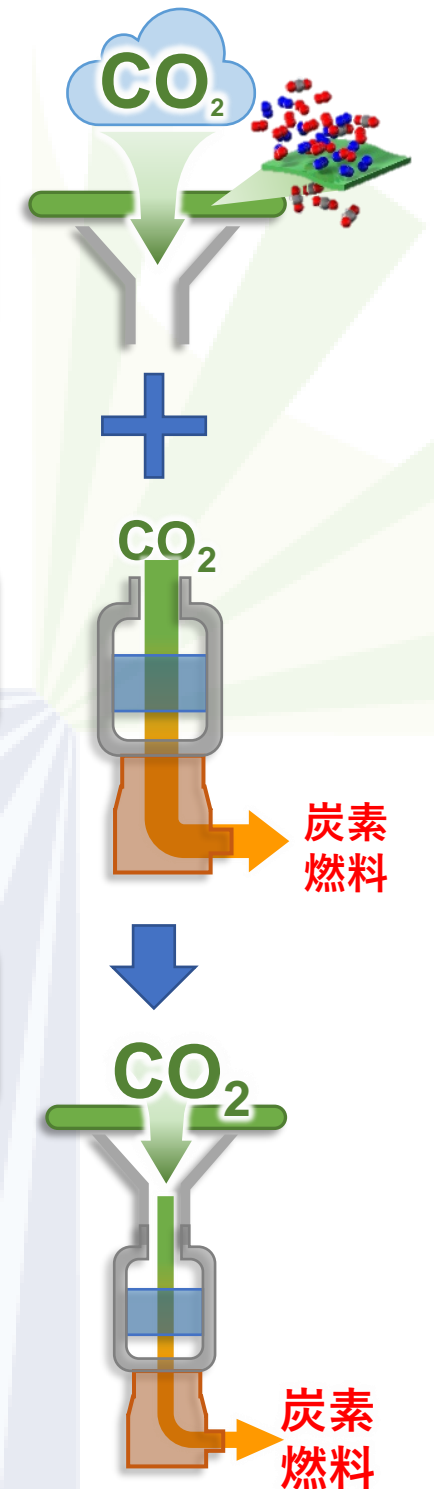
② 電気化学・熱化学反応を利用したCO<sub>2</sub>変換ユニットの開発  
⇒回収CO<sub>2</sub>のオンサイト変換によるグリーン燃料製造の実現

CO<sub>2</sub>変換

③ 小型パイロットシステム試作によるProof-of-Conceptの実証



小型パイロットシステム



基本システム



## MOZES

Moonshot for  
beyond Zero-Emission Society



CO<sub>2</sub>分離ナノ膜

高CO<sub>2</sub>透過能力を有する分離ナノ膜

**1000倍以上濃縮**



CO<sub>2</sub>変換

透過ガス：濃縮 CO<sub>2</sub> + N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, Ar

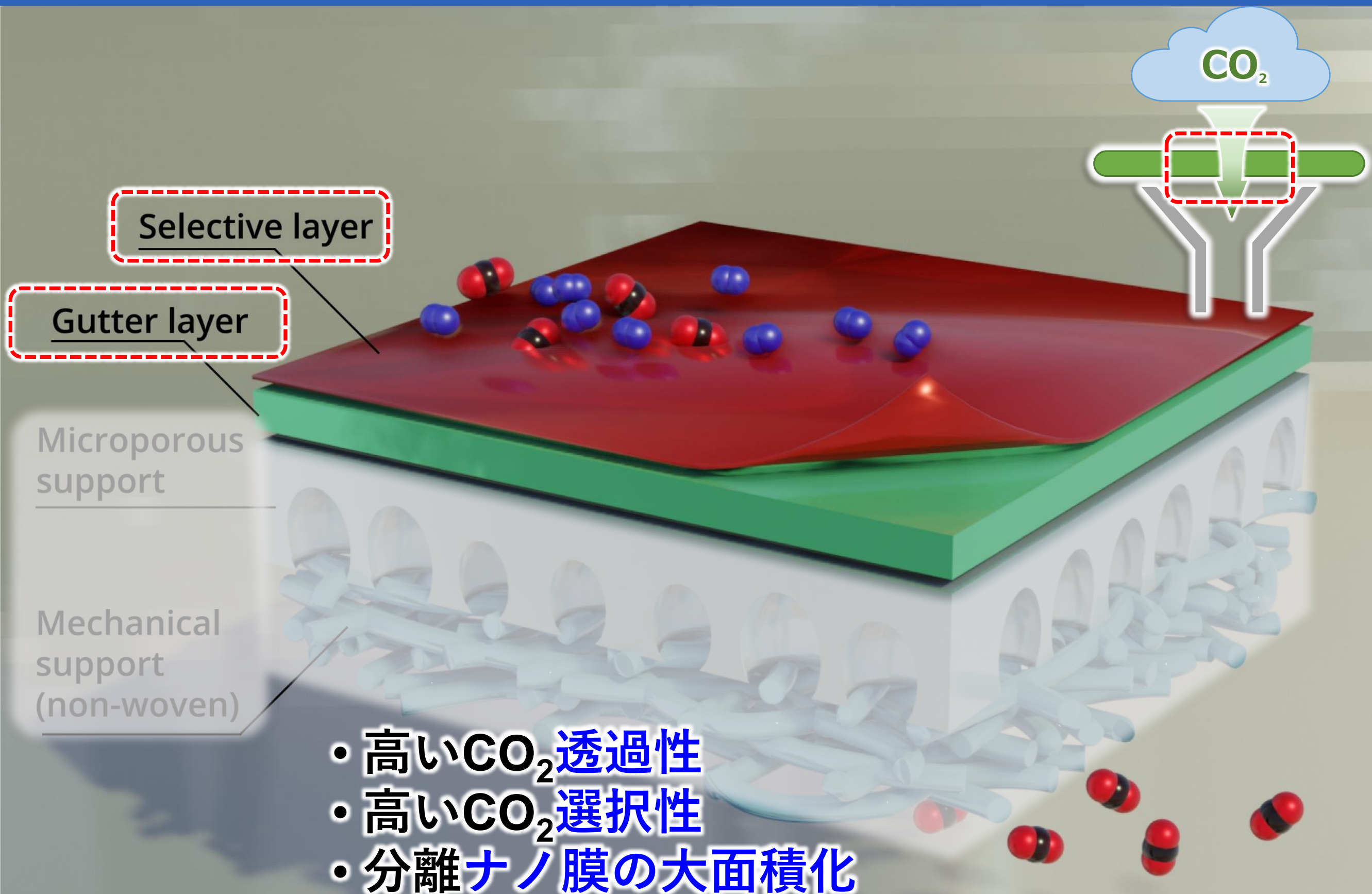
**酸素共存下でCO<sub>2</sub>を還元**



CO<sub>2</sub>混合ガスからのグリーン燃料製造



CO, CH<sub>4</sub>, エタノール, C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>



**膜の厚み : 34 nm**

**食品用ラップの1/300程度の薄さ  
(COVID-19 ウィルスよりも薄い!)**

**CO<sub>2</sub>透過度 : 世界トップ**

**これまで報告されてきた分離膜性能の約20~30倍程度**

CO<sub>2</sub>回収・変換(DAC-U)

システム

回収ユニット

回収ユニット

CO<sub>2</sub>

CO<sub>2</sub>回収・変換(DAC-U)  
システム

**CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> selectivity : 23~72**

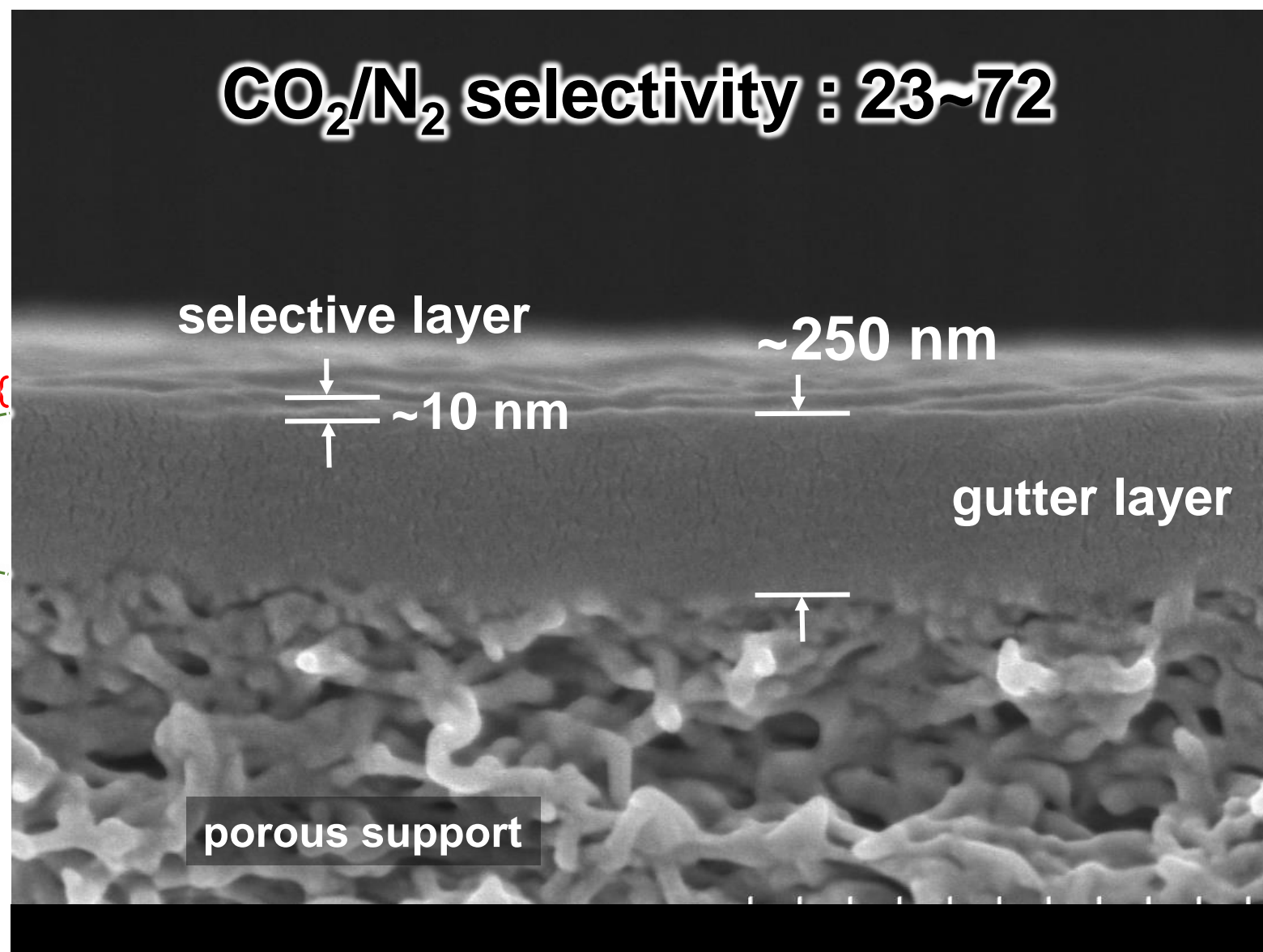
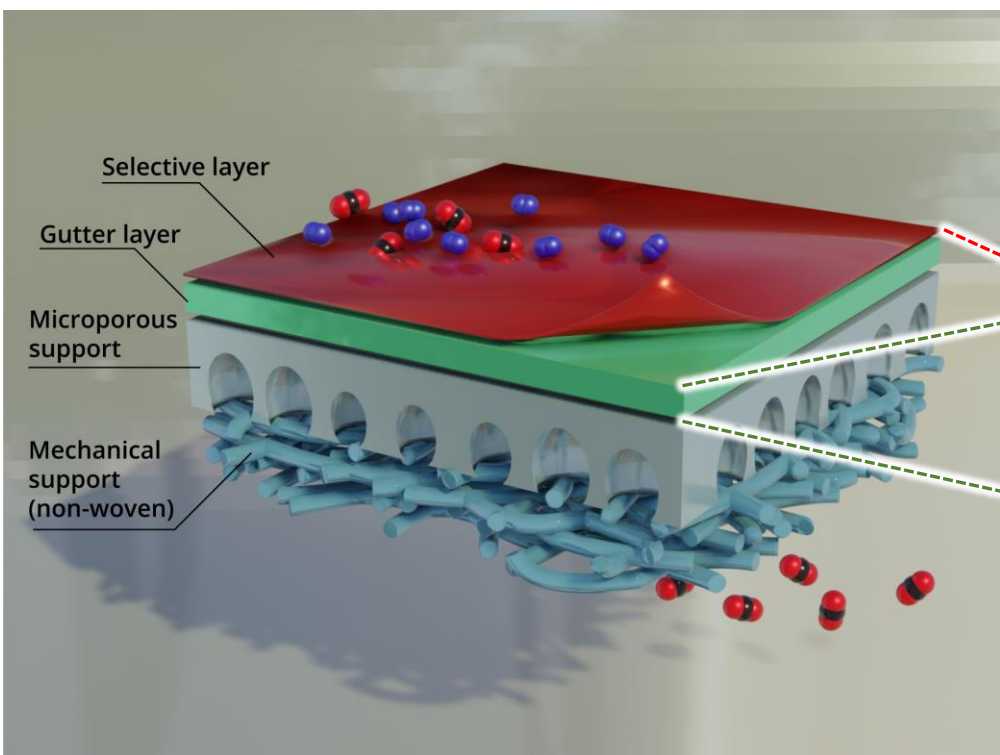
selective layer

~250 nm

~10 nm

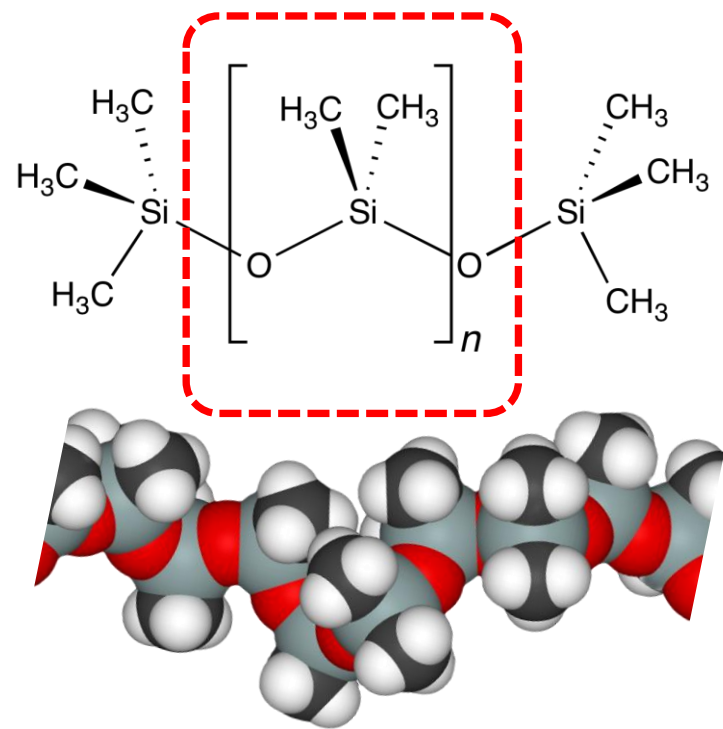
gutter layer

porous support

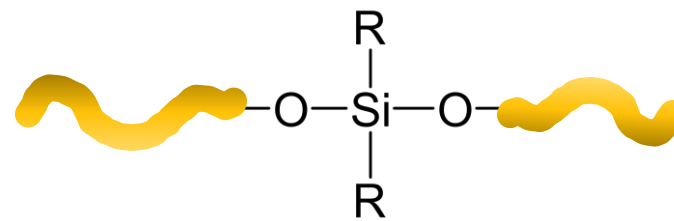
Selyanchyn O., Selyanchyn R., Fujikawa S. *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 2020



## ポリジメチルシロキサン (PDMS)

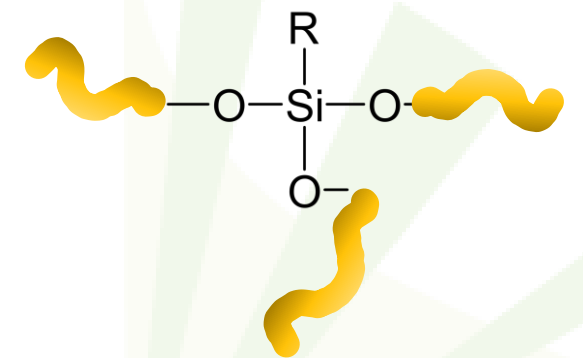


## シリコンオイル 直鎖状構造



## ジメチルポリシロキサン

## ケイ素ガラス 3次元網目（架橋）構造



## シルセスキオキサン

- シリコンオイル、シリコンゴムなどで用いられている汎用性ポリマー
- ガス透過性が極めて高い

## サステナビリティに貢献する材料

製造過程排出CO<sub>2</sub> に対しシリコン使用で  
**9倍のCO<sub>2</sub> 排出削減効果**

Global Silicones Council (GSC)

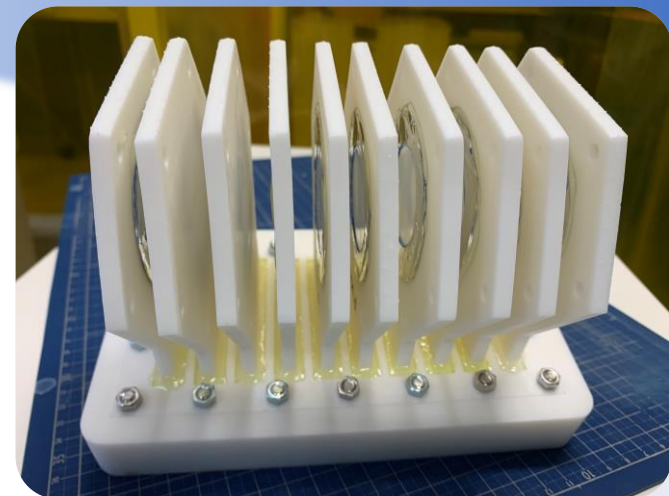
## 高機能CO<sub>2</sub>分離膜のための膜材料設計

- 架橋構造制御
- CO<sub>2</sub>親和性の高い官能基の導入
- 系統的な材料探索

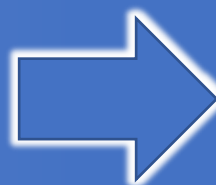
数十種類の膜材料化合物を合成しライブラリ化



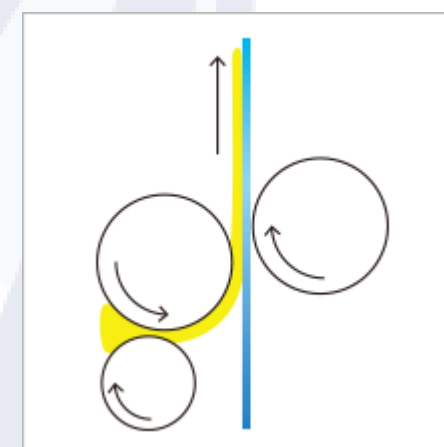
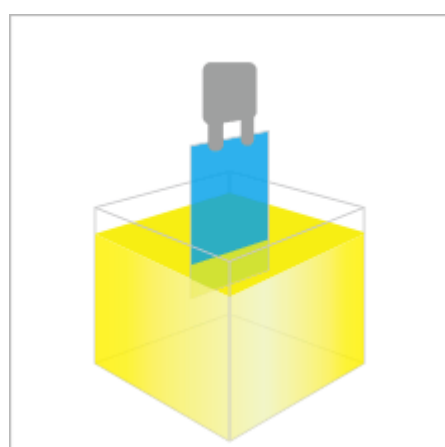
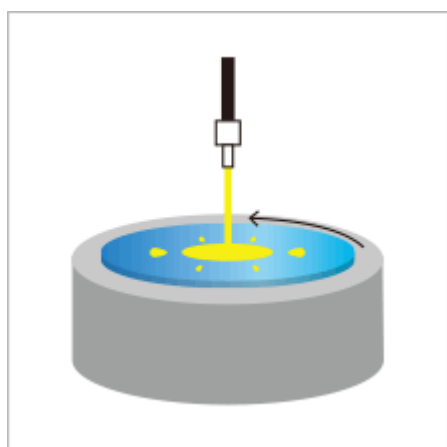
~ 3 cm<sup>2</sup>



~ 100 cm<sup>2</sup>

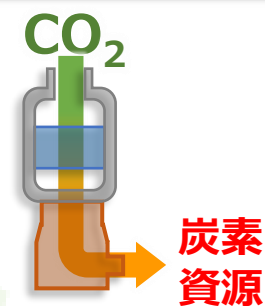
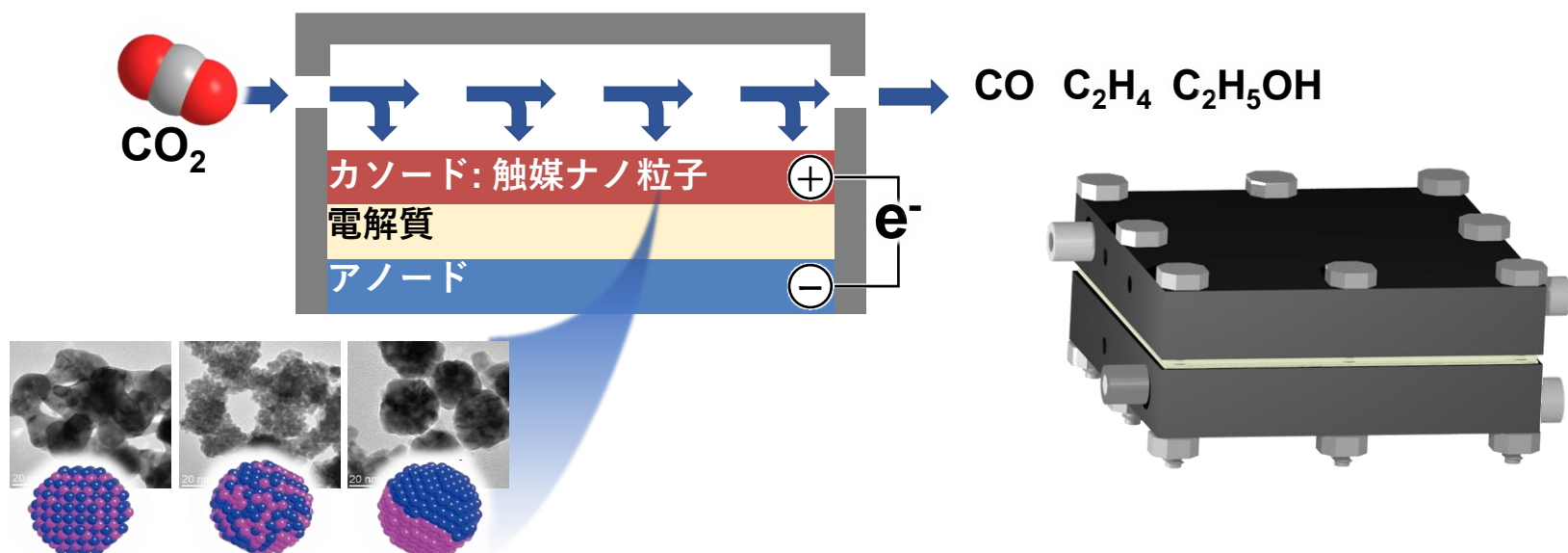


m<sup>2</sup> ~

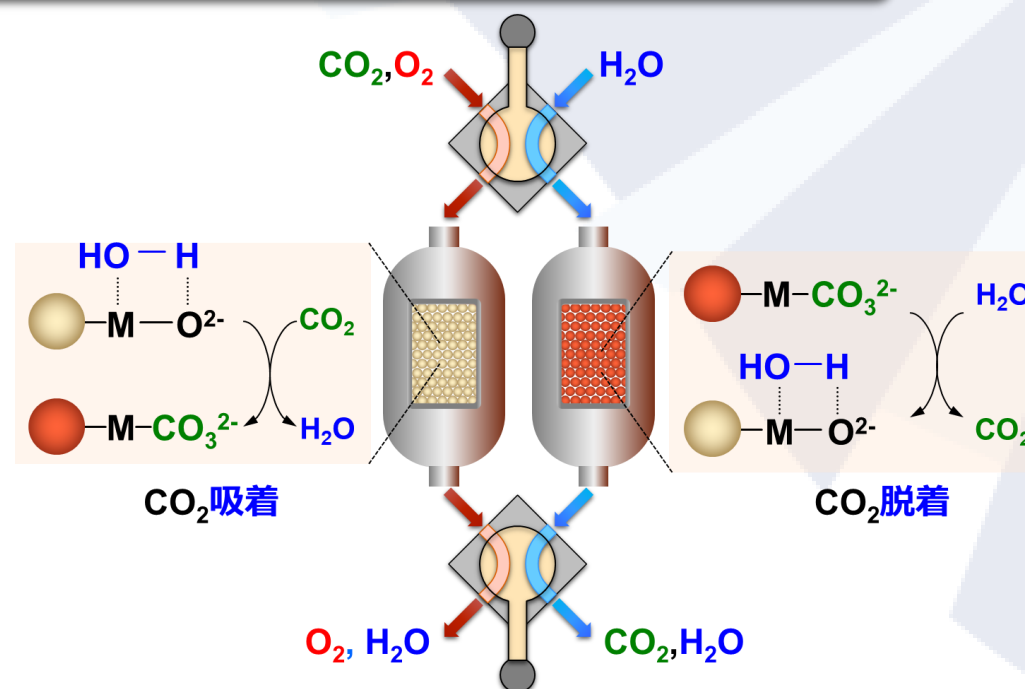


分離ナノ膜で分離・回収されたCO<sub>2</sub>混合ガスから炭素資源を製造

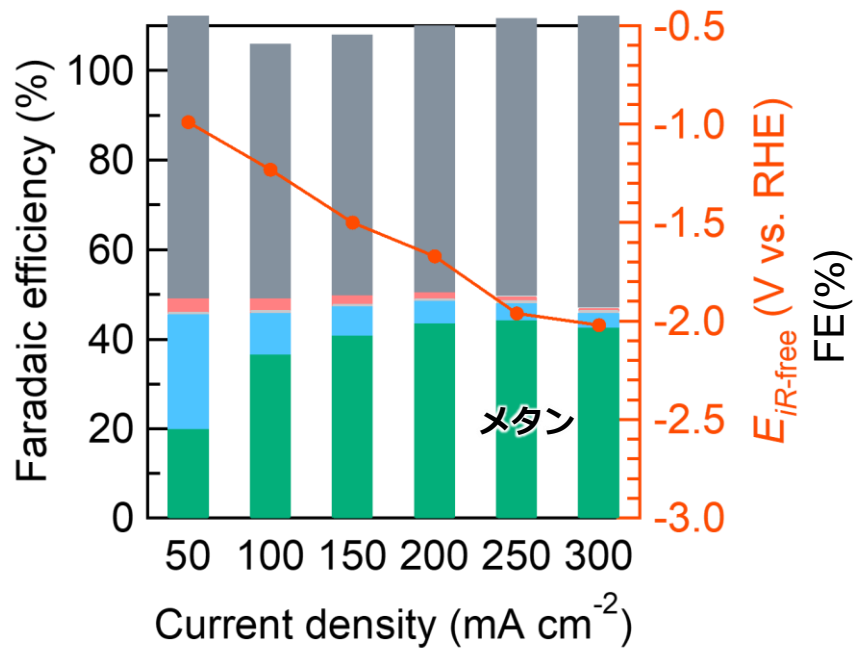
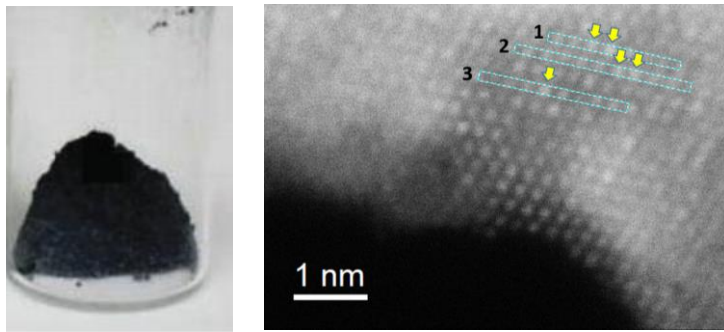
## 1. 電気化学的変換法による基礎化学原料および燃料製造



## 2. 熱化学的変換法によるC1化合物製造



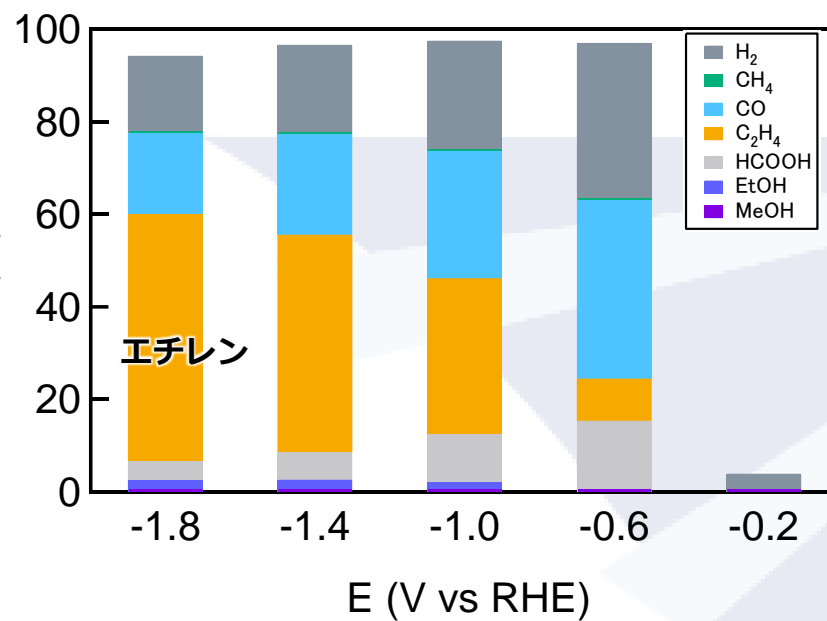
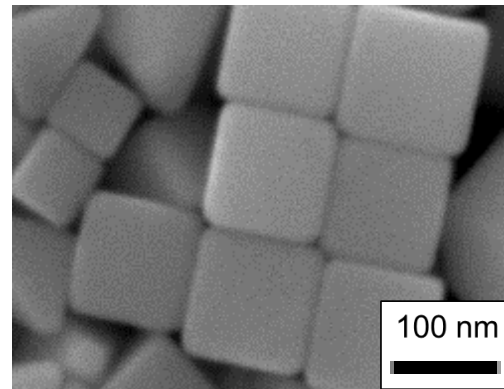
原子スケールCu複合触媒



メタン

天然ガス→燃料

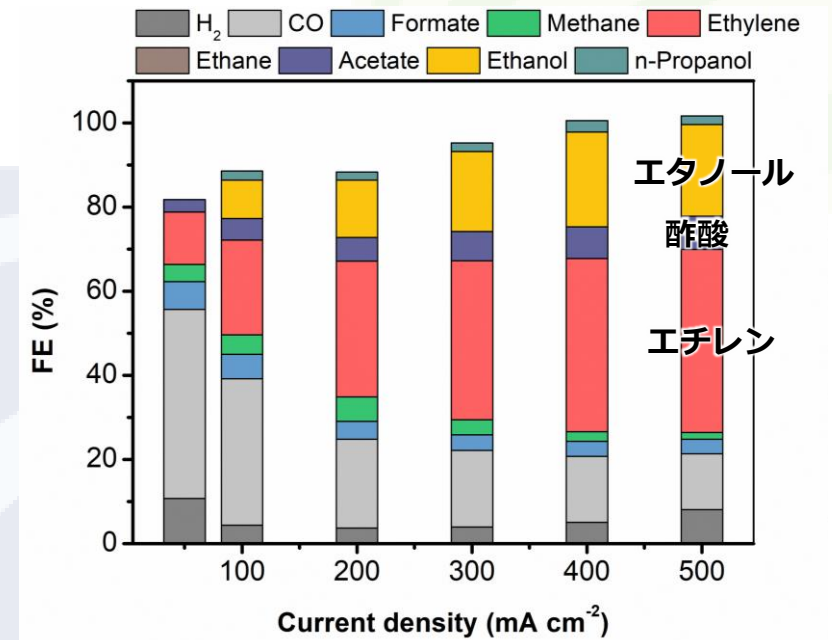
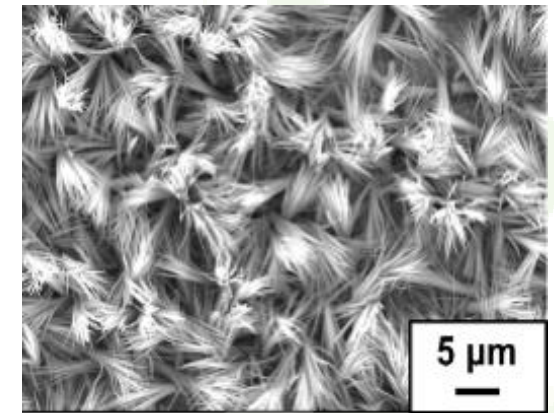
立方体Cu触媒



エチレン

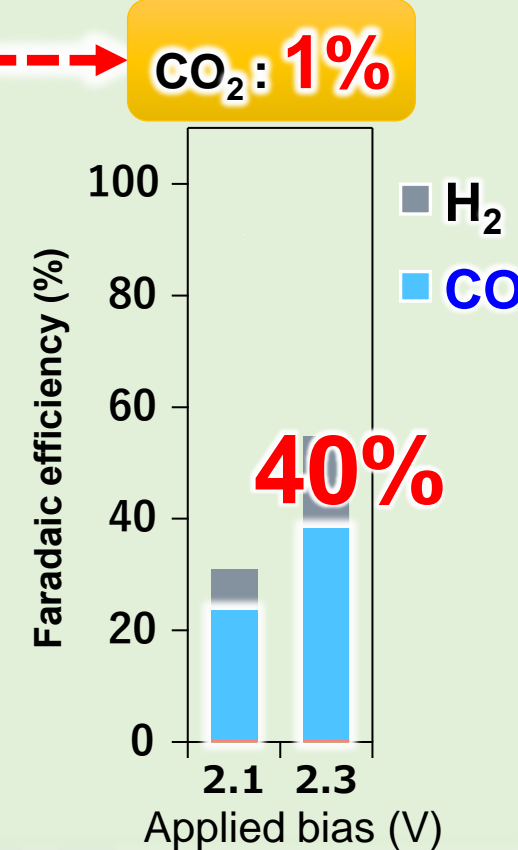
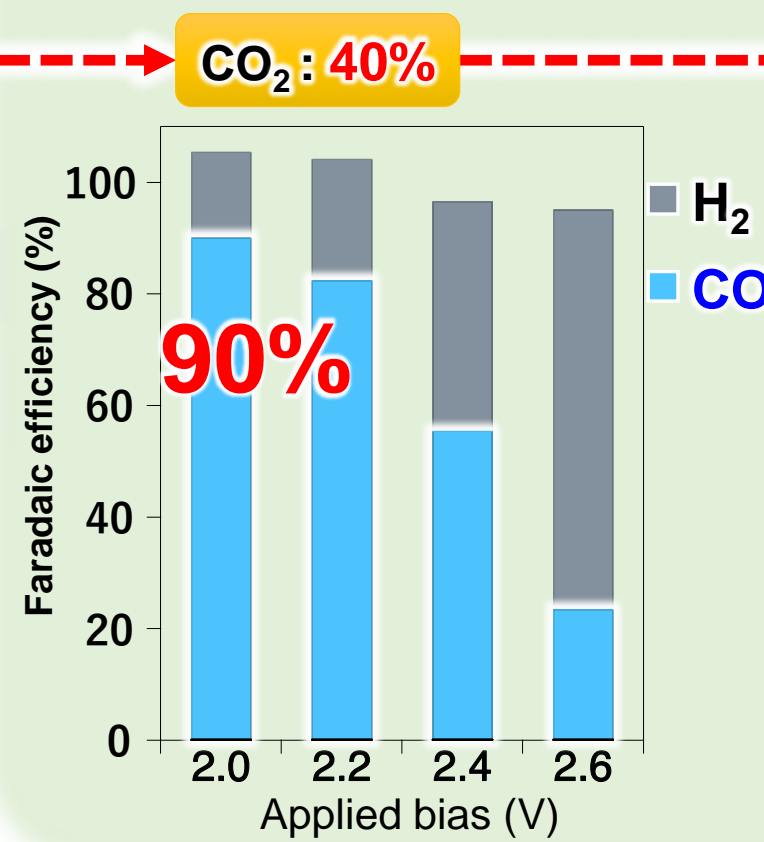
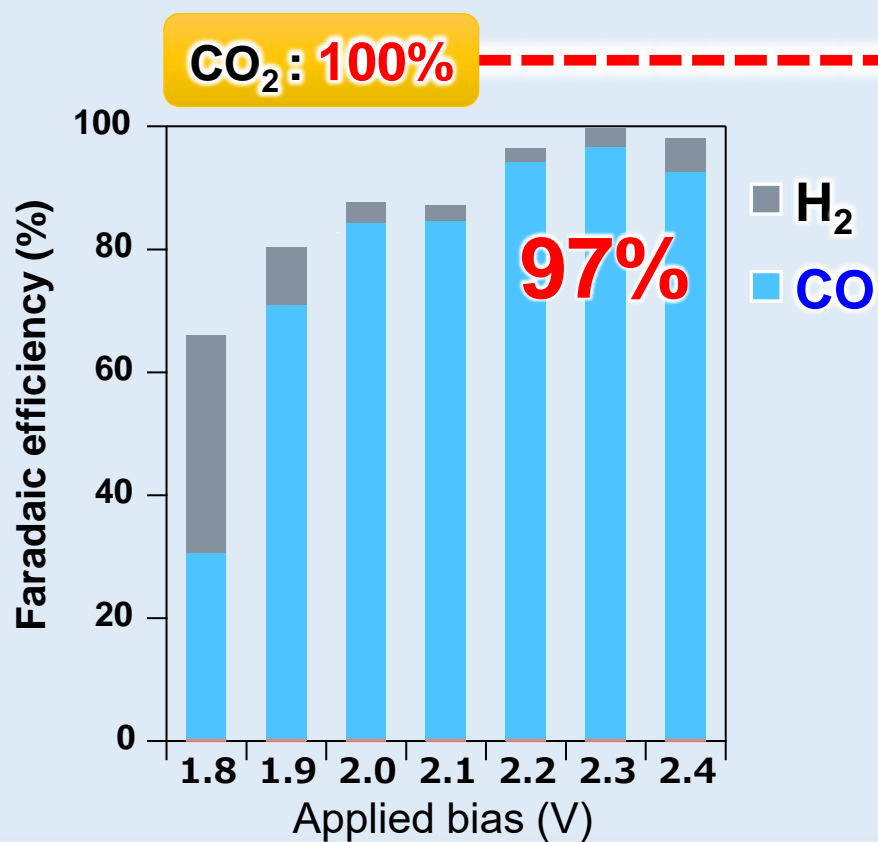
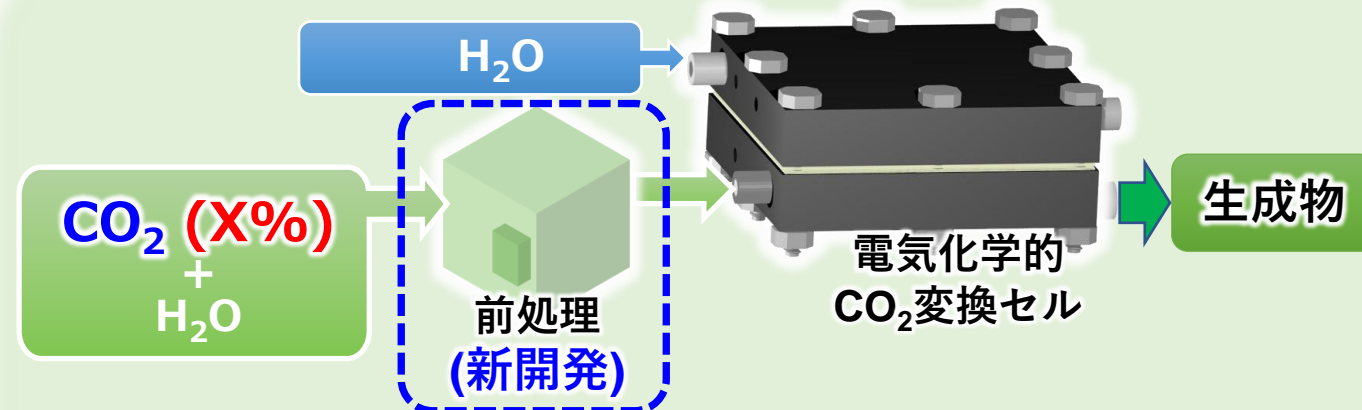
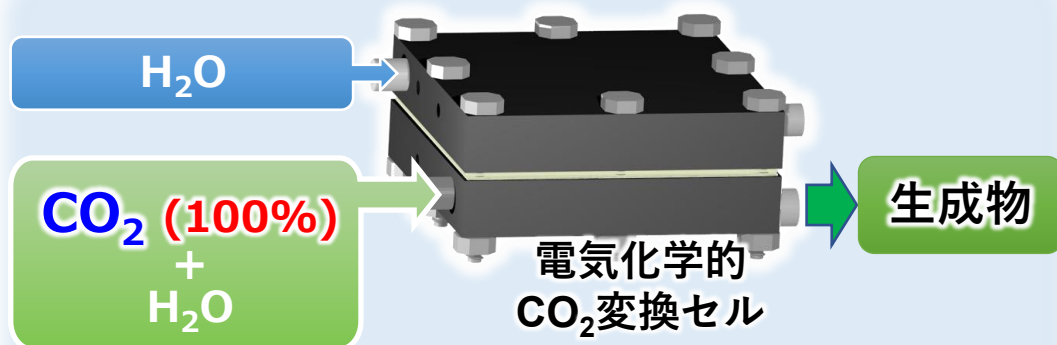
プラスチック、添加物

針状Cu触媒



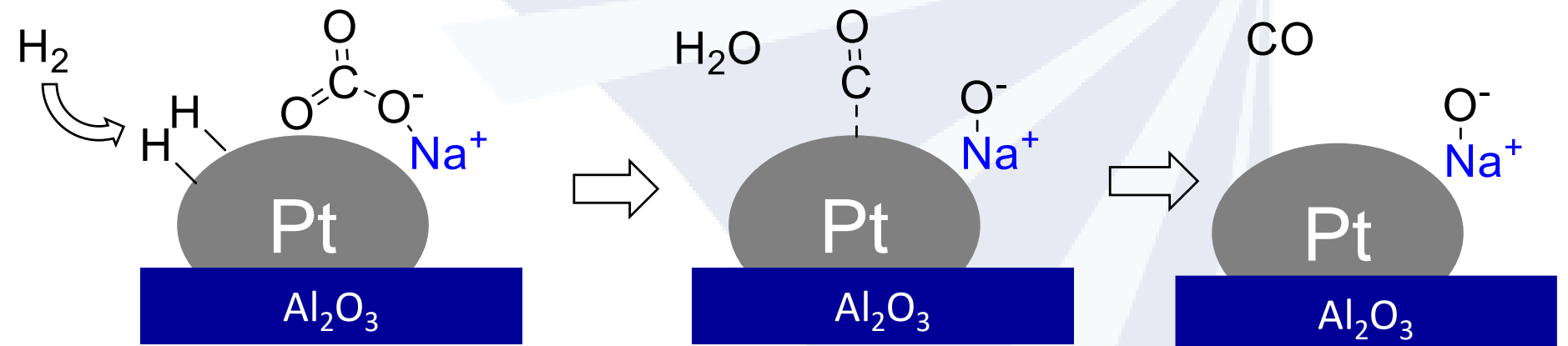
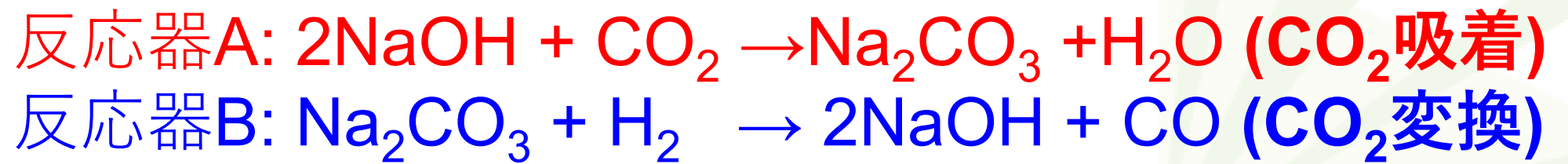
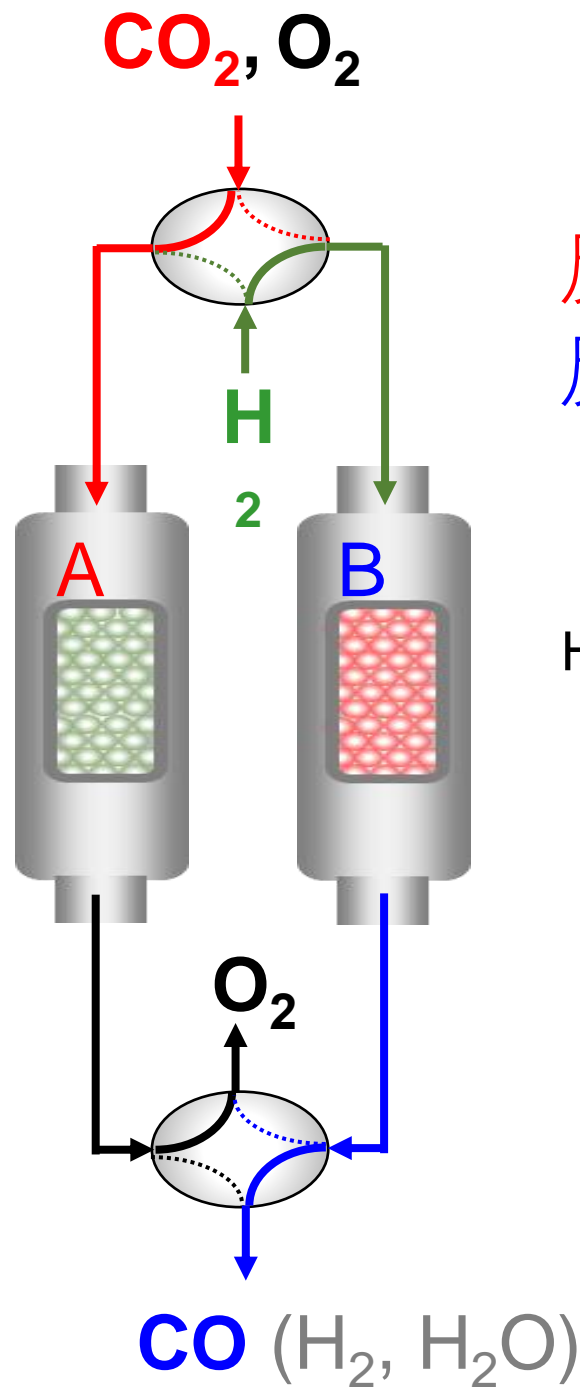
エタノール

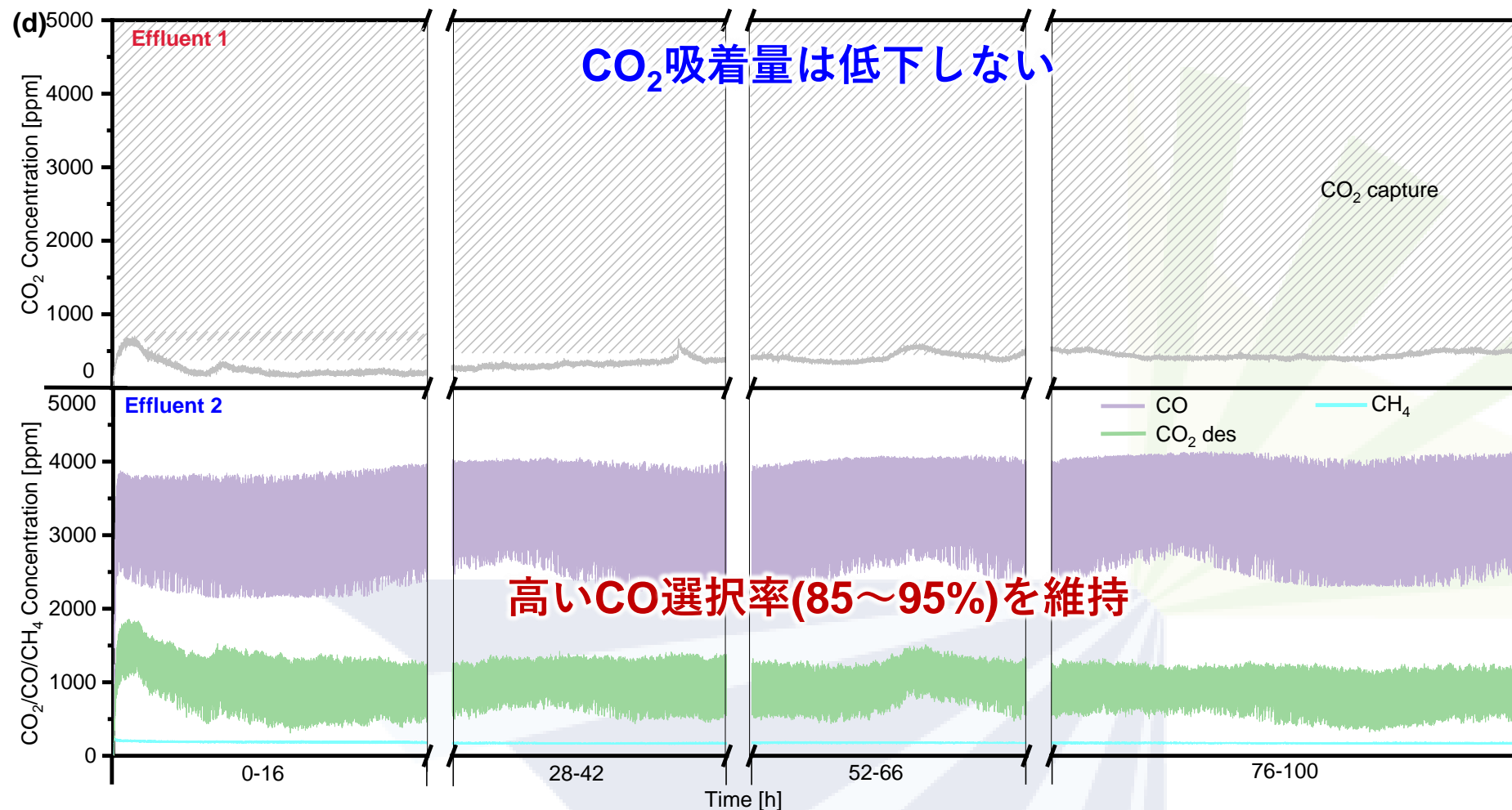
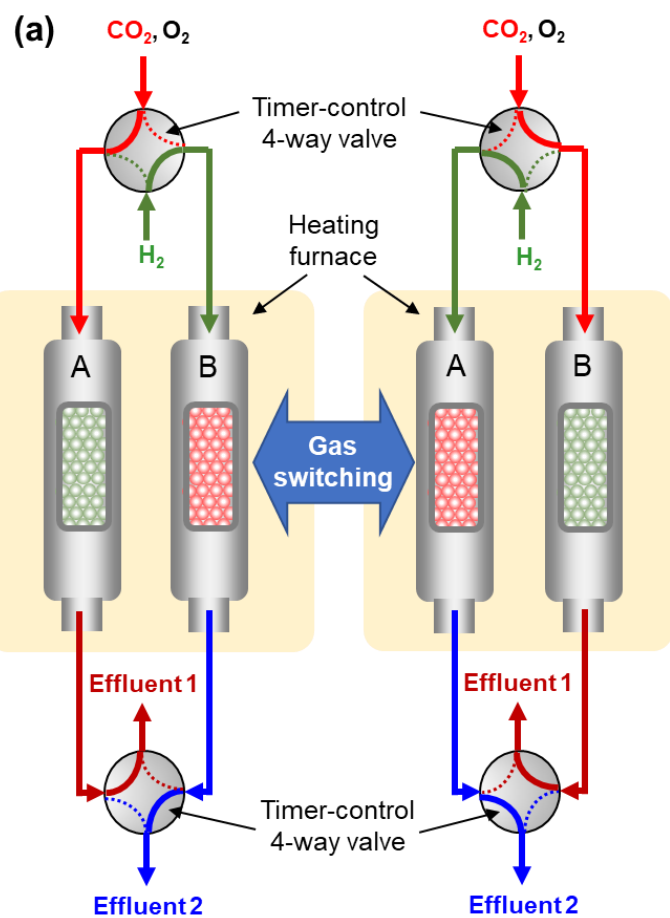
アルコール、燃料、消毒



低濃度CO<sub>2</sub>からも合成ガスの製造が可能

世界初!





触媒量: 300 mg, 反応温度: 350°C

ガス総流量: 100 mL/min

吸蔵ガス: 0.5%CO<sub>2</sub>/10%O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>

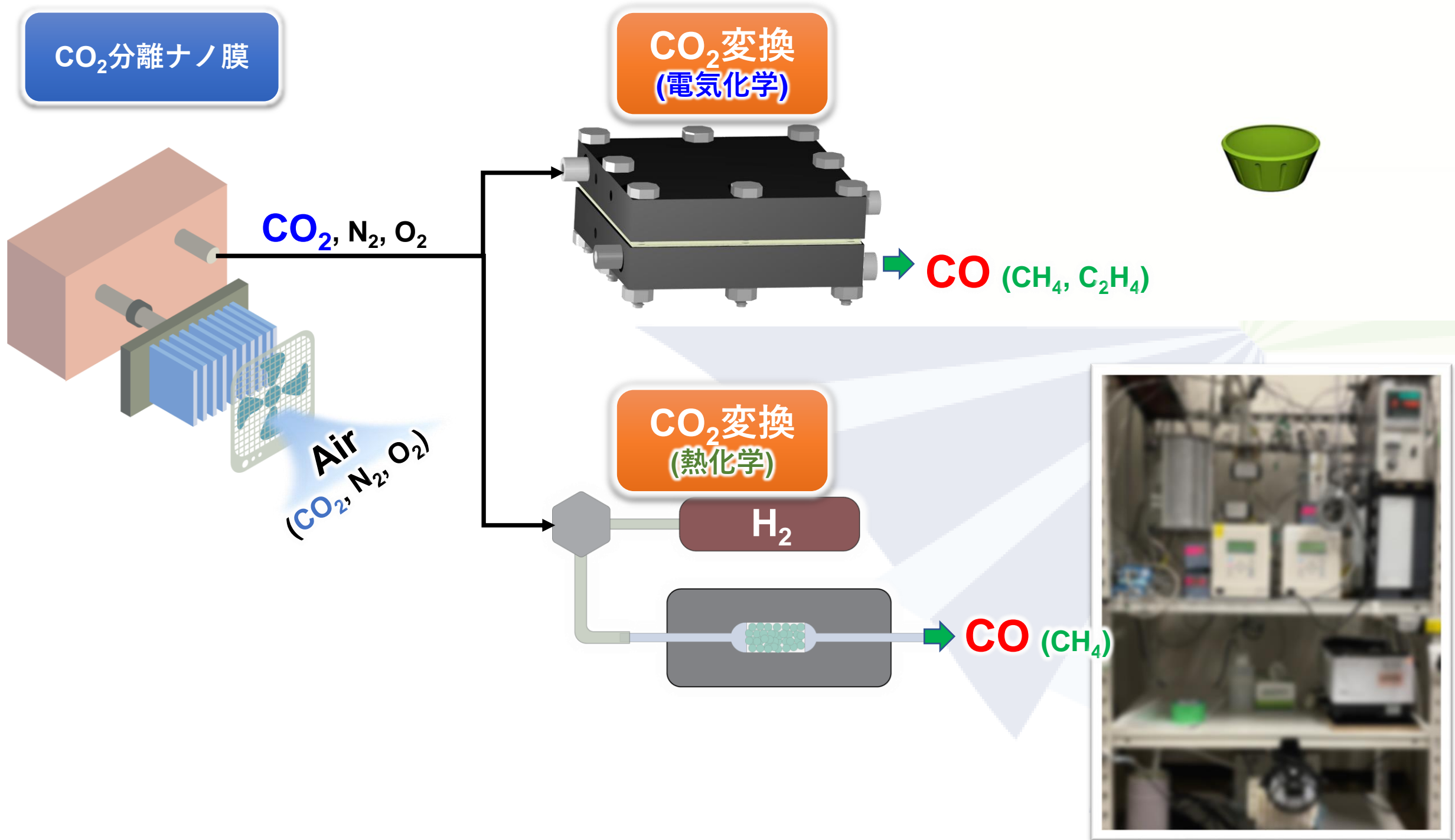
還元ガス: H<sub>2</sub>/100%

バルブ切り替え: 30 s毎

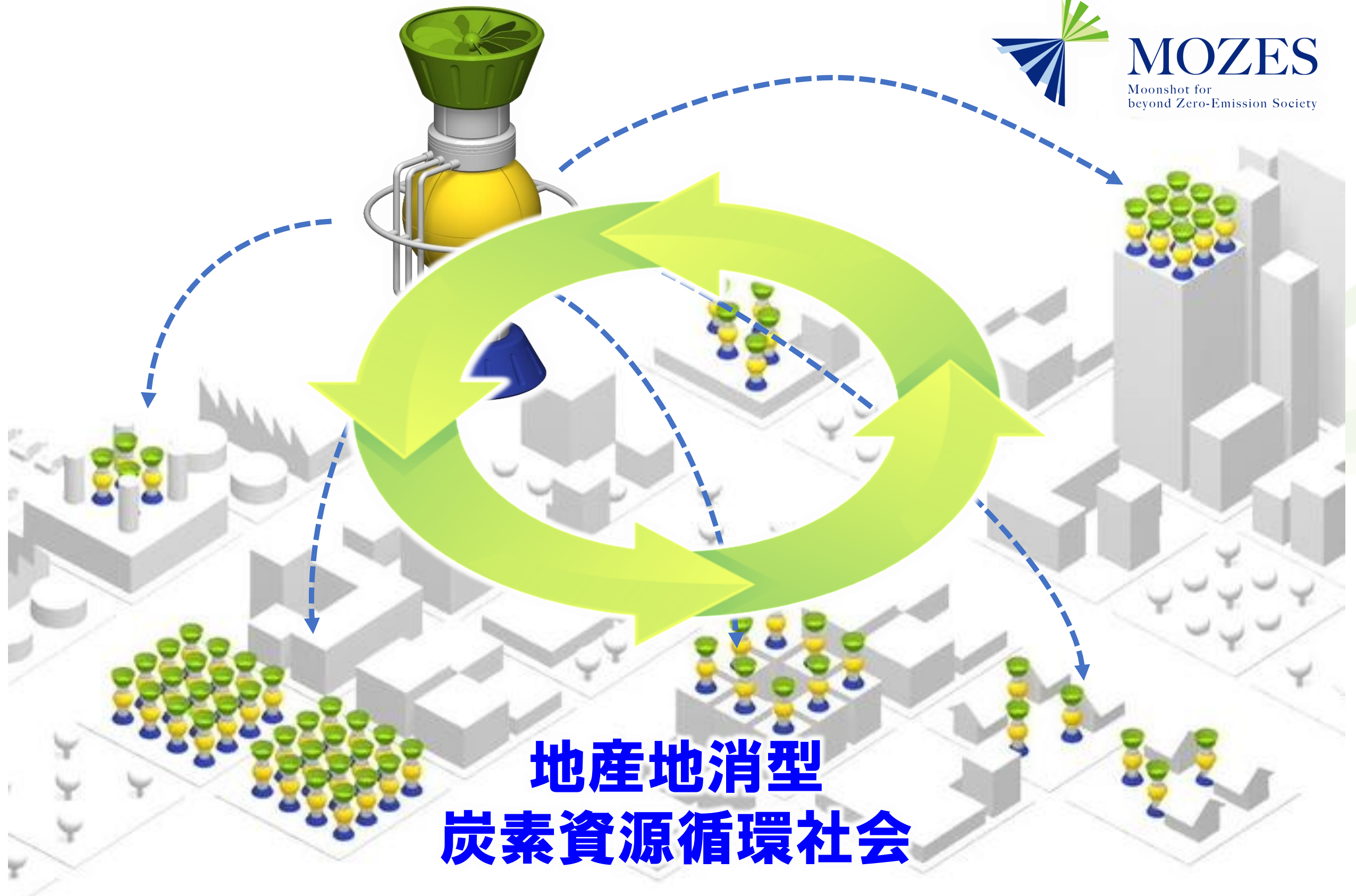
100時間の長時間運転でも繰り返し安定

## 最終イメージ

DACで得られたCO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>混合ガスを「連続」「直接」「一段」でCH<sub>4</sub>, COに変換するDAC-Uシステム







**地産地消型  
炭素資源循環社会**

