最近の火力発電技術の動向

Recent Technological Trends of Thermal Power Generation

Kazusada Hoshino Yasuhiko Ôtawara 鈴木伸一*

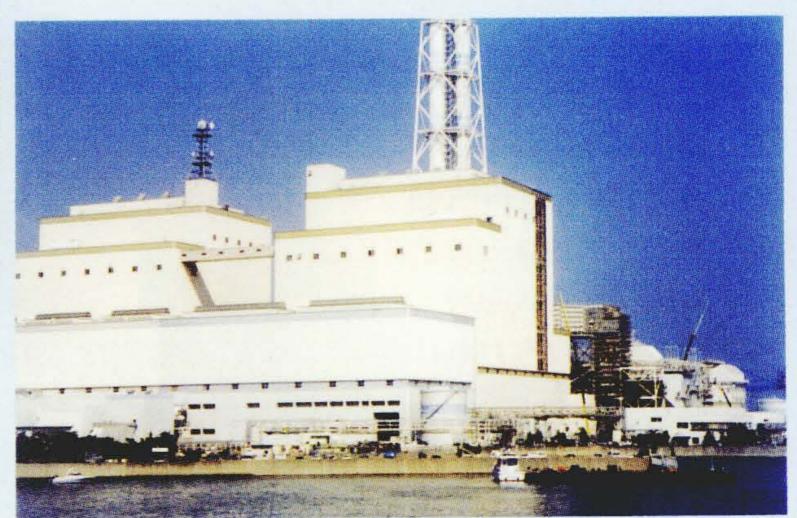
田岸昭宣**

Akinori Tagishi

Shin'ichi Suzuki



(a) 中部電力株式会社川越火力発電所3号系列



(b) 電源開発株式会社松浦火力発電所2号機

最近の火力発電プラント

安定した電力供給を支え,大型火力発電の主流になりつつある最近のコンバインド火力発電設備(a)と高性能・大型石炭火力発電設備(b)を 示す。

電力は経済活動や国民生活にとって不可欠なエネルギ ーであり、今後の経済・産業社会の発展および国民生活 の高度化に対応するため、供給の安定性と経済性を目指 し、電源ベストミックスの施策が進められている。

ベース電源として原子力発電の割合が増加する一方, 中間負荷・ピーク負荷を支える火力発電の負荷調整の役 割が大きくなっている。また、環境への配慮がさらに重 要な課題となりつつある。

LNG(液化天然ガス)の利用では、高温化などの高度化 されたガスタービン複合発電が,火力発電として現状最

も高い熱効率を達成することができるものとなっている。 一方,石炭の利用では,(1)環境保全型プラントを目指 してUSC(超々臨界圧発電)プラント,(2)石炭のクリーン 化を行う石炭ガス化複合発電プラント,および(3) 炉内脱 硫と効率向上を実現するPFBC(加圧流動床ボイラ複合 発電)プラントの開発が進められている。

このような背景の下で日立製作所は, 化石燃料の有効 活用、高効率・環境保全型プラント技術の開発に取り組 んでいる。

^{*}日立製作所 火力事業部 **日立製作所 火力事業部 工学博士

1. はじめに

経済・産業社会の発展や国民生活の高度化に伴って、電力需要が堅調な伸びで推移している。しかし供給側では、原子力・新エネルギーなどの非化石エネルギー導入が必ずしも順調とはいえない状況もあり、石炭、LNGを主体とする火力発電の担う役割は大きなものになっている(図1、図2参照)。

一方,地球環境問題への対応機運が国際的に高まる中で,高効率化,省エネルギー化も含めて,省資源,排出物の削減,NOxやSOxの低減など火力発電設備に与えられる課題も高度なものになってきている。

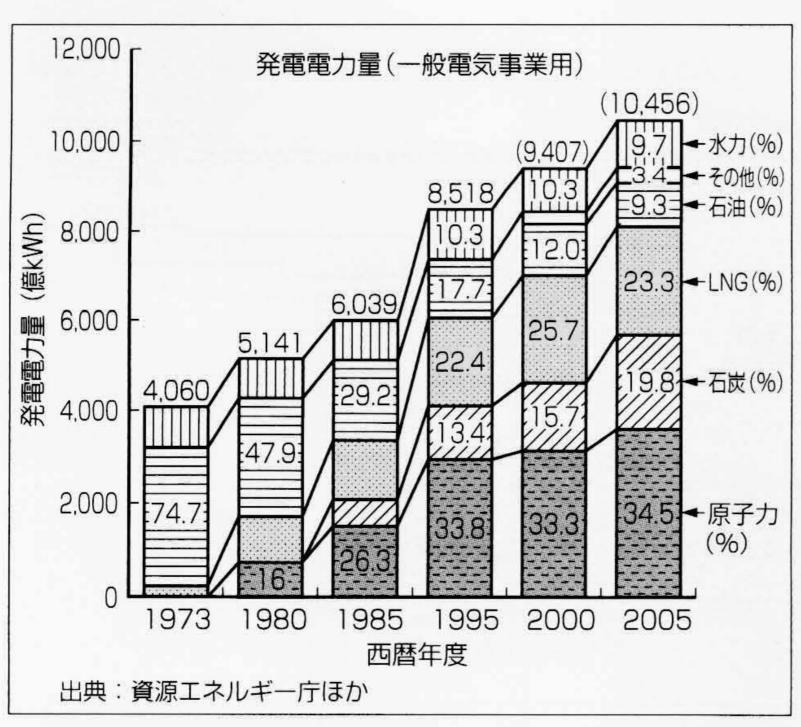
ここでは、このような状況を踏まえ、火力発電の現状をとらえながら21世紀へ続く将来の火力技術について述べる。

2. LNG利用コンバインドサイクル技術

2.1 コンバインドサイクル技術

LNGを利用したコンバインドサイクルは,高い熱効率が得られるとともに,中間負荷・ピーク負荷を支える運用性にも優れている(図3参照)。

コンバインドサイクルの先駆けとなったJR川崎発電所1号機は1981年運転を開始し、DSS(Daily Start and Stop:毎日起動・停止)運用によって日中負荷を分担した。続いて、大型コンバインドプラント発電所として東



注:略語説明 LNG(液化天然ガス)

図1 近年の発電電力量の推移

ベース電源として原子力発電の割合の増加と,火力・水力発電の中間負荷調整の負担が大きくなっている。

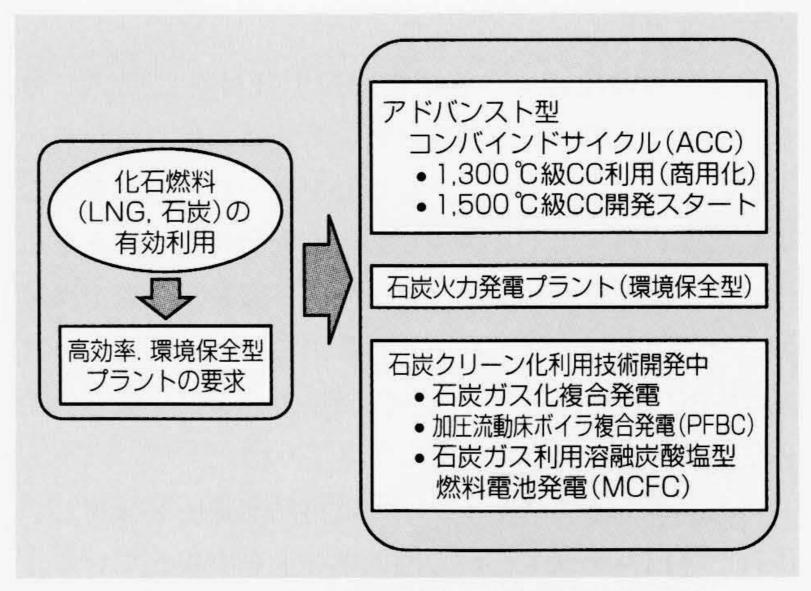
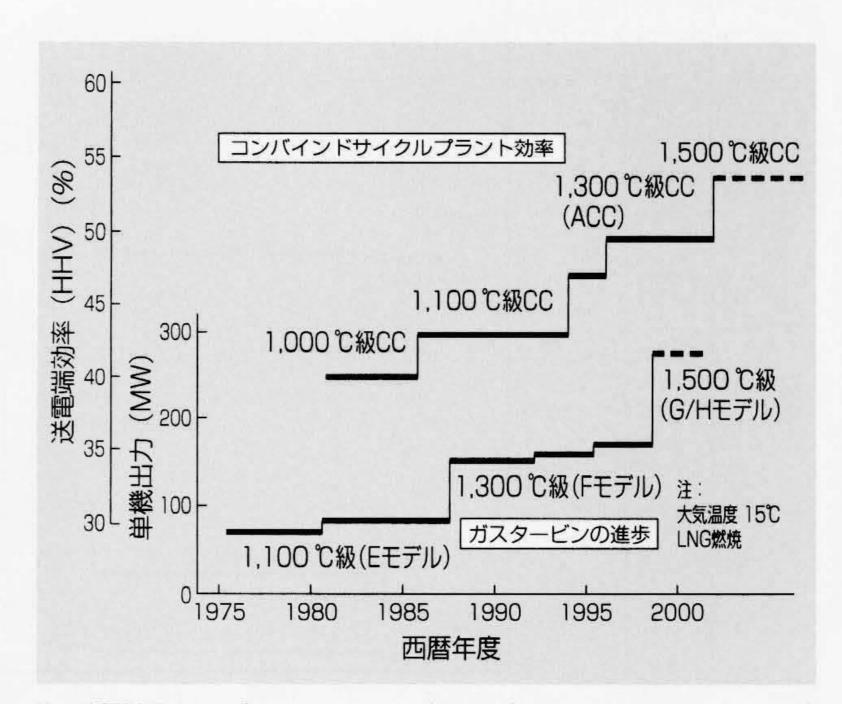


図2 火力発電の将来動向と取組み 環境適合性を踏まえて火力発電の将来の動向を示す。

京電力株式会社富津火力発電所他が登場し、すでに運転10年を迎えるに至っている。九州電力株式会社新大分火力発電所、また中国電力株式会社柳井火力発電所コンバインドサイクルでは、1,100 ℃級ガスタービンに低NOx燃焼器を採用し、順調に実績を積み重ねている。最近、営業運転を開始したコンバインプラントの効率は48~50%に達している。このキーテクノロジーは、高い燃焼温度で高効率のガスタービンと高度の排熱回収技術である。

高温ガスタービンを支える技術の一つが冷却技術である。1,100 ℃級から1,300 ℃級に燃焼温度を上昇させるに伴って、翼内部の空気冷却通路形状を改良して効率よい



注: 略語説明 HHV (High Heat Value), ACC (Advanced Combined Cycle)

図3 LNG火力の熱効率

ガスタービンの発展にリンクするLNG利用コンバインド火力プラントの性能の向上を示す。

冷却を実現している。

もう一つの注目すべき技術的進歩は材料の開発である。高温で使用される動翼材料の開発は多結晶材から一方向凝固材へと進歩し、さらに翼を単一結晶で製造する単結晶翼が発電用ガスタービンでも実用化されようとしている。高温の燃焼ガスによる酸化・腐食から翼を保護するための各種金属系コーティングに加え、セラミック系のTBC(Thermal Barrier Coating)が翼にも使われ始めている。

一方,ボトミングサイクルには再熱多重圧を採用し, 優れた運用性を保ちながら熱効率向上を実現している。

最近運転に入りつつある1,300 ℃級コンバインドサイクルの経験は、これらの技術の正当性を裏付ける貴重なものになると考える。

2.2 ガスタービン予防保全技術

海外を含めて日立製作所が納入したガスタービンはすでに400台を超え、そのうち国内に納入するガスタービンは60台を超えようとしており、その予防保全・保守体制も重要である。ガスタービンは高温燃焼ガスを作動流体とするだけに、その使用環境は厳しい。したがって、高い運転信頼性を維持するためには、適切な寿命管理による予防保全が重要である。

蒸気タービンやボイラでは、運転データの積み重ねと

各種材料の寿命評価技術、およびその実機への適用が進んでいる。ガスタービンでも同様の手法を高度化することにより、実機への適用が可能である。材料の劣化度合いを破壊エネルギーから定量化し、寿命を評価する技術開発が進められている。

3. 石炭利用発電技術

3.1 超高温・高圧化技術

1950年代,米国でPhilo発電所 6 号機〔125 MW, 31.0 MPa-621/566/538℃ (4,500 psig, 1,150/1,050/1,000 °F)〕と、Eddystone発電所 1 号機〔325 MW, 34.5 MPa-649/566/566℃ (5,000 psig, 1,200/1,050/1050 °F)〕で超高温・高圧化が試みられた。これらのプラントでは、その高温タービン部分にオーステナイト系材料が使用されたが、その熱膨張率に起因する構造上の難しさのため、運用性にも困難があった。一方、大容量化のメリットによって、当時、火力発電の経済性が維持できたため、このような高い蒸気条件はいったん下火になり、超臨界での標準は24.1 MPa(246 atg)-538/538℃から538/566℃となった(図 4 参照)。

しかし最近,環境保全型発電プラントを目指すにあたり,再びこの蒸気条件の高度化への取組みが進んでいる。 そのキーテクノロジーは,扱いやすいフェライト系材料

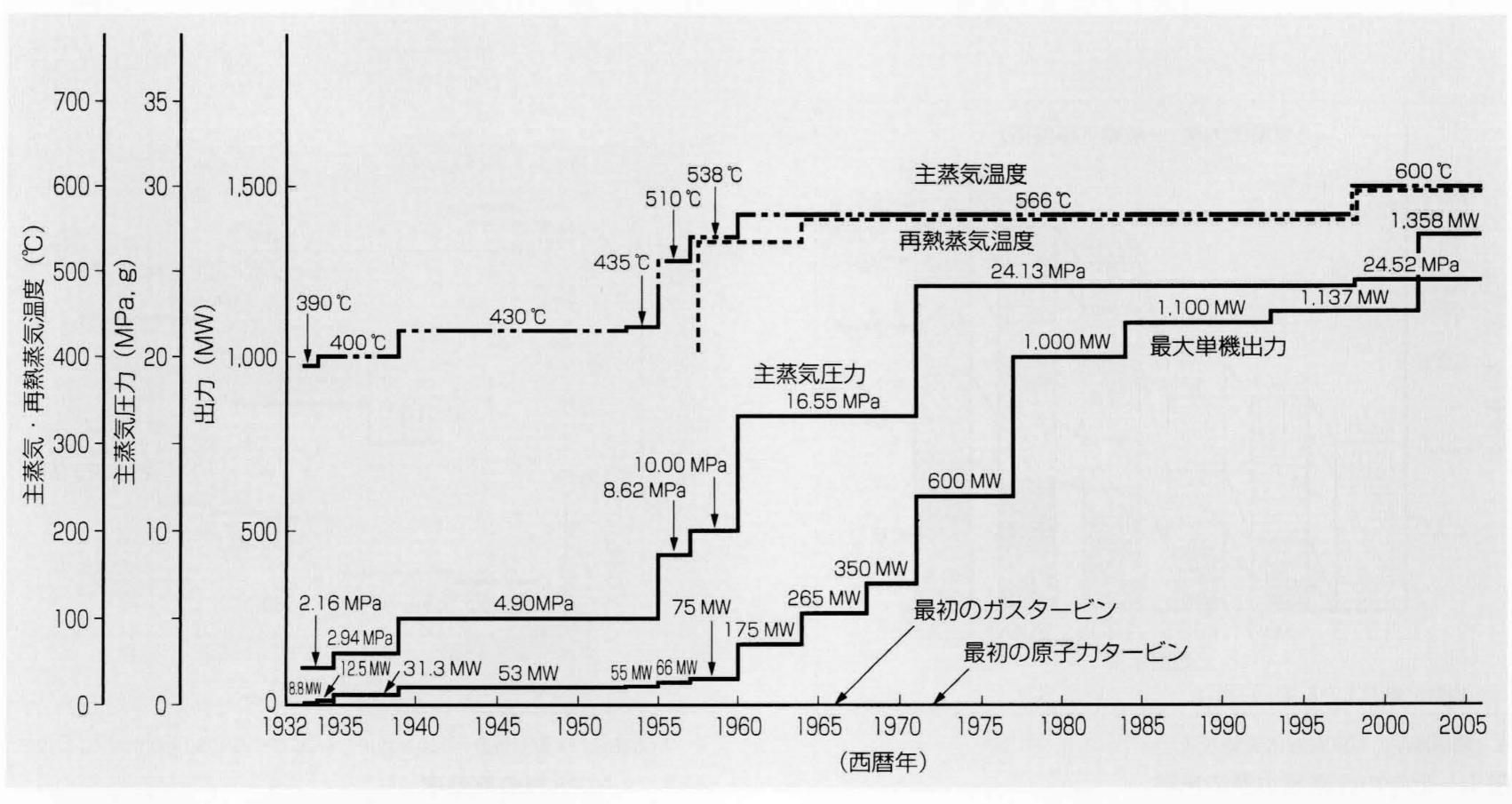


図4 蒸気タービンの蒸気条件と最大単機容量

蒸気タービンにおける蒸気条件(主蒸気,再熱蒸気,温度・圧力)の進歩と単機出力の進歩を示す。

の開発である。主蒸気・再熱蒸気温度の高温化に対応す る高圧ロータ材として、新12Cr鋼や動翼材にも新しい材 料が開発されている。また、ケーシング材としては従来 のB入りCrV鋼に加え、9Cr鋳鋼・鍛鋼が開発されてい る。これらの新材料により、現在製作中の1,000 MWター ビンの蒸気条件は、25 MPa-600・600 ℃ まで向上できて いる。これらの材料は、蒸気条件650℃まで対応が可能で あり, さらに開発が進められている。

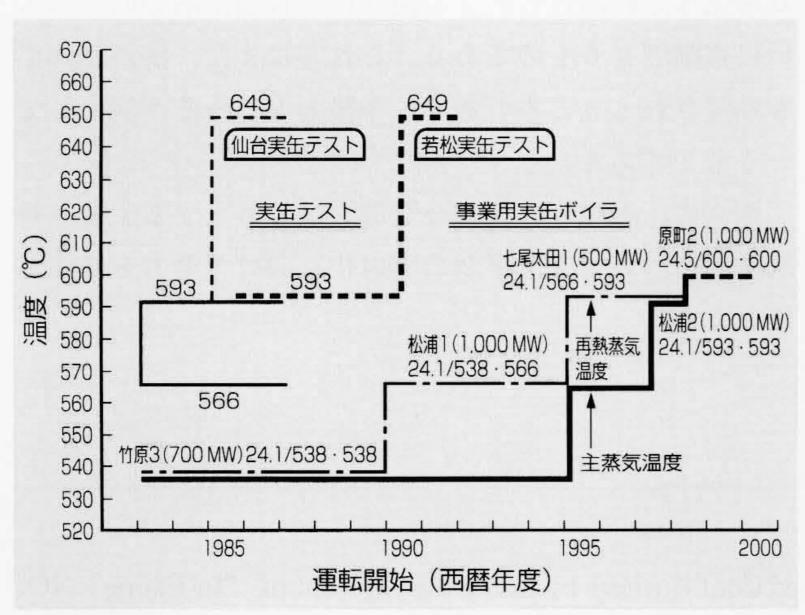
一方、ボイラでは、上記条件の進歩を経て、電源開発 株式会社松浦火力 2 号ボイラ(1,000 MW)で24.1 MPa (246 atg)-593・593℃が採用されている(図5参照)。

さらに,600℃を超える(625~650℃)級のものについ ては、大径管は9Cr系および12Cr系のフェライト鋼を、 また伝熱管については、 フェライト鋼のほかに新たに開 発された高温・高強度のオーステナイトステンレス鋼を 中心にそれぞれ新材料の実用化を進めている。

3.2 タービンの効率向上技術と長翼開発1)

タービンの内部効率の向上,長翼による効率向上は常 に重要開発分野である。

コンピュータ解析技術と製作システムの進歩によって 日立製作所では、これまでよりも容易に完全三次元形状 の翼の開発と製作が可能になった。その成果である AVN, AVS (Advanced Vortex Nozzle/Stage) も実用 段階を迎えている。



注:略語説明

竹原3(電源開発株式会社竹原火力発電所3号機)

松浦1(電源開発株式会社松浦火力発電所1号機) 松浦2(電源開発株式会社松浦火力発電所2号機)

七尾太田1(北陸電力株式会社七尾太田火力発電所第1号機)

原町2(東北電力株式会社原町火力発電所2号機)

図 5 ボイラ蒸気条件の進歩

超臨界や超々臨界での圧力蒸気における蒸気条件の進歩と実 績・計画機種を示す。

3.3 ボイラおよび環境装置技術

3.3.1 石炭焚ボイラの燃焼技術

高度石炭焚ボイラシステムの必要技術として、まず大 容量低NOxバーナがあげられる。

これまでの技術開発により、火炎内脱硝を特徴とした 「日立-NRバーナ」を実現したが、この概念を踏襲し、さ らに着火特性、還元領域拡大などの改善と、低NOx低未 燃分機能の向上を図った「日立-NR2バーナ」2)を開発 し,北陸電力株式会社七尾太田火力発電所第1号機(1995 年3月営業運転開始)で実機運転の良好な結果を得るこ とができた。

このような低NOx燃焼を達成するためには、安定した 高微粉度を得る大容量ミルの技術が必要である。上述の 火力発電所納めのものは,加圧方式の改善と新型の回転 分級機の採用などにより、低HGI(Hard Groove Index) 炭についても200メッシュパス85%以上の優れた結果が 得られた。

3.4 ボイラ据付け技術

運用・経営面に寄与の大きい工程短縮など、建設の合 理化技術も重要である。狭あいな立地、工程短縮などへ の対応として「エリアコンポジット工法(ACE工法)」を 開発した。これは、ボイラ鉄骨との同期化範囲の拡大, ブロック化・スキッド化対象の拡大、フロアユニット化 などを軸として、1,000 MW石炭焚ボイラでは立柱から 火入れまで、従来は約28か月を要していたものを大幅に 短縮するために開発したものである。現在建設中の東北 電力株式会社原町火力発電所2号機(1998年7月営業運 転開始予定)では、この工法によって23か月の計画で進め られている。

3.5 環境装置

脱硝技術については、低NOxバーナなどの燃焼技術の 開発と合わせ,排煙脱硝についても高活性で高効率の脱 硝触媒の開発を進めている。

また、排出ばいじん量の低減を図るために、排煙脱硫 装置と電気集じん器のシステム構成を最適化した低低温 EPシステムを開発した。これにより、排出ばいじん濃度 を数mg/m³N以下とすることができた。

石炭クリーン化利用技術

石炭発電技術としては、微粉炭燃焼火力が今後20年以 上にわたって主流技術として発展すると考えられる。そ の間にも石炭ガス化複合発電, PFBC(加圧流動床ボイラ 複合発電),およびMCFC(溶融炭酸塩型燃料電池発電)

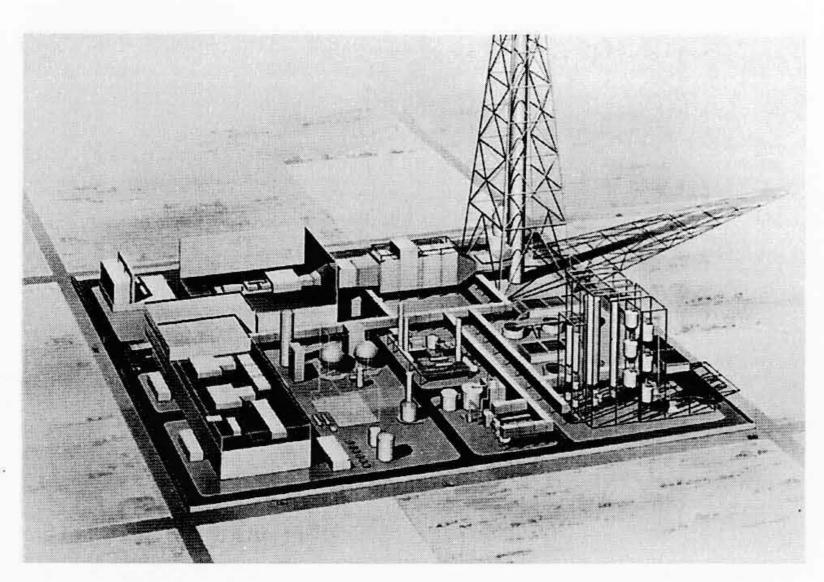


図 6 日立式石炭ガス化複合発電プラント鳥かん図 2005年ごろの実用プラント運転開始を目指して概念設計を鋭意 進めている。

の技術の実用化が予測される。

4.1 石炭ガス化複合発電

石炭ガス化複合発電については, 噴流床石炭ガス化炉, ガス精製系およびプラントを取りまとめるシステムエンジニアリングが開発の重要課題である。

日立製作所は、国家プロジェクトである200 t/d噴流床石炭ガス化発電パイロットプラントの開発に参画し、1,300℃級石炭ガス化用12.5 MWガスタービン設備などを担当した。

初発電以来,石炭ガス発電累積時間で1,643時間を記録し、わが国初の石炭ガス燃焼ガスタービンの運転実績を得て,1995年12月に試験を完了した。

また、NEDO(新エネルギー・産業技術総合開発機構) 委託による、わが国独自のHYCOL石炭ガス化パイロットプラントの50 t/d、30気圧の酸素吹きプラントを1993 年に完成し、1994年4月までに1、149時間の連続運転を達成した。次期の150~550 MW級実証機・商用機の開発を行っており、2005年から2010年には導入できる予定で ある(図6参照)。

4.2 PFBC

PFBCについては、中国電力株式会社火力発電技術センターに設置の 4 MW試験装置が1994年 5 月完成し、1995年度には1,000時間連続運転を設計炭で達成した。これと並行して250 MW級商用プラントの設計を進めるとともに、その主要機器である流動床ボイラ、ガスタービン、脱じん装置、高温ガス配管などの開発に取り組んでいる。

4.3 MCFC

石炭ガス化ガスを用いるMCFC発電方式では、発電効率50~52%が期待されている。主要機器となるMCFCは、現在、通商産業省工業技術院ニューサンシャイン計画の一環として、NEDO委託に基づいて溶融炭酸塩型燃料電池発電システム技術研究組合からの分担研究の一環としてその開発が進められている。1994年度には100 kW級スタックを開発し、出力113 kWを達成した。この成果を基に現在、1999年度に運転予定の1、000 kW級パイロットプラント用として250 kW級スタック×2基を開発中である。

5. おわりに

ここでは、火力発電の現状と21世紀へ続く将来の火力 発電技術について述べた。

火力発電設備に与えられた環境保護への課題解決と高 効率化など経済性の向上の両立は、社会生活の向上に大 いに貢献できるものである。これらはまた、海外諸国で も熱望されるところであり、今後ともいっそう注力して いく考えである。

さらに、石炭ガス化複合発電をはじめとする主要な将 来技術についても、早期の実用化に向けて努力を傾注し ていく。

参考文献

- 1) 坪内,外:蒸気タービンの最近の開発動向,動力(1996-1)
- 2) Morita, et al.: Development of Extremely Low NO_x Pulverized Coal Burners by Using the Concept of "In-Flame" NO_x Reduction, ICOPE-93, 論文集, Vol.2, 325
- 3) 田岸,外:日立式IGCCの開発,クリーンエネルギ,Vol.5, No.10(1996-10)