

- 「燃料アンモニア利用・生産技術開発/
(1) 工業炉における燃料アンモニアの燃焼技術開発/
(2) ブルーアンモニア製造に係る技術開発」

事業原簿 概略版

担当部	国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 スマートコミュニティ・エネルギーシステム部
-----	--

—目次—

内容

概要

プロジェクト用語集

研究開発項目ごとの成果

1	研究開発項目（1）：工業炉における燃料アンモニアの燃焼技術開発	1-1
1.1	実施者名、実施体制	1-1
1.2	期間、予算	1-1
1.3	目標	1-2
1.4	成果の達成状況と根拠	1-2
1.5	成果の副次的効果や波及効果	1-9
1.6	特許出願数、論文等の発表数	1-10
1.7	実用化・事業化への道筋と課題	1-10
2	研究開発項目（2）：ブルーアンモニア製造に係る技術開発	2-1
2.1	実施者名、実施体制	2-1
2.2	期間、予算	2-1
2.3	目標	2-1
2.4	成果の達成状況と根拠	2-2
2.5	成果の副次的効果や波及効果	2-3
2.6	特許出願数、論文等の発表数	2-4
2.7	実用化・事業化への道筋と課題	2-4

(添付資料)

(添付資料1) プロジェクト基本計画

(添付資料2) プロジェクト開始時関連資料 (事前評価結果、パブリックコメント募集の結果)

(添付資料3) 特許論文等リスト

概要

		最終更新日	2023年5月29日	
プロジェクト名	NEDO プロジェクト名：「燃料アンモニア利用・生産技術開発」 METI 予算要求名称：「化石燃料のゼロ・エミッション化に向けた持続可能な航空燃料(SAF)・燃料アンモニア生産・利用技術開発事業」	プロジェクト番号	P21012	
担当推進部/ PMまたは担当者 及び METI 担当課	<p>研究開発項目 (1) 「工業炉における燃料アンモニアの燃焼技術開発」</p> <p>スマートコミュニティ・エネルギーシステム部 PMgr 青山 勝博 (2021年12月～現在) スマートコミュニティ・エネルギーシステム部 担当者 和田 祐子 (2021年12月～現在) スマートコミュニティ・エネルギーシステム部 担当者 山本 真一 (2023年2月～現在) 資源エネルギー庁 資源・燃料部 政策課</p> <p>研究開発項目 (2) 「ブルーアンモニア製造に係る技術開発」</p> <p>スマートコミュニティ・エネルギーシステム部 PMgr 青山 勝博 (2022年11月～現在) スマートコミュニティ・エネルギーシステム部 担当者 佐々木 雄一 (2022年11月～現在) スマートコミュニティ・エネルギーシステム部 担当者 山本 真一 (2023年2月～現在) 資源エネルギー庁 資源・燃料部 石油・天然ガス課</p>			
0. 事業の概要	<p>経済産業省が策定した「新国際資源戦略」では、気候変動問題への対応として、燃料アンモニアの利用拡大のための技術開発が必要とされている。本事業では、燃料アンモニアの生産技術として、ブルーアンモニア製造技術開発、利用技術として工業炉における燃焼技術開発に取り組むことで、産業分野における脱炭素化に貢献する。</p> <p>研究開発項目 (1) 「工業炉における燃料アンモニアの燃焼技術開発」</p> <p>従来の炭化水素系燃料を燃焼するバーナと比較して、同等の輻射性能を有し、国内の環境規制をクリアできる NOx 排出レベルとするアンモニア燃焼バーナを開発し、実証評価を行う。これにより、将来のスケールアップのための設計方法を確立し、実用化に向けた更なる大規模工業炉へ適用可能な燃焼技術の開発に取り組む。</p> <p>研究開発項目 (2) 「ブルーアンモニア製造に係る技術開発」</p> <p>将来のアンモニア利用拡大を見据え、燃料アンモニア製造における、製造プロセス全体の脱炭素化および従来法に代替しうる低炭素合成技術を小規模プラントにて実証し、将来の大型化を見据えた製造技術の開発、並びに製造プロセス全体の最適化に取り組む。</p>			
1. 事業のアウトカム (社会実装) 達成までの道筋				
1.1 本事業の位置付け・意義	<p>アンモニアは、その運搬や保管などに関する取扱い方法が確立しており、また、燃焼時に CO₂ を排出しないため、CO₂ 排出量の大幅な抑制が期待される「温暖化対策の有効な手段の一つ」となり得る。本事業では、電化など、他の手段では代替が困難な工業炉に対して、アンモニアを燃料として使用するための燃焼技術を開発し、発生する CO₂ の大幅な削減をすることで、国内製造業の競争力の維持・向上に貢献する。</p> <p>また、従来のアンモニア製造方法では、最新鋭の設備であっても、アンモニア 1t の製造に対して 1.7t の CO₂ を排出する。このため、製造プロセスの脱炭素化を進め、CO₂ フリーの「ブルーアンモニア」を実用化することが重要な課題となっている。本事業では、小規模ながら、最大限実証可能な設備で技術開発を行うことで、大規模化した際に、製造プロセスからの CO₂ 回収率 90%以上を達成するとともに、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を行う。これにより、製造工程での脱炭素化とエネルギー高効率化を推進し、クリーンエネルギーへの転換に貢献する。</p>			

1.2 アウトカム達成の道筋	研究開発実施者は、本事業で得られた成果が、燃料アンモニアの利用拡大及び我が国の関連産業の競争力強化に資することを留意しつつ、研究開発成果の普及に努め、また、NEDO はこの普及を促進する。具体的には、経済産業省が主導する、燃料アンモニア導入官民協議会及び、民間企業等により組織された、一般社団法人クリーン燃料アンモニア協会と連携し、本事業の成果を活用することで、燃料アンモニアのサプライチェーンの構築や需要拡大を促進する。
1.3 知的財産・標準化戦略	本事業において得られた研究開発の成果については、知的基盤整備又は標準化等を推進する団体・組織からの要請があれば、積極的にデータ提供し連携する。
2. 目標及び達成状況	
2.1 アウトカム目標及び達成見込み	<p>[アウトカム目標]</p> <p>天然ガス改質に CCS を組み合わせて既存法にてブルーアンモニアを製造するコストは \$ 440/ton-NH₃ 程度であるが、本事業で開発する製造方法を活用し、さらに工業炉等における燃料アンモニアの需要を創出することで、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。</p> <p>[達成見込み]</p> <p>アウトカム達成への道筋として重要な過程である、アウトプット目標の達成は、予定通り到達する見込みであり、アウトカム達成へ着実に歩んでいる状況である。</p>
2.2 アウトプット目標及び達成状況	<p>研究開発項目 (1) 「工業炉における燃料アンモニアの燃焼技術開発」</p> <p>[中間目標](2023 年度)</p> <p>200kW 級アンモニア燃焼バーナを製作し、200kW モデル燃焼炉においてアンモニア-酸素等支燃ガス燃焼による、輻射伝熱強化条件と低 NO_x 燃焼条件の検討実験と検証を行い、輻射伝熱強化及び低 NO_x 燃焼化の技術を確立する。また、炉に求められる加熱制御等、要求水準が高いガラスメーカー等の小・中型工業炉向けのアンモニア燃焼バーナを設計、製作し、アンモニア燃焼の実証評価試験を行う。これにより、工業炉におけるアンモニア燃焼の要素技術を確立する。</p> <p>[達成状況]</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ラボスケールバーナで低 NO_x 化機構を明確にし、工業炉の環境基準を達成した。 (2023 年 3 月に中間目標達成) ・200kW 級アンモニア-酸素バーナを開発し、NO_x 排出濃度を一般的な工業炉の規制値以下とした。 (2023 年 3 月に中間目標達成) ・AGC ガラス生産炉における 200kW 級アンモニア-酸素バーナの技術検証を開始。 (2023 年 6 月に中間目標達成見込み) <p>研究開発項目 (2) 「ブルーアンモニア製造に係る技術開発」</p> <p>[中間目標](2023 年度)</p> <p>ハーバー・ボッシュ法に替わるアンモニア製造装置や水素製造装置等の各要素技術設計、並びに CO₂ 回収や熱収支バランス等のプロセスの最適設計を完了する。</p> <p>[達成状況]</p> <ul style="list-style-type: none"> ・EPC コントラクターを決定して、詳細設計を開始。 (2024 年 3 月に中間目標達成見込み) ・環境対策の検討開始。 (2024 年 3 月に中間目標達成見込み)

3. マネジメント					
3.1 実施体制	経産省担当原課	研究開発項目(1)「工業炉における燃料アンモニアの燃焼技術開発」 資源エネルギー庁 資源・燃料部政策課			
	プロジェクトリーダー	研究開発項目(2)「ブルーアンモニア製造に係る技術開発」 資源エネルギー庁 資源・燃料部石油・天然ガス課			
	プロジェクトマネージャー	研究開発項目(1)「工業炉における燃料アンモニアの燃焼技術開発」 大陽日酸株式会社 技術開発ユニット 開発企画統括部長 萩原 義之			
	委託先・助成先	研究開発項目(2)「ブルーアンモニア製造に係る技術開発」 国立研究開発法人産業技術総合研究所 ゼロエミッション国際共同研究センター 水素製造・貯蔵基盤研究チーム 研究チーム長 高木 英行			
	プロジェクトマネージャー	研究開発項目(1)「工業炉における燃料アンモニアの燃焼技術開発」 研究開発項目(2)「ブルーアンモニア製造に係る技術開発」 スマートコミュニティ・エネルギーシステム部 青山 勝博 主任研究員			
	委託先・助成先	研究開発項目(1)「工業炉における燃料アンモニアの燃焼技術開発」 委託先：大陽日酸(株)/AGC(株)/(国研)産業技術総合研究所 /(大)東北大学			
		研究開発項目(2)「ブルーアンモニア製造に係る技術開発」 助成先：(株)INPEX			
3.2 受益者負担の考え方	主な実施事項	2021fy	2022fy	2023fy	
	1：工業炉における燃料アンモニアの燃焼技術開発	○	○	○	
	1-1 アンモニア燃焼 基礎特性把握	○	○	○	
	1-2 アンモニア-酸素 バーナ開発	○	○	○	
	1-3 工業炉でのアンモニア燃焼技術検証	○	○	○	
	2：ブルーアンモニア製造に係る技術開発	-	○	○	
	2-1 大型化を見据えた天然ガス改質の低炭素化技術の開発	-	○	○	
	2-2 低炭素アンモニア合成プロセスの開発	-	○	○	
	2-3 製造プロセス全体の最適化・脱炭素化	-	○	○	

会計・勘定	2021fy	2022fy	2023fy	総額
一般会計	-	-	-	-
特別会計 (電源・需給の別)	28	1,116	1,724	2,868
開発成果促進財源	-	-	-	-
総 NEDO 負担額	28	1,116	1,724	2,868
(委託)	(28)	(522)	(380)	930
(助成) : 助成率△/□	-	(594):1/2	(1,344):1/2	1,938
(共同研究) : 負担率△/□	-	-	-	-
3.3 研究開発計画				
情勢変化への対応	実施者とのコミュニケーションや情報収集(他機関との意見交換)を通じて、燃料アンモニアに関する国内企業の動向、政策・制度設計に関する情報を把握して、実施計画に追加で必要な項目、およびそれに伴う予算が必要となるかについて、NEDO から積極的に事業者へ働きかけを行い、必要な計画変更(予算配分も含め)を柔軟・迅速に実施した。			
中間評価結果への対応	-			
評価に関する事項	事前評価	研究開発項目(1)「工業炉における燃料アンモニアの燃焼技術開発」 2020年度実施 資源エネルギー庁 資源・燃料部政策課		
		研究開発項目(2)「ブルーアンモニア製造に係る技術開発」 2021年度実施 担当部 スマートコミュニティ・エネルギーシステム部		
	中間評価	2023年度 中間評価実施		
	終了時評価	2026年度 終了時評価実施予定		
別添				
投稿論文	1: 工業炉における燃料アンモニア燃焼技術開発 1件 2: ブルーアンモニア製造に係る技術開発 該当なし			
特許	1: 工業炉における燃料アンモニア燃焼技術開発 該当なし 2: ブルーアンモニア製造に係る技術開発 該当なし			
その他の外部発表 (プレス発表等)	1: 工業炉における燃料アンモニア燃焼技術開発 「新聞・雑誌掲載」2件、「学会発表・講演」13件 2: ブルーアンモニア製造に係る技術開発 「新聞・雑誌掲載」15件、「学会発表・講演」2件			
基本計画に関する事項	作成時期	2021年3月 作成		
	変更履歴	2021年9月「研究開発項目(2) 1ステップでアンモニアを電解合成する技術開発」を削除すること等に伴う改訂		

		2022 年 5 月「研究開発項目（2）ブルーアンモニア製造に係る技術開発の追加に伴う改訂
--	--	---

プロジェクト用語集

研究開発項目（1）「工業炉における燃料アンモニアの燃焼技術開発」

用語	説明
予混合球状火炎伝播試験	バーナによって発生した予混合球状火炎について、空間中での燃え広がり方を評価する試験。
層流燃焼速度	火炎を形成する混合気が静止、もしくは層流で流れているとき、火炎面の前方には未燃混合気、後方には燃焼ガスが存在するが、火炎が未燃混合気を嚙り込んで行く際の速度のこと。
酸素富化燃焼	空気に酸素を加えて空気中の酸素濃度を 21%以上にしたもの（酸素富化空気と呼ぶ）を酸化剤として用いる燃焼。通常の空気燃焼と比べて、高い火炎温度が得られる。
量論混合気	燃料と、その燃料分子を過不足無く酸化させるだけの酸化剤との量が、理想的な比率（量論混合比）で構成された気体。
Rich-Lean 2 段燃焼	量論混合比よりも燃料過濃な状態(Rich 状態)で燃焼させたのち、空気を急速に混合して希薄燃焼(Lean)させる低 NOx 燃焼法の一つ。
輻射スペクトル	輻射において、発生する電磁波の振動数領域を表したもの。
噴流拡散火炎	燃料と酸化剤を各々噴流状態で静止大気中に噴出させ、着火したときにできる火炎のこと。
乱流拡散火炎	燃料と酸化剤を各々乱流状態で静止大気中や空気流中に噴出させ、着火したときにできる火炎のこと。
バンドスペクトル	スペクトルの存在領域のうち、多数のスペクトルが集中して存在している帯域のこと。
センターバーナ	燃料過多状態の混合気を噴出し、火炎を作り出すメインのバーナ。 Rich-Lean2 段燃焼の Rich 状態を創出する。
ステーシングノズル	センターバーナが作り出した Rich 状態の火炎に対して、不足する酸化剤を噴出するためのノズル。 Rich-Lean2 段燃焼の Lean 状態を創出する。
バーナブロック	燃料の噴出口や供給ポートが備わった耐火物製のブロック。
FT-IR 分析計	測定対象物固有の赤外線吸収スペクトルを読み、対象物の特性を分析する赤外分光法の一つ。 固定鏡と移動鏡を用いて干渉波を作り対象物に当て、透過または反射した干渉波をフーリエ変換し赤外線スペクトルを測定する。
ステーシング燃焼	先述の Rich-Lean 2 段燃焼と同義。

研究開発項目（２）「ブルーアンモニア製造に係る技術開発」

用語	説明
ブルー水素	天然ガスや石炭等の化石燃料を、水蒸気メタン改質（Steam Methane Reforming）や自己熱改質（Auto Thermal Reforming）などで水素と二酸化炭素に分解し、二酸化炭素を大気排出する前に回収して生産される水素。二酸化炭素を回収することで、グリーン水素と同様に、温室効果をゼロにすることができる。
ブルーアンモニア	ブルー水素を原料として合成されたアンモニアのこと。
ハーバー・ボッシュ法	鉄を主体とした触媒上で水素と窒素を 400～600℃、200～1000 atm の超臨界流体状態で直接反応させることより、アンモニアを生産する方法である。現代のアンモニア工業的製法として、広く普及している。
EPCコントラクター	事業に必要な施設・設備を建設するため、プロジェクトの設計（Engineering）、調達（Procurement）、建設（Construction）を一括して請け負う建設会社やエンジニアリング会社のこと。
ATR	Auto Thermal Reforming(自己熱改質)の略。 水蒸気改質による吸熱反応と部分酸化による発熱反応を共に反応容器内で進行させ、熱をバランスさせながら水素を製造する方式のこと。
HiPACT	High Pressure Acid gas Capture Technology(CO ₂ 高圧分離回収技術)の略。 天然ガスや合成ガス中の二酸化炭素（CO ₂ ）を吸収分離し、回収する技術のこと。従来のアミン法よりも高圧で二酸化炭素（CO ₂ ）を回収できるため、圧入プロセスの省エネルギー化を図ることができる。
CCS/CCUS	「CCS」とは、「Carbon dioxide Capture and Storage」の略で、日本語では「二酸化炭素回収・貯留」技術と呼ばれる。発電所や化学工場などから排出された CO ₂ を、他の気体から分離して集め、地中深くに貯留・圧入する。「CCUS」は、「Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage」の略で、分離・貯留した CO ₂ を利用するもの。回収した CO ₂ を古い油田やガス田に注入することで、残留油、ガスを圧力で押し出しつつ、CO ₂ を地中に貯留するもの。
フィードガス	改質器や合成器に供給する原料ガスのこと。

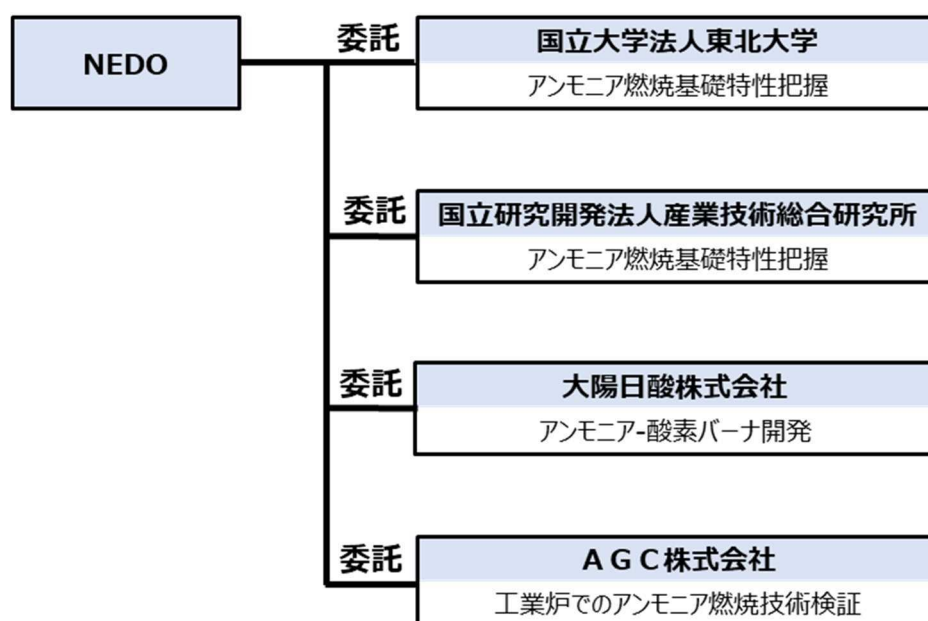
研究開発項目ごとの成果

研究開発成果について、2021 年度より実施している「工業炉における燃料アンモニアの燃焼技術開発」及び、「ブルーアンモニア製造に係る技術開発」に分けて記載する。

1 研究開発項目（1）「工業炉における燃料アンモニアの燃焼技術開発」

1.1 実施者名、実施体制

大陽日酸株式会社が代表機関となり、AGC 株式会社、国立研究開発法人産業技術総合研究所と国立大学法人東北大学が参画した 4 者で分担して 2021 年度より委託事業として実施している。



1.2 期間、予算

実施期間は 2021 年度から 2025 年度までの 5 年間である。なお契約期間は 2023 年度までであり、2023 年度までの事業予算は以下に示す。

表 1.2-1 「工業炉における燃料アンモニアの燃焼技術開発」 予算（単位：百万円）

2021 年度	2022 年度	2023 年度	合計
28	522	380	930

1.3 目標

【最終目標】（2025 年度）

従来の炭化水素系燃料を燃焼するバーナと比較して同等の輻射性能を有し、国内の環境規制をクリアできる NOx 排出レベルとするアンモニア燃焼バーナを開発し、工業炉における長時間・連続燃焼による実証評価試験を行う。ここで、燃料アンモニア利用の燃焼特性、安全性、経済性、製品品質への影響等を評価し、それを反映したバーナや工業炉の最適化を完了する。

また、上記の成果を踏まえ、1MW 級アンモニア燃焼バーナ及び周辺技術の設計技術を確立し、大型工業炉への適用可能性の検討を完了する。

【中間目標】（2023 年度）

200kW 級アンモニア燃焼バーナを製作し、200kW モデル燃焼炉においてアンモニア-酸素等支燃ガス燃焼による、輻射伝熱強化条件と低 NOx 燃焼条件の検討実験と検証を行い、輻射伝熱強化及び低 NOx 燃焼化の技術を確立する。また、炉に求められる加熱制御等、要求水準が高いガラスメーカー等の小・中型工業炉向けのアンモニア燃焼バーナを設計、製作し、アンモニア燃焼の実証評価試験を行う。これにより、工業炉におけるアンモニア燃焼の要素技術を確立する。

1.4 成果の達成状況と根拠

1.3 で示した目標について、アンモニア燃焼基礎特性把握、アンモニア-酸素バーナ開発および工業炉でのアンモニア燃焼技術検証に分けて、成果の達成状況と根拠を以下に示す。

表 1.4-1 成果の達成状況

実施項目	目標 (2024 年 3 月)	成果（実績） (2023 年 6 月)	達成度（見込み）	根拠
アンモニア燃焼 基礎特性把握	200kW 級アンモニア燃焼バーナを製作し、モデル燃焼炉においてアンモニア-酸素燃焼による、輻射伝熱強化条件と低 NOx 燃焼条件の検討実験と検証を行い技術確立する。ガラスメーカー等向けのアンモニア燃焼バーナを設計、製作し、アンモニア燃焼の実証評価試験を行うことにより、工業炉におけるアンモニア燃焼の要素技術を確立する。	ラボスケールバーナで低 NOx 化機構を明確にし、工業炉の環境基準を達成した	○ 2023 年 3 月に達成	—
アンモニア-酸素バーナ開発	200kW 級アンモニア-酸素バーナを開発し、NOx 排出濃度を一般的な工業炉の規制値以下とした	200kW 級アンモニア-酸素バーナを開発し、NOx 排出濃度を一般的な工業炉の規制値以下とした	○ 2023 年 3 月に達成	—
工業炉でのアンモニア燃焼技術検証	AGC ガラス生産炉における 200kW 級アンモニア-酸素バーナの技術検証	AGC ガラス生産炉における 200kW 級アンモニア-酸素バーナの技術検証	○ 2023 年 6 月に達成 見込み	2023 年 6 月下旬に実証予定

1.4.1 アンモニア燃焼基礎特性把握（国立研究開発法人産業技術総合研究所、国立大学法人東北大学）

【国立大学法人東北大学 2021 年度成果】

アンモニア酸素燃焼、酸素富化燃焼の詳細反応モデルの検証を目的として、定容器内での予混合球状火炎伝播試験により層流燃焼速度計測を行った。さらに、代表的なアンモニア燃焼詳細反応モデル（メカニズム）を用いた数値解析により、実験結果と比較し、実験結果を再現できる詳細反応モデルを選定した。実験では燃料希薄から過濃までの 8 条件、酸素モル分率は代表的な酸素富化燃焼である 40%、ならびに酸素 100% の酸素燃焼条件とした。圧力は大気圧、初期混合気温度は室温である。アンモニア酸素富化燃焼では最大燃焼速度が 40 cm/s、酸素燃焼条件では 110 cm/s に達することが実験及び数値解析の両方により確認できた。酸素富化条件では断熱火炎温度が最大となる当量比と層流燃焼速度が最大となる当量比は概ね一致したが、酸素燃焼条件では両者は一致せず、層流燃焼速度が最大となる当量比はやや希薄側に位置することが分かった。数値解析は、Tian, Gotama, Okafor, Mei, Nakamura の 5 種のメカニズムを用いて比較を行った結果、量論混合気付近では Okafor メカニズムが、過濃側では Gotama メカニズムが実験結果を良好に再現することが分かった。当量比の全域で比較的良好な一致を見せたのは Mei メカニズムであった。これらのメカニズムの化学種数は 35 から 59 と多く、そのまま 3 次元数値シミュレーションに用いると大きな計算時間を要するため、化学種数 38 の Mei メカニズムをベースメカニズムとして簡略化を試みるのが望ましいと考えた。

数値解析による NO_x 生成抑制機構の把握に関して、プロジェクト提案書に示した各種対応技術に関し、炉内滞在時間による NO_x 濃度の変化を調べた。当量比は 1.0, 1.2 の 2 条件とした。また、酸素濃度 21% の空気燃焼、40% の酸素富化燃焼、100% の酸素燃焼に対して比較を行った。その結果、当量比 1 の空気燃焼では滞在時間が 1 秒でも NO 濃度が低下し続けることが分かった。一方酸素富化燃焼では 0.1 秒以下で、酸素燃焼ではさらに短い滞在時間で化学平衡の NO 濃度まで低下することが分かった。当量比 1 の NO 平衡濃度値は酸素燃焼では非常に大きく実用的ではないが、低 NO_x 化のために有効な Rich-Lean 2 段燃焼を実現する当量比 1.2 の過濃燃焼では、酸素富化燃焼、酸素燃焼とも平衡値に達する時間が短いまま平衡濃度も低下する。更に高当量比では平衡濃度も低いため、酸素富化燃焼、酸素燃焼でも Rich-Lean 2 段燃焼による低 NO_x 化は可能であり、また炉内滞在時間も十分であることが分かった。NO 還元反応への高濃度酸素の影響に関しては、 $\text{NO} + \text{N} = \text{N}_2 + \text{O}$ による還元反応が強化されること、 N_2O が生成される $\text{NO} + \text{NH} = \text{N}_2\text{O} + \text{H}$ 反応は低下して高酸素濃度では N_2O 生成が抑制されることが分かった。また、輻射モデル構築に関する次年度研究の準備として、HITRAN データベースから輻射スペクトルを抽出するテストを行い、400 万本を超える吸収線を適切にスムージングする処理を行うことによって、概ね実用的な輻射スペクトルが得られることが分かった。

【国立大学法人東北大学 2022 年度成果】

アンモニア噴流の基部に酸素ならびに酸素富化空気を供給する試験燃焼器を製作した。炉内アンモニア酸素燃焼および酸素富化燃焼は、燃焼ガス雰囲気、すなわちアンモニア燃焼生成ガスの主成分である窒素ガス中におけるアンモニア噴流拡散火炎であることから、周囲空気との混合を抑制するため石英ガラス燃焼管内にアンモニア噴流バーナを内蔵し、さらに窒素フローを有する構造とした。燃焼器熱出力は最大 10kW とした。この試験燃焼器に対して、アンモニア流量、酸化剤流量、酸化剤中の酸素モル分率、窒素フロー流量をパラメータとして燃焼試験を実施し、NO_x の最大成分である NO 排出濃度への影響を調べた。火炎安定性については酸素モル分率が概ね 55% 以上で火炎基部が安定し、アンモニアに対する酸素燃焼、酸素富化噴流火炎は乱流拡散火炎の形態となることが確認された。燃焼器熱出力 5kW から 10kW の範囲において火炎基部が安定する酸素モル分率の範囲で石英ガラス燃焼管から排出される燃焼ガス中の NO 濃度、未燃 NH₃ 濃度を計測した結果、いずれの条件に対しても総括当量比が 1 に近い条件で、NO 濃度ならびに未燃 NH₃ 濃

度が最小になる、いわゆる最適当量比が存在することが確認された。最適当量比は燃焼条件によって若干希薄側あるいは過濃側に移動するが、このような最適当量比の存在の確認は、アンモニア予混合燃焼に対して以前に開発された Rich-Lean 二段燃焼による低 NOx 化技術が拡散燃焼である工業炉燃焼においても適用可能であることを意味する発見である。さらに、いずれの燃焼条件に対しても排出される NO 濃度は 15%O₂ 換算値に対して環境基準である 360ppm を下回ることが明らかになった。これらにより、工業炉におけるアンモニア噴流に対する酸素燃焼、酸素富化燃焼の NOx 生成抑制条件が明らかになった。さらに、試験燃焼において異なる火炎高さの 3 か所に赤外発光を検知可能な分光器導入部を設置し、アンモニア噴流拡散火炎からの輻射スペクトルを計測することに成功した。輻射スペクトルは予想されたように高温水蒸気からの赤外輻射であり、スペクトル形状も HYRTAN データベースから予測された構造に概ね一致し、火炎温度の違いによるピーク値の違いもよく再現された。さらに、燃焼熱出力 10kW の燃焼試験と同じ条件に対して、RANS 計算によりアンモニア噴流に対する酸素燃焼拡散火炎の数値解析の収束解を得ることに成功し、バンドスペクトルを考慮した気体輻射数値シミュレーションモデル開発に向けたプラットフォームの構築に成功した。

【国立研究開発法人産業技術総合研究所 2021 年度成果】

バーナ大型化の影響評価のために、東北大学のラボ規模バーナ（10kW）より長火炎の 50kW 級のバーナと火炎観察可能なモデル炉の仕様検討と基本設計を行った。バーナは 2 重管式であり、東北大学のバーナと同様な基本構造と設計流速を採用し、太陽日酸より試供される。バーナの内管より燃料を供給し、外管より供給される酸化剤とゆっくり混ぜながら、長さ 1.5 メートル程の細長い拡散火炎が形成される。火炎長に合わせて内径 0.4 メートル、長さ 2 メートルのモデル炉を設計した。モデル炉に水冷壁を採用し、火炎形状が壁の輻射の影響を受けにくい設計とした。また、水の放熱にラジエーターを採用し、放熱量からラジエーターの仕様検討を行った。炉の正面から火炎を観察できるように耐熱ガラスの窓を設け、左右 2 方向からレーザー光が入射する窓を設けた。

モデル炉における 50kW バーナ試験に向けて、産総研福島再生可能エネルギー研究所(FREA)にある試験設備の整備に着手した。酸素燃焼・酸素富化燃焼のために必要な酸素流量条件に合わせて酸素ポンプ庫とレギュレータの選定を行い、そして、水蒸気添加による輻射強化のために必要な水蒸気流量条件に合わせて電気式水蒸気発生装置の選定を行った。新設するモデル炉及び酸素ポンプ庫、水蒸気発生装置について配置案を検討し、関連の既存設備についても配置の見直し検討を行った。また、計測装置の動作確認および計測手法の確立のために平面火炎バーナを用いる小型アンモニア燃焼試験装置の構築を進めた。

【国立研究開発法人産業技術総合研究所 2022 年度成果】

バーナ大型化の影響評価のために、東北大学のラボ規模バーナ（10kW）より長火炎の 50kW 級のバーナの燃焼試験を実施した。

まずそのために 50kW 級のモデル炉について前年度実施した仕様検討と基本設計をもとに細部を検討して試作するなど、試験設備の整備を完了した。試験設備は 20ft コンテナを改造して構築しており、3 面に窓を配置した内径 0.4m×全長 2m の縦型水冷炉を中央に、周囲にアンモニア、空気、酸素、メタンの供給・制御系、カメラ等を内部に設置し、それらを外部より制御して燃焼試験が行えるようにした。燃焼試験はメタン－空気燃焼によるパイロットバーナにより、炉下部に設置された酸素燃焼用 50kW バーナに点火して開始した。まず予備試験では、メタン－酸素燃焼を用いて試験設備の動作確認を行った。またアンモニア－酸素燃焼の場合、排気ガス中の水蒸気が多く凝縮しやすいことから、排気を希釈して分析できるようサンプリング方法を改良した。

その上で、アンモニア－酸素燃焼試験を実施し、排気ガス成分の変化を把握した。具体的にはメタン－酸素燃焼で火炎を形成してから、燃料をアンモニアに徐々に切り替えてアンモニア－酸素燃焼を実現し、火炎形状を

確認するとともに、排気ガスの計測を行い、以下の結果を得た。酸素比 1.1 のアンモニア-酸素燃焼では、燃焼量 25～50kW の範囲で保炎可能なこと、燃焼量とともに NO が増加すること、燃焼量が 25kW に低下すると急激に未燃アンモニアが増加することなどを確認した。さらに酸素に空気を混入することで酸素富化空気とし、燃焼量 50kW のときの排気ガス成分への酸素比の影響を調べて、以下のことが確認できた。

- ・酸素比を高めると、NO₂ が NO と同様に上昇するが、NO に遅れて上昇し、酸素比を低くすると、N₂O が NH₃ と同様に上昇するが、NH₃ よりも先に上昇することが分かった。
- ・酸素比 1.08 で NH₃ と NO が最小となった。
- ・酸素濃度（富化率）を下げることで、NO が減り、酸素濃度（富化率）を上げることで、輻射（温度）が強くなるため、低 NO_x と輻射の両立にはトレードオフがあることが分かった。
- ・全体の当量比を一定としたまま酸素を分割して、供給することで二段燃焼による NO 低減効果と未燃 NH₃ への影響を確認した。

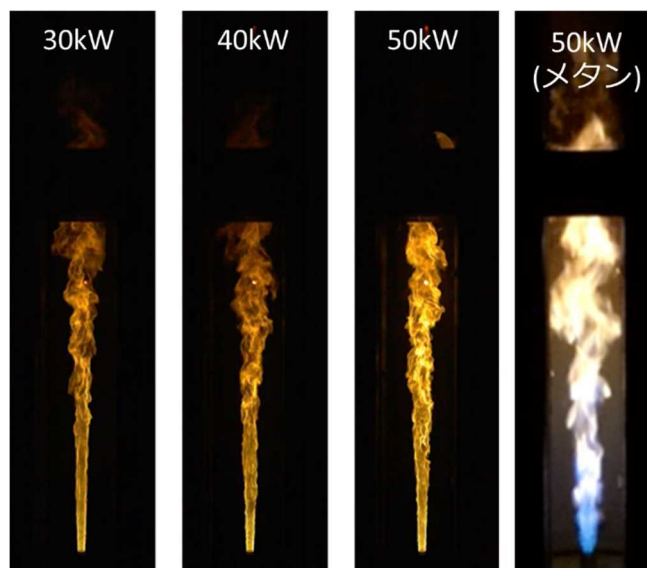


Fig. 1.4.1-1 50kW バーナの燃焼状態比較

1.4.2 アンモニア-酸素バーナ開発（大陽日酸株式会社）

【大陽日酸株式会社 2021 年度成果】

・200kW 級試作バーナの設計・製作

大陽日酸でのバーナ開発に用いる 200kW 試作バーナの設計・製作を完了した。バーナ外観を Fig.1.4.2-1 に示す。バーナ本体部は大陽日酸の所有するバーナをベースに、先端部のノズルをアンモニア-酸素燃焼用に設計製作した。バーナは二重管構造のセンターバーナと 2 本 1 対のステーjing ノズルからなり、耐火物のバーナブロックと組合せて使用する。Fig.1.4.2-2 にバーナのコンセプトを示す。燃料はセンターバーナ中心から噴出し、酸素はセンターバーナとステーjing ノズルに分配され、噴出する構造である。中心部では燃料過濃な火炎が形成されるため、NO_x が生成されにくい。ステーjing ノズルからの酸素が合流して完全燃焼するが、このように段階的に燃焼させることで局所的な高温部が形成されにくく、NO_x を抑制することが可能である。従来の取組で本構造が NO_x 抑制に効果があることが分かっており、本プロジェクトでも当該構造をベースに開発を進めていくことを決定した。

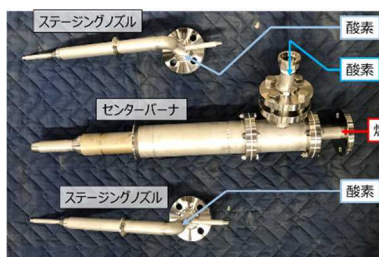


Fig.1.4.2-1 200kW 試作バーナ

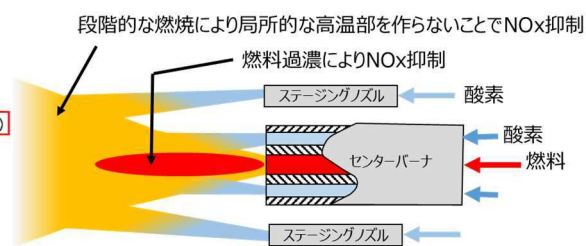


Fig.1.4.2-2 バーナ設計コンセプト

・200kW モデル炉整備

Fig.1.4.2-3 に試験炉の外観を示す。大陽日酸の所有する耐火物炉を使用し、上述のバーナを取付、燃焼試験を開始する準備が整った状態とした。煙道側では排ガスのサンプリング用のポートを設け、排ガス成分の分析を実施する計画とした。また、炉の側面は水冷のパイプを設けられる構造になっており、パイプを通る水の流量と出入りの温度差から伝熱量を計測する。2022 年度に FT-IR 等の排ガス分析装置を導入することを検討し、その設置をもって炉の整備を完了するという見込みを立てた。



Fig.1.4.2-3 試験炉外観

【大陽日酸株式会社 2022 年度成果】

・試験環境整備

アンモニア燃焼で課題となる NOx 排出に関して正確な評価を可能とする FT-IR 分析計を導入した。また、伝熱強化のための酸素予熱装置、水蒸気発生装置を導入完了した。さらにアンモニア燃焼雰囲気における耐火物の評価を行うため小型の試験炉を設計製作した。以上により試験環境整備を完了した。

・アンモニア-酸素バーナの特性把握

まず伝熱効率について評価した結果を Fig.1.4.2-4 に示す。ステーjing酸素の位置および酸素の分配比率の影響を評価したところ、ステーjingの比率を大きくすることでわずかに伝熱効率の上昇が見られた。また最も低い結果でも目標とする伝熱効率 55%を達成しており、基準となるメタン-酸素燃焼の伝熱効率 57%と同等程度であった。さらに酸素予熱を組み合わせることで、最大で 60%まで伝熱効率を増強することができた。

続いて NOx 排出について評価した結果を Fig. 1.4.2-5 に示す。ステーjing燃焼技術により NOx 濃度が大きく低減できた。ステーjing酸素の位置が中央のバーナーから遠い程 NOx が下がり、またステーjing酸素の比率が多い 80%でより NOx が下がる結果となった。炉の側面からステーjing酸素を供給した条

件ではガラス溶解炉の規制値 360ppm 以下を達成した。さらに排ガス中の酸素濃度を下げることによって NOx 濃度が下がることが分かり、最小で 120ppm まで抑制することができた。ただし、本試験における炉内温度はガラス溶解炉で要求される温度帯よりも低いため、次年度に 1500℃ 程度の高温環境下での NOx 削減技術について評価を進める計画とした。

・アンモニア燃焼雰囲気での耐火物評価

2023 年度の実証試験に向け、炉の構成材料のアンモニア燃焼環境下での使用可否に関して評価を行った。大陽日酸で小型の燃焼炉を製作し、AGC より提供されたサンプルをアンモニア燃焼環境に暴露する試験を実施した。サンプル評価は AGC にて実施した。

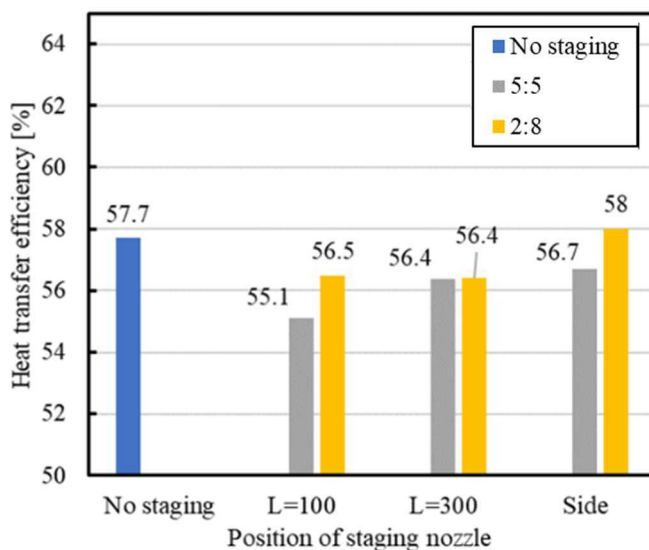


Fig. 1.4.2-4 伝熱効率

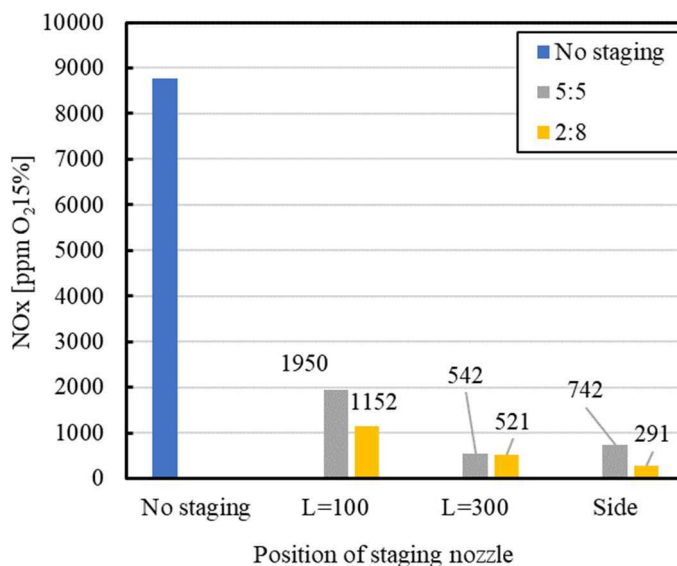


Fig. 1.4.2-5 NOx 排出

1.4.3 工業炉でのアンモニア燃焼技術検証（AGC 株式会社）

【AGC 株式会社 2021 年度成果】

アンモニア燃焼雰囲気、ガラス溶解炉を構成する各種部材、ガラスメルト（溶融物）やガラス特性へ及ぼす影響を評価するための各種ラボ試験の検討を開始した。ガラス溶解炉を構成する部材への影響評価では、まずは実証試験を予定している溶解炉に使用されている炉材種について、アンモニア燃焼雰囲気を曝露させ、表面分析などの各種解析を実施する予定を計画し、バーナ燃焼試験設備を準備した。一方、ガラスメルトやガラス特性への影響を見極めるため、高露点雰囲気を実現できる燃焼雰囲気評価炉を製作すべく仕様を決定し、電気炉メーカーへの発注を行った。その他、ガラス品質を予測できるようにするために、アンモニア燃焼解析技術構築を目指した取り組みも開始した。

ガラス溶解炉での 200 kW アンモニア酸素バーナによる実機試験に向けては、アンモニア供給設備の設置が新たに必要になるため、安全性等の観点も熟慮して設置場所を選定するとともに、概略の設備仕様について決定した。

【AGC 株式会社 2022 年度成果】

・アンモニア燃焼シミュレーションモデル構築

ガラスの溶解プロセスでアンモニア燃焼技術を活用するには、その燃焼特性を正確に把握し、ガラス溶解窯で温度場がどのように形成され、NO_x がどのように生成し排出されるかを予測し、ある程度の品質予測を可能とする必要がある。そこで、アンモニア燃焼シミュレーションモデルを構築し、従来から保有するガラスメルトの流体シミュレーションと連成させる取り組みを開始した。2022 年度ではアンモニア燃焼に関する初期モデルを構築し、定性的にはアンモニア燃焼時の温度場形成を予測可能にしたが、NO_x 排出予測に関しては十分なものが得られておらず、より詳細反応を解くようにモデルの改良に取り組んだ。

・燃焼雰囲気評価炉

アンモニア燃焼時には従来の重油や天然ガス燃焼時と比較して雰囲気中の水分濃度が高まることが想定される。雰囲気中の水分濃度の影響を評価する為に加湿機能を備えた電気炉での試験を実施しているが、これまでの電気炉ではアンモニア燃焼時の高い露点を再現することはできなかった。そこで、高露点を実現できる燃焼雰囲気評価装置を設計し導入した。

・炉材評価

アンモニア燃焼雰囲気がガラス溶解窯を構成する炉材に与える影響の評価は、溶解窯の寿命に関わる重要な項目である。ただ、寿命評価を短期間で高精度に行うことは大変難しく、今回は生産窯での試験を実施する上で問題ないことの確認を優先して評価を実施した。具体的にはアンモニア燃焼雰囲気の特徴である高水分濃度の影響、アンモニアが未燃状態となった時の影響、ガラスからの揮散成分の影響などを評価する試験を実施した。大陽日酸にアンモニアの不完全燃焼状態を実現する燃焼炉を作成頂き、実機試験を行う溶解窯で使用している炉材の燃焼雰囲気への曝露試験を実施した。比較のため天然ガス燃焼時を含めて、燃焼雰囲気条件の異なる曝露試験を実施した結果、いくつかの炉材及びプロセス条件では差異が認められたものの、短期間の燃焼試験では大きな変化はないと予測され、溶解窯での実証試験は問題のないことを確認した。一方、Al₂O₃-ZrO₂ 系あるいは、-SiO₂ 質電鍍煉瓦や Al₂O₃ 質電鍍煉瓦の一部の品種では、炉材中のガラス質部分の成分変化がアンモニア燃焼時と天然ガス燃焼時で差があることが判明した。長期的な観点の評価は今後の課題として認識した。

- ・酸素燃焼窯での実機試験

実機試験時のリスクの洗い出しを行い、設備的に大きな問題のないことを「炉材評価」等により確認した。大気への排出 NOx 濃度に関しても大陽日酸の燃焼試験結果等から発生量を推定し、酸素比調整やリバーニング対策により十分制御・抑制が可能であることを横浜市に説明し、実機試験実施に関し概ね了解を頂いた。第一回目の試験は生産スケジュールを調整して 2 日間の予定を確保し、アンモニア燃焼条件を変更してガス燃焼と比較する試験計画を策定した。温度分布や排ガスの測定、ガラスサンプリングなどを実施する予定で、測定精度などを事前に確認しながら測定方法などの詳細案を決定した。

- ・アンモニア供給設備

ガラス溶解窯での 200kW アンモニア酸素バーナによる実機試験にあたっては、アンモニア供給設備の設置が新たに必要になるため、安全対策や環境対策等の観点も熟慮して詳細設計し、2023 年度の実機試験に間に合うように製作、導入を進めた。安全性に関しては HAZOP 手法を用いてリスクの特定を進め、対策を取った。

1.5 成果の副次的効果や波及効果

1.5.1 成果の波及効果

- ・燃焼基盤技術の深化

本 PJ で取り組んだアンモニア-酸素燃焼における NOx 生成メカニズム、輻射伝熱特性評価は、アンモニア燃焼を様々な熱プロセスに適用する為の基盤技術となりえる。特に、評価モデルが難しいとされていたアンモニア燃焼に関する数値解析技術の進歩は、工業炉のみならずアンモニア燃焼を利用する様々な分野に応用が可能である。

- ・需要拡大による低価格

カーボンニュートラル達成に向けたアンモニア利用促進の為には、アンモニアサプライチェーンの構築が重要であるが、その為には、先の LNG サプライチェーン構築時の様に、主たるエネルギー消費者である発電分野への導入が行われる事が重要である。しかし、発電プロセスで脱炭素燃料として利用開始されたアンモニアの低価格化に向けては、需要(利用面で)の拡大が必要となり、工業炉におけるアンモニア燃焼の社会実装は、日本が世界で初めて天然ガスを LNG にして、石油・石炭からのグリーン化・低炭素化を達成したと同様に重要なポテンシャルを有している。

- ・安全性への信頼向上

工業炉へのアンモニア燃焼技術実装においては、アンモニアの利活用の為に必要な、供給技術、保安技術の構築にも繋がり、その結果、安全・安心の面からも、工業炉以外の分野におけるアンモニア利用の促進に繋がる。

1.6 特許出願数、論文等の発表数

概要中別添欄および「(添付資料3)特許論文等リスト」を参照。

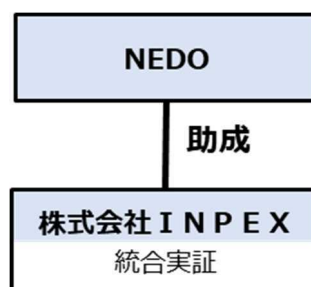
1.7 実用化・事業化への道筋と課題

- ①実証試験に引き続き、AGC 株式会社のガラス溶融炉に、アンモニア燃焼技術を実装し、CO₂ 排出の少ないガラス製品の生産を目指す。
- ②アンモニア燃焼バーナは、大陽日酸株式会社が、本プロジェクトでの成果やノウハウを活用し、ガラス溶融炉以外の工業炉分野でのアプリケーション展開を図り、電化による脱炭素化の難しい産業分野の熱利用に対する脱炭素化技術として、貢献する。

2 研究開発項目（2）「ブルーアンモニア製造に係る技術開発」

2.1 実施者名、実施体制

株式会社 INPEX が当該事業を 2022 年度より助成事業として実施している。



2.2 期間、予算

実施期間は 2022 年度から 2025 年度までの 4 年間である。なお契約期間は 2023 年度までであり、2023 年度までの事業予算は以下に示す。

表 2.2-1 「ブルーアンモニア製造に係る技術開発」 予算（単位：百万円）

2022 年度	2023 年度	合計
594	1,344	1,938

2.3 目標

【最終目標】（2025 年度）

天然ガスの改質によりブルー水素を製造し、ハーバー・ボッシュ法に替わるブルーアンモニア製造方法を組み合わせた製造技術の実証を行う。製造プロセスから発生する CO₂ の回収率 90% 以上を達成するとともに、既存法と同等程度の生産効率を保ちつつ、全体プロセスの最適化により、既存法に比べて消費エネルギーを 20% 以上削減可能であることを実証する。さらに将来的な大型化（6000ton-NH₃/日、\$300/ton-NH₃ 程度）に備えスケールアップ時の課題の抽出も併せて完了する。

【中間目標】（2023 年度）

ハーバー・ボッシュ法に替わるアンモニア製造装置や水素製造装置等の各要素技術設計、並びに CO₂ 回収や熱収支バランス等のプロセスの最適設計を完了する。

2.4 成果の達成状況と根拠

2.3 で示した目標について、大規模化を見据えた低炭素天然ガス改質技術の開発、低炭素アンモニア合成プロセスの開発、製造プロセス最適化・脱炭素化に分けて、成果の達成状況と根拠を以下に示す。

表 2.4-1 成果の達成状況

実施項目	目標 (2024年3月)	成果(実績) (2023年6月)	達成度(見込み)	根拠
大規模化を見据えた低炭素天然ガス改質技術の開発	2023年度までにハーバー・ボッシュ法に替わるアンモニア製造装置や水素製造装置等の各要素技術設計およびCO ₂ 回収や熱収支バランス等のプロセス最適設計を完了する。	基本設計、水素製造工程のシミュレーションモデルの作成を実施。	○ 2024年3月に達成見込み	基本設計、詳細設計共工程通り進んでおり問題なし
低炭素アンモニア合成プロセスの開発		基本設計、アンモニア製造工程のシミュレーションモデルの作成を実施。		
製造プロセス最適化・脱炭素化		基本設計、シミュレーションモデルの作成を実施。		

2.4.1 大規模化を見据えた低炭素天然ガス改質技術の開発

本事業ではATRプロセスと上述のHiPACTを利用した天然ガス改質プロセスを詳細設計し、CCS/CCUSにかかるエネルギーの削減効果の確認、ATRのフィードガス条件を変化させた場合の熱効率に与える影響の確認することで、大規模化に向けた知見獲得、及び課題整理を実施する。

- ・CCS/CCUSにかかるエネルギーの削減効果の確認

設計値、実際の運転によるデータにより、大型化時に提案法によるCCS/CCUSにかかるエネルギーを20%程度削減可能なことを確認する。

- ・ATRのフィードガス条件の影響確認

ATRには原料として、天然ガス、スチーム、酸素を供給するため、全体プロセス最適化にはスチームと天然ガス中の炭素分の比であるSteam/Carbon比(=S/C)や酸素供給量(=反応温度)を最適化する必要がある。本事業では設計、運転を通してこれらフィードガス条件を変化させた場合の熱効率、CO₂回収率などに与える影響を評価し、大型化時の設計に有意義な結果を得る。

【2022年度成果】

基本設計および水素製造工程のシミュレーションモデルの作成を完了した。

2.4.2 低炭素アンモニア合成プロセスの開発

本事業では開発された低温・低圧アンモニア合成触媒を用いたプロセスを詳細設計し、アンモニア合成工程の消費エネルギーの削減効果の確認、反応条件を変化させた場合の消費エネルギーに与える影響の確認を実施し、低炭素アンモニア合成プロセスの開発に向けた知見獲得、及び課題整理を実施する。

- ・アンモニア合成工程の消費エネルギー削減効果の確認

設計値、実際の運転によるデータを基に、プロセスシミュレーターを援用して、提案法によるアンモニア合成工程の消費エネルギー削減効果を確認する。

- ・反応条件の影響確認

反応温度、圧力を変化させ、最適な反応条件を模索する。

【2022 年度成果】

基本設計およびアンモニア製造工程のシミュレーションモデルの作成を完了した。

2.4.3 製造プロセス最適化・脱炭素化

本事業でのブルーアンモニア製造プロセスは、各要素技術は運転の実績があるものの、それらを有機的につなげ、天然ガスからの水素製造、CO₂ 回収、アンモニア製造、CO₂ 圧入を一貫して実施された実績は数少ない。本事業では小規模で、提案するブルーアンモニア製造プロセスを一貫して詳細設計、調達、建設、運転することでスムーズに大規模展開が可能となる知見の獲得を目指す。また、製造プロセスからの CO₂ 回収率が 90%以上となること、大規模化した際に消費エネルギーが従来法+CCS/CCUS と比較して 20%以上削減可能なことを示す。

- ・大規模化した際の従来法+CCS/CCUS と比較した消費エネルギーの削減効果の確認

上述の結果や、設計値、実際の運転によるデータを基に、プロセスシミュレーターを援用して、提案法が従来法+CCS/CCUS と比較して消費エネルギーが 20%以上削減可能であることを確認する。

- ・提案法を一貫して運転することで、非正常操作を含めた操業手法を確立し、今後設計に反映すべき課題をまとめる。

【2022 年度成果】

基本設計およびシミュレーションモデルの作成を完了した。

2.5 成果の副次的効果や波及効果

本事業は、現時点では詳細設計の段階であり、事業の副次的効果や波及効果は無いが、今後の進捗に伴い、発生したものは追記していく。

2.6 特許出願数、論文等の発表数

概要中別添欄および「(添付資料3)特許論文等リスト」を参照。

2.7 実用化・事業化への道筋と課題

本事業は、年産 100 万 t 規模のブルーアンモニア製造を可能とする効率的なプロセスの開発を目的として小規模(年産 500t)ブルーアンモニア製造設備(実証プラント)を建設・実証試験を実施するものであり、年産 100 万 t 規模のブルーアンモニア製造を可能とする効率的なプロセスは 2030 年以降の商用化を前提としている。助成事業終了後も最低 5 年間は実証プラントでの小規模(年産 500t)ブルーアンモニア製造の実証を継続し、運転条件の最適化及び設備に使用する材料の最適化検証等を行い、商用化へ向けた更なる改良を継続することを計画している。なお、実証プラントは小規模であることから、大規模化時に期待されるエネルギー効率の改善策の全てを取り込むことは不可能であり、実証試験で製造したアンモニア等の売り上げを上回る運転コストを要する見通しであり、助成事業終了後の実証試験期間中に収益は得られない見通しである。

「燃料アンモニア利用・生産技術開発」基本計画

スマートコミュニティ・エネルギーシステム部

1. 研究開発の目的・目標・内容

(1) 研究開発の目的

①政策的重要性

2020年3月に経済産業省が策定した「新国際資源戦略」では、気候変動問題への対応として、燃料アンモニアの利用拡大のための技術開発が必要とされている。また、2020年10月26日の総理所信表明演説において、2050年カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目指すことが宣言された。この目標達成に向けた具体的な方策を示した「グリーンイノベーション戦略」が取りまとめられ、電力、運輸、熱、産業プロセスのあらゆる分野で低炭素化に向けた取り組みを推進していくことの重要性が示されるとともに、その一つにアンモニアを燃料として用いる「燃料アンモニア産業」に関する戦略が策定された。

アンモニアは劇物であるものの、化学工場では肥料や化学品の原料として、また発電所では脱硝用に利用されており、運搬や保管などに関する取扱い方法がすでに確立している。また、燃焼時にCO₂を排出しないため、発電所や工業炉等において燃料として用いることが可能となれば、CO₂排出量の大幅な抑制が期待される「温暖化対策の有効な手段の一つ」となり得る。日本全体のCO₂排出量の35%を占めている産業分野において高炉や工業炉の脱炭素化は非常に重要であり、工業炉でアンモニアを燃料として用いることが可能となれば、日本全体のCO₂排出量の約5%を削減するポテンシャルを有している。

また、燃料アンモニアの需要喚起とともに、需要に応える供給側の整備も重要である。現在、アンモニアは天然ガスを原料として、水蒸気改質法とハーバー・ボッシュ法を組み合わせることで製造されており、最新鋭の設備においてもアンモニア1tの製造に対して1.7tのCO₂を排出する。このため、製造プロセスの脱炭素化を進め、CO₂フリーの「ブルーアンモニア」の実用化が重要な課題である。

②我が国の状況

我が国では、2014年～2018年に内閣府戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)「エネルギーキャリア」において、「CO₂フリー水素利用アンモニア製造・貯蔵・輸送関連技術開発」や、「アンモニア水素ステーション基盤技術」、「アンモニア燃料電池」、「アンモニア直接燃焼」等の基盤技術開発が実施された。この研究開発において、燃料アンモニア燃焼のボトルネックであった、燃焼時に発生するNO_xに関して抑制可能であること等が確認され、その利用についてますます関心が高まっている。

ブルーアンモニアの製造技術に関しては、前述のように原料である天然ガスの改質プロセスから排出される CO₂ を削減・回収することに加え、製造コストの削減と製造プロセス全体の脱炭素化を両立する、新たな製造方法の確立が重要な課題であり、高温高压下のハーバー・ボッシュ法に対し、低温低压下で製造する手法が国内より開発されている。

③世界の取組状況

海外において、工業炉でのアンモニア燃焼の事例は現時点で例がなく、日本が先行している。アンモニア製造に関しては、燃料アンモニアとして新たな市場が開拓される機運が世界的に高まってくれば、既存のアンモニア製造法のライセンスを中心に、スケールアップに取り組む者が現れるものと想定される。

④本事業のねらい

本事業では、燃料アンモニアの利用技術が確立できていない工業炉における、アンモニアの燃焼技術を開発し、産業分野における脱炭素化に貢献する。また、ブルーアンモニア製造において、製造プロセスの脱炭素化およびハーバー・ボッシュ法を代替しうる低炭素合成技術を小規模プラントにて実証し、将来の大型化を見据えた製造技術の開発、並びに製造プロセス全体の最適化に取り組む。

これら2つの研究開発項目を通じて、燃料アンモニアのサプライチェーン構成要素である、利用技術と製造技術の構築に寄与し、産業分野における脱炭素化に貢献する。

(2) 研究開発の目標

① アウトプット目標

・研究開発項目(1)「工業炉における燃料アンモニアの燃焼技術開発」

【最終目標】(2025年度)

従来の炭化水素系燃料を燃焼するバーナーと比較して同等の輻射性能を有し、国内の環境規制をクリアできる NO_x 排出レベルとするアンモニア燃焼バーナーを開発し、工業炉における長時間・連続燃焼による実証評価試験を行う。ここで、燃料アンモニア利用の燃焼特性、安全性、経済性、製品品質への影響等を評価し、それを反映したバーナーや工業炉の最適化を完了する。

また、上記の成果を踏まえ、1MW級アンモニア燃焼バーナー及び周辺技術の設計技術を確立し、大型工業炉への適用可能性の検討を完了する。

【中間目標】(2023年度)

200kW級アンモニア燃焼バーナーを製作し、200kWモデル燃焼炉においてアンモニア-酸素等支燃性ガス燃焼による、輻射伝熱強化条件と低 NO_x 燃焼条件の検討実験と検証を行い、輻射伝熱強化及び低 NO_x 燃焼化の技術を確立

する。また、炉に求められる加熱制御等、要求水準が高いガラスメーカー等の小・中型工業炉向けのアンモニア燃焼バーナーを設計、製作し、アンモニア燃焼の実証評価試験を行う。これにより、工業炉におけるアンモニア燃焼の要素技術を確立する。

・研究開発項目（2）「ブルーアンモニア製造に係る技術開発」

【最終目標】（2025年度）

天然ガスの改質によりブルー水素を製造し、ハーバー・ボッシュ法に替わるブルーアンモニア製造方法を組み合わせた製造技術の実証を行う。製造プロセスから発生するCO₂の回収率90%以上を達成するとともに、既存法と同等程度の生産効率を保ちつつ、全体プロセスの最適化により、既存法に比べて消費エネルギーを20%以上削減可能であることを実証する。さらに将来的な大型化(6000ton-NH₃/日, \$300/ton-NH₃程度)に備えスケールアップ時の課題の抽出も併せて完了する。

【中間目標】（2023年度）

ハーバー・ボッシュ法に替わるアンモニア製造装置や水素製造装置等の各要素技術設計、並びにCO₂回収や熱収支バランス等のプロセスの最適設計を完了する。

② アウトカム目標

天然ガス改質にCCSを組み合わせ既存法にてブルーアンモニアを製造するコストは\$440/ton-NH₃程度であるが、本事業で開発する製造方法を活用し、更に、工業炉等における燃料アンモニアの需要を創出することで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。

③ アウトカム目標達成に向けての取組

経済産業省が主導する、燃料アンモニア導入官民協議会及び、民間企業等により組織された、一般社団法人クリーン燃料アンモニア協会と連携し、本事業の成果を活用することで、燃料アンモニアのサプライチェーンの構築や需要拡大を促進する。

(3) 研究開発の内容

上記目標を達成するために、以下の研究開発項目について、別紙の研究開発計画に基づき研究開発を実施する。

- ・研究開発項目（1） 「工業炉における燃料アンモニアの燃焼技術開発」
- ・研究開発項目（2） 「ブルーアンモニア製造に係る技術開発」

研究開発項目（1）については、実用化まで長期間を要するハイリスクな「基

盤的技術」に対して、産学官の複数事業者が互いのノウハウ等を持ちより協調して実施する研究開発であり、委託事業として実施する。

研究開発項目（２）については、一定程度の実用化が進んだ技術をベースに企業が中心となって改良・スケールアップを行う「実用化開発」であることから、助成事業（助成率1／2）として実施する。

2. 研究開発の実施方式

（1）研究開発の実施体制

本研究開発は、NEDO が、単独ないし複数の企業、大学等の研究機関（原則、国内に研究開発拠点を有していること。ただし、国外企業等の特別な研究開発能力、研究施設等の活用あるいは国際標準獲得の観点からの国外企業との連携が必要な場合はこの限りではない）から公募によって研究開発実施者を選定し実施する。

なお、各実施者の研究開発能力を最大限に活用し、効率的かつ効果的に研究開発を推進する観点から、NEDO スマートコミュニティ・エネルギーシステム部 青山 勝博 主任研究員が研究開発責任者（プロジェクトマネージャー）の職務を行い、プロジェクトの進行全体を企画・管理や、そのプロジェクトに求められる技術的成果及び政策的効果を最大化させる。

（2）研究開発の運営管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有する NEDO は、経済産業省及び研究開発実施者と密接な関係を維持しつつ、本研究開発の目的及び目標に照らして、次に掲げる適切な運営管理を実施する。具体的には、必要に応じて外部有識者による技術検討委員会等を設置し、開発内容について審議し、その意見を運営管理に反映させる。

① 研究開発の進捗把握・管理

NEDO は、主としてプロジェクトリーダーをとおして研究開発実施者と緊密に連携し、研究開発の進捗状況を把握する。また、必要に応じて外部有識者で構成する技術委員会を組織し、定期的に技術的評価を受け、目標達成の見通しを常に把握することに努める。

② 技術分野における動向の把握・分析

NEDO は、プロジェクトで取り組む技術分野について、内外の技術開発動向、政策動向、市場動向等について必要に応じて調査し、技術の普及方策を分析、検討する。なお、調査等を効率的に実施する観点から委託事業として実施する。

3. 研究開発の実施期間

原則として、2021年度から2025年度までの5年間とする。

4. 評価に関する事項

NEDO は技術評価実施規程に基づき、技術的及び政策的観点から研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、外部有識者によるプロジェクト評価を実施する。

評価の時期は中間評価を2023年度、事後評価を2026年度とし、中間評価結果を踏まえ必要に応じ研究開発の加速・縮小・中止等見直しを迅速に行う。なお、評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。

5. その他重要事項

(1) 研究開発成果の取扱い

①成果の普及

研究開発実施者は、燃料アンモニアの利用拡大及び我が国の関連産業の競争力強化に資することを留意しつつ、研究開発成果の普及に努める。NEDO は、研究開発実施者による研究開発成果の普及を促進する。

②知的基盤整備事業又は標準化施策等との連携

得られた研究開発の成果については、知的基盤整備又は標準化等を推進する団体・組織からの要請があれば、積極的にデータ提供し連携する。

③知的財産権の帰属、管理等取扱いについての方針

研究開発成果に関わる知的財産権については、「国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 新エネルギー・産業技術業務方法書」第25条の規定等に基づき、原則として、全て委託先に帰属させることとする。なお、開発段階から、事業化を見据えた知財戦略を構築し、適切な知財管理を実施する。

④ 知財マネジメントに係る運用

本プロジェクトは、「NEDO プロジェクトにおける知財マネジメント基本方針」を適用する（ただし、研究開発項目（1）のみ）。

⑤ データマネジメントに関わる運用

本プロジェクトは、「NEDO プロジェクトにおけるデータマネジメントに係る基本方針」を適用する（ただし、研究開発項目（1）のみ）。

(2) 基本計画の変更

NEDO は、当該研究開発の進捗状況及びその評価結果、社会・経済的状況、国

内外の研究開発動向、政策動向、研究開発費の確保状況等、プロジェクト内外の情勢変化を総合的に勘案し、必要に応じて目標達成に向けた改善策を検討し、達成目標、実施期間、実施体制等、プロジェクトの基本計画を見直す等の対応を行う。

(3) 根拠法

本プロジェクトは、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第十五条第1項第一号、第三号及び第九号に基づき実施する。

6. 基本計画の改訂履歴

2021年3月、基本計画制定

2021年9月、「研究開発項目(2) 1ステップでアンモニアを電解合成する技術開発」を削除すること等に伴う改訂

2022年5月、「研究開発項目(2) ブルーアンモニア製造に係る技術開発」の追加に伴う改訂

(別紙) 研究開発計画

研究開発項目 (1) 「工業炉における燃料アンモニアの燃焼技術開発」

1. 研究開発の必要性

産業分野で用いられている工業炉は現状、重油、石炭、天然ガスを利用しているが、産業分野は日本全体の温室効果ガス排出の35%を占めており、高炉や工業炉の脱炭素化は非常に重要である。工業炉に求められる温度帯や、アンモニア燃料の火炎の特性を踏まえると、製紙、セメント、石灰製造、アルミ、板ガラス分野等でのアンモニアの利用が想定され、燃料アンモニア工業炉は日本全体の温室効果ガス排出量の約5%を削減するポテンシャルを有している。

また、燃料アンモニアは既存技術でサプライチェーン構築(陸上輸送や受入設備の整備等)が可能である点を踏まえると、水素社会の早期実現や産業分野の脱炭素化のためには燃料アンモニア工業炉の実用化が重要である。

アンモニア工業炉における燃焼技術に関しては、2014年～2018年の内閣府SIPプロジェクトにて試験炉を用いた技術開発が行われ、アンモニア利用のボトルネックであったNO_x排出の抑制が可能である等は確認されたものの、実用化に向けては更なる大規模工業炉へ適用可能な技術開発が必要となっている。

2. 研究開発の具体的内容

(1) 輻射伝熱強化及び低NO_x燃焼化の技術開発

アンモニア燃焼はカーボンフリーであるために、炉内伝熱においては燃焼過程において生成する煤からの固体輻射による輻射伝熱が期待できない。そこで、酸素等支燃性ガス燃焼等との組み合わせによる火炎温度の上昇を利用した輻射伝熱強化の技術開発を行う。一方、アンモニアには窒素原子が含まれるため、燃焼時にNO_xの生成が危惧される。特に上述の酸素等支燃性ガス燃焼との組み合わせにおいては、火炎が高温になるためNO_xが生成し易い状態となる。現行の環境規制をクリアできるNO_x排出レベルを達成出来る、低NO_x燃焼化の技術開発を行い、上記の両技術開発において、最適なアンモニア燃焼バーナー構造の設計技術を確立する。

(2) 200kW級モデル炉における輻射伝熱及び低NO_x燃焼の特性評価

小型の加熱炉や反射炉でも使用可能な200kW級のアンモニア燃焼バーナー及びモデル炉を設計・製作し、燃焼時の輻射伝熱特性、低NO_x燃焼の特性評価実験を行うことで、バーナーの設計基準を決定する。

(3) 工業炉における燃料アンモニア燃焼の実証評価試験

工業炉の中でも炉に求められる加熱制御等、要求水準が高いガラスメーカー等の小・中型工業炉向けのアンモニア燃焼バーナーを設計、製作し、工業炉における

ガラス製造等製品へ適用によるアンモニア燃焼技術の実証評価試験を行う。また、燃料としてアンモニアを利用する上での経済性、製品品質、安全性等の評価を行い、それを反映したバーナーや工業炉の最適化を図る。

また、上記の成果を踏まえ、1MW 級アンモニア燃焼バーナー及び周辺技術の設計技術を確立し、大型工業炉への適用可能性の検討を行う。

3. 達成目標

【中間目標】(2023 年度)

200kW 級アンモニア燃焼バーナーを製作し、200kW モデル燃焼炉においてアンモニア-酸素等支燃性ガス燃焼による、輻射伝熱強化条件と低 NO_x 燃焼条件の検討実験と検証を行い、輻射伝熱強化及び低 NO_x 燃焼化の技術を確立する。また、炉に求められる加熱制御等、要求水準が高いガラスメーカー等の小・中型工業炉向けのアンモニア燃焼バーナーを設計、製作し、アンモニア燃焼の実証評価試験を行う。これにより、工業炉におけるアンモニア燃焼の要素技術を確立する。

【最終目標】(2025 年度)

従来の炭化水素系燃料を燃焼するバーナーと比較して同等の輻射性能を有し、国内の環境規制をクリアできる NO_x 排出レベルとするアンモニア燃焼バーナーを開発し、工業炉における長時間・連続燃焼による実証評価試験を行う。ここで、燃料アンモニア利用の燃焼特性、安全性、経済性、製品品質への影響等を評価し、それを反映したバーナーや工業炉の最適化を完了する。

また、上記の成果を踏まえ、1MW 級アンモニア燃焼バーナー及び周辺技術の設計技術を確立し、大型工業炉への適用可能性の検討を完了する。

研究開発項目（2）「ブルーアンモニア製造に係る技術開発」

1. 研究開発の必要性

現在、アンモニアは天然ガスを原料として、水蒸気改質法とハーバー・ボッシュ法を組み合わせ製造されており、最新鋭の設備においてもアンモニア 1t の製造に対して 1.7t の CO₂ を排出する。このため、製造プロセスの脱炭素化を進め、CO₂ フリーの「ブルーアンモニア」を供給可能とすることが重要な課題である。

ブルーアンモニアの製造においては、前述のように原料である天然ガスから排出される CO₂ を削減することは技術的に可能であるものの、製造プロセス中における脱炭素化までは技術的に確立していない。このため完全な「ブルーアンモニア」の製造とはいえない状況である。さらに高温高压下のハーバー・ボッシュ法から低温低压下で製造する手法が国内より開発されており、20ton-NH₃/y の小規模製造実績がある。

このため、将来のアンモニア利用拡大を見据え、燃料アンモニア製造における、製造プロセス全体の脱炭素化およびハーバー・ボッシュ法を代替しうる低炭素合成技術を小規模プラントにて実証し、将来の大型化を見据えた製造技術の開発、並びに製造プロセス全体の最適化に取り組む。

2. 研究開発の具体的内容

完全な「ブルーアンモニア」の製造を目指した、燃料アンモニアの製造プロセスにおける脱炭素化およびハーバー・ボッシュ法を代替しうる低炭素合成技術を小規模プラントにて実証し、将来の大型化を見据えた製造技術の開発、並びに製造プロセス全体の最適化に取り組む。また、将来的な大型化に備えたスケールアップ時の課題抽出も併せて行う。

(1) 大規模化を見据えた低炭素天然ガス改質技術の開発

将来の大型化が可能であり、天然ガス改質プロセスから発生する CO₂ を 90%以上回収可能なプロセスを設計し、大型化に向けた技術的な設計課題抽出のため、最小規模で設備建設・実証運転を行い、安全性評価及び大型化設計を可能とするデータを取得する。

(2) 低炭素アンモニア合成技術の開発

従来法（ハーバー・ボッシュ法）と比較し、生産効率が同等以上かつプロセス全体でエネルギー消費が少ない低炭素合成プロセスを設計し、大型化に向けた技術的な設計課題抽出のため、最小規模での設備建設・実証運転を行い、安全性評価及び大型化設計を可能とするデータを取得する。

(3) 製造プロセス全体の最適化・脱炭素化

前段プロセスと後段プロセスを統合の上、プロセス全体で最適な熱収支及びマテリアル・バランスとなるようシステム設計を行い、大型化に向けた技術的な設計課題抽出のため、最小規模での設備建設を行う。また、実証運転を通じて、安全性評価及び大型化設計を可能とするデータを取得する他、CCS/CCUS による長期 CO₂ 貯留・利用が出来ることも併せて確認する。

3. 達成目標

【中間目標】(2023 年度)

ハーバー・ボッシュ法に替わるアンモニア製造装置や水素製造装置等の各要素技術設計、並びに CO₂ 回収や熱収支バランス等のプロセスの最適設計を完了する。

【最終目標】(2025 年度)

天然ガスの改質によりブルー水素を製造し、ハーバー・ボッシュ法に替わるブルーアンモニア製造方法を組み合わせた製造技術の実証を行う。製造プロセスから発生する CO₂ の回収率を 90%以上達成するとともに、既存法と同等程度の生産効率を保ちつつ、全体プロセスの最適化により、既存法に比べて消費エネルギーを 20%以上の削減可能であることを実証する。さらに将来的な大型化(6000ton-NH₃/日, \$300/ton-NH₃ 程度)に備えスケールアップ時の課題抽出も併せて完了する。

・プロジェクト開始時関連資料（事前評価結果、パブリックコメント募集の結果）

事前評価結果

案件名	燃料アンモニア利用・生産技術開発 研究開発項目（1）「工業炉における燃料アンモニアの燃焼技術開発」
推進部署	スマートコミュニティ・エネルギーシステム部
総合コメント	<p>（戦略、実施体制について） 燃料アンモニアは各社が強い興味を持っている分野であり、今後熾烈な戦いになるだろう。燃料アンモニアの世界的な利用展開を見据えつつ、関係する企業のビジネスモデルを描きながら、事前に戦略や実施体制を十分検討して、事業を開始していただきたい。</p> <p>（目標設定について） 本事業において計画している実証規模や目指す効率が分かるように、具体的な研究開発目標（アウトプット目標）を設定していただきたい。</p> <p>[第55回産業技術構造審議会評価ワーキンググループ]</p>

案件名	燃料アンモニア利用・生産技術開発 研究開発項目（2）「ブルーアンモニア製造に係る技術開発」
推進部署	スマートコミュニティ・エネルギーシステム部
総合コメント	<p>地球規模における脱炭素化の実現に向けて大きく貢献する CO2 フリーとなる燃料アンモニアへの取り組みは重要である。一方、水素製造・アンモニア製造・輸送・貯留などを含むライフサイクル全体のエネルギー、CO2 などに関する総合的観点で、グリーンアンモニアと比較してブルーアンモニアに着目した開発項目の位置付け、技術的課題、達成度を明確にする必要がある。その上で、従来のハーバー・ボッシュ法を代替するアンモニア合成技術が、低炭素化へどのように貢献するのか明らかにして頂きたい。また、開発された技術が満たすべき供給コストの目標、供給量、アンモニア生産プラント生産規模を、拡充開発項目を含め、最新のエネルギー政策を反映させた目標値で示すことが望ましい。</p> <p>[第66回 NEDO 研究評価委員会]</p>

【参考2】

令和3年3月8日
NEDO
スマートコミュニケーション部

「燃料アンモニア利用・生産技術開発」に対するパブリックコメント募集の結果について

NEDO POSTIにおいて標記基本計画(案)に対するパブリックコメントの募集を行いました。結果をご報告いたします。
貴重なご意見をいただき、ありがとうございます。

1. パブリックコメント募集期間
2021年2月16日～2021年3月11日
2. パブリックコメント投稿数<有効のもの>
計1件
3. パブリックコメントの内容とそれに対する考え方

ご意見の概要	ご意見に対する考え方	基本計画・技術開発課題への反映
<p>全体について</p> <p>[意見1] (1件)</p> <p>2050年カーボンニュートラルを実現するため、技術開発と社会実装を加速する必要があることとして大変重要である。基本計画における燃料アンモニア工業炉の技術開発はその一環として大変重要である。グリーン成長戦略において燃料アンモニアは電力部門に重点が置かれているが、全方位的に取り組むべきである。基本計画における対象工業炉はガラス溶融炉が取りあげられており、要求水準の高さを勘案すれば、波及効果の面でも適切な選択である。工業炉は多様でありその特性も幅広いが、低NOx化など共通かつ他の工業炉にも適用可能な技術は多いであろう。10年間のグリーンイノベーション基金も随時活用し、多様な熱処理炉、化学プラントなど熱利用における燃料アンモニアの活用に向けた技術開発を推進していただきたい。</p>	<p>[考え方]</p> <p>ご意見ありがとうございます。頂いた意見を参考に、引き続き燃料アンモニアの活用に向けた技術開発を推進していきます。</p>	<p>[反映の有無と反映内容]</p> <p>特になし。</p>

「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」の
基本計画（案）に対するパブリックコメント募集の結果について

2022年5月17日
NEDO

スマートコミュニティ・エネルギーシステム部

NEDO POSTにおいて標記基本計画（案）に対するパブリックコメントの募集を行いました結果をご報告いたします。

1. パブリックコメント募集期間
2022年4月22日～2022年5月6日
2. パブリックコメント投稿数＜有効のもの＞
計0件

以上

●特許論文等リスト

研究開発項目（1）「工業炉における燃料アンモニアの燃焼技術開発」

【論文】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名	ページ番号	発表年月
1	M. Hayashi, A. Hayakawa, T. Kudo, H. Kobayashi	東北大学	Effects of Water Vapor Dilution on the Laminar Burning Velocity and Markstein Length of Ammonia/Water Vapor/Air Premixed Laminar Flames	Energy and Fuels, Vol.36	12341- 12349	2022.10

【外部発表】

(a) 学会発表・講演(口頭発表も含む)

番号	発表者	所属	タイトル	学会名・イベント名	発表年月
1	萩原義之	大陽日酸	酸素燃焼による CO2 削減	ニューガラスフォーラム 若手懇談会	2022.5
2	萩原義之	大陽日酸	ガラス溶解炉用酸素燃焼の基礎	日本瓶ガラス協会 「技術伝承講座 テクニカルカレッジ」	2022.9
3		大陽日酸	Advanced Combustion Technology for Innovative Customaized Solution	83th Conference on Glass Problem(出展)	2022.10
4	萩原義之	大陽日酸	酸素燃焼による CO2 削減	ケミカルマテリアル Japan 2022	2022.10
5	萩原義之	大陽日酸	工業炉における燃料アンモニアの利用	CFAA セミナー	2022.12
6	萩原義之	大陽日酸	カーボンニュートラルを実現する酸素燃焼技術	MCG Technology Week 2023	2023.2
7	壹岐典彦	産業技術総合研究所	アンモニアを燃料として利用するガスタービンの研究開発	石油学会 64 回年次大会	2022.5
8	壹岐典彦	産業技術総合研究所	産総研におけるアンモニア燃焼技術の進展	石炭・炭素資源有効利用研究会第 10 回研究会	2023.2
9	H. Kobayashi	東北大学	Further applications of ammonia combustion in energy and industry sectors	KAUST-Tohoku University-Orleans Core to Core Workshop	2022.10
10	小林秀昭	東北大学	燃料アンモニアの利用技術開発	三菱ふそう実践的教育プログラム共同研究部	2022.10

				門オンライン講義	
11	H. Kobayashi	東北大学	Ammonia Combustion for Gas Turbine Power Generation	19th International Conference on Flow Dynamics	2022.11
12	Y. Shen, K. Sakai, S. Colson, T. Kudo, A. Hayakawa, H. Kobayashi	東北大学	Laminar Burning Velocities and Markstein Lengths of Oxygen Enriched NH ₃ /O ₂ /N ₂ and NH ₃ /O ₂ Premixed Flames	19th International Conference on Flow Dynamics	2022.11
13	小林秀昭	東北大学	CO ₂ フリー アンモニア直接燃焼	化学工学会 第 88 年 会, 産業セッション	2023.3

(b)新聞・雑誌等への掲載

番号	所属	タイトル	掲載誌名	発表年月
1	AGC	AGC 横浜テクニカルセンターにおける新たな技術開発体制	日本燃焼学会誌	2022.11
2	大陽日酸	酸素燃焼による CO ₂ 削減	電気硝子工業会誌	2022.4

【受賞実績】

番号	発表者	所属	タイトル	学会名・イベント名	発表年月
1	H. Kobayashi	東北大学	Bernard Lewis Gold Medal for brilliant research in the field of combustion, particularly on high pressure turbulent premixed flames and ammonia combustion for decarbonization	39th International Symposium on Combustion, The Combustion Institute	2022.7

【成果普及の努力(プレス発表等)】

番号	所属	タイトル	雑誌名・学会名・イベント名等	発表年月
1	大陽日酸 AGC	ガラス溶解プロセスの CO ₂ 削減にアンモニア活用推進	ガスレビュー	2022.5

研究開発項目（２）「ブルーアンモニア製造に係る技術開発」

【外部発表】

(a) 学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	伊藤 多聞	株式会社 INPEX	柏崎市でのブルー水素・アンモニア製造・利用一貫実証試験につきまして	第2回柏崎刈羽地域若手経営者等勉強会（資源エネルギー庁 原子力広報室主催）	2023.3
2	高橋 裕也 他	株式会社 INPEX	石油・ガス上流事業におけるプロセス・フティーに係る手法の水素・アンモニア関連設備への適用	石油技術協会 令和5年度春季講演会	2023.6

(b)新聞・雑誌等への掲載

番号	所属	タイトル	掲載誌名	発表年月
1		INPEX が新潟で国内初のブルー水素製造 約 100 億円投資	日本経済新聞	2022.11
2		INPEX、ブルー水素やアンモニアの製造・利用一貫実証実験開始	ロイター	2022.11
3		INPEX、ブルー水素やアンモニアの製造・利用一貫実証試験開始	朝日新聞	2022.11
4		INPEX、ブルー水素やアンモニアの製造・利用一貫実証試験開始	ニューズウィーク日本版	2022.11
5		INPEX、水素・アンモニアで実証施設 25 年運転開始	時事通信	2022.11
6		INPEX、新潟でブルー水素実証/製造・圧入・発電まで一貫で	電気新聞	2022.11
7		水素製造、発電 25 年開始	新潟日報	2022.11
8		ブルー水素・アンモニア INPEX 新潟で実証	日刊工業新聞	2022.11
9		INPEX takes FID on blue hydrogen, ammonia, 100% hydrogenfired power project in Japan	S&P Global	2022.11
10		国産天然ガスから水素とアンモニア製造 INPEX 新潟で実証実験	西日本新聞	2022.11

11		新潟柏崎で水素を製造 INPEX 実証試験	沖縄タイムス	2022.11
12		INPEX takes FID on Japanese blue hydrogen project	Upstream	2022.11
13		INPEX 実証試験 水素発電 25 年開始へ	柏崎日報	2022.11
14		Japan to build its first hydrogen to ammonia asset	The Energy Year	2022.11
15		Japan's INPEX Ventures Into Blue Hydrogen	QU4TRO Strategies	2022.11