

大規模なCO₂-メタネーションシステムを用いた導 管注入の実用化技術開発

**契約件名：カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発／
CO₂排出削減・有効利用実用化技術開発／
気体燃料へのCO₂利用の研究開発**

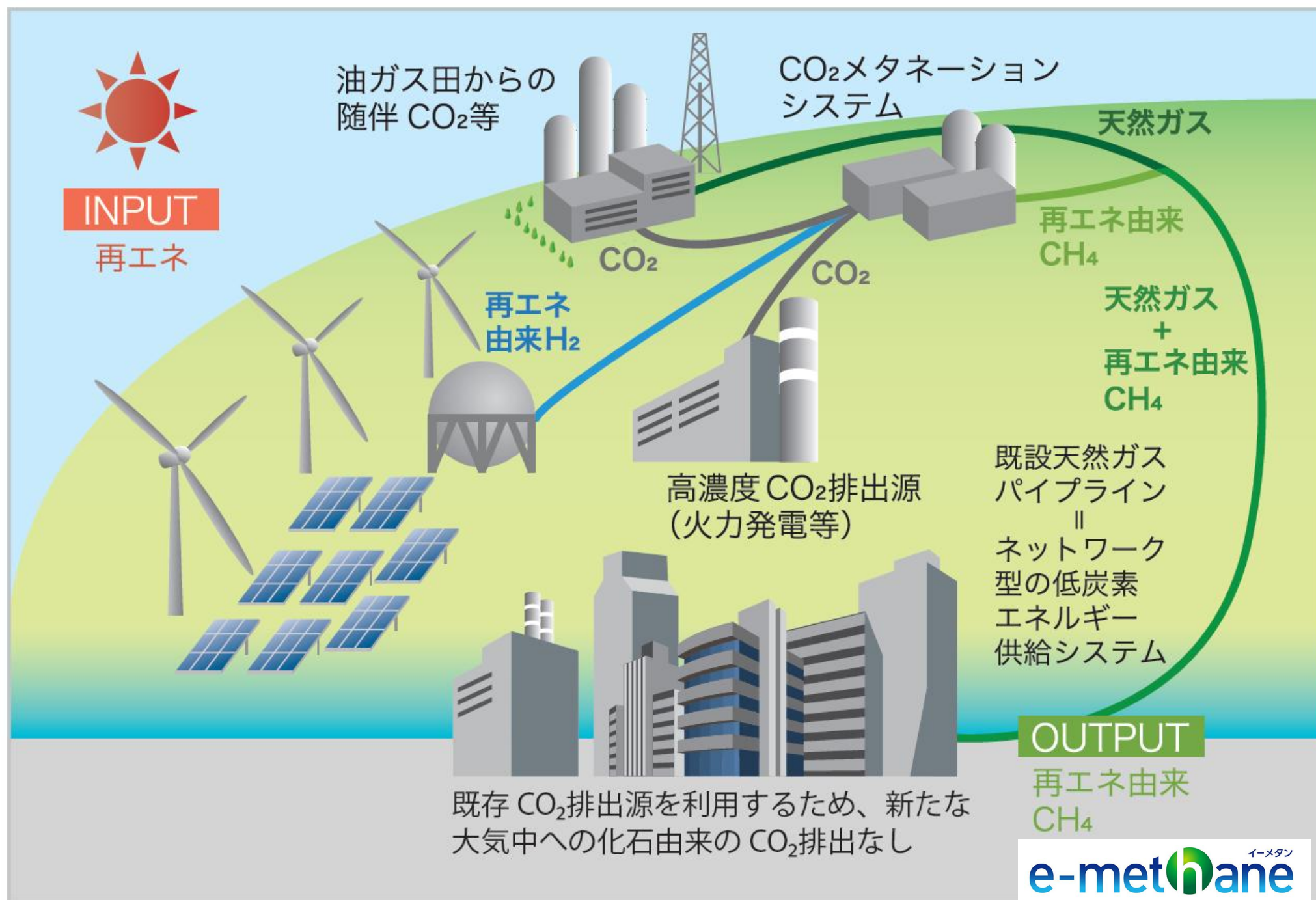
発表：2026年07月21日

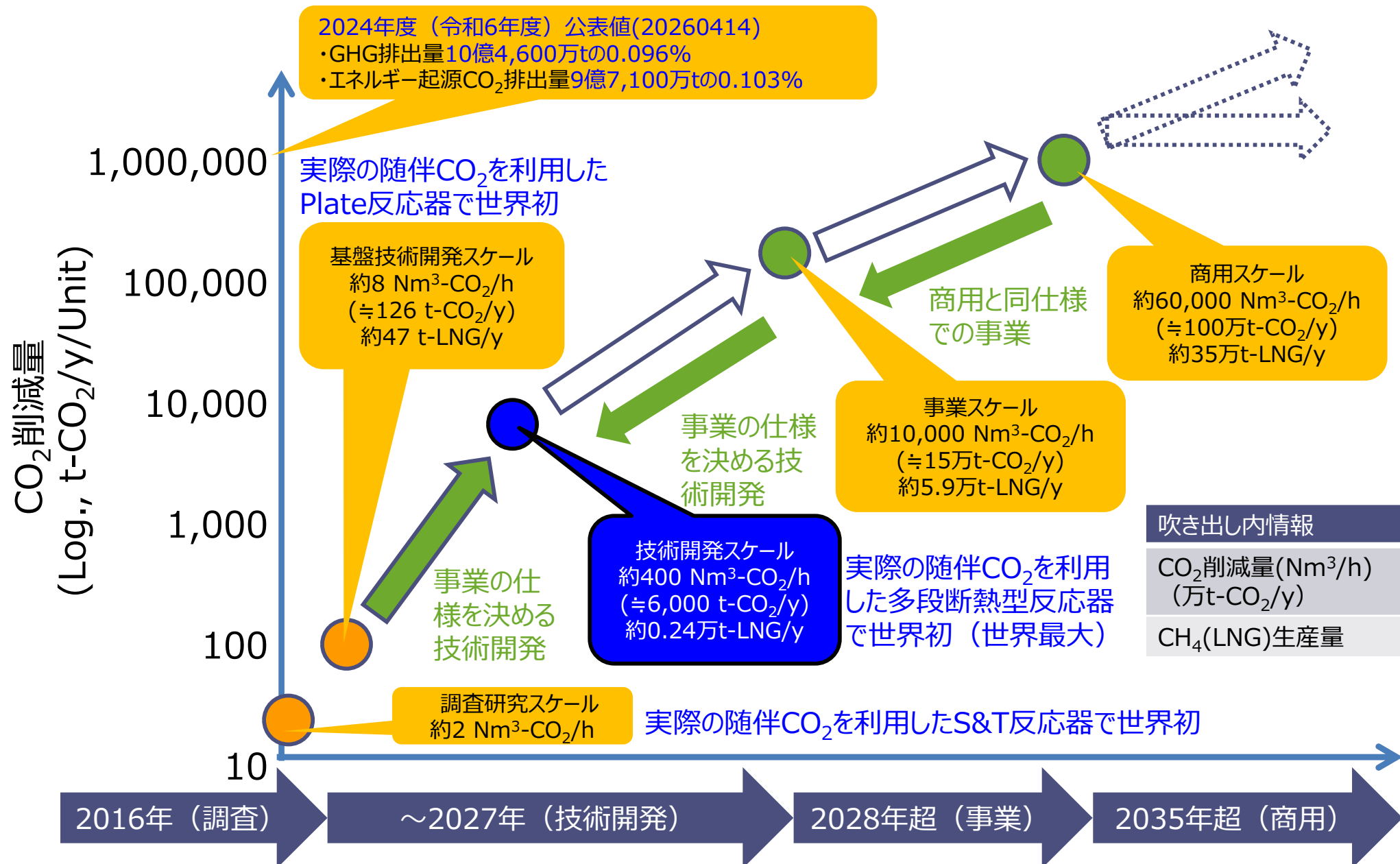
国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

発表者名：若山 樹 Ph.D

団体名：（株）INPEX, 大阪ガス（株）, （国）東海国立大学機構 名古屋大学, （株）INPEX JAPAN

問い合わせ先：（株）INPEX, e-mail: tatsuki.wakayama@inpex.com





スケールアップによるコストダウンを補完する段階的な技術開発が必要。

GHG: Green House Gas, LNG: Liquefied Natural Gas, CAPEX: Capital Expenditure, S&T: Shell and Tube

研究項目	2025年度目標	進捗 評価	達成根拠（達成の場合は必須） 又は未達理由と対応策
①-1 反応速度モデルの 構築	高圧下での積分反応器による反応速度 データ取得実験を実施する	○	実触媒を用いた積分反応器試験との突合せによる速度モデルの堅牢性評価を継続。高圧積分反応器の納期遅れのため代替試験での検証を進めつつ、年度内に精度および適用範囲検証、モデルチューニングを完了済。
①-2 反応器の熱流体シ ミュレーション	最適な反応器形状や操作条件の決定に 活用する。	○	①-1 で得た高圧対応速度モデルを 400 Nm ³ /h 規模の熱流体解析に実装しプレ検討を実施済。結果に基づき、10,000 Nm ³ /h 大規模計算に向けた課題整理と計算方針を策定し、事業スケール反応器のサイジング・設計のための予測基盤を作成済。
①-3 熱劣化触媒の反応 速度評価	劣化触媒の高圧下での反応速度データの 取得実験を実施する。	○	強制劣化触媒の高圧下での反応速度測定を実施し、その結果に基づく反応器シミュレーションにより反応器性能への影響を定量化。
①-4 反応器性能の経時 変化の予測	反応器性能の経時変化の予測実験実施、 転化率の経時変化を計算する。	○	試験結果との比較が可能となるように、当該モデルの積分反応器シミュレーションへの実装を年度内に実施済。

達成：○ 未達：×

全ての研究開発項目において、2025年度目標を、達成済。

- 微分・積分反応器によるラボ試験で得られた知見を実証機・事業スケール反応機へ段階的に展開。
- 粉末触媒で得られた固有反応速度を出発点とし、実触媒・積分反応器での温度分布と生成ガス組成データに基づいて補正・検証したうえで、実証規模および商用規模反応器へ展開。

Step 1 : 粉末触媒・微分反応器

高圧条件下で固有反応速度を取得。
Xu-Fromentモデル（3段反応）をベースに、**75条件・最大3 MPa**の実測データでパラメータを決定。



微分反応器

Step 3 : 400 Nm³/h 実証規模反応器

数値流体力学（CFD）シミュレーションにより、流動、伝熱、反応進行を可視化。クーラントの流動、温度分布、生成ガス組成を予測し、実証データと比較・検証。



長岡400 Nm³/h 実証設備



Step 2 : 実触媒・積分反応器

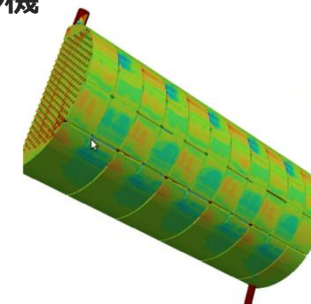
実粒子、実流速、実温度分布でモデルを検証。C（スケールアップファクター）、U（総括伝熱係数）、温度プロファイルを通じて、実反応器挙動との整合性を確認。



高圧積分反応器

Step 4 : 10,000 Nm³/h 事業スケール機

商用機を対象とする大規模CFDシミュレーションへ展開。
流動偏在、局所高温、除熱不足などの設計上のリスクの事前可視化。



事業スケール機 10,000 Nm³/h CFD

展開フロー： 反応速度 → 実粒子補正 → 伝熱・流動 → 実証機検証 → 事業スケール機性能予測

<2025年度目標>

- 高圧下での積分反応器による反応速度データ取得実験を実施する。

<これまでの進捗>

- 最大3.0 MPaの高圧・微分反応条件下（全75条件）において、本事業採用触媒の反応速度評価を網羅的に実施し、実測データを高精度に再現可能な反応速度モデルを構築。
- 積分反応器を用いた実触媒反応速度測定実験(<1.0 MPa)の実施と、1次元プラグ流反応器モデルによる計算結果との比較による反応速度モデルのチューニングを完了。
- 得られた速度パラメーターをプロセスシミュレーターへ実装可能な形で整理し、事業スケール（10,000 Nm³/h級）反応器のサイジングおよび設計検討に活用。

<目標達成度>

- 予定通り達成。

<課題>

- 高圧(>1.0 MPa)下、高流速下におけるモデル適用可否の検討。

<課題対応策>

- 高圧対応積分反応器試験結果の解析。

<高圧下(3 MPa)における反応速度の実測と実測データフィッティングによる反応速度パラメーターの決定>

加圧流通型触媒固定床反応器



反応速度モデル

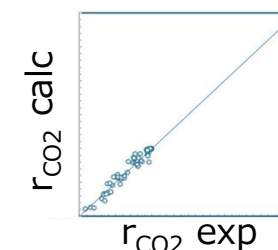
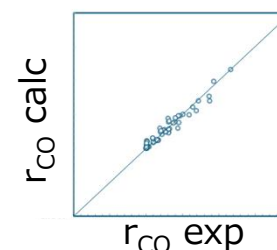
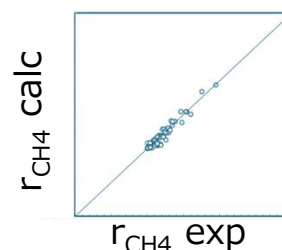
$$r_{CO2meth} = \frac{k_{CO2meth}}{p_{H_2}^{3.5}} \left(p_{H_2}^4 p_{CO_2} - \frac{p_{CH_4} p_{H_2O}^2}{K_{eq,CO2meth}} \right) / (DEN)^2$$

$$r_{COmeth} = \frac{k_{COmeth}}{p_{H_2}^{2.5}} \left(p_{H_2}^3 p_{CO} - \frac{p_{CH_4} p_{H_2O}}{K_{eq,COmeth}} \right) / (DEN)^2$$

$$r_{RWGS} = \frac{k_{RWGS}}{p_{H_2}} \left(p_{H_2} p_{CO_2} - \frac{p_{CO} p_{H_2O}}{K_{eq,RWGS}} \right) / (DEN)^2$$

$$DEN = 1 + K_{CO} p_{CO} + K_{H_2} p_{H_2} + K_{CH_4} p_{CH_4} + \frac{K_{H_2O} p_{H_2O}}{p_{H_2}}$$

<メタネーション反応における各化学種の生成・消費速度 (mol/s/g-cat)のモデル計算値 vs 実測値のパリティプロット>



<決定したパラメーター（データ未載）>

	速度定数			吸着定数				平衡定数		
	COmeth	RWGS	Sabatier					COmeth	RWGS	Sabatier
	k ₁ ,	k ₂	k ₃					K ₁	K ₂	K ₃
				K _{CO}	K _{H2}	K _{CH4}	K _{H2O}			

2025年度に名古屋大学に導入された高圧積分型反応器：各種構成機器

高圧下(>3 MPa)での反応速度モデルの適用性を検討するために、
高圧下でも運用可能な積分反応型反応器を導入。

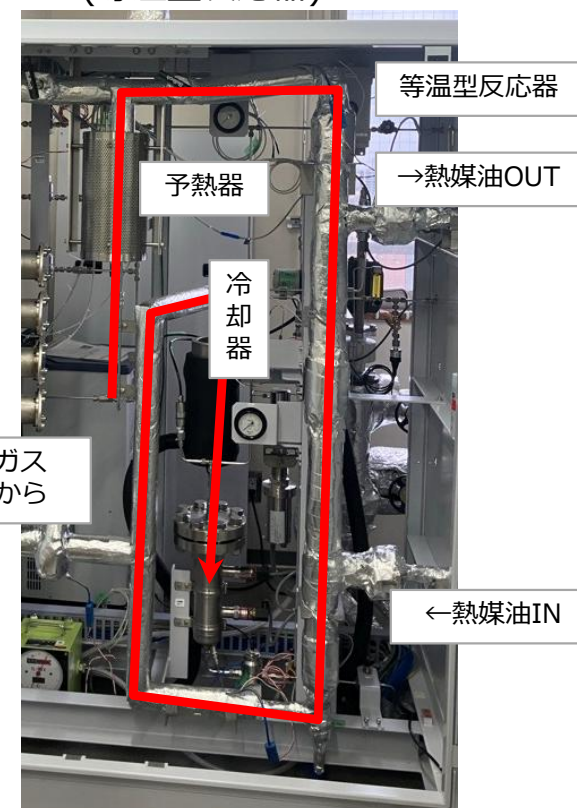
高圧実験装置本体



全景



ガスの流れ
(等温型反応器)



＜2025年度目標＞

- ・最適な反応器形状や操作条件の決定に活用。

＜これまでの進捗＞

- ・①-1で得た高圧対応速度モデルを400 Nm³/h規模の熱流体解析（CFD）に実装した大規模計算を完了。結果に基づき、10,000 Nm³/h大規模計算に向けた方針を策定済。
- ・等温型反応器のシェル側クーラント流動について、渦巻きやよどみなどの異常流動は認められず、反応器内の冷却流路が良好に機能していることを確認。
- ・提案する反応器形状および運転条件の妥当性を数値的に検証、今後の最適な反応器形状および操作条件の検討に資する基礎データを取得。

＜目標達成度＞

- ・予定通り達成。

＜課題＞

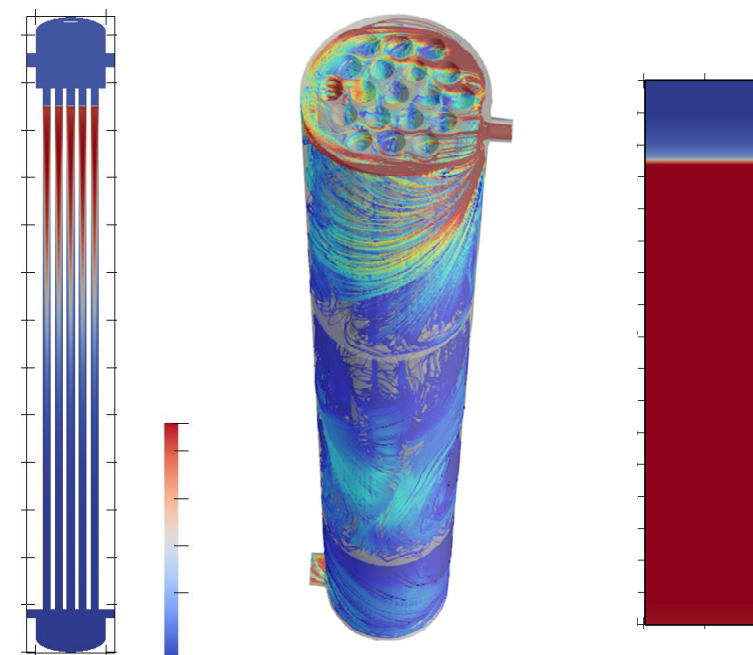
- ・事業スケール反応器（10,000 Nm³/h）の大規模シミュレーション。

＜課題対応策＞

- ・計算負荷低減に向けた各種施策の検討と実施。

長岡400 Nm³/h シェル&チューブ反応器、断熱反応器のCFDへの展開

シェル&チューブ（等温型）反応器 断熱反応器



研究項目	2025年度目標	進捗評価	達成根拠（達成の場合は必須） 又は未達理由と対応策
②-1 プロセスの基本性能評価	初期運転時の基本性能評価を行う。 ・濃度：96 vol.%(dry)以上 ・ガスとしてのエネルギー効率：75%以上 ・総合エネルギー効率：88%以上 （熱回収：13%, 190℃ Steam 想定）	○	総合試運転を行い、3段/2段運転ともに100%レートで安定的に運転可能であることを確認済。また、各メタネーターの温度プロファイル等、総合試運転時に得られた運転データは問題無く、期待通りのプロセス性能が発揮されていることを確認済。
②-2 触媒の長期耐久性の評価	原料CO ₂ 不純物除去システムについて、初期性能を確認する。	○	脱硫器入口・出口のガス分析を実施した結果、触媒の被毒物質である硫黄分を検出下限界まで除去できており、初期性能として問題ないことを確認済。
②-3 制御・運用性の確立	触媒充填等のコミッショニングに係る方法を確立する。	○	作成した作業要領書に基づき、触媒充填、還元作業、総合試運転など、一連のコミッショニングを完了。また、実際の作業を通じて得られたGood PracticeやLessons Learnedを各要領書に反映し、ブラッシュアップを完了。
②-4 メタネーションプロセスのスケールアップ時CAPEX試算のための基本プロセスの開発・設計	2024年度に評価した基本プロセスの中から有望地域に適するプロセスを複数抽出し、それらの主要な技術図書（PFD、物質・熱収支、機器リスト、P&ID）の作成を完了する。	○	③-3における有望地域に適する4つのプロセスに対して、主要な技術図書（PFD、物質・熱収支、機器リスト、P&ID）を作成済。

達成：○ 未達：×

全ての研究開発項目において、2025年度目標を、達成済。

<2025年度目標>

- ✓ 初期運転時の基本性能評価の実施。

<これまでの進捗>

- ✓ 総合試運転を行い、100%レートで安定的に運転可能であることを確認。また、各メタネーターの温度プロファイル等、総合試運転時に得られた運転データは問題無く、期待通りのプロセス性能が発揮していることを確認済。

<目標達成度>

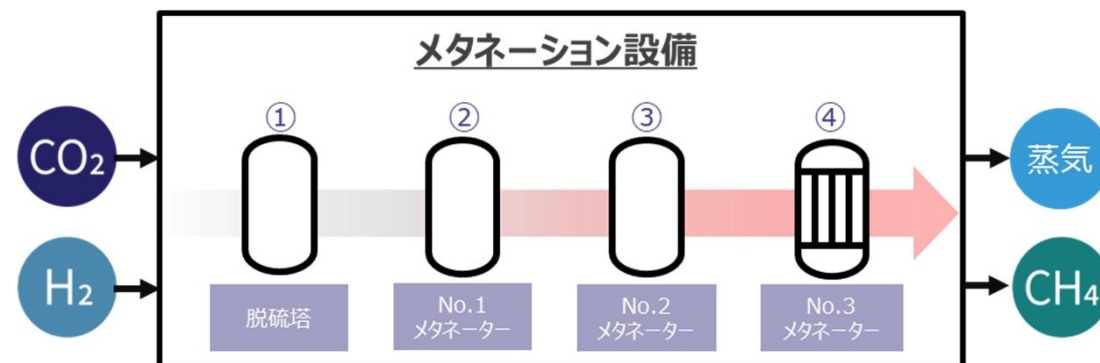
- ✓ 初期運転時の基本性能評価が完了し、各数値目標を達成していることを確認。
- ✓ 予定通り達成。

<課題>

- ✓ 連続運転後においても、各数値目標の達成。

<課題対応策>

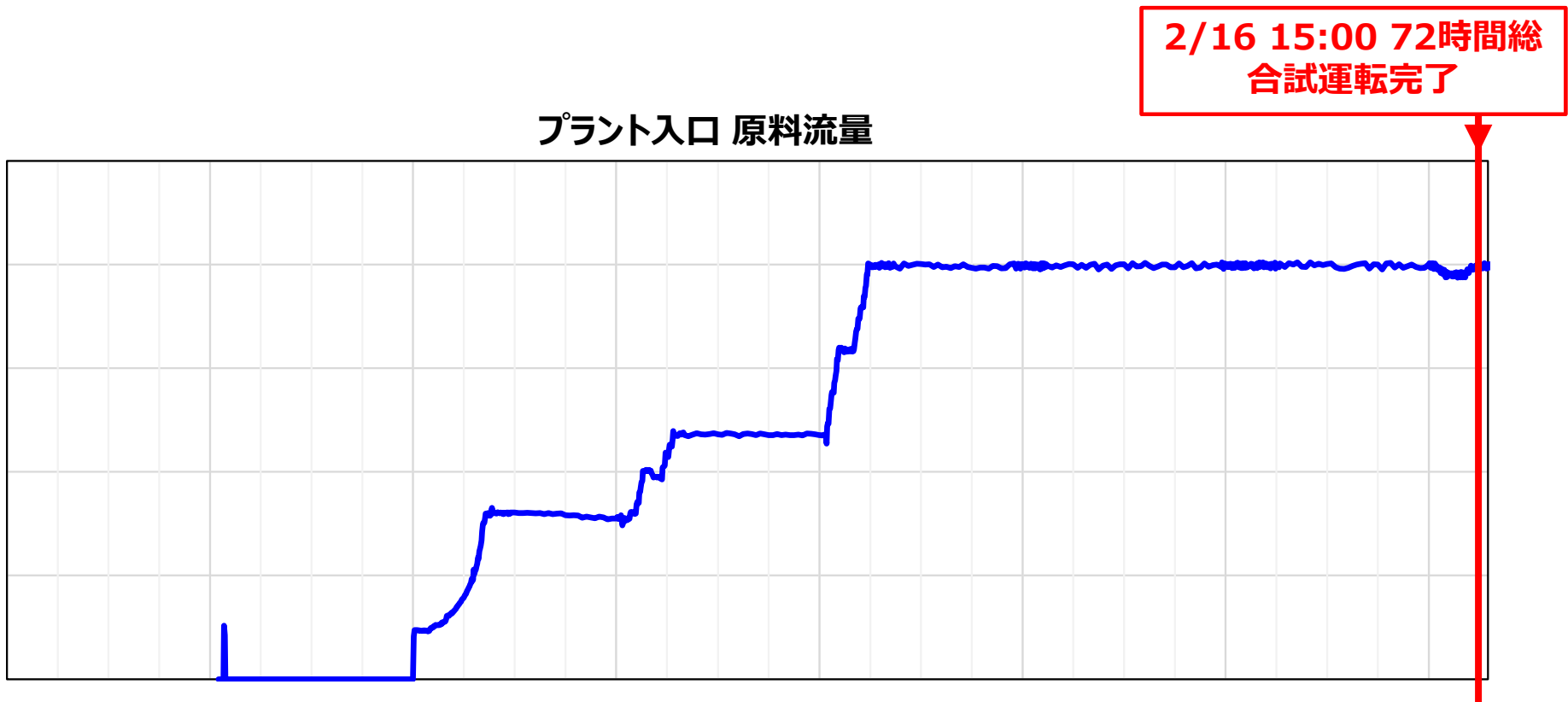
- ✓ オペレーターによる巡回点検・自主保全・DCS監視、エンジニアによる運転データのモニタリングによって、運転トラブルを未然に防止し、安定的に実証を継続。
- ✓ 必要に応じて、ソフト面やハード面の改善検討の実施。



初期運転時 基本性能評価	目標値	実績値 (3段試運 転)	実績値 (2段試運 転)
合成メタン濃度	96 vol.%(dry) 以上	達成	達成
ガスとしてのエネルギー 効率 ^{*1}	75%以上	達成	達成
総合エネルギー効率 ^{*2}	88%以上	達成	達成

*1: 製品メタン熱量／原料水素熱量

*2: (製品メタン熱量＋回収スチーム熱量) ／
(原料水素熱量＋投入電力)



100%レートにおいて、目標通りの性能を発揮していることを確認。

②-4 メタネーションプロセスのスケールアップ検討： 2025年度の進捗概要

＜2025年度目標＞

- ✓ ③-3における有望地域に適するプロセスで主要な技術図書（PFD、物質・熱収支、機器リスト、P&ID）を作成する。

＜これまでの進捗＞

- ✓ 製品要求濃度、熱利用、運転圧力等に応じて、複数のプロセス条件を検討し、最終的に4つのプロセス条件をINPEX様にて選定いただいた。それぞれにおいて、事業スケール10,000 Nm³/hでの主要な技術図書（プロセスフロー図(PFD)、配管計装図(P&ID)等）を大阪ガスにて作成した。

＜目標達成度＞

- ✓ 予定通り達成。

＜課題＞

- ✓ 長岡実証試験の結果を設計図書に反映すること。
- ✓ 作成した4ケース分のCAPEXを算定すること。

＜課題対応策＞

- ✓ 引き続き、設計図書をブラッシュアップする。
- ✓ 2026年度にCAPEXを算出する。



研究開発項目③(INPEX/INPEX JAPAN)の 2025年度目標達成状況



研究項目	2025年度目標	進捗 評価	達成根拠（達成の場合は必須） 又は未達理由と対応策
③-1 試験設備の設計・施工・運用・評価	プレコミッショニング、コミッショニング及び建設工事を完了し、試験運転及び導管注入を開始する。	○	予定通りコミッショニングを実施済。導管注入実施済。
③-2 合成メタンの導管注入検討・実施	クリーンガス証書制度を活用したうえで、合成メタンの地産地消モデルを確立する。上記トレーサビリティシステムの導入準備を行う。	○	CO ₂ NNEXを採用し、協力需要家に合わせた詳細システム運用テスト済。地産地消モデルを構築済。
③-3 反応システムのスケールアップ・経済性・適用性検討	2024年度に抽出された有望地域における系外条件を、事業スケールにおいて調査・特定し、それらの技術要件を検討する。	○	千代田化工を起用し、有望地域（4ヶ国5州）のFS Phase-1を実施済、FS Phase-2に移行済。
③-4 日豪CR-MoCに基づく実証・商用スケールのFS/LCA調査	None (2023年度で終了)	-	None
③-5 早期社会実装に係る政策動向・制度設計等調査	2025年度版国内外制度政策等動向調査、JCMやクリーンガス証書制度等環境価値の移転が可能な制度の課題や解決策の調査を完了する。	○	国内外制度、政策等の動向調査とともに、合成メタンの認証に係るISCC-EU, CI値試算着手済。

達成：○ 未達：×

全ての研究開発項目において、2025年度目標を、達成済。

＜2025年度目標＞

プレコミッショニング、コミッショニングの実施。高圧ガス保安法、鉱山保安法、建築基準法といった法規許認可手続と並行し、建設時仮設用地の復旧作業の実施。

研究開発項目②で設定した各目標値等への評価手法、クライテリアの構築。コミッショニングにおいて基本性能評価が実施できることを確認した後、試験運転及び導管注入の開始。

＜これまでの進捗＞

建設工事にて各種法規の完成検査に合格の上、プレコミッショニング、コミッショニングを完了。総合試験運転を実施し、初回導管注入を達成。

＜目標達成度＞

予定通り達成。

＜課題＞

原料である液化水素の供給見通し。定期検査以降の限られた時間の中での実証試験の推進。

＜課題対応策＞

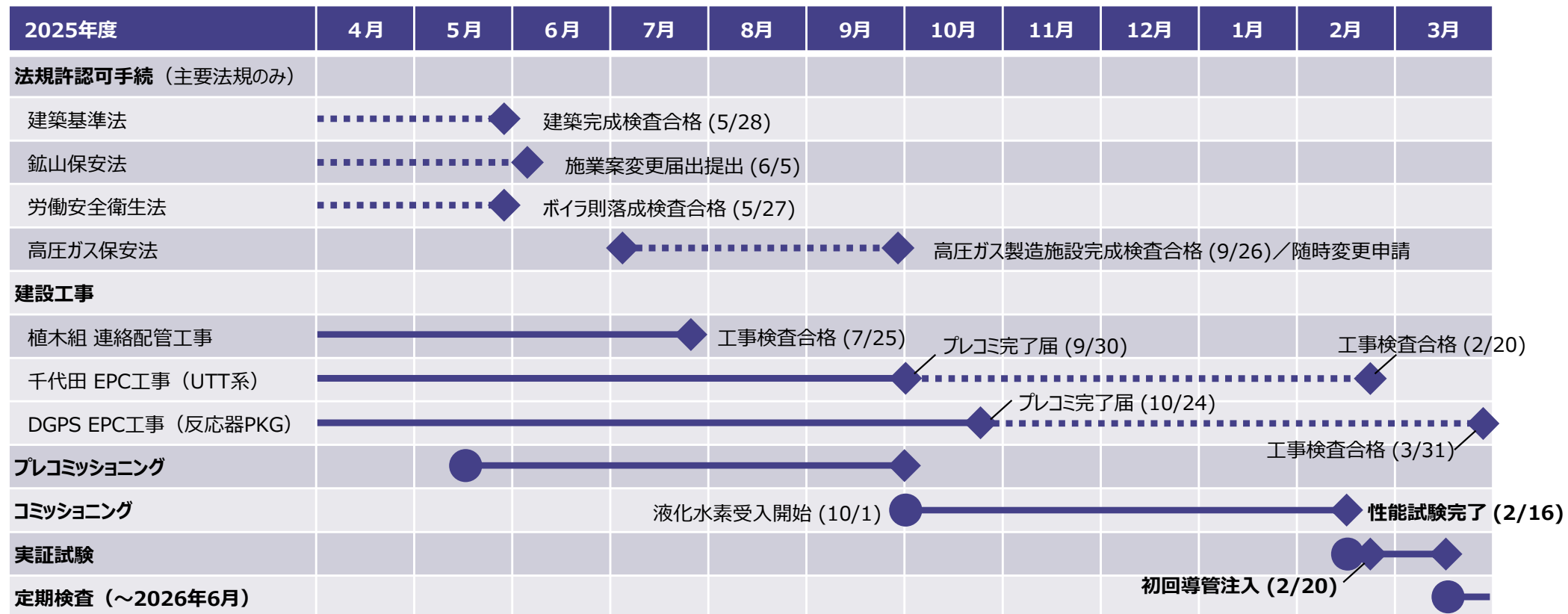
②と連携し、上述課題に照らして実証試験項目を適宜見直し、現実的な運転計画の維持。



2025年6月撮影
(設備建設完了/試運転開始前)

③-1 試験設備の設計・施工・運用・評価

③-1-2 試験設備の施工



建設工事に係るマイルストーン、および法規関連手続きを計画通り2025年度内に完了。

<2025年度目標>

2024年度に抽出された有望地域における系外条件を、事業スケールにおいて調査・特定し、それらの技術要件の検討。

<これまでの進捗>

千代田化工建設(株)を起用して、研究開発項目②-4と有機的に連携し、2024年度に抽出された有望地域(5地域)における再エネポテンシャル、原料CO₂の供給源、合成メタンの想定出荷形態等の反応プロセス以外の系外条件を、事業スケールにおいて調査・特定し、それらの技術要件を検討済。

調査業務では有望とされた5地域の中でエリア区分で有望となるエリアを特定し、さらに比較評価により4地域への絞り込みを行い、米国テキサス州、ノルウェーロガーランド県、インドグジャラート州、カナダケベック州を選定し、Phase-1としてのポテンシャル調査を完了。

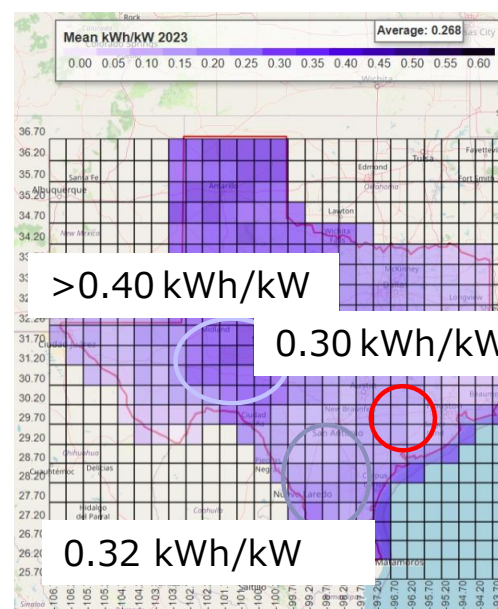
<目標達成度>

予定通り達成。

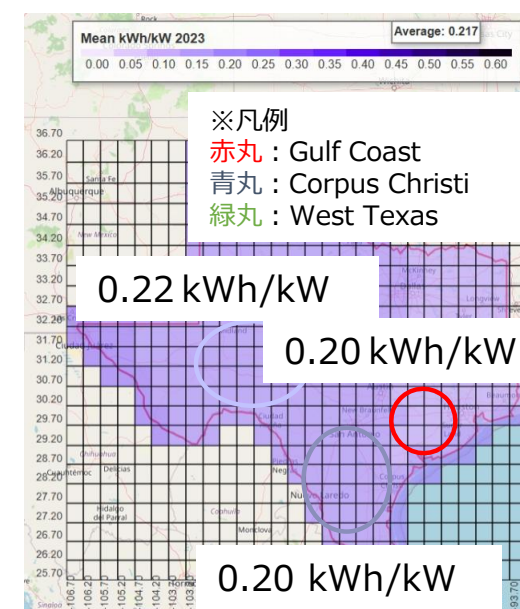
<課題>

特になし。

Ex.米国テキサス州



陸上風力発電ポテンシャル
設備稼働率 (kWh/kW)



太陽光発電ポテンシャル
設備稼働率 (kWh/kW)

5. CO₂供給源調査

- ・ プラント種別のCO₂供給源リスト化
- ・ CO₂供給に向けた3地点の評価

2. 再エネポテンシャル調査

- ・ 気象データ取得
- ・ CF計算 (kWh/kW)
- ・ WindとPV発電量と最適割合
- ・ 水力調査 (湧水状況含む)

3. 現地電力事情、電力価格等

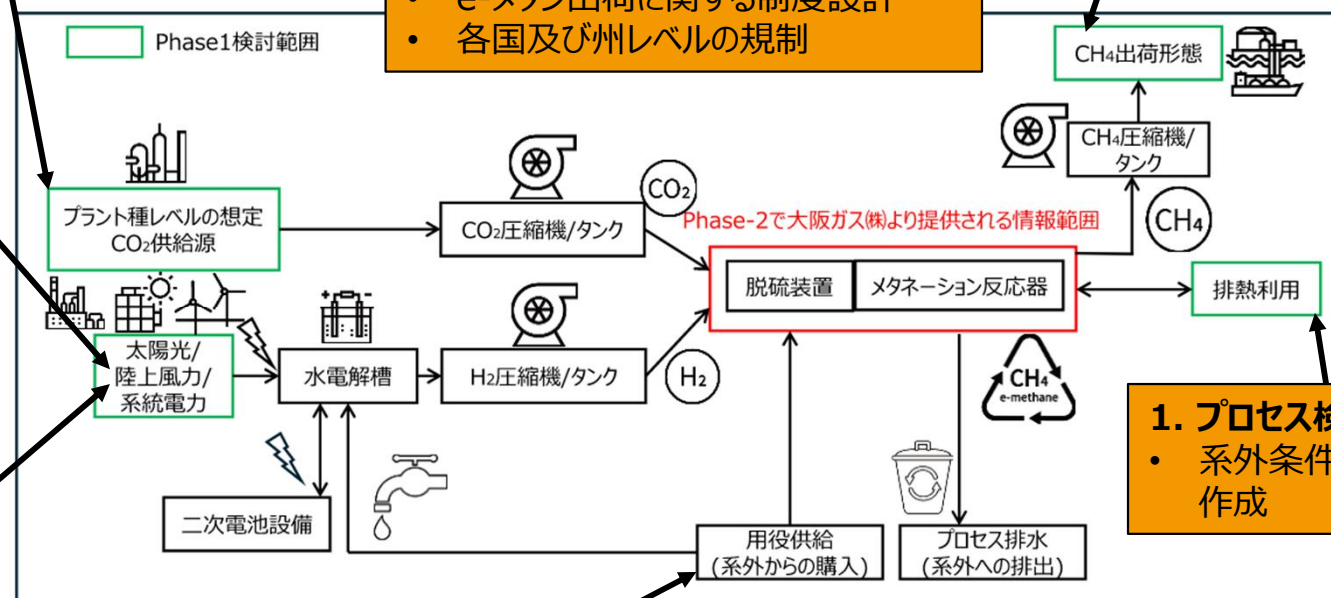
- ・ 再エネ設置実績とCAPEX調査
- ・ 電力市場と価格の調査
- ・ 系統混雑や新設計画の調査

4. Policyに関する確認

- ・ ISCC PLUS/ISCC EUの調査
- ・ 原料調達に関する制度設計
- ・ e-メタン出荷に関する制度設計
- ・ 各国及び州レベルの規制

6. e-メタンの出荷形態

- ・ LNGでの出荷
- ・ ガスパイプライン



1. プロセス検討

- ・ 系外条件のシナリオ作成

7. 水資源

- ・ 必要工業用水量の算出
- ・ 既存インフラからの供給可能性
- ・ 海水淡水化等の事例確認 (必要に応じて)

4か国5地域を対象に、再エネポテンシャル、原料、Policy、e-メタン出荷形態、プロセスに関する調査・検討を実施。

研究開発項目	2026年度目標(2027年3月)	2025年度成果(2026年3月)	今後の課題と対応方針
①反応シミュレーション技術開発	・高圧積分反応器による反応速度モデル選定及びパラメータ設定をした上で、シミュレーションプログラムの開発を行い、±5%の実測値再現性を達成する。 ・熱劣化触媒の反応速度モデルを構築し、シミュレーションを実施する。	実測データに基づく反応速度モデルの構築およびパラメータ設定を完了し、プロセスシミュレーターに実装可能な形で整理。反応速度モデルと流動・伝熱モデルを連成した反応器熱流動シミュレーション技術の開発基盤の構築を完了。	・高圧・高流速条件下での構築した反応速度モデルの汎用性の確認と必要に応じたチューニング。 ・実ガス中不純物由来の非毒による触媒劣化の定量的把握。
②大規模CO ₂ -メタネーション反応プロセス技術開発	・下記目標の達成（連続運転試験後）。 濃度：96 vol.%(dry)以上、ガスとしてのエネルギー効率：75%以上、総合エネルギー効率：88%以上 (熱回収：13%, 190℃ Steam想定) ・運転方法の確立と共に長期耐久性（8,000時間以上）の検討を完了する。	・試運転において、プラントの初期性能が左記目標値を達成することを確認し、策定したコミショニングや運転方法が実施可能なことを確認済。 ・長期耐久性評価に向けた脱硫システムの初期性能評価や、触媒抜出要領の作成を完了。 ・10,000 Nm³/h機の基本設計図書ドラフト版を作成。	・反応条件の各因子による性能への影響の定量評価。 ・長期での安定運転の継続 ・劣化状況の解析と耐久性評価
③反応システムのスケールアップ等適用性検討	・試験運転と導管注入を継続する。 ・クリーンガス証書制度による地産地消モデルを確立する。 ・各有望地域における事業スケールのシステム検討・シナリオ分析を実施する。 ・国内外制度政策調査と共に海外からの環境価値移転の方法を立案する。	・72 h試運転2回を終了し、試験運転に移行し、導管注入を実施済。 ・クリーンガス製造設備認定を取得済、需要家との合意を形成済。 ・事業スケールのPhase-1を終了し、Phase-2に移行済。 ・国内外制度政策及び環境価値移転制度の調査を終了し、課題を抽出済。	・液化水素の供給見通しの精緻化、実証試験項目の作成、実施。 ・環境価値の設定等について需要家との協議。 ・CI値の試算及び削減方法の検証。

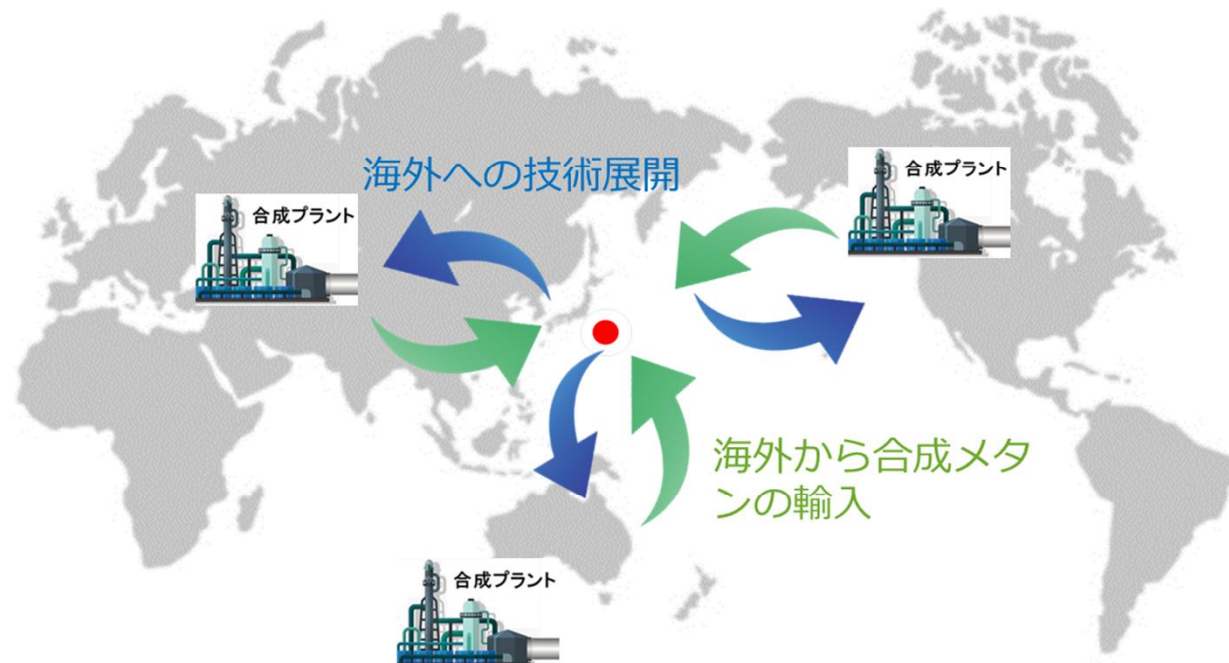
本事業を通じて、INPEX と大阪ガスは、CO₂-メタネーションによる都市ガスのカーボンニュートラル化の早期社会実装に向けて、取り組んでまいります。

2030年～

- 製造事業規模1万Nm³/hへの拡大
- 海外（米国等）での事業化検討

2035年～

- 商用スケールへの拡大
- DACやSOEC等の新規技術の導入



次世代クリーンエネルギーの供給を新潟県から、そして海外へ・・・！