

# 最新鋭高効率コンバインドプラントの設計と試運転実績 —東北電力(株)東新潟火力発電所第4-1号系列の建設—

Design and Operation Experience of Latest Advanced Combined Cycle Plant  
—Construction of Unit No.4-1 Higashi Niigata Thermal Power Station  
of Tohoku Electric Power Co., Inc. —

原動機事業本部 塚 越 敬 三\*<sup>1</sup> 吉 田 斎 臣\*<sup>2</sup>  
高砂製作所 高 橋 進\*<sup>3</sup>  
長崎造船所 月 野 隆\*<sup>4</sup>  
技 術 本 部 川 田 裕\*<sup>5</sup>

近年、省エネルギーと地球環境保全の観点から、高効率火力発電プラントの建設が強く望まれており、中でも技術革新の目覚ましいコンバインドプラントに対しては、熱い期待が寄せられている。当社は昭和59年に東北電力(株)東新潟火力発電所第3号系列向けに、世界で初めての大容量高効率コンバインドプラントを納入しているが、この度、最新の1450°C級M701G形ガスタービンを採用した新たなコンバインドプラントを東新潟火力発電所第4号系列向けに納入した。平成11年7月に出力805MWの4-1号系列が運開され、高いプラント熱効率と信頼性をもって順調に運転が続けられている。

High thermal efficiency power plants are being installed world-wide to meet requirements for energy resource saving and global environmental conservation. Advanced combined-cycle power plants are attracting attention due to their high thermal efficiency. Mitsubishi Heavy Industries, Ltd., installed a large-capacity, high-efficiency 1090 MW combined-cycle power plant as Unit No.3 in the Higashi Niigata Thermal Power Station of Tohoku Electric Co., Inc. in 1984. We also installed an advanced combined-cycle power plant using M701G gas turbines as Unit No.4 at the same site. In July 1999, 805 MW Unit No.4-1 began commercial operation, combining excellent performance with high reliability.

## 1. ま え が き

現代社会の基盤である電力供給用発電プラントには、高い信頼性が要求されるとともに、資源エネルギーの有効活用及び優れた環境特性が必要とされている。

このようなニーズにこたえるため、東新潟火力発電所第4-1号系列として総合出力805MWのLNGだき最新型高効率コンバインドプラントが建設された。本プラントでは、十分実績のある技

術を基本とし、さらに図1に示す最新の技術を適用して完成された1450°C級の大容量・高効率M701G形ガスタービンが採用されている。

また、蒸気サイクルにも高温・高圧蒸気条件に対応した排熱回収ボイラ、蒸気タービンが採用されている。その結果、発電端プラント熱効率として世界最高水準の50%台(高位発熱量基準)が達成されており、さらに、M701G形ガスタービンに採用された蒸気冷却式低NOx燃焼器は優れた環境特性を示すことが確認され

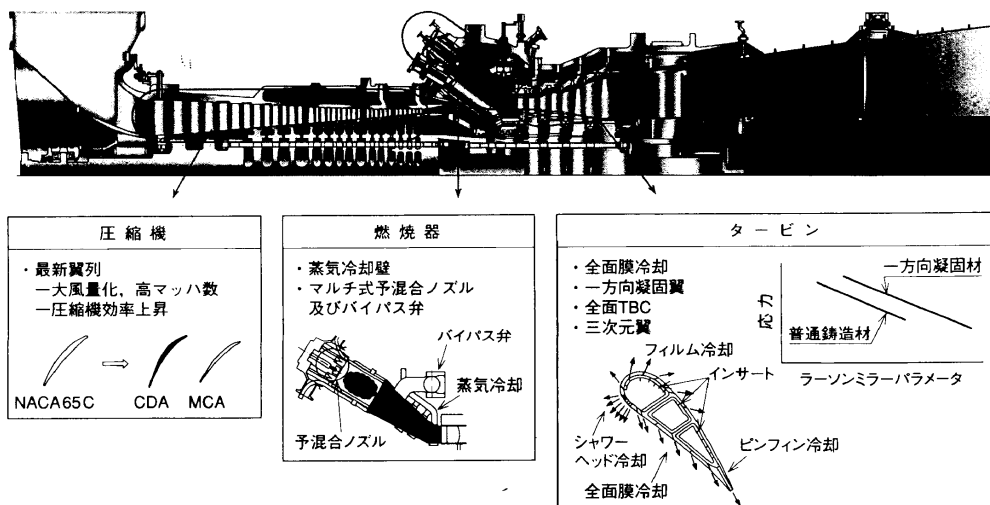


図1 M701G形ガスタービンに適用された最新技術<sup>(1)</sup> 事業用火力で世界初の1450°C級ガスタービンに適用された最新技術を示す。  
State-of-the-art technology applied to M701G gas turbine

\*1 原動機事業本部タービン技術部次長

\*2 原動機事業本部火力プロジェクト部プラント開発

\*3 プラント技術部プロジェクト主管

\*4 火力プラント設計部陸用ボイラ設計課主務

\*5 高砂研究所ターボ機械研究推進室主管 工博

た。

本報では、このコンバインドプラントの計画概要と運転実績について紹介する。

2. プラント計画概要

2.1 プラント概要

東新潟 4-1 号系列は、世界最高の燃焼器出口ガス温度 1450°C で作動する大容量・高効率ガスタービン (M 701 G 形) を中核とした排熱回収型コンバインドプラントである。本プラントは、ガスタービン 2 台及び蒸気タービン 1 台から構成され、それぞれが発電機を有する多軸型コンバインドプラントであり、全体で 805 MW の系列総合出力となっている。プラントの機器構成を図 2 に示す。平成 11 年 7 月、4 号系列の半量である 4-1 号系列が開機した。

2.2 主な特徴

(1) 高いプラント熱効率

1450°C 級 M 701 G 形ガスタービンの採用及びガスタービンの高温化に伴う高温・高圧蒸気条件化により、従来の 1350°C 級ガスタービンを採用したコンバインドプラントに比べ相対値で約 2% の熱効率向上が図られ、世界最高水準の 50% を超えるプラント熱効率が実測されている。

(2) 環境保全

燃焼器出口ガス温度を 1450°C に上昇させることに伴う NOx 発生量の増加を抑えるために、従来の予混合方式に加え、燃焼

器壁面冷却空気を不要にできる蒸気冷却方式を採用した低 NOx 燃焼器を採用した。燃焼器の構造を図 3 に示す。さらに、排ガスの全量脱硝の容量を持つ乾式脱硝装置を組込むことにより十分環境規制値を満足させている。

(3) 優れた運用特性

プラントの起動・停止及び出力制御は自動化されている。また、ガスタービン 1 台停止運転を可能とし低負荷時のプラント熱効率の向上が図られている。

(4) コンパクトな機器配置

単機容量の増加、堅型排熱回収ボイラの採用により、敷地の有効利用がなされている。

またガスタービンと蒸気タービンが別軸構造であることを利用して、据付レベルを見直すことで基礎及び建屋の最適化を実現した。

2.3 プラント定格性能と機器仕様

(1) プラント定格性能

東新潟 4-1 号系列は、認可出力 805 MW を満足するプラントとして設計された。大気温度 -1°C においてガスタービン出力が 270 MW × 2 台、蒸気タービン出力が 265 MW である。計画プラント熱効率は 50% (発電端、高位発熱量基準) である。

(2) 機器仕様

各機器については、コンバインドプラントの出力特性を踏まえ、かつ運転制御性を考慮して支障なく運転できる仕様となっている。主要機器の諸元を表 1 に示す。

表 1 主要機器の諸元

Specification of major components

|         |   | 数 | 量    | 式             | 2 台                           |          |
|---------|---|---|------|---------------|-------------------------------|----------|
| ガスタービン  | 形 |   |      |               | 開放単純サイクル軸形 (M 701 G)          |          |
|         | 燃 |   | 料    |               | LNG 気化ガス                      |          |
|         | 出 |   | 力    |               | 270 000 kW                    |          |
|         | 入 | 口 | 温    | 度             | 1 450°C                       |          |
|         | 回 | 転 | 数    |               | 3 000 rpm                     |          |
| 排熱回収ボイラ | 数 |   | 量    | 式             | 2 台                           |          |
|         | 形 |   |      |               | 排熱回収三重圧自然循環形                  |          |
|         | 蒸 | 発 | 量    | (高圧)          | 281 t/h                       |          |
|         |   |   |      | (中圧)          | 75 t/h                        |          |
|         |   |   |      | (低圧)          | 65 t/h                        |          |
|         | 出 | 口 | 圧    | 力             | (高圧)                          | 14.1 MPa |
|         |   |   |      | (中圧)          | 5.2 MPa                       |          |
|         |   |   |      | (低圧)          | 0.64 MPa                      |          |
| 出       | 口 | 温 | 度    | (高圧)          | 569°C                         |          |
|         |   |   |      | (中圧)          | 295°C                         |          |
|         |   |   |      | (低圧)          | 270°C                         |          |
| 蒸気タービン  | 数 |   | 量    | 式             | 1 台                           |          |
|         | 形 |   |      |               | くし形二流排気式再熱混圧復水形 (TC 2 F-40.5) |          |
|         | 出 |   | 力    |               | 265 000 kW                    |          |
|         |   |   |      | (大気温度 -1°C 時) |                               |          |
|         | 入 | 口 | 圧    | 力             | (高圧)                          | 13.7 MPa |
|         |   |   |      | (再熱)          | 4.1 MPa                       |          |
|         |   |   |      | (低圧)          | 0.49 MPa                      |          |
| 入       | 口 | 温 | 度    | (高圧)          | 566°C                         |          |
|         |   |   | (再熱) | 566°C         |                               |          |
|         |   |   | (低圧) | 267°C         |                               |          |
| 復       | 水 | 器 | 真    | 空             | 4.27 kPa                      |          |
| 回       | 転 | 数 |      |               | 3 000 rpm                     |          |
| 発       | 数 |   | 量    | 式             | 3 台                           |          |
|         | 形 |   |      |               | 横軸円筒回転界磁形                     |          |
|         | 容 |   | 量    |               | 332 000 kVA                   |          |
|         | 電 |   | 圧    |               | 23 000 V                      |          |
|         | 力 |   | 率    |               | 90% (遅れ)                      |          |
| 周       |   | 波 | 数    |               | 50 Hz                         |          |
| 回       |   | 転 | 数    |               | 3 000 rpm                     |          |

3. 主要機器の特徴

3.1 ガスタービン

M 701 G ガスタービンは、十分な運転実績と高い信頼性を持つ M 501 F/701 F ガスタービンの基本構造をそのまま踏襲するとともに、様々な要素研究で培った最新技術を適用して開発設計を行ったものである。製作スケジュールを図 4 に示す。

また、燃焼器、タービン 1、2 段動静翼等の高温部品については、先行して運転中の 60 Hz 機 M 501 G 形ガスタービンと基本寸法を共用化した。

これにより、これら高温部品については、先行して運開した M 501 G 形ガスタービンの信頼性検証結果がそのまま M 701 G ガスタービンに引継がれ、信頼性も共用できるメリットがある。このよう

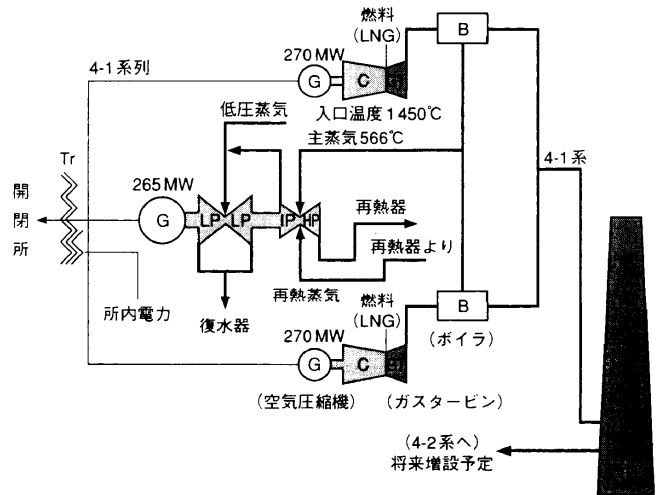


図 2 プラント構成<sup>(2)</sup>  
Plant schematic diagram

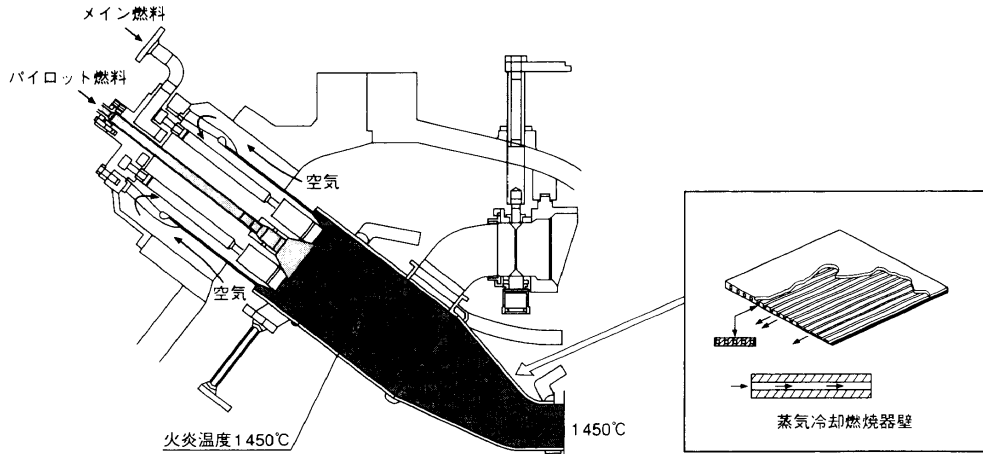


図3 蒸気冷却式低NOx燃焼器構造 燃焼器出口温度1450°Cで低NOxを達成するため回収型蒸気冷却方式を採用した新型燃焼器を示す。  
Structure of steam cooled combustor

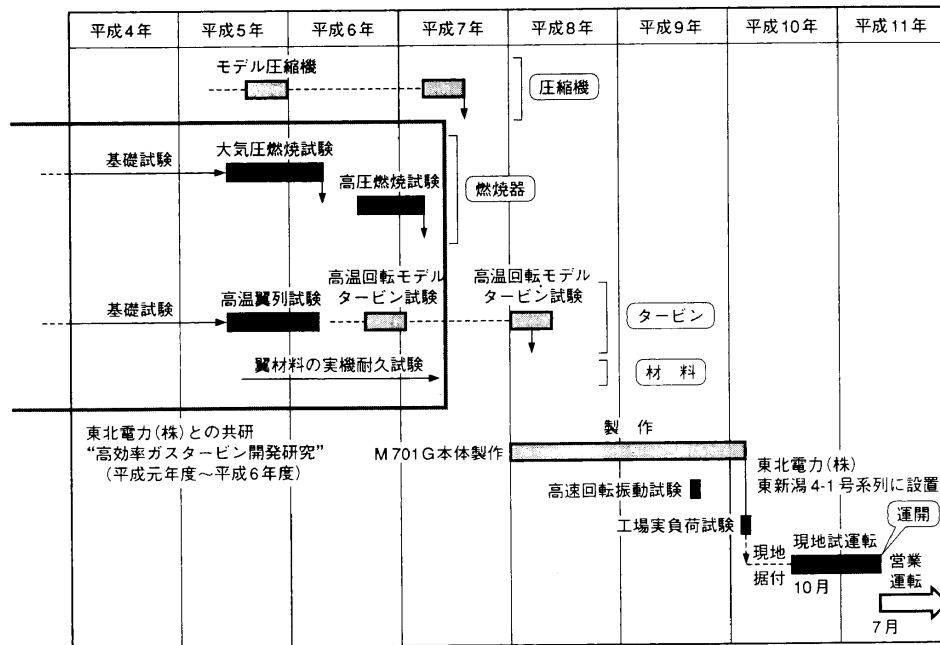


図4 M701G形ガスタービン開発製作スケジュール M701G形ガスタービンは、各種の要素試験の結果を十分に反映して開発設計された信頼性の高い高性能・高温ガスタービンである。  
Schedule of M701G gas turbine development and manufacturing

に高温部品を50Hz機と60Hz機で共用するという設計思想は、F形ガスタービンでも同様である。

3.2 蒸気タービン

本プラントでは、M701G高温ガスタービンの排ガス条件に合った蒸気条件として、主蒸気及び再熱蒸気温度に566°Cの高温蒸気条件を選定し、コンバインドプラント性能の向上を図った。

蒸気タービンには、排熱回収ボイラの発生蒸気流量に適した、実績のある2車室タービンを採用している。

また、最新の三次元流動解析により設計された高効率反動翼、並びに40.5インチISB(Integral Shroud Blade)最終翼群などを採用することにより高効率化を図っている。

3.3 排熱回収ボイラ

排熱回収ボイラは、多軸・再熱三重圧システムの採用、高温ガスタービン採用による排ガス温度の上昇により国内初の566°C/566°C(蒸気タービン入口)の高温蒸気条件の採用、また高圧蒸気圧力

の高圧化(高圧タービン入口13.7MPa)により、蒸気サイクルの高効率化を図っている。

特に、本プラントでは中圧発生蒸気をガスタービン燃焼器冷却蒸気として使用するため、冷却に必要な量の中圧蒸気を確保することが重要な設計考慮点となっている。

また、同時にプラントの経済性も考慮し各部伝熱面積を決定している。

排熱回収ボイラはコンパクト・検査箇所数の低減などの利点を有する堅型自然循環形を採用している。

本型式の採用に当っては、高圧条件化での循環特性の可視化試験など、十分な検証を行っている。

排熱回収ボイラは左右に分割した大型2モジュールにて輸送<sup>(3)</sup>し、現地にて一体化・据付けを行い、品質管理の向上・現地据付工程の短縮を図っている。

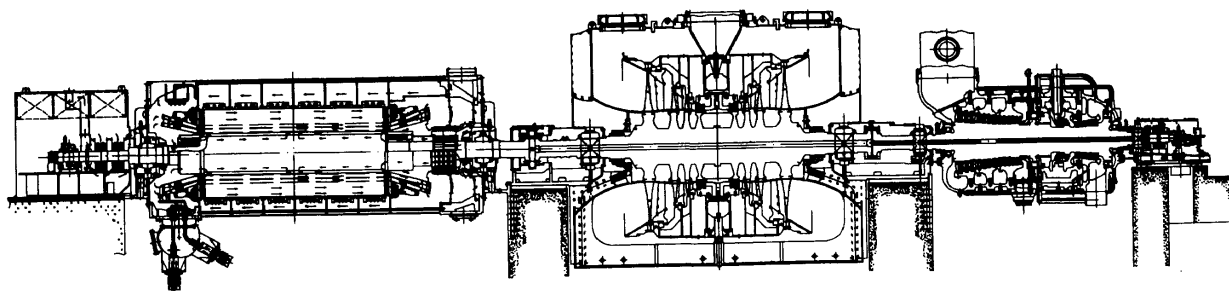


図5 蒸気タービン軸構成  
Longitudinal sectional drawing of steam turbine

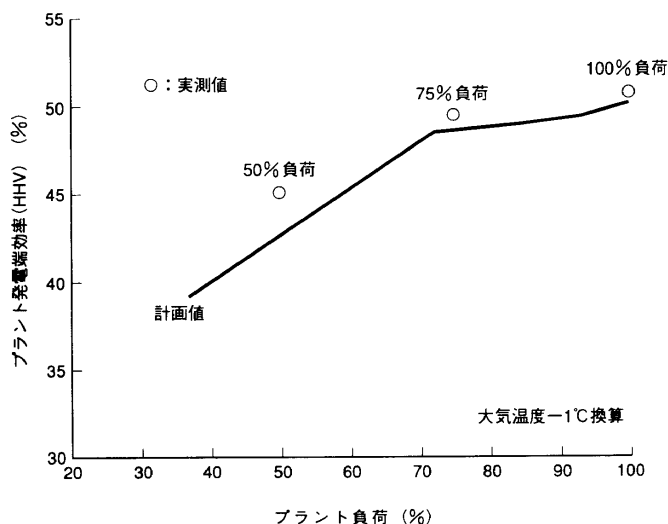


図6 プラント効率特性 (実測) 部分負荷においても高いプラント効率が実測されている。  
Thermal efficiency characteristic (Measured data)

#### 4. 試運転実績

東新潟火力発電所4号系列の半量に当たる4-1号系列の試運転過程で、プラント性能、環境特性及び運用特性が確認され、いずれも計画値を満足する良好な結果が得られている。

##### 4.1 プラント性能

系列定格出力は、大気温度 $-1^{\circ}\text{C}$ において確保できることが確認され、プラント熱効率は計画値を超える50%台が確認された。部分負荷におけるプラント熱効率も図6に示すように高い数値が得られている。

##### 4.2 環境特性

蒸気冷却式低NOx燃焼器と乾式脱硝装置によるNOx制御技術が、低NOxにおける安定運転を実現した。煙突から排出されるNOx濃度は、保証値である9.5ppm ( $\text{O}_2=16\%$ 換算)を下回る結果が得られた。

##### 4.3 運用特性

試運転期間中に、プラント運用特性に関する多くの試験が実施された。プラント自動起動停止機能試験、プラント自動出力制御機能試験、補機停止ランバック機能試験、負荷追従性試験等が実施され、計画どおりに運用できることが検証された。

##### 4.4 ガスタービン

現地試運転に先立ち、その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を実施した。本試験では表2に示す項

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

| 計測項目 | 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      | ロータねじり振動 | 排ガス性状  |
|      | 発電機出力    | 第1,2,3段静翼 |          | 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  |

目について特殊計測を実施し、計画どおりの高効率・高信頼性を有していることを確認した。

その後、東新潟火力発電所4-1号系列に設置され、平成10年10月から平成11年7月の運開までの間に実施した試運転の中で、工場実負荷試験に引続いて主に高温部品メタル温度について特殊計測を実施し、現地においてもその高い信頼性を確認した。

#### 5. むすび

東北電力(株)東新潟火力発電所4-1号系列は最新の技術を導入したコンバインドプラントとして建設され、期待どおりの成果が発揮されている。技術革新によるプラントの高性能化及び環境対応には注目すべきものがあり、取分け、ガスタービンの技術開発には目を見張るものがある。また、蒸気サイクルを含むプラントシステムについても新たな検討が進められており、引続き時代の要求にあったプラントが開発されている。

本プラントで得られた貴重な成果は、今後の大容量・高効率プラント計画に大いに役立つものと考えられる。また、この東新潟4-1号系列が、信頼性のある安定電力確保に大いに寄与することを期待する。

#### 参考文献

- (1) 岩崎洋一, 東新潟4号系列1450°C級M701G形ガスタービン複合発電設備の運転実績, 平成11年度火力原子力発電大会要旨集
- (2) 遠藤幸雄, 東北電力(株)東新潟火力発電所4-1号系列の建設・試運転, 平成11年度火力原子力発電大会要旨集
- (3) Takahashi, S. et al., Construction of Higashi-Niigata Thermal Power Station Unit No.4(OS-301), Proceedings of the International Gas Turbine Congress 1999 Kobe