

「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

我が国は、パリ協定を踏まえ、長期的目標として2050年までに80%の温室効果ガスの排出削減を目指すこととしている。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。これらの目標を達成するためには、電力、運輸、熱、産業プロセスのあらゆる分野での低炭素化が必要である。

再生可能エネルギー、CO₂-EOR(原油増進回収法)やCCS(CO₂回収・貯留)、植林等の手法を活用して天然ガスから製造したブルーアンモニアと呼ばれる燃料アンモニアはカーボンフリーとなり、発電所や工業炉等におけるアンモニア燃焼時にはCO₂排出量を大幅に抑制することが期待されるため温暖化対策の有効な手段の一つとされる。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、燃料アンモニア工業炉は日本全体のCO₂排出量の約5%を削減するポテンシャルを有している。

燃料アンモニアの製造に関しては現在、①天然ガスから従来法(ハーバー・ボッシュ法:高温・高圧下で触媒合成する方法)により製造するブルーアンモニアと、②再生可能エネルギーで発電した電力を用いて水電解で製造した水素と、空気から分離した窒素を原料として従来法により製造するグリーンアンモニアの2種類が存在しており、②のグリーンアンモニア製造プロジェクトは2020年代後半の実現に向けて事業化の検討が進められている状況であるものの、高い製造コストが課題となっている。将来の燃料アンモニア利用普及のためには、コストの大幅削減が見込めるアンモニア電解合成技術など、革新的な製造技術の開発が望まれている。

アンモニアは劇物であるものの、化学工場では肥料の原料として、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こと、また水素密度が高いことや、液化がLNGや水素に比べて容易なことから、2017年12月26日関係閣僚会議において決定された「水素基本戦略」において、国際的な水素サプライチェーン実現のための水素キャリアの一つとして位置づけられている。

これらの状況から、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。

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。

燃料アンモニアの製造においては、前述のようにCO₂をオフセットした天然ガスから製造するブルーアンモニアに対して、再生可能エネルギーから製造するグリーンアンモニアの研究開発、実証試験が行われているが、水の電気分解、水素貯蔵、水素と窒素の反応(従来法)という3プロセスの装置が必要となり、高い製造コストがネックとなっている。一方、コストの大幅削減が可能な革新的なアンモニア製造方法として、「固体プロトン伝導体を用いた中温電解合成」や「熔融塩を用いた電解合成」、「生体模擬触媒を用いた電解合成」などの各種電解合成等が検討されているが、いずれの手法も基礎研究フェーズとなっている。

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見当らず、日本が先行している。

一方、アンモニア製造に関しては、米国DOE(エネルギー省)のエネルギー高等研究計画局ARPA-Eが、再生可能エネルギーの液体燃料転換技術開発を目標とした“REFUEL(Renewable Energy to Fuels Through Utilization of Energy-Dense Liquids)”プロジェクトを2017年から実施している。この中では再生可能エネルギーから水電解により水素を生成し、従来法の触媒反応によりアンモニアを製造する手法に加えて、再生可能エネルギーから直接アンモニアを製造する、アンモニア電解合成技術の研究も採択されている。REFUELプログラムで現在遂行中の17件のプロジェクトのうち、4件がアンモニア電解合成技術開発のプロジェクトであり、DOEが本技術に着目していることが分かる。

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する。また、グリーンアンモニアの製造コストを低減するために、再生可能エネルギーからの水電解による水素生成・貯蔵プロセス

を經由せず、1ステップでアンモニアを製造する電解合成に関する基盤技術を開発する。これら2つの研究開発項目をとおして、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)「1ステップでアンモニアを電解合成する技術開発」

【最終目標】(2025年度)

1ステップでアンモニアを電解合成する単セルを積層したスタック化により大容量化した装置を設計、製作し、電解合成能力向上や安定稼働等の技術開発を行う。

【中間目標】(2023年度)

中温域でイオン伝導体が効率的に移動する固体電解質や水素の発生を抑制できる電解触媒等の要素技術の開発を行うとともに、単セル構造の電解合成装置を設計、製作し、効率や安定性等の性能評価を行うことで、1ステップ電解合成の基礎技術を確立する。

② アウトカム目標

再生可能エネルギーから電解水素を經由して従来法にてグリーンアンモニアを製造するコストは \$ 500~1,000/ton-NH₃ であるが、本事業で開発する 1 ステップ電解合成の手法を活用し、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/ton-NH₃ とすることを目標とする。

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。

【委託事業】

- ・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) 「1 ステップでアンモニアを電解合成する技術開発」

本研究開発は、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。

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 は研究開発責任者（プロジェクトマネージャー）の候補として、NEDO スマートコミュニティ部 統括研究員 加藤 寛 を任命して、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

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との連携を図るためデータベースへのデータ提供、標準案の提案等を積極的に行う。

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。

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基本方針」を適用する。

(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15条第1項第1号ロ及び第9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

(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、重油ないし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は行われ、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、数 MW 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）「１ステップでアンモニアを電解合成する技術開発」

1. 研究開発の必要性

燃料アンモニアの製造に関しては現在、①天然ガスから CCS 等により CO₂ をオフセットしつつ製造するブルーアンモニアと、②再生可能エネルギーによる水電解と従来法（ハーバー・ボッシュ法：高温・高圧下で触媒合成する方法）を組み合わせる製造するグリーンアンモニアの２種類が存在している。

ここで CO₂ フリーであるものの、従来法を利用するグリーンアンモニア製造方法では、水の電気分解、水素貯蔵、高温・高圧下での水素と窒素の反応という３プロセスの装置が必要になるなど、高コストとなる。

このため、将来のアンモニア利用普及のためには、そのシンプルな装置構成からコストの大幅削減が見込める、１ステップでアンモニアを製造する電解合成技術開発を行う必要がある。

2. 研究開発の具体的内容

１ステップでアンモニアを電解合成する技術として、１つのアンモニア電解合成装置において、再生可能エネルギー含む電力により、水電解と同時に生成されるプロトン（H⁺、水素イオン）が電解質中を中温域で移動し、空気分離から供給される窒素と反応することで、直接アンモニア合成を行う方法が有望視されている。

本方法における電解合成セルは、プロトン等イオンを伝導する電解質とこれを挟む形でアノード（正極）とカソード（負極）が貼り付けられた構造であり、カソード表面にはアンモニア合成触媒が塗布されている。このアンモニア電解合成セルの両電極に電圧を印加し、アノード側に水（水蒸気）を供給すると、水蒸気がアノード電極表面で分解して酸素とプロトンを生成する。生成したプロトンは電解質内をカソード側に移動し、このプロトンとカソード電極側に供給した窒素がカソード電極表面の触媒上で反応してアンモニアが生成する。

この１ステップでアンモニアを電解合成する方法の高効率化、装置化及び大容量化等の基盤技術確立のため、以下の技術開発を行う。

（１）固体電解質の開発

中温域でプロトン等イオン伝導体が効率的に移動する固体電解質（セラミック等で構成される）の開発を行う。

（２）電極触媒の開発

現状のアンモニア電解合成においては、窒素とプロトンの中温域（200～300℃）かつ高圧の条件下で触媒反応させることでアンモニアが生成するが、その際に副産物として水素が発生し、反応効率が低下している。この水素の発生を抑制できる電極触媒（白金等）の開発を行う。

(3) 単セル電解合成装置の開発及び性能評価

要素技術開発(固体電解質・電極触媒の開発)の成果を踏まえた、単セル構造の電解合成装置の開発、製作を行うとともに、効率や安定性等の性能評価を行う。また、この評価結果を要素技術開発にフィードバックし、より高効率な固体電解質、電解触媒の開発につなげる。

(4) セルスタック電解合成装置の開発

単セル構造の電解合成装置の性能評価の成果を踏まえ、単セルを積層したスタック化により大容量化した装置を設計、製作し、アンモニア製造能力と安定稼働等の技術開発を行う。

3. 達成目標

【中間目標】(2023 年度)

中温域でイオン伝導体が効率的に移動する固体電解質や水素の発生を抑制できる電解触媒等の要素技術の開発を行うとともに、単セル構造の電解合成装置を設計、製作し、効率や安定性等の性能評価を行うことで、1ステップ電解合成の基礎技術を確立する。

【最終目標】(2025 年度)

1ステップでアンモニアを電解合成する単セルを積層したスタック化により大容量化した装置を設計、製作し、電解合成能力向上や長期安定稼働等の技術開発を行う。