

# NEDO脱炭素技術分野成果報告会2025

## プログラムNo. 9

### CO<sub>2</sub>を用いたメタノール合成における 最適システム開発

カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発  
／CO<sub>2</sub>排出削減・有効利用実用化技術開発  
／化学品へのCO<sub>2</sub>利用技術開発

発表：2025年7月17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

JFEスチール(株)

スチール研究所 カーボンニュートラルプロセス研究部 紫垣 伸行 E-mail: n-shigaki@jfe-steel.co.jp

(公財)地球環境産業技術研究機構 (RITE)

再委託先: (国)名古屋大学



JFE

# 本事業の位置付け・必要性

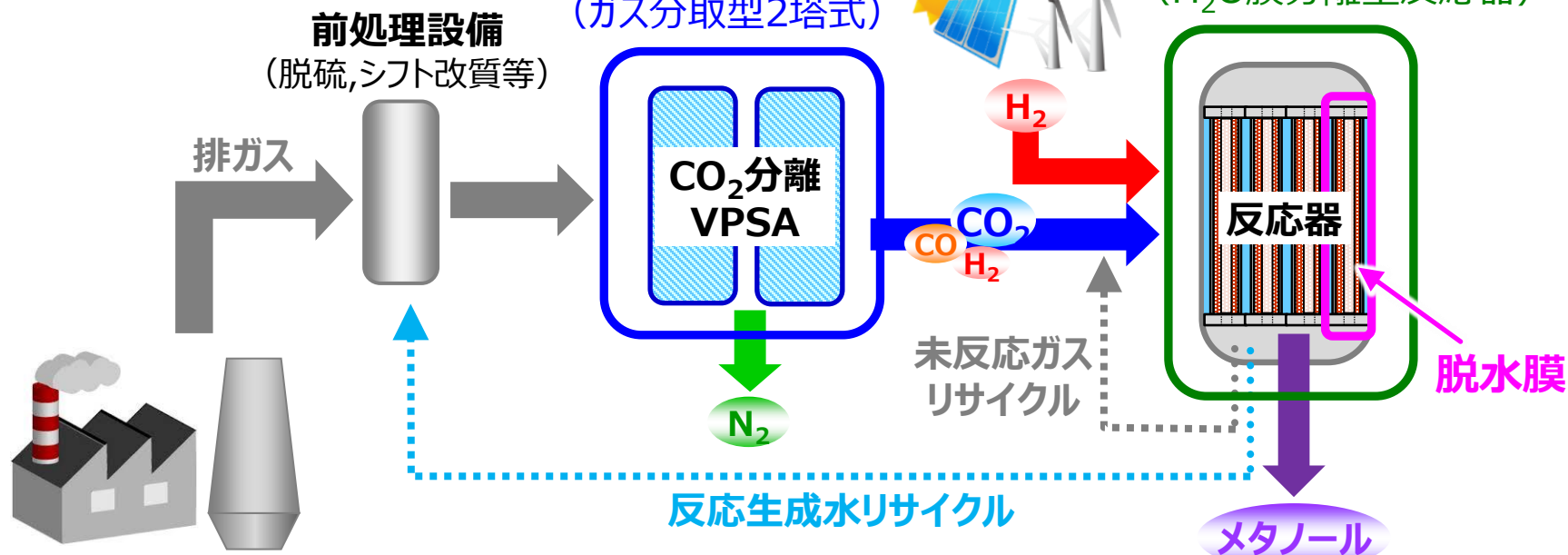
石炭利用産業の排ガスに含まれるCO<sub>2</sub>から基礎化学品であるメタノールを合成するシステムの全体最適化、コストダウン 事業期間：'21下～'25

\*VPSA

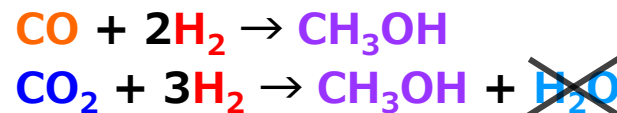
Vacuum Pressure Swing Adsorption  
(真空圧カスイング吸着法)

低コスト型  
CO<sub>2</sub>分離VPSA\*  
(ガス分取型2塔式)

高効率  
メタノール合成反応器  
(H<sub>2</sub>O膜分離型反応器)



メタノール合成  
システム最適化



➡ 反応促進

## ①低コスト型CO<sub>2</sub>分離VPSA (JFEスチール)

- ・ ガス分取型VPSA ラボ、ベンチ基本性能評価 (CO<sub>2</sub>回収率、回収CO<sub>2</sub>純度、分離動力)
- ・ 原料ガスCO<sub>2</sub>濃度、吸着剤温度 影響評価

## ②高効率メタノール合成反応器 (JFEスチール)

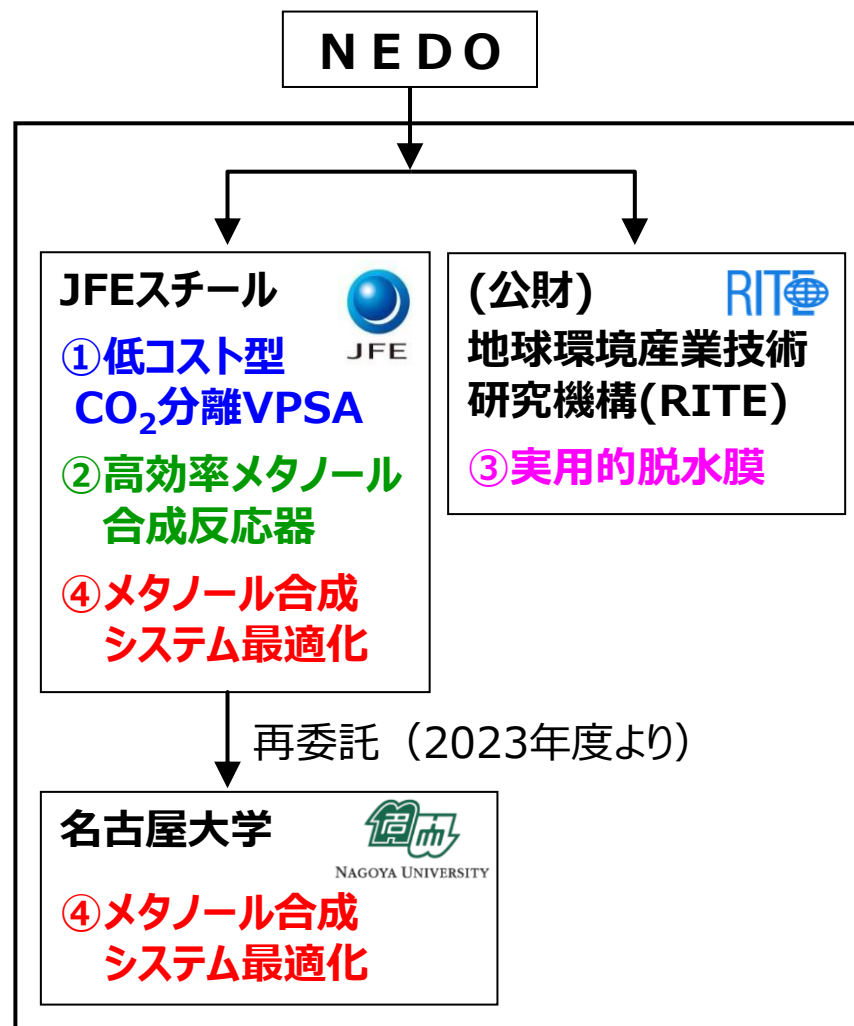
- ・ H<sub>2</sub>O膜分離型反応器 運転条件検討
- ・ 大型ラボ試験装置 設計・建設 ⇒ 性能評価
- ・ 実ガスCO<sub>2</sub>連動運転試験
- ・ 大型膜反応器ユニット構造検討、試作・評価

## ③実用的脱水膜 (RITE)

- ・ 膜性能向上検討、均一合成方法確立
- ・ 量産性合成条件検討
- ・ 更なる透過分離性能の向上検討

## ④メタノール合成システム最適化 (JFEスチール)

- ・ 原料排ガス前処理技術 (脱硫, シフト改質)
- ・ CCUメタノール合成システムモデル作成 ※再委託  
⇒ 最適化、経済性評価

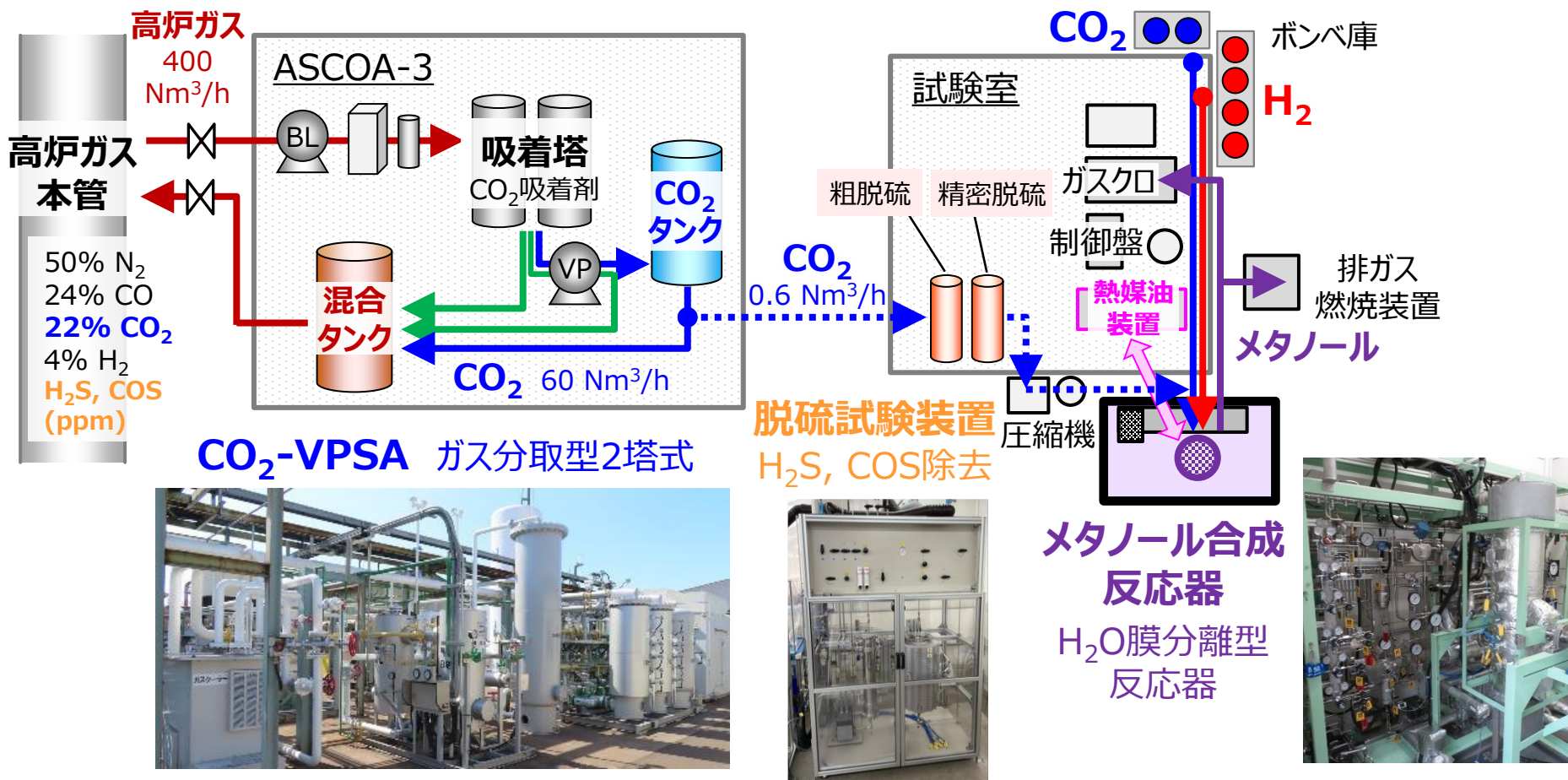




JFE

# CRメタノール 試験設備全体構成

JFEスチール西日本製鉄所（福山地区）のCO<sub>2</sub>分離VPSAベンチプラントをガス分取型2塔式に改造すると共に、回収CO<sub>2</sub>の一部を用いたメタノール合成試験を行うための試験室を新たに併設  
→ '22/4～ 試験開始

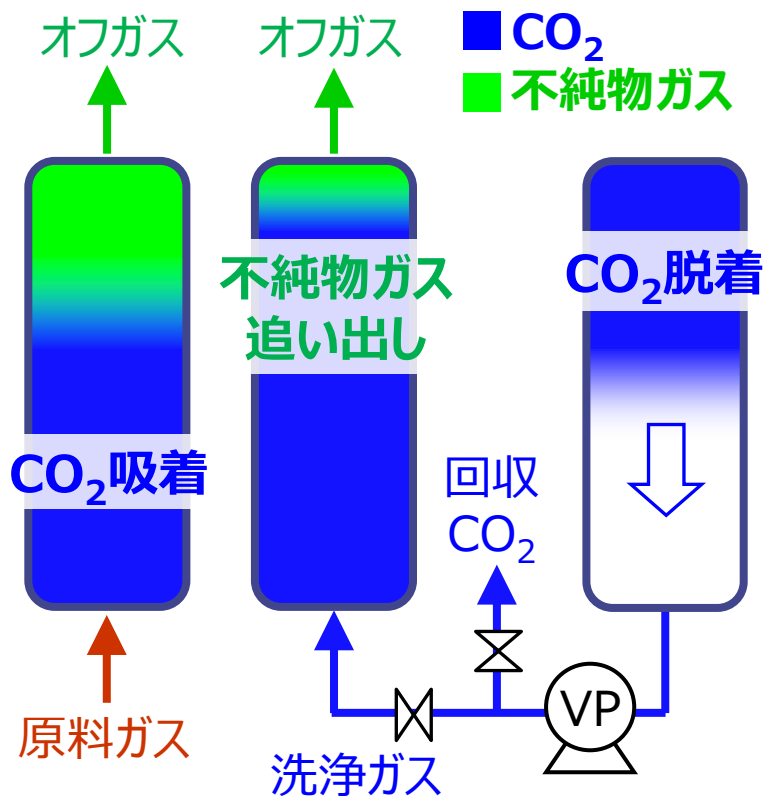




JFE

# 低コスト型CO<sub>2</sub>分離VPSA（ガス分取型2塔式）

## 従来型3塔式CO<sub>2</sub>-VPSA



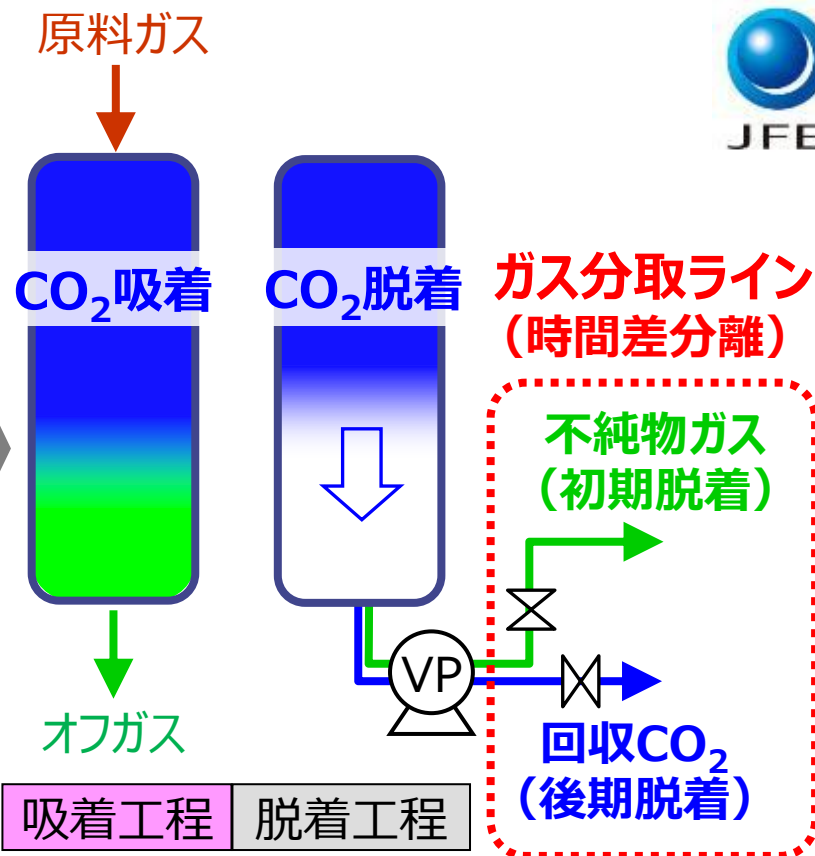
吸着工程

洗浄工程

脱着工程

洗浄ガス増 → 高純度CO<sub>2</sub>回収可能  
 洗浄ガスCO<sub>2</sub> 一部再吸着（分離動力増）  
 洗浄工程オフガスCO<sub>2</sub>ロス（CO<sub>2</sub>回収率減）

## ガス分取型2塔式CO<sub>2</sub>-VPSA



吸着工程

脱着工程

**吸着塔削減**（3塔⇒2塔）→ **建設コスト削減**  
**工程省略**（洗浄レス）→ **電力コスト削減**



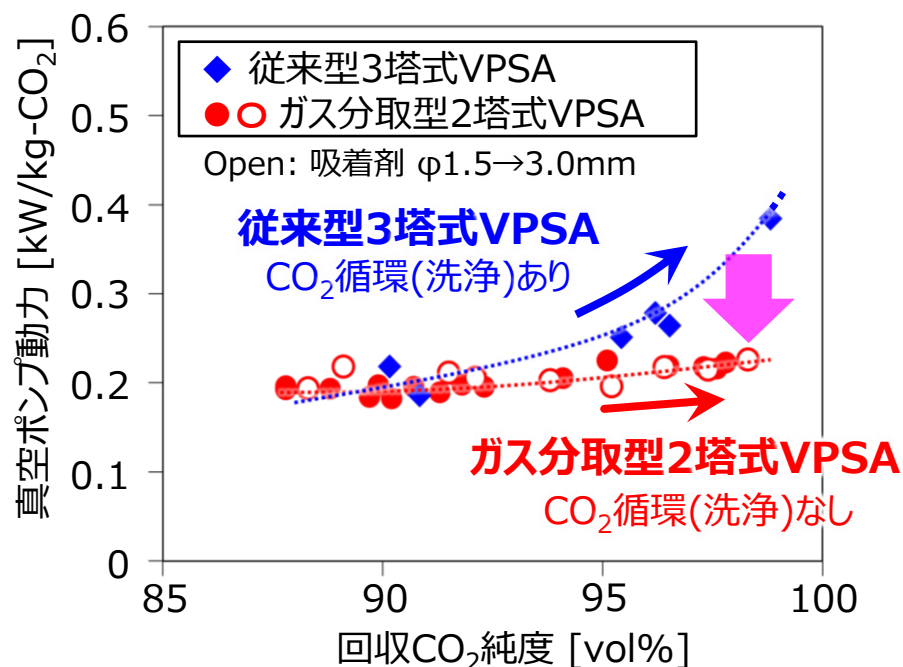
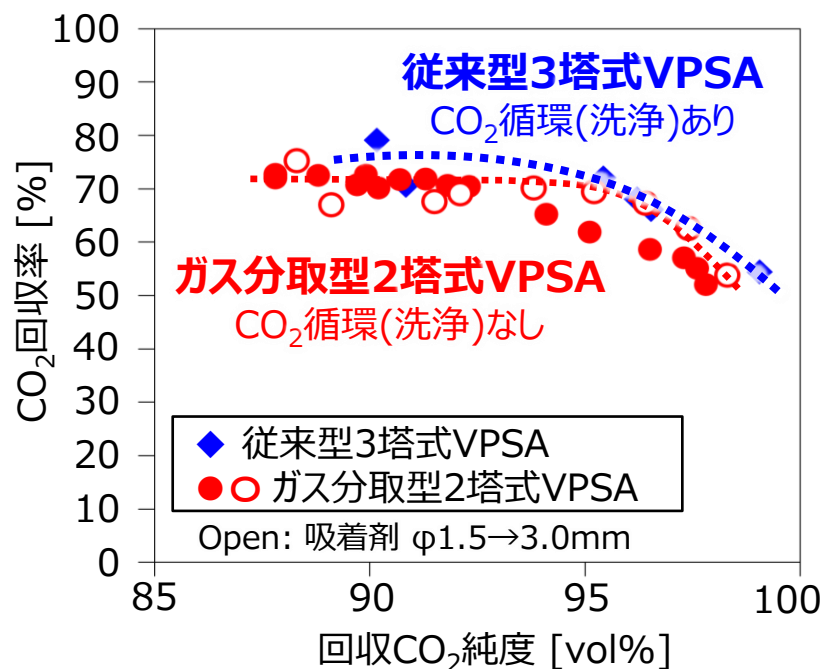
JFE

# ガス分取型2塔式CO<sub>2</sub>-VPSA ベンチ試験

※CO<sub>2</sub>分離性能比較 (vs 従来型3塔式VPSA)

縦型吸着塔のためベンチスケールだと圧力損失大  
⇒ 吸着剤 (13Xゼオライト) を低圧損タイプの  
粒径φ3.0mmとすることでCO<sub>2</sub>回収率大幅増

洗浄レス化により高純度回収時も低動力維持

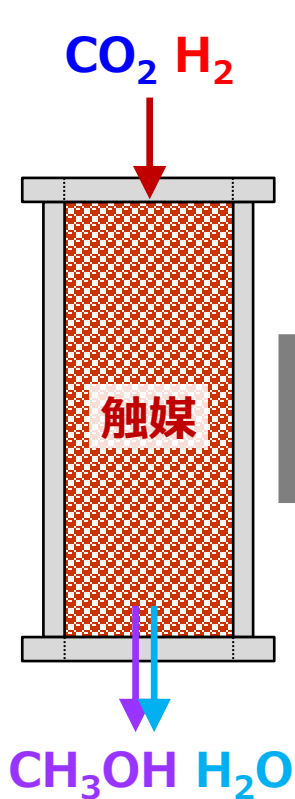




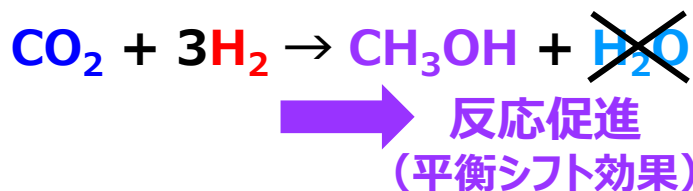
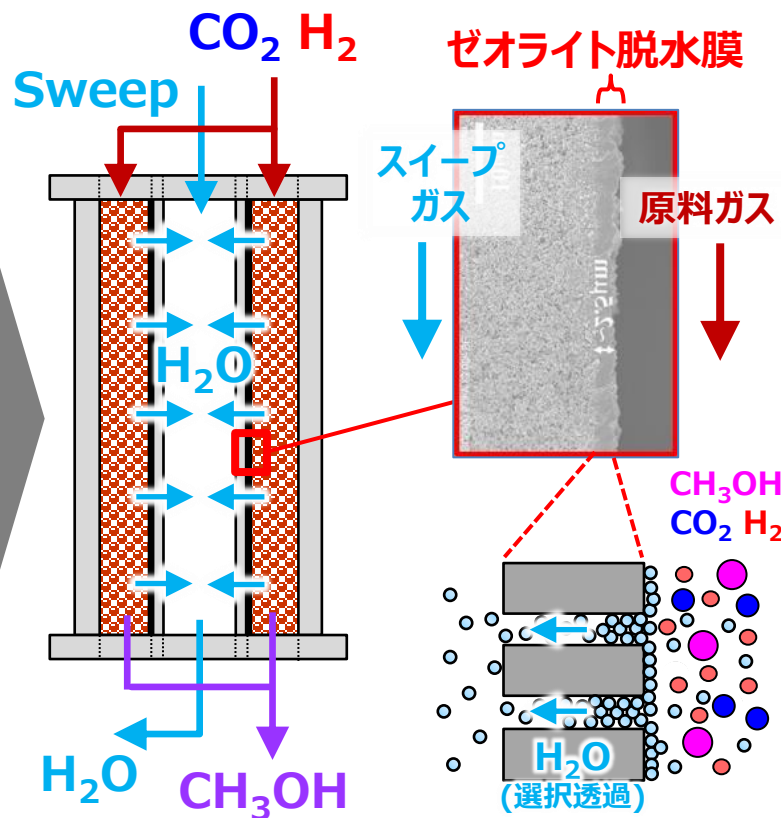
JFE

# 高効率メタノール合成反応器 (H<sub>2</sub>O膜分離型反応器)

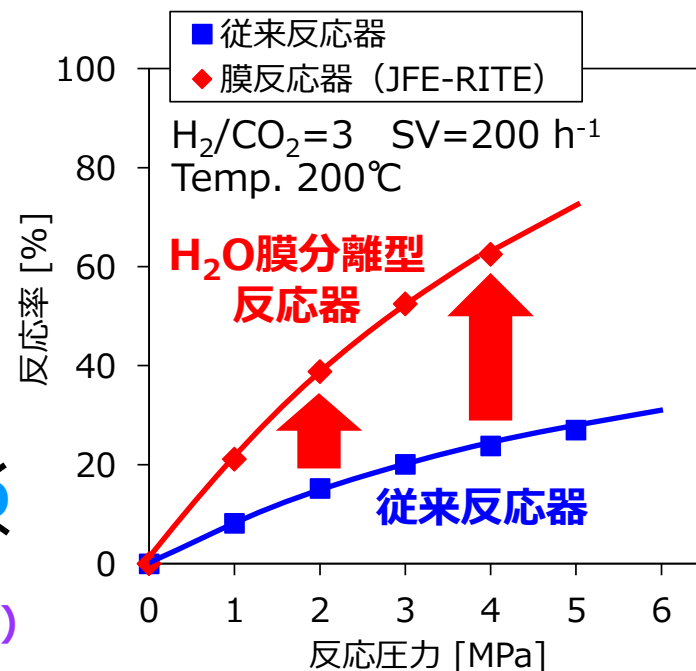
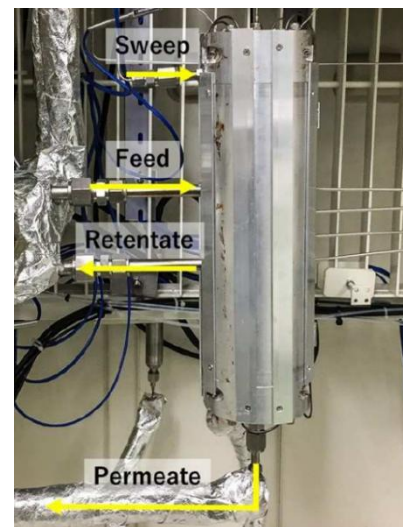
## 従来反応器



## H<sub>2</sub>O膜分離型反応器

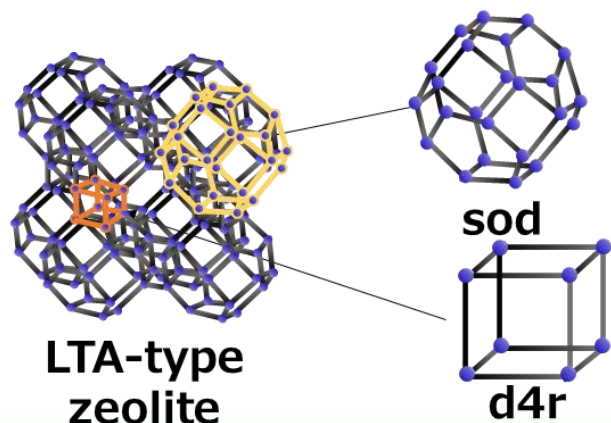
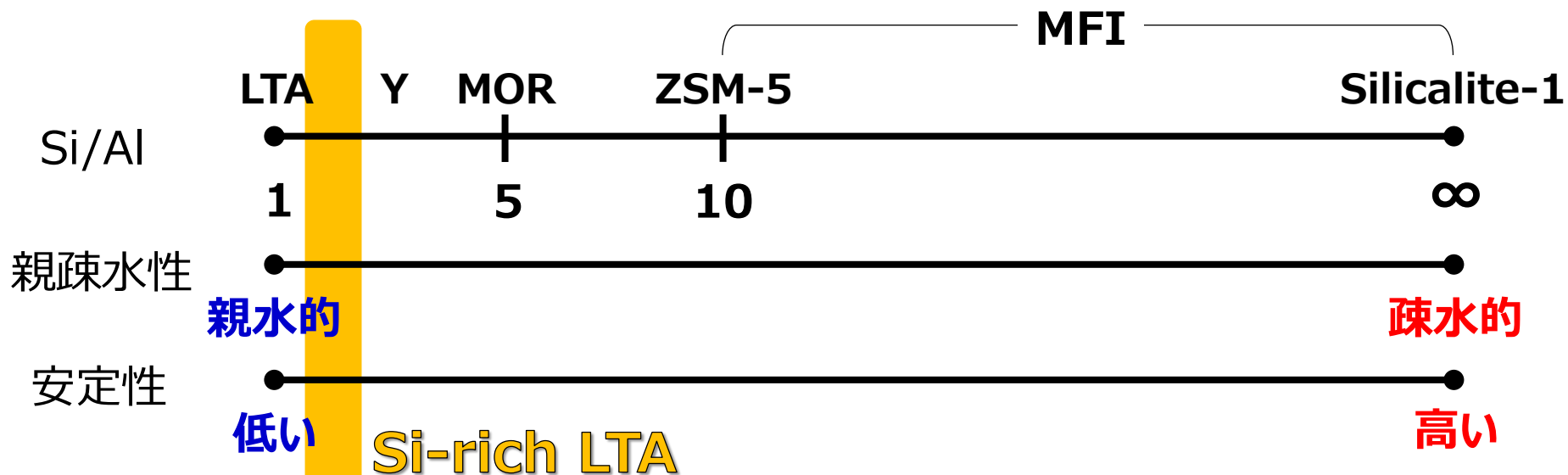


## 小型膜反応器試験装置



# 脱水膜（ゼオライト膜）の開発

## 高い水熱安定性と高透過性を両立する新規ゼオライト膜を開発



### ◆ 一般的なLTA ; $\text{Si/Al} = 1$

👉 親水性は高いが、水熱安定性が低い

反応条件下での膜の性能劣化が課題

### ◆ 開発したLTA (Si-rich LTA) ; $\text{Si/Al} = 1.2 \sim 1.5$

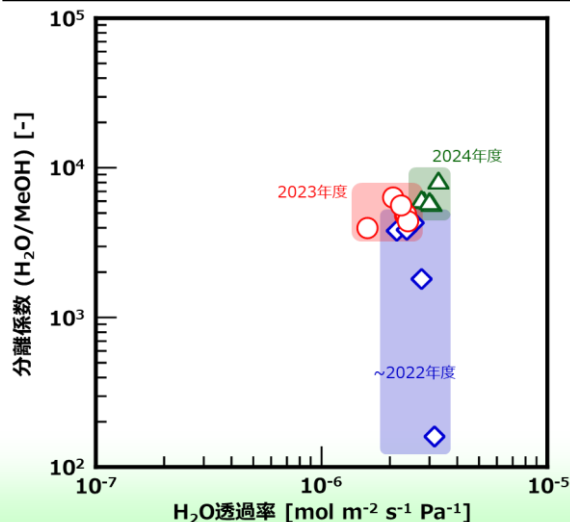
👉 高い親水性を維持しつつ、水熱安定性が向上

(特許第7321260号)

# 脱水膜の透過分離性能

実用的長さ（1 m長）のRITE開発膜は、すでに実用レベル

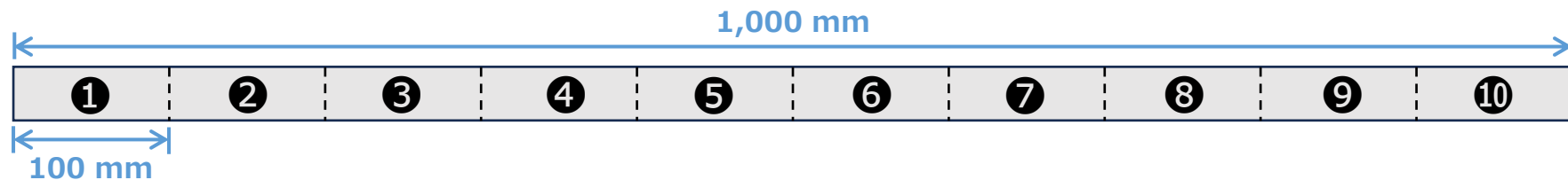
| 脱水膜                       | 温度（分離系）[°C]                              | 水の透過性能 [ $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{Pa}^{-1}$ ] | 選択性 [-]      |
|---------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|--------------|
| 本プロジェクトの目標値               | 200 ( $\text{H}_2\text{O}/\text{MeOH}$ ) | $\geq 1.0 \times 10^{-6}$                                   | $\geq 1,050$ |
| RITE開発脱水膜（70 mm）          | 200 ( $\text{H}_2\text{O}/\text{MeOH}$ ) | $9.8 \times 10^{-7}$                                        | 3,500        |
| RITE開発脱水膜<br>（1 m-length） | 200 ( $\text{H}_2\text{O}/\text{MeOH}$ ) | $2.0 \times 10^{-6}$                                        | 3,000        |
|                           | 125 ( $\text{H}_2\text{O}/\text{MeOH}$ ) | $3.0 \times 10^{-6}$                                        | 8,000        |
|                           | 75 ( $\text{H}_2\text{O}/\text{EtOH}$ )  | $3.0 \times 10^{-6}$                                        | >10,000      |
| 脱水膜A(市販)                  | 200 ( $\text{H}_2\text{O}/\text{MeOH}$ ) | $1.2 \times 10^{-6}$                                        | 80           |
|                           | 125 ( $\text{H}_2\text{O}/\text{MeOH}$ ) | $1.1 \times 10^{-6}$                                        | 465          |
| 脱水膜B(市販)                  | 75 ( $\text{H}_2\text{O}/\text{EtOH}$ )  | $2.0 \times 10^{-6}$                                        | 1,500        |
| 脱水膜C(市販)                  | 50 ( $\text{H}_2\text{O}/\text{MeOH}$ )  | $2.3 \times 10^{-6}$                                        | 37           |
|                           | 60 ( $\text{H}_2\text{O}/\text{EtOH}$ )  | $2.1 \times 10^{-6}$                                        | 10,200       |



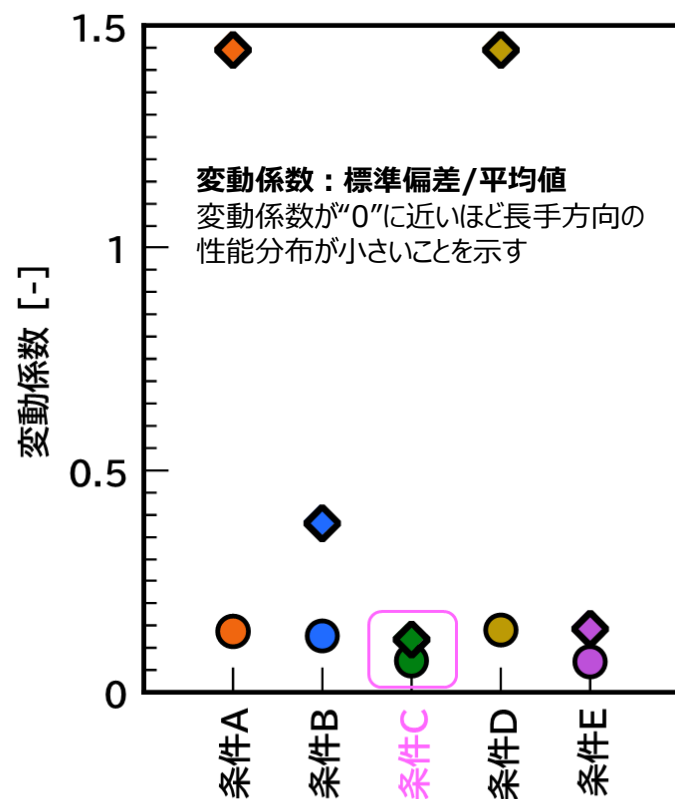
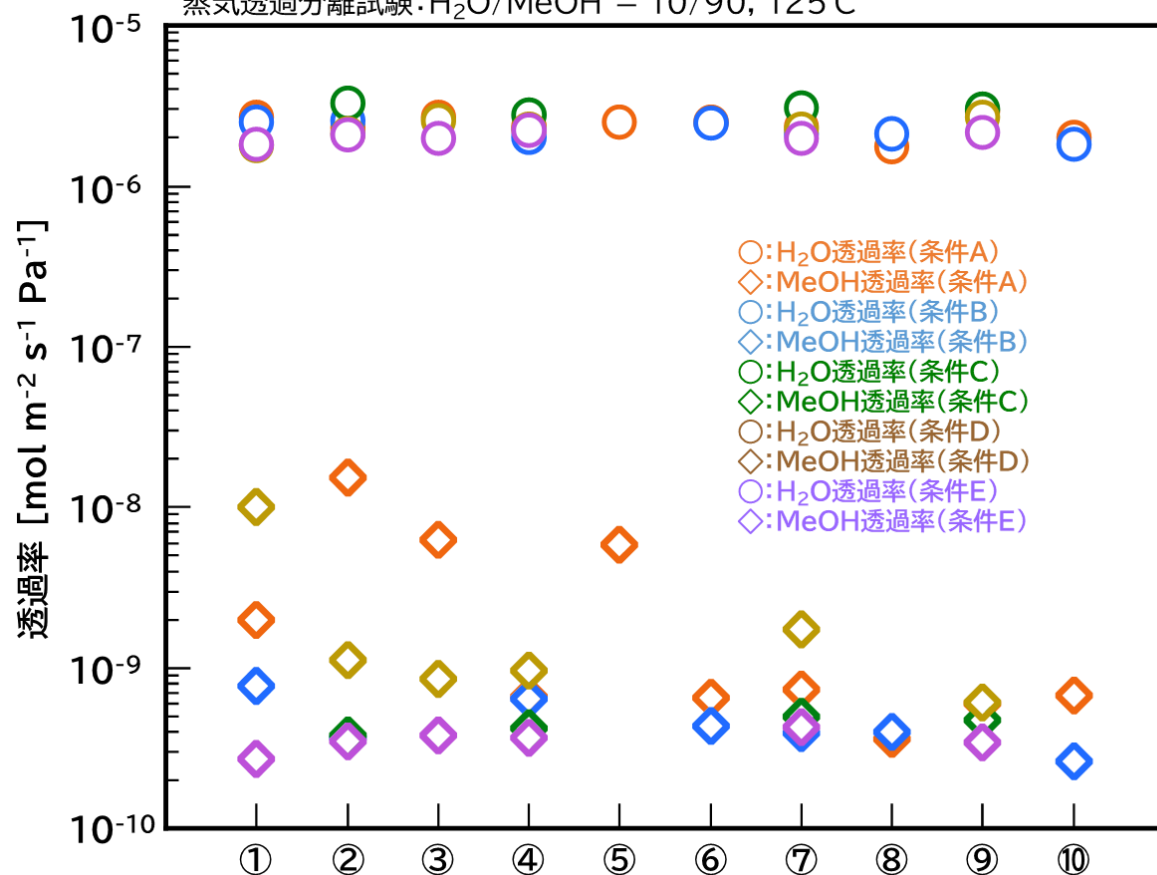
開発した脱水膜は、他の脱水膜と比較して高い透過分離性能を有しており、較的再現よく高い性能を有する合成条件を確立

合成条件をさらに精査し、長手方向に対して均一な性能を有する長尺脱水膜の合成条件を検討

# 長さ方向に対する性能分布



蒸気透過分離試験:  $\text{H}_2\text{O}/\text{MeOH} = 10/90$ ,  $125^\circ\text{C}$



長さ方向に対して性能分布の少ない合成条件を確立



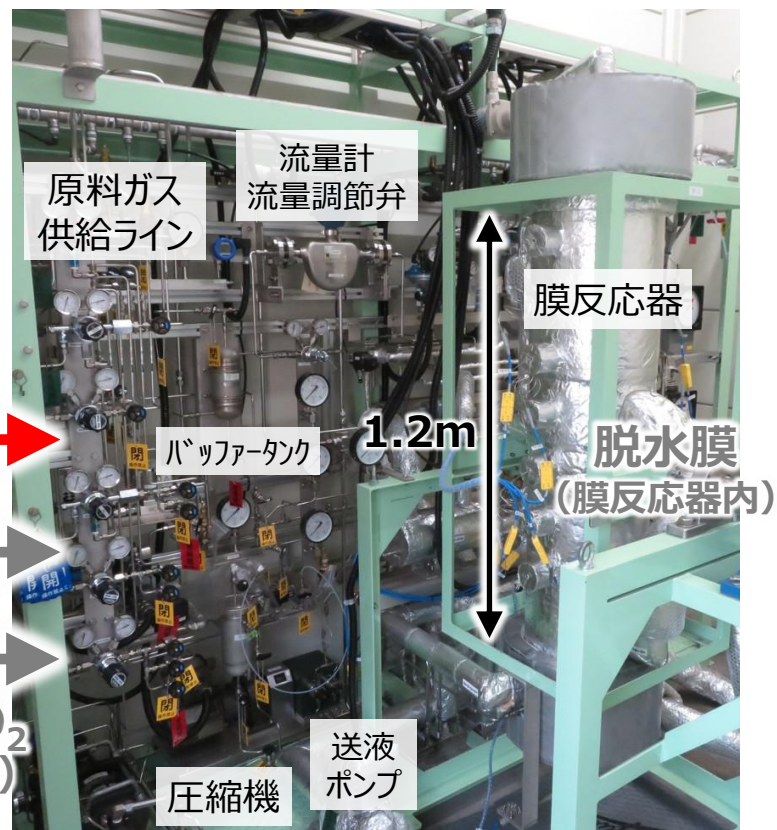
JFE

# 膜反応器試験装置 メタノール合成試験

ゼオライト脱水膜を設けた1.2m長さの膜反応器試験装置にて高効率メタノール合成ラボ試験中



乾式脱硫試験装置 (CO<sub>2</sub>前処理)



膜反応器試験装置

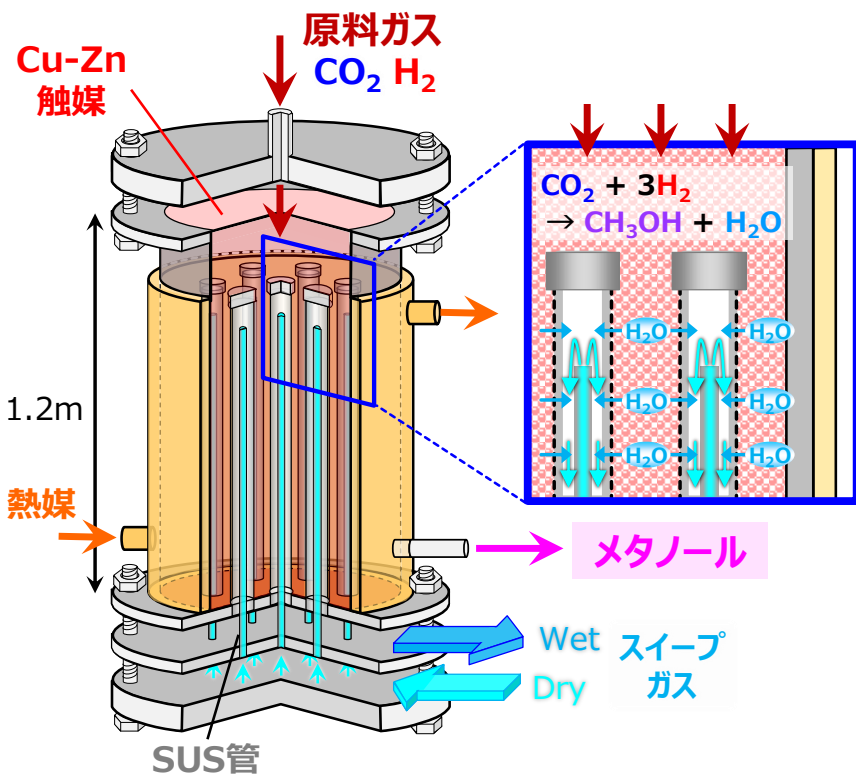
～'24 ボンベガス試験

'25～ 実ガス試験 (高炉ガス分離CO<sub>2</sub>使用)



JFE

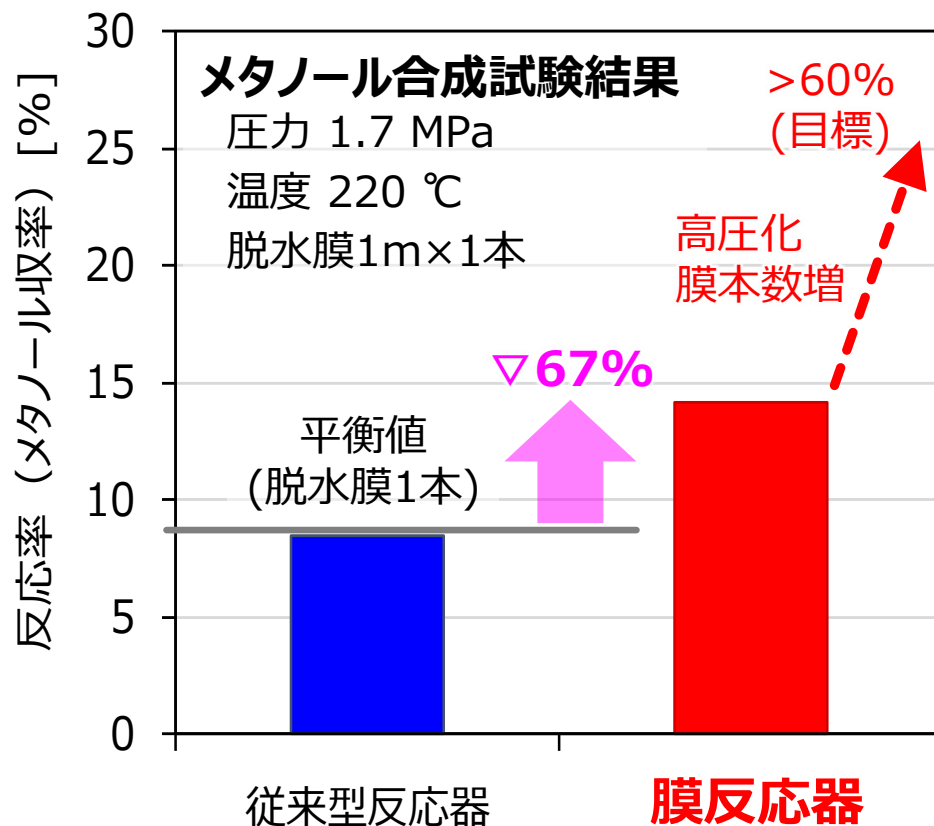
# 膜反応器試験装置 メタノール合成試験



【課題】 高圧試験時の脱水膜ガスシール性  
(2MPa以上の試験で差圧減少)

⇒ 高圧試験用に膜反応器改造  
メタノール収率改善

1.2mスケールの膜反応器にて  
メタノール合成平衡超過ラポ実証





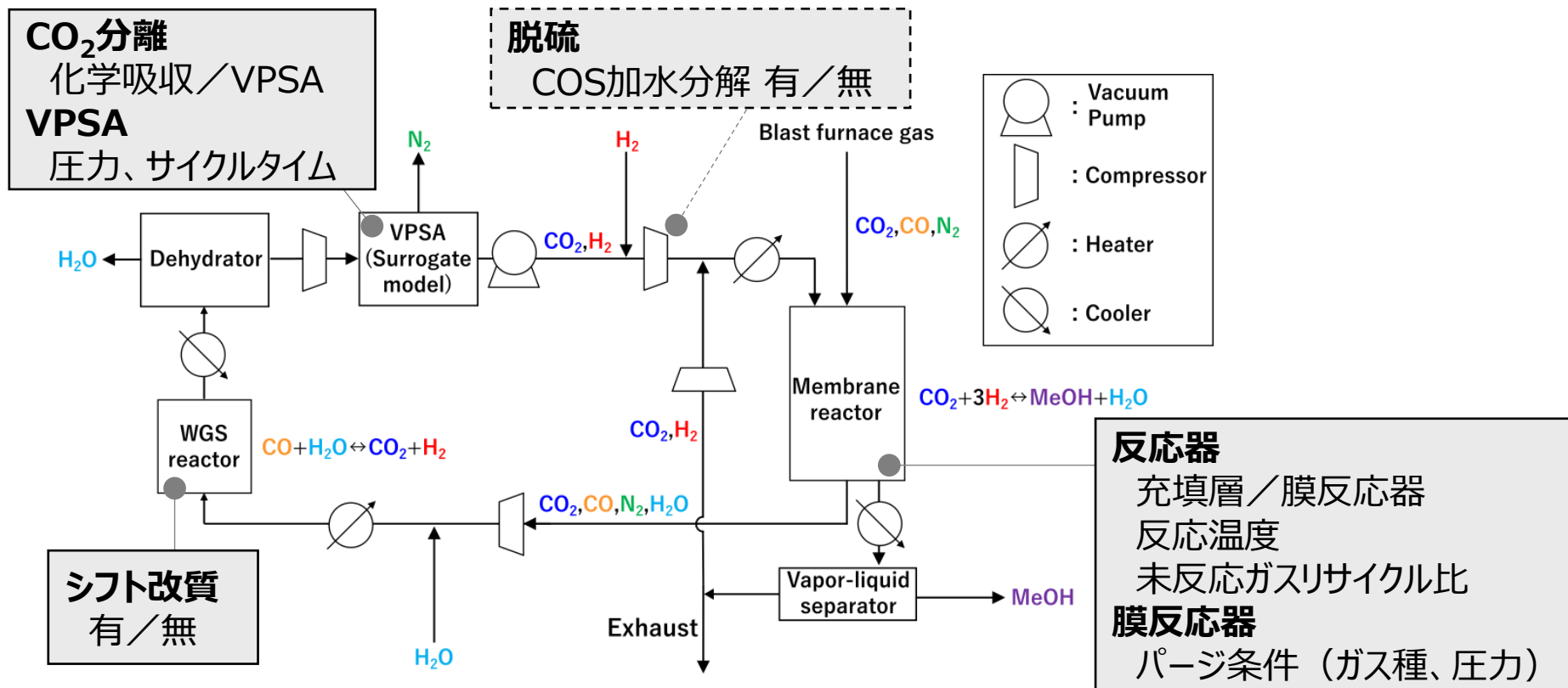
# 全体システム最適化（名古屋大学再委託）

前処理、CO<sub>2</sub>分離、メタノール合成 プロセスモデル作成、実験データとのフィッティング

⇒ 全体システムモデル構築、最適化（メタノール合成量Max、エネルギー消費Min）

## 設計ポイント

- H<sub>2</sub>利用効率最大化（H<sub>2</sub>→メタノール最大化、H<sub>2</sub>ロス最小化）
- N<sub>2</sub>選択除去（反応器Inert成分、CO/N<sub>2</sub>分離困難）
- 膜透過ガス再利用（H<sub>2</sub>O, 一部原料ガス）

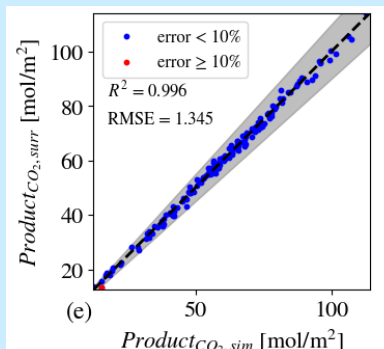
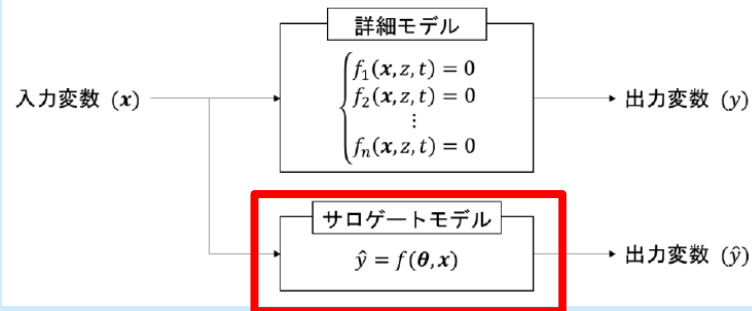




# 全体システム最適化 ケーススタディー

## VPSA : 代理モデル

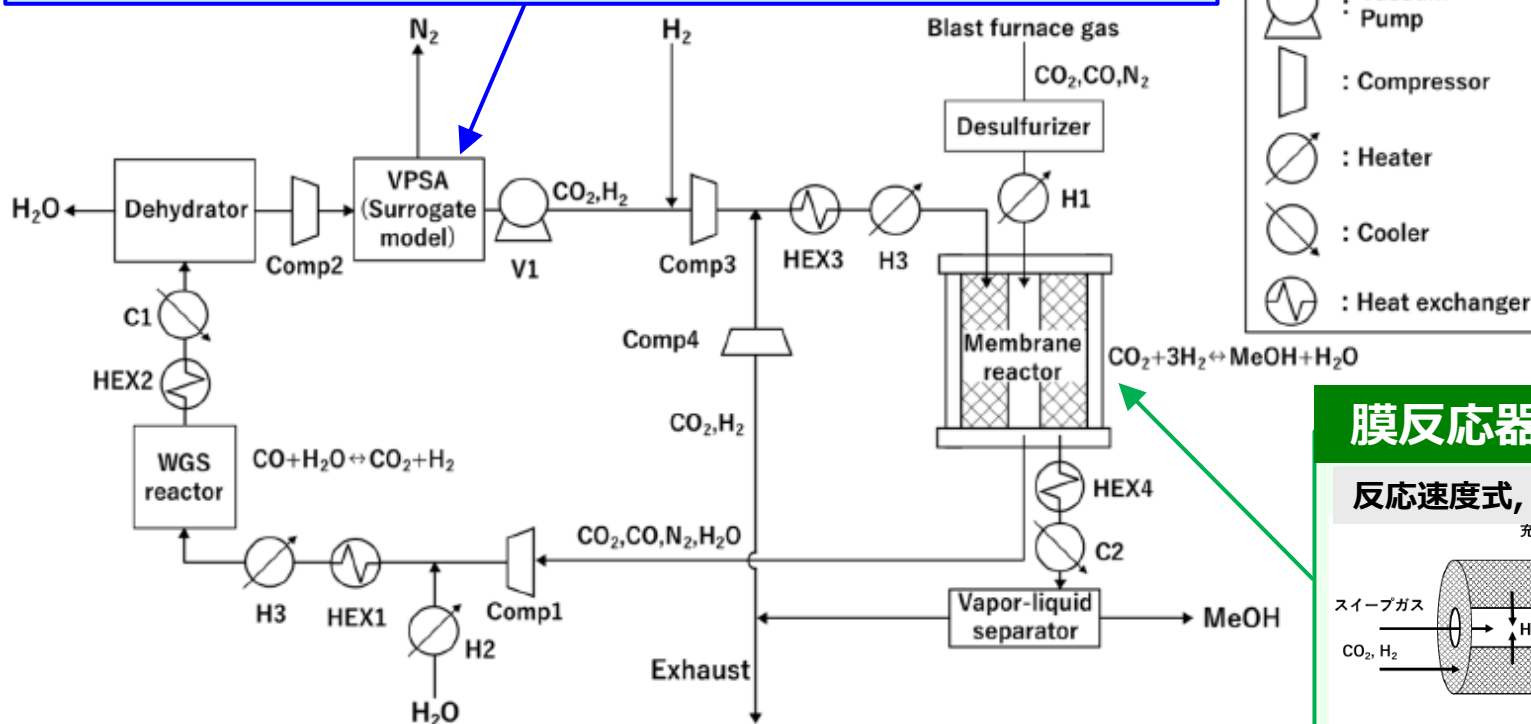
物質収支式  
エネルギー収支式  
吸着等温式 etc.



目的関数 (全体システム最適化)  
メタノール合成量 → 最大  
エネルギー消費 → 最小

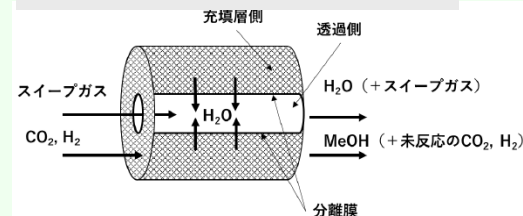
## 決定変数

VPSA: 圧力、サイクルタイム, etc.  
膜反応器: 温度、膜本数  
リサイクル比, etc.



## 膜反応器 : 物理モデル

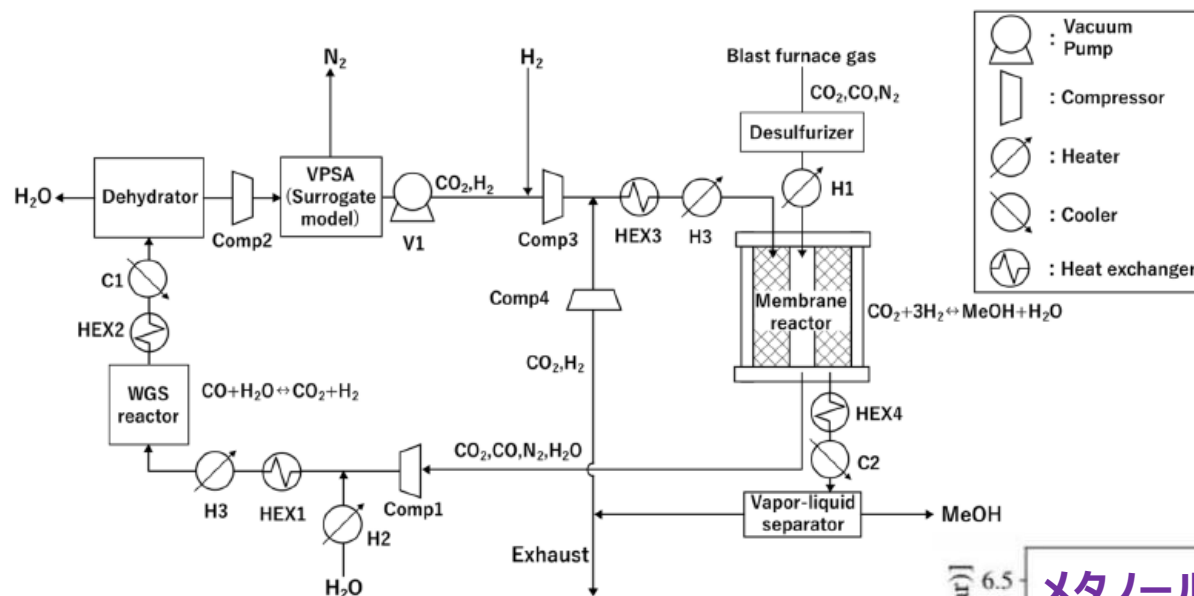
反応速度式, 膜透過式, etc.





JFE

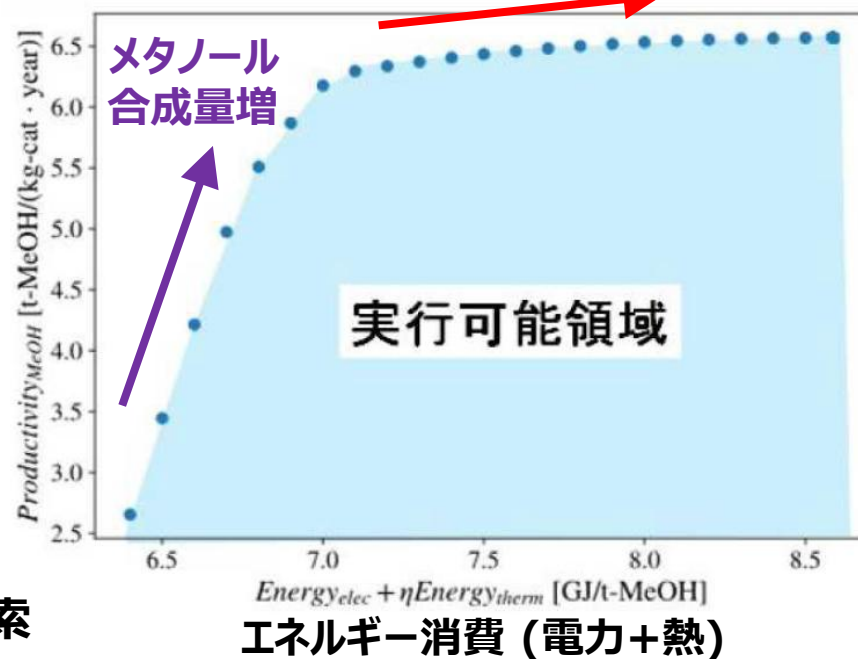
# 全体システム最適化 ケーススタディー



全体システム最適化  
計算結果

トレードオフ関係を確認  
限界性能を可視化

エネルギー消費のみ増



【今後】経済性分析、最適フロー探索

# 今後の技術課題

CRメタノール社会実装には性能実証およびコストダウンのための更なる技術開発  
および事業環境整備が必要

## 【技術開発】

- 低コスト型CO<sub>2</sub>分離VPSA ⇒ 長期運転性能実証
- H<sub>2</sub>O膜分離型反応器 ⇒ 基本性能実証、スケールアップ設計  
脱水膜量産化技術およびQC, QA技術確立
- 全体システム最適化 ⇒ 最適フロー構築、経済性評価、コストダウン

## 【事業環境整備】

- 水素製造・供給インフラ整備（制度設計含む）
- CRメタノール バリューチェーン構築（化学コンビナート連携）

以上