

DENKEN REVIEW

電研レビュー

新・省エネルギー 新たな役割をめざして

NO.4 1982.7

電研レビュー 第4号 ● 目次
新・省エネルギー / 新たな役割をめざして

巻頭言	2
第1章 緒言	7
第2章 プロジェクト研究	
2-1●石炭ガス化複合発電	15
2-2●燃料電池発電	29
2-3●太陽光発電	39
2-4●新型電池電力貯蔵	50
2-5●高効率複合発電	59
第3章 基本研究	
3-1●新エネルギー技術	77
3-2●省エネルギー技術	89
3-3●新・省エネルギー技術の総合評価	100

太陽光電池



太陽から地球に送られてくるエネルギーは、地表1平方メートル当り最大で約1キロワットに達する。

現在の太陽光電池は、平均して太陽のエネルギーの約10%を電気に変換できるが、原理的に発電能力が天候に左右されやすいため、実用化には、変換効率の向上、コストの低減と並んで、バッテリーや他の電源と組み合わせるなど、安定して電力を供給させるための工夫が不可欠である。

当所では、昭和53年以来、国のサンシャイン計画に参加して、システム全体の研究を推進中である。





研究開発の方途雑感

先日フランス大統領
ミッテランに随行し

た国務大臣兼科学技術担当大臣シュベヌマンに又随行した若い補佐官に会う機会があった。フランス高等工料学校を五番で卒業したと言うこの28歳の秀才はいかにもエリートらしく、日本料亭の料理など無視して熱心に日本の技術について質問をしたが、最後に「日本人が研究開発に適さない理由如何」と来た。私は多少反撥を感じて、「そんなことはない。これからは研究開発でも優秀なところを見せてやる。」と言い切ったが、内心不安を感じたのも事実である。

私は役目柄研究開発を担任して数年になるけれど未だこれと思う日本の独創的なものにお目にかかっている。この方面でも日本人の特許や論文の数は世界屈指であると言われているにも不拘である。まだまだ外国の方が一味すぐれていると、いつもつくづく感ずるのである。その原因はいろいろあろうが一つ大きな原因として産業界に籍をおく我々の年令層——我々より年令の高い層も含む——の研究開発に対する姿勢が間違っていたのではないかと思う。(以下私を含めて産業界にあって間違っていた人々を「我々」と呼ぶこととする。)

その一つは金を惜しんで冒険をやらなかったことである。せっかくのアイデアに対しても成功の見込みが薄いものについては消極的であった。従って日本の研究は外国の研究を追試フォローしているのが多く、当然最初の実用化は常に欧米に先を越されて来た。「一文惜しみの銭失い」という言葉があるが「我々」は「百万円惜しみの研究開発失い」をしたのではないだろうか。研究開発とは99%失敗することを

言い、失敗のリスクのより少ないものは改良開発と言う。しかしこの失敗は必ず貴重品として残るものであり、赤提灯で銭を捨てるのとは全然違うことを認識すべきであった。

第二には学問を尊重するふりをして実際は敬遠して来たことである。その証拠に一流の技術系会社といえども物理・化学・地質等理学方面の出身者が少ない。日本の優秀な科学頭脳がこちらの方に相当進出したにも不拘である。成程理学者は工学者とちがってすぐ役には立たない。また会社の規律になじめない人もいるかも知れない。しかし研究開発ではすべてが基礎的な理学上の問題につき当るのは明白である。多少組織になじめなくても「我々」は寢床の中で大変なTheoryを思いつく人々を尊重すべきであった。

第三は研究開発に対する管理意識の喪失である。研究開発は生涯研究者のような特種グループに任し介入すべからずとして来た。しかし「我々」はその中に立入って管理することが果して不可能であったのだろうか。戦後日本の成功の一つは所謂事務系の人達が技術の管理に成功したことにもよると思っているが、「我々」も遠慮せずに、もっと前既述事項を踏えての研究管理に情熱を燃やすべきでなかったか。優秀な研究者達がSystem的に管理されないまま、発表論文の数のみを以ってStatusを保つのみであったとしたら——之亦残念なことであった。

以上の「我々」の間違ひは過去の改良開発の時代には許容されたかもしれない。しかし今や日本の産業は言う迄もなく研究開発の時代である。しかも「我々」の余命はまだまだ永い。大いに奮発し直して私の若き補佐官への答えを「正しかった」としたいものである。

東京電力株式会社 取締役副社長

藤森 和雄

〔電力中央研究所 参与〕

電研/新・省エネルギー研究の歩み(昭和30～57年2月)

昭和 (西暦)	月	電力中央研究所	月	所 外
30 (1955)	—	風力発電の調査実施		
37 (1962)	—	大分県で地熱の試掘(九州電力と協同)		
40 (1965)	—	蒸気-ガス複合サイクルの検討開始 — 省資源型温室の研究開始		
45 (1970)	—	極低温送電研究推進委員会設置		
48 (1973)	10 —	重点研究課題に「新・省エネルギー」設定 メタノール燃焼実験実施	7	通商産業省資源エネルギー庁発足
49 (1974)	4 —	将来技術企画室設置(～50.4) — 温排水の農林水産業への利用研究開始	1	電力使用制限実施
50 (1975)	4	将来技術調査総括室設置		
51 (1976)	1 —	燃料電池の研究開始(富士電機と共同研究) — 地熱の調査研究開始		
52 (1977)	— — —	蓄エネルギーの調査、分析、評価を実施 — 高効率複合発電プラントの研究開始 — 海洋発電の資料調査実施	2 6	総合エネルギー対策推進閣僚会議設置 八丁原地熱発電所運開(5.5万kW、九州電力)
53 (1978)	4 10 12 12 — — — — — — — — — —	太陽光発電について工業技術院より研究受託(サンシャイン計画) 核融合発電研究連絡会設置 「高効率ガスタービンの開発」プロジェクトに参画(ムーンライト計画) 超電導交流発電機の実用化に向けて研究開始(日立製作所と共同研究) — 高効率ガスタービン用金属・セラミックスかん合方式を開発 — 超電導コイルによる電力貯蔵について研究開始 — 熱貯蔵について研究開始 — 太陽熱暖房温室の構造について検討実施 — 風力発電用ダリウス・マグナム型風車を考案 — 波力発電の合理的な設計案を提示 — 植物資源のエネルギー化について検討実施 — 畜産廃棄物のメタンガス化について実証実験開始 — 接触燃焼実験設備設置	5 9	葛根田地熱発電所運開(5万kW、東北電力、日本重化学工業) 高効率ガスタービン技術研究組合 (理事長：当所成田理事長57.7現在)
54 (1979)	4 4 6 7 11	将来研究総合調査室設置(～55.8) 新発電特別研究室、高効率複合発電特別研究室設置 石炭液化(SRC-I、SOM)についてEPRI(米国電力研究所)と共同研究実施(～56.6) — 波流発電の本格的実験開始(関西電力と共同研究) — 3kW太陽光発電実験装置を設置(後に6kWに増強)	3	全国的な省エネルギー運動開始
55 (1980)	8 10 11 11 —	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) 蒸気貯蔵について研究開始(日本鋼管他と共同研究) — 新型電池電力貯蔵システムについて工業技術院より研究受託(ムーンライト計画) — 1,000kW太陽光発電プラントについて新エネルギー開発機構より研究受託(東京電力、四国電力と共同受託、サンシャイン計画) — 極低温送電について総合報告作成	5 10 12	石油代替エネルギー法成立 新エネルギー総合開発機構、新エネルギー財団発足 — 科学技術庁資源調査会にエネルギー評価小委員会を設置 (委員長：当所上之園電力技術研究所副所長)
56 (1981)	3 5 11 — —	「2000年電力需給の展望—長期エネルギー戦略を探る」発表 — 溶融炭酸塩型燃料電池の研究開始(日立製作所、富士電機と共同研究) — 燃料電池発電技術について工業技術院より研究受託(ムーンライト計画) — 海洋エネルギー検討会設置 — 高温岩体について地熱地質構造調査実施(関西電力に協力)	5	BEST施設(新型電池による電力貯蔵実験施設)開所(米国)
57 (1982)	1 2	石炭ガス化について研究開始(三菱重工と共同研究、ガス化試験炉完成予定58年) — 米国の石炭ガス化計画・クールウォータープロジェクトに参加(東京電力およびメーカー2社と共同参加)		

第 4 章

緒 言

緒言

新しいものへのあくなき挑戦——これまでに人類のうちたてた金字塔の原動力であった。それはシーズが先であったか、ニーズが先であったか、歴史的にながめると、渾然一体となっている。

新エネルギー技術開発は、新しいという意味で人類の挑戦の道程にあり、未来のエネルギーという意味で夢やロマンがかけられている。現在の新エネルギー技術の開発は、しかし、ニーズ・オリエンテッドであると考えられる。2度にわたる石油ショックを経験し、石油代替エネルギーへの必要性が急速に高まったからである。

将来のエネルギー需要を想定して、それと見合う供給体制を構築することは、人類ないしは国家の繁栄に不可欠なことである。これまでニーズを先どりし、種々のシード技術の開発が行われてきたが、今後のエネルギー供給体制をにらんで、シーズのしぼり込みを行い技術の選択をしておかねばならない。これからは、技術開発を推進すればよいという古き良き時代の考え方は通用しない。選択するという苦しみを味わわねばならない。



我が国では通商産業省が80年代のエネルギー政策の基本となる「長期エネルギー需給見通し」を3年ぶりに改訂し、1982年4月21日付で発表して目標を示した。1990年度までの経済成長率を5%と見積り、脱石油化と原子力発電の推進を大きな柱にしている。経済成長率5%は政府の現在の新経済社会7ヶ年計画に整合させたものであるが、これが4%に改定される可能性はある。これら政府の指標は努力目標値と考えるべきものである。ちなみに当所の予測では2000年までに平均年成長率は3%程度と考えている。

表1-1に改訂版「長期エネルギー需給見通し」、表1-2にそれに対応した電力の供給目標(1990年度)と需給展望(2000年度)を示す。エネルギー全体で見ると、1980年度に比し、1990年度は1.4倍、2000年度は1.8倍となっているが、電力(設備容量あるいは発電電力)をみると、それぞれ1.6倍、2.3倍となり、電力の伸びはエネルギーの伸びを上まわっていることが分る。中でも本特集に関連する脱石油に係る新エネルギーによる発電電力の占める割合は、量的には未だ多くはないが、その伸びは石炭、LNG、地熱、その他の新エネルギーを含めて1980年度に比し、1990年度は2.7倍、2000年度は3.5倍となり、新エネルギーによる発電電力の伸びへの期待は全体の伸びよりも大きい。これはすなわち電気事業における脱石油への努力を示している。

このように、石油依存から脱却して、将来にわたり電源を確保していくためには、原子力の推進のほかに、ここでいう新エネルギー技術を開発し、電源多様化を進めていくと共に、効率の高い発電方式や損失の少ない送電路等を開発し、省エネルギー化を推進する必要がある。

このため、当所では、シード技術のしぼり込みを行い表1-3および表1-4に示すように、プロジェクト研究(5課題)と基本研究を設定し、研究開発を行っている。

表1-1 長期エネルギー需給見通し(出典：通商産業省 昭和57年4月21日付発表)

項目	年度		昭和55年度(実績)		昭和65年度		昭和75年度(試算)	
			実数	構成比(%)	実数	構成比(%)	実数	構成比(%)
エネルギー需要 省エネルギー率			4.29億kℓ		5.9億kℓ 15.5%		7.7億kℓ程度 25%程度	
エネルギー別	区分		実数	構成比(%)	実数	構成比(%)	実数	構成比(%)
石	炭 〔うち国内石炭〕 〔うち一般炭〕		9,240万t 〔1,810万t〕 〔2,130万t〕	16.7	15,300万t 〔1,800~2,000万t〕 〔6,600万t〕	19.5	20,000万t程度	19
原子力			1,570万KW	5.0	4,600万KW	11.3	9,000万KW程度	18
天然ガス	〔うち国内天然ガス〕 〔うちLNG〕		2,590万kℓ 〔22億m³〕 〔1,680万t〕	6.0	6,800万kℓ 〔73億m³〕 〔4,300万t〕	11.5	8,200万kℓ程度	11
水力	〔一般水力〕 〔揚水〕		{ 1,900万KW 1,080万KW }	5.6	{ 2,350万KW 2,200万KW }	5.0	{ 3,000万KW程度 3,300万KW程度 }	5
地熱			30万kℓ	0.1	600万kℓ	1.0	1,500万kℓ程度	2
新燃料油、新エネルギー、その他			70万kℓ	0.2	1,500万kℓ	2.5	6,500万kℓ程度	8
石油	〔うち国内石油〕 〔うちLPG〕		2.85億kℓ 〔50万kℓ〕 〔1,400万t〕	66.4	2.9億kℓ 〔190万kℓ〕 〔2,400万t〕	49.1	2.9億kℓ程度	38
供給合計			4.29億kℓ	100.0	5.9億kℓ	100.0	7.7億kℓ程度	100

注 ① 原油換算は9,400kcal/ℓによる。② 石炭の欄には、石炭流体化混合燃料、石炭ガス化に利用される石炭を含む。③ 国内石炭の数量には、雑炭および過欠片を除く。④ 新燃料油、新エネルギー、その他の欄には、石炭液化油、オイルサンド油、オイルシェール油、アルコール燃料、太陽エネルギー、薪炭等を含む。⑤ 構成比の各欄の数値の合計は、四捨五入の関係で、100にならない場合がある。

- この見通しは、民間の最大限の理解と努力のもとに、政府の総合的なエネルギー政策の重点的かつ計画的な遂行を前提とした場合のエネルギー需給見通しを示すものである。
- 省エネルギー率は、昭和55年度を基準として、エネルギー生産性の向上をエネルギー需要の対GNP原単位の低減比で示したものであり、省エネルギーの目標を示す一つの指標であるが、昭和65年度におけるエネルギー需要5.9億kℓは、省エネルギーの推進により更に引き下げるよう努力すべきである。
- 石油代替エネルギーの開発・導入には、引き続き最大限の努力を傾注し、供給力の拡大を図る。
- 石油の安定供給には最大限の配慮を要するが、上記の努力により、昭和65年度には石油依存度を5割以下にする

ことが可能である。

- 国内石油・天然ガスは、合計で昭和65年度950万kℓである。
- 石炭のうち国内石炭については、現在程度の生産水準の維持を基調とし、諸事情の好転を待って将来における年産2,000万t程度の生産水準の達成を目指すことを基本的な考え方にすべきである。
- 地熱のうち、地熱発電は、昭和65年度300万kW、昭和75年度800万kW程度である。
- サンシャイン計画によるエネルギー供給量は、昭和65年度約2%、昭和75年度約7%である。
- 昭和75年度のエネルギー需給見通しは、エネルギー政策の長期的性格にかんがみ、1つの試算として将来のエネルギー需給の方向を示したものである。

表1-2 電源開発および電力供給目標(1990年)と展望(2000年)

	1980年(昭和55年度)				1990年(昭和65年度)				2000年(昭和75年度)			
	年度末電源設備 (万KW)		年間発電電力量 (億KWh)		年度末電源設備 (万KW)		年間発電電力量 (億KWh)		年度末電源設備 (万KW)		年間発電電力量 (億KWh)	
	(実績)	構成比 (%)	(実績)	構成比 (%)	(目標)	構成比 (%)	(目標)	構成比 (%)	(展望)	構成比 (%)	(展望)	構成比 (%)
原子力	1,551	12.0	820	16.0	4,600	22.0	2,530	30.1	9,000程度	30	5,200程度	43
石炭	526	4.1	227	4.4	2,300	11.0	1,040	12.4	5,000程度	17	1,900程度	16
L N G	1,971	15.2	773	15.0	4,300	20.6	1,790	21.3	4,700程度	16	1,800程度	15
水力	2,867	22.2	851	16.6	4,400	21.1	1,070	12.7	6,100程度	20	1,400程度	12
一般	1,786	13.8	813	15.8	2,200	10.5	890	10.6	2,800程度	9	1,150程度	10
揚水	1,081	8.4	38	0.7	2,200	10.5	180	2.1	3,300程度	11	250程度	2
地熱	13	0.1	9	0.2	270	1.3	180	2.1	700程度	2	400程度	3
L P G	60	0.5	39	0.8	330	1.6	120	1.4	(注)石油にはLPG等を含む(2000年のみ)			
石油	5,948	46.0	2,260	44.0	4,700	22.5	1,480	17.6	4,500程度	15	1,300程度	11
その他	—	—	162	3.1	—	—	190	2.3				
合計	12,936	100.0	5,141	100.0	20,900	100.0	8,400	100.0	30,000程度	100	12,000程度	100

注 その他は、高炉ガス等による発電電力量である。
この表は、通商産業省電気事業審議会需給部会の1982.4.22付中間報告をもとにしたものである。



地熱の現地調査

表1-3 新・省エネルギー関係研究課題
プロジェクト研究

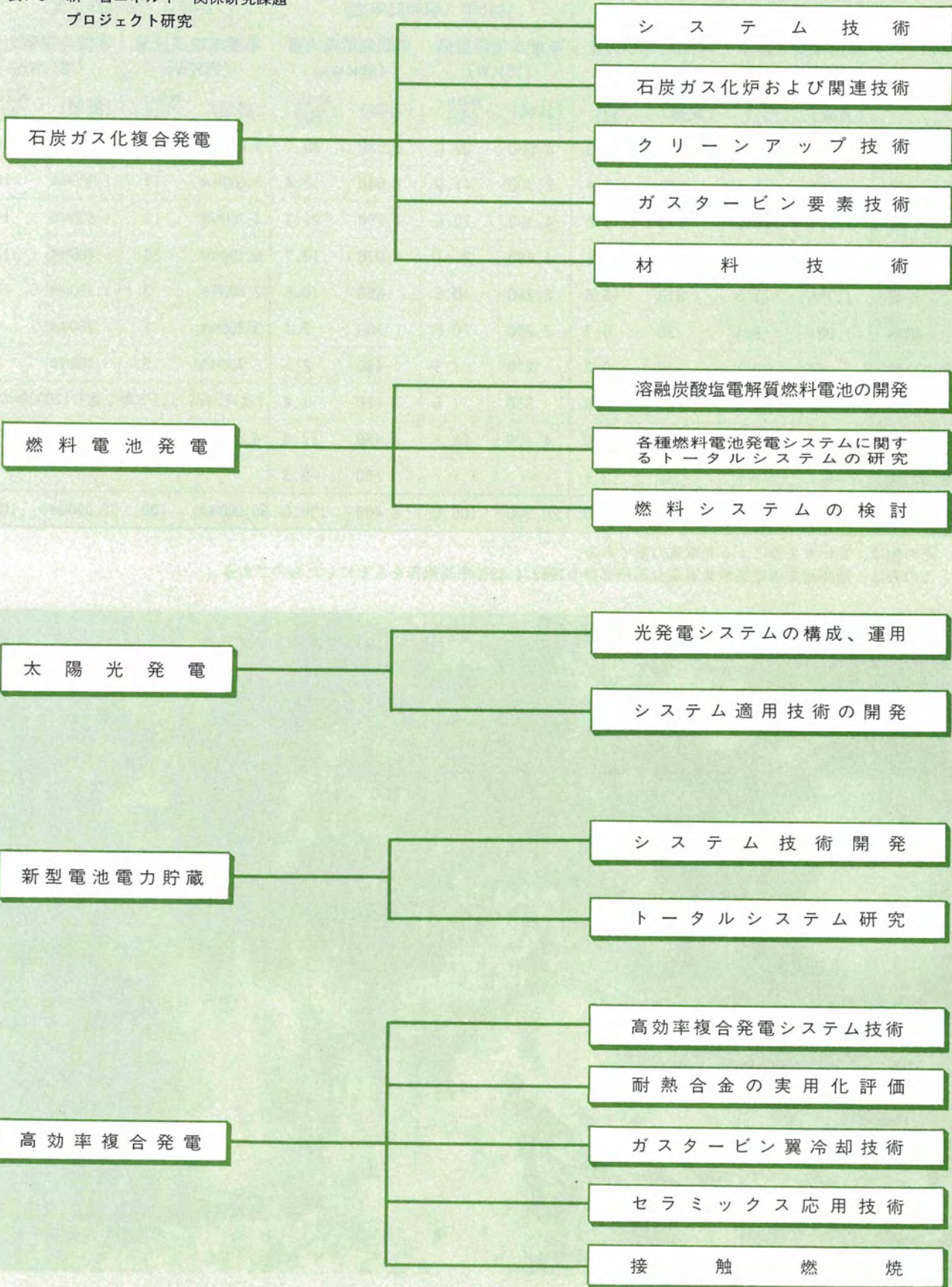
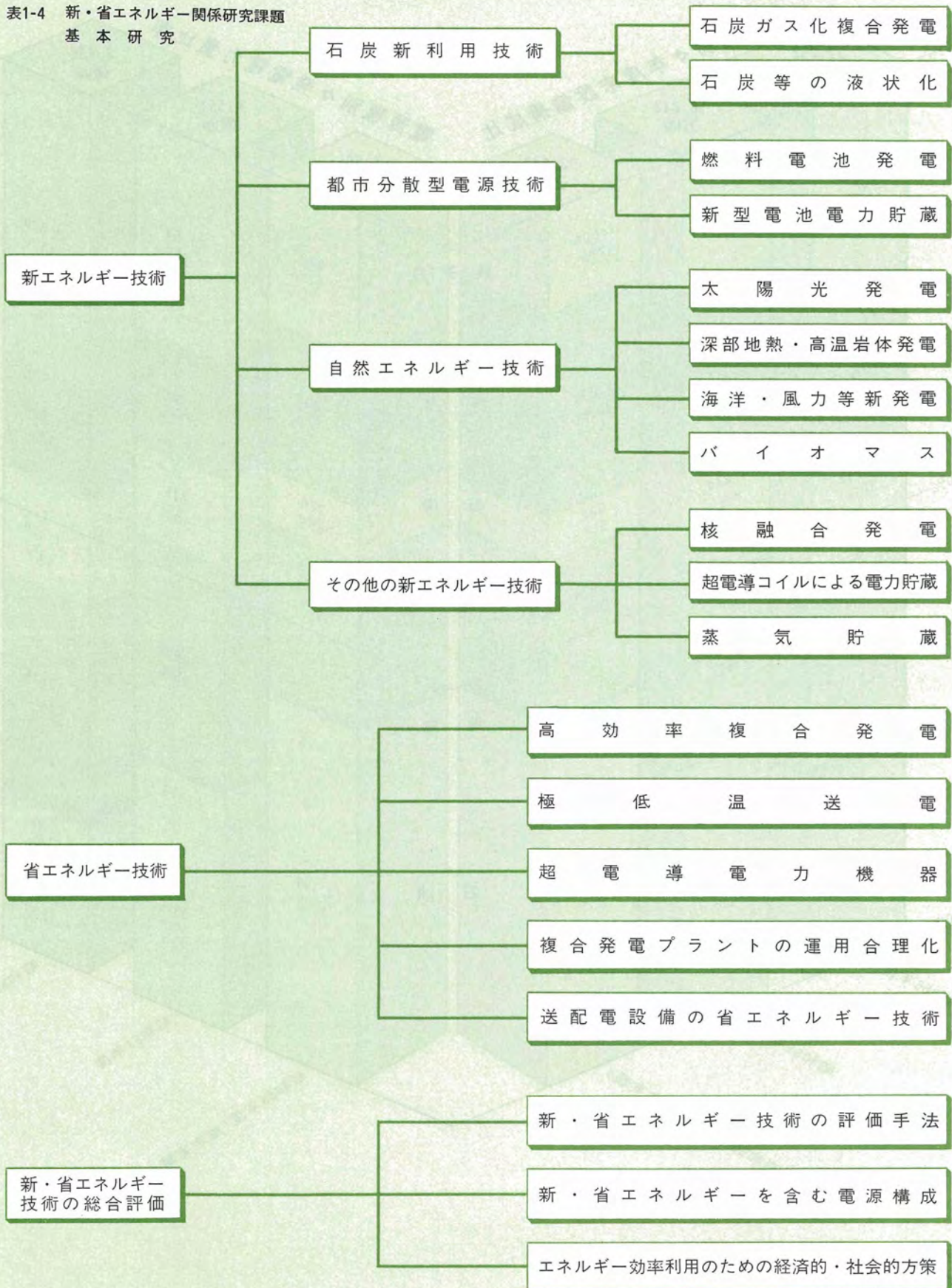
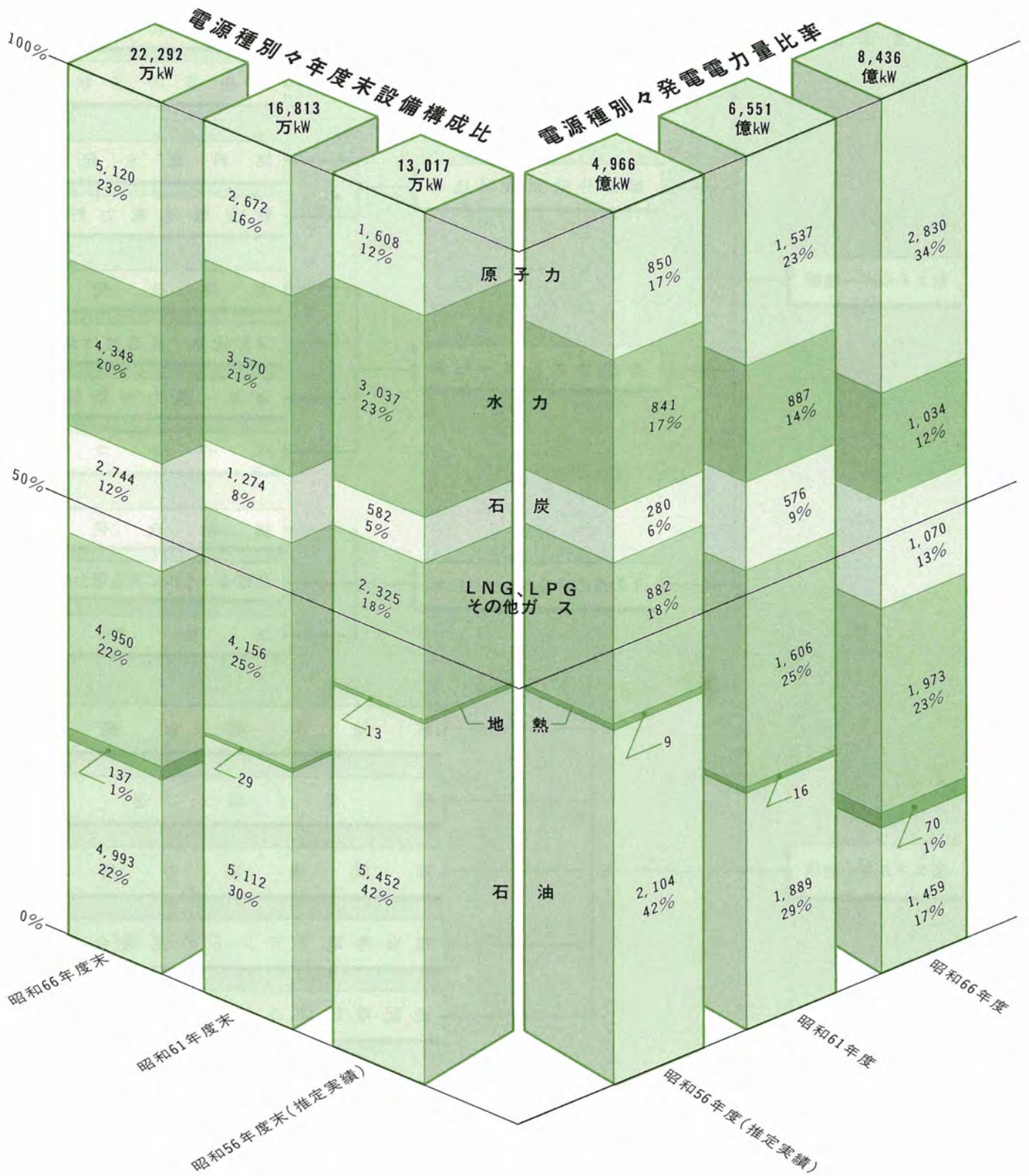


表1-4 新・省エネルギー関係研究課題
基本研究





(九電力会社・電源開発・その他受電分)
 出典：電力長期計画・中央電力協議会1982.4.21付発表

第 5 章

5

プロジェクト研究

プロジェクト研究

第2章 プロジェクト研究 ● 目次

2-1 石炭ガス化複合発電	15
2-1-1 緒論と結論	
2-1-2 システム技術	
2-1-3 石炭ガス化炉および関連技術	
2-1-4 クリーンアップ技術	
2-1-5 ガスタービン要素技術	
2-1-6 材料技術	
2-1-7 石炭乾留・ガス化技術	
2-2 燃料電池発電	29
2-2-1 緒論と結論	
2-2-2 熔融炭酸塩電解質燃料電池の開発	
2-2-3 各種燃料電池発電システムの トータルシステム研究	
2-2-4 燃料システムの検討	
2-3 太陽光発電	39
2-3-1 緒論と結論	
2-3-2 太陽光発電の概要	
2-3-3 太陽光発電の現状と動向	
2-3-4 当所における研究成果と今後の動向	
2-4 新型電池電力貯蔵	50
2-4-1 緒論と結論	
2-4-2 システム技術開発	
2-4-4 トータルシステム研究	
2-5 高効率複合発電	59
2-5-1 緒論と結論	
2-5-2 高効率複合発電システム技術	
2-5-3 耐熱合金の実用化評価	
2-5-4 ガスタービン翼冷却技術	
2-5-5 セラミックス応用技術	
2-5-6 接触燃焼	

執筆者紹介：()内は担当箇所、順不同

水谷 弘	エネルギー・環境技術研究所	機械部 部長(2-1編集担当, 2-1-1)
北見 恒雄	エネルギー・環境技術研究所	高効率複合発電特別研究室(2-1-2, 2-5編集担当, 2-5-1, 2-5-2)
石川 浩	エネルギー・環境技術研究所	機械部 伝熱流動研究室 室長(2-1-3, 2-5-5)
高成 昇	エネルギー・環境技術研究所	環境化学部 燃料化学研究室(2-1-4)
渡辺 正敏	エネルギー・環境技術研究所	機械部 燃焼研究室(2-1-4)
深田 智久	エネルギー・環境技術研究所	機械部 機械研究室(2-1-5, 2-5-4)
桑原 和夫	エネルギー・環境技術研究所	発電プラント部 材料研究室 室長(2-1-6, 2-5-3)
石森 岐洋	エネルギー・環境技術研究所	機械部 環境化学部(2-1-7)
堀内 長之	電力技術研究所	新発電特別研究室(2-2編集担当, 2-2-1~4)
武田 行弘	電力技術研究所	新発電特別研究室(2-3編集担当, 2-3-1~4)
石川 力雄	電力技術研究所	新発電特別研究室(2-4編集担当, 2-4-1~3)
小野 達雄	エネルギー・環境技術研究所	環境化学部 燃料化学研究室 室長(2-5-6)

2-1 石炭ガス化複合発電

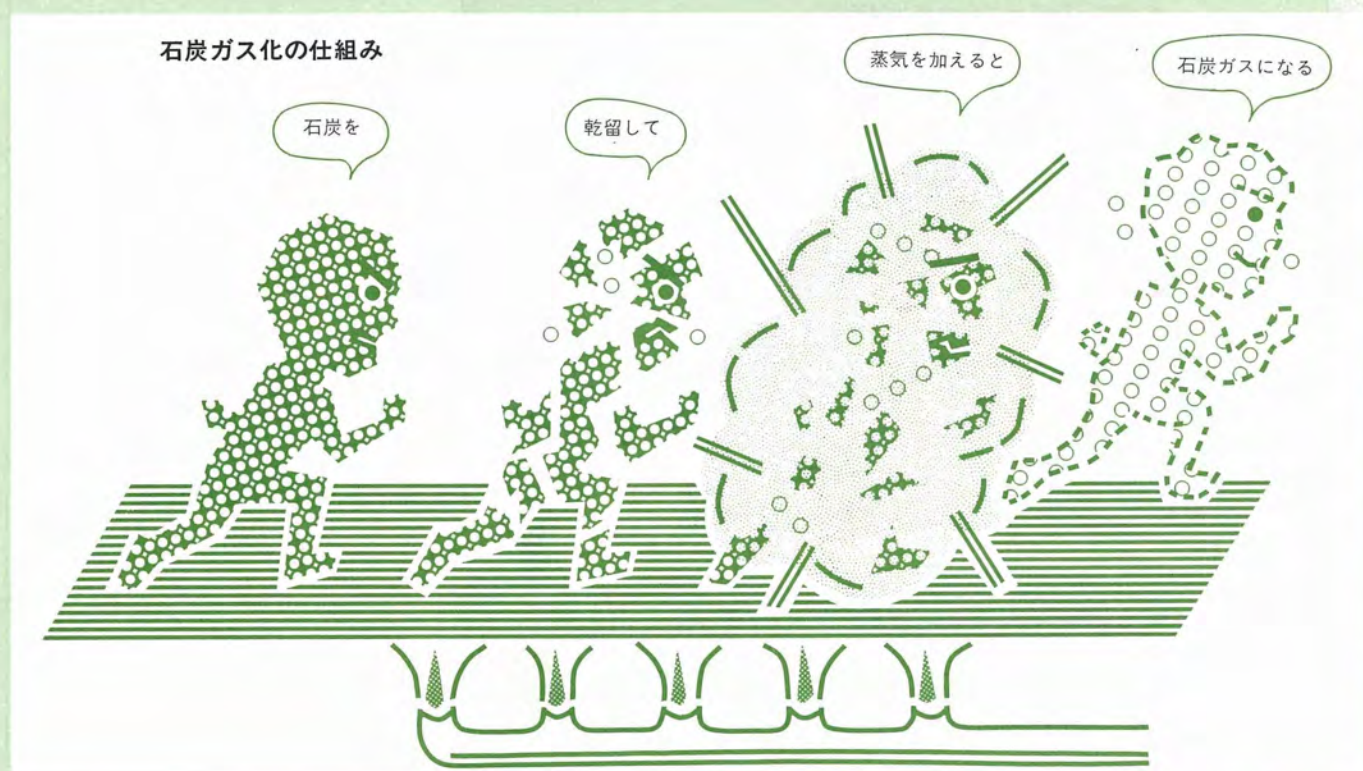
担当●エネルギー・環境技術研究所 機械部 部長 水谷 弘

石炭利用拡大の技術開発の一環として、石炭をガス化し、これを燃料としたガス・蒸気複合発電は、効率向上とクリーン化が期待できるので、開発研究を推進している。

石炭火力発電設備は1980年度末で526万kWの容量であったものが2000年には3,800万kW(当所試算)～5,000万kW(昭和57年度通省産業省長期電力需給見通し)になると予想されている。このように約20年の間に石炭を燃料とする発電設備を7～10倍に増大させなければならない。

そのためのひとつの方法として、石炭をガス化し、得られた生成ガスを燃料としてガスタービンにより発電した後、さらに蒸気タービンによる発電を行ういわゆる石炭ガス化複合発電方式があり、高効率性、環境保全性、経済性の面で将来有望な石炭新利用技術と考えられている。

当所はこのため、米国の実規模実証試験“クールウォータ計画”(石炭処理量：1,000 t/日、発電規模10万kW)に東京電力などと参加し、技術情報を収集するとともに、我が国の燃料事情に適し、性能のよい発電方式を開発するため、石炭処理量2 t/日のベンチスケール実験炉による石炭ガス化に関する開発研究を開始した。また、石炭処理量200 t/日級石炭ガス化パイロット・プラントの概念設計および商業規模の石炭ガス化複合発電所に関する調査検討を行っている。



2-1-1 緒論と結論

近年の石油供給不安定化、高価格化に対処するため、我が国の電気事業においては、石炭利用の拡大などによる産業用燃料の転換を図る必要があり、さらに省エネルギーの観点からは、発電プラントの高効率化を目指すことが重要な課題となっている。

現在、建設が進められている微粉炭火力の熱効率は約37%で、今後も大巾な改善は期待し難いが、複合発電方式の熱効率は将来46%も夢ではなく、信頼性、経済性の高い複合発電方式の早期確立が望まれる。

昭和57年度の通省産業省長期電力需給の見通しによれば、我が国の電源設備容量は1980年に、12,936万kW、うち石炭火力は526万kW(4.1%)、2000年には3億kW、うち石炭利用設備が5,000万kW(16.7%)となっており、石炭燃料の発電設備を約20年間で約10倍に増大させる計画である。

このような石炭を燃料とする発電設備の増大をはかるためには、石炭をガス化し、得られた生成ガスを燃料として、ガスタービンと蒸気タービンを組合せた複合発電プラントを早期に開発することが緊要である。

一方、石炭ガス化複合発電では脱硫、脱じん等の環境対策が、微粉炭火力における排煙処理に比して有利であり、さらに温排水量も低減し得るので、石炭を利用する発電所の立地促進に有利と考えられる。

近い将来、石炭ガス化複合発電は環境保全性、高効率化はもとより経済的にも有利になり、現在の微粉炭火力に替る次期主力電源の一つに発展していくものと予想される。

欧米においては、石炭ガス化複合発電技術の開発が鋭意進められており、パイロットプラントから実証プラントに移行する段階にきている。しかし、我が国では研究開

発の方向性を模索している段階であり、国が進めている流動床方式に加え、噴流床方式の開発準備を進めている。

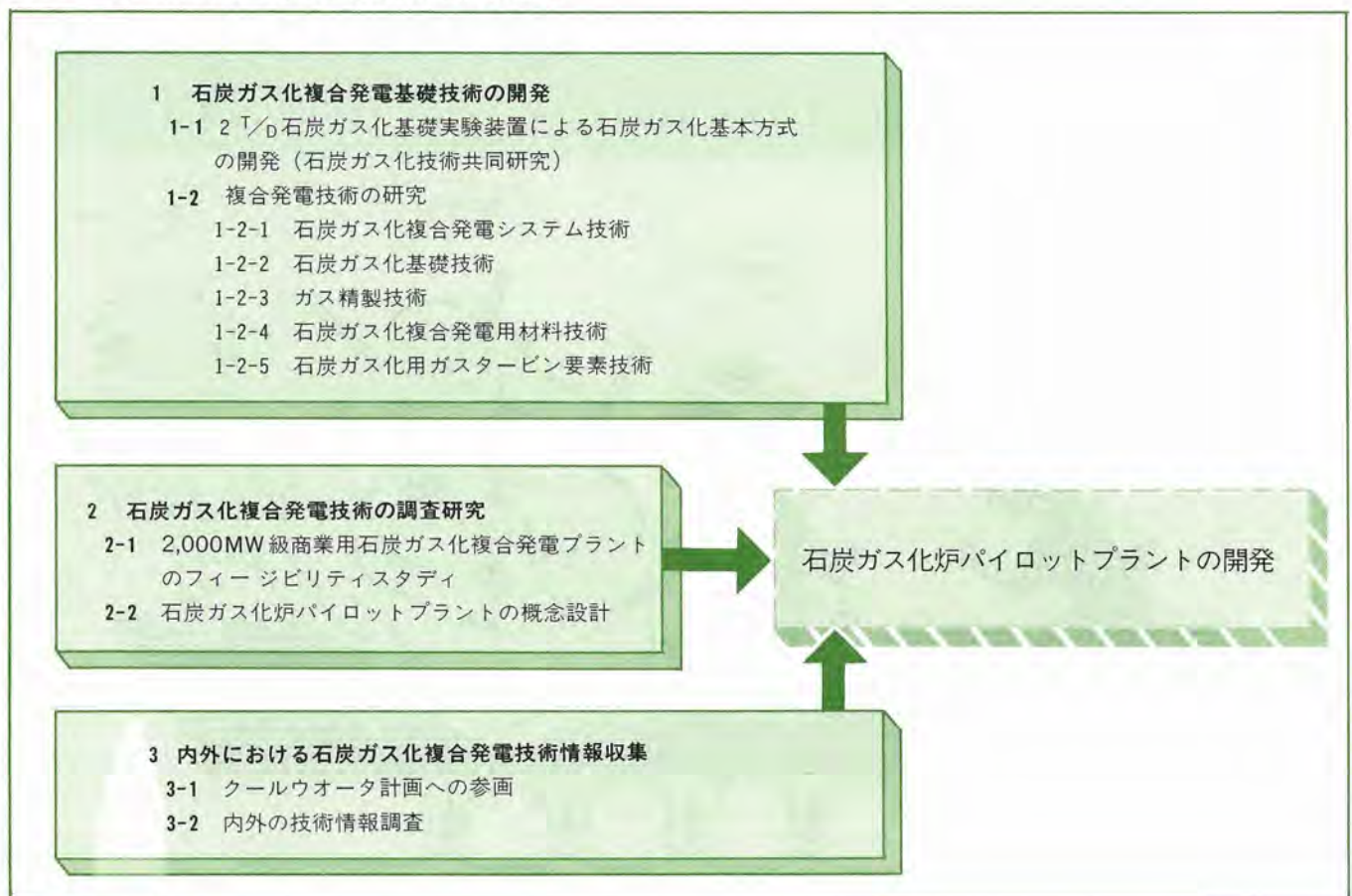
我が国は欧米とは異なり、石炭を世界各地から輸入せざるを得ない事情にある。また欧米とは異なり厳しい社会的環境にあるので、我が国の国情に適合したプラントの自主開発が肝要である。

このような状況をふまえて、当所は電気事業に適合した石炭ガス化複合発電技術の開発において電気事業の中核的研究機関の役割を担う方針のもとに、次の3つを柱として、昭和56年度より鋭意研究を実施している(図2-1-1参照)。

1. 石炭ガス化複合発電基礎技術の開発
2. 石炭ガス化複合発電技術の調査研究
3. 内外における石炭ガス化複合発電技術情報収集

1については、2 T/D石炭ガス化基礎実験装置を三菱重工業㈱との共同研究で開発

図2-1-1 大型総合研究 石炭ガス化複合発電の計画概要



し、広範囲にわたる実験を行ってガス化基本方式の開発ならびに大型プラントの設計研究を行う計画である。さらに、研究開発において重要でかつ加速化すべき課題、ユーザとして取組むべき課題として、ガス化基礎特性等の石炭ガス化基礎技術、粒子充填移動床による乾式ガス精製技術、高温腐食ならびに高温浸食対策の材料技術、水冷却、セラミックス・低 NOx 燃焼器等のガスタービン要素技術、運転、システム管理、保守、システム構成などのシステム技術の研究に着手した。石炭ガス化基礎実験装置については、現在鋭意設計製作中で、58年春期に火入れを行う予定である。

2.については、現在国内メーカーが保有している技術にもとづいて商業用プラントの全貌を描き出し、石炭ガス化複合発電プラントの実際性を確認し、開発計画を立案するとともに、石炭ガス化炉パイロットプラントの概念設計を行い、詳細な開発計画を作成してパイロットプラントの開発に役立てるものである。

3.については、当所は JCWP (Japan Cool Water Project) に加入し、1982年2月クールウォーター計画に参画した。現在、その技術情報の収集を行っている。さらに内外の技術についても情報収集を行い、技術水準の向上に努めている。(水谷 弘)

2-1-2 石炭ガス化複合発電システム技術

石炭ガス化複合発電におけるシステム技術とは、石炭ガス化複合発電のプラント構成および運転システム保守、システム管理を統一的観点から検討する技術である。

石炭ガス化複合発電プラント(図2-1-2参照)は構成機器も多く、個々の構成機器の最適条件が必ずしも全体システムの最適条件に整合するとは限らないため、システム全体として調和を図る必要がある。また、電力系統から見た運用性向上ならびに運転信頼性の観点から保守技術、システム管理技術の検討を行うことが重要である。

当所は、石炭新利用・省エネルギーの観

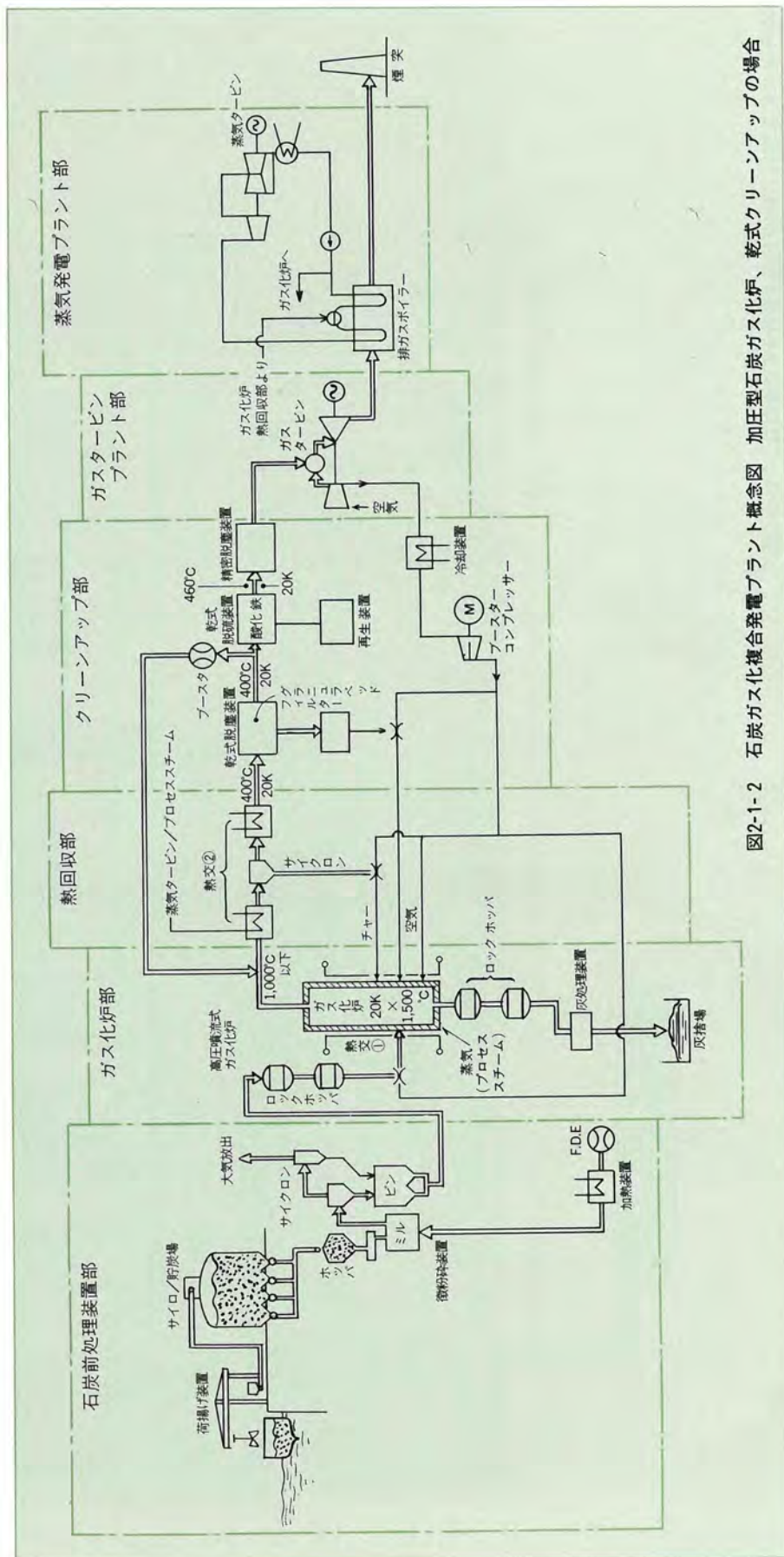
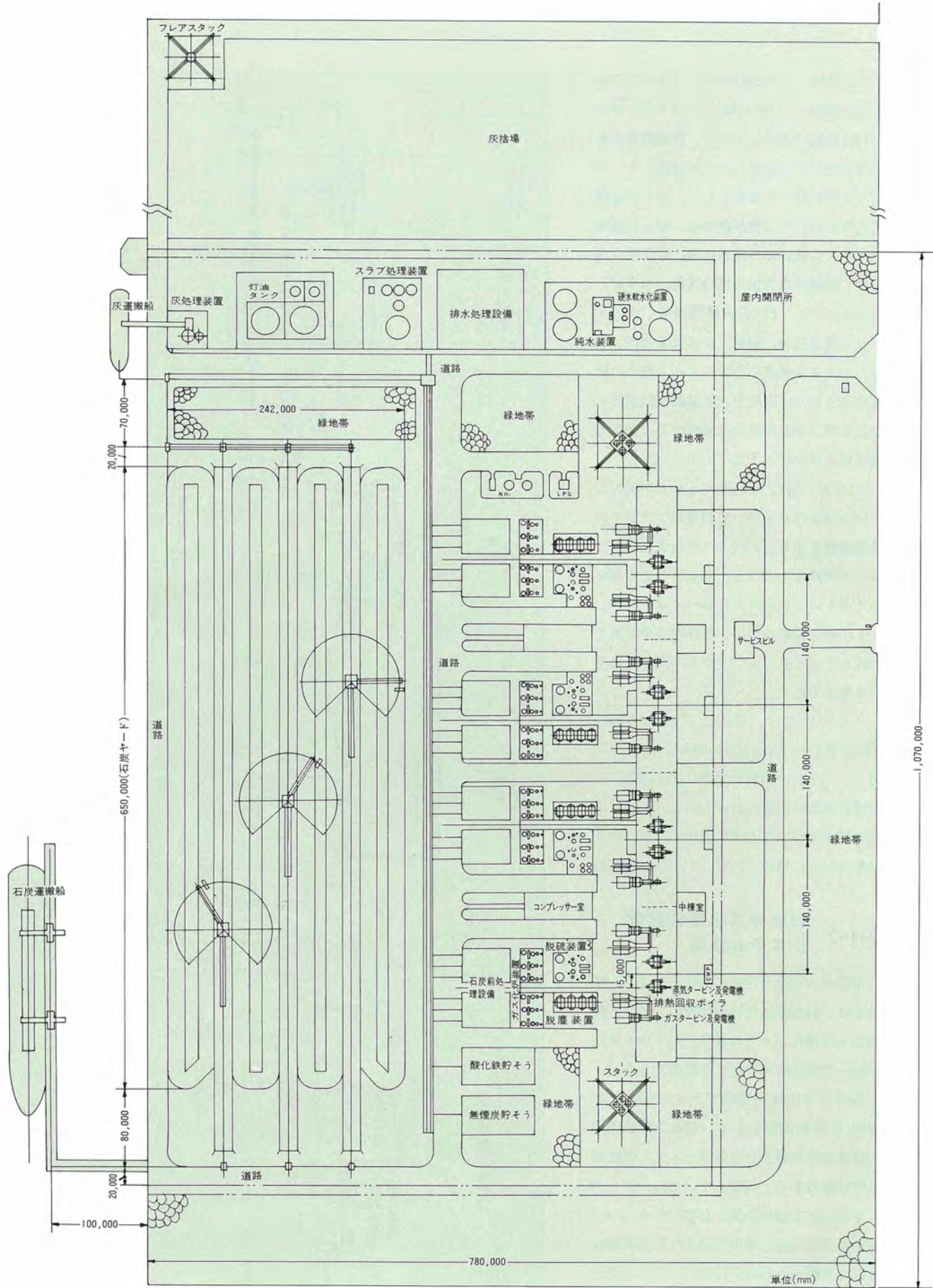


図2-1-2 石炭ガス化複合発電プラント概念図 加圧型石炭ガス化炉、乾式クリーンアップの場合

図2-1-3 C社提案の全体配置計画図(50Hz) 1300°C ガスタービン



点から、総合エネルギー効率が最も高く、環境保全性の優れている石炭ガス化複合発電技術の重要性を認識して鋭意研究を進めている。石炭ガス化複合発電プラントの構成要素の多くが未だ未開発である。それゆえ、各種構成方式を評価するためのシステム技術の研究が重要である。

当所における石炭ガス化複合発電システム技術の検討は、着手されたところであり、これ迄内外の技術情報を調査して石炭ガス化複合発電の研究課題を取り纏めた。さらに、運転特性ならびにシステム構成を検討するため、石炭ガス化複合発電プラントの性能解析プログラムの作成を鋭意進めている。また、中央電力協議会からの依頼で石炭ガス化複合発電技術の調査研究を実施した。

I 石炭ガス化複合発電技術の調査研究

中央電力協議会においては、これまで国の計画として進めてきた流動床ガス化方式に加えて噴流床ガス化方式の開発準備に着手することが決められ、昭和56年度に次の項目についての調査研究が当所に依頼された。

1. 石炭ガス化炉パイロットプラントの概念設計

2. 石炭ガス化発電技術の全般調査

当所はこれを受けて、我が国の国情に適した石炭ガス化複合発電プラントの早期開発戦略を策定する資料を得るため、また、具体的対象設定に基づき、実際に製作を担当する可能性のある国内重電メーカー3社の持てる技術を結集して、これに当らせると共に、その結果を総合的観点から検討し、取りまとめた。

1.についてはパイロットプラントの全体計画、プラント機器構成とその選定理由、さらに熟物質収支、運転制御システム、環境および安全対策、パイロットプラントを用いた試験計画について述べ、パイロットプラント開発実行計画についても触れた。

2.については将来の2,000MW級商業用石

炭ガス化複合発電プラントの全貌が明らかになるよう、プラント構成機器選定理由、主要部仕様、構造、プラント系統および熟物質収支、プラント性能、プラント全体計画、実用化時期等について述べた。

主要結果は次のとおりである。

(i) 機器構成

現在、国内メーカーが保有している技術で開発可能な発電所の機器構成を検討するため、50Hz、60Hzの各々の周波数に対し、ガスタービン入口温度1,300°Cを中心に、1,200°C、1,500°Cの計6ケースを検討した。

その結果、A社は、常圧噴流床2段ガス化炉空気酸化方式でガス化炉4基、ガスタービン8機、蒸気タービン4機で構成し、B社は、加圧噴流床一段ガス化炉酸素酸化方式で、ガス化炉4基、ガスタービン8機、蒸気タービン2機で構成し、C社は、一段加圧噴流床ガス化炉空気酸化方式で、ガス化炉24基、ガスタービン8基、蒸気タービン8基で構成した(図2-1-3参照)。

(ii) 環境保全性

排ガス性状は、各社とも、NO_x 20ppm以下、SO_x 60ppm以下、ばいじん数mg/Nm³以下と重油火力並の排ガス特性を有し、環境保全性にも優れていることが明らかにされた。

(iii) 送電端熱効率

ガスタービン入口温度1,300°Cの場合で、40.2%~43.2%、1,200°Cの場合で、38.5%~42.3%、1,500°Cの場合で41.3%~44.8%と従来石炭火力37~38%に比し、送電端熱効率の大幅な向上が期待できる。

(北見 恒雄)



2-1-3 石炭ガス化炉および関連技術

石炭をガス化し、これを燃料としたガスタービンと蒸気タービンをとを組合せた複合発電はガスタービン技術の進歩とあいまって、近い将来、石炭を利用する発電方式の主力になることが期待されている。とりわけ、石炭ガス化技術は石炭ガス化複合発電プラントにおいて極めて重要な役割を占めるものであり、電気事業においては、サンシャイン計画における流動床石炭ガス化方式に加えて、噴流床石炭ガス化方式を研究開発することとし、パイロットプラントの開発準備を進めている。

しかしながら、発電用石炭ガス化技術については未経験であるため、電気事業が石炭ガス化複合発電技術を開発し、定着化させるためには石炭ガス化技術について習熟し、精通することが必要である。

I. 2 T/D石炭ガス化基礎実験装置による石炭ガス化基本方式の開発

当所は小規模の石炭ガス化基礎実験装置を試作し、これにより直接基礎的データを収集して噴流床石炭ガス化方式の客観的評価技術の向上を図り、電気事業に適合した噴流床石炭ガス化技術の開発に資することを目的として、昭和56年度下期に三菱重工業㈱との共同研究に着手した。

本研究における主な研究課題は次の通りである。

1. ガス化剤の選定
2. 常圧および加圧炉の特性比較
3. 広範囲炭種適合性
4. 運転特性
5. 大容量化

共同研究は昭和59年度末までに石炭ガス化基礎実験装置の設計製作、石炭ガス化基礎実験装置の特性試験ならびに噴流床石炭ガス化基本方式の検討を行うこととしている。現在、諸機器および建屋関係の設計を進めると共に、技術的課題について種々の検討を行っている。図2-1-4に2 T/D石炭ガ

図2-1-4 2 T/D石炭ガス化基礎実験装置 主要系統図

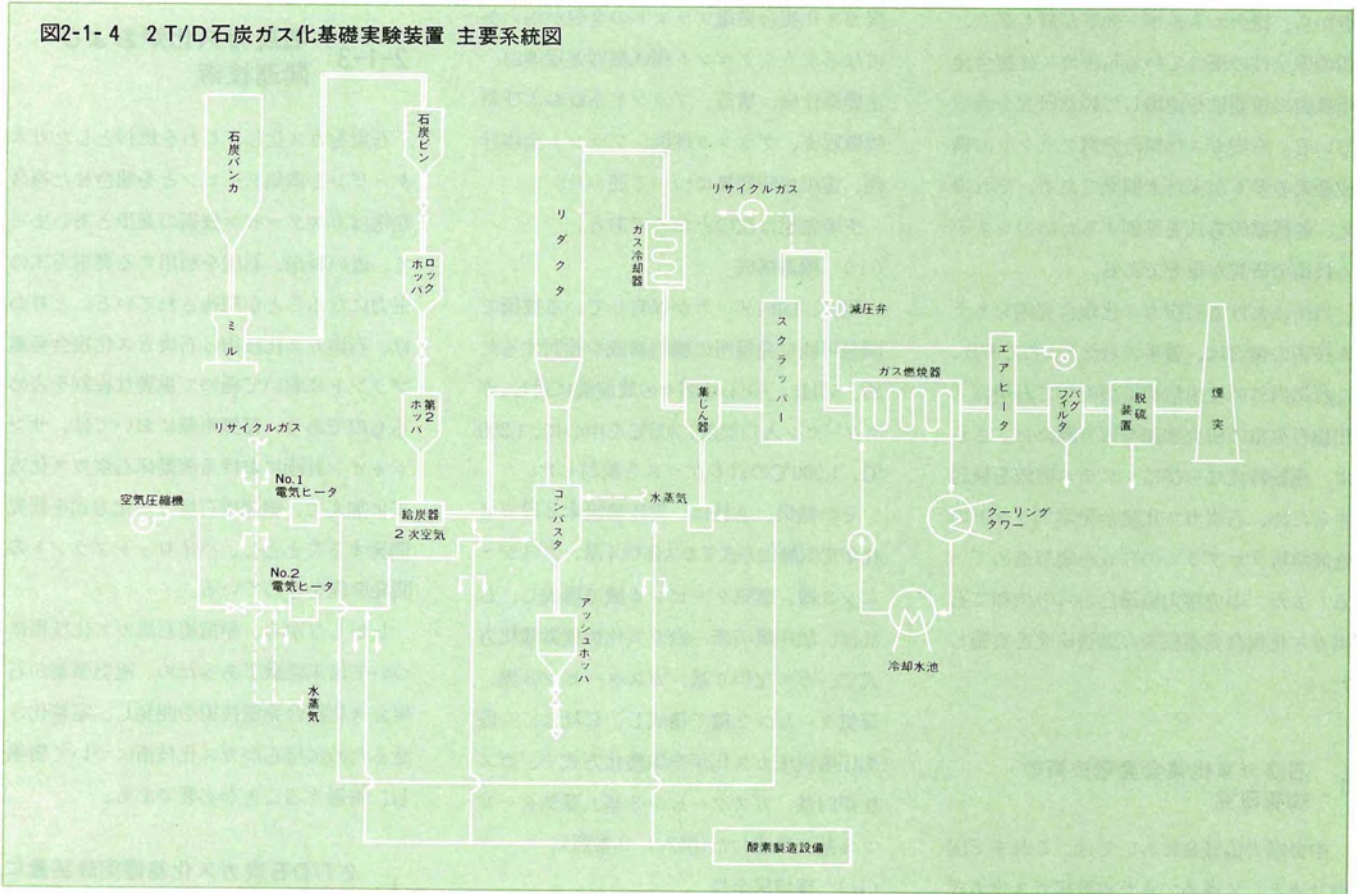
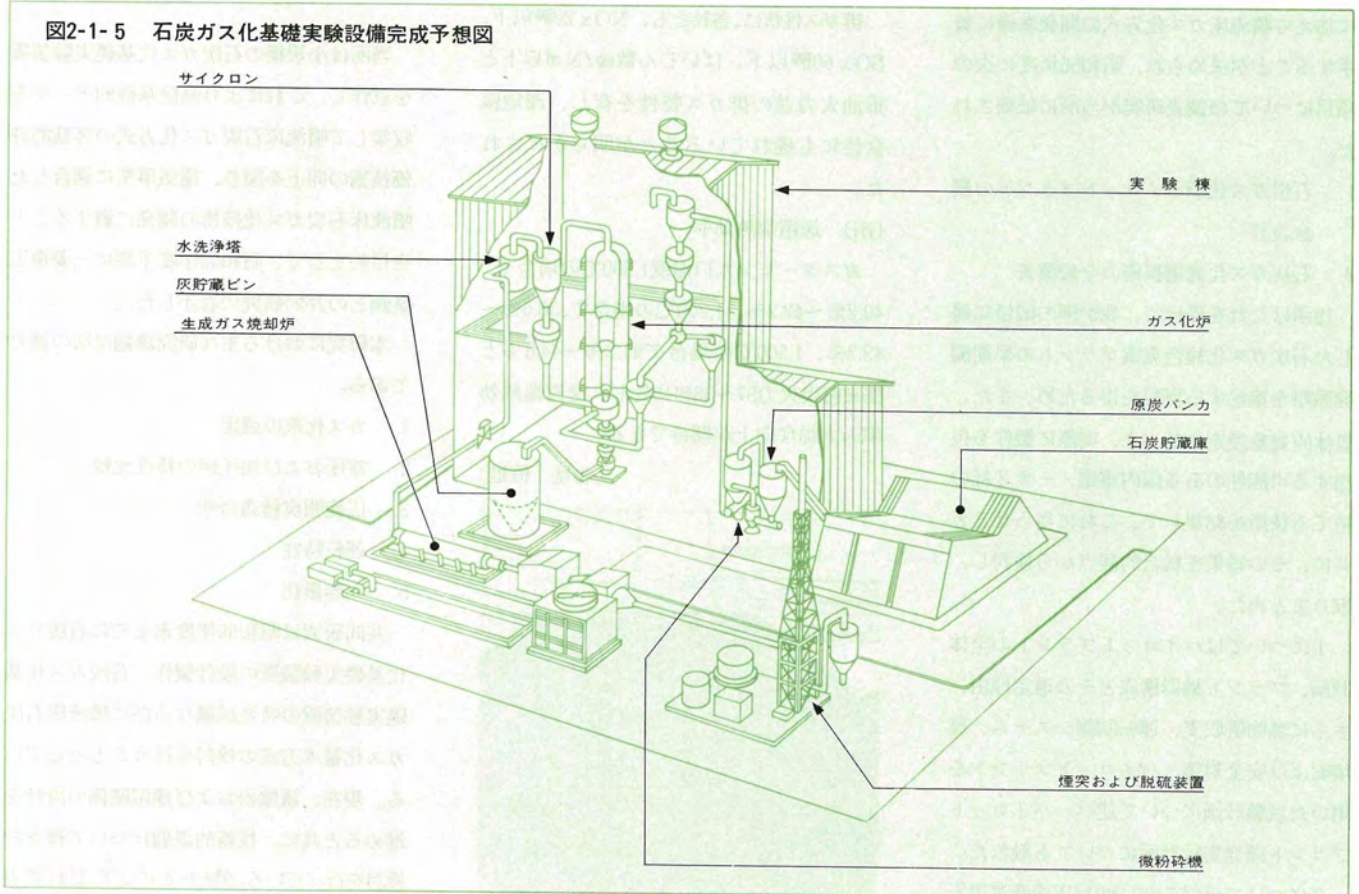


図2-1-5 石炭ガス化基礎実験設備完成予想図



ス化基礎実験装置の主要系統図を、図2-1-5に完成予想図を示す。本装置の設置場所は当所武山試験研究センターが予定されている。

II. クールウォータ計画への参加

クールウォータ計画はテキサコ社が開発中の加圧噴流床方式による石炭ガス化複合発電実証プラントをサザンカリフォルニアエジソン電力会社のクールウォータ発電所構内に約3億ドルの資金を投じて建設し、運転試験研究を行うものである。試験設備の規模は石炭処理量1,000T/D、発電出力約110MW、試験研究期間昭和58年～65年である。

米国側は発起人会社のテキサコ社、サザンカリフォルニアエジソン社を中心に EPRI、GE、ベクテル社、ESEERCO 社が参加している。日本側は当所、東京電力、東京芝浦電気、石川島播磨重工業の4者が日本クールウォータプログラム・パートナーシップ(JCWP)を結成して資金を分担すると共に技術開発に協力することとしている。

このプロジェクトへの参加により、

1. プラント全体設計の基礎技術
2. プラント全体の制御技術、信頼度技術
3. 電力系統に連けいした石炭ガス化発電運用技術
4. 環境対策技術
5. 希望する炭種のガス化試験

などが現地派遣の常駐技術者等を通じて迅速に情報入手できることになっている。

(石川 浩)

2-1-4 ガス精製技術

石炭ガス化による粗生成ガス中には硫化水素を主成分とする硫黄化合物、微細な炭じんおよび灰分、アルカリ金属化合物蒸気、アンモニア等の窒素化合物、タール等を含んでいる。これら燃料ガス中の不純物はガスタービンに障害をおよぼすか又は大気汚染の原因となる。したがって、この生成燃料ガスはガスタービン燃料として、あるいは

大気汚染防止対策上許容される程度に精製する必要がある。

ガス精製技術はダストを除去する集じん技術と硫黄化合物を除去する脱硫技術等の組み合わせであり、それぞれ湿式法、乾式法が考えられている。湿式法はそれぞれの分野で実績を有する既存技術であるが、生成ガスの顕熱損失等に基づく熱効率の低下がある。

一方、乾式法は研究開発の初期段階であるが、湿式法にみられるような熱効率の低下は少なくなる。したがって高効率化をめざす石炭ガス化複合発電システムにおいては高温の粗生成ガスを乾式で精製する集じん技術および脱硫技術の研究開発が望まれるところである。

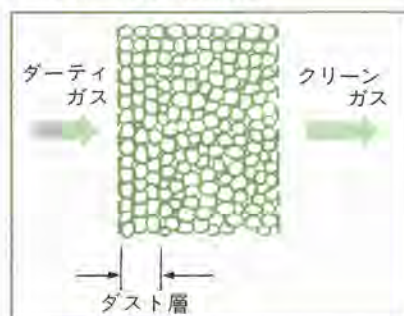
I. 集じん技術

石炭ガス化複合発電システムを構成するガス精製技術(クリーンアップ)のうち、高性能集じん装置となりうる乾式集じん方式としては、1.濾過集じん方式、2.電気集じん方式、3.これらの組み合わせ方式(静電濾過集じん方式)の三集じん方式に絞られ、これらの集じん方式の高温高压化への研究開発状況を以下に述べる。

1. 濾過集じん方式

バグフィルタ、セラミックフィルタおよびグラニューベットの(図2-1-6)などの濾過集じん装置がある。このうち、高温で大容量の排ガスを処理し、圧力損失の低い濾過集じん装置はグラニューベットであり、高炉排ガス(3.5気圧、120℃)の処理パイロットプラントでの実績がある。この結果を生

図2-1-6 濾過集じん方式



かし、通省産業省「サンシャイン計画」の一環として、財石炭技術研究所に40T/D石炭ガス化プラントにおいてグラニューベット(20気圧、500℃、処理ガス量4,500 m³/h)を設置し、研究開発が行われている。

2. 電気集じん方式

従来からの電気集じん装置(EP)があるが、ガスを高温で処理する高温 EP が出現した。この高温 EP は、内外の石炭火力において、また、当所の重専ボイラ用高温電気集じん実験装置において、常圧ではあるが、400℃前後のガスを処理し、高性能な集じん性能を有することを確認している。

また、実験室的規模ではあるが、米国 Research Cottrell 社において、電気集じんの高温高压への適用可能性を検討するため、約36気圧、1,000℃の高温高压下において、コロナ放電の安定性を確認している。

3. 静電濾過集じん方式

濾過集じん方式と電気集じん方式を組合せた方式は、エアフィルタなどに用いられる静電フィルタがあるが、当所においては、高温で大容量の排ガスを処理し圧力損失が低いという特徴を持つ充填材に荷電をかける粒子充填式静電濾過集じん方式(図2-1-7)を開発した。

当所設置の静電濾過集じん実験装置により、その実用化に向け常圧ではあるが、処理ガス温度400℃までの集じん性能評価の

図2-1-7 静電濾過集じん方式

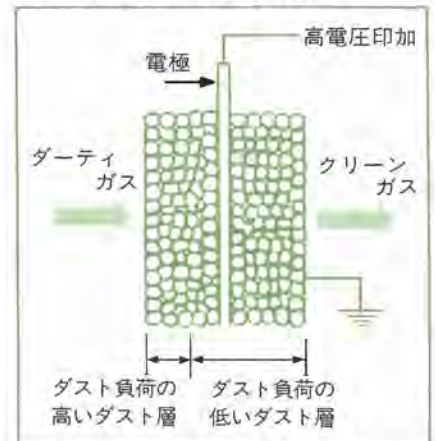


図2-1-8 荷電部を有する静電濾過集じん装置の集じん性能

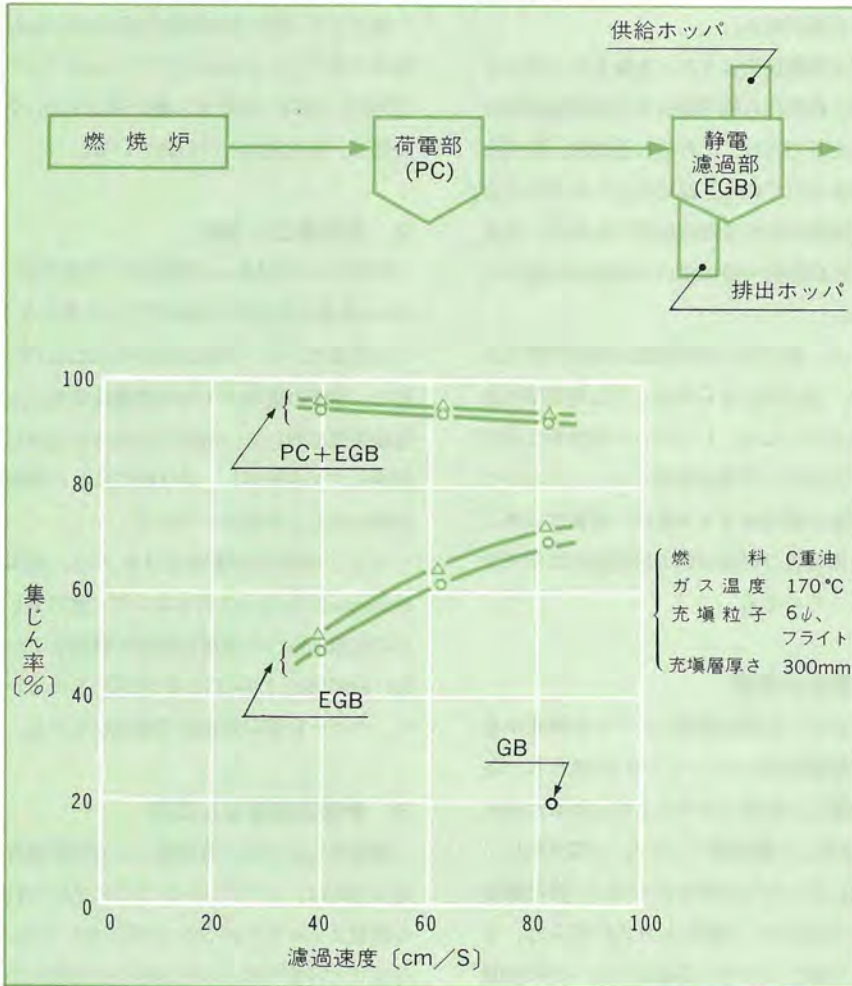


図2-1-9 粒子充填移動床コールドモデル



実験的検討を行い、図2-1-8に示すような予備荷電部を有する静電濾過集じん装置の高集じん性を確認している。

以上のように、濾過集じん方式、電気集じん方式、静電濾過方式は、高温高圧化への開発研究の機運にあり、当所は石炭ガス化複合発電システムにおける乾式集じん方式として、静電式粒子充填移動床方式集じんを検討している。このような方式を実現するためには、ガス化炉の負荷変動に対して、粒子充填移動床の均一流下を維持することが要求される。

第1段階の基礎実験として、常温常圧下のガス流れのない状態で粒子充填移動床の充填材の排出状態(フローパタン)を可視できる「粒子充填移動床コールドモデル」(図2-1-9)を試作し、粒子充填移動床の動的基本特性の検討を行っている。

II. 脱硫技術

石炭ガス化による粗生成ガス中の硫化水素を主成分とする硫黄化合物を除去する脱硫技術について内外の研究開発状況および当所で得られた成果等について以下に述べる。

1. 湿式脱硫技術

湿式脱硫プロセスは今日まで都市ガス、化学工業、石油精製、天然ガス精製等の広い分野にわたって採用されており、各分野に適合した多くのプロセスが工業化されている。

当所は重質油ガス化脱硫研究の一環としてこれら湿式脱硫法のうち比較的高温処理が可能な熱炭酸カリ法をとりあげ、湿式ガス吸収実験装置を用いてガス温度110~150℃、圧力10~25ataの条件下で高い脱硫率

が得られることを確認しており、さらに吸収液を再生して循環使用が可能であることを実証している。

通商産業省サンシャイン計画による石炭技研・夕張試験場の5T/D石炭ガス化プラントにおいては当所がとりあげた熱炭酸カリ法と原理的に同一の Benfield 法が選定され、良好な試験結果が報告されている。

この他、米国の Cool Water 計画による石炭ガス化発電プラント開発においては実績を有している Selexol 法の採用が決定している。

2. 乾式脱硫技術

湿式脱硫法は前述の通り商業規模で広く利用されているが、石炭ガス化複合発電システム用としては処理ガス温度が低いため、燃料ガス中に水蒸気がある場合には、これ

を凝縮除去してしまうことおよび炭酸ガスも吸収除去すること等により、ガスタービンへ送入するガス量および顕熱を減少させる問題点がある。また、吸収液の再生時に必要とする熱量が大きく、石炭ガス化複合発電システム全体としての熱効率が低下する欠点がある。

乾式脱硫法は上述の湿式脱硫法の欠点を克服し、石炭ガス化複合発電システム全体の熱効率の向上をめざして研究開発が進められているものである。

当所は乾式脱硫に関する研究としてマンガングル石を脱硫剤として用い、ガス温度800~900℃において高い脱硫性能を有することを確認しており、また、空気酸化による脱硫剤の再生に関しても基礎的検討を実施している。

通省産業省サンシャイン計画による石炭ガス化発電技術開発においては、鉄系の脱硫剤を用い流動床方式の乾式脱硫技術の開発が進められており、現在、40T/D石炭ガス化炉用のプラントの試験研究が開始されたところである。

石炭ガス化複合発電システムに組み込む乾式脱硫方式として、当所は粒子充填移動床タイプの方式を検討しており、その第1着手として前項図2-1-9に示した粒子充填移動床コールドモデルを試作し、充填粒子の排出状態の観察による粒子充填移動床の動

的基本特性の検討を開始している。

(高成 昇、渡辺 正敏)

2-1-5 ガスタービン要素技術

I. 石炭ガス化発電用ガスタービン

ガスタービンは、その特性が航空原動機として最適である事から、巨額な軍事開発費を背景に飛躍的に発展をとげた。発電用ガスタービンは、航空機で育成された技術を転用し、運用形態も緊急負荷用またはピーク負荷用として進展をとげた。

1970年代に入り、ガスタービンの大容量化・高性能化が進み、ガスタービン単独のみならず、蒸気タービンシステムと組み合わせたガス・蒸気タービンシステムが発電効率向上に最も効果的なものとして採用され始め、発電用ガスタービンの生産が増大した。しかしそれらの燃料は、灯・軽油、LNG等に代表されるクリーンで発熱量も高い良質な燃料が依然として使用されている。

石炭ガス化生成ガスは、発熱量も極端に低く、前述したクリーンアップ設備による清浄化が行われても、石炭灰等の固形粒子や腐食性不純物等の含有は避けられず、ガス量自体も増大している。このような石炭ガス化発電用ガスタービンは、従来のガスタービン技術の進展における延長線上での研究開発のみならず、新しい視点・思想に基づく研究開発が、燃焼器、タービン本体・圧縮機等各要素に対し必要となる。

II. 低カロリー低公害 高温燃焼器技術の開発

石炭ガス化生成ガスは、空気部分酸化で800~1,500kcal/N^m、酸素部分酸化で1,800~3,000kcal/N^mと、LNGの約9,000kcal/N^mに比べ1/10~1/3程度の低カロリーガス燃料である。低カロリーガスの燃焼においては、燃焼限界を把握し充分安定した燃焼技術の研究が要求される事は言うまでもないが、燃焼を制御する技術を確立し負荷に対しての応答性を向上する事が必要である。

複合発電システムの効率向上には、タービン入口ガス温度の上昇が必要であり高温燃焼技術が要求される。このことはNO_xの発生を増加させる事になる。さらに燃焼器にも高度な冷却方式が要求される。

図2-1-10に米国GE社の新形燃焼器を示す。これは従来のガスタービン燃焼器と異なり角形構造にしフィン効果により冷却性能を高める一方、低カロリー燃焼の特性を配慮し液体燃料との混燃システムや二段燃焼方式を採用さらには燃焼器とタービン連結部を極端に短縮化して石炭障害にも備えている。日本ではサンシャイン計画夕張ガス化炉を利用した実ガス試験が主に材料特性の観点から行われている。

III. 高温冷却新技術の研究開発

石炭ガス化発電用ガスタービンにおいても静・動翼の冷却には空気冷却方式の採用

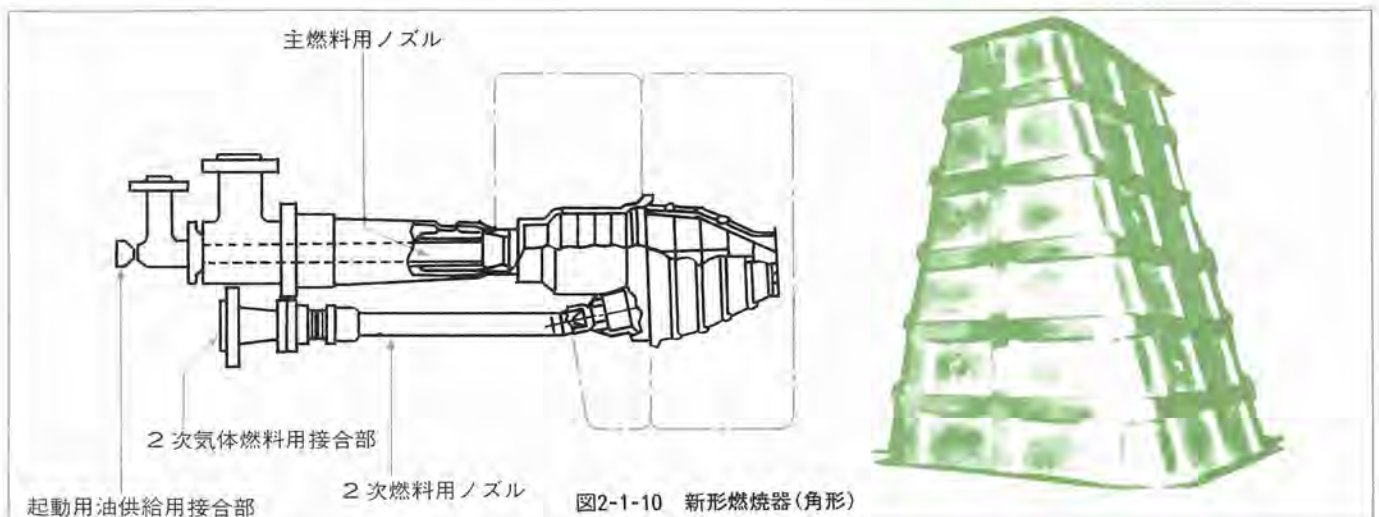
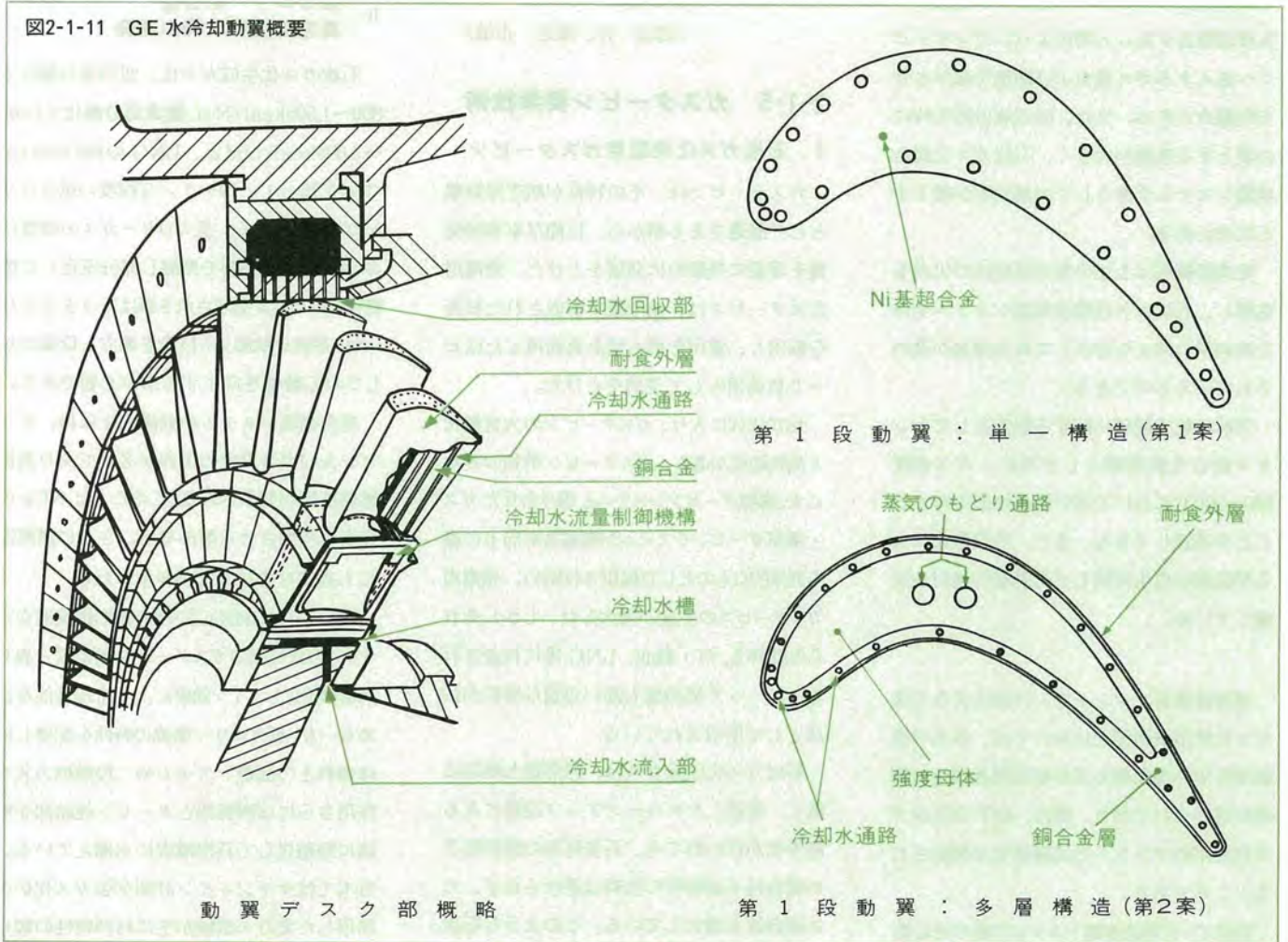


図2-1-10 新形燃焼器(角形)

図2-1-11 GE 水冷却動翼概要



が考えられるが、1,300°C級が限度である。

一方水冷却方式を採用した場合、ガスタービンの高温化(1,400°C以上)も可能になるばかりでなく、翼温度が550°C程度に保たれ高温腐食の不活性な温度域に入るためこの問題が極端に軽減する。さらに冷却構

造も簡単になるため石炭灰浸食による影響も軽減される。米国 GE 社は水冷却方式のこれらの利点に注目し開発研究を進めている。

図2-1-11に冷却翼概要を示すが、冷却水は冷却孔内で一部蒸発後翼外へ散布される。一方当所は図2-1-12に示す熱サイフォ

ン利用水冷却翼を提案し、現在までに冷却側熱伝達特性の把握を終了し翼設計の資料を得るまでに至り、今後さらに実用化に向けての開発研究を行う計画である。

この水冷却方式ガスタービンは将来石炭ガス化複合発電用ガスタービンの主役となると予想され、当所においても先導的な役割をはたすため鋭意研究を進めている。

IV. 耐食・耐石炭灰等融着対策技術の研究

耐腐食・浸食に対しては耐食コーティングにより対応して行く必要があるが、その効果を確実なものとするためには前述の水冷却技術との併用が必要となる。この事は石炭灰の翼面への融着においても同様であり水冷却技術の採用により融着量が軽減され、タービンの長期性能確保が可能となるため、

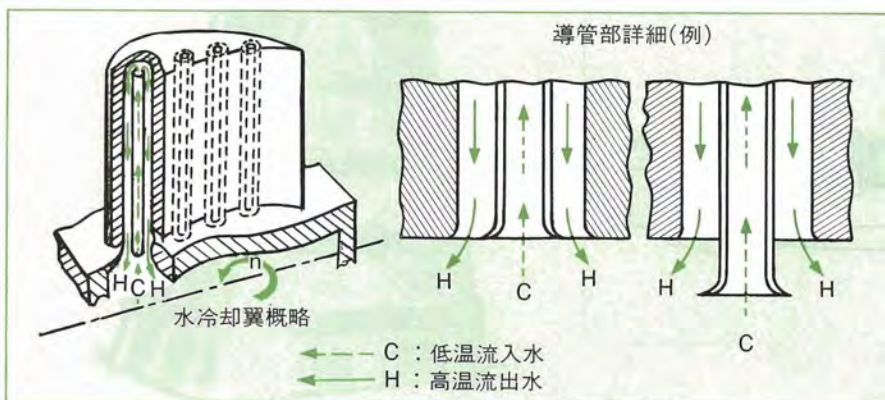


図2-1-12 電研水冷却動翼(熱サイフォン利用導管内蔵形水冷却翼)

当所においてはこの面からの研究も進めていく予定である。(深田 智久)

2-1-6 材料技術

石炭ガス化複合発電では、ガス精製系も含めた石炭ガス化システムとガスタービン・排熱回収系の発電側システムとは異なった側面をもつ材料技術に関する課題がある。即ち発電側システムの要求にガス化システム側が完全に応えることを前提とすれば、発電側システムの材料技術は経済性の確立を目的とした高温化の要求を満すためのものに集約され、石炭ガス化複合発電固有の課題というよりは複合発電高効率化のための課題と一致する。

そして石炭ガス化システム側では、発電側が要求する経済性に見合った燃料ガスを安定供給するために必要な技術の一つとして材料技術に関する課題の解決が要求されることになる。

I. 石炭ガス化に係る材料技術

石炭ガス化に係る材料技術は基本的には石炭液化の場合とはほぼ共通であると考えられており、これを各種各様のプロセスでの問題とは離れて一般的な見地から要約すると表2-1-1に示すDOEの材料研究プログラムがこれにあたる。同表によると、

1. 使用温度環境が600℃以上の反応圧力容器内あるいは周辺に用いられる材料の高

温下での耐エロージョン・コロージョン性に関する研究、

2. 使用温度600℃以下の大型厚肉圧力容器用材料の開発、環境強度および溶接法に関する研究、

が主要な研究課題となっている。

石炭ガスは各種のプロセス、ガス化方式によって成分が若干異なるが、個有な成分はH₂S(硫化水素)であり、数千ppmにも達するH₂Sを含む高温のガスによる硫化あるいは酸化腐食が問題とされる。このような問題を対象として行われた商用合金の耐腐食性評価試験の結論としては、20%以上のCr(クロム)を含有する合金に優れた耐腐食性が確認されているが、必要とされる強度と耐腐食性との関係、あるいは経済性などの点から実用的な耐腐食性コーティング法の研究が幅広くすすめられている。

また化学的な反応による腐食の問題とともに、石炭ガス化では高温下での化学的な腐食と固体粒子によるエロージョンが相互作用して同時進行することに対する耐久性がきわめて重要で、当所においても耐熱合金の耐エロージョン・コロージョン性を最も重視してコーティングの有効性を実ガス等の環境下で評価する計画に着手している。

ところで発電用の石炭ガス化炉は、方式によって温度・圧力条件は異なるものの、高さが50m以上におよぶ巨大な圧力容器となる。このような巨大な圧力容器の建設に

あたっては、プラントサイトでの溶接施工が必須となり、溶接性、焼もどし脆性などに優れ、かつ経済性のある材料に対する要求が高い。また圧力容器が比較的高温で使用される場合、反応ガス中の水素が材料中に浸入し脆化を引き起す現象についても炉の長期信頼性確保の面から検討の必要があるとされている。

II. 複合発電側の材料技術

複合発電側の材料技術は、プラントの高効率化を実現するための条件である「発電システムの最高温度は出来る限り高く、排熱温度は出来る限り低く」を充たすための技術であり、特に「高温機器に使用する耐熱合金に関する諸技術」が重要とされている。複合発電の将来を見通す場合、ボトム側蒸気サイクルの高温、高圧化も高効率化のために指向されるものと予測されるが、現時点での高温化はガスタービンに集中しており、なかでも作用応力と温度条件の厳しい動・静翼を対象として耐熱材料の開発とその利用技術が冷却技術との整合を前提して研究されている。

前項の石炭ガス化に係る材料技術でも述べられているが、精製系とのかね合いにはなるがガスタービンにおいても腐食と浸食との相互作用による強度の低下に対する研究課題が最も重要である。石炭ガスの燃焼に伴って硫化物、亜硫酸塩、シアン化物な

表2-1-1 石炭ガス化における材料研究プログラム

1. 高温材料部門 (600℃以上)	2. 低温材料部門 (600℃以下)
(1) ガス化雰囲気中での鋼材の耐エロージョン/腐食	(1) 厚肉圧力容器用合金開発
(2) 耐硫化鋼の開発およびクラディング材への適用法	(2) 厚肉2¼Cr-1Mo 鋼の破壊靱性の評価
(3) 耐エロージョン/腐食のためのセラミック材によるコーティング法の開発	(3) 厚肉圧力容器の溶接
(4) Coal-Char による鋼材の腐食メカニズム	(4) 水素による脆性 (Hydrogen Attack)
(5) コーティングに用いるセラミック材の腐食試験	(5) 2¼Cr-1Mo 鋼の焼もどし脆性
(6) 圧力容器内壁のステンレス鋼によるライニング法 (Weld-Overlay 法) の開発	(6) 液化における応力腐食・エロージョン

図2-1-13 超合金の進歩とガスタービンの高温化



どの多くの腐食生成物およびカリウム、ナトリウム、バナジウム、鉛などの腐食生成微量元素が生じるものと考えられており、特に腐食促進効果の著しい高レベルのカリウムの存在が問題とされつつある。このようなことを前提として耐熱材料技術と冷却技術との開発によりガスタービンの高温化が達成されつつあるが、それらは次の3つの範疇の技術のなかで展望できるものと考えられている。

1. 空気冷却技術(空冷技術)
2. 水冷却技術(水冷技術)
3. セラミックス材料利用技術

1. 空冷技術との関連における材料技術

空冷技術は発電用ガスタービンにおいても実用化され、今後は航空用ジェットエンジンを対象として開発されている高度の空冷技術も取り入れられる動向にある。

空冷技術の適用によって耐熱合金は融点を越す高温ガス中で使用され、ガスタービンの高温高効率化に寄与してきた。そして耐熱合金としては、クリープ寿命で代表される高温強度と高温耐食性の面からニッケル基およびコバルト基超合金が用いられ、現在もそれらの超合金について高温強度と高温耐食性、さらには高温疲れ強度の向上を目標とした研究開発がすすめられている。図2-1-13は、プロセステクノロジーの進展によってみられた超合金の耐用温度向上の状況を示している。

しかしながら超合金翼に空冷技術を適用して到達しうる最高温度は、冷却による効率の低下とのバランスの面から1,400°Cが限界と考えられている。DOE(米国エネルギー省)の研究開発プロジェクトである HTTT (High Temperature Turbine Technology Program) では、空冷技術の適用によるガスタービン入口燃焼ガス温度の目標を2,600°F(1,427°C)としている。

このような超合金にとっての極限使用条件を実現するためには優れた超合金の開発とともに、熱遮蔽、耐腐食対策用のコーテ

ィング技術、クラディング技術の向上も重要であり、当所では特に超合金の高温疲れ強度へのコーティングの影響について検討を進めることとしている。

2. 水冷技術との関連における材料技術

HTTTでは空冷技術とともに水冷技術の適用も並行開発されているが、超合金の高温下での耐久性の面から、動静翼の温度域を550℃程度に下げ得る水冷技術には1,400℃以上の高温ガスタービン開発の可能性がかかっている。

水冷却技術の適用により強度材としての超合金は不用となり、超合金のうち耐腐食性の高いものが翼の耐腐食性クラディング材料としての役割を担うものと考えられている。したがって水冷技術との関連における材料技術は、空冷技術との関連における最先端技術指向とは異なった側面をもつが、一方翼の設計上きわめて大きな熱吸収に伴う急峻な温度勾配が部材に加わることとなり、高温疲れ破損に対する材料強度が重要な課題となっている。

3. セラミックス材料利用技術

セラミックス材料がガスタービンに利用されれば、水冷技術と同等あるいはそれ以上の高温化が可能となり、高効率化のためその利用技術の実用化に対する期待度はきわめて高い、炭化珪素、窒化珪素などがその期待に応えるものとして研究開発がすすめられている。

しかしながらセラミックス材料の発電用機器材料としての実用化のためには、絶対的な延性の不足が設計上の信頼度評価に不確定要素をもたらしている現状の打開が不可欠であり、この問題に関して材料技術、評価技術の両面から研究開発がすすめられている。またセラミックス材料の実用上の問題として、セラミックスの金属との接合などによる技術課題がある。これはセラミックスと金属間の化学的安定性に関するもので、両者間に課せられた重要な課題と考えられている。(桑原 和夫)

2-1-7 石炭ガス化特性評価技術

現在、工業先進国において数多くの石炭ガス化炉の開発が行われているが、石炭ガス化の技術的重要課題として、石炭処理規模の拡大とともに炭種制約問題を取りあげなければならない。

石炭の熱分解・ガス化特性評価技術は、ガス化炉の最適ガス化条件の決定等に有用な知見をもたらすものである。

したがって、当所においては、性状の異なる各種石炭のガス化特性を石炭ガス化複合発電という観点より評価する研究を行い、石炭ガス化基本方式の開発に役立てていく

計画である。

I. 石炭ガス化反応

石炭のガス化とは、天然高分子である石炭の化学結合を切断し、一酸化炭素(CO)、水素(H₂)、メタン(CH₄)、炭酸ガス(CO₂)などの小さなガス状分子に転化させることである。石炭の乾留による都市ガスやコークス製造なども石炭ガス化の一分野であるが、発電用の石炭ガス化は、ガス化炉内で乾留分解(熱分解)によるガス化とともに生成コークス(乾留炭、チャー)をもガス化する完全ガス化反応である(図2-1-14参照)。

石炭ガス化は、高温で石炭をガス化剤と

図2-1-14 石炭のガス化反応

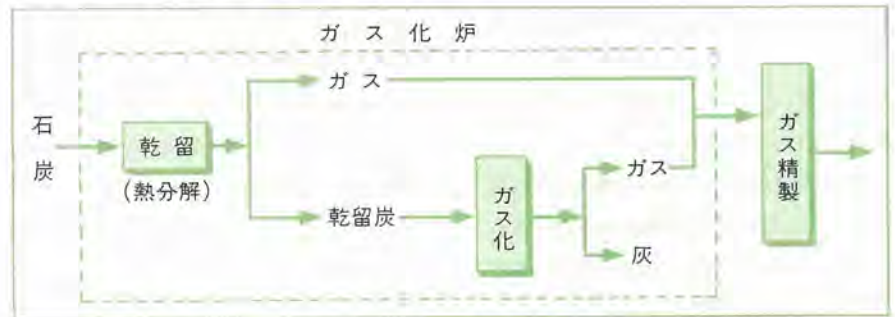
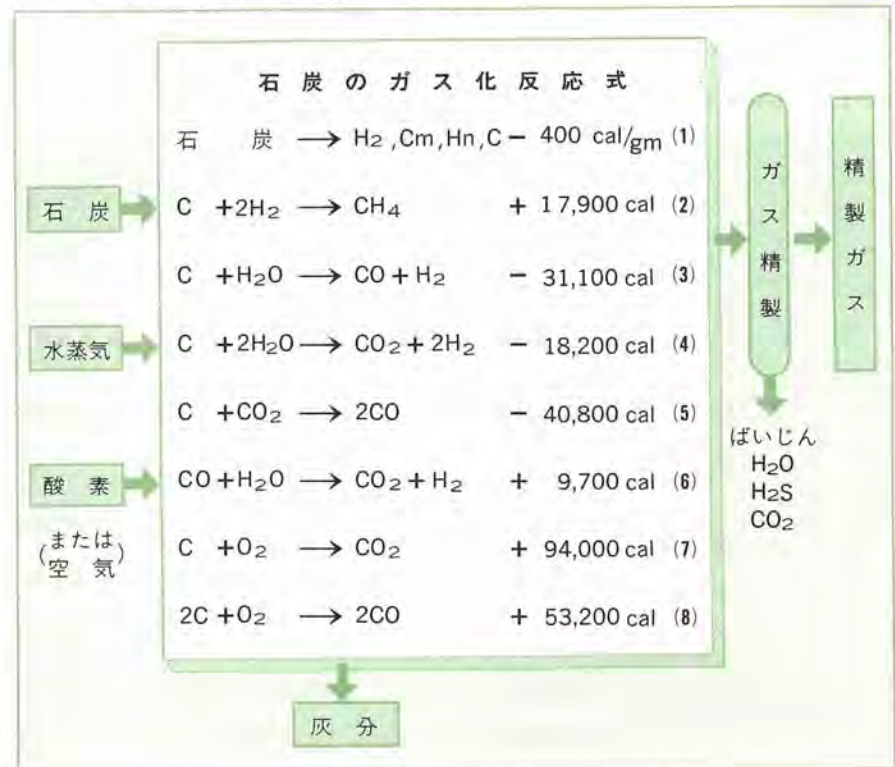


図2-1-15 石炭のガス化反応(1g/atomC当り)



反応させるが、ガス化剤に空気と水蒸気を使えば、水素、一酸化炭素、炭素ガス、窒素を主成分とする発熱量800～1,500kcal/Nm³程度の低カロリーガスが得られる。空気の代りに酸素または水素を用いると、2,000～6,000kcal/Nm³程度の中カロリーガスが生成する。このガスを触媒の存在下でメタン化を行えば8,500～10,000kcal/Nm³の高カロリーガスとなる。石炭ガス化複合発電におけるガスタービン用燃料ガスは、低・中カロリーガスである。

石炭ガス化の基本反応を図2-1-15にまとめて示す。これらの諸反応が、ガス化炉内で逐次的または併発的に行われている。

石炭ガス化は乾留反応(図中式(1))で始まる。石炭の低温乾留(500～700℃)では、多量のタールが生成するが、高温乾留(700℃以上)になると、これらのタールはさらに熱分解されて、ガス、乾留炭、および芳香族系高温タールに変化する。

乾留反応と並行して水素分解反応が行われる。ガス化炉内には多量の水素が存在しており、石炭中の炭素、酸素、窒素、硫黄原子などは水素分解され、メタン、フェノール、水、アンモニア、硫化水素などの化合物に変化する。

石炭ガス化においては、石炭の乾留分解(図中式(1))よりも生成した乾留炭のガス化がより重要である。乾留炭のガス化で重要な反応は水性ガス反応(図中式(3))、および副水性ガス反応(図中式(4))である。これらの反応は高温低圧ほど有利である。

ガス化炉で生成した炭酸ガスは、高温の乾留炭によって還元され一酸化炭素になる(発生炉ガス反応、図中式(5))。この反応も高温ほど有利であり、900℃以下では進まない。

当所においては、各種石炭のガス化基礎特性をガス化基本反応(図2-1-15)をもとに評価していく予定である。

II. 石炭ガス化方式とガス化炉

石炭のガス化プラントはいくつかの単位プロセスより構成されている。まず原料の石炭を粉碎、整粒し、乾燥またはスラリー化などの処理を行った後、ガス化炉に供給する。石炭ガス化炉で生成した粗ガスは廃熱回収系で冷却され、除じん、脱タール処理、さらにアンモニア、硫化水素などが除去され、クリーンなガスとなる。

石炭のガス化は、前述したように石炭の乾留分解と生成乾留炭のガス化とから成る。ガス化炉の装置という観点からは乾留炭の

ガス化を最も重視しなければならない。乾留炭のガス化反応速度を大きくするためには、高濃度の酸素を供給し反応温度をあげる必要がある。

現在実用化または開発中のガス化炉を反応装置という面から分類すると、固定床炉、流動床炉、噴流床炉、熔融床炉の4型式に大別できる。これらのガス化炉の比較を表2-1-2に示す。

現在、米国カルフォルニア州のサザンカリフォルニアエジソン・クールウォーター発電所構内に石炭処理規模1,000T/D(100MW級)の石炭ガス化複合発電実証プラントが建設されているが、ここで使用されるTexaco炉は、噴流型のガス化炉である。我が国の電力業界においても、噴流床式ガス化炉の開発研究を重視しているが、この型式のガス化炉には炭種制限が少ないこと、生成ガス中にタールが含まれないこと、石炭処理規模の大型化が容易であることなどの長所がある。

当所においては、石炭ガス化反応の基礎特性をもとにして、実際のガス化炉におけるガス化反応特性、ガス化炉諸特性の解明を行い、大型ガス化炉の設計に反映させていく計画である。(石森 岐洋)●

表2-1-2 石炭ガス化炉の比較

	固定床炉	流動床炉	噴流床炉	熔融床炉
長所	工業化実績有り 熱効率大 操作容易 塊状炭使用	熱伝達率大 熱効率大 操作容易 粗粒炭使用可	炭種制限小 石炭処理量大 タール生成なし 微粉炭使用可	炭種制限小 ガス化速度大 ガス化効率大 粗粒・微粉炭使用可
短所	大型化困難 炭種制限有り タール生成 クリンカー生成	操作温度制限有り 炭種制限有り ガス化効率小 灰分の飛散	灰分、乾留炭、ばいじんの回収処理必要 高温炉構造対策必要 炉内O ₂ 吹抜け対策必要	高温炉構造対策必要 大型化困難 熔融灰耐食材の開発必要
工業化程度	企業化段階 多数の実績あり	試験プラント段階 常圧炉企業化実績あり	実証プラント段階 企業化実績あり	基礎実験段階 企業化実績なし

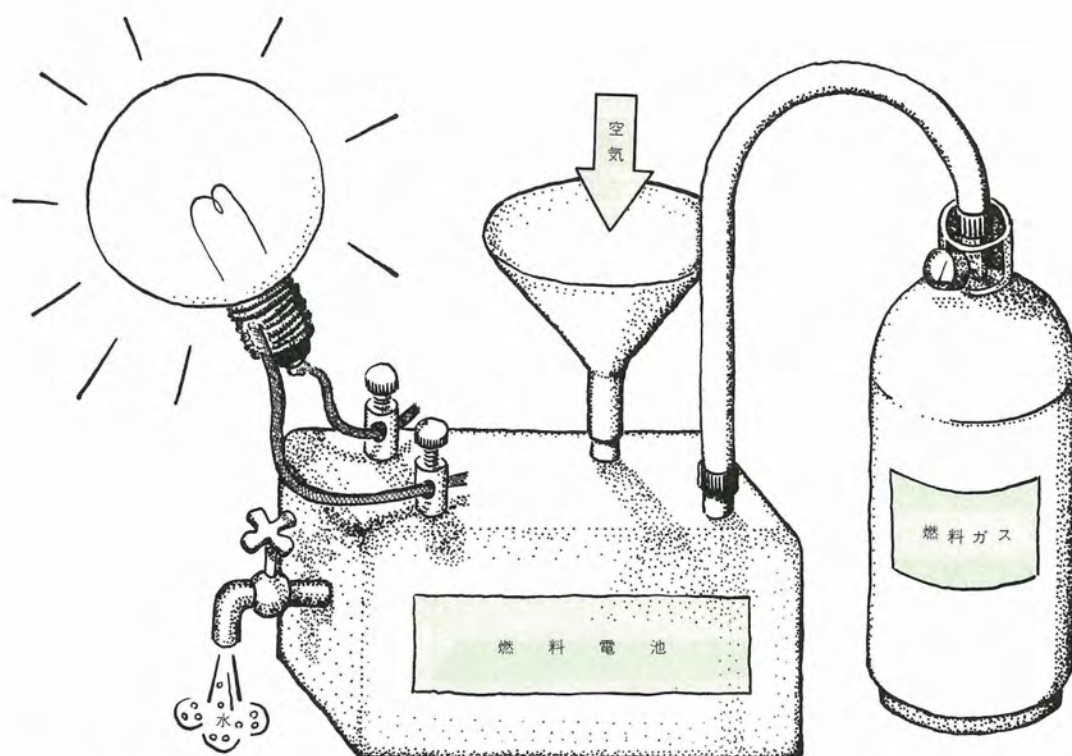
2-2 燃料電池発電

担当●電力技術研究所 新発電特別研究室 堀内長之

LNGや石炭等の燃料の中の水素と空気中の酸素を利用して化学的に直接電気を取り出し、余剰の熱も有効利用する燃料電池発電方式は、効率がよく、環境安全性も高いので、将来、有力な電源となると期待して、その開発研究を行っている。

燃料電池は、電池といわれているが、水素と酸素を化学的に反応させると電気が発生するという原理を利用した発電装置である。すなわち、リン酸塩とか溶融炭酸塩などの電解液が入っている槽の一方から空気を、他方からLNGや石炭ガスなどを改質した燃料を吹き込んで化学反応を起こさせるものである。これは従来の火力発電のように燃料を燃やさないで、発電効率が極めて高く、無公害でしかも需要場所近くに立地できる。

我が国では、現在ムーンライト計画の下に、種々のタイプの燃料電池の研究開発が行われている。当所では、燃料電池を電力系統に導入した場合の技術検討を行ってきたが、現在ムーンライト計画に参画し、燃料電池発電システムの最適化、利用方、環境安全問題などの研究を行うと共に、石炭を燃料とする次世代の溶融炭酸塩型燃料電池の開発とその評価研究をメーカーとの共同研究をも含めて推進している。



燃料電池とは、燃料ガス中の水素が空気と反応して、水になるときに放出するエネルギーを取り出す発電装置である

2-2-1 緒論と結論

天然ガス、メタノール、石炭などの燃料がもつ化学エネルギーを電気化学的に反応させて、電気エネルギーに変換する発電装置を燃料電池と呼んでいる。この原理は、水を電気分解して水素と酸素を得るのとは全く逆に、水素(燃料の主成分)と酸素(空気から取る)とを反応させて、水に変えるときに発生する電気エネルギーを取り出すもので、従来の火力発電方式のように、燃焼過程がないので、その分だけ大きな発電効率を得られることになる。

また、この化学反応過程では大気汚染物質の発生が少なく、発電装置としての運転・制御・保守は容易であり、さらに、立地上の制約を受けないことなど、多くの利点を持っている。その上、燃料は、天然ガス、メタノールなどであり、石油代替エネルギー時代にマッチしている。さらに燃料電池から発生する熱(高温の蒸気として取り出す)は簡単に回収できるので、この利用を図ればエネルギーの変換効率は大巾に上がる可能性がある。

以上のような特長を持つ燃料電池発電は、

将来の電力供給用電源としての質的な資格を備えており、商用電源として電気事業が実用できる装置の研究開発が期待されている。

燃料電池の開発は最初1960年代にアメリカの宇宙船の電源として行われたが、その後アメリカを始め多くの国で商用電源としての研究開発が進められている。

我が国においては、国のサンシャイン計画の一環として燃料電池の研究開発が進められ、その後ムーンライト計画の「燃料電池発電技術の開発」に変わって昭和56年度より再スタートした。

一方、電気事業においては、燃料電池の開発促進を図るため、東京電力が、FCG-1計画(米国における電気事業用燃料電池の研究開発を行っている計画)で開発された4.8MW装置のフィールドテスト、関西電力が富士電機と共同開発した30KW装置の実証試験などを開始しようとしている。

当所では、昭和51年より富士電機と共同で、アルカリ型燃料電池(図2-2-2参照)を使って燃料電池発電システムの研究を進め、運転保守上の問題点の解明と、使用場所に適した燃料電池発電システムの構成、およ

びその適正規模などについて検討し、ビル用電源として10MWの燃料電池発電システムの概念設計を行った。

昭和55年度からは、大型総合研究として、

1. 石炭利用と一層の高効率化を図り得る高温型の燃料電池として第二世代燃料電池(熔融炭酸塩型燃料電池)を選定し、この燃料電池の開発促進を行うとともに、電気事業における実用性の評価を行うこと、
 2. 各種の燃料電池発電システムの適正な構成方法、運転性能の在り方、環境保全、安全対策などの総合的な検討・評価を行うこと、
 3. 燃料電池に適合する石油代替のガス製造・貯蔵、また2000年以降の水素エネルギー時代を想定した燃料ガスの在り方などについて研究開発を行うこと、
- にしている。

なお、これらの研究開発は、国のムーンライト計画に積極的に協力する立場で進める計画である。

以上、当所の燃料電池発電技術の研究開発は、石炭利用技術の一環として捕え、石炭ガス化技術と組み合わせた燃料電池—蒸気複

表2-2-1 工業技術院ムーンライト計画の電池発電技術の開発スケジュール

中間評価							備 考
56年度	57年度	58年度	59年度	60年度	61年度		
(1)リン酸型 燃料電池	要 素	研 究	設 計	製 作	実証試験	燃 料 (LNG) (メタノール) 60年代前半実用化	
				1,000KW			
(2)熔融炭酸塩型 燃料電池	要 素	研 究				燃 料 (石炭ガス) 60年代後半実用化	
					数KW		
(3)固体電解質型 燃料電池	基 礎	研 究				燃 料 (石 炭) 70年代実用化	
					数百W		
(4)アルカリ型 燃料電池	要 素	研 究				燃 料 (水 素)	
			数KW				
(5)トータルシ ステムの研究	シ	ス	テ	ム	の	最適化	

注：本計画では61年までとなっているが、その後も継続されることが予想される

表2-2-2 各種の燃料電池

種類 項目	第1世代		第2世代	第3世代
	アルカリ型	リン酸型	熔融炭酸塩型	固体電解質型
現状	10kW試作	4.5MWモデルプラント	2kWスタック	260Wモジュール
容量範囲	10kW~5MW	10kW~100MW	50MW~500MW	大規模
時期	60年代実用化	60年代実用化	60年代後半	70年代以降
燃料	純水素	天然ガス メタノール	石炭ガス メタノール、天然ガス	石炭ガス
温度	常温~100°C	190~220°C	650~750°C	800~1,000°C
発電効率	セル45~60%	40~45%	45~50%	50~60%
原理図	カセイカリ水溶液 アノード カソード	リン酸水溶液 アノード カソード	熔融炭酸塩 アノード カソード	固体電解質 アノード カソード
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ●電池の効率が高く高電圧が得られる ●腐食性が少ない ●取扱い容易 	<ul style="list-style-type: none"> ●炭酸ガスを含む燃料が使える ●腐食性が少ない ●排熱利用可能 	<ul style="list-style-type: none"> ●各種燃料（炭酸ガス、一酸化炭素含有可） ●蒸気複合発電に適合 	<ul style="list-style-type: none"> ●電池効率が高い ●材料が安価 ●蒸気複合発電が可能
問題点	<ul style="list-style-type: none"> ●排熱利用が難しい ●燃料の炭酸ガス除去が必要 	<ul style="list-style-type: none"> ●貴金属の触媒が必要 ●COの被毒が大きい 	<ul style="list-style-type: none"> ●腐食が大きい ●要素研究段階 	<ul style="list-style-type: none"> ●基礎研究段階

図2-2-1 各種燃料電池の動作温度領域



合発電システムの構想に向うもので、そのために先ず溶融炭酸塩型燃料電池の実用化を促進し、また、現在実証段階にある、リン酸型燃料電池を対象として商用電源としてのトータルシステムを検討し、信頼性と経済性のある燃料電池発電プラントの確立

に役立てようとするものである。(堀内 長之)

2-2-2 溶融炭酸塩型燃料電池の開発

溶融炭酸塩型燃料電池は、溶融アルカリ炭酸塩(常温では白色の固体であるが500℃

以上の高温になると無色透明な液体になる)を電解質に使用し、650~750℃の高い温度で水素と酸素を化学反応させる燃料電池である。

この燃料電池は、発電効率が45~55%と高いこと、使用できる燃料の種類が多いこと

図2-2-2 燃料電池発電の研究開発フロー図

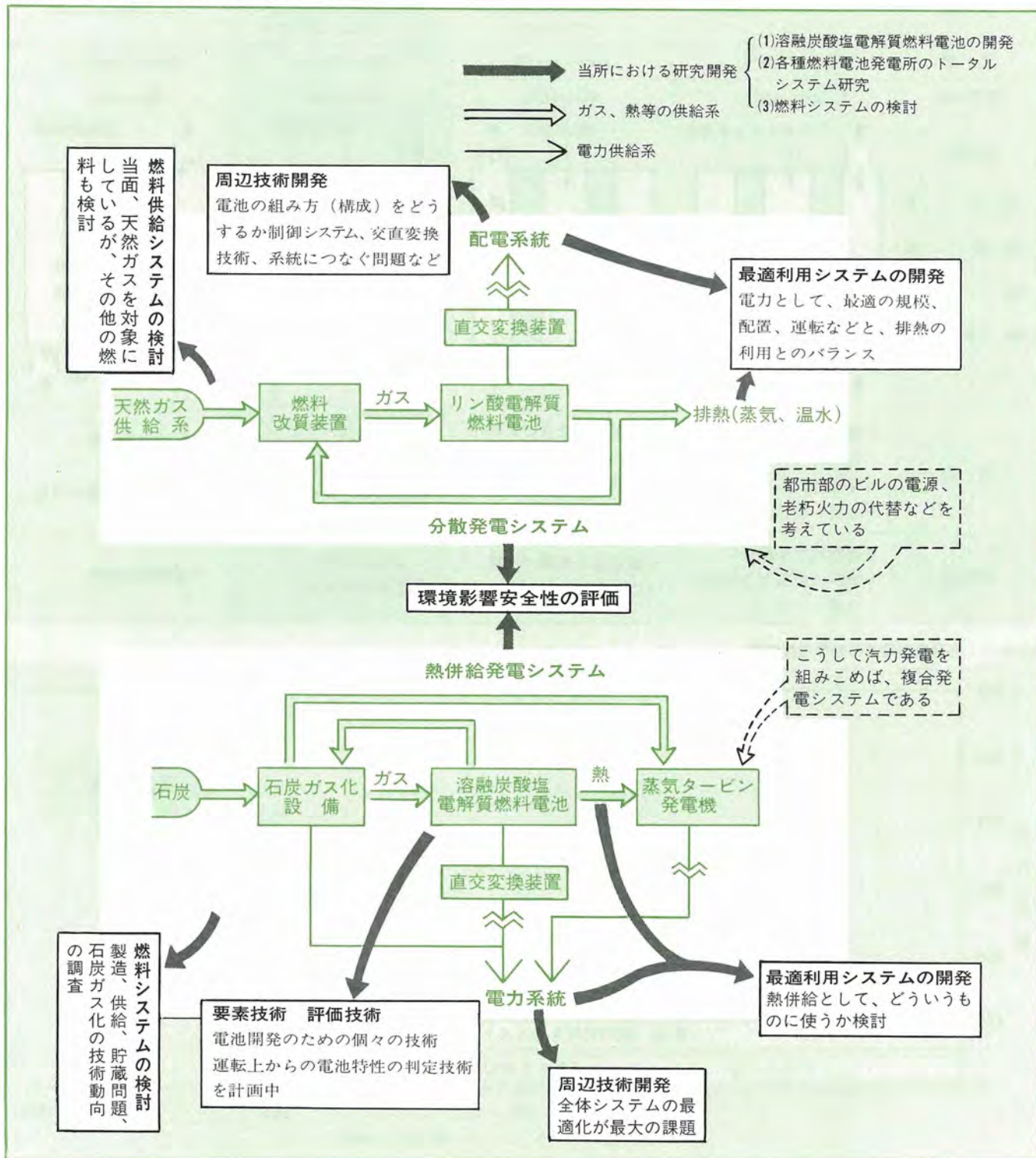


図2-2-3 石炭ガス化装置と組み合わせた溶融炭酸塩型燃料電池—蒸気タービン複合発電プラントの概念図(675MW、GE社)

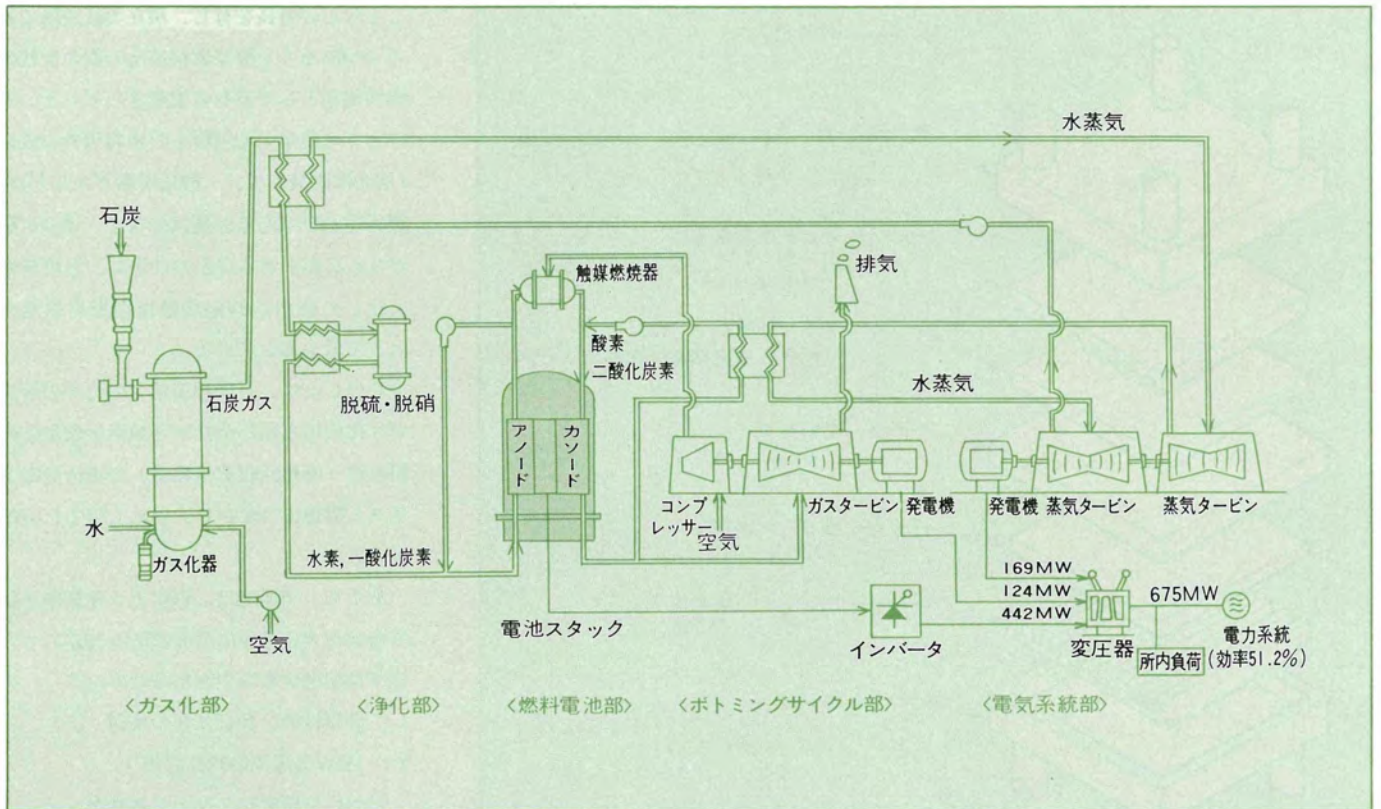


図2-2-4 石炭ガス燃料の溶融炭酸塩型燃料電池プラントレイアウト(675MW、GE社)

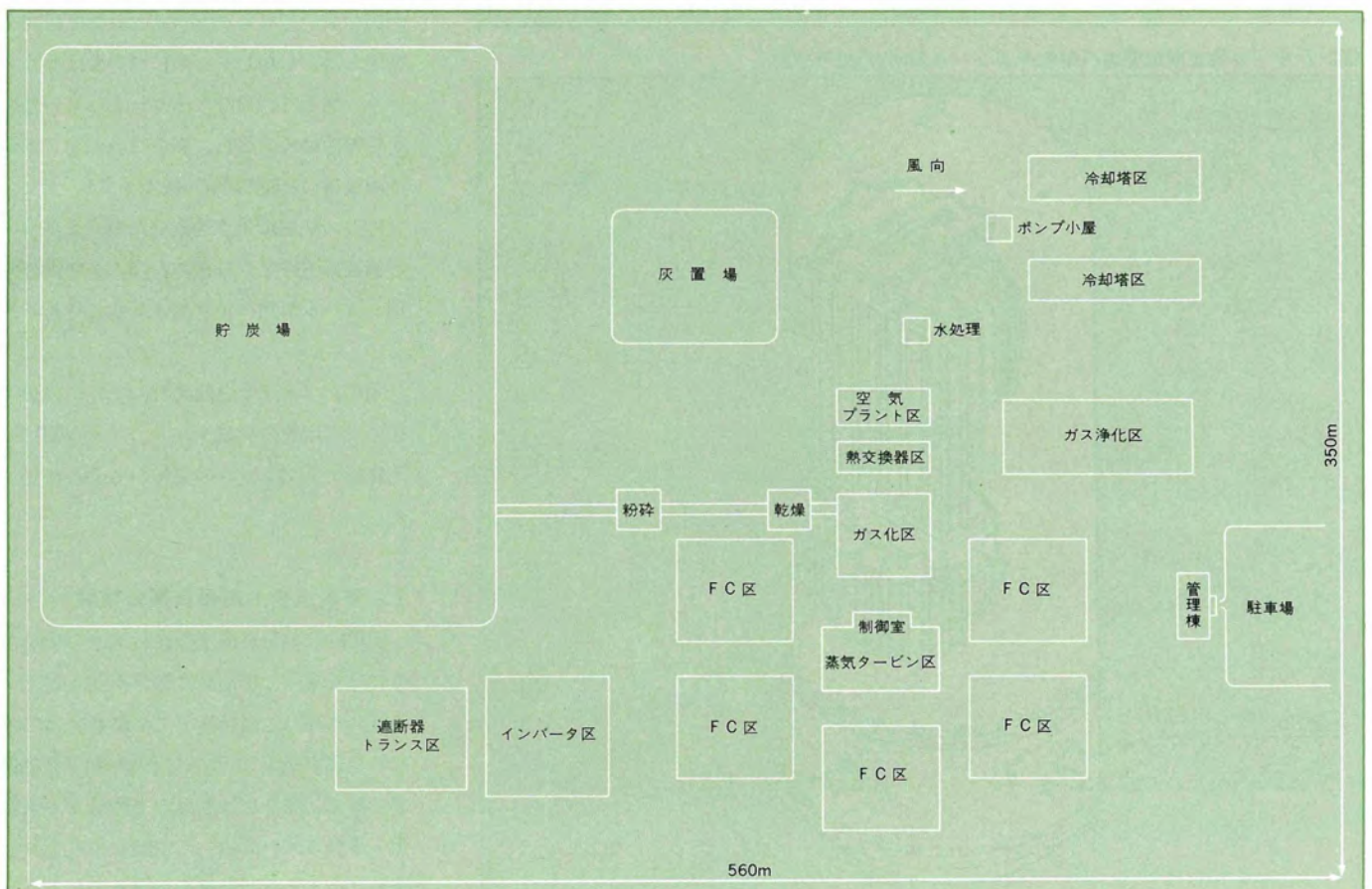


図2-2-5 熔融炭酸塩型燃料電池のモデル(研究開発セル)

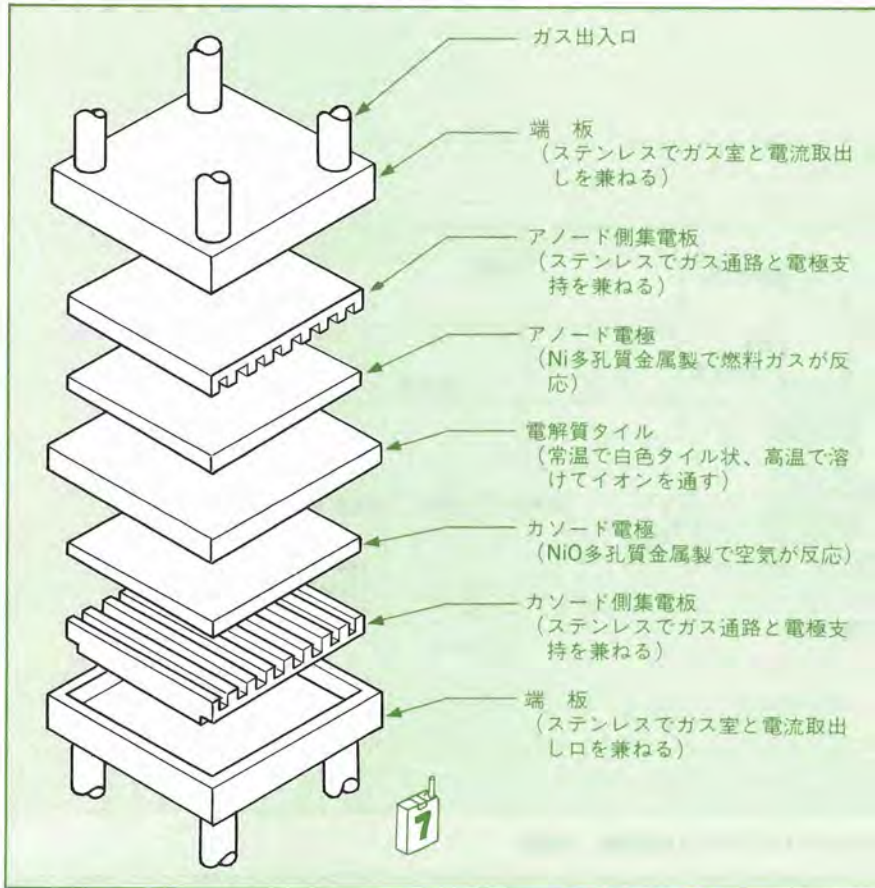
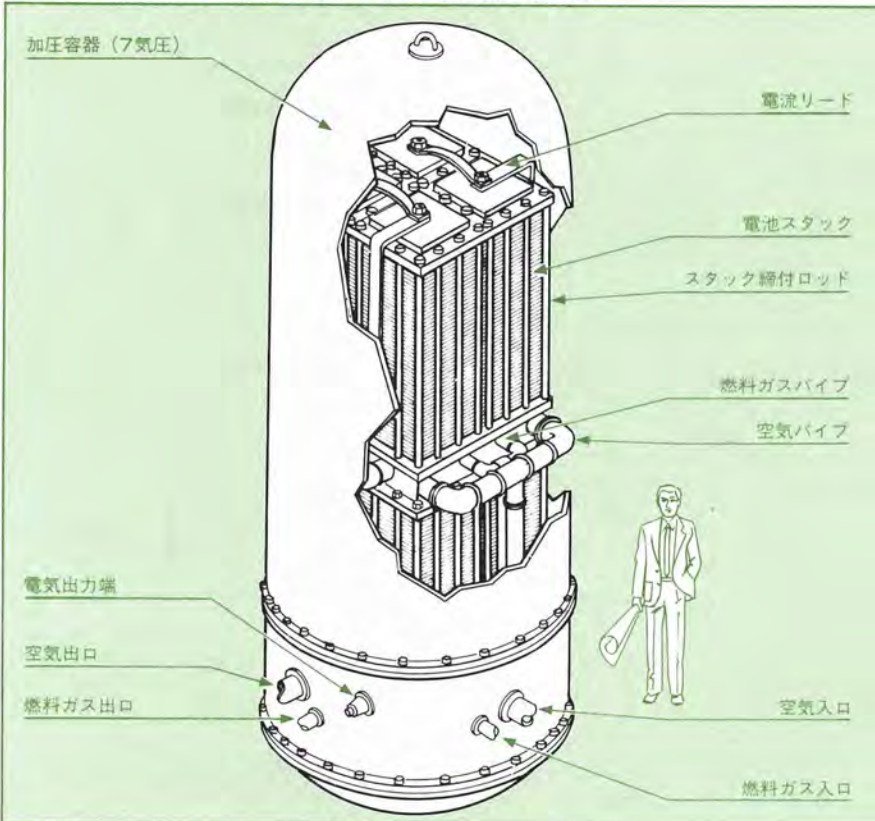


図2-2-6 熔融炭酸塩型燃料電池モジュール(IMW)の予想図



と、貴金属などの高価な触媒を使用しないことなどの特長を有し、現在実証段階に入りつつあるリン酸型燃料電池の次の世代の燃料電池として最も有望視されている。

とくに使用する燃料中の水素以外の成分(例えば炭酸ガス、一酸化炭素ガスなど)が燃料電池に与える影響は少なく、逆に炭酸ガスを必要とするなどの理由で、石炭をガス化した燃料が熔融炭酸塩型燃料電池にとって最も適している。

このことは、石炭利用拡大のための石炭ガス化技術と組み合わせた「熔融炭酸塩型燃料電池—廃熱回収蒸気発電」の複合発電プラント構想につながり、極めて望ましい特長である。

そこで、当所では、石炭ガス化装置と組み合わせた大規模集中型発電所を想定して、まずは熔融炭酸塩型燃料電池の

1. 要素技術、評価技術の検討
2. 1KW級電池の特性評価

について研究をスタートさせた。

熔融炭酸塩型燃料電池の開発は、最近我が国においてもムーンライト計画で研究を開始した。しかしまだ緒についたばかりであり、当所は、そのユーザーとしての立場から電池材料の選択、製造法の確立、諸特性の改善など要素研究の段階からタッチし、諸性能の把握に重点を置いた研究を進め、評価技術の確立、将来の石炭ガス化複合発電システム構想へアプローチする考えである。

因に、アメリカの開発計画では、1980年後半に実用機の実証テスト、1990年前半で、大規模デモプラントの実施が考えられている。

1. 要素技術・評価技術の検討

実用的な熔融炭酸塩型燃料電池を開発するにはまず第1に電池の動作温度650~750℃という高い温度条件下でも腐食を起こさない金属やセラミックスなどの材料開発が必要である。第2には高温中で燃料ガスや空気・炭酸ガス、熔融した電解液が電池から漏れないような積層構造が必要である。

第3には機械的にもろい電解質板(図2-2-5参照)を寸法精度よく、大型のものに作る技術の開発が必要である。その他にも電流密度が大きく取れ、劣化の少ない電極板の開発などが要求される。

こうして試作された燃料電池は、一素子または少数素子が積層された段階(電池スタックと呼んでいる)で性能評価しなければならない。燃料電池の開発過程では、この段階の性能評価が最も重要であり、この過程におけるユーザーの目標性能の明示とそれに応えるメーカーの技術革新があって、始めて電気事業用電源として使える燃料電池の開発が可能になるものと考えている。

そこで、当所は電池素子の開発段階からメーカーとの共同研究を進め、ユーザー側として燃料電池を構成するための基礎技術を習得し、それを土台にして電気事業に必要な要素技術と評価技術の検討を実施している。

II. 1 kW級電池の特性評価

すでにアメリカでは数kW級の熔融炭酸塩型燃料電池が試作され試験に供されているが、我が国のムーンライト計画でも昭和60年には数kW級の熔融炭酸塩型燃料電池の試作を終え、その実証試験を行う計画である。

当所は、このムーンライト計画に参画・支援するが、さらに要素技術、評価技術の基礎研究の成果を電極面積300cm²、容量30W程度の単電池の実現に結びつけ、これを、数10枚積層し1kW級スタックを構成し、実用段階の性能評価試験まで行う予定である。

この性能評価試験は、石炭ガスを中心とするような燃料ガスが使用できるか、起動、停止などに伴う温度変化に対して耐えられるかどうか、急激な負荷の変化に対応できるかなど、実際に発電機として運転した場合の様々な状態変化に対して十分な安定性

や安全性が得られるかどうかを判定、評価する。

なお、この性能評価は、昭和57年度に設置する熔融炭酸塩型燃料電池評価試験設備を用いて実施する。(堀内 長之)

2-2-3 各種燃料電池発電システムのトータルシステム研究

燃料電池は、エネルギー変換効率の面から優れた省エネルギー発電装置であり、また代替エネルギー活用の面でも有利な特長を持っているが、その特長を十分発揮させるためには適正な運転方法、発電所を組み立てる機器の選択、燃料電池から発生する熱の回収や利用方法、より以上の環境保全や安全対策などを十分に検討しておく必要がある。

そこで当所では、燃料電池を配電用変電所などに分散配置する場合や小規模老朽石

図2-2-7 熔融炭酸塩型燃料電池評価試験設備の概要

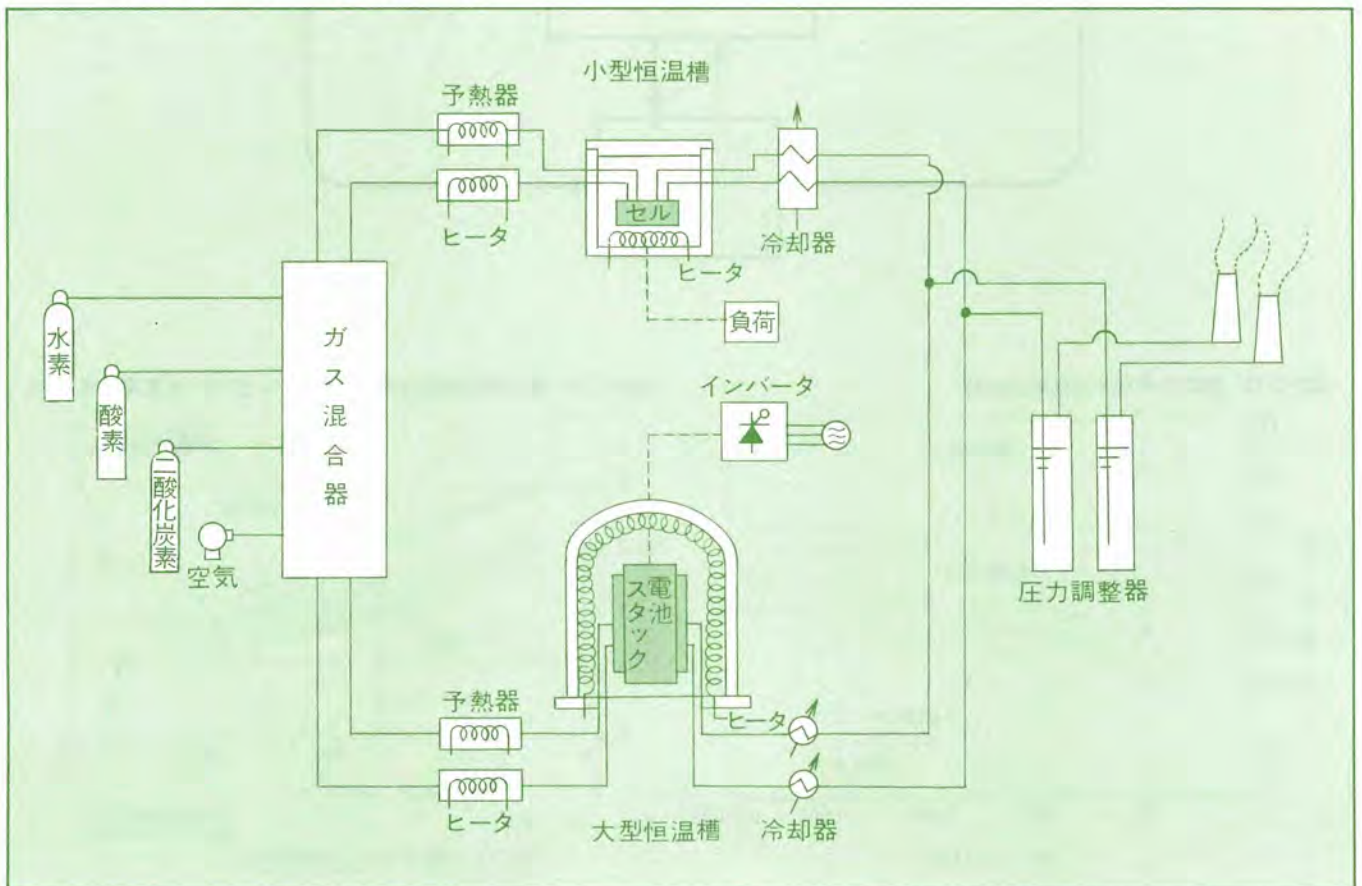


図2-2-8 リン酸型燃料電池システムの原理図

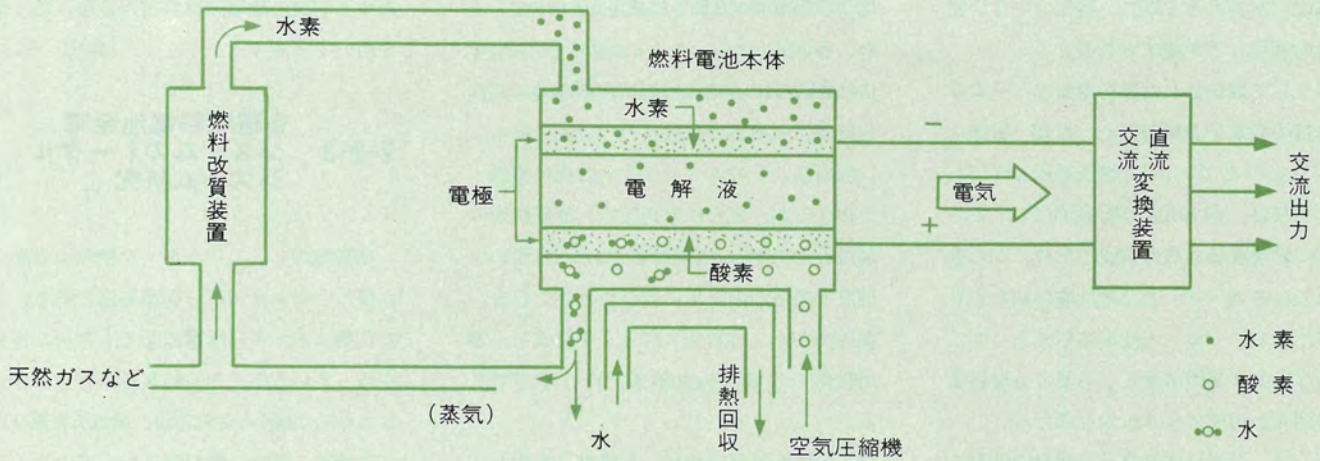


図2-2-9 システム構成の概念図

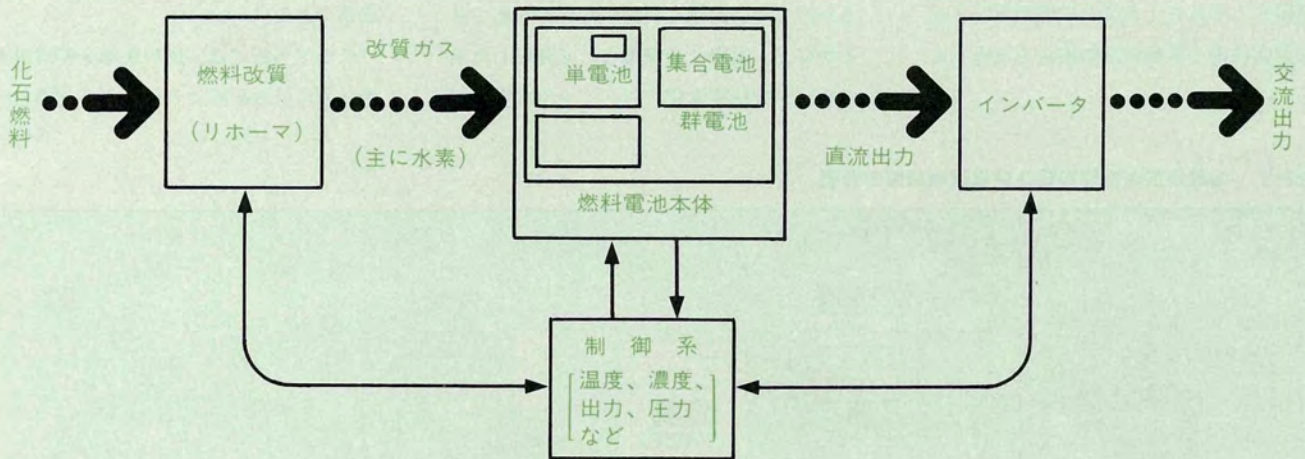


図2-2-10 発電方式による効率の比較

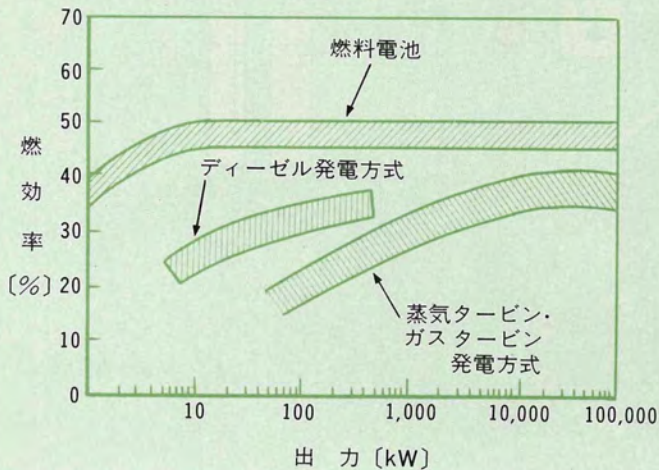


図2-2-11 電力用燃料電池の目標性能—EPRI(米国電力研究所)

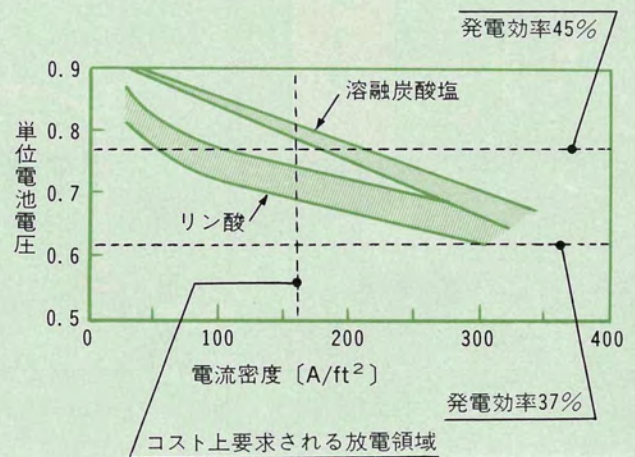


図2-2-12 第1世代燃料電池発電装置本体概念図

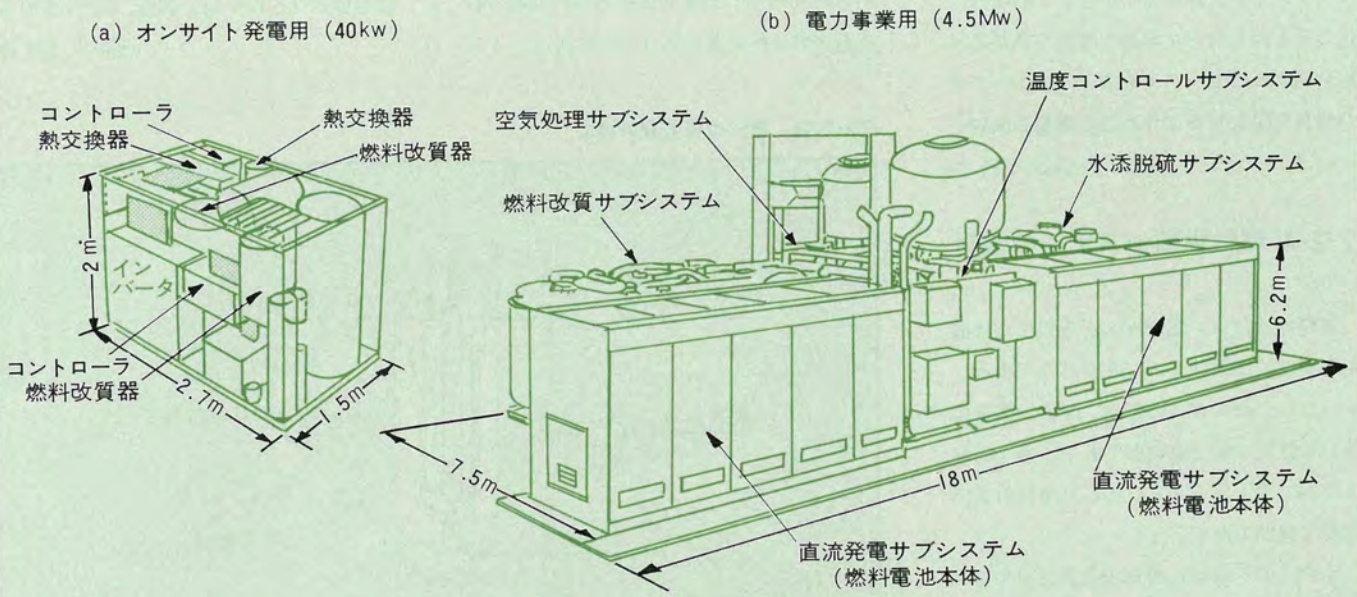
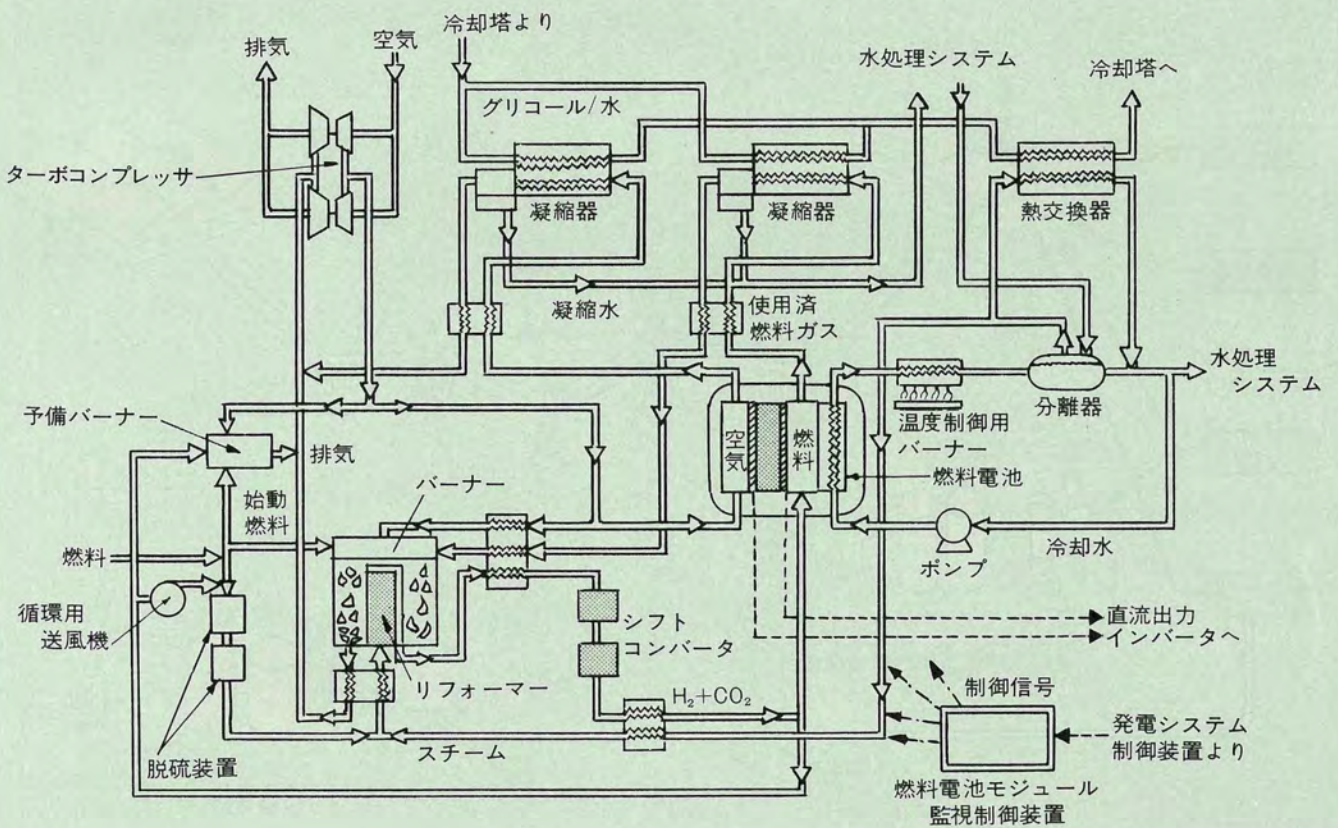


図2-2-13 4.5MW燃料電池発電システムフロー図(UTC社・米国)



油火力の代替として集中配置する場合を想定したリン酸型燃料電池発電所のトータルシステムや、大規模集中型として石炭ガス化装置と組み合わせた熔融炭酸塩型燃料電池複合発電所のトータルシステムについてその特長を生かせるよう上述の課題を検討している。(堀内 長之)

型燃料電池に石炭ガス化燃料を使用するものとして、世界における石炭ガス化装置の研究開発動向の調査や燃料電池に要求される石炭ガス化装置のあり方の検討を行うと

同時に、リン酸型燃料電池に適用される天然ガス改質装置、都市部における天然ガス供給体系などについて調査、検討を進める。(堀内 長之)

2-2-4 燃料供給システムの検討

燃料電池には、燃料ガスと空気または酸素を連続的に供給することが必要である。そのため、燃料ガスの製造、貯蔵、輸送に係わる技術の向上も必要であり、各々のシステムの適正化を図ることも実用化の上で重要な課題である。

これらの問題は、将来の我が国のエネルギー供給体系によって大きく変えることが考えられるが、当所としては当面、熔融炭酸塩

図2-2-14 燃料改質装置の構成

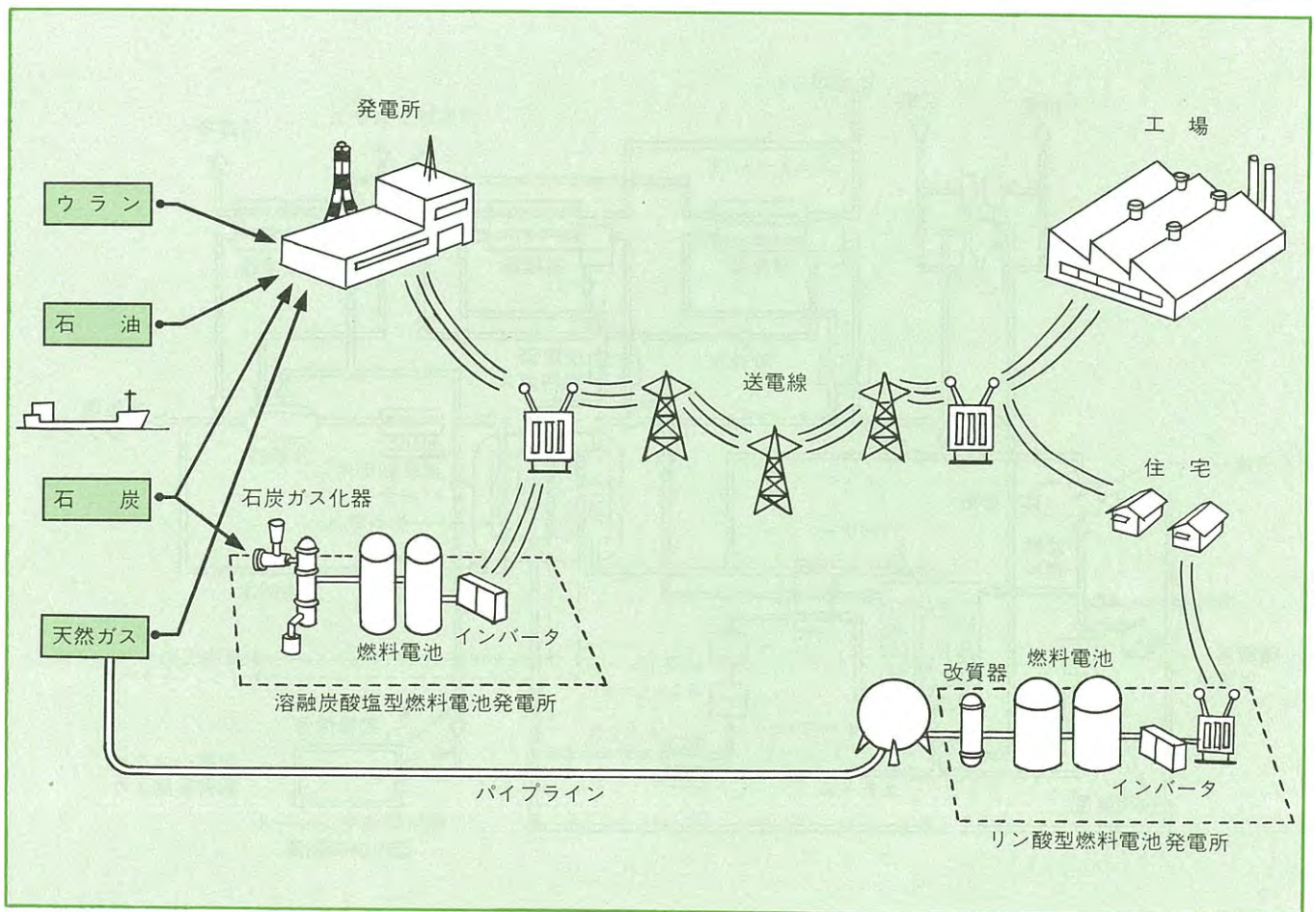
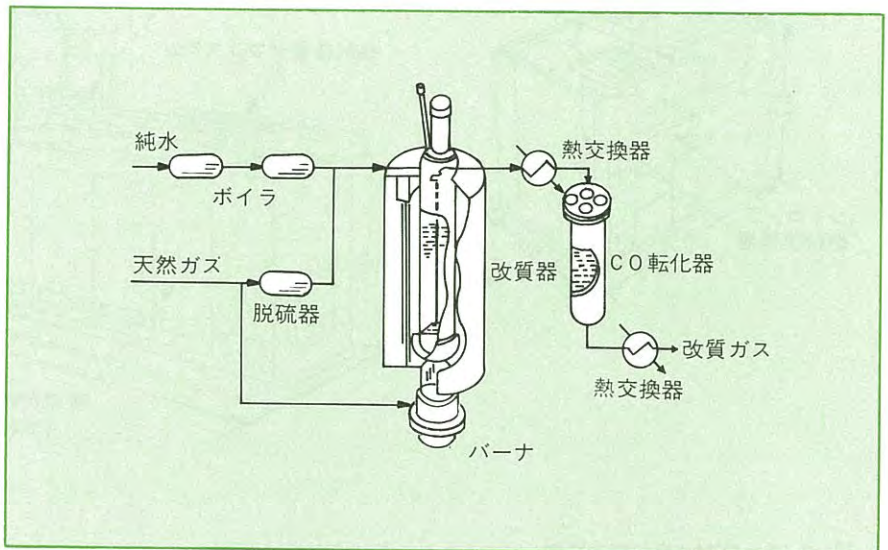


図2-2-15 燃料供給システムの概念

2-3 太陽光発電

担当●電力技術研究所 新発電特別研究室 武田行弘

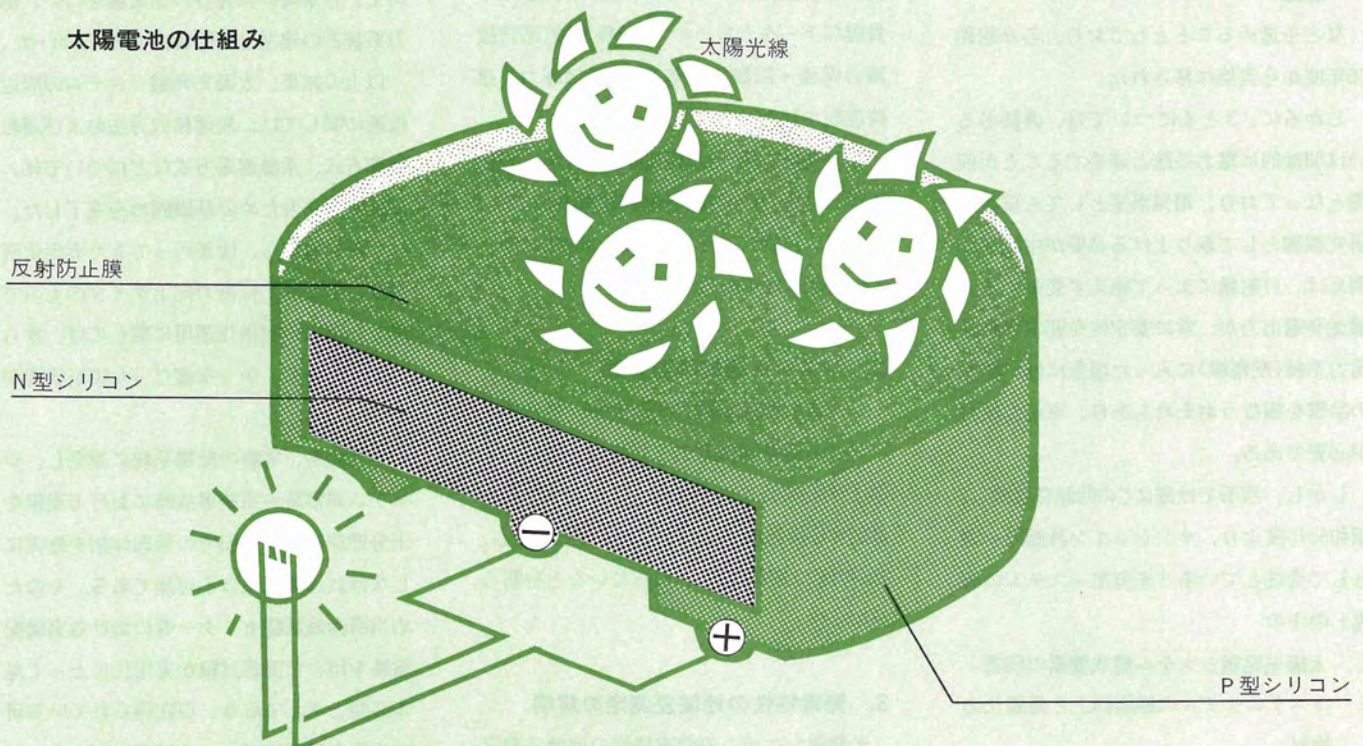
自然エネルギー利用技術として太陽光発電方式は有望であるので、当所では、いち早く研究に着手し、現在サンシャイン計画の受託研究を中心として、開発を実施している。

太陽光発電は太陽エネルギーを半導体である太陽電池を用いて直接電気に変換する発電方式なので、燃料が不要であること、クリーン・エネルギーであること、分散型電源として適していることなど種々の特徴を持っている。現在、シリコン太陽電池が対象となっているが、低コスト化が重要な目標のひとつとなっている。

当所では、国のサンシャイン計画に協力して研究を行っており、電力系統に本方式が導入されるに当たっての問題点を解明することを主眼に、3kW発電装置2基を用いて、太陽光発電システムの組み方や制御の仕方および個々の構成要素技術についての要求性能の解明を行ってきた。

現在、実用化に向けて周辺技術も含めたシステムの最適化や連系の適正化の研究を行っているが、今後、多数のkW級発電装置が設置された場合の問題の解明を行うと共に、東京電力、四国電力と共同で、それぞれ200kWおよび1,000kW級発電の実証研究を行っていく。

太陽電池の仕組み



2-3-1 緒論と結論

今後ますます増大するエネルギー需要に対処するためには、原子力や石炭の利用拡大を図る必要があり、さらにそれと並行して、新しいエネルギー源を開発することも極めて重要な課題である。

このため、サンシャイン計画では、深部地熱や太陽エネルギー利用に対して具体的な実用化目標を置き、重点的な研究開発を進めて、1990年(昭和65年)までには、相当量のエネルギー供給を実現させる計画である。

このうち、太陽光発電については、先ず太陽電池の低価格化を促進するため、

1. 太陽電池用シリコンの低廉精製プロセスの開発
2. 太陽電池パネルの連続大量生産ラインの開発

を取りあげ、また太陽光発電利用システムの実用化と普及を目指して、

3. 住宅、学校、工場用のデモンストラクションシステムの開発
4. 補完電源用の集中型太陽光発電システムの開発

などを進めることとしており、各々昭和55年度から実施に移された。

しかるに、3と4については、直接あるいは間接的に電力系統と連系することが前提となっており、電気事業としても重要な研究課題として取り上げる必要が生じた。例えば、日射量によって絶えず変動する太陽光発電出力が、常に安定性を要求される電力系統(配電線)に入った場合には、電力の品質を損なうおそれもあり、事前の検討が必要である。

しかし、当所では既にこの問題を認識し、昭和53年度より、サンシャイン計画の一環として受託している「太陽光発電システムの研究」の中の、

1. 太陽光発電システム構成要素の研究
2. システムモデルの機能向上と最適化の検討

などにおいて種々検討してきた。

すなわち3kWの他励式および自励式(直流-交流変換器の方式)の太陽光発電システムを開発し、これを実際に運転してみて、最適なシステム形態や運転制御方式を明らかにすると共に、個々の構成要素に要求される仕様性能などの評価を行い、太陽光発電システムを開発していく上で、技術的な障壁は殆んどないことを明らかにした。

さらに昭和55年度からの新サンシャイン計画に対しては、NEDO(新エネルギー総合開発機構)より「太陽光発電システム実用化技術：周辺技術の開発」の研究を受託し、

1. 最適システム形態の検討
2. 電力系統との連系上の問題点解明

などを行っている。

主な研究内容は次の通りである。

1. 発電運転特性

3kW他励式システムおよび3kW自励式システムを開発し、それぞれ昭和55年4月、昭和56年3月から当所模擬電力系統と連系運転して、その発電運転特性を長期連続運転しているが、このような長期の連続運転実績は、現在、日本においてほとんどなく貴重なデータとなるので、特殊実験(系統故障の保護・制御実験等)時以外は極力、連続運転させた。

その結果、例えば昭和56年3月から昭和57年2月までの発電実績は日平均にして、他励式、自励式でそれぞれ約7.8kWh/日、約6.9kWh/日である。

2. システム運転制御方式

システム運転制御方式の中で、特にインバータの運転制御方式としては、簡易な定電圧運転制御方式を提案し、常に最適点を追尾する複雑な運転制御方式と比較しても、2%程度の損失増しかならないことを明らかにした。

3. 発電特性の地域差測定の解明

太陽光発電システムの発電特性の地域差測定の解明のために、昭和56年度当所で「地域

太陽光発電特性自動測定装置」を4台開発製作した。装置は、マイクロコンピュータを用いた計測制御部を中心に、センサー用太陽電池部、気象条件センサー部、計測用電源部などから構成されている。電源には太陽電池アレイを使い、装置に必要な電源はすべて太陽エネルギーでまかなうように設計されている。

本装置は、56年下期から札幌、仙台、名古屋、宮崎に設置し、各地区の発電特性の測定を実施している。

4. システム最適化の検討

上記1、3の解析データを用い、各種実用システム規模における発電運転特性のシミュレーション計算、また高周波インバータ、蓄電池充放電制御装置の製作に基づくシステム構成要素の小型簡略化の検討などを通して実用化・普及時における太陽光発電システムの最適化の検討を行った。

5. 電力系統との連系上の問題点解明

前記3kW他励式と3kW自励式太陽光発電システムを用いての相互干渉実験や運転性能の向上、異常時の保護等の諸実験を行い、電力系統との連系上の問題点の解明を行った。

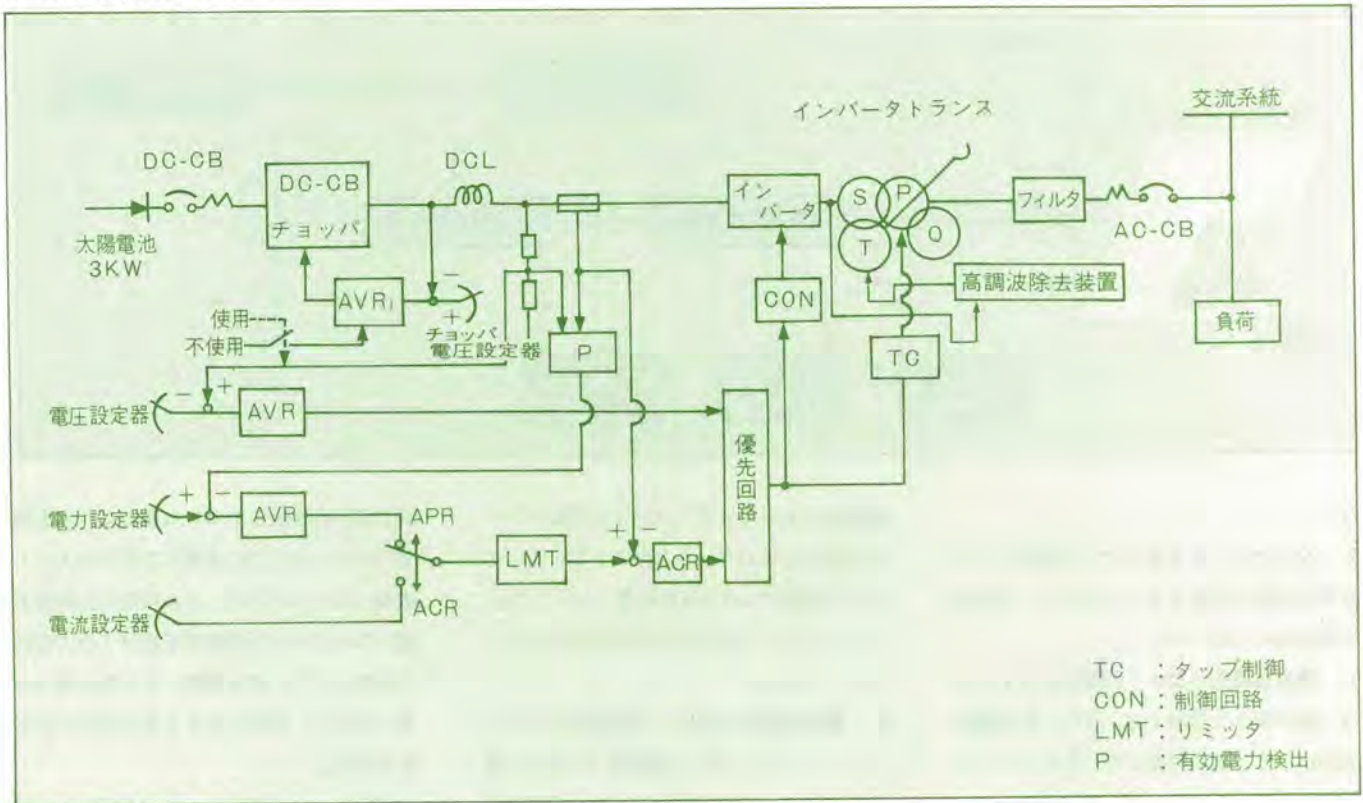
以上の結果、太陽光発電システムの周辺技術に関しては、最適構成方法および運転制御方式、系統連系方式などについては、ほぼ実用化のための基礎固めを完了した。

しかしながら、従来行ってきた実用化研究は、主として技術力向上タイプのものであり、実際の実用化運用に関しては、さらにきめ細かく、かつ系統だった実証研究が必要である。

すなわち、実際の配電系統に連系し、システム異常時や系統事故時における現象を十分把握し、安全面での管理体制を確実にしなければ実用化は不可能である。そのため当所赤城試験センター等における実験配電線を用いた実証試験が実用化にとって是非必要と考えており、現在得られている研究成果を確認実証すべく計画中である。

一方、これと並行して昭和55年度から

3 kW他励式光発電システム



NEDOの「集中型光発電システムの開発」の研究を東京電力および四国電力と共同で受託している。本研究開発において、昭和55年度は、主として本システムが将来の電源構成にどのような形で取り入れられるか、また既存電力システムとの協調により、太陽光発電出力を効率的に利用するにはいかなるシステムであるべきかなどについて検討し、分散配置形と集中配置形の2方式を提案し、その基本的設計を行った。

分散配置形光発電システムは、太陽電池アレイを数箇所分散配置し、各々インバータを介して配電システムと連系し、そのすべてを変電所に置いた制御装置により、一括運転するシステム構成である。したがって、都市部において既設建築物や小さい空地の利用が可能であり、発電サイトと需要家とが近いことやシステムの増設が容易であるなどの長特長を有し、都市部の太陽光発電に適している。

昭和55年度の基本設計では、配電線1回線の容量からみて、その1/10を並入限度と考えて200kWをトータル容量とし、25kW

および50kWの各他励、自励システム、25kWの内部負荷保有自励システム、25kWの蓄電池保有自励システムの6ユニットからなるシステム構成とした。

一方、集中配置形光発電システムは、太陽電池アレイを1箇所集中配置し、発電出力は変電所を介して配電システムに送り出すシステムで、大容量集中化によるシステム構成機器の価格低減や既存電力システムとの連系が容易であるなどの長特長を有するが、その反面比較的広い用地を必要とし、農村型の発電方式である。

昭和55年度と基本設計では、独立電源(単独システムへの供給)としての適用、直流連系上の問題点の解明や、デモプラントとしての効果、などをねらい、1,000kW級をトータル容量とし、台数制御の可能な200kW、400kW、400kWの3台の自励式インバータを基本とするシステム構成とした。

これらの検討結果をもとに、56年度からは具体的に両システムのプラント建設に着手した。分散配置形システムは、当所と東京電力が担当し、千葉県市原市に、また、

集中配置形システムは、当所と四国電力が担当し、愛媛県四条市にそれぞれ建設することとなり、昭和61年度を完成目標に、要素機器開発を進めながら段階的にプラントを建設して行く計画となっている。

昭和56年度は、両システムとも実際のプラント建設地点の選定が完了するとともに、昭和55年度の基本設計にもとづく詳細設計とシステム構成要素の具体的仕様の検討が行われ、同時に、プラント建設の第一歩として20kW級太陽電池アレイの設置が完了した。両システムの最終建設は、それぞれ昭和59年度、昭和61年度完了を目標に順次建設して行く計画である。(武田 行弘)

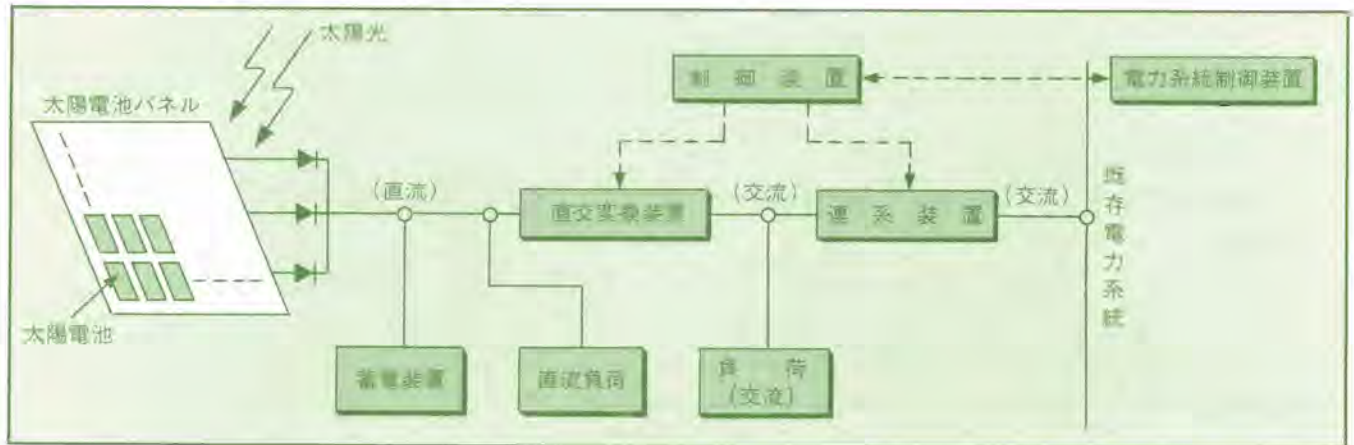
2-3-2 太陽光発電の概要

I. 太陽光発電の特徴

太陽光発電は、太陽光を直接的なエネルギー源とするので次のような特徴がある。

1. 燃料不要：太陽電池などの製造にはエネルギーが必要であるが、一度システムを建設すれば運転に際して燃料費は必要とし

図2-3-1 光発電システムの一般的なシステム構成



ない。

2. **クリーン・エネルギー**：排気ガスなど有害な物質を排出することがなく、放射能や熱汚染の心配もない。

3. **発電地域差がない**：太陽光は地上にはほぼ一様の強さで日射する。このため地域的制約がなく、電力需要に応じたオンサイト発電が可能である。

4. **エネルギー密度が小さい**：最大で約1 kW/㎡のエネルギー密度であり、たとえば太陽光発電の場合、太陽電池の変換効率(太陽エネルギーを電気エネルギーに変換する際の効率)を考慮すると、太陽エネルギーを収集し発電するのに必要な面積が15~20 ㎡/kWほどになり、大容量発電のためには広い面積が必要となる。

5. **リアルタイム発電**：発電出力は日射量に依存し、夜や雨天時は発電不能である。また日射量のピークと需要のピークの時間は一致しない。このため発生電力を貯蔵するか、または電力系統と連系する必要がある。

さらに太陽光発電は太陽電池という半導体を用いるので、次のような特徴もある。

6. **設備および維持管理が容易**：太陽電池は軽いのでどこにでも設置できる。例えば、既設建築物の屋根などの利用も可能である。また機械的可動部がなく、燃料も不要なので、維持管理が極めて容易で、システムの無人化が行いやすい。

7. **発電規模によるコスト差が小さい**：太陽電池はモジュール構成となっており、発

電規模を大きくすることによる発電コストの低減はあまりない。ただし、このことは逆に小容量のものを多数設置したとしても、システムとして存立する可能性があるということである。

8. **量産効果大きい**：太陽電池はトランジスタ IC などと同じ半導体素子であり、量産性に富み、需要の拡大につれて連続自動化製造工程などによる低コスト化が図れる。

9. **発電出力は直流である**：太陽電池から得られる電力は直流であるが、多くの電気機器は交流を必要とするので直交変換装置(インバータ)が必要である。

これらの特徴のうち4.と5.は欠点に属するが、石炭、石油、原子力に関しては零細資源国である我が国も、こと太陽エネルギーに関する限り世界的に見ても中資源国であり、何とんでもエネルギー的に将来とも供給不安のないこと、立地上の制約の少ないこと、発電システムとしての構造が単純で取扱い易いことなどの魅力は大きく、技術面においてこれらの欠点を克服すると共に、応用面では極力その長所を伸ばすように努力して行く必要がある。

II. 太陽光発電システムの構成

太陽光発電システムは基本的に太陽電池アレイと、その直流出力を使い易い交流に変換するための直交変換装置とによって構成され、必要に応じてこれに直流ないしは

交流負荷が接続される。しかしながら太陽電池アレイの出力は天候に左右され大きく変動するものであり、また夜間には発電不能となるため、蓄電装置を設けて出力変動を抑制したり、連系装置により商用電力系統と連系し、負荷に対する電力供給の安定化を図る。

図2-3-1は光発電システムの極めて一般的なシステム構成を示すものであり、用途に応じて各装置が適宜選択されシステムを構成することになる。(武田 行弘)

2-3-3 太陽光発電の現状と動向

I. システム技術開発の現状

太陽光発電の普及の最大ポイントは、太陽電池をはじめとするシステムの低コスト化にある。そのため次の四つの分野で研究開発が進められている。

- (i) シリコンを主とした原材料の精製技術、
- (ii) 単結晶、多結晶、アモルファスなどによる太陽電池単体の製造技術、
- (iii) モジュールからアレイに至るまでの各種加工組立技術、
- (iv) 周辺機器を含むシステム化技術、

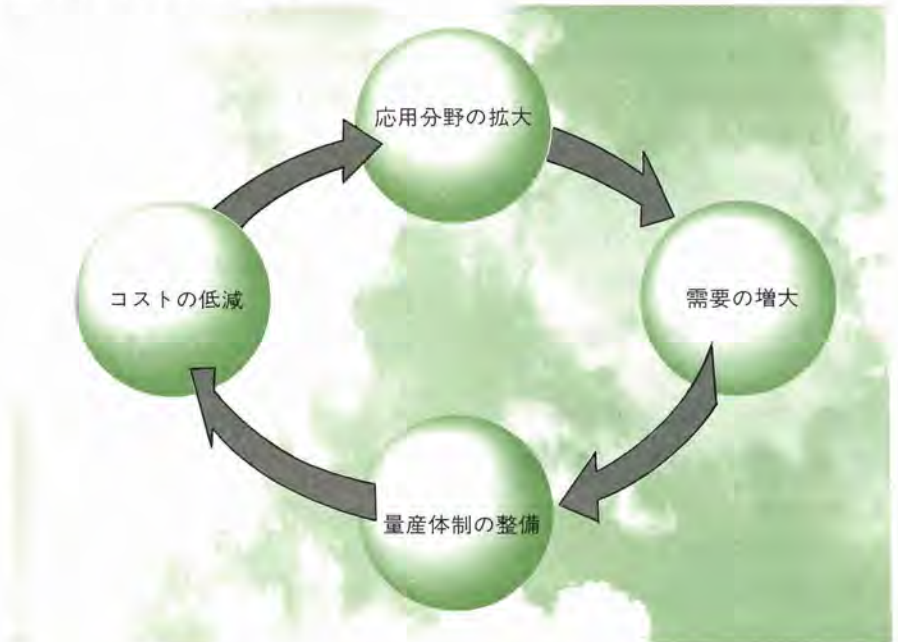
これらのうち(i)~(iii)は、シリコンなどの原材料の精製にはじまり、取扱い易い大きさの太陽電池モジュール(現在では電気出力40W程度)の組み立てに至るプロセスについて、所要エネルギーの低減、工程

の簡略化および自動化、歩留りや製造速度の向上、製品の効率化および大面積化などを達成し、太陽電池の低コスト化を図ろうとするものであり、一方(ii)は太陽光発電の特徴を活かしたシステム作りを進め、その普及と応用分野の拡大を図るものである。

太陽光発電システムを構成するに際しては、構造が簡単で取扱い易いと云う太陽電池の特徴を活かすため、直交変換装置などシステムの要素となる周辺装置類をできる限り簡潔な構成とすると共に、太陽電池の特性に合致した高効率運転を可能とするように設計する必要がある。

また大容量蓄電装置を併設した独立電源として、あるいは連系装置を用い商用電力系統と連系した分散型発電システムとして、様々な利用形態に対応したコンパクトなシステム作りを進め、応用分野の拡大と普及を図らなければならない。特に需要増大に基づく量産態勢の確立は、技術革新と相俟って太陽電池コストの低減に寄与するとこ

図2-3-2 太陽光発電の普及条件



ろ大であり、これらは図2-3-2に示すように「鶏と卵」の関係にあると言える。

現状における実用規模の太陽光発電システムの開発は、システム構成技術の育成、確立を図ると共に、先のような連鎖反応の引き金となる需要造成策としての色あいが

濃く、各国政府あるいは公共機関の援助のもとで積極的に推進されている。

図2-3-3にアメリカ DOE が発表している太陽電池コストの推移予測カーブを示す。これによれば、モジュール価格が1986年頃には多結晶シリコンリボンや薄膜基板を用いた連続自動化技術の開発により1ドル/W以下に、1990年頃はアモルファスシリコン太陽電池の開発により、10~20セント/W程度になると予想されている。

一方、我が国のサンシャイン計画でも同様の技術革新により、現在4,000円/Wのものを昭和60年で400円/W、65年で50~100円/W程度に引き下げる計画である。

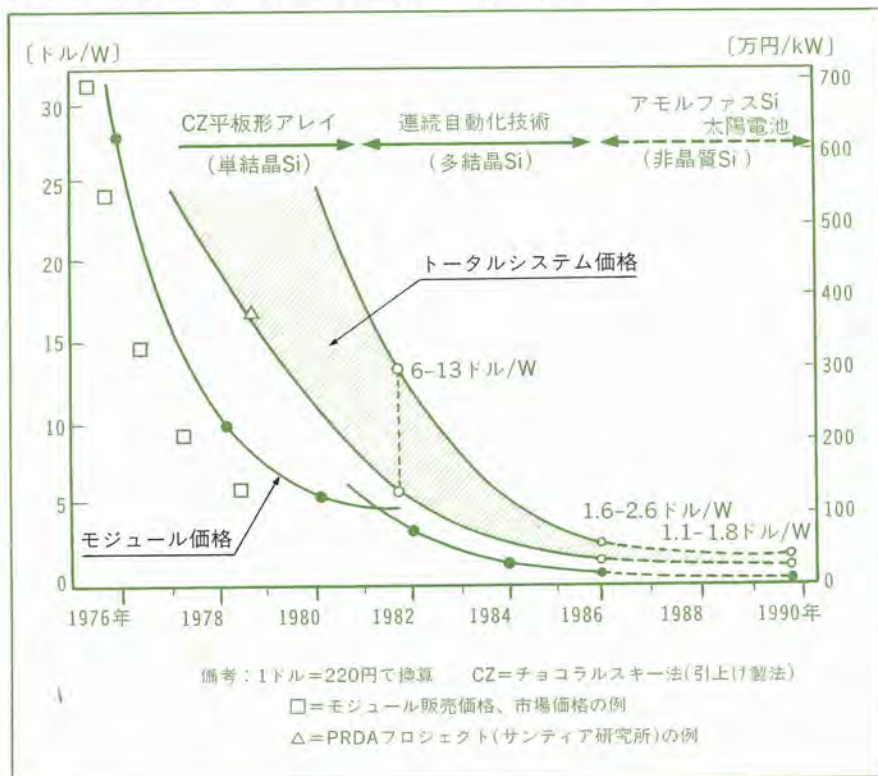
II. 各国における太陽光発電システム開発の現状と動向

1. 日本(サンシャイン計画)

日本における太陽光発電システムは、密度の高い配電網と気象条件から、これまでは燈台や無人マイクロ中継所など遠隔地用の小規模電源として使われているのみであった。

しかし、サンシャイン計画では、太陽電池需要の拡大を目的として、表2-3-1に示すように昭和55年度から、一般住宅用(3kW級)、集合住宅用(60kW級)、学校、工場用(200kW級)、および中規模発電用(200~1,000

図2-3-3 太陽電池コストの推移予測(DOE:米国エネルギー省)



kW級)デモプラントの開発研究を開始した。

さらにこれらの研究成果をもとにして昭和65年までにトータル300万kWの太陽光発電システムの普及を目標としている。

表2-3-1 サンシャイン計画デモプラント

実施機関	内容
富士電気	3kW、個人住宅用
日立・日本電気	200kW、学校用
シャープ	60kW、集合住宅用
松下	100kW、工場用
東京電力・電研	200kW、発電用(分散配置形)
四国電力・電研	1,000kW、発電用(集中配置形)

2. アメリカ

1978年2月に発表されたアメリカの太陽光発電の国家計画によれば、2000年頃には電力需要の伸び率の20%をまかなう予定となっており、そのためエネルギー省(DOE)は

システムの応用開発をめざして、システムの設計、試験評価、標準化および初期市場開拓のための資金援助等を進めている。利用形態としては冷蔵庫電源用の小規模のものから、農業用かんがいやラジオ中継局および中間負荷用の中規模システムまでと多種多様である。

表2-3-2に現在試験運転中のシステムと検討中のものについて、主に容量的に大きな中規模システムについて示す。

3. 西ドイツ

西ドイツでは、68.5kWのプロトタイプの発電所を建設し、各種の実験を進めている。そのほか、政府援助によって国内や海外に建設したシステムも多い。

4. フランス

フランスでは、かんがい用ポンプ(1~数10kW級)について10年近い実績を持っており、

航空標識、テレビ中継所などへの応用のほか、近年は小規模発電所などで集光型、非集光型発電システムの研究開発を図りつつある。

5. EC(欧州共同体)

EC(欧州共同体)では、通信用システム(5kW)、個人住宅用システム(5kW)、アルプスの避難所電源システム(5kW)などの建設、実験のほか、100~1,000kWのパイロットシステムの各種調査、研究が行われている。(武田 行弘)

2-3-4 当所における研究成果と今後の研究計画

I. 研究の推移

昭和49年より当所において太陽発電システム開発研究のための基礎検討グループが発足し、熱発電方式と光発電方式について電気事業としての立場から、それぞれ評価、

表2-3-2 アメリカにおける太陽光発電システムの代表例

実施機関	用途	容量	設置場所	状況
SANDIA Lab.	中間負荷	トータル 1.1MW	27kW、DFW空港の電源、TX 47kW、事務所建物用Albn. NM. 60kW、病院用電源、Kauai. HI. 110kW、海洋博物館、FL. 225kW、フェニックス空港用、AZ. 17.5kW、独立電源EL Paso, TX. 150kW、科学と芸術センター、OK. 150kW、ショッピングセンター、Low. NM. 150kW、バーバリー高校、MA.	設計検討中
MIT/LIN Lab.	農業かんがい	25kW	ネブラスカ州、Mead	1977年7月から運転
同上	公園ビジャーズセンター	100kW	ユタ州、Natural Briges 国立記念公園	1980年3月から運転
同上	ラジオ中継局	15kW	オハイオ州、Bryan	1979年8月から運転
DOD	レーダ基地局	60kW	カリフォルニア州、Mt. Laguna	1979年8月から運転
OAK RIDGE Lab.	学 校	240kW	アーカンサス州、Blytheville	建設中
同上	学 校	200kW	ミシシッピ州、Senatobia	建設中
同上	学 校	550kW	ワシントン DC Georgetown Univ.	設計検討中
SERI	村 落	350kW	サウジアラビア (Soleras)	建設中
NASA	農 村	3.5kW	アリゾナ州、Schnchuli インディアン村	1978年12月から運転
同上	農 村	1.8kW	Tangaya Upper Volta	1979年3月から運転

注 MIT: マサチューセッツ工科大学/LIN: リンカーン研究所/DOD: 国防省/SERI: 太陽エネルギー研究所/NASA: 米国航空宇宙局

図2-3-4 6 kW太陽光発電実験設備 (3 kW × 2)



検討を加え、システムの特徴を明確にする
とともに、概念設計を行った。その結果、
太陽光発電の優位さに着目し、昭和52年度
に200W相当の太陽電池を設置して、その基
礎特性をはじめ年間にわたる発電出力特性
などについて実測・解明すると共に、太陽
光発電システムの運転制御方式について基
礎的な検討を行った。

これら基礎研究を将来試行課題として実
施する一方、昭和53年度より通商産業省「サ
ンシャイン計画」の一環として「光発電シ
ステムの研究」を3ヶ年計画で受託し、

1. 太陽光発電システム構成要素の研究
2. システム・モデルの機能的向上と最適
化の検討
などの研究を実施した。

すなわち3 kW他励式および自励式光発電
システムを開発設置し、その解析・評価を
行うことにより最適なシステム形態と運転

制御方式を明らかにすると共に、個々の構
成要素に要求される仕様性能等について研
究評価を行い、太陽光発電システムの技術
的・経済的可能性を明らかにした。

昭和55年度に至っては、これを当所にお
ける大型総合研究課題として採り上げると
共に、「新サンシャイン計画」に基づき新
エネルギー総合開発機構より「太陽光発電
システム実用化技術開発:周辺技術の開発」
を受託し、

1. 最適システム形態の検討
2. 電力系統との連系上の問題点解明
について鋭意研究を実施中である。

これらでは全国各地域における光発電特
性を実測・解明し、これをもとに実用シ
ステムの運転・発電特性の解析・予測を行
うことによって、最適システム設計を進める
一方、複数光発電システム間の相互干渉を
はじめ、電圧変動や高調波など電力系統側

に影響を与える諸問題の解明、異常時の保
護制御方式等、実用化上の問題点を摘出し
解明しつつある。

また、これらと並行して、東京電力㈱およ
び四国電力㈱と共同で「集中型光発電シ
ステムの開発」を受託し、それぞれ分散配置形
(システム総合出力200kW)および集中配
置形(1,000kW)の発電所プラントをそれぞれ、
昭和59年度、昭和62年度までに完成させるべ
く、鋭意開発研究を進めている。

II. 主要な研究成果

1. 3 kW他励式、3 kW自励式 光発電システムの発電運転特性

サンシャイン計画受託研究として当所屋
上に合計6 kWの太陽電池を設置(図2-3-4)
し、3 kW他励式光発電システム(昭和55年
4月から運転)、3kW自励式光発電システム
(昭和56年3月から運転)を製作し、発電運

図2-3-5 月別の3kW他励、自励両光発電システムの発電実績

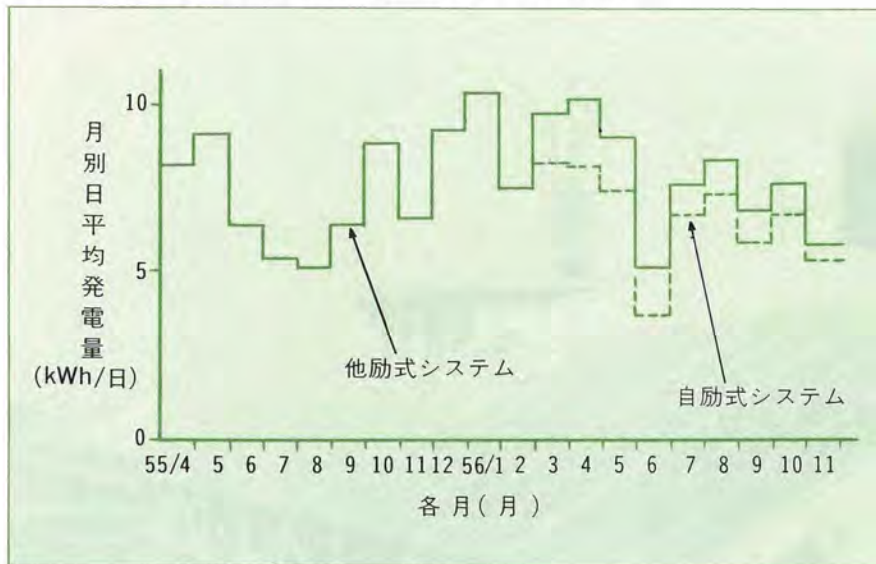
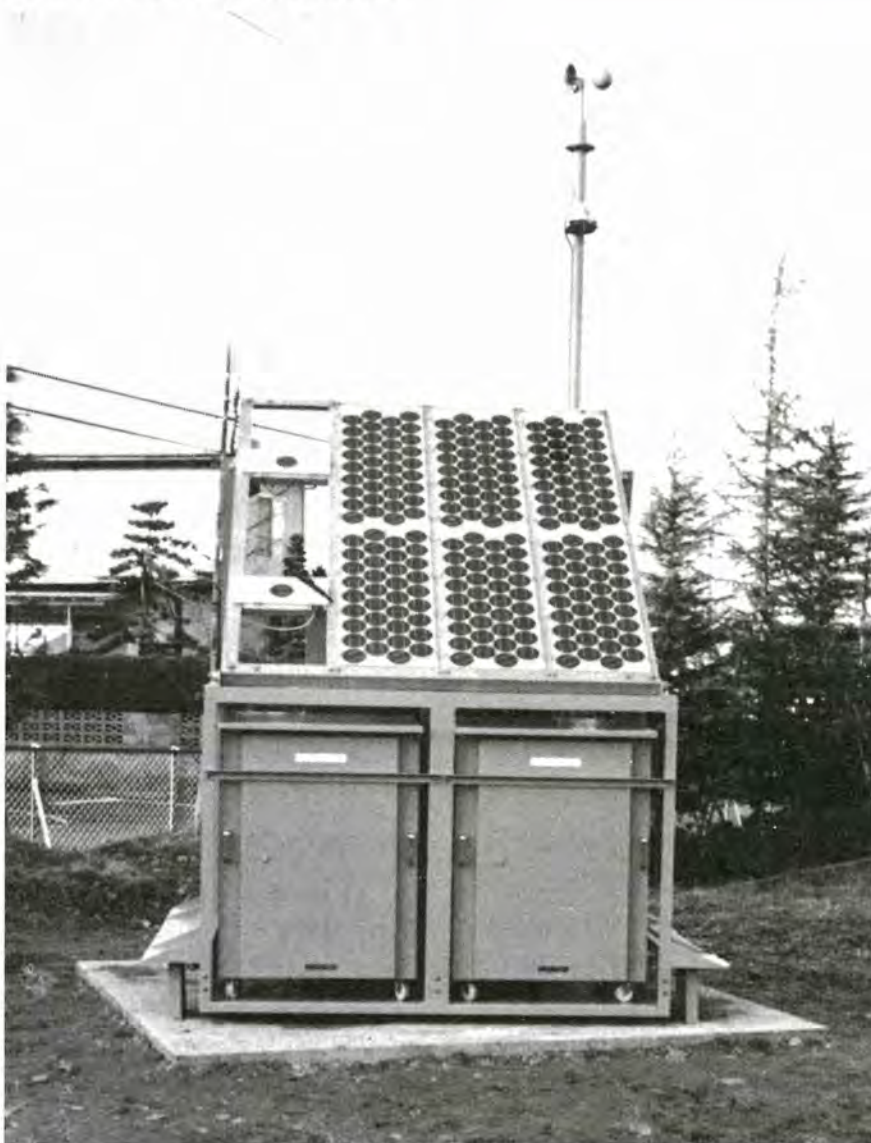


図2-3-6 地域光発電特性自動測定装置



転特性について連続測定し、その検討解明を行った。

その結果、出力の月別パターンは図2-3-5のようであり平均値は他励式で7.7kWh/日自励式で6.6kWh/日であり、それぞれシステム利用率は10.7%、9.2%であることが分かった。

本実験システムではインバータ素子としてサイリスタを用いているため特に小容量自励式システムにおいて変換効率が低い、小容量の場合トランジスタを用いるなら高効率のものが製作できるので、システム利用率としては10~12%程度を期待して良いと思われる。

2. システム運転制御方式

太陽光発電システムにおいて、太陽電池アレイ出力を最大限有効に取り出すためには、最適点追尾運転制御(Pmax 運転)をしなければならないが、インバータを負荷とするような場合は、インバータの運転制御として直流定電圧運転制御を行えば、この目的をほぼ達成できることを明らかにした。

この場合、定電圧値を適当に選択(この場合は275V)するならば、Pmax 運転の場合と比較して1.6%の損失増しがなく、簡易な制御方式として有効なものである。

3. 発電特性の地域差測定

光発電システムの発電特性の地域差測定の解明のために、57年度当所で、「地域光発電特性自動測定装置」を4台開発製作した。

装置は、マイクロコンピュータを用いた計測制御部を中心に、センサー用太陽電池部、気象条件センサー部、計測用電源部などから構成されている(図2-3-6)。電源には太陽電池アレイを使い、装置に必要な電源はすべて太陽エネルギーでまかなうように設計されている。

本装置は、56年下期から札幌、仙台、名古屋、宮崎に設置し、各地区の発電特性の測定を実施しており、その結果は、後述各種実用システム規模における発電、運転特性のシミュレーション計算の入力データの

一部とした。

太陽光発電システムの発電出力特性は、日射量をはじめとする周囲気象条件に直接左右される。したがって地域的な発電特性の差異をあらかじめ予想することが出来るならば、初期的なシステム設計において非常に有益である。

4. システム最適化の検討

前記4地区(札幌、仙台、名古屋、宮崎)で収録した発電特性測定データおよび当所にて収録、集積した発電特性データ(3kW他励式、3kW自励式システムの実績データ)をもとに、25kW～1,000kWにおよぶ各種規模光発電システムの発電運転特性についてシミュレーション計算ができるようなプログラムを開発した。光発電システムは自励式と他励式の2種類を対象とし、それぞれ指定するいくつかの運転制御方式、蓄電池の有り/無し、各種の蓄電池充放電制御方式の組み合わせについて計算し、各出力を作表印字、ならびに作図するようにしている。

ここで開発したプログラムを用い、本年度は当所(東京)での日射量測定データをもとに、10kW級システムを対象に年間発電特性や、日照時間、経時発電特性、損失等について解析した。これらの結果は前記3kW実験システムにおける発電実績と比較して、妥当な解析結果であり上記プログラムは非常に有益かつ解析精度の期待できるものであるといえる。

また、これらシミュレーション計算を実施する場合のシステム最適化計算として、太陽電池アレイの構成手法と複数連系タイプ光発電システムの高調波特性に関する計算ならびに計算プログラムを開発した。

太陽電池アレイの構成手法の計算は25kW～1,000kW相当の太陽電池アレイを実架台へ設置して行くにあたり、日影等による出力電力損失が少なく、かつ逆バイアス等の障害の小さい最適接続配置法、ならびにサブアレイ構成手法について計算評価するものである。

評価値は、一般に、同一日照条件および日影条件下における出力電力損失、モジュール単位逆バイアス電圧、逆バイアス時の消費電力(発熱)等によるが、本年度は基礎的検討として、20kW級太陽電池アレイを想定し、各種日影パターンに対応した各構成モジュールの発電出力電流制限条件から、最も発電出力損失の少ないようなサブアレイ構成法について解析検討した。

複数連系タイプ光発電システムの高調波特性の計算は、インバータ方式別、負荷の分割配置、配電線の短絡容量等に応じて計算できるようにしてあり、同一配電系統に複数の光発電システムが連系され、同時運転された場合の出力交流高調波電圧および電流特性を計算できるようにした。配電系統は、我が国における実配電線の実態調査に基づいてモデル化した供給地域毎の実配電線の平均的形態を用いた。

検討結果によれば、既存配電系統に光発電システムを連系する場合、配電系統の特性(主にインピーダンス周波数特性)に応じたインバータ方式およびシステム構成を考えることにより、配電系統への高調波の影響を小さくすることが判明した。

5. システム構成要素

1.に記した3kW他励式、自励式両システムの運転制御特性の実績をもとに、一般的な中小容量システムにおける運転、保護、制御方式のあり方等を検討し、光発電システムに対する要求性能を整理し、装置の小型化、シンプル化に対する考え方を明らかにした。特に小容量個人住宅用システムとして、出力1～3kWの範囲で88.5～91%の変換効率を有する高周波インバータシステムを開発した。

またシステム構成において最も問題となる蓄電池について、特に小規模システム(住宅用システム)における最適蓄電池容量の検討を行った。検討は、昭和56年1月から56年12月までの当所における日射量および発電量実績データをもとに、代表的負荷パターンを定め、蓄電池容量と蓄電池利用率

および太陽光発電出力利用率の関係から行った。

その結果、太陽光発電出力を極力利用するために蓄電池容量をあまり大きくしても充電不足状態が多くなり外部電源による充電が必要となるので経済性とも併せて、適当な容量を選定する必要があることが判明した。今回の検討では3kW級の一般家庭用システムでは、ピーク出力に対して3時間程度貯蔵できる蓄電池容量が適当であるとの結論を得た。

6. 電力系統との連系上の問題点説明

前記3kW他励式と3kW自励式光発電システムを用いての相互干渉実験や運転性能の向上、異常時の保護等の諸実験を行い、電力系統との連系上の問題点の解明を行った。

両システムを並列運転した場合、各々が安定に運転できること、すなわち基本的制御機能に対してお互いに干渉し合うことがないことを確認するとともに、両システムが並列、または同一配電系統に連系運転されたとき、系統電圧および高調波電圧、電流特性が単一システム連系時の場合と、どの程度相違があるかを明確にした。

なお各システムが配電系統に連系された場合、系統の電力品質におよぼす影響は次の通りである。

(i) 系統電圧変動

図2-3-7、図2-3-8に前記3kW他励式、自励式両光発電システムを当所模擬配電系統に接続し、系統短絡容量を種々変化させて、運転した場合の連系点交流電圧変化を示す。

同一系統容量では自励式の場合、無効電力制御が働くので、他励式に比べて系統電圧の変動は小さい。また他励式では連系された系統電圧(配電電圧)を中心として変動するのに対し、自励式は直流測定電圧制御とともに、交流側定電圧制御を行っているため、連系時の系統電圧にある程度無関係に定格範囲(本システムでは210V±6%)になるよう制御されている。

図2-3-7 3kW他励式システムの系統容量
に対する交流電圧変化

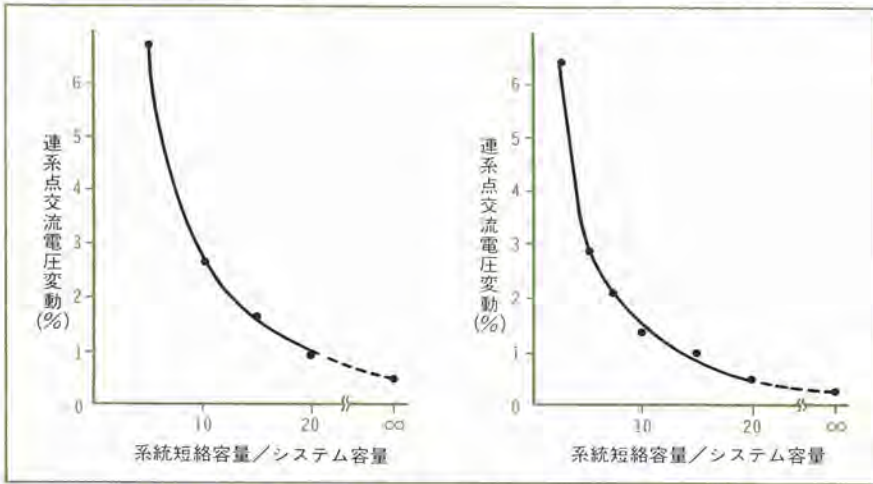


図2-3-8 3kW自励式システムの系統容量
に対する交流電圧変化

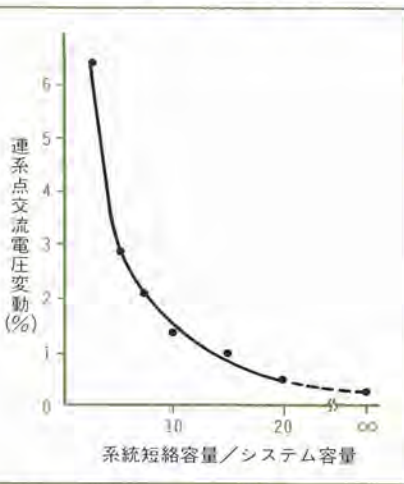


図2-3-9 3kW他励式システムの交流出力と高調波

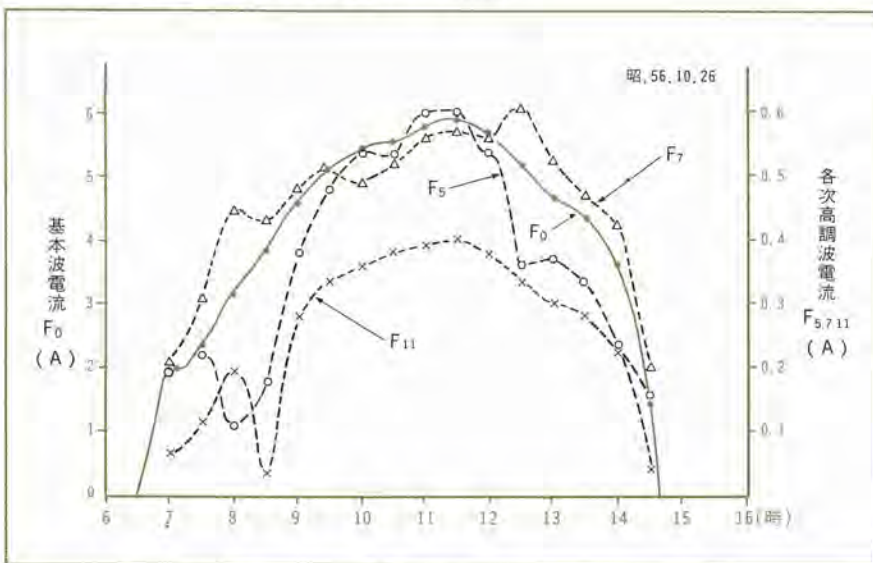
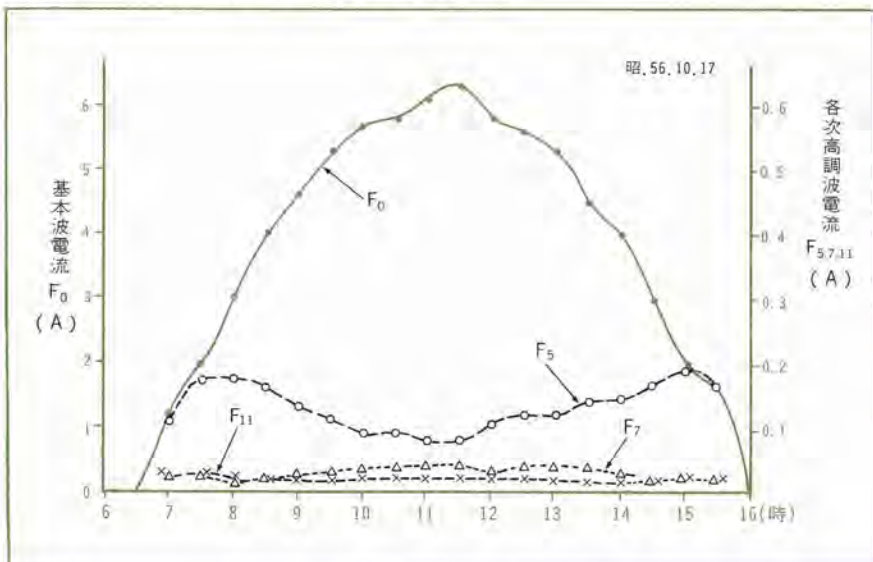


図2-3-10 3kW自励式システムの交流出力と高調波



配電線の短絡容量は一般に変電所出口において150MVA程度であるといわれている。配電線の末端にいくほど配電線の線路インピーダンスにより短絡容量は減少し、巨長10km程度の場合には試算によると約11MVAとなる。この地点に数100KVAの太陽光発電システムが接続されたとしても短絡容量比20~40倍であり、電圧変動は1%以下と予想される。

(ii) 高調波

前記実験システムの場合、他励式で各次2%以下、総合2~4%以下、自励式で各次1%以下、総合2%以下となるよう高調波フィルタで抑制している。一例として、図2-3-9、図2-3-10に晴天日における両システム運転時の高調波電流を、代表的な第5次、第7次、第11次について実測した結果を示す。

高調波に関し、他励式インバータの場合、転流モード等を無視するならば方形波電流源となるので、各成分波とも基本波に概略比例するのに対し、自励式インバータの場合は方形波電圧源となり、しかもPWM方式であるので、各成分波はパルス巾制御角との関係で必ずしも比例関係は成立しない。

高調波の抑制対策としては、他励式インバータの場合、多相化や並列交流フィルタの設置によって行うが、多相化によるコスト上昇や系統容量が小さい場合はフィルタの選定が困難である。一方、自励式インバータの場合は、同じく多相化やフィルタの設置の外に、PWM制御方式の搬送周波数の高周波化があり、これにより低次高調波の抑制が容易となってフィルタの小形化ができるという利点がある。

以上の観点に立つならば、インバータユニットの小さいシステム(50kW程度以下)の場合、自励式PWM方式のインバータが高調波低減の面から、また前記系統電圧変動抑制の面からも有利と考えられる。

7. 集中型光発電システムの開発

本研究は、東京電力㈱、四国電力㈱と共同で、サンシャイン計画受託研究として行

っているものであり、集中形光発電システムを2つの形、すなわち都市部において既設建築物の屋上や空地を利用し、複数の光発電システムを分散設置する分散配置形、(当所と東京電力㈱の共同受託)および山林地、離島などにおいて、広い用地に大容量光発電システムを集中的に設置する集中配置形(当所と四国電力㈱の共同受託)の2方式について基本設計を行い、以下の結果を得ている。

分散配置形については、

(i) 発電ユニット容量

分散配置形の発電ユニット容量は、ほぼ利用できる既設建築物の屋上面積で済む。小中、高校および、公民館などの利用可能面積を検討した結果、将来分散配置形の発電ユニット容量を標準化することも考慮して、25kWと50kWを発電ユニット基本容量とした。

(ii) トータル容量

一般配電線で供給できる変動負荷(アーク炉や溶接機など)の容量には限界があり、現在の電力品質を維持するには、回線容量の1/10以下が望ましい。光発電システムでも電力が変動するので、変動負荷と同様の配慮が必要である。

そこで現在の大、中都市の配電線の回線容量を検討し、今回の基本設計では比較的小容量の回線にも並入可能な200kWを分散形光発電システムのトータル容量とした。

(iii) 200kW光発電システム構成

光発電システムの実用化にはまだ多くの試験・研究が残されており、本システムでは、

a. 経済性を優先させるユニット

75kW

b. 独立運転を優先させるユニット

75kW

c. 利用効率を優先させるユニット

50kW

の3種で200kWを構成し、各種の試験、研究が行えるようにした。

(iv) 制御・保護システム

将来の分散配置形発電ユニットには各々独立した制御・保護システムを持たせるのが好ましいが、そのためには各ユニットの

十分な信頼性を実証する必要がある。本基本設計では、6つの各ユニットの運転状況を変電所で一括集中監視、測定、制御できる構成とした。

(v) 年間発電量の予測

この200kW発電システムの年間発電電力量は、166,500kWh、と予測した。

集中配置形については、

(i) インバータ方式

トータル容量1,000kW級の光発電システムを山林地や離島に設置し、将来の電気事業における補完電源として利用する場合を考慮し、太陽電池アレイの集中配置によってスケールメリットの向上をはかる一方、変換効率や信頼性の向上の点から、インバータを複数台設置することとした。なお、離島などでの独立運転を考慮して、自励式インバータを用いることとした。

(ii) 電圧変動の検討

1,000kW光発電システムと配電線の間に4kmの連系線を想定して、電圧変動の大きさを検討した結果、対象とした母線電圧の変動は0.3~1.5%となることがわかった。

(iii) 高調波擾乱の検討

1,000kW級の直交変換器が発生する高調波電流を多相数変換器や高調波フィルタによって低減させた場合について、母線電圧の高調波ひずみを予測計算し、フィルタのない場合でも総合電圧ひずみは2%以下、適正フィルタを用いれば0.4%以下になることがわかった。

(iv) 年間発電電力量

本システムで得られる年間発電電力量の予測計算値は約96万kWhであった。

また本研究では、前記発電システムの設計、建設に役立てるため次の専用機械装置を開発した。

a. 日射量測定装置：システム建設地点の日射量や温度などを太陽電池と温度センサにより連続自動測定する。この測定データにより建設予定地点の集中型光発電システムの最適運転制御方式や年間発電電力量が予測できる。

b. 太陽電池アレイ耐圧耐候特性測定装置：集中形光発電システムの最適動作電圧の上限値を明確にするために開発したもので、長期連続測定により太陽電池アレイの絶縁劣化および破壊等の有無を実証し、高電圧大容量アレイ構成技術の確立に反映させる。

こうして、現在では、これまでに製作した専用機械装置により、各種のデータを収集集中である。

なお両システムとも昭和56年度にそれぞれ20kW相当分の太陽電池アレイを設置し、出力特性を測定している。

Ⅲ. 今後の計画

1. システム適用技術の開発

太陽光発電システムを電力系統に組み入れ、実際の発電を行うために必要なシステム適用技術の開発について、従来の研究成果、すなわちシステム構成要素、太陽電池とインバータとの協調運転方式等について、機能の高度化をはかるとともに、当所赤城試験センターにおける実験配電線において実証研究を行う。

2. システム総合評価と最適運用方式の研究

実規模太陽光発電システムにおいて、システム信頼度や安全性、環境影響等について総合的な評価を行い、前項における研究結果とあわせて、電力系統と協調のとれた最適運用方式の検討を行う。

3. 集中型光発電システムの開発

分散配置形システム(最終200kW級)および集中配置形システム(最終1,000kW級)の建設完了をそれぞれ昭和59年度、昭和62年度目標としている。昭和57年度は、従来の検討結果をもとに、太陽電池アレイを各15kW相当分追加するとともに、分散配置形システムでは25kW他励式および自励式インバータシステム、また集中配置形システムでは200kW自励式インバータシステムをそれぞれ製作、設置し、一部実際に発電運転の研究を開始する。

(武田 行弘)●

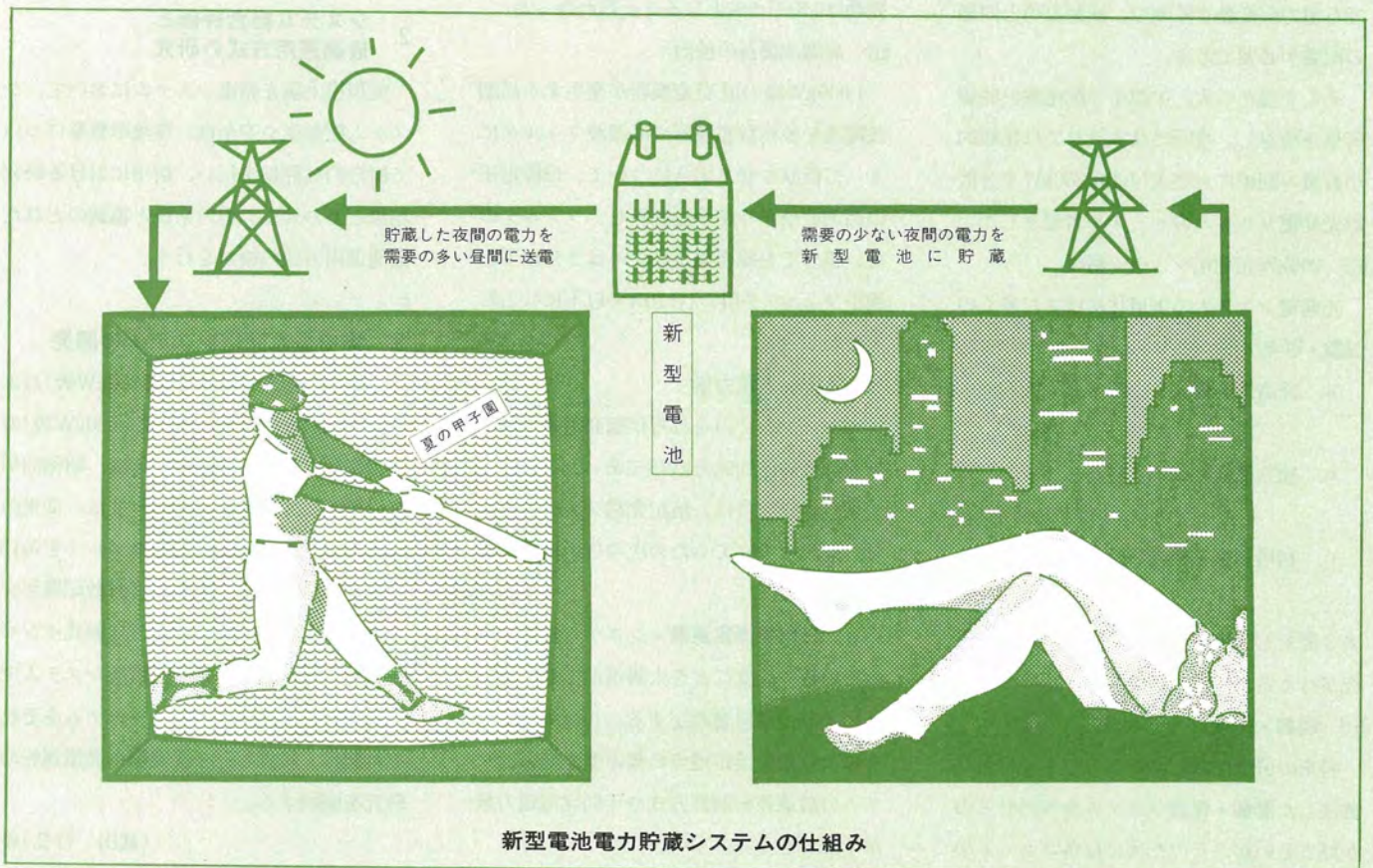
2-4 新型電池電力貯蔵

担当●電力技術研究所 新発電特別研究室 石川力雄

電力貯蔵は従来もっぱら揚水発電が活用されてきたが、今後の負荷率の低下にかんがみ、発電設備の稼働率向上のため、電力貯蔵技術の多様化の一環として、電池による電力貯蔵に注目している。

電力の需要は、昼と夜とでは大きな違いがあり、近年その差が著しく大きくなり、設備の利用率が年々低下している。もし、電力が経済的に貯蔵できれば、発電設備が有効に利用され、コスト低減につながるの、その意義は大きい。そのため、需要の少ない夜間の電力を貯蔵し、昼間に放出する方法が種々検討されている。現在、揚水発電の方式が一般的であるが、効率の向上や方式の多様化、需要地設置などの観点から、そのひとつとして新型電池による電力貯蔵方式に注目し、研究開発を行っている。

このような貯蔵方式は我が国ではムーンライト計画の下で研究が推進されているが、当所はこれに協力し、その実用性を評価するため、トータル・システムの研究（目標仕様、システム構成の最適化、環境保全、保守管理方法など）ならびにシステム技術開発（新型電池の性能評価、システムの運転制御技術、太陽光発電などとの組み合わせ技術）を行い、高効率で経済的な新型電池電力貯蔵システムの開発促進を図っていく。



2-4-1 緒論と結論

I. 電力貯蔵設備の必要性

普通には、電気は作って貯えて置くことができない。しかし、需要家の注文(消費)にはいつでも応じなければならないので、電力の生産(発電)は、常に、消費量より多めでなければならない。

したがって、電力会社の発電設備としては、需要家が最も多く電力を使う時(ピーク負荷と言う)を見越した大きさ(容量)のものが必要であり、例えばピーク負荷が1日の中の1時間だけしか続かなくても、それに応えられる大きさの設備を用意しておかなければならない。

すなわち、国民の生活水準の向上に応じてピーク負荷が増加すると、電力会社はそれに見合った発電設備を次々に作って行く必要がある。しかし最近の社会環境下ではそれが容易でないことは周知の通りである。

そこで、考えられたのが、電力を電気エネルギー以外のエネルギーに変えて貯えておき、ピーク負荷時には、再び電気エネルギーに戻して需要家へ送る方法である。これを最近では電力貯蔵と言っている。

信頼性や効率が高く、経済の優れた電力貯蔵システムが実現すれば、ピーク負荷のために作る発電設備は少なくて済むし、原子力や大型火力による発電量の安定化によって発電効率の向上も望めるので、省エネルギー効果は非常に大きい。

このような電力貯蔵の方法の一つとして、我が国では揚水発電が利用されているが、一般に需要家との間に長い送電線を必要とするばかりでなく、環境立地面からの制約があって、容易に建設することはできない。そこで、需要地域に近い所に分散設置できる新しい電力貯蔵技術の開発が望まれるようになった。

電力貯蔵の方法には、揚水発電のほかに、二次電池(蓄電池)、フライホイール、圧縮空気、超電導コイル、コンデンサ、水素、蒸気などを用いる方法があり、この中で、最も実現性の高い方式は、化学エネルギー

として電力を貯蔵できる二次電池の利用である。

自動車や補助電源用として使われている携帯型小容量の二次電池としては、現在ほとんど鉛蓄電池が使用されているが、電気事業用の電力貯蔵装置としては効率が低くかつ寿命が短いため、効率のよい新型の二次電池を研究開発して、これを電力貯蔵に使用する方法を新型電池電力貯蔵方式と呼んでいる。

II. 米国における開発・研究

米国においてはBEST(Battery Energy Storage Test)計画により、性能が良く、かつ寿命の長い鉛蓄電池や、エネルギー密度の高いナトリウム-硫黄電池(ベータ電池)、亜鉛-塩素電池、亜鉛-臭素電池、レドックスフロー電池など、新型電池の研究開発が進められている。また開発された新型電池で電力を貯蔵するシステムの研究・開発は、1974年以来、その開発目標に従って推進されており、新型電池の実証試験設備としてのBEST施設はDOE(エネルギー省)、EPRI(電力研究所)とPSE & G(Public Service Electric & Gas)の三者共同出資で建設された。現在ここでは改良型鉛蓄電池の試験運転が行われており、1981年5月に開所式が行われ、引き続き、プロトタイプの亜鉛-塩素電池の評価試験が1983年に予定され、さらに亜鉛-臭素電池(500kWh)が1983年~1984年に、ナトリウム-硫黄電池(ベータ電池)が1985年に設置予定となっている。

また、この他に、1984年を目標に30MWhの鉛蓄電池による電力貯蔵システムを電力系統に接続して実証運転をしようとするSBEEDプロジェクトも計画されている。

III. 我が国における開発・研究

我が国においては、ムーンライト計画の一環として、昭和55年度より「新型電池電力貯蔵システム」の研究開発が進められており、新型電池の目標性能は表2-4-1~2のとおりである。この計画では、新型電池

の研究開発と並行して、システム技術の研究開発およびこれらを総合した電力貯蔵システムの実証試験、および電力負荷の形態と電力貯蔵システムに必要な性能、容量、最適設置場所、環境影響、安全性の検討、所要面積や経済性などの総合的な研究評価、を行うトータルシステム研究があげられている。

IV. 当所における研究・開発

当所における「新型電池電力貯蔵システムの開発」研究課題は、

1. システム技術開発
 2. トータルシステム研究
- であり、システム技術開発としては、
- (i) 新型電池の性能評価
 - (ii) システムの運転制御技術
 - (iii) 太陽光発電など新発電方式との組み合わせ技術

などの研究を電池貯蔵システムシミュレータを用いて行う予定であり、目下シミュレータを製作中である。

トータルシステム研究は新エネルギー総合開発機構(NEDO)よりの受託研究として行うものでムーンライト計画推進室、新エネルギー総合開発機構と連系を密にし、電子総合技術研究所、大阪工業試験所など国立研究機関、電力会社、変換装置や新型電池の開発メーカー、などの協力も得て、

- (i) 新型電池電力貯蔵システムの目標仕様の提示
- (ii) 新型電池電力貯蔵システム構成の最適化
- (iii) 新型電池貯蔵システムの環境保全、安全対策
- (iv) 保守管理システムの確立

などの研究を行い、最終的には1MW級新型電池電力貯蔵システムの実証試験を支援し、経済的な総合システムを確立することを目的としている(図2-4-1参照)。

V. 研究成果の概要

1. 負荷パターンの予測分析

電力系統内の負荷パターンを東京電力、

中部電力、関西電力、四国電力の4地域の全系負荷、および都市内代表的配電用変電所87ヶ所246バンクについて調査し、地域、季節、曜日などの影響要因別の分析を行って代表的モデルのパターン分類、日負荷曲線を得た。この結果は電力貯蔵システムの大きさや設置場所の検討に用いるものである。

2. 所要電力貯蔵量の推定

電力需要の長期見通し、あるいは、長期電源計画などに基づいた西暦2000年における電源構成モデルを想定し、電源補修計画、予備率、石油火力稼働率などを仮定して、負荷の平滑化に必要な電力貯蔵量を推定した。

3. 電池構成

実証試験に供する1MW級電池電力貯蔵システムを対象にして、電池や補機の構成法

を検討し、その具備条件などについて基本的考え方を明らかにした。

また、信頼度の高い電池構成のあり方などを検討する計算手法の開発を進めるとともに、新型電池特性をシミュレーションでできる方法の検討を行っている。

4. 変換装置構成

電池貯蔵システムに用いる電力変換装置の運転性能、構成などの基礎調査を行うとともに、電池、電力変換装置および電力系統(主として配電系統)から電力変換装置に要求される項目を明らかにした。

5. シミュレータによる検討

電池貯蔵システムシミュレータの基本構想に基づいて、電池構成部、電池補機部、変換装置部、制御保護システム部、電力系

統およびデータ処理部の具備すべき機能、などを検討し、設計仕様を作成した。

(石川 力雄)

2-4-2 システム技術の開発

電力貯蔵用電池として開発が進められている電池には、ナトリウム-硫黄電池、亜鉛-塩素電池、亜鉛-臭素電池、レドックスフロー電池のいわゆる新型電池と、改良型鉛蓄電池の5種類がある。(表2-4-3 参照)

どの電池も、単電池の端子電圧は約1~2Vであるので、例えば、1MWの電力貯蔵システムを構成するため、直流電圧を1,000Vとすると、単電池を約500~1,000個を直列に接続する必要がある。また、所要容量を得るためには、これら多数の電池を何列も並列に接続することとなる。したがって、新型電池電力貯蔵システム実現するた

表2-4-1 ムーンライト計画「新型電池電力貯蔵システムの研究開発」(開発目標)

項目	目標	備考
出力	1,000kW級	なお、将来の実用システムにおいて、次の条件を満たすことを前提とする。 ① 経済性：揚水発電と同等以上 ② 設置場所：都市内または都市近傍設置可能 ③ 設置面積：変電所用地と同等以下
基準充放電時間	8時間充電，8時間放電	
総合エネルギー効率	70%以上（交流入出力端）	
寿命	充放電サイクル1,500回以上（耐用年数 約10年）	
環境対策	全ての環境基準（法令）を満足する	

表2-4-2 ムーンライト計画

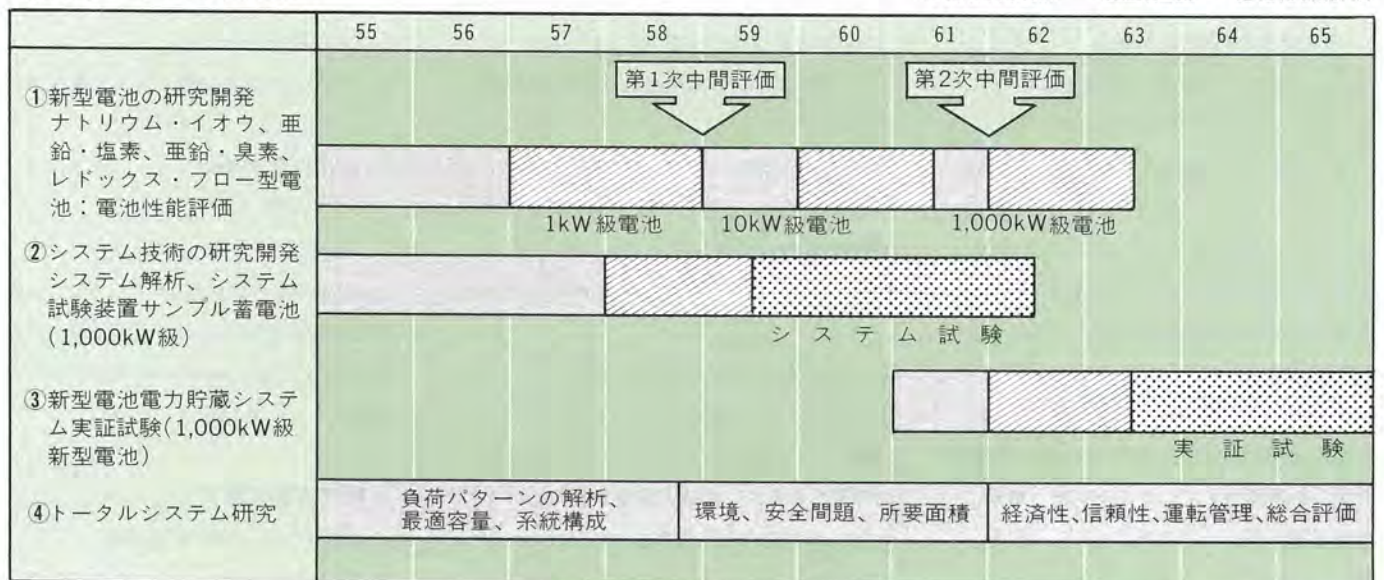


図2-4-1 研究計画フロー図

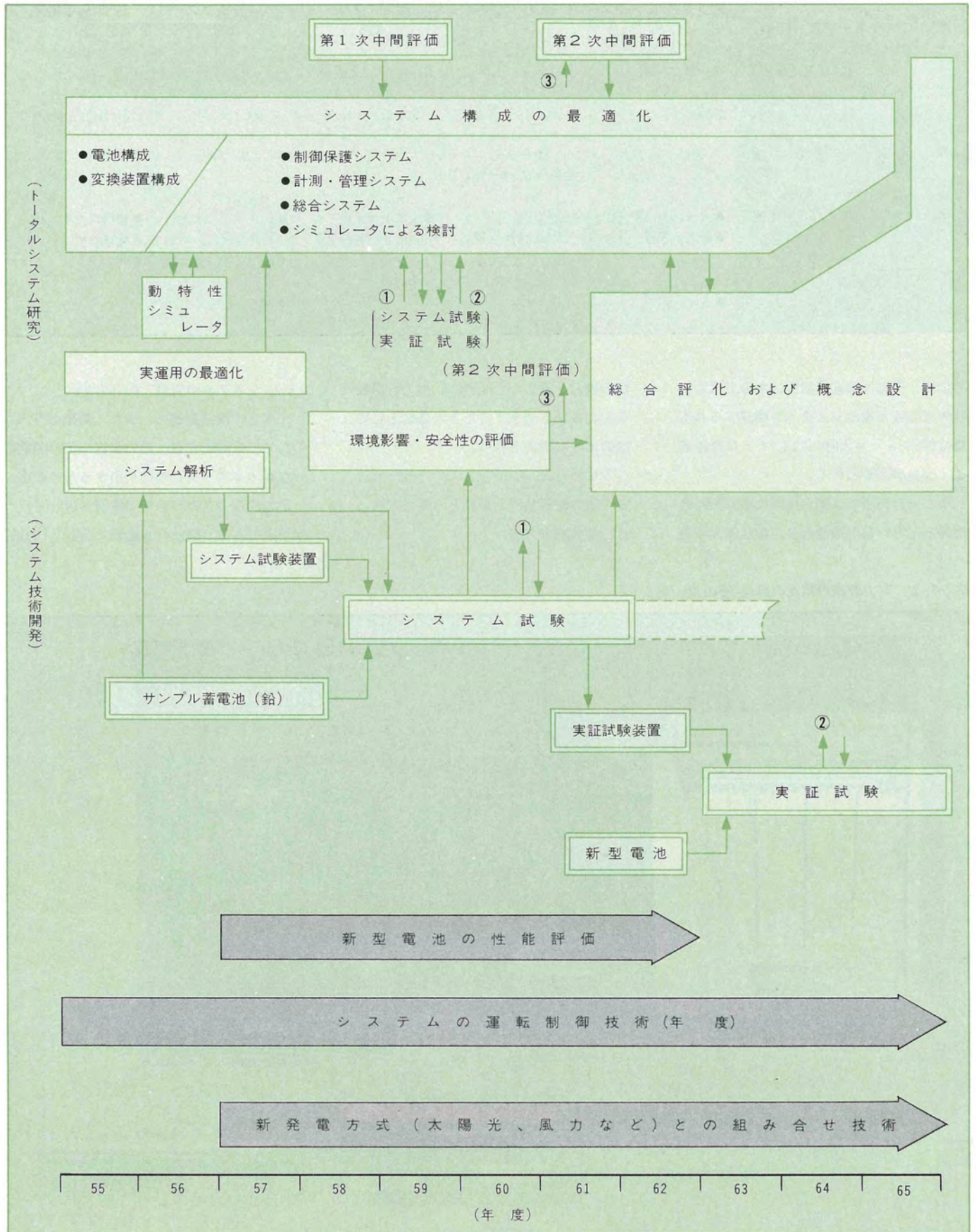


表2-4-3 各新型電池の特性比較

項目	ナトリウム-硫黄	亜鉛-塩素	亜鉛-臭素	レドックス	改良形鉛電池
理論エネルギー密度(Wh/kg)	780	828	428	103	167
開路電圧(V)	2.08	2.1	1.8	1.1	2.1
活物質(正極/負極)	S(熔)/Na(熔)	Cl ₂ (気)/Zn(固)	Br ₂ (液)/Zn(固)	Fe ³⁺ (液)/Cr ²⁺ (液)	PbO ₂ (固)/Pb(固)
活物質利用率	85%	100%	100%	—	30%
電解質	固体電解質(βアルミナ)	ZnCl ₂ 水溶液	ZnBr ₂ 水溶液 (KCl添加)	HCl水溶液 (KCl添加)	H ₂ SO ₄ 水溶液
作動温度	300~350℃	20~50℃ (水和槽温度5~15℃)	20~50℃	60~80℃	5~50℃
資源・価格その他	— ●温度制御・熱管理 ●金属ナトリウムの安全対策 ●完全密閉型	●電解液循環系(塩素水和物貯蔵系を含む)、温度制御(水和物)、塩素の安全対策 ●電圧特性良	正極活動質 ●電解液循環系(臭素酸化合物貯蔵系を含む)、臭素の安全対策	電極触媒 ●レドックス水溶液循環貯蔵系、クロム、塩酸の環境対策 ●週間LL用にも適する	鉛 ●補機電力小 ●大電流放電可 ●実績大

めには、単電池の要素研究ばかりでなく、1kW、10kWと電池システムを構成する基本単位(モジュールと呼ばれる)ごとに性能評価・改良が必要となる。

そこで、当所では開発段階に応じた特性把握と電力貯蔵用電池としての性能評価方

法の検討を進めると同時に、電力貯蔵装置を電力系統と連系するときの課題として、次のような研究を行う。

すなわち、

- (i) 電力貯蔵装置と系統との連系方法、
- (ii) 運転制御方法、

- (iii) システムの管理、保守方法、などの検討を進め、また、新発電方式としての太陽光発電、風力発電などの間歇的なエネルギーを有効に利用するための電池電力貯蔵方式についての検討も併せて行う予定である。(図2-4-3参照)(石川 力雄)

図2-4-2 電力貯蔵用電池の構造(その1)

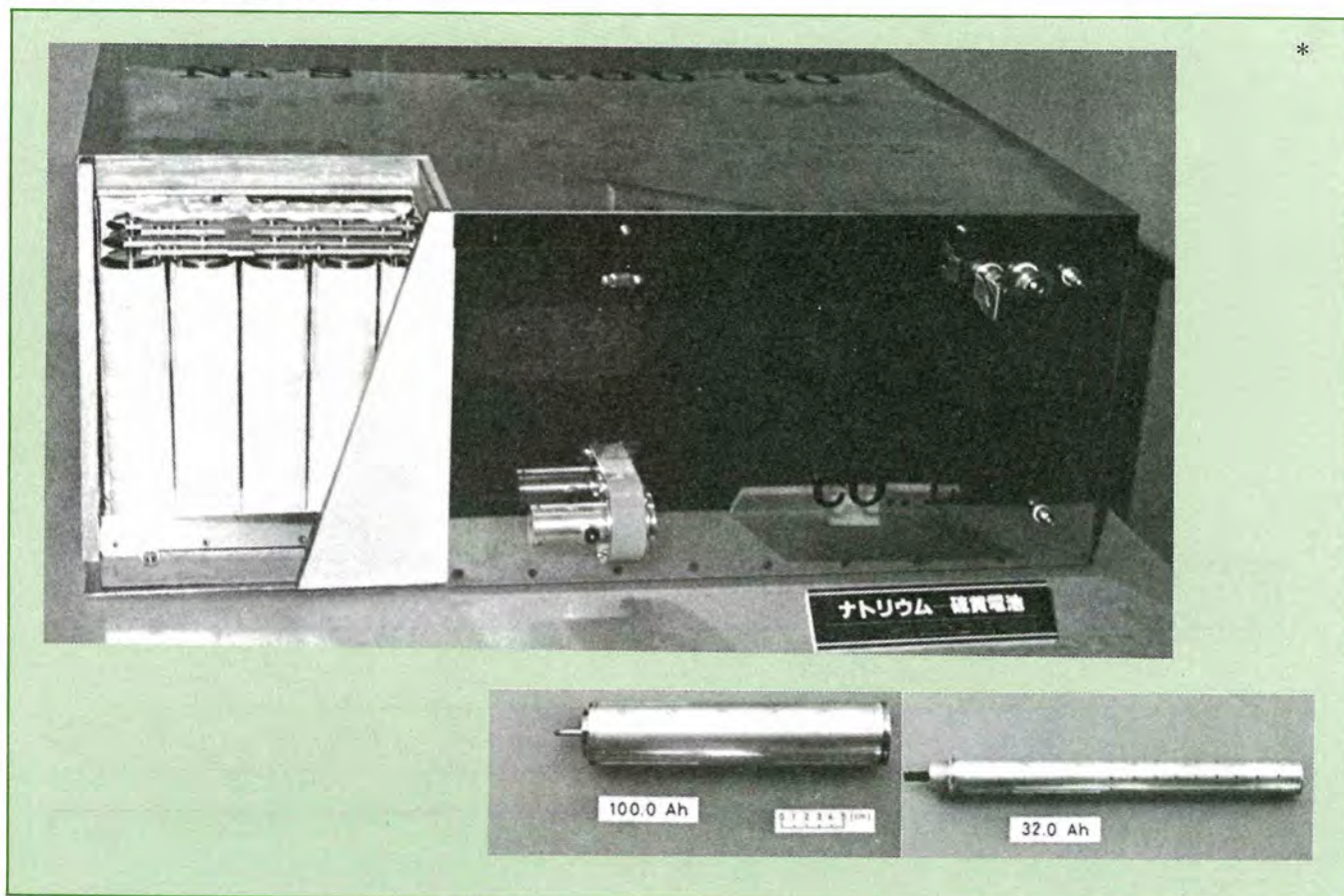
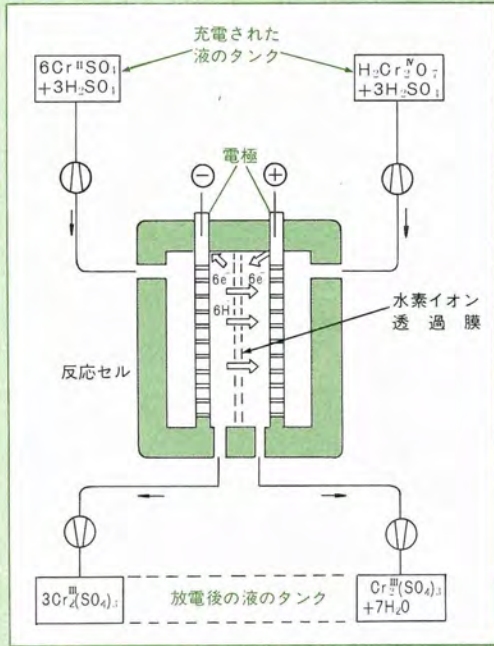
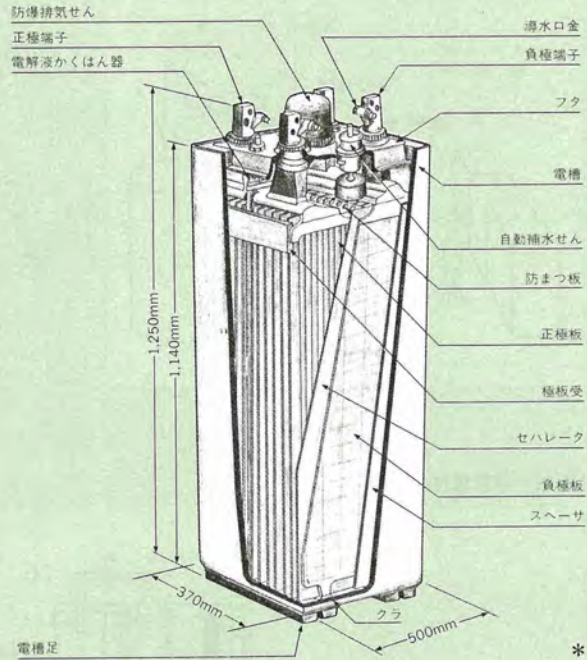


図2-4-2 電力貯蔵用電池の構造(その2)

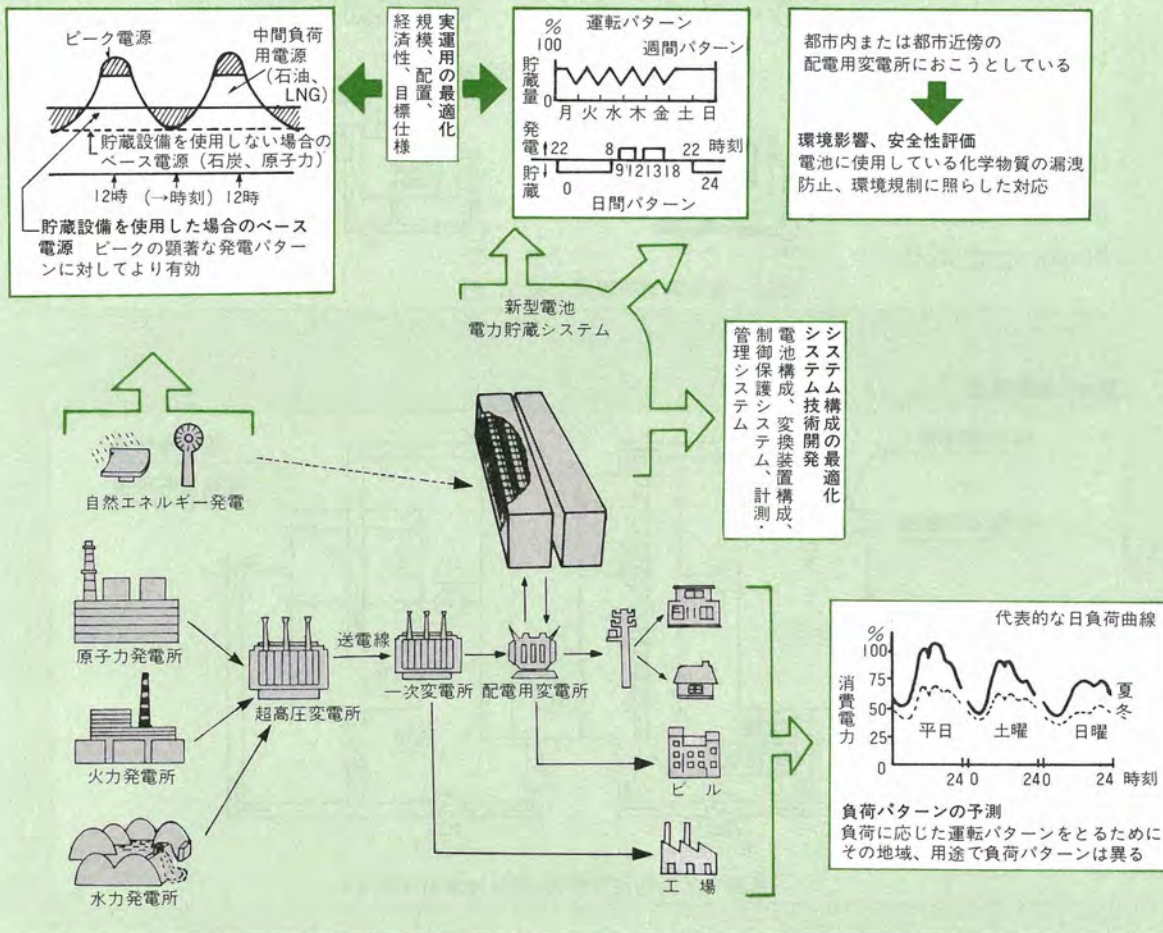
(レドックス・フロー型電池の概念図)



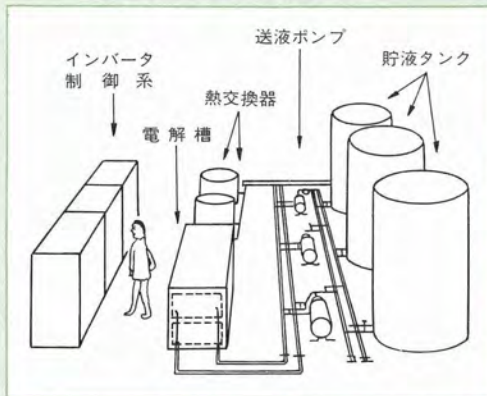
(改良型鉛蓄電池)



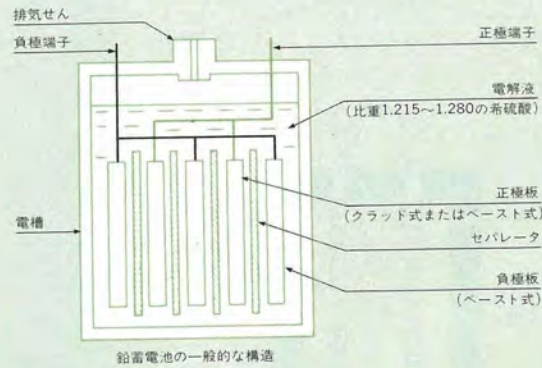
(新型電池電力貯蔵システムの原理と研究課題)



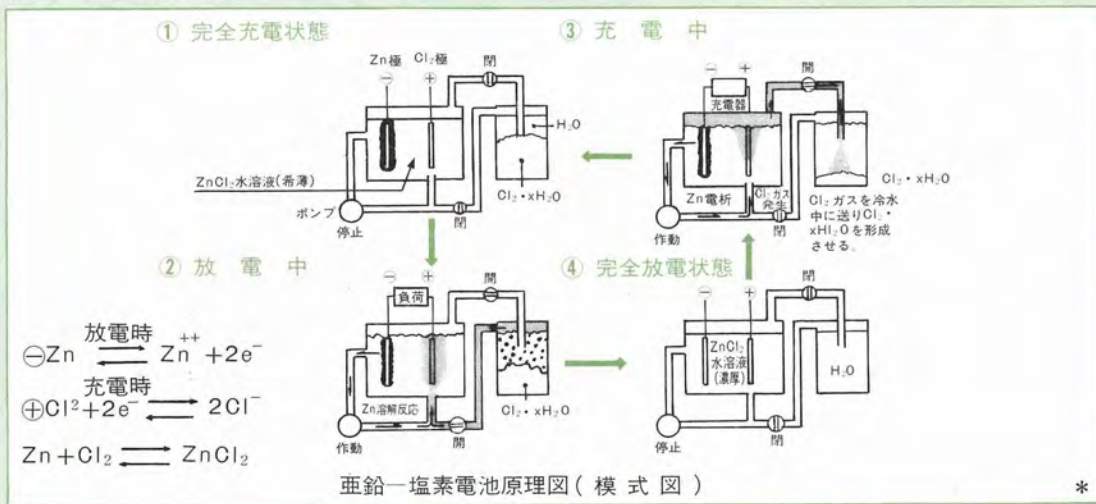
(100kW級テストプラントの予想図)



(鉛電池の一般的な構造)



(亜鉛-塩素電池)



(亜鉛-臭素電池)

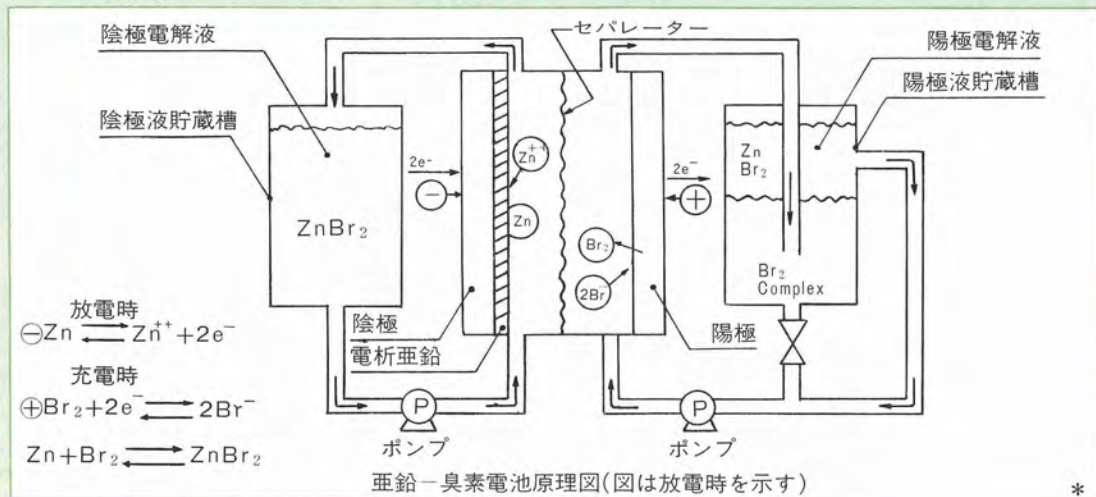
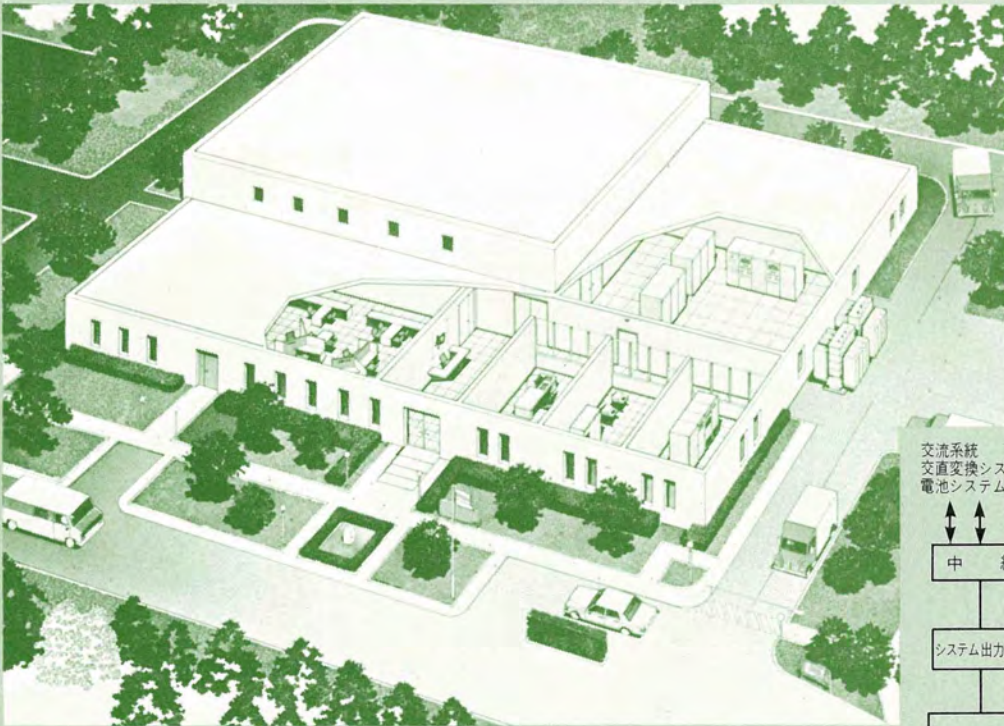


図2-4-3 システム技術開発



計測管理システム

交流系統
交直変換システム
電池システム } からの入出力信号
(計測データ、状態信号、運転制御信号)

中 継

システム出力装置

オペレータ
コンソール (データの読み出し)

中央演算制御装置(CPU) (データロギング、
解析データの処理)

CRTディスプレイ (データ表示)



タイプライタ (ロギング)



(メッセージ)

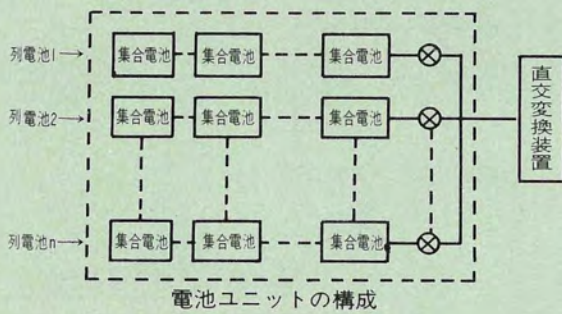


(システム)

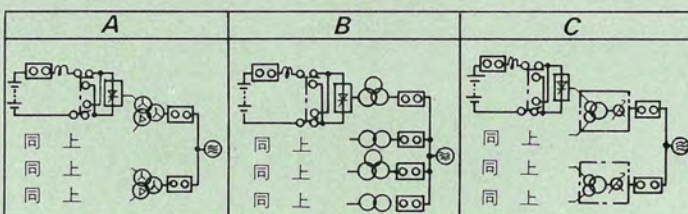
(データ記録ファイル)
固定ヘッドディスク盤
フロッピーディスク盤
磁気テープ

電池電力貯蔵システム

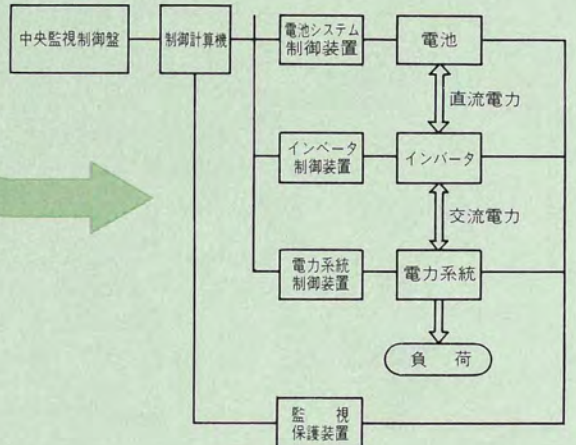
電池構成



変換装置構成



制御・保護システム



2-4-3 トータルシステム研究

本研究は前述のようにNEDOからの受託によって行うものであり、その内容はほぼ次の通りである。

すなわち、将来予測される電源構成下で必要な貯蔵電力量を推定するとともに、負

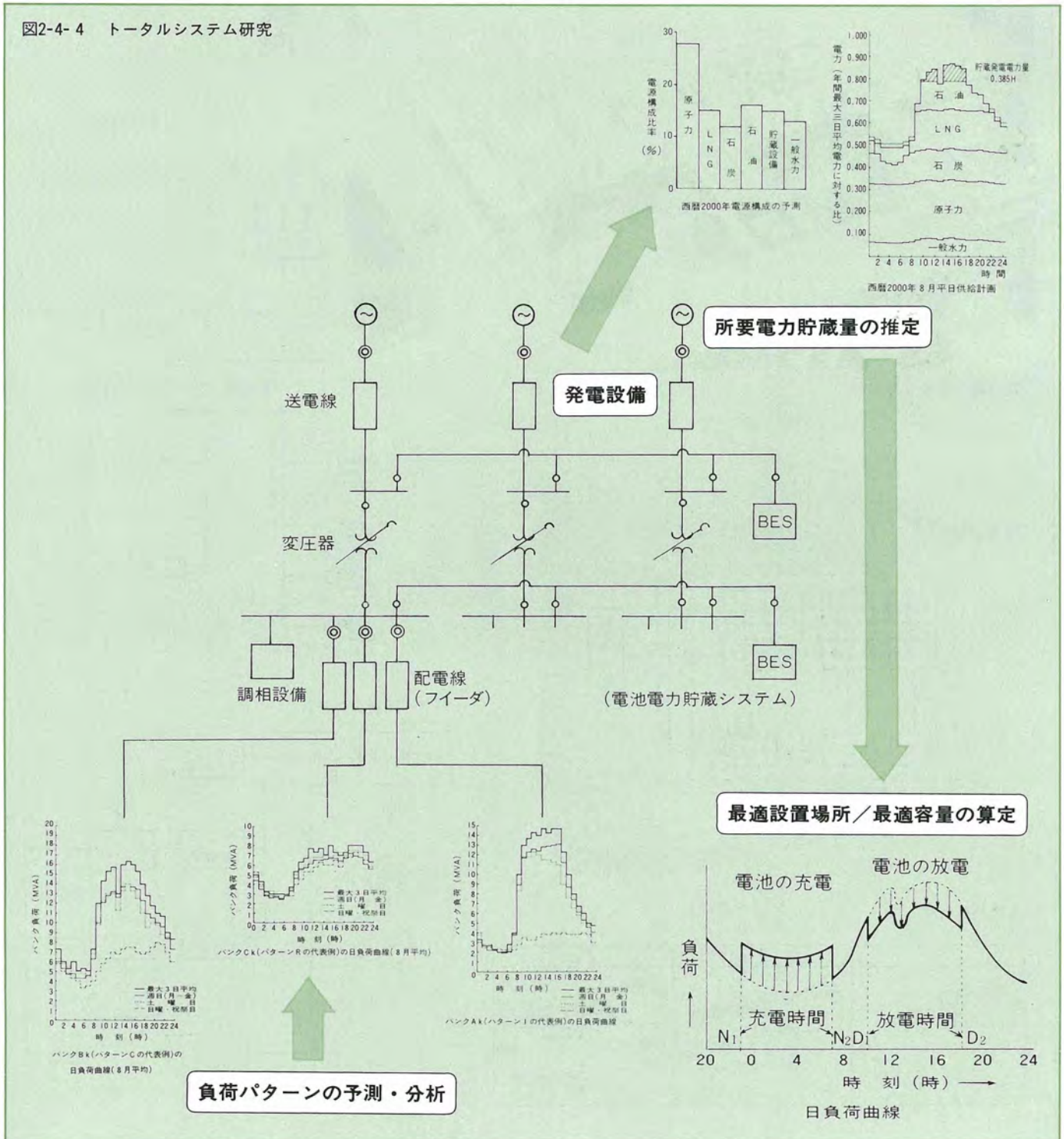
荷パターンの分析とそれによって得られた代表モデルを用い、貯蔵装置として適正な規模と配置を探る。

また、適正規模、配置に応じた装置全体の目標仕様を作成すると共に環境影響・安全性についても評価検討する。

さらに、ムーンライト計画で昭和58年度

以後に実施される新型電池の中間評価やシステム試験(表2-4-2参照)の結果を、当所の電池貯蔵システムシミュレータによる解析に反映させ最終的にはシステム運転性能、信頼性、経済性、などを総合的に評価すると共に実用新型電池電力システムの概念設計を行うことになっている。(石川 力雄)●

図2-4-4 トータルシステム研究



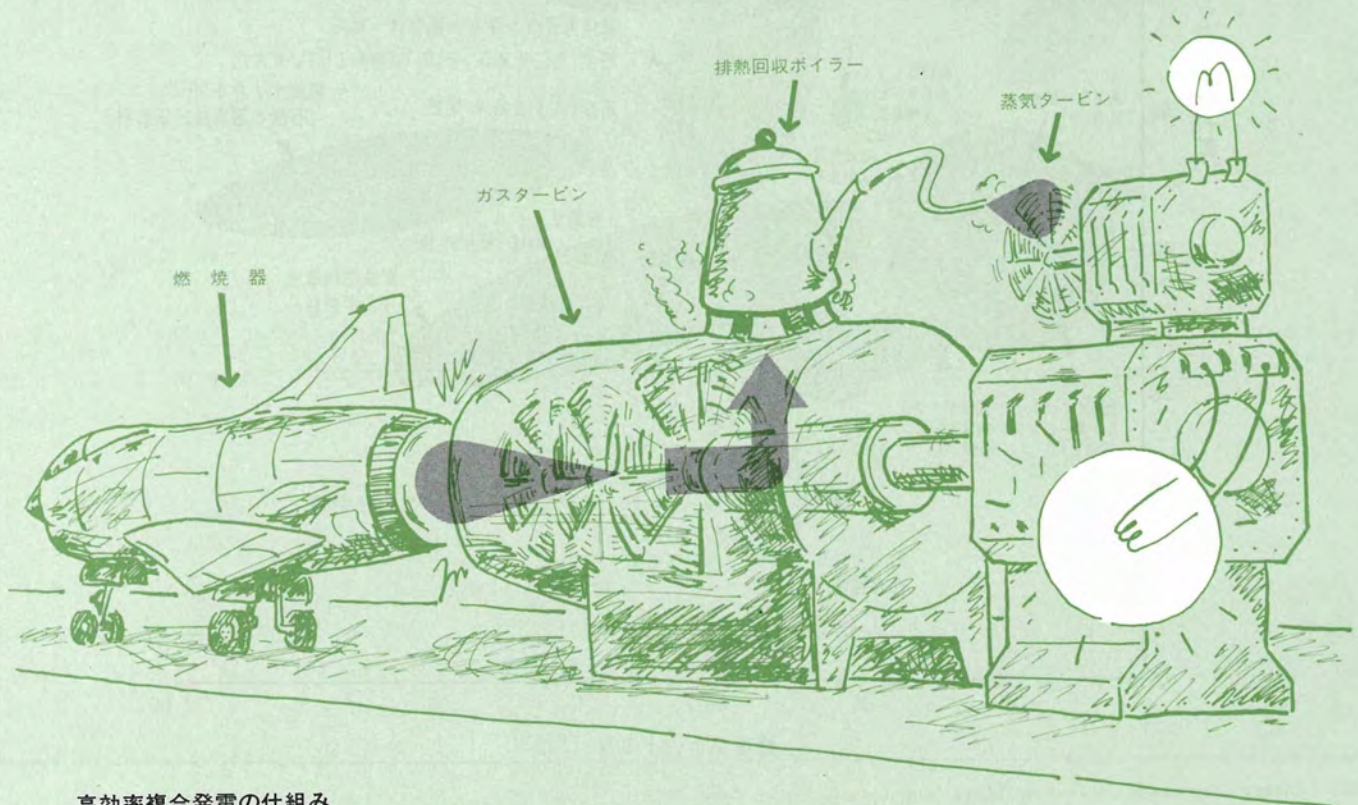
2-5 高効率複合発電

担当●エネルギー・環境技術研究所 高効率複合発電特別研究室 北見恒雄

脱石油時代に電力を最も効率よく低コストで生産するひとつの方法として、LNGなどの天然ガスを使ってタービンによる発電を行って後、さらに排熱を利用して蒸気タービンによる発電を行ういわゆる高効率複合発電に注目して研究開発している。

高効率複合発電は、ガスタービンの入口温度を高温化することによって、発電効率を高めようとするものである。これに関し、現在国のムーンライト計画「高効率ガスタービンの研究開発」が推進されているが、当所では従来からの実績をベースに、この計画の民間側開発組織である「高効率ガスタービン技術研究組合」に電気事業を代表して参画して、研究開発を推進している。

研究課題は高温化との関連で捕えられ、高効率複合発電システム技術の検討、タービン翼などの耐熱合金の実用化検討、高温燃焼器にセラミックスを応用する技術開発、窒素酸化物発生低減をめざした接触燃焼技術の開発などの受託研究を中心として、実用化に向けて、研究を推進している。



高効率複合発電の仕組み

燃焼器から排出された爆風でガスタービンを回した後、排熱を利用して汽力発電を行う

2-5-1 緒論と結論

I. 高効率複合発電の背景

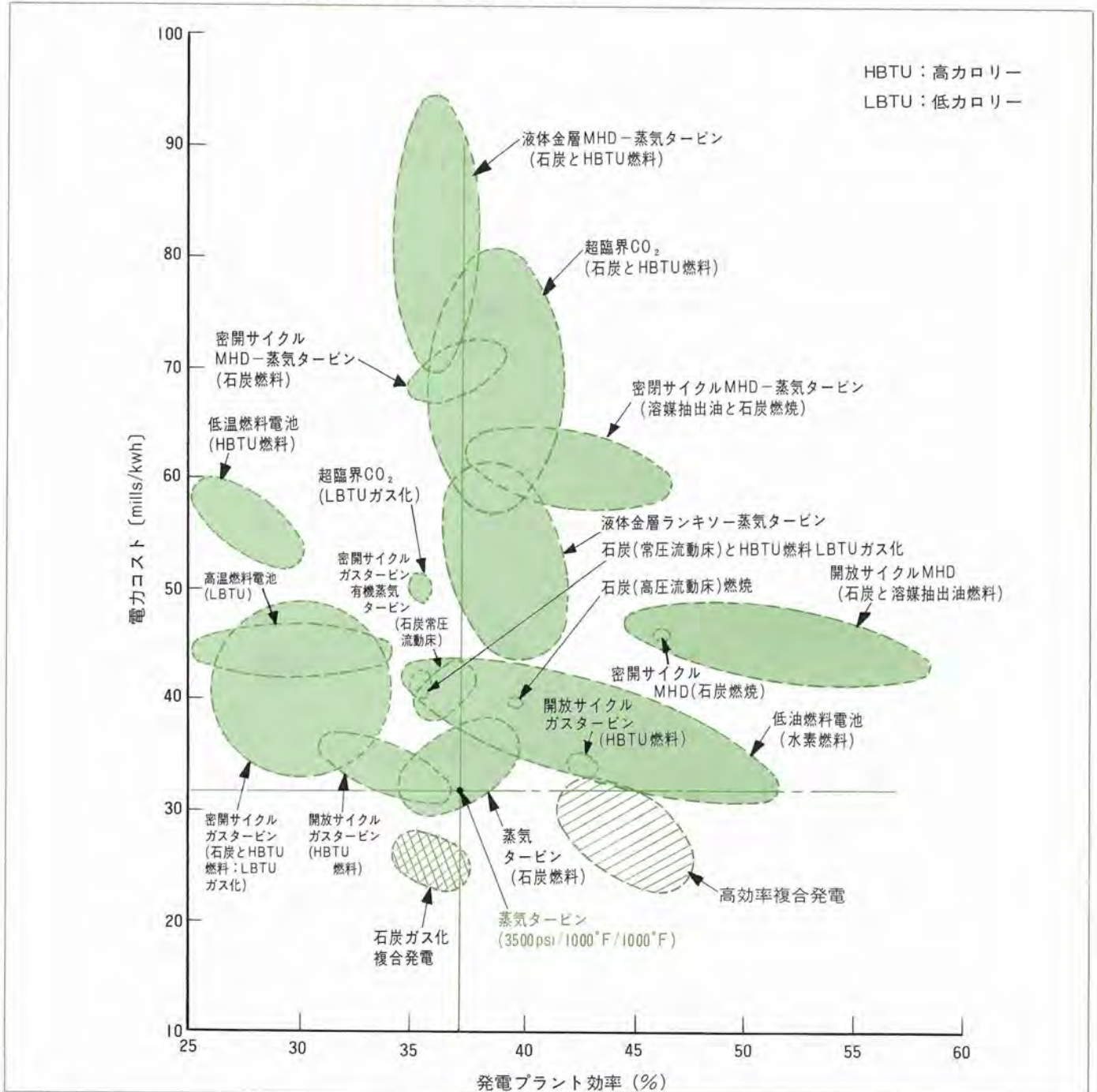
エネルギー資源に恵まれない我が国は、発電用燃料をほぼ100%近く輸入に頼っており、これまで発電設備の有効活用のため大容量化、高効率化等の研究を鋭意推進し

て来た。近年、石油ショック以降これまでの技術的シナリオを踏襲することから脱却して新たに石油代替エネルギーによる発電方式の開発ならびに省エネルギー政策の強化を余儀なくされている。

我が国における LNG 輸入量のうち約70%が発電用として供されており、その有

効利用は電気事業の責務である。昭和53年度発電設備における LNG 焚発電プラントは、約10%強であり、昭和65年度末で約20%弱と予想され、その後も原子力発電プラント開発、石炭焚発電プラントの設置推移を勘案しながら導入が進められると推定される。

図2-5-1 将来の発電システムの比較検討結果 (NASA : 米国航空宇宙局)



出典：「Energy Conversion Alternatives Study (Summary Report)」 Sept. 1977

図2-5-1は、将来の発電システムの比較検討結果の一例であるが、高効率複合発電は、他の発電方式に比し、効率も高く経済的にも優れていると予想される。しかしながら、現在でのLNG焚発電プラントは、複合発電となっておらず生焚により発電するため、その送電端効率も約37%程度と低いものとなっている。それゆえ、LNGを

利用した高効率複合発電が、当面の大型新発電方式として脚光をあびるに至っている。

II. 複合発電の種類

現在、最も実現性の高い複合発電は、高温ガスタービンと蒸気タービンを組合せた複合発電プラントである。即ち、図2-5-2に一例を示すとくガスタービンの入口温

度を高め、ガスタービン自体の発電の高効率化を図るとともに、結果として高温化された排ガスエネルギーを熱回収ボイラで熱回収し、高温・高圧の蒸気を発生させ、蒸気タービンを回し発電させトータルシステムとして発電効率を高めるものである。複合発電は、このようなガス・蒸気複合発電に限らず各種のものがある。例えば、トッピングサイクルとしてガスタービンの代りに石炭燃焼によるMHD発電を設けるもの、原子力の高温ガス炉を設けるもの、さらに広義には、原子力発電プラントの原子炉から発生する蒸気を石油などのほかの燃料により過熱し蒸気条件を上げ高効率化を図るような多種燃料を用いることによる燃料の複合発電方式などが考えられる。さらに、ガス・蒸気複合発電は、表2-5-1に示すとく、使用燃料、高温ガスタービンサイクル、蒸気タービンサイクル、ガスタービンと蒸気タービンの組み合わせ方式の観点から、各種考えられる。当面、実用に近くその実用化が望まれているものは、燃料面では、LNG焚複合発電と石炭ガス化複合発電であり、ガスタービンの高温化に伴って排熱回収サイクル方式が採用される。なお、ガスタービンおよび蒸気タービンに採用されるサイクルは、その運転性能、総合効率など

図2-5-2 ガス・蒸気複合発電プラントの概念図

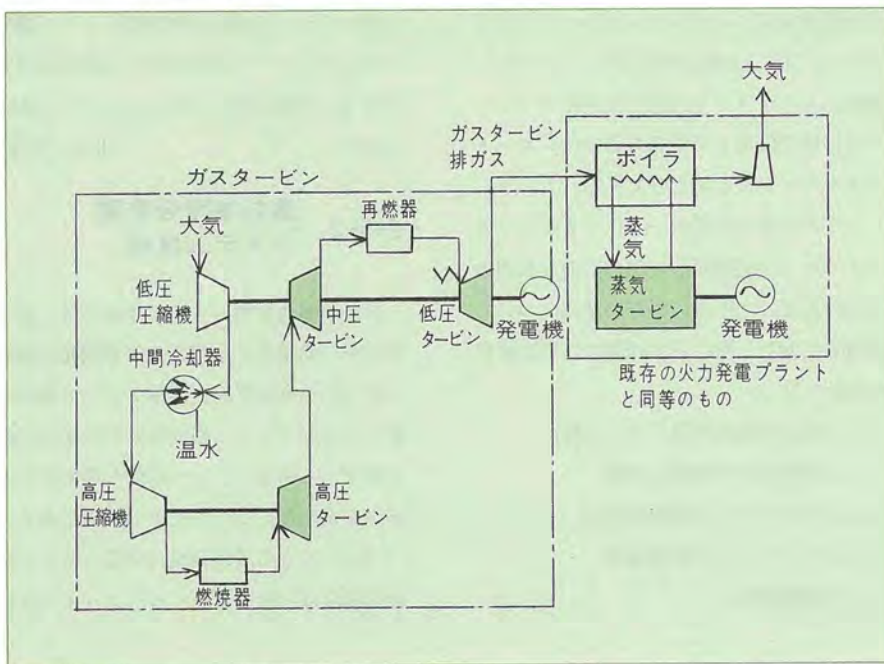


表2-5-1 複合発電の分類

分類	法	コンバインドプラントの種類	備考
燃料	LNG焚複合発電		当面の複合発電
	軽油焚複合発電		燃料確保が困難
	重質残渣油ガス化複合発電		特殊なもので、石炭ガス化プラントの試験炉
	石炭ガス化複合発電		将来、実用化が望まれている
ガスタービンサイクル	シンプルサイクルガスタービン		燃焼器1個で構成が単純
	レヒートサイクルガスタービン		燃焼器2個で効率が高いものが望める
蒸気タービンサイクル	単圧・非再熱		ガスタービンの排ガス温度が比較的低い
	混圧・非再熱		
	単圧・再熱		系が複雑
	混圧・再熱		
ガスタービンと蒸気タービンの組み合わせ方式	給水加熱サイクル		ガスタービン排気で蒸気プラントの給水を加熱する方式
	排気助燃サイクル		ガスタービン排気をボイラ手前で助燃する方式
	排気再燃サイクル		ガスタービン排気をボイラ燃焼用空気とする方式
	排熱回収サイクル		ガスタービン排気をそのまま熱回収する方式
	過給ボイラサイクル		ガスタービン燃焼器としてボイラを用いる方式

を勘案して、その運転実績を踏えて今後採用されるものとする。

Ⅲ. 当所における研究状況

1. 研究体制

当所では、昭和52年7月特別大型プロジェクトの一つとして「高効率・ガス化複合発電プラントの開発」を推進することを提案した。しかしながら、ほぼ時を同じくしてムーンライト計画「高効率ガスタービンの研究開発」が発足することとなり、当所としては、国の計画と協調を図りながら当面実現性の高いクリーン燃料LNG 焚高効率複合発電の研究開発を行うこととした。まず、高効率複合発電プラントに関し、国内メーカーと共同研究を開始するとともに、電力10社と当所とからなる研究会「ガスタービンおよび高効率複合発電プラント研究会」を発足させ情報交換を行うとともに、ムーンライト計画「高効率ガスタービンの研究開発」の研究実施機関である高効率ガスタービン技術研究組合に参画することとした。

また、研究開発を本格化するため昭和54年4月組織改編に伴って当所の機械・制御

・化学の専門家を集め実質的作業を行う機関として高効率複合発電特別研究室を設置した。さらに、開発研究等の推進を強化するため昭和56年6月、エネルギー技術開発本部を設置しこれらの研究推進を行っている。

2. 研究概要

現在実用化が進められているLNG 焚複合発電プラントは、大別して次の2つに分けられる。一つは、既にいくつかの電力会社が設置を決定しているシンプルサイクルガスタービンによる複合発電プラントであり、他は、ムーンライト計画「高効率ガスタービンの研究開発」で鋭意推進中のレヒートガスタービンによるものである。ガスタービン型式の違いは図2-5-3に示すごとくガスタービンの燃焼器が1個のもの2個のものである。当所は、両方の型式について検討しており、次に示す課題について研究を進めている。

- (i) 高効率複合発電システム技術
- (ii) 耐熱合金の実用化評価
- (iii) ガスタービン翼冷却技術
- (iv) セラミックス応用技術
- (v) 接触燃焼

高効率複合発電プラントは、ガスタービン入口温度の高温化が不可欠である。それゆえ、燃焼器の実用化のためのセラミックス応用技術および高温化に伴って発生する公害対策上問題となるNO_x 低減のための接触燃焼法、さらにはガスタービン翼の冷却技術等の要素技術開発が必要である。また、複合発電プラントは、在来火力発電プラントに比し構成機器も多いため、開発に際し最も効率の良いシステム構成の検討や、全体システムの運転管理制御システム開発のためのシステム技術に関する検討が肝要である。次節以降にこれらについての詳細を示す。

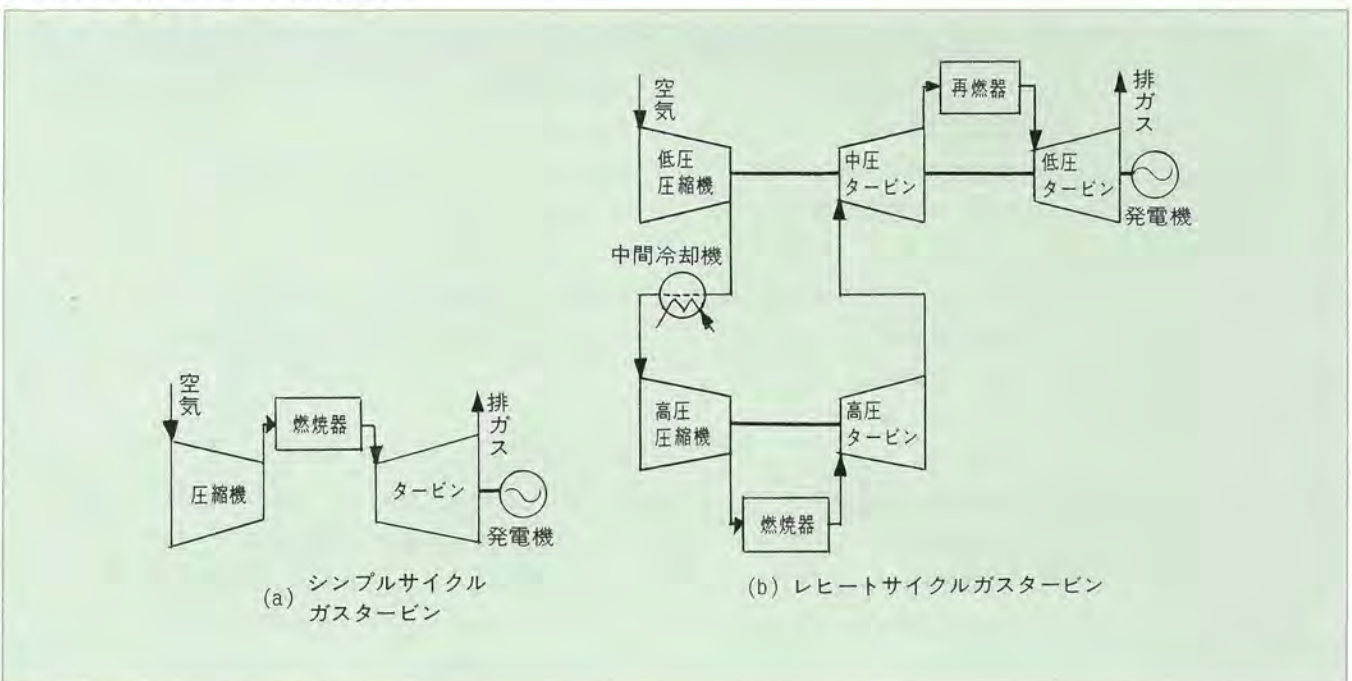
(北見 恒雄)

2-5-2 高効率複合発電システム技術

高効率複合発電システム技術とは、省エネルギー効果大と予想され鋭意開発が進められている高効率複合発電プラント導入に際してそのプラント構成を如何にすれば最も効率よく構成し、かつ有効な運用ができるかを系統だてて行うための技術である。

当所における高効率複合発電システム技術の研究は、大別して、ムーンライト計画

図2-5-3 ガスタービンサイクルの型式



「高効率ガスタービンの研究開発」におけるガスタービン入口温度1,300℃以上を目指すレヒートガスタービンを用いた複合発電プラントに関する研究と、1980年中葉、電気事業に本格的運転開始が予定されるシンプルサイクルガスタービンを用いた高効率複合発電に関する研究に分けられる。

ムーンライト計画「高効率ガスタービン I. ービンの研究開発」に関する当所の研究

ムーンライト計画「高効率ガスタービンの研究開発」では、最適トータルエネルギー供給システムの研究として、総合効率50%以上の高効率複合発電プラントの可能性を検討し、その結果を踏まえ、1,000MW級高効率複合発電プラントの構成を定め、電力システム運用に充分対応し得る総合運転管理システムの開発を行うこととしている。高効率ガスタービン技術研究組合に参加している14社(材料メーカー7社、タービンメーカー6社、当所)のうち、当所は、昭和55年度以降ユーザに適した研究課題を担当し、成果を挙げている。

昭和53年度は、高効率ガスタービン技術研究組合参加13社とともに、高効率を目指す複合発電プラントのフィージビリティスタディを行い、各種複合発電プラントの構成方式の中で、図2-5-4中に示す排熱回収型複合発電プラントを採用することとし、ガスタービン型式として、燃焼器2個のレヒートガスタービンが高効率化のためには良好であることを明らかにした。

排熱回収型複合発電方式は、高温ガスタービンの高温化された排ガスを、再度燃料を加えることなく排熱回収発電プラントで最も効率よく利用できる方式である。また、レヒートガスタービンは燃焼器が1個のシンプルサイクルガスタービンに比し、出力が大型化しやすく、総合熱効率が、約3%程度向上できると予想された。しかしながら、ガスタービンは、高速高温で運転されるため、運転信頼性等に充分留意することが肝要であると予想された。

昭和54年度は、最適エネルギー供給システムの観点から開発中の高効率複合発電プラントに地域冷暖房等の熱供給を行わしめた場合の検討を行い、熱と電力需要が適度にある地域では、総合熱効率が、約60~70%となると予想される結果を得ている。さらに、熱需要が与えられた場合で、需要に見合った電力供給を、最も効率良く行う高効率複合発電プラントの最適運用指標を明らかにした。

昭和55年度は、現在輸入量の約70数%を電気事業で消費しているLNGの高効率複合発電システムへの冷熱利用の検討を行い、LNG冷熱発電およびガスタービン入口空気の冷却に有効であるとの結論を得ている。

昭和56年度以降、具体的概念設計が終了した1,000MW級複合発電プラントの運転性能を検討しており、昭和57年度は、昭和56年度で得られた部分負荷特性を基に、高効率複合発電プラントの動的挙動を検討している。さらに、昭和58年度は、高効率複合発電プラントの最適運転制御方式を検討し、プロジェクトの最終年度の昭和59年度には、総合運転管理システムの検討を行うこととしている。

シンプルサイクルガスタービンを用いた高効率ガスタービンに関する研究

当所では、ムーンライト計画における研究開発を基として、1980年代中葉電力各社で導入が予想されるシンプルサイクルガスタービンを利用した高効率複合発電プラントに関する研究を行っている。電力会社に導入予定の高効率複合発電プラントのシステム構成は、各々の電力会社で充分検討された上で採用されるため、当所の研究は、高効率複合発電プラントの最適運用のための総合運転管理システム開発を目指すこととしている。

これに関する研究は、3-2-4「複合発電プラントの運用合理化」にて詳述するので概要について述べる。

これまでの研究で、ガスタービンの動的特性を把握するためのシミュレーションプ

ログラムを開発し、負荷応動能力向上のためのガスタービンの計算機制御方式について検討を行い良好な結果を得るとともに、複合発電プラントの運転状態表示システムの開発検討を行った。

我が国におけるガスタービンは、従来からピーク発電用として用いられたため、運転監視機能は、低コスト化のため出来るだけ簡素化されていた。しかしながら、高効率化、高温化、大型化される高効率複合発電プラントの運転システム等の開発検討は、電力の安定供給の観点から重要な課題である。

図2-5-5は、複合発電プラントの運転監視機能強化のため開発した運転状態表示システムのプログラム体系であり、ガスタービン部、排熱回収発電プラント部等、それぞれの各種状態量の応答や、プラント性能の表示が可能となっており、運転員の監視労力軽減等高効率複合発電プラントの安全運転に資するものとなっている。

(北見 恒雄)

2-5-3 耐熱合金の実用化評価

ガスタービンでは燃焼器、動静翼、ディスクなどに各種の耐熱合金が使用されるが、それらの合金はニッケル或いはコバルトを主成分とし、タングステン、モリブデン、タンタルなどの高融点金属元素と各種の強化元素から成る耐熱性の優れたいわゆる超合金である。

このような超合金はこれまで著しい進展をとげているが、技術開発の目標のほとんどが宇宙航空の分野の高性能化、高効率化のニーズに基づくもので、ムーンライト計画におけるように発電用として新しい超合金の研究開発を目指す例は数少ない。この開発目標は、温度と作用応力の点から最も厳しい使用条件下におかれる動翼を対象として研究開発が進められている。

3項の開発目標(高温耐食性、クリープ寿命、高温疲れ寿命の向上)は、動翼の使用条件の主要なものであるが、これらを同時

図2-5-4 各種複合発電プラントの構成方式

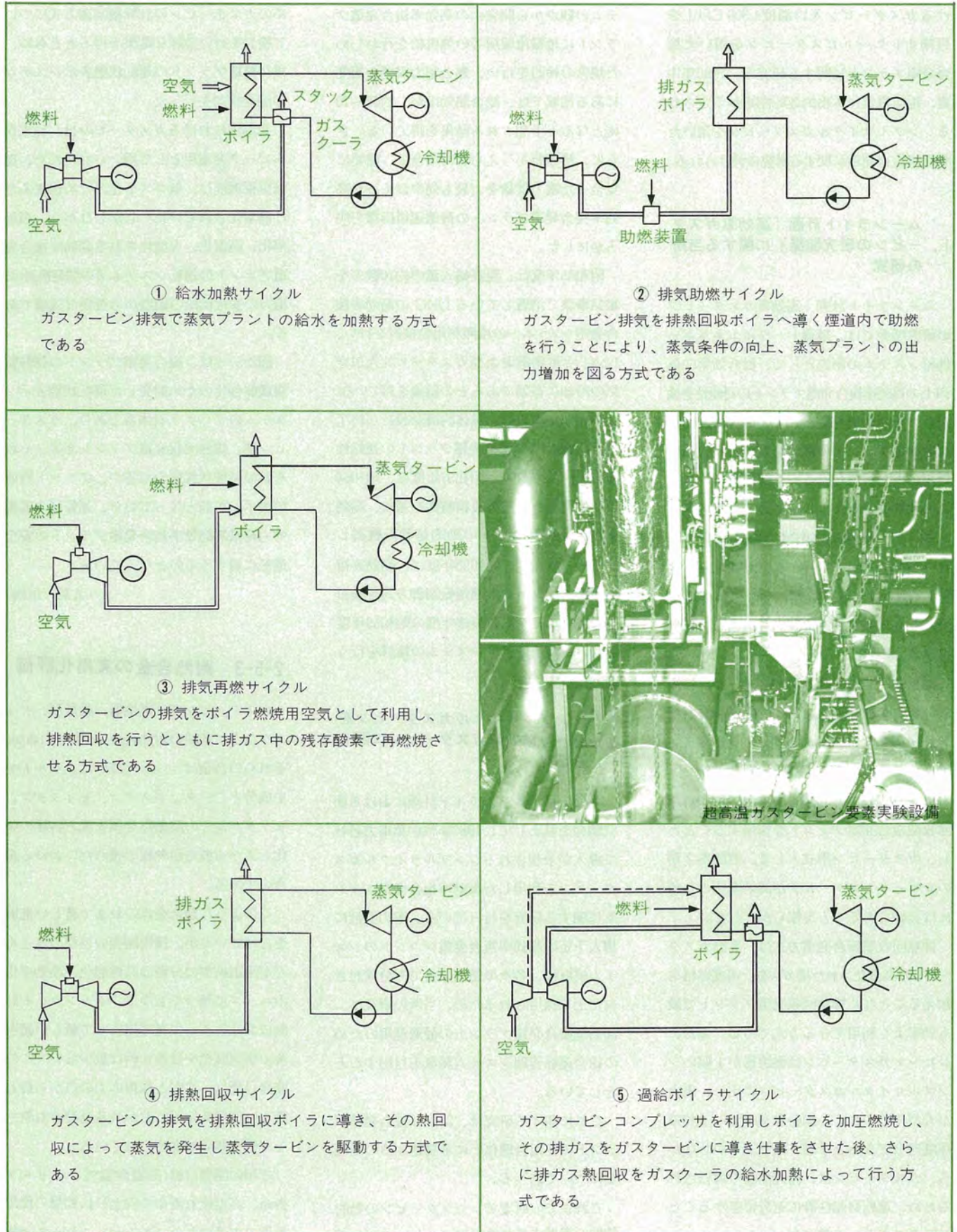
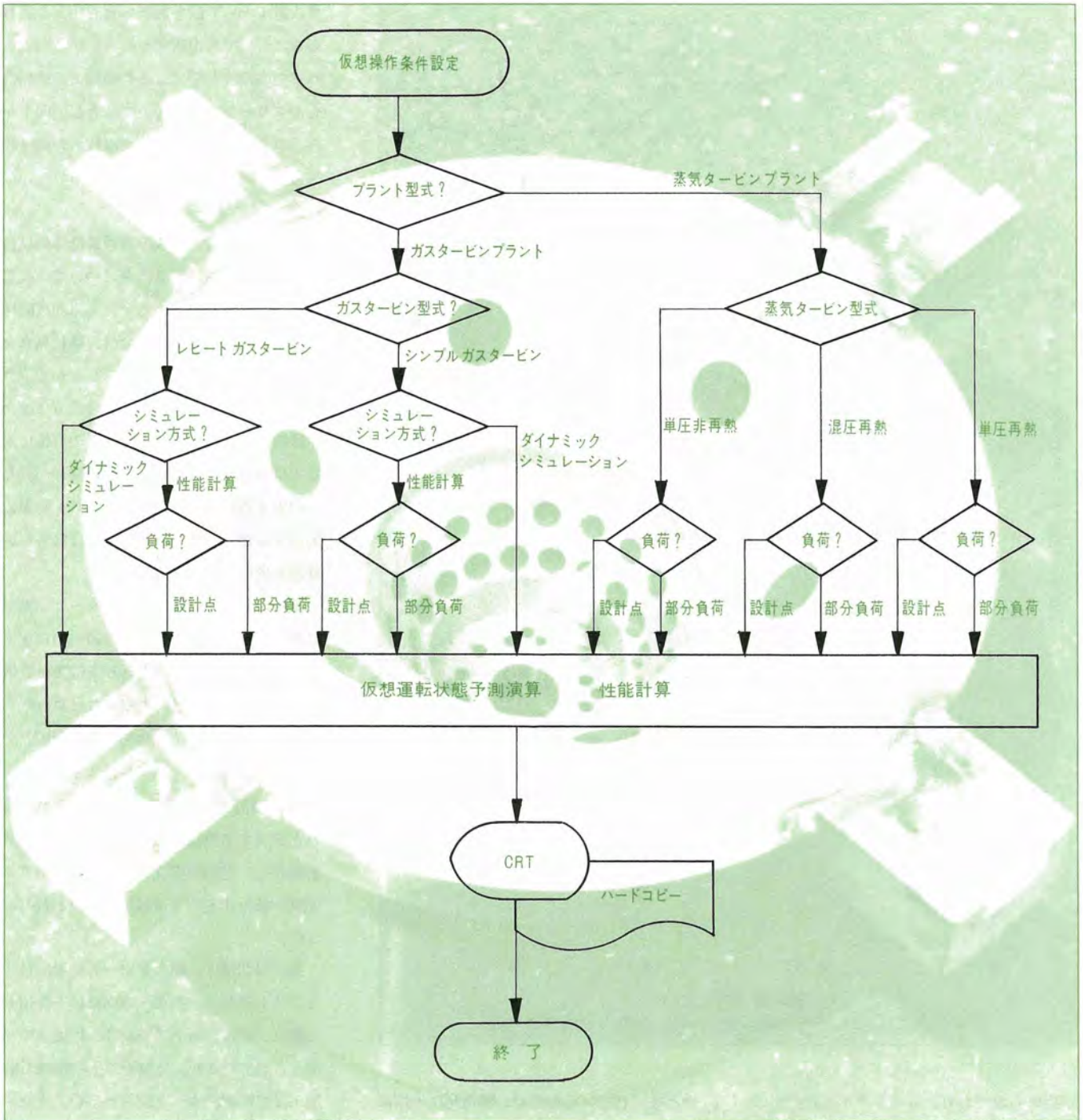


図2-5-5 高効率複合発電プラントの運転監視システムのソフトウェア体系

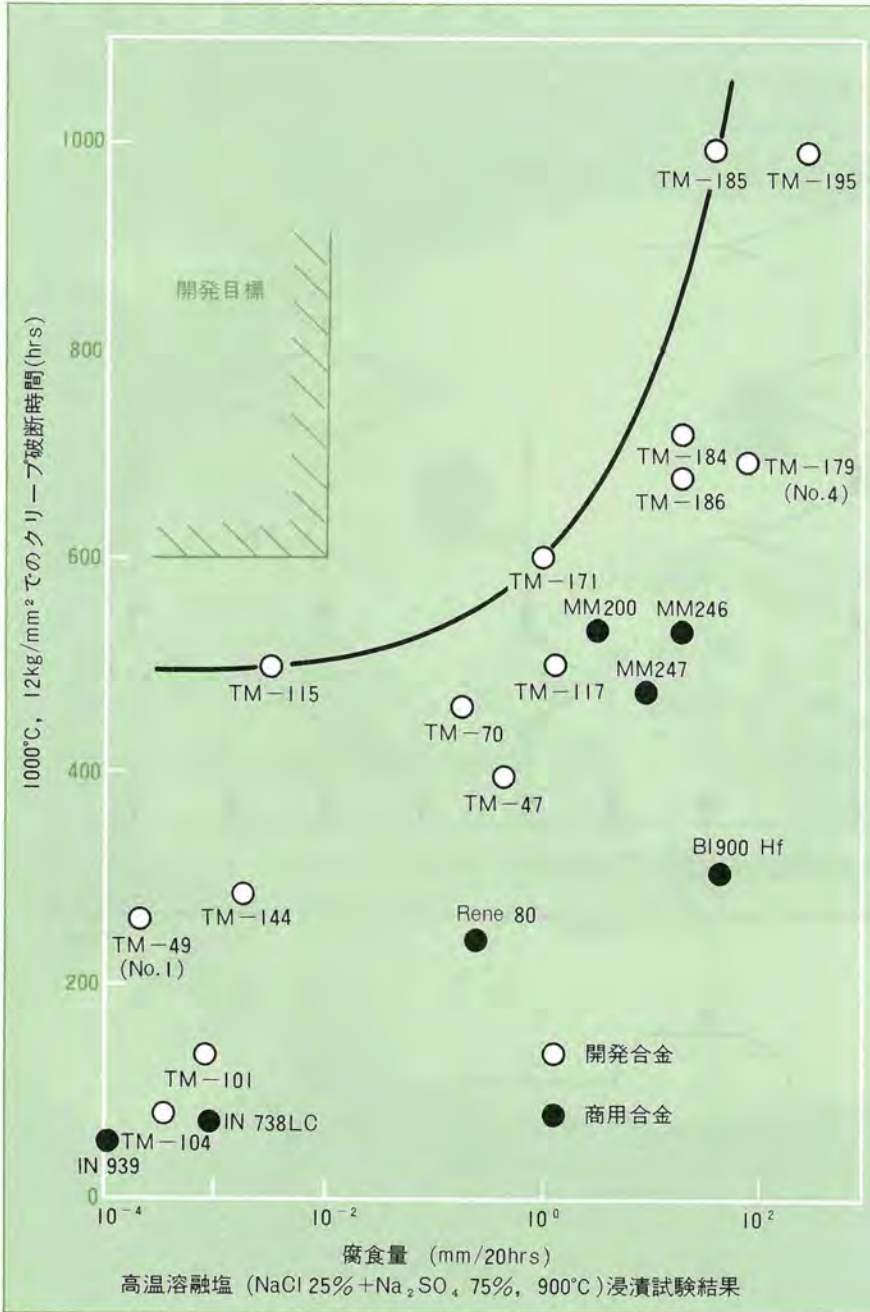


に充たす超合金を開発することはきわめて難しい、図2-5-6はこれまでの開発合金と商用合金の代表例について、高温耐食性とクリープ寿命との関係を示したものであるが、これらの関係にも開発の困難さが示されている。またクリープ寿命と高温疲れ寿命との間には、超合金の延性に関して相反する寿命特性があることが知られており、

一般にはクリープ寿命の向上を意図すれば延性が低下することが避けられず、それに伴って高温疲れ寿命が減少する場合が多い。このように超合金の開発は、使用条件をバランス良く充たしながら進めることはきわめて難しく、高温耐食性についてはコーティング技術の適用が検討されている。超合金に対する高温耐食性の付与を目的とし

たコーティング技術は既に実用化されているが、コーティング材と超合金との間には相互に適した組成条件があり、超合金の開発に伴って最適なコーティング材およびコーティング技術の開発あるいは選択が必要とされている。ところで現在の発電用ガスタービンの初段最高温度部の動翼には普通鋳造等軸晶合金

図2-5-6 超合金のクリープ強度と高温耐食性の関係



が用いられており、ムーンライト計画での開発も同種合金を開発対象としている。しかしながら先にも述べた通り、クリープ寿命、高温耐食性、高温疲労寿命を同時に向上させることは不可能に近く、現実的には高温耐食性についてはコーティング技術の適用によって対応し、クリープ寿命、高温疲労寿命の向上のために超合金を一方凝固鋳造することが試みられている。

このような超合金は一方凝固柱状晶合

金と呼ばれているもので、鋳造時に一端に冷却を加えることによって一方に凝固を進行させて柱状晶組織を作ることにより、凝固方向のクリープ強度および延性を改善している。

一方凝固によるこれらの特性の改善は、凝固方向に直交する結晶粒界がなくなり、凝固方向に対して得られるもので、さらに単結晶化することによって高温強度が著しく改善されることが知られている。

当所では超合金の研究開発において、動翼設計にとって最も評価の難しい高温疲労寿命について分担研究を行っているが、これまでの研究開発による普通鋳造等軸晶合金がクリープ寿命については著しい向上がみられているのに対し、高温疲労寿命は商品合金に対して改善の結果が得られていない。

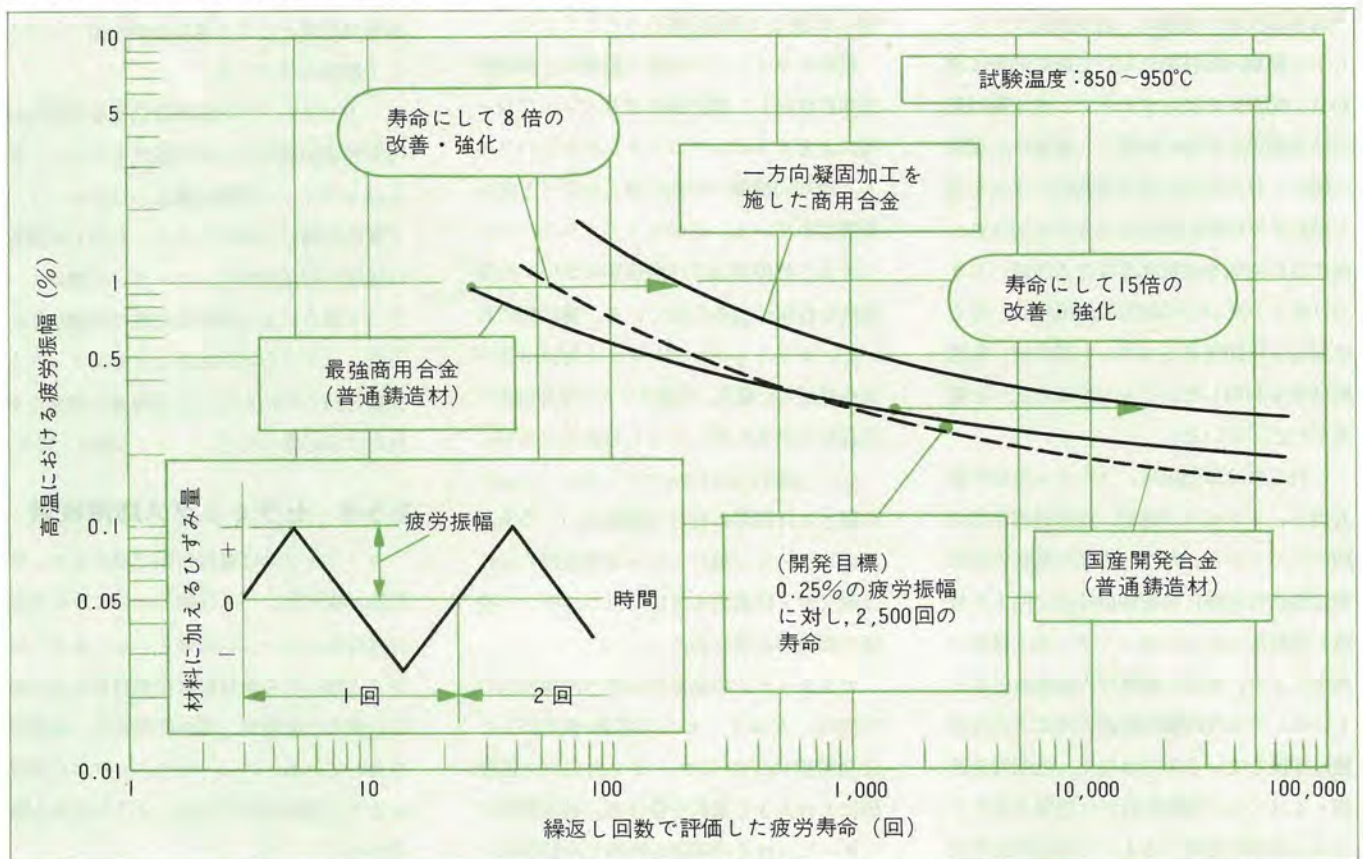
一方、ほぼ同一組成の普通鋳造等軸晶合金と一方凝固柱状晶合金について的高温疲労寿命試験結果によると、一方凝固柱状晶合金の凝固方向の寿命は、等軸晶合金の寿命に比べ約10倍に達することが実証されている(図2-5-7参照)、このように超合金は結晶の一方凝固によってその方位に対してはクリープ寿命、高温疲労寿命が著しく向上するが、発電用ガスタービン動翼に実用するためには解決しなければならない課題も多い。

第一の問題は、発電用ガスタービン翼では高速回転に伴う翼高方向の遠心力に加え、翼高方向とは交叉する方向に加わる振動応力、熱応力などにも耐えなければならないことである。超合金を一方凝固して翼を鋳造する場合、当然、最大主応力方向に近い翼高方向に凝固方向がとられ、それと交叉する負荷応力に対しては結晶粒界が存在し、結晶粒界交叉負荷応力に対する強度が低下することに留意しなければならない。

第二の問題は、超合金の一方凝固技術とコストである。現在一方凝固を採用した翼は、製造技術上は翼高30cm程度まで可能とされているが、空気冷却孔の精密鋳造、加工技術に解決すべき課題が多い。また一方凝固の鋳造プロセスは普通鋳造の場合に比較して複雑で長時間を要し、4倍のコストがかかるとするデータもあり、コスト低減に関する技術開発も実用化への主要課題である。

この他にもガスタービンの高温高効率化を目標とした超合金の技術開発が数多く進められているが、それらは極限条件下での使用に耐えなければならない、実用化にあ

図2-5-7 超合金の高温疲れ寿命—等軸晶と一方向凝固柱状晶の比較—



っての評価もますます高度な技術を必要とするようになってきている。（桑原 和夫）

2-5-4 ガスタービン翼冷却技術

ガスタービンの熱効率はガスタービン入口ガス温度および圧力比により左右されるが、特に入口ガス温度の上昇が大きく寄与している。この入口ガス温度の向上は、耐熱材料の研究開発、タービン静・動翼等の冷却技術および加工手法の進歩によるものである。

ガスタービン入口ガス温度の上昇即ちガスタービンの高温化は、航空機用・産業用ともに着実に進展しており、翼冷却技術の開発により、現在の航空機用ガスタービン入口ガス温度は1,300℃を越えるまでになっている。産業用ガスタービンは、その設計・運用思想の違い、さらには需要との関連もあり、航空機用の発展にかなりの遅れを取っている。しかしガスタービン単体の使用目的のみならず複合発電システムと

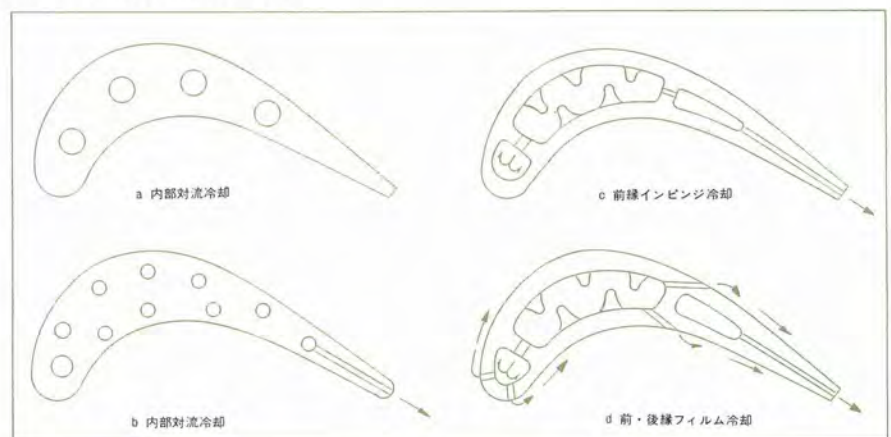
しての使用目的のため、単機容量は着実に増大し、大容量化が進んでいる。

ガスタービンはその特性が航空原動機に適していたため、多量の需要に裏付けられた巨額な技術開発費を背景にし、航空原動機として飛躍的に発展をとげてきた。これらの内でも、ガスタービンの高温化において苛酷な条件下におかれる静・動翼の冷却

技術の開発に大きな努力がはらわれたのはい言うまでもない。

金属はある温度以上になるとその強度が極端に低下してしまう。そのため必要強度を持たせるため必然的に冷却を行い、高温ガスに接触する金属の温度を低下させる必要がある。特に動翼はその回転遠心力の作用を受け最も厳しい条件下に置かれ、高度

図2-5-8 動翼冷却技術の変遷



な冷却技術が要求される。

翼冷却技術の変遷は、航空機用ガスタービン動翼冷却技術において最も顕著に現われ、図2-5-8に示すごとく、先ず翼回転の冷却効果を有効に利用し、翼根から翼端へ開けられた冷却孔内を強制的に空気を通し冷却する内部対流冷却方式が採用され、次に冷却空気を直接高温になる前縁へふきつけるインピンジ冷却方式が出現し、さらに翼面を冷却空気でフィルム層に被い熱遮断効果を利用したフィルム冷却方式へと変遷をたどっている。

これらの冷却効果は、フィルム冷却が最も良く、インピンジ冷却、内部対流冷却の順になっている。ただし現在の最新の冷却翼は製造技術特に精密鑄造技術の向上と放電・電解加工さらにはレーザー加工技術の進歩により、非常に複雑な内部構造となっている。この冷却翼は前述の冷却方式を単独に採用しているのではなく、内部対流冷却・インピンジ冷却を行った空気を更にフィルム冷却に使用するという複合冷却方式を採用し単独な冷却の場合より大きな冷却効果を得ている。

翼冷却の効果は当然冷却空気量により大きく影響を受け、冷却空気の増大により冷却効果も増加する。現在この冷却媒体の空気は圧縮機より抽気した空気を使用している。元来圧縮機により高圧になった空気は燃焼器における燃焼用空気として使用され、動力となっていくものである。従ってガスタービンを高温化して熱効率および出力を向上させようとしても、冷却するための空気量が増大してそのために逆に熱効率および出力の低下を伴うようになる。即ち空気冷却方式ではガスタービン効率上限界が有るという事である。その限界となる入口ガス温度は1,300°C級と推測される。

以上、航空用ガスタービン動翼冷却技術の状況を述べたが、発電用ガスタービンではやっと内部対流冷却方式が実用化され入口ガス温度も1,100°C近くまで上昇している。ムーンライト計画「高効率ガスタービンの研究開発」においては、翼冷却方式にイ

ンピンジ冷却更にはフィルム冷却方式を採用し高温化の達成を図ろうとしている。

近年セラミックスの持つ耐熱性と熱障壁効果に注目し、翼外面にプラズマプレー等によるセラミックコーティングを行いフィルム冷却同様翼への熱の流入を防ぐ方法が研究されている。このセラミックコーティングによる熱障壁方式は燃焼器においても積極的な採用が試みられている。翼冷却において、セラミックコーティングと対流冷却方式を採用した場合、全面フィルム冷却方式と同程度の効果を持つことも報告されている。

ただし現在におけるセラミックコーティングの厚さには限界が有り(約300 μ m)、今後高温ガスタービン翼にこの方法を採用するには耐久性・接着力を考慮したコーティング技術の開発が必要であろう。

ガスタービンの高温化に伴う冷却技術の方向は、ガスタービンの用途(航空用または発電用)ならびにタービン入口ガス温度値により大きく選択を受ける。航空機用ガスタービンはその用途の性格上冷却媒体として空気が従来通り使用され、現在よりさらに向上した加工技術の裏付けの基に全面フィルム冷却を主体としたより効果的な複合冷却技術の研究が主流になるであろう。

産業用・発電用ガスタービンとしては、その性格上、重量・容積等の影響は特に支配的でなく、冷却媒体としても空気に限定する必要はない。大型ガスタービンを対象に冷却媒体として液体を使用した液体冷却と従来通りの空気冷却のそれぞれの効果を比較した結果、高温域における液体冷却の優位性が報告されている。

液体冷却は水を使用しての水冷却方式がかなり以前から検討され、近年米国 GE 社が EPRI(電力研究所)および DOE(エネルギー省)の援助の基に石炭利用燃料の使用を目的に超高温化が可能な方式として研究開発を進めている。

当所も独自に水冷却方式を提案し冷却性能・流動特性を実験的に把握し、電研式水冷却動翼の設計資料を得るまでに至った。この水冷却ガスタービンは発電用ガスター

ビンとしての数々の特性を有しているため将来発電用として主要な役割を担うものとして期待されている。

一方セラミックの熱障壁効果を応用した冷却技術が採用される可能性も大きい。例えばセラミック単体の翼さらにはコーティング翼等を揚げる事ができる。しかし単体翼は破損の問題が有り、コーティング翼はコーティング厚さによる熱障壁効果の問題がある。セラミックス応用方式としてセラミックと金属母材とをかん合した冷却翼の開発にも注目する必要がある。(深田 智久)

2-5-5 セラミックス応用技術

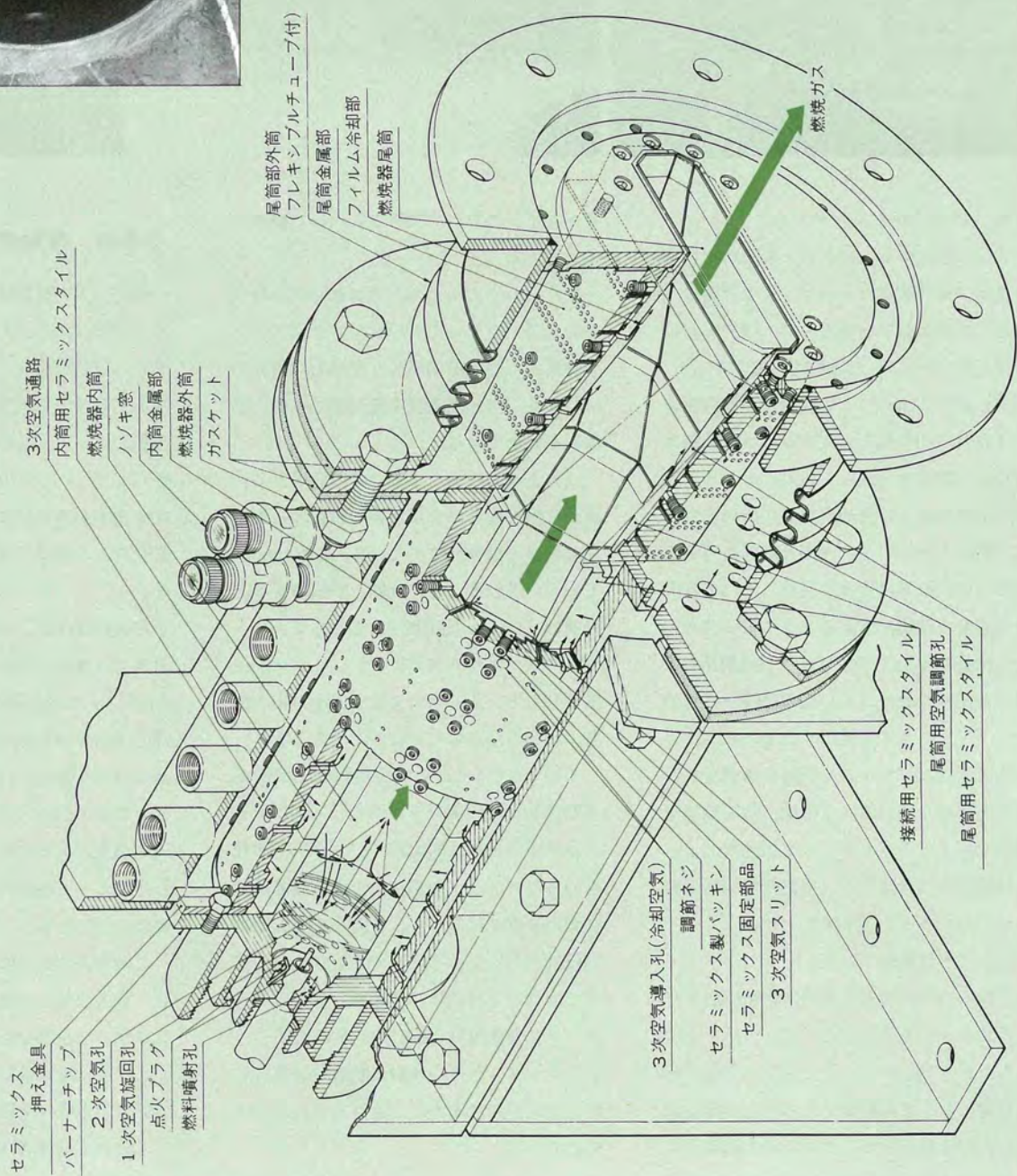
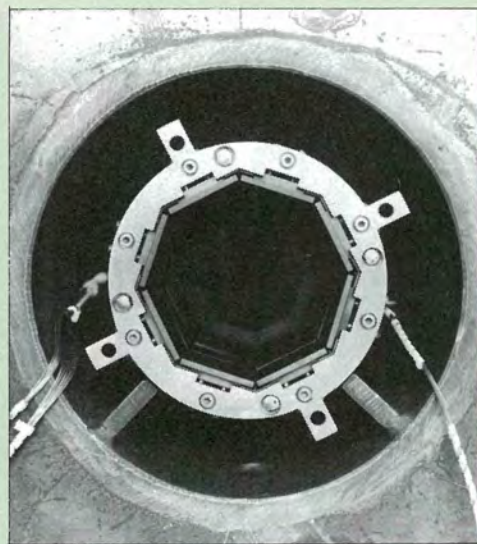
セラミックスは脆性材料ではあるが、窒化物、炭化物、ケイ化物などのように天然には存在しない、いわゆるニューセラミックスと呼ばれる新材料は金属材料に見られない優れた耐熱性、高強度摩耗性、耐食性を有している。ニューセラミックスの開発により、電気事業では次のような効果が期待される。

1. 諸機器および部品の高温度化が図れるので効率向上による省エネルギー効果をもたらす。
2. 耐食性が高いので、石炭、重質油などグーティな燃料資源の使用が可能となり、脱石油への燃料転換が図れる。

当所ではかねてより、セラミックスの耐熱性に着目し、セラミックスの難点である高温強度を金属に持たせたセラミックスと金属とのはめ合せ方式(かん合方式)を提唱し、ガスタービン要素への適用研究を行っている。

昭和56年度末に完成した超高温ガスタービン要素実験設備では内径90mm ϕ と170mm ϕ 燃焼器の2種類の常圧燃焼試験が行えるようになっている。設備の主な仕様は燃焼室最高負荷 1.1×10^8 kcal/m²hr、燃焼器出口最高ガス温度1,600°C、空気過剰率1.4~4.0、燃料プロパンガスであって、本設備利用による主な研究課題は高負荷バーナの開発、燃焼制御および燃焼監視システムの開発、セラミックス・金属かん合型燃焼器および

図2-5-9 セラミックス・金属かん合型超高温燃焼器



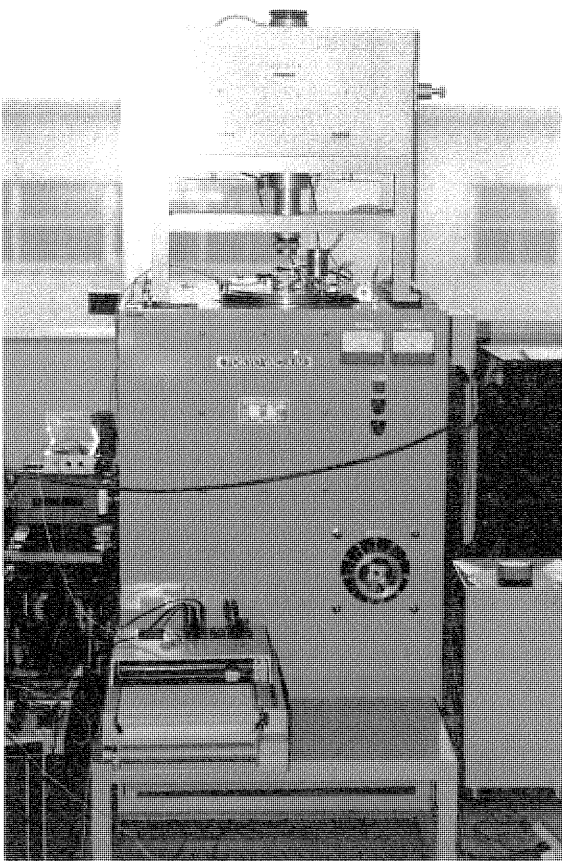
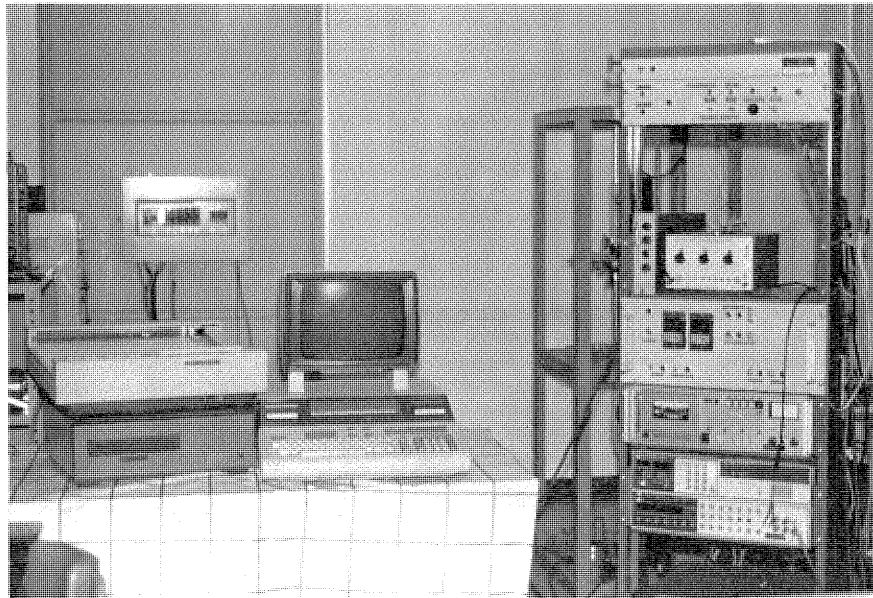


図2-5-10 超高温熱物性測定装置



静翼の開発である。

このうち、セラミックス・金属かん合型燃焼器の研究開発はムーンライト計画の一環として実施しているもので、図2-5-9に試作した100型超高温燃焼器の概要を示す。図からわかるように、燃焼器は高負荷燃焼が行われる内筒部とガスタービンに接続される尾筒部とから成っており、その外周は燃焼用空気および冷却用空気が流れる外筒部で構成されている。内筒と尾筒の外周接続部には流量調節用孔を設け、それぞれの金属温度の制御が行えるようになっている。

内筒断面は正八角形であり、常圧焼結炭化珪素が使用されている。尾筒に同一材質のセラミックタイルが使用されているが、ガス側表面にはフィルム冷却層が構成される構造を採用している。その他、常圧焼結窒化珪素およびホットプレス窒化珪素による尾筒部品を設計製作し、複雑精密部品の製作が可能であることを実証した。

さらに燃焼試験の結果、セラミックス・金属かん合型燃焼器は十分な耐熱性能を有することが明らかとなり、また、新しく考案したセラミックスの防振対策が局度の燃焼振動に対しても有効であることが実証された。今後はセラミックタイルの長期耐久性および実用高負荷燃焼方式の確立を目指

すと共に、静翼への適用性について検討する予定である。

また、セラミックスと金属との間の熱伝達およびセラミックスのプラズマコーティングによる熱遮蔽効果など基礎的な研究についても二次元高温噴流発生装置を用いて検討を始めている。

一方、ニューセラミックスの登場と共に重要な鍵を握るのが諸機器の設計に必要な超高温域の熱物性である。現在の所、1,000℃以上の熱物性、特に比熱、熱伝導率などの値は、ほとんど計測されておらず、あってもバラツキが非常に大きい。これは高温になると、ふく射による誤差の算定と温度の計測方法が難しくなるためである。

このようなことから当所では超高温部材の熱物性測定法の開発を目的として図2-5-10に示すような測定およびデータ処理の自動化を図ったステップ加熱法による超高温熱物性測定装置を試作した。本装置は1,800℃の設計であるが、現状では精度的に1,500℃までの測定を可能にしている。現在、ガスタービン動静翼材(金属)の実験を終了し、セラミックスあるいは耐火断熱レンガの熱物性測定を鋭意実施し、設計基準の確立に努めている。

(石川 浩)

2-5-6 接触燃焼

現在、火力発電所においては、燃焼装置からの窒素酸化物(NO_x)の低減対策として、二段燃焼法などの燃焼方式の改良、低 NO_x バーナーの採用など燃焼設備の改造を実施している。しかし接触燃焼法によれば、さらにサーマル NO_x (サーマル NO_x : 空中の窒素が燃焼時に酸化して発生する窒素酸化物)の生成を抑制できる可能性がある。

接触燃焼法は、通常の炎燃焼方式と異なり適当な触媒の存在下でLNG、NGL、LPG、ナフサあるいは灯油など容易に酸化し得る燃料を無炎燃焼させる方式である。基本原理を図2-5-11に示す。触媒を内蔵した燃焼器に燃料と空気の混合気を送入し、所定温度以上に加熱された触媒の酸化促進作用によって触媒表面で炎を出さずに完全燃焼を行わせる。

この方式は炎燃焼と比較して、

1. 点火源なしで低温度で完全燃焼が可能
2. サーマル NO_x の生成は微量
3. 一酸化炭素(CO)や炭化水素などの未燃分の生成は微量
4. 燃料ガス濃度数百ppmから燃料/空気比が理論値までの広範囲で安定燃焼が可能

図2-5-11 接触燃焼法の基本原理

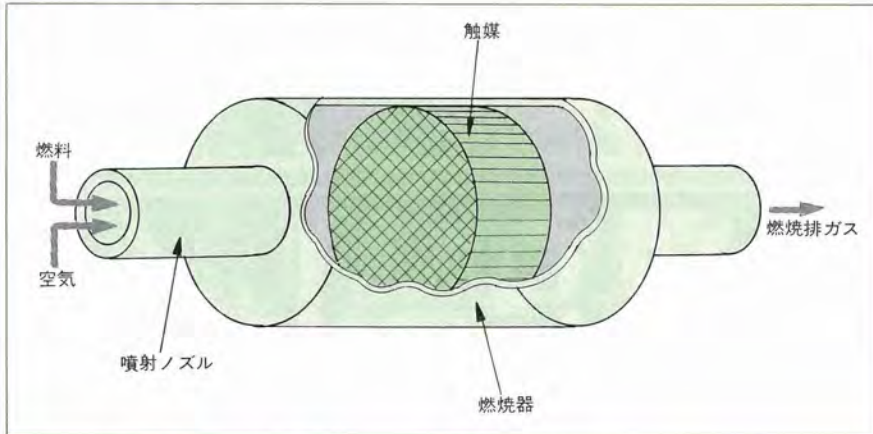


図2-5-12 接触燃焼実験装置系統図

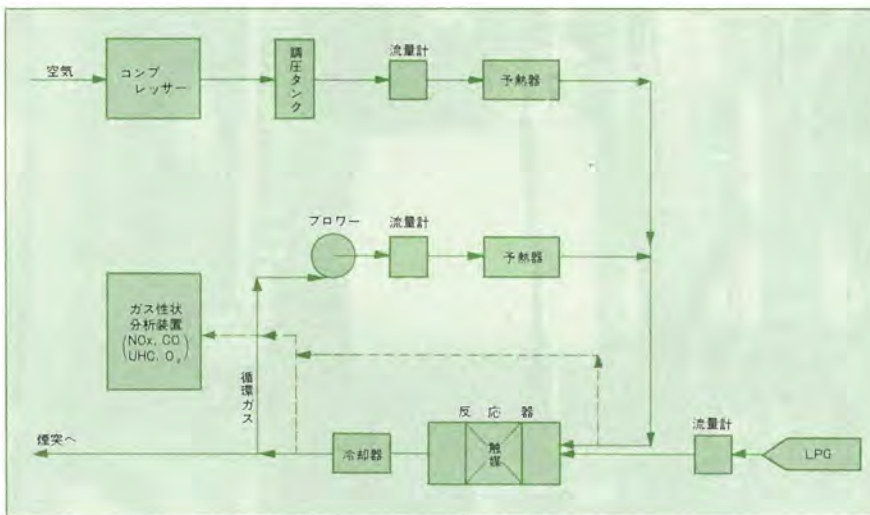
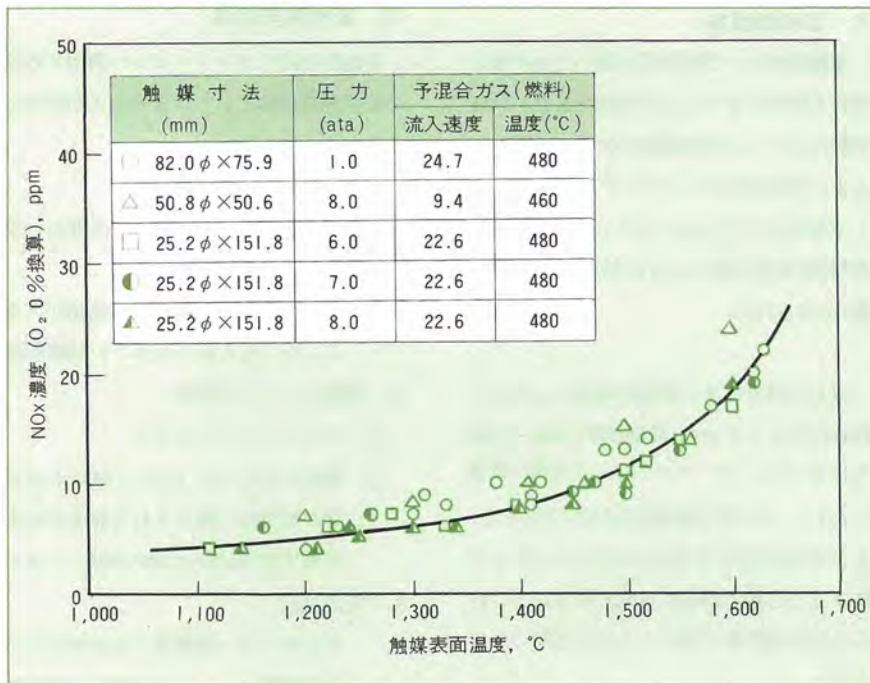


図2-5-13 サーマル NOx の生成



5. 局部的に高温になることが多い
などの長所があり、新しい低 NOx 燃焼法として近年各国で注目されるようになった。

低・中温度域での接触燃焼法は、既に脱臭装置や家庭用暖房器などに採用されている。しかし、高温度域での接触燃焼法の研究開発は、発電用、自動車用および航空機用のガスタービンやボイラへの適用を目標として米国において始められたばかりである。

当所では、発電用ガスタービンおよびボイラの燃焼装置への高温接触燃焼法の適用を目標に、昭和54年度より高温接触燃焼法についての実験研究に着手した。

I. 実験装置と実験方法

図2-5-12に実験装置を示す。常圧条件下と加圧条件下の両方が出来るもので、ブロワーまたはコンプレッサー、接触反応器、排ガス冷却器および排ガス性状分析装置からなっている。

ブロワーまたはコンプレッサーからの予熱された空気とボンベからのプロパン燃料とが混合されて予混合気を形成する。この予混合気は触媒を内蔵した反応器に送入され、予混合気中のプロパン燃料が反応器中の触媒の酸化促進作用によって無炎燃焼される。燃焼温度は燃料と空気との混合比によって容易に調節される。

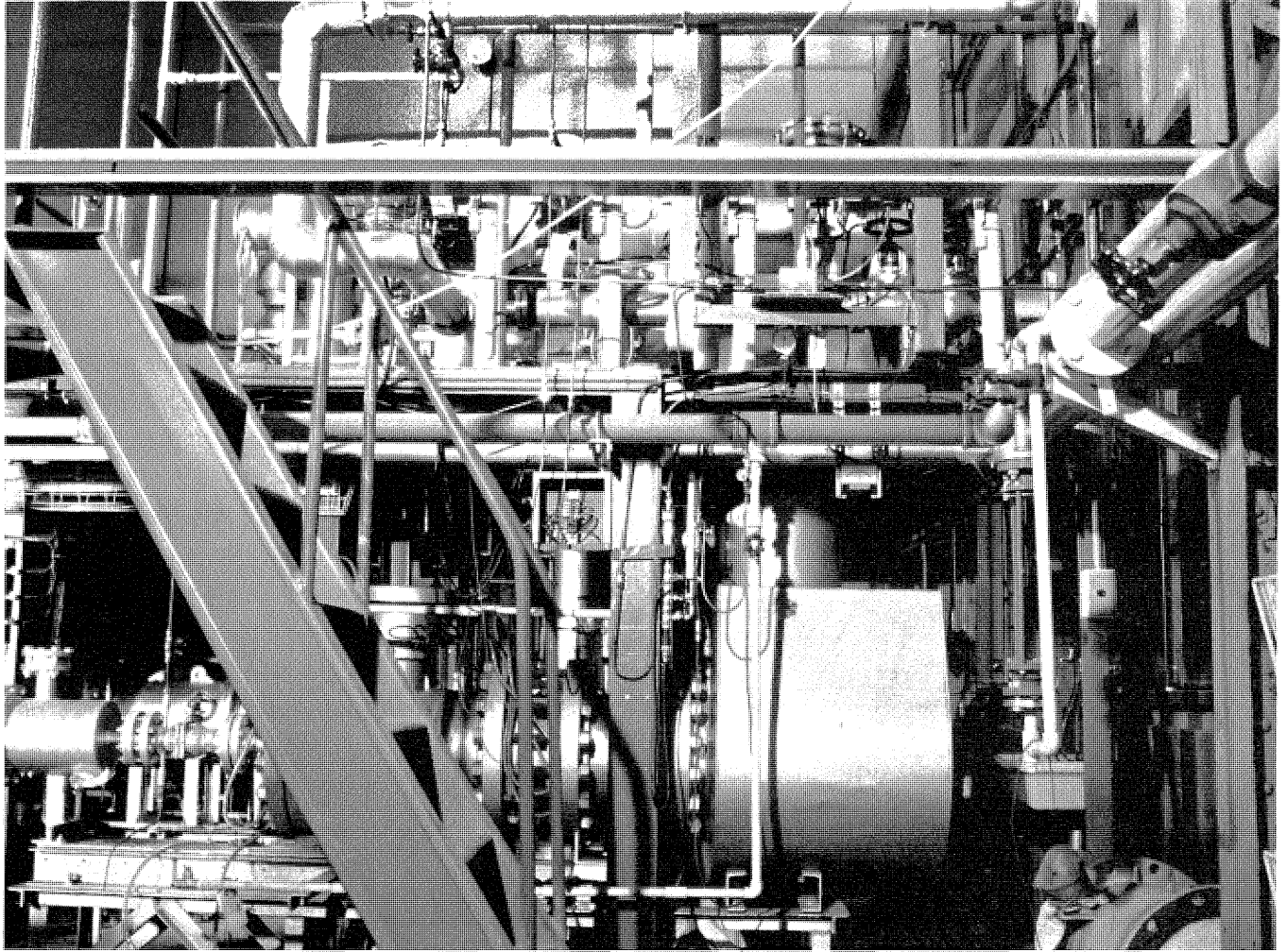
燃焼前後のガス温度および触媒表面温度は白金熱電対およびクロメル・アルメル熱電対によって測定し、燃焼排ガス中の NOx、未燃炭化水素(UHC)および CO はそれぞれ赤外線吸収法分析装置によって、また、酸素(O₂)は磁気式分析装置によって測定した。

触媒は2.8mmの正方形セルからなるハニカム型セラミックス担体に白金を担持させたものを用いた。

II. 実験結果

1. サーマル NOx の生成

図2-5-13に示すように、1~8 ata における NOx 生成濃度(O₂ 0%換算濃度)は燃焼圧力によってほとんど影響されずに、触



媒表面温度1,300℃で6～8冊、1,400℃で8～10冊、1,500℃で10～15冊、1,600℃で17～20冊程度であり微量であった。

2. 未燃炭化水素と一酸化炭素の生成

UHCおよびCOのいずれも触媒表面温度900～1,100℃で若干量生成するものの1,100℃以上では検出されなかった。

しかし900℃以下では増加する傾向にあった。

3. 燃焼温度

所定温度に予熱された触媒層に燃料と空気との予混合気を流通させることにより、無炎燃焼を継続でき、燃焼温度は燃料と空気の混合比および空気予熱温度を変化させることにより調節が可能であった。

4. 容積燃焼率

接触燃焼は、燃焼速度が速いため多量の燃料を燃焼させることが可能であり、常圧実験において、燃焼温度1,500℃、空気比2.0および空間速度(SV)83×10⁴ m³/m³hの条件下で最高137×10⁶ kcal/h m³-catの容積燃焼率(触媒単位容積あたりの燃料の燃焼可能量)が得られた。

以上の結果により接触燃焼法によれば、燃焼圧力1～8 ata、燃焼温度1,000～1,600℃において、サーマルNO_xの生成は微量であり、かつ完全燃焼が可能であること、また燃焼温度は空気比を変化させることにより容易に調節が可能であること、さらに容積燃焼率が高いことなどが明らかにされた。

IV. 研究開発課題

接触燃焼法をガスタービンへ適用する際の研究開発課題としてつぎのことが挙げられる。

1. 触媒の開発

(i) 常用1,300～1,500℃で高活性かつ長寿命触媒

(ii) 触媒単位容積あたりの燃焼量が大きく、かつ圧力損失の小さい触媒形状

2. 燃焼システムの開発

(i) ガスタービンシステム

(ii) 燃料NO_x(Fuel NO_x: 燃料中の窒素が燃焼時に酸化されて発生する窒素酸化物)低減のための燃焼システム

3. 実証試験

ガスタービン燃焼器への応用による実証実験 (小野 達雄)●

関連報告書等

2-1

1. 水谷他「石炭ガス化複合発電に関する当面の研究課題」調査報告：280062
2. 深田他「高温ガスタービン翼水冷却技術」研究報告：279058
3. 渡辺他「重専ボイラ用高温電気集じん器の集じん性能(その1)」研究報告：279004(1979.8)
4. 渡辺他「重専ボイラ用高温電気集じん器の集じん性能(その2)」研究報告：280020(1980.12)
5. 渡辺他「重専ボイラ用高温電気集じん器の集じん性能(その3)」研究報告
6. 永山他「粒子充填層集じんの静電効果について」研究報告：277061
7. 永山他「2段荷電粒子充填層集じん器の性能(その1)」研究報告：280032
8. 永山他「2段荷電粒子充填層集じん器の性能(その2)」
9. 高成他「重質油ガス化脱硫—炭酸カリ溶液による硫化水素、炭酸ガスの高温吸収ならびに吸収液再生の検討—」研究報告：275043(1976.6)
10. 高成他「重質油ガス化脱硫—マンガン鉱石による高温脱硫・再生反応の検討—」(1978.8)

2-2

1. 燃料電池共同研究委員会「燃料電池発電システム実験装置仕様の検討」調査資料：177002(1977.9)
2. 燃料電池共同研究委員会「燃料電池発電システム実験装置の開発と実証(その1)—基本特性の検証—」調査資料：178001(1978.9)
3. 燃料電池共同研究委員会「燃料電池発電システム実験装置の開発と実証(その2)—配電システムでの運転特性—」調査資料：178011(1979.2)
4. 燃料電池共同研究委員会「燃料電池発電システムの実験装置の開発と実証(その3)—反応ガス供給系の制御特性および保護特性—」調査資料：179006(1980.1)
5. 燃料電池共同研究委員会「燃料電池発電システムの実験装置の開発と実証(その4)—インバータ制御特性と電力システムでの運転特性—」調査資料：179013(1980.3)

6. 燃料電池共同研究委員会「燃料電池発電システムの検討(第1報)」調査資料：178003(1978.11)
7. 燃料電池共同研究委員会「燃料電池発電システムの検討(第2報)—ビル用燃料電池発電所の概念設計—」調査資料：179001(1979.6)
8. 燃料電池共同研究委員会「燃料電池発電システムの検討」研究報告：178076(1979.6)
9. 燃料電池共同研究委員会「燃料電池発電システムの検討(第3報)—ビル用燃料電池発電所の概念設計II—」調査資料：179012(1980.3)
10. 燃料電池共同研究委員会「ビル用燃料電池発電所の概念設計」研究報告：180039(1981.6)

2-3

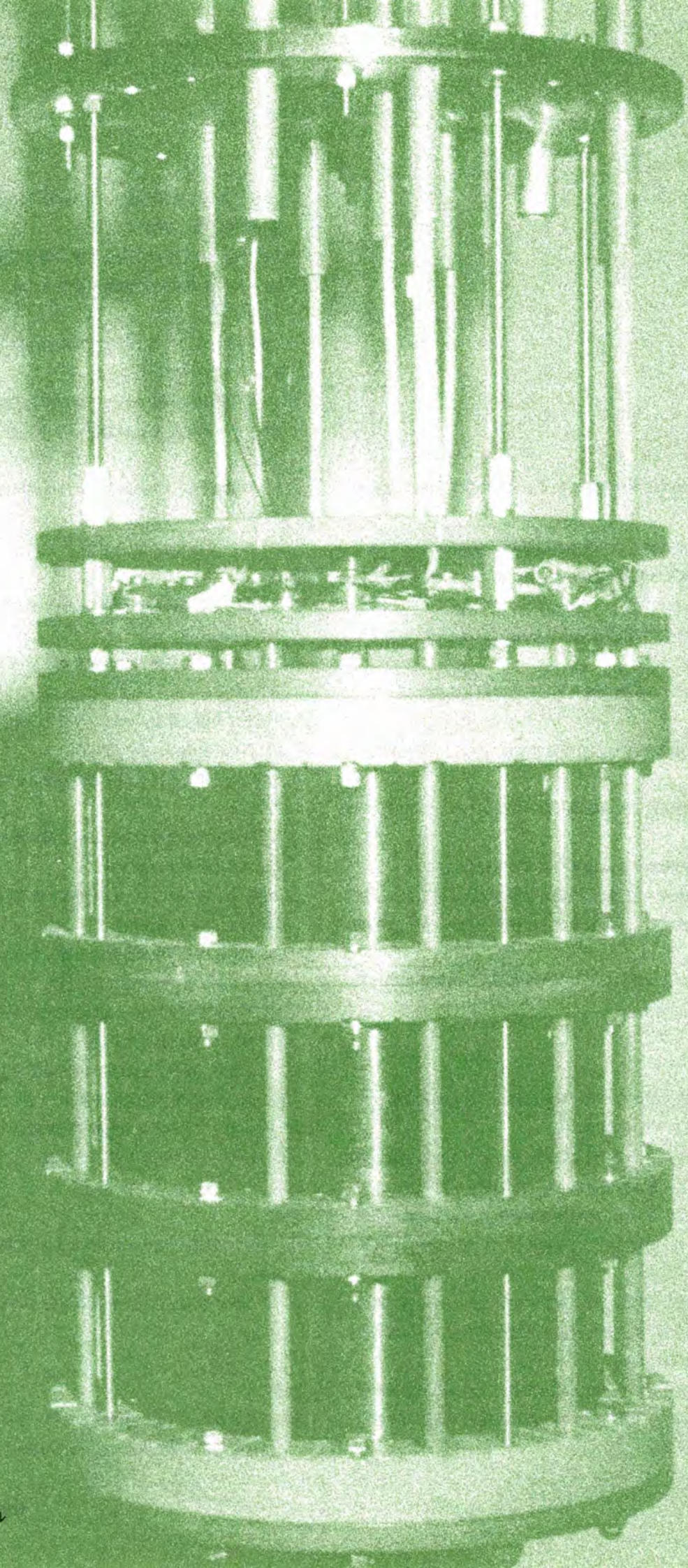
1. 中村他「太陽発電の一概念設計と電力システムへの適用」調査報告：175010(1975.9)
2. 滝川他「電力システムと太陽電池の連系(その1)」研究報告：177063(1978.6)
3. 電研「太陽光発電システムの研究開発」昭和53年度サンシャイン計画委託研究報告書(1979.3)
4. 滝川他「電力システムと太陽電池の連系(その2)」研究報告：179005(1979.9)
5. 電研「太陽光発電システムの研究開発」昭和54年度サンシャイン計画委託研究報告書(1980.3)
6. 電研「太陽エネルギー技術研究開発(周辺技術の開発)」昭和55年度NEDO委託業務報告書(1981.3)
7. 新エネ機構「集中型太陽光発電システムの開発」昭和55年度サンシャイン計画委託研究報告書(1981.3)
8. 電研「太陽エネルギー技術研究開発(周辺技術の開発)」昭和56年度NEDO委託業務成果報告書(1982.3)
9. 東京電力、電研「分散配置形光発電システムの開発」昭和56年度NEDO委託業務成果報告書(1982.3)
10. 四国電力、電研「集中配置形光発電システムの開発」昭和56年度NEDO委託業務成果報告書(1982.3)

2-4

1. 電研「昭和55年度トータルシステム研究再委託研究成果説明書」(1981.4)
2. 辻「需給運用からみた最適電源構成(その2)」研究報告：179063(1979)

2-5

1. 深田「高温ガスタービン動翼冷却に関する一考察—縦横比を有する短形冷却孔内熱伝達に関する理論解析—」研究報告：279057



電力貯蔵実験用超電導コイル

第  章



基础研究

第3章 基本研究 ● 目次

3-1 新エネルギー技術	77
3-1-1 緒論と結論	
3-1-2 石炭等の液化化	
3-1-3 深部地熱・高温岩体発電	
3-1-4 蒸気貯蔵	
3-1-5 その他（海洋発電、風力発電、バイオマス、核融合発電、超電導コイルによる電力貯蔵）	
3-2 省エネルギー技術	89
3-2-1 緒論と結論	
3-2-2 極低温送電	
3-2-3 超電導電力機器	
3-2-4 複合発電プラントの運用合理化	
3-3 新・省エネルギー技術の総合評価	100
3-3-1 緒論と結論	
3-3-2 新エネルギー技術評価手法の開発	
3-3-3 新・省エネルギーを含む電源構成	

執筆者紹介：（ ）内は担当箇所、順不同

紀村 均：エネルギー技術開発本部 新エネルギー技術開発部 コーディネーター(3-1, 3-2編集担当, 3-1-1, 3-1-5, 3-2-1)

石森 岐洋：エネルギー・環境技術研究所 環境化学部(3-1-2)

菊地 宏吉：土木技術研究所 調査役(3-1-3)

浜松 照秀：エネルギー・環境技術研究所 機械部 伝熱流動研究室(3-1-4)

鈴木 晴之：エネルギー・環境技術研究所 調査役(3-1-5)

駒林 理一：エネルギー・環境技術研究所 環境大気部 大気拡散研究室(3-1-5)

吉野 昭朗：赤城試験センター 副所長(3-1-5)

鈴木 俊男：電力技術研究所 系統絶縁部 放電研究室 室長(3-1-5)

秋田 調：電力技術研究所 新発電特別研究室(3-1-5)

深川 裕正：電力技術研究所 送配電部 地中送電研究室 室長(3-2-2)

植田 清隆：電力技術研究所 電力システム部 電力回路研究室 室長(3-2-3)

北見 恒雄：エネルギー・環境技術研究所 高効率複合発電特別研究室(3-2-4)

矢島 昭：経済研究所 副所長(3-3編集担当, 3-3-1)

斉藤 雄志：経済研究所 電力経済部 エネルギー・システム研究室 室長(3-3-2)

上之菌 博：電力技術研究所 副所長(3-3-3)

3-1 新エネルギー技術

担当●エネルギー技術開発本部 新エネルギー技術開発部 コーディネーター 紀村 均

電源の多様化や有効利用の観点から、プロジェクト研究のほかに、石炭の液状化、自然エネルギーの利用、エネルギー貯蔵、核融合発電などについて基盤的な研究をしている。

石炭の液状化は石油同様の利便性と環境保全性をねらうものであるが、液化は経済性が大きな問題となる。当所では電気事業における石炭液化の技術評価の一つとして、SOM(溶剤抽出精製炭と重油の混合液化油)が重油なみに安定した燃焼をすることを実証した。今後は他種の石炭液化油の燃焼特性を明らかにする。

自然エネルギーのひとつである地熱は賦存量からみて、我が国では、開発に価する貴重なエネルギー資源と考えられる。これまでに地熱源探査技術について、種々の検討を行ってきたが、今後は特に深部地熱の開発、さらには高温岩体発電の技術的可能性を中心として、電気事業としての評価技術を検討していく。

大容量火力発電所や原子力発電所は負荷変動に 대응することは一般に困難であるが、蒸気貯蔵装置を用いれば、これらプラントを一定運転しながら負荷変動に 対応させることができるので、蒸気貯蔵発電に関するフィージビリティ・スタディを行っている。そのほか、海洋・風力発電、バイオマス、核融合発電、超電導コイルによる電力貯蔵などについて、将来の電源の多様化と有効利用に備え、基礎的な調査研究を行っている。



期待される石炭の液状化技術

3-1-1 結論と結論

我が国のエネルギー供給構造を長期的に考えると、原子力発電の強力な推進と、石炭および自然エネルギーの利用を加速化しなければならないことは誰もが認めるところである。

その目的に沿って、当所では第2章で述べたような大型プロジェクト研究を強力に推進すると共に、

その他、新エネルギー技術が期待される分野として、

- I. 石炭等の液化化
- II. 深部地熱・高温岩体発電
- III. 蒸気貯蔵
- IV. その他、(海洋・風力発電、バイオマス、核融合発電、超電導コイルによる電力貯蔵)

などを基本研究として取り上げている。いずれも基本研究としてスタート後まだ日も浅いが、これまでに得られた成果をまとめてみると次の通りである。

I. 石炭等の液化化

石炭液化の目的は、石炭を原料として、石油同様の利便性と環境汚染の少ない液体燃料を得ようとするもので、これが経済的に見合うようになれば、発電用燃料として既設の重油ボイラに使用できるなどの大きなメリットもある。

そのため当所では、基本研究の開始と同時に、世界における研究開発状況の情報集収とその分析、各種液化方式の原理・特徴などの基礎調査を進めた。その結果の一つとして、現在世界で研究開発中の液化プラントがどの方式の液化技術を用いているかを明らかにした。多くのプラントが経済性をねらって直接液化法を用いているが、引き続き、さらに詳細な調査検討を行う予定である。

また、EPRI(米国電力研究所)との共同研究でSOM(精製炭と重油の混合液化油)の燃焼試験を行い、重油なみの安定した燃焼が得られることを明らかにした。引き続

きEPRIとの共同研究として他種の石炭液化油の燃焼試験を実施していく予定である。

II. 深部地熱・高温岩体発電

我が国の深部地熱エネルギーと高温岩体エネルギーの賦存量は、発電量換算で共に約5,000億kWh/年と言われ極めて豊富な石油代替エネルギーとなり得る。しかし、これらを有効利用するには、まず、その探査および評価技術の開発が必要であり、当所では評価技術の開発を主目的とした基本研究を行っている。

先ず、世界における関連研究の基礎調査を進めるとともに電気事業の地熱開発に関連した地質調査や環境調査などに協力し、最近になって地熱源の評価に必要な探査技術の基本検討に入り、サンシャイン計画で実施されている岩体破碎実験や関西電力の高温岩体フィジビリティ研究に参加協力した。これまでに得た主な結果は、当所が保有する鉱床探査技術のうち、変質帯調査、水銀法調査など5種類の調査方法の有効性を認めたことであり、今後はこれら調査法の組織化を図り、国や電気事業の実験に協力しながら評価技術の開発を進める計画である。

III. 蒸気貯蔵発電

原子力発電には小回りが効かない(負荷変動に連応できない)欠点があり、今後原子力発電設備が増えるに従って負荷変動に応じた省エネルギー効果の上る系統運用が困難になるものと予想される。そこで当所では、小回りの効くピーク負荷用電源の一つとして蒸気貯蔵発電に着目し、基本研究に着手した。

この構想は石炭火力や原子力発電所で夜間に発生した蒸気の一部を貯えておき、昼間のピーク時に活用しようとするもので、これまでの研究では、技術的障壁が少ないこと、効率的立地が望めること、などを確かめ、また500MWの超臨界圧石炭火力発電所へ100MWの蒸気貯蔵発電設備を併設したモデルの技術検討を行い、これによって石

油火力なみの運用が出来ること、などが分った。今後は、原子力発電所へ蒸気貯蔵発電を併設した場合の評価や、実際の運用技術などの研究を進める予定である。

IV. その他

以上の基本研究の外、長期的観点に立つて

1. 海洋・風力発電、2. バイオマス、3. 核融合発電、4. 超電導コイルによる電力貯蔵、などの研究を実施しており、それぞれ次のような成果を得ている。

1.(i)海洋発電

波力、温度差など5種類の海洋エネルギーを発電に利用する場合の評価を行い、温度差方式が優れていることを明らかにし、今後はソーラー・ポンド(蓄熱池)を組み込んだ方式の経済性などを検討する予定である。

(ii)風力発電

風力発電に関する基礎調査と並行して、ダリウス・マグヌス風車の模型実験を行い、その特徴を明らかにした、引き続きシラウド(風力増強装置)を持つウエルズ型風車の風洞実験を行う。

2. バイオマス

我が国のバイオマスエネルギーは有機廃棄物を含めて、 33×10^6 kl(石油換算)であると推計した。引き続き、これらエネルギーの利用システムの検討などを行う。

3. 核融合発電

世界における核融合研究開発状況を調査し、日本や米国などにおいて、核融合反応が起きることを物理的に実証される日が近い(1985年前後)ことの予測などを行った。今後は近いうちに工学研究段階に入ることを前提とした調査や研究を行う。

4. 超電導コイル

世界における研究開発状況の調査と並行して、エネルギー貯蔵容量100kJ(電力30Wh相当)の実験装置により、電力系統安定化の実験を行い、動揺の抑制効果が大きいことを認めた。引き続きシミュレーション研究を行う。

(紀村 均)

3-1-2 石炭等の液化化

現在主要工業先進国において、エネルギー供給源の分散多様化との観点より様々な新エネルギー開発研究が行われているが、当面の現実的な石油代替エネルギーの主役として原子力とともに石炭が脚光を浴びている。

石炭を発電用燃料として使用する場合、石油系燃料と比較して次の様なデメリットがある。

1. 固体であるため輸送、貯蔵、燃焼等における取扱いが煩雑である。
2. 重油に比較し、硫黄、窒素、灰等の公害物質を多く含み公害防止設備費が高む。
3. 石炭燃焼後生ずる大量の灰の処理が必要である。

上記石炭のデメリットを解消することを目的として、石炭液化研究が国内外で精力的に行われている。石炭を発電に利用する技術としてはガス化なども考えられているが、その場合でも輸送や貯蔵には多くの問題があり、これが一度に解決できる石炭液

状化の研究は、様々な石炭新利用研究の中でも最も重要なものの一つである。

そこで、本基本研究では石炭液化技術を中心に、石炭を発電用の液体燃料に転換する技術について、広範囲な調査研究や検討を行うことにした。

これまでに行った研究は、石炭の液化化技術についての基礎研究と、世界で研究開発中の石炭液化プラントについての状況調査、および EPRI との共同研究として行った SOM の燃焼試験などである。

図3-1-1は石炭液化化技術を系統的に分類したもので、以下はその技術の内容と、世界の研究開発状況の概念を述べるものである。

I. 石炭の間接液化

石炭液化技術は、直接液化方式と間接液化方式とに大別される。間接方式は、石炭をガス化して一酸化炭素(CO)と水素(H₂)との合成ガスを製造し、これを原料として液状物質を合成する液化法である。この方式には、Fischer-Tropsch(F-T)法による

炭化水素合成、ICI 法などによるメタノール合成、さらにメタノールからガソリンを合成する方法(Mobil 法)などがある。

このような間接液化化は、熱効率の低いことや経済性に問題があるとされているが、硫黄、窒素、灰等を含まない極めてクリーンな燃料が得られるという長所がある。既に南アフリカ共和国においては、F-T 合成法による SASOL-I および SASOL-II プラントが、またメタノール合成法による AECI プラントが商業レベルで運転されている。しかしながら、これらの商業プラントは、南ア政府の石炭保護政策、低廉な石炭と人件費など特殊な政治条件下で実現したものである点に留意する必要がある。

石炭の間接液化化で最も重要な技術は石炭のガス化技術であり、当所ではこの課題を大型総合研究「石炭ガス化複合発電」の中で検討している。

II. 石炭の直接液化

石炭の直接液化化方式は、石炭を、熱分解と水素化分解の両方(2つの分解法を組み

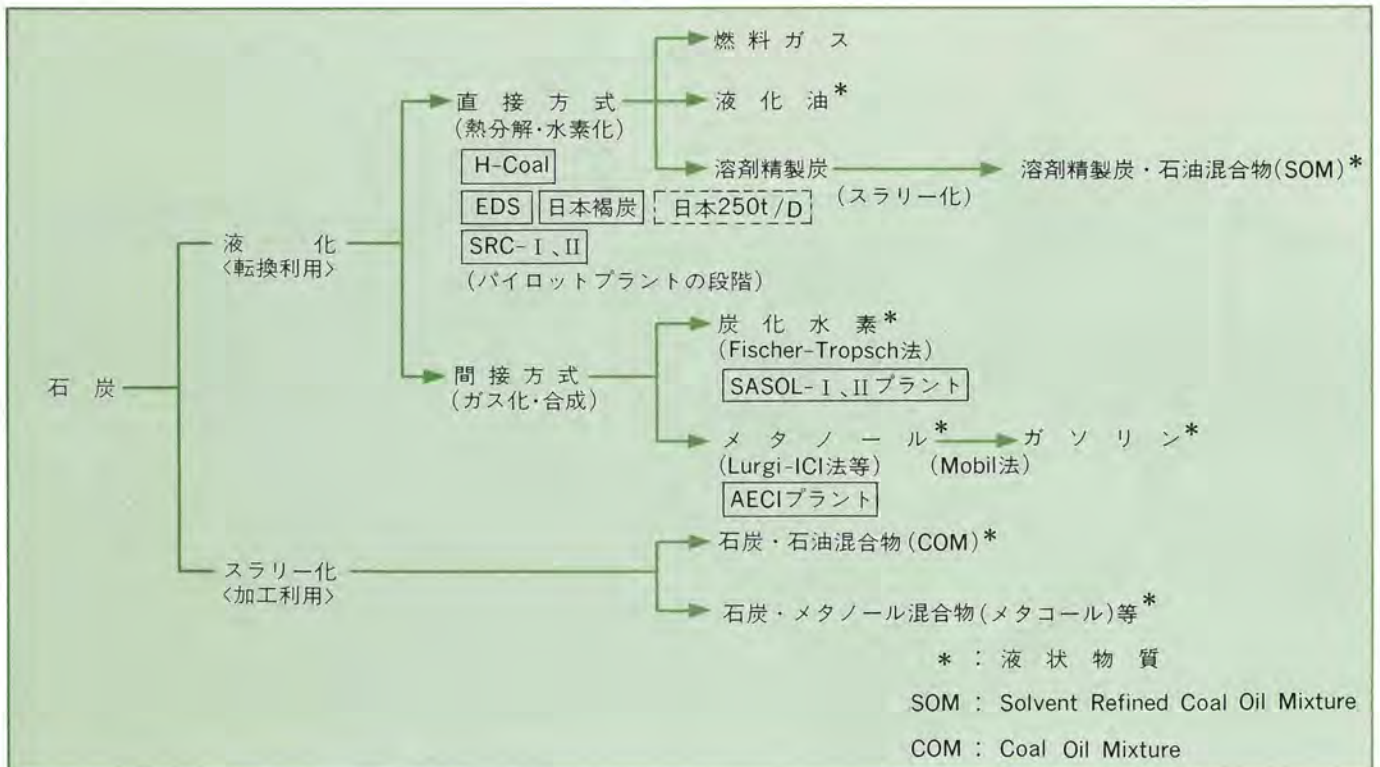


図3-1-1 石炭等の液化化技術の分類

合わせた低分子化反応)で液化油に転換する方式である。石炭は構造化学的に不均質であるため、液化の際、図3-1-1に示すような液化油とともにガスおよび溶剤精製炭(SRC, Solvent Refined Coal, 固体)が生成される。

現在工業先進国における石炭液化プロセスの研究開発は、経済性を最優先する立場で実施されており、経済性の上るプロセスとして液化するための温度と圧力を出来るだけ下げる方向で開発が進められている。

石炭の直接液化方式を用いた研究開発は、既に大型パイロットプラントの運転段階にあり、Hydrocarbon Res. Inc.(米)を開発主体とする H-Coal プロセス(石炭処理規模600T/D)、Exxon Res. & Eng. Co.(米)の EDS(250T/D)、Pittsburg & Midway Co.(米)の SRC-I(50T/D)、SRC-II(30T/D)プロセスなどが国際的に注目されている。SRC-IIプロセスに関しては、実証プラント(6,000T/D)の建設・運転が米国、日本、西独の国際協力プロジェクトとなっ

ていたが米国政府の政策変更により中止となった。

日本においては、直接液化技術の研究開発が政府・民間協力で推進されており、日本褐炭液化(株)が豪州に50T/Dの液化プラントを建設中である。また、国内には4つの液化プロジェクトグループが中心となり、250T/D程度の液化プラントを建設する予定である。

当所においては、国内外の石炭液化パイロットプラントより得られる液化油および溶剤精製炭について、性状評価や品質改良法を検討するとともに、発電用燃料に適する石炭液化技術の評価を行っている。

すなわち EPRI との共同研究により、SOM(脱灰・脱硫黄石炭である溶剤精製炭と重油との混合液体燃料)の性状評価試験と燃焼試験を行い、SOM が重油なみの安定した燃料であることを明らかにした。

EPRI とは引き続き共同研究を行い、H-Coal や EDS プロセスで得られる石炭液化油についての性状評価と燃焼試験を行う

ことにしている。

なお、石炭液化の今後の技術課題としては、炭種に応じた最適液化条件の決定方法の確立、液化残渣処理技術等があげられるが、これらに対する当所の対応などは引き続き検討していくことにしている。

(石森 岐洋)

3-1-3 深部地熱・高温岩体発電

地熱資源は非枯渇性のエネルギー資源といわれ、国内に約200ヶ所の地熱地帯を有する我が国の地熱資源は、今後期待し得る国産エネルギー資源の1つである。このため、国はサンシャイン計画の一つとして深部地熱および高温岩体エネルギーに関する技術開発を推進中であり、地熱エネルギー全般について我が国の資源量の評価ならびに利用の可能性を大局的に把握しようとしている。代替エネルギーの急速な転換を迫られている電気事業としては、サンシャイン計画に協力するとともに電力供給者の立場で、

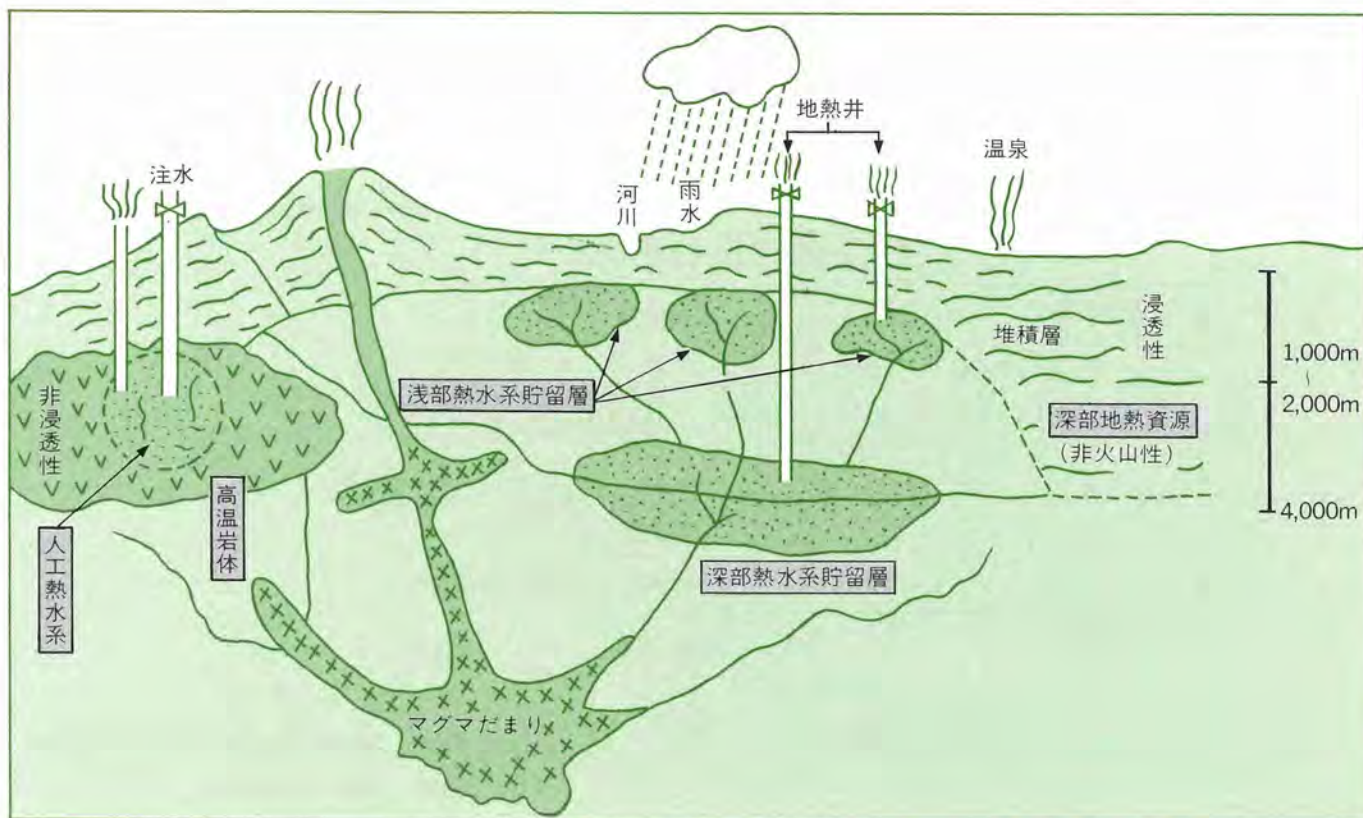


図3-1-2 地熱エネルギー賦存形態分類図

地熱発電の開発実用化について注目する必要がある。

そのため、当所では、深部地熱と高温岩体を利用する発電方式についての調査検討を開始した。本研究のねらいとしては、深部地熱や高温岩体の持っている地熱エネルギーの評価技術を確認することにあるが、研究の順序として関連技術の基礎調査と、世界の研究開発状況の調査から始めた。本稿はその調査結果の概要と、調査によって明らかとなった研究課題などについて述べるものである。

1. 地熱資源の種類

地熱資源の種類は天然熱水、高温岩体および深層熱水などに分類されるが、我が国における地熱資源は、このうちの天然熱水および高温岩体が主体になるものと考えられる(図3-1-2 参照)。

天然熱水は存在位置によって浅部熱水(地下2,000mより浅いもの)深部熱水(地下3,000~4,000m程度に存在するもの)に分類され、一般に深部熱水は浅部熱水に比較して高温高压である(図3-1-3 参照)。

高温岩体とは、高い温度を保有するが、地熱流体を持たない岩体のことで、この岩体を破碎し、人工注水によって、蒸気、または熱水を取り出し発電に利用するものである(図3-1-4 参照)。

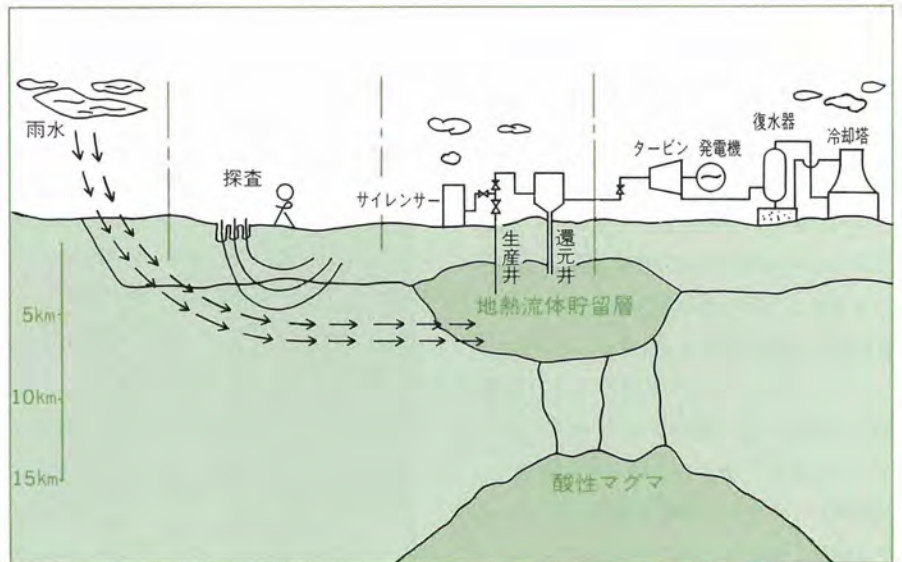


図3-1-3 大規模深部地熱発電

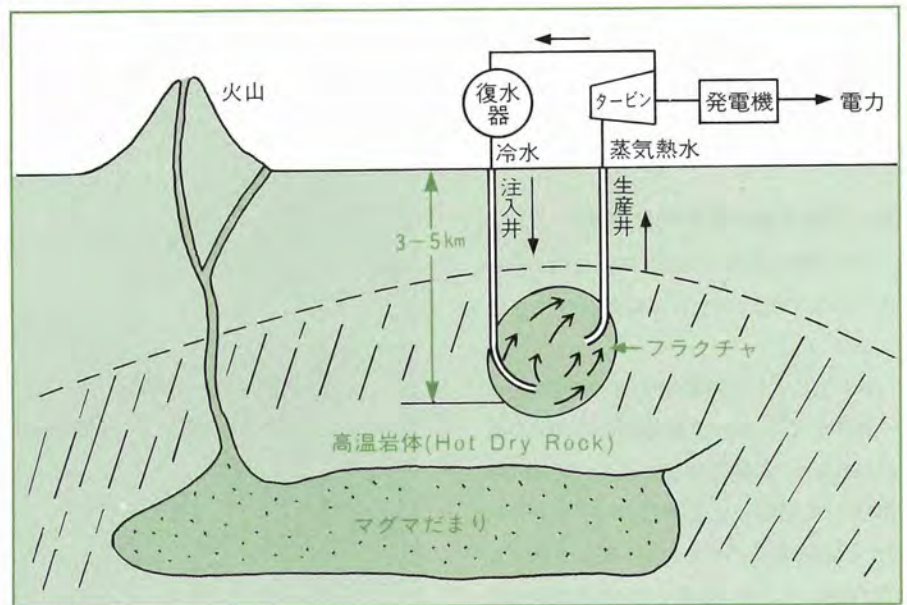


図3-1-4 高温岩体発電

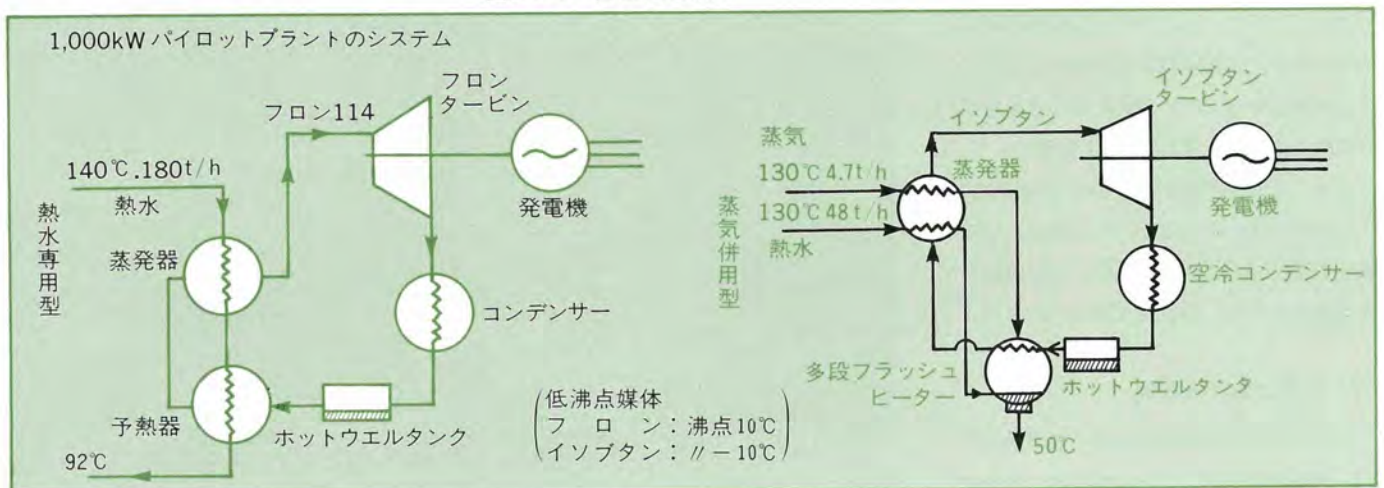


図3-1-5 バイナリー発電

表3-1-1 世界の地熱発電所

昭和54年10月現在

II. 発電方式

発電方式には蒸気発電方式、バイナリーサイクル発電方式およびトータルフロー発電方式がある。(図3-1-3～5参照)。

蒸気発電方式とは、坑井より噴出した蒸気あるいは熱水を汽水分離器によって減圧フラッシュさせ得られた蒸気によりタービンを駆動し発電する方式である。

バイナリーサイクル発電方式は、地熱熱水を熱源として、低沸媒体(R-114、イソブタン、フロン系ガス、過フッ化物等)と熱交換し、発生した媒体蒸気によりタービンを駆動し発電する方式である。

トータルフロー発電方式は地熱井より噴出する蒸気および熱水を分離することなく二相流のまま且つ不凝結ガスを含んだまま同一パイプで原動機へ導き発電する方式である。

III. 地熱発電の研究開発状況

地熱発電の開発は1905年に始まり、その後今日まで約1,420MWが開発されてきた(表3-1-1)。

我が国における地熱発電は大分県別府市における112KWの試験発電(1925年)が最初であるが、本格的な地熱発電は1966年(昭和41年)に完成した岩手県の松川地熱発電所(22MW)から始まる。その後、大岳、大沼、鬼首、八丁原、葛根田などの地熱発電所が次々に建設され、その総出力は約160MWに達している。さらに現在、北海道の森(50MW)においても建設が進められており、その総出力が200MWを越えることは時間の問題となっている(表3-1-2参照)。

これらの地熱発電所は、所謂“浅部地熱”を利用するものであるが、その深部には浅部よりもさらに大規模で高温、高圧の膨大な地熱エネルギーの賦存が期待されている。

IV. 当所における研究

当所においては、前述のような調査の外に、地熱発電に関して、資料調査、地熱地域の地質調査、環境調査などを通じて電気

国名	地区	既設発電所出力(千KW)	建設中又は計画中(千KW)
イタリア	ラルデレロ	187.0	
	セラファーノ	47.0	
	ラゴ	33.5	
	カステル・ヌオボ	50.0	
	その他	98.1	モンテアミアタ 25.0
	合計	417.6	25.0
ニュージーランド	ワイラケイ	192.6	フローランド 150.0
	カエラウ	10.0	
	合計	202.6	150.0
メキシコ	セロブリエート	150.0	セロブリエート 250.0
	合計	150.0	250.0
アメリカ	ガイザ	633.0	ガイザ 1,145.0
			ヒーバー 50.0
			バトルマウンテン 10.0
			グローリー 100.0
	合計	633.0	1,305.0
アイスランド	ナマハフル	3.0	ヘルギール 70.0
	クラフラ	60.0	
	合計	63.0	70.0
フランス			グブダグループ 30.0 (西印度諸島)
ケニア			ナイロビ 15.0
ソ連	バウジェック	5.0	バウジェック 95.0
	パラトンカ	(バイナリー) 0.7	クナシリ 6.0
	合計	5.7	アバンチンスカヤ 30.0
			131.0
台湾			馬槽 10.0
インド			ルツガバレー 50.0
インドネシア			カモヤン 30.0
			デイエイ 5.0
	合計		35.0
フィリピン	トンゴナン	3.0	ロスパニヨス 110.0
	ロスパニヨス	110.0	テイウイ 220.0
	テイウイ	110.0	
	合計	223.0	330.0
ニカラグア			モモトンボ 35.0
エルサルバドル	アウアテヤバン	61.3	アウアチャパン 35.0
チリー			エルタティオ 30.0
トルコ			ギジルデア 150.0
セントルシア			5.0
合計		1,756.2	2,656.0
その他	ギリシャ、エチオピア、ユーゴスラビア、中国、パナマ、ペルー、グアテマラ、コスタリカ、コロンビア等において探査中である。		

表3-1-2 我が国の地熱発電所

54年12月現在

	会社名	発電所名	所在地	出力(KW)	運開および運開予定
運 転 中	日本重化学工業(株)	松川	岩手県松尾村	22,000	41年10月
	九州電力(株)	大岳	大分県九重町	12,500	42年10月
	三菱金属(株)	大沼	秋田県八幡平村	10,000 (8,600)	49年 6月
	電源開発(株)	鬼首	宮城県鳴子町	12,500	50年 3月
	九州電力(株)	八丁原	大分県九重町	55,000	52年 6月
	日本重化学工業(株) 東北電力(株)	葛根田	岩手県雫石町	50,000	53年 5月
	小計			162,000	
建 設 中	道南地熱エネルギー(株) 北海道電力(株)	森	北海道森町	50,000	56年11月予定
	(株)杉乃井ホテル	杉乃井	大分県別府市	3,000	55年 3月予定
	合計			215,000	

注 出力欄の()は使用承認出力を示す。

事業に協力してきた。岩体破碎実験にも引き続き協力して、計測資料を集積し、以下にあげる当所の研究課題遂行に役立てる。

また各種電力施設の建設に対応して、深部地熱・高温岩体発電に関する研究の地質構造調査技術、地層・岩石の年代評価技術、リモートセンシング技術、さらには物理検層、地震波動解析技術または岩盤力学、地下水理現象などの技術開発を実施しており、これらを活かして、サンシャイン計画で実施している高温岩体破碎実験や関西電力(株)の高温岩体フィジビリティ研究に参加協力し、変質帯調査、水銀法調査、同位体調査、熱年代調査、リモートセンシング、などの鉱床検査技術が、深部地熱、高温岩体の構造調査に役立つ可能性を見つけた。引き続き上記調査法の適用性を組織的な現地計測をもとに検討する。

地熱開発においては、利用可能な地熱源の評価が一番難しい問題であり、また最も重要な課題でもある。また植生に対する環境問題も重要である。

そこで当所においては当面地熱源評価に関連する課題として、

1. 深部地熱源の構造解析技術の開発、
 2. 高温岩体の破碎性状の計測・評価技術の開発、
- などを進め、また環境保全については、

3. 植生への影響防止方法の研究を進めていくことにしている。

1.、2.については、前述のような各種の鉱床探査技術を網羅して、有効な方式の組み合わせにより、確度の高い技術の開発を進める計画である。(菊地 宏吉)

3-1-4 蒸気貯蔵発電

燃料の多様化と同時に、原子力を軸に硬直性の強い電源が主力として開発推進されつつある。この傾向は新型原子力を含む時代を対象とした超長期的な展望としても同様である。このような背景に対処する方策として、ピーク負荷用電源技術の開発が重要視されている。

蒸気貯蔵発電はこのニーズに沿うもので、石炭火力、原子力の機能を大幅に拡大し、設備運用形態の変化への対応を容易にするものである。当所は、蒸気貯蔵発電が基本的に蒸気プロセスで、新たな技術者の養成が不要で技術的受容性が高いこと、大きな技術的障壁が少ないこと、効率的立地が望めることなどに注目し、基礎研究で理論的裏付けを得てのち、昭和56年10月より大手メーカー2社との共同研究を行っている。

この共同研究ではニーズを理解している当所が中心になり、既存技術の応用と低コ

スト蒸気貯蔵容器の製造技術についてはメーカーが担当する形態を取っている。

本技術開発は新しい概念のものであると同時に、信頼性の高い現存技術の積み重ねであるため、現在、技術的、経済的評価を中心に次のような研究を進めている。

当面の主要研究課題

1. 大容量蒸気貯蔵発電
 - (i)システム構成
 - (ii)プラントの運転制御
 - (iii)要素機器(構成要素技術開発)
 - (iv)概念設計と経済性評価
 - (v)原子力用蒸気貯蔵発電評価研究
2. 石炭火力タービンバイパスシステムの蒸気回収システムと省エネルギー効果。
 - (i)省エネルギー効果と経済性
 - (ii)1.-iii)の蒸気貯蔵技術の確立

石炭火力における蒸気貯蔵発電は、夜間に親ユニットの高温再熱蒸気を貯蔵にまわして出力を大幅に抑制し、昼間の高負荷時にピークユニットで全体出力をアップするものである。これにより石炭火力全体を石油火力なみに運用できる。また、原子力における蒸気貯蔵発電は原子炉の出力を下げずに2次系主蒸気の一部(BWRは分岐し2次系を構成)を貯蔵にまわし、昼間にピーク発電するもので、原子力を中間負荷にも対応する役割を分担せしめる技術である。

石炭火力タービンバイパス蒸気回収システムは、石炭火力の起動停止時の蒸気を回収することにより、中間負荷用としての運用を省エネルギー的にも経済的にも可能ならしめるものである。

当所はこれまでに種々の基本システム、制御方法等について特許の共同出願(6件)を行い、500MW超臨界圧石炭火力ユニットをモデルとし、100MW蒸気貯蔵発電ユニットを併設した場合について具体的な技術検討を行ってきた。主な中間的成果としては以下のものが挙げられる。

I. 石炭火力+蒸気貯蔵発電

1. 高温再熱蒸気を貯蔵する方式で、貯蔵運転モード(最低運用負荷)の出力を定格の約30%減まで抑えることが基本的に可能である。また、昼間出力を実質7時間にわたり親ユニット定格の20%増とすることが運転モード上可能である。したがって石炭火力を石油火力なみに運用できる。
2. 貯蔵用蒸気(抽気)の過熱分エネルギー

を貯える高温蓄熱系は熱交換条件も考慮に入れて設計が充分可能であることがわかった。

3. ピーク発電ユニットの蒸気サイクルは再生サイクルより単純サイクルとするのが全体効率の面でもよい。(ピークユニット自体としては前者の熱効率がよい。)

4. 貯蔵抽気圧を一定、ピークタービン主蒸気定格圧力を蒸気貯蔵容器の空腹圧力に合せる単純な場合でも、貯蔵発電効率(揚水の入出力比に相当)を70~73%とし得ること、設計条件、運用を工夫することにより75%程度まで上げることがわかった。

II. 石炭火力タービンバイパス蒸気回収

1. 系統運用のニーズ、火力設備運用形態の変化に応えるために、石炭火力タービンバイパス(ボイラの起動を早める)蒸気を回収貯蔵し、通常運転時に給水加熱に利用するシステムは、大きな省エネルギー効果があり、経済的にも可能であることがわかった。
2. 回収蒸気の利用は低圧給水加熱器にカ

スケードに入れるのが比較的よい。

今後の研究方向としては、実的な運用における特性、大型型蒸気貯蔵容器の設計、製造技術の確立、高温蓄熱技術の開発、貯蔵発電効率80%以上が望める原子力における蒸気貯蔵発電技術の評価研究などを中心に加速的に推進する予定である。

(浜松 照秀)

3-1-5 その他

I. 海洋発電

海洋エネルギーについては、昭和44年度に通商産業省の指導により発足した「新発電方式総合調査委員会」の内で海洋温度差発電の取纏めを行ったのを契機とし、以後「資源調査会・海洋エネルギー小委員会」(海流発電)、「海洋科学技術センター・消波発電委員会」(波力発電)、「海洋産業研究会・沿岸波力発電システム委員会」等に参加し、海洋エネルギー開発について調査研究を行って来た。さらに昭和53年よりは関西電力㈱と共同で波流発電方式と呼ぶ波力発電技術について、水理学的な研究を行っている。また昭和57年度には近年各国で注目されつつある塩水利用の蓄熱池(ソーラボンド)について予備的研究に着手してい

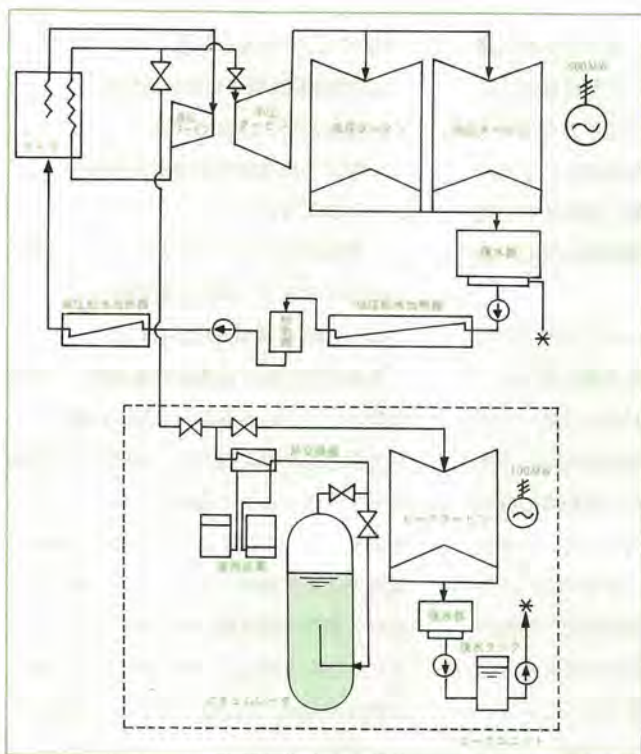


図3-1-6 石炭火力における蒸気貯蔵発電系統図

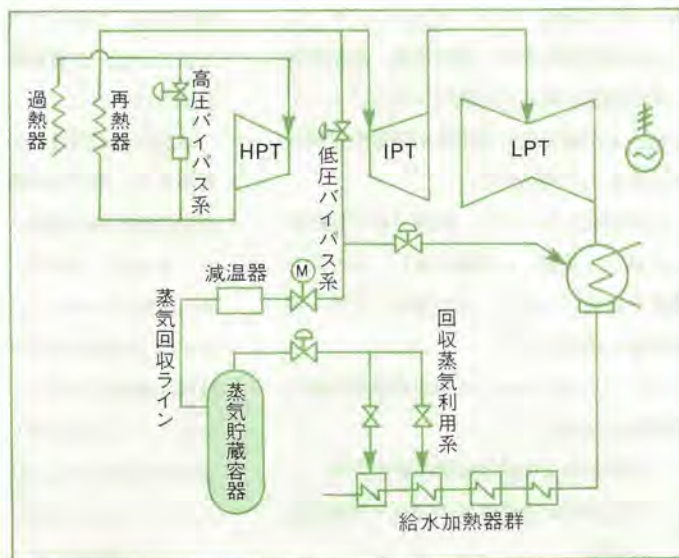


図3-1-7 石炭火力タービンバイパス蒸気回収システム

図3-1-8 電力システムと電力貯蔵発電

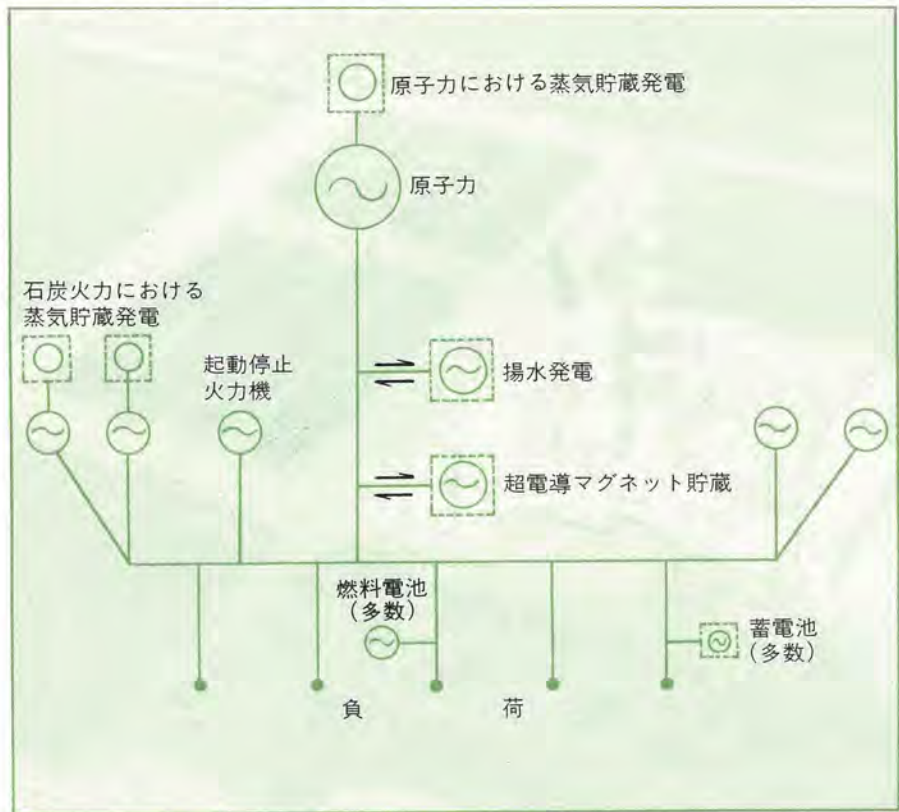


表3-1-3 各海洋エネルギーの得失

	波力	温度差	潮汐	海流	溶度差
賦存量	△	○	×	△	○
技術の現状	○	○	○	△	×
電力の質	×	○	×	△	○

る。
 一方昭和56年度には所内に「海洋エネルギー検討会」を設けて各種の海洋エネルギー利用の発電方式につき、技術の現状、利用上の特性等につき比較調査を進めている。表3-1-3は昭和56年度の調査結果を纏めたもので、我が国近海におけるエネルギーの量、技術開発の進展度、発生電力の品質などより総合的に判断すると、我が国において発電利用を目的とした海洋エネルギーの開発を考える場合には海洋温度差を最優先とし、ついで波力、海流の順に開発を考えて行くべきであると思われる。

海洋エネルギーはそのエネルギー密度が小さく利用適地が制約されることから、当

面はローカルな小規模電源としての開発利用に目標をおくのがよいと考えられるが、問題となるのはコストと得られる電力の品質である。昭和57年度には、海洋温度差の利用にソーラー・ポンドを組み込んだ方式による発電コスト低減の可能性と、出力変動の大きい波力発電の出力平滑化の可能性について検討する予定である。

(鈴木 晴之)

II. 風力発電

近年欧米では発電出力1,000kWを越える大型風車の建設が次々に行われているが、これ等の大型風車の利用が技術的に可能と

なる10年~20年先においては原子力、石炭、石油等の高密度エネルギーによる都市地域への電力供給はほぼ確立されていると考えられる。しかし都市型の大規模電力消費ではなく、離島やへき地等での中小規模の消費形態で、高密度エネルギーによる発・送電が困難な場合等風力発電がその価値を発揮する分野は広い。従って単に大型風車を開発することではなく、その利用形態に応じた中小規模の効率的な風車を開発することが必要と考えられる。

我が国の風力発電の開発は古くから行われているが中~大型機についてはその実績は少なく、1~5kWの小型機が数個の民間会社によって製造販売が行われる様になった段階であり、上記の目的を達成し且つ経済的にも成立つ風車システムを実現するには、未だ多くの問題を解決しなければならない。

当所では、まず本間によって発案されたグリウス・マグヌス型風車(中~大規模風車として有利な空力構造をもつ)の風洞実験を行った。この風車は自転、公転という2つの回転軸を持つため、空力構造上は好ましいが、振動が出やすい特性があることなどを確かめ、引き続き中~小規模の低風速用風車として、シュラウド(風力増強装置)を持つ風車(図3-1-10参照)の研究に着手した。これはシュラウドにより一様流風速を2倍近くまで増大させ、その中にウェルズ型(翼にねじれを持たないプロペラ型風車)風車を置き高速回転を得ようとするものである。この風車については現在風洞実験を行い、シュラウドの特性を検討中であり、将来プロペラ径6m出力20kW程度の実機を開発することを目標としている。

(駒林 理一)

III. バイオマス

ある地域に現存する生物体の総量をバイオマスというが、最近では植物質をエネルギーとして利用する場合にも使い、再生可能なエネルギーとして注目されている。

バイオマスは地域性、季節性による偏在

図3-1-9 石炭火力発電所に併設した蒸気貯蔵ユニットの予想図(円内)

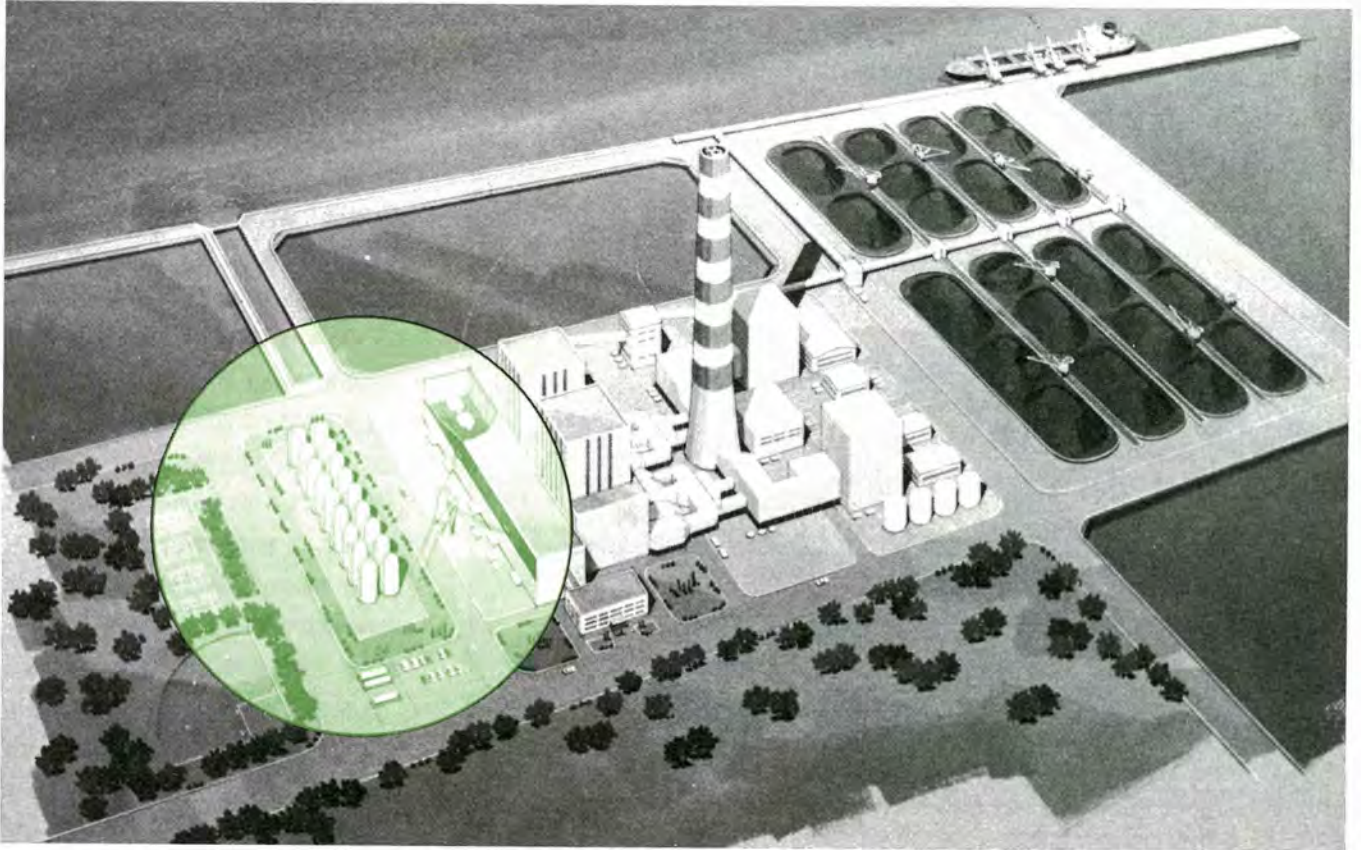
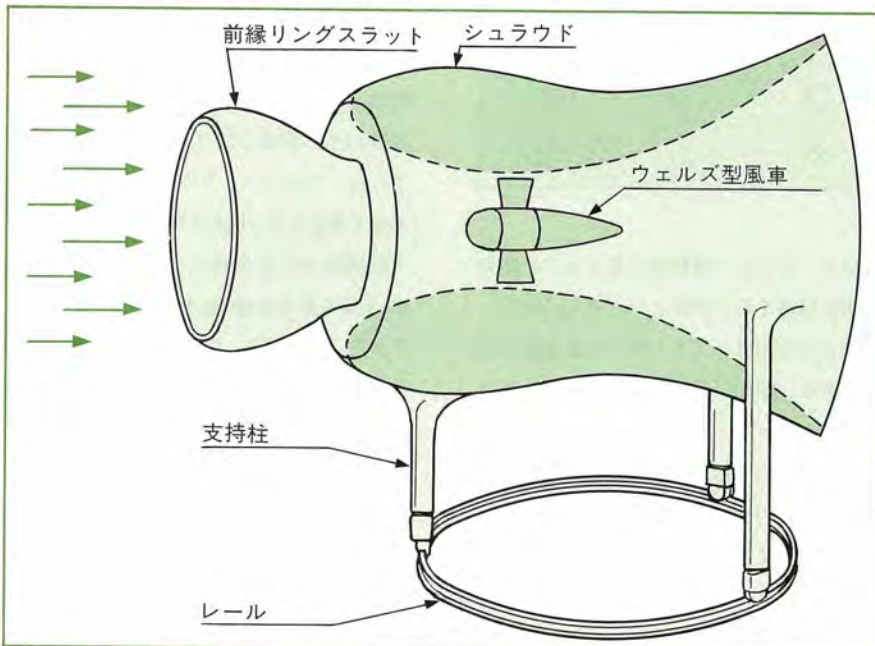


図3-1-10 シュラウド付風車の概念図



(石油換算)があり、バイオマスとしての利用可能量は廃棄物利用を含めて 33×10^6 kl(石油換算)と推計した。

バイオマスは利用し易い形態に変換する必要があり、

1. 発酵によるアルコール化、メタン化
2. テルペン類、油脂等の抽出
3. 熱分解によるガス化
4. 炭化および圧縮成形による固型燃料化
5. 生物作用による水素発生

などがあるが、大量生産、エネルギー収支、残さ物処理などの技術開発が必要である。

メタンは廃棄物の適切な処分と併せてエネルギー化されるため、発生効率向上および利用システムなどについて検討を行っている。

発電燃料として有望なアルコールは、国内では資源的に難点が多いため、開発途上国における生産の可能性を検討した。

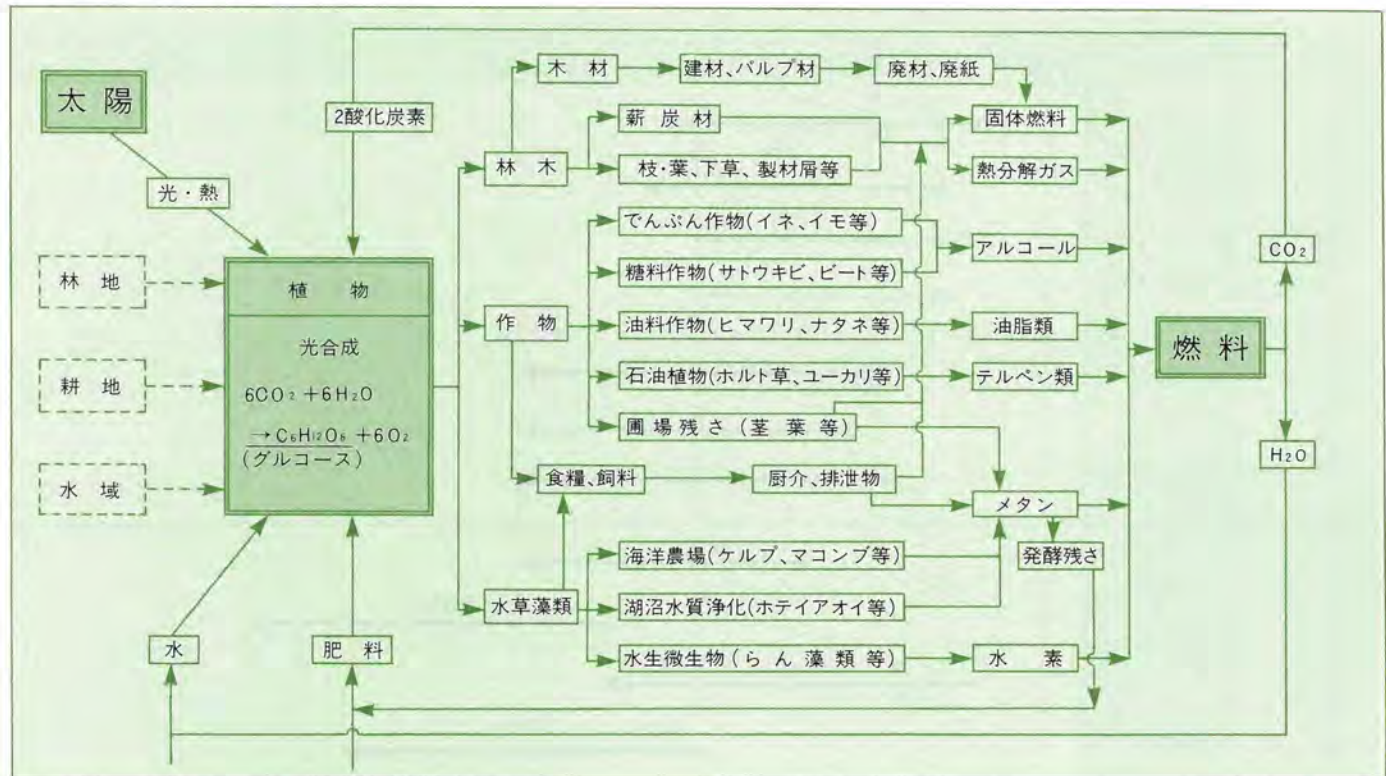
今後は植物資源の探索と評価を進めると

や面積当りのエネルギー密度が低いため利用上にはまだ多くの問題がある。そのため当所ではバイオマス利用の可能性と問題点について調査を行うとともに、河川貯水池

の水質保全に関連するものとして有機廃棄物のメタン化について研究を実施してきた。

植物資源の年間生産量は地球上では 62×10^9 kl(石油換算)で、我が国では 52×10^6 kl

図3-1-11 バイオマスの生産と変換(燃料化)



ともに利用システムを検討する。さらに未来技術として生物利用による水素発生について調査を行う。(吉野 昭朗)

IV. 核融合発電

21世紀の夢のエネルギー源といわれている核融合は、海水中に豊富に存在する重水素を燃料として使用できるため、人類の窮極の発電方式として、現在世界の先進国でナショナルプロジェクトとして研究開発が推進されている。

当所においては、

1. 電気事業が核融合発電を採用する計画検討のさいに、対応できるよう基盤を確立しておくこと、
2. 電気事業において望ましい核融合技術のあり方と問題点を明確にし、開発に反映させること、

を基本的目標とし、世界における核融合研究開発状況の調査と技術課題の抽出および電気事業に関連する基盤技術の研究開発を推進している。

これまでの調査研究により、次の結論を

得ている。

1. 現在、核融合の研究開発をナショナルプロジェクトとして強力に推進している国は、日本、米国、EC、ソ連である。これらの国ではいずれも、大型トカマク実験装置の建設を急いでおり、「4大トカマク」と呼ばれている。

これら装置の主目的は、核融合反応が実際に起きることを物理領域の範囲(出力は零)で実証して見せることである(科学的実証段階と呼ばれる)。この時期は1985年前後と予想できる。

この科学的実証が成功すれば、動力炉への工学的実証研究が本格的に開始されることとなる。現在はその過渡期である。

2. 大型トカマク実験装置の次の段階は自己点火(実際に核融合反応から出力をとり出す)を達成することであり、このための次期装置も、各国で計画されている。この装置の完成時期は、1990年代中頃が目標とされている。

3. 次期装置から動力炉までの開発プログラムは、かなり流動的であり今後幾度かチ

ェックされると思われるが、現在の専門家の目標は、図3-1-12に示すように、実証炉の運転を2010~2020年としている。

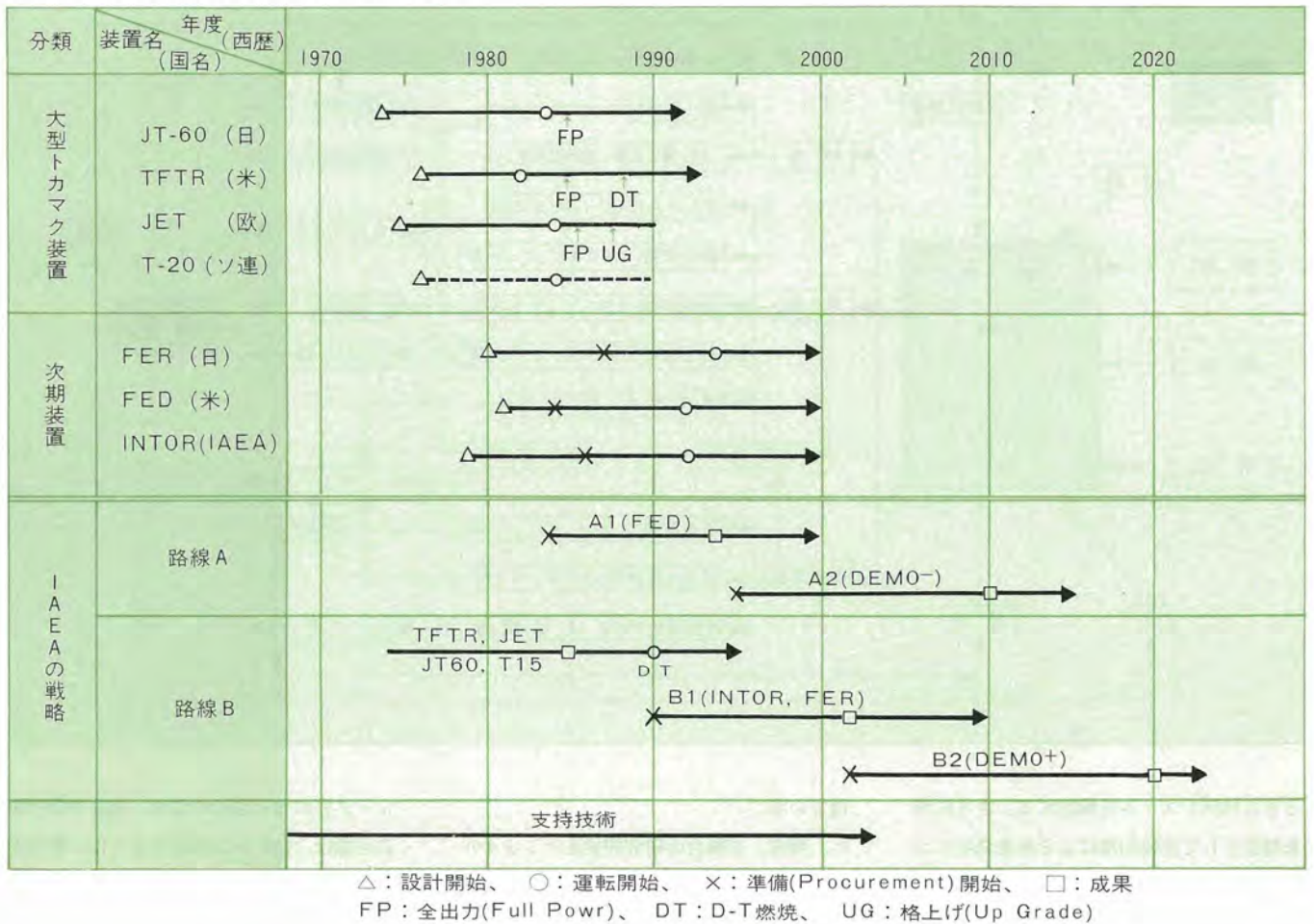
当所の今後の研究課題としては、トカマク炉以外の融合炉について各国の研究開発状況を把握し、実用炉との結びつきを探ることと、近く工学研究段階に達することを前提として、実用炉に最も近いハイブリッド炉の安全性が実用炉につながるか否かの検討を進めていく予定である。

(鈴木 俊男、紀村 均)

V. 超電導コイルによる電力貯蔵

超電導現象は、1911年 H. Kamerlingh-Onnes によって発見されて以来、工業および科学技術への応用が長らく試みられたが、成功した例は少なかった。しかし、近年 NbTi(ニオブチタン)、Nb₃Sn(ニオブスズ)等の超電導体を用いた線材の製造法が確立され、また、核融合・MHD 発電など、超電導マグネットを必須とする新エネルギー技術の開発に関連して、超電導技術の実用化段階を迎えた。

図3-1-12 核融合研究開発の長期スケジュール



超電導コイルによる電力貯蔵は、超電導コイル内では電氣的損失が発生しないという特徴を活かして、電気エネルギーを磁気エネルギーの形で貯蔵する技術である。このためシステムとしての貯蔵効率は90%程度になると想定されており、現存の揚水発電所に近い運用も可能と言われている。

貯蔵容量100万kWhの超電導コイルの大きさは、巻線部断面が巾5m高さ11m程度で直径約1kmのリング状になると試算されている。現在製作されている最大の超電導コイルは、米国のローレンスリバモア研究所のミラー核融合(MFTF-B)用のマグネットであり、エネルギー貯蔵量は、833kWhである。前記はこの約1,000倍の規模になるが長さや方向は約10倍の大型化でよく、超電導コイルによる電力貯蔵に近い将来可能であることを示している。

このような状況下において、当所では、貯蔵量25kJ(7Wh)、最大入出力50kWの超電導エネルギー貯蔵装置を設置し、システムとしての特性を把握する研究を進めている。

これまでに得られた結果によれば、エネルギーの出し入れは、変換器のサイリスタ一点弧角を変化させるだけでスムーズに行われること、超電導部での損失は僅少で無視できることなどが明らかになった。

また超電導マグネットを系統と接続して貯蔵電力を取り出す場合には系統側にかなりの高調波電流が流れること、極低温での絶縁が問題であることなども判明した。今後は、実装置の概念設計などを通し、電力貯蔵装置として必要な技術開発項目を明確にし、種々の問題点を解決して行く予定である。

超電導コイルのもう一つの特徴は、高速

で連続的に入出力を制御できる点にあり、この特性を活かして、系統動揺を制動し、系統の安定化装置として用いることも可能である。

当所ではこの効果を検証するため、模擬送電設備に、貯蔵容量100kJ(30Wh)、最大入出力80kWの超電導コイルを用いて系統安定化の実験を行った。この結果、系統動揺に対する抑制効果が大きく、過渡安定度も向上することが明らかとなった。現在シミュレーションにより種々のケースでの効果を検討中である。

今後、当所では以上のような研究を継続すると共に、超電導コイルを電力系統に組み入れる場合のコイルに要求される性能を明らかにし、大型の超電導コイルの概念設計を他の研究機関とも協力して行っていく予定である。(秋田 調)●

3-2 省エネルギー技術

担当●エネルギー技術開発本部 新エネルギー技術開発部 コーディネーター 紀村 均

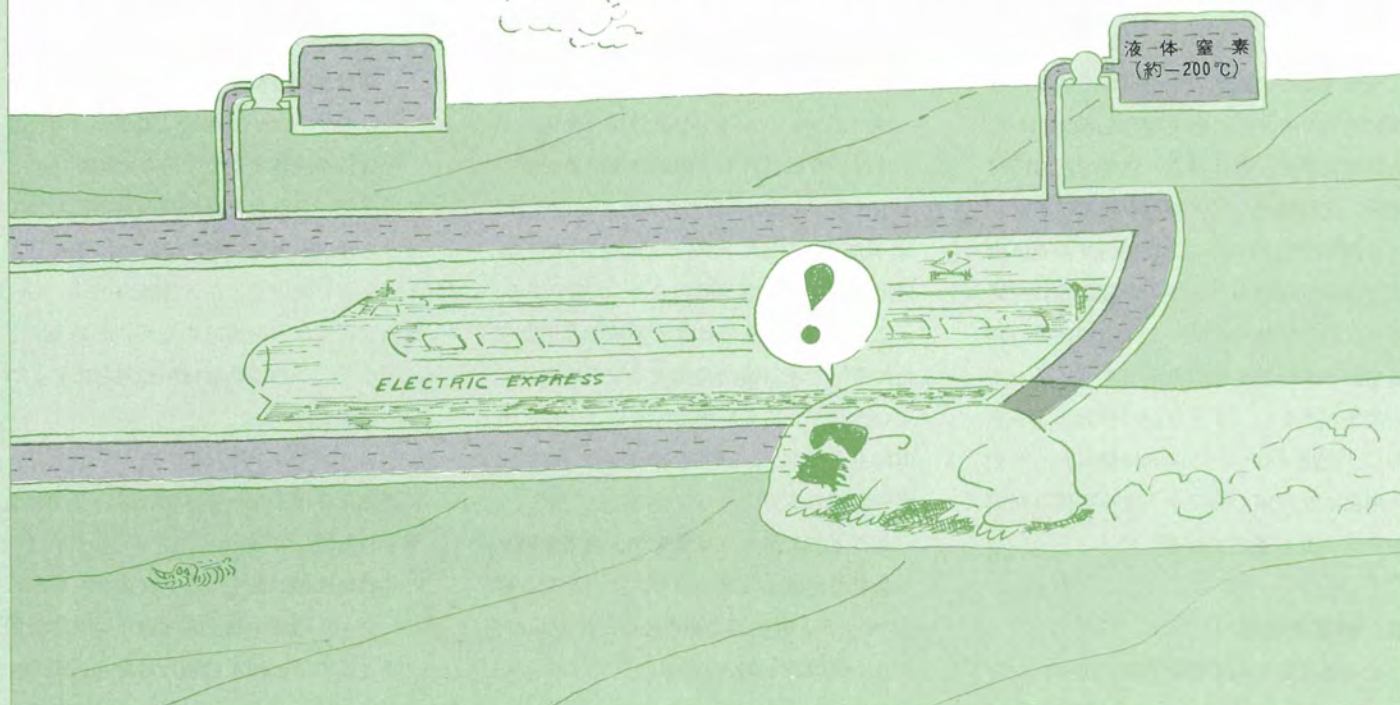
ここでいう省エネルギーとは、発電電における効率向上・損失低減を目指したものであり、当所では、前記のこれに関連するプロジェクト研究以外に、極低温送電、超電導機器、複合発電プラントの研究開発を推進している。

発電用のLNGの冷熱エネルギーが有効に利用できて、しかも送電損失が少ない地中送電方式として、液体窒素含浸冷却による極低温送電がある。当所では、この方式を実用化するために、電気絶縁、導体構成、熱絶縁、冷却材流動、支持構造などの要素技術の研究を行い、275kVおよび500kV送電路(ケーブル)の概念設計を行った。今後の開発ステップとして短尺ケーブルの試作・試験がある。

超電導発電機は在来の発電機に比し1%以上の効率向上が望める上に、小型大容量化が可能なので、実用機の開発が各所で行われている。当所はメーカーと共同で、50MVA試作機による各種特性の研究、経済性や系統連系性の検討を行っている。将来は原子力発電などの変動運転に制約が伴う電源が主要部分を占めるので、負荷変動に応じられる発電方式を適切に導入する必要があるが、高効率の複合発電方式がその一翼を荷うよう、同方式の負荷追従運転に関する研究に着手している。

極低温送電の仕組み

極低温送電ケーブルは、電気抵抗が並通の電線に比べて1/10と少なく、大量輸送に適した地中を走る電気の新幹線である



3-2-1 緒論と結論

電気事業が生産した電気エネルギーが需要家へ届けられるまでのエネルギー損失は、現在、生産量の約6%で、この領域での省エネルギー効果は昔から十分にあげられて来た。

しかし、最近急速に進歩して来た極低温技術や、超電導技術さらには電算機技術の利用によって一層の省エネルギー効果が期待できるようになった。

そのため当所では、

I. 極低温送電

II. 超電導機器

III. 複合発電プラントの運用合理化

などを、省エネルギー技術の基本研究として取りあげ、現在まで、それぞれ次のような成果を得ている。

I. 極低温送電

極低温送電の構想は、発電用燃料としてわが国に輸送されたLNGの冷熱エネルギー(200kcal/kg)を有効利用し、省エネルギー効果を図るものである。すなわち、LNGの冷熱エネルギーを液体窒素を作るための冷熱源に利用し、生産された液体窒素で電力ケーブルを冷却して、ケーブル導体の電気抵抗を低減(常温の1/10程度)し、電力損失を防ぐわけである。

当所ではこの構想の中核となる液体窒素冷却電力ケーブルの研究開発を進めており、その電気絶縁、導体構成、熱絶縁、冷却材流動、支持構造、など5つの要素の研究結果を用いて、275kVおよび500kVの液体窒素冷却極低温電力ケーブルの概念設計を終えた。275kVのケーブルでは冷却装置の間隔を20~30kmとすることができ省エネルギー効果が大きい。また今後の研究課題を整理し、実用ケーブルの開発に備えた。今後は出来るだけ早く短尺ケーブルを使った実験研究に進む予定である。

II. 超電導機器

超電導技術を大容量発電機に利用すると、

在来型発電機より1%以上の効率向上が望め、省エネルギー効果は極めて大きい。そのため、多くの国で実用機へ向った研究開発が進められている。当所ではこれを基本研究として取り上げ、日立製作所と共同で次のような研究を行っている。

1. 50MVA 試作機による実証研究

2. 設計研究および経済性の研究

3. 電力系統に接続した場合の運転特性

中でも3.はユーザーとして十分な説明が必要であり、これを遂行するために必要な

(i) 超電導発電機を含む系統の特性解析用シミュレーション手法の開発

に着手し、

(ii) 超電導発電機モデルの定数決定に必要な試験

などを終えている。また1.に関連する基礎実験として行った試作機の冷却特性試験と突発短絡試験に参加し、冷却試験では超電導状態に冷却しても所要の回転数が得られること、また突発短絡事故を想定した試験では、かなりきびしい短絡状態でも超電導状態が維持できることを確認した。

今後はさらにきびしい短絡試験や励磁特性試験を行って、実用機の具備条件を徐々に明確にして行くとともに、(i)(ii)の結果を用いて超電導発電機を系統に入れた場合の総合評価に進む予定である。

III. 複合発電プラントの運用合理化

総合エネルギー効率の高い複合発電プラントは、今後、わが国の電源構成の一翼を担うようになるものと考えられ、その場合には、系統全体の省エネルギー効果を目的とした運用合理化に役立つ機能を持つ必要がある。

そのため、当所ではまず系統の運用合理化に寄与できる複合発電プラントの条件の1つとして、負荷応動特性を取り上げ、その向上を目的とする研究を国からの委託と、所内研究の両方で行っている。

これまでに得た主な成果は、複合発電プラントを構成するためのガスタービン2種(レヒート; 燃焼器2個を持つ、およびシングル; 燃焼器1個)に対する、シミュレー

ションプログラムの開発、レヒートサイクルガスタービンの電算機制御法の開発とそれを用いた応答特性の改善などである。

今後は複合発電プラントの排熱回収発電部について動特性を解明し、プラント全体の特性改善に資する予定である。

(紀村 均)

3-2-2 極低温送電

都市部における電力需要の増大に対処するため、電力ケーブルの送電容量、送電距離の増大が予想され、極低温送電に大きな期待が寄せられてきた。1970年前後には西欧諸国で超電導ケーブルの開発が盛んに行われたが、石油危機以後その勢いが衰えている。一方、我が国では今後LNGの大量導入が計画されており、これが有する冷熱エネルギー(200kcal/kg)を利用した省エネルギー技術開発の一環として、液体窒素冷却ケーブルの開発はこの時代的要請に応えるものである。

当所では、昭和45年より、この極低温送電方式の技術開発を総合的に推進すべく、各分野の研究者から構成した「極低温送電研究推進委員会」を組織し、電気絶縁、導体構成、熱絶縁、冷却材流動、支持構造設計など各コンポーネントの研究開発を行ってきた。主な研究成果は次の通りである。

I. 電気絶縁材料の選定と絶縁設計

極低温ケーブルの絶縁はポリマーテープや絶縁紙を液体窒素で含浸した型が良いと結論しているが、絶縁材料の選定に当たっては、絶縁破砕強度、誘電体損、耐コロナ性、テープとしての巻き特性(機械特性も含む)、長期安定性などを検討する必要がある。

そこで、各種の絶縁材料に対して、これらの試験を行い、

1. ポリエチレン紙は耐コロナ性が劣り、交流および雷インパルス電圧破砕強度も期待された程ではない、

2. 誘電体損が多少劣るが従来から超高压ケーブルに適用されてきた脱イオン水洗浄クラフト紙は、油浸状態とほとんど変らぬ

絶縁耐力を有し、巻き特性などの機械的特性がすぐれている、

3. 最近技術開発の著しいラミネート紙はプラスチックフィルムとクラフト紙を重ねあわせ一体化したもので、クラフト紙に比べ絶縁耐力が高く、誘電率が低く、コロナ耐力も良好である、

などの結果を得たので、現在の候補材料からの選択は可能である。

また、これらの絶縁材料はケーブル絶縁体として長期間に亘って安定した絶縁特性を保有する必要があるので、長期寿命特性についての研究を続けている。中でも部分放電特性が重要である。

II. 熱的特性

— 導体構成および熱絶縁特性の検討 —

本課題は、液体窒素冷凍機の冷却効率を向上し、省エネルギー効果を上げるため特に重要であり、発生熱と漏洩熱の低減化を

図る必要がある。

1. 発生熱の低減化

発生熱の要因である通電損、誘電体損について検討し、後者についてはIで述べたラミネート紙などを採用することにより275kV用ケーブルでは全損失の1/10以下、500kV用では2/10以下になることがわかった。

一方、通電損については現状技術で製造出来る各種導体を液体窒素中に浸漬した導体抵抗測定と理論計算により導体損低減化のためには細線化素線絶縁撚線導体が望ましいことを明らかにした。

さらに通電中に生じるパイプ損については、各種の金属パイプを用いた実測と理論計算により500kVケーブルの場合、図3-2-1のように、 δ (固有抵抗率)の小さい銅やアルミニウムを内張りしたステンレスパイプか、 δ の大きいインコネルやハステロイXのパ

イプが望ましいことを明らかにした。

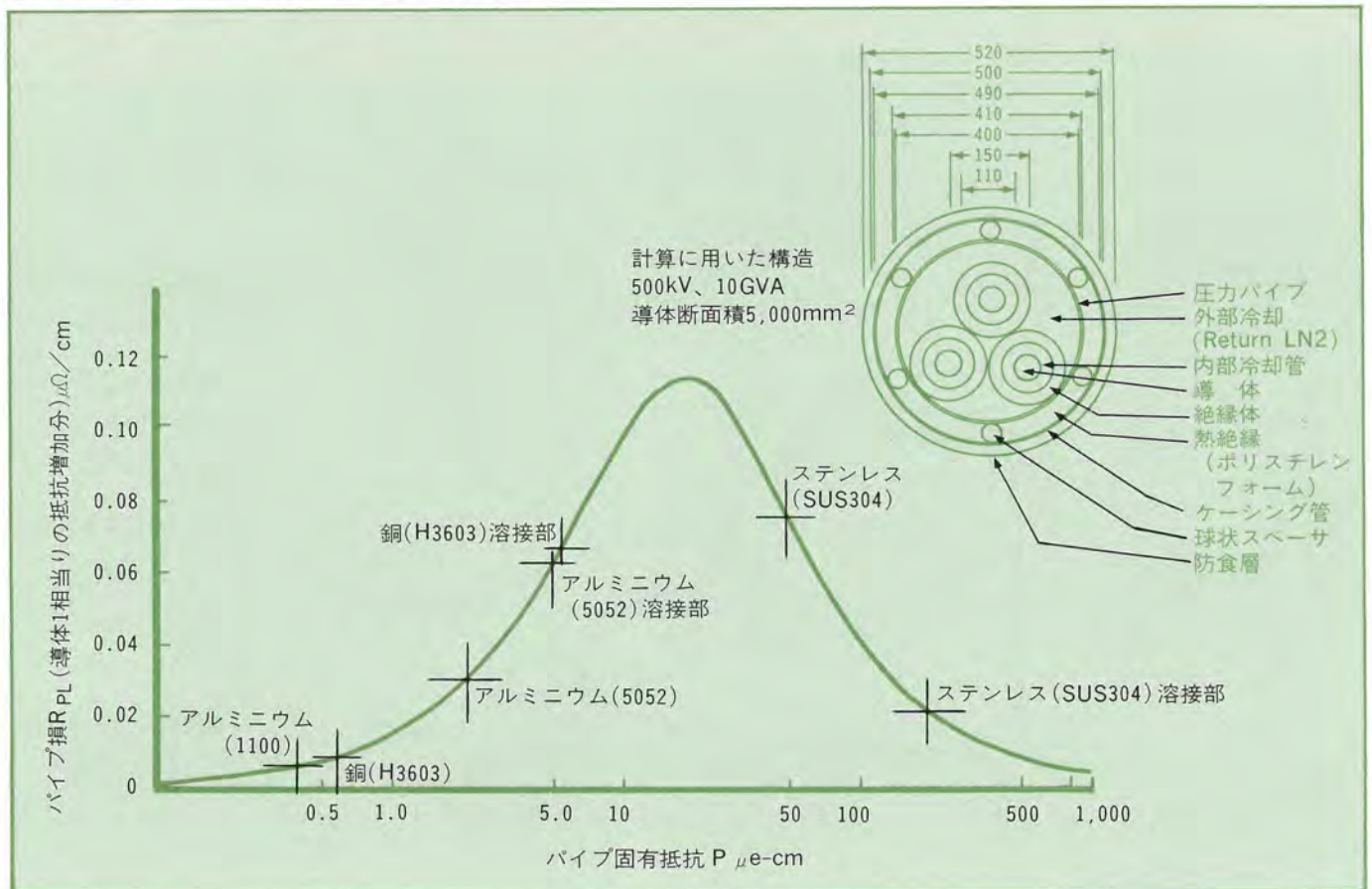
2. 漏洩熱の低減化

極低温状態を保つための断熱方式として、フォーム絶縁、真空粉体絶縁、超絶縁方式を取りあげ、それぞれ長所欠点を検討したが、超絶縁方式は断熱性能が極めて良好で、省エネルギー的観点から非常に有力な方式であり、今後実規模に近い線路を布設して、長期性能、現場施工性などの検討が必要であるとの結論を得た。

III. 構造材の力学的特性

構造的观点から極低温ケーブルを見た場合解決せねばならない課題は、地震力、熱応力、自重、内圧などに耐えられる管路の断面形状、継手構造、支持構造を明らかにすることである。しかし構成材料の極低温特性は不明な点が多いのでまずは各種材料の物性把握に焦点をあてて来た。

図3-2-1 パイプの固有抵抗がパイプ損失に与える影響



1. 金属材料の力学的特性

管路用金属材料としてアルミ合金、ステンレス鋼、ニッケル鋼を選定し、最大強度、降伏強度、伸び、絞り、熱収縮性を求めると共に溶接性について検討した。その結果、力学的性能の点からはステンレス、熱収縮の点からは9%ニッケル鋼、溶接性、電気特性からはアルミニウムが優れていることを明らかにした。

2. 支持構造部材の力学的特性

当所ではすでにLNGタンクの構造部材であるコンクリート材料、鉄筋材料、鉄筋コンクリートなどについて各種の強度試験を行ってきた。

その結果、極低温ケーブルの構造部材についても、特に難解な問題はないことがわかってきたが、今後、これらの基本物性値を基にして実規模管路に対する地震応答解析、非定常熱応力解析を行う必要がある。

IV. 冷却材の流動特性

極低温ケーブルは強制冷却線路であり、

冷媒としての液体窒素を循環させねばならない。そこで定常流動時の圧力損失、局所的に発生するおそれのあるキャピテーション現象、また長尺線路の初期冷却法などについて検討を行った。

1. 定常流動時の圧力損失

高油圧パイプケーブルに関する絶縁油の層流、乱流領域の圧力損失実験結果を用いて、定常流の圧力損失に関する一般的な理論を導出し、極低温ケーブルにおける液体窒素の圧力損失計算法を導いた。

2. 管路におけるキャピテーション障害

冷却材の流動条件によっては、管路内にキャピテーション現象が発生し、それともなう残存気泡により冷却効果に影響があることを明らかにした。

また管路の耐エロージョン性について磁歪振動式実験装置を用いて検討し、液体窒素中では、液圧を7~8 kg/cm²以上に高く

することにより、エロージョンを抑制することが出来ることを明らかにした。

3. 初期冷却(クールダウン)法

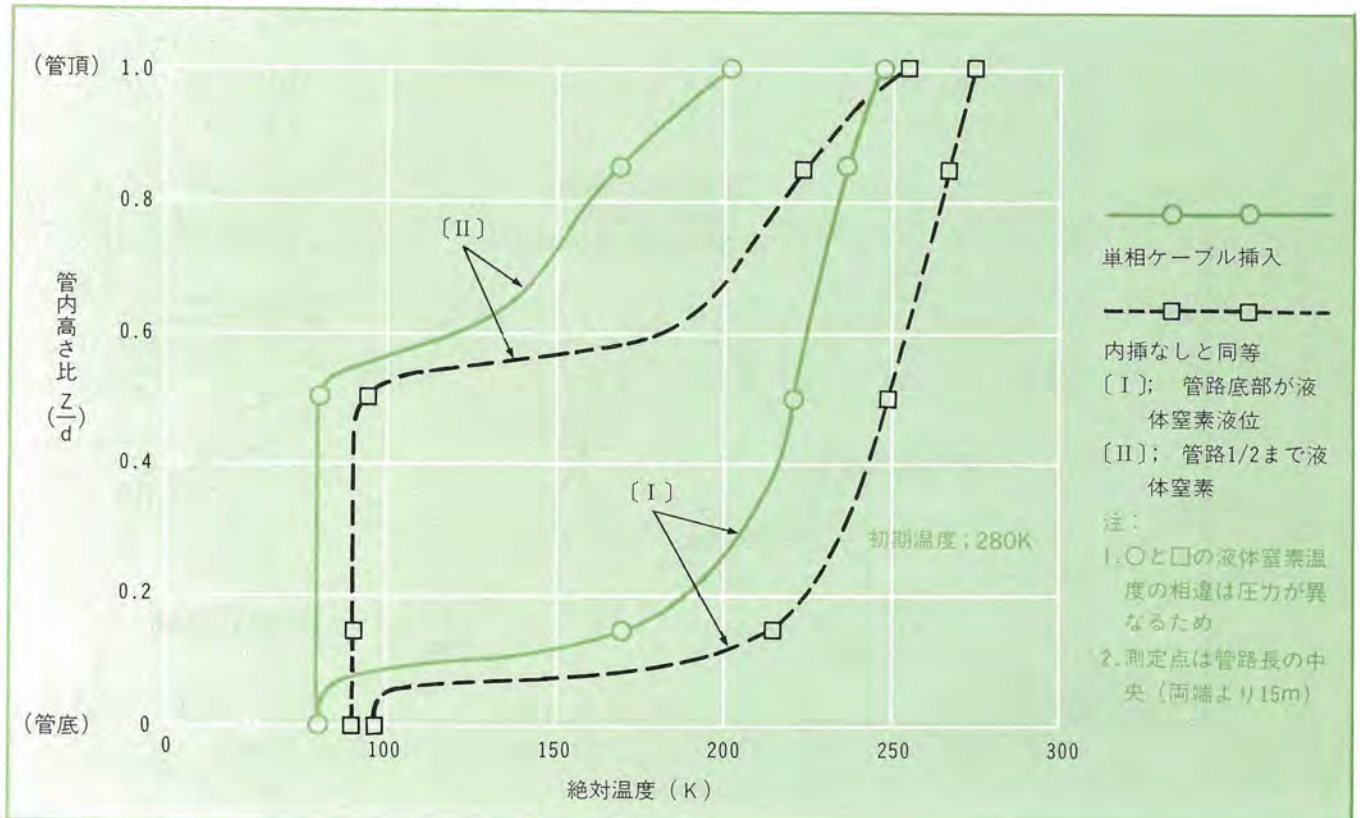
ケーブル管路のクールダウン法には、ケーブルコア内冷却、コア外冷却が考えられ、しかも液体冷却、気体冷却、気液混合冷却などに分けられる。初期冷却の際の過渡温度低下から管路に過度な熱応力や永久変形を与えたり、Bowling現象などを起こさぬ様にせねばならない。

短尺管路による実験結果によると、コア外液体冷却では、冷却材の流動は気液の分離した成層流となり、図3-2-2に示すように管路断面上下方向に大きな温度勾配が生じ、管体に過大な応力が発生するおそれがある。

これに対してコア内液体冷却法は比較的用の可能性を有する冷却法である。

一方、気体冷却法では冷却に長時間を要する難点があるが、構造材の強度に及ぼす影響は少なく、特にコア外冷却法に適用可

図3-2-2 6インチ管(ステンレス)の上下方向外壁温度分布



能と考えられる。

V. 極低温ケーブルの総合設計

上述した各コンポーネント研究の成果を中心に極低温ケーブルの概念設計を行い、図3-2-3の結果を得た。275kV(6kA)ケーブルではケーブルコア外冷却部がよく、冷却ステーション間隔は20~30kmまでとることが出来る。

500kVでの大電流送電の場合には、コア内冷却を併用せねばならず、したがって冷却ステーション間隔は2~5km程度となり、かなりの台数の冷却機をルートに沿って設置せねばならなくなる。

VI. 今後の研究課題

今後の研究課題をまとめて表3-2-1に示す。

コンポーネント研究により各部に適用する材料などかなりのことは明らかにされているので、これらを総合した短尺ケーブル研究にステップアップすると共にケーブルシステム構成の検討に入ることが望まれる。

なお管路材に関しては疲労特性、事故時を想定した高速負荷による衝撃破壊特性、金属材料のクリープ特性などを、また、実規模管路に対しては地震応答解析、非正常熱応力解析を行っていく必要がある。

(深川 裕正)

3-2-3 超電導発電機

超電導技術を電気事業に活用する試みは、この10年来各国で研究されているが、その実現性が最も有望とされるものに、超電導発電機がある。表3-2-2は、現在世界で開発されている超電導同期発電機の動向を示したもので、我が国では、30 MVA機と50 MVA機の2つのプロジェクトが進行段階にある。

当所では、昭和54年度から、日立製作所が開発している50 MVA機の開発プロジェクトに共同研究者として参加し、つぎの研究を実施している。

図3-2-3 実用極低温ケーブルの概念設計

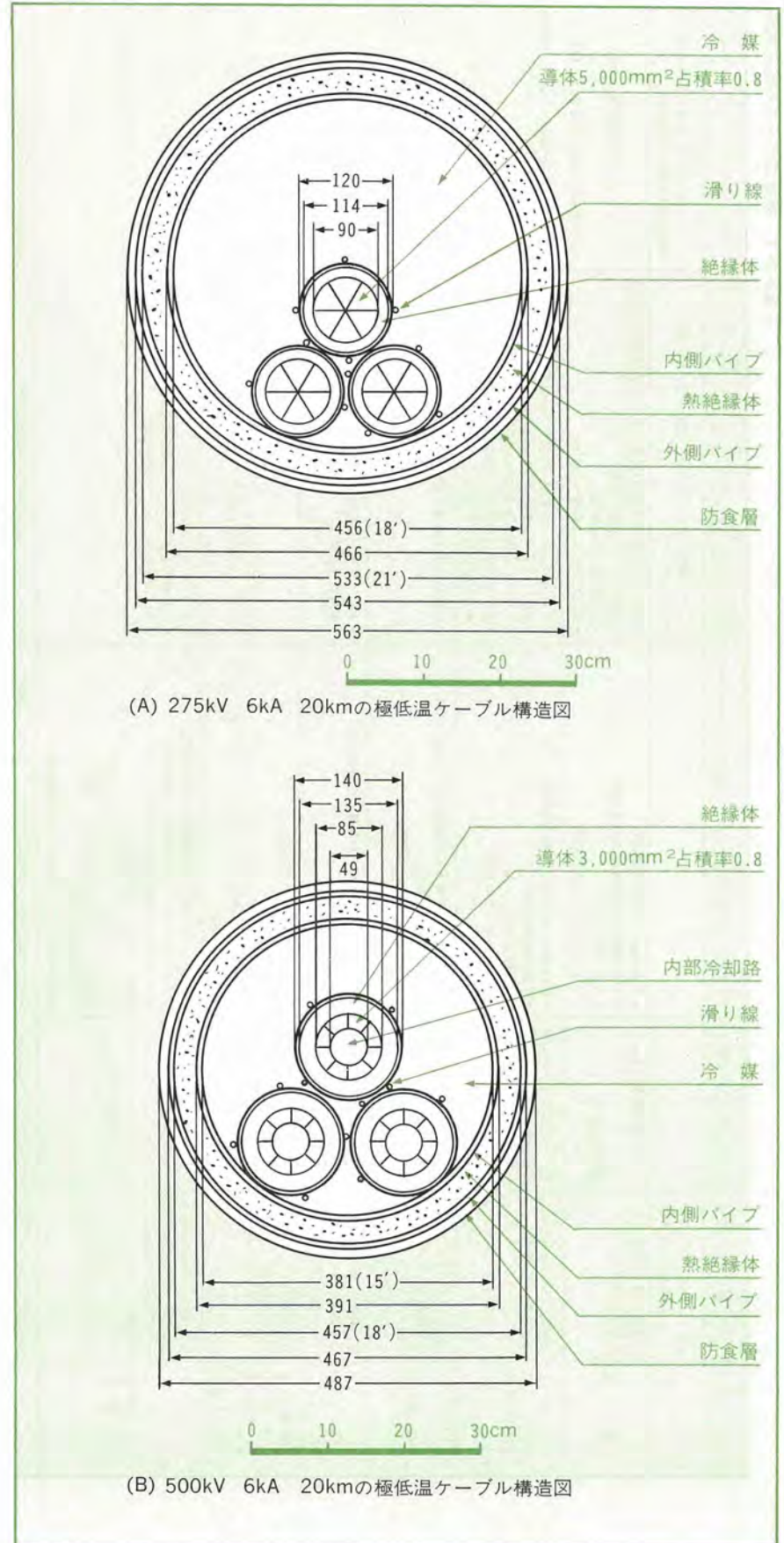
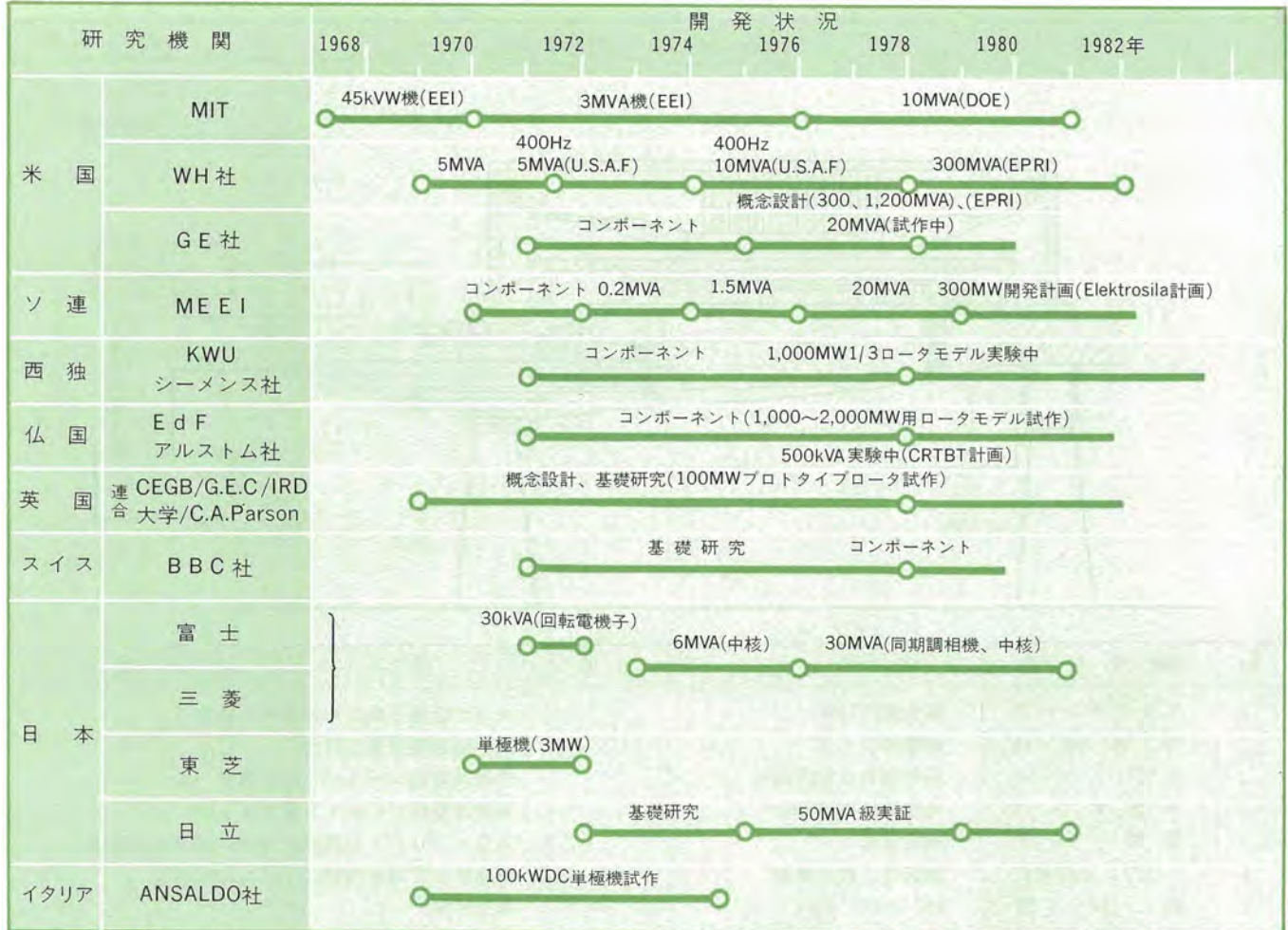


表3-2-1 極低温ケーブル研究開発課題

項目	目標仕様	性能	研究	開発	課題
総合システム	AC 500KV, 5GW ~100km(6000A)		コンポーネント研究	短尺ケーブル研究	長尺ケーブル研究
導体	導体損 90 kw/km ² ・cct 交流損/電流損 1.5	3000 ^{mm} 絞極細(1mm以下) 素線絶縁導体	素線絶縁, 素線の最適化 中空極細素線絶縁導体の製造技術 交流抵抗低減化 熱収縮の定量化と取除対策	ケーブル長50m, 冷却設備, 管路設備, その他(地上布設) 交流抵抗低減化の確保(表皮効果と近接効果の定量化) 導体損とパイプ損の分離 過渡温度上昇の評価 事故電流による電磁力の評価	ケーブル長500m, 各種付属品を実布設 長期課題電試験(同道布設) ケーブル系の熱収縮対策の検証 電気絶縁性能の長期安定性の検証
電気絶縁	誘電体損 30 kw/km ² ・cct 仕上外径 130 ^{mm}	最大電位傾度 1.5KV/mm $\epsilon \tan \theta \leq 2.5 \times 10^{-3}$	材料選定(電気特性, 機械的特性) 合致材の絶縁特性 絶縁厚の決定 絶縁シールド材の検討	ケーブルの巻き方が絶縁性能に与える影響の解明 ケーブルダウンが絶縁性能に与える影響の解明 ケーブルの部分放電特性の把握 ケーブルの破壊特性(AC, Imp, サージ性電圧)および誘電特性の確認	各種付属品(終端部, 分岐部, 接続部)の長期安定性の検証
ケーブル	伸縮量 1.8m/500m 冷媒電流ジョイント(NJ) 向径ジョイント セミストアブゾジョイント(SSJ)		構造設計(伸縮量と電気絶縁方式, 冷却方式) 絶縁厚と熱放散特性 最適ジョイント間隔の検討	各種接続部の絶縁性能の確認	
接続部	気中終端 ガス終端 分岐		構造設計(電気絶縁, 熱絶縁, 冷却方式)	ケーブルダウン法の確立 絶縁性能の確認	
末端					
絶縁性能評価法	型式試験法 受入れ試験法	長期安定性の評価法	長期寿命特性とその評価法		
ケーブル引込み工事			極細大サイズ導体, 長スパンケーブルの接続と引込み 工事法の検討	布設工法の検討, 開発	ケーブル, 管路布設工法の確立
冷却循環系	全発生熱 175kw/km ² ・cct 出口条件 15 kg/cm ² , 95K 冷却区間長 10km以上 冷媒機 熱効率 1/8以上 連続 30,000H以上 (2台)	カルノー効率 40%以上	冷却材の冷却特性と流動特性(圧力損失) キャピタリション現象の解明と抑制対策 ケーブルダウン時の諸現象の解明とケーブルダウン法 温度, 圧力, 流量の測定法 システムの熱バランスと冷却系の構成 循環ポンプの容量(吐出圧力, 流量) 冷凍機容量と効率 導体内冷却方式(通路径と冷却区間長)	ケーブルダウン法の確立 冷却材の温度上昇, 冷却効率の確認 常時運転冷却システム構成の検討	ケーブルダウン法の妥当性の検証 冷却システムの長期安定性の検証
長尺管路	500KV: 15インチ内径 275KV: 18インチ内径	入口圧力 30 kg/cm ² パイプ損 伸縮量	内管材料の選定(低温時の強度, クリープ, 衝撃) 溶接部の強度と溶接法 直管, 曲管, 分岐管の構造と機械的強度 ベロー部の熱収縮特性 内管支持方法の検討 パイプ損の評価と低減法の検討	ケーブルダウン法の強度への影響の解明 パイプ損の検証	管路系の地震時信頼性 熱絶縁系の長期安定性の検証 初期冷却時の挙動
熱絶縁	侵入熱 4 kw/km ² ・cct	16 kw/km ² /cct	材料選定 熱絶縁系の構造と侵入熱の評価 スベレーサの熱応力 長尺管路の熱絶縁方式, 真空引き方式の検討	侵入熱の評価 スベレーサの構造と機械的特性の把握	
外管	500KV: 18インチ内径 275KV: 21.4インチ内径		外管材料の選定 外管構造と支持方式の検討(耐震, 凍上防止)		
ケーブルシステム概念設計			冷却方式・条件の基本設計(予備力, 事故対策) 最適条件化, 経済性評価 回線方式と信頼性, 信頼度	布設工法の検討, 開発 事故時現象(短絡電磁力特性, 地絡事故時現象)の解明	
計装, 制御システム			冷却システムにおける予備力の評価 事故の想定とその対策(短絡, 地絡時の様相, 地震, 不等低下, 冷却材流出, 冷却システム他) 計測技術の開発, データ処理技術 起動, 停止, 外乱時の冷却系の制御方式	起動, 停止, 外乱時の冷却系運転シナシナシ 事故予知, 事故防止技術の開発	保守点検技術の確立 (冷却システム, 熱絶縁系, 他)

表3-2-2 大容量超電導発電機の各社開発状況



注： EEI : エジソン電気協会 DOE : 米国エネルギー省 MIT : マサチューセッツ工科大学
 WH : ウェスティングハウス社 GE : ゼネラルエレクトリック社 U.S.A.F : 米国空軍
 EPRI : 米国電力研究所 EdF : 仏電力庁 CEGB : 英電力庁
 G.E.C : ゼネラルエレクトリック社(英) KWU : 西独クラフトウェルク・ウニオン社

1. 50 MVA 試作機による実証研究

- (i) 超電導発電機の起動停止方式
- (ii) 発電機としての運転特性
- (iii) 調相機としての運転特性
- (iv) 冷却および熱シールド特性

2. 設計研究および経済性の研究

- (i) 大容量機(500 MVA 以上)の概念設計
- (ii) 超電導発電機の経済評価
- (iii) 発電機出力電圧の高圧化の検討

3. 電力系統に接続した場合の運転特性

- (i) 発電機出力電圧制御特性
- (ii) 電力系統の安定度向上効果
- (iii) 系統事故時に超電導発電機の受ける影響

これまでに実施した基礎調査では、超電導発電機に次のようなメリットがあることがわかった。

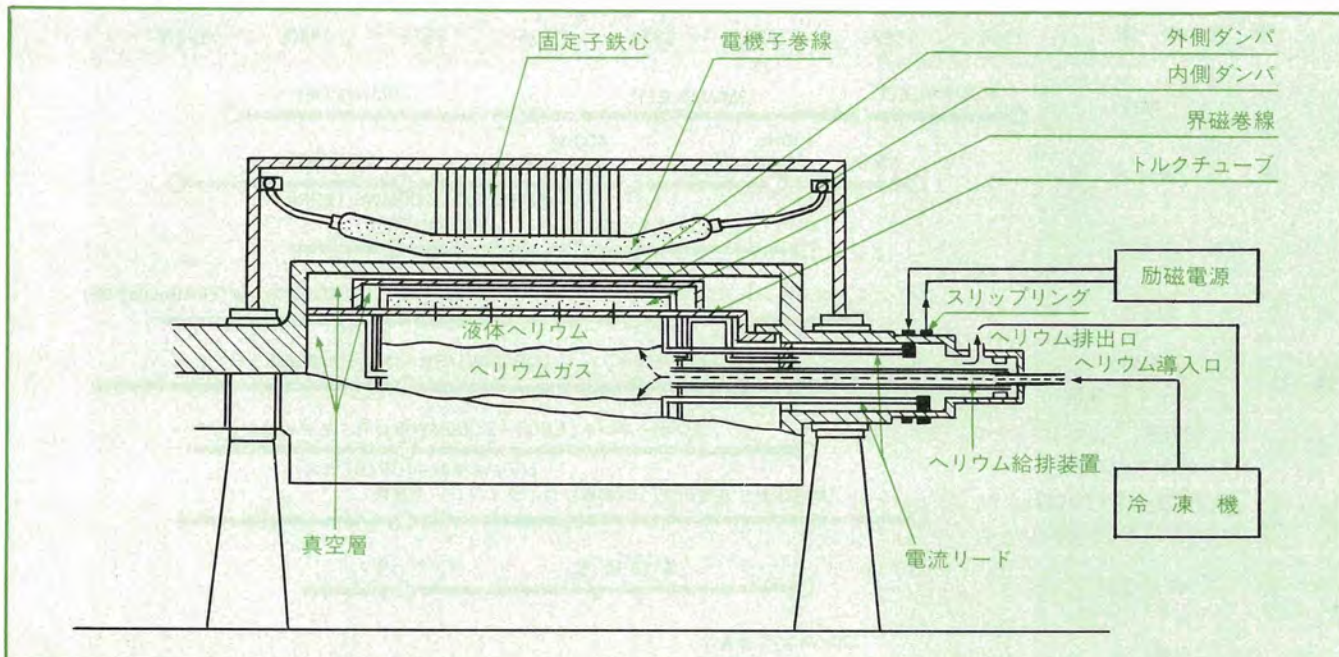
現在、世界的に共通した超電導発電機の開発方向は、もっぱら直流界磁巻線のみを超電導化する方式がとられている。開発中の50 MVA 機にもこの方式が用いられ、図3-2-4のような構造となっている。すなわち回転部分は、超電導の界磁巻線を、固定子巻線からの交流磁界から遮へいするため、ダンパー(2重)で覆われており、固定子巻線は、在来機のように鉄心の中に埋め込まれていない。

界磁巻線を超電導化するために、回転軸

の一端から液体ヘリウムを供給し、ヘリウムのもつ流動特性を利用して、界磁巻線を冷却する。冷熱損失を防ぐために真空層を設け、界磁巻線の温度が4.2°Kに保たれるようになっている。

こうして、超電導化した界磁巻線には非常に大きな界磁電流を流すことが出来るので、在来機で得られなかった強い磁界が発生し、それが固定子巻線に作用して、大きな電気エネルギーに変換される。このような強い磁界を利用すると、大容量機の製作限界を大幅に拡大することができるし、また、機械の大幅な小形化、軽量化が可能となる。

図3-2-4 超電導発電機の基本構成と各要素の特徴



No.	構成要素	特徴	機能
1	トルクチューブ	極低温円筒体	トルク伝達と軸からの熱侵入防止
2	界磁巻線	超電導コイル	高界磁束密度の発生
3	内側ダンバ	極低電気抵抗円筒体	低周波電磁シールドと輻射熱シールド
4	外側ダンバ	低電気抵抗円筒体	高周波電磁シールドと電気ダンバ
5	電流リード	編組銅線	スリップリングと界磁巻線間の直流電流通電
6	ヘリウム給排装置	回転静止結合構造	冷凍機と界磁巻線間のヘリウム給排送
7	真空層	$10^{-4} \sim 10^{-5}$ Torr	真空断熱
8	電機子巻線	エアギャップ巻線	高エネルギー密度の電力発生
9	固定子鉄心	積層鋼板	ギャップ磁束密度の増大と外部磁気シールド
10	励磁電源	定電流電源	界磁巻線への直流電流供給
11	冷凍機	50~200 l/h (0.5~1.5GVA機に対して)	排出ヘリウムガスから供給用液体ヘリウムの製造

表3-2-3 在来機と超電導機の出力係数と構造比較

	従来型タービン発電機					スロットレス発電機	超電導発電機
	空気冷却	水素冷却(間接)	回転子のみ水素直接冷却	固定子水冷却回転子水素直接冷却	固定子回転子とも水冷却		
出力係数比	1	2	3	4	5~6	7~10	15~30

		2極機		4極機	
		従来型	超電導機	従来形	超電導機
固定子	鉄心外径	1.0	0.97	1.0	0.94
	実効長	1.0	0.87	1.0	0.33
回転子	定格負何時のAT	1.0	6.8	1.0	6.0
	シャフト全長	1.0	0.5	1.0	0.42
	ロータ外径	1.0	1.0	1.0	0.86
	重量	1.0	0.3	1.0	0.3

表3-2-4 超電導発電機の在来機に対するコストメリット(1,000MWe機、1985年ベース)

プラントタイプ	石 油		石 炭		原 子 力	
プラントのキャピタルコスト (\$/kWe)	500		800		1,000	
発電機コスト (")	17.80		17.80		25.60	
発電機のコスト低減	低 圧 機 30kV	高 圧 機 500kV	低 圧 機 30kV	高 圧 機 500kV	低 圧 機 30kV	高 圧 機 500kV
(1)プラントのキャピタルコスト (\$/kWe)	2.50	同 左	4.00	同 左	5.00	同 左
(2)燃料コスト(Δn=0.5%) (")	5.29	"	3.53	"	1.94	"
(3)運転維持費 (")	0.53	"	0.88	"	0.53	"
(4)発電機コスト (")	3.29	0.60	3.29	0.60	4.73	0.86
(5)変圧器装置コスト (")	0	6.83	0	6.86	0	6.49
●プラントのキャピタルコスト (")	—	(1.00)	—	(1.60)	—	(2.00)
●燃料コスト(Δn=0.2%) (")	—	(2.12)	—	(1.41)	—	(0.78)
●運転と維持費 (")	—	(0.21)	—	(0.35)	—	(0.21)
●変圧器コスト (")	—	(3.50)	—	(3.50)	—	(3.50)
合 計	11.61	15.75	11.70	15.87	12.20	14.82
○発電機コストに対するメリット比 (%)	65.2	88.5	65.7	89.2	47.7	57.9
○プラントコストに対するメリット比 (%)	2.82	3.15	1.46	1.98	1.22	1.48

表3-2-5 超電導機と従来機の発電機定数の比較

*P・U:ユニット当り

	超 電 導 機	従 来 機
出 力 (MVA)	1,000	1,000
同期リアクタンス X _d (p.u)	0.4~0.5	2.0
過渡リアクタンス X _{d'} (p.u)	0.25~0.3	0.3~0.4
初期過度リアクタンス X _{d''} (p.u)	0.1~0.25	0.25
開路過渡時定数 T _{do'} (s)	300	5
開路初期時定数 T _{do''} (s)	0.2~0.5	0.03

一般に発電機の容量(KVA)、回転速度(RPM)、回転子外径D、回転子長L、の間には $(KVA) = KD^2L(RPM)^2$ の関係があって、Kを出力係数と呼び、これが磁界の強さに関係するので、同一体格(DとLが一定)で(KVA)を増すためには、出来るだけ強磁界を作る努力がなされる。

表3-2-3は、超電導機の出力係数を在来機と比較したものであり、また、在来機に対して製作コストがどうなるかを1,000MVA大容量機で検討した結果が表3-2-4である。

さらに、機械の運転損失の点からみると、超電導界磁巻線の抵抗損失は零であり、大容量機になるほど機械の効率も向上して、在来機に比べ1.0%以上の効率向上を図ることが可能となる。

その他、超電導機には、同期リアクタンスが非常に小さく時定数が大きい、という特徴があり(表3-2-5参照)、この特徴は、電力システムの安定度向上に役立つので、電力系統側から見ても好ましい機器である。

以上のような基礎的調査研究と並行して、これまで日立製作所と共同で実施してきた実験研究と、現在進めている研究の主なものをあげるとつぎの通りである。すなわち、3.の課題に対して、

(i) 超電導発電機の系統解析用シミュレーション手法の開発に着手し、定数測定試験を行った。

超電導機は、在来機に見られない制動巻線の2重化、空隙巻線の導入、非磁性体材料による構成などが取り入れられており、その上、超電導状態にあるので、従来用い

られて来た解析手法を大幅に変える必要がある。

このため新たなシミュレーション手法の開発に着手し、シミュレーションモデル作成のための実験を行った。目下実験結果を整理中であり、これによって常温状態と超電導状態にあるときの諸定数を明らかにする。

引き続き、超電導機を実際の電力システムに導入した場合に、前述のような特徴が十分発揮されるかどうかを評価するため、前記シミュレーションモデルを電力系統動特性

解析プログラムと結合し、各種のケースについて、シミュレーション計算を行うとともに、その有効性を、試作50 MVA機を用いた特性試験によって実証する。

また、課題の1と3に関連する基礎実験として、

(ii) 50 MVA 試作機の冷却特性試験と突発短絡試験を行った。

- 冷却特性試験では、回転子を常温から超電導状態まで冷却させても所要の回転数が得られることを確認した。

- 突発短絡試験では、超電導回転状態で発生させた出力電圧(定格の1/4)を三相短絡してみたが、維持できることを確認した。

今後さらに定格電圧の突発三相短絡試験や励磁電流の許容変動範囲を求める試験等を実施する予定である。(植田 清隆)

3-2-4 複合発電プラントの運用合理化

発電プラントの運用合理化によって省エネルギー効果を上げるには、水力、火力、原子力など、エネルギー源の異なる各種プラントの総合的運用を効率よく行うことである。

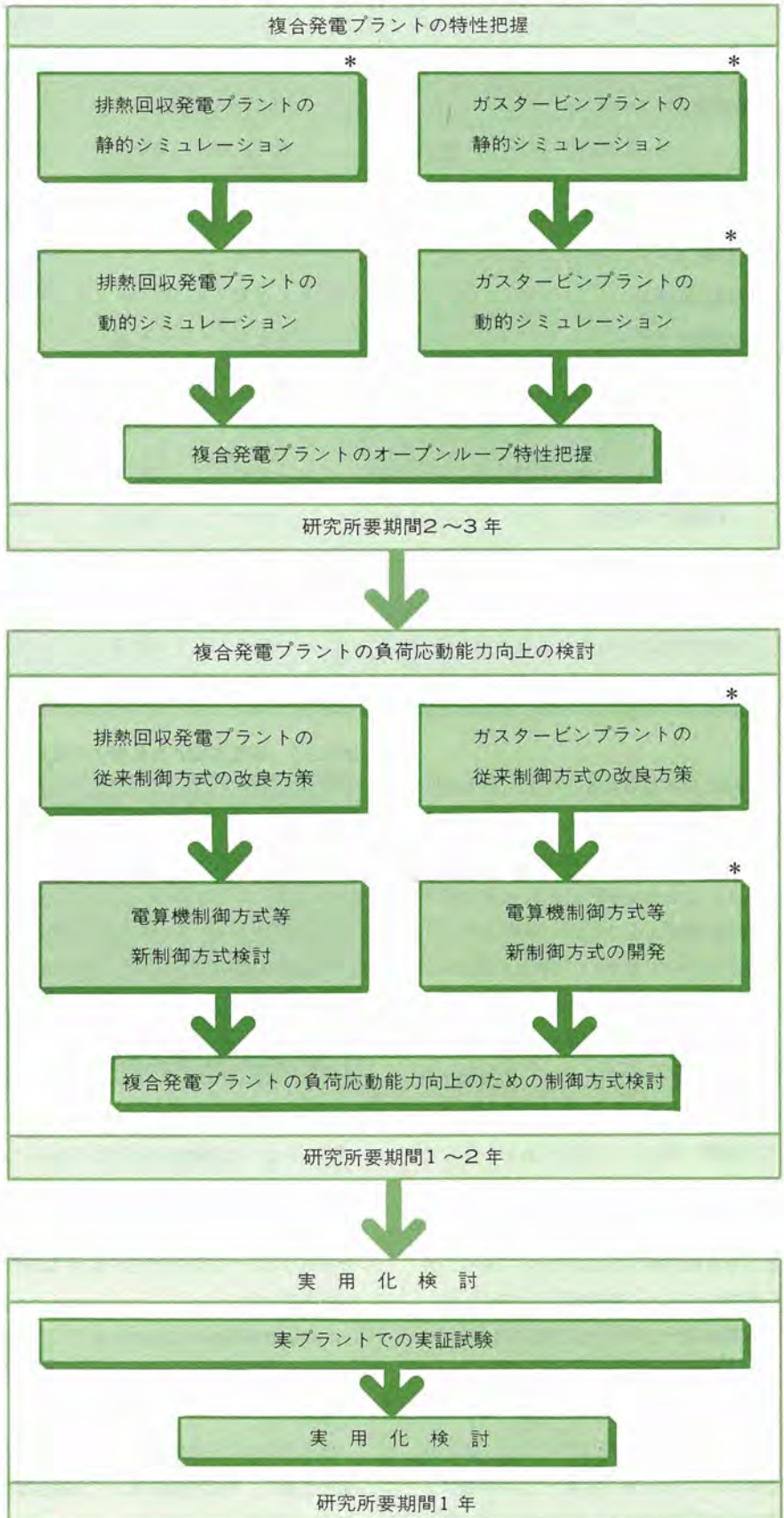
朝夕の人間生活のリズムにより昼間のピーク需要と深夜の需要では約3:1の比で大きく変っており、発電プラントとしては常にそれに見合った発電を行う必要がある。

しかし、原子力発電の割合が大きくなる将来の電源構成では負荷変動に 대응する能力が鈍化する方向にあり、その対策としては応動が早く効率のよい発電プラントを併設していく必要がある。

複合発電プラントは総合エネルギー効率が良く、将来の電源構成の一翼を担うようになると思われるので、その負荷応動特性は、運用合理化に寄与できるものでなければならない。

そこで当所では、複合発電プラントの負荷応動特性の向上を目指して次のような研究を行っている。

図3-2-5 複合発電プラントの負荷応動能力向上のための研究開発フロー図



注：*印のものは、これまで検討を行ったものである。

I. 複合発電プラントにおける負荷応動能力向上の研究

複合発電プラントの負荷応動能力向上の研究は、次に示す手順により行われている(図3-2-5参照)。

1. 複合発電プラントの特性把握のためのガスタービンプラントおよび排熱回収発電プラントの静・動的シミュレーション
2. 負荷応動能力向上のための制御方式の検討
3. 実践における実用化検討

当所における火力発電プラントの負荷応動能力向上の研究に関しては、昭和30年代後半から昭和40年代における火力発電の急成長期に、プラントの容量や圧力・温度条件などの変革に対処して、プラント特性の解明、制御性能向上の研究を行い、昭和50年初めには計算機制御方式を開発し、従来型火力発電プラントに対する研究は、ほぼ終了している。

しかし、新たに省エネルギー効果大として導入計画が進められている複合発電プラントは、従来火力とは異なりトッピングにガスタービンを設置し、そこでの入熱の余りをさらに排熱回収発電プラントで利用するため、両発電プラントの応答速度の大幅な違い等があり、複合発電プラント全体の負荷応動能力向上が新たな研究課題となった。

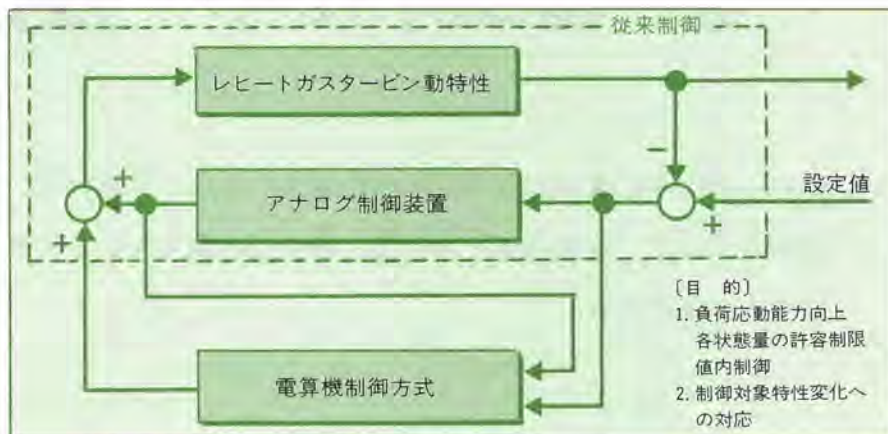
II. 当所におけるこれ迄の成果

当所は、工技院ムーンライト計画「高効率ガスタービンの研究開発」に電気事業を代表する立場から参画し、レヒートガスタービンをを用いた複合発電プラントに関する検討を行うとともに、昭和59年度より電気事業に本格的に導入されるシングルガスタービンをを用いた複合発電プラントの検討も併せ行っている。

これ迄行った主な研究成果は、次の通りである。

1. ガスタービンの動的・静的シミュレーション
 - (i) 高効率ガスタービン技術研究組合におけるレヒートガスタービンの動的シミュレーション

図3-2-6 電算機制御方式の概念説明図



シミュレーション

ガスタービン組合シミュレーションワーキンググループの中心となって、現在開発中のパイロットプラントの動的シミュレーションを行い、プラントの特性把握を行った。また、中間冷却器等の影響によって、応答速度が従来のシングルサイクルガスタービンに比し、少なくとも2倍以上遅くなることと推定し、制御系作成の指針を与えた。

- (ii) シングルサイクルガスタービンの動的シミュレーション

当所の所内研究としてシングルサイクルガスタービンのシミュレーションプログラムを開発し、オープンループ特性把握等を行った。

2. 排熱回収発電プラントの静的シミュレーション

- (i) ガスタービン組合におけるレヒートガスタービンをを用いた場合を想定して混圧・再熱型式の排熱回収発電プラントの静的シミュレーションプログラムを開発し、プラントの性能解析を行った。

- (ii) シングルサイクルガスタービンをを用いた場合を想定して、単圧・非再熱、混圧・非再熱、単圧・再熱型式の各排熱回収発電プラントの静的シミュレーションプログラムを開発し、プラントの性能解析を行った。

3. ガスタービンの電算機制御方式の検討

ガスタービン組合におけるレヒートガスタービンの設計制御方式より良好な電算機制御方式を提案した。本方式の特徴は

図3-2-6に示すごとく従来の制御系をそのままにしておき、その制御系を含むプラント全体を被制御対象として、別に設けた計算機から制御指令信号を重畳させる方式(多重制御系)を採用していることである。これにより制御システム全体としての計算機制御に異常が有った場合でも従来の制御装置がそのまま作動し、従来の制御装置のもつ安全性、信頼性は確保されている。

また、従来のアナログ制御は、過去の試行錯誤による経験則にもとづいて操作部を動かし制御偏差を押えるものであり、制御対象に、無駄時間特性などがある場合には、良好な制御が困難である。

そこで本方式では、制御対象の特性を予め簡単な試験により把握した上で理論的に各操作量をきめて制御することとした。これにより確実に安定した制御が得られる。

4. 複合発電プラントの運転状態標示システムの開発

複合発電プラントは構成機器も多く、また、ガスタービンプラントは、応答速度も早くその監視システム等を充実する必要がある。それゆえ、プラントの運転状態を適確に判断するための監視システムについて検討を行い、各種の仮想運転・操作に対しては満足の得られるシステムが構成できた。

今後は、排熱回収発電プラント全体としての特性把握を行うとともに、負荷応動能力向上のための制御方式を検討し、実践に適用するごとく研究開発を行う予定である。

(北見 恒雄)●

3-3 新・省エネルギー技術の総合評価

担当●経済研究所 副所長 矢島 昭

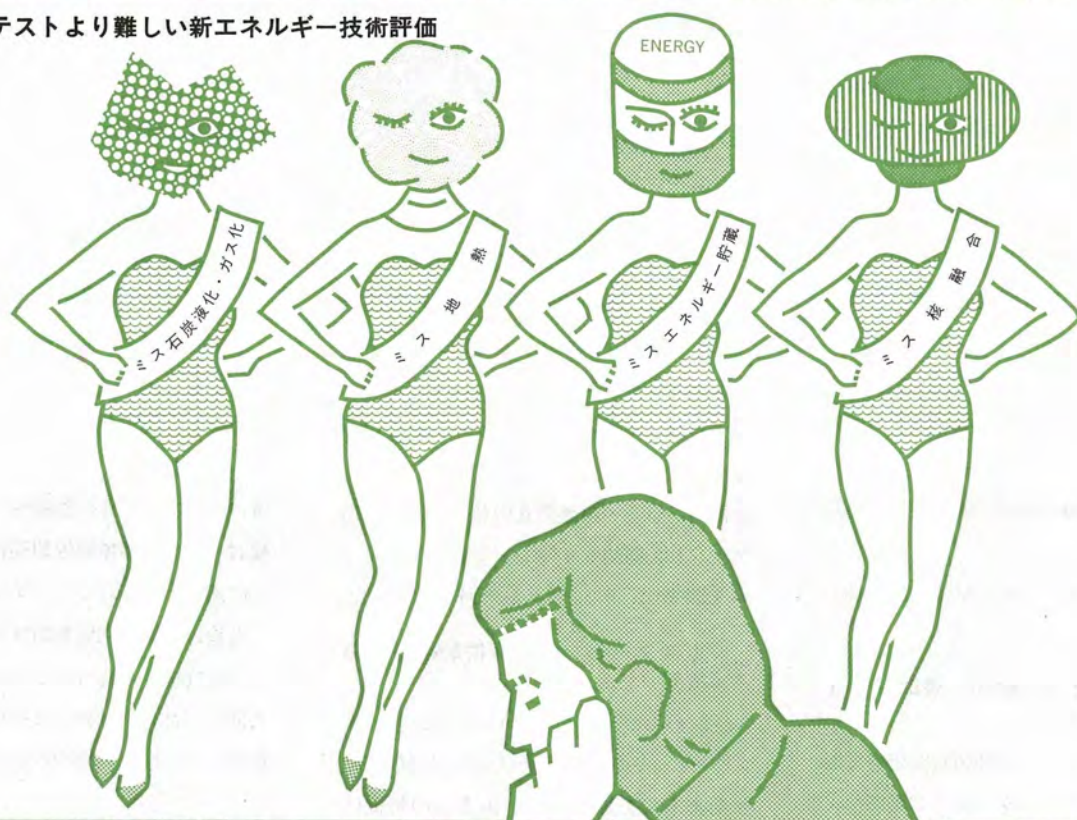
新しい技術を既存のシステムの中に導入していくためには、個々の技術の可能性や経済性ばかりでなく、在来技術との協調・補完性を明らかにし、社会・経済・法的な枠組みを確立する必要がある。

将来は、現在の集中型電源形態が強化されることはもちろんであるが、全体の電源構成の中に相当量の分散型電源が入り込んで来ると予想される。電気事業では、これらの組み合わせを合理的に行っていくことは当然であるが、電力だけでなく、他のエネルギーとの協調や熱併給など、各種の二次エネルギーを総合した最適エネルギー供給形態を探るという積極的な姿勢が必要である。

当所ではその考えに従って、新エネルギー技術評価手法の開発、新・省エネルギーを含む電源構成の検討、新エネルギー技術の電気事業への影響の検討などを行っている。評価手法については各種の技術のデータベース収集と評価モデルの作成に全力をあげている。

また、電源構成については主要な新技術についてのマクロな実用化見通しの上で、当面の石油代替エネルギーとして組み合わせを求めると共にエネルギー収支からの検討も行っている。電気事業への影響では、燃料電池や太陽光発電などが電気事業に導入された場合における制度面に焦点を当てて検討を行っている。

美人コンテストより難しい新エネルギー技術評価



3-3-1 緒論と結論

将来のエネルギー供給システムは、全体として、これまでの少数一次エネルギー源——大容量集中発電方式——少数の二次エネルギー利用方式という「単線型」の構造から、多数の一次エネルギー源——大容量集中電源と分散電源(典型的な例としては燃料電池)との組み合わせ——電力を中心とする二次エネルギー利用方式(たとえばヒートポンプ)という、「複線型」の構造に移行して行く予想される。

電気事業としても、この流れに沿って、集中電源と分散電源をうまく組み合わせること、さらに電力だけの供給にとらわれずに、他エネルギーとの協調や熱供給など、各種の二次エネルギーを総合した最適供給形態を探っていくという、むしろ積極的な姿勢をとるのが結局は得策であろう。

個々の新・省エネルギー技術の研究開発については、前章までに述べられた通りであるが、これらの技術を実用化し、適切に組み合わせて使うためには、次のような裏づけが必要である。

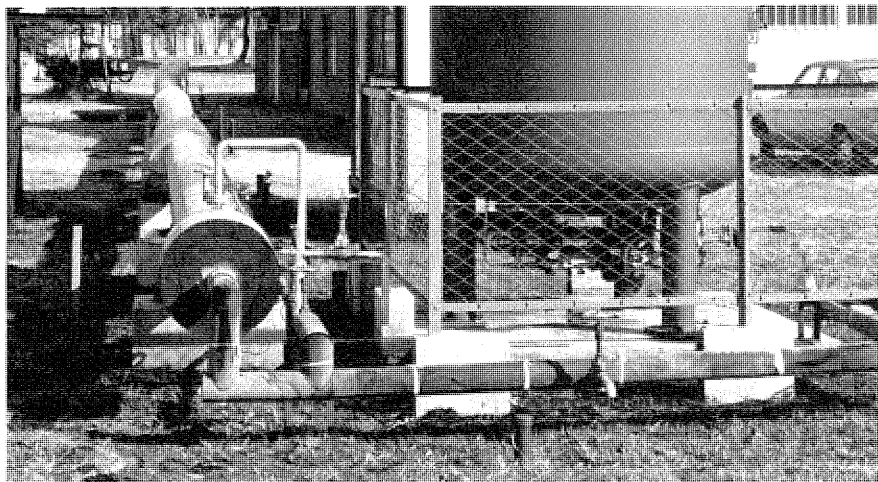
まず、

1. 各技術方式の技術的特性を調べ、経済性その他の規準にてらして評価すること。

次いで、

2. それらの新技術を在来型システムの中にどんな形で導入して行くか、言いかえれば、新技術と在来技術との協調・補完関係

極低温ケーブル実験設備



を明確にした上で、最適なエネルギー・電源の構成を考えること。

そして最後に、

3. 前2項の、いわば制度的な裏づけとなる社会経済的・法的な枠組みを確立すること。とくに小規模分散型の新技術は、地域社会と密着した供給形態をとる場合が多いこと。

を認識しなければならない。

以上のような問題意識から、当所では「新・省エネルギー技術の総合評価」のタイトルの下で、以下に略述する研究にとり組んでいる。

I. 新エネルギー技術評価手法の開発

この研究の目的は、新発電技術を中心に、現在研究開発が進められている各種新エネルギー技術を総合的に評価した上で、研究開発面におけるそれらの優先順位を明らかにすることである。

新エネルギー技術の評価手法の確立は、内外の関心事であり、たとえば米国においてはEPRI(電力研究所)その他で研究が進められているが、現在までのところ、新技術のもつ不確定性と多様性にもなう困難から、現実の評価に適用できる体系的な評価手法とデータベースは殆ど存在しないのが実状である。

当所のプロジェクトは、超長期エネルギー戦略研究会の中の新エネルギー技術評価専

門部会によって実施されている。これまでに、既に開発されている評価手法の内容と適用可能性との検討、評価手法のフレームワークの構築、データソースとなる技術調査評価表の作成を行い、さらに原子力、石炭、電力、土木、機械、生物の各分野における数十項目に及ぶ新技術の基礎データの収集に着手した。具体的評価事例として「石炭新利用技術の電力への適用」を取りあげ、評価方法のフレームワークの有効性を吟味した。

本プロジェクトは、まだ第一段階にあり、作業のプロセスにおいてようやくいくつかの問題点を抽出できたというところである。今後は、細分化された多数の評価対象技術を、適当にグループ分けし、グループごとの評価作業を実施するのと並行して、評価手法自体の改善とデータベースの整備を進める予定である。

操作性が高くかつ総合的な新エネルギー技術評価手法の確立は極めて困難な課題であるが、技術と経済の総合研究所としての当所の強みを発揮すれば、一兩年のうちにも十分実用に耐える用具を開発できるであろう。

II. 新・省エネルギーを含む電源構成

主要な新・省エネルギー技術について、マクロ的な実用化見通しを行った結果をふまえながら、当面の石油代替エネルギーである原子力、石炭、LNGによる各種発電方式の適切な組み合わせを求める。これら一連の研究は超長期エネルギー戦略研究会の中の発送電専門部会の作業と関連して実施されている。

他方、これら新・省エネルギー技術をエネルギー収支分析の面からも検討する必要がある。装置の製造・輸送、発電所の建設とその運転・維持補修などに要するエネルギー量を分析し、発電所の耐用年数、総発電量などとの対比から、エネルギー収支上の効率を評価し、開発上の問題点を指摘することは、経済性評価を補完するという観

点から有用であろう。

Ⅲ. 新エネルギー技術の 電気事業への影響

新エネルギー技術のうち、とくに燃料電池と太陽電池の導入が電気事業にどのような影響を及ぼすか、またエネルギー効率利用の観点から電気事業の積極的な対応策はいかにあるべきか。当所では57年度に、新エネルギー技術の比較評価や各種エネルギー消費の質的および量的特性に関する基礎的な諸調査の結果をふまえた上で、新エネルギー技術の制度的側面の検討を開始した。

1. エネルギー供給システムへの影響

電気事業、ガス事業、自家発、第3セクターについて、在来システムとの組み合わせ、燃料供給・排熱利用・熱供給、供給契約、予備契約、料金制、保守・運営管理体制など、および関連する法制、地域行政問題。

2. 電気事業の対応策

設備計画、一般・特定供給、余剰電力、保守管理、料金財務、組織運用など。

3. ローカル・エネルギー・システムの 類型化と効率性評価

政府の総合エネルギー調査会や民間研究機関においてもこの問題に関する検討が進められつつあるが、当所では以上の項目に焦点を絞り、今年中に報告をとりまとめる予定である。

以下、本節1と2で紹介した2テーマについて、節を改めて述べる。

(矢島 昭)

3-3-2 新エネルギー 技術評価手法の開発

I. 評価手法開発の必要性

1973年と1979年の石油価格の上昇は、安い石油の時代に終止符を打ち、人々に将来のエネルギー供給に対する不安をいだかせた。その結果として、短・中期的には省エネルギーや原子力、石炭、天然ガスへの代

替が強力に進められるようになると同時に、長期的視点に立って様々な新エネルギー技術が開発、あるいは検討されるに至った。

実際、我が国においても、各種新エネルギー技術に関する研究開発は、活発化するとともにしだいに大型化しつつある。世界的にみても、新エネルギー技術開発は百花繚乱の時代に入りつつあるといえる。たとえば、石炭新利用技術の電力への適用だけをとりあげても、流動床燃焼発電、新鋭微粉炭火力、石炭ガス化複合発電、MHD 複合発電、熔融塩型ガス化複合燃料電池、石炭液化油火力、メタノール火力、COM 火力など、実に様々な技術が開発の対象となっている。しかも各技術ごとに種々の方式が検討されつつあり、技術開発のスペクトルは拡大する反面で微細化している。原子力や自然エネルギーなど、どの分野をとりあげても事情は同様である。

その結果として、技術開発の方向の選択に大きな問題が生じてきている。これら個々の技術あるいは方式が、しばしば優れた面のみ強調され、時には夢を持って語られるために、現実との間にギャップを生じることさえ起っている。これらの技術のうちどれが重要であり、またどれがそうでないのか、社会的に評価が一定しておらず、ある意味では新エネルギー技術の評価に関して一種の混乱さえ生じている。

しかしこのことは一般の人々の間だけで生じているのではなく、エネルギーの専門家や開発にたずさわっている人々の間でも、程度の差こそあれ事情は似たものといえる。

このような状況は様々な社会的損失をもたらす。まず、第1に、現在、新エネルギー開発は資金的に巨大化しつつあり、誤った開発路線の選択や二重投資自体が損失である。もちろん、現在開発の対象となっているすべてのエネルギー技術に十分な資金を投下することは明らかに不可能であり、また賢明なことでもない。新エネルギー技術開発は資金的に巨大であるばかりでなく、しばしば非常に長い開発期間を必要とする

ことも重要なポイントである。

第2に、新エネルギー技術開発に関する混乱は、石油の直接的代替エネルギーである原子力、石炭、天然ガス等の開発・利用における誤った判断を引き起すことがある。

必ずしも新エネルギー開発に限定されることではないが、開発の進め方には2つの相対立する方向がある。その1つはエネルギー技術開発における「進歩主義」ともいえるもので、将来のエネルギー供給の不安を極力小さくするために開発可能なエネルギー技術はいずれについても積極的に取り組むべきである、という考え方である。もう一つは、その反対にエネルギー技術開発における「保守主義」ともいえるもので、エネルギー価格の推移にともなう自然発生的な技術開発競争にまかせ、現実的なエネルギーである石炭、原子力、天然ガスの確保に当面の焦点をおけばよい、とする考え方である。

今後、しだいに石油のみの時代から、石油、石炭、原子力、天然ガスのエネルギー源多様化の時代へ移るものと思われるが、この時代と本格的な新エネルギーの時代の接点はどこにあるかをみきわめることがきわめて重要である。「進歩主義」に偏れば現実的エネルギー源の足場を弱体化させることもあり得る。一方で「保守主義」に偏れば将来に不安を残す。この間の選択は、新エネルギー技術に対する適切な評価なしには行うことができない。

おそらく、これらの新エネルギー技術開発が進行する過程で、各々の技術特性や経済性がしだいに明らかになり、市場における競争によってその多くは自然淘汰されることになる。しかし、そのような事前評価なしの直接的な選択は大きな損失を産みかねない。

今後の新エネルギー技術開発を適切に進めていくためには、各技術の経済性、商用化時期、寄与量、技術特性、立地環境特性、開発の難易度などを、整合的かつ適切に評価した上で、各技術の開発の優先順位を明

らかにしなければならない。そのためには個々の技術に対する部分的な評価を正確に行うだけでは不十分であって、将来の経済、エネルギー需給、各エネルギー技術に対するニーズも含めて総合的、体系的な評価が必要となる。

最初の石油ショックから10年近くたち、新エネルギー技術開発のベクトルが多方向を向くと同時に巨大化しつつある現在こそ、新エネルギー技術に関する明確な展望と選択とを与えるべき時期といえよう。

当初では、56年度より「新エネルギー技術評価手法の開発」を進めつつある。以下ではその基本的考え方と問題点を説明する。

II. 評価手法の基本的フレームワーク

現在、研究作業は第1段階にあり、評価手法の細部はまだ固まっていない。基本的フレームワークは図3-3-1に示すとおりである。本作業は2030年のエネルギー需給、

技術、社会の展望を目ざした「超長期エネルギー戦略研究会」の中におかれた「新エネルギー技術評価専門部会」によって行われている。当部会は「評価手法分科会」と原子力、石炭、電力、土木、機械、生物の各「データベース分科会」に分かれ、手法開発と評価のためのデータ収集の作業を行っている。

新エネルギー技術評価手法の確立は、内外の多くの機関が関心を持つところだが、現在までのところ、現実の評価に適用可能な体系的評価手法とデータベースはほとんど存在しないとみてよい。

新エネルギー技術の評価、あるいは評価手法の開発の困難さは、つぎの2点にある。第1に、各技術の経済性や技術特性に様々な不確定性があり、また十分な情報を体系的に収集するのが容易でないこと。第2に、新エネルギー技術の評価は単一の単純な手法によって行えるものでなく、多面的、総

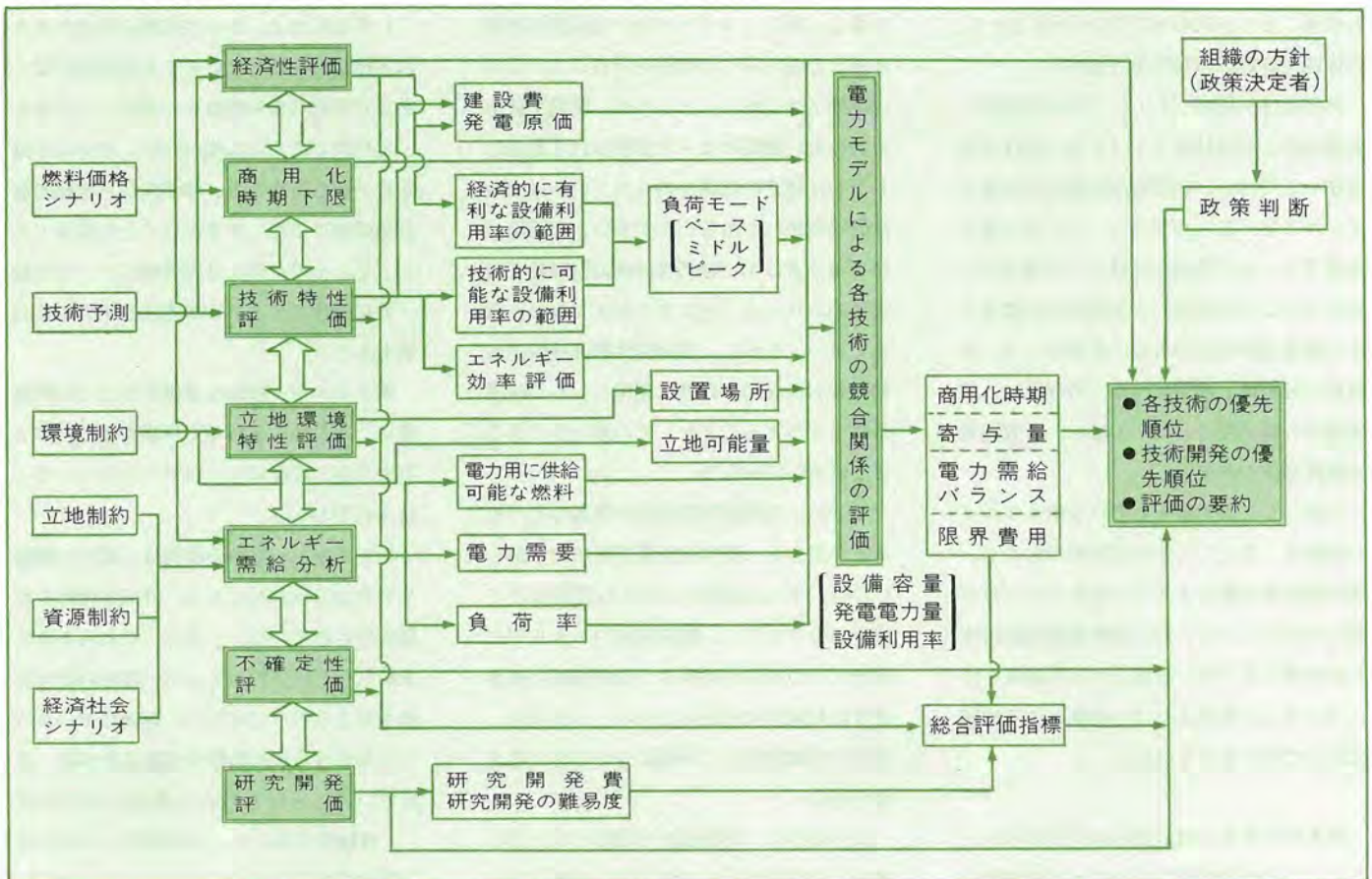
合的な分析、判断が必要であること。現在でも、多くの専門家の頭の中に複雑な形で新エネルギー技術に関する判断が蓄積されている。それらの情報を体系的に引出すことが評価手法の一つの目的なのである。

部分的な情報によって新エネルギー技術に対して定性的でシンプルな評価を与えることは、決してむずかしいことではない。専門家による「あの技術はこれこれの面で問題があるから当面見込みがない」等の発言はしばしば耳にするところである。しかし、こうした評価は多くの場合に総合性に欠けたり、主観的であったりする。

一方、任意の2つの新エネルギー技術をとり上げて、十分な時間と資金をつぎこめば、詳細な評価を行うことは可能であり、事実しばしばこの種の報告が発表されている。

しかし上記のいずれの評価法も総合性、つまり全体の整合性に欠ける。新エネルギー

図3-3-1 新エネルギー技術評価方法のフレームワーク



一技術の評価に当っては、競合する可能性のあるすべての技術をとり上げ、エネルギー需給、技術進歩、市場における競争など多面的な分析を行い、その中で個々の技術の評価を行う必要がある。

図3-3-1に示す評価手法は、経済性評価、商用化時期評価、技術特性評価、立地環境特性評価、エネルギー需給分析、不確定性評価、研究開発評価、電力モデルによる評価、各技術の優先順位の評価より構成されている。

技術特性評価では、最も可能性の高い方式の概念設計をベースに、技術の特徴、熱収支と物質収支、将来のエネルギー変換効率の予測、運転保守の難易性、負荷追従性、技術的に好ましい適用負荷モードと設置場所、等について分析を行う。経済性評価では、先行事例も参考にしながら、建設費とその構成を再評価する。

立地環境特性評価では、定性的な評価とともに各技術の立地環境特性を指標化する試みを行う予定である。研究開発評価では、各技術ごとに方式の有望性を分析するため、技術開発課題の難易度を評価する。

評価は燃料価格シナリオ、立地環境制約、資源制約、経済社会シナリオ等の前提条件を統一して行い、各技術間の整合性を電力モデルによってとりながら、その寄与量を判断する。また評価には様々な不確定性がともなうことを重視し、不確定性の要素ごとに感度分析が行われる。最終的には、各技術の経済性、商用化時期、寄与量に、技術開発の難易度の評価を追加し、研究開発の優先順位を評価する。

なお、ここで対象としている新エネルギー技術は、主として新発電技術であるが、新発電技術が新エネルギー技術のかなりの部分を占めること、および新発電技術自体も他の新エネルギー技術とかなり関係を持っていることを考えれば、対象とする領域は決して狭いものではない。

基本的な考え方は以上の通りであるが、このような総合的新エネルギー技術評価を

実行するのは、明らかに容易でない。対象分野が広いことが最大の問題点であるが、その他にも種々の点で困難がある。

以下、評価手法の開発を進めていく上で問題となっている2、3の点を列挙してみよう。

Ⅲ. 新エネルギー技術評価の問題点

第1に、経済性評価の位置づけとそれに対するアプローチのしかたをあげることができる。新エネルギー技術の経済性評価の受けとり方には、2つの態度が見受けられるように思える。その一つは、新エネルギー技術の経済性評価は不確定性が多くほとんど意味を持っていない、という考え方である。もう一つは、経済性評価は不確定性が多いもののやはり評価の中心であり、その精度をいかに上げていくかが問題だとする、いわば経済性評価に対する積極的な態度である。

経済性評価がむずかしいのは、建設費のデータに不確定性が高いからである。多くの場合、新エネルギー技術の建設費の評価に関して最も多くの情報を所有しているのは開発主体である。ところが、開発主体やそれに近い機関によって提供される数値はしばしば特定の意味を持った、いわば“政治的な数値”であることが多い。现阶段では、第三者の手で経済性評価の信頼性を確実に高められる方法はまず存在しないと考えてよい。しかし、非経済性的評価や定性的情報も多面的に有効に利用し、かつ前提条件をそろえることが、その第一歩であることは確かであろう。

第2に、商用化時期評価の問題をあげることができる。商用化時期評価がむずかしいのは、それが技術の内在的な要因だけで決まるのではなく、燃料価格やエネルギー需給などの経済的条件や、他の技術の開発速度にも依存するからである。それゆえ、商用化時期評価も二段階に分けて進める必要がある。

まず最初に、対象技術を開発する上での技術上の問題点とその難易度を評価しなが

ら、現在の開発スケジュールが順調に進んだ場合の、「商用化時期の下限」を評価する。次に、商用化時期そのものを対象技術と他の技術の競合性を考慮しながら総合的に判断する。図3-3-1に示す電力モデルはこの第2段階のために使用するもので同図のエネルギー需給分析は、電力部門で利用可能な燃料などに関する前提条件を与えるものである。

第3に、各技術の寄与量も、商用化時期の評価と同様、総合的に判断されるべきものである。商用化時期も寄与量も、個々の技術の現在までの研究開発の延長として単純に予測することは、可能でもないし適切でもない。それらは各技術のニーズとシーズのバランスによって決定される性格のものである。

しかし、各技術の経済性や技術特性のみから寄与量を総合的に判断すると、技術間の競合関係から優位な技術のみ残り、大部分の技術は将来利用される技術の範囲から脱落することになる。

いずれにせよ、個々の技術の開発が大きな不確定性を持っていることを考えれば、あまり明確な優先順位をつけることはかえって危険であるかも知れない。十分な不確定性分析を行うこと、経済性など定量的な評価基準に依存しすぎないことも重要であろうし、そのためには定性的なデータを統一的に処理できるような方法を工夫する必要もあろう。

新エネルギー技術を評価する上での問題点は、この他にも数多く列挙することができようが、最後にデータベースについて一言ふれておこう。

新エネルギー技術の調査は、様々な機関や委員会で行われており、詳細な報告も多数作成されている。しかし、これらを単に集積しただけで新エネルギー技術の総合評価ができるわけではない。有効なデータベースたりうるには項目や前提条件が統一されていることはもちろん適切な内容を有し、客観性の高いデータが利用しやすい形で整理されていなければならない。つまり、

データベースは単に内容が豊富であればよいということではなく、むしろその逆であり、重要なポイントがわかりやすい形で整理されていなければならない。新エネルギー技術データベースを利用して評価を行うのは、個々の技術の専門家ではなく、エネルギー問題を総合的に分析する立場にある人々だからである。新エネルギー技術評価に実際に利用できるようなデータベースを作成するためには、機械的な調査でなく、個々のデータベースを作成する各技術の専門家と、総合評価を行う分析者との十分な連携と努力が必要であろう。(斎藤 雄志)

3-3-3 新・省エネルギーを含む電源構成

I. 新・省エネルギー技術開発の見通しと電源構成プログラム

現在数多くの新・省エネルギー技術の開発が進められているが、夫々に多くの困難な研究開発課題をかかえており、実証段階、実用段階に到達する時期が明確に示されている技術は極めて数少ない。

主要な新・省エネルギー技術について、その実用化の見通しを行った結果を図3-3-2に示す。2000年以前の期間をとれば、エネルギー構成の中に主要技術として導入される可能性のあるものは高効率複合発電、石炭専焼火力であり、現状を大巾に変更する要因は見出し難い。新発電技術で量的に若干期待できるのは地熱発電くらいである。

脱石油を行うためのエネルギー源は図3-3-3に示すように原子力、LNG、石炭、であり、日々の需要変化に対応する運用を円滑に行うため揚水発電などのエネルギー貯蔵設備が活用され、それに伴い、石油火力の設備利用率は大幅に低下することとなる。こうした変化を量的にとらえられるように、当所では「電源構成プログラム」と呼ぶ線型計画モデルを開発している。このモデルは、8種類までの燃料、20種類までの発電方式を選んで、各期の需要量、負荷持続曲線についての条件をみたまながら総

図3-3-2 新発電・蓄エネルギー技術商業化時期の見通し



発電コストを最小にするには、どのような電源の組み合わせが適切か、という問題を解くことができる。前節の新エネルギー技術評価の作業その他から、発電方式の選定、需要想定、建設費・燃料費などに関する情報をえて、2030年に至る電源構成のあり方を探っていく。

II. エネルギー収支分析

エネルギー収支分析は発電所を建設・運転するために使われる直接間接の全エネルギーを算出し、その発電所の耐用年数(稼働年数)間の全発電エネルギーとの比較を行うものであり、後者のエネルギーに比較して前者のエネルギーが極めて大きい場合にはそのエネルギー量を減少するための技術開発を積極的に行うか、あるいはその技術を導入することを断念することになる。

新エネルギー技術については、前節で述べたように経済性評価が困難だったり、結果の信頼性が薄い場合がしばしばある。その場合エネルギー収支分析は、エネルギーの側面からだけではあるが物量ベースの評価を与える手段として、経済性分析を補佐

しうる。エネルギー収支が極端に悪いエネルギー技術は技術自体に問題があろうし、経済性も当然悪いはずである。

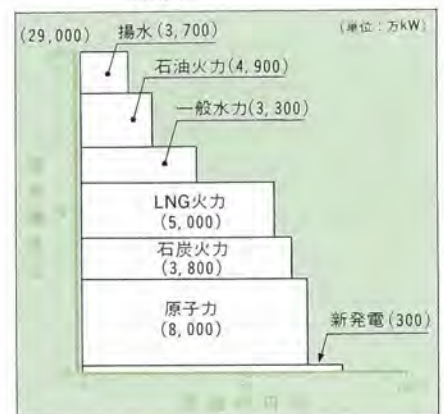
さらに、分析の範囲を広げて、エネルギー以外の投入資源も含めた「資源分析」という考え方を導入することによって、こうした物量ベースの評価のためのより多くの有用な情報がえられると期待される。

具体的なエネルギー収支分析の方法は

1. 素材の生産エネルギー(採鉱から素材原料まで)
2. 機器の製造エネルギー(素材から製品まで)
3. 発電所の建設エネルギー(建設機材の消耗も考慮)
4. 輸送エネルギー
5. 発電所の運転エネルギー(耐用期間中の消耗品、取替品のエネルギーを含む)などの夫々のエネルギーを分析し積算することにより行う。

一例を10MW流れ込み式水力発電所について示すと次のようになる(図3-3-4(A)~(D)参照)。図3-3-4(A)は各消費エネルギーの構成を示したもので建設エネルギー

図3-3-3 2000年における電源構成と設備利用率

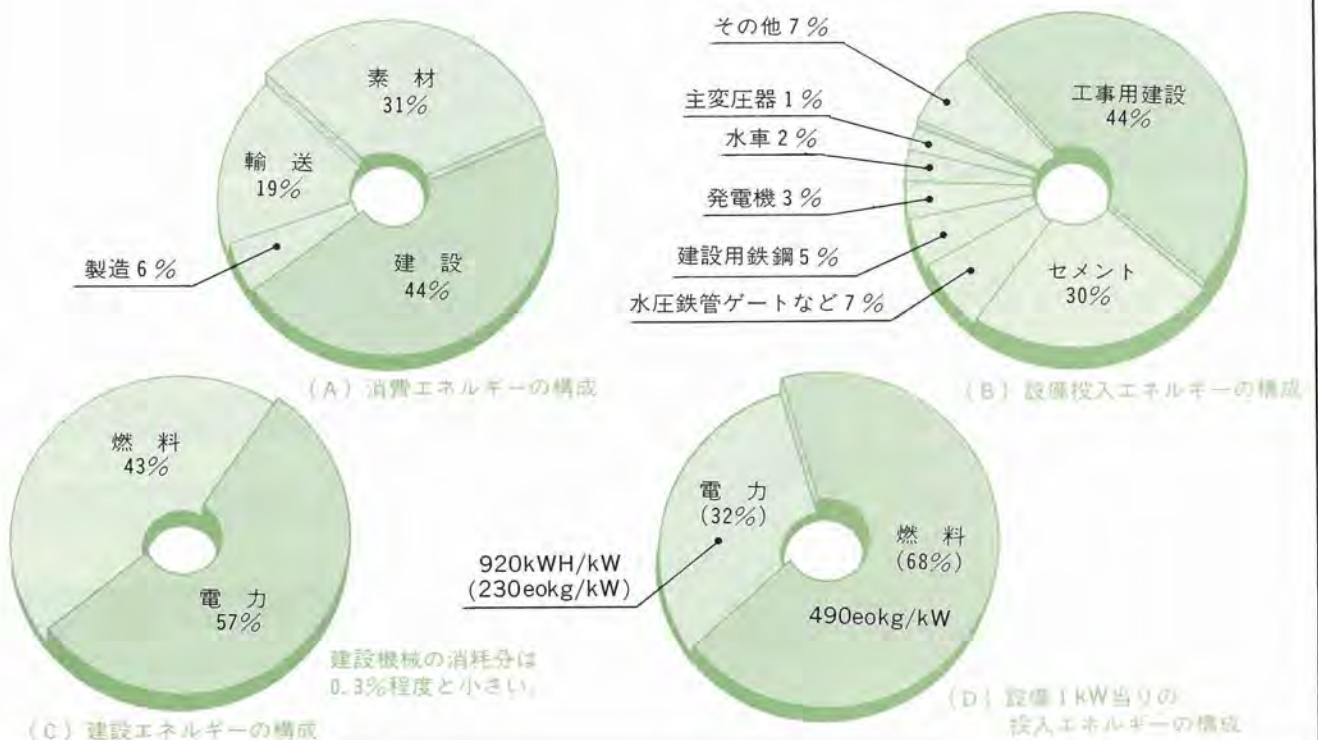


が44%と最も多くなっている。図3-3-4(B)は設備投入エネルギー分析項目毎に示したもので、工事・建設エネルギー、セメント、水圧鉄管、建設用鉄鋼の順になっている。

また消費エネルギーの形態を建設エネルギーについて見ると図3-3-4(C)のようであり電力が57%と過半を占めている。

このような規模の水力発電所を作る場合の設備1kW当りの投入エネルギーは図3-3-4(D)のようになり、設備の稼働率にもよるが約2年程度で投入エネルギーが回収できることになる。(上之蘭 博)●

図3-3-4 エネルギー収支分析の一例(10MW流れ込み式水力発電所)



関連報告書等

3-1

1. 大塚他「石炭新利用技術の電力への適用とその評価」総合報告：Z02(1981)
2. 藤森他「最近の石炭液化技術開発」調査報告：279005(1979)
3. 石森「大型石炭液化プロセスの構成と液化油性状」通産省サンシャイン計画・昭和55年度調査報告書「石炭液化油の分析評価と用途開発」(1981)
4. 石森他「石炭液化技術と液化油性状(第1報)、SRCの化学修飾とSRC-Iプロセス」研究報告：280050(1981)
5. 佐藤他「SRC一重質油スラリーの燃焼(その1)燃焼特性と排ガス性状」研究報告：280017(1981)
6. 遠藤他「SRC一重質油スラリーの燃焼(その2)燃焼排ガス中の微量成分」研究報告：280029(1981)
7. 水落他「SRC一重質油スラリー燃焼(その3)SRC一重質油混合燃料の性状」研究報告：280047(1981)
8. 水落他「SRC一重質油スラリーの燃焼、発電用燃料として利用する際の技術的検討」総合報告：210(1982)
9. 水落他「石炭一重質油混合燃料の流動性・安定性とその推算」研究報告：279061(1980)
10. 金折他「河成段丘下の断層の地下学調査(その1)一河成段丘中の土壌ガス組成」研究報告：381036(1982.4)
11. 浜松「熱貯蔵発電に関する基礎検討」研究報告：279052
12. 浜松他「大容量蒸気貯蔵発電の適用性評価研究(中間報告)」研究報告：281011
13. 浜松他「大容量蒸気貯蔵発電に関する研究(石炭火力の場合の概念設計と運用方式)」研究報告
14. 大容量蒸気貯蔵発電共同研究委員会「石炭火力タービンバイパス蒸気回収システムと省エネルギー効果」研究報告
15. 石川(忠)他「超電導エネルギー貯蔵装置による電力システムの安定化一システム模擬線による検討一」研究報告：181044(1982)
16. 広瀬、小森「沖合波流発電構造物の水理学的検討」依頼報告：381538(1981.11)
17. 駒林他「風力発電に関する調査」調査報告：279069
18. 鈴木晴之「海洋熱エネルギー転換技術の現状」海洋産業研究会研究資料 Vol. 11, No. 9, 1980-11-14

19. 新発電方式総合調査委員会「新発電方式総合調査報告書Ⅱ各論(その1)」昭和45年9月
20. 遠藤他「バイオマスのエネルギー変換に関する調査研究一バイオマス利用一」調査報告：479016(1980)
21. 菅沼他「バイオマスのエネルギー変換に関する調査研究一バイオマス利用の可能性と問題点一」調査報告：481002(1981)
22. 菅沼他「エネルギー植物の評価」依頼報告：481501(1981)
23. 豊沢他「微生物作用による有機廃棄物からのメタン生成」研究報告：479003(1979)
24. 新田他「メタン発酵をとり入れた有機廃棄物の再資源化による環境保全システムの提案」調査報告：279066(1980)
25. 吉野他「発酵によるアルコール生産の経済性」調査報告：479020(1980)
26. 上原他「畜産廃棄物利用のための処理処分に関する研究一家畜廃棄物のクローズド処理システムの適合性に関する検討(1)」研究報告：478003(1972)

3-2

1. 「シンプルサイクルガスタービンシミュレーションプログラムの開発」研究報告：280014(1981.1)
2. 「複合発電プラントの運転状態表示システムの開発」研究報告：280054(1981.10)
3. 「複合発電プラントにおける排熱回収蒸気タービンプラントの性能解析」研究報告(1982.4)
4. 「レヒートガスタービンのシミュレーション」高効率ガスタービン技術研究組合報告書(1980.5)
5. 「ガスタービンの電算機制御に関する研究」高効率ガスタービン技術研究組合報告書(1982.3)
6. 「排熱回収発電プラントの概念設計」高効率ガスタービン技術研究組合報告書(1982.3)
7. 極低温送電研究推進委員会「極低温ケーブルに関する研究」総合報告：105(1982.2)
8. 深川他「極低温ケーブル送電に関する調査研究」調査報告：71021(1971.7)
9. 送電機能研究委員会「極低温送電」(1973.3)
10. 坂本他「極低温抵抗送電システムの概念設計と技術的問題点」調査資料：175001(1975.8)
11. 田中他「液体窒素ボイドの内部放電(I)一常圧の場合一」研究報告：73025(1973.9)
12. 田中「液体窒素ボイド内部放電(II)一圧力の効果一」研究報告：74056(1975.2)
13. 田中「液体窒素ボイド内部放電(III)一ボイド放電発生のきっかけ一」研究報告：175015(1975.9)
14. 田中「液体窒素中の部分放電による紙状絶縁体の電圧・寿命特

性」研究報告：179017(1980.1)

15. 鈴木他「極低温ケーブルの通電損失に関する予備的検討」研究報告：178045(1979.5)
16. 秋田他「極低温ケーブルの通電損失」研究報告：180013(1980.12)
17. 秋田他「極低温における真空粉体の断熱特性」研究報告：181007(1981.7)
18. 北島他「キャビテーション・エロージョンにおける流動試験法と磁歪試験法との相関性」研究報告：276017(1976.12)
19. 相原他「液体窒素中のエロージョンについて(その1)磁歪振動法によるエロージョン実験装置の検討」研究報告：275021(1976.4)
20. 相原他「振動法による液体窒素中のエロージョンについて(その2)エロージョンに及ぼす圧力効果」研究報告：278045(1979.7)
21. 秋元他「POFケーブルおよび極低温ケーブルの冷却材の摩擦損失圧力(三本の内挿棒のある管路における摩擦損失圧力)」研究報告：73059(1974.1)
22. 西尾他「極低温ケーブルの冷却材流動(その1)単純管路のクールダウン実験報告」研究報告：74008(1974.7)
23. 西尾他「極低温ケーブルの冷却材流動(その2)ケーブル管路のクールダウン予備実験結果」研究報告：276018(1976.12)
24. 西尾他「極低温ケーブルの冷却材流動(その3)」研究報告：279060(1980.6)
25. 西尾「極低温流体輸送管のクールダウンに関する調査」調査報告：276002(1977.2)
26. 井上他「極低温送電管路用金属材料の低温時の力学的諸特性に関する調査」調査報告：73006(1973.12)
27. 井上「低温用金属材料の低温時の力学的特性と熱収縮特性」研究報告：376016(1977.5)
28. 井上他「低温用金属材料の低温時の力学特性—溶接部の力学特性—」研究報告：380014(1980.9)
29. 岡沢「低温下におけるコンクリートの強度および低温度サイクルによる耐久性」研究報告：379017(1980.2)
30. 金津他「低温下における鉄筋コンクリート引張部材の力学的特性」研究報告：379016(1979.10)
31. 青柳他「低温度下における鉄筋コンクリート曲げ部材の力学的特性」研究報告：379015(1979.12)
32. 緒方他「LNG地下タンク周辺の地盤材料の熱的性質と凍結膨張」研究報告：378005(1978.10)
33. 片岡他「LNG地下タンク周辺地盤の低温化における強度・変形特性」研究報告：378011(1978.11)
34. 植田「超電導交流発電機の開発に関する共同研究(その1)」調査資料：179009(1980)

3-3

1. 「新発電システムの比較研究と評価」経済研究所内部資料(1981)
2. 長期電力需給問題研究会「電力システムの長期展望第2報」研究報告：Z09
3. 辻「長期エネルギー需要想定のためのライフサイクルエネルギー」調査資料：176006(1977.4)
4. 辻「中小水力発電の代替エネルギー評価」研究報告(1982.5)
5. 齊藤「エネルギー収支分析の有効性」研究報告：581011

本部 / 経済研究所 東京都千代田区大手町1-6-1 ☎(03)201-6601 ☎100

狛江事業所 東京都狛江市岩戸北2-11-1 ☎(03)480-2111 ☎201

我孫子事業所 千葉県我孫子市我孫子1646 ☎(0471)82-1181 ☎270-11

武山試験研究センター 神奈川県横須賀市長坂2-6-1 ☎(0468)56-2121 ☎240-01

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

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

最近、テクノロジー・トランスファー(技術移転)という言葉が新聞等を賑わし、人口に膾炙するようになりました。EPRIジャーナル1981年11月号に、EPRI(米国電力研究所)の開発した技術を各電力会社に移転することの難しさが並べてあります。

これを R&D の最後の仕事(ultimate measure)と呼んでいます。本電研レビューも技術移転に一役買っていると自負していますが、最大の目的であるインフォメーション・トランスファー(情報移転)はなかなか難しく、読み易くするのに日夜努力しています。本号では各節の導入部で工夫してみましたので、ご意見いただければ幸いです。

本号での新規の編集として、

1. 各節の初めのページを着色ページとしたこと
2. このページを使って、イラスト入りで要旨・展望を簡潔に分りやすく記述したこと

があげられます。「かんとうげん」には前回に引きつづき、東京電力株式会社 藤森和雄常務取締役役にお願いましたところご多忙にもかかわらず心よく引き受けていただきました。紙上をかりて深謝いたします。今回も各節に編集担当者を設けましたが、絶大なる協力が得られました。全体の編集には、新・省エネルギー技術開発部 手島次郎部長が担当されました。また、エネルギー技術開発本部 矢作文弥副本部長には全般について貴重なアドバイスをいただきました。以上の方々へ心からお礼を申し上げます。

●イノベーション・ブロック●

種子を蒔けば、収穫しなければならぬ。豊作のものや不作のものがある。新・省エネルギーはいろいろな畑にいろいろな種子を蒔いたし、今後も新たに続けられるであろう。新しい試みが数々行われて来たが、畑や種子にも限界があるし、収穫なしで、次々と増していくこともできないだろう。豊作・不作は判断し、選択しなければならない。

新エネルギー技術が世に受け入れられるためには、既存のものを代替するものであるが、共存し補完するものでなければならない。しかし、いろいろなところでイノベーション・ブロックが発生し、新・省エネルギー技術の開発は容易ではないと感じさせる。これは技術的困難性ばかりでなく完成時の経済性への展望が持てない場合が多いからであろう。

エネルギー以外の分野では、近未来技術として、光通信、ロボット、生命工学など新たな種子が蒔かれており、これまでに大きな発展をとげた半導体素子やコンピュータもまだまだ成長が期待されている。しかし、これもエネルギーの安定供給が大前提となる。

未来技術といわれる核融合は、磁気とじ込め方式と慣性とじ込め方式(レーザー核融合)があるが、いずれもブレーク・イーブンに達する方式すら定かでない。高速増殖炉は着実な開発テンポにあるだろうが、2000年以前の実用化は難しいようである。高効率ガスタービン・蒸気複合発電は材料の問題で高温化がはばまれている。石炭ガ

ス化もひとすじなわけではない。太陽光発電、太陽熱発電、波力発電、海洋温度差発電等は技術的な問題もさることながら、経済性の問題も大きい。

これらの技術はブレークダウンすれば、数多くの方式が考えられている。研究資金とマンパワーには限度があるので、可能性のある有らゆる技術に手をつけて最後までやることはできない。できるだけ早く、技術の実現の蓋然性を察知し、選択的に技術開発を行っていかなければならない。今はやはり不透明であり、イノベーション・ブロックがあると言える。

このイノベーション・ブロックを克服し、透明度の高い技術開発を行っていくためには、一分野に造詣が深く、さらにクロスオーバーな水平思考のできる人間(T型人間と呼ばれる)が必要であると言われている。一型人間やI型人間からT型人間へさらにII型人間への成長・転換が望まれるが、最近では一層おし進めて鳥居型(卍)人間の出現が期待されている。レオナルド・ダビンチなど昔の天才には鳥居型人間がいたのであろうが、今は社会も技術も複雑で出現が難しい。

個人がII型や卍型になることも必要であるが、よほどの天才でなければ望むべくもない。とすればどうすればよいか? 答は簡単である。研究集団として、組織として、II型や卍型になればよい。組織であれば、卍型にでもなれるだろう。人が集っただけではだめである。ひとつの目的に有機的なつながりをもって当らねばならない。幸い当研究所は卍型組織になれる可能性がある。新しいエネルギー技術の稔りを期待しつつ。

R