

# 火力発電プラントの最新技術



原動機事業本部 河村友穂\*1

## 1. はじめに

火力発電プラントは、原子力発電プラントとともに、国民生活、産業活動の基盤を支える電力の安定供給の担い手として、我が国の経済発展と社会福祉の増進に寄与してきた。経済発展に伴う近年の急激な電力需要の伸びは化石燃料消費を増大させ、NOx、SOx やばいじん等の大気中への排出増加を招いたが、世界に類を見ない厳しい環境規制が制定される中、環境対策技術の開発が強力に進められ、電力供給と環境保全を両立させてきた。しかしながら、近年は地球温暖化現象をもたらす一因として大気中のCO<sub>2</sub> 増加が新たな問題として取上げられ、火力発電もその対応を迫られる情勢となりつつある。

このような背景の下、当社は火力発電プラントに求められる高い経済性と信頼性並びに環境への適合、燃料の多様化等の基本的なニーズにこたえるため、高効率化へ向けた各種技術、石炭利用技術、環境対策技術、各種診断技術等の開発を強力に推進してきた。本報では、はじめに最近の火力発電を取巻く環境を、次いで当社の火力発電プラントの最新技術について述べる。

## 2. 最近の火力発電を取巻く環境

- (1) 平成6年夏はこれまでにない猛暑となり、全国各地の最高気温の記録が次々と塗り替えられた。気温の上昇に伴い冷房需要が増大し、最大電力は前年比約2130kW(15.1%)増の1億6281万kWに達した。この最大電力は6年度施設計画における8年度予想値をも上回る値で、電源立地促進が急務となってきた。火力発電プラント建設計画の前倒しや既設経年火力の寿命延長、再生、リパワリング等の対策がとられようとしている。また、ピーク電力需要の先鋭化により火力発電設備の負荷率は年々低下してきており、大容量火力発電プラントといえどもDSS(Daily Start and Stop)機能等中間負荷運用に対応する技術が求められている。
- (2) 電気料金については内外価格差の指摘を受ける中、より効率的な電力供給システムの構築が求められている。競争原理の導入に向けた卸発電事業の自由化及び需要家への直接供給に関する参入条件の整備が現在進められている。これらの施策によりコージェネレーションを含めた自家発電やごみ発電等の分散電源の導入が今後ますます進むものと思われ、事業用火力に対しても一層の経済性向上が求められると思われる。
- (3) 平成6年3月に“気候変動条約”が成立し、2000年におけるCO<sub>2</sub>排出量を1990年のレベルに抑えることを我が国は国際的に公約した。今後の電力エネルギー需要の増大の中で、CO<sub>2</sub>排出量抑制に向けた原子力発電の積極的活用、エネルギー変換の高効率化、エネルギーの有効利用がますます必要となるが、さらに、風力・地熱・太陽光といった自然エネルギー利用発電の導入や発電プラントから排出されるCO<sub>2</sub>ガスの分離・回収・

処分等の技術開発も長期的観点からの取組みが必要となる。

- (4) オイルショック以降、代替エネルギーの開発が強力に推進され、LNG、石炭等脱石油燃料転換が図られてきたが、近年は、高効率コンバインドサイクルの実用化とともに、LNG火力発電の導入が加速されている。しかしながら、LNGは将来その供給確保に不安があり、今後は石炭が発電用燃料の主流になることは間違いないと思われ、クリーンで、高効率な石炭だき発電プラントの開発が強く求められている。

このように、火力発電は量の確保と一層の経済性並びに運用性の向上、環境保全及び燃料の多様化といった多くの点で新たな対応を求められている。次章ではボイラ・タービン発電プラント、ガスタービンコンバインドプラント、石炭高度利用高効率発電プラント、分散電源対応技術及びCO<sub>2</sub>対策技術について当社の取組状況を述べる。

## 3. 火力発電プラントの最新技術

### 3.1 ボイラ・タービン発電プラント

#### 3.1.1 高効率化技術

我が国の事業用ボイラ・タービン発電プラントでは、昭和40年代以降超臨界圧蒸気条件(246kgf/cm<sup>2</sup>G×538/566℃)が標準的に採用されたきたが、高温材料と高温化設計技術の開発により、最近更なる高温・高圧化による高効率化が進められた。当社はボイラプラントでは中部電力(株)川越1・2号(各700MW)向けにLNGだき超々臨界圧変圧運転ボイラをそれぞれ平成元年、2年に納入した。ボイラ出口蒸気条件は325kgf/cm<sup>2</sup>G、571/569/569℃の2段再熱方式で、中間負荷火力としての部分負荷特性も改善した貫流ボイラで、垂直管火炉の適用など熱効率の改善とともに信頼性の向上を図っている。石炭だきボイラでは、平成3年度に北陸電力(株)敦賀1号(500MW)向けボイラ(蒸気条件255kgf/cm<sup>2</sup>G、570/568℃)を納入した。

一方、蒸気タービンでは、平成5年に中部電力(株)碧南3号(700MW)向けに超臨界圧高温蒸気タービン(246kgf/cm<sup>2</sup>G、538/593℃)を納入し、引き続き北陸電力(株)七尾太田1号(500MW)向けタービン(246kgf/cm<sup>2</sup>G、566/593℃)を製作し、試運転中である。さらに現在は600℃級タービンを製作しているところである。

このようにボイラ・タービンの高温・高圧化で先陣を切った当社は、顧客のニーズに応じてUSCボイラ・タービンプラントを供給する準備が出来ている。

#### 3.1.2 燃料多様化技術

発電用燃料としては現在石油が占める割合は28%、LNGが22%、石炭が11%であるが、今後は石油への依存度が更に低下し、石炭の増大とオリマルジョン<sup>®</sup>等の導入が進められようとしている。

当社は昭和56年初めて海外炭大型石炭火力として電源開発

\*1 取締役 原動機事業本部副事業本部長

(株)松島1号(500 MW)を建設して以来多数の石炭だきボイラを製作・納入するとともに高性能化、大型化に取り組んできた。最近では前に述べた北陸電力(株)敦賀1号(500 MW)を納入したほか、現在相馬共同火力(株)新地2号向け1000 MWボイラを最新のゾーンモジュール工法を適用し、建設中である。大容量USC石炭だきボイラ技術としては既に1400 MWまでの火炉設計技術を確立し、高温部使用材料及び中間負荷運用対応の検討を終えている。

また、高濃度石炭・水スラリー(CWM: Coal Water Mixture)は石炭のハンドリング性を向上したもので、昭和56年から技術開発に取り組んでおり、事業用ボイラへの適用では、常磐共同火力(株)勿来発電所8号ボイラにてCWM混焼(最大50%)改造を行い、良好な運転を継続している。

一方、オリマルジョン<sup>®</sup>燃料は、原油の4割程度の豊富な埋蔵量があり、火力用新燃料として導入が進められている。当社は平成3年に鹿島北共同発電(株)2号(蒸発量650 t/h)ボイラを、平成4年には三菱化成(株)水島3号(蒸発量600 t/h)をそれぞれオリマルジョン<sup>®</sup>だきに改造し、現在順調に運転されている。これ等のボイラで培った技術をもとに、オリマルジョン<sup>®</sup>燃料を既設事業用火力へ適用するための改造工事を平成6年に関西電力(株)大阪発電所4号ボイラ(156 MW)に対して行い、現在実証運転を行っている。

### 3.1.3 環境対策技術

当社はボイラ・タービン発電プラントの環境対策技術についてはその発生源対策と排煙処理技術についてそれぞれ技術開発を実施し、現在まで多数の実績をあげるとともに広く欧米諸国へ技術供与するまでになっている。NO<sub>x</sub>の発生源対策としては低NO<sub>x</sub> PMバーナを世界に先駆けて実用化して以来、炉内脱硝法(MACT)、大容量回転式分級高微粉度MRSミル等を次々と開発し、実用に供してきた。最近の一層の低NO<sub>x</sub>化への要求に対しては、最新の流動解析技術や構造解析技術を適用して新型低NO<sub>x</sub> PMバーナを開発、実用化した。また、排煙処理としてはアンモニア還元乾式脱硝法(SCR)をいち早く実用化し、現在更に大幅なNO<sub>x</sub>排出量の低減を目指した技術開発に取り組んでいる。

一方、脱硫、脱じん対策では既に多数の高性能排煙処理装置を納入しているが、最近では従来の130℃前後より更に低温の90℃前後で運転する低低温EPと新型高性能脱硫塔等から成るコンパクトで経済的な新石炭火力用排煙処理システムを実用化し、厳しい環境規制に対応している。

### 3.1.4 経年火力プラントの寿命延長・再生技術

昭和40年代に電力需要の伸びに応じて建設された多数の火力発電プラントは老朽化が進んでおり、これら既設経年火力発電設備の延命化、再生及び更新が進められようとしている。当社はこれら経年火力のプラント機能の向上対策、延命化技術及び寿命診断技術の開発、実用化を進め、寿命消費部位の診断、換装工事等を多数実施してきた。最近では関西電力(株)高砂発電所2号ボイラ火炉壁の更新工事を最新のジャッキアップ工法を適用して実施した。既設火力発電のリパリングとしては、既設ボイラにLNGだきガスタービンを追設して排気再燃複合発電プラントとすることにより限られたスペースの中で出力アップと効率向上を図りながらNO<sub>x</sub>排出量の増加をミニマムに抑える技術を確立している。この方式は中部電力(株)知多第二火力1、2号機に適用される予定であり、現状の熱効率(発電端)を10%程度改善で

きるものと試算されている。

### 3.2 ガスタービンコンバインドプラント

ガスタービンコンバインドプラントはガスタービンと蒸気タービンを組合せた複合発電で、従来型発電プラントに比べて相対値で10%以上の効率向上が達成でき、最近の新規LNGだき発電プラントの多くに採用されている。当社は、昭和59年世界で最初の大容量ガスタービンコンバインドプラントを東北電力(株)東新潟3号系列(1090 MW)に納入し、高効率発電プラントであることを実証した。本プラントのガスタービンは1150℃級D型ガスタービンであったが、その後高効率化のニーズにこたえ、他社に先駆けて1350℃級高効率F型ガスタービンを平成元年に開発し、米国フロリダ電力へ納入した。このガスタービンは従来型に比べ相対値で約8%の熱効率改善が図られており、国内事業用としては九州電力(株)新大分2号系列(870 MW)に最初に採用された。現在まで半数のユニットが運開しており、世界トップレベルの47%以上のプラント効率を記録している。平成7年には4ユニット全数が運開する予定である。ガスタービンの高温化に当たっては、各種最新翼冷却技術の採用により、従来型と同レベルのメタル温度を維持し信頼性を確保しながら高効率化を達成している。また、従来型予混合燃焼器を改良し、燃焼温度の上昇によるNO<sub>x</sub>量の増加を抑制するとともに、新たに開発した高性能高効率脱硝装置の採用により十分環境規制を満足させている。

現在はコンバインドプラントとして50数% (HHVベース)のプラント効率が達成できる低NO<sub>x</sub>で高温高効率なガスタービンの開発を進めている。

### 3.3 石炭高度利用高効率発電プラント

石炭は燃料中に含まれる灰分やアルカリ金属のためにそのままガスタービン用燃料として使用し、コンバインド化することは困難であり、加圧流動床ボイラ(PFBC)や石炭ガス化炉と組合せた複合発電システムが開発されている。

#### 3.3.1 PFBC 複合発電

PFBC複合発電は流動床ボイラを加圧下で運転し、ばいじんを除いた後の燃焼排ガスによってガスタービンを駆動し、さらに、ガスタービン排ガスの排熱を排熱ボイラで回収し、蒸気タービンを動かす複合発電システムである。本発電はボイラ炉内脱硫が可能で、燃焼温度も850℃程度であるのでNO<sub>x</sub>の発生が少なく、環境適合性が高い。また、加圧燃焼方式であるのでボイラがコンパクトとなる。当社の加圧流動床ボイラには、除じん装置として後述の固体電解質型燃料電池開発で培った技術に基づくセラミックスフィラを採用している。ボイラの基本的特性は平成3年に長崎研究所に設置した2 MW<sub>th</sub>パイロットプラントを使って検証した。当社は北海道電力(株)苫東厚真3号(85 MW)向けに我が国最初の商用プラントを製作、建設中で、平成8年に運開する予定である。

#### 3.3.2 石炭ガス化複合発電(IGCC)

IGCCは石炭をガス化し、クリーンアップ装置で浄化した石炭ガスを燃料としてガスタービンに供給する複合発電システムである。43~48% (HHVベース、送電端)と高い発電効率が期待でき、環境適合性に優れるので、今後の石炭だき高効率発電プラントとして大きな期待が懸けられている。石炭供給法、ガス化炉形式、クリーンアップ方式には各種形式があるが、当社は乾式微粉炭供給、二段噴流床ガス化方式、固定床乾式クリーンアップ方式を選定し、実用化を目指している。現在、石炭処理量200 t/dのパイロットプラントを用いた運転研究が、国家プロジェクトとし

て実施されており、当社は本プラントの主要部であるガス化炉を担当し、当初の目標達成を目指している。ガス化炉の重要課題であるスラグ対策については、常圧8t/dガス化炉や各種モデルを使った流動シミュレーション及び解析を行ってガス化炉の最適化を行っている。

### 3.3.3 固体電解質型燃料電池 (SOFC) 複合発電

燃料電池は電気化学反応によって燃料から直接電気を取出す発電方式で、カルノーサイクルの制約を受けない。各種燃料電池がある中で、SOFCは作動温度が約1000℃と最も高く、コンバインドプラントとしたときに最も高い発電効率が期待でき、燃料も水素ばかりでなく石炭ガスも使えるので、将来の火力発電方式として最も適する。SOFCの排熱でガスタービン、蒸気タービンを駆動する複合発電ではLNGだきで62%、石炭だきで55%（いずれもHHVベース）と非常に高いプラント効率が期待できる。

当社は昭和58年からSOFCの開発を始め、構成部材であるセラミックスの基礎物性調査及び製造技術の開発を行い、現在までに円筒型及び一体積層型で1kW以上の発電達成とそれに引き続いた長時間発電試験を行った。セラミックスは耐熱性に優れ、劣化がほとんどないが、反面脆いという課題がある。独自のセラミックス成形技術、焼成技術やシール技術を開発してこの課題を克服してきている。近い将来、それぞれの型式で5~10kW級モジュールの発電試験を行い、性能・耐久性を確認し、その後の大容量化及び実用化を目指す。また、これと平行して将来の複合発電プラント構成に必要な各種要素技術開発も実施している。

### 3.4 分散電源対応技術

エネルギー有効利用の観点から、電気ばかりではなく熱も利用できるコージェネレーションプラントへの期待が高まっているが、当社は用途や規模に応じて対応している。

ガスタービンでは事業用大容量機の技術を生かした1250℃級MF-111（12~16MW）ガスタービンの開発を昭和58年に着手し、現在までに30台を超えるプラントを納入してきた。引き続いて、MF-111をスケールアップし、圧縮機の高性能化や燃焼器の低NOx化等を図ったMF-221（25~35MW）ガスタービンを開発し、初号機を鹿島北共同発電(株)に平成6年納入した。

また、ディーゼルでは4~6MW級機KU30を開発し、昭和61年に初号機を納めて以来現在までに100台以上を納入してきた。さらに6~10MW級機KU34を平成6年に開発し、既に計画どおりの性能と信頼性を工場試運転で確認している。KU34はボア、ストローク長、回転数を最適化し、高出力と低コスト化を達成するとともに、豊富な燃焼関連技術を生かして900ppm以下の低NOx化を実現した。

一方、年々増加する廃棄物の発電用燃料としての活用が進められているが、当社は石炭ばかりでなく、ごみやカーシュレツダダストをも燃料とすることができる“何でもたけるボイラ”として循環流動層ボイラ（CFB）を開発し、低ダイオキシン燃焼技術、HCl高温腐食対策技術あるいは低コスト灰処理技術を確立している。これらの技術と豊富なボイラプラントやコンバインドプラント技術を適用できるスーパーごみ発電についても既に設計技術を確立している。

また、燃料電池では前述のSOFCのほか、起動特性に優れ、単体発電効率が都市ガスオンサイト用固体高分子型燃料電池（SPFC）の開発も行っている。

### 3.5 CO<sub>2</sub> 対策技術/自然エネルギー利用

長期的観点から自然エネルギーの利用拡大や排出ガス中からのCO<sub>2</sub>ガス分離・回収・投棄等について技術的備えを固めておく必要がある。当社は自然エネルギー利用では昭和42年に九州電力(株)大岳に12.5MW地熱発電を、昭和62年にハワイ向け250kW風車37台を納入し、経済的な商用機の実用化を達成し、国内のみならず広く海外の適地に建設し、地域の電力需要にこたえている。太陽電池については基礎研究を実施中であり、将来の実用機と目されるアモルファス型にて初期劣化の少ない高効率電池の開発の目的を付けている。また、自然エネルギーの豊富な海外で水電解により水素を製造し、これをエネルギー多消費地域に輸送し、水素燃焼タービンによる発電等に利用するクリーンエネルギーシステム（WE-NET：World Energy Net Work）の開発では国家プロジェクトに参画し、要素研究に取り組んでいる。

一方、火力発電プラントからの排ガス中のCO<sub>2</sub>の分離・回収・処分技術では電力会社と共同で物理吸着法及び化学吸収法について基礎研究を実施しており、将来の電力環境の変化にタイムリーにこたえられる準備を整えつつある。

## 4. ま と め

最近の火力発電を取巻く環境と当社の火力発電プラントの最新技術について紹介したが、火力発電プラントは今後ますます高度化し、単体機器の開発ばかりではなく、システムとしての最適化・簡素化が非常に重要になる。当社がこれまでに培ってきたボイラ、タービン、ガスタービン、プラント設計技術、計装制御技術、環境対策技術等を結集して、顧客のニーズにこたえる技術開発を強力に推進し、経済性と環境適合性に優れ信頼性の高い発電プラントを供給することを通じて豊かな社会の発展に貢献したいと念願する次第である。