

発電技術の現状と展望

特集1

藤原 正洋 (ふじわら まさひろ)

須永 政孝 (すなが まさたか)

白川 正広 (しらかわ まさひろ)

① まえがき

世界的なエネルギー需要、とりわけ電力エネルギー需要は人口の増加と経済の発展に伴い大きく増加している。特に中国やインドでの電力需要の増加は著しく、電力需要の増加に伴い新規電源開発が相当なスピードで進められている。それ以外の地域でもアジアや中東地域を中心に旺盛(おうせい)に新規電源開発が進んでいる。

一方、地球環境保全、特に地球温暖化防止は世界的な課題であり、今後人類が生存していくための大きな課題として取り組まなければならない重要な事項である。2008年7月の洞爺湖サミットでも地球温暖化防止がメインテーマであり「2050年までに世界全体の温室効果ガスの排出量を少なくとも50%削減するということを長期目標にする」との基本合意がなされた。企業としても、地球温暖化防止のためにCO₂排出削減に対する取組みや省資源、エネルギーの有効利用を強化しなければならない。

富士電機では“環境”と“エネルギー”をキーワードに持続可能な社会づくりに貢献することを目指している。富士電機は、水処理技術や鉛フリーなどで“環境”に取り組み、パワーエレクトロニクス技術を駆使したインバータなどで“省エネルギー”技術に貢献している。“エネルギー”発生分野である発電では、自然エネルギーであり循環エネルギーでもある地熱発電、水力発電に対する取組みを強化し世界をリードしている。またCO₂を排出しない原子力発電にも特徴ある技術で貢献している。クリーンエネルギーで、また分散型エネルギーとして活用できる燃料電池、太陽電池などにも力を入れている。

富士電機の発電部門において、火力発電では中容量火力発電や地熱発電、水力分野では低落差発電や揚水発電、原子力分野では燃料取扱設備、廃棄物処理設備などを中心に技術開発を進めている。また既設発電所機器の性能向上、信頼性向上などのリパワリング、リハビリテーションなどに対する技術開発も推進している。本稿ではこれらの特徴ある技術開発の一端を紹介する。

② 火力発電

2.1 火力発電の市場動向

2007年の全世界の火力発電市場は、好調であった。ガスタービンの発注は、対前年比151%増の約68GWであり、1998年以来の大幅増加であった。この傾向は2008年以降も継続するものと予想されている。一方、蒸気タービンの発注は、特に電力需要が急増している中国市場を除いても対前年比186%増の約92GWであり過去最高となった。中国市場でも一大ブームとなった2003年以降の発注量であり約130GW(対前年比240%)の発注となった。

国内市場は、電力需要の伸び悩みや石油・石炭・天然ガスなどの燃料価格の高騰により新規の電源開発は停滞している。「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)の施行やCO₂排出削減などの追い風はあるものの市場の好転という見方はできないと考えられる。

海外市場は前述のように非常に活況を呈している。国によって経済成長や工業化の事情は異なっているが、世界的に新規電源開発や老朽化設備のスクラップアンドビルドなどインフラ整備が急ピッチで進められている。富士電機は、2007年に蒸気タービン発電設備を13基受注したが、納入先は北米、極東、東南・西アジア、アフリカ、中近東およびCIS(独立国家共同体)であり海外向けが中心である。

地熱発電の開発は地球温暖化防止、自然エネルギーの有効活用の点から世界的に進められている。地熱発電は火山地熱地帯に地域が限定されてしまうが、環太平洋の地熱地帯、アフリカ、北欧など有望な地域が存在する(図1)。

現在開発が進められている地域は、インドネシア、フィリピン、ニュージーランド、米国西海岸、アイスランドなどが中心であるが、今後アフリカ、南米の地熱地域での開発が期待される。

最近10年間での地熱発電設備の富士電機の納入シェアが30%以上であり、世界の地熱発電の発展に大きく貢献している。ニュージーランドの地熱プラントでは、地熱井



藤原 正洋

火力発電所、地熱発電所のエンジニアリング業務およびプロジェクトマネジメント業務に従事。現在、富士電機システムズ株式会社発電プラント事業本部火力統括部長。



須永 政孝

水力発電所のエンジニアリング業務に従事。現在、富士電機システムズ株式会社発電プラント事業本部水力統括部長。電気学会会員。



白川 正広

原子力分野のシステムエンジニアリング業務に従事。現在、富士電機システムズ株式会社発電プラント事業本部原子力統括部長。技術士(原子力・放射線部門)。日本原子力学会会員。

戸元からの地熱媒体を発電用蒸気に生成する蒸気分離システムにも取り組み、ターンキーで地熱プラントの建設に取り組んでいる。

また中小容量の地熱利用発電設備としてバイナリー発電装置の開発も進め、霧島国際ホテルに実証機を設置し運転を継続してきており期待どおりの成果が確認できた。

2.2 火力発電の技術開発

富士電機では、昨今のマーケットニーズに確実に応えるべく種々の技術開発を行ってきている。ここではその一部を簡単に紹介する。

(1) 一般火力発電機器の開発

(a) 単汽筒再熱式蒸気タービン

従来二汽筒型で対応していた100～150MWの再熱式蒸気タービンをコンパクト化するために単汽筒型を開発し、設置面積の縮小、短納期、経済性と保守性の向上を図った。

(b) 単汽筒型蒸気タービン用溶接ロータ

高圧部と低圧部でそれぞれに必要な特性を持つ異種ロータ材を溶接で一体化する技術を開発し、リードタイム短縮と経済性の向上を図った。

(c) 造水プラント用蒸気タービン

中近東で活発に新設されている造水プラントに適應できる大容量単汽筒非再熱式蒸気タービンを開発し、新規市場への参入を目指している。

(d) 全含浸絶縁方式の大容量発電機

400MVA級の大型水素冷却発電機に全含浸絶システムを採用することで、信頼性、保守性および経済性の向上を図った。

(2) 地熱発電機器の開発

(a) 耐食性強化地熱タービン

地熱発電で重要な蒸気タービンの内部部品の耐食性を向上させる技術を開発し、機器の信頼性、保守性をより向上させることができた。

(b) 地熱蒸気の性状診断システム

地熱蒸気の性状を定期的に自動測定し、性状悪化をいち早く検出する診断システムを開発した。腐食やスケールリングを未然に防ぐことで、信頼性、保守性を向上させることができる。

(c) 地熱バイナリー発電設備

フラッシュサイクル式よりも低温の蒸気で発電が可能な地熱バイナリー発電設備を開発した。中小規模の地熱エネルギーに適用し、地熱エネルギーの利用領域の拡大と有効利用が期待できる。

(3) 保守改善技術の開発

(a) 「リークバスター」

復水器周辺の真空領域が経年劣化し空気を吸い込むことでプラント性能が低下する。プラントを停止することなく空気の漏込み箇所とその量を精度よく測定でき、プラントの保守性と経済性の向上に貢献できる装置を開発した。

(b) リモートモニタリング

運転中のプラントの状態を富士電機の工場で遠隔監視し、顧客に専門家がタイムリーにかつ適切なアドバイスができるリモートモニタリングシステムを構築した。

③ 水力発電

3.1 水力発電の市場動向

水力発電は再生可能エネルギーとして世界的に重要性が見直されてきている。そこでの視点は、次の4点などである。

- (a) CO₂を排出しないエネルギーとして、地球環境保全に大きく貢献できること
- (b) 純国産エネルギーとして、エネルギーセキュリティ面で重要であること
- (c) 燃料費の高騰から化石燃料への依存度を可能な限り下げていく必要があること
- (d) 未開発地点の開発を促進するため国の補助制度が拡充されてきていること

水力発電設備は、他の発電方法と比較して、CO₂の排出量が最も少ないことは知られているが、総合効率が優れている優位性も注目すべき点である(図2)。

日本国内は、開発に有利な大規模発電所の立地はほとんど開発つくされている。また電力需要が大きく伸びない中では、新規揚水発電の開発も限定的である。それに代わって、設備の耐用年数を越えた発電所のスクラップアン

図1 世界の地熱地帯

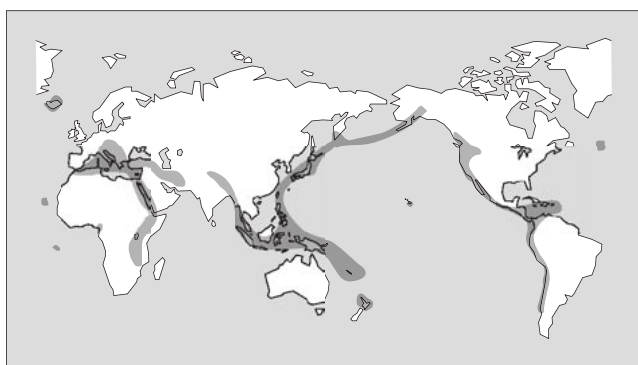
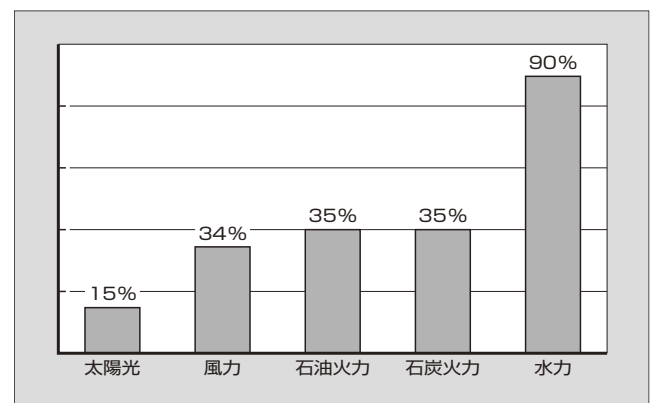


図2 方式別発電効率



ドビルドに代表される再開発が主流となっている。また既設の設備を維持改善するための改修工事も計画的に進められており、特に、既設発電所のランナを新しく開発された高性能ランナに交換し発電出力を増加させ、水力エネルギーを有効に利用するリパワリングが積極的に進められている。その他、設備効率の向上が期待できることから、発電機の固定子更新や回転子更新による設備の近代化も進められている。

一方、海外では発展途上国における電力需要の増大に伴い新規水力発電所の開発が継続されている。特に、アジア、アフリカ、南米には多くの水力未開発地点が残っている(図3)。

その中で、中国では、北京オリンピック、上海万博を契機に電力の需要は増大を続けており、水力発電も三峡ダムの建設以降単機容量が100万kWを越えるような開発計画が進められている。ブラジルやインドでも、大規模な開発が数多く進められており、設備の大型化、高効率化などさまざまな記録を塗り替える案件が目白押しである。また世界的に見れば電力需要の平準化が求められているが、負荷のピークに対応して電力を供給する揚水発電所のニーズも高まっている。これらの地域での水力案件では、効率や性能向上、構造開発、経済性の向上などの幅広い領域で新たな技術開発が求められている。

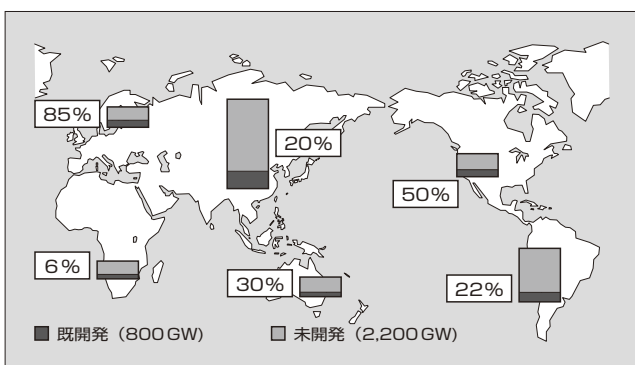
3.2 水力発電の技術開発

富士電機では、超低落差バルブ水車、立軸バルブ水車発電機、高比速度6射ペルトン水車、大容量発電電動機などで特徴ある技術開発を行ってきている。最近では新設水力発電所向けの効率や性能の向上、構造開発はもとより既設発電所の機器更新、信頼性向上の技術などにも積極的に取り組んでいる。最近の主要な技術開発は次のとおりである。

(1) 水車性能解析技術の開発

従来、模型試験で行っていた水車開発に替えて三次元CFD(Computational Fluid Dynamics: 数値流体力学)を水車性能開発に適用し、性能の最適化にかかる開発時間を大幅に短縮できるようになっている。特にペルトン水車はCFD解析が従来難しいとされてきたが、MPS法(Moving Particle Semi-implicit method: 粒子法)を使って解析の最適化を行い、高比速度6射ペルトン水車で問題

図3 世界の水力ポテンシャル



となるジェット干渉発生時のバケット内部の流動状態を解明することができるようになっている。

(2) ハイブリッドサーボモータの開発

従来圧油装置の省略をねらって電動サーボモータが中小水力発電設備に主に適用されてきたが、動力駆動をつかさどるパワーシリンダー部に障害が発生することが多く、保守上の課題になっていた。そこで可変速電動機で可逆ピストンポンプを直接制御するハイブリッドサーボシステムを実用化し、保守の省力化を図ることができた。

(3) 土砂摩耗技術の開発

水車を土砂摩耗などから保護する目的で耐摩耗材が研究されてきているが、新しい耐摩耗材であるソフトコーティングの実用化に成功している。

(4) 水車発電機技術の開発

絶縁性能と熱伝達性に優れた新世代固定子コイルの開発、流れ解析による通風冷却システムの最適化、回転子やスラスト軸受の新構造の開発などを行っている。これらの新技術は海外向け大容量発電電動機などに適用し成果を出している。

4 原子力発電

4.1 原子力発電の市場動向

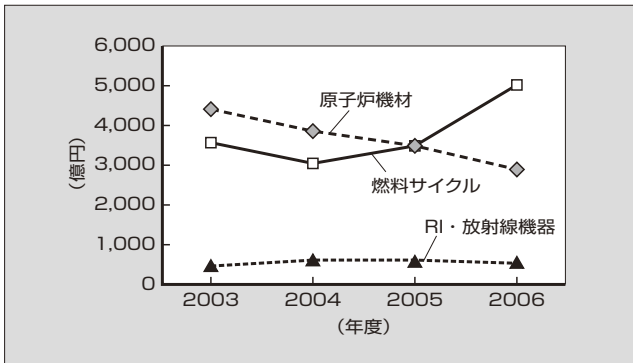
原子力分野を取り巻く環境は、1990年代後半以降の停滞時期とは異なり、エネルギー需要の増大やCO₂の排出低減に貢献する発電システムとして、ここ数年、世界各国において見直しが行われている。特に、米国、中国およびインドなどの各国において、原子力発電所建設の計画が具体化しつつある。原子力施設の建設を継続して実施してきた国は、フランス、日本などに限定されるため、建設計画が具体化するにつれ信頼性の高い日本の技術が改めて注目を集めている。

一方、環境問題との関連では、わが国においても洞爺湖サミットに照準を合わせ、原子力委員会の下で「地球環境保全・エネルギー安定供給のための原子力ビジョンを考える懇談会」の報告書がまとめられ、引き続き、原子力の計画的推進が盛り込まれた。

2007年夏に起きた中越沖地震の影響で東京電力株式会社・柏崎刈羽発電所が停止したことが、各報道機関を通じて、国民の注目を集めた。ただし、これも数年前の世論と異なり、原子力施設に対する耐震設計の問題も冷静に受け止められており、このおかげで他の計画が大幅に遅延あるいは中断することなく進展している。特に、耐震性評価で安全審査が中断していた全炉心にMOX(ウラン・プルトニウム混合酸化物)燃料を装荷する計画の大間発電所も、経済産業省から原子炉の設置許可申請が認可された。

核燃料の安定供給の面から重要視されている核燃料サイクルを完成させるべく、日本原燃株式会社の再処理工場が青森県六ヶ所村に建設され試験が実施されてきた。アクティブ試験の第4ステップが完了し、操業開始へ向けた試験も最終段階に入っている。軽水炉時代の次に来るものと

図4 わが国の原子力関係の部門別支出高合計



して期待されている高速増殖炉「もんじゅ」は、ナトリウム漏洩（ろうえい）対策工事が終了し、炉心を再度臨界にするための装荷燃料に関する国の安全審査の二次審査が終了した。

わが国の原子力関係の部門別支出高合計を図4に示す。そのうち原子力関連施設の建設は、わが国の主要プラントメーカーが取り組んできたプロジェクトであるが、富士電機は、核燃料や高線量の廃棄体を遠隔で取り扱うハンドリング技術をコア技術として、設計段階からそれぞれの施設建設・改造更新に貢献してきた。これらの技術を生かし原子力発電所から核燃料施設へ、またその他大型の研究施設向けの装置に取り組み研究開発を進めている。

4.2 原子力発電の技術開発

(1) 遠隔ハンドリング補助システムの開発

遠隔ハンドリング補助システムは、放射線環境下における固形物をハンドリングする作業が増大していることに着目し開発を実施してきたものである。このような施設では、多数の耐放射線性カメラを設置し、熟練したオペレーターが限られた映像情報に基づき遠隔操作機器を駆使して操作を行っているのが現状である。

富士電機は、三次元形状認識技術を応用してハンドリング対象（ターゲット）の位置、姿勢を特定し、バーチャル化する遠隔ハンドリング補助システムの開発を行っている。このシステムにより、耐放射線性カメラを多数用いなくてもバーチャル画面を任意の方向に複数設定できるようになり、オペレーターの熟練度によらず遠隔操作機器を容易に操作することが可能となる。本開発では、これまでに形状認識技術を中心に開発を行ってきており、当初の目標を達成した段階にある。今後はより現実的な作業環境を想定して、簡易で使いやすいヒューマンマシンインタフェースを発展させていく予定である。また危険物や大型重量物の取扱いといった原子力以外の分野でも活用されていくことを期待している。

(2) J-PARC 物質・生命科学実験施設向け機器の開発

J-PARC 物質・生命科学実験施設向け機器は、遠隔ハンドリング機器の応用として、独立行政法人日本原子力研究開発機構に建設中の大強度陽子加速器施設（J-PARC）

向けに納入が完了したものである。この施設は、世界最高クラスの大強度陽子ビームをターゲットに当てて、そこから発生する中性子やその他の二次粒子（中間子、ニュートリノ、ミュオンなど）を利用して、生命科学や物質科学、原子核・素粒子、宇宙物理やエネルギー研究など、さまざまな分野の研究を行う研究施設である。これまでに培ってきた遠隔ハンドリング技術を生かし、水銀ターゲットの設置・移動を行うターゲット台車（全長約14m、約300t）、減速材配管などを交換する反射体等遠隔操作装置、交換後の水銀ターゲット容器、減速材配管などを保管するとともに、直径90mmの多重配管を切断する切断装置を含む放射化機器保管設備の3設備の設計、製作、据付けを2002年から2007年にかけて実施した。

これらの機器は、いずれも遠隔による運転操作、メンテナンス性が要求されるものである。構造的にも操作的にも他設備が多く関連してくるので、工場試験段階、現地据付試験段階で連携した試験を行って、それぞれの設計、性能が施設全体として充足していることを確認し、2008年3月までにすべての業務を完了した。

(3) その他の研究開発

富士電機の原子力分野における取組みは、このような大型機器を取り扱う遠隔ハンドリング装置のみならず、MOX燃料ペレット製造プロセスのような、微小な対象物をグローブボックス内で取り扱う装置まで多岐にわたっている。国内においては、今後とも原子力発電に関連して再処理されたウラン・プルトニウムを再度、核燃料に加工していく“MOX燃料工場”などのフロントエンド分野、ならびに廃止措置、放射性廃棄物処理・処分などのバックエンド分野の両分野において、施設の建設、拡充、更新が計画されており、そのニーズにあわせて技術開発を行い、信頼性の高い装置システムを供給していく。

また、次世代の原子力発電システムとして、発電と同時に水素製造などにも応用可能な高温の熱源を供給可能な“高温ガス炉”に関しても継続して研究開発を実施している。

5 あとがき

世界的にエネルギー需要はますます増加し、そのなかでも電気エネルギーは他のエネルギーに比べてその位置づけが重要になることは明白である。一方で、地球環境保全から環境負荷低減対策も最重要課題として対応しなければならない。富士電機は発電機器の高効率化や経済性の追求を継続的に行い、さらに自然エネルギーを有効利用する地熱発電や水力発電に関する研究開発、またクリーンエネルギーである原子力発電分野での研究開発を積極的に進め、持続可能な社会づくりに貢献していく所存である。

参考文献

(1) McCoy Power Reports. 2007.



*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。