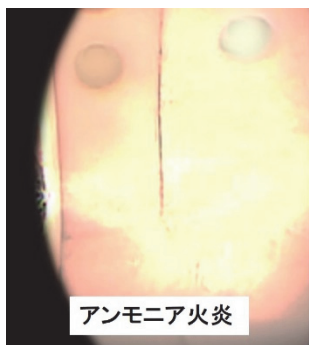


カーボンニュートラル社会に向けた 石炭焚ボイラにおけるアンモニア混焼技術の開発

Development of Ammonia Co-firing Technology at Coal-fired Boilers for the Decarbonized Society



山下 登敏*¹
Takatoshi Yamashita

甘利 猛*²
Takeshi Amari

浦方 悠一郎*³
Yuichiro Urakata

住田 忠*⁴
Tadashi Sumida

岡崎 輝幸*⁵
Teruyuki Okazaki

高山 明正*⁶
Akimasa Takayama

2050年カーボンニュートラルの達成に向けて、水素やアンモニアを燃料として活用する火力発電が脱炭素化に向けた有力な選択肢の一つとされている。特に石炭焚ボイラにおけるアンモニア混焼による脱炭素化は、燃料アンモニアのサプライチェーン構築に向けて、国によるロードマップにも示されている。三菱重工業株式会社(以下、当社)では、お客様の様々なご要望に対応できるように、石炭焚ボイラの巡回燃焼方式、対向燃焼方式の両方式において、アンモニアの高混焼化を可能とする技術開発を進めている。これまでに得られたアンモニアの燃焼特性に関する知見と、実用化に向けた今後の開発のスケジュールを示す。

1. はじめに

日本政府は2030年度温室効果ガス排出量46%減という新たな削減目標を示し、パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略⁽¹⁾を2021年10月に国連に提出した。この削減目標に向け、2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略⁽²⁾においては、石炭火力のアンモニア混焼率向上に向けた開発を進めることが、燃料アンモニアの成長戦略工程表と共に示されている。また、第6次エネルギー基本計画⁽³⁾では、CO₂発生量の多い火力発電は、脱炭素化に向けてその発電量自体を減らす施策がとられているが、石炭を含め適切な火力発電のポートフォリオを維持するとしている。

この火力発電は、電力の安定供給や電力レジリエンスを支える重要な供給力であるとともに、風力発電や太陽光発電による電力の変動性を補う調整力として重要な機能を保持している。そのため、これらの機能を維持しつつ、CO₂を削減することが求められており、この取組みの一つが燃焼してもCO₂を排出しないアンモニアを火力発電で利用する方法である。

当社は“MISSION NET ZERO”を宣言し、その中でお客様の既存設備から排出されるCO₂削減への貢献を掲げている。本報では、当社が取り組んでいる既設石炭焚ボイラにおけるアンモニア高混焼化への技術開発を紹介する。

2. 石炭焚ボイラにおけるアンモニア混焼

石炭焚ボイラにおけるアンモニア混焼技術の開発は、電力安定供給と脱炭素との両立に向け、電力各社のニーズが高まっており、実用化に向けた検討を進めている。

*1 パワードメイン SPMI 事業部 ボイラ技術部 次長

*2 パワードメイン SPMI 事業部 ボイラ技術部 首席技師 技術士(機械部門)

*3 パワードメイン SPMI 事業部 ボイラ技術部

*4 パワードメイン SPMI 事業部 プラント計画部 グループ長

*5 総合研究所 燃焼研究部 主幹研究員 博士(工学)

*6 総合研究所 燃焼研究部

2.1 アンモニアのボイラ燃料としての利用

アンモニアの特徴を踏まえ、石炭焚ボイラをアンモニア混焼ボイラとして改造する際の技術課題を図1に示す。実用化に向け、これらの課題に対する技術検討や検証結果に基づいて、改造計画を行なう必要がある。

(1) アンモニア燃焼バーナ開発における技術課題

アンモニアは、燃焼速度が遅く(メタンの約 1/5)、燃料中に窒素分を含むので、燃焼時にはボイラ後流への未燃アンモニアと NOx 排出の抑制が課題となる。このためには、アンモニアバーナの安定着火の実現と、適切な空気配分による燃焼場の制御が不可欠となる。安定着火の実現には、燃料と空気の混合のさせ方の工夫や、空気流速、保炎構造の適正化が必要である。また、NOx 増加と未燃アンモニアの抑制には、バーナ部近傍を高温還元雰囲気とし、NOx 還元を促進させ、炉上部での二段燃焼空気投入方法ならびに流量の適正化による未燃アンモニアの流出防止が重要となる。

(2) ボイラプラントとしての技術課題

ボイラ性能面においては、火炎温度や燃焼ガス物性が変わることによって、輻射伝熱特性が変化した際の火炉やバンク部の取熱への影響について、検討が必要となる。また、排ガス性状やガス量の変化によるボイラ後流機器やファン等の通風系統への影響、起動方法や緊急停止時の対応、性能面・安全面でプラント運用に求められる仕様などの検討が必要となる。さらに、アンモニアの除害設備や燃料配管パージ系統の追設、燃料遮断時の運用方針の策定といったアンモニア漏洩防止対策の検討が重要となる。

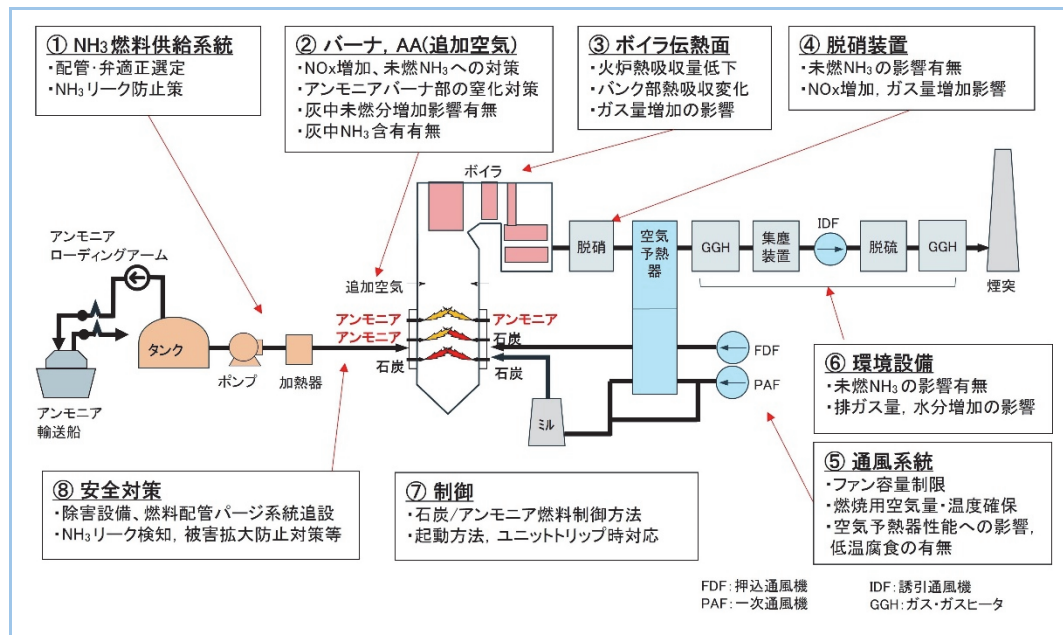


図1 アンモニア混焼ボイラへの改造における技術課題

2.2 アンモニア高混焼化に向けた考え方

石炭とアンモニアの混焼時は、燃焼反応の相互影響を考慮する必要がある。石炭とアンモニアを一本のバーナ毎で混焼する場合は混焼率の増加に伴い、石炭とアンモニアそれぞれが必要とする燃焼条件を同時に維持できなくなると、NOx と未燃分排出をコントロールすることが困難になる。これに対し、石炭バーナとアンモニアバーナをそれぞれ独立(専焼)のバーナにすれば、各々の空気比制御が容易で高混焼率時にも、NOx 抑制が可能である。また、運用バーナ本数及びバーナ負荷の調整にて、任意に混焼率を変更可能である。

当社のボイラは対向燃焼方式と旋回燃焼方式があり、それぞれの方式における専焼バーナによる高混焼化のコンセプトを図2に示す。対向燃焼方式では火炉の前後に向い合せに配置したバーナで燃焼させるものであり、高さ方向に前後3段ずつ、一段に4本のバーナが計6段配置さ

れたボイラを示している。巡回燃焼方式はボイラの四隅にバーナを設置して燃焼させて火炎を巡回させるものであり、図には高さ方向にバーナが6段配置されたボイラを示している。それぞれの段に対して一台ずつ石炭ミルが設置されており、アンモニア混焼への改造は、混焼率に応じてバーナ段毎に石炭バーナをアンモニア専焼バーナに置き換える形で設置する。混焼率によって運用バーナ段及び運用バーナ負荷にて、任意に混焼率が調節可能となる。例えば、アンモニア混焼率 20cal.%に改造する際は、ミル1台分に相当する一段分をアンモニアバーナに置き換えれば良い。

アンモニアバーナの設置段の選定や運用バーナ負荷域については、今後の開発結果を適宜反映し、ベースとなる設計コンセプトを固めた上で、個別のユニットの仕様と混焼率などの運用ニーズ毎に検討していく予定である。

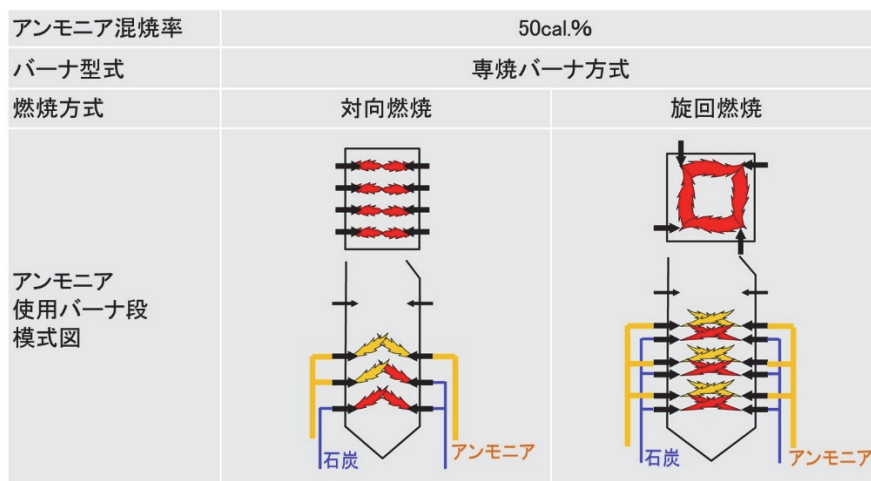


図2 対向、巡回燃焼方式ボイラにおける高混焼コンセプト

混焼率 50cal.%とする際の配置例であり、全6段のうち3段分の石炭バーナをアンモニア専焼バーナに置き換えることを示している。

3. アンモニアの燃焼特性

バーナ改造時の性能を評価するに当たり、ボイラ燃焼シミュレーションに組み込む石炭-アンモニア混焼向けの燃焼性能(NO_x 、灰中未燃分、未燃アンモニア等)予測モデルが必要となる。このモデルを構築するために、アンモニアの酸化・熱分解や石炭とアンモニアの混焼時の反応データを基礎燃焼試験炉により蓄積している。また、対向燃焼・巡回燃焼の両方式のバーナ開発において、バーナ型式を選定する為の燃焼試験を実施する。この結果を踏まえ、選定したバーナを対象に実機同等スケールの大型燃焼試験により、燃焼性能を確認すると共に、燃焼性能予測モデルの精度を検証する。

本章においては、基礎燃焼試験及び小規模の燃焼試験炉で得られた燃焼試験結果を示す。

3.1 基礎燃焼試験炉での燃焼試験結果

基礎燃焼試験炉は、ボイラ火炉内部の高温環境を模擬した二段電気炉(DTF)⁽⁴⁾であり、図3に示すとおり、上段と下段でそれぞれ投入する燃焼空気量と温度が調節可能である。同図に示す通り、二段電気炉の上段はボイラのバーナ燃焼領域を、下段は完全燃焼域を想定した燃焼条件を設定可能である。

基礎燃焼試験炉において、石炭とアンモニアを混合させて、所定の温度で混焼率と上段の空気比を変化させた際の燃焼炉出口での NO_x 生成の傾向を図4に示す。

NO_x の生成量は、上段の空気比を下げることで抑制された。また、アンモニアの混焼率の増加と共に NO_x 量が増大し、約 50cal.%で最大値を示す傾向を示した。石炭とアンモニアを混合させて燃焼させる場合、空気比の感度が高いため、バーナ周りの空気比設定が重要であることがわかった。このことから、アンモニアの混焼率を高めるには、石炭・アンモニアそれぞれ単独バーナで

燃焼させてボイラ内で混焼させる方法が、一つのバーナで石炭とアンモニアを混合させて燃焼させる方式よりも、燃焼性能をコントロールしやすいと考えられる。前節で示したように、石炭とアンモニアを別々に燃焼するバーナとすることで、高混焼化の利点が得られる結果となった。

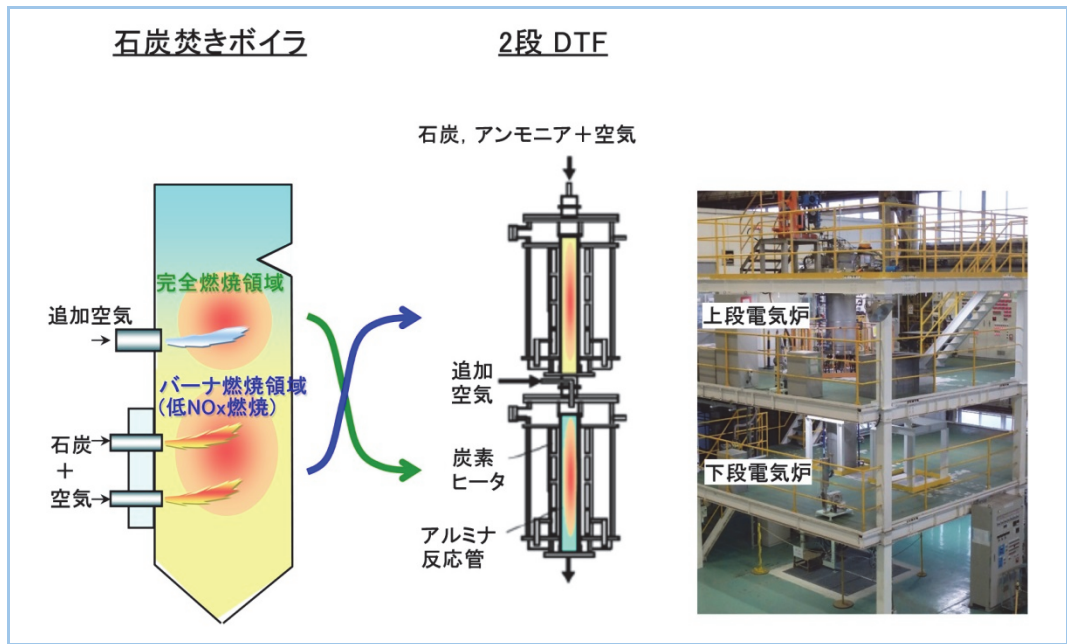


図3 基礎燃焼試験炉(二段電気炉(DTF))

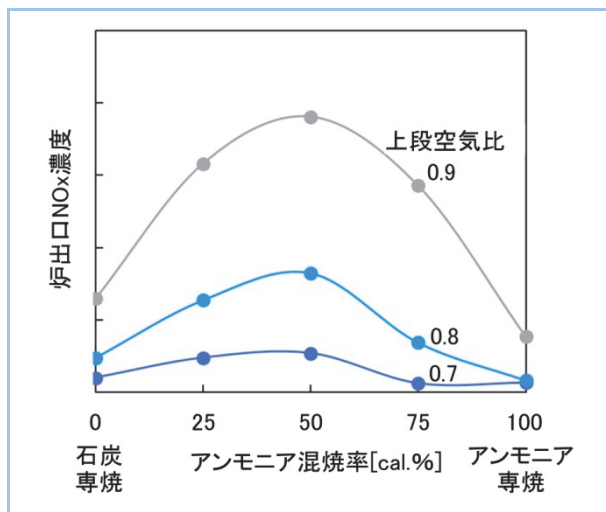


図4 アンモニア混焼率とNOx生成の関係

3.2 小規模の燃焼試験炉でのNOx排出特性

小規模の燃焼試験炉では、石炭バーナとアンモニアバーナを単独のバーナとして別置きとして、燃焼試験を実施した。試験は、旋回燃焼・対向燃焼の両方式を想定した複数のバーナ型式を対象とし、石炭とアンモニアの混焼及びアンモニア専焼の試験を実施した。

図5に石炭バーナとアンモニアバーナにより混焼させた際の混焼率とNOx生成量の関係を示す。アンモニアの混焼率を増加させた際においても、NOxを石炭専焼時と同等以下に抑制可能であった。また、各バーナ型式において、安定した燃焼状態であることが確認され、火炉出口の未燃アンモニアは検出されなかった。石炭バーナ、アンモニアバーナでそれぞれの燃料種に最適な燃焼条件を設定することで、混焼率を増加させた場合も、NOx生成が抑制可能であり、基礎燃焼炉での試験結果とも同様な傾向であることが確認された。

これらの試験結果を基に、実機ボイラに適用するバーナの試設計を進め、バーナ燃焼試験によりバーナ型式を選定し、実機同等スケールバーナ試験で検証していく予定である。

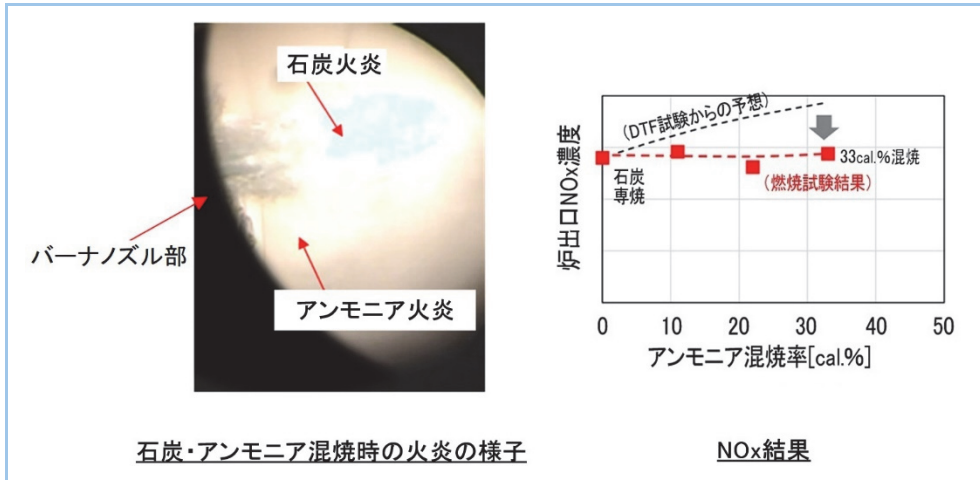


図5 小規模の燃焼試験炉におけるNOx 排出特性

4. 実用化に向けたスケジュール

現在、アンモニア高混焼化を目指し、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)の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おいて、石炭焚ボイラにおけるアンモニア高混焼技術の開発・実証に取り組んでいる⁽⁵⁾。図6に示す通り、2024 年度までに、実機同等スケールバーナでの燃焼試験により、アンモニア専焼バーナを開発する。併せて、株式会社 JERA と共同でアンモニア混焼ボイラとしての実機実証に向けた設備の基本計画、フィージビリティ・スタディにも取り組んでおり、実機での実証運転で旋回燃焼方式と対向燃焼方式の2つのユニットにおいて 50%以上のアンモニア混焼の検証を目指している。



図6 実用化に向けたスケジュール

5. まとめ

石炭焚ボイラの脱炭素化に向けて、アンモニア混焼技術の開発は、脱炭素と電力の安定供給を両立して進めるうえで重要な位置付けにある。このような背景のもと、アンモニアのボイラ燃料としての利用における技術課題や今後の実用化に向けた取組みを示した。将来の高混焼化に適用可能なアンモニア専焼バーナの開発を進めており、高混焼化に向けた考え方と、これまで得ているアンモニアと石炭混焼での燃焼特性を示した。国内外のボイラユーザの脱炭素化並びにアンモニアサプライチェーンの構築に貢献できるよう、今後鋭意開発に取り組む。これにより当社の“MISSION NET ZERO”達成を目指し、カーボンニュートラル社会の実現に貢献する所存である。

なお、4章に示す開発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)の“JPNP21020 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/アンモニアの発電利用における高混焼化・専焼化/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/アンモニア専焼バーナを活用した火力発電所における高混焼実機実証”にて実施しているものである。

参考文献

- (1) パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略, 令和3年10月22日
<https://www.mofa.go.jp/mofaj/files/100285601.pdf>
- (2) 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略, 令和3年6月
<https://www.meti.go.jp/press/2021/09/20210914003/20210914003-b.pdf>
- (3) 資源エネルギー庁, エネルギー基本計画, 令和3年10月
https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/pdf/20211022_01.pdf
- (4) Taniguchi, M. et al., Staged Combustion Properties for Pulverized Coals at High Temperature, Combustion and Flame, Vol. 158, Issue 11 (2011) p.2261-2271
- (5) 三菱重工業株式会社プレスリリース, 石炭ボイラにおけるアンモニア高混焼技術の開発・実証について(2022)
[https:// www.mhi. com/ jp/ news/ 22010702. html](https://www.mhi.com/jp/news/22010702.html)