

水素・アンモニア焚きガスタービンの商用化に向けた 開発と検証状況

Development and Verification of Hydrogen / Ammonia Gas Turbines for Power Generation



江川 拓^{*1}
Taku Egawa

安部 直樹^{*2}
Naoki Abe

盛下 光寛^{*2}
Mitsuhiro Morishita

武石 裕行^{*3}
Hiroyuki Takeishi

磯部 知昭^{*4}
Tomoaki Isobe

川上 朋^{*5}
Tomo Kawakami

三菱重工業株式会社は、2050 年カーボンニュートラルに向けてカーボンフリー発電システムのラインアップを拡充している。水素利用の大容量・高効率ガスタービンは 2010 年代の半ばから開発を始め、近年は実機検証の段階に進んでいる。大型ガスタービンでは最新鋭 M501JAC 形(定格出力:453MW 級)にて天然ガスに水素を 30vol% 混ぜた実機検証に成功し、中小型ガスタービン H-25 形(定格出力:41MW 級)では、水素 100% 専焼(ドライ)の実機検証を進めている。また、アンモニア利用のガスタービンも、中小型ガスタービンにて 100% 専焼の燃焼システムと高効率脱硝システムを鋭意開発・検証中である。これらカーボンフリー発電システムの実機検証を経て、早期の社会実装を目指す。

1. はじめに

世界の電力需要は 2050 年に向け需要増加が予測されている⁽¹⁾。エネルギー危機や特定国へのサプライチェーン依存によるリスクの高まりにより、エネルギー安全保障の重要性が再確認される中で、AI 等によるデータセンターや半導体工場の新設等による産業部門の電力需要、EV など輸送分野の電化の加速による需要増加が背景にあり、2050 年カーボンニュートラルに向けた脱炭素化と相まって大規模な電源投資が必要になると予測される。また、エネルギーの安定供給と脱炭素の両立には、再生可能エネルギーを最大限導入するとともに特定の電源や燃料等に過度に依存しないようバランスの取れた電源構成の実現が望まれる。

火力発電は依然として主要電源であり、温室効果ガス(Green House Gas 以下, GHG)である二酸化炭素(以下, CO₂)を排出するという課題もある。一方で、増えつつある再生可能エネルギー等による出力変動を補う調整力、系統の不安定性を一定に保つ慣性力・同期化力等として重要な役割を担っており、電力の安定供給に必要な発電容量を維持しながら、エネルギーtransitionの手段としての水素・アンモニアといったカーボンフリー燃料への転換や CO₂ の回収・貯留・有効利用(Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage, CCUS)等を活用した脱炭素化が求められている。近年は、水素・アンモニア発電システムの研究開発が進み、その実証運転のため既存火力発電所における短時間での水素混焼運転が国内外で開始されている⁽²⁾。今後は運転時間や混焼率の増加、大型化といった、具体的な社会実装に向けての取組みが進展すると予想される。

火力発電の脱炭素化を実現するには CO₂ を“減らす”・“回収する”・“出さない”道筋がある。

図 1 に三菱重工業株式会社(以下、当社)の取り組む脱炭素ロードマップを示す。排出量を減ら

*1 エナジードメイン GTCC 事業部 ガスタービン技術部

*2 エナジードメイン GTCC 事業部 ガスタービン技術部 主席技師

*3 総合研究所 エナジー研究推進部 博士(工学)

*4 エナジードメイン スチームパワー事業部 技術部

*5 エナジードメイン GTCC 事業部 ガスタービン技術部 グループ長

す道筋において、石炭焚き火力発電では技術が確立済みのバイオマス高混焼や、開発中のアンモニア高混焼により CO₂ 排出量を削減できる。また、石炭焚き火力を高効率天然ガス焚きガスタービンコンバインドサイクル (Gas Turbine Combined Cycle 以下、GTCC) に置き換えた場合は、燃料転換の効果と熱効率改善により約 65% の CO₂ 排出量の低減効果がある。さらに CO₂ 回収技術と組み合わせることで、石炭火力や GTCC の排気から 90% レベルの CO₂ 回収が可能となる。最終的には CO₂ 排出ゼロのカーボンフリー燃料である水素やアンモニアへの燃料転換を目指しており、この道筋に沿った技術開発を進行中である。

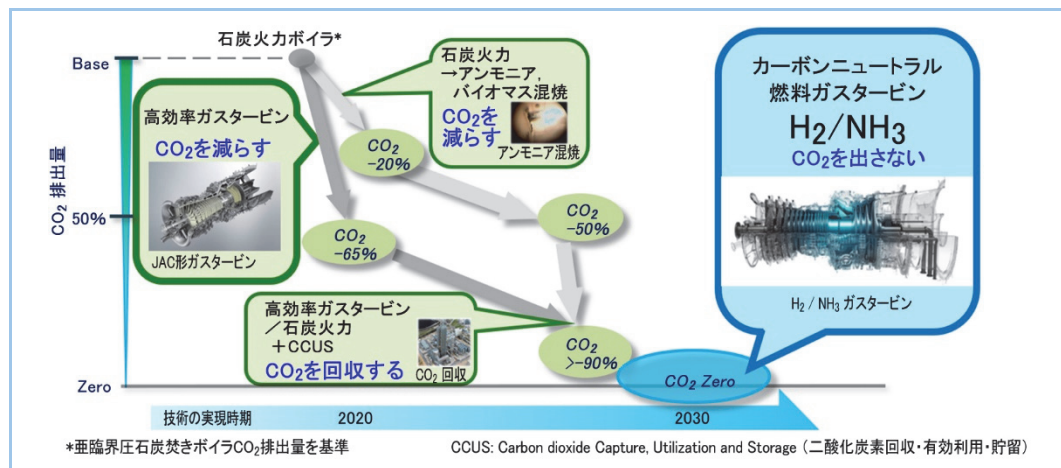


図1 当社の取り組む脱炭素ロードマップ

水素・アンモニアのガスタービンへの導入は、既設の天然ガス焚きガスタービンの燃焼器の交換、燃料供給システムの追加といった最小限の改造範囲で対応可能であり、ガスタービン燃焼器の開発が中心となる。当社のカーボンフリーガスタービンシステムのラインアップを図2に示す。水素 (H₂) やアンモニア (NH₃) は、ガスタービン燃料として主に使用される天然ガスと比べて発熱量や燃焼速度など性状が大きく異なるので、それぞれ、安定燃焼化や低 NO_x 化といった燃焼技術の開発が必要である。

当社は 2010 年代の半ばから、大容量・高効率のガスタービンについて、燃料の天然ガスに水素を混ぜて使用する水素混焼燃焼器と、水素 100% 専焼 (ドライ) 燃焼器の開発を進めてきた。また、並行してアンモニア利用 GTCC システムの開発も進めてきた。このうち、水素混焼燃焼器と、水素 100% 専焼 (ドライ) 燃焼器の開発は、NEDO (国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構) のご支援をうけている。現在、開発は燃焼器の設計や各種試験を経て、実証段階に移行しつつある。

本報ではこれら水素・アンモニア焚きガスタービンに焦点をあて、社会実装に向けた開発と実機検証状況について紹介する。

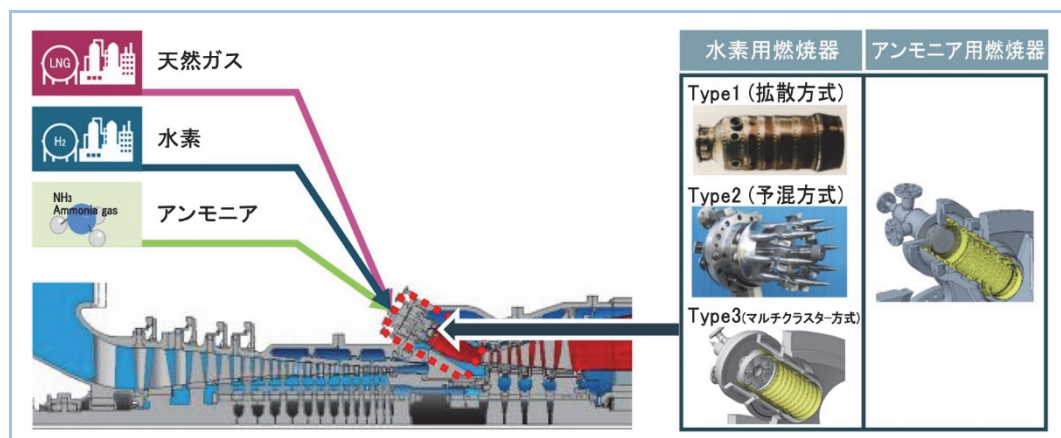


図2 当社の水素・アンモニアガスタービン燃焼器のラインアップ

2. 水素混焼ガスタービンの検証状況

当社では、天然ガスと水素の混焼に対応するガスタービン燃焼器として、水素混焼燃焼器(以下、Type2 燃焼器)を開発している。Type2 燃焼器は、天然ガス焚きの Dry Low NO_x(DLN) マルチノズル燃焼器をベースとしており、予混合方式の燃料ノズル 8 本と、それらの中心に燃焼の安定化を図るパイロット火炎用の燃料ノズル 1 本を有する。水素は、天然ガスに比べて発熱量、燃焼速度ともに高いため、天然ガスに水素を混ぜて燃焼させると、天然ガスのみを燃焼させた場合よりも火炎位置が上流に移動し、空気と十分に混合する前に高い火炎温度で燃焼する。そのため温度に発生量が依存するサーマル NO_x が増加する傾向にある。また、火炎が燃焼器の上流に遡上し当該部が焼損する逆火(フラッシュバック)の発生リスクが高くなる。燃焼器のノズル部には旋回翼(スワラー)が設置され、スワラーを通過した空気とノズルから噴射された燃料がより均一に混合されることで低 NO_x 化が図られる。一方、旋回流の中心部には、流速の低い領域(以下、渦芯)が存在し、ここを火炎が遡上することで逆火が発生すると考えられる。そこで Type2 燃焼器ではノズルの先端から空気を噴射して渦芯の流速を上昇させ、渦芯の低流速領域を補うことで逆火の発生を防止する構造とした。

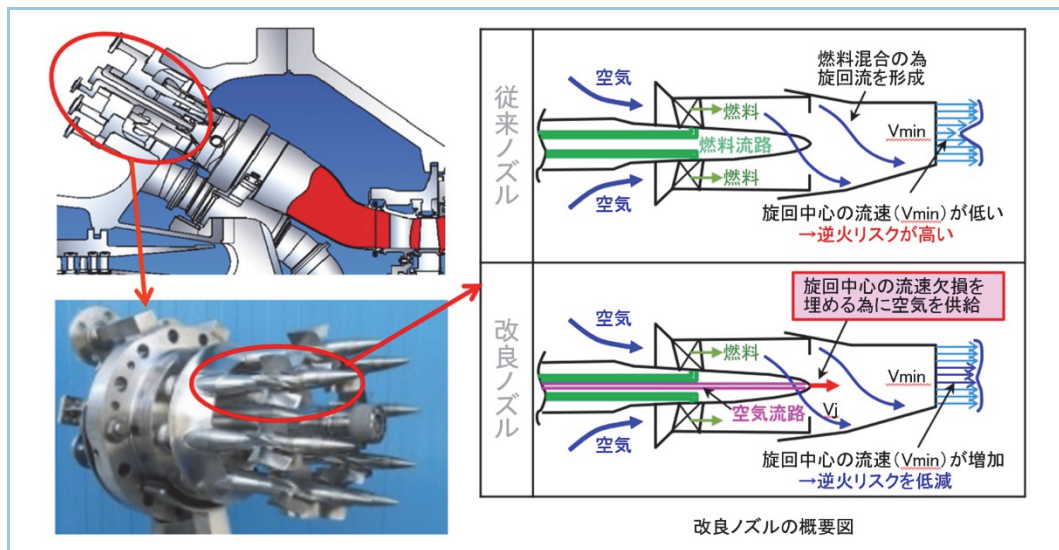


図3 水素混焼燃焼器(Type2 燃焼器)

この Type2 燃焼器を大型ガスタービンに組み込んだ水素混焼運転の実機検証が 2023 年秋に実施された。当社は自社設備での実証を通じて製品の信頼性を向上させるため、高砂工場に水素製造から発電までの技術を世界で初めて一貫通貫して実証できる“高砂水素パーク”(図 4)を整備し、2023 年から順次運用を開始している。



図4 高砂水素パーク

検証は、図 5 に示す高砂水素パーク内に立地する GTCC 実証発電設備でタービン入口温度 1650℃級の最新鋭 M501JAC 形ガスタービンを使い、部分負荷及び 100%負荷において、都市ガスに水素を 30vol%混ぜた混合燃料による実証運転を実施した⁽³⁾。図 6 に示すように水素混焼運転においても、都市ガス運転時と同等の低 NOx 排出量であり、かつ安定燃焼を確認した。さらに、部分負荷で発生する一酸化炭素(CO)の排出量が低減した。天然ガス燃焼時と比べて燃焼効率が改善し、エミッション規定を遵守しつつ運転できる最低負荷を下げることができた。また、部分負荷及び 100%負荷運転中に都市ガスから水素混合燃料への燃料切換えが可能であることを確認し、安全に運用できる運転制御ロジックの検証に成功した。

試験に用いられた水素は高砂水素パーク内の設備で製造されたもので、同一敷地内で製造・貯蔵された大量の水素を使用した、地域の電力網に接続された状態での水素 30%混合燃料による大型ガスタービンの発電実証運転は世界初となる。

高砂水素パークでの実機検証は、現在も水素混合燃料を使用して各種試験を実施しており、今後、水素混焼率の増加に向けて開発を進めていく。



図5 当社 GTCC 実証発電設備の最新鋭 JAC 形ガスタービンと中央操作室

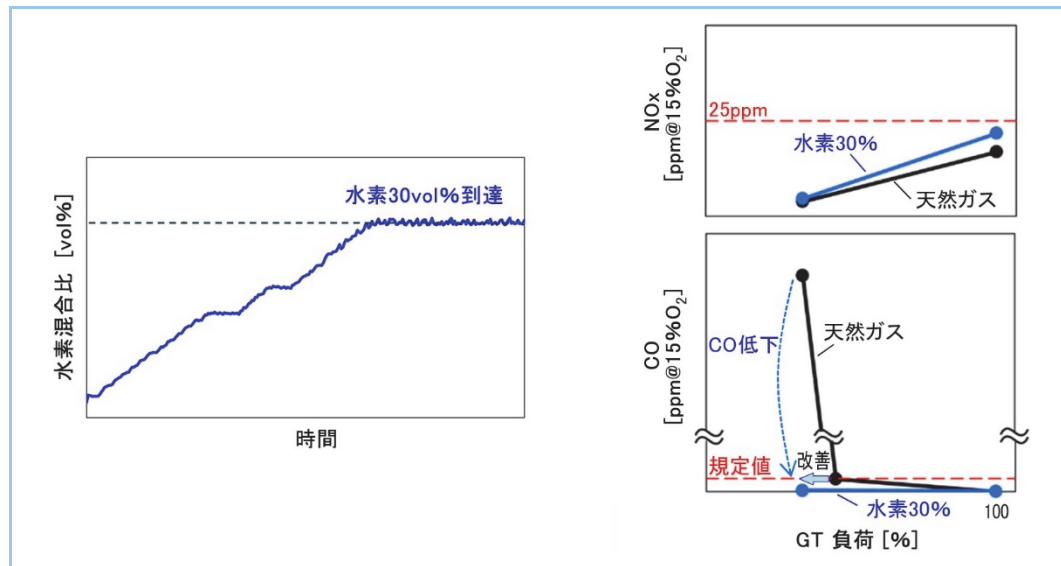


図6 当社 GTCC 実証発電設備における水素 30vol%混焼試験結果

Type2 燃焼器では、水素混焼率 30%から更に 50%を目指して増加させる検討も進めている。施策の一つとして、図 7 に示すように、燃焼器中央に配置されたパイロット火炎用の燃料ノズルを、燃料と空気を予め混合して燃焼器内に噴射する予混合方式から、燃料と空気を別々に燃焼器内に噴射する逆火のリスクを伴わない拡散燃焼方式とし、そこから水素 100vol%を投入する。予混合ノズル(8 本)からは水素 30vol%の燃料を投入して、燃焼器全体で合わせて 50vol%水素まで水素混焼率を増加させることが可能になる。拡散燃焼部分での NOx 生成量の増加は、当該部に水を噴射することで抑制可能であり、単缶実圧燃焼試験での運転も確認している。

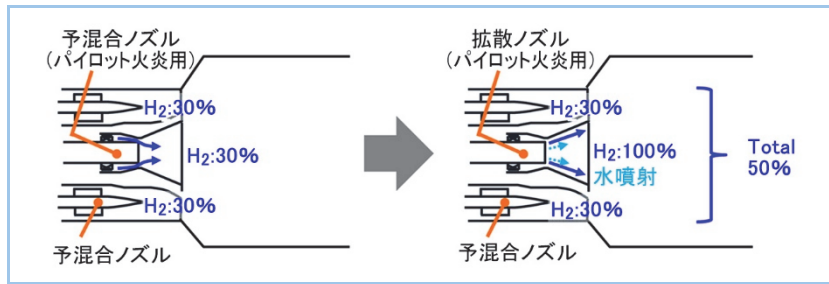


図7 水素混焼率を増加させる施策

この施策を適用した実機検証が、2025 年、米国ジョージア州のマクドノフ・アトキンソン発電所で M501GAC 形天然ガス焼きガスタービン(定格出力:283MW 級)を使って実施され、部分負荷及び全負荷の条件下において、水素を 50vol%混合した燃料による実証試験に成功した⁽⁴⁾。今回の水素 50vol%混焼試験成功は、2022 年に同発電所で既存の GTCC 発電設備を使って実施した水素 20vol%混焼による最初の実証試験成功に次ぐものであり、高効率・大型の GTCC 発電設備によるものとしては世界最大規模になる。水素 50vol%混焼により、CO₂ 排出量は天然ガス 100vol% 焼きに比べ約 22%削減される。

このほかにも、米国ユタ州の Advanced Clean Energy Storage プロジェクトにおいて、当社最新鋭の M501JAC 形ガスタービンを使った水素混合比率 30vol%の運転が 2025 年に予定されており⁽⁵⁾、国内外の発電所で当社納入の大型ガスタービンを使用した水素混焼の実証プロジェクトが実施、あるいは進行中である。

3. 水素専焼ガスタービンの検証状況

水素が更に高濃度になると逆火発生のリスクは高くなる。当社は、水素専焼に対応するガスタービン燃焼器として、Type2 燃焼器より逆火の耐性を高めた水素専焼マルチクラスター燃焼器(以下、Type3 燃焼器)の開発を進めており、まずは、中小型ガスタービン(H-25 形)への適用を目指している。2024 年には当社高砂工場内の実圧燃焼試験設備にて H-25 形ガスタービンに Type3 燃焼器を組み込んで実機検証を行い、100%水素専焼運転を確認した。中小型ガスタービン向けの燃焼器で得たノウハウは、大型ガスタービン向けの水素専焼燃焼器の開発にフィードバックされ、現在は燃焼器単体で実機運転条件を模擬した燃焼試験での検証を行っている。

3.1 中小型 H-25 形ガスタービンにおける水素専焼実機検証

Type3 燃焼器は、中小型 H-25 形ガスタービンの天然ガス焼き用の燃焼器をベースにしている。図 8 に示すように燃焼器に多数の孔(予混合管(ノズル))が設けられており、そこで空気と燃料が急速混合されることで、混合距離の短縮を図り、逆火への耐性を高めている。また、火炎が多数に分散されることで NO_x 低減が図られる。多数の予混合管(ノズル)は、複数のブロックに分割されており、ブロック間の燃料流量比率を制御することで安定に燃焼させる燃料ステージングを実施している。燃焼器の一部を取り出したモデルバーナでの水素火炎の画像(紫外光を映した画像)では、バーナのノズル出口から少し離れた位置に火炎が均一に安定して存在していることが確認される。

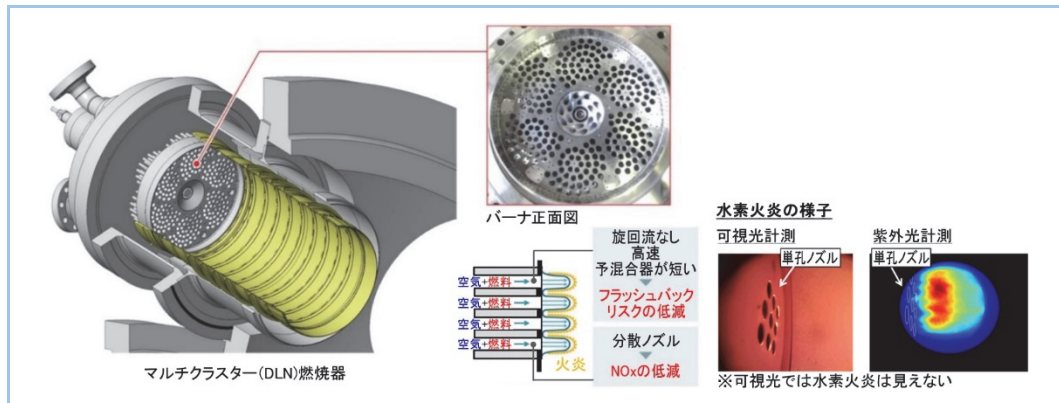


図8 水素専焼マルチクラスター燃焼器(Type3 燃焼器)

これまで、実機相当の運転条件(圧力、温度)で試作燃焼器1本を使用した実圧燃焼試験を実施し、水素専焼でフラッシュバックすることなく安定に燃焼することを確認している。これを踏まえ、2024年に当社高砂工場の実圧燃焼試験設備で水素専焼の実機実証を行った。図9に示す実圧燃焼試験設備は大型ガスタービン向け燃焼器1本の実圧燃焼試験を行う設備であるが、燃焼試験用空気を空気圧縮機から供給しており、その駆動源としてH-25形ガスタービンを使用している。実機検証は、このH-25形ガスタービンにType3燃焼器を全缶組み込んで実施された。検証試験には大容量の水素燃料が必要であり、高砂水素パーク内の水素貯蔵設備から供給を受けた。

検証試験では、まず、天然ガス燃料を使用してガスタービンの着火/昇速から定格負荷まで問題なく運転できることを確認し、次に、水素燃料を使用して試験を実施した。天然ガス燃料で着火/昇速後、部分負荷にて水素燃料への切替えを行った。途中、水素混焼率75%で運転に問題ないことを確認し、更に水素を増やして水素100%(専焼)に到達、その後、水素専焼での負荷運転にて、CO₂排出がゼロであることを確認した(図10)。

本検証では、試作燃焼器1本の燃焼試験では得られなかった複数の燃焼器を組み込んだガスタービン実機の燃焼特性データを取得でき、実機の運用に向けたノウハウの取得、ならびに課題がわかった。これらをもとに、今後も引き続き燃焼器の更なる改良を進め、検証試験を続ける。

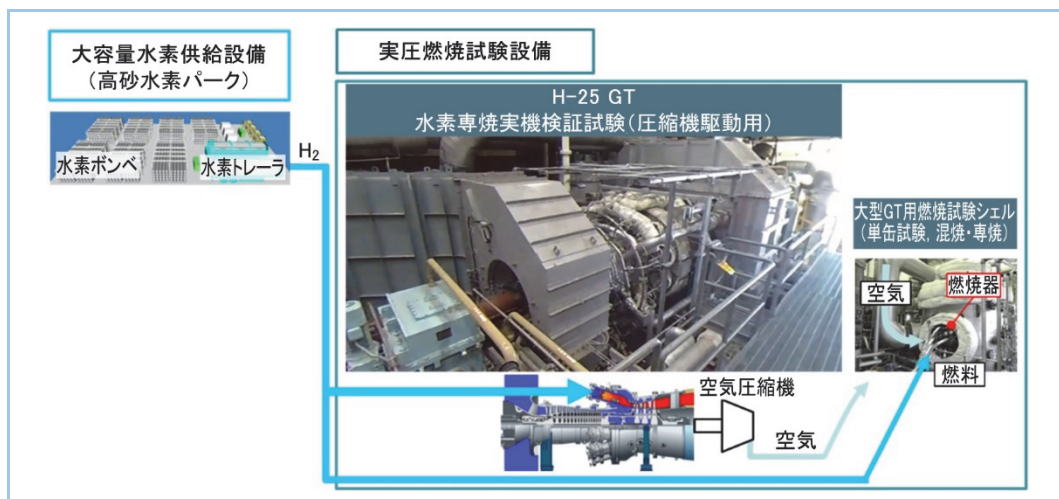


図9 H-25 形ガスタービンの水素専焼検証に用いた当社実圧燃焼試験設備

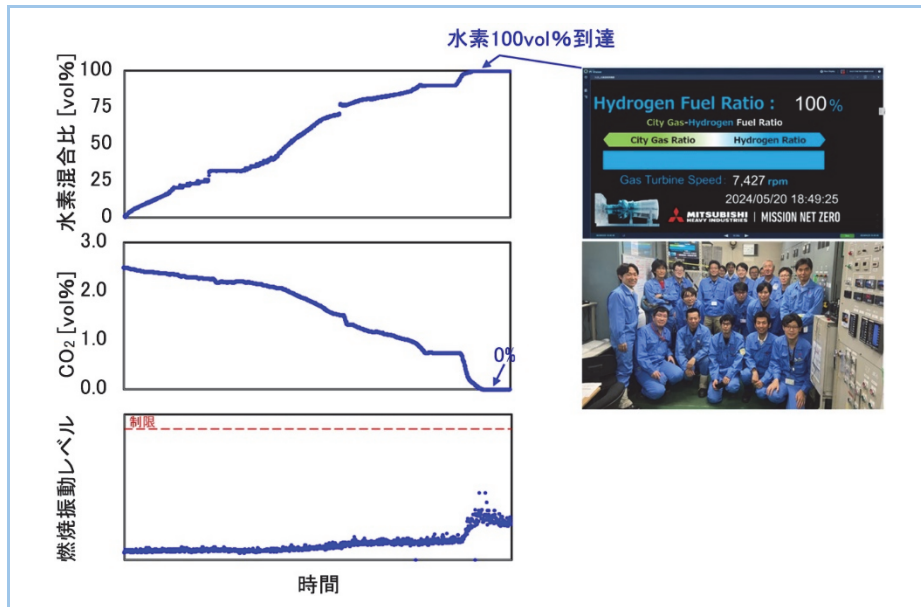


図 10 H-25 形ガスタービン向け水素専焼マルチクラスター燃焼器の実機検証結果

3.2 大型 JAC 形ガスタービン向け水素専焼燃焼器の検証状況

大型ガスタービン向けの水素専焼燃焼器は、中小型 H-25 形ガスタービン向けの Type3 燃焼器をベースに、そこで得られたノウハウをフィードバックして開発を進めている。大型ガスタービンは、中小型ガスタービンより出力が大きく、タービン入口温度も高いので、空気温度や圧力が上昇し、空気流量や燃料流量も増加する。燃焼器内の火炎の燃焼速度はより速くなるので逆火の発生リスクもより大きくなる。また、燃焼振動も発生しやすい傾向になる。このため、大型ガスタービン向けの水素専焼燃焼器は、中小型の燃焼器を大型化するだけでなく、更なる安定燃焼の対策が必要となる。

逆火の発生リスクを減らす施策の一例として、逆火が発生しにくい空気と燃料(水素)の混合気の濃度分布を実現する改良ノズルを金属積層造形の技術(Additive Manufacturing, AM)を適用して製作した。

試作燃焼器の水素専焼燃焼試験は、図 11 に示す当社総合研究所(高砂地区)のブローダウン燃焼試験設備⁶⁾にて実施される。本設備では、実機スケールの燃焼器 1 本を用いて実機と同じ条件下(空気圧力、温度)で燃焼試験ができる。試験に使用する高圧空気を事前に大容量の空気タンクに貯気し、試験時に空気加熱装置を通して実機と同じ温度まで加熱、試験装置に供給するブローダウン方式を採用している。前述 3.1 節に記載の実圧燃焼試験設備(高温・高圧の空気は大容量の圧縮機とその駆動用のガスタービン用いて供給される)と比べて空気容量が限られ、試験時間も短くなるが、効率よく複数点のデータ取得が可能であり、低コストで試験ができる。また、試作燃焼器を組込む試験シェルが 2 つ用意されており、相互に切り替えて試験することで開発の速度アップが可能になる。更に、燃焼器 1 本だけを用いた燃焼試験でも、実機(燃焼器 16 缶以上を有する)で特有に発生する燃焼振動を模擬できるように、音響可変装置が設置されており、燃焼振動を低減した燃焼器開発において、より確度の高い検証試験ができる。これらの点で、本設備は複数の試作燃焼器のスクリーニング検証として有用であり、大型ガスタービン向けの水素専焼燃焼器についても、本設備にて検証試験を進めている。

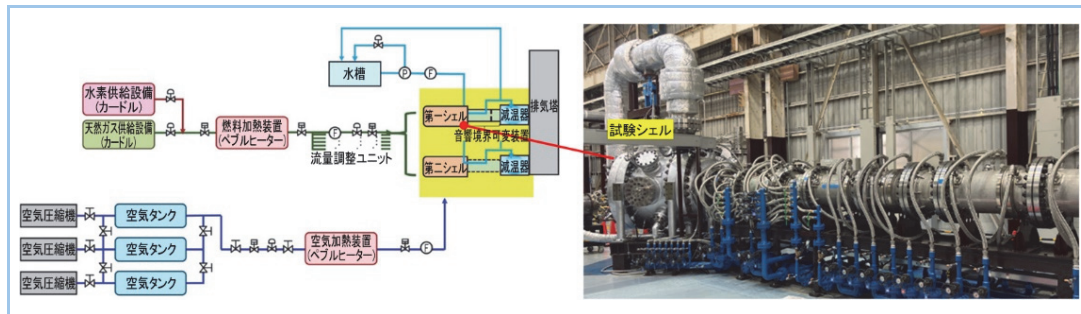


図 11 ブロードダウン燃焼試験設備

前述の改良を施した試作燃焼器の燃焼試験では、中小型 H-25 形ガスタービンでの検証と同じように、天然ガスで着火、部分負荷にて水素燃料への切替えを行った。途中、燃焼振動や逆火を回避し安定な燃焼状態を保つように、複数に分割されたノズルブロック間で、燃料ステージングを実施して燃料比率を制御しながら水素燃料を増やした。水素 100% (専焼) に到達後、さらに負荷上昇して中小型ガスタービンの出力 (タービン入口温度) を上回る試験条件で、安定に運転できることを確認した (図 12)。

今後も引き続き、大型の最新鋭 JAC 形ガスタービンでの運転に向けて、さらに出力が大きい (タービン入口温度が高い) 条件で安定に運転できるように開発を進める。

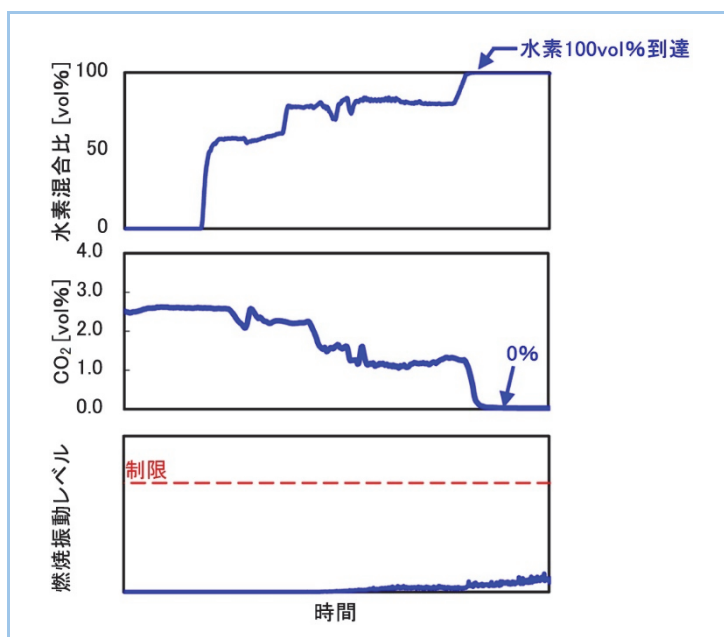


図 12 当社ブロードダウン試験設備における大型 JAC 形ガスタービン向け水素専焼マルチクラスター燃焼器の燃焼試験結果

4. アンモニア直接燃焼 GTCC システムの開発状況

アンモニアは天然ガスに比べて発熱量、燃焼速度ともに低いため、燃焼が不安定 (燃えにくい) になりやすい。アンモニアをガスタービン燃料として燃焼させる際は、燃焼器内で火炎を安定に保持することが課題となる。また、アンモニア (NH_3) 中の窒素分 (N) が燃焼過程で酸化して発生する Fuel NO_x の排出量をコントロールすることも課題となる。

当社では、アンモニアを利用する GTCC システムとして、①直接アンモニアを燃焼させるシステムと、②ガスタービンの排熱を利用してアンモニアを水素と窒素に分解しそれを燃料とするアンモニア分解 GTCC システムの 2 種類の方式を検討している。ここでは、前者について紹介する。アンモニア直接燃焼 GTCC システムは図 13 に示すように NO_x 排出量を低減するアンモニア用燃焼器と高効率の脱硝装置を組み合わせたガスタービンシステムであり、まずは、中小型ガスタ

ービン(H-25形)への適用を目指してアンモニア燃焼器と高効率脱硝装置の開発・検証を進めている。

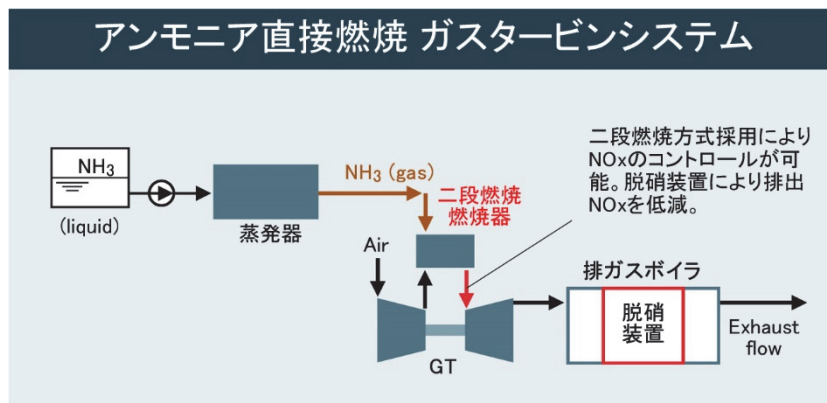


図 13 アンモニア直接燃焼 GTCC システム

4.1 アンモニア燃焼器の開発状況

アンモニア燃焼器は当社でこれまで多くの運転実績を有する燃焼器をベースとして、リッチ・リーン二段燃焼方式を採用した(図14)。ここで、リッチ・リーン二段燃焼方式とは、燃焼器の上流域で燃料アンモニアと空気(一次燃焼空気)を当量比 $\phi = 1$ (化学量論)以上の燃料過濃の状態(Rich Zone)で燃焼させた後、二次燃焼空気と急速混合することにより希薄燃焼の状態(Lean Zone)に移行させる燃焼方式のことである。当該燃焼方式をアンモニア燃料に適用することで、安定した燃焼が得られるほか、NO_xの発生を抑制することができる。



図 14 アンモニア燃焼器(リッチ・リーン二段燃焼方式)

燃焼器の開発では、CFD 解析(Computational Fluid Dynamics)によるコンセプトの確認のほか、要素試験設備及び大気圧試験設備を活用して、より安定燃焼かつ低エミッションを実現可能な形状を選定した。具体的には、CFDや要素試験によって良好な結果が得られたコンセプト形状は、フルスケールの試作燃焼器に適用され、フルスケール燃焼器(1本)で大気圧燃焼試験により、保炎性、燃焼器出口でのエミッション、炭化水素燃料からアンモニア燃料への切替え時の各種特性を確認したほか、リッチ・リーン燃焼場それぞれの燃焼特性も把握した。図15には、大気圧試験設備の写真と燃焼試験結果の一例として、燃焼器の改良により、燃焼器出口エミッション計測値のうち、未燃アンモニア濃度が大幅に低減した事例を示す。この事例のように、当社では要素試験やCFDを上手く活用して、世界に先駆けたアンモニア焚き燃焼器開発を進めている。

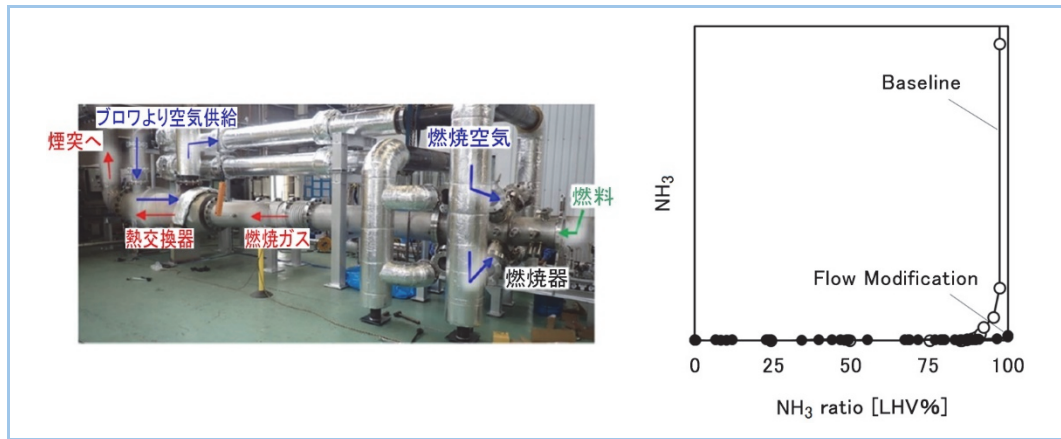


図 15 大気圧燃焼試験設備の外観写真と改良燃焼器による未燃アンモニア低減事例

大気圧燃焼試験設備で良好な試験結果が得られた試作燃焼器を用いて、実機運転条件下(空気温度、圧力)での燃焼状況を確認するために、図 16 に示す当社日立工場(勝田)の実圧燃焼試験設備に高圧の大容量アンモニア供給設備を建設し、2023 年から燃焼試験を実施している。アンモニア焼きガスタービンは、GHG の排出削減が目的であるが、燃焼器の設計が不十分である場合には、 CO_2 の 298 倍もの温室効果係数を有する一酸化二窒素(N_2O)を生成する懸念がある。図 17 に、当社日立工場における実圧燃焼試験結果をもとに算出された GHG 削減率とアンモニア混焼率の関係、ならびに、アンモニア混焼率と燃焼器出口での NO_x 値の関係を示す。当社で開発しているアンモニア焼き燃焼器は、アンモニア混焼率の増加に比例して GHG を削減することができ、アンモニア専焼条件では、GHG を 100%削減することができる(図 17:左)。また、 NO_x 値は当社がターゲットとしている値に対して、十分に低い値であることがわかる(図 17:右)。得られた知見をもとに、今後も商用化に向け、引き続き燃焼器の更なる改良を進めていく。



図 16 当社日立工場の実圧試験設備

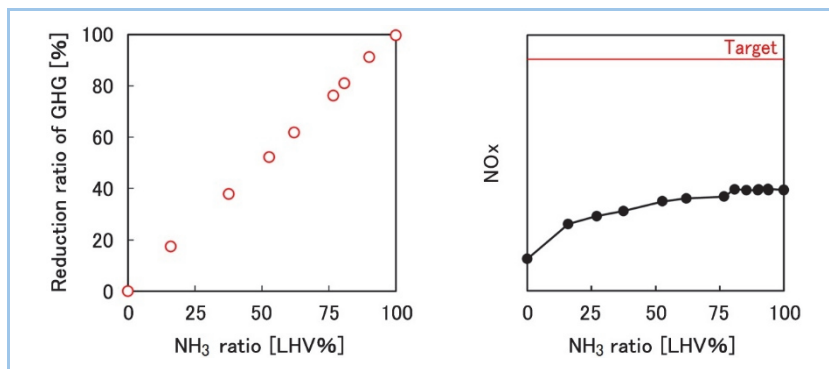
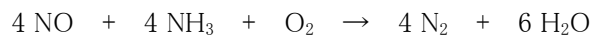


図 17 当社日立工場の実圧試験設備における燃焼試験結果
(左:GHG 削減率とアンモニア混焼率の関係, 右:アンモニア混焼率と NO_x 値の関係)

4.2 高効率脱硝装置の開発

アンモニア直接燃焼 GTCC システムでは、アンモニア由来の Fuel NO_x の排出量低減のため、上述のアンモニア燃焼器に加えて、高効率な脱硝装置が必要となる。高効率脱硝装置では高い脱硝率を得るために注入する還元剤によるリークアンモニアを抑えることが課題の 1 つとなる。当社は 2020 年より本システムの開発に取り組んでおり、触媒技術を応用することで、リークアンモニアを抑えながら、目標脱硝率を達成できることを確認した。また、脱硝装置では下記の反応の通り、NO_x とアンモニアが触媒で反応するため、高効率脱硝を達成するためには、アンモニア注入時のモル比 (NH₃/NO_x) アンバランスを低減し、排ガス中の NO_x とアンモニアを可能な限り完全に混合することが必要不可欠である。



当社は、図 18 に示すアンモニア注入時の温度上昇によるモル比アンバランスも考慮したアンモニア注入ノズル及び旋回流を利用したアンモニア/排ガス混合器を開発・採用してモル比アンバランスを低減し、所定のモル比バラつきを達成できることを確認した(図 19)。

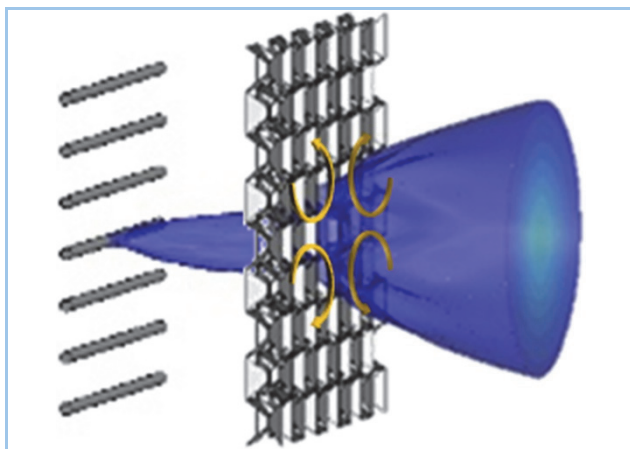


図 18 アンモニア/排ガス混合器によるアンモニアの拡散イメージ

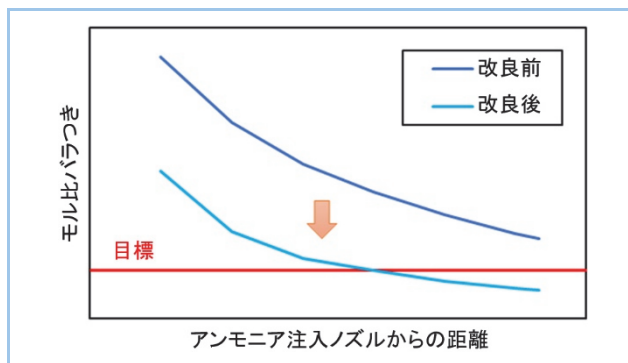


図 19 アンモニア注入ノズルからの距離とモル比バラつきの関係

また、GTCC 向脱硝装置は、排熱回収ボイラ(Heat Recovery Steam Generator 以下、HRSG)内に脱硝装置が組み込まれており、HRSG の熱伸びを考慮して触媒反応器を設計する必要がある。しかしながら、この構造により脱硝触媒と接せず通り抜ける排ガスが生じるため、ガスリーク(ガスの吹抜け)を低減させることも、アンモニア直接燃焼 GTCC 向け高効率脱硝装置設計では重要となる。

当社はガスタービンと脱硝装置を設計・供給できる唯一のメーカーとして、アンモニア直接燃焼 GTCC システム特有の技術事項をガスタービン設計と共有、協調しながら進めていけることが強みであり、実用化に向けて、高効率脱硝装置の開発を進めていく。

5. まとめ

本報では、当社がカーボンニュートラルの達成に向けて取り組み中の水素・アンモニアガスタービンの開発・検証状況について紹介した。

水素・天然ガス混焼ガスタービンについては、水素製造から発電までの技術を一貫して検証できる“高砂水素パーク”を当社工場内に整備し、同パーク内の実証発電設備にて最新鋭 JAC 形ガスタービンの 30%水素混焼検証を実施した。今後は水素混焼率 50%に向けて開発を進める。

水素専焼ガスタービンについても、高砂水素パーク内にある H-25 形ガスタービンにて実機検証を実施し、水素 100%専焼での運転を確認した。引き続き実機検証試験を重ねて信頼性を高める。また、大型ガスタービン向けの燃焼器についても、実機運転条件での単缶燃焼試験にて水素専焼での運転を確認した。実機検証に向けて開発を進める。

アンモニアを利用したアンモニア直接燃焼 GTCC システムについては、試作燃焼器を開発、当社日立工場(勝田)の実圧燃焼試験設備に高圧の大容量アンモニア供給設備を整備し、実機運転条件での燃焼試験にてアンモニア専焼での運転を確認した。また、高効率脱硝装置を開発、アンモニア注入ノズルやアンモニア/排ガス混合器の改良により、モル比バラつきを低減。触媒技術を応用することで、リークアンモニアを抑えながら、高効率脱硝装置における目標脱硝性能を達成できることを確認した。引き続き実用化に向けた開発を進める。

当社は、実用化に向けた開発と実機検証を進め、これらカーボンフリー発電システムのラインアップを拡充していき、当社ロードマップにおける 2030 年脱炭素化を目指した取組みを推進していく。

(謝辞)

本報の第 2 章に記載された水素混焼燃焼器、及び第 3 章に記載された水素専焼燃焼器の内容は、NEDO(国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構)の助成事業(水素社会構築技術開発事業:JPNP14026)の成果の一部です。また第 3 章 2 節に記載された内容は、助成事業(カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発:JPNP16002)の成果の一部です。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- (1) World Energy Outlook 2023, <<https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023>>
- (2) 三菱重工業株式会社, プレスリリース, 三菱重工, ジョージア・パワー, 米国電力研究所が世界最大の水素燃料混焼実証 マクドノフ・アトキンソン発電所の GTCC 発電設備で成功, (2022), <<https://www.mhi.com/jp/news/220615.html>>
- (3) 三菱重工業株式会社, プレスリリース, 三菱重工, 最新鋭の JAC 形ガスタービンによる水燃料 30%混焼運転に成功, (2023), <<https://www.mhi.com/jp/news/23113001.html>>
- (4) 三菱重工業株式会社, プレスリリース, 三菱重工, 米国ジョージア・パワーと世界最大の水素 50%混焼実証に成功 マクドノフ・アトキンソン発電所の大型 M501GAC 形 GTCC 発電設備で, (2025), <<https://www.mhi.com/jp/news/25061702.html>>
- (5) 三菱重工業株式会社, プレスリリース, 三菱重工, 米国ユタ州で再生可能エネルギー由来の水素を利用した GTCC 発電プロジェクトインターマウンテン電力(IPA)向けに 84 万 kW 級水素焚き JAC 形設備を初受注, (2020), <<https://power.mhi.com/jp/news/20200312.html>>
- (6) 齋藤敏彦ほか, ガスタービンの脱炭素燃料化を支えるブローダウン燃焼試験設備, 三菱重工技報 Vol.62 No.1 (2025)