

グリーンイノベーション基金事業

「燃料アンモニアサプライチェーンの構築」プロジェクトに関する 研究開発・社会実装計画（案）

令和3年〇月〇日

経済産業省

資源エネルギー庁

目次

1. 背景・目的.....	3
2. 目標.....	10
3. 研究開発項目と社会実装に向けた支援.....	14
4. 実施スケジュール.....	19
5. 予算.....	24

1. 背景・目的

- 燃料アンモニア産業の重要性と課題解決の方向性
 - 2050年カーボンニュートラル実現に向けては、脱炭素燃料の普及拡大や電力の脱炭素化を推進する必要があり、脱炭素燃料の候補の1つとしてアンモニアが挙げられる。
 - 現在、アンモニアは肥料や工業原料として用いられている（原料アンモニア）が、アンモニアは燃焼時に二酸化炭素（CO₂）を排出しないため、発電用や船舶用などでゼロエミッション燃料としての役割が期待されている。特に発電用途では、火力発電が調整力、慣性力機能を具備しており、系統運用安定化に資する。そのため、アンモニアの利用を通じて、化石燃料を代替する形で火力発電の脱炭素化を進めることが重要。
 - また、アンモニアは、水素キャリアとしても利用可能であり、水素に変換しなくても燃料として利用でき、既存のインフラを活用することで、安価に利用・製造できることが特長である。こうした特性に鑑み、世界的に燃料アンモニアへの注目が高まっており、今後、アジアを中心に燃料としての需要が急拡大していくことが見込まれるため、その市場を積極的に獲得することは、我が国の経済成長・雇用維持や、世界全体の脱炭素化にも貢献する。
 - しかしながら、現状燃料用途での利用がされていない中で、燃料アンモニアの大規模な需要の創出と安定的で安価な供給の実現に向けて、利用拡大、安定供給確保、コスト低減といった視点を盛り込んだ形で社会実装モデルを構築することで、燃料アンモニアサプライチェーンの川上から川下まで様々な市場の形成が期待できる。
 - そこで、本プロジェクトでは、アンモニアの利用拡大及びに製造の高効率化・低コスト化等の各要素での技術的課題を解決することで、需要と供給が一体となった燃料アンモニアサプライチェーンの構築を目指す。
- 本プロジェクトを取りまく現状と課題解決の具体的方策
 - 燃料アンモニアの社会実装モデルとしては、燃料アンモニアを海外から大量かつ安価に供給し、火力発電や船舶等で大規模に利用する絵姿が考えられる。燃料アンモニアの利用についてはまずは国内の火力発電への混焼・専焼が主要となるが、それに加え、将来的にも引き続き電源構成の一定比率を石炭火力で占めることが見込まれるアジア等での利用も想定される。
 - こうした社会実装モデルの構築に際して重要となるのは、大規模サプライチェーンの構築に向けた製造・輸送・貯蔵の技術開発と、燃料アンモニアの需要を拡大するための大規模な火力発電等での利用技術開発を一体的に推進することであり、そのためには、ユーザーである電力会社等が供給サイドの事業者を巻き込む形で推進役を担っていくことが有効である。それぞれ取り組む意義と現状、課題について以下のとおり整理した。
 - アンモニア供給価格の低減（供給面）
 - 燃料アンモニアの需要創出（2030年まで）、その後の需要拡大（2030年以降）に向けて、需要者に必要な量を受入可能な価格で供給することが極めて重要。他方で、現

在の世界全体のアンモニアの貿易量は年間約 2000 万トン、国内のアンモニアの利用量は年間約 100 万トンに留まる。他方、石炭火力発電（100 万 kW）で 20%混焼すると、1 基につき年間 50 万トンの燃料アンモニアを要することになるため、アンモニアの燃料利用の拡大にあたって、新たに燃料アンモニアの大規模サプライチェーンを構築することが不可欠となっている。

- その際、既存のアンモニアメーカーに対して競争力を有するための低価格アンモニア製造を目指して、アンモニア合成プロセスを効率化することが有効である。これまでは、海外企業のライセンスが必要なハーバーボッシュ法（以下、「HB 法」という。）による高温高压での合成が行われていたが、価格低減に向けて、我が国が強みを有するアンモニア製造触媒の技術（TRL:4 相当）を開発し、原料ガス改質プロセスとも組み合わせつつ大規模な実証を進めることで、産ガス国等での大規模なブルーアンモニア製造での展開を通じて新たな市場獲得が可能となる。
 - また、これまでは製造時に CO₂ の処理が行われていない「グレーアンモニア」が利用されていたが、今後は製造段階 CCUS 等を通じて CO₂ の処理を行った「ブルーアンモニア」や、再生可能エネルギー由来の「グリーンアンモニア」の利用が見込まれる。特に、再生可能エネルギーのコストが低減した段階では、再生可能エネルギーを用いて水素を経由せずに直接アンモニアの合成を行うことのできるアンモニア電解合成技術（TRL:3 相当）が、今後重要な技術となる。
 - これらは海外でも研究は行われてきたものの、現段階では具体的な成果は挙がっていないため、今後の燃料アンモニア市場の拡大を見据え、先行して技術開発を進めていくことが重要。
- アンモニアの利用の拡大（需要面）
- アンモニアの大規模需要としては、火力発電、特に石炭火力でのアンモニア混焼・専焼や、船舶用の燃料等でのアンモニア利用でが挙げられる（アンモニアの燃焼速度は石炭に近く、石炭火力発電との相性が良い。他方で、水素はガス火力発電と相性が良い。）。
 - 発電用途を中心とした利用拡大により、2030 年時点では年間 300 万トン、2050 年時点では年間約 3000 万トン程度の国内での燃料アンモニア需要が想定される（年間 3000 万トンの場合、専焼で 10～20 基、高混焼で 20～40 基程度の導入に相当）。
 - アンモニアは劇物であることから、一般家庭よりも工業用を中心とした利用が想定することで高いレベルで安全管理されることが望ましい。
 - 火力発電については、石炭火力において既に燃料アンモニアを 20%混焼させた際の NOx 排出を抑制する技術は確立しており、本年度から、燃料アンモニアの石炭火力への 20%混焼に向けた 100 万 kW 級実機での実証試験が始まり（TRL:6 相当）（詳細は既存事業の項目参照）、2020 年代後半にも同混焼の実用化が見込まれている。また、20000.2 万 kW 級のガスタービンにおいて 70%のアンモニア混焼が成功している。他方、

カーボンニュートラルに向けた重要な技術となる火力発電における混焼率の拡大や専焼技術については開発段階（TRL:4 相当）に留まっており、高混焼技術や専焼技術の実現には、NOx の抑制、発電に必要な熱量を確保するための取熱、燃料の安定性という課題を解決する必要がある。

- 火力発電におけるアンモニア利用技術は、現時点では我が国独自の技術であり、同技術を世界に先駆けて開発することは、その後の技術の海外展開によって、世界の燃料アンモニア需要を拡大させて市場を開拓することにつながる。

 - 上記のように、燃料アンモニアの需要・供給の両輪で社会実装モデルを実現していくには、エンジニアリング企業・触媒メーカー・発電事業者等が相互に連携して取り組む必要があるが、燃料アンモニア市場が現時点では確立しておらず、価格や取引量が不確実な中で、それら企業単独で技術開発を始めることは困難。このため、市場創出に向けた技術開発段階では、国として積極的な支援を講ずることで、企業等のコミットメントを引き出していく。
 - また、本プロジェクトに加え、政府が前面に立って、脱炭素化に向けた現実的な移行の協力として、二国間会談や政策対話、国際会合での議論を通じて燃料アンモニアの有用性の理解促進を図るとともに、アンモニアの原料となる天然ガス等の上流開発への JOGMEC によるリスクマネー供給等の支援策や、NEXI や JBIC によるファイナンスを利用しつつ、国際的な協調・協力の取組を進めていく。
 - さらに、企業等による社会実装の取組を加速化するため、国内での制度設計（非化石価値の顕在化、流通時の規制対応等）や国際的な標準整備（燃料仕様、燃焼技術の国際標準化）についても並行して検討を行っていく。
- 関連基金プロジェクトと既存事業
 - 関連基金プロジェクト
次世代船舶の開発プロジェクトがあり、その中では、燃料アンモニアの船舶での利用に着目し、研究開発・実証を実施予定。本基金プロジェクトでは、発電用途での利用技術の開発を行う。

 - 既存事業
 - 以下の予算事業を通じて、燃料アンモニアの火力発電への 20%混焼に関する実機での実証試験を開始するほか、火力発電よりも規模は小さいが脱炭素化の難しい熱需要分野である工業炉の設計やそのバーナーの開発等を行う。
 - 本基金プロジェクト事業では、これらの既存事業で確立された混焼技術の知見も活用しつつ、高混焼化・専焼化を見据えた技術開発・実証を推進する。加えて、価格低減に向けた、高効率な製造技術の開発・実証を推進する。

【予算事業】

- カーボンリサイクル・次世代火力発電の技術開発事業（2016 年度～、令和 3 年度予算額 161.5 億円）：石炭火力発電におけるアンモニア 20%混焼等を実証 (https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100115.html)。
- 化石燃料のゼロ・エミッション化に向けたバイオジェット燃料・燃料アンモニア生産・利用技術開発事業（2021 年度～、令和 3 年度予算額 51.0 億円）：工業炉における燃料アンモニアの利用技術の開発・実証等
- 質の高いエネルギーインフラの海外展開に向けた事業実施可能性調査事業（2013 年度～、令和 3 年度予算額 9.0 億円）：海外における CO₂ 排出削減に資するエネルギーインフラ案件（アンモニアのサプライチェーン（生産、流通、利用）含む）の受注・事業化に向けたマスタープラン策定や FS 調査を支援
(<https://www.meti.go.jp/information/publicoffer/saitaku/2021/s210422002.html>)

● グリーン成長戦略の実行計画における記載（抜粋）

（2）水素・燃料アンモニア産業

ii）燃料アンモニア産業

① 利用(火力混焼等の発電用バーナー)

<現状と課題>

石炭火力への混焼技術については、2014 年度から 2018 年度にかけて「戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）」にて、NO_x 発生を抑制した 20%混焼バーナーの開発を行い、2018 年度から 2020 年度にかけて NEDO において大容量燃焼試験設備での混焼試験を実施した。

今後、実機においても上述の混焼バーナー技術で NO_x 発生が抑制可能かどうかなどの検証が必要である。さらに、アンモニアは石炭に比べ燃焼時の火炎温度が低く輻射熱が少ないことから、アンモニアの混焼率を高め、さらには専焼化を目指していく上では、発電に必要な熱量を確保するための収熱技術の開発も必要となる。

<今後の取組>

短期的（～2030 年）には、石炭火力への 20%アンモニア混焼の導入や普及を目標とする。そのため、技術面では、2021 年度から 4 年間、実機を活用した 20%混焼の実証を行うことで 20%混焼の技術を確立させ、その後、電力会社を通じて、NO_x を抑制した混焼バーナーの既設発電所への実装・燃料アンモニアの導入を目指す。

また、これまでアンモニアの燃料用途での活用が想定されてこなかったことから、エネルギー政策において、燃料アンモニアの法的な位置付けは未だ明確になっていない状況である。燃料アンモニアの導入・拡大に当たっては、「エネルギー供給構造高度化法（高度化法）」における非化石価値の顕在化や、「エネルギーの使用の合理化等に関する法律（省エネ法）」における発電効率算定時のエネルギー投入量からの控除等を通じて、法制上の評価がなされるよう対応する。

今後も電源の相当程度が石炭火力で占められる東南アジアをはじめ世界の脱炭素移行に貢献するため、バーナー等の混焼技術の展開を検討する。仮に東南アジアの1割の石炭火力に混焼技術を導入できれば、約5,000億円規模の投資が見込まれる。こうした世界的な燃料アンモニアの利用拡大に加え、供給面でも世界的な燃料アンモニアのサプライチェーン構築を進めるべく、そして、世界的な脱炭素社会に向けて現実的なエネルギー構成の移行（トランジション）を促していくという考え方の下で、従来の化石燃料の枠組みに捕らわれない包括的な資源外交を進める。具体的には、

①国際機関（IEA や ERIA 等）も含めた燃料アンモニアの海外認知度の向上や重要性の理解促進

②産油・ガス国／再生可能エネルギー生産適地（北米、豪州、中東、アジア等）及び潜在的な需要国（アジア等）との二国間会談・政策対話を通じた協力強化や共同プロジェクトの組成

といった国際的な連携を強める。

こうした国際的なアンモニアの流通、活用の円滑化の観点では、アンモニアの管理手法や燃焼時の機器の性能に関する規格化が有効となる。クリーン燃料アンモニア協会（CFAA）（旧名：グリーンアンモニアコンソーシアム）の内部に標準・基準の専門WGを立ち上げ、アンモニアの燃料としての仕様や燃焼時の窒素酸化物の排出基準等についての国際標準化を目指す。これにより、例えば東南アジアの電力市場に向けた輸出拡大を目指す。

その他、船舶を含む輸送や工業での活用等の新たな用途についても検討を進める。具体的には、2018年に国際海事機関（IMO）が温室効果ガス削減戦略・目標を打ち出すなど、国際海運の脱炭素化を推進しており、アンモニアは船舶用燃料としての利用が期待されている。

長期的（～2050年）には、収熱技術開発を含めた混焼率の向上（50%～）や専焼化技術の開発を積極的に進め、既存の火力発電のリプレイスによる実用化を目指す。ゼロエミッション火力発電として、東南アジアのみならず世界全体にその技術を展開し、世界全体の脱炭素を加速化させるとともに、我が国のグリーン産業の成長を促進する。

② 供給(アンモニア製造プラント)

<現状と課題>

アンモニア生産は世界全体で年間約2億トン程度であり、大半が肥料用途で地産地消されている状況である。今後、石炭火力にアンモニアの20%混焼を実施すると、1基（100万kW）につき年間約50万トンのアンモニアが必要となる。例えば、国内主要電力会社のすべての石炭火力で20%の混焼を実施した場合、年間約2,000万トンのアンモニアが必要となり、現在の世界全体の貿易量に匹敵する。そのため、これまでの原料用アンモニアとは異なる燃料アンモニア市場の形成やサプライチェーンの構築と、それを通じた安価な燃料アンモニアの供給が課題となる。

<今後の取組>

短期的（～2030年）には、燃料アンモニアの生産拡大に向け、製造プラントの新設を進め、

必要な燃料アンモニアを安定的に供給できる体制を構築する。

安価な燃料アンモニアの供給に向けては、モジュール化等を通じた製造効率の向上のための取組の強化に加え、日本貿易保険（NEXI）や国際協力銀行（JBIC）、（独）石油天然ガス・金属鉱物資源機構（JOGMEC）によるファイナンス支援を強化する。JBIC においては、2021年1月に創設したポストコロナ成長ファシリティ等を通じた支援を含め、具体的な案件支援に向けた検討を進めていく。NEXI においては、「環境・イノベーション保険」の支援対象に燃料アンモニア事業を加えることを検討する。また、「資源エネルギー総合保険」の適用対象である資源にアンモニアを追加することで、燃料アンモニア事業向け案件に係る保険料率の引き下げ及び信用付保率の引き上げが可能となるよう検討を進めていく。JOGMEC においては、リスクマネーの供給の観点に加え、石油ガス開発で培った地下技術や施設技術のノウハウを活用した支援策の強化についても検討を進めていく。

また、海外での積出港におけるアンモニア輸出に対応した岸壁・供給設備等の環境整備については、案件に応じて（株）海外交通・都市開発事業支援機構（JOIN）による民間事業者との共同出資によるリスクマネーの供給やハンズオン支援の活用について検討を進めていくとともに、国内では、港湾において必要な燃料アンモニアの輸入・貯蔵等が可能となるよう、技術基準や港湾計画の見直し等を検討する。あわせて、大量に輸入されるアンモニアを複数の事業者が多様な用途に活用することにより、港湾・臨海部におけるカーボンニュートラルを実現していく。

供給の安定化の観点では、調達先国の政治的安定性・地理的特性に留意した上で、生産国（北米、豪州、中東）と消費国（日本含むアジア）との有機的な連携を通じて、我が国がコントロールできる調達サプライチェーンの構築を目指していく。また、燃料アンモニアの着実な導入拡大のためには十分な供給確保が不可欠であることから、化石燃料由来も再生可能エネルギー由来も重要であるとの国際的な認識醸成を、二国間会談や国際会合等を通じて進めていく。

なお、化石燃料由来のアンモニアの場合、製造時に CO₂ が発生する。製造国との関係（製造国の法制度等）にも留意しつつ、当面は製造プロセスでの CO₂ の処理がなくとも、燃料アンモニアの導入・普及を図っていく。その上で、一定の導入・普及後には、生産時に排出される CO₂ については、CCUS／カーボンリサイクル、植林、ボランタリークレジットによるオフセット等から適切な手段を通じて、合理的な形で CO₂ の処理を行う。こうして、再生可能エネルギー由来のアンモニア価格が十分に下がることを待つことなく、燃料アンモニアの利用拡大を着実に進めていく。

アンモニア価格については、現状 Nm³ 当たり 20 円台前半（熱量等価での水素換算）であるところ、こうした供給拡大の取組を通じて、2030 年までに、Nm³ 当たり 10 円台後半（熱量等価での水素換算）での供給を目指す（現在の天然ガス価格等を前提とする）。

長期的（～2050 年）には、発電分野では混焼率向上、専焼化が見込まれるとともに、船舶や工業炉（製造業各業種での活用）等、他の用途での活用の広がりも見込まれる。こうしたアンモニアの利用拡大に適切に対応するため、新触媒の開発や製造・輸送・貯蔵プロセスの大規模化や効率化、再エネ由来での安価なグリーンアンモニア製造技術の開発等を進めていく。

こうした供給拡大の取組や、上述の利用拡大への取組を通じて、2030 年には国内で年間

300 万トン（水素換算で約 50 万トン）、2050 年には国内で年間 3,000 万トン（水素換算で約 500 万トン）のアンモニアの国内需要が想定される。

また、海外の特定地域依存度の低減や国内調達比率の上昇等を通じて、安定したアンモニアサプライチェーンの構築が実現し、同時に、2030 年にアンモニア供給価格がガス価格以下(12 円/kWh)に低減（2050 年までその水準が継続）し、アンモニアが化石燃料に十分な競争力を有する水準となる場合、海外依存度等が高い炭化水素による発電に比して、アンモニア火力発電の価格が安定的になるという効果が発揮される。

例えば、過去には、LNG 火力発電のコストは、原油価格高騰の影響等を受け、13.8 円/kWh の水準まで高騰したことがある（2012 年）。将来のアンモニア火力発電が、コスト低減実現後に 12 円/kWh の水準で安定して供給されるのであれば、こうした急な価格高騰の影響を抑止する効果をエンドユーザーにもたらす可能性がある。（例えば、約 1.8 円/kWh 相当の急な価格高騰を、分かりやすく表現するために、一家庭での電力料金支出における抑制効果として表すと、2 人以上の一般家庭（電力使用量 400kWh/月）では、約 8,600 円/年に相当することとなる。）

2. 目標

● アウトプット

➤ 研究開発の目標

1. アンモニアの供給コストの低減に必要な技術の確立
(2030年10円台後半/Nm³の実現に必要な技術)
 - 1-①. 同一の熱改質を用いた際に、原料ガス(水素+窒素)からアンモニアを合成するプロセス全体の設備費用を増やすことなくアンモニア製造の運転コスト(人件費除く)を15%以上低減する合成技術の確立
 - 1-②. 1年間の連続運転により最大製造可能量の9割以上の製造を可能とするグリーンアンモニア電解合成技術の確立
2. アンモニアの発電利用における高混焼化・専焼化
(2050年国内導入量3000万トン/年に必要な技術の確立)
 - 2-①. 石炭火力発電の実機における50%以上のアンモニア混焼技術の確立
 - 2-②. ガスタービンの実機におけるアンモニア専焼技術の確立

(目標設定の考え方)

- 1-①. 既存のアンモニア合成方法(HB法)では、合成時に高圧が必要となり、これが高コスト要因の一つとなっている。理論上、新たな触媒を用いることで、効率を維持し、設備費用も増やすことなく、この圧力を7割以上低減できることが分かっており、実用化に必要な課題を克服することで達成可能なコスト目標として設定。
- 1-②. グリーンアンモニアの電解合成技術については、これまでラポレベルでの検証が中心であり、長寿命化・安定性の向上が求められている。そのため、要素技術を開発した上で、年間を通じて試験炉での連続運転を行い、実用化に必要な水準として、最大製造可能量の9割以上の製造を目指す。(本格的な商用化に向けては、本目標の達成後に、大規模化・低コスト化等の取組を行うことが必要。)
- 2-①. 石炭ボイラでのアンモニア高混焼化を目指す方法として、全てのバーナーを高混焼化する方法と、専焼バーナーが占める割合を増やす(=石炭バーナーが占める割合を減らす)方法があり、現在は前者の方法で、ボイラ全体で20%混焼に向けた取組が進んでいる。本プロジェクトでは、専焼バーナー(バーナー全体の半分以上)を実機に取り入れる方法も含め、2030年代に実用化が見込まれている水準として、50%以上混焼の技術確立を目指す。
- 2-②. 発電事業者の計画では、専焼技術は2040年代に導入される予定であるが、これを大幅に前倒し、2030年までにガスタービンの実機で専焼技術を確立する目標を設定。

(目標達成の評価方法)

提案者の柔軟性を確保する観点から、各目標の個別の評価方法については、現時点で特定せず、その方法についての考え方のみ示すに留め、今後案件の採択時により具体的に決定することとする。

- 1-①. 小規模プラントでのアンモニア製造を実施の上、投入熱量・電力・触媒コスト等を基に運転日を測定する。
- 1-②. 商用段階の一般的な運転方法を想定し、試験設備を用いて電解合成技術による連続運転を1年間程度実施し、最大製造可能量の9割以上の製造がなされることをもって、安定的なアンモニア製造の技術が成立していることを確認する。
- 2-①. 5万kW級以上の実機での実証を通じて、アンモニアを石炭ボイラで50%以上混焼した上で、実用化可能な水準で技術課題（安定燃焼、NOx低減等）が解決されていることを確認する。
- 2-②. 2000kW級以上の実機での実証を通じて、アンモニアをガスタービンを用いて専焼した上で、実用化可能な水準で技術課題（安定燃焼、NOx低減等）が解決されていることを確認する。

(目標の困難性)

1. アンモニアの製造（新触媒等による高効率な合成、グリーンアンモニア電解合成）については、現時点ではラポレベルの研究に留まる。100年以上用いられてきたHB法を置き換える合成技術を実用化水準まで引き上げることは極めて野心的な目標と言える。
2. アンモニアの燃焼については、NOx抑制や収熱向上等の課題が存在し、混焼率を高めるほど、困難度が増す。そのため、20%混焼時に用いていたバーナー形状や燃焼方法に更なる工夫・改善が必要であり、これを従来の見通しよりも大幅に前倒して2030年までに確立することは野心的な目標と言える。

● アウトカム

2030年、2050年時点でそれぞれ想定される燃料アンモニアの導入量から、削減されるCO₂削減効果及び世界市場規模を機械的に試算。日本企業の国際競争力の状況も意識しつつ、世界市場の付加価値の相当程度の割合を我が国に還流させ、世界及び日本の脱炭素化に貢献することを目指す。

➤ CO₂削減効果（ポテンシャル推計）

- 約615万トン/年（2030年、国内）
【算定の考え方】

国内で 2030 年時点で、アンモニア 300 万トン^①を石炭火力発電に混焼することで削減できる CO₂発生量。

【利用したパラメータ】

①2030 年断面での燃料アンモニア利用量：300 万トン

(石炭火力 1 基 (100 万 kW) への 20%混焼で年間約 50 万トンの燃料アンモニアが必要であり、これを前提とすると石炭火力 6 基相当となる)

②アンモニアの標準発熱量：22.5MJ/kg(HHV)

③石炭火力発電(USC:超々臨界圧)の発電効率：40%

④石炭火力発電(USC)の CO₂ 排出係数：0.82kg-CO₂/kWh

計算式：①×1000×②×③(%)÷3.6(MJ/kWh)×④÷1000

○ 約 11.5 億トン/年 (2050 年)

【算定の考え方】

2050 年時点で、世界全体でアンモニア 5.6 億トン^①を石炭火力発電で専焼・混焼することで削減できる CO₂発生量。

【利用したパラメータ】

①2050 年断面での燃料アンモニア利用量：5.6 億トン

(2050 年時点の世界の水素生産 (5.5 億トン) の約 2 割が燃料アンモニアと想定し、アンモニア・トンに換算)

②アンモニアの標準発熱量：22.5MJ/kg(HHV)

③石炭火力発電(USC:超々臨界圧)の発電効率：40%

④石炭火力発電(USC)の CO₂ 排出係数：0.82kg-CO₂/kWh

計算式：①×1000×②×③(%)÷3.6(MJ/kWh)×④÷1000

➤ 経済波及効果 (世界市場規模推計)

○ 約 0.75 兆円 (2030 年時点)

発電：0.15 兆円、サプライチェーン：0.6 兆円

【算定の考え方】

・混焼に向けた設備改造に石炭火力 1 基あたり約 250 億円程度要すると仮定すると、2030 年時点での 300 万トン (100 万 kW 石炭火力で 6 基分相当) で、計 1500 億円。

・海外でのアンモニア製造・輸出基地の建設で 1 基 (100 万トン/年) あたり約 2000 億円程度を要すると仮定すると、300 万トンの供給では計 6000 億円。

○ 約 7.3 兆円/年 (2050 年)

発電：1.7 兆円/年、サプライチェーン：5.6 兆円/年

【算定の考え方】

- ・前述の通り、2050年断面での燃料アンモニア利用量は5.6億トンと想定。
- ・全ての燃料アンモニアが専焼利用となり、専焼の設備改造に1基あたり約1500億円程度（混焼の5倍）要すると仮定すると、2050年時点で累計33.6兆円。
- ・また、海外でのアンモニア製造・輸出基地の建設で1基（100万トン／年）あたり約2000億円程度を要すると仮定すると、2050年時点では累計112兆円。
- ・以上を2030年以降の世界市場規模として年間あたりの平均値を試算。

3. 研究開発項目と社会実装に向けた支援

- 【研究開発項目 1】アンモニア供給コストの低減

- 目標：アンモニアの供給コストの低減に必要な技術の確立

(2030年10円台後半/Nm³の実現に必要な技術)

1-①. 同一の熱改質を用いた際に、原料ガス（水素＋窒素）からアンモニアを合成するプロセス全体の設備費用を増やすことなくアンモニア製造の運転コストを15%以上低減する合成技術の確立

1-②. 1年間の連続運転により最大製造可能量の9割以上の製造を可能とするグリーンアンモニア電解合成技術の確立

- 研究開発内容

2030年以降の燃料アンモニアの利用拡大を目指す上で、製造・輸送・貯蔵の各部門でのコスト低減や供給量の拡大が必要であるが、本プロジェクトでは、特に政策支援の重要度が高く、長期的な研究開発が必要な項目として、製造技術の高度化に重点化して取り組む。

足下では、ブルーアンモニアの方がグリーンアンモニアに比べてコスト競争力がある中、まずはブルーアンモニアを高効率に製造する技術を開発する。

加えて、将来的には、再生可能エネルギー価格の低減や製造技術の効率化を通じ、グリーンアンモニアも価格競争力を持ちうる。現状、再生可能エネルギーから水素を経由してグリーンアンモニアを製造する研究開発が進められているが、本プロジェクトでは、より革新的な技術として、水素を経由せずに直接アンモニアを製造する技術を開発する。

- ①アンモニア製造新触媒の開発・実証

【(9/10委託→2/3補助) + (1/10インセンティブ)】

これまでアンモニアの製造方法として高温高圧での製造を行うHB法が採用されてきた。HB法の場合、鉄系の触媒での合成を行っているが、400～500℃の温度と、10～30MPaの圧力が必要となる。このため、新触媒を開発し、温度及び圧力を下げること、合成時に必要なエネルギーを削減する。十分な耐久性・安定性を前提として、低温・低圧で合成が可能な触媒の開発を適切なステージゲートの下で実施することで、既存のHB法に劣らない効率での製造を実現しつつ海外ライセンスに依存しない生産体制を構築するとともに、開発した触媒の価格低減に取り組むことで製造コスト全体の低減、製造時のCO₂排出量の低減を目指す。

現状は、ラボレベルで複数候補の新触媒が開発されているが、触媒自体の活性が不十分であり、触媒の配置やサイズ等の検討を通じて活性を高めること、また、触媒を機能させる際のベースとなる担体についても、触媒の形状や配置に応じた最適化が必要となっている。その上で、ベンチスケールで実際にアンモニア製造を行い、性能を確認するとともに

に、温度分布等のラボでは測定できないデータを取得する。最終的には、商用機での適用可否が判断できるパイロットレベルでの実証を行い、その中で、システム全体での反応効率の検証等を実施する。

複数の有望な触媒が見込まれることから、応募時点では複数案件の採択を可能としつつ、ベンチスケールの実証、パイロットスケールでの実証の二段階でステージゲートを設け、案件の絞り込みを検討する。実証段階に進む基準として、温度及び圧力を下げつつ、30%程度のワンプス転化率を確保することを求める。

②グリーンアンモニア電解合成

【 (9/10 委託→2/3 補助) + (1/10 インセンティブ) 】

今後、再生可能エネルギーの供給が世界的に拡大し、再生可能エネルギー由来のグリーンアンモニアが主流となれば、再生可能エネルギーの供給価格や製造方法の効率化により、グリーンアンモニアの供給価格が低減すると期待される。これまでは、水を電気分解して水素を製造（水電解）し、その後 HB 法でアンモニア製造を実施していたが、ここでは、従来の製造方法を大幅に簡略化する非連続な技術として、水から直接アンモニアを製造する電解合成技術を開発する。当該電解合成技術開発により、水素タンクやアンモニア合成プロセスの省略できれば、従来法に比べ 25%程度のコスト低減を達成しうる試算。

当該電解合成技術については、既に、触媒や電解質の開発がラボレベルで進められており（TRL3 相当）、既に NEDO 事業では年間 18kg の生成の実績がある。他方、それぞれのプロセスの反応速度が低く、触媒の性能向上等の更なる研究開発が必要となる。また、当該技術の実用化に向けて、小規模なプラントにおいて、触媒の耐久性や製造効率等を実際に確認しながら、連続的・安定的にアンモニアの製造ができることを確認し、目標の達成を目指す。

本研究開発内容についても、複数の有望なアンモニア製造方法・合成方法が見込まれるため、応募時点では複数案件の採択を可能とする。もつと、その後の小規模プラントでの実証に入る段階でステージゲートを設け、それまでの基礎技術開発段階で高効率な製造が確認された案件へのアンモニアの反応効率等を踏まえた絞り込みを検討する。実証段階に進む基準として、現時点では 10%程度のファラデー効率（全電流に対する生成物に寄与した部分電流の割合）を 50%以上まで引き上げることを求める。

（委託・補助の考え方）

- アンモニア製造における新触媒・電解合成技術については、アンモニアの供給コストを大幅に引き下げるポテンシャルを持つ基盤技術である一方で、アンモニアの需要動向は、発電・船舶・輸送・貯蔵等、サプライチェーン全体の様々な技術確立や市場環境・国内外の制度整備状況に大きく左右されて先行きを見通すことが困難であり、その技術の実用化まで 10 年以上かか

ると想定されるため、技術開発やベンチ試験は委託事業として開始する。他方、要素技術が確立された後のパイロット試験や小規模実証段階では、技術面の課題については相対的に小さくなることから、補助事業へと移行する。

- 研究開発内容①及び②は、ともにアンモニア製造コストを低減させるために必要な技術であるが、ブルーアンモニア・グリーンアンモニアそれぞれに適用される技術であり、独立して開発・活用されるものであるため、別々の事業者が実施することを想定。

- 【研究開発項目 2】アンモニアの発電利用における高混焼化・専焼化

- 目標：アンモニアの発電利用における高混焼化・専焼化

(2050 年国内導入量 3000 万トン／年に必要な技術の確立)

2-①. 石炭火力発電の実機における 50%以上のアンモニア混焼技術の確立

2-②. ガスタービンの実機におけるアンモニア専焼技術の確立

- 研究開発内容：

本プロジェクトでは、既存事業で実施中の、石炭火力発電におけるアンモニアの 20%混焼をさらに発展させて、アンモニアの高混焼化・専焼化の技術を確立する。その際、石炭ボイラにおいて混焼率を高める方法に加え、石炭火力発電所をリプレースする需要も想定し、ガスタービンでのアンモニア専焼化に必要な技術開発も対象とする。

- ① 石炭ボイラにおけるアンモニア高混焼技術（専焼技術含む）の開発・実証

【（~~2/3~~補助→1/2 補助）※ +（1/10 インセンティブ）】

※専焼技術の開発を行う場合は、（9/10 委託→1/22/3補助）として実施

石炭火力発電におけるボイラ内のアンモニア混焼率を高めるには、混焼バーナーを改良する方法と、専焼バーナーを用いる方法が考えられる。いずれにしても、アンモニアの燃焼の安定化に向けた熱量の確保、NOx の低減、未燃アンモニアの抑制等の技術課題に対応することが必要。特に NOx については、排出の抑制が十分になされない場合、脱硝装置への負荷が増大し、設備費・運転費の高騰につながる。

混焼バーナーを用いる場合は、50%程度までの混焼率であれば、ボイラの変更なく、アンモニアを利用できる可能性があり、早期に低コストで導入できるという利点があり、特に今後も石炭火力利用が見込まれるアジア大洋州地域でのアンモニア普及拡大において有用ある。他方、既に実証されている 20%混焼よりも混焼率を増加させると、石炭の割合の減少に伴う火災の不安定化や熱量の低下、NOx 排出量の増加等といった課題への対応が必要となる。

専焼バーナーを用いる場合は、混焼バーナーとの併用や、専焼バーナーの割合の変更を通じて徐々に混焼率を上げつつ、将来的には専焼化を実現できる一方で、全く異なる形状のバーナー開発を行う必要があり、さらに、収熱が悪化することから、ボイラ全体の取り換えを行う必要性が見込まれる。

本プロジェクトでは、2050年カーボンニュートラルの実現のため、石炭火力発電設備のアンモニア専焼化への段階的移行に必要な技術を開発し、5万kW規模以上の実機での実証を行う。このため、実機における実証では、発電所毎にアンモニア導入時期や導入量等に差異が生じる可能性を鑑み、混焼技術と専焼技術の両者の採択を可能とするが、そのリスクの大きさや技術の成熟度に応じ、補助率等には差異を設ける。また、既存の石炭火力発電所の燃焼方法には、対向式（火炉の前後に向かい合わせに配置したバーナーで燃焼する方式）と、旋回式（ボイラの四隅にバーナーを設置して燃焼させて火炎を回転させる方式）の2種類が同程度の比率で存在するが、国内外への普及も念頭に置いて、アンモニア混焼時に異なる燃料技術が必要となる部分に限り、両方式でのバーナー開発を行う（共通的な基盤技術については、共同で開発し、重複した開発は実施しない）。

② ガスタービンにおけるアンモニア専焼技術の開発・実証

【（9/10 委託→2/3 補助） + （1/10 インセンティブ）】

石炭火力のリプレースに当たっては、その発電効率の高さから、ボイラではなくガスタービンを用いたアンモニア専焼の導入も見込まれる。したがって、本プロジェクトでも、ガスタービンでのアンモニア専焼技術の開発を対象とする。

現状は、~~20000.2万~~2万kW級のガスタービンで70%のアンモニア混焼を実施済みであるが、専焼技術の開発は進んでおらず、実用化に際しては規模の拡大も必要となる。こうした専焼化、規模の拡大に伴い、NOx対応や、着火の困難性といった課題は石炭ボイラでの燃焼と共通するが、発電所の構造やバーナーの形状等がいずれも異なるため、石炭ボイラ向けとは全く異なる研究開発が求められる。

本プロジェクトでは、ガスタービン向け専焼バーナーを開発した上で、2000kW規模以上の実機での専焼の実証を行い、吹き込み位置や流速等を最適化し、アンモニア燃焼技術を確立する。

（委託・補助の考え方）

- 本技術は発電部門のCO₂排出削減及び大規模なアンモニア需要の創出という観点から必要不可欠である一方、民間企業としては、アンモニアの製造・輸送・貯蔵等の供給体制が十分に整備されるかどうか不透明であり、技術の実用化には、不確実性を伴う。特に、専焼技術については、これまでの開発実績がなく、バーナーの形状の検討から開始することが必要であり、その技術の実用化まで10年以上かかると想定されるため、委託事業として開始し、実証段階で補助への切り替えを行う。他方、混焼技術については、既に20%混焼を実証済みであるため、専焼と比べた場合の技術的な困難度は相対的に低いことから、補助で実施するで開始し、実証段階で補助率を逡減させる。
- 研究開発内容①及び②は、火力発電におけるアンモニア燃料利用の拡大に必要な技術であるが、石炭ボイラとガスタービンのアンモニア燃焼技術は、独立して開発・活用されるものである

ため、別々の事業者が実施することを想定。ただし、同一事業者が実施することを妨げず、相互補完的な検討が必要な場合は、必要に応じて、実施者間の連携を求める。

- 社会実装に向けた支援

技術の社会実装や海外への展開を加速させるため、国内での制度設計（非化石価値の顕在化、流通時の規制対応等）や国際的な基準整備（燃料仕様、燃焼技術の国際標準化）、万博・ベンチャーの利用、国際場裏での協力の打ち込みなどについても並行して検討を行っていく。

特に国内での制度整備については、非化石価値の顕在化や流通時の規制対応に加え、「エネルギー使用の合理化等に関する法律（省エネ法）」におけるアンモニア混焼時の配慮措置（アンモニア発電の発電効率算出時におけるアンモニア混焼分の控除など）の創設等を通じ、導入を後押ししていくことを検討していく。

国際的な基準整備については、燃料仕様や燃焼技術の国際標準化が挙げられる。それに向け、グリーン燃料アンモニア協会（CFAA）の内部に立ち上げた標準・基準に関する専門WG等を活用し、検討を進めるとともに、米国や豪州の主要業界団体とも連携を進める。

また、流通に当たっては、アンモニア利用の安全性の確保も重要。既にアンモニアの利用に当たっての安全性の確保は電気事業法、高圧ガス保安法、船舶安全法等に基づいて講じられているが、燃料利用に伴い、新たに気化段階や燃焼段階での漏洩リスクが発生する可能性がある他、サプライチェーンの大規模化に伴い事故発生時の被害が大規模化するリスクも生じうる。こうしたリスクについてはグリーン燃料アンモニア協会（CFAA）の内部に立ち上げた安全性に関するWGを活用し、想定されるリスクの具体化や技術面・制度面・運用面での対応方針を検討する。その上で、規制当局との協議を進めていく。

国際連携については、今年1月以降UAEやインドネシアとの間で、アンモニア製造に向けた覚書の締結や、それに基づく具体的なプロジェクトの検討が進んでいる。他方、ノルウェーの肥料メーカーが豪州におけるグリーンアンモニア製造を表明し、日本への輸送も視野に入るなど、日本を取り巻くアンモニア流通の環境も変化している。こうした状況を踏まえた上で形で、アンモニア製造への日本企業の参画も後押ししつつ、日本主導での安定的かつ大規模なアンモニアサプライチェーンの構築に取り組む。

人材育成については、上流開発分野全体で創設が予定されている検討枠組みを通じて、若年層向けの情報発信等、本分野での新たな人材育成・獲得のための具体的方策を検討する。

4. 実施スケジュール

- プロジェクト期間

【研究開発項目 1】アンモニア供給コストの低減に必要な技術の確立

2030 年までのアンモニア製造にかかる運転コストの 15%低減や 1 年間の安定的な連続運転といった目標を達成すべく、要素技術の開発から実証までを連続して実施する必要があり、期間は、2021 年度から 2030 年度までの最大 10 年間を想定。

研究開発内容①、②ともに、技術開発課題が多く極めて困難な取組であるところ、技術開発に3～4年程度の十分な時間を費やしたうえで 2024 年度以降に実証に移行していくスケジュールを想定。なお、研究開発内容①についてはパイロット試験までを見据えているところ、2026 年度までのベンチ実証、その後のパイロット実証というスケジュール。他方、研究開発内容②については技術的課題を詳細を見通すことが困難であるため、20245年度までにプロセス構築を実施し、その後に小規模実証を行う。

ただし、以下のスケジュール例はあくまで一例であり、早期の目標達成等のために最適なスケジュールを組むことは妨げない。

【研究開発項目 2】アンモニアの発電利用における高混焼化・専焼化

技術開発から実証までの一連の取組を確実に実施するための十分な時間を確保する観点から、期間は、2021 年度から 20298年度までの最大 98年間を想定。アンモニア高混焼・専焼技術の開発に向け、重複を排除の上、必要に応じて相互に協力しつつ、複数のバーナー・ボイラ開発を並行して進める。

研究開発内容①については3年程度のバーナー等の技術開発の後に 2024 年度を目途に実機実証へ移行し、研究開発内容②については、3年程度の適地調査や設備設計等を行った後に 2024 年度を目途的に本格的な実証に着手する。

ただし、以下のスケジュール例はあくまで一例であり、早期の目標達成等のために最適なスケジュールを組むことは妨げない。

- ステージゲート設定

研究開発目標の達成には、様々なアプローチが考えられることから、具体的な達成方法・スケジュールは提案者の創意工夫に委ねることを原則とするが、以下の通り、事業化段階の切れ目においてステージゲート等を設定し、事業の進捗を見て、継続可否を判断する。原則追加公募は想定していないが、その必要性が確認された場合には追加公募を行う。

【研究開発項目 1】アンモニア供給コストの低減

(研究開発内容①)

- 触媒技術開発の完了時（下記の例では、2023 年度までに事業継続判断）

- ベンチ試験からパイロット試験への移行時（下記の例では、2026 年度までに事業継続判断）

（研究開発内容②）

- ~~○ 適切な化合物等に係る技術 FS の終了時（下記の例では、2021 年度までに事業継続判断）~~
- 基礎技術開発の終了時（下記の例では、2024~~23~~年度までに事業継続判断）
- ~~○ プロセス構築の終了時（下記の例では、2025 年度までに事業継続判断）~~

【研究開発項目 2】アンモニアの発電利用における高混焼化・専焼化

（研究開発内容①・②）

- 実証の開始時（下記の例では、2023 年度までに事業継続判断）

表1：プロジェクトの想定スケジュール（例）

	2021年度	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度	2026年度	2027年度	2028年度	2029年度	2030年度
【研究開発項目1】アンモニア供給コストの低減に必要な技術の確立										
アンモニア製造新触媒の開発	触媒技術開発			ベンチ試験			パイロット試験			
	[Progress bar from 2021 to 2030 with stars at 2023 and 2027]									
グリーンアンモニア電解合成技術の開発	基礎技術開発				小規模実証					
	[Progress bar from 2021 to 2030 with star at 2025]									
【研究開発項目2】アンモニアの発電利用における高湿焼化・専焼化 ※将来的な石炭火力を巡る国際動向を勘案し、柔軟に検討										
石炭ボイラにおけるアンモニア高湿焼・専焼技術の開発	技術開発			実機実証						
	[Progress bar from 2021 to 2028 with star at 2023]									
ガスタービンにおけるアンモニア専焼技術の開発	技術開発			実機実証						
	[Progress bar from 2021 to 2030 with star at 2023]									

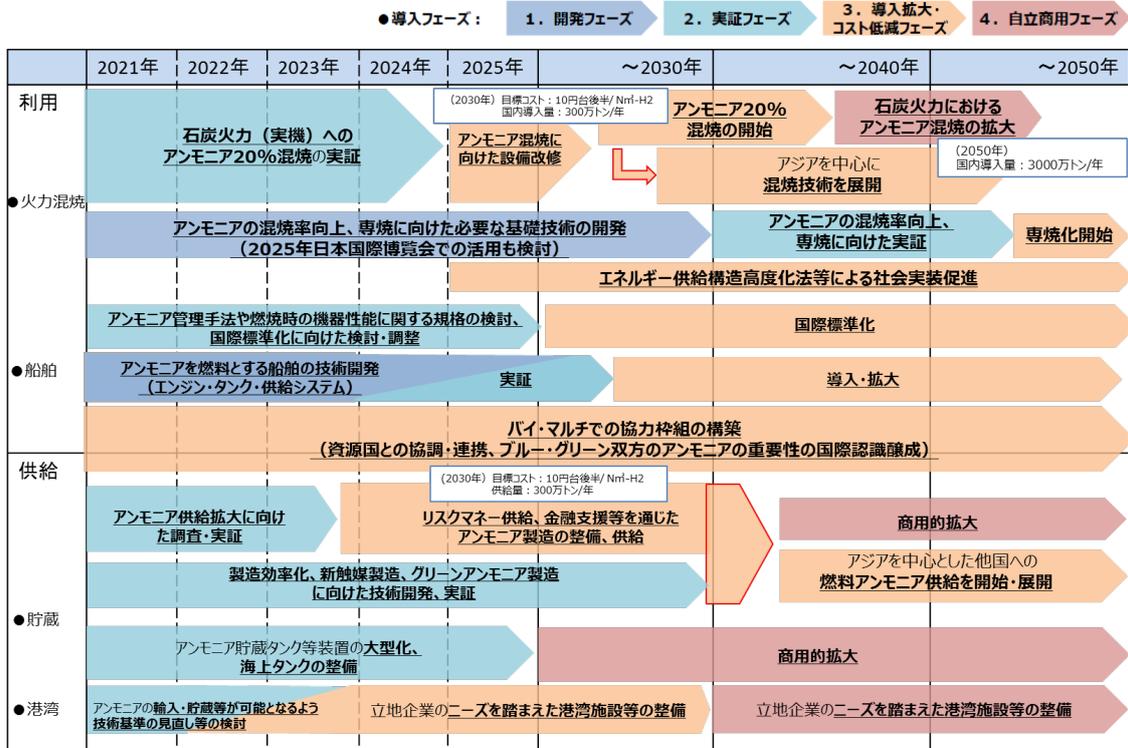
	2021年度	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度	2026年度	2027年度	2028年度	2029年度	2030年度
【研究開発項目1】アンモニア供給コストの低減										
アンモニア製造・新触媒の開発・実証	触媒技術開発			ベンチ試験			パイロット試験			
	[Progress bar from 2021 to 2030 with stars at 2023 and 2027]									
グリーンアンモニア電解合成	基礎技術開発				小規模実証					
	[Progress bar from 2021 to 2030 with star at 2025]									
【研究開発項目2】アンモニアの発電利用における高湿焼化・専焼化										
石炭ボイラにおけるアンモニア高湿焼・専焼技術の開発	技術開発			実機実証						
	[Progress bar from 2021 to 2028 with star at 2023]									
ガスタービンにおけるアンモニア専焼技術の開発	技術開発			実機実証						
	[Progress bar from 2021 to 2030 with star at 2023]									

	2021年度	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度	2026年度	2027年度	2028年度	2029年度	2030年度
【研究開発項目1】アンモニア供給コストの低減										
アンモニア製造・新触媒の開発・実証	触媒技術開発			ベンチ試験			パイロット試験			
	[Progress bar from 2021 to 2030 with stars at 2023 and 2027]									
グリーンアンモニア電解合成	基礎技術開発				小規模実証					
	[Progress bar from 2021 to 2030 with star at 2025]									
【研究開発項目2】アンモニアの発電利用における高湿焼化・専焼化										
石炭ボイラにおけるアンモニア高湿焼・専焼技術の開発	技術開発			実機実証						
	[Progress bar from 2021 to 2028 with star at 2023]									
ガスタービンにおけるアンモニア専焼技術の開発	PreFS			実証FS			既設改造を含む実機実証			
	[Progress bar from 2021 to 2030 with star at 2023]									

	2021年度	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度	2026年度	2027年度	2028年度	2029年度	2030年度
【研究開発項目1】アンモニア供給コストの低減										
アンモニア製造・新触媒の開発・実証	触媒技術開発			ベンチ試験			パイロット試験			
	→									
グリーンアンモニア電解合成	基礎技術開発				小規模実証					
	→									
【研究開発項目2】アンモニアの発電利用における高湿焼化・専焼化										
石炭ボイラにおけるアンモニア高湿焼・専焼技術の開発	技術開発			実機実証						
	→									
ガスタービンにおけるアンモニア専焼技術の開発	PreFS			実証FS		既設改造を含む実機実証				
	→									

	2021年度	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度	2026年度	2027年度	2028年度	2029年度	2030年度
【研究開発項目1】アンモニア供給コストの低減										
アンモニア製造・新触媒の開発・実証	触媒技術開発			ベンチ試験			パイロット試験			
	→									
グリーンアンモニア電解合成	基礎技術開発			プロセス構築		小規模実証				
	→									
【研究開発項目2】アンモニアの発電利用における高湿焼化・専焼化										
石炭ボイラにおけるアンモニア高湿焼・専焼技術の開発	技術開発			実機実証						
	→									
ガスタービンにおけるアンモニア専焼技術の開発	PreFS			実証FS		既設改造を含む実機実証				
	→									

表 2 : 社会実装スケジュール



5. 予算

● プロジェクト総額（国費負担額のみ。インセンティブ分を含む額）：上限 688 億円

【研究開発項目 1】アンモニア供給コストの低減

（研究開発内容①）アンモニア製造新触媒の開発・実証

- 予算額：上限 206 億円
- 予算根拠：設計費、原料費、設計費、反応器や冷却設備を含む設備費用等の参考見積（複数社から取得）等を基に試算。

（研究開発内容②）グリーンアンモニア電解合成

- 予算額：上限 26 億円
- 予算根拠：設計費、グローブボックスを含む設備費の参考見積（複数社から取得）等を基に試算。

【研究開発項目 2】アンモニアの発電利用における高混焼化・専焼化

（研究開発内容①）石炭ボイラにおけるアンモニア高混焼技術（専焼技術含む）の開発・実証

- 予算額：上限 337 億円
- 予算根拠：既存事業（カーボンリサイクル・次世代火力発電の技術開発事業）でのアンモニア 20%混焼のケースをベースに、混焼率を 50%に設定した際のバーナ、気化設備、貯蔵設備等の設備費や工事費を基に試算。

（研究開発内容②）ガスタービンにおけるアンモニア専焼技術の開発・実証

- 予算額：上限 119 億円
- 予算根拠：既存事業（SIP:アンモニアガスタービンコジェネレーションの技術開発）での混焼バーナ開発費、LNG を専焼した場合の設備費用等を基に試算。

● 取組状況が不十分な場合の国費負担額の返還率：返還が決定した時点における目標達成度を考慮し、WG において、「10%、30%、50%」の3段階で評価

（参考）改訂履歴

- ・2021 年〇月 制定