

NEDO脱炭素技術分野成果報告会2025 プログラムNo.6

カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発／CO₂分離・回収
技術の研究開発／二酸化炭素分離膜システム実用化研究開発／

高圧用CO₂分離膜の水素製造システムへの 適用性検討

発表：2025年7月16日

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

発表者名 甲斐 照彦、栗原 美佳

団体名 次世代型膜モジュール技術研究組合、三菱化工機株式会社

問合せ先 次世代型膜モジュール技術研究組合 水野 雅彦

E-mail: mizuno@rite.or.jp TEL:0774-75-2305

01 期間

2024年5月10日～2026年3月31日

02 最終目標

ブルー水素市場価格、CO₂ガス市場価格に見合ったコスト(<5,000円/t-CO₂)
とするための課題抽出、およびコスト実現

03 研究成果

膜の開発

前事業で開発した高いCO₂分離性能を発現する新ドープ液の大量調合、広幅連続製膜、膜エレメントの作製等に関する検討を実施し、実証試験に向けた準備を進めた。また、膜エレメント作製の自動化設備の導入を完了した。

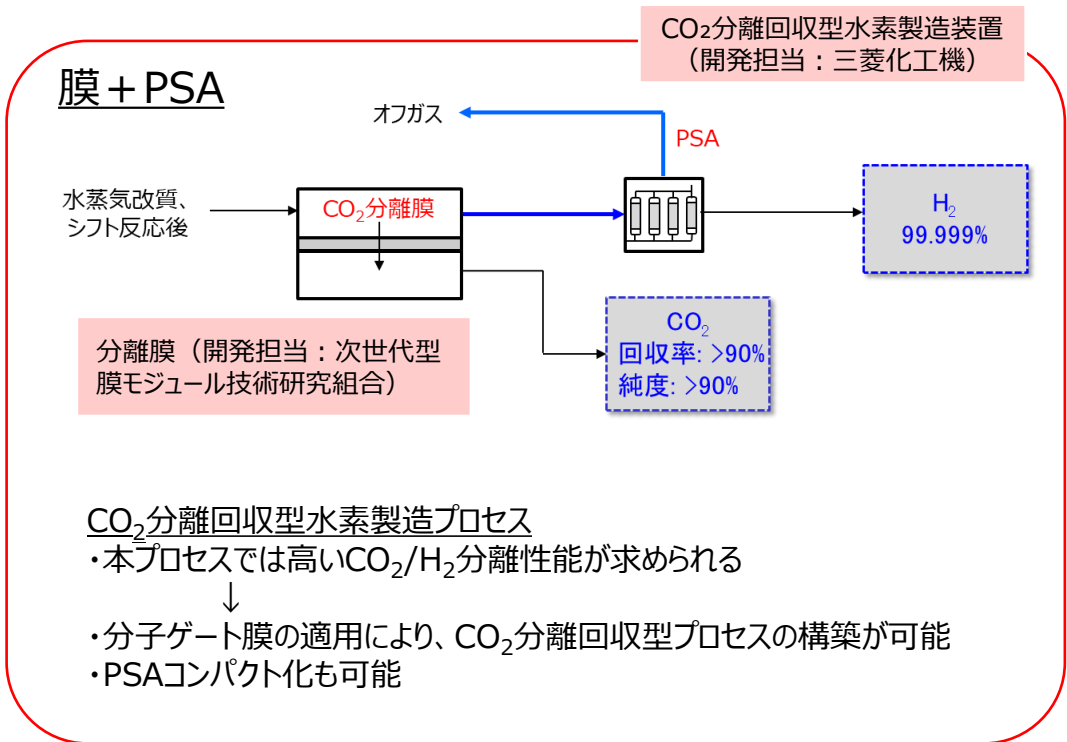
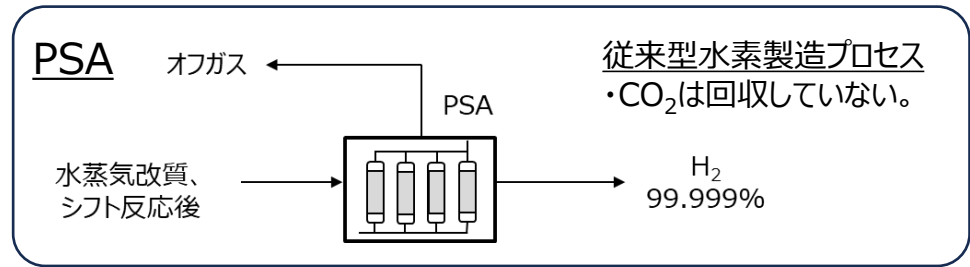
CO₂分離回収型水素製造装置の検討

プロセスフローおよび運転方案について検討を行い、商用機の3Dモデルを作成した。さらに、商用機におけるCO₂回収コストを試算し、回収したCO₂ガスを市場価格に見合ったコストで供給するための課題を抽出した。

これらの成果を踏まえ、商用機の概念設計を基に実証機の基本設計の検討を進めた。

研究開発テーマの概要および分担：

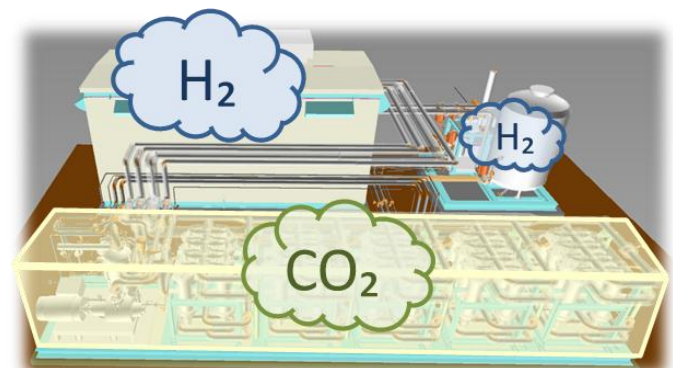
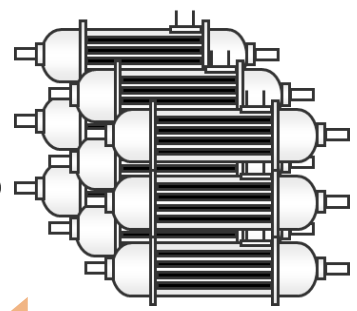
〈概要〉 CO₂分離膜（分子ゲート膜）システムの実用化に向けた開発を行う。また、CO₂分離回収型水素製造装置の実証試験により、膜分離システムの有効性を検証する。



水素製造装置
(HyGeia-A-300T)



CO₂分離膜
(分子ゲート膜-MGM)



CO₂分離回収型水素製造装置イメージ図

■ 実施内容・スケジュール

事業項目		実施内容	2024年度		2025年度		2026年度(参考)	
1	水素製造に適する膜のチューニング検討	ドープ液の大量調合						
		部材の歩留まり向上						
2	商用サイズエレメントの検討	連続製膜の歩留まり向上						
		エレメント長期耐久性						
		安価部材						
		エレメントの生産性向上						
3	水素製造システムの設計・製造の検討	実機概念設計、実証機基本設計、要素試験						
		実証機詳細設計、部材調達						
		実証機製作(機器製作先行)						
4	CO ₂ 分離回収型水素製造の検討(実証試験)	短期運転試験						

01 CO₂分離膜

分子ゲート膜について

スパイラル型エレメントについて

開発項目・開発目標

研究成果

今後の技術課題・スケジュール

02 CO₂分離回収型水素製造装置

CO₂回収型水素製造システムについて

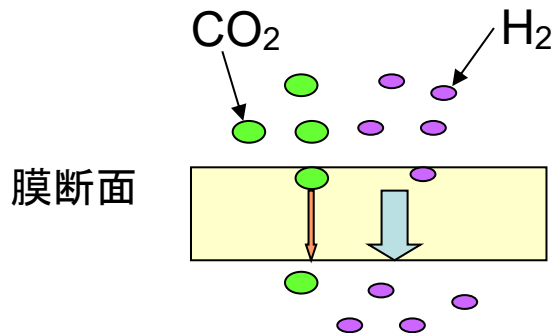
開発項目・開発目標

研究成果

今後の技術課題・スケジュール

分子ゲート膜(MGM膜)について

<従来のCO₂分離膜>



H₂に対するCO₂選択透過性
(分離係数: α)

$\alpha < 1$ (分子ふるい性膜)
 ~ 10 (溶解選択性膜)

分子サイズ(nm)

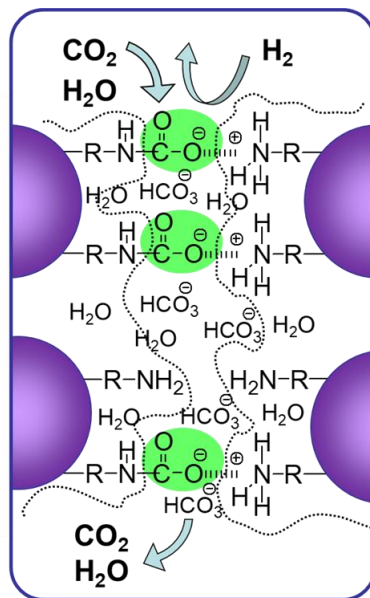
H ₂	<	CO ₂	<	N ₂	<	CH ₄
0.29		0.33		0.36		0.38

低いCO₂/H₂選択性⇒適用困難

<分子ゲート膜(MGM膜)>

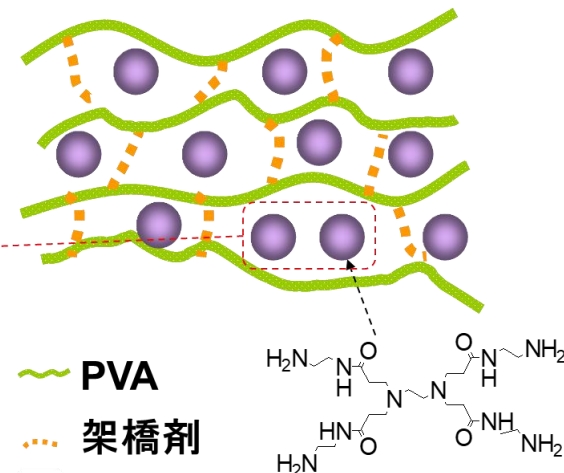
H₂の透過を阻害し、CO₂を選択的に透過する機能膜

供給側
高圧
圧力
低圧
透過側



カルバメートによる
擬似架橋

HCO₃⁻ 重炭酸イオン



ポリビニルアルコール(PVA)系
高分子マトリクス(網目構造)

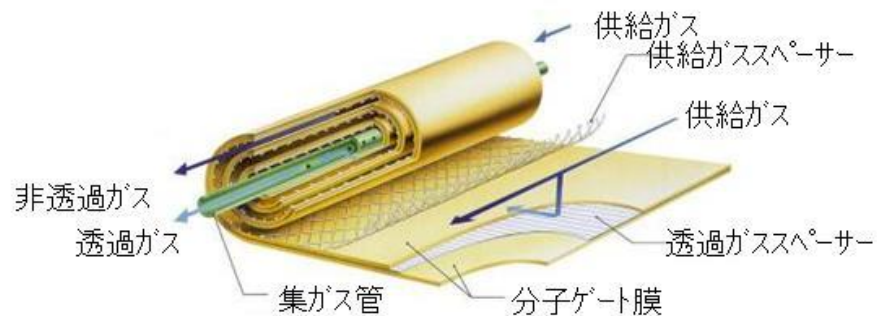
デンドリマー

・膜構造の保持(補強)
・デンドリマーの固定化

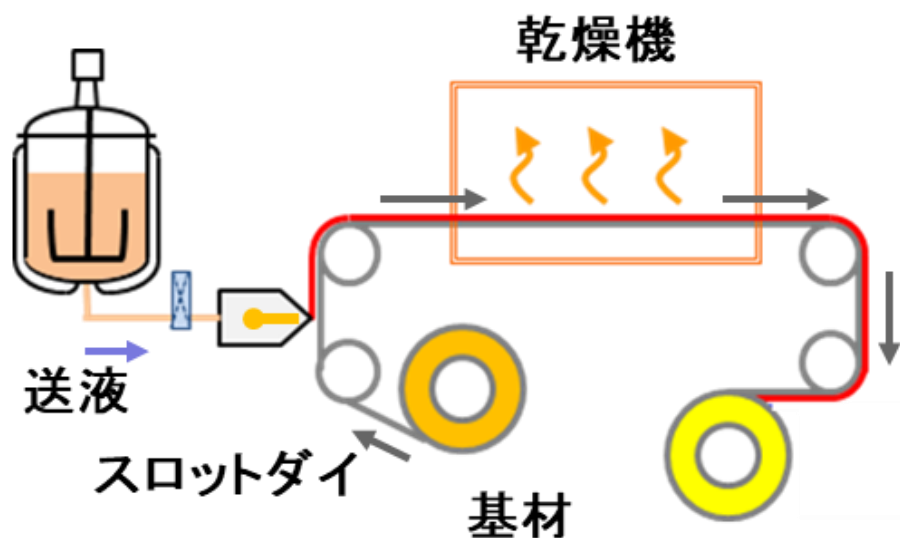
・分離性能発現
(分子ゲート)

高いCO₂/H₂選択性+高い耐圧性
⇒高圧ガス(IGCC、水素製造装置等)からの分離
に適している。

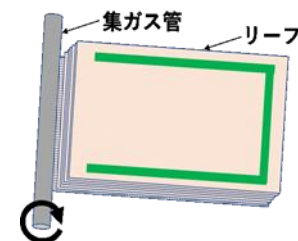
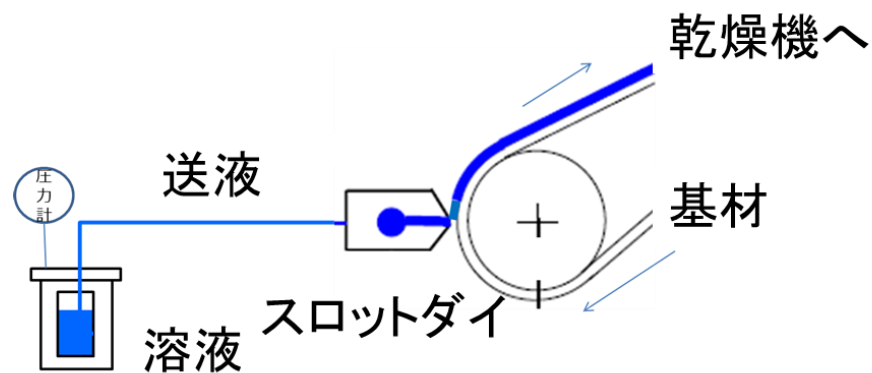
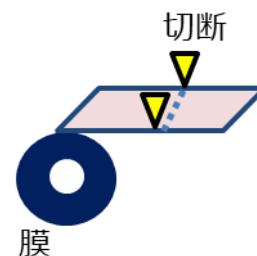
スパイラル型エレメントについて



スロットダイ方式による連続製膜



- ・カッティング
- ・折り曲げ

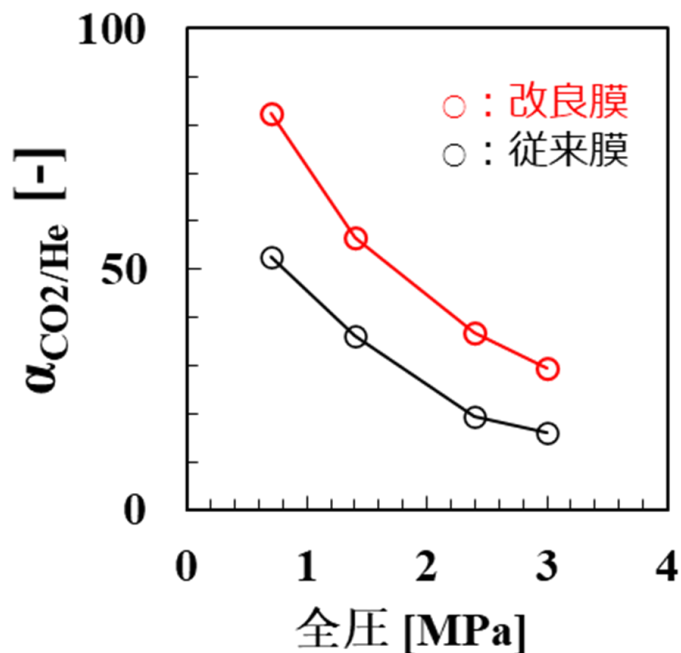


開発項目・開発目標

事業項目	開発項目	開発目標
1	水素製造に適する膜のチューニング検討 ✓ ドープ液の大量調合 ✓ 部材の歩留まり向上、低コスト化	1. 中圧水素製造装置での改質後の工程ガス(0.85MPa、CO₂濃度16~20%、85℃)からCO₂回収率90%、CO₂純度90%でCO₂を分離回収する性能を有する分離膜となるドープ液の組成を決定し、連続製膜に供するドープ液の大量調合方法を確立する。 2. 低コスト化のために部材の品質を安定化させ歩留まりを向上させる。
2	商用サイズエレメントの検討 ✓ 連続製膜の最適条件確立、歩留まり向上 ✓ 長期耐久性 ✓ 安価部材 ✓ 膜エレメントの生産性向上	1. 中圧水素製造設備に適した組成の塗工液で連続製膜の歩留まり向上に向けて、部材の改良および新ドープ液に適した連続製膜条件の最適化を行う。 2. 商用サイズ(20cm径×60cm長)のエレメントを用いて、中圧水素製造設備の運転条件である圧力・湿度の変動下における膜エレメントの長期耐久試験をクリアする。 3. CO₂分離回収コスト<5,000円/t-CO₂を達成するための膜エレメント価格に目途をつける。 4. 商用サイズエレメントの製造に対応した自動化を進め、エレメント生産性を向上させる。
3	水素製造システムの設計・製造の検討 ✓ 実機概念設計 ✓ 運転方案の検討 ✓ 実証機設計 ✓ 要素試験	1. 水素製造プロセスの排熱を有効利用することで、外部からの熱源を必要としない、CO₂分離回収型水素製造プロセスを構築する。 2. 起動停止、負荷追従、待機運転など、非定常な運転状態でも、CO₂分離膜の性能を維持する運転方案と制御方法を構築する。 3. CO₂を除去した変成ガスから、水素を効率よく分離する水素PSAについても実証試験を計画し、水素製造装置の性能をトータルで評価する。
4	CO₂分離回収型水素製造の検討(実証試験) ✓ 設計した装置と運転方法の検証	1. CO₂分離膜のCO₂濃度>90%、CO₂回収率>90%、CO₂中の水素濃度<4% 2. CO₂回収設備実証機を製作し、既設の水素製造装置の実ガスを供給し、連携運転を行う。 3. 2024年度に検討した運転方案を基に、運転条件をチューニングし、CO₂回収型水素製造システムを確立する。また実証試験において、目標値であるCO₂濃度、CO₂回収率、CO₂中の水素濃度を検証する。 4. 実証試験結果を実装置の概念設計にフィードバックし、妥当性を検証する。

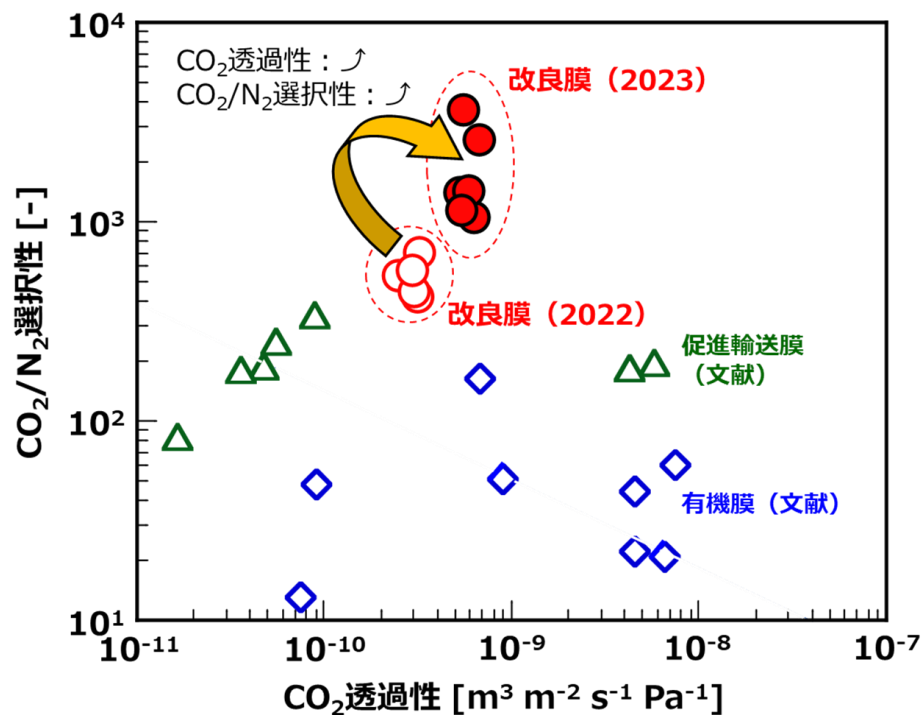
研究成果(膜チューニング)

- ・3MPaにおいても高選択性(CO_2/H_2)を維持



試験条件: 温度85°C, 全圧0.7~3MPa,
供給ガス組成 $\text{CO}_2/\text{He}=40/60$, 湿度60%RH

- ・中圧向け用に改良し、
更なる高選択性と高透過性を実現

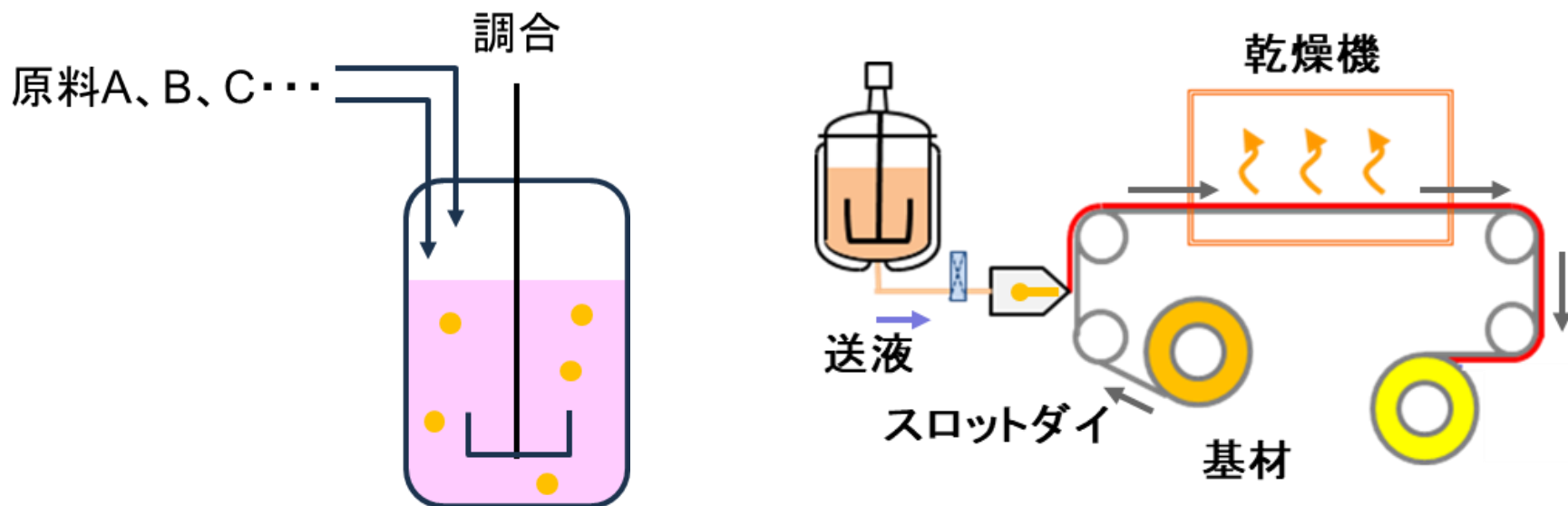


試験条件: 温度85°C, 全圧0.85MPa, 供給ガス組成 $\text{CO}_2/\text{N}_2=20/80$
文献: Kamio et al., J. Chem. Eng. Jpn., 56 (2023) 2222000.

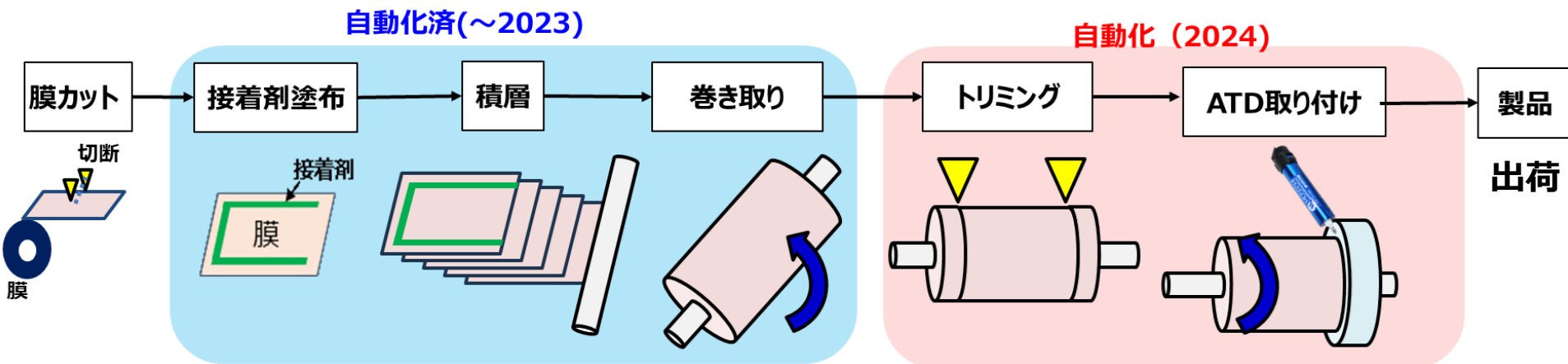
※ CO_2/H_2 (CO_2/He) 選択性は CO_2/N_2 選択性の約1/10.

研究成果(膜チューニング)

- 改良膜(2023)用のドーパ液大量調合、および連続製膜ロール作製に成功



8インチ (20cm) 径×600mmエレメントの工法・設備を開発



今後の技術課題

事業項目	課題	対策
水素製造に適する膜のチューニング検討	✓ 部材の品質を安定化させ歩留まり改善、生産性を向上させコスト低減を図る ✓ 連続製膜品の面内性能均一化	1. 部材メーカーに協力して品質安定化・歩留まり改善を実施する。 2. 部材の品質安定化を促し、連続製膜品の分離性能、耐久性等の性能の均一性を確認する。
商用サイズエレメントの検討	✓ 中圧水素製造設備の運転条件に対応した膜エレメントの長期試験 ✓ 膜エレメント構成部材の安価化	1. 中圧水素製造設備の運転条件での性能評価、連続試験を実施する。 2. 膜エレメント構成部材の安価化検討を行う。

2025年度スケジュール

	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
①水素製造に適する膜のチューニング検討													
1) 部材の品質安定化													
2) 連続製膜品の面内性能均一化													
②商用サイズエレメントの検討													
1) 膜エレメントの性能評価、 連続試験													
2) 構成部材の安価化													

01 CO₂分離膜

分子ゲート膜について

スパイラル型エレメントについて

開発項目・開発目標

研究成果

今後の技術課題・スケジュール

02 CO₂分離回収型水素製造装置

CO₂回収型水素製造システムについて

開発項目・開発目標

実施内容・開発スケジュール

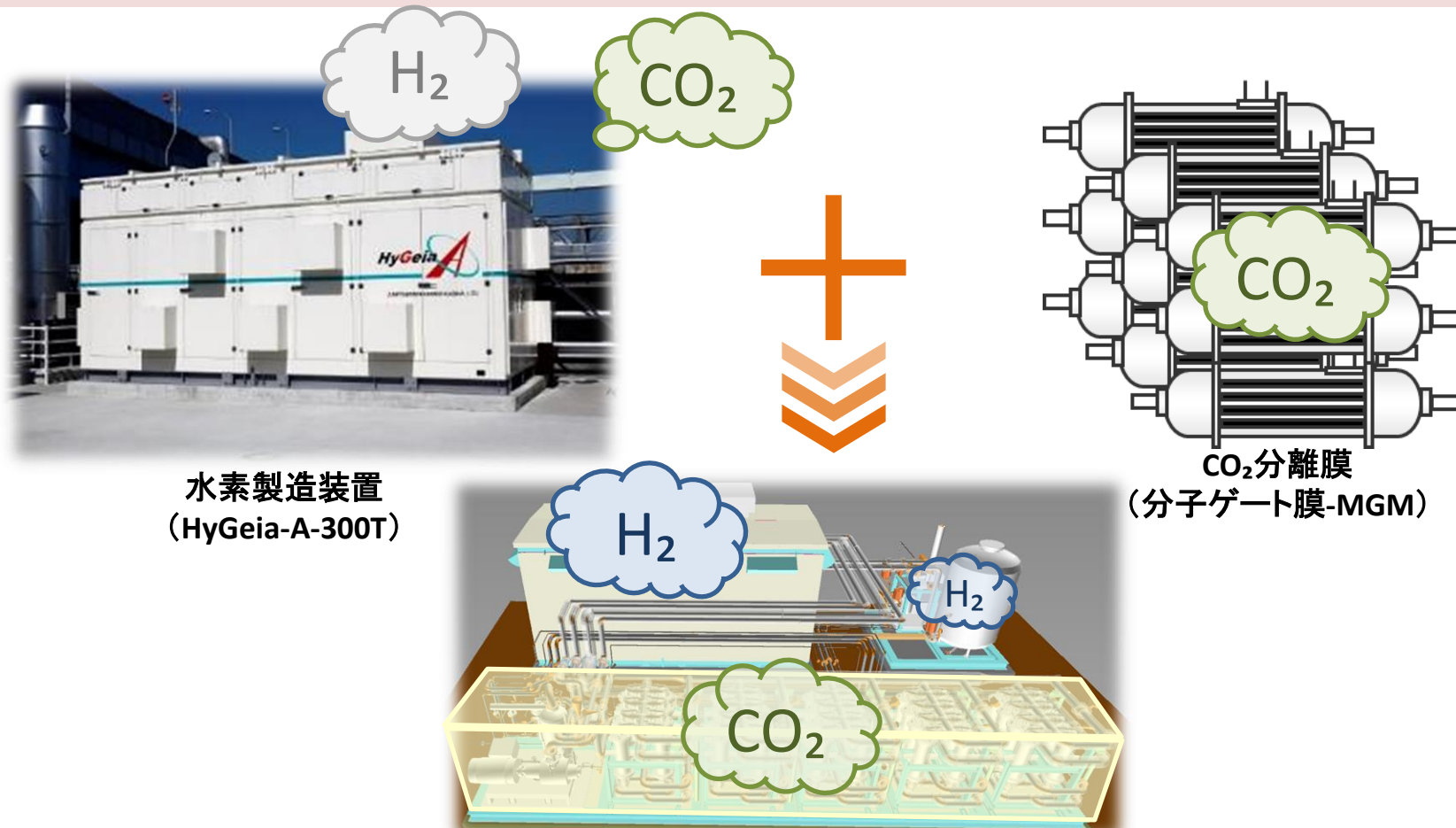
研究成果

今後の技術課題

CO₂回収型水素製造システムについて

概要

- 1 水蒸気改質法による都市ガスからの水素製造装置にMGM膜を組み込み、水素製造過程のCO₂-H₂混合ガスからCO₂を分離・回収する。
- 2 本システムでは、高純度のCO₂およびH₂を経済的に効率よく得ることを目指し、CO₂回収型水素製造システムの開発を推進する。



水素製造装置
(HyGeia-A-300T)

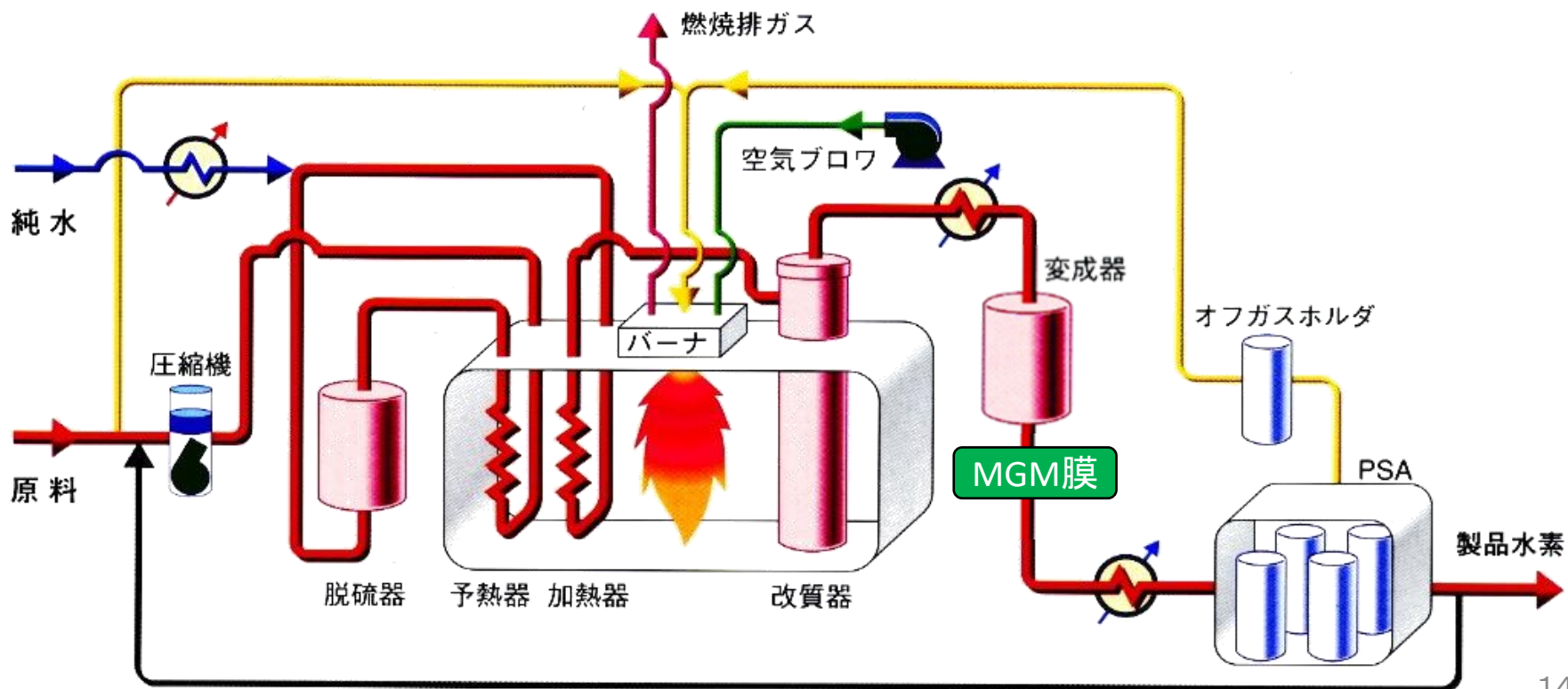
CO₂分離膜
(分子ゲート膜-MGM)

CO₂分離回収型水素製造装置イメージ図

CO₂回収型水素製造システムについて

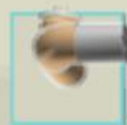
特徴

- 1 CO₂分圧が比較的高い変成ガスからCO₂を分離するため、回転機器等の**電力消費量が小さい**。
装置の**コンパクト化**も期待できる。
- 2 プロセスガスの**排熱を利用**することで、新たな熱源や電力を使用せずに、CO₂分離膜の運転を制御する。
- 3 CO₂を選択的に透過するため、非透過ガス中の水素濃度が増加し、**水素PSAの運転に有利**である。



開発項目・開発目標

	事業項目	開発項目	開発目標
1	水素製造に適する膜のチューニング検討	✓ ドープ液の大量調合 ✓ 部材の歩留まり向上、低コスト化	1. 中圧水素製造装置での改質後の工程ガス(0.85MPa、CO₂濃度16~20%、85℃)からCO₂回収率90%、CO₂純度90%でCO₂を分離回収する性能を有する分離膜となるドープ液の組成を決定し、連続製膜に供するドープ液の大量調合方法を確立する。 2. 低コスト化のために部材の品質を安定化させ歩留まりを向上させる。
2	商用サイズエレメントの検討	✓ 連続製膜の最適条件確立、歩留まり向上 ✓ 長期耐久性 ✓ 安価部材 ✓ 膜エレメントの生産性向上	1. 中圧水素製造設備に適した組成の塗工液で連続製膜の歩留まり向上に向けて、部材の改良および新ドープ液に適した連続製膜条件の最適化を行う。 2. 商用サイズ(20cm径×60cm長)のエレメントを用いて、中圧水素製造設備の運転条件である圧力・湿度の変動下における膜エレメントの長期耐久試験をクリアする。 3. CO₂分離回収コスト<5,000円/t-CO₂を達成するための膜エレメント価格に目途をつける。 4. 商用サイズエレメントの製造に対応した自動化を進め、エレメント生産性を向上させる。
3	水素製造システムの設計・製造の検討	✓ 実機概念設計 ✓ 運転方案の検討 ✓ 実証機設計 ✓ 要素試験	1. 水素製造プロセスの排熱を有効利用することで、外部からの熱源を必要としない、CO₂分離回収型水素製造プロセスを構築する。 2. 起動停止、負荷追従、待機運転など、非定常な運転状態でも、CO₂分離膜の性能を維持する運転方案と制御方法を構築する。 3. CO₂を除去した変成ガスから、水素を効率よく分離する水素PSAについても実証試験を計画し、水素製造装置の性能をトータルで評価する。
4	CO ₂ 分離回収型水素製造の検討(実証試験)	✓ 設計した装置と運転方法の検証	1. CO₂分離膜のCO₂濃度>90%、CO₂回収率>90%、CO₂中の水素濃度<4% 2. CO₂回収設備実証機を製作し、既設の水素製造装置の実ガスを供給し、連携運転を行う。 3. 2024年度に検討した運転方案を基に、運転条件をチューニングし、CO₂回収型水素製造システムを確立する。また実証試験において、目標値であるCO₂濃度、CO₂回収率、CO₂中の水素濃度を検証する。 4. 実証試験結果を実装置の概念設計にフィードバックし、妥当性を検証する。



水素製造設備
(水素製造量300m³/h)

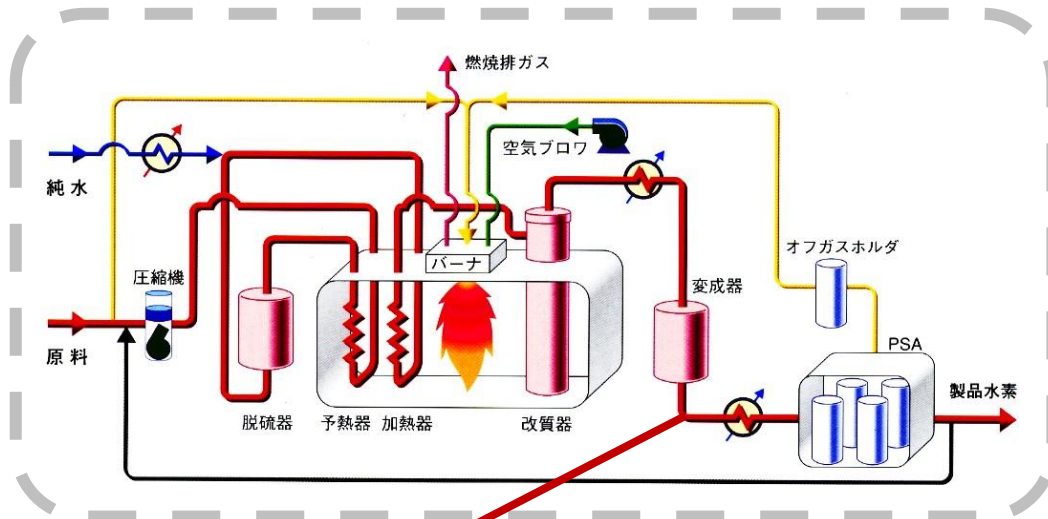


サブスキッド

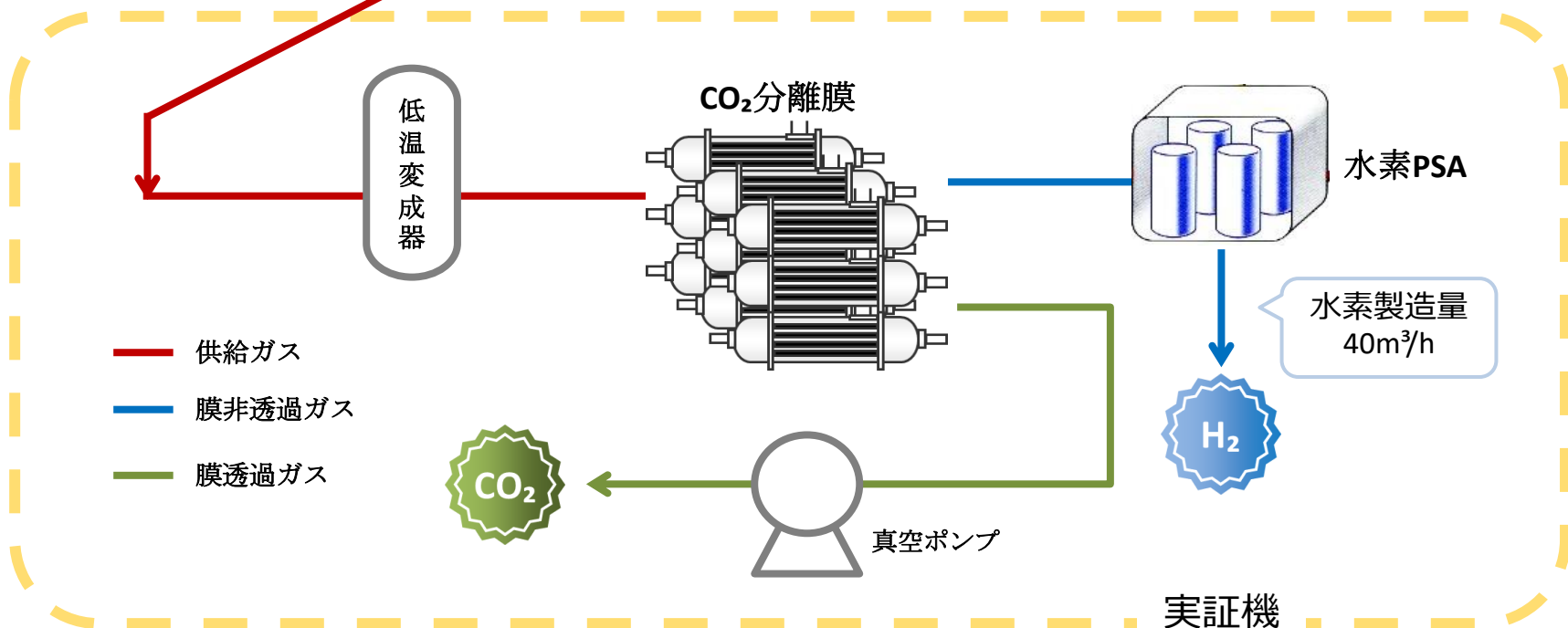


CO₂分離膜設備

研究成果(実証機)



既設水素製造装置
(水素製造量300m³/h)



実証機

今後の技術課題

事業項目	課題	対策
水素製造システムの設計・製造の検討	✓ 水素製造とCO₂分離膜との連携運転 ✓ 高効率・低コスト化の実現	1. 実証機の設計と運転を行い、膜特性に適合した運転条件・制御方法を含めた最適な運転方案を構築する。 2. 分離回収したCO₂の有効利用先の調査とコスト評価を行う。

2025年度スケジュール

	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
③水素製造システムの設計・製造の検討												
1) 実証機 詳細設計												
2) 機器製作												
3) プロセスフロー・運転方案構築・コスト低減案の検討												