

## 世界最高の発電効率63.08%を実現した 中部電力(株)西名古屋火力発電所7号系列の 総合運転開始

Commencement of Commercial Operation of Nishi-Nagoya Thermal Power Station Group No. 7 of Chubu Electric Power Co., Inc.

立石 学 TATEISHI Manabu 木村 賢一 KIMURA Kenichi 渡邊 聡十郎 WATANABE Sojuro

中部電力(株)西名古屋火力発電所7号系列が、2018年3月に総合運転を開始した。この発電所は、3台のガスタービン及びHRSG(排熱回収ボイラー)に対して、1台の蒸気タービンを組み合わせた多軸式コンバインドサイクル発電方式を採用した発電設備を持つ、7-1号及び7-2号(1,188.2 MW×2ブロック)から成る。

東芝エネルギーシステムズ(株)は、GE社(ゼネラル・エレクトリック社)製ガスタービンと当社製蒸気タービン発電機とを組み合わせ、発電システム全体の最適化を実現した。その結果、7-1号での発電効率は63.08%(低位発熱量基準<sup>(注1)</sup>)を達成し、世界最高効率のコンバインドサイクル発電設備として認定された<sup>(1)</sup>。

In March 2018, the Nishi-Nagoya Thermal Power Station Group No. 7 of Chubu Electric Power Co., Inc. commenced full commercial operation with the start of operation of Unit 7-2. Group No. 7 is composed of Units 7-1 and 7-2. Each of these units is a multishaft combined-cycle power generation system with a rated power output of 1 188.2 MW consisting of three gas turbines manufactured by General Electric Company, and three heat recovery steam generators (HRSGs) and a steam turbine manufactured by Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation.

In this project, Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation devoted its efforts to realizing the optimal overall plant system design. As a result, Unit 7-1 achieved the world's highest gross efficiency of 63.08% (in terms of lower heat value).

### 1. まえがき

中部電力(株)西名古屋火力発電所7号系列が、2018年3月に総合運転を開始した。

東芝エネルギーシステムズ(株)の最新鋭技術で定格出力1,188.2 MW×2ブロック、発電効率63.08%を達成し、世界最高効率のコンバインドサイクル発電所として認定された。

ここでは、この発電所に採用した、高効率コンバインドサイクル発電システムの最新技術の概要について述べる。

### 2. 西名古屋火力発電所7号系列発電設備

中部電力(株)西名古屋火力発電所は、石油を燃料とする合計1,190 MWの汽力発電設備として1970年代に建設されて以降、長年にわたって名古屋市及び周辺地域における電力の安定供給に大きな役割を果たしてきた。

当社は、旧設備の撤去後、新たに建設される液化天然ガスを燃料とした最新鋭の1,600℃級コンバインドサイクル発電設備一式を、2012年6月に中部電力(株)から受注した。



図1. 中部電力(株)西名古屋火力発電所7号系列

3台のガスタービンとHRSGに対して1台の蒸気タービンを組み合わせた、多軸式コンバインドサイクル発電方式を採用している。

Nishi-Nagoya Thermal Power Station Group No. 7 of Chubu Electric Power Co., Inc.

最新鋭の多軸型コンバインドサイクル発電設備であり、定格出力1,188.2 MW×2ブロックの発電所として、2018年3月から営業運転を開始した。

#### 2.1 発電所の仕様

ベースロード運転時の高効率化を図るため、ガスタービン及びHRSGそれぞれ3台と蒸気タービン1台から成る3 on 1

(注1) 燃料を燃焼させたときに発生する水蒸気の蒸発熱を、発熱量に含まない計算方法。

の多軸型を採用し、高効率、高出力及び窒素酸化物 (NO<sub>x</sub>) の低排出を特長とする最新鋭のコンバインドサイクル発電所である(図1)。高性能だけでなく高信頼性も確保している。また、ガスタービンには吸気冷却装置を具備することで夏場の出力低下を抑制し、電力の安定供給を確保する施策も採用している。

多軸型コンバインドサイクルに特有な、ガスタービン台数の切り替えは、中央給電指令所からの要求に速やかに対応できるように、運転軸の負荷下げを行うことなく対応することで運用性の向上を図っている。

## 2.2 配置計画

景観とシステムの最適化を考慮し、3 on 1の多軸型を1ブロックとして、発電所には、この2ブロック分をミラー配置した。ミラー配置により、6台のガスタービンを横一列に並べることで、2台の天井クレーンを共用可能とし、定期点検時の作業性向上を実現している。

## 3. 西名古屋火力発電所7号系列への採用技術

### 3.1 7HAシリーズガスタービン<sup>(2)</sup>

GE社が開発した9HA(50 Hz機)、及びその相似設計である7HA(60 Hz機)シリーズガスタービン(図2)は、2013年当時の最新F型機に採用された7F.05型圧縮機を基に設計され、そのほかの全てのコンポーネントは納入機で実証された既存技術を踏襲して進化させたもので、高い信頼性を実現した製品であった。

最新の高効率HA型ガスタービンの性能向上には、圧力比が約20:1である先進の3次元空力設計翼を採用した14段高効率圧縮機が寄与している。また、保守性の向上では、航空機エンジンと同様に、全段とも現地交換が可能な動翼翼根構造を採用している。更に、7HAシリーズの燃焼器は、



図2. 7HAシリーズガスタービン

14段の高効率圧縮機と4段構成のタービンによる、高効率・大容量のガスタービンである。

7HA gas turbine

既存のDLN2.6+を基に、燃焼器ライナー部にAFS(Axial Fuel Staging)燃料回路を採用することで、通常運用出力帯でのNO<sub>x</sub>排出量を低減している。また、低NO<sub>x</sub>運転が可能な最低出力を、最大出力の30%以下まで低減することにも成功している。

タービンは、4段構成とし、大容量化による各段落の負荷分担を最適化するとともに、最新鋭のシール技術の適用で効率向上を図った。タービンケーシングは、二重構造を採用して熱勾配の最適化を図った設計である。

タービン1段動翼には、最新のF型機と同様の単結晶合金を採用し、そのほかの動翼や静翼については、従来機と同様の一方向凝固材や多結晶材を採用している。

そのほかの特徴としては、可変入口案内羽根に加え、1~3段静翼も可変とした、合計4段の可変静翼の適用や、圧縮機出口から燃焼器までの流路における圧力損失の低減及び静圧回復のための、ハイブリッドラジアルディフューザーの適用などがある。

採用した7HA.01ガスタービンは、2015年10月からGE社のグリーンビル工場にて500時間の全負荷実証試験を行い、動作の信頼性と性能を確認している。現地試運転においても計画どおりの運転特性、出力、及び効率を達成した(図3)。

### 3.2 燃料の多様化

7HA.01ガスタービンは、1,600℃級であるが、従来機と同様に液体燃料にも対応している。また、軽質燃料化への対応も可能で、ガス燃料でのMWI(Modified Wobbe Index)<sup>(注2)</sup>は、7HAで±15%、9HAで±10%となっている。



図3. ガスタービン発電機

7-1号ガスタービンは、横一列に配置することで、点検時の作業性向上を実現した。

Gas turbines and generators arranged in lines

(注2) 燃焼状態を示す指標。設計値からの変位が大きいと燃焼が不安定になるなどの現象が生じる。

### 3.3 蒸気サイクル計画

蒸気サイクルは、主蒸気圧力を15 MPa級、主蒸気温度を590℃超級とし、ガスタービンからの排熱を最大限に活用し、高効率を実現する構成としている。更に、低圧タービンからの抽気蒸気を熱源とした給水加熱器を採用したHRSGへの給水加温や、ガスタービン燃料加温システムの最適化などによる高効率化を図っている。

### 3.4 最新鋭蒸気タービン

蒸気タービンは、東芝グループの(株)シグマパワー有明の三川発電所にて、2008年から運用している実機検証蒸気試験設備で確立された最新の性能向上施策を駆使して、高性能で信頼性の高い製品を提供している。蒸気通路部に最適反動度翼を採用して段落効率を向上させ、高圧部は、ドラム構造ローターによる軸系安定性の改善と多段落化の両立を実現させている。最終段翼には、世界最大級の最終段翼シリーズを採用し、排気流速減による排気損失の低減を図っている。そのほか、シール技術の向上や、低損失型の直接潤滑方式パッド軸受の採用など、各種の損失低減技術を投入して蒸気タービンの効率向上を実現している。

このように、最新鋭の性能向上技術と世界最大級の低圧最終段翼シリーズを適用した蒸気タービンである(図4)。

### 3.5 HRSG

HRSGは、横型自然循環3重圧再熱式を採用し、ガスタービンの排ガスから有効な取熱ができるように伝熱面を配列している(図5)。従来のガスタービンに比べて高温化している排ガスのエネルギーを活用するため、HRSGから発生させる高圧蒸気を593.3℃まで高め、蒸気タービンサイクルでの発電効率を向上させている。

伝熱面には、当社のHRSGで多数使用実績のあるセレーテッドフィンチューブを採用し、高収熱性・低圧損・コンパ

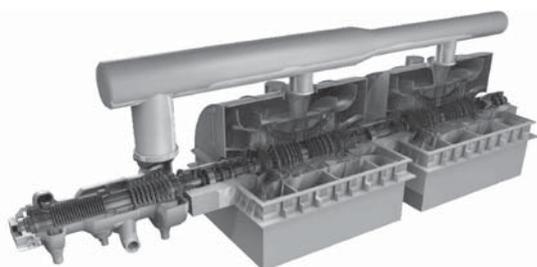


図4. 多軸型コンバインドサイクル用蒸気タービン

最新鋭の性能向上技術と世界最大級の低圧最終段翼シリーズを適用した、高性能で信頼性の高い蒸気タービンである。

Steam turbine for multishaft combined-cycle power generation system

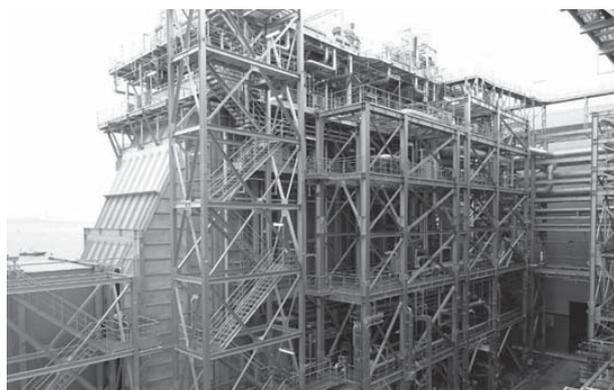


図5. HRSG全景

ガスタービンの排ガスが、垂直に配列された伝熱管を横切って水平に流れる横型自然循環式のHRSGである。

Overall view of horizontal type HRSG

クト化を達成している。環境設備としては、排ガス中のNO<sub>x</sub>を除去する脱硝装置を内蔵しており、新型配列の触媒を用いて排ガスと触媒の接触効率を高め、高除去率と低圧損を両立することで、排ガス・燃費の両面で環境負荷低減に寄与している。

HRSGの据付工事は、ケーシング、鉄骨、伝熱面、配管などを現地でシリーズに組み立てるのが一般的であるが、この工法では組立期間が10か月程度必要になる。西名古屋発電所7号系列では、2016年3月の7-1号据付工事開始から、2017年9月の営業運転開始まで、1年6か月という厳しいスケジュールであったため、HRSG工事だけでエリアを占有せずに、周辺工事も並行して実施する必要があった。そのため、HRSGは、西名古屋発電所とは別の地点であらかじめ組み立てを行い、ケーシング・鉄骨・伝熱面に加えて、配管・弁・電気計装品も取り付けられた準完成状態で一体搬入する大型モジュール化工法を採用した(図6)。

当社は、国内電力会社向けに多数の大型モジュール化工法の実績を持っているが、今回のプロジェクトは、従来に比べて大型化しているHRSGを短期間で6基製作という厳しいスケジュールであった。設計・生産管理・工事計画・モジュール工程管理・輸送計画を緊密に連携させることで、6基の並行製作を完遂し、2016年5月から2017年1月にかけて順次発電所に搬入した。

また、HRSG及びプラント機器の腐食防止策として、従来はヒドラジンをういた給水処理を適用していたが、近年人体への影響から使用規制が進んでいる状況を踏まえ、ヒドラジンを使用せずにアンモニアで処理する低酸化型水質管理AVT

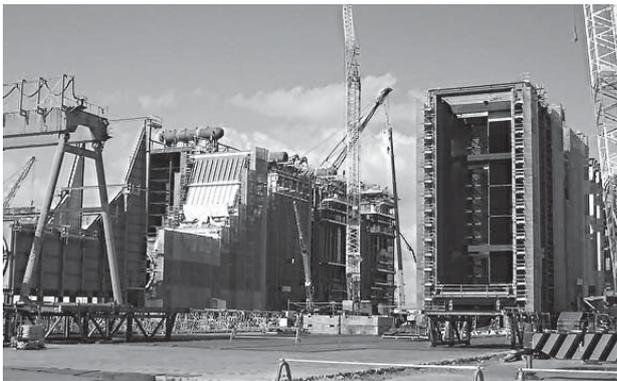


図6. HRSG大型モジュール化製作状況

6基のHRSGを同時並行で製作し、準完成状態で一体搬入する大型モジュール化工法を採用した。

Assembly site for HRSG super modules

(LO)(All-Volatile Treatment (Low Oxidizing))を採用した。試運転期間を通して初期計画どおりの水質が確保できていることを確認し、環境負荷の軽減を実現した。

### 3.6 ガスタービンコンバインドサイクル (GTCC) 発電設備のシステム構成

前述したように、西名古屋火力発電所7号系列で採用している、高効率HA型ガスタービンを用いたコンバインドサイクル発電設備のシステム構成は、多軸型としている。多軸型では、蒸気タービンへの流入蒸気量が、接続するガスタービンの台数増加に応じて多くなることから、蒸気条件の高温・高圧化が図れる。これにより、蒸気サイクル効率の向上だけでなく、蒸気タービンのスケールメリットで各損失の低減も実現できる。このため、ベースロード運用に適し、より性能を重視した構成である。また、一軸型に比べて蒸気タービンは大型化するが、ローター熱応力予測精度の向上やFEM (Finite Element Method: 有限要素法) 解析技術の進歩により、プラント定格出力到達までの起動特性が、一軸型と同等レベルになっている。

### 3.7 運用性能の向上

火力発電所から排出されるNO<sub>x</sub>の濃度に対する要求は、コンバインドサイクルにおける高効率化、すなわちガスタービン燃焼温度の高温化と相反する関係にある。スマート起動とは、ガスタービン燃焼器が低NO<sub>x</sub>モードとなるガスタービン極低出力までタービン回転速度を上昇させた後に、蒸気タービンへの通気条件を成立させるもので、これには高圧蒸気系統と低温再熱蒸気系統を接続するカスケードバイパス系統と、HRSG 過熱低減器の容量最適化で対応した。3 on 1 発

電設備としてのガスタービン起動時の環境負荷を低減し、かつより高速なプラント起動を実現している<sup>(3)</sup>。

### 3.8 少人数運転への対応

2ブロックの発電設備のほか、周辺設備を含めた発電所設備の全てを少人数で運転できるように、従来は運転員が行っていた監視業務の自動化や、起動・停止時の自動化機能の強化、設備や保安・環境に関わるトラブル時に行う操作の自動化などを行った。これにより、設備に異常がない状態では、運転員による操作・監視が不要になり、発電設備の運用性向上に加え、運転員の少人数化による発電所としての生産性向上にも寄与する監視・制御システムを提供した。

## 4. あとがき

最新のコンバインドサイクル発電設備の導入により、世界最高水準の発電所としての運転が開始できた。当社は、今後も技術開発のスピードをより一層上げて、信頼性の高い安定電力の確保や、地球環境に優しい、クリーンなエネルギーシステムの提供を行うことで、社会や地域への貢献に尽力していく。

## 文献

- (1) 東芝. “中部電力西名古屋火力発電所7-1号 世界最高効率のコンバインドサイクル発電設備としてギネス世界記録®認定”. プレスリリース& ニュース. <[https://www.toshiba-energy.com/info/info2018\\_0327.htm](https://www.toshiba-energy.com/info/info2018_0327.htm)>, (参照 2018-03-27).
- (2) 服部祐太, 俵盛勝博. 高効率コンバインドサイクル発電システムの最新技術. 東芝レビュー. 2013, 68, 11, p.8-11.
- (3) 松本 茂, ほか. 火力発電プラントの熱応力予測によるタービン最適起動技術. 東芝レビュー. 2010, 65, 4, p.64-67.



立石 学 TATEISHI Manabu  
東芝エネルギーシステムズ(株)  
火力・水力事業部 火力コンバインドサイクル技術部  
Toshiba Energy Systems & Solutions Corp.



木村 賢一 KIMURA Kenichi  
東芝エネルギーシステムズ(株)  
火力・水力事業部 火力コンバインドサイクル技術部  
Toshiba Energy Systems & Solutions Corp.



渡邊 聡十郎 WATANABE Sojuro  
東芝エネルギーシステムズ(株)  
火力・水力事業部 火力コンバインドサイクル技術部  
Toshiba Energy Systems & Solutions Corp.