

NEDO脱炭素技術分野成果報告会2026

プログラムNo.B2-3-10

高圧用CO₂分離膜の水素製造システムへの適用性検討

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

発表：2026年7月23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 田崎 努、稲垣 万貴

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

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

01 期間

2024年5月10日～2027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

膜のチューニング検討開発、商用サイズエレメントの検討

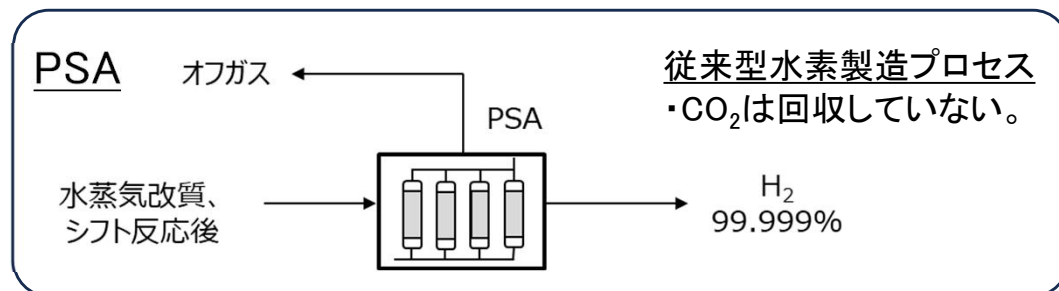
前事業で開発した高いCO₂分離性能を発現する新ドープ液の大量調合、広幅連続製膜、膜エレメントの作製等に関する検討を実施し、実証試験に向けた準備を進めた。また、膜エレメント作製の自動化設備の導入を完了した。

CO₂分離回収型水素製造装置の検討

CO₂分離膜で要求されるスチームを水素製造プロセスの排熱を有効利用して製造する、熱効率の高いCO₂分離製造プロセスを設計した。また、必要な部材を手配し、実証機製作に着手した。

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。

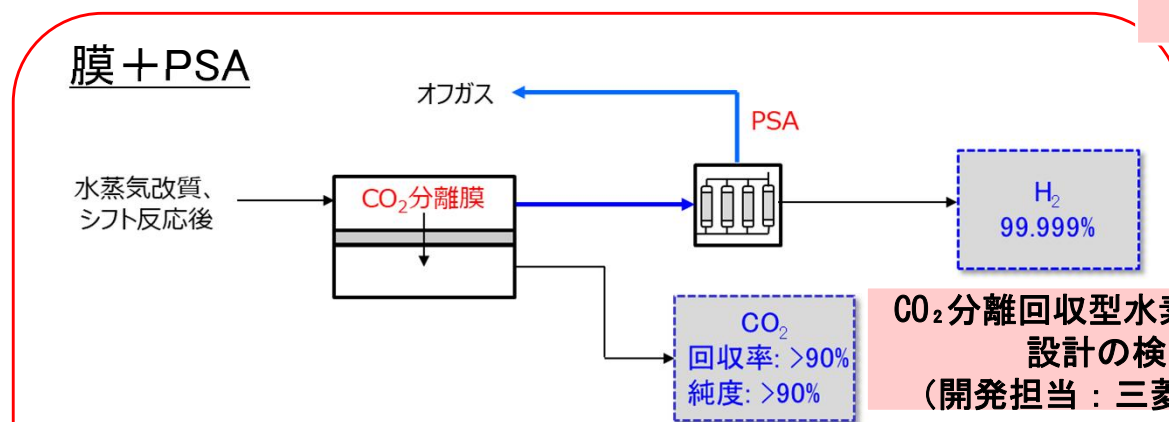
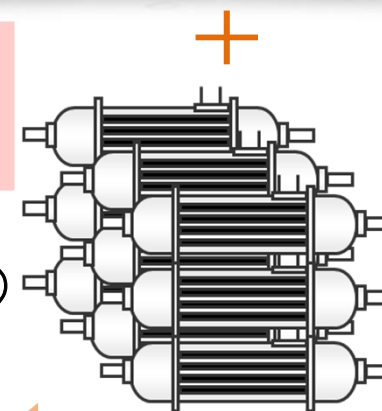


水素製造装置
(HyGeia-A-300T)



膜エレメント開発
(開発担当:
MGM技術研究組合)

CO₂分離膜エレメント
(分子ゲート膜-MGM)

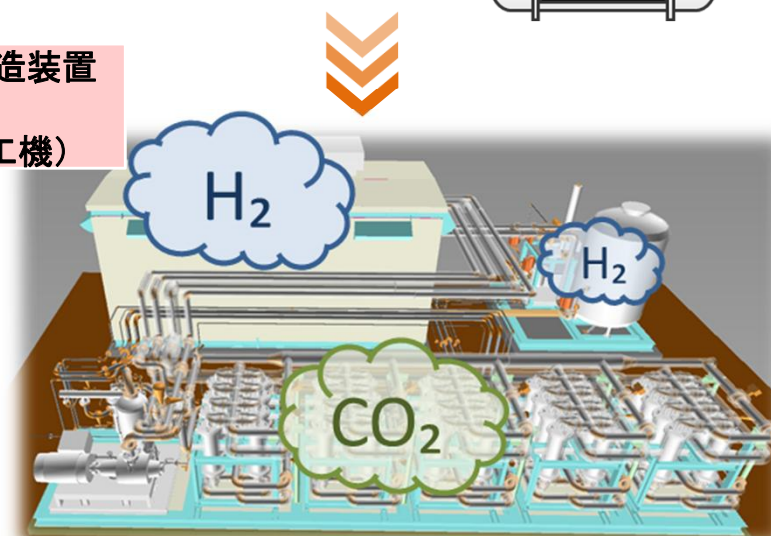


CO₂分離回収型水素製造プロセス

・本プロセスでは高いCO₂/H₂分離性能が求められる

・分子ゲート膜の適用により、CO₂分離回収型プロセスの構築が可能

・PSAのコンパクト化、パージガス削減も可能



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	
1	水素製造に適する膜のチューニング検討	ドーブ液の大量調合	→		→			
		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	→		→			
		商用サイズのエレメント検討			→		→	
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				→	→	
4	CO ₂ 分離回収型水素製造の検討(実証試験)	実証試験						→

01 CO₂分離膜エレメント

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 実証機製作

CO₂分離回収型水素製造装置について

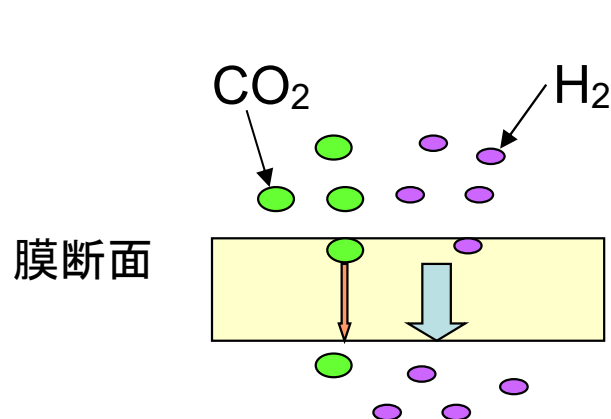
開発項目・開発目標

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)

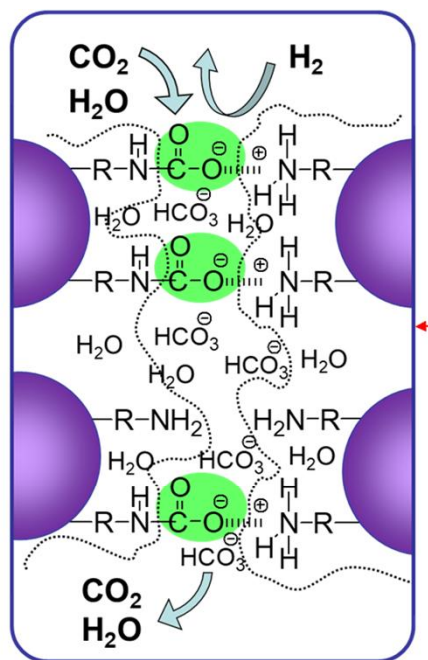
H ₂	<	CO ₂	<	N ₂	<	CH ₄
0.29		0.33		0.36		0.38

低いCO₂/H₂選択性⇒適用困難

<分子ゲート膜(保有技術)>

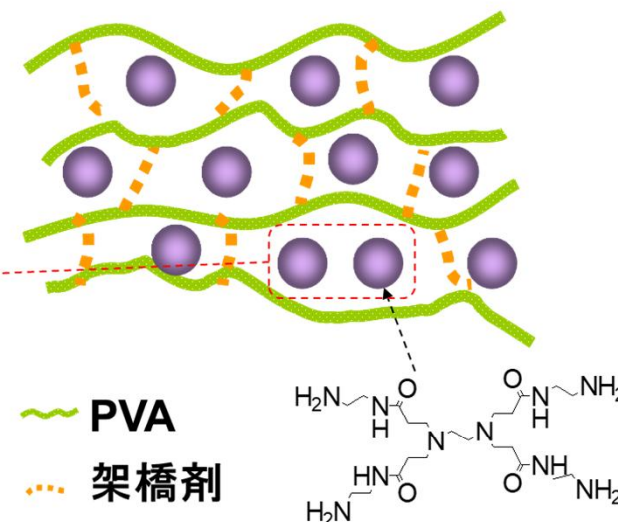
H₂の透過を阻害し、CO₂を選択的に透過する機能膜

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)

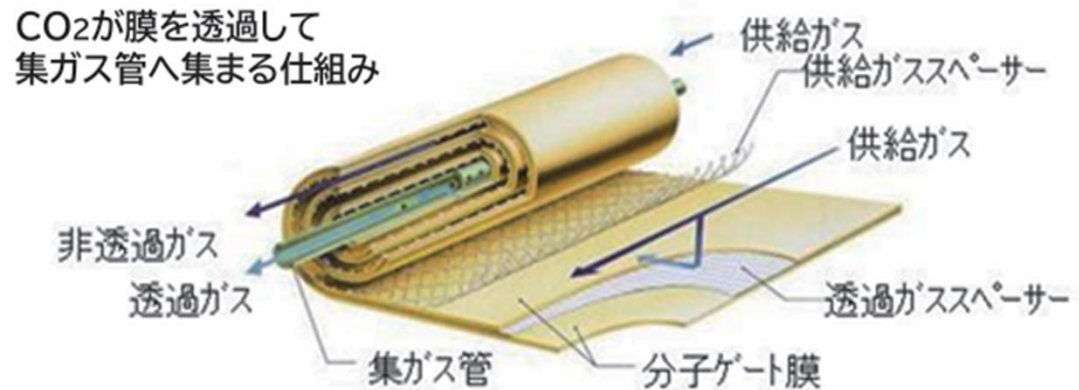
高いCO₂/H₂選択性+高い耐圧性
⇒高圧ガス(IGCC、水素製造装置等)からの分離
に適している。

■ スパイラル型エレメントについて

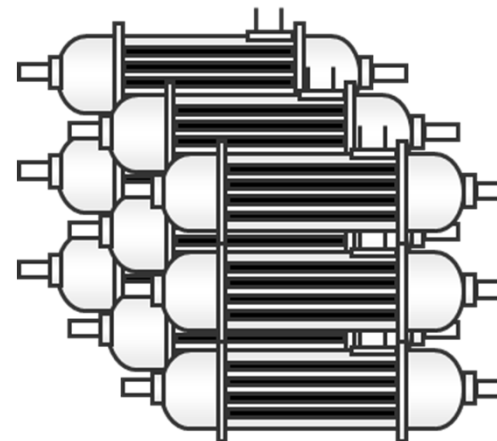
- スパイラルエレメントは他のエレメント形式に比べて耐圧性が高い。
これまで**高圧IGCC向けに開発で培った技術を用いて、中圧向けにチューニングを実施**

＜エレメント設計項目＞

- スペーサ構成
 - 厚み
 - 空隙率
 - 構造
- ガス流路設計
 - 仕切り構造
 - 集ガス管の孔配列
- エレメント効率
 - ガス滞留特性
 - 圧力損失
- エレメントサイズ
 - 充填膜面積



スパイラル型エレメント



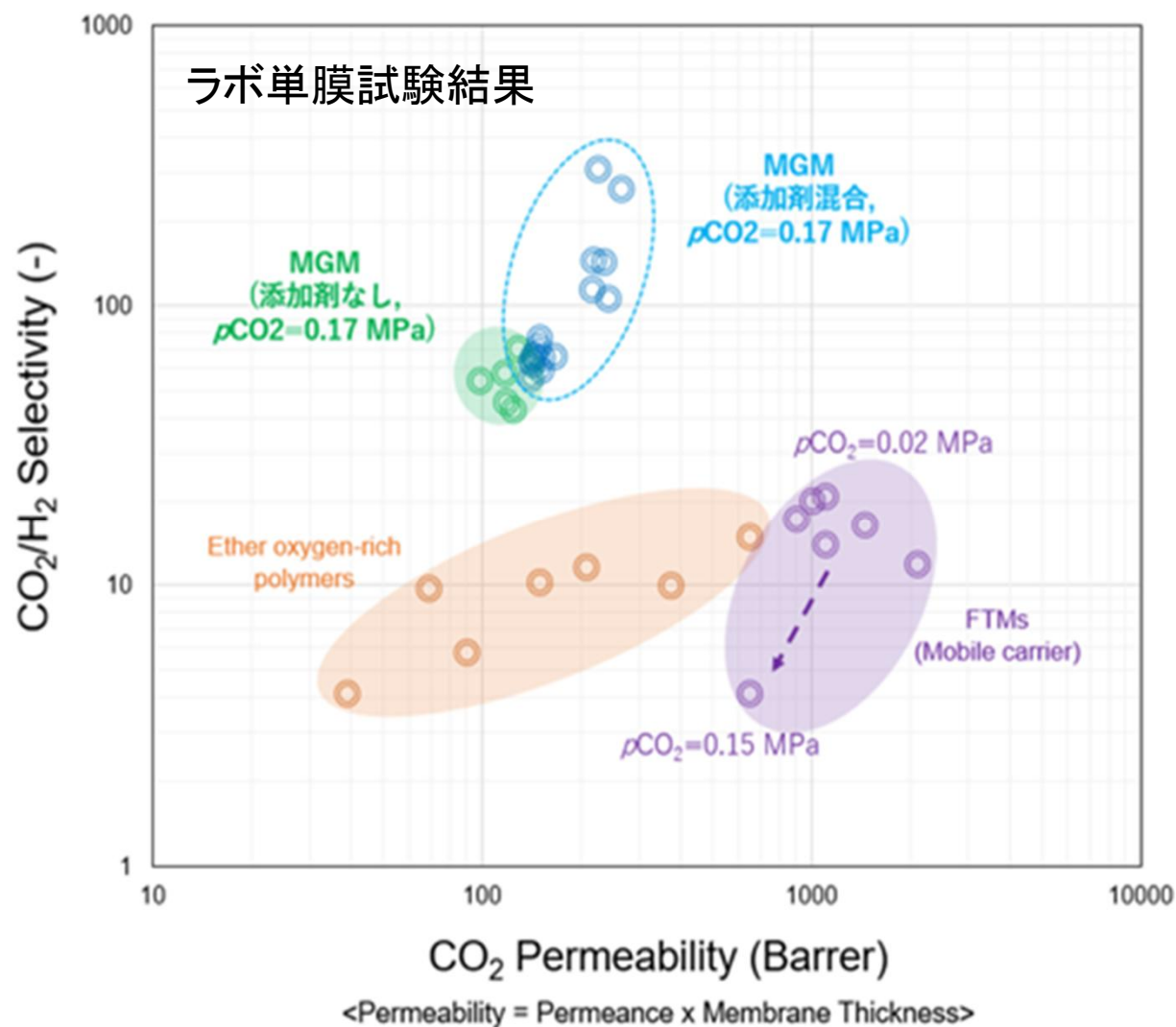
モジュール

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、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	1. 変成ガスとの熱交換により、CO₂分離に必要なスチームを製造する、熱効率の高いプロセスを設計する。 2. CO₂分離膜に適した温度・湿度管理が可能な運転方案を構築する。 3. 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。 4. 必要な部材を調達し、実証機を製作する。
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. 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. 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)

- 選択性向上添加剤を見出し、論文・特許で公表されている各種膜よりもCO₂/H₂選択性が10倍高い添加剤混合MGM膜を開発

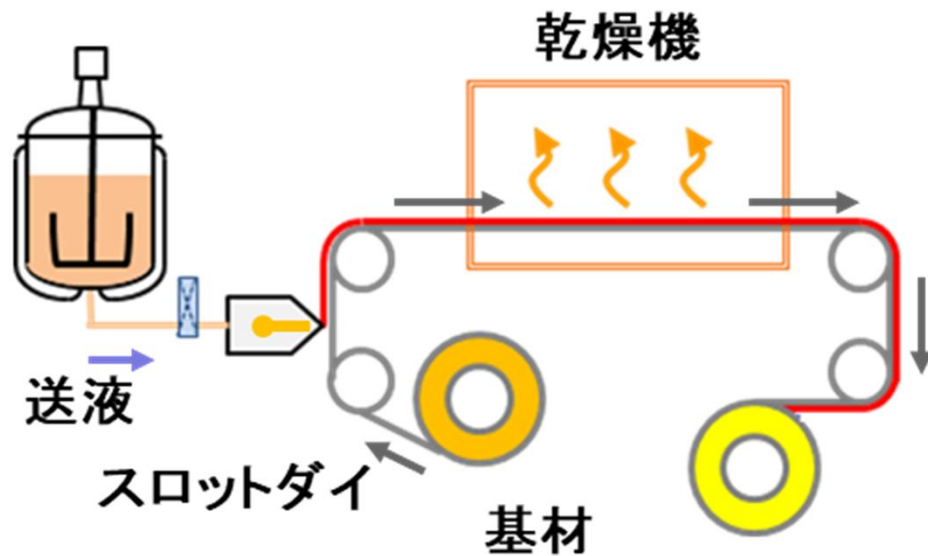


文献(レビュー): Kamio et al., J. Chem. Eng. Jpn., 56 (2023) 2222000.

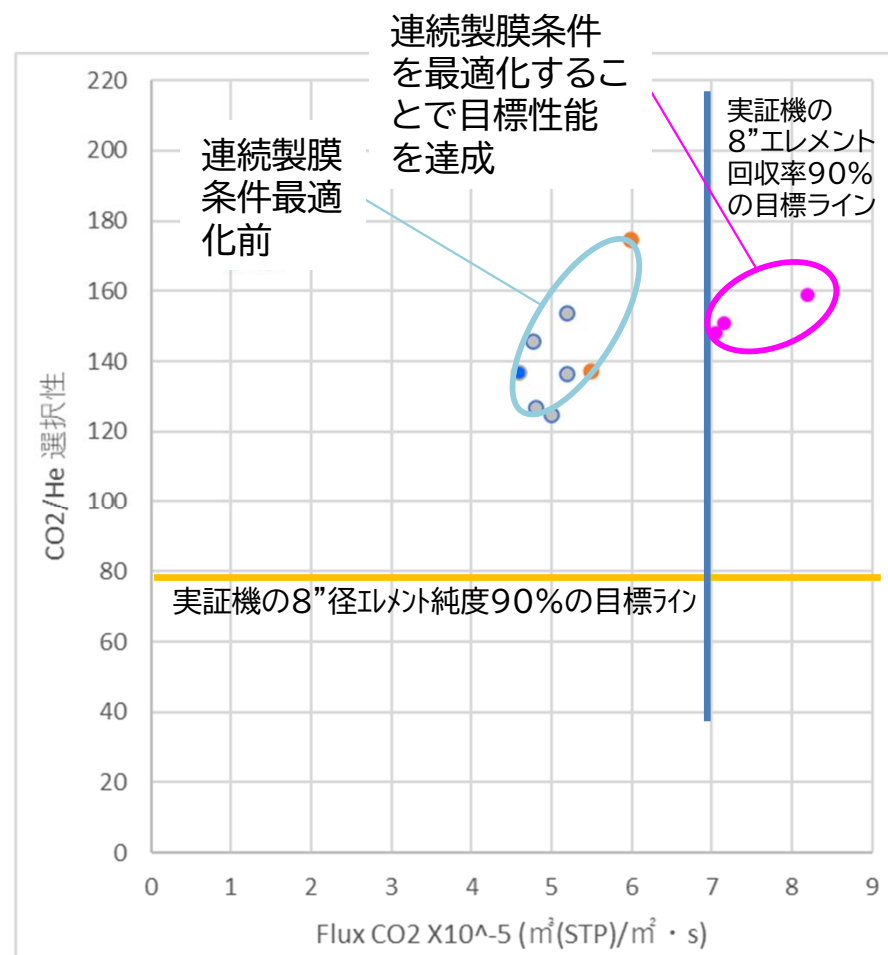
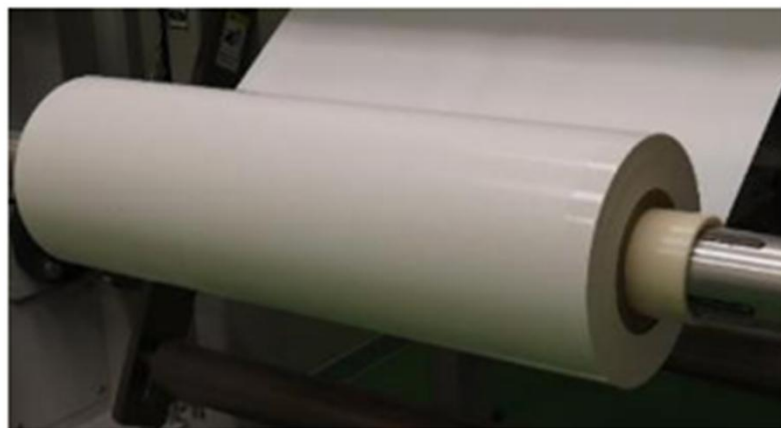
※広幅連続製膜品以外のデータは、CO₂/N₂分離性能に基づく換算値($\alpha_{\text{CO}_2/\text{H}_2} = 0.1 \times \alpha_{\text{CO}_2/\text{N}_2}$)

研究成果(膜チューニング 連続製膜)

- 実証機エレメントのCO₂回収率90%、純度90%を達成する分離性能を発現する機能層を連続製膜したロール品の連続製膜方法を確立。



機能層を連続製膜したロール品

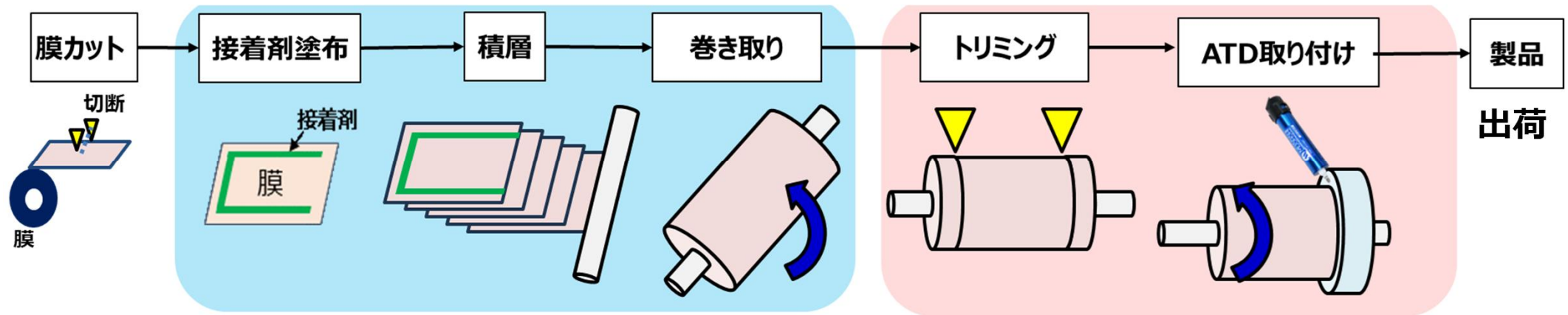


単膜評価条件: 0.85MPa、85℃、80%RH/28%RH、CO₂/He=20/80

図 連続製膜品の単膜分離性能

研究成果(商用化エレメント製作)

- 広幅連続製膜ロール品を用いて、商用サイズ8インチ(20cm)径 X 600mmエレメントに成功

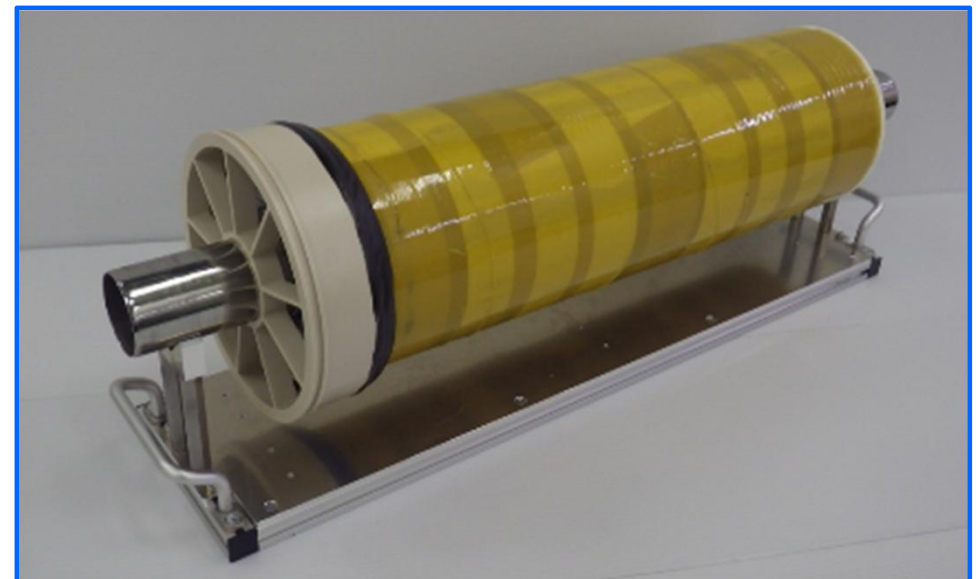


商用サイズエレメント

4インチ(10cm)径エレメント



スケールアップ



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 ✓ 実証用の膜部材作製	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。
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連続試験 ✓ 実証用膜エレメントの作製 ✓ 実証試験のデータ解析	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。

2026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)実証用の膜部材作製												
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)実証用膜エレメントの作製												
3) 実証試験のデーター解析												

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 実証機製作

CO₂分離回収型水素製造装置について

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

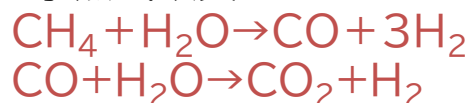
CO₂分離回収型水素製造システムについて

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、水素製造過程でCO₂-H₂混合ガスからCO₂を分離・回収する。

改質器

- 原料および反応管を加熱
- 水蒸気改質



変成器

- 残COをCO₂へ転換
- $$\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$$

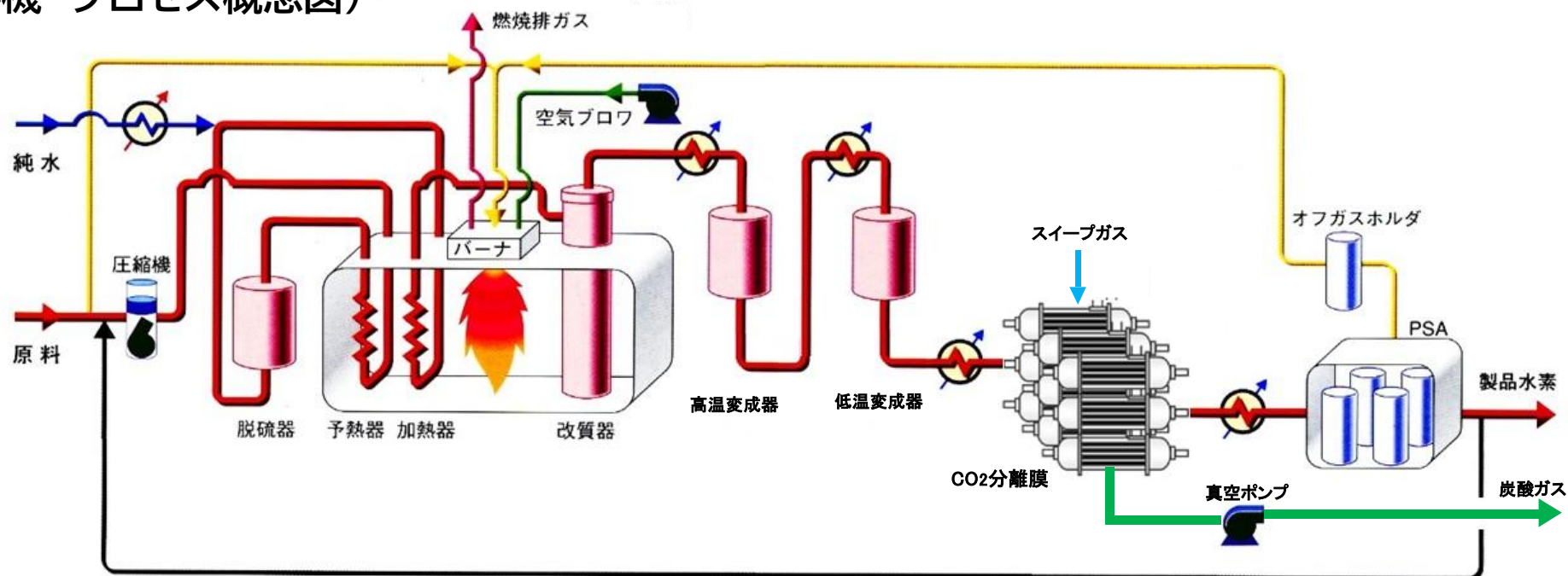
CO₂分離

- MGM膜によるCO₂分離
- 透過側は真空ポンプにより減圧

H₂-PSA

- H₂純度を高める

(実機 プロセス概念図)

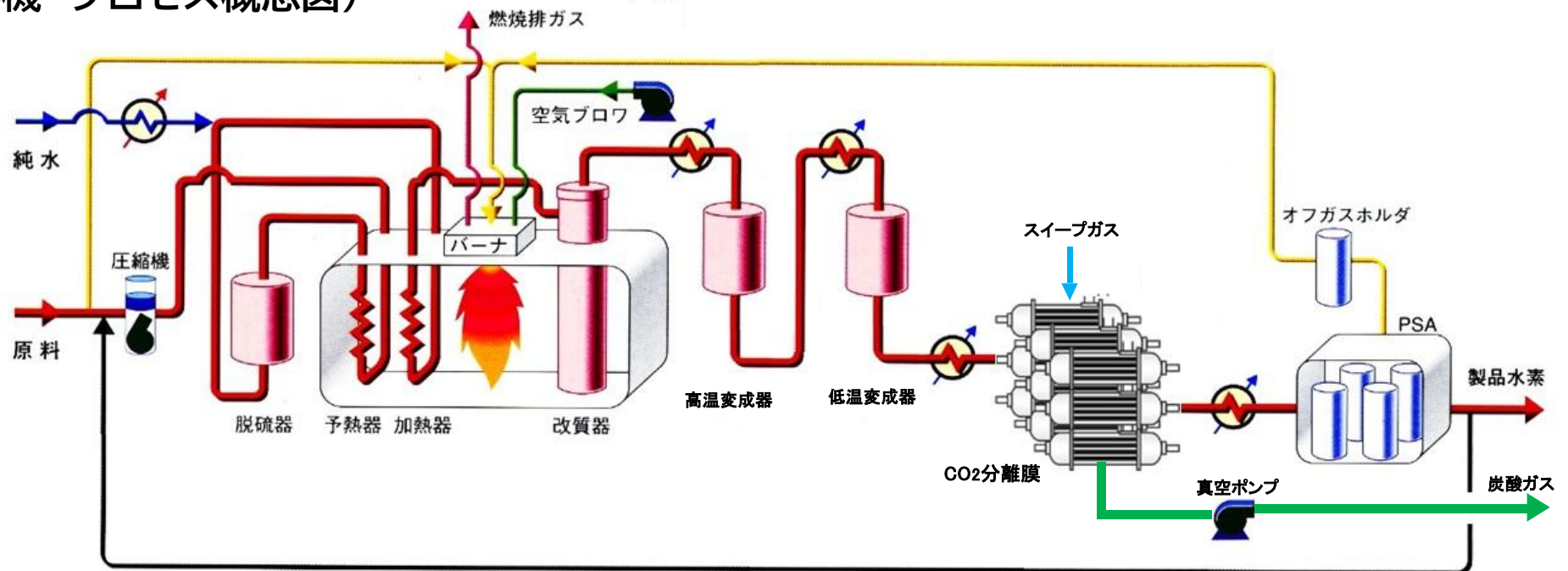


CO₂分離回収型水素製造システムについて

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 製造過程で出るガスの**排熱を利用**することで、CO₂分離に必要なスチームを効率的に製造する。
- 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。

(実機 プロセス概念図)

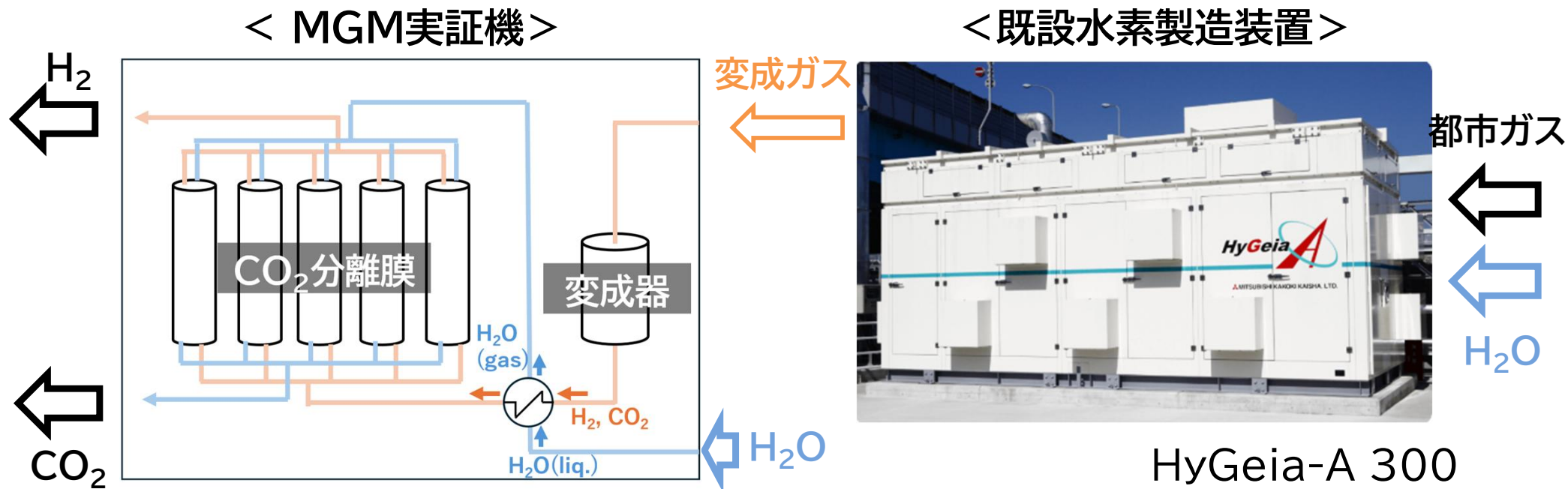


開発項目・開発目標

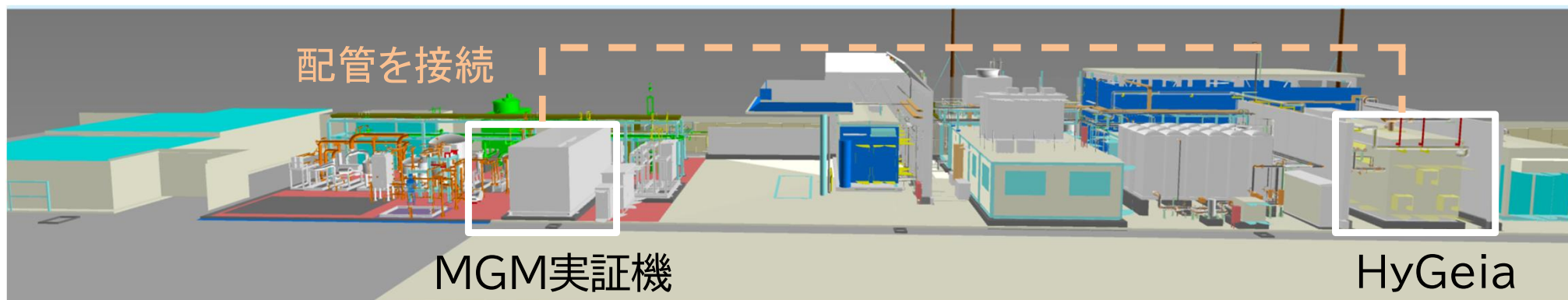
事業項目		開発項目	開発目標
1	水素製造に適する膜のチューニング検討	✓ ドープ液の大量調合 ✓ 部材の歩留まり向上、低コスト化	1. 中圧水素製造装置での改質後の工程ガス(0.85MPa、CO₂濃度16～20%、85℃)からCO₂回収率90%、CO₂純度90%でCO₂を分離回収する性能を有する分離膜となるドープ液の組成を決定し、連続製膜に供するドープ液の大量調合方法を確認する。 2. 低コスト化のために部材の品質を安定化させ歩留まりを向上させる。
2	商用サイズエレメントの検討	✓ 連続製膜の最適条件確立、歩留まり向上 ✓ 長期耐久性 ✓ 安価部材 ✓ 膜エレメントの生産性向上	1. 中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、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	1. 変成ガスとの熱交換により、CO₂分離に必要なスチームを製造する、熱効率の高いプロセスを設計する。 2. CO₂分離膜に適した温度・湿度管理が可能な運転方を構築する。 3. 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と制御方法を構築する。 4. 必要な部材を調達し、実証機を製作する。
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. 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. 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(CO₂分離回収型水素製造装置の詳細設計)

- 既設の水素製造装置を改造し、MGM実証機と配管接続を行う計画



< 三菱化工機 川崎製作所 水素ステーション全体図 >



研究成果(実証機製作)

- 実証機製作が進行中(7月末完了予定)

膜エレメントを入れる

膜ハウジング



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	✓ CO₂分離膜に供給するスチームを高効率で発生させる ✓ 起動・停止、負荷変動、待機運転に対するCO₂分離膜の運転方法	1. 変成ガスとの熱交換によりスweepガスとして使用する蒸気を発生させる実証機を設計&製作。 2. 使用するCO₂分離膜の特性に適した運転方案・制御方法の構築。
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案の検証	1. 既設水素製造装置の高温変成ガスを原料に、実証試験を行う。 2. 最適な運転条件を決定する。

2026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、部材手配、工事手配												
2)実証機製作												
3)現地工事・実証機据付												
4)プロセスフロー・運転方案・コストの検討												
④CO ₂ 分離回収型水素製造の検討(実証試験)												
1)実証試験												