

DENKEN REVIEW

電研レビュー

石炭ガス化複合発電の実現に向けて



NO.15 1986.6

電研レビュー 第15号 ● 目次
石炭ガス化複合発電の実現に向けて

巻頭言——— 電源開発株式会社 理事 坂口 桃一郎… 2

はじめに——— 専務理事 松岡 實… 5

第1章 石炭の利用拡大と石炭ガス化複合発電

- 1-1 ● 石炭の新利用技術開発の必要性 …… 8
- 1-2 ● 石炭の新利用技術の総合評価 …… 11
- 1-3 ● 石炭ガス化複合発電の概要と内外の開発動向 …… 13
- 1-4 ● 当所における研究開発の概要 …… 17

第2章 噴流床石炭ガス化複合発電技術の開発

- 2-1 ● 適切な石炭ガス化複合発電プラントの選定 …… 21
- 2-2 ● 2段噴流床石炭ガス化技術 …… 29
- 2-3 ● 乾式クリーンアップ技術 …… 37
- 2-4 ● ガスタービン用低カロリーガス燃焼技術 …… 42
- 2-5 ● 一層の高効率をめざす次世代技術 …… 48
- 2-6 ● クールウォータープログラム …… 63

第3章 実用化技術の確立

- 3-1 ● 実用化に向けての技術開発 …… 69
- 3-2 ● 大型化のための技術開発課題 …… 71

おわりに——— 石炭ガス化複合発電プロジェクトチーム
総括リーダー 上田 隆右… 73
関連する主な研究報告書 …… 74

石炭ガス化炉の水流モデルシミュレーション➡

ガス化炉内でおこる複雑なガス化反応を微細な気泡を混入した水流モデルにより解析し、大型ガス化炉の設計に必要なデータを得ている。

表紙：石炭ガス化実験炉(写真左)と乾式クリーンアップ実験装置(右)



石炭ガス化複合発電について

二度に亘る石油危機をきっかけとして、世界各国において石油代替エネルギーの開発導入、省エネルギー推進計画は積極的にとり進められ、着実にその成果をあげつつある。一方昨年来原油価格は一転して暴落を続け不安定な様相を呈しているが、エネルギー源多様化のための努力は、やはり長期的には継続して行なわれねばならぬと考えられる。

石炭ガス化複合発電は、従来原子力と共にエネルギー源確保の一つの柱として考えられてきた石炭利用を、より一層拡大するための有効な技術になりうるものと考えられる。即ち高い熱効率、環境対策の優位性、或は建設期間の短縮など、従来の微粉炭火力を凌駕しうる可能性を秘めるものとして、米国を始め各国の注目を浴びている。

我国においては数年前より、電力中央研究所を始めとして各界で、研究開発が進められてきていることは周知の通りである。

そもそも石炭からガスを得る技術の沿革は古く、西暦1600年頃から石炭乾留によって始められたと云われる。当初は製鉄用木炭に代わる石炭コークスの取得が主目的であったが、副産物のガス、タールの利用方法も開発され、ガス灯から厨房用燃料へ、また化学工業原料へと多用途に且つ驚異的に発展を遂げてきた。

一方、石炭ガス化炉より得られるガスを利用して複合発電を行なう技術については、航空機用JET-ENGINEのガスタービンの急速な発達に伴って、有力な発電手段となることが予想され始めた。1972年に西ドイツで政府支援のもとに、ST-EAG社がKELLERMAN発電所にルルギ式石炭ガス化炉5基を組込んだ複合サイクル発電設備(170MW)を設置したのが、世界における最初の試みであった。ただ、この時期は技術開発の初期段階であったため、所期の目的は達成されぬまま1977年使用は中止されている。

その後の石油危機に臨んで米国におけるクールウォーター計画が推進され、日米共同研究プロジェクトとして1984年完成し、現在各種の試験が続けられている。この研究は、既存の技術を集合させシステム検証を図ることが主目的であり、これにかかわる貴重なデータや知見が得られつつある。

我国においては、諸外国に比して原燃料が高価格であること、厳しい環境規制に適合しうるものであること、中間負荷特性にも優れていること等、我国特有の厳しい要請が課せられることから、いずれも単に既存技術の組合せでなく新たな視点からの技術開発を行なわなければならない。具体的には、高性能ガス化炉、高温乾式ガス精製装置の開発、特に1,300℃級以上の石炭ガスに適合するタービンの開発、更にはプラントトータルシステムの確立など、課題は山積みしている。しかしこれらは、昨今の新素材の開発等日進月歩の技術進歩をもってすれば、いずれも解決されないものはないと考える。

幸いにして関係各位の御努力により、先般官民あげての石炭ガス化複合発電技術研究組合が発足し、これに対処する体制が整備されたことは誠に喜ばしく、これによって21世紀の夢多い一つの発電技術の開発が世界にさきがけて大きく前進するであろうと思われる。

願わくば国内外の情報知見はもとより関係識者の英知を結集して、官民一体となってこの事業が成功されることを期待致したい。



電源開発株式会社 理事
石炭ガス化複合発電技術研究組合 副理事長

坂口 桃一郎

〔電力中央研究所 参与〕

電研石炭ガス化複合発電研究の歩み（昭和48年～61年）

昭和 (西暦)	電力中央研究所	所 外
48 (1973)	重点研究課題に「新・省エネルギー」設定	通商産業省資源エネルギー庁発足
49 (1974)		サンシャイン計画加圧2段流動床石炭ガス化炉(10ata、5%、石炭技術研究所)、研究開始
52 (1977)	高効率複合発電プラントの研究開始	同上、加圧2段流動床石炭ガス化炉(20ata、40%、石炭技術研究所) 研究開始
53 (1978)		高効率ガスタービン技術研究組合発足(電研他メーカー13社、理事長：当所成田理事長61.6現在)
54 (1979)	高効率複合発電特別研究室設置 技術研究組合から超合金、セラミックス、トータルシステム等の要素受託研究開始	中央電力協議会にガス化技術検討会設置(昭和55年度に石炭ガス化専門部会と改称)
55 (1980)	エネルギー技術開発本部設置(新・省エネルギー技術開発部設置) 調査報告書、石炭ガス化複合発電に関する当面の研究課題作成	新エネルギー総合開発機構、新エネルギー財団発足
56 (1981)	2段噴流床石炭ガス化炉の共同研究開始(三菱重工業)	
57 (1982)	中央電力協議会依頼、石炭ガス化複合発電に関するフィージビリティ・スタディ報告書作成	米国クールウォータプログラム(1000%噴流床石炭ガス化複合発電)に東京電力、メーカー2社と共同参画
58 (1983)	2%2段噴流床石炭ガス化基礎実験装置設置、実証研究開始セラミックガスタービン静翼の共同研究開始(日立製作所)	資源エネルギー庁(NEDO)噴流床石炭ガス化複合発電のフィージビリティ・スタディ実施(58～60年度、当所受託)
59 (1984)	乾式クリーンアップ、低カロリーガス燃焼器の基礎研究開始 高カロリーガス用大型セラミック燃焼器を開発	1000%噴流床石炭ガス化複合発電プラントの実証運転開始(クールウォータ)
60 (1985)	乾式クリーンアップの共同研究開始(三菱重工業) 乾式集じん・脱硫基礎実験装置設置、実証研究開始。 第4回未来技術エネルギーフォーラムで「電気事業のための石炭新利用技術」発表	産業技術審議会、石炭ガス化複合発電技術評価小委員会設置 ファインセラミックス利用技術懇談会設置(中央電力協議会依頼)
61 (1986)	石炭ガス化複合発電プロジェクトチーム設置 石炭ガス化用ガスタービン要素実験設備設置準備(62・4完成予定)	石炭ガス化複合発電技術研究組合の発足と参加(9電力、電源開発、電研)

はじめに

専務理事 松岡 實



近年、世界の石油需給関係がゆるみ、原油価格は軟調傾向にあるが、中東情勢は依然として不安定であり、また、開発途上国の工業化の進展や世界景気の回復に伴う需要の増大などの点からみて、中長期的には、原油価格の上昇は避けられない状況にある。

当研究所は、このような展望のもとに、石炭火力を原子力を補完する有力な電源のひとつと位置づけ、石炭利用の拡大に資する技術開発を重点的に推進している。

当面の石炭利用技術として、微粉炭火力の拡大を図るために、環境対策の一層の向上と石炭灰の処理・処分を、また、次世代の技術として、噴流床石炭ガス化複合発電と熔融炭酸塩型燃料電池を取り上げ、実用化を目指して鋭意、研究に取り組んでいる。

中でも、噴流床石炭ガス化複合発電については特に重点を置いて、1982年より、米国における1000t/日の噴流床石炭ガス化複合発電実証試験（クール・ウォーター計画）の共同研究に参加するとともに、所内においては噴流床石炭ガス化技術、乾式クリーン・アップ技術、石炭ガス化用ガスタービンの要素技術の研究などを推進してきた。

現在、国、NEDOおよび電気事業は、石炭ガス化複合発電の実用化に向けて、技術開発を積極的に推進しており、今般、電力10社および当研究所で研究組合を設立し、開発体制の一層の強化を図った。

その開発計画は1988年迄に200t/日の噴流床ガス化複合発電のパイロットプラントを建設し、その運転成果を踏まえて、2000t/日級の実証プラントの設計・建設を目指すこととしている。

当研究所は、これまでの研究成果はもとより、今後も一層の研究開発を推進し、これらの成果を適切にプラントへ反映させるなど、噴流床石炭ガス化複合発電の実用化に向けて、最大限の努力を傾注して行く所存である。●

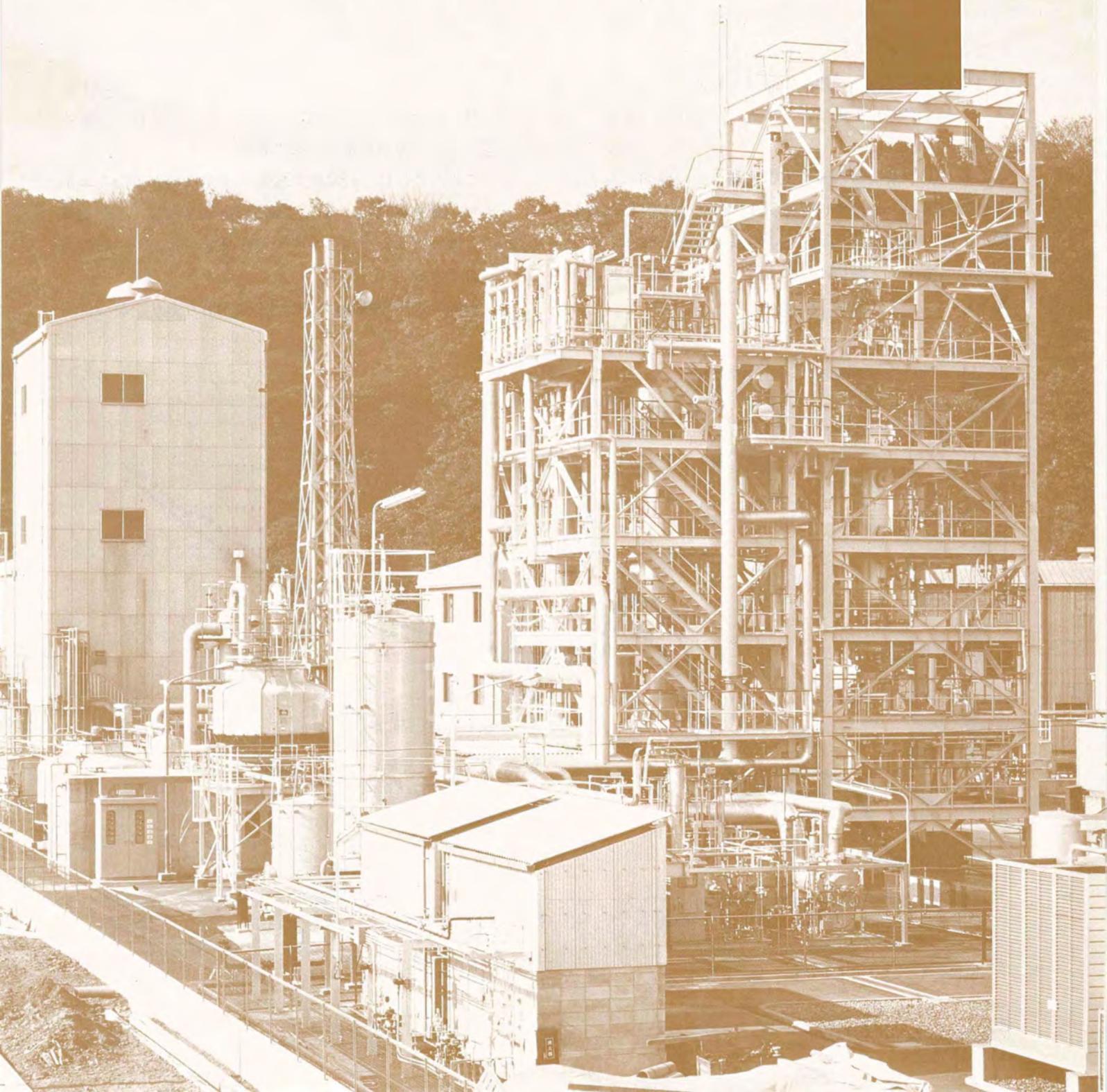
第1章 石炭の利用拡大と石炭ガス化複合発電 ● 目次
編集担当●石炭ガス化複合発電プロジェクトチーム 総括リーダー 上田 隆右

1-1	石炭の新利用技術開発の必要性	上田 隆右	8
1-1-1	石炭利用拡大の必要性		
1-1-2	電気事業の石炭火力の現状と見通し		
1-1-3	石炭の新技術開発の課題と研究状況		
1-2	石炭の新利用技術の総合評価	石炭ガス化複合発電プロジェクトチーム 運営担当次長 石川 浩	11
1-2-1	総合評価の背景		
1-2-2	評価の結果—電源としての石炭ガス化複合発電の位置づけ—		
1-3	石炭ガス化複合発電の概要と内外の開発動向	石川 浩	13
1-3-1	石炭ガス化複合発電の概要		
1-3-2	内外の開発動向		
1-4	当所における研究開発の概要	石川 浩	17
1-4-1	噴流床石炭ガス化複合発電プラントシステムの総合評価		
1-4-2	2段噴流床石炭ガス化炉の開発		
1-4-3	乾式クリーンアップ技術の開発		
1-4-4	ガスタービン技術の開発		

(順不同、所属は61.6.16現在)

第1章

石炭の利用拡大と 石炭ガス化複合発電



1-1 石炭の新利用技術開発の必要性

1-1-1 石炭利用拡大の必要性

ここ二・三年、かつての石油危機を忘れたかのように、世界の石油需要は軟調傾向にあり、原油価格も1982年の1バレル34ドルを最高に、最近は20ドル前後となっている。

しかし、中東情勢の不安定さに加え、長期的にみると、発展途上国の工業化や世界景気の回復による需要の増大傾向、非OPEC諸国の原油生産の頭打ちなどが考えられ、将来のエネルギー価格は、値上りしていくものと想定される。

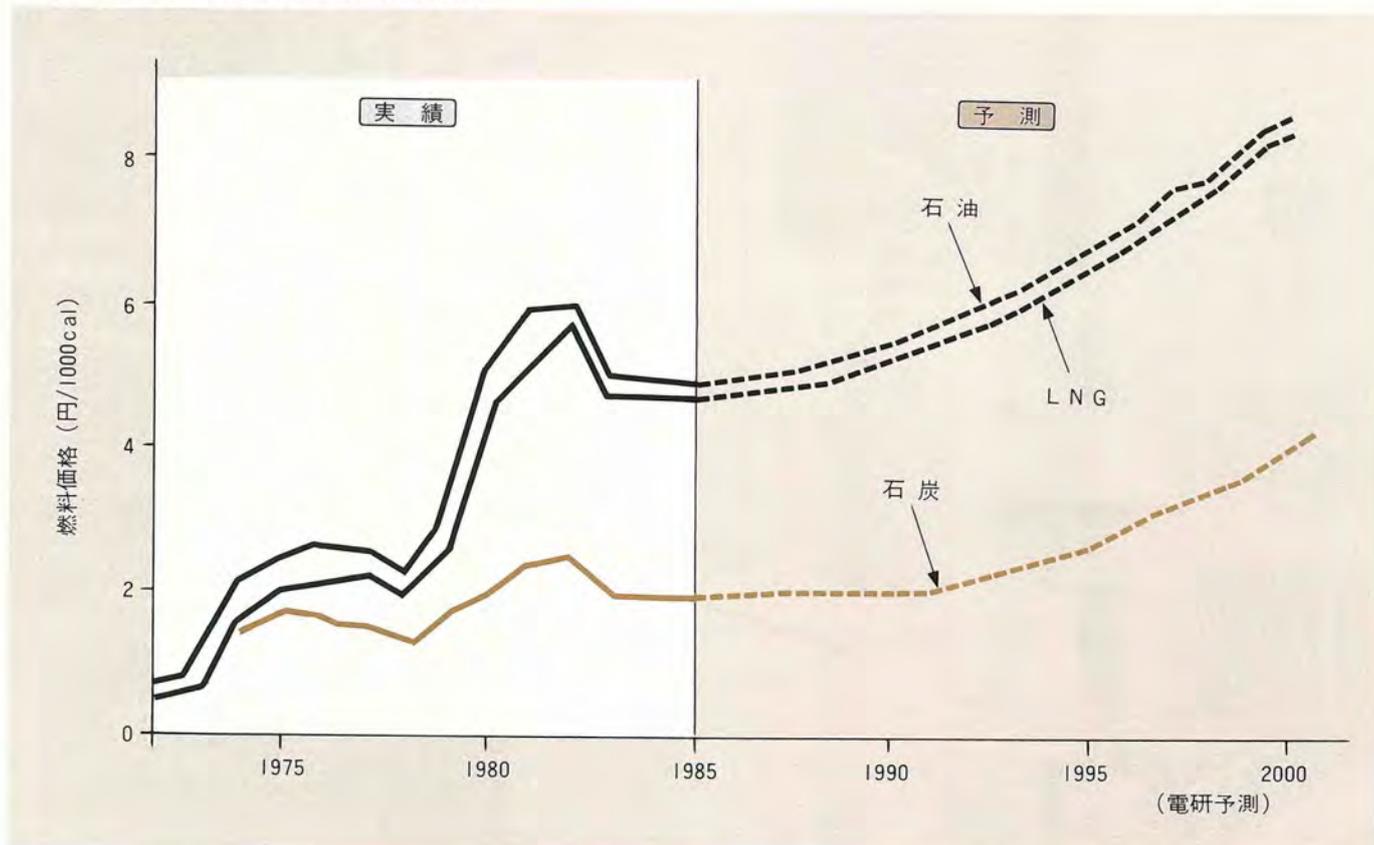
当所の長期展望によっても、1990年以降、石油やLNGの価格は上昇傾向を強めると予測されている(図1-1-1参照)。

このような展望を踏まえ、我が国のエネルギー情勢を考えると、エネルギー資源に恵まれず、その80%以上を海外に依存している現状からして、今からこれに対する十分な対策を講じておく必要がある。

このためには、経済性に優れ、安定供給が可能なエネルギー源を選定し、その利用技術を確立することが重要で、これにかなうエネルギー源のひとつとして、石炭が有力である。

石炭の可採埋蔵量は、石油の約5倍もあり、かつ自由

図 1-1-1 燃料の価格動向(C I F 名目価格)



主義諸国に広く分布していることから、セキュリティ面も安定しており、その価格は石油に比べ、今後とも、長期にわたり、低位安定の傾向がみられる。

1-1-2 電気事業の石炭火力の現状と見通し

このような背景のもとに、我が国の電気事業においても、石炭火力を原子力を補完する有力な資源のひとつとして位置付け、その見直しが行われ、石炭利用の拡大が図られつつある。

現在、石炭火力の全発電設備は約1000万kWで、全体の7%程度に過ぎないが、電気事業審議会の1983年の試算によれば、2000年では、約3000万kWの設備をもつようになり、全体の13%に増大すると想定している(図1-1-2参照)。

今後の電源開発を進めるためには、電力の安定供給・発電コストの抑制、環境対策の高度化、系統運用の総合

効率化などの基本条件をもとに、最も効率的かつバランスのとれた電源構成(ベストミックス)をめざす必要がある。

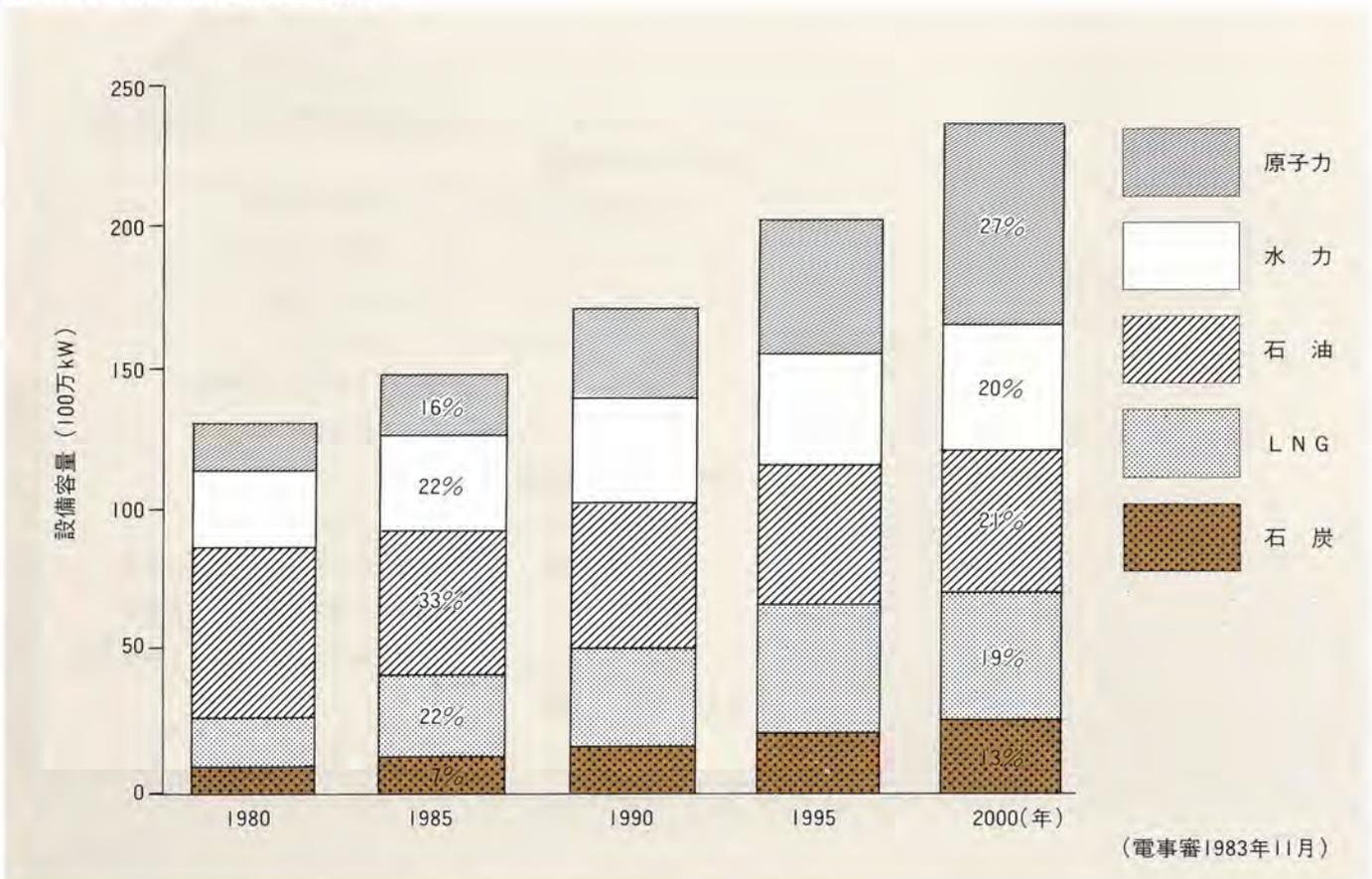
石炭火力についても、2000年頃迄は技術的経済的な観点から、微粉炭火力の一層の高度化が、さらに将来的には、熱効率が高く環境性に優れた石炭ガス化複合発電の実用化が期待されている。

1-1-3 石炭の新技术開発の課題と研究状況

石炭の利用を拡大するためには、石油やLNGと異なり、固体でかさばり、取り扱いが不便で、燃焼後の灰分も多いなどの、石炭のもつ短所を克服して、大量の石炭を効率よく、きれいに、かつ、経済的に利用する技術開発が不可欠である。

電気事業に係る石炭新利用技術の主な研究課題は表1-1-1に示す通りであり、当所では、国のエネルギー政策や

図 1-1-2 我が国の電源構成の推移



電気事業のニーズを踏まえ、内外の研究機関の研究状況などを総合勘案して、次の研究に重点をおき積極的に推進している。

1. 当面の微粉炭火力の拡大対策として

- (1) 環境対策の一層の向上
- (2) 石炭灰の処理・処分

2. 次世代の石炭利用技術として

- (1) 石炭ガス化複合発電—噴流床石炭ガス化技術など
- (2) 溶融炭酸塩型燃料電池

微粉炭火力の拡大対策としては、海外炭の発電用炭としての環境適性事前評価と炭じん対策、ばいじん対策の高度化、排煙中微量物質の環境影響評価などにより、環境対策の一層の向上をはかる研究を実施している。また、

石炭灰の処理処分についても、これに伴う溶出水中微量物質の環境影響評価や、石炭灰の有効利用などについて研究を進め、従来よりも一層効率がよく、かつ経済的な微粉炭火力の実現にむけて技術開発にとりこんでいる。

一方、将来を見通し、環境性に優れしかも高効率で大容量の発電を行うため、石炭をガス化して、ガスタービンと蒸気タービンで二重に発電を行う、石炭ガス化複合発電、および、石炭ガスを効率よく燃料電池で電気に変え、さらにその排熱を利用して効率の高い複合発電を行う、溶融炭酸塩型の燃料電池複合発電について、研究開発を重点的に進めている。

本号では、これらのうち、石炭ガス化複合発電に関する研究について紹介する。



表 1-1-1 電気事業のための石炭利用技術開発

当面の技術開発課題	
環境対策技術の高度化	硫黄酸化物対策 窒素酸化物対策 ばいじん対策
石炭灰の処理・処分	石炭灰対策
石炭流体化	C O M [*] 、C W M ^{**} 技術
低品位炭利用	流動床燃焼技術
次世代の技術開発課題	
微粉炭火力の高性能化	超々臨界圧
石炭ガス化技術	流動床石炭ガス化複合発電 噴流床石炭ガス化複合発電
燃料電池発電技術	溶融炭酸塩型燃料電池複合発電
将来の技術開発課題	
直接発電	M H D (複合) 発電

* : Coal Oil Mixture ** : Coal Water Mixture

1-2 石炭の新利用技術の総合評価

1-2-1 総合評価の背景

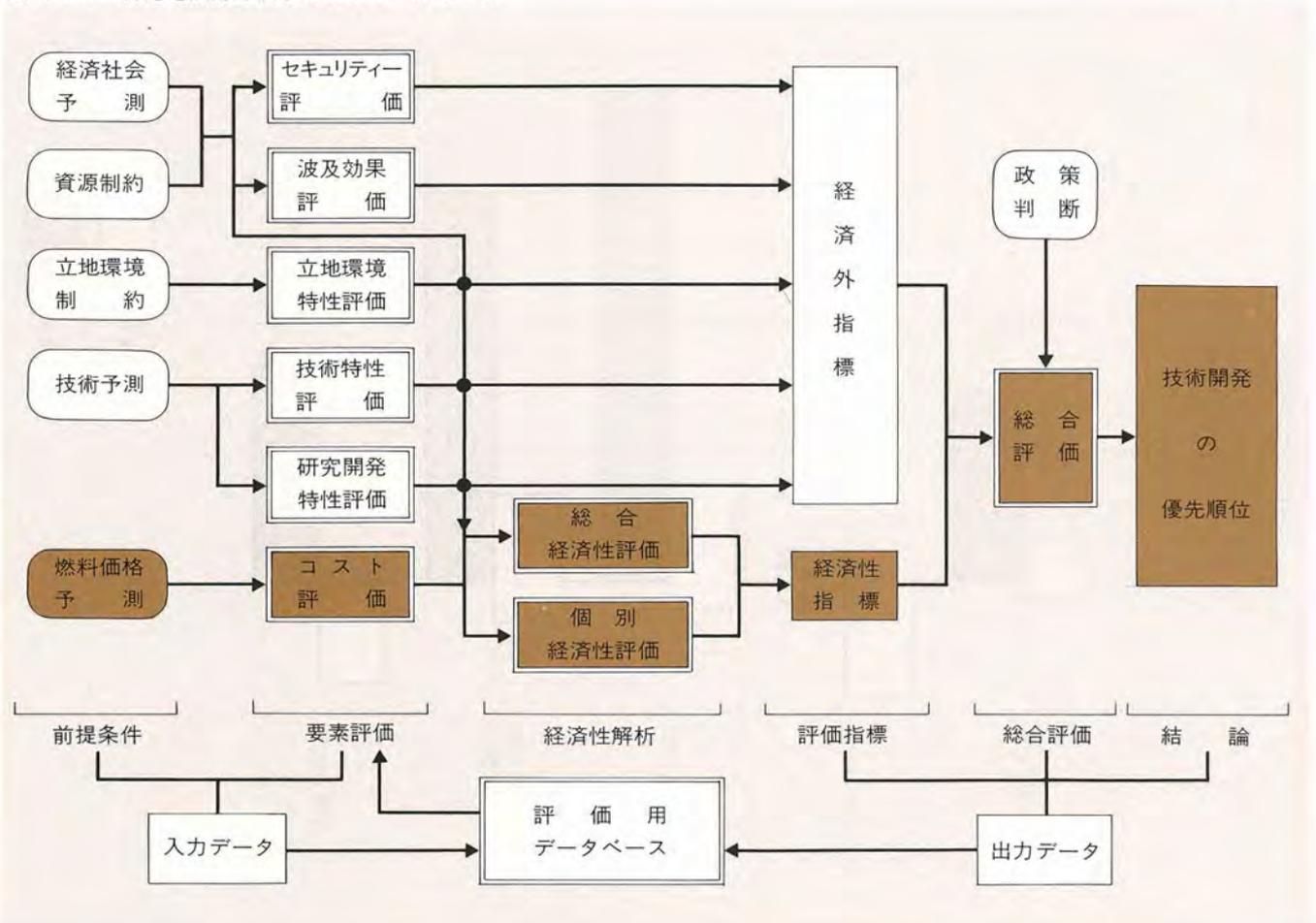
現在、研究開発が進められている新発電技術のうち、将来、我が国の電力供給を主として賄えるのはどのような技術であるかを評価し、決定することは極めて重要であると同時に、難しい問題でもある。これからの新発電技術の開発を、より効果的に推進するためには、各技術の経済性、技術特性、環境特性ならびに研究開発上の問題点を分析すると共に、我が国のエネルギー政策および

波及効果も考慮して、整合的かつ総合的に評価することが肝要である。

当所ではこのような背景から、技術開発の優先順位を明らかにするため、新発電技術の総合評価手法を開発し、研究開発戦略の一助としている。本手法は図1-2-1に示すフレームワークに基づいており、主に図中の経済性解析が中心として行われ、評価は2000年と2030年を断面に、各新技術の経済性と寄与量の解析を行っている。

調査対象となった発電技術は、将来、電気事業の系統に導入されることが期待される技術で、それをベース、

図 1-2-1 新発電技術評価手法のフレームワーク



ミドル、ピークの各負荷別に分類すると共に、燃料種別として、原子力、石炭、LNG、および太陽光発電などの再生可能エネルギーの4種類を選定した。

1-2-2 評価の結果—電源としての石炭ガス化複合発電の位置づけ—

現在、電気事業は、原子力を補完する有力な電源の一つとして、石炭の利用拡大を図る新発電技術の出現に期待を寄せていることから、1984年に実施した石炭新利用技術の総合的な技術評価の結果について述べることにする。

評価の対象は在来型微粉炭火力、超々臨界圧石炭火力、加圧流動床ボイラ複合発電、石炭ガス化複合発電、熔融炭酸塩型の燃料電池複合発電、MHD複合発電の6種である。

図1-2-2は微粉炭火力を基準として各種新発電方式の経済優位性を示したものであり、この結果、2000年頃ま

では在来型の微粉炭火力がやや経済性に優れているが、それ以降は石炭ガス化複合発電と熔融炭酸塩型の燃料電池複合発電が経済的に優位になると予測された。

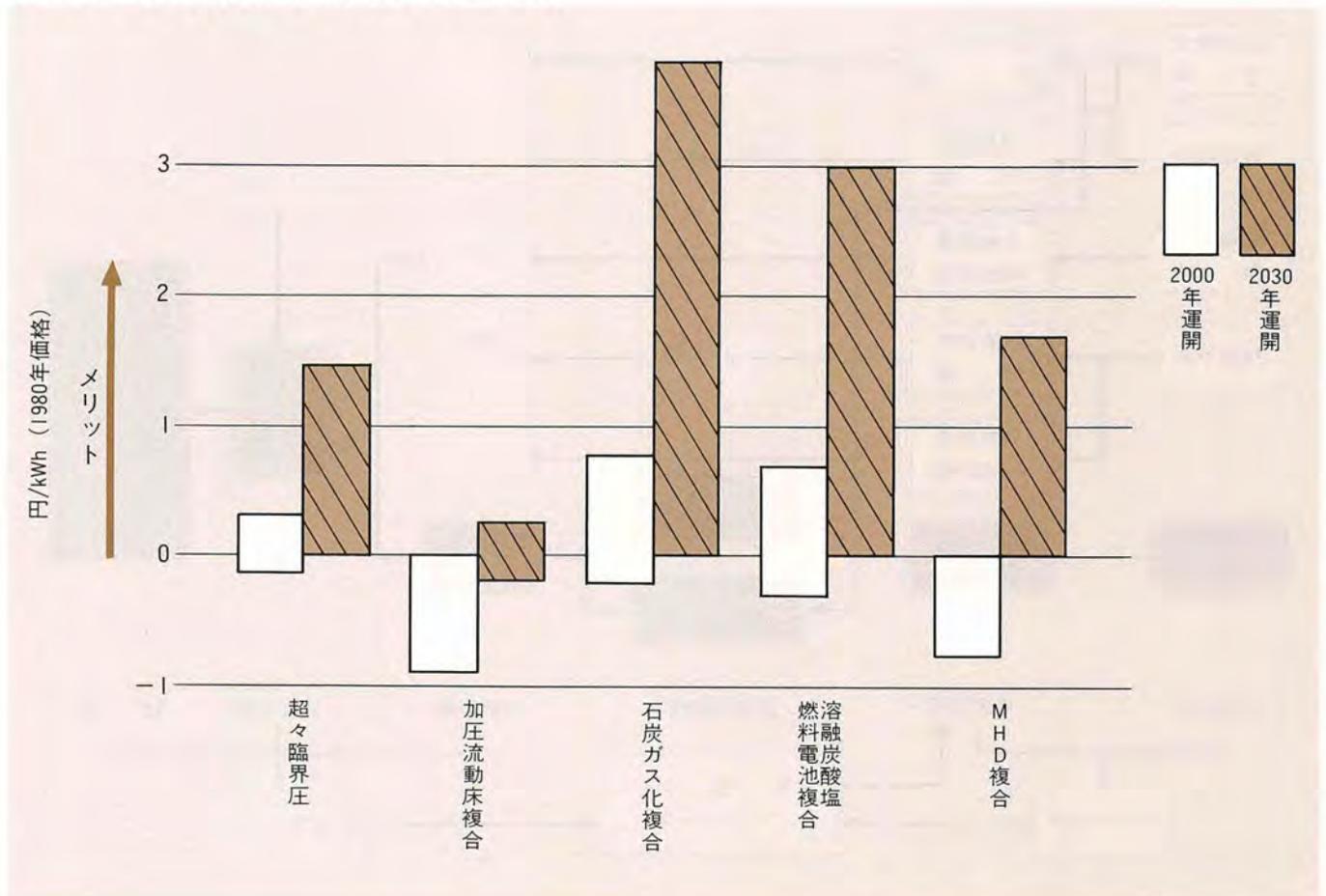
今後の電源開発においては、いわゆるベストミックスを目指すためにも、賦存量や供給の安定性、経済性の面から優位とされる、石炭を利用した火力発電を推進することが重要である。

このため、石炭火力発電には従来よりも一層、

1. 炭種拡大による石炭供給源の分散化
 2. 高効率化によるエネルギー有効利用
 3. 排煙、灰処理、炭じん対策などの環境対策の高度化
 4. ベース供給力からミドル供給力への設備運用の高度化
- などの点が強く要求される。

これらの要求される条件を満足する石炭火力発電としては、石炭ガス化複合発電が最も適しており、上述の予測にも示されたように、21世紀前後の石炭火力の中核として位置付けられる。

図 1-2-2 新発電方式の経済優位性(基準：微粉炭火力)



1-3 石炭ガス化複合発電の概要と内外の開発動向

1-3-1 石炭ガス化複合発電の概要

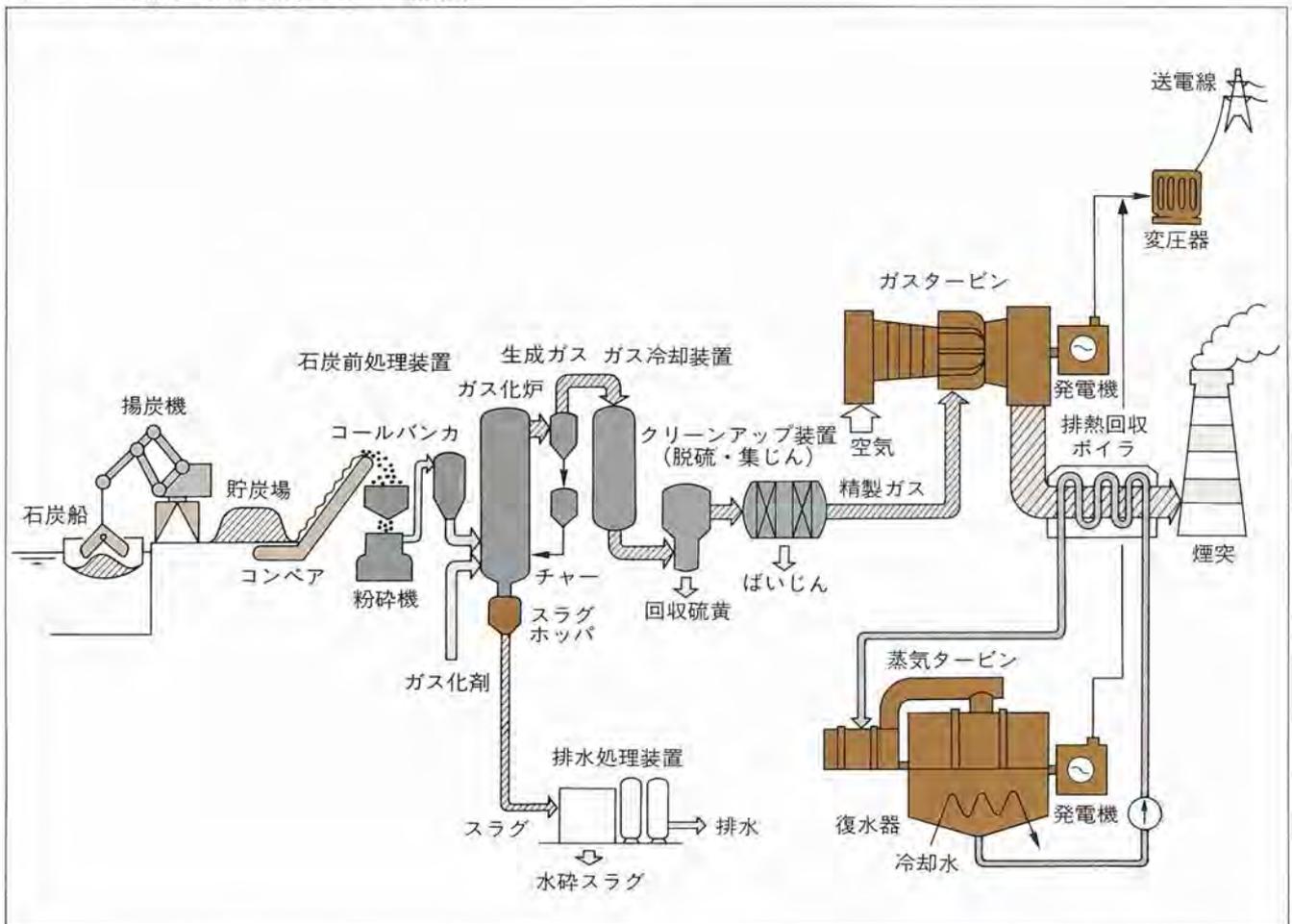
石炭ガス化複合発電のプラント構成を図1-3-1に示す。
 まず、石炭とガス化剤（空気または酸素）をガス化炉に投入して石炭をガス化する。次に、ガス化炉で発生した粗生成ガスをクリーンアップ装置で脱硫・集じんし、クリーンな石炭ガス化生成ガスにして、ガスタービン燃焼器に導き、燃焼させてガスタービンを駆動し、発電する。同時に、ガスタービンの排ガスを排熱回収ボイラに

導き、そこで蒸気を発生させ、その蒸気で蒸気タービンを駆動させ、発電する。

このように、石炭ガス化複合発電は、ガスタービンサイクルおよび蒸気タービンサイクルの2つのサイクルで構成されており、各々の単一サイクルでは到達できない高い熱効率を得ることができ、また、蒸気タービン復水器における放熱量も低減されるため、温排水量が減少するメリットがある。

現在、最新鋭の超臨界圧石炭火力の送電端熱効率（HHV・潜熱含み、高位発熱量）は約37%であり、超々

図 1-3-1 石炭ガス化複合発電プラント構成図



臨界圧プラントが開発されても約40%が限界と考えられている。これに対して噴流床式石炭ガス化複合発電では、1300°C級ガスタービン、乾式クリーンアップ装置が開発されると約45%、1500°C級ガスタービンでは約49%という高い熱効率が得られることが当所の試算で予測されている。

石炭ガス化複合発電プラントは石炭ガス化炉、クリーンアップ装置、ガスタービンなど、構成要素が多く複雑で、各構成要素の運転性能や耐用寿命などから見た最適条件は、必ずしもトータルシステムの最適条件とは一致しない場合が多い。したがって、構成要素の特性を活かした、システム全体として調和のとれた石炭ガス化複合発電プラントを構成することが重要である。

1-3-2 内外の開発動向

内外の主要な石炭ガス化炉の開発状況を表1-3-1に示す。

我が国のサンシャイン計画では、都市ガスや工業燃料用の高カロリーガス(7,000~10,000kcal/m³N)と発電用の中・低カロリーガス(1,000~3,000kcal/m³N)の技術開発を進めている。

発電用中・低カロリーガスのガス化方式としては現在、表1-3-2に示す流動床方式と噴流床方式が併行して開発され、その試験結果により両者を比較評価して、一つの方式を選定することになっている。

流動床方式の開発は国の委託を受けて石炭技術研究所が夕張試験場において、石炭処理量40T/Dのガス化炉、乾式脱硫・集じん装置およびガスタービン燃焼器試験装置までのパイロットプラントを設置し、試験を実施している。また、1000T/D級石炭ガス化複合発電プラントの基本設計を電源開発がNEDO(新エネルギー総合開発機構)より受託して実施している。

一方、噴流床方式の開発は流動床方式より遅れて開始

されたが、大容量化、広範囲炭種適合性、環境保全性、負荷応動性など、運転性能上の有利性が見込まれることから、電気事業ではこの開発を積極的に進めることとしている。

現在、当所は三菱重工業と共同で石炭処理量2T/Dのガス化装置により、ガス化基本方式の検討とスケールアップ技術に関する検討を進めており、日立製作所は1T/D炉によりガス化基礎特性の検討を行っている。

また、当所は資源エネルギー庁よりNEDOを経て、200T/Dのパイロットプラントの基本計画ならびに実用規模(発電機出力200万kW)の概念設計に関するフィージビリティスタディを昭和58年度から3ケ年で実施した。これを受け、資源エネルギー庁は61年度から7ケ年計画で、総額530億円をかけて200T/Dパイロットプラントの開発計画をスタートさせた。

本開発研究は国-NEDOを通じて、電力9社、電源開発および当所の合計11社で構成される技術研究組合(61年4月24日創立総会)が受託し、実施することとしている。

海外では1970年頃から西独のSTEAG社が政府の援助のもとにKellerman発電所に17万kWの固定床式石炭ガス化複合発電プラントを世界で最初に開発した。このプラントは1980年頃から休止している。

最近アメリカでは、テキサコ社の加圧1段噴流床式石炭ガス化炉を基にした1000T/D石炭ガス化複合発電プラントの開発をクールウォータープログラムとして進めている。これには、テキサコ(Texaco Inc.)、SCE(Southern California Edison Co.)、EPRI(Electric Power Research Institute)、GE(General Electric Co.)、ベクテル(Bechtel)と我が国の東京電力、東芝、石川島播磨重工業および当所が参加し、実証研究を順調に進めている。本プログラムの詳細については後述する。

さらにポトマック電力では、1990年代に商用規模のテキサコ型噴流床石炭ガス化複合発電プラントを運用する予定で計画を進めている。 ●

表 1-3-2 石炭ガス化における噴流床方式と流動床方式の違い

比較項目	概念図	流動床方式
<p>ガス化炉概念図 および 全体特徴</p>	<p>微粉炭をバーナーにより炉内に噴射し、噴射床を形成し、高温で短時間でガス化する。スラグは炉底より溶融状態で排出する</p>	<p>直径数ミリ程度の石炭粒を炉の中央部に供給し、炉底からのガス化剤によって流動床を形成し、ガス化する。スラグは炉底より固体で排出する</p>
石炭供給	200メッシュ(0.05~0.1mm)微粉炭火力と同等	16メッシュ(1~2mm)
供給量	単位容積、単位時間あたりの処理量は大きい(~5,000t/d)	単位容積、単位時間あたりの処理量は小さい(~1,500t/d)
ガス化温度	1,200℃~1,800℃	750℃~950℃
生成ガスカロリー	低カロリー(空気吹きで900~1,100kcal/m³N)	やや高カロリー(空気吹きで1,300kcal/m³N程度)
ガス化炉出口温度	~1,100℃	~950℃
ガス化滞留時間	噴流床であり短時間(数秒程度)	流動床のために長い(数分程度)
チャーリサイクル回数*	1回でのガス化効率が高く2~3回程度で済む	生成ガス中の未燃チャーが多ク4~5回はリサイクルする
ターレットの有無	高温でガス化するのでターレットは完全に分解する	起動時などにおいてターレットの発生がある
特徴	比較的高温ガスが生成されるために熱交換を十分行なう必要があり、専用熱交換器の開発の必要あり	従来の熱交換器で良い

*石炭投入後、定常的なガス組成となるのに要するリサイクル回数

1-4 当所における研究開発の概要

石炭ガス化複合発電プラントの実用化には、石炭ガス化炉、乾式クリーンアップ装置、ガス化用ガスタービンなどの要素開発、ならびにトータルシステムの研究など、多くの技術的課題を克服することが重要であり、当所はそれぞれの分野について鋭意研究を推進中である。研究内容の詳細については第2章で述べるが、ここでは当所の主要研究の概要について紹介する。

1-4-1 噴流床石炭ガス化複合発電プラントシステムの総合評価

200kW級実用プラントのシステム構成について、石炭供給方式（ドライかスラリーか）、ガス化剤（空気か酸素か）、クリーンアップ方式（乾式か湿式か）の組み合わせにより8方式を選定し、経済性、実用可能性などの面から総合評価を行った。

この結果、熱効率、発電コストなどの点に優れる最適システムは、ガス化炉への石炭供給はドライ方式とし、ガス化剤に空気を用い、生成ガスのクリーンアップは乾式とする組み合わせであることを明らかにした。

1-4-2 加圧2段噴流床石炭ガス化炉の開発

昭和57年から三菱重工業と共同で1日に2tの石炭をガス化できる実験炉を開発・設置し、研究を進めている。

我が国の発電用として要求されるガス化炉の性能は、高効率化、大容量化、広範囲な炭種適合性、環境保全性、負荷応動性などをすべて満足することが重要であり、今般、この実験炉により、これらの開発目標を達成できる見通しを得た。

在来型のガス化炉と大幅に異なる点は、

1. 空気ガス化を達成するためにガス化炉を上下2室2段に分割し、灰の溶融化に必要な高温部の維持とガス化反応を充分行わせる中温部の維持を容易にしたこと

2. 負荷応動性に優れたスパイラル型水冷壁構造を採用し、高信頼性を確保したこと
3. 石炭供給に流動分配器を採用したドライ・加圧供給方式を考案し、高効率化を達成したこと

である。

この実験炉は61年3月末現在、累積ガス化時間、約820時間であり、灰溶融点が約1200～1600℃までの9炭種についてガス化試験を実施し、ガス化基本性能と炭種拡大化についての貴重な成果を得た。同時に水流モデルおよび3次元流動シミュレーションの活用により、この実験炉を大型化できる見通しを明らかにした。なお、本実験炉は国の200T/Dパイロットプラント計画の原型炉として採用が内定している。

1-4-3 乾式クリーンアップ技術の開発

クリーンアップ装置には湿式と乾式の2方式があり、湿式については、前述のクールウォータープログラムの1000T/D石炭ガス化複合発電実証プラントに組み込まれ、技術がほぼ確立されている。

乾式については、ガス化炉からの生成ガスを500℃程度の高温でクリーンアップするので、石炭ガスの顕熱損失が少なく、湿式に比べてプラント熱効率を高くとれる特長がある。

また、石炭ガス化複合発電は、将来的には中間負荷用としての機能をも要求されることが想定されるので、負荷変動幅が大きく、かつ負荷応動性に優れることが重要なポイントとなり、これらを満足するクリーンアップ技術の開発を目指す必要がある。

当所は実験室規模での要素研究成果を踏まえ、昭和60年11月に三菱重工業と共同で、ガス化炉と同容量のガスが処理できるベンチスケールのプラントを建設し、試験に入っている（図1-4-1参照）。このベンチプラントは乾

式で脱硫・集じんの各々2方式が実験できるようになっている。

脱硫については、ハチの巣状に作ったセラミックス担体の内壁に酸化鉄を含浸させた脱硫剤を用いるハニカム固定床方式と、直径5mm程度の酸化鉄系ペレットが吸収塔と再生塔の間を循環する移動床方式が実験でき、集じんについては、粒子充填層を用いる戸過方式と、セラミック筒の壁に微細孔を無数に作り、その孔を通してばいじんを除去するポーラスフィルター方式の2方式が実験できる。なお、粒子充填層は、最終的には、静電気を作用させる静電戸過集じん方式に改良する計画である。

具体的な研究内容は、これらの方式をどのように組み合わせれば発電用のプラントに最も適するかを確かめることで、4通りの組み合わせについて試験を行い、

1. 高温・高圧下における脱硫・集じん性能
2. 長時間運転の際の信頼性
3. 大型化に必要な技術

について昭和63年3月までを目途に、2T/Dガス化炉からの実ガスを用いて研究を進めることにしている。この研究の成果は国のパイロットプラント計画などに反映させる予定である。

1-4-4 ガスタービン技術

1300°C級ガスタービンについては「高効率ガスタービン技術研究組合」がクリーン燃料を対象として10万kW級のレヒートサイクルガスタービンの研究開発を実施中である。

このガスタービンを石炭ガス化複合発電に適用するには、

1. 55ataと高圧であり、空気吹きの低カロリーガスを圧縮する燃料圧縮機の動力が増大し、効率向上が望めないこと
 2. 低カロリーのため、再燃器における残存酸素が低下し、安定燃焼が困難になること
 3. 中間冷却器を採用しているため、水の蒸発による温度低下が大きな損失となること
- などの技術的な問題点がある。

このため、石炭ガス化用ガスタービンの研究開発が急務であり、近年、我が国でも当所およびメーカーで要素開

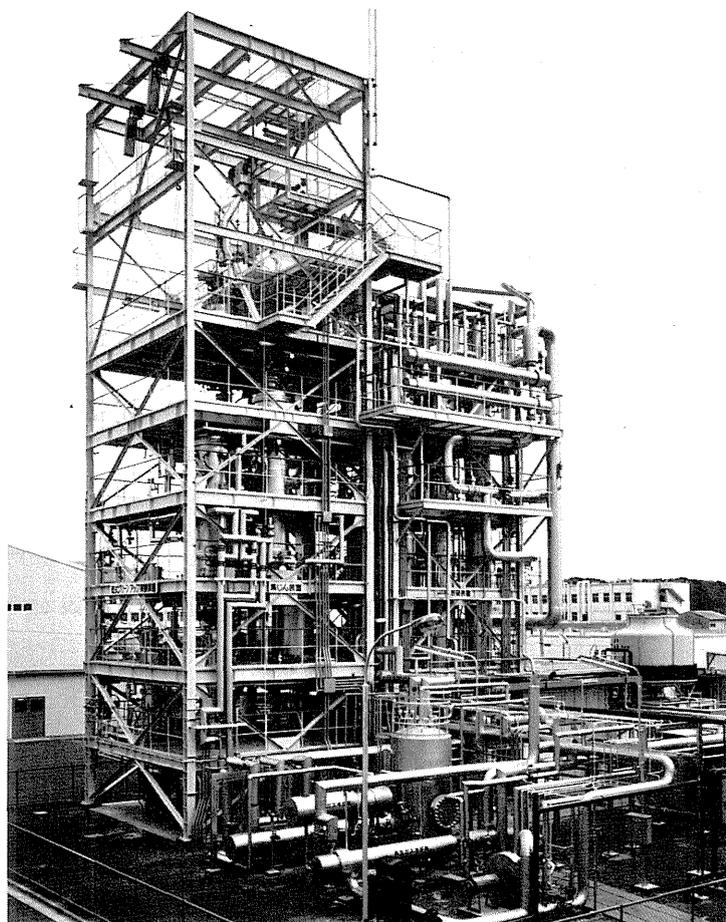


図 1-4-1 石炭ガス乾式クリーンアップ実験装置

発が加速的に実施され始めている。

当所では1300°C級の空冷燃焼器を開発するための燃焼技術研究を推進中であり、この基礎研究を踏まえて、昭和61年度に実圧、1/2実寸級の燃焼器1缶分が試験できる実験設備を建設し、62年度以降本格的な研究を実施して、国の200T/Dパイロットプラント計画に反映させて行く計画である。

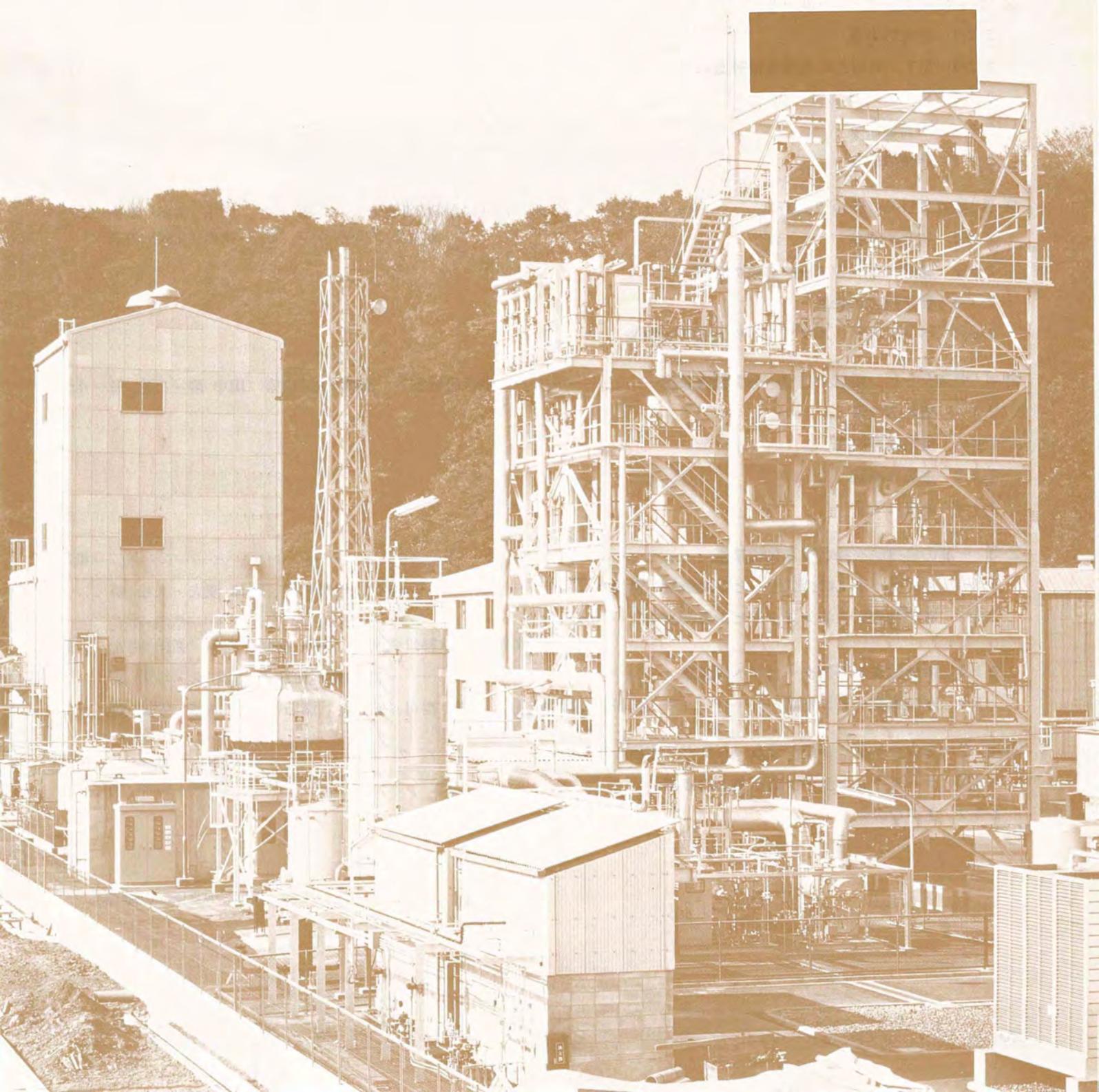
また、将来の高温化に備えて、ファインセラミックスを利用した燃焼器や静翼の研究を実施している。

セラミックス燃焼器についてはクリーン燃料により1500°C級実証試験を終了し、好結果を得ている。引き続き、石炭ガス用低カロリー燃焼器への適用を目指して、水流モデルシミュレーションなどにより、低カロリー用バーナの設計を終了した。早ければ61年12月頃より試験が開始される予定である。

一方、ガスタービンの高効率化を図るため、セラミックス静翼の開発も着々と成果を上げており、日立製作所との共同で2年間の基礎研究の成果を踏まえ、現在は翼列試験に着手した段階である。

このほか、高温や腐食、浸食に耐える一方向凝固材、単結晶材などの超合金の実用化評価や、超低NO_x化を指向した接触燃焼技術、翼の水冷却技術など、新素材の活用や新しいアイデアによる次世代技術についても、鋭意、研究開発を実施している。

第 2 章
噴流床石炭ガス化
複合発電技術の開発



2-1 適切な石炭ガス化複合発電プラントの選定

2-1-1 プラント構想の選定

さきに述べたとおり、噴流床石炭ガス化複合発電の特長は、競合技術である微粉炭焚き火力発電に比較して、経済性、環境性に優れていることであるが、各種の噴流床方式石炭ガス化炉、クリーンアップ方式などからはバラエティに富んだ複合発電プラントの構想が検討可能である。

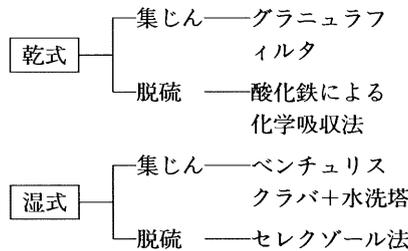
そこで当所では微粉炭焚き火力発電との競合性を前提として、各種の噴流床方式の石炭ガス化複合発電プラント構想を調査し、さらにそれらの構想から想定されるプラントシステムの比較検討を行った。

まず、石炭ガス化複合発電プラントの中核設備である石炭ガス化炉については、200万kW級の実用プラントを想定して、表2-1-1に示す4つのタイプの炉を検討の対象とした。同表に石炭ガス化炉の特徴、性能などを示しているが、炉構造とそれに対応するガス化剤・石炭供給方式との組み合わせから、実用化構想は次の4つの方式に分類される。

- A方式：ドライフィード(空気搬送)・空気酸化加圧2室2段噴流床炉
- B方式：ドライフィード(窒素搬送)・酸素酸化加圧1室2段噴流床炉
- C方式：スラリーフィード・空気酸化テキサコ型噴流床炉

D方式：スラリーフィード・酸素酸化テキサコ型噴流床炉

これらの石炭ガス化炉の後流に設置されるクリーンアップ装置には、乾式と湿式があるが、次の2方式を採用することを想定した。



これらのA～D方式の石炭ガス化炉と乾式・湿式のクリーンアップ方式の組み合わせに対して、ガスタービン、排熱回収蒸気タービンの発電系は同一の性能をもつ設備を想定して、8通りの噴流床石炭ガス化複合発電プラント最適構想の選定をすすめた。なお、ガスタービンは1300℃級、排熱回収系は非助燃方式・非混圧超臨界圧システムとした。

2-1-2 多目標評価法による分析

このように想定した8方式の噴流床石炭ガス化複合発電プラント構想を、できる限り技術的な根拠に基づいて評価する方法として、多目標評価法を用いた。

多目標評価法は、評価対象となる代替案(即ち、ここでは8通りの構想)に対して共通の評価項目を選定し、評価項目

に対するそれぞれの構想の相対関係を位置づける作業と、各評価項目相互間の重みづけの作業から成る。表2-1-2に6項目から構成される大項目と、12項目から成る小項目を示す。各々の評価項目には具体的な評価指標が対応し、代替案相互間の相対的な関係を位置付ける関数が決められる。

この関数の決定には、意思決定者(電気事業者)の考え方が反映される。このような評価指標と関数(効用関数)の例を経済性と実現性について述べる。

発電プラントの経済性の評価のためには、まず発電プラントの機器構成を明らかにし、その上で熱効率を求めなければならない。そこで200万kW級で湾外に新設立地する場合を想定して、ガス化炉に乾式クリーンアップを組み合わせたケース(A～D方式)と、湿式クリーンアップを組み合わせたケース(A'～D'方式)について、それぞれの最適プラント系列構成の熱効率解析を行った。A～D'方式のそれぞれの最適プラント系列構成は、表2-1-1に示す石炭ガス化炉の石炭処理量に依存する他、排熱回収系の蒸気タービンサイクルの組み方にも関連するが、それらの例を表2-1-3に示す。

図2-1-1に最も送電端熱効率が高いと評価されたA方式についての結果と、クールウォータ計画の適用方式D'を解析例として示す。この解析には当所が開発した「石炭ガス化複合発電システムの熱効率解析用簡易プログラム」を用いているが、石炭のもつエネルギーが電力に変換されていく流れを示しており、方式間

表 2-1-1 発電用噴流床方式石炭ガス化炉構造

項目	方式		テキサコ型	
	加圧2室2段噴流床型	加圧1室2段噴流床型	ガスクーラータイプ	クエンチタイプ
ガス化剤	空気	酸素	酸素	酸素
熱回収方式	水冷壁+ガスクーラー	水冷壁+ガスクーラー	ガスクーラー	なし
ガス化炉概全図				
	<p>8角の水冷壁構造・加圧のため外側に耐圧シエルを有する。中央で絞りがあり2段に分けて石炭を供給する。</p>	<p>4角の水冷壁構造・加圧のため外側に耐圧シエルを有する。多段バーナー式であり、細長い。</p>		
ガス化炉の特徴	<p>3800T/D</p> <p>1125kcal/m³N</p> <p>74.2%</p> <p>98.8%</p> <p>99.5%</p>	<p>3840T/D</p> <p>2640kcal/m³N</p> <p>78.3%</p> <p>97.1%</p> <p>98.8%</p>	<p>1050T/D</p> <p>950kcal/m³N</p> <p>70.3%</p> <p>95.9%</p> <p>99.5%</p>	<p>最大2000T/D</p> <p>約2000kcal/m³N</p> <p>77%</p> <p>83%</p> <p>99.5%</p>
開発主体	電研・三菱	日立・KBW	TEXACO(日本のライセンス) HI:空気吹き・ガスクーラータイプ 宇部興産:酸素吹き・クエンチタイプ	

の特徴の把握が容易である。図2-1-2にA～D'8方式の送電端熱効率の解析結果を微粉炭焚き火力と比較して示す。

次に建設費の算定は8方式の電気出力、機器配置、系列数などをもとにして、土木建設、機械設備、環境設備などについて指数則を適用して行った。総経費、建設中利子の見積りは微粉炭焚き火力発電の例にならった。

石炭のカロリー単位は2.30円/1000kcal、年経費率は18.9%、設備利用率は70%とした。石炭ガス化複合発電の利点である環境性の面からユーティリティ費用(排煙処理水他)の低減を見込んでいる。

このような仮定のもとに算定した発電コストから、原子力発電よりも安いときを1、既設石油、LNG火力以下の場合を0とする効用関数によって各方式の経済性を位置付けした。

経済性の例のように、仮りに大幅な仮定を伴うにしても、技術的な算定が可能な評価項目に対して、実現性のように、定性的な評価項目には尺度の設定が難しい。

ここでは実現性に対して総合開発度とスケールアップの2つの小項目を設定したが、総合開発度はガス化炉、クリーンアップ装置などのプラント構成機器に対する、要素毎の技術開発課題を、開発段階と難易度から分類評価する方法をとった。

表2-1-4に評価方法とA～D'方式の評価結果を示すが、テキサコ炉、セレクトゾール湿式脱硫法などの現用技術を用いるD'方式の総合開発度が高いことが当然の結果として位置付けされている。D'方式が40.7点と評価されたことから50点以上を1、0点を0とする効用関数によって各方式の総合開発度を位置付けした。

評価項目毎にこのようにできる限り客観性のある評価を行い、各方式毎の相対関係を位置付ける効用値を求めた。評価項目全ての重みが等しい場合は、各方式の評価項目毎の効用値が定められれば、効用値と平均重みとの積の総和が各方式の優劣を示すことになる。

しかし、噴流床石炭ガス化複合発電のどのような点に期待を寄せるかについて

は、電源構成、地域性などによってそれぞれ導入者の意識は相違する。そこで、ここでは全評価項目についての重みづけを全電力の関係者の協力を得て、階層分析法によって実施した。

階層分析法は全評価項目の相対関係を示すアンケート(図2-1-3)の集計で行った。同図に示すアンケートは意思決定者が各評価項目を一对一で、どちらがどの

表 2-1-2 多目標評価法による方式選定のための評価項目

大項目	小項目	評価指標	単位
総合評価	経済性	発電コスト	円/kWh
	実現性	総合開発度	%
		$\sqrt{\frac{\text{処理量(大)} \times \text{圧力(小)}}{\text{処理量(小)} \times \text{圧力(大)}}$	—
	運用性	起動時間	hr
		負荷変動レート	%/min
		最低負荷率	%
	環境性	排出濃度	ppm
		排出濃度	ppm
		排出濃度	mg/m ³ N
		系外排水量	t/MW・h
		$\frac{\text{スラグ}}{\text{スラグ+灰}}$	%
	炭種適合性	灰融点	℃
		燃料比	—
	信頼性	定検外利用率	%

ドライフィード・空気酸化・加圧2室2段噴流床炉による 発電方式が最も高い評価を得た。

程度重要であるかを判断するもので、電源構成、地域性などを反映した結果として、経済性重視型、環境性重視型などの特徴のある意志決定者の意向が表現されている。

全電力の関係者のアンケート結果によると、経済性重視が多く、全体の重みを平均すると約1/3に達し、ついで環境性、実現性を重視し、運用性と信頼性は平均13%でほぼ拮抗していた。炭種適合性は評価項目のなかでも最重要度が低かった。

評価項目のうち、評価に最も大きな差

がでたのは、環境性で、その標準偏差は11%になった。それに対して、他の評価項目の標準偏差は4～8%以内であって大きなばらつきはなかった。

この結果は、電力関係者の噴流床石炭ガス化複合発電に対する評価がほぼ同じ判断基準で行われていることを示しており、その導入による経済性向上と環境問題解決への期待を強く示している。

また、実現性の問題も環境性と同一程度に大きく、技術に対するリスクは実際に導入する立場にある電力関係者には重要な問題であることが示されている。

2-1-3 評価の結果

以上の各方式に対する評価をとりまとめた結果を表2-1-5に示した。同表には各方式の評価項目ごとの効用値と重みを加味した評価が示されている。

さきに述べたように、噴流床石炭ガス化複合発電に対する経済性向上への期待から、高い熱効率が得られ、発電コストも低いA、A'方式、即ちドライフィード（空気搬送）・空気酸化加圧2室2段噴流床炉を用いた発電方式が他方式に比較

表 2-1-3 200万kW級プラント系列構成例

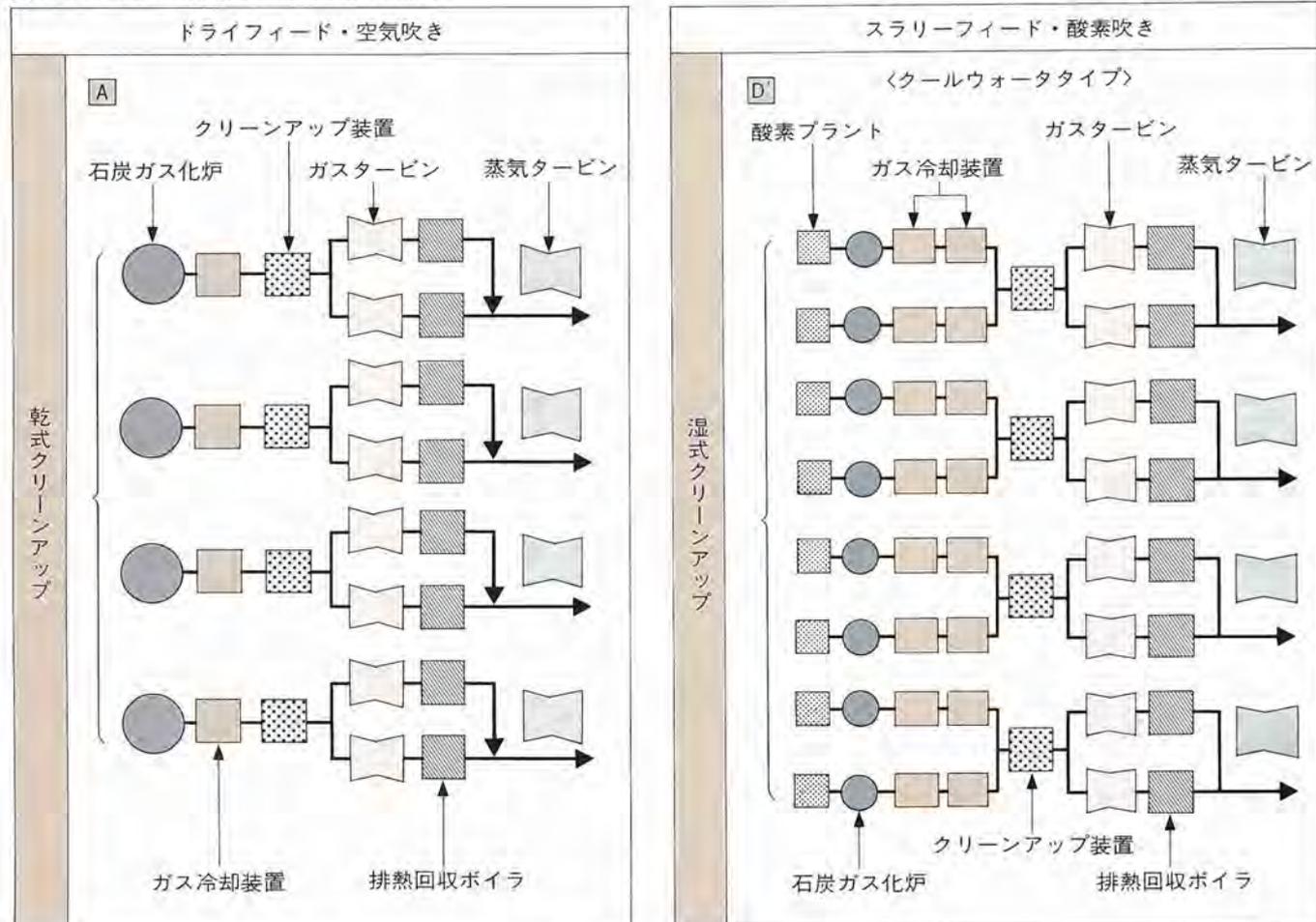
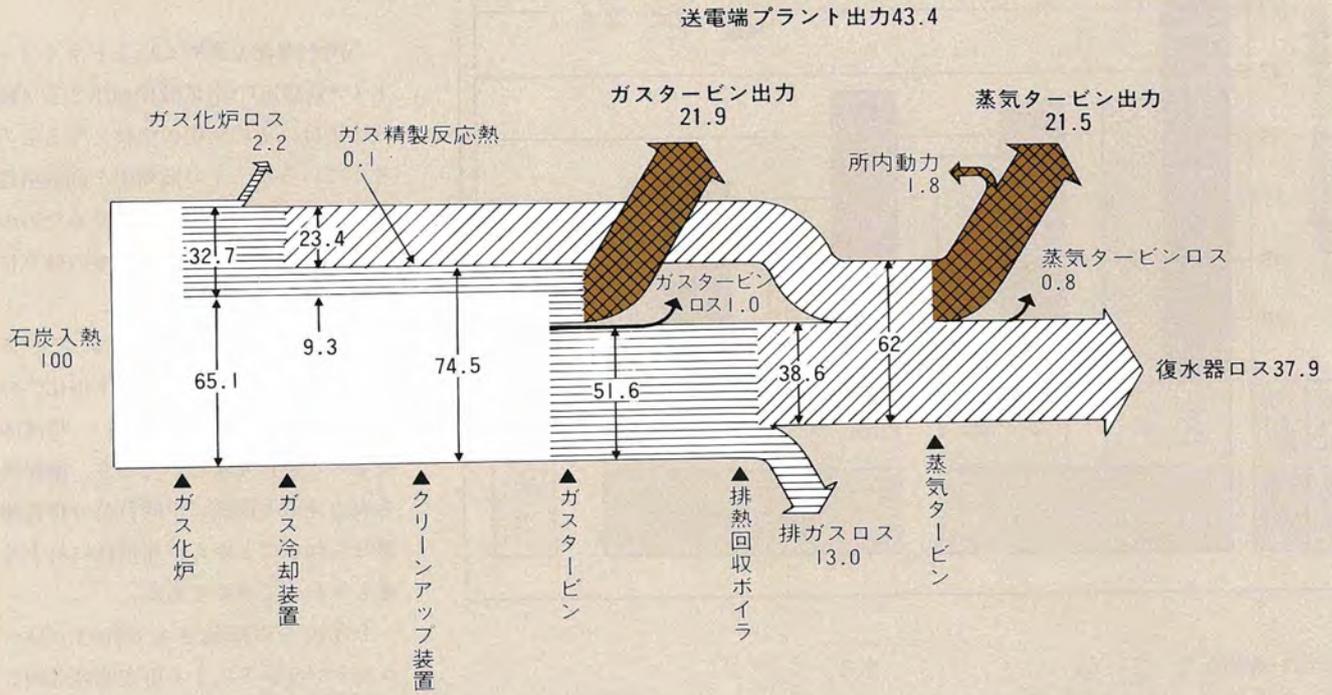


図 2-1-1 200万kW噴流床石炭ガス化複合発電プラントの熱効率解析試算例

A

[1300°C] ドライフィード、空気吹き、乾式クリーンアップ、空冷翼



D'

[1300°C] スラリーフィード、酸素吹き、湿式クリーンアップ、空冷翼

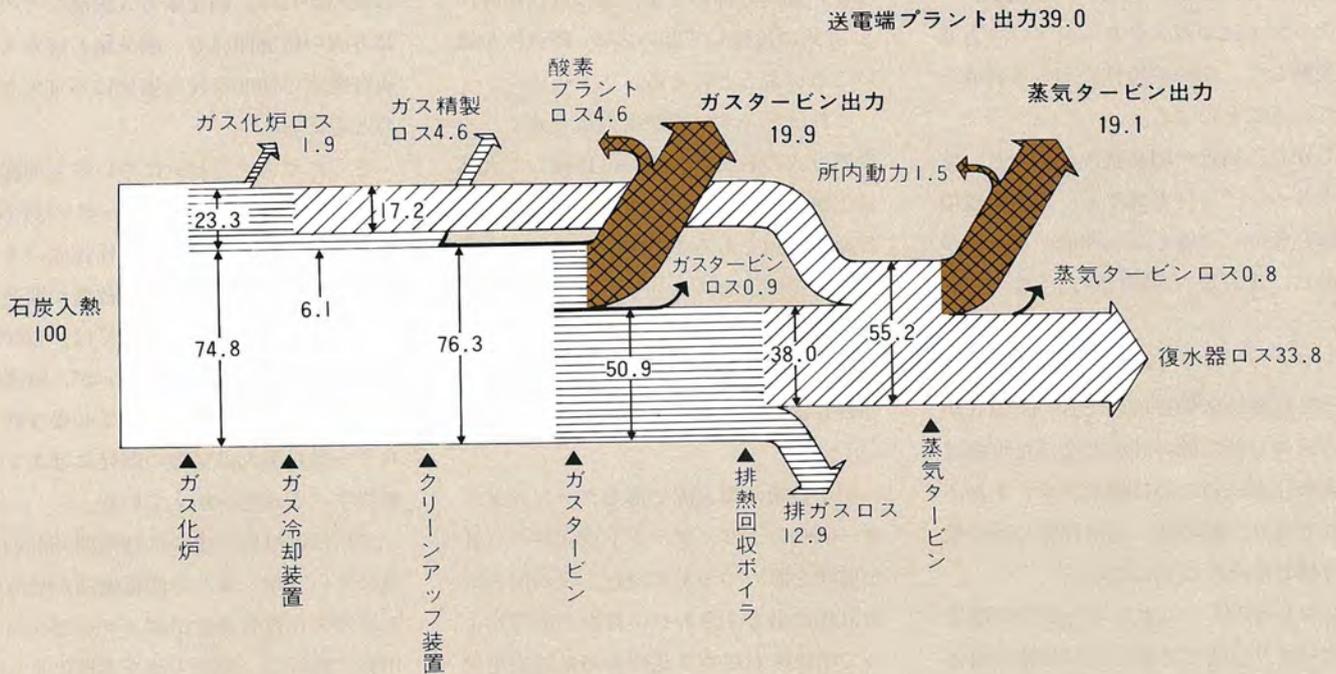
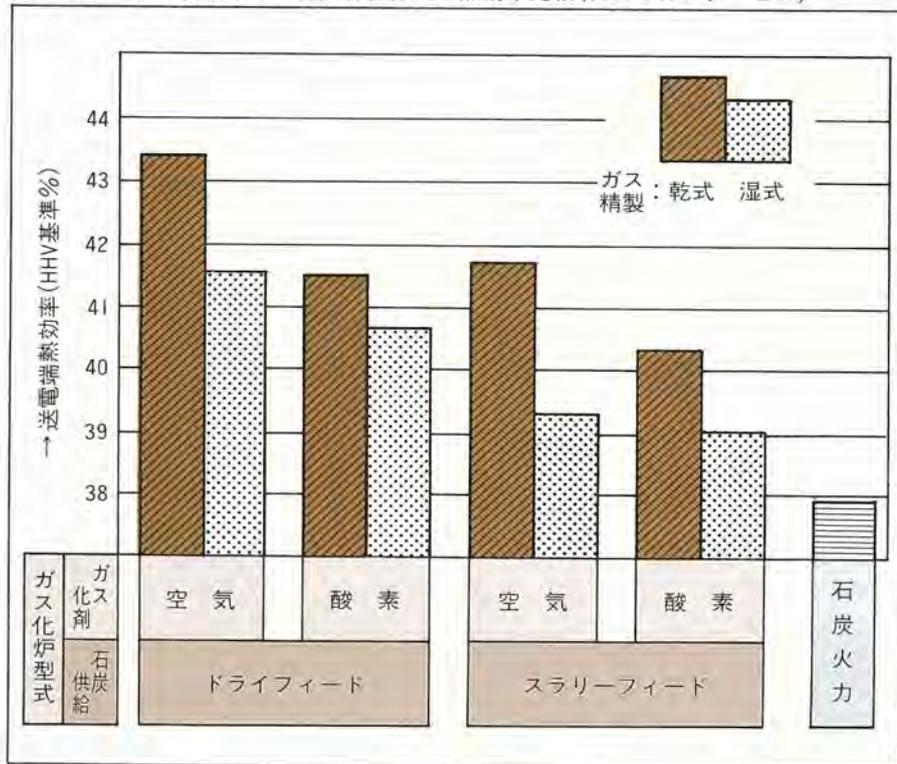


図 2-1-2 加圧噴流床ガス化炉各種方式の熱効率比較(1300℃ガスタービン)



して高い評価となっている。

A、A'方式のうちA'方式がやや高い評点を得たのは、A方式が空気酸化大容量炉で、かつ、乾式クリーンアップの組み合わせという、最も難易度が高い技術開発問題を抱えると同時に、乾式クリーンアップ方式が湿式クリーンアップ方式と比較して、やや環境性に劣ると評価されていることによる。

しかし、最近の開発状況によると、乾式クリーンアップ方式でも、現在の環境基準を十分に上廻る高い性能が得られつつあり、A方式への期待が高くなっている。

ドライフィード(窒素搬送)・酸素酸化1室2段噴流床炉を用いたB、B'方式が8方式のなかで低い評点となった理由は、酸素酸化方式のために酸素プラントが不可欠であり、経済性、運用性等の面で低い評価となったことによる。

しかしながら、これらの方式では酸素酸化により生成ガスが、空気酸化の場合1000kcal/m³N程度であるのに対して2500kcal/m³Nと中カロリーとなり、ガスタービン技術の高性能化の面で有利で

ある。

クールウォーター計画で実施中のD'方式とその改良型であるD、C、C'方式が、石炭ガス化炉技術を中心にして、他方式と比較して実現性の面で高い評価を得ているにも拘わらず、総合評点がA、A'方式と比較して低いのは、経済性が低いことによると言える。

これはテキサコ炉が耐火壁方式で、水冷壁方式の石炭ガス化炉と比較して大容量化が難しく、系列構成も含めて建設費の面で不利であることによる。また、石炭搬送をスラリー方式で行うため、生成ガス発熱量の面でも、ドライフィード方式と比較して若干不利で熱効率も高く得られないことも原因となっている。

現用技術の集大成であるクールウォーター計画により、プラント成立性の立証が成功を収めつつある現在、我が国の電源計画に最もふさわしい技術の開発によって噴流床石炭ガス化複合発電の実用化を図ることが、石炭利用の拡大を支柱の一つとする、電源ベストミックス構想の実現に欠かすことができない。

当所が開発を進めているドライフィード(空気搬送)・空気酸化加圧2室2段噴流床炉は、その実現の中核となるものと考えているが、その高効率・高経済性と優れた環境性の両立を達成するための鍵は、乾式クリーンアップ技術の確立にあると言ってよい。

乾式クリーンアップ技術は、これまでの研究開発にも拘わらず、実用化への展望が必ずしも得られていない。噴流床石炭ガス化複合発電といえども、微粉炭焼き火力発電と同様に中間負荷分担責務が課せられることから、運用性に対する考慮もきわめて重要である。

今年度から開始される200T/Dパイロットプラントによる研究開発計画では、乾式クリーンアップ方式として、サンシャイン計画で開発中の流動床方式脱硫—グラニューラーベッド集じんが採用される予定であるが、運用性を含めた高性能化の観点からは、固定床方式脱硫などの代替方式の研究開発も、噴流床石炭ガス化複合発電の2000年代実用化に不可欠なものと考えている。

さらにガスタービンについても同様なことが指摘できる。ガスタービンはLNG複合発電の高効率、高経済性達成のキーテクノロジーとして高温化技術が開発され、高カロリー燃料用としては、1300℃級小容量機の実用化が間近いが、噴流床石炭ガス化複合発電用として必要な低カロリー燃料用大容量機の開発には多くの解決すべき課題を抱えている。

当所は燃焼器を中心に技術開発計画を進めているが、多くの関係機関が噴流床石炭ガス化複合発電用ガスタービンの実用化に挑戦し、開発手法を多様化することにより、我が国における噴流床石炭ガス化複合発電プラントの定着が一層早まるものと考えている。

表2-1-4 実現性・総合開発度の評価方法

・要素技術課題毎の開発度 $P_i = P_s \times P_f \times P_m$

・総合開発度 $P = \prod_{i=1}^n P_i$

難易度の 性格分類 開発段階	構造因子* (S) 0.9 量的設計改良	機能因子** (F) 0.85 質的設計改良	材料因子 (M) 0.8 材料開発
実証済み (C)	0.9 方式の実証は終わっているが若干の改良の余地がある。 (実証段階～)	0.85 他分野では既に実証されている方式で改良すれば使える。	0.8 市販材料でよいが初めての適用
一部実証済み (B)	0.81 方式の実証は一部終了しているが、利用できなくなるまでにはかなりの改良が必要である。(ベンチスケール段階～パイロット～実証段階)	0.765 他分野で一部実証されているが、応用するまでにはかなりの改良が必要である。	0.72 市販材料を改良すれば開発可能
未開発 (A)	0.7 方式の基礎研究は終わって現在応用研究の段階にある(基礎研究～ベンチスケール段階)	0.595 まだ未開発の方式であるが利用可能な基礎研究段階の方式がある。	0.56 新材料の開発を要する。

※ その課題を解決する手段として、明確な方法が既にあり、それに関する構造的(大型化、小型化など)な研究開発を行えばよい。

※※ その課題を解決するためには、新しい原理、概念による設計改良が必要になる。

	総合開発度	要素技術の開発度				順位
		石炭供給系	ガス化炉	ガス精製	ガスタービン	
A	50	100	59	62		8
	25	81				38
	0	0				
	50	100	90	90		1
D'	25	90				56
	0	0				

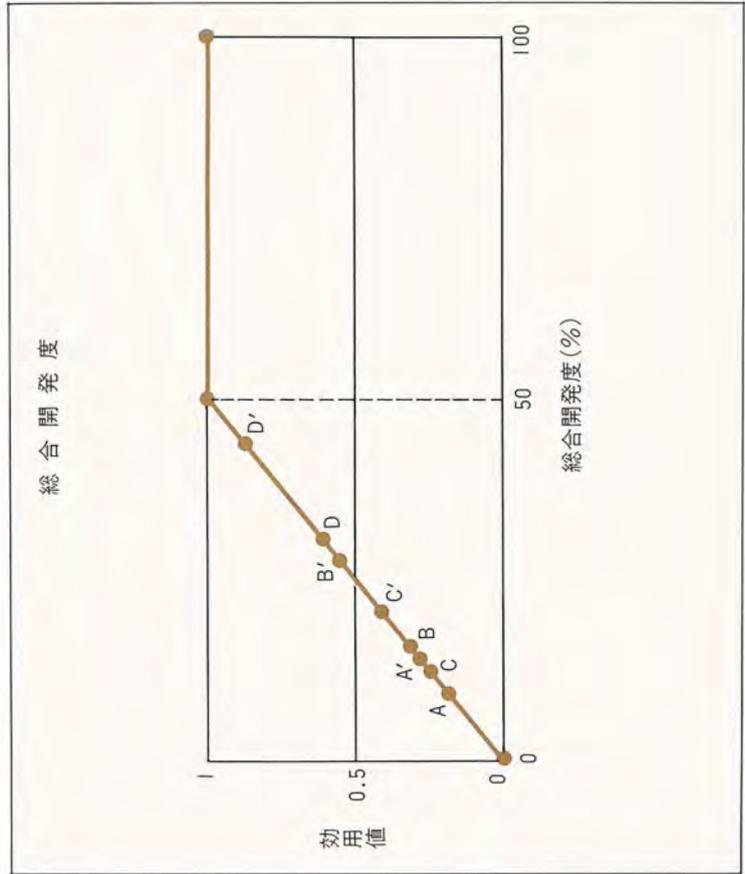


図 2-1-3 全評価項目の相対関係

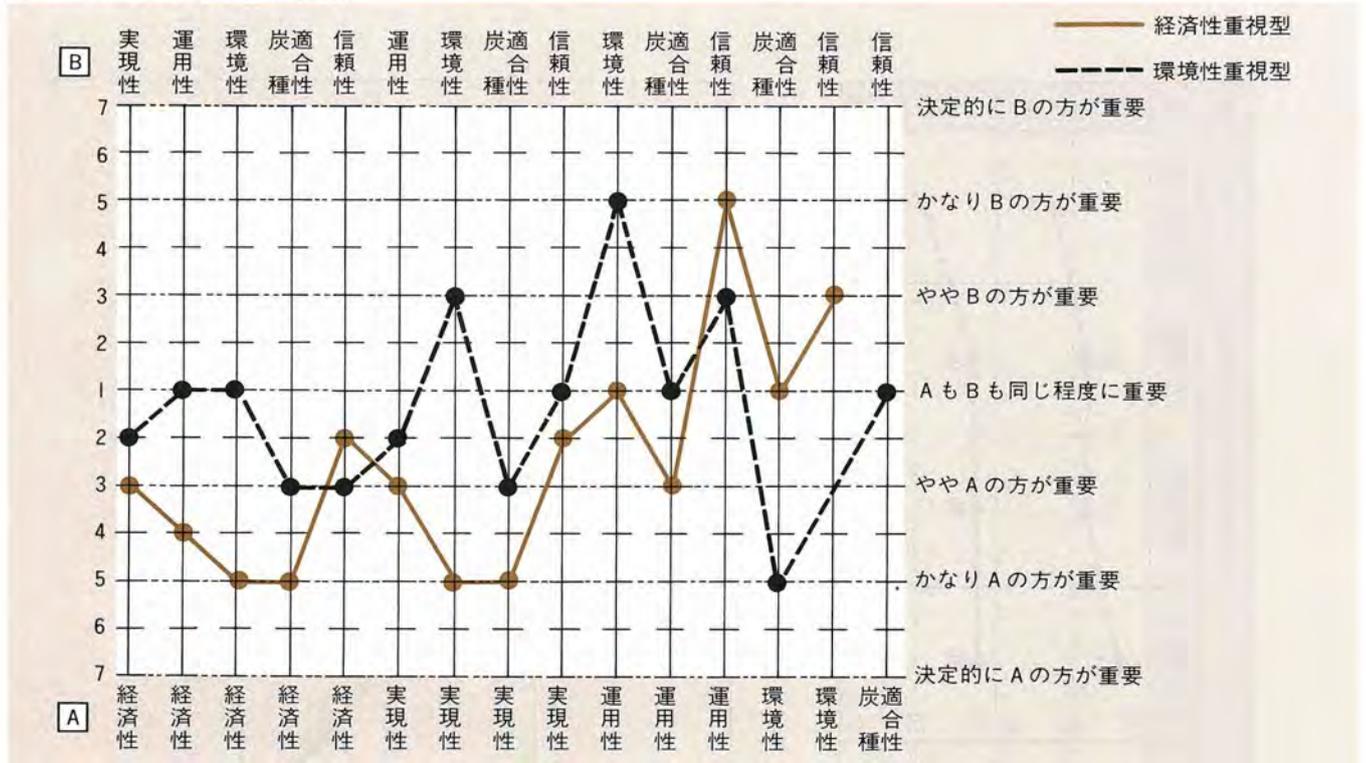


表 2-1-5 8方式の総合評価結果

項目 方式	組合せ			1		2		3		4		5		6		7 評点
	石 炭 供給	ガス 化 剤	ガ ス 精 製	経 済 性	実 現 性	実 現 性	運 用 性	運 用 性	環 境 性	環 境 性	炭 種 適 合 性	信 頼 性	信 頼 性			
A	D	A	D	81	26	22 11	3	83 75	9	25 75 50 100	9	60 40	5	80	10	61
A'	D	A	W	69	22	33 11	5	83 75	9	75 50 83 100 75	13	60 40	5	80	10	63
B	D	O	D	46	14	37 9	4	50 25	4	25 75 50 100	9	80 60	6	60	8	46
B'	D	O	W	45	14	54 9	6	50 25	4	75 50 50 100 75	12	80 60	6	60	8	50
C	S	A	D	30	10	31 97	10	50 50	7	25 75 50 75	8	40 60	4	80	10	48
C'	S	A	W	20	6	45 97	11	50 50	7	75 50 83 75 75	13	40 60	4	80	10	51
D	S	O	D	22	7	56 97	12	50 50	5	25 75 50 75	8	60 80	6	80	10	49
D'	S	O	W	16	5	81 97	14	50 50	5	75 50 50 75 75	11	60 80	6	80	10	52
各項目の重み				0.32		0.16		0.13		0.17		0.09		0.13		



2-2 2段噴流床石炭ガス化技術

2-2-1 研究の背景

石炭ガス化技術は、石炭ガス化複合発電を実現する上で最も重要な技術課題の1つである。近年、国内外において発電用ガス化炉の開発が盛んに進められており、我が国においても、自主技術による高性能なガス化炉の早期実現が期待されている。

我が国の電気事業に適するガス化炉の要件としては、以下の項目が挙げられる。

1. 幅広い炭種が利用できる
2. 環境保全性に優れている
3. 高効率で大容量化が容易である
4. 経済性に優れている
5. 負荷応動性に優れている

当所は、これらの条件を満足するガス化炉を開発し、石炭ガス化複合発電プラントの実用化に資することを目的として、昭和57年より三菱重工と2T/D石炭ガス化基礎実験装置を用いた共同研究に着手した。

2-2-2 2T/Dガス化基礎実験装置の概要

当所は、石炭ガス化方式として世界初の技術である、加圧2段噴流床を採用し、昭和58年3月に石炭処理量2T/Dのベンチスケールガス化基礎実験装置を竣工させた。

I. 2段噴流床ガス化方式の原理

石炭ガス化は、石炭の熱分解とそのあと生成するチャー（主成分は未燃炭素と

灰分である）をガス化する二つの過程に大別される。熱分解は高温になるほど比較的短い時間で反応するが、その際発生したチャーのガス化反応は遅いため、このチャーをいかに効率よくガス化プロセスに組み入れるかが重要な課題となる。

噴流床ガス化炉は、ガス化反応速度を高めるために、0.1mm以下に微粉碎した石炭をバーナで炉内に噴射し高温下でガス化するものである。

図2-2-1に示すように2段噴流床ガス化方式は、ガス化炉を2室2段に分けたもので、下部のコンバスタと上部のディフューザおよびリダクタから構成される。

コンバスタは、石炭とチャーを高温で燃焼し、リダクタでガス化のために必要な高温熱源を発生するとともに、石炭灰を溶融スラグとして排出する機能を有している。

ディフューザ部では、石炭とコンバスタから上昇してくる高温ガスを完全に混合させ、石炭の乾留および熱分解を促進させている。

さらにリダクタにおいて吸熱反応であるチャーのガス化が行われる。

この反応により生成ガスが冷却されるので、ガス化炉出口部でのスラギングトラブル（灰の融着）を防止する効果にもなっている。

本方式は、ガス化炉を2室に分け、夫々の石炭量および空気量を独立に調整することができるので、ガス化炉全体として低い空気比（ガス化炉投入空気量/投入石炭が完全燃焼するのに必要な理論的な空気量）で運転しながら、コンバスタを比

較的高温に保つことができる。

したがって本方式は、ガス化剤として酸素を用いなくても、空気吹きによる灰の溶融排出が容易であり、排出スラグ中の未燃分が少ないなど、従来の噴流床ガス化炉に比べて多くの優れた長を有している。

II. 実験装置の概要

石炭ガス化基礎実験装置の系統を図2-2-2に示す。

1. 石炭前処理設備

石炭は粉碎機により200メッシュ（74 μm ）パス90%以上に粉碎される。

2. 微粉炭供給設備

微粉炭はコンベアによってまずストレージビン（常圧）に供給され、加圧ロックホッパおよび計量ホッパを経て、空気搬送により、ガス化炉内へ投入される。

3. チャー供給設備

生成ガス中に含まれる未反応チャーは、サイクロンで捕集され、ロックホッパおよび計量ホッパを経て、再びコンバスタ内へ投入される。

4. 灰処理設備

コンバスタ内で溶融スラグとなった石炭灰は、アッシュホッパ内に落下し、ホッパ内の水で急冷・粉碎され、アッシュロックホッパで大気圧に減圧された後、一定時間毎に外へ搬出される。

5. 生成ガス処理設備

サイクロンを出た生成ガスは、焼却炉で焼却され、集じん、脱硫処理が行われた後、大気中へ放出される。なお、昭和60年11月に乾式クリーンアップ実験装置

図 2-2-1 ガス化の原理

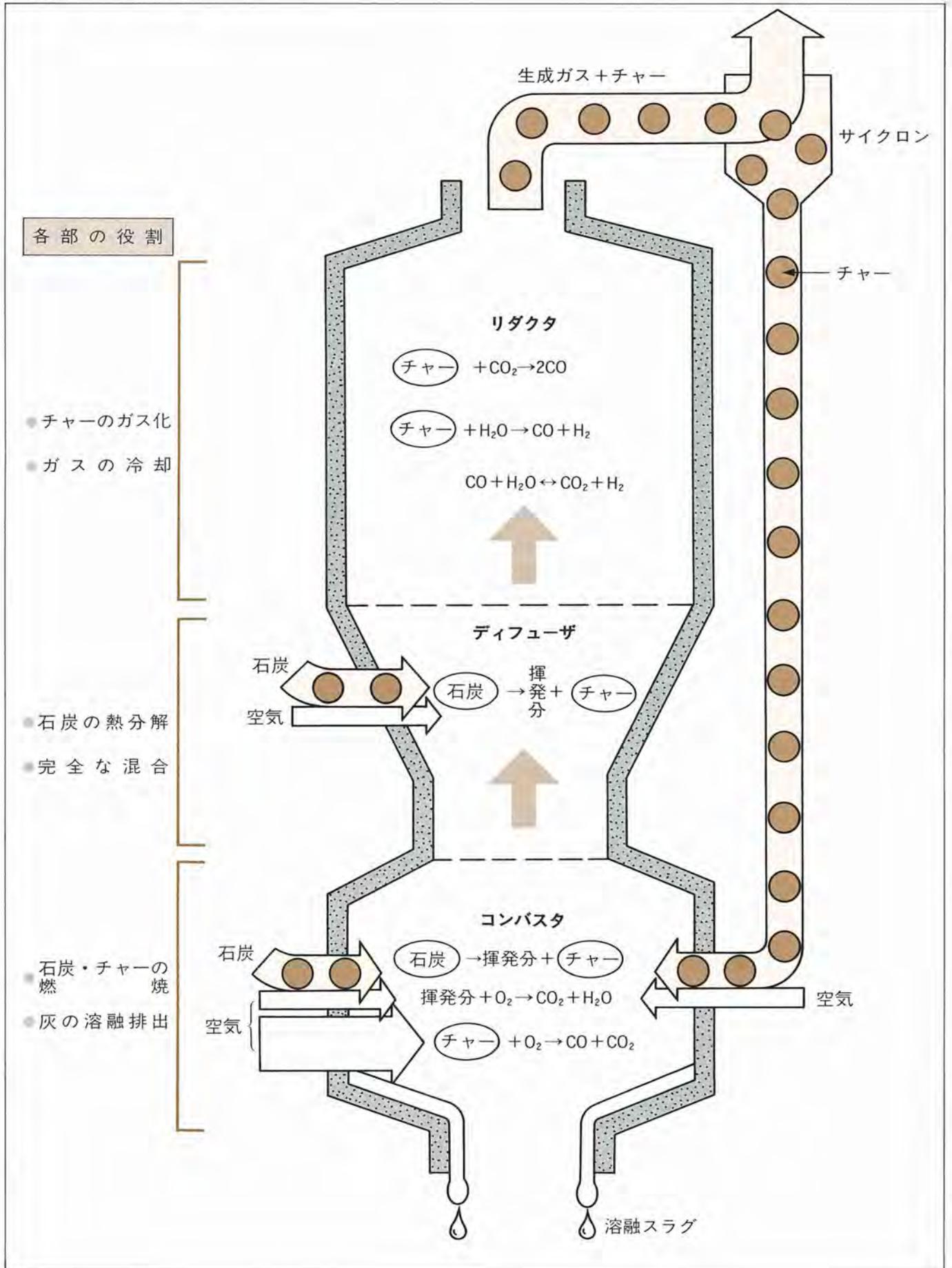
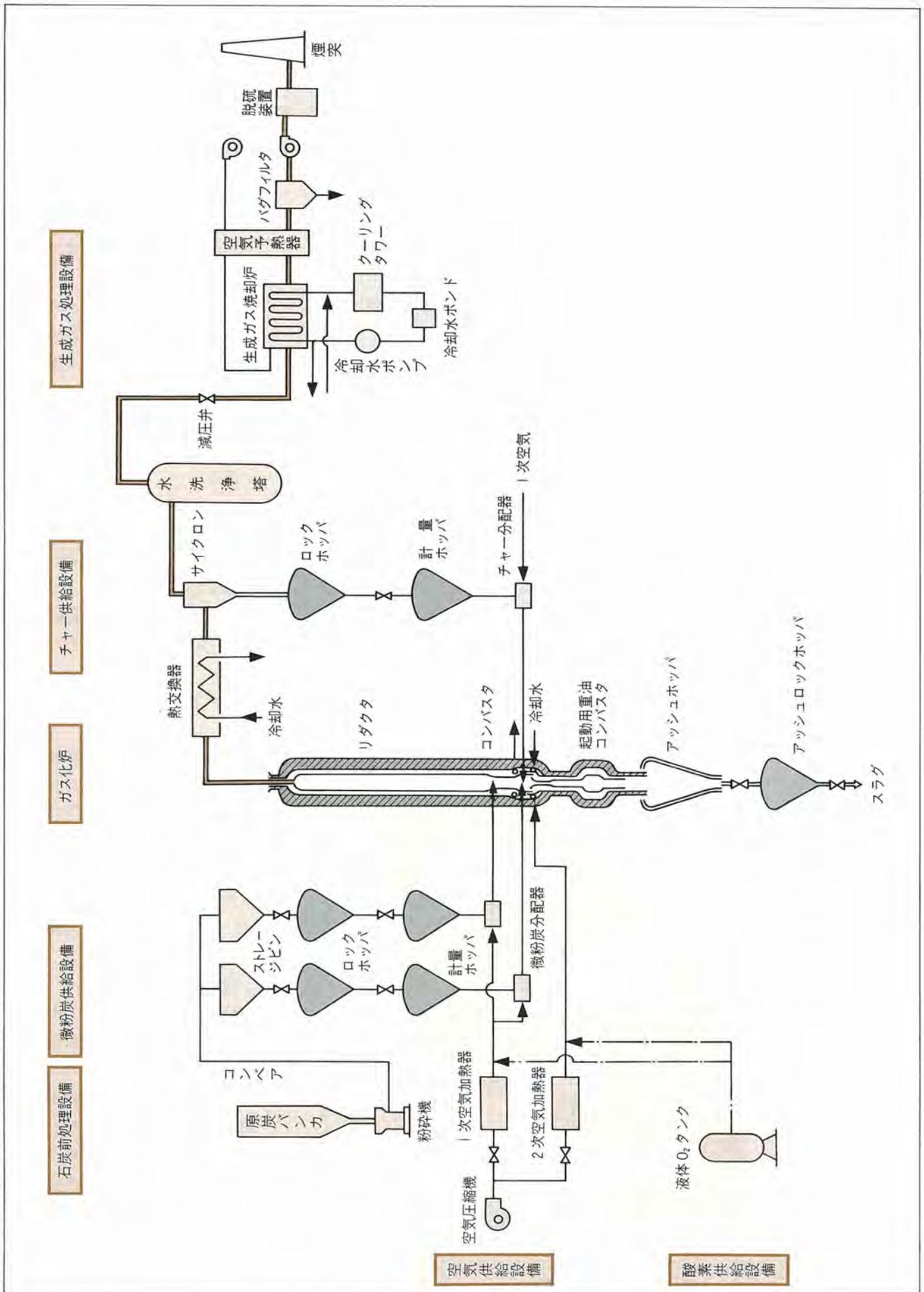


図 2-2-2 石炭ガス化基礎実験装置の系統



2T/D石炭ガス化基礎実験装置を運転し 広い範囲の炭種から 良質な石炭ガスが安定して得られることを実証した。

が完成し、サイクロン出口から生成ガスをクリーンアップ装置に供給することが可能となった。

2-2-3 研究の内容

試運転調整を経て、昭和58年7月より試験研究を開始し、これまで各種のデータおよび運転技術ノウハウの蓄積を図ってきた。

主要試験研究内容は以下の通りである。

1. ガス化炉基礎特性の把握

(1) ガス化基本特性

- ・ガス化剤、炉内圧力、空気量および石炭量分配比などの基本条件を変化させた場合の生成ガス発熱量など、

ガス化性能におよぼす影響の評価

(2) 運転特性

- ・起動・停止などを含むガス化炉運転方法の確立

- ・ガス化炉の部分負荷、負荷応動性に関する検討

(3) スラグ排出特性

- ・スラグタップ適正構造の検討
- ・スラグ溶融排出条件の把握

(4) 熱物質収支の把握

(5) 監視・計測技術の開発

2. 炭種適合性の検討

- ・高灰融点炭、高燃料比炭、高粘結炭の適合性把握

3. ガス化炉および周辺機器の信頼性評価

(1) 高効率チャー回収技術

(2) 高温・高ばいじん下の熱交換器技術

(3) バルブ配管などの信頼性評価

4. 環境保全性の評価

(1) 生成ガス・チャー・スラグおよび排水の分析と環境保全性評価

(2) 微量ガス成分アルカリ金属分析法の検討・試験

5. 大容量化技術の検討

(1) ガス化反応シミュレーション手法の開発

(2) コールドモデルによる炉内流動特性の把握

(3) 2T/D炉と同形式の米国CE (Combustion Engineering) 社常圧109T/Dガス化炉データとの比較によるスケールアップ技術の検討

2-2-4 主要な成果

これまでの運転実績は以下の通りである。

(昭和61年3月現在)

ガス化炉累積運転時間	814時間
石炭処理量	147トン
石炭ガス製造量	30万m ³
使用炭種	9炭種(国内炭1種、 海外炭8種)

1. 炭種適合性

図2-2-3に示すように、石炭中に含まれる炭素の比率や灰分の溶融温度が異なる、9炭種についてガス化試験を行った。その結果、高灰融点炭および高燃料比炭を含む、広い範囲の炭種について、安定して良質な石炭ガスが得られることを確認した。従来噴流床方式ガス化炉は高灰融点炭に対して不適当とされていたが、本加圧2室2段ガス化炉ではこの点が解消され広範囲炭種適合性に優れていることが実証された。

図 2-2-3 2T/D試験炭の性状

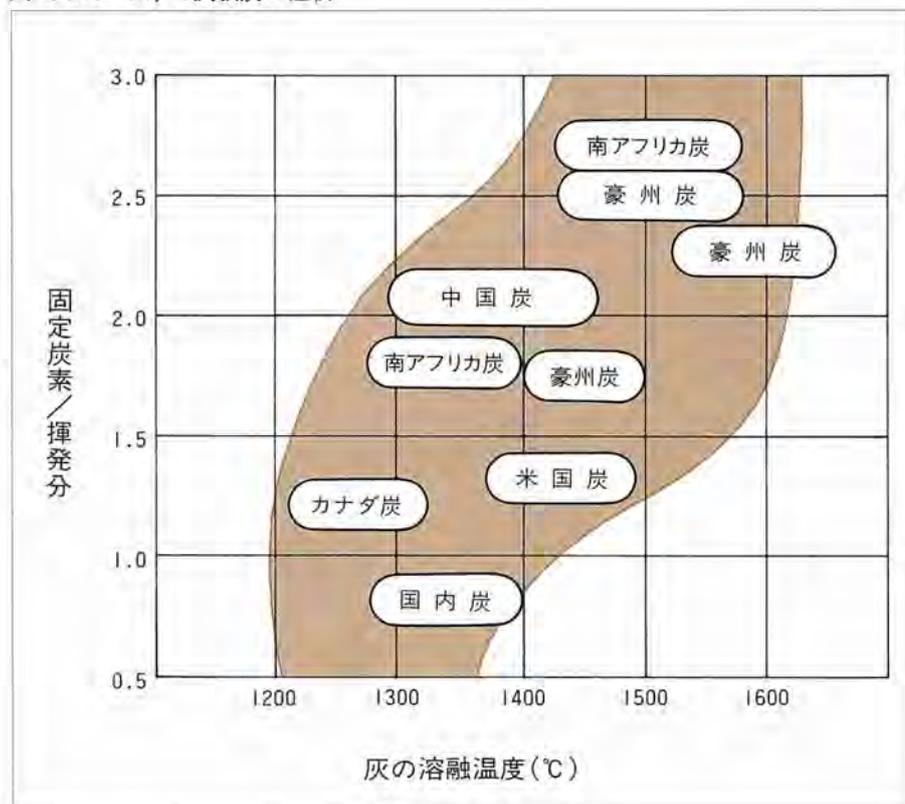


図 2-2-4(a) ガス化炉空気比と生成ガス発熱量の関係

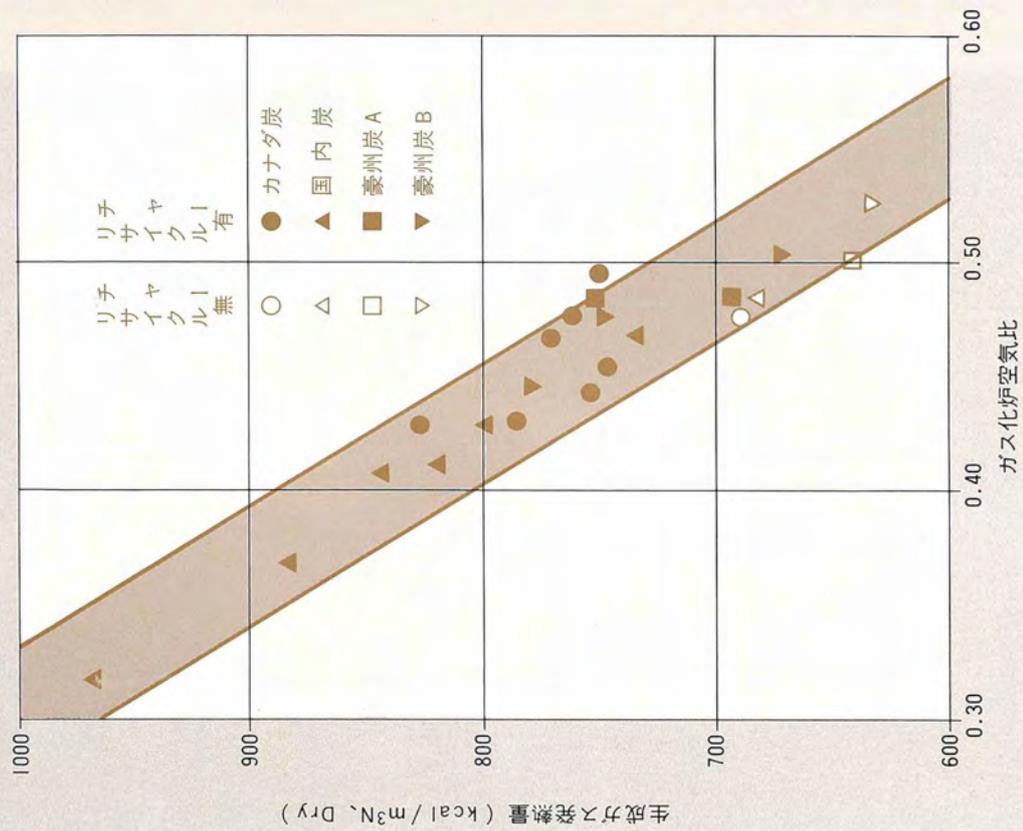
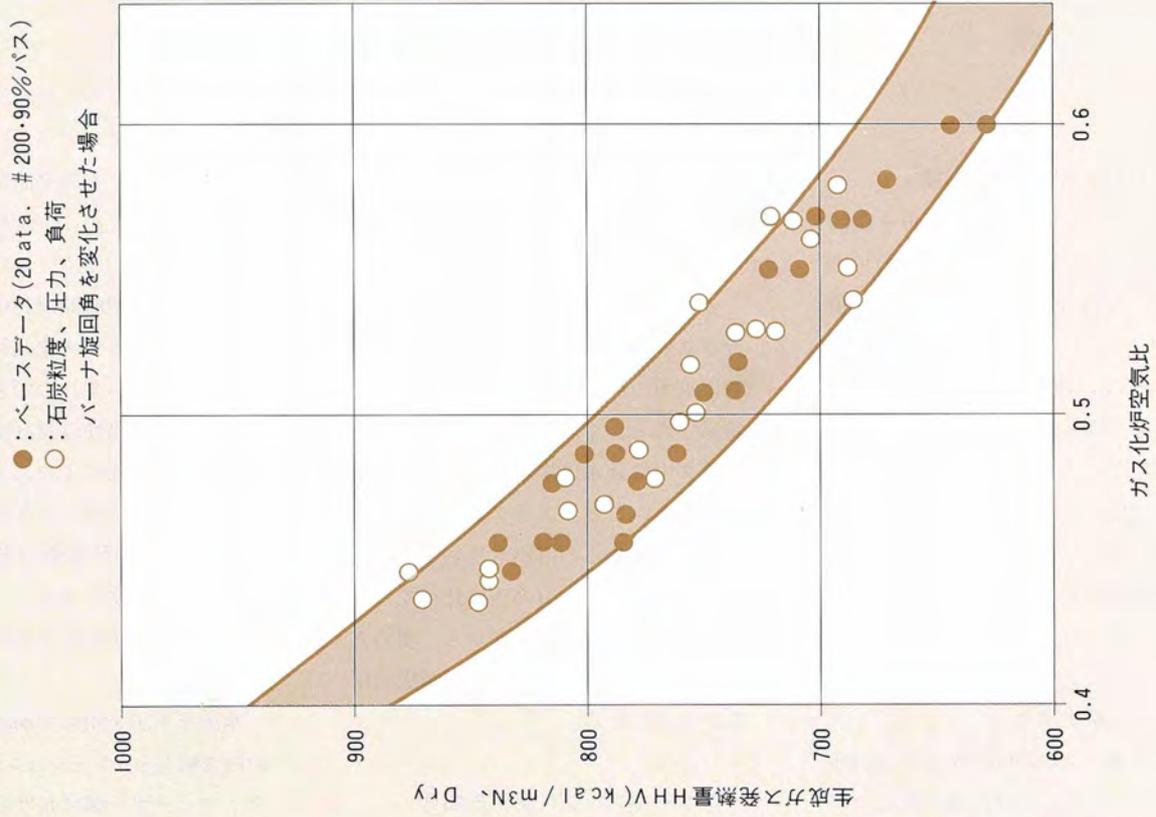


図 2-2-4(b) 2T/Dガス化試験結果(カナダ炭)



2. 生成ガス発熱量および組成

生成ガスの発熱量は700~1000 Kcal/m³Nであり、生成ガス中の可燃成分は、COが18~20Vol%（容積比）、H₂が5~8 Vol%、CH₄が0.1~1.5Vol%程度となっている。また、炭種、ガス化炉圧力、供給石炭の粒度、およびコンバスタのバーナ旋回角度を変化させても、生成ガス発熱量に対する影響は小さく、生成ガス発熱量はガス化炉の空気比に強く依存することがわかった。(図2-2-4(a)(b)参照)

3. スラグ溶融排出性

灰の溶融温度が1500°Cを越す高灰融点炭についても、当所が開発したファイナセラムック内張り型スラグタップの採用とコンバスタの高温を適正に維持することにより、空気吹きの場合で、

定常的なスラグ溶融排出が達成できた。

4. 排出スラグの性状および溶出性

ガス化炉から排出されるスラグは、ガラス質の粒状スラグとなり、通常の石炭火力の灰に比べて極めて取扱いが容易である。また、本ガス化炉からのスラグ中には未燃炭素がほとんど含まれていないこと、スラグから水中への有害な金属などの溶出も無いこと、および通常の石炭火力の灰に比べて、容積が半分になることなどから、埋め立てや骨材としての利用など、幅広い用途が考えられる。

5. スケールアップに関する知見

(1)ガス化炉性能に及ぼす滞留時間の影響
200T/Dパイロットプラントで想定

されているコンバスタ滞留時間の妥当性を検証するために、炉形状寸法の異なる2つのガス化炉（200T/D炉よりコンバスタ滞留時間が長い旧炉と短い新炉）を用いてガス化試験を行った。

その結果、いずれの炉もガス化性能及びスラグ排出性は良好であり、また滞留時間の相違によるガス化性能の差は顕著でないことが確認され、これにより200T/D炉の貴重な設計知見を得ることができた。

(2)コールドモデルによる炉内流動特性の把握

水流モデルを用いて前述の新旧炉の炉内流動シミュレーションを行った結果、ディフューザー部におけるコールドバーナ配置は、旋回方式に比べ対向方式の方が優れた混合効果を示すことが明らかとなった。図2-2-5は対向方式の場合

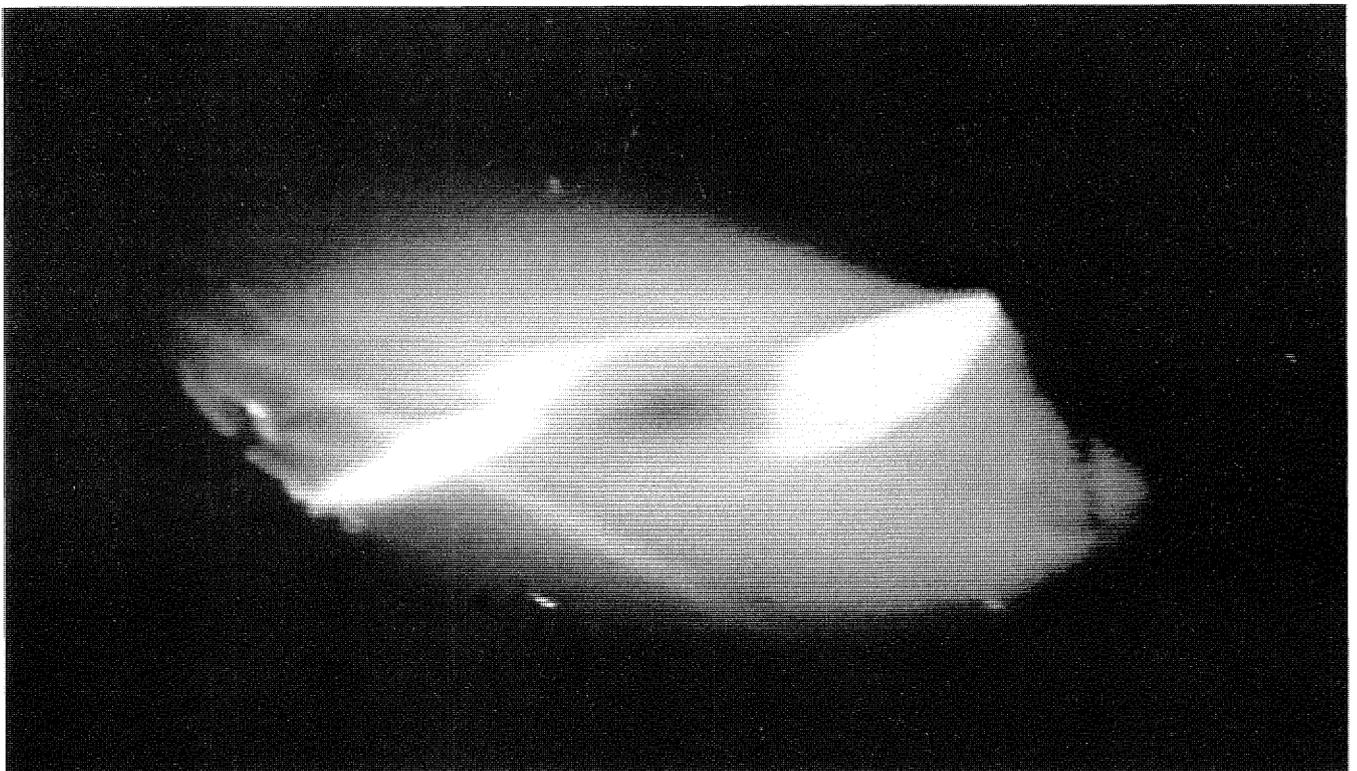


図 2-2-5 水流モデルシミュレーション結果例（ディフューザ部のコールドバーナ噴流を示している）

の水流モデルシミュレーション結果の一例を示したものである。

(3)米国CE炉との比較・検討

米国CE社109T/D常圧2段噴流床ガス化炉と同一炭種による試験を実施し、2T/D炉データとの比較・検討を行った。図2-2-6はガス化炉石炭処理量とコンバスタ熱損失の関係を示したものであり、本ガス化炉のコンバスタ熱損失は、小規模であるが圧力が高いのでCE炉の熱損失と大きな相違は認められない。すなわち2T/Dガス化炉は、CE炉に比べて処理容量が1/45にもかかわらず、生成ガス発熱量などのガス化炉性能は、ほぼ同等であることがわかった。

このことから図2-2-6に示すように本方式を採用する200T/Dパイロットプラントでは、大幅に熱損失の低減が予測されるのでより優れたガス化性能が期待できる。

6. 2T/D炉による成果のパイロットプラント設計への反映

本ガス化方式は昭和61~67年度に計画されている国・電気事業による200T/D噴流床石炭ガス化パイロットプラントの炉型式として採用されることが内定しており、これまでの2T/D炉による当所の研究成果は、表2-2-1に示すように200T/Dパイロットプラント

の設計に大きく反映されている。

2-2-5 今後の予定

噴流床石炭ガス化技術の実用化を図るため、特に、

1. 高効率大容量化技術
2. 炭種拡大化技術

を視点にすえた2T/Dガス化炉の試験研究を中心にして進め、その結果を実炉技術に結びつける評価研究を行う。

このため、炭種評価、炉要素性能・信頼性評価、監視計測技術、シミュレーション技術などの研究を幅広く実施する計画である。 ●

図 2-2-6 ガス化炉石炭処理量とコンバスタ熱損失の関係

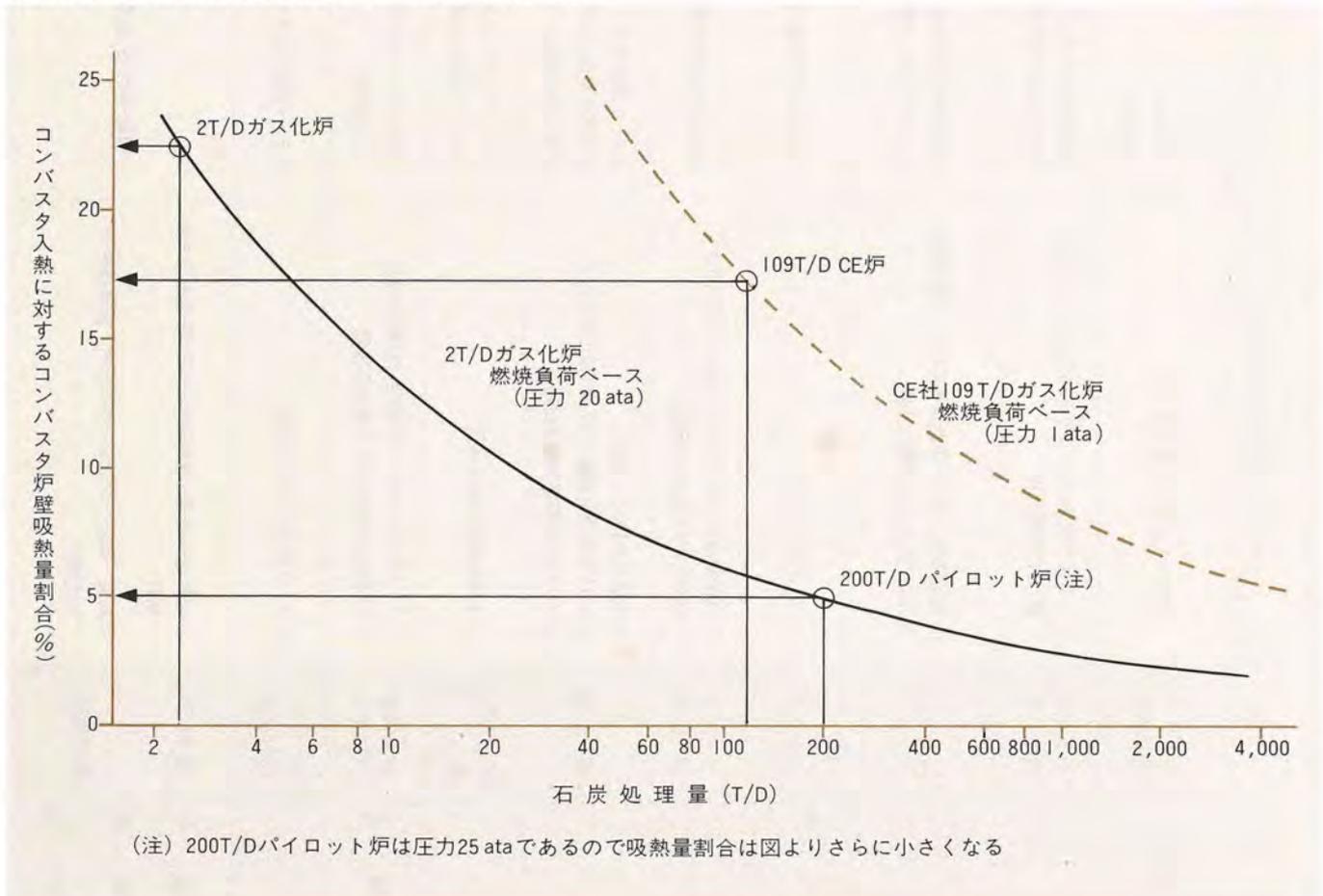


表2-2-1 2T/Dガス化炉研究成果要約と200T/Dガス化炉設計への反映

項	目	2T/Dガス化炉成果の要約	2T/Dガス化炉の実績	200T/Dパイロットプラント用ガス化炉	
基本方式	ガス化基本方式	空気吹き加圧二段噴流床方式	2.4T/D 20ata 空気吹	200T/D 25ata 空気吹	基本方式の確立
	ガス化炉性能	<ul style="list-style-type: none"> ● ガス化炉規模、圧力とガス化炉性能(ガス発熱量)との相関把握 	<ul style="list-style-type: none"> ● 空気吹きガス化炉特性把握 ● 常圧大型炉試験結果との比較 	<ul style="list-style-type: none"> ● 200T/Dガス化炉性能予測 	スケールアップ技術
性能	コンバスタ	<ul style="list-style-type: none"> ● 滞留時間、空気比、吸熱量等に対応した特性把握 ● ガス化炉内流動特性の把握 	<ul style="list-style-type: none"> ● 滞留時間、吸熱量の検討 ● コールドモデル試験による流動把握 	<ul style="list-style-type: none"> ● 適正な滞留時間、吸熱量の設定 ● 適正形状の採用 	ガス化炉主要部の設計知見
	リダクタ	<ul style="list-style-type: none"> ● ガス化反応性把握 	<ul style="list-style-type: none"> ● 生成ガス発熱量特性の把握 	<ul style="list-style-type: none"> ● 生成ガス発熱量の予測(基準) 約1050kcl/m³N 	
	スラグ排出性	<ul style="list-style-type: none"> ● 高灰融点炭(1500℃以上)に対しても空気吹きで良好なスラグ排出性を確認 	<ul style="list-style-type: none"> ● 国内炭・海外炭9種によるガス化試験 	<ul style="list-style-type: none"> ● 海外・国内一般炭に対応可 	炭種拡大化
	環境性	<ul style="list-style-type: none"> ● 生成ガス中にタール無し ● スラグ中未燃分極めて少ない(検出限界以下) ● スラグからの有害物の溶出無し 	<ul style="list-style-type: none"> ● タール成分検出されず ● 未燃分極低レベル ● 溶出成分極低レベル 	同左	優れた環境性
構造	ガス化炉壁構造	<ul style="list-style-type: none"> ● 水冷壁構造の適性確認 	<ul style="list-style-type: none"> ● コンバスタは水冷壁構造 ● リダクタは耐火材構造 	<ul style="list-style-type: none"> ● コンバスタ及びリダクタに水冷壁構造を採用 	炉構造の信頼性
	石炭供給システム	<ul style="list-style-type: none"> ● ロックホッパシステムの作動性・信頼性を確認 ● 石炭の空気搬送方式の適性を確認 	<ul style="list-style-type: none"> ● ロックホッパシステムおよび分配器による供給 	同左の採用	加圧・石炭チャージャー供給技術
	チャージャー回収装置	<ul style="list-style-type: none"> ● チャージャー回収システムの検討 	<ul style="list-style-type: none"> ● チャージャー回収システム性能試験 	<ul style="list-style-type: none"> ● 高性能チャージャー回収システムの適用 	
運転制御・監視	運転法・監視技術	<ul style="list-style-type: none"> ● 起動・停止を含む運転操作法の計測・監視方式の検討 ● 高温・高圧下の計測・特殊分析・監視技術の方式検討 	<ul style="list-style-type: none"> ● 運転・操作法、監視技術の取得 	<ul style="list-style-type: none"> ● 同左の反映 	ガス化炉運転監視技術

2-3 乾式クリーンアップ技術

2-3-1 研究の背景

熱効率が高い石炭ガス化複合発電の特長を最大限に活かすには、クールウォーター計画などで用いられている湿式クリーンアップ技術とは異なり、ガス化炉で生成するガスを高温高压のまま、脱硫・集じんする高効率乾式クリーンアップ技術の開発が不可欠である。

当所は昭和56年頃より実験室規模で要素研究を開始し、脱硫技術については、数ある酸化物の内から酸化鉄 (Fe_2O_3) が乾式脱硫剤として適していること、脱硫方式には部分負荷特性などに優れた移動床方式ないしは固定床方式が適していることなどの結論を得た。

さらに、集じん技術については静電戸過方式ならびにポーラスフィルター方式に注目し、粒子を均一且つ平滑に移動する技術などを検討した。

昭和60年度には横須賀研究所にベンチスケールプラント (乾式集じん脱硫基礎

実験装置) を設置して、三菱重工業と共同で乾式クリーンアップ技術の開発を開始し、鋭意、研究を進めている。

2-3-2 乾式クリーンアップ技術の概要

石炭ガス化炉から生成される石炭ガス中には、環境およびガスタービンに悪影響を与える硫黄化合物 ($\text{H}_2\text{S}+\text{COS}$) とばいじん (チャー) が夫々500~2000ppmおよび数 $\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ 含まれている。これを除去してガスタービンにクリーンな燃料を供給するのがクリーンアップ装置の役割である。

クールウォーター計画などの従来技術 (湿式クリーンアップ) ではガス化炉生成ガスを200°C以下に冷やして水洗し、さらに有機溶媒の中を通すことにより集じん・脱硫を行うため、クリーンになった石炭ガスは40°C程度に冷えてしまう。したがって発電プラントの熱効率は40%以下となる。

石炭ガスは腐食性であるので、500°C以上でプラントを設計すると、極めて高価な材料を使わねばならない。このため乾式クリーンアップ技術ではガス化炉生成ガスを400~500°Cでクリーンにすることによって、200°C以下で作動する湿式クリーンアップより高い、45%程度の送電端効率が期待される。

高温高压のままガス化炉生成ガスをクリーンにするには、脱硫剤としてガス中の硫化水素 (H_2S) ならびに硫化カルボニル (COS) とよく反応する物質を選択し、集じん方式として、ガス中のばいじん (石炭の未燃分であるチャー (炭素) が主成分) を効率よく且つ長時間連続して除去できる方式とそれに必要な材質を選定することが肝要である。

これらの点に留意して、最適な集じん/脱硫方式を組み合わせたクリーンアップトータルシステムの開発を図る必要がある。

2-3-3 要素研究の成果

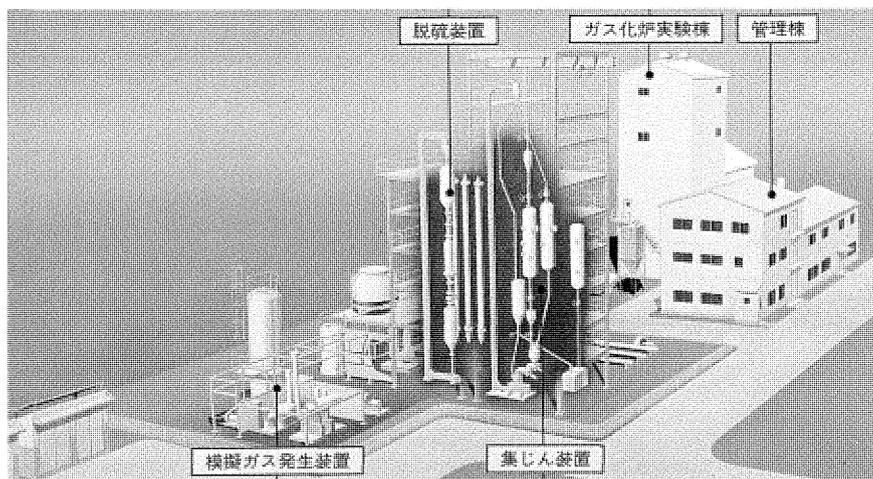
I. 乾式脱硫技術

石炭ガス中に含まれる硫黄化合物 ($\text{H}_2\text{S}+\text{COS}$) と反応する金属酸化物の活性を調べたところ、乾式クリーンアップの温度である400~500°Cでは、

酸化鉄 (Fe_2O_3) > 酸化カルシウム (CaO) > 酸化マンガン (MnO_2) > 酸化亜鉛 (ZnO)

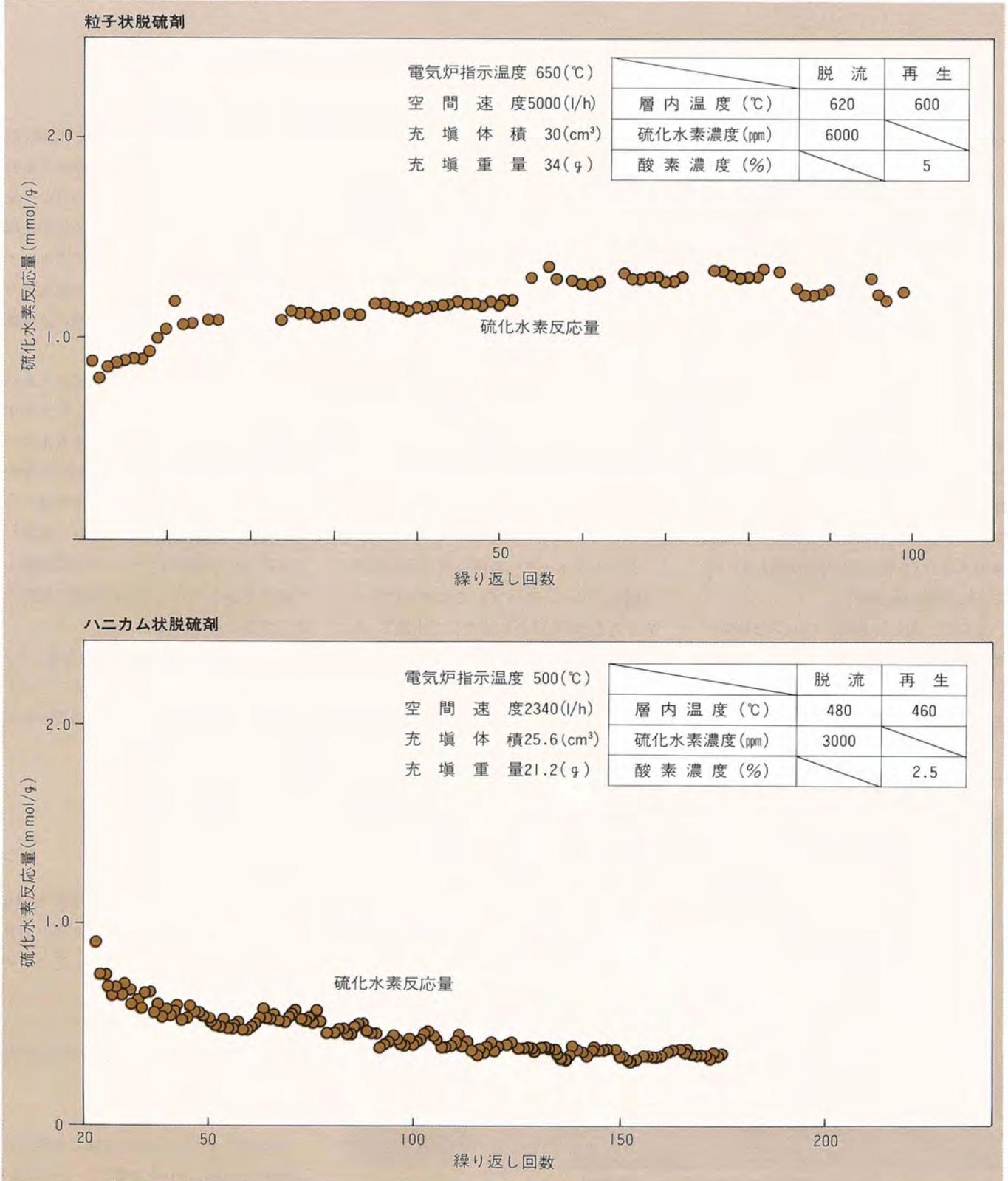
の順であった。

最も活性があり、かつ安価で毒性の無い酸化鉄 (Fe_2O_3) を選択し、その脱硫/



乾式クリーンアップ実験装置と2T/D石炭ガス化実験炉

図 2-3-1 脱硫剤の硫化水素反応量変化



60年度より乾式クリーンアップのベンチスケールプラントを設置して 本格的な研究開発を推進している。

再生性能を石炭ガスを用いて詳しく調べ、次の事柄を明らかにした。

1. 脱硫率は99%以上と高く、且つ破過曲線^(注1)の立上りは急である。
2. 高圧力であるほど反応率が高く、例えば5気圧では1気圧の場合の1.5倍となる。
3. 石炭ガス中に水蒸気を実ガスと同程度の5 Vol% (容積比) 含まれると、反応率は低下する。
4. 脱硫剤を粒子状にした場合、粒径が小さいほど、幾何学的表面積が大きくなるので、反応率が大きくなる。
5. 脱硫剤はシリカあるいはアルミナに酸化鉄を混入するか、それらの粒子表面に酸化鉄粉を担持して製造できる。その場合、酸化鉄を20wt% (重量比) 程度にすれば、脱硫剤を割らず且つ高性能で使うことができる。
6. 脱硫剤の初期性能は総括反応速度 $\gamma^{(注2)}$ と飽和硫化水素反応量 $\eta_{go}^{(注3)}$ という2つのパラメーターを用いて評価できる。

注(1) 破過曲線

脱硫剤を入れた反応容器に、硫化水素 (H₂S) を含む石炭ガスが流入すると、まず反応容器入口付近の脱硫剤が反応して、時間とともに反応は容器の中央から出口部分へと進んでいく。反応容器出口付近の脱硫剤がH₂Sと十分反応して、それ以上脱硫できなくなると、容器出口のH₂S濃度が増えはじめる。これを破過と云う。反応容器出口のH₂S濃度の経時変化をあらわす曲線を破過曲線と云う。

注(2) 総括反応速度

脱硫剤がH₂Sと反応するときの速度を表わし、次式で与えられる。

$$\gamma = d\eta g / dt = m\eta_{go} \quad (\text{mol-H}_2\text{S/g-脱}$$

硫剤・分)

(ηg : 硫化水素 (H₂S) が脱硫剤 1g と反応する量)

(η_{go} : H₂Sが脱硫剤 1g と反応する量の飽和値)

注(3) 飽和硫化水素反応量

脱硫剤 1g が最大限硫化水素 (H₂S) と反応した場合の、H₂Sの量で注(2)の η_{go} と同じ。

脱硫剤を実際に使う場合、脱硫/再生/脱硫を繰り返すので、これに対する耐久性に優れていなければならない。脱硫/再生の繰り返しを自動的に行う「脱硫剤性能迅速評価装置」を開発し、粒子状脱硫剤とハニカム状脱硫剤の耐久性を調べ、図2-3-1に示すように次の事を明らかにした。

1. 粒子状脱硫剤は100回の繰り返しでは脱硫性能に変化はなく、粒子表面の状態や粒子の力学的強度も変化が少なかった。
2. ハニカム状脱硫剤では脱硫性能が繰り返し50回程度で半減するが、以後150回まで安定した。

以上により脱硫剤の開発に目途を得たので、これらを用いたベンチスケールプラントの設計製作にはいった (60年度)。

II. 乾式集じん技術

石炭ガス中に含まれるばいじんの主成分は、チャー (炭素) である。

これを高温高圧で除去する方式について検討し、静電濾過方式 (Electrostatic Granular Bed 方式)、ポーラスフィルター方式などが適していると判断した。

ポーラスフィルター方式については、石炭ガス中で高温高圧に耐え、しかもはいじんの払い落とし時の耐久性に優れてい

る材質の選定が行えれば、性能については、実際の石炭ガスを用いて検証するのが妥当である。

但し、静電濾過集じん方式については、チャーが導電性であるため、ボイラ排ガスに比べて技術的難度が高いので、まず前段階として、荷電を行わない粒子充填層集じん方式について検討した。

粒子充填方式については、ベンチスケールのコールドモデルを用いて、模擬ダストによる実験を行い、次の事柄を明らかにした。

1. 集じん器内の粒子を移動させることにより、表面にダストが付着した粒子を取り出し、代りにきれいな粒子を補充するこの方式では、粒子の取出し口の幅を粒子径の約2倍にするのが妥当である。
2. 粒子充填層に直流電極を挿入すると、静電濾過集じん方式となり、集じん性能が向上する。
しかしチャーは電気の良導体であるので、目づまりにより、もれ電流を生じる。その結果、長時間性能を維持するのが困難となるので、その点の研究開発が必要となる。

以上の結果をもとに、ポーラスフィルターと粒子充填の2方式についてベンチスケールプラントの設計製作にはいった (60年度)。

2-3-4 ベンチスケールプラント による研究開発

石炭ガス化複合発電に適した乾式クリーンアップ方式として、特に部分負荷応答性に優れた脱硫2方式、集じん2方式を夫々選択し、比較評価の上、電気事業用として最も実現性の高い方式の組み合わせを選択することを目的に、ベンチスケ

ールプラントを昭和60年度に、三菱重工業と共同で設計製作した。

当所の横須賀研究所に製作設置した、ベンチスケールプラント「乾式集じん脱硫基礎実験装置」は、図2-3-2に示すように、ハニカム固定床反応塔3基、移動床反応塔1基、ポーラスフィルター集じん装置1基、粒子充填汙過集じん器2基を備えており、隣接の石炭ガス化炉と同規模の500m³N/hのガスを処理できるようになっている。

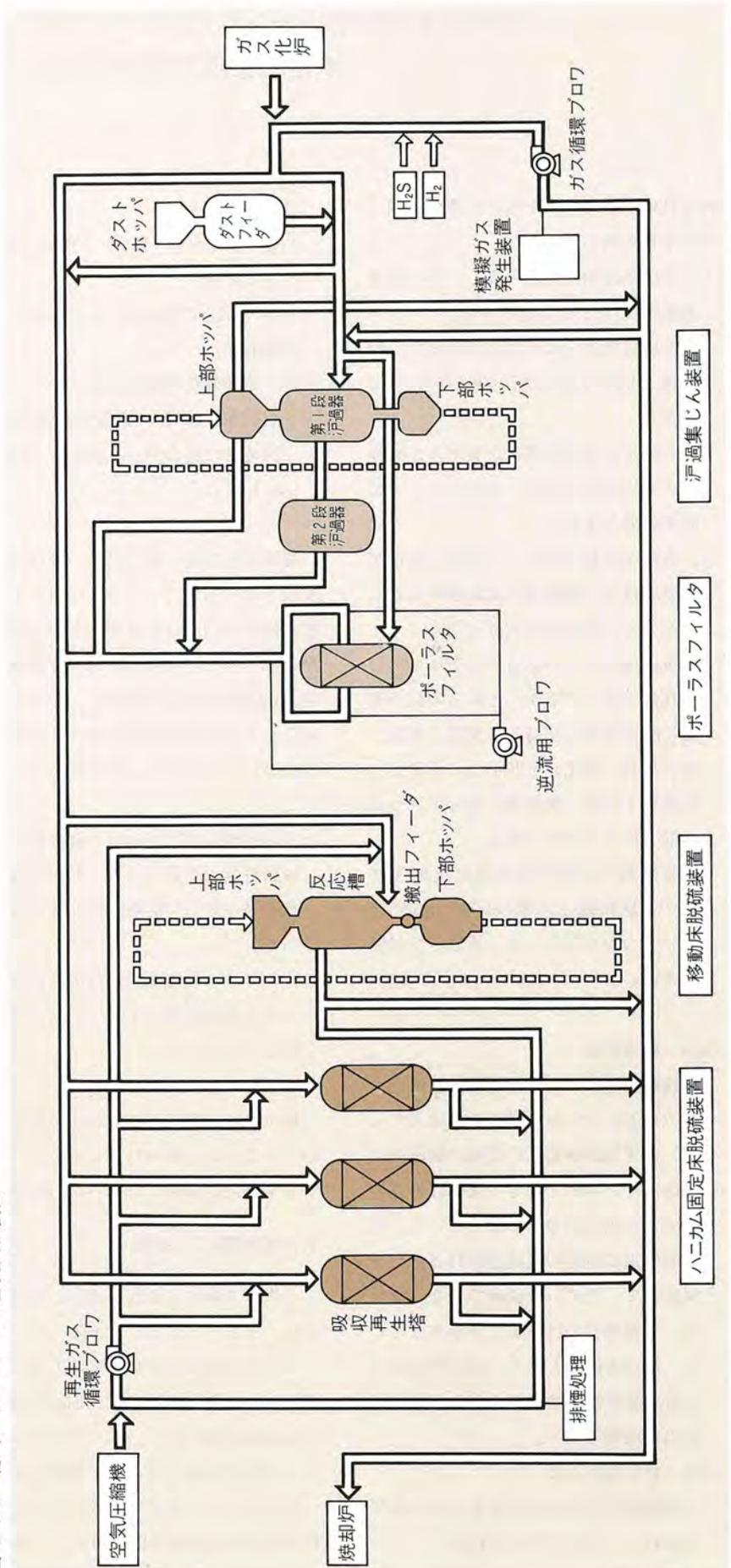
ガス化炉からの実ガスを用いた性能評価試験と併せて、装置に内蔵する模擬ガス発生装置が発生するガスを用いての試験もできるように工夫されている。

昭和60年11月に竣工した本装置の試運転が61年3月中旬に終了し、次の成果を得た。

1. ハニカム固定床ならびに移動床脱硫装置の脱硫性能を、模擬ガスを用いて調べた結果、ガス中の硫化水素1000 ppmを30ppm以下まで除去でき、設計通りの性能が確認された。但し移動床では粒子状脱硫剤を移動させずに実験した。
2. 粒子充填汙過集じん装置の模擬ダストによる常温常圧下での試験を行い、良好な結果を得、石炭ガスを用いた場合でも、目標値まで集じんで見通しを得た。
3. 石炭ガス化炉との連結試運転に成功した。

以上の成果をもとに61年度は集じん、脱硫各2方式を評価するのに必要な基礎特性を把握し、パイロットプラントや将来の実証プラントに向けて、最も実現性が高く、且つ負荷応答性に優れるなど、発電用に適した乾式クリーンアップ方式を提案するとともに、評価能力を高めていく所在である。なお、静電汙過集じん方式については、長時間にわたり性能を維持するための基礎研究を引き続き行う予定である。

図 2-3-2 乾式クリーンアップ基礎実験装置



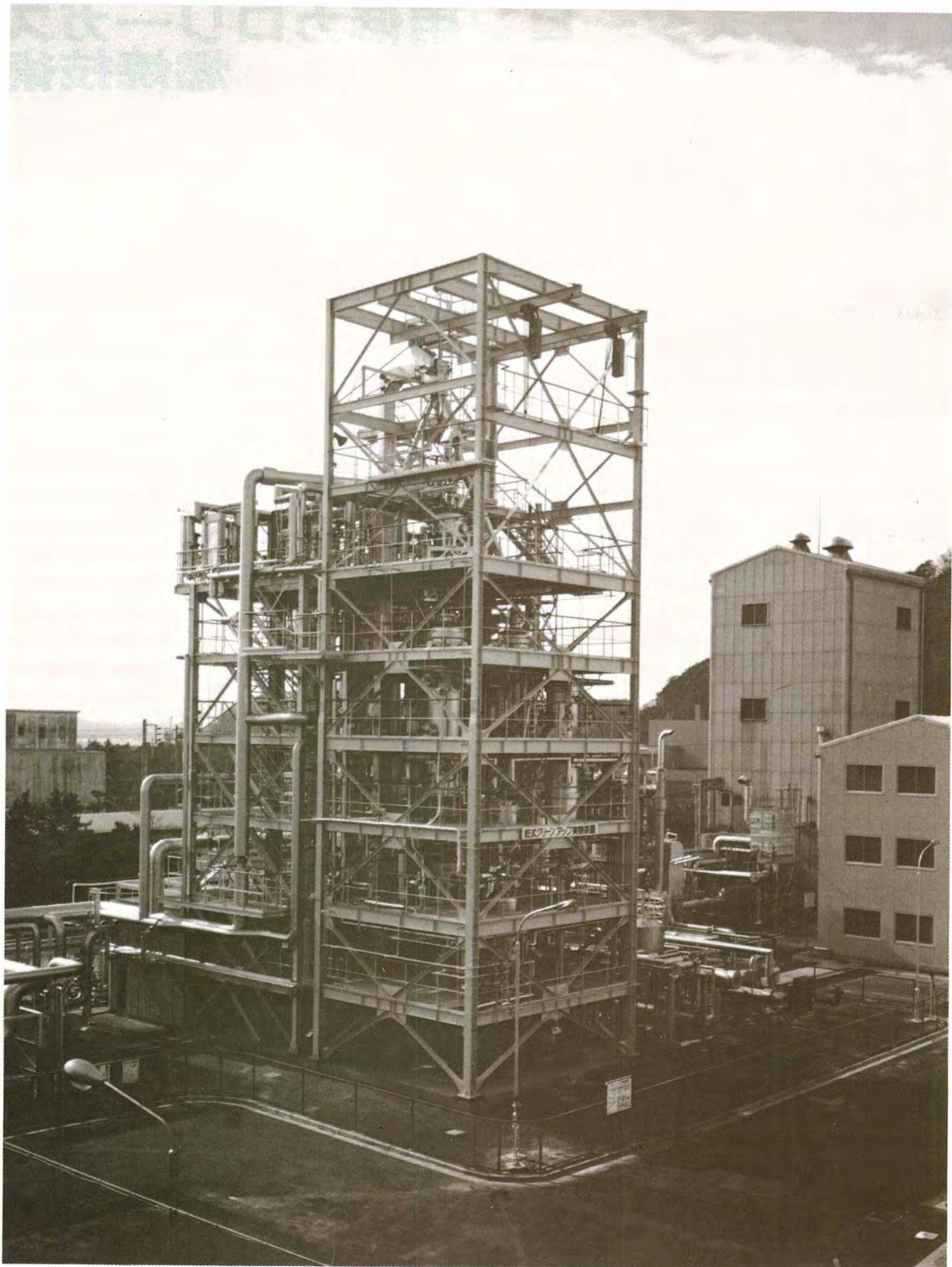


図 2-3-3 乾式集じん脱硫基礎実験装置(右後方はガス化炉)

2-4 ガスタービン用低カロリーガス 燃焼技術

2-4-1 研究の背景

ガス化剤に空気を用いた空気酸化噴流床ガス化方式により生成される石炭ガスは、可燃性成分として一酸化炭素(CO)や水素(H₂)などが含まれているが、大部分が窒素(N₂)や二酸化炭素(CO₂)などの不燃性成分(全体の60%以上)である。このため発熱量が低く(1,000~1,200Kcal/m³N)、可燃性成分のうち比較的燃えにくいCO濃度が高い(燃料中のCO/H₂=2~3)点に特徴がある。

このような石炭ガスを燃料として、ガスタービン入口温度が1300℃以上で安定して燃焼させる技術は難度が高く、空気酸化噴流床石炭ガス化複合発電システムの成立性を左右する重要な技術である。

ガスタービン用低カロリーガス燃焼器の開発目標および重要開発課題を図2-4-1に示す。

2-4-2 重要開発課題

出口ガス温度1300℃程度、排ガス中のNO_x濃度60ppm以下およびCO濃度50ppm以下となるような開発目標を達成するための技術課題として、次の3点が重要である。

1. 空気酸化噴流床石炭ガス化炉ガスは、発熱量が低い上に、燃焼性の悪いCOが多く含まれているため火炎が不安定に

なりやすいことや未燃のCOが排出する恐れがある。

このような低カロリーガスを安定かつ完全に燃焼させる技術の開発。

2. 低カロリーのため燃料流量が燃焼用空気流量と同程度となり、燃焼器出口ガス温度を上昇させるために、全空気過剰率を小さくする必要がある。このため、燃焼器に供給される空気の多くは燃焼のために必要となり、冷却や希釈用空気が不足する。

従来の冷却構造に比べて、少ない空気量で、しかも壁面温度の低下および均一化が可能な壁面冷却技術の開発。

3. 石炭ガス化ガスは、微量のアンモニアガスが含まれているので、このアンモニアが燃焼過程でNO_xに変換するといわれている。

このNO_xの生成を抑制する燃焼技術の開発。

2-4-3 主要成果

低カロリー燃焼器開発の第1ステップとして、当所の「低カロリーガス燃焼基礎実験装置」を用いて、石炭ガスの性状を模擬した燃料による安定燃焼範囲、COの排出状況ならびにNO_x発生状況などの基礎的な検討を行った結果について述べる。

1. 安定燃焼範囲

低カロリーガスは、可燃限界が狭いこ

とおよび燃料の体積流量が多く、燃料噴射まわりの設計が重要となる。そのため、バーナ形状が燃焼安定性に及ぼす影響について検討したところ、燃料噴射角は60°、空気旋回角度は30°が最も安定燃焼範囲が広いことがわかった。

また、ガスタービン燃焼器の常用の空気過剰率* (2.5以下)では吹き消え限界発熱量は400~600Kcal/m³Nであり、空気酸化噴流床石炭ガス化炉から得られる燃料の発熱量1,000~1,200Kcal/m³Nは、十分裕度があると考えられる。しかし、ガスタービン低負荷時に相当する高空気過剰率(約5)では、吹き消え限界発熱量が1,000~1,200Kcal/m³Nを越えるため、一次空気過剰率を低くするなどの対策が必要である(図2-4-2参照)。

* 空気過剰率=燃焼器中の空気量/燃焼に必要な理論的空気量

2. CO排出特性

常用の空気過剰率(2.5以下)では、COの排出はほとんどないが、ガスタービン低負荷時に相当する高空気過剰率で、COが急速に上昇しはじめるので、燃焼効率の低下が懸念される。

この燃焼効率の低下は、CO/H₂比率が高いほど、また燃料発熱量が低いほど著しい。また、CO/H₂比率が2.3、燃料発熱量1,000Kcal/m³Nの燃料における、COが排出しはじめる1次空気過剰率は約4であった。(図2-4-3)

3. NO_x発生状況

燃料中のNH₃のNO_xへの転換率は、

図 2-4-1 燃焼器の重要開発課題

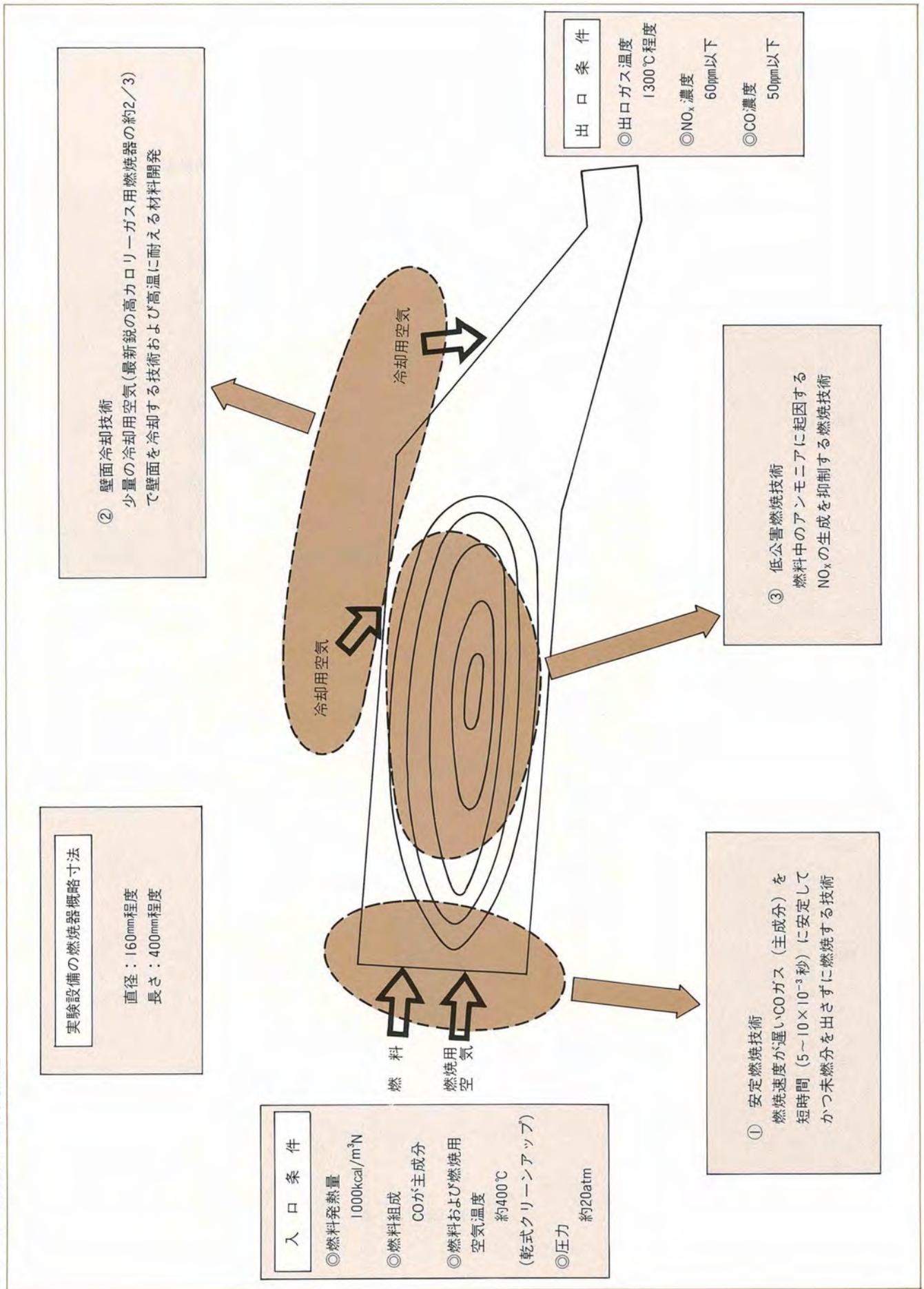


図 2-4-2 空気過剰率と吹き消え限界発熱量との関係に及ぼす燃料組成(CO/H₂[vol % / vol %])の影響

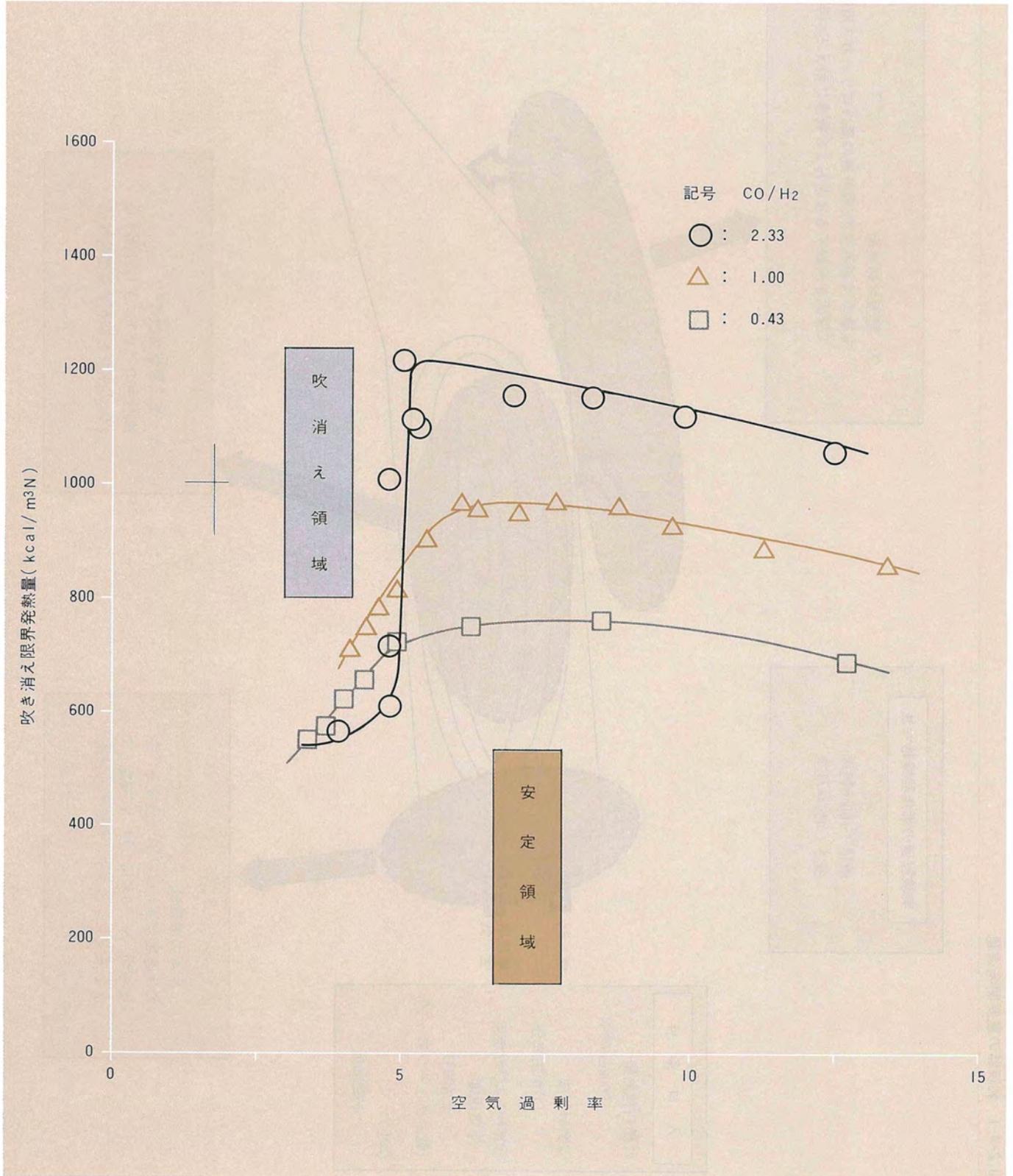
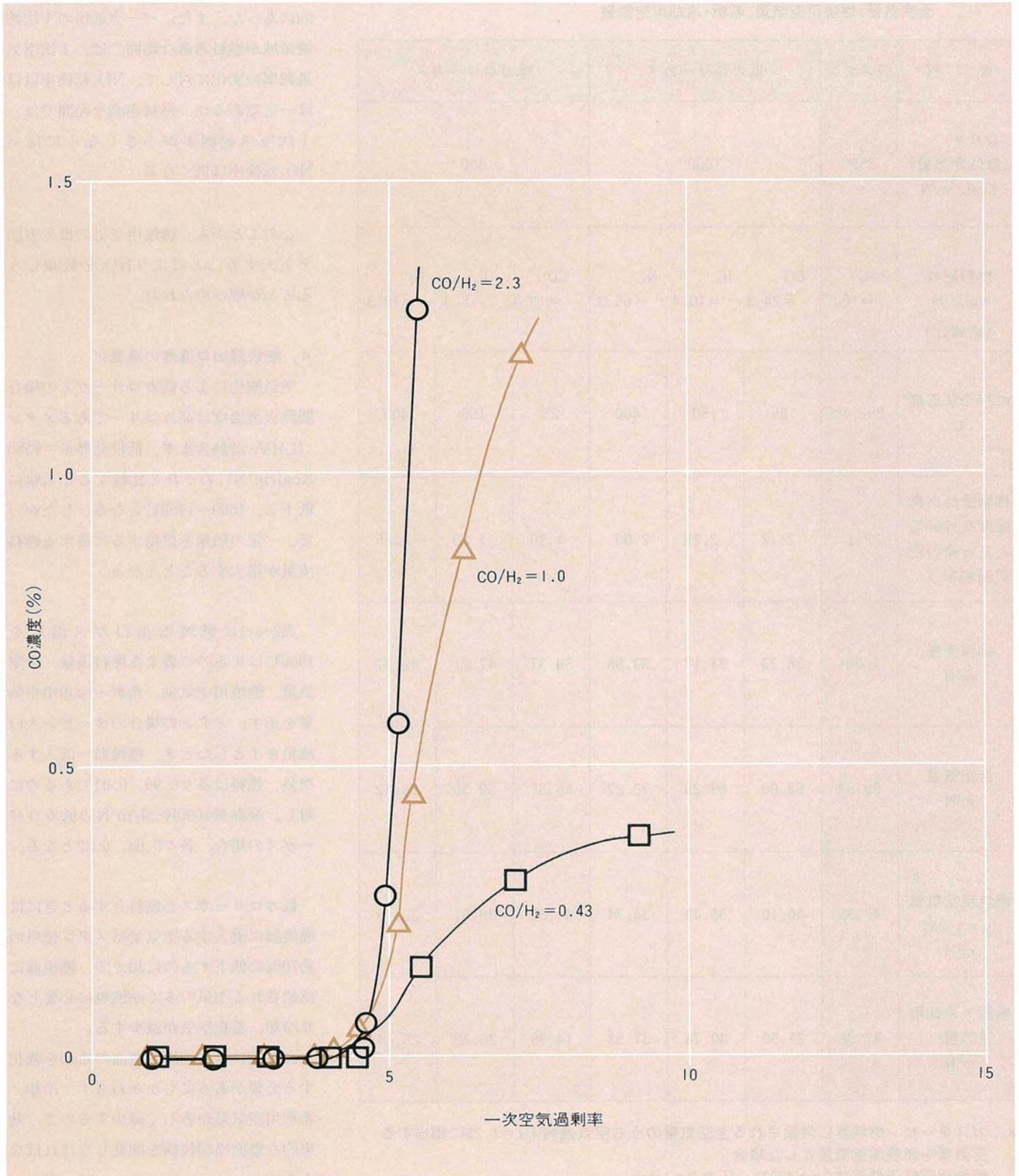


図 2-4-3 一次空気過剰率とCO濃度の関係



安定燃焼、壁面冷却、低公害燃焼の3点に重点を置いて
石炭ガス用燃焼器の研究開発を進めている。

表 2-4-1 燃焼器出口ガス温度を1300℃、燃焼ガス量を100m³Nとするのに必要な燃料流量、全空気量、燃焼用空気量、希釈・冷却用空気量

燃 料	純メタン	低カロリーガス			低カロリーガス		
LHV (低位発熱量) Kcal/m ³ N	8555	1000			800		
燃料組成 Vol/% (容積比)	CH ₄ =100	CO =24.3	H ₂ =10.4	N ₂ =65.3	CO =19.4	H ₂ =8.3	N ₂ =72.3
燃料予熱温度 ℃	25~400	25	150	400	25	150	400
理論断熱火炎 温度を1300℃ とする時の空 気過剰率 λ	2.5	2.12	2.25	2.60	1.70	1.90	2.25
燃料流量 m ³ N	4.021	38.73	37.17	33.56	50.37	47.21	42.57
全空気量 m ³ N	95.97	68.00	69.26	72.27	56.61	59.30	63.32
* 燃焼用空気量 (λ=1.25) m ³ N	47.98	40.10	38.48	34.74	41.62	39.01	35.18
希釈・冷却用 空気量 m ³ N	47.98	27.90	30.78	37.53	14.99	20.29	28.14

NH₃含有量の増加とともに低下する傾向にあった。また、バーナ近傍の1次燃焼領域が燃料希薄な範囲では、1次空気過剰率の変化に対して、NO_x転換率はほぼ一定であるが、燃料過濃な範囲では、1次空気過剰率が小さくなるに従いNO_x転換率は低くなる。

このことから、燃焼用空気の投入方法を工夫することによりNO_xを低減しうることが確かめられた。

4. 燃焼器出口温度の高温化

空気酸化による低カロリーガスの場合、断熱火炎温度は高カロリーであるメタン(LHV・潜熱含まず、低位発熱量=8555 Kcal/m³N)のそれと比較すると大幅に低下し、1600~1700℃となる。したがって、一定の熱量を供給するに要する燃料流量が増大することとなる。

表2-4-1に燃焼器出口ガス温度を1300℃にするのに要する燃料流量、全空気量、燃焼用空気量、希釈・冷却用空気量を示す。メタンの場合のタービン入口流量を1としたとき、燃焼器へ流入する空気、燃料は各々0.99、0.01であるのに対し、発熱量1000Kcal/m³Nの低カロリーガスの場合、各々0.68、0.32となる。

低カロリーガスを燃料とするときには、燃焼器に流入する空気量はメタン燃料の約70%に低下するのに加えて、燃焼器に供給される空気の多くが燃焼に必要となり冷却、希釈空気が減少する。

高温化に伴い燃焼器壁面の冷却を強化する必要があるにもかかわらず、冷却、希釈用空気量が著しく減少するので、効果的な壁面冷却技術を開発しなければならない。

* : ガスタービン燃焼器に供給される全空気量のうち空気過剰率λ=1.25に相当する空気量を燃焼用空気量とした場合
燃焼用空気予熱温度 Ta=400℃、圧力 P=1atm

2-4-4 今後の予定

上記のように、現在、当所では、模擬ガスによる、石炭ガスの大気圧下での基礎的な燃焼特性や排ガス性状などのデータを取得し、低カロリーガス用ガスタービン燃焼器設計のための基礎資料を得つつある。今後は、これらの基礎資料に基づいて、大気圧ならびに高圧（約20atm）の燃焼試験が可能な実験装置を設置し、空気酸化噴流床石炭ガス化ガス用ガスタ

ービン燃焼器に適した性能の評価を行う予定である。

図2-4-4に、62年度初頭に完成予定の、石炭ガス化用ガスタービン要素実験設備の構成を示す。

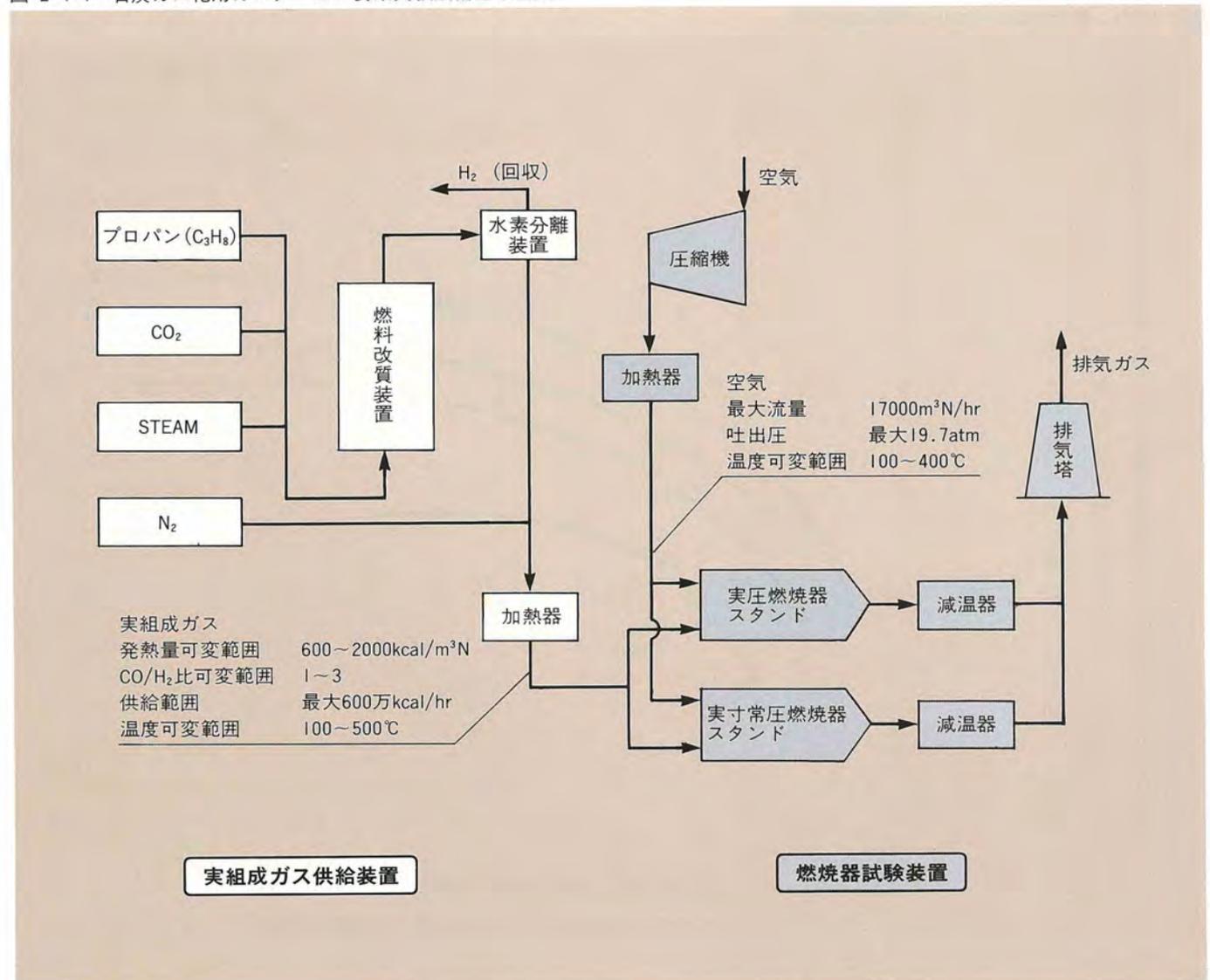
本設備は、燃料のガス組成および発熱量を変化できる、実組成ガス発生装置を備えており、広範囲な燃焼試験ができる点が大きな特徴である。

15万kW級の燃焼器1缶分に対し、 $\frac{1}{2}$ 実寸規模での実組成ガス高圧燃焼試験、

および実寸級での実組成ガス常圧燃焼試験を行うことができ、また、2T/D石炭ガス化実験炉から発生する実ガスをを用いた試験も可能である。

本設備は、当面は、1300°C級金属製空冷燃焼器の要素研究など、パイロットプラント計画を支援するために使用するが、逐次、ガスタービン部分の超高温化をめざすセラミックス利用などの、次世代技術の開発にも活用していく予定である。

図 2-4-4 石炭ガス化用ガスタービン要素実験設備基本構成



2-5 一層の高効率をめざす次世代技術

2-5-1 セラミックスのガスタービン燃焼器・静翼への適用

I. セラミックガスタービンの特長と開発効果

ガスタービンの性能向上による複合発電プラントの高効率化は、システムの最

適構成あるいは構成各機器の性能向上によって達成し得るが、本質的には、ガスタービン入口温度の高温化が支配的である。

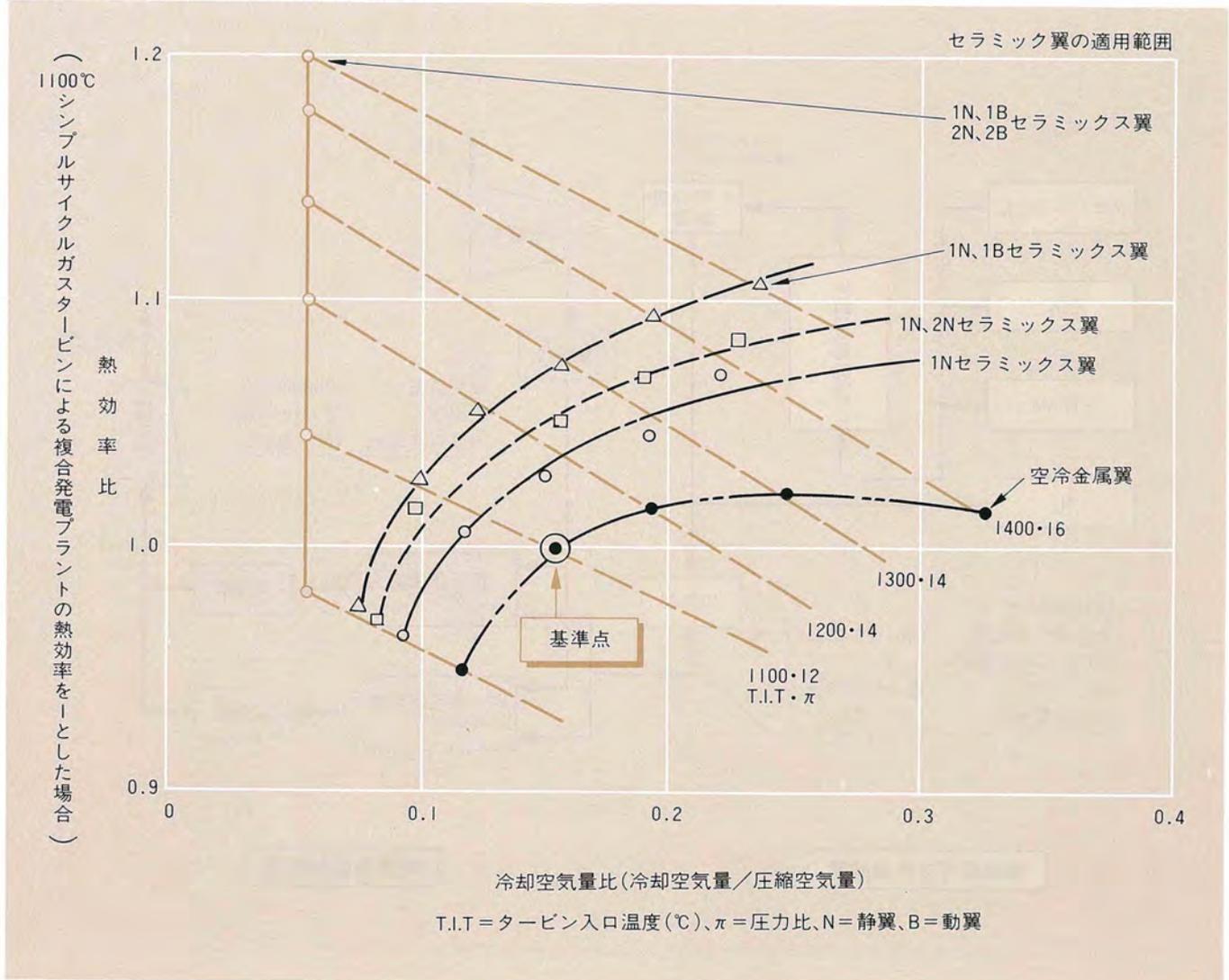
しかしながら、ガスタービンの高温化に伴って、燃焼器および動静翼は熱的により過酷な環境化に置かれるので、これ

らの耐熱耐久性の維持が問題となる。

さらに、石炭ガス化複合発電用ガスタービンでは、燃料中に微量なダストおよび腐食促進物質が含まれているので、耐熱性のみならず高温雰囲気中における耐食・耐摩耗性も要求される。

セラミックスは金属に比較して、高温

図 2-5-1 複合発電プラントの熱効率試算例



耐腐食性および耐摩耗性に著しく優れている。また最近ではセラミックスの製造技術の急速な進歩によって、高温強度および耐熱衝撃性が大幅に改良された、窒化けい素および炭化けい素などの新しいファインセラミックスが開発されている。

これらのファインセラミックスは、石炭ガス化複合発電におけるガスタービンの高温・高効率化を図るうえで、新しい素材として注目されており、

1. セラミック燃焼器による高温化の達成
2. セラミック動静翼の導入による高効率化

が期待されている。

すなわち、セラミック燃焼器では燃焼器ライナ用の冷却空気を大幅に節減できるので、ライナの耐久性を損うことなく、ガス温度の高温化が可能である。このほか、金属製燃焼器に比較して次の利点も有している。

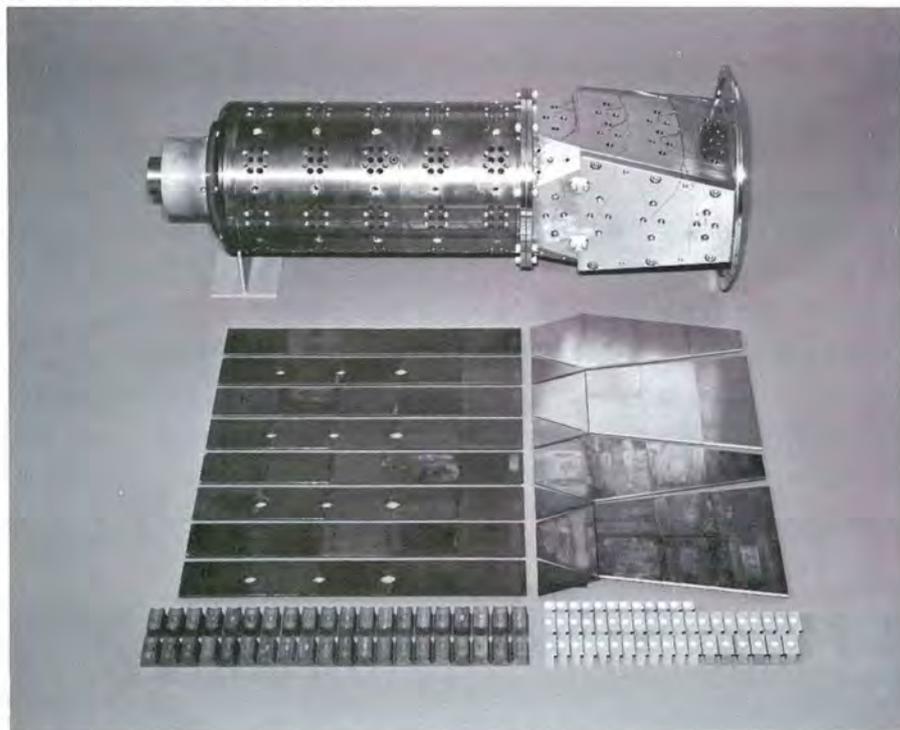
1. ライナ温度を1000℃以上の高温に維持できるので、燃焼器出口温度分布の均一化が可能である。
2. ライナ温度が高温のため、発熱量が小さく、また組成が変化する石炭ガス化燃料に対して安定燃焼が容易となる。

一方、ガスタービン動静翼のセラミックス化は、現行の耐熱金属製の動静翼が多量の冷却空気を必要としているのに対し、翼の無冷却化（厳密には若干の冷却空気が必要）が可能となるので、ガスタービンの高温化による高効率化と併せて、冷却空気節減による効率向上も期待できる利点がある。

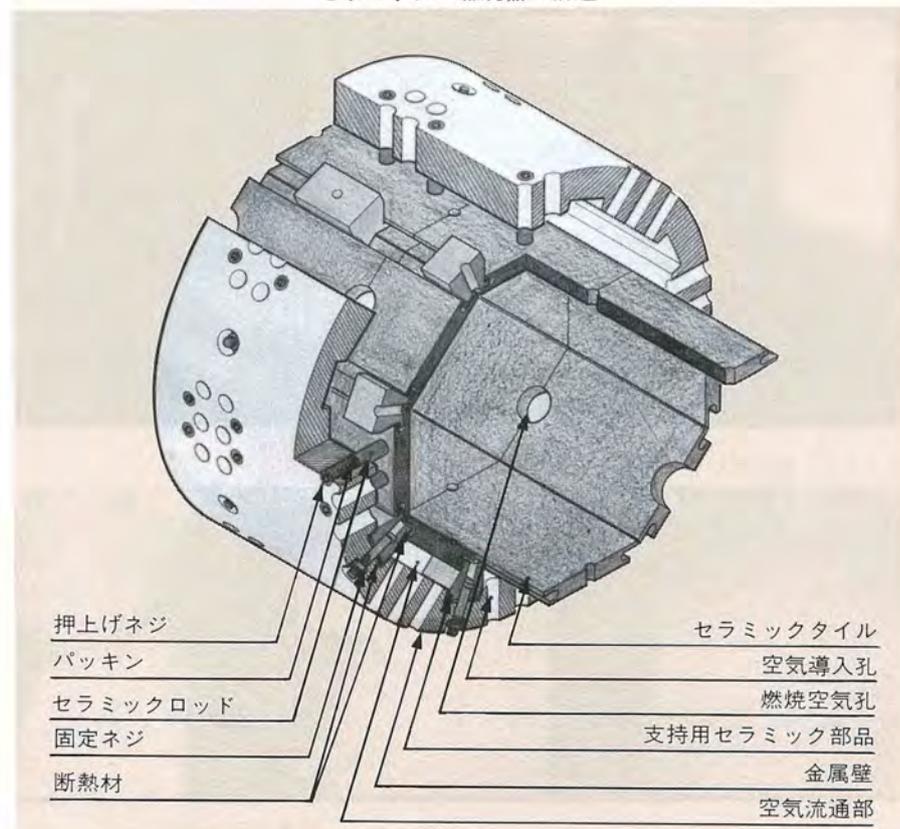
図2-5-1はセラミックガスタービンを使用した場合の複合発電プラント熱効率の試算結果を示したものである。

図中のNは静翼、Bは動翼を示してい

図 2-5-2 大型セラミックス燃焼器



セラミックス燃焼器の構造



ガスタービンの第1段静翼のみをセラミックス化しても 約5%の熱効率の向上が図れる。

る。セラミックス化する部分によって必要な冷却空気量が変わるので熱効率は異なるが、現在使用されている1100℃級シンプルサイクル型ガスタービンによる複合発電プラントの熱効率を基準にすると、例えば1300℃級シンプルサイクル型ガスタービンを使用して、第1段静翼のみをセラミックス化しても約5%、第1段および第2段の静翼をセラミックス化した場合には6~7%、第1段の動静翼をセラミックス化した場合には7~8%、また、第1段および第2段の動静翼をセラミックス化した場合には約14%の熱効率（相対値）の向上が図れる。

熱効率の試算結果より経済的効果を予測すると次のようになる。

すなわち、空冷金属翼を採用した1300℃級複合発電システムが開発されれば、現状の1100℃級に比較して、絶対値で約0.9%の熱効率向上が見込めるが、このシステムの第1段静翼のみをセラミックス化すれば、さらに1.3%の熱効率向上が図れる。

例えば、100万kW複合発電プラントの第1段静翼にのみセラミックスを適用した場合、熱効率向上による年間燃料費の節減効果は極めて大きく、LNG複合発電の場合で約32億円（LNG燃料価格60,000

円/トンとして）、石炭ガス化複合発電の場合で約14億円（石炭価格12,000円/トンとして）の節減が期待できる。

II. 当所における開発動向と現状

セラミックスは金属では使用不可能な高温・腐食・摩耗雰囲気にも耐えるという優れた性質を持つ反面、もろく、割れが生じやすいという構造材としての弱点も併せ持っている。

このため信頼性の高いガスタービン用セラミック機器を実用化するためには、セラミック素材の一層の改良とともに、特にセラミックスの長所を生かせる利用技術の研究が重要である。

ところでセラミックガスタービンの開発では、燃焼器、静翼などの静止部品のセラミックス化および動翼、ロータなどの動的部品へのセラミックス化に大別できる。

発電用大型ガスタービンでは動翼などのセラミックス化が静止部品への適用に比較して技術難度が高い。一方、燃焼器、静翼などのセラミックス化の可能性は高く、また前述したように、静止部品のみをセラミックス化の対象としても、その開発効果は多大である。

また、セラミックガスタービン開発では開発コストおよびリスクを少なくする

図 2-5-3 水流モデルによる燃焼器内の混合状態

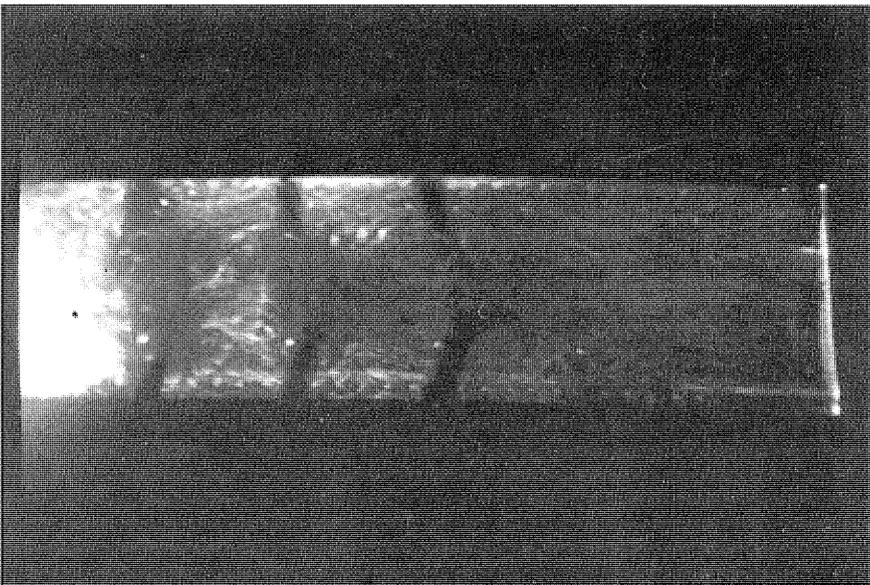


図 2-5-4 炭化けい素の熱衝撃破壊試験結果



高速VTR画像

ため、発電用としては比較的小さい1～2万kW級ガスタービンを当面の対象とし、開発実績を見ながら大型化へと移行することが得策と考えられる。このような理由から、当初では1～2万kW級ガスタービンの燃焼器および静翼を当面の対象とし、これらのセラミック化の研究開発を進めている。

III. セラミック燃焼器

当所は、超高温ガスにさらされる構造物の外周あるいは内周に多数のセラミックタイルをかん合被覆する、超高温熱遮蔽構造の研究を行い、通産省ムーンライト計画の一環として、この熱遮蔽構造を利用した超高温セラミック燃焼器の小型モデル（内径92mm、長さ約550mm）を開発した。

この小型燃焼器について、出口ガス温

度1500°C、350時間（シャットダウン回数160回）のプロパンガスによる燃焼試験を実施し、優れた高温耐久性を持つことを実証した。

この小型燃焼器を当所でさらに改良・大型化した、超高温用大型セラミック燃焼器（内径約170mm、長さ約1m）の概観およびライナ構造を図2-5-2に示す。この燃焼器はムーンライト計画における10万kW級パイロットガスタービンの高圧燃焼器とほぼ同一寸法である。

燃焼器には金属製ライナの内側に多数のセラミックタイルをかん合被覆する熱遮蔽構造が採用されており、セラミック部品を板状小片に分割することによって、次のような優れた特徴を有し、セラミックスの長所を生かし、しかも極めて信頼性の高い燃焼器となっている。

1. セラミック部品における熱応力が軽

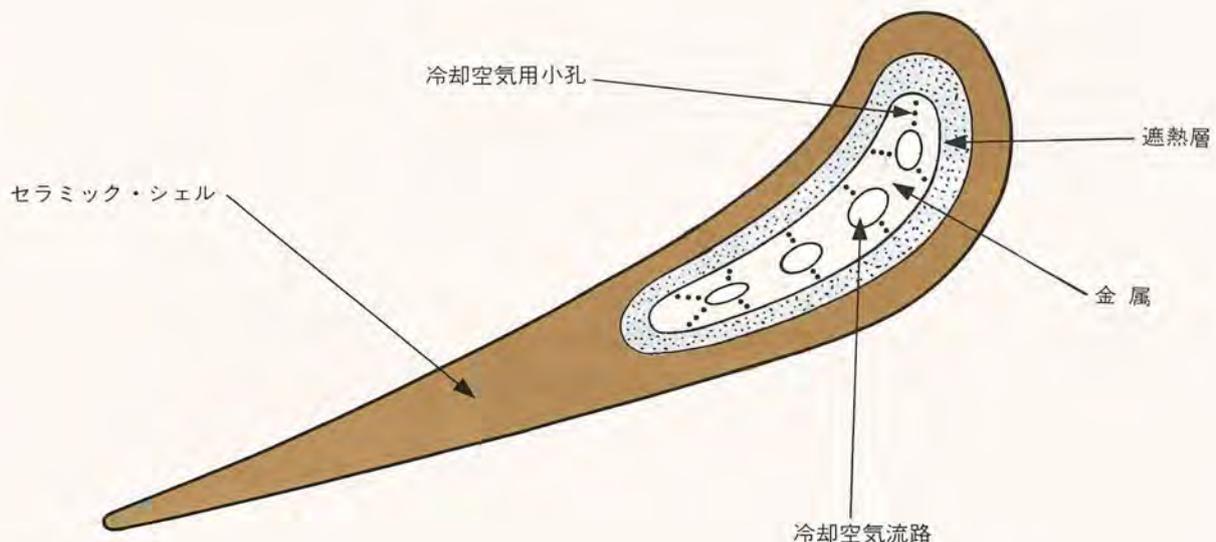
減する。

2. 熱応力の算出が単純化され、推定精度が向上する。
3. 板状部品であるので、均一な品質で製造しやすく、量産に適する。また、ホットプレスによる高強度材を使用できる。
4. 万一、どこかのタイルに割れが発生しても、損傷が限定され、ライナ全体の致命的な破壊に至ることが少ない。
5. 燃焼器の大型化が容易であることなど。

セラミック燃焼器の開発ではセラミックスの高度な利用技術とともに、高性能な燃焼特性を発揮するため、燃料と空気の供給・混合方法が重要な検討課題である。

燃焼器内の混合状態を予測する手法として、当所は日本ファーンエス工業と共同

図 2-5-5 考案したセラミックス・金属ハイブリッド静翼



で、新しい水流モデルシミュレーション手法を開発した。この方法は燃焼器内の混合状態を水流を用いて模擬・可視化し、最先端技術であるコンピュータ画像処理技術を用いて解析するものである。

この手法によって、セラミック燃焼器の適切な空気供給・混合方法を決定した(図2-5-3参照)。

IV. セラミック静翼

当所ではセラミック静翼の研究開発を日立製作所と共同で進めている。その初期段階として、ガスタービンの使用環境である高温高速燃焼ガス流中のセラミックスの酸化挙動および強度劣化を調べるため、各種セラミックス合計480本のテストピースによる耐久試験を実施し、1300°C以上の高温下では、炭化けい素が

優れた特性を持つことを明らかにした。

また、セラミック静翼の信頼性を評価するうえで重要なセラミックスの耐熱衝撃性を把握するため、セラミック単体翼モデルと超高速高温ガス流を用いる熱衝撃破壊試験手法を開発した。

この手法によってガスタービンにおけるセラミックスの使用条件であり、かつ従来は試験が困難であった、1000°C以上の高温下における熱衝撃試験が可能となり、初めて高温下の熱衝撃時におけるセラミックスの破壊過程を把握することに成功した(図2-5-4参照)。

セラミックスのもろい欠点を克服し、耐熱性の優れた特徴を活用するため、セラミックスと金属を組み合わせた新しい構造のセラミック静翼を考案した。

図2-5-5に新しい構造のセラミックス・金属ハイブリッド静翼を示す。この

静翼は外周のセラミック部と中心の金属芯部から構成されており、耐熱性が要求されているところにセラミックスを、力の伝達が必要な部分に金属を使用したことが特徴である。図2-5-6は設計・試作した2万kW用セラミックス・金属ハイブリッド静翼列の概観を示したものであり、現在高温ガス流による暴露試験を実施中であり、耐熱性能および信頼性の評価研究を行っている。

2-5-2 新超合金によるガスタービン翼の高温化

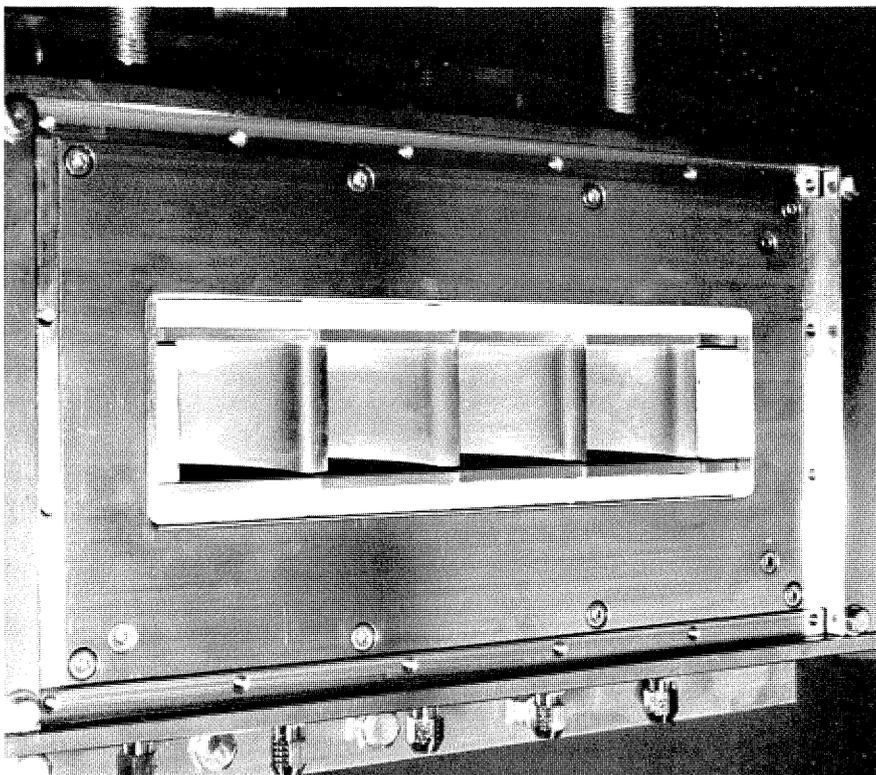
I. 研究の背景

ガスタービンの効率は、タービン入口温度が直接の支配因子であるため、その高温化に不可欠な高圧動・静翼耐熱温度向上に関する研究開発が重要である。特に動翼では、高温下で高速回転による大きな遠心力を受けるとともに、起動・定負荷・停止運転の繰返しによる熱応力を受けるので、クリープ寿命、熱疲労寿命などに優れる超合金の実用化に期待が寄せられている。

ガスタービンの歴史は、超合金の歴史ともいえるほど、超合金の研究開発と密接に結びついている。図2-5-7は、超合金開発の推移を示したものであり、1940年代に航空用ガスタービンエンジンが実用化され、今日に至るまで、その高温・高性能化は超合金の高強度化に支えられていることがわかる。そして、この超合金の高強度化を可能にしてきたのは、鑄造技術の発展であるとも云える。

現在タービン動翼材にはニッケル基超合金が用いられており、最も一般的な製法は真空鑄造である。この方法で作られ

図 2-5-6 セラミックス・金属ハイブリッド静翼



単結晶超合金のクリープ試験からは 約95℃の耐用温度の向上が見込めることが明らかとなった。

るニッケル基超合金は、粒径0.5～5 mm程度の多結晶体で、高温でのクリープや熱疲労に対して、負荷応力に直交する結晶粒界からの割れが発生し易い。

当所では、特に熱疲労に対する超合金の寿命評価を数多く実施して、このことを明らかにするとともに、破壊力学を適用した新しい寿命評価法を開発してきた。

そこでタービン動翼の最大負荷応力である遠心力（翼の高さ方向に14kgf/mm²で設計されている）に対する寿命を向上させるために、遠心力と直交する方向の結晶粒界をなくす鋳造法として一方向凝固法が1960年代中頃に開発され、この鋳造法で製造される一方向凝固柱状晶翼は、1970年代に航空用として実用化の時代に入った。

また、ほぼ同時期に結晶粒界をなくす単結晶鋳造技術も開発され、結晶制御による超合金の高強度化が本格的にはじめられている。

これらの結晶制御による超合金の研究開発は、主として米国において進められ

たものであるが、ヨーロッパでも、研究開発が進められ、我が国でもムーンライト計画での高効率ガスタービン開発、次世代産業基盤技術開発制度での高性能結晶制御合金の研究開発が進められている。

当所は、高効率ガスタービン開発に参画して以来、ガスタービンの高温高性能化のため、新超合金の実用化評価を進めているが、石炭ガス化複合発電の経済性の確立が、ガスタービンの高温化に大きく依存するとの立場から、石炭ガス化用ガスタービンの高温高性能化を達成するための研究の一つとして、上述の単結晶超合金の実用化に取り組んでいる。

II. 単結晶超合金の評価

単結晶超合金の特徴は、多結晶超合金や一方向凝固柱状晶超合金に必要な、結晶粒界強化元素の添加が不要であることから、高温強度の強化を図る微細組織を、安定かつ多量に析出させることが可能で、クリープ寿命が優れていることである。

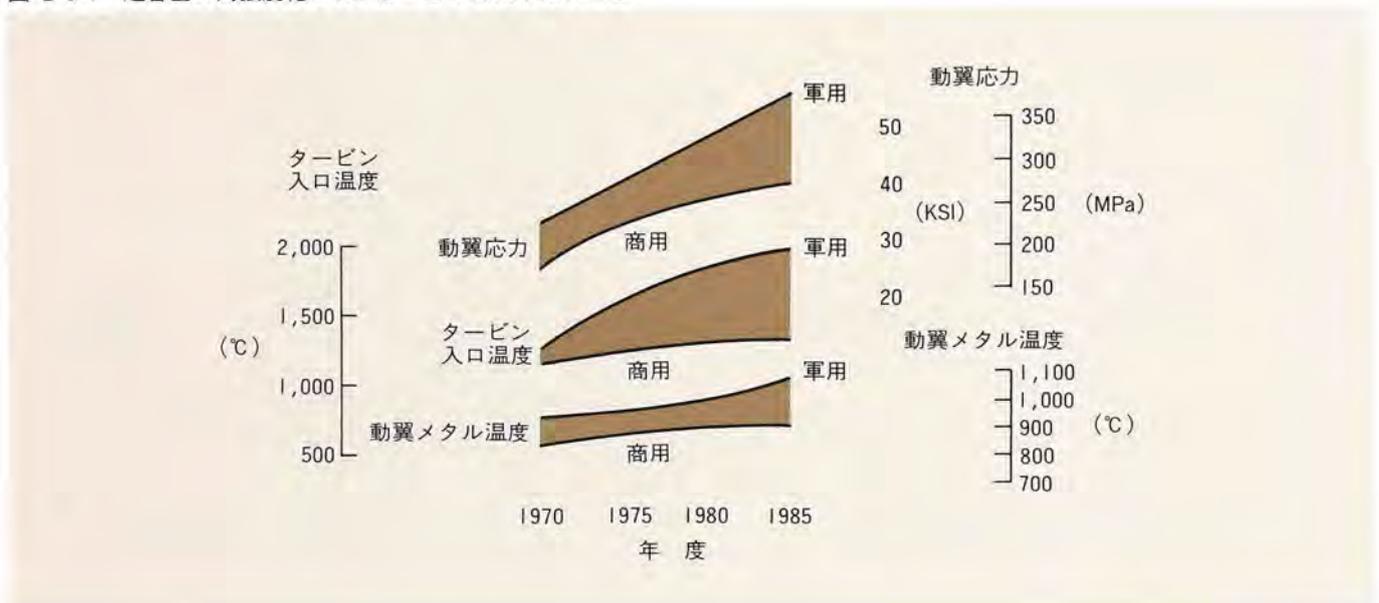
当所が米国Cannon-Muskegon社の単結晶専用超合金CMSX-2を用いて、現用ガスタービン動翼超合金とクリープ寿命を比較検討した結果では、動翼の設計応力14kgf/mm²、耐用寿命20,000時間とした場合、現用超合金の耐用温度に対して、単結晶超合金は約95℃の耐用温度の向上が見込まれることが明らかとなった。

ところでこの実用化研究では、専用の試験片によるクリープ寿命などの評価だけではなく、難易度の高い鋳造法によって製造された実体翼の強度評価も行っている。また、ガスタービン翼の耐用寿命に影響をおよぼす高温下での腐食、酸化についても検討を行っている。

これらの検討は、単結晶超合金とほぼ同じ組成の一方向凝固柱状晶超合金、多結晶超合金についても同時にすすめ、同一条件下での相互比較によって単結晶超合金の特徴を把握し、改良技術に発展させる予定である。

その一環として、高温下での耐食性を

図 2-5-7 超合金の高強度化とガスタービン高効率化の推移



調べる試験を行った。

加速酸化を伴うバナジウムアタック試験では、多結晶超合金、一方向柱状晶超合金に比較して単結晶超合金の腐食減量が多いのに対して、溶接塩浸漬試験では、逆に単結晶超合金の腐食減量が最も少なく、耐食性改善条件の異なることが伺える。

また高温下での疲労寿命についても種々試験を行っているが、単結晶超合金の優れた特性が明らかにされている。

図2-5-8は、単結晶超合金の特徴を示し、実用化にとって興味のある示唆を与える試験結果である。

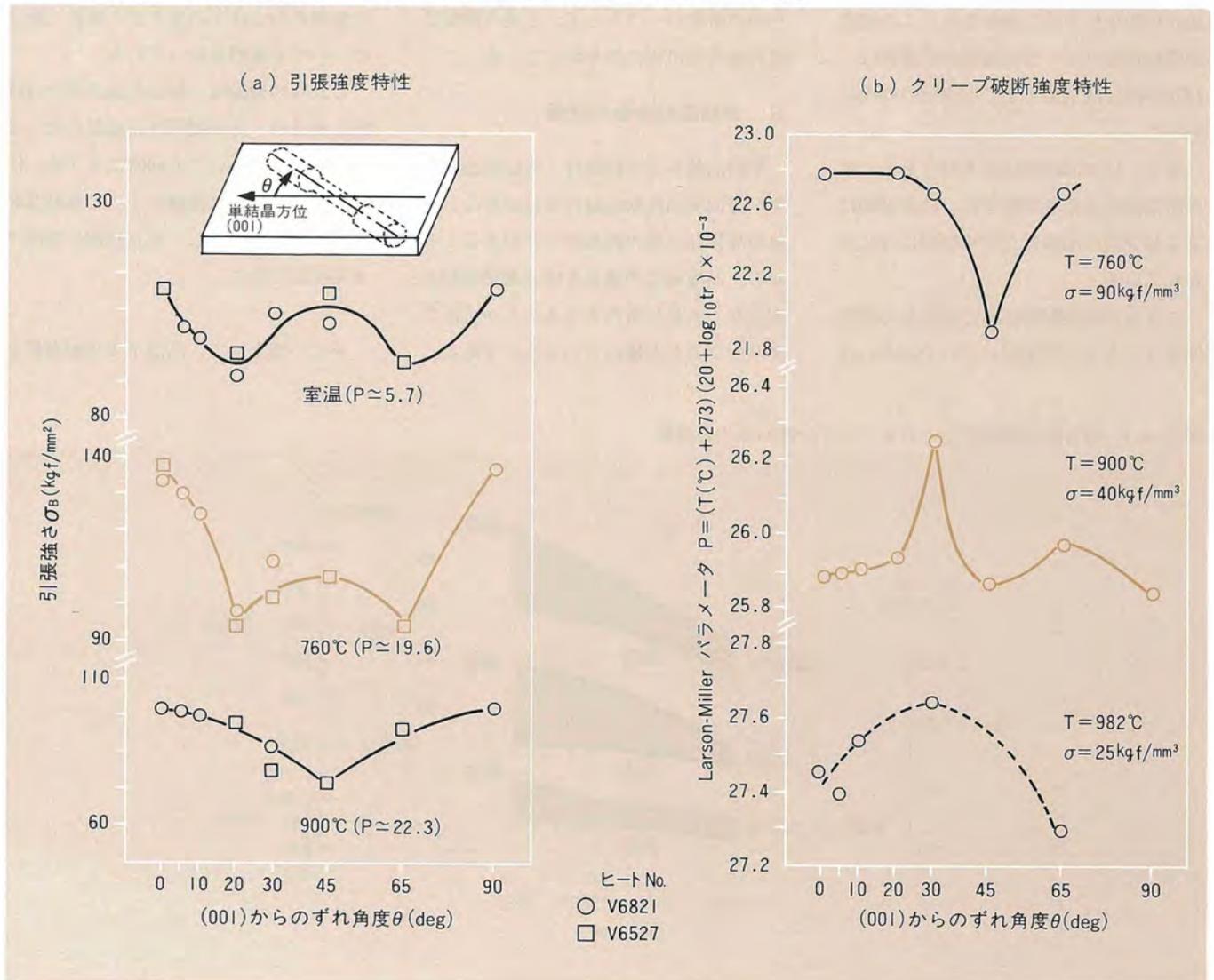
単結晶超合金は、一方向凝固柱状晶の1個の柱状晶を成長凝固して作られ、結晶の方位と翼の高さ方向は一致するのが通常の状態である。先にCMSX-2について述べたクリープ寿命は、そのような結晶の成長方位に対する試験結果を示したものであるが、それに対して図2-5-8は、結晶の成長方位からずれた方向に対

する引張強度、クリープ強度の試験結果を示している。

同図(a)に示す引張強度は、高温では結晶の成長方位からのずれ角45°で最小となっているが、(b)に示すクリープ強度は、高温・長時間（温度時間パラメータ大）例では、結晶成長方位からのずれ角30°の方向で最大となっている。

14kgf/mm²とされる動翼設計応力に対しては、このような強度特性の活用によって高温・長寿命化を図る可能性が示唆

図 2-5-8 単結晶超合金の結晶成長方位からのずれ角度ごとの引張強度とクリープ強度



されている。

III. 石炭ガス化複合発電への適用

当所では、このような単結晶超合金によるガスタービン翼の高温・高性能化研究を進めているが、図2-5-9に試作した動翼モデルを示す。

この動翼モデルは、ムーンライト計画の高効率ガスタービン高圧初段動翼と同等の形状寸法であり、翼の高さは約50mmである。

石炭ガス化複合発電に用いられるガスタービンは、レヒートサイクルの高効率ガスタービン（高圧56atm、再熱14atm）とは異なり、シンプルサイクルでタービン入口は15atmであって、高圧初段動・静翼の高さは約150mmになるものと考えられている。

単結晶超合金の実用化においては、大型化する翼の鑄造技術の確立が、まず不可欠であり、特に冷却構造を考慮した薄肉の中空翼の鑄造が、優れた強度特性を損なうことなく、かつコストの低減を図り得る技術で行われなければならない。

またガスタービン翼の耐食性を確保するためのコーティング技術の実用化は目覚ましいものがあるが、超合金自身の耐食性も、より向上させることが欠かせない。

特に発電用ガスタービンでは、長時間の連続運転、起動・停止の繰り返し、という過酷な条件での運転に耐える翼が実用化されねばならず、超合金自身の耐食性の向上が重要な課題である。

このため、製造技術の確立を前提として、単結晶超合金の耐食性の向上をスコープに含め、石炭ガス化複合発電に適したタービン翼の単結晶超合金による高温・高性能化を図る研究を、当所は、61

年度から3ヵ年計画で三菱金属中央研究所と共同で実施することとしている。

国の200T/Dパイロットプラントによる噴流床石炭ガス化複合発電の研究開発計画では、各種の材料に対する石炭ガス燃焼環境中での評価試験、1万3千kWガスタービンの実証試験などが予定されており、それらへの研究成果の適用を通じて、経済的な高性能ガスタービンの開発を促進することとしたい。

2-5-3 接触燃焼の ガスタービンへの適用

I. 研究の背景

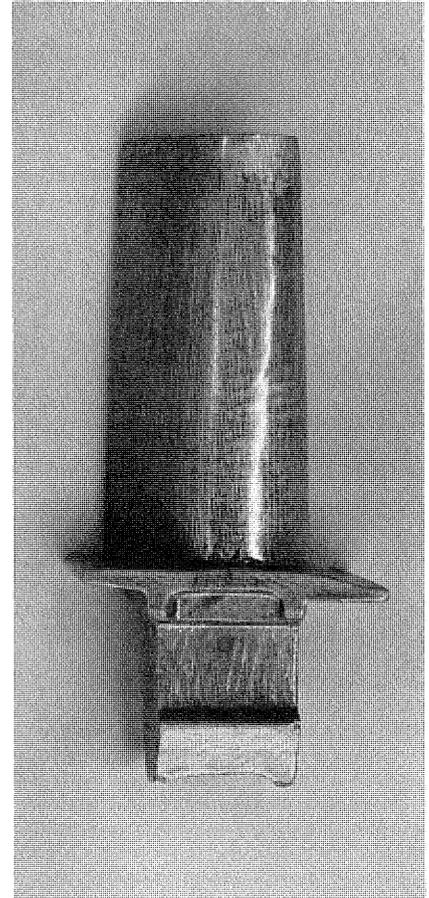
火力発電所では SO_x や NO_x 、さらにはばいじんを除去するため、燃料の燃やし方を工夫したり、排ガスからこれらの公害物質を除去したりしている。

できるだけ安く電気をつくるには、発電効率を高くするほか、公害防止設備の性能を向上させて小型化するなどの努力が肝要である。 NO_x を例にとれば、発電所建設費の数%を排煙脱硝装置が占めている。

火力発電所から排出される窒素酸化物(NO_x)の低減方法として、接触燃焼法は10年ほど以前より注目されてきた技術である。長時間の使用に耐える触媒が開発されなかったことから、夢の技術と思われていたが、当所はこのたび、LNG(液化天然ガス)複合発電プラントのガスタービン燃焼器へ適用することを目標に研究開発を行ない、次の二つの事柄を明らかにした。

1. 従来のバーナーによる燃焼法に比べて、 NO_x 生成量は約 $\frac{1}{2}$ に低減できる。
2. 5000時間以上連続燃焼可能な触媒を

図 2-5-9 単結晶超合金試作翼



開発した。

この低 NO_x 接触燃焼法を石炭ガス化複合発電のガスタービン燃焼器に適用することができれば、

1. 低 NO_x 対策に寄与できる
2. 低カロリーガス燃焼を容易にするなどの利点が期待される。

しかしながら石炭ガスはLNGほどクリーンではないので、既存技術をそのまま適用できない難しさがある。

本節では当所が開発してきた接触燃焼技術の概要を紹介し、これを石炭ガス化複合発電に適用する場合に克服すべき課題を取り挙げる。

NO_xの発生量を激減できる接触燃焼を 石炭ガス化複合発電に適用できればプラントの低コスト化が期待できる。

II. 接触燃焼法の特長と最近の研究 成果

燃焼過程において生成するNO_xは、

1. 空気中の酸素(O₂)と窒素(N₂)が高温下で反応して生成するサーマルNO_x
 2. 燃料中の窒素化合物が酸素(O₂)と反応して生成するフューエルNO_x
- とに大別できる。

通常の接触燃焼法は、その基本原理を図2-5-10(1)に示すように、燃焼器内に設置した触媒へLNG、LPG、ナフサあるいは灯油などの燃料と空気の混合気を通じて、触媒の酸化促進効果によって燃料を無炎で燃焼させる方法で、サーマルNO_xの生成が極めて少ない特長を持つ。

また、図2-5-10(2)に示すように触媒を2段にすることにより、フューエルNO_xの発生も大幅に減らすことができると考えられる。

当所では、連続運転が可能な図2-5-11に示す試験設備をつくり、天然ガスを用いて、図2-5-12に一例を示す試作触媒の

接触燃焼特性および耐久性などについての検討を進めてきた。

試験結果の一例を図2-5-13に示すように、サーマルNO_xの生成量は、燃焼温度1300℃において5 ppm程度と極めて少なく、この値は通常の燃焼の $\frac{1}{10}$ 以下である。したがって、LNGガスタービン燃焼器に接触燃焼法を適用できれば火力発電の環境対策に寄与するものと思われる。

さらに、本設備を用いて天然ガスによる5000時間の常圧連続燃焼試験を実施し、当所が試作したパラジウム触媒により、燃焼温度1300℃、NO_x 3～8 ppm、CO 0～6 ppm、未燃炭化水素0～2 ppmと、環境保全性に優れ、かつ安定した燃焼状態が得られることを明らかにした。

供試触媒による燃焼特性を燃焼試験前後で比較すると、試験後の燃焼開始温度は試験前より100℃高い450℃に上昇するとともに、顕著なCO生成温度域も約50℃高くなり1150℃以下であった。すなわち、試験後触媒は試験前と比較して、若干の性能低下を生じていることがわかった。

また、試験前後において触媒性状は、シタリング現象などの熱的影響によって変化した。そして、試験後触媒の表面には、試験前にみられなかったクラックの発生および粒状結晶物の生成が認められた。

しかしながら触媒性能が殆んど低下しなかったことから、パラジウム触媒はLNGの接触燃焼用として十分期待できることがわかった。

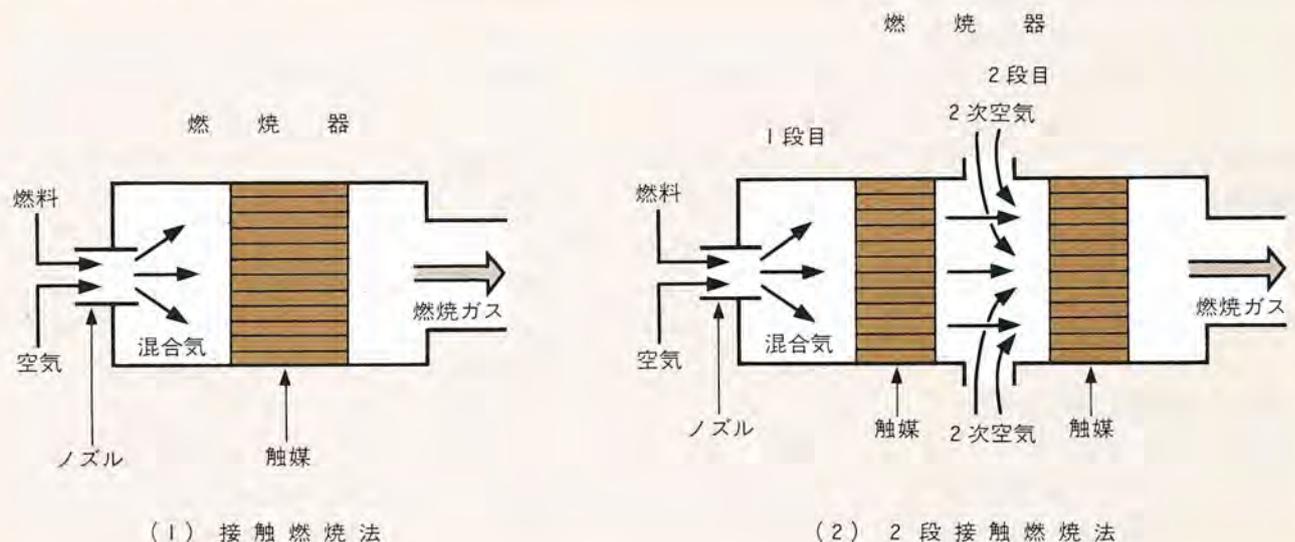
これだけの耐久性を持つ触媒が開発できたことにより、実用化の目的が得られたと考え、さらに実用条件に近い試験に挑戦してゆく予定である。

III. 石炭ガス化複合発電への適用

石炭ガス化燃料用の接触燃焼器の研究開発は緒についたばかりであり、LNGなどのクリーン燃料の接触燃焼とは異なり、燃料中にフューエルN分が含まれるなど、石炭ガスの性状に起因した種々の課題が存在するが、主な検討課題としては、

1. 触媒の開発

図 2-5-10 接触燃焼法の基本原理



2. 2段接触燃焼器の開発
 3. 運転制御法の検討
- などが考えられる。

1. 触媒の開発

2段接触燃焼器の実用化において、触媒の開発は最も重要な課題となる。ガスタービン燃焼器への適用を考えると、触媒層の圧力損失が少く、耐熱性、耐熱衝撃性、機械的強度が高く、さらに燃焼性能に優れ、なおかつ長寿命であるなどの様々な特性をかね備えた高耐久性触媒の開発が必要になる。

これらの観点から、触媒としては圧力損失の少ないハニカム形担体に活性成分を担持したものが適している。

担体材料としては、燃焼温度が1300°C程度の高温になることが予想されることから、金属の使用は難しく、耐熱性に優れたファインセラミックの適用が考えられる。

活性成分としては、高耐熱性の貴金属または金属酸化物触媒が考えられるが、石炭ガス中のN分に起因するフェューエルNO_xの発生をおさえるためには、2段接触燃焼が必要である。

この2段接触燃焼を想定した場合は、各段における反応条件が異なるために、各段に適した活性成分の探索が重要になる。

1段目触媒においては、酸素不足状態すなわち還元雰囲気での高性能を示す触媒の開発が必要になる。また、触媒性能の低下の一因となり得る触媒表面への炭素の析出が懸念される。

2段目触媒においては、酸素過剰状態すなわち酸化雰囲気での高性能を示す触媒の開発が必要になる。また、2段目の触媒層は高温度に上昇するために、活性表

図 2-5-11 接触燃焼法の試験設備

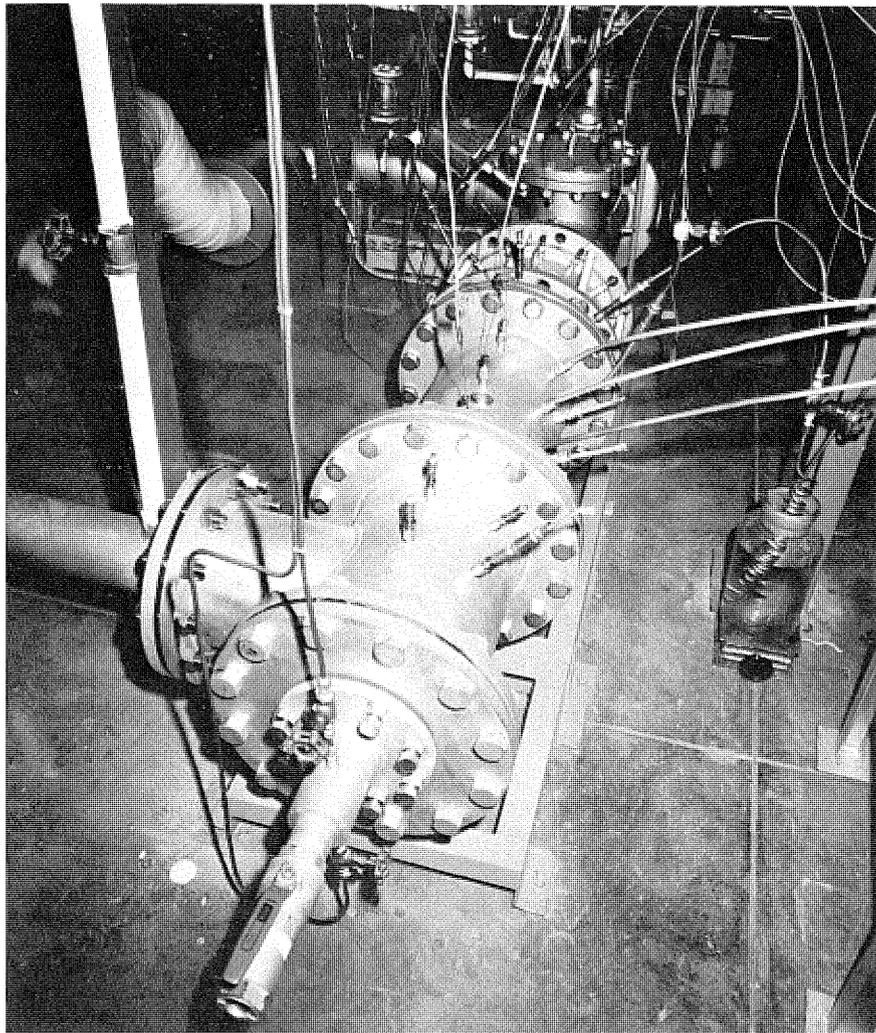


図 2-5-12 燃焼試験を行った各種の触媒

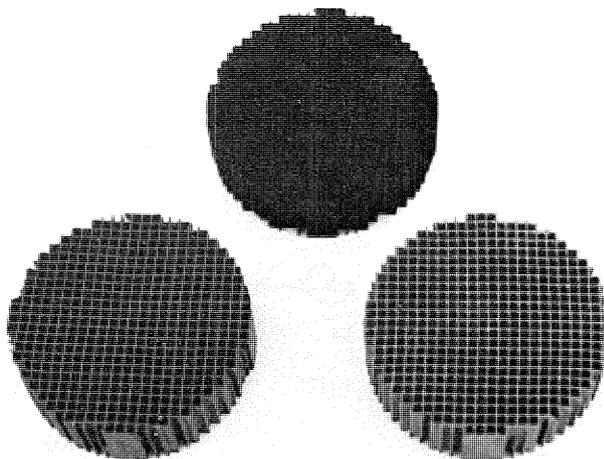
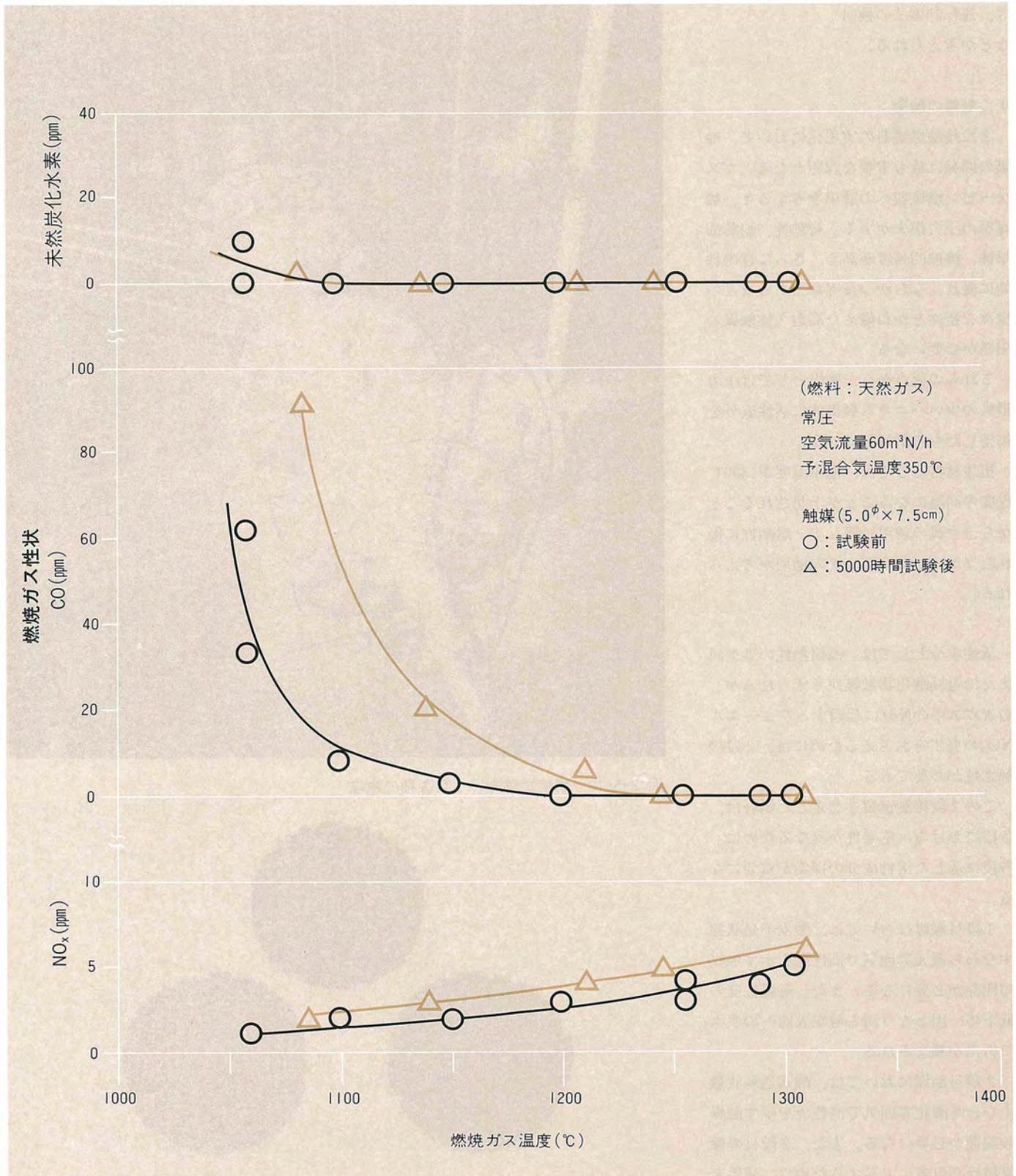


図 2-5-13 燃焼ガス性状と燃焼温度



より高温下での使用に耐える 水冷式タービン動翼の研究を実施している。

面積の低下や活性成分の蒸発などの熱的影響による触媒性能の低下が懸念される。

石炭ガス化燃料中にはNH₃以外の不純物として、硫化水素(H₂S)、硫化カーボニル(COS)などのいおう化合物、鉛(Pb)などの重金属、およびカリウム(K)、ナトリウム(Na)などの微量成分が含まれる可能性があり、これらが触媒と反応したり、触媒表面を被覆したりして触媒性能の低下を生じる可能性がある。

すなわち、石炭ガス化燃焼中の不純物によって性能低下を生じない触媒を開発しなければならないが、とくに、1段目触媒については、炭素析出防止効果が高く、かつフューエルN分のNO_xへの転化抑制効果の高い還元雰囲気で使用可能な触媒の開発が望まれる。また、2段目触媒については、高温の酸化雰囲気下で使用可能な耐熱性に優れる触媒の開発が望まれる。

2. 2段接触燃焼器の開発

2段接触燃焼器の開発に際しては、触媒の特性および燃焼条件以外に、触媒予熱方法、空気供給方法、燃料/空気混合・整流方法、触媒固定方法などを考慮して燃焼器の構造・材料を決定する必要がある。

担体材料の耐久性向上を考慮すると、触媒層の均一な予熱、燃料と空気の均一な混合、混合ガスの整流が不可欠である。特に、2段目における燃料成分と空気との混合気を調整する際には、発火防止を考慮した混合・整流方法および構造を採用する必要があるが、1段目触媒直後に冷却器を設置することは発火防止に役立つと考えられる。

また、燃焼が逆流する逆火現象の防止についても検討する必要がある。

以上のように、十分に安全性を考慮し

た2段接触燃焼器の開発が望まれる。

3. 運転制御法の検討

2段接触燃焼法のカスタマーへの適用を考えると、通常の燃焼法と比べてより複雑な制御が要求される。特に、1段目と2段目の燃焼量および空気量の制御、触媒層温度および燃焼ガス温度の制御、燃焼性能の維持、起動から停止までの安全かつ信頼性の高い運転、制御法の確立が望まれる。

2段接触燃焼法を石炭ガス化複合発電プラントのカスタマー燃焼器へ適用できれば、フューエルNO_xの低減化および脱硝装置の節減による低コスト化などが期待される。

しかしながら2段接触燃焼法の適用に際しては、触媒の開始を始めとして種々の検討課題を克服する必要がある。

2-5-4 水冷式タービン動翼

I. 研究の背景

石炭ガス化複合発電方式による高効率化を達成するためには、ガスタービン入口ガス温度の高温化が必須の条件となり、特に静・動翼は、より高温化での使用に耐えることが要求される。

同時に石炭ガス中に含有されている、腐食性不純物による、高温腐食への部材温度の影響、石炭灰融着・侵食の温度影響など、クリーン燃料に比べダゲータ性を考慮した耐熱技術が必要とされる。

従って高性能空冷技術、セラミックおよび水冷方式の研究開発が重要な研究課題となる。

空気に比べ冷却性能の良い水を冷却媒

体とした水冷方式は、翼を低温に保つことが可能であるため、高温腐食をさげられ、クリープ強度を大きくとれることなどから石炭ガス化複合発電用ガスタービンとして適している面が多い。

米国GE社で実機大試験が行われた水冷ガスタービンは、動翼は翼先端部において翼外に高温水または蒸気で噴射する開放散布方式であるが、これに対して冷却水を翼外に散布しない密封方式は、腐食・侵食、さらに効率の面でより適性が高いと考えられる。

そこで当所では、冷却水密封型の「導管内蔵型サーモサイフォン動翼水冷方式」を提案し、その適性を評価することを目的として基礎的検討を実施している。

II. 動翼水冷方式

自然対流熱伝達は、流体内の温度差に基づく密度差に、重力加速度など体積力が作用し、流動が誘起され熱伝達が行われる。従って元来、自然対流による熱伝達効果は通常の重力場では小さく、そのためほとんど限られた分野で利用されているに過ぎない。

しかしガスタービン動翼のように高速で回転している場では、重力に比べて10⁴倍にも及ぶ回転遠心力が体積力として作用するため、大きな冷却性能が期待出来る。

図2-5-14はドイツのSchmidtにより開発された、開放型のサーモサイフォンを利用した動翼および4段型試作機である。

翼根部でリング状の貯水槽に開放された直径2~4mmの5個の冷却孔を有する構造である。Schmidt方式では、その構造上低温流入水と高温流出水とが互に干渉し合い、サーモサイフォン作用が阻害され冷却効率が低下すること、特に高温流出水が沸騰状態により気泡を生じた場合

図 2-5-14 ドイツ、シミュットによる水冷却タービン

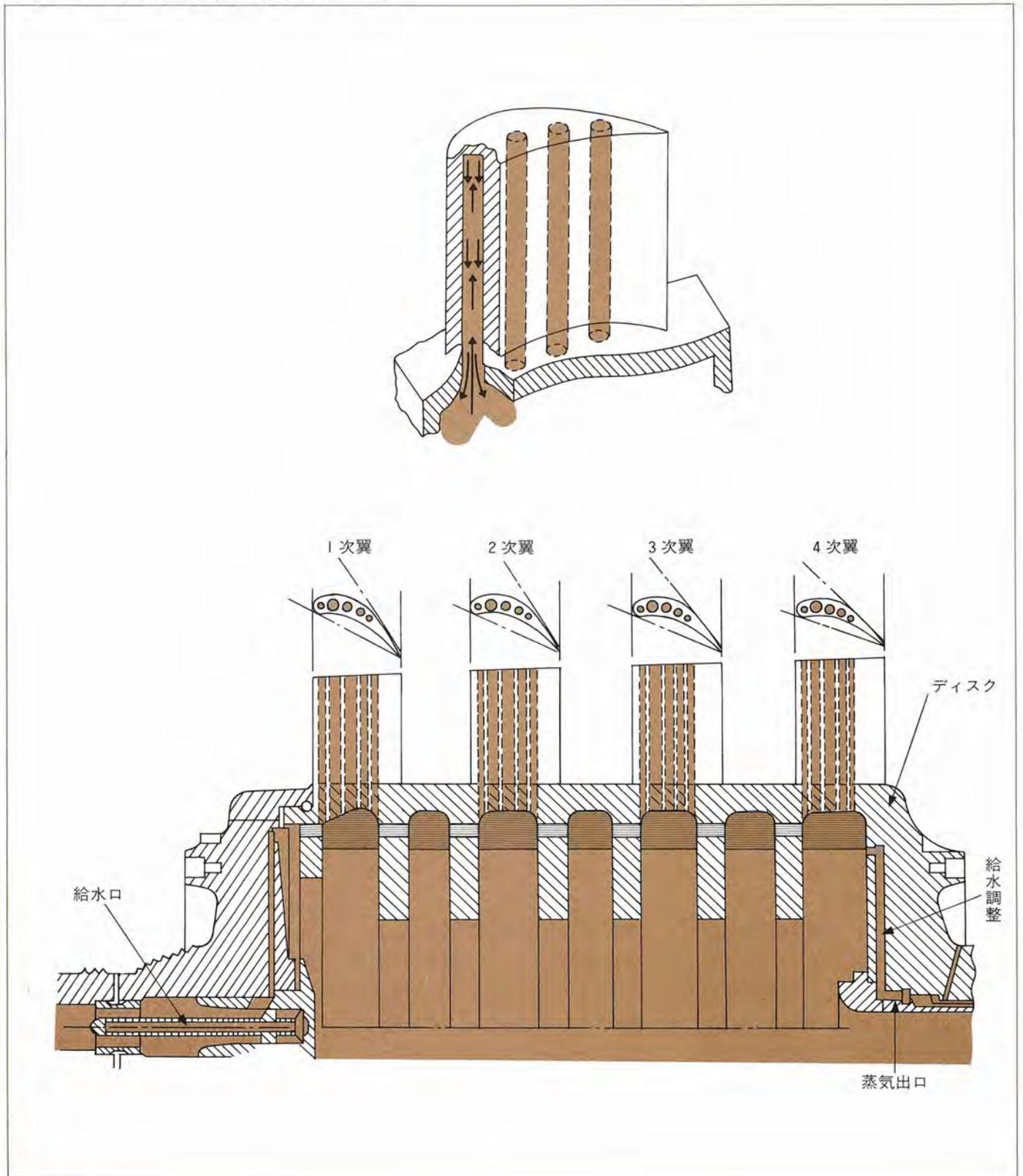
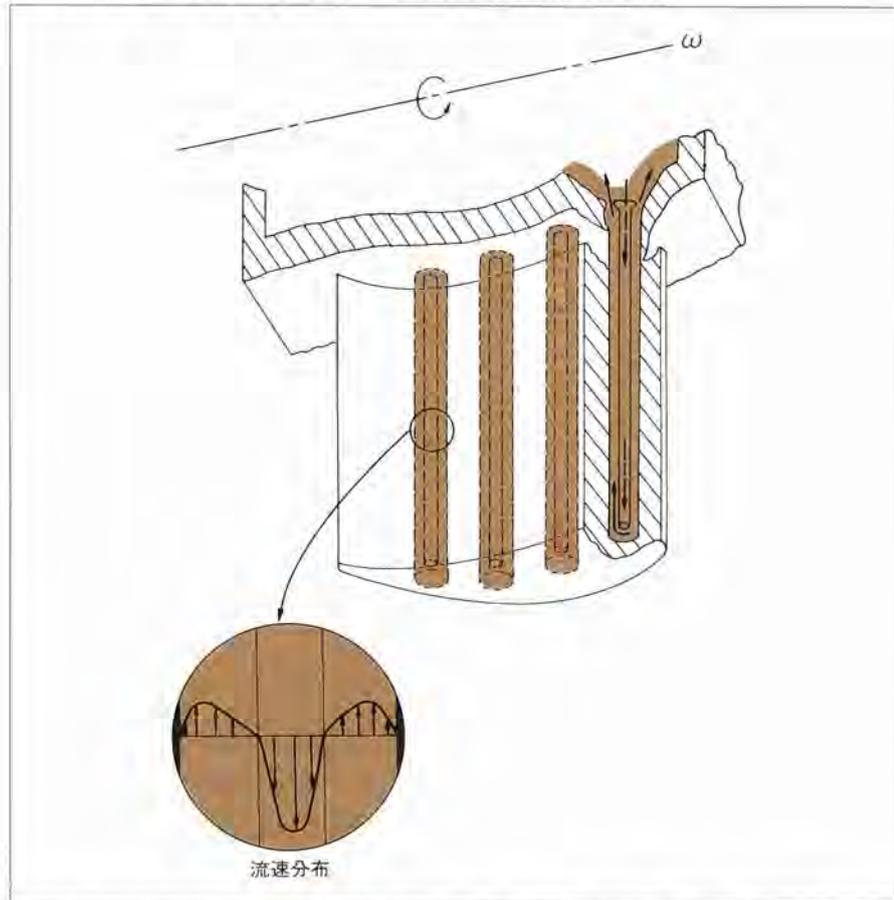


図 2-5-15 電研方式の導管内蔵型サーモサイフォン水冷却動翼



に流動不安定を起し易い事が推測される。

そこで当所では、図2-5-15に示すように低温流入水と高温流出水の流動干渉を排除する導管をサイフォン管内に設置し、流動障害の欠点を改善した方式を開発した。

III. 冷却孔の伝熱特性実験

冷却孔の冷却性能を把握することを目的として、実機スケールすなわち孔径が小さく、深さ・孔径比の大きい導管を内蔵したサイフォン管の回転場伝熱特性実験を行った。

この結果から、細いサイフォン管の冷却性能は管路摩擦抵抗の影響が現れ熱伝達は低下すること、しかし導管なしの流れの干渉が起った場合より十分大きな熱伝達が確保されることを確認した。

一方、翼が長期的に安定な冷却状態を保つためには、翼焼損を引き起す限界熱流束を起えないことは勿論、沸騰伝熱面に生じる堆積物による流動障害、あるいは

水-蒸気密度差に基づく振動などの危険性のある沸騰域は出来るだけさける必要がある。

そこで導管内蔵サイフォン管の沸騰開始点・限界熱流束に対する圧力・流速などの影響について実験的に調べた。この結果からモデルガスタービンの仕様・運転状態まで外挿して推算した結果、冷却孔内の熱流束は限界熱流束を十分に下回るとともに、沸騰開始点以下の対流伝熱により冷却が行われることが明らかとなった。

IV. 動翼の熱応力解析

水冷却翼は翼温度を低く保てる反面、翼内に大きな温度差すなわち熱応力が発生し翼の強度を低下させる。

そこで想定モデル翼に対し、翼平均径断面における熱伝導・弾性熱応力解析を行い、冷却構造の評価を行った。

想定モデル翼は、Ni基合金単一材と銅合金・Ni基合金による複合材の2種で、冷

却孔径、配置を変えてある。

解析の結果、冷却孔径、配置、適正熱伝達係数などの基本特性を明らかにした。また複合材翼は熱応力低減を計れる有力な手段であることが明らかとなった。

V. 冷却水による回転体の振動解析・実験

水冷却ガスタービンでは、空冷翼と異なり、タービンロータ内に図2-5-16に示す様な複雑な液体冷却路をもち、この中に比重の重い水を内蔵するためにロータと冷却水の連成によるロータ振動特性の変化が予測される。

そこで、複雑な構造を有しかつ冷却水を内蔵する水冷却ガスタービンロータの振動を解析する手法として、伝達マトリックス法を拡張適要する手法を提案し、基礎的実験で有効性を確認した。

VI. 今後の予定

今後の研究予定は次の通りである。

1. 複合材翼の検討

熱応力低減の有力な手段である熱伝導材と強度母材との複合材翼について検討を行う。

2. 冷却孔の伝熱特性実験

熱伝達係数を自由に調節する方法について、実験的に検討するとともに、各種伝熱特性値についてデータの収集を計る。

3. モデル動翼の冷却性能評価

モデル翼を試作し、実ガス雰囲気中で冷却性能実験を行う。

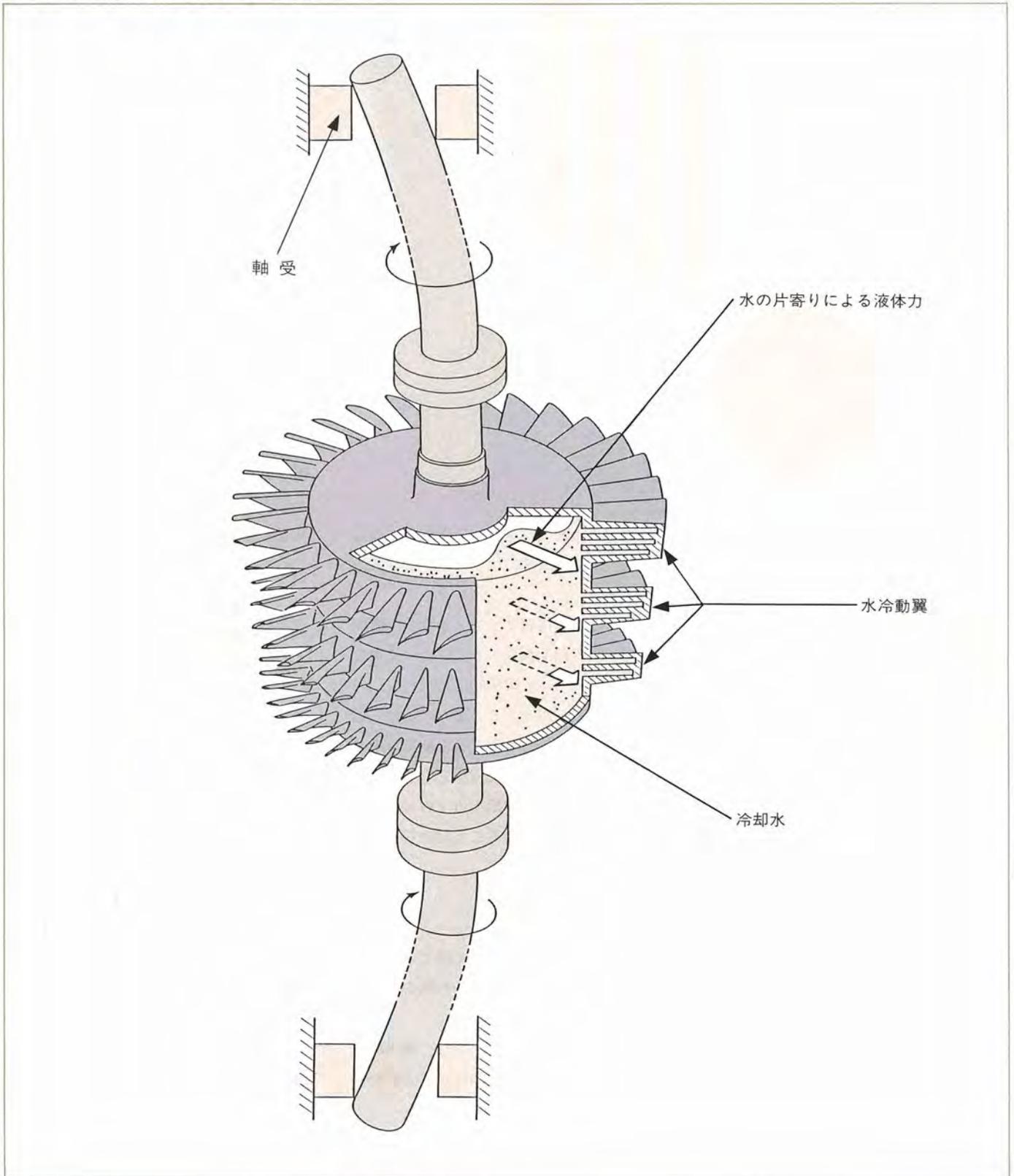
4. 冷却構造の検討

冷却孔の最適な配置および給水構造の検討を行う。

5. 給排水システムの振動評価

水を内蔵した回転体の振動試験を行い給排水による回転振動特性を把握する。

図 2-5-16 給水系の水の偏心による振動



2-6 クールウォータープログラム 石炭ガス化複合発電実証試験計画

2-6-1 クールウォータープログラム の概要

クールウォーター石炭ガス化複合発電実証プラント（出力12万kW 石炭処理量1000T/D）の実証運転試験が米国・日本の共同研究開発プロジェクトとして推進されている。

このプロジェクトには、SCE電力会社（Southern California Edison Co.）、EPRI（Electric Power Research Institute）などとともに、日本側からは、当所と、東京電力・東芝・石川島播磨重工業が日本クールウォータープログラム・パートナーシップ（JCWP）を結成し参画している。

この実証プラントは、1984年4月に建

設が完了し、同年6月24日より実証運転が開始された。以後、比較的順調に運転試験が行われており、1985年12月末までの通算プラント運転時間は約7300時間に達している（図2-6-1参照）。

その間の石炭使用量は約30万トン、発電電力量は約7億kWh、最長連続運転時間は約640時間（約27日間）である。運転実績の概要を表2-6-1に示す。

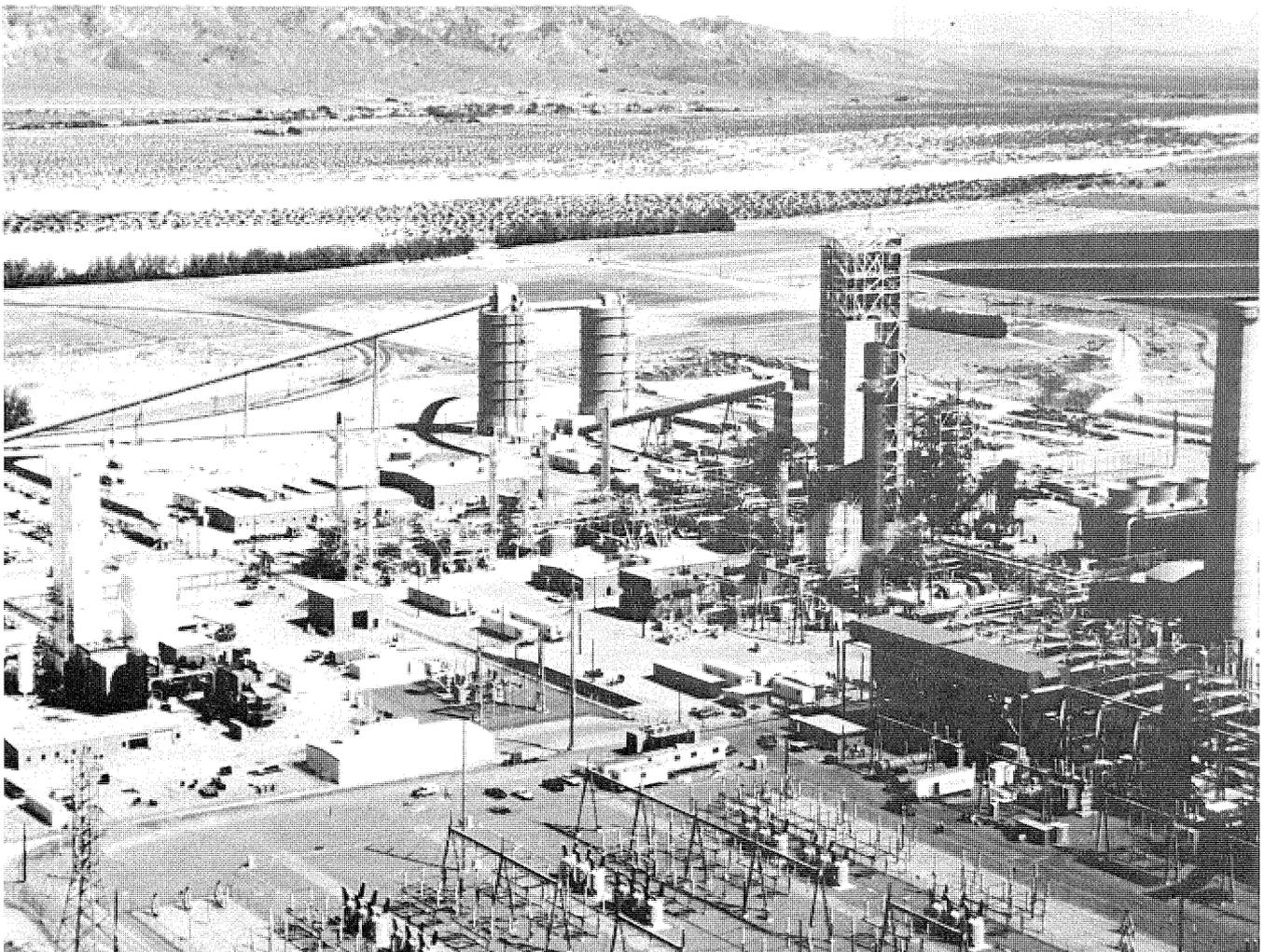


図 2-6-1 クールウォーター・プラント全景

クールウォーター実証プラント構成図

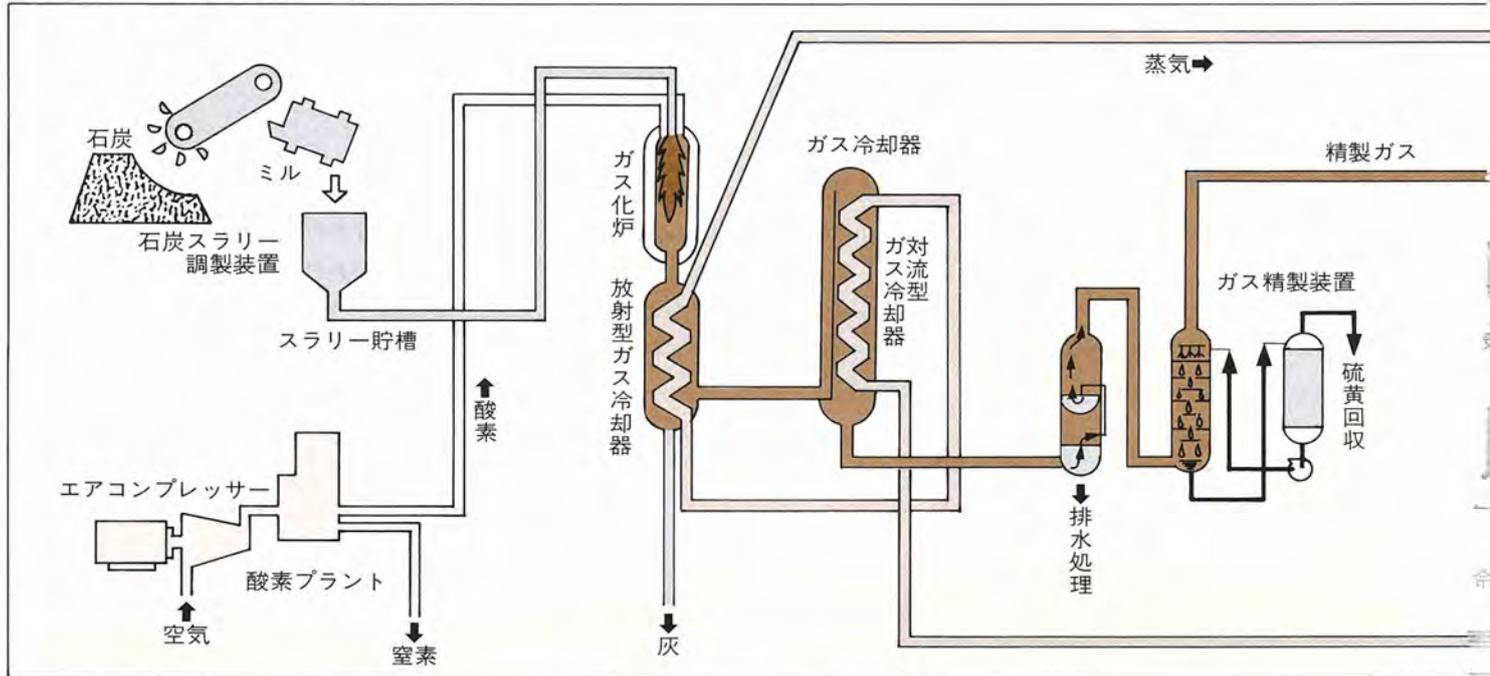


表2-6-1 クールウォーター・プラントの運転実績(6/24/1984～12/31/1985)

項目	通算値
ガス化炉運転時間(hr)	7,357
石炭使用量(t)	299,620
酸素消費量(t)	275,945
総発電電力量(MWh)	699,945
所内電力量(MWh)	52,821
O ₂ プラント消費電力量(MWh)	116,133
回収硫黄量(t)	617
設備利用率(%)	
暦日ベース※	44.8
発電時間ベース※※	71.8
運転回数(回)	60
最長連続運転時間(hr)	640(約27日)

$$※ \frac{\text{プラント発電電力量(MWh)}}{\text{プラント定格出力(MW)} \times \text{暦日時間(h)}} \times 100$$

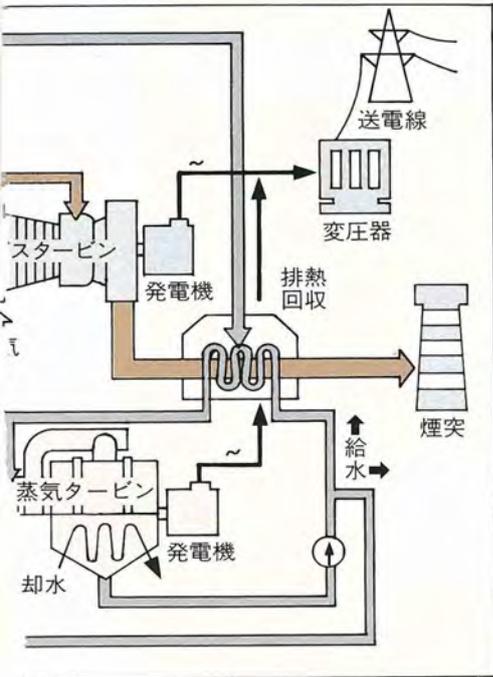
$$※※ \frac{\text{プラント発電電力量(MWh)}}{\text{プラント定格出力(MW)} \times \text{発電時間(h)}} \times 100$$

2-6-2 主要な成果

当所では、プログラム・サイトおよびCWP関係委員会、現地派遣研究員などにより入手した実証運転データに基づき検討を行い、次のような現段階での結論を得ている。

1. 1985年の年間設備利用率は約50%であり、プログラムにおける1985年の年間目標を達成した。とくに、1985年9月の月間設備利用率は86%にも達しており、プラント信頼性はかなり高いと評価できる(図2-6-2参照)。
2. プラント停止原因に関しては、ガス化炉のトラブルは1回のみであり、大半がスラリーポンプ、スラグ排出システムのトラブル、保護装置の誤動作などである。
3. 炭素転換効率、冷ガス効率、送電端効率などは、いずれも設計値以上の実測値が得られることが確認できた(表2-6-

クールウォーター・プラントの運転時間は約7300時間に達し
優れた環境性が確認できた。



2参照。

4. 環境特性に関しては、SO₂、NO_x、ばいじん排出値は、いずれもEPA (米国環境保護庁) の新設石炭火力用の基準値 (NSPS) の1/10程度であり、環境対策上優れたものであることが確認できた (表2-6-3参照)。

5. 高硫黄炭 (イリノイNO.6炭、ピッツバーグNO.8炭) の運転試験も実施されており、プログラム標準炭 (SUFCO炭) と同様に優れた運転実績が得られている。

本実証試験は、1989年6月まで実施されるが、この間我が国の電気事業が注目している豪州産の高灰融点石炭のガス化試験も1987年度に計画している。

当所では、クールウォータープログラムの実績を運転保守、熱効率、環境、経済性などの観点より総合的に検討評価し、我が国の電気事業に適した石炭ガス化複合発電の開発に資することとしている。

表2-6-2 クールウォーター・プラント性能

	設計	実績
ガス化部		
炭素転換効率 (%)	95	98
O/C比	0.99	0.97
スラリー濃度 (%)	60	59
冷ガス効率 (%)	71.2	73.7
酸素消費量 { m ³ O ₂ /1000m ³ 生成ガス(H ₂ +CO) }	421	390
発電部		
ガスタービン出力 (MW)	64.5	69.5
蒸気タービン出力 (MW)	52.8	42.7
合計発電端出力 (MW)	117.3	112.2
不使用熱回収装置補正 (MW)	—	5.0 ¹⁾
補正後発電端出力 (MW)	117.3	117.2
CWCGP所内動力 (MW)	6.1	6.9
熱回収装置追加分 (MW)	—	0.4 ¹⁾
O ₂ プラント用動力 (MW)	18.4	17.8 ²⁾
送電端出力 (MW)	92.8	92.1
熱消費率 (kcal/kWh)	2863	2812 ¹⁾
送電端熱効率 (%)	30.0	30.6 ¹⁾
注1) 性能試験時不使用熱回収装置 (HRSGエコノマイザ、サチュレータ他) について補正		
注2) Airco O ₂ プラントでのアルゴン生産用の動力消費を補正		

表2-6-3 クールウォーター・プラントの環境排出値

	NSPS基準値	EPA許容値	実測値
SO ₂	約 86ppm ¹⁾	10ppm	9ppm
NO _x	約250ppm ²⁾	50ppm ³⁾	23ppm
ばいじん	約25mg/m ³ N ⁴⁾	—	約0.8mg/m ³ N

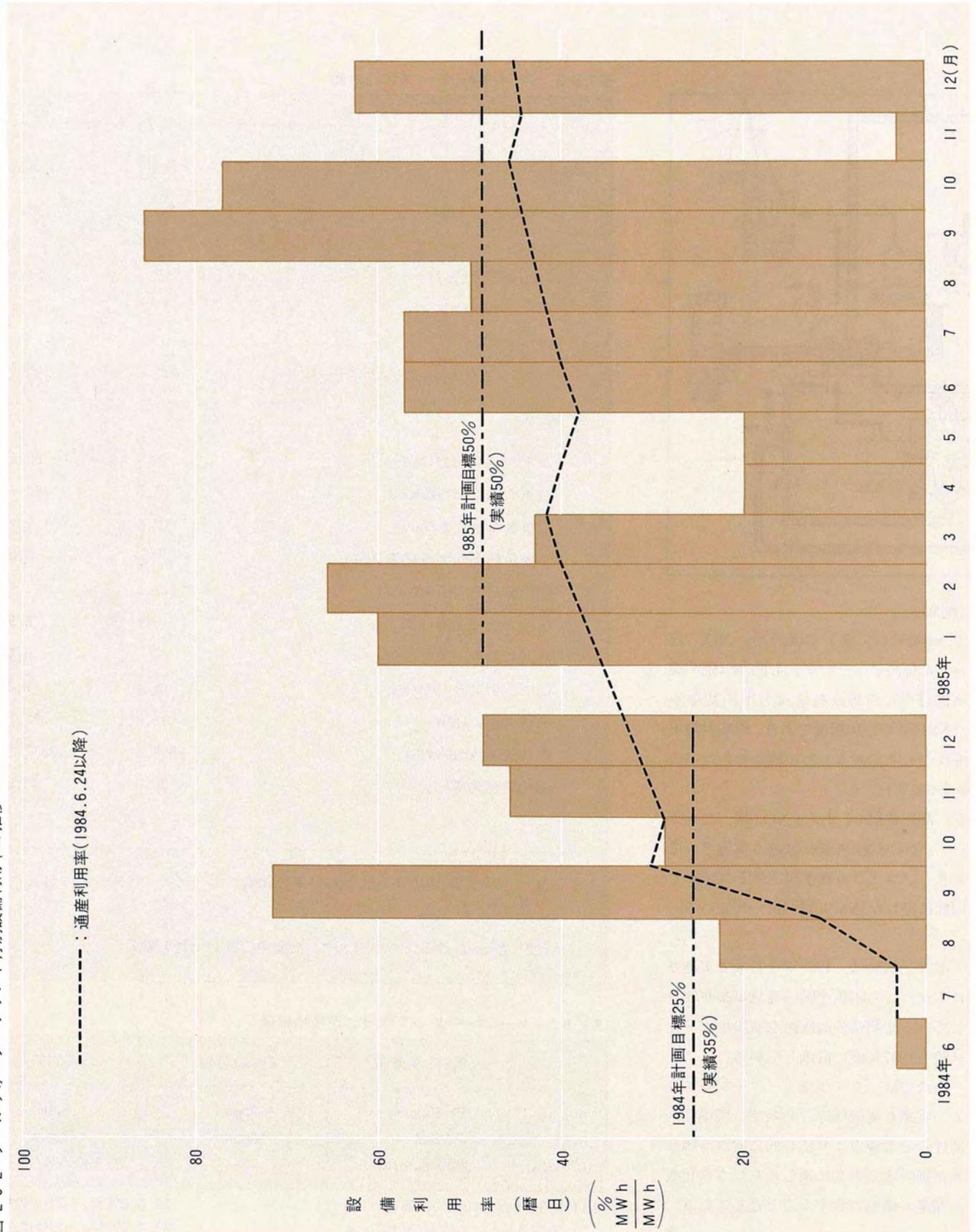
注1) 0.30Lbs/10⁶Btuの換算値

3) 地方条例による規制値は27ppm

2) 0.60Lbs/10⁶Btuの換算値

4) 0.03Lbs/10⁶Btuの換算値

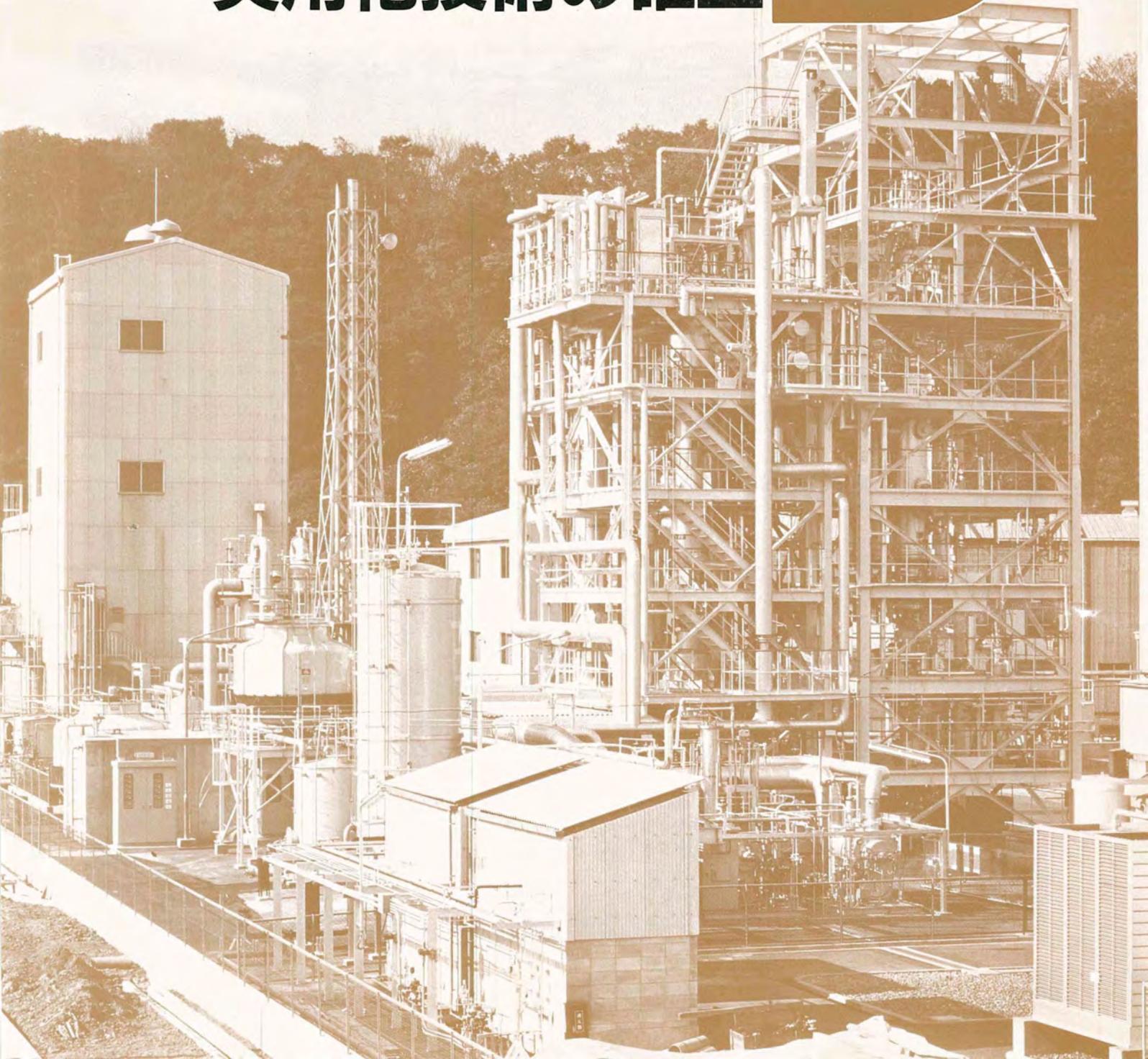
図 2-6-2 クールウォータープラント月別設備利用率の推移



第 5 章

実用化技術の確立

5



3-1 実用化に向けての技術開発..... 水谷 弘... 69

 3-1-1 背景

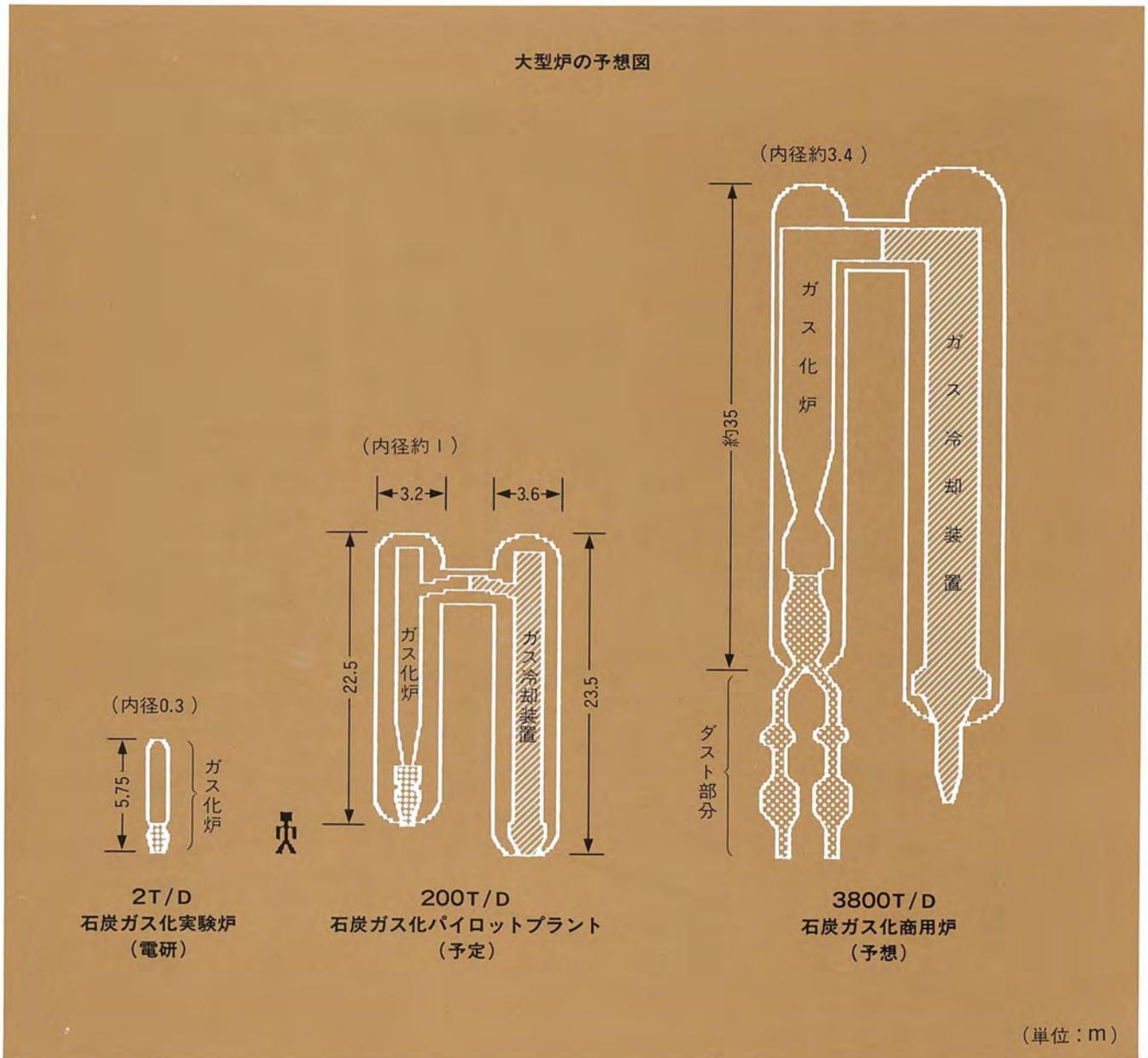
 3-1-2 我が国の研究開発スケジュール

3-2 大型化のための技術開発課題..... 水谷 弘... 71

 3-2-1 200T/Dパイロットプラント

 3-2-2 今後の方針

(所属は61.6.16現在)



3-1 実用化に向けての技術開発

3-1-1 背景

石炭を燃料とする発電の理想的形態の一つは石炭ガス化複合発電である。しかし、石炭ガス化複合発電は現在、技術開発途上であり、実用化されるまでには幾多の困難な技術的課題を克服していくことが必要である。

石炭ガス化複合発電プラントはガス化炉、クリーンアップ装置、ガスタービン、蒸気タービンサイクルなどからなる複雑なシステムである。したがって、システム全体として高い信頼性を得るためにはガス化炉、クリーンアップ装置などの構成要素が極めて高い信頼性をもつことが要求される。

また、ガス化炉とクリーンアップ装置、ガスタービンなどは密接に関係するので、それらが相互に協調がとれており、プラント全体として調和がとれたシステムであることが必要である。

したがって、石炭ガス化複合発電技術は、常にプラント全体を一貫して技術開発することが重要となる。

3-1-2 我が国の研究開発スケジュール

米国においては、石炭ガス化複合発電技術開発が実証プラントの段階に来ているが、高効率をめざす我が国においては、ベンチスケールプラントからパイロットプラントに移行する段階である。石炭ガス化複合発電プラントは炭種、運用性などによりプラント設計が大きく変化する。したがって、欧米と我が国では燃料事情、

電力系統運用などが異なるので、我が国の国情に適合した石炭ガス化複合発電技術を確立することが必要である。

我が国では、石炭のほとんどを輸入に依存しているので、欧米に比べ燃料価格が高く、したがって、在来の石炭火力より優れた経済性を得るためには高効率化、大容量化が必要である。また、世界各地から石炭を輸入しているため、どのような産炭地の炭種でも十分に使用できること即ち、広範囲な炭種適合性が必要である。

将来における我が国の電源計画は原子力を第1の柱とし、石炭を第2の柱とする計画である。したがって、21世紀の将来においては石炭を燃料とする発電は大幅に増大することが予想される。

一方、国土が狭い我が国においては環境規制が増々厳しくなることが予想されるので、優れた環境保全性のある技術の開発が強く要望される。

21世紀における我が国の電力系統は、電源の構成上、原子力をベースロード用とし、石炭火力を中間負荷用として運用することが予想される。したがって、負荷応答性の優れた石炭ガス化複合発電プラントの開発が必要である。

以上のことから、我が国の電気事業に適した石炭ガス化複合発電が開発され、定着するためには、

- (1)高効率大容量化
- (2)広範囲炭種適合性
- (3)優れた環境保全性
- (4)負荷応答性

を目標とした技術開発が必要である。

これらの目標を達成させるための研究

開発課題を図3-1-1に示す。

ガス化炉としては、噴流床石炭ガス化技術、クリーンアップ装置としては、乾式クリーンアップ技術、石炭ガス化用ガスタービンでは、ガスタービン高温化技術、低カロリー・低NO_x燃焼器技術、高温耐食材料技術、システムとしては石炭ガス化複合発電最適システム技術、最適運転制御技術である。

これらの目標を達成し、実用化するためには、多くの技術開発の道があり、長い年月が必要である。そこで、技術開発戦略が必要となる。

我が国の石炭ガス化複合発電技術の研究開発スケジュールを図3-1-2に示す。

我が国の戦略は、まず第1段階として既存の最高技術を結集して石炭ガス化複合発電プラントを開発し、トータルシステムとして実証することである。

この段階で目標とする主なものは、広範囲炭種適合性、優れた環境保全性、負荷応答性である。

昭和61年度から開始される200T/Dパイロットプラント計画は、第1段階を目標としたものである。

次の第2段階は石炭ガス化複合発電技術の高度化の段階である。

研究開発が長い年月を必要とする、高効率大容量化、優れた負荷応答性を主な目標として、石炭ガス化複合発電技術の高度化をはかり、経済性の優れた発電技術に発展させていくことが必要である。

石炭ガス化複合発電は十分な経済性が得られる段階になって商業的に普及し、石炭を燃料とする発電の主流をしめるようになっていくであろう。

図 3-1-1 石炭ガス化複合発電プラントの研究開発目標と研究開発課題

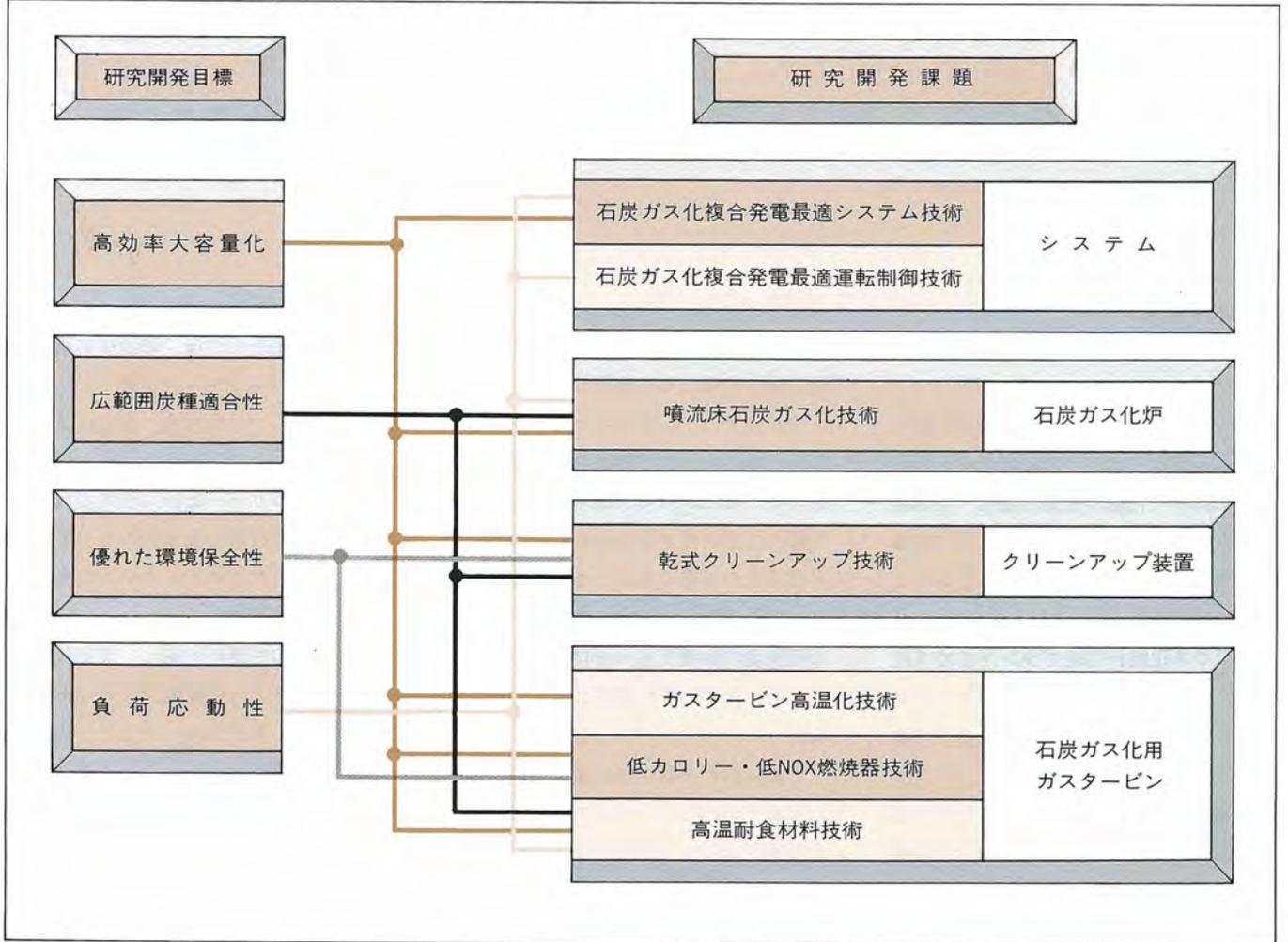
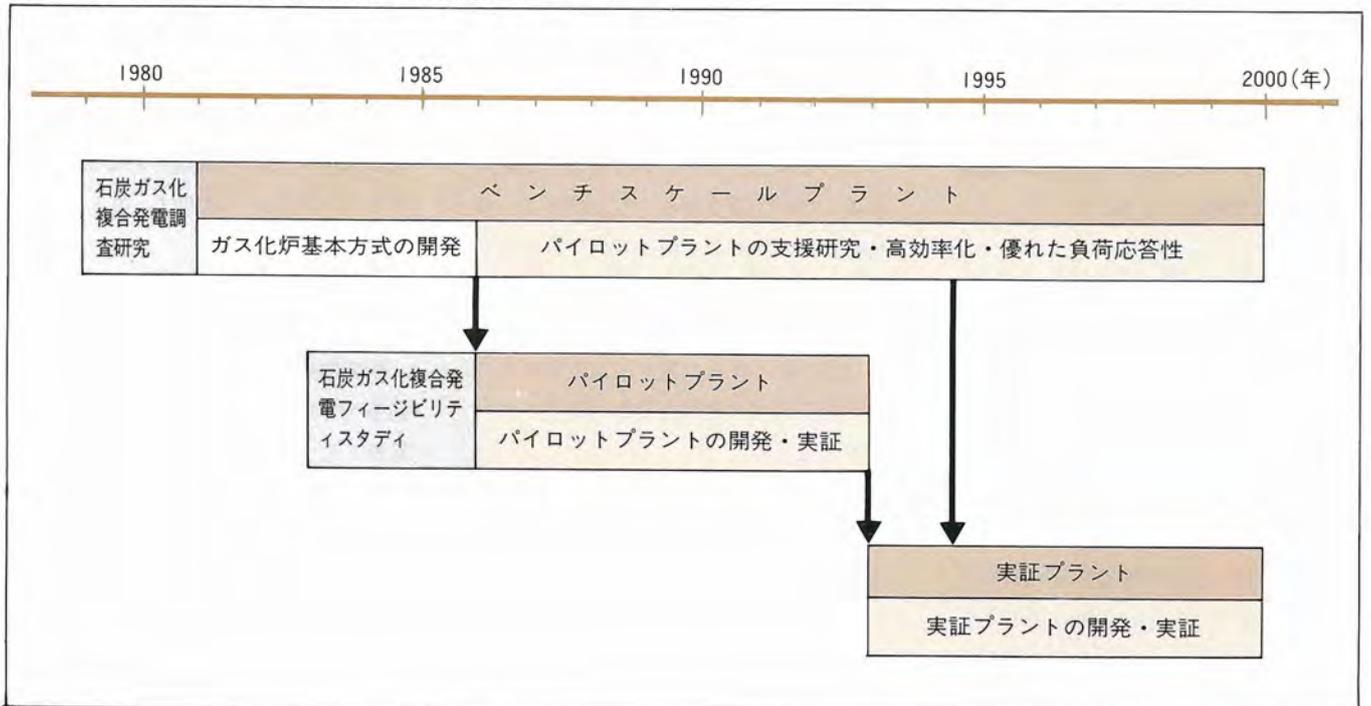


図 3-1-2 石炭ガス化複合発電技術の研究開発スケジュール



3-2 大型化のための技術開発課題

3-2-1 200T/Dパイロットプラント計画

我が国における噴流床方式石炭ガス化複合発電の研究は、当所が昭和54年に始めたのにさかのぼる。56年に当所と三菱重工との共同研究により加圧2室2段噴流床方式の2T/Dベンチスケール実験装置を開発し、優れた特性を有することを実証した。

一方、国は内外における石炭ガス化複合発電技術開発の機運の高まりから、石炭ガス化複合発電のフェジビリティスタディを58年に開始した。

当所では、NEDOを通じて、この研究を受託し、200T/D噴流床方式パイロットプラントの計画を策定した。

このパイロットプラント計画は、61年度から7カ年間の予定で実施される。

我が国のパイロットプラント計画では、石炭ガス化炉として、当所と三菱重工との共同研究による加圧2室2段噴流床石炭ガス化方式を、クリーンアップ装置としては乾式クリーンアップ方式を、ガスタービンについては1300℃級空冷方式を採用することとなっており、これらを総合した最適なトータルシステムの技術開発が目標とされている。

パイロットプラント計画はパイロットプラントによるガス化試験、クリーンアップ試験、ガスタービン試験、プラント運用性試験を行うとともに、これと併行してパイロット試験を補完する要素研究をベンチスケールプラント、あるいは要

素試験装置を用いて行うこととなっている。その主要研究課題を表3-2-1に示す。

200T/Dパイロットプラントによる試験は次の通りである。

1. 石炭供給系、ガス化炉については、石炭の連続安定供給技術、最適ガス化条件の把握、炭種適合技術、スラグ安定取出し技術、チャーリサイクル技術を検討するとともにガス化炉の耐圧炉壁構造の開発とその伝熱特性の検証を行う。
2. クリーンアップについては、乾式クリーンアップの脱硫・集じん性能を把握し、その高性能化を図るために、プラントの起動停止、負荷変動の応答性、長期運転、炭種によって異なる硫黄分への適応性、微量成分対策などの技術の検証を行う。
3. ガスタービンについては、実寸の燃焼器を用いて精製ガスを実圧実負荷条件下で燃焼試験することにより、低カロリー・低NO_x高温・安定燃焼技術を確立する。
4. 静止カスケード試験装置および小型ガスタービンを用いて、圧縮器、燃焼器、タービン動・静翼などの石炭ガス対策技術および高温化技術を確立する。
5. トータルプラント技術については、ガス化炉、クリーンアップ系、ガスタービンを含むトータルプラントの起動、負荷変動などの運転制御技術を確立する。

また、要素研究は次の通りである。

1. 石炭供給系・ガス化技術については、さらに広範なガス化特性を把握するとともに、コールドモデルなどにより、バー

ナの改良、大容量炉でのバーナ配置などの検討を行う。

2. クリーンアップ技術については、乾式クリーンアップの研究開発を実施するとともに、脱硫剤の耐久性、クリーンアップシミュレーションと大型コールドモデルなどによるスケールアップ技術などを検討する。

3. ガスタービン技術については、低カロリー燃焼バーナの開発、低NO_x燃焼条件の把握、高温化技術および石炭ガス対策技術を検討する。

4. トータルプラント技術については、パイロットプラントのシミュレーションプログラムを開発し、プラントの制御技術を行うとともに、プラント信頼性評価手法などについて検討する。

以上のように、パイロットプラントにおける技術課題は山積しており、これらの技術課題を克服するためには要素研究が重要な役割をはたすことになる。

その後は、パイロットプラントの成果をふまえて、実証プラントを今世紀中に開発する機運にある。

3-2-2 今後の方針

一方、石炭ガス化複合発電技術の高度化は非常に長い年月を必要とするので、着実に基礎的研究、実証的研究を積み上げていくことが重要である。

実証プラントの開発においては可能なかぎり技術の高度化をはかり、石炭ガス化複合発電の商業化を促進することが肝

要である。

当所は我が国における石炭ガス化複合発電技術開発において、先導的役割を果たして来たが、今後もパイロットプラン

トの開発が大きな成果をおさめるよう、研究開発を強化し、プロジェクトの成功に寄与したいと考えている。

また、石炭ガス化複合発電が商業化さ

れるためには、技術の高度化が不可欠である。したがって、当所は技術の高度化についても、今後とも一層、基礎的研究を積み重ねていく所存である。 ●

表3-2-1 パイロットプラント試験研究における主要技術課題

	石炭供給・ガス化炉	クリーンアップ	ガスタービン	プラントシステム
200T/Dパイロットプラントにおける課題	<ul style="list-style-type: none"> a. ガス化基本特性・最適ガス化条件の把握 b. 炭種適合性能 c. スラグ安定排出性能 d. ロックホップシステムの作動性 e. 耐火材性能の検討 f. 起動・停止性能、負荷変化特性 g. 実証炉へのスケールアップ技術 h. 熱交換器伝熱性能 i. 各種材料腐食性評価 j. ガス化炉総合特性 	<ul style="list-style-type: none"> a. 精製基本特性・性能把握 b. 長時間運転性能 c. 負荷変化性能 d. 起動・停止および非常停止性能 e. 炭種適合性 f. 吸収剤への微量成分影響 g. 精製系総合特性 	<ul style="list-style-type: none"> a. エロージョン・コロージョン特性 b. 高性能冷却翼性能およびデポジット特性 c. 燃焼器の着火・起動特性 d. 燃焼器全負荷特性 e. 燃焼器排ガス性能 f. ガスタービン基本特性・性能把握 g. ガスタービン抽気特性 h. ガス化炉・ガスタービン連携運転性能 i. 負荷遮断等非常停止性能 j. ガスタービン総合性能 	<ul style="list-style-type: none"> a. プラント全体性能 b. 運転特性・制御性 c. 安全性 d. 環境適合性 e. 廃棄物処理・有効利用技術
要素技術研究における課題	<ul style="list-style-type: none"> a. 高圧可燃粉体系の信頼性と安全 b. 高性能チャー回収システム c. プラント立体モデルによる保安空間と安全対策 d. 2T/Dガス化炉によるガス化特性 e. ガス化炉構造検討 f. ガス化ガス雰囲気下の材料信頼性 g. ガス化炉付属機器構造検討 h. 高ばいじん下の熱交換器伝熱特性 i. 物性調査 j. ガス化炉動特性解析 k. ガス化炉内流動解析 l. 測定・計測技術の開発 	<ul style="list-style-type: none"> a. 脱硫装置の大型化・構造最適化 b. 集じん器本体の構造最適化 c. 脱硫剤仕様の最適化 d. 耐熱・耐摩耗材料の検討 e. 戸過材/ダスト空送および分離手法 f. 還元反応およびコントロール方法の最適化 g. 乾式ガス精製装置の運用性・信頼性 h. 2T/D代替高性能ガス精製特性評価 i. 大容量化シミュレーション解析 	<ul style="list-style-type: none"> a. 燃焼特性把握と安定燃焼 b. 燃焼器模擬ガス性能 c. 燃焼器監視技術 d. ガスタービン・ガス化炉運転特性解析 	<ul style="list-style-type: none"> a. プラント全体のシミュレーション解析 b. プラント総合制御システムの開発

お わ り に

石炭ガス化複合発電プロジェクトチーム 総括リーダー 上田 隆右

電気事業にとって最も緊急かつ重要な課題の一つといえる石炭利用拡大のための技術、その内でも石炭ガス化複合発電は、原子力発電を補完する将来(21世紀初)の主要電源として大いに期待されており、その研究開発は国・NEDO・電気事業・メーカーを挙げて、積極的に進められている。

当研究所は、本発電システムの最大の研究課題である石炭ガス化炉に一早く取組み、実証研究を通して着実な成果をあげると共に、引続き高効率で良い環境性が得られる、乾式ガスクリーンアップ、更には高温化・低コスト化のためのガスタービン要素研究、セラミックスならびに新しい金属材料の研究など、石炭ガス化複合発電に関する全分野に亘って、先導的にかつ重点プロジェクトとして研究開発に取り組んでいる。

先に国・電気事業において、石炭ガス化複合発電の研究開発(パイロットプラント計画)を推進するため、技術研究組合が設立された。

当所は電気事業の総合的な研究機関として、またこの組合の構成メンバーとして、今迄の石炭ガス化複合発電に関する基礎的・実証的な研究成果を最大限に国のプロジェクトに反映させると共に、今後共、国・電気事業と一層の協調をはかり、石炭ガス化複合発電の技術確立、ひいては実用化に向けて全力を上げて研究開発に取り組んで行く所存である。

関連する主な研究報告書

1-1~4

1. 「エネルギー・電力需給の長期展望」 電力中央研究所 (1984)
2. 「石炭ガス化複合発電に関する当面の研究課題」 エネ研・研究報告：280062 (1980)
3. その他2-1~5に関連する研究報告書と重複

2-1

1. 「新エネルギー技術評価手法の体系化2—新エネルギー技術の発電コストと経済的開発価値—石炭新発電方式への試算例」 経済研・研究報告：582026 (1982)
2. 「レヒートガスタービンをを用いた石炭ガス化複合発電システムの検討」 エネ研・研究報告：284031 (1984)
3. 「石炭ガス化複合発電システムの熱効率解析用簡易プログラムの開発 (第2報エクセルギ解析)」 エネ研・研究報告：283089 (1983)

2-2

1. 「石炭ガス化炉シミュレーションプログラムの開発—反応速度に基づく熱物質収支」 エネ研・研究報告：284034 (1984)
2. 「2 T/D石炭ガス化炉基礎実験装置による試験研究—実験装置概要と中間試験結果」 エネ研・研究報告：284030 (1984)

2-3

1. 「酸化鉄の脱硫性能」 エネ研・研究報告：284005 (1984)
2. 「乾式脱硫剤の組成と脱硫剤評価」 エネ研・研究報告：284063 (1984)
3. 「乾式脱硫剤の長期信頼性」 エネ研・研究報告：285030 (1985)
4. 「高温高圧下における集じん技術の最近の動向」 エネ研・研究報告：283044 (1983)

5. 「静電浮過集じん方式の石炭ガス化への適応性」 エネ研・研究報告：284023 (1984)

2-4

1. 「低カロリーガス燃焼に関する研究その(1)、その(2)」 エネ研・研究報告：285041、285068 (1985)

2-5

1. 「セラミック静翼の構造と設計検討」 CRIEPI-85001 (1985)
2. 「超高温高速燃焼ガス流中における炭化珪素、窒化珪素およびサイアロンの耐久性」 エネ研・研究報告：283067 (1983)
3. 「超高負荷燃焼器に関する研究」 エネ研・研究報告：284008 (1984)
4. 「セラミックス・金属かん合型超高温ガスタービン燃焼器の開発(第4報)大型化に対する改良と燃焼試験結果」 エネ研・研究報告：285036 (1985)
5. 「単結晶合金の高温強度特性評価」 エネ研・研究報告：284069 (1984)
6. 「ガスタービンディスク材 I N-718の高温疲労寿命評価に関する研究」 エネ研・研究報告：216 (1983)
7. 「天然ガスの接触燃焼—試作触媒の耐久性」 エネ研・研究報告：285019 (1985)
8. 「接触燃焼における燃料・空気の子混合—モデル混合器の試作およびその性能評価」 エネ研・研究報告：284073 (1984)
9. 「高温ガスタービン翼水冷却技術(第5報)—細管冷却孔の冷却性能」 エネ研・研究報告：284025 (1984)
10. 「冷却用の液体を内蔵する回転体の振動特性(その2)—多自由度系の危険速度・自励振動領域」 エネ研・研究報告：283060 (1983)

本 部／経済研究所 東京都千代田区大手町1-6-1 ☎(03)201-6601 ☎100
 我孫子事業所 千葉県我孫子市我孫子1646 ☎(0471)82-1181 ☎270-11
 赤城試験センター 群馬県勢多郡宮城村苗ヶ島2567 ☎(0272)83-2721 ☎371-02

狛江事業所 東京都狛江市岩戸北2-11-1 ☎(03)480-2111 ☎201
 横須賀研究所 神奈川県横須賀市長坂2-6-1 ☎(0468)56-2121 ☎240-01
 UHV塩原実験場 栃木県那須郡塩原町関谷1033 ☎(0287)35-2048 ☎329-28

編集後記

電研レビュー第15号「石炭ガス化複合発電の実現に向けて」をお届けします。

いよいよ、石炭ガス化複合発電技術研究組合が発足し、官民挙げての実用化研究が本格化することになりました。本号の刊行が技術開発の一助となれば誠に幸いです。

本号では、「巻頭言」を電源開発株式会社坂口桃一郎理事にお願い致しました。理事はまた、石炭ガス化複合発電技術研究組合の副理事長という要職に就任されております。石炭の利用拡大を強力に推進されている立場からの、貴重なご意見と激励のお言葉をいただきました。紙面をかりて厚く御礼申し上げます。

◎主観と客観◎

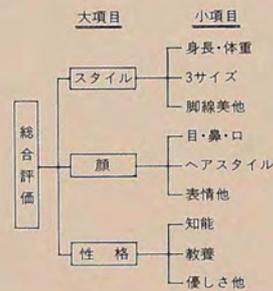
本文の2-1「適切な石炭ガス化複合発電プラントの選定」にあるとおり、当所では、石炭ガス化複合発電プラントの最良の構成を考えるにあたって、「多目標評価法」といわれる新しい技術評価の手法を用いました。

この手法では、複合発電プラントのような、多くの技術的要素の組み合わせからなる対象を、従来の手法に比べて、より目的に則したかたちできめ細かく評価することができます。

具体的な方法としては、まず対象を構成する項目を定め、次に各項目毎の評価を行ってから、それらを取りまとめて総合評価を得ます。

例えば、美人コンテストに応用すれば、図-1のようになるでしょう。

図-1



大雑把に言えば、スタイル、顔、性格の3大項目に分けて、各々評価することになります。各項目は、できる限り数量化した客観的なデータをもとに評価を行います。優しさなどの計測には、工夫が要求されます。

ここまでは従来の手法と同じですが、しかし、比較的数値化しやすい項目においても、以外な評価の盲点がありました。

それは、評価者にとっては、候補者から得られるデータと評価が、必ずしも正比例しない点です。

仮に、「スタイル」の項目を例にとってみましょう。

理想のスタイルを「ミロのビーナス」として最高の得点を与え、逆に最低点を「ずん胴」とした場合について考えてみます。

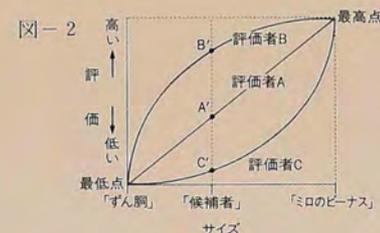


図-2に示すように、評価者Aにとっては、「ずん胴」から「ミロのビーナス」までの距離は、得点と正比例しますが、Bにとっては、「ずん胴」から少しでも離れると得点は急上昇し、逆にCのように、かなり渋めの評価を行う人もいます。

同じ候補者から得たデータをもとにしても、その得点A'、B'、C'は、相当異なるこ

とになります。従来の手法では、Aのような直線的な評価のみを行っており、評価者にとって必ずしも、満足のいく比較の基準とはいえませんでした。

「多目標評価法」では、評価者の判断により、予めBやCの曲線を選んで、評価者が、理想値への接近の程度をどの位重要視するかを、積極的に取り入れた柔軟な評価を行うことができるようにしてあります。

また、各項目間の重みづけについても、同様に、評価者による重要度の違いを考慮する必要があります。美人コンテストの例でいえば、スタイル、顔、性格のうち、どれを最も重要な条件と考えるかは、人それぞれ違いがあり、単純に各項目の評価を足し算しても、適切な総合評価とはならないからです。

そこで「多目標評価法」では、各項目に係数を掛けることにより、重みづけを行い、評価者にとり関心の深い項目に重点を置いた総合評価を可能にしております。

石炭ガス化複合発電プラントの場合は、電力各社へのアンケート調査にもとずいて、経済性と環境性の2項目に重みをつけた総合評価を行いました。

「多目標評価」は、誰が何のために、何を評価するのかという、評価の原点に立って、可能な限り数値化したデータという「客観」と、評価者の価値基準という「主観」とを上手に調和させ、目的に合わせて、複数の候補間の優先順位を、きめ細かく具体的な数値で表すことのできる優れた手法です。

工学それ自体もまた、自然から得られた科学という「客観」と、人間の意志という「主観」との融合したものとといえるでしょう。巨大化、複雑化していく現代の工学にとって、この新しい技術評価手法に含まれている、「客観」と「主観」との高度な調和というポリシーは、ますます重要なものとなってくると考えられます。

R