

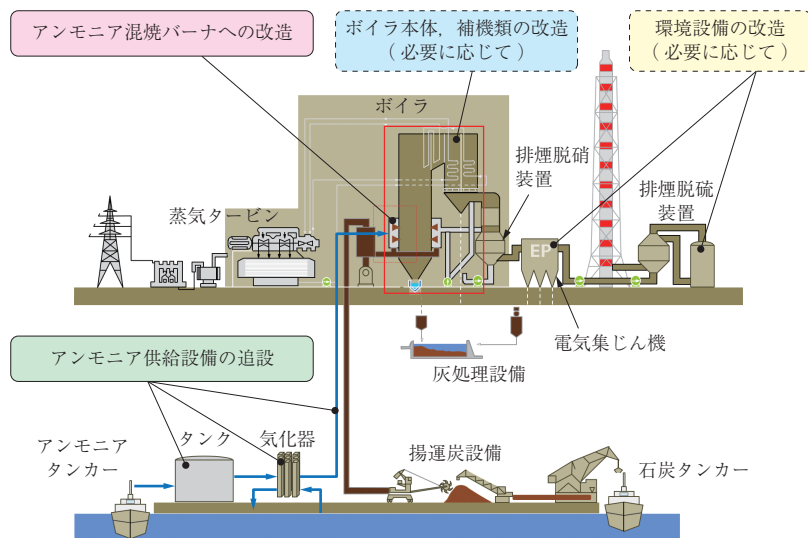
# アンモニアでカーボンニュートラル 火力発電へ

## アンモニア利用拡大に向けた燃焼技術開発とボイラ設計

火力発電は、変動性再生可能エネルギー電源の導入拡大が進むなかでも、需給調整や電力系統安定に必要な電源であるが、二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）排出削減が喫緊の課題である。本稿では、この解決策として注目されるアンモニアについて、石炭火力発電での利用技術開発と今後の展望について紹介する。

株式会社 IHI  
資源・エネルギー・環境事業領域  
カーボンソリューション SBU  
技術センター 開発部

花岡 亮

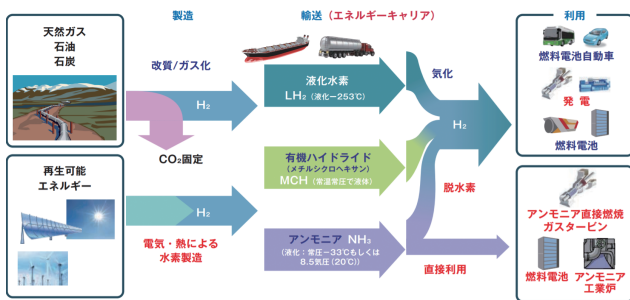


アンモニア混焼プラント概略図

### はじめに

地球温暖化抑制のために、CO<sub>2</sub> 排出量の削減が世界で強く求められている。日本においても、2050年カーボンニュートラルの実現を目指すことを、政府が宣言した。火力発電では燃料を燃やしてその熱で高温・高圧の蒸気を発生させ、その力で発電機を回転させて発電する。使用される燃料の多くは石炭、石油、天然ガスなどの化石燃料であり、特に石炭は安価でかつ安定供給可能な燃料としてこれまで利用拡大が図られてき

た。IHI は石炭利用技術においてトップレベルにあり、世界最高効率の火力発電設備の供給により CO<sub>2</sub> 削減に寄与してきた。しかし、今後は CO<sub>2</sub> を排出しないカーボンフリー燃料への転換を進める必要がある。その一つとして有望なものがアンモニアである。アンモニアの燃焼総括反応式は  $4\text{NH}_3 + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$  となり、水素燃焼 ( $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$ ) と同様に、地球温暖化ガスの排出はない。しかし、水素は密度が低く容積当たりの燃焼発熱量が小さいために輸送効率が悪く、また、液化のために多くの動力を必要とするな



エネルギーキャリアとしてのアンモニアの特徴  
 (出典：SIP (戦略的イノベーション創造プログラム)「エネルギーキャリア」, [https://www.jst.go.jp/sip/pdf/SIP\\_energy carriers2016.pdf](https://www.jst.go.jp/sip/pdf/SIP_energy carriers2016.pdf))

ど、効率的な大量輸送が課題となる。一方、アンモニアは、エネルギーキャリアとしては、容積効率や液化温度 (-33.4℃) の点で水素より有利である。上図にエネルギーキャリアとしてのアンモニアの特徴を示す。アンモニアはすでに肥料製造など化学産業において商業利用され、大量の製造、貯蔵、輸送インフラがあり、扱うための技術は確立されている。

このことから、IHI では火力発電でのカーボンニュートラル化に向けてアンモニアに注目してきた。アンモニアの導入は、火力発電の燃料として現在主流である石炭 (ボイラ) と天然ガス (ガスタービン) との混焼から開始して、将来の専焼化も視野に開発を進めている。

本稿では、火力発電用ボイラ設備におけるアンモニア混焼技術開発と、それに関連するボイラ設計について紹介する。

### アンモニア混焼の課題と実現

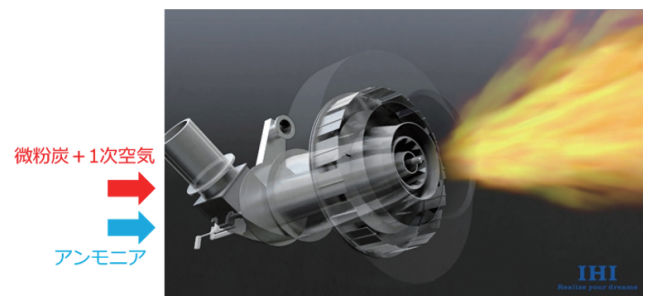
アンモニアは、化学原料や肥料として広く利用されているが、燃料として使われることは少なかった。そのため、アンモニアの燃料化に際しては、まずは基本的な燃焼特性を把握するため、数値解析モデルの構築および自社燃焼試験炉での試験、検証を並行して進めた。

アンモニアは、メタンなどの燃料に比べて燃焼速度が遅く、火炎温度が低い。また、燃料中窒素分による窒素酸化物 (NO<sub>x</sub>) の生成抑制が必要である。確実な着火、燃焼安定化が重要であるが、これを実現する燃焼条件は NO<sub>x</sub> 生成とトレードオフの関係にあり、その両立が燃焼技術開発の課題となった。

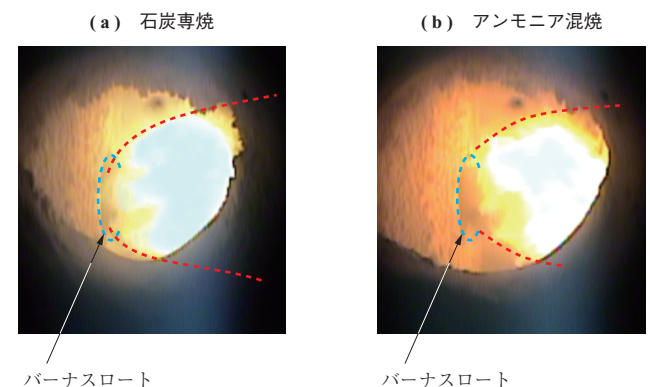
微粉炭とアンモニアの混焼の燃焼数値解析により、微粉炭バーナ火炎に対するアンモニアの最適噴射、混

合方法の検討を行った。アンモニアの混合方式は、微粉炭流混合、燃焼空気混合、そして直接炉内噴射について検討を行った。その結果、還元雰囲気が強かつガス温度の高い雰囲気アンモニアを投入することが NO<sub>x</sub> 抑制に効果的であることが示された。これを実現するアンモニア混焼バーナの概略図を下図上段に示す。この検討結果に基づき、燃焼試験用バーナを試作し、小型燃焼試験炉 (1 MWth) の基礎試験を経て、大型燃焼試験炉 (10 MWth) での試験を行ってきた。大型燃焼試験炉燃焼試験における石炭専焼時とアンモニア混焼時の火炎写真の比較を下図下段に示す。その結果、燃焼熱量割合 20%のアンモニア混焼率で、安定な燃焼状態が得られ、また、微粉炭専焼の場合と同等の NO<sub>x</sub> 排出量と未燃分量を達成した。NO<sub>x</sub> 排出挙動における二段燃焼率の影響について石炭専焼とアンモニア混焼を比較したものを次ページ上図に示す。さらには、部分負荷運用状態を模擬した条件においても、良好な結果が得られ、開発したアンモニア混焼バーナは実機適応が可能であることを確認した。

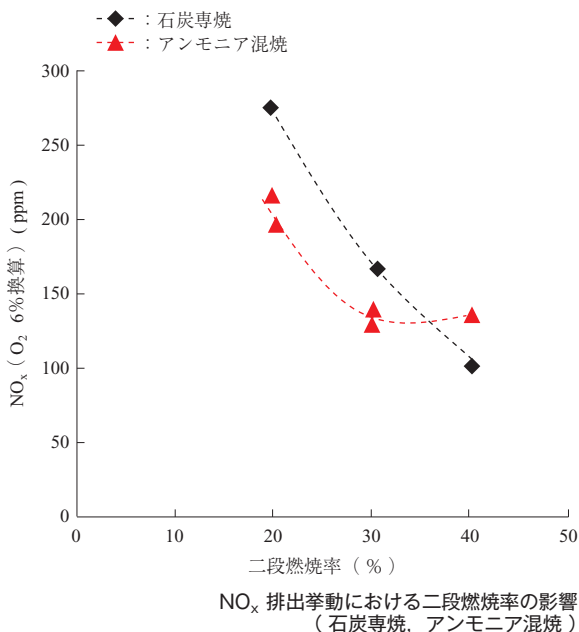
これらバーナの開発と並行してボイラ本体および関連補機類への影響を、ボイラ火炉燃焼解析などにより



アンモニア混焼バーナ概略図



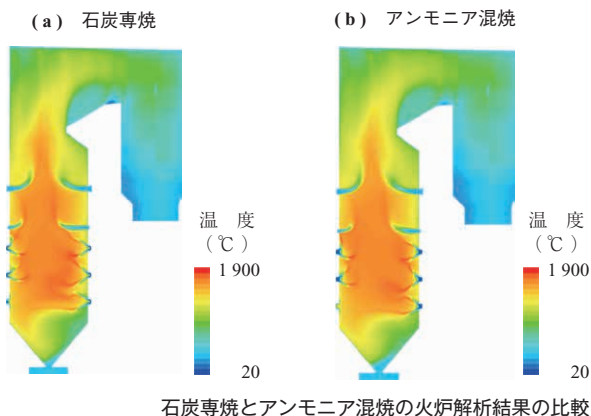
大型燃焼試験炉燃焼試験における石炭専焼時とアンモニア混焼時の火炎写真の比較



評価した。石炭専焼とアンモニア混焼の火炉解析結果の比較を下図に示す。モデルプラントを対象に検討を行った結果、アンモニア 20%混焼においては、ボイラ本体の耐圧部を含め伝熱部、通風系統、環境設備の改造は基本的に不要であることを確認した。ただし、設備の設計条件、設備の状態や、使用石炭性状によっては改造が必要となる場合もある。

上記取り組みは、自社研究の実績を基に、2017～2018年度はSIPプロジェクト、2019～2020年度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(NEDO)プロジェクトとして実施してきた。

今後は、実機設備での実証段階に進む。アンモニア混焼プラントの概略図はタイトル下図に示したとおりである。実証試験では混焼率は熱量割合 20%を予定しており、開発した燃焼技術、改造設計の検証を行



い、技術の信頼性を高め、さらには、今後の高混焼率化の基礎となるデータを得る。

## アンモニア高混焼率化に向けた技術開発

アンモニアの高混焼率化では、燃焼面、ボイラ本体/補機類、制御/運用面において以下が課題となる。

### < 燃焼面 >

- ・ 燃焼速度の遅いアンモニアの割合が増えることによる燃焼火炎の不安定化。
- ・ 石炭の燃焼量の低下により、微粉炭機（ミル）の下限近傍の運用による運転裕度の減少。

### < ボイラ本体/補機類 >

- ・ 火炉収熱や燃焼空気量の変化により、ボイラ本体や補機類改造の必要性。

### < 制御/運用面 >

- ・ 既存設備の制御、運用条件からのかい離による制御改造、運用面の見直しの必要性。

これらの課題に対して、燃焼面では数値解析および小型燃焼炉試験での検証を行っており、今後大型燃焼試験炉でのバーナ開発を進めていく。ボイラ本体/補機類については、モデルとなる実機設備を設定し、数値解析や設備仕様検討による影響評価を行っていく。また、ボイラ運用面については、モデル選定された実機設備において運用シミュレーションにより評価を進める。

## ボイラの設計での留意事項

アンモニアは、脱硝還元剤として火力発電用ボイラで使用されているが、燃料として使用するためには、以下について留意する必要がある。

- ・ 各機器の性能達成と、運転方法、運用制限および制約条件の想定
- ・ アンモニアの安定供給
- ・ アンモニア取扱い安全の担保

機器仕様、性能については、既設実機設備の運転データ、運用制限などからアンモニア混焼適用時の影響評価を行い、達成性能の目標値や運用の制約条件を設定していく。各設備の運転方法については十分実績のあるガス燃料の運転方法に対するアンモニアならではの変更点を加えて検討を行う。

アンモニアの安定供給には、アンモニア供給設備が必要となり、これはおおむねアンモニア受入設備、貯蔵設備、気化設備、除害設備などが必要となる。各設備はボイラ側から決まる使用量、必要貯蔵期間、アンモニア受入条件などから仕様を決定する。気化器は、熱源の選定とこれによる機器仕様の決定および運用方法の検討が必要となる。

安全面については、アンモニアは劇物であり、扱いには慎重を期する必要がある。ただし、火力発電所では排ガスから NO<sub>x</sub> を除去する脱硝装置でアンモニアを日常的に使用しており、アンモニアの扱いについては規定化され、専門の取扱者により安全に運用されている。燃料としての使用量は、これまでより大きいため、使用規定の整備は、政府専門家レベルで進められることになるが、従来の規定、知見などの延長で、安全を十分に担保して使用できると考えられる。

## 普及に向けた今後の課題

火力発電設備へのアンモニア混焼の適用は、混焼率 20% 熱量割合での実証試験段階まで進んでいる。この実証試験を確実に計画、遂行、評価することが肝要である。ここで商用化へ向けての課題を抽出し、解決策を講じることでアンモニア混焼技術を確立していく。脱炭素化に貢献するアンモニア燃料に対する期待は急速に高まっており、製造から利用までの一貫したサプライチェーンを実証することが、アンモニア燃料の本格導入につながる。

アンモニア混焼率を高め、さらには専焼による発電技術開発も重要な課題であり、高混焼率バーナの開発および高混焼率ボイラの検討を併せて進める必要がある。

火力発電のゼロエミッションを達成するには、製造段階での CO<sub>2</sub> 排出がゼロとなるアンモニアが必要である。天然ガス、石油を原料とする従来製造で排出される CO<sub>2</sub> を回収・利用・貯留 (CCUS) することで製造するブルーアンモニア、さらには再生可能エネルギー由来の水素で製造されたグリーンアンモニアの導入が必要である。ブルーアンモニア/グリーンアンモニアが安定かつ合理的な価格で供給される環境整備が最大の課題といえる。

以上の課題解決には技術開発だけでなく、施策や法

整備も必須であり、国を挙げた取り組みが必要であることは言うまでもない。

## まとめ

火力発電設備において、アンモニアを用いることでカーボンニュートラルを実現するために、これまでのアンモニア混焼技術開発の取り組み、さらにアンモニア混焼率向上のための燃焼技術開発および関連するボイラ設計の留意点など、アンモニア利用技術を中心に紹介した。

アンモニアの特徴および火力発電設備での混焼技術の現状を以下にまとめる。

- ・アンモニアは、水素エネルギーの長距離輸送・長期間の貯蔵などの場面において、その利点が発揮されるものである。
- ・可燃性ガスであるアンモニアは、火力発電用ボイラの燃料として直接利用できることが大きな利点である。燃焼性の改善・Fuel-NO<sub>x</sub> (燃料中 N 分に由来する NO<sub>x</sub>) や未燃分発生抑制が必要ではあるが、技術的なめどが立ちつつあり、実機設備での実証試験直前段階まで来ている。
- ・アンモニアは、従来の化石燃料に比較すればまだまだ高価で、普及にはサプライチェーンの大規模化や国からの支援など、社会実装 (商用化) にはコスト低減やインセンティブ付けなどの施策が必要である。

IHI は、火力発電設備のカーボンニュートラルを実現するため、アンモニア微粉炭混焼技術開発にいち早く取り組み、今後もさらなる利用技術の高度化や、実運用で明らかになる各種の課題についてのソリューションを提供し、日本および世界の脱炭素化に貢献していく所存である。

問い合わせ先

株式会社 IHI

資源・エネルギー・環境事業領域

カーボンソリューション SBU

技術センター 開発部

電話 (03) 6204-7416

<https://www.ihi.co.jp/>