

2019.1.18 16:05-16:35

第8回 革新的CO<sub>2</sub>膜分離技術シンポジウム  
活動報告①

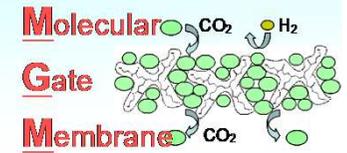
---

# 次世代型膜モジュール技術の 進捗について

---

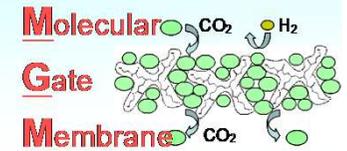
次世代型膜モジュール技術研究組合  
専務理事 中尾 真一

# 目次



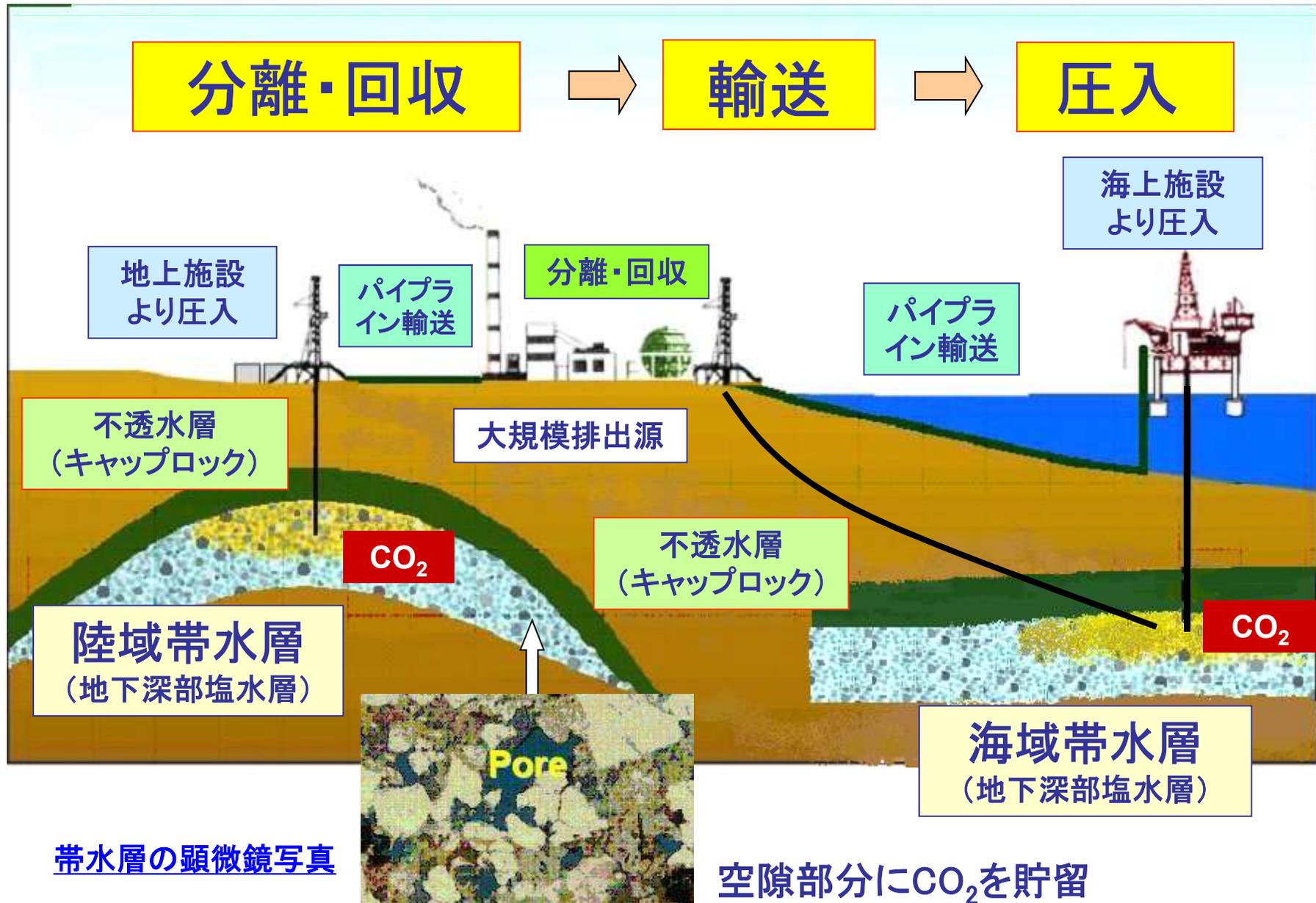
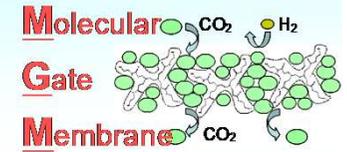
1. CCSに関する最近の動向
2. 次世代型膜モジュール技術開発の進捗
3. まとめと今後の展開

# 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

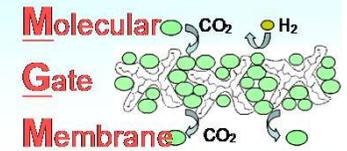
# 二酸化炭素回収・貯留 (CCS, CO<sub>2</sub> capture and storage)



帯水層の顕微鏡写真

空隙部分にCO<sub>2</sub>を貯留

# CCSに関する最近の動向



## IPCC第5次統合報告書 (2014年11月)

2100年までの、CO<sub>2</sub>累積排出量と世界の平均気温(予測)は、ほぼ比例関係。

平均気温上昇を2°C未満(産業革命前比)にするには、

2050年温室効果ガス排出量を2010年比40~70%に減らし、  
今世紀末にはほぼゼロにする必要がある。

## エネルギー技術展望2015

2050年、世界のCO<sub>2</sub>排出量を2012年時点(34Gt-CO<sub>2</sub>/y)の半分以下、  
14Gt-CO<sub>2</sub>/yにすることが必要。

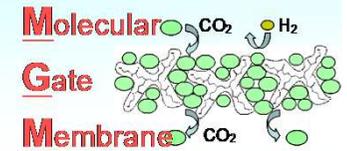
## COP21におけるパリ協定の採択 (2015年12月)

全ての国は、削減目標を5年毎に更新、実施状況を報告、レビューを受ける。

長期目標: 気温上昇を2°Cより十分低く保つ、1.5°Cに抑える努力を追求する。

今世紀後半、温室効果ガスの排出と吸収源による除去の均衡を達成する為に、  
最新の科学によって早期の削減を行う。

# COP21以降の動き



## COP22 (2016年、モロッコ、マラケシュ)

パリ協定の実施方針等を2018年までに策定すること、また、パリ協定をまだ批准できていない国を含めてすべての国がルール作りに参加できるようにすることが決定。

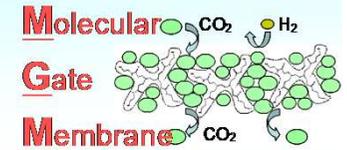
## COP23 (2017年、ドイツ、ボン)

「パリ協定の実施指針」等の議論が行われ、2018年中に、この実施指針が策定される予定。

## COP24 (2018年12月2-15日、ポーランド、カトヴィツェ)

パリ協定を運用するためのルールとなる実施指針を採択した。

# CCSとCO<sub>2</sub>分離・回収技術



## 「環境エネルギー技術革新計画(2013年9月)」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CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>を削減する手段としても有効。

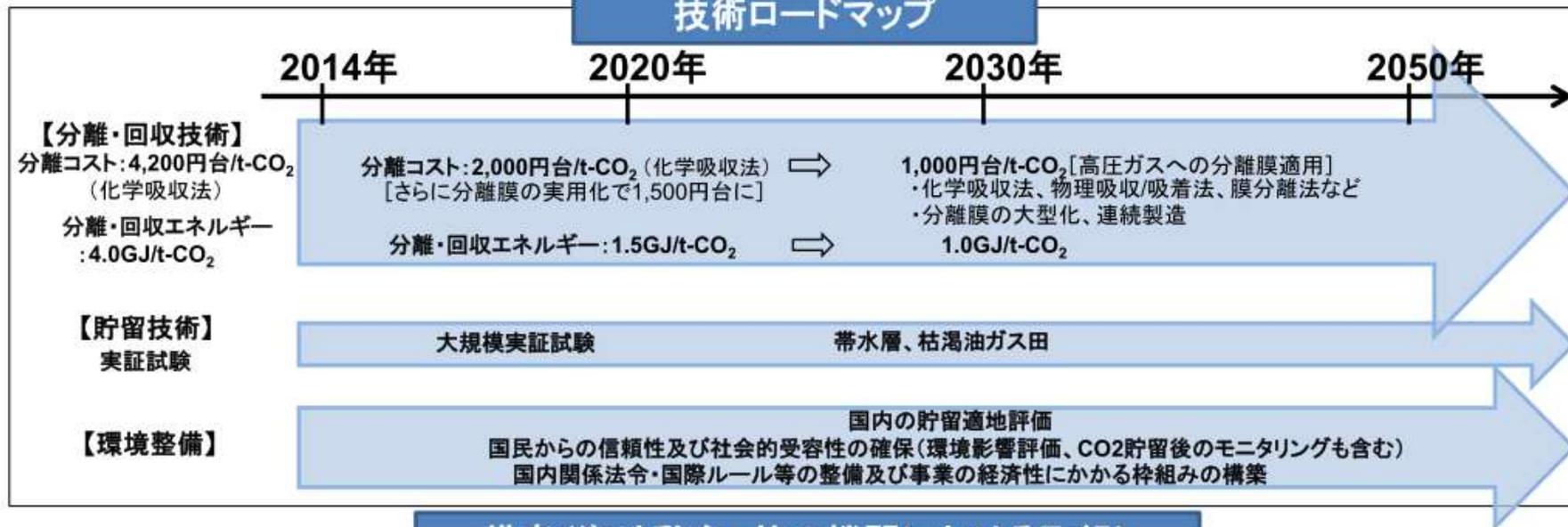
### 当該技術の概要及び我が国の技術開発の動向

- CCSは、大規模排出源の排ガス等からCO<sub>2</sub>を分離・回収し、地下貯留することにより、CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>分離回収技術や、安全性向上に有効な地下貯留したCO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>を地下貯留するためのCO<sub>2</sub>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

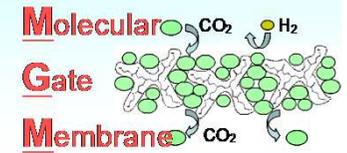
### 技術ロードマップ



### 備考(海外動向、他の機関における取組)

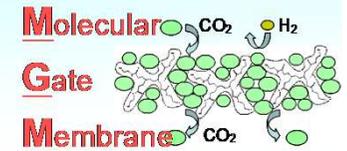
- CCSプロジェクトは、炭素税等を背景にノルウェー等で数件が実施されている。
- CO<sub>2</sub>圧入によるEOR(石油増進回収法)は、米国を中心に10件程度進行中である。

# 目次



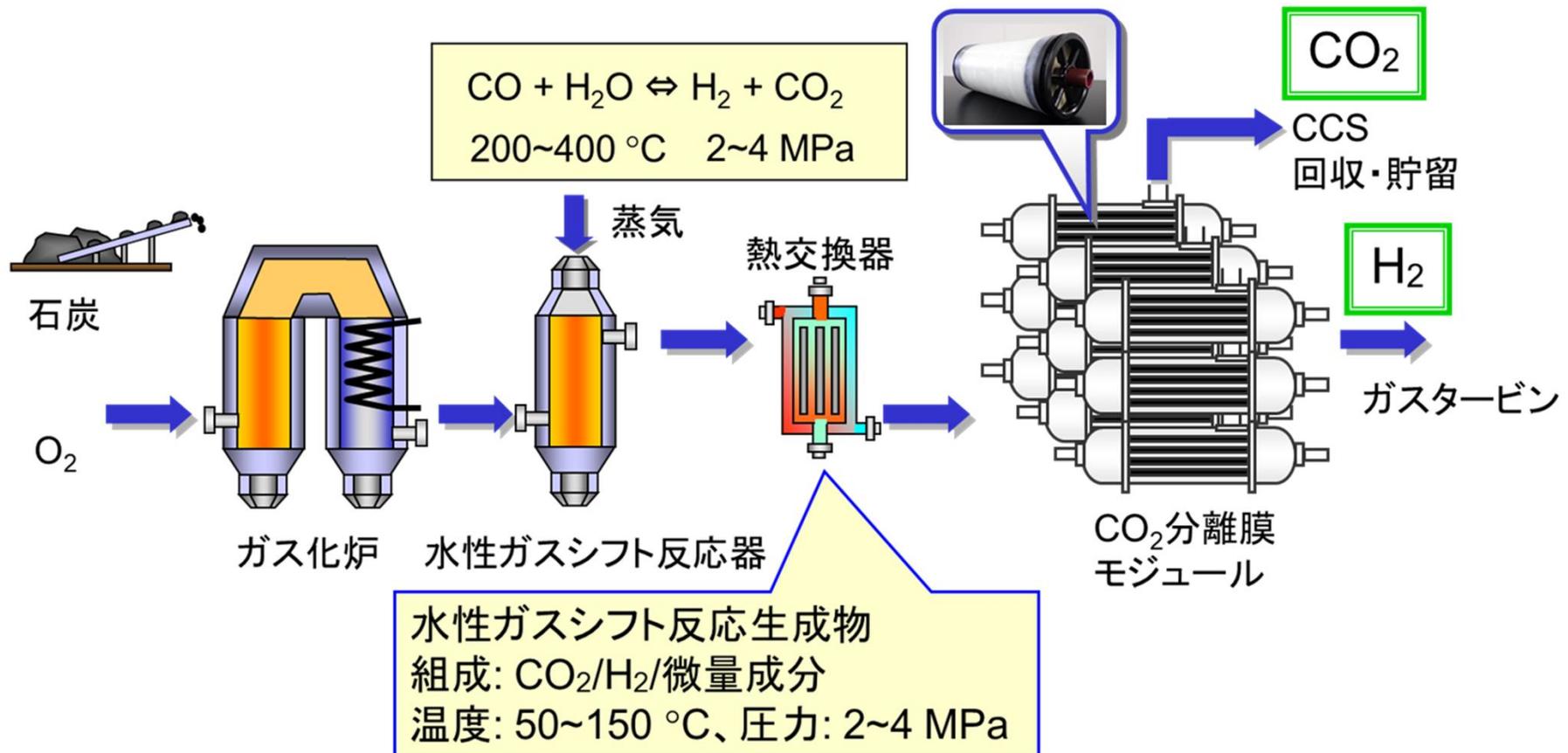
1. CCSに関する最近の動向
2. 次世代型膜モジュール技術開発の進捗
3. まとめと今後の展開

# 次世代型分離膜モジュールの開発

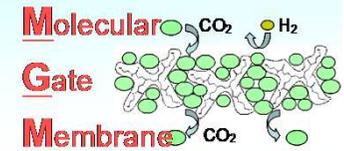


<対象> **高圧**の燃料ガスから省エネルギー、低コストでCO<sub>2</sub>を分離回収しうる  
高性能CO<sub>2</sub>選択透過膜(分子ゲート膜)技術の実用化研究(**燃焼前回収**)

<目標> CO<sub>2</sub>分離・回収コスト : ≤1,500円/t- CO<sub>2</sub>  
CO<sub>2</sub>分離・回収エネルギー : ≤0.5 GJ/t- CO<sub>2</sub>



# CO<sub>2</sub>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)

(FY2011～FY2014)

目標 回収コスト 1,500円/t-CO<sub>2</sub>を実現する  
CO<sub>2</sub>選択透過(分子ゲート)膜モジュールの基礎研究

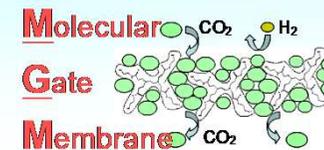
## CCS研究開発・実証関連事業/CO<sub>2</sub>分離回収技術の研究開発 /二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発

FY2015～2018(METI委託事業)、FY2018～(NEDO委託事業)

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-CO<sub>2</sub>、回収エネルギー: 0.5GJ/t-CO<sub>2</sub>

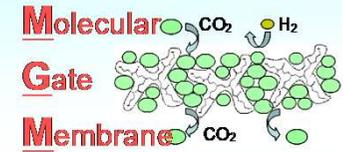
# 研究開発項目とスケジュール(H27FY~H31FY)



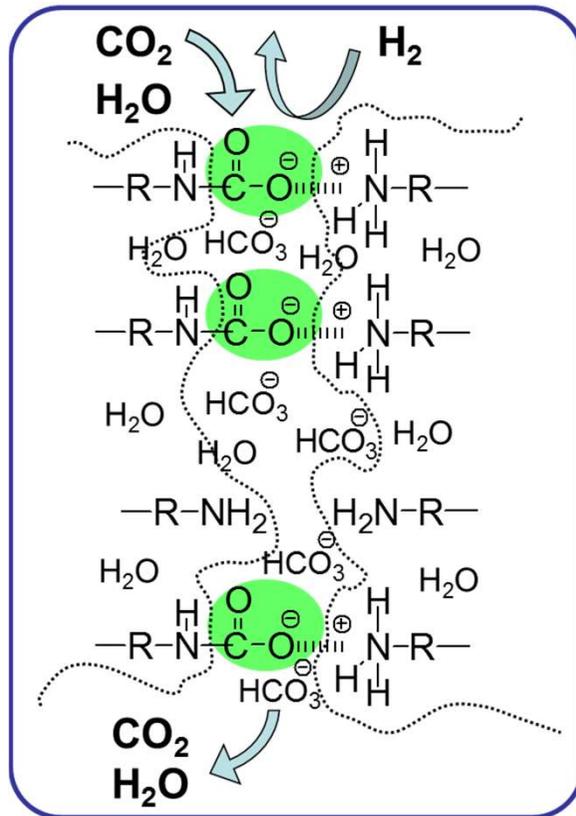
年度	H27FY	H28FY	H29FY	H30FY	H31FY
(1) 実機膜 モジュールの 実用化研究	模擬ガス試験に基づくプロセス適合性の確認、及び、課題抽出と解決		連続製膜とエレメント化の課題抽出と解決	実ガス試験結果を反映した単膜、膜エレメントのチューニング	
	実ガス試験プロセス・装置の基礎検討・実ガス試験計画			実ガスを用いた単膜、膜エレメントの検証試験及び、課題抽出と解決	
(2) 実ガス試験 による 実用化研究	実ガス試験プロセス・装置の基礎検討・実ガス試験計画		実ガス試験装置の検討・設計・製作・設置		実ガスを用いた単膜、膜エレメントの検証試験及び、課題抽出と解決
	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

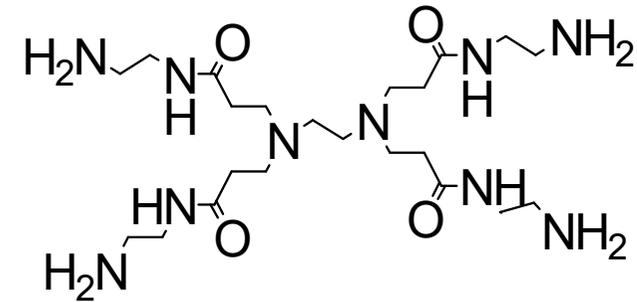
# CO<sub>2</sub>分子ゲート膜とは



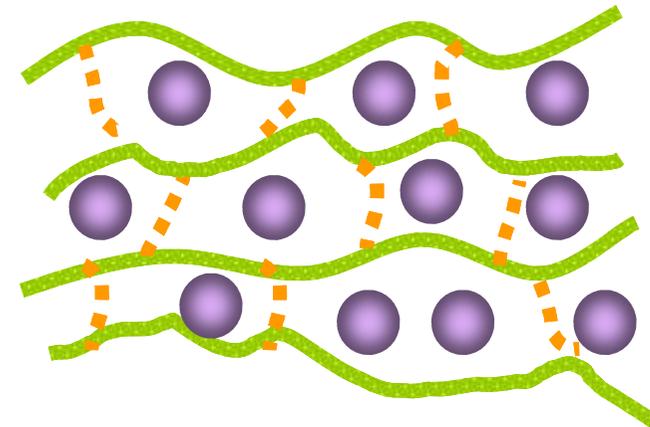
## CO<sub>2</sub>分子ゲート機能を有する革新的なCO<sub>2</sub>分離膜



-  カルバメートによる擬似架橋
- $\text{HCO}_3^-$  重炭酸イオン

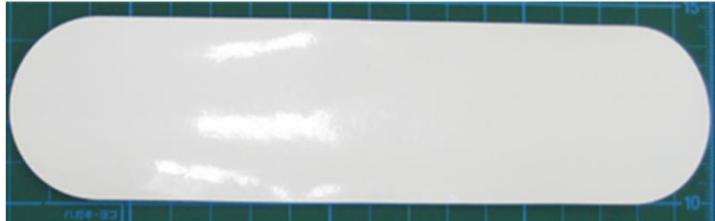
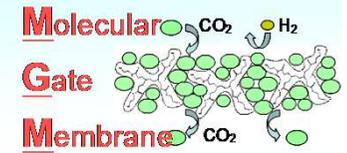


Dendrimer



-  PVA
-  Crosslinker
-  Dendrimer

# CO<sub>2</sub>分離膜と膜エレメント



CO<sub>2</sub>分離膜



膜エレメント  
(4inch; 長さ200mm)

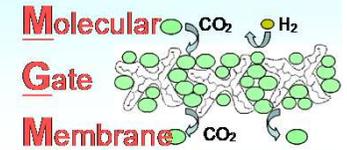


膜モジュール



膜モジュール中の  
膜エレメントのイメージ

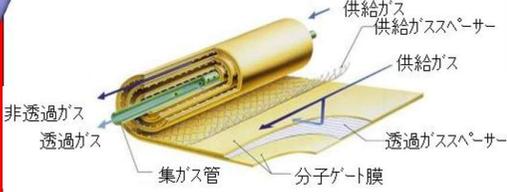
# 分離膜の開発段階のイメージ



## (基盤技術開発)

## (実用化研究)

## (実機)

名称	単膜	膜エレメント	膜モジュール
概要	ラボスケールの平膜 (膜面積: 1.2~58cm <sup>2</sup> 程度)	大面積の膜を用いた構造体 膜・支持体・流路材などを一体化したもの	膜エレメントとそれを収納する容器 (ハウジング) を組み合わせたもの
サイズ、外観	 (膜面積: 1.2 cm <sup>2</sup> )  (膜面積: 58 cm <sup>2</sup> )	 (2~4inch、長さ 200mm) 	  (8 inch、長さ 1,000mm 程度)
課題等	膜素材開発 (分離性能向上、耐圧性・耐久性等向上)	製膜法、エレメント部材開発 (連続製膜、大面積化、シール技術等)	実機モジュール開発 (容器形状、量産化、システム化)

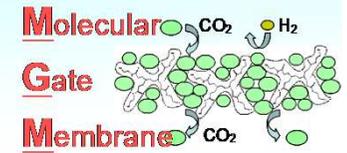
# 連続製膜技術の開発



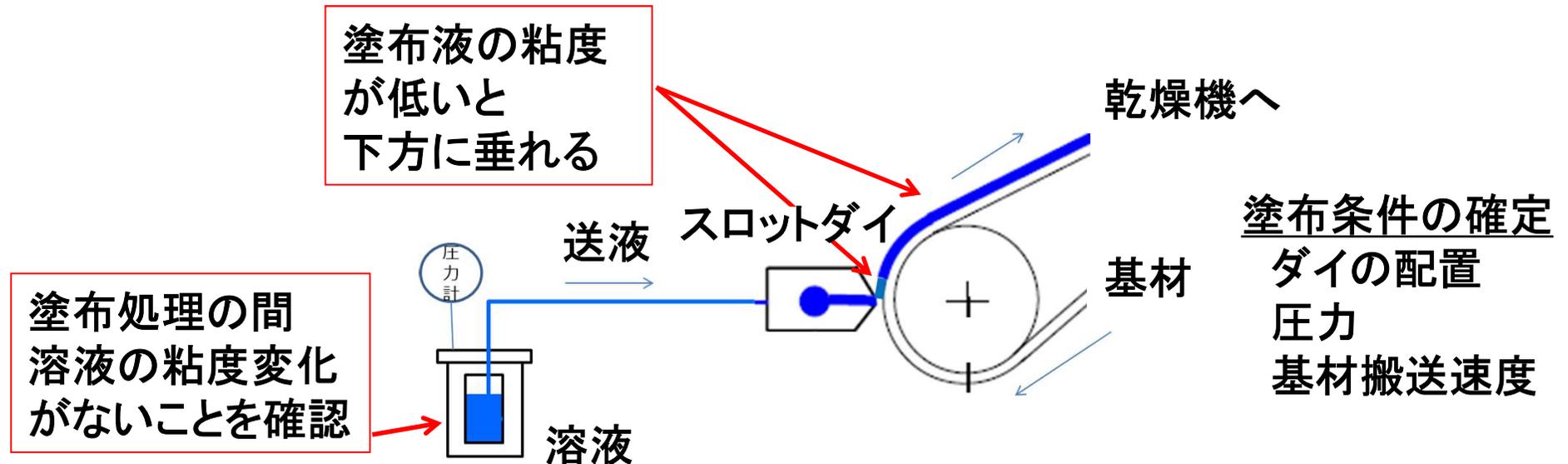
実機適用を念頭に、大面積塗布が可能で生産性も高い連続製膜法を開発

方式	枚葉製膜	連続製膜
装置	<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



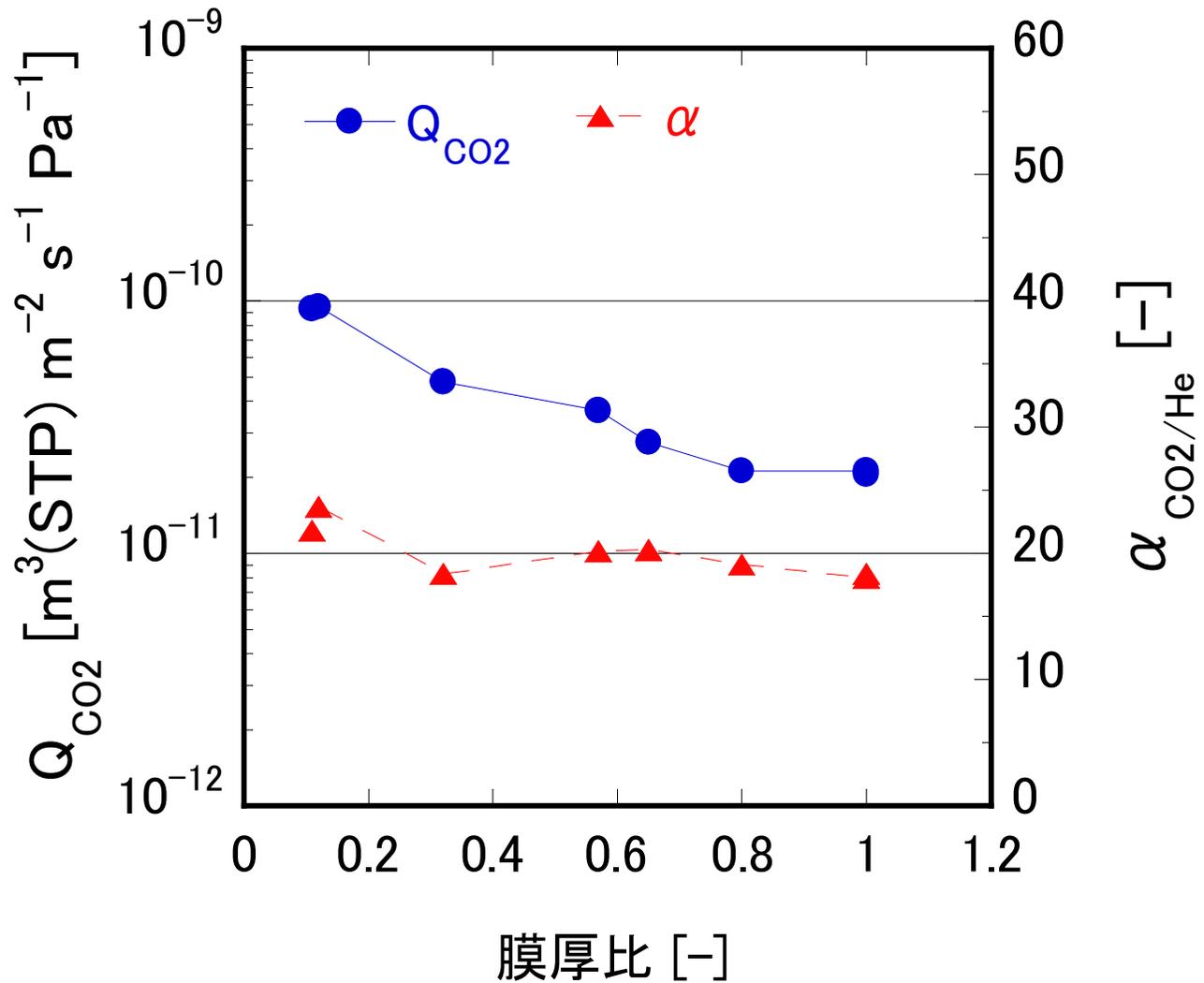
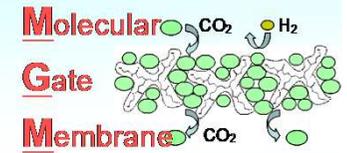
## 1) スロットダイ塗布に適した粘度を設定し、塗布条件を確定



## 2) 生産性と良好な膜外観を両立する乾燥温度の設定

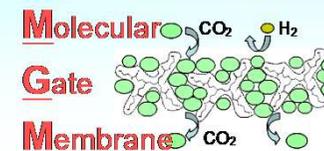
	乾燥温度 試作との差	連続製膜 乾燥後膜の観察
試作条件	—	良好に乾燥
高温乾燥条件	試作時+10°C	基材に皺発生

# 連続製膜 薄膜化検討

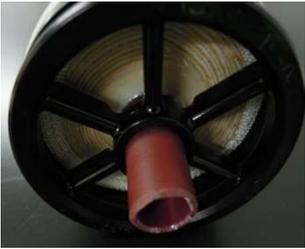


※ 評価条件 切り出した平膜(8cm<sup>2</sup>) での評価  
 85°C, CO<sub>2</sub>/He=40/60, 供給側: 400m L/min, Sweep無し, 60%RH, 2.4 MPa

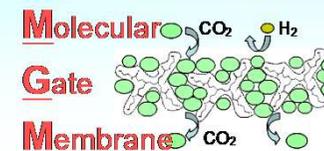
# エレメント化スケールアップ検討



4インチエレメントを試作し、リーフ長を長くして良好に試作できることを確認し、スケールアップ時の設計指針を得た。

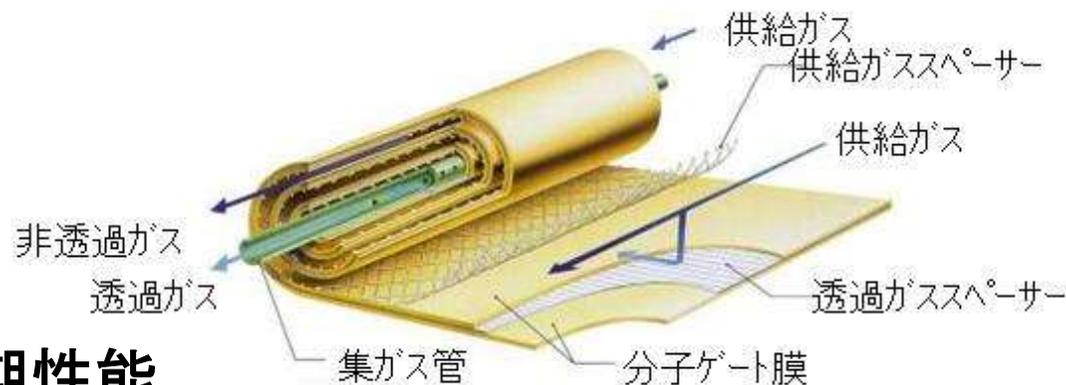
エレメント	2インチ	4インチ (A) (改良前)	4インチ (B) (改良後)	実機相当 8インチ
リーフ*1長	200~ 300mm	200~ 300mm ※2inchと同じ	700~ 900mm	700~ 900mm (透過圧損次第で 最適化必要)
試作結果		<p>✖ リーフ長が短く ハンドリング難</p> 	<p>○ ハンドリング 良好</p> 	(4インチの知見 に基づき 検討予定)

# 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



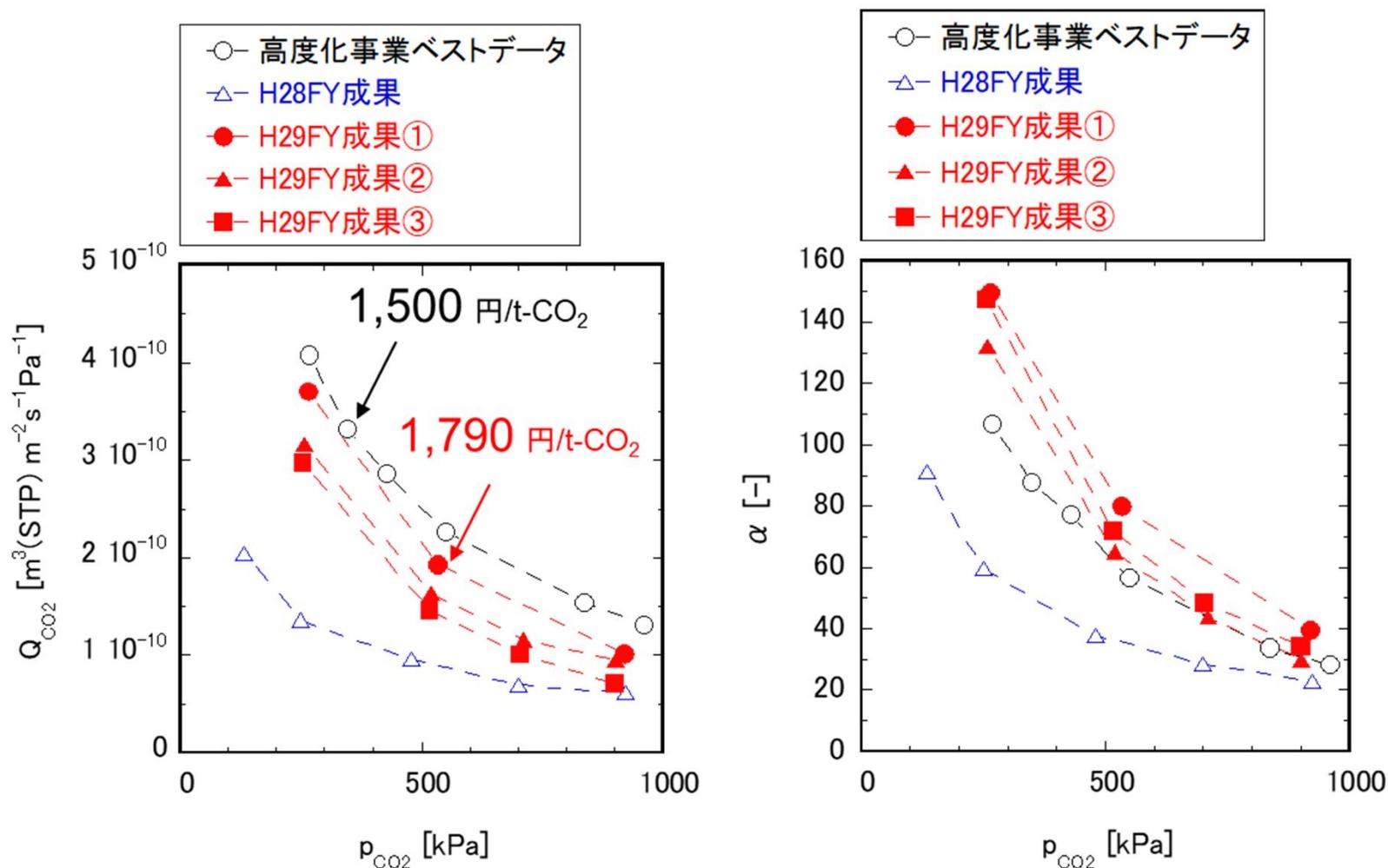
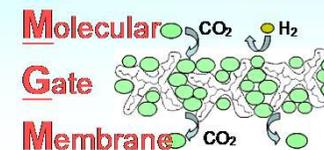
## 2) 2inch径エレメントの初期性能

⇒CO<sub>2</sub>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(58cm<sup>2</sup>)の分離性能

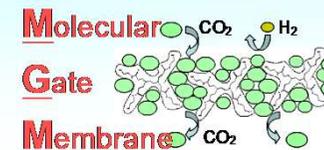
	Relative thickness	Q <sub>CO2</sub>	Q <sub>He</sub>	α
		[m <sup>3</sup> (STP)/m <sup>2</sup> /s/Pa]	[m <sup>3</sup> (STP)/m <sup>2</sup> /s/Pa]	
Membrane A	1	1.94E-11	1.18E-12	16.5
Membrane B (thin membrane)	0.1	7.73E-11	3.92E-12	19.7
Membrane element using Membrane A	1	1.83E-11	1.54E-12	11.9

# CO<sub>2</sub>分離性能の向上検討

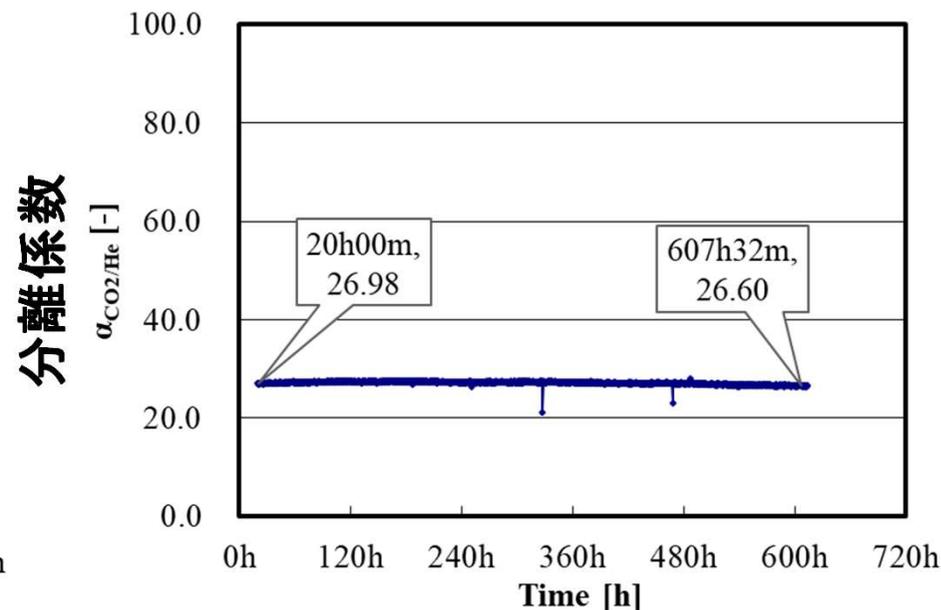
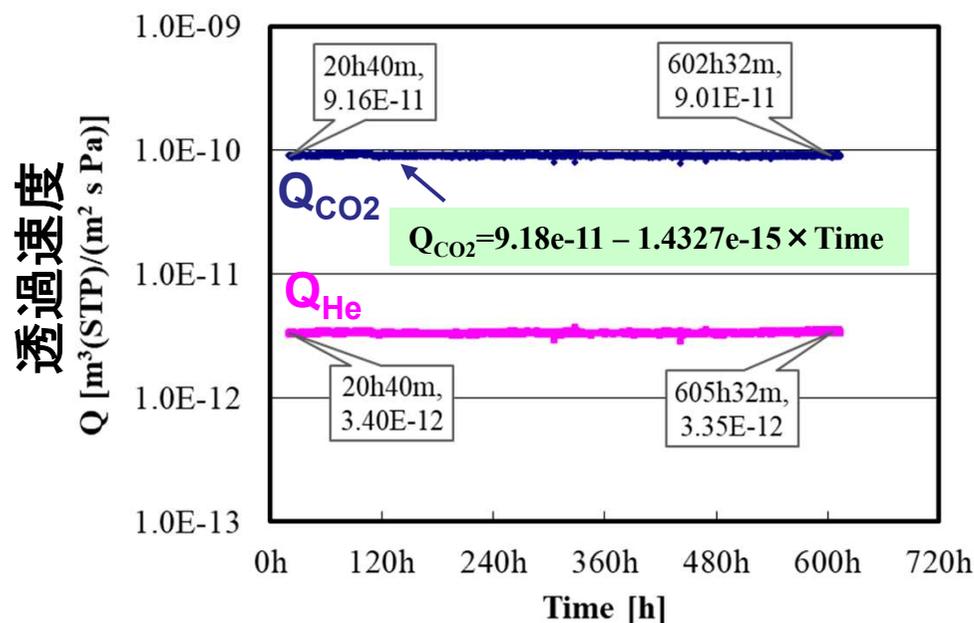


連続製膜処方で作製した膜においても、薄膜化と膜組成の最適化により、中間評価のコスト目標値(≤2,100円/t-CO<sub>2</sub>)を達成し、最終目標(≤1,500円/t-CO<sub>2</sub>)達成の目処をつけた。

# プロセス適合性：耐圧・耐久性（単膜（連続製膜））



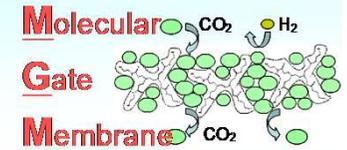
IGCC想定全圧(2.4MPa)における単膜(連続製膜)の耐圧・耐久性を  
小型高圧試験装置にて確認



測定条件： 温度：85℃； 供給側：全圧2.4MPa， 混合ガス組成CO<sub>2</sub>/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))

# 実ガス試験



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※で実ガス試験を開始(2018年10月～)

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

## <ガス化炉: Gasification>

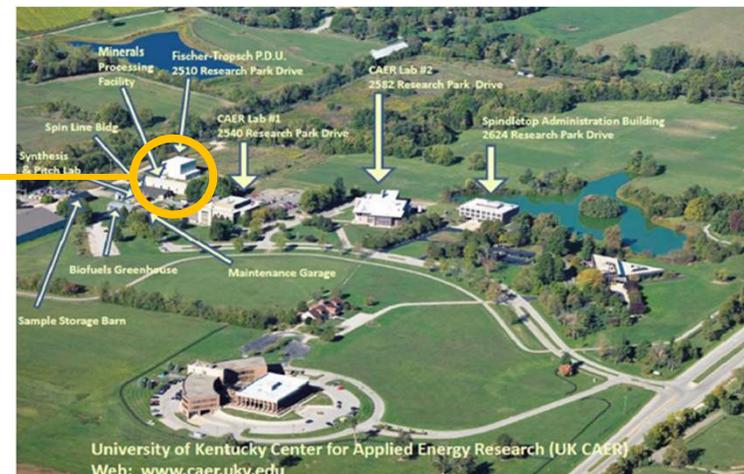
- 酸素吹きプラント
- 石炭使用量: 1ton/day
- Syngas流量: 72.6kg/h

## <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>

# 米国ケンタッキー大学における実ガス試験



## ケンタッキー大学 (UK-CAER)

## MGM技術研究組合

ガス化炉 (酸素吹き) + シフト反応器  
+ ガス精製

石炭使用量:  
↓ 1Ton/Day

ガス流量:  
80Nm<sup>3</sup>/h

Feed Preparation

Gasification Unit



シフト反応  
↓  
ガス精製

加湿器

膜  
膜エレメント

透過ガス

非透過  
ガス



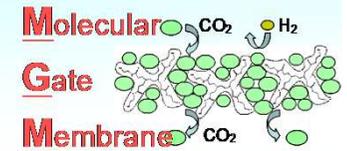
単膜



膜エレメント

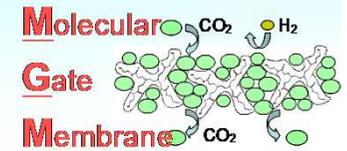
石炭ガス化ガスによる検証試験:  
⇒ IGCCへの適用性確認および製膜技術の確立

# 目次



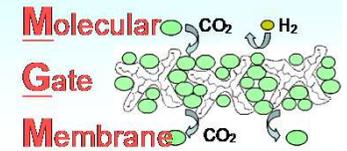
1. CCSに関する最近の動向
2. 次世代型膜モジュール技術開発の進捗
3. まとめと今後の展開

# まとめ



- 実機適用を念頭に、大面積塗布が可能な連続製膜法を開発。
- 米国UK-CAERの石炭ガス化炉で実ガスを用いた検証試験を開始。
- 膜材料・膜エレメント部材の最適化により1,500円台/t-CO<sub>2</sub>を目指す。

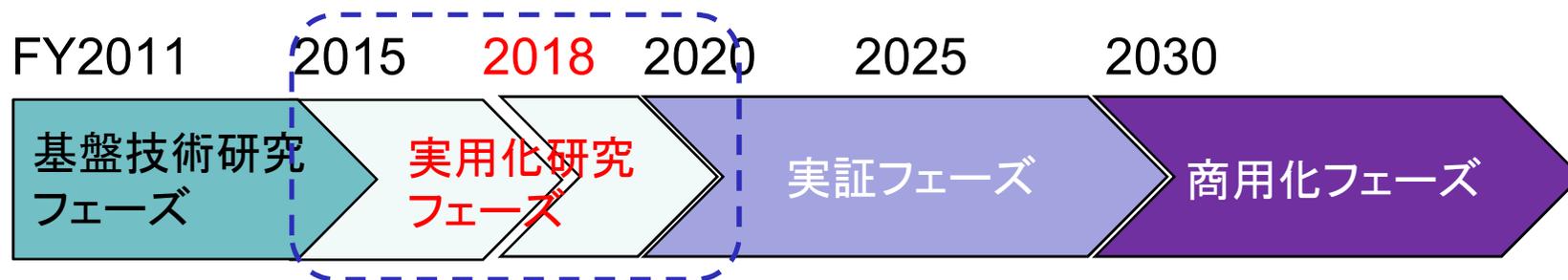
# 今後の予定と実用化に向けたロードマップ



## 【現行事業における課題と今後の予定】

- 実ガス等の実用化試験による技術課題の抽出、解決（耐不純物性、分離性能低下等）
- 製膜法・エレメント部材の最適化、実機膜モジュールシステムの開発

⇒ これらを解決、検証後、実機膜モジュールによる大規模実証へ  
（商業生産プロセスの検討、膜大面積化、量産体制の構築）

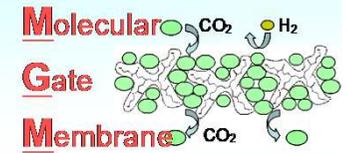


## 研究・開発体制

次世代型膜モジュール  
技術研究組合

+ IGCC関係企業との連携  
（電力会社、エンジニアリング会社等）

# 謝 辞



本研究開発は、経済産業省および新エネルギー・産業  
技術総合開発機構(NEDO)から  
次世代型膜モジュール技術研究組合が受託した  
「二酸化炭素分離膜モジュール研究開発事業」および  
「二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発事業」  
により実施された。

ご清聴ありがとうございました

