

火力発電設備の技術動向

Technological Trends of Fossil Fuel Power Plants

川村 隆* Takashi Kawamura

数年来、国内での電力需要は予想を大きく越える伸びを示している。石炭火力並みにLNG燃焼コンバインドサイクル発電プラントを主力とする火力発電は、原子力とともに、新規電源開発の大きな柱であり、今後も年間200万kWを優に超えるものと予想されている。一方、地球規模の環境問題は、化石燃焼使用の火力発電の環境対策を大きな課題としている。

このような背景から、最近では設備の効率、運用性などの高性能化、NOx低減などの環境対策の新技術開発が積極的に進められ、現在建設中、計画中のプラントに続々適用されている。

また、将来技術の開発も活発である。特に流動層ボイラも実用化開発の段階に至っている。

1 緒言

電力は、言うまでもなく、国民生活や産業活動の基盤を支える重要なエネルギーであり、安定供給、供給コストの低減、供給信頼度の向上を目指し、よりいっそうの高度化を図ることが要請されている。

電力需要は、内需主導形の景気拡大に伴い、昭和62年度ごろから、見通しを大幅に上回るペースで増大している。

一方、地球規模の環境問題が、国際的に表面化してきており、電気事業にとっても、的確に対応することが重要な課題となっている。

このような状況下で、火力発電設備に対する要請に対応するため、日立製作所では、各種新技術の研究開発・実用化を進めており、このたび「火力発電新技術」特集号として取り上げ、重点テーマの技術解説を行った。

本稿では、その背景となる火力発電に対する社会的要請と、日立製作所の技術動向の概況について述べる。

2 火力発電を取り巻く社会情勢

平成元年夏季の最大電力(電力会社9社合計)は、1億2,744万kWで、前年比4.9%の伸びとなった。表1に示すように電力需要の伸びは、電力量・最大電力ともに内需主導形の景気拡大に伴い、昭和62年度以降、3年連続してそれまでの予想を上回る高い水準で推移している。一方、最近の一つの特徴として、最大電力は夏・冬の二極化の傾向が顕著となっ

表1 最近の電力需要の伸び(対前年度比, 電気事業用, 実績)
対前年度伸び率を示す。電力需要の伸びは昭和62年度から高い水準で推移している。

項目	単位	昭和60年度	昭和61年度	昭和62年度	昭和63年度	平成元年度
電力量	%	3.2	-0.7	6.1	4.7	5.7
最大電力	%	2.7	0.7	3.6	6.1	4.9

注：出典 資源エネルギー庁 電力施設計画の概要
(昭和62年度, 同63年度, 平成元年度, 同2年度版)

てきた。

これらの電力需要の好調な伸びに対し、平成2年度の電力の施設計画¹⁾によれば、平成11年度には、最大需要電力は、1億6,921万kWとなり、昭和63年度からの年平均伸び率は、3.1%と見込まれている。平成11年度末までの新規電源開発量は表2に示すとおりで、合計5,608万kWであり、このうち火力が2,958万kWで52%と最も多く、原子力は1,886万kWで34%、水力は764万kWで14%となっている。

火力の内訳は、かねてからの電源多様化に対応するため石炭火力、LNG火力を二本柱とし、石油代替電源の建設が引き続き着実に実施される計画になっている。

他方、地球規模の環境問題が国際的に表面化しており、な

* 日立製作所 電力事業部

表2 新規電源開発計画(平成元年～11年の10年間) 石炭火力とLNG火力を二本柱とし、脱石油化がいつそう推進される。

種類	容量 (万kW)	容量比率 (%)
火力	2,958	52
石炭	1,534	27
LNG	1,486	26
石油ほか	-62	-1
原子力	1,886	34
水力	764	14
合計	5,608	100

注：出典 資源エネルギー庁 平成2年度電力施設計画の概要

かでもとりわけ、炭酸ガスによる地球温暖化問題については、地球温暖化と炭酸ガスの排出量の因果関係など、科学的に未解明な部分もあり、その解明が急がれるところであるが、化石エネルギーの総合利用効率の向上に対し、今以上の高効率化を達成すべく新技術の開発を積極的に推進し、電力の安定供給と環境保全を、ともに図っていくことが重要と考える。

3 最近の火力新技術の動向

(1) 石炭火力

石炭火力は、原子力に次ぐベース供給力として位置づけられているが、大容量化に対しては、ボイラでは石炭燃焼としてわが国最大容量機である電源開発株式会社松浦火力発電所(以下、松浦火力発電所と言う。)納め1号機1,000 MW超臨界圧ボイラが、平成2年6月営業運転開始に向けて、現在順調に試運転中である。蒸気タービンでは、平成元年度に東京電力株式会社広野火力発電所納め3号機1,000 MWクロスコンパウンド形蒸気タービン、および九州電力株式会社松浦火力発電所納め1号機700 MWタンデムコンパウンド形蒸気タービンと、おのおの50 Hz地区、60 Hz地区での最大容量機が相次いで営業運転に入った。

これらのユニットは、いずれも最新技術による高性能かつ信頼性の高い機械となっている。これらの実績と、すでに蓄積してきた要素技術、および現在推進中の新技術開発の成果によれば、近い将来130万kWから150万kW向けの実機設計が可能と考えている。

ユニットの熱効率向上に対し、各種の技術開発がなされてきた。蒸気タービンの最終段長翼の開発はその一つであり、3,600回転用では世界最長となるチタン合金製40インチ長翼の開発を中部電力株式会社と共同で実施し、中部電力株式会社碧南火力発電所納め2号機700 MWタンデム機に適用し、現在、平成4年運開を目指し建設を進めている。40インチ長翼の採用により、従来の33.5インチ翼のタービンに比較し、1.6%(相対値)の熱効率向上が実現された。1,500回転、1,800回

転の半速機の蒸気タービンに対しても52インチ長翼の開発をすでに完了しており、大容量機建設の到来に備えている。

蒸気タービンの内部効率向上については、かねてから研究開発を推進しており、多くの新技術の開発、実機適用を進めてきた。現在、さらに、それを上回る高効率化技術の開発を進めている。蒸気条件の高温、高压化は、ユニットの熱効率向上の効果が大きく、日立製作所では、316気圧、593～649℃に高めたUSC(Ultra Super Critical pressure)蒸気条件を火力ユニットに適用するため、かねてからボイラ伝熱管、タービンロータ、動翼など高温部材の材料開発や、機器設計を進めてきた。昭和61年から62年ごろ、原油価格の急落、円高の進行により、一時、主に経済性の観点からニーズが停滞していた感があったが、最近は見直しの気運にある。

環境保全への対応として、日立製作所では、微粉炭燃焼バーナで画期的な低NOx化を図った日立-NR(NOx Reduction)バーナの開発に成功し、すでにボイラの燃焼改善技術として、数多くの実績を得ている。このバーナは、着火性を改善し、燃焼の安定化を図ることによって高温火炎内で自己脱硝する方式であり、低NOx化と同時に未燃分の低減、空気過剰率の低減、最低負荷の低減などの改善効果がある。現在さらに、諸特性の向上を目標として超低NOxバーナ(NR-II)の開発を推進中である。

松浦火力発電所納め1号機1,000 MW用排煙脱硫装置は、ボイラと同様に、平成2年6月の営業運転開始に向け、現在順調に試運転中であるが、わが国最大容量の石炭火力用脱硫装置であり、かつ除じん塔、吸収塔および酸化塔の機能を1塔に集約したインテリジェント形方式を採用し、従来のシステムに対し簡素化、合理化およびユーティリティの低減を図った。

その他、排煙脱硝装置、電気式集じん装置も含め、石炭火力の排煙処理システムのよりいっそうの高度化に対し、総合的な開発、実用化努力を進めているが、これらの優位技術の一部は、最近、米国、西ドイツ、英国などの海外の火力発電の環境保全対策に役立っている。

近年幅広い炭種への適合性、石灰石直接投入による炉内脱硫ができるコンパクトな環境適合性を持った流動層燃焼技術を応用した流動層ボイラが注目されている。さらに、最近、加圧流動層ボイラとガスタービンの組み合わせによる高効率を目指した加圧流動層ボイラ複合発電プラントが、石炭ガス化複合発電プラントの実用化までの補完発電方式として注目されてきている。これらの流動層燃焼技術による流動層ボイラは、炉内を大気圧で燃焼させる常圧流動層ボイラと、炉内を加圧状態で燃焼させる加圧流動層ボイラに分類できる。これらの特徴を表3に示す。

日立製作所では、流動層燃焼技術を昭和53年から常圧流動層ボイラの550 mm角のベンチ炉による要素研究から着手し、電源開発株式会社若松火力発電所に20 t/hパイロットプラント

を設計・製作・据付け・試運転調整し、昭和55年から運転研究に入り、これをもとに電源開発株式会社若松石炭利用技術試験所に50 MW実証プラントの設計・製作・据付け・試運転調整を行った。昭和62年3月からこの実証プラントは順調に実証運転に入っており、非常に大きな成果をあげている。現在、これらの集大成として、電源開発株式会社竹原火力発電所納め2号機を対象として、350 MW商用プラントの詳細設計を実施中である。

加圧流動層ボイラ複合発電プラントについては、わが国の国情に適應するプラントを目指して、昭和63年からフィージビリティスタディの実施、さらに、研究開発・基本設計を推進し、上記の常圧流動層ボイラの豊富な経験とデータに加え、加圧流動層ボイラの要素テストを実施し、パイロット級の実証運転を平成6年度に、250～350 MW級商用プラントを平成10年度にそれぞれ入れるべく鋭意研究開発を推進中である。

(2) LNG燃焼コンバインドサイクル発電プラント

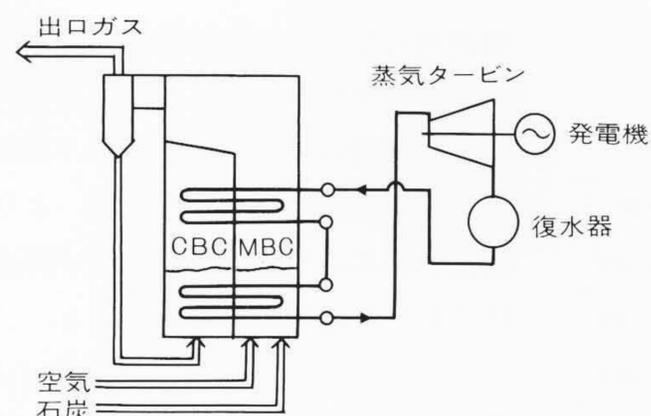
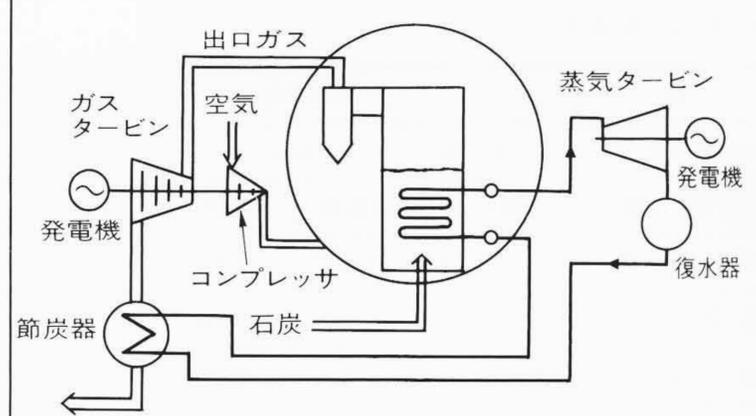
LNG火力はクリーン燃焼を使用し、環境対応性、運用性に優れており、従来ミドル供給電源として位置づけられている。特に、コンバインドサイクル発電プラントは、LNG火力の特長を最も発揮できる発電方式であり、発電効率の向上を目指

したアドバンスト形コンバインドサイクル発電プラントの開発が推進されている。

日立製作所では、昭和56年4月にわが国最初の大容量ガスタービンを主体とした排熱回収形コンバインドサイクル発電プラントを東日本旅客鉄道株式会社の川崎火力発電所1号機に納入し、すでに9年間の運転実績を蓄積した。このプラントのガスタービンはモデルB形を使用し、入口ガス温度は1,000℃級である。入口ガス温度1,100℃級のガスタービン、モデルE形、またはモデルEA形を用いたコンバインドサイクル発電プラントとして、昭和63年末に東京電力株式会社富津火力発電所1,000 MW 2号機系列が営業運転に入り、さらに中国電力株式会社柳井火力発電所(以下、柳井火力発電所と言う。)納め1号機700 MWプラント、九州電力株式会社新大分火力発電所(以下、新大分火力発電所と言う。)納め1号機690 MWプラントが現在順調に建設・試運転中であり、それぞれ一軸目は平成2年度中に営業運転を開始する予定である。

日立-GEの最新モデルF形ガスタービンは、入口ガス温度が1,300℃級と上昇しており、このガスタービンを利用したアドバンスト形コンバインドサイクル発電プラントの熱効率は46%以上ときわめて高い値となる。同時に単機出力も大容量化

表3 流動層ボイラプラント形式の比較 炉内が大気圧か加圧状態かによって分類される。沸騰形のほかに循環形もある。

項目	常圧流動層ボイラ (沸騰形)	加圧流動層ボイラプラント (沸騰形)
流動層圧力	0.1 MPa {1 kg/cm ² }	1.18～1.57 MPa {12～16 kg/cm ² }
流動速度	1.3～2.0 m/s	1 m/s
層温度	850℃	850℃
伝熱管配置	層中および層外(後部)	層中
特長	<ul style="list-style-type: none"> 流動層中に脱硫剤(石灰石)を混入し、層温度を850℃前後に保ち、層内脱硫を行う。 ベッドは数セルに分割し、負荷制御はセルスランピングによる(層高一定)。 未燃分はサイクロンで捕集し、CBCで再燃焼し、燃焼効率を向上する。 	<ul style="list-style-type: none"> 流動層中に脱硫剤(石灰石)を混入し、層温度を850℃前後に保ち、層内脱硫を行う。 燃焼室を加圧し(空気、燃焼ガスの体積少)、ベッド面積を縮小する。 層高を高く、かつ流動速度が遅いため層中での脱硫、燃焼効率が大きい。 ボイラ出口ガスをクリーンアップ後、ガスタービンでコンプレッサおよび発電機を駆動する。 

注：略語説明 MBC(Main Burnup Cell), CBC(Carbon Burnup Cell)

し、ガスタービンと蒸気タービンの各1台の組み合わせで、60 Hz用で220 MW級、50 Hz用で300 MW級となる。F形ガスタービンとアドバンスト形コンバインドプラントの予想性能を表4に示す。このF形ガスタービンの初号機は、米国GE (General Electric) 社で昭和63年に工場試験を完了し、現在、バージニア電力会社に納入し試運転中であり、平成2年6月から営業運転に入る予定である。

ガスタービンの低NOx化について、日立製作所では熱効率の改善を図るため、かねてから乾式法のNOx低減技術の開発を進めており、すでにE形およびEA形ガスタービンの燃焼器については、日立製作所GTD (Gas Turbine Technology Development) センタで実圧・実寸燃焼器で開発を完了し、拡散燃焼と予混合燃焼方式の組み合わせによって、NOx値を約58%低減させることに成功し、上記の柳井火力発電所1号機、新大分火力発電所1号機に適用した。現在、同様に1,300℃級Fモデルガスタービンの低NOx化技術の開発を鋭意進めている。

4 新発電方式

日立製作所では、近い将来の火力発電技術のよりいっそうの高度化を目指し、次世代の新技术開発を積極的に推進している。以下に、代表例について述べる。

(1) 石炭ガス化複合発電

21世紀の石炭火力の中核として期待されている石炭ガス化複合発電は、よりいっそうの高効率化と優れた環境適合性を目指したもので、昭和61年度に電気事業者が石炭ガス化複合発電技術研究組合を結成し、200 t/d噴流床石炭ガス化複合発電パイロットプラントを国から受託したが、現在、その建設は順調に進んでいる。日立製作所では、このパイロットプラントの中で、1,300℃級13 MW石炭ガス化燃料用ガスタービン設備、大形ガスタービン燃焼器試験設備、および保安環境設備を担当している。このガスタービンは工場で油燃焼による負荷試験を実施し、計画値を十分満足できる見通しを得た。このガスタービンは昭和63年11月に初号機が運転を開始した

表4 アドバンスト形コンバインドサイクル発電プラントの予想性能 F形ガスタービンの採用により、コンバインドサイクルの熱効率は46~47%にも達する。

項目	60 Hz		50 Hz	
	107 F		109 F	
コンバインド形式	107 F		109 F	
非再熱・再熱	非再熱	再熱	非再熱	再熱
ガスタービン	144 MW	144 MW	194 MW	194 MW
蒸気タービン出力	76 MW	82 MW	109 MW	118 MW
コンバインド出力	220 MW	226 MW	303 MW	312 MW
コンバインド熱効率(HHV)	46.0%	47.2%	46.0%	47.2%

(一軸形)

1,300℃級25 MWガスタービンをベースに、相似縮小設計によって製作された。燃料は約4.2 MJ/Nm³と低カロリーであるため、それに対応する燃焼器を日立製作所GTDセンタで開発したものである。今後は上記の石炭ガス化複合発電技術研究組合勿来石炭ガス化発電所で、据付け、試運転さらに運転研究を通して石炭ガス化複合発電の技術を確立していく予定である。

(2) 溶融炭酸塩型燃料電池発電

わが国では、昭和56年8月にムーンライト計画による「燃料電池発電技術の研究開発」の基本計画が策定され、リン酸形燃料電池と溶融炭酸塩型燃料電池が国の開発テーマとして取り上げられ現在推進されている。

日立製作所では、ムーンライト計画で溶融炭酸塩型燃料電池本体技術をNEDO(新エネルギー・産業技術総合開発機構)から受託開発し、周辺技術はNEDO管掌の下、国内関連14団体で構成する溶融炭酸塩型燃料電池発電システム技術研究組合(MCFC研究組合)に参加し、プラントシミュレーション技術、リフォーマ開発およびサポート研究分野の石炭ガス化対応技術開発(ガス精製)分野を受託開発している。

溶融炭酸塩型燃料電池は、COやCO₂を含む石炭ガス化ガス燃料も使用可能な燃料電池で、作動温度が高く(600~700℃)排ガスの熱回収を図るボトムリングサイクルとの組み合わせから成る高効率複合発電システムが可能となる。現在大形化へ向け開発研究中であり、昭和61年度には、3,600 cm²級セルによる10 kW超の出力発電に成功し、平成元年度には1万cm²級セルによって25 kWの出力発電が達成された。さらに、近年中に100 kW級出力発電に到達の予定である。

5 結 言

以上、火力発電を取り巻く社会的ニーズと、それに対応した日立製作所の最近の火力新技术の動向、および近い将来を目指して開発中の新発電方式について概要を述べた。

これらの新技术の開発は、基礎研究から実証プラントを経て商品化するまでには長時間を要するものが多い。火力発電に関する新技术開発は、将来のわが国のエネルギー戦略とも密接な関係を持たざるを得ないものであり、さらに、地球規模での環境保全への取り組みにもかかわってきており、その観点からもぜひとも積極的に推進する必要がある。このため、重点テーマについて電力会社との共同研究や、国のサンシャイン計画やムーンライト計画、各種委託研究に積極的に参加し、関係者の指導を得ながら、よりいっそうの火力技術の高度化のため、日立製作所および関連グループ各社の総力をあげて取り組んでいく考えである。

参考文献

- 1) 資源エネルギー庁：平成2年度電力施設計画の概要(平2-4)