

# 蒸気タービン プラントの高効率化と大容量化

New Technologies for Improvement of Efficiency and Enlargement of Steam Turbine Plants

羽田野 悦一  
Y. Hadano

浜野 博  
H. Hamano

林 正孝  
M. Hayashi

従来火力発電で、最近の主流である石炭焚(だき)火力発電設備に求められる資源問題や環境問題への対応として、当社では、高性能・大容量化ならびに合理化の推進などで種々の新技術の開発および適用を進めている。これらの技術開発の代表例に、高性能化では、蒸気条件の高温・高圧化対応である高温用材料の開発、要素機器である蒸気タービンおよび発電機の高効率化技術がある。大容量化では最終段動翼の長翼化、発電機要素部品の高強度ロータ材料や冷却方式の開発がある。合理化では、最終段長翼化を通じての蒸気タービンのタンデム化や車室数低減などのコンパクト化、発電機大容量化を通じての発電機冷却方式の適用容量の拡大や復水器管配列の高性能化、羽根車(インデューサ)付き電動給水ポンプ採用による給水ポンプ用昇圧ポンプの省略などがある。

Toshiba has been developing and applying various new technologies to improve plant efficiency, increase power plant capacity and rationalize power units in response to the issues of natural resources and the global environment with respect to coal-fired thermal power plants. The development of materials for high-temperature steam conditions and improvement of the flow pattern in the turbine, as well as the development of new cooling methods in the generator, contribute to improved thermal efficiency. In addition, lengthening of the last-stage blades and providing the generator rotor with high tensile strength can increase power plant capacity. These technologies also allow more compact turbines and generators to be realized.

## 1 まえがき

電力需要の伸長とともに発電設備の建設が着実に推進されているなかで、高効率化および燃料多様化に対応して、コンバインドサイクル、発電設備を改造して出力の増加を図るリパワリングなど、プラント形態の多様化が進んでいる。このような状況下で、化石燃料の一つである石炭を利用した火力発電設備は、従来火力プラントの発電方式を中心に建設計画が進められている。

石炭焚火力発電設備に対しては、最近の火力発電を取り巻く環境の変化に伴い、資源問題や環境問題または電気事業法の改正に伴う卸売電力市場の自由化など、直面する重要な課題がある。すなわち、二酸化炭素排出量の低減を目指したプラントの高性能化、効率的な設備配置のための大容量化、規制緩和に対応した合理化の推進などである。

これらの課題への取組みの手がかりとして、図1に示すように、現在、当社は種々の新技術の開発、適用を進めている。ここでは、これらの技術の一端について概要を述べる。今後の火力プラント建設の一助になれば幸甚である。

## 2 高性能化

蒸気タービンプラントの高性能化の主要な技術として、蒸気条件の向上があり、また、プラントの要素機器である蒸気タービンおよび発電機の高効率化技術がある。

### 2.1 蒸気条件の向上

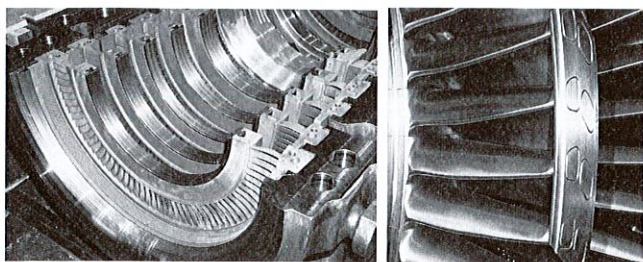
蒸気条件の向上は、わが国で20年あまりも標準蒸気条件であった24.1 MPa 538/566°Cを大きく上回る31 MPa 566/566°Cの超々臨界圧プラント<sup>(1)</sup>である中部電力(株)川越火力発電所第1号機が1989年に営業運転を開始して以降、蒸気温度の高温化を中心に目覚しく進展している。従来の538°Cあるいは566°Cに対し、今世紀末には600°C超級の大容量プラントが実現する予定である。蒸気条件の高温化の最近の著しい進展は、高温部にさらされる箇所に採用される材料の開発が大きく寄与している。図2にその代表例である各種タービンロータ材のクリープラプチャ(クリープ破断)強度とその適用蒸気温度範囲を示す。蒸気条件が538°Cあるいは566°Cの場合は、CrMoV(クロムモリブデンバナジウム)鋼または12Cr鋼ロータ材が採用されている。蒸気条件が向上してからは、80年代に開発した改良12Cr鋼ロータ材、大型12Cr鋳鋼ケーシング材などの高Cr鋼が適用され、現在では600°C級の火力発電プラントに採用している。

その後、当社では、これらの材料に比較していっそう高温強度を高めた新12Cr鋼材料の開発を進めている<sup>(2)</sup>が、その結果、フェライト系材料の適用範囲としては最高の630°C級までの蒸気条件の可能性が出てきている。そして、現在、国の支援の下、電源開発(株)ほかとの共同研究により、30 MPa級/630°C級以上の実現に向けての開発が進められている。









AFP 静翼

AFP 動翼

図4. AFP 段落の動・静翼 粘性を考慮した三次元翼設計の適用によって、段落内の蒸気の流れの最適化を行い、蒸気タービンの効率向上を図ることができる。

New bucket and nozzle assembly applying advanced flow pattern

トで高効率の発電機への適用を進めている。

### 3 大容量化

低圧タービンの最終段長翼化や、発電機回転子の絶縁方式、冷却方式などが、蒸気タービン発電プラントの大容量化を図る重要な技術的要素となる。

#### 3.1 蒸気タービン最終段長翼化

蒸気タービンの最終段翼は、発電容量の増大とともに長翼化が図られているが、従来の1,000 MW級の蒸気タービンでは、低圧部を半速化することで長翼化を図っていることから二軸構成であった。しかし、従来のスチール製最終段翼に対して比重が軽く、比強度も同等であるチタン合金製3,600 rpm用40インチ翼が開発され、700 MW蒸気タービンへ適用されたことをきっかけに、1,000 MW級大容量蒸気タービンへの適用によるタンデム化が可能となった。なお、チタン合金製最終段翼はGECアルストム社と共同開発したものであるが、この40インチ翼と同時に3,000 rpm用54インチ翼も開発した。この結果、わが社のチタン合金製最終段翼シリーズは、相似則に基づく適用も入れると、3,600 rpm用40インチ翼および45インチ翼、3,000 rpm用48インチ翼および54インチ翼がそれぞれラインアップとして加わり、よりいっそうの高効率化、大容量化への準備を整えている。

最終段長翼化は、蒸気タービン発電設備の大容量化を図ることが可能となるだけではない。例えば、500~700 MW級蒸気タービンは、従来は対向流一体型高中圧部と2組の低圧部から成る3車室構成であったが、低圧部を単車室にすることで全体2車室構成の蒸気タービンとするコンパクト化が可能となった(図5)。蒸気タービンをコンパクト化することによって、タービン建屋の縮小化、クレーンスパンの短縮化、据付工期の短縮が図れるとともに、部品点数の低減に伴う定期点検工期の短縮化を図ることができ、保

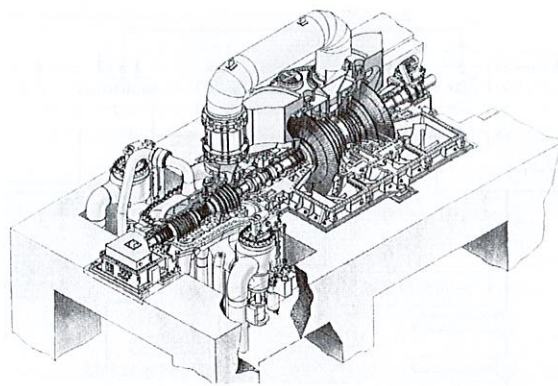


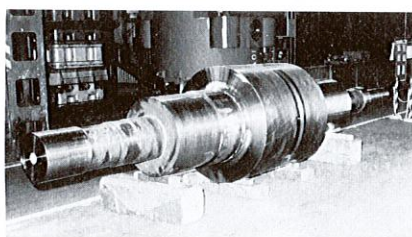
図5. 500~700 MW級2車室蒸気タービン 大容量化対応で開発される蒸気タービン最終段落の長翼化は、蒸気タービンのコンパクト化にも寄与する。

500-700 MW-class reheat steam turbine with two casings and long last-stage blades

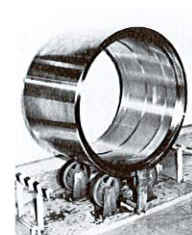
守性の向上に対しても大きな効果がある。

#### 3.2 発電機の大容量化

発電機の大容量化では、現在、2極機で、世界最大級の単機容量1,120 MVA発電機の実機を設計・製作中である。この実現にあたっては、従来材に比べ約20%も強度向上を図った1 kN/mm<sup>2</sup>級の軸材および1.3 kN/mm<sup>2</sup>級のエンドリング材を開発した。また、大容量機の固定子巻線についても、絶縁構成、冷却方式の最適化を図ったモデル機を製作し、試作した実機大ロータ材とエンドリング材(図6)をこのモデル機に組み込み、定格回転数での荷電試験を実施し、その信頼性を検証した。



ロータ材



エンドリング材

図6. 実機大モデル発電機ロータとエンドリング 高強度をもつ発電機ロータ材とエンドリング材の開発によって、1,120 MVAタービン発電機を実現できる。

Full-scale model materials with high tensile strength for rotor and endring of turbine generator

### 4 合理化新技術

火力発電プラントの合理化に向けては、新技術の開発による合理化およびシステムの簡素化などのシステム合理化施策を推奨している。

#### 4.1 システム合理化



システムの簡素化では、補機の1台化、系統の1系列化や予備機の省略などが合理化施策の代表例である。一方、新技術開発に基づく合理化施策の代表例としては、復水器の新型管配列やインデューサ付き電動給水ポンプがある。

#### 4.2 合理化新技術

新型管配列復水器は、管束中央部までの蒸気の圧力損失を低減することで熱交換性能を高めた管配列で、従来の1管束を2分割にし、スリム化した形状としている。この管配列を適用することで、従来わが国で広く採用されてきた米国熱交換器協会規格 (HEI 第8版) に比較して、同一仕様で冷却面積を約20%小さくでき、効率を維持しつつ合理化を図ることができる。

図7に示すインデューサ付き電動給水ポンプは、起動および停止専用の電動給水ポンプが低揚程、低回転数であることを考慮し、従来、昇圧ポンプで確保していた給水ポンプ吸込圧力を、ポンプ本体吸込部設置のインデューサで確保し、これにより給水ポンプ昇圧ポンプを省略するものである。従来の高揚程電動給水ポンプに比べ、ポンプおよび電動機全長を約半減することができる。このインデューサ付き電動給水ポンプは、現在、700 MW 火力発電プラントまで適用が可能となっている

発電機の合理化新技術の一例として、比較的小容量機で採用される空気冷却発電機の適用容量の拡大がある。これは、新型の固定子巻線絶縁構成と、新通風冷却方式を開発することによって、効率は世界最高水準98.8% (従来最高98.75%) を達成し、容量も世界最大級350 MVA (従来250 MVA) を実現するものである。しかも、容量増大にもかかわらず体格的にコンパクトな空気冷却発電機を実現するものである。今後も、合理化推進策として、これらの技術開発によって、図8に示すように、各種冷却方式の適用容量の拡大を図る予定である。

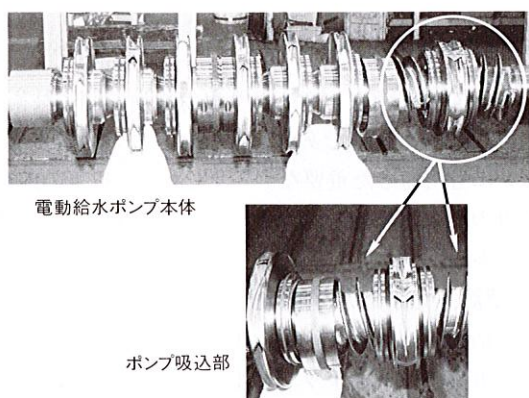


図7. インデューサ付き電動給水ポンプ 低揚程、低回転数の電動給水ポンプの本体吸込部にインデューサを設置することで、給水ポンプ用昇圧ポンプを省略できる。

Motor-driven feedwater pump with inducer

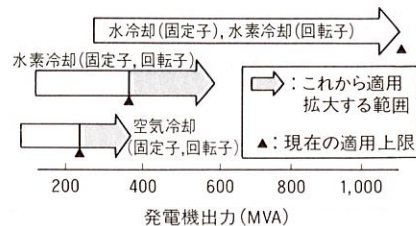


図8. 発電機各種冷却方式の適用容量 発電機の冷却方式による適用容量を拡大することで、合理化を推進することができる。

Applicable capacity ranges of turbine generator cooling methods

#### 5 あとがき

従来火力発電プラントへの最近の要望に対し、当社の取組みと最近の成果を述べたが、プラントの高性能化に対しては、蒸気条件の高温化実現への技術的対応および蒸気タービン・発電機の効率向上技術の開発を推進して、発電効率の向上に努めている。プラント大容量化に対しては、蒸気タービン最終段翼の長翼化、発電機の大容量化対応技術の開発を通じて実現していく。また、合理化に対しては、大容量化で得られた技術を応用した蒸気タービンのタンデム化やコンパクト化、あるいは高性能管配列復水器、大容量空気冷却発電機など、技術の裏付けに基づく合理化施策を推進していく所存である。

今後とも、ユーザ各位のご指導、ご支援をお願いする次第である。

#### 文献

- (1) H. Mimuro et al: The Development and the Operational Experiences of the Steam Turbine with Advanced Steam Conditions, American Power Conference, 1990
- (2) Y. Tsuda et al: Development of High Strength 12 % Cr Ferritic Steel for Turbine Rotor Operating above 600°C, Steel Forgings: Second Volume, ASTM STP 1259, pp.267 (1997)



羽田野 悦一 Yoshikazu Hadano

火力事業部 火力プラント技術部部長。  
火力発電プラントのエンジニアリング業務に従事。日本機械学会会員。  
Thermal Power Plant Div.



浜野 博 Hiroshi Hamano

火力事業部 火力プラント技術部参事。  
事業用火力プラントの蒸気タービン発電設備の基本計画に従事。日本機械学会会員。  
Thermal Power Plant Div.



林 正孝 Masataka Hayashi

火力事業部 火力電機技術部課長。  
火力発電所の電気系エンジニアリング業務に従事。電気学会会員。  
Thermal Power Plant Div.