

2018.2.13 16:05-16:35

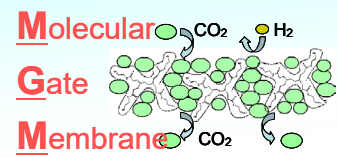
革新的CO₂膜分離技術シンポジウム

活動報告①

次世代型膜モジュール技術の 進捗について

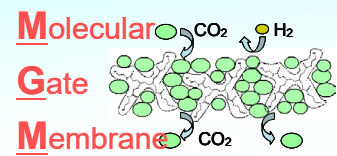
次世代型膜モジュール技術研究組合
専務理事 中尾 真一

目次



1. CCSに関する最近の動向
2. 次世代型膜モジュール技術開発の進捗
3. まとめと今後の展開

目次

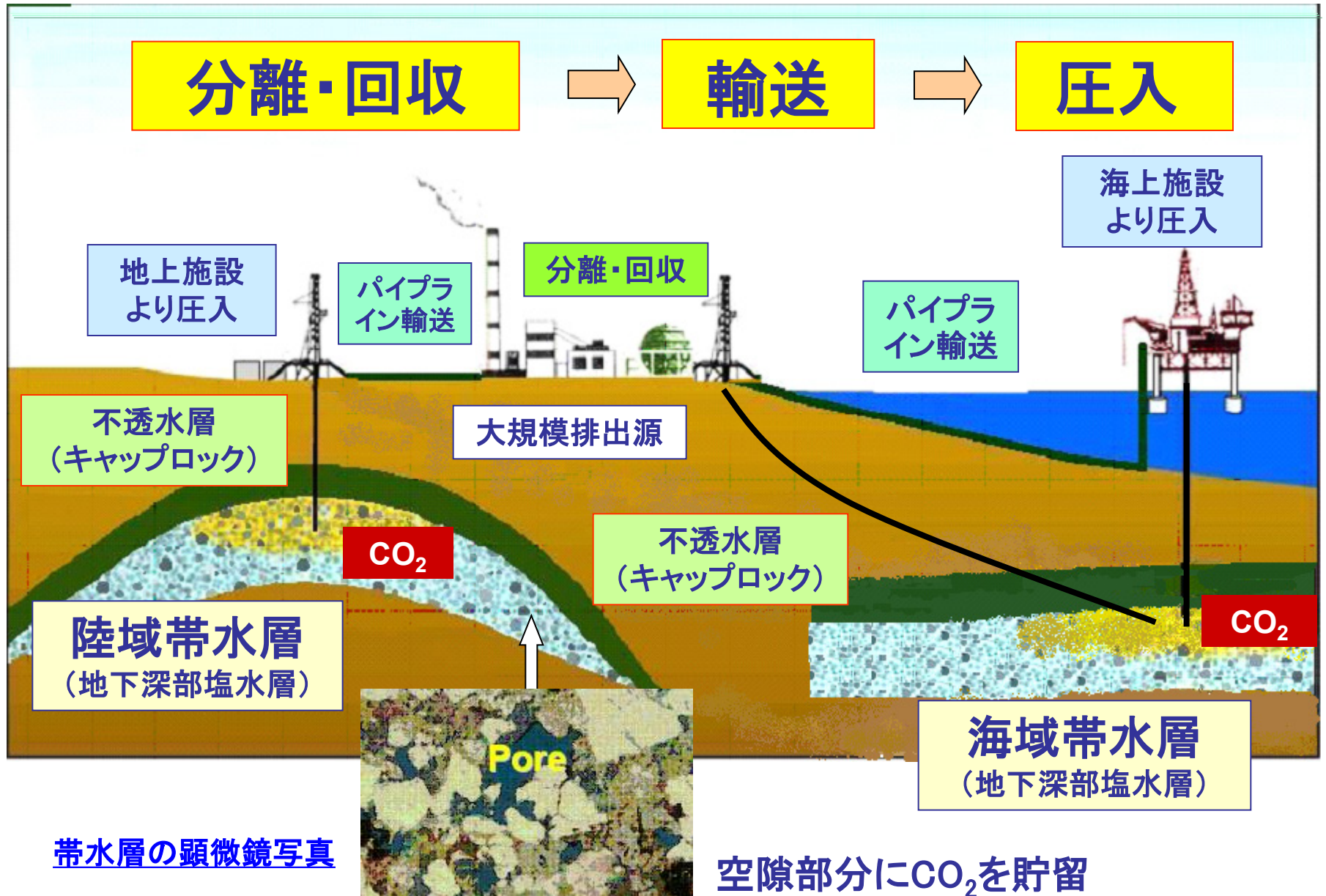
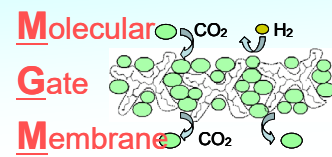


1. CCSに関する最近の動向

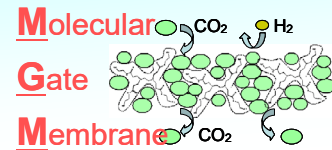
2. 次世代型膜モジュール技術開発の進捗

3. まとめと今後の展開

二酸化炭素回収・貯留 (CCS, CO₂ capture and storage)



CCSとCO₂分離・回収技術



「環境エネルギー技術革新計画」における技術ロードマップ(CCS)

当該技術を必要とする背景

- 本技術は大規模なCO₂の削減を可能とする技術であり、特に、途上国を中心に今後も利用拡大が見込まれる石炭をはじめとする化石燃料から生じるCO₂排出削減として有効。
- 製鉄の工程で原料として利用される石炭は代替が困難であり、製造プロセスから生じるCO₂を削減する手段としても有効。

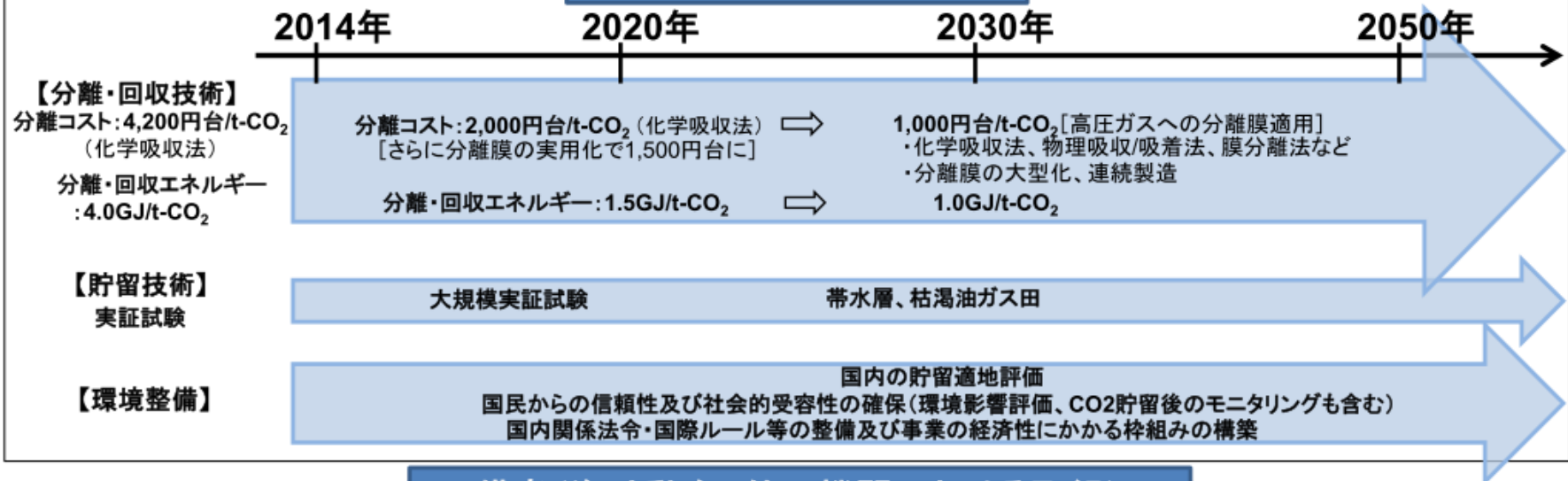
当該技術の概要及び我が国の技術開発の動向

- CCSは、大規模排出源の排ガス等からCO₂を分離・回収し、地下貯留することにより、CO₂排出の削減に貢献する技術。
- 実用化への課題であるコストの低減に有効なCO₂分離回収技術や、安全性向上に有効な地下貯留したCO₂のモニタリング技術の研究開発を実施。

導入に当たっての制度的制約等の社会的課題

- 安全にCO₂を地下貯留するためのCO₂貯留適地評価を実施
- CCS導入に関する国内ルールの整備
- 国際的な安全・管理基準の整備

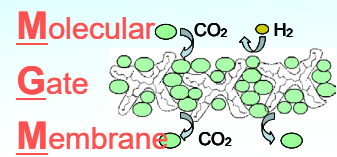
技術ロードマップ



備考(海外動向、他の機関における取組)

- CCSプロジェクトは、炭素税等を背景にノルウェー等で数件が実施されている。
- CO₂圧入によるEOR(石油増進回収法)は、米国を中心に10件程度進行中である。

COP21以降における国内の動き



パリ協定を踏まえた地球温暖化対策

- 約束草案を踏まえた地球温暖化対策の取組み計画の策定
 - 2030年度中期目標の着実な達成(温室効果ガス2013年度比26%削減)
 - 長期的な目標を見据えた、地球温暖化対策と経済成長を両立させる革新的技術の開発を強化する取組みを進めていく必要性

(2016年4月策定済み)

エネルギー環境イノベーション戦略(内閣府総合科学技術・イノベーション会議)

- 2050年を見据えた革新的なエネルギー関連技術の研究開発体制

エネルギー革新戦略(METI)

- 2030年に向けたエネルギー政策

(2017年9月とりまとめ)

エネルギー環境イノベーション戦略に関するロードマップ(ワーキンググループ)

- 特定した分野の技術ロードマップの策定、効率的な研究開発体制の構築

「エネルギー・環境イノベーション戦略」で推進する革新技術

有望分野の特定

- ①非連続で大きいインパクト、②大きな排出削減ポテンシャル、③産学官の総力結集、④日本が先導し優位に立てる技術

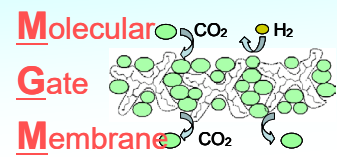
エネルギーシステム統合技術： AI・IoT等を活用し、エネルギーシステム全体を最適化

システムを構成するコア技術： 次世代パワエレ、革新的センサー、多目的超電導の開発

分野別革新技術	省エネルギー 	1, 革新的生産プロセス ：革新的な分離膜や触媒の開発
		2, 超軽量・耐熱構造材料 ：材料の軽量化・耐熱化
	蓄エネルギー 	3, 次世代蓄電池 ：リチウム電池の限界を超える革新的蓄電池の開発
		4, 水素等製造・貯蔵・利用 ：水素等の効率的なエネルギーキャリアを
	創エネルギー 	5, 次世代太陽光発電 ：新材料・新構造の全く新しい太陽光発電の開
		6, 次世代地熱発電 ：現在は利用困難な新しい地熱資源を利用
	★	7, CO₂固定化・有効利用 ：排ガス等からCO ₂ を分離回収し、化学品等の原料へ転換・利用

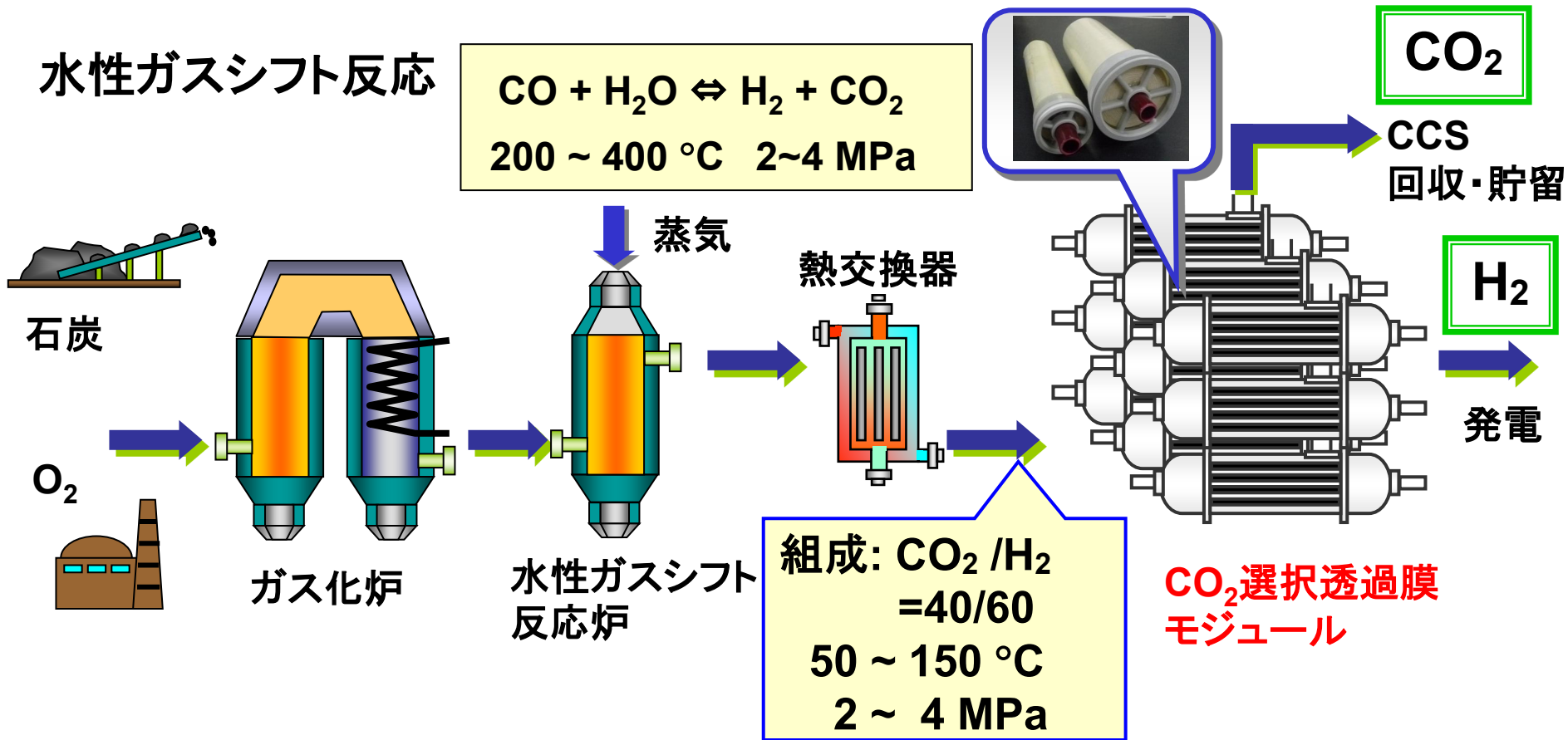
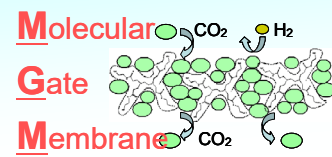
【5】二酸化炭素固定化・有効利用(抜粋)
 本戦略における**CO₂分離・回収コストの低減に向けた取組**としては、研究開発を加速し、複数の分離法の組み合わせも含め、**最も効率の高いCO₂分離・回収技術**を追求する。本技術は、CO₂の大量処理が可能である二酸化炭素分離回収貯留(CCS)技術のコスト低減にも大きく寄与するものである。

目次

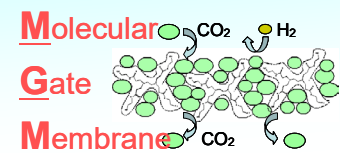


1. CCSに関する最近の動向
2. 次世代型膜モジュール技術開発の進捗
3. まとめと今後の展開

次世代型分離膜モジュールの開発



CO₂分離膜モジュール研究開発事業



研究開発体制

次世代型膜モジュール技術研究組合

～H28年3月 (株)クラレ、日東電工(株)、
新日鉄住金エンジニアリング(株)、住友化学(株)、RITE
H28年4月～ 住友化学(株)、RITE

二酸化炭素分離膜モジュール研究開発事業(METI)

(H23FY～H26FY)

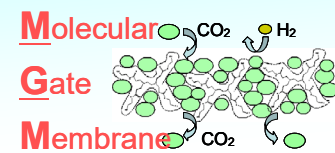
目標 回収コスト 1,500円/t-CO₂を実現する
CO₂選択透過(分子ゲート)膜モジュールの基礎研究

二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発事業(METI)

(H27FY～H31FY予定)

目標 石炭ガス化炉からの実ガスを用いた検証試験
回収コスト: 1,500円/t-CO₂、回収エネルギー: 0.5GJ/t-CO₂

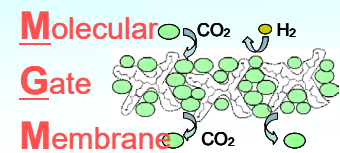
研究開発項目とスケジュール (H27FY~H31FY)



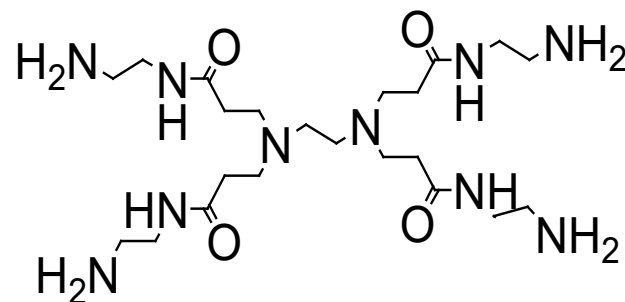
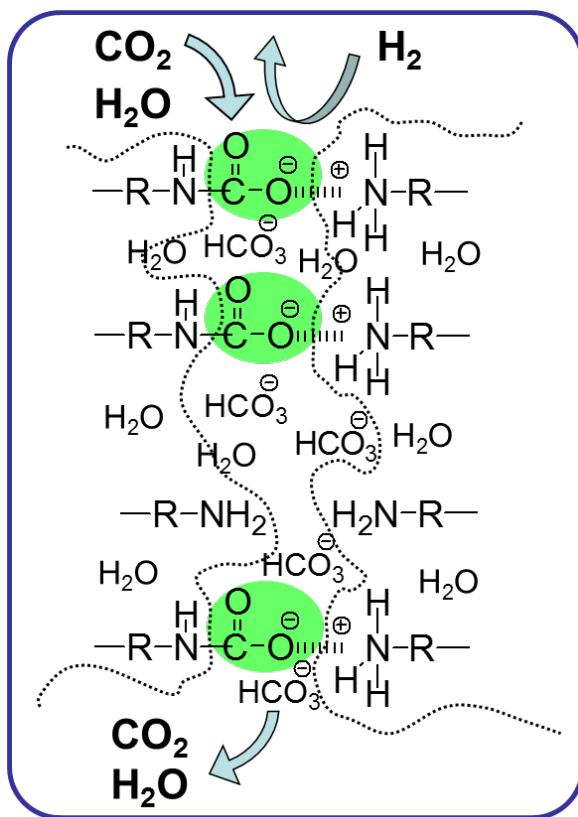
年度	H27FY	H28FY	H29FY	H30FY	H31FY
(1) 実機膜 モジュールの 実用化研究	模擬ガス試験に基づくプロセス適合性の 確認、及び、課題抽出と解決		連続製膜とエレメント化の 課題抽出と解決	実ガス試験結果を反映した 単膜、膜エレメントのチューニング	
	実ガス試験プロセス・装置の基 礎検討・実ガス試験計画			実ガスをを用いた単膜、膜エレメントの検 証試験及び、課題抽出と解決	
(2) 実ガス試験 による 実用化研究	実ガス試験プロセス・装置の基 礎検討・実ガス試験計画		実ガス試験装置の 検討・設計・製作・設置		実ガスをを用いた単膜、膜エレメントの検 証試験及び、課題抽出と解決
	模擬ガス試験結果に基づく 経済性評価の検討		実ガス試験結果に基づく 経済性評価の検討		
(3) 経済性評価・ 取りまとめ	模擬ガス試験結果に基づく 経済性評価の検討		実ガス試験結果に基づく 経済性評価の検討		経済性評価 とりまとめ

(※) 膜モジュール=大面積膜の構造体(膜エレメント)+容器(ハウジング)

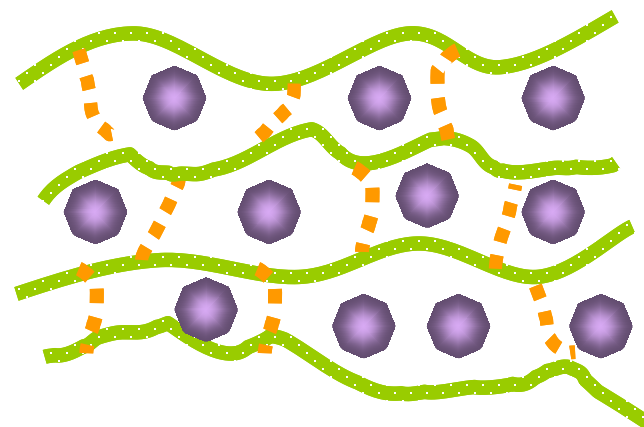
CO₂分子ゲート膜とは



CO₂分子ゲート機能を有する革新的なCO₂分離膜



Dendrimer



カルバメートによる
擬似架橋



重炭酸イオン



PVA

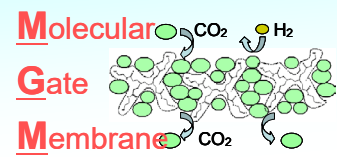


Crosslinker



Dendrimer

CO₂分離膜と膜エレメント



CO₂分離膜



膜エレメント

(左: 2inch、右: 4inch; 長さ 200mm)

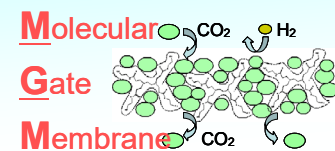


膜モジュール

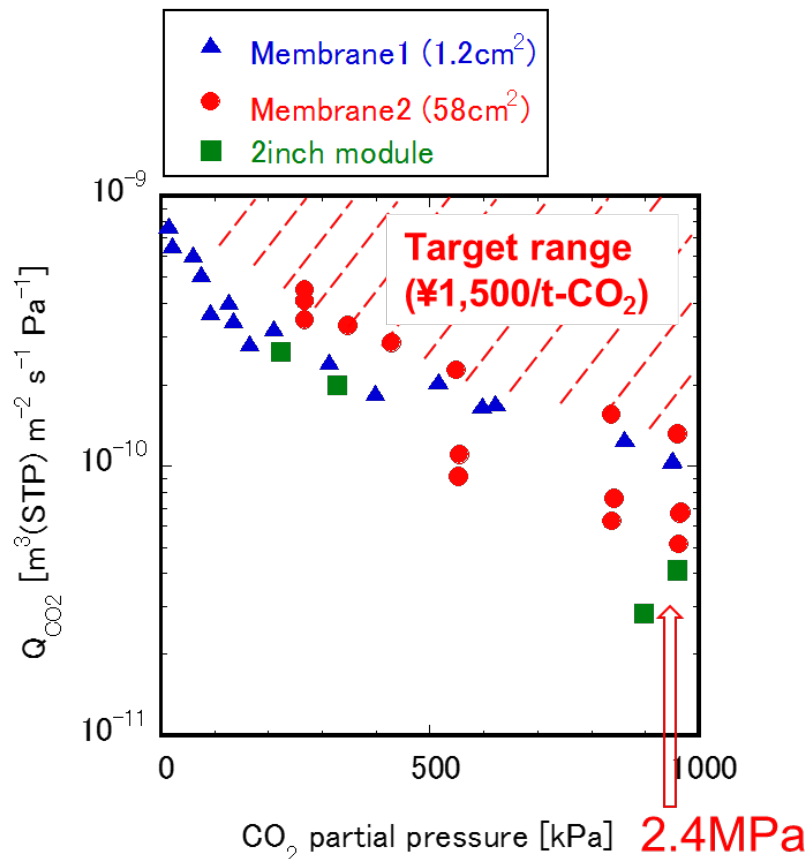


膜モジュール中の
膜エレメントのイメージ

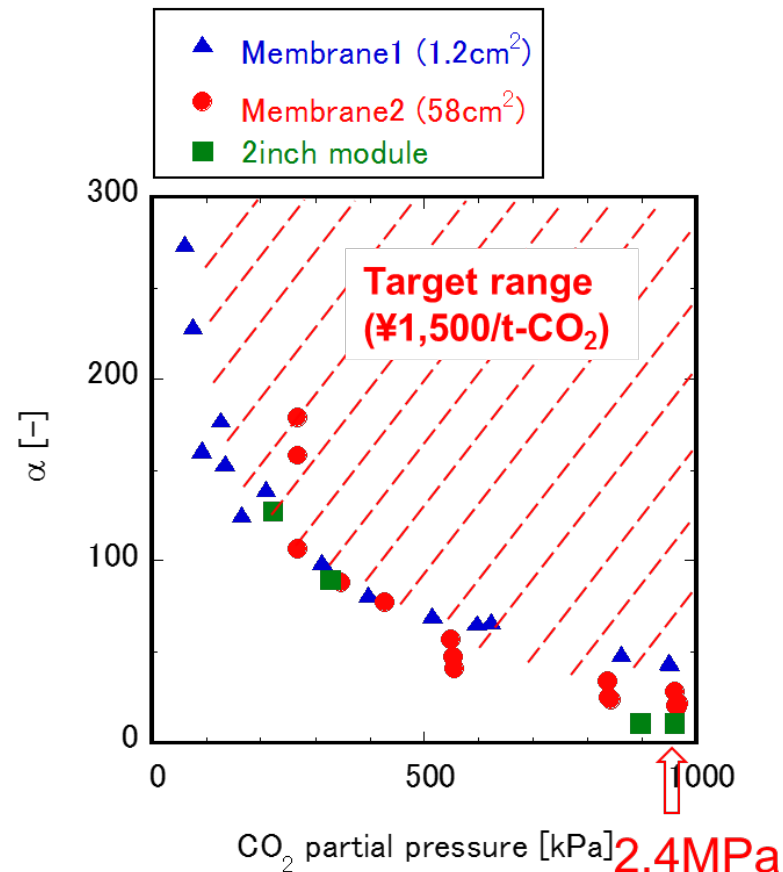
分子ゲート膜のCO₂分離性能※



透過速度



分離係数

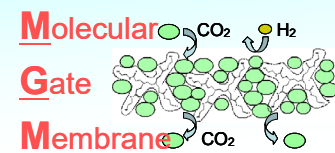


模擬ガス、ラボスケールで、目標性能を達成

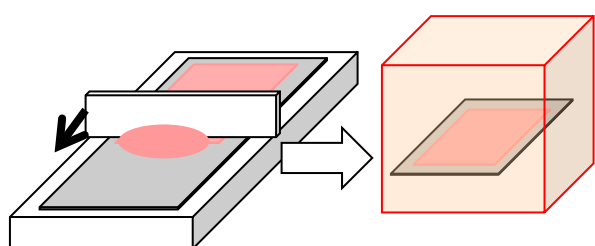
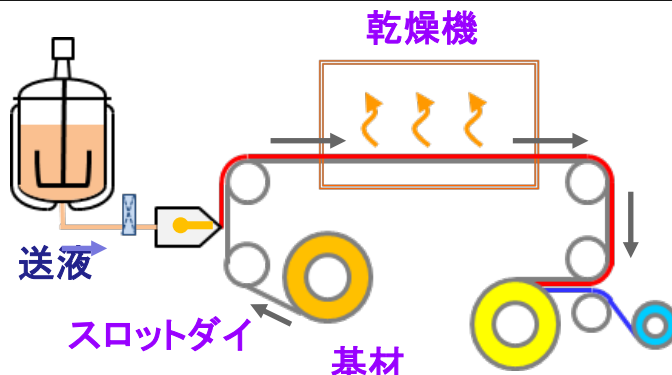
→ 実用化に向けた膜エレメント開発と実ガス等の実用化試験

*操作条件: 85°C, 供給ガス: 0.7~2.4MPaA; 透過側: 大気圧(Ar sweep gas).

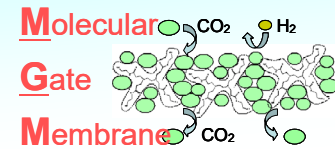
連続製膜機を用いた製膜



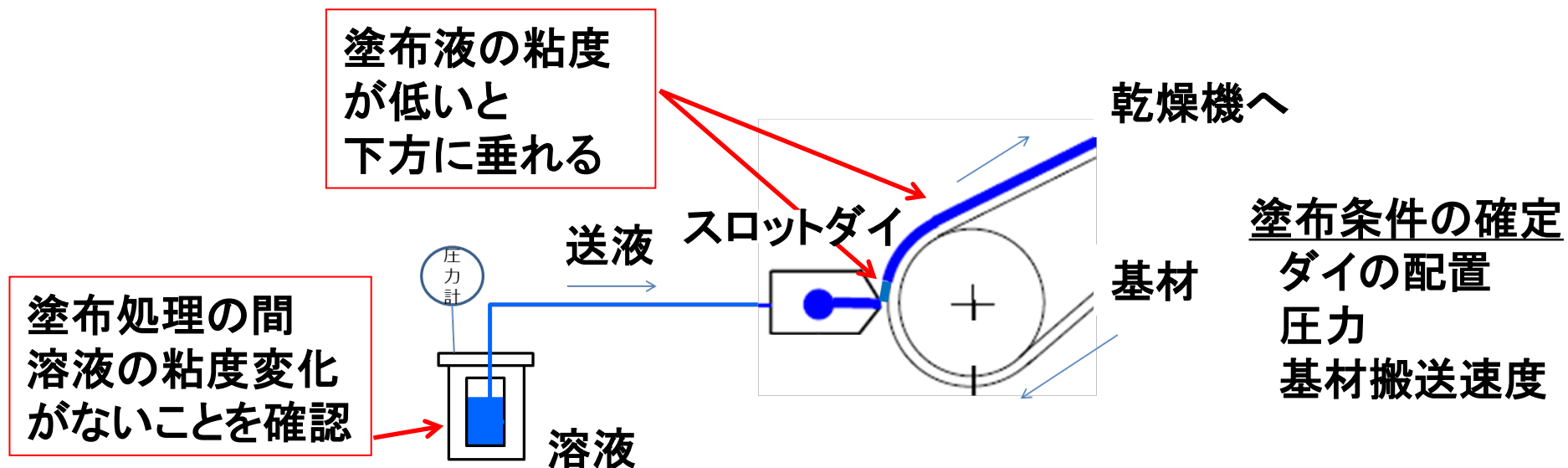
実用化に向け、一定長さ以上の大面積塗布が可能で
 生産性も高い連続製膜での分離膜の製膜技術を開発

	枚葉製膜	連続製膜
	 <p>卓上コーター 卓上乾燥機</p>	 <p>送液 スロットダイ 基材 乾燥機</p>
長尺生産	不可	可
生産性	低	高
溶液粘度	広範囲の塗布可能	枚葉製膜よりは範囲限定
基材固定	可	完全固定は難

連続製膜に適した製膜レシピへの改良



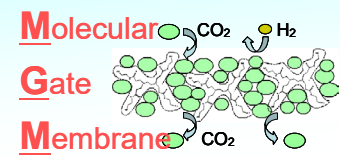
1) スロットダイ塗布に適した粘度を設定し、塗布条件を確定



2) 生産性と良好な膜外観を両立する乾燥温度の設定

	乾燥温度 試作との差	連続製膜 乾燥後膜の観察
試作条件	—	良好に乾燥
高温乾燥条件	試作時+10°C	基材に皺発生

連続製膜で作製した単膜の性能



- 一定製膜条件にて、塗布幅320mm、塗布長さ約20mを取得（連続製膜サンプル）
- エlement試作用別条件にて、薄膜サンプルを約1m取得（薄膜品）

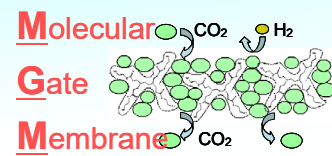
切り出した単膜(58cm²)の分離性能

	膜厚比	Q_{CO_2}	Q_{He}	α
		[m ³ (STP)/m ² /s/Pa]	[m ³ (STP)/m ² /s/Pa]	
連続製膜 サンプル	1とする	1.94E-11	1.18E-12	16.5
薄膜品	0.1	7.73E-11	3.92E-12	19.7

測定条件:

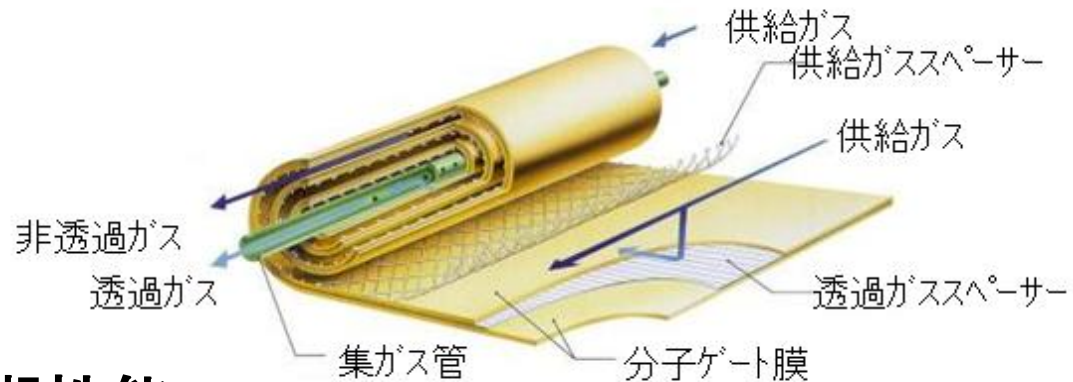
温度: 85°C; 供給側: 全圧2.4MPa, 混合ガス組成CO₂/He=40/60 vol./vol., 湿度70%RH; 透過側: 大気圧

連続製膜品で作製した膜エレメントの性能



1) 試作エレメント

2inch径、長さ 220mm
のエレメントを試作



2) 2inch径エレメントの初期性能

⇒CO₂の透過性能は単膜での測定結果と同等

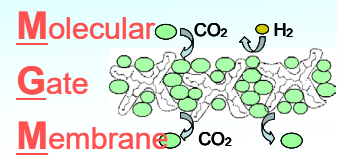
膜エレメントと単膜(58cm²)の分離性能

	Q_{CO_2}	Q_{He}	α
	[m ³ (STP)/m ² /s/Pa]	[m ³ (STP)/m ² /s/Pa]	
膜エレメント	1.83E-11	1.54E-12	11.9
単膜	1.94E-11	1.18E-12	16.5

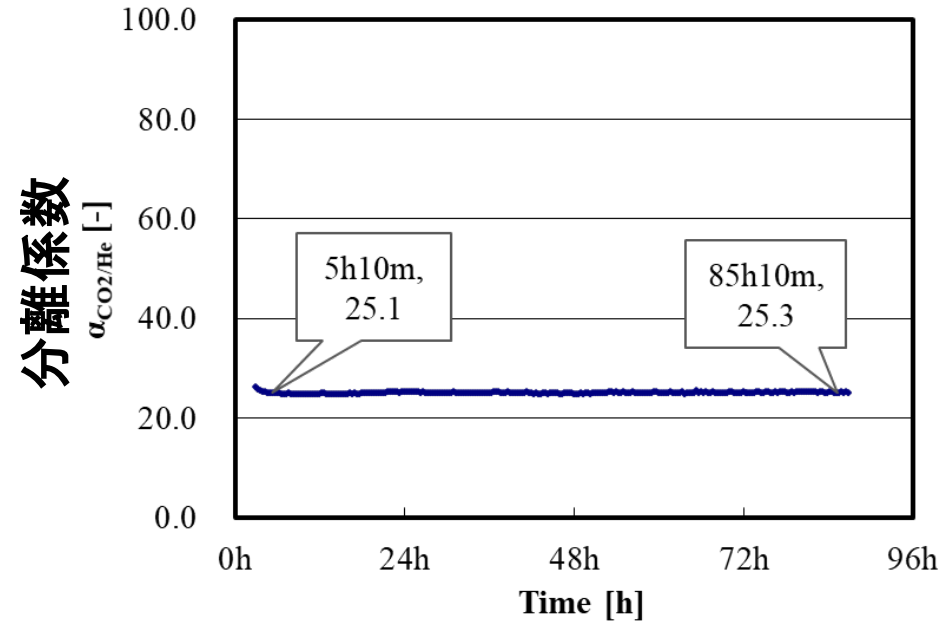
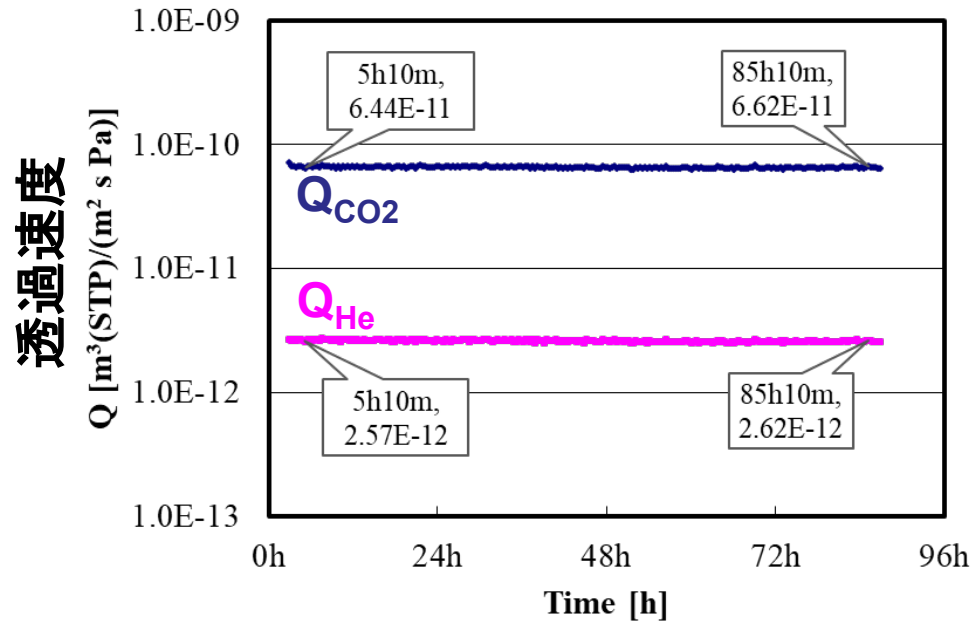
測定条件:

温度: 85°C; 供給側: 全圧2.4MPa, 混合ガス組成CO₂/He=40/60 vol./vol., 湿度70%RH; 透過側: 大気圧

プロセス適合性: 耐圧・耐久性 (単膜 (連続製膜))



IGCC想定全圧 (2.4MPa) における単膜 (連続製膜) の耐圧・耐久性を 小型高圧試験装置にて確認

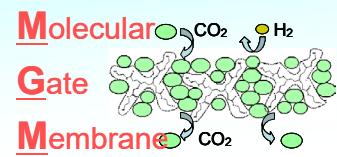


測定条件:

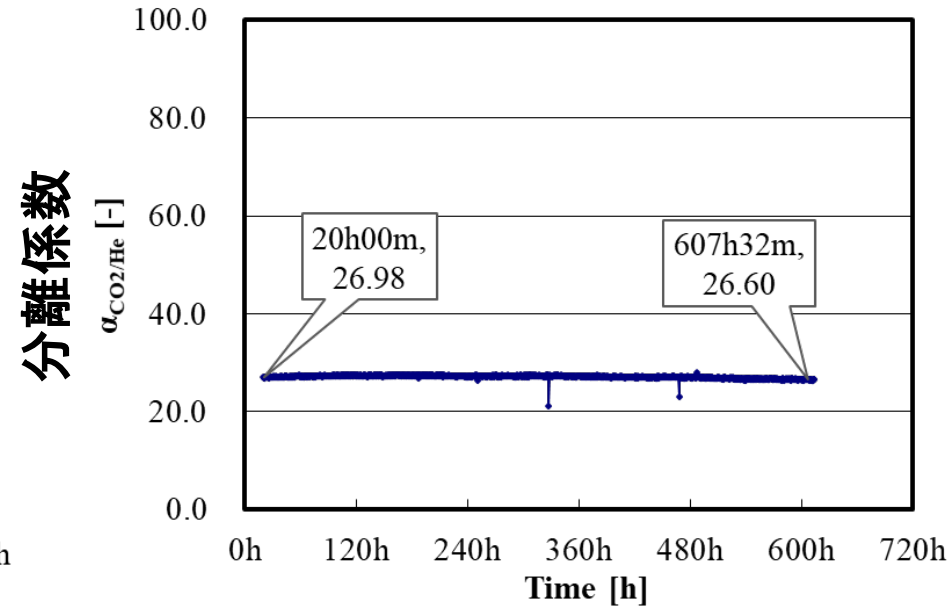
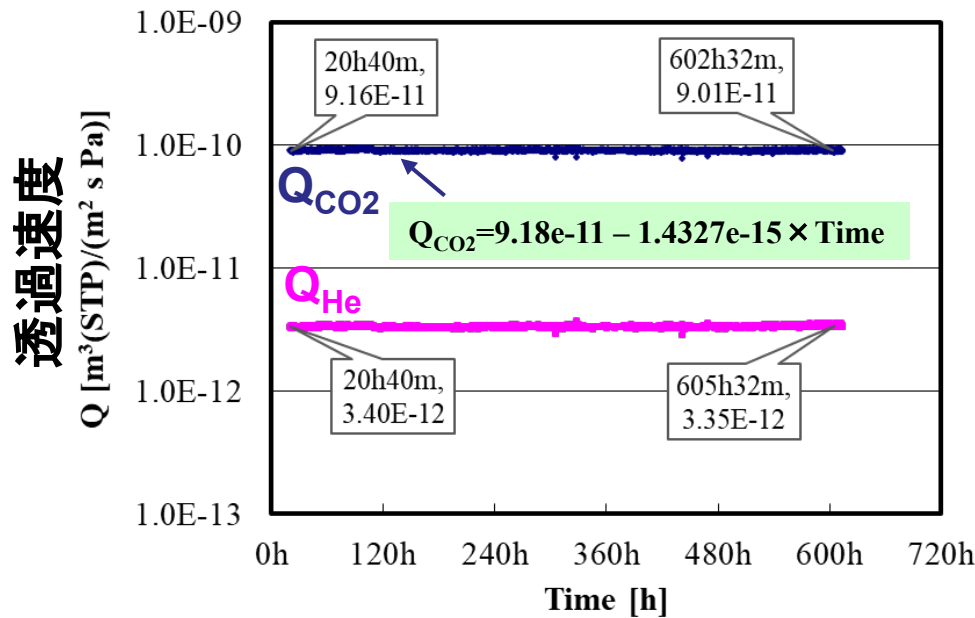
温度: 85°C; 供給側: 全圧2.4MPa, 混合ガス組成CO₂/He=40/60 vol./vol., 湿度60%RH; 透過側: 大気圧

2.4MPaの高圧条件での模擬ガス試験において、
単膜に関して、約80時間の耐久性を確認した。

プロセス適合性：耐圧・耐久性（単膜（連続製膜））



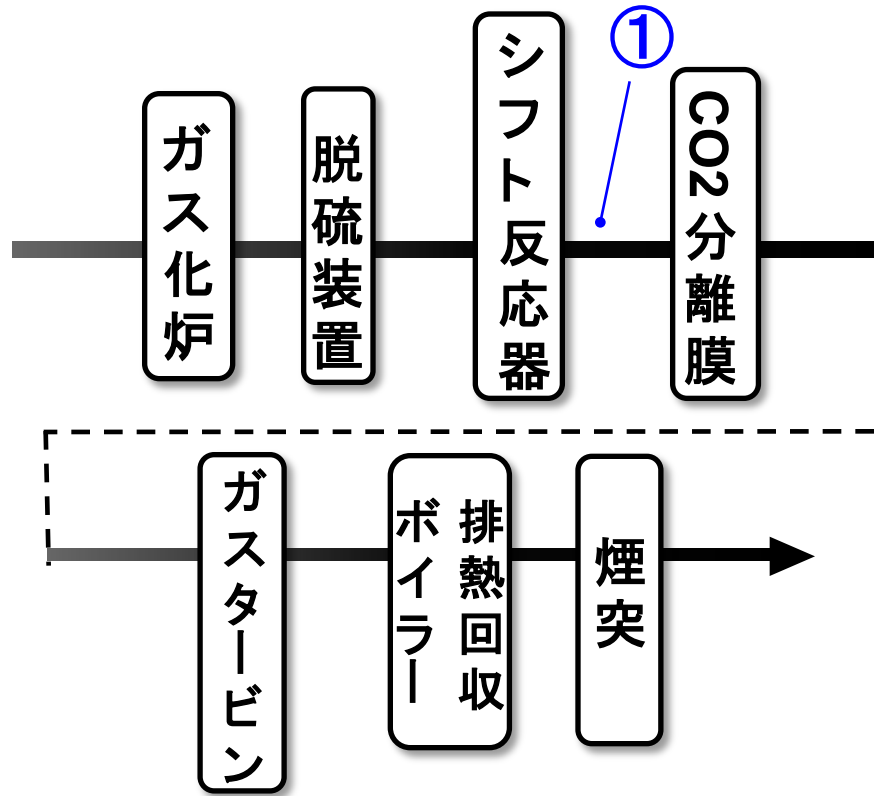
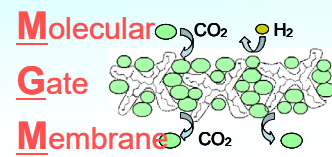
IGCC想定全圧(2.4MPa)における単膜(連続製膜)の耐圧・耐久性を 小型高圧試験装置にて確認 【H29FY成果】



測定条件： 温度：85℃；供給側：全圧2.4MPa，混合ガス組成CO₂/He=40/60 vol./vol.，湿度60%RH；透過側：大気圧

2.4MPaの高圧条件での模擬ガス試験において、
単膜に関して、約600時間の耐久性を確認した。
(Q_{CO_2} 低下率：25%/2年(16,000h))

プロセス適合性:IGCCにおける不純物



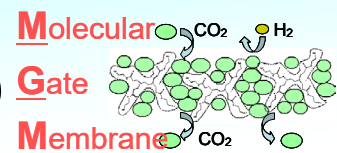
成分	① (ドライベース)	単位
CO ₂	36.4	vol.%
CO	2.9	vol.%
H ₂	53.3	vol.%
N ₂ ,AIR	7	vol.%
CH ₄	0.4	vol.%
H ₂ S	30	ppm
COS	10	ppm

COS: 硫化カルボニル

NEDO,平成16年度クリーンコール・テクノロジー推進事業 石炭ガス化を核とする
 コプロダクションシステムに関する調査 調査報告書, 04002145-2 (2005-3).

→膜劣化への影響が懸念されるH₂Sについて、
 2.4MPaにおける曝露試験を実施

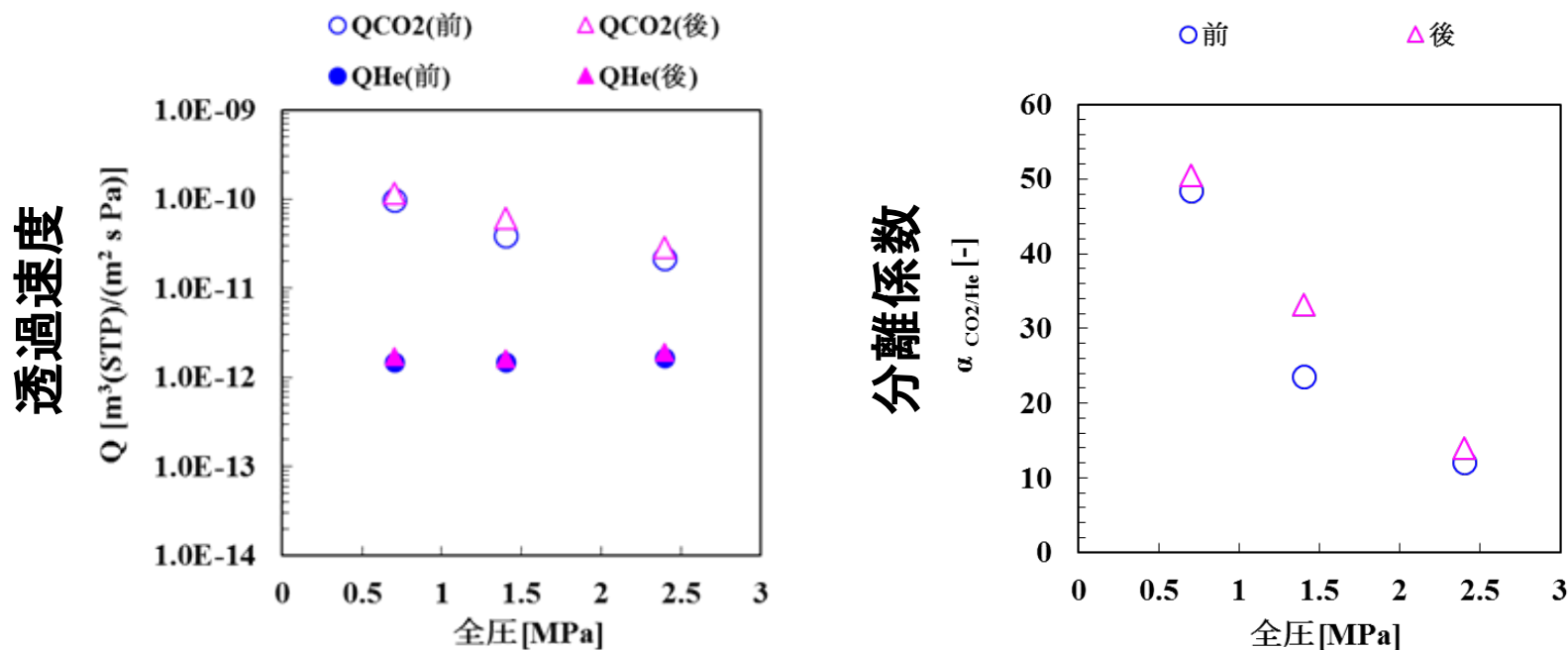
プロセス適合性：耐不純物性（ H_2S ）（単膜（連続製膜））



〈曝露試験条件〉

- ・圧力：2.4MPa以上；温度：85°C±3°C；
ガス組成：CO₂(33%)＋H₂S(500ppm)＋N₂バランス（湿度：約80%RH）
- ・試験期間：7日間

曝露試験前後の分離性能（”前”：曝露試験前、”後”：曝露試験後）

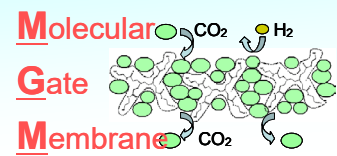


測定条件： 温度：85°C； 供給側：全圧2.4MPa, 混合ガス組成CO₂/He=40/60 vol./vol., 湿度60%RH； 透過側：大気圧

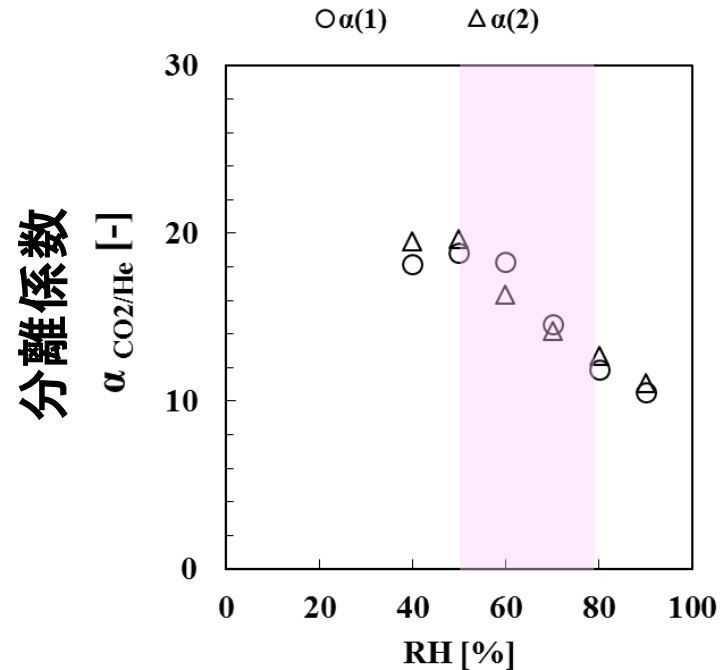
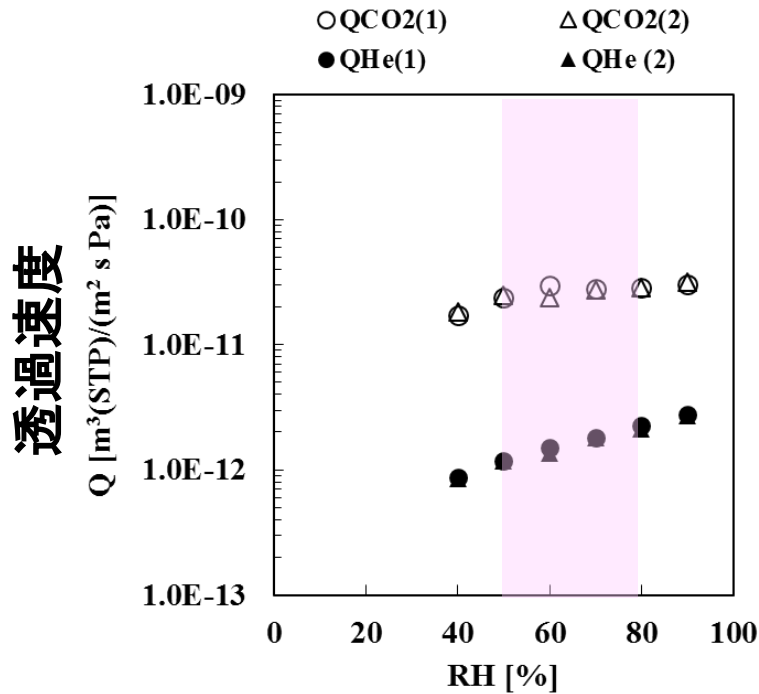
曝露試験前後で分離性能はほぼ同程度

→ H_2S に対する耐性を確認した。

プロセス適合性：湿度依存性（単膜（連続製膜））



分離性能の湿度依存性を小型高压試験装置で確認

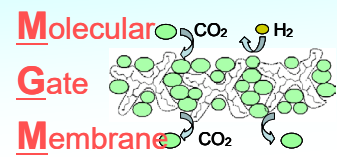


測定条件:

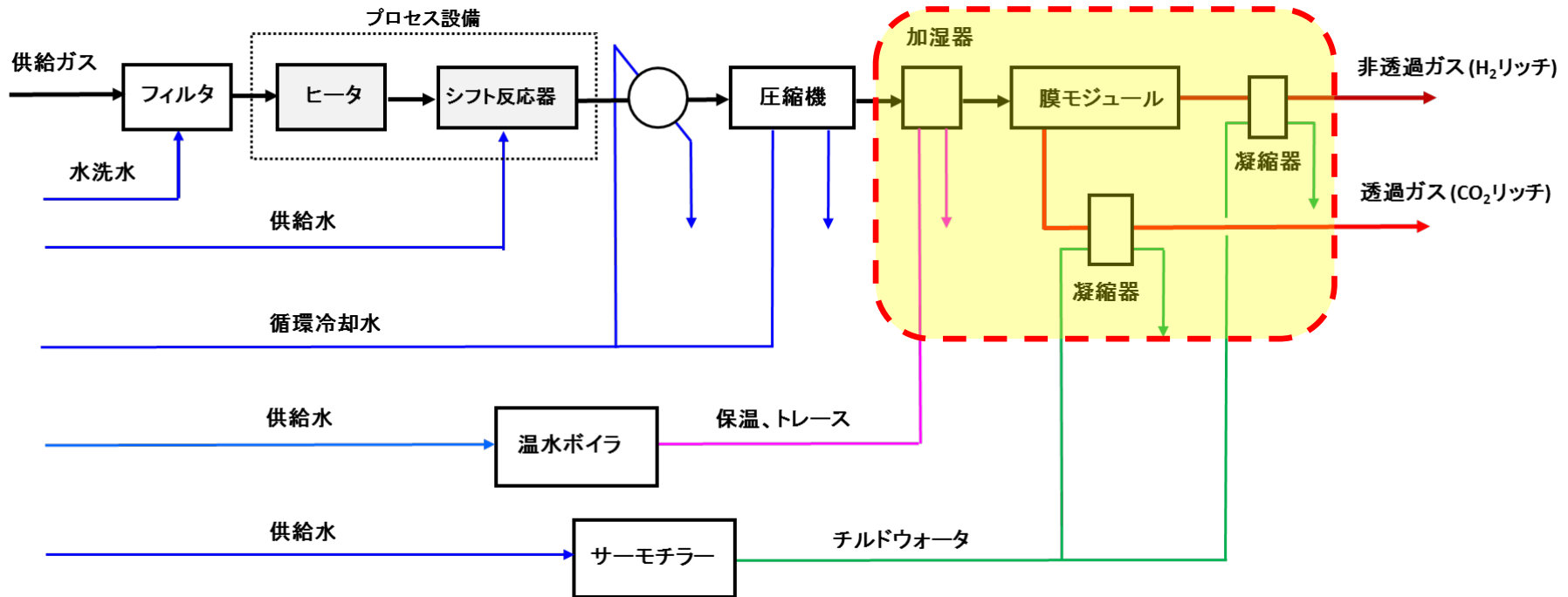
温度: 85°C; 供給側: 全圧2.4MPa, 混合ガス組成CO₂/He=40/60 vol./vol., 湿度40~90%RH; 透過側: 大気圧

シミュレーションに反映させるために、
分離性能の湿度依存性を把握した。

実ガス試験機システム概要(例)



本事業において検討する範囲



実ガス試験プロセス・装置の基本計画を検討した。

海外実ガス試験についての検討

国内での実ガス試験には、水性ガスシフト反応器、各種前処理設備の製造、設置を含む費用と準備期間が必要

→水性ガスシフト反応器、各種前処理設備を保有する試験サイトとして、ケンタッキー大学※で実ガス試験を実施予定(来年度)。

※University of Kentucky – Center for Applied Energy Research (UK-CAER)

<ガス化炉: Gasification>

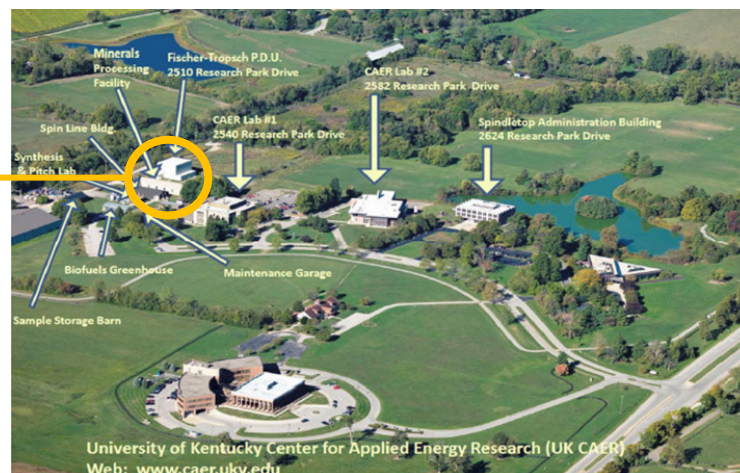
- 酸素吹きプラント
- 石炭使用量: 1ton/day
- Syngas流量: 72.6kg/h

<水性ガスシフト反応器: WGS>

- Co, Fe触媒

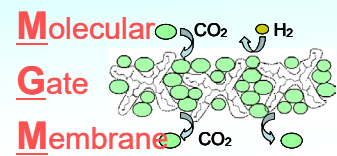
<酸性ガス処理設備>

- アミン吸収液による回収法
- 昇圧設備: 2.76MPa
- 脱硫設備



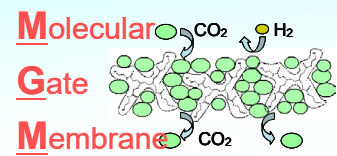
<https://www.netl.doe.gov/File%20Library/Events/2015/gas-ccbtl-proceedings/Gasification-and-CTL-Workshop-Presentation-2015-UKCAER.pdf>

目次



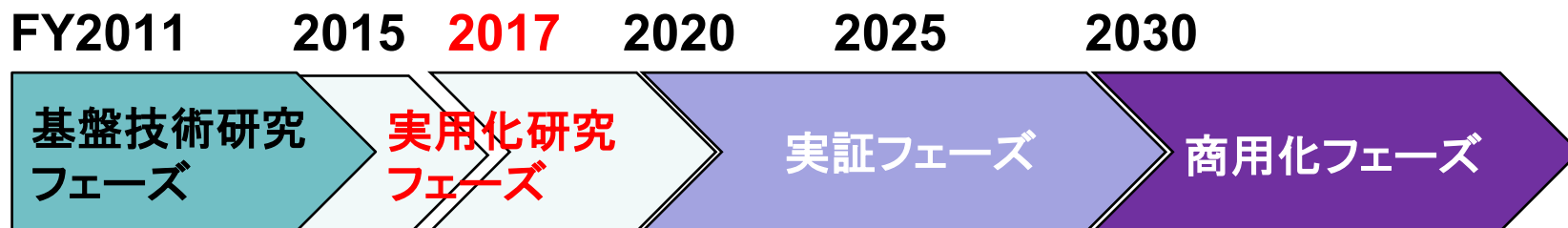
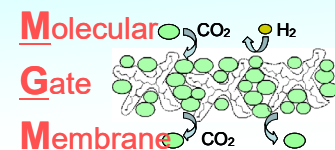
1. CCSに関する最近の動向
2. 次世代型膜モジュール技術開発の進捗
3. **まとめと今後の展開**

まとめ



- ・前プロジェクトで確立した基盤技術を元に、実用化に向け、膜性能の操作条件依存性や耐圧性、耐久性、耐不純物性等の検討を進めている。
- ・CO₂分離膜の量産化に向けた連続製膜技術を確立し、膜エレメントの開発を進めている。
- ・石炭ガス化ガスを用いた試験に向け、米国UK-CAERの試験サイトを選定し、実ガス試験準備を進めている。

CO₂分離膜実用化に向けたロードマップ



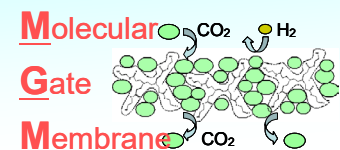
研究・開発体制



- 1) 二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発事業 (H27FY~)
(計画・課題)
- 実ガス等の実用化試験による技術課題の抽出、解決
 - 実用化段階の分離・回収コスト1,500円/t- CO₂以下の達成
 - 実機膜モジュールシステムの開発

- 2) 実証フェーズ・商用化フェーズにおける課題
- IGCC実ガス、実機での長期試験、大規模な実証試験による実績の蓄積
 - 膜、モジュールの商業生産プロセスの検討、膜大面積化、量産体制の構築
 - CO₂分離膜プロセス採用に向けた活動

謝 辞



本報告は、経済産業省から
次世代型膜モジュール技術研究組合が受託した

平成23～26年度

「二酸化炭素分離膜モジュール研究開発事業」

及び

平成27、28年度

「二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発事業」

の一環として行われたものである。

ご清聴ありがとうございました

