

# 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

Blowdown Combustion Test Facility Supporting Decarbonization of Gas Turbines



齋藤 敏彦\*<sup>1</sup>  
Toshihiko Saito

多田 勝義\*<sup>2</sup>  
Katsuyoshi Tada

盛重 大\*<sup>3</sup>  
Dai Morishige

椎屋 孝之\*<sup>3</sup>  
Takayuki Shiya

森田 諭\*<sup>4</sup>  
Satoshi Morita

佐藤 賢治\*<sup>5</sup>  
Kenji Sato

NEDO プロジェクトの一環として、幅広い水素濃度に対応可能なクラスタ型燃焼器のスクリーニング試験のため、ブローダウン方式を採用した燃焼試験設備を開発した。設備の試運転により、実定格条件まで負荷上昇が可能であること、NO<sub>x</sub>、燃焼振動傾向が実機を再現し評価可能であることが確認された。

## 1. はじめに

脱炭素化の進展と共に、ガスタービン(以下、GT)でも CO<sub>2</sub>削減が必須となっており、NEDO プロジェクトとして、石炭ガス化燃料電池複合発電(以下、IGFC)に CO<sub>2</sub>回収利用貯蔵技術(CCUS)を組み合わせた低炭素の発電技術の開発が進められている<sup>(1)</sup>。当システムでは、急速な負荷変動に対応するため燃料性状が変わり、水素濃度が大きく変化する。そこで、三菱重工業株式会社(以下、当社)では幅広い水素濃度に対応可能なクラスタ型燃焼器を開発中である(図1)。今般、燃焼器開発の加速のため、燃焼器のスクリーニング検証設備を開発した。当設備は、水素濃度を任意に設定可能かつ実機で発生する多缶連成燃焼振動を再現可能であるという特徴を持つ。本報では、当該設備のうち、ブローダウン燃焼試験設備について概説する。

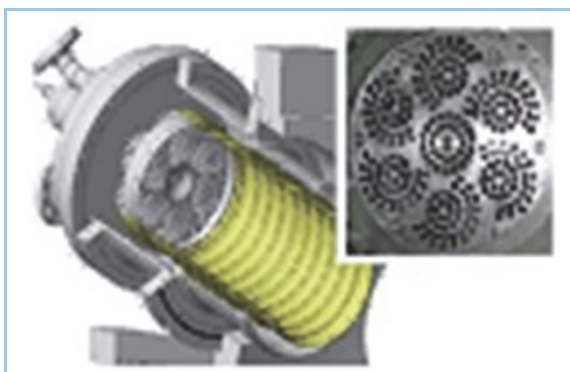


図1 クラスタ型燃焼器

## 2. ブローダウン燃焼試験設備構成

燃焼現象は圧力依存性が高く、実機と同じ圧力下で試験する必要がある。高圧の燃焼試験設備では、圧縮機より高圧の空気を供給し試験する手法が主要であるが、大型 GT 条件で燃焼器 1 缶分の空気供給を可能とするために、大容量の圧縮機の駆動に GT を用いている<sup>(2)</sup>。

\*1 総合研究所 燃焼研究部 主席研究員 博士(工学)

\*2 総合研究所 燃焼研究部 主席研究員

\*3 総合研究所 燃焼研究部

\*4 総合研究所 制御システム研究部 主席チーム統括

\*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

そのため、試験時間が長く確保でき、多くの試験点数のデータを取得できる利点がある一方で、試験コストが高い<sup>(1)</sup>課題があった。それに対し、ブローダウン燃焼試験設備では、事前に空気貯気槽にためた空気を用いて試験を実施するため、コンプレッサは小型なもので対応でき、設備建造費用及び試験費用は比較的 low コストとなる<sup>(3)</sup>。ブローダウン方式は試験時間が限られるが、短時間で複数点のデータ取得を可能とする技術を開発したことで、燃焼器の評価が可能となった。そこで、本設備では空気供給方法としてブローダウン方式を採用した。

#### (1) ブローダウン試験設備系統概略

図 2 にブローダウン試験設備の概略系統図を示す。大型 GT 条件の検証に対応するため、試験圧力・流量が国内最大レベルの GT 燃焼器試験設備となっている。燃焼用空気には数日かけて空気タンクへ貯気した約 19MPa の空気を用いる。空気は油圧流調弁を介して減圧して試験セクションに供給するが、ペブルヒーター方式の空気加熱装置で熱交換することで実機の圧縮機出口温度まで加熱される。本空気加熱装置は、大型 GT 燃焼器の空気流量を十分に加熱可能な熱容量を確保するため、直径約 3m、高さ 6m のサイズで、内部に 50t 分のセラミック製の球を保持している。

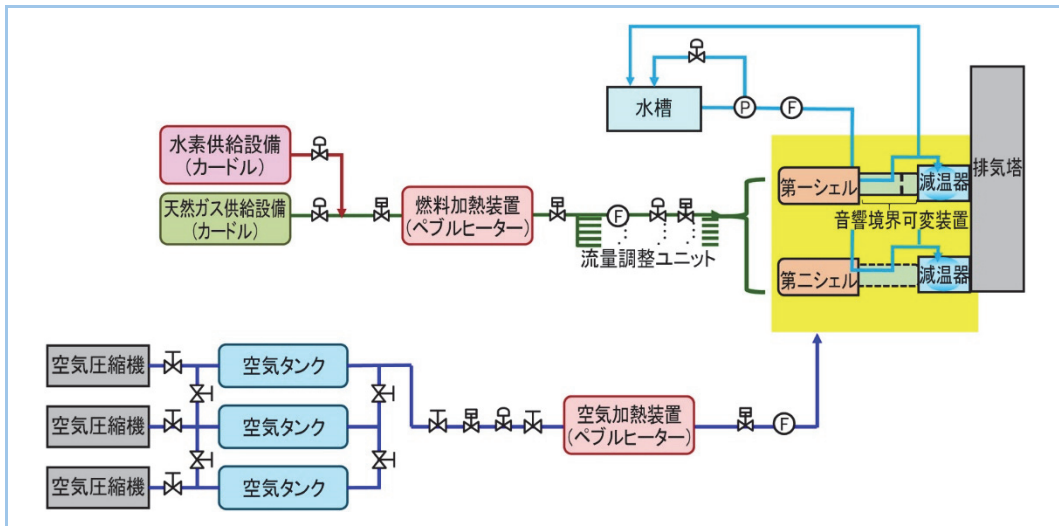


図2 ブローダウン燃焼試験設備概略系統

燃料は、燃料ヤードに設置されたカードルから供給される。カードルに天然ガスと水素の 2 種類を使用し、混合比率を流調弁で制御することで任意の水素濃度に設定することができる。燃料についても、ペブルヒーター方式の燃料加熱装置を通過させることで加熱し実機燃料温度を模擬して試験実施が可能となっている。燃焼器のノズルは複数のブロックに分割されており、ブロック間の流量比率を制御することで安定的に燃焼させる燃料ステージングを実施している<sup>(4)</sup>。そのため、加熱後の燃料は、機側の流調ユニットで各燃料系統に分岐し流調弁で精密に制御することで燃料ステージングを模擬可能となっている。

検証対象の燃焼器はシェル内に設置し、前述の空気と燃料を供給する。今回開発したブローダウン燃焼試験設備は第一シェルと第二シェルの 2 つのテストセクションを有しており、事前に供試体を組み込んだテストセクションを配管で切り替えることで試験対象を速やかに切り替えることができる。これにより、開発の速度アップが図れるように工夫されている。燃焼後の高温の排ガスはプローブでサンプリング計測されたのちに、後述する音響境界可変装置を通過し、スプレー水で減温後に排気塔から放出される。高温の燃焼ガスが通過する部分は、装置の温度を低下させるため 2 重壁の水冷構造となっている。ここで、装置冷却に使用した水の一部を減温スプレー水として再利用することで、冷却水ポンプの吐出量を低減させる工夫をしている。

設備は、実機 GT の制御にも使われている DIASYS Netmation<sup>®</sup>で制御されており、負荷上げから定格条件のデータ取得、停止までの一連のシーケンスを予め入力しておくことで、装置運

転は自動的に進行する。このため、試験担当者は計測データ取得に専念することができ、少人数で安全に実機条件下での GT 燃焼器 1 缶の燃焼試験を実施可能である。

## (2) 計測技術

ブローダウンの燃焼試験では、燃焼振動と CO, NO<sub>x</sub> 等の排出量を計測対象としている。燃焼振動は実機と同様に燃焼器壁に取り付けた圧力センサで計測している<sup>(5)</sup>。NO<sub>x</sub> 等については、燃焼器出口に配置された 6 本のプローブ(各 7 点)と計測ダクト壁面に設置された 4 本のプローブからのサンプリング 46 点により計測している。46 点のサンプリングガスは、サンプリング切替機において、流調バルブで流量を設定しており、各計測点の担当面積に応じた吸引量を集合計測することで、面積平均値を連続計測できるようになっている。また、試験中の任意のタイミングで各計測点のガスを分岐して 46 個のサンプリングボトルにそれぞれ貯気できるようになっており、試験後 1 点 1 点ガス分析することで燃焼器出口の排ガス濃度分布を詳細に評価することができる。計測システムの概略図を図 3 に示す。サンプリング切替機はブローダウン燃焼試験設備向けに開発したものを使用しており、検出には総合排ガス計を使用した。

また、火炎の評価のため、光電子増倍管(PMT)を用いた高感度紫外光検出装置により燃焼した際に火炎から放射される光の計測を実施している(図 4)。本計測手法により、着火・失火の高速検知だけでなく、発熱変動の評価も可能である。

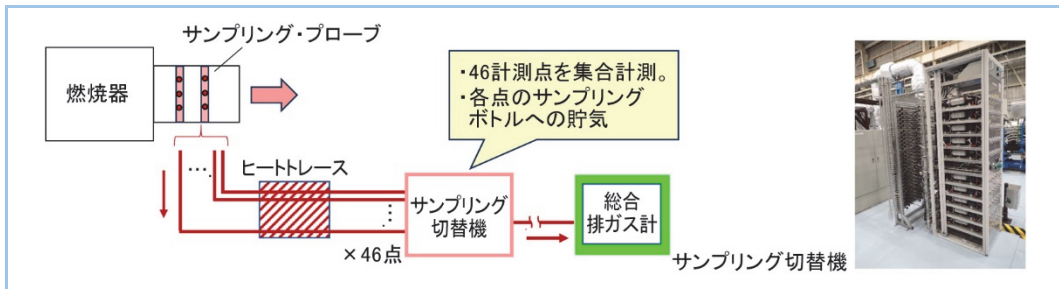


図3 排ガス計測システム

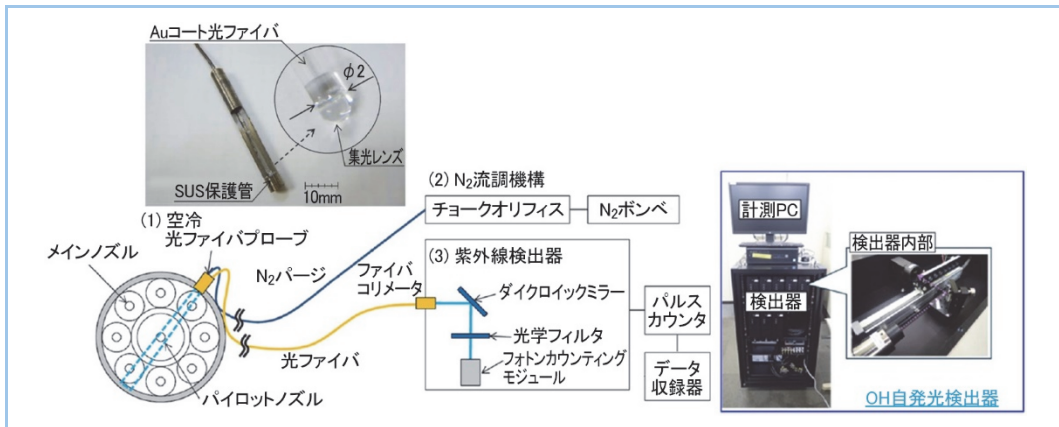


図4 高感度紫外光検出装置<sup>(3)</sup>

## (3) 燃焼振動模擬

実機では 16 缶以上の燃焼器が連成する多缶連成燃焼振動が発生<sup>(5)</sup>、燃焼器 1 缶で発生する燃焼振動とは異なった周波数の燃焼振動が発生する。そこで、単缶のブローダウン燃焼試験で実機の燃焼振動を模擬するために、燃焼器下流に設置し燃焼振動を模擬する音響境界可変装置を開発した。図 5 にコンセプトを示す。音響境界可変装置では、オリフィスを設置する位置を変更することで、発生周波数を調整することができる。これにより、単缶の燃焼試験でありながら実機を模擬することが可能となり、燃焼振動を低減した燃焼器の開発に貢献している。



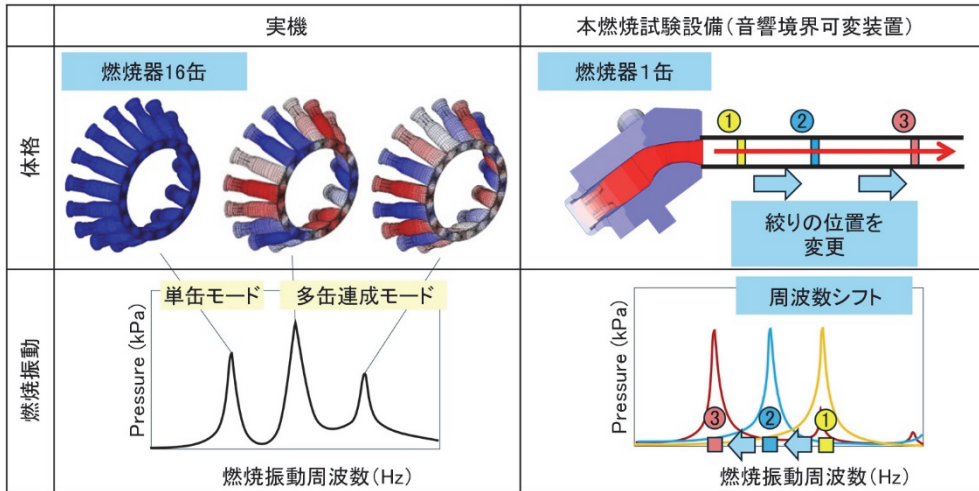


図5 音響境界可変装置による燃焼振動模擬

### 3. ブローダウン試験設備完成状況

図6に完成したブローダウン燃焼試験設備を示す。空気は図左側に設置された空気タンクより供給され、空気加熱装置で加熱される。燃料も同様に左側のガス・カードルより供給され、燃料加熱器で加熱されたのちに、流調ユニットで流量を制御される。シェルに設置された燃焼器に空気と燃料が供給され燃焼し、排ガスが減温後に排気塔から放出されるが、大型GT燃焼器の流量を排気するため騒音が大きくなる可能性がある。そこで、排気塔にセル型の消音装置を設置し対策した。

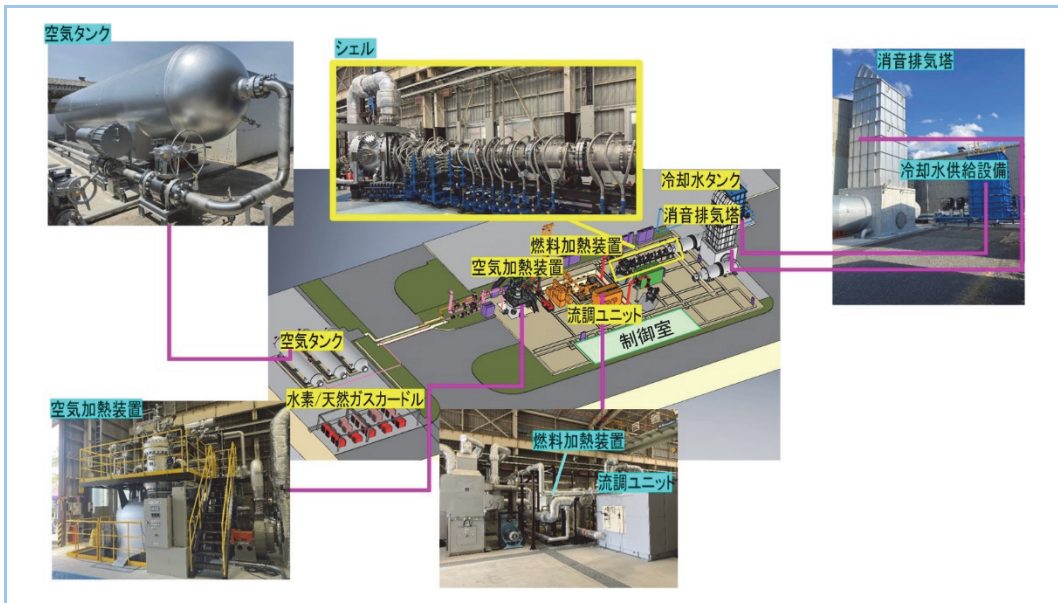


図6 ブローダウン燃焼試験設備完成状況

### 4. 試運転結果

大型GT向け燃焼器を対象に、試験設備の試運転を実施しており以下にその結果を示す。図7に事前に実施した燃料切替えの検証結果を示す。天然ガス100%から水素濃度を100%まで増加させた。水素濃度増加速度はNEDOプロジェクトで目標としている2.3vol%/minを十分に満足することが確認できた。

設備の検証のために、比較データが豊富な天然ガス焚きの大型GT燃焼器を用いて燃焼試運転を実施した結果を図8に示す。約90秒の短時間で定格条件まで上昇し、自動的に計画した温度、圧力、燃料ステージング条件(燃料系統A, B)に追従して設定できることが確認できた。短

時間での負荷上げ制御を実現するために、燃料・空気系統の動特性を再現可能なシミュレータを用いて制御パラメタの事前チューニングを行い、制御の追従性と安定性の両立を図った。図9は、NO<sub>x</sub> 排出量、燃焼振動の計測結果を示している。比較のために実機計測結果を併記した。NO<sub>x</sub> 排出量はほぼ実機値と等しく条件 A から B への変化で増加する、また、燃焼振動については条件 C から D で燃焼振動の振幅が増加する傾向を捉えることができた。以上のように、ブローダウン燃焼試験設備は実機特性を再現しており、スクリーニング設備として有効であることが分かった。

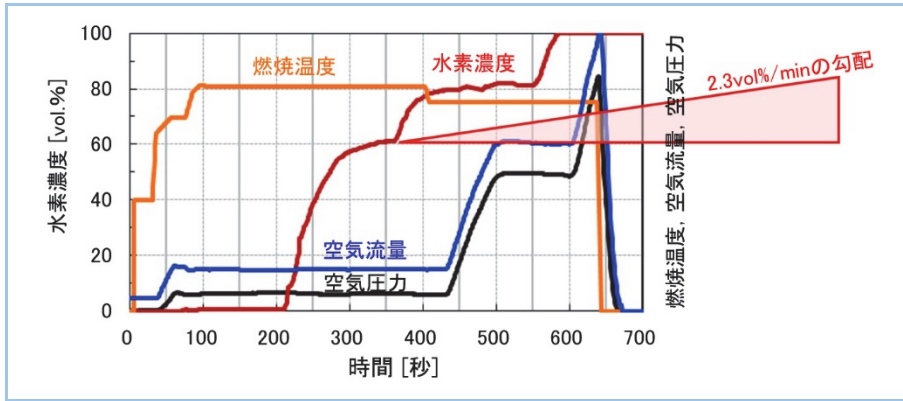


図7 水素濃度可変評価結果

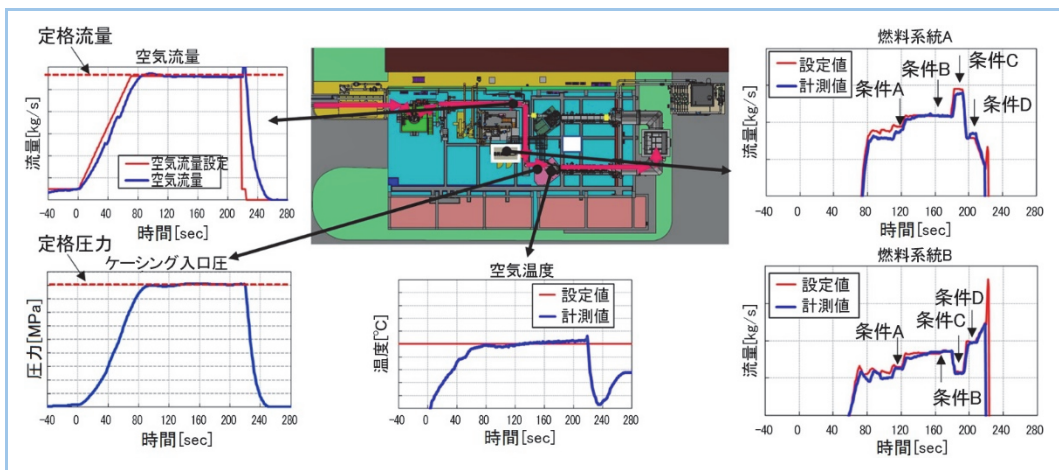


図8 試運転結果

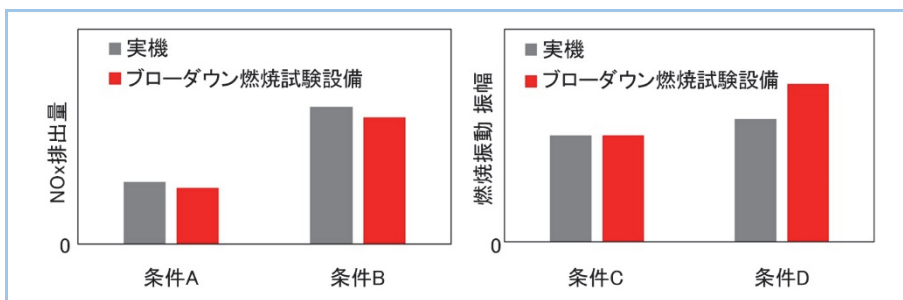


図9 実機再現性評価

## 5. まとめ

燃焼器開発の加速のため、NEDO プロジェクトの一環として、スクリーニング試験のためのブローダウン燃焼試験設備を開発した。試運転により、実機の NO<sub>x</sub> 排出量及び燃焼振動を再現し、所定の性能を発揮できることが確認された。今後は、幅広い水素濃度に対応可能なクラスタ燃焼器の開発に活用していく予定である。

なお、本成果は、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)の助成事業“CO<sub>2</sub>分離・回収負荷変動に対応するガスタービンに係る要素技術開発”の結果得られたものです。ここに記して謝意を表します。

DIASYS Netmation®は、三菱重工業株式会社又は三菱パワー株式会社の日本及びその他の国における登録商標です。

## 参考文献

---

- (1) <https://www.nedo.go.jp/content/100967763.pdf>
- (2) 井上慶ほか, 水素・天然ガス混焼ガスタービンの開発, 三菱重工技報 Vol.55 No.2 (2018)
- (3) 野田純司ほか, デュアル焚きガスタービン向け油焚き燃焼器の開発を支える実験解析技術, 三菱重工技報 Vol.57 No.1 (2020)
- (4) <https://www.nedo.go.jp/content/100980489.pdf>
- (5) 甲田貴也ほか, 高効率ガスタービンの安定運転を実現する振動抑制技術・予兆検知技術の開発, 三菱重工技報 Vol.58 No.1 (2021)