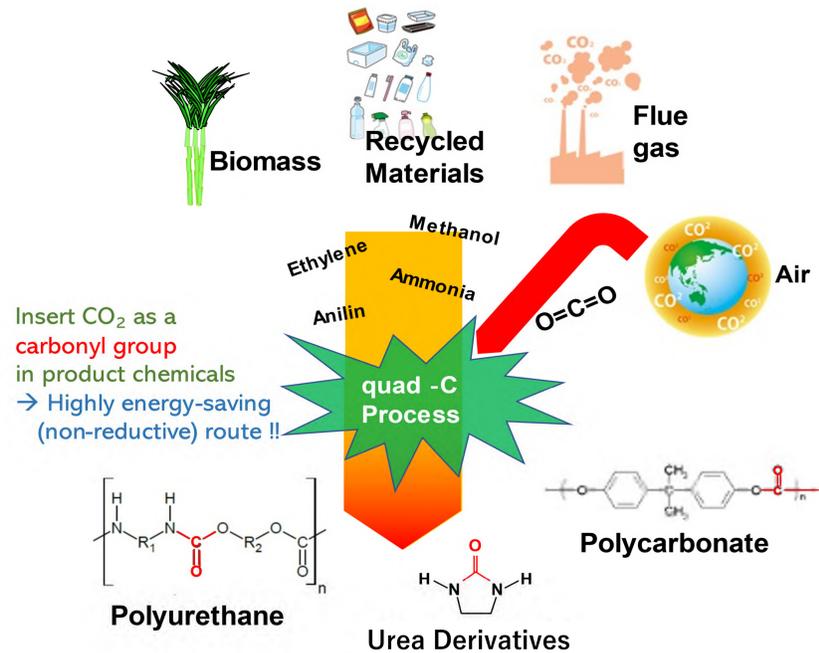
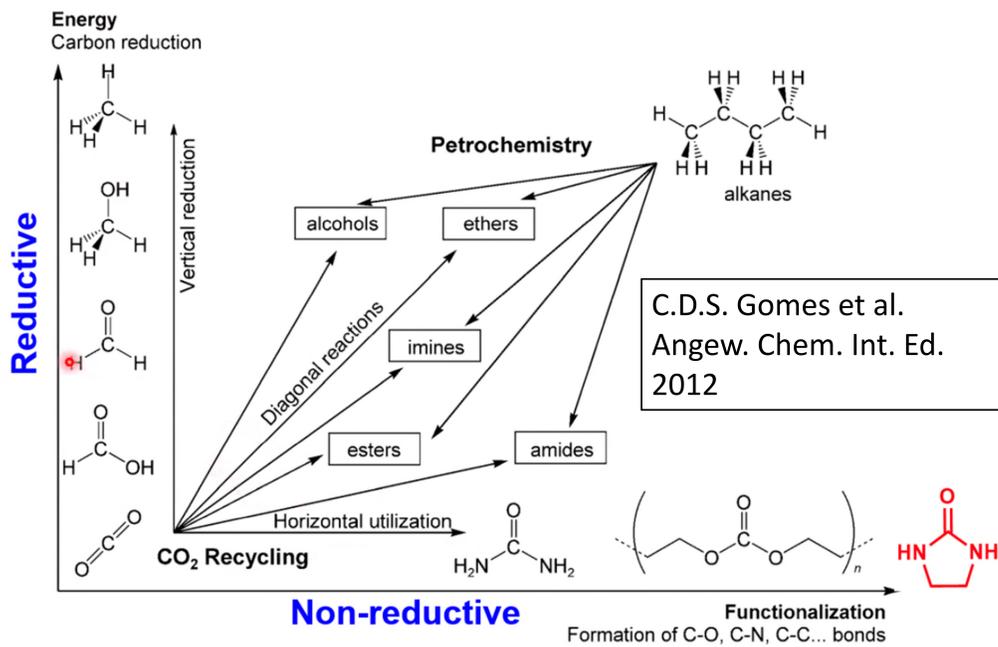


# 開発の背景と戦略

担当機関: 東北大学, 大阪公立大学, (株) ルネッサンス・エナジー・リサーチ  
 問合せ先: 福島 康裕 教授 Email: [fuku@tohoku.ac.jp](mailto:fuku@tohoku.ac.jp) (PM)

## I 開発の背景

- ▶ CO<sub>2</sub> の非還元的利用 (図中 horizontal utilization) により省エネ生産が可能  
 …, ただしより市場規模の小さい、多様な川下製品の生産が必要



## I 大気中CO<sub>2</sub>の捕捉と利用にむけた戦略

- ▶ **カーボンニュートラル社会ではますます省エネルギーが重要!**

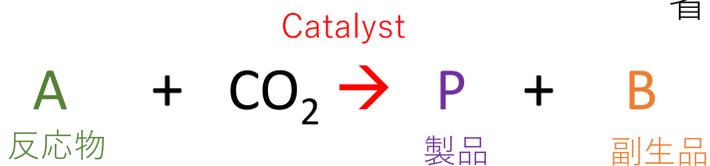
DAC-Uの共通課題:

反応以外でもエネルギー消費が大きい:

- 1) 反応系への空気の導入
- 2) CO<sub>2</sub> の脱離と圧縮
- 3) 製品の分離

**Dual Function Materials (DFMs)**  
 を使って大気中からCO<sub>2</sub>を捕捉しよう

2) CO<sub>2</sub> の脱離と圧縮を不必要にして省エネを達成



詳細は  
Poster A-5-4J  
にて報告

### quad-C Type I プロセス:

**DFM: 反応物 × CO<sub>2</sub> 吸収剤**

大量の空気との接触によるDFMロスを防ぐためにCO<sub>2</sub>選択透過膜を開発

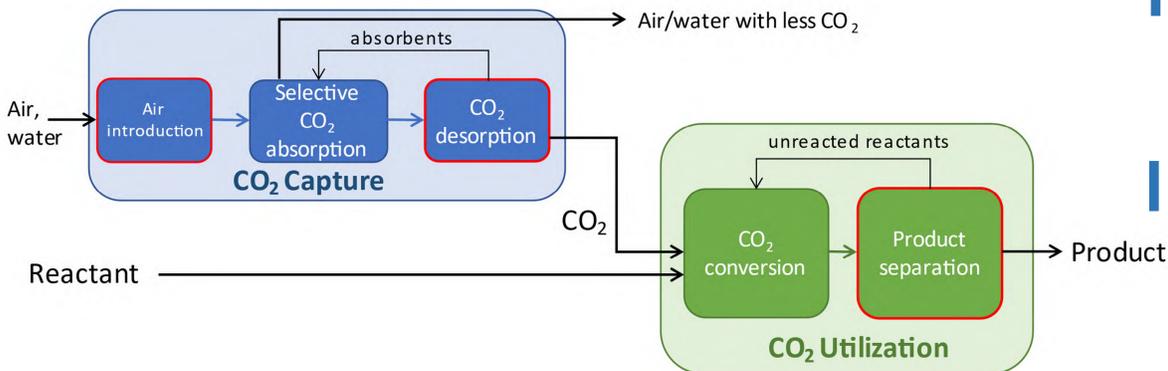
詳細は  
Poster A-5-3J  
にて報告

### quad-C Type II プロセス:

**DFM: 触媒 × CO<sub>2</sub> 吸着材**

酸化セリウム (CeO<sub>2</sub>) はCO<sub>2</sub>吸着材、触媒としてそれぞれ報告されているが、DFMとして利用した例はない。**本プロジェクトでは CeO<sub>2</sub>のDFMとしての利用を開拓、さらに類似の機能を発揮する新たなDFMを発見した。**

詳細は  
Poster A-5-2J  
にて報告



## I 国際交流:

- ▶ Institut des Sciences Moléculaires, University of Bordeaux, France

研究主幹:

Prof. Guido Sonnemann (CyVi), Prof. Dario Bassani (NEO)

- ◆ 高いCO<sub>2</sub>吸着能を発揮するナノ粒子の合成 (NEO)
- ◆ 新技術の開発初期における先制的技術経済性分析 & 環境アセスメント (CyVi)

- ▶ National Taiwan University, Taiwan

Dr. Tsai-Wei Wu が研究員として滞在予定 (April. 2023 – Mar. 2024)

専門: “Assessment of CO<sub>2</sub> 利用技術の技術経済性分析” (2022年博士取得)

- ◆ 厳密なプロセスシミュレーション
- ◆ 技術経済性分析 (化学産業での執務経歴もあり)



### ボルドー大学でのワークショップ

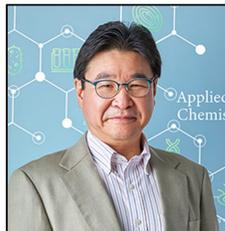
八木原 (D2, 東北大), グスマン (特任助教, 東北大), Prof. Bassani (ボルドー大)

# 反応系の開拓と触媒開発

担当機関: 東北大学, 大阪公立大学, (株) ルネッサンス・エナジー・リサーチ

問合せ先: 福島 康裕 教授 Email: [fuku@tohoku.ac.jp](mailto:fuku@tohoku.ac.jp) (PM)

## メンバー



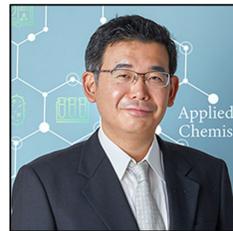
富重圭一  
東北大学 教授



藪下瑞穂  
東北大学 助教



田村正純  
大阪公立大学  
准教授



亀田知人  
東北大学 准教授

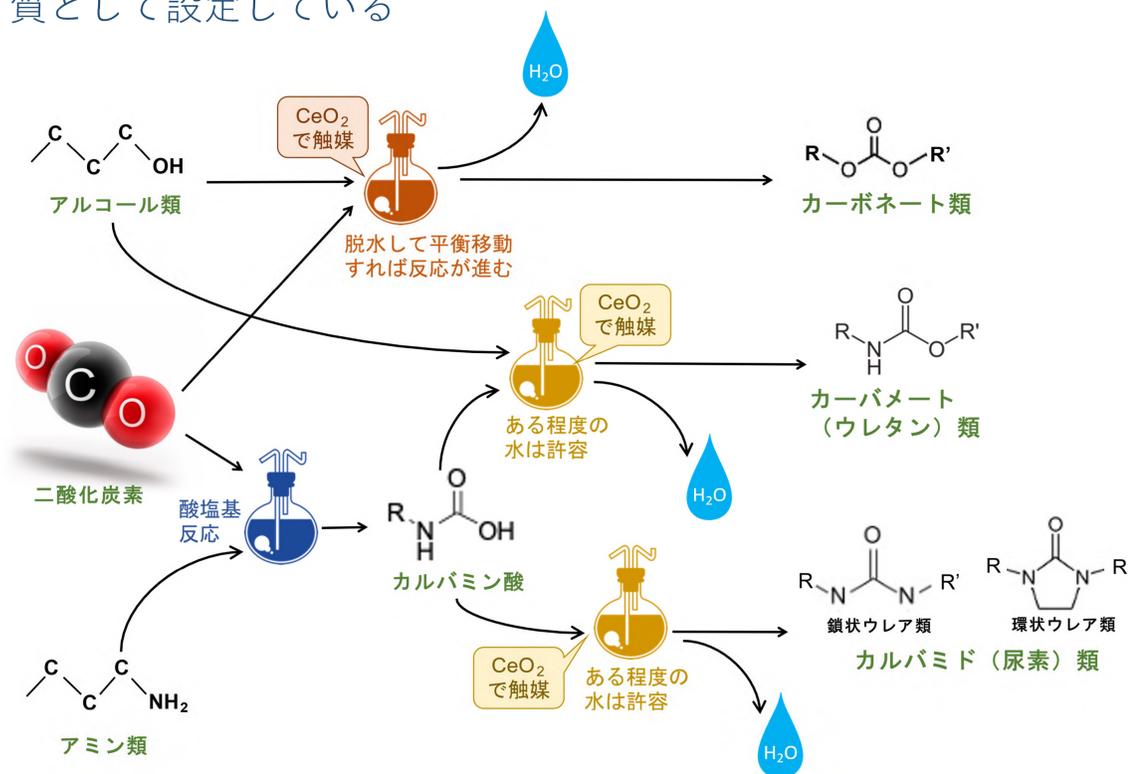


内田美穂  
東北大学 特任教授  
(クロスアポイント)

## 反応系開拓

### 概要

炭素を還元せずに製造可能な製品として、カーバメートエステル (ウレタン類) やカルバミド (有機尿素類) を主要ターゲット物質として設定している

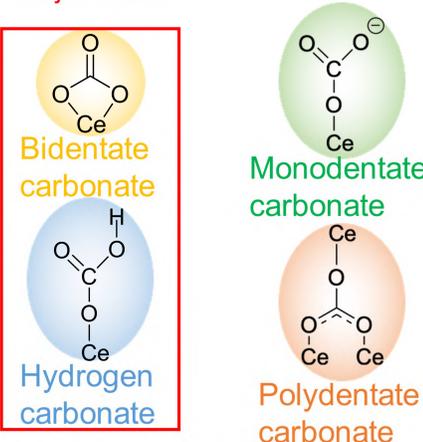


### CO<sub>2</sub> の CeO<sub>2</sub> への吸着 吸着種特性を明らかにした



実験装置: FT-IR, 本事業で改造

Major forms

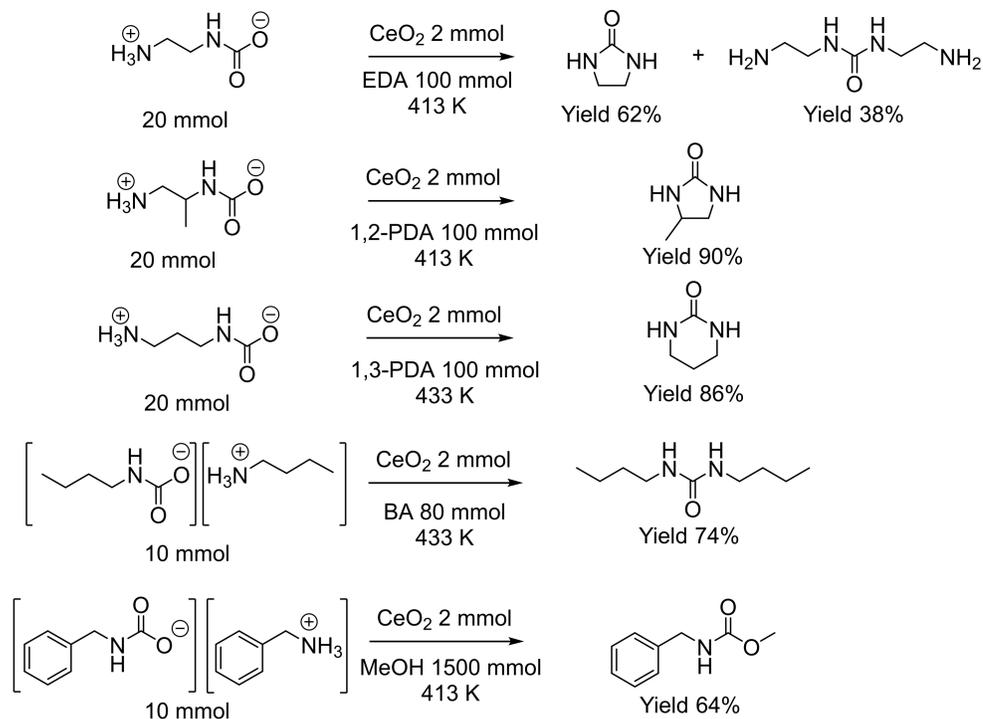


0.04% (400 ppm) の超希薄 CO<sub>2</sub> でも十分に CeO<sub>2</sub> 表面への吸着が起きることがわかった

CeO<sub>2</sub> への吸着種は bidentate と hydrogen carbonates であった

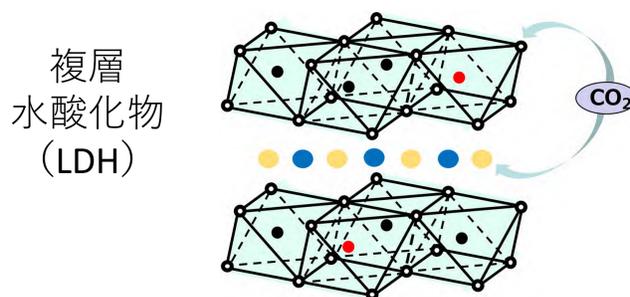
ガス中水分の、吸着種とそれらの吸着量への影響を明らかにすることができた

### さまざまなアミン [1] やアルコールで多様な製品を高収率で得る系を開拓した (Type I)



[1] K. Tomishige, et al., Appl. Catal. A: Gen. 2022, 643, 118747.

### quad-Cプロセスで活躍する新たな物質を開拓した (Type I, Type II)



- Type Iプロセス LDHはCO<sub>2</sub> キャリアとして利用可能と判明
- Type IIプロセス 他の金属をドーピングすることによりLDHを吸着材と触媒を兼ねるDFMとしての可能性を示唆

特許申請済: PCT/JP2022/36820

さまざまなDFMを用いた Type IIプロセス

# Type II プロセス：酸化金属と層状複水酸化物のDFM利用

担当機関: 東北大学, 大阪公立大学, (株) ルネッサンス・エネルギー・リサーチ

問合せ先: 福島 康裕 教授 Email: [fuku@tohoku.ac.jp](mailto:fuku@tohoku.ac.jp) (PM)

## メンバー

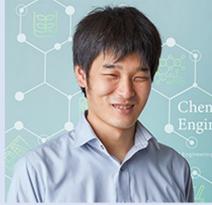
### カラムモジュール開発



北川 尚美  
東北大学 教授



高橋 厚  
東北大学 准教授



廣森 浩祐  
東北大学 助教



亀田 知人  
東北大学 准教授



中垣 隆雄  
早稲田大学 教授

### プロセスシミュレーション



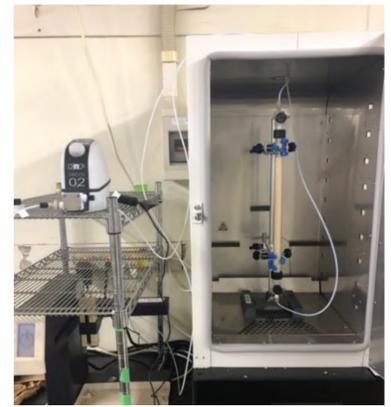
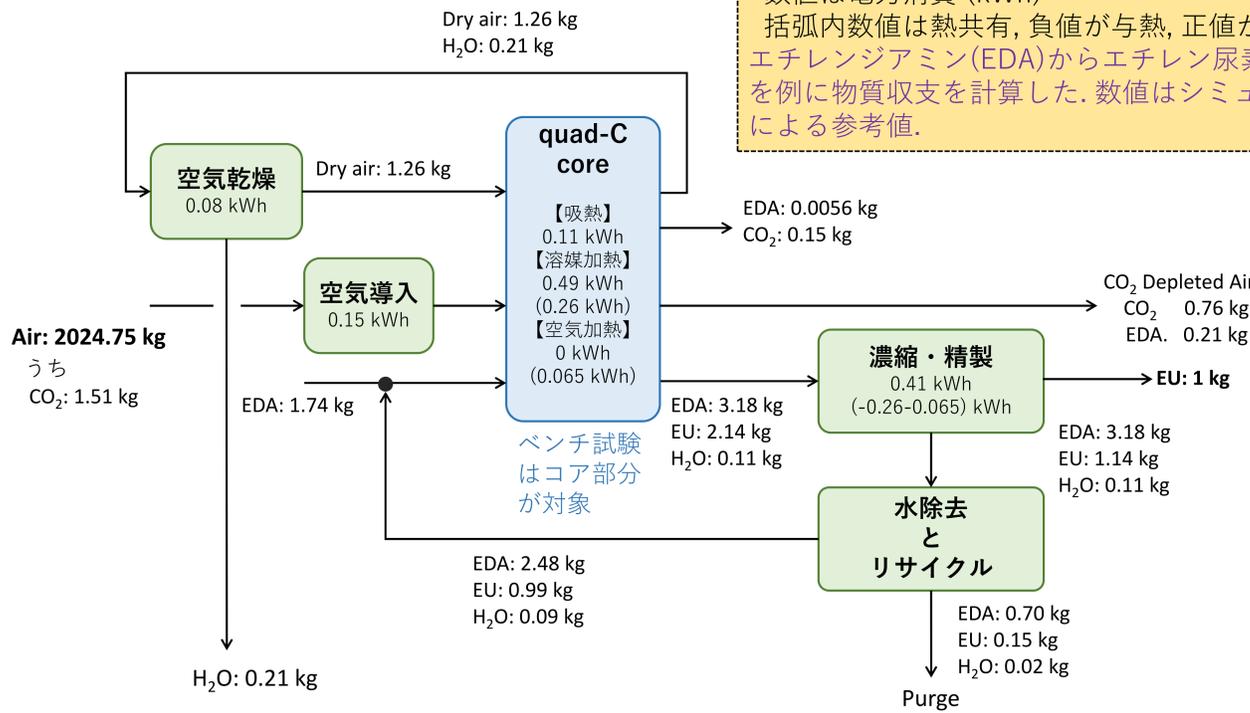
福島康裕  
東北大学 教授



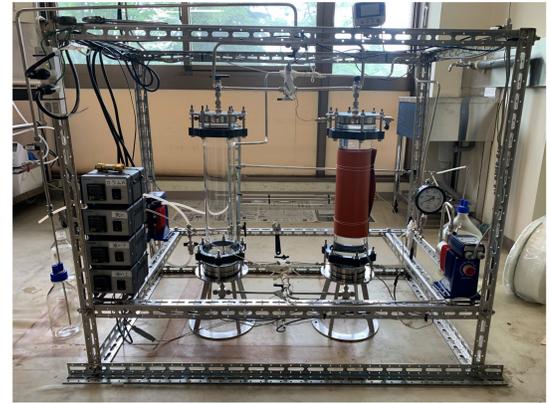
八木原 昂輝  
東北大学 研究員(D2)

## Type II quad-C process

### 物質収支概算

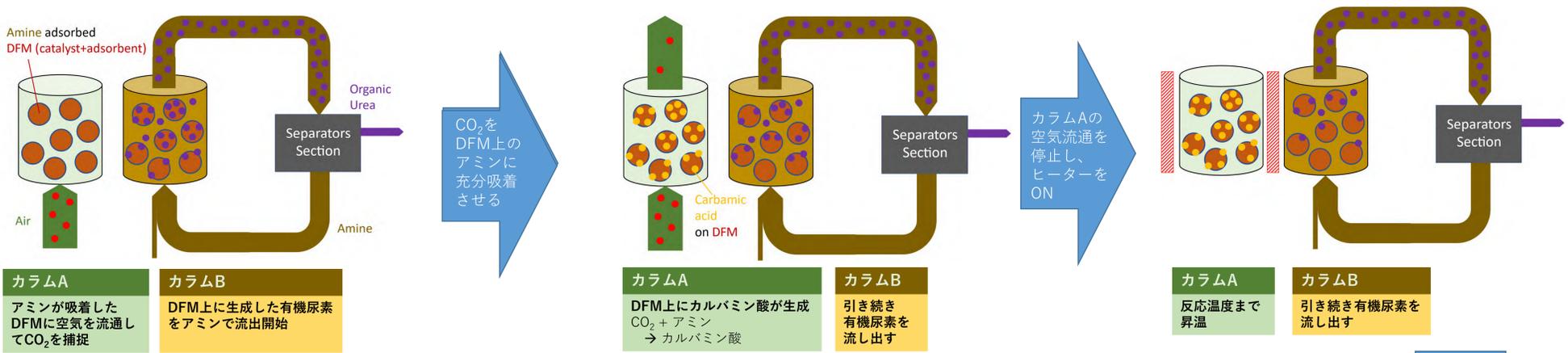


基礎試験



ベンチ試験

### プロセスのコア部分の概念設計とコンセプト実証



成果1: サイクルの成立可能性を確認 2サイクル製造成功!

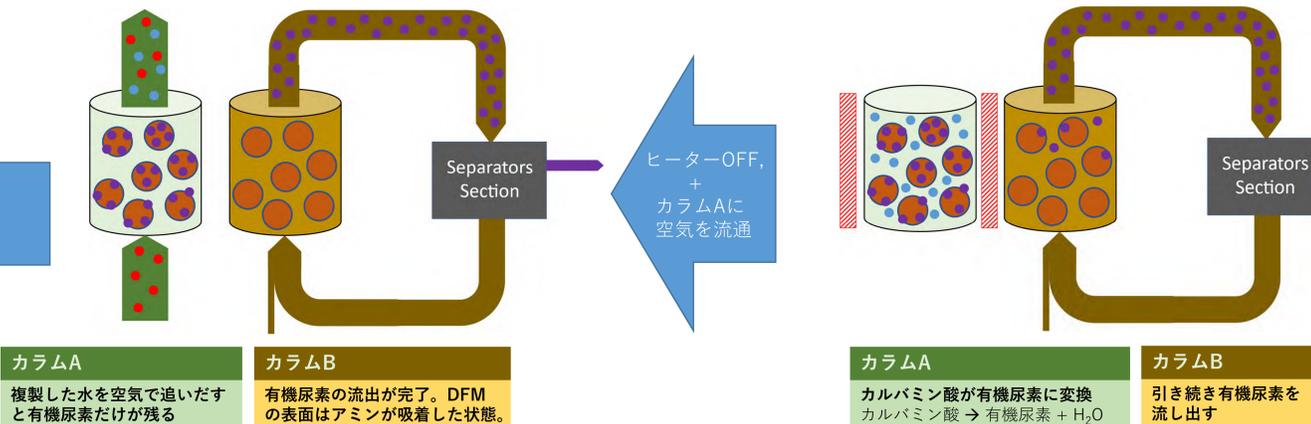
成果3: カルバミン酸溶解度やCO<sub>2</sub>吸着速度等の基礎データ獲得

成果2: 不安定なカルバミン酸の定量分析方法、その他の物質ハンドリングのノウハウを蓄積

現状: カラムを用いたベンチ試験のための設備を確立. ベンチ試験に向けた基礎試験を実施中.

カラムAとカラムBをバルブ切替で交換

カラムA内部の熱伝達時間 + 反応時間が経過



# Type I プロセス：膜モジュールによるアミンのDFM利用

担当機関: 東北大学, 大阪公立大学, (株) ルネッサンス・エネルギー・リサーチ

問合せ先: 福島 康裕 教授 Email: [fuku@tohoku.ac.jp](mailto:fuku@tohoku.ac.jp) (PM)

## メンバー

### 膜モジュール開発



**岡田 治**  
(株) ルネッサンス・エネルギー・リサーチ 社長



**渡邊 賢**  
東北大学 教授



**野中 利之**  
東北大学 特任准教授



**平賀 佑也**  
東北大学 助教

### プロセスシミュレーション



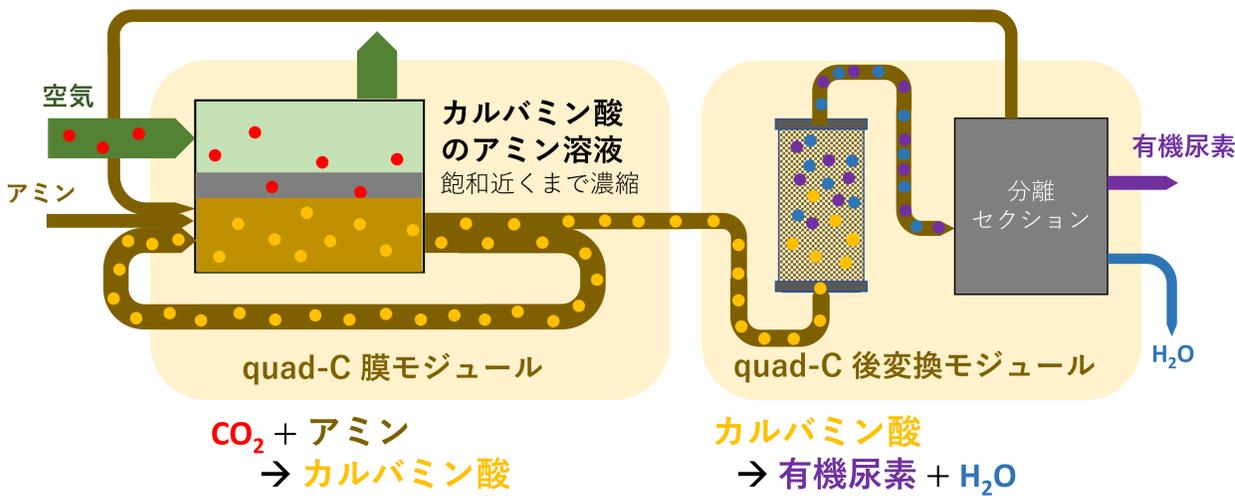
**福島康裕**  
東北大学 教授



**倪嘉玲**  
東北大学 特任助教

## Type I quad-C プロセス

### ▶ コンセプト



### 流通式触媒反応装置

こちらは触媒開発チームが実施 → A-5-2Jを参照



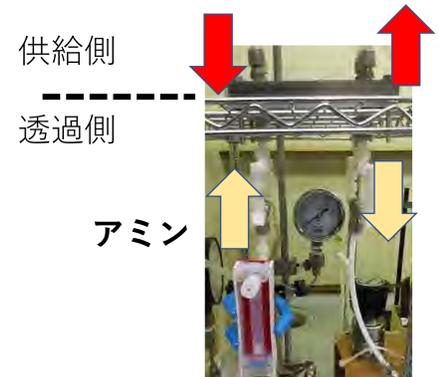
触媒の入った反応器

アミン + 有機尿素

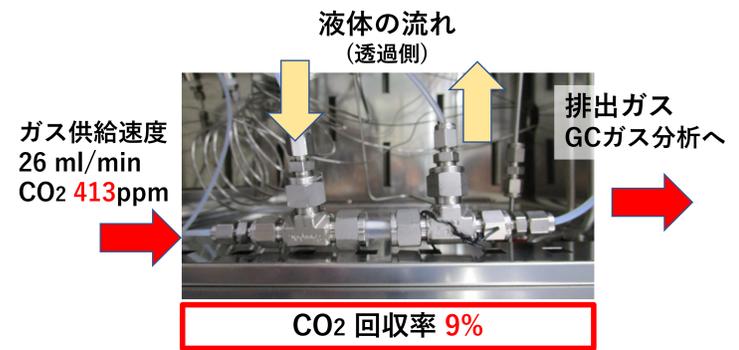
アミン + カルバミン酸

エチレンジアミンの場合 T = 90°C が最適温度で、90%以上のエチレン尿素収率を達成

### 平板状膜モジュール試験装置

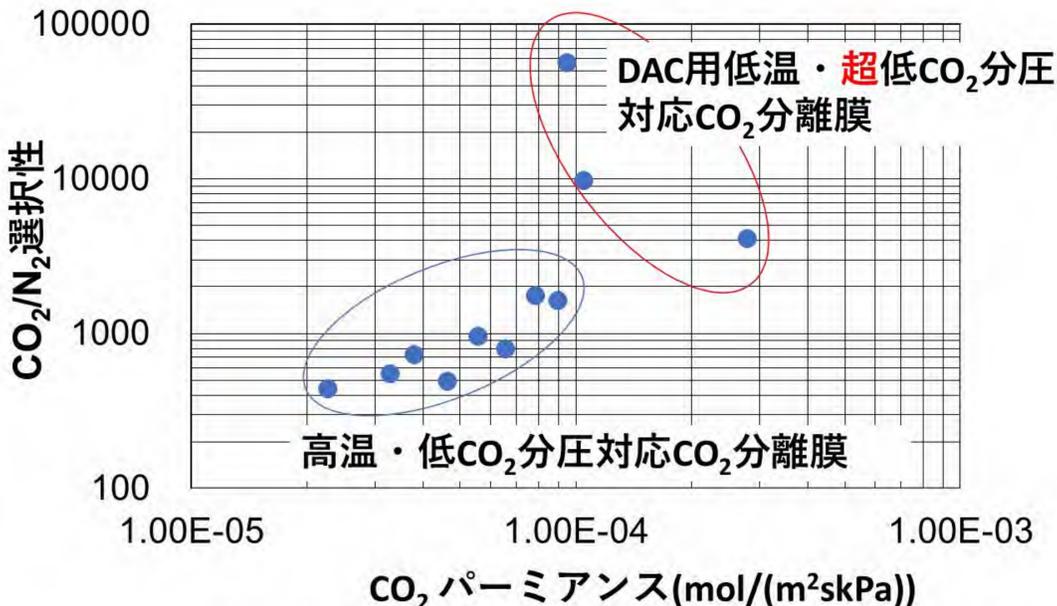


### 中空糸膜モジュール試験装置



### ▶ 従来と比べて非常に優れた促進輸送膜の開発に成功

高い CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> 選択性と十分な透過速度を達成 @ 常温・常圧



材料・内径・細孔径の異なる中空糸支持体を用いて製膜 → 内径0.7mmまでの支持体の内側への製膜に成功

外径1.2mmの支持体の膜で  
CO<sub>2</sub>透過速度:  $2.7 \times 10^{-4}$  mol/m<sup>2</sup>skPa、  
対N<sub>2</sub>選択性: **4,000**

外径3mmの支持体の膜で  
CO<sub>2</sub>透過速度:  $9.5 \times 10^{-5}$  mol/m<sup>2</sup>skPa、  
対N<sub>2</sub>選択性: **55,000**

### ▶ イオン液体を用いる膜モジュール開発のための基礎的検討

- ✓ in-situ ラマン分光法による溶解度測定等を駆使したイオン液体種の探索
- ✓ 膜モジュール設計のための膜内CO<sub>2</sub>移動量の推算と小型膜セルによる実験の実施