

「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。

また、CO₂排出削減や日本国内のアンモニア需要（2030年300万トン、2050年3,000万トン：2021年時点見通し）に貢献する。

※ 本製造コスト値は2021年度時点での算出であるが、アンモニア製造コストは、天然ガス価格や為替レートなど時期によって大きく変動する因子に依存するため、評価にあたっては、算定範囲や前提条件を明確にした上で、その時点での既存法による製造コストと、本事業で開発する製造法による製造コストを比較する。

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、終了時評価を 2026 年度とし、中間評価結果を踏まえ必要に応じて研究開発の加速・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

2024年1月、事後評価を終了時評価へ名称変更及び中間評価結果の反映に伴う改訂

(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認する。

(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。