

発表No.A3-3

燃料アンモニア利用・生産技術開発/ブ ルーアンモニア製造に係る技術開発

発表者名 古座野 洋志

団体名 株式会社INPEX

株式会社INPEX JAPAN

発表日 2025年7月17日

連絡先：
株式会社INPEX
hiroshi.kozano@inpec.co.jp

事業概要

1. 期間

開始 : (西暦) 2022年11月
終了 (予定) : (西暦) 2026年3月

2. 最終目標

INPEXの提案するブルーアンモニア製造方法は実証可能なプラント設備を設計・建設し運転を行う事で、大規模化した際に従来法と同程度の生産効率を保ちつつ、従来法にCCS/CCUSを付したプロセスと比較して20%程度の消費エネルギー削減可能であることを実証すること。

3. 成果・進捗概要

◆ 基本設計 (2023年度で完了)

- 主な成果物：実証プラントP&ID、HAZID/HAZOP等の報告書、プロセスデータシート、プロセスシミュレーションモデルの構築

◆ 詳細設計 (ほぼ完了)

- 主な成果物：基礎詳細図面、鉄骨図面、機器外形図、建屋関連図面、仕様書等詳細図面

◆ 機器調達および現場工事 (ほぼ完了)

- 機器製作および現場への据え付け作業完了
- 地盤改良、杭・基礎工事、鉄骨建方完了し、電気・計装、配管等についても大半を完了
- ユーティリティ関係の試運転を実施中
- 2025年6月2日よりプラントに天然ガスを導入した試運転に移行、天然ガスを燃料として使用する周辺機器の試運転を実施中。
 - ✓ その後水素製造設備、アンモニア製造設備の試運転に移行し、今秋より実証運転を開始する見通し



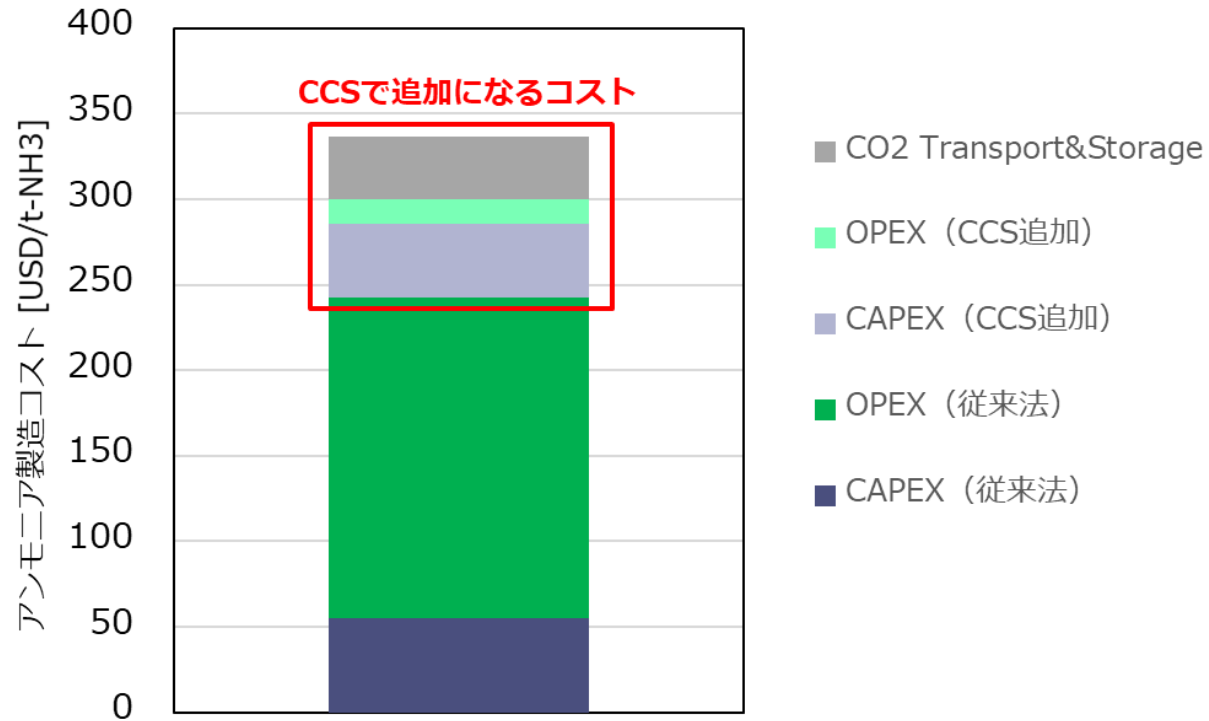
実証プラント建設状況（2025年5月20日撮影）

1. 事業の位置付け・必要性

2050年カーボンニュートラルに達成に期待されるブルーアンモニアの実用化に寄与すべく、以下の技術開発を通して高効率ブルーアンモニア製造法を構築すること

- ① 大規模化を見据えた天然ガス改質の低炭素化技術の開発
- ② 低炭素アンモニア合成技術の開発
- ③ 製造プロセスの最適化・脱炭素化

従来法にCCSを追加するとアンモニア製造コストが20~30%増加する



従来法 + CCSによるブルーアンモニア製造コスト (6000t/dを想定)

要素技術を最適に組み合わせる製造法を構築



1. 事業の位置付け・必要性

② ATRへ供給する空気を酸素のみとすることで 燃焼ガスの発生源となるSMRを削除

SMRに空気を投入していたところ、空気を酸素に変更しSMRを削除
✓ SMRでの燃焼排ガス削減 → 燃焼排ガスからのCO₂回収が不要
✓ 水素製造工程の高圧化 → アンモニア合成圧縮動力の低減

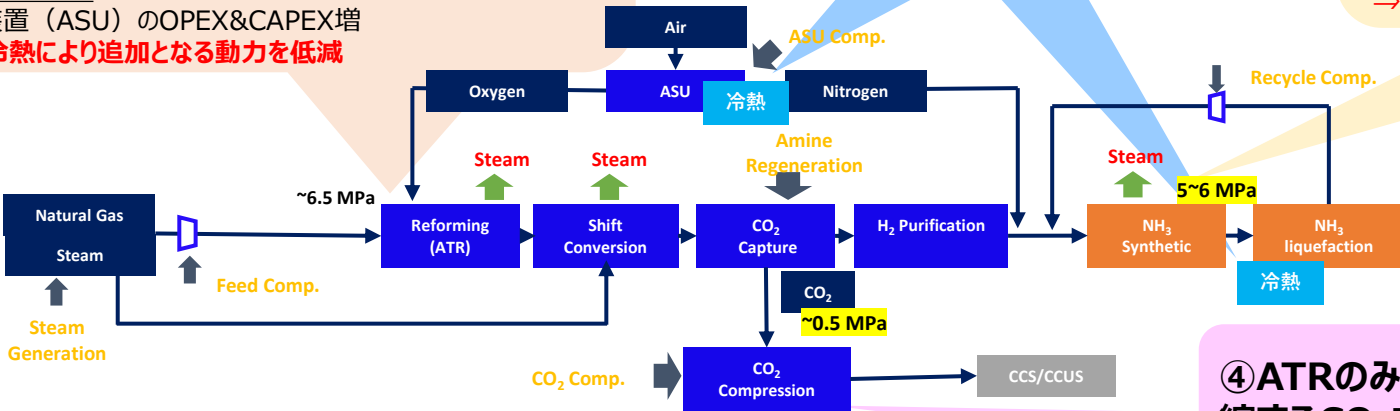
ATRプロセスのデメリット

✓ 空気分離装置 (ASU) のOPEX&CAPEX増
⇒①の未利用冷熱により追加となる動力を低減

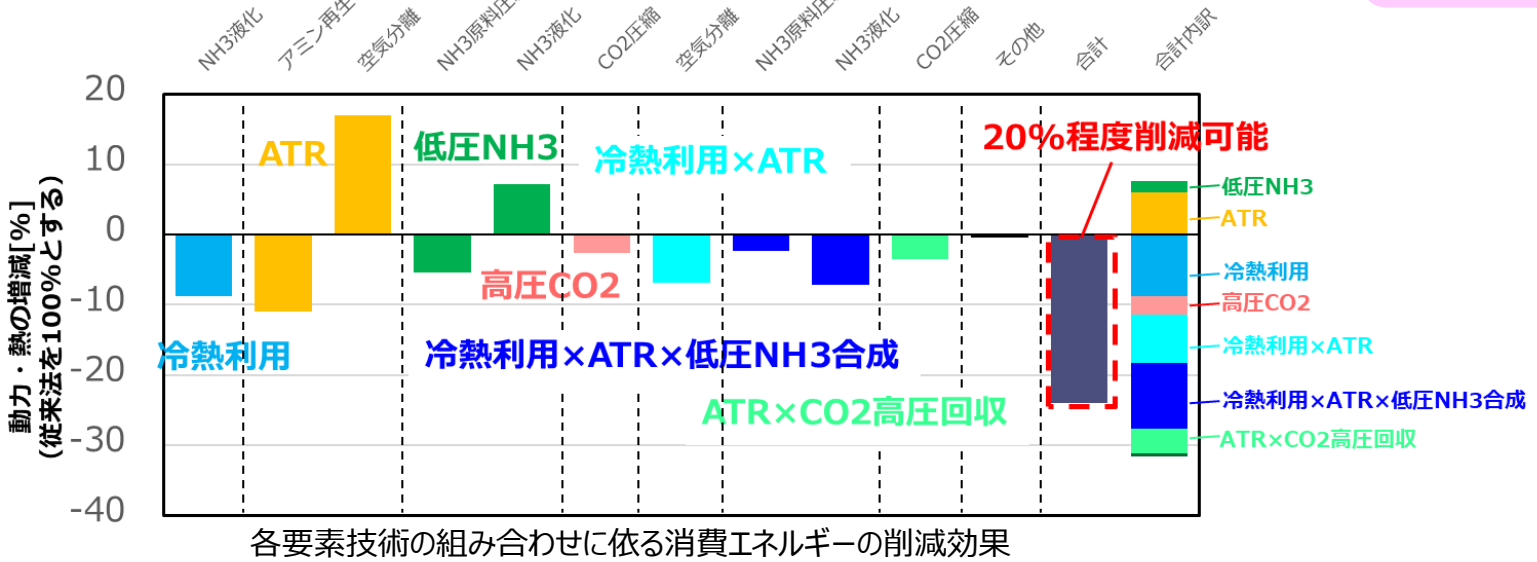
① LNG基地での未利用冷熱をアンモニア液化工程、空気分離 (ASU) 工程の冷媒に利用することで各工程の動力を削減

③-1 アンモニア合成工程の低圧化×ATRプロセス
アンモニア合成工程を低圧化し圧縮機動力を削減、使用材料のグレードダウン
⇒②にてATRプロセスから高圧の水素を供給することで、圧縮機動力をさらに削減

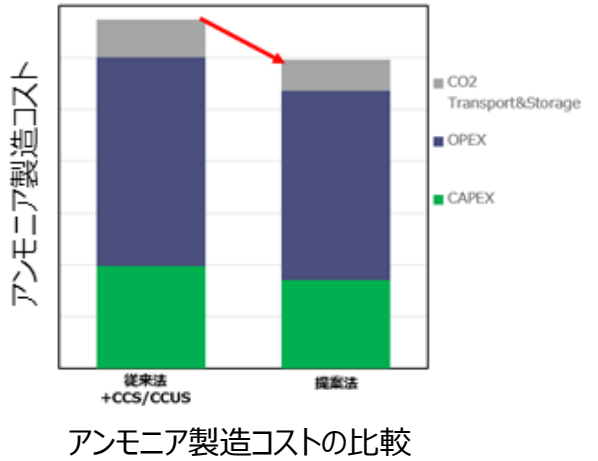
③-2 アンモニア合成工程の低圧化×冷熱
アンモニア合成工程低圧化によって液化工程の動力が増加
⇒液化冷媒に未利用冷熱を利用することで液化工程の動力増加を低減



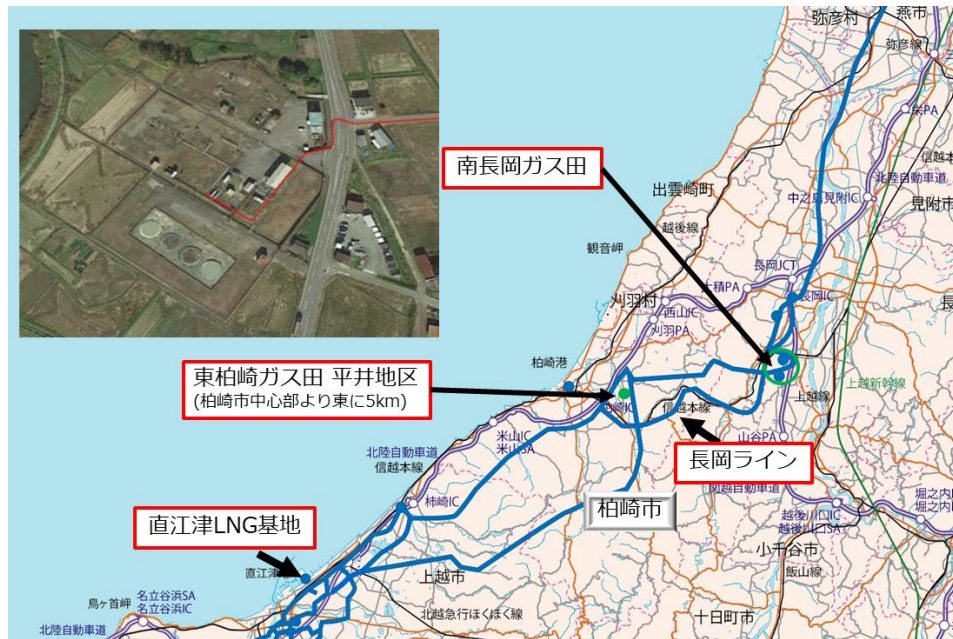
④ ATRのみの改質工程と高圧CO₂回収技術を組み合わせることで圧縮するCO₂を全量高圧で回収することにより、CO₂圧縮動力を低減



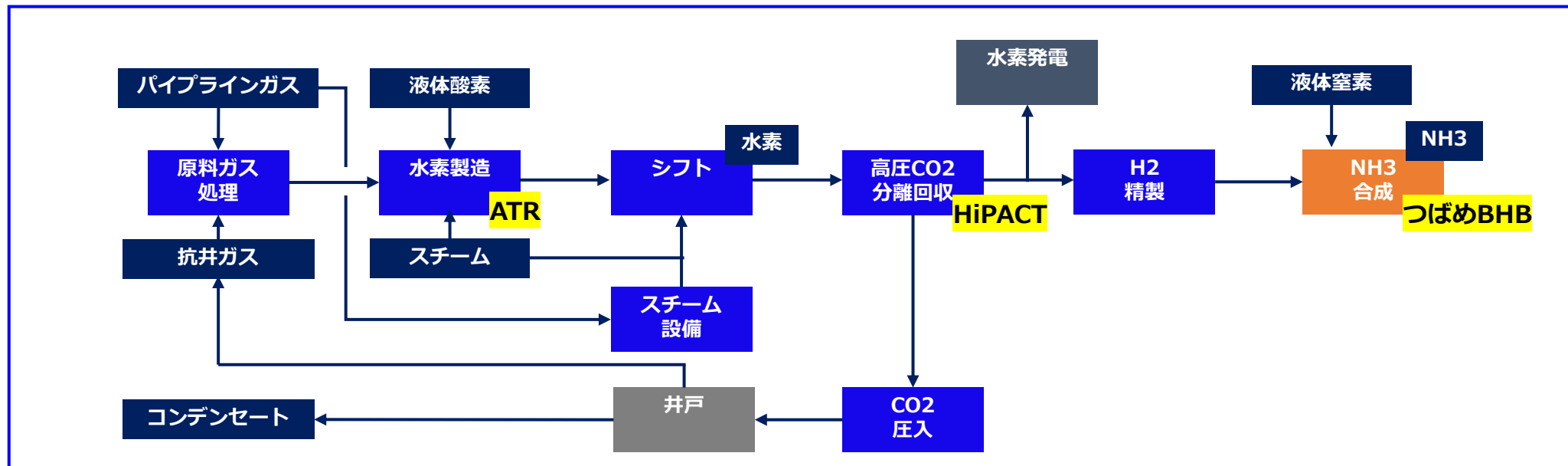
アンモニア製造コストを10%程度削減可能



1. 事業の位置付け・必要性



- ✓ 小規模ながらINPEXの提案する高効率ブルーアンモニア製造法（提案法）を最大限実証できるプラント構成
 - ✓ 原料はパイプラインガス
 - ✓ ATR/高圧CO2回収（HiPACT）/低圧アンモニア合成（つばめBHB）を採用
 - ✓ 小規模実証ならではの問題点あり大規模化を想定した提案法から以下の点を変更
 - 深冷空気分離の採用は規模の観点から難しいため、酸素、窒素は液体として受入れる
 - LNGは入手不可のため、アンモニア合成の液化冷媒には原料の液体窒素を一部用いる
 - 小型ATRはライセンサーの既存設備の設計情報を転用するため、圧力が提案法より低い（6.5→4.5 MPa）
 - 小規模では放熱が大きく、また複雑な熱インテグレーションは難しいため、別途ボイラーを利用する



2. 研究開発マネジメントについて

- 研究開発の目標

本事業では、当社の提案するブルーアンモニア製造方法を小規模ながら最大限実証可能な設備を設計・建設し実際に運転を行う事で、大規模化した際に、従来法と同程度の生産効率を保ちつつ、製造プロセスからのCO₂の回収率90%以上（0.2 t-CO₂/t-NH₃ 以下）を達成するとともに、全体プロセスの最適化により、従来法比で20%程度の消費エネルギー削減と8～10%程度の製造コスト削減が可能であることの実証を最終的な目標とする。

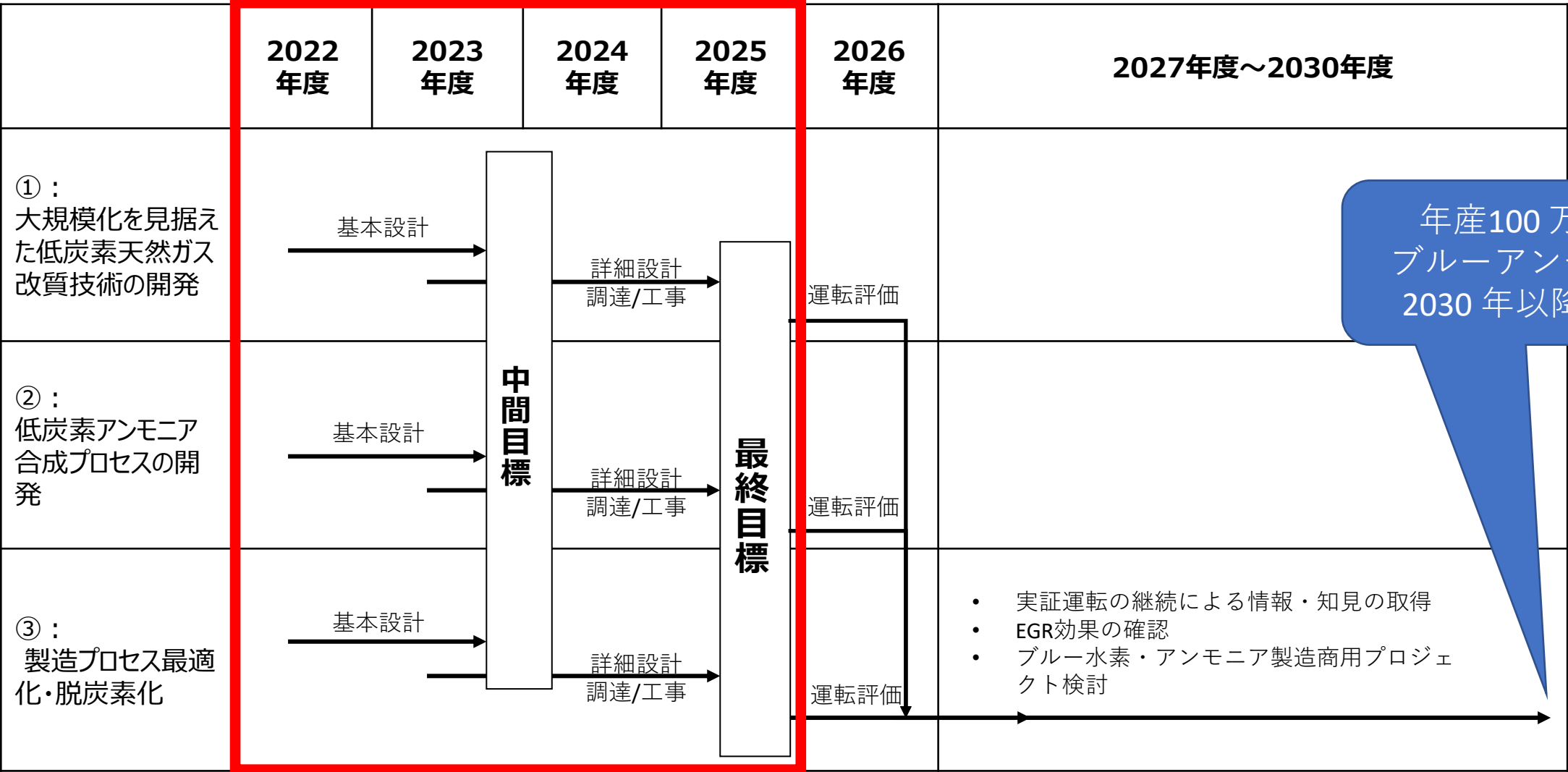
→これら実証により、2040 年度までにアンモニア製造コストを\$ 200～340/ton-NH₃とすることに寄与する。

上記目標達成のため下記3つの研究テーマを設定した。

研究開発テーマ	目標	根拠
①： 大規模化を見据えた低炭素天然ガス改質技術の開発	大規模化した際に、従来法と同程度の生産効率を保ちつつ、製造プロセスからのCO ₂ の回収率90%以上（0.2 t-CO ₂ /t-NH ₃ 以下）を達成する	ATR プロセスとCO ₂ の高圧回収の組み合わせにより CCS/CCUS にかかるエネルギーの削減を図る。
②： 低炭素アンモニア合成プロセスの開発		低温・低圧アンモニア合成と未利用冷熱の利用の組み合わせによりアンモニア合成にかかるエネルギーの削減を図る。
③： 製造プロセス最適化・脱炭素化	全体プロセスの最適化により、従来法比で20%程度の消費エネルギー削減可能であることの実証	①、②を組み合わせるにあたり、高圧化が可能なATR と低温・低圧アンモニア合成のメリット最大化のため、Make up の水素、窒素の圧力がアンモニア合成工程のリサイクルガスの圧力と同等し、アンモニア合成工程原料圧縮機を合成工程の圧損分を補填する1 段圧縮とすることで、OPEX、CAPEX の最小化を図る。

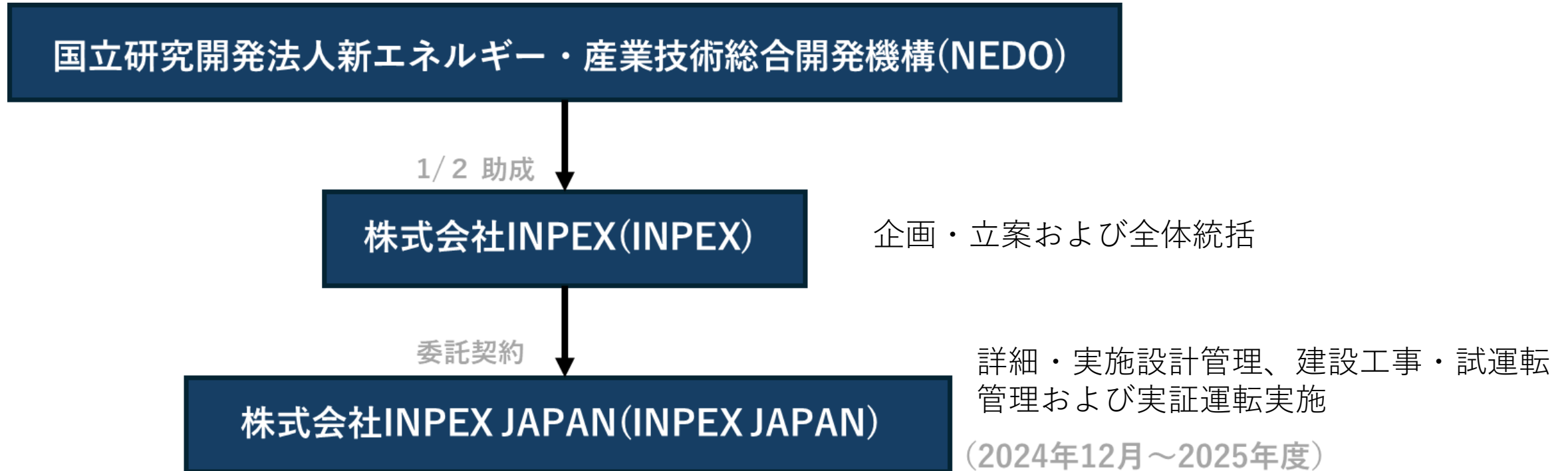
2. 研究開発マネジメントについて

研究開発のスケジュール



2. 研究開発マネジメントについて

- 研究開発の実施体制



3. 研究開発成果について：Safety Studyの実施

HAZOP (Hazard and Operability)

- プロセスプラントにおける潜在危険及び運転・操作性の問題点を特定、評価する安全性評価手法の一つ
- プロセスをいくつかのセクションに分け、そのセクションごとに、ガイドワードとパラメータを組み合わせるプロセスの正常状態からの“ずれ”を想定しながら評価する

HAZOPシート一部抜粋

No (番号)	Deviation(逸脱)		Cause (原因)	Consequence (結果)	Safeguards (対応策)	Recommendation (推奨)	Action by (担当)	Remarks (注釈)
	Parameter (パラメータ)	Guideword (ガイドワード)						
3-090	Flow	No / Less	FV-4026(FV-282)故障により閉	・空気比低下→不完全燃焼→失火 ・未燃ガス放出 ・火災・爆発	AI402128-Lアラーム(AT4021の故障時には鳴らない) ・失火検知(XA4021A/B/C) ・安全なスタック高さ	ベントガス拡散スタディで安全なスタック高さを検討	JGC	
3-091	Flow	No / Less	FV-4026(FV-282)故障により閉	・空気比低下→不完全燃焼→すす発生→伝熱性能低下 ・プロセスガス温度低下 以下、SDV-1502(SDV-212)故障により閉を参照。	AI402128-Lアラーム(AT4021の故障時には鳴らない) 以下、SDV1502故障により閉を参照			

2023/1/16~2/6にかけて実施

SIL Classification

- HAZOPで特定された潜在危険に対し、その原因及び結果をリスクグラフやLOPA手法を用いて評価し、安全対策として考慮される安全計装システム（SIS, Safety Instrument System）の重要度（SIL, Safety Integrity Level）を決定する

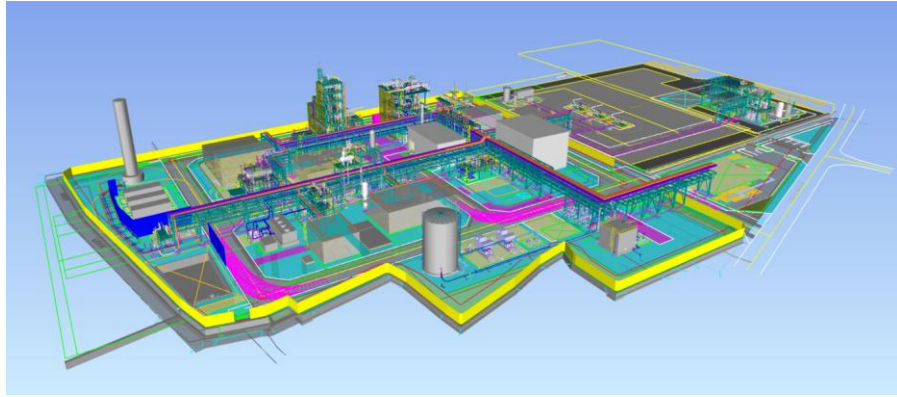
2023/2/16
-17に実施

SIL Clarificationシート一部抜粋

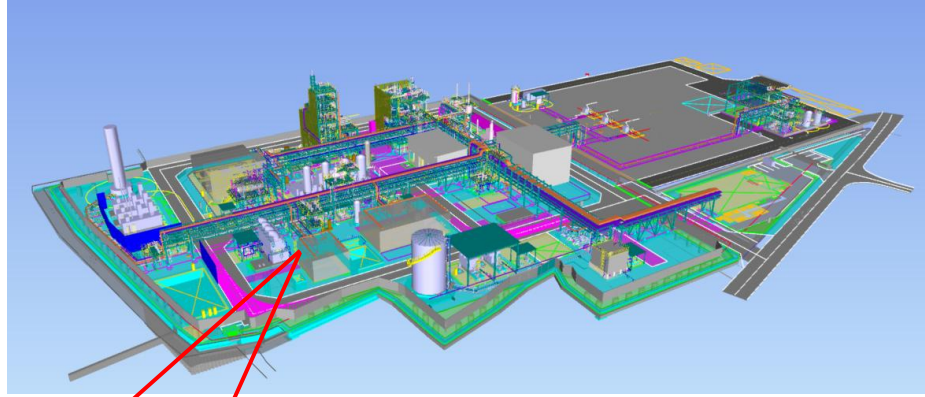
今後各安全計装システムが要求された重要度に応じた信頼性を満たしているか確認していく（SIL Verification）

番号 Number	SIF 番号 SIF Number	機能の目的 Design Intent	結果概要 Impact Event Description	HAZOP参照番号 HAZOP reference No	原因 Initiating Cause	原因発生可能性 Initiation Likelihood (1/yr)	独立対策層 Independent Protection Layers (IPL)								信頼できる緩和策 / Conditional Likelihood Modifier		原因別事象発生可能性 Intermediate Event Likelihood (1/yr)	事象発生可能性 Event Likelihood (1/yr)	機能不全可能性 Total PFD	SIL	推奨 Recommendations (LOPA)	担当者 Response by	注釈 Remarks	
							プロセスデザイン(安全弁等) Process Design	独立した制御システム BPCS	アラーム等による人的対応 Response on alarm, etc	その他の防止対策 Additional Prevention *SIFはSILa以上の信頼性を 持つことを前提とする	緩和対策 Additional Mitigation	人員存在要因 Personnel Occupancy Factor	着火確率 Ignition Probabilities											
307	No.03-02	C-4010A吐出ラインの圧力超過防止	・C4010A吐出ライン設計圧力超過により過熱 ・腐化水素漏洩 ・火災・爆発	3-058	SDV4012A故障により閉 ・手動弁閉鎖作禁止	0.10 0.01	PSV217A PSV217A	0.010 0.010	N/A N/A	1.00 1.00	N/A N/A	1.00 1.00	N/A N/A	1.00 1.00	0.02250 0.02250	0.50 0.50	1.E-06 1.E-06	5.9-E-01	SILa	SDV4012Aの要否を確認し、SILを更新	JGC	コンプレッサー周辺の漏洩であるため、屋内の着火確率0.5を想定 人員存在要員は、複数作業員の存在するメンテナンス時(8000時間中100時間)と、通常巡回時(0.01)の合計 SDV4012Aの要否は別途検討中		
				3-094	SDV4031故障により閉	0.10	PSV217A	0.010	PICA208	0.10	PICA208 H	1.00	N/A	1.000	N/A	1.00	0.02250						0.50	1.E-06
				3-107	SDV4032故障により閉	0.10	PSV217A	0.010	PICA208	0.10	PICA208 H	1.00	N/A	1.000	N/A	1.00	0.02250						0.50	1.E-06
				3-116	FV4051故障により閉	0.10	PSV217A	0.010	PICA208	0.10	PICA208 H	1.00	N/A	1.000	N/A	1.00	0.02250						0.50	1.E-06
				3-150	PV1501故障により全開	0.10	PSV217A	0.010	PICA208	0.10	PICA208 H	1.00	N/A	1.000	N/A	1.00	0.02250						0.50	1.E-06

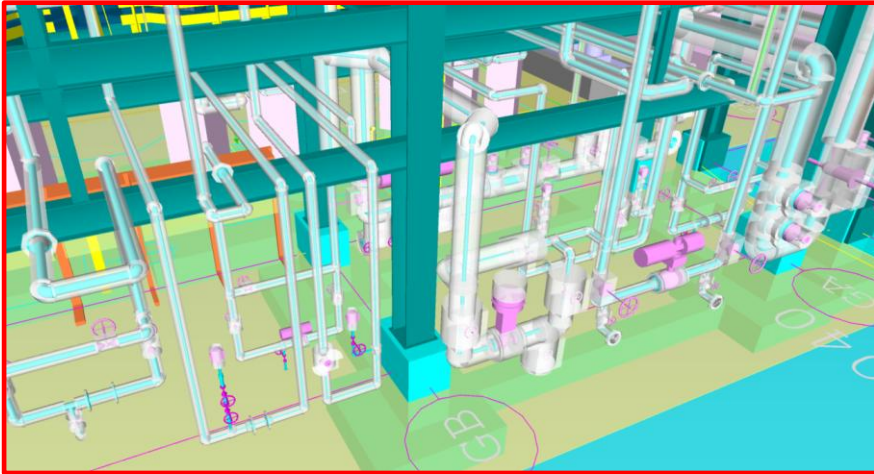
3. 研究開発成果について：3Dモデルの構築



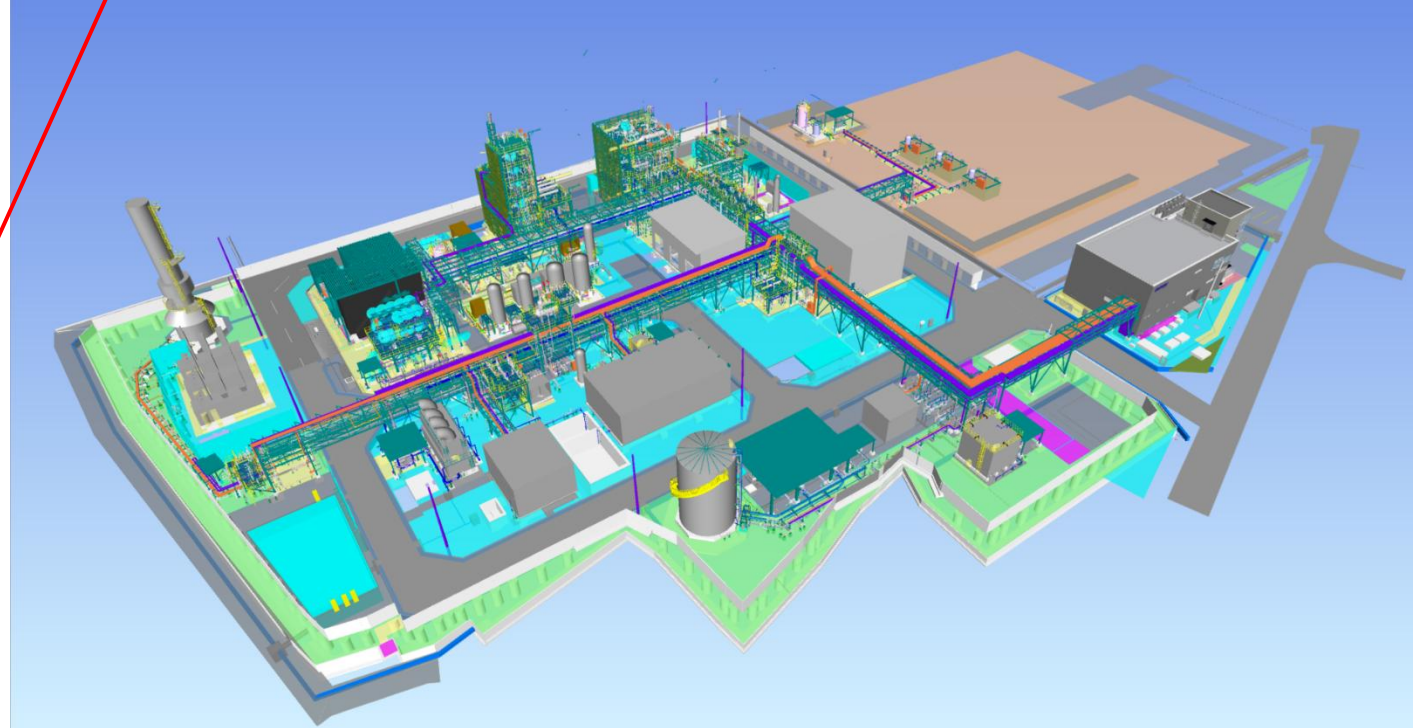
↑2023年6月 60% 3D model



2023年9月 90% 3D model↑



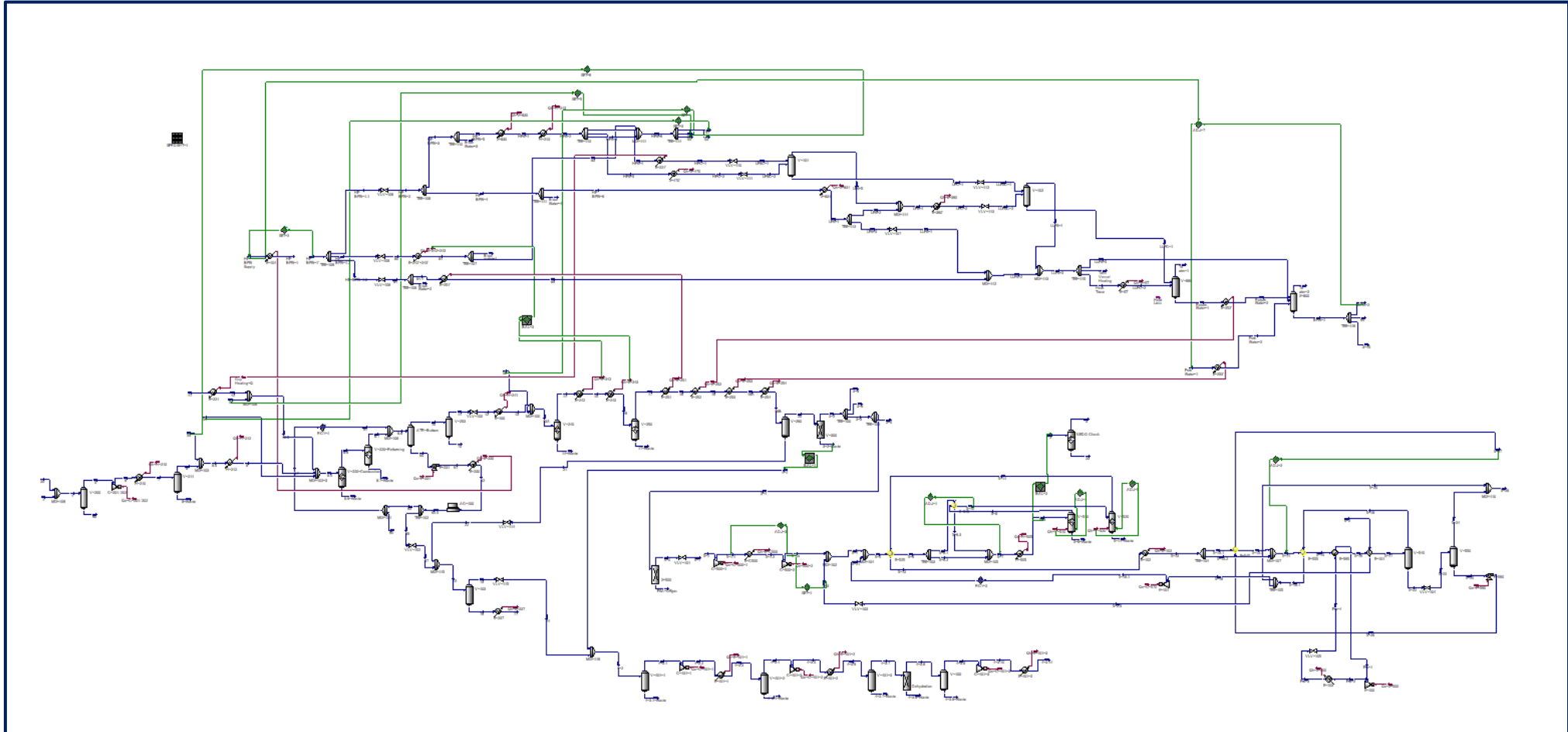
90%Modelではバルブ向き等再現されており操作性、アクセス性含め3D Model reviewで確認



3. 研究開発成果について：Process Simulationモデルの構築

- ✓ 実証試験のプロセスをAspen HYSYSにてシミュレーションモデルを作成
- ✓ ATR反応器出口ガスの組成、アンモニア合成装置出口ガスの組成等を良く再現できていることを確認

シミュレーションモデル



3. 研究開発成果について：実証プラント建設の状況



3. 研究開発成果について：主要機器の据え付け



2024/9/14 アンモニア製造装置据え付け



2024/9/24 ATR反応器据え付け

4. 今後の見通しについて

実証プラントでの運転による検証計画

実証プラントの運転を通じて以下の各検証項目を確認することで、提案法の消費エネルギー削減効果の確認、及び大型化した際に従来法と比較して、ブルーアンモニア製造に際しての消費エネルギーが20%程度低減されることの確認を行うとともに、大型化に際し有益な情報を取りまとめる。

実証プラントの検証項目

	検証基準	検証実施時期（予定）
製造プラントの機械的完成	プラントが機械的に完成し、法規の完成検査をクリアする。	2025年4月
ATRの性能評価	ATRが設計値通りの性能で72時間連続で稼働することを確認する。	2025年9月
CO2回収プロセスの性能評価	CO2回収プロセスが設計値通りの性能で72時間連続で稼働することを確認する。	2025年9月
NH3合成プロセスの性能評価	NH3合成プロセスが設計値通りの性能で72時間連続で稼働することを確認する。	2025年10月
エネルギー削減効果の確認	各プロセスを統合し上で運転し、大規模化した際に狙ったエネルギー削減効果が期待できることを確認する。	2025年10月
運転条件の影響確認	あらかじめ定めた運転条件を変更した運転を行い、狙った変化を確認する。	2025年10月-2026年3月
運転マニュアルの作成	運転を通して大規模化にも展開できる運転マニュアルを作成する	2024年1月-2026年3月

事業による効果

東南アジアに**年間730万トン**の提案法におけるブルーアンモニアのポテンシャルが存在
東南アジアのLNG輸入量は増加が見込まれ、2040年時点ではそのポテンシャルは**年間2,200万トン**に上る
⇒ 現状の製造ポテンシャルと合わせ年間約3,000万トンのブルーアンモニア製造ポテンシャルの存在
⇒ 我が国全ての石炭火力の燃料の20%をアンモニアに置き換える際に必要となる量の1.5倍に相当する