

# 東北電力(株)東新潟火力発電所第4-1号系列運転実績 —1450°C級ガスタービンの運転実績—

Unit No. 4-1 Higashi Niigata Thermal Power Station Operating Status  
—1450°C Class Gas Turbine Operation—

高砂製作所	佃 嘉 章 <sup>*1</sup>	秋田 栄 司 <sup>*2</sup>
	岩 崎 洋 一 <sup>*3</sup>	屋 納 光 一 朗 <sup>*3</sup>
技 術 本 部	川 田 裕 <sup>*4</sup>	
原動機事業本部	野 口 俊 英 <sup>*5</sup>	

環境問題が地球的課題となっている中、省エネルギー推進に大きく貢献可能な高効率のコンバインドサイクル発電プラントに対する期待が高まっている。当社が東北電力(株)東新潟火力発電所第4-1号系列向けに納入した、事業用として世界初のタービン入口温度1450°C級ガスタービンを採用した最新の大容量高効率コンバインドプラントは、発電端熱効率50.6%（高位発熱量基準）を記録し、平成11年7月に運開した。その後も順調に安定運転を継続し、約10000h運転後に実施された初回定検において、その高い信頼性が確認されている。

With environmental problems now global, high thermal efficiency combined-cycle power plants are being improved to contribute to energy resource saving. Mitsubishi Heavy Industries, Ltd., installed a large-capacity, high-efficiency combined-cycle power plant the world's first 1450°C class turbine inlet temperature gas turbine as Unit No. 4-1 at the Higashi Niigata Thermal Power Station of Tohoku Electric Co., Inc. Based on higher heating value, it provides 50.6% thermal efficiency at the generator terminal, and began commercial operation in July 1999. Its successful operation and high reliability were confirmed in its first inspection after 10000 hours of operation.

## 1. ま え が き

21世紀を間近に控え、地球温暖化防止のためのCO<sub>2</sub>削減目標が掲げられる等、環境問題が地球的課題となっている。これに伴い世界的な省エネルギーの推進が図られつつあり、火力発電の分野においてはガスタービン及びガスタービン排ガスの熱回収によって得られた蒸気を蒸気タービンの駆動源とするコンバインドサイクルプラントが、その優れた総合熱効率によりますます脚光を浴びている。コンバインドサイクルプラントでは、その主機であるガスタービンの高温化・高性能化により、更なるプラント総合効率の大幅な向上が期待でき、経済性に優れることはもちろん、CO<sub>2</sub>排出量削減に大きく貢献できる技術である。

当社では昭和59年にタービン入口温度1150°C級M701D形ガスタービンを主機として世界初の大容量コンバインドサイクルプラントを東北電力(株)東新潟火力発電所第3号系列に設置し、総合熱効率44%（発電端、高位発熱量基準）と当時では記録的な高効率を達成した。以来、更なるガスタービンの高温化を図ってきており、平成11年7月にはタービン入口温度1450°C級の最新鋭機M701G形ガスタービンを採用し、世界最高レベルである50%を超える総合熱効率（発電端、高位発熱量基準）を達成した東北電力(株)東新潟火力発電所第4-1号系列が運開した。

本報ではM701G形ガスタービンの特徴と、その工場実負

荷試験及び現地試運転を含めた運転実績について紹介する。

## 2. M701G形ガスタービンの特徴

M701G形ガスタービンはタービン入口温度1450°C級の高温・高性能ガスタービンであり、開発・設計に当っては、十分な運転実績と高い信頼性を持つタービン入口温度1350°C級M501F/701F形ガスタービンの基本構造を踏襲するとともに、東北電力(株)との共同研究である“高効率ガスタービンの開発研究”における様々な要素研究で培った高温化に伴う最新技術を適用している（図1参照）。適用した最新技術については、図2に示すスケジュールにて十分な要素試験及び検証試験を実施し、その性能・信頼性を確認し、これらの結果を設計に反映し開発を進めた。

### 2.1 圧縮機

大容量化、高圧力比化、高効率化を達成するために、MCA（Multiple Circular Arc）翼及びCDA（Controlled Diffusion Airfoil）翼を採用した新型軸流圧縮機を設計・適用した。これらの最新型翼列の空力性能は、翼列試験及び実機の約1/3スケールモデルの翼を搭載したモデル圧縮機にて検証した。

### 2.2 タービン

タービンは、タービン入口温度の上昇に伴う負荷増加に対応できる高負荷・高性能の4段軸流タービンである。

タービン翼材料の面では、クリープ強度や熱疲労強度を高

\*1 タービン技術部長

\*4 高砂研究所次長 工博

\*2 タービン技術部ガスタービン設計課長

\*5 タービン技術部ガスタービン技術課主席

\*3 タービン技術部ガスタービン設計課

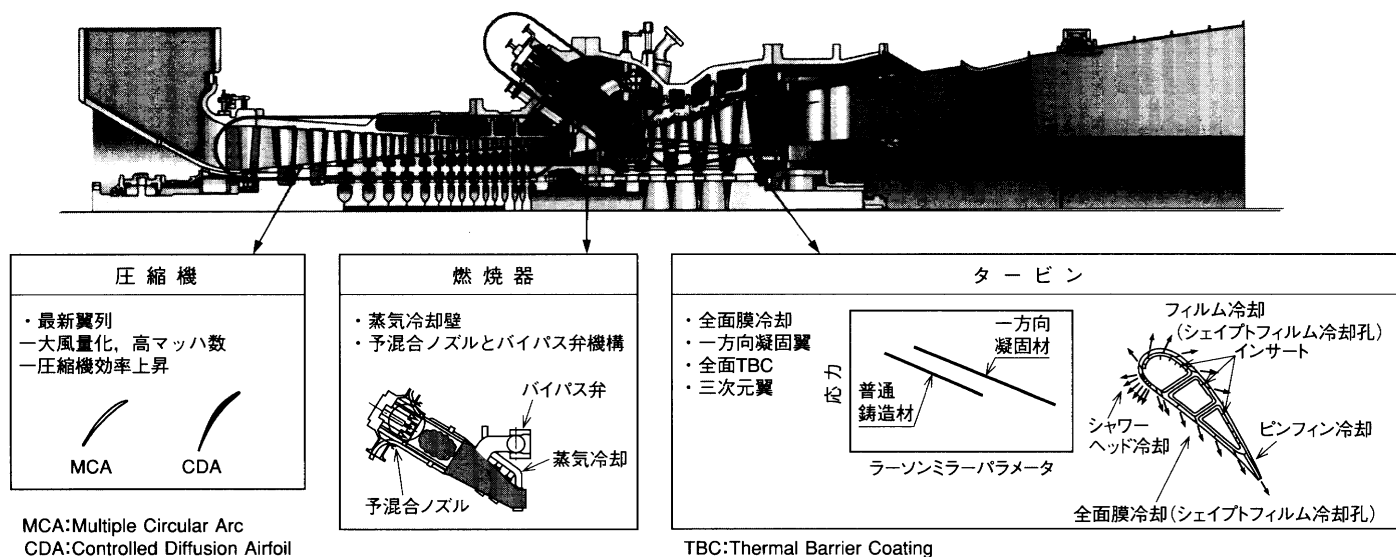


図1 M 701 G 形ガスタービンに適用された最新技術  
State-of-the-art technology applied to M 701 G gas turbine

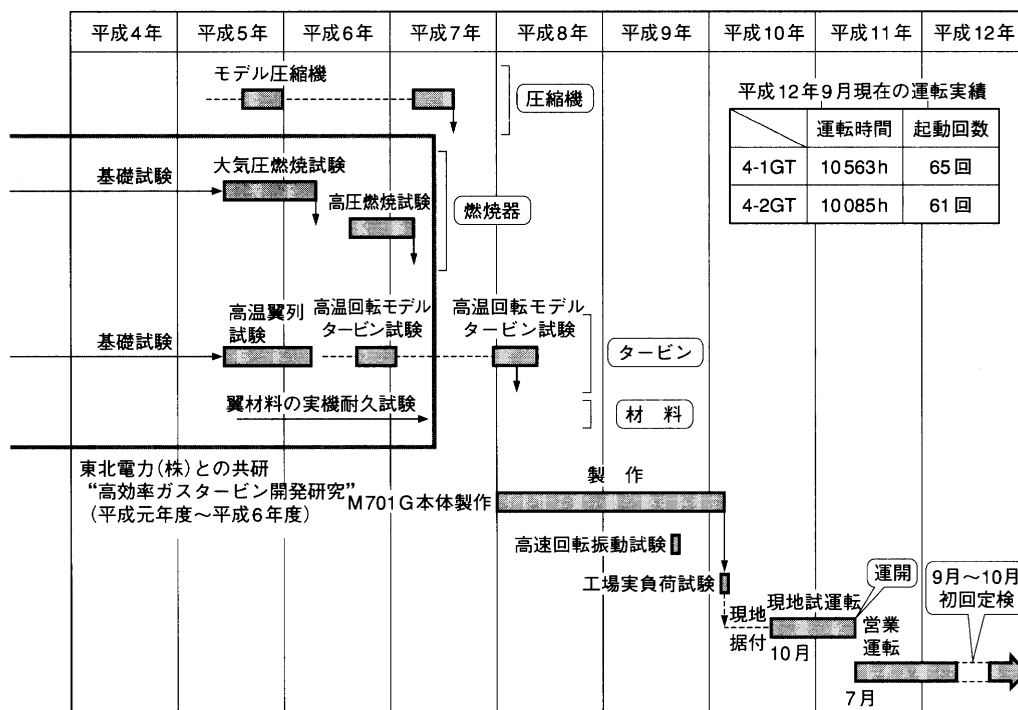


図2 M 701 G 形ガスタービン開発製作スケジュール  
Schedule of M 701 G gas turbine development and manufacturing

めるため、第1、2段動翼にはNi基超合金CM 247 LCを鋳造時に結晶の成長方向を制御し、遠心力の掛かる方向に結晶粒界を生じないように製造された一方凝固翼を適用した。従来の動翼材IN 738 LC普通鋳造翼に比べてクリープ強度はメタル温度換算で約50℃、応力換算で約60%優れている。

空力設計の面では、翼形を半径方向に曲線的に重ね合せた完全三次元翼を採用し、翼面近傍で発生する二次流れ損失の低減を図った。

冷却設計の面では、1450℃のタービン入口温度を達成するため、最新冷却技術(全面膜冷却、斜めタービュレータ、シェイプトフィルム冷却穴)、全面遮熱コーティング(TBC:

Thermal Barrier Coating)等を採用し、従来機並みにメタル温度を低く保つようにした。

これら最新の空力及び冷却設計を適用したタービン第1段動・静翼については、フィルム冷却特性等熱伝達に関する要素試験を経て、最終的に実機の3/5スケールモデルの翼を用いた高温回転モデル試験装置にて実機条件を実現し、その空力特性及び冷却性能を回転場でメタル温度及び圧力を計測することにより検証した。

### 2.3 燃焼器

燃焼器の基本的な設計思想は実績ある従来機の技術を踏襲しており、その信頼性を確保している。従来機と同様に中心

に配置したパイロットノズルの周囲に8個のメインノズルを配置し、パイロットノズルの形成する拡散火炎により予混合火炎を安定燃焼させる方式とした。また全負荷帯にわたる安定燃焼を実現するため、燃焼器に流入する空気の一部を燃焼領域の後流側へバイパスさせ、燃焼領域の燃空比をきめ細かく制御できる燃焼器バイパス弁機構も備える。

本予混合方式において従来機より燃焼器出口ガス温度を100°C高めながら、従来機並みの低NOxを達成するためには燃焼用空気を増加する必要があるが、冷却用の空気が不足する。このため冷却用空気を必要としない世界初の回収型蒸気冷却方式を採用した。燃焼器を冷却する蒸気はボイラで発生した蒸気を用い、冷却後の蒸気は蒸気サイクル側に回収され、コンバインドプラント総合熱効率の向上に貢献している。本冷却構造については、大気圧燃焼試験及び高圧燃焼試験にて、その性能及び信頼性を検証した。

3. 東新潟火力発電所第4-1号系列の構成

東北電力(株)東新潟火力発電所第4-1号系列は、事業用発電所では世界初のタービン入口ガス温度1450°C級ガスタービンを採用した排熱回収式大容量コンバインドサイクル発電プラントである。プラントの構成は、M701G形ガスタービン2台、排熱回収ボイラ2台、蒸気タービン1台の組合せを1つの系列とした多軸型で、系列出力は大気温度-1°Cにて805MWである。図3に発電所全景を、図4に蒸気冷却システム構成を、表1にガスタービン発電設備の諸元を示す。

4. 試運転結果と初回定検結果

現地試運転に先立ち、性能及び信頼性を確認するため、平成10年春に工場実負荷試験にて50%負荷までの運転を行い、表2に示す項目について特殊計測を実施し、起動特性、負荷変化特性等について詳細データを採取し、計画どおりの高効率・高信頼性を確認した。

平成10年10月から開始された現地試運転においても、工場実負荷試験に引続いて、主に高温部品のメタル温度について特殊計測を実施し、その高い信頼性を現地にも確認した。



図3 東北電力(株)東新潟火力発電所全景  
Higashi Niigata Thermal Power Station, Tohoku Electric Power Co., Inc. A panoramic view of plant

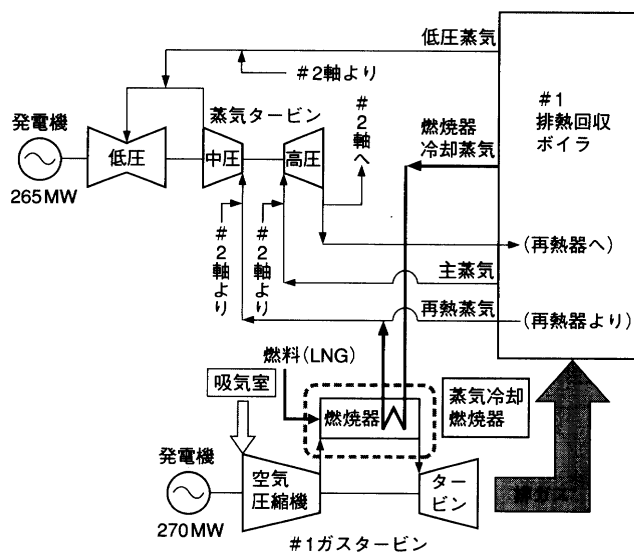


図4 蒸気冷却システム構成  
Steam cooling schematic diagram

表1 ガスタービン発電設備の諸元  
Specification of gas turbine power generation components

ガスタービン	数量	2台
	形式	開放単軸サイクル一軸形 (M701G)
	燃料出力	LNG 気化ガス 270MW (大気温度-1°C時)
発電機	入口温度	1450°C
	回転数	3000 rpm
	数量	3台 (蒸気タービン分を含む)
	形式	横軸円筒回転界磁形
容量	容量	332000 kVA
	電圧	23000 V
	力率	90% (遅れ)
	周波数	50 Hz
	回転数	3000 rpm

表2 M701Gガスタービン工場実負荷試験時特殊計測項目  
Special measurement items

	性能	メタル温度	圧力/振動	その他
計測項目	吸気流量	燃焼筒	圧縮機静翼	冷却空気流量
	吸気温度・圧力	タービン	燃焼筒	圧力・温度
	排気温度・圧力	第1段動翼	ロータ軸振動	スラスト力
	燃料流量	タービン	ロータねじり	排ガス性状
	発電機出力	第1, 2, 3段静翼	振動	ロータ・車室
	タービン要素性能	軸受		伸び差
		車室		チップ
		翼環		クリアランス
		排気ディフューザ		騒音
				潤滑油温度

また平成11年5月に実施されたプラント性能試験では、プラント熱効率50.6% (発電端, 高位発熱量基準) を達成し、計画を上回る高効率を確認した。

以下に主な試運転結果を示す。

蒸気冷却燃焼器、タービン1段動翼及び1, 2段静翼に熱

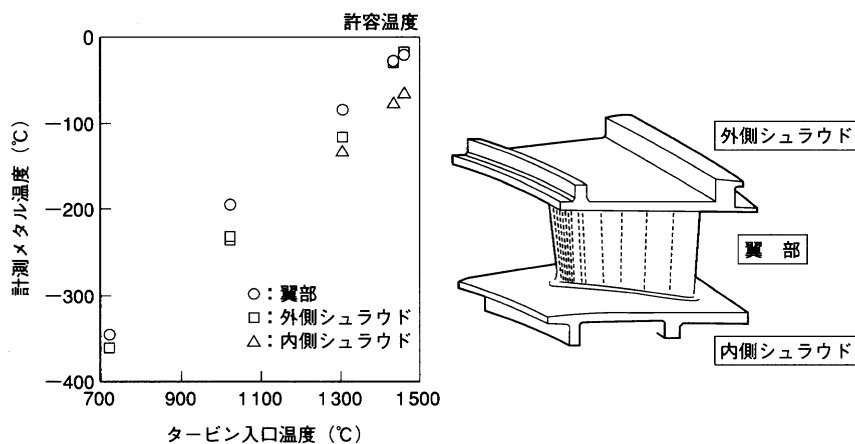


図6 タービン1段静翼メタル温度計測結果  
Measurement result of turbine 1st stage vane metal temperature

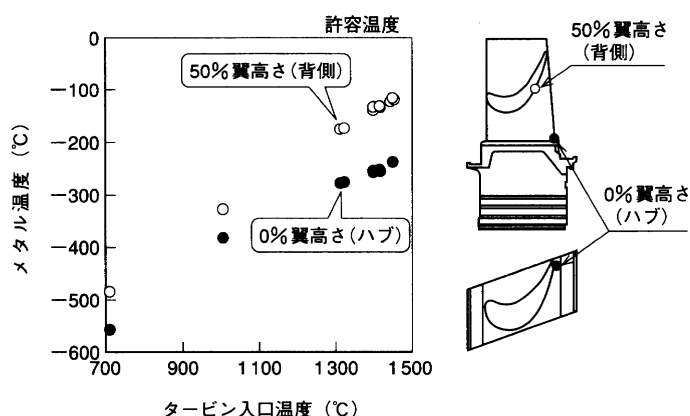


図5 タービン1段動翼メタル温度計測結果  
Measurement result of turbine 1st stage blade metal temperature

電対を張付け、メタル温度を計測した。タービン1段動翼及び静翼のメタル温度計測結果を図5、図6に示す。タービン動静翼及び燃焼器等高温部品の各部メタル温度は、いずれもタービン入口温度1450°Cの運転設計許容温度以下であることを確認した。

燃焼器については、NO<sub>x</sub>、CO、UHC及び燃焼振動と振動応力を計測し、その優れた予混合燃焼器の性能・信頼性を確認した。

ロータと車室との軸伸び差については、タービン軸端にて伸び差を実測した。またタービン第1段動翼について、翼先端すきま(チップクリアランス)を計測した。車室及び翼環のメタル温度も計測し、車室及び翼環の変形量を確認した。軸伸び差、翼先端すきま及び車室・翼環のメタル温度から求まる車室変形量等については、試運転時において長時間停止後の起動や全負荷運転からの停止後の再起動等を行い、様々な運転条件に対して問題のないことを実証した。

また軸振動についても、起動時及び定速運転中共に安定し

た軸振動特性を有していることを確認した。

スラスト軸受については、スラスト力、排油温度を全負荷まで計測することにより、信頼性を検証した。

さらにキャビティ温度を計測することにより、冷却空気系統が正常に作動し、タービン各部のキャビティに高温ガスの逆流がないことを確認した。

平成11年7月8日に運開した後も順調に安定運転を継続し、試運転期間を含め約10000hの運転実績となる平成12年9月には、初回定検が実施された。点検範囲は、圧縮機動・静翼、タービン動・静翼、燃焼器・燃料ノズル等ほとんどすべての主要部品に及んだ。圧縮機では、動静翼のクラック、軸受の当り等の不具合は認められず、良好であった。燃焼器では、スワラ支持筒、燃焼筒、燃焼筒サポート及びバイパス空気機構部等の焼損、変形、クラック等の不具合は認められず、良好であった。またタービン動・静翼は全数取外し、冷却空気穴を含め詳細点検したが、クラック、冷却穴の目づまり等は認められず、良好であった。

## 5. む す び

タービン入口温度1450°C級高温・高効率ガスタービンM701G形を設置した東北電力(株)東新潟火力発電所第4-1号系列は、平成10年10月から試運転を開始してプラント総合熱効率は50% (発電端、高位発熱量基準)以上を記録し、平成11年7月に運開した。工場実負荷試験及び試運転時に実施した特殊計測結果から、機械的信頼性及び性能面で十分満足できる成果が得られた。

また約10000h運転後に実施された初回定期検査での点検結果において、主要部品の非常に良好な状態が確認され、長時間使用に対する信頼性も実証しつつある。

今後M701G形ガスタービンは高効率コンバインド発電プラントの主機として、省エネルギー、CO<sub>2</sub>排出量削減の面から、社会に大きく貢献するものと期待される。