

NEDO脱炭素技術分野成果報告会2025

プログラムNo.6

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

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利用技術開発

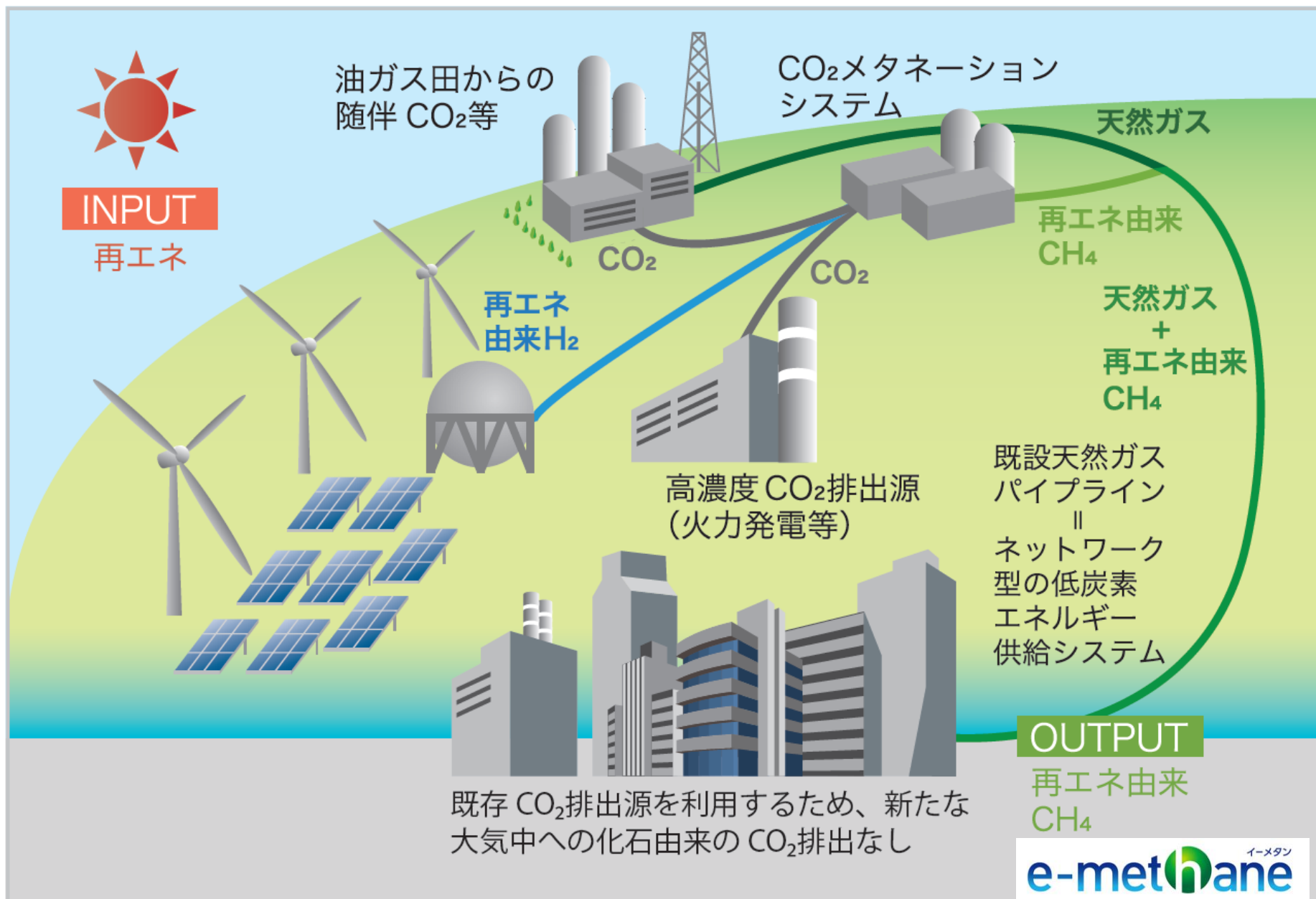
発表：2025年07月17日

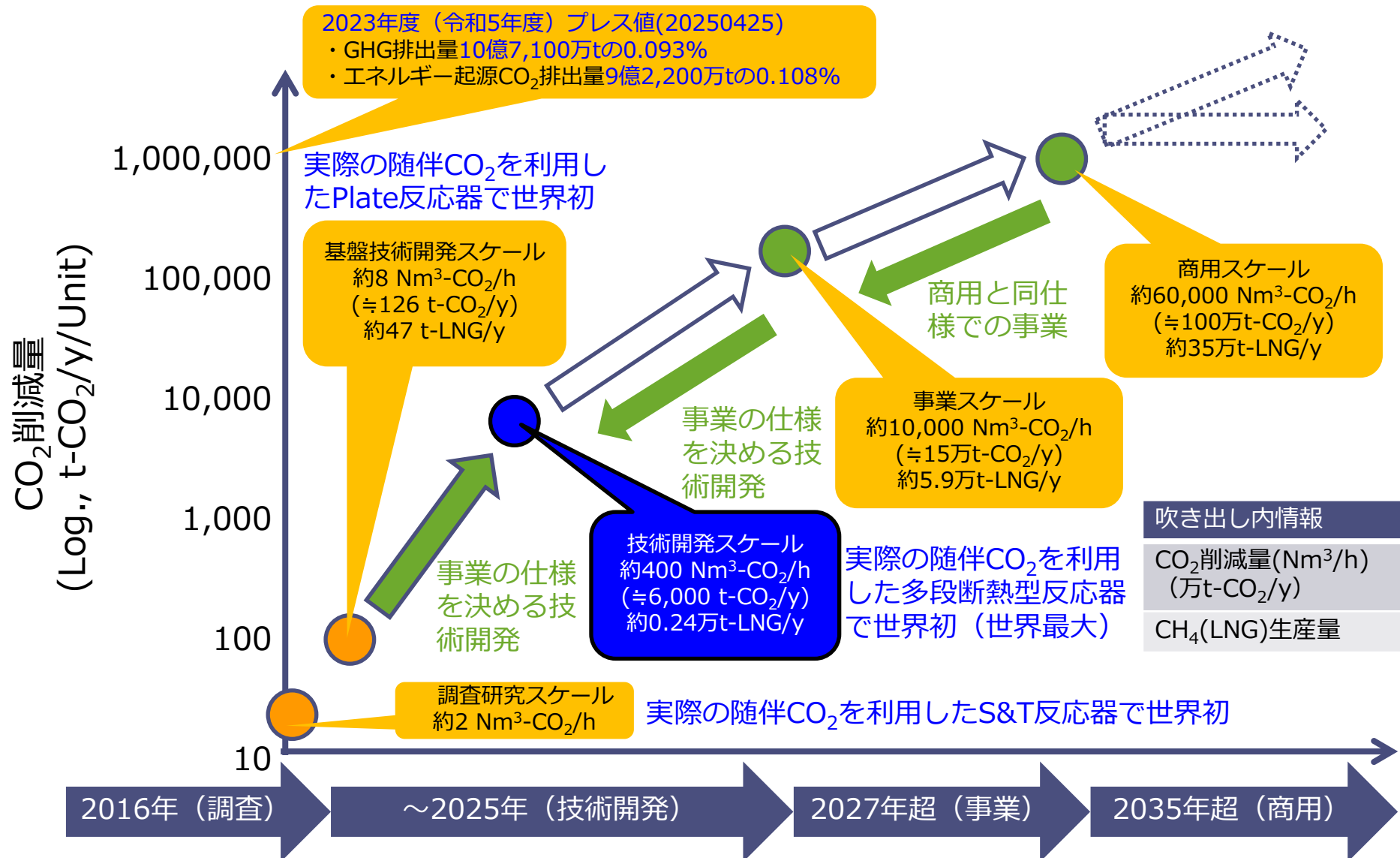
国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

発表者名：若山 樹

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

問い合わせ先：（株）INPEX, E-mail: tatsuki.wakayama@inpex.co.jp





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

○：達成、×：未達

研究項目	24年度目標 (最終目標)	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	高圧条件下での反応速度モデルの構築方法を検討する。 (高圧下での反応速度モデルの構築と速度パラメーターを決定する)	○	高圧下の実測データを基に、Xu and Fromentモデルで反応速度パラメータを決定。パリティブロットにより精度を確認し、高圧対応の速度モデルを構築。
①-2 反応器の熱流体シミュレーション	積分型メタネーション反応器のシミュレーションに反応速度モデルを実装し、実測結果を再現する。 (高圧下実験から得たパラメーターを用いた10,000 Nm ³ -CO ₂ /hスケールを含む反応器シミュレーションを完了し、積分反応器で得られる生成ガス濃度の測定値を±5%の精度で予測する)	○	単管反応器の3Dモデルを構築し、物性の温度依存性など関連するパラメーターを適切に設定することで、実測結果を良好に再現。
①-3 熱劣化触媒の反応速度論	実験結果に基づき、活性変化モデルを決定する。試験（研究開発項目②-2）で得られる使用後触媒の活性評価の結果に基づき、モデルに含まれるパラメーターを決定する。 (劣化触媒の高圧下での反応速度モデルの構築及びパラメーターを決定し、積分反応器のシミュレーションを実施する。フレッシュ触媒における実測結果と比較し、触媒劣化が反応器性能に及ぼす影響を定量的に評価する)	○	加速劣化試験を通じ、Xu and Fromentモデルで触媒活性を評価。モデルにより劣化後の反応特性を再現可能であることを確認。
①-4 反応器性能の経時変化予測	劣化触媒反応速度を用いたシミュレーション及び反応器性能の経時変化の予測手法を構築する。 (上記シミュレーション結果と試験設備との比較により、構築モデルやシミュレーション手法の健全性を評価する。必要に応じてモデルの改良を実施し、試験設備における測定データを±5%以下の誤差で予測する)	○	劣化触媒を想定した反応器シミュレーションを実施し、温度分布や出口ガス組成に与える影響を明らかにするとともに、長時間熱劣化試験を実施し、熱劣化速度に関する経験的モデルを構築。

<24年度目標>

高圧条件下での反応速度モデルの構築方法を検討する。

<これまでの進捗>

大阪ガス単管シェルアンドチューブ型反応器の3Dモデルを構築し、温度依存物性・空隙率を考慮した熱流体解析を実施。反応器内の温度分布（実測値）を良好に再現。さらに、400 Nm³/h 反応器の設計条件をもとに、大規模シミュレーションの準備中。

<24年度目標進捗>

予定通り達成

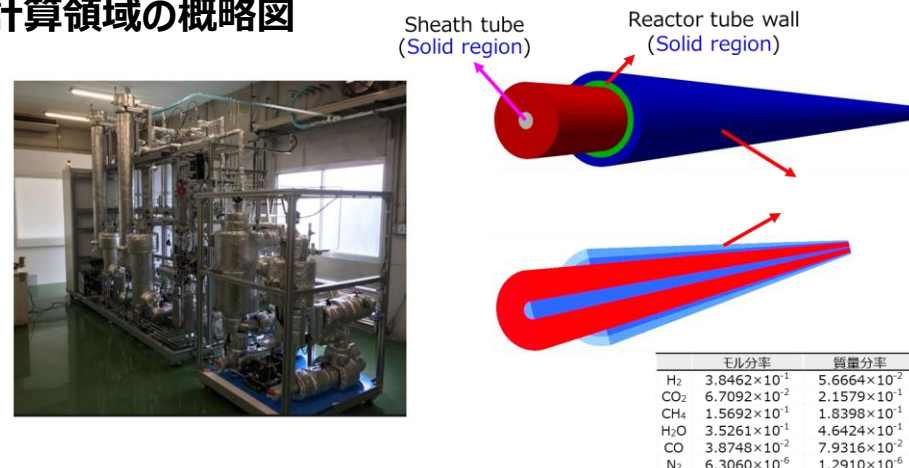
<課題>

現行モデルでは商用スケールの熱流体シミュレーションが未確立。

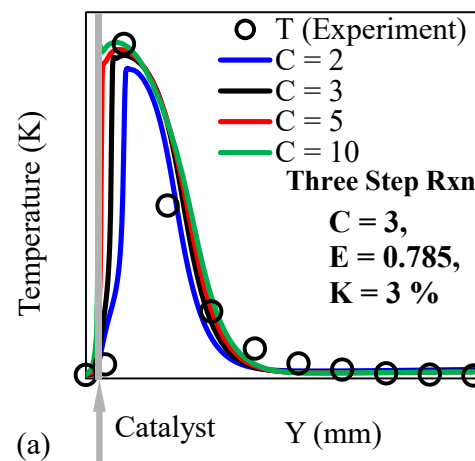
<課題対応策>

実機仕様に基づく大規模モデルを構築した上で、試計算を実施し、計算資源量の推算。

シース管付き大阪ガス単管シェルアンドチューブ型反応器の計算領域の概略図



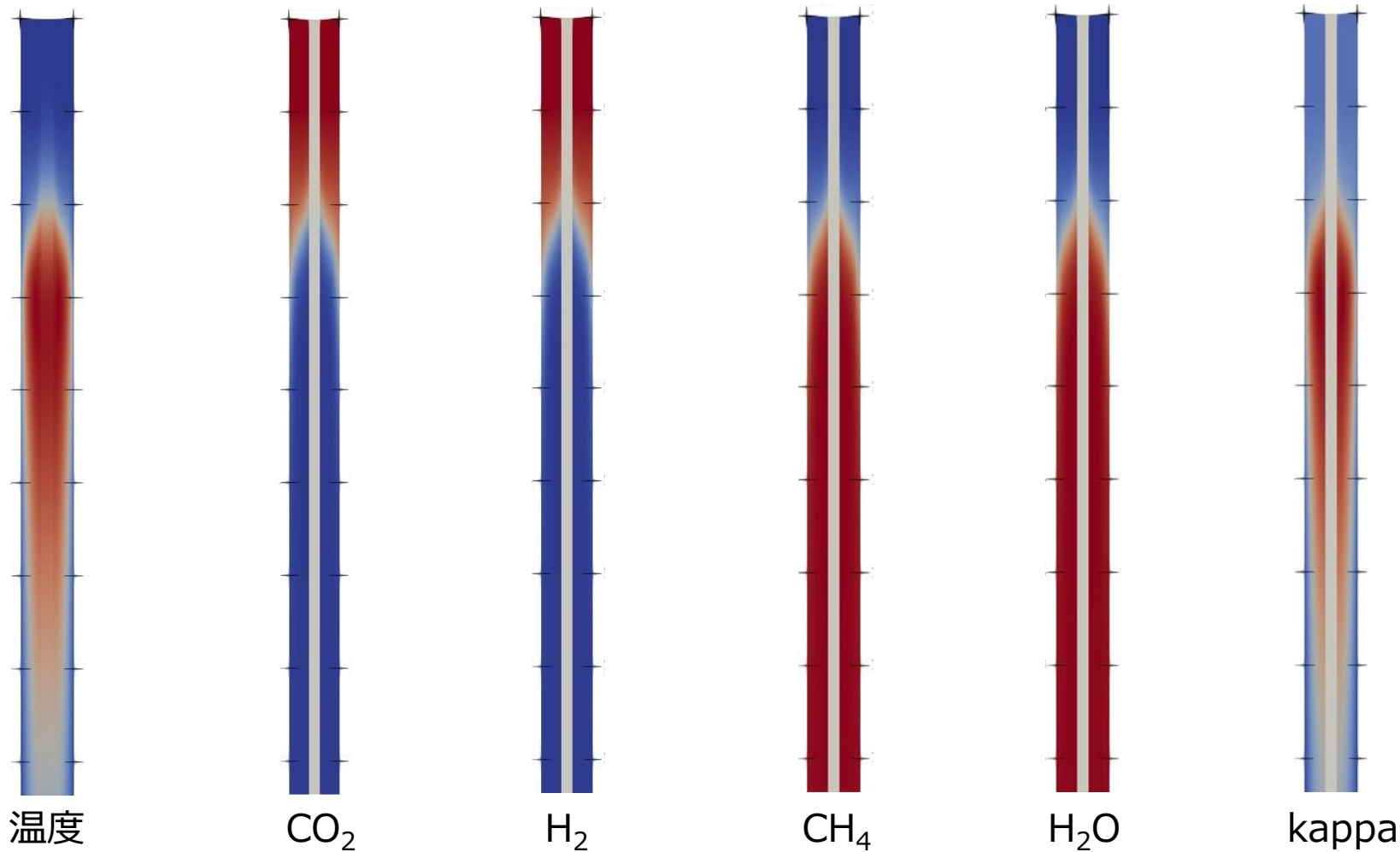
最適化されたパラメータを用いた反応器の温度分布



(a)

①-2 反応器の熱流体シミュレーション 単管シェルアンドチューブ型型反応器（温度プロファイル）

▶ Oneステップモデルの結果に基づくコンター表示



○：達成、×：未達

研究項目	24年度目標 （最終目標）	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	None （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））	—	—
②-2 触媒の長期耐久性の評価	None （長期耐久性（8,000時間以上）の検討を完了する。）	—	本メタネーションのプロセス設計に関して、2024年5月に特許出願を実施。
②-3 制御・運用性の確立	None （運転計画に基づく、起動・停止・緊急停止・レートアップ・レートダウン方法を確立し、最終的に運転方法を確立させる。）	○	25年度目標の「触媒充填等のコミッショニングに係る方法の確立」に向けて、関連する図書を前倒して作成・発行。また、触媒充填については、作業内容のイメージを掴んでいただくために、モックアップを用いたワークショップを開催し、施工者を含む関係者30名程度が参加。
②-4 メタネーションプロセスのスケールアップ時のCAPEX試算のための基本プロセスの開発・設計	原料、製品要求濃度、熱利用等をケース分けして複数のプロセス案を策定する。研究開発項目②-4等の検討結果を踏まえて、2025年度に実施する概略コスト検討を行うプロセスを決定する。 （試験運転の中での改善点を抽出し、25年度に作成した技術図書（PFD、物質・熱収支、機器リスト、P&ID）に反映を検討。）	○	事業スケール(10,000 Nm ³ /h)規模へのスケールアップに向けて、製品e-メタン要求濃度および熱利用先で場合分けした4種類のプロセスを策定。各プロセスについて運転圧力を4パターン振ってケーススタディーを実施し、合計16ケースのCAPEXを積算。

原料、製品要求濃度、熱利用等をケース分けした複数プロセス案の策定、CAPEX積算

<24年度目標>

- ✓ 原料、製品要求濃度、熱利用等をケース分けして複数のプロセス案を策定する。研究開発項目②-4等の検討結果を踏まえて、2025年度に実施する概略コスト検討を行うプロセスを決定する。

<これまでの進捗>

- ✓ 事業スケール(10,000 Nm³/h)規模へのスケールアップに向けて、上記の条件でケース分けした4種類のプロセスを策定した。各プロセスについて運転圧力を4パターン振ってケーススタディーを実施し、合計16ケースのCAPEXを積算した。

<24年度目標進捗>

- ✓ 達成した。

<課題>

- ✓ ①-1で実測される反応速度定数をプロセスに反映すること。また、③-3で検討される適用性拡大を見据えた系外条件と連携すること。

<対策>

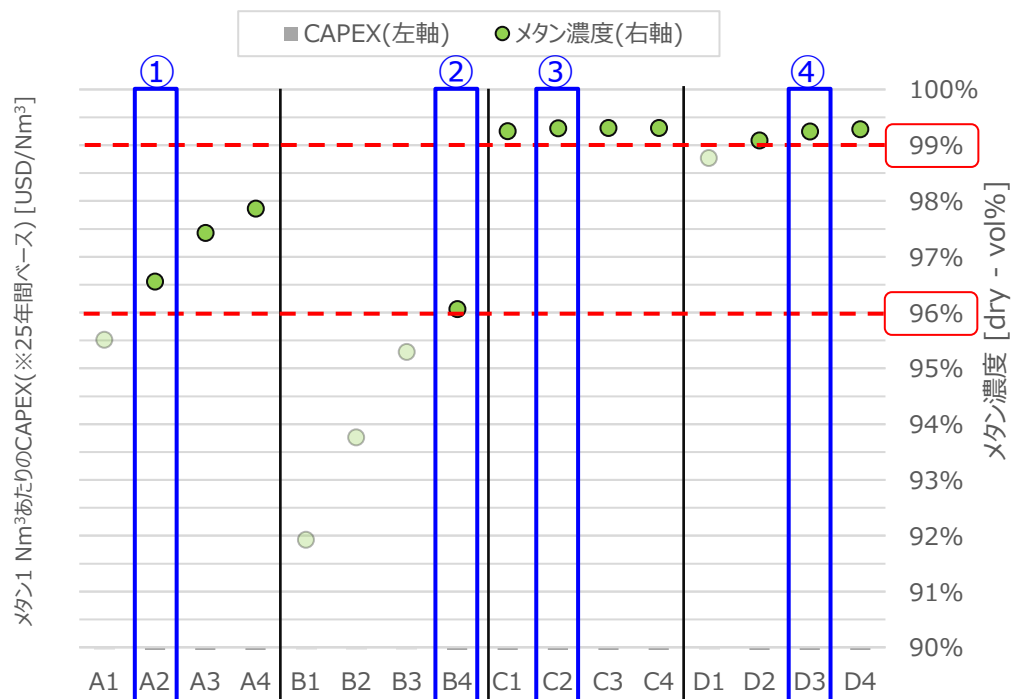
- ✓ 引き続き定例会を開催し、継続的・有機的な連携を行う。

②-4 メタネーションプロセスのスケールアップ時の CAPEX試算のための基本プロセスの開発・設計

ケーススタディー結果③ サマリー

■ A～Dの中から、要求仕様を満たしており、CAPEXがミニマムになるモデルを見出した。

- ① e-メタン要求濃度96%、飽和スチーム ⇒ **A2モデル**
- ② e-メタン要求濃度96%、**過熱**スチーム ⇒ **B4モデル**
- ③ e-メタン要求濃度**99%**、飽和スチーム ⇒ **C2モデル**
- ④ e-メタン要求濃度**99%**、**過熱**スチーム ⇒ **D3モデル**



□ : e-メタン要求濃度ターゲットを満たしたものの

モデル	水切り(※)有無 (e-メタン要求濃度)	熱利用	原料(圧力) [MPaG]
A	A1	飽和 スチーム	
	A2		
	A3		
	A4		
B	B1	過熱 スチーム	
	B2		
	B3		
	B4		
C	C1	飽和 スチーム	
	C2		
	C3		
	C4		
D	D1	過熱 スチーム	
	D2		
	D3		
	D4		

(※) サバティエ反応($\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$)においては、副生物として水が発生するが、最終段のリアクター手前で水分を除去することで、メタン純度が高くなる。(水分を除去することを“水切り”と呼ぶ。)

○：達成、×：未達

研究項目	24年度目標 （最終目標）	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	試験設備の構築に係る調達・建設工事を継続する。 （試験運転（長期連続運転を含む）と導管注入を継続する。 運用終了後の評価を完了する）	○	試験設備の基礎工事、管理棟建築工事、架 構工事、据付工事、配管工事、電気計装工 事を継続して実施。また、越路原プラントへの接 続工事を完了。
③-2 合成メタンの導 管注入検討・実施	継続してINPEX/OGのサプライチェーン上のMRV等トレーサビリ ティーを担保するシステムを構築・検証する。 （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ーシステムを導入し、導管 沿線の顧客との間で現実的に実行可能な範囲で模擬的な運用 を行う）	○	MRV等トレーサビリティーシステムの調査と選定を ③-5と共に実施し、CO ₂ NNEXについて詳細調 査により検証、方針を最終化。
③-3 反応システムの スケールアップ・経済 性・適用性検討	事業スケール、商用スケールに追加的な技術を検討する。研究 開発項目③-5でスクリーニングされた事業スケール、商用スケール の有望地域を検討する。 （2025年度までに得られた反応プロセス条件と有望地域での系 外条件をまとめ、各有望地域にて事業スケールにおける合成メタ ン製造コストを最小化するシステム検討と、系外条件の変化に伴 うシナリオ分析を複数ケース実施する）	○	豪Genesis社を起用したFSを完了し、計画通 りの成果物を取得。 また、みずほR&Tを起用し、③-5と共にスケール アップを目した有望地域を12か国にまでスクリー ニング。
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	None
③-5 早期社会実装 に係る政策動向・制度 設計等調査	2024年度版国内外制度政策等動向調査、事業スケール・商 用スケールの導入に有望な地域をスクリーニングする。 （2026年度版国内外制度政策等動向調査を完了する。既存 の制度（クリーンガス証書等）を踏まえ、海外からの環境価値移 転にも活用できる方法を立案する。）	○	国内外制度、政策等の動向調査を継続すると ともに、事業スケールの導入に有望な地域をスク リーニング。また、先行して上市されているMRV等 トレーサビリティーシステムを調査。

<24年度目標>

試験設備の構築に係る調達・建設工事を継続する（INPEX, INPEX JAPAN協働）。

<これまでの進捗>

基礎工事、管理棟建築工事、架構工事、据付工事、配管工事、電気計装工事を継続して実施した。

INPEX長岡鉱場・越路原プラントへの接続工事を完了した。

なお、INPEXは工事の契約者として、INPEX JAPANは工事の実施者として、各工事の工程や安全等の管理を実施した。

<24年度目標進捗>

予定通り達成。

<課題>

1. 降雪影響による作業遅延
（24年12月-25年3月、
植木組・DGPS）
1. 25年度内導管注入達成の不確実性
（26年1-2月）

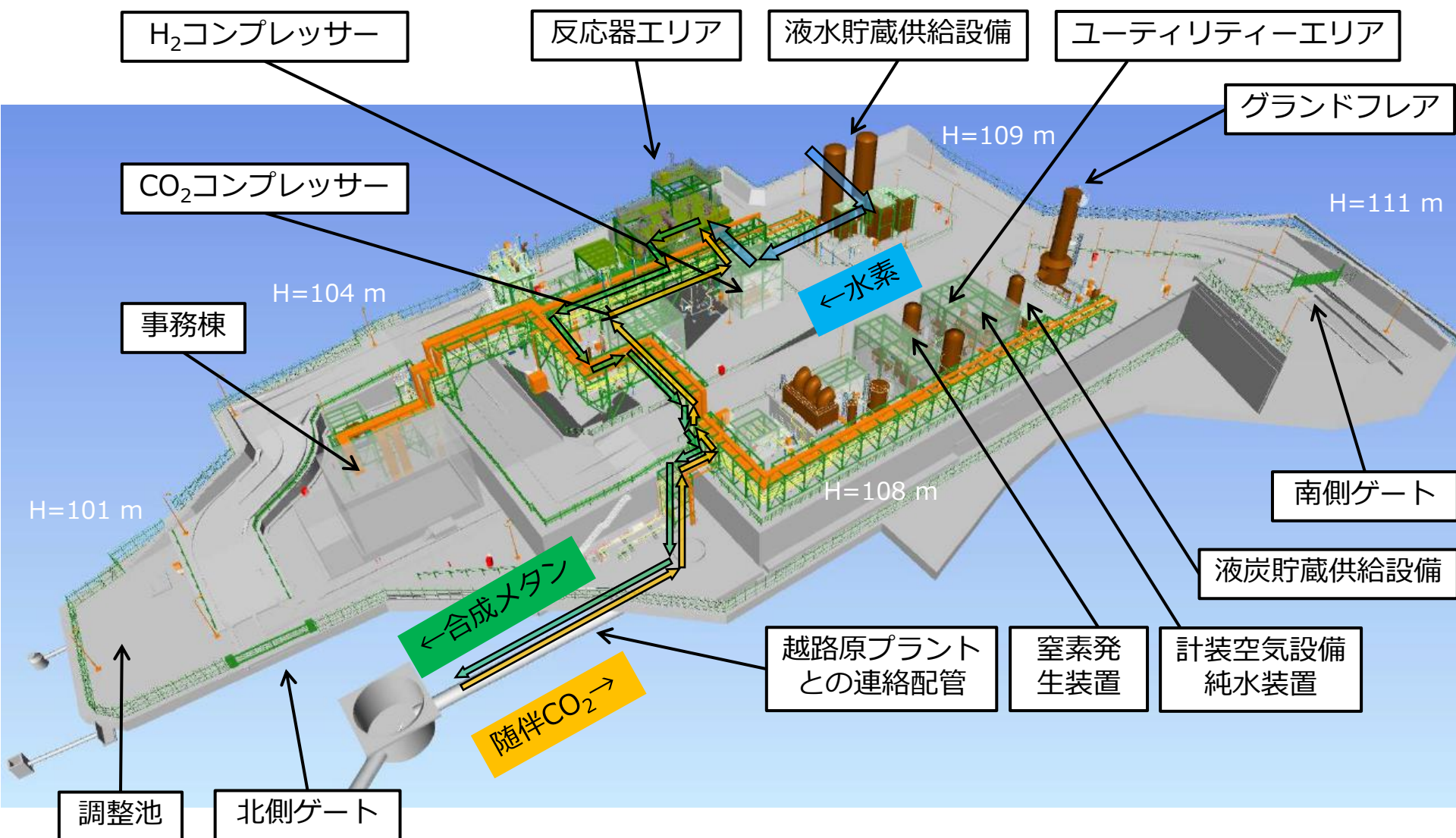
<課題対応策>

1. 冬季休工明けからのキャッチアッププラン策定
2. プレコミショニング・コミショニングの前倒し実施



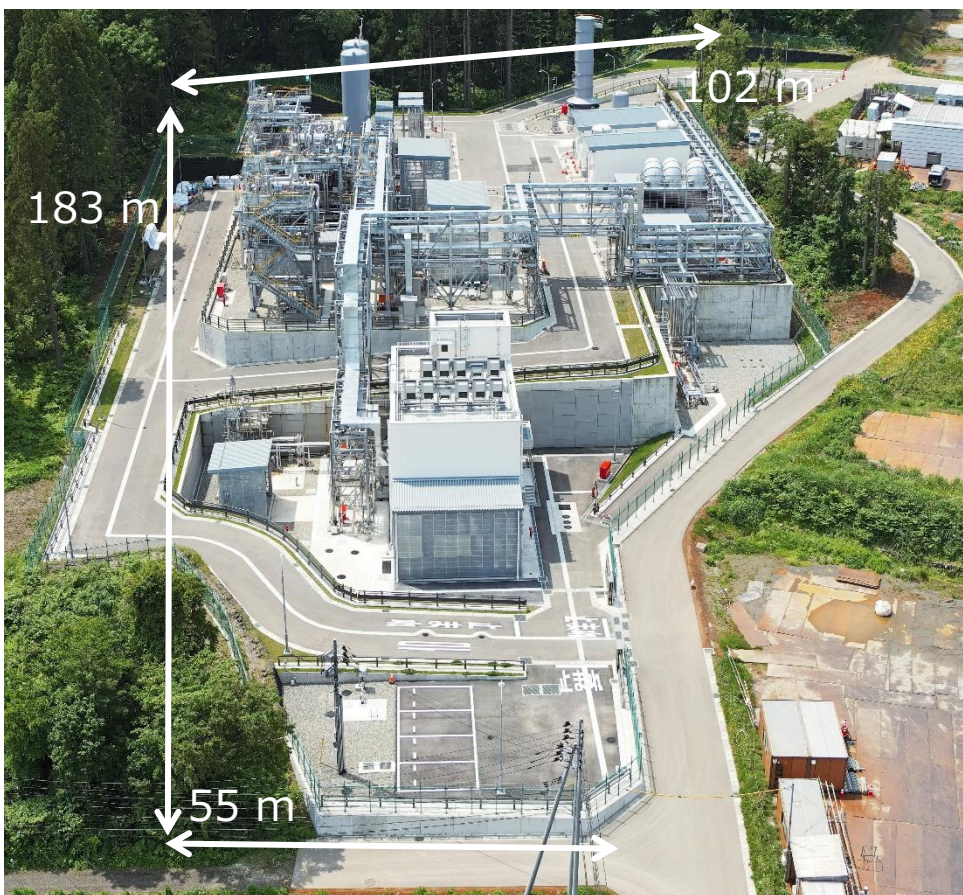
③-1 試験設備の設計・施工・運用・評価

③-1-2 試験設備の施工（3Dモデルとガス流路）



今後、来客施設での展示用にXR/VRを作成予定。

メタネーション試験設備全景



試験設備及びロジベース



2025年4月末現在、試験設備の建設進捗は、約94%

<24年度目標>

事業スケール、商用スケールに追加的な技術を検討する。

研究開発項目③-5でスクリーニングされた事業スケール、商用スケールの有望地域を検討する。

<これまでの進捗>

豪Genesis社を起用したFSを完了し、計画通りの成果物を取得した。

また、みずほR&Tを起用し、③-5と共にスケールアップを目した有望地域を12か国にまでスクリーニングした。

<24年度目標進捗>

予定通り達成。

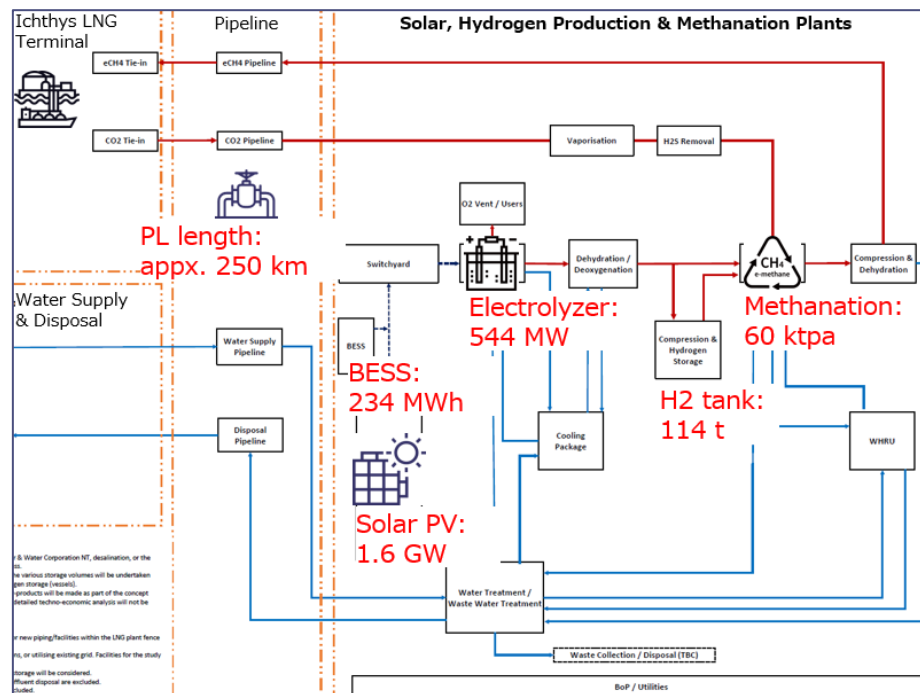
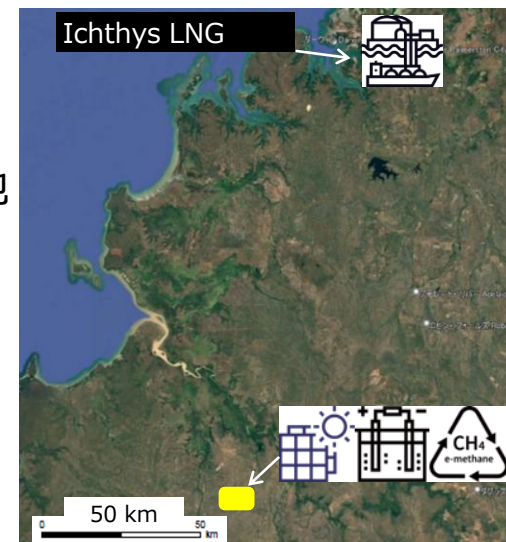
<課題>

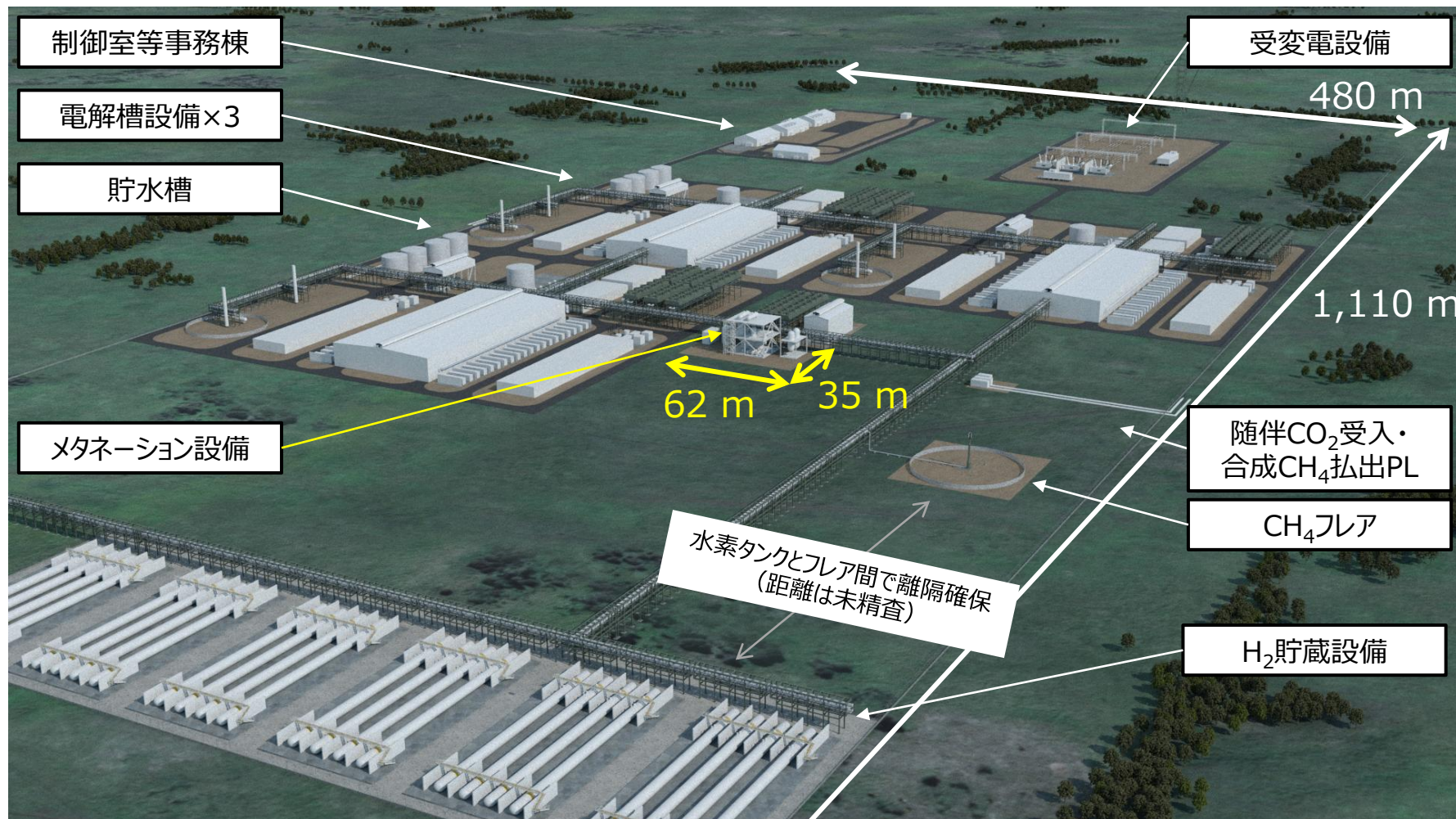
豪州北部準州では、再エネ発電プラントが遠隔地にしか設置できず、長大なパイプラインが必要となる。

欧米の低炭素水素基準に準拠する事業条件では、合成メタンの主原料となるグリーン水素の価格が高価となり、経済性が見込めない。

<課題対応策>

合成メタン製造のスケールアップが見込める国・地域をより広範に調査し、複数の事業条件に基づくシステム検討を実施することで、本NEDO事業で開発するメタネーション技術の適用可能性を拡大する。





再エネ発電面積を除き、水素製造・メタネーションエリアは約0.5 km²。

- ・本事業開始後の取り組みの中で、商用化に向けた技術課題を改めて網羅的に整理した。
- ・本事業の成果を取り込むことで、クリティカルな技術課題はクリアできる見込みであることを確認した。

分類	商用化に向けた主要課題	技術開発 (400 Nm ³ -CO ₂ /h) における対策
触媒	触媒寿命の評価・充填量の適正化	本事業での性能や耐久性の評価結果を踏まえ、事業化プラントにおける触媒コストを検討する。
	触媒劣化・被毒物質の影響評価	本プロセスにおける触媒劣化モードを特定し、その影響を抑制すべくプラント設計に反映させる。
反応器	構造、材質などの最適化	高温部材への腐食や脆化等の機器損傷リスクの評価、安価材料や安全率見直し等によるコストダウンを検討する。
	反応器の大型化にむけた設計思想の確立	流動性能を考慮したL/D設定、および伝熱を考慮したS&T反応器の大型化に向けた設計を実施、シミュレーションによるバックチェックする。
プロセス	設計思想の確立	本事業での成果や抽出課題を反映したプロセス設計思想の構築する。
	制御方法の確立	自動化を視野に入れた定常・非定常の操作・制御方法を確立するための課題を抽出する。
	蒸気の利用先検討	蒸気利用形態(飽和・過熱)における蒸気圧力・蒸気量の明確化、および機器構成の最適化を検討する。
原料	ソースに応じた原料組成の想定と影響評価	導入シナリオにおける原料組成を調査し、触媒やe-methane組成への影響を評価し、前処理設備などを検討する。
製品スペック	製品スペックの保証範囲の検討	本事業での成果を踏まえた製品濃度の変動幅や安定性などを評価し、スペックの保証範囲を検討する。

- ・石油・石炭からの天然ガスシフトによる国内ガス需要増や、LNG火力発電、海外LNG市場への展開により、2030年超からの事業スケール設備による生産、2035年超からの商用スケール設備による生産を通じてe-methane販売を拡大する（下表は中間評価時の想定）。
- ・2024年度に、②-4 メタネーションプロセスのスケールアップ時のCAPEX試算のための基本プロセスの開発・設計、③-3 反応システムのスケールアップ・経済性・適用性検討において、豪州でのFS（詳細パート）を継続実施し、改めて厳しい事業環境が明らかとなった。
- ・国内外の政策に基づく各種制度へのアップデートを行いながら、技術の適用性を拡大させ、将来的には、スケールアップによるコストダウンに加え、水素供給等における適地選定（③-3/③-5において、新たに4ヶ国5州を選定）や改良技術の導入などにより事業コストの最小化を図る。

	2030	2035	2040	2045	2050
販売量（億Nm ³ /y）＊	0.9	2.6	16.2	50.6	85.0
販売単価（円/Nm ³ ）***	150	125	100	81	63
製造単価（円/Nm ³ ）**	120	100	80	65	50
売上（億円）	142	319	1,615	4,114	5,314
費用（億円）	113	255	1,292	3,291	4,251
粗利（億円）	28	64	323	823	1,063
市場規模（億円）	617	1,389	7,036	17,920	23,146
市場占有率(%)＊	23	23	23	23	23

＊：前述のINPEXおよび大阪ガスの取扱量見通しの合計で記載，**：大阪ガス製造コスト見通し（20220517_METI_第8回メタネーション推進官民協議会_資料4）よりINPEXにて中間年値を想定，***：製造単価の125%としてINPEXにて試算

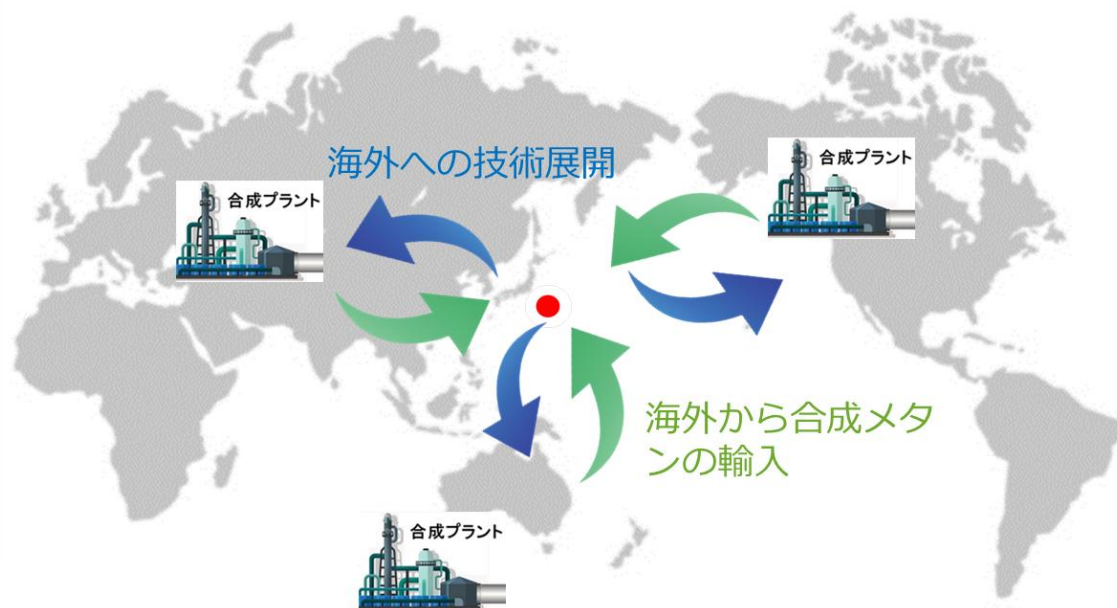
本事業を通じて、INPEX と大阪ガスは、CO₂-メタネーションによる都市ガスのカーボンニュートラル化の早期社会実装に向けて、取り組んでまいります。

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・・・！