

コンバインドサイクルの合理化技術

Rationalization of Combined-Cycle Power Plants

古川 俊樹
T. Furukawa

鳥飼 高行
T. Torikai

現在、天然ガスだきの火力発電プラントでは、コンバインドサイクルが主流となっており 1,300 °C 級ガスタービンでプラント効率は 49 % (高位発熱量ベース) にまで達している。当社は今後さらに①東芝型低 NO_x 燃焼器による脱硝触媒の低減、②基礎台流用吸気フィルタ室によるフィルタ室とガスタービン排気ダクトの 50 % 以上のコンパクト化、③単車室再熱蒸気タービンによるタービン本体全長 40 % のコンパクト化、④ 2 モジュール排熱回収ボイラにより、ボイラ本体 40 % のコンパクト化、⑤ 高中圧一体 BFP (ボイラ給水ポンプ) 給水方式によるポンプ台数の半減、⑥ 配置合理化によるタービン建屋の天井クレーンスパンの 40 % の短縮、などの合理化技術を導入し、プラント発電原価の低減を指向している。

Most natural-gas-fired thermal power plants in Japan today are of the combined-cycle type, whose efficiency has reached 49 % (HHV) with the 1,300°C-class gas turbine.

Toshiba has a number of rationalization technologies for combined-cycle plants. These include the ability to decrease de-NO_x catalysts using the Toshiba dry-low NO_x combustor, a more than 50 % decrease in size of gas turbine air filter housing and ducts, a 40 % decrease in turbine length with the single-casing reheat steam turbine, a 40 % decrease in heat-recovery steam generator (HRSG) length with the two-module design, a decrease in the number of boiler feed pumps with the Toshiba new feedwater system, and a 40 % decrease in crane span with rational layout planning.

Using these Toshiba rationalization technologies, a high-efficiency and low-cost combined-cycle power plant can be realized.

1 まえがき

天然ガスだき 1,100°C 級ガスタービンによるコンバインドサイクルは 1984 年に登場し、プラント効率が 42 % (高位発熱量ベース) 以上を記録している。当社が建設中の東京電力 (株) 横浜 7 号系列コンバインドサイクルでは 1,300°C 級ガスタービンを使用しており、プラント効率が約 49 % となっている。さらに、今後の計画では改良型の 1,300°C 級ガスタービンにより、プラント効率 50 % 以上が見込まれている。

現在、石炭だき火力は従来汽力が主流であるが、天然ガスだき火力はガスタービンの使用により高効率化が図れるコンバインドサイクルが主流となっており、この傾向は今後も続いていくと思われる。コンバインドサイクルは歴史も浅く、今後さらなる技術の進展があるものと思われる。ここでは、コンバインドサイクルの当社合理化技術の一端を紹介する。

2 ガスタービン

天然ガスだきコンバインドサイクルでは、環境問題から、窒素酸化物 (NO_x) の低減が重要である。当社では、環境設備費の大幅な合理化の実現を目ざし、低 NO_x 燃焼器を開発している。

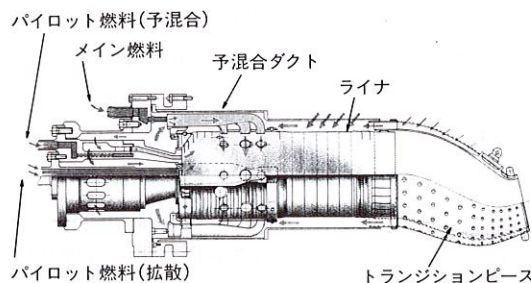


図1. 東芝型低 NO_x 燃焼器 燃焼火炎温度を下げて NO_x 排出量を低減させる。

Toshiba dry-low NO_x combustor

2.1 低 NO_x 燃焼器

一般的に、火力発電プラントでは環境への影響を考慮して、多くの環境保全設備を備えている。なかでも、脱硝装置、脱硫装置、脱塵(じん)装置のプラント建設費に占める割合は大きく、環境設備の合理化が重要になる。コンバインドサイクルプラントにおいては、現在、クリーンな燃料である液化天然ガス (LNG) が広く採用されているので、硫黄酸化物、ばい塵の排出量はほとんど 0 であり、脱硫装置、脱塵装置を設置する必要はない。

環境面において、コンバインドサイクルのガスタービン燃焼で考慮しなければならない点は、燃焼の際、空気中の

表1. 低NO_x燃焼器形式の比較

Comparison of low-NO_x combustors

	従来型 低NO _x 燃焼器	改良型 低NO _x 燃焼器
ガスタービン出口 排出NO _x 濃度	50 ppm	25 ppm
プラント出口 排出NO _x 濃度	5 ppm	5 ppm
脱硝効率	90 %	80 %
脱硝装置触媒量比率	100 % (ベース)	約 70 %

窒素 (N₂) と酸素 (O₂) とが結びついて生成される NO_x を低減させることにある。そこで当社では、燃料を大量の空気と混合し、希薄燃料状態としたうえで安定燃焼を可能とした改良型低 NO_x 燃焼器を開発している (図1 および表1)。その結果、燃焼温度の低下に伴い、NO_x の発生はガスタービン出口で 25 ppm 程度となり、脱硝装置の触媒量の大幅な低減が期待できる。

2.2 基礎台流用吸気フィルタ室

ガスタービン性能の経年劣化は、圧縮機翼の汚れに大きく依存している。この圧縮機翼の汚れは、ガスタービンの吸込み空気中の蒸気、煙、海水のミストなどにより生ずるものであり、ガスタービン吸気フィルタを介して、直径 5 μm 程度以上のダストを除去することが重要になる。一方、1,300°C 級のガスタービンでの吸込み空気流量は、毎時 2,000 t 以上にもなり、その空気を処理する吸気フィルタ室は、これまでは全長 10 m、幅 25 m、高さ 13 m、重さ 300 t 以上の大型構造物となっていた。

当社では、この巨大な吸気フィルタ室をパワートレイン基礎台内に設置することによって (図2 および表2)、大型構造物の削減およびガスタービン排気と排熱回収ボイラとを結ぶ高温排気ダクトのコンパクト化による合理化技術を確認した。また、この方式は吸込み空気流れの整流化に優れ、ガスタービン吸気圧損が低減するので、プラント効率を向上させることにもなっている。

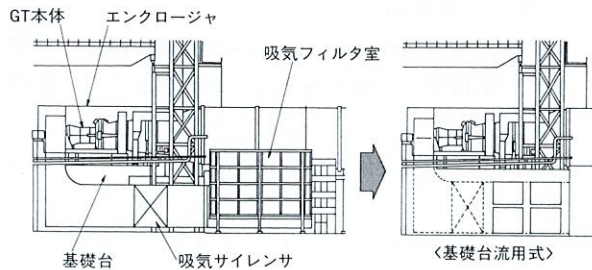


図2. 基礎台流用吸気フィルタ室 ガスタービン吸気フィルタ室を基礎台内に設置して、フィルタ室および排気ダクトのコンパクト化を図る。

Toshiba gas turbine air filter housing in the foundation

表2. ガスタービン吸気フィルタ室形式の比較

Comparison of gas turbine air filter housings

	従来型	改良型
形式	2面式吸気フィルタ室	基礎台流用 吸気フィルタ室
吸気室重量	340 t	10 t
ガスタービン 排気ダクト	31 m	17 m
排気圧損	ベース	- 15 mmAq
プラント性能比	ベース	+ 約 0.04 %

3 蒸気タービン

コンバインドサイクルにおける蒸気タービンは、出力が 80~130 MW、蒸気条件 538~566°C の再熱タービンになる。当社では、単車室再熱蒸気タービン (図3 および表3) を開発しており、大幅な機器のコンパクト化および部品点数の減少による保守性の合理化を図っている。

3.1 高低圧一体ロータ材

高低圧一体ロータ材は、傾斜熱処理技術を加えることにより、高中圧部と低圧部での異なる二つの特性を1本のロータ材のなかで実現している。すなわち、高中圧部は従来

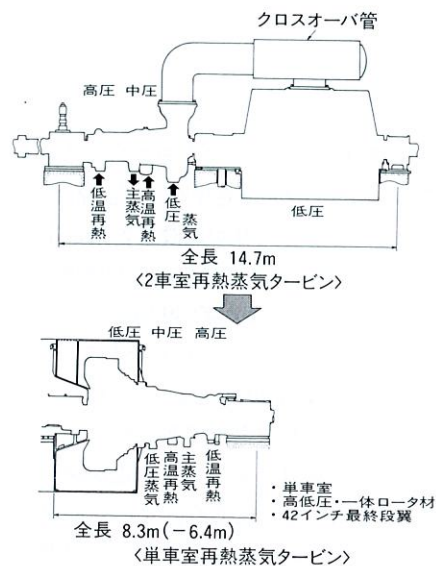


図3. 単車室再熱蒸気タービン 高低圧一体ロータ材、42インチ最終段翼採用により、車室を一つとして蒸気タービンのコンパクト化を図る。

Single-casing reheat steam turbine

表3. 蒸気タービン形式の比較 (50Hz 地区)

Comparison of steam turbines

	従来型	改良型
形式	2車室2流排気型	単車室単流型
出力	125 MW	125 MW
最終段翼	26インチ翼	42インチ翼
排気環状面積比率	100 %	99 %
プラント効率	ベース	± 0 %
全長	14.7 m	8.3 m
主要部品数比率	100 %	約 50 %

のCrMoV鋼と同等の高温クリープ強度をもつ一方で、低圧部は十分なロータ靱(じん)性強度をもち、最終段長翼の遠心応力に対しての十分な信頼性を確保している。

3.2 最終段翼

コンバインドサイクル用当社単車室蒸気タービンに使用される60 Hz用40インチ翼および50 Hz用42インチ翼は、従来汽力で実績のある700 MW機および600/500 MW機の最終段翼である。また、これら二つの最終段翼による単流排気の排気環状面積は従来の26インチ複流型と同等であり、同等の排気損失レベルを確保しているため、プラント性能を同等にしたうえでの大幅な蒸気タービンのコンパクト化が実現できる。

4 排熱回収ボイラ

プラント設備費に占める割合の大きい排熱回収ボイラの合理化は、プラント合理化のうえできわめて重要である。当社では、排熱回収ボイラの大型モジュール化および新ボイラ給水方式の採用により、①ボイラおよび配置のコンパクト化、②工場内一括製作による生産性の向上、③据付け工事期間の短縮を可能とした。

4.1 2モジュール排熱回収ボイラ

当社の排熱回収ボイラは、耐震性、保守性を考慮した伝熱管パネル構造と、高性能化を図った3圧力、再熱、横置型自然循環式を採用している。ここで伝熱管パネル構造を採用することで、メンテナンス時におけるパネル単位での移動・交換、および製造時における工場内自動生産が可能となっている。また横置型のため、ガスタービンの排気が排熱回収ボイラにスムーズに受け渡されるので、ガスタービン排気損失が低減し、プラント性能向上に貢献している。

一方、排熱回収ボイラの全重量は2,000~5,000 tに達するので、その輸送には数百の車輪をもつ超重量物専用車両のドーリによって行われる(図4)。ドーリには、すべての

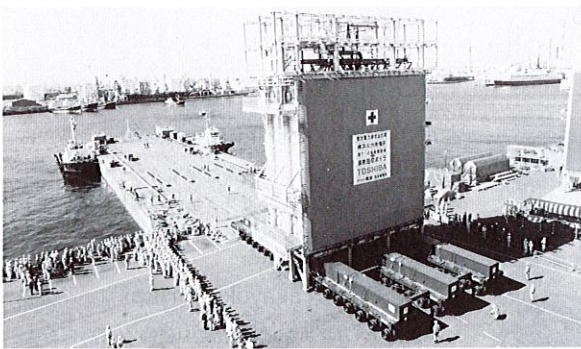


図4. 排熱回収ボイラのモジュール化輸送 ボイラは、工場内での完成度を高めたモジュールとして輸送する。

External view of heat-recovery steam generator

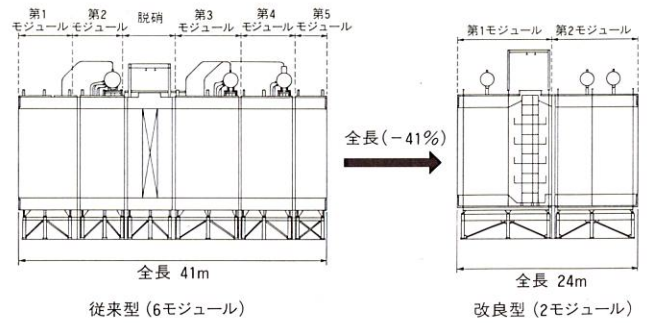


図5. 2モジュール排熱回収ボイラ 2モジュール化により各モジュールの接合部および耐震プレースを合理化する新技術の開発によってボイラをコンパクト化する。

Two-module design for heat-recovery steam generator

車輪にジャッキアップ機構をもっているので、クレーンを使用しなくとも大型構造物の積上げ積降ろしが可能であり、またドーリを数台連結することにより、数千トンクラスの輸送と据付けが可能となっている。

従来、排熱回収ボイラは、6モジュールに分割製造され、そのおのこの輸送と現地据付けが行われていた。当社では、これを2モジュール(図5)とすることにより、各モジュールの接合部および耐震プレースの合理化などの新技術を開発し、大幅なコンパクト化を指向している。

4.2 高中圧一体BFP給水方式

3圧力式の排熱回収ボイラには、高・中・低圧三つの圧力の異なるドラムがあり、そのおのこのにボイラ給水を供給する必要がある。そのため、従来では、高・中・低圧給水ポンプとボイラ給水温度を制御するための再循環ポンプの4台が必要であった。当社は、その4台のポンプを中段抽水をもつ高中圧一体BFPと復水ポンプの合計2台のポンプにする新ボイラ給水方式(図6および表4)を開発した。

さらに、この方式では、従来方式で問題となっていた

	従来型	改良型
方式	並列給水系統	高中圧一体BFP給水系統
構成	<p>高圧ドラム 中圧ドラム 低圧ドラム ガス 復水ポンプ 中圧BFP 高圧BFP (ポンプ用建屋) ポンプ4台</p>	<p>高圧ドラム 中圧ドラム 低圧ドラム ガス BFP 復水ポンプ ポンプ2台</p>
経済性	屋外ポンプ室必要 ○	屋外ポンプ室不要◎
信頼性	給水温度変化を考慮○	ポンプ信頼性向上◎

図6. 高中圧一体BFP給水方式 高中圧一体BFPと復水ポンプの合計2台のポンプによるボイラ給水方式の開発によりプラントを合理化した。

Toshiba new feedwater system

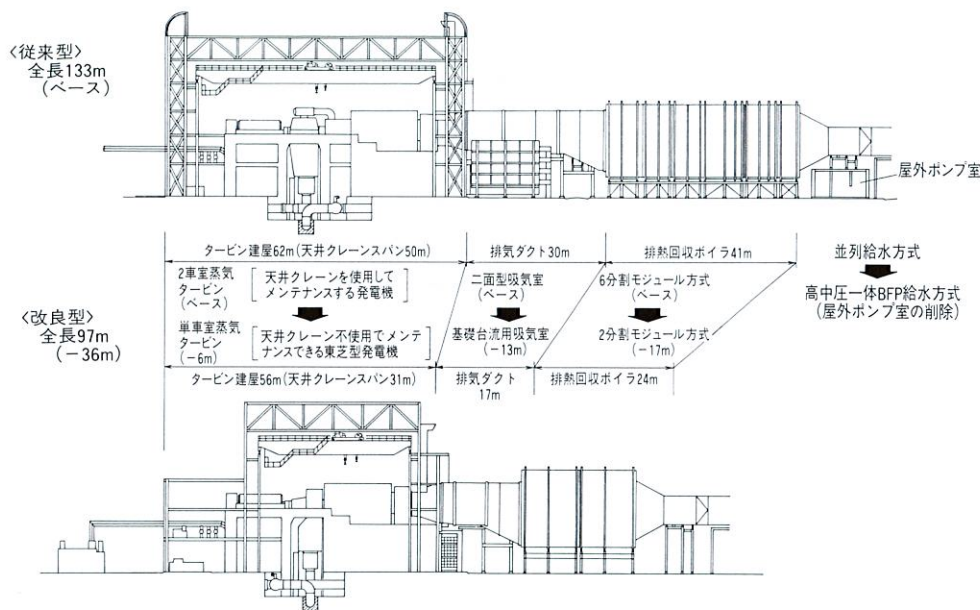


図7. 合理化配置計画 タービン建屋のコンパクト化、天井クレーンの短縮化などの配置計画の合理化によりコンパクト化した。

Rational layout planning

表4. 給水方式の比較

Comparison of feedwater systems

	従来型	改良型
給水方式	並列給水方式	高中圧一体BFP給水方式
ポンプ台数	4台(100%)	2台(50%)
給水温度変化	100~200℃/分	数℃/分
屋外ポンプ室	必要	不要

起動時の急速な温度変化がまったくなくなるため、ポンプの大幅な信頼性向上を実現している。この結果、停止中のポンプ内の温度低下を防ぐための屋外ポンプ室が不要となった。

5.2 天井クレーンの短縮化

天井クレーンスパンは、ガスタービン、蒸気タービン、発電機の分解点検時の作業範囲によって決められている。

当社は、発電機のメンテナンスにおいて天井クレーンを使用せず、専用のモノレールクレーンを使用することによって大幅なクレーンスパンの短縮を実現した。すなわち、2年に1回程度の水素クーラの引抜きを専用のモノレールクレーンで行い、また10年~20年に1回程度と思われる発電機ロータの発電所外への搬出入を、専用モノレールクレーンおよびころびきにより行うこととした。

6 あとがき

国内最初の1,300℃級のコンバインドサイクルは、運用を開始してまだ1~2年であるが、すでに数年先の次期計画では大幅な各種合理化技術が検討されている。当社では、上述した合理化技術を実現して、高効率かつ初期投資の少ないコンバインドサイクルプラントを提供できるものと確信する。

5 配置計画

ガスタービン、蒸気タービン、発電機が一つに連結される一軸型コンバインドサイクルプラントでは、発電機が1台/軸となり配置がコンパクトになる優位性がある一方で、全長が長くなり、タービン建屋および天井クレーンが長大化する傾向にある。現在、1,300℃級のコンバインドサイクルプラントの天井クレーンスパンは50mに達しており、タービン建屋のコストアップの一つの要因となっている。当社は、こうした点をかんがみタービン建屋のコンパクト化と天井クレーンの短縮化を実現した(図7)。

5.1 タービン建屋のコンパクト化

タービン建屋の軸方向寸法は、パワートレイン全長に依存するため、蒸気タービンを従来の2車室型から単車室型にすることにより、従来に比べ6mの短縮を可能とした。



古川 俊樹 Toshiki Furukawa

火力事業部火力プラント技術部参事。コンバインドサイクル発電プラントの基本計画に従事。日本機械学会、火力原子力協会、ガスタービン学会会員。Thermal Power Plant Div.



鳥飼 高行 Takayuki Torikai

火力事業部火力プラント技術部主務。コンバインドサイクル発電プラントの基本計画に従事。日本機械学会、火力原子力協会会員。Thermal Power Plant Div.