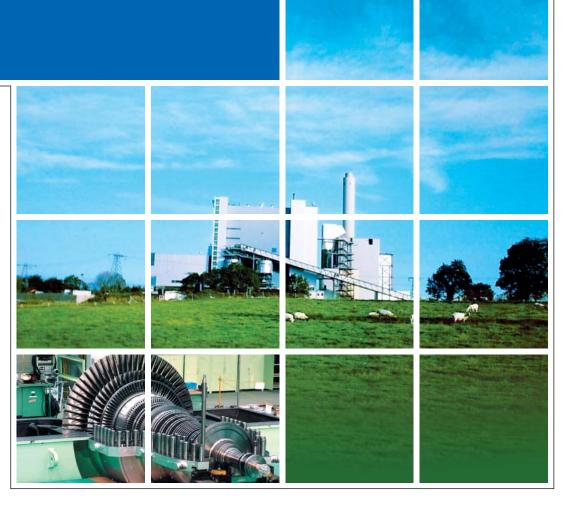


ELECTRIC JOURNAL



Vol. 78 No. 2

特集 火力発電



富士電機グループ





特集 火力発電

目 次

火力発電と地球環境 髙 久 - 啓	101 (1)
火力発電設備の動向と展望 ^{西垣 博志}	102 (2)
海外における火力発電設備の動向 藤原 正洋	106 (6)
中国における火力発電設備の実績 浅 利 茂	110 (10)
コンバインドサイクル発電設備 池田 忠司 · 武田淳一郎 · 山本 隆夫	116 (16)
富士電機の標準中容量蒸気タービン「FETシリーズ」 吉江 耕也 ・ 安部 道雄 ・ 小嶋 裕之	121 (21
富士電機におけるタービン発電機の開発の現状 日和佐寛道 ・ 長 谷 徹 ・ 芳賀 弘二	126 (26
地熱発電設備の現状と動向 ^{稲垣正太郎}	131 (31
小型地熱バイナリー発電システム 山田 茂登 ・ 小 山 弘	136 (36
地熱タービンの最新技術 酒井 吉弘 ・ 中村 憲司 ・ 塩川 国夫	140 (40
最近の経年火力発電ユニット再生技術 加藤 雅喜 · 浅野 誠一 · 福田 昌介	146 (46
	152 (52



国内の火力発電は,電力需要の低迷や電力料金の引下げを受けて電力会社の設備投資が大幅に減少している。IPP発電も一段落し,自家用発電についても1970年代のような拡大は望めない。

一方海外においては、今後大きく発展する と言われている中国、インド、ブラジルなど で新規発電所の建設が活発になっている。

表紙写真では,こうした海外向けの設備の中で,本格的な石炭火力発電所として納入したアイルランド共和国向けのウエストオファリー発電所の概観を示している。計画にあたり欧州統一安全基準をクリアしており,今後海外で建設される発電所の技術的な一つのモデルとなる設備である。また,コンパクトな構造を持ち,海外市場での伸長が期待されている非再熱ターピンをあわせて示す。

火力発電と地球環境



高久 啓(たかく ひろし) 信州大学工学部教授 工学博士

昔の経験や最近の情報,日頃感じていることなどを思い つくままに書かせていただきたい。

小生,2000年1月までは(財)電力中央研究所に勤務し, 火力・原子力発電用材料の腐食や水処理等の研究に従事し, また2000年2月以来の本学に勤務後も地熱蒸気タービン, ボイラチューブ,熱交換器材料の腐食研究等に努めている。 まず,電中研勤務時の国際共同研究等を回顧する。

火力発電プラント貫流ボイラの酸素処理給水法に関し、わが国の火力関連全電力と電中研はタービン・ボイラメーカーの参画のもとに5基の実機を用いた実証試験研究等を実施し、機器材料の健全性確認等に基づく運用指針の策定やJISへの反映に貢献した。また、この間、EPRIの要請によって酸素処理法に関する日米情報交換会が実施され、日米でそれぞれ2回の会合が持たれ、これは火力部門の両国の意思疎通や考え方を知る上で有益であったと思われる。

上記の終了後,わが国の火力関連の全電力と電中研は, EPRI 主催の国際共同研究"蒸気タービンの相遷移域にお ける蒸気, 化学および腐食"に参画し, 電源開発(株)の石 川石炭火力発電所低圧蒸気タービンを用いた試験研究を展 開した。この国際共同研究では従来のブラックボックスで ある「高速回転体である蒸気タービン内部の現象」に関す る知見が取得された。すなわち,音速を超える液滴(蒸気 凝縮水)の流れに起因するエロージョン・コロージョン挙 動 (FAC: Flow Accelerated Corrosion), 初期凝縮水と タービン内の乾燥域への蒸気中微量不純物の濃縮挙動,腐 食挙動等多くの新規知見が取得された。わが国は,この国 際共同研究に約6,000万円という比較的少ない試験研究費 で,世界中で適用されている給水処理・ボイラ水処理のほ とんどをカバーした 21 基の実機試験,関連ラボ試験,流 れの数値解析などの膨大な試験・数値解析結果,情報,知 見等を取得したことは強調・特記すべき事項であると思わ れる。欧米では現在,本国際共同研究をベースに試験や数 値解析等の研究が共同研究として精力的に展開されている。 しかし、わが国はこれ等の研究開発には参加していない状 況にあり, また, 本分野の取組みがほとんどされていない ことは残念である。

これらの国際的な情報交換や共同研究では技術的なことは勿論であるが、さらに欧米等の関連技術者や研究者との人間関係が醸成され、その後彼らを通じて各国の情報等が入手し易くなるというメリットを強調したい。すなわち、ギブアンドテイクが原則となるが、このような人間関係により、プラス を含む情報などの入手は容易になる。

次に,2004年8月29日~9月3日に京都国際会議場にて開催された"第14回水・蒸気性質に関する国際会議"での研究発表の中で最近の研究開発成果等が報告されたが、印象に残ったものが二つある。それはコンバインドサイクル型発電プラントの熱効率が58%に達しつつあること、およびEUでは蒸気温度700を目標とする超々臨界圧プラント(USC)の研究開発が精力的に行われていることである。後者では,USC条件下での耐熱材料,腐食やFAC対策等の研究開発が精力的に行われている。一方,わが国のこの分野の研究開発が現在はほぼ停滞状況にあることは憂慮すべきことであり、わが国においても産・学・官連携によって、さらなる高熱効率のUSCの研究開発が展開されることを切望している。

表題との関連としての"発電と環境"については,既述したように,蒸気温度の高温高圧化,コンバインドサイクル化,コジェネレーションなどによる熱効率・発電効率の向上を挙げたい。熱効率・発電効率の向上は燃料の節約のみならず,二酸化炭素等の地球温暖化ガスの排出低減にも大いに寄与し,今後の火力発電の研究開発の方向性を示しているものと思われる。

最後に、最近、ISO(国際標準化機構)は企業の社会的責任(CSR:Corporate Social Responsibility)に関する国際規格の作成を決定した。CSRでは、地球環境保護をはじめとするコンプライアンス(法令等の取り決めの遵守)、企業倫理、社会的貢献、といったことが求められる。従って、今後、物作り等を含む全ての業務においてCSRを念頭に置くことが火力発電にとっても必須になると考えられる。また、CSRは我々にとっても例外では無く、大学の教育・研究を通じての人材育成においても社会的責任のなお一層の考慮・実践が求められるであろう。

火力発電設備の動向と展望

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 株工会社取締役発電プラント本部 富士時報 Vol.78 No.2 2005 火力発電設備の動向と展望

表1 富士電機の主な技術・事業の変遷

			1	
年代 区分	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)	牧港9号機	- - - - - - - - - - - - - - - - - - -	電源開発(株) 磯子火力新1号機 (600MW超々臨界圧 プラント)
		(石油火力の全自動化)	(本格的DSS運転対応機)	
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145 MW 自家用発電設備)		(株)ユービーイー パワーセンター (60 Hz最大全含浸 空気冷却発電機) (株)沖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		カ発電設備への (東南アシ ・ 本格的進出) ・ グラッドストーン		・台塑石化FP-1 1~4号機 0 Hz , 600 MW大容量タンデム機) パングラデシュ・ メグナハット (コンパインド用 ターピン・ 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)		- リカ・コソ2 ~ 9号機 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 地熱ターピン) 東京電力(株)八丈島地熱発電所
技術 開発	水素直接冷却方		高温用改良12Crロータ 2 kV級Fレジン/F絶縁 - Fレジン/F 絶縁 126 - 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 MVA空気冷却発電機試作実験機 22kV級全含浸絶縁 システム

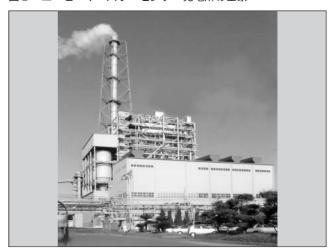
図 1 電源開発株式会社磯子火力発電所新 1 号機



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。

図 2 ユービーイーパワーセンター発電所の全景



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 ヘ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

富士時報 Vol.78 No.2 2005 火力発電設備の動向と展望

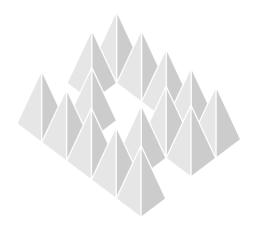
るようになってきた。こうした流れの中で,欧米ではすでにメンテナンスサービス専門会社が活動を行っており,東南アジア地域でも点検の必要性が認識されつつある中で,欧米のメンテナンス会社の参入が先行している。富士電機は,設備の安定運用のために信頼性・即応性を武器に,メンテナンスサービス専門会社に負けない機器納入メーカーとしての特徴のあるアフターサービスを行っていきたいと考えている。

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。



海外における火力発電設備の動向

藤原 正洋(ふじわら まさひろ)

1 まえがき

最近の火力発電設備の国内市場は,個人や企業の経済指標が若干上向きに転じたにもかかわらず,電力会社においては電力需要の低迷,自由化の拡大,電力料金の引下げ,燃料価格の高騰などにより当面は新規設備投資の拡大が期待できる環境にはない。さらに,将来的展望としても,国内における長期の電力需要の伸びは年率1%台前半と予想されており,今までのような設備投資の規模は望めそうもない状況にある。また,自家用発電設備やPPS(特定規模電気事業者)なども上述の理由によりここ数年間は設備投資に関しては様子見という状況が続くものと思われる。

これに対して海外市場は、いわゆる BRICs (Brazil , Russia , India , China) や発展途上国において新規発電所の建設・商談が非常に活発である。富士電機の 2004 年度における火力の新設案件受注実績はすべてが海外向け(中国 , 台湾 , インド , インドネシア , 米国 , ブラジル , ヨルダンおよびリビア) となっており , この傾向はここしばらく継続するものと考える。

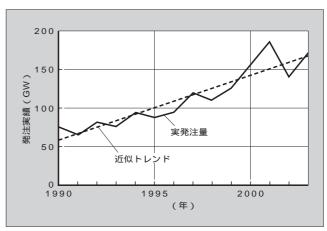
これらの状況を踏まえて,富士電機独自の観点から海外における火力発電市場の将来動向と最近の技術動向について考察する。

2 市場動向

全世界における電力需要の増加率は,各種の統計によれば年率2.5%程度と考えられている。図1に1990年以降の発電設備の発注実績(1MW以上)を示す。2000年初頭の米国バブルと昨今の中国における建設ラッシュがあるために,この図からのみ判断すれば上記の数値を大幅に上回る需要増となる。しかしながら,発展途上国のみでは年率3.5%程度の需要増というのが一般的な見方である。そして,この需要増の傾向はここしばらくは継続するものと考えられる。

富士電機は,顧客の多種多様なニーズに合った信頼性の 高い高効率の発電設備を安価に短納期で提供すること,ま

図1 世界における発電設備の発注実績



た,アフターサービスにおいても顧客のより高い満足度を得られるサービスメニューを充実することにより引き続き受注の拡大を図っていく。顧客との契約形態も,機器供給のみでなく EPC (Engineering, Procurement and Construction)請負契約も対応する。この点でも顧客のニーズに完全に合わせた柔軟な対応が可能である。

2.1 発電方式別に見た動向

世界における発電方式別のシェアを図2に示す。

1 一般火力

1990年代は全体の 40 %程度を占めていたが,2000年以降はガスタービンコンバインドサイクルプラントや再生可能エネルギーを利用したプラントの増加により 25 %程度のシェアまで落ちるものと考えられる。主体は石炭だき火力であり,容量的には北米や中国地区を中心に 600~700 MW の大容量火力が建設されるが,その他の地域では 300 MW 級の中容量火力もしくはそれより小さい容量が主体となるものと思われる。

2 ガスタービンコンバインドサイクル(GTCC)

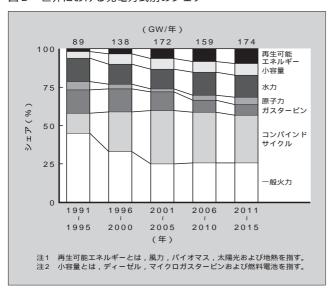
1990年代は20%程度のシェアであったが、プラント効率の高さと環境負荷の低さから2000年以降は全体の30%強を占めるまでシェアを増やしていく。先進国も発展途上



藤原 正洋

火力発電設備の基本計画および取りまとめ業務に従事。現在,富士電機システムズ株式会社発電プラント本部火力統括部営業技術部長。

図2 世界における発電方式別のシェア



国においても新設の主体がGTCCであり、このシェアは 当面は維持されるものと考えている。また、既存のガス タービンシンプルサイクルへ廃熱回収ボイラと蒸気タービ ンを追設してコンバインドサイクル化を行う、いわゆるア ドオンについてもアジア地区やアフリカ地区を中心に計画 されている。

3 シンプルサイクルガスタービン

1990 年代は 15 %程度を占めていたが, GTCC への移行により 2000 年代のシェアは半減すると思われる。

4 再生可能エネルギー

1990年代は2~3%のシェアに過ぎなかったが,世界的な環境保全運動や「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)の施行および京都議定書の発効期待などにより2000年以降は大きくシェアを伸ばしており,今後8%程度までいくと思われる。構成比率は,風力が全体の80%程度,バイオマス発電関係が10%,そして地熱発電と太陽光発電がおのおの5%であり,この傾向は当面変わらないと考えられている。

5 その他

水力発電は約14%,小容量発電(ディーゼル,マイクロガスタービン,燃料電池など)は約7%のシェアを占めほとんどシェアを変えない傾向にある。また,原子力発電は,当面は2~3%のシェアで推移するが,2011年以降に新たな需要が期待される。

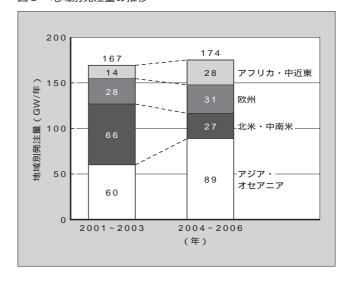
富士電機は、得意としているプロセス蒸気の供給を行うコージェネレーションプラント、IPP(独立系発電事業者)向け中容量発電プラント、PPS向けの小容量発電プラントおよび多軸型 GTCC プラント向け蒸気タービン設備および空気冷却発電機設備を中心とした事業を展開していく。

2.2 地域別に見た動向

図 3 に 2001 年から 2006 年までの地域別発注量の推移を示す。

1 アジア・オセアニア地域

図3 地域別発注量の推移



中国,インド,ベトナムおよびインドネシアを中心に今後も大幅な市場拡大が続く有望な地域である。しかしながら,中国市場に偏った面があること,および多くの国は資金面での問題を抱えていることがやや心配である。

2 北米・中南米地域

北米地区では、米国の発電バブルが崩壊して 100 台以上のガスタービンが保管され出番を待っている状態といわれており、大型の石炭火力案件が幾つか進捗(しんちょく)はしているもののここ数年間は市場の大幅な回復は期待できないものと考える。既存の老朽化設備のリプレース需要も鍵を握る要素となる。

中南米地区も常に潜在需要は大きいが多大な対外債務を 抱えていること,および政情不安が常につきまとうことを 考えると建設計画が一挙に進むことは考え難い。

3 欧州地域

西欧地域では米国市場と同様に市場規模の拡大はしばらくは見込めない状況である。一方,東欧地域では需要増は期待できるものの市場規模自身が6GW/年程度と想定されており大きい市場ではない。

[4] アフリカ・中近東地域

中近東地区では大型火力プラントや発電設備を併設した 海水淡水化プラントの需要がある。アフリカ地区では地中 海湾岸国を中心に中容量規模の発電所のニーズが期待され る。しかしながら,これらの地域は政治的な安定が市場の 行く末を決めるという不安材料を常に抱えている。

富士電機は,アジア・オセアニア地域を中心に注力をしていく。北米・中南米地域に関しては,特定の国に関心を持って対応していくが,欧州地域およびアフリカ・中近東地域に関しては,案件ごとにセレクティブな対応をしていくことになる。

3 技術動向

富士電機が得意としている中小容量発電設備に関する技 術の動向について述べる。

3.1 新シリーズ小容量非再熱型蒸気タービン

25~50 MW の自家用の小容量発電設備向けに,既存のFET-ER シリーズをベースに開発した FET-N シリーズの初号機が中国の上海中隆紙業有限公司で営業運転を開始した。引き続いて2号機も中国へ向け出荷され,現在現地での据付け工事を行っている。FET-N シリーズタービンの鳥観図を図4に示す。この FET-N シリーズは次のような特徴を有している。

1 コンパクトな構造

ケーシングは従来の二重ケーシングから一重化へ変更し, ロータはスパンの縮小を図り,また,主要弁などの付属設 備もコンパクト化および簡素化を行った。これにより従来 の機種より約20%の本体質量の軽減を図っている。

2 ノズルカットオフ制御方式

自家用発電設備で多く求められる広範囲な運転特性に対応し,主蒸気定圧運転における部分負荷効率の向上を図るためにノズルカットオフ制御方式を採用している。

3 電気式保護装置

大型の再熱タービンで採用している電気式の保護装置を 信頼性を維持しながら小容量機に見合う形で簡素化して適 用している。

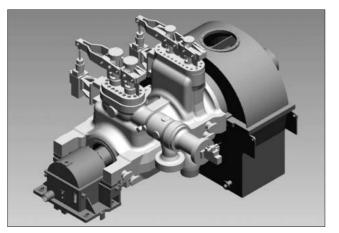
4 一体型潤滑油・制御油設備

従来の機種は,作動圧力,フィルタリングシステムおよび冷却方式が大きく異なるために潤滑油コンソールと制御油ユニットを独立した設備とし設置していた。これに対して,主油タンクを共通化し,ポンプなどの補機を機能的に配置することにより一つのコンソールにし統合して省スペースを実現している。一体型コンソールの鳥観図を図5に示す。

[5] 標準化・共通化による短納期対応

標準化および部品の共通化を最大限に行い,最小限のモデル数に集約することで短納期化への対応を可能としている。プラントごとに条件の異なる蒸気流入部,制御抽気部および排気部のみ数種類のモデルにしてその他の部位や付属品はすべて共通化を図っている。

図4 FET-N タービンの鳥観図



3.2 大型非再熱蒸気タービンの営業運転

2004年7月に中国の台塑集団熱電(寧波)有限公司向け 162 MW ユニットが営業運転を開始した。このユニットは富士電機の単気筒非再熱蒸気タービンの最大容量機であり、引き続いて同一容量の2号機および3号機を受注している。2号機は2004年8月に出荷し、3号機は2005年11月に出荷する予定である。

3.3 単気筒再熱蒸気タービン

富士電機は中容量再熱蒸気タービンとして 2 気筒で構成される KN シリーズ蒸気タービンを有しているが,新たに単気筒再熱蒸気タービンである FRX シリーズ蒸気タービンを開発した。FRX シリーズは,GTCC および一般火力向けにおける 100 ~ 200 MW の容量レンジに適用可能である。2004 年は国内で 1 台が営業運転を開始した。今後も国内外の GTCC や一般火力向けに適用していく。

3.4 最新型ディジタル制御装置

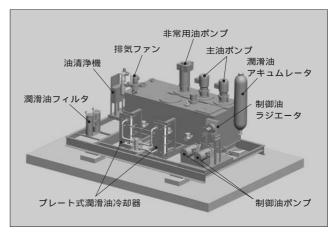
富士電機は蒸気タービンの制御装置であるガバナと発電機の制御装置である AVR を一体化したディジタル制御装置である TGR を有している。この TGR にコンパクトで高信頼・高性能 の PLC である「MICREX-SX」を採用したプラントが国内で 2004 年に営業運転に入り順調に運転している。引き続いて海外のプラントへも適用を進め,2005 年度には 10 台以上のプラントが出荷または営業運転の開始を予定している。

また,同じ MICREX-SX を使った蒸気タービンの保護 装置(トリップ装置)も 2005 年度から適用を開始する予 定である。

3.5 遠隔監視装置

海外の遠隔地に納入した蒸気タービンと発電機の運転状態を定期的にサンプリングしインターネットを経由して富士電機のアフターサービスセンターへ送信する遠隔監視システムを開発した。初号機はアイルランド電力庁向けラフリー発電所(2004年9月営業運転開始)およびウエスト

図5 一体型潤滑油・制御油コンソールの鳥観図



オファリー発電所(2004年12月営業運転開始)に納入し た。現地から送信されるデータはアフターサービスセン ターで受信する。万一,故障や不具合が発生したときには 顧客へ素早く適切な処置を連絡することにより、プラント の停止時間を最短にし損失を最小化することが可能になっ た。

また,運転状態の変化を細かく監視・解析できるために 顧客への予防保全や点検の推奨などに関する適切なアドバ イスもタイムリーにできる。このことにより, 不意の事故 停止なども回避でき顧客の財産である発電設備の稼動率向 上へつなげることが可能である。

4 あとがき

ここしばらくは国内向けよりも海外向けのプラントが圧

倒的に多くなる傾向が続くと予想している。

富士電機は,海外市場における多種多様な顧客のニーズ に的確に応えることで顧客の期待に応え,また,顧客の満 足度を向上していくことで真のグローバル企業を目指して いく。そのために、高い信頼性と高い効率を維持・向上さ せるのは当然のことであり,昨今の世界的な鉄鋼材料や原 油価格の高騰によるコスト影響を克服して、低価格での設 備の供給を行い続ける。さらに,納入後も顧客の満足・納 得を得られるアフターサービスを展開してこの業界のリー ディングカンパニーを目指していく所存である。

参考文献

[1] マッコイパワーレポート.1990 ~ 2004 年度版.

解 説 全含浸絶縁【関連論文: p.126-130】

回転機固定子巻線の絶縁は耐コロナ性に優れたマイ カと耐熱性に優れたエポキシ樹脂などで構成される。 全含浸絶縁は小型モータから本稿で取り上げた大容量 タービン発電機まで適用され,回転機絶縁の主流と なっている製法である。この全含浸絶縁は,コイル単 体で絶縁を完成させるのではなく, 未含浸の絶縁コイ ルをすべて固定子鉄心に挿入し,コイルエンドの接続 とその絶縁処理およびリード線絶縁を施した後で,真 空加圧含浸を行い,巻線の絶縁を完成させる方式であ

絶縁の信頼性を向上させる固定子一体の全含浸絶縁 はユーザーに対しさまざまなメリットを提供するが, それに対応するため,大規模な製造設備と使用絶縁材 料,コイル作り,コイル組立,樹脂含浸などの緻密 (ちみつ)な品質管理の積重ねで成し遂げられている。

全含浸絶縁の製作状況 (発電機固定子と含浸槽)



中国における火力発電設備の実績

浅利 茂(あさり しげる)

1 まえがき

中華人民共和国(中国)における経済発展は近年目覚ましく,1996~2000年では中国国内の総生産値は年平均8.27%成長し,その後の5年間における総生産値の伸び率は年平均7%程度と予想されていた。しかし,2000年以降も依然として8%以上の成長を続けており,2003年には9%を超える経済成長を示している。

このような高成長に伴い電力の需要も大幅に伸びており、2008年に開催される北京オリンピックや2010年の上海万国博覧会に向けた社会インフラストラクチャー整備が活発に行われていることも電力の需要増加にさらに拍車をかけている。

2003 年末おける中国全土の電力設備容量は,3億8,500万kWであり,2004年末までに10%程度の設備を増強する予定と報告されているが,一方で電力需要はこれを超えるとも予想され,将来の電力不足が懸念されている。

このような背景から中国における今後の電力需要の伸びは、年率少なくとも5~6%と予想され、この伸び率で推移すれば2010年の発電設備容量は2003年の約1.5倍、2020年には実に2.5倍となり、それに見合う設備の増強が必要となってくる(図1)。

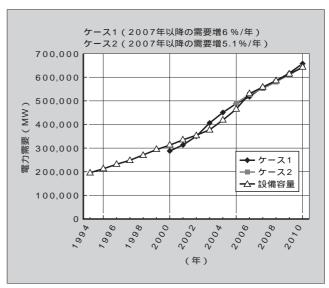
富士電機においても、中国の経済発展と電力不足の解消に寄与するため、幾つかの火力発電設備を納入している。以下に、2003年後半に受注した600MW×4台の発電設備を中心に、近年納入した設備および計画中のプロジェクトについて、その設備概要と設備仕様を紹介する。

2 最近の実績

富士電機は,中国向け火力発電設備を 2002 年に 2 台, 2003 年には 600 MW × 4 台の大容量発電設備を含み 10 台, 2004 年に 2 台の計 14 台を受注した。

14 台の合計出力は 3,232 MW である。

図 1 電力需要予想



2.1 火力発電設備の設置場所

2002年以降に受注した火力発電設備の設置場所を図2に示す。納入済みおよび計画中の発電設備は,この図から分かるように産業が盛んな東シナ海沿岸を中心に中容量設備が設置され,台湾海峡側に大容量発電設備が設置されている。将来は,西部地域の経済発展と産炭地に近い山元発電の要請から内陸部に発電所が建設されると予想される。

2.2 納入済みおよび計画中のプロジェクトの設備主要仕様表 1 に 2002 年以降に受注した設備の実績および主要仕様を示す

2002 年に受注した 2 台 (表 1 の 1, 2) は, すでに据付けおよび試験を完了し,順調に営業運転に入っている。

2003 年に受注した表 1 に示す 3 ~ 6 の 4 プラントは , 出荷が完了し , 現在順調に据付けを行っている。

600 MW × 4 台の大容量発電設備を除くすべてのタービン形式は,1ケーシングの抽気復水形であり,富士電機が有するタービン標準系列のうち,高い性能と品質および多



浅利 茂

火力発電プラント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本部火力統括部華陽プロジェクトゼネラルマネージャー。火力原子力発雷技術協会会員。

図 2 中国における蒸気タービン設備の納入実績(計 14 ユニット 3,232,370 kW)

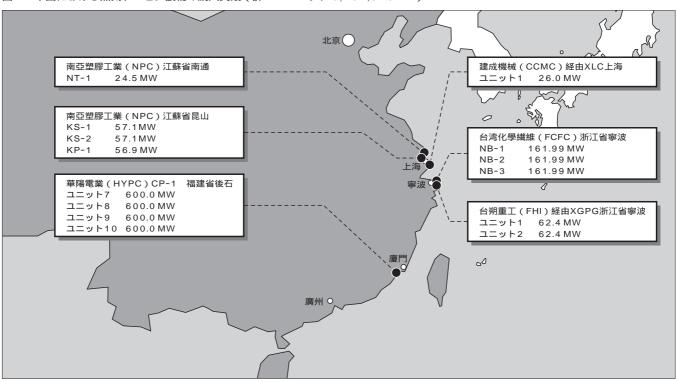


表1 中国におけるタービン・発電機納入実績と主要仕様(2002年以降)

		年 顧客名 プラント名 #					タービ	ン				発電機	
番号	受注年		納入場所	納入場所		出力	λП	蒸気条件	排気圧力	回転速度	出力	電圧	回転速度
				形式	(kW)	圧力 (bara)	温度 ()	圧力 (bar a)	(r/min)	(kVA)	电压 (kV)	(r/min)	
1	2002	南亞塑膠工業 股份有限公司	KS-1	昆山	1ケーシング 抽気復水	57,100	124	538	0.098	3,000	67,200	13.8	3,000
2	2002	台湾化學繊維 股份有限公司	NB-1	寧波	1ケーシング 抽気復水	161,990	124	538	0.088	3,000	202,500	13.8	3,000
3	2003	台朔重工 股份有限公司	XGPG-1	寧波	1ケーシング 抽気復水	62,400	123	535	0.105	3,000	78,000	11	3,000
4	2003	台朔重工 股份有限公司	XGPG-2	寧波	1ケーシング 抽気復水	62,400	123	535	0.105	3,000	78,000	11	3,000
5	2003	建成機械 股份有限公司	XLC-1	上海	1ケーシング 抽気復水	26,000	124	538	0.079	3,000	32,500	10.5	3,000
6	2003	台湾化學繊維 股份有限公司	NB-2	寧波	1ケーシング 抽気復水	161,990	124	538	0.088	3,000	202,500	13.8	3,000
* 7	2003	華陽電業 有限公司	CP-1 UNIT-7	後石	3ケーシング 再熱抽気復水	600,000	246	538/566	0.075	3,000	706,000	19	3,000
* 8	2003	華陽電業 有限公司	CP-1 UNIT-8	後石	3ケーシング 再熱抽気復水	600,000	246	538/566	0.075	3,000	706,000	19	3,000
* 9	2003	華陽電業 有限公司	CP-1 UNIT-9	後石	3ケーシング 再熱抽気復水	600,000	246	538/566	0.075	3,000	706,000	19	3,000
*10	2003	華陽電業 有限公司	CP-1 UNIT-10	後石	3ケーシング 再熱抽気復水	600,000	246	538/566	0.075	3,000	706,000	19	3,000
*11	2003	南亞塑膠工業 股份有限公司	KS-2	昆山	1ケーシング 抽気復水	57,100	124	538	0.098	3,000	67,200	13.8	3,000
*12	2003	南亞塑膠工業 股份有限公司	NT-1	南通	1ケーシング 抽気復水	24,500	124	538	0.092	3,000	28,900	10.5	3,000
*13	2004	台湾化學繊維 股份有限公司	NB-3	寧波	1ケーシング 抽気復水	161,990	124	538	0.088	3,000	202,500	13.8	3,000
*14	2004	南亞塑膠工業 股份有限公司	KP-1	昆山	1ケーシング 抽気復水	56,900	124	538	0.098	3,000	67,000	13.8	3,000

注 *は,現在設計または製作中のプラントを示す。

図3 発電所の全景(NB-1 プロジェクト)



図 4 運転中の NB-1 プロジェクト 161,990 kW FET タービン・発電機設備



くの特徴を持つ FET タービンを採用している。

台湾化學繊維股份有限公司向けに納入した NB-1 (161,990 kW)のタービン設備は, FET タービン系列の中で 50 Hz 地区における最大容量機となるが,上述したとおり納入後においても順調な運転を継続している。

図 3 にその発電所の全景 , 図 4 に運転中の FET タービンを示す。

3 大型火力設備の概要

富士電機は,1994年春に台湾プラスチックグループから600 MW×4台のタービン・発電機設備(FP-1プロジェクト)を受注し,計画どおり出荷・納入し,現在まで順調に運転が行われている。

この実績が評価され,台湾プラスチックグループが中国に計画した $600~MW \times 4$ 台のタービン・発電機設備を 2003年 10月に受注し,現在設計・製作を進めている。その設備概要を以下に紹介する。

3.1 プロジェクトの概要

1) 顧客名 : 華陽電業有限公司
2) 契約概要 : FOB + SV

3 プロジェクト名称: CP-1 プロジェクト

ユニット7~10

4)設置場所: 華陽電業発電所内(福建省)5)納 期: ユニット72005 年 6 月

ユニット 8 2006 年 6 月 ユニット 9 2006 年 12 月 ユニット 10 2007 年 6 月

3.2 主要供給品

- 1 タービン本体および付属設備
- 2 発電機本体および付属設備
- 3 潤滑油および制御油設備
- 4 タービン・発電機関連制御設備
- 5 タービン・発電機関連電気設備
- 6 その他

3.3 全体配置およびタービン室配置

図 5 に発電所の全体配置を , 図 6 にタービン室 3 階配置を示す。全体配置図に示すように本発電所には , 現在 600 MW × 10 台の発電設備が約 $2.5\,\mathrm{km}$ × $1.8\,\mathrm{km}$ にわたる広大な敷地の中に計画され , すでに 6 台が運転に入っている。今後 , 富士電機が納入する 4 台が完成すれば福建省における最大の発電所となる。

CP-1 においてタービン室内配置を決めるうえで同出力の台湾プラスチック株式会社向け発電設備(FP-1)から大きく改善された点は,主蒸気入口ストレーナおよび再熱蒸気止め弁,インタセプト弁,再熱ストレーナがタービン本体に直接接続され(FP-1 では分離して配置)コンパクトにまとめられたことである。

図7および図8に高中圧タービン周りの弁配置を示す。 タービン本体から分離配置していた弁を,本体と一体化することで,タービン室全体の配置に余裕ができ,メンテナンススペースも十分に確保することが可能となった。

3.4 600 MW タービン設備の概要と特徴

CP-1 プロジェクトと FP-1 プロジェクトで採用した タービンの構造上の特徴と差異を述べる。

台湾向け既設機に対し,最先端の要素技術適用により2 流排気の画期的にシンプルな機器構成を実現した。

低圧タービンは、電源開発株式会社磯子火力発電所に納入した鋼製フリースタンディングの最長クラス翼を採用した。これにより、従来2ケーシングで構成していた低圧タービンを1ケーシングとし、建屋と基礎の小型化が可能になった。同時に低圧タービン入口では4本の大口径配管を、1本のクロスオーバ管に置き換えて圧力損失の少ない単純軽量な構造とした。外部ケーシングは軸受や回転体への影響のないように、独立して復水器と一体化させた。

図5 発電所の全体配置(CP-1 プロジェクト)

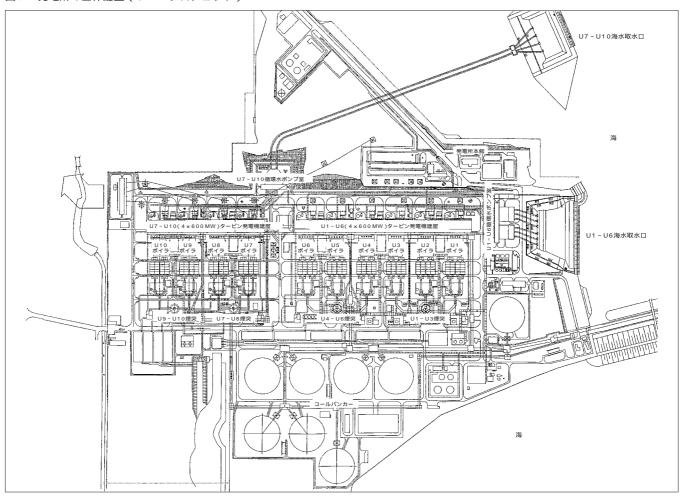


図 6 タービン室 3 階配置 (CP-1 プロジェクト)

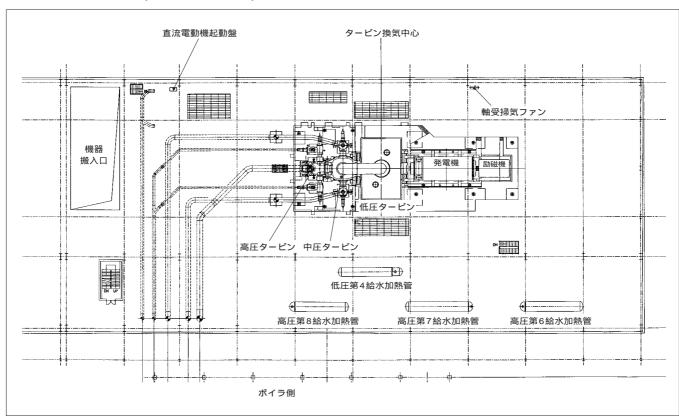


図7 CP-1 プロジェクト高圧タービン弁配置(平面図)

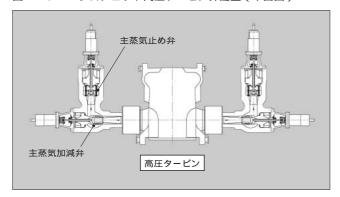
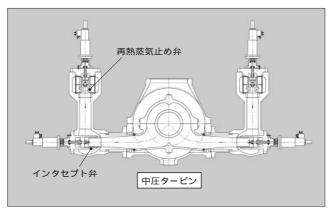


図8 CP-1 プロジェクト中圧タービン弁配置(正面・断面図)



4個の軸受台をタービン基礎に直接に埋め込んで固定し、回転体とそれを取り囲む静止部分を軸受台によって支持することにより、熱膨張や土木建築構造物の経年変化の影響を受けない安定性の高い基本構造を実現させた。

中圧タービンには大型の球状黒鉛鋳鉄製外部ケーシングを採用した。再熱複合弁を中圧タービンに直接取り付けて連絡配管を不要とし、単純な構造で熱変形などに対して安定で圧力損失の少ないものとし、タービンフロア上ですべての保守管理を可能にしている。

高温のボイラ蒸気管からの入口に従来は独立したストレーナケーシングを使用していたが,大口径複合型弁ケーシングの内部にエレメントを内蔵させることにより,省スペースと圧力損失低減および質量低減を達成した。

電動式主油ポンプ採用,制御・保護装置の完全な電子化など,高度な運転制御能力と保守性の向上を実現している。 寸法などを台湾向けの既設品と比較すると.

- タービン全長は, 23.52 m から 18.56 m へ,
- タービン質量は , 1,204 t から 987 t へ ,

大幅な小型軽量化がなされた(図9,図10)

これらを実現するために,三次元設計を翼列を含めて適用するなど解析・製作精度向上を図り,高効率化と高信頼性を確実なものとしている。

同時に大型素材の確保が困難となる傾向に対処するため,シーメンス社との調達協調で最適調達先拡大を図り,鋳物構造と溶接構造の標準設計品を,調達先の能力に合わせ,再設計して納期・コストの対応力を高めた。

図9 CP-1 プロジェクトの蒸気タービン断面図

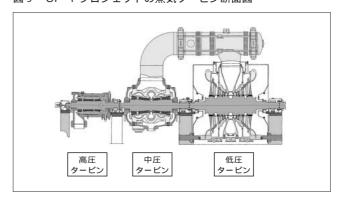


図 10 FP-1 プロジェクトの蒸気タービン断面図

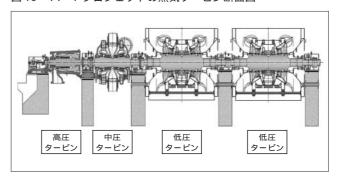


表 2 600 MW用発電機の主な仕様

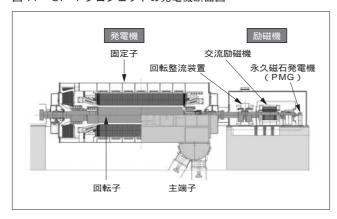
発電機項目	能代 火力発電所 1号機	FP-1	磯子 火力発電所 新1号機	CP-1
出力	670 MVA	706 MVA	670 MVA	706 MVA
電 圧	19 kV	18.5 kV	19 kV	1 9 kV
力 率	0.9(遅れ)	0.85(遅れ)	0.9(遅れ)	0.85(遅れ)
周波数	5 0 Hz	6 0 Hz	5 0 Hz	5 0 Hz
冷却方式	固定子・ 回転子水素 直接冷却	固定子・ 回転子水素 直接冷却	固定子・ 回転子水素 直接冷却	固定子・ 回転子水素 直接冷却
水素ガス圧力	4 kg/cm ² (g)	5 bar(g)	0.4 MPa(g)	5 kg/cm²(g)
回転速度 3,000 r/min		3,600 r/min	3,000 r/min	3,000 r/min
励磁方式 ブラシレス		ブラシレス	サイリスタ 直接	ブラシレス

3.5 600 MW タービン用発電機の概要と特徴

富士電機では,これまでに 600 MW 用発電設備向けの 発電機としては,東北電力株式会社能代火力発電所,台湾 プラスチックグループ FP-1 プロジェクトおよび電源開発 株式会社磯子火力発電所の 3 プラントで計 6 台の製作, 運転実績がある。これら 3 プラントおよび CP-1 向け発電 機の主な仕様比較を表 2 に示す。

中国 CP-1 プロジェクト向け発電機は,50 Hz 機としては富士電機の実績最大容量機であり,上述の先行機と同様に,固定子・回転子巻線の冷却方式として水素ガス直接冷却方式を採用している。この冷却方式での最大出力は,通風および冷却技術の向上により,現在では1,000 MVA ま

図 11 CP-1 プロジェクトの発電機断面図



での出力範囲を製作することができる。

CP-1 は,50 Hz 機であることから,発電機本体は磯子 火力発電所向け新1号発電機,また励磁機は能代火力発電 所向けと同型式を適用しており,運転実績のあるこれらを モデルとして設計した信頼性の高い発電機である。CP-1 向け発電機の断面図を図11に示す。

さらに,本発電機は,顧客要求あるいは中国規格に対応 した新技術・新方式を適用している。

一例として,中国における電力系統の過渡安定度向上に 寄与することを目的とした下記の励磁系に対する要求があ る。

1 励磁系電圧速応度 : 2.0 s 1 以上 2 励磁系電圧応答時間: 0.1 s 以下 3 励磁系頂上電圧 : 2 pu 以上

上記の要求を満たすため、励磁機および励磁制御装置に 対する新技術、新方式として次の施策を実施した。

- (a) 時定数改善のために励磁機界磁巻線抵抗値を増加し, さらに励磁回路上に外部抵抗を設置する。
- b)大きな強制励磁で励磁機界磁電流を速く立ち上げる。
- c) 大きな強制励磁に対応するために PMG (永久磁石 発電機)容量を増大させる。

PMG は,ブラシレス励磁機の励磁電源であり,磁極として高性能の希土類磁石(ネオジウム系)をブラシレス励磁機の軸端にオーバハング配置する構造である。

FP-1 向けに対する CP-1 向け PMG の主要仕様の比率 は下記のとおりであり,上記要求を満足するためにこれまでにない大型のものとなっている。

1 PMG 出力: 4.2 倍2 磁石質量: 3.2 倍3 磁石外径: 1.6 倍4 磁石長さ: 1.9 倍

4 あとがき

中国では経済発展とそれに伴う電力需要の伸びが急拡大 している。それに対して,富士電機において近年納入およ び計画中の設備について,その概要を紹介した。

今後ますます拡大するであろう中国市場に対し,高性能で使いやすく,信頼の高い機器を採用した発電設備を開発・納入し,ユーザー各位の期待に応えることで中国経済の発展に寄与していく所存である。

参考文献

1 海外電力調査会編.中国の電力事情概要について.



コンバインドサイクル発電設備

池田 忠司(いけだ ただし)

武田 淳一郎(たけだ じゅんいちろう)

川本 隆夫(やまもと たかお)

1 まえがき

コンバインドサイクル発電方式は、発電効率の高さ、環境負荷の低さ、運用性に利点があり、これらが近年の電力市場の要求に一致していることから広く採用されるようになった。特に1990年代に入ってからは、1,300 級、さらには1,400 超級と呼ばれる高性能ガスタービンが開発され、これに合わせ蒸気条件の上昇とボトミングサイクル(排熱回収ボイラおよび蒸気タービンサイクル)の最適化によって、コンバインドサイクル発電設備の性能は飛躍的に向上している。

また,コンバインドサイクル発電設備は,急速起動が可能なガスタービンと小型の蒸気タービンの組合せで構成されているので短時間での起動停止が可能であり,一日の昼夜の電力需要格差が大きい場合,DSS(Daily Start & Stop:毎日起動停止)運用が容易であり,この設備の需要は今後とも一層増加するものと予想される。

富士電機は,信頼性が高く,実績豊富なシーメンス社製 大型ガスタービンを使用したコンバインドサイクル発電設 備を供給している。

本稿では,コンバインドサイクル発電設備の性能向上に 影響を及ぼすパラメータ評価と,富士電機のコンバインド サイクル発電設備について紹介する。

2 コンバインドサイクルの性能向上

ガスタービンおよびコンバインドサイクルの性能に影響が大きい項目について,シーメンス社のガスタービンモデル,蒸気タービンモデルおよびサイクル計算プログラムを用いて行った評価結果を 2.1 ~ 2.5 節に紹介する。

なお,本稿で使用しているタービン入口温度(TIT)はISO温度(比較算定タービン入口温度)であり,燃料入熱と圧縮機空気量から決まる熱力学的温度である。シーメンス社の2形機(1,100 級,圧力比約11),3形機(1,300 級,圧力比約16)のTITはそれぞれ約1,050約1,150 であり,3A 形機(1,400 超級,圧力比約17)

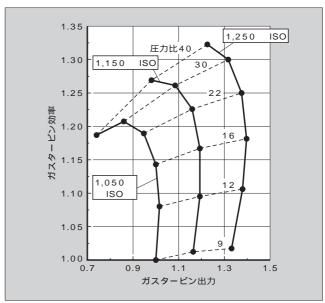
のそれは 1,250 に近づきつつある。 ISO 温度は , 単に第 1 段静翼前温度を上昇させてもタービン冷却空気量の増加 が多い場合には上昇しないため , ISO 温度上昇のためには , 高温部品の冷却技術と材料技術の向上が不可欠である (注:圧力比=圧縮機出口圧力/入口圧力)。

2.1 圧力比およびタービン入口温度(TIT)の上昇

ガスタービンの効率および出力に最も影響が大きいのが、 圧力比と TIT である。

圧力比を上昇させていくと、入熱に対する放出熱の割合が低下するため、ガスタービンサイクルの熱効率は向上する。ただし、実際のガスタービンにおける圧縮や膨張過程は不可逆過程なので、ガスタービン効率はある圧力比において最大値をとり、それ以上の圧力比では効率は低下する。TITが上昇すると、タービンの膨張過程で利用できる断熱熱落差が増加するのでタービン部出力は増加する。よって、TITの上昇に伴いガスタービン出力、効率が上昇する(図1)。

図1 圧力比と TIT の影響 (ガスタービン)





池田 忠司

火力発電設備のプラントエンジニ アリングに従事。現在,富士電機 システムズ株式会社発電プラント 本部富士・シーメンスエネルギー 推進室技術部。日本ガスターピン 学会会員。



武田 淳一郎

火力発電設備のプラントエンジニ アリングに従事。現在,富士電機 システムズ株式会社発電プラント 本部富士・シーメンスエネルギー 推進室技術部担当部長。日本ガス タービン学会会員。



山本 隆夫

火力発電設備のプラントエンジニ アリングに従事。現在,富士電機 システムズ株式会社発電プラント 本部富士・シーメンスエネルギー 推進室総括部長。日本ガスタービ ン学会会員。 一方,ガスタービンにつながるボトミングサイクルにおいては,排ガス温度が高い場合に蒸気条件が高くなり効率が上昇するので,コンバインドサイクル効率はガスタービンが最高効率となる圧力比よりも低いところで最高となる(ガスタービン効率が向上すると排ガス温度は下がるため)。最新型ガスタービンでは,この圧力比は16~22程度となる(図2)。

2 形機,3 形機,3A 形機と続いたガスタービンの開発は,このコンバインドサイクルの効率を最大にするパラメータを選んで行われてきた。

2.2 タービン効率および圧縮機効率の向上

ガスタービンの有効出力は,タービン部の出力約2から 圧縮機の動力約1を引いたものである(有効出力=タービン出力ー圧縮機動力)。よって,圧縮機の動力削減より, タービン効率の向上の方が効果は大きい。ただし,圧力比が増大していくとタービン部出力/圧縮機動力の比が小さくなるため,圧縮機効率向上の重要性が増す。

タービン効率および圧縮機効率は,翼設計による翼効率の向上とすきま漏れ損失の低減によって得られる。これらによりコンバインドサイクル効率も向上する。

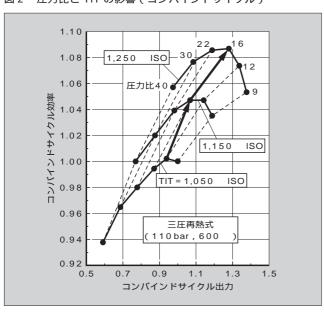
2.3 燃料の予熱

排熱回収ボイラへの給水を使って燃料を予熱すれば,ガスタービンの排ガスエネルギーを燃料エネルギーとして回収することができる。これにより,燃料量を低減できるので,ガスタービンおよびコンバインドサイクル効率が向上する。燃料予熱は経済的な効率向上策である。

2.4 排熱利用の最適化

ボトミングサイクルを多重圧化して排ガスと給水との温度差を減少させ排熱回収率を向上させれば,ボトミングサイクル効率を向上することができる。また,蒸気サイクル

図 2 圧力比と TIT の影響 (コンバインドサイクル)



への再熱方式の導入により,蒸気タービンへの供給エネルギーが上昇するので,ボトミングサイクル効率は向上する(図3)。

最近の高効率コンバインドサイクル発電設備では,三圧 再熱方式が一般的に採用されている。

2.5 主蒸気条件(圧力・温度)の上昇

主蒸気圧力の上昇により,蒸発温度は上昇し蒸発エンタルピーは低下するので,高温熱の利用度は向上し排熱回収ボイラ内の温度差は低下する。圧力上昇に伴い,蒸気の体積流量が減少するので,蒸気タービンの線図効率は低下する(図4,図5)。

コンバインドサイクルにとって最適な主蒸気温度は,ガ

図3 多重圧化の影響

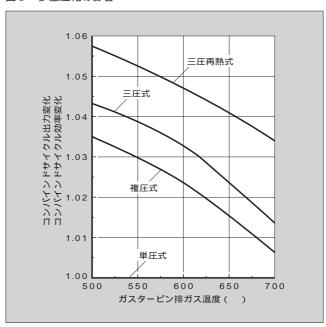


図4 主蒸気圧力の影響

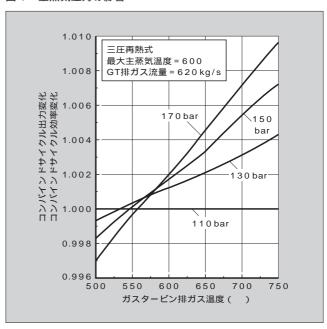
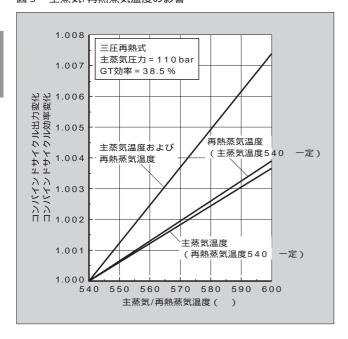


図5 主蒸気/再熱蒸気温度の影響



スタービンの排ガス温度とともに上昇する。排熱回収ボイラ入口ガス温度が 550 ~ 575 の場合は,熱力学的および経済的観点から,最適な主蒸気圧力は三圧再熱式の場合で110 bar 程度と考えられる。排ガス温度が 600 の場合は,最適な主蒸気圧力は 130 ~ 150 bar 程度と考えられる。

3 コンバインドサイクル発電設備の概要

3.1 コンバインドサイクル発電設備の設備構成

コンバインドサイクル発電設備には,ガスタービン・発電機・蒸気タービンが同一軸上に構成される一軸形とガスタービン発電設備と蒸気タービン発電設備が別に設置される多軸形とがある。一軸形は一般的に複数軸により発電設備が構成されるため,各軸を独立で運用可能であり,軸単位で停止し他の軸を定格負荷で運転することでプラント全体の部分負荷効率を高く保つことができる。

一方,多軸形は,通常複数のガスタービン発電設備と1台の蒸気タービン発電設備にて構成される。この場合,蒸気タービン発電設備の容量を一軸形と比べて大きくなるので,プラント定格運転時の効率は高くなる。

多軸形コンバインドサイクル発電設備の場合,まずガスタービン発電設備を設置し発電しながら,その後排熱回収ボイラ,蒸気タービン発電設備を追設してコンバインド化することが可能であり,海外プラントの建設で多く見受けられる。このような段階的建設スケジュールとすることで,顧客は投資の平準化が可能となる。

また顧客は,エンジニアリングメーカーと発電所建設契約(EPC 契約)を締結し,エンジニアリングメーカーが各設備を別々に手配していることが多い。富士電機もこのような契約形態で,コンバインドサイクル発電用の蒸気タービン設備を25台納入している。

表 1 コンバインドサイクル発電設備の性能諸元

	型式	周波数	送電端出力	送電端効率
GUD 1S.V64.3A*1	一軸	50/60 Hz	101 MW	52.6 %
GUD 1.V84.2*1	多軸	60 Hz	160 MW	51.0 %
GUD 1S.V84.3A*2	一軸	60 Hz	267 MW	57.1 %
GUD 1.V94.2*1	多軸	50 Hz	247 MW	52.2 %
GUD 1S.V94.3A*2	一軸	50 Hz	407 MW	57.7 %

燃料はガスとし、低位発熱量「LHV]基準にて効率を算出

- *1 複圧非再熱式コンバインドサイクル
- *2 三圧再熱式コンバインドサイクル

3.2 富士電機のコンバインドサイクル発電設備

表 1 に富士電機・シーメンス社 (富士・シーメンス)のコンバインドサイクル発電設備の性能諸元を示す。

1,100 級ガスタービンを用いたコンバインドサイクル 発電設備では,排ガス温度がそれほど高くないので,排熱 回収の経済性の観点からボトミングサイクルは複圧式とし ている。

最新型機である 1,400 超級ガスタービンの場合,排ガス温度が 1,100 級機に比べ高くなっており,経済性の観点から排熱回収ボイラは三圧再熱式としている。また,系統構成と運用の簡素化や日本市場での顧客の要求を考慮して,一軸形コンバインドサイクル発電設備を標準化してラインアップに加えている。

4 コンバインドサイクル発電設備の各機器の特長

4.1 パワートレイン

富士・シーメンスの一軸形コンバインドサイクル発電設備のパワートレインは、図6に示すようにガスタービン、発電機、蒸気タービンの順で配置され、次の特長を有している。

[1] パワートレインは床置き配置を採用

蒸気タービンに排気損失の少ない軸流排気方式を採用し、パワートレインを床置き配置としている。タービン架台が不要となるとともに、タービン建屋は1階構造にでき、従来の復水器を蒸気タービンの下に配置する構造に比べて土木建築費用の大幅な低減を図っている。

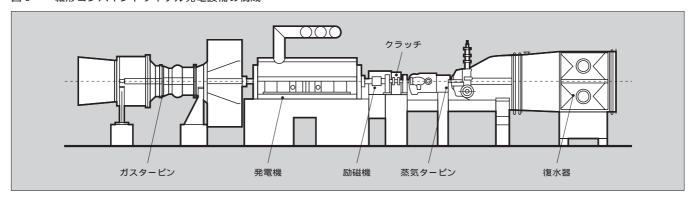
2) クラッチの採用

発電機と蒸気タービンの間には、伸び差を吸収し自動着脱のできるクラッチを設置している。これにより、ガスタービンおよび蒸気タービンは、伸び差やスラスト荷重に対して独立した設計が可能となる。また、蒸気タービンとは関係なくガスタービンの起動・停止が可能であり、起動・停止損失が低減できる。

3 静止形周波数変換装置(SFC)の採用

ガスタービンの起動時は発電機を電動機として使用する 起動方式である。起動用電動機などが不要であり、軸系お よび全体配置をシンプルにしている。また、電気設備だけ で構成されるので、保守が容易となる。

図6 一軸形コンバインドサイクル発電設備の構成



4.2 ガスタービン設備

シーメンス社のすべてのガスタービンに共通した特長は, 実証済技術に裏付けられた信頼性の高さと保守の容易さで ある。

1 軽量・高剛性のディスクタイプロータ

半径方向に切られたのこ歯状のハースセレーションを介して各ディスクを1本のセンタータイボルトで結合したロータは,各ディスクが個々に熱膨張した際にも拘束熱応力を生じることがなく相互の心を保持する自己調心機能を有している。熱時定数が小さく振動特性も優れているので,ガスタービン単独では約20分間での短時間起動が可能である。

また,すべての動静翼は,ロータをつり出さずに交換, 点検ができる。

2 大型燃焼室内でのマルチバーナ燃焼方式

均一な燃焼温度分布が得られ,低 NOx,高燃焼効率に有利な大型燃焼室内でのマルチバーナ燃焼方式を採用している。ハイブリッドバーナは気液両燃料で予混合燃焼が可能であり,天然ガス燃焼時の出口 NOx 濃度は $21\sim25$ ppm($16\%O_2$ dry)以下であり,アンモニア還元選択脱硝触媒により煙突出口では 3 ppm 以下が可能である。また,保守・点検時には,マンホールから燃焼室内部に入りバーナやタービン初段動静翼などの高温部品を直接目視点検できるので,短時間で確実な点検ができる。

これらに加えて,二軸受支持方式,水平二分割構造ケーシング,圧縮機端駆動,軸流排気タービンなどの構造的特徴は,数十年来の実証済技術である。

最新型の 3A 形ガスタービン(図7)では,圧縮機翼列に三次元設計の拡散制御翼(CDA)翼列,燃焼器にアニュラー形構造,タービン翼に単結晶翼材や最新のフィルム冷却構造を採用し,高温・高効率化を図っている。

4.3 蒸気タービン設備

蒸気タービン設備は,軸流排気式蒸気タービンと軸流式 復水器の採用で排気損失を低減させている。各プラント形 式と外気条件にて決定される排気圧力に応じて低圧翼の選 定と形式の標準化が行われている。

三圧再熱式に採用される二車室再熱形軸流排気蒸気ター

図7 3A形ガスタービン鳥観図

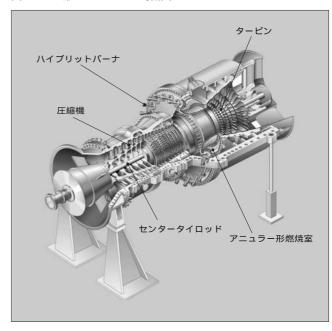
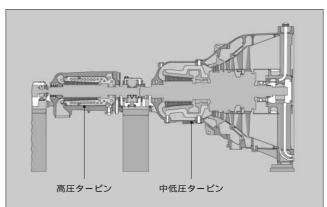


図8 二車室三圧再熱式軸流排気蒸気タービンの断面図



ビンの断面図を図8に,より経済性を追求した単車室再熱 形軸流排気蒸気タービンの外形図を図9に示す。

4.4 発電機設備

発電機は,発電機容量に応じて空気冷却式と水素冷却式を使い分けている。3A 形ガスタービンを使用した一軸式コンバインドサイクル用発電機(GUD 1S. V84.3A および

図9 単車室三圧再熱式軸流排気蒸気タービンの外形図

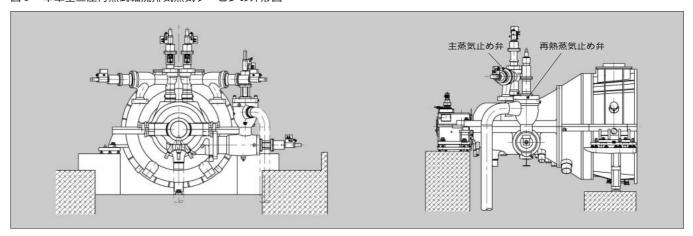


図 10 コンテナ形電気制御室



GUD 1S. V94. 3A 用)は,効率重視で水素冷却式としている。それ以外の発電機は設備費と保守性に優れた空気冷却式を採用している。

4.5 電気設備および計装制御システム

電気制御装置は、図10に示すようなコンテナ式電気制御室(PCC)を採用しており、建屋を必要としない。これにより土木建築費を低減している。また、工場で配線、組立および試験により完成度を高め、現地での据付け、試運転工程を短縮するとともにトータルコストダウンを図っている。

計測制御システムは,実績豊富で信頼性の高いシーメンス社製の発電プラント用プロセス制御システム「テレパーム XP」を採用している。

テレパーム XP を採用した場合の特長は,

- [1] ソフトウェア,ハードウェアの高度なモジュール化と 柔軟な拡張性を持つ。
- 2 国際水準の基本ソフトウェア(Windows や UNIX な ど)とオープンコミュニケーションを採用している。
- [3] 統一された MMI (マンマシンインタフェース) による操作,監視,管理ができる。 などがあげられる。

5 あとがき

電力需要は今後も確実に増加することから,コンバインドサイクル発電設備の建設は増加するものと思われる。一方,設備費の低減や効率向上,さらに環境問題の解決などの要求は,今後さらに厳しい課題となっていく。

富士電機では現在,株式会社東京ガス横須賀パワー向けに 240 MW コンバインドサイクル発電設備を建設中であり,2005 年後半から試運転を実施する。

今後ともコンバインドサイクル発電設備をお客様に満足 していただける形で供給できるよう,富士・シーメンスが 一体となって努力する所存である。

参考文献

- [1] Kail, C.; Rukes, B. Fortschrittliche Gas- und Dampfturbinenprozesse zur Wirkungsgrad- und Liestungssteigerung bei GuD-Kraftwerken. VDI-Berichte. nr. 1182,
- 2 山形通史ほか . IPP 向けコンバインドサイクル発電設備 . 富士時報 . vol.73, no.12, 2000, p.639-643.
- 注 1 Windows: 米国 Microsoft Corp. の登録商標
- 注 2 UNIX: X/Open Co., Ltd. がライセンスしている米国なら びに他の国における登録商標

富士電機の標準中容量蒸気タービン「FET シリーズ」

吉江 耕也(よしえ こうや)

安部 道雄(あべ みちお)

小嶋 裕之(こじま ひろゆき)

1 まえがき

近年,電力の自由化や環境問題への意識の高まりなどを背景に,火力発電を取り巻く状況は大きく変わってきた。蒸気タービンに対しても,一段と高効率化が求められると同時にコンパクト化や運転操作性,保守性,信頼性の向上が不可欠になっている。

中容量蒸気タービン分野については,従来の自家発電用に加えてコンバインドサイクル用としても適用されており,単機容量の大容量化や高効率技術も積極的に取り入れられている。また,建設費の削減を目的として,軸流排気型や上向き排気型蒸気タービンも一般化している。

本稿では、このような市場状況のもと、低コストで高効率を実現した富士電機の標準中容量蒸気タービン「FETシリーズ」の特徴を紹介する。

2 モデルシリーズのコンセプト

2.1 適用範囲

中容量蒸気タービンは上述のごとく、発電専用のみならず、工場用蒸気系統への送気の機能を装備するなど、多種多様の仕様の要求がある。これらの市場ニーズに対応するために、FET 中容量蒸気タービンは幅広い蒸気条件と出力範囲をカバーした標準化モデルシリーズである。

蒸気タービンの型式,適用蒸気条件,出力範囲を表1に

表 1 富士電機の標準中容量蒸気タービン「FETシリーズ」の 適用範囲

型式	○復水式 ○背圧式 ○1段/2段制御抽気復水式 ○1段/2段制御抽気背圧式 混圧蒸気または抽気/混圧蒸気式にも適用可能
出力範囲	20~180 MW
蒸気条件	主蒸気圧力:最大130 bar 主蒸気温度:最大540
回転速度	50 s ⁻¹ (3,000 r/min) または 60 s ⁻¹ (3,600 r/min)

示す。

2.2 ブロックデザインシステム

FET 中容量蒸気タービンの設計には「ブロックデザインシステム」を採用している。蒸気タービンを構成する各ブロックは標準化された数個のコンポーネント(図1)が用意されており、プロジェクトごとの蒸気条件や出力などの各要求仕様に応じて組み合わせ、広範囲にわたり最適なブロックの選定を可能にしている。おのおのの標準コンポーネントは実績を重ねており、信頼性の高いタービンモデルを選択することができる。

「ブロックデザインシステム」による標準化は製作期間 の短縮と製作コストの低減を可能にすることができるとと もに , 顧客のニーズに対応した蒸気タービンを短納期で提供することができる。

3 FET 蒸気タービンの大容量化

工場用蒸気の供給と発電を可能としている自家用発電蒸気タービンは従来から数多く建設されている。近年の世界的な電力自由化の流れにより,一般企業の IPP (独立系発電事業者)への参入が増加している状況下では,自家用発電の機能を維持しつつ,容量の大型化が推進されている。 FET 蒸気タービンの単機容量においても,1994 年に 101 MW タービンが運転を開始して以来,市場のニーズに合わせて大容量化を図ってきた。図 2 に蒸気タービンの組立断面図,表 2 に蒸気タービンの仕様を示す。

3.1 絞り制御方式の採用による高効率化

FET 蒸気タービンでは,事業用火力の大容量蒸気タービンと同様に内部・外部の二重ケーシング構造の絞り制御方式の設計を踏襲している。そのため損失の大きい調速段を持たず,全段反動式(図3)となっているので高い効率を実現できる。また,衝動式に比べ蒸気の速度が緩やかなため,固体粒子衝突による摩耗(パーティクルエロージョン)や翼表面の劣化を小さくすることができるので,性能



吉江 耕也

蒸気タービンの設計開発に従事。 現在,富士電機システムズ株式会 社発電プラント本部川崎工場技師 長。ターボ機械協会会員。



安部 道雄

蒸気タービンの設計開発に従事。 現在,富士電機システムズ株式会 社発電プラント本部川崎工場火力 タービン部長。



小嶋 裕之

蒸気タービンの設計開発に従事。 現在,富士電機システムズ株式会 社発電プラント本部川崎工場火力 タービン部担当課長。

図1 ブロックデザインシステムの概要

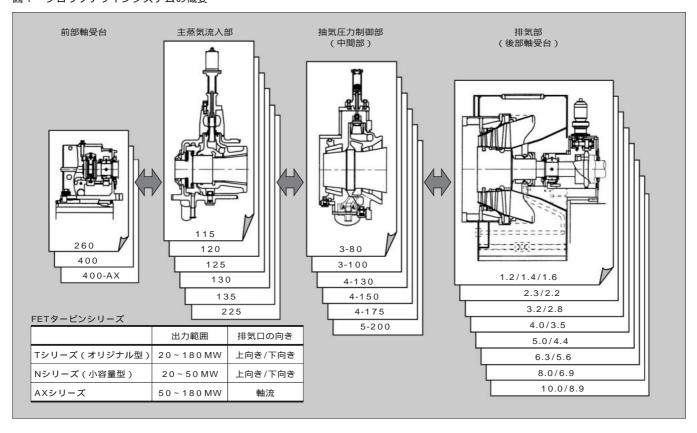


図 2 161.99 MW 蒸気タービン組立断面図

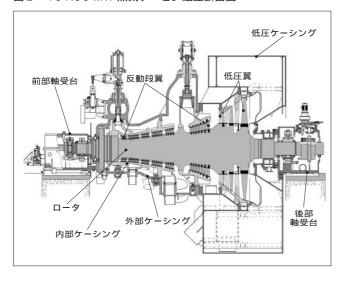


表 2 蒸気タービンの仕様

	台湾化學繊維股份有限公司 SK-G4(台湾)	台塑集團熱電 (寧波)有限公司 NB-1(中国)
型式	1段抽気復水式	1段抽気復水式
出力	147.88 MW	161.99 MW
蒸気条件 抽気圧力	1 2 3.6 bar/ 5 3 8 /7.7 bar	1 2 3.6 bar/ 5 3 8 / 8.3 bar
真 空	0.088 bar	0.088 bar
回転速度	60 s ⁻¹ (3,600 r/min)	50 s ⁻¹ (3,000 r/min)
運転開始 年 月	2000年5月	2004年7月

図3 反動式蒸気タービンロータ



の経年劣化が小さい。

3.2 新世代低圧翼の採用

低圧翼には,超音速流体解析(三次元タイムマーチング法)を用いて設計した高効率の低圧翼を採用した。

最終段 (L-0) 静翼には,円周方向に湾曲したリーンラジアル静翼を採用している(図4)。また,従来のフリースタンディング動翼の特徴である - 5 ~ + 3 %の広い範囲の周波数変動を許容しながら,低圧初段 (L-2) 動翼には囲い輪を設置して,性能向上を図っている(図4)。

3.3 エロージョン対策

湿り蒸気中にある低圧翼の長大化により,水滴による動翼の浸食(エロージョン)が激しくなる。この現象を軽減するために下記の対策を行っている(図5)。

図 4 新世代低圧翼

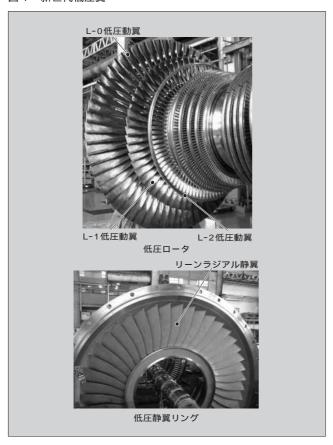
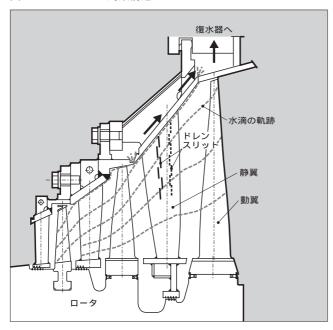
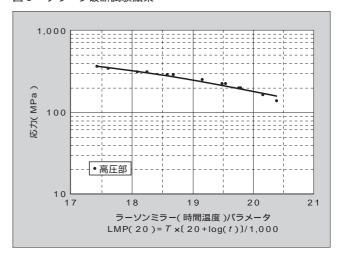


図 5 エロージョン対策構造



- 1) 動翼の前縁部に火炎焼入れを行い,母材の表面硬度を 高めている。
- 2〕 大型の最終段(L-0) 静翼は,鋼板の中空構造として, 翼表面にスリットを設けている。このスリットから水滴 を排出し,後段の動翼へのドレンアタックを軽減している。
- 3 静翼後縁側の軸方向すきまを広く取り,静翼表面に付

図6 クリープ破断試験結果



着した水滴を蒸気流れにより微細化して,ドレンアタックを軽減している。

(4) 静翼後縁を薄くして,翼表面からはがれる水滴粒子を 微細化して,ドレンアタックを軽減している。

3.4 2% Cr鋼ロータの採用

蒸気タービンの大型化に伴いロータ直径が太くなり,動 翼の長大化とともに作用する遠心力が増大する。そのため 有限要素解析によりロータ軸心の正確な最大応力を算出し, 材料の破壊力学の手法を用いて実運転時の強度評価を行っ た。特に軸心応力の高い60 s⁻¹機については2% Cr 鍛鋼 に傾斜熱処理を適用した。図6にクリープ破断試験結果を 示す。

4 FET 小容量蒸気タービン(Nシリーズ)

FET 蒸気タービンの小容量クラスをより充実させるために,Nシリーズの開発を2002年に着手し完成した。図7に蒸気タービンの組立断面図と仕様を示す。

4.1 ノズル調速によるコンパクト化

FET 蒸気タービンは,前述のとおり絞り制御方式で二重ケーシング構造である。しかし小規模の自家用発電蒸気タービンでは,昼夜の負荷変動が大きいためノズル制御方式のニーズが高い。そこで,小容量クラスに限ってノズル制御方式を採用し,ケーシングも一重化した(図8)。

主蒸気条件は中容量クラスと変わらぬ 538 /130 bar の 高温・高圧を適用するものとし、シミュレーション技術を使って実運転時のケーシングの温度分布・発生応力や変形を解析して設計した(図9)。

4.2 高性能衝動翼の採用

ノズル制御方式を採用するにあたり,効果的に車室圧力・温度を下げるために初段にカーチス段を採用した。カーチス段採用により FET 蒸気タービンの特徴である高効率を極力維持するために,二次損失の軽減を狙い円周方

図7 Nシリーズ蒸気タービン組立断面図

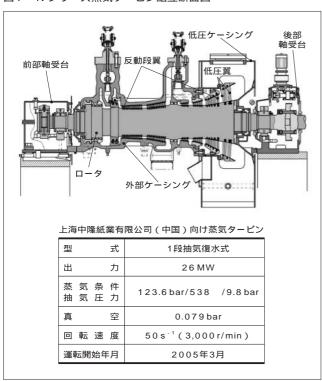


図8 ケーシングの外観



向に湾曲した三次元翼を適用した(図10)。これにより従来翼に対して,段落効率の1.7%向上を図った。

5 コンバインドサイクルプラントへの適用

近年の地球環境重視の観点から火力発電設備の主力は,ガスタービンと蒸気タービンを組み合わせた熱効率の高いコンバインドサイクルプラント(CCPP)へと移行している。この市場ニーズに合わせて100~200 MW クラスのガスタービンとの組合せに適合できるバリエーションを追加した。

CCPPでは、タービン建屋の建設期間と建設コストを大幅に低減できる軸流排気型タービンの需要が高い。そこで従来は下向き排気型であった FET 蒸気タービンに軸流排気型の AX シリーズ(図11)を開発した。

図9 流入部温度分布の解析

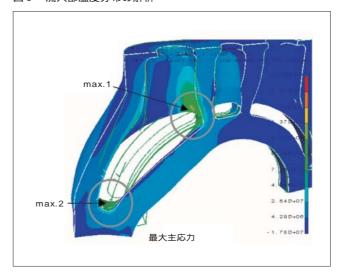
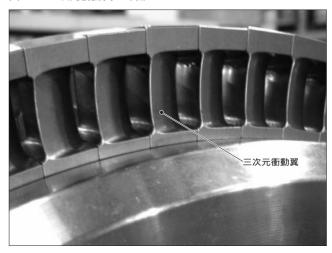


図 10 三次元衝動翼の外観



また,送電口ス低減のため,CCPPは需要地に建設される。そのため大量の冷却水を必要とする水冷式復水器に代わり,発電所の設置場所を選ばない空冷式復水器が採用される。そのため蒸気タービンの排気真空が悪くなるので,低真空用シリーズを追加した。

5.1 軸流排気型 FET 蒸気タービン

軸流排気型の AX シリーズは,開発完了して 1999 年に 初号機が運転を開始した。その後 CCPP 向けに数多く採用された。図12 に蒸気タービンの写真と仕様を示す。

5.2 全電気式保安装置の採用

軸流排気型の蒸気タービンは,後部軸受台が排気室の中にあるため,前部軸受台に発電機とのカップリングやターニング装置・保安装置が設置される。そのため前部軸受台を極力簡素化しメンテナンス性を向上するため,非常調速機やスラスト保護装置などの保安装置はすべて電気式とした(図13)。

この電気式保安装置は FET 蒸気タービンのほか,富士電機の大容量蒸気タービンにも適時採用されている。

図 11 軸流排気型 AX シリーズ蒸気タービン

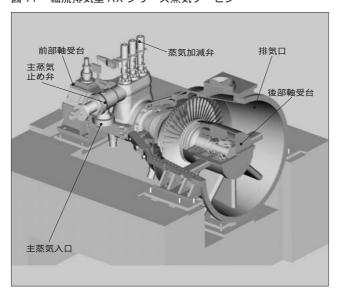
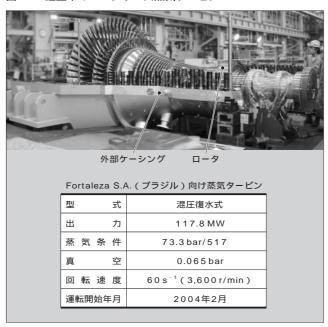


図 12 組立中の AX シリーズ蒸気タービン



5.3 空冷式復水器への対応

空冷式復水器は,水冷式復水器より低真空となるので, 蒸気タービン排気部にある低圧翼の強度が厳しくなる。そ

図 13 電気式保安装置の概念図

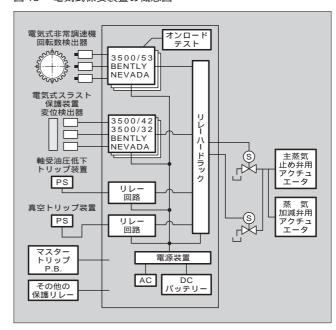


図 14 強化低圧翼の外観



こで低真空用の強化低圧翼を開発した(図14)。

6 あとがき

FET 中容量蒸気タービンのシリーズ充実化により広範囲な市場ニーズに適用することが可能となった。今後予想される環境問題と電力自由化の進展は,ますます高効率化と低コスト化が強まるものと考える。これらのニーズをいち早く取り入れるべく,技術開発を推進していく所存である。

富士電機におけるタービン発電機の開発の現状

日和佐 寛道(ひわさ ひろみち)

長谷 徹(はせ とおる)

芳賀 弘二(はが こうじ)

1 まえがき

近年,2極空気冷却タービン発電機の大容量化が求められている。10年ほど前は,150 MVA 程度のタービン発電機には水素冷却発電機が用いられていたが,現在では200 MVA を超える容量に対しても空気冷却発電機が適用されている。

一方,コンバインドサイクル発電プラントでは,一軸型や多軸型の蒸気タービンと連結する発電機の容量は400 MVA クラスになり,固定子水素直接または水直接冷却方式の発電機が採用されている。400 MVA クラスには,経済性,保守性,運転性に関する顧客ニーズから,固定子水素間接冷却方式の発電機(以下,水素間接冷却機と記す)が採用されている。富士電機は,空気冷却機では300 MVA,水素間接冷却機では450 MVAまで全含浸絶縁(109ページの「解説」参照)システム(Fレジン/G)を採用した発電機を開発し,系列化している。以下に,これら系列化過程における技術開発の概要,重要な開発項目である大容量高電圧全含浸絶縁システムの開発および製造自動化技術について述べる。

2 大容量空気冷却発電機の実用化

空気冷却発電機は水素冷却発電機に比べ,構造がシンプルであり,水素ガスや密封油などの補機系統がないため短期間での据付けが可能で,運転およびメンテナンスが容易であり,製作期間も短い。初期投資額が低い点も利点である。富土電機では 1999 年に試作した 126 MVA 試作実験機での検証を基に,空気冷却機の大容量化に取り組み,50 Hz,280 MVA の空気冷却発電機を実用化した。図1,図2に全景と構造断面図を示す。

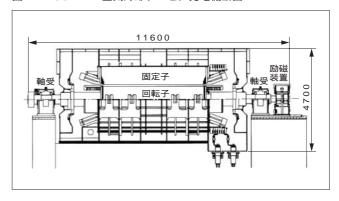
2.1 技術的特徵

固定子巻線には間接冷却方式を,回転子巻線には半径方 向直接冷却方式を採用しており,固定子枠側面に空気冷却 器(クーラ)を配置している。回転子は,基礎台板上に設

図1 280 MVA 空気冷却タービン発電機



図2 280 MVA 空気冷却タービン発電機断面



置された2個の軸受台で支持されており,反駆動機側には 励磁装置が設けられている。

固定子巻線には,コイルを固定子鉄心に挿入し,端部の 結線が完了した後に,固定子全体に対してエポキシ樹脂含 浸を行う全含浸絶縁システムを採用している。

空気冷却発電機の大容量化を進める過程において,下記 の解析・評価技術を用いて性能を確認している。

- [1] 熱流体解析による固定子および回転子巻線温度の評価
- [2] 電磁界解析による漂遊負荷損の解析
- 3 強度解析による回転子疲労強度評価



日和佐 寛道

大型回転機の設計・開発に従事。 現在,富士電機システムズ株式会 社発電プラント本部川崎工場回転 機部課長補佐。電気学会会員。



長谷 徿

大型回転機の設計・開発に従事。 現在,富士電機システムズ株式会 社発電プラント本部川崎工場回転 機部課長。



芳賀 弘二

回転機絶縁の開発に従事。現在, 富土電機システムズ株式会社発電 プラント本部川崎工場回転機部担 当課長。電気学会会員。

表1 280 MVA空気冷却タービン発電機の工場試験結果

	出力	280 MVA		
	電圧	14.7 kV		
	電流	10,997 A		
	力率	0.9		
仕	回転速度	3,000 r/min		
様	周波数	5 0 Hz		
	耐熱クラス	155 (Fクラス)		
	冷媒温度	40		
	励磁方式	サイリスタ励磁方式		
	適用規格	IEC60034-3		
	固定子巻線温度上昇	81 K		
_	回転子巻線温度上昇	80 K		
場試	短絡比	0.52		
工場試験結果	直軸過渡リアクタンス	26.7% 不飽和値		
果 	直軸初期過渡リアクタンス	20.1% 不飽和値		
	効 率	98.82% 規約効率		

2.2 280 MVA 空気冷却発電機の工場試験結果

前述の 50 Hz 280 MVA 空気冷却発電機では定格出力における工場試験(商用試験)だけではなく,型式定格条件においても無負荷飽和特性,三相短絡特性,損失測定,温度上昇試験などを実施した。この発電機の型式定格における仕様と試験結果を表1に示すが,いずれも仕様値を満足しており良好であった。また,特殊試験として,回転子巻線温度分布,固定子巻線軸方向温度分布,固定子振動を測定し,設計値や実績値との比較,評価を実施した。これらの結果から,この発電機が優れた特性,高い性能,および高い信頼性を有していることを確認した。

③ 水素間接冷却機の大容量化技術

固定子巻線に全含浸絶縁システムの適用を実現した 400 MVA クラスの水素間接冷却発電機を開発した。代表例として,450 MVA 発電機の断面を図3,仕様を表2に示す。

開発にあたっては,経済性,保有技術および製造設備の 面から,下記事項を折り込むこととした。

- 1) 全含浸絶縁システム適用の最大出力機とする。
- 2) 回転子と固定子は,それぞれ空気冷却機と同一構造あるいは同一製作方法とする。
- 3) 後述する回転子コイル4隅ろう付け装置などの最新設備を最大限に活用する。

3.1 構造

400 MVA クラスの水素間接冷却機は空気冷却機に比べ,冷媒に水素を用いることから固定子枠が圧力容器である点,また,ブラケット方式の軸受支持構造を採用している点が異なるが,固定子,回転子ともに基本的に空気冷却機と同一の構造かつ製造方法である。

図3 450 MVA 水素間接冷却タービン発電機断面

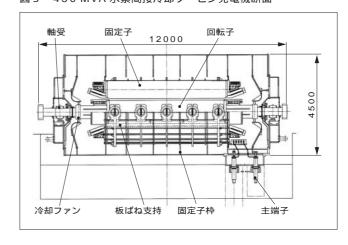


表 2 450 MVA水素間接冷却タービン発電機の仕様

出力	450 MVA
電圧	21 kV
電流	12,372 A
力 率	0.85
回転速度	3,600 r/min
周波数	60 Hz
耐熱クラス	155 (Fクラス)
冷媒温度	40
冷媒圧力	400kPa(g)
励磁方式	サイリスタ励磁方式
適 用 規 格	IEC60034-3
耐熱クラス 冷媒温度 冷媒圧力 励磁方式	155 (Fクラス) 40 400 kPa (g) サイリスタ励磁方式

また,固定子巻線には空気冷却機と同様に,富士電機の主要技術である全含浸絶縁システムを採用した。これを実現するためには,全含浸絶縁システムの高電圧へ対応が不可欠である。この技術開発については回章で詳細を述べる。

全含浸後,完成した固定子を圧力容器である円筒状の固定子枠に挿入し,板ばねを介して固定子枠に固定する。この板ばねと固定子および固定子枠との接続は,大型空気冷却機と同様に溶接方式を採用した。

回転子巻線は空気冷却機と同様に半径方向直接冷却方式を採用しているが,界磁電流が大きいためコイル導体厚みが増す。コイル導体の通風冷却穴の加工は空気冷却機では経済性を高めるために打抜き加工を採用しているが,水素間接冷却機においては,導体打抜き部の変形や設備能力などの要因から,そのままでは適用できない。型クリアランスやコイルの断面形状など,種々の検討課題をクリアして,打抜き加工を実現した。

3.2 通風冷却

大容量空気冷却機では,複流通風と呼ぶ通風方式を採用している。この方式は固定子巻線温度の均一化を図るため, 鉄心中央部へは冷却風を外径側から送り込む方式である。 一方,水素は密度が小さく熱容量が大きいため,ファンおよびギャップ通過時の冷媒温度上昇は空気に比して小さく

図4 長大回転子の打撃試験



なる。したがって,450 MVA 水素間接冷却機では,固定子鉄心の内径側から外径側へのみ冷媒を流す単流通風と呼ばれる通風回路を採用した。なお,軸方向における冷媒の風量を適正にするために,前述の126 MVA 試作実験機で検証した解析技術により最適な鉄心プロックの厚みと分布および回転子コイルの冷却穴の軸方向分布を決定した。

3.3 長大回転子の振動低減

容量の増大に伴い回転子は軸方向に長くなり,軸振動は 質量アンバランスや軸断面の非対称性の影響を受けやすく なる。したがって,振動面で十分な検討が必要となる。

バランス調整作業では低減できない軸断面の非対称性に 起因した 2 倍波サイクル振動を確認するため ,図 4 に示す ように打撃試験にて軸断面の断面二次モーメントの主軸方 向の固有値を求め ,非対称性を解析結果と比較して ,軸剛 性の断面非対称性を防止する回転子磁極部の補償スリット の設計に反映した。

4 固定子巻線絶縁技術

富士電機ではこれまで長年蓄積した全含浸絶縁技術と世界屈指の全含浸製造設備を用いて,1993年にタービン発電機へ全含浸絶縁を適用し,以来,約100台の適用実績を上げている。前述した水素間接冷却機の大容量化に伴い,発電機電圧は高くなるので絶縁品質の安定化が全含浸絶縁に求められる。そこで,定格電圧22kV級のタービン発電機にも対応できる全含浸絶縁システムを開発した。

4.1 タービン発電機用全含浸絶縁の特長

全含浸絶縁システムでは,固定子巻線と鉄心が含浸樹脂で一体化されていることから固定子巻線の冷却性能向上,緩みに対する信頼性の向上,それに付随するメンテナンスの低減などの利点を有している。全含浸絶縁固定子の外観を図5に,固定子断面を図6に示す。このタービン発電機用全含浸絶縁には,絶縁信頼性を確保する観点から,次の絶縁技術を採用している。

1 高耐熱性エポキシ樹脂

図5 全含浸後の発電機固定子の外観(280 MVA)

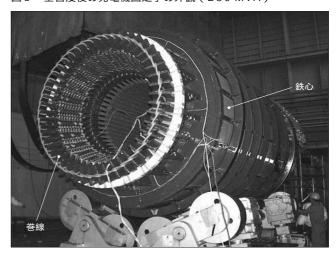
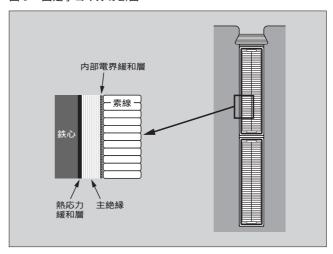


図6 固定子コイルの断面



- 2 高含浸性集成マイカテープ
- 3 高耐電圧寿命対応の内部電界緩和層
- 4 高耐ヒートサイクル性対応の熱応力緩和層

4.2 タービン発電機用 22 kV 級全含浸絶縁の開発

400 MVA クラスの水素冷却機に適用される 22 kV 級全 含浸絶縁の開発においては,これまでの固定子コイルに比べ,コイルが長尺で絶縁が厚くなり耐電圧試験値が上昇する。このことから,特に主絶縁層のテーピング性,含浸性,エンドコロナ防止の信頼性,および全含浸絶縁コイルの絶縁信頼性評価に注目して開発を行った。

4.2.1 主絶縁テーピングの解析

固定子コイルの絶縁層は集成マイカの主絶縁テープを巻いて製作するが、絶縁特性は、テープの巻き方、テープ厚さや幅寸法によって影響される。例えば主絶縁テープの重ね目の状態などによってもコイルの絶縁破壊電圧値が変わるため、同一巻層数で最大の絶縁破壊電圧値を得る必要がある。このためテーピングの最適条件を求めるためのプログラムを完成させ、解析を行っている。解析では、運転電圧や耐電圧試験において固定子コイル絶縁断面の角部に電界が集中するため、テーピングの際には、この部分のテー

図7 往復巻き 22 kV モデルの等層分布図 (絶縁表面から見た重なり層数)

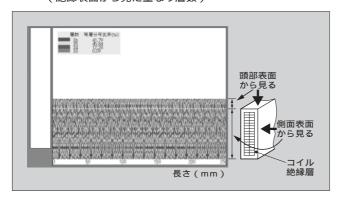
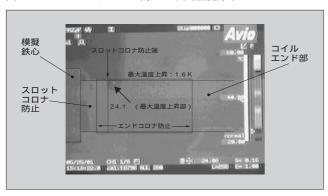


図8 22 kV エンドコロナ防止の表面温度分布



ピング重なり層数が少なくなることを避けなければならない。22 kV 級絶縁でのテーピング解析結果を図 7 に示す。コイル角部でのテーピング重なり層数が多く,規則性のある状態でテーピングされていることが確認できた。この結果を 22 kV コイルのテーピングに反映させた。

4.2.2 エンドコロナ防止の温度分布

固定子コイルのエンド部分にはコイルエンドからの電位傾度を緩やかにする目的でエンドコロナ防止層が設けてある。今回この 22 kV 級絶縁でエンドコロナ防止層の温度分布の定量化を行った。常規対地電圧印加時でのエンドコロナ防止層の温度分布を図 8 に示す。最大温度上昇部分はスロットコロナ防止端近傍であり,表面電位測定結果と合致している。さらに最大温度上昇は 1.6 K と小さな値であった。また,耐電圧試験 $\{2E+1,E:\text{ 定格電圧 (kV)}\}$ においてもせん絡や表面発光などの異常発生も認められず, 22 kV 級絶縁のエンドコロナ防止層は十分な機能を有していることを確認した。

4.2.3 絶縁信頼性評価

絶縁信頼性評価は直線モデルバーと実機大モデルを製作して行った。22 kV 級絶縁の直線モデルバーでは耐ヒートサイクル試験と耐電圧寿命試験を行い,ヒートサイクルの安定性と高耐電圧寿命を有していることを確認した。さらに絶縁製法を含めた信頼性を確認するため,図9に示す実機大モデルを製作した。実機大モデルは450 MVA 水素間接冷却機を想定したものであり,積層鉄心長4.5 m,スロット数5である。固定子コイル挿入およびエンド縛りや

図9 22 kV 実機大モデルの外観

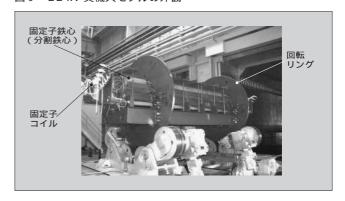
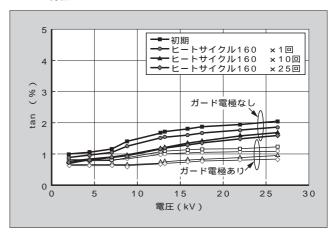


図 10 22 kV 実機大モデルのヒートサイクル時の tan -電圧 特性



全含浸処理作業を忠実に行うため,鉄心には回転リングを 取り付け,真空加圧含浸後,回転硬化できる構造とした。

実機大モデルは,製作初期において(2E+1) kV の耐電圧試験を行った後,ヒートサイクル試験を 25 回行った。ヒートサイクル時の tan -電圧特性を図10に示す。 tan 特性は初期から 25 回まで変化が少なく,絶縁特性が安定していることを確認した。さらにヒートサイクル 25 回後,気中にて絶縁破壊試験を実施して破壊電圧値が,定格電圧の 3 倍以上(気中せん絡)を有していることを確認した。

5 製造自動化技術

タービン発電機では短納期,低価格および品質の安定性に対する市場要求が顕著である。これらの要求を満足させるために製造工程の自動化・機械化の技術開発を行い,実用化したので,その一端を紹介する。従来,技能者のスキルに大きく依存していたが,製造工程への自動化・機械化の導入により,品質の安定性を図ることが可能となる。

5.1 回転子コイル自動ろう付け装置

回転子コイルの製作作業では,これまで人手で銅バーを ろう付けしていた。開発した自動ろう付け装置を図11に示 す。銅バーを高周波ろう付け機で連続的にろう付けし,仕

図 11 自動ろう付け装置

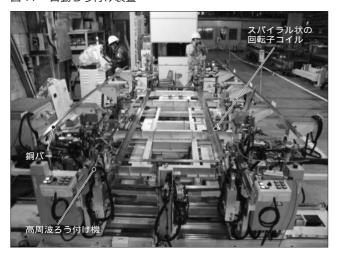


図12 自動素線編み機



上げを行い,スパイラル状の回転子コイルを製作する装置である。人手で行っていたろう付け作業を自動機に置き換えるため,高周波加熱時の温度やろうを挿すタイミングなどを計測し,材料強度とろう付け部の断面分析などの関係から自動機の条件設定を決定した。さらに,回転子コイルの銅バー寸法が異なる場合には,製作前にサンプルを製作して強度試験を行い,条件設定が適切であるかを確認し,品質確保を行っている。

5.2 自動素線編み機

固定子コイルの素線は損失低減のためのレーベル転位, いわゆる素線編みがなされている。これまでは,素線切断, 素線成形,編みなど作業パートごとに人手で行われていた。 開発した自動素線編み機を図12に示す。自動編み機では, 素線切断,素線端部の絶縁はぎ,素線成形,編み,絶縁挿入,素線束ねまでの一連の作業を自動化した装置である。 自動編み機に素線電線および絶縁材料を投入すると素線編 みがなされたコイルが出てくる装置であり,独自の編み機 構を考案し,編みの均質性を実現している。

図 13 コイルエンド自動成形機



5.3 コイルエンド自動成形機

固定子コイルのエンド部は人手によってコイルを曲げ、型にセットし、固め成形を行っていた。開発したコイルエンド自動成形機を図13に示す。コイルエンド自動成形機はロボットを用い、コイルエンド部のインボリュート形状曲げ、加熱成形、コイル端部導体切断までの工程を自動的に行うものである。インボリュート形状の均質化とリードタイムの短縮化を実現している。

さらに、最も重要な製造技術である全含浸処理作業では、使用する樹脂を厳しく管理し、含浸作業および回転硬化プロセスは自動で制御している。また、含浸プロセスではコイル絶縁層に確実に樹脂が含浸されていることを確認するため含浸モニタリングシステムを採用し、厳重な製造プロセス管理下で作業を行い、自動化とともに品質安定化に努めている。

6 あとがき

富士電機におけるタービン発電機の開発の現状を述べた。 今後も技術開発により市場要求にマッチし,かつ,高品質・高信頼性のタービン発電機を製作していく所存である。

参考文献

- 1 小原孝志ほか. 新系列 2 極空気冷却タービン発電機の熱および電気設計. 富士時報. vol.72, no.5, 1999, p.267-270.
- 2 溝上良一ほか.新系列2極空気冷却タービン発電機の電磁界解析.富士時報.vol.72, no.5, 1999, p.271-274.
- 3 阿久津信雄ほか. 新系列 2 極空気冷却タービン発電機の構造設計. 富士時報. vol.72, no.5, 1999, p.275-278.
- 4 山本勉ほか、新系列 2 極空気冷却タービン発電機の通風冷 却技術、富士時報、vol.72, no.5, 1999, p.279-282.
- 5 今村清治,南郷堅.大型製品の自動ろう付技術.溶接技術. 2004年9月号,p.71-76(2004).

地熱発電設備の現状と動向

稲垣 正太郎(いながき まさたろう)

1 まえがき

地熱発電は地中深くに存在する熱エネルギーを蒸気や熱水の形で取り出し発電に利用するものである。化石燃料を使用する火力発電,核燃料を使用する原子力発電と異なり,燃料を輸送することができないので,地熱発電は地熱エネルギーを産出できる地域で開発されている。

本稿では地熱発電の仕組みについて簡単に紹介し,世界の地熱発電の現状が東南アジア経済危機の影響により予想を下回る伸びであったこと,今後は経済復興と電力需要の伸びと低迷期の反動で大きく伸びると予想していることについて紹介する。

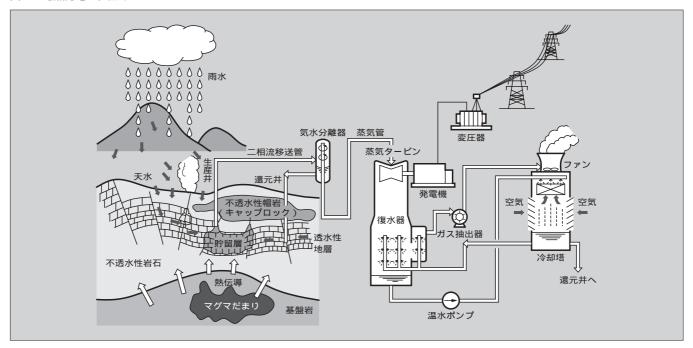
2 地熱発電の仕組み

図1に地熱発電の仕組みの概要を示す。現在の地球中心

部の温度は 5,000 ~ 6,000 と推定されており、地球の表面に向けて熱が放出されている。この熱はマントル(地下 30 ~ 2,900 km)では大規模な対流を生み出しているが、地球の最表層部を作る地殻(プレート、平均厚さ約 30 km)内部では伝導熱として地表に伝えられている。これによる平均的地下増温率は深度 100 m あたり 3 といわれており、特別の熱源がない限り、これだけでは高温の地熱資源を作り出すことはできない。地球の表面は十数枚のプレートによって覆われている。そのプレート境界では活発な地殻変動を起こしており、それらが世界の火山帯となっている。そこでは地殻に進入し取り残された約 800 ~ 1,200のマグマだまりが地下数 km から 10 km 程度の比較的浅い部分に存在している。地熱資源とはこの高温のマグマだまりからの熱伝導により熱せられた地下水をいう。

地熱水の起源については,古くは諸説があったが,現在では天水(雨水)起源説で結論が出ている。地上に降った

図1 地熱発電の仕組み





稲垣 正太郎

火力・地熱発電所の機械・配管設備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 社発電プラント本部火力統括部地 熱技術部長。火力原子力協会会員。 雨水は地下に浸入し地下水となる。地下水は地中で流れを作り,地層中の透水性の高い砂岩や断層などの破砕帯,地層の境界部などの不連続部分などで貯留している。これらが先のマグマだまりにより温められ,地熱貯留層と呼ばれる地下資源(地熱水)となっている。

地下が高透水性の地層だけの場合は,上部や周囲からの低温流体の進入などがあり,発電用の資源としては無理があるが,日本人は昔から温泉として利用している。地熱貯留層の上部に透水性の低い地層(帽岩:キャップロック)が存在し高温の地熱流体を閉じ込めているような場所では,地熱発電に利用できる地下資源となる。すなわち,マグマだまり(熱源),透水性の貯留層,キャップロックそして十分な天水(雨水)の補給という4条件がそろった地域が地熱発電所の建設に最も適した地域となる。このような地域を探査・評価し地熱発電地域として開発することになる。地熱貯留層から熱水や蒸気を取り出す井戸を生産井,利用済みまたは利用できない温水を再び地中に戻す井戸を還元井と呼んでいる。

地熱貯留層から取り出せる流体が蒸気のみの場合,利用しやすいので1920年代から発電所が建設された。イタリア・ラルレデロ地区やアメリカのガイザース地区が有名である。その後,地熱貯留層から取り出せる流体が熱水の場合でも減圧させて蒸気を発生させるシングルフラッシュサイクルが開発され,地熱の開発は飛躍的に伸びた。ここではシングルフラッシュ地熱発電について説明する。

その仕組みを図1の右側に示す。地熱貯留層から取り出 された地熱流体は蒸気と熱水の混合した気液二相流として、 気水分離器(遠心力を利用したサイクロンセパレータ)に 移送され、そこで蒸気と熱水に分離される。蒸気は配管で タービンに送られタービン・発電機を駆動する。発電され た電気は変圧器から配電網を経由して消費地に送られる。 また気水分離器で分離された熱水はそのまま還元井に送ら れ,地中に戻されて最終的に地熱貯留層に還元する。蒸気 タービンは,下流の復水器と呼ばれる凝縮器で排気蒸気と 冷却水を混合してできる温水の飽和圧力まで仕事を行う。 温水温度はおよそ 40 ~ 50 ,復水内圧力は 0.008~ 0.012 MPa (絶対圧力)の真空となっている。温水は温水 ポンプによって冷却塔の上部に運ばれ,貯水槽に落下する 間に空気と接触し冷却される。冷却塔貯水槽からは,大気 圧力と復水器真空の差圧で復水器に戻り,再び復水器冷却 水として利用される。復水器に流入する蒸気量と冷却塔で 蒸発し消滅する蒸気量の差は冷却塔水槽から還元井に戻さ れ地中に還元される。

地熱蒸気には蒸気に対して質量で 0.5 %から数%程度の二酸化炭素を中心とした不凝縮ガスが含まれている。これらは復水器内で凝縮しないので,ガス抽出器(蒸気エジェクタや真空ポンプ,またはそれらを組み合わせた装置)によって大気圧まで圧縮し系外へ放出している。このガス抽出設備は通常の火力発電所の復水器空気抽出器に比べ非常に大きな容量を有しており,地熱発電の特有の重要な設備である。不凝縮ガスには微量の硫化水素ガス(H₂S)

も含まれているので,アメリカのように硫化水素ガスの放出拡散に厳しい規制がある場合は,大気に放出せず硫化水素除去装置を設ける。硫化水素ガスは銅および銅合金を著しく腐食させるので,各種の電気品はこのための対策が施されている。

ダブルフラッシュサイクルとは気水分離器で分離された 熱水をさらに減圧し,低圧の蒸気を発生させてタービンの 中段に送りプラント効率を高めるように計画されたもので ある。

3 日本の地熱発電の現状と動向

日本では 1973 年 10 月に発生した第一次オイルショックを契機としてエネルギーの多様化が叫ばれ,地熱発電が新エネルギーとして見直されて,国を挙げて地熱開発に取り組んだ。そして,1973 年には設備容量で 50 MW 程度であった地熱発電所は,1995 年までの約 20 年間で建設中も含めて 16 か所・18 台,合計設備容量 545 MW となった。しかし,その後新たに建設された設備は,富士電機が1999 年に東京電力株式会社向けに納入した八丈島発電所(3.3 MW)のほかは,九重観光ホテルの九重発電所(2 MW),九州電力株式会社八丁原発電所の地熱バイナリーサイクル発電所(2 MW)のみであり,現在も建設計画はない。日本の地熱発電設備容量は現在 548.9 MW であり世界第6位であるが,近々第7位のニュージーランドに追い抜かれる。

「地熱発電の開発の意義と課題」によれば,地熱発電の優れた特徴は,

- [1] クリーンな自然エネルギー
- 2 純国産エネルギー
- 3 わが国に豊富に賦存するエネルギー
- 4 再生可能な自然エネルギー
- 5 燃料が不要
- 6) 稼動率と設備利用率が高くベース電源として安定供給 に寄与

などが挙げられている。しかし一方で解決すべき課題とし τ

- 1 地下の地熱資源把握に伴うリスク
- 2 蒸気生産のための掘削費を含む初期投資額が大きい
- 3) 大容量の発電所ができ難い
- 4 地熱資源分布の偏在
- 5 周辺環境との調和,既設温泉との共存共栄
- 6 法規制

などが挙げられている。特に電力自由化の現状では事業採 算性が重要視される。効果的な資金の利用とリスクの回避 をどのようにマネージできるか今後の課題の一つとして報 告されている。

明るい見通しとしては,日本には温泉地を含め未利用の蒸気・熱水が存在している。これらを利用する「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。

富士時報 Vol.78 No.2 2005 地熱発電設備の現状と動向

特に,2003年度から施行された「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)では,地熱バイナリー発電がこの適用を受けることから期待が高まっている。

4 海外の地熱発電の現状と富士電機の納入実績

第一次オイルショック以降,海外でも1990年まで5年 単位で平均20%以上の順調な伸びを示していた。富士電 機は 1977 年に中米・エルサルバドル電力庁に 40 MW 地 熱発電所を受注したのを契機として本格的に地熱発電の分 野に進出した。二十数年が経過した現在では,納入実績は 図2に示すように世界8か国,50台,合計容量ですでに 1,558 MW に達している。これは 2005 年における世界の 地熱発電設備容量(8,926 MW)の約 17.5 %を占める。 1995 年以降に営業運転に入ったプラントは EPC 契約 (一 つのサプライヤーにプラント完成の全責任を負わせるも の)で取りまとめたフィリピン・マリトボグ発電所(3× 77.5 MW), エルサルバドル・ベルリン発電所(2×28.1 MW), インドネシア・ワヤンウィンド発電所(1×110 MW)(図3に発電所全景,図4に生産井基地を示す)を はじめ,タービン発電機単体を EPC 契約者に納入したイ ンドネシア・グナンサラク発電所 (3×55 MW), ニュー ジーランド・ポイヒピ発電所 (1×55 MW), アイスラン ド・スバルトセンギ発電所5号機(1×30 MW)およびア メリカ・ソルトンシー発電所 5 号機 (1 x 58.3 MW) であ る。

表 1 に , 1990年 , 1995年 , 2000年 , 2005年の設備容量

(予測)と2000年時点で予想していた2005年の予想設備 容量を示す。

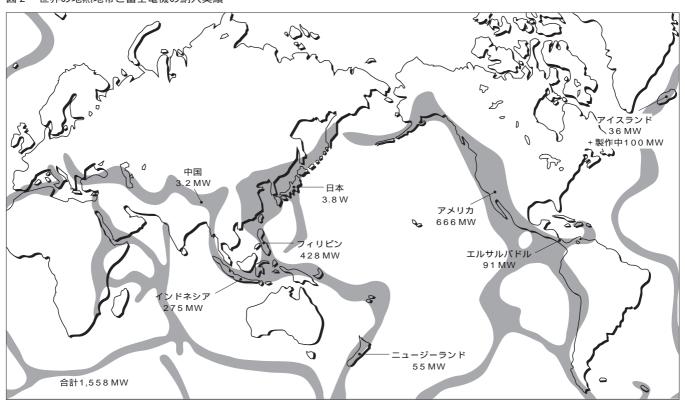
この表によると,1995年から2005年の間に建設された世界の地熱発電設備容量は,2,092 MW であり,このうち富士電機は734.1 MW,約35%を占めた。

2000年に予想した 2005年の設備容量と現状とでは乖離(かいり)が大きい。しかし、これは 1997年のタイ・バーツの暴落に端を発した東南アジアの通貨危機以降、世界経済の停滞などにより資金難や電力需要減などで地熱発電所建設が伸びなかったためと思われる。特に、インドネシア、

図3 ワヤンウィンド地熱発電所の全景(航空写真)



図2 世界の地熱地帯と富士電機の納入実績



フィリピンで合計約 1,900 MW の予想との乖離が生じている。インドネシアではジャカルタ暴動があり,経済危機と政情不安により地熱発電所建設計画の延期や中止が発表されたことは記憶に新しい。フィリピンでも似たような情勢であり,カントリーリスクの高い国への投資は手控えられたと考えられる。

アイスランドでは地熱発電の計画が進み予想を若干ながらオーバーしている。富士電機は2004年4月レイキャネス発電所向けに2×50 MWのタービン発電機を受注し現在製作中である。

図4 ワヤンウィンド生産井基地



世界最大の地熱開発国であるアメリカは,その最大の開発地域であるガイザース地域において過剰な開発によって 1990 年代半ばに貯留層圧力の低下を経験し,還元の必要性が急務となっていた。その一方では,廃水処理システムの老朽化によりアップグレードの必要性に迫られていた。この問題を解決する策として,1996 年に廃水処理プラントの排水を地中に還元するプロジェクトを立ち上げ,現在では,各廃水処理設備から全長 85 km のパイプラインを通して年間 1,000 万トン以上の排水をガイザーズ地区の貯留層に還元している。このことにより貯留層蒸気圧力の増加と寿命の延長,発電出力の増加に結び付いている。直近の 5 年間ではソルトンシー 5 号機 (58.3 MW)の増設以外に発電所の建設はない。

5 今後の展望

表1にも示したように、計画が大幅に遅れたインドネシアとフィリピンでは経済復興の電力需要に対処するためには、輸出できない地熱資源を最大限利用して国内の電力安定供給を進めると考えられる。海外からの投資を呼び込む優遇措置や国際協力資金の活用などで地熱発電所の建設を進めていくことになろう。両国とも電力公社の民営化を進めており、地熱事業採算性の観点から先行きについては不安定要因も多いものの、低迷期の反動もあり、今後数年間で大幅な地熱発電所の建設が進むと期待している。これらの国の地熱発電建設はEPC(設計・調達・建設)契約が主体となるであろう。富士電機は両国でのプラント建設の

表 1 世界の地熱発電設備容量

		:	地熱発電設備容量((MW)		2000年時点と
国名	1990年	1995年	2000年	2005年 (予測) ^注	2000年時点の 2005年予想	直近の2005年 容量予想の差(MW)
アメリカ	2,775	2,817	2,228	2,544	2,376	168
フィリピン	891	1,227	1,909	1,931	2,637	- 706
メキシコ	700	753	755	953	1,080	- 127
イタリア	545	632	785	791	946	- 155
日本	215	414	547	549	567	- 18
インドネシア	145	310	590	798	1,987	- 1,189
ニュージーランド	283	286	437	435	437	- 2
エルサルバドル	96	105	161	151	200	- 49
コスタリカ	0	55	143	163	161	2
アイスランド	45	50	170	202	170	32
ケニア	45	45	45	127	173	- 46
ニカラグア	35	70	70	78	145	- 67
中国	19	29	29	28	28	0
トルコ	20	20	20	20	250	- 230
ロシア	11	11	23	79	125	- 46
その他(10か国)	8	10	61	77	108	- 30
合 計	5,832	6,834	7,973	8,926	11,390	- 2,464

出典:IGA NEWSに掲載のデータを編集

注 2005年(予測)は元IGA事務局長Ruggero Bertani氏の提供データによる。

富士時報 Vol.78 No.2 2005 地熱発電設備の現状と動向

経験を生かしつつ,ローカルパートナーとのコンソーシアムでのEPC 契約を視野に入れて取り組んでいく。

ニュージーランドでは産業の発達により電力需要が増加している。電力供給の7割程度が水力発電で賄われているが,近年の雨量の減少や河川水の水量の時間的変化などの影響で,水力発電以外のベースロードとしての地熱発電が注目されている。本来この国は,1958年に世界ではじめて熱水型地熱井を利用したフラッシュサイクルをワイラケイ地域にて成功させ,その後の地熱発電の普及に貢献した国であり技術力は高い。古くから地熱発電所を有しており,すでに470 MWに達している。今後10年間に500 MW以上の地熱発電設備が建設される可能性もあり,古い設備の更新も見込める。富士電機は,ニュージーランドにはポイビヒ発電所に55 MWのタービン・発電機を納入し高い信頼性を評価されている。今後はプラントの供給範囲をさらに広げて取り組んでいく。

アメリカでは,2004年後半に連邦政府による地熱発電向けの Production Tax Credit (PTC)の導入がようやく大統領署名により成立した。正確には従来からあった「Section 45 PTC」の適用範囲を地熱発電にも広げることが決定されたものである。最初の5年間の運転に対し1.5セント/kWh (Index 付き)の Credit が適用される。ところが,この PTC の適用は 2006年1月1日までの運転開始が条件になっているため,新規地熱案件にはメリットがなく,短期間で完成させることができる地熱案件は,ごく少数の小規模のバイナリー案件などに限られている。いずれ適用期間の延長が図られるものと期待している。

アイスランドは,北端は北極圏に入る面積約10万km²の島国であるが,ここを大西洋中央海嶺が横断しているため地熱に恵まれている。この国では電力多消費型産業が少なかったため,地熱は主にオフィス,ホテル,各家庭の暖房,給湯,温水栽培,温水プールなどの熱源として利用されてきた。しかしこの国でも産業の発達に伴い,特に1999年以降の急激な地熱発電の増加があった。先に述べたレイキャネス地熱発電所で発電した電力は,アルミニウム精錬工場向けに供給されることとなっている。今後の同国の産業の発達に期待する。

6 地熱バイナリー発電

バイナリー発電は熱水温度が比較的低い場合に技術的に も経済的に成立する発電方式として古くから知られていた。 原理は地熱流体の熱エネルギーを熱交換器を介し二次側低 沸点媒体に与えて蒸発させ,その蒸気でタービンを駆動す るものである。タービンを出た後の蒸気の凝縮に空冷式凝 縮器を用いることが多く,そのため敷地面積が大きくなり 性能面でも外気温度の影響も受けること,また二次側媒体 のリークの問題や地熱流体側のスケール付着の問題など課 題も多い。しかし,フラッシュサイクルが最低でも 160 以上の蒸気がないと設備としては実現が困難であるが,中低温地熱流体(特に 100 %熱水,100 ~ 150)でも発電利用が可能であり,完全クローズドサイクルで地熱水を全量地下に還元できること,ガス抽出装置が不要なことなどの種々の長所があり,特に中小容量の発電に適している。海外ではオーマット社が世界に先駆けて二次側の低沸点媒体に有機媒体(ペンタン,ブタンなど)を用いたバイナリー発電を商品化した。OEC(ORMAT Energy Converter)の商品名で 1980 年代後半からアメリカを中心に世界十数箇国に合計 700 MW 程度納入しており,ほぼ独占状態である。小容量の標準シリーズを複数台設置するのが一般的である。

わが国ではサンシャイン計画の一環として 1979 年に 2 基の 1 MW パイロットプラント , その後 1991 年度に独立 行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) により 100 kW 級と 500 kW 級の実証試験を目的とした研究を行っている。富士電機は 2003 年度から NEDO の助成を受けて , 商品化のための 250 kW クラスのバイナリー発電実証設備を開発中である。

フ あとがき

地球環境との調和を図りながら,増え続けるエネルギー 需要にどう対応していくかは世界全体にとって大きな課題である。

地熱発電は発電量としては全体の中では微々たるものであるが,地熱資源が賦存している地方,地域では大きな割合を占めるエネルギーとなりうる。さらに,今後はさまざまな技術の開発研究によって地熱資源が世界のエネルギー問題の解決に大きく貢献することは間違いない。

富士電機は地熱発電プラントのトータルエンジニアリング,タービン発電機など主要機器の製作,プラント補機の調達と建設工事に豊富な実績とたゆまざる新技術の開発によってエネルギー問題解決の一助とする所存である。

参考文献

- 1] 坂口圭一.地熱資源とは.火力原子力発電.vol.55, no.577, 2004, p.53-58.
- 2 中西繁隆ほか.地熱発電の開発の意義と課題.火力原子力 発電.vol.55, no.577, 2004, p.87-91.
- [3] Dellinger, M. Lake County Success. Geothermal Bulletin. vol.33, May/June 2004, p.115-119.
- [4] 山田茂登ほか、最近の地熱発電設備、富士時報、vol.65, no.11, 1992, p.713-718.
- 5] FUJI ELECTRIC REVIEW. vol.42, no.2, 1996, p.38-72.
- [6] Geothermal Power Generation. FUJI ELECTRIC RE-VIEW. vol.47, no.4, 2001, p.98-128.

小型地熱バイナリー発電システム

山田 茂登(やまだ しげと)

小山 弘(おやま ひろし)

1 まえがき

日本は有数の火山国であり、多くの地熱資源を有してい る。現在までに建設された地熱発電設備は20台,550 MW に及ぶ。その多くは電力会社による大型の地熱発電 所であるが,諸般の事情により今後の大型の地熱発電所の 建設計画は当面ない。一方で、独立行政法人新エネル ギー・産業技術総合開発機構(NEDO)による地熱開発促 進調査は継続されており,2003年度からは中小規模の開 発を目標とした動きとなっている。また,温泉としては高 温であったり、蒸気が噴出するという理由により使われて いない井戸、単純に温度を下げて使われている温泉井が日 本には多く存在するといわれている。この未利用エネル ギーを地域固有のエネルギーとして利用拡大を進めるべき であるとする研究が行われ,地熱エネルギーを含む総合自 然エネルギーシステムの概念として EIMY (Energy in My Yard)をキーワードとして全国で講演などによる普 及活動も行われている。

一方では,世界的に再生可能エネルギー(139ページの「解説」参照)の利用を義務づける RPS(Renewable Portfolio Standard)法が施行されており,日本でも 2003年4月に「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」が施行され,再生可能エネルギーによる電力比率を高めていくことになった。日本を含む RPS 法が義務づける再生可能エネルギーの対象エネルギーには地熱エネルギーも含まれる。したがって,従来の地熱発電では利用されていなかった低温の地熱資源も発電利用の対象とした計画が現れ始めた。

中小規模や低温の地熱資源では,従来型の地熱蒸気を直接タービンに導入する方式よりも,低沸点媒体を蒸発させてタービンを駆動する方式のほうが経済的であることがある。

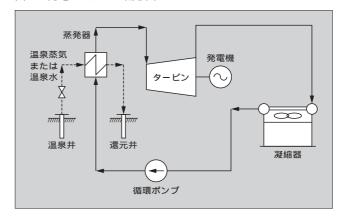
以上の背景から、小型の地熱バイナリー発電システムを 商品化するべく開発を行っている。

2 バイナリー発電システム

地熱バイナリー発電システムは、地熱流体(蒸気または熱水)を熱交換器へ通し、低沸点媒体を蒸発させてタービンを駆動するものである。2種類の異なる媒体を用いた発電方式であることから2媒体(バイナリー)発電方式と呼ばれている。図1に地熱バイナリー発電システムの概念図を示す。日本でも1993年から5年間、バイナリー発電の実証試験がNEDOにより実施された。この時は低沸点媒体としてフロンが使用されたが、フロンは2020年までには全廃となるため他の媒体を使用しなければならない。海外では炭化水素(ブタン、ペンタンなど)を使用するバイナリー発電システムを商品化しているメーカーがあり、また、水・アンモニアを媒体とし最適効率を実現するシステムといわれるカリーナサイクルと呼ばれるバイナリー発電方式も考案されている。

すでに海外では、アメリカ、フィリピン、ニュージーランド、アイスランドなどで広くバイナリー発電が地熱エネルギーに適用されており、その発電所規模も数百 kW から数万 kW 程度まで多く建設されている。特に、オーマット社がペンタンを用いたバイナリー発電システムメーカーとして有名であり、世界中の地熱資源を持つ国々に納入している。日本にも九州電力株式会社の八丁原地熱発電

図1 発電システムの概念図





山田 茂登

地熱発電プラント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本部火力統括部地熱技術部担当部長。日本地熱学会会員。



小山 弘

地熱発電プラント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本部火力統括部地勢技術部。

ている。

所に実証試験機として納入されている。ヨーロッパでは他のメーカーによる小型の地熱バイナリー発電システムが幾つかの地点で運転されているという記事も見受けられる。一方,日本では実証試験などが実施されてきているが,地熱バイナリー発電システムを製品として市場に投入しているメーカーはない。日本で発電設備を設置するに際しては電気事業法に従う届出や検査など,日本固有の対応が必要であり,小型の地熱発電を導入しようとする需要家が海外製品を導入するには,その対応をサポートする日本企業の協力が必要となる。また,海外製品のアフターサービスに不安を感じる可能性も考えられる。この意味でも,小型の地熱バイナリー発電システムを普及させるためには日本メーカーによる製品の提供が重要なポイントになると考え

なお,1904年にイタリアで,世界で初めて地熱蒸気による発電実験が成功したと伝えられているが,この時は地熱蒸気と清水とを熱交換して得られた蒸気でエンジンを駆動したといわれており,これもバイナリー発電方式の一つであったといえる。

バイナリー発電は熱交換により熱源とは異なる作動媒体を蒸発させてタービンを駆動するものであり、その熱源は地熱エネルギーには限られない。群馬県水上では RDF (Refuse Derived Fuel)を燃料としたボイラで発生させた蒸気を熱源としたバイナリー発電設備が建設されている。この例のように、バイナリー発電システムは地熱エネルギーに限らずさまざまな熱源(産業廃熱など)へ適用し得る発電システムである。

3 実証機による商品化開発

富士電機では,日本国内の未利用温泉エネルギーの発電 利用を目的とした小型の地熱バイナリー発電システムを足 がかりに,世界中のバイナリー式が適する地熱資源をター ゲットとして商品化することを目標に開発を進めている。

バイナリー発電システムは、基本的には火力発電設備の技術を応用したものであり、最も重要な課題は、適用しようとする高温熱源(地熱エネルギー)と低温熱源(大気条件)の間で効率的に蒸発し、また凝縮する、入手が容易で安定した安価な媒体を選定することである。 媒体が決定されれば火力発電のヒートバランスよりも簡単な計算により熱サイクルを計画することができる。

構成機器を計画するうえでの重要な課題の一つは,効率と経済性の両面から最適な設計条件を設定することである。もう一つの課題は,サイクルからの媒体の漏れがないようなシール技術を適用することである。

商品化に際しては,小型のシステムの商品化であることから安価になるよう計画することも重要な課題である。

以上の課題を解決し、概念設計、基本設計の正しさを検証して製品シリーズとして確立させることを目的に試作機を製作して実証運転を行うことを計画した。

4 実証機

4.1 システムの概要

地熱資源としては比較的低温である未利用温泉水などを高温熱源として適用すること、大気温度を低温熱源として適用することを前提として、この温度範囲で適切に蒸発し凝縮する熱サイクルを実現するに適した媒体としてイソペンタンを採用することを決定した。イソペンタンは可燃性ガスであるが、適切な設計を行えば安全に使用することができる。また、同じく炭化水素であるイソブタンが近年では家庭用冷蔵庫の冷媒として採用され始めたことから、作動流体として使用することに一般にも認知されやすいと判断した。

計画と実証運転結果の比較を容易にすることを目的として、実証機は実際の温泉井から得られる地熱蒸気の温度を設計温度として計画した。使用予定の温泉井からは蒸気と熱水の混合流体が得られることが予想されているため、気水分離器により蒸気と熱水に分離し熱水により媒体を予熱し、蒸気により蒸発させる熱サイクルとした。また、地熱資源が得られる地域では大量の冷却水を取水することが一般的に困難であることが予想されるため、凝縮器には空冷式を採用することとした。また、簡易なサイクル構成による製品の提供を目標としているので、実証機も予熱器、蒸発器で蒸発させた媒体蒸気によりタービンを駆動し、タービンの排気は空冷式凝縮器で凝縮させ、循環ポンプで予熱器に送るという、単純な熱サイクルを計画した。図2に実証機の主管系統図を、図3に実証機の完成予想図を示す。

熱サイクルを構成する機器は、安価に製品を提供することを目標として、実証機においても特別に機器を開発することなく汎用の機器および技術の組合せを基本に計画している。

4.2 予熱器・蒸発器

予熱器・蒸発器とも地熱流体を熱源とする。地熱流体にはスケール成分となる炭酸カルシウムやシリカなどが含まれることが多く、定期的に内部を清掃できることが構造上必要である。したがって、予熱器、蒸発器とも熱源側を管側とするシェルアンドチューブ式を採用している。表1に予熱器と蒸発器の主要仕様を示す。

4.3 タービン・発電機

使用するイソペンタンには金属腐食性がないため,汎用の単段衝動式蒸気タービンを採用した。ただし,車軸からの媒体の漏えいは完全に遮断しなければならないため,車軸の両端にメカニカルシールを二重に設置する構造とした。

発電機には誘導式を採用し設備を簡易なものとしている。 誘導発電機を採用することから,タービンには調速機を設置しない。したがって,汎用の蒸気タービンに採用されている一般の主蒸気止弁,蒸気加減弁を使用する必要がなくなり,流体の漏えいのないプロセス用の制御弁と遮断弁を

図2 実証機の主管系統図

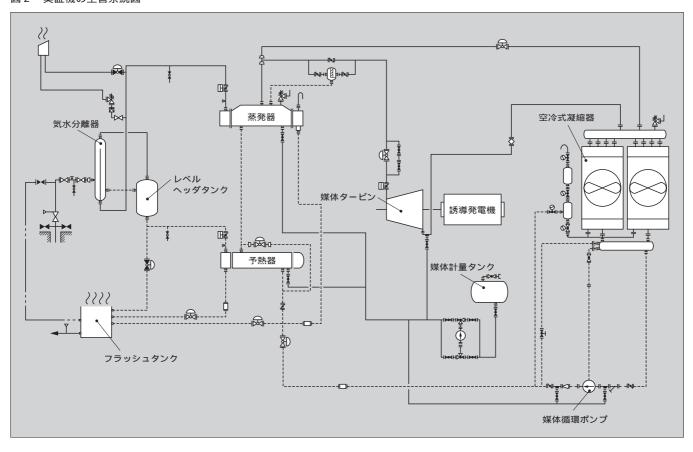
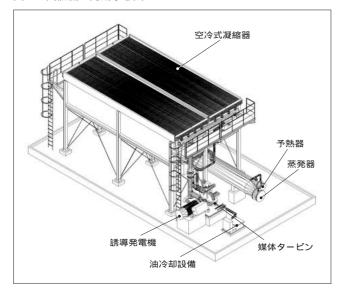


図3 実証機の完成予想図



採用することとしている。制御弁は前圧制御モードで動作させ,蒸発器出口圧力を安定させる目的で使用する。遮断弁は緊急時の信号により緊急遮断し,タービンと発電機を安全に停止させる。

表 2 にタービン,発電機の主要な仕様を,図 4 にタービンの断面図を示す。

4.4 凝縮器

前述のとおり,空冷式凝縮器を基本に考えており,実証

表 1 予熱器・蒸発器の主要仕様

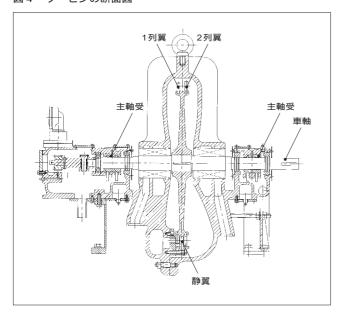
機器	項目	主要仕様
	型 式	横型固定管板式シェルアンドチューブ型
7 #h 00	伝 熱 容 量	7 2 0 kW
予熱器		イソペンタン:36/84
	入口/出口温度 	地熱熱水:130/100
	型式	横型固定管板式シェルアンドチューブ型
# 25 00	伝 熱 容 量	1,990 kW
蒸発器		イソペンタン:84/105
	入口/出口温度	地熱蒸気:130/130

表 2 タービンの主要仕様

機器	項目	主要仕様
	型 式	横軸衝動1段タービン
タービン	出力	最大220 kW
ターとク	回転数	1,800 r/min
	軸封型式	メカニカルシール
	型 式	三相誘導発電機
発 電 機	出力	250 kW
	回転数	1,800 r/min

機でもフィンチューブを使用した空冷式としている。空冷 式凝縮器は設備の中で最も大きいものであり,システム全 体の大きさを左右するものである。河川水などが大量に取

図4 タービンの断面図



水,利用可能な地点であれば,水冷式凝縮器を採用するこ とができ、システム全体の大きさを抑えることも可能であ る。

5 あとがき

実証機は 2005 年度に建設, 試運転を完了させ, 実証運 転に入れる予定である。本実証試験の結果を踏まえ、低価 格で取扱いの容易な地熱バイナリー発電システムを日本各 地の地熱資源を持つ地域に普及させることにより再生可能 エネルギー,自然エネルギーの有効利用が広く認識され, 発展していくことを期待する。そして,エネルギー需要が 世界的に高まる中で,地球環境を保ちながら子孫に資源を 残すために,再生可能エネルギーでありクリーンエネル ギーである地熱エネルギーの利用拡大を推進したいと考え

参考文献

- 1 火力原子力発電技術協会編.地熱発電の現状と動向(2004
- 2 新妻弘明ほか.地球環境適応型地熱開発戦略報告書.2002.
- 3〕 Geothermal Resources Council 編. Stories from a Heated Earth. 1999.

解 説 再生可能エネルギー

再生可能エネルギーとは, ある短い期間で自然現象 により資源が再生可能なエネルギーのことをいい,地 熱,水力,風力,太陽,波力,バイオマスなどが該当 する。ただし,自然環境に影響を与えるダムを使用す る水力は除外されることがある。石油や石炭のように 将来的に枯渇が予測されている化石エネルギーに対比 して使用される言葉である。特に近い将来の石油の枯 渇は世界的に深刻な問題であると認識され,再生可能 エネルギーの利用拡大が課題となっており,各国で再 生可能エネルギーの利用を義務づける RPS (Renewable Portfolio Standard)法が施行されている。日本 でも「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」が2003年4月に施行され,風力,太 陽光,地熱,小水力,バイオマスによる発電量を総発 電量に対する一定の割合とすることを義務づけた。

一方で, クリーンエネルギーまたはグリーンエネル ギーという言葉も聞かれるが,これらは再生可能エネ ルギーとは定義の異なるものである。クリーンエネル ギーまたはグリーンエネルギーと呼ばれるものは環境 負荷の低いエネルギーであり,地球温暖化やオゾン層 破壊に影響を与えないエネルギーを指す。

地熱エネルギーは再生可能エネルギーであり,二酸 化炭素の排出がきわめて少ないクリーンエネルギーで もある。

地熱タービンの最新技術

酒井 吉弘(さかい よしひろ)

中村 憲司(なかむら けんじ)

塩川 国夫(しおかわ くにお)

1 まえがき

地熱エネルギーは、石油、石炭、天然ガスなどの化石燃料と違って、二酸化炭素(CO2)や窒素酸化物(NOx)、硫黄酸化物(SOx)などをほとんど排出せず環境への影響が少ないクリーンエネルギーである。富士電機は国内初の実用地熱発電設備を藤田観光株式会社箱根小涌園に納入して以来、国内外に50台を超える地熱発電設備を納入しており、世界的なトップメーカーの一つに数えられている。

地熱蒸気は腐食性が高いため,地熱発電用蒸気タービンの設計においては,材料の腐食に関する知見と配慮が非常に重要である。そのため富士電機では,地熱発電サイトにおける腐食試験や実験室における材料試験を継続して実施してきており,蓄積された貴重なデータを設計に反映することにより高い信頼性を実現してきた。また,最新の翼列技術を適用することにより,地熱タービンの効率向上にも積極的に取り組んできた。

本稿では,富士電機の地熱タービンの最新技術について 紹介する。

② 最新の地熱タービン材料技術

2.1 地熱環境模擬腐食試験

地熱タービンの信頼性を向上させるため,地熱環境下での材料寿命を把握することは大変重要である。富士電機では地熱タービン材料に対する腐食試験を実施し,より厳しい環境下での適用性を検討している。

腐食試験の環境は,実機がさらされる環境に対し,十分 過酷な条件を採用し,短時間で実機の長時間使用時の状態 を模擬できるように濃縮腐食環境を設定した。標準腐食試 験環境を表1に示す。試験ではさまざまな応力状態に対応 するため,表2に示す各腐食試験を実施している。腐食試 験装置の外観を図1に示す。

2.2 新材料の実機適用

現用の地熱タービンでは,ブレード材には13% Cr鋼,

表 1 標準腐食試験環境

CI	H ₂ S	SO ₄	рН	温度
10,000 ppm	300 ppm	50 ppm	3.5 ~ 4.0	60
(NaClとして 1.8 %)	(H₂Sガスを 0.2 L/min封入)	(Na₂SO₄ として混入)		

表 2 腐食試験の内容

試験	内 容
腐食試験	腐食液中に浸漬,減量を測定し耐食性を評価
応力腐食割れ(SCC) 試験	静的な応力をかけながら,腐食液中に浸漬, 破断時間を評価
腐食疲労試験	腐食液中で繰返し曲げ負荷を発生させ,破断 回数を評価
腐食疲労試験 (平均応力負荷)	静的な平均応力と動的な繰返し負荷を同時に 発生させ,疲労限度を得る
ブラントノッチ コンパクトテンション (BNCT)試験	静的な応力を負荷し,発生するSCCの亀裂 進展量を評価
ダブルカンチレバービーム (DCB)試験 および 応力腐食亀裂進展 (K1SCC)試験	予亀裂を作製し,亀裂先端に生じる応力集中に対する進展感受性を評価(試験片形状の異なる2種類の試験を実施)

ロータ材には1% Cr 鋼を使用している。これらの材料は広く使われており,実績も多くある。これに対し,より高い耐食性・信頼性を得るため,それぞれについて新材料の開発・選定を行った。開発・選定材料の組成を表3に示す。新材料は現用材に比べ,耐食性に寄与するクロム量を増加し,適正な熱処理により応力腐食割れ感受性を抑えた材料である。

2.1節で述べた腐食試験を,ブレード材の現用材および新材料に対して行い,得られた疲労限度線図を図2に示す。結果から,実機での使用応力状態において,より高い振幅応力を許容することができ,耐食信頼性が向上していることが確認できた。これは,クロム添加量の増加により,耐食信頼性を大きく左右する腐食ピットの形成を抑制した効果によるものと考えられる。

図3に現用材,新ブレード材に対し,応力集中部の亀裂



酒井 吉弘

蒸気ターピンの設計,開発に従事。 現在,富士電機システムズ株式会 社発電プラント本部川崎工場技師 長、工学博士。日本機械学会会員。



中村 憲司

蒸気タービンの設計,開発に従事。 現在,富士電機システムズ株式会 社発電ブラント本部川崎工場火力 タービン部担当課長。日本機械学 会会員。



塩川 国夫

電子・構造材料の開発・評価研究 に従事。現在,富士電機アドバン ストテクノロジー株式会社生産技 術研究所。日本材料学会会員。

表3 開発・選定ブレード材およびロータ材組成

	材 料						化学	成分(%))					
	↑ ↑ ↑ ↑ ↑ ↑ ↑ ↑ ↑ ↑ ↑ ↑ ↑ ↑ ↑ ↑ ↑ ↑ ↑	С	Si	Mn	Р	S	Cr	Ni	Cu	Nb	Мо	V	W	AI
ブレード材	現用材 (13%Cr鋼)	0.17~ 0.22	0.10 ~ 0.50	0.30 ~ 0.80	0.030	0.020	13.0 ~ 14.0	0.30 ~ 0.80	_	_	_	_	_	_
70-149	開発材 (16%Cr4%Ni鋼)	0.05	0.10 ~ 0.35	0.30 ~ 0.60	0.025	0.005	15.0 ~ 16.0	4.2 ~ 5.0	3.0 ~ 3.7	0.20 ~ 0.35	_	_	_	_
口一夕材	現用材 (1%Cr鋼)	0.24~	0.10	0.30 ~	0.007	0.007	1.10~	0.50 ~ 1.00	_	_	1.00 ~ 1.50	0.20 ~ 0.35	_	0.008
	選定材 (2%Cr鋼)	0.21 ~ 0.23	0.10	0.65 ~ 0.75	0.007	0.007	2.05 ~ 2.15	0.70 ~ 0.80	_	_	0.80~	0.25 ~ 0.35	0.60 ~ 0.70	_
	選定材 (3.5%Ni鋼)	0.26~ 0.32	0.07	0.04	0.007	0.007	1.40 ~ 1.70	3.40 ~ 3.60	_	_	0.30 ~ 0.45	0.15	_	0.010

図1 応力腐食割れ試験・腐食疲労試験装置

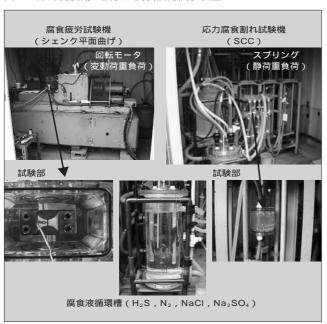
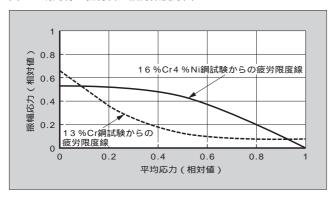


図2 現用材と新材料の疲労限度線図



進展特性を評価した応力腐食亀裂進展試験(K1SCC 試験)の結果を示す。亀裂進展下限応力拡大係数(単位:MPa \sqrt{m})は,現用ブレード材が 10 MPa \sqrt{m} (相対値 0.17)であるのに対し,新材料では 60 MPa \sqrt{m} (相対値 1.0)と格段に優れていることが分かる。一方,ロータ材に対して行った腐食疲労試験結果を図 4 に示す。ブレード材の場合と同様に,新材料(2 % Cr 鋼)の適用により高い耐食性

図3 K1SCC 試験結果

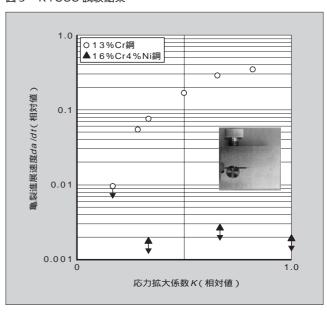
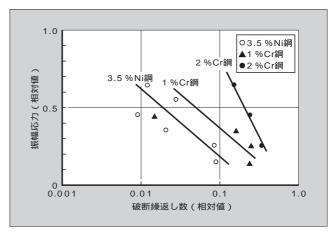


図4 ロータ腐食試験結果



が得られることが分かった。

2.3 ショットピーニング技術

上記のように,開発した新材料の適用により高い耐食性が得られることが確認されたが,より厳しい腐食環境や高い応力にまで対応するための技術として,ショットピーニ

富士時報 Vol.78 No.2 2005

特集

ング技術を検討・採用している。この技術はブレードや ロータの発生応力が厳しい部位に鋼球をあるエネルギーで 投射することにより,圧縮の残留応力を発生させるもので ある。

ショットピーニング処理を施したブレード材およびロータ材に対し、応力腐食割れ試験を行い、長寿命化に対する効果を検証した結果を図5に示す。ショットピーニング処理を施さないものに対し、施したものは2倍以上の破断寿命が得られていることが分かる。これらの結果から、実機に対しても腐食寿命向上に対する有効な施策として適用を開始している。

2.4 コーティング技術

ブレード材料には耐食性とともに耐エロージョン性が要求される。しかし,一般的に耐エロージョン性を向上させるためには材料の硬度を高くする必要があるが,硬度を高くした場合,応力腐食割れ特性は劣化する。両特性を両立させる手法として,溶射コーティングが考えられる。溶射コーティングの候補材料を7種類選定し,それぞれに対し,2.1節に述べた腐食試験および硬度測定,ブラストエロー

図5 SCC 試験結果(ショットピーニング処理有無)

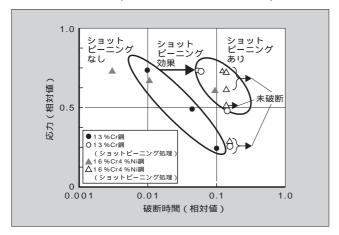


表 4 コーティング材試験結果

コーティング 材	応力腐食 割れ (SCC)	疲労	腐食減量	ブラスト エロージョン 平均摩耗量	硬 度 Hv
CoNiCrAIY + Al ₂ O ₃ • TiO ₂	×	×			790
WC-10Co4Cr					1,100
CoCrMo	×				650
Al-Zn	×	_	_	_	_
ステライト No.6B溶射	_	_	×		540
50%Cr ₃ C ₂ - 50%NiCr					770
75%Cr ₃ C ₂ - 25%NiCr	_	_			810

一 :実施せず

評価記号 優 : 優 位 : 可 ジョン試験を実施した。結果の一覧を表4に示す。これらから,溶射コーティング材料としてWC-CoCr系の材料が耐食・耐エロージョン性に優れていることが分かった。この材料について溶射条件の最適化を図り,実機適用可能なレベルの溶射材料,施工法を確立した。

2.5 ロータ溶接補修技術

上記のように,高耐食性に対するさまざまな施策を開発・選定してきた。しかし,既納品に対しては現用材を適用しており,耐食性に対する考慮も新製品と比較して不十分である。その中で,長期間運転した地熱タービンの中には腐食によるピット形成,応力腐食割れによるクラックが発生しているものも存在する。このような既納品に対して,補修技術を確立することが必要となる。

ロータの場合,応力腐食割れの発生は最も応力の集中する翼溝の底部である。この部位にクラックが発生した場合,発生部を削り,クラックをなくすことで進行を抑制するが,さらにクラックが成長した場合には翼溝全体を削る必要がある。このときに必要となるのが,肉盛溶接を実施し,翼溝を再生する技術である。

板材による溶接条件の選定後に実機大の溶接施工を行い,機械的特性および腐食試験を実施した。肉盛材には13% Cr鋼を用い,多層のTIG(Tangsten Inert Gas)溶接として行っている。

溶接部から試験片を採取し実施した腐食疲労試験結果を

図6 肉盛溶接補修部の腐食疲労試験結果

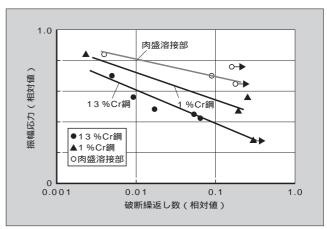
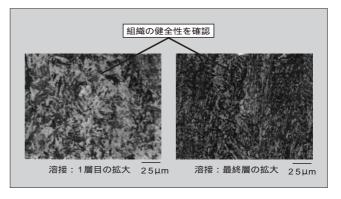


図7 肉盛溶接部の組織写真



富士時報 Vol.78 No.2 2005 地熱タービンの最新技術

図6,溶接部の組織写真を図7に示す。無欠陥であり, ロータ母材に対し,機械的特性および耐食性に優れること を確認し,実機への溶接補修技術を確立した。

上記のように地熱タービンの信頼性を左右する大きな要素である腐食に対する評価法を確立し、新材料、ショットピーニング技術、コーティング技術、補修技術の開発・確立を行ってきた。これらを、地熱環境や発生応力によって使い分けることにより、より高い信頼性が得られるものと考える。

今後もさらに,地熱環境下での腐食に対する評価・研究 を進め,高信頼性化とともに,寿命評価法を検討していく。

3 地熱タービンの効率向上新技術

地熱タービンにおける効率向上対策に対しては,一般の 火力発電用蒸気タービンで培われた技術をベースとした最 新技術を,主に翼列に対して適用し,大幅な効率アップを 実現している。

3.1 高負荷高効率反動翼

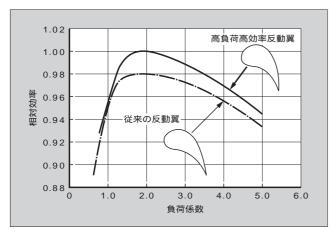
地熱タービンの低圧翼以外の翼列に対しては,最新の翼列設計技術を用いて,段落あたり負荷を増大させながら高い効率を維持させた高負荷高効率反動翼を適用している。本反動翼を採用することにより,同一段数の場合,従来の反動翼より1%以上の効率向上が可能となる(図8)。

3.2 低圧翼の性能向上

地熱タービンは,一般の火力タービンに比べて,低圧翼のタービン全体に占める負荷割合が大きいので,その性能向上は,一般の火力タービンに比較して,タービン全体の性能向上への寄与度が大きい。一般の火力タービン用に開発された,性能を飛躍的に高めた新世代低圧翼を,腐食性の高い地熱蒸気での運転に適応させ,タービンの実機に適用している。

以下では,新世代低圧翼の効率面での特徴,および現在 進めている小型の高効率低圧翼の開発状況について説明す

図8 高負荷高効率反動翼と従来翼の効率比較



る。

[1] 遷音速プロフィル

近年の数値流体解析技術の進歩により,翼列内の流れを精度よくシミュレートすることができるようになったため,翼列内の速度分布を最適化して,損失の少ないプロフィルを実現することが可能になった(図9)。新プロフィルは遷音速流れに適したコンバージェント・ダイバージェント翼形(翼間流路が末広がりになるように設計された翼形)としているのが特徴である。蒸気風洞試験の結果,出口マッハ数が大きい場合には,新翼形を採用することによりプロフィル損失を従来の2分の1以下に低減できることが確認された。

2 リーンラジアル静翼

三次元タイムマーチング法を用いて種々の翼形状についてフローパターンの変化を比較検討した結果,図10のように,ルート側で周方向の傾斜を持ちチップ側でラジアル方向になるような「バナナ形」の静翼が最適であることが分かった。このようなリーンラジアル静翼を用いることにより,はく離を生じやすいルート付近の流れが大幅に改善される。モデルタービン試験の結果,従来型の静翼に比べ段落効率が2%以上改善されることが確認できた。

注 遷音速プロフィル:流れの場に亜音速流れと超音速流れが共存する.いわゆる遷音速流れに適応させた翼形

図9 新世代低圧翼の解析例と蒸気風洞試験結果

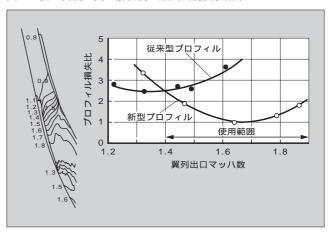


図 10 リーンラジアル静翼のモデルタービン効率測定結果

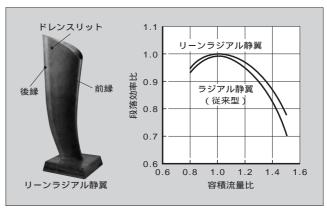
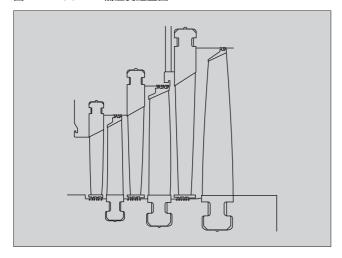


表 5 高効率小型低圧翼シリーズの開発

50 Hz用(公称環状面積)	60 Hz用(公称環状面積)
490 mm翼 (2.5 m²)	410 mm翼 (1.7 m²)
350 mm翼 (1.6 m²)	290 mm翼 (1.1 m²)
290 mm翼 (1.3 m²)	240 mm翼 (0.9 m²)

図 11 490 mm 低圧翼組立図



3 高効率小型低圧翼の開発

一般の大型蒸気タービンのために開発された新世代低圧 翼の設計手法を,翼長500mm以下の低圧翼の設計に適用 し,大幅な性能向上を図った高効率小型低圧翼シリーズの 開発を進行中である(表5)。

本シリーズは、計画段階において地熱タービンへの適用が考慮されており、高効率新世代低圧翼として効率向上のため採用された項目はもとより、さらに以下の特徴を兼ね備えている。

- 1 腐食雰囲気を考慮した高信頼性強度設計
- 2 全段の脚部にシンプルな形状の逆 T 字脚を採用し, 製作・組立を簡素化
- 3) 全段に囲い輪を付け翼端の漏れ損失を低減 図11に,シリーズで最も大きい 490 mm 翼の組立図を示す。

4 最新技術の適用例

前述の最新の技術を実機に適用した地熱タービンの例を 紹介する。

4.1 デキシーバレー地熱発電所向け 64.7 MW 地熱 タービン

図12 に 2003 年 10 月に効率向上改造工事を実施した,アメリカのデキシーバレー地熱発電所の蒸気タービン組立断面図を示す。本タービンは,1988 年に運転を開始してから 15 年経過した時点で,効率向上のため,タービン内部コンポーネント(ロータ,ブレード,静翼ホルダ,静翼リングなど)に最新の技術を適用し,改造したものである。

図 12 デキシーバレー地熱発電所向け 64.7 MW 地熱タービンの断面図

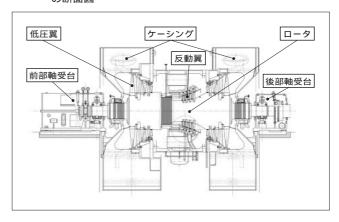
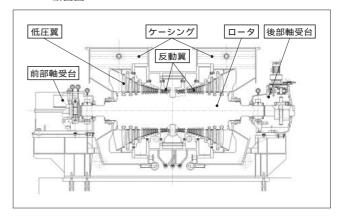


図 13 レイキャネス地熱発電所向け 55 MW 地熱タービンの 断面図



本タービンに適用された主な最新技術は,次のとおりである。

- 1 最終2段以外の動翼に,新ブレード材を適用
- 2 低圧翼(最終3段)に665 mm 高効率新世代低圧翼を 採用
- [3] 低圧翼(最終3段)の翼脚および翼溝の応力集中部に 信頼性向上のためショットピーニングを施工

本プラントの最大出力は,効率向上改造によって,従来の 60.5 MW から 64.7 MW へと大幅に増加させることができた。また,改造後も従来と同様,安定した運転を継続中である。

4.2 レイキャネス地熱発電所向け 55 MW 地熱タービン

図13 に現在製作中の,アイスランドのレイキャネス地熱発電所の蒸気タービン組立断面図を示す。本タービンの特徴は,入口蒸気圧力が 19 bar abs.と高いことであり,ブレードの段数も 2 × 14 段と,通常の地熱タービンに比べて多くなっている。

本タービンに適用された主な最新技術は,次のとおりである。

- [1] 低圧翼(最終3段)以外の翼列に,高効率高負荷反動 翼を適用
- 2 低圧翼(最終3段)に490mm高効率小型低圧翼を採

用

- 3 ロータに耐食性に優れた2% Cr ロータ材を適用
- [4] 蒸気流入部(主蒸気,混圧蒸気)の動翼に新プレード 材を採用
- [5] 低圧翼(最終3段)の翼脚および翼溝の応力集中部に 信頼性向上のためショットピーニングを施工 本プラントは,2006年の初めに運転開始の予定である。

5 あとがき

火山国であるわが国には地熱エネルギーが豊富にあるが、現在実用化されている地熱発電は全発電設備容量の 0.2 %に過ぎない。一方、フィリピンやアイスランドのように地熱発電が全発電設備容量の 15 %内外を占めている国もある。クリーンな国産エネルギーである地熱エネルギーを用いた地熱発電の今後の一層の発展が望まれる。地熱発電設

備のトップメーカーとして,今後とも地熱タービンの信頼 性と性能の向上に努めていく所存である。

参考文献

- 1 酒井吉弘 . 地熱発電タービンの腐食とエロージョン . 火力原子力発電 . vol.50, no.7, 1999, p.14-19.
- 2. 森田益夫. 地熱発電プラント用材料の腐食試験. 富士時報. vol.55, no.8, 1982, p.523-529.
- 3) Sakai, Y. et al. Corrosion Resistance of Materials for Geothermal Steam Turbines. Proc. of International Conference on Power Engineering-03, Kobe, Japan. 2003.
- 4 中村憲司,加藤秀雄.蒸気タービン設計への流れ解析技術 の適用.富士時報.vol.69, no.9, 1996, p.457-460.
- [5] 加藤佳史.地熱タービン.富士時報.vol.73, no.12, 2000, p.655-659.



最近の経年火力発電ユニット再生技術

加藤 雅喜(かとう まさき)

浅野 誠一(あさの せいいち)

福田 昌介(ふくだ しょうすけ)

1 まえがき

富士電機は,運転開始以来30年経過した経年火力発電ユニットにおいて,さらに20年以上の継続運用を目的に設備の長寿命化対策として,再熱二車室式タービンの基礎と,ほとんどすべての補機を流用した最新鋭の再熱単車室式タービンへの置換え工事を実施した。

限られた既存発電所のスペースへの高性能再熱単車室式タービンの設置は,発電機設備の絶縁更新,高圧配電盤・制御監視装置の更新と合わせ,機械式ガバナからディジタル式ガバナ・タービン自動起動システム(ATS)制御・CRT オペレーションの採用により操作性および信頼性を飛躍的に高め,またメンテナンス性の大幅な向上を実現した。

このリフレッシュ技術は,今後,納入発電ユニットの約7割を占める経年火力発電ユニットに低コストで適用することが可能であることから,顧客のニーズにマッチングした新たな提案として大きな需要を期待している。

ここでは,この経年火力発電ユニットの設備を大幅に流用しながら最新技術を融合させて,経年機が抱える課題を解決し,新たな発電ユニットに再生した技術とその事例を紹介する。図1に再生発電ユニットの全景を示す。

図1 再生発電ユニットの全景



② 経年火力発電ユニットの抱える課題

余寿命診断技術の発達によって設備の寿命が定量的に評価できるようになり、また、統計的寿命や事故情報が公開されるようになった。一方、設置者は経年火力発電ユニットの継続運用・定期点検インターバル延長などに対し次のような不安を抱いており、深刻な悩みとして耳にする機会が多くなった。

- 1 ユニット全体の老朽化とトラブル発生の不安
- 2 高温高圧蒸気タービンの材料劣化による損傷の懸念
- 3 蒸気タービン各部位に生じている摩耗・腐食・浸食
- 4 配管摩耗・減肉・噴破事故発生の不安
- 5 発電機・電気機器の絶縁劣化・寿命
- 6 廃型対応遅れによるメンテナンス不備
- [7] 制御保安装置の信頼性低下
- 8 運用操作性改善遅れによるミスオペレーション
- 9 経年振動上昇傾向に対する不安
- 10 経年的効率の低下による損失
- 11 起動時間の遅延による起動損失

3 長寿命化対策工事計画

長寿命化対策工事の基本は,経年設備が抱える弱点を補修や取替え・改造更新によって今後の長期継続運用に耐え得るようにし,顧客の不安を取り除くことであるが,さらに顧客の運用計画や欲求を満たし,広範囲にわたり最新技術を適用し近代化を図ることが重要となる。図2に今回実施した長寿命化対策工事の計画・展開概要を示す。

4 最新鋭蒸気タービンの適用技術

運転開始後20年以上経過した蒸気タービンは,長年にわたる運用により,材料の高温クリープ損傷や疲労損傷などが認められるようになるが,その対策として,対症療法的に部品の新製取替えを行うことが一般的であった。

今回の長寿命化対策は,これまで行ってきた経年劣化対



加藤 雅喜

火力発電設備のブラントサービス 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 発電ブラント本部火力統括部プラ ントサービス部長。



浅野 誠一

蒸気タービンの設計に従事。現在, 富士電機システムズ株式会社発電 プラント本部川崎工場火力タービン部課長。



福田 昌介

火力発電設備の電気・制御アフターサービス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本部火力統括部電気制御サービス部。

図2 長寿命化対策工事の計画・展開概要

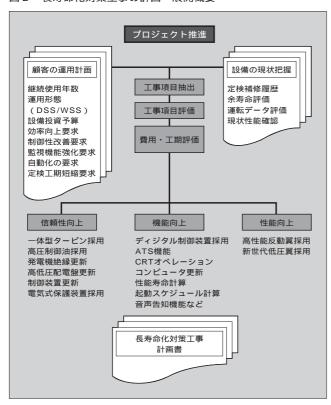
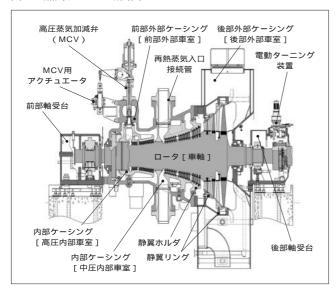


図3 蒸気タービン断面図



策ではなく,大幅に既設機器を流用しながら従来の再熱二車室式タービンを最新技術を駆使した再熱単車室式タービンへ構造変更することで,コンパクト化,効率向上,起動損失の低減,操作性の向上を図り,さらにメンテナンスコストも大幅に低減できる新たな発電ユニットに再生することであった。

4.1 蒸気タービンの仕様

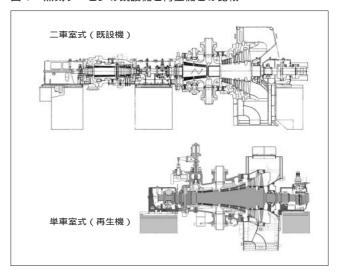
本蒸気タービンの仕様は次のとおりである。図3には断面図を示す。

型 式 : 単車室再熱再生式

表1 蒸気タービンの再生機と既設機との寸法・質量比較

項目	単車室式 (再生機)	二車室式 (既設機)
軸方向長さ(mm)	8,300	12,980
本体質量(t)	160	210

図4 蒸気タービンの既設機と再生機との比較



出 力: 85,000 kW主蒸気圧力・温度: 13.83 MPa/538再熱蒸気圧力・温度: 3.13 MPa/538真 空: 696 mmHg

抽気段数 :5段

回転数: 3,600 r/min

4.2 再熱単車室機の採用

近年の蒸気タービン技術は、単機容量の拡大と蒸気条件の高温高圧化へと進んできた。従来、複数の車室で構成していた蒸気タービンは三車室から二車室へ、二車室から単車室へと大幅なコンパクト化が図られてきた。本蒸気タービンも、既設の二車室式構造を高中低一体の単車室式構造とし、既設基礎も一切改造することなく、大幅なコンパクト化を図った。

寸法および質量についての再生機と既設機との比較を表1,図4に示す。

4.3 再熱単車室機の特徴

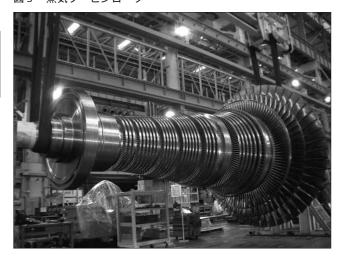
1 既設基礎および補機類の流用

ユニット再生ポイントの一つは,既設の低圧蒸気タービン基礎をそのまま流用することであったが,基礎コンクリートの劣化診断および再生機採用に伴う強度解析を実施し,基礎の改造に伴う費用および工程を回避できた。また,ヒータ,脱気器,復水器,タービン潤滑油設備などプラント構成補機類についても,仕様の再検討を行い既設機器の流用を図った。

2 絞り制御二重ケーシング構造の採用

本プラントは石油だき火力発電プラントであり, DSS

図5 蒸気タービンロータ



(Daily Start and Stop)運用として計画されたため,蒸気流入部には制御段を持たない全段反動翼を採用した絞り制御方式を採用した。この絞り制御方式の採用により,タービン本体で最も強度的に厳しいタービン車室部での負荷変動による温度変化幅を小さく抑えられ,高速起動と大幅な許容負荷変化を実現した。この結果,既設プラントの懸案であった起動損失を大幅に低減することができた。

3 軸系の振動解析と対策

単車室構造への変更に伴い,既設発電機と連結した軸系全体のコンピュータによる振動解析を行った。この結果,発電機端に設置されている励磁機の振動感度が上昇することが判明した。その対策として,励磁機のフィールドバランスを事前に検討し,計画どおりの振動値とすることができた。蒸気タービンロータを図5に示す。

[4] タービン本体の温度分布および応力解析

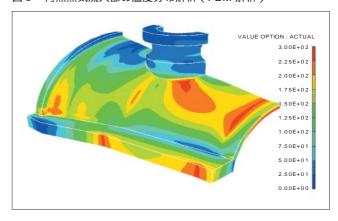
再熱単車室式タービンへの構造変更は,高圧タービン蒸気出口部(低温再熱部)と中圧タービン蒸気流入部を一つのケーシングに合わせ持つことから,ケーシングの温度偏差が,熱応力・疲労寿命・局部変形などに大きな影響を及ぼすため,その解析が重要となる。

そのため、本蒸気タービンについては、再熱蒸気流入部を中心とした内部の温度分布・応力解析(FEM 解析)を繰り返し実施し、再熱単車室式タービンの最適設計(ケーシング・フランジ形状設計、肉厚設計など)を行った。図6に再熱蒸気流入部について実施した温度分布解析結果を示す。

[5] セパレート式油システムの採用

本蒸気タービンでは、従来の制御油・潤滑油併用低圧油システムからセパレート式油システムに変更した。この制御油システムは、弁操作力の増加と制御性の向上を図った14 MPa の高圧油システムであり、プランジャ式制御油ポンプを中心とした操作油と弁操作用の電油サーボ式アクチュエータによる最新式制御装置システムである。また、潤滑油システムは、タービン駆動主油ポンプから電気式主油ポンプに変更した低圧油システムであるが、既設の潤滑油系統機器を流用する工夫を行った。

図 6 再熱蒸気流入部の温度分布解析 (FEM 解析)



6 ディジタル式ガバナと全電気式保安装置の採用

自動起動や遠隔自動化などに代表される省人化対応や制御性の向上要求は,ディジタル式ガバナの採用と全電気式保安装置システムの採用によって実現した。

特に、全電気式保安装置システムは、従来の機械式に対して油配管や検出用メカニカル装置が不要であり、検出センサの小型化と設置場所が比較的自由に選べる利点がある。富士電機では、こうした利点を生かして、軸流排気式タービンやシングルトレイン式コンバインドサイクルプラントを含めたあらゆる型式のタービンに対して標準的に採用しているシステムである。

5 発電機設備の絶縁更新技術

長期に使用した発電機固定子コイルなどの絶縁は,電界ストレス,熱ストレス,機械ストレス,汚損などにより経年的に劣化し,絶縁耐力の限界(絶縁寿命)を迎える。

そのため,設備の予防保全の観点から非破壊的絶縁診断や,物理化学的絶縁診断などの手法により,その絶縁劣化度を把握し,絶縁寿命に到達し重大事故に至る前に計画的に絶縁更新を行うことが重要となる。

今回実施した発電機の長寿命化対策工事は,固定子コイルの非破壊的絶縁診断データから算出した固定子コイルの残存破壊電圧(BDV: Break Down Voltage)と,長年蓄積した非破壊データの統計的な相関関係から,絶縁耐力の限界(余寿命)を定量的に推測し,絶縁更新の時期およびその範囲を正しく評価し,今後さらに20年の継続運用に耐え得る設備に再生することであった。以下にその実施例を紹介する。

5.1 発電機の仕様

本発電機の仕様は次のとおりである。

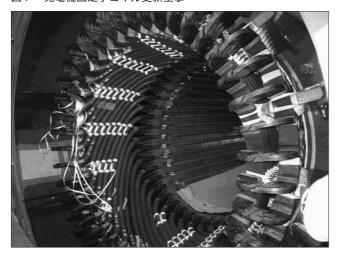
製造年:1972年

型 式 : 横軸円筒回転界磁全閉内冷型

出 力 : 100,000 kVA 電 圧 : 13,800 V

電 流 : 4,184 A 力 率 : 0.85

図7 発電機固定子コイル更新工事



相数:3 極数:2 絶縁種別:B

5.2 発電機固定子コイル巻替え工事

余寿命評価結果,運転に必要とされる絶縁耐力値を下回ることが判明したためコイルの巻替え更新を実施した。絶縁種別はB種からF種エポキシ樹脂・真空含浸絶縁材にし,絶縁性能の向上を図るとともに,コイル接続方法をブロック工法に改良することで現地絶縁更新工期を大幅に短縮できた。更新工事中の発電機固定子コイルを図7に示す。

5.3 発電機回転子保持リング更新工事

保持リングの応力腐食割れ(SCC)対策として,保持リングの材質変更(18Mn18Cr)を実施した。合わせてコイルエンド間隔片の脱落防止改良および保持リング下などの絶縁も更新し信頼性の向上を図った。更新工事中の発電機回転子保持リングを図8に示す。

5.4 ブラシレス励磁機コイル巻替え工事

界磁巻線リードなどに亀裂などの劣化が確認されており, 信頼性向上のため,励磁機の回転子および固定子のコイル の巻替えを実施した。

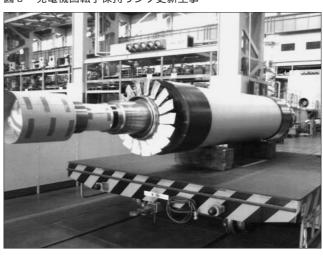
5.5 主端子ブッシングの更新工事

既設主端子ブッシングは,絶縁油を使用しており,過去に絶縁油の漏れを経験している。また,取付フランジ部の 亀裂補修も行っており,今回,エポキシモールド製の主端 子ブッシングに更新した。

5.6 その他

その他,軸受軸電流防止絶縁の強化改良および発電機固定子気密貫通端子などの更新を合わせて実施し,発電機設備全体の信頼性向上を図った。

図8 発電機回転子保持リング更新工事



6 電気制御設備の改善技術

電力会社の経年火力発電プラントでは、ベース機から負荷調整機として、さらに DSS・ WSS (Weekly Start and Stop)対応運用に変更されるケースがある。このためプラントの信頼性向上や起動時間の短縮、操作性の大幅な改善が求められる。今回の長寿命化対策工事は従来の経年劣化対策以外に、「タービンの起動時間短縮と操作性の改善」「タービン発電機監視機能の強化」の顧客ニーズを実現するための装置追加と既設流用品とのインタフェース構築が重要課題であった。これらの実現のために採用した最新鋭のディジタル制御装置と既納設備の融合について紹介する。

6.1 自動化機能および監視機能の構築

今まで手動で操作していたタービン起動にかかわる各種 操作について,自動化とプラント監視機能を強化すること によりオペレーターの負担の軽減と起動時間の大幅な短縮 を図った。

1 タービン自動起動システム

タービン自動起動システム(ATS)の範囲は図9に示すとおりタービン主蒸気配管ウォーミング開始からタービン定格出力の約25%出力までとし,以降の負荷制御はプラント自動制御装置(APC)に切り換えるシステムである。

2 補助蒸気制御の自動化

既設タービンの補助蒸気は,タービン軸封とエゼクタ駆動用に使用されているが,その複雑な切換え操作に時間を要していた。そのための手動操作と補助蒸気の受入れ許可条件をロジック化し自動制御を行わせることでタービン起動時間の大幅な短縮を図った。

3 既設タービンドレン弁操作の自動化

既設のタービンドレン弁を電動化し,ATSからの指令により,タービンドレン弁操作の自動化を図った。

4 プラント監視機能の強化

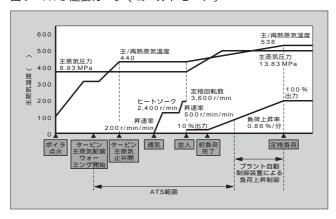
プラントの一括総合監視と操作の軽減を目的に CRT オ

ペレーション装置(図10参照)を導入し,オペレーターの 負担軽減を図った。また,ユニットコンピュータによる音 声告知機能を追加し,マンマシンインタフェースの向上も 図った。

6.2 ディジタル制御システムの構築

今回追加した自動化機能ならびに監視機能と既納設備とのインタフェースを図11に示す。これら追加機能はディジタル制御装置で構成しており、ディジタルコントローラはボイラ制御装置と同一機種にすることで、操作監視方式の統一と予備品の共有化を図った。また、プラント制御の重要な部位の制御装置はすべて主演算部を二重化構成とし、常用側がシステムダウンしても瞬時に待機系に切り換えてプラントがトリップすることなく運転継続が可能な冗長化

図9 ATS 起動カーブ(コールドモード)



システムとした。これらディジタル制御装置の導入と既納 設備との融合について説明する。

6.2.1 ディジタルガバナ制御装置 (D-EHG) の追設

既設機は機械式ガバナ(MHG)を採用しているが,今回計画した ATS,APC,その他ディジタル制御システムとの連携には D-EHG の採用が必要であることから導入した

D-EHG の優位性は次のとおりである。

- a リニアな連続制御
- b 容易な速度調定率の設定
- c タービン自動昇速ならびに負荷上昇機能
- 6.2.2 既設機能の見直しと再構築
- 1 タービン補助制御装置の設置

今回の更新対象設備にユニットコンピュータがあり,そ

図 10 更新後の中央操作室



図 11 更新後のシステム構成

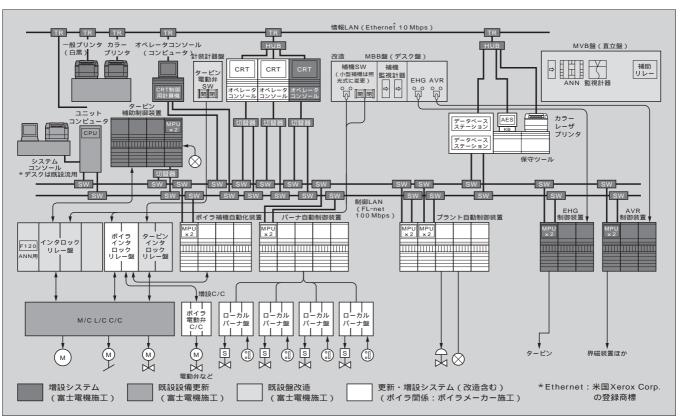
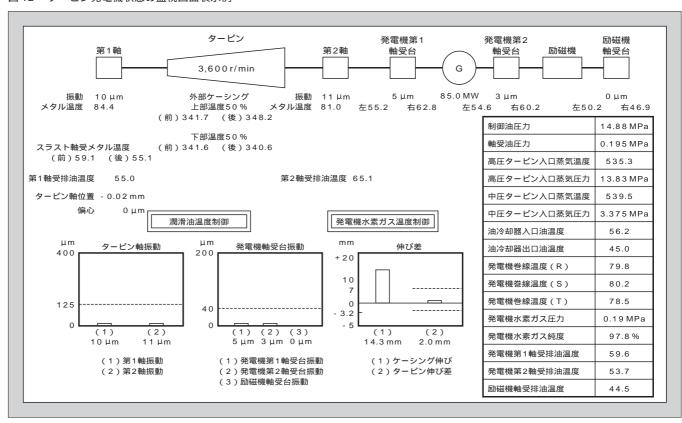


図 12 タービン発電機状態の監視画面表示例



のシステムに数多くのローカル信号を入出力するコンピュータ入出力盤がある。ユニットコンピュータ本体は独立盤とし、従来のコンピュータ入出力盤には、タービン補機制御用のディジタルコントローラを搭載することでタービン自動化機能とコンピュータ入出力機能を共用するタービン補助制御装置として計画した。このタービン補助制御装置を既設コンピュータ入出力盤撤去跡に設置することで、コンピュータ関係の外線ケーブル全数が流用可能となった。2 タービンローカル制御のディジタル化

既設タービンローカル制御はループごとにアナログコントローラを使用していたが、このすべての制御をタービン補助制御装置で構築した。これにより今までの個別ボードオペレーション操作を CRT オペレーション装置からの集中操作とし、オペレーターの負担軽減とアナログコントローラー掃による保守の合理化を図った。

6.2.3 CRT オペレーション装置の導入

CRT に表示されるプラント情報はタービン補助制御装置や他制御設備情報から伝送回路を介して CRT に入力される。CRT 画面表示例を図12に示す。

CRT オペレーション導入により既設ボードオペレーションとの操作・監視区分を見直し、ボードオペレーション操作の縮小化を図った。一例としてプラント起動停止に必要な操作は CRT から行い、個別補機の操作は自動モードを追加したボードオペレーションとし、自動モードを選択することで操作の省力化を図った。

6.2.4 ユニットコンピュータによる音声告知機能の追加 自動化操作と連動し指令前に行う事前告知と操作が完了 したときの事後告知,プラント異常発生時の注意喚起告知を音声でアナウンスする機能を設けた。これら音声告知は CRT の表示と連動するものとした。

6.2.5 データ通信の信頼性向上

ディジタル制御装置間の信号伝達は高速で信頼性が高く、かつ通信インタフェースが容易なオープンデータウェイで接続できる FL-net 基準の LAN を採用した。この LAN の通信速度は最速の 100 Mbps であり、ディジタル自動電圧調整装置やボイラメーカー納入のディジタル制御装置とも接続され、プラント情報を容易に共有化できる構成とした。これら通信網もディジタル制御システムの信頼性向上策の一つとしてとらえ、プラント制御にかかわる重要な制御 LAN は冗長化し信頼性の向上を図った。

7 あとがき

富士電機が最近実施した経年火力発電ユニットの再生技術とその事例を紹介した。今後も、これらの経年火力発電ユニットをさらに継続運用していただくために、富士電機は、既設ユニットに最新技術を融合させ、信頼性・操作性に優れた近代火力発電ユニットに生まれ変わらせる再生プランを提供していく所存である。

参考文献

1 中山昭伸ほか、発電機固定子コイルの余寿命診断、電気学会誘電・絶縁材料研究会、DEI-00-21, 2000-02.

発電所設備情報総合管理システム

加藤 俊和(かとう としかず)

1 まえがき

電力プラント設備では稼動する設備が数十年にわたって 使用されることも少なくない。設備や保守に関する設備図 書は、仕様書、設計図面、完成図面、試験報告書、工事写 真、保守報告書など多岐にわたっており、従来から書類 ベース主体で管理されてきている。

中でも構成が複雑な発電所設備の運転・保守作業においては、多量の設備図書や保守データを管理する必要があり、さらに過去の事例や傾向管理をデータとして検証しながら発電所の運用を行っている。近年、発電所においては情報化が広い範囲で進んできており、設備情報や図書の管理を簡便で効率的に行う要望がある。これらの背景から富士電機では、建物設備などの施設情報を収集・整理・解析して、効率よく運営するための経営管理手法であるファシリティマネジメント(FM)の概念を利用し、火力発電所設備の情報管理に適用した新しい発電所設備情報総合管理システム(POP-FIT: Power Plant Facilities Information Total management system)を開発したので紹介する。

2 設備図書・保守データ管理の現状と課題

2.1 管理の現状

発電所では日常的に運転・保守のために設備図書や保守 データをはじめとする多くの情報が使用され,以下のよう に管理されている場合が多い。

- 1)機器の仕様書や図面,試験成績書,設備定数などは完成図書として建設時のものが保管される。
- 2) 各設備で実施される保守・点検などの履歴はその都度 メーカーから提出され,図書として随時蓄積・保存される。
- 3) 各設備において,修理・改造が発生した場合は,対象 設備の該当する修理・改造部分の図書や図面がメーカー から提出され,改造図面としてファイル化される。
- 4) 図書は通常複数部提出され,これらは発電所,支店, 本店など数箇所に分散されて管理・保管される。

- 5 図書にはサイズの異なる図面や図書が製本されている。 また,図面,文書,写真など多様な形式の異なる図書の 集合体である。
- 6) 図書の管理は担当者ベースで行われることが多く,管理精度には個人差が存在する。

2.2 管理の課題

発電所の電気設備データや保守データ管理運用にかかる 課題を整理すると以下のようになる。

- [1] 図書は多くの部分が紙ベースで保管されており,必要情報を取り出すには熟練と経験を要する。
- 2. 図書が発電所,支店,本店といった複数箇所で管理され,統一性がとれない。
- 3) 完成図書ファイルなどの構成には一定の基準がなく, メーカーにより異なり,保管しにくい。
- 4 図書が大量になり、多くの保管スペースが必要となる。
- 5 改造や修理の都度,設備図面,仕様書などの該当部分の差替えが発生し,履歴の管理に手数がかかる。
- 6. 大量の図書やデータから,目的とする図書や設備データを探し出す作業に時間がかかる。

③ 設備情報管理システムに要求される機能

これらの課題を解決するためには,多種多量の図書を効率的に管理し,必要情報を正確かつすばやく引き出し,発電所の運転・保守に応用できる設備情報管理システムとして機能させることが必要である。

また発電所においては、突発的な事故対応業務や故障対応業務などの緊急を要する処理業務においても、設備情報、設備の履歴情報、関連詳細図面などを相互に参照し、総合的に判断する必要がある。設備情報管理システムに要求される事項をまとめると以下のようになる。

1 簡便性

誰でも,どこでも簡単に扱え,マウスクリックのみで対象図面へリンクし,必要な情報が探し出せる。

2 レスポンス



加藤 俊和

火力発電所向け制御装置および情報システムの設計・開発に従事。 現在,富士電機システムズ株式会 社発電プラント本部火力統括部制 御技術部課長。 通常に使用されるパソコンでも十分に動作でき,ストレスを感じないスピードとする。

3 十分なデータ容量

膨大なデータを少ないディスク容量でファイル化し、容量の比較的小さいサーバシステムでも、複数箇所の発電所の管理が可能である。

4 簡素なデータ入力方法

ユーザーが情報を入力する際に,専門要員やメーカーの メンテナンスに頼ることなく,簡素で効率的な方法でデー タ入力が可能である。

5 情報へのアクセスと拡張性

既存の設備データ(紙のデータや電子化されたデータ)を有効に活用してシステムを構築し,システム上でデータの更新・編集ができ,ネットワークや汎用ソフトウェアとの連携など拡張性に優れたシステムとする。

6 多様なデータ対応

管理する対象物は、紙ベースの図書や電子データとなる ため、CAD データ、ワープロ・表計算データ、写真データ、など多様なファイル形式に対応する。

4 POP-FIT の構成と特徴

POP-FIT について以下に紹介する。

4.1 ハードウェア構成

設備情報管理システムの標準構成は,設備データサーバ,パソコン,スキャナおよびプリンタから構成され,各装置は LAN で接続される。ハードウェア構成を図1に示す。

[1] 設備データサーバ(主な仕様)

○機種:パソコンサーバまたは汎用パソコン

○主記憶: 256 M バイト以上○ HDD 容量: 80 G バイト以上○ OS: Windows 2000 サーバ以降

○その他: CD-ROM, DAT (Digital Audio Tape)

2 スキャナ

○機種:オートフィーダ付両面読込み

○読込み対応図面: A4 ~ A3

3 プリンタ

○機種:カラーレーザプリンタ

○用紙: A4 ~ A3 対応

4 パソコン (クライアント)

○機種:一般用パソコン○主記憶: 128 M バイト以上○OS: Windows 95 以降

○ その他: LAN 対応, IE4.0 以降

4.2 POP-FIT の特徴

POP-FIT の特徴を表1に示す。

[1] FM との融合

注 Windows:米国 Microsoft Corp. の登録商標

図1 システム構成



表1 システムの特徴

内容		従来の「紙ベース」 の管理	POP-FIT
同一分類ファイ ル内資料の検索 の所要時間		人力による検索 スピード	分類検索スピードによ る。
他分類ファイル 間資料の検索		ファイルごとの検索	該当書類へ直接アクセ ス可能
資料間の 参照スピード		該当資料を個々に 集め,相互参照	分類,階層に関係なく 直接アクセス可能
検索の多様性		種別はなく,目次検索	ビジュアル検索,目次 検索,キーワード検索 など多彩
図面内の詳細 該当箇所検索		人力(経験)での検索	図面をベクトル化し, 直接該当箇所にヒット 可能
資料の 保管スペース	×	紙ファイル厚み分必要	データベース内
一元管理の メリット	×	保管場所ごとの管理が必要で,統一が困難	一元管理が可能。保管 場所間の差異が発生し ない。
システムの 拡張性	-	なし	汎用ソフトウェアを使 用し拡張性が高い。

POP-FIT は、FM システムの概念を発電所に応用し、設備とデータ(図書、データ、ノウハウなど)を結び付けている。これは基幹図面と呼ばれる CAD で作られた建屋・設備などのベース画面に、該当する図書、図面、情報をリンクさせてデータ管理を効率的に行うように考慮されたものである。これにより、設備と情報の対応関係が一目で分かり、ビジュアル性と簡便性を実現している。

2 オープン化,小規模分散化

本システムは、データ構築や読込みなどに特殊な機器を用いず、汎用製品を使用していることからハードウェアの進化、および OS のバージョンアップにも柔軟に対応でき

るシステムとしてある。管理の範囲としても,電気所や発電所といった小規模単位からはじめ,これらをネットワークで結合することによってさらに大規模のシステムに成長する構成としている。

3 成長型データ構築

設備管理データは,通常システムを納入してからも毎年増え続ける。これらのデータをユーザー自身が簡単に取り込み,さらにはデータベースとして登録していくことができ,設備維持管理レベルの精密化と同期して,継続的・段階的にデータベースを成長させていくことが可能なシステムとしてある。

4 簡便な操作性

パソコンに表示される画面とマウスクリックで情報が探し出せるなど,簡便な操作性を実現している。また,簡単な操作でサーバにデータ取込みが行えるため,通常のパソコン操作が行えれば POP-FIT が使用できるように考慮されている。

5 システムの機能

POP-FIT の操作機能および管理機能を表 2 に示す。すべての機能は図 2 の操作パネルにより実行することができるように設計されている。

5.1 システム操作機能

5.1.1 「図面操作」機能

1 「図面呼出」

ツリー状の目次検索により登録された図面の呼出を行う。「図面管理」の「図面呼出構造登録」にて,発電所別,保修課・発電課などの部署別,工事件名別などの目次を作成できる。業務で頻繁に使用する図面を登録しておくことで,検索効率を向上させるよう工夫をしている。

2 「図面操作」

呼出・表示された基幹図面の全体表示,拡大・縮小,表示エリアの移動,表示レイアの切替えを行うコマンドキーである。

5.2 システム管理機能

5.2.1 「エリア台帳管理」機能

発電所内の建物,部屋ごとの情報を登録し管理を行う。 空調や照明などのユーティリティ設備情報や鍵情報などを 表示する。

5.2.2 「設備台帳管理」機能

設備の新規登録および型式・メーカー名などの基本データの入力,点検・修理データの登録を行う。「設備情報」を使い,設備区分,設備名称,固定資産番号などのキーワード検索により一致した一覧の中から目的の設備の詳細情報を呼び出す。

「設備図面登録」では、設備と図面を容易に関連づけて 登録するインタフェースを新たに開発している。画面を図 3に示す。

表 2 POP-FITの操作機能および管理機能一覧

機能区分	機能項目	機能説明
図面操作	図面呼出	目次による基幹図面の呼出し
凶山採TF	図面操作	基幹図面の表示操作。レイア切替え
	エリア情報	部屋ごとの情報を表示
エリア	エリア面積対照表示	運用図面からエリア面積を抽出し, Exc ^e lに出力
台帳管理	エリア面積修正	登記上のエリア面積一覧を表示
	鍵情報	鍵情報の一覧を表示
	建物情報	建物ごとの情報を表示
	設備情報	設備ごとの情報を表示
	設備図面登録	設備と管理図面をひも付けし , 「設備情報」に表示
設備	点検情報登録	各設備の点検情報の登録
台帳管理	点検情報修正	各設備の点検情報の修正を行う画面
	修理情報登録	各設備の修理情報の登録
	点検・修理情報履歴	点検・修理の履歴情報を表示
	図面検索	運用図面(ドローイング), 管理図面 の検索・表示
	図面登録	管理図面の登録
図面管理	検索キーワード登録	運用図面・管理図面を検索する図面 サブ情報(図面承認者,図面承認日, 管理者など)の登録
	図面検索構造登録	運用図面・管理図面の索引の登録 および設定
	図面呼出構造登録	運用図面呼出の索引の登録および設定
	設備マスターセット アップ	建物・フロアなどのシステムの マスター情報を登録
	図面管理環境設定	運用図面の図面種・レイアの設定および登録
運用支援	ドローイング情報登録	運用図面の登録
	システム資源設定	システムのプロジェクトロケーション などの設定
	システム再起動	システムの再起動

注 Excel:米国Microsoft Corp.の商品名称

図2 操作パネル(図面呼出と図面操作)



図3 設備図面登録インタフェース画面



- [1] 設備に対して図面を登録するか,図面に対して設備を 登録するかを選択する。
- 2) 設備に対して登録を行う場合,左上のウインドウに設備リストを表示させ,設備を選択し現在登録済みの図面を左下登録データウインドウに表示される。
- 3) 右ウインドウに図面リストを表示させる。追加したい 図面を,登録データウインドウにドラッグアンドドロップし,「更新」を実行し登録が完了する。

5.2.3 「図面管理」機能

「図面検索」を使い,図面種別,図面名称,作成日などのキーワードを入力して登録図面を呼び出す。「図面登録」は,スキャナで読み込んだ図書や図面,電子データをシステムへ登録する。

5.2.4 「運用支援」機能

システムの動作環境,セットアップを行うための機能である。建物情報・図面種別などの各機能で使用するマスター情報なども設定する。

6 POP-FIT 構築の実行ステップ

システム構築の実行ステップを図4に示し,POP-FIT に発電所のデータを投入する手順を説明する。

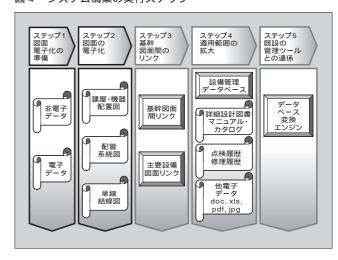
6.1 ステップ1:図面の電子化の準備

設備管理用の図面電子化の準備を行う。既設発電所の場合は対象となる完成図書などの資料は,管理元においても最新版が保管されていないケースがある。変更版数の確認や図書に抜けがないことの確認が重要である。

6.2 ステップ2:図面の電子化

運転・保守で日常的に使われている建屋配置図・配管系統図・単線結線図を基幹図面として CAD 化し登録する。登録された図面は、操作パネルの「図面呼出」による目次検索と、「図面検索」によるキーワード検索を使って呼び出し、「図面操作」で、拡大・縮小を自由に行い閲覧することが可能となる。

図4 システム構築の実行ステップ



6.3 ステップ 3: 基幹図面間のリンク

基幹図面間のリンクおよび基幹図面上のシンボルと設備 データのリンクを設定する。

6.4 ステップ4:適用範囲の拡大

主要機器の設備情報(型式,耐用年数,設置日付,点検履歴,修理履歴など)をデータベース化する。さらに詳細な情報(詳細設計データ,マニュアル,設備の写真)を関連図面として組み込み,「設備図面登録」で設備と図書を結び付ける。

6.5 ステップ5:既設の他管理ツールとの連携

発電所に既存の保守点検記録のデータベースなどと連携させ、より高度な設備情報管理システムに発展させることが可能である。また、POP-FITをイントラネットやインターネットを介して本店・支店からも閲覧可能なシステムとして使用する場合は、サーバ機能の組込みを行う。

7 発電所への適用事例

内燃力発電所への適用例を紹介する。発電所を熟知した 運転員・保守員の確保が難しくなる中で,図書の整理を行 い運転・保守のノウハウを残して将来にわたって発電所の 維持管理を確実に行うことを目的に本システムの導入が計 画された。システム化は,1~6号機の内燃力機関と補機, 変電設備を対象とする小規模な構成である。システム化の 物量を表3に示す。

7.1 電子化した図書数

書庫および書棚に保管されていた完成図書と業務関連資料をすべて集め、内容と最新版を確認して選定を行い、A4 縦ファイルで約100冊を電子化した。スキャナで読み込んだ図書の総ページ数は、完成図書が約3万7,000枚、業務関連資料が約7,500枚である。

ユーザーにて CAD 化していた図面データの変換と図面

の着色作業を行い,約 80 枚の基幹図面を作成した。配管系統図については,配管系統塗装基準や CRT 画面設計基準に準拠して着色を行うことで,現場での運転・保守時のイメージに近づけるよう考慮している。

7.2 システム構築

7.2.1 設備データ登録

資産管理に使用していた表計算ソフトウェアから必要データを抽出して約 1,000 件の設備データを登録した。そのうち,約 700 件の設備を基幹図面にリンクさせクリックにより詳細設備データの呼出しを可能としている。

7.2.2 ビジュアル検索

基幹図面から設備情報を,設備情報から基幹図面を呼び 出すリンク機能により,点検・修理履歴,配置図,系統図, 関連図面のデータを直接参照することができる循環型のビ ジュアル検索機能を実現している。設備に関連する情報を

表3 適用事例のシステム化物量

システム化対象	システム化物量
設備情報登録設備	約1,000件
図面データリンク設備数	約700件
CAD化基幹図面	79枚
完成図書	A4ファイル93冊:約3万7,000枚
業務関連資料	A4ファイル14冊:約7,500枚

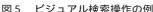
繰り返しすばやく収集することを可能とした。図面上で,データがリンクされている設備は薄緑色に統一し,さらに,選択された設備は赤色とすることで操作が容易にできるよう視覚的にも工夫をしている。操作例を図5に示す。

- (1) 配置図として発電所建屋断面図を使っている。建屋断面図は,エリアごとに機器配置平面図への図面リンクが設定されている。
- [2] B1 エリアをクリックすると,機器配置平面図の B1 エリアがクローズアップされて表示される。目的の設備を選択するとシンボルは選択されたことを示す赤色に変わる。
- 3 選択と同時に、「設備情報(概要)」がポップアップする。詳細ボタンをクリックして「設備情報(詳細)」を表示させ、点検履歴、修理履歴、配置図、系統図、関連図面のタブ切替え情報を参照する。
- 4) 次に,単線結線図上の位置を調べたい場合は,系統図 タブの所内単線結線図をクリックすることで,コント ロールセンタの当該箇所が表示される。

7.3 利用率向上の工夫

POP-FIT と日常業務とを結び付け利用率を向上させることを目的として,グループ独自の Web 画面(図6)を用意した。検索機能を強化した Web 画面からは,POP-FIT に登録したすべての図書へのアクセスができる。

Web 画面上では, POP-FIT の基本機能である図面呼出



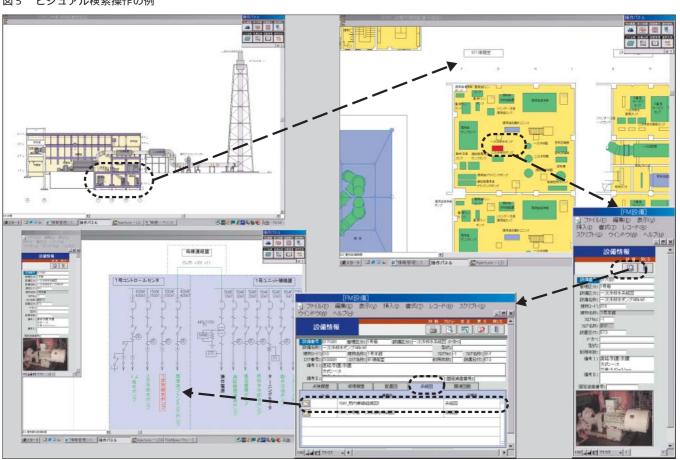


図6 利用率向上を目的として作成した Web 画面例



部分を左フレーム上部の1~10 に配置し,図面名クリックにより自動的に POP-FIT が立ち上がり通常操作に移行させている。

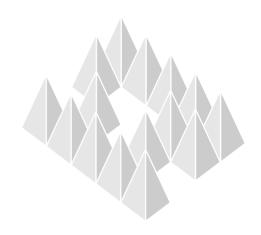
左フレーム下部の1~6は,日常業務で頻繁に使用されている,グループ内の業務規程や過去の業務指示書を配置している。

「便利帳」には,カレンダー・年齢早見表・度量衡換算表・郵便料金表を用意した。

「コーヒーブレイク」には,背景に使われている絵手紙の特集や壁紙に使用できる風景写真を取り入れている。

8 あとがき

富士電機が提供する発電所設備情報総合管理システムについて紹介した。発電所における IT 機器の浸透に伴い,これまで以上に情報の収集・蓄積・分析の重要性が高まっている。今後は,顧客設備の既存データベースや基幹システムとの融合を図り,業務効率の向上に貢献できる運転・保守ソリューションシステムに成長させていく所存である。





主要営業品目

富士電機システムズ株式会社

情報・通信・制御システム,水処理・計測システム,電力システム,放射線管理システム,FA・物流システム,環境システム,電動力応用システム,産業用電源,車両用電機品,クリーンルーム設備,レーザ機器,ビジョン機器,電力量計,変電システム,火力機器,水力機器,原子力機器,省エネルギーシステム,新エネルギーシステム,UPS,ミニUPS

富士電機機器制御株式会社

電磁開閉器,操作表示機器,制御リレー,タイマ,ガス関連機器,配線用遮断器,漏電遮断器,限流ヒューズ,高圧受配電機器,電力制御機器,電力監視機器,交流電力調整器,検出用スイッチ,プログラマブルコントローラ,プログラマブル操作表示器,ネットワーク機器,インダクションモータ,同期モータ,ギヤードモータ,ブレーキモータ,ファン,クーラントポンプ,ブロワ,汎用インバータ,サーボシステム,加熱用インバータ

富士電機デバイステクノロジー株式会社

磁気記録媒体,パワートランジスタ,パワーモジュール,スマートパワーデバイス,整流ダイオード,モノリシック IC, ハイブリッド IC,半導体センサ,サージアブソーバ,感光体,画像周辺機器

富士電機リテイルシステムズ株式会社

自動販売機,コインメカニズム,紙幣識別装置,貨幣処理システム,飲料ディスペンサ,自動給茶機,冷凍冷蔵ショーケース,カードシステム

富士	時 報	第 78 巻 第 2 号	平 成 17 年 2 月 28 日 印 刷 平 成 17 年 3 月 10 日 発 行 定価 735 円(本体 700 円・送料別)
編集兼	発行人	原嶋孝一	
発 行	 所	富士電機ホールディングス株式会社 技 術 企 画 部	〒141-0032 東京都品川区大崎一丁目 11 番 2 号 (ゲートシティ大崎イーストタワー)
編集	室 室	富士電機情報サービス株式会社内 「富士時報 」編集室	〒151-0053 東京都渋谷区代々木四丁目 30 番 3 号 (新宿コヤマビル) 電話(03)5388 - 7826 FAX(03)5388 - 7988
印刷	削 所	富士電機情報サービス株式会社	〒151-0053 東京都渋谷区代々木四丁目 30 番 3 号 (新宿コヤマビル) 電 話 (03) 5388 - 8241
発 売	∄ 元	株式会社オーム社	〒101-8460 東京都千代田区神田錦町三丁目 1 番地 電 話 (03) 3233 - 0641 振替口座 東京 6 - 20018

^{© 2005} Fuji Electric Holdings Co., Ltd., Printed in Japan (禁無断転載)

富士時報論文抄録

火力発電設備の動向と展望

西垣 博志

富士時報 Vol.78 No.2 p.102-105 (2005)

世界規模で見るとき、社会生活の基礎である電力の需要は着実に拡大していく。発電設備の製造者としては、高信頼・高性能・低価格な設備を供給することが社会的責務である。この責務を果たすために、各種の蒸気タービンおよび発電機の技術開発を行っている。また、建設後のアフターサービスにおいても、経済的な運転を実現するために各種のメニューを用意している。

海外における火力発電設備の動向

藤原 正洋

富士時報 Vol.78 No.2 p.106-109 (2005)

国内経済指標が上向きに転じた傾向はあるものの火力発電設備市場は冷え込んでおり、当面は大幅な回復は期待ができない。一方、海外向けは BRICs (Brazil, Russia, India, China) や発展途上国向けに受注・商談が非常に好況であり、この状態はしばらく継続するものと考える。事実、富士電機が 2004 年度に受注した新設のプラントはすべてが海外向けのものである。本稿では、これらの状況を踏まえ、富士電機の独自の観点で見た火力発電設備の海外市場動向および技術の動向について紹介する。

中国における火力発電設備の実績

浅利 茂

富士時報 Vol.78 No.2 p.110-115 (2005)

近年,中国における経済発展は目覚ましく、この高成長に伴い電力の需要も大幅に伸びてきている。富士電機においても、中国の経済発展と電力不足の解消に寄与するため,近年幾つかの火力発電設備を納入してきた。本稿では,2003年に受注した600 MW × 4台の発電設備を中心に納入済みの設備および計画中の設備について,その概要を紹介する。富士電機は,今後もますます拡大するであろう中国市場に対し,高性能,高信頼性そして保守性能に優れた設備を納入することでユーザー各位の期待に応え,中国経済の発展に寄与していく。

コンバイドサイクル発電設備

池田 忠司 武田 淳一郎 山本 隆夫 富士時報 Vol.78 No.2 p.116-120 (2005)

発電効率の高さ、起動停止の容易性、環境負荷の低さなどに利点があるコンバインドサイクル発電方式は、市場の要求に一致していることから広く採用されるようになった。特に 1990 年代には、1,300 級、さらには 1,400 超級の高性能ガスタービンが開発され、これに合わせた蒸気条件の上昇とサイクルの最適化によって、コンバインドサイクルの性能は飛躍的に向上している。本稿では、コンバインドサイクル発電設備の性能向上に影響を及ぼすパラメータ評価と、富士電機・シーメンス社(富士・シーメンス)のコンバインドサイクル発電設備について紹介する。

富士電機の標準中容量蒸気タービン「FET シリーズ」

吉江 耕也 安部 道雄 小嶋 裕之 富士時報 Vol.78 No.2 p.121-125 (2005)

FET 中容量蒸気タービンは幅広い蒸気条件と出力範囲をカバーし、低コストで高効率を実現する富士電機の標準モデルシリーズである。高効率化と運転操作性・保守性・信頼性の向上のための適用技術の高度化、自家用発電設備における工場への送気機能やコンバインドサイクル用など多種多様の仕様や単機容量の大容量化に対応して多くの実績を積み重ねてきた。同時に建設費の削減を目的としてコンパクト化、軸流排気型や上向き排気型蒸気タービンなどの配置構造に関する経験も豊富に得られたので、それらの一端を紹介する。

富士電機におけるタービン発電機の開発の現状

日和佐 寛道 長谷 徹 芳賀 弘二 富士時報 Vol.78 No.2 p.126-130 (2005)

タービン発電機に対して短納期,低価格および品質の安定性が市場から求められている。これらの要求を満たすために,富士電機では空気冷却機および水素間接冷却機の大容量化に取り組み,系列化した。本稿では,これらの発電機の系列化過程における技術開発の概要および品質安定化のための製造自動化技術について紹介する。

地熱発電設備の現状と動向

稲垣 正太郎

富士時報 Vol.78 No.2 p.131-135 (2005)

世界の地熱発電設備容量は 2005 年には約 8,900 MW となる。このうち富士電機の地熱タービンの納入実績は 1,558 MW で約 17.5 %を占めるに至った。直近 10 年間の納入実績では約 35 %を占めた。本稿では地熱発電の仕組みについて紹介し,世界の地熱発電の現状が東南アジア経済危機の影響により予想を大きく下回る伸びであったこと,今後は経済復興と電力需要の伸びと低迷期の反動で特にインドネシア,フィリピン,ニュージーランドなどで大きく伸びると予想していることについて紹介する。

小型地熱バイナリー発電システム

山田 茂登 小山 弘 富士時報 Vol.78 No.2 p.136-139 (2005)

全国に温泉が広く分布する火山国である日本では,大規模の地熱 発電ばかりでなく,未利用の温泉エネルギーの発電利用を含む有効 利用に注目が寄せられている。富士電機では,低温・小容量の地熱 資源(温泉資源)により発電可能な小型地熱バイナリー発電システ ムの商品化開発を行っている。本稿では開発の背景や現状について の概要を紹介する。

Abstracts (Fuji Electric Journal)

Outlook and Trends of Overseas Thermal Power Plants

Masahiro Fujiwara

Fuji Electric Journal Vol.78 No.2 p.106-109 (2005)

Despite an improving trend in Japanese domestic economic indicators, the Japanese market for thermal power plants is sluggish and no significant recovery is expected in the short term. On the other hand, order receipts are brisk and business discussions are progressing favorably for thermal power plants in the "BRICs" nations of Brazil, Russia, India and China as well as in developing countries, and we expect this condition to continue for the time being. As a matter of fact, all orders received by Fuji Electric in FY2004 for new plants were for overseas destinations. Based on these circumstances, this paper discusses the outlook and trends of overseas thermal power plants as seen from Fuji Electric's unique perspective.

Trends and Future Outlook for Thermal Power Plants

Hiroshi Nishigaki

Fuji Electric Journal Vol.78 No.2 p.102-105 (2005)

The worldwide demand for electric power is increasing steadily. As a manufacturer of thermal power plants, Fuji Electric has a social duty to supply highly reliable plants that provide high-performance with a low investment cost. To fulfill this duty, Fuji Electric is researching and developing technology for various types of steam turbines and generators. Fuji Electric also provides after-sales service to realize economical operation of the thermal power plants.

Fuji-Siemens Combined Cycle Power Plant

Tadashi Ikeda Junichiro Takeda Takao Yamamoto Fuji Electric Journal Vol.78 No.2 p.116-120 (2005)

With its advantages of highly efficient power generation, easy startup and shutdown, and low impact on the environmental, the combined cycle method of electrical power generation satisfies market requirements and has come into widespread use. With the increase in steam temperature and pressure conditions and cycle optimization corresponding to the development of a 1,300 class and then a greater-than-1,400 class of high performance gas turbines in the 1990s, a dramatic increase in combined cycle performance has been achieved. This paper describes the parameters that affect performance of combined cycle power plants and also introduces the combined cycle power plant of Fuji Electric and Siemens (Fuji-Siemens).

Present Developmental Status of Fuji's Turbine Generators

Hiromichi Hiwasa Toru Hase Kohji Haga Fuji Electric Journal Vol.78 No.2 p.126-130 (2005)

Shorter delivery times, lower prices and stabilized quality are marketplace requirements for turbine generators. To meet these requirements, Fuji Electric has increased the capacity of its air-cooled and indirect hydrogen-cooled generators and has developed a series of these types of generators. This paper presents an overview of the technological development during the process of developing this generator series and the manufacturing automation technologies for quality stabilization.

Accomplishments of Thermal Power Plants in China

Shigeru Asari

Fuji Electric Journal Vol.78 No.2 p.110-115 (2005)

The recent economic development in China has been remarkable, and together with a high rate of growth, the demand for electrical power in China is increasing sharply. Fuji Electric has delivered several thermal power plants in order to help eliminate the shortage of electrical power and to contribute to economical development in China. This paper presents an overview of the four 600 MW thermal power plants that were ordered in 2003 as well as other thermal power plants which have already been delivered to China or are now being designed. Fuji Electric intends to contribute to the progress of the Chinese economy by supplying plants that satisfy user requirements for highly efficient and highly reliable operation with excellent maintenance performance.

Fuji Electric's Medium-capacity Standard Steam Turbines "FET Series"

Koya Yoshie Michio Abe Hiroyuki Kojima Fuji Electric Journal Vol.78 No.2 p.121-125 (2005)

"FET Series" medium-capacity standard steam turbines by Fuji Electric feature a wide range steam conditions and outputs, with low cost and high efficiency. Fuji Electric has many successful experiences corresponding to the application of advanced technology to achieve higher efficiency, enhanced operating performance, maintainability and reliability. And they were corresponding to diverse array of specifications such as the function for plant process steam system by industry owned power plant, or suitable design for combined cycle-use, and the requests for the increasing capacity of the unit. Meanwhile, with the aim of reducing construction costs, Fuji Electric has accumulated an abundance of experience in application of downsizing technology and such structural configurations as axial-flow exhaust type and upward exhaust type steam turbines, some of which are introduced in this paper.

Small Capacity Geothermal Binary Power Generation System

Shigeto Yamada Hiroshi Oyama Fuji Electric Journal Vol.78 No.2 p.136-139 (2005)

Japan is a volcanic country with hot springs distributed throughout. Focusing not only on large-scale geothermal power generation but also on the effective utilization of unused hot spring energy to generate electrical power, Fuji Electric is in the process of commercializing a small capacity geothermal binary power generation system capable of generating electric power using low temperature and small capacity geothermal resources (hot spring resources). This paper presents an overview of the background and of the present status of this development.

A Review of Geothermal Power Generation

Masataro Inagaki

Fuji Electric Journal Vol.78 No.2 p.131-135 (2005)

The total installed capacity of geothermal plants throughout the world reached approximately 8,900 MW in 2005. Of this total, the geothermal steam turbines and generators supplied by Fuji Electric account for 1,558 MW, or 17.5 % of the installed capacity worldwide. Over the last 10 years, Fuji Electric has supplied 12 STG units for seven geothermal power plants, and the combined total capacity of these units is 734 MW, or 35 % of the total installed capacity during this period. This paper explains the workings of a typical geothermal power plant and also describes the status of the geothermal power generation industry over the past 5 years, during which time growth has slowed due to the Asian economic crisis, but future growth seems promising in Indonesia, Philippines and New Zealand where demand for electrical power is increasing.

地熱タービンの最新技術

酒井 吉弘 中村 憲司 塩川 国夫富士時報 Vol.78 No.2 p.140-145 (2005)

富士電機は 1960 年に国内初の実用地熱発電設備を納入して以来,国内外に 50 台を超える実用地熱発電設備を納入しており,世界的なトップメーカーの一つに数えられている。特に,腐食性の高い地熱蒸気に対処するための材料技術として,富士電機では地熱発電サイトにおける腐食試験や実験室における材料試験を継続して行ってきており,蓄積された貴重なデータを設計に反映することにより高い信頼性を実現してきた。また,最新の流れ解析を適用した翼列技術を採用することにより,地熱タービンの効率向上にも積極的に取り組み,大きな成果を上げてきた。

最近の経年火力発電ユニット再生技術

加藤 雅喜 浅野 誠一 福田 昌介 富士時報 Vol.78 No.2 p.146-151 (2005)

納入火力発電ユニットの約7割を占める経年設備において,既設機器を大幅に流用しながら最新技術を融合させ,経年機が抱える課題を解決し低コストで再生する技術は,顧客のニーズにマッチした新たな提案として大きな需要を期待している。本稿では,富士電機が最近実施した経年火力発電ユニットの再生技術とその事例を紹介する。

発電所設備情報総合管理システム

加藤 俊和

富士時報 Vol.78 No.2 p.152-157 (2005)

建物設備を効率よく運営するための管理手法であるファシリティマネジメントの概念を発電所に応用した設備管理システムを開発し、内燃力発電所向けに適用した例を紹介する。建屋配置図に加えて、配管系統図・単線結線図のCAD図面上の設備シンボルをクリックすることにより設備情報を呼び出すビジュアル検索を特徴としている。設備に密接に結び付いている図書を容易に引き出せるので、発電所ノウハウの蓄積に活用できる。

Recent Technology for Reusing Aged Thermal Power Generating Units

Masaki Kato Seiichi Asano Shousuke Fukuda Fuji Electric Journal Vol.78 No.2 p.146-151 (2005)

Approximately 70 % of thermal power generating units delivered thus far have been delivered to aged power plants. The capability to incorporate new technology while redeploying existing equipment to a large extent and of solving problems associated with the aged equipment and then reusing that equipment at low cost, is anticipated to create large demand by facilitating new proposals matched to customer needs. This paper introduces Fuji Electric's recently implemented technology for reusing aged thermal power generating units and examples thereof.

Recent Technologies for Geothermal Steam Turbines

Yoshihiro Sakai Kenji Nakamura Kunio Shiokawa Fuji Electric Journal Vol.78 No.2 p.140-145 (2005)

Since delivering Japan's first practical geothermal power facility in 1960, Fuji Electric has delivered more than 50 units in Japan and overseas, and is one of the leading manufacturers worldwide. In particular, to deal with the highly corrosive geothermal steam, Fuji Electric performed a continuous series of corrosion testing at its geothermal power generation sites and conducted materials testing in its laboratories, and incorporated this valuable accumulated data into its turbine designs to achieve high reliability. Moreover, by utilizing advanced blading technology that incorporates the recent flow analysis methods, Fuji Electric achieved a remarkable improvement in geothermal turbine efficiency.

Power Plant Facilities Information Total Management System

Toshikazu Kato Fuji Electric Journal Vol.78 No.2 p.152-157 (2005)

Fuji Electric has developed a facilities management system that applies the concept of facilities management — a technique for managing buildings and facilities efficiently — to power plants. An example application to an internal combustion engine power plant is introduced. This system is characterized by a visual search function that retrieves equipment information in response to a simple mouse click over an equipment symbol on a CAD-generated general equipment layout drawing, piping and instrument diagram, or a single line diagram. Since documentation related to the facilities can easily be retrieved, this system is useful for accumulated knowledge relating to power plants.









自家用発電設備



非再熱蒸気タービン

1959年(昭和34年)に最初の蒸気タービンを製造して以来,総出力23,619MW/464台を超える蒸気タービン設備を製作し,世界各国に納入しています。事業用分野では,1973年(昭和48年)にわが国初の超臨界・純変圧プラントを送り出し、これまでにない高効率運転を実現。日本の火力発電所の主流になっています。また中容量機では,世界最大級の162MWシングルシリンダ蒸気タービンを製作・納入しました。地熱発電分野では,1960年(昭和35年)に国内初の商用設備を納入、110,000kWの最大級など1,661MWを超える製作実績があり,世界のトップメーカーの一つに数えられています。

富士電機の火力発電設備

