

DENKEN REVIEW

電研レビュー

輝かしい独創研究——昭和59年度表彰



NO.11

1985.4

巻頭言——北陸電力株式会社 取締役副社長 得永 秀二…… 2

はじめに——表彰審査委員会 委員長 常務理事 沼田 郁夫…… 5

第1章 理事長表彰

原子力発電所地盤の耐震性評価法の標準化…… 8

第2章 各長表彰

2-1 ● 雷撃現象自動撮影装置の開発……17

2-2 ● 軽水炉燃料被覆管の破損機構の研究……21

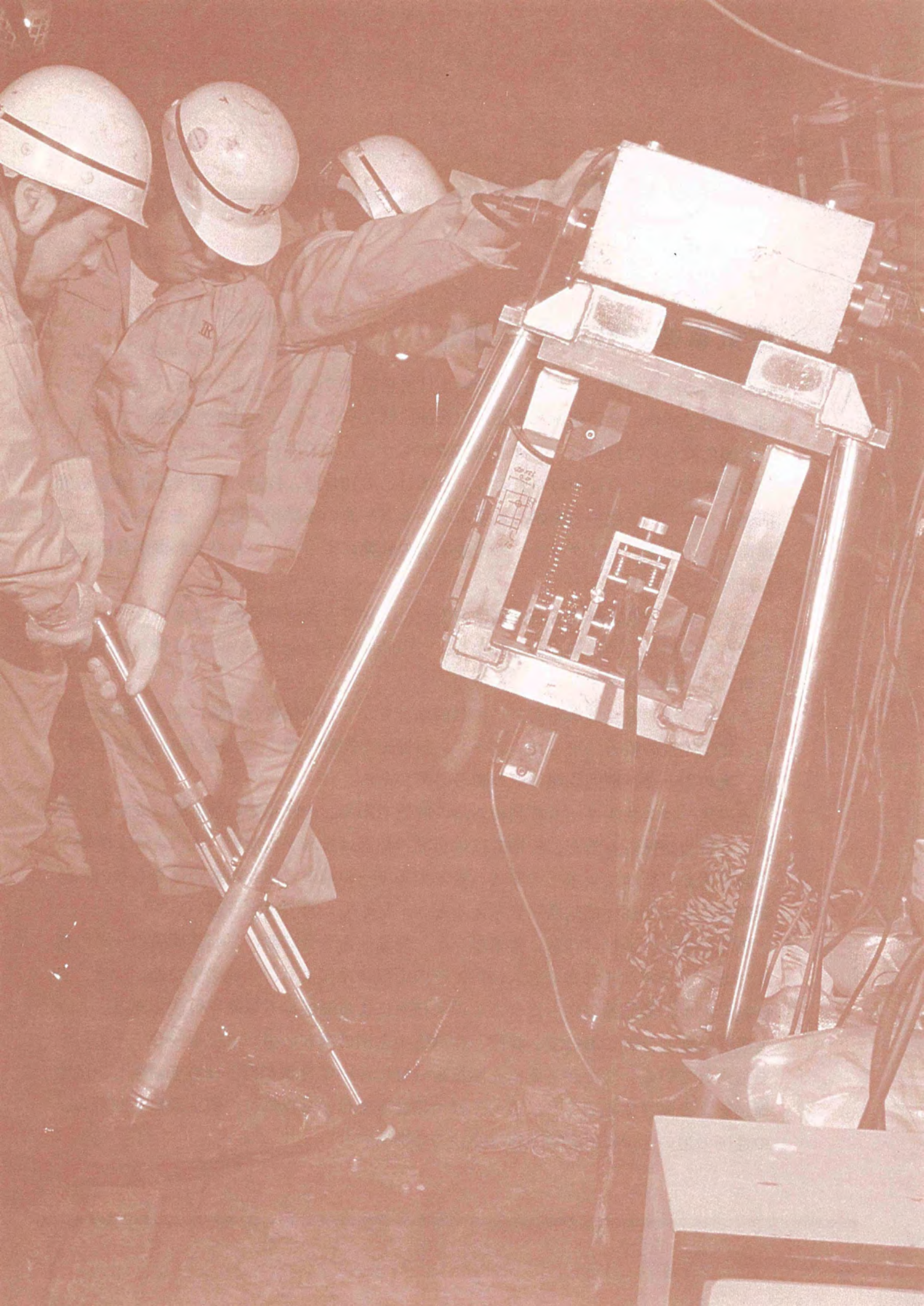
2-3 ● 貯水池富栄養化予測手法の開発……26

2-4 ● ガス環境調節設備の開発と植物影響研究……28

2-5 ● 日本経済および電力需要の予測システムの開発と拡充……31

2-6 ● 短絡試験研究用自動計測・解析システムの開発と実用化……34

関連する主な研究報告書等……40



電気事業の技術者に望む

今年は昭和60年、西暦1985年という区切りのよい年である。昭和でいえば、

戦後40年の決算の年であり、西暦でいえば21世紀まで15年、20世紀の最終コーナーを回った所である。経済の流れを変えた石油危機からでもすでに12年が経過している。

石油危機からの12年は、石油価格高騰がもたらした不況とインフレから脱出するための調整期として位置づけられよう。日本はこの12年間、持前の勤勉性を遺憾なく発揮するとともに、原子力を始めとするエネルギー源の多様化の推進、省エネルギーの推進、ハイテク、ハイタッチへの産業構造の転換によって、いち早く危機から抜け出した。

ここへ来て、世界経済も石油価格の安定とアメリカ経済の活況に支えられて、漸く不況から脱出したかに見える。しかし、この時間的ギャップが皮肉にも貿易摩擦という新しい火種に点火することになった。

このような問題点はあるが、日本経済はともかく石油価格の高騰による危機を克服し、安定成長の軌道に乗った。しかし、21世紀へ向けて新たな発展をはかるためには、次のような長期的課題に取り組む必要がある。

その第一はエネルギー資源制約からの解放である。一昨年来石油価格は安定し、需給にも余裕が見られるが、長期的には石油の枯渇はまぬがれない。このような時期こそ腰をすえて新エネルギーの開発、省エネルギーの推進に取り組まねばならない。研究開発に要する長い懐胎期間を考えると、不足してからではもう遅い。

第二はエレクトロニクス、新素材などの先端技術分野における研究開発の一層の推進である。日本はこれまで導入技術とその応用の才により、先進諸国に追いつき、追い越したが、最先端に立った今では導入技術による発展はもはや不可能である。しかも既存技術の分野において、韓国、台湾等中進国の激しい追い上げを受け、その対応を迫られている。したがって、先端技術分野において日本が自主技術を開発し、産業構造をより高度化することによって経済の発展をはかる以外に、貿易摩擦を回避し、中進国の追い上げに対応する道はないのである。

第三は情報化への対応である。昨今INS、VAN、CATVなど高度情報化をめざす先端的な取り組みが活発化している。情報化はコンピュータと通信の発展ならびにその結合によって可能となったが、その発展は通常の技術の枠組みをはみ出しつつある。すなわち、その進展は物質的豊かさを誇った工業化社会から、精神的欲求の充足を重視する高度情報化社会への移行を促進するものであり、社会全体に大きなインパクトを与えるものである。最先進国たる日本がこの分野において、先導的役割を果たすべきことはいうまでもない。

電気事業はこれらの課題を解決するにあたって、大きな役割を果たすことが期待される。第一の課題については電気事業本来の業務であり、その重要性はいうまでもない。第二の課題については供給コストの抑制が目下の急務であり、先端技術を積極的に活用して、合理化、効率化のための技術開発を推進すべきである。第三の課題についても電気事業は最大の自営通信網を有し、自らの設備・運用の高度化を推進する必要がある。さらに情報化社会の発展にも大きな役割を果たすことが期待されている。

以上のように電気事業の技術者に課せられた使命はきわめて大きい。創造力を発揮し、十分に研究開発の成果をあげるよう期待する。特に電研は電気事業における総合的な研究機関として、これらのニーズを先取りし、その研究成果を通じてパイオニア的役割を果たすとともに、電気事業をリードされることを期待したい。



北陸電力株式会社 取締役副社長

得永 秀二

〔電力中央研究所 参与〕

理事長表彰・各長表彰一覧

◎ 理事長表彰 ◎

「原子力発電所地盤の耐震性評価法の標準化」

◎原子力発電所施設を建設する場合に、地震に対して安全な技術の確立を図るという思想のもと、その評価方法である調査・試験・解析手法を体系化し、手引書としてまとめたもの。これにより、建設費のコストダウン、工期短縮に貢献。また国の安全審査などにも反映されるものと期待される。

●原子力立地拡大技術プロジェクトの耐震設計および調査試験法サブグループ

土木研究所 副所長・桜井 彰雄、耐震構造部長・江刺 靖行、立地部長・緒方 正虔、地盤構造研究室・本荘 静光、地盤構造研究室長・日比野 敏、立地部調査役・松井 家孝、耐震研究室長・沢田 義博、土木研究所 調査役・北原 義浩、原子力構造研究室長・塩見 哲、土質基礎研究室・伊藤 洋、研究開発本部 原子力部 立地技術担当課長・国生 剛治

◎ 各長表彰 ◎

「雷撃現象自動撮影装置の開発」 電力研究所

◎自然雷を自動的に撮影可能としたもので、これによって落雷現象が明らかになり、耐雷設計・保守技術の改良に貢献。昭和57年度渋沢賞受賞。

●放電研究室 多田 隼

「軽水炉燃料被覆管の破損機構の研究」 エネルギー研究所

◎原子力発電所燃料棒被覆管破損が生じた時に被覆管が収縮する現象を発見。これにより、燃料棒破損の予知が可能となり、原子力発電所の稼働率および信頼性向上に貢献。この発見は「Onchi Effect」として欧米でも評価されている。昭和58年度日本原子力学会論文賞受賞。

●燃料研究室長 恩地 健雄

「貯水池富栄養化予測手法の開発」 土木研究所

◎湖沼・貯水池において、規模、窒素、リン酸の流入量、季節、貯留水の流動状態等を要素に富栄養化の発生をシミュレーションにより予測する手法を開発。実際のダム地点に適用し富栄養化防止対策に貢献。昭和56年度土木学会論文奨励賞受賞。

●水域環境研究室 宮永 洋一

「ガス環境調節設備の開発と植物影響研究」 生物研究所

◎排ガスの植物に対する影響を大気環境条件で試験できる自然光型ガス環境調節設備を開発。これを使って排ガスと植物生理について解明、植物に悪影響が出ないことを実証し、電源立地の環境対策に貢献。

●大気環境植物影響研究グループ

緑地部長・石川 春彦、動植物研究室長・藤原 喬、動植物研究室・河野 吉久、同・梅沢 武、同・佐藤 秋生、緑地部・高梨成行

「日本経済および電力需要の予測システムの開発と拡充」 経済研究所

◎経済動向に電力需要動向を組み込んだ予測システムの拡充・整備を行ったもの。これを年2回電力会社等所外に発表するとともに所内の数量的分析に活用し、研究の効率化に貢献。

●経営研究室 服部 恒明

「短絡試験研究用自動計測・解析システムの開発と実用化」 武山試験研究センター

◎大型短絡試験装置において測定データをデジタル化し、自動的に収録・解析できるシステムを開発。省力化がはかれるとともに処理・解析の精度向上に貢献。

●大電流研究室 泉 邦和

はじめに

表彰審査委員会 委員長 常務理事 沼田 郁夫

わが国の経済社会は、将来の複雑な高度情報化社会に向けて、いま、大きな転換を遂げようとしています。

この転換の最も中心をなすものは、いうまでもなく技術開発です。

特に、わが国のような無資源国が今後国際競争場裡において生成発展していく途は、頭脳を活用する技術開発においてほかにありません。

エネルギーについても同様です。

日本経済において欠くことのできないエネルギーを、将来にわたり安定して確保するためには、どうしても、新しい技術の開発が必要になります。

そのような意味合いから、電気事業の総合研究機関として、研究開発を担当している当研究所としては将来、電気事業にとって真に役に立ち、社会に貢献できる課題を先取りして、目下、全組織をあげ、気合いを入れて研究に取り組んでいるわけであります。

このほど、当研究所では、電気事業の、ひいては将来の経済社会の発展に寄与する貴重な研究成果をあげたものを顕彰し、職員の活力を一層高揚することにいたしました。

表彰は、理事長表彰と各研究所の所長表彰の二本立てと

し、今後、毎年選考して表彰することになりました。

今回は、その第一回であります。

選考にあたっては、電気事業の総合研究機関という立場から、

●独創性を発揮した研究成果であること

●電気事業全体にかかわる諸問題の解決に大きく寄与した研究成果であること

という観点で慎重に審議しました。

そして、理事長表彰には、「原子力発電所地盤の耐震性評価法の標準化」に関する研究成果を選びました。

その他、各研究所の所長の表彰は、本誌に収めているように、1ヶ所から1件ずつ計6件を選定し、表彰を行った次第であります。

これらは、いずれも将来にわたって電気事業の発展に寄与するもので、この成果が広く実用に供され、社会に貢献することを期待しております。 ●



第1章 理事長表彰 ● 目次

原子力発電所地盤の耐震性評価法の標準化	土木研究所 副所長 桜井 彰雄	18
1-1 研究の目的	(原子力立地拡大技術プロジェクトの耐震設計 および調査試験法サブグループ)	
1-2 実施体制		
1-3 成果の概要		
1-3-1 総論		
1-3-2 地質調査法		
1-3-3 地盤調査・試験法		
1-3-4 原子炉建屋基礎地盤の耐震安定性評価手法		
1-3-5 周辺斜面の安定性評価手法		
1-3-6 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価手法		
1-4 成果の効果		



第 1 章

理事長表彰

原子力発電所地盤の耐震性評価法の標準化

土木研究所 副所長 桜井 彰雄

1-1 研究の目的

原子力発電所の地盤については、綿密な調査・試験、信頼できる手法による解析と設計に基づき、信頼性の高い施工を行うことが求められている。その基本方針は、科学技術庁原子力安全委員会が定めた「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針について（昭和56年7月）」（以下「指針」と略記）、原子炉安全専門委員会が定めた内規「原子力発電所の地質・地盤に関する安全審査の手引き」（以下「手引」と略記）に示されている。

しかしながら、地質・地盤は多様であり、その調査・試験・解析・評価・設計・施工の一連の関係を体系化して世に問うことは、電力土木技術者はもとより、立地に関心を寄せている国民の理解と信頼を得るためにも、有意義なことと考えられる。

また、これら一連の相互の関係を明確にし、体系化することにより、不要な作業を整理し、必要な作業を入念に実施して、より信頼性を向上させると共に、作業の合理化、立地審査の円滑化、工期短縮によるコスト低減にも寄与することになるものと考えられる。

1-2 研究の実施体制

本研究は、電気事業および通産省の要請による電力共通研究を当所の研究構想に包含して、昭和56年度より3ヶ年計画の下に実施したものである。

当所では、研究開発本部と土木研究所で構成するプロジェクト研究として研究を推進すると共に、成果は学識経験

者、電力および当所から成る「地盤評価研究会」で審議、評価し、成果の電気事業へのすみやかな反映を図った。また、同じ課題について研究を進めていた、土木学会原子力土木委員会地盤部会の活動を積極的に支援すると共に、学会を通じ国の行政に成果を反映するよう努めた。

1-3 成果の概要

研究成果は、原子力発電所施設に特別に要求されている限界的な設計地震動に対し地盤の耐震性を確実なものとするため、最近の学問と技術の知見を基に、既往設計例・資料の調査のほか、これをまとめるために実施した調査・試験・数値解析の結果を取り入れてまとめたものである。

1-3-1 総論

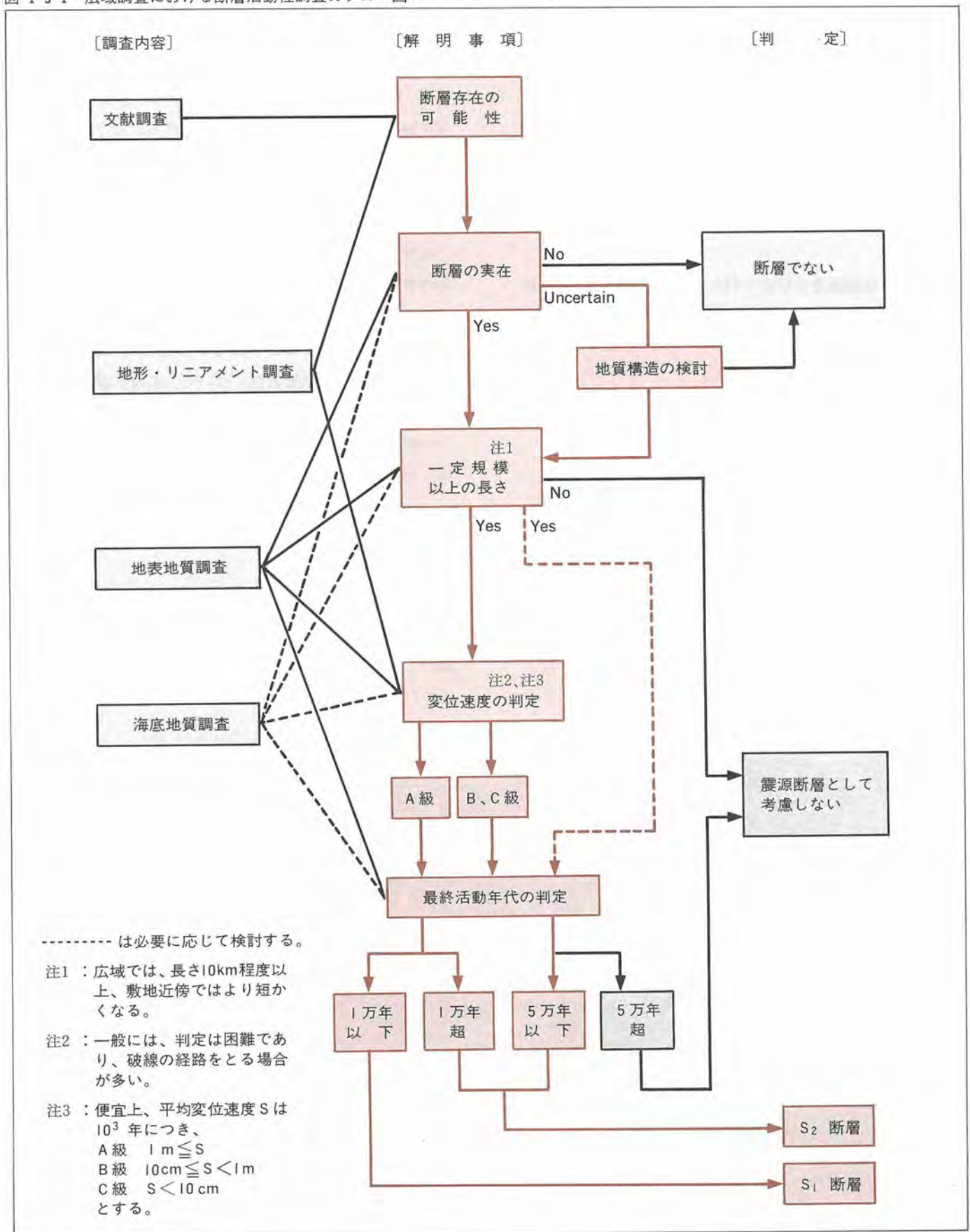
本編は、「指針」や「手引」の考え方に基づいて、以下の各編の方針を示すための耐震性評価の基本的な考え方と、その地盤と土木構築物への適用・評価について述べたものである。

基本的な考え方は、以下の通りである。

1. 「指針」では、静的地震力と動的地震力を定め、対象の重要度に応じて静的地震力を3段階に定めて適用し、最も重要な構築物に対しては静的地震力と動的地震力の包絡で設計するよう求めている。ここでは、対象とする地盤が岩盤であり十分な安全性があることから、「指針」で定める限界地震より定められる基準地震動 S_2 に対し耐震安定性を照査することとした。

適切に定められた耐震安定性評価基準値を満足すれば、基準地震動 S_2 に対して安全性につき「指針」の要求が満足されるからである。

図 1-3-1 広域調査における断層活動性調査のフロー図



2. 耐震性の評価段階を3段階とし、静的地震力と慣用評価手法を第一の評価法とし、これに対して適切に定めた耐震安定性評価基準値を満足すれば、それ以上の評価手法を用いない（したがって調査・試験も不要となる）こととした（図1-3-2~4 参照）。

3. 基準とする静的地震力の大きさは、多くの資料に基づき、標準の震度を0.2と定めた。これによれば基準地震動 S_2 による評価結果とほぼ同一になるからである。

4. 地質・地盤調査の目的を明らかにし、耐震性評価手法と組み合わせて、これらの調査・試験が実施できるよう例示した。

1-3-2 地質調査法

地質調査の目的は、耐震設計上考慮すべき断層活動性の把握と、構造物周辺の詳細な地質構造・岩石分布・岩質の解明にある。このため、広域地質調査（陸域、海域）、および敷地内調査として必要な調査項目・範囲、結果の集約と表示の方法を示した。

これらの調査法は、「指針」の考え方に従いこれを具体化したものであるが、これをまとめるに当り、リニアメン

ト判読精度の調査と「活断層研究会（編）日本の活断層」に示された確実度Ⅰ、長さ10km以上の断層11本についての詳細な地表地質調査を行った。

この結果から、いわゆる文献活断層についても、断層の在否、活動性はかなり多様であり、耐震設計上必要となる基準地震動 S_1 、 S_2 相当断層に該当するかどうかの判定にあたっては、適切な調査結果に基づいて工学的に分類して判断すべきことを示している。図1-3-1に、断層活動性調査のフロー図を示した。

敷地内調査のうち岩盤分類は、設計・施工に必要な工学的性質を把握すべき、岩盤のグループを定めることを主目的としている。

現在、硬質岩盤に多用されている電研式6段階分類に加え、今回新たに軟質岩盤について、準硬質岩盤（軟岩Ⅰ類）、新期軟質岩（軟岩Ⅱ類）、不均質軟岩（軟岩Ⅲ類）の3分類を行い、その固結度、生成年代、不均質性を考慮した統一的グループ分けの基準の大綱を設定した。

1-3-3 地盤調査・試験法

本編は、原子炉施設の配置計画、基礎地盤・周辺斜面・屋外重要土木構造物の安定性評価、設計・施工上必要な地盤の工学的な性質を把握するための調査・試験法について述べたものである。

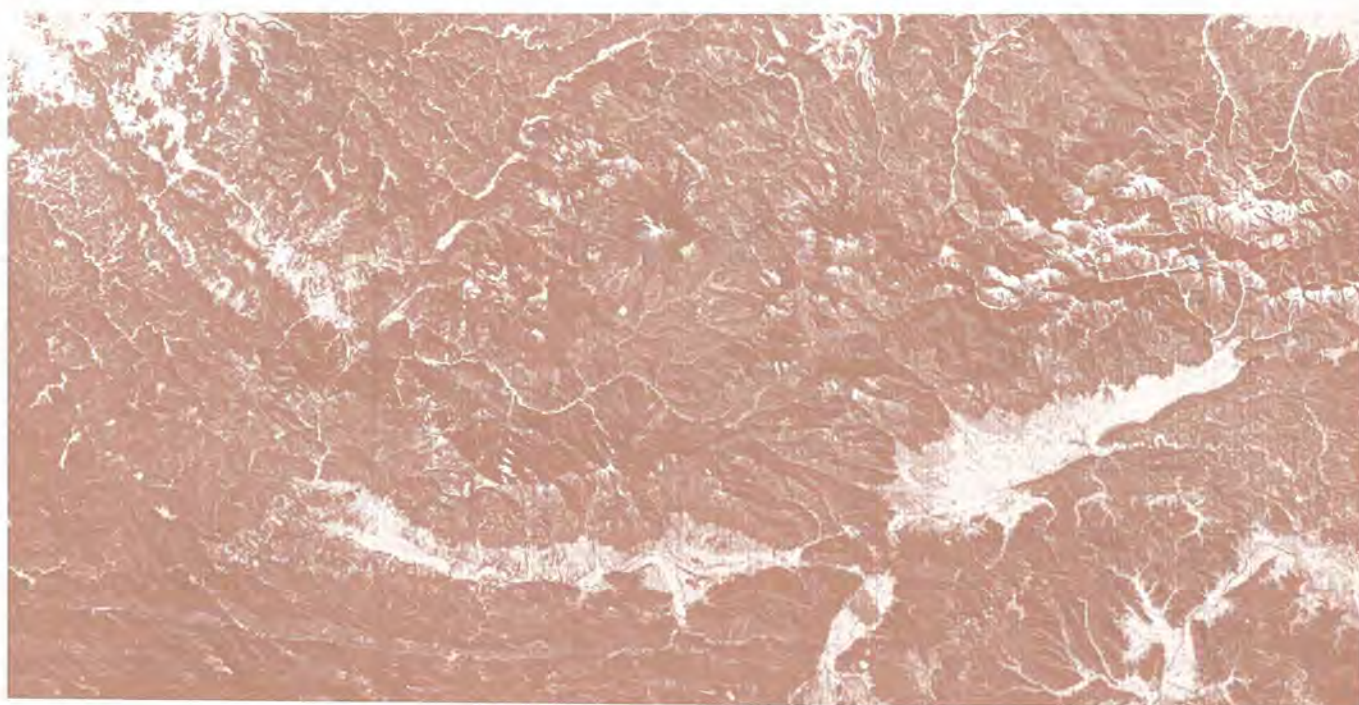


図 1-3-2 炉心基礎地盤における調査・試験・評価のフロー図

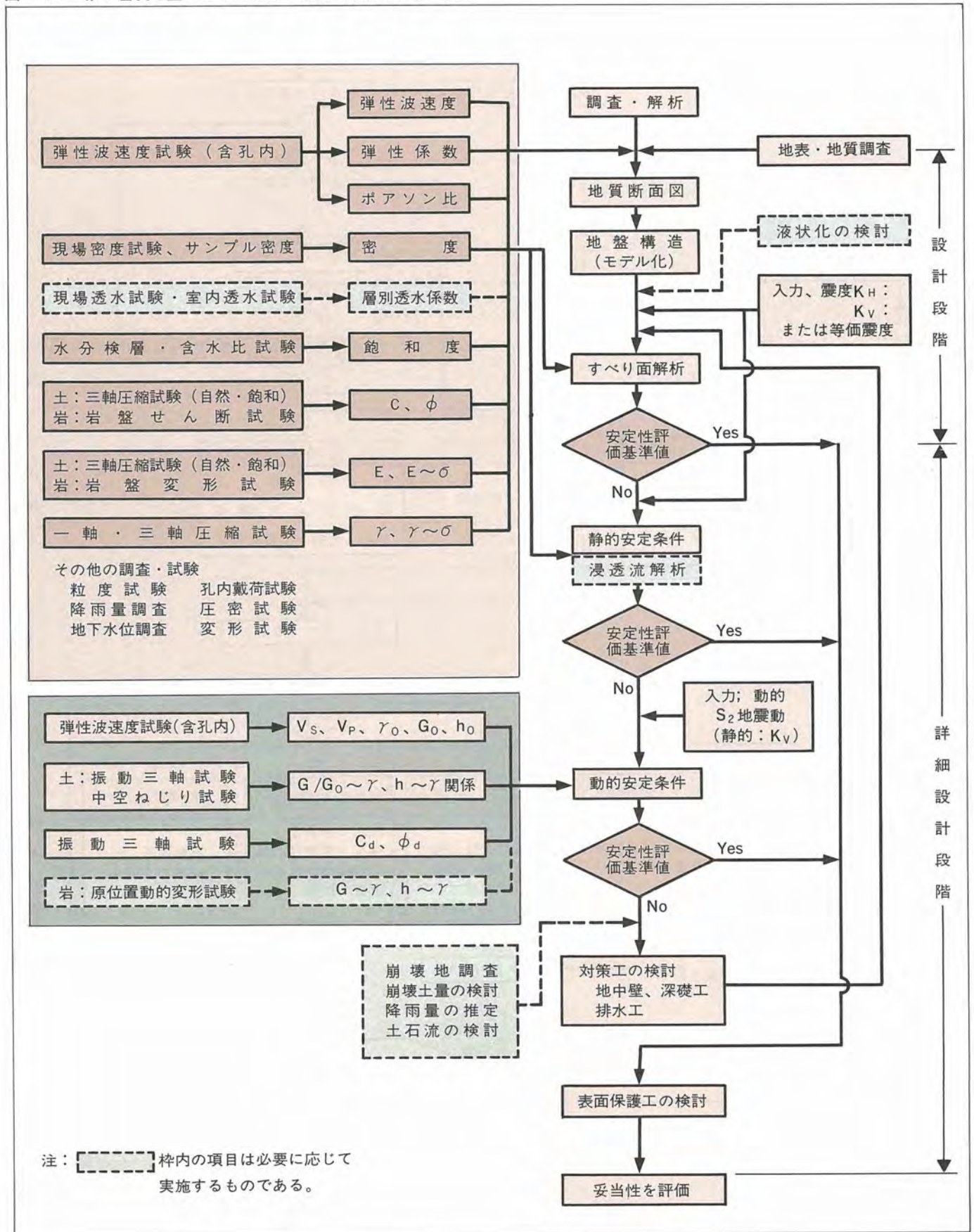


図 1-3-3 周辺斜面における調査・試験・評価のフロー図

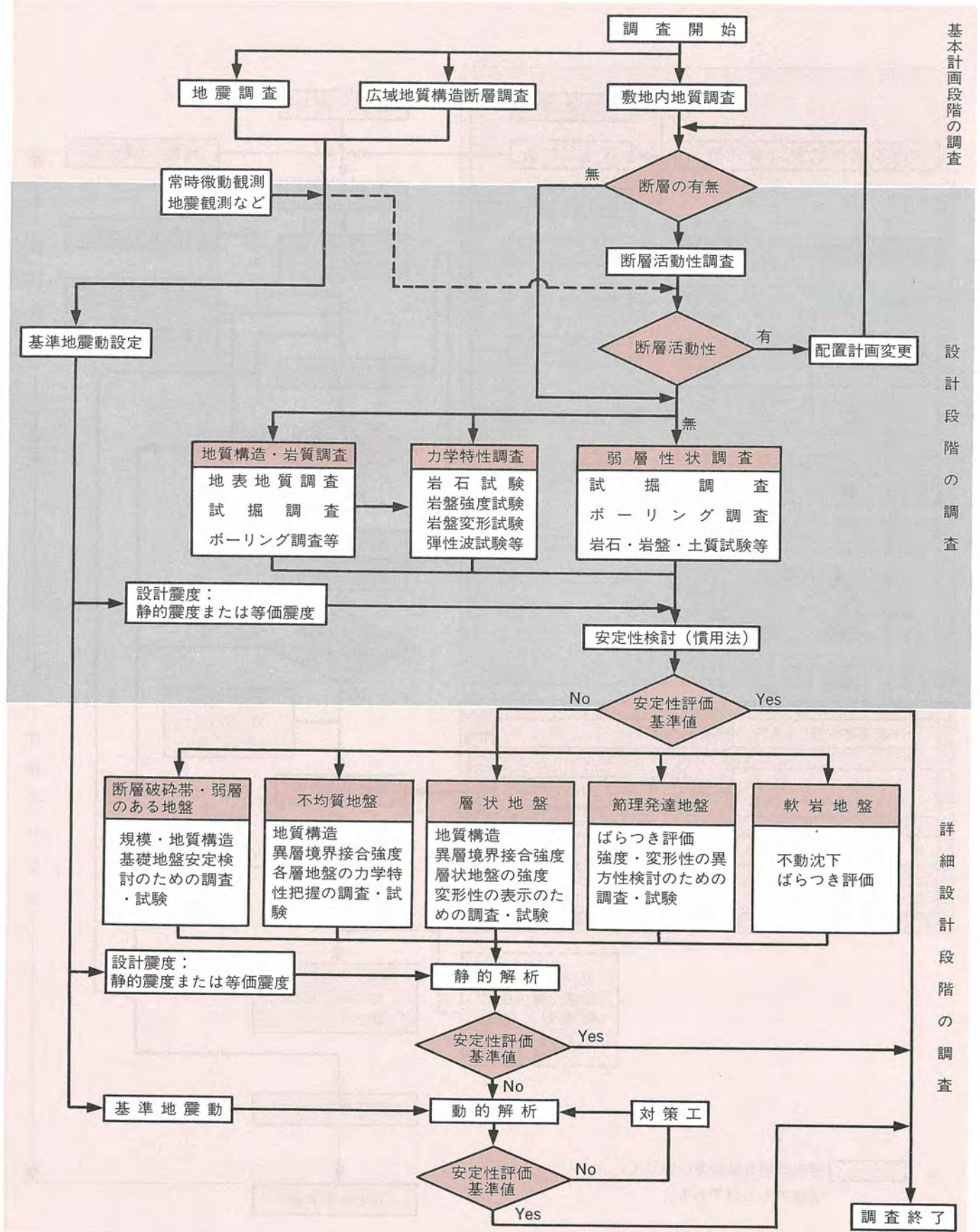
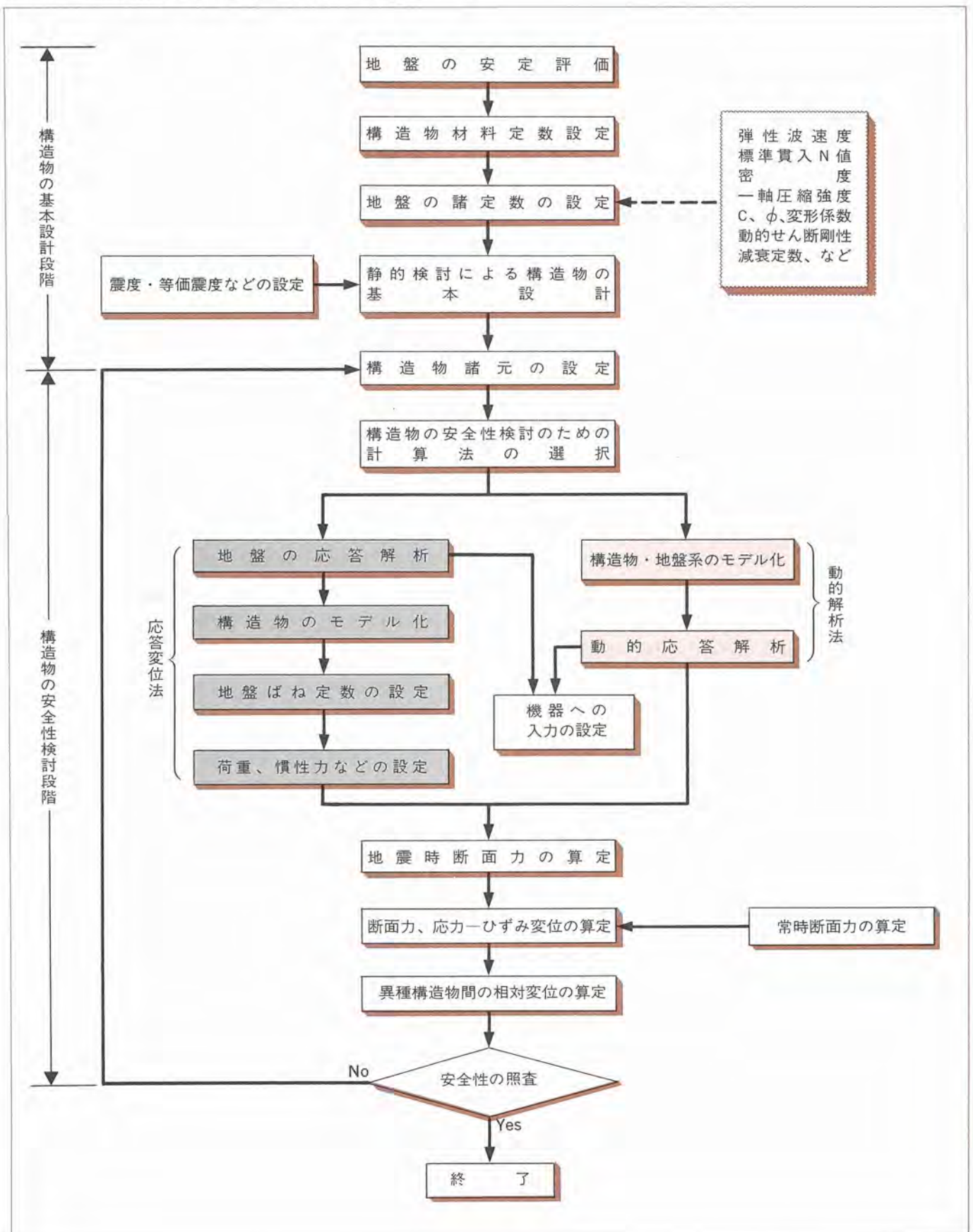


図 1-3-4 屋外重要土木構造物における耐震設計手順のフロー図



本編の特色とするところは、設計の各段階、安定性評価の各手法ごとに必要とされる調査・試験の項目、数量、範囲を述べ例示したことである（図1-3-2～4）。

また、得られた物性値のばらつきについては、既往資料の統計解析による確率関数のあてはめ、ケーススタディによる代表値の解析などを行い、地盤物性のばらつきを考慮して評価を行う場合、

$$(\text{代表値}) = (\text{平均値}) \pm (\text{係数}) \times (\text{標準偏差})$$

とする決定論的手法を提案し、例示の場合、係数として0.5を示した。ケーススタディの結果をみると、地盤物性のばらつきを考慮しても、すべり安全率や沈下量のばらつきは非常に小さくなることが示されている。

1-3-4 原子炉建屋基礎地盤の耐震安定性評価手法

評価手順の流れ図を、図1-3-2に示した。慣用法、静的解析に用いる水平震度は、0.2としてある。この値は、既設サイトにおける基準地震動 S_2 に対する検討例、ケーススタディの結果から、今後多くのサイトで設定されるであろう S_2 に対し安全側の結果を与える値として定めたものである。

したがって、この評価手法に対して定めた安定性評価基準値2.0を確保できれば、耐震安定性の照査を終えることになる。動的解析手法に対しては、1.5としてある。ここで、安定性評価基準値とは、各段階で所定の安定性評価基準値を満足していれば、それ以上の詳細な検討を必要としない地盤であると、判断するための目安として定めたものである。

1-3-5 周辺斜面の安定性評価手法

基本的には、原子炉建屋基礎地盤の場合と同じ手順である（図1-3-3参照）。周辺斜面の場合、構造物との離間距離によって、その重要度が変わる。このため、過去の斜面崩壊例を調査し、離間距離50m以内、または斜面高さの1.4倍以内にある斜面を検討対象斜面とした。

慣用法、静的検討に必要な水平震度は、過去の検討例、ケーススタディより0.3としてある。安定性評価基準値は、この場合1.5とし、動的解析手法に対しては1.2としてある。

1-3-6 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価手法

主に非常用補機冷却用海水取水設備を対象にしている。対象とする構造物は主に地中構造物となるため、設置される地盤の安定性をまず求め、その安定性評価は、斜面・原子炉建屋基礎地盤に準ずることとしている。

本編の構造物設計では、構造物の安全性照査に先立ち、水平震度0.2を基本として部材断面を設定する基本設計段階、構造物の安全性を確認しさらに上載機器（ポンプ、海水管）などへの設計入力を定める段階とに分かれる（図1-3-4参照）。ケーススタディの結果から、適用計算法として応答変位法の適用性の高いことなどが知られている。

1-4 成果の効果

すでに1-1で述べたところであるが、本研究の成果は、従来、各サイトごとの判断で実施されてきた、地質・地盤の調査・試験法とその表示、地盤の耐震性評価手法と安定性評価値について、これを総合化・有機化して一つの体系としてまとめ上げたこと、また多くの例示を行って電力各社の実務に携わる人に利用の便を図ったことにある。

本研究の範囲について実務を担当された方であればお判り載けると思われるが、体系化の中に多くの合理化要素（例えば、設計震度）も含まれている。

本成果により調査・試験・評価の具体的方法が示されたことにより、合理的かつ一貫した調査・試験・設計が行い得、これによって調査費の低減、安全審査の期間短縮など波及効果が見込まれる。電気事業としては、これら成果が、早急に安全審査等行政に反映されることを期待しているものである。 ●

参考文献

1. 科学技術庁原子力安全局原子力安全調査室（監修）：原子力安全委員会安全審査指針集 大成出版社、1981
2. 活断層研究会（編）：日本の活断層分布図と資料、東京大学出版会、1980
3. 土木学会原子力土木委員会地盤部会：原子力発電所地盤の耐震性評価手法の標準化 土木学会誌69巻 1984、12月号



第 2 章

各長表彰



第2章 各長表彰 ● 目次

2-1	雷撃現象自動撮影装置の開発	電力研究所	送変電部	放電研究室	多田 崔	17
2-2	軽水炉燃料被覆管の破損機構の研究	エネルギー研究所	原子力部	燃料研究室	室長 恩地 健雄	21
2-3	貯水池富栄養化予測手法の開発	土木研究所	環境部	水域環境研究室	富永 洋一	26
2-4	ガス環境調節設備の開発と植物影響研究	生物研究所	緑地部	部	長 石川 春彦	28
		〃	〃		高梨 成行	
		〃	〃	動植物研究室	室長 藤原 喬	
		〃	〃	〃	佐藤 秋生	
		〃	〃	〃	河野 吉久	
		〃	〃	〃	梅沢 武	
2-5	日本経済および電力需要の予測システムの開発と拡充	経済研究所	経済部	経営研究室	服部 恒明	31
2-6	短絡試験研究用自動計測・解析システムの開発と実用化	武山試験研究センター				
			試験研究部	大電流研究室	泉 邦和	34
	関連する主な研究報告書等					40

2-1 雷撃現象自動撮影装置の開発

電力研究所 送変電部 放電研究室 多田 寛

2-1-1 研究の目的

近年大規模の電源から、大容量の電力を長距離輸送する傾向が強まり、昭和48年に275kV から500kV に昇圧された最高送電電圧は近い将来、1000kV となる計画である。これに伴い送電鉄塔は高くなり、また山岳地帯を通る基幹送電線の数も増加している。

このため、送電線が雷撃を受ける可能性も大きくなっている。特に日本海沿岸では原因ははっきりとしないが、建設された500kV 送電線に日本海側独特の冬季雷によると思われる事故を生じ、これまで一般的に検討されてきた、夏季雷の知識からは説明できない現象が発生した。

このような状況の下で、電力輸送の信頼性をより一層向上させるためには、送電線の耐雷性を向上させることが必要であり、自然現象である雷撃現象を明らかにすることが急務である。それには、まず、送電線に進入してくる雷撃の実体を把握すること

が重要となる。

しかし雷は不特定の場所に偶発的に発生し、しかも非常に短時間で終了する(10^{-5} ~ 10^{-4} 秒)現象であるため、観測によって詳細な情報を得ることが困難であり、未解決の課題が多く残っている。

このため、雷放電路を無人で自動撮影できる「雷撃現象自動撮影装置」を開発し、耐雷設計の向上に資することとした。

2-1-2 研究の内容

開発した装置は、次の4種類である。

1. テレビ残像方式カメラ
2. 多重雷用カメラ
3. 簡易形ストリークカメラ
4. 光量積分方式カメラ

これらは、撮影目的に応じて使い分け、あるいは、組み合わせて使用するので、一括して「雷撃現象自動撮影装置」と名付けた。以下に各カメラの概略を紹介する。

I. テレビ残像方式カメラ

この方式は、テレビ撮像管の残像を利用したものである。

雷放電の強いせん光により、テレビカメラの撮像管に残った残像がモニターテレビに映し出されている間に、そのせん光が雷放電であることを検知して、モニターテレビの画面を35mmモータドライブカメラ、または8mmカメラで撮影する。

このカメラは昼夜の別なく視野内のすべての雷を撮影できるが、テレビカメラを使用するため、解像度が悪く画面にひずみが生ずるなどの弱点がある。

II. 多重雷用カメラ

雷には、同一の放電路を通して、短時間のうちに複数回雷撃するものがあり、多重雷と呼ばれる。全落雷のうち約半数が多重雷であるとの報告もあり、第1雷撃と第2雷撃との時間間隔は数十ミリ秒である。

本カメラはこの現象を利用したもので、多重雷の第1雷撃のせん光を検知し、その信号でカメラを動作させ第2雷撃以降を撮影する。

このカメラは、シャッター時間と絞りを適切に選定すれば、昼夜の別なく多重雷と継続時間の長い雷を撮影でき、解像力もよい。また市販のモータドライブカメラまたは8mmカメラと落雷検知器だけから構成されるので、安価で操作が簡単であり、簡易測定に有力である。

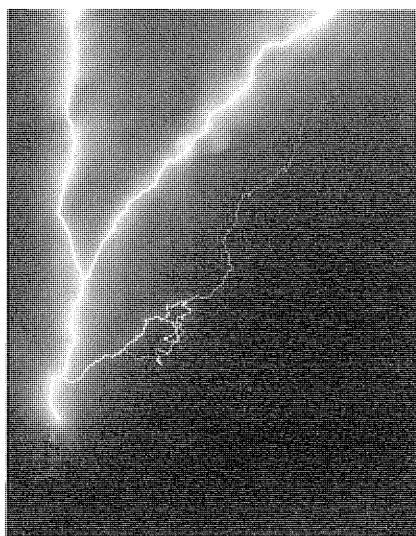
半面、第1雷撃を撮影できないので、第1雷撃に特有の細い枝わかれなど、放電路の細部の情報が得られない弱点がある。

III. 簡易型ストリークカメラ

このカメラは、多重雷の多重度を観測するために開発したもので、日本海側冬季雷の観測に使用して、雷撃経路の発光時間の長い雷(長波尾雷と呼ぶ)を発見した。

市販の音声録音のできる8mmカメラを改造してフィルムが約0.08mm/ミリ秒の速度で走行するようにしたものである。落雷検知器で雷放電を検知してカメラを動作させる。

このカメラはシャッターがなく、フィルム面がツェーネに開放されているので、後述の光量積分方式で動作させれば、夜間には第



1 雷撃から撮影することができる。なお、落雷を検知してから、カメラが動作しフィルムが等速になるまでには、ある程度の時間を要する。

IV. 光量積分方式カメラ

雷放電のメカニズムを調べ、耐雷設計に適用するためには、単一雷や多重雷の第1雷撃を解像度よく撮影する必要がある。

上記テレビ残像方式カメラは、解像力が不十分であり、他の2種類の方式は、単一雷や多重雷の第1雷撃を撮影できない。本方式は、夜間の落雷に対して、上の条件を満足するものである。

このカメラの構成を図2-1-1に示す。まず襲雷検知部で雷雲の接近を検知し、その時の明るさを明暗検知部で判断し、両条件が満足した場合、カメラのシャッターを開いて落雷を待つ。同時に光量積分部で入射光量を積分し、フィルムの感光度を検知する。落雷があれば、落雷検知部で検知して、落雷の撮影されているフィルムを送り、落雷の前にフィルムが規定量、感光した場

合は、光量積分部で検知してフィルムを送り、新しいフィルムで次の落雷を待つ。

シャッター開放中に襲雷あるいは暗さの何れかの条件が欠けるとシャッターを閉じ、多重雷用カメラに切りかわり待機状態となる。

この装置の長所は、シャッターを開いた状態で雷を待機するので、第1雷撃から撮影でき、35mmカメラを使用すれば良好な解像力が得られることである。欠点は、昼間は明るすぎて使用できないこと、朝夕にフィルム使用量が多少増すことなどである。

V. 各カメラの比較

以上の4種類のカメラは、夫々、一長一短があり、1種類のカメラで複雑な雷撃現象の全てを撮影することはできず、目的に応じて適当に組み合わせて使用する必要がある。各カメラの特徴を表2-1-1に示す。

これらのカメラは無人動作のため、雷撃時刻を自動記録する必要がある。このため撮影した月、日、時、分、秒をフィルム面に同時に撮影する撮影日時記録装置を開発

し、取りつけた。

2-1-3 成果によるメリット

本雷撃現象自動撮影装置を使用して昭和54年冬季から幾つかの地点で自然雷の観測を行ってきている。

現在までに多数の撮影結果が得られ、これらの解析から、夏季雷と冬季雷の相違、冬季雷の特徴などがかなり明らかとなってきており、雷に対するしゃへい設計、冬季雷での特異現象といわれる2回線にわたる多相事故や架空地線の素線切れなどの防止に関する貴重な情報が得られた。以下に主な結果を示す。

I. 冬季雷の特徴

図2-1-2は高い建造物への雷撃進入角の分布を示したものである。進入角の分布は季節風の方向と強い相関があり、例えば図は海側すなわち風上の襲雷方向に偏って分布することが示されている。

日本海側の冬季雷では、雷放電が地上の

図 2-1-1 光量積分方式カメラ構成図

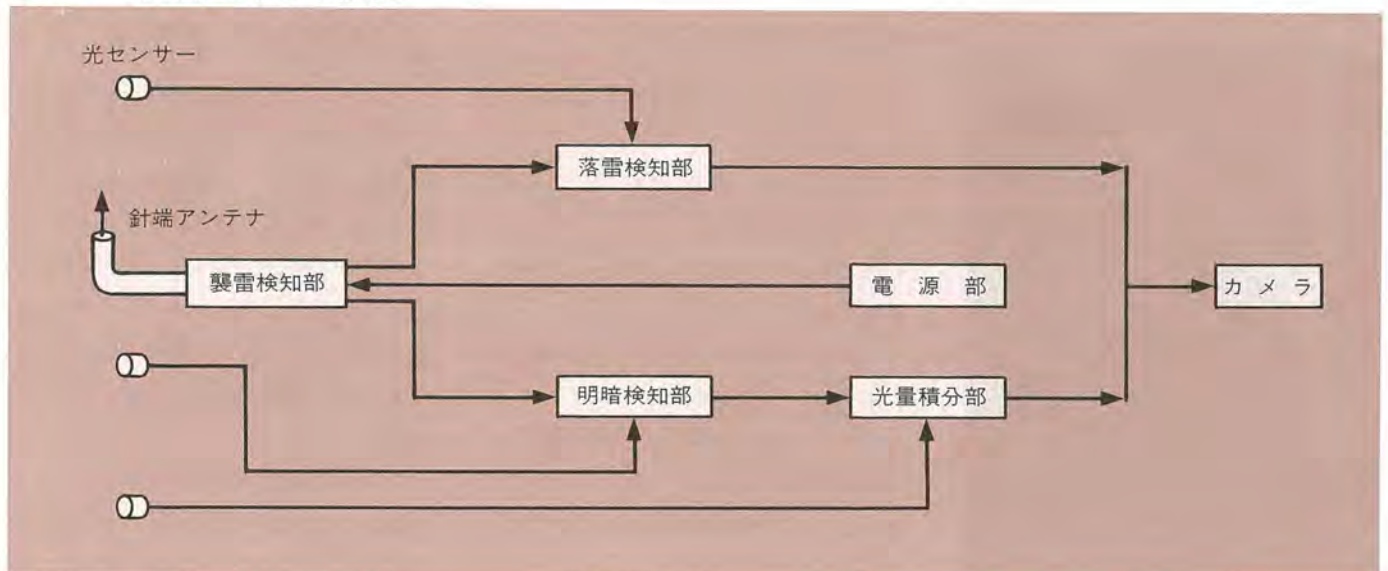


表 2-1-1 各カメラの特徴

カメラ方式		テレビ残像	多重雷用	簡易型ストリーク	光量積分
使用カメラ		テレビカメラ・モニタ + 35mm又は8mm	35mm又は8mm	8mm	35mm又は8mm
センサー		襲雷、落雷	落雷	襲雷、明暗、光量、落雷	襲雷、明暗、光量、落雷
撮影可能雷撃	昼	全	多重雷の第2雷撃以降 及び長波尾雷	多重雷の第2雷撃以降 及び長波尾雷	多重雷の第2雷撃以降 及び長波尾雷
	夜				全
日時記録		画面内	画面内	画面内	画面内
解像力		普通	良い	普通	良い
時間分解		なし	なし*	なし	なし*
電力消費量		多	少	少	少

* 8ミリカメラを使用した場合には時間分解能あり (1/18 SEC程度)

建造物から上向きに発生することが報告されていたが、上向き放電の発生頻度が非常に多いことを確認した。

また、自然の単一雷では、長波尾雷の発生頻度が多いことを明らかにした。夏季雷の継続時間は0.01~0.1ミリ秒と報告されているが、冬季雷の場合、同一地点で50ミリ秒を越す長波尾雷の発生の割合が50%以上にもなる場合がある。また雷撃経路の発光時間が最大450ミリ秒に及ぶ長波尾雷も撮影されている。

図2-1-3にカメラのシャッター開放時間が100ミリ秒以内に撮影された雷現象の例を示す。カメラの種類によって異なるが、25~250ミリ秒以内に、2ヶ所以上の地点に雷撃する（同時雷撃と呼ぶ）現象が少なからず発生することを明らかにした。

II. 夏季雷の観測結果

夏季雷の観測は赤城UHV試験送電線で実施しているが、昭和55年度より昭和59年度までの雷撃数は7件と少ない。



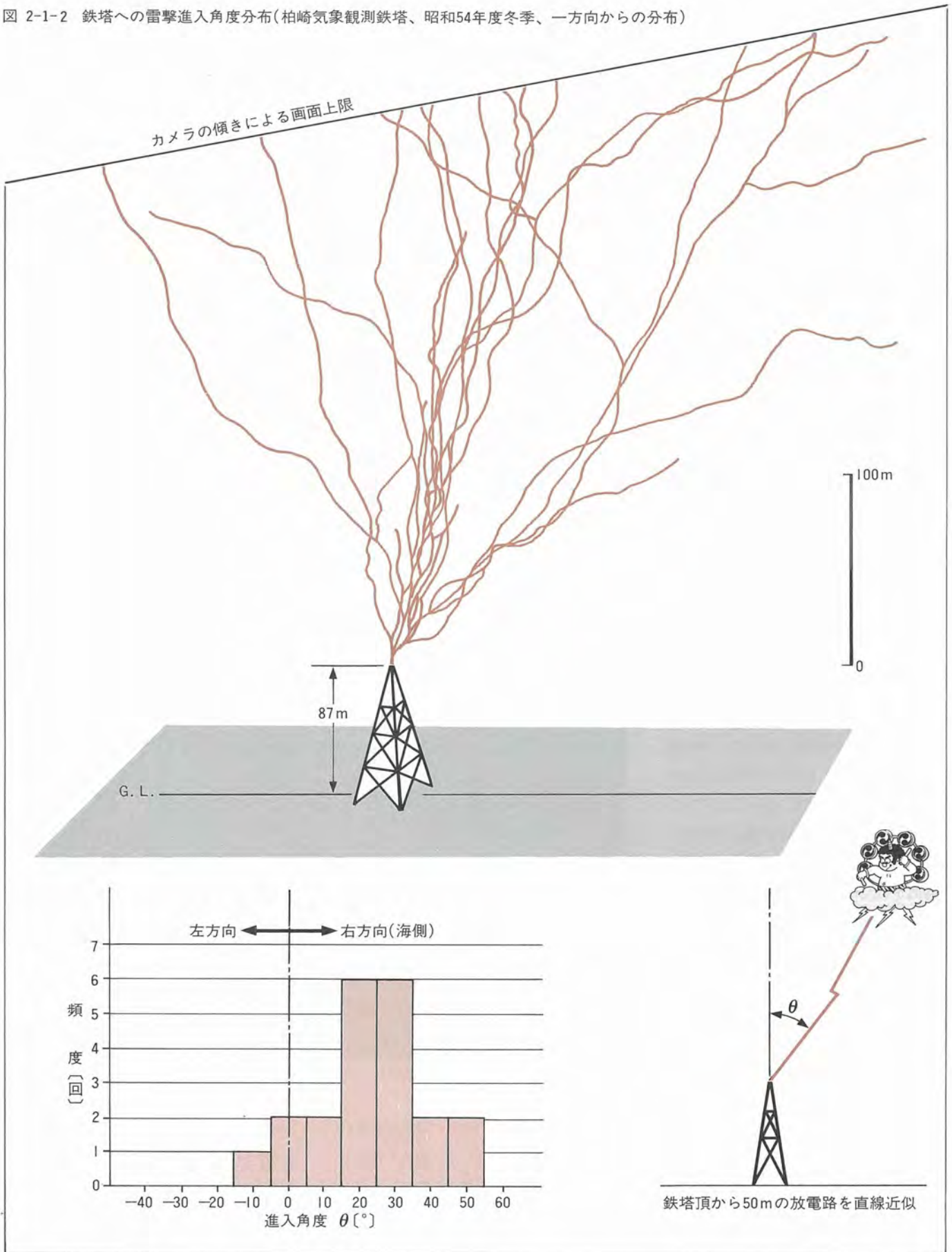
図 2-1-3 2地点への同時雷撃の例（昭和58年度）

送電線の雷しゃへい設計には現在雷撃の極性は考慮されていないが、極性を考慮する必要があることを示唆する観測結果が1例得られた。

本装置の有効性は以上述べたように明ら

かになっており、すでに電力各社、大学などにおいても実送電線や高鉄塔など、60ヶ所以上の自然雷の観測に使用されており、耐雷技術の改良と理論の展開に大きく貢献している。

図 2-1-2 鉄塔への雷撃進入角度分布(柏崎気象観測鉄塔、昭和54年度冬季、一方向からの分布)



2-2 軽水炉燃料被覆管の破損機構の研究

エネルギー研究所 原子力部 燃料研究室 室長 恩地 健雄

2-2-1 研究の目的

原子力発電所では、原子炉の炉心で発生する熱を利用して発電を行っている。原子炉の炉心は、主に燃料棒と冷却水で構成されており、燃料棒から発生する熱は冷却水を介して取り出される。

燃料棒は、被覆管とよばれるさや（ジルカロイとよばれる金属でできている）の中に燃料ペレット（二酸化ウランを焼き固めたもの）を管軸に詰めたもので、図2-2-1のような構造になっている。

運転中には、燃料棒内部では発熱量（出力）が高くなるにつれてペレットが熱膨脹により、「鼓み形」に変形し、被覆管を内部から圧迫するようになる。さらに出力が

高くなるとペレットが被覆管を管軸方向に引き伸ばすようになる。

このとき、被覆管内部に、燃料ペレット中のウランの核分裂より生じた核分裂生成物（ヨウ素など）があれば、被覆管は応力腐食割れ（SCC）という機構により割れることがある。この割れはペレット・被覆管相互作用（PCI）破損とよばれ、燃料の出力上昇速度を下げれば破損はかなり避けられることがわかっていたが、原子炉で照射中の燃料棒の破損時期や、被覆管が中性子照射をうけることにより、割れ易くなる理由が解明されていなかったため、破損を抜本的になくす手だてがなかった。

このため、原子炉で燃料棒を照射中に破損が起こることを正確に予知する方法を開

発することと、燃料の燃焼が進むにつれて被覆管が割れ易くなる理由をつきとめることを目的として本研究を行った。

2-2-2 研究の内容

原子炉を使って燃料棒の破損を調べるためには、燃料の出力を順次上げたときの、燃料棒に生ずる変化を詳しく知る必要がある。このような燃料照射実験は、ヨーロッパ諸国では1970年頃より非常に活発に行なわれている（わが国ではまだその技術は確立されていない）。

また、燃料が燃えるにつれて、被覆管が割れ易くなることを調べる研究は、米国、ヨーロッパ諸国、および日本でも行なわれ

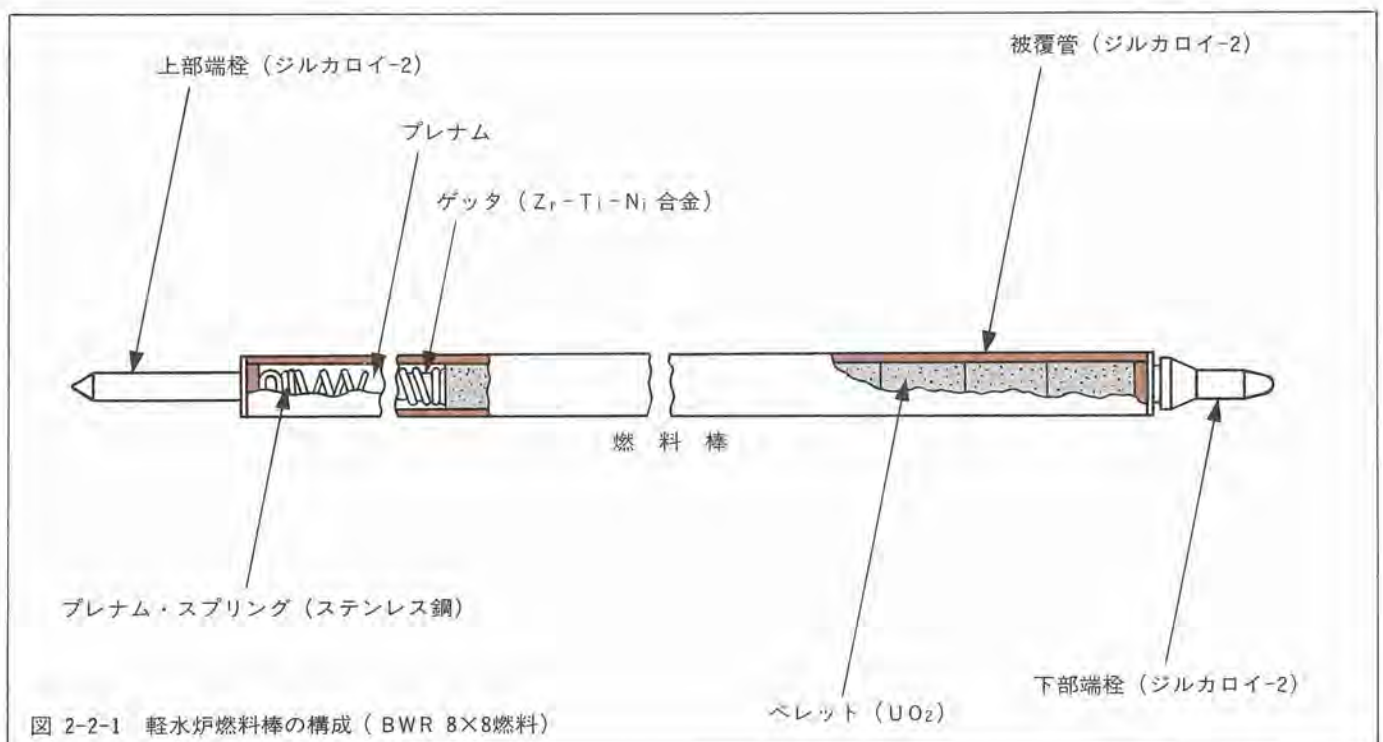


図 2-2-1 軽水炉燃料棒の構成 (BWR 8×8燃料)

図 2-2-2 出力上昇サイクルと各出力レベルにおける PCI

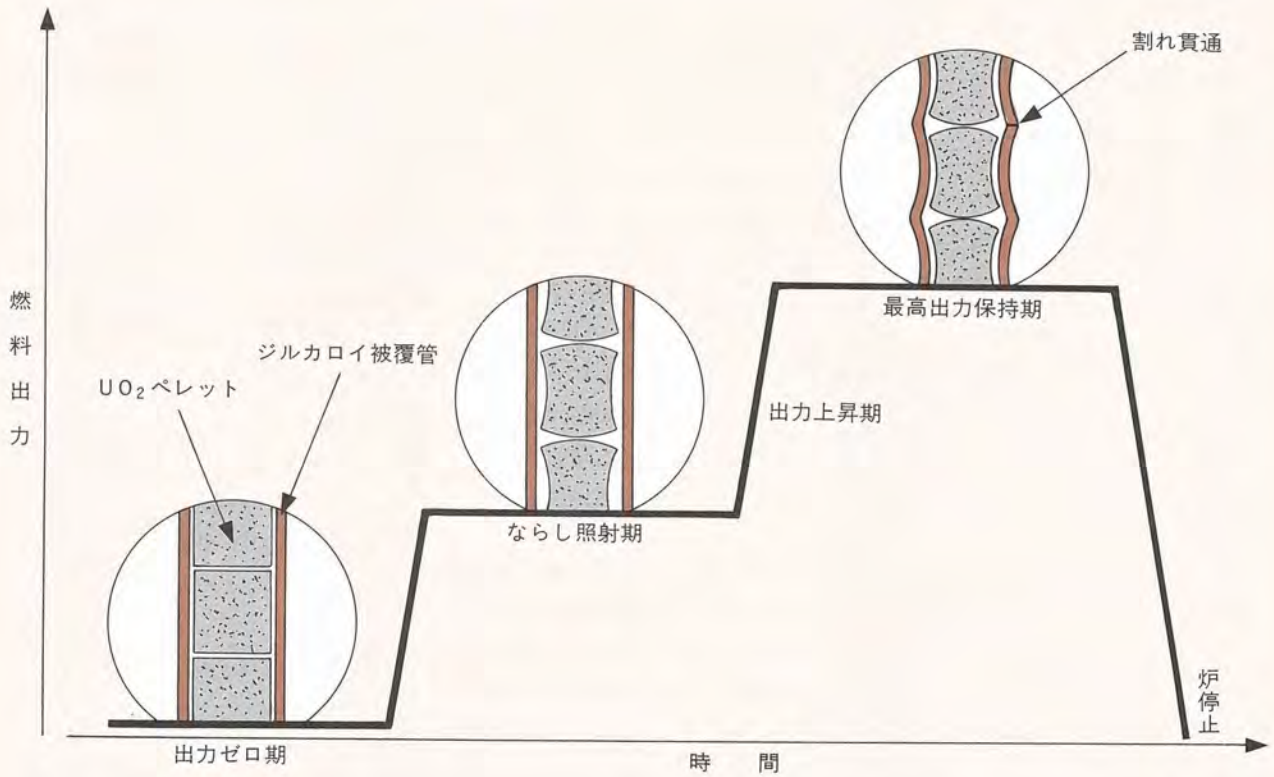
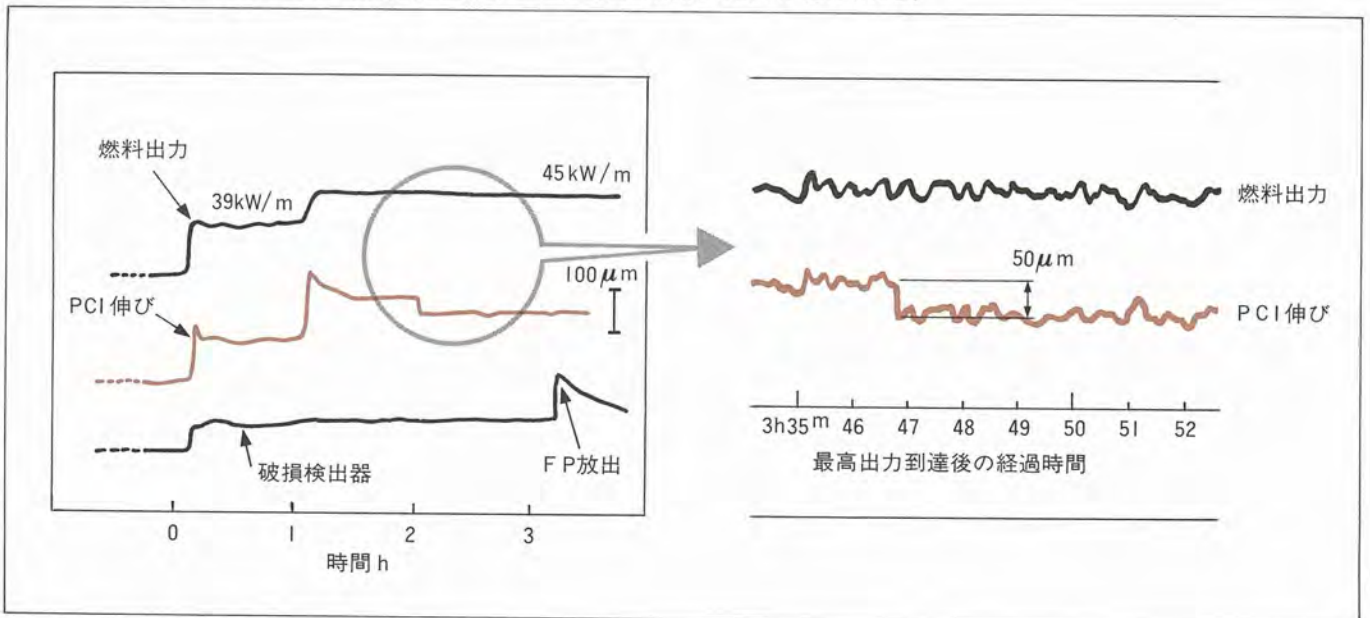


図 2-2-3 燃料照射実験における燃料出力、PCI伸びおよび破損検出器信号の関係
(最高出力到達のうち数時間後に燃料のPCI伸びの急激な低下が認められる)



ている。以下に本研究の内容を紹介する。

I. 燃料照射実験による燃料棒破損の研究

HBWR (ハルデン沸騰重水炉)における燃料照射実験では、照射中の燃料棒の伸びの大きさを、試験燃料棒の下端に取り付けた伸び計により測定している。(注：著者は1976年から1年半をハルデンプロジェクト(ノルウェー)に滞在し、HBWRにおける燃料照射実験に従事した。)

燃料の出力を上げると、燃料棒内でPCIが起り、出力の大きさにほぼ比例して、被覆管が軸方向に引き伸ばされる。図2-2-2には、代表的な出力上昇サイクルとPCI

の関係を模型的に示す。この出力上昇サイクルの、どの時期に燃料被覆管が破損するのかが、それまでわからなかった。

破損検出器は、冷却水中へ漏洩する核分裂生成物を検出することにより、破損を検知するものであるが、被覆管に割れが貫通しても、十分な量の核分裂生成物が漏洩しない限り破損を検知できないことや、割れ貫通から破損検知まで、数分から数時間の時間遅れがあることなどのため、破損の正確な予知が非常に困難であった。

当時、軽水炉燃料棒のPCI破損のメカニズムについて、被覆管の力学的破壊説とSCC説に、世界の関連研究者が二分され

ていた。著者は、燃料棒のPCI破損のメカニズムが、核分裂生成物によるジルカロイ被覆管のSCCであるとの立場から、被覆管の割れは燃料の出力が最高値に到達したのち、そのレベルを保持している間に発生するとの見通しを持っていた。

このため、最高出力保持中の燃料の出力とPCI伸びの変化、および破損検知信号に注目し実験を行った。図2-2-3に測定結果の一例を示す。

燃料破損を検知した燃料棒では、最高出力に到達したのち数時間から十数時間後に核分裂生成物(F・P)の検出に先立って、燃料棒のPCI伸びが低下する現象が観察された。この燃料棒を照射後試験すると、図2-2-4に示すように被覆管表面には破損を示すマーク(Xマークとよばれている)が、また被覆管断面には貫通クラック(a)が観察された。

このPCI伸びの低下は、また核分裂生成物の放出がほとんどないほど、微小な貫通割れが生じた場合にも現われる。このPCI伸びの低下は、燃料棒が破損するときは瞬時に収縮することを意味している。

それまでは、燃料棒の破損が起こると燃料棒は伸びると考えられていたため、破損と同時に燃料棒が収縮する現象はすぐには受け入れられなかったが、実験が繰り返される中で、燃料棒の収縮現象と照射後試験により観察される被覆管の割れがほぼ完全に対応していることが確認された。

燃料棒にPCI破損が起こると直ちに収縮する現象は、今日では発見者である著者の名をとって、欧米では“Onchi Effect”とよばれている。この現象の物理的説明の試みが、発見者のものを含めていくつか提案されているが、まだ完全な説明には成功していない。

図 2-2-4 燃料照射実験で最高出力保持中に、燃料被覆管が収縮する現象を生じた、燃料棒の照射後試験結果(被覆管の外表面には“Xマーク”が、また管の断面には貫通クラック(a)が観察された)

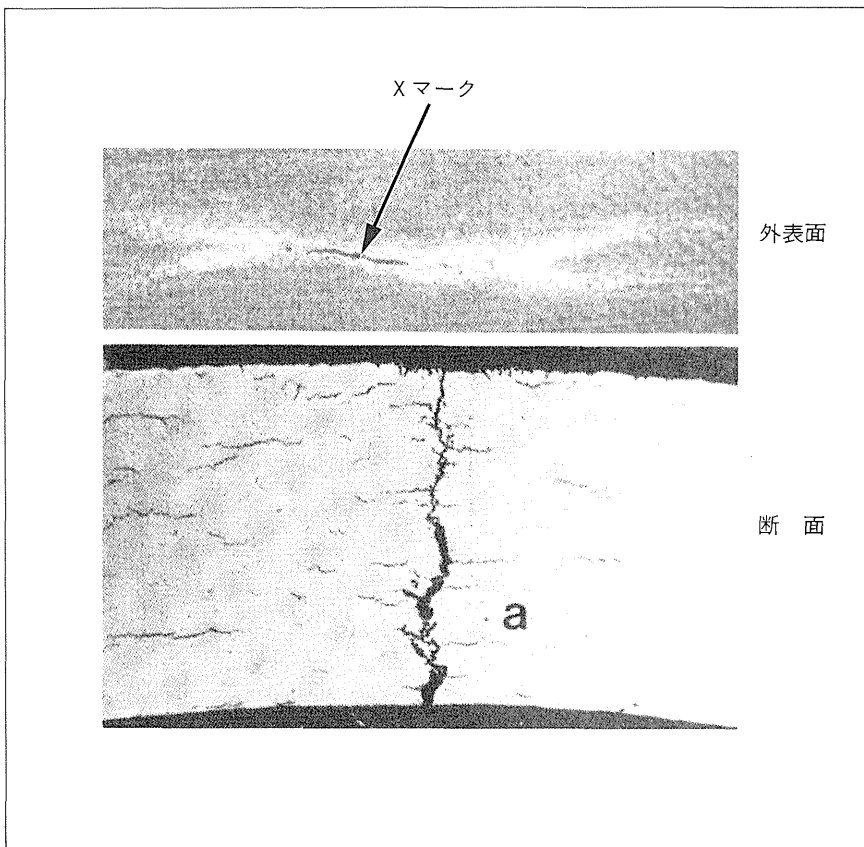
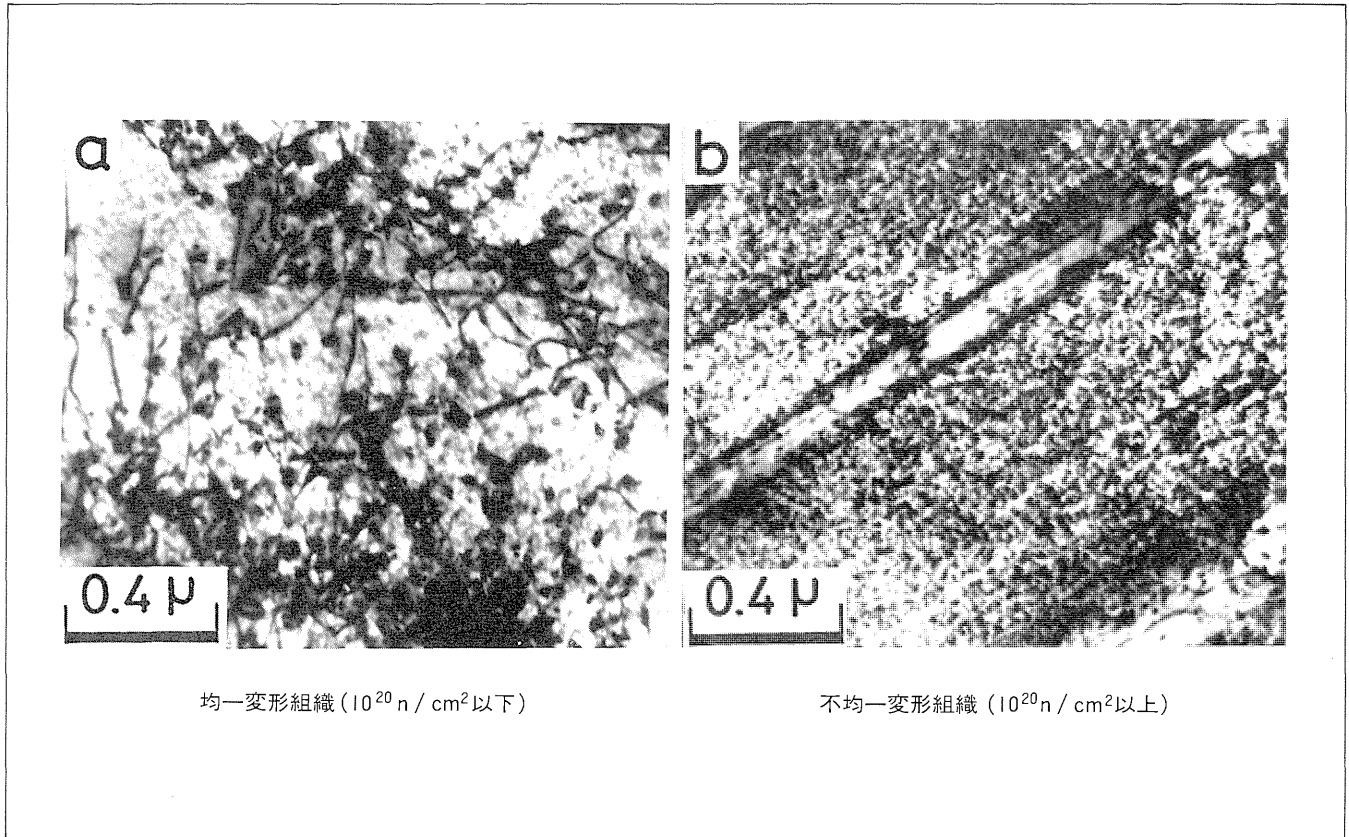


図 2-2-5 ジルカロイ被覆管の初期変形組織



均一変形組織 (10^{20} n/cm^2 以下)

不均一変形組織 (10^{20} n/cm^2 以上)

II. 被覆管のSCCに及ぼす中性子照射効果の研究

燃料棒のPCI破損のメカニズムは1970年代末になってはじめて、ジルカロイ管の核分裂生成物（とくにヨウ素）によるSCCであると世界的に認められた。しかし、ジルカロイ被覆管が、原子炉で照射を受けるにつれて割れ易くなる理由は、まだ明らかにされていなかった。

本研究では、原子炉で中性子を照射されたジルカロイ被覆管を使って、PCIにより被覆管が引き伸ばされるときに生ずる変形の初期段階を詳しく検討し、さらに中性子照射量を種々変えた被覆管について、ヨウ素によるSCC感受性（割れ易さ）との関連を調べた。

被覆管の変形の初期機構は、中性子照射量にして 10^{20} n/cm^2 （燃料棒を数カ月間原子炉で使用したときに受ける中性子数に相

当する）を境に、その前後で著しく異なることを透過型電子顕微鏡を使った研究により明らかにした。

すなわち、中性子照射量が 10^{20} n/cm^2 までは被覆管の変形の仕方は、照射しない被覆管と同様に均一変形であるが、 10^{20} n/cm^2 を超すと変形の仕方が不均一になる。図2-2-5には被覆管の変形組織写真を示す。

このように変形機構が中性子照射量の増加につれて変化するのは、ジルカロイ被覆管の金属組織が中性子の照射を受け変化するることによる。

さらに、中性子照射量が増すにつれて、被覆管はSCCを起こしにくくなるが、 10^{20} n/cm^2 を超すと、逆にSCCにより割れ易くなることがわかった。図2-2-6には被覆管のSCCによる割れ易さと中性子照射量との関係を示す。

この関係は、被覆管の初期変形機構の変化により次のように説明できる。すなわち、中性子照射量が小さい間は、被覆管の

金属組織が照射により硬くなるため、変形がしにくくなり、SCCによる割れが生じにくい。照射量が 10^{20} n/cm^2 を超すと変形機構そのものに変化が生じ、逆に局部的に変形し易くなり、SCCが容易に生じ易くなるためである。

2-2-3 研究成果のメリット

燃料照射実験では、これまで破損を正確に予知する方法がなかったため長らく研究が進まなかった。しかし、本研究ではじめて発見された、燃料棒の破損に伴う被覆管の収縮現象を利用することにより、照射中の燃料棒の破損を確実に予知できるばかりでなく、破損時期をも知ることができるようになった。

燃料破損研究が活発に行われているヨーロッパ諸国では、現在ではHBWR（ハルデ

ンプロジェクト、ノルウェー) 以外にも、R-2 (ストウドピク、スウェーデン)、HFR (ベッテン、オランダ)、およびBR-3 (モル、ベルギー) などの各実験原子炉において、照射中の燃料破損予知法として“Onchi Effect”を採用し、軽水炉燃料の安全性研究や新燃料の開発研究が大きく進展している。

R-2やBR-3では国際共同研究プロジェクトがいくつか実施されているが、この

中には、わが国のBWRを採用している電力会社とメーカーが共同で実施している、高性能燃料の照射研究や、PWRを採用している電力会社とメーカーが参加している、高燃焼度燃料研究プロジェクトも含まれており、“Onchi Effect”が破損検知法として威力を発揮している。

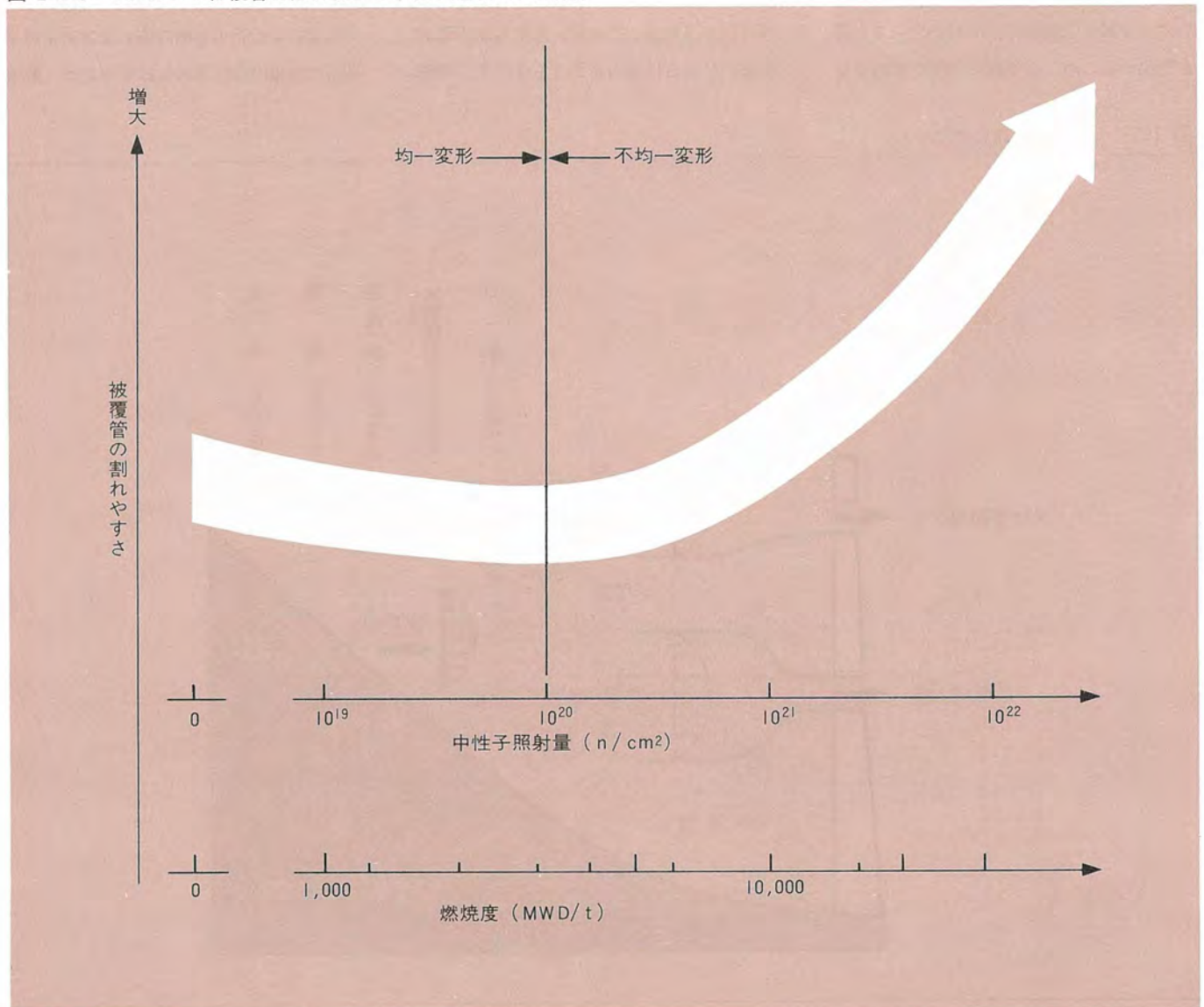
ジルカロイ被覆管の中性子照射効果の研究成果からは、今後のジルカロイ被覆管改

良の理論的根拠を与えることができた。

たとえば、不均一変形を起こしにくい被覆管の開発や、被覆管として、中性子照射による金属組織の変化を起こしにくい材料の使用などが考えられる。

わが国で現在開発が進められている高性能燃料開発の中で、ジルコニウムライナー被覆管を使用することが検討されているが、本研究の結果から、その有効性の根拠を与えることができた。 ●

図 2-2-6 ジルカロイ被覆管の割れ易さと中性子照射量との関係



2-3 貯水池富栄養化予測手法の開発

土木研究所 環境部 水域環境研究室 宮永 洋一

2-3-1 研究の目的

湖沼・貯水池の富栄養化とは、流域から窒素やリン等の栄養塩が流入し、池水の栄養水準が高くなって生物活動が活発化する現象のことである。

富栄養化が著しくなると、プランクトンの異常発生や深層の水の酸素欠乏、底泥からの重金属や栄養塩の溶出等が起って水質が悪化するため、近年特に魚類や水利用面

への影響が問題視されている。

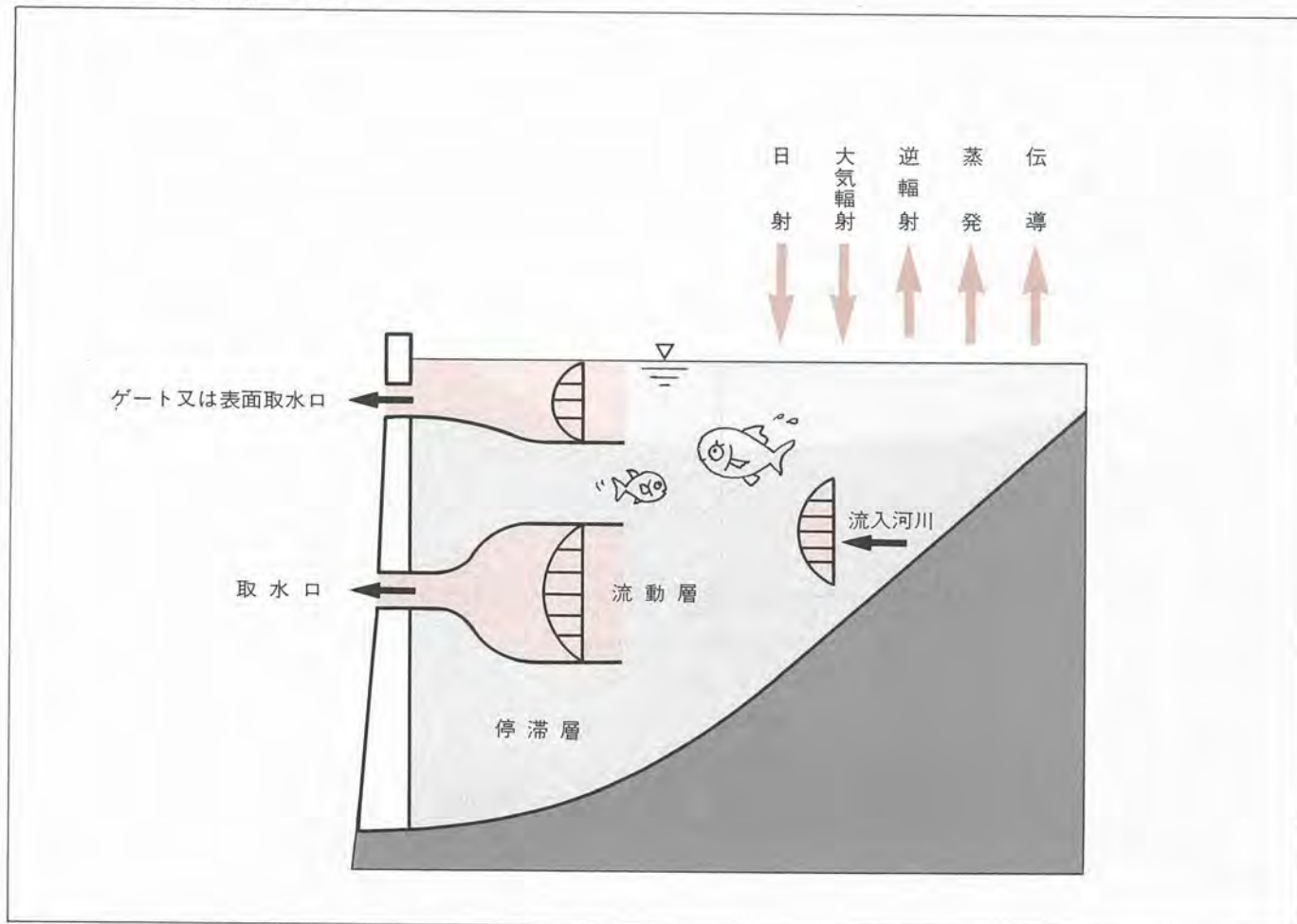
富栄養化に伴う水質障害の影響を最も受けやすいのが水道用貯水池で、プランクトン粒子による濾過池の目詰まりや水の味がまずくなる「かび臭」等の問題が起こる。

電力用貯水池の場合は、まだ富栄養化が問題となっている例は多くはないが、その数は除々に増加しており、近年の湖沼環境保全に対する世論の高まりを受けて、今後

も増加することが予想される。電気事業にとっては、富栄養化が既設貯水池の運用、あるいは水力開発の阻害要因とならないように、前もってその現象を予測し、必要に応じて有効な防止対策を検討しておくことが望まれる。

本研究は、このような情勢下において、今後も必要となることが予想される、より詳細な富栄養化の予測評価および防止対策技術の効果の評価を可能にするため、貯水

図 2-3-1 熱収支と流動のモデル



池富栄養化の数値シミュレーションモデルを開発したものである。

2-3-2 研究の内容

本研究において開発した富栄養化シミュレーションモデルは、貯水池の熱収支、流動および水質と生物を計算するサブモデルから成っている。

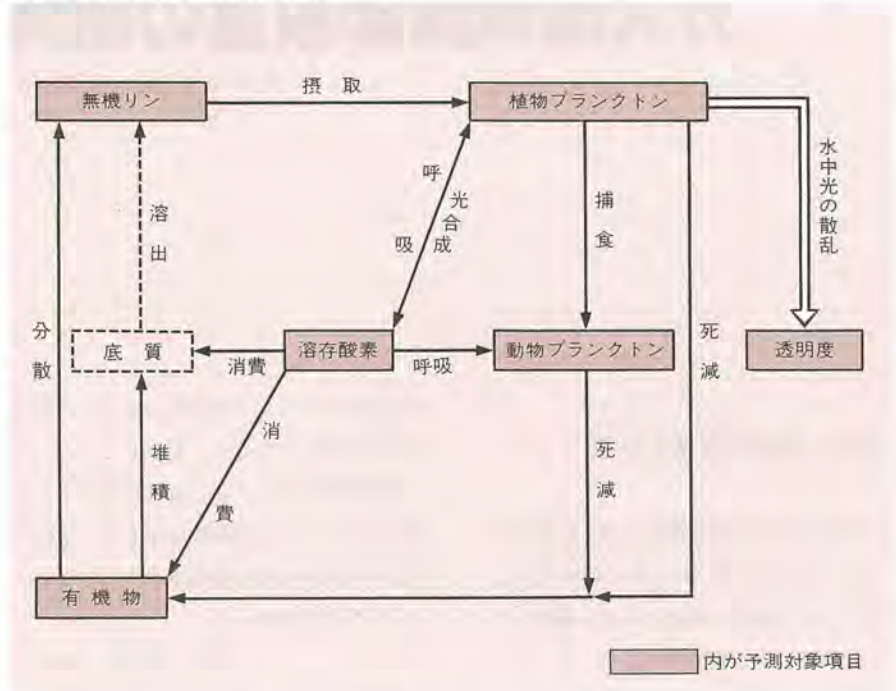
熱収支と流動を計算するサブモデルは、図2-3-1に示すように、自然湖沼とは異なるダム貯水池の特性、すなわち、水位変動が大きく、発電取水や揚水、ゲート放流等のダム運用に応じた貯水池内の流動を考慮している点に特徴がある。

このモデルは、従来から当所が貯水池の水温・濁度の解析に用いてきたモデルであり、大気圏との熱収支、流入河川水温の変化によって形成される貯水池内の水温成層（上層の水温が高く下層の水温が低い水平な層状の水温分布）と、それに伴う水平方向の水の動きを、良好に模擬できることが実験や現地調査によっても確認されている。

水質と生物を計算するサブモデルは、複雑な富栄養化現象を、栄養塩→プランクトン→有機物→栄養塩という生態系の基本構造と、それに密接に関係し、かつ水質管理上も重要と考えられる、水質項目の変化によって図2-3-2のように表し、それらの相互関係を既往の生物、化学的知見に基づいて数式化したものである。

この種のモデルは、大別すると、現象を極端に単純化して生態系をブラックボック

図 2-3-2 水質と生物のモデル



スとして扱うモデルと、現象の内部機構をできるだけ忠実に表現しようとするダイナミックモデルの二種類がある。一般的には前者の方が汎用的であるが、得られる情報の量が少なく、後者は現象の詳細な検討が可能であるが、モデルパラメーターの設定方法等の使い方が難しいという特徴がある。

本モデルはダイナミックモデルの中では単純な部類に属し、実用性を重視して開発した。

2-3-3 研究の成果

貯水池富栄養化の影響評価は、現在電気事業連合会「水力発電所環境影響調査書作成要領」に基づいて行われている。

この方法は、流域からのリン流入量と貯水池の規模、水の交換率のデータ等から、半経験的な図表を用いて富栄養化の程度を判定するものである。したがって、年間の平均的な富栄養化度の判定には有効であるが、個々の貯水池における流入河川の水質の経時変化や気象条件の影響、および選択

取水（貯水池内の任意の高さの水を選択的に取水して水質を制御する方法）や曝気（貯水池の深層に空気を注入して鉛直混合を促進し、プランクトンの異常発生や深層水の酸素欠乏を防ぐ方法）等の富栄養化対策の効果を予め定量的に予測することは不可能であった。

今回開発した富栄養化のシミュレーションモデルは、このような、より精細な富栄養化現象の予測評価と防止対策の効果の検討を可能にするものである。

昭和59年7月に「湖沼水質保全特別措置法」が成立し、また流域での窒素、リンの排水基準が設定される等、環境行政の動向からみても、今後の水力計画地点の環境審査、既設地点の水質管理において、富栄養化のより精細な予測評価と防止対策の効果の検討の必要性は、ますます高まることが予想され、本モデルはこうした検討の一手段として役立つものと考えられる。

現在、電力各社および資源エネルギー庁の依頼に応じて逐次本モデルを計画地点、既設地点に適用し、予測評価と防止対策の効果の検討を行っている。

2-4 ガス環境調節装置の開発と植物影響研究

生物研究所	緑地部	部	長	石川 春彦
〃	〃			高梨 成行
〃	〃	動植物研究室	室長	藤原 喬
〃	〃			佐藤 秋生
〃	〃			河野 吉久
〃	〃			梅沢 武

2-4-1 研究の背景と目標

火力発電所の立地に際しては、排煙中のSO₂、NO_x、ばいじんなどの大気汚染物質が立地点周辺の植物に対する影響を明らかにすることが必要である。これら汚染物質の環境における濃度は、高度成長期の昭和40年代前半に著しく高かったが、環境

対策の努力によって経年的に減少し、昭和50年代の始めには著しく低下していた。

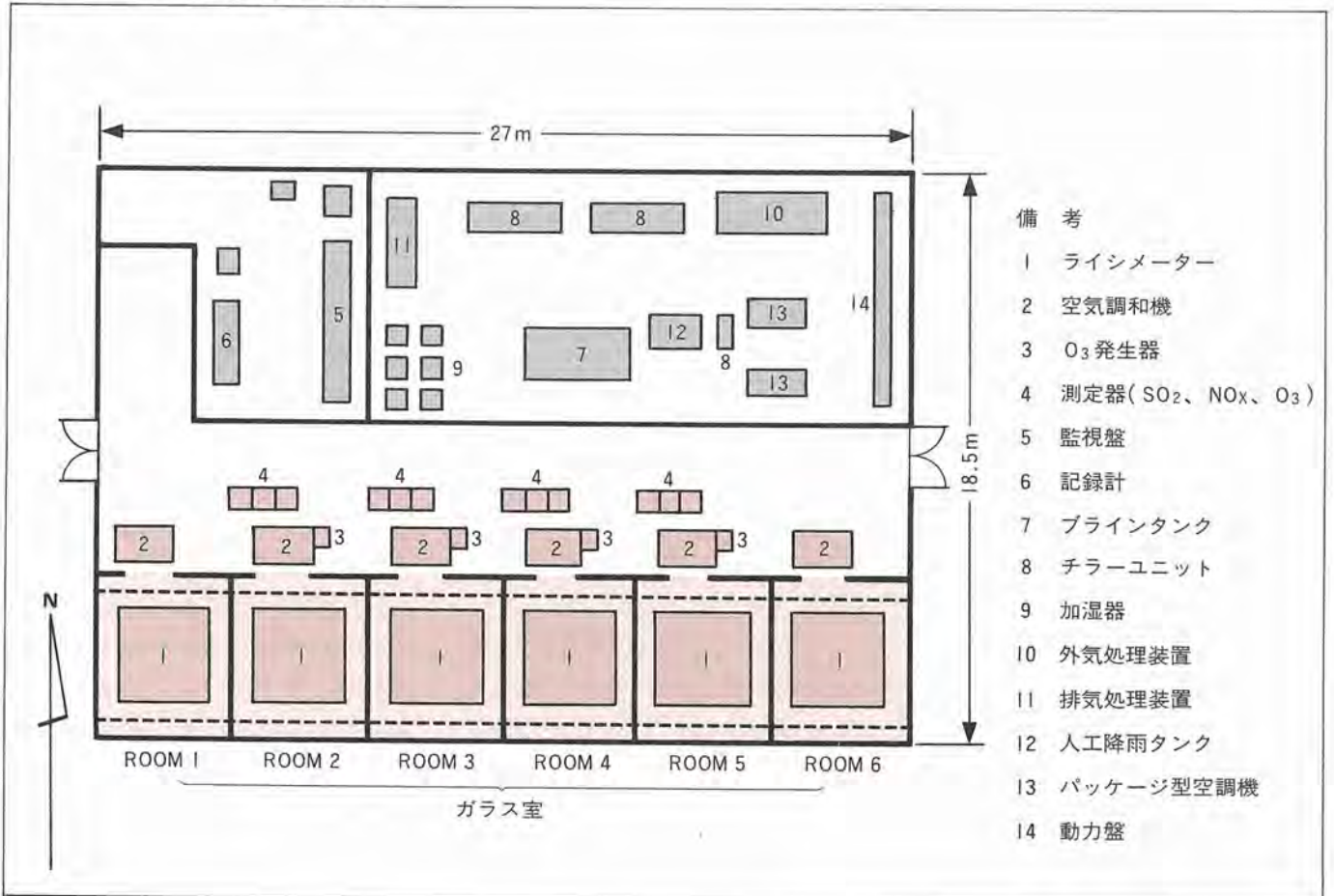
植物影響に関しては、汚染物質が極く低濃度であっても長期間存在すると、植物の生育や農作物の収量が低下するのではないかと懸念があった。

したがって、この問題を先行的に解明するために、実験的研究を進めることが必要となった。ことに生育や収量は気象、土

壌、栽培条件等の影響によって変化するので、これらの条件による影響と、大気汚染物質による影響とを区別するための、新しい評価手法を確立せねばならなかった。

そこで、植物を自然の状態では生育させながら、極く低濃度の汚染物質を長期間接触させるために、ガス環境調節装置を開発し、イネ、野菜などを対象とした、実証実験を大きな目標として、研究を実施した。

図 2-4-1 ガス環境調節装置 平面図



2-4-2 ガス環境調節装置の開発

環境基準値 (SO_2 : 0.04 ppm, NO_2 : 0.04~0.06 ppm) 程度の低濃度の大气汚染物質を長期間、調節維持して植物実験するために次の機能、

1. 群落状態に植物を育てることが出来ること
2. 自然に近い気象 (温・湿度、光) 条件に設定出来ること
3. 自然の大气汚染条件を模擬出来ることを持つ装置を開発した。

I. 装置の構成と機能

装置は6基のガラス室 (5×4.5m) と室内の汚染物質濃度、温・湿度などを調節維持するための付属機器からなっている (図2-4-1)。ガラス室内に土壌の水分条件を調節し、植物を群落状態で栽培する小圃場

(ライシメーター、2.5×2.5m、深さ最大1.3m) を設けた (図2-4-2)。

汚染物質 (SO_2 、 NO_x 、 O_3) 濃度は、プログラムに基づいて調節することができ、温・湿度はプログラム、または外気の温・湿度と同じ条件に調節することができる。これらの環境条件は、ガラス室毎に独立して任意に設定することが可能である。

II. 装置の機能と信頼度

温・湿度が自然と同じように変化するもとの、イネなどを栽培するという非常に厳しい実際的な条件において、低濃度の汚染物質を、一定に精度よく維持することは非常に困難であったが、この装置では、多くの試行錯誤を重ね、汚染物質濃度の変動幅は0.04 ppm の設定値に対して、最大±20%、大部分の期間は±15%以内に縮めることができた。また、装置は半年以上の長期

間、連続的に安定して稼働することなどを確認した。

このように、低濃度大气汚染の植物影響を実験的に評価するのに適した、信頼度の高い機能を持っていることが実証された。また、実際的な条件を模擬することが可能で、且つ規模の大きい実験装置の開発は、当所が世界的に初めてである。

2-4-3 排煙の植物影響

I. SO_2 、 NO_x

汚染物質の植物影響は可視害 (障害が葉などに現われる場合) と不可視害 (障害が現われないが、生育・収量に影響が現われる場合) に大別できる。一般に可視害は SO_2 0.1 ppm 以上で現われ、不可視害は 0.1 ppm 以下で問題となる。

近年、大气汚染物質濃度が著しく低下し

図 2-4-2 ガラス室 断面図

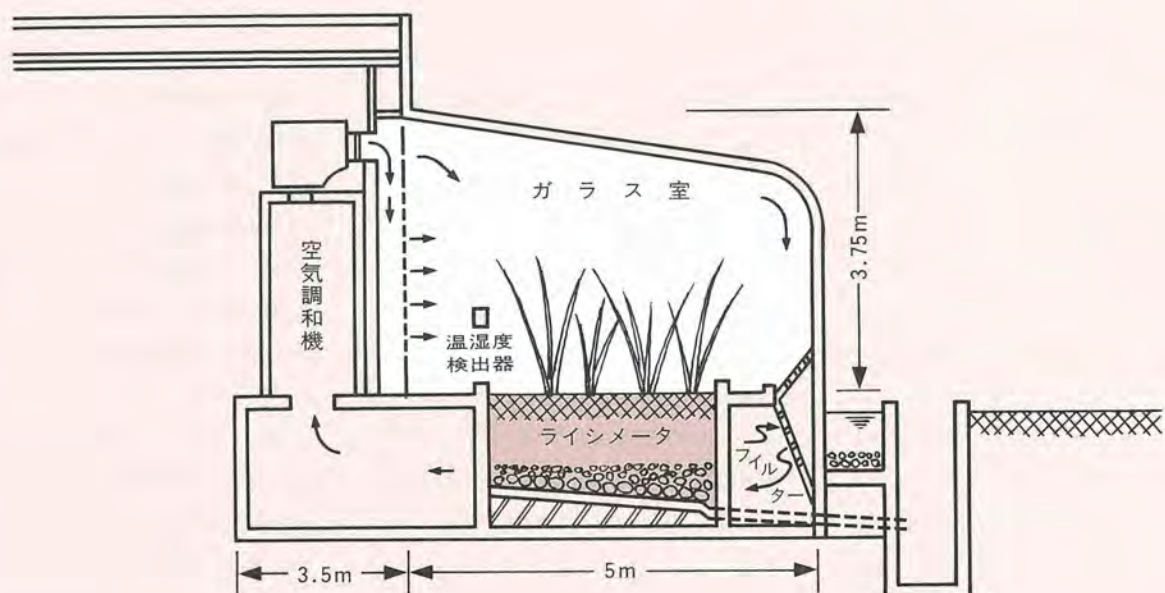


図 2-4-3 イネを用いて実験中の装置内部(ガラス室)



ているので、不可視害の閾値を解明することが重要となっている。したがって実験に用いた濃度は環境基準値近傍とし、汚染物質の接触期間が数ヶ月というような長期にわたる実験を行った。

対象植物としてはイネを最初にとり上げた。その理由は一年生農作物の中で生育期間が比較的長く、全国的に栽培されている重要なものであるからである。

SO_2 0.04 ppm をイネの生育全期間(5～9月)にわたって昼夜連続的に接触させた(図2-4-3)。この実験は、結果の再現性を確認するために、4年間に4回行った。この結果、イネの生育・収量は少し減少する時(10%以上の減収の場合)と、全く減少しない時があったが、4年間を通してみると有意な差は認められなかった。

このことは、 SO_2 の不可視害が生じない閾値が、ほぼ0.04 ppmであることを示唆している。因みに、現状の環境濃度は高い場合でも0.04 ppmを大幅に下回っていることから、現実には SO_2 の影響は生じていないものと判断される。

NO_x についてみると、 NO は数ppmの高濃度でも影響はなく、 NO_2 は0.1ppm 3ヶ月間の接触でも影響がなかった。一方、社会的に関心の高い O_3 (光化学オキシダントの主成分)については、0.04ppm

長期間接触の結果は SO_2 の場合とほぼ同じであった。

対象植物としてイネの他に野菜、タバコ、クワなどの農作物や、樹木、自然植物についても同様の実験を行った結果、いずれも影響は認められなかった。

以上の実験結果から、0.04ppmという極く低濃度の汚染物質を、特に影響の出易い春から秋の季節に長期間植物に接触しても、生育・収量に影響をあたえることはないことが明らかとなった。

II. ばいじん

ばいじんの性状は、その水溶液のpHが低く、電気伝導度が高いものと、そのpHが中性からアルカリ性を示す程に高く、電気伝導度が非常に低いものがある。

ばいじんが植物に付着した場合の影響を予測・評価するために、ばいじんを実験的に植物の葉に付着させて、障害出現の有無を検討した。その結果によると、pHが高く、しかも電気伝導度の低いばいじんが付着した場合、障害は出ないが、これとばいじん性状が反対のものは障害が出ることがあった。

このような結果から、pHが高く電気伝導度が低い石炭ばいじんは、植物に対して直接、障害をひきおこすことはなく、また

低濃度の SO_2 、 NO_2 が存在する場合でもばいじんによる障害は生じないことを明らかにした。

2-4-4 研究成果とその寄与

新しく開発したガス環境調節装置は、信頼度の高い機能を持ち、実験の評価手法として画期的なものである。この装置を駆使した多くの実験から、植物に環境基準程度度の、極く低濃度の汚染物質を長期間接触させても、生育・収量への影響が認められないことを実証した。

この成果は、発電所立地点周辺の農林作物、自然植物についてあてはまるもので、電力会社の環境調査書に活用されている。また、大気汚染学会などに発表するとともに、発電所立地点における自治体や、審議会委員等に当所の実験設備、研究成果を紹介した。

これらは地域社会の人々の理解を深め、信頼感を向上させることに大いに役立つものと考えられる。

更に、この成果は、自然生態系におよぼす SO_2 の影響に関する、電気事業研究国際協力機構(IERE)の調査研究の場においても高く評価された。一方、環境庁は当所の実験の評価手法に着目し、光化学オキシダントの主成分として重要な O_3 の植物影響に関する研究を依頼してきたので、これに応じて実証研究を実施した。

前述のように、低濃度汚染物質の影響が、イネなどの重要な農作物や樹木、自然植物で認められないことを明確にしてきたが、植物の種類は著しく多く、地域特性は多様なことから、これらを考慮した実証研究を積み重ねることが今後とも必要と考えられる。

2-5 日本経済および電力需要の予測システムの開発と拡充

経済研究所 経済部 経営研究室 服部 恒明

2-5-1 研究の目的

わが国の経済・社会は、2度の石油ショックで著しく変化した。このような経済社会の変化を背景として、電気事業の経営にとって、経済および電力需要の動向、とりわけその将来動向を的確にとらえることが緊急の課題となっている。

この研究の目的は、経済の潮流の変化を的確にフォローしうるマクロ計量モデルを開発・拡充して、その高度な利用により、経済ならびに電力需要の分析と予測を行い、電気事業の経営に有用な情報を提供することにある。

2-5-2 研究の内容

I. 予測方法

ひとくちに経済予測といっても、その分析手法にはいくつかの種類がある。計量経済学的手法によるもの、予測サーベイ・データによるものなどから、はては各人の直観と判断によるものまで数多くある。

われわれは、上にあげた手法のうち、最も科学的で高度な技術を要する、計量経済モデルによる予測を行っている。

II. 電研マクロモデルの開発と拡充

計量モデルの開発において、当所は20年以上の歴史を有し、その業績は学会でも高く評価されている。

短期経済予測のために、当所が開発し、整備してきたモデルは、「電研マクロ計量モデル」と呼ばれている。端的にいえば、経済相互依存関係を数量化した方程式を、国民所得勘定体系（マクロ経済の体系的データ）に基づき統合化した、連立方程式体系のモデルである。

当所のマクロモデルの系譜は古い歴史をもつ。最初の計量モデルは、当所の経済研究所長 矢島 昭、経済部次長 内田 光穂と建元 正弘 大阪大学教授により開発された。これにより、その後の当所における予測システムの基盤が形成され、大きな前進をみた。

今日までに、当所のマクロモデルも、幾

度かの変遷を経てきた。最近、当所が開発し、拡充したマクロモデルは、次のような長所を備えている。

1. 石油危機以後の経済構造の変化をうまく説明するモデルであること
2. 予測用モデルとして操作可能性が高いこと
3. 電力需要・料金収入ブロックをモデルに内包していること

電研マクロモデルによる、予測の項目とシミュレーション分析（特定の経済変化の効果の計測）の内容について、主要なものをとり上げると表2-5-1のようになる。特に、電力需要関連の予測・分析が行えることが強味である。

計量モデルによる電力需要の短期予測としては、わが国では当所のものが唯一であり、高い評価を得ている。

III. 広義の予測システムの確立

計量モデルによる予測を継続的に実施するには、広義の予測システムの確立が前提となる。これを最も簡単な形でイメージ化したものを図2-5-1に示す。

ピラミッドの頂点にある予測という作業を行うまでには、その土台となるいくつかのプロセスにおいて、組織的に十分な成果が収められていなければならない。そして、各々のプロセスは有機的に結合され、フィード・バック・システムが確立していることが望ましい。

実際、一つの連立方程式体系の計量モデルを構築するには、膨大なデータと多大な

表 2-5-1 電研マクロモデルの構成

予 測 項 目	シミュレーション分析
・経済成長率 ・生産の伸び ・電灯・電力需要 ・物価・賃金 ・為替レート ・その他	・財政政策の効果の計測 ・金利変更の効果の計測 ・世界貿易の効果の計測 ・原油価格変化の効果の計測 ・電気料金改定の効果の計測 ・その他

労力、時間、予算を要する。一つのモデルは、プロジェクト・メンバーのチームワークの結晶でもある。

IV. 狭義の予測システムの拡充

狭義の予測システムは、開発した計量モデルの高度利用に関する部分である。図2-5-2に示すように、予測作業は、計量モデルに初期値と外生変数を条件として与えて、連立方程式体系を解き、内生変数（将来の経済動向）を予測するという作業である。

ここで、予測プロセスと分析システムについて述べてみよう。

1. 予測のプロセス

予測値を得るためには、

- ①景気の現状分析
- ②外生変数の想定
- ③モデルの操作

という3つのプロセスを経る。いずれの段階でも高度な技術と洞察力が要求される。

① 景気の現状分析

モデルの外から、条件として与える外生変数—例えば政策や海外経済の動向—の想定作業に先立ち、経済や電力需要の現状についての分析が必要となる。

最新のデータや情報から見極めるが、「経済は生きている」だけに、小刻みな循環活動をくり返しており、各種データも実態より2、3ヶ月遅れて公表されることなどから、この分析作業はなかなか至難の業である。

② 外生変数の想定

次に、経済の現状を判断した上で、政府や日銀など政策当局の先行きの動き、OECD等内外調査機関の分析結果やその他の情報から、総合的に判断して外生変数を想

定する。

相矛盾する各種の情報が交錯しており、的確な判断を下すのは容易ならざることであるが、外生変数の想定を誤ると、予測結果も不正確なものになるので重要な作業である。

③ モデルの操作

大方の人達は、計量モデルに、外生変数や初期値をインプットし、コンピューターの端末機のキーを押せば、それで万事完了という具合に理解していよう。

ところが実際はそうではない。この段階では、いわば「職人芸的」な高度な技術を要する場面がしばしば展開される。

いかなる計量経済モデルでも現実の経済の動きを100%の正確さととらえることはできないから、必然的に予測誤差が発生する。

この予測誤差を、機械的な処理や長年の経験等によって、限界的にまで縮小する努力が支払われている。場合によっては、モデルの一部について再推定したり改訂したりする。

幾度かの困難を克服してのち、予測結果を得る。予測という仕事は、一面からみると、各段階で生じる予測誤差を、いかに限界的にまで縮小するかを、研究する分野であるといえよう。

2. 分析システムによる支援

経済動向を見極めるためには、何千系列もの膨大なデータとその解析処理システム（コンピューター・システム）の利用が必須のものである。

この面では、最近、飛躍的な発展をとげた、当所の経営経済分析システムおよびデータ・ベースの有効な利用により、予測システムが大幅に改善できた。

図 2-5-1 広義の予測システム

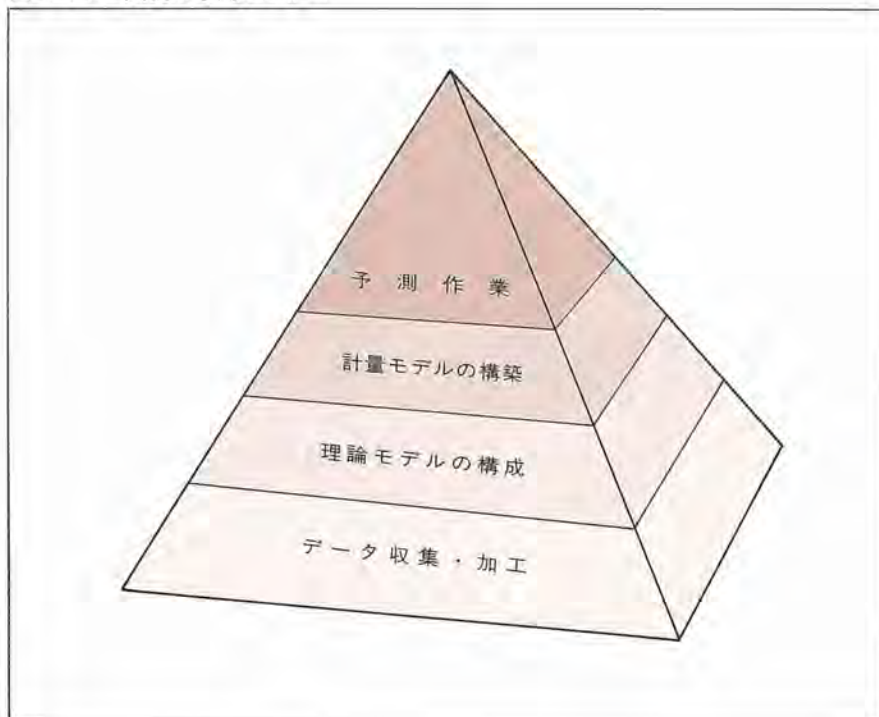
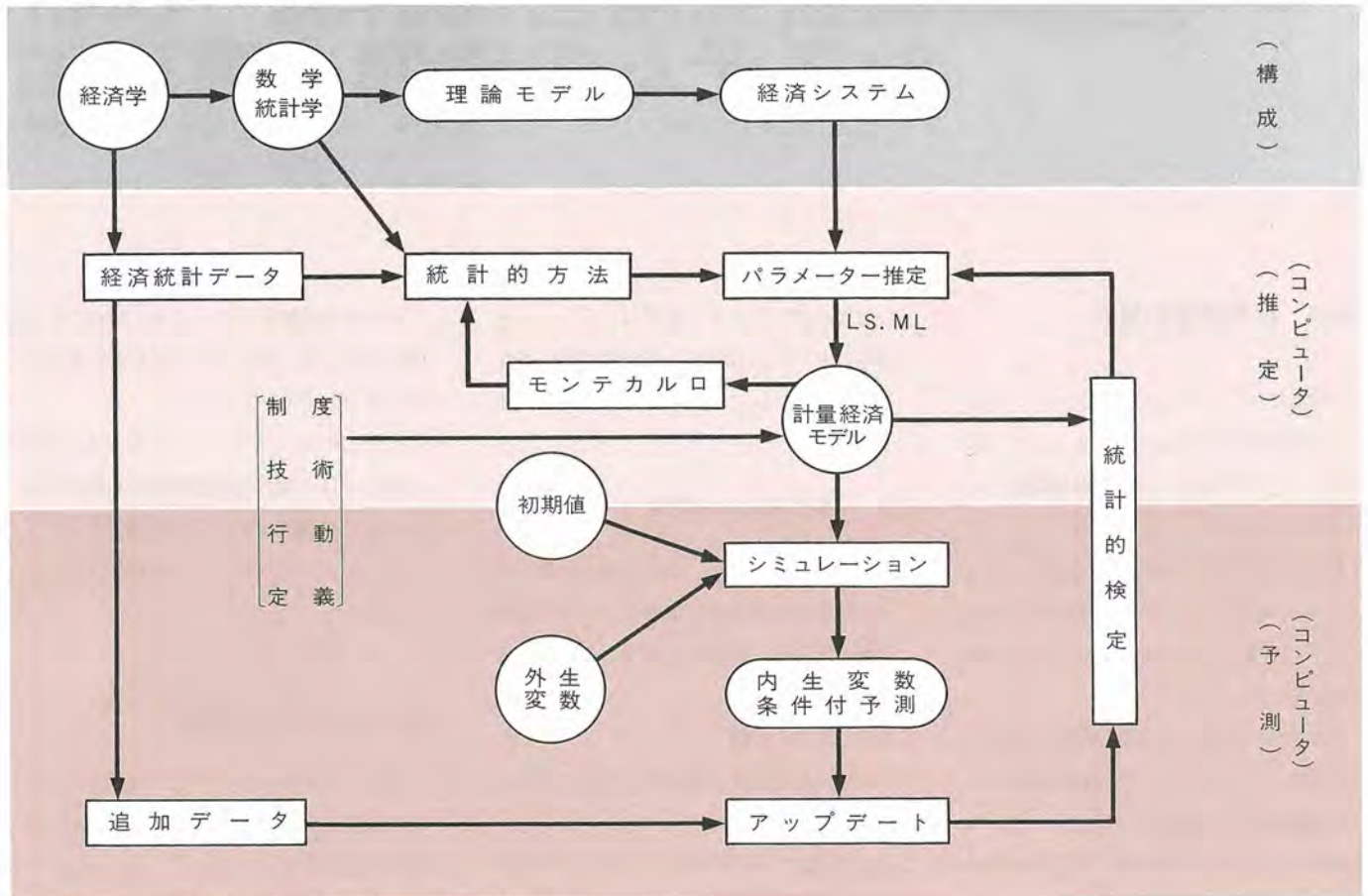


図 2-5-2 計量経済学的手法



出典：建元 真継『社会人のための計量経済学』日本経済新聞社

2-5-3 研究の成果

計量モデルによる予測は、

- ①他の予測方法と比べて客観性が高いこと
 - ②操作性に優れていること
 - ③シミュレーション分析が可能であること
- などいくつかの利点を備えている。

これら一般的な利点のほか、当所で開発・拡充してきたマクロ計量モデルによる予測のメリットとしては、次のものがあげられる。

1. 電力需要の予測

今回改良を重ねた電研マクロモデルは、電力需要ブロックを内包しており、一般経済予測とともに、それと整合的な電力需要の予測が行える。この点では、わが国にお

いてユニークなモデル・システムとなっている。

経済および電力需要の予測は、経営各層に有益な情報を提供しよう。

2. 環境変化の影響分析

計量モデルでは特定の経済環境の変化のインパクトについて、シミュレーション分析により計測できる。例えば、電気料金の改定による経済全般および電力需要や料金収入への影響の計測などである。

3. 機動的な予測

広義の予測システムの確立の下に、計量モデルによる予測は、他の予測方法に比べて短時間のうちに実行できる。そのため、政策変更や原油価格変化など、環境条件が変化した場合でも、これに機動的に対処して予測できる。

4. 社会への貢献

経済予測は、原則として毎年2回実施し、電力各社等に発表している。又当所の経済見通しは、新聞、経済誌、日経TELECOM(全国的情報サービス網)等に掲載され、広く社会一般に役立てられている。

さらにいま一つの対外的な貢献として、理論・計量経済学会主催の研究会などで計量モデルによる分析等を公表し、定期的な情報の交流に寄与している。

最後に、現在の電研マクロモデルの開発と拡充は、当経済研究所の経済部次長 内田 光穂、エネルギー研究室 阿波田 禾積、経営研究室 伊藤 成康との共同研究による成果であり、また、分析システムの有効利用については、情報システム部 数理研究室 高橋 誠、松井 正一の協力を頂いた。記して深甚の謝意を表したい。●

2-6 短絡試験研究用自動計測・解析システムの開発と実用化

武山試験研究センター 試験研究部 大電流研究室 泉 邦和

2-6-1 研究開発の目的

本研究は、コンピューターシステムを非常に過酷な電気的環境に適用するための研究であったと同時に、当武山試験研究センターにおいて行われている数万アンペアにおよぶ送配電機器の大電流性能検証、あるいはアーク現象に関する多種多様な短絡試験研究を支援する、解析システムの研究開発でもあった。

そのため、高電圧大電流開閉時に発生する過大サージに対する十分な動作性能、および計測解析の高精度化、大量データの高速処理ならびに高効率化、省力化が要求された。

2-6-2 研究開発の内容

I. 最初の試み

本研究の始めは、約6年前にさかのぼる。当時、一般的な電氣的過渡現象は、電磁あるいは静電偏向を用いたオシログラフまたはオシロスコープなどのアナログ式計測器により測定していたが、短絡試験時において、これらの測定器に代り、徐々に発達していたデジタル変換技術を有効に活用することにより、高精度な計測解析、データの高速処理など、質と量の面で大幅な向上が期待できると考えた。

そこで、アナログデータをデジタルデータに変換し記憶する計測器として、比較的高性能のものが開発されつつあった波形記憶装置とパーソナルコンピューターおよびプロッターを組み合わせた簡単なシステムを作成し、短絡試験時の電圧・電流

などの計測を試みた。結果は、データ収録時において、高電圧大電流開閉時に発生した過大サージに起因すると考えられるトラブルが多々発生した。

II. 本システムの開発

それから約1年後、今回受賞の対象になった短絡試験用自動計測解析システム開発のための基本設計にとりかかった。主要な検討点は

- ①測定対象の範囲
 - ②試験時に発生する過大サージからのシステムの保護方法
 - ③大量連続データのオンライン・リアルタイム処理方法
- などであった。

まず、①の測定対象に関しては、直流から数KHz迄の周波数領域の大量データを処理するための機能、および比較的短時間の現象である、数KHzから雷サージ領域の数MHz程度の周波数領域を計測する機能をもたせることとした。

次いで、②の過大サージからのシステムの保護ならびに十分な動作性能の保証に関しては、コンピューターシステムと各データ収録部間のデジタルデータ伝送用として、光ファイバを用いた光伝送方式の導入、短絡試験時に測定線に誘起される約1~2KVのサージに耐える高耐圧絶縁増幅器の採用、および電源装置の耐サージ対策などを行うこととした。

上記の光ファイバを用いた光伝送技術は、当時まだ十分に確立されておらず、高速の伝送特性を得るのに非常に苦心した。

高耐圧絶縁増幅器については、現在では市販品であるが、本システム用に特に開発されたと言っても過言でない。

また③のオンライン・リアルタイム処理に関しては、比較的高速処理が可能であるとともに計測器イメージで使用できる、ミニコンピューターシステムを採用することとした。

III. 本システムの構成

本システムのハードウェアは図2-6-1に示すような構成になっており、以下の4系統に大別できる。

1. コンピューター・システム部は、CPUとして16ビットミニコンピューター（主記憶容量448K語）、補助記憶装置として磁気ディスク（20MB）および磁気テープ装置、データ出力のためのプリンタおよび図形出力のためのグラフィックターミナル、X-Yプロッターなどから構成されている。
2. 中低速データ用取り込み・変換部は従来の電磁オシログラフに相当し、直流から数KHzの周波数領域の現象を対象に、16チャンネル迄の計測が可能であり、アナログ/デジタル・コンバーター（変換速度12ビット、5 μ S）、各チャンネル用高耐圧絶縁増幅器などから構成されている。総合的なデータ収録速度は1チャンネル当り約8 μ S（16チャンネルに対し140 μ S）であり、また、現在1回の試験において約1M語迄の記録が可能である。

図 2-6-1 システムの構成

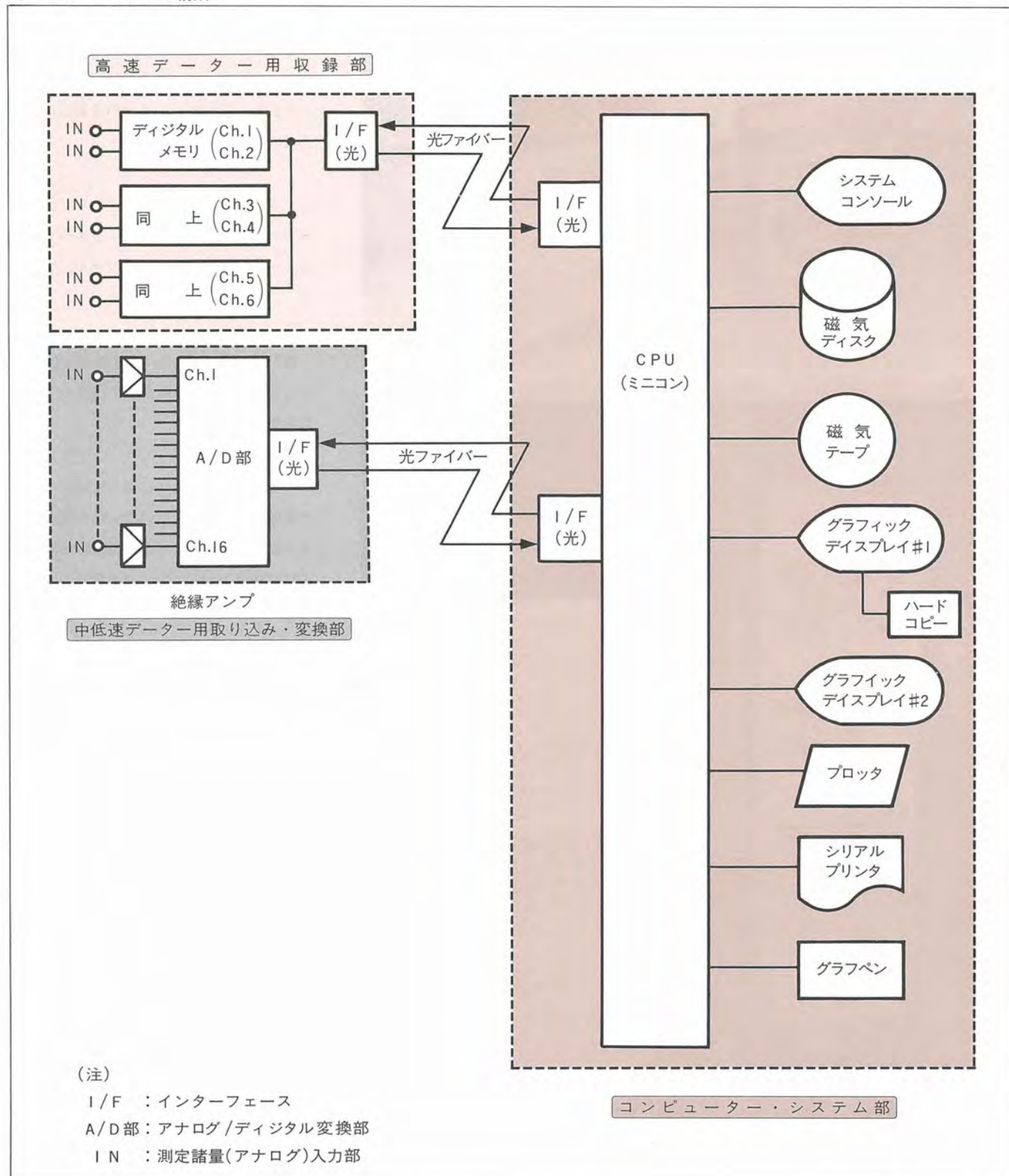
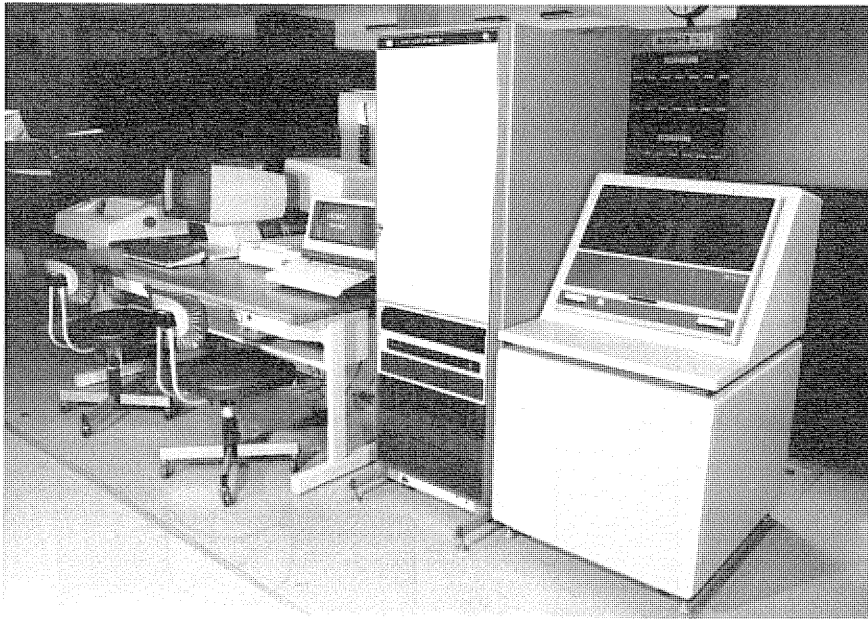
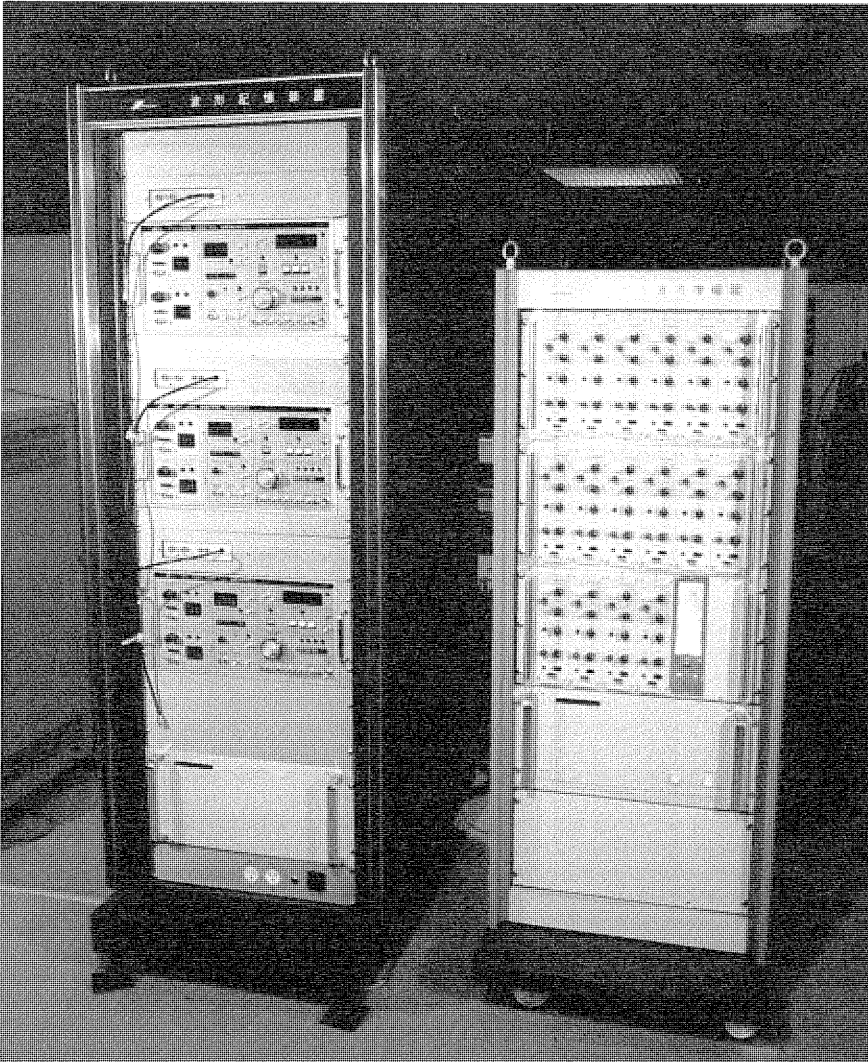


図 2-6-2 本システムの概観

(a) コンピューター・システム部



(b) 高速データ収録部(左)と中低速データ取り込み変換部(右)



3. 高速データ収録部は従来のオシロスコープあるいはブラウン管オシログラフに相当する波形記憶装置（8ビット、最高速サンプリング50nS、記憶容量4K語）3台を有し、計6チャンネルの計測が可能である。

4. 光伝送システム部は、主として光ファイバーによりコンピューターシステム部と各データ収録部門のデジタル伝送を行う。

図2-6-2に本システムの写真 ((a)はコンピューター・システム部、(b)は各データ収録部) を示す。

一方、ソフトウェアに関しては、これらの試験計測に対し、高速な入出力処理、あるいは図形処理も含めた多種多様な解析要求に対処するため、種々の汎用性のあるアプリケーションプログラムを開発している。

短絡試験時のオンライン・リアルタイム・データ処理の流れを図2-6-3に示す。まず、各ユーザーが試験時の計測、収録および試験条件の情報ならびにデータ処理、図形出力処理などの条件を、ターミナルより入力した後、試験が開始される。

試験時に得られる中低速データはリアルタイムで、また、波形記憶装置に収録された高速データは試験終了後、各々磁気ディスクに収録されファイル化される。その後、解析条件に従って、各データ処理を行った後、データおよび図形の出力を行い、一連の処理が終了する。

これらのデータは磁気テープに保存され、後日、別の解析手法等を用いたデータ処理、あるいは他の試験データとの比較検討が容易に行えるよう、ソフトウェアに

よる配慮がなされている。

2-6-3 研究開発の成果

I. 適用例

当センターの短絡試験研究において、規格上、従来のアナログ式オシログラフの測定が義務づけられている極く一部の検証試験を除いて、すべての試験計測に本システムが用いられている。

例えば、電力用遮断器などの送配電系統の保護機器の短絡試験、配電からUHV級迄の実規模アーク試験、地中ケーブルなどの人工故障試験、あるいは基礎研究等に適用され、十分なデータ収集能力とデータ処理の高速高精度化、高効率化が実証されている。

ここでは、本システムの機能をフルに使用した、電力用遮断器の合成短絡試験に対する適用例について述べる。

送配電系統の重要な保護機器である電力用遮断器は、系統容量が増えるに従い順次大容量化されており、当センターの短絡発電機のみではその遮断能力の検証が不可能になってきている。従って、その検証方法は、電流と電圧を各々別の電源から供給して試験を行う、合成短絡試験法によらねばならない。

この合成短絡試験法においては、遮断時の電流(数10KA)は当センターの短絡発電機により流し、また電圧(数100KV)は、主としてコンデンサを用いた電圧源から得るが、試験時に試験機器の高精度な制御が要求されると同時に、試験が満足に遂行されたかどうかを、高度な計測技術を用いて記録しチェックする必要がある。

本システムを用いて得られた計測例を図2-6-4に示す。

図 2-6-3 短絡試験オンラインデータ処理のフロー図

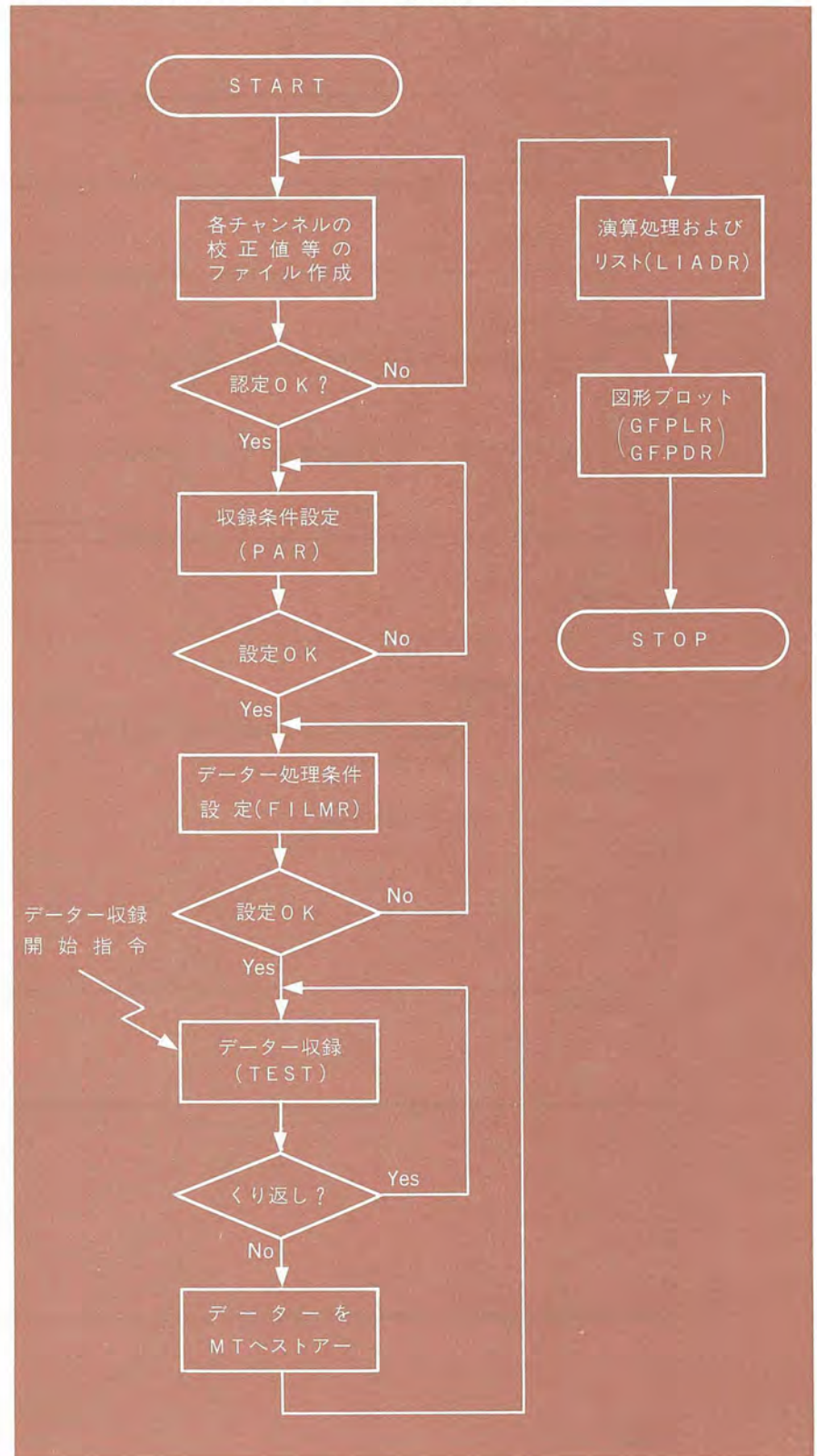
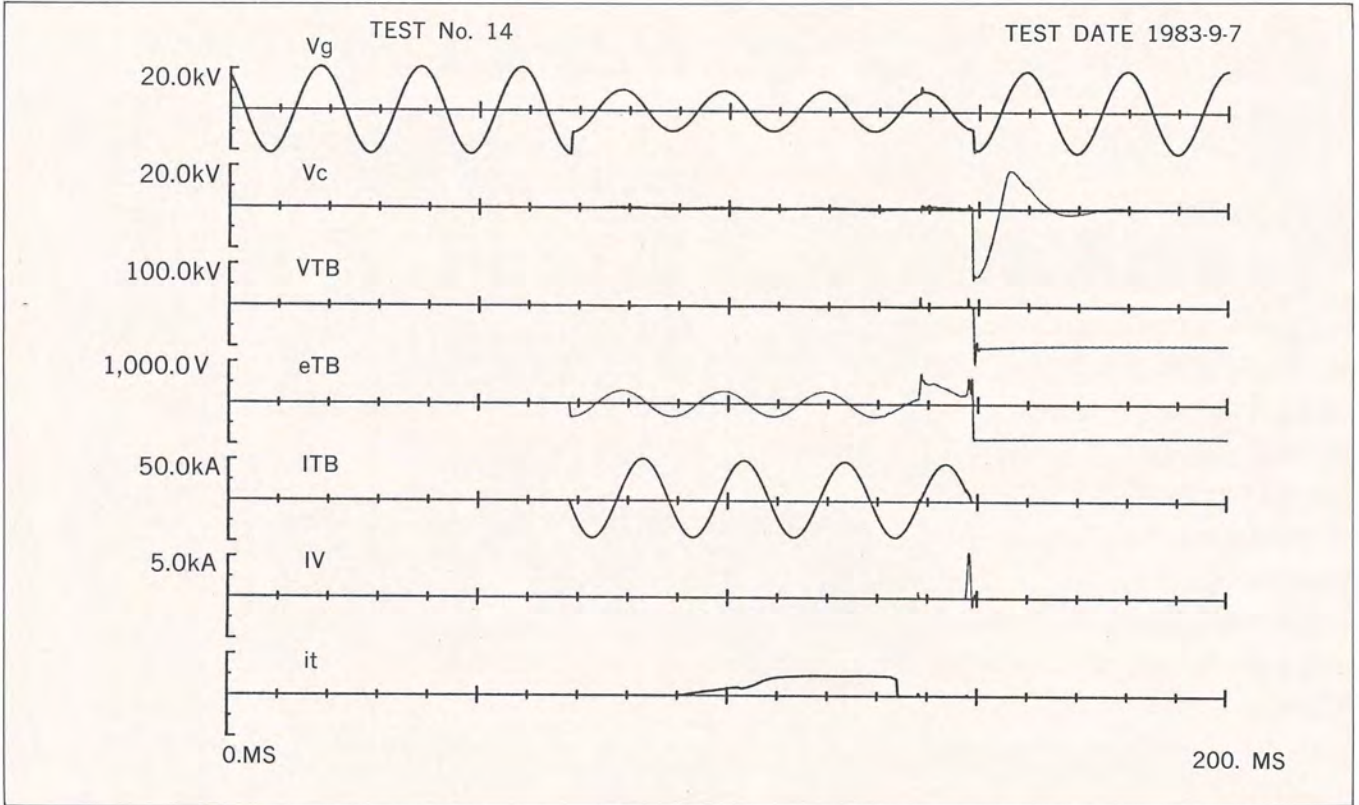


図 2-6-4 本システムの適用例

(a) 中低速データ取り込み変換部による計測例



(b) 高速データ収録部による計測例

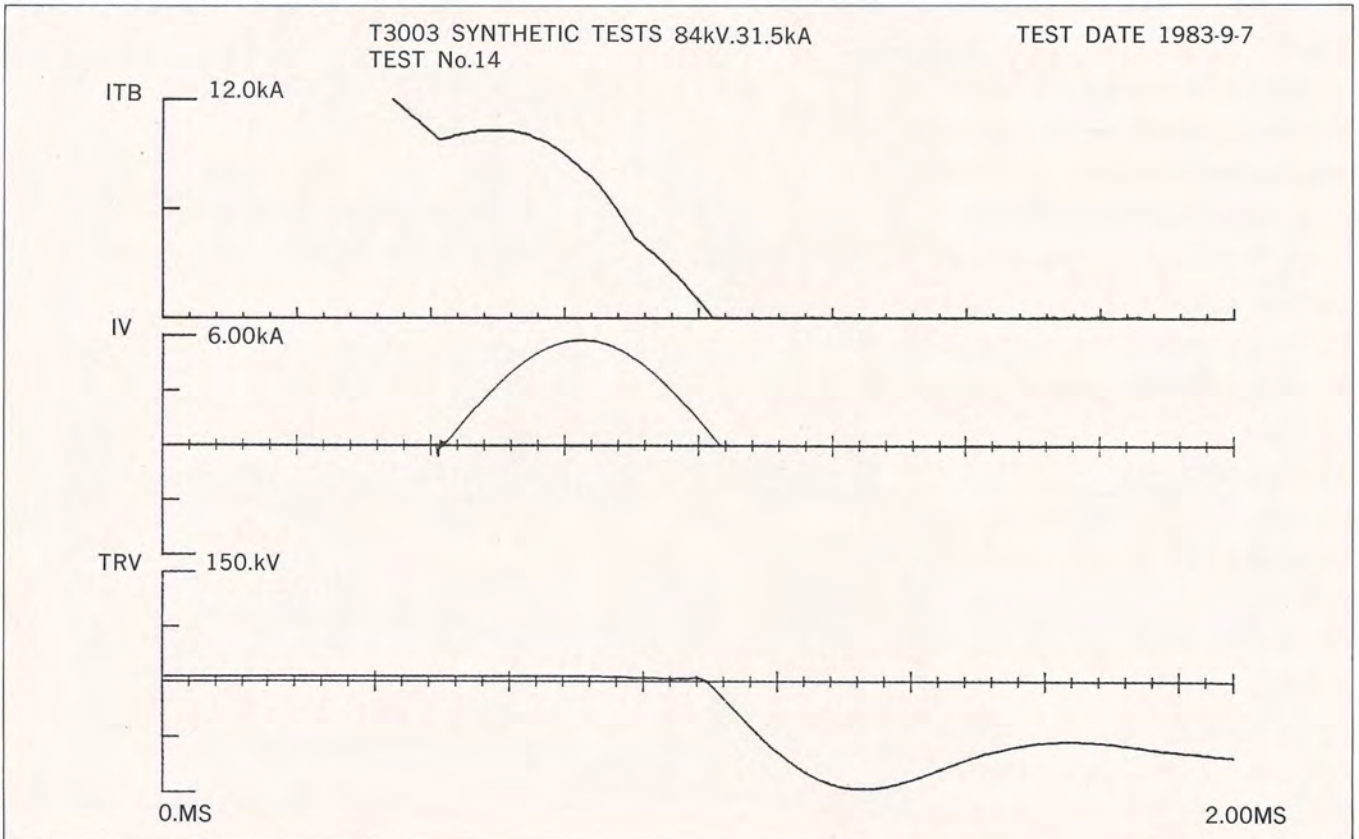


図2-6-4(a)では中低速データ取り込み・変換部（7チャンネル）により、直流電圧および商用周波数から数KHzオーダーの過渡現象を計測し、その電流（ITB）・電圧（VTB）および試験のタイミングなどを解析すると同時に、(b)に示すように、高速データ収録部（3チャンネル）により電流（ITB、IV）遮断時近傍のタイミング、電流の変化率、および電流遮断後の電圧（TRV）の高周波数振動などが十分な精度で計測解析されている。

II. 実用化によるメリット

本システムの実用化により、従来の手作業による解析手法に比較し、処理データの高精度化、あるいは処理時間の大幅な縮小などの高効率化が計られ、また、従来の計測手法においては、各アナログ式測定器に対し、各々高度の測定技術をもった測定者によらねばならなかったが、これら全てが一人で行えるなど、省力化が実現されている。

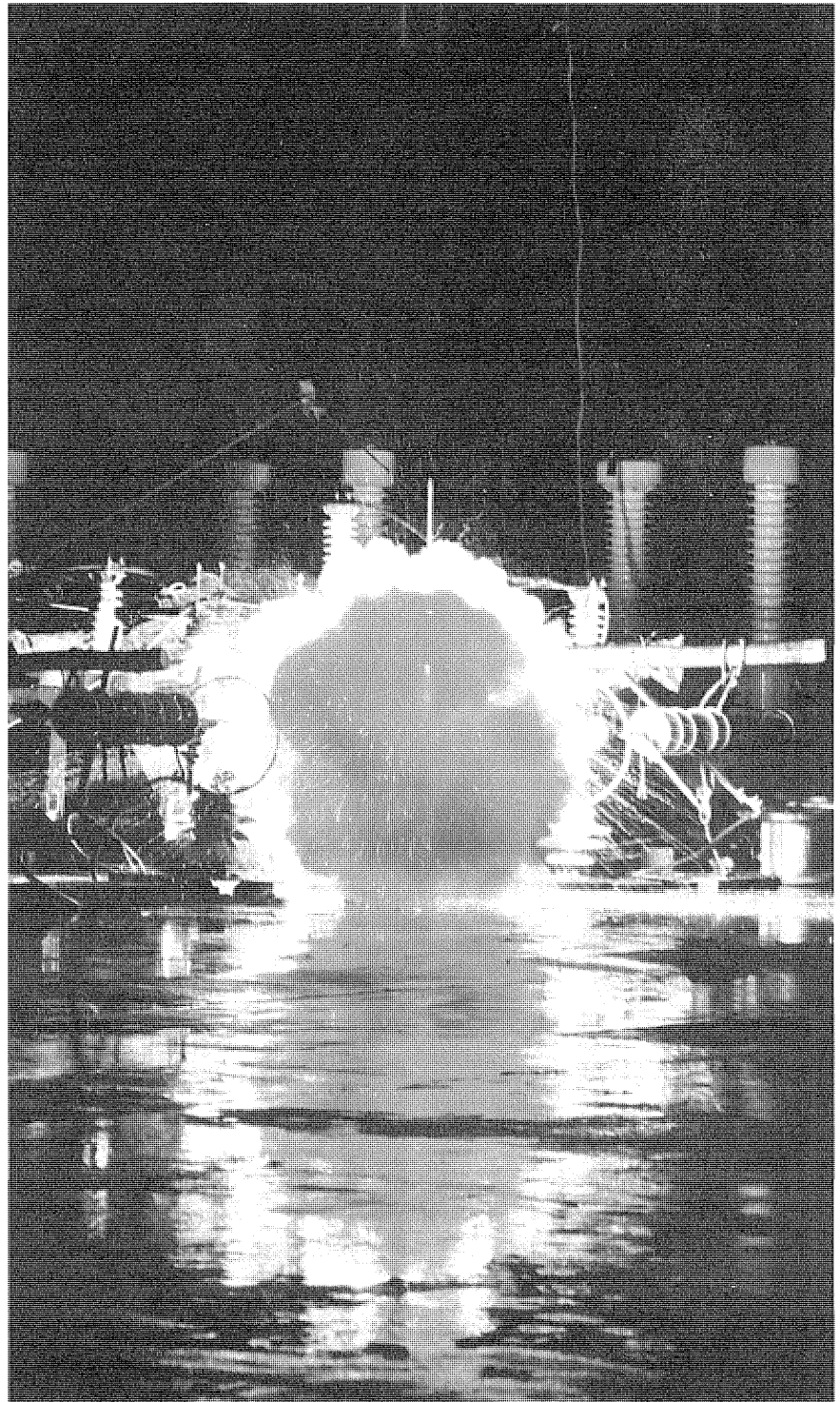
しかし、最も特長的な点は、短絡試験において、従来ほとんど不可能であった、種々のデーターやパラメーターの相関関係処理、大量データー処理、統計処理などが可能になるなど、質と量の面で飛躍的な向上が計られたことであると考えられる。

2-6-4 むすび

以上述べてきた総合的な短絡試験用自動計測解析システムは、現在においても、国内外においてほとんど例がないが、今後さらに、高精度の波形記憶装置の導入、および、2つ以上の異なった試験計測解析の並列オンライン処理による高効率化、あるいはオプトエレクトロニクス技術を用いた新しい計測装置の開発・導入等により、本シ

ステムの適用拡大を計って行く予定である。終りに、本研究を共同で遂行した当センター試験研究部 大電流研究室 合田 豊、

関口 輝一、同部高電圧研究室 高橋 毅に、深く感謝の意を表する次第である。



武山試験研究センターでの短絡試験の一例

関連する主な研究報告書等

第1章関連

原子力発電所地盤の耐震性評価手法の標準化：土木学会原子力土木委員会地盤部会、土木学会誌69巻、59年12月号

第2章関連

2-1

雷撃現象自動撮影装置：電力研究所 研究報告 No.182020 58年1月

2-2

軽水炉燃料用ジルカロイ被覆管のPCI-SCC破損機構に関する基礎的研究：エネルギー研究所 総合報告 No.208 57年1月

2-3

貯水池富栄養化現象の数値シミュレーションモデル：土木研究所 研究報告 No.383044 59年3月

貯水池水質の調査と解析：土木研究所 総合報告 No.302 57年6月

2-4

石炭灰混合砂土における数種作物の生育と微量元素濃度：生物研究所 研究報告 No.481018 57年3月

低濃度複合大気汚染の植物に及ぼす影響に関する研究Ⅰ：生物研究所 研究報告 No.482003 58年1月

低濃度複合大気汚染の植物に及ぼす影響に関する研究Ⅱ：生物研究所 研究報告 No.482008 58年1月

2-5

日本経済の短期予測モデルの構成：経済研究所 研究報告 No.581021 57年3月

原油値下がり日本経済に及ぼす影響：経済研究所 研究報告 No.582027 58年5月

短期経済見通し：経済研究所（毎年7月、12月公表）

2-6

ミニコンピュータを用いた短絡試験用自動計測解析システムの開発：武山試験研究センター 研究報告 No.781002 57年4月

ミニコンピュータを用いた短絡試験用計測解析システムの開発・適用：武山試験研究センター 研究報告 No.682006 58年5月



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

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

赤城試験センター 群馬県勢多郡宮城村苗ヶ島2567 ☎(0272)83-2721 ☎371-02

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

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

UHV塩原実験場 栃木県那須郡塩原町関谷1033 ☎(0287)35-2048 ☎329-28

編集後記

電研レビュー第11号「輝かしい独創研究—昭和59年度表彰」をお届けします。

本号では「巻頭言」を北陸電力株式会社取締役副社長 得永 秀二様にお願ひしました。ご多忙にもかかわらず快くご寄稿をいただき、心からお礼を申し上げます。

本号は、今までの号とは少し毛色が違い、ひとつの分野の特集号ではありません。昨年の末に当所で実施しました、59年度表彰の研究内容のダイジェストをとりまとめたものです。

いずれも、過去数年間の当所の数多くの成果の中から選び抜かれたものです。是非ご一読をお願いいたします。

なお、次号よりは、又、従来通りの分野別の特集型式となります。

●理想の研究者は天秤座か獅子座の30～40代?●

全く関係の無いことを無理矢理にこじつけてもっともらしい結論を出すことも、遊びとしてはおもしろいのです。

今回の表彰の対象者について星座を調べてみましたところ、全22名の研究者の内、天秤座5名、獅子座4名、水瓶座3名、射手座、牡牛座、乙女座各2名、牡羊座、双子座、蠍座、山羊座各1名、蟹座、魚座は0でした。

単純に考えれば星座は12ありますので、各星座について、該当者は1～2名であり、天秤座への5名、獅子座への4名の集

中は有意であるということになります。

おもしろいことに、星占いの本によると、天秤座はバランス感覚に優れ中庸を重んじ、これに対して、獅子座は猪突猛進型と対称的な性格です。

バランス型と猪突猛進型とが相補って、理想的な研究体制ができると考えられないこともありません。

ちなみに理事長表彰の「原子力立地拡大技術プロジェクトの耐震設計および調査試験法サブグループ」11名の中には、天秤座2名と獅子座3名が含まれていました。

年令についても同様の集計を行ったところ、30代7名、40代10名、50代5名でした。

30～40代が一番多いのは、いわゆる働き盛りですのである意味では当然とも言えます。注目したいのは、むしろ50代が5名いる点で、グループ研究が盛んになるに伴い、単なる専門分野における研究能力だけでなく、中広い経験と知識に裏うちされたマネジメントの能力を持ったベテランの存在が重要なことを示唆しています。

さて、星座と年令調べの結果からは、理想の研究者は、天秤座か獅子座生まれの30～40代ということになりましたが、いかがでしょうか?

酒飲み話のついでにでも、まわりを見回して検証していただくと面白いと思います。

●60年度業務実施計画●

4月に入り、当所の60年度業務実施計画がスタートしました。

1. 供給力の質的強化

2. 供給コストの抑制

3. 社会の理解と信頼感の向上

の3目標のもとに、「原子力発電」「新・省エネルギー」「環境」「電力輸送」「建設・運用」「経営」の6分野にわたり、電気事業に真に役に立つ研究を積極的に進めていく所存です。

さらに、本年度より新たに7課題について本格的に研究に取り組みます。

7課題の中には、「ロードコンディショナーなどの負荷平準化技術の開発」と「配電地中化のための最適工法の開発」があり、これらは、「タンク型高速増殖炉の研究開発」とともに、今後の当所の自主研究の3本柱になります。

「ロードコンディショナー」は、2～3キロワット級の小容量の蓄電池を家庭に配置するなどして、深夜電力の有効利用を図る技術です。

これらが実用化できれば、需要家にとっては深夜の安い電力を昼間に活用でき、供給側にとっては夜間の設備利用率を飛躍的に高められますので、負荷の平準化と供給コストの抑制に大きく貢献できると考えています。

また、「配電地中化」は、都市空間の有効利用や景観の重視等の時代の要請に、電気事業が無理なく応えていける技術の確立をめざし、主に、地中化費用の大半を占める土木工事の合理化を中心に研究を進めていきます。

どちらも、一応の成果が出た時点で、本レビューの誌上でご紹介したいと考えておりますのでご期待ください。 ●

