

事業戦略ビジョン

実施プロジェクト名：CO₂分離素材の標準評価共通基盤の確立

実施者名：公益財団法人 地球環境産業技術研究機構、代表名：理事長 山地 憲治

共同実施者：（幹事機関）国立研究開発法人 産業技術総合研究所

目次

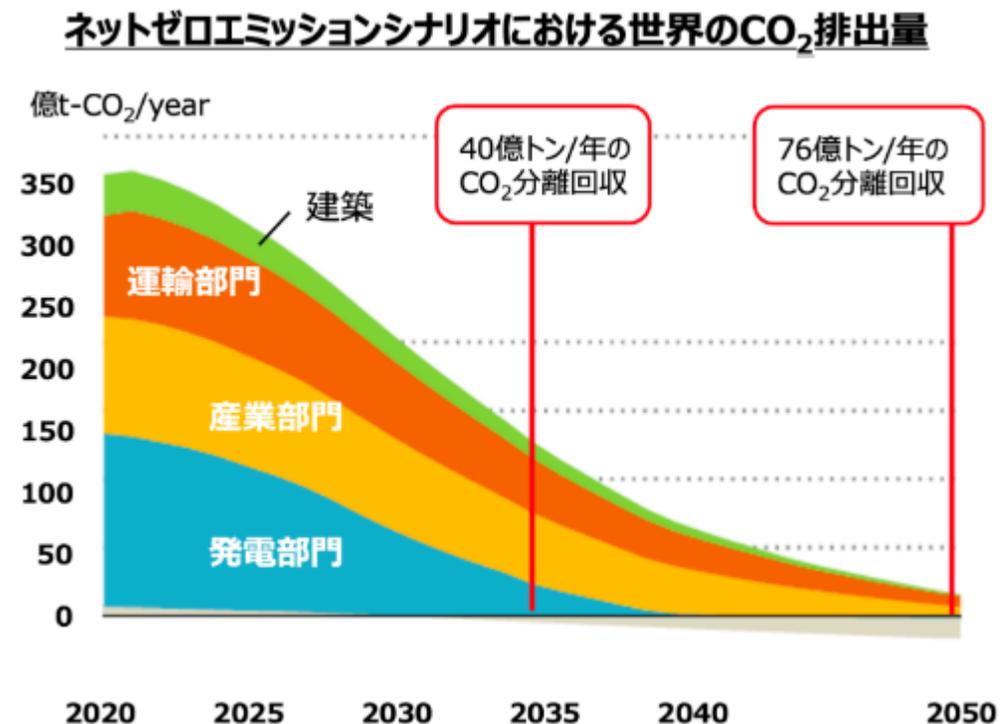
- 0. コンソーシアム内における各主体の役割分担
- 1. 事業戦略・事業計画
- 2. 研究開発計画
 - (1) 研究開発目標
 - (2) 研究開発内容
 - (3) 実施スケジュール
 - (4) 研究開発体制
 - (5) 技術的優位性
- 3. イノベーション推進体制（経営のコミットメントを示すマネジメントシート）
- 4. その他
 - (1) 想定されるリスク要因と対処方針

2. 研究開発計画

2. 研究開発計画

本研究開発実施の背景

- 2050年カーボンニュートラル実現のためには、CCUS技術に関する研究開発加速が急務。
- GI基金にて実施予定の他事業を含め、CO₂からの機能性化学品（ポリカーボネート等）製造や、人工光合成等のグリーン水素からアルコール類経由の基礎化学品製造等では、原料としてのCO₂が必要であり、CO₂の分離回収技術の革新は不可欠。
- 世界で拡大するCO₂分離回収市場において、産業競争力を強化してシェアを拡大し、カーボンニュートラルの実現に貢献するため、分離素材開発～実用化・商用化の流れを加速する必要がある。
- 次世代の革新素材・技術の開発、およびその社会実装を加速するため、**CO₂分離回収にかかる標準評価共通基盤を構築**する。



第8回 産業構造審議会（CO₂分離回収第2回WG）資料より抜粋
（2021/12/23開催）

標準評価共通基盤においては、ラボからベンチスケールまでの各ステップで標準となる評価・分析法、劣化メカニズムを想定した耐久性評価手法の開発により素材開発からプロセス設計までをシームレスに加速する。また、研究開発から得られる知見、ならびに市場での課題等、情報共有のハブとしての機能により、開発加速のみならずCO₂分離回収分野の研究拠点としての機能を果たす。

2. 研究開発計画

共通評価基盤の必要性

国内企業ヒアリング結果の概要

(1) 産業界からの要望

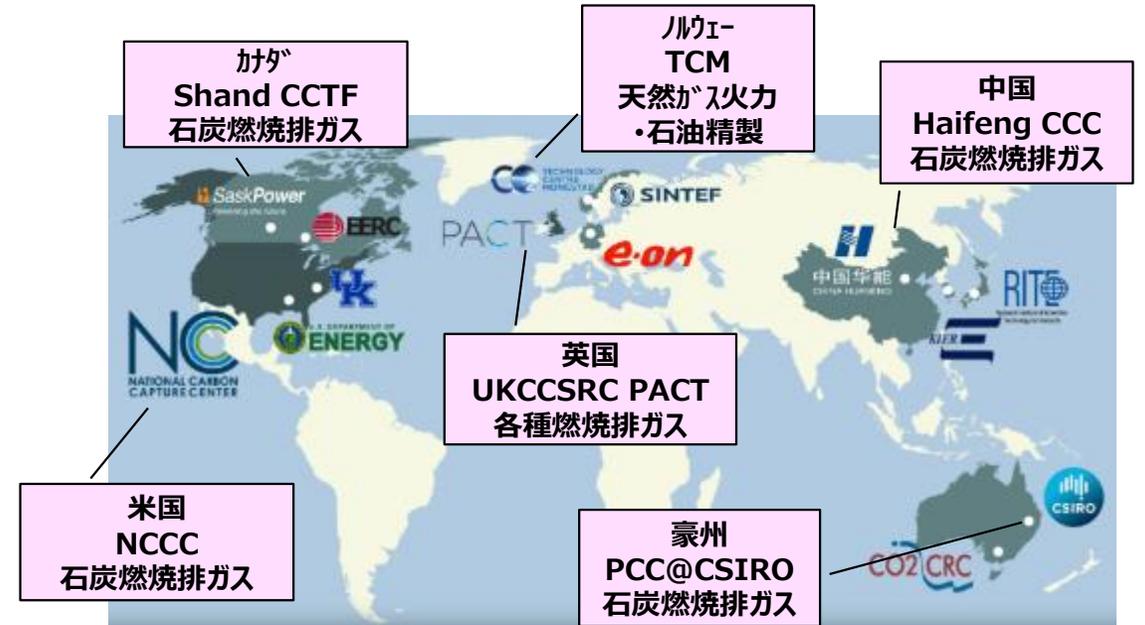
- 素材メーカー：
新規開発した自社材料の優位性を客観的に示したい
- エンジニアリング会社：
素材メーカー等が開発する様々な新規材料を客観的に比較・評価したい

(2) 個社での実ガス試験における課題

- サイトの確保、法規対応・申請作業等に時間を要する
- 実ガス試験実施には十分な初期予算の投入が必要である

(3) 海外の実ガス試験設備を利用する上での課題

- パイロット～実機レベルの対応が求められ、開発段階の分離素材の評価が不可
- 現地条件（法規対応等）に沿って開発するため、企画～試験の全ての段階で時間が必要
- 現地企業が優先されるため、スケジュール通りの評価が困難
- 知財保護、経済安全保障上の懸念



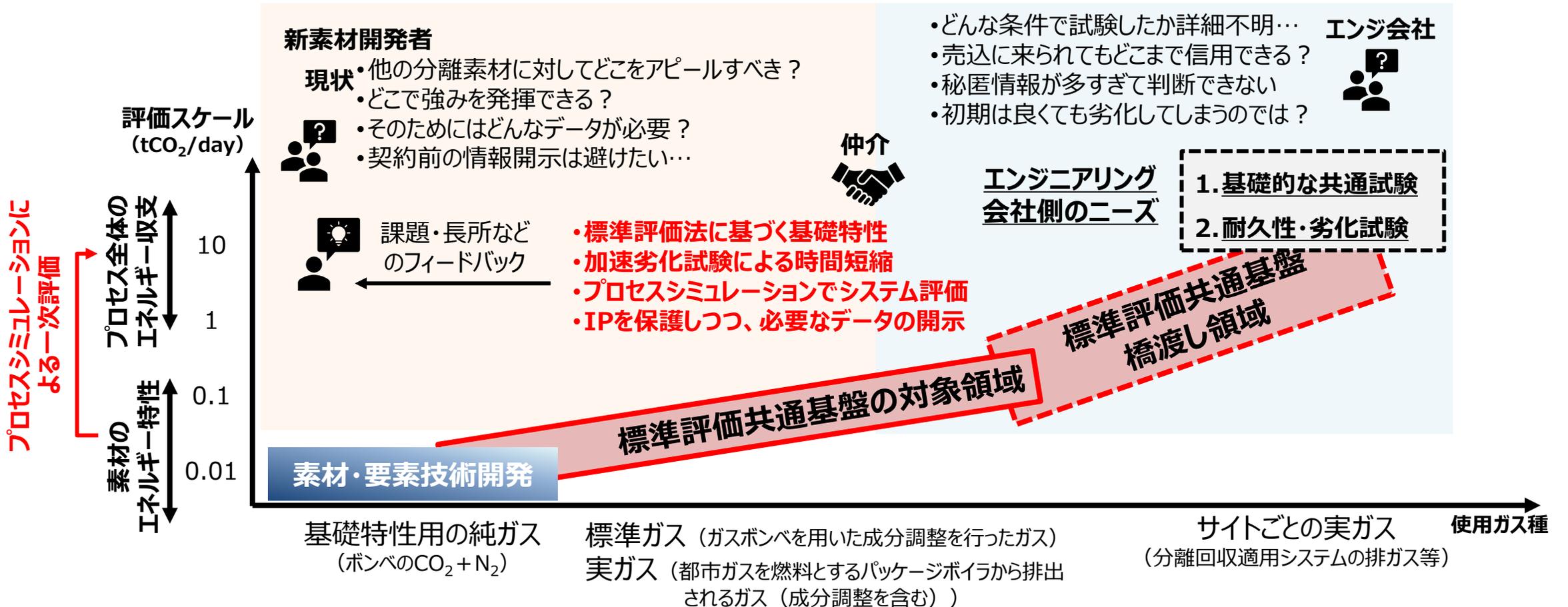
International Test Center Network (ITCN)
CO₂分離回収技術の研究開発を推進する世界各地の施設のグローバル連合
(2012年設立)

目的：CO₂分離回収技術の商業化を加速させる知識・情報の共有
特に、CO₂回収技術を組込んだ発電やプロセスのコスト削減を
可能にする次世代技術

➤ 日本には試験の拠点が無い。

➤ 現在は日本のCO₂回収技術は海外技術に対して優位性があるが、今後も優位性を保つためには、日本国内に実ガス試験が可能な共通評価基盤が不可欠

標準評価共通基盤の役割：素材開発強化と橋渡し機能



✓ 整備された共通設備による素材開発側の研究障壁の低下

✓ プロセス開発側での多数の革新素材候補に対するスクリーニング負担の軽減

標準評価共通基盤における材料評価の流れ：標準ガスから実ガス評価への展開

CO₂分離素材の標準評価共通基盤

Stage 1

標準ガスによるスクリーニングと早期フィードバック

- 革新的分離素材開発に向けた標準評価法の開発（標準評価法の設計・構築）
- CO₂回収量：<10kg/day
- 評価項目：吸収法（気液平衡、反応熱・比熱、連続分離回収性能など）、吸着法（吸着平衡、吸着熱・比熱、連続分離回収性能など）、膜分離法（透過係数、選択率など）

Stage 2

実ガスによる評価試験と耐久性評価

- 実ガスを用いた標準評価法の策定およびデータベースの構築
- CO₂回収量：100kg/day
- 運転時間～数百時間程度
- 試験設備：都市ガス焼きボイラ排ガス+成分調整機能（酸素、微量成分）

- 劣化メカニズムを想定した耐久性評価手法の開発（加速劣化試験法の妥当性検討）
- 100kg/day規模の劣化試験実施によるデータ収集を通じて加速劣化試験法の妥当性を検討し、耐久性評価手法*を確立する。
*例えば酸化劣化や熱劣化の劣化試験の期間短縮

Stage 3

実証試験

（数十～百TPD）パイロット実証

Stage 4

商用化

（数千TPD）実規模

CO₂分離回収技術開発・実証

[研究開発項目1]
天然ガス火力発電排ガスからの大規模CO₂分離回収技術開発・実証

[研究開発項目2]
工場排ガス等からの中小規模CO₂分離回収技術開発・実証

基本性能

経時変化
(劣化)

アップ対応
スケール

2. 研究開発計画 / (1) 研究開発目標

革新素材・技術の社会実装の加速というアウトプット目標を達成するために必要な複数のKPIを設定

事業の実施内容

CO₂分離素材の標準評価共通基盤の確立

アウトプット目標

世界で拡大するCO₂分離回収市場でシェアを拡大し、カーボンニュートラルの実現に貢献するため、標準ガス及び実ガスを用いたCO₂分離回収標準評価共通基盤を確立

研究開発項目

- 1 CO₂分離素材の標準評価法の策定
 - ①-1 素材特性評価法の構築
 - ①-2 素材評価に適した分離性能評価法の構築
 - ①-3 加速劣化試験法の開発
 - ①-4 シミュレーション技術の開発

- 2 標準ガスおよび実ガスを用いた統一的な性能評価法の確立

- 3 国際標準化

KPI

- 技術開発レベルに合わせたCO₂分離素材の横並びの性能評価を可能とする、吸収法・吸着法・膜分離法ごとの標準評価法の策定
- 標準ガスを用いた連続分離回収試験装置の整備
- 実ガスを用いた連続分離回収試験装置の整備
- これまでの劣化試験に要する時間を1/2以下に短縮可能な試験法の開発

- 標準ガスを用いた各種CO₂分離素材の評価
- 実ガスを用いた各種CO₂分離素材の評価

- 要求性能の明確化
 - 標準評価法の発信・普及*
- *普及：国内外での利用検討の実施

KPI設定の考え方

CO₂分離素材を横並びで評価する手法は無く、優劣比較が困難。開発初期段階にあるCO₂分離素材等の性能評価では、標準ガスを用いて、少量でも中立的な評価が可能な評価法を開発。実ガスを用いる分離素材の評価に関しては、100kg-CO₂/日規模の実ガス試験センターの設置および実ガスを用いた分離性能評価法を開発。加速劣化試験法やプロセスシミュレーションを含めたCO₂分離回収技術ごとの標準評価法を策定し、CO₂分離素材の開発を加速させるため、KPIに設定。

新規に開発されたCO₂分離素材の性能評価にも適合するよう、適宜評価法の改良を進め、標準ガスおよび実ガスを用いた統一的な性能評価法を確立するため、KPIに設定。

CO₂分離素材を対象とした評価法の国際標準規格は未確立。標準評価法を国内外に広く発信し、標準評価法のユーザーを増やすことで国際標準化への道筋を拓くため、KPIに設定。

2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容 (全体像)

各KPIの目標達成に必要な解決方法

| | KPI | 現状 | 達成レベル | 解決方法 | 実現可能性 (成功確率) | |
|---|--|---|--|---|---|---|
| 1 | <p>CO₂分離素材の標準評価法の策定</p> <ul style="list-style-type: none"> ①-1 素材特性評価法の構築 ①-2 素材評価に適した分離性能評価法の構築 ①-3 加速劣化試験法の開発 ①-4 シミュレーション技術の開発 | <ul style="list-style-type: none"> 技術開発レベルに合わせたCO₂分離素材の横並びの性能評価を可能とする、吸収法・吸着法・膜分離法ごとの標準評価法の策定 標準ガスを用いた連続分離回収試験装置の整備 実ガスを用いた連続分離回収試験装置の整備 これまでの劣化試験に要する時間を1/2以下に短縮可能な試験法の開発 | <ul style="list-style-type: none"> 標準評価法が無く、横並び評価が困難。また、実ガス評価は一部のエンジ企業に限定 劣化評価にはパイロットクラスの実ガスで約1年程度の時間が必要 (提案時TRL4) | <ul style="list-style-type: none"> 標準評価法が確立され、新規分離素材について性能の横並び評価が可能となっている状態 中立で公平性の高い標準ガスを及び実ガスを用いた性能評価設備の整備 (回収技術ごとに1基、計3基) ラボスケール・セミベンチスケールの試験装置でこれまでの劣化試験に要する時間を1/2以下に短縮可能な試験法 (各分離回収技術ごとに1件、計3件以上) が開発され、利用が開始されている状態 (目標TRL7) | <ul style="list-style-type: none"> プロジェクト推進協議会 (GI事業参加者、CO₂排出事業者、エンジメーカー、大学・研究機関等) 設置による協力体制を構築 低圧、低濃度排ガスの評価方法の検証に適した実ガス設備仕様の検討 分離素材開発者・エンジ企業が自由に利用可能な、分離素材ごとの分離回収エネルギーの定義と標準評価手順を確立し、ベンチマークデータとともに公開 分離素材ごとに影響因子の整理と劣化メカニズムを想定し、劣化モードを再現しつつ、耐久性評価を短時間化する試験方法を確立 | <p>高 (90%) これまでの知見の活用</p> <p>※加速劣化試験法については 中 (60%) チャレンジングな研究開発含む</p> |
| 2 | <p>標準ガスおよび実ガスを用いた統一的な性能評価法の確立</p> | <ul style="list-style-type: none"> 標準ガスを用いた各種CO₂分離素材の評価 実ガスを用いた各種CO₂分離素材の評価 | <p>独自研究開発による不統一な評価 (提案時TRL4)</p> | <ul style="list-style-type: none"> 各種CO₂分離回収技術の新規材料評価 (10種×3) を実施可能な状態 (目標TRL7) | <ul style="list-style-type: none"> 標準評価法に従い各種CO₂分離素材の性能評価を進め、データを蓄積・拡充し、適宜評価法を改良 得られた性能評価に関するデータベースを公開 | <p>高 (90%) これまでの知見を活用</p> |
| 3 | <p>国際標準化</p> | <ul style="list-style-type: none"> 要求性能の明確化、 標準評価法の発信・普及 <p>*普及：国内外での利用検討の実施</p> | <p>CO₂分離回収技術のための材料を対象とした評価方法の国際標準化はなされていない</p> | <p>構築した標準評価法が国内外に普及し、国際標準化に向けた環境が整った状態</p> | <ul style="list-style-type: none"> 標準評価法により構築したデータベースを活用し、各種CO₂分離回収技術ごとの要求性能を示す。 セミナー・講演会の開催や、海外実ガスセンターとの連携により、標準評価法の普及を図る。 | <p>中 (50%) 国際標準化は各国への普及が前提</p> |

2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容

ステージゲート目標に対する進捗状況

ステージゲート目標

- 1 CO₂分離素材の標準評価法の策定
 - ①-2 素材評価に適した分離性能評価法の構築
 - ①-3 加速劣化試験法の開発
 - ①-4 シミュレーション技術の開発
- 2 標準ガスおよび実ガスを用いた統一的な性能評価法の確立
 - ②-1 標準ガス試験評価およびデータの蓄積・拡充
 - ②-2 実ガス試験評価およびデータの蓄積・拡充
 - ②-3 耐久性評価データの蓄積・拡充
- 3 国際標準化

ステージゲート目標1.

- 各種CO₂分離素材の耐久性を短時間で評価する加速劣化試験法を開発する。

ステージゲート目標2.

- 所要エネルギー・コストを高精度に予測可能なシミュレーション技術を開発する。

ステージゲート目標3.

- 標準ガスおよび実ガスを用いた性能評価法を確立する。

ステージゲート目標4.

- 各CO₂分離素材の性能評価試験を実施し、データベース化する。

ステージゲート目標5.

- 国際標準化の動向をまとめ、標準評価法の普及の方針を示す。

ステージゲート目標に対する進捗

ステージゲート目標1.

加速劣化試験装置による耐久性評価を開始。実ガス試験設備でのデータ収集、試験方法・条件を検討中。標準ガスでの加速劣化試験結果の評価に向け、加速劣化試験後の標準分離材料の素材特性データを取得。

ステージゲート目標2.

標準評価法により得られたデータを基に所要エネルギー・コストを高精度に予測するプロセスシミュレーション技術(統合モデル)の開発に向け、加速劣化試験法で得られる耐久性評価データを統合モデルに入力するためのフィッティングツールを開発中。

ステージゲート目標3.

標準ガスを用いた分離性能評価装置、実ガスを用いた3設備の運用を開始。引き続き、実際の利用を通じて標準評価法の課題抽出を継続。特に、標準ガス・実ガスでの評価スケールが異なることを踏まえ、評価条件の妥当性/整合性について、AIST・RITEで協議を開始。TSA、単膜装置の仕様確定、製作会社を選定し、発注。

ステージゲート目標4.

標準ガスを用いた吸収法・吸着法・膜分離法の各試験設備、およびPSA、膜モジュールの各実ガス試験設備を用い、標準分離素材を対象とする試験を実施し、引き続きデータを収集中。

ステージゲート目標5.

海外試験センターとの意見交換 (ITCN会合) 及び技術動向調査 (PCCC8) を実施。また、ISO/TC265における、国際標準の開発状況及び新規提案トピックスの情報を収集。

進捗に対する評価

◎(理由)
計画通りに実施中。

◎(理由)
計画通りに実施中。

◎(理由)
計画通りに実施中。

◎(理由)
計画通りに実施中。

◎(理由)
計画通りに実施中。

2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容

今後の研究開発における技術課題と解決の見通し

2025年度目標

進捗状況

- 1 CO₂分離素材の標準評価法の策定
 - ①-2 素材評価に適した分離性能評価法の構築
 - ①-3 加速劣化試験法の開発
 - ①-4 シミュレーション技術の開発
- 2 標準ガスおよび実ガスを用いた統一的な性能評価法の確立
 - ②-1 標準ガス試験評価およびデータの蓄積・拡充
 - ②-2 実ガス試験評価およびデータの蓄積・拡充
 - ②-3 耐久性評価データの蓄積・拡充
- 3 国際標準化

①-2 (実ガス試験)
吸収液試験設備の整備を完了する。
TSA、単膜設備の製作に着手する。
実ガス分離性能評価法を作成する

①-3 (実ガス試験)
加速劣化試験と比較を目的に、実ガスでの試験方法・条件を決定し、実ガス試験データを取得する。

①-4 (シミュレーション技術)
所要エネルギー・コストの高精度予測に向けた統合モデル構築のプロトコル作成を完了する。

②-1 (標準ガス試験)
各分離回収技術の標準分離素材に関する評価データを蓄積する。
第三者からのCO₂分離素材の評価受入を開始する。

②-2 (実ガス試験)
標準材の評価データを取り纏める。
試験技術の動向を纏め、また、試験の知見を標準評価法に反映させる。

②-3 (標準ガス試験)
複数CO₂分離素材の加速劣化試験を完了する。

③ (国際標準化の調査)
海外動向および評価法を調査する。
CO₂回収分野の標準活動をまとめる。

【実ガス試験設備】2025年6月末に吸収液試験設備の整備が完了、3種のCO₂分離回収技術の試験設備が揃った。TSAおよび単膜試験設備の仕様を決定し、業者選定をし、発注。
【標準評価法】分離性能評価法の作成に向けて、各実ガス試験設備の課題対策検討を継続中。標準分離素材の試験の知見が増え、試験条件の設定範囲やデータ解析方法について検討が進展。

【実ガス試験】標準ガスでの加速劣化試験に対するフィードバックを目的に実施する実ガス試験設備での劣化試験について、AISTとの意見交換を経て、試験方法、条件を決定、4Qに100～500時間の連続試験を実施予定。

【シミュレーション技術】加速劣化試験法で得られる耐久性評価データ（材料物性の経時変化等）を統合モデルに入力するための推算式やフィッティングパラメータを選定。耐久性評価法から得られた実データを解析し、プロセスシミュレーションへ組み込むための手法を検討中。

【標準ガス試験】標準吸収液（AMP+Pz）、標準吸着剤（ゼオライト13X）、標準分離膜（ポリイミド膜、ゼオライト膜）を対象に、引き続き素材特性評価・分離性能評価を実施中。また、AIST-Solutions（AISol）を窓口とする素材評価サービスの運用を開始し、評価依頼者との事前打合せ～契約～評価実施までのスキームを構築。

【実ガス試験】標準吸収液（MEA）、標準吸着材（ゼオライト13X）、標準分離膜（ポリイミド膜）を対象に評価データを収集中。既知の情報と整合性のあるデータも一部の条件で確認。PSA試験設備を用いて昼夜連続運転を実施、ボイラーから燃焼排ガスが安定供給されることを確認。

【標準ガス試験】吸収液（AMP+Pz）、吸着剤（ゼオライト13X）を対象に、昨年度までに決定した試験条件を元に加速劣化試験を継続実施中。吸着剤については、新たにポリアミン担持シリカを対象とする加速劣化試験を開始。膜分離法については、引き続き標準分離素材（ゼオライト膜）を対象に、幅広い露点範囲での水蒸気供給機構の導入を進めるとともに、酸性ガス共存下での分離性能試験を開始。

【国際会議参加】ITCN会合およびPCCC8国際会議に参加し、実ガス試験センター（RCCC）の成果を発信するとともに、意見交換を実施した。また、海外の試験センターの活動を調査した。

【標準化の動向調査】ISO/TC265の国内会合に参加し、回収分野の標準化に関する情報を収集した。新規標準化のテーマも提案されており、情報収集していく。

2. 研究開発計画／（2）研究開発内容

研究開発項目の詳細

①-1 素材特性評価法の構築（各分離回収技術の標準分離素材）

| 分離技術 | 標準分離素材 | 選定理由 |
|------|--|---|
| 吸収法 | モノエタノールアミン（MEA） アミノメチルプロパノール（AMP） +ピペラジン（PZ） | <ul style="list-style-type: none">MEAは、第一世代吸収液として多くの知見があり、装置および試験法の確認のベンチマークとして最適AMP/PZは、第二世代標準吸収液として検討されている（IEAGHGのテクニカルレポートでも次世代標準液の代表例と掲載されている）<ul style="list-style-type: none">-AMP/PZは、MEAに対して再生熱量が小さい（AMPがヒンダードアミン）-PZを助剤として入れることで反応速度が向上-劣化耐性が高い |
| 吸着法 | ゼオライト（13X） | <ul style="list-style-type: none">ゼオライトは国内外の複数のプロジェクトにおける実証試験で利用されており、多くの知見があるため、標準評価法の妥当性検証のベンチマークとして最適安定な分離素材であり、保管状態等に由来する劣化の懸念なし大量製造されており、入手が容易 |
| 膜分離法 | 高分子膜（ポリイミド） | <ul style="list-style-type: none">ポリイミド膜およびゼオライト膜はCO₂分離膜として使用実績があり、標準評価法の妥当性検証に最適製造・販売されており、入手が容易異なる分離メカニズムにも対応（ポリイミド膜は溶解拡散、ゼオライト膜は分子ふるい） |
| | 無機膜（ゼオライト） | |

2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容

研究開発項目の詳細

①-1 素材特性評価法の構築（標準ガスおよび実ガスの組成）

標準ガス：ガスボンベを用いて成分調整を行ったガス

実ガス：都市ガスを燃料とするパッケージボイラから排出されるガス（成分調整を含む）

| 項目 | ガス条件 | |
|-------------|--|--|
| | 標準ガス | 実ガス |
| 供給ガス | ✓流量(dry)：～15 Nm ³ /h (max20 kg-CO ₂ /d) ✓圧力：常圧 ✓温度：30～50 °C ✓ガス種：CO ₂ 、O ₂ 、N ₂ 、水蒸気、NO _x (マスフローコントローラーで制御) | ✓流量(dry)：30～60 Nm ³ /h (max100 kg-CO ₂ /d) ✓圧力：大気圧～0.9 MPa (Abs.) ✓温度：30～50 °C ✓ボイラ排ガス (CO ₂ 濃度8%、N ₂ 濃度87%、O ₂ 濃度5%、NO _x 濃度45ppm) |
| 標準組成 (ドライ*) | ✓CO ₂ 濃度4%、O ₂ 濃度～14%、N ₂ ～82% (+NO _x) | |
| ガス分析 | ✓赤外分光法、ガスクロマトグラフィ-等 | |

*必要に応じて加湿条件で測定

2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容

研究開発項目の詳細

①-1 素材特性評価法の構築

吸収法

◆ 気液平衡特性・密度

- 気液平衡特性と密度測定で再現性5%以内を達成。

◆ 比熱・反応熱

- 40℃における比熱・反応熱で再現性10%以内を達成。
- 高温条件での精度向上に向けた測定条件の改良を実施中。

吸着法

- 吸着等温線、比熱容量、熱伝導率、密度（真密度・かさ密度）、吸着速度、熱伝導率の評価いずれも再現性5%以内の測定精度を達成。

膜分離法

- 基礎特性として、単成分ガスの透過性能を評価。
- 表面性状の観察（SEM）、表面元素分析(EDS)、化学結合の分光分析、結晶構造解析を用いて、材料特性を評価。
- 標準分離膜の候補として、異なる分離機構の膜材料である無機膜・高分子膜の2種類を決定。高分子膜としてポリイミド膜、無機膜としてゼオライト膜を選定し、基礎特性および材料特性評価を実施。

素材特性評価法の検討ワークフロー

情報収集

- 各CO₂分離素材の特性評価法
- CO₂分離回収プロジェクト等

評価する素材特性の選定

吸収法：

- ①気液平衡特性、②密度、③比熱・反応熱

吸着法：

- ①吸着等温線、②吸着熱、③比熱容量、④熱伝導率、⑤密度、⑥吸着速度

膜分離法：

- ①基礎特性、②表面性状の観察（SEM）、③組成分析、④化学結合の分光分析、⑤結晶構造解析、⑥耐熱性・分解挙動

プロジェクト推進協議会で議論

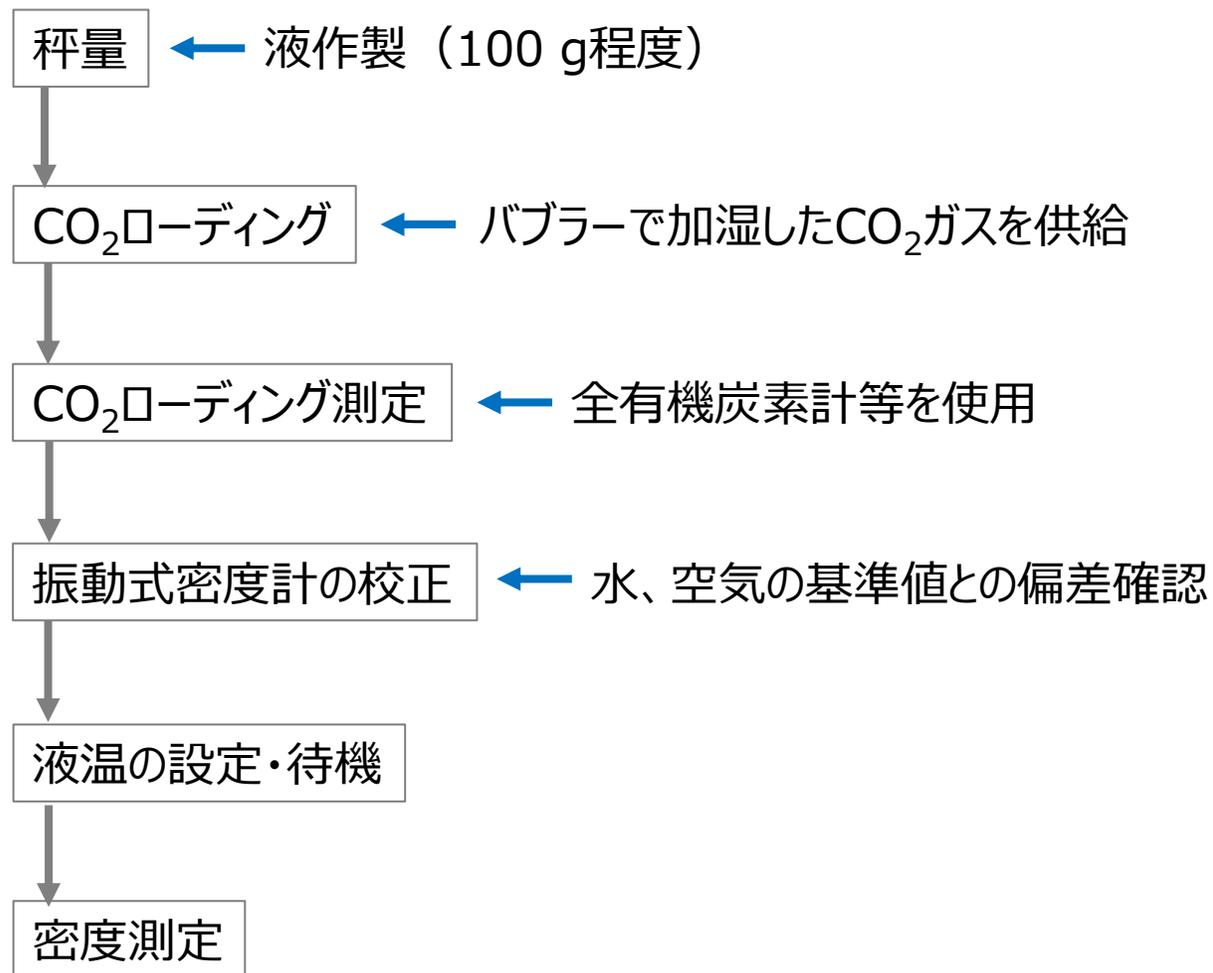
素材特性の評価項目の決定・評価プロトコル作成

2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容

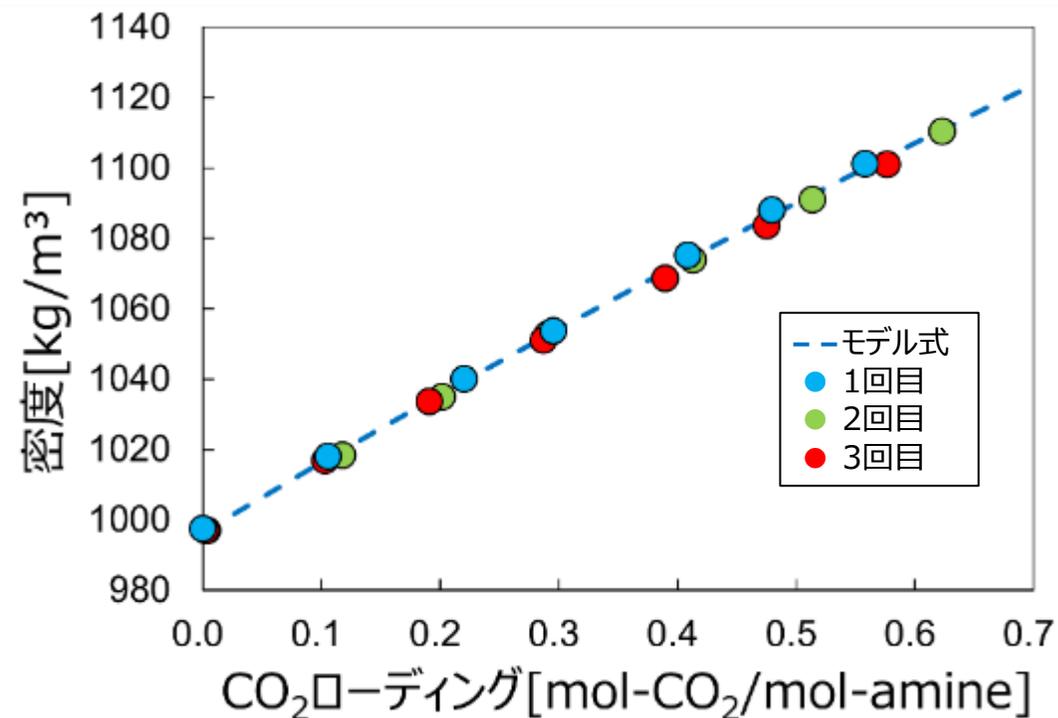
研究開発項目の詳細

①-1 素材特性評価法の構築 (吸収法)

密度測定の評価プロトコル:



密度測定 (AMP 27 wt% / PZ 13 wt%、40 °C、繰り返し性)



進捗状況

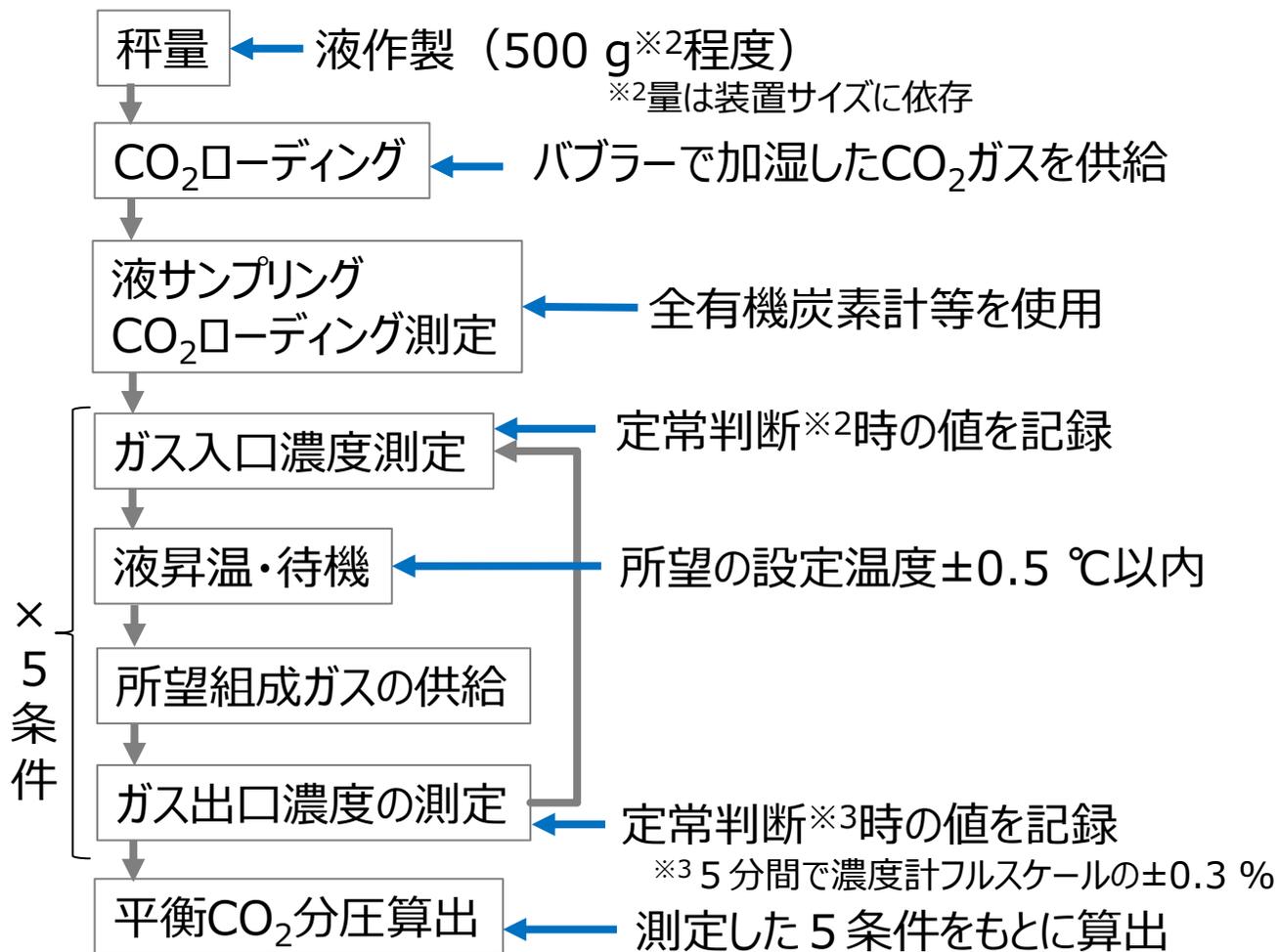
- 評価プロトコルを作成
- 再現性をモデル式 (2次近似) でfittingして評価
→再現性 0.19 %を達成

2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容

研究開発項目の詳細

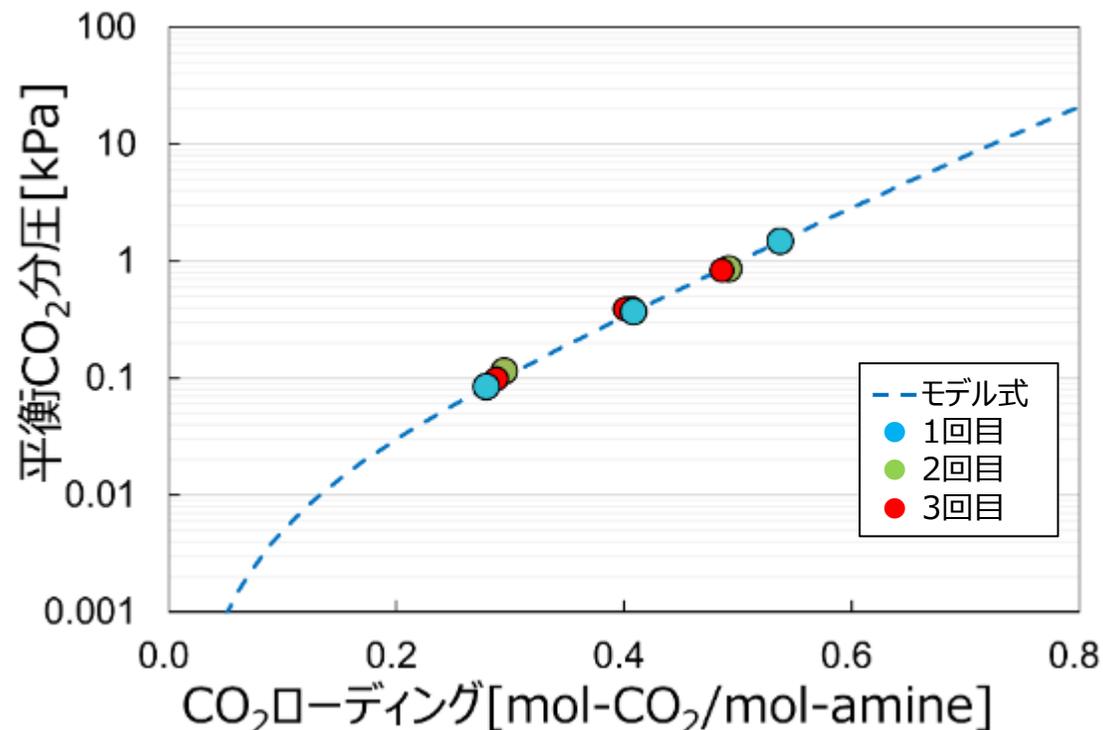
①-1 素材特性評価法の構築 (吸収法)

気液平衡特性測定 (低温域) ※1の評価プロトコル:



※1 低温域の試験でオートクレーブを用いると、特に低平衡CO₂分圧域においては平衡ローディング到達まで数十時間かかることもあるため、濡れ壁塔試験の採用を推奨。

気液平衡特性測定 (AMP 27 wt% / PZ 13 wt%、40 °C、繰り返し性)



進捗状況

※4 1回目の試験結果をもとに作成

- 評価プロトコルを作成
- 再現性をモデル式でfitting※4して評価
→再現性 3.2 %を達成 (ローディング基準)

2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容

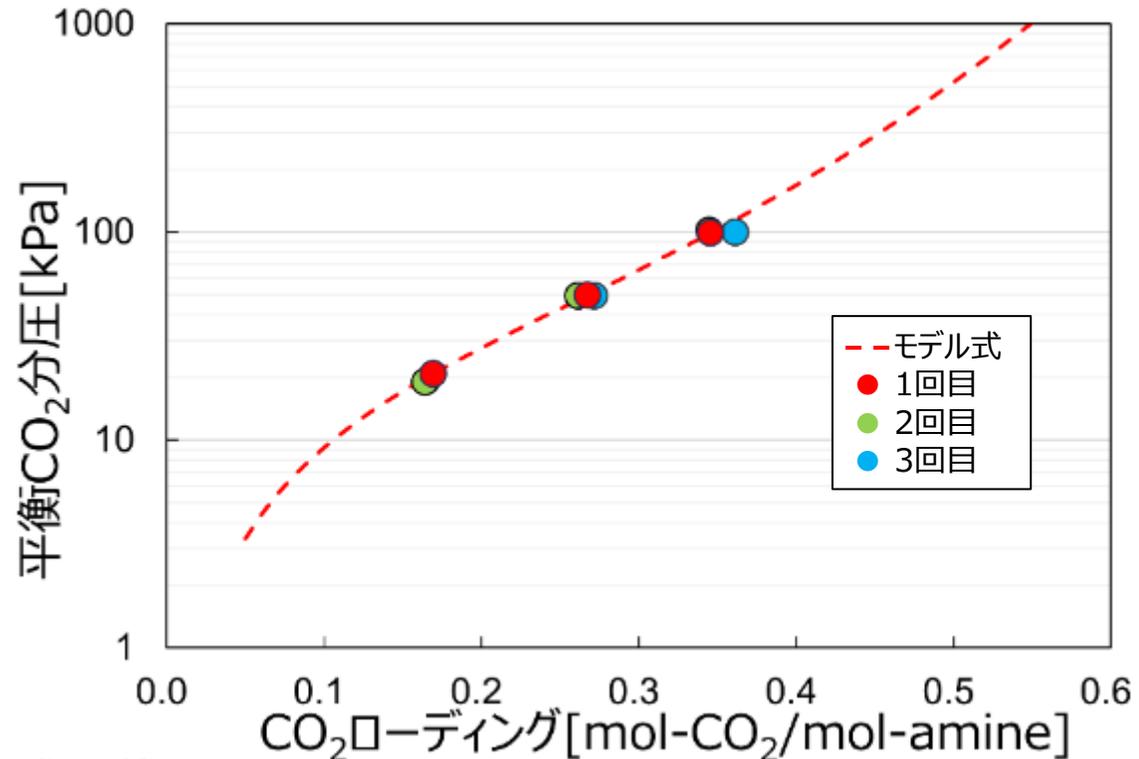
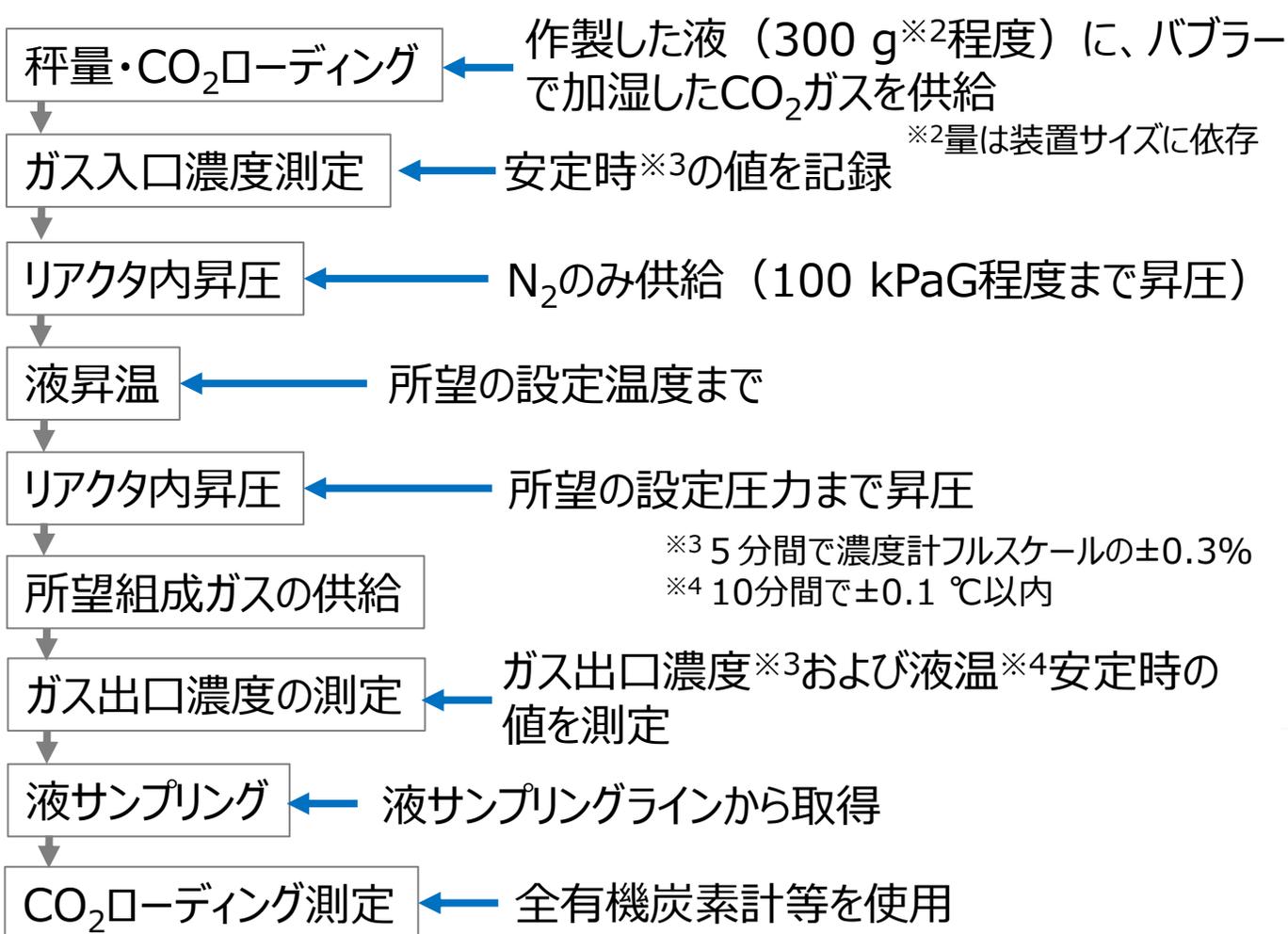
研究開発項目の詳細

①-1 素材特性評価法の構築 (吸収法)

※1 オートクレーブを用いた試験の場合。

気液平衡特性測定 (高温域) ※1の評価プロトコル:

気液平衡特性測定 (AMP 27 wt% / PZ 13 wt%、120 °C、繰り返し性)



進捗状況

※5 1回目の試験結果をもとに作成

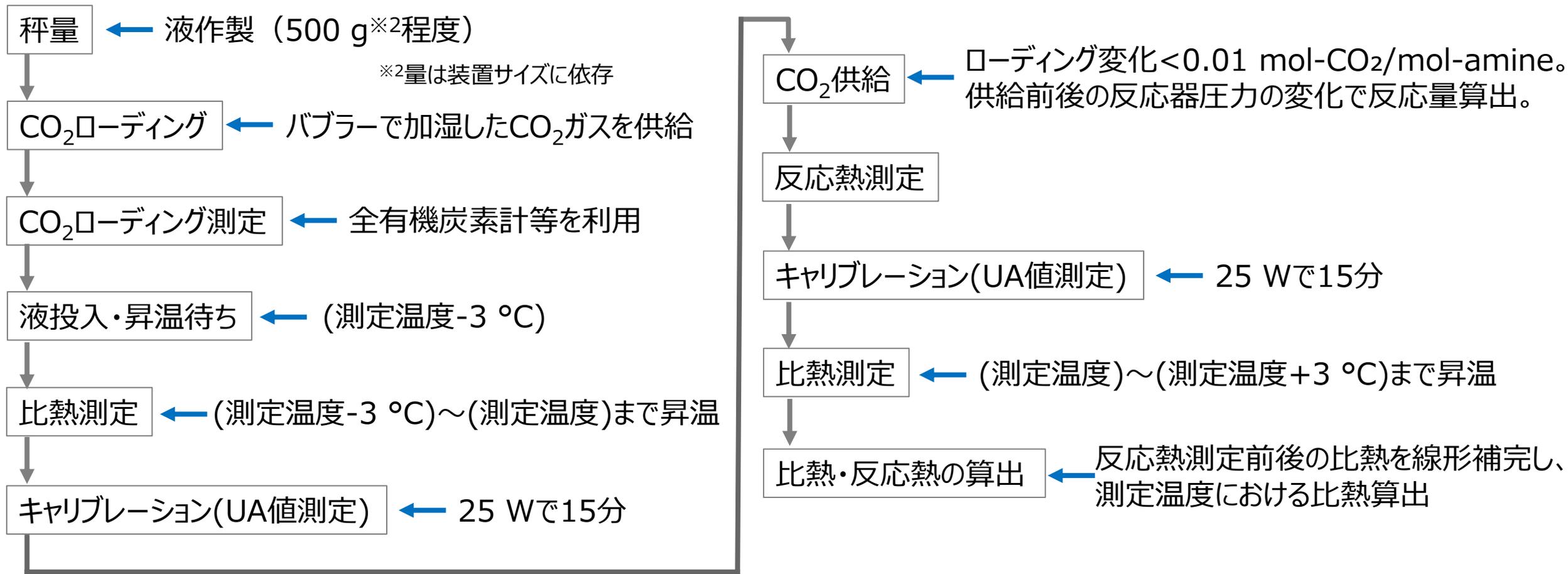
- 評価プロトコルを作成
- 再現性をモデル式でfitting^{※5}して評価
→再現性 4.4 %を達成 (ローディング基準)

2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容

研究開発項目の詳細

①-1 素材特性評価法の構築 (吸収法)

比熱・反応熱測定の評価プロトコル^{※1} : ^{※1}反応熱量計を用いる場合



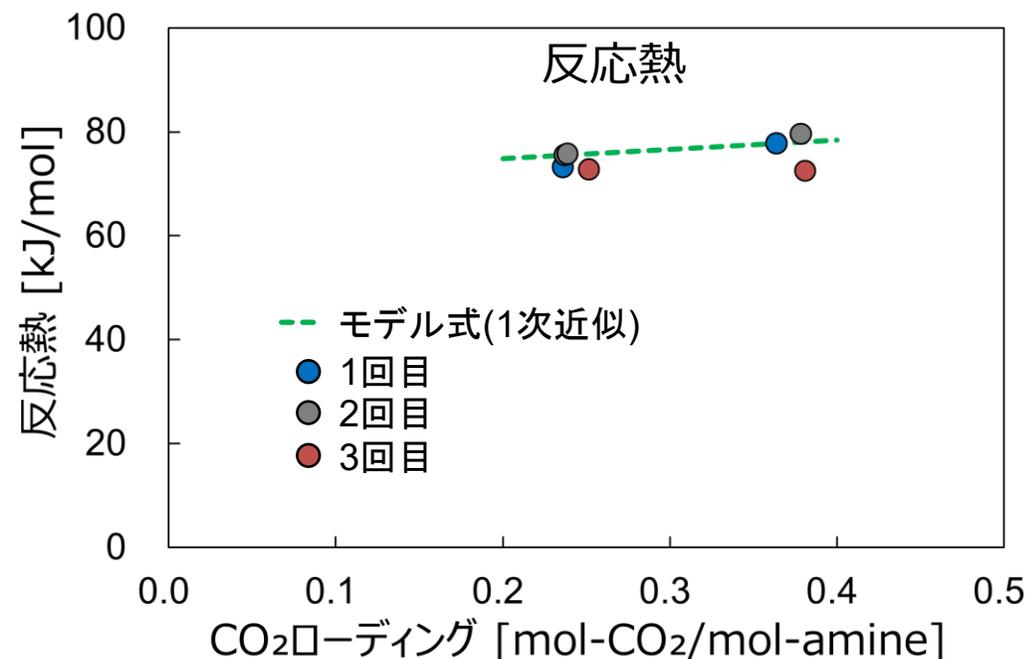
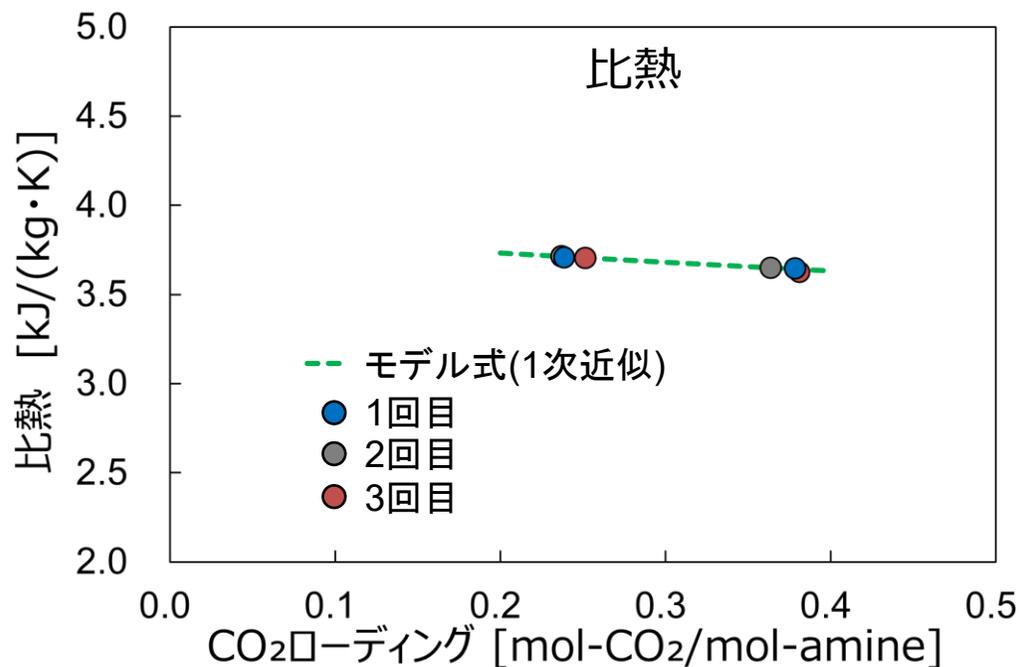
2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容

研究開発項目の詳細

①-1 素材特性評価法の構築 (吸収法)

比熱・反応熱測定の評価プロトコル※1 : ※1 反応熱量計を用いる場合

測定結果例 (AMP 27wt% / PZ 13wt%、40 °C、繰り返し性)



進捗状況

- 評価プロトコルを作成
 - 再現性をモデル式でfitting※2して評価
- 比熱は0.43%、反応熱は7.1%の再現性を達成※3

※2 1回目の試験結果をもとに、CO₂ローディング : 0.2~0.4 mol-CO₂/mol-amine までの範囲で定式化

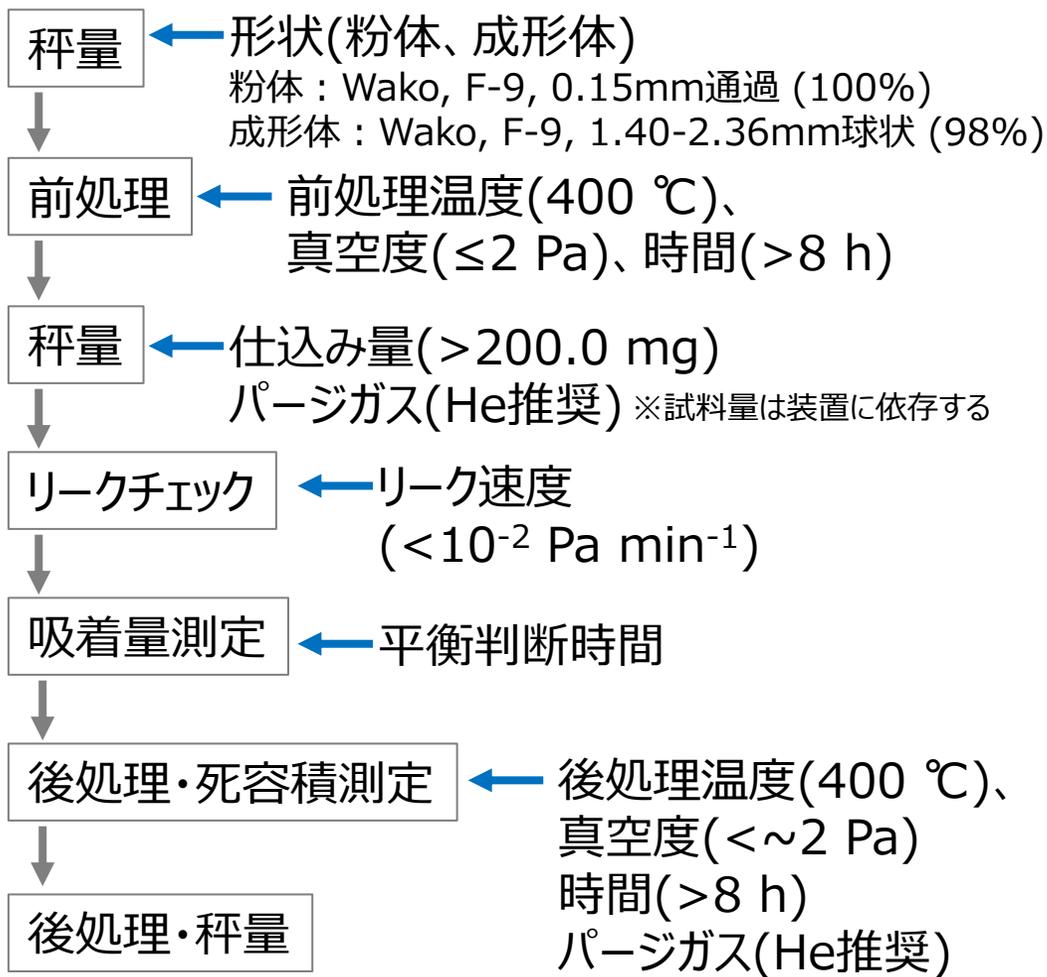
※3装置納品遅れ・故障トラブル等により、高温条件での測定は現在も実施中。

2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容

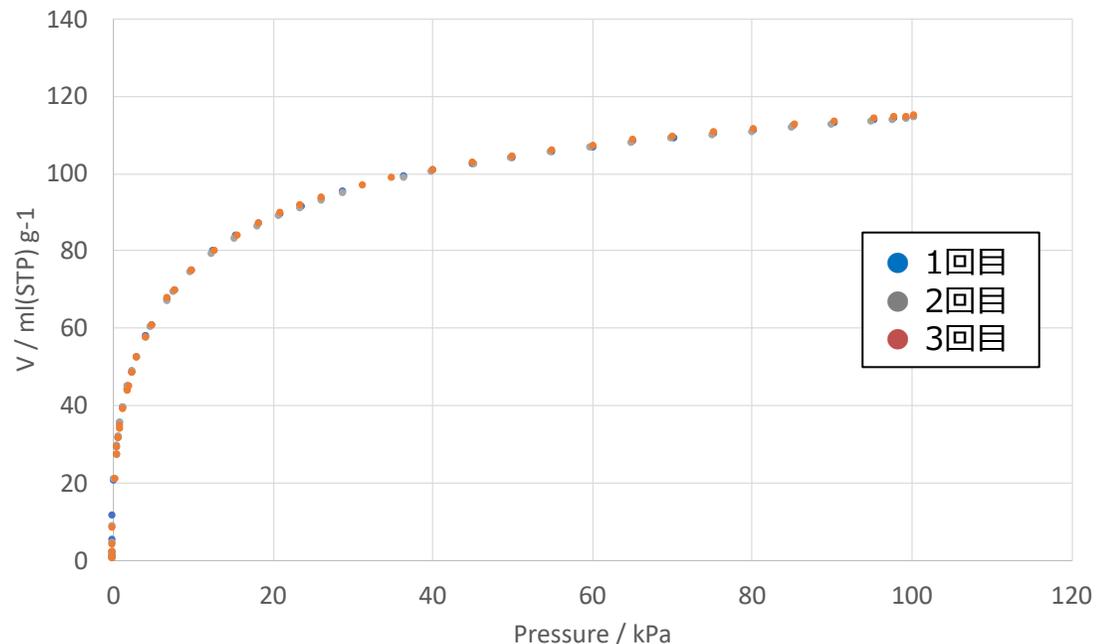
研究開発項目の詳細

①-1 素材特性評価法の構築 (吸着法)

吸着等温線・吸着熱の評価プロトコル:



吸着等温線の測定例 (CO₂, 298.15K, 繰り返し性)



進捗状況

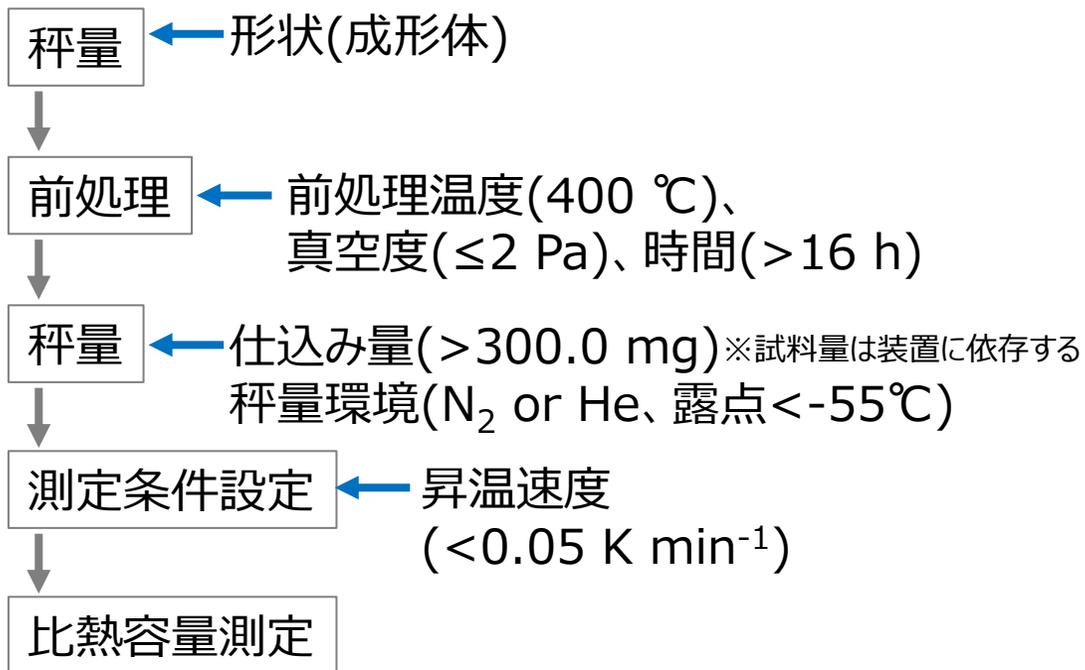
- 装置を導入し、評価プロトコルを作成
- 吸着等温線の再現性をSips式でfittingして評価 (3.6%以内)
- 異なる温度の吸着等温線から吸着熱を推算

2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容

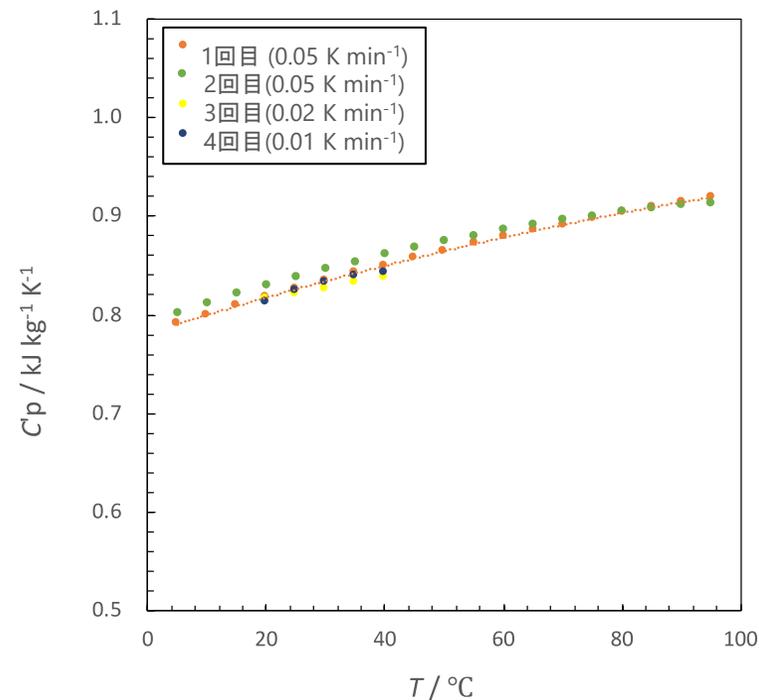
研究開発項目の詳細

①-1 素材特性評価法の構築 (吸着法)

比熱容量の評価プロトコル:



比熱容量の測定例 (278.15~368.15K, 再現性)



進捗状況

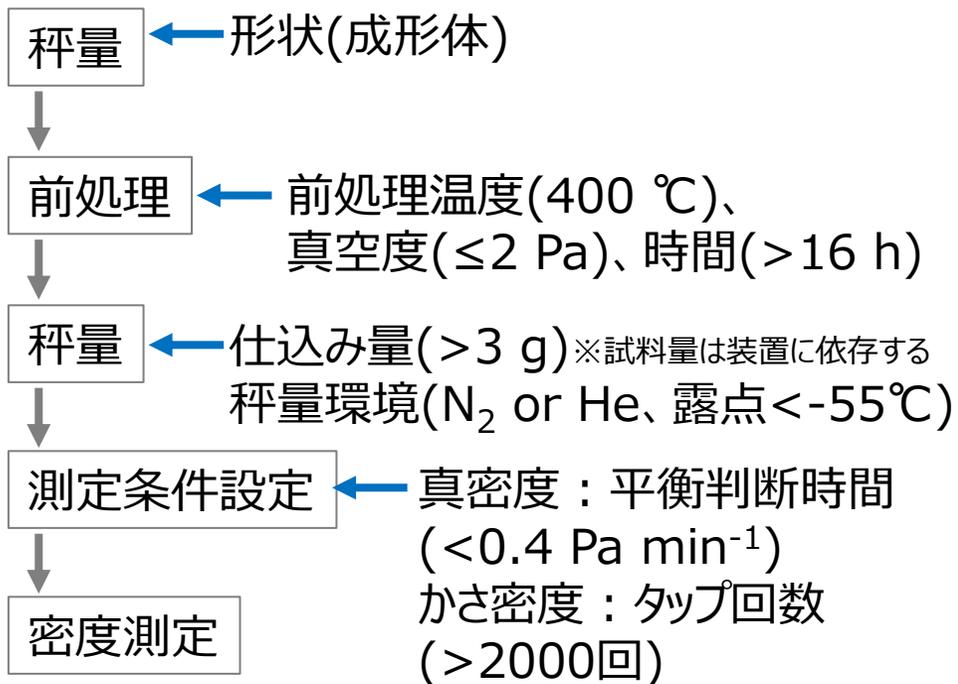
- 装置を導入し、評価プロトコルを作成
- 比熱容量の再現性を多項式でfittingして評価 (1.6%以内)

2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容

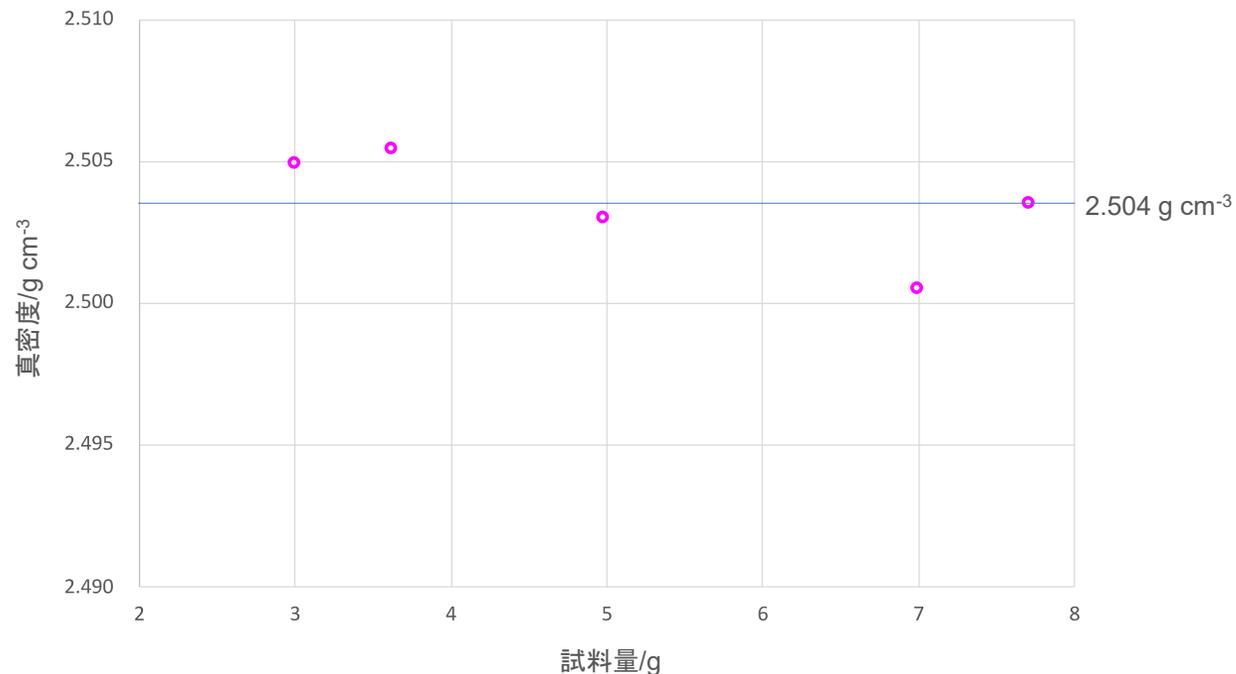
研究開発項目の詳細

①-1 素材特性評価法の構築 (吸着法)

密度の評価プロトコル :



真密度の測定例 (303.15 K, 再現性)



進捗状況

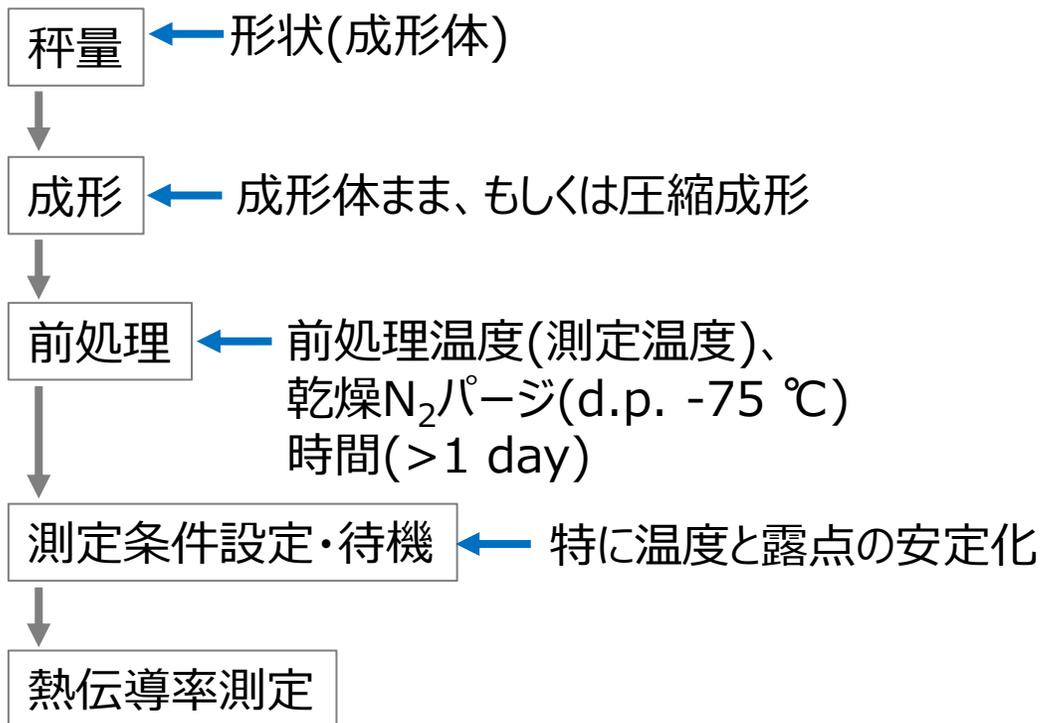
- 装置を導入し、評価プロトコルを作成
- 真密度の再現性を試料量を変えた測定により評価 (0.12%以内)
- かさ密度の再現性を試料量を変えた測定により評価 (2.1%以内)

2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容

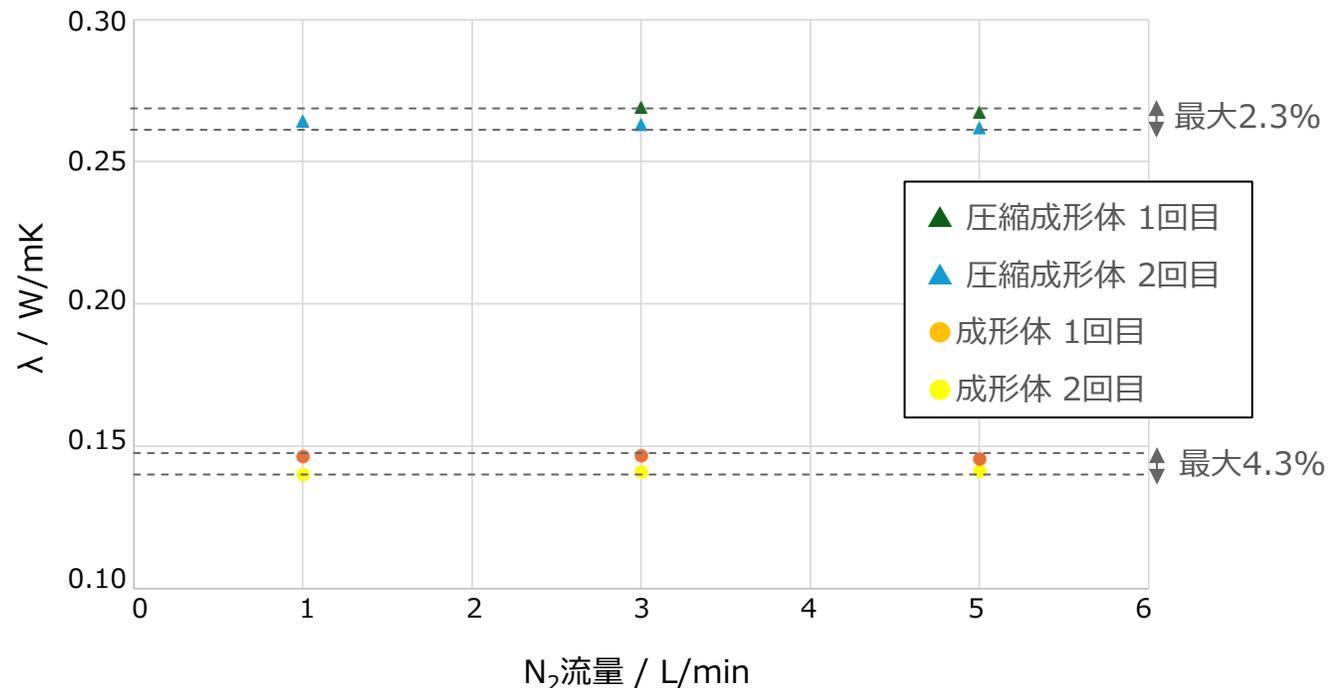
研究開発項目の詳細

①-1 素材特性評価法の構築 (吸着法)

熱伝導率の評価プロトコル:



熱伝導率の測定例 (303.15 K, N₂, 再現性)



進捗状況

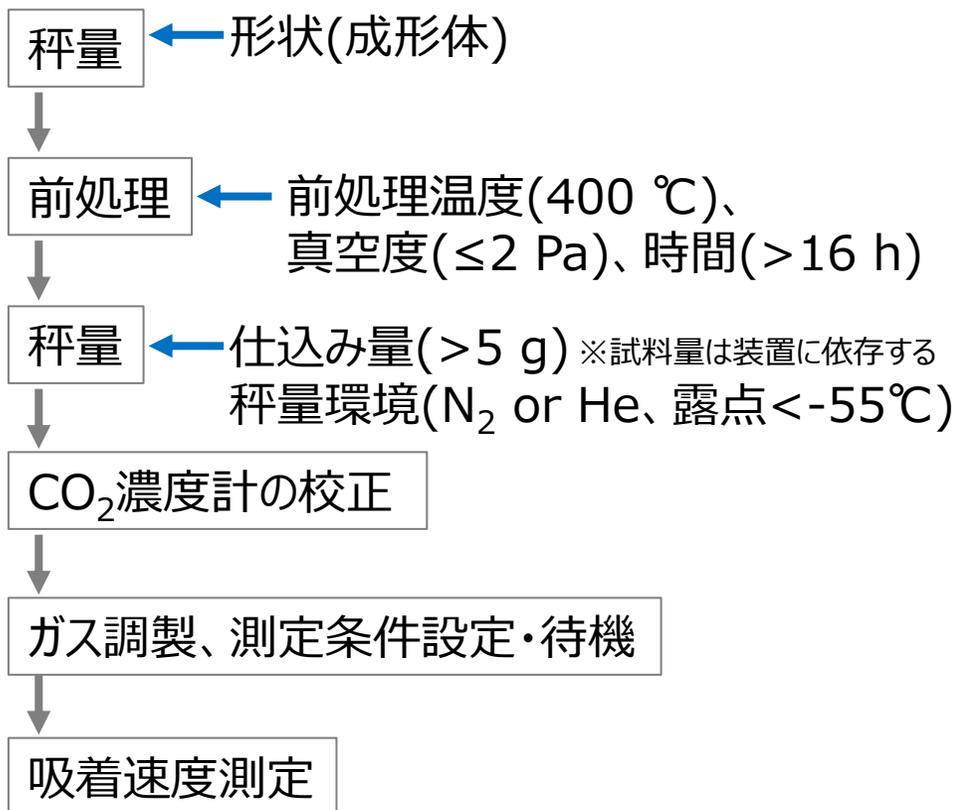
- 装置を導入・製作し、評価プロトコルを作成
- 熱伝導率の再現性を試料を変えた測定で評価 (4.3%以内)

2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容

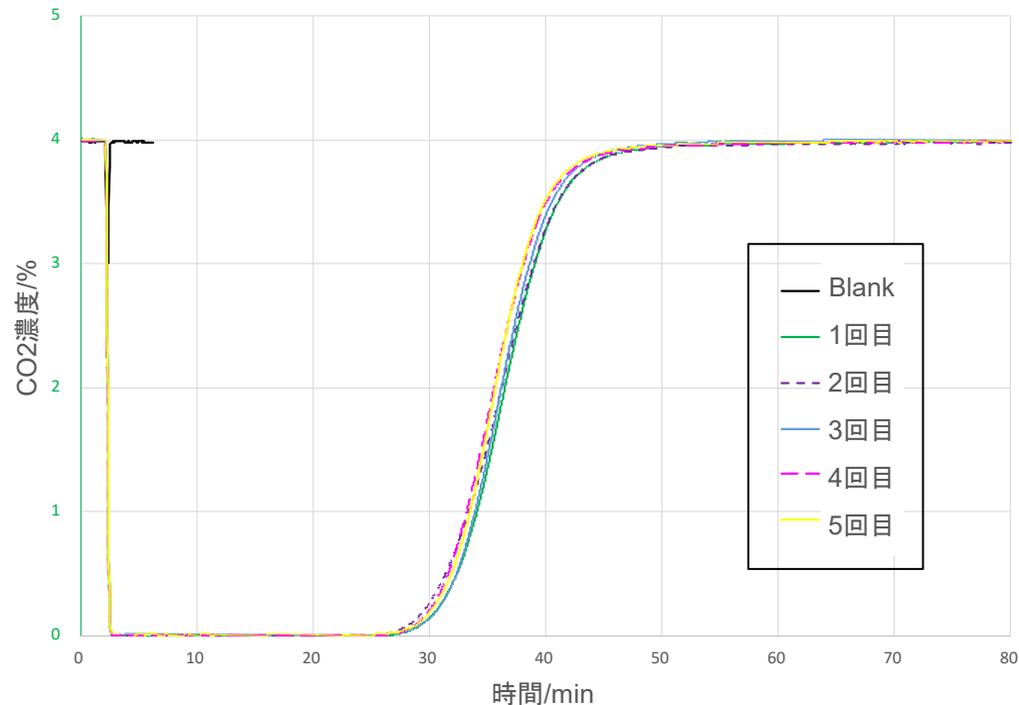
研究開発項目の詳細

①-1 素材特性評価法の構築 (吸着法)

吸着速度の評価プロトコル:



吸着速度の測定例 (303.15 K, 4%CO₂, N₂-balance 再現性)



進捗状況

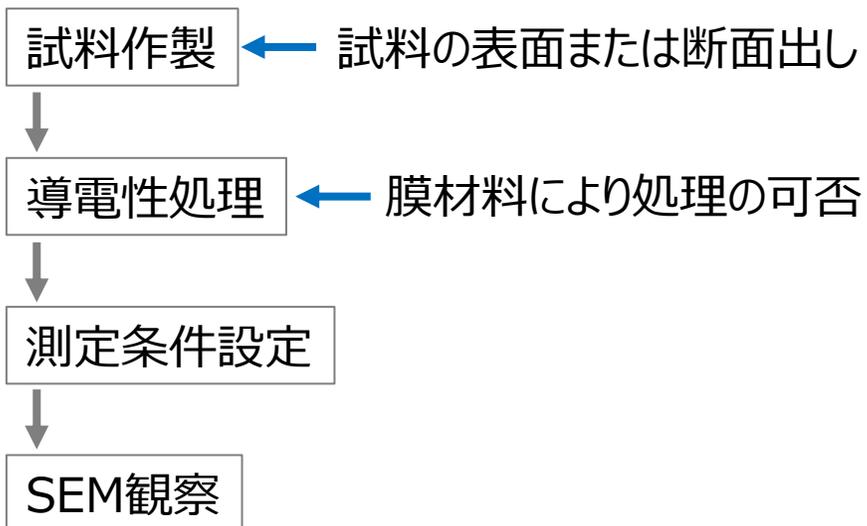
- 装置を製作し、評価プロトコルを作成
- 吸着速度の再現性を試料を変えた測定で評価 (0.9%以内)

2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容

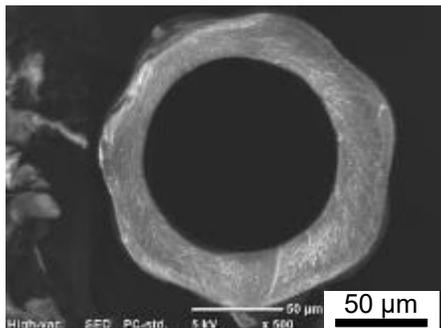
研究開発項目の詳細

①-1 素材特性評価法の構築 (膜分離法)

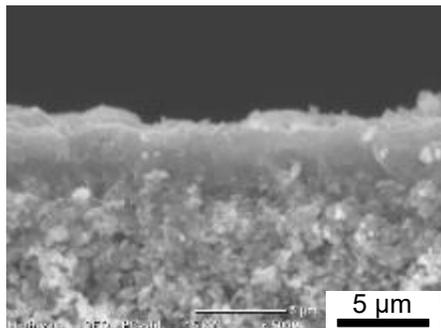
表面性状の観察 (SEM) プロトコル:



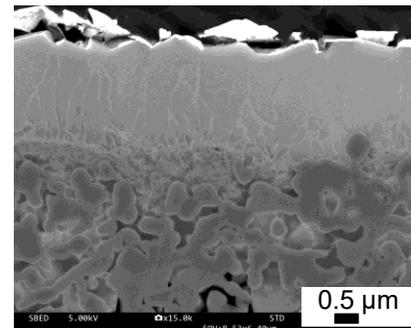
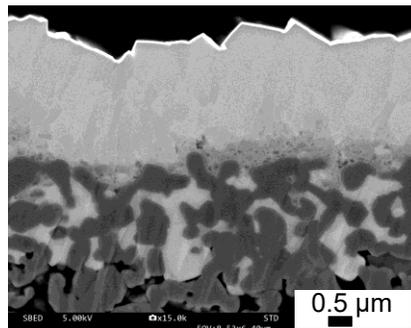
表面性状の観察例



ポリイミド膜の断面像



ゼオライト膜の断面像 (破碎、常温イオンミリング、冷却イオンミリング)



進捗状況

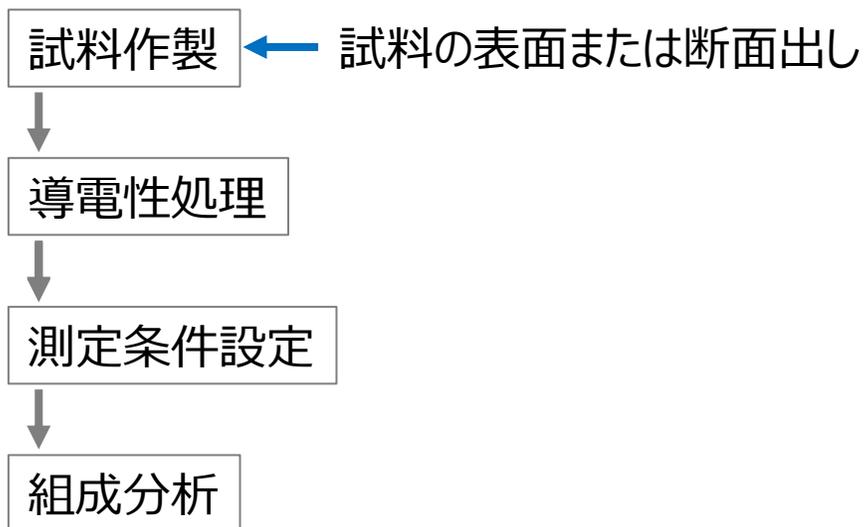
- SEMによる膜表面、断面の観察について、評価プロトコルを作成中
- ポリイミド膜の試料作製は、現状ハサミやカッターで断面を作製
→中空糸の芯円が歪むことが課題
この課題を踏まえて、膜を樹脂に包埋し、断面作製を検討
- ゼオライト膜の試料作製 (断面出し) として、膜の破碎とArイオンビームによるイオンミリングを検討し、SEM断面観察を実施

2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容

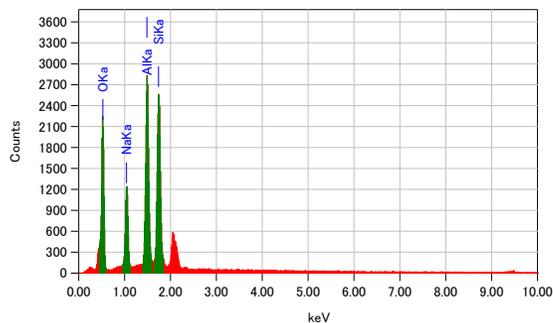
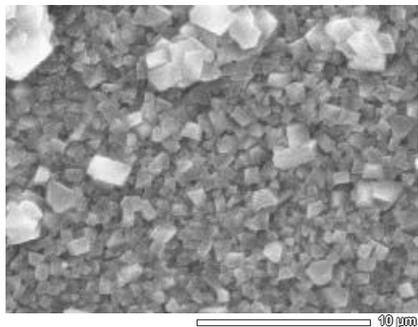
研究開発項目の詳細

①-1 素材特性評価法の構築 (膜分離法)

組成分析 (EDS) プロトコル :



組成分析の測定例 (ゼオライト膜の組成分析)



進捗状況

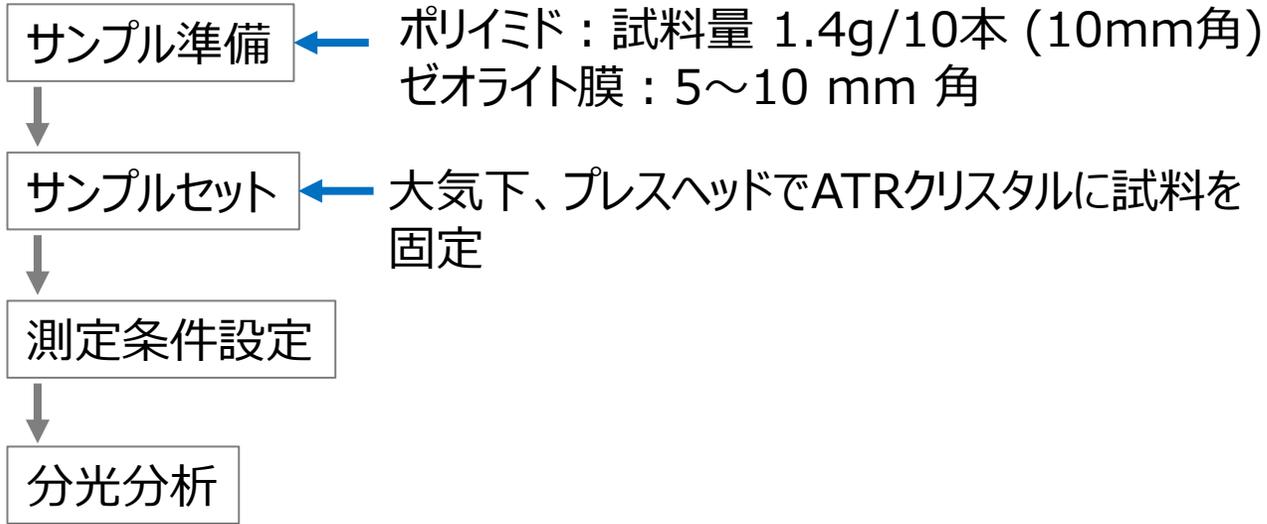
- エネルギー分散X線分光法 (EDS) を利用した組成分析の評価プロトコルを作成
- 試料作製については、表面性状観察 (SEM) と同じ課題あり
- 現状、ポリイミド膜の表面を測定すると、膜が壊れて測定が困難
→Ptコーティングを施すと、膜へのダメージを抑制できるが、表面と断面のEDS分析で検出される元素が異なることが課題
- ポリイミド膜は、組成分析 (F/S) の再現性を試料を変えた測定で評価 (4.4%以内)
- ゼオライト膜は、組成分析 (Si/Al) の再現性を試料を変えた測定で評価 (4.5%以内)

2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容

研究開発項目の詳細

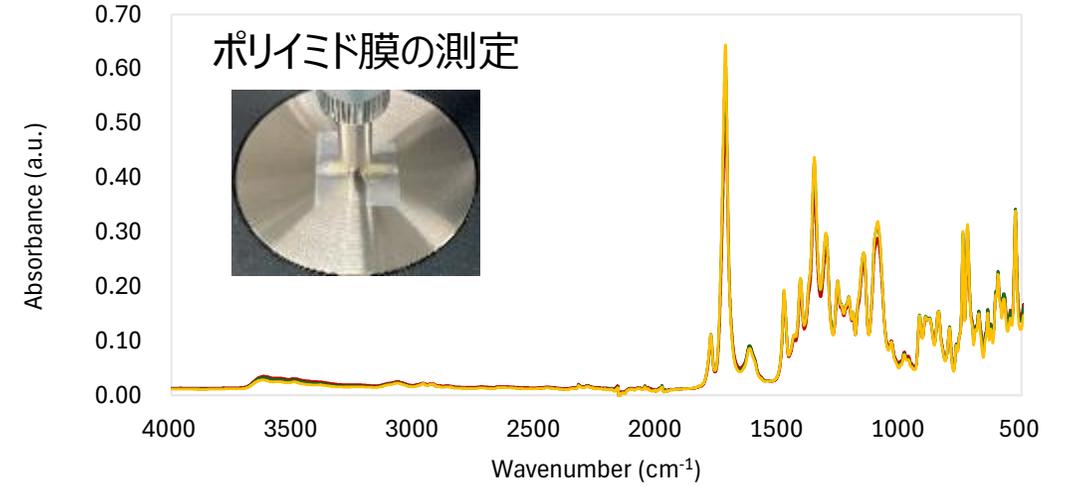
①-1 素材特性評価法の構築 (膜分離法)

化学結合の分光分析(ATR-FTIR)プロトコル:

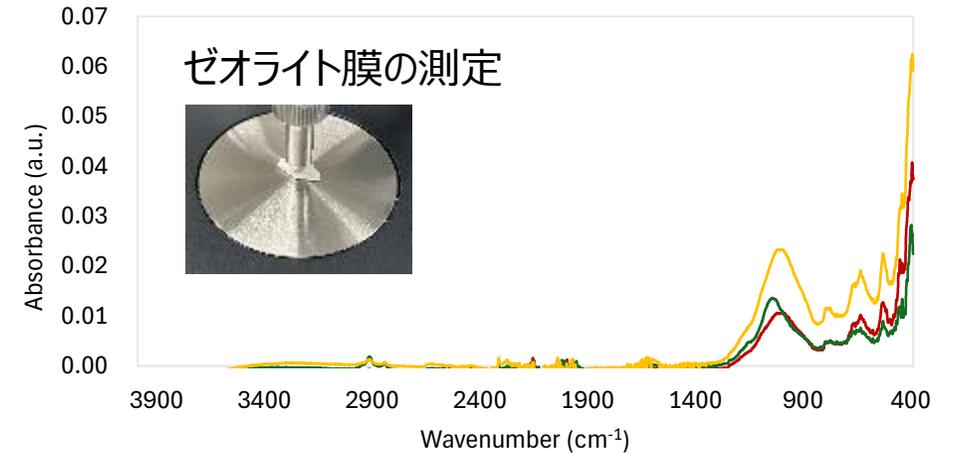


進捗状況

- FT-IR(ATR法)により、分離膜の評価プロトコルを作成
- ポリイミド膜、ゼオライト膜の表面官能基に由来するピークを確認し、試料を変えた際の再現性を評価



— 1回目 — 2回目 — 3回目



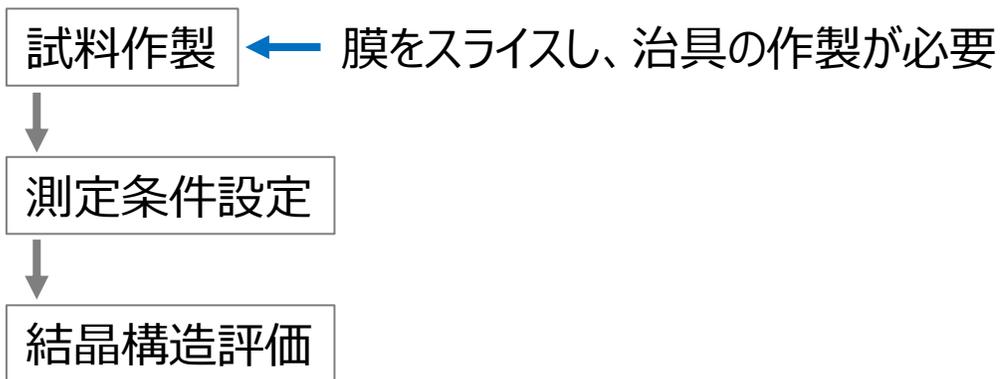
— 1回目 — 2回目 — 3回目

2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容

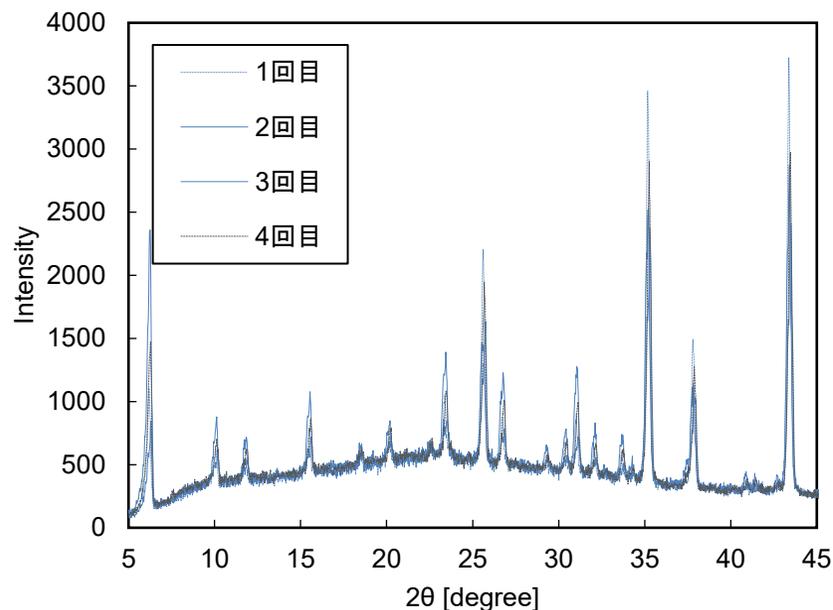
研究開発項目の詳細

①-1 素材特性評価法の構築 (膜分離法)

結晶構造解析の評価プロトコル:



XRDの測定例 (ゼオライト膜、再現性)



進捗状況

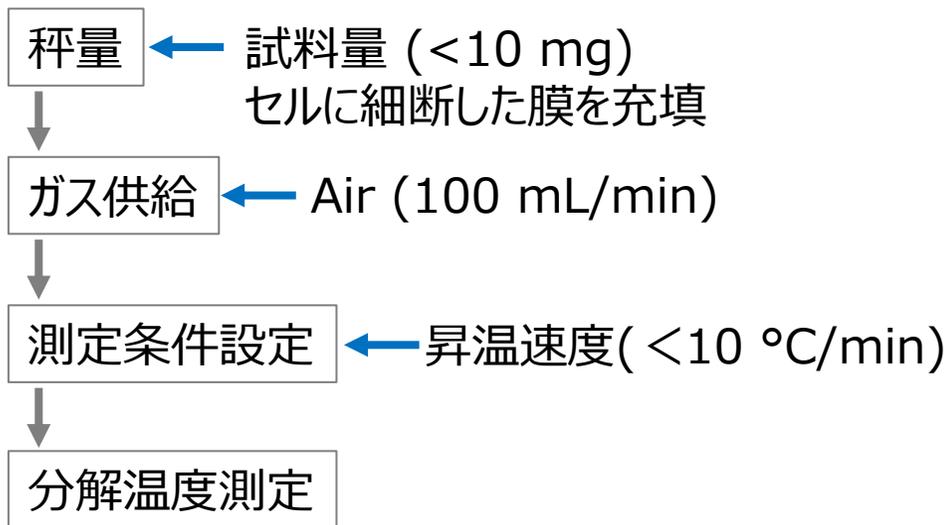
- X線回折装置 (XRD) を利用し、評価プロトコルを作成中
- 直径2~3 mmのキャピラリー膜では、試料を変えた測定で回折ピークの再現性を評価
- 直径10~12 mmの管状膜に対応できる治具の作製を検討

2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容

研究開発項目の詳細

①-1 素材特性評価法の構築 (膜分離法)

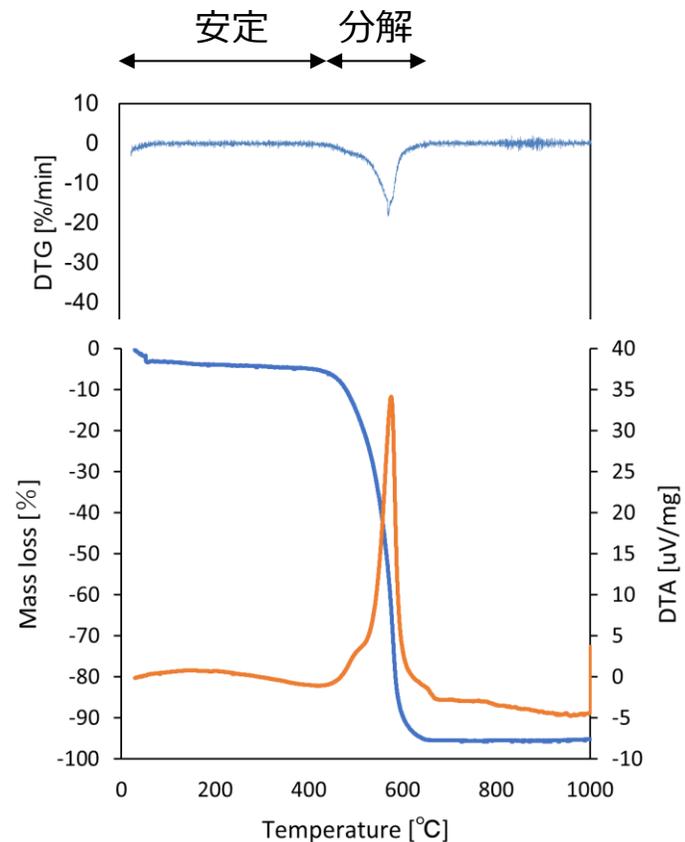
耐熱性・分解挙動の評価プロトコル:



進捗状況

- TG-DTAを利用した耐熱性、分解挙動の評価プロトコルを作成
- 分解温度 (DTAピーク温度) の再現性を試料を変えた測定で評価 (0.11%以内)

重量減少とDTAピークの測定例 (昇温速度10°C/min, 試料2 mg)



2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容

研究開発項目の詳細

①-2 素材評価に適した分離性能評価法の構築（小スケールでの評価に適した分離性能評価法の確立）

【評価法案概要：吸収法】

- 液ガス比（L/G）を変数とし、所与のCO₂回収率におけるエネルギーペナルティを評価する。
- 再生熱量算出のために、別途予備試験により、再生塔の熱損失量および予熱部におけるCO₂解離量などを推算する。
- 表に示すように、CO₂回収率90%、再生塔下部温度120 °Cを標準の測定条件とする。
- 測定項目は、①温度②圧力③液組成④吸収塔出口ガス流量⑤再生塔上部の水蒸気流量⑥回収CO₂流量⑦再生塔入熱量とする。
- 評価項目は
 - 再生熱量(液昇温熱、蒸発潜熱、CO₂解離熱)およびそれに起因する消費電力
 - 補機類の消費電力(ポンプ・圧縮機動力など、推算式を利用)
 - CO₂回収率とし、上記測定項目の結果を基に算出する方法を記載する。

表 測定条件

| 項目 | | 設定値 |
|-----------------------|--------------|--------------|
| 吸収塔温度 [°C] | 液(上部)/ガス(下部) | 40/40 |
| 再生塔温度 [°C] | 液(上部)/液(下部) | 110*/120 |
| CO ₂ 回収率 % | | 90 |
| L/G kg/kg | | 吸収液種ごとに範囲を設定 |

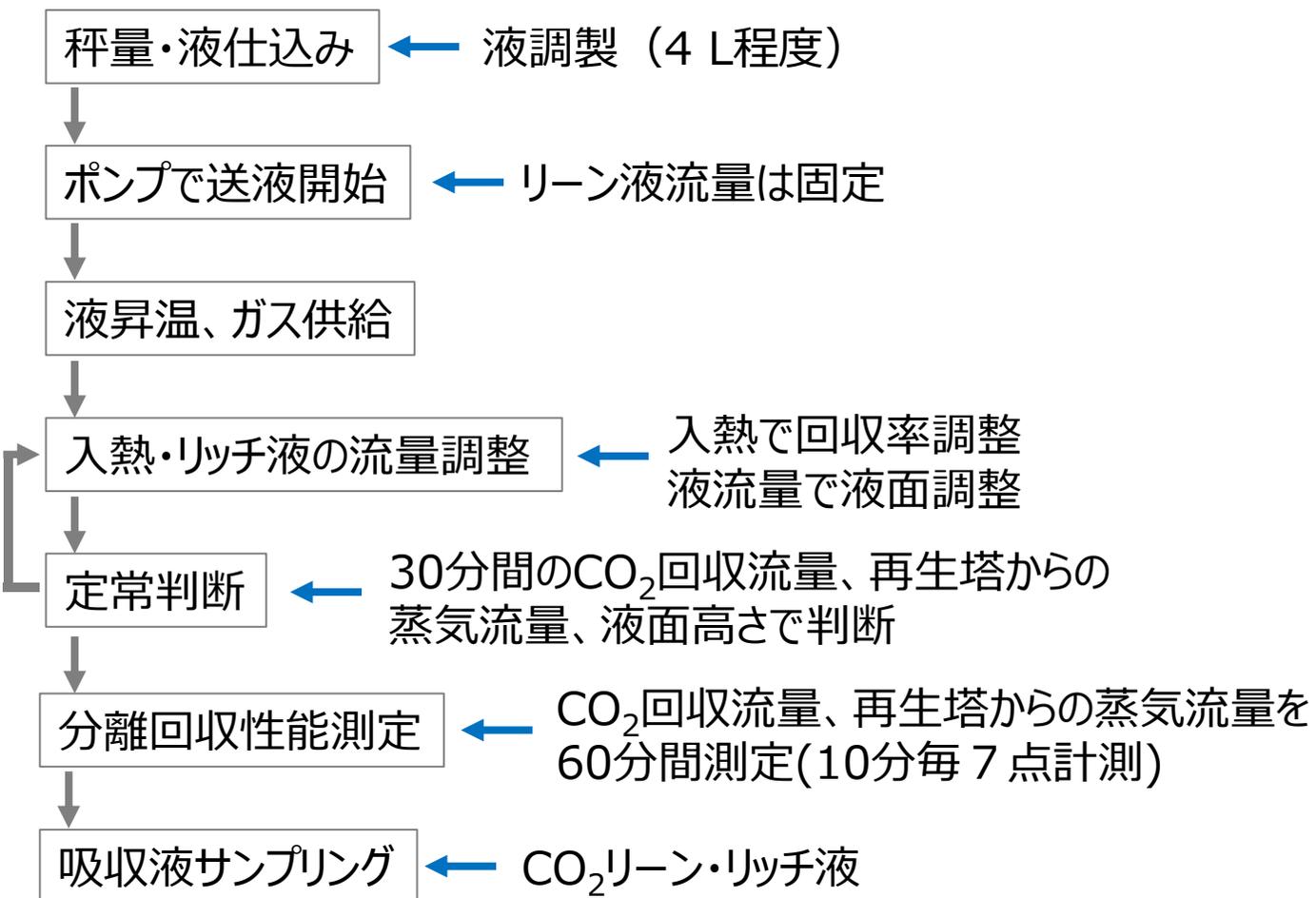
*厳密にはL/Gや液物性で変化するが、伝熱面積等は実設計で最適化可能と仮定し、理想的な値として設定

2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容

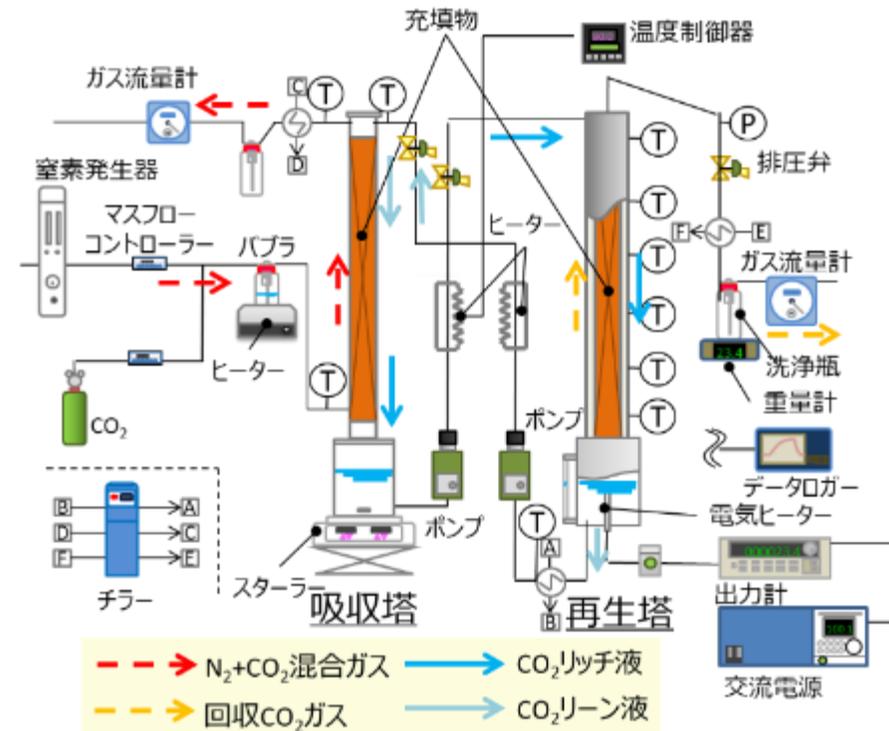
研究開発項目の詳細

①-2 素材評価に適した分離性能評価法の構築 (小スケールでの評価に適した分離性能評価法の確立)

【評価プロトコル：吸収法】



【標準ガス試験設備：吸収法】



回収能力：～10 kg-CO₂/day

吸収塔形状：内径 約0.05 m、充填塔高さ 1.2～1.5 m

再生塔形状：内径 約0.03 m、充填層高さ 1.0 m

2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容

研究開発項目の詳細

①-2 素材評価に適した分離性能評価法の構築 (小スケールでの評価に適した分離性能評価法の確立)

【再生熱量の算出法】

再生熱量の測定値を以下の二つの方法で比較

- 差引：入熱量 Q_{in} - 放熱量 Q_{Loss}
- 積算：液顕熱 Q_s + 蒸発潜熱 Q_v + CO₂解離熱 Q_d

再生塔内熱バラン

$$(Q_{in} - Q_{Loss}) / \dot{m}_{CO_2, out} = (Q_v + Q_s + Q_d) / \dot{m}_{CO_2, out} \quad \text{※1}$$

$$\text{液顕熱 } Q_s = \dot{m}_{lean} \cdot C_p \cdot (T_{rich, c} - T_{lean, c}) \quad \text{※2,3}$$

$$\text{蒸発潜熱 } Q_v = \dot{m}_v \cdot H_v$$

$$\text{CO}_2 \text{解離熱 } Q_d = \dot{m}_{CO_2, out} \cdot H_{CO_2} / M_{CO_2} \quad \text{※3}$$

※1 Q_{Loss} はCO₂回収無の予備試験により取得

※2 熱交換器のLMTDを仮定し $\Delta T_C = T_{rich, c} - T_{lean, c}$ を算出

※3 比熱^[1]、反応熱^[2]は文献値を使用

[1] Hilliard, 2008

[2] Inna Kim et al., 2007

H_v [J/g] : 水の蒸発潜熱、 C_p [J/(g·K)] : アミン吸収液比熱、 \dot{m}_{lean} [g/s] : リーン液流量

\dot{m}_v [g/s] : 水蒸気流量、 $\dot{m}_{CO_2, out}$ [g/s] : 回収CO₂流量、 H_{CO_2} : 反応熱 [J/mol-CO₂]、 M_{CO_2} [g/mol] : CO₂分子量

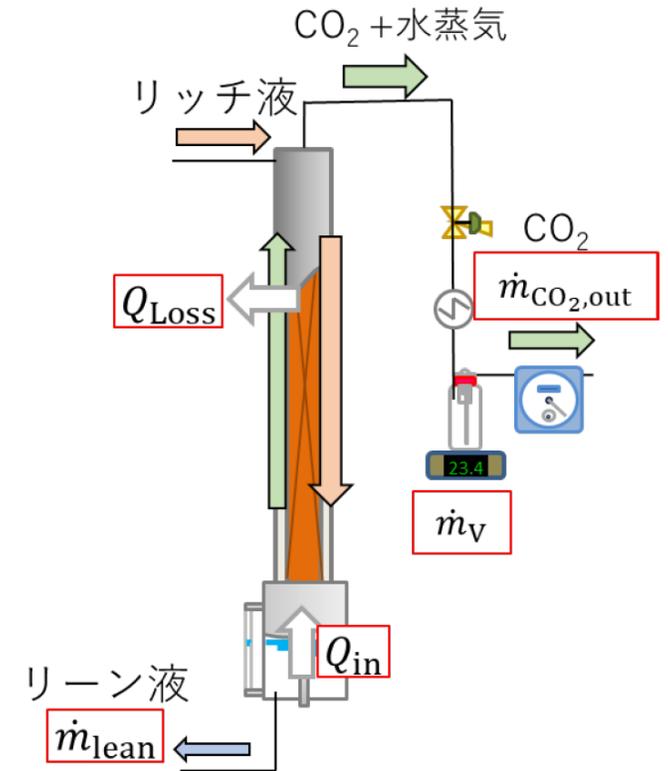


図 再生塔の概要

進捗状況

- 再生塔入口直前の予熱部で解離・気化するCO₂・水蒸気を考慮した上で、MEA水溶液を用いて再生熱量を算出したところ、上記二つの方法（差引、積算）での算出値について、概ね整合性を確認

2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容

研究開発項目の詳細

①-2 素材評価に適した分離性能評価法の構築 (小スケールでの評価に適した分離性能評価法の確立)

【分離回収における消費動力の考慮】

● 各動力の算出式

再生塔入熱起因で損失した電力量

抽気による入熱 Q_{in} を仮定し、抽気蒸気をタービンに用いた場合の仕事量として定義

$$W_{heat} = \eta_{ise} \frac{h_{in} - h_{cond}}{h_{in} - h_{out}} Q_{in}$$

Q_{in} [MW]: 再生塔下部ヒータ消費電力
 h_{in} [kJ/kg]: リボイラに入る前の蒸気の比エンタルピー
 h_{out} [kJ/kg]: リボイラ出口の凝縮液の比エンタルピー
 h_{cond} [kJ/kg]: タービン出口のコンデンサーでの凝縮液の比エンタルピー
 η_{ise} : タービン断熱効率

ポンプ動力

熱交換器圧損 ΔP_{HX} 、水頭圧 ρgh 、2塔間圧力差 $\Delta P_{abs-str}$ を考慮

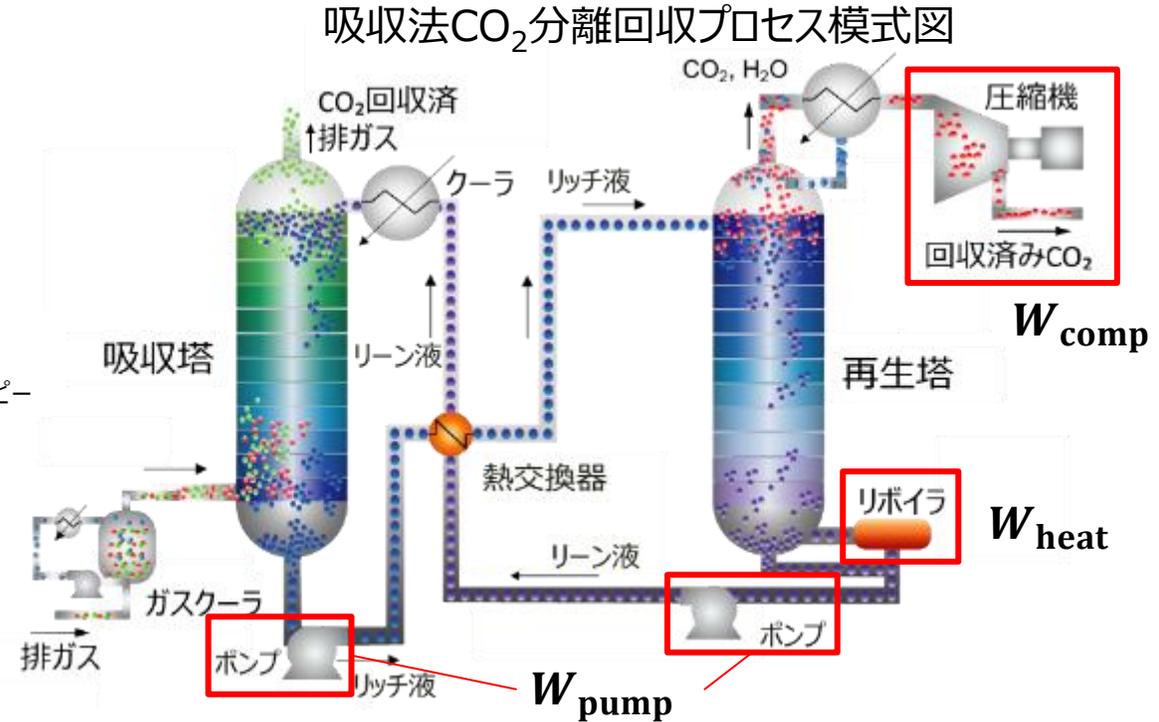
$$W_{pump} = \frac{\dot{V}_{liq}(\Delta P_{HX} + \rho gh_{str} + \Delta P_{abs-str})}{\eta_{pump}} + \frac{\dot{V}_{liq}(\Delta P_{HX} + \rho gh_{abs} - \Delta P_{abs-str})}{\eta_{pump}}$$

CO₂圧縮

ポルトロップ変化を仮定

$$W_{comp} = \frac{m_{CO_2} R_{CO_2} T_{str}}{n-1} \left\{ \left(\frac{P_{CO_2,comp}}{P_{CO_2,rich}} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right\}$$

η_{pump} : ポンプ効率
 \dot{V}_{liq} [m³/s]: 液流量
 $m_{CO_2} = 1$ [t]: CO₂質量
 R_{CO_2} [J/(mol·K)]: CO₂のガス定数
 T_{str} [K]: 再生塔温度
 n : ポルトロップ指数
 $P_{CO_2,comp}$ [Pa]: 圧縮後CO₂圧力
 $P_{CO_2,rich}$ [Pa]: 再生塔上部CO₂分圧
 abs: absorber; str: stripper



進捗状況

- 各動力の計算方法を考案し、昨年度試験結果を用いて他文献値と消費動力を比較。計算方法および結果の整合性を確認。

2. 研究開発計画／（2）研究開発内容

研究開発項目の詳細

①-2 素材評価に適した分離性能評価法の構築（小スケールでの評価に適した分離性能評価法の確立）

【評価法案概要：吸着法】

- 圧カスイング法（Vacuum Swing Adsorption: VSA）と温度スイング法（Temperature Swing Adsorption: TSA）に対応できる、多塔式固定層吸着試験装置を利用する。各運転法の定常運転時における、物質収支データ及びエネルギー収支データを取得し、吸着剤の分離性能を評価する。

- 測定項目は

- ①温度：VSAは30℃一定、TSAは吸着30℃・脱着120℃
- ②圧力：VSAは吸着101 kPa・脱着<10 kPa、TSAは101 kPa一定
- ③流量：容積法でオフガスと回収ガスを測定
- ④CO₂濃度：赤外分光法でオフガスと回収ガスを測定とする。

- 評価項目は

- ①回収CO₂純度
- ②CO₂回収量
- ③CO₂回収率：90%（90%に達しない素材は変更）
- ④消費電力（真空ポンプ、恒温水循環装置）
：電力計による測定を試みる予定

- ⑤耐久性

とする。

- 評価結果の報告内容（日時、素材情報、装置名、試験条件、測定項目、評価項目等）の様式を記載する。

表 測定条件

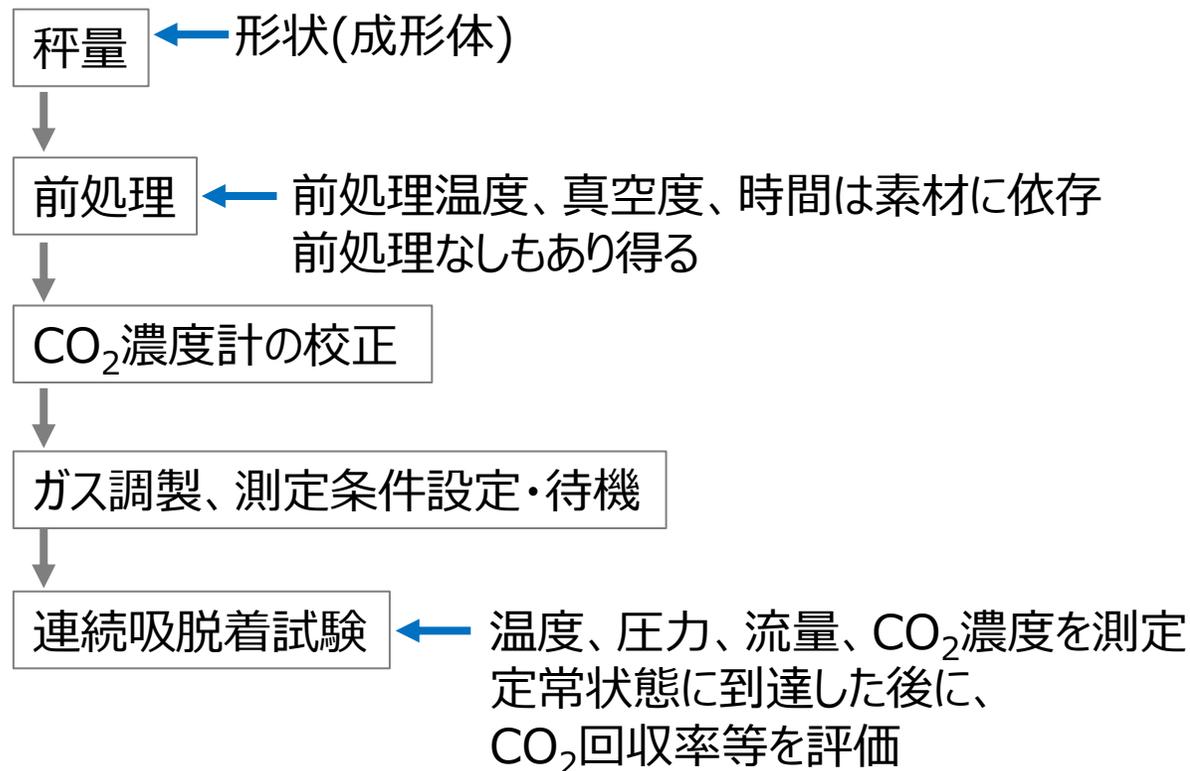
| | 圧カスイング法 (VSA) | 温度スイング法 (TSA) |
|---------------------|--------------------------|--------------------------|
| 温度 | 30℃固定 | 吸着：30℃ 脱着：120℃ |
| 圧力 | 吸着：101 kPa 脱着：<10 kPa | 吸着：101 kPa 脱着：101 kPa |
| CO ₂ 回収率 | 90%（90%に達しない素材は変更） | 90%（90%に達しない素材は変更） |

2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容

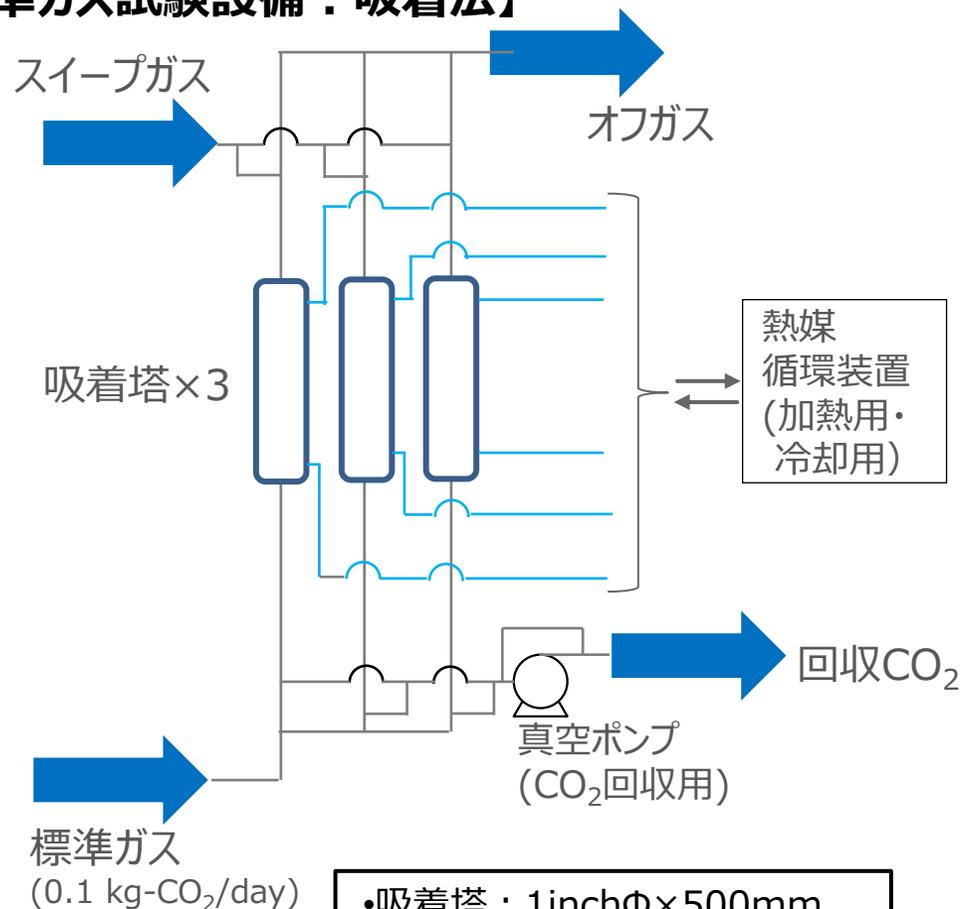
研究開発項目の詳細

①-2 素材評価に適した分離性能評価法の構築 (小スケールでの評価に適した分離性能評価法の確立)

【評価プロトコル：吸着法】



【標準ガス試験設備：吸着法】



- 吸着塔：1inchΦ×500mm
- ガス供給量：1~3L/min
- 加湿・乾燥ガスの供給
- VSA・TSAに対応

2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容

研究開発項目の詳細

①-2 素材評価に適した分離性能評価法の構築（小スケールでの評価に適した分離性能評価法の確立）

【評価法案概要：膜分離法】

- 測定項目は、膜面積、温度、ガス流量、圧力、CO₂濃度とする。なお、ガス流量、圧力、CO₂濃度については、供給側ガス、非透過側ガス、透過側ガスについてを測定する。
- 膜性能（透過流束と透過率比）を正確に評価するため、ガス流量と膜面積を調節し、CO₂回収率10%以下とする。
- ISO15106:2003（プラスチック-フィルム及びシート-水蒸気透過速度）を参考に測定方法を記載する。
- 評価項目は、
 - ①単成分の透過流束（CO₂透過量 / 有効膜面積）
 - ②混合成分の透過流束（CO₂透過量 / 有効膜面積）
 - ③回収CO₂純度
 - ④透過速度比とする。

表 測定条件

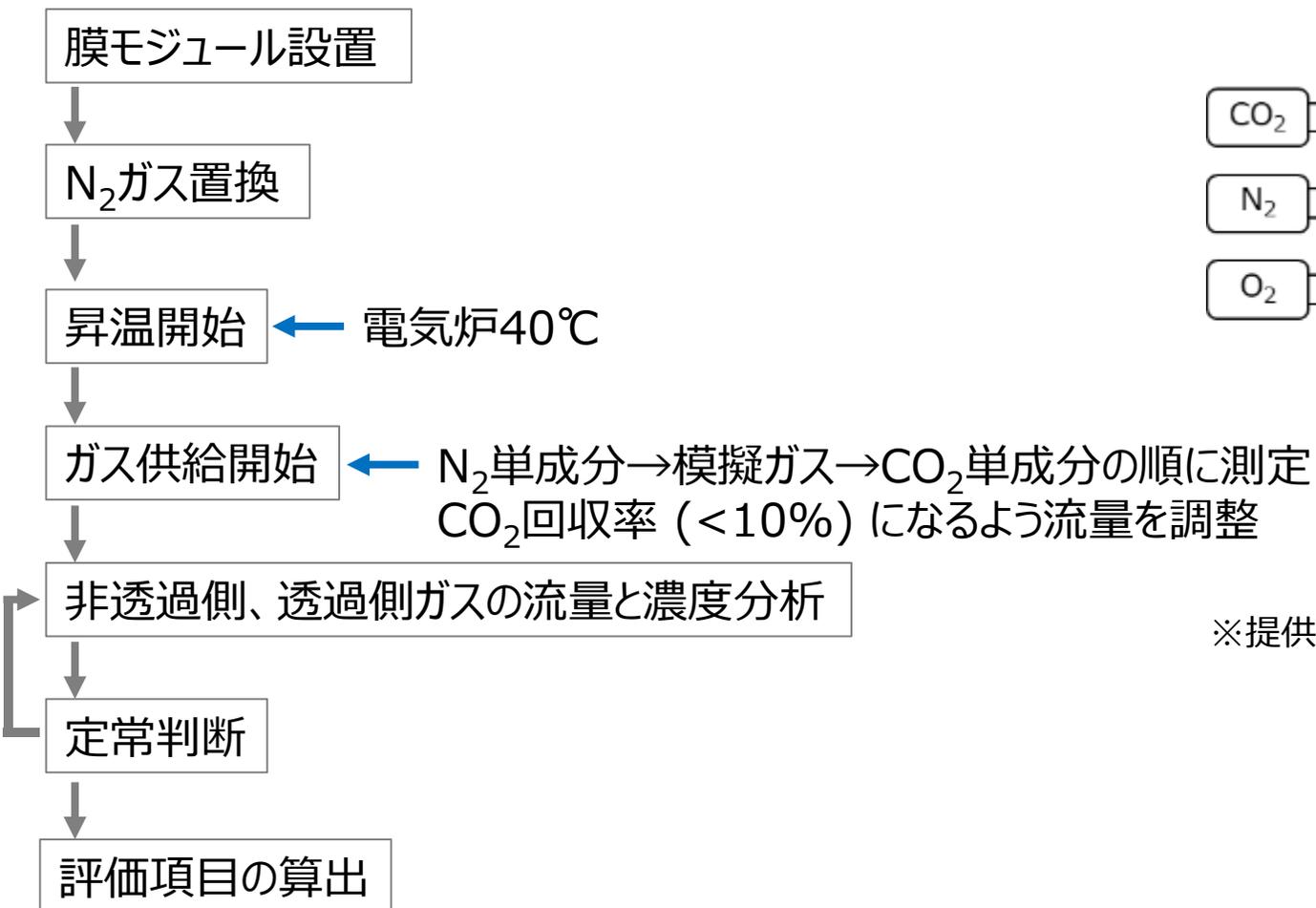
| 条件 | 単成分 | 混合成分 |
|------|--------------------------|--|
| 温度 | 30～50 °C | 30～50 °C |
| 供給流量 | ～0.06 Nm ³ /h | ～0.06 Nm ³ /h（全流量1 L/min以内） |

2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容

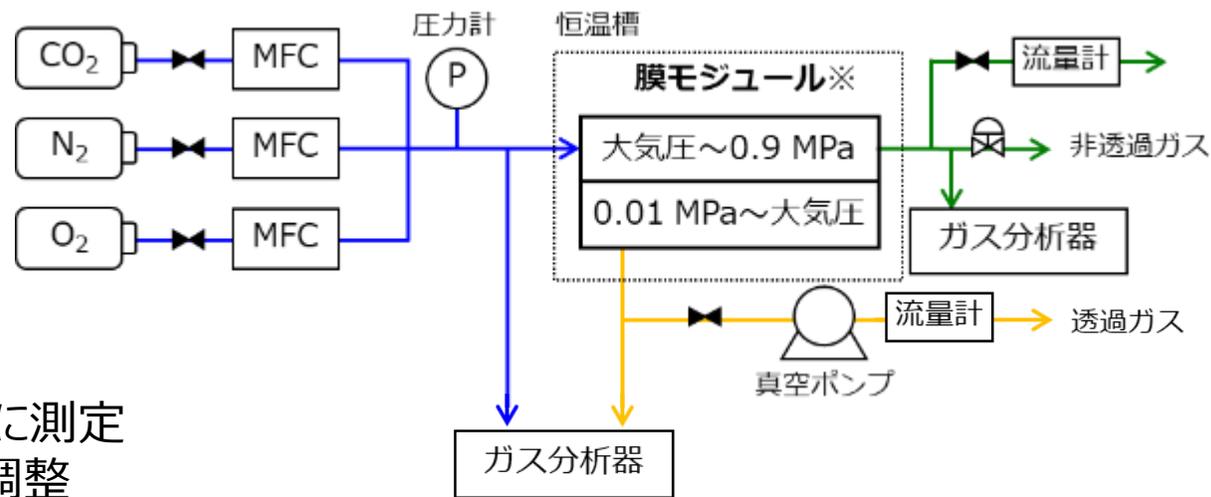
研究開発項目の詳細

①-2 素材評価に適した分離性能評価法の構築 (小スケールでの評価に適した分離性能評価法の確立)

【評価プロトコル：膜分離法】



【標準ガス試験設備：膜分離法】



※提供いただいた膜モジュールを恒温槽に設置して評価する

2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容

研究開発項目の詳細

①-2 素材評価に適した分離性能評価法の構築 (小スケールでの評価に適した分離性能評価法の確立)

標準ガス試験設備の写真

【吸収法】



@早稲田大学西早稲田キャンパス

【吸着法】



@産総研東北センター

【膜分離法】

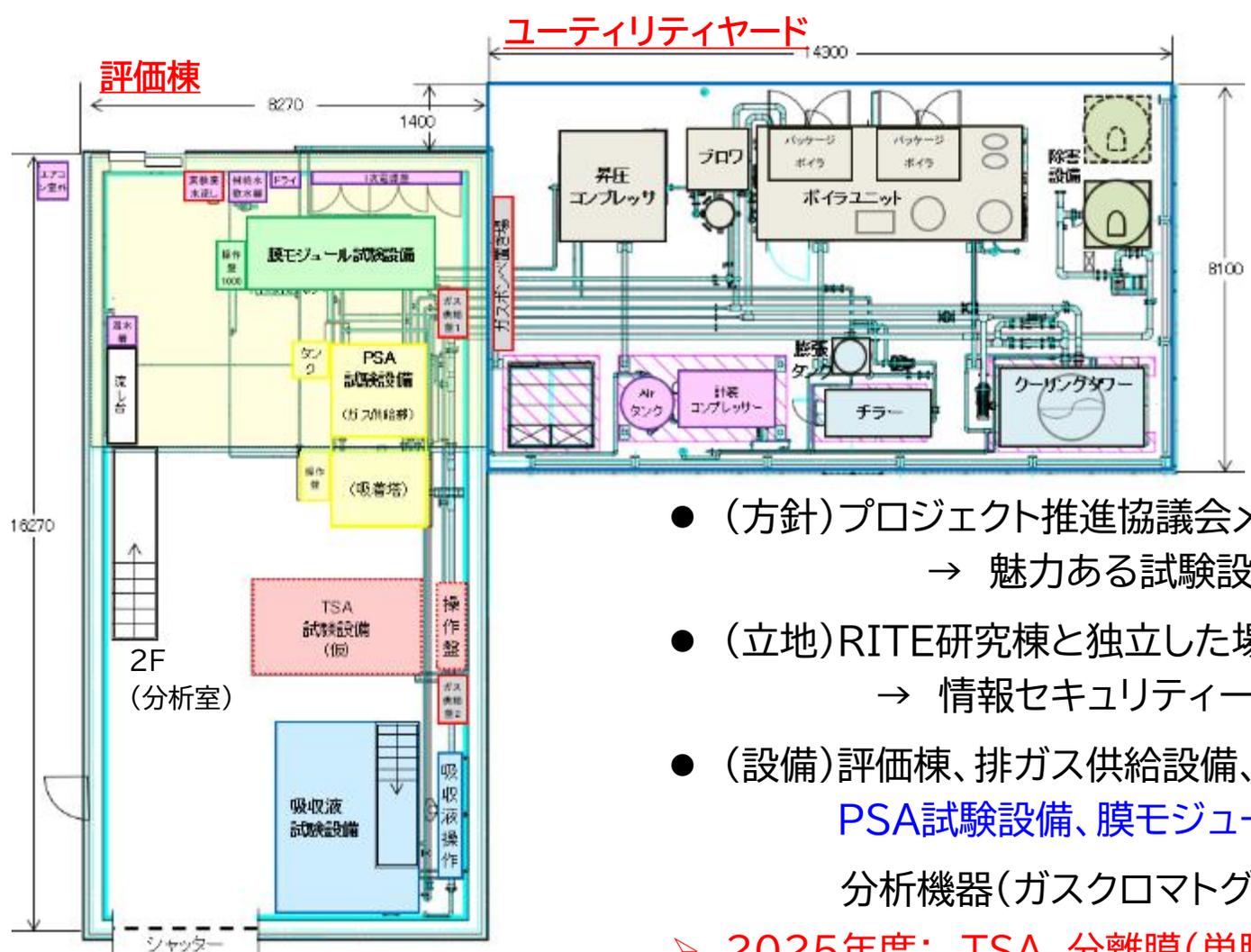


@産総研東北センター

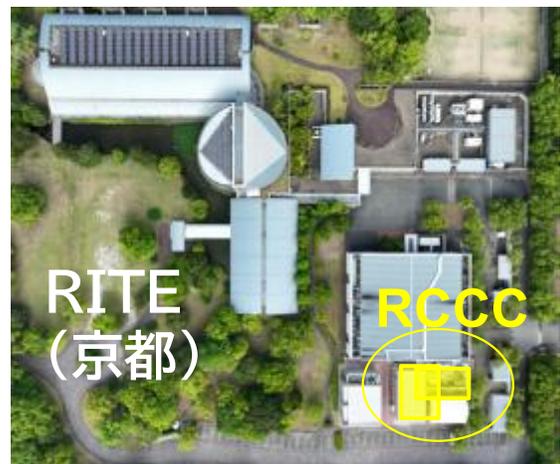
2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容

研究開発項目の詳細

①-2 素材評価に適した分離性能評価法の構築 (炭素回収技術評価センターRCCC概要)



設備立地



- (方針) プロジェクト推進協議会メンバーからの意見を反映
→ 魅力ある試験設備の実現
- (立地) RITE研究棟と独立した場所に評価棟を新規に設置
→ 情報セキュリティーを確保
- (設備) 評価棟、排ガス供給設備、ユーティリティ設備、
PSA試験設備、膜モジュール試験設備、吸収液試験設備、
分析機器(ガスクロマトグラフ、全有機炭素計…2F分析室)
➤ 2025年度: TSA、分離膜(単膜)試験設備の仕様決定、製作発注

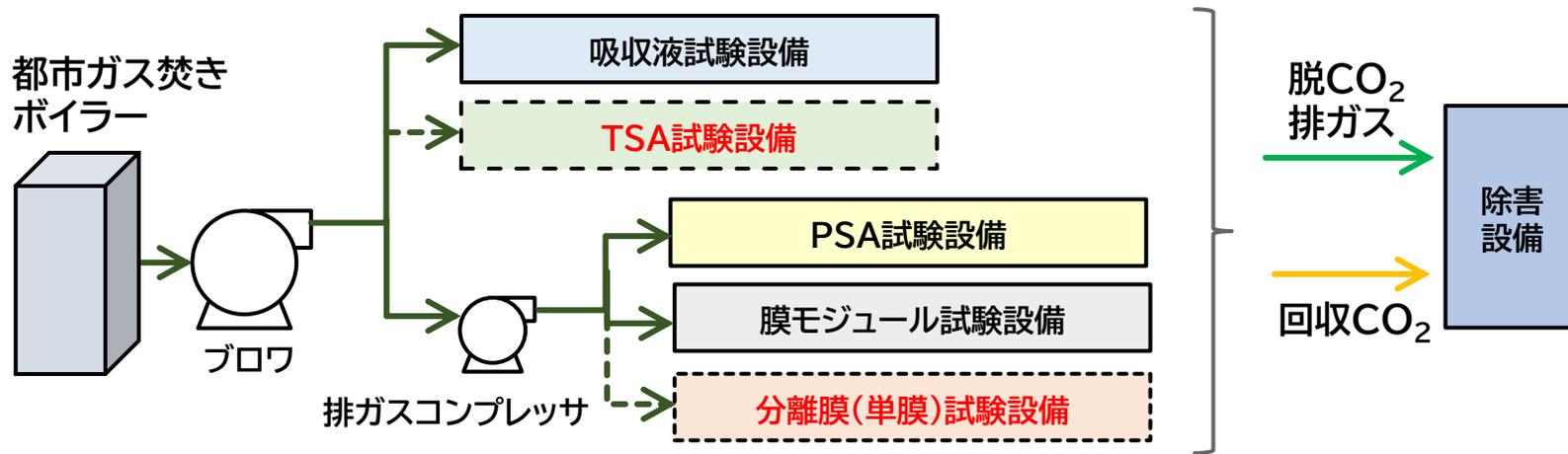
2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容

研究開発項目の詳細

①-2 素材評価に適した分離性能評価法の構築 (炭素回収技術評価センターRCCC概要)

| 供給排ガス | |
|-------|-------------------------|
| 流量 | 247 Nm ³ /h |
| 温度 | 75 °C |
| 組成 | CO ₂ 8.8 % |
| | N ₂ 77.0 % |
| | O ₂ 3.9 % |
| | H ₂ O 10.3 % |
| | NOx 69 ppm |

実測定例(2025.3)



| 設備 | 製作仕様 |
|----------------------------|---|
| 排ガス供給設備 | <ul style="list-style-type: none"> 都市ガスボイラー(蒸気量250kg/h相当)×2基…24時間連続供給可能 各試験設備に対して100kg-CO₂/dを供給可能 |
| 吸収液試験設備 | <ul style="list-style-type: none"> 吸収塔(充填層部): 2mH×0.2mφ 再生塔(充填層部): 2mH×0.1mφ … 液量約70L 吸収塔入口温度(ガス/液): 40°C 再生圧力/温度: 0.2MPa/120°C |
| PSA試験設備 | <ul style="list-style-type: none"> 吸着槽: 250A×1800L×3塔 … 1塔当り充填量 約60kg 温度: 30°C 圧力: 101~900kPa(吸着) 10kPa(脱着) 露点: -60°C |
| TSA試験設備 | <ul style="list-style-type: none"> 吸着槽: 150A×2500L×3塔 … 1塔当り充填量 約50L 温度: 30°C(吸着) 120°C(脱着) 圧力: 101kPa(吸着) 10kPa(脱着) 露点: -30°C |
| 膜モジュール試験設備 | <ul style="list-style-type: none"> 膜モジュール: 1m程度 …フレキシブル配管で調整 温度:30~85°C 圧力:101~900kPa(供給) 10~101kPa(透過) 露点:-15~80°C |
| 分離膜(単膜)試験設備 “分離膜/吸着剤評価” | <ul style="list-style-type: none"> 単膜: 8 cm²程度, 吸着剤: 2~3g …単膜評価だけでなく、少量の吸着剤評価も可能 ガス量: 0.2~1L/min |

【追加設備】
2025年度製作着手,
2026年度稼働予定

2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容

研究開発項目の詳細

①-2 素材評価に適した分離性能評価法の構築 (排ガス供給設備・ユーティリティ)

- 都市ガスボイラーを2基備え、4基の試験設備に合計400kg/日相当のCO₂を含む燃焼排ガスを24時間供給するとともに、試験に必要な希釈用空気や冷却水を供給する。

ボイラーユニット



都市ガスボイラー

排ガスコンプレッサ



計装コンプレッサ



- ✓ 排ガスコンプレッサ: PSA、膜モジュール試験設備供給する実ガスを加圧
- ✓ 計装コンプレッサ: 燃焼排ガスの希釈空気供給、計装等
- ✓ その他補器類: 冷却水、チラー水の供給設備等

2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容

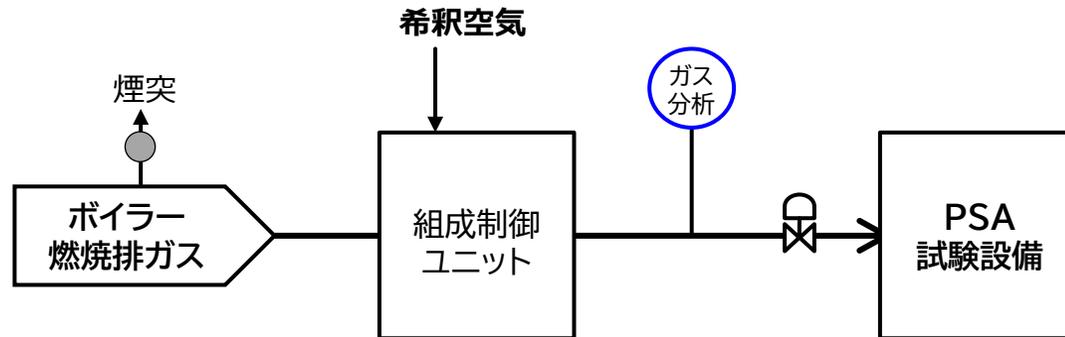
研究開発項目の詳細

①-2 素材評価に適した分離性能評価法の構築 (燃焼排ガスの測定結果)

① ボイラー1号煙道排ガス測定(図中●)

(測定日:2025年3月5日)

| 項目 | 単位 | 測定結果 |
|------------------------|-------------------|------|
| 排ガス量[湿り] | m ³ /h | 247 |
| 排ガス温度 | ℃ | 75 |
| 乾きガス組成 CO ₂ | vol% | 9.8 |
| O ₂ | vol% | 4.4 |
| 水分量 | vol% | 11.5 |
| 窒素酸化物 NO _x | ppmv | 69 |
| 湿りガス組成 CO ₂ | vol% | 8.8 |
| O ₂ | vol% | 3.9 |
| N ₂ | vol% | 77.0 |
| H ₂ O | vol% | 10.3 |



② PSA試験設備供給ガス測定(図中○)

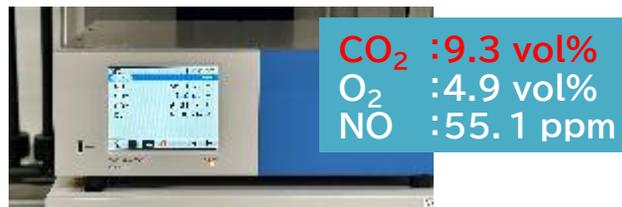
<試運転①(3月)>

①-1 ボイラ排ガスのみ
運転条件

- ✓ ボイラ排ガス供給量:30 m³/h
- ✓ 供給圧力:0.1 MPaG

①-2 ボイラ排ガス+希釈空気
運転条件(NGCC相当)

- ✓ ボイラ排ガス供給量:30 m³/h
- ✓ 希釈空気供給量:30 m³/h
- ✓ 供給圧力:0.1 MPaG



2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容

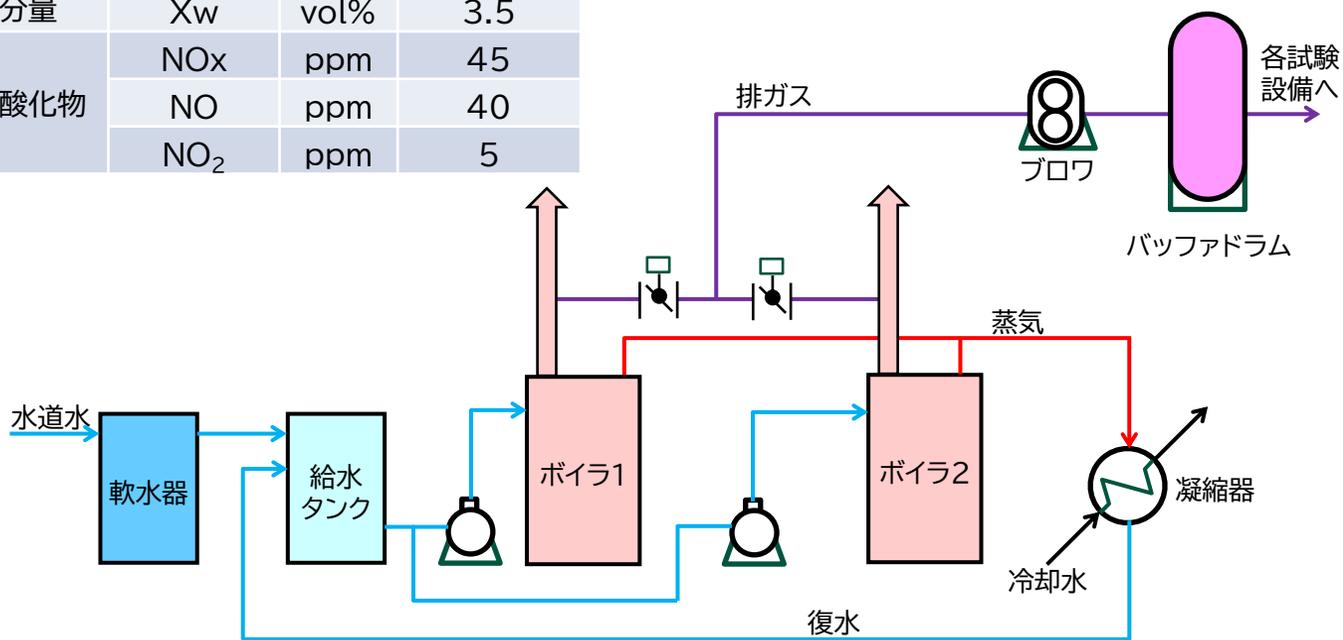
研究開発項目の詳細

①-2 素材評価に適した分離性能評価法の構築 (ボイラー2台の切り替え運転)

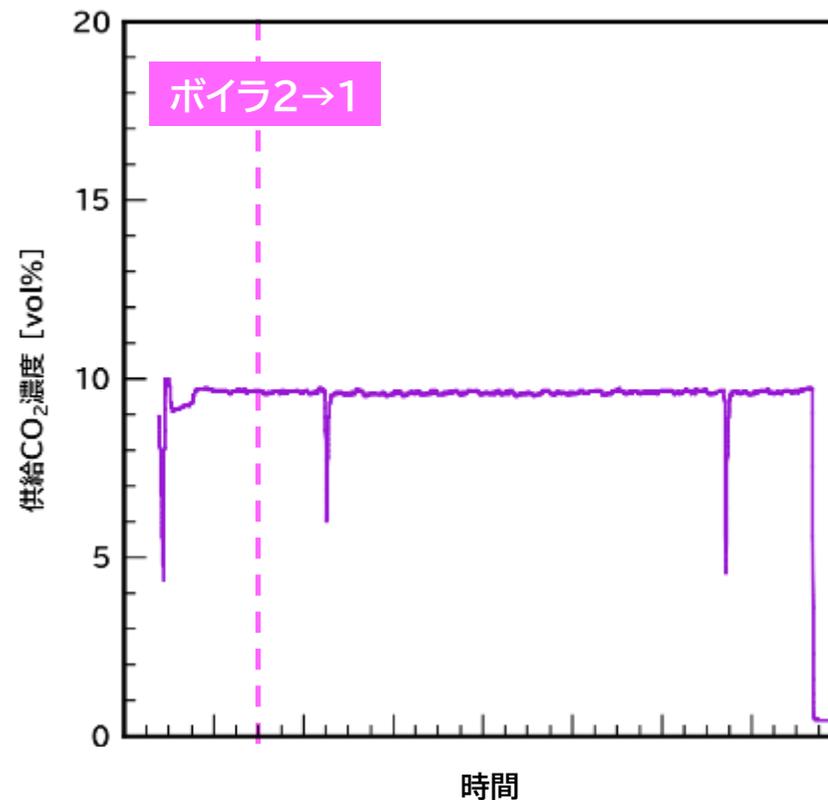
- ✓ 2台のボイラーの運転を自動で切り替え、一定CO₂濃度の燃焼排ガスを各試験設備に安定して長時間供給。

● 排ガス供給の設備フロー

| 測定項目 | 記号 | 単位 | 分析値 |
|--------|-----------------|------|------|
| 乾きガス組成 | CO ₂ | vol% | 9.4 |
| | O ₂ | vol% | 4.4 |
| | N ₂ | vol% | 86.4 |
| 水分量 | Xw | vol% | 3.5 |
| 窒素酸化物 | NOx | ppm | 45 |
| | NO | ppm | 40 |
| | NO ₂ | ppm | 5 |



● ボイラー切替運転時の排ガスCO₂濃度



2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容

研究開発項目の詳細

➤ PSA (Pressure Swing Adsorption) 試験設備



投入(1塔あたり60 kg)



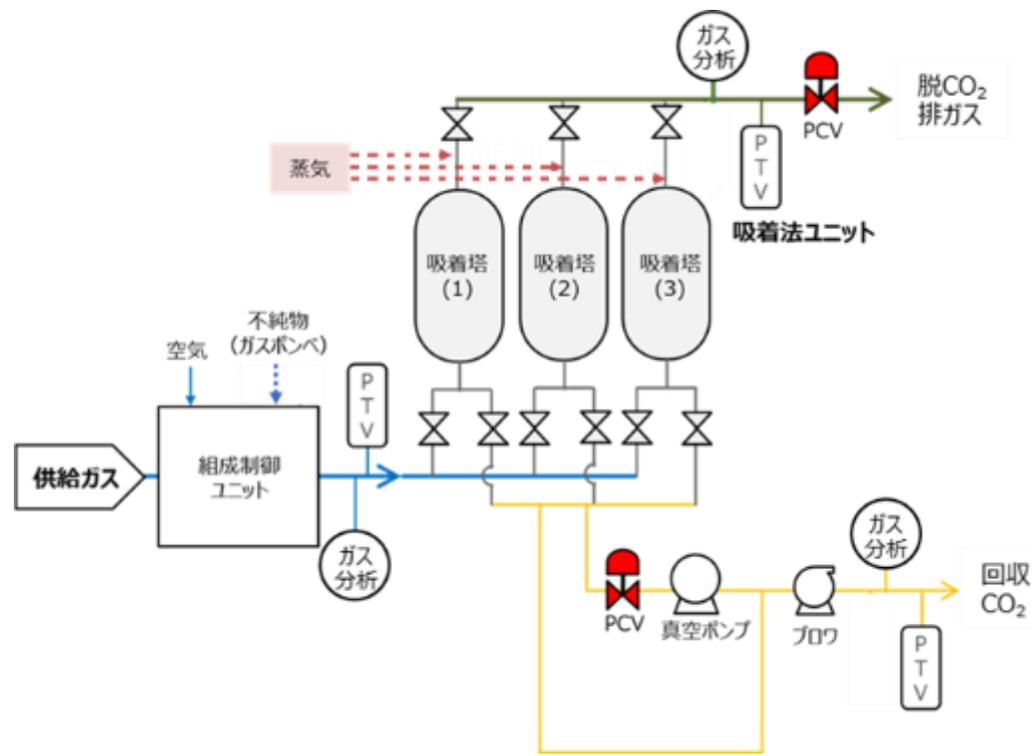
ゼオライト13X
(標準材)

| | 標準条件 (ゼオライト (13X)) | 試験条件 |
|--------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 温度 [°C] | 30 | 30~50 |
| 圧力 [kPaA] | 吸着: 101~900 脱着: 10~101 | 吸着: 101~900 脱着: 10~101 |
| 露点 [°C] | -60 | -60~50 ※最大: ガス温度飽和 |

2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容

研究開発項目の詳細

➤ PSA (Pressure Swing Adsorption) 試験評価



➤ 標準分離素材としてゼオライト13Xを選定。設備や試験方法の確認を含め、様々な条件での試験を実施し、ベンチマークとなるデータを収集する。

| | 標準評価法 | 実ガスを用いたゼオライト13Xの評価項目(今回の試験) |
|-----------|---|---|
| 温度 [°C] | 30 | 30 |
| 圧力 [kPaA] | 吸着:101~900 脱着:10~101 | 吸着:200, 500 脱着:~10 |
| 露点 [°C] | -60 | -60 |
| 測定項目 | ①温度 ②圧力 ③流量 ④濃度 ⑤真空ポンプ動力 ⑥蒸気投入量 ⑦加熱用動力 | ①温度 ②圧力 ③流量 ④濃度 ⑤真空ポンプ動力 ⑦加熱用動力 (⑥は13Xの評価では不要) |
| ガス分析 | 吸着塔入り側、オフガス、回収CO ₂ の3点 | 吸着塔入り側、オフガス、回収CO ₂ 側の3点を計測 (CO ₂ 、O ₂ 、NO _x 濃度) |
| 評価項目 | ①回収CO ₂ 純度 ②CO ₂ 回収量・回収率 ③回収電力、エネルギー原単位 ④パラメータ変化試験 ⑤不純物耐性評価 ⑥長期耐久性評価 | ①回収CO ₂ 純度 ②CO ₂ 回収量・回収率 ③回収電力、エネルギー原単位* ④パラメータ変化試験** *現在、解析中 **変化させたパラメータ吸着圧力、サイクルタイム |

2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容

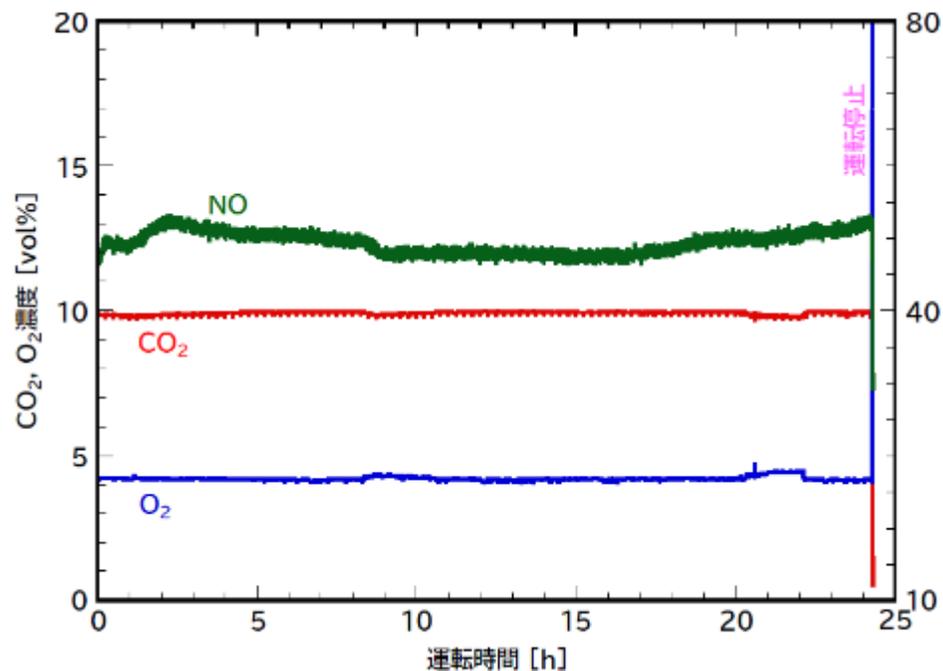
研究開発項目の詳細

②-2 実ガス試験評価およびデータの蓄積・拡充

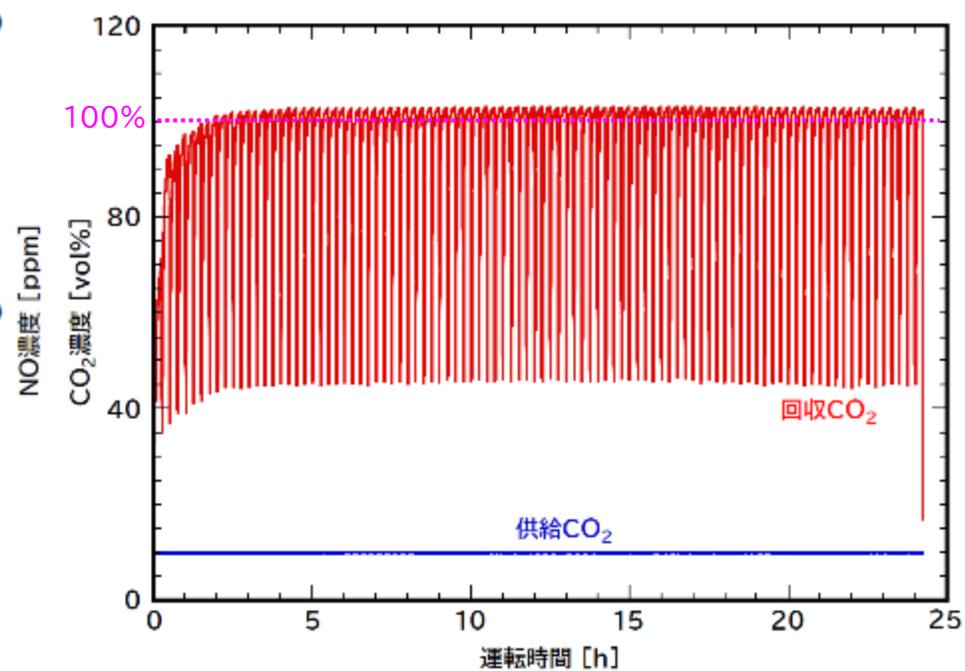
➤ 24時間運転

【試験条件】

- プロセス: 2 bed-2 step (吸着時間 15分)
- 分離材: ゼオライト13X (標準材)
- 供給ガス: 30 Nm³/h (ボイラ排ガスのみ)
- 吸着圧力: 100 kPaG



(a) 供給ガス組成



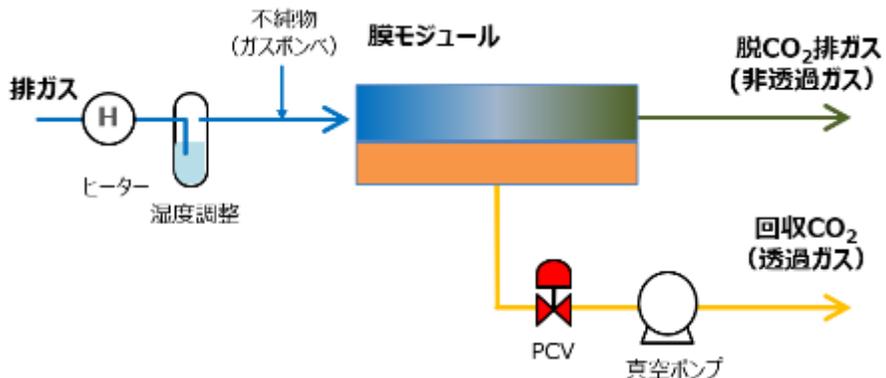
(b) 回収CO₂濃度

✓ 安定的に24時間の連続運転が実施でき、高純度CO₂の回収が達成できている。

2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容

研究開発項目の詳細

膜モジュール試験設備



| 項目 | 仕様・試験条件 |
|--------------------|---|
| 膜モジュール設置部 | 膜モジュール(設計仕様): 外径0.3mφ × 長さ1m程度 |
| 温度 | 室温~85℃ |
| CO ₂ 濃度 | 4~9%(Airによる希釈) |
| 圧力 | 供給側:101~900kPa(絶対圧) 透過側:10~101kPa(絶対圧) |
| 供給ガス 流量 | 30 m ³ (STP)/h |
| 露点 | -15~80℃ ・乾燥条件~加湿条件まで対応可能 |



✓ スパイラルやプレート&フレーム等のモジュールに対応可能

膜モジュール (例)



- 膜モジュール寸法によりフレキシブル配管を調整することで、様々なサイズ・形状の膜モジュール(スパイラル、プレート&フレームなど)に対応可能。
- 膜材料の実ガス試験のニーズに対応するため、ラボスケールの単膜試験設備の導入検討を本年度より開始。

2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容

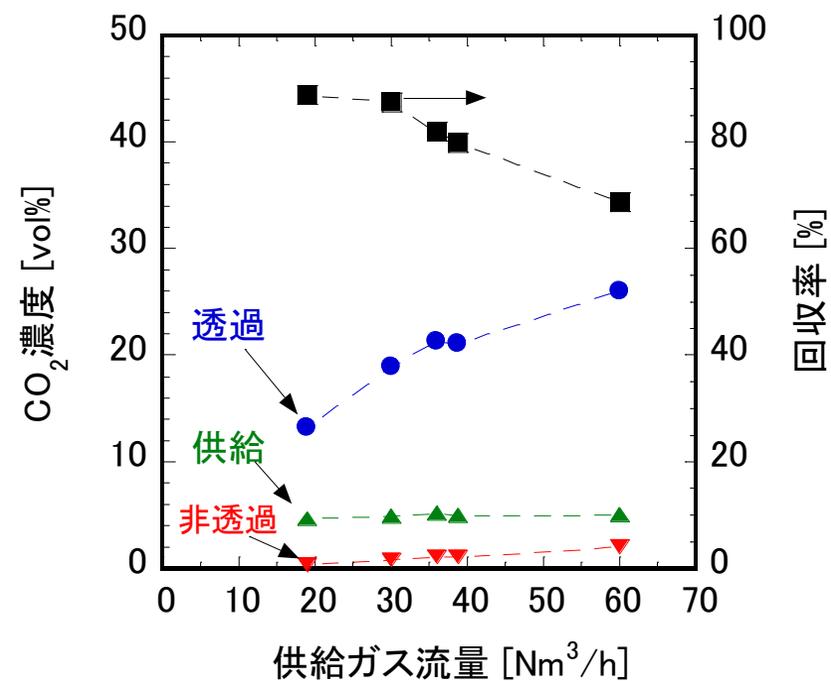
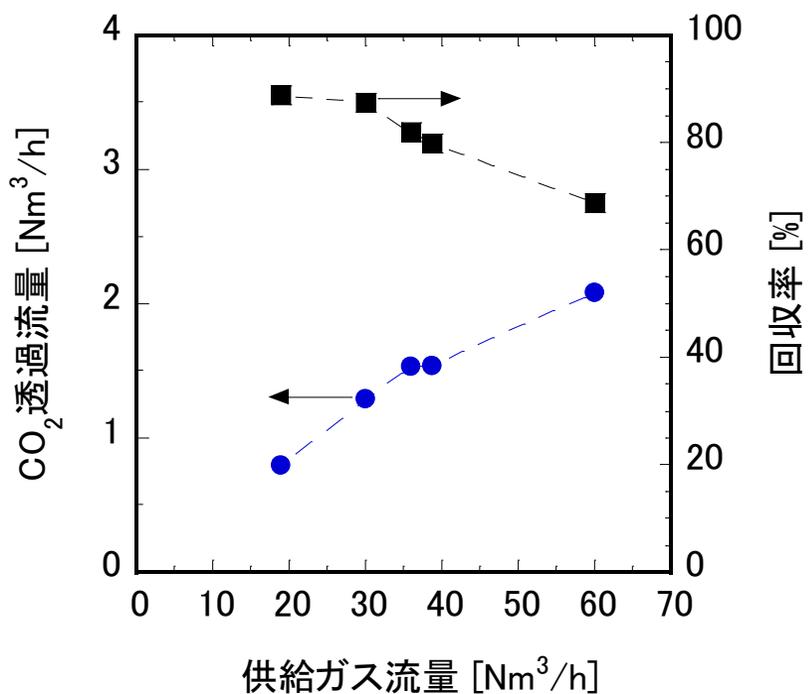
研究開発項目の詳細

標準材として採用した市販のポリイミド系膜モジュールについてCO₂分離性能を評価

膜モジュール試験の一例

【データ取得の基本条件】

温度40℃、CO₂濃度4%(Air希釈)、dryガス(加湿無し)、供給側0.3MPaA、透過側0.01MPaA

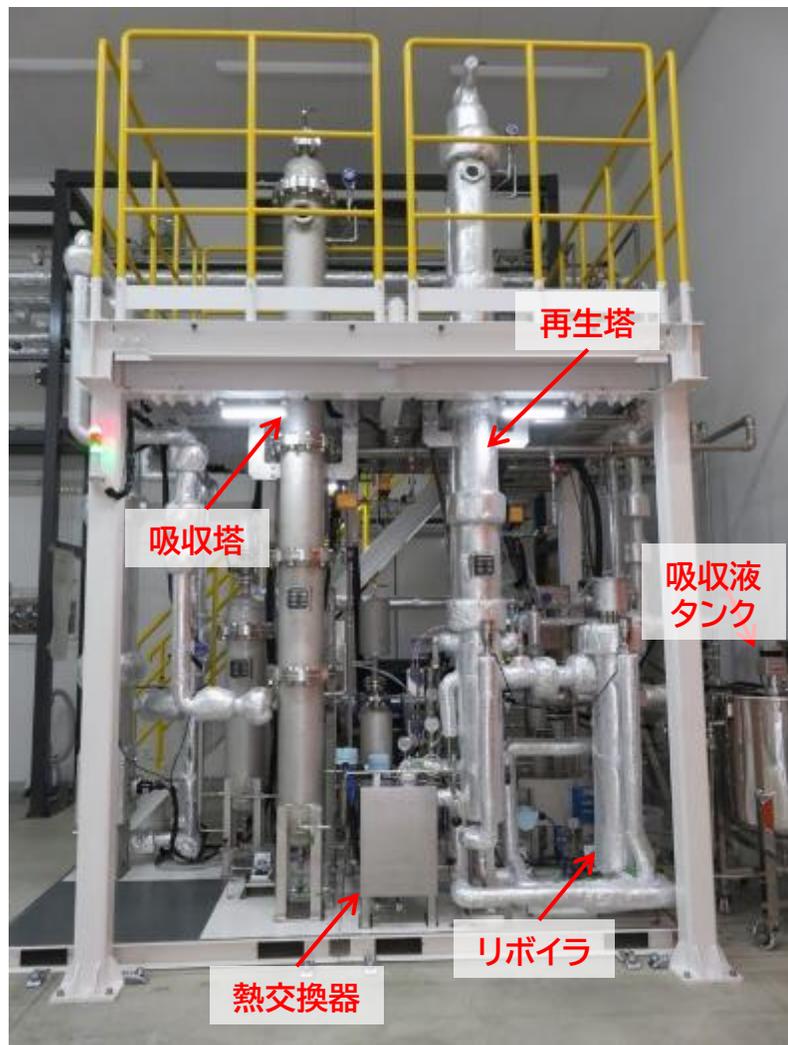


- ✓ 標準材であるポリイミド系ガス分離膜モジュールの分離特性(回収率とCO₂透過流量、透過CO₂濃度との相関)に関するデータを取得した。
- ✓ 今後、同モジュールを用いたCO₂濃度の影響、経時変化等について検討予定。また、AISTにて取得するポリイミド膜自体の性能との相関について検討予定。

2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容

研究開発項目の詳細

➤ 吸収液試験設備



- 吸収塔: 4 mH x 内径0.2 mφ (充填層部:2mH)
- 再生塔: 4 mH x 内径0.1 mφ (充填層部:2mH)
- 液量: 約70 L

吸収塔内部
充填物設置前
(空の状態)



充填物
デイクソンパッキン



標準分離素材
(MEA 30wt%水溶液)



| 項目 | 標準条件 (MEA水溶液) | 試験条件 |
|-------------------------|--|-----------------------------|
| 吸収塔温度 | 塔上部(液) 40℃ 塔下部(ガス) 40℃ (水蒸気飽和条件) | 30~50 30~50 (水蒸気飽和条件) |
| 再生塔温度 | 塔上部(液) 110℃ 塔下部(液) 120℃ | (液物性に依存) 上限は左記程度と想定 |
| 液ガス比 | 0.5~5 | 0.5~5 |
| CO ₂ 回収率(目標) | 90% | - |

2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容

研究開発項目の詳細

➤ 吸収液試験評価

- 標準分離素材としてモノエタノールアミンを選定。ベンチマークとなるデータを収集する。
- 主な操作因子としては吸収液循環量や再生塔温度が挙げられる。
- 再生塔でCO₂を回収するために必要な加熱のエネルギーが最も重要な評価指標である。

| | 標準評価法 | 実ガスを用いた標準材の評価項目 |
|------|---|---|
| 測定項目 | ①温度 ②圧力 ③ガス・液流量 ④濃度 ⑤消費電力(液循環ポンプ動力) ⑥消費電力(リボイラ電力) ⑦冷却熱量 | ①温度 ②圧力 ③ガス・液流量 ④濃度 ⑤消費電力(液循環ポンプ動力) ⑥消費電力(リボイラ電力) ⑦冷却熱量 |
| ガス分析 | 原料ガス、脱CO ₂ 排ガス、回収CO ₂ の3点を計測 | 原料ガス、脱CO ₂ 排ガス、回収CO ₂ の3点を計測 |
| 評価項目 | ①回収CO ₂ 純度 ②CO ₂ 回収量 ③CO ₂ 回収率 ④所要電力、エネルギー原単位 | ①回収CO ₂ 純度 ②CO ₂ 回収量 ③CO ₂ 回収率 ④所要電力、エネルギー原単位 |

2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容

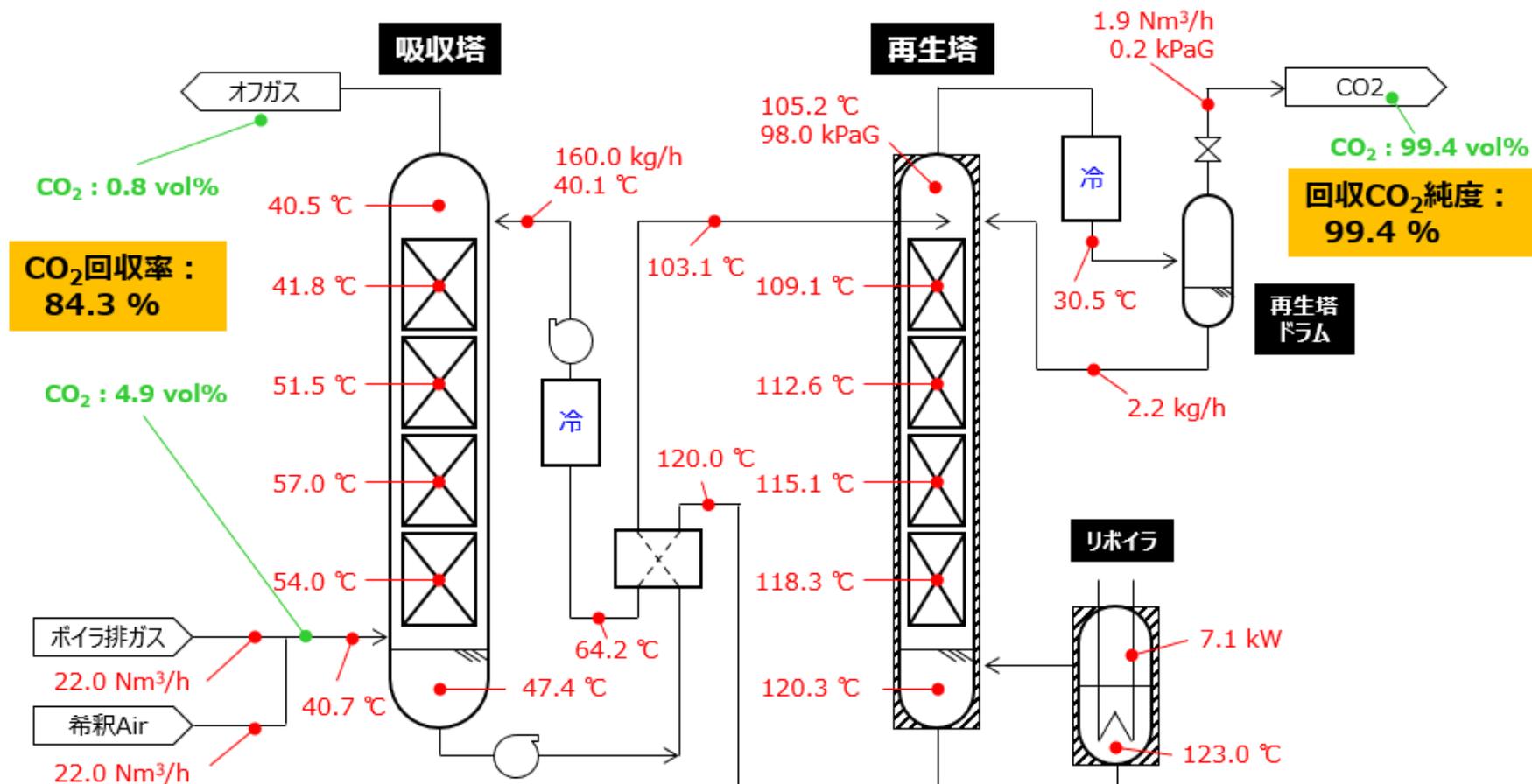
研究開発項目の詳細

②-2 実ガス試験評価およびデータの蓄積・拡充

➤ 標準吸収液のデータ収集

【実験条件】

吸収液：
モノエタノールアミン30wt%
(標準液)
供給ガス量：44Nm³/h
液ガス比L/G：2.80 kg/kg



✓ ガス側および吸収液側の温度、圧力、濃度、流量を任意の時間ステップで自動収集し、評価指標の解析に使用

2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容

研究開発項目の詳細

①-3 加速劣化試験法の開発

吸収法

- 装置の納入および長期安定運転のための装置改良を完了。非加速劣化試験を完了。加速劣化試験を実施中。
- 数種類のアミン濃度定量の手法を試行し、GC-FIDで良好な再現性を確認済み。

吸着法

- 標準ガスを用いた吸着分離システム評価装置、及び加速劣化試験装置が2024年3月末に納品完了。各装置のセットアップと試運転を実施中。

膜分離法

- 標準分離膜の加速劣化試験条件・方法・装置の開発に向けて、実ガスを用いたCO₂分離膜に関する文献を調査。高分子膜（ポリイミド膜）について、試験を開始。

【CO₂分離素材の劣化要因】

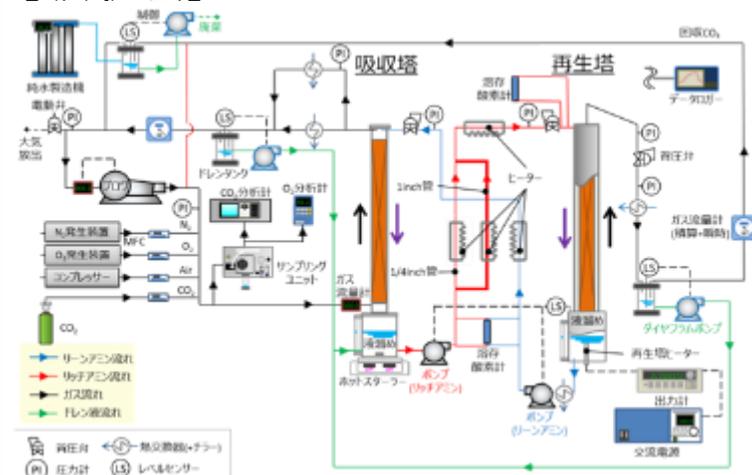
| 分離技術 | 標準分離素材 | 劣化要因 | 劣化評価法、劣化条件 |
|------|-----------------------------|--|---|
| 吸収法 | アミノメチルプロパノール（AMP）+ピペラジン（PZ） | 排ガスO ₂ 濃度、再生塔の温度と滞留時間、Fe等の金属イオン、NO _x 、SO _x （今年度試験よりO ₂ 濃度が与える影響軽微⇒金属イオン等の添加必要性有） | 評価法 ：アミン濃度定量（滴定、GC）、劣化生成物定性・定量（滴定、GC、イオンクロマトグラフィー） 条件 ：O ₂ 高濃度化、高温加熱部の液滞留時間増、加速劣化因子添加（金属イオン、硝酸など） |
| 吸着法 | ゼオライト（13X） | 水蒸気吸着、酸性ガス吸着、吸脱着による構造変化 | 加湿、酸性ガス添加条件下での高速吸脱着試験（VSA） |
| 膜分離法 | 高分子膜（ポリイミド） | 酸、水、O ₂ 、高温による構造変化 | 酸性ガス曝露試験、水蒸気曝露試験、O ₂ 曝露試験、高温CO ₂ 分離試験、昇温破壊試験、高圧CO ₂ 透過試験 |
| | 無機膜（ゼオライト） | 酸、水、高温による結晶構造の変化 | 酸性ガス曝露試験、水蒸気曝露試験、高温CO ₂ 分離試験、昇温破壊試験 |

2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容

研究開発項目の詳細

①-3 加速劣化試験法の開発 (加速劣化試験装置の概要)

【吸収法】



試験条件 (想定)

- O₂高濃度化 (50%) ⇒酸化劣化
- 高温部液滞留時間 増⇒酸化, 熱劣化 (高温部液溜容積 増)
- 金属イオン (Fe, Cuなど), 硝酸 (NO_x由来) 等の加速劣化因子添加

※注釈

供給ガス: Air (コンプレッサー)

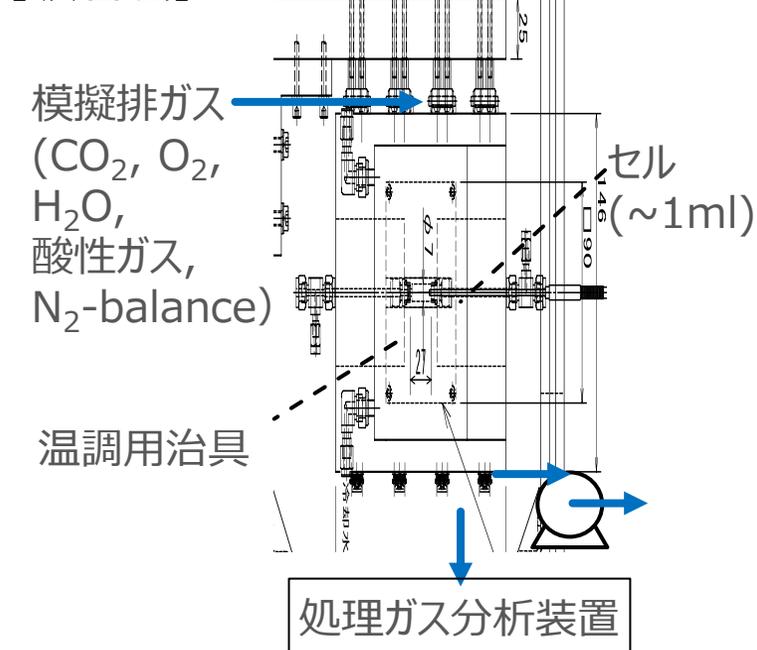
O₂ (酸素ガス発生装置)

CO₂ (ポンプ + 回収CO₂一部循環)

水分バランス一定: 温度一致 (吸収塔入口・出口ガス)

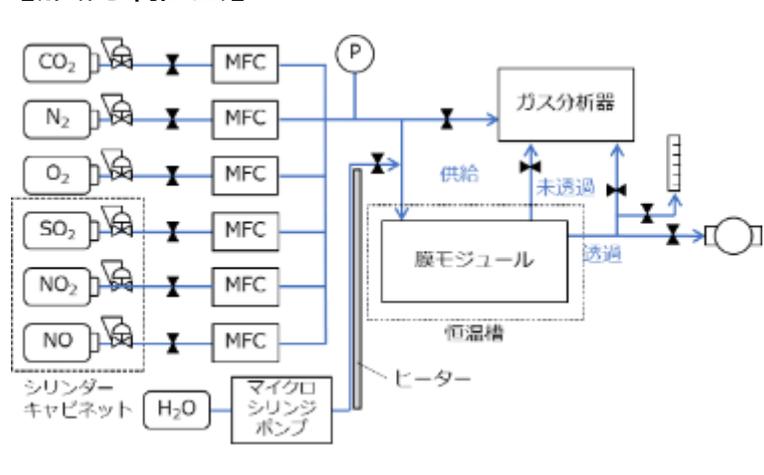
吸収・再生塔出口ガス凝縮水回収

【吸着法】



0.5~5 minで吸脱着を繰り返して、劣化試料を調製。劣化挙動を処理ガス組成等と相関

【膜分離法】



- 曝露試験 ⇒酸性ガス、水蒸気、O₂による劣化
- 高温、高圧CO₂透過試験 ⇒高温、CO₂可塑性による劣化

- 装置の仕様を決定し、装置の設置完了

(吸収法: 2023年12月、吸着法・膜分離法: 2024年3月末)

2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容

研究開発項目の詳細

①-3 加速劣化試験法の開発 (加速劣化試験装置の概要)

【吸収法】



@早稲田大学本庄キャンパス

進捗状況

- 非加速での劣化試験完了。
- 加速条件1での劣化試験完了。
- 加速条件2での劣化試験完了、吸収液の基礎特性取得と劣化生成物分析中。
- 加速劣化試験後吸収液の気液特性を評価。

【吸着法】



@産総研東北センター

進捗状況

- 冷却水循環機構及びセル周囲の不具合を改善し、1000回の昇温・降温サイクルを実施完了。
- 露点80℃までの加湿を可能とする加湿機構を整備完了。
- ゼオライト13Xおよびポリアミン担持シリカの加速劣化試験を開始。

【膜分離法】



@産総研東北センター

進捗状況

- 装置の試運転を開始。ドライ条件で標準ガス評価設備（膜分離）と同等の結果が得られることを確認。
- 幅広い露点での安定した試験ができるよう装置改造中。

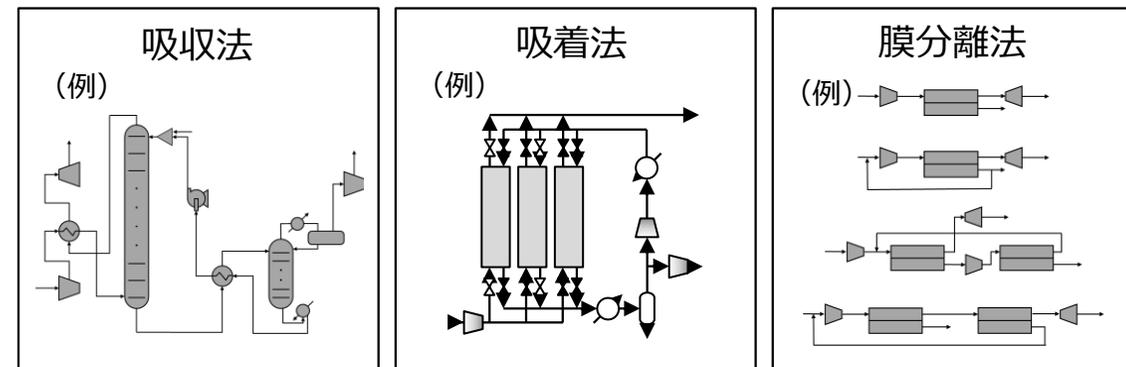
2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容

研究開発項目の詳細

①-4 シミュレーション技術の開発

- 簡易評価ツールの開発（産業技術総合研究所、再委託先：早稲田大学、京都大学、広島大学）
各分離回収技術について、簡易評価ツールのプロトタイプを作成。詳細シミュレーションとの比較による妥当性の検証・適用範囲の明確化を実施し、簡易評価ツール統合版を開発。

- 吸収法（再委託先：早稲田大学）
吸収液の基礎特性を元にプロセス性能を評価する簡易評価ツールを開発。
- 吸着法（再委託先：京都大学）
吸着剤の基礎特性を元に吸着等温線解析、破過曲線解析、PSA解析が可能な簡易評価ツールを開発。
- 膜分離法（再委託先：広島大学）
分離膜の基礎特性を元にプロセス性能を評価する簡易評価ツールを開発。プロセス性能の経時変化の予測を行うよう拡張。



| 要件整理 | | 吸収法 | 吸着法 | 膜分離法 |
|-------------|-------------|--|---|--------------------------|
| データ入力方法 | 供給ガスデータ | 供給組成: CO ₂ /N ₂ /O ₂ /H ₂ O=4/76/13/7 CO ₂ /N ₂ /O ₂ =4/82/14 ※H ₂ O※考慮しない場合 | | |
| | 供給流量 | ~6,720,000 [Nm ³ /h] (~300,000 [kmol/h]) | | |
| | 供給温度 | 30-50 [°C] | | |
| | 供給圧力 | 101 [kPa] | | |
| | 分離材データ | 気液平衡特性 吸収反応熱 吸収液流量 吸収液濃度 | 吸着等温線 吸着破過データ 吸着材重量 | 各成分の膜透過係数 膜面積 透過係数 |
| プロセスデータ取得方法 | OPEX解析パラメータ | 電力価格 [円/kWh]、新燃料 [円/G] | | |
| | 取得設定 | コンプレッサおよびポンプの動力計算の設定: 断熱効率75 [%]、新気量比1.4 [-] | | |
| | 取得データ | 製品流量 [Nm ³ /h] 原料CO ₂ 分率 [-] 原料CO ₂ 回収率 [-] 所要動力 [kW] 所要新燃料 [G/h] | 製品流量 [Nm ³ /h] 製品CO ₂ 分率 [-] 製品CO ₂ 回収率 [-] 所要動力 [kW] | |
| 解析方法 | OPEX解析 | 電力コスト [円/h] 熱コスト [円/h] OPEX [円/h]=電力コスト+熱コスト 回収CO ₂ あたりのOPEX [円/t-CO ₂]=合計OPEX / (製品流量 [Nm ³ /h] × 原料CO ₂ 分率 × 0.044/22.4) | | |
| データ出力方法 | データ出力 | 入力データ、分離材データ、OPEX解析パラメータ、プロセス取得データ、OPEX解析データ | | |
| | 配布形式 | 1タセル | | |

共通項目
個別項目

2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容

研究開発項目の詳細

①-4 シミュレーション技術の開発

【簡易評価ツール】

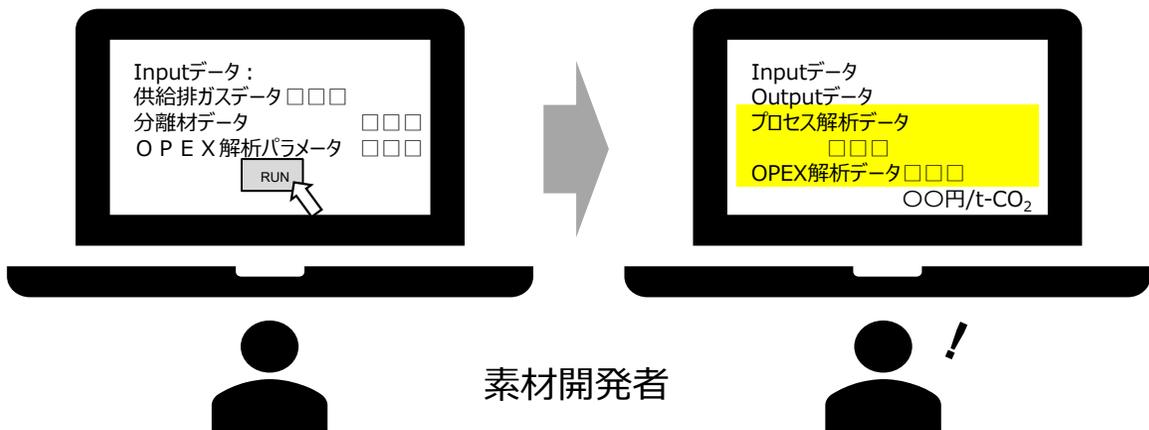
分離材料の基礎特性がプロセス性能に及ぼす影響について、素材開発者が自らパラメータを変えて簡易的に評価を行うためのツール

Input： 供給排ガスデータ、分離材データ、OPEX解析パラメータ

Output： プロセス解析データ（製品ガス流量・濃度等）

OPEX解析データ（回収t-CO₂あたりOPEX）

- ✓ 各分離回収技術について、統一した評価条件の範囲で評価を行う
- ✓ 吸収・吸着・膜の各分離回収技術ごとに、統一した試験条件を設定する
- ✓ 運転コスト（OPEX）を評価し、装置コスト（CAPEX）は考慮しない



【仕様の整理】

| 項目 | 実施計画書を元に作成 (○：該当 -：該当なし) | |
|--|-----------------------------|----------|
| | 簡易評価ツール | 高精度評価ツール |
| 標準評価法に基づくデータを活用できる | ○ | ○ |
| 加速劣化試験法によるデータを活用できる | ○ | ○ |
| 概念設計を行うことができる | ○ | - |
| 所要エネルギー・コストを試算できる | ○※コストはOPEX限定 | - |
| 所要エネルギー・コストを高精度に予測できる | - | ○ |
| 素材開発者にパッケージとして提供できる | ○ | - |
| 標準分離素材の基礎特性を踏まえてプロセス特性を評価できる | ○ | ○ |
| 分離材料の基礎特性がプロセス性能（物質収支やエネルギー収支）に及ぼす影響を評価できる | ○ | ○※明記なし |
| 有用性を検証できる | ○ | - |
| 適用範囲を明確化できる | ○ | - |
| 主要ユニットを考慮してプロセスを設計できる | - | ○※明記なし |

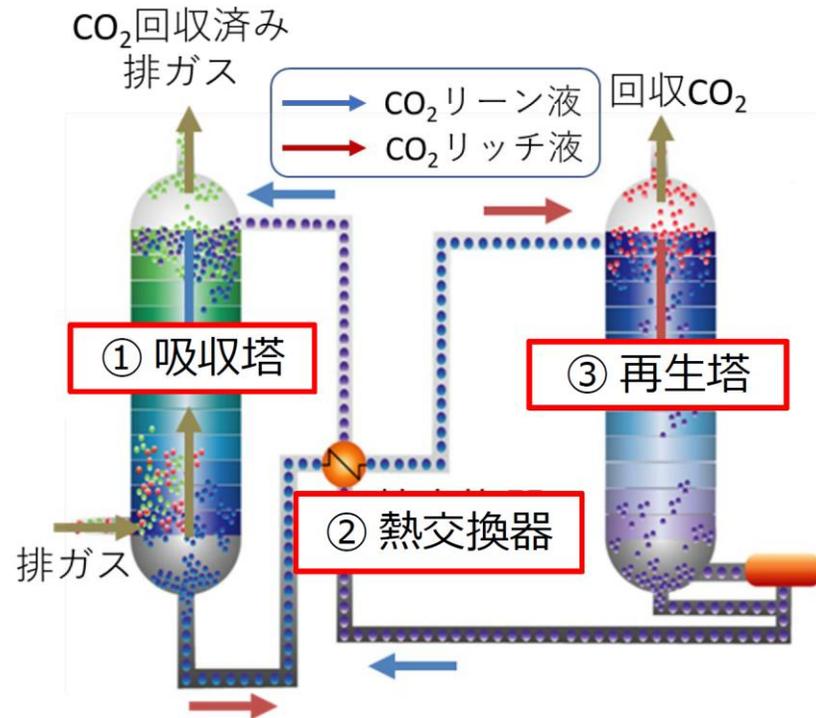
2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容

研究開発項目の詳細

簡易評価ツールの開発

【吸収法】

- 吸収液の基礎特性およびプロセスの運転条件から再生熱量等の運転特性を予測できる簡易評価ツールを開発 (Excel形式)



①吸収塔モデル^[1]

塔高さ等を与条件とし、物質収支・CO₂物質移動の式よりリッチ・リーンローディングを算出

②熱交換器モデル^[2]

①の結果等を与条件とし、熱収支式等で出口液温度および熱交換器でのCO₂解離量を算出

③再生塔モデル^[3]

②の結果等を与条件とし、熱収支式等で再生熱量を算出

[1]伊東章著、ベーシック分離工学

[2]Huiyong Kim et al., 2015

[3]Ralf Notz et al., 2011

2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容

研究開発項目の詳細

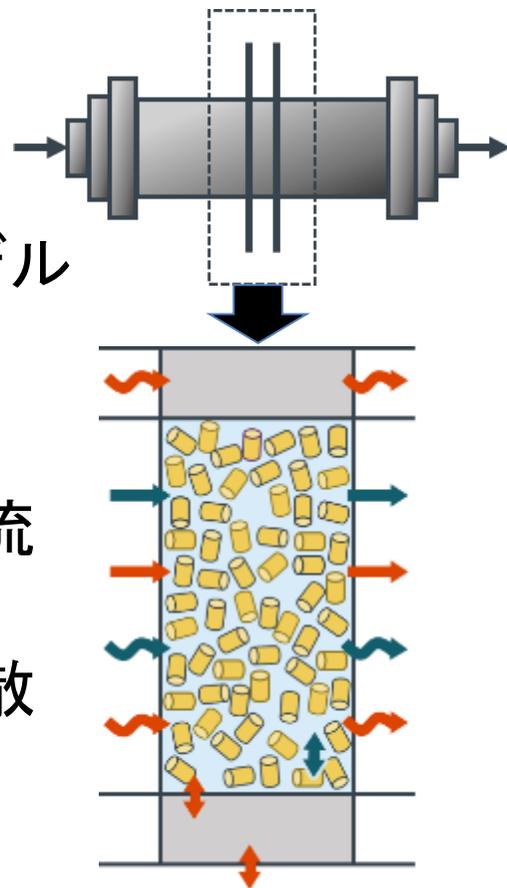
簡易評価ツールの開発

【吸着法】

- 吸着等温線解析ツール、破過曲線解析ツール、PSA簡易評価ツールを開発（Pythonで実装）

一次元カラムモデル

熱 拡散
物質・熱 対流
物質・熱 拡散



① 吸着等温線解析ツール

- BEL&AIFフォーマットデータの読込
- Sips式のパラメータを最小二乗法で決定
- パラメータはJSON形式で出力
- インタラクティブな初期値決定機能搭載

② 破過曲線解析ツール

- モル分率およびカラム温度の経時変化データを読込
- 吸着等温線解析ツールの出力ファイルを読込
- 有限体積法による一次元非等温カラムモデル
- 物質・熱移動係数をJSON形式で出力

③ PSA簡易評価ツール

- 解析ツールの出力ファイルを読込
- 有限体積法による一次元断熱カラムモデルによるPSA評価
- 所定フォーマットにて入力データ、分離材データ、OPEX解析パラメータ、プロセス取得データの出力

2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容

研究開発項目の詳細

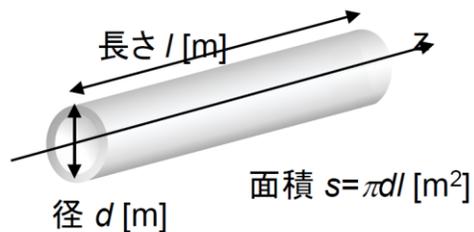
簡易評価ツールの開発

【膜分離法】

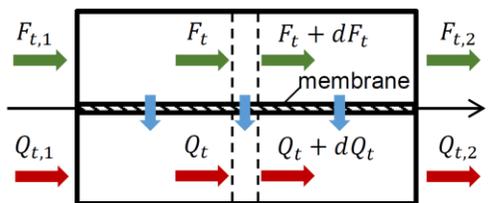
- 膜モジュールの簡易評価ツールを開発 (Excel形式)

Permeance 分圧差

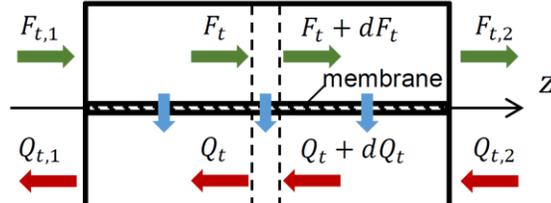
$$\text{膜透過流束 } J = P(p_1 - p_2)$$



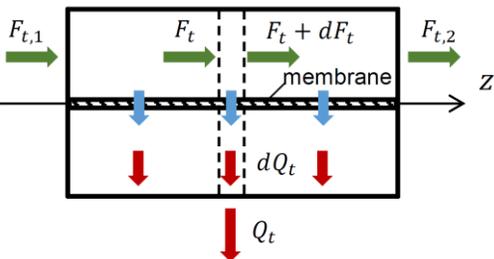
(a) 並流 (Co-current)



(b) 向流 (Counter-current)



(c) クロスフロー (Cross-flow)



操作パラメーター

- α : Permeance比, P_i/P_j
- $F_{t,j}$: Feed流量 (入口)
- $x_{i,j}$: Feedモル分率 (入口)
- p_f : Feed圧力
- p_r : Permeate/Feed圧力比, p_p / p_f
- Q_s : sweepガス流量

① 1 段膜分離プロセスの簡易評価ツール

- モジュール内のガスの流れを考慮した、多成分混合系の 1 段膜分離の簡易評価モデルを開発
- 膜条件 (膜透過率、膜面積など)、操作条件 (圧力、流量、温度) を入力し、CO₂分離性能 (CO₂回収率、純度) やエネルギー収支を試算

② 2 段分離膜分離プロセスの簡易評価ツール

- ①の簡易評価モデルを元に、並流形式 2 段膜分離プロセスの簡易評価モデルを開発
- プロセスフロー (シリーズ型、カスケード型など) がCO₂分離性能に与える影響を評価し、プロセスの最適化が可能

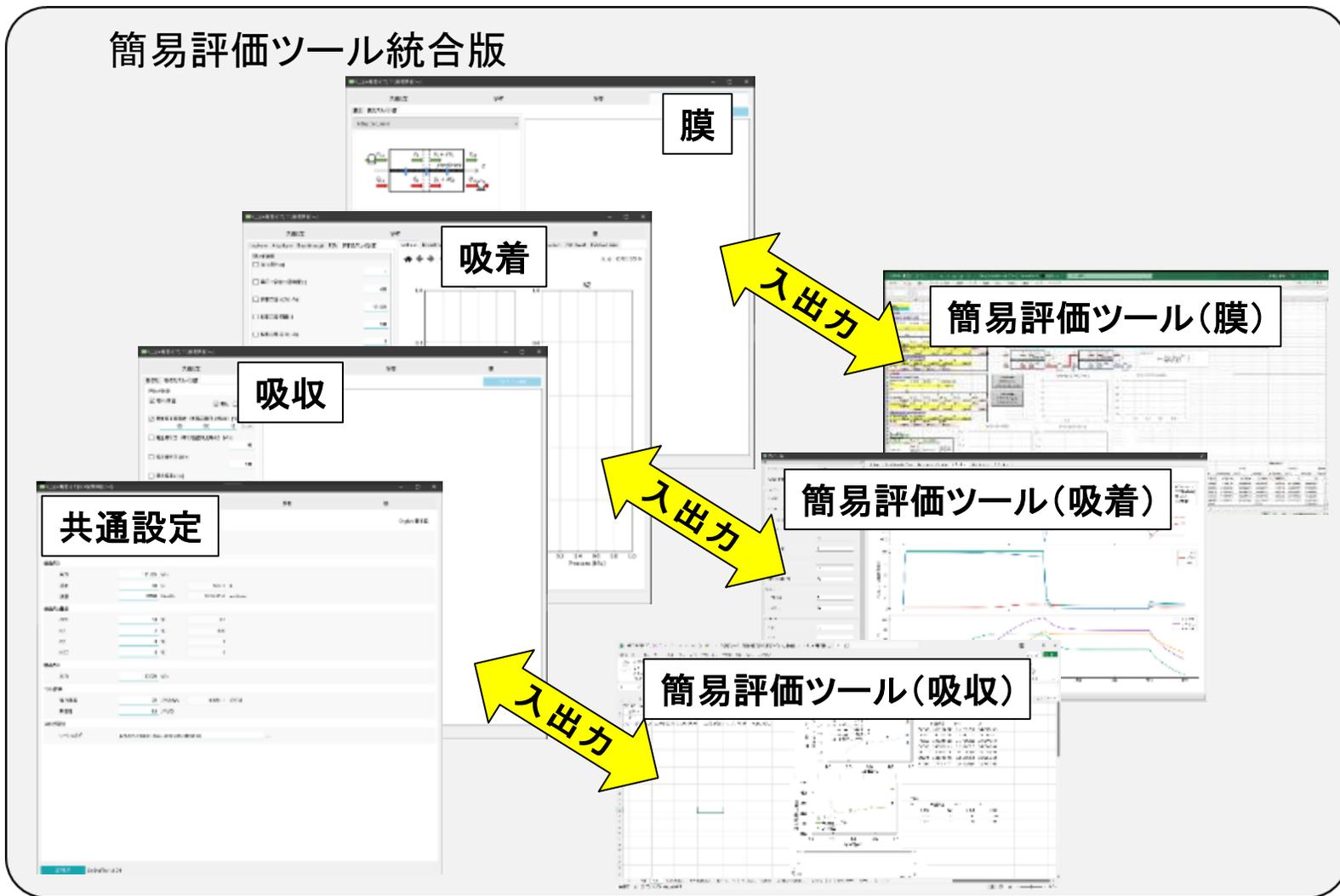
③ 3 段分離膜プロセスの簡易評価ツール

- プロセスフローおよび各モジュールに用いる膜の組み合わせの最適化が可能、3 段分離膜プロセスの簡易評価モデルを開発

2. 研究開発計画 / (2) 研究開発内容

研究開発項目の詳細

簡易評価ツール統合版の開発



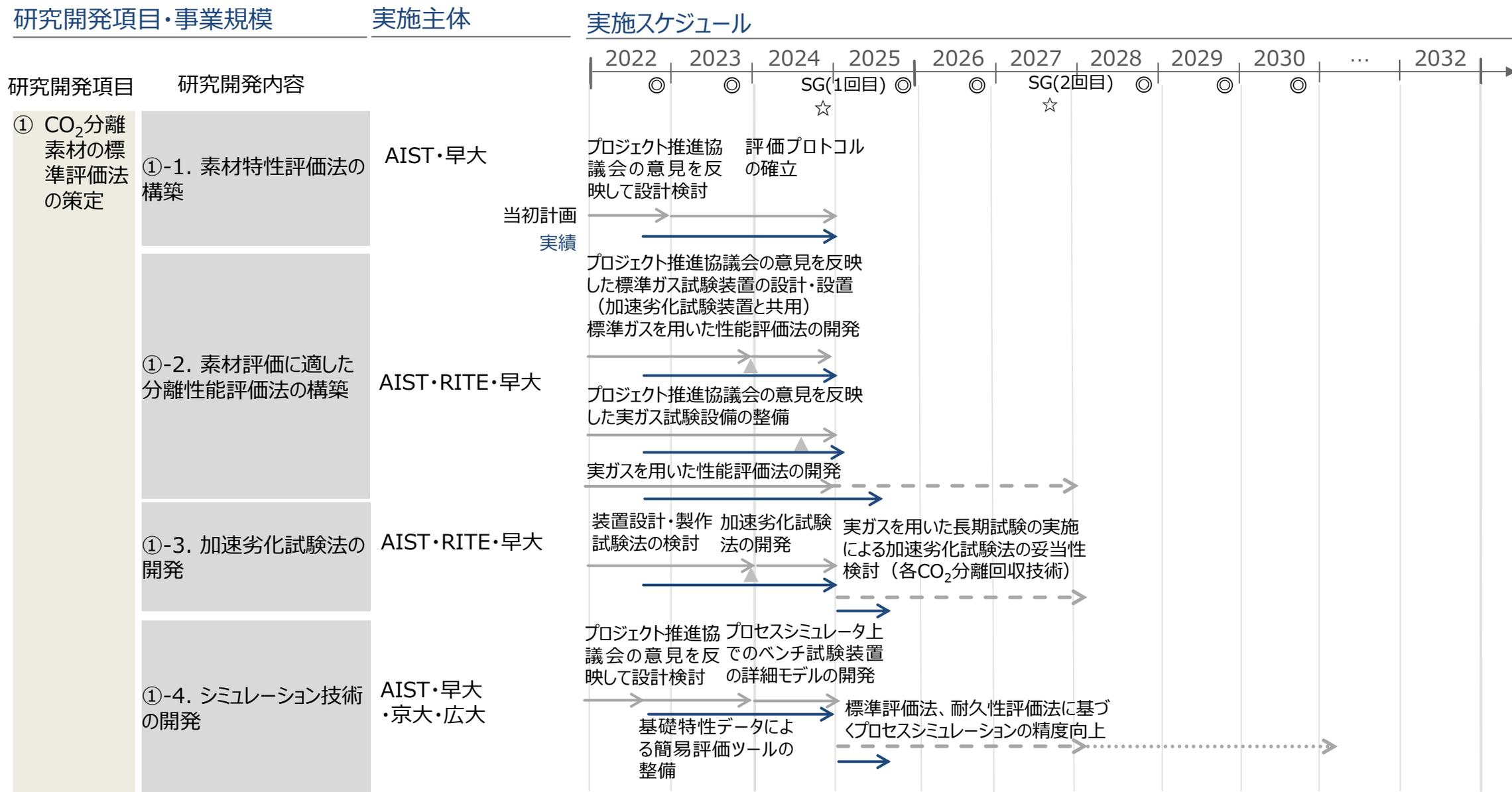
①簡易評価ツール統合版

- 吸収・吸着・膜の3プロセスの計算を一つのソフトウェアに統合して、操作性を向上
- 複数の計算パラメータに関するグリッド計算機能を備えて、簡易的な条件探索が可能

②整備・提供

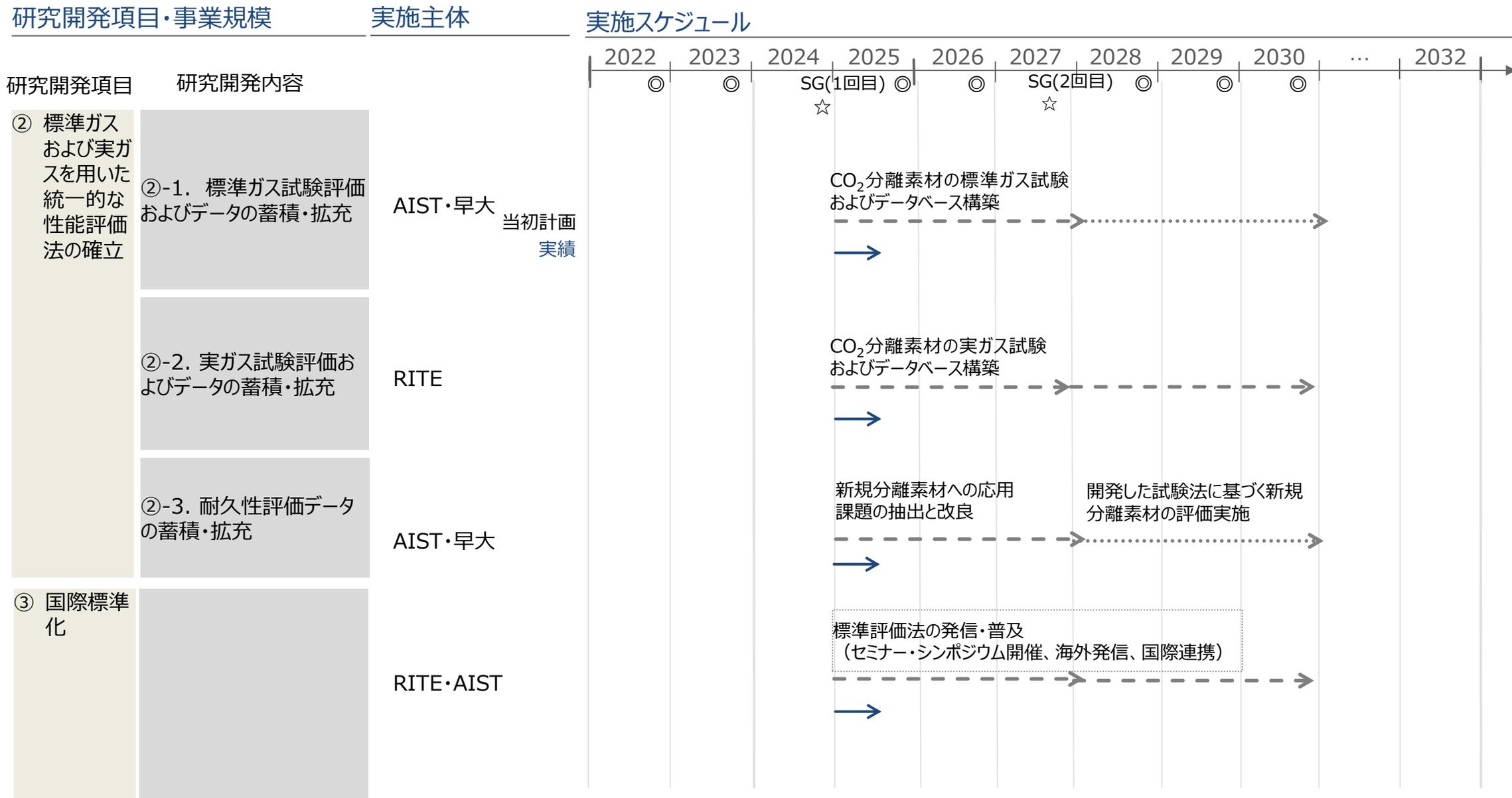
- 全体をパッケージソフト化して、素材開発者に整備・提供

2. 研究開発計画 / (3) 実施スケジュール



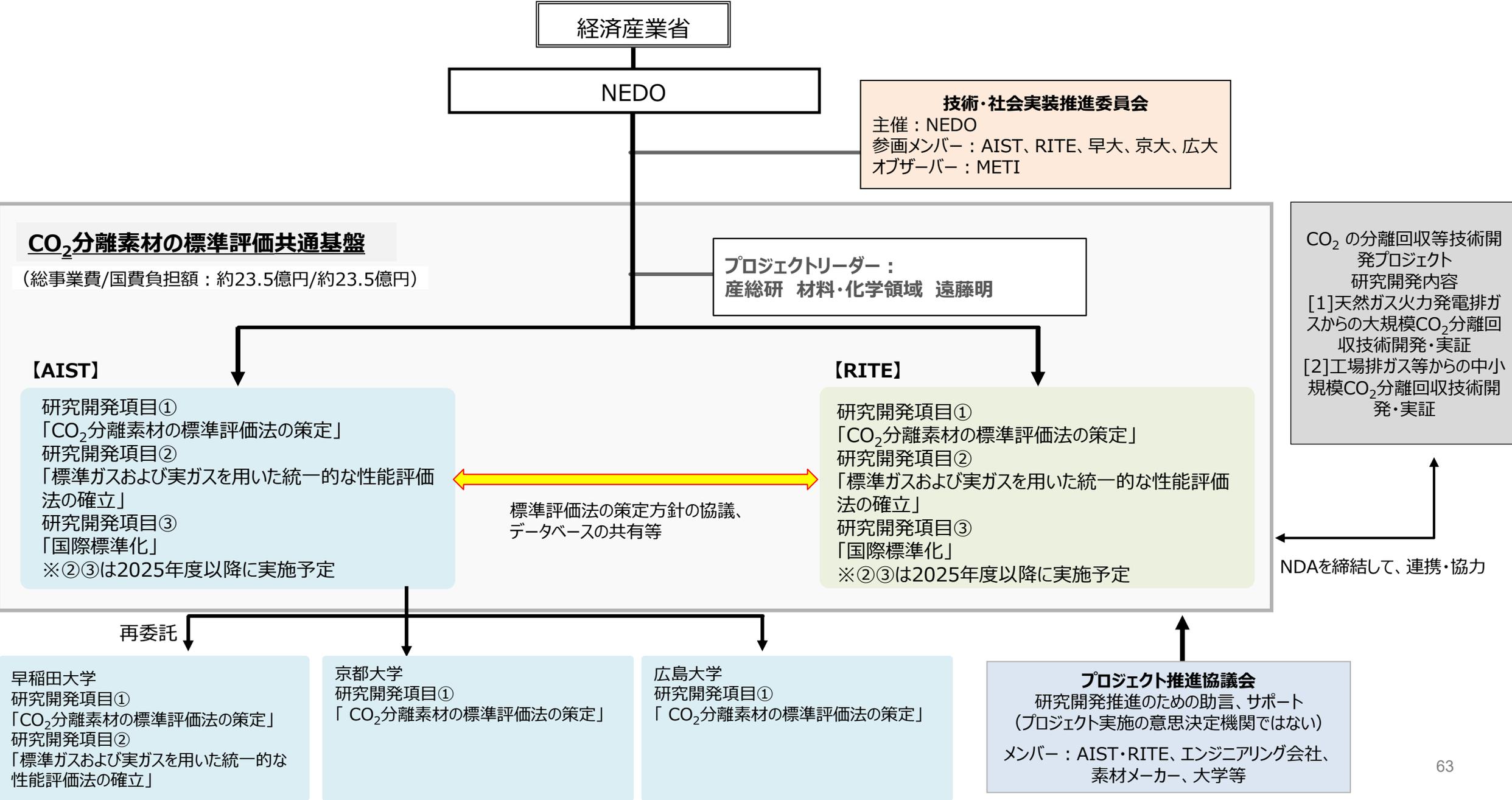
▲は主要設備導入時期
◎は技術・社会実装推進委員会（年2回以上予定）

2. 研究開発計画 / (3) 実施スケジュール



▲は主要設備導入時期
◎は技術・社会実装推進委員会（年2回以上予定）

2. 研究開発計画 / (4) 研究開発体制

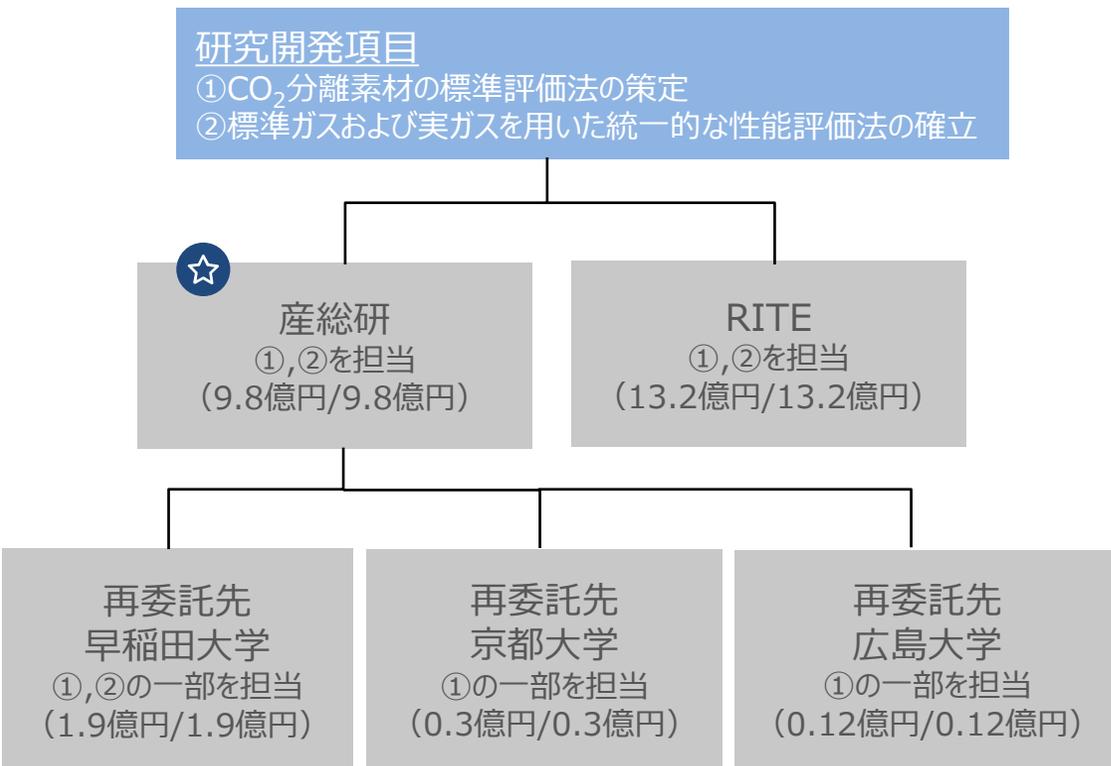


2. 研究開発計画 / (4) 研究開発体制

各主体の特長を生かせる研究開発実施体制と役割分担を構築

実施体制図

※金額は、総事業費/国費負担額



☆ 幹事企業

各主体の役割と連携方法

各主体の役割

- 研究開発項目①,②は産総研とRITEが共同で実施する。(早稲田大学、京都大学、広島大学に再委託)
- 産総研は、標準ガスによる素材特性評価法の構築、小スケールでの評価に適した分離性能評価法の確立、加速劣化試験法の開発、シミュレーション技術の開発、を担当する。RITEは、実ガス試験設備の設置、各種CO₂分離回収技術の分離性能評価法(材料の実ガス性能)の確立を行う。実ガス試験による加速劣化試験法の妥当性の検討を行う。
- 策定した標準評価法に従い、各種CO₂分離素材の性能評価を進め、データを蓄積・拡充する。標準分離素材をはじめ、新規に開発されたCO₂分離素材の性能評価にも適合するよう、適宜評価法の改良を進め、標準ガスおよび実ガスを用いた統一的な性能評価法を確立し、得られた性能評価に関するデータベースを公開する。

研究開発における連携方法(共同実施者間の連携)

- プロジェクト推進協議会の委員の意見を踏まえて適宜計画を見直し、研究開発を実施する。

共同実施者以外の本プロジェクトにおける他実施者等との連携

- プロジェクト推進協議会において、素材メーカーやエンジニアリング会社等と議論し、意見・ニーズを収集する。
- プロジェクト推進協議会は、他のGI基金PJ実施者も参加し、GI基金テーマ間で連携する。
- GI基金で開発された分離素材について、初期段階でその基本性能や劣化に関する評価を行う。評価材料の選定はプロジェクト推進協議会にて行う。

中小・ベンチャー(大学や研究機関も含めて) 企業の参画

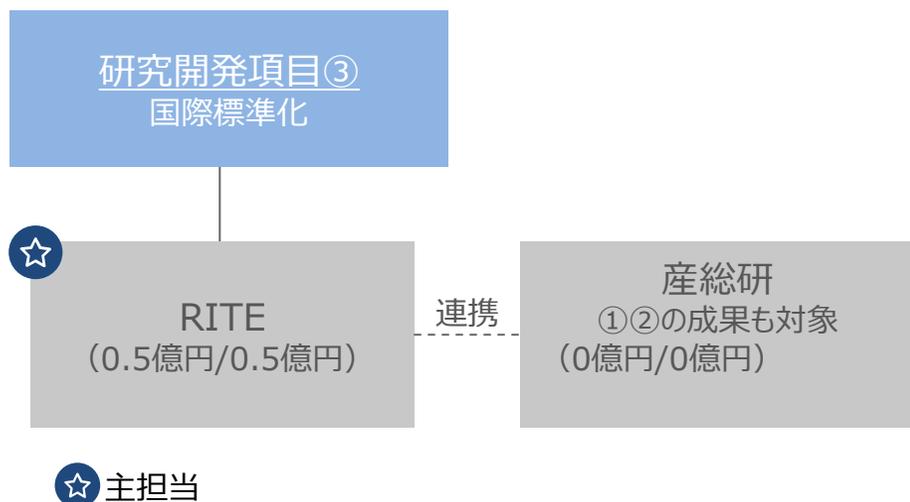
- 参画予定なし(但し、素材メーカー、エンジニアリング会社、大学等と同様に、標準評価法の確立および評価設備の設置後は、それらの利用者としての対象範囲に含まれる)

2. 研究開発計画 / (4) 研究開発体制

各主体の特長を生かせる研究開発実施体制と役割分担を構築

実施体制図

※金額は、総事業費/国費負担額



各主体の役割と連携方法

各主体の役割

- 研究開発項目③はRITEが行う。
- RITEは、構築したデータベースを基に分離回収要求性能の確立を行うとともに、標準評価法を公開して世界に向けて広く発信していく。
- 2027年度までの研究開発期間においても、ITCNメンバー等に本事業の活動情報を提供し、中立で公平性の高い評価方法の確立に向けて、意見を収集する。

研究開発における連携方法（共同実施者間の連携）

- **プロジェクト推進協議会においてユーザー企業と議論し、意見・ニーズを収集する。**
- プロジェクト推進協議会の委員の意見を踏まえて適宜計画を見直し、研究開発を実施する。
- 2027年度に研究開発項目①②（産総研主担当）が終了するが、標準ガスに関する標準評価法の国際標準化・普及に関して連携する。

共同実施者以外の本プロジェクトにおける他実施者等との連携

- 標準評価法の利用を拡げるため、プロジェクト推進協議会の参加者（特に、素材メーカー、エンジニアリング会社）の利用を促進する。

中小・ベンチャー企業の参画

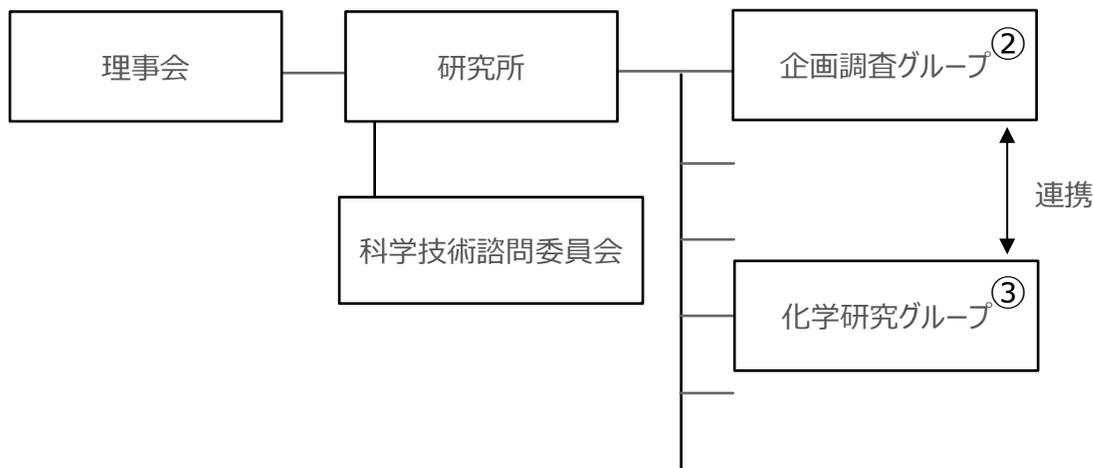
- 参画予定なし

2. 研究開発計画 / (4) 研究開発体制

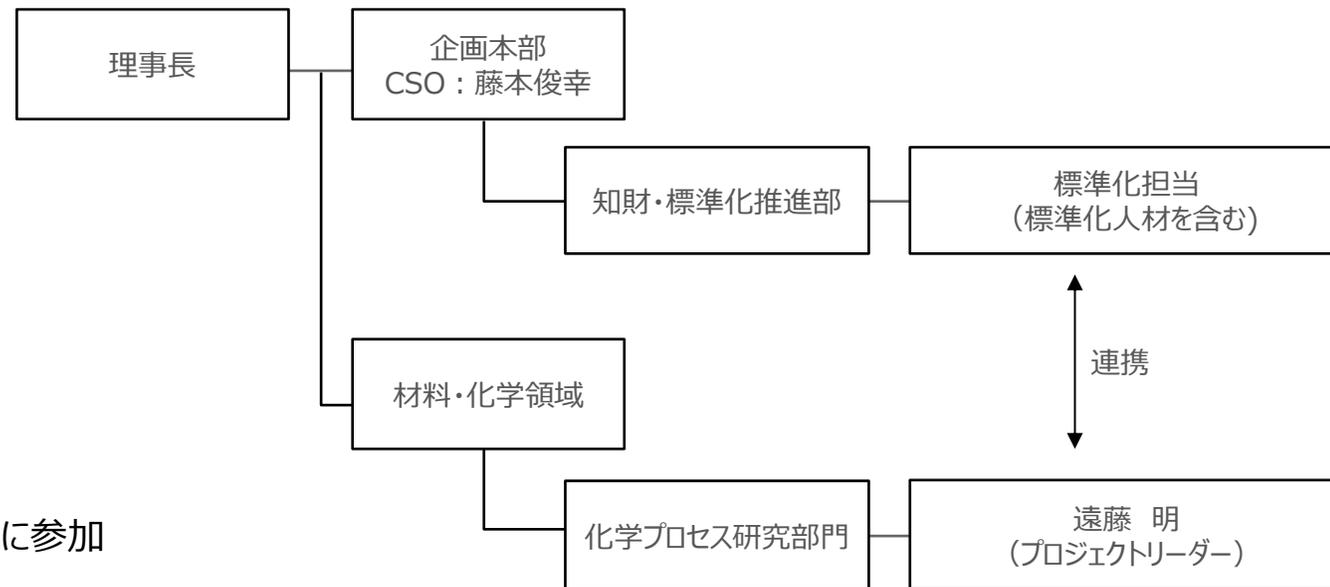
各主体の特長を生かせる研究開発実施体制と役割分担を構築 (国際標準化に向けた体制)

- RITEは二酸化炭素回収・貯留 (CCS) についてISO規格を作成するための専門委員会 **(ISO/TC265)** に対応する国内審議団体である。組織内での連携を深め、標準評価法の標準化戦略を検討し、本事業を進める。
- 産総研は組織内での標準化戦略を構築し、本事業の標準評価法の普及や国際標準化に向けてRITEと連携する。

組織内体制図 (RITE^①)



組織内体制図 (産総研^①)



① RITEはISO/TC265の国内審議団体、産総研も委員会/WG活動に参加

- ✓ 国内: 東井 (RITE) が回収WG主査を担当
- ✓ 国際: 日本がWG1 (回収) を主導

② 企画調査グループがISO/TC265の活動を実施

③ 化学研究グループが本事業「CO₂分離素材の標準評価共通基盤の構築」を実施

ISO/TC265

“Carbon dioxide capture, transportation, and geological storage”

- 2012年10月に設立
- Pメンバー 28か国, Oメンバー 17か国, リエゾン 10機関

2. 研究開発計画 / (4) 研究開発体制

ISO / TC265 WG1 (回収分野) の情報入手状況

WG1 (回収分野) における規格開発 (1 / 2)

| 標準文書 | 出版年 | タイトル | 提案国 |
|--|-------|--------------------------------------|-------|
| ISO/TR 27912 | 2016 | 様々な産業分野のCO ₂ 回収技術の技術報告書 | 日本 |
| ✓ CO ₂ 回収技術およびCO ₂ 発生源となる産業について個別に解説。 | | | |
| ISO 27919-1 (改訂作業着手) | 2018 | 発電分野燃焼後回収技術性能評価の国際規格 | 日本 |
| ✓ 火力発電所の燃焼排ガスを対象にCO ₂ 分離回収技術を設置した場合の回収技術の性能評価法を規格化 ✓ CO ₂ 分離回収を発電システムとの統合システムとして捉えている。 → CO ₂ 分離素材の評価では無く、プラントの性能評価 | | | |
| ISO 27919-2 | 2021 | 発電分野燃焼後回収性能維持の国際規格 | 日本 |
| ✓ 火力発電所に設置した燃焼後回収技術の性能維持に関する評価法を規格化 | | | |
| ISO/TR 27922 | 2021 | セメント産業のCO ₂ 回収技術の概要の技術報告書 | ノルウェー |
| ✓ 技術報告書TR27912で取り扱ったセメント産業の技術情報についての更新版 | | | |
| ISO 27927 (出版) | 2025 | 吸収液性能要素と測定方法の国際規格 | 中国 |
| ✓ 燃焼後回収技術 (化学吸収液) の性能要素の定義を規格化し、測定方法を参考情報として集約 → 吸収液の研究開発で一般的に使用される特性値、評価パラメーターを整理する。測定条件や技術判断基準は規格に含まない | | | |
| ISO 27928 (出版作業中) | 予2026 | 産業分野回収プラント性能評価方法の国際規格 | ノルウェー |
| ✓ 産業分野 (特に、鉄鋼、セメント、非鉄産業) へ適用したCO ₂ 分離回収技術の性能評価法を規格化 → ISO27919-1の産業分野版、プラントの性能評価。なお、排出源との統合はせず、適用先を広く一般化している | | | |

2. 研究開発計画 / (4) 研究開発体制

ISO / TC265 WG1 (回収分野) の情報入手状況

WG1 (回収分野) における規格開発 (2 / 2) ……2025年度の新たな提案

| 標準文書 | 出版年 | タイトル | 提案国 |
|---|------|---------------------------------------|-----|
| ISO/AWI 27934 | 2028 | CO ₂ 排出源のレトロフィッティング適合性評価方法 | 中国 |
| <ul style="list-style-type: none">✓ 既存の化石燃料施設へのCCS導入の需要が急速に拡大しており、技術的適合性を評価し、最適なプロジェクトを選定することが重要となっており、本提案では、既存の化石燃料施設にCO₂回収技術を導入する適合性を評価する方法論を提供する。✓ 適合性評価は、プロジェクトの優先順位の決定や、投資決定など意思決定を支援する。 | | | |
| ISO/AWI TR 27935 | 2027 | バイオマス利用技術概要 | 中国 |
| <ul style="list-style-type: none">✓ バイオエネルギー-炭素回収 (BECC) の概念と各ルートにおける最新の進展や課題を紹介する技術報告書 (TR) | | | |

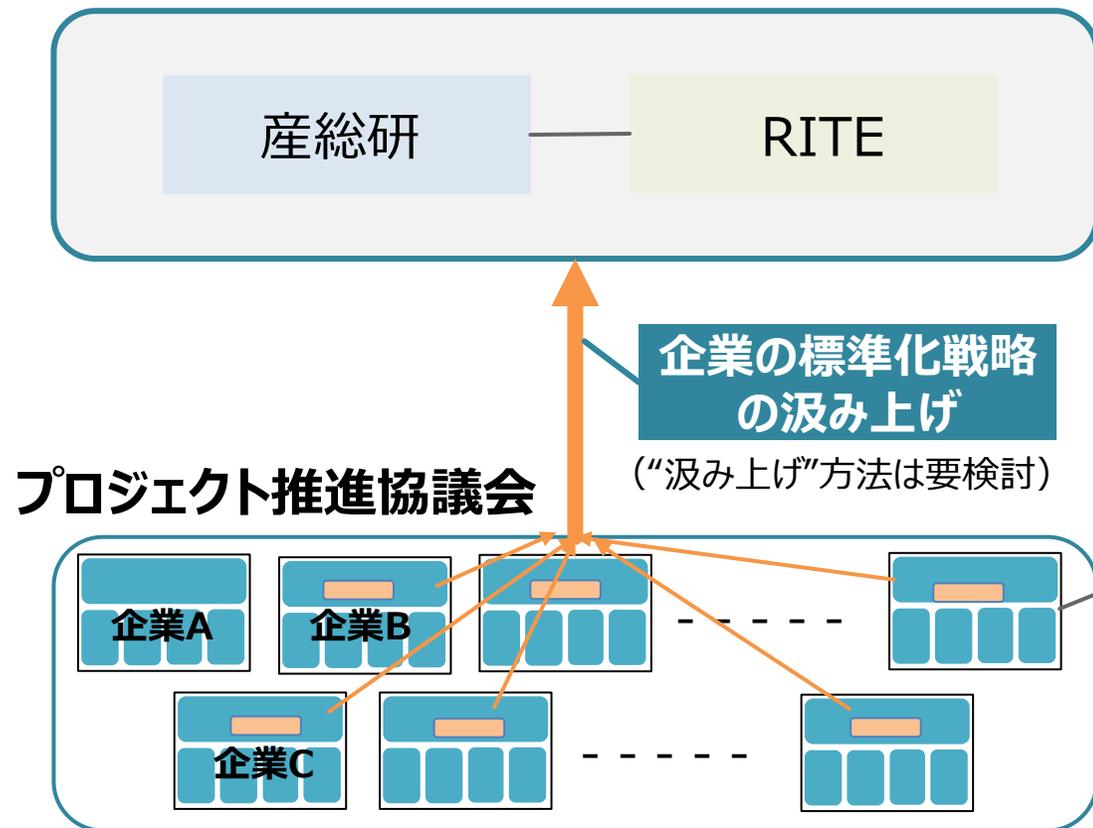
● 今後の提案が検討されている回収分野関連テーマ

1. DAC (Direct Air Capture) ……米国→中国
 - ✓ 中国からTRの提案。DACのトピックスはWG1において実施する方向。
2. OCCS (Onboard CCS) ……ノルウェー
 - ✓ TC8 (海洋GHG削減) で検討、航行中に排出するCO₂をその場で回収・貯蔵する技術。
3. エミッション & モニタリング ……中国
 - ✓ アミンを用いたCO₂回収プラントの排ガスのモニタリングとその管理手法 (TR提案)。WG1で今後取り扱う予定。
4. ケミカルルーピング ……中国
 - ✓ CO₂回収のためのケミカルルーピング技術の原理と応用。

2. 研究開発計画 / (4) 研究開発体制

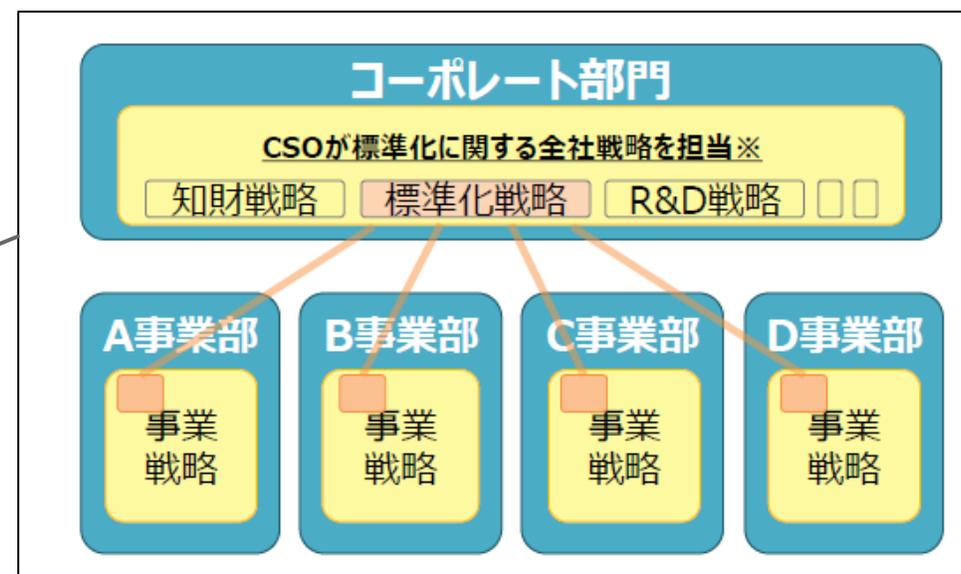
各主体の特長を生かせる研究開発実施体制と役割分担を構築 (企業との連携: 標準化戦略の汲み上げ)

CO₂分離素材の標準評価共通基盤



素材企業やエンジニアリング企業、GI事業の研究開発項目①②の実施企業が参加

各企業の体制イメージ (最高標準化責任者 (CSO) 設置企業の場合)



企業体制は次の資料中の「最高標準化責任者 (CSO) のイメージ」図を転載。「黒田, “標準化をめぐる最近の動向と自動運転に関する標準化の取組”, 自動運転の国際的なルール作りについてのシンポジウム, 2020年12月4日

2. 研究開発計画 / (4) 研究開発体制

各主体の特長を生かせる研究開発実施体制と役割分担を構築 プロジェクト推進協議会

プロジェクト推進協議会の役割

- 実ガスおよび標準ガスを用いた標準評価法の評価項目や条件について議論する。
- 加速劣化試験の試験方法や試験条件について議論する。
- 標準評価法および加速劣化試験を実施すべきサンプルについて議論する。
 - ✓ 標準分離素材
 - ✓ GI基金研究開発内容①,②の分離素材
 - ✓ 新規分離素材 他

メンバーの選考基準

- 下記条件のいずれかに該当する企業等に対して、メンバーへの参画を打診し、実施者の同意が得られた者をメンバーとする。
 - ✓ CO₂分離回収素材のユーザー企業、または将来ユーザーとなり得る企業
 - ✓ CO₂分離素材を開発している素材メーカー
 - ✓ CO₂分離回収プロセスを開発しているエンジニアリング会社
 - ✓ GI基金研究開発内容①,②の実施企業
 - ✓ CO₂分離回収技術に精通する有識者

備考

- 標準評価法/加速劣化試験法の仕様や、評価対象とするサンプルを決定するにあたっては、プロジェクト推進協議会での意見を踏まえる。
- プロジェクト推進協議会のメンバーとして参画する素材メーカーやエンジニアリング会社との連携を図る。
- 定期的な全体会合を年2回程度（下表）設定する。また、会議形式にとらわれず個別課題には柔軟に対応する。

スケジュール案



2. 研究開発計画／（4）研究開発体制

各主体の特長を生かせる研究開発実施体制と役割分担を構築 プロジェクト推進協議会

【進捗状況】

- プロジェクト推進協議会の運営体制を検討、決定
- 協議会メンバーとして、GI基金①,②実施者を含む24名の委員を任命
- 第1回協議会を2023年1月10日、第2回協議会を2023年3月22日、第3回協議会を2023年10月26日に開催、第4回協議会を2024年4月16日に開催、第5回協議会を2024年9月27日に開催、第6回協議会を2024年12月20日に開催予定。

委員構成

素材メーカー 8名、エンジニアリング会社 7名、ユーザー企業 4名、大学・研究機関等 5名（うち、GI基金①,②実施者12名）

各協議会での議論内容

- 第1回協議会は、委員19名、PJ実施者12名、NEDO2名が参加。AIST/RITEより、本プロジェクトの概要説明や協議会の趣旨について説明し、今後の協議会の運営等について各委員から意見を伺った。
- 第2回協議会は、標準評価法の策定に向け、各研究開発項目について実施者から説明を行い、各委員から質問や意見を伺った。
- 第3回協議会は、昨年度に作成したCO₂分離素材の標準評価法の素案を元に、各研究開発項目について検討状況を報告し、試験方法や試験条件等について議論した。
- 第4回協議会は、各研究開発項目の進捗についての報告に加え、実ガス試験センター及び海外情報の収集と成果発信、国際標準化に関する動向について説明・議論がなされた。

第5回プロジェクト推進協議会@産総研東北センター



- 第5回協議会では、産総研東北センターにて装置見学会を実施。2023年度に納入された吸着法・膜分離法の分離性能試験装置及び加速劣化試験装置を委員に紹介し、試験条件等について具体的な議論がなされた。また、2025年度以降の素材受入に向けた体制や受入手順の案を説明し、各委員から質問・要望を伺った。
- 第6回協議会では、第5回協議会での議論を元に素材受入体制の改訂案を提示して議論を行う予定。また、各分離回収技術について、外部サンプル評価の際の要望等について、意見を伺う予定。

2. 研究開発計画 / (4) 研究開発体制

各主体の特長を生かせる研究開発実施体制と役割分担を構築 プロジェクト推進協議会

プロジェクト推進協議会で議論された内容

| 質問・意見・要望等 | 意見等を踏まえた検討状況 |
|---|--|
| 標準ガスを用いた試験に対する要望： <ul style="list-style-type: none">・ ドライ条件だけでなく、水蒸気共存下での評価・ NO_xの影響に関する評価 | <ul style="list-style-type: none">・ 水蒸気共存下での基礎特性評価、分離性能評価、加速劣化試験について、予算の範囲で検討を進める・ NO_xガスを導入する設備は、東北センターに設置して評価を実施（NO/NO₂比は固定） |
| 実ガスを用いた試験に対する要望： <ul style="list-style-type: none">・ PSA：到達真空度の向上・ 膜分離：単膜での実ガス耐久性を評価する試験設備・ TSA：予算不足により割愛した設備の復活・ 将来の拡張性も考えた設備 | <ul style="list-style-type: none">・ 現案は保証値なので、今後精査し、費用が許せば増強も考える・ 単膜、TSAは追加予算として要望していく・ 設備および建屋に余裕を持たせた設計として進める |

個別ヒアリングで議論された内容

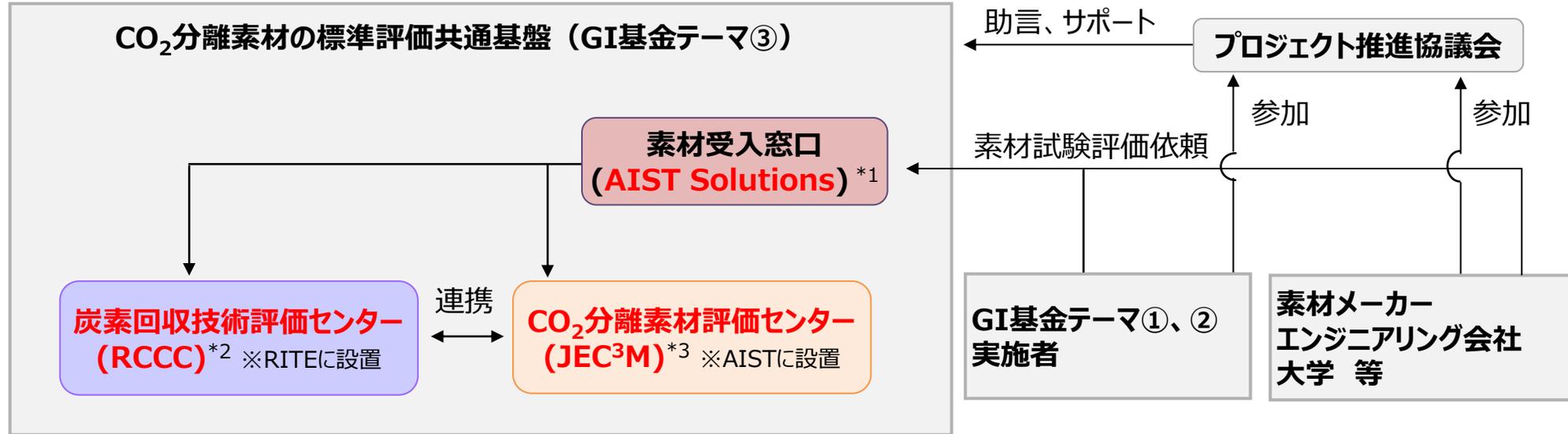
- ・ 現PJを進めるうえで、素材開発は一定の目途。今後は量産化とパイロット試験での耐久性が焦点。
- ・ 耐久性の評価として、加速劣化試験と実ガス試験センターに期待。利用の目途は2025年夏ごろ。



できる限り早い段階で利用できるように進める。

2. 研究開発計画 / (4) 研究開発体制

素材受入窓口の運用開始



素材受入窓口：素材評価のファイアウォール構築に重要となる組織、AIST Solutions(AISol)に設置

炭素回収技術評価センター(RCCC)：実ガス試験設備を設置・運用するRITEを中心とするチーム

CO₂分離素材評価センター(JEC³M)：標準ガス試験での評価・簡易評価ツール提供を担当とするAISTを中心とするチーム

プロジェクト推進協議会：プロジェクト実施者、GI基金①②実施者、素材メーカー、エンジニアリング会社等で構成

*₁AIST Solutions (AISol)：2023年度に設立。企業と産総研との共同研究、受託（請負）研究及び技術コンサルティングについて、AISolが契約主体となり契約手続きを行い、産総研グループとして事業を推進

*₂RCCC：RITE Carbon Capture Center

*₃JEC³M：Japan Evaluation Center for CO₂ Capture Materials

2. 研究開発計画 / (4) 研究開発体制

素材受入窓口の情報発信

お披露目会の開催

日時：2025年6月25日（水）13:30～15:30 @RITE

参加者 外部45名、RITE19名 計64名

次第：開会挨拶（RITE本庄専務理事）

来賓挨拶（METI西田課長、NEDO福永部長）

ビデオメッセージ（元NCCC Director Frank C. Morton氏）

事業概要説明（RITE後藤主任研究員）

設備見学

閉会挨拶（RITE余語グループリーダー）

報道関係の取材



パンフレットの作製



ホームページ上での発信



標準材による実ガス標準評価法を確立し、受入れ試験を通じて国内のCO₂分離素材開発を支援します。

1. 炭素回収技術評価センターの設立経緯と目的

日本のCO₂回収技術は、材料研究からプラント開発までの全ての領域において海外技術に対する優位性を築いてきました。カーボンニュートラル実現に向けて、世界規模で成長するCO₂分離回収市場でのシェア拡大には国内企業の更なる競争力強化が不可欠です。しかし、国内には実際の燃焼排ガス（実ガス）を用いたCO₂分離素材を評価する公正で中立的な試験センターが無く、これまで一部の企業は海外の試験センターを利用していました。この状況を打破すべく、RITEは、2022年度にグリーンイノベーション基金事業「CO₂分離素材の標準評価基盤の確立」を両立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）から受託し、実ガスを用いたCO₂分離素材の評価試験を行う共通基盤の設計、製作、設置を経て、2025年度に国内初となる炭素回収技術評価センター（RCCC：RITE Carbon Capture Center）を開業しました。

2. 研究開発計画 / (5) 技術的優位性

国際的な競争の中においても技術等における優位性を保有

研究開発項目

活用可能な技術等

競合他社に対する優位性・リスク

1

- CO₂分離素材の標準評価法の策定
- ①-1 素材特性評価法の構築
- ①-2 素材評価に適した分離性能評価法の構築
- ①-3 加速劣化試験法の開発
- ①-4 シミュレーション技術の開発

2

- 標準ガスおよび実ガスを用いた統一的な性能評価法の確立

4

- 国際標準化

- 産総研および再委託先大学では、CO₂分離回収技術に関する研究開発実績が豊富であり、標準評価法の構築に不可欠な装置やプロセスシミュレーションモデルを既に保有。
- RITEが下記技術開発において蓄積している材料評価技術、ノウハウ、経験等。
 - ✓ 高炉ガスを対象とした吸収液開発
 - ✓ 石炭燃焼排ガス等を対象とした吸収材開発
 - ✓ 石炭ガス化ガスを対象とした分離膜技術開発
- 産総研では、分離素材の劣化要因の研究実績があり、分離回収エネルギーに与える影響もシミュレーションによる予測も試行中。
- RITEは、各CO₂分離回収技術における標準ガス及び実排ガスによる素材の耐久性試験実績を有する。

- 国際会議等を通じて国際的な研究者ネットワークを構築。
- RITEは、国際テストセンターネットワーク (ITCN) の研究者、技術情報のネットワークを有する。
- RITEは、ISO/TC265の国際・国内活動を主導する。

- 産総研はCO₂分離回収・資源化コンソーシアム（2022年10月6日時点、法人会員101法人、大学等特別会員65名）を有し、排出源、分離素材、エンジ、CO₂利用まで広く連携体制を構築している。
- 産総研保有の高度な分析装置群の利用により劣化試料のキャラクタリゼーションを迅速に行うことが可能である。
- RITEは、吸収法、吸着法、膜分離法と異なるCO₂分離回収技術全てに取り組んでいる。
 - ✓ 吸収液技術の成果は国内企業により実用化済。
 - ✓ 無機膜分野において産業化戦略協議会（企業16社、大学有識者6名参加）の産学連携組織を有し、ユーザー企業や有識者との連携体制が構築されている。
- 研究開発の実施主体の保有設備を活用することで早期に標準分離素材での評価試験に着手可能である。
- 素材の劣化耐久性の評価に関して、標準ガス、実ガス試験の知見に基づくノウハウを活用できる。

- RITEはIEAGHG主催の国際会議GHGTやPCCCの国内開催のホストを担当している。
- ITCNの国内唯一のメンバーである。
- TC265/WG1(回収)のコンビーナ、セクレタリーをRITEが務めている。

4. その他

4. その他 / (1) 想定されるリスク要因と対処方針

研究開発（技術）におけるリスクと対応

- 取得データの情報漏洩のリスク
→ 素材提供側は特許出願等の知財保護を済ませた上で、守秘義務契約を結ぶ等の対策を講じておく。
- 耐久性評価手法開発のリスク
→ 分離素材ごとに影響因子を整理して劣化メカニズムを想定し、耐久性評価を短時間化できる試験方法を確立するが、予測確度と評価時間削減率はトレードオフになる可能性があり、その情報も併せて公開する。

その他（研究開発責任者等）におけるリスクと対応

- 研究開発責任者やチームリーダー等中心人物が何らかの理由でプロジェクトに参画出来なくなった場合、組織としてどう継続性を担保するか
→ RITEにおいては、CO₂排出削減技術の開発はRITE設立の趣旨でもあり、組織をあげて、温暖化対策技術に取り組むことを宣言をしており、仮に研究開発責任者が何らかの理由でプロジェクトに参画出来なくなった場合においては、十分な業務遂行能力を有する者が研究開発責任者に着任する体制を構築している。

社会実装（経済社会）におけるリスクと対応

- 構築した標準評価プロトコルがユーザー（素材・エンジニアメーカー）のニーズと一致しないリスク
→ 想定ユーザーを中心にプロジェクト推進協議会を構築し、客観性・信頼性を担保する。
- 事業期間中の被分離ガスの趨勢が変化するリスク
→ 劣化主要因は本事業で発生可能であり、想定ユーザーを中心に構築したプロジェクト推進協議会を通じて実ガス評価方法の変更の承認を得る。

その他（自然災害等）のリスクと対応

- 自然災害発生による試験中断のリスク
→ 3種の分離回収技術を同時並行に進め、標準ガスと実ガス評価の拠点を分散させることにより、一方が機能しなくなってもある程度の評価が可能であり、リスク回避にもなっている。
→ 実ガス試験は排ガス源をパッケージボイラーとしており、機器取換、設備修繕等が容易であることから中断期間を低減できる。



- 事業中止の判断基準：標準評価基盤構築事業のため、中止の判断基準は設けない