

環境との調和を目指した火力発電新技術

Thermal Power Generation Technology Giving Considerations for Global Environment

荒川忠男* Tadao Arakawa

菱沼孝夫** Yukio Hishinuma



九州電力株式会社新大分発電所納めコンバインドサイクル発電プラント I号系列690 MWコンバインドサイクル発電プラントの全景を示す。

地球環境問題は温暖化、酸性雨、オゾン層の破壊など多種多様であり、エネルギー消費と密接に関係する。わが国では1990年10月に地球温暖化防止計画を発表した。2000年以降、一人当たりのCO₂排出量を1990年レベルに安定化するためにはいっそうの省エネルギー政策が必要である。

エネルギー消費の中で電力需要はますます増加しつつあり、特に1987年以降の5年間を平均すると年率5%以上の大幅な伸びを示している。電力で原子力や自然エネルギーの利用拡大はもちろん必要であ

るが、地球温暖化防止のためには火力発電の効率向上によるCO₂排出量の低減が必要であり、また環境に関しては酸性雨の原因物質であるNO_x(窒素酸化物)とSO_x(硫黄酸化物)の削減が必要である。

日立製作所は、発電の高効率化や環境調和化を目指して、高温ガスタービンをベースにした高効率コンバインドサイクル発電、蒸気サイクルの高温・高圧化、運用性の向上、低NO_x燃焼、排煙脱硫、脱硝装置、および燃料電池の開発を推進している。

* 日立製作所 火力技術本部 ** 日立製作所 エネルギー環境技術推進本部 工学博士

1 はじめに

わが国では内需の拡大と民生用需要の伸びによって電力需要は引き続き増加し、原子力発電とともに火力発電の増設が計画されている。わが国の火力発電の施設計画では、LNG(液化天然ガス)や石炭火力を中心とする石油代替電源と、燃料電池などの分散電源で需要の増加を賄うことにしている。日立製作所は、増大する電力需要に対応し、かつ火力発電の環境に貢献するために、高効率、環境適合形発電技術の開発を最重点で推進している。

ここでは、「環境調和を目指した火力発電新技術」の開発、実用化および展望について述べる。

2 火力発電を取り巻く環境

世界のエネルギー資源は有限である。その埋蔵量を表1に示す¹⁾。確認埋蔵量を、石油、天然ガスで1990年ベースの、石炭で1987年ベースの、ウランで1989年ベースの各生産量を基準にして算出した可採年数で比較すると、石炭が300年以上と最も長く、石油、天然ガス、ウランはいずれも50年前後と短い。わが国はエネルギーの大部分を輸入に依存しており、供給の安定性と経済性からエネルギーのベストミックスが叫ばれている。発電電力

表1 世界のエネルギー資源埋蔵量 エネルギー資源の中で、石炭の可採年数は最も長く、石炭は長期的に安定なエネルギーである。

	石 油	天然ガス	石 炭*	ウラン
究 極 埋 蔵 量	2 兆bl	204兆m ³	5.5兆t	—
確認埋蔵量(R)	9,991億bl	119兆m ³	10,755億t	232万t
年 生 産 量(P)	221億bl	2.14兆m ³	32.8億t	3.4万t**
可採年数(R/P)	45年	56年	328年	68年

注：略語説明など * (高品位炭), ** (共産圏を除く。), bl(バレル)

出典：資源エネルギー庁 総合エネルギー統計(平成3年度)

表2 わが国での電力需要の伸び 最近5年間の電力量と最大電力の平均伸び率は5%以上と大きい。

	1987年	1988年	1989年	1990年	1991年	平 均
電 力 量(%)	6.1	4.7	5.8	7.2	3.8	5.5
最大電力(%)	3.6	6.1	4.9	12.1	2.9	5.9

出典：資源エネルギー庁 平成元年～4年度電力施設計画の概要

量の伸びを表2に示す²⁾。

電力需要は電力量、最大電力のいずれでも著しく増加している。最近5年間の電力需要の伸び率は平均5%以上で、主として産業用よりも業務用電力や電灯などの民生用電力需要増加によるところが大きい。最近の特長として、最大電力需要が夏季に加えて冬季でも増加していること、首都圏への一局集中形になっていることがあげられる。

わが国での平成4～13年度電源開発計画³⁾を表3に示す。今後10年間で合計7,525万kWの電源が新設され、その63%に相当する4,745万kWを火力発電で供給し、石炭とLNG火力がほぼ50%ずつ占める。

近年の地球温暖化に対して、1992年6月ブラジルで開催された環境サミットで気象変動枠組み条約が各国によって調印され、CO₂排出量を将来、1990年レベルに維持する取り決めがなされた。火力発電の増加はCO₂排出量の増加につながるので、CO₂排出量を増加させないために、既設も含めたいっそうの高効率発電と、原子力などのCO₂を発生しないエネルギーの利用、さらにCO₂の分離固定などを検討していく必要がある。

3 電源からのCO₂排出量の低減

3.1 低減のための方策

CO₂排出量を増加させないためには、表4に示す四つの方策がある。

第一は、発電プラントの高効率化であり、45～50%と発電効率の極限に挑戦する必要がある。

第二は、炭素含有率の低い燃料への転換である。LNGへ転換するのが最も効果的である。単位発熱量当たりの

表3 平成4～13年度電源開発計画 全体に占める火力発電の割合は約60%と大きく、石炭とLNG(液化天然ガス)火力で占める。

	電源開発量 (万kW)	比 率 (%)
火 力	4,745	63
石 炭	2,299	31
L N G	2,207	29
その他	239	3
原 子 力	1,868	25
水 力	912	12
合 計	7,525	100

出典：資源エネルギー庁 平成4年度施設計画の概要

表 4 発電分野でのCO₂排出量低減策 この表に示すように対策として4項目考えられるが、当面(1)と(3)が最重点課題である。

低 減 策	内 容
(1) 発電プラントの効率向上	効 率>45~50%
(2) 炭素含有率の低い燃料への転換	石 炭 0.021~0.024 Ckg/kJ 石 油 0.015~0.017 LNG(CH ₄) 0.012
(3) CO ₂ を発生しないエネルギーの利用	原子力・水力・地熱・太陽・風力 吸収・吸着・再資源化・海洋還元
(4) CO ₂ の分離固定	(例) 効 率 ●石炭火力 39% ↓ ●アミン吸収(η87%) ~26% ↓ ●海洋還元(液化) ~21%

発生CO₂量をLNGで1とすれば石炭は1.8、石油は1.4となり、石炭からのCO₂発生量が最も多い。しかし、わが国にとって埋蔵量の最も豊富な石炭を使っていくことが資源の安定確保の点で重要なことであり、いっそうの高効率利用が必要となる。

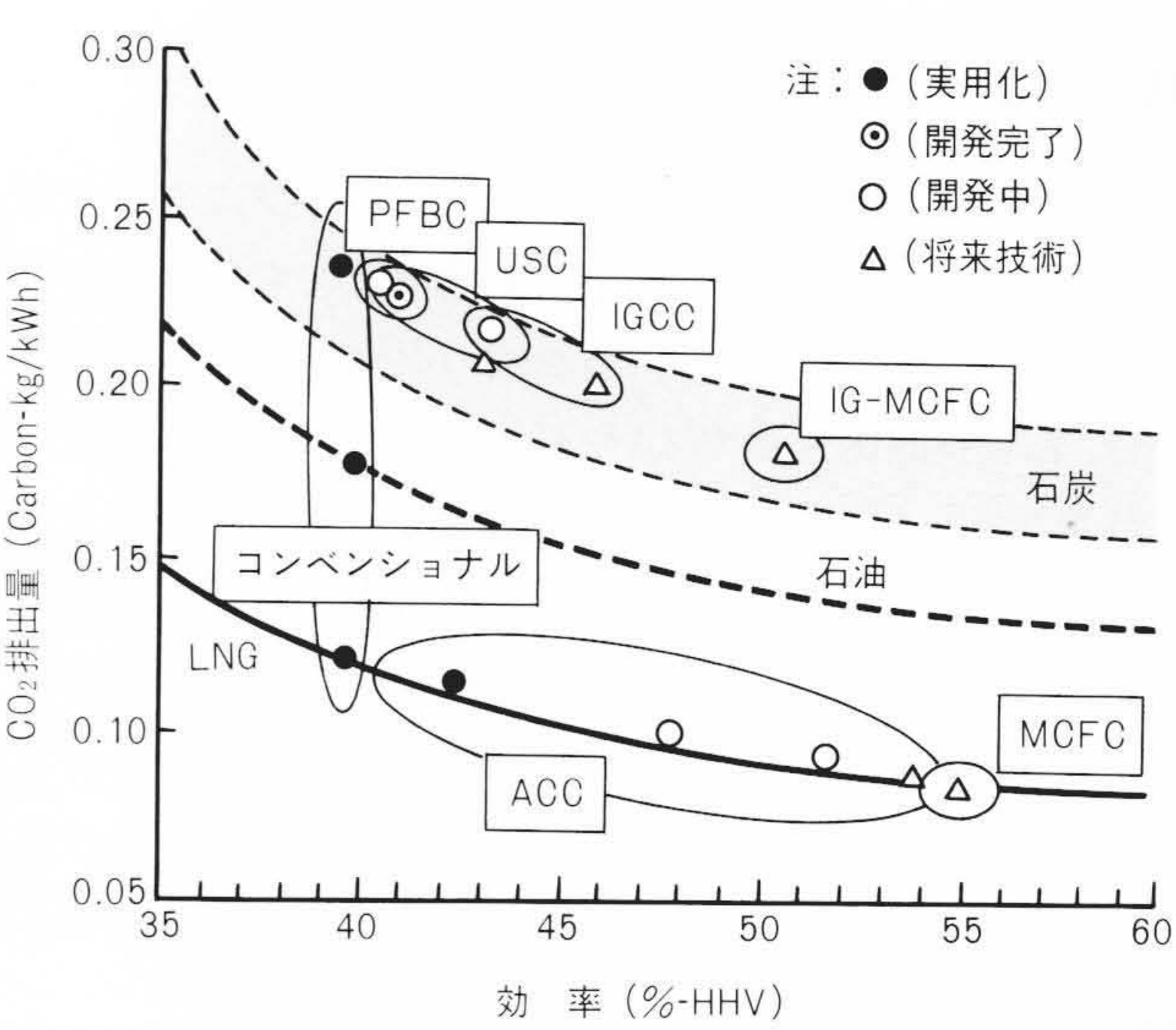
第三は、CO₂の発生しないエネルギーの利用であり、原子力、水力、自然エネルギーの開発が必須(す)の条件となる。

第四は、燃焼排ガス中のCO₂を吸収または吸着することによって分離させて、有用物質への再資源化、海洋還元を行うことが考えられる。しかし、石炭火力にCO₂の分離・固定プロセスを適用したシステムを試算すると、新たなエネルギーを消費するため、発電の大幅な効率低下は避けられない。今後とも長期的課題として開発を進めていく必要がある。

いずれにせよ将来の火力発電は、石炭とLNG発電で支えていくことになるので、高効率発電が最も重要な課題となる。

3.2 発電効率とCO₂排出量

燃料固有の単位発熱量当たりの含有C(炭素)量Ci(C-kg/kWh)と発電効率η(%)から、発電プラントからのCO₂排出量Ca(C-kg/kWh)を計算式Ca=100Ci/ηに基づいて求めた。その結果を図1に示す。熱効率が高いほど、またCの含有量の少ない燃料ほど単位出力当たりの発生CO₂量は少なくなる。この線上に現在実用化されている発電プロセス、または開発途上にある発電プロセスを発電効率に対応して記入した。石炭火力ではコンベンショ



注：略語説明 PFBC(加圧流動床発電) USC(超々臨界圧発電) IGCC(石炭ガス化発電) IG-MCFC(石炭ガス化-溶融炭酸塩型燃料電池発電) ACC(アドバンストコンバインドサイクル発電)

図1 発電効率とCO₂排出量との関係 石炭火力、LNG火力のいずれでも高効率化のための技術開発を推進している。

ナルに対して発電効率向上のため、PFBC(加圧流動層発電)、USC(超々臨界圧発電)、IGCC(石炭ガス化発電)、IG-MCFC(石炭ガス化-溶融炭酸塩型燃料電池発電)の開発が推進されており、燃料電池を使ったシステムで最高50%の効率に到達する可能性がある。PFBCは比較的中・小容量の領域で実用化されると考えられる。

LNG火力ではUSC、ACC(アドバンストコンバインドサイクル発電)、MCFCの順に発電効率は高くなり、燃料電池を使ったシステムで55%の効率を達成する可能性がある。ACCではUSCに対して圧倒的に発電効率が高く、今後ともACCがLNG火力の主流技術としてその大半を占める。

4 高効率発電への取組

4.1 石炭火力

石炭火力は、原子力に次ぐベース電源として大容量化、高効率化、運用性の向上が図られている。すでに大容量という点では、電源開発株式会社竹原火力発電所納め3号機700 kWプラントが昭和58年3月から、同社松浦火力発電所納め1号機1,000 MWプラントが平成2年6月からそれぞれ営業運転に入っている。さらに高効率化や高運用化という点では、中部電力株式会社碧南火力発電所納め2号機変圧700 MWプラントが平成4年6月から営

業運転に入っている。

プラントの熱効率の向上ということに対して、中部電力株式会社と共同開発によってチタン合金製の40インチ長翼を開発し、回転数3,600 r/minの700 MWタンデム機を世界で初めて採用することにより、相対値で1.6%の効率向上を図った。いずれも蒸気条件は246気圧、過熱器、再熱器の温度はそれぞれ538℃、566℃である。発電効率の向上にはさらに蒸気条件の高温・高圧化が必要なので、システム、高温高強度材の評価、電源開発株式会社との共同研究による同社若松火力発電所での材料の高温腐食・水蒸気酸化および制御弁の実証での実証を実施している。

石炭火力で微粉炭燃焼火力は、今後20年以上にわたって主流技術として発展する。その間にPFBC, IGCC, IG-MCFCの技術が実用化される。新技術の発電効率と実用化時期との関係を図2に示す。USCに関しては高温高強度材、および高温耐腐食材の開発と経済性の評価と相まって、高温高圧化による高効率化が順次進むものと考えている。

PFBCについては、発熱量で2 MW相当のテストプラントを日立製作所内に設置し、多炭種について加圧燃焼の基本特性を把握するとともに制御特性の解析をも進めている。さらに主要機器である精密脱塵(じん)装置、高

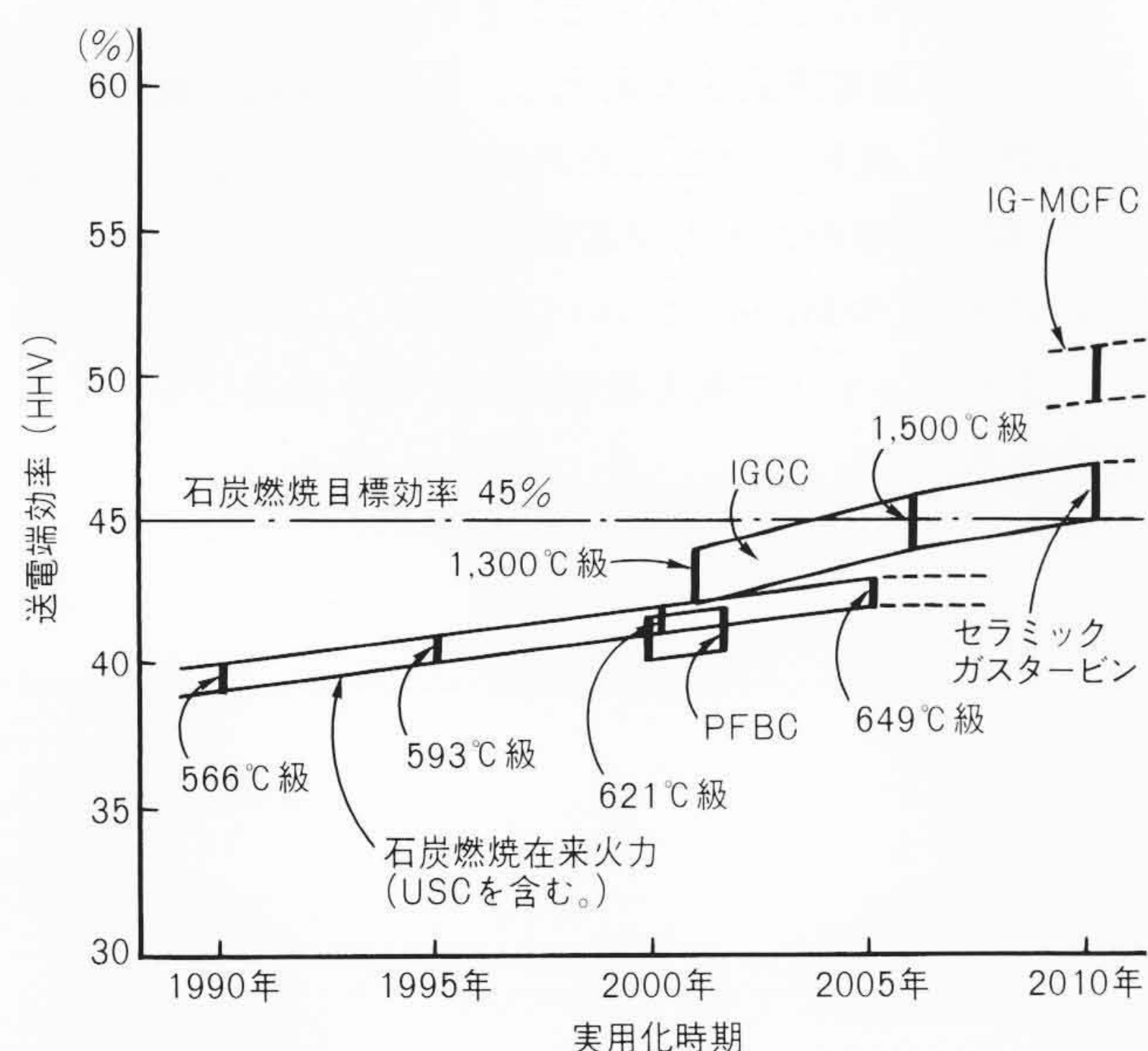


図2 石炭火力の効率向上の見通し 石炭火力でUSCは、今後20年以上にわたって主流技術として使われ、蒸気条件の高温高圧化が進む。その間、IGCCなどの技術が実用化される。

温制御弁、ガスタービンを250 MW商業プラントを目標に開発中である。PFBCの発電効率は大容量のUSCを超えることはできないが、ガスタービンで燃料を追加し燃焼させるトッピングを付加することにより、効率向上が可能である。

IGCCについては、噴流床石炭ガス化炉とガスタービンを開発中である。日立製作所内に設置した石炭処理量1 t/d PDU(Process Development Unit)で高効率ガス化炉を開発している。さらに、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13 MWガスタービン設備、大形ガスタービン燃焼器試験設備、および保安設備を担当している。平成3年から試験運転に入り、石炭ガスによるガスタービンの発電に成功している。これらの実績を踏まえて次期の250～350 MW級IGCC実用機の開発を推進していきたい。IGCCの効率はガスタービンの高温化に左右されるので、タービン入り口ガス温度が高ければ高いほど効率が向上する。1,500℃級高温ガスタービンが開発されれば、発電効率が石炭火力で初めて45%を超えることになる。その実用化時期は平成12年以降になる。

環境調和に関しては火炎内脱硝による微粉炭燃焼低NO_xバーナを開発して燃焼排ガス中のNO_xを30～60%に低減することができる。すでに国内外の多数の石炭ボイラに適用して実績をあげており、平成4年度の環境賞を受賞している。さらに排煙脱硫、脱硝、脱塵装置についても高性能化、合理化、簡素化のための技術開発を推進し、その一部は米国やEC諸国の環境保全に役立っている。

4.2 LNG火力

LNG火力での新技術の実用化時期とその発電効率との関係を図3に示す。LNG火力では石炭火力の場合と異なりACCの効率がUSCに比較して大幅に高いので、今後計画中のLNG火力の大部分でACCが採用されると思われる。ACCではIGCCに比較して燃料が直接ガスで供給されるので、ガス化に伴う熱損失がなく、その分、効率が相対値で約10%高くなる。特にACCは、高効率でかつ環境適合性や運用性に優れており、将来の主流発電方式として国内で数多く計画されている。

日立製作所は、コンバインドサイクル発電で数多くの納入実績を持っている。最近では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プラントが中国電力株式会社柳井発電所1-1系列(350 MW)で平成3年

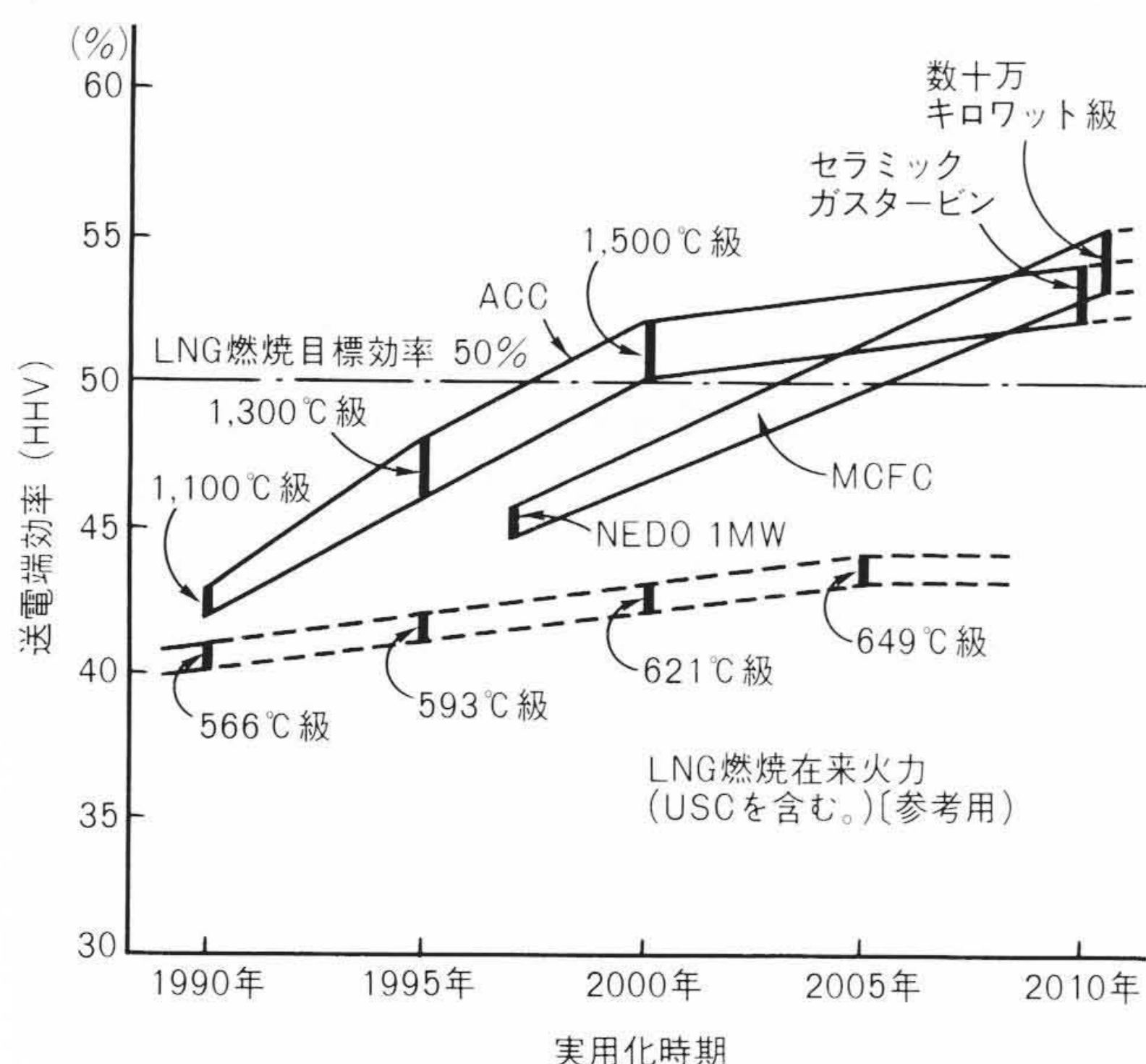


図3 LNG火力の効率向上の見通し ACCの効率は、USCに対し大幅に高い。

11月に、九州電力株式会社新大分発電所1号系列(690 MW)で平成4年6月にそれぞれ営業運転に入り、発電端効率(HHV)で約44%の高性能を示している。

さらに高効率化を目指した日立-GEの最新モデルF形ガスタービンは、1,300℃級と高温化されており、このガスタービンを使ったACCの効率は46～48%とさらに高くなる。将来を目指して開発を進めている1,500℃ガスタービンが完成すれば、その効率は50%を超えるものと考えている。

日立製作所は、ガスタービンの研究開発を強化するため、新たにガスタービン開発センターを設けるとともに実機での運転ができる130 MW大形ガスタービン総合実用化試験設備の建設、GTD(Gas Turbine Development)センターの増強により、環境調和形を目指した低NO_x、高温ガスタービンの開発を推進している。

MCFCに関しては、通商産業省工業技術院のムーンライト計画に基づいて、日立製作所は燃料電池本体についてNEDO(新エネルギー・産業技術開発機構)からの委託開発を、また改質装置、プラントシミュレーション技術、石炭ガス化対応技術であるガス精製技術などの周辺システムの開発についてMCFC発電システム技術研究組合からの委託開発をそれぞれ推進している。

開発は、第一期が昭和56年に始まり、1 kW、10 kWの電池を完成した。さらに昭和62年から第2期計画に入り、大形化の技術開発を推進した。電極有効面積で1.21 m²の複合大容量形セルを多層に積層することによって25 kW級燃料電池を完成した。この大形電池を試験し、6気圧の加圧下で5,700時間の運転に成功した。現在この結果を踏まえて、100 kW燃料電池を製作中である。

平成5年度に100 kW級電池と発電システムが評価され、この結果に基づいて1,000 kW級燃料電池プラントの開発が決定されることになっている。MCFCは作動温度が650℃と高いため、熱回収を組み合わせた発電システムの効率は、他の発電システムに比較して最も高くなる可能性がある。

5 おわりに

火力発電は今後の増大する電力需要の60%以上を賄い、発電分野で重要な役割を果たす。地球環境に関しては新たな課題として温暖化防止のためのCO₂排出量の削減があり、いっそうの発電効率の向上が必要である。

日立製作所は、ガスタービンを中心としたコンバインドサイクル発電方式を実用化し、さらに脱硫・脱硝・低NO_x燃焼・高効率化のための開発を推進することによって、環境調和形の火力発電設備の完成を目指している。さらにIGCCやMCFCについて国家プロジェクトに参画し、よりいっそうの火力発電の高度化を推進していく考えである。

参考文献

- 1) 資源エネルギー庁：総合エネルギー統計(平成3年度版)(平3-10)
- 2) 資源エネルギー庁：平成元年～4年度電力施設計画の概要(平1～4 4月)