

「水素製造・カーボンニュートラルな 再生可能エネルギー利用プロセス」

岐阜大学

工学部 化学・生命工学科 物質化学コース 教授

高等研究院 地方創生エネルギーシステム研究センター センター長

上宮 成之

内 容

• 地方創生エネルギーシステム研究センターの紹介

さまざまなバックグラウンドをもつ教員が、教員個々の研究課題とセンターの課題にチャレンジ
学生の教育や地域の教育に従事

• 化学・生命工学科 上宮・宮本研究室の紹介

水素製造（反応分離：触媒、分離膜）、二酸化炭素分離・転換（カーボンリサイクル）、その他

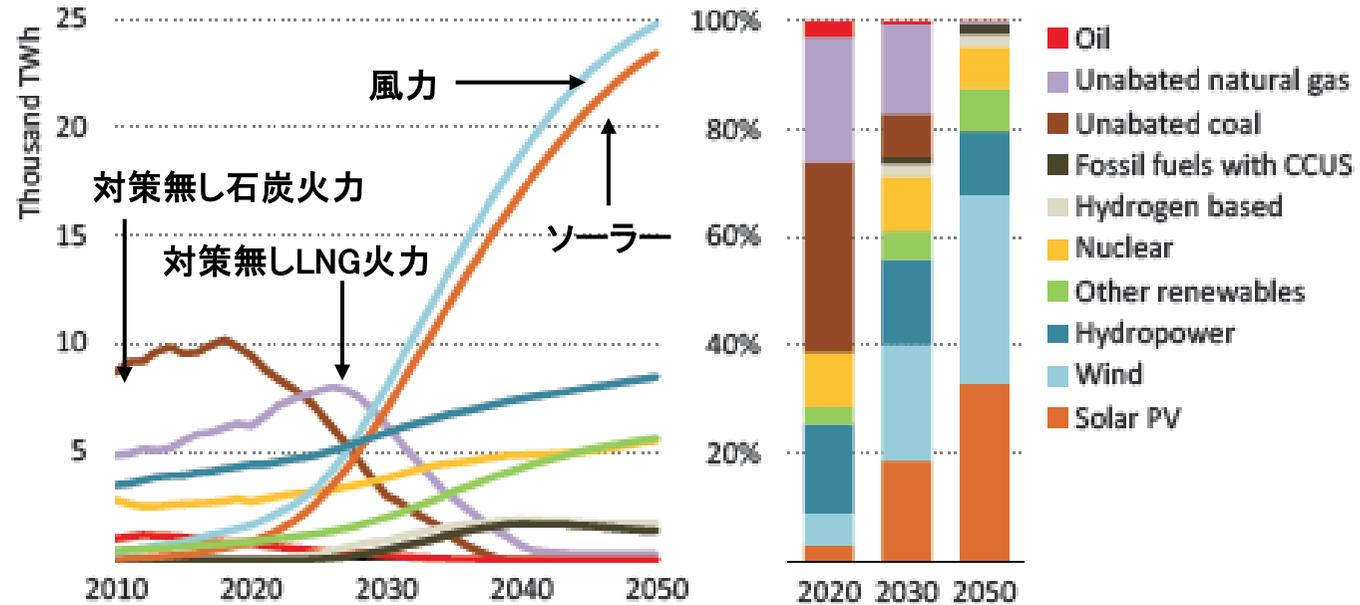
IEA ネットゼロのシナリオ(2021): 発電



IEA

(International Energy Agency)

国際エネルギー機関



IEA. All rights reserved.

Solar and wind power race ahead, raising the share of renewables in total generation from 29% in 2020 to nearly 90% in 2050, complemented by nuclear, hydrogen and CCUS

ネットゼロの達成には

- ・再生可能エネルギーの割合を、2020年29%であったが、2050年には90%にしないと達成できない。
- ・対策(CCUS: Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage)のない火力発電を2020年代後半には減らしはじめ、2040年には完全に無くしないと達成できない。

<https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>

地方創生エネルギーシステム研究センター目標

1. 革新的要素技術・マネジメントシステム開発研究事業

- **エネルギー創造分野（31名）**：多様な再生可能エネルギーから高効率発電・熱発生 of 革新的要素技術の開発
- **キャリア・ストレージ分野（12名）**：余剰エネルギーまたは変動エネルギーの化学エネルギー転換，蓄熱の革新的技術
- **新産業創出分野（16名）**：地方創生エネルギービジネスモデルの提案，フィールド実証試験に向けたシステム基本設計
- **エネルギーシステム統合分野（16名）**：地域性に応じた最適エネルギーシステム予測およびそのマネジメントツールの構築

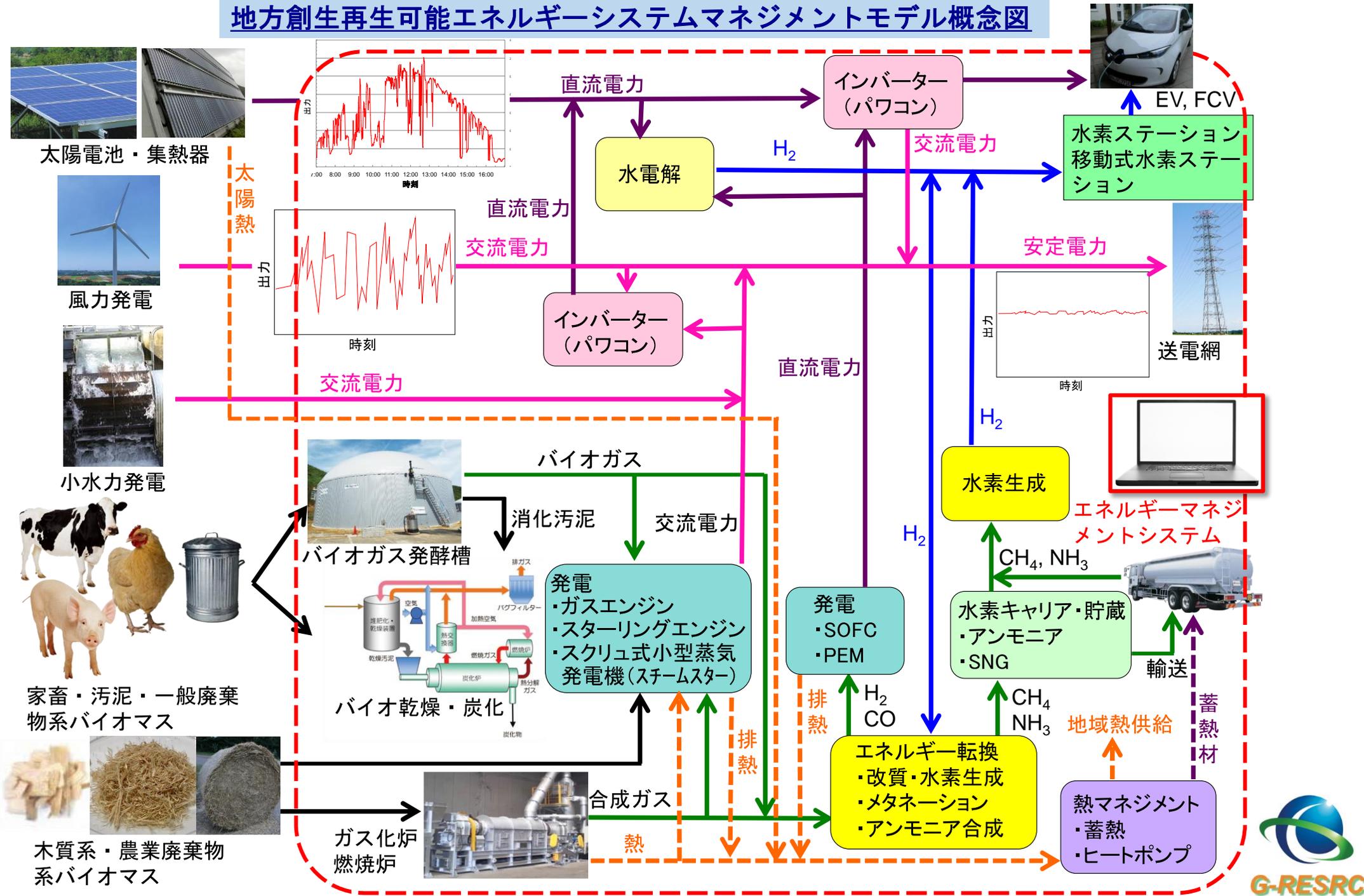
2. 地域の産業界と連携して共同研究・ぎふモデルの社会実装試験事業

3. 修士・博士課程大学院学生への環境・エネルギー教育事業

4. 地域の環境・エネルギー教育に貢献事業

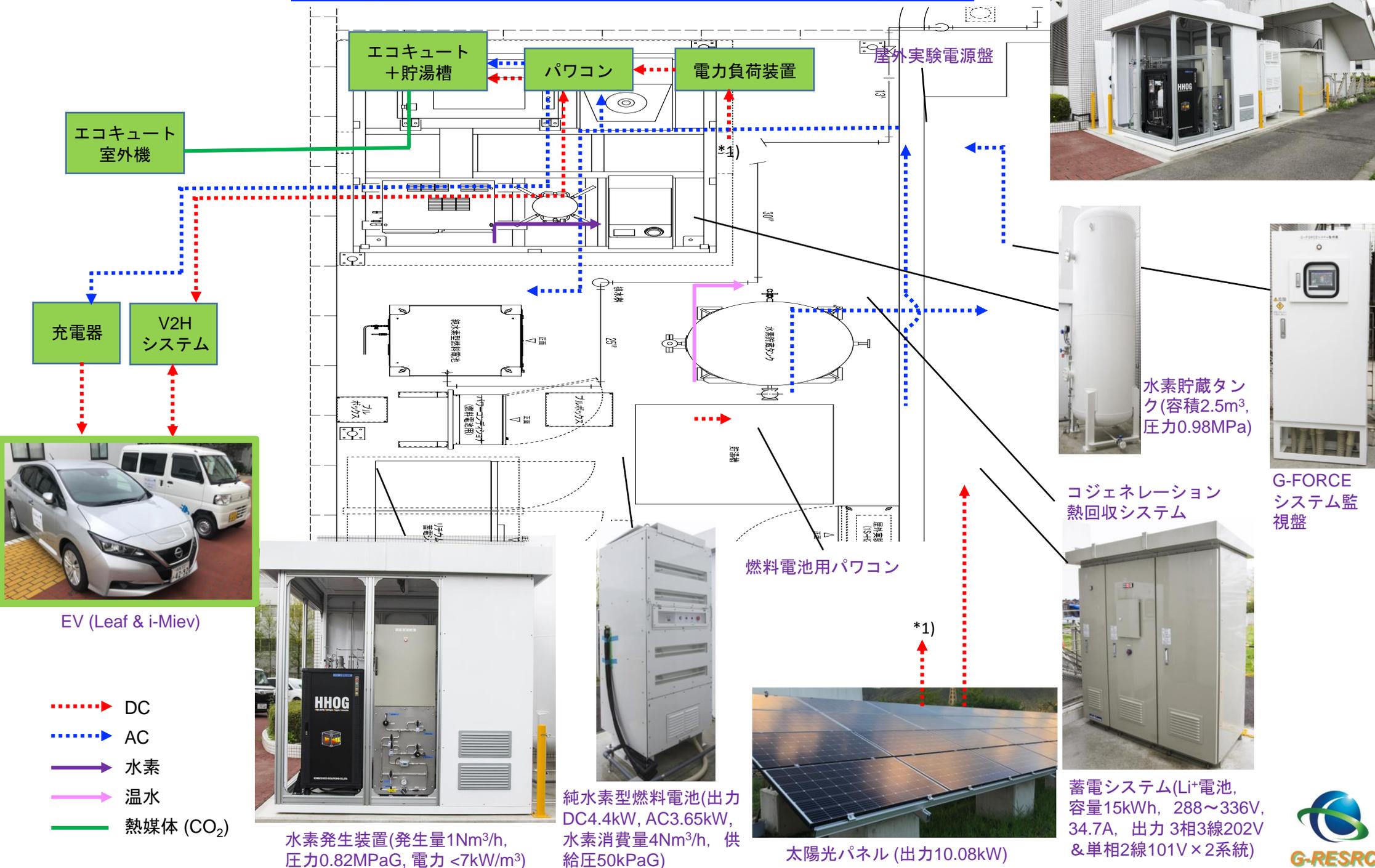
地方創生エネルギーシステム研究センター概要

地方創生再生可能エネルギーシステムマネジメントモデル概念図

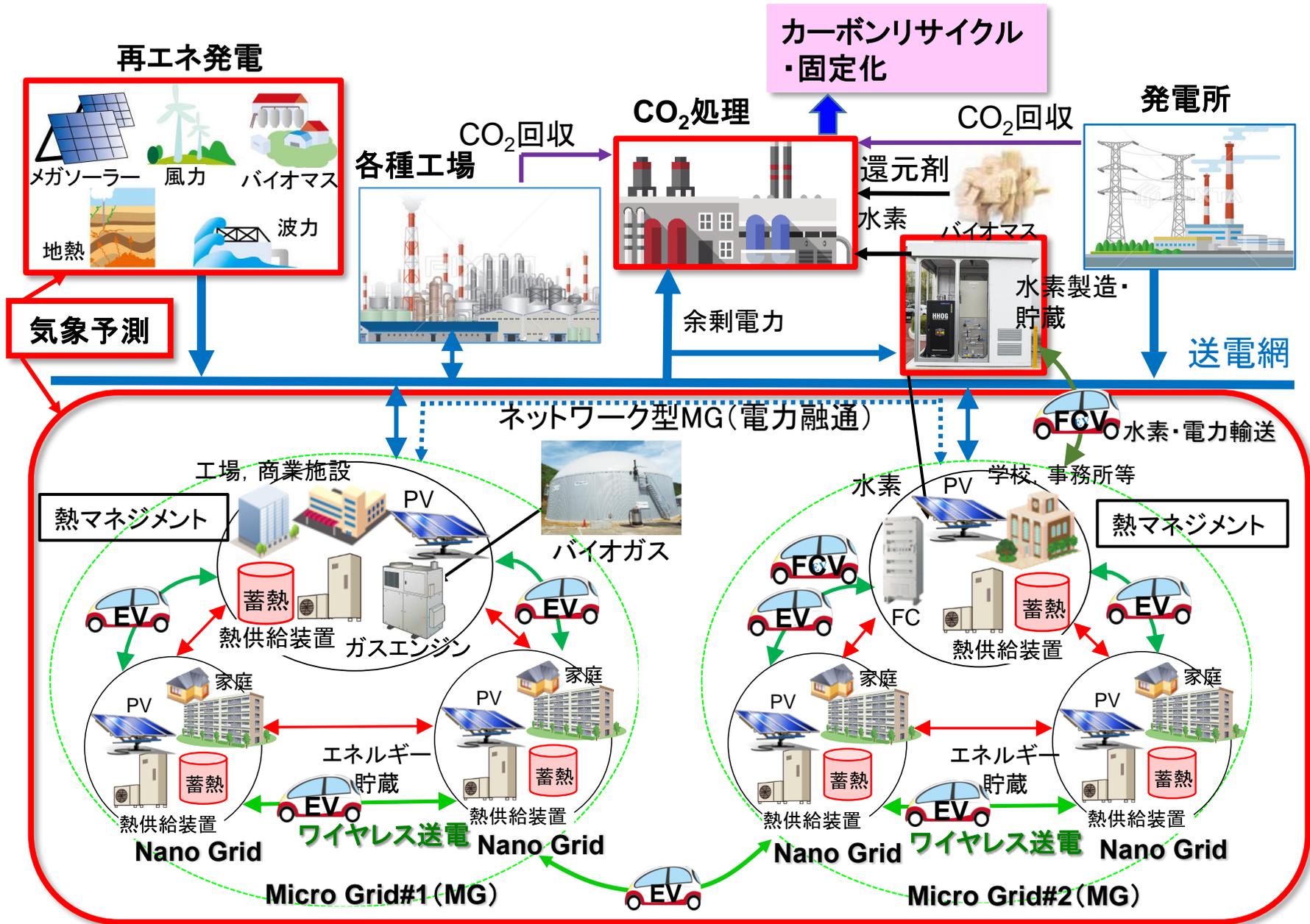


地方創生エネルギーシステム研究センター設備全体構成

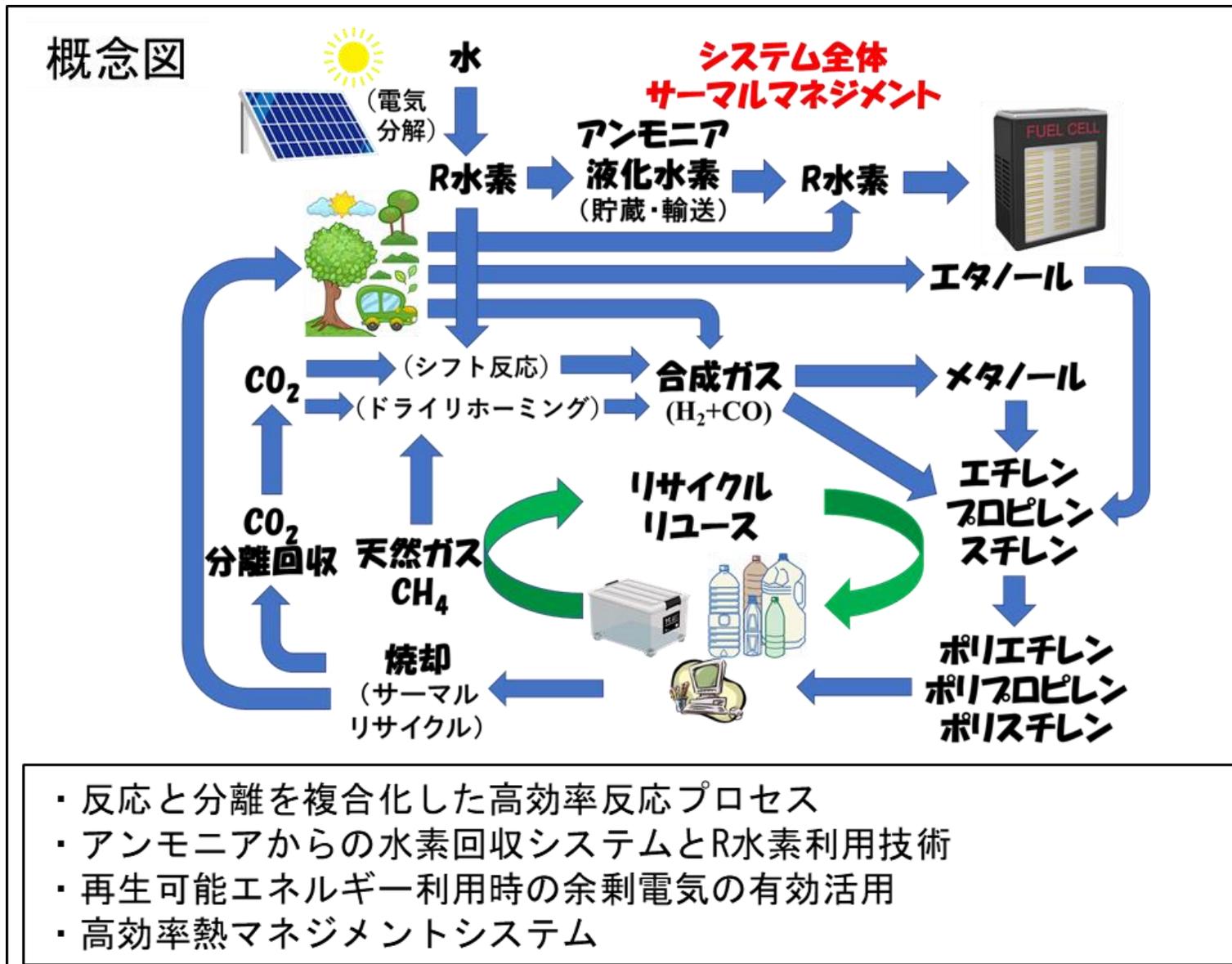
再生可能エネルギーマネジメントシステム (EMS)



カーボンニュートラル社会システム構想図



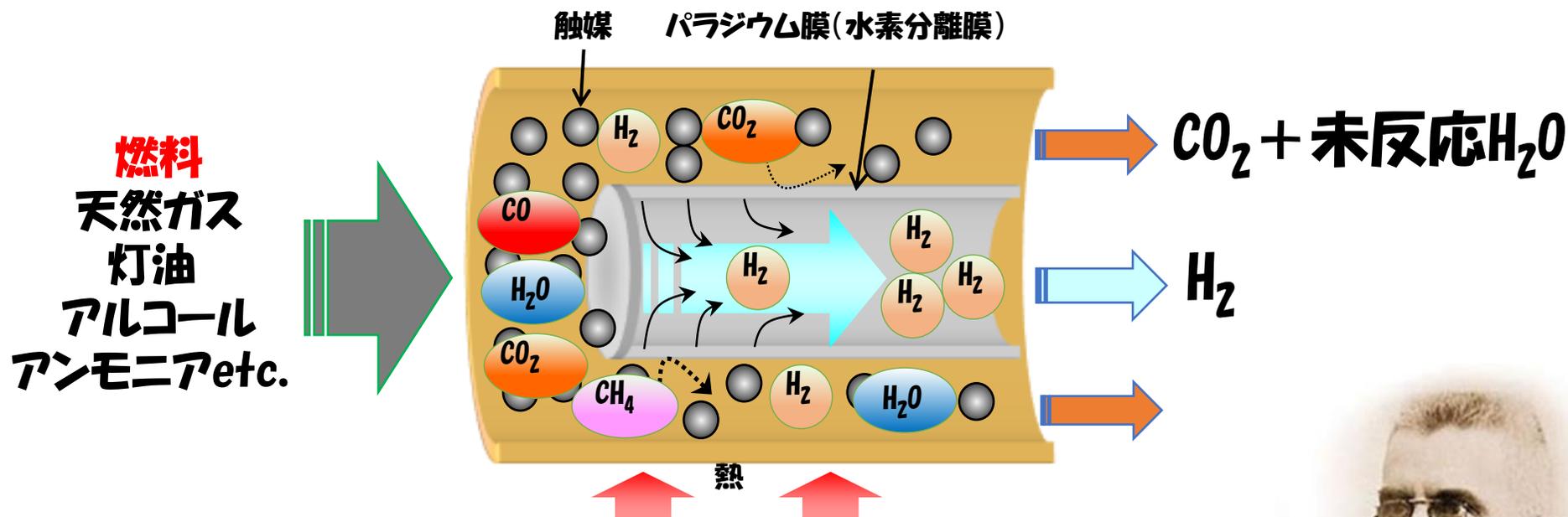
カーボンリサイクルシステムの構築



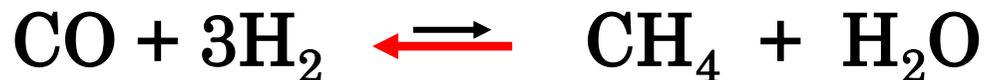
電力（天然ガス+CCUS）以外にも、炭素を含む材料・食物も含めた炭素

膜反応器を用いた水素製造

ブルー水素製造



炭化水素の水蒸気改質



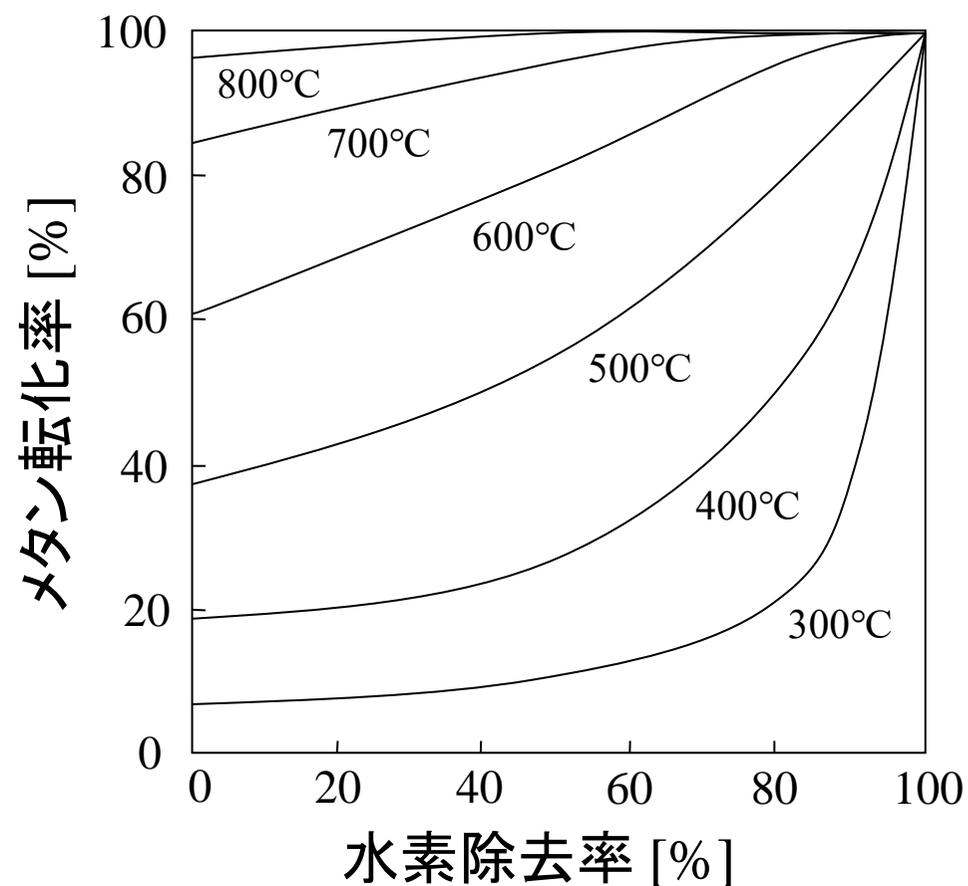
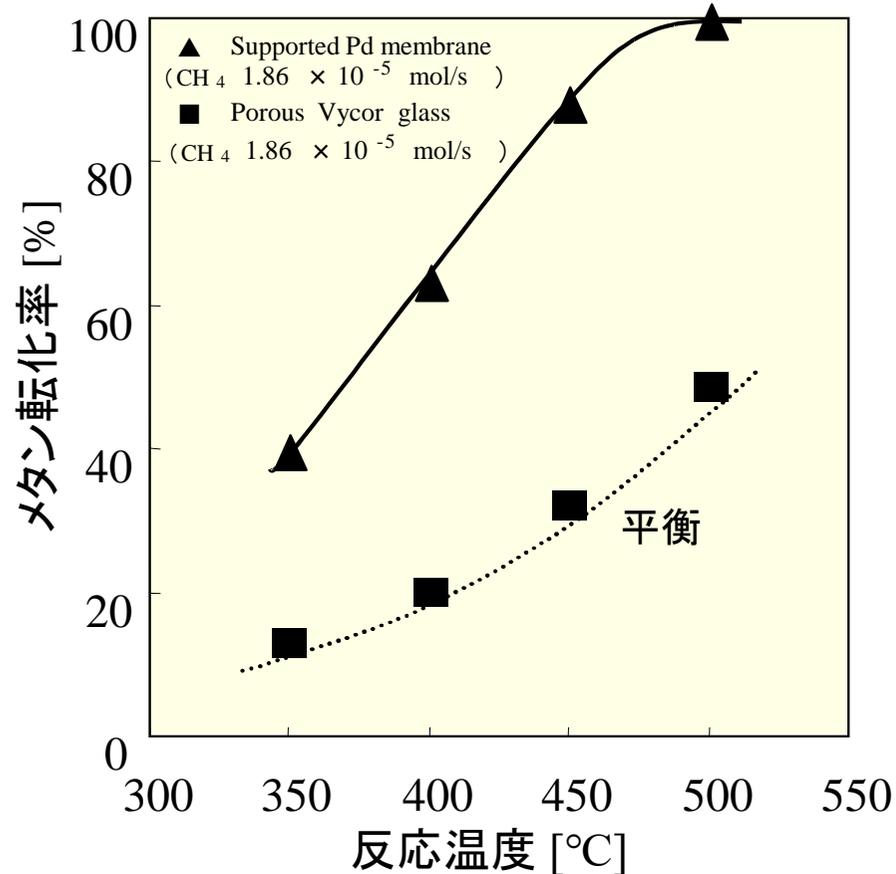
大きな吸熱反応
熱力学的には
高温が必要



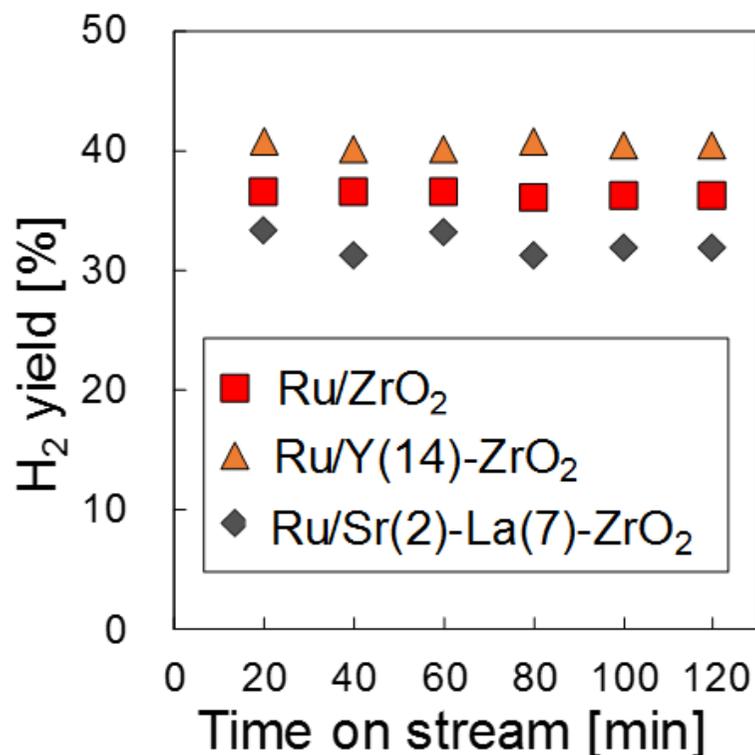
Henry Louis le Chatelier,
1850年10月8日 - 1936年9月17日
フランスの化学者

膜反応器を用いたメタンからの水素製造

触媒: SNG(高Ni担持量)



膜反応器を用いたメタンドライリホーミング



Dry reforming



Reverse shift reaction (side reaction)



水素製造、合成ガス(CO+H₂)製造
(合成ガスからさまざまな化学品が製造できる。)

反応温度を下げるために、膜反応器に適した新規な触媒を開発している。

Catalyst	Temp. [°C]	H ₂ yield [%]		H ₂ /CO [-]		H ₂ removal rate [%]
		CR	MR	CR	MR	
Ru/Y ₂ O ₃ (14 wt%)-ZrO ₂	500	13.5	40.4	0.630	1.27	90.6
Ru/SrO(2 wt%)-La ₂ O ₃ (7 wt%)-ZrO ₂	500	-	32.2	-	1.20	81.6
Ru/ZrO ₂	500	10.3	36.3	0.638	1.19	88.2
Equilibrium yield	500	10.6	-	0.556	-	-

アンモニア分解：分離膜の影響

水素透過性能 (500 °C)

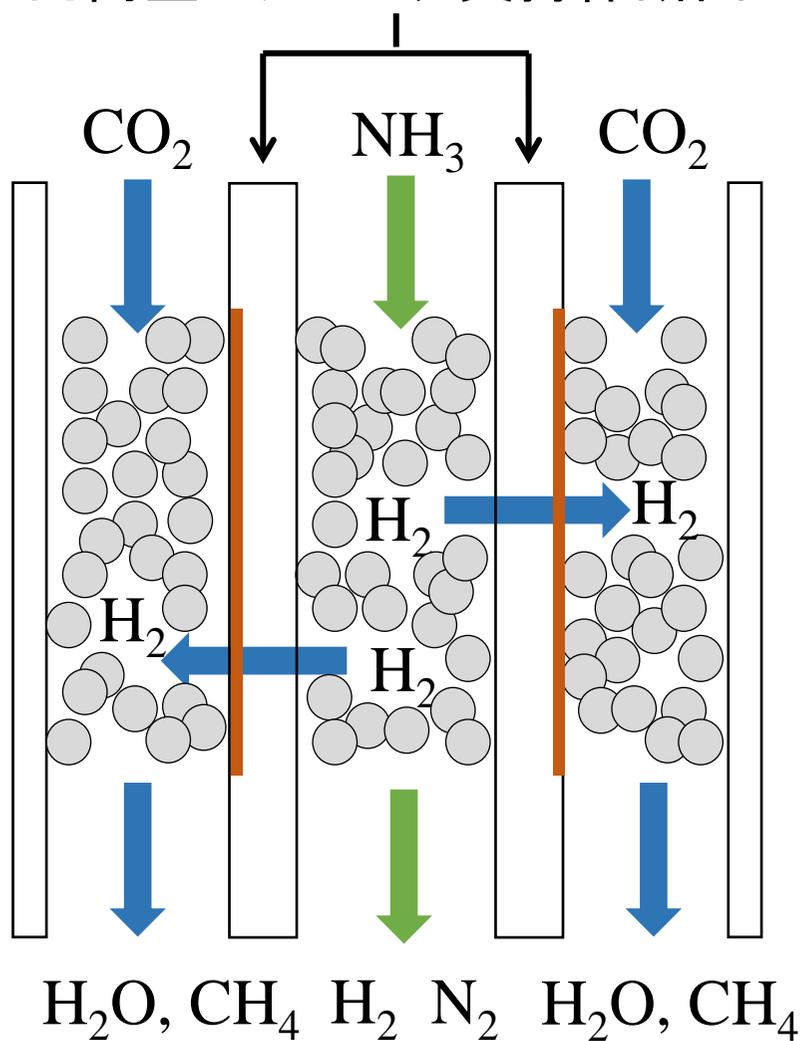
Pd膜 (10) : 0.153 [mol m⁻² s⁻¹]

シリカ膜 : 0.021 [mol m⁻² s⁻¹] (H₂/N₂, 470)

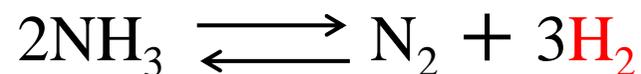
	水素収率 [%]	水素除去率 [%]	供給側出口 水素分圧 [MPa]	透過側出口 水素分圧 [MPa]
Pd膜	98.2	62.5	0.028	0.012
シリカ膜	89.4	19.8	0.043	0.004

反応器内概略図(並流方式)

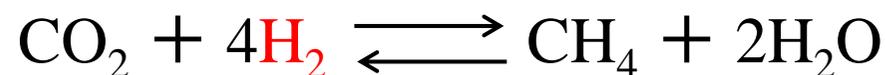
円筒型 α -アルミナ支持体断面



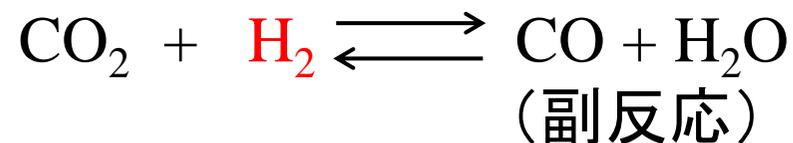
アンモニア分解



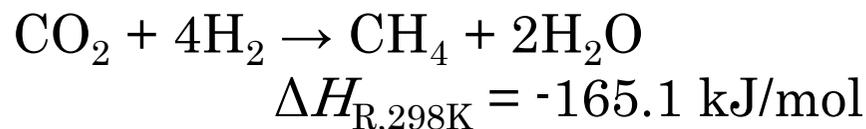
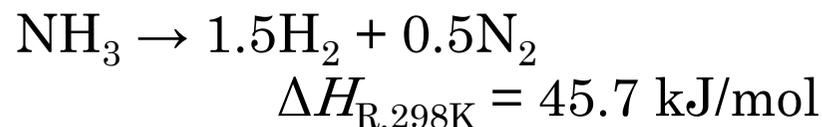
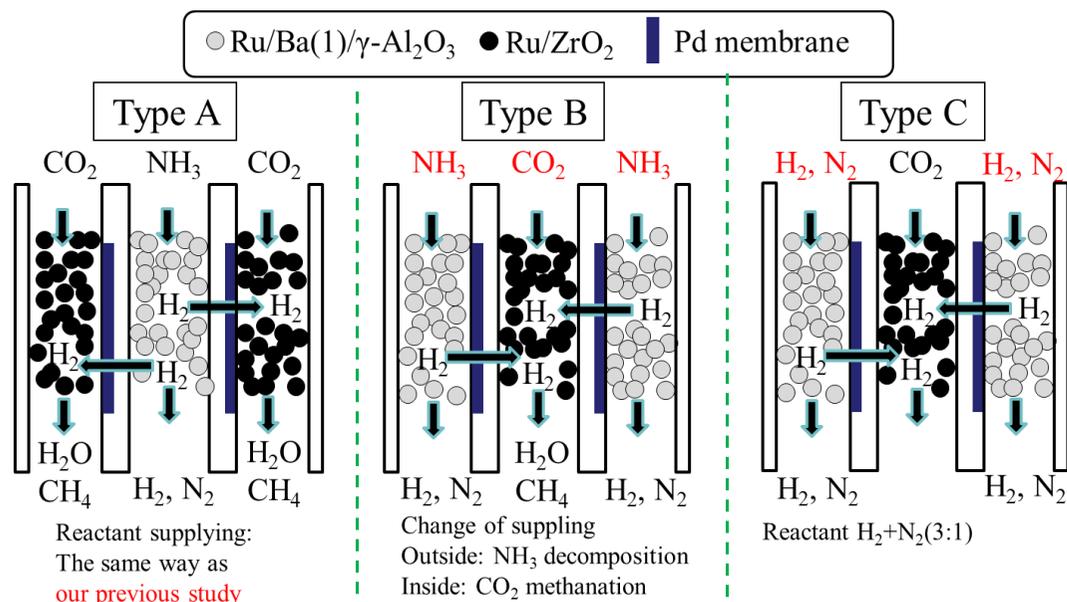
CO₂メタン化



シフト反応



アンモニア分解水素によるCO₂のメタン化



アンモニアのエネルギーをインフラの整ったメタンとして利用
 メタン化が発熱反応であるため、熱をアンモニア分解に利用

	Type	A*	A	B	C
Feed	External	CO ₂	CO ₂	NH ₃	<u>3/2H₂+ 1/2N₂</u>
	Internal	NH ₃	NH ₃	CO ₂	CO ₂
NH ₃ conversion [%]		52.6	57.1	69.7	(100)
CO ₂ conversion [%]		37.1	44.0	54.2	77.8
CH ₄ selectivity [%]		98.4	98.9	98.3	98.5
H ₂ removal rate [%]		83.8	87.8	86.4	87.1
Permeation H ₂ efficiency [%]		87.6	90.9	88.6	89.3

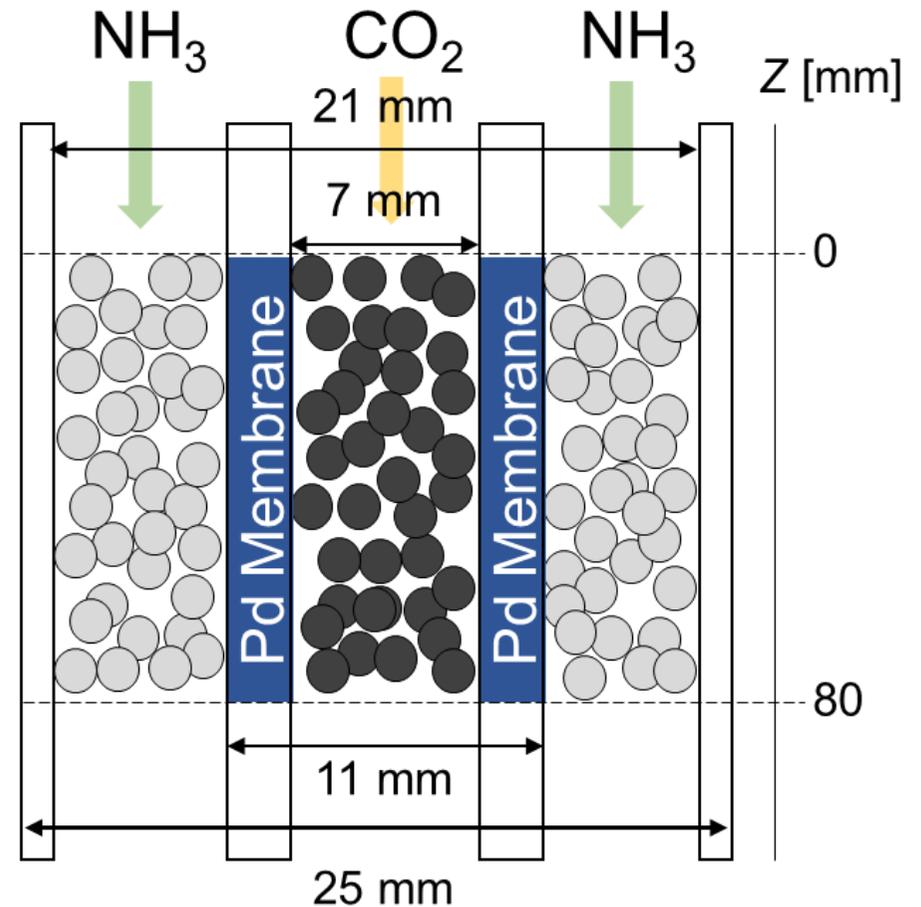
複合化反応シミュレーション条件

【前提条件】

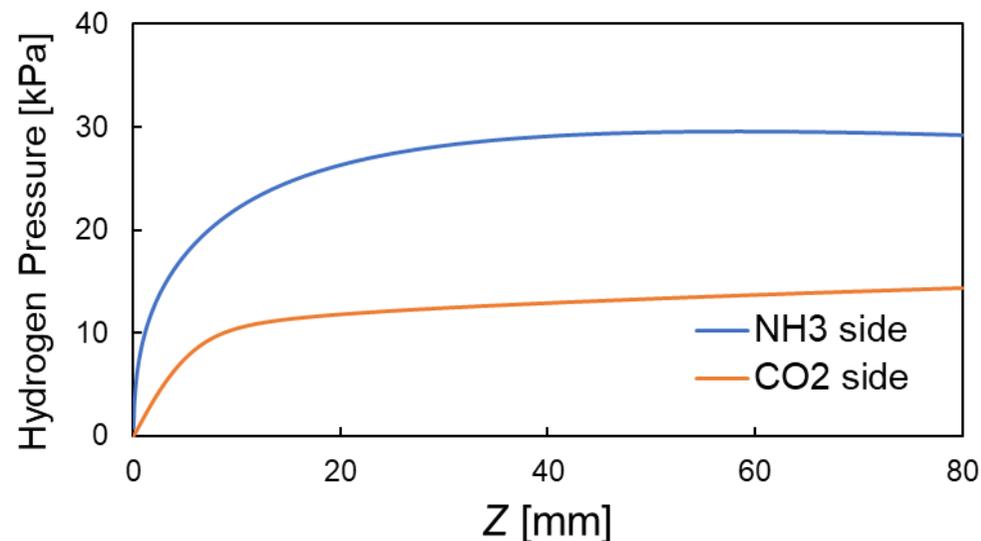
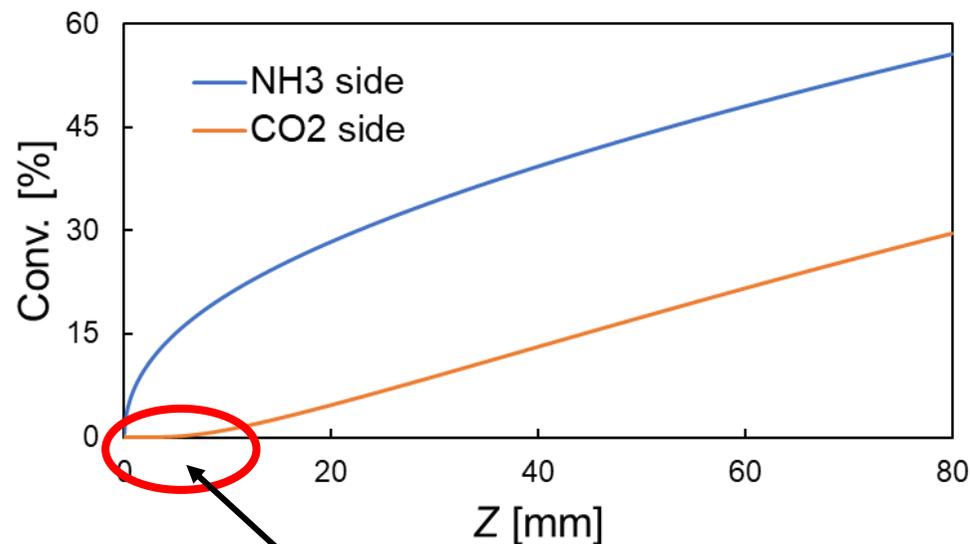
- Flex PDE(ver. 7.20)を使用
- 定常状態
- 理想気体
- 押し出し流れ
- 一次元モデル解析
- 反応は主反応のみ

【基準条件】

Inside catalyst weight : 1.5 g
Outside catalyst weight : 10 g
NH₃ flow rate : 40 ml-stp/min
CO₂ flow rate : 15 ml-stp/min
Temperature : 673 K
 U_1 : 88.2 W/m²/K
 U_2 : 566.9 W/m²/K
 J : 1.71×10^{-4} mol/m²/s/Pa^{0.5}



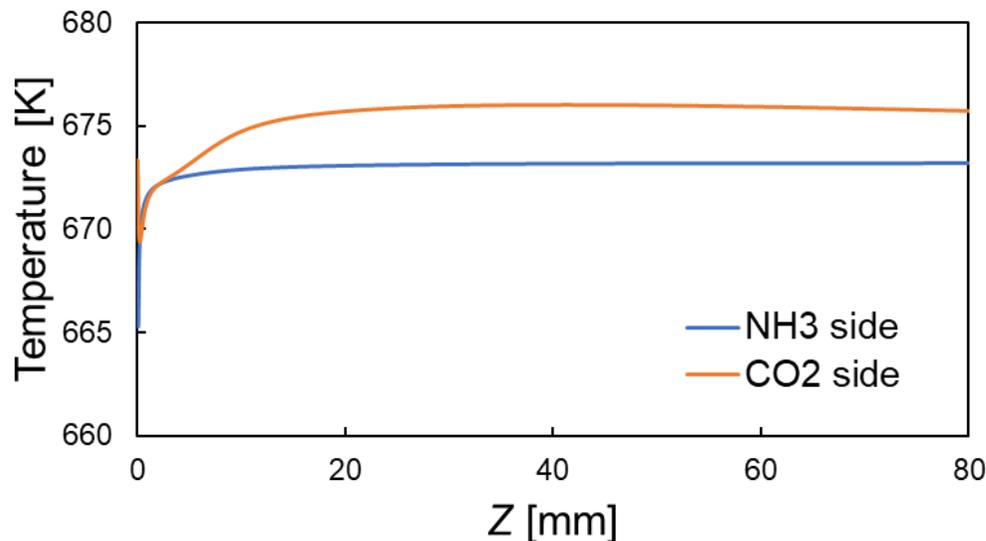
複合化反応シミュレーション結果



ガス入口付近のCO₂転化率が低い

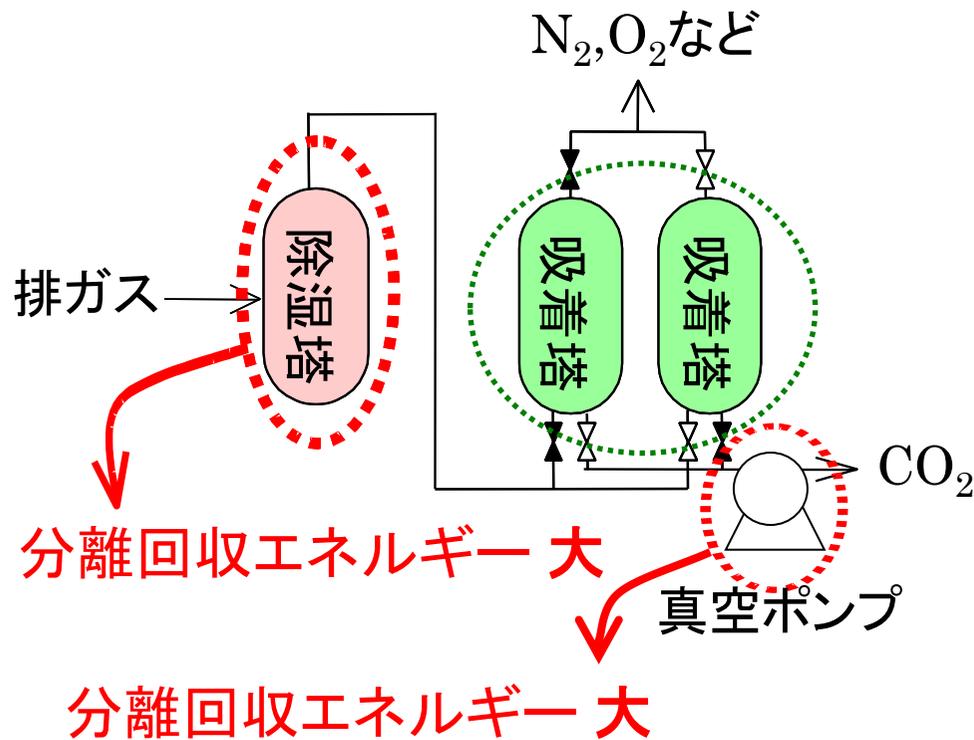
この結果を基準として評価を行う

触媒層入口付近の触媒が有効
に使われていない



ゼオライトを用いた二酸化炭素吸着分離

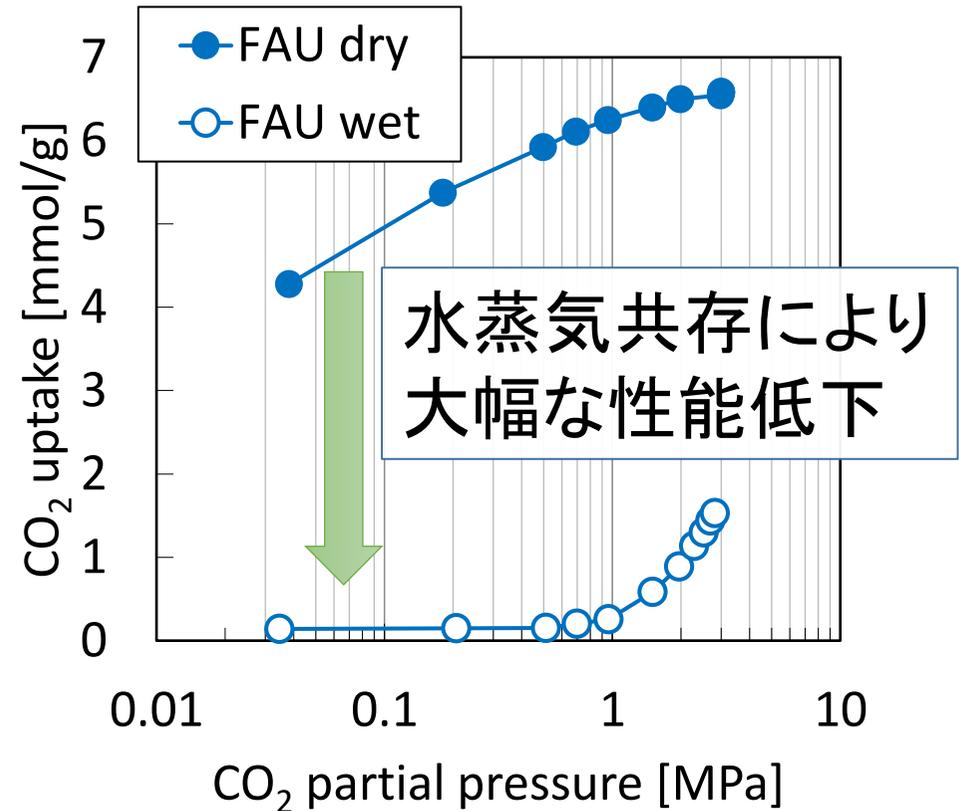
従来法PSA(常圧燃焼排ガス)



吸着剤: ゼオライト13X, 5A
(低Si/Alゼオライト, 親水的)

➡ 水蒸気により CO_2 吸着量が大幅に低下

13Xの CO_2 吸着等温線



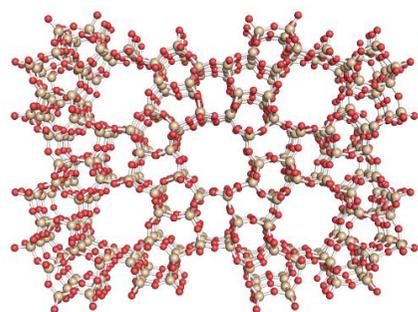
除湿塔省略による省エネルギー
高压ガス適用による動力削減

➡ 大幅な分離回収エネルギーの低減可能

ゼオライトの微細構造制御による吸着制御

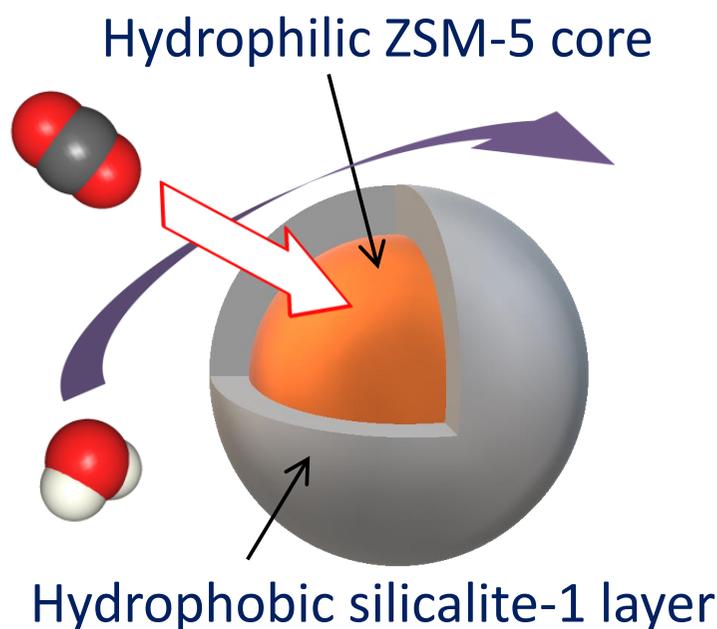
ゼオライトの微細構造制御 (Core-shell構造化)

- Al含有ゼオライト (Core) を同じ結晶構造の純シリカゼオライトで被覆
- **結晶外表面の疎水化**



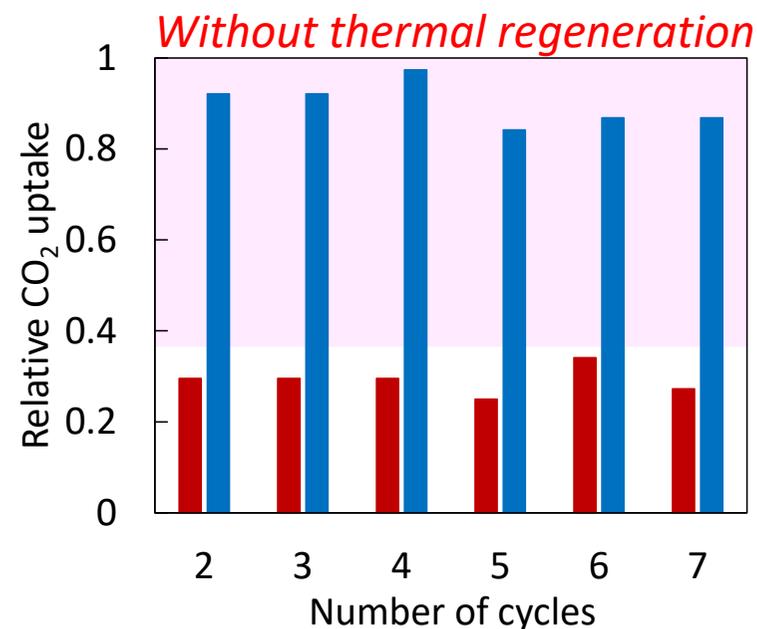
MFI型ゼオライト

- 細孔径: 約5.6Å
- Si/Al: 10~∞
- ゼオライトの中では細孔容積小さい



CO₂吸脱着サイクル試験

(CO₂ / N₂ = 15 / 85、P_{H₂O} = 3.16 kPa)



Core-shell構造化により水蒸気共存下でも安定したCO₂吸着性能を発現

ChemSusChem 2018, 11, 1756-1760

今後の課題

1 地域課題の解決

- カーボンニュートラルに向けた技術導入の助言・共同研究

(脱炭素・環境エネルギー研究連携支援センター、地域環境変動適応研究センターと連携：**技術シーズの紹介可能**)

2 ゼロカーボンキャンパス

- 再エネ導入拡大に伴う電力のEV活用による輸送・貯蔵、自立エネルギーシステムの構築（岐阜大学内で実証に向けて基盤技術開発とスケールアップの課題抽出中）

3 カーボンニュートラルエネルギーシステム

- Cを含まない燃料(ブルー・グリーンH₂, NH₃など)利用技術の高効率化(**反応分離：触媒、分離材料**)
- CO₂回収・CO₂転換による化学原料合成(**分離材料、触媒**)