

高性能CO₂分離膜モジュール



京都工芸繊維大学 繊維学系

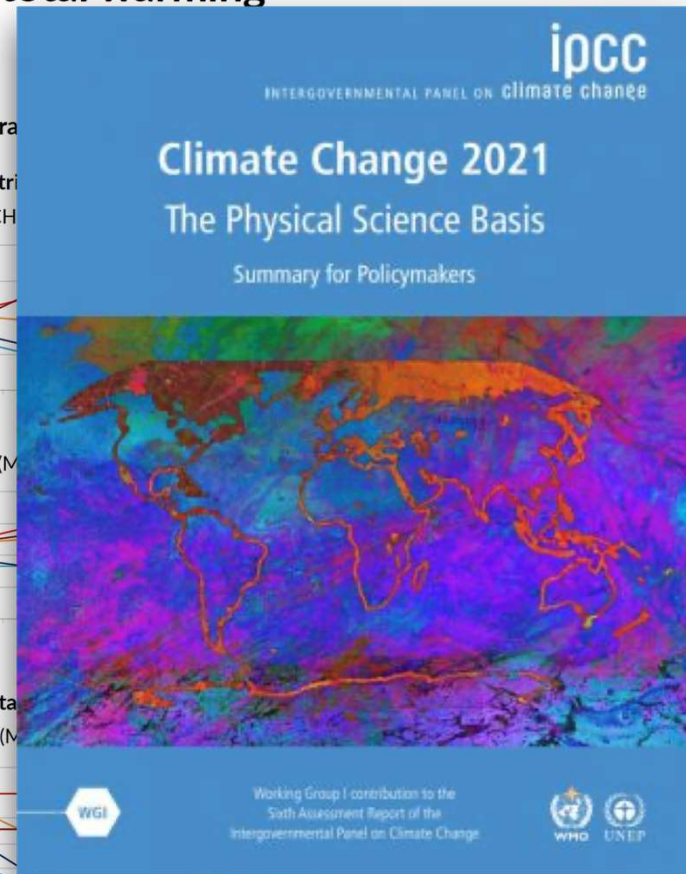
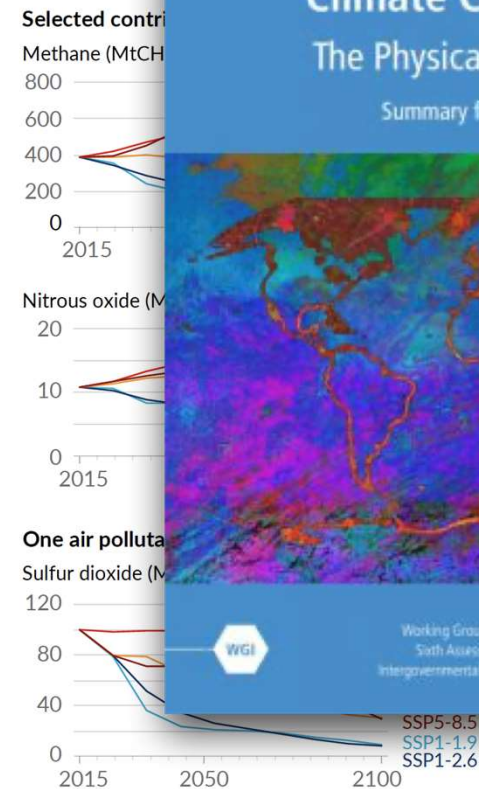
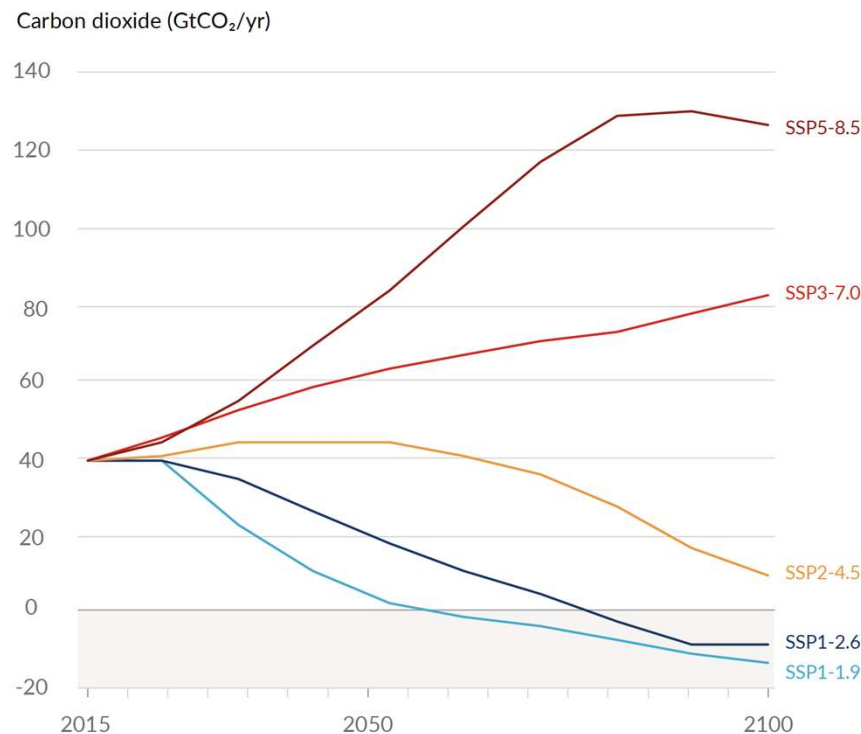
教授 谷口 育雄

地球温暖化および気候変動

人間の影響が大気、海洋及び陸域を温暖化
させてきたことには**疑う余地がない**。

Future emissions cause future additional warming, with total warming dominated by past and future CO₂ emissions

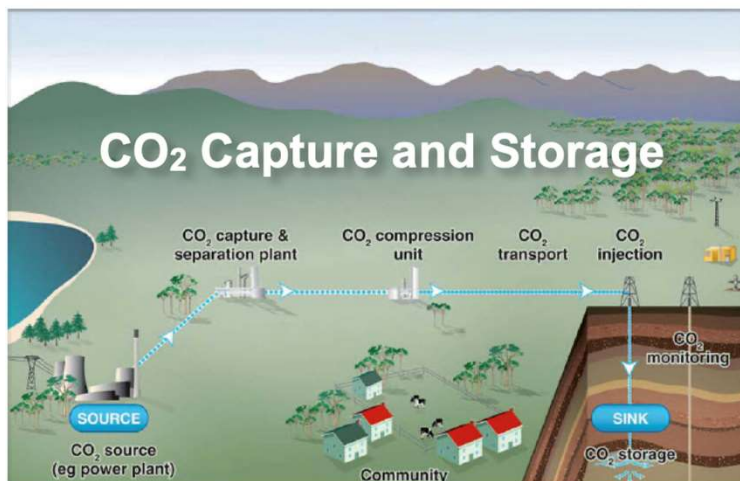
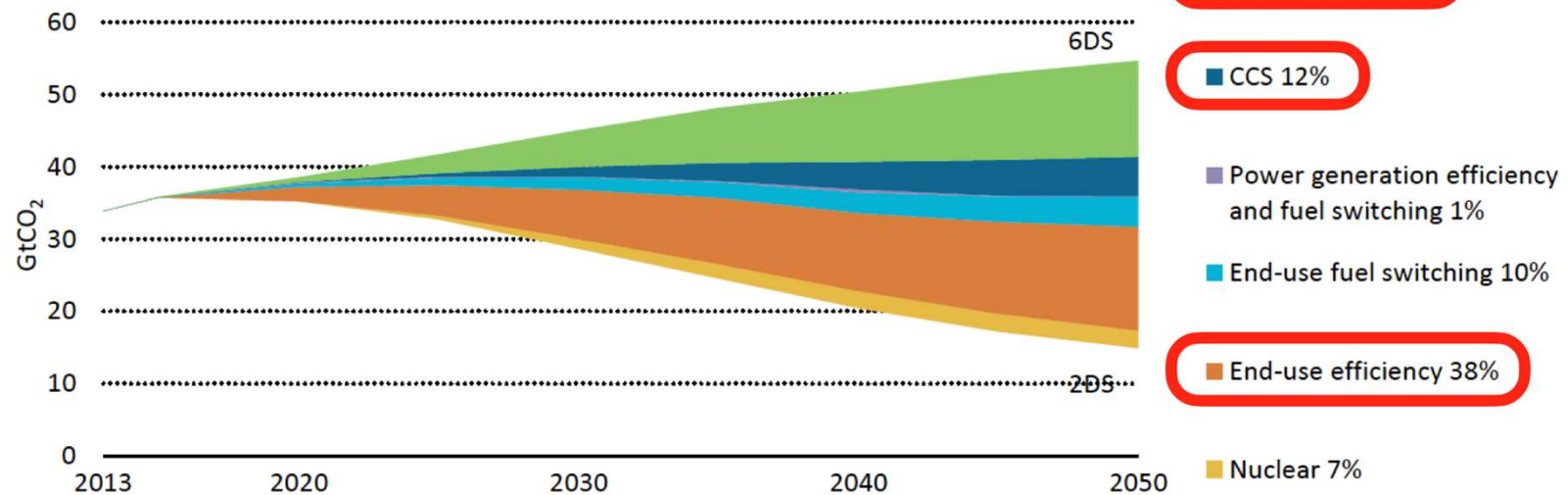
a) Future annual emissions of CO₂ (left) and of a subset of key non-CO₂ drivers (right), across five illustra



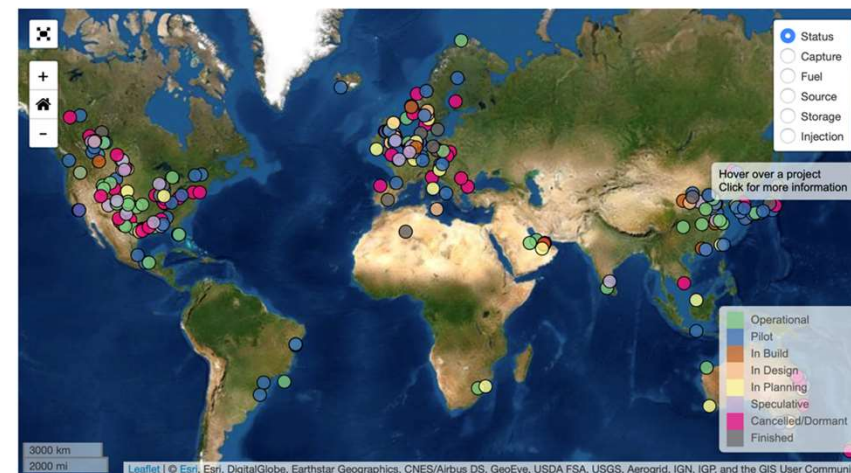
CO₂排出低減

再生可能エネルギー + CCS + 省エネ技術

IEA (2016b), Energy Technology Perspectives 2016



<https://hub.globalccsinstitute.com/>

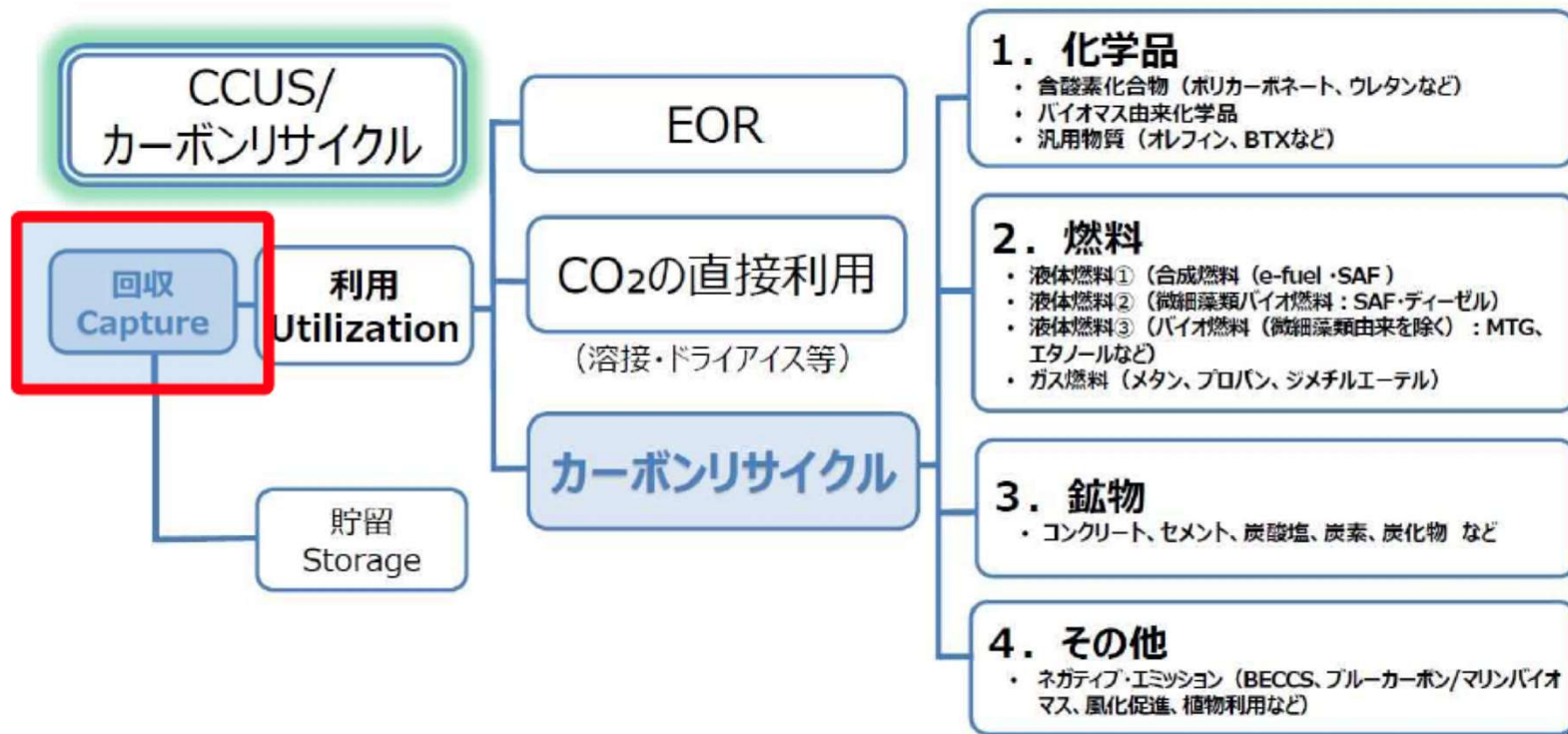


<https://www.sccs.org.uk/expertise/global-ccs-map>

- **革新的環境イノベーション戦略（2020年1月策定）**
CCSコストの大半を占めるCO₂分離・回収コストの低減に向け、**燃焼後回収用（大気圧～低圧ガス対象）の固体吸収材や燃焼前回収用（高圧ガス対象）の分離膜を用いた分離・回収技術の研究を推進**する。更に、CCUS/カーボンリサイクルの基盤となる低コストのCO₂分離回収技術の確立として、2050年までにCO₂分離回収コスト1,000円/t-CO₂を目指す。
- **2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略(2021年6月策定)**
電力部門の脱炭素化:火力については、**CO₂回収**を前提とした利用を、選択肢として最大限追求
電力部門以外（産業・運輸・業務・家庭部門）の脱炭素化：電化が中心となるが、熱需要には、水素などの脱炭素燃料、化石燃料からの**CO₂の回収・再利用**も活用
- **カーボンリサイクル技術ロードマップ^o（2021年7月改定）**
CO₂を資源として捉え、**これを分離・回収**し、多様な炭素化合物として再利用するカーボンリサイクルに係る技術は、将来有望な選択肢の一つであり、そのイノベーションを加速化していく。
- **パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略（2021年10月閣議決定）**
電力部門に求められる取組として、CCSの技術的確立・コスト低減に向け、**分離回収技術の研究開発・実証を行うとともに、コスト低減等の研究開発を推進**することを提示。
- **CCS長期ロードマップ^o検討会 中間とりまとめ（2022年5月）**
研究開発や実証等を引き続き実施し、**分離・回収**、輸送・貯留というCCSバリューチェーン全体でコストを低減し、日本の産業競争力の維持・強化に貢献する。

CO₂回収・有効利用・貯留 (CCUS)

- ・カーボンリサイクルにおいて、回収されたCO₂は、CO₂フリー水素等との化学反応等を経て、化学品、燃料、鉱物等に再利用される。
- ・CO₂分離・回収はそれらの共通技術であり、カーボンリサイクルの社会実装にむけての必須技術である。

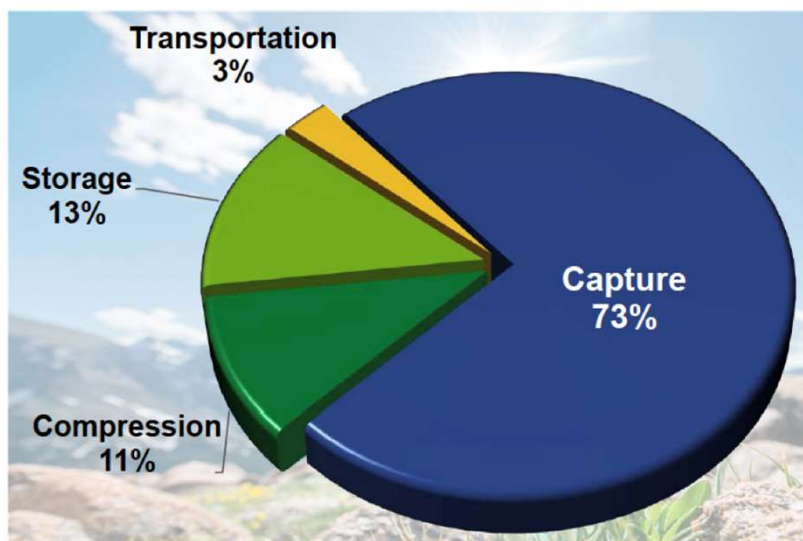
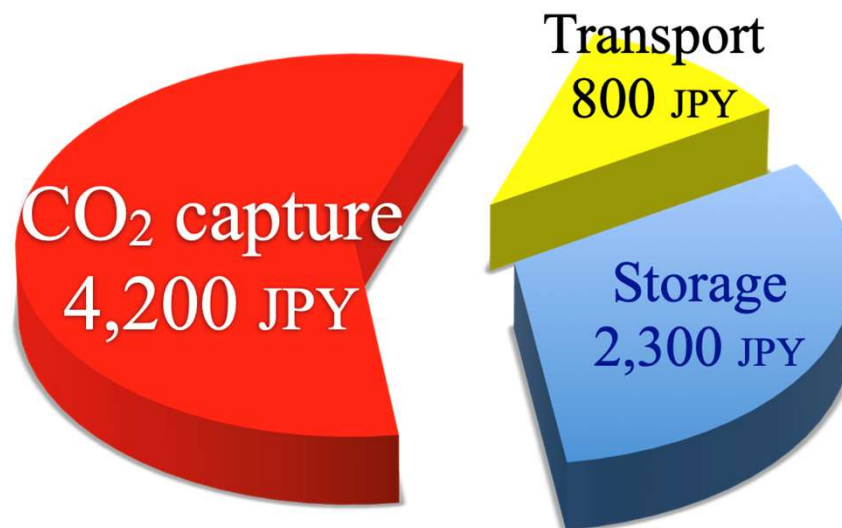


出典：経済産業省「カーボンリサイクル技術ロードマップ」(2021年7月)

CCS実用化への課題

CCS cost:
>7,300 JPY/t-CO₂

 RITE report in 2005
Research Institute of Innovative Technology for the Earth

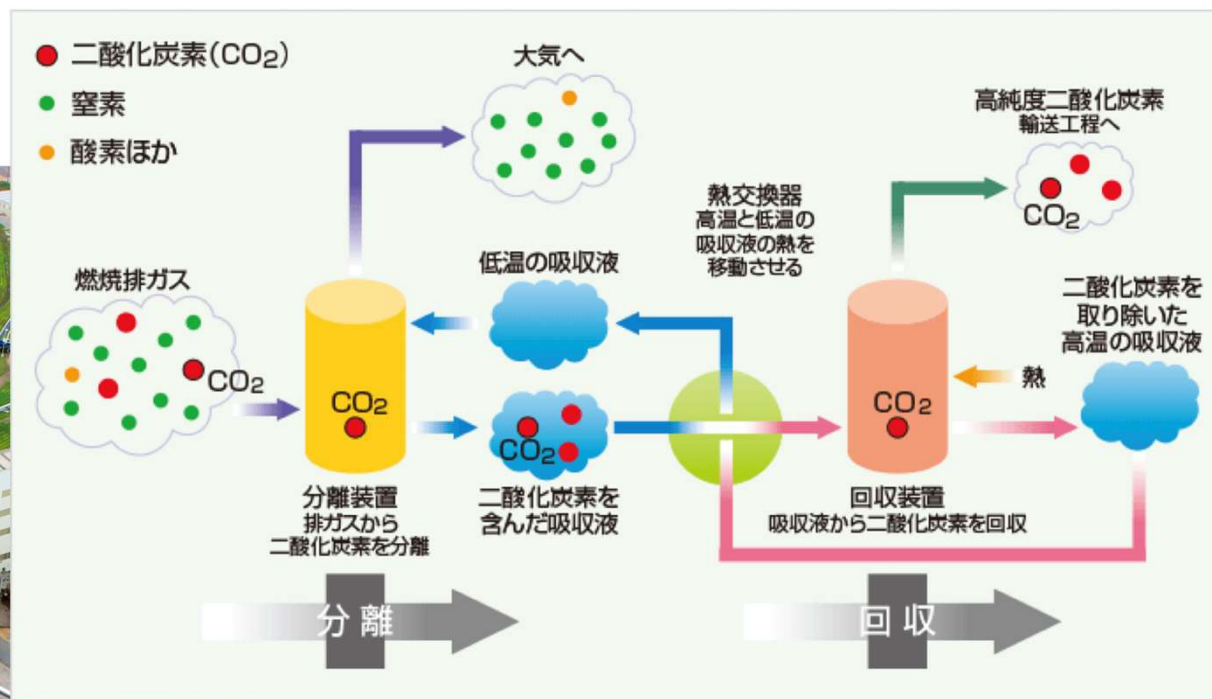


>82 USD/t-CO₂

Ackiewicz M., 2014

<http://www.netl.doe.gov>

化学吸収法



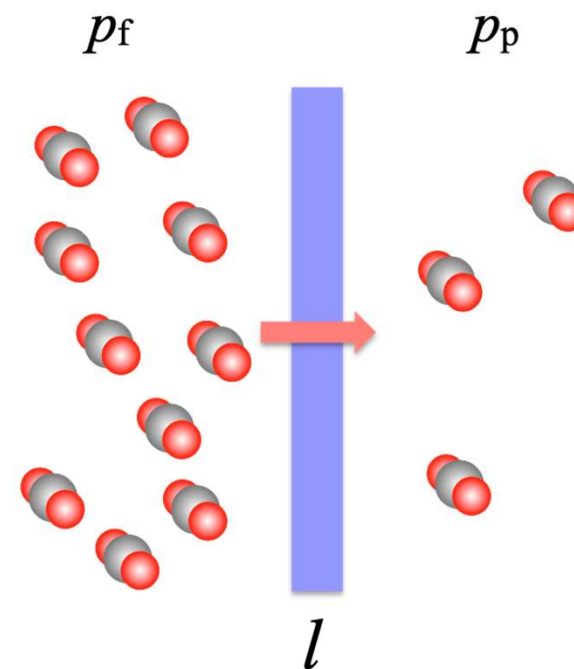
<http://www.japanccs.com/>

アルカリ性水溶液を用いたCO₂分離回収

- ・ 実証試験での実績
- ・ エネルギー消費大
- ・ コスト大

次世代のCO₂分離回収技術

- ・ 分圧差が駆動力
- ・ 追加エネルギー不要
- ・ 省スペース
- ・ 簡便な操作
- ・ 分離性能の向上が必要



$$J_i = D_i \times \frac{\Delta p_i}{l}$$

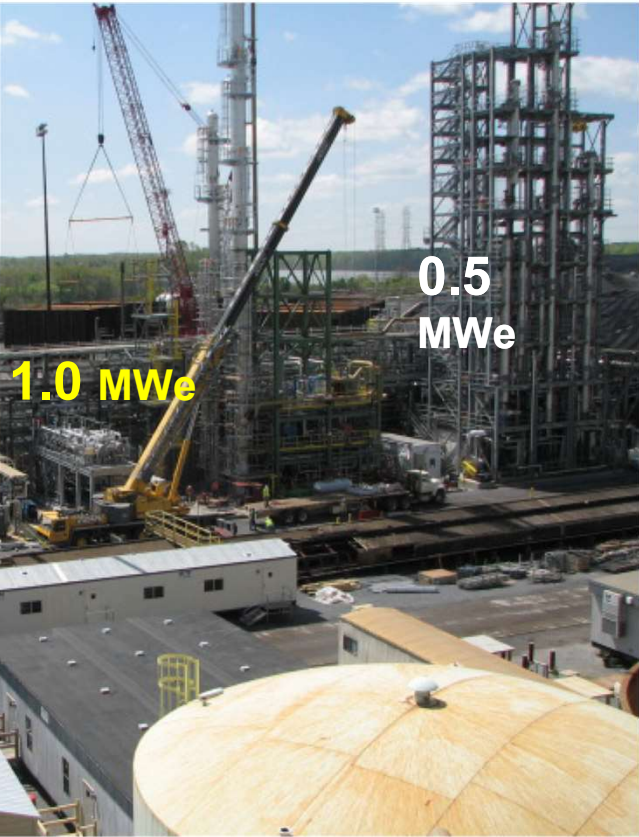
$$\Delta p = p_f - p_p$$

フィックの法則

分離回収技術の比較



20 t-CO₂/day System
at NCCC/PC4



Demonstration at National Carbon
Capture Center (NCCC)

By courtesy of Dr. Tim Merkel (MTR, USA)

CO₂分離回収技術の変遷

◆ 実用化に向けた戦略

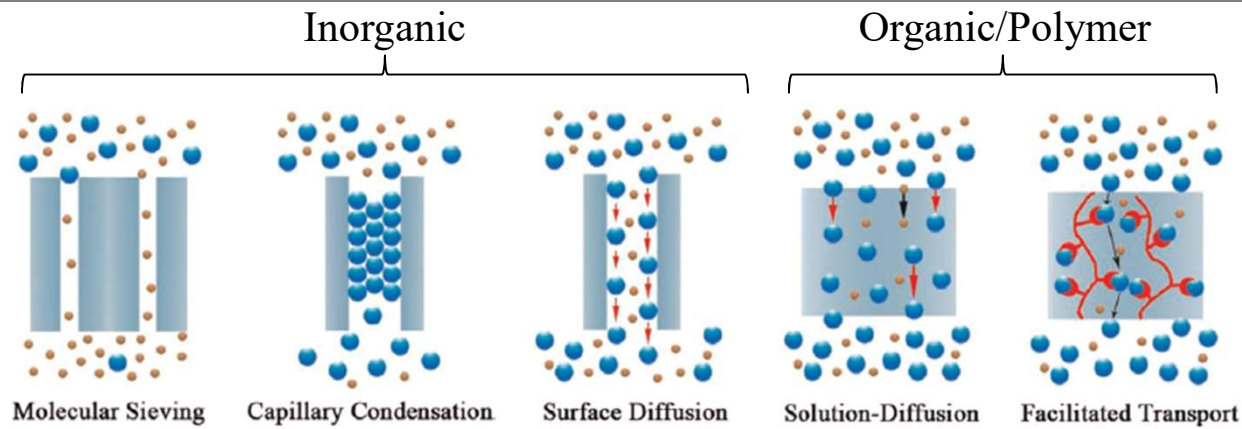
石炭火力発電に適用する様々なCO₂分離・回収技術が検討されている
本事業では、固体吸収法、膜分離法の技術開発を実施



種々の分離回収技術

Technology	Advantages	Disadvantages
Absorption	Already demonstrated Scale merit	High energy High cost Hazardous
Adsorption	High separation performance	High cost (CAPEX+OPEX) Hard to scale up
Membrane	Low energy Low cost Small footprint	Incomplete separation performance

種々の分離膜



	Organic/Polymer	Inorganic	Hybrid
Permeability	△	◎	○
Selectivity	△	◎	○
Durability	△	◎	○
Density	◎	△	◎
Productivity	◎	△	△
Scalability	◎	△	△
Uniformity	◎	△	△
Processability	◎	△	△
Cost	◎	☹	△

低いCO₂透過性とCO₂選択性

- CO₂透過性: ガスの処理能力 (膜面積・コスト)
- CO₂選択性: 回収CO₂純度 (貯留・有効利用)

Bench mark in post-combustion CO₂ capture:

MTR's Polaris[®] membrane

CO₂ permeance: **2,000 GPU**

CO₂ selectivity over N₂: 50

1 GPU: $7.5 \times 10^{-12} \text{ m}^3(\text{STP})/(\text{m}^2 \text{ s Pa})$

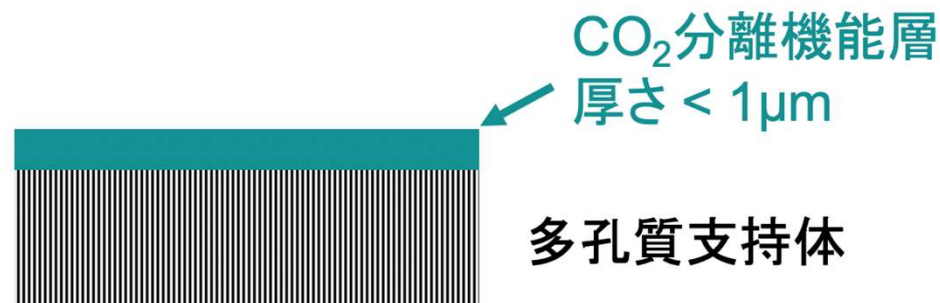
By courtesy of Dr. Tim Merkel (MTR, CA, USA)



CO₂分離膜のモジュール化と高性能化

国内外で様々な高性能CO₂分離の開発(平膜レベル)

実証試験には**膜モジュール**が必須(技術的ハードル)



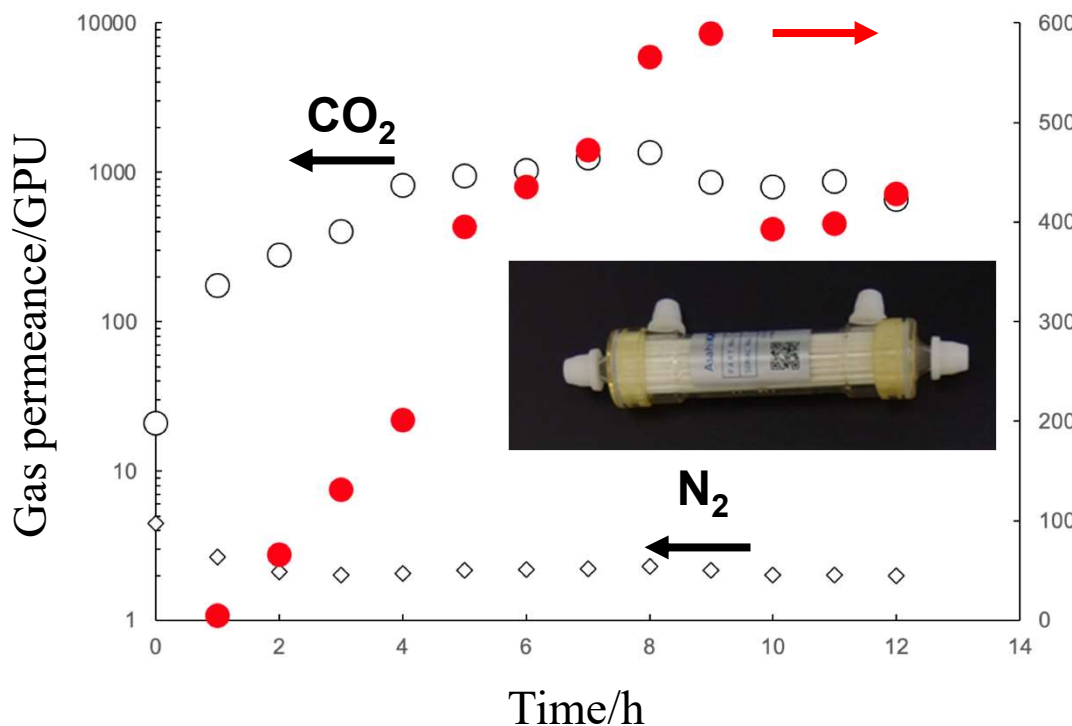
分離膜の複合膜構造

実ガスを用いたCO₂分離性能評価

実用化には**実ガス試験**での分離性能担保が必要

新技術の特徴・従来技術との比較

	新技術	従来技術
CO ₂ 分離性能	高い (平膜レベル)	世界トップレベル (モジュール)
大面積化/ モジュール化	困難	成功 非常に簡便



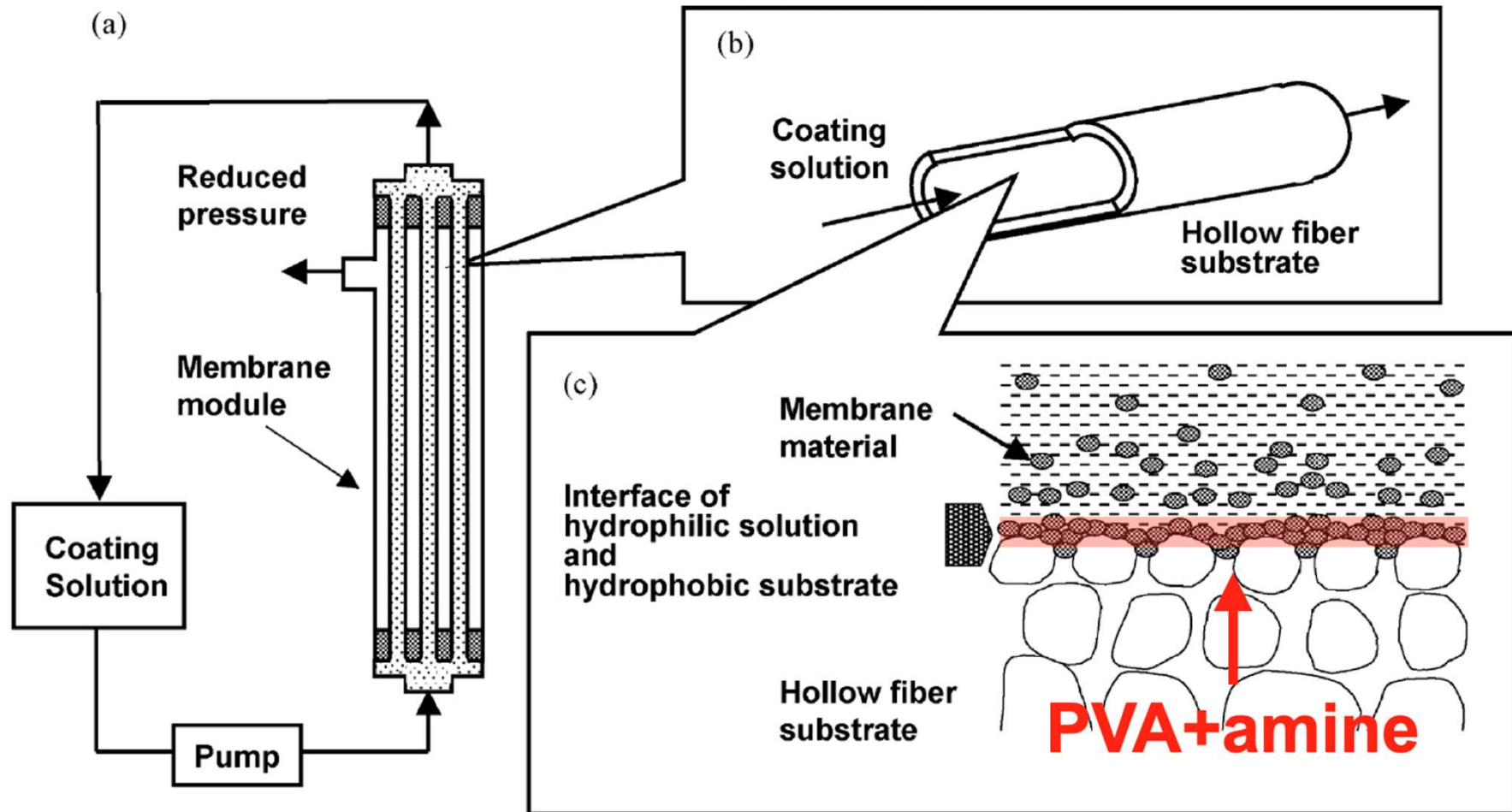
燃焼後排ガスを想定した

CO₂分離回収

CO₂透過流束: 1,150 GPU

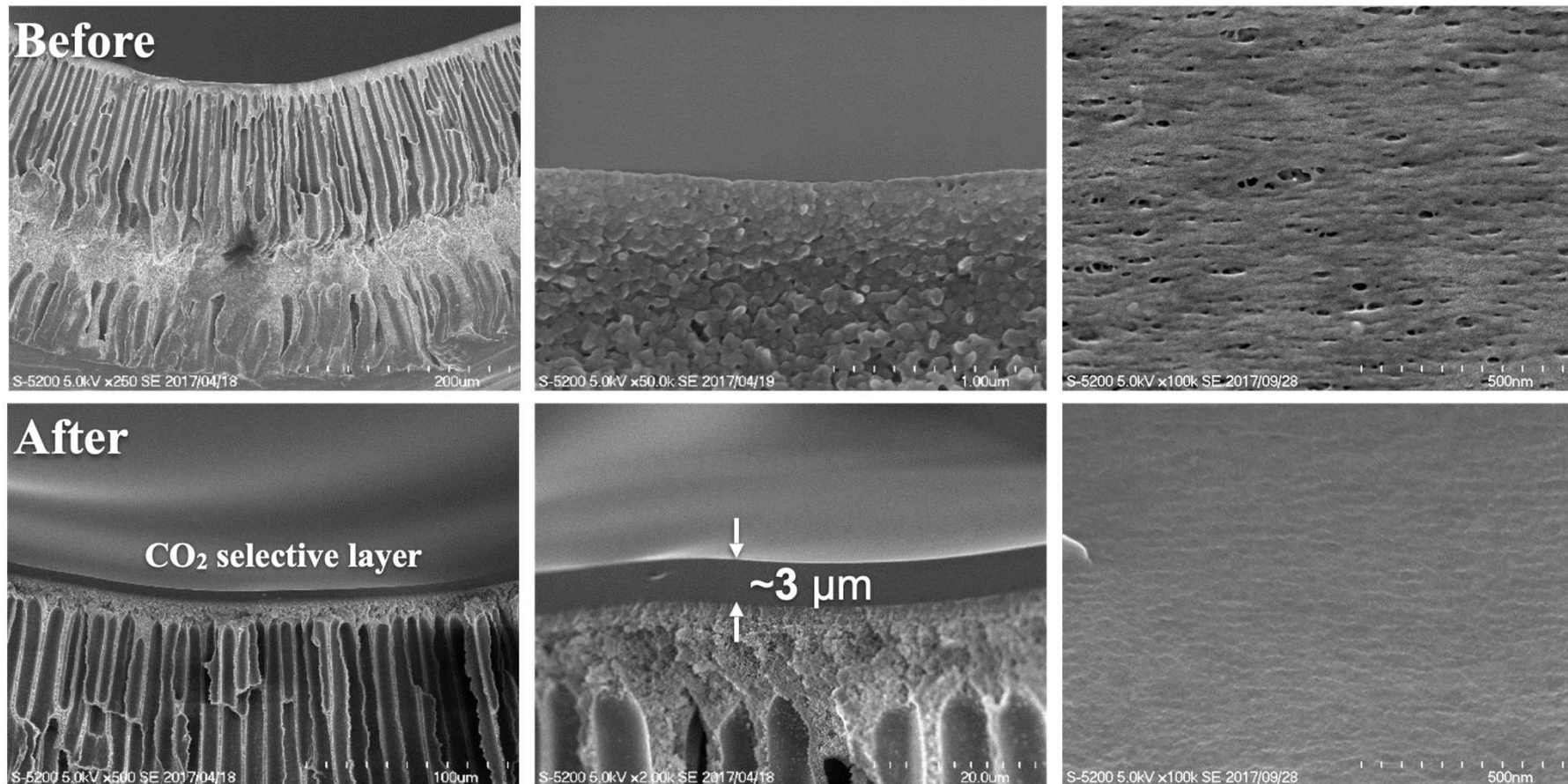
CO₂選択性: 400

膜モジュール: 150 cm²



PVA: M_w 60 kDa, MWCO of hollow fiber: 10 kDa

CO₂分離機能層の形成



SEM images of cross sections and surfaces of hollow fibers membrane
Active layer: PVA + AEAE

有望技術の支援強化

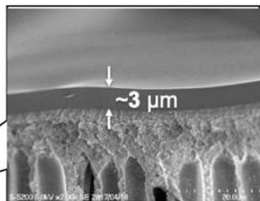
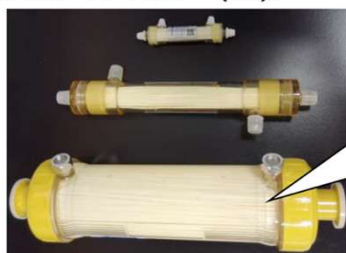
- **非連続・革新的な技術の原石発掘と育成**を担うエネ環分野の**先導研究**では、**6月に29件を新規採択**。
- **「ビヨンド・ゼロ」を実現するために必須となるDAC** (Direct Air Capture) 等について、**ムーンショット型研究開発制度**でゴールオリエンテッドで一気通貫で開発（今後審査を終えて8月に採択予定）。

エネルギー・環境分野の先導研究による支援

- 革新的環境イノベーション戦略を踏まえ、NEDO事業において、**シーズ育成の必要性が高いCO₂分離回収、革新的な省エネプロセス等で14課題を設定し、開発開始**。
- また、JST事業において、応用研究や事業化にスムーズにつながる**基礎研究を推進するため、基礎研究テーマの設定や課題管理、評価等に関する他のE&E機関との連携強化を検討**

NEDO事業の今年度課題設定と技術イメージ（例）

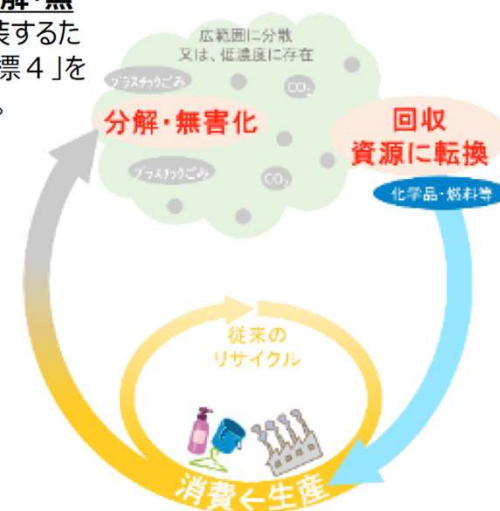
CO₂分離膜による省エネルギーCO₂分離回収技術の研究開発
(九州大学、東ソー(株))



実排ガスを用いた膜モジュールの性能評価を行い、課題等を抽出。

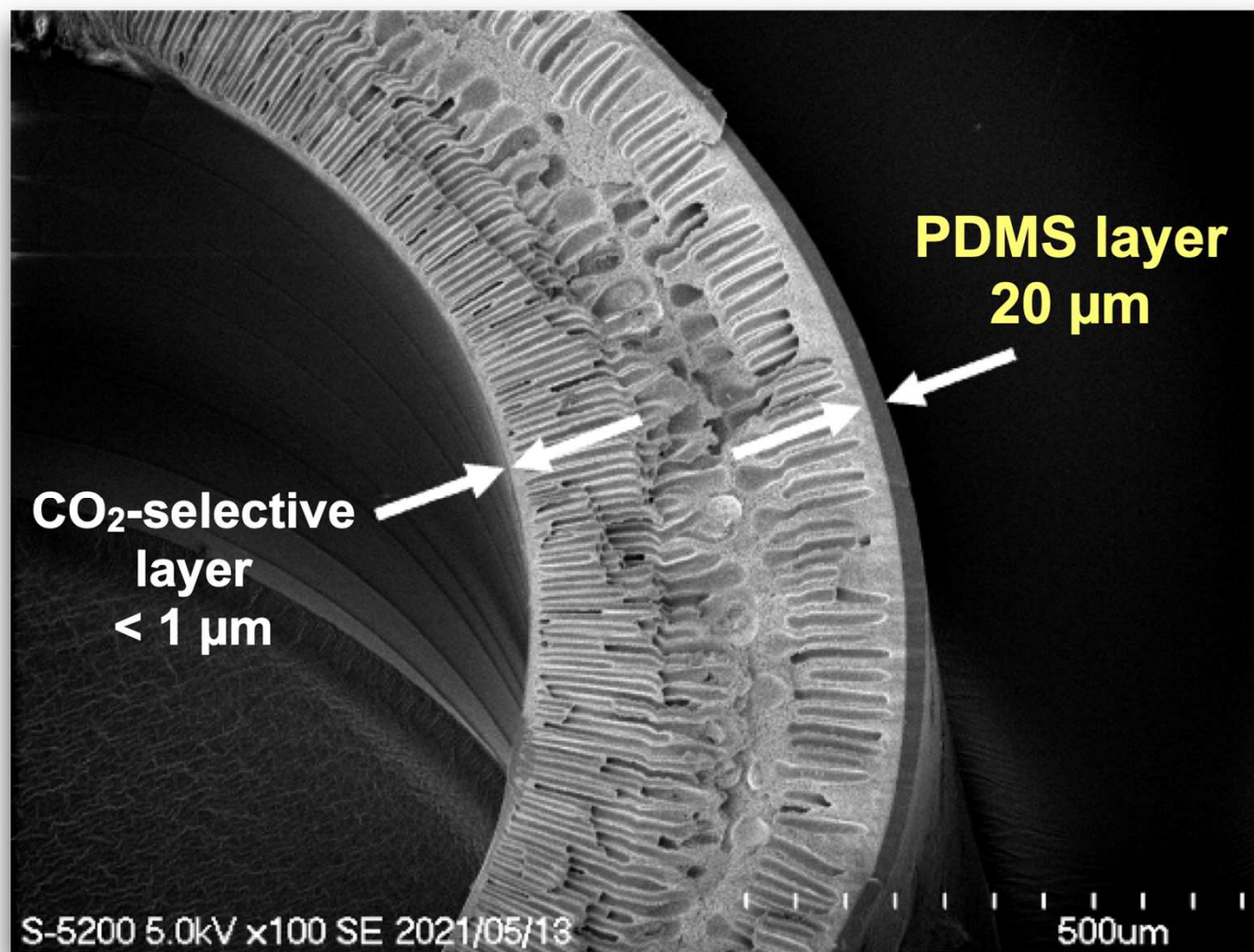
ムーンショット型研究開発制度の活用

大気中のCO₂の直接回収・資源転換 (DAC等) や、プラスチックごみの分解・無害化技術を社会実装するための「ムーンショット目標4」を設定し、提案を募集。



保護層の作製

燃焼後排ガスへの適用の課題: 耐 SO_x , NO_x



想定される用途

CO ₂ pressure	Target	Counter
> 1 MPa	Natural gas sweetening	Hydrocarbons
~1 MPa	Pre-combustion CO ₂ capture	H ₂
~ 50 kPa	H₂ purification	H ₂
40 kPa	Biogas up-grading	CH ₄
20-25 kPa	Steel works, cement refinery	N ₂
10-15 kPa	Coal-fired power plant	N ₂
6-10 kPa	Gas power plant	N ₂
<100 Pa	Direct air capture	N ₂

DAC+utilization



- CO₂分離回収プロセスの確立
- 実証試験

- CO₂排出源のご提供

発明の名称: 気体分離膜、気体分離膜モジュール、それらの製造方法およびそれらを使用した気体分離方法

- 出願番号: 特願2022-005301
- 出願人: 国立大学法人京都工芸繊維大学
- 発明者: 谷口 育雄, 衣笠 佳恵

お問い合わせ先

京都工芸繊維大学

産学公連携推進センター 知的財産戦略室

(研究推進・産学連携課 知的財産係)

tel. 075-724-7039 / fax. 075-724-7030

e-mail chizai@kit.ac.jp

<https://www.liaison.kit.ac.jp/index.php>