



実用化へ向けた技術開発が進む アンモニア燃料 ~カーボンニュートラル社会へ向けて~

カーボンニュートラル社会の「切り札」とされる水素よりも保管や輸送が容易で、早期の実用化が可能な燃料としてアンモニアが注目されている。しかし、アンモニアを燃料として利用するためには、体積あたりの発熱量が小さく、軽油などと比較して燃えにくい、燃焼時に温室効果ガスである亜酸化窒素 (N₂O) が発生する恐れがあるなどの課題を解決する必要がある。実証実験が進むアンモニア燃料の技術開発について紹介する。

画像はイメージです。

燃料アンモニアサプライチェーンの構築が急務

日本は「2050年カーボンニュートラル」を2020年に宣言し、2050年までに、温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする目標を掲げている。その実現を支援するために官民で野心的かつ具体的な目標を共有した上で、これに経営課題として取り組む企業などに対して、最長10年間、研究開発・実証から社会実装までを継続して支援するグリーンイノベーション基金を国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) に造成している。

グリーンイノベーション基金ではさまざまなプロジェクトが進められているが、そのうちの一つが「燃料アンモニアサプライチェーンの構築」である (図1)。

アンモニアは、水素と同様に燃焼時にCO₂を排出しないため、発電や船舶などのゼロエミッション燃料として期待されている。また、アンモニアは、水素キャリアとしても利用することができ、既存のアンモニア輸送・貯蔵インフラを活用することで、安価に製造・輸送できると期待されている。

その一方で、現状でのアンモニア利用

は、肥料や冷媒などが主で、燃料用途では利用されていない。そのため、アンモニアを燃料として活用する社会を実現するためには、アンモニアの利用拡大、安定供給確保、コスト低減などの課題を解決する必要がある。

「燃料アンモニアサプライチェーンの構築」プロジェクトでは、2030年に熱量等価での水素換算でNm³あたり10円台後半へのコスト引き下げを目標として掲げている。また、アンモニアの発電分野での利用では、高湿焼化・専焼化技術を確認することで、2050年に年間3000万トンの消費を目標としている。

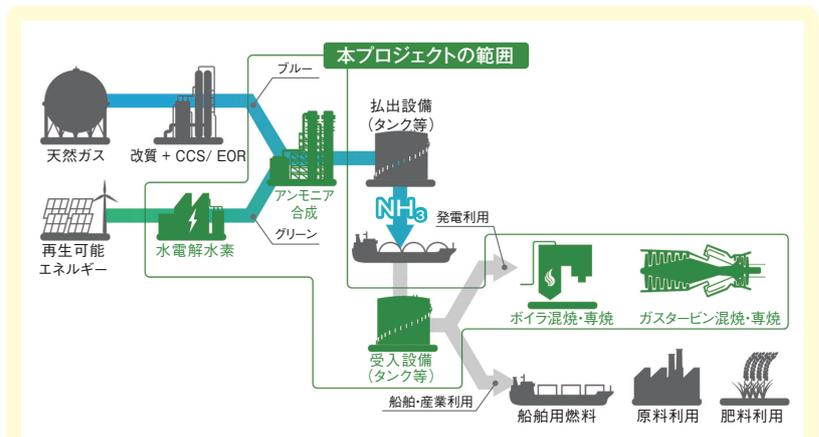


図1 燃料アンモニアサプライチェーン 出所: NEDO グリーンイノベーション基金事業ウェブサイト「燃料アンモニアサプライチェーンの構築」

本稿では以下、アンモニア燃料の発電分野での利用と船舶燃料としての利用について紹介していく。

実証試験が進むアンモニア混焼発電

発電分野でのアンモニア燃料によるCO₂削減効果は、アンモニア専焼(アンモニア火力発電)へリプレースすることによって、電力分野での50%のCO₂排出削減が試算されているが、石炭火力で20%混焼することでも、10%の削減効果が見込まれるといわれている。

アンモニア混焼発電の実用化を目指して、現在、日本各地の発電所でアンモニア混焼の実証試験が計画・実施されている(図2)。

国内の実証実験では中国電力(株)水島発電所2号機で2017年に行われた実験が最初の例といわれる。発電機出力15.5万kWで約0.6%の混焼に成功している。(実際には発電機出力を12.0万kWに低下させたことで、約0.8%(1,000kW相当)までの混焼が行われた。)

また、九州電力(株)では、2023年4月に荅北発電所1号機、2023年11月に松浦発電所2号機で実証実験を行っている。混焼率は0.1%程度であるが、同社では水素1%・アンモニア20%の混焼に向けた検討・技術確立を行うと発表している。

そのほかにも、北海道電力(株)、四国電力(株)、沖縄電力(株)などでも、アンモニア燃料の実証実験を検討・計画することが発表されている。

さらに、「燃料アンモニアサプライチェーンの構築」では、2021年に(株)JERAの碧南火力5号機で燃料アンモニアの小規模利用試験を行い、2024年には同4号機にてアンモニア大規模転換(熱量比20%)の実証実験を行っている。同実験では、燃料アンモニア転換前(石炭専焼)と比較して、窒素酸化物(NO_x)は同等以下、硫黄酸化物(SO_x)は約20%減少したことが報告されている。

水島発電所2号機の試験では既設のバーナーを使用、松浦発電所2号機ではアンモニア混焼用にバーナーを改造して使用していたが、碧南火力4号機では新たに開発した実証用バーナーが使用されている。

実証用バーナーでは、微粉炭と空気、アンモニアを混焼しているが、将来のアンモニア100%燃焼に向けたアンモニア専焼用のガスタービンの開発も進んでいる。

たとえば(株)IHIでは、3,000~4,000世帯分の電力を賄うことができる2,000kW級ガスタービンを開発している。燃料は液体アンモニアのみで、燃焼時に発生する温室効果ガスを99%以上削減することに成功している

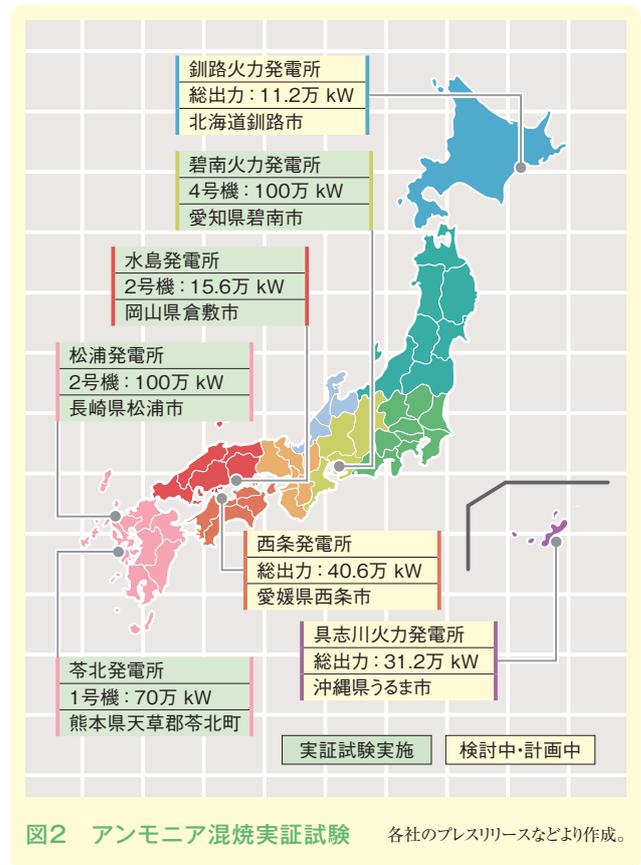


図2 アンモニア混焼実証試験 各社のプレスリリースなどより作成。

(図3)。

電力各社は段階的にアンモニアの混焼率を高めていくことを表明しており、実証試験を終えた碧南火力4号機では今後、アンモニア大規模転換(熱量比20%)の商用運転に向けた工事を行っていく予定だ。

また、日本のアンモニア消費量は年間約108万トンだが、石炭火力1基(100万kW)で年間50万トンの燃料が必要になるため、アンモニアのサプライチェーン構築が重要になる。電力各社は実証試験とともに、共同でサプライチェーン構築の検討を開始している。



図3 アンモニア専焼タービン 画像提供: (株)IHI



図4 アンモニア燃料タグボート「魁」



図5 アンモニア燃料補給の様子

画像提供：日本郵船(株)

検証される予定だ。

また、アンモニア燃料アンモニア輸送船(AFMGC: Ammonia-fueled Medium Gas Carrier)は、2026年の竣工を目指してアンモニア燃料エンジンの製造などが進められている(図6)。

同船に搭載が予定されている国産のアンモニア燃料エンジンは、プロペラを回して推力を得るための主機と、船内の電気を賄う発電機を駆動するため

の補機の2種類が計画されている。いずれも燃焼しにくいアンモニアを燃料とするためのパイロット燃料として重油を使用するが、主機では混焼率最大95%、補機では混焼率80%以上を目指して開発が行われている。

さらに、浮体式アンモニア貯蔵再ガス化設備(A-FSRU: Ammonia Floating Storage and Regasification Unit)の開発も始まっている(図7)。

A-FSRUは海外で製造され液体として輸送されたアンモニアを洋上で受け入れて貯蔵し、需要に応じてアンモニアを気化し、陸上のパイプラインへ送出するための洋上浮体設備である。陸上にアンモニア貯留基地を建設する場合と比較して、低コストかつ短期間に導入できる特長がある。陸上設備の代替としてA-FSRUを活用することで、燃料アンモニアを安定供給できる体制をいち早く構築できるようになると期待されている。

船舶燃料として期待されるアンモニア

アンモニアは船舶燃料としても期待されている。日本郵船(株)は、「燃料アンモニアの生産から海上輸送、アンモニアバンカリング(燃料供給)に至るサプライチェーンを早期に構築」することを表明するなど、積極的な取り組みを行っている。

同社は(株)ジャパンエンジンコーポレーションなどと共同でグリーンイノベーション基金を活用して、アンモニア燃料タグボートとアンモニア燃料アンモニア輸送船の開発を進めている。

2023年より、LNG燃料タグボート「魁」をアンモニア燃料仕様に改造し、世界初の商用アンモニア燃料船として2024年8月に就航している(図4)。2024年7月には横浜港で燃料アンモニアの補給が行われている(図5)。

タグボートへのアンモニア補給は「Truck to Ship方式」と呼ばれるタンクローリーからフレキシブルホースを通じて船舶へ燃料を供給する方法が採用された。同船の運用を通じて、アンモニア補給に関わる安全な運用方法の確立、港湾地区への安全な輸送・受け入れ体制なども

アンモニア燃料エンジンのための技術開発

アンモニアは、燃焼時にCO₂を排出しないゼロエミッション燃料という特長を持つ一方、難燃性や腐食性、毒性といった燃焼や、保存・利用上の課題がある。特にエンジンの燃料として使用するためには、安定して燃焼することが重要である。加えて、燃焼条件によっては温室効果ガスである亜酸化窒素(N₂O)を発生する恐れがある。

アンモニアを燃料とするアンモニア輸送船に搭載が予定されているアンモニア燃料エンジ



図6 アンモニア燃料アンモニア輸送船(想像図)

図7 浮体式アンモニア貯蔵再ガス化設備搭載バージ(A-FSRB^注)(想像図)

(注)A-FSRB: Ammonia Floating Storage and Regasification Barge

画像提供：日本郵船(株)

ンでは、この課題を解決するために独自に開発された「層状噴射技術」が採用されている。これは、アンモニア燃料を燃えやすいパイロット燃料とポスト燃料に挟み込むように噴射することで、高度な燃焼制御を実現する技術だ（図8）。

この技術により、アンモニア混焼率の向上を実現するだけでなく、温暖化係数のきわめて高い N_2O の発生を抑制できる最適な燃焼環境を実現している。現在、シリンダー内径が50 cmの初号機が2025年度の完成を目指して製造中である（図9）。

アンモニア燃料の実用化のためには、エンジン以外の技術開発も重要になる。液体アンモニアは材料に応力腐食割れを起こす懸念があり、これに対応した材料や溶接方法などを検討する必要がある。大手試験・分析会社では、アンモニア用の試験設備を新たに用意して、これらのニーズに対応している。

たとえば応力腐食割れについては、液体アンモニア中での耐食性試験が必要になる（図10）。

アンモニア燃料の実用化には、貯蔵タンクの大型化や、輸送ラインの大型化が必要になるが、液体アンモニア中の腐食挙動を詳細に分析することで、新たな材料の選定や溶接条件の選定が可能になると期待される。

さらに、液体アンモニア中の材料挙動に加えて、燃焼ガスの材料への影響も把握する必要がある（図11）。現在、実証試験や商用運転に向けて進められているアンモニア

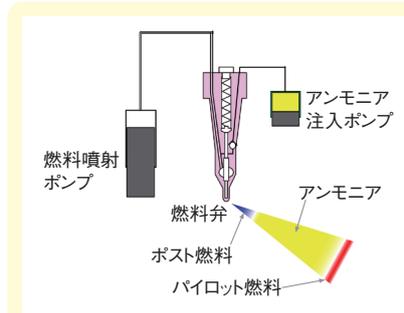


図8 層状噴射技術



図9 輸送専用アンモニアエンジン

画像提供：(株)ジャパンエンジンコーポレーション

混焼火力発電では、微粉炭焚き火力発電設備へのアンモニア混焼が行われている。石炭とアンモニアの混焼では、ボイラ火炉、副生成物のフライアッシュ（石炭灰）への影響を確認する必要がある。また、フライアッシュが付着することによる高温腐食の影響も今後の検討課題である。

解決すべき課題もあるが、アンモニア混焼発電や船舶用アンモニア燃料の実用化では、技術開発において日本は海外をリードしている。特に船舶分野でのアンモニア利用では、新たな国際規格が必要になり、先行する日本の技術がデファクトスタンダードになる可能性もある。

カーボンニュートラル社会の実現にはさまざまなアプローチがあるが、日本のアンモニア燃料技術の今後に大きく期待したい。

- 取材協力：日本郵船(株)、(株)IHI、(株)ジャパンエンジンコーポレーション、日鉄テクノロジー(株)
- 取材・文：石田亮一

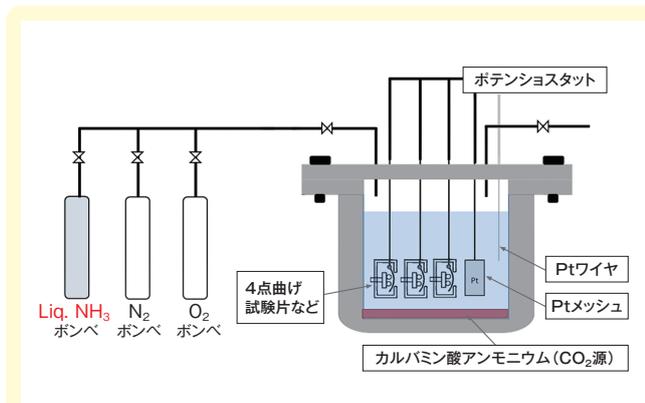


図10 液体アンモニア中腐食試験装置

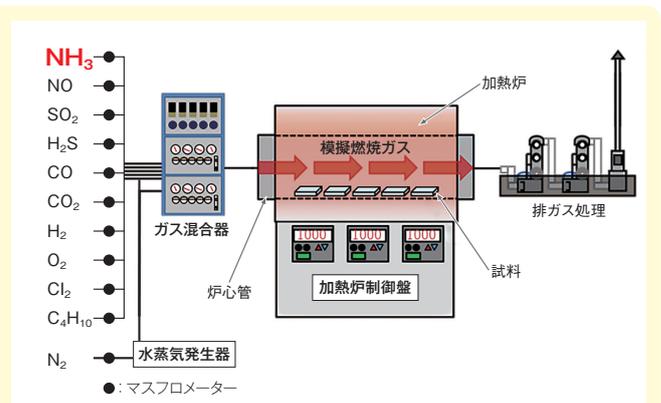


図11 石炭・アンモニア混焼ガス腐食試験装置

画像提供：日鉄テクノロジー(株)