火力発電設備の動向と展望

特集

西垣　博志（にしがき　ひろし）

1　まえがき

ここ数年，現代社会がいかに電気の恩恵を受けているかを改めて実感させられる事件が起きている。アメリカ北東部からカナダにかけた広範囲にわたる大停電やイタリア全土に及ぶ停電事故が発生し，市民生活に大きな影響を与えた。上海では数年来輪番停電が実施されて，企業活動の大きな障害になっている。日本でも東京電力株式会社の全原子力発電所の停止により，冷夏に助けられて停電までには至らなかったものの，大きな不安を与えた。また大規模停電では，ささいな事故が次第に拡大し巨大なシステムがもろくも崩れ去る恐ろしさも見せつけられた。

社会インフラストラクチャーである発電設備の建設に携わるものとして，設備の信頼性を一層高める必要性を痛感する。同時に高性能・低価格を実現することによって社会へ貢献することも企業としての使命である。

2　市場動向

国内電気事業の環境は，電力需要の伸び悩み，電力料金の相次ぐ引下げ，電力自由化の進展，環境税の新設，石油・石炭などの燃料価格の高騰など依然厳しい状況にある。「電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法」（RPS 法）の施行に続き京都議定書が 2005 年 2 月に発効し，再生可能エネルギーによる発電の分野に追い風はあるものの 1 ～ 2 年は様子見の状態が続き，新規電源開発は停滞するものと予想している。

海外市場においては，電力需要の伸びがきわめて顕著である BRICs（Brazil，Russia，India，China）向けや，最近国際舞台に復活したリビア向け，そして東南アジアのインドネシアやベトナム向けの需要が事業用も自家用も共に好調である。これらの国々は，経済成長や工業化のスピードに電力供給が追いついていないのが実態であり，今後数年間は引き続き多くの発電設備の新規需要があるものと考えられる。これらの設備は富士電機が得意としている中小容量が主流である。発電方式も石炭だきを中心とした純発電やコージェネレーションプラント，既設のガスタービンへのアドオンによるコンバインドサイクル化など，富士電機が多数の実績を有しているものである。したがって，今後も多くのビジネスが期待できるものと考えている。

3　技術動向

富士電機は約 80 年前に，米国の技術が主流であった日本において，欧州の技術を導入する形で，古河電気工業株式会社とシーメンス社との提携により設立された。火力設備の製作に関しては，約 40 年の歴史があり，主に事業用火力発電所の建設に際してシーメンス社の技術を導入する形で特徴のある数々の製品を提供してきた。**表 1** に富士電機の主な技術・事業の変遷を示す。最近では，電源開発株式会社磯子火力発電所向けに超々臨界圧蒸気タービンを納入し，発電設備の効率向上すなわち地球環境負荷の低減に貢献している。**図 1** に電源開発株式会社磯子火力発電所新 1 号機の全景を示す。

一方，電力の自由化に伴って独立電気事業者（IPP）による発電設備が建設されているが，こうした設備に対しても経済性に富んだ数々の設備を提供している。

現在は，国内事業用火力発電設備の建設は停滞しすぐには回復が見込めない。また IPP における計画も一巡している。**図 2** に，IPP 設備として建設したユービーイーパワーセンター発電所の全景を示す。富士電機では，こうした今後の市場動向を見据え，製品開発を行っている。以下に，現在の主力製品である中小容量発電設備における技術動向を述べる。

3.1　小容量新型非再熱蒸気タービン

小容量（25 ～ 50 MW）のニーズに合致した簡易な構造を持つ蒸気タービン（FET-N型）を新規に開発した。第 1 号機が中国で運転を開始し，第 2 号機も出荷を完了し現地据付け中である。

西垣　博志

火力発電・地熱発電の技術部門および国内自家用発電設備の営業に従事。現在，富士電機システムズ株式会社取締役発電プラント本部長。

表１　富士電機の主な技術・事業の変遷

区分＼年代	1970	1980	1990	2000
国内事業用火力発電設備	▼東京電力(株) 大井火力3号機 （国内初の純変圧運転）	▼電源開発(株) 石川石炭火力1，2号機 （高温タービン） ▼沖縄電力(株) 牧港9号機 （石油火力の全自動化）	▼東北電力(株) 能代火力1号機 （50Hz，600MW 大容量タンデム機） ▼関西電力(株) 宮津エネルギー研究所2号機 （本格的DSS運転対応機）	▼電源開発(株) 磯子火力新1号機 （600MW超々臨界圧 プラント）
国内自家用発電設備・IPP発電設備		▼宇部興産(株)宇部工場 （国内最大級の145MW 自家用発電設備）	▼(株)富士電機ガスタービン研究所 （シーメンス社製69MW ガスタービン）	▼(株)ユービーイー パワーセンター （60Hz最大全含浸 空気冷却発電機） ▼(株)神戸製鋼所加古川製鉄所 （軸流排気タービン）
海外火力発電設備	▼フィリピン・バターン2号機 （海外事業用火力発電設備への 本格的進出） ▼オーストラリア・グラッドストーン 1～4号発電機 （水素直接冷却発電機）	▼タイ・マエモ4～13号機 （東南アジア最大の火力発電所）	▼パキスタン・ジャムショロ1号機 （最大の水素間接冷却発電機）	▼台湾・台塑石化FP-1 1～4号機 （60Hz，600MW大容量タンデム機） ▼バングラデシュ・ メグナハット （コンバインド用 タービン・ 大容量空気 冷却発電機）
地熱発電設備	▼電源開発(株) 鬼首地熱発電所 （発電機納入）	▼エルサルバドル・ アウアチャパン3号機 （地熱発電設備への 本格的進出）	▼アメリカ・コソ2～9号機 （モジュール型タービン・発電機）	▼インドネシア・ ワヤンウィンド1号機 （世界最大の1ケーシング 地熱タービン） ▼東京電力(株)八丈島地熱発電所
技術開発	▼水素直接冷却方式	▼高温用12Crロータ ▼中小型全含浸絶縁装置	▼高温用改良12Crロータ ▼22kV級Fレジン/F絶縁 ▼Fレジン/FII絶縁 ▼大型全含浸絶縁装置	▼白石新工場の完成 ▼固定子巻線自動編み機 ▼126MVA空気冷却発電機試作実験機 ▼22kV級全含浸絶縁 システム

図１　電源開発株式会社磯子火力発電所新１号機

図２　ユービーイーパワーセンター発電所の全景

3.2　大型非再熱蒸気タービン

自家用発電設備は富士電機が最も得意とする技術分野であり，複数のプロセス蒸気を有する複雑な制御を要求されるプラントである。タービンは，プロセス送気流量の要求に合わせた制御を行うと同時に電気出力を調整する。従来の出力は数十MW程度であったものを，市場のニーズに合わせて技術開発を行い，160 MW超まで大型化を行った。

3.3　単気筒再熱蒸気タービン

従来２気筒で構成されていたものを単気筒で構成する再熱蒸気タービンを開発し，第１号機の運転を開始した。タービン軸の長さを短くすることによって土木建築を含む建設コストが低減し，より経済的なプラントが実現できる。

3.4　最新型ディジタル制御装置

高性能 PLC である「MICREX-SX」を採用したディジタル形のタービン・発電機一体型制御装置（TGR）が商業

運転に入り，引き続き他のプラントへ適用している。

3.5　遠隔監視

海外の遠隔地へ納入した発電設備の運転状態を周期的に収集し，インターネットを経由して保守部門で受信するシステムを開発した。遠隔地の設備にあっても，故障時に素早い適切な処置を顧客に指示することによって，事故停止の時間を最小化し顧客の損失を低減できる。また，予防保全に対する適切なアドバイスを行うことにより，事故停止を避けることが可能になる。

4　蒸気タービン

従来から火力発電プラント設備の熱効率やスペース効率の向上を目的として，蒸気タービンにはさまざまな技術開発が要求されている。富士電機においても，大容量機分野では600 MW級の超臨界圧蒸気タービンの開発を推進し，蒸気条件の高温高圧化による熱効率の向上や長大翼の開発に伴って低圧タービンのケーシング数を削減しコンパクト化を実現してきた。中小容量機分野でも，蒸気タービンの効率向上やコンパクト化，保守性の向上などについて技術開発を推進して初期投資額の低減と信頼性を向上させてきた。富士電機では従来の3ケーシング構成から2ケーシング構成へ，さらに2ケーシング構成から1ケーシング構成へスペース効率を改善してきた。単機容量の増大にあたっては，蒸気タービンの軸受間距離の延長に伴う軸系安定性の確保や低圧翼のエロージョン対策が課題となるが，解析精度の向上や構造改善により技術課題を克服してきた。すでに単機最大容量165 MW機を市場へ投入して運転実績を上げている。コンバインドサイクル用蒸気タービンでは，建設費の低減を目的として，軸流型蒸気タービンが主流となっている。今後も中小容量機の効率向上や価格低減に向けて技術開発を推進していく。

5　発電機

空気冷却発電機は，建設費の安さ，製作期間の短さ，運転保守の簡便さから，水素冷却機の適用範囲を徐々にカバーしている。現在，富士電機は，60 Hz機では280 MVA，50 Hz機では300 MVAまでを空気冷却発電機の適用範囲としている。大容量化を進めるにあたっては，水素に比べ冷媒としての能力が低い空気を用いるため，126 MVAの実験機を試作して，固定子および回転子の両方で1,000点以上に及ぶ測定点をオンラインで計測し，技術的検証を実施した。その結果，十分な信頼性を持つ大容量空気冷却発電機の製作を可能とした。

同時に水素冷却発電機についても，従来直接冷却式の範囲であった容量の設備が間接冷却式に置き換わっている。間接冷却式は空気冷却機で使われている冷却方式で，空気冷却機の開発過程で獲得した技術を水素冷却機に適用している。現時点での間接水素冷却発電機の適用範囲の上限は450 MVAである。

6　地熱発電設備

現在，日本国内では新たな地熱発電所の建設計画はない。地下資源リスク，初期投資額の大きさ，自然公園や既存温泉との調整・コンセンサスのためリードタイムが長いなど，すべてが高コストエネルギーとなっているためである。しかし，温泉地を含む未利用の蒸気・熱水を利用する「小規模バイナリー発電」などは，掘削費の削減と短いリードタイムで経済性のある地熱発電として期待できると考えられる。2003年度からRPS法が施行され，電気事業者による新エネルギーなどの利用が義務づけられた。地熱バイナリー発電もこの範疇（はんちゅう）に含まれることから，これを追い風として建設の機運が高まることを期待している。

海外では，1997年から1998年にかけてのアジア通貨危機を発端とする世界経済の低迷により，初期投資と投資リスクが伴う地熱開発計画は，発展途上国ではそのほとんどが凍結や延期となった。その後の経済復興に伴う電力需要に応えるため，円借款やアジア開発銀行などの公的資金を活用した地熱資源の調査や地熱発電所の建設計画が復活しつつある。

従来，地熱発電は設備費の安価なシングルフラッシュサイクルが主体であったが，資源の有効利用の観点から，ダブルフラッシュサイクルや，汽水分離後の熱水で低沸点媒体を蒸発させてタービンを駆動するバイナリー発電設備との組み合わせ，海外の寒冷地域では地熱タービンの排気および抽気で地下水を温めて暖房用の温水として供給する熱併給型の地熱プラントが建設されている。

地熱発電技術においては，プラント効率の向上のほかに，地熱タービンの稼動率を向上させるため，タービンのシリカスケール付着防止や除去技術，モニタリングと容易なメンテナンス方法，還元配管や還元井のシリカ付着対策などが重要視されてきている。また，地熱蒸気には，硫化水素ガスが微量ながら含まれているが，環境基準が厳しくなりつつあり，従来大気に放散していた硫化水素ガスを除去する装置を設置するケースが多くなると考えられる。

7　アフターサービス

これまでアフターサービスは，納入機器の定期的な点検や予防保全的な部品の交換や修理を主体に，ユーザーとの関係を密にして活動してきた。この活動の中には突発的な事故に対する対応や各種の改善提案も含まれている。定期点検は，設備の安全性を確保するために必要な作業として，国内においては法律によって守られた一種の規制業種という側面があった。規制緩和により法律によって義務づけられていた定期点検が自主検査に移っていくと，メーカーとしての技術提案が設備としての安定運用を確保するうえで真に必要な作業か否かが，経済的な尺度で厳しく精査され

るようになってきた。こうした流れの中で，欧米ではすでにメンテナンスサービス専門会社が活動を行っており，東南アジア地域でも点検の必要性が認識されつつある中で，欧米のメンテナンス会社の参入が先行している。富士電機は，設備の安定運用のために信頼性・即応性を武器に，メンテナンスサービス専門会社に負けない機器納入メーカーとしての特徴のあるアフターサービスを行っていきたいと考えている。

一方，経年設備に対するアフターサービス活動としては，設備の再生という意味で大幅な更新や設備全体の更新を計画する状況になってきた。建設当初に使用していた燃料を転換したり，発電所としての運用方式が変わるなどによる大掛かりな設備全体の更新と，劣化部分を修理・更新して設備の延命化を図る場合や，メンテナンス費の削減・設備の効率向上を図る場合など多種多様である。技術的にも建設当時と比べると大幅な進歩があり，問題解決の手段の幅は広くなっている。2004 年は，35 年前に建設した 2 ケーシングの再熱復水タービンを 1 ケーシングに置き換えた。発電所としての延命化を図るとともに，設備の運転効率を向上させ経済性の向上を図った。同時に，工事計画では，低圧タービンの基礎を流用することによって更新費用を圧縮し，さらに加減弁を削減することによって，今後のメンテナンス費用も軽減することができた。

8　あとがき

火力発電設備は電気を製造する生産財である。また，顧客にとってこの設備は，20 年以上も使用することを前提としている大事な設備である。したがって，第一に信頼性，第二にアフターサービス，第三に経済性が重要視される。世界的に電力需要が着実に伸長していく中で，この顧客のニーズに合致した，高信頼・高性能・低価格な発電設備を供給できるように，今後も注力していく所存である。

e-Front runners

＊本誌に記載されている会社名および製品名は，それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。