

大気中 CO₂ を利用可能な統合化固定・反応系 (quad-C system) の開発

発表者：岡田 治（株式会社ルネッサンス・エナジー・リサーチ）

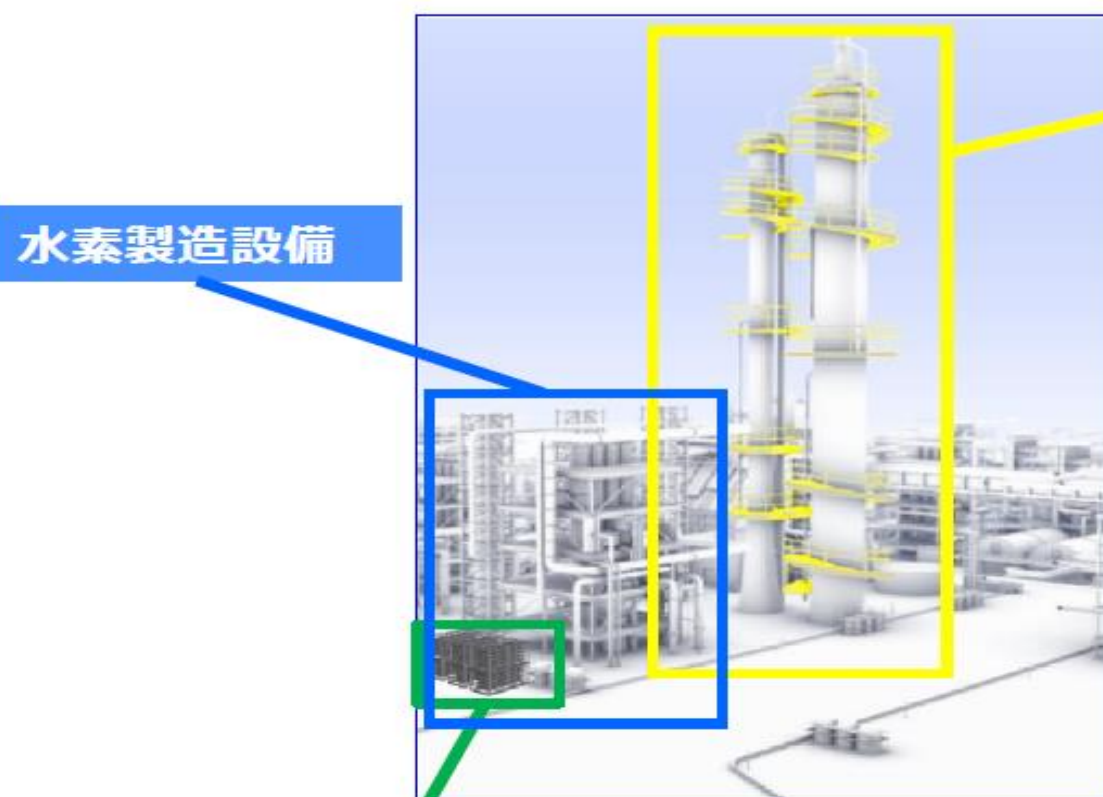
PM：福島 康裕

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

既存脱炭酸プロセスの問題

火力発電プラントおよび水素製造プラントにおけるCO₂分離・回収設備



水素製造設備

CO₂分離・回収設備
(化学吸収法)

発電設備

水素製造プラントの
レイアウト

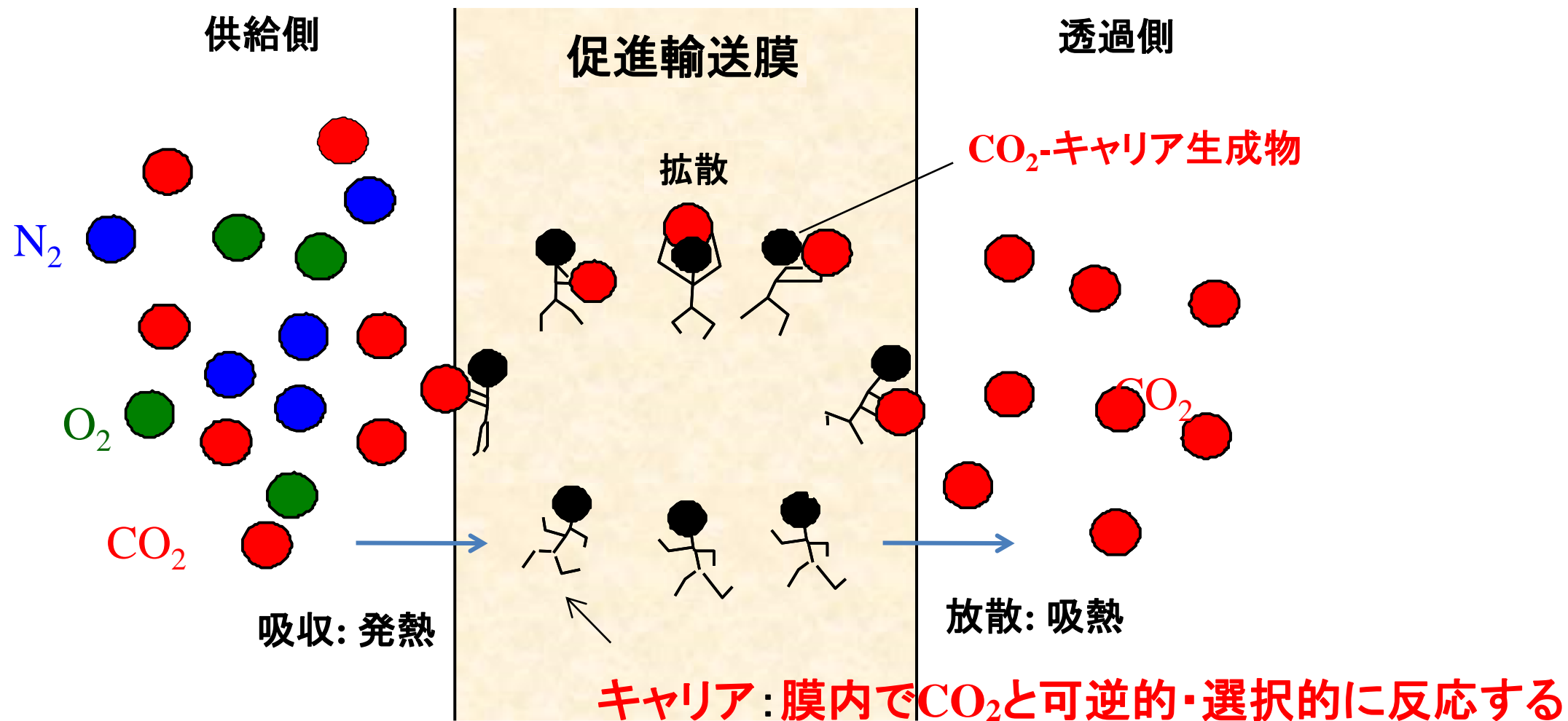


CCS付火力発電プラントのレイアウト
World Future Energy Summit 2010(アブダビ)
MASDAR(アブダビ政府のクリーン・新エネルギーPJ)の展示より

CO₂膜分離装置
(開発中：適用予想図)

既存のCO₂分離・回収技術は非常に高価で大きな設備が必要でエネルギー多消費型

DACの様に、空気中400ppmの希薄なCO₂の分離・回収に適用するとさらに大型化し、コスト、サイズ、エネルギー消費とともに問題が大きく適用困難



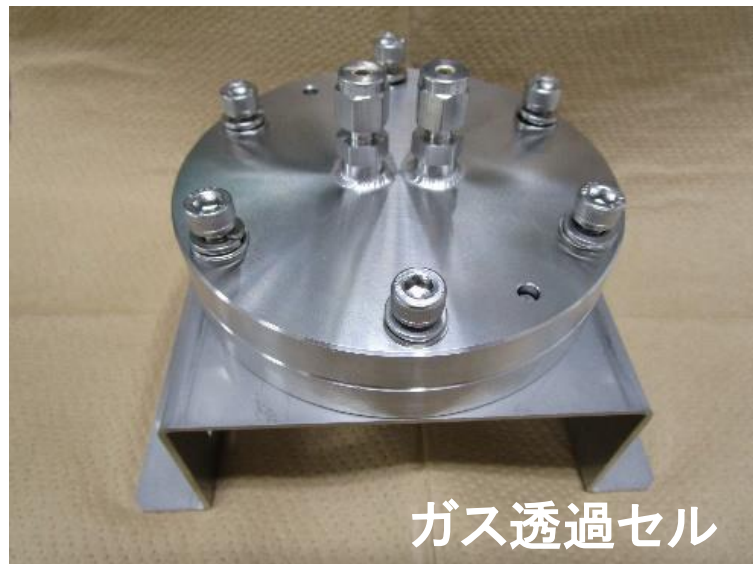
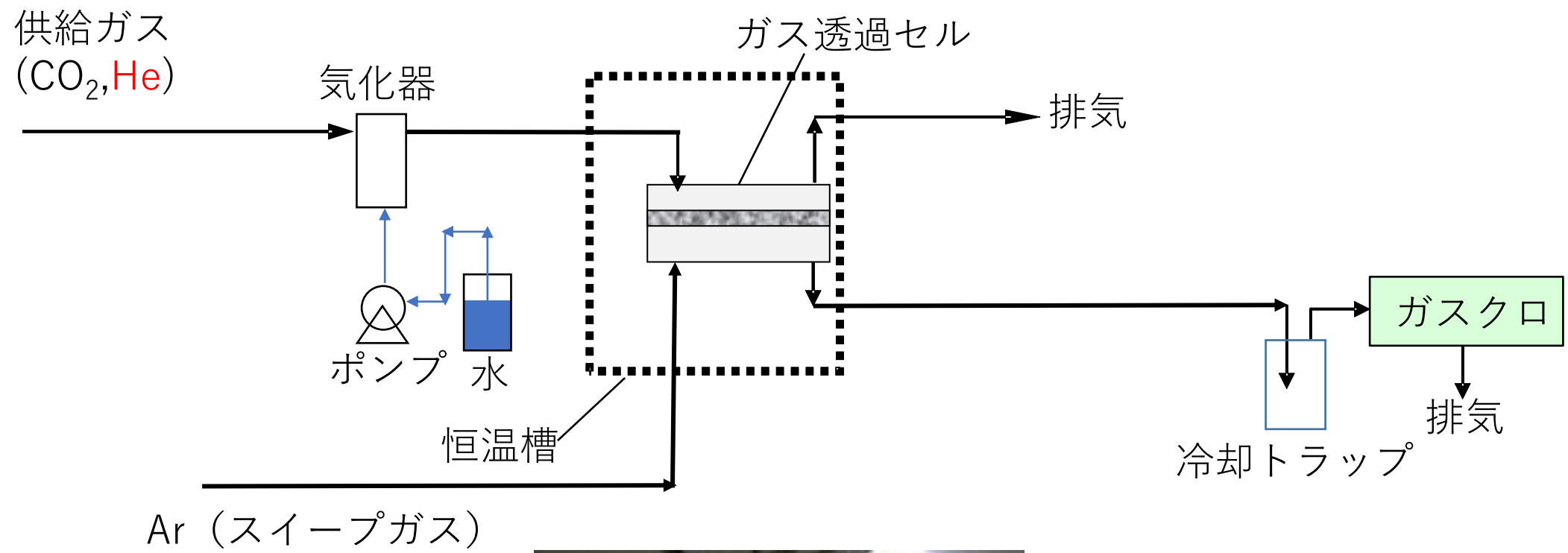
CO₂の放散に必要なエネルギーがキャリアへのCO₂吸収の際発生するエネルギーでまかなえる



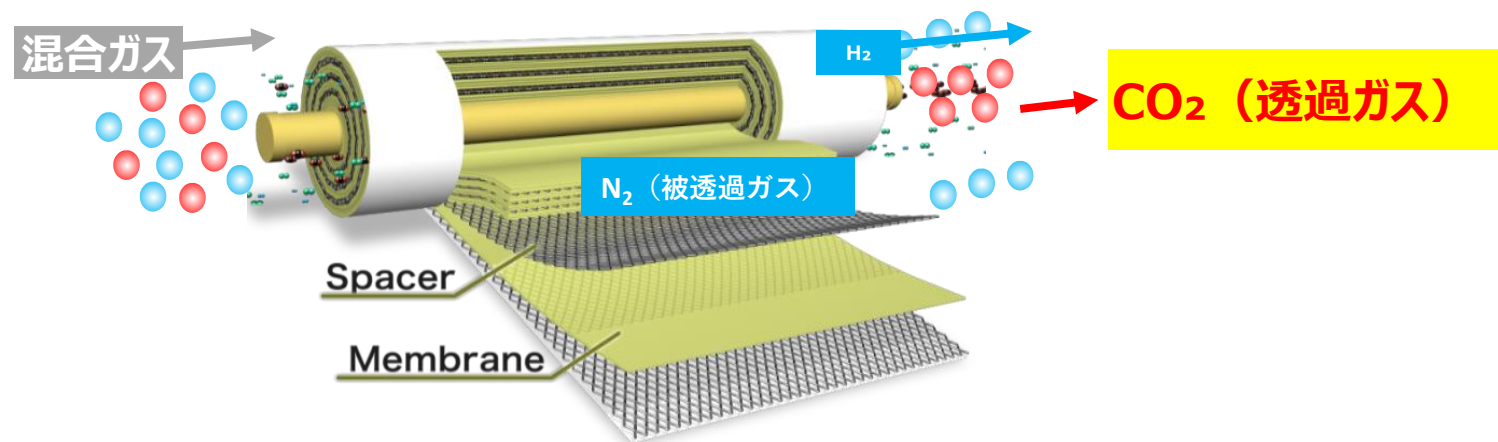
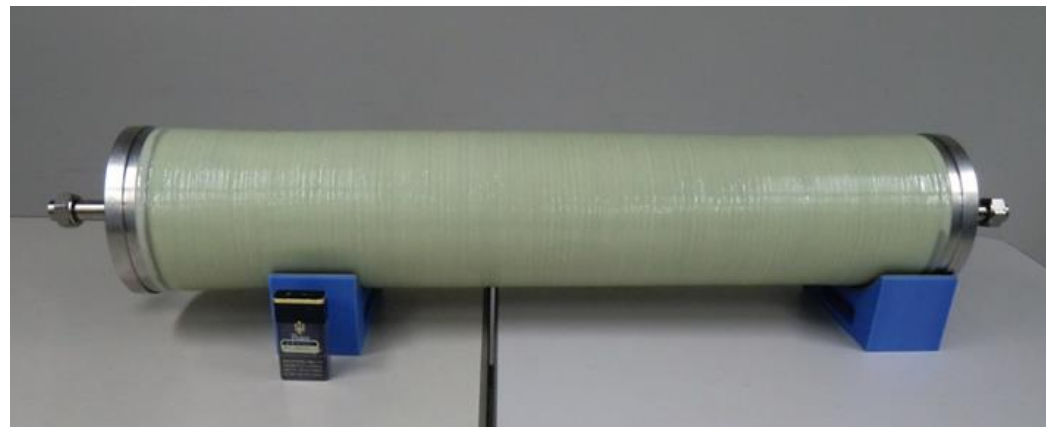
エネルギー消費しない

- CO₂ はキャリアと選択的に反応して膜を高速で透過する（**促進輸送機構**）
- O₂, N₂は膜に溶解して透過する（**溶解拡散機構**）ので速度が遅くCO₂選択性が大
- 従来技術（化学吸収法・吸着法）と比較して**省エネルギーでコンパクト**

膜性能評価装置



現状バイオガス用等で実用化しているモジュールはスパイラル型。
中空糸型（外径1mm程度筒状の多孔質膜上に分離機能層を形成）にする事で、
モジュール容積当たりの膜面積を大幅に増大させることが可能。

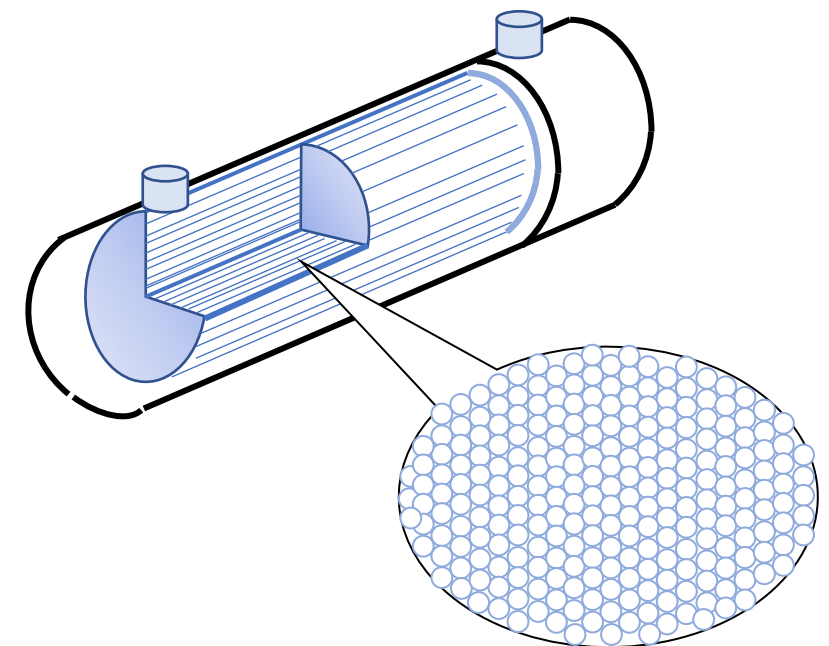


スパイラル型モジュール

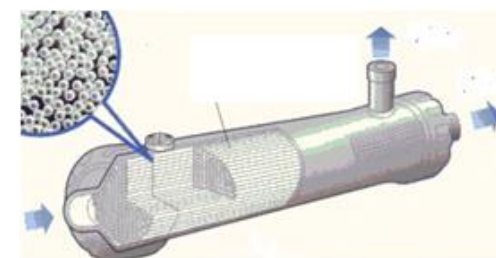
現状世界最大級の促進輸送膜 8インチモジュール



外寸 $\phi 200 \times 1000$ L
膜面積 30.0m²



中空糸型モジュール



外寸 $\phi 300 \times 2000$ L
膜面積 350m²

■最終目標（2029年度）

LCA（ライフサイクルアセスメント）とTEA（技術経済性分析）に基づいて設定した性能をクリアする**パイロットレベルのquad-C用CO₂分離膜モジュール**を開発する。

■開発項目

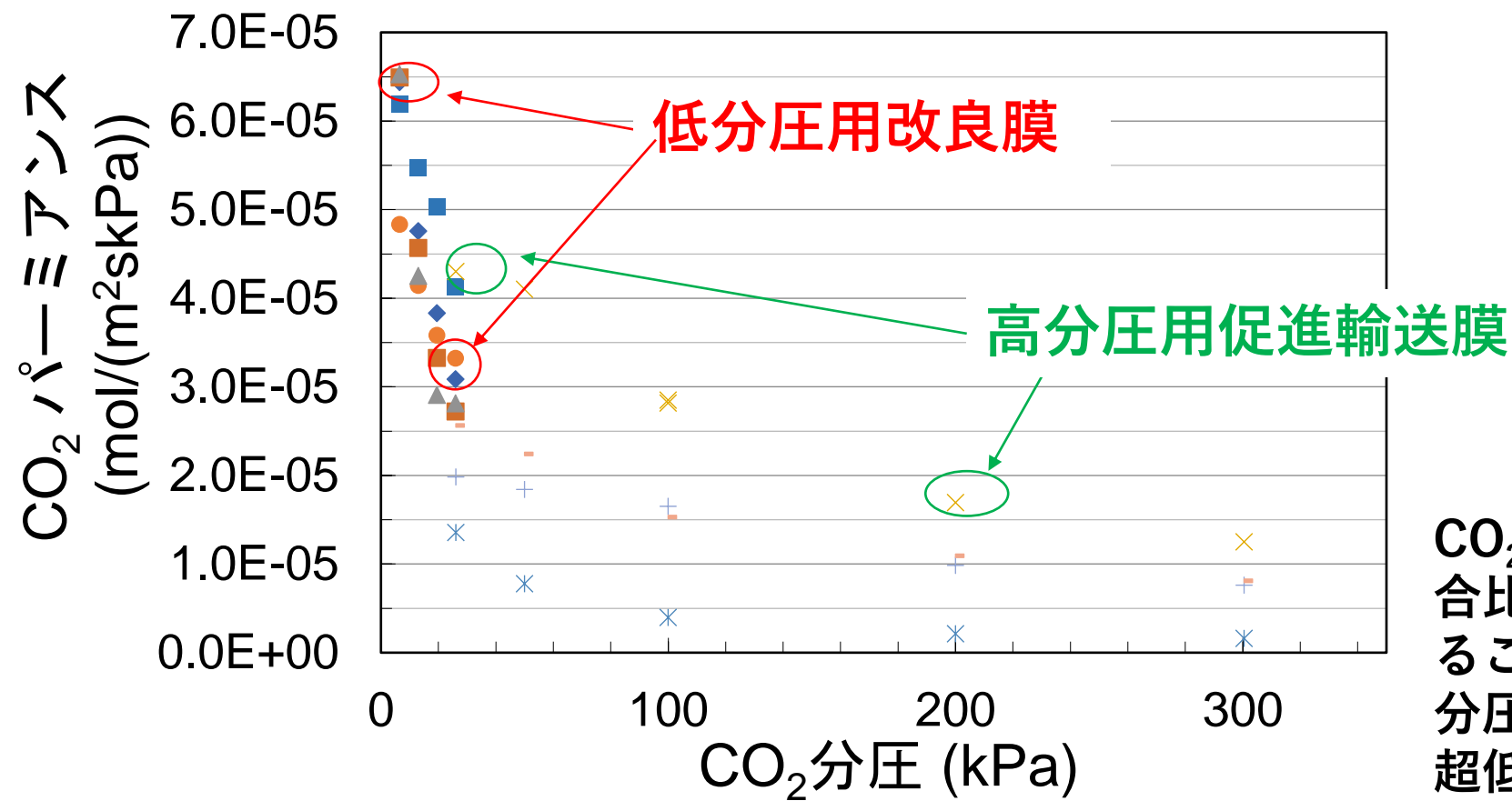
①DAC対応高性能CO₂選択透過膜の開発

（RERが担当、膜材料の改良・最適化の基礎データは東北大：渡邊研）

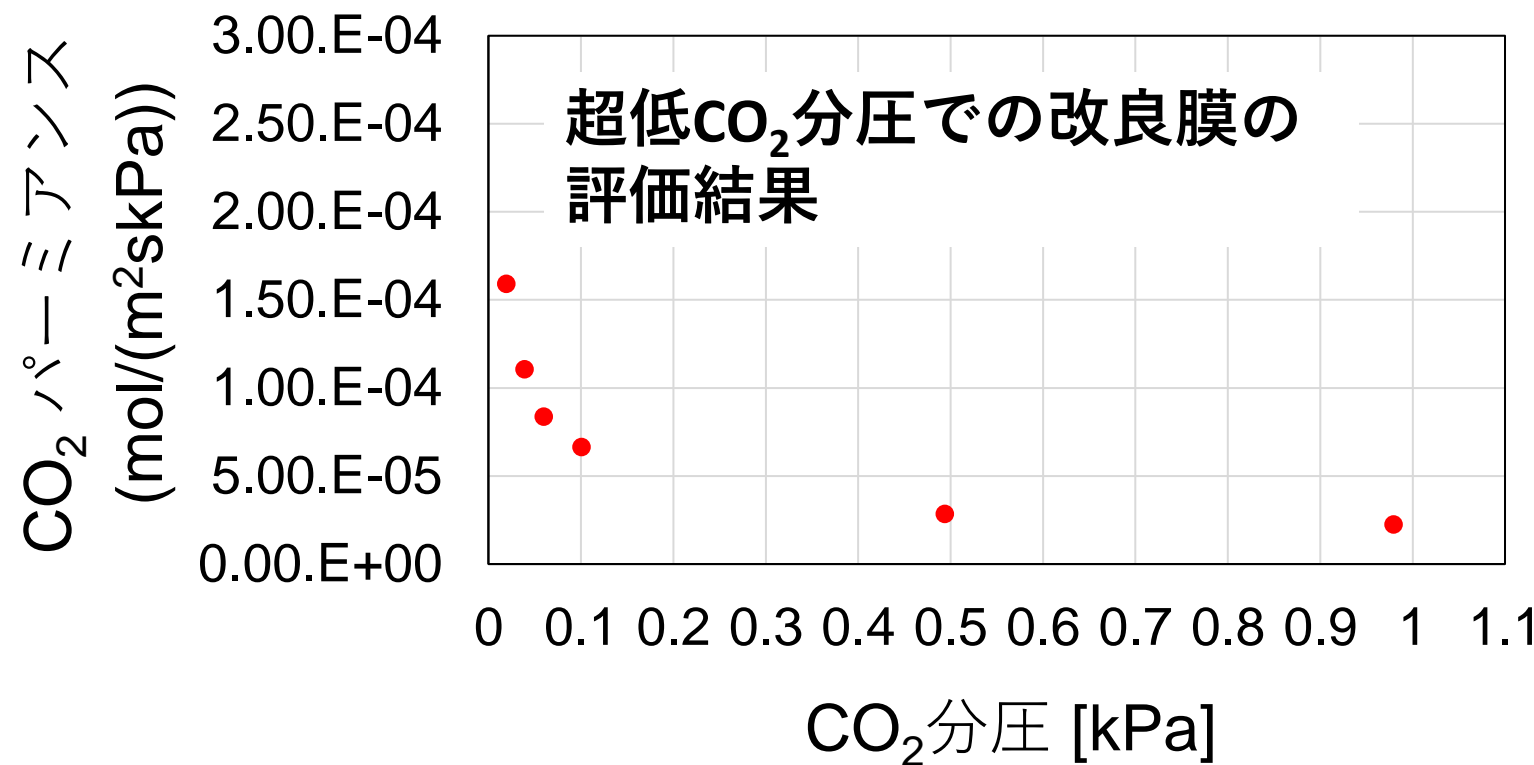
②高効率分離膜モジュールの開発

③DAC対応CO₂反応分離プロセスの開発

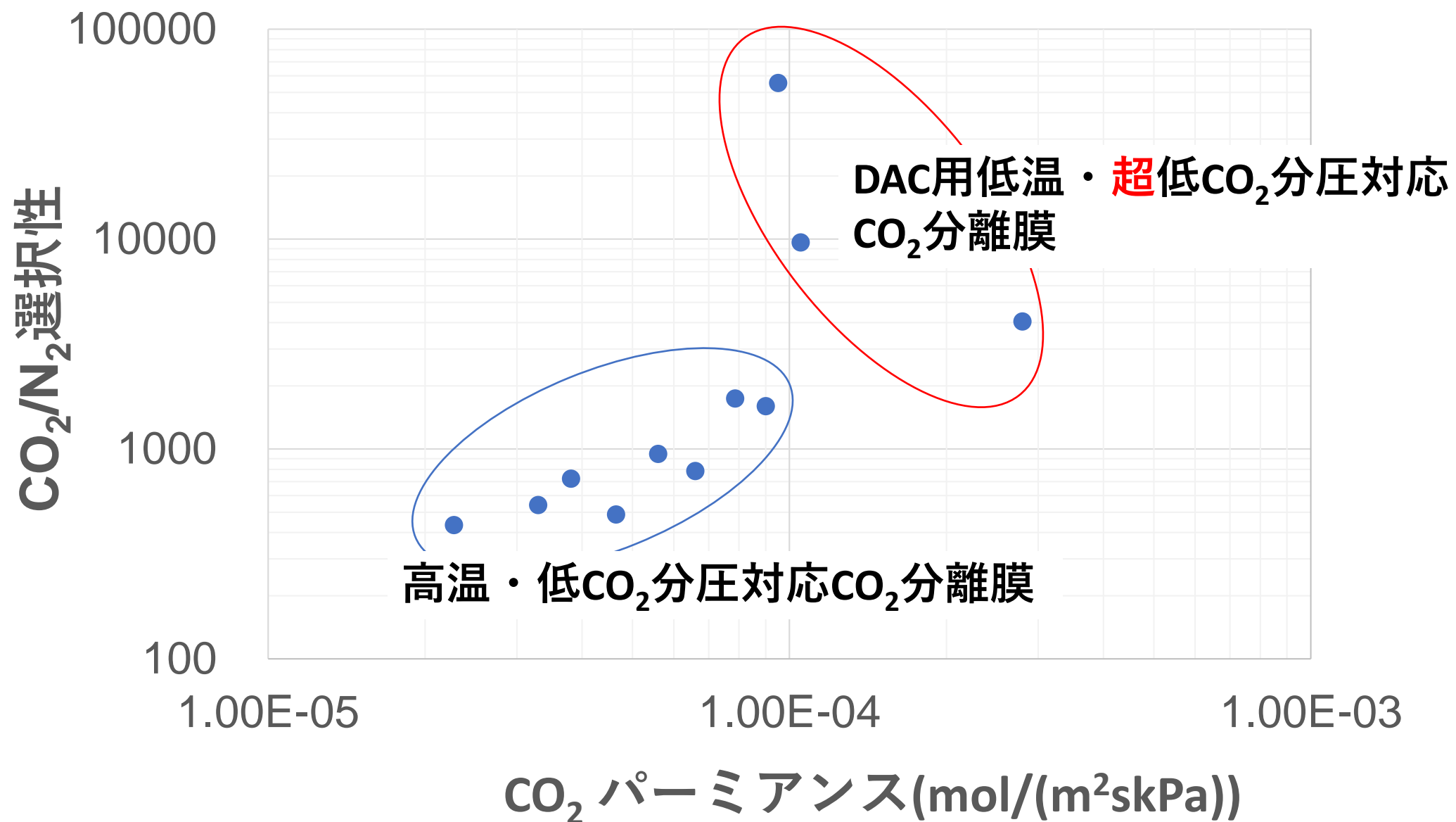
（RERが担当、透過側でCO₂との反応を行わせるメンブレンリアクターの基礎データは東北大：渡邊研）

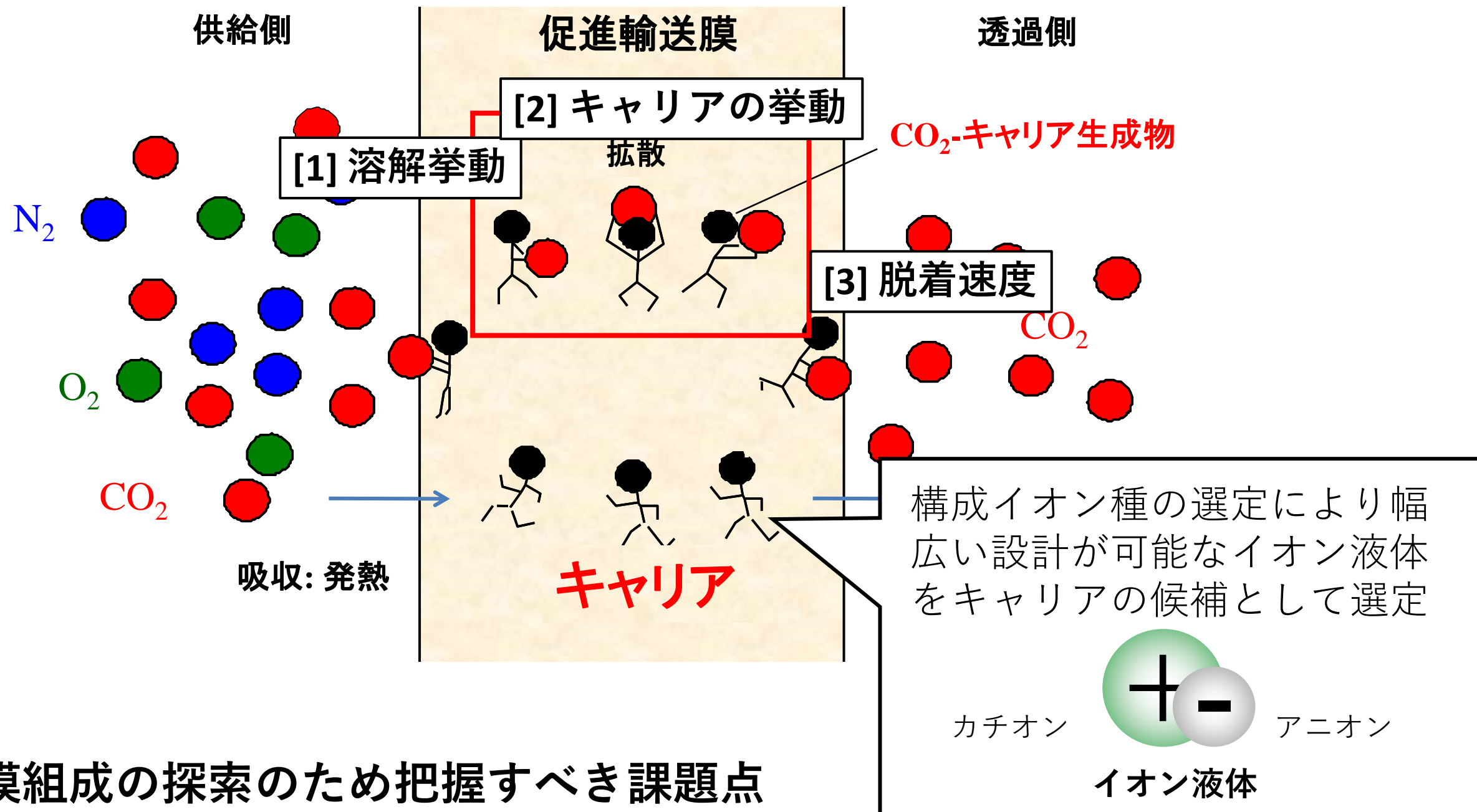


CO₂キャリア・添加物の種類、配合比によりCO₂分圧依存性が異なることに着目し、DACの超低CO₂分圧条件での性能向上検討を実施。超低CO₂分圧領域で優れた性能を持つ膜の試作に成功。



縦軸にCO₂/N₂選択性, 横軸にCO₂パーミアンスとしてプロットした各種膜の性能
 (DAC用開発前の高温・低CO₂分圧用の膜とDAC用の低温・**超低**CO₂分圧用の膜との比較)





• 最適膜組成の探索のため把握すべき課題点

- [1] CO₂溶解挙動 (CO₂溶解度, 溶解における拡散、溶液粘度)
- [2] キャリアの挙動の把握 (CO₂-キャリア生成物の同定: 量子化学計算との整合)
- [3] 透過側におけるCO₂脱着速度

⇒ **基礎物性と動的挙動の詳細な把握に基づく最適膜組成探索**

① 新規Raman測定装置：

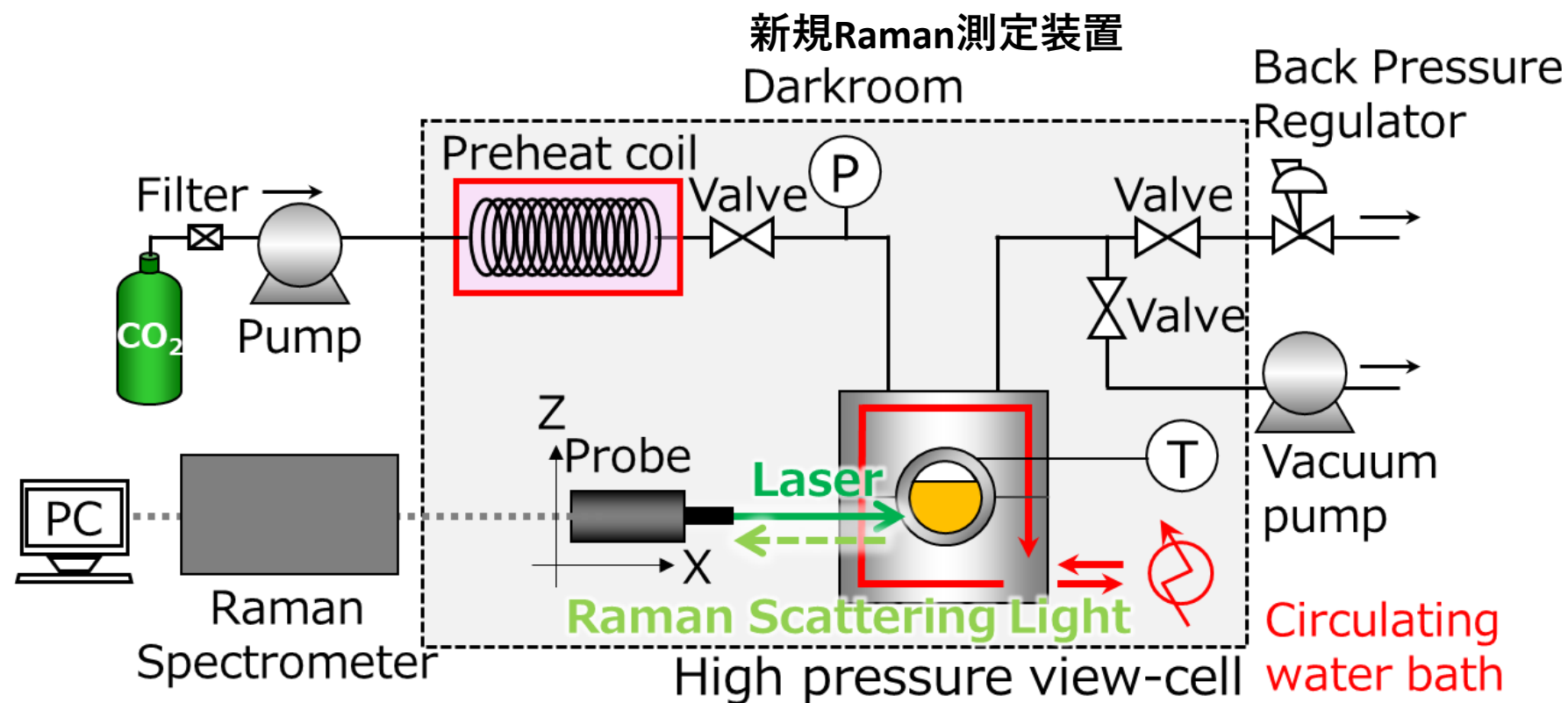
- ✓ 液膜特性の直接分析
- ✓ 量子化学計算との連携

② CO₂共存下の粘度測定：

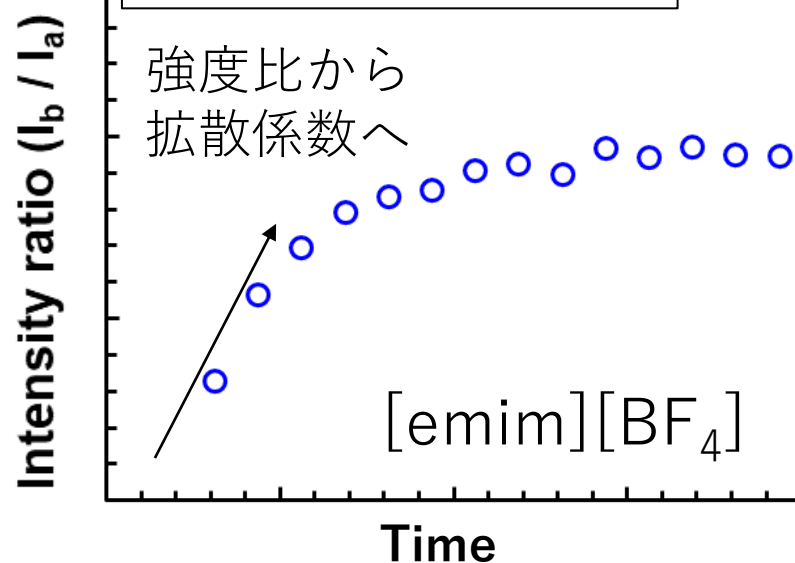
- ✓ キャリア-CO₂生成物の粘性把握
- ✓ 輸送速度に関係

③ 数値計算による網羅的解析

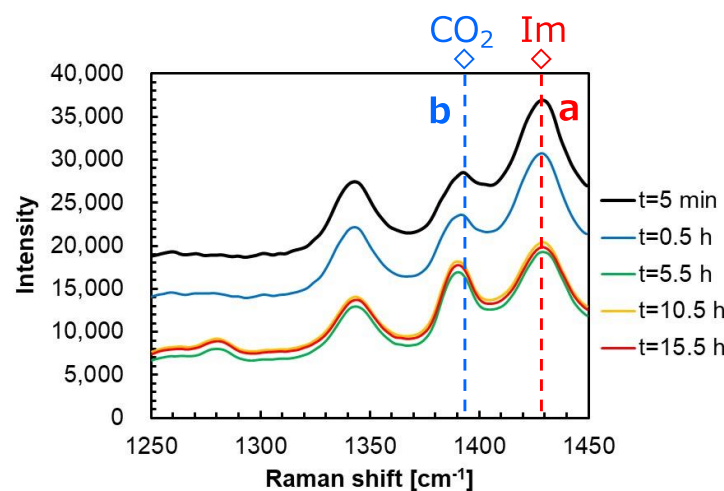
- ✓ 相平衡
- ✓ 量子化学計算
- ✓ AI探索



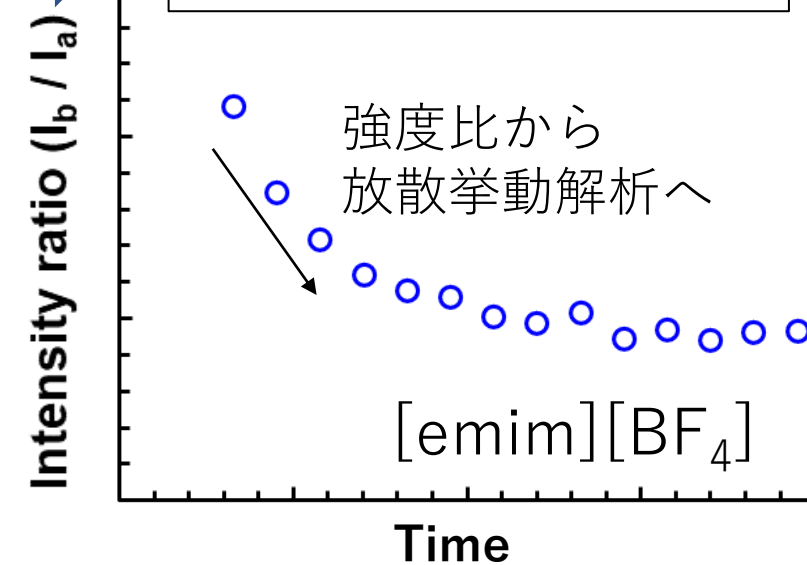
[1] 溶解挙動： 拡散挙動との関係



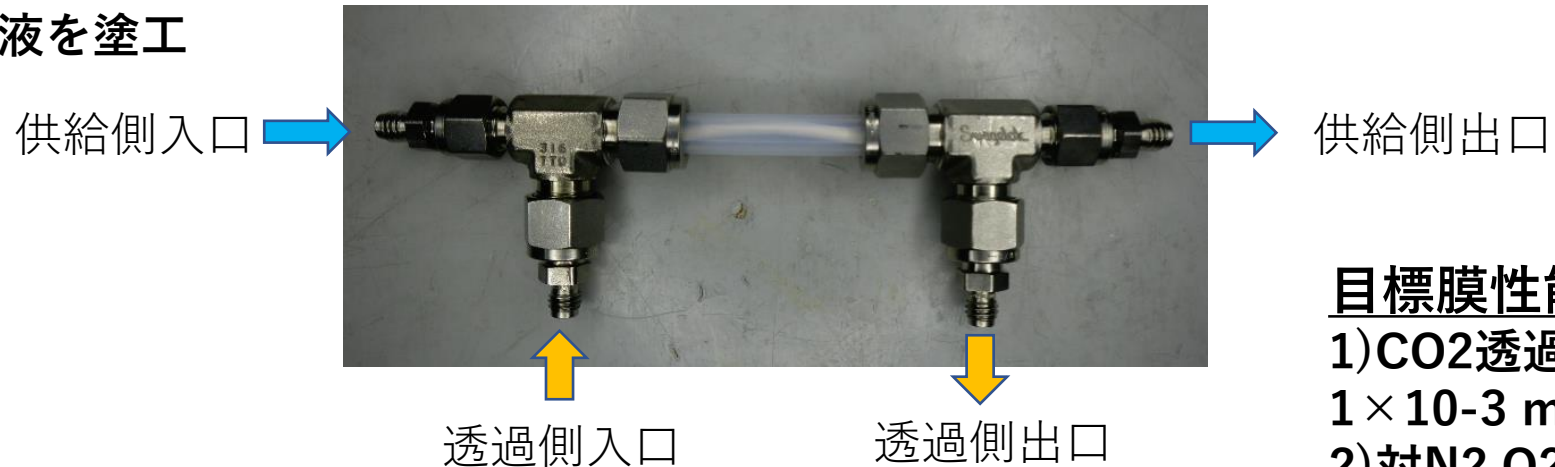
[2] キャリアの挙動： スペクトルの同定



[3] 脱着挙動： 放散挙動の直接測定



多孔質チューブの内側に製膜液を塗工



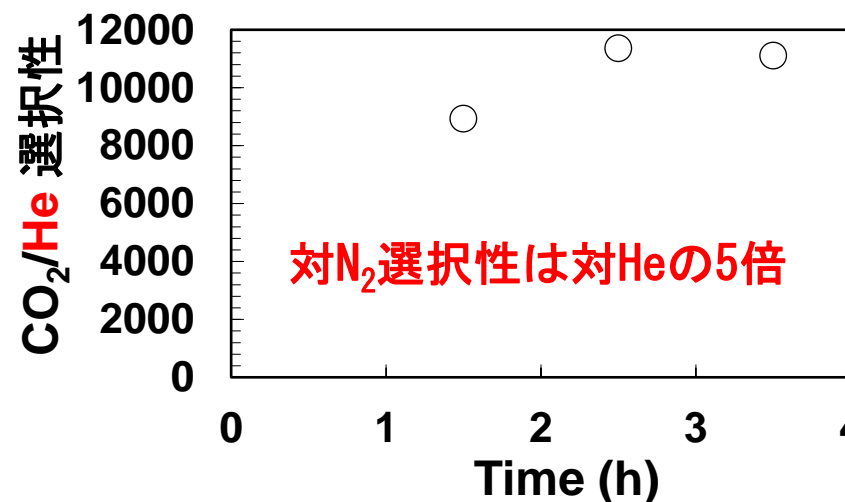
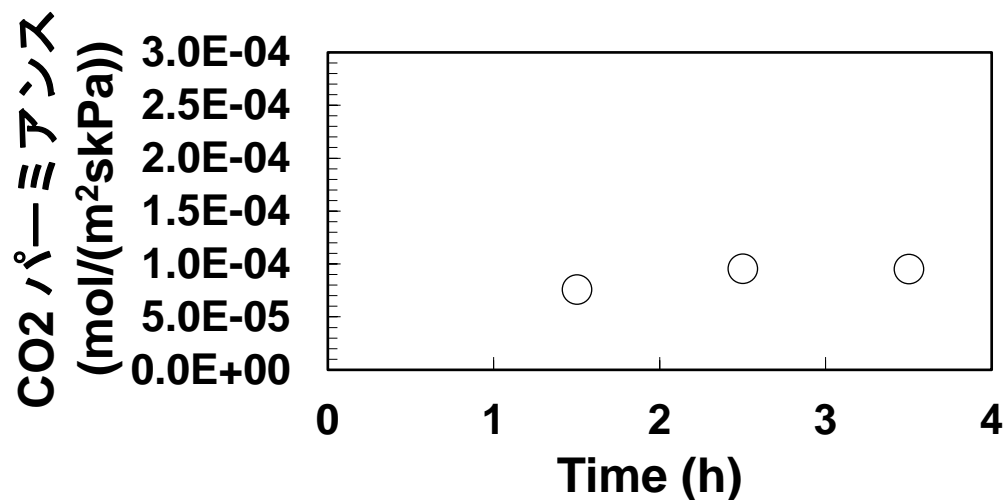
■ 評価条件

CO₂ 400ppm, 温度：27°C

目標膜性能

- 1) CO₂透過速度 (Permeance): $1 \times 10^{-3} \text{ mol/m}^2\text{skPa}$ 以上
- 2) 対N₂, O₂選択性: 20,000以上

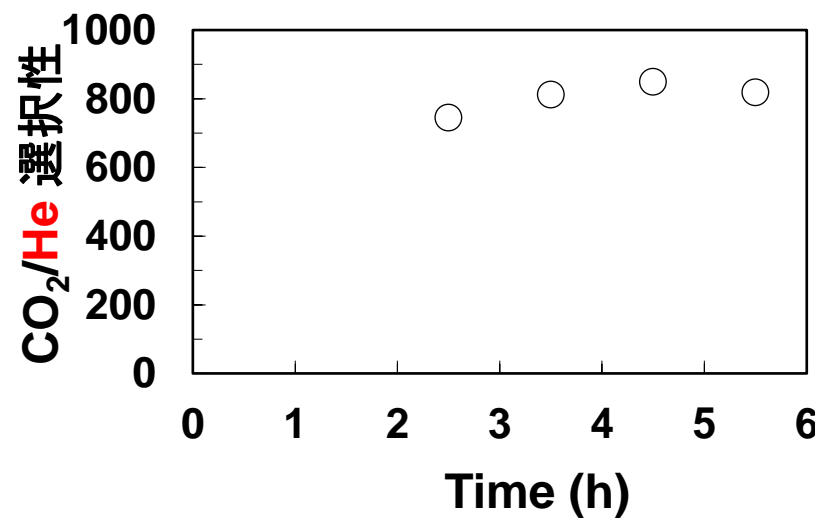
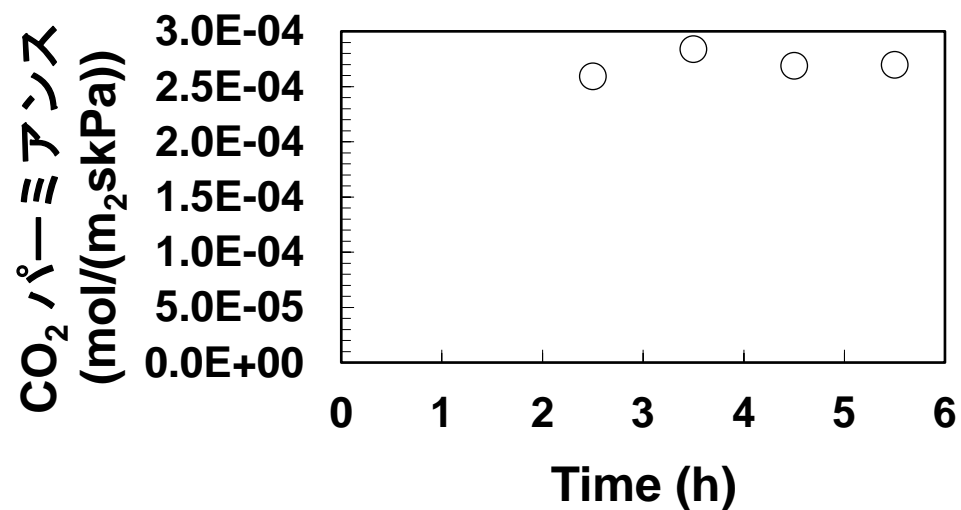
・ 外径3mm, 内径2mmの多孔質チューブを使用した膜



外径3mmの支持体の膜

CO₂透過速度：
 $9.5 \times 10^{-5} \text{ mol/m}^2\text{skPa}$,
 CO₂/N₂選択性：55,000

・ 外径1.2mm, 内径0.7mmの多孔質チューブを使用した膜

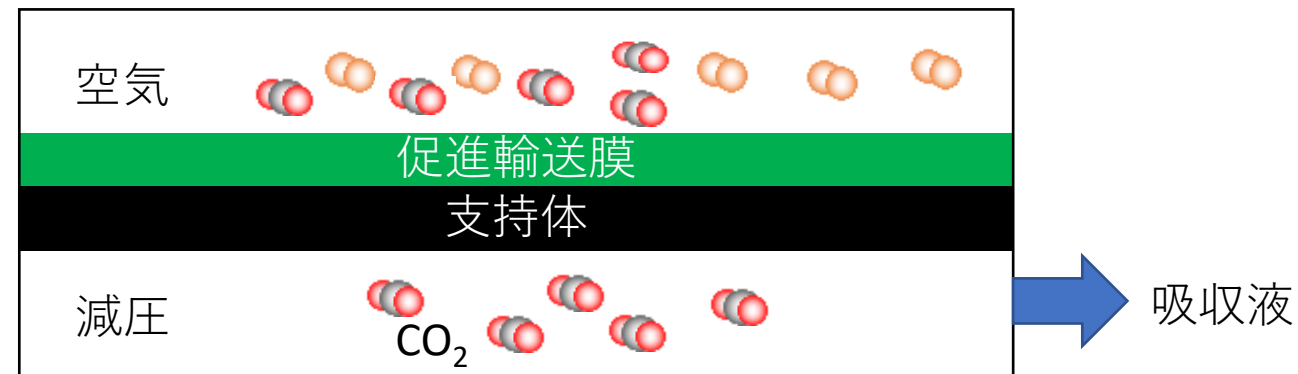


外径1.2mmの支持体の膜

CO₂透過速度：
 $2.7 \times 10^{-4} \text{ mol/m}^2\text{skPa}$,
 CO₂/N₂選択性：4,000

■気(空気)-膜-気(CO₂リッチガス)型

透過側を減圧することで透過のドライビングフォースであるCO₂分圧差を得る方式。実験的には減圧の代わりにArなどのスイープガスを透過側に供給して性能評価することが可能。



■気(空気)-膜-液(アミン+カルバミン酸)型

透過側でCO₂とエチレンジアミン (EDA) 等の化学原料を直接反応させ、エチレンジアミンカルバミン酸 (EDA-Ca) 等の有用化学品を製造。透過側をアミンにすることでアミンの揮発流失を防ぎつつ、透過側でのCO₂分圧をアミンとの反応により低下させてCO₂透過の駆動力を得ることを想定している。現在、高性能な膜の完成にあわせ、アミン溶液中での検討のための装置を構築し、その準備を進めている。

