

【経済産業大臣賞】

強制空冷燃焼器システム採用次世代ガスタービン (JAC 形)

三菱日立パワーシステムズ株式会社

横浜市西区

東北電力株式会社

仙台市青葉区

1. 機器の概要

火力発電プラントでは、化石燃料を燃焼させ熱エネルギーを電気エネルギーに変換している。エネルギー資源に乏しい我が国にとってプラントの高効率化は非常に重要である。

天然ガス燃焼ガスタービン複合発電 (GTCC) は、タービン入口ガス温度 (T1T) の向上による発電効率/省エネ性の向上と CO₂ 排出量の低減において、他の発電方式に比べ優れている。三菱日立パワーシステムズ株式会社は、東北電力株式会社と共同して、高い発電効率が支持され各国で多数稼働実績の多い J 形ガスタービン (T1T 1,600°C 級) をベースに、さらなる高効率化と運用性の改善を目指して JAC (J-series Air-Cooled) 形ガスタービンを開発した。

JAC 形ガスタービンは、燃焼器の冷却に圧縮機出口から抽気した空気を用いる強制空気冷却システムを採用して冷却構造を最適化した。さらにタービン翼の超厚膜化遮熱コーティングと、高圧力比圧縮機を適用することにより、T1T を 1,650°C に向上させた。これにより M501JAC 形 GTCC (発電出力 575MW) の発電効率は 64% (LHV ベース) に達し、J 形ガスタービンと比較して 3.2% (相対比) の省エネ性の向上と CO₂ の削減が可能となった。さらに従来燃焼器の蒸気冷却方式に比べて起動時間が短縮でき、運用性も改善した。

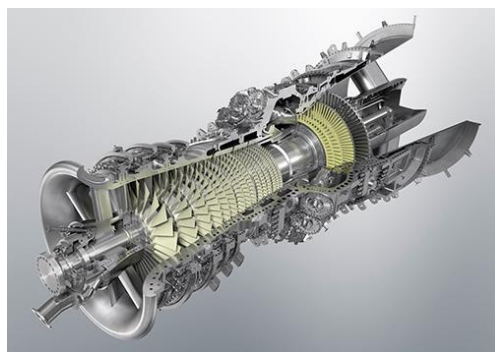


図1 JAC 形ガスタービン

2. 機器の技術的特徴および効果

2.1 技術的特徴

(1) 強制空冷システム

『強制空冷』システム概略図を図2に示す。従来の『空気冷却』と『蒸気冷却』システムとの比較を表1に示す。

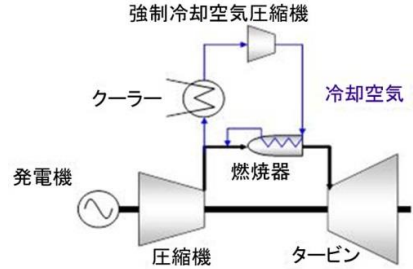


図2 強制空冷システム概略図

『空気冷却』は燃焼器を冷却した空気を燃焼器内部に戻すため、冷却で回収した熱はガスタービン及び蒸気タービンで仕事として回収され性能（熱効率）に優れるが、冷却空気が混合する分だけ燃焼温度をタービン入口温度よりも高くする必要があり、窒素酸化物(NOx)が高くなる。

『蒸気冷却』は燃焼器を冷却した蒸気を燃焼器内部ではなく蒸気タービンに戻すため、タービン入口温度に対して燃焼温度の上昇が抑えられて NOx を低くする事が出来るものの、冷却で回収した熱は蒸気タービンでしか仕事として回収できないため、同じタービン入口温度の『空気冷却』に対して性能は劣る。

一方、『強制空冷』は、ガスタービンの空気圧縮機出口から抽気した空気をクーラーで冷却し、強制冷却空気圧縮機で昇圧して燃焼器の冷却に用いた後、車室に戻し燃焼用空気を利用する。よってタービン入口温度に対して燃焼温度の上昇を

表1 強制空冷システムと従来冷却システムとの比較

	空気冷却	蒸気冷却	強制空冷
<p>壁面を冷却して奪った熱はタービンへ流入 温度が高く 圧力が低く 流速が遅い空気</p> <p>燃焼温度高</p> <p>燃焼温度>タービン入口温度</p> <p>タービン入口温度</p>	<p>壁面を冷却して奪った熱は蒸気タービンで回収</p> <p>燃焼温度</p> <p>燃焼温度=タービン入口温度</p> <p>タービン入口温度</p> <p>高いタービン入口温度での低NOx化実現</p>	<p>壁面を冷却して奪った熱は燃焼用で使用</p> <p>温度が低く 圧力が高く 流速が速い空気</p> <p>燃焼温度</p> <p>燃焼温度=タービン入口温度</p> <p>適切な燃焼器壁面の冷却、タービン入口温度 低NOx化、高性能を同時に実現</p>	
<p>燃焼器から奪った熱Qは 蒸気・ガスタービンで仕事をする</p>	<p>燃焼器から奪った熱Qは 蒸気タービンのみで仕事をする</p>	<p>燃焼器から奪った熱Qは 蒸気・ガスタービンで仕事をする</p>	
NO x	×	○	○
性能	○	×	○

抑えられることにより低 NOx 化を実現し、同時に燃焼器冷却により回収した熱はガスタービン及び蒸気タービンで仕事として回収できるため高効率を達成できる。さらにクーラーの回収熱も蒸気タービンで利用することでシステムの熱効率が向上する事に加え、起動時に冷却蒸気の事前準備が不要となるため、蒸気冷却に比べて GTCC としての起動時間も短縮可能となる。

(2) 強制空冷燃焼器

強制空冷燃焼器には、J 形の蒸気冷却同様に対流伝熱を利用した冷却構造を採用した。図 3 に示す燃焼筒は、熱負荷の高い下流側の燃焼筒出口から冷却空気を供給することで出口部での冷却能力を確保しつつ、効率よく冷却が可能である。また、燃焼筒を対流冷却した空気は、車室内部で燃焼用空気と合流して有効利用できる。

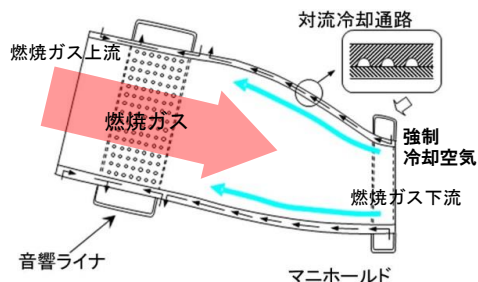


図 3 強制空冷 燃焼筒の冷却構造

(3) 次世代 JAC 形ガスタービン

JAC 形ガスタービンの特徴を図 4 に示す。JAC 形ガスタービンは強制空冷システムに加えて、タービン翼の遮熱コーティング (TBC : Thermal Barrier Coating) を超厚膜化すると共に、高圧力比圧縮機を適用することで T1T1,650°C を達成している。

TBC は厚膜化すると耐久性が低下する課題があったが、厚膜化しても均一かつ高耐久性を有する施工技術を開発した。超厚膜化により TBC の耐熱性が向上したことで、冷却空気を低減することができ、ガスタービン性能が向上した。また、高性能圧縮機技術

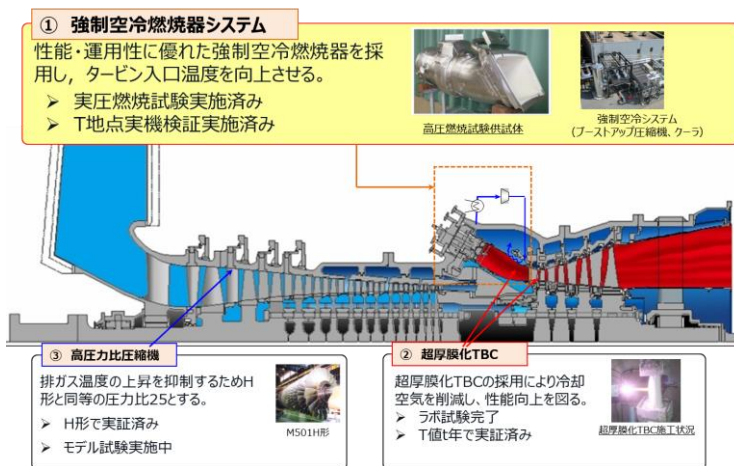


図 4 次世代 JAC 形ガスタービンの特徴

を有する H 形ガスタービンの実績を踏まえて、空気圧縮機の圧力比を 25 まで上昇することで、ガスタービン出口排気ガス温度を抑制しつつ、タービン入口温度を従来に比べて 50℃上昇させることができた。

2.2 効果

(1) 省エネ性・低 CO₂性

表 2 に M501J 形 GTCC (J 形) と M501JAC 形 GTCC (JAC 形) の発電出力および効率を示す。タービン入口温度を 1,650℃に向上するとともに強制空冷システムの適用により、JAC 形の効率は絶対

表 2 J 形と JAC 形 GTCC の効率比較

項目	M501J	M501JAC
周波数 (Hz)	60	60
圧力比 (-)	23	25
ガスタービン入口温度 (℃)	1,600	1,650
ガスタービン出力 (MW)	330	400
GTCC出力 (MW)	484	575
GTCC発電効率 (%LHV)	62.0	64.0

値で 2 ポイント向上し、64% (LHV ベース) に達する。同様に CO₂ 排出量も、JAC 形は J 形に比べて CO₂ 排出原単位で 3.2% (相対比) 低減できる。

(2) 経済性

JAC 形は J 形と比較して、GTCC 発電出力が 19%増加しており出力あたりの建設コスト (kW 単価) は同等以下となる。さらに、JAC 形は発電効率が高く燃費が良いことから、1kWh の発電電力量に必要な燃料ガス量が少なくて済み、経済性が向上する。

(3) 信頼性・メンテナンス性

JAC 形ガスタービンは T 地点 (高砂工場の実証発電設備) ですでに 8,000 時間以上の商業運転を行ない、99.5%以上の信頼性と計画停止の発生がなく高い安全性を実証済みである。JAC 形ガスタービンのメンテナンス性は、多数実績のある J 形とほぼ同等であり、定期点検等に要する工程は同等である。

3. 用途

JAC 形ガスタービンは、M501JAC 形 5 台、M701JAC 形 8 台が受注・内定している。その他決定前であるが、顧客より技術選定されているものも多数ある。また、T1T1650℃級 JAC 形ガスタービンの開発初号機は、商用機として初めて東北電力株式会社の上越火力発電所へ導入を予定しており、以降各国に広く普及し、省エネに貢献することが期待される。