

# 1,300°C 級コンバインドサイクル発電プラントの建設と運転

1,300°C-Class Combined-Cycle Power Plants

若林 正昭  
WAKABAYASHI Masaaki

小林 伸芳  
KOBAYASHI Nobuyoshi

近年ガスタービンの高温化技術の進歩は著しく、主流はガスタービン入口温度が 1,300°C 級となっている。このたび、当社が主契約社でプラントの計画と建設を取りまとめた総出力 1,458 MW の中部電力(株)新名古屋 7 号系列が 1998 年 12 月に総合運転を開始した。また東京電力(株)品川 1 号系列 1,140 MW プラントが建設段階にある。これら最新鋭の 1,300°C 級ガスタービンを使用したコンバインドサイクル発電プラントは高効率であり、またシステム構成が簡素化され運転・保守性も優れている。

There has been a significant increase in gas turbine inlet temperatures in recent years, and gas turbines with an inlet temperature in the 1,300°C class are currently the mainstream.

Toshiba successfully constructed the Shin-Nagoya Power Plant Group 7(1,458 MW; Chubu Electric Power Co., Inc.), which came into commercial operation on December 18, 1998. Moreover, the Shinagawa Power Plant Group 1(1,140 MW; The Tokyo Electric Power Co., Inc.) is currently under construction.

This paper introduces the features of 1,300°C-class combined-cycle power plants, and their operational results.

## 1 まえがき

近年ガスタービンの高温化技術の進歩は著しく、ガスタービンの入口燃焼温度は従来の 1,100°C 級から 1,300°C 級が主流になっており、ガスタービンと蒸気タービンを組み合わせたコンバインドサイクル発電所の建設も高効率をねらいとして 1,300°C 級が多数を占めている。

わが国の火力発電を取り巻く環境として、特に液化天然ガスの有効利用を図るうえで、最新鋭の高温ガスタービンを利用した高効率コンバインドサイクル発電所の開発と建設が重要な位置を占めるに至っている。

また、今日的課題となっている地球温暖化対策として二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)排出量の抑制などの面でも高効率コンバインドサイクル発電プラントが注目されている。

ここでは、現在建設の主流となっている 1,300°C 級のガスタービンを利用したコンバインドサイクル発電プラントの計画および建設の実例と運転状況について述べる。

## 2 プラント計画の紹介

1,300°C 級ガスタービンでは、排ガスの温度は約 600~650°C 程度ときわめて高温状態にあり、現在計画されているコンバインドサイクル発電システムは排熱回収サイクルが主流となっている。この排熱回収サイクルでは、ガスタービン出口に燃焼機能をもたない排熱回収ボイラを設置し、ガスタービン排ガスの熱を回収して高温・高圧の蒸気を発生させ蒸気タービンを駆動するシステムが採用されて

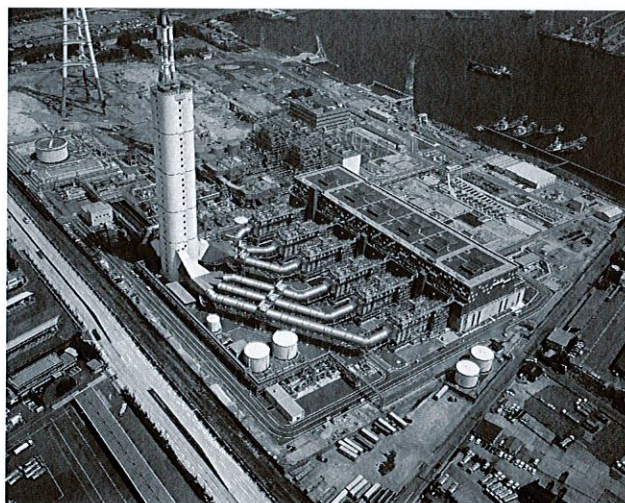


図1. 新名古屋 7 号系列の全景(航空写真) 発電設備の建屋と 6 基の排熱回収ボイラおよび煙突から構成される。

Shin-Nagoya Group 7 combined-cycle power plant

いる。

98 年 12 月に総合運転を開始した中部電力(株)新名古屋 7 号系列の全景を図 1 に、1,300°C コンバインドサイクル発電プラントの計画例を表 1 に示す。以下に新名古屋 7 号系列と品川 1 号系列の建設計画から 1,300°C 級コンバインドサイクル発電所の特長を述べる。

### 2.1 新名古屋 7 号系列発電システム

2.1.1 システムの構成概要 図 2 は新名古屋 7 号系列の発電システムの概要を示している。ガスタービンの排ガスは、排熱回収ボイラに導入されて高温高圧蒸気を発生

表1. 1,300℃ 級コンバインドサイクルの計画例  
Introduction of 1,300℃-class combined-cycle power plants

項目	中部電力(株) 新名古屋7号系列	東京電力(株) 品川1号系列
熱サイクル	排熱回収型	排熱回収型
ガスタービン	7FA型	9FA+型
出力構成	243 MW×6 軸	380 MW×3 軸
総合出力(MW)	1,458	1,140
総合運転開始年月	98年12月	2002年11月(予定)

させ、蒸気タービンの駆動源にすることでガス-蒸気コンバインドサイクル発電が形成される。

サイクルの特長は、給水ポンプを排熱回収ボイラの上流に設置し、扱う流体を常温にしたことと、低圧、中圧のドラムへの給水をポンプの中段から取り出すことで、ポンプ1台で排熱回収ボイラの高圧、中圧、低圧へ給水するシステムとしている点である。そのため、従来はそれぞれの給水ポンプを設置していたものが、給水ポンプが1台になったことで発電設備の建屋内に設置することが可能となり、従来設置されていた給水ポンプ室を削除している。

図3はパワートレインと称する一軸型の発電設備(主機)を示しており、158 MW のガスタービンの空気圧縮機側と85 MW の蒸気タービンの低温側を接続し、さらに蒸気タービンの高温側に発電機が直列(1軸)に結合されている。特長は、システム構成が簡素で運転性に優れ、電力系統側の負荷調整要求に対する運用への柔軟性に優れる点である。また、定期点検などに対する保守性も優れている。

一軸型のユニット起動方法は、ガスタービンの燃焼器に燃料を投入し着火することから始まるが、パワートレイン軸全体の質量が重いので、起動当初はガスタービンの駆動力だけでは回転上昇ができないので、起動当初の回転上昇を補助する動力が必要となる。そのために新名古屋7号系列ではパワートレインの発電機側に起動装置として、起動モータとトルクコンバータが設置されている。

### 2.1.2 設備の計画仕様

- (1) ガスタービンおよび燃焼器 1,300℃ 級ガスタービンには60 Hz用として7FA型と50 Hz用の9FA型がシリーズで準備されており、これらは姉妹機である。いずれもガスタービンの入口温度が約1,300℃であり、3段落で構成されている。超高温部の1,2段階

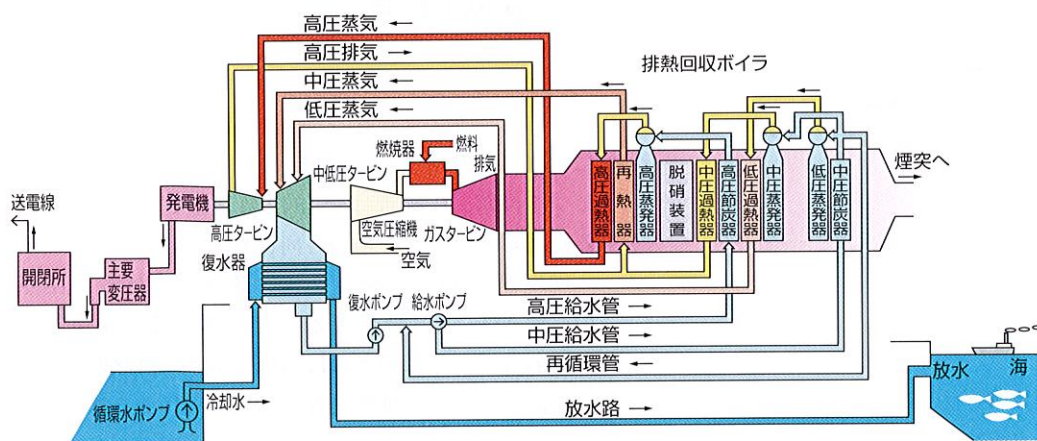


図2. 新名古屋7号系列のシステム構成 1,300℃ 級コンバインドサイクル発電所の代表的なシステム構成例を示す。

Combined-cycle system of Shin-Nagoya Power Plant Group 7

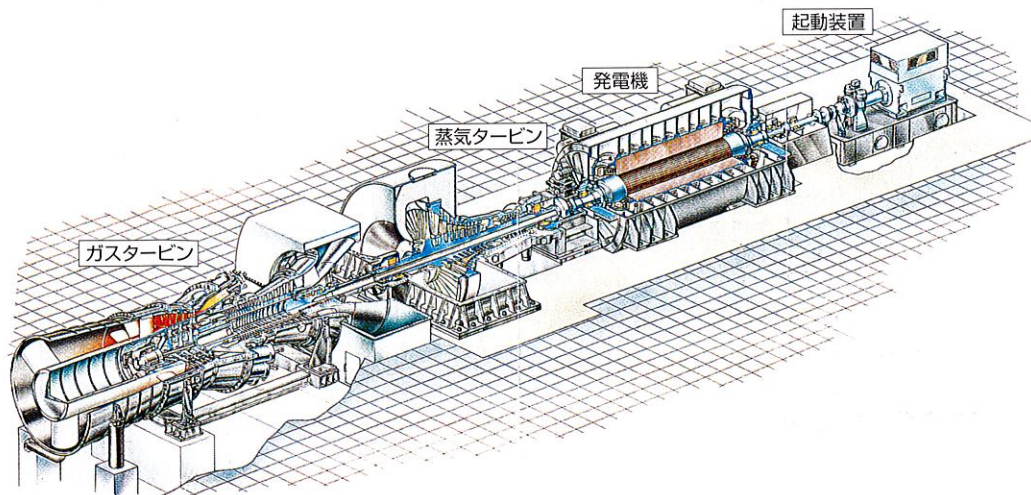


図3. 新名古屋7号系列パワートレイン 1,300℃ 級の一軸型で起動装置付きの代表的なパワートレインを示す。

1,300℃-class combined-cycle power train

・静翼は圧縮機側から抽出した空気で冷却され、運転中保護されている。圧縮機は全18段軸流翼で構成され、入口側は可動静翼(IGV)構造となっている。

燃焼器は窒素氧化物(NOx)の発生を極力低減するために開発された当社製“低NOx予混合燃焼器”を適用し、従来(拡散式燃焼器)の1/10程度までにNOxの発生が抑えられている。さらに排熱回収ボイラに設置している排煙処理(脱硝)装置により煙突出口NOxで5ppm以下を達成している。

予混合燃焼とは、燃焼室に入る前に燃料と空気をあらかじめ混合しておき、燃料室では希薄な燃料を燃焼させることにより燃焼温度を下げてNOxの発生を低く抑える燃焼方法である。図4に新名古屋7号系列用に採用した当社製“低NOx予混合燃焼器”の断面を示す。特長として、メインノズルとパイロットノズル双方に予混合燃焼を取り入れ、燃焼の安定のため空気と燃料を別々に供給する拡散燃料を若干取り入れながら、発生NOxを大幅に低減している点である。

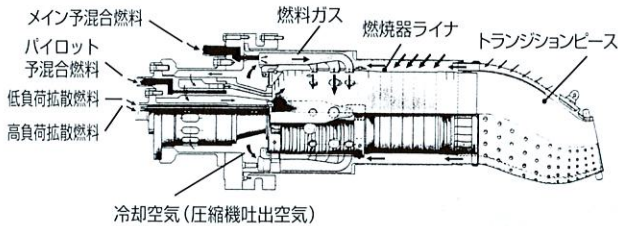


図4. 東芝型低NOx予混合燃焼器 燃焼温度を下げて発生NOxを低減している。

Toshiba dry-low NOx combustor

- (2) 蒸気タービン 主蒸気の圧力が約100気圧、温度が535℃と高温・高圧にもかかわらず高圧・中圧・低圧の各タービンを1軸のロータで構成した点が大きな特長である。最終段翼に40インチチタン翼を採用した単流、單車室のコンパクトな設計になっている。それによりパワートレイン全体の長さが短くなり発電設備建屋のコンパクト化につなげている。
- (3) 発電機 270MVAの横置2極三相同期発電機が採用されており、固定子および回転子とも水素冷却を採用し、励磁方式は静止型サイリスタ直接励磁方式を採用した。
- (4) 排熱回収ボイラ ガスタービンの排ガスの熱量を効率よく回収するため三重圧式自然循環型の横置式排熱回収ボイラとしている。また伝熱管には、伝熱性能を向上させるためフィン部に切込みの入ったセレイテッドフィンチューブを採用、併せてシンプルかつコ

ンパクトな設計とし、全体を3モジュールに分割して工場で作成した。そして3モジュールを一括船舶輸送して現地工事を極力削減した。

排熱回収ボイラ内部には乾式アンモニア接触還元法による排煙処理(脱硝)装置を設置している。

- (5) プラント制御装置 運転操作は最新の総合デジタル制御システムで全自動化が図られている。中央制御室はサービスビル内に設けられており、機能性、居住性を考慮したトータルデザインが施されている。

## 2.2 品川1号系列発電システム

2.2.1 システムの構成概要 発電システム構成は基本的には新名古屋7号系列と同様である。

パワートレインの構成は一軸型で、基本的には新名古屋7号系列と同様であるが、パワートレインの起動方式が異なり、起動当初のパワートレイン回転上昇のためにサイリスタ起動装置により、発電機をモータとして使用して徐々に回転上昇させる方式を採っており、新名古屋7号系列のような起動装置は設けていない。

燃料は都市ガス13Aを使用し、ガス圧力を燃焼器の要求する圧力まで上昇させるためのガス圧縮機を設置している。

### 2.2.2 設備の計画仕様

- (1) ガスタービンおよび燃焼器 品川1号系列のガスタービンは9FAのアドバンス型の9FA+型を採用している。ガスタービンの入口温度を9FAよりさらに上げて出力増加と効率向上を図っている。ガスタービン3段落、圧縮機は全18段軸流翼で構成されている点は新名古屋7号系列と同様である。

燃焼器はNOxの発生を極力低減するため、GE製の“低NOx予混合燃焼器”を採用する。発生NOxは新名古屋7号系列とほぼ同様であり、排熱回収ボイラに設置している排煙処理(脱硝)装置により煙突出口で5ppm以下に抑えている。

- (2) 蒸気タービン 高・中・低圧の各タービンを1軸のロータで構成した点は新名古屋7号系列と同様である。最終段翼は42インチ翼(12Cr鋼)を採用、単流、單車室のコンパクトな設計で新名古屋7号系列と同様に発電設備建屋のコンパクト化につなげている。
- (3) 発電機 439MVAの横置2極三相同期発電機で、励磁方式は新名古屋7号系列と同様サイリスタ直接励磁方式を採用している。冷却方式は、固定子は新名古屋7号系列に比べて容量が大きいため冷却能力の高い水冷却を採用している(回転子は水素冷却)。また、パワートレイン起動時にモータとしてパワートレインの回転上昇を行うサイリスタ起動用発電機を採用している。
- (4) 排熱回収ボイラ 新名古屋7号系列と同様に三重

圧式自然循環型の横置式で、伝熱管も同様セレイテッドフィンチューブを採用しているが、新名古屋7号系列よりもさらに進めたシンプルかつコンパクトな設計とし、排熱回収ボイラは一体で船舶輸送して現地工事をさらに削減する計画としている。

排熱回収ボイラ内部に乾式アンモニア接触還元法による排煙処理(脱硝)装置を設置しているのも同様である。

(5) プラント制御装置 運転操作は最新の総合デジタル制御システムにより全自動化が図られている。中央制御室はサービスビル内に設けられており、機能性、居住性を考慮したトータルデザインが施されている。中央監視、操作は100インチ高精細ディスプレイと系列制御盤画像表示装置(CRT)を主体としたCRTオペレーションシステムを採用している。

新名古屋7号系列と品川1号系列の1軸当たりの構成比較を表2に示す。

表2. 1,300℃級コンバインドサイクルプラントの1軸当たりの構成比較  
Specifications of 1,300℃-class combined-cycle power plants

項目	新名古屋7号系列	品川1号系列	
ガスタービン出力(MW)	158	247	
蒸気タービン出力(MW)	85	133	
発電機出力(合計)(MW)	243	380	
発電効率(HHV)(%)	48.6	50	
排熱回収ボイラ	圧力		
	高圧(MPa)	10.28	10.84
	中圧:再熱(MPa)	2.09	2.65
温度	低圧(MPa)	0.39	0.43
	高圧(℃)	535	534
	中圧:再熱(℃)	532	533
蒸気量	低圧(℃)	258	265
	高圧(t/h)	179	310
	中圧:再熱(t/h)	201	340
低圧(t/h)	26	47	
排ガス流量(t/h)	1,547	2,348	

### 3 運転実績

新名古屋7号系列は98年の3月に1号機の試運転を開始して以来1か月に1台のピッチで試運転投入を実施し、プラントの起動・停止特性、負荷遮断特性および負荷スイング試験など所定の特性確認試験を実施してきた。ここでは主な内容について述べる。

#### 3.1 プラントの運転特性

プラントは毎日の起動・停止、すなわちDSS(Daily Start & Stop)運用を基本として計画されているが、計画どおり起動開始から全負荷まで約60分で到達することが確認された。図5はDSS運用の代表的起動モードを示している。

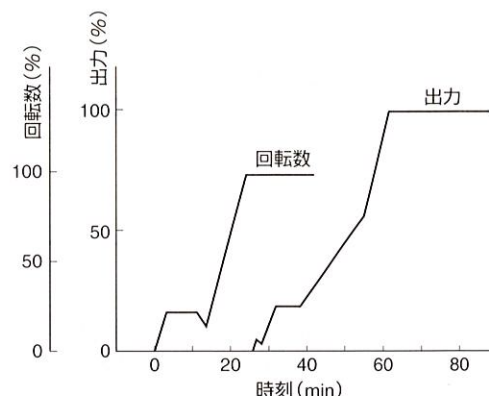


図5. 代表的DSS起動実績 起動開始から全負荷まで約60分で到達することが確認された。

Typical DSS startup results

#### 3.2 負荷遮断特性

ガスタービンは圧縮機を設備しているため、パワートレインとして蒸気タービンと発電機が結合されているにもかかわらず、全負荷遮断時におけるオーバースピードは103%程度に抑えられている。

#### 3.3 プラント性能および出力特性

周囲温度5℃ベースにおいて48.6%(高位発熱量:HHV)で計画されているが、各軸(号)とも計画値を大幅に上回る良好なプラント熱効率を達成している。

また、ガスタービンは周囲温度によって出力特性が変化するが、各軸(号)とも周囲温度約13℃以下において定格出力243MW(1軸当たり)が達成できることを確認した。

## 4 あとがき

98年12月に総合運転を開始した新名古屋7号系列と現在建設中の品川1号系列を例に採り、最新鋭の1,300℃級コンバインドサイクル発電プラントの建設と運転状況を述べた。現在、すでに1,500℃級の計画が進んでいるが、これまでに培ってきたコンバインドサイクル発電プラントの技術、経験をさらに次のプラントへと引き継ぎ、今後のコンバインドサイクル発電プラントの発展に貢献していく所存である。



若林 正昭 WAKABAYASHI Masaaki

電力システム社 火力事業部 火力プラント技術部参事。  
火力発電プラントの新規計画とプラント建設フォローに従事。  
火力原子力協会会員。

Thermal Power Systems Div.



小林 伸芳 KOBAYASHI Nobuyoshi

電力システム社 火力事業部 火力プラント技術部参事。  
火力発電プラントのプラント建設フォローに従事。  
火力原子力協会会員。

Thermal Power Systems Div.