

# 大気中 CO<sub>2</sub>を利用可能な 統合化固定・反応系 (quad-C system) の開発

**発表者：**福島 康裕(国立大学法人 東北大学)



**PM：**福島 康裕  
国立大学法人 東北大学  
大学院工学研究科 教授

**PJ参画機関：**  
国立大学法人 東北大学  
公立大学法人 大阪 大阪市立大学  
株式会社ルネッサンス・エナジー・リサーチ

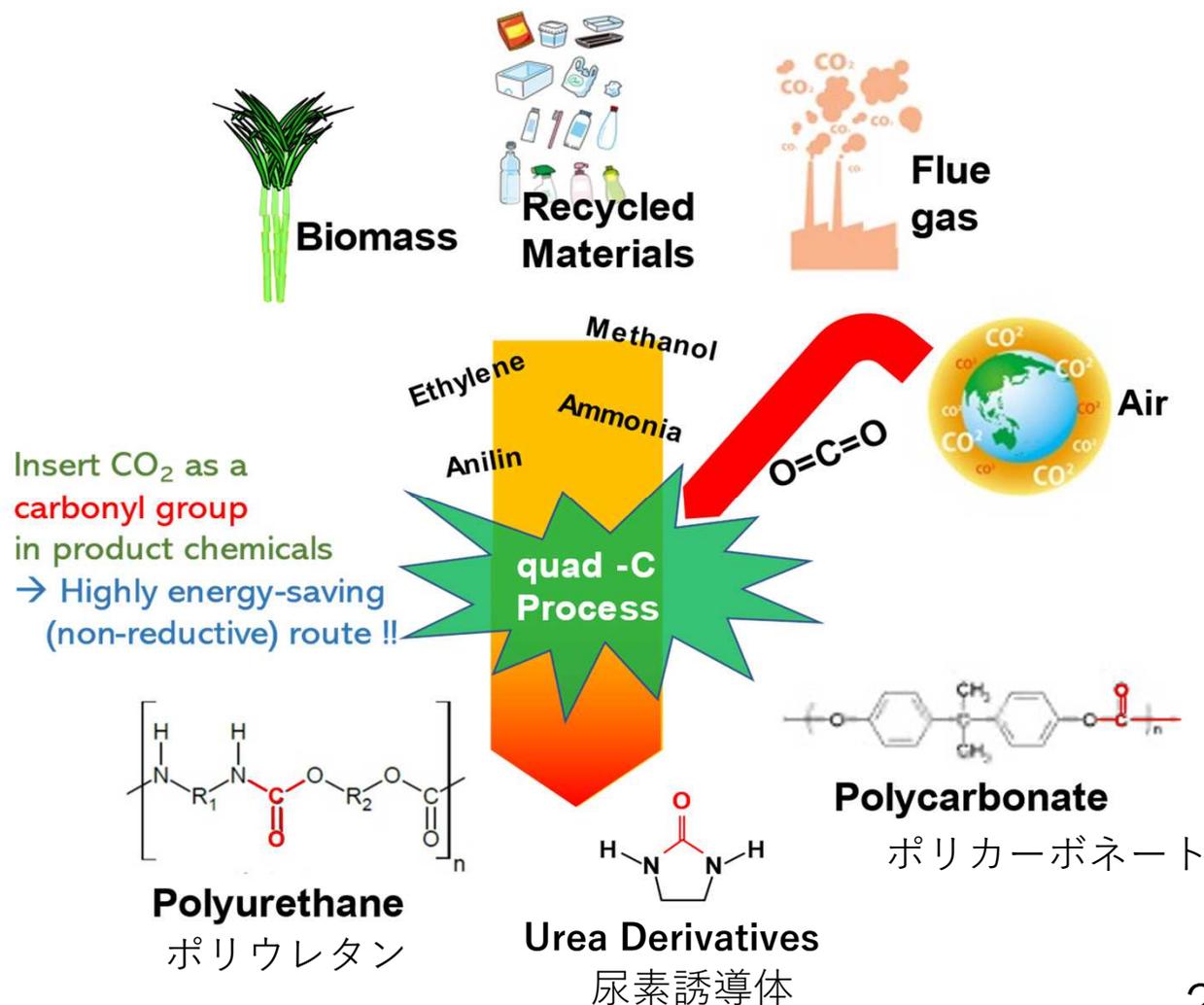
# 開発するプロセス

- カーボンニュートラル社会に必要な化学製品を生産する技術
  - 省エネルギー
  - 省水素

## 戦略 1

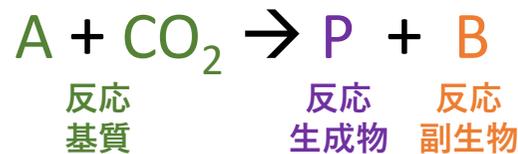
必要な化学製品のうち  
CO<sub>2</sub>原料からの製造が  
潜在的に省エネルギー  
となる

**カルボニル基を持つ  
化学物質**  
をターゲットとする

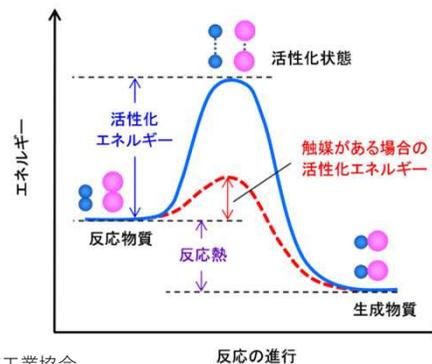


## 戦略2

反応で用いる材料を用いてCO<sub>2</sub>を変換系に導入することで、固定プロセスと反応プロセスを統合し、CO<sub>2</sub>脱離操作を廃して省エネルギー化を目指す

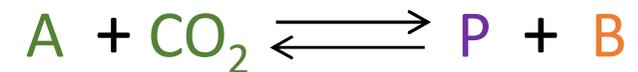


**反応基質**  
化学反応で生成物を得るための原材料(A)



一社触媒工業協会  
ホームページより

**触媒**  
(化学反応加速)



反応副生物を系から除去  
→ 逆反応が起きにくくなる

**反応率向上材・剤**  
化学平衡のバランスを生成物側にシフト

### 複機能物質：Dual Function Materials (DFMs)

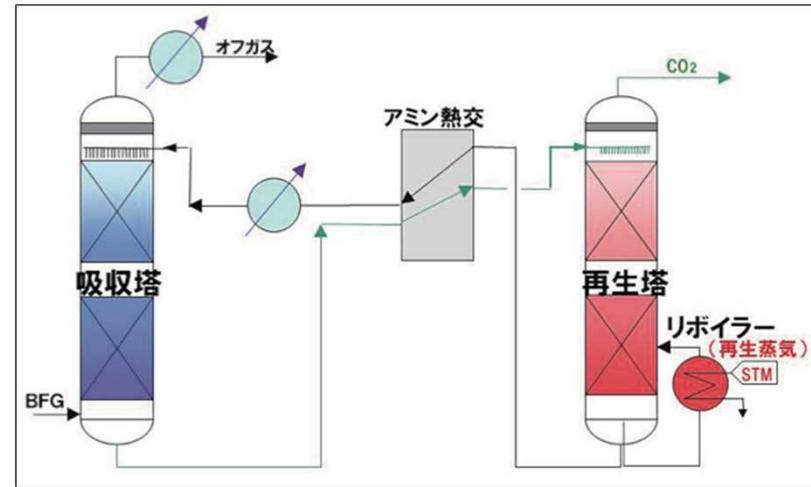
アミン類: CO<sub>2</sub>吸収剤 + 反応基質

CeO<sub>2</sub>: CO<sub>2</sub>吸着材 + 触媒

LDH: CO<sub>2</sub>吸着材 + 反応率向上材 (+ 触媒)

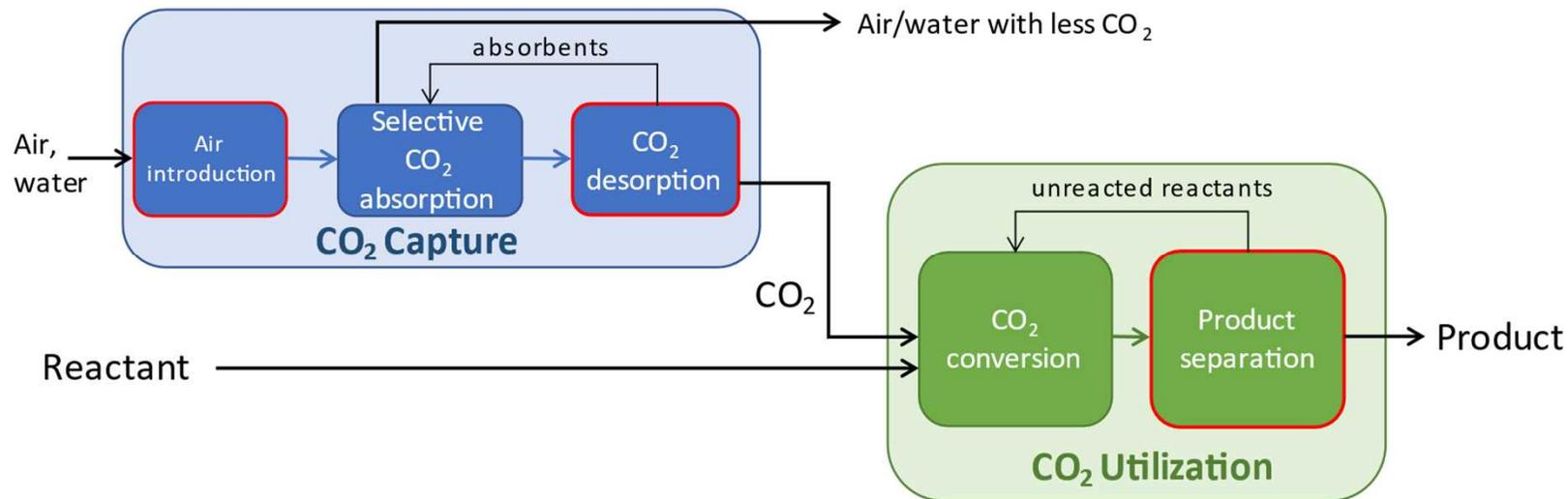
2020-2022はこれらの特性を把握し、その能力を引き出すプロセス構成を探索。可能性のある構成条件を把握する。

# 通常のDAC/CCUプロセス (参照プロセス)



<https://www.theguardian.com/environment/2018/feb/04/carbon-emissions-negative-emissions-technologies-capture-storage-bill-gates>

三村ら、新日鐵エンジニアリング技報, Vol.3 (2012), pp.25-30



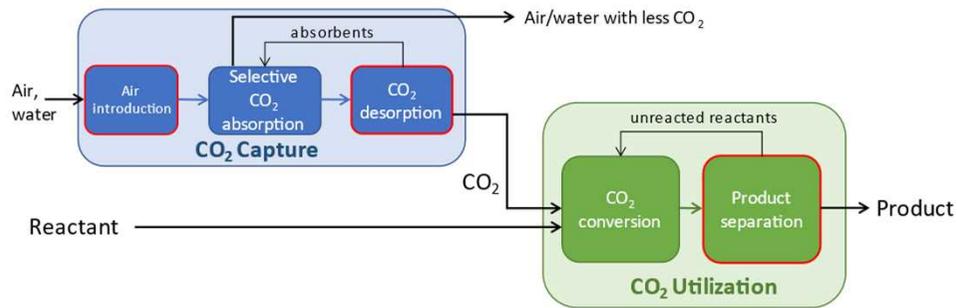
A double effect distillation plant, Wikipedia commons, CC 3.0

**赤枠のプロセスがエネルギー多消費!!**

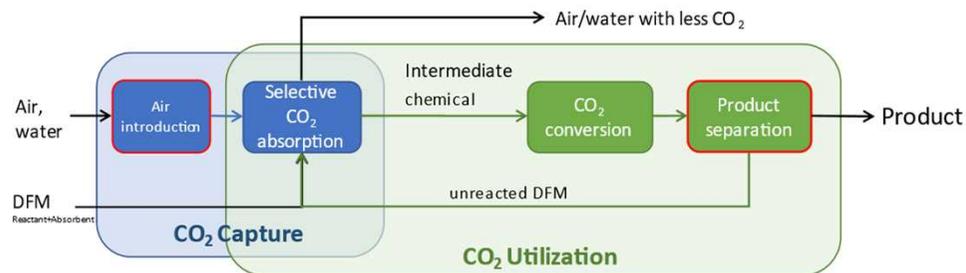
# quad-C: Combined Carbon Capture and Conversion

DFMにより、CO<sub>2</sub>捕捉と利用のプロセス統合が可能に。  
CO<sub>2</sub>脱離プロセスを廃止

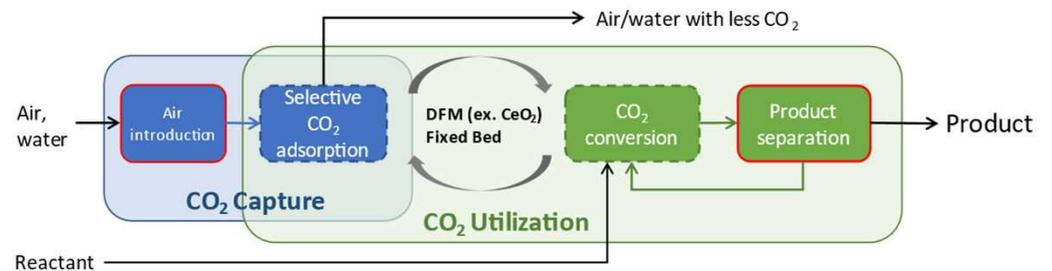
## 参照プロセス



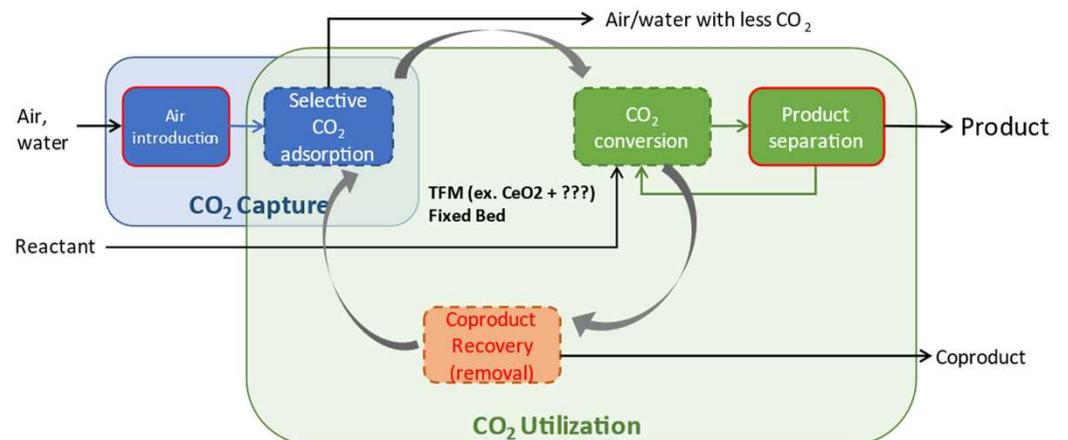
## Type I: DFMとしてアミンやアルコール (反応基質 + 吸収剤)を利用



## Type II: DFMとしてアルカリ性金属 (吸着剤 + 触媒)を利用



## Type III: 吸着剤 + 触媒 + 反応率向上材



## 反応系の開拓

- ✓ さまざまな反応基質（アミン、アルコール）について反応可能性を探索
- ✓ 収率の向上や選択率の制御に向けた反応機構の理解
- ✓ 不純物の影響や触媒劣化の理解
- ✓ CO<sub>2</sub>吸着形態（量、強さ）、生成物脱着形態などに関連する条件の相関を解明



東北大 富重



東北大 藪下



大阪市大 田村

EDA以外のアミン、アルコールを用いてCO<sub>2</sub>を吸収、そのままCeO<sub>2</sub>で触媒させ、各種尿素誘導体を得ることに成功している。

CeO<sub>2</sub>の表面に、

- どのようにCO<sub>2</sub>が吸着するのか
- どのような強さで吸着するのか
- 吸着の仕方をどのように制御できるのか

に関して解明が進んでいる。

## ▶ 反応プロセス開発

### Type I

- ▶ 膜(G/G)で濃縮  
→ DFM損失の回避
- ▶ 膜 (G/L)  
→ DFMに直接導入
- ✓ 機構の解明
  - 膜へのCO<sub>2</sub>選択吸収
  - 膜からのCO<sub>2</sub>脱離

### Type II, III

- ▶ 大気から固体で吸着, 反応基質で脱着
- ▶ 水から固体で吸着, 反応基質で脱着
- ✓ DFMの探索と条件-機能の相関評価
  - ✓ 機能: 吸着能、触媒能、  
サイクル特性、耐久性
  - ✓ 条件: CO<sub>2</sub>濃度、温度、LDH製造  
法、LDH造粒法、水分の影響、反  
応基質の違いなど

 反応基質の粘度や流れの状態などの条件との相関を理解し  
高性能モジュールの開発の基盤を形成

## ▶ モジュール化

### Type I

- ▶ 製膜方法の開発
- ▶ 最適化 (膜厚、液膜組成、促進剤、支持体)
- ▶ シミュレーション

### Type II, III

- ▶ カラムの構成とそのためのデータ取得
- ▶ スケールの異なるカラムでの実験
- ▶ シミュレーション

 ✓ CO<sub>2</sub>のquad-Cへの導入装置・プロセスの開発と評価  
✓ モジュール接続のためのデータ測定

## 反応プロセス開発

### Type II, III

- 大気から固体で吸着, 反応基質で脱着
- 水から固体で吸着, 反応基質で脱着
- ✓ DFMの探索と条件—機能の相関評価
  - ✓ 機能: 吸着能、触媒能、サイクル特性、耐久性
  - ✓ 条件: CO<sub>2</sub>濃度、温度、LDH製造法、LDH造粒法、水分の影響、反応基質の違いなど



東北大 亀田

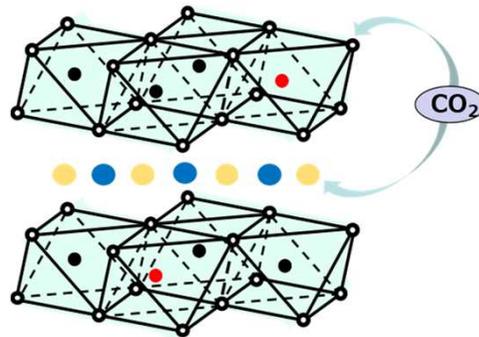


東北工大 内田  
(東北大クロスアポイント)

## 空気から、あるいは水中からのCO<sub>2</sub>吸着と脱離の基礎情報を獲得

どの場所に吸着したCO<sub>2</sub>が何°Cで脱離?

空気中の水分などの吸着への影響は?



CO<sub>2</sub>は低濃度で、どのくらいの回収速度、回収率で捕捉できる?

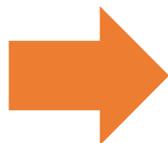
CO<sub>3</sub>・Mg-Al LDHが吸着したCO<sub>2</sub>は何°C迄にどれだけ脱離?

CO<sub>2</sub>吸着させたLDHに反応基質を通すと、目指す中間化学物質が生成することを確認、その定量方法を確立した

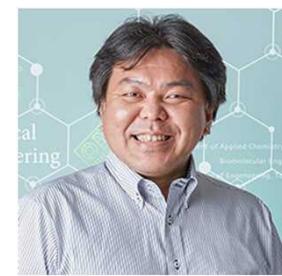
## モジュール化

### Type II, III

- カラムの構成とそのためのデータ取得
- スケールの異なるカラムでの実験
- シミュレーション



東北大 北川



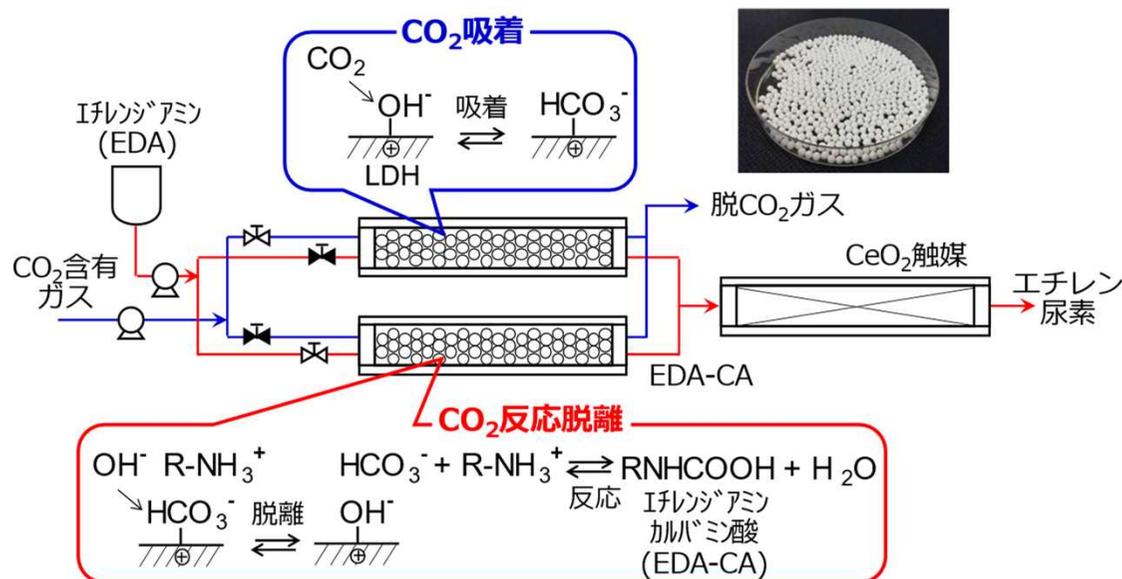
東北大 高橋



東北大 廣森



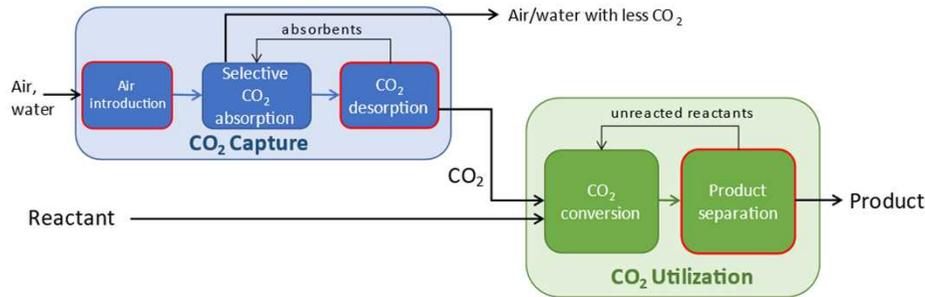
早稲田 中垣  
(再委託)



# 開発項目

## プロセスシミュレーションと技術経済性分析

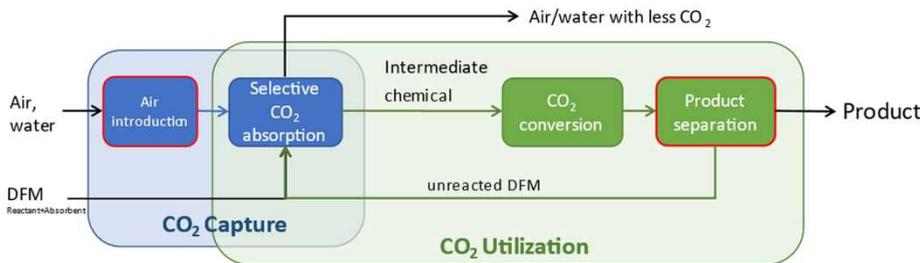
### 参照プロセス



酸化マグネシウム鉱物を使ったDAC

産総研の均相触媒利用プロセス

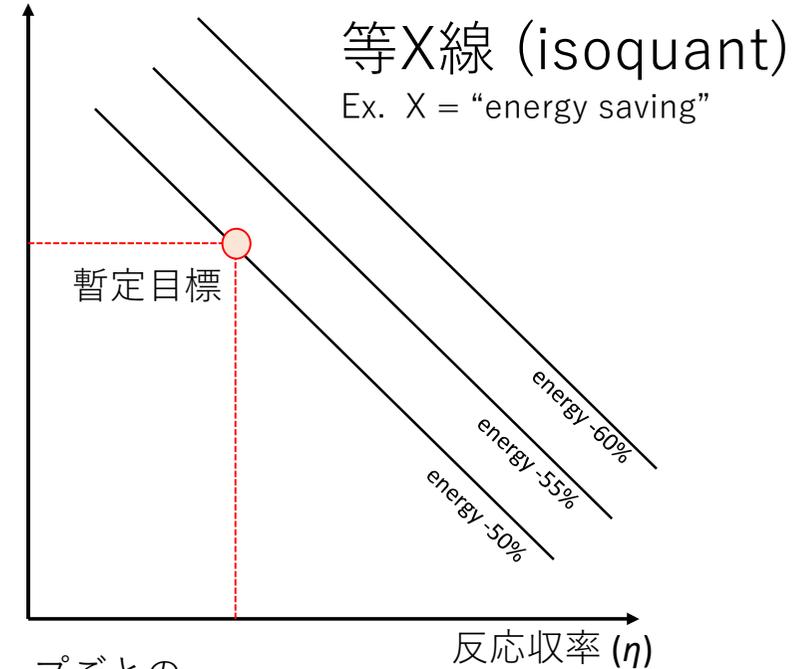
### Type I: DFMとしてアミンやアルコール (反応基質 + 吸収剤)を利用



本プロセス

反応プロセス開発グループの目標例

CO<sub>2</sub>回収率比 ( $r_{eval}/r_{ref}$ )



グループごとの専門に基づく目標

から

プロセスシステムとしての目標から演繹したグループごとの目標

反応開拓グループの目標例



# 2029年（事業終了時）最終目標

## パイロットプラントを設置し：

- 一つ以上のカルボニル基含有化学品について商業化に資する知見を獲得
- 他のquad-C製品についても商業化のためのデータを獲得可能にする (DFM, プロセスのマッピング)

## カーボンニュートラルの産業イメージ

経済産業省

電気はすべて脱炭素化し、産業部門の電化を進める  
水素は、発電・産業・運輸など幅広く活用されるキーテクノロジー  
CO<sub>2</sub>は回収し、カーボンサイクルや地中貯留 (CCS) へ

