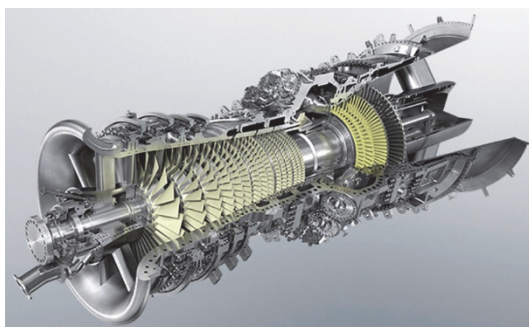


社会ニーズに対応する火力発電設備の サービスアップグレードの実績紹介

Approach and Experience of Gas Turbine Combined Cycle Power Plant Upgrade to Meet Social Needs



日高 孝平*¹
Kohei Hidaka

小原 裕史*²
Hirofumi Ohara

富田 康意*³
Yasuoki Tomita

藤井 慶太*⁴
Keita Fujii

野作 雅俊*⁵
Masatoshi Nosaku

三好 正悟*⁶
Shogo Miyoshi

ガスタービン・コンバインドサイクル発電設備が運用される 20-30 年の間には、環境規制や脱炭素などの社会的な変化、新技術電源との競争など、様々な事業環境の変化に直面する。発電設備の競争力を維持するためには適切な保守に加え、常に最新技術を取り入れ、性能・運用性等の向上を図ることが不可欠であり、こうしたお客様のニーズは年々高まってきている。三菱重工業株式会社は OEM として、新設発電設備向けの最先端・最新技術をフローダウンして、既設発電設備にも適用可能なアップグレードを開発・適用してきた。近年は、市場ニーズは多様で刻々と変化するため、マーケティング分析を通じて効果的なメニューを特定し、様々なニーズに応えるサービスプログラムを開発している。その結果、経済性のみならずカーボンニュートラル社会の実現に貢献する熱効率向上による性能改善、及び、再生可能エネルギー社会に対応するための起動性、運用性改善、など多岐にわたるアップグレードが提供可能となっており、その実績例を紹介する。

1. はじめに

ガスタービン・コンバインドサイクル (Gas Turbine Combined Cycle 以下、GTCC) 発電設備には地域特性、お客様特性など運用される環境の影響を受けて様々なニーズがある。経済成長や特に昨今のデータセンター増設に伴う電力需要の増加、再生エネルギー導入による系統安定化のためのフレキシブルな運用、環境規制への対応、脱炭素への対応などがあげられる。

また、これらのニーズは環境の変化とともに刻々と変化する。これらの要求に対応するため、マーケティング分析を通じて必要な性能や機能を特定し、新設発電設備向けに開発された新技術をフローダウンすることで効果的なアップグレードメニューの開発を行っている。

本報では、三菱重工業株式会社 (以下、当社) のアップグレード開発のアプローチおよび実績を紹介する。

2. アップグレードの開発

当社は大型から小型まで多数のガスタービンをラインナップしているが、本報では主に電力事業に用いられている大型ガスタービンのアップグレードについて紹介する。

ガスタービンは日々最新技術の適用により性能、信頼性の向上、運用性の改善が継続して

*1 エナジードメイン GTCC 事業部 サービス技術部 主席技師

*2 エナジードメイン GTCC 事業部 サービス営業戦略部 グループ長

*3 エナジードメイン GTCC 事業部 サービス技術部 主幹技師

*4 エナジードメイン GTCC 事業部 サービス技術部 主席技師 技術士(機械部門)

*5 エナジードメイン GTCC 事業部 サービス技術部 グループ長

*6 エナジードメイン GTCC 事業部 サービス営業戦略部 主席技師

図られている。当社のガスタービンとは型式が同じ機種の種類・部品寸法は基本的に同じであり、同じ型式であれば、最新機種の種類・タービン翼、燃焼器などの部品は基本的に旧機種に装着可能である。既存発電設備の旧機種の種類・ガスタービンに対して、最新機種の種類・部品を装着することで、最新技術を適用したアップグレードの実現が可能となる。機種毎のアップグレードメニューを開発することで、複数のお客様へガスタービンの最先端技術を活用したアップグレードを享受頂くことが可能となっている。

次の章にて、実際に適用したアップグレードについて、機種毎に紹介する。

3. アップグレードの実績紹介

本章では、お客様からのニーズをもとに開発したアップグレードの適用実績を紹介する。

3.1 M701F 形ガスタービン高性能冷却翼適用による性能向上

既存のガスタービン設備において、新技術を採用することで、現状の効率を改善することができ、アップグレードとして多くの採用実績を積み重ねてきた。図1はタービン翼のアップグレードによる性能改善の概念図である。ガスタービンはその高温燃焼ガスに耐えるため、タービン翼などの高温部品は内部に複雑な空冷冷却構造を有している。圧縮機からの抽気や吐出空気が冷却空気として利用されるため、タービンで仕事をする燃焼用空気を割くことになる。従って、ガスタービンの熱効率向上のためにはその冷却空気を削減することが望ましい。新機種に導入される冷却技術や遮熱コーティングは冷却性能を大きく改善するもので、その技術を既存のガスタービンにフロアダウンすることで冷却空気が低減できガスタービン性能を改善するのがアップグレードの基本コンセプトである。最も効率的な手法は既に運転実績のある最新型のタービン翼を既存機種に導入することである。タービン翼は高温部品として定期的な保守を要するため、運用時間に応じて定期的に取り替えが行われる。この取替えのタイミングで最新型のタービン翼に取り替えることでアップグレードしつつ、投資額を抑えることができ、最も効果的な性能改善と言える。

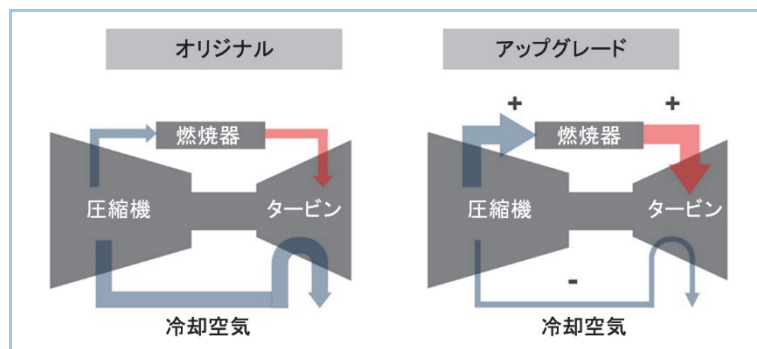


図1 タービン翼の冷却空気削減による性能向上の概念図

一例として、シンガポールの発電所においてタービンアップグレードを適用した事例を示す。当社は2001年以降4台のM701F形ガスタービンを納入してきた。コンバインドサイクルとしての1系列の出力はいずれも36万kWである。図2に示す範囲の部品をF形最新部品に取り替えてアップグレードすることにより全負荷のみならず部分負荷においても熱効率を向上させ、広い運転負荷帯で発電所からのエネルギー供給を損なうことなく、燃料コストとCO₂排出量を削減した。ガスタービン2台に適用済で、2系列合計で年間約1万6900トンのCO₂排出量の削減が可能となり、今後、残り2系列についても順次アップグレードする計画となっている。

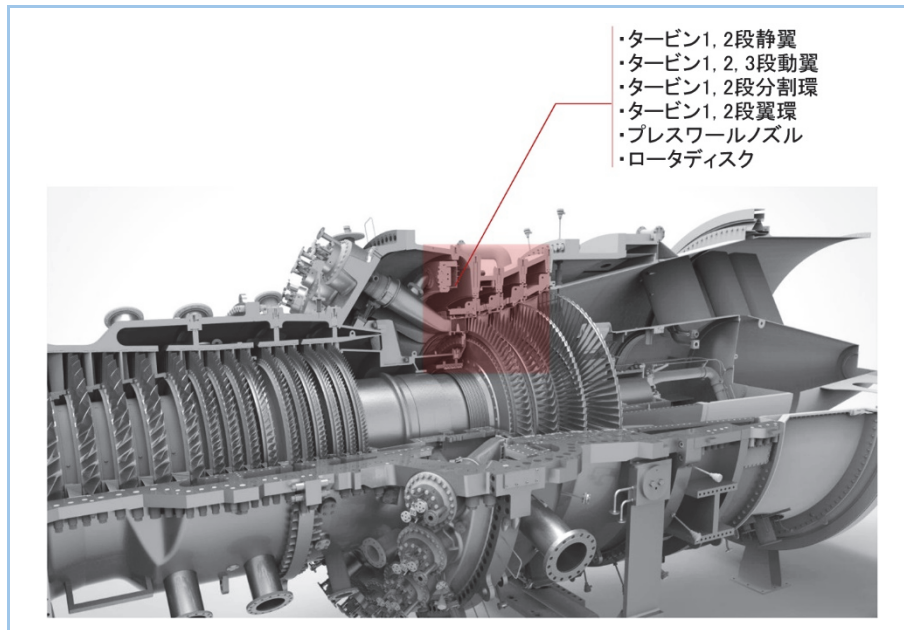


図2 M701F 形ガスタービンのアップグレード

3.2 M501G 形ガスタービン空冷化による運用性及びエミッションの改善と、水素混焼への展開

北米では再生エネルギーの増加により、系統安定性を高めることが求められている。もともと調整電源として活用されてきた GTCC 発電設備においては、起動時間の短縮、ターンダウンの改善により調整能力をさらに向上させることが可能となる。ターンダウンとは、電力需要に対応することができるように最低負荷で待機することで、電力需要が高くなったときにすぐに負荷上げする能力で、その最低負荷をさらに下げることによって調整力を増やすことが求められている。

燃焼器の冷却に蒸気を用いているガスタービンにおいては、①起動にあたって冷却蒸気を供給するための補助ボイラの立上げ及び蒸気冷却配管のウォーミングの時間、起動後は②補助ボイラから徐々に HRSG から発生する蒸気に切り替えていく作業時間が必要であったが、燃焼器を蒸気冷却から空気冷却へ改造することにより、上記の蒸気冷却配管ウォーミングや切替えに要する時間を大幅に短縮でき、起動から定格負荷までの時間を大きく短縮でき、すなわち起動性を高めることが可能となる。

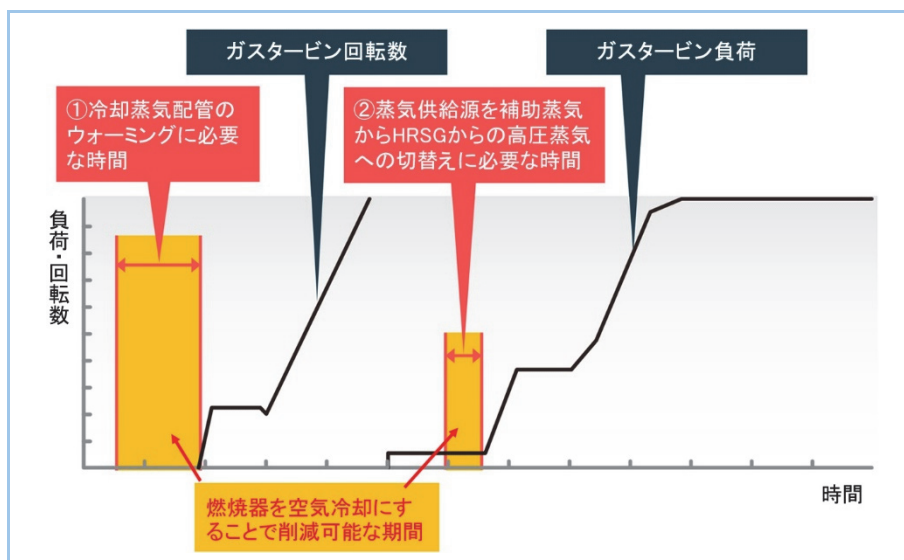


図3 燃焼器を空気冷却に改造することによる起動時間の短縮

また、ガスタービンでは負荷を下げると燃焼温度の低下により未燃ガス成分の CO が増加する傾向にあり、CO により最低負荷が制限を受ける。施策として、タービン冷却系統に調整弁を設け、部分負荷において調整弁を開けて、冷却空気量を意図的に増やす事で同じ負荷では調整弁を開ける前よりも燃焼温度が高くなり、CO を削減することが可能となる。

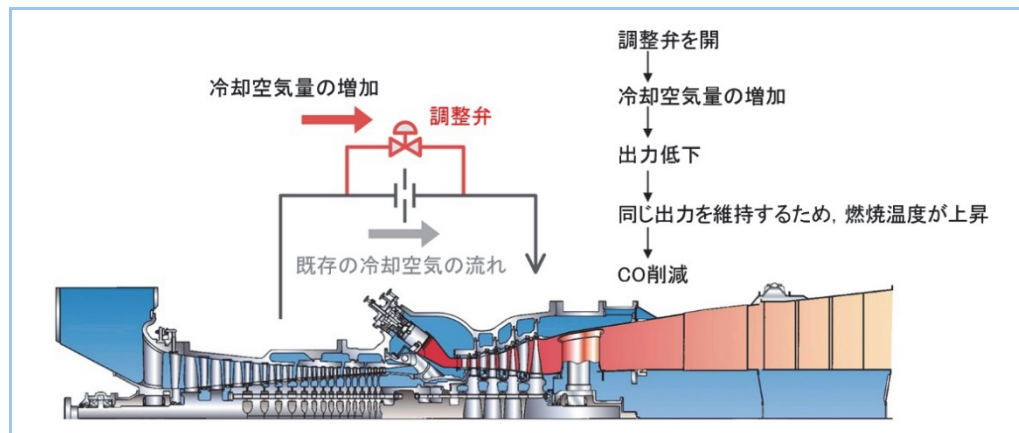


図4 タービン冷却系統へ追設する調整弁の概念図

北米プラントにおいては、蒸気冷却の燃焼器を既に運転実績のある同じ型式機種 of 最新型ガスタービンの空冷燃焼器に換装し、起動性を改善させるとともに、タービン冷却系統に調整弁を設けることで最低負荷を改善させ、運用性を大きく改善させることができた。また、最新の空冷燃焼器を適用することで、定格負荷の NOx エミッションも改善した。さらには、今回適用した燃焼器は水素混焼にも対応している特性を生かし、将来の水素混焼試験も計画中である。

3.3 M501J 形ガスタービンの性能向上

当社は、F 形、G 形に引き続き、最先端の J 形へも、さらなるアップグレード適用に取り組んでいる。当社 J 形主要納入先の一つである、北米電力市場では、データセンターや EV などの e-モビリティ需要後押しにより活況を呈しており、米国電気工業会 (NEMA) 発表によれば、2050 年までに 50%もの電力需要増加が見込まれている。このような状況下、北米市場での出力増加への投資意欲は旺盛で、そのニーズに応えるべく、J 形向けアップグレードメニューを開発した。

J 形では 1600℃級から、最先端の技術を盛り込んだ 1650℃級 JAC 形へと進化している。最新冷却技術や低 NOx 化などの最先端技術をフローダウンする J 形アップグレードメニューを開発した。なお、本アップグレードは、主に米国地区の市場状況や、売電価格や燃料単価に基づいた経済性試算から、出力向上値として+4% (相対値)を開発目標とした。

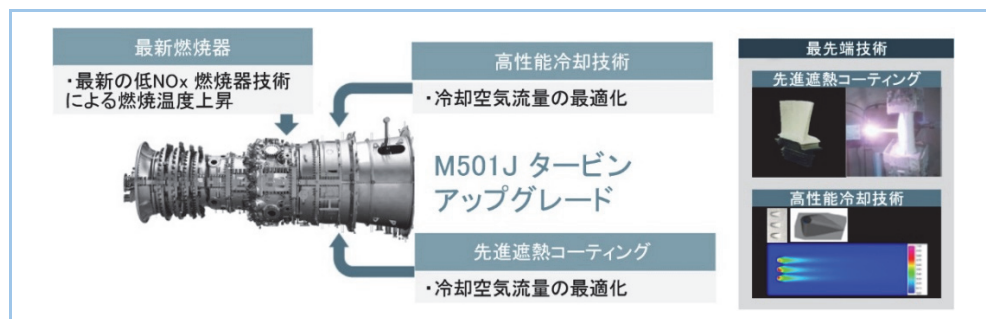


図5 M501J 形ガスタービンのアップグレード概念図

図6に断面図を示す。既存のJ形ガスタービンに対して図中の範囲の部品を取り換えることで、①最先端のタービン冷却技術のフローダウン、②燃焼温度の上昇、③IGV 最適化による吸気流量の最大化の3要素を盛り込んだメニューとした。

2021年から概念設計を開始し、2025年春、アップグレードメニューを適用した初号機の性能試験が完了し、上記の性能向上ターゲット値を満足できることを確認した。

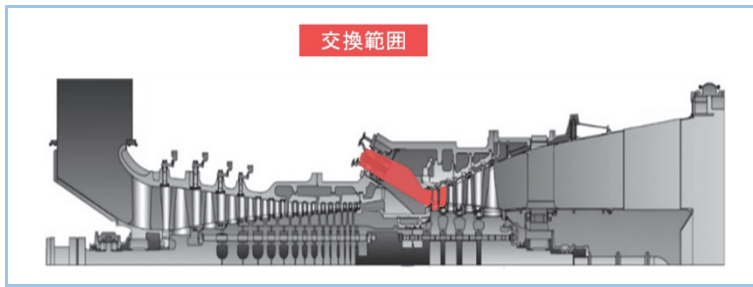


図6 M501J 形ガスタービンのアップグレード部品の適用範囲

また、次に示す“Pay Per Performance”なるお客様・メーカー WinWin 構図のビジネスモデルを構築し実行してきたこともスムーズに改良工事の計画・受注・遂行できた要因と考える。

これは、アップグレードで達成した出力増加量にともなって、お客様からのアップグレード対価の支払いがアップグレードで達成した出力増加量に比例する仕組みであり、お客様からすると、大型アップグレードの効果に見合った投資が実施できることとなり、開発側(当社)からは、出力が出れば出るほどアップグレードの対価が増えるというモチベーションが得られる WinWin の構図になっている。

この手法は、アメリカ案件の F 形・G 形アップグレードで数々の実績があり、今回 J 形でも、横展開して、成功を収めたビジネスモデルである。現在、1600℃級 J 形は世界でおよそ 40 台納入されており、今後これらのプラントに、本開発 J 形アップグレードを展開してゆく計画である。

4. まとめ

当社では機種毎にアップグレードの開発を進めてきた。地域質、お客様ごとのニーズを分析し、出力、効率向上のみならず、起動性やターンダウン、エミッション改善や水素混焼など、様々なアップグレードを成功させてきた。お客様との WinWin 構図を念頭に今後もこれらのアップグレードを組み合わせることで、様々なお客様に対して更なるニーズに対応できるようにしてゆく所存である。