

## 28. 研 究

### RESEARCH

昭和36年度の研究成果は原子力関係において最も著しいものがあつた。

原子力コードの開発、沸騰水形原子炉の動特性の研究などに先駆的な成果をあげ、セラミック燃料要素および燃料棒の製造技術は確立され、国産1号炉(JRR-3)、東大実験用、および日立教育用燃料が生産された。さらに放射線廃棄物処理装置や、チェレンコフ効果利用の高感度放射能連続監視装置を開発し、原子炉事故評価、放射線照射研究など成果はきわめて広範囲にわたつた。

火力機器の高圧、大容量化の傾向に対応し、超臨界圧実験装置によるボイラの動特性、偏流の研究、タービン長翼(26", 29")の性能、強度の研究、ボイラ蒸発管および復水器冷却管の腐食の研究など一連の研究は、着々と進展しているがボイラ給水の溶存酸素の高感度の自動分析計はすでに完成した。

電力関係として、トランジスタを用いた高精度のデジタルAFC、デジタルテレメータ用信号伝送装置や異相地絡保護継電方式などを完成した。

電子機器では Molten Diffused トランジスタの性能をさらに向上した。これを用い従来よりはるかに小形軽量のTV中継装置を完成し、オン、ライン制御計算機用として高信頼度をもつ磁気式アナログ計算機、日立独特の電子銃により電子流透過率75%という驚異的な7MeV線形加速器、12,000 Mc, 大出力2,500 Mc, クライストロン、および各種電子冷凍機などが開発された。

車両方面では、動力台車実験装置、等価実験装置および列車自動制御実験装置などの整備により、研究は一段と促進され、各種列車自動制御方式、交流電車の制御方式および車両制御器の開発、機関車粘着改善など多大の成果をあげた。

最近サーミスタの進歩には目ざましいものがあり、各種計測器に広範囲に利用されているが、微小液体流量計、液面制御器はその一例である。そのほか伸び差計、低電導度液用電磁流量計なども新たに開発された。そのほか長寿命で水銀電池より特性の良い酸化銅電池を完成し燃料電池の研究も進んでいる。

### 28.1 原 子 力

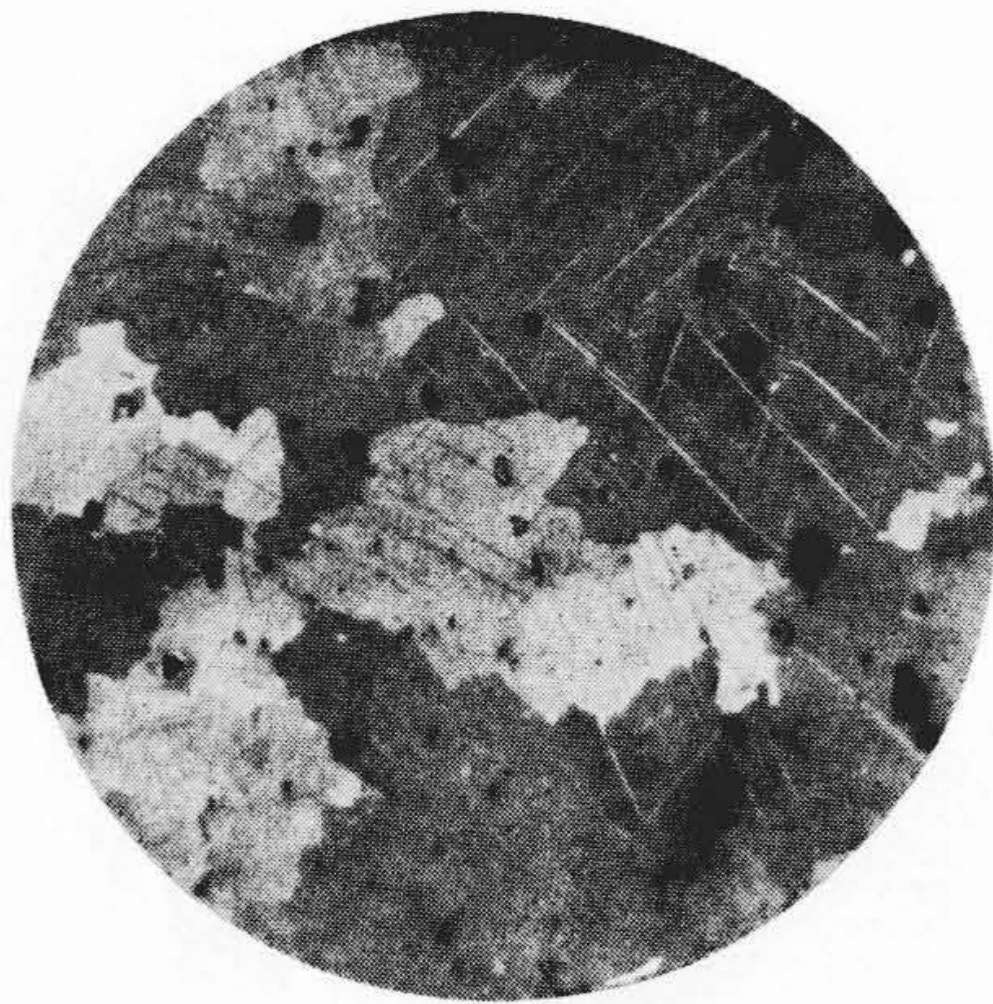
#### 28.1.1 金属ウランに関する研究

##### (1) ウランの $\beta$ -処理法とそ性加工による異方性の発生

原子燃料に用いられるウランでは、個々の結晶粒が統計的に無秩序に配向している必要がある。この目的を達成するため、普通 $\beta$ -処理なる熱処理を行なう。 $\beta$ -処理の適正条件を求める研究を行なつてこれを明らかにするとともに、 $\beta$ -処理試料に冷間引抜および圧延、あるいは熱間圧延加工を与え、そ性加工によって異方性の発生する過程を明白にした。

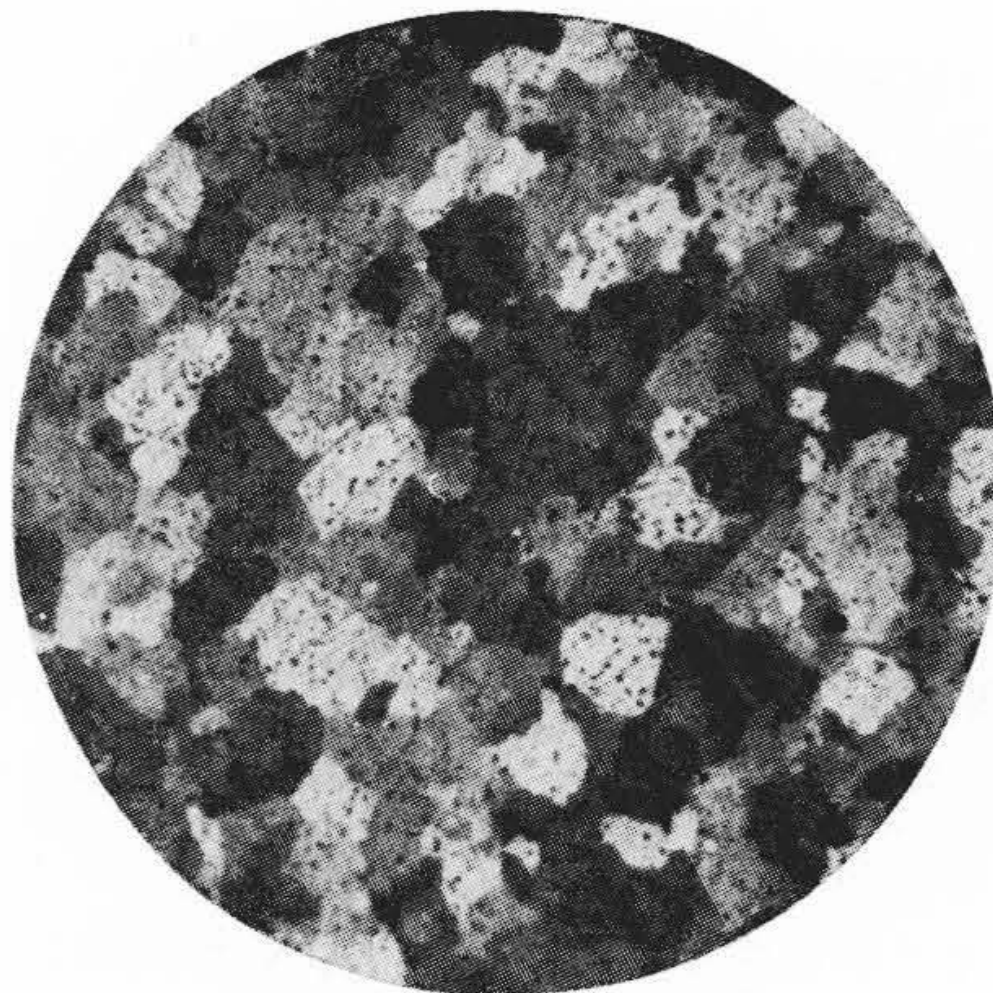
##### (2) ウランの結晶粒微細化

純ウランでは、 $\beta$ -処理によって結晶粒が粗大化しやすい。このため微量の合金元素を添加して微細化する方法を研究した。Al, Cr, Fe, Mn, Mo, Ni, Si, Ti, V および Zr の10種の合金元素を0.25~1.0原子パーセント添加してその影響を検討した結果、Cr, Fe, Mn, Ni, Siなどが有効で、純Uの1/6~1/3程度の微細組織にしうることがわかつた。そしてこれら合金系の相変態機構を解明して熱処理条件を明白にするとともに、組織の微細化機構を明らかにした。



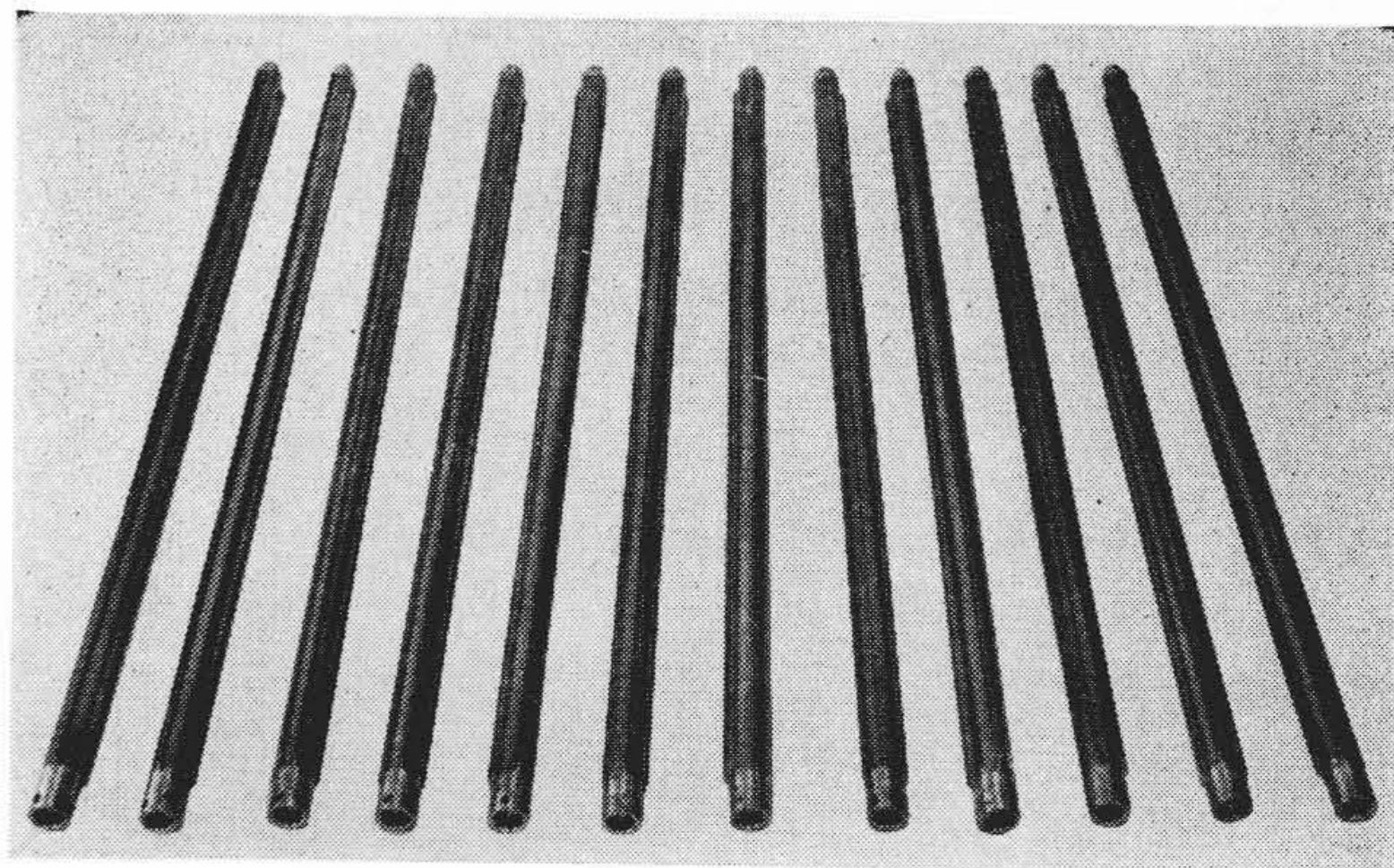
( $\beta$ 相から水冷した試料,  $\times 84$ , 偏光)

第1図 純ウランの $\beta$ -処理組織



( $\times 84$ , 偏光)

第2図 U-0.25 at % Fe合金の450°C恒温変態組織



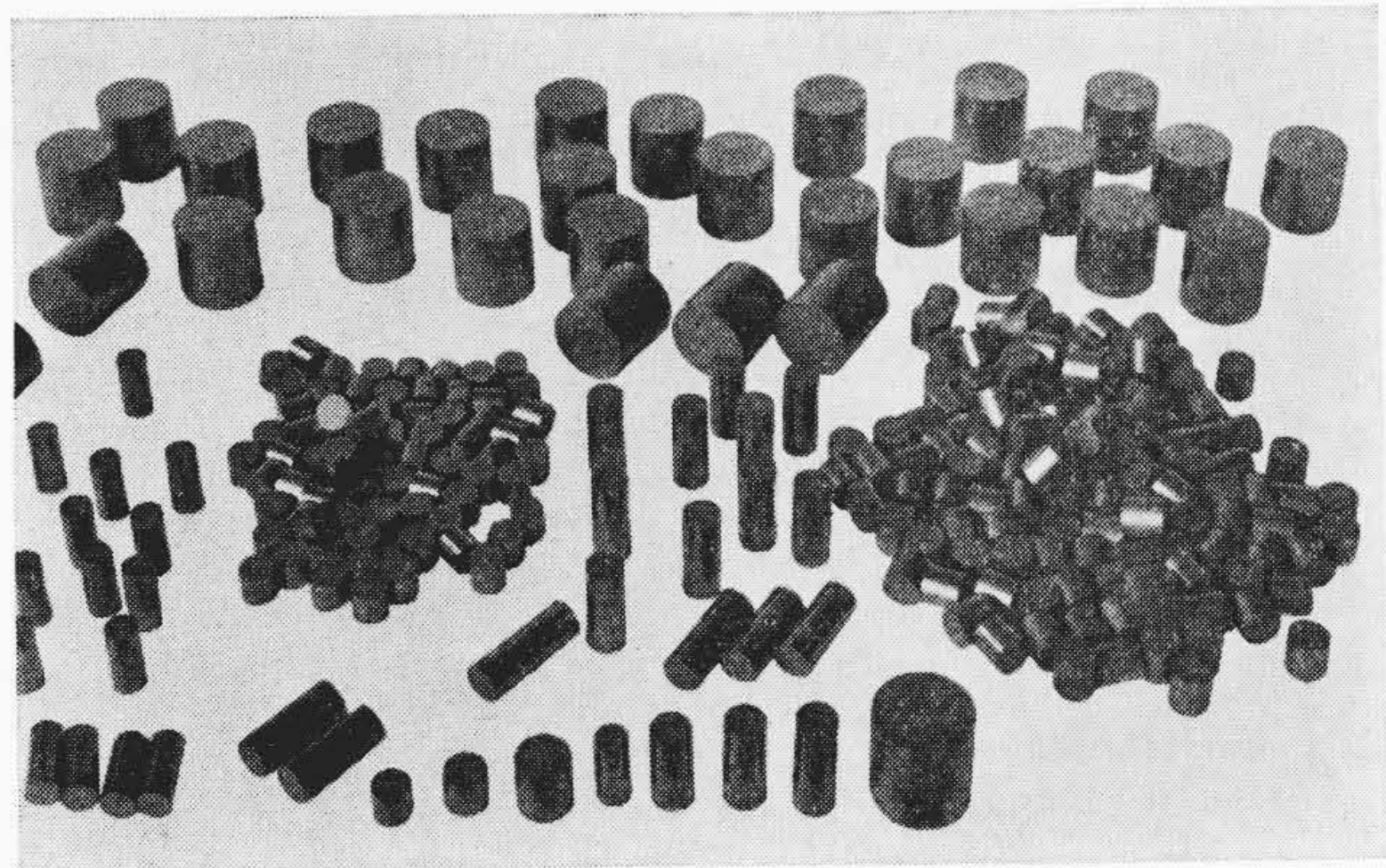
第3図 JRR-3 燃料棒

#### 28.1.2 原子燃料

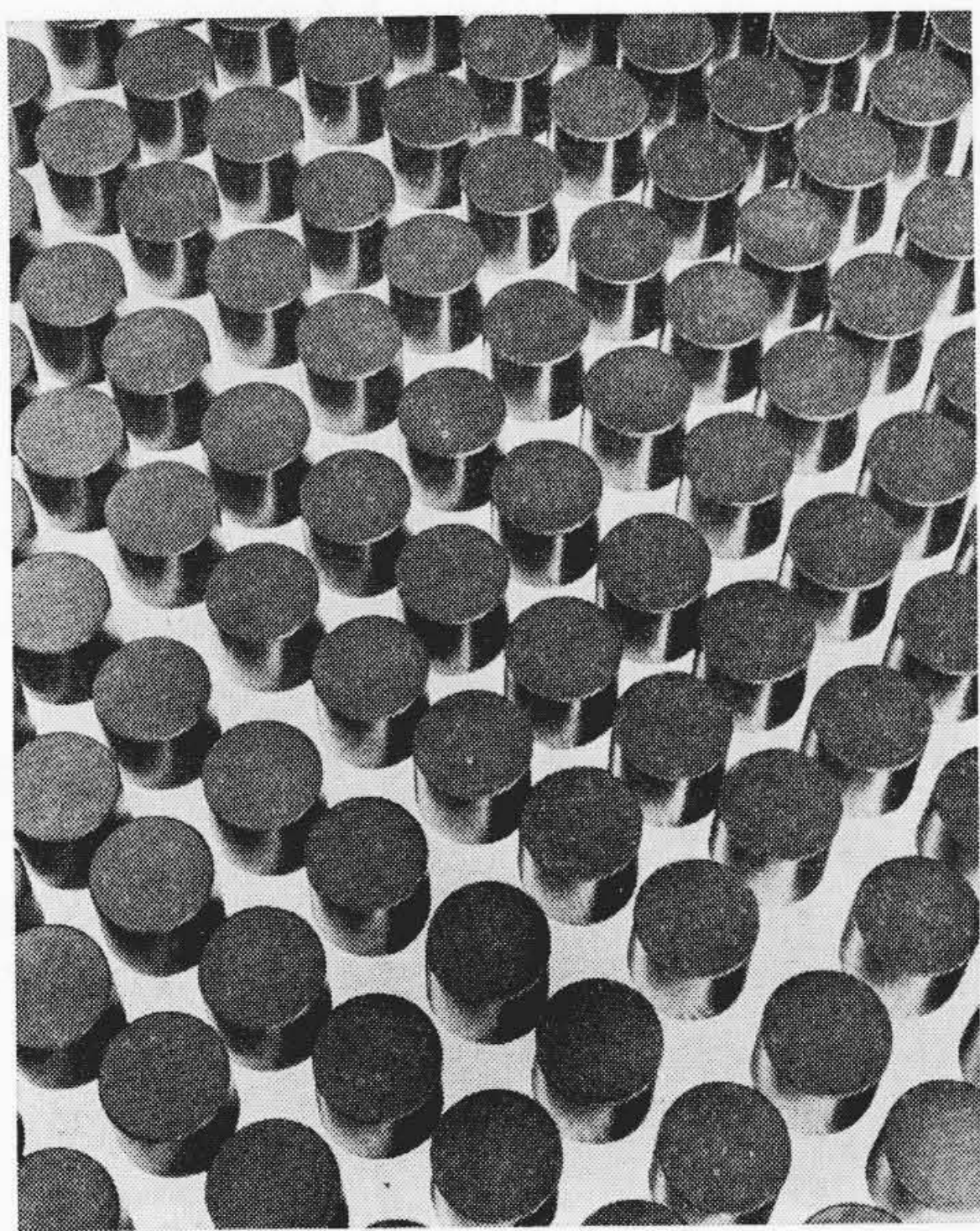
##### (1) JRR-3 燃料棒

JRR-3炉第2次装荷燃料の製造を目前に控えて、被覆技術に各種改善を加え、機械結合形燃料の製造技術を完璧ならしめた。被覆方法は日立独特の方式を開発し、ドローベンチによる被覆作業の際ヘリウムを燃料棒中に封入し、ヘリウムリーク試験を可能としている。また両端蓋の熔接についても施工上の各種問題点を解決して一貫した製造方式を確立した。第3図はこれらの総合技術を發揮して製造し、原子燃料公社に納入した再処理試験用 JRR-3 燃料棒であ





第4図 各種二酸化ウラン焼結ペレット



第5図 東京大学納臨界未満実験装置用二酸化ウランペレット

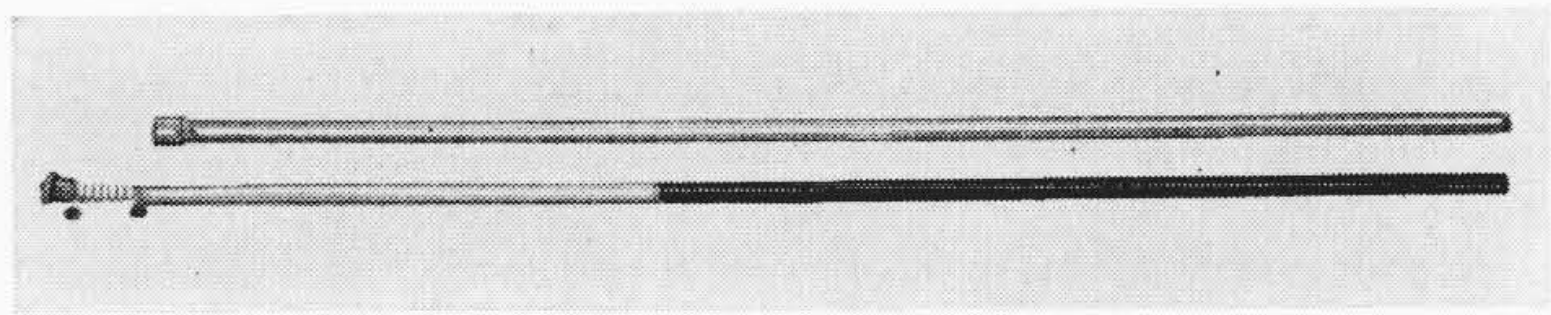
る。

なお、さらにかかる機械結合形燃料よりも高性能な金属結合形燃料の完成を目ざし、熱拡散法による試作を終え、さらにガスオートクレーブによる被覆技術確立の研究を続けている。

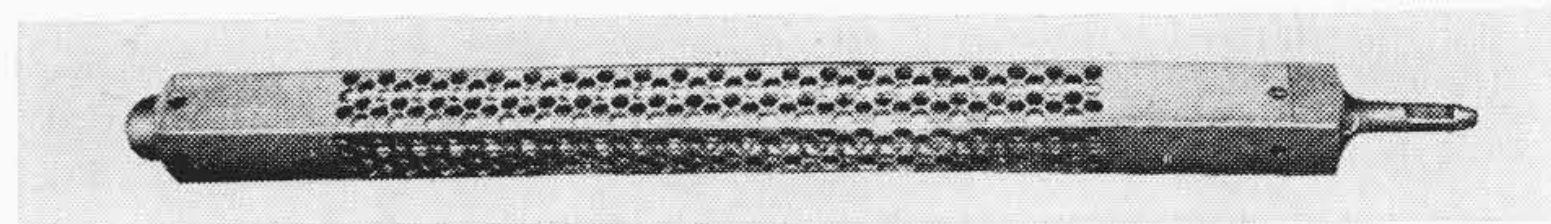
#### (2) セラミック燃料要素

日立製作所日立研究所におけるセラミック核燃料の開発は昭和35年量産設備を備えた核燃料開発実験室の完成以来、大きく飛躍を続けてきたが、その間、二酸化ウランの粉末および焼結体に関して基礎研究を行ない、焼結体のかさ密度と気孔率、硬度、圧縮および曲げ強度、耐衝撃性ならびに耐酸化性などの諸性質を明らかにした。また、光学および電子顕微鏡によって焼結体の結晶粒、内部気孔の状態や微細構造、分布状態の変化などを検討した結果、焼結過程や焼結機構に多くの知見が得られ、二酸化ウランの基本的性質は相当明らかとなった。また、第4図はその間試作した各種の二酸化ウラン焼結ペレットである。

昭和35年11月にはこれらの結果に基づいて東京大学臨界未満実験装置用天然二酸化ウランペレットによる燃料要素の製造を開始した。これは所要二酸化ウラン核燃料2.3tの製造を民間3社で分割受注したものでわが国最初の本格的な二酸化ウラン焼結燃料体の製造である。ペレットは直径24mm、高さ25mm、密度93%で寸法、密度および外観に厳重な制限が設けられたが、日立独自の加工技術によって製造した結果、高密度で寸法精度きわめて高く、また欠けや傷のほとんどない大形ペレット約760kgを完成した。第5図はそのペレットを示す。また第6図はその燃料棒で、アルミニウム被



第6図 東京大学臨界未満実験装置用燃料棒



第7図 日立教育訓練用原子炉燃料要素

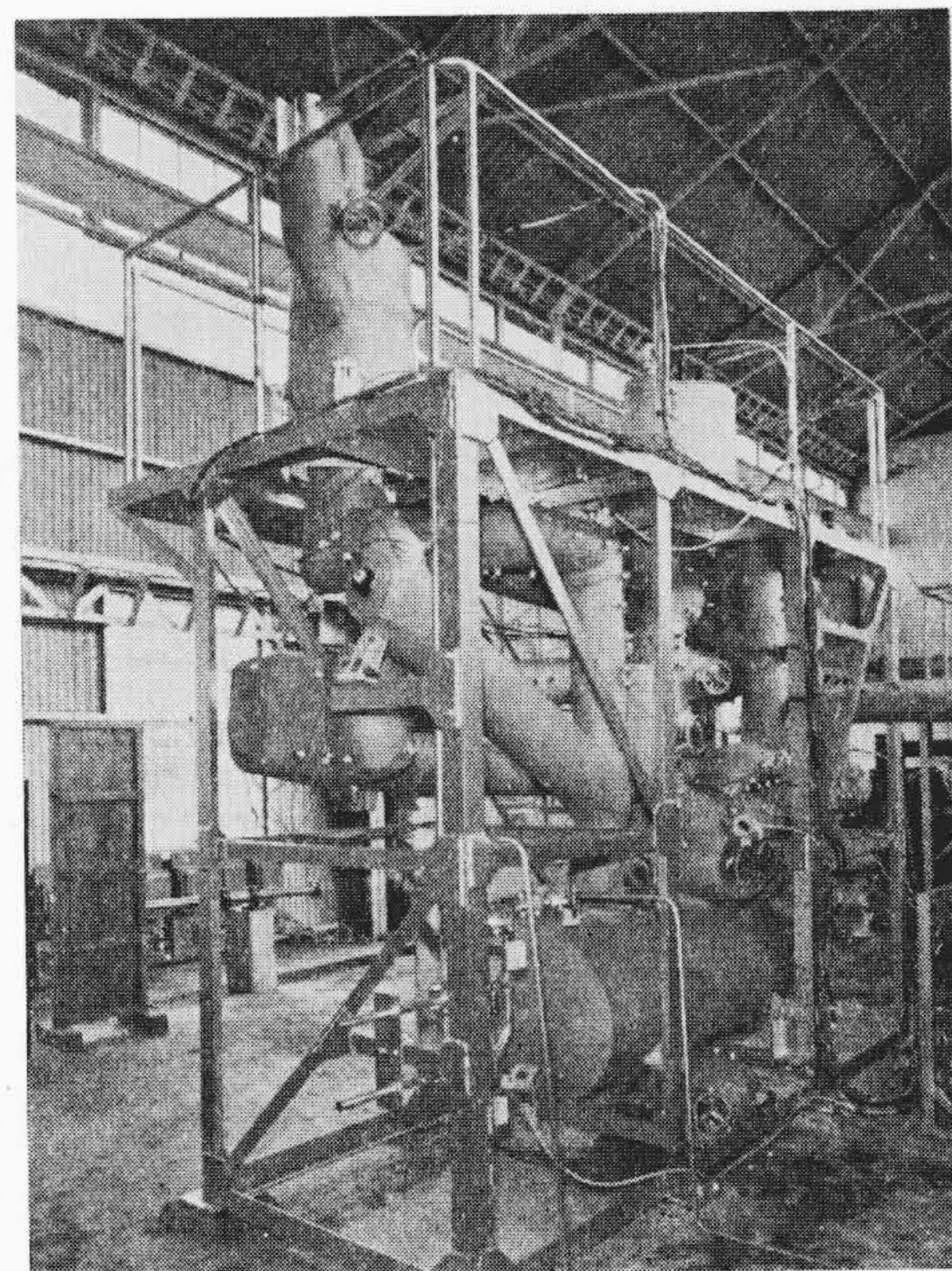
覆管中に上記の寸法の二酸化ウランペレット40個およびポリエチレン棒3本が装填されている。この燃料棒製作に伴う諸問題、特に装填の際の汚染防止、燃料部の寸法調整などに対し、独特の方法を適用し、165本の納入数量を完成した。

さらに8月中旬より、日立教育訓練用原子炉の燃料として用いられる10%濃縮二酸化ウラン焼結ペレット燃料要素の製造に着手した。このペレットは実験炉用であるため動力炉用よりも厳重な密度仕様が設けられ、また燃料棒製造上には外径9.8mm、内径0.8mmの薄肉細管を封かん熔接し内部にヘリウムを封入するという困難があったが、独特の精密加工法により解決した。第7図がこの国産初の実用原子燃料要素である。

#### 28.1.3 高流速ナトリウム中における不銹鋼の腐食の研究

われわれはこれまで数年間にわたりNa技術の開発研究を続けてきた。昭和34年末に日本原子力研究所との共同研究が成立し、Naによる構造材料の腐食機構を検討するために高流速動的腐食装置が製作された。

本装置では最高温度600°C、最大流速(試験片面)約7m/sで長時間運転ができるようになっている。電磁ポンプで駆動されたNaは加熱器(シーズパイプヒータ)によって昇温されて試験タンクに至る。ここで所期の試験温度に保持されつつ試験面を高流速で通過する。試験タンク中では同一条件下で静的試験も実施できるようになっている。タンクを出たNaはエコマイザを通過する間にしだいに冷却されて電磁流量計で流量を測定されたのち、ふたたび電磁ポンプにもどる。さらに、Na中の不純物を除去して、腐食条件を調整し、管内閉そくを防ぐために適宜コールドトラップあるいはク



第8図 ナトリウム用高流速動的腐食試験装置



ーラ回路を通過せしめる。

この装置により、高流速下における不銹鋼、クロロイの母材、熔接部の腐食についての研究を実施中である。

#### 28.1.4 放射化法による原子炉用アルミニウムの比較

原子炉材料は従来の材料と比較してはるかに高純度のものが必要であり、これらの分析には放射化法がすぐれた点を多くもっている。この方法をアルミニウムに適用し、原子炉材料では用途により現在の規格のみではその性質を知るのに不十分である

ことを確かめた。すなわち、国内メーカー 3 社の同一規格品を分析した結果より熱中性子吸収断面積と誘導放射能を比較すると、前者は不純物の影響が少なく 52S で 2% の差のみであった。値は次のとおりである。

|     |                                       |
|-----|---------------------------------------|
| 2S  | $1.43 \times 10^{-2} \text{ cm}^{-1}$ |
| 52S | $1.39 \times 10^{-2} \text{ cm}^{-1}$ |

誘導放射能は短半減期元素の存在量がメーカーによって差が大きい。ため中性子照射停止直後では最低、最高で約 10 倍の差があった。この結果を第 9 図に示す。

#### 28.1.5 軽水動力炉燃焼度計算コード

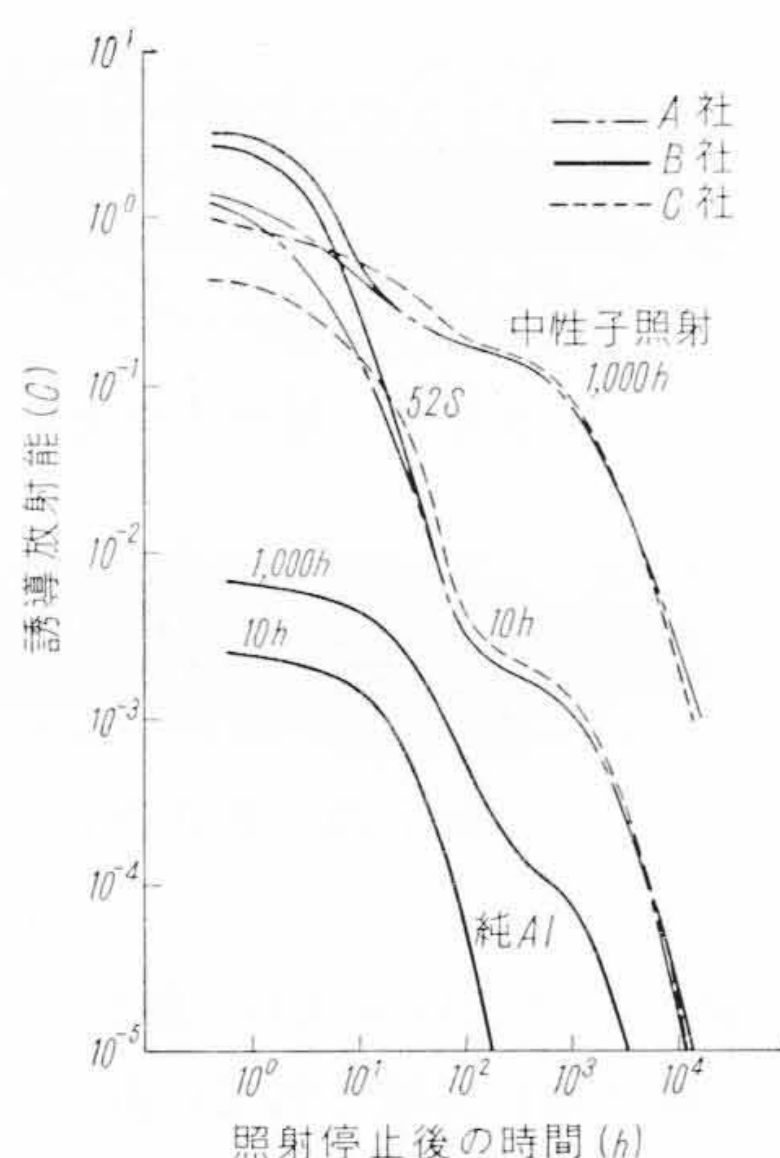
われわれは原子力コード開発の分野でわが国の先駆的なグループとして、これまで数多くの仕事を国内はもとより欧米の国際学会にも発表して注目されてきたが、昭和 35 年度から 36 年度にかけて日本原子力発電会社を窓口として原子力平和利用委託金を受け、軽水動力炉(BWR, PWR)の燃焼度を計算し、燃料取替方法、Pu の利点などを検討するためのコードを作成した。この種コードとしてはすでに Mars コードを 2 年前に完成しているが、このたびは特にその組定数計算部を、高速中性子スペクトル・熱中性子スペクトルを精密に考慮して計算し、より近似度の高いものにした。また本コードに対し、中性子の減速・拡散に関する原子炉基礎理論研究からの裏づけが同時に行なわれた。本コードは日立工場の IBM 7070 用に作成されたが、IBM 7090 にも容易に応用でき、わが国最初の政府委託コードとして今後利用されよう。

#### 28.1.6 熱中性子スペクトルの研究

軽水、重水、黒鉛などを減速材として使用する通常の原子炉では核分裂や中性子吸収などの反応の大部分がいわゆる熱領域で行なわれるために、原子炉内の熱中性子スペクトルをできるだけ正確に知ることが要求される。しかし熱領域では減速材の熱運動や反応断面積のエネルギー依存性などの原因がスペクトルの計算を著しく困難にし、従来の理論では次のような簡単な場合以外はスペクトルを正確に求めることはできないとされていた。

- (1) 減速材原子核の質量は中性子と同じか、逆に非常に重い。
- (2) 散乱は重心系で等方的で、散乱断面積はエネルギーによらない。
- (3) 吸収断面積は  $1/v$  法則に従う。

われわれは従来の理論と異なった立場から熱中性子スペクトルの問題に取り組み、上に述べたような仮定を必要としない計算方法を確立した。これによって従来の理論はわれわれの理論の特別な場合として完全にこれに含まれてしまうことになり、理論のわくを大きく広げることが可能になった。軽水炉のように散乱断面積が実際か



第 9 図 アルミニウム材料の誘導放射能

なりエネルギーによって変化する場合や、Pu の蓄積によって吸収断面積が  $1/v$  法則から大きくずれてくるような場合、われわれの理論は特に有効である。

#### 28.1.7 沸騰水形原子炉の動特性

沸騰水形原子炉の炉心では冷却機と減速機の役目をしている水が熱を受けて沸騰し、そのために生じる気泡が中性子の連鎖反応に影響して熱出力に帰還するので、気泡の炉内分布が熱出力や圧力、入口流速、入口温度などの影響によってどのように変化するかが重要な研究課題となる。われわれは、動力炉内で液相と気相の速さの間に「すべり関係」を仮定すれば気泡体積率  $f$  は

$$\frac{\partial f}{\partial t} + U \frac{\partial f}{\partial z} = q$$

なる簡単な方程式によって記述できることを示した。ここに  $q$  は気泡を増す作用をなす熱源と圧力変化による凝縮や圧縮の効果を含んでおり、 $U$  は気泡の伝ぱん速度と解釈される。この方法は従来直観的推論に頼ってあいまいのまま残されていた問題に明快な解決を与えたものとして好評を博し、社内での使用例はもとより原子力研究所およびそのほかの沸騰水形原子炉の研究者に広く採用されている。

#### 29.1.8 原子炉の事故評価と災害評価

原子炉が異常状態におかれたときの動特性を、ディジコン、アナコンを利用して、炉心内各部分の温度変化、出力変化、特にボイド変化などを各種の現象に対応して解析した。

また、核燃料物質からの反跳と拡散による核分裂生成物の漏えい解析の方法を考案し、実験結果とかなりの良い一致を示すことがわかった。核分裂生成物の大気拡散に関しては、サットン方式と英国気象庁方式との特長を兼ね備えた新しい方式を決定し、空気中濃度、土地汚染度などの定量的検討に有力な資料を与えうようになった。捕獲ガンマー線、大気散乱ガンマー線などの定量的結果を得られる電子計算機用コードを完成し、原子炉設置施設内外の災害評価と事故対策の検討が可能となった。王禅寺臨界集合体設置許可申請書の作製に、これら研究成果を活用し、あらゆる現象に対して敷地周辺はまったく安全なこと、管理区域内部でとるべき適切な処置の種類とその時間的余裕が十分なことなどを明白にした。

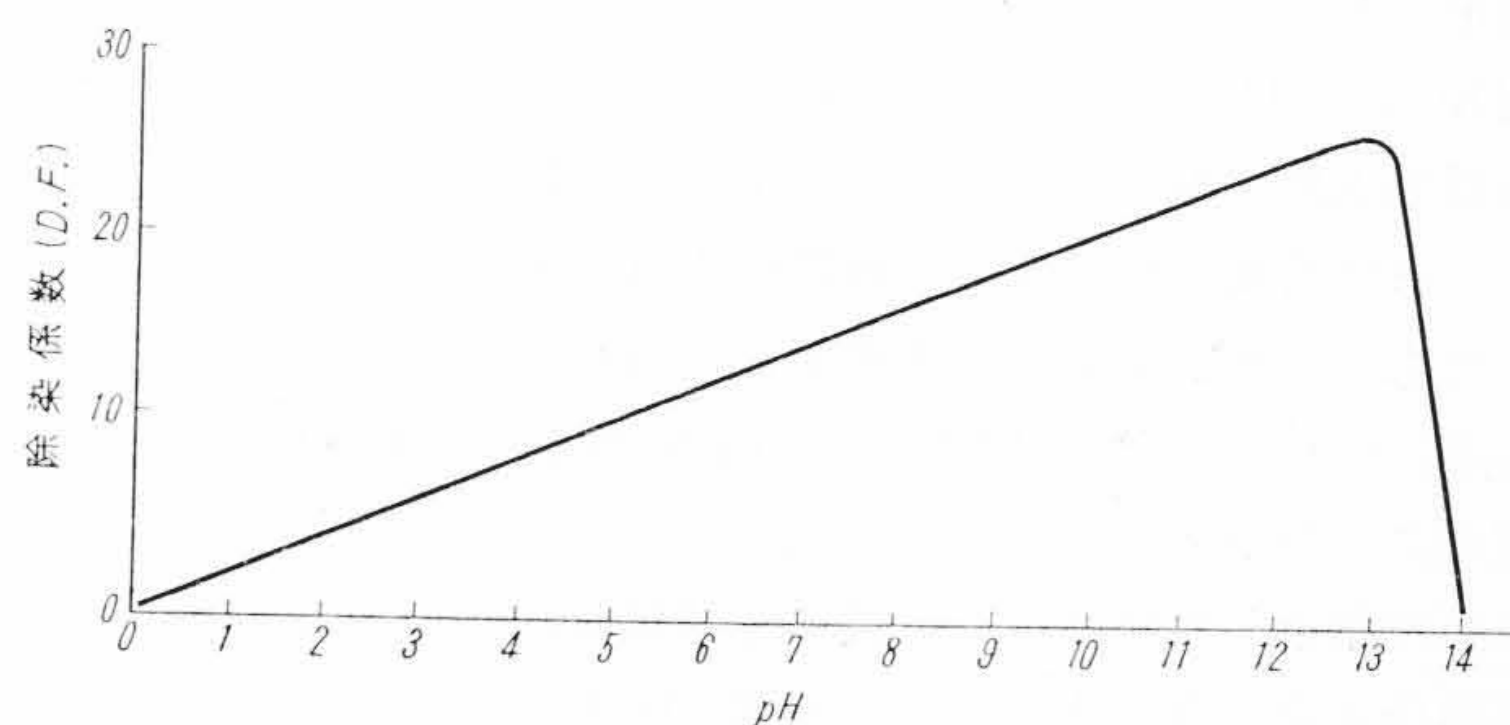
#### 28.1.9 放射性廃棄物処理装置の試作

原子力工業においては種々の過程より放射性物質を放出するが、これ以上利用の道のない放射性廃棄物は安全に処理する方法が確立されないかぎり、原子力工業は当然発達に制限が生じる。したがって放射性廃棄物処理の研究は、ある意味では原子力工業の発展を左右するということができる。

##### (1) 廃液処理法の改良

放射性廃棄物は気、液、固体の状態で排出されるが、排出箇所が多く、容積が大きい点で一番問題となる液体廃棄物の処理について研究を行ない、実験室では次のような結果を得た。

液体廃棄物中の懸たく質または溶解イオンを除去する方法一つと

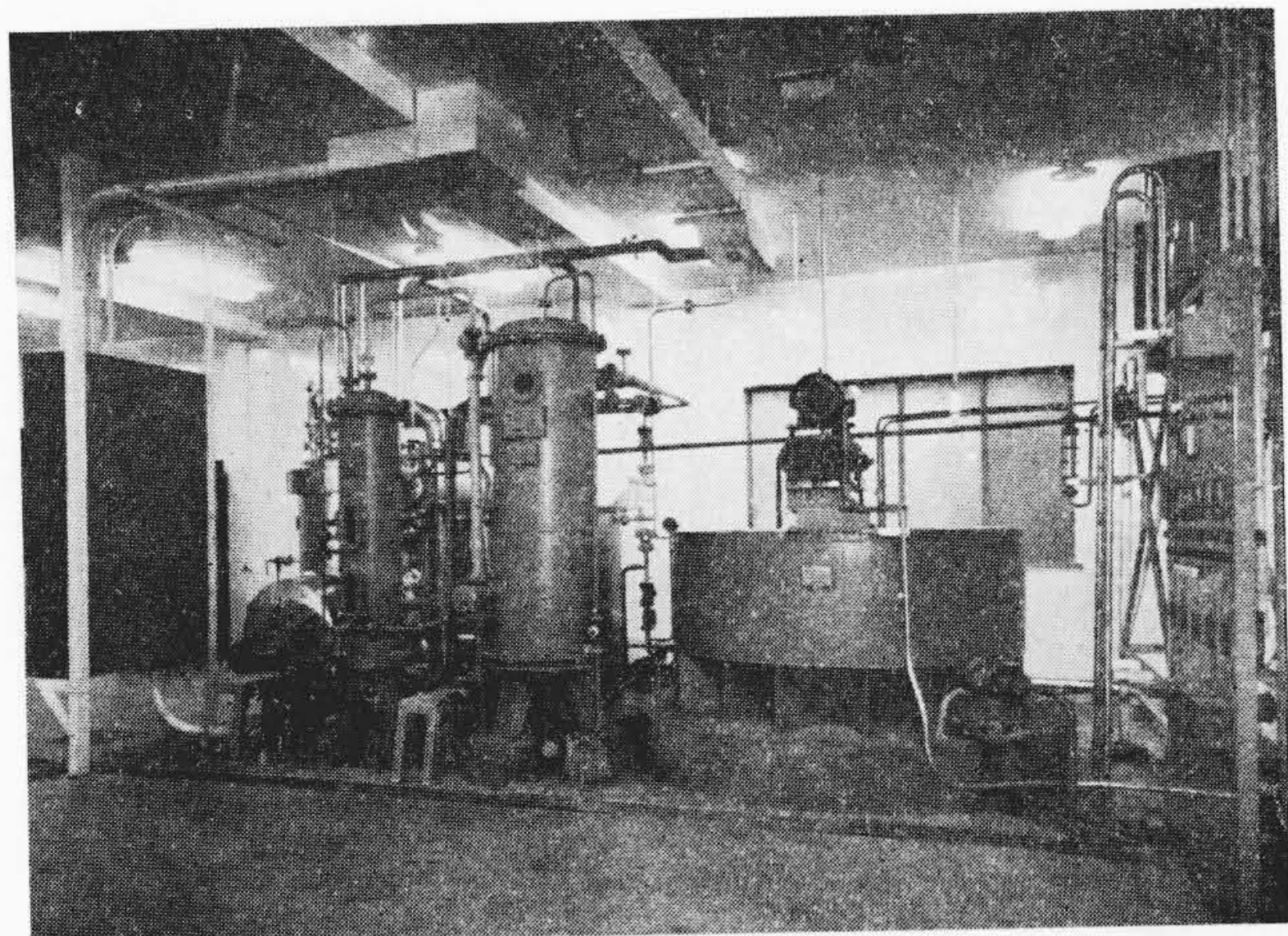


第 10 図 フェロシアン化ニッケルによる核分裂生成物除染係数



第1表 カチオンSA-リンタングステン酸沈でんによる核分裂生成物の除染係数 (D. F.)

| カチオンSA-添加量<br>(g/250 ml) | $\beta$ -放射能D. F. | カチオンSA-添加量<br>(g/250 ml) | $\gamma$ -放射能D. F. |
|--------------------------|-------------------|--------------------------|--------------------|
| 0.1202                   | 1.3               | 0.1058                   | 1.4                |
| 0.2376                   | 1.9               | 0.1975                   | 2.0                |
| 0.3003                   | 2.6               | 0.3063                   | 2.3                |
| 0.4108                   | 2.9               | 0.4040                   | 2.7                |
| 0.5338                   | 3.6               | 0.5325                   | 2.9                |



第11図 放射性廃棄物処理装置

して凝集沈でん法がある。今までは凝集沈でん剤として水酸化アルミニウムなどが用いられていたが、われわれはフェロシアン化ニッケルを用いて第10図に示すように、水酸化アルミニウムで得られた結果 (D. F. 5 前後) と比べ非常に良好な結果を得た。なお、核種による差異で、特にセシウム、ストロンチウムがよく除去されている点にほかの凝集沈でん剤にみられない特長がある。

表面活性剤は最近除染にしばしば用いられるがこれを含む放射性廃液の処理は著しい発泡性のため困難となり、よい処理方法はまだ見出されていない。ここではリンタングステン酸を使って第1表に示すように表面活性剤 (カチオン-SA) を沈でん除去すると同時に放射能を除去することを試み、好結果を得ることができた。

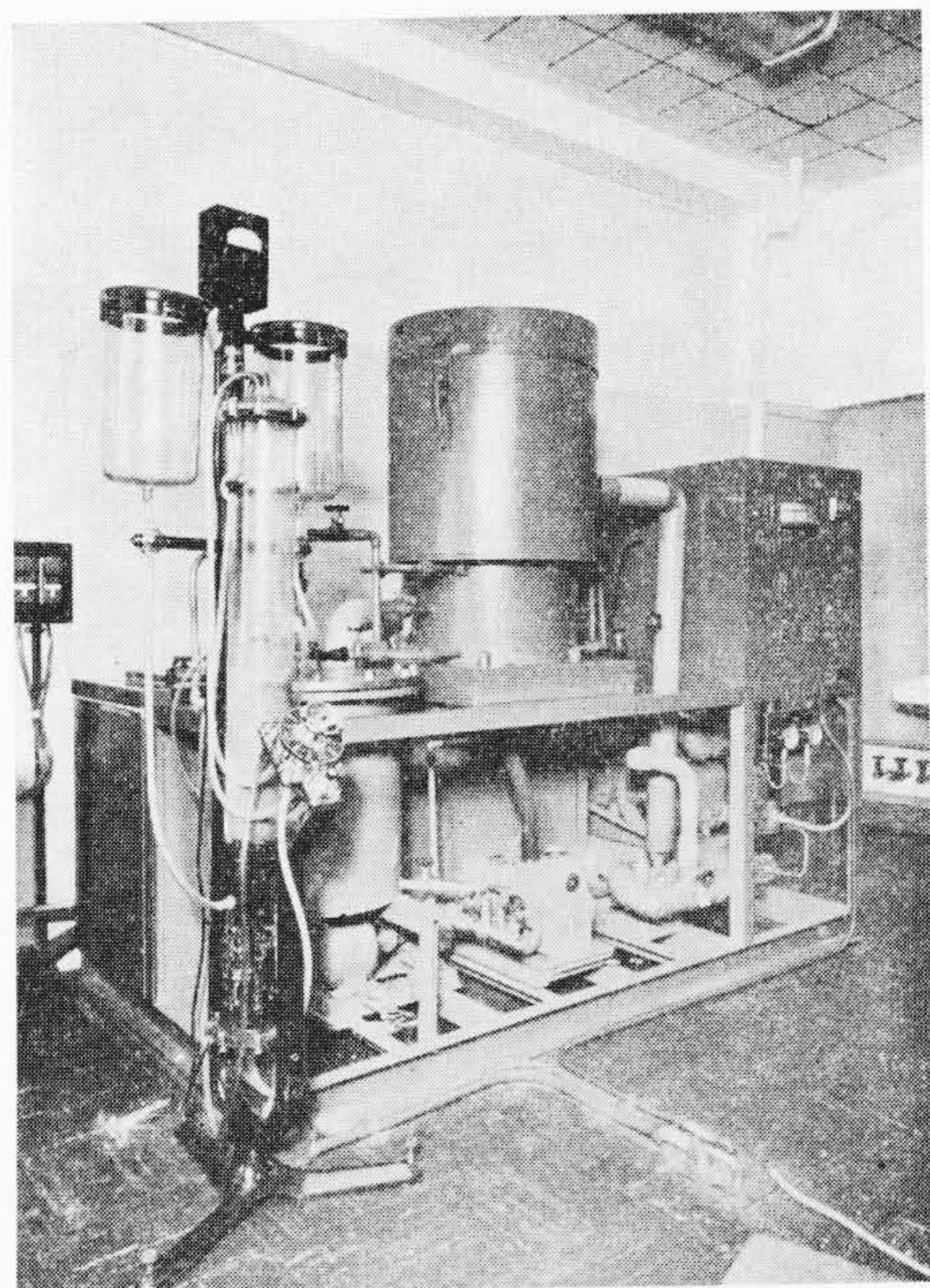
溶解放射性イオンを除去する方法の一つとしてはイオン交換樹脂を用いる方法がある。小球状イオン交換樹脂を製造することはかなりむずかしいが、リン酸ジルコンまたはリンタングステン酸を乳化剤として使用するとスチレン-ジビニルベンゼンから性能良好な小球状イオン交換樹脂を取率良く製造することができることがわかった。

## (2) 装置の概要および試験結果

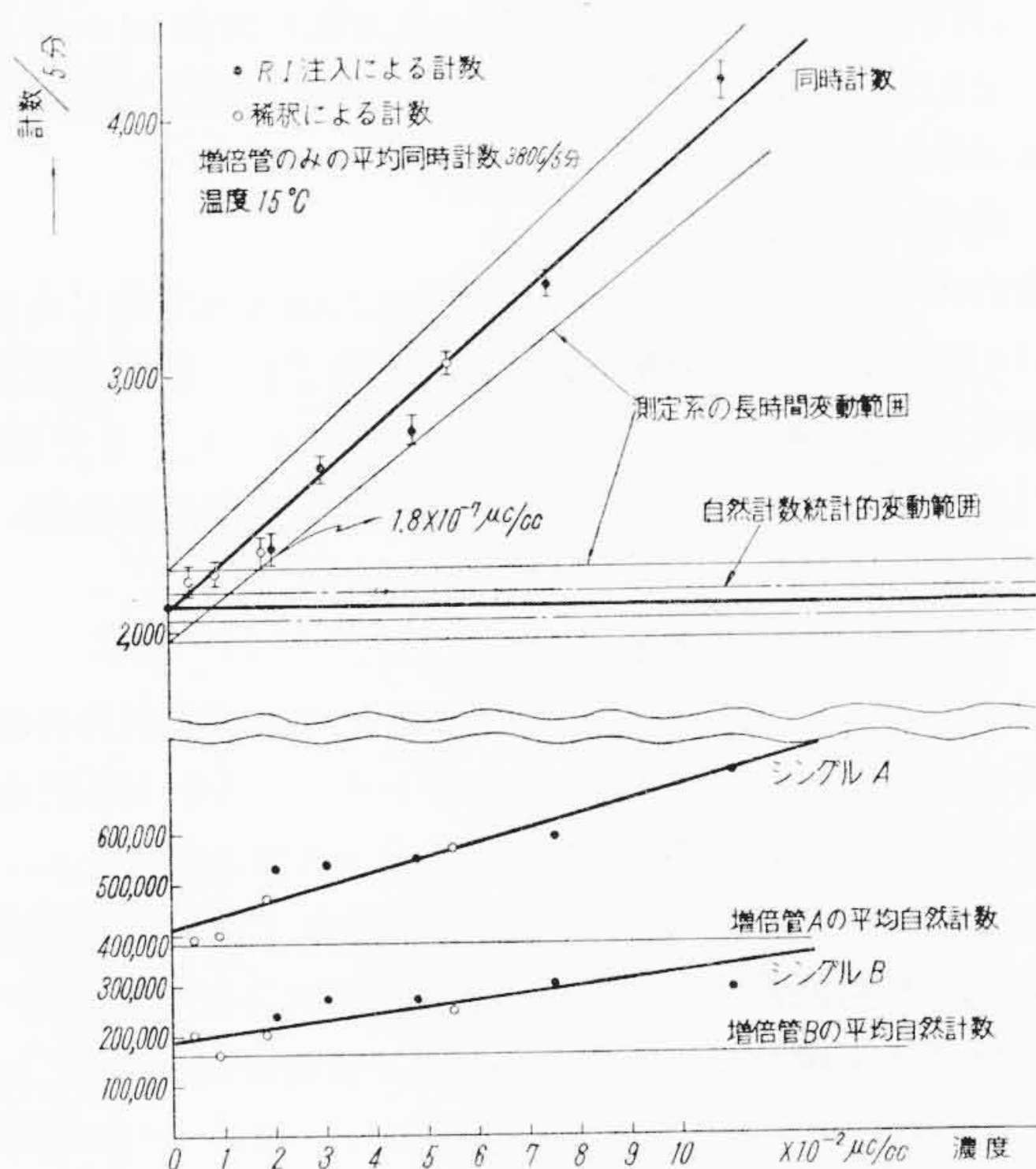
これらの実験結果を実際規模の装置で試験するため、凝集沈でん槽、ろ過器、イオン交換塔、蒸発濃縮かんを含む放射性廃液処理装置を試作した (第11図)。試作装置による実験結果は、フェロシアン化ニッケル法 D. F. 16, リンタングステン酸法 D. F. 2, イオン交換塔 D. F.  $3.0 \times 10^2$  であり、実験室で得られた結果を実際規模で行なっても満足すべき結果が得られることがわかった。

### 28.1.10 低レベル放射能連続監視装置の試作

放射性廃液処理後の廃水は、I. C. R. D. で勧告された最大許容濃度の1/10, たとえば、 $^{90}\text{Sr}$  に対しては、 $10^{-7} \mu\text{C/cc}$  以下にして廃棄せねばならないのであるが、現在この程度の放射能を検出しようとする感度をもつ連続監視装置は、世界いづれにおいてもまだ確立されていない。水中の放射能を連続的に監視する装置として現在まで使用されているものは、液浸形 G. M. カウンタを用いたり、テープ上に試料水を固化して、シンチレーションカウンタで測定したり、そ



第12図 低レベル放射能連続監視装置



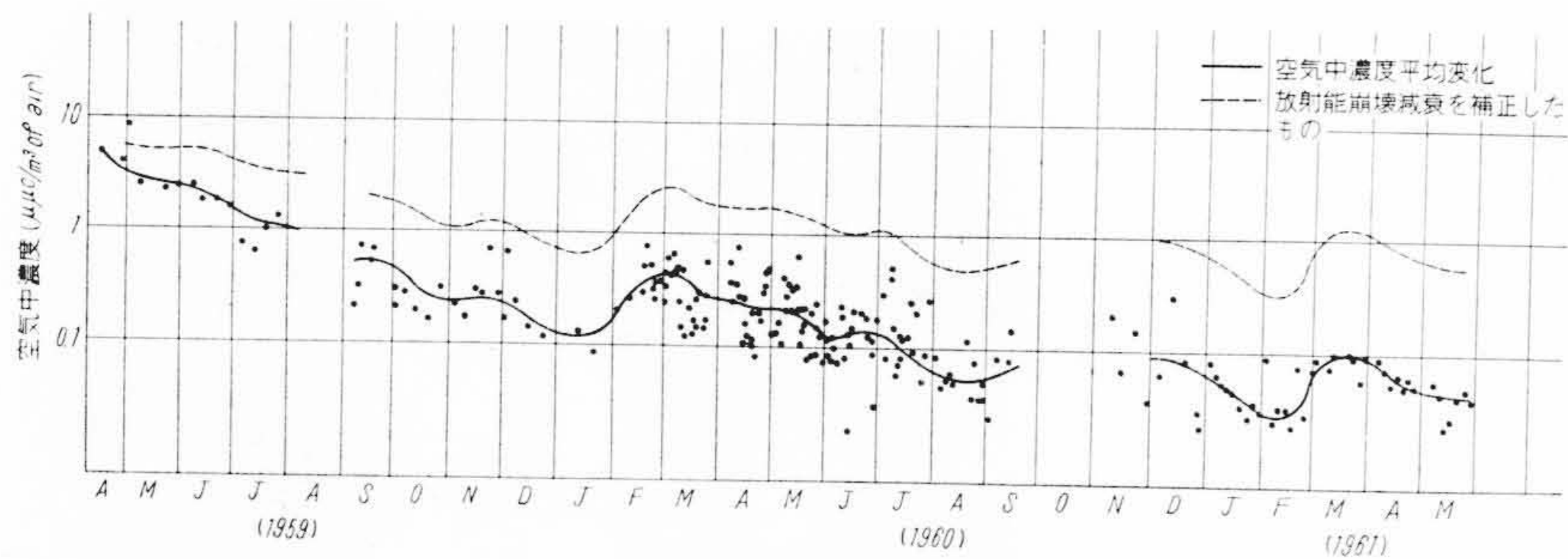
第13図 低レベル放射能連続監視装置による測定結果の一例

のほか、種々の方法が考えられているが、大体において、 $10^{-5} \sim 10^{-6} \mu\text{C/cc}$  が検出限界で、多くの場合、大量の液を濃縮乾固することによって、それ以上の感度を得ている。ただし、濃縮という手段は非常にやっかいで、連続測定ということは困難である。

放射性廃液処理後の水のようなまったく透明な水の中のベータ放射能を検出する場合には、チェレンコフ効果を利用することができる。この方法の利点は、水自身が発光体となるので、大量の水を試料としてとつても、濃縮する必要がないという点である。実験結果によると、チェレンコフ放射光の水中での飛程は、約15cmであった。

3lの円筒容器 (内面白色エナメル塗布) に  $^{90}\text{Sr}$  を含んだ試料水を導入し、ベータ線によって発するチェレンコフ放射光を2本の光電子増倍管で受けてこれを電気的パルスに変換し、各光電子増倍管からのシグナルの同時計数をとった。さらに、光電子増倍管の熱雑音を少なくし、その数を一定にするために、これを冷却し、温度を一定にした。同時計数法によって得られた計数は、自動計数印字装置





第 14 図 大気じんあい放射能濃度の変化

によって、連続的に、時々刻々の計数を記録してゆく。

第 12 図は、装置全体の写真である。第 13 図は、測定結果を示す一例である。第 13 図の下部は各光電子増倍管単独の計数をそれぞれプロットしたもので、上部は同時計数法による計数である。自然計数は、2,100/5 分で 6 時間に対する変動は  $\pm 150/5$  分であった。これは統計的偏差の約 3 倍で、この範囲を検出限界とすれば、この装置の測定可能量は  $1.8 \times 10^{-7} \mu\text{Ci/cc}$  となり、もし測定時間を 30 分とれば、 $7 \times 10^{-8} \mu\text{Ci/cc}$  となる。

#### 28. 1. 11 大気じんあい放射能の測定解析

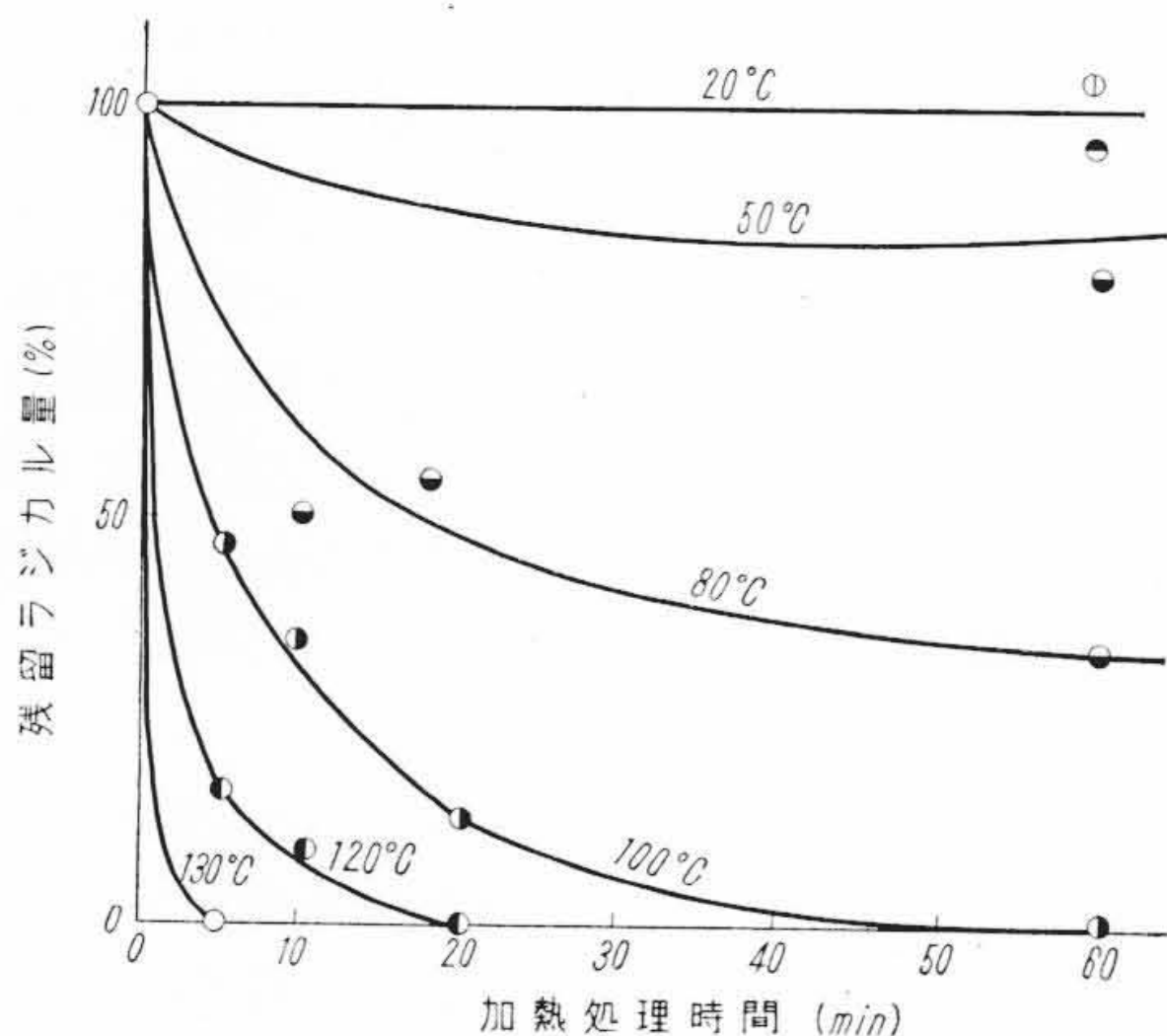
32 年ころから核実験の影響などにより大気中放射能が著しく増大したことが、ならびに原子炉周辺モニタの平常値測定の意味から、大気中じんあい放射能の性質を測定解析した。

##### (1) 装置と測定法

日立製作所日立研究所において試作された湿式電気集じん器を用いて第 14 図のように地上 6 m 付近から採集された懸たく液状じんあい試料を回収後、焼化して全放射能測定試料とした。また 35 年 2 月～7 月の  $\gamma$  線測定試料はさらに共沈法を含む放射化学処理により比放射能を大きくした。

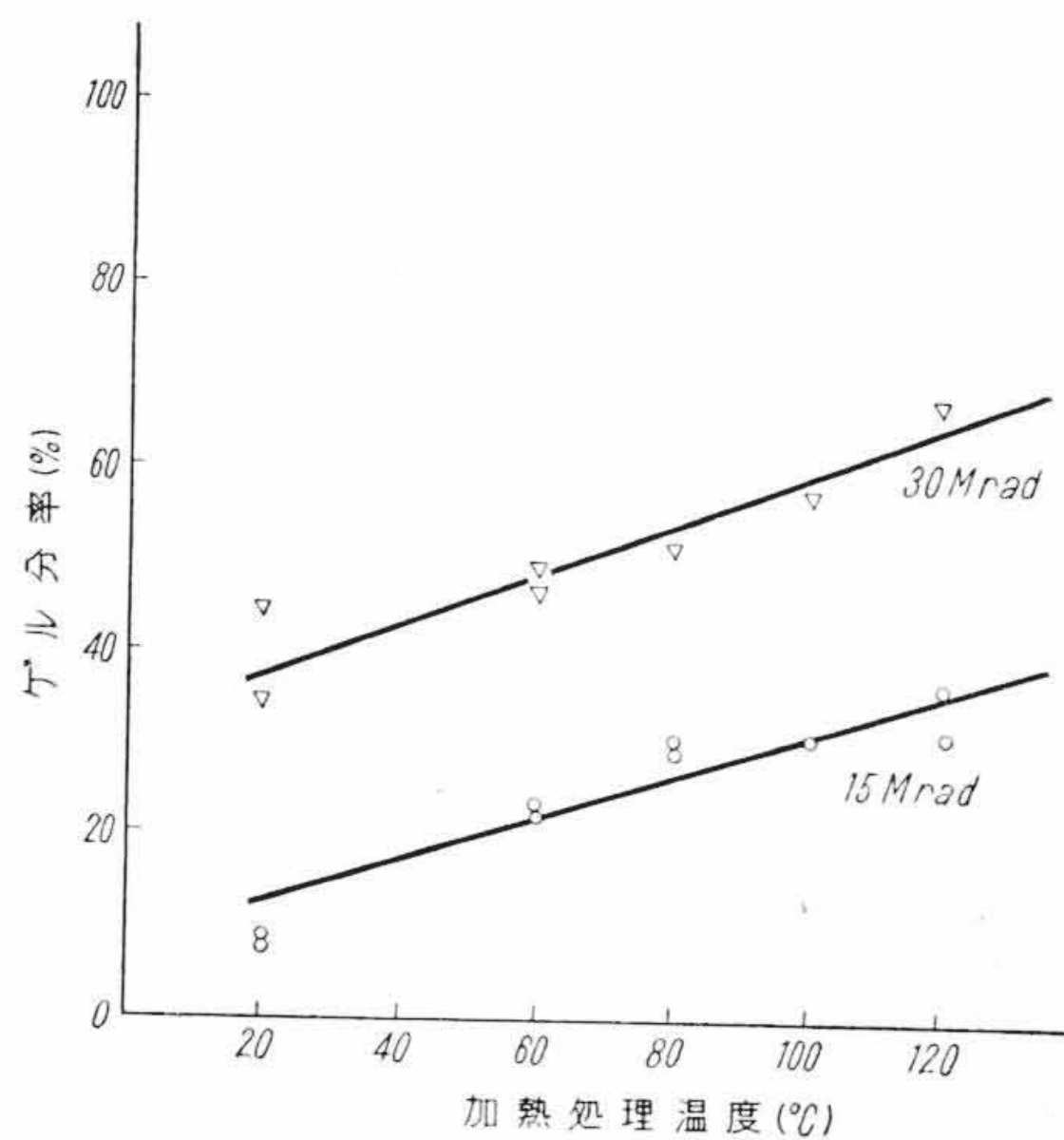
##### (2) 全放射能濃度の変化

34 年 4 月～36 年 5 月にわたって、毎回 1～2 h 採集試料の全放射能を GM または低バックガスフローカウンタにより計測した全放射能濃度変化の測定結果を第 14 図に示す。日々の気象的变化によるばらつきを除いた実曲線について、放射能崩壊による減衰を補正した点曲線から、放射能濃度の年周期的変化が認められる。特に 35 年 36 年の春季増大現象を 4 倍程度の増加量で検出した。またこれらの季節的变化の基底に存在する対数的減少については二つの春季増大のレベル差から半量降下時間が 300～400 日程度と推定された。



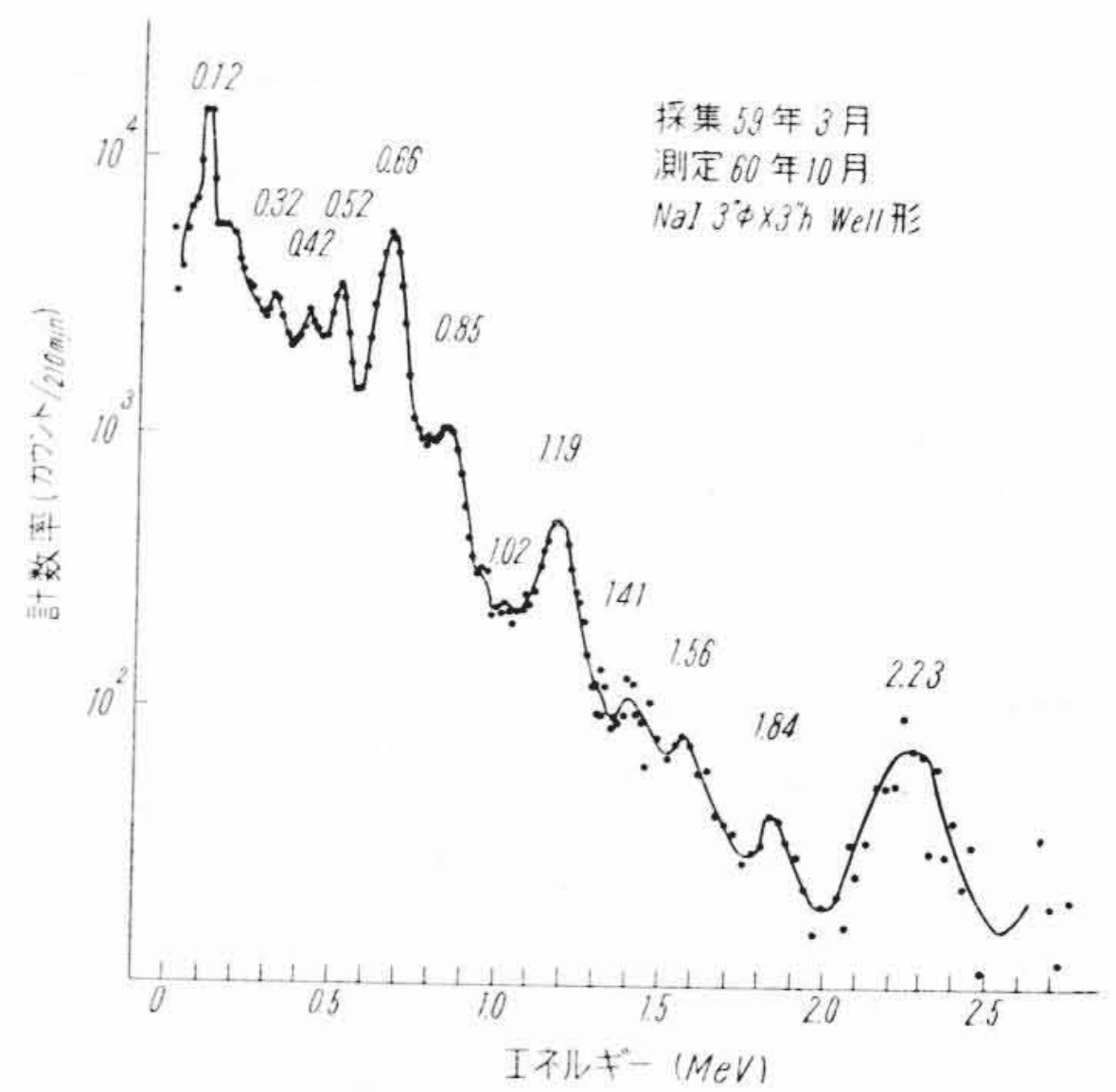
照射量 50 Mrad (20°C)

第 17 図 電子線照射高密度ポリエチレンの残留ラジカル量と加熱処理時間との関係



照射温度 20°C, 加熱処理時間 5 分

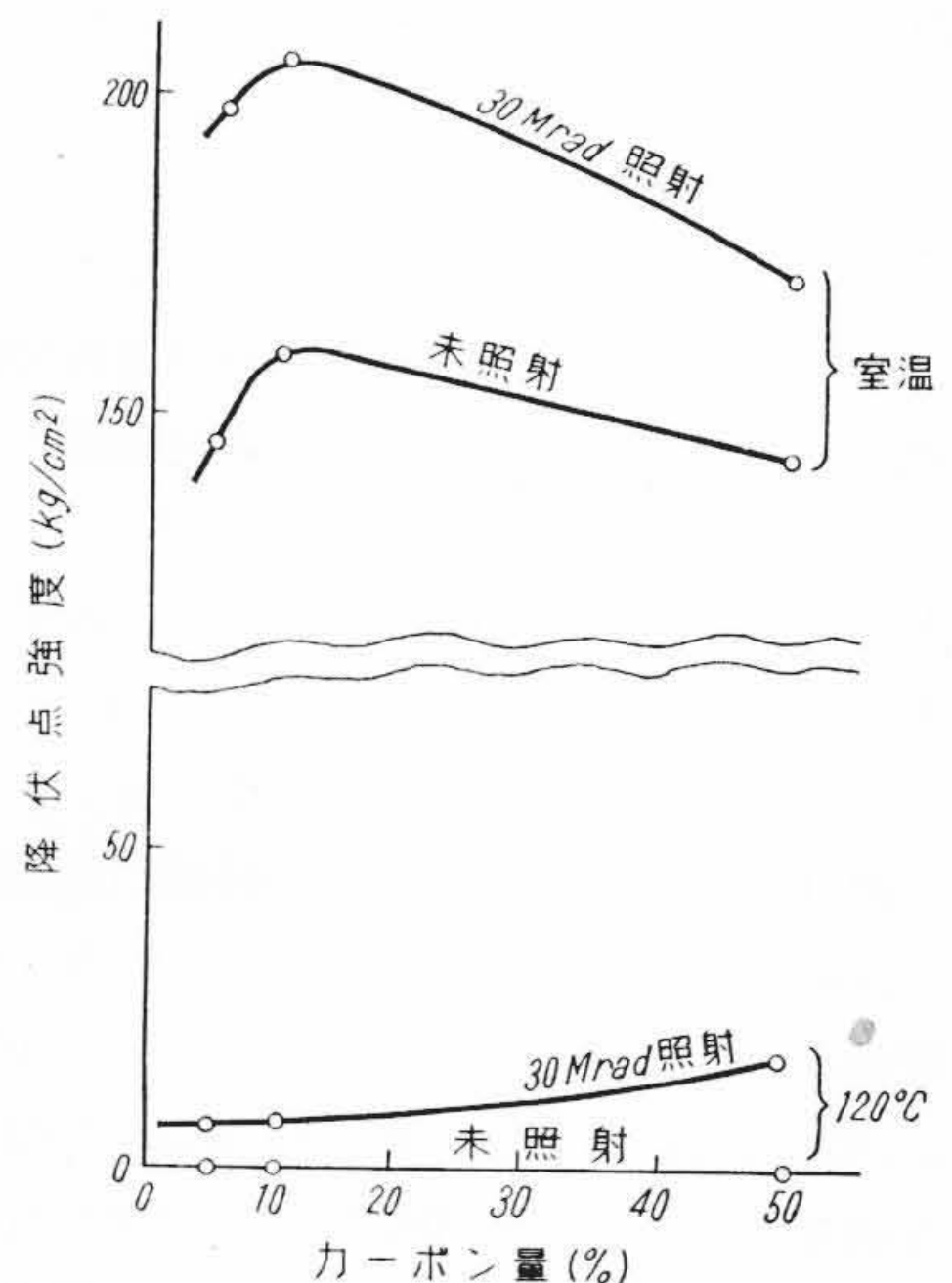
第 18 図 電子線照射高密度ポリエチレンのゲル分率と照射線加熱処理温度との関係

第 15 図 大気中じんあいの  $\gamma$  線スペクトル

第 16 図 大気じんあい採集用湿式電気集じん装置

##### (3) $\gamma$ 線スペクトル測定解析

空气中放射能濃度の最も大きかったころの 34 年 3 月採集の試料について全量蒸発乾燥処理して、3"φ x 3" h well 形 NaI シンチレーションカウンタと 128 ch 波高分析器によって  $\gamma$  線スペクトルを 35 年 10 月に測定した結果を第 15 図に示す。各ピーク計数率を用いた定量的な解析の結果、この試料には  $^{144}\text{Ce}$ – $^{144}\text{Pr}$  が存在すると推定され、 $^{106}\text{Ru}$ – $^{106}\text{Rh}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ – $^{137\text{m}}\text{Ba}$  がたぶん存在すると推定された。また



第 19 図 電子線照射カーボン充てんポリエチレンの降伏点強度と充てん器の関係



同様な測定を行なった35年2月～7月採集の試料には $^{144}\text{Ce}$ – $^{144}\text{Pr}$ ,  $^{106}\text{Ru}$ – $^{106}\text{Rh}$ が存在すると推定され、 $^{95}\text{Nb}$ ,  $^{103}\text{Ru}$ がたぶん存在すると推定された。

#### 28.1.12 ポリエチレンの放射線加工

(1) ポリエチレンの高温照射および照射後加熱処理の効果

ポリエチレンの耐熱性、機械的特性などが放射線照射によって改善されることによく知られているが、結晶性の高密度ポリエチレンの場合には、照射によって生じた遊離基(フリーラジカル)の一部が未反応のまま残留し、これをそのまま放置すると特性の劣化を生ずる。われわれはこれを防止するために、高温における照射および照射後の加熱処理の効果を検討した。照射はいずれもバンデグラフによる空气中電子線照射である。第17図は電子スピン共鳴の吸収強度から求めた残留遊離基と後加熱処理時間との関係を示し、 $120^{\circ}\text{C}$ , 20分または $130^{\circ}\text{C}$ , 5分の加熱でほぼ完全に遊離基が消滅することが明らかにされた。第18図はゲル分率(放射線によって橋かけが起り不溶化された分子の割合)と加熱温度との関係で、加熱によって消滅した遊離基は分子間橋かけ反応に利用されて照射効率を向上させていることがわかる。これに伴って機械的性質も改善される。高温照射の場合にも同様な結果が得られた。

(2) 無機質充てん材添加ポリエチレンの照射効果

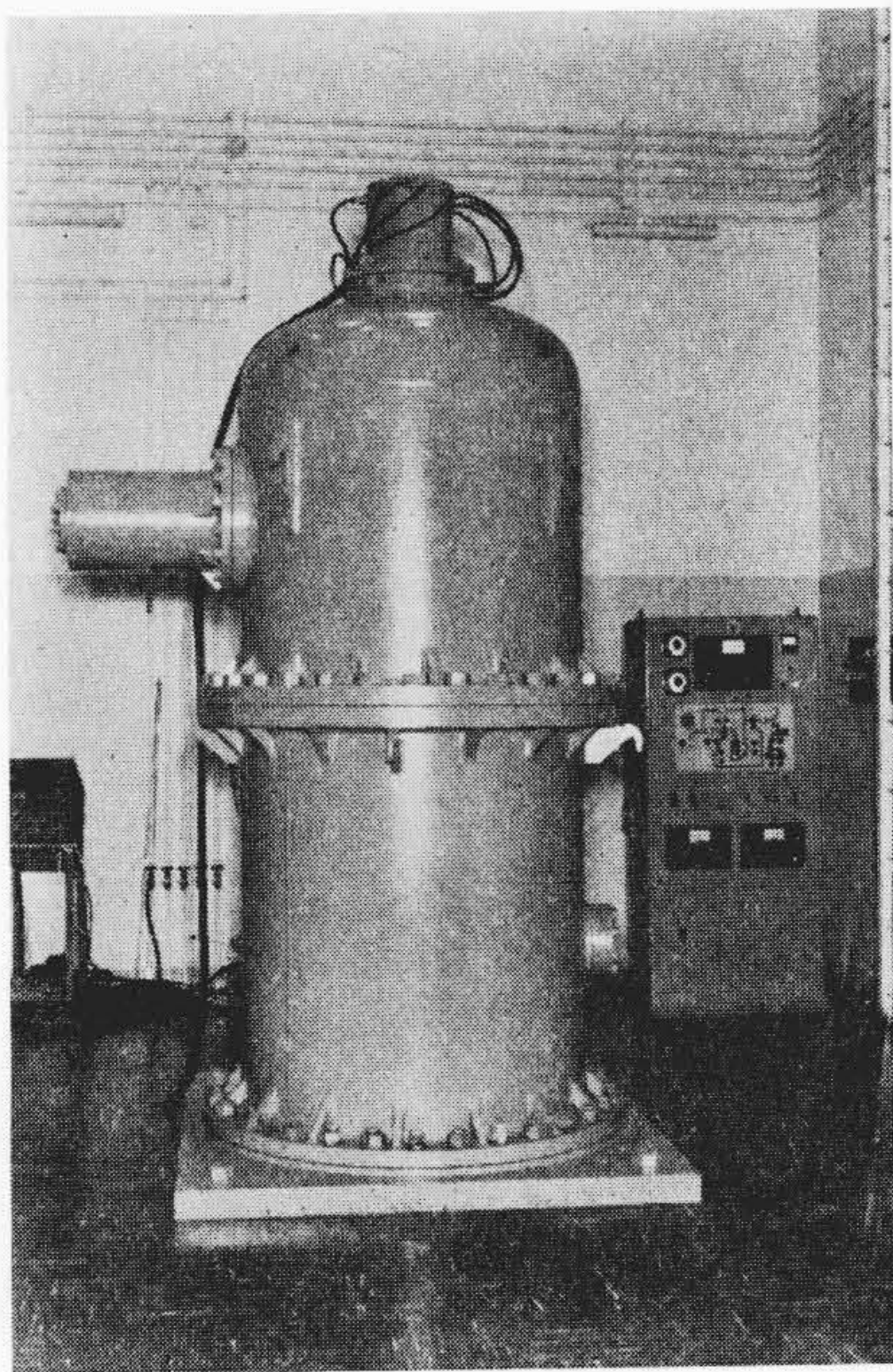
高強度、高耐熱性の新しい強化材料をうる目的で、各種無機物質(チタン白、シリカ、カーボン、酸化マグネシウム、酸化アルミニウムなど)を充てんした低密度ポリエチレンに対し電子線照射を行ない物性の変化を測定した。第19図はカーボンを充てんしたポリエチレンの降伏点強度と充てん量ならびに照射量との関係を示すもので、カーボン10%添加、30 Mrad 照射において極大値を示している。なおチタン白、シリカ充てんの場合にも同様な好結果が得られた。

#### 28.1.13 バン・デ・グラフ形加速器による電子線照射

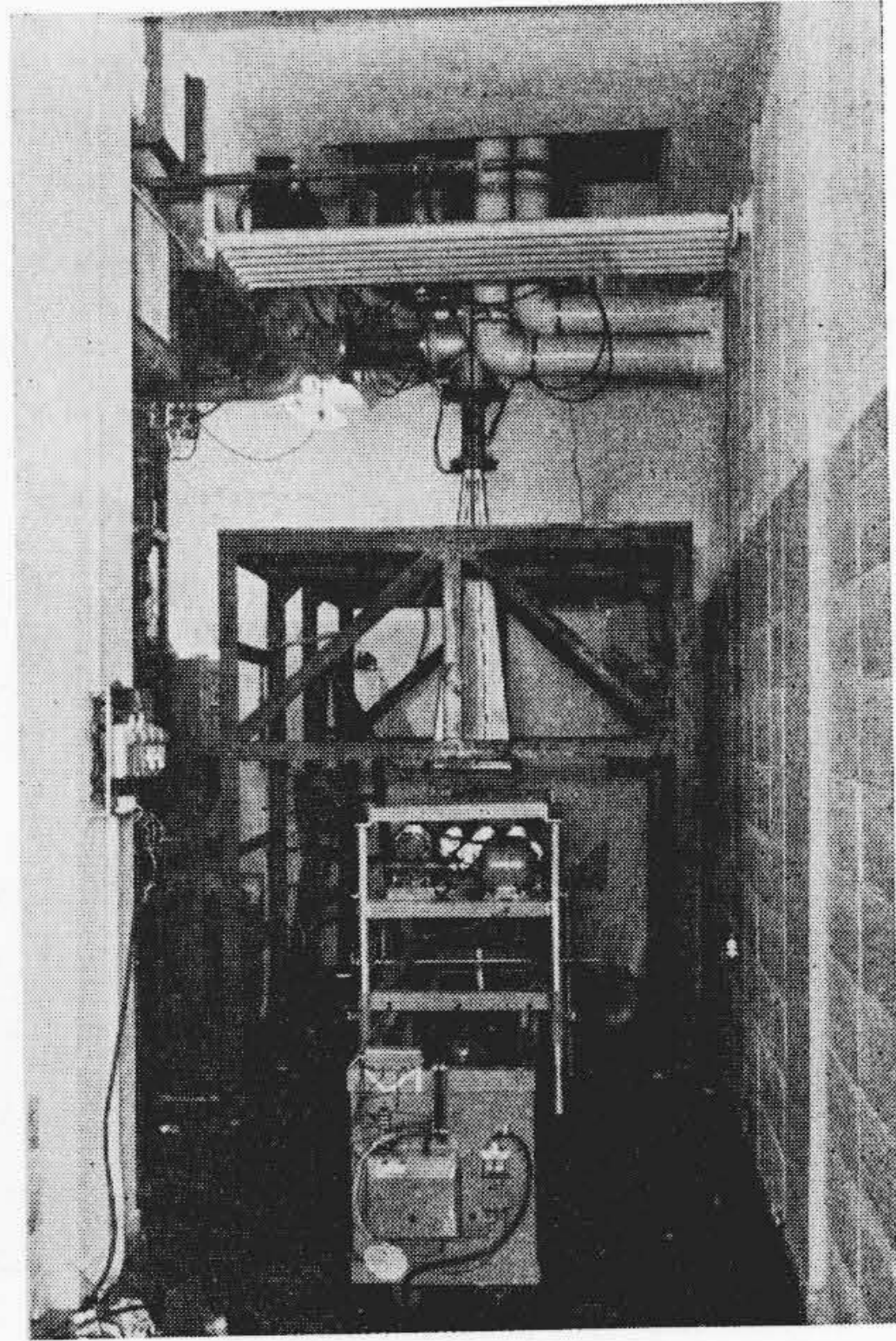
日立製作所中央研究所のバン・デ・グラフは、最高 2 MeV, 200  $\mu\text{A}$  のビームで電子線照射を活発に行なっている。さらにベルト起電機だけの試験で最高電圧 2.6 MV, 最大電流 670  $\mu\text{A}$  が得られなおいっそうの性能向上が期待されている。

本加速器の主要部は上階の加速器室に設置され、下階には電子線照射室、照射準備室、測定室がある。高気圧タンクは直径 1.1 m, 高さ 2.9 m で、この中には  $\text{N}_2$  と  $\text{CO}_2$  を 15 気圧に充てんしている。加速管は連続自動運転の 8 インチ水銀拡散ポンプで常時  $10^{-6}\text{mmHg}$  に保ち、80%の稼働率を示している。加速管延長部に電子線走査装置を備えたほか、低温真空照射函、加熱照射函、長尺ケーブル照射装置、パイプ照射台、往復移動装置など多種の照射器具を常備した。また放射線に対して万全の処置がとられ、工業テレビジョン装置や安全線量計の看視器具も充実した。第20図は加速器本体、第21図は電子線照射室を示す。

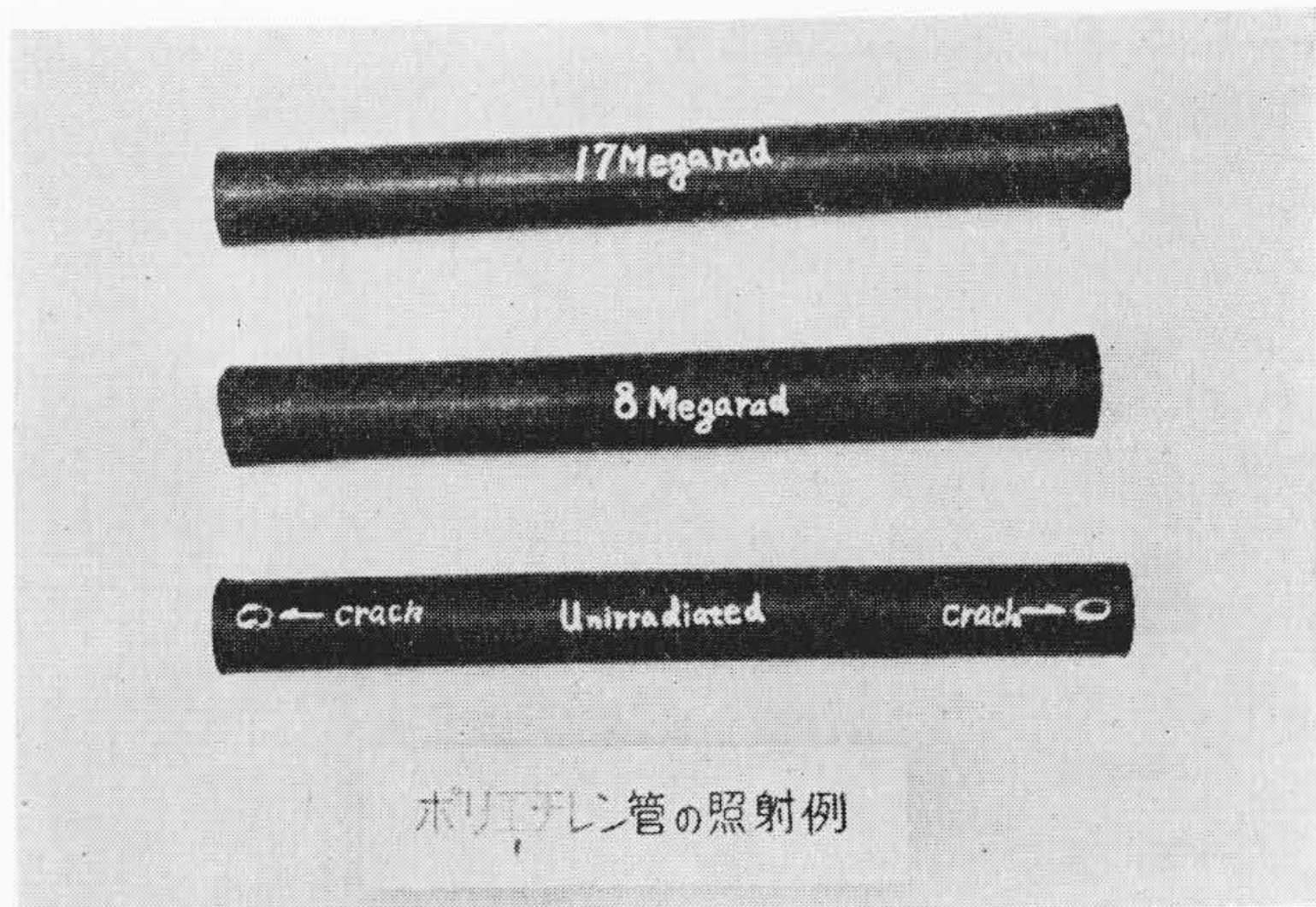
被照射材料は高分子関係が多く照射件数の90%を占め、残り10%が金属・半導体材料である。被照射材料の  $\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}$  で表現された厚さに応じて加速電圧を決めるが、均一線量照射のために常にフィルタ補助照射法か両面照射法を採用してきた。前者では  $100\sim 250\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}/\text{MeV}$ , 後者では  $100\sim 600\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}/\text{MeV}$  程度の割合で電子線のエネルギーを定めている。ケーブルやパイプは回転照射を原則とし、やむを得ぬときは3方向照射を行なっている。金属材料など特殊な試料にはスポット照射(直径 3 mm)を行なったことがある。第2表は照射実験の記録例を示すものである。第22図は高密



第20図 1.5 MVA バン・デ・グラフ形加速器本体



第21図 1.5 MVA バン・デ・グラフ電子線照射装置



第22図 高密度ポリエチレンパイプのストレスフラッキング性

第2表 照射実験記録例

|            |                              |        |                                     |
|------------|------------------------------|--------|-------------------------------------|
| 電子線エネルギー   | 1.0 MeV $\pm$ 2%             | 被照射材料  | Marlex                              |
| ビーム電流      | 190 $\mu\text{A}$ $\pm$ 3%   | 寸法, 数量 | 220 $\times$ 110 $\times$ 2 mm 96 枚 |
| 電子流分布      | 5.2 $\mu\text{A}$ $\pm$ 1%   | 照射線量   | 30 Mrad, そのほか                       |
| 電子線走査三角波電流 | 1.5 A                        | フィルタ   | 55 $\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}$   |
| 加速管内真空度    | $4\times 10^{-6}\text{mmHg}$ | 線量均一度  | 85% 以上                              |
| 散布電流       | 240 $\mu\text{A}$            | 照射台速度  | 0.91 cm/sec                         |
| コラム抵抗電流    | 38 $\mu\text{A}$             | 所要時間   | 3 hr                                |

度ポリエチレン・パイプのストレス・クラッキング性に対する照射効果の比較を示す。そのほか金属材料の放射線損傷の研究や半導体材料の表面再結合速度の変化の検討などにも、この加速器が有効に使用されつつある。放射線化学の進展と原子力工業の発達に伴い、加速器の利用の道もおのずから開かれていこう。

#### 28.1.14 炭化水素の放射線分解

放射線を吸収した分子が分解反応を起す機構でよく用いられる基準は結合エネルギーである。すなわち結合エネルギーの小さいところほどよく切断すると考えられている。一般に結合エネルギーという概念は分子の電子的基底状態で定義されているが、放射線を吸収した分子は電子的励起あるいはイオン化状態にあって、分子が分解時間より早く基底状態にもどるということは考えられないので、結合エネルギーを放射線分解に対する結合の安定度の基準にすること

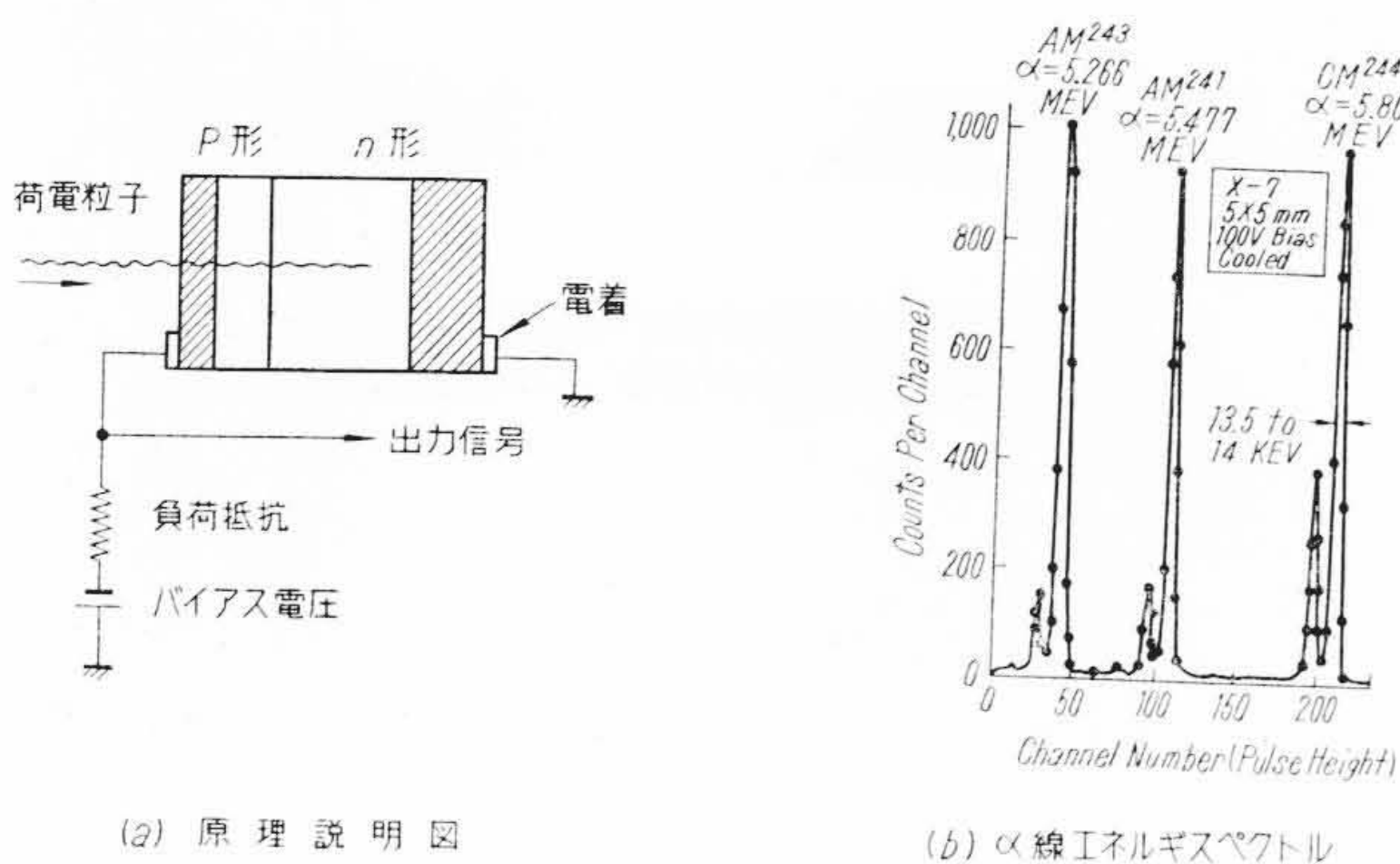


は検討を要する問題である。一方励起状態は簡単な分子においても無数に存在し、光の場合と異なり放射線による励起の場合は、どの励起状態が特に重要であると断定することは困難である。しかし実験的には分子内で特に放射線に対して不安定な結合というものが見出される場合が多い。この問題を定量的に理解するため、任意の励起状態において励起エネルギーがいろいろの結合間にどのように分布しているかをヘキサンの五つの異性体について計算してみた。その結果励起エネルギーの分布は、結合の幾何学的配列のみによって決まり、特定の励起状態の性質には無関係であることがわかった。またこの分布をヘキサンの放射線分解におけるいろいろな結合の切断度の実験値と比較してみると、励起エネルギー分布と相対的切断度とは定量的に一致した関係が見出された。これから分子内における電子の励起エネルギーは結合間にまったく無規則な分布をしていて、なく、絃の弾性振動における定常波と似た分布をもっていて、分布の大きい結合ほど放射線に対して不安定であるということがわかった。

$n$ -ヘキサンの C-C 結合だけを比較してみると中央部の結合が最も不安定であり、C-H結合では 2, 3 の炭素位置において最も不安定であるという結果になる。側鎖のある異性体では、側鎖の隣の結合が不安定であるという結果になり、いずれも実験的観測と一致している。

#### 28.1.15 Pn 接合形固態電離槽

電離形の放射線検出器において電離物質として気体の代りに固体



第 23 図 Pn 接合形固態電離槽

を用いて単位体積当りの検出効率を高めようとする試みの一つで、電離物質には Si を使用した。構造は Pn 接合形ダイオードと類似で、相異点は入射側層がきわめて薄い、面積大、固有抵抗値大などである。検出器として有効部分は空乏層領域であるので逆バイアス電圧を印加して使用する。

おもな特性は次のとおりである。

- |                 |                            |
|-----------------|----------------------------|
| (1) 単位体積当りの検出効率 | アルゴンの約 $10^3$ 倍            |
| (2) エネルギー分解能    | 5 MeV の $\alpha$ 線で 1% 以下  |
| (3) 分解時間        | $10^{-8} \sim 10^{-9}$ sec |
| (4) 動作電圧        | 100 V 以下                   |

第 23 図 (a) は原理説明図 (b) は  $\alpha$  線エネルギースペクトルの例である。

## 28.2 電 力

### 28.2.1 電気式水車调速機の結合運転

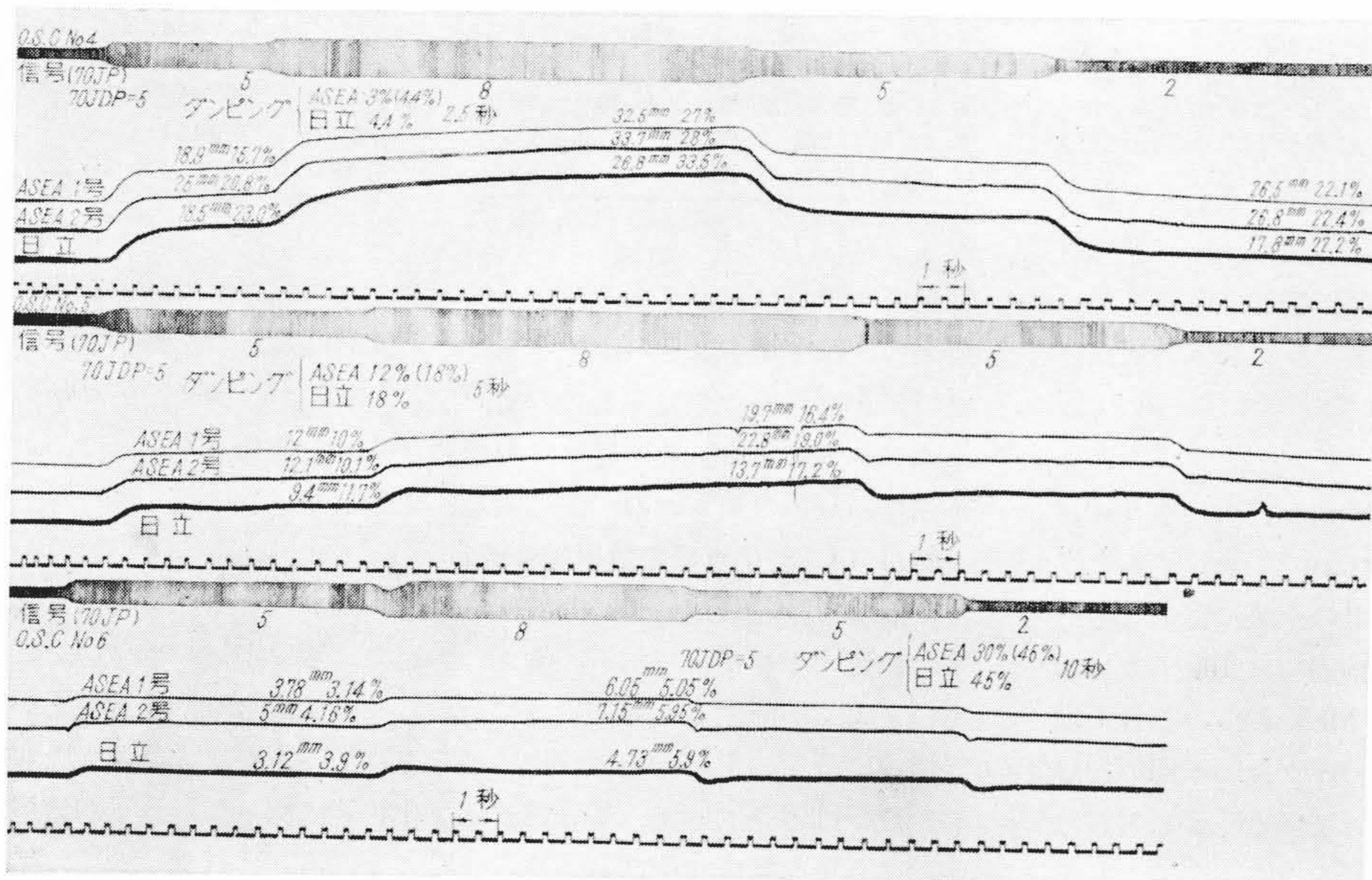
数台の水車発電機を持つ発電所が、常に最高効率で運転し、しかもその台数に関係なく一定の基準電力と調整容量 (MW/∞) を系統に供給する目的で結合運転方式が開発された。そのためには各调速機の特性は均一なものでなければならず一般には同種の调速機が採用される。

関西電力株式会社黒部第 4 発電所の 1, 2 号機は ASEA (電子管式)、3 号機は日立 (磁気増幅器式) 调速機が納入される。両调速機を結合運転する場合にはまず特性を均一化する必要があるが、调速機には手を加えず円滑に運転できる前置調整方式を確立し昭和 35 年 8 月現地試験を実施し、その性能の確認を行なった。

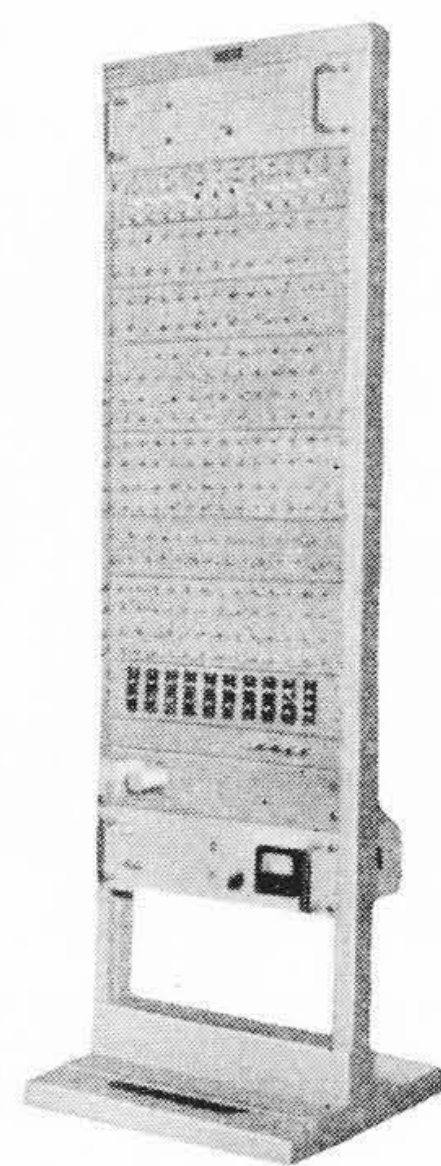
試験結果を述べると速度調定率 ASEA 5.2% のとき日立 5.3%。擾乱に対する応答は第 24 図に示すように、応動速度負荷分担など良好な結果が得られた。そのほか周波数応答、解列試験などにおいても所望の性能を確認することができ、方式、特性の異なる调速機の結合運転も可能なことを立証した。

### 28.2.2 デジタル AFC 装置

近年目ざましい発展をみせているデジタル技術を取り入れた電力系統の AFC (自動周波数調整) 装置を開発した。基本的論理素子にはトランジスタを使用した。その制御方式もデジタル化に適した断続制御を採用し、かつ調整発電所機器の損耗軽減を計るべくデジタル偏差量に対する不動帯、短時間に回復するような負荷変化に反応させないための不動時間、急激に大きな変化が生じたとき速

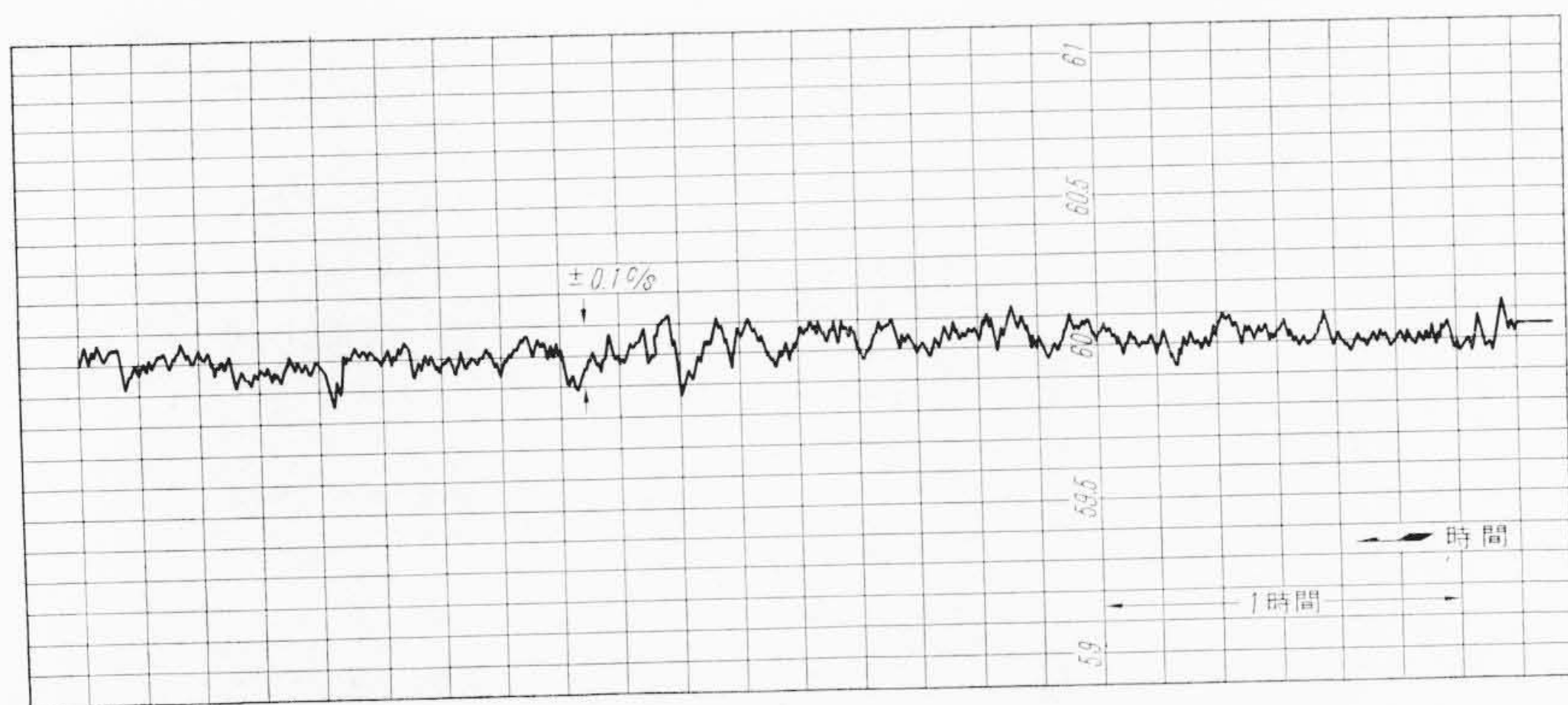


第 24 図 3 機結合運転時の過渡応答試験結果



第 25 図  
試作デジタル装置の外観





第26図 デジタルAFC装置による周波数制御結果

応的動作を行なわせるための積算値動作回路などを持つ新しい考え方に立っている。

本装置はすでに実系統における AFC 試験を行なうことにより上記特長が十分に発揮されていることが確認されている。

第25図および第26図は試作装置の外観、ならびに実系統における AFC 試験結果の一例を示したものである。

### 28.2.3 異相地絡保護継電方式

わが国の重要な送電線の多くは並行2回線構成であるが、並行2回線においては両回線にまたがる異相地絡が故障中の大きな割合を占めることが知られている。

このような異相地絡故障に対して、故障相のみを高速度遮断し再閉路すれば系統の連絡を断つことができなくなり、送電線の安定度を増すことができる。そのためには並行2回線の6相に対しそれぞれキャリアチャンネルを割り当てた多相キャリア継電方式を用いればよいが、さらにキャリア継電方式の信頼を補償するため、これとはべつに高速度遮断できる距離継電方式を併用する必要がある。

この場合、従来の距離継電方式では両回線にまたがる異相地絡故障に対して短絡距離継電器が動作して両回線とも3相遮断している。また短絡距離継電器では故障点までの距離を測定できずアンダーリーチとなるため故障点が少し遠ざかると継電器第一段による高速度遮断ができない。地絡距離継電器は故障点抵抗があれば2線地絡時に進み相がオーバーリーチするので鎖錠する必要があり、高速度遮断ができない。

今回の研究の結果、開発された新しい距離継電方式は以上の不具合を解決するために、従来同一回線内の2線間で用いられていた短絡距離継電器を両回線にまたがって用いることにより、両回線にまたがる異相地絡故障の故障点までの距離測定を行なうことを主体と

したものである。

両回線間に用いた継電器からみたインピーダンスは、1号線のa相と2号線のb'相間の継電器を例にとればa相とb'相を含むあらゆる故障に対し

$$Z_{ab'} = \frac{V_{ab}}{I_a - I_{b'}} \\ = Z_1 + j\omega(L_{e'} - L_{e''}) \frac{I_N - I_N'}{I_a - I_{b'}}$$

$Z_{ab'}$ : 継電器からみたインピーダンス

$Z_1$ : 故障点までの正相インピーダンス

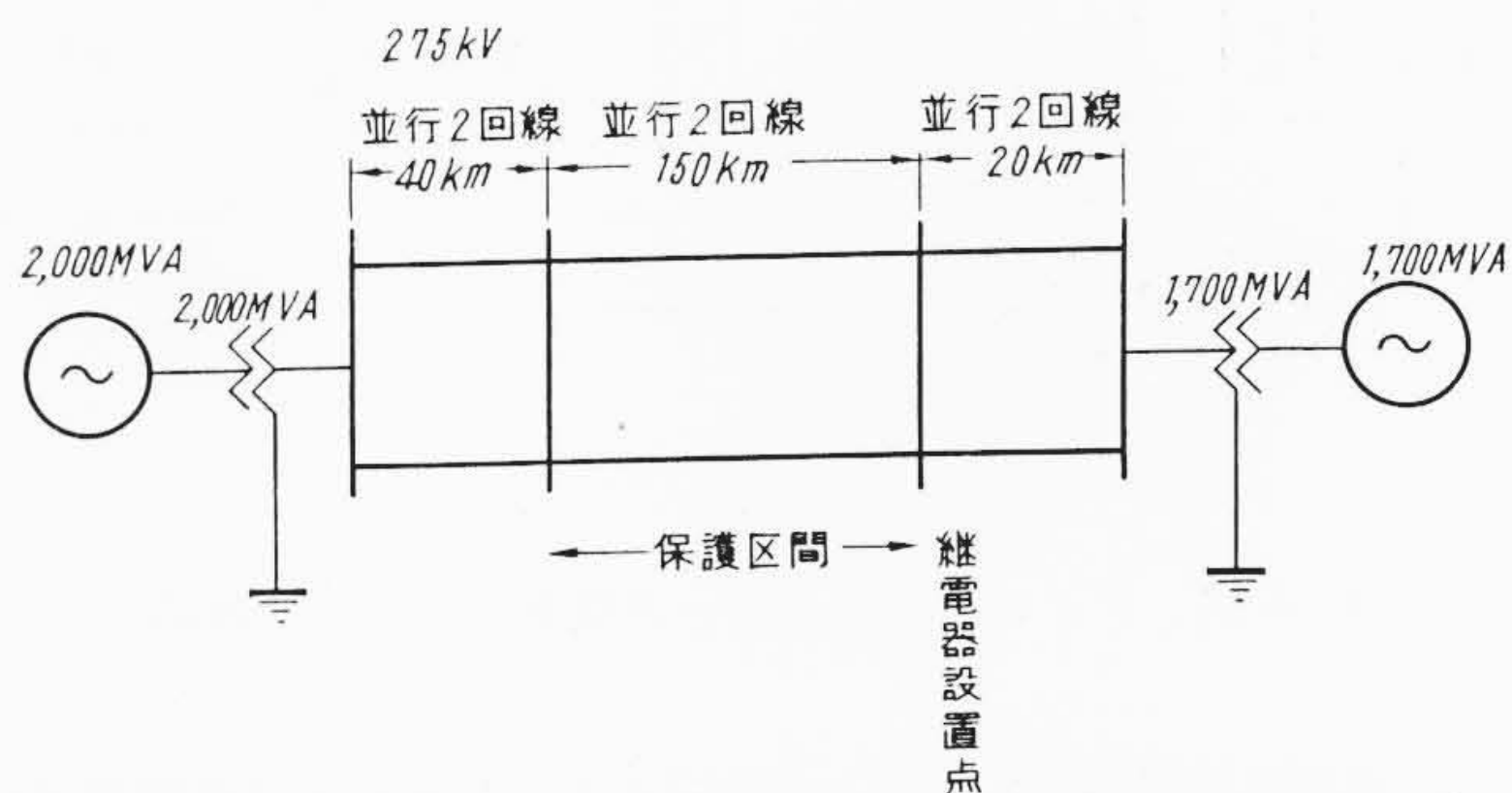
$I_N$ :  $I_a + I_b + I_c$

$I_N'$ :  $I_{a'} + I_{b'} + I_{c'}$

$L_{e'}$ : 送電線同一回線内の相互インダクタンス

$L_{e''}$ : 送電線異回線間の相互インダクタンス

となり距離測定誤差は保護区間内の85%の点の故障に対し最大3%程度である。故障回線の選別には両回線同相差電流で動作する



第28図 異相地絡保護継電方式試験想定送電線

継電器を用いる。

第27図は模擬送電線を用いて模擬回路を作り、実際に継電器を組み合わせて並行2回線の同一回線内および両回線にまたがるあらゆる故障を起し、継電器動作を試験した際の供試主継電器の設置状況を示す。第28図はその際の想定送電線を示す。

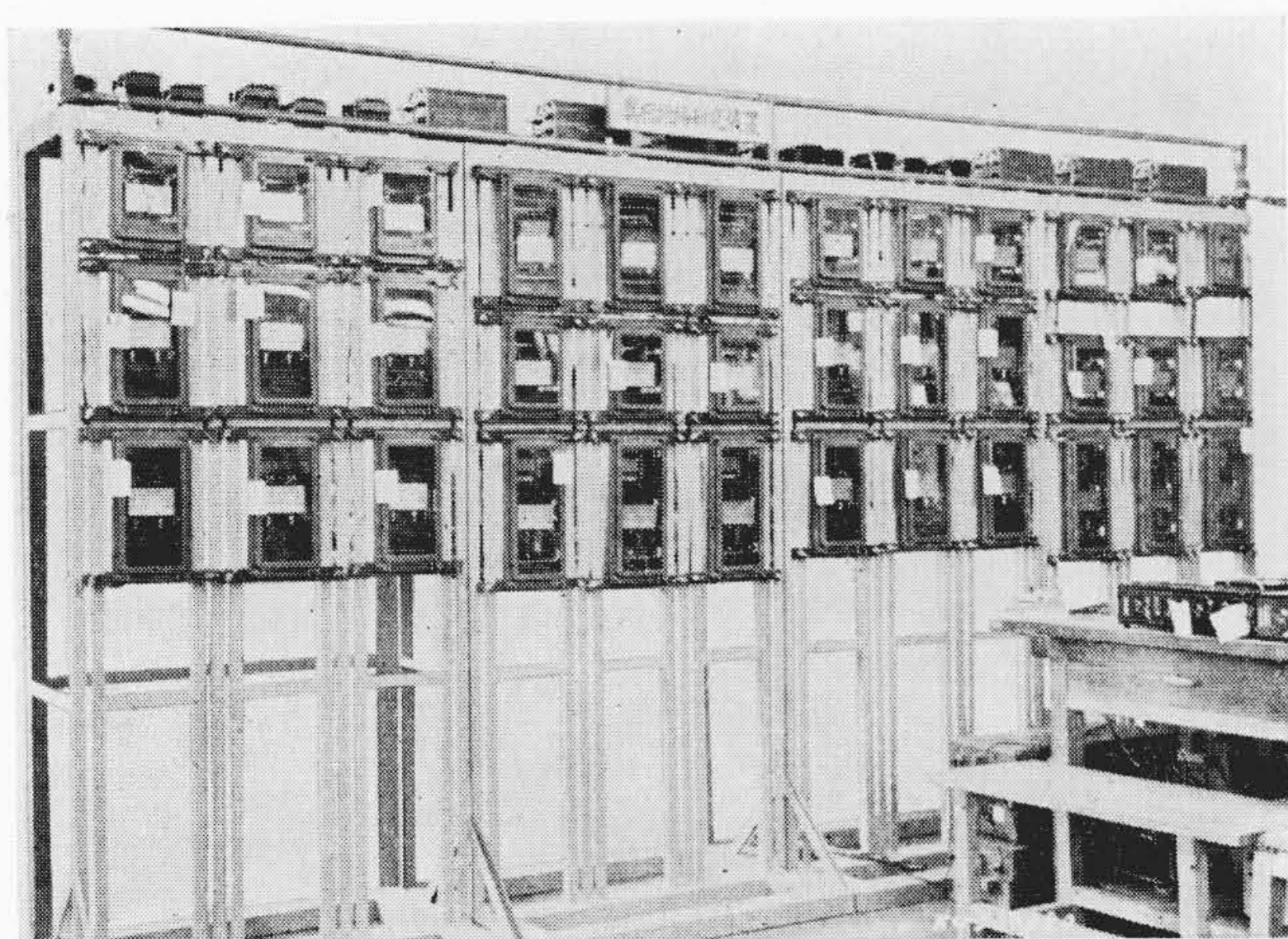
模擬送電線による試験結果は良好で並行2回線の同一回線内および両回線にまたがるあらゆる故障に対し、保護区間の85%まで故障相だけを高速度遮断できることが確かめられた。

新方式の特長は次のとおりである。

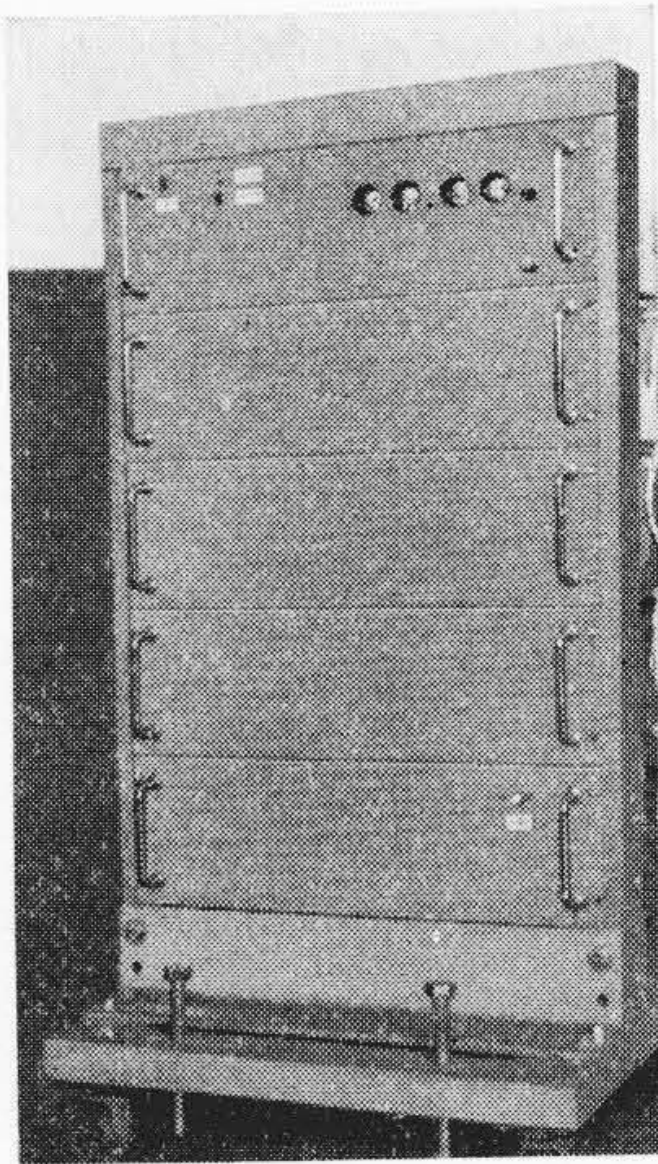
- (a) 従来の方式に比して継電器要素の増分は30%以下である。
- (b) 直接接地系抵抗接地系のいずれにも適用できる。
- (c) 短絡距離継電器が主体となっているため、簡単、確実である。

### 28.2.4 デジタルテレメータ送受量器

最近発電所の自動化、無人化に伴い、テレメータにも高い精度が要求されるようになった。したがって従来のアナログ方式に比較して容易に高精度の伝送ができるデジタル

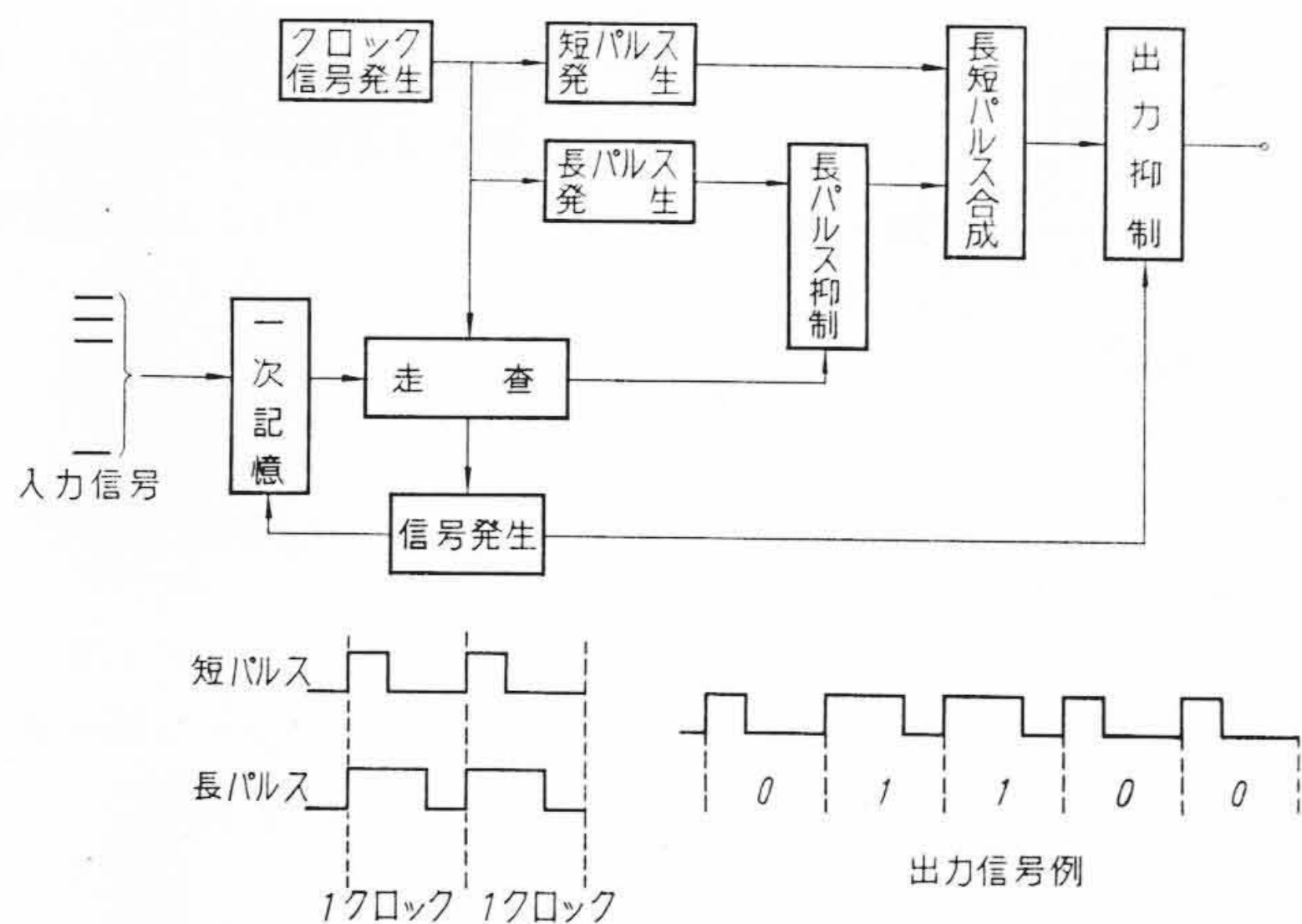


第27図 異相地絡保護継電方式試験供試主継電器

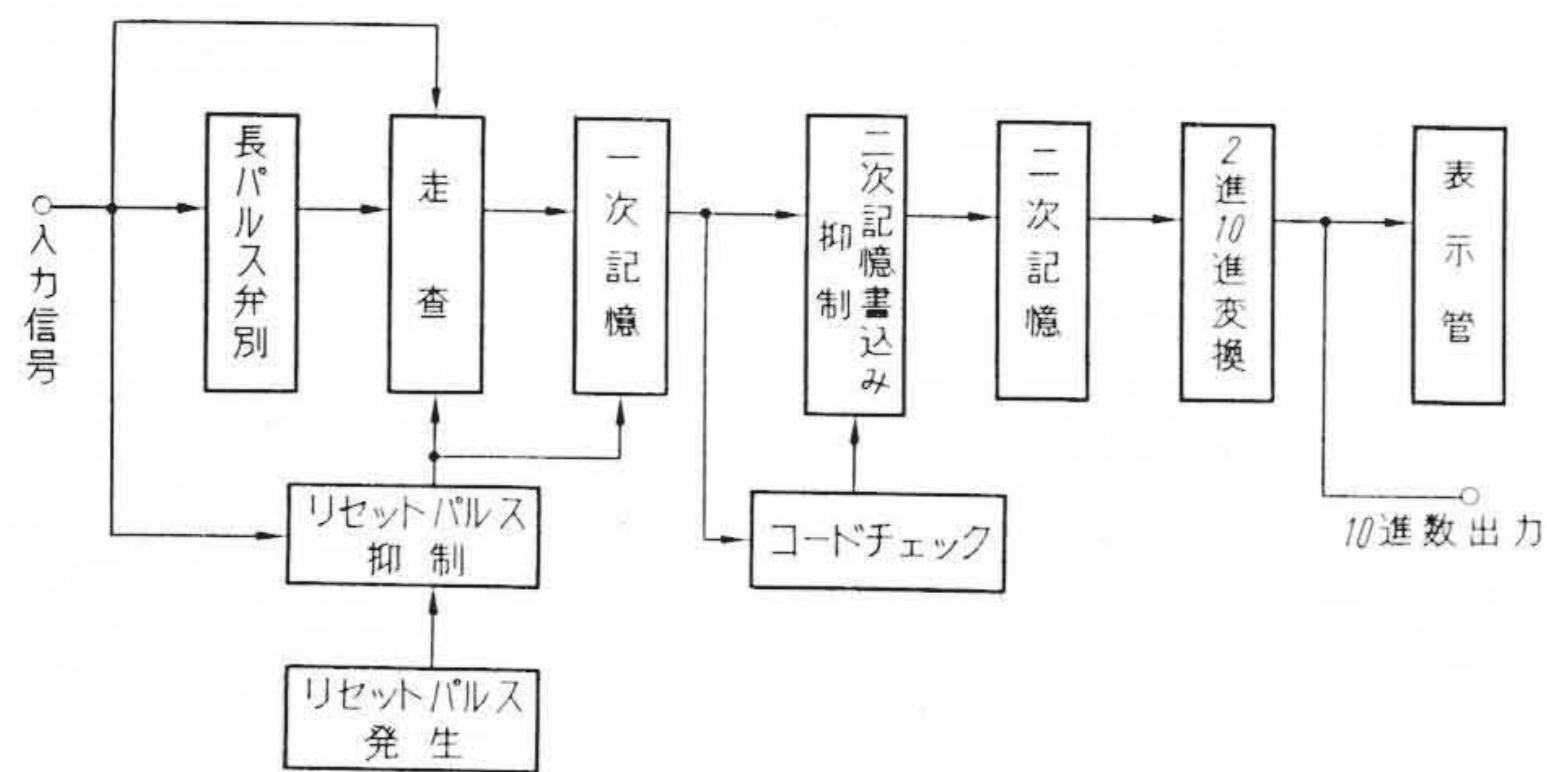


第29図 試作したデジタルテレメータ送受量器の全景





第 30 図 デジタルテレメータ送量器ブロック線図



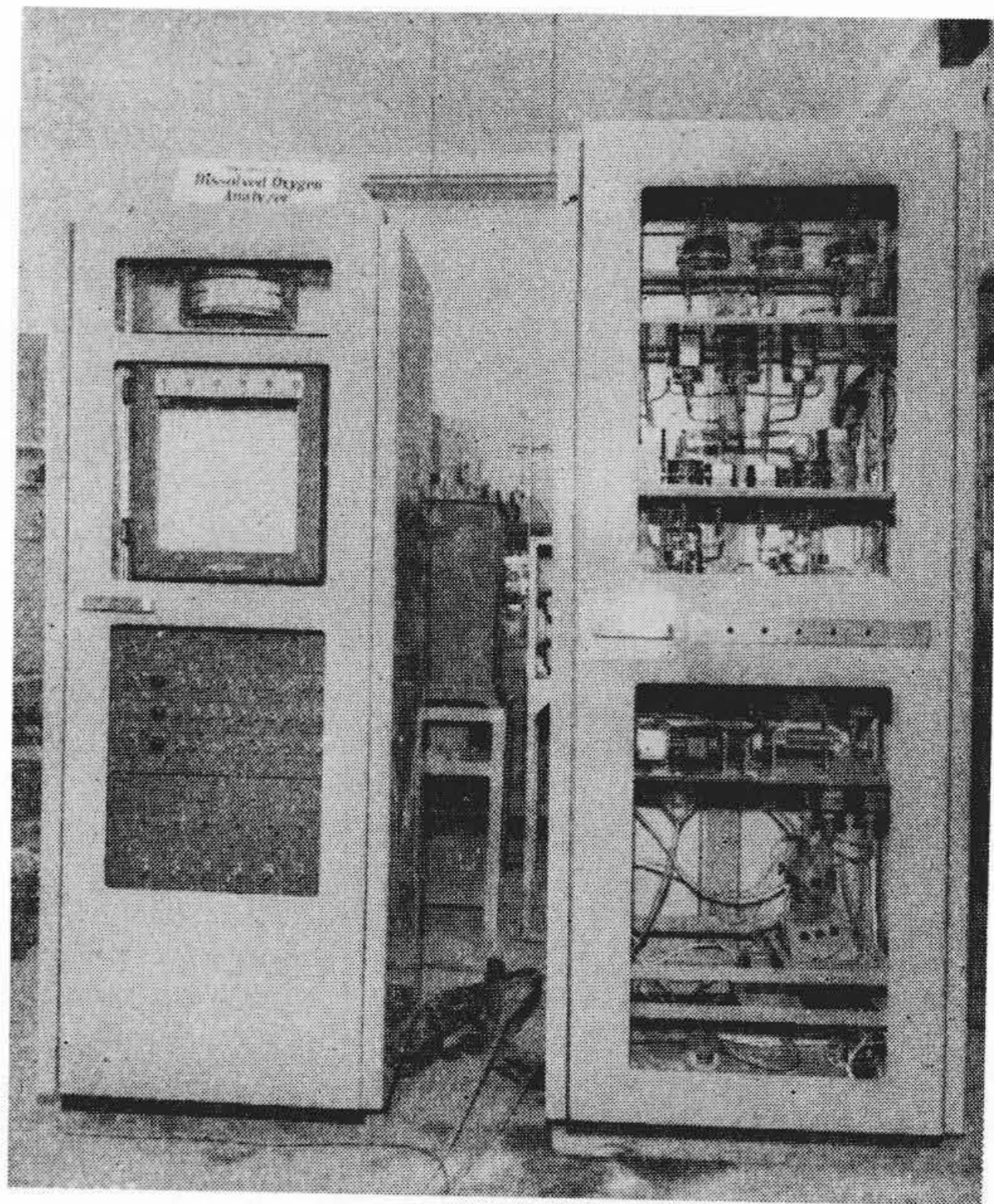
第 31 図 デジタルテレメータ受量器ブロック線図

方式が急速に開発されてきた。デジタルテレメータは遠隔測定しようとする被測定量をデジタル符号に変換し、その雑音に強い特長を生かして、現用のテレメータ搬送回線を用いて高精度の伝送を行なうものである。

水位テレメータなどは、0.01% もの精度を要求されるため、早くから検出端のデジタル化がなされていたが、送受量器にはリレーなどの素子が用いられたため、長寿命、高信頼性に欠ける難点があった。この無接点化は強く要求されていたが、素子の問題で実用化が困難であった。さいわいにして、近年トランジスタ製造技術が長足の進歩を遂げた結果通信工業への応用が活発になり、デジタルテレメータ用素子として十分な特性のものが容易に得られるようになった。デジタルテレメータ送受量器がトランジスタ化されれば、その高信頼性、高速性を利用して、多数測定量の1回線送量も可能になり、デジタル化による送受量器の複雑化を補って余りあるのである。

日立研究所においても、無接点デジタルテレメータ開発の第一歩として、A-D変換器を持たないデジタルテレメータ送受量器を試作した。研究室における試作器の全景を第29図に示す。

試作器のブロック線図を第30、31図に示す。入力信号には2 out of 5コード2進4けたを想定し、20ビットの信号は、1ビットを1クロック33msに対応させ、走査同期用のスペースの最小限1クロックを加えて、693msで1走査を完了する。第30図に示すとおり、クロック信号に同期して、長、短パルスが作られ、1、0の信号に対応されて、出力パルスとして搬送装置送信機に送られる。走査終了と同時に出力が阻止され、1クロックのスペースがおかれ、その間に走査回路のリセット、一次記憶の更新が行なわれる。第31図に示すように、搬送受信機からのパルス列は、走査回路にはいり一つのパルスで一つ歩進させる。一方長パルスのみは、分



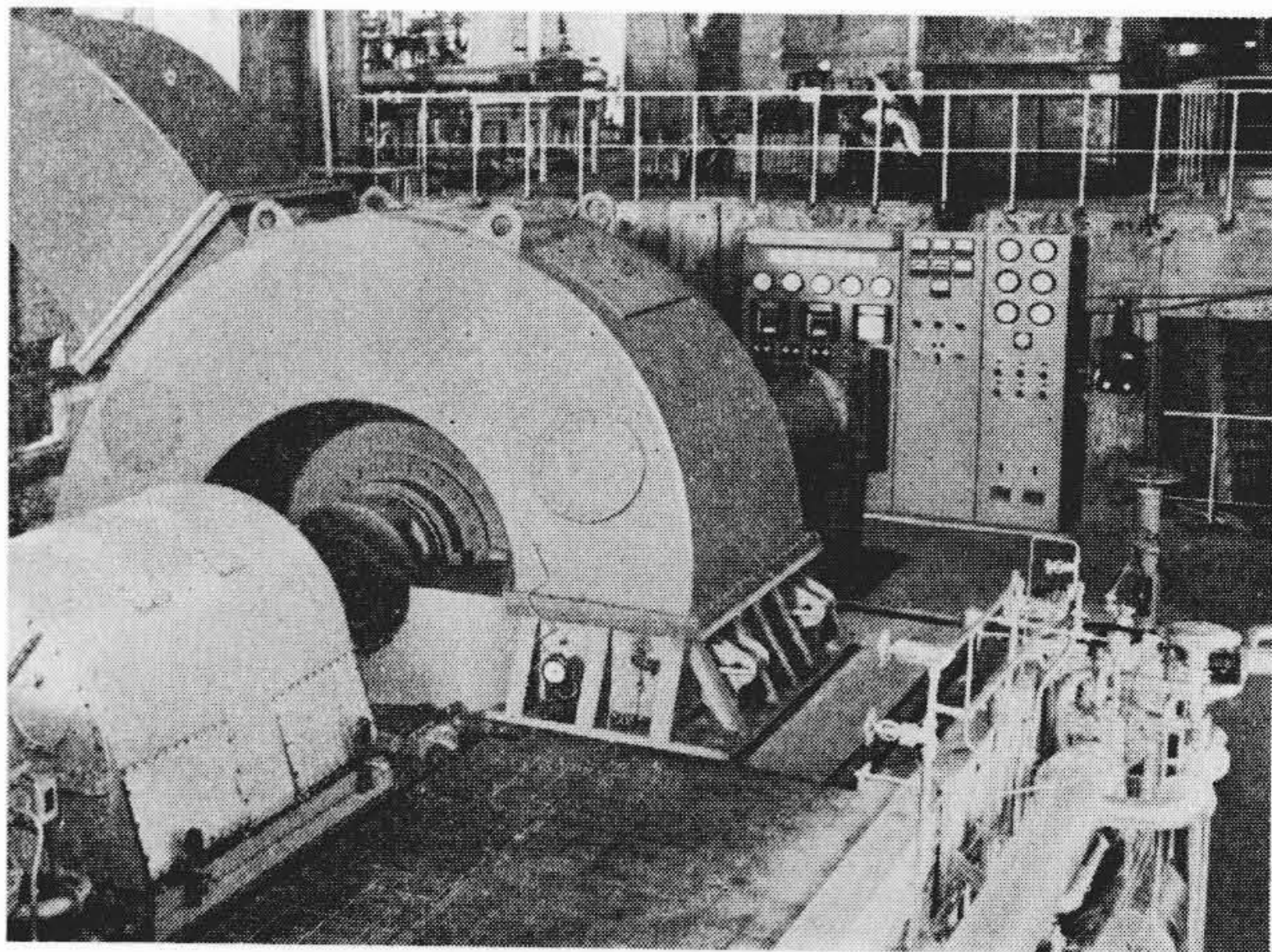
第 32 図 溶存酸素自動分析計

離されて、走査回路および一次記憶回路によって復号される。走査終了と同時にコードのチェックが完了し、正しければ二次記憶の書込みが行なわれる。最後の走査同期スペースによってリセットパルス抑制が切れ、必要部分がリセットされ、次の信号の受量準備が完了する。二次記憶内容は、10進数に変換されて、表示されており、また、10進4けたの信号を外部に取出し、プリアーなどの入力とすることができる。

試作器は全面的に、トランジスタが採用されたため、温度の影響を受けることはやむを得ないが、表示管以外については−25℃〜+55℃までの範囲で、表示管を含めても−15℃から+55℃の範囲で正常に動作することが確認された。送量器は無人の発電所などに設置されることがあるが、表示管のある受量器は必ず人のいる場所に設置されることを考えれば、実用に十分な性能を持つといえる。

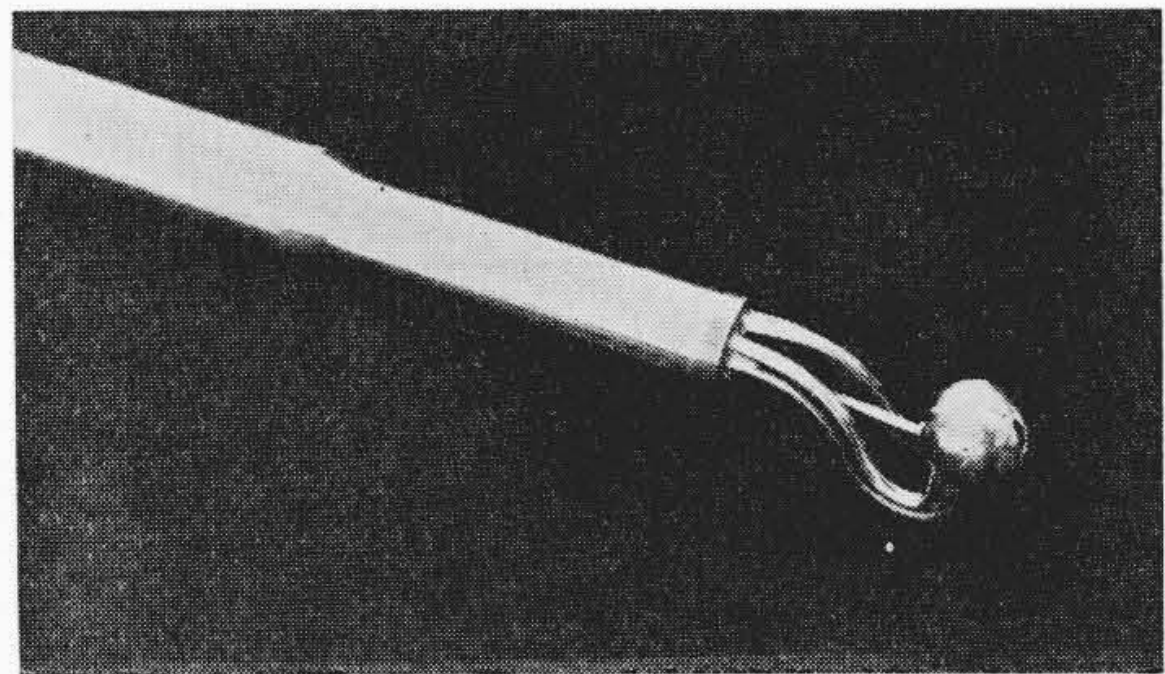
#### 28.2.5 火力発電所ボイラ用水自動分析装置

火力発電所の正常な運転のために、ボイラ用水中のシリカ、溶存酸素などの主要成分をたえず監視する必要が起りつつある。今回通産省鉱工業技術試験研究補助金の交付を受け、ウインクラー試薬定着、電流滴定法を原理とする溶存酸素自動分析計の開発、試作を完了した。最近ボイラ用水の脱酸素剤としてアミン類が使用されることが多くなっており、この場合既製品では測定不可能であったが、

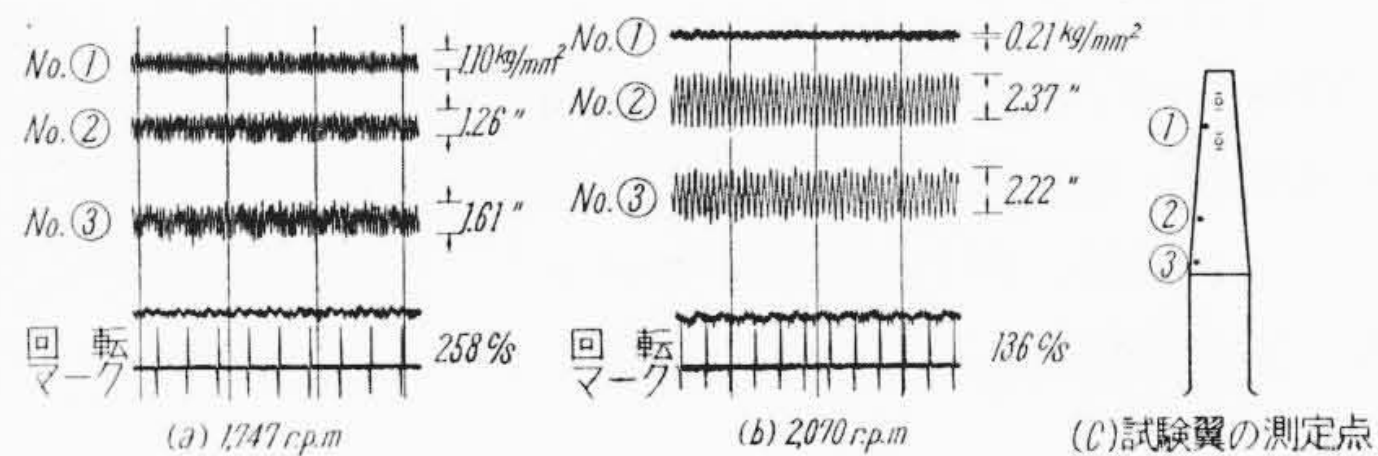


第 33 図 タービン長翼実験設備

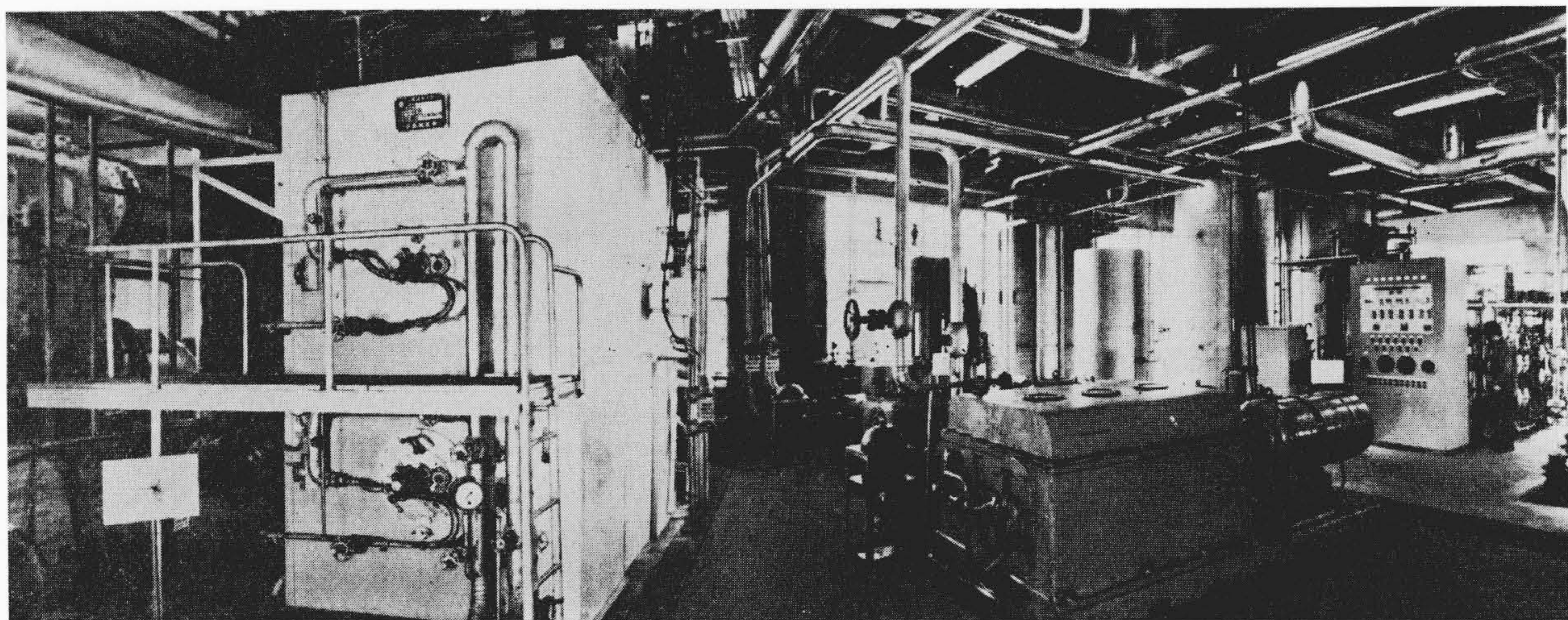




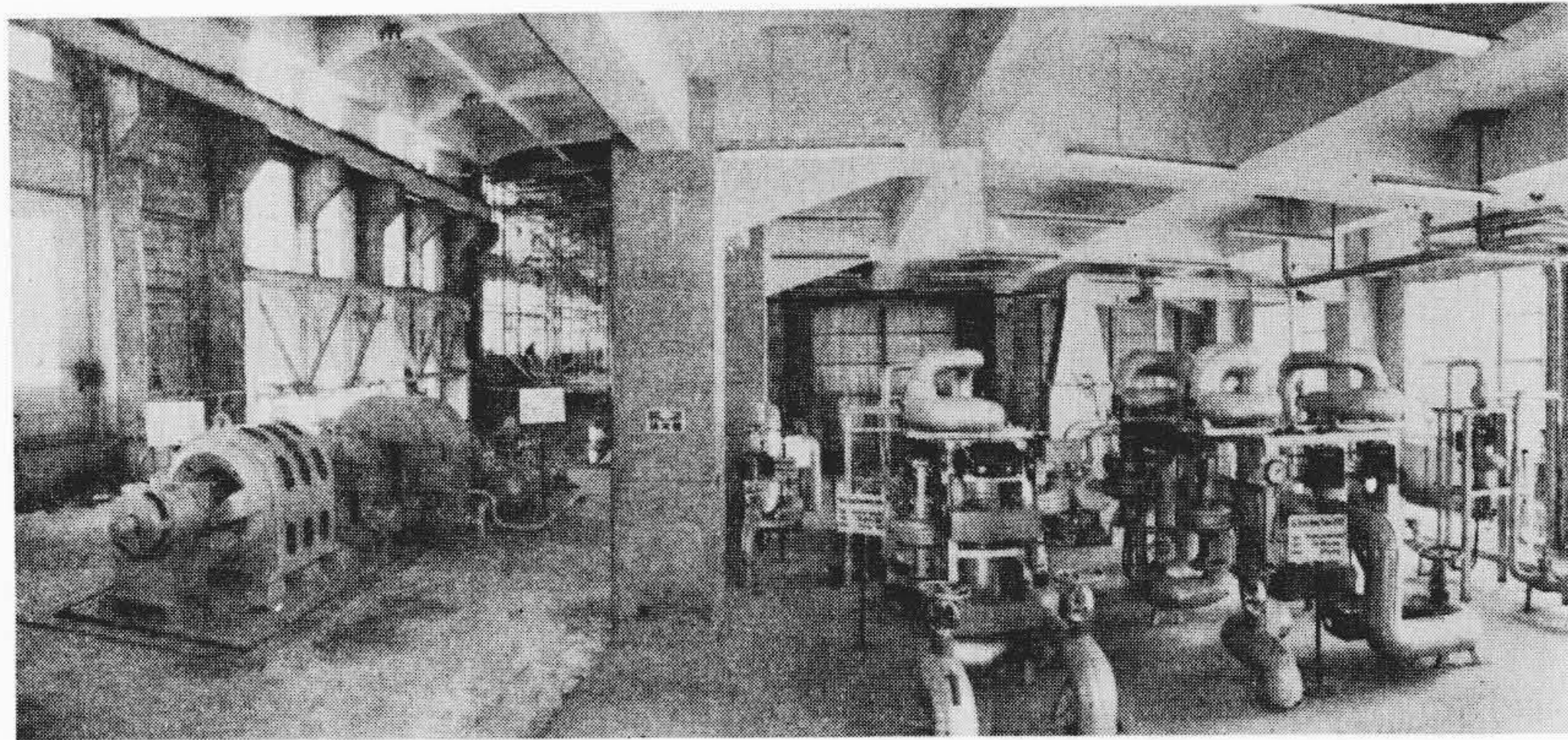
第34図 特殊ピトー管



第35図 共振時における振動応力波形



第36図 ボイラ本体および給水装置



第37図 タービン発電機およびバイパス回路

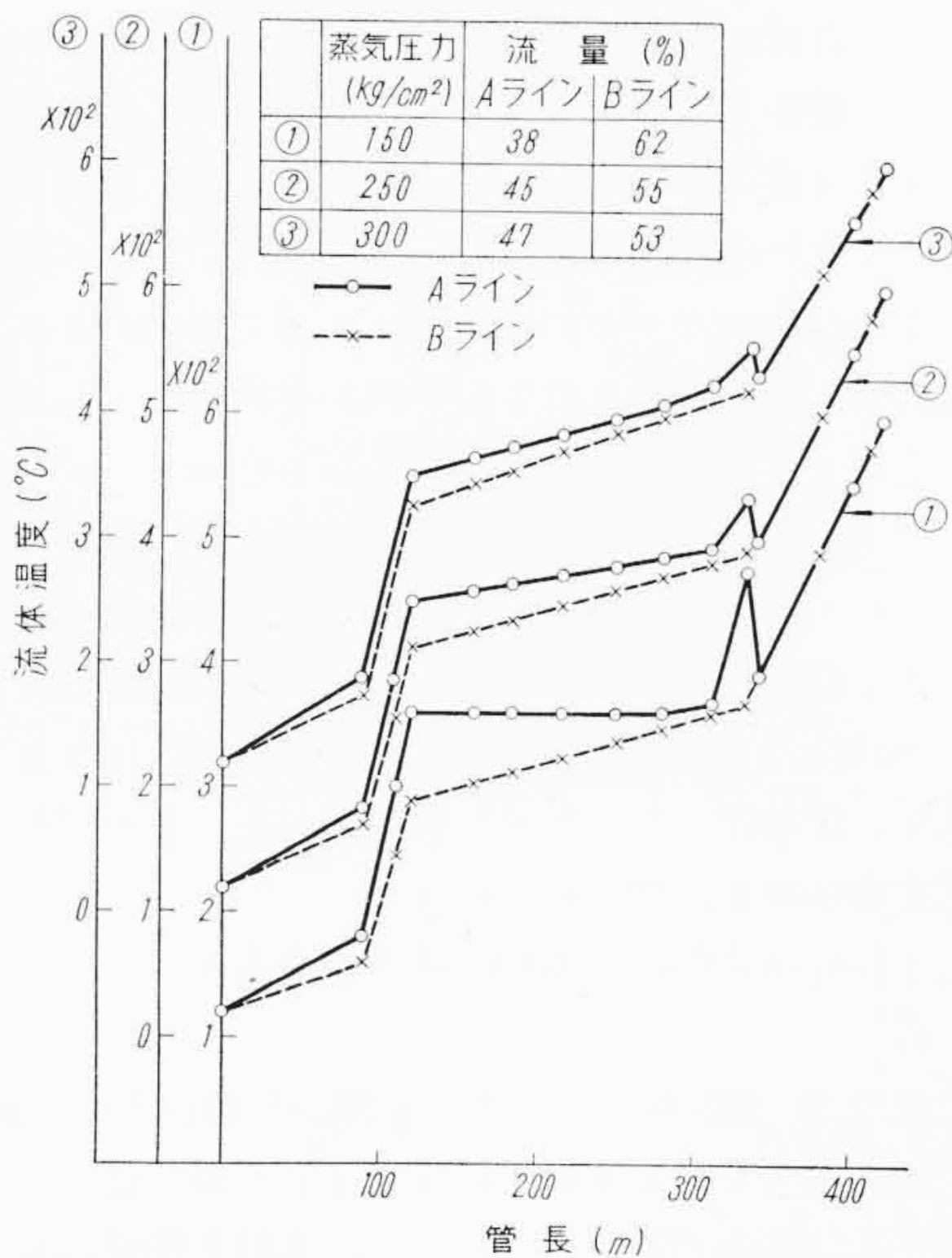
本試作品では薬液注入後でも正確な値が得られるのが特長である。第32図に示す試作品の右側のキャビネットでは試料採取、試薬注入、定着、滴定などの化学操作が行なわれ、左側のキャビネットには増幅、調節、記録、制御を行なう電気的部品が収められている。測定範囲は0~50 ppb, 精度5%, 1回の分析所要時間30分で、測定範囲は試薬濃度によって変えることができる。

#### 28.2.6 タービン長翼の研究

火力発電プラントが高圧高温大容量になるにつれて、タービンの低圧段の翼はますます大きくなり、その形状は効率、応力、振動などを検討して決めねばならない。

第33図は実物大の低圧タービン翼の実験装置を示すが、この装置により26インチおよび29インチの長翼についてタービンの種々の負荷における回転中の翼前後の蒸気状態および流動、翼の応力、振動などを詳細に調べるものである。

第34図は翼入口出口の流れを調べる特殊ピトー管を示すが、こ



第38図 偏流による流体温度の差異

の実験用として特に製作したもので、感圧部は球形でその中央部が可動し、受圧孔をいずれの方向にも外部より操作しうる構造になっている。このピトー管により翼入口、出口の三次元流を詳細に調べるとともに、ノズル前後および動翼後の全圧、静圧、温度を数箇所測定し、効率の検討を行なっている。

回転中の翼の応力の測定は翼表面数箇所にストレインゲージをはり付け、リード線はタービン軸心を通しスリップリングで外部に取出しストレンメータおよびオシログラフにより行なっており、その測定結果の一例を第35図に示す。また回転中の翼の振動について



も同様の方法で測定を行なっている。

### 28.2.7 超臨界圧火力プラントの研究

さきに建設された蒸気流量 2 t/h, ボイラ出口の蒸気圧力 350 kg/cm<sup>2</sup>, 蒸気温度 650°C の超臨界圧テストボイラ, 純水装置, 脱気器, 給水ポンプなどの給水系統, 起動用バイパス回路, 出力 200 kW タービン, 発電機, 負荷装置, 制御回路などの部分的な試験を終了し, 総合実験に着手している。

第 36 図にボイラおよび給水関係を示し, 第 37 図にタービン発電機およびバイパス回路を示す。

ボイラの偏流を調べるように併列管より成っているが, 圧力による偏流の状態変化について調べた結果の一例を第 38 図に示す。この図からわかるように偏流は高压より低压のほうが顕著に現われており, 貫流ボイラは高压で運転を行なうほうが望ましいことがわかる。火炉負荷の変化に対する流動圧力損失, 汽水の熱伝達についても実測を行なっており, 遷移点の移動についても検討を行なった。また給水装置, ボイラ本体, バイパス回路などの動特性を調べ, 貫流ボイラは応答が早いことが実験から確認された。かん水の純度については運転時間の経過に伴うボイラ各部のかん水純度の変化を測定し, また純水装置の性能を調べ, 容量および循環方法などについて検討を行なっている。

## 28.3 電 子 工 業

### 28.3.1 Molten Diffused トランジスタ

昭和 35 年度に発表した日立独自の Molten Diffused トランジスタは各方面の反響を呼び, 計算機用としてかなりの需要があったため, 一部を工場生産に移管したが, その後中央研究所においてさらに研究を進め, 組立法に新機軸を出し特性上著しい改善をもたらした。すなわち従来の組立法によれば薄いベース領域にリード線をつける際に一部エミッタ側にまたがって bond されるため, 組立上の制約ならびに特性上にその不利を免れなかったが, 今回これを改良してエミッタ側にまったくまたがらないリード付の方法を確立したため, 特性の大きな改善が得られ, rbb' は従来の 2 分の 1 に減少し, エミッタ耐圧は 10 V にも達し, さらに特筆すべきは雑音指数の著しい低下をみたことである。すなわち第 39 図に示すように 1 kc/s から 10 Mc/s の広範囲にわたって雑音指数 3 dB 以下という他に類をみない低雑音トランジスタが得られた。また同時に電流増幅率  $\beta$  の電流依存性も非常に良くなった。

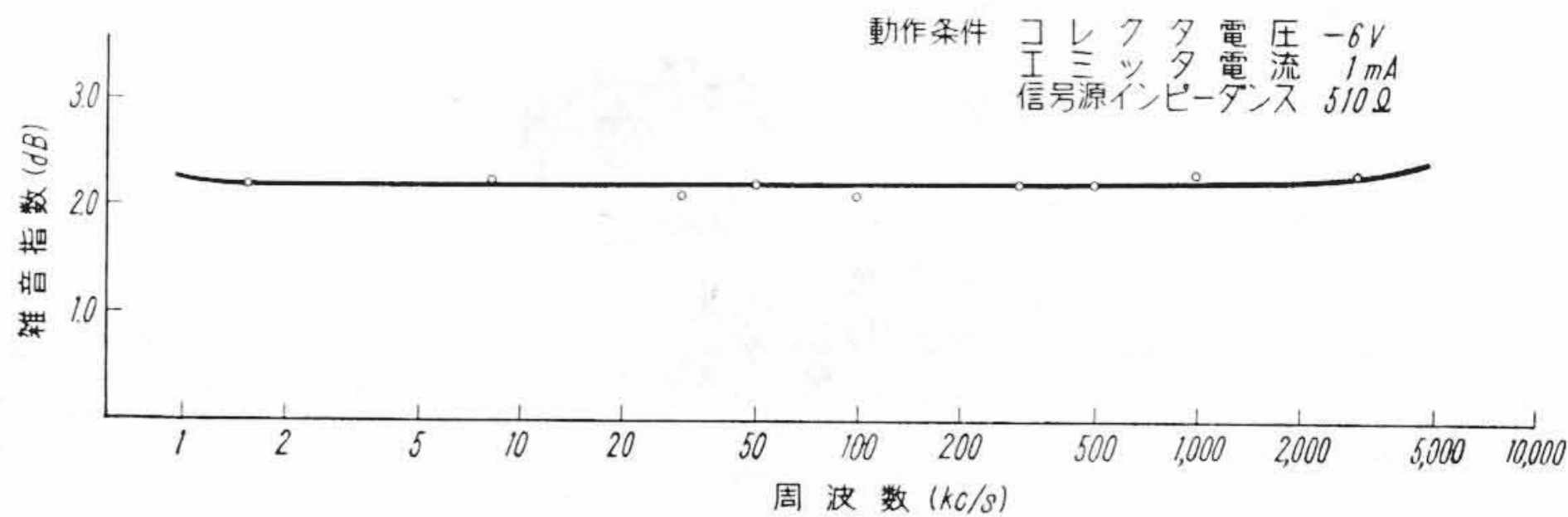
これらの試作品は NHK 技術研究所そのほかに納入し好評を得ている。

### 28.3.2 MD トランジスタを用いた野外 TV 中継装置

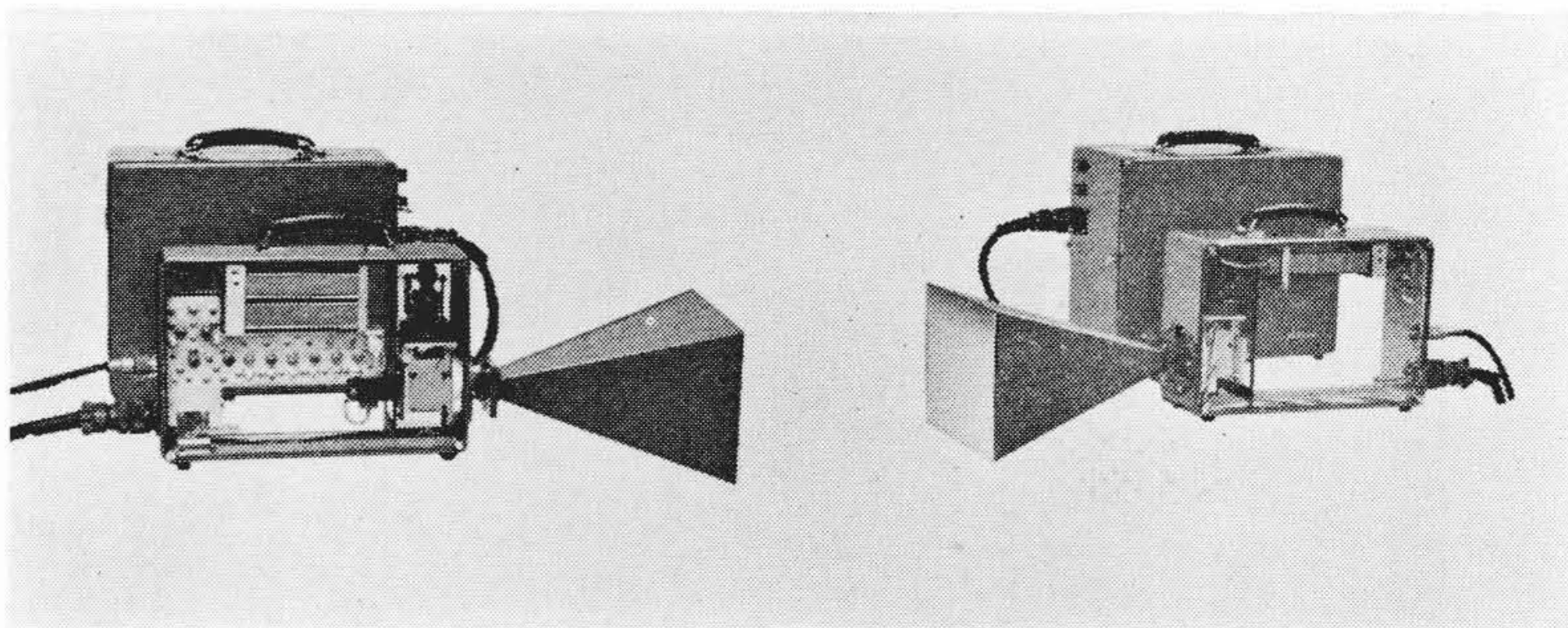
最近トランジスタ特性の目ざましい向上によって, 従来真空管でなければ構成できなかったような VHF 領域の通信機器がどしどしトランジスタ化されるようになってきた。

写真に示す装置は実験的に試作された“マイクロ波野外 TV 中継装置”で, マイクロ波用のクライストロンを除く残りをすべてトランジスタ化してある。このため, 全体の体積は送受信部を含め電池箱ともで 34 dm<sup>3</sup>, 重量は同じく 36 kg で, 従来の真空管式の機器に比して約数分の一の小形なものとなっている。一方消費電力も全体で 50 W 程度と同じく真空管式の機器に比して十分の一程度であるため, 普通の自動車用携帯形蓄電池 (6 V×6) を持つことによって, 電源のないような任意の場所においても随時使用できる大きな特長がある。

本装置に使用したトランジスタは大部分日立製作所中央研究所の



第 39 図 Molten Diffused トランジスタの雑音特性



第 40 図 MD トランジスタを用いた野外 TV 中継装置

開発になる Molten Diffused 形トランジスタである。

装置のおもな仕様は

|         |                                       |                       |
|---------|---------------------------------------|-----------------------|
| 送 信 側   | 送 信 周 波 数                             | 6,850~7,120 Mc        |
|         | 送 信 出 力                               | 公称 100 mW             |
|         | 変 調 方 式                               | 周波数変調方式               |
|         | 周 波 数 偏 位                             | 最大 10 Mc P-P          |
|         | ビ デ オ 入 力                             | 75 $\Omega$ に 1 V P-P |
| 受 信 側   | 受 信 周 波 数                             | 6,850~7,120 Mc        |
|         | 中 間 周 波 数                             | 70 Mc                 |
|         | 中間周波帯域幅                               | 55 Mc                 |
|         | ビ デ オ 出 力                             | 75 $\Omega$ に 1 V P-P |
| 到 達 距 離 | S/N=50 dB において                        |                       |
|         | 500 m (写真のホーン形アンテナを使用した場合)            |                       |
|         | 20 km (1.2 m $\phi$ のパラボラアンテナを使用した場合) |                       |

となっている。

### 28.3.3 磁気増幅器式アナログ演算要素

アナログ計算要素として磁気増幅器を電圧帰還演算器として使用するものの開発を行なった。すなわちオンライン用の制御計算要素のように特に高信頼度を要求するところに使用できることを目的として設計されたものである。この要素については米国および国内においても開発が進み, 電圧帰還形を採用している米国では最近実用化されるに至った。

#### (1) 試作磁気増幅器演算器

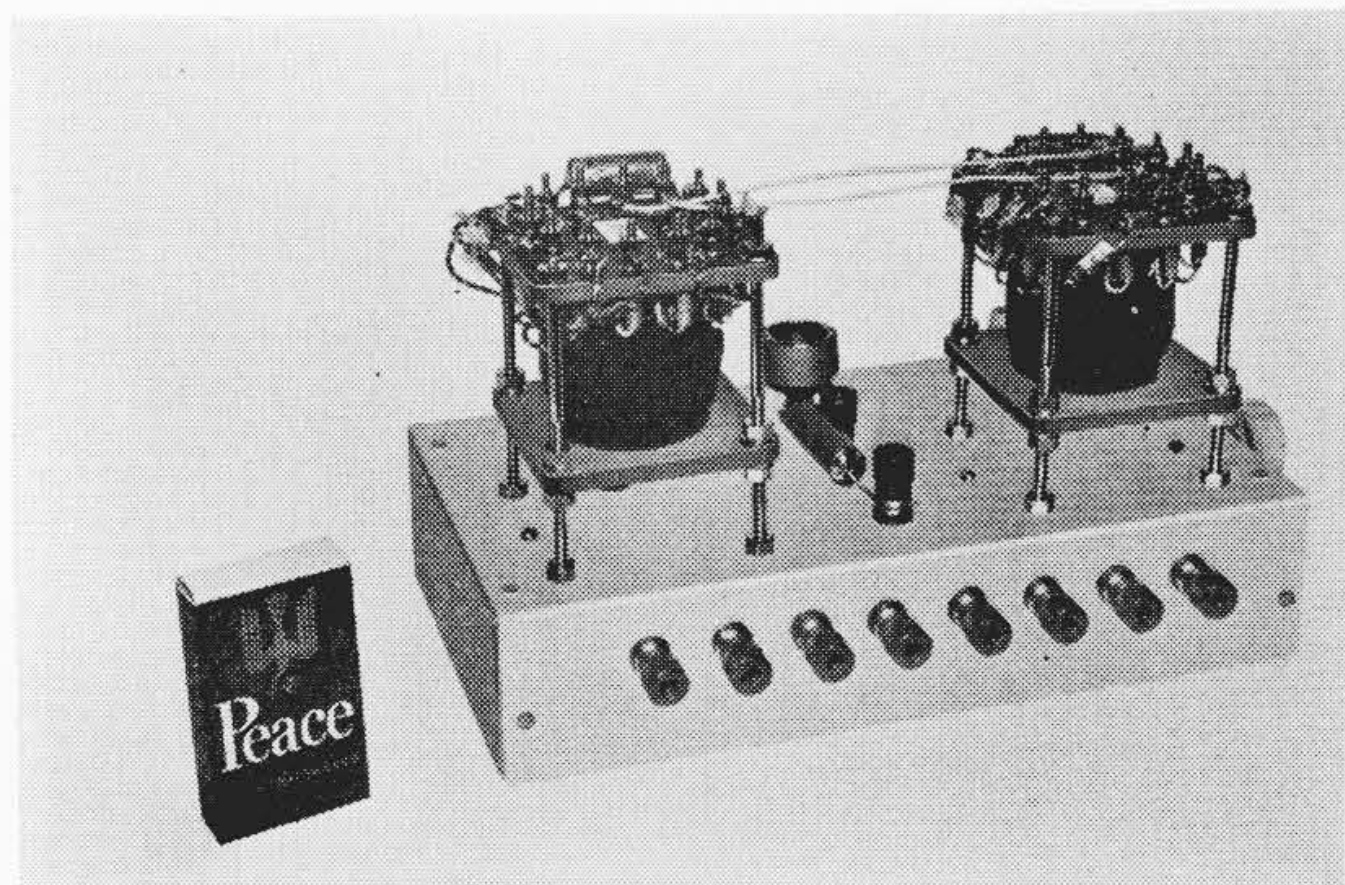
##### (A) 線 形 要 素

2 回の試作を行ない, それぞれ第 3 表のとりの定格の演算器

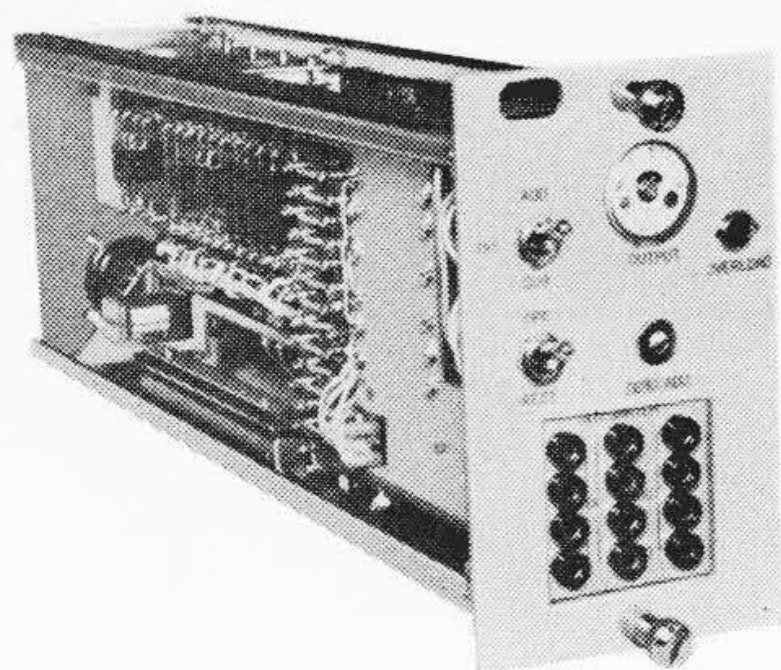
第 3 表 試作磁気増幅器式演算器定格

|             | 第 1 次 試 作                             | 第 2 次 試 作                            |
|-------------|---------------------------------------|--------------------------------------|
| 演算インピーダンス   | 100 k $\Omega$ , 10 $\mu$ F           | 100 k $\Omega$ , 10 $\mu$ F          |
| 出 力 電 圧     | $\pm 5$ V (5 k $\Omega$ )             | $\pm 10$ V (3 k $\Omega$ )           |
| 静 的 精 度     | 1 % 以内                                | 0.5 % 以内                             |
| 係数器周波数特性    | 4 c/s (-3 db)                         | 15 c/s (-3 db)                       |
| 電 源 電 圧     | AC 50 c/s 100 V $\pm 10$ % (10 W/1 台) | AC 50 c/s 100 V $\pm 10$ % (1 W/1 台) |
| パ イ ア ス 電 圧 | DC 20 V $\pm 1$ % (1 W/1 台)           | DC 10 V $\pm 1$ % (5 mW/1 台)         |





第41図 磁気増幅器式演算増幅器

第42図  
磁気増幅器演算ユニット

について検討した。第2次試作の磁気増幅器式演算増幅器の外観写真を第41図に示す。

#### (B) 非線形要素

(A)で示した線形要素を母体として非線形要素を構成した。関数発生器については電圧帰還方式であるため電子管式と同様にダイオードを用いた折線近似方式が実現できる。特長は出力に含まれる3角波状リップルの影響により折点に丸みがつく点である。掛算器としては折線近似の自乗方式のものが、前記の理由で比較的簡単で精度を出しうる点、4象限動作が簡単にできる点、可動部がなく、長寿命であるなどの点に特長をもつ。また新たに提案した1/2自乗方式は場合によっては受動回路のみで回路が構成できる特長がある。精度は1% (平滑入力, 5折点近似1/4自乗), 5% (リップル状入力, 3折点近似1/2自乗) 程度である。

#### (2) 演算要素の製品化試作

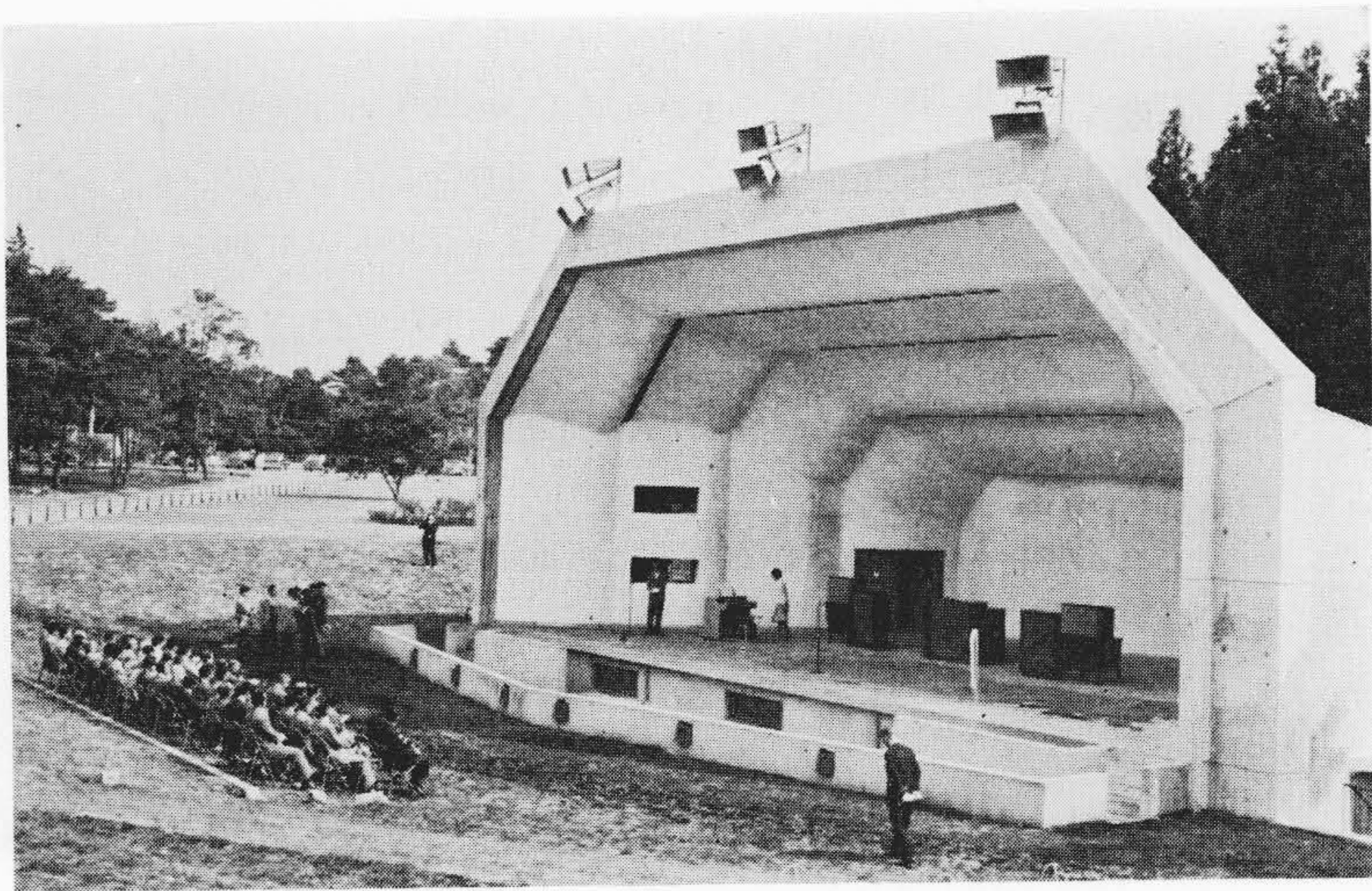
本演算器はその使用目的から必ずしも同時に数多く使用されるとは限らない。このような見地から演算器単体で使えるユニットを試作した。第42図はその外観写真である。この要素は磁気増幅器部(中央部)、演算インピーダンス部より成り、演算インピーダンス部は用途に応じて取替え可能である。大きさは4ユニットをまとめ、19インチ標準パネル(高さ7インチ)に納めることが可能になっている。性能は第2次試作と同様である。

#### (3) 磁気増幅器式演算器の特長

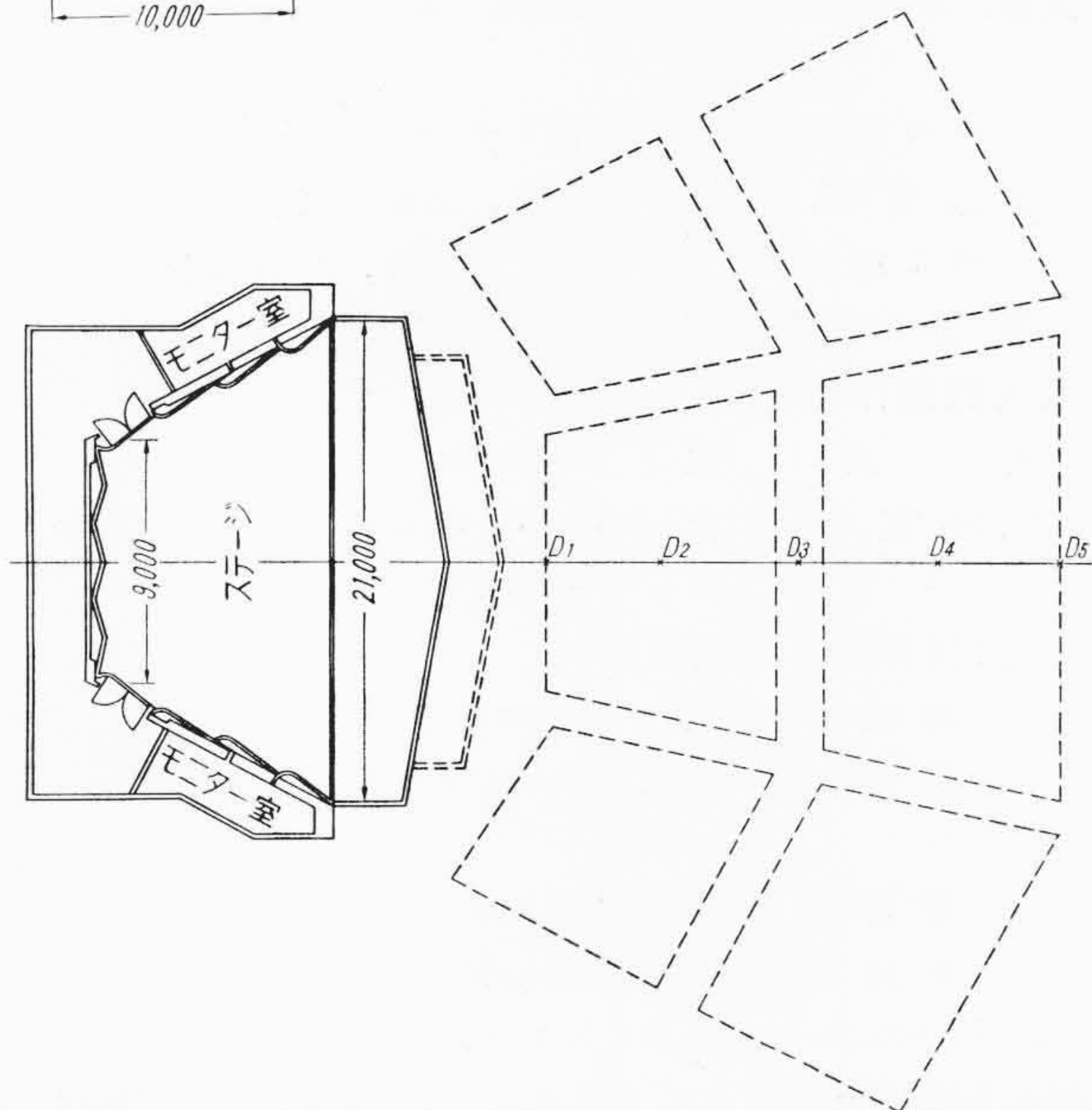
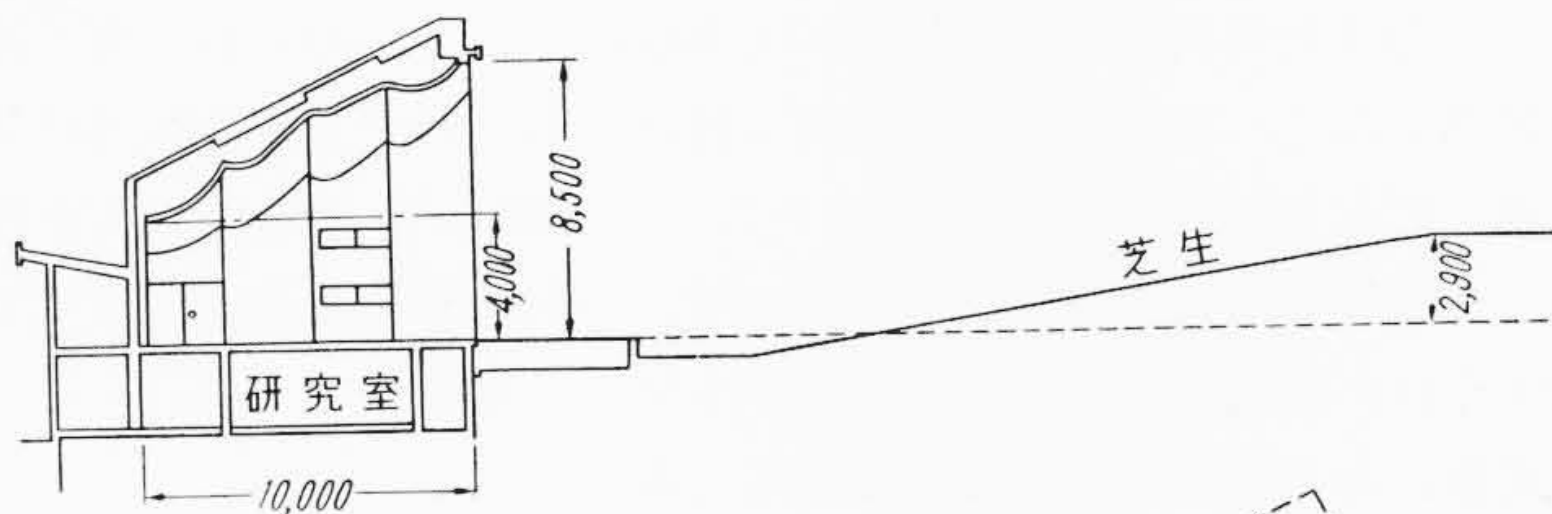
この演算器の特長を列挙すると次のとおりである。

- (i) 電子管式と同様の演算回路構成が可能であり、特に絶縁された入力に対する演算ができ、工学的応用上有利である。この特長は引算器、電圧電流変換器を実現するうえにもすぐれている。
- (ii) 高信頼度である。
- (iii) 高出力が容易にとりうる。
- (iv) 小形で消費電力が小である(1W/1台)。
- (v) 予熱時間が不要である。

などである。欠点としては動作むだ時間のために周波数特性が良くないことである。ただしプロセス制御用には十分である。



第43図 野外音響実験所



第44図 野外音響実験所概略

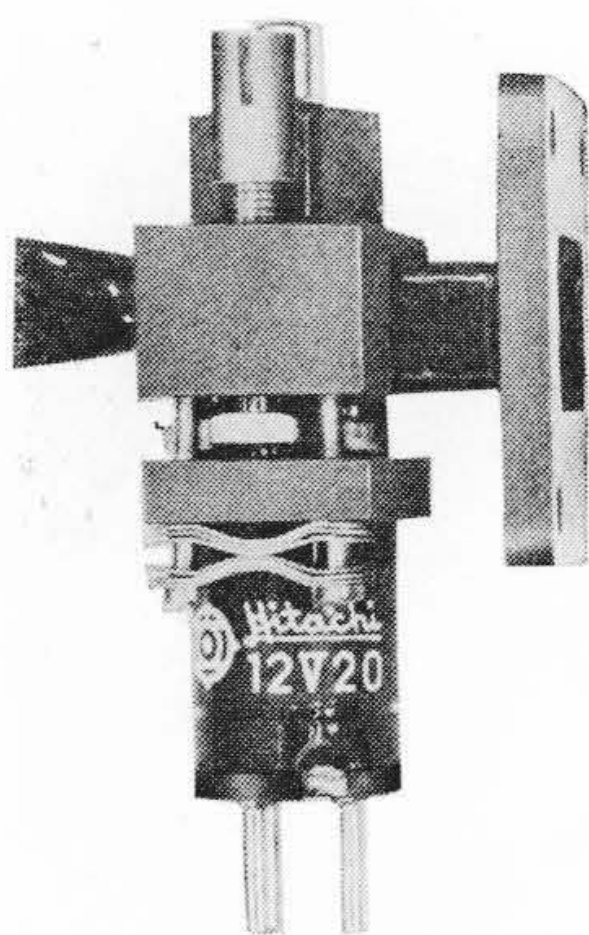
#### 28.3.4 野外音響研究用ステージ

中央研究所の野外音響研究用ステージは、室内では得られないような大きな音場をうることを目的としており、これにより拡声装置関係はもとより音響心理実験までできるよう目ざしたものである。

ステージは特殊な曲面をもったシェルでおおわれ、客席となる芝生の斜面に一樣な音場をうることができるように設計されているが、実際測定した結果各周波数に対してはほぼ一樣な音場を得ている。大きさは図のように間口約20m、奥行約10m、高さ約8mで床はコンクリート、壁面および天井面は石膏モルタルで仕上げられている。

この種のステージで一番問題になるのは暗そう音であるが、この場合には鉄道や航空路の関係もあり平均して37~45フォンで、これは小事務室程度のそう音許容レベルである。また残響時間は平均して大体0.8秒である。シェルの上にはスピーチ用として6本のホーン形スピーカーが設置されており1W入力に対し客席では平均70~80dBの音圧が得られ、これを用いた試験の結果は明瞭度が





第 45 図  
クライストロン

96%であった。

なお、このステージの階下には試験室、研究室などがあり今後これらを利用して各種の音響実験を進めてゆく予定である。

### 29.3.5 クライストロン

#### (1) 12,000Mc帯用クライストロン

12 V 20はさきに開発した12 V 10を改良したもので、周波数範囲が12 V 10の10,500~12,500 Mcに対し、10,500~13,500 Mcと1,000 Mc広がっている。出力取出しはWR-12導波管用の角フランジである。12,000 Mcがちょうど中心周波数となるため、最近電

波庁から周波数割当が認可されつつある12,000 Mc帯の電鉄会社、電力会社などの通信用、TV中継器用に最適のクライストロンである。出力は全周波数範囲にわたって100 mW以上が得られ、電子同調範囲も広く、変調感度の直線性も良好であるのでFM多重通信用に適しており、また3,000 Mcにわたって100 mW以上の出力が得られ、周波数の微細調節ができるので、一般測定用の発振源としてもすぐれた性能を発揮するクライストロンである。

規格、および代表的動作例は次のとおりである。

#### 規 格

|          |                         |
|----------|-------------------------|
| ヒータ電圧、電流 | 6.3 V ± 10%, 0.5 A      |
| 空胴電圧、電流  | 500 V, 65 mA 以下         |
| リペラ電圧、電流 | 0~1,000 V, 5 $\mu$ A 以下 |
| 周波数範囲    | 10,500~13,500 Mc        |

#### 代表的動作例

|         |              |
|---------|--------------|
| 周波数     | 12,400 Mc    |
| 空胴電圧、電流 | 500 V, 55 mA |
| リペラ電圧   | -500 V       |

#### 電子同調範囲（整合負荷時）

|       |          |
|-------|----------|
| 周波数変化 | 35 Mc    |
| 変調感度  | 0.6 Mc/V |

#### 出 力

|       |        |
|-------|--------|
| 整合負荷時 | 250 mW |
| 最適負荷時 | 300 mW |

#### (2) 2,500 Mc 帯用クライストロン

最近2,500 Mc帯のFM多重通信に使用する送信用反射形クライストロンの開発が急がれた。これに対し、日立中央研究所では、特に大出力で変調特性の良いクライストロンV33を開発し、現在本社一日立工場間のマイクロ波回線に10数本実装して良好な動作を得ている。

V33は長距離の多重通信に適する3 Wまでの大出力が得られるもので、独特な構造のため有害なヒステリシスもなく、周波数の温度補償に対しても十分配慮されて安定であるため信頼性が高い。

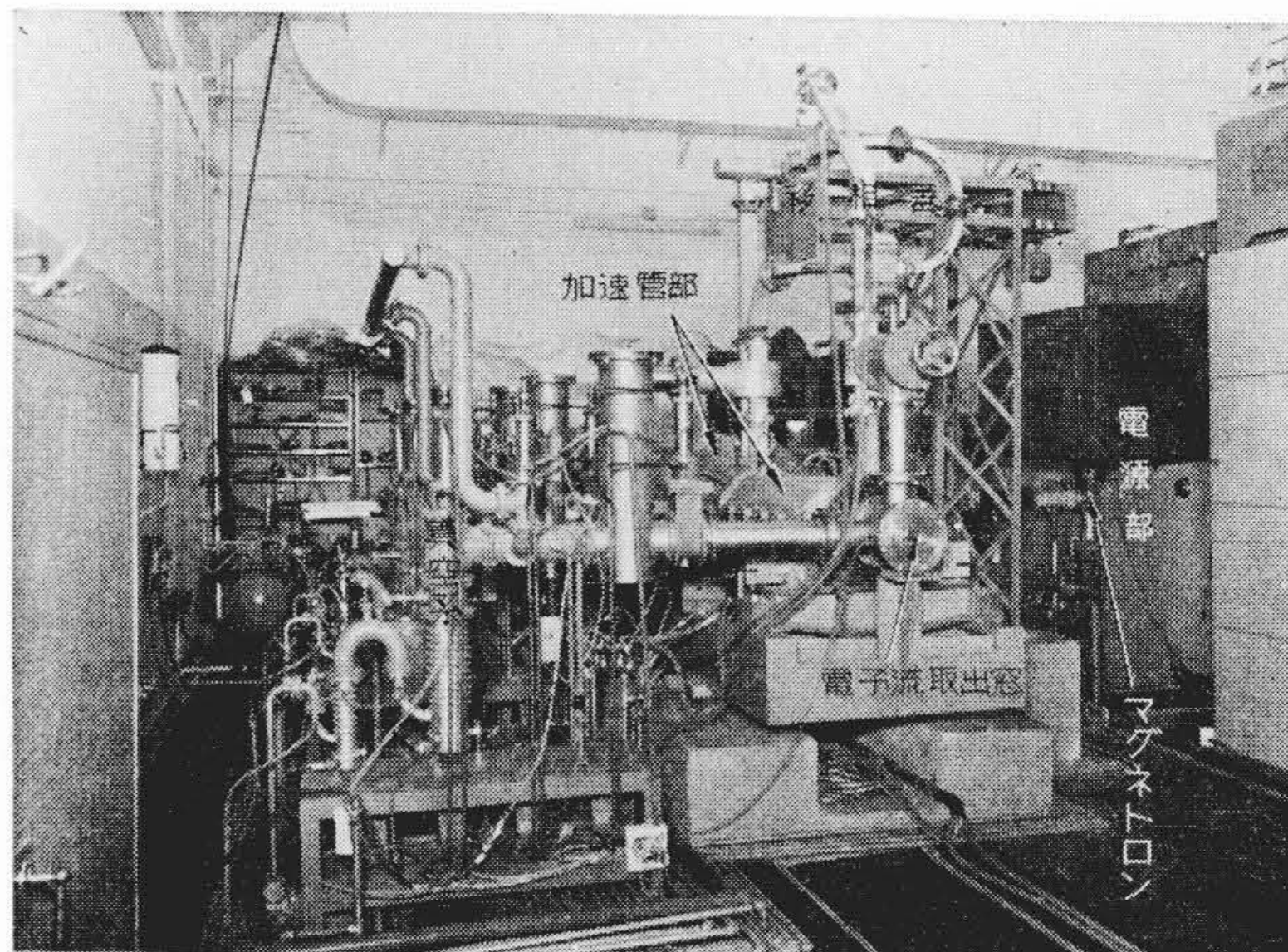
主な特長は次のとおりである。

#### おもな特性

|          |                 |
|----------|-----------------|
| ヒータ電圧、電流 | 6.3 V, 1.2 A    |
| 空胴電圧、電流  | 1,000 V, 115 mA |
| リペラ電圧    | 0~-750 V        |
| 出 力      | 1~3 W           |
| 電子同調範囲   | 16 Mc           |
| 変調感度     | 75 kc/V         |

### 28.3.6 線形電子加速装置完成

中央研究所に設置する線形電子加速装置が完成した。線形電子加



第 46 図 線形電子加速装置

第 4 表 試作線形加速装置の性能

|                    | 最 大 値 | 定 常 運 転 値 | 設 計 目 標 |
|--------------------|-------|-----------|---------|
| 電子エネルギー (MeV)      | 8.2 * | 7         | 6       |
| 平均電子流出力 ( $\mu$ A) | 110   | 90        | 90      |
| X線強度 (r/min)       | 690   | 400       | 600     |

速装置は電子を電波で直線的に加速する装置である。加速管を接地した金属管で作るので耐電圧の問題が少ないから高エネルギー加速器として有利である。電子エネルギー4 MeV以上で平均電子流を多くとれるという点で他の粒子加速器にまさる。用途としては、

電 子 線……放射線化学・放射線医学・原子核実験

X 線……ラジオグラフィー、放射性同位元素生産、原子核実験

中 性 子……原子炉材研究

といった広範囲の用途が考えられ、外国では1部実用化の段階にはいっているの、今後の活躍が期待されている。

装置の性能は第4表のとおりで、設計目標を上回る成果を得た。第4表でX線強度というのは、X線ターゲットから1 m離れたところのX線線量率を示す。

本装置は次のような特長をもっている。

(1) 加速電源にマグネトロンを用いたこと。マグネトロンは自励振の発振管であるため、加速器に用いて安定な運転をすることは従来困難とされていた。装置にくふうをこらすことによって、加速器に用いた例では初めての世界最大出力のマグネトロンをきわめて安定に再現性のある運転をさせることに成功した。このことによって加速電源の構成が従来の装置より簡単で操作が容易になった。

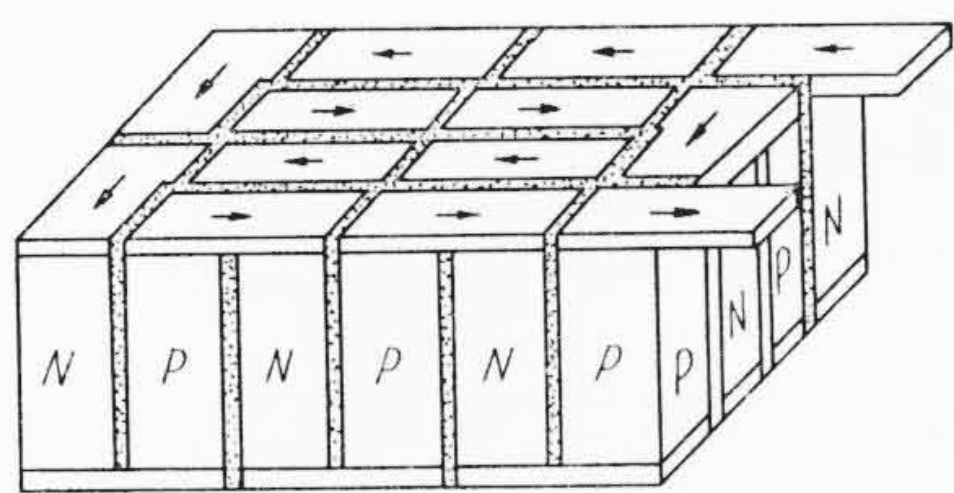
(2) 電子銃は日立独特の構造のものを開発したこと。その結果電子流透過率が75%という驚異的な高率を示した。この値は従来の記録の2倍以上である。

(3) 加速管は組立式構造としたこと。組立式構造の加速管は世界でもあまり例がなく、高精度の寸法を保持したまま製作できる利点がある。

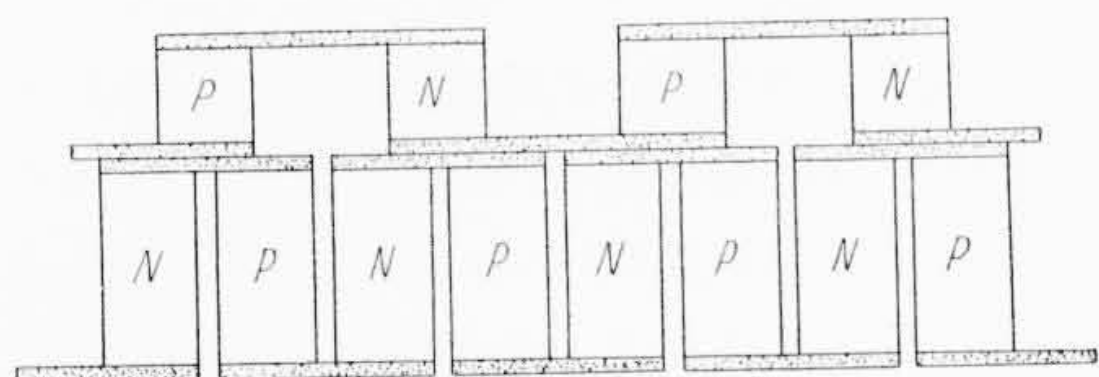
(4) 加速管の間に移相器を用いたこと。移相器を調節することによって加速電子集団と電波の位相を自由に調節できるので、常に加速管を最高の性能で使用することができて、加速管の性能の向上ができた。また移相器を動かすことによって電子の加速状況の研究に役だっている。

装置の外観を第46図に示す。中央右よりに加速管電子流出口が見える。その右側は加速電源、左側は真空系統である。加速管中央上部に移相器がある。

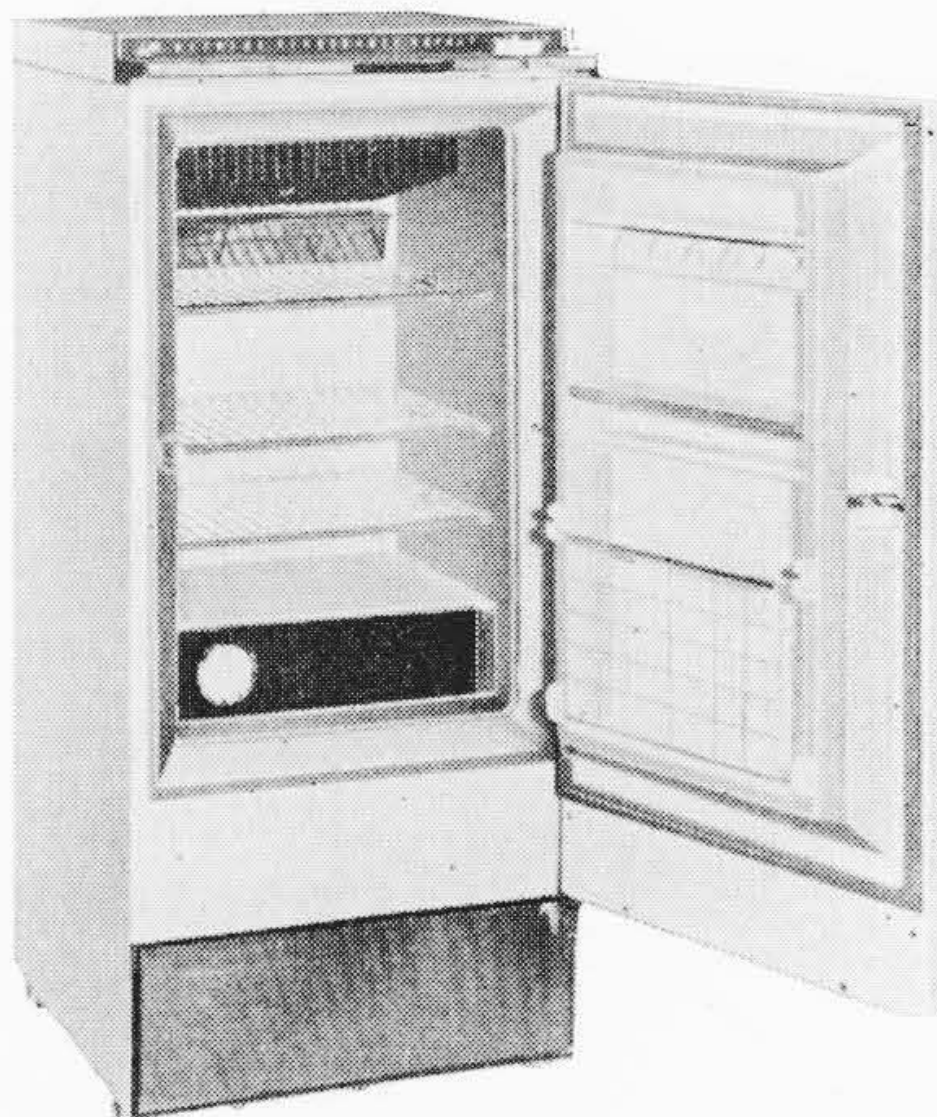




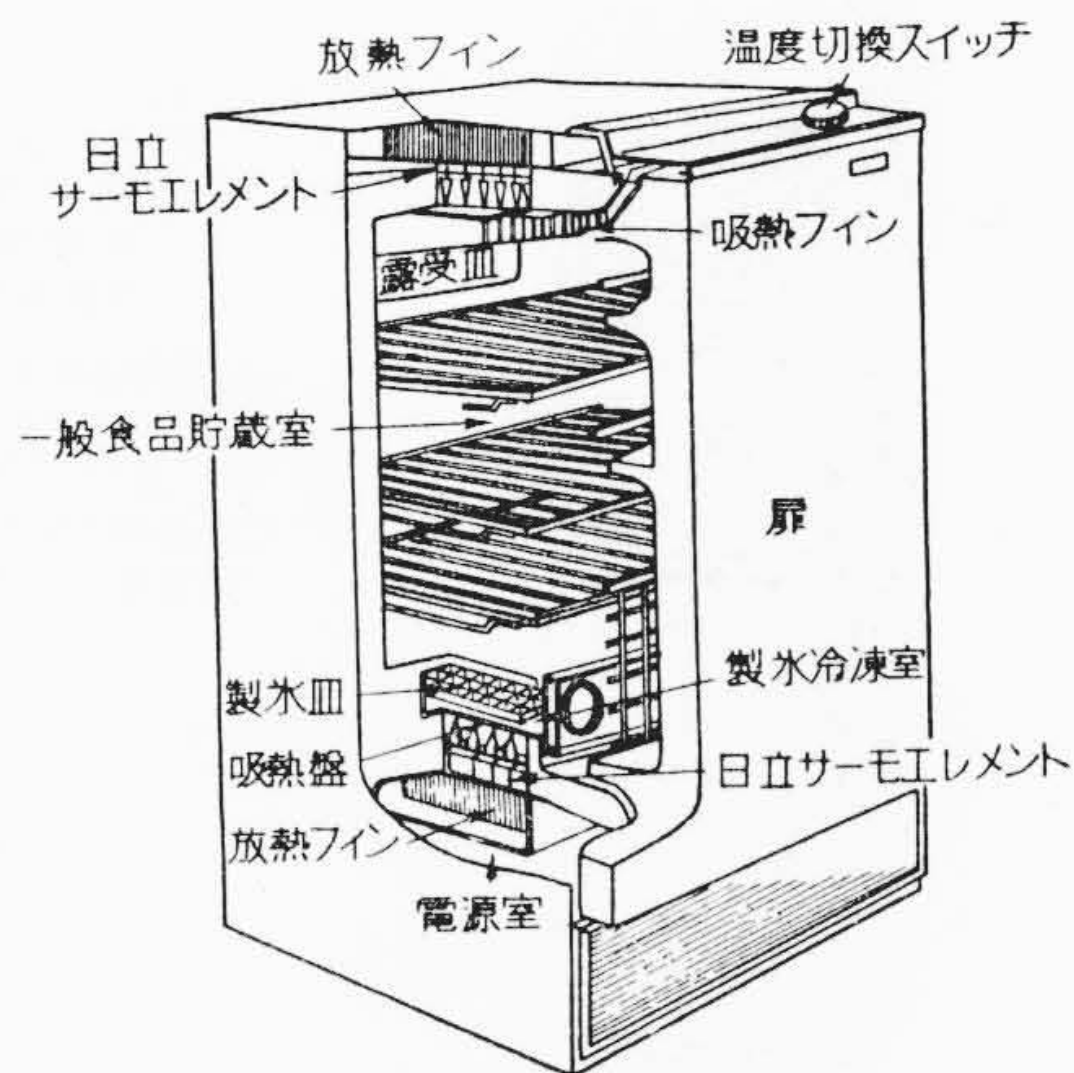
第47図 熱電素子群



第48図 2段冷却熱電素子



第49図 電子冷蔵庫



第50図 電子冷蔵庫説明図

### 28.3.7 電子冷凍

電子冷凍とはペルチェ効果を利用したものであり、最近の半導体工学の進歩に伴い性能の良い電子冷凍用材料が発見され、電子冷凍が実用化される可能性が生じてきた。日立製作所における材料の研究は  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  を主体とし、これに種々の添加元素を加え性能向上を図ってきた。材料の性能を表示する値として一般に Figure of merit なる値を用い  $Z$  なる文字にて示す。材料の熱起電力  $\eta$  (V/deg), 比抵抗  $\rho$  ( $\Omega\text{cm}$ ), 熱伝導率  $\kappa$  (W/cm deg) を用いると  $Z$  ( $\text{deg}^{-1}$ ) は次式で与えられる。

$$Z = \frac{\eta^2}{\rho\kappa}$$

材料の性能を向上させるには前記添加元素のほかに結晶の大きさ、結晶方向などが問題になる。結晶をあまり大きくすると材料強度が劣化するので、これらが最も良好な状態になるように結晶の大きさ方向を種々変えて研究を行った結果、強度的にも十分強くまた  $Z$  の値も  $2.5 \times 10^{-3}$  という良好な性能のものを安定して作ることができるようになった。この材料の最高到達温度差は低温側の温度が  $0^\circ\text{C}$  のときに  $93^\circ\text{C}$  である。

加工の研究においては材料の特性を最も有効に利用し、かつ強度を増大させる目的で第47図に示すように角柱の材料を相互に接着した密列構造を考案した。電極材料はアルミ板にニッケル鍍金を施したものでありこのような材料を用いた理由はアルミ、ニッケルともに電子冷凍材料への拡散がわずかで性能の安定性が大であることが研究の結果明らかになったためである。

第47図に示す構造が普通的方式であるが、第48図のように2段に積み重ねた方式を2段冷却と称する。原理的には何段も積み重ねたほうが大きな温度差が得られる。1段冷却では所要温度差が得られない場合には多段冷却を採用しなければならないが、1段冷却で所要温度差が得られる場合には、多段冷却による成績係数の向上が問題となる。所要温度差が小さい場合には多段冷却にしても成績係数の大幅な向上が得られないが、所要温度差が大きい場合は多段冷却にしたほうが有利になるので、電子冷蔵庫の場合は2段冷却、電子冷水器の場合は1段冷却を採用することにした。

これらの研究の成果である電子冷蔵庫、電子冷水器の試作品を昭和35年9月社外に発表した。

電子冷蔵庫は今まで米国およびソ連にて二、三発表されているが、いずれも冷却性能の点では現在のフレオン圧縮式冷蔵庫に劣るものであった。今回日立製作所で試作した電子冷蔵庫は冷却性能の点ではフレオン圧縮式冷蔵庫と同程度であり、このような冷却性能をもった電子冷蔵庫は日立製作所が世界で最初に発表したものである。

また電子冷水器は今まで内外他社で発表したことがなく、電子冷

凍の新しい応用分野として日立製作所が開発したものである。

電子冷凍の応用分野には電子冷蔵庫、電子冷水器のほかにも種々あるが、電子冷凍の特長といえる小形冷凍機の場合でも効率の低下をきたさないという特性を利用した小形電子冷凍製品の開発も重要であり、この分野の研究も進展している。

#### (1) 電子冷蔵庫

電子冷凍では材料に電流を流すことによって、材料の両端に生じた温度差を直接利用するため、機構的にきわめて簡単になるので、今後材料性能が向上し、かつ廉価になれば、現在のフレオン圧縮式冷蔵庫にとってかわることが考えられる。その新しい分野において先鞭をつけるべく研究されたのがこの電子冷蔵庫である。

材料および材料の加工については前項にて説明したので電子冷蔵庫の構造について述べる。冷却方式にはエレメントを冷蔵庫周囲に分散させる疎列方式と、一カ所に集中して全体を冷却する密列方式がある。一方高温側の放熱方式には自然空冷、強制空冷、水冷などの方式がある。

それらには一長一短があるが、今回の冷蔵庫はこれらの中で最も性能的にすぐれている密列方式、強制空冷方式を採用した。

第49図は昭和35年9月に社外に発表し、引続いて各地の記念展で展示した電子冷蔵庫である。

第50図は構造説明図であるが、一般の電気冷蔵庫では製氷室は庫内上部にあるが、電子冷蔵庫では庫内下部に独立して設けた。エレメントは貯蔵室を冷却するものと、製氷室を冷却するものに分離し、前者は上部の吸熱フィンに、後者は製氷盤に直接取付けた。使用したエレメント数は貯蔵室22組、製氷室14組、合計36組である。1組のエレメントはp形、n形の半導体素子30対を使用した。

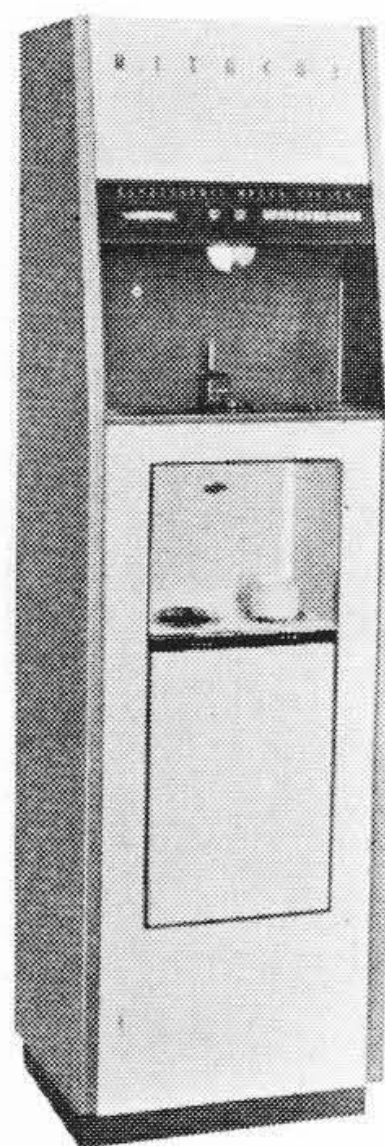
高温側の熱の放熱の良否によって冷蔵庫の性能は左右されるが、今回使用したエレメントは放熱フィンと一体にし、熱伝導の良い特殊な電気絶縁処理を施した。

放熱には冷蔵庫下部に設けた一つの小型シロッコファンで貯蔵室側と製氷室側の放熱フィンを同時に冷却する。放熱フィンをコンパクトにし内蔵したことは意匠的にもすぐれ、写真にみるように一般の電気冷蔵庫に劣らない。

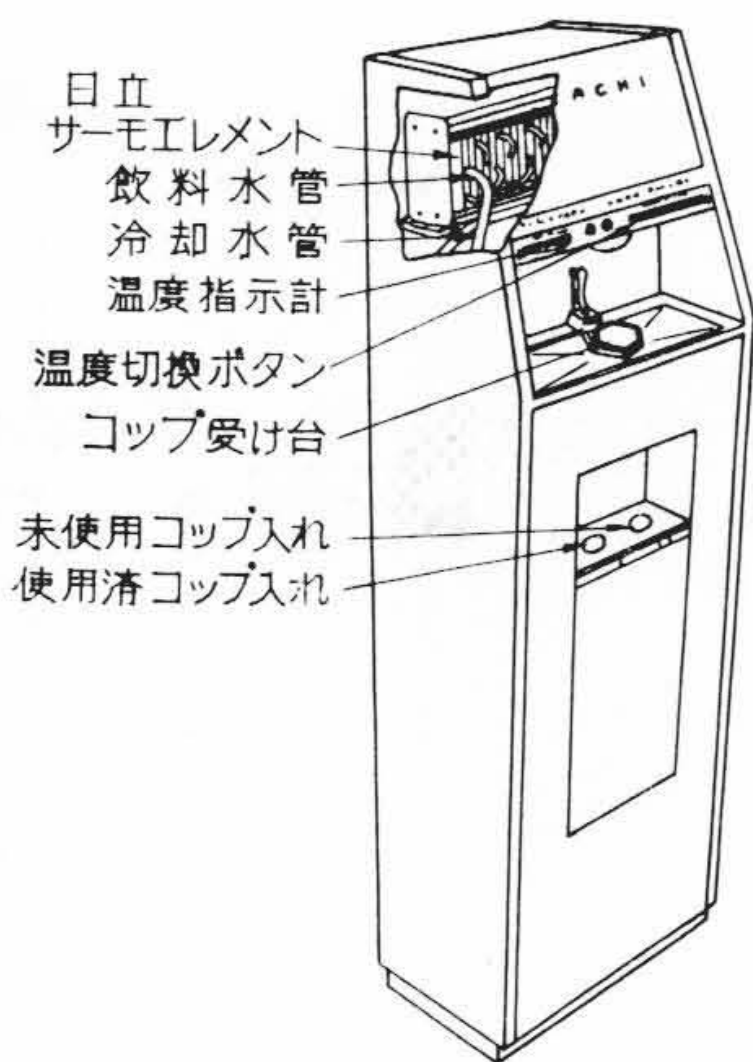
この電子冷蔵庫の内容積は95 l で、外法寸法は幅500 mm、高さ1,155 mm、奥行575 mm である。

その性能は外気温度  $30^\circ\text{C}$  のとき、貯蔵室内  $5^\circ\text{C}$  以下、製氷室内  $-13^\circ\text{C}$  以下である。製氷能力は  $20^\circ\text{C}$  の水400 ccを1.5時間以内に製氷を完了することができる。このときエレメントの電流および電圧は、貯蔵室側では10 A、30 Vであり、製氷室側では10 A、





第 51 図 電子冷水器



第 52 図 電子冷水器説明図

20Vである。電源は一般家庭用AC100Vより得られ、冷蔵庫下部に内蔵するシリコン整流器でDCに変換しエレメントに供給する。

貯蔵室温度の選択は温度切替スイッチによりエレメントを流れる電流を切替える方式で、断続運転方式でないため各室の温度変動は少ない。

この電子冷蔵庫は性能的にも最高水準をゆくものである。

(2) 電子冷水器

電子冷凍では利用する温度差が少ないほど成績係数が向上する。冷水器に電子冷凍を応用するとき、高温側の放熱に水を利用できるので、この条件を満足するとともに、一般の電気冷水器の内部は圧縮機、凝縮器、蒸発器などでほとんど占められているが、これらを半導体材料に置換えると、非常に小形の冷水器が可能になる。このことより電子冷水器は最も早く実用化できる製品の一つと考え研究を行い、今回日立製作所が世界ではじめて試作品を発表した。

第 51 図は昭和 35 年 9 月に電子冷蔵庫と同時に発表した電子冷水器である。第 52 図は構造説明図であるがエレメントは頭部に内蔵してある。使用されているエレメント数は 20 組で、1 組のエレメントは p 形, n 形の半導体材料 30 対よりなり、高温側および低温側に熱交換器のある 1 段冷却のエレメントである。

エレメント部の寸法は幅 300 mm、高さ 200 mm、奥行 170 mm で、この中に一般電気冷水器の圧縮機、凝縮器、蒸発器、冷却タンクなどに相当するものがすべて含まれている。高温側の放熱を水で熱交換せしめることによって可動部分がなくなり、音がしない、小形であるという電子冷凍の大きな特長をかね備えている。

この電子冷水器の外法寸法は幅 370 mm、高さ 1,305 mm、奥行 290 mm で、その性能は供給される水の温度が 23°C のとき、12°C の水を連続 30 l/h の割合で供給することができる。冷却速度が速いことも電子冷凍の特長の一つで、スイッチを on にしてから 2 分後には 12°C の水が得られる。

高温側冷却水流量は 100 l/h 以下でありエレメントの電流および電圧は 16A、34V である。

電源は一般家庭用 AC100V より得られ、冷水器下部に内蔵するシリコン整流器で DC に変換しエレメントに供給される。

飲料水温度の選択は温度切替ボタンにより、エレメントに流れる電流を 6 種類に切替え、しかも切替えてから 2 分以内に希望する温度の水が得られる。この冷水器の使用法は、コップ受け台に内蔵した紙コップをのせ、飲料水 on のボタンを押すと飲料水はノズルより流出し、一定量流出すると自動的に off になる。また飲料水 off のボタンを押すことによって任意の水量で off にするこ

ともできる。

このように電子冷水器は小形で場所をとらない、使用法が簡単で好みの水温が自由に選べるなど多くの実用性を兼ねており、材料性能が向上し、かつ廉価になれば冷蔵庫より実用化されるのは早いと思われる。

28.3.8 強 誘 電 体

一般にチタン酸バリウム結晶板はいくつかの分域から成る。すべての分域の分極方向が板面に垂直であるような結晶板を特に *c* 板と呼ぶ。*c* 板では、したがって、隣あう分域の分極方向は互に反平行である。*c* 板の最も安定な状態は単分域の状態であろうか、それとも多分域の状態であろうかという問題がある。かつては前者であろうと考えられていた。しかし近年分極反転現象に関して次の考え方が起った。細い逆分域が常に残存していて、それらが分極反転の際の“芽”の役目をするのではないかと。もし多分域の状態のほうが安定だとわかれば、この考え方は有利になる。どちらがより安定かを考慮してみるに、内部エネルギー的には単分域のほうが、エントロピ的には多分域のほうが有利であろう。この問題を解決するためにわれわれは統計熱力学的計算を行なった。その際どの分域も結晶板を貫通していると仮定した。結果は第 5 表および第 6 表のとおりである。各記号の意味は、*E* は電場 (volt・cm<sup>-1</sup>)、*U* は内部エネルギー (erg・cm<sup>-3</sup>)、*S* はエントロピ (erg・deg<sup>-1</sup>・cm<sup>-3</sup>)、*φ* は自由エネルギー (erg・cm<sup>-3</sup>)、*P<sub>s</sub>* は自発分極 (26×10<sup>-6</sup>coul・cm<sup>-2</sup>)、*P* は分極、*P/P<sub>s</sub>* は比 (%) である。結晶板を垂直に貫通する単位格子列の総数を *N*、それらのうち逆向きに分極しているものの個数を *n* とするとき、*x*=*n/N* である。1 個の格子列に注目するとき、それは 4 個の格子列と面接触している。4 個のうち *i* 個がそれと反対向

| 第 5 表                            |                      |                           |                            |
|----------------------------------|----------------------|---------------------------|----------------------------|
|                                  | <i>E</i> =0          | <i>E</i> =14 <sup>4</sup> | <i>E</i> =−10 <sup>4</sup> |
| <i>x</i>                         | 1.5×10 <sup>−5</sup> | 1.0×10 <sup>−5</sup>      | 2.3×10 <sup>−5</sup>       |
| <i>x</i> <sub>0</sub>            |                      |                           |                            |
| <i>x</i> <sub>1</sub>            |                      |                           |                            |
| <i>x</i> <sub>2</sub>            |                      |                           |                            |
| <i>x</i> <sub>3</sub>            | 1.5×10 <sup>−8</sup> | 6.7×10 <sup>−9</sup>      | 3.5×10 <sup>−8</sup>       |
| <i>x</i> <sub>4</sub>            | 1.5×10 <sup>−5</sup> | 1.0×10 <sup>−5</sup>      | 2.3×10 <sup>−5</sup>       |
| <i>w</i> <sub>0</sub>            | 1.0                  | 1.0                       | 1.0                        |
| <i>w</i> <sub>1</sub>            | 6.0×10 <sup>−5</sup> | 4.0×10 <sup>−5</sup>      | 9.2×10 <sup>−5</sup>       |
| <i>w</i> <sub>2</sub>            | 1.4×10 <sup>−9</sup> | 6.3×10 <sup>−10</sup>     | 3.3×10 <sup>−9</sup>       |
| <i>w</i> <sub>3</sub>            |                      |                           |                            |
| <i>w</i> <sub>4</sub>            |                      |                           |                            |
| <i>U</i>                         | 2.1×10 <sup>3</sup>  | 1.4×10 <sup>3</sup>       | 3.2×10 <sup>3</sup>        |
| <i>S</i>                         | 7.8                  | 5.4                       | 12                         |
| <i>P/P<sub>s</sub></i>           |                      |                           |                            |
| <i>φ</i> + <i>EP<sub>s</sub></i> | −190                 | −130                      | −290                       |

| 第 6 表                            |                      |                           |                            |
|----------------------------------|----------------------|---------------------------|----------------------------|
|                                  | <i>E</i> =0          | <i>E</i> =10 <sup>4</sup> | <i>E</i> =−10 <sup>4</sup> |
| <i>x</i>                         | 1.5×10 <sup>−2</sup> | 1.2×10 <sup>−2</sup>      | 1.8×10 <sup>−2</sup>       |
| <i>x</i> <sub>0</sub>            | 5.3×10 <sup>−8</sup> | 1.8×10 <sup>−8</sup>      | 1.3×10 <sup>−7</sup>       |
| <i>x</i> <sub>1</sub>            | 4.7×10 <sup>−6</sup> | 2.0×10 <sup>−6</sup>      | 9.4×10 <sup>−6</sup>       |
| <i>x</i> <sub>2</sub>            | 1.5×10 <sup>−4</sup> | 8.2×10 <sup>−5</sup>      | 2.6×10 <sup>−4</sup>       |
| <i>x</i> <sub>3</sub>            | 2.3×10 <sup>−3</sup> | 1.5×10 <sup>−3</sup>      | 3.2×10 <sup>−3</sup>       |
| <i>x</i> <sub>4</sub>            | 1.3×10 <sup>−2</sup> | 1.0×10 <sup>−2</sup>      | 1.5×10 <sup>−2</sup>       |
| <i>w</i> <sub>0</sub>            | 9.3×10 <sup>−1</sup> | 9.4×10 <sup>−1</sup>      | 9.1×10 <sup>−1</sup>       |
| <i>w</i> <sub>1</sub>            | 5.6×10 <sup>−2</sup> | 4.5×10 <sup>−2</sup>      | 6.6×10 <sup>−2</sup>       |
| <i>w</i> <sub>2</sub>            | 1.2×10 <sup>−3</sup> | 8.1×10 <sup>−4</sup>      | 1.8×10 <sup>−3</sup>       |
| <i>w</i> <sub>3</sub>            | 1.2×10 <sup>−5</sup> | 6.5×10 <sup>−6</sup>      | 2.1×10 <sup>−5</sup>       |
| <i>w</i> <sub>4</sub>            | 4.6×10 <sup>−8</sup> | 1.9×10 <sup>−8</sup>      | 9.5×10 <sup>−8</sup>       |
| <i>U</i>                         | 2.0×10 <sup>6</sup>  | 1.6×10 <sup>6</sup>       | 2.4×10 <sup>6</sup>        |
| <i>S</i>                         | 8.3×10 <sup>3</sup>  | 6.9×10 <sup>3</sup>       | 9.6×10 <sup>3</sup>        |
| <i>P/P<sub>s</sub></i>           | 97.0                 | 97.6                      | 96.4                       |
| <i>φ</i> + <i>EP<sub>s</sub></i> | −4.2×10 <sup>5</sup> | −3.5×10 <sup>5</sup>      | −5.0×10 <sup>5</sup>       |



きに分極しているとき、その格子列は  $i$  配位であると呼ぶ。 $i$  配位の逆格子列および正格子列の個数をそれぞれ  $n_i$  および  $m_i$  とするとき、 $x_i = n_i/N$ ,  $w_i = m_i/N$  である。第5表は厚さ50格子(1格子の長さは  $4.0 \times 10^{-8} \text{cm}$ ) の、第6表は厚さ20格子の結晶板に関する。なお温度は室温である。以上の結晶から次の事がらわかる。 $2 \times 10^{-6} \text{cm}$  より厚いものは、室温で完全に熱平衡にあるとき、實際上完全な単分域である。しかしこれより薄くなると逆分域を含むようになる。電場は逆分域を減らすことはほとんどできない。逆分域は凝集するよりは分散する傾向がある(4配位が最も多い)。以上のような考察は、電子計算機の記憶素子として強誘電体薄膜を用いる場合に、その厚みの最適値を決定するうえに重要な知見を与えるものである。

#### 28.4 車 両

車両実験室五箇年計画に基づきその後も引き続き研究設備の拡充に努め、36年度は交流車両電気方式の研究、および車両性能改善の研究を行なうため、交流車両研究用電源設備および動力台車実験設備を完成した。これによって各種の直流および交流車両電気方式の研究ならびに台車および駆動方式に関する研究が可能となった。

一方、列車自動制御の研究を行なうため等価実験装置の増強のほか信号用高周波電源設備、車上プログラム発生装置および速度制御装置などを設置した。

以上のようにして当実験室は、電車等価実験設備、動力台車実験設備、列車自動制御実験設備および直流交流電源設備が完備され、車両実験室として一応斯界に誇りうる形態を整えることができた。

主要研究成果としては、まず列車自動制御の研究においては、新形車内信号方式、磁気式自動列車制御方式および定位置停車を含む車上プログラムによる駅間自動運転方式、また交流車両制御方式においては同一可飽和リアクトルを起動時と制動時とに共用する無電弧タップ切替連続制御方式および新ED71形電気機関車用電圧制御方式など特長ある独自の新方式の開発に成功した。

以下これらの新研究設備および主要研究成果の概要について述べる。

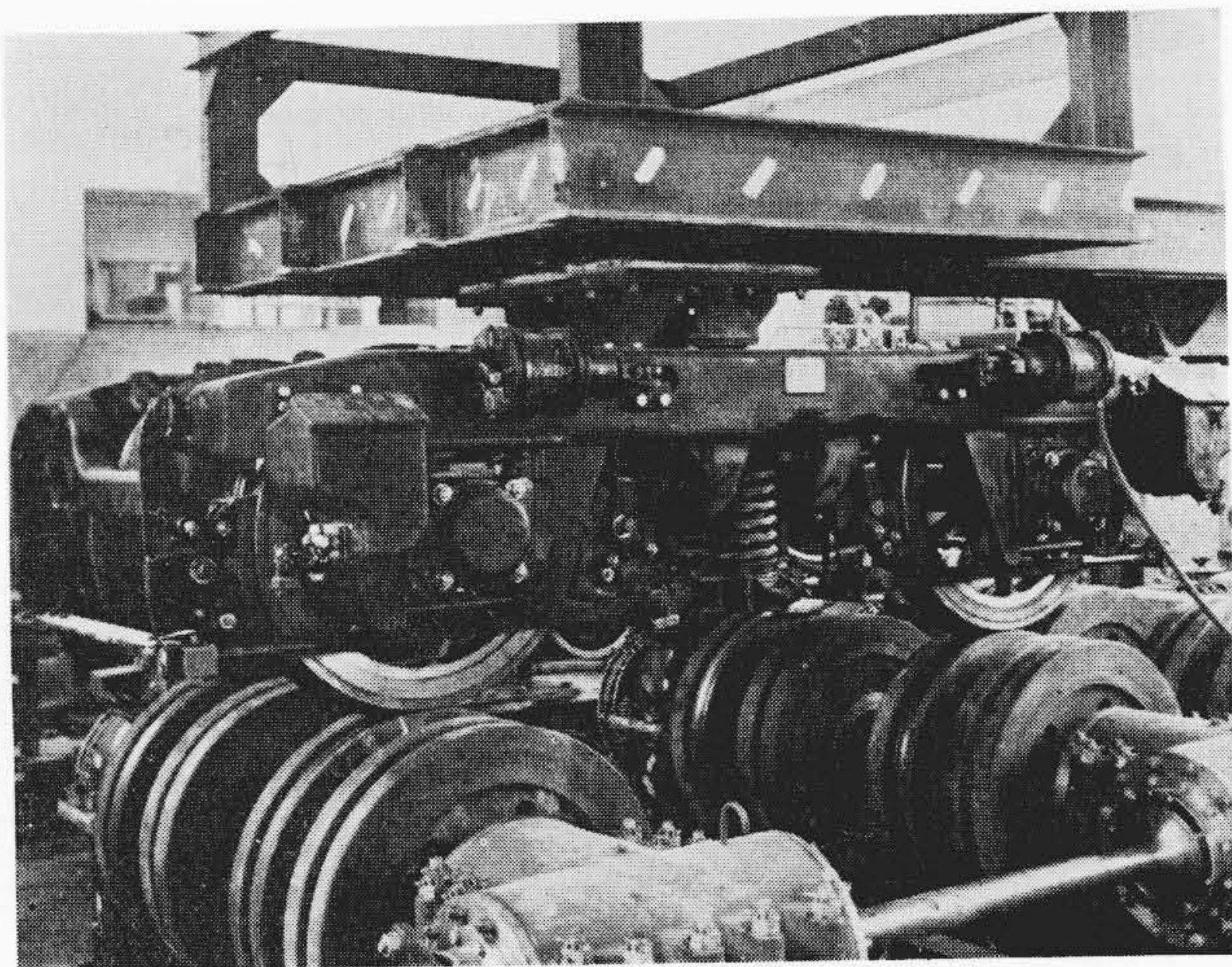
##### 28.4.1 交流車両研究用電源設備

1,000 kVA 主変圧器、600 kW 水銀整流器および300 kW シリコン整流器を主体とする交流車両研究用電源設備を完成した。特に主変圧器は多目的として特殊設計されたもので、低压コイルを4分割し、これを組み合わせて、水銀整流器式、シリコン整流器式および交流整流子電動機式のいずれにも使用することができ、その電圧制御方式も高圧制御、低圧制御いずれも可能としてある。これによって現在世界各国に行なわれている50 c/s 交流および直流のほとんどすべての電気車両電気方式の研究が可能となった。本設備は現在のところ国の内外を通じほかに類例のないものである。

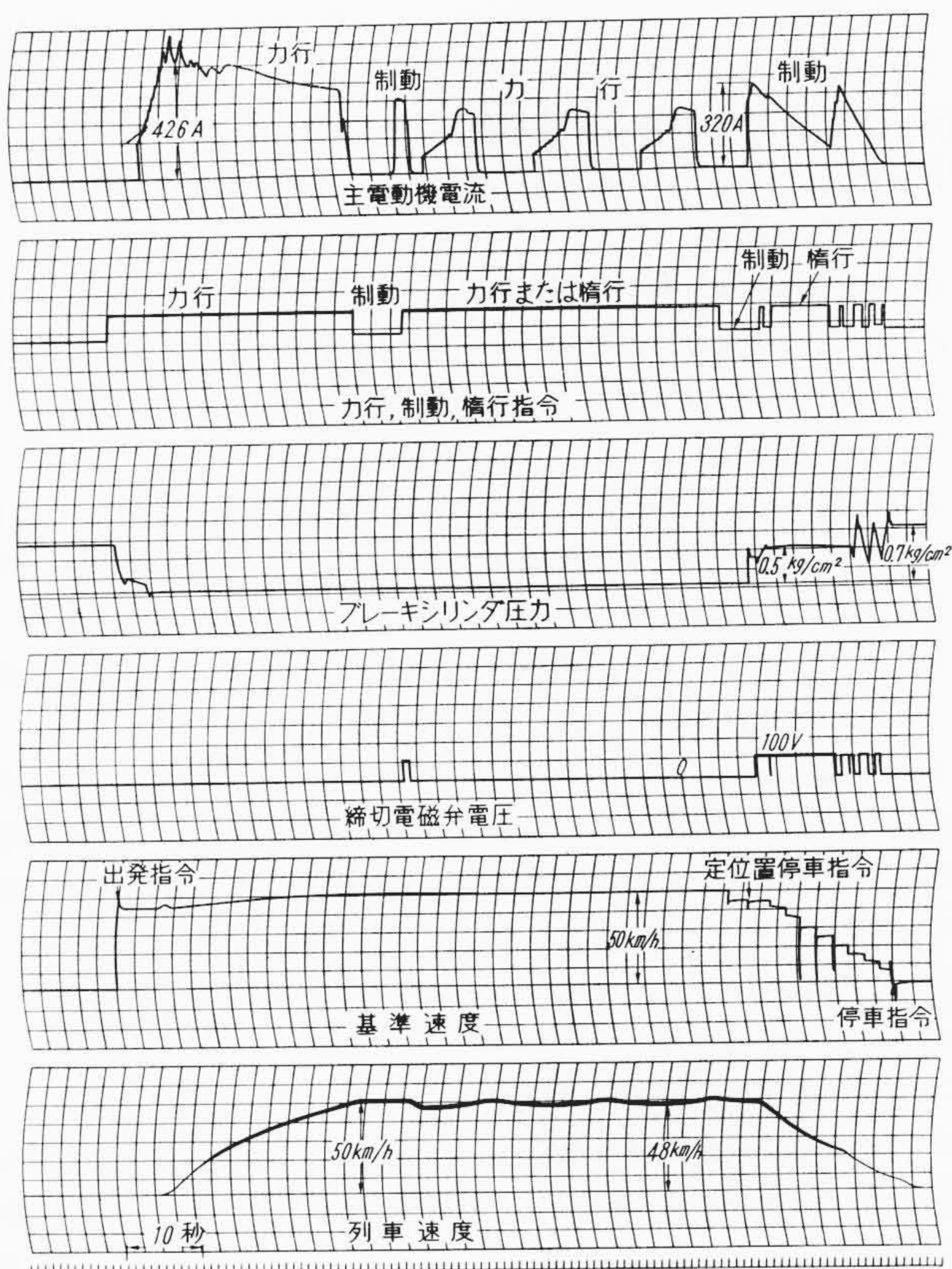
##### 28.4.2 動力台車実験設備

車両性能改善の研究を行なうために動力台車実験設備を完成した。本設備は、連結軸によって連結された3軸の軌条輪と、駆動用電動機、動力吸収用発電機、けん引力測定装置および操作盤を主体とし、実験台車を軌条輪の上にのせて実負荷をかけて運転し、これによって運転中の動力台車に関する各種の研究を定置状態で行ないうるようにしたものである(第53図)。

軌間1,000, 1,067 および1,435 mm, 最大軸重16 t の2軸および3軸台車を、最大牽引力20 t, 最高速度250 km/h で運転することができ、また偏心軌条輪を使用することにより、振動状態における実験も行ないうるようにしてある。本装置により台車の研究のみならず、粘着特性改善の研究、振動が主電動機整流に及ぼす影響など、車両性能改善一般に関する研究を行なうことができる。本装置はさ



第53図 動力台車実験装置



第54図 駅間自動運転オシログラム

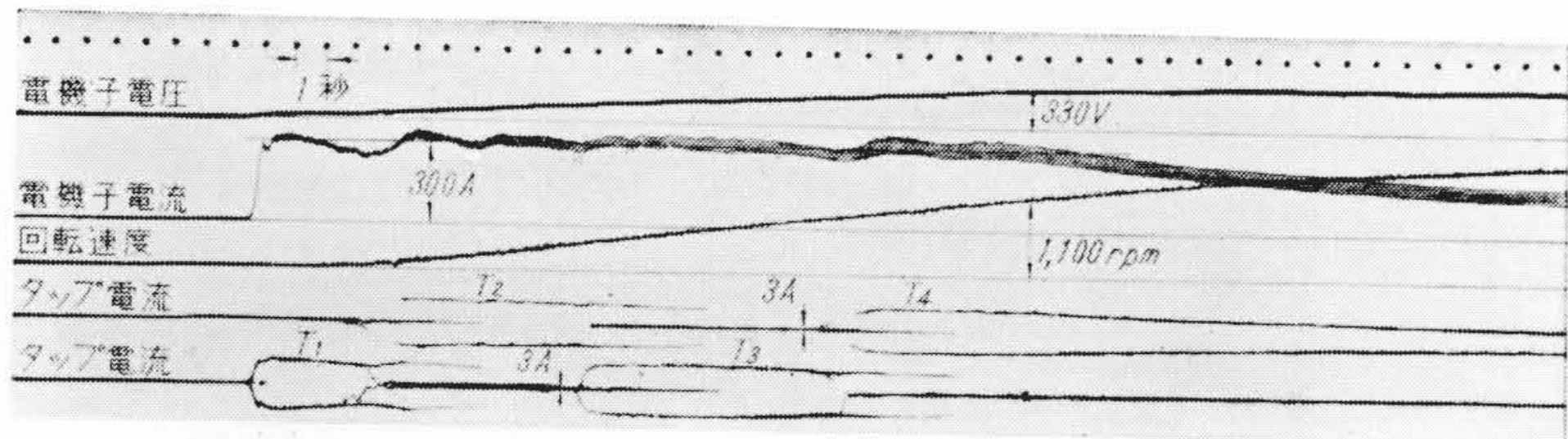
きに日立製作所亀有工場で製作し、国鉄技術研究所へ納入した車両試験台とともに国内屈指の台車研究設備であるが、特に3軸用としてはわが国ただ一つのものである。

##### 28.4.3 列車自動制御の研究

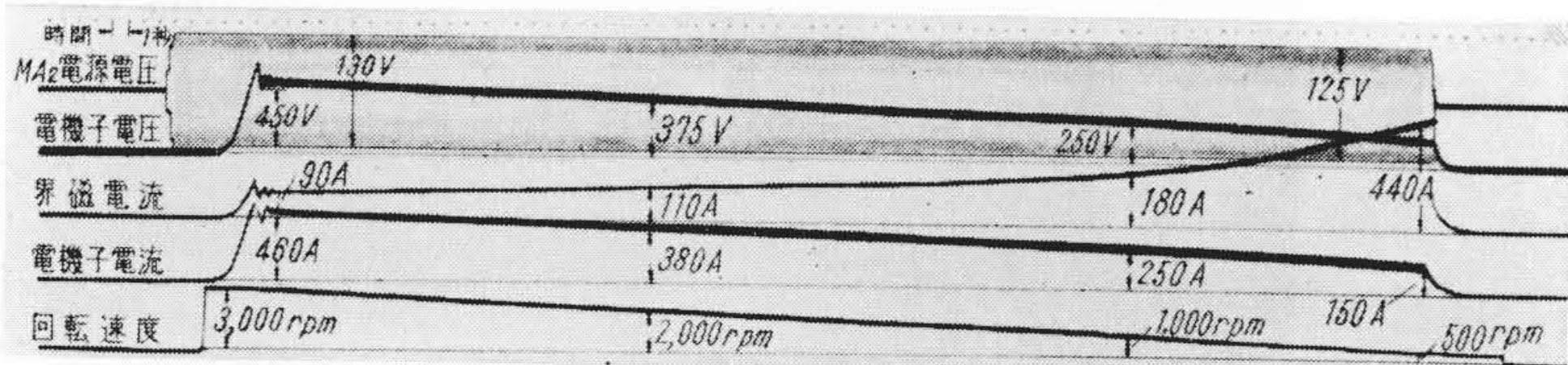
地上信号機に連動して列車速度を自動的に制限するATCには磁気無接点継電器を速度比較器、基準速度発生装置などに採用した磁気式自動列車制御装置を完成し、一方では架線を利用して信号を送る車内信号方式を開発した。この両者を組み合わせ現車試験を行なった結果、装置の動作は安定で信号現示に従って確実に列車速度を制限することができた。

次にこの装置を土台としてFRを利用した自動定位置停車装置を完成した。これは定位置停車の場合のみFRを車軸に連動して回転させ、走行距離に応じた基準速度プログラムを発生させて列車速度と比較し、電気制動、空気制動装置をon-off制御することにより

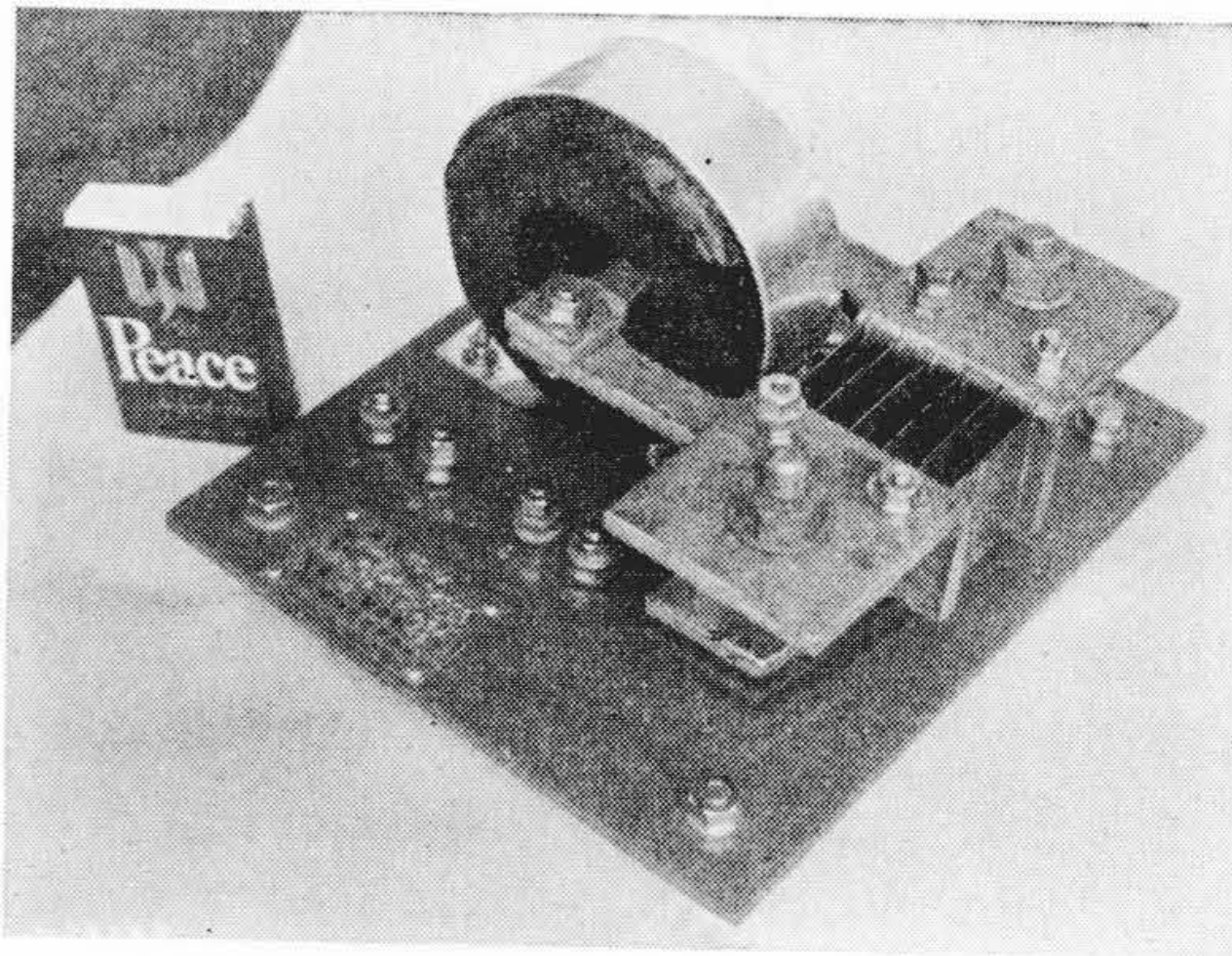




第 55 図 無電弧タップ切替起動オシログラム



第 56 図 発電制動オシログラム



第 57 図 磁気無接点限流継電器

定位置に停車させるものである。さらに FR の代りにさん孔テープを用い、テープ送り誤差、時間誤差補正装置を有するプログラム制御装置を完成、駅間自動運転も可能なものとした。等価実験の結果、装置の動作は確実で、定車位置のバラツキは標準偏差 0.5 m の結果を得た (第 54 図)。

#### 28. 4. 4 交流電気車の新制御方式

同一磁気増幅器を力行時には主電動機の電源装置として、また発電制動時には界磁励磁器として共用する、交流電気車の制御方式を開発した。

まず力行時には 2 個の磁気増幅器に主電動機電流を交互に分担させ、主変圧器のタップを無電流状態で切り替えるとともに、ノッチレスに主電動機を加速する。

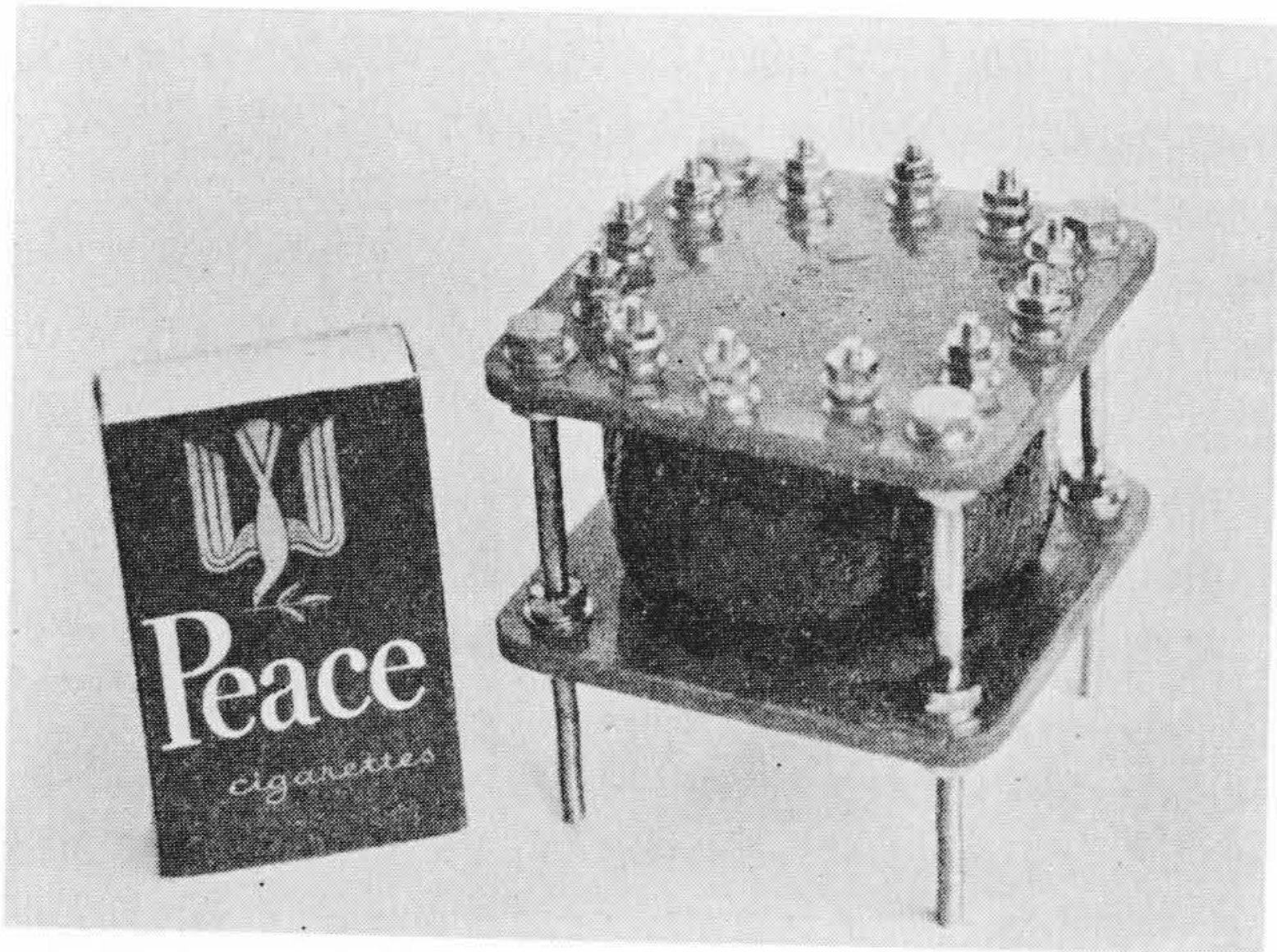
発電制動時にはこの磁気増幅器は、他励発電機として働く主電動機の制動電流を自動制御し、ノッチレスに主電動機を減速する。

本方式は、従来よく使用されている起動時の限流リアクトルおよび負荷時タップ切替開閉器、制動時の制動抵抗制御装置の代りに磁気増幅器を使用したもので、性能向上とともに車両重量の軽減も期待できる。

第 55、56 図はそれぞれ起動および発電制動のオシログラムの一例を示したものである。

#### 28. 4. 5 車両用制御機器の研究

東海道新幹線電車では列車速度がきわめて高いため、制動を空気制動のみで行なうことは困難で、電気制動が常に確実に使用できることが必要である。それゆえ、これに使用される磁気無接点式限流継電器は小形軽量で特性が安定であるということのほかに、その



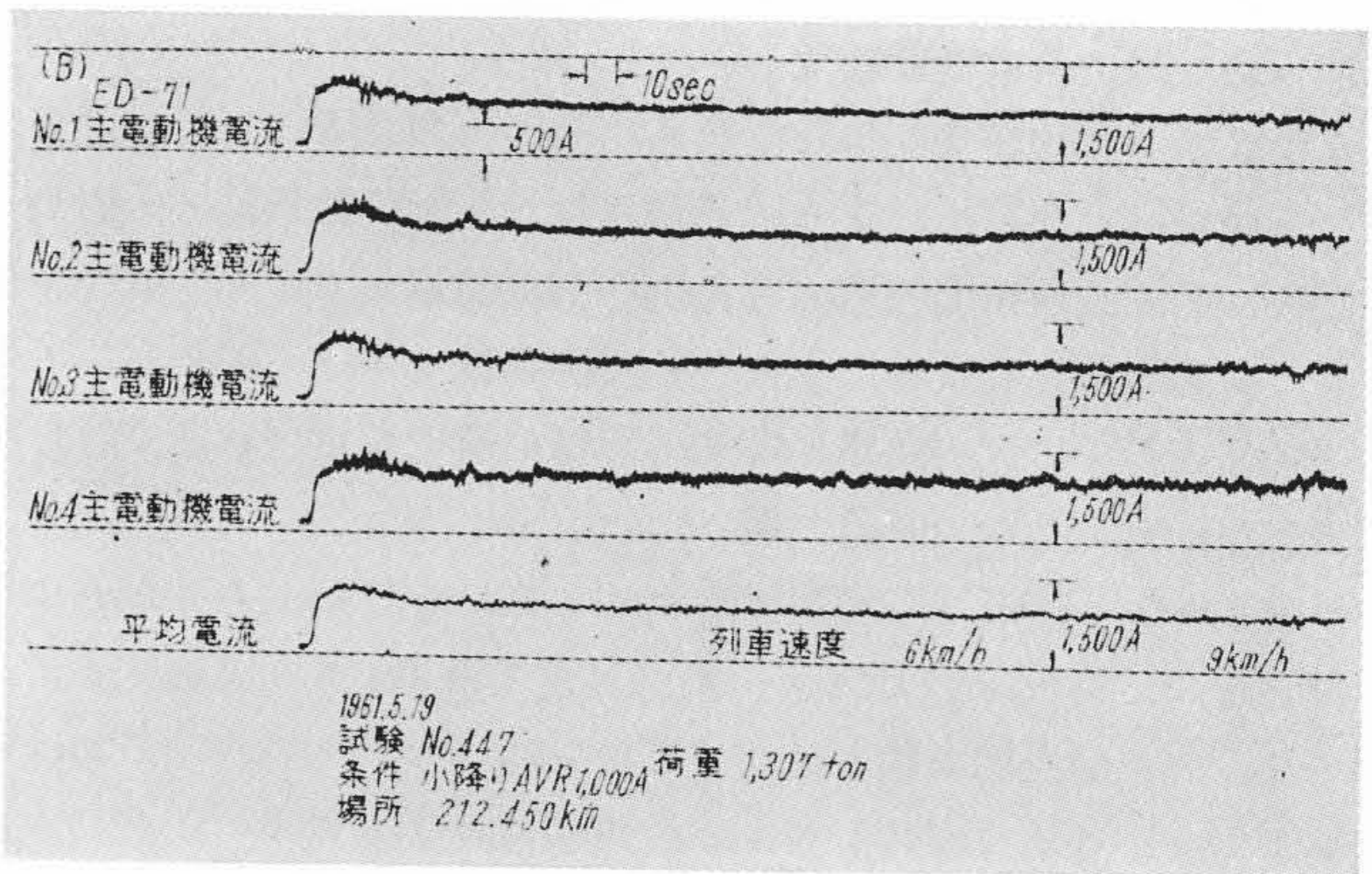
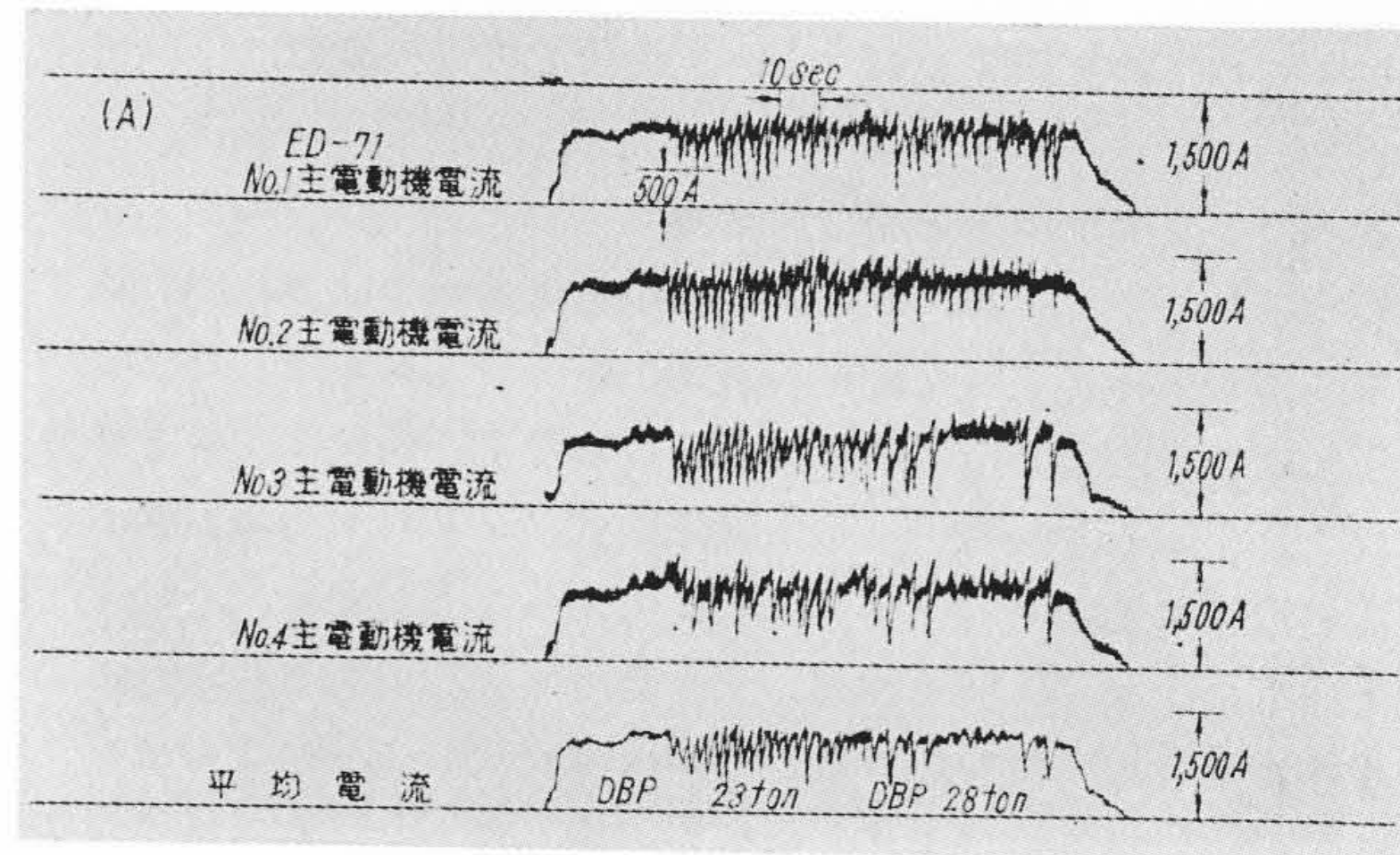
第 58 図 10 kc/s 50 W 磁気増幅器

電源を無停電電源にするよう計画されているため、電力消費量ができるだけ少ないことが望まれている。そのため、この目的に沿う装置の研究を行ない、最大消費電力 8 W、最大限流値 1,000 A、精度 5 A の特性の安定なものをうることができた (第 57 図)。

また、車両用キロサイクル磁気増幅器の開発研究を行なった。磁気増幅器の応答速度は電源周波数を増すにしたがって増加するが、鉄心と整流器に適当なものを用いないと増幅度が低下し、特性が不安定になることがある。この点の原因の究明を行ない、電流増幅度 60 倍、電力増幅度 3,600 倍のきわめて特性の安定な 10 kc/s、50 W 磁気増幅器を開発した (第 58 図)。

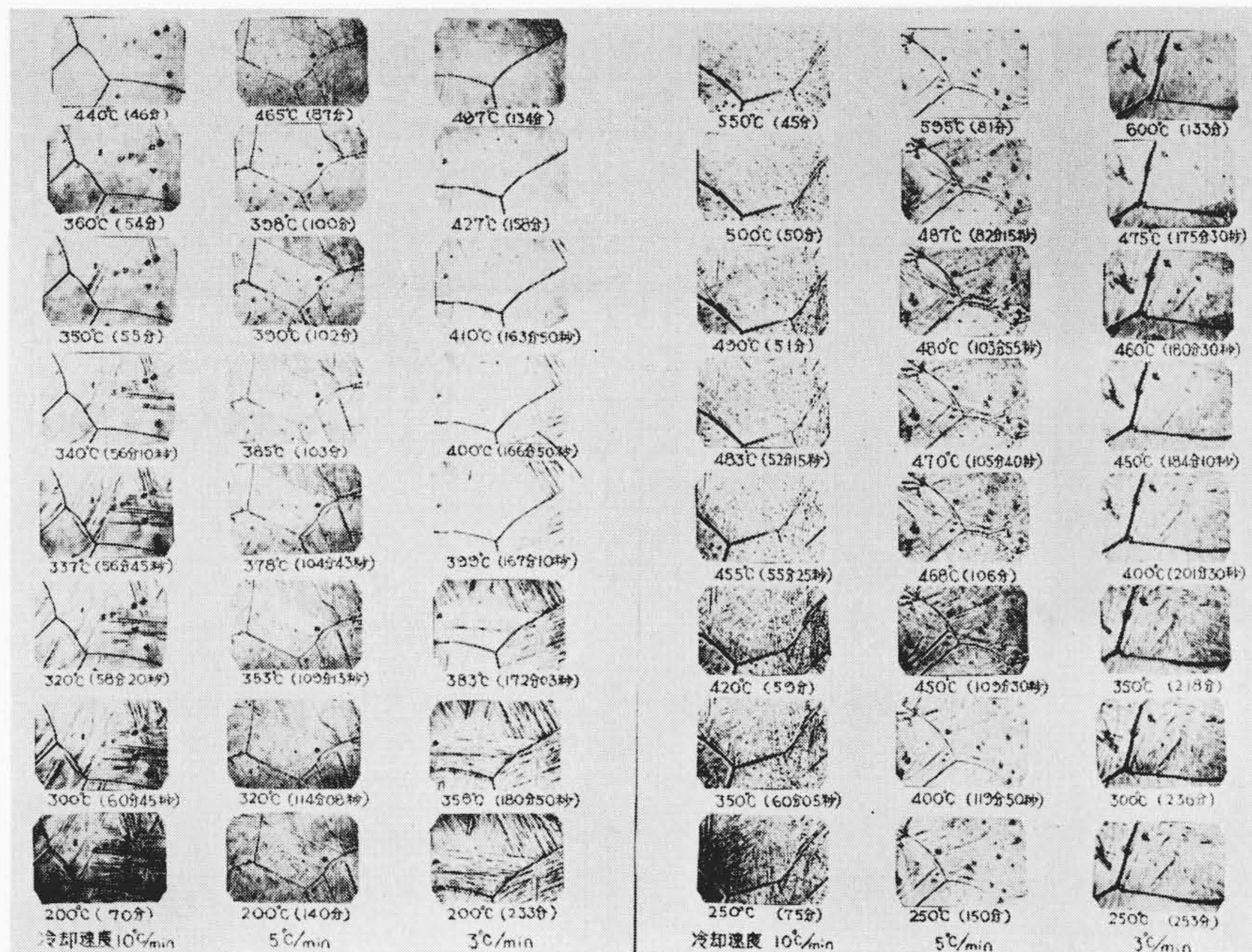
#### 28. 4. 6 新 ED-71 形機関車の粘着性能改善の研究

機関車の引張力は動輪とレールの間に生じている摩擦力、すなわち粘着力よりも大きくすることができない。ところで、粘着力は絶えず変動しており、起動時の低速の状態では普通、粘着係数で 20% から 50% の間に分布している。空転が大きくなるとこの分布が大幅に下のほうへ移動するので、微小空転の状態での粘着力をすべて

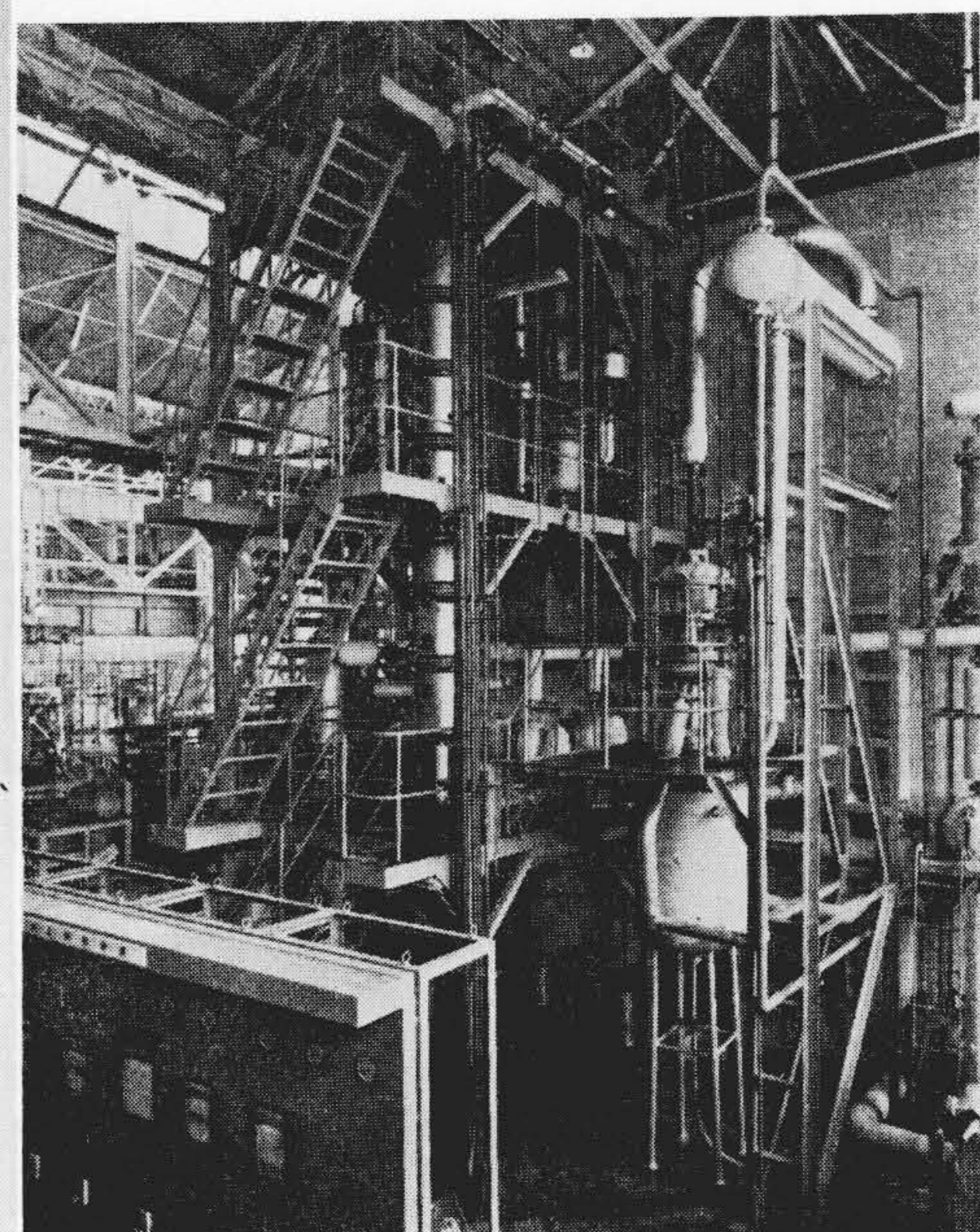


第 59 図 新 ED 71 形機関車こう配起動試験時の電動機電流オシログラム





第60図 タービンシャフト材の高温顕微鏡組織写真



第61図 精留プラント研究設備

利用すると平均35%の粘着係数となる。新ED-71形機関車では自重が67tであり、これで1,300tの負荷で10%のこう配を起動することを目標にしている。この程度の粘着係数が必要となる。これを実現するため研究を行ない、さらに国鉄はじめ関係各工場と協力して現車試験を行ない電圧制御装置を改良した。その結果、昭和36年5月東北本線で国鉄技術研究所と協力して行なった試験では1,307tの負荷で10%のこう配を雨中で起動することに成功した。雨中における最高引張力は29t(動輪周換算30.5t)を記録した。第59図はこの試験のオシログラムである。

## 28.5 その他

### 28.5.1 タービンシャフト材の焼入過程における組織の観察

タービンシャフト材の焼入過程における組織の変化を高温顕微鏡により観察し、これを35mm写真および16mmカラー写真に撮影した。その結果これから次のようなことがわかった。すなわちNi-Mo-V鋼は900°C、Cr-Mo-V鋼は1,010°Cからそれぞれ10°C/minの速度で冷却するとベーナイト変態は恒温変態図と冷却曲線との交点よりも100°C低い温度から開始する。そのベーナイト変態は結晶粒界および非金属介在物を核として発達するが、双晶のところでの成長は阻止されることが知られた。

第60図は両鋼種を3, 5および10°C/minの冷却速度で焼入れた場合の代表的な組織変化写真である。

### 28.5.2 精留プラントの研究

化学プラントの中心をなす精留塔は、最近段効率および制御の両面からみですぐれた構造のものが要求されてきている。

このため塔内の流動、段効率、単一塔およびプラント動特性などの実験ができる精留プラント総合研究設備を作り、実験を進めている。実験プラントを第61図に示す。

塔内構造は棚段を自由に入れ換えられるようにし、従来の泡鐘、多孔板塔以外に新しい塔構造を開発している。すなわち各種の塔内容各棚段は、まず大口径アクリル塔で空気-水系などにより流動実験を行なって基礎的流動特性を求め、次に中規模のアクリル単段塔で実際に精留作用をさせながら流してみる。こうして流動特性が明らかになった棚段は、全段入れ換えた完全な塔を作り、精留効率および動特性を解析するわけである。

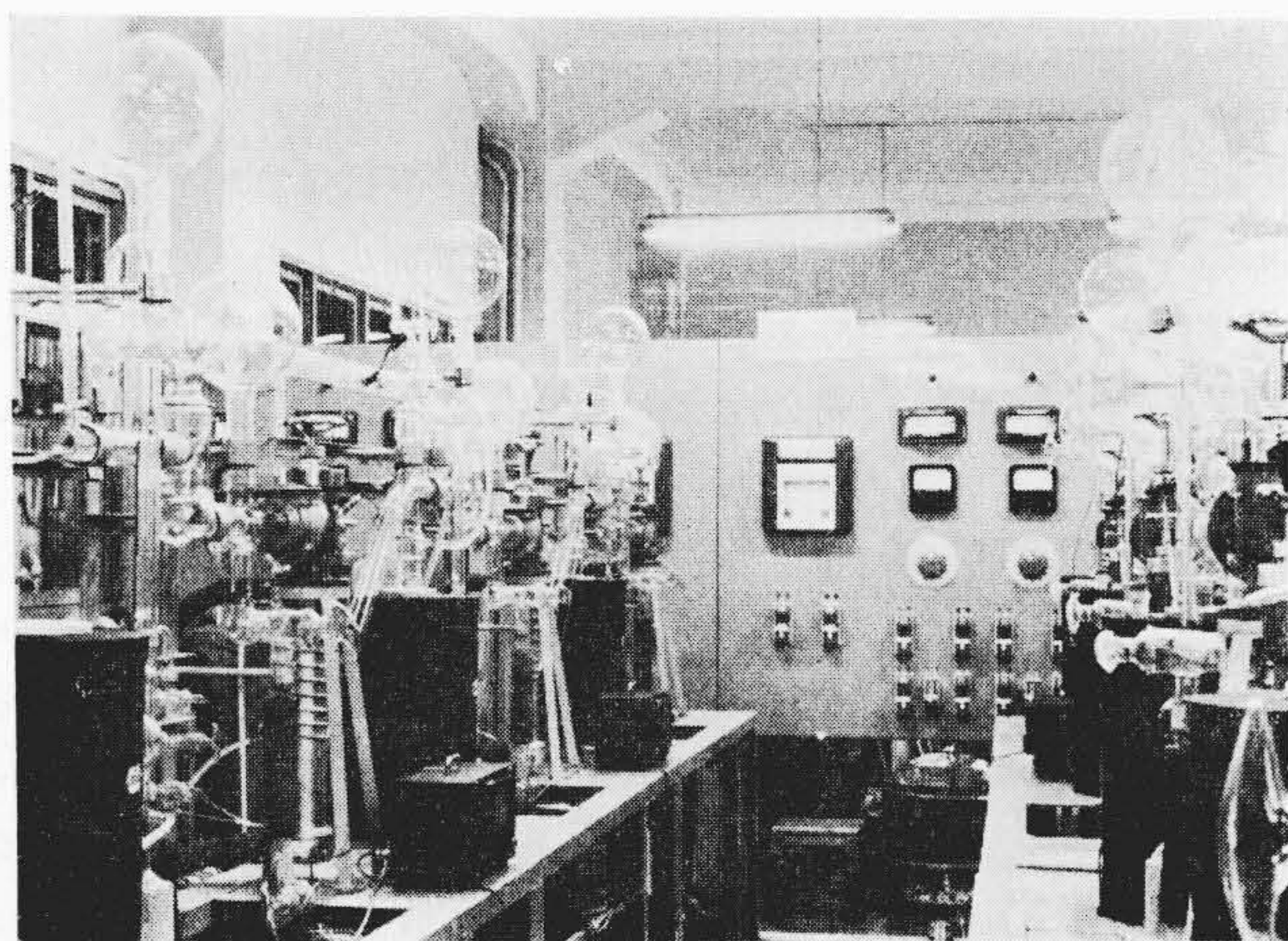
プラント名所の温度、圧力、流量および必要に応じて濃度は自動記録される。熱源にはダウサム・ボイラを使用した。

### 28.5.3 ボイラ管材の腐食の研究

最近の大容量新鋭火力ボイラの蒸発管では管壁に接する部分でボイラ水が濃縮され、高濃度のアルカリ性溶液を生じ、蒸発管がひどい腐食を受けることがある。したがってボイラ用鋼材の高温高圧アルカリ水溶液に対する腐食性の究明がきわめて重要であるが、高温高圧の高濃度アルカリ溶液による腐食実験を行なうには種々の困難がある。そこで高温高圧水による鉄の腐食研究に用いられている水素放出法(カプセル法ともいう)を高濃度アルカリ溶液にはじめて用い、かねてよりこの研究を行なってきたが、昭和35年から36年にかけて設備をさらに増強し、ボイラ蒸発管の腐食現象の解明およびその防止に万全を期している。これまでのところ0.05~10Nのカセイソーダ溶液を用いて200~350°Cの範囲で実験し、濃度および温度が高くなると腐食が激増することを認め、カセイソーダにより腐食が促進される機構が酸化皮膜の溶解再結晶による保護性の減少にあることを推定した。

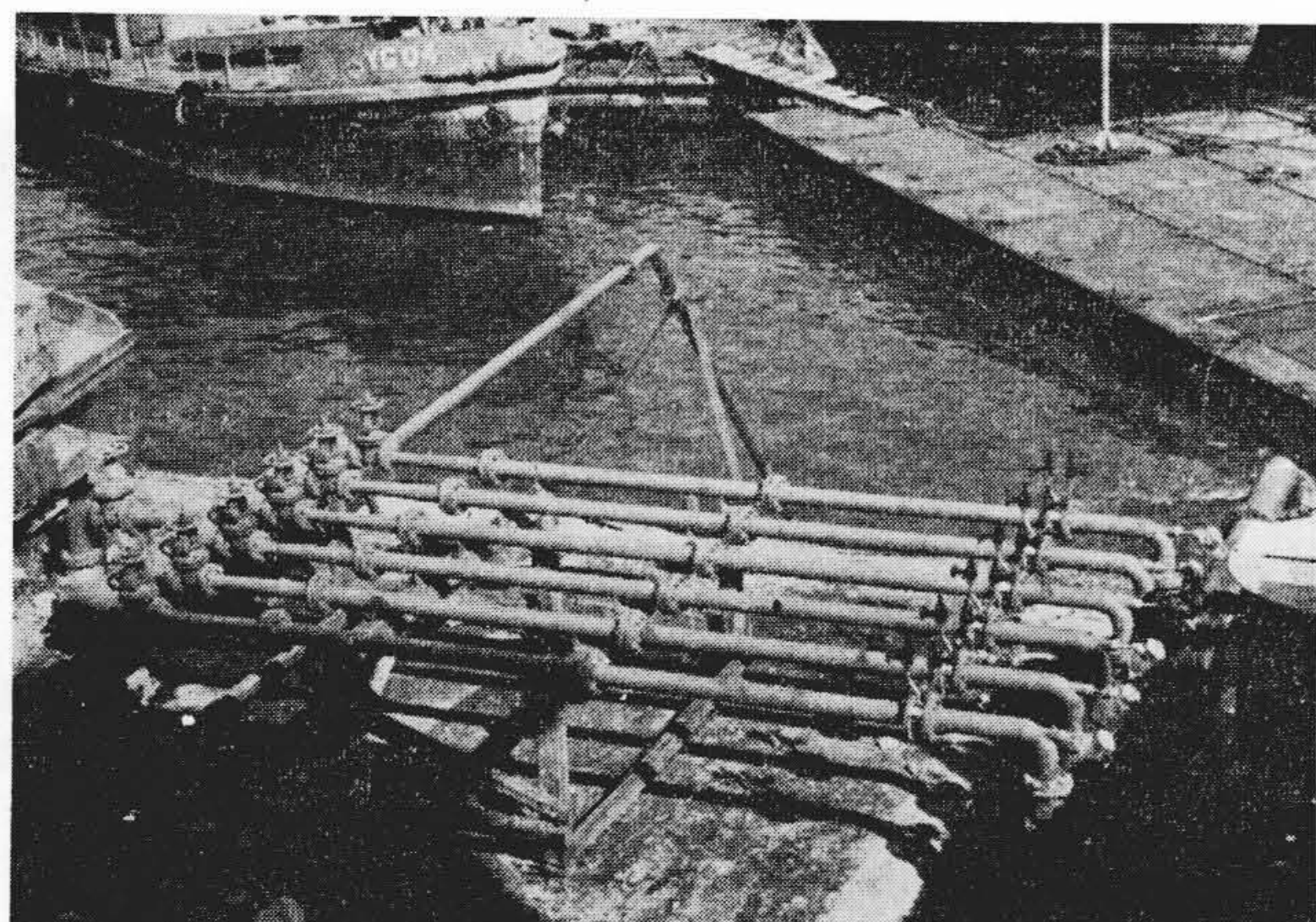
### 28.5.4 復水器冷却管材の腐食の研究

近年火力発電所の冷却海水の汚染がはなはだしく、これによる冷却管材の腐食がひん発している。ボイラが大容量化するにつれ、そ



第62図 水素放出法による腐食実験設備





第 63 図 復水器冷却管材腐食実験装置

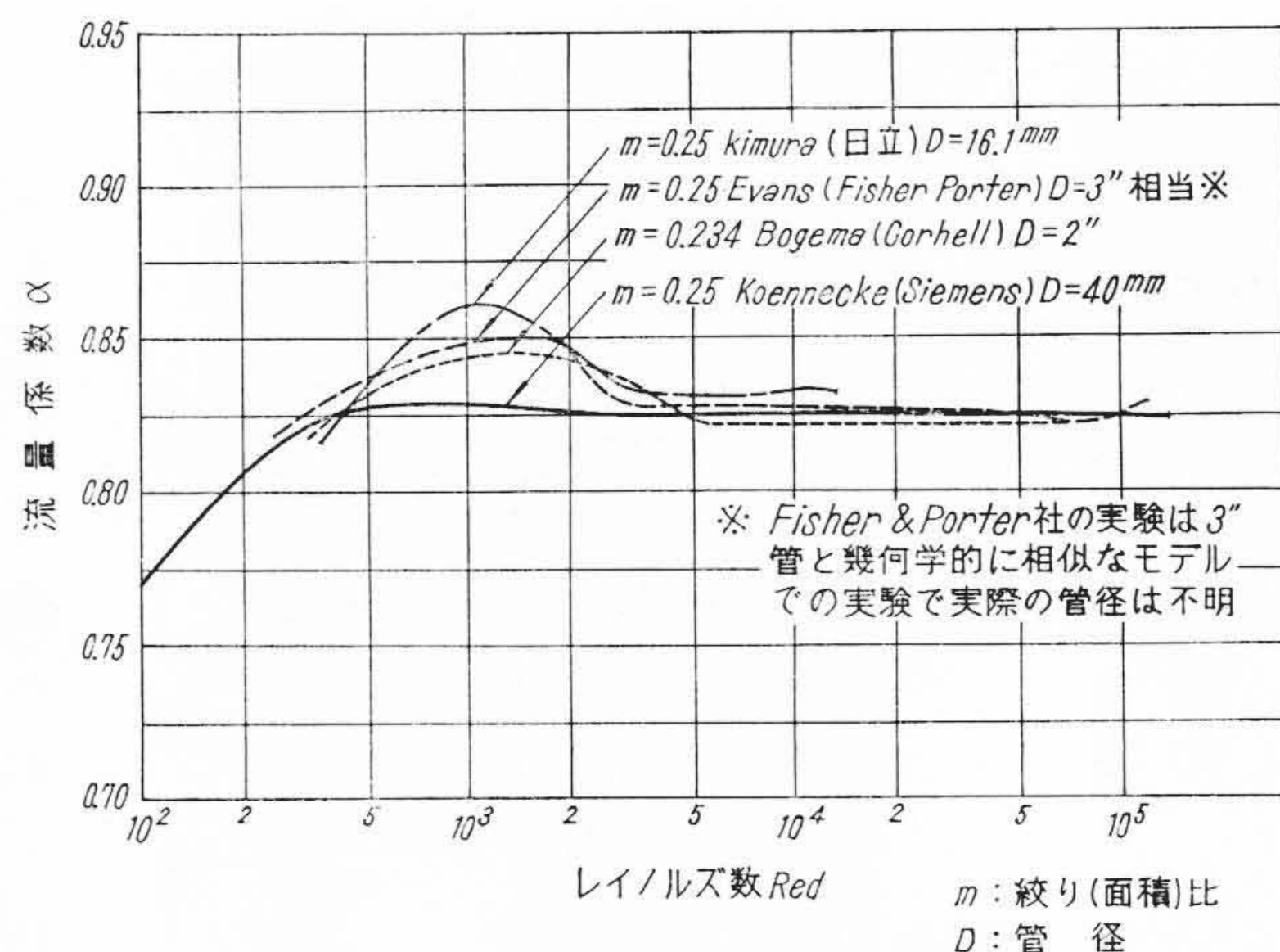
の給水はますます高純度のものが要求されつつある現在、このような海水漏えいによる給水の汚染は火力発電所の保守に重大な影響をもたらすものである。この事態に対処するため人工的に汚染海水を作り、各種管材の腐食状況の比較検討および腐食機構の解明を行ない、冷却管材質の選択基準を作成するため実験装置を設置し実験中である。第 63 図はその実験装置である。

#### 28.5.5 四分円ノズルの特性

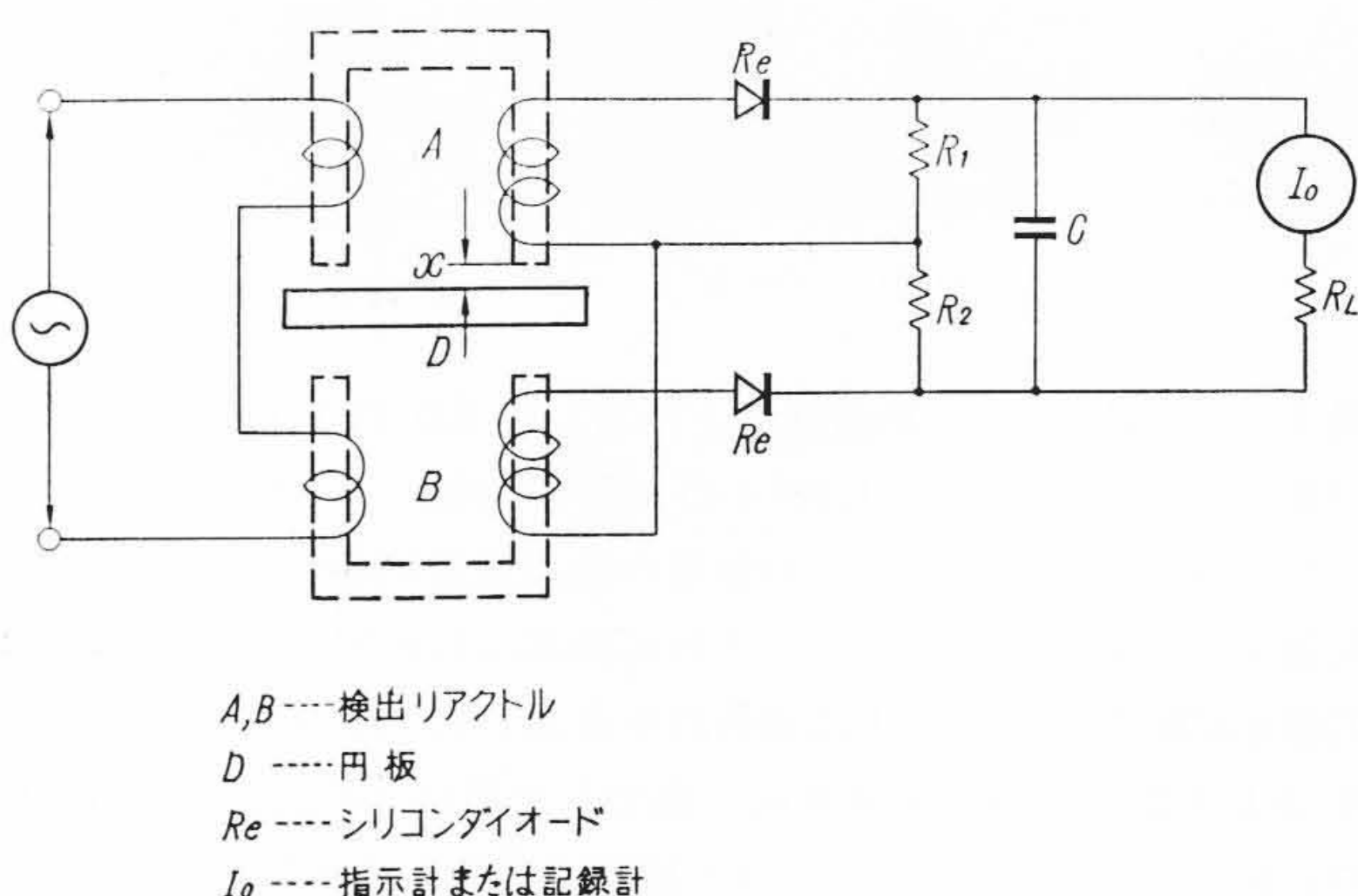
最近、重油燃焼制御や化学工業方面では、高粘度または小管径のためレイノルズ数の低い流体の流量計の要求が増えてきたが、標準オリフィス、ノズル、ベンチュリでは適用可能なレイノルズ数の最低限界  $(Re_D)_{min}$  を越すため使えないことが多い。四分円ノズルは限界レイノルズ数が低くこの目的に適しているが、まだ規格化されていないので、一般に W. Koennecke の仕様およびデータを基にして使用されている。しかし、管径 40 mm 以下に関してはまったくデータがないので、管径 16 mm 用で絞り面積比  $m=0.05\sim0.48$  の四分円ノズルを試作し、差圧取出しはコーナータップにより、また上流直管部は 1.30 m とし、水、温水、グリセリン水溶液を流してレイノルズ数 100~40,000 の範囲で流量検定を行なった。その結果、流量係数自体はこの程度の小管径でも Koennecke のデータが適用できることがわかったが、限界レイノルズ数  $(Re_D)_{min}$  は 250~700 というかれのデータとはまったく異なり 1,000~3,000 という値を得た。その後アメリカで発表された M. Bogema の 2 インチ管での実験でも  $(Re_D)_{min}=3,000\sim5,000$  という結果が得られており、これらの結果を比較すると第 64 図のようになる。また、最近発表された永松定裕氏らの空気を流体としたノイレチ管における実験でも  $(Re_D)_{min}$  が 1,000~3,000 となっている。この原因をみると Koennecke の実験では上流直管部の長さが管径の 24 倍であるのに反し、Bogema は 36 倍、Evans は 60 倍、われわれや永松氏らのものでは 90 倍になっている。つまり、Koennecke の実験ではたまたま直管部の長さが不足していたため 300~400 という低い値まで流量係数が一定になったものであり、したがって、管径のいかんにかかわらず  $(Re_D)_{min}$  は従来のように 250~700 という低い値を適用することはできず、約 3,000 ( $m=0.16\sim0.48$  の場合) に改めるべきであるという結論に達した。

#### 28.5.6 伸び差計

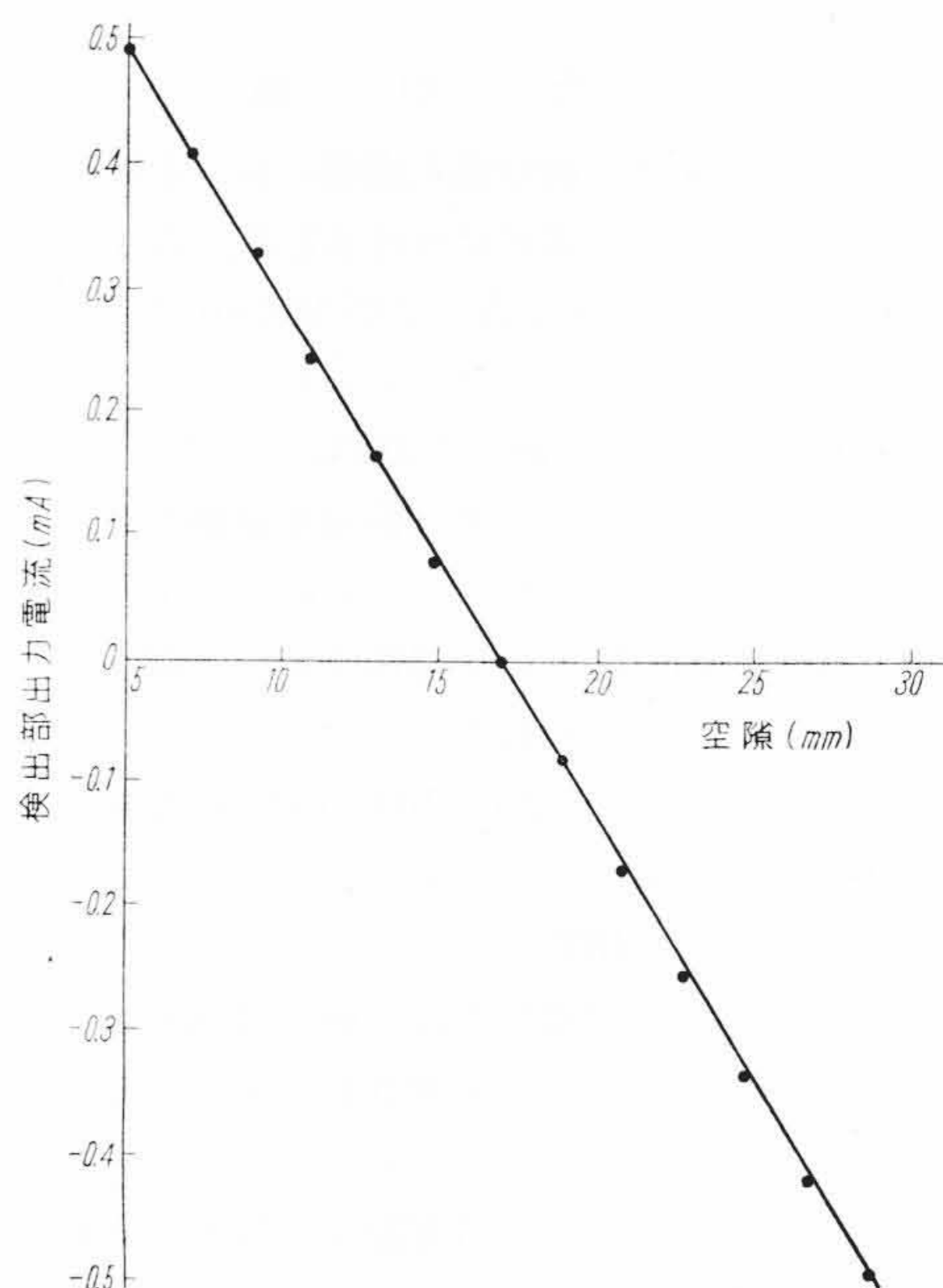
従来の伸び、伸び差計の検出部はブリッジ形の自動平衡方式であるため、関数抵抗を用いて検出部の直線化を計っている。したがって指示のみで記録を要しない場合でも平衡機構を必要とし、さらに伸び、伸び差を一つの計器で記録する場合は平衡機構が 2~3 個必要となる。そこで装置全体として簡単で、しかも検出部特性の直線性の良好な伸び差計を開発した。



第 64 図 各実験者による四分円ノズル流量特性曲線の比較



第 65 図 検 出 回 路



第 66 図 検 出 部 特 性

検出回路は第 65 図のように、2 個の検出リアクトル A、B を一定の空きを隔てて取り付け、その中間をタービンシャフトに取り付けた円板 D がロータとケーシングの熱膨脹差により変位するような構成となっている。リアクトルの一次コイルは直列に、二次コイルは差動的に接続されているので、円板 D の変位の方向と大きさは



負荷抵抗  $R_L$  を流れる出力電流  $I_o$  の方向と大きさによって知ることができる。しかし、一般に空けきと  $I_o$  との関係、すなわち、検出部特性は弯曲し、直線性がないのが普通であるが、適当な抵抗値の  $R_L$  を並列に接続し  $R_1$ ,  $R_2$  に流れる電流を空けきに対して  $V$  特性をもたせてその特性の直線化を図り、さらに  $c$  を  $R_L$  に並列にそう入して直線範囲を拡大してある。

特性は第 66 図のように、空けき変化約 22 mm に対し直線性がある。なお、周波数変動、温度変化による指示誤差も小さく、所期の目的を達することができた。

### 28.5.7 低導電度液用電磁流量計

電磁流量計は普通導電度が  $100 \mu\text{S}/\text{cm}$  以上あれば、液の物理的、化学的性質の影響を受けずに使用できる。液の導電度が  $100 \mu\text{S}/\text{cm}$  以下になると、出力電圧が減少し、正しい流量測定がむずかしくなる。これは第 67 図に示す電磁流量計の等価回路を考えれば明らかである。液の導電度が低下し、発信器の内部抵抗  $R_i$  が大きくなると、増幅器入力端子に誘起される電圧は減少するを免れないからである。これには、(1) 接続ケーブルに静電容量の小さいものを使用すること、(2) 増幅器の入力インピーダンスを大きくすることの考慮を加えれば、当然、誘起電圧を大きくすることができる。

この目的に特殊な接続ケーブル（静電容量  $37 \text{ pF}/\text{m}$ ）を 5.5 m 使用し、かつ、入力インピーダンスを負帰還によって  $35 \text{ M}\Omega$  に増大せしめた増幅器を用いた実験では、液の導電度  $5 \mu\text{S}/\text{cm}$  で出力電圧は 1.5% 程度の減少に止まる。この実験結果を第 68 図に示す。このとき、発信器の容器定数は  $1.38 \text{ cm}^{-1}$  ゆえ、 $5 \mu\text{S}/\text{cm}$  のときの内部抵抗は大体  $280 \text{ k}\Omega$  くらいになり相当大きい。

実際は各部インピーダンスの増加に伴い、静電的に誘起される雑音電圧がきわめて大きくなる。特に発信器の励磁コイルと電極リード線の静電容量によって発生する電圧は著しい。この電圧には流量信号と同相な成分が含まれ、誤差となるから消去が必要である。励磁コイル、電極リード線間にシールド板を設けること、2 個の励磁コイルの電位が等しくなるように励磁巻線を分割して巻くことによって 30~40 dB 雑音を減少せしめることができ問題はない。

$5 \mu\text{S}/\text{cm}$  というのは実測によると純度 98%（残りは水）のアルコールの導電度に相当し、この程度の導電度を持つ液はこのほかにも種々存在すると思われる。ただ、低導電度の液の場合は出力電圧の減少を押える意味から発信器、増幅器間の接続ケーブルの長さが数 m 以下に限定されることはやむを得ない。

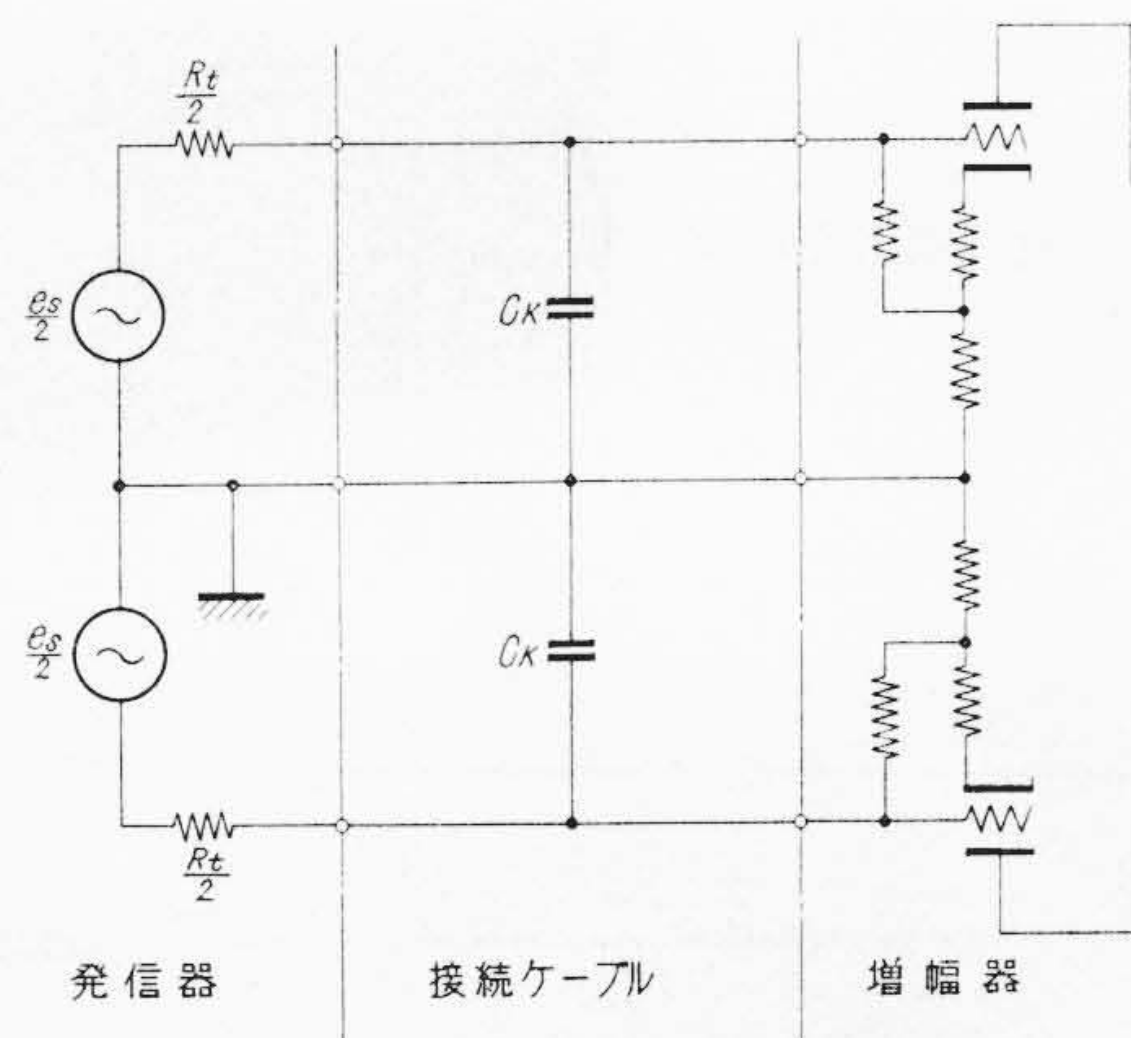
### 28.5.8 サーマスタ式微小液体流量計および液面制御器

#### (1) 微小液体流量計の特長とその概要

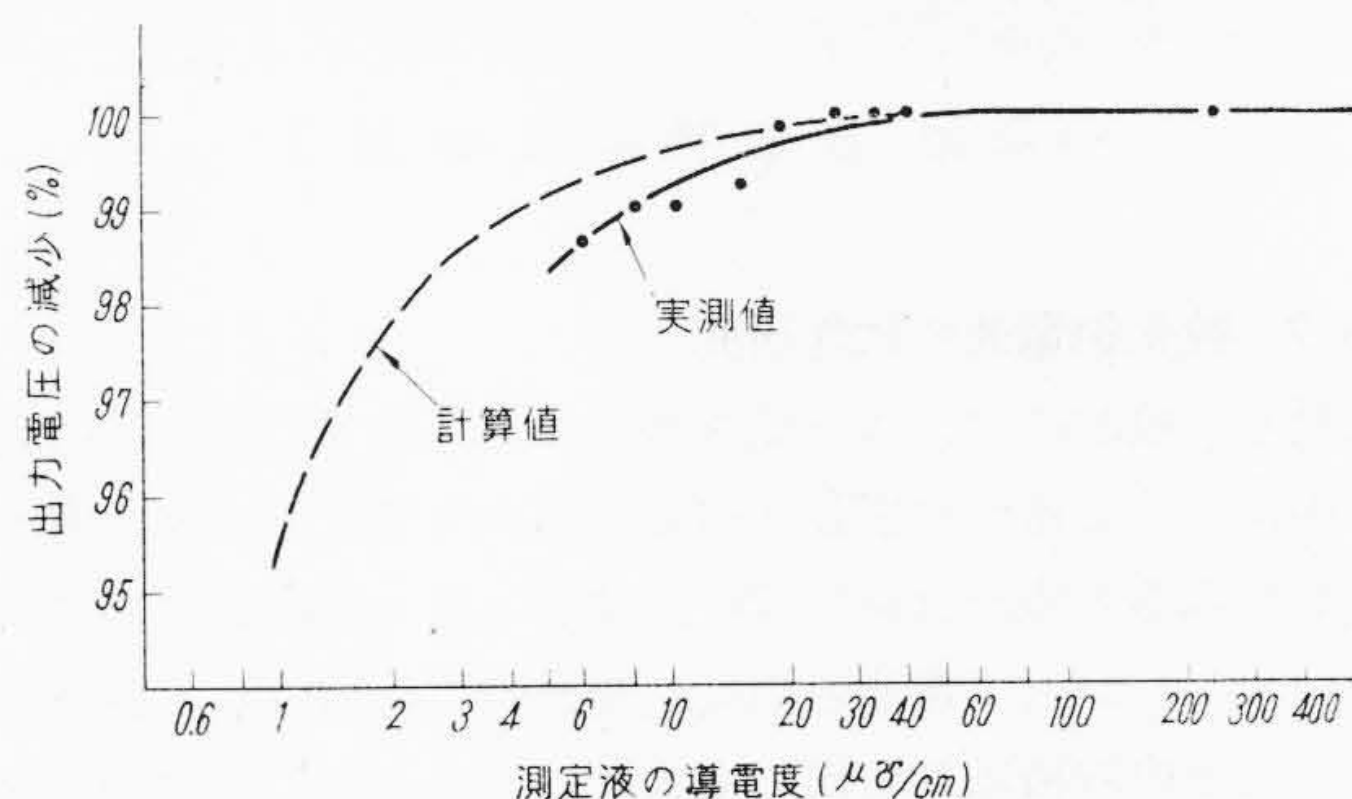
京都大学納迫利計算制御式エステル化反応装置に用いるサーミスタ式微小液体流量計および液面制御器を開発した。従来用いられている方法では流量が非常に小さいために、感度不足などを生じ、測定が非常に困難であったが、サーミスタの放熱係数が液体の移動速度によって変るのを利用することによって簡単に測定できるようになった。この原理はブリッジ入力電流を一定にしておき、流速の変化によって生じる不平衡電圧をメータまたは記録計で読むことである。本装置は流量計発信器、サーミスタ検知器、恒温槽から構成されており、出力電圧が周囲温度の影響を受けるのを避けるために温度補償が必要であるが、本装置では恒温槽を用いて検知器部分の液温を  $40 \pm 0.5^\circ\text{C}$  とし、この影響を避けた。流量は記録計に記録される。第 69 図に流量計発信器、第 70 図に検知器の外観図を示し、本装置によって、酢酸 0~5 l/h、水 0~5 l/h、ブタノール 0~25 l/h およびこれらの原料より生じたエステル 0~10 l/h の測定記録ができる。

#### (2) 液面制御器の概要

液面制御器も流量計と同じように、サーミスタの放熱係数は気

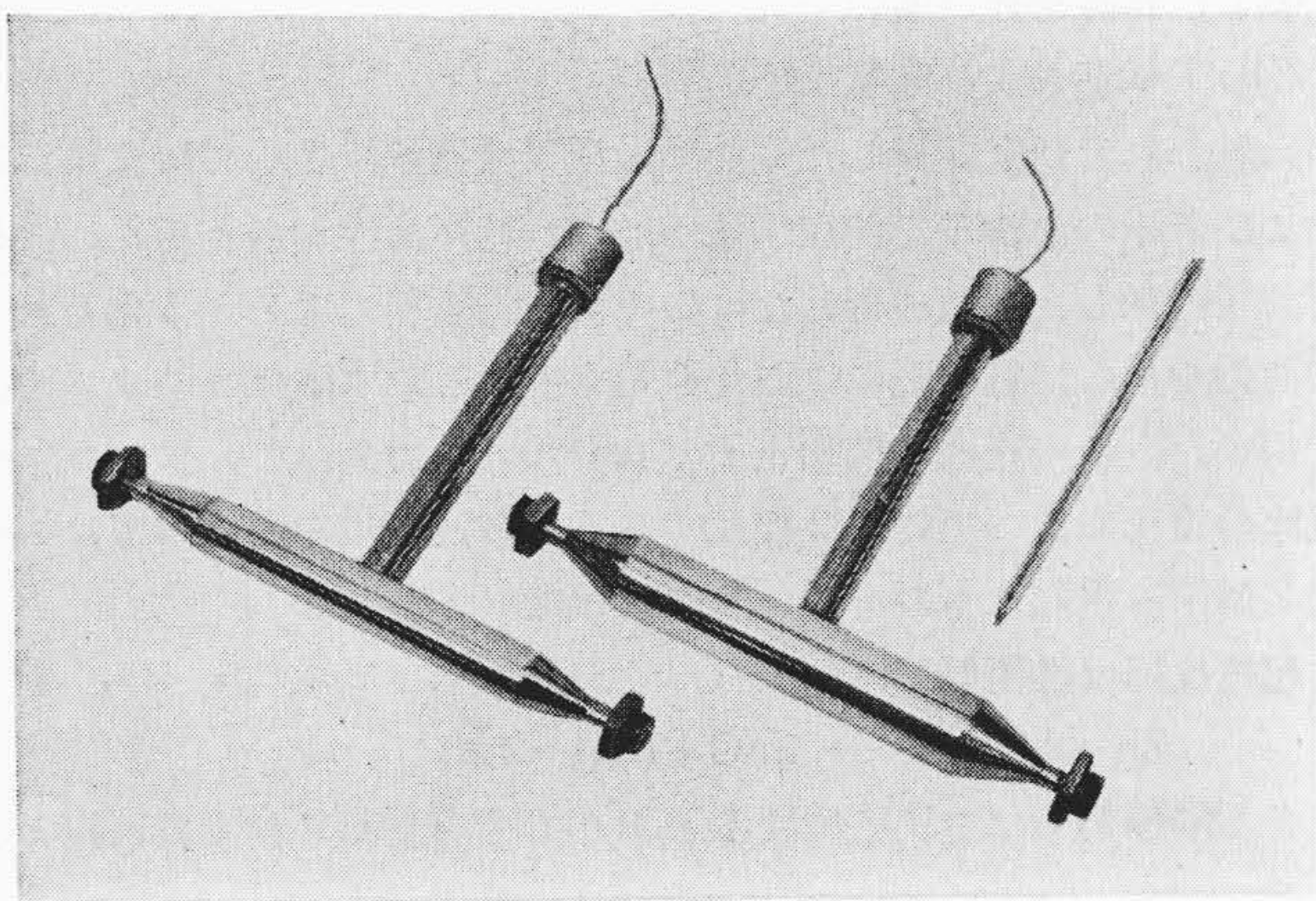
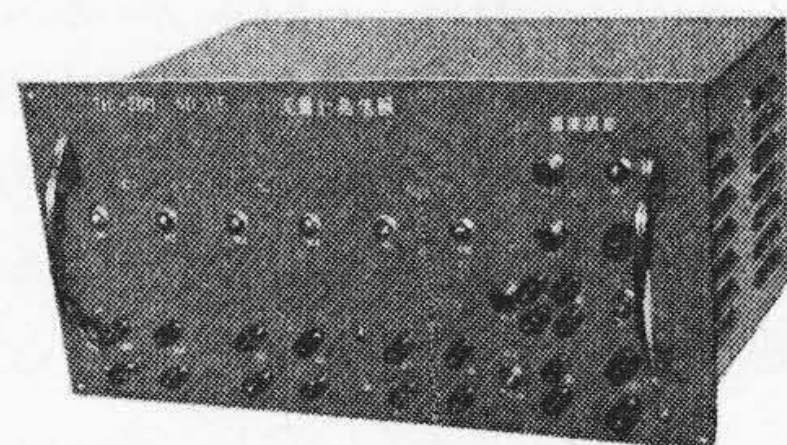


第 67 図 電磁流量計等価回路



第 68 図 測定液の導電度と出力電圧の関係

第 69 図 流量計発信器



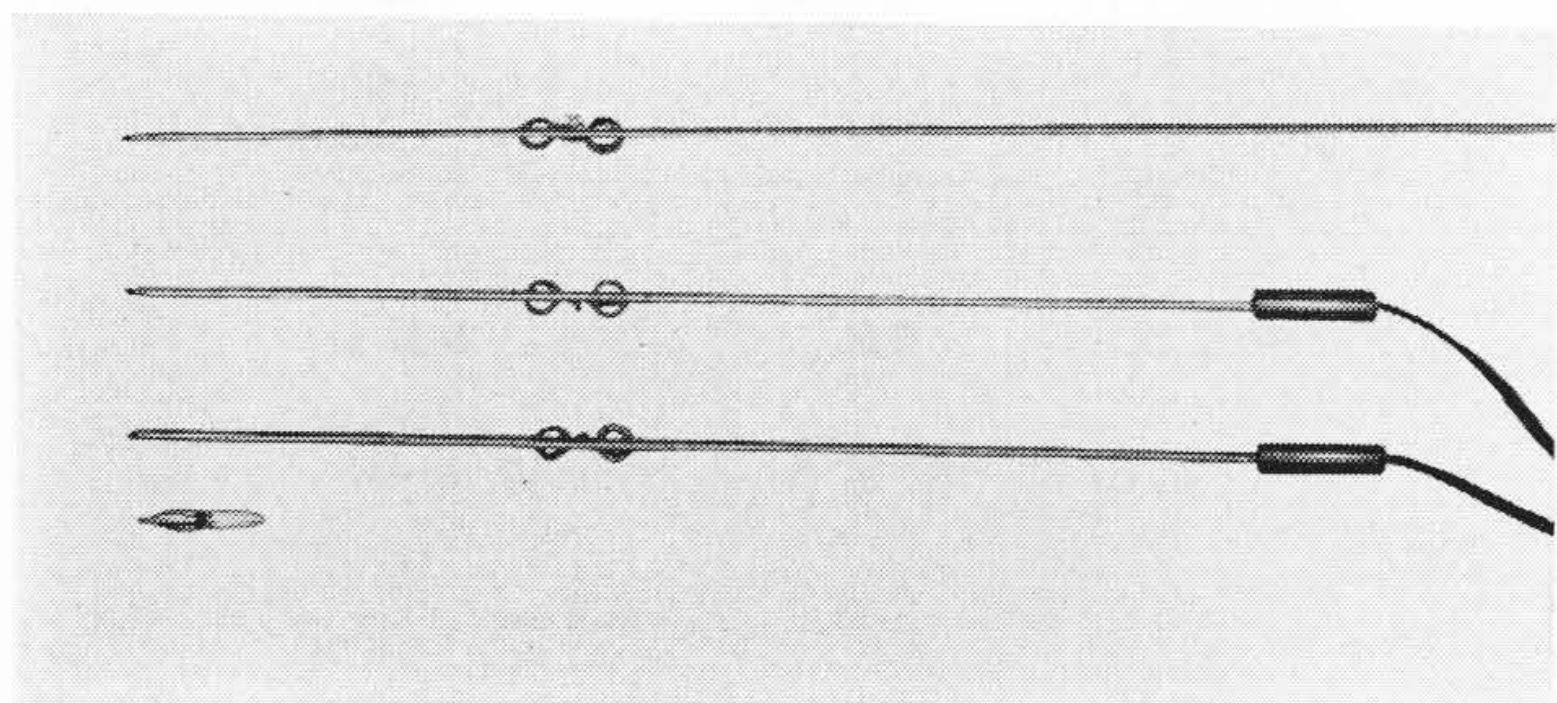
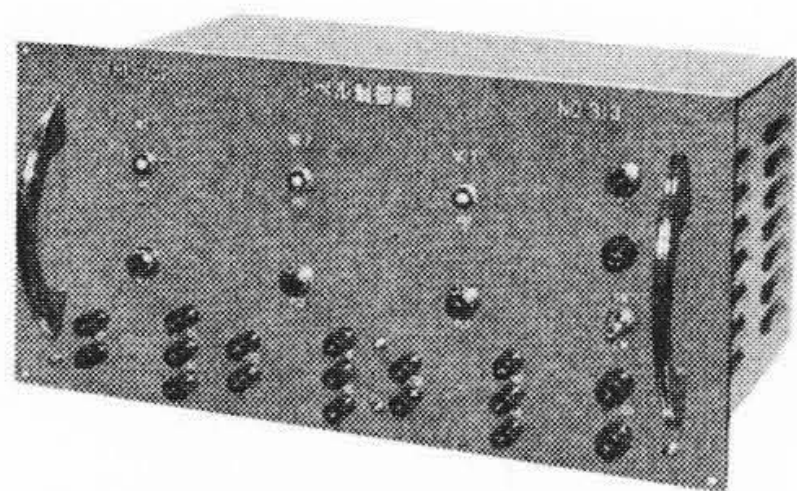
第 70 図 流量計検知器

体中と液体中で大きく変化し、この比は 1:3 になるので、サーミスタの端子電圧は 1.8 倍以上に上昇する。この出力電圧の急変を利用して簡単な装置で、高感度に液面の自動制御をすることができる。

本装置は制御発信器とサーミスタ検知素子とから構成され、第 71 図に制御発信器、第 72 図に検知素子の外観図を示す。検知素子は周囲温度の変化により影響を受けるので温度補償を行なっており、本装置により水、酢酸、ブタノールの液面の制御を行なえる。



第 71 図 液面制御発信器



第 72 図 液面制御検知素子

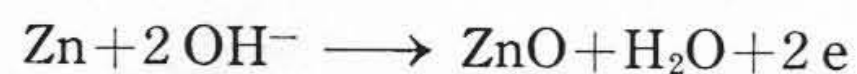
### 28.5.9 酸化銅電池の試作研究

従来最も一般的にマンガン乾電池が使用されているが、同乾電池は使用中における電圧の変動が著しいばかりでなく、また電池の反応機構からみると電池材料の 70% はまったく電流発生には役だっていない。したがって電池の消耗、交換の点からみると経済的ではなく、また単位容積当りの出力も大きいものとはいえない。たとえば UM-2 形 (単 2) 乾電池は JIS によると  $4\Omega$  の定抵抗を用いて放電を行なっているが、終止電圧が  $0.85\text{V}$  に達するまでの持続時間が 2 時間ばかりである。このように放電寿命が短い欠点があるのでさらに小形で長寿命な乾電池の研究が各所で進められている。この特長をもつものとして水銀乾電池があり、これはマンガン乾電池の 4~8 倍の電気容量をもつといわれている。しかしこの電池は低温特性が悪い欠点があり、またそのほかに難点があるので一般的に使用されるまでには至っていない。われわれはこれらの諸点のいずれをも改良しすぐれた乾電池を研究開発した。以下にその構造、起電反応および特性を述べる。

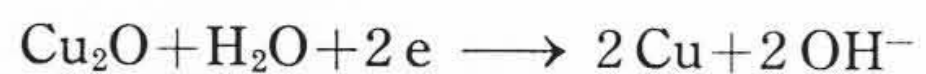
#### (1) 構造および起電反応

われわれの研究開発した電池は陽極 (減極剤) として酸化第二銅および若干の添加剤を使用するが、これに電導性を与えるため黒鉛を若干添加し、加圧成形したものである。陰極にはしょう化した粉末亜鉛を用い、電解液には酸化亜鉛を添加した水酸化カリウム溶液を用いた。この電池の使用電圧は  $0.5\sim 0.8\text{V}$  であって、マンガン乾電池の電圧に比べて約  $1/2$  程度であるから、使用にあたってはこれを 2 個積み重ねたものを用いねばならない。

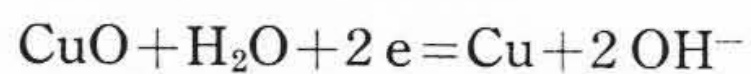
起電反応は陰極側では



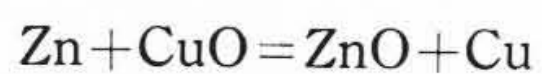
また陽極側では主反応は次のとおりで結局還元されて金属銅となる。



したがって主陽極反応を総括すると



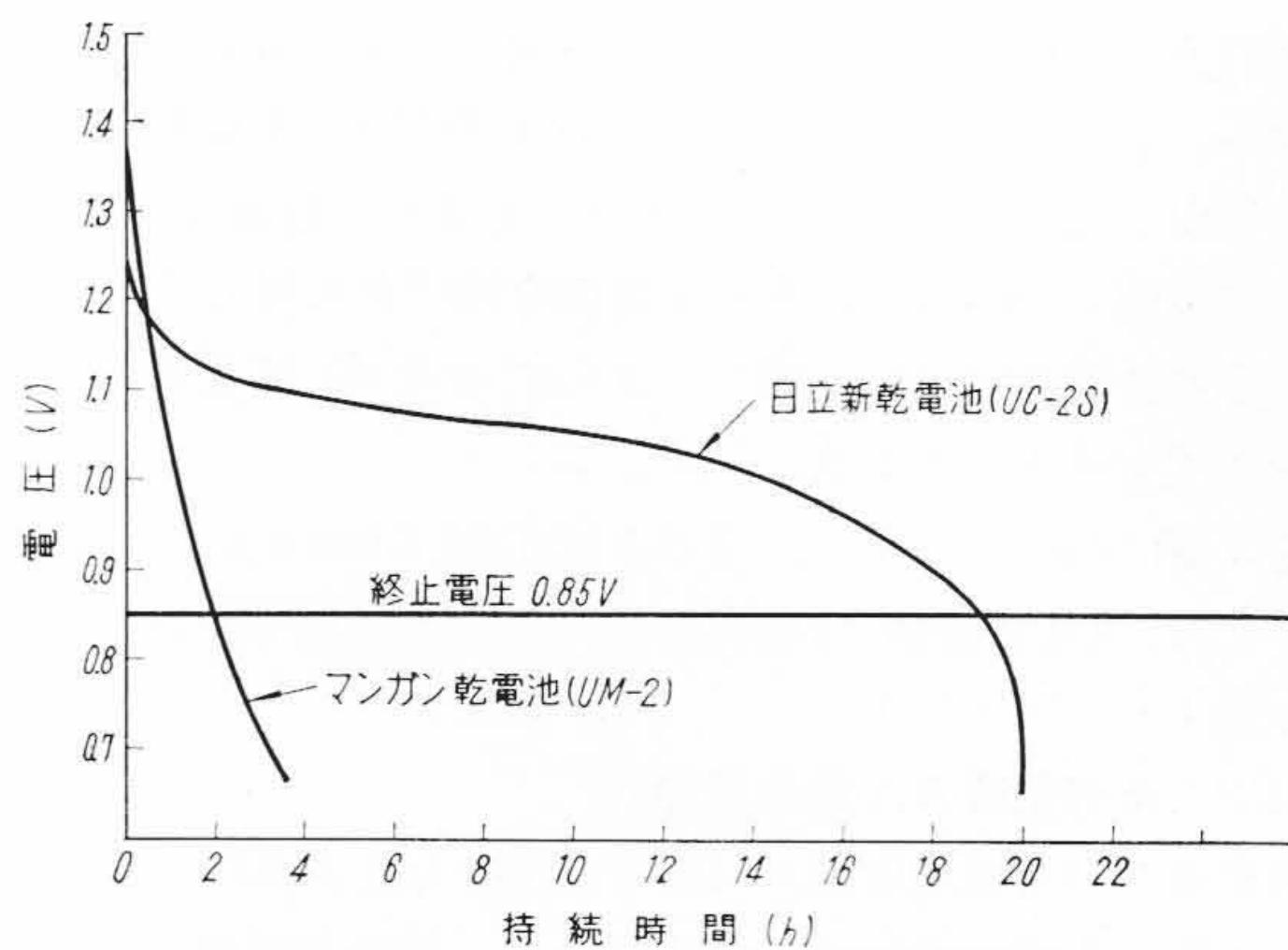
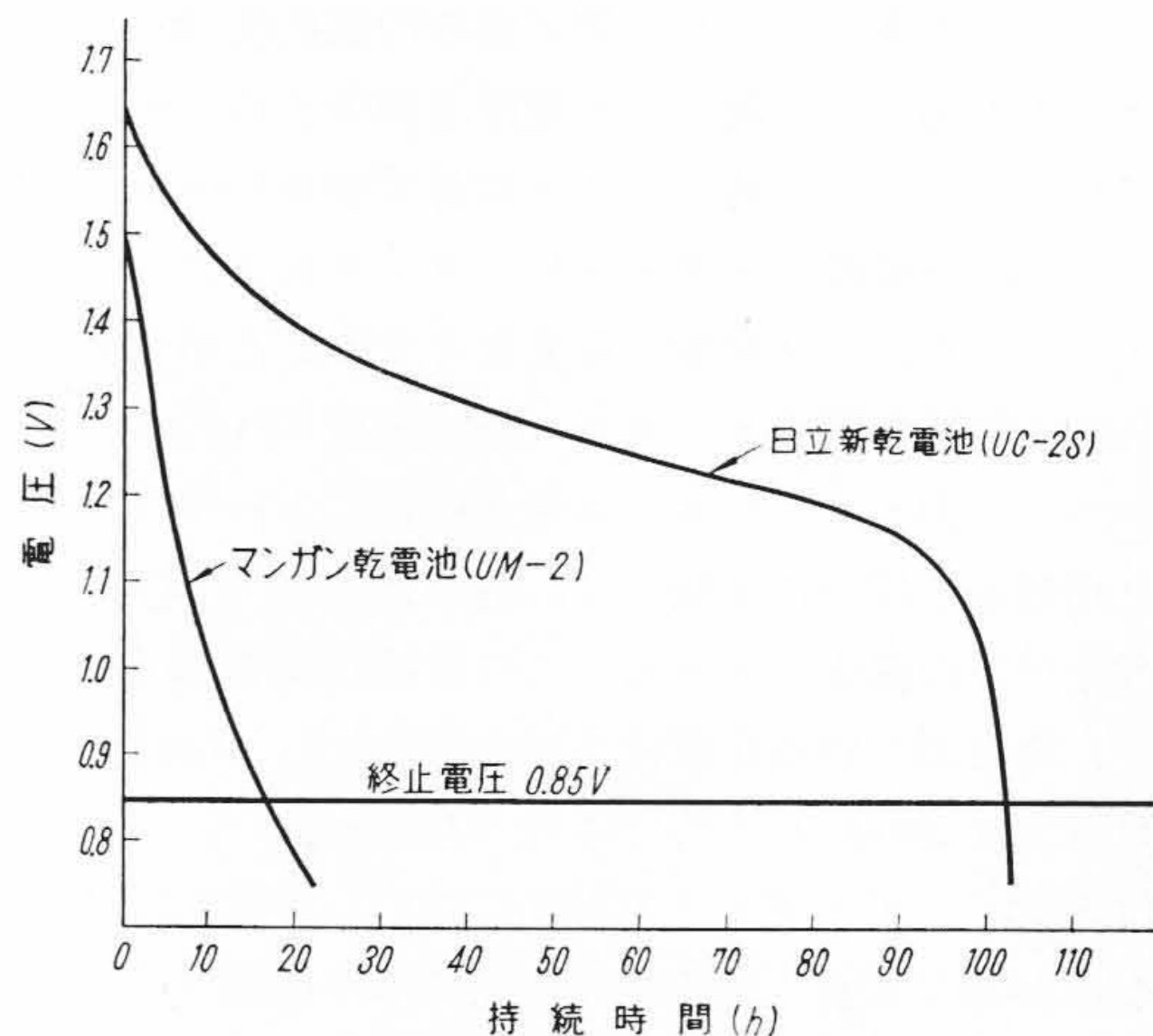
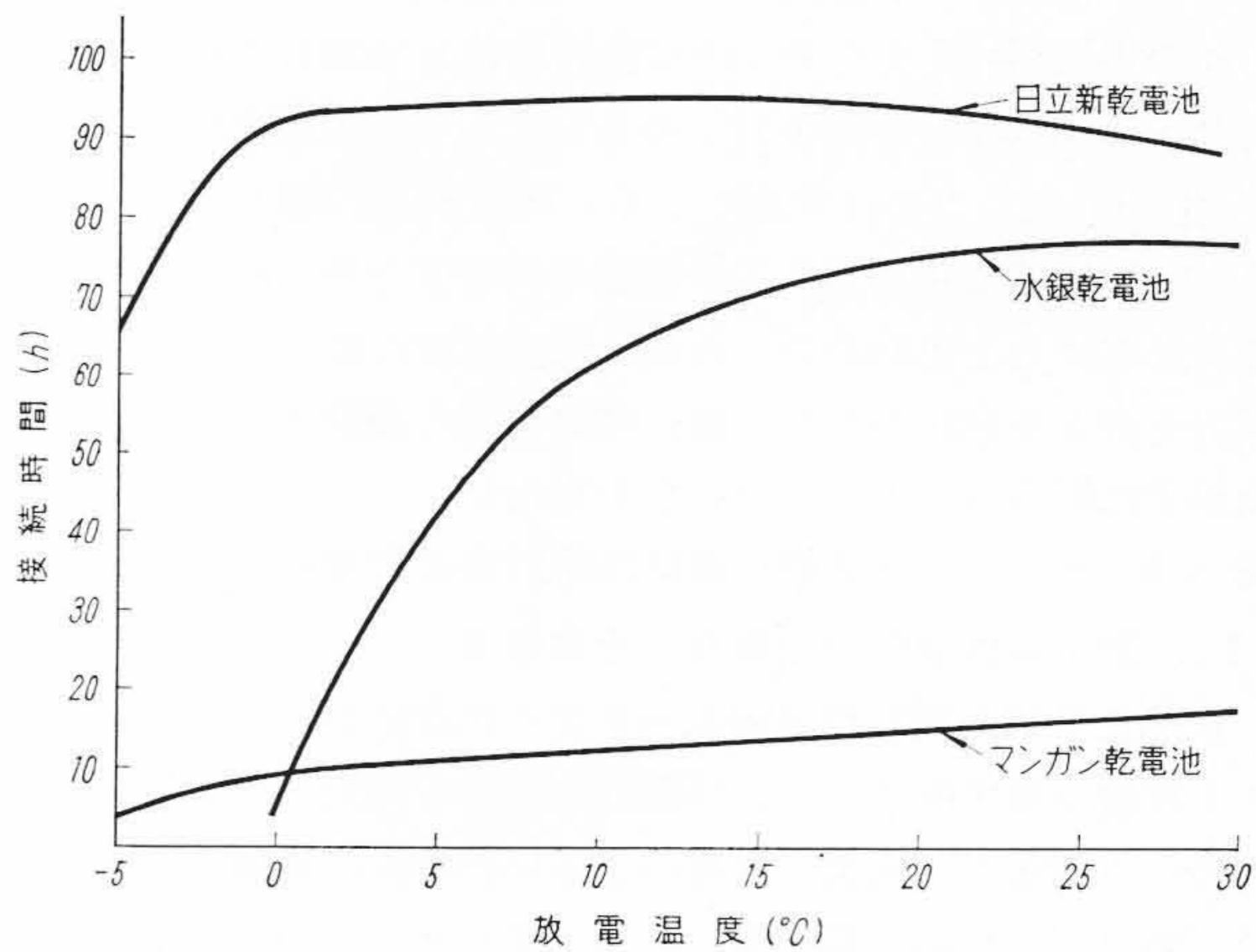
であり、この電池の主反応は



で表わされる。

#### (2) 特 性

当電池の放電特性を第 73~75 図に示す。この電池はマンガン乾電池のうち UM-2 形と同形 (UC-2S) のもので第 73 図および第 74

第 73 図  $4\Omega$  定抵抗放電曲線 ( $20^\circ\text{C}$ )第 74 図  $20\Omega$  定抵抗放電曲線 ( $20^\circ\text{C}$ )

( $20\Omega$ ) 終止電圧  $0.85\text{V}$

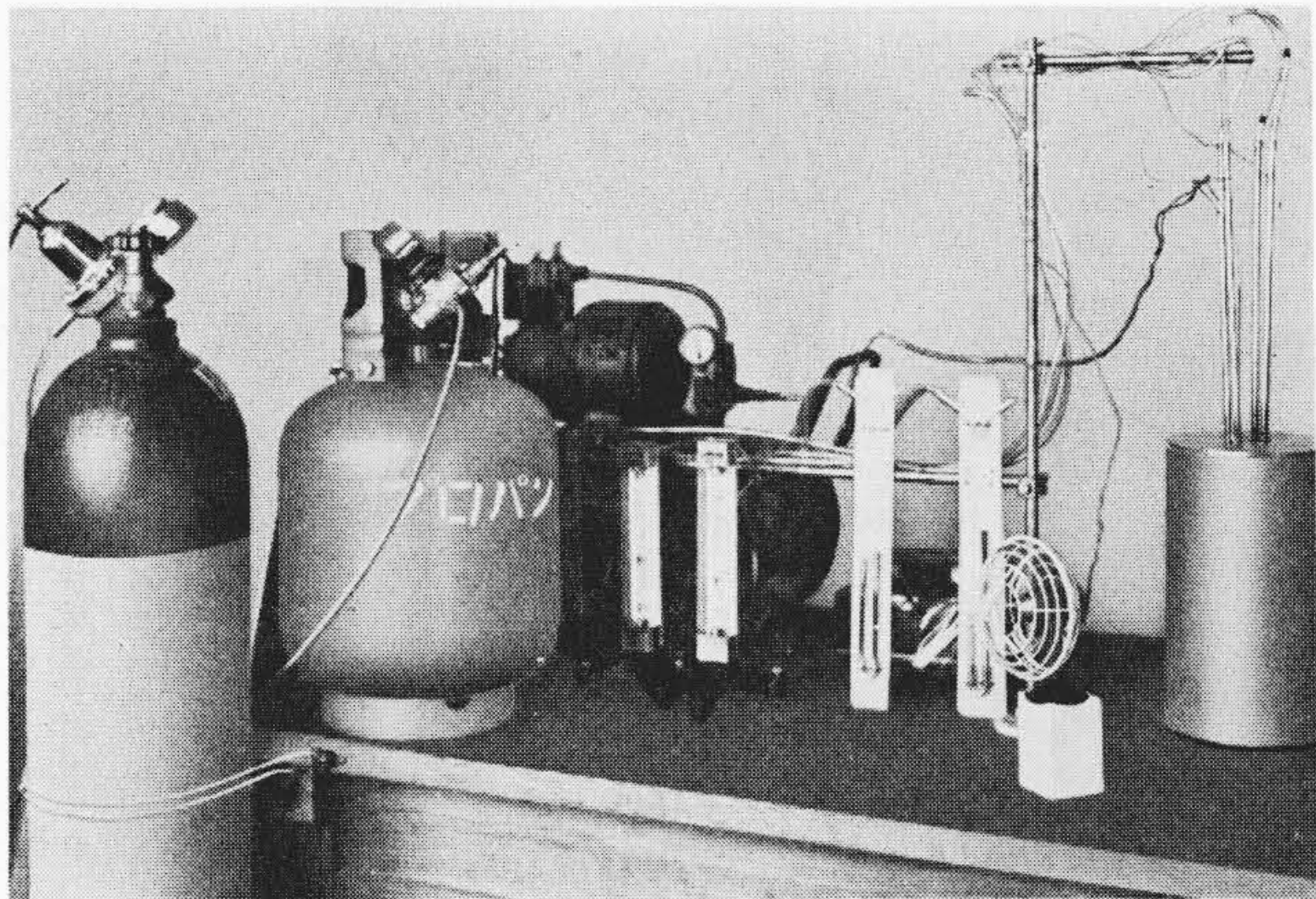
第 75 図 放電過度と持続時間の関係

図はそれぞれ  $20^\circ\text{C}$  のとき  $4\Omega$  および  $20\Omega$  の定抵抗で放電したものであり、また第 75 図は放電温度と持続時間の関係を示す。終止電圧を  $0.85\text{V}$  とすると、その持続時間は同形のマンガン乾電池の約 6~10 倍である。また放電電圧もマンガン乾電池に比較して変化が少ない。水銀電池に比べると放電特性が少しよいうえに温度特性が格段と良い。なおこの電池関係特許 6 件を出願中である。

### 28.5.10 燃料電池の研究

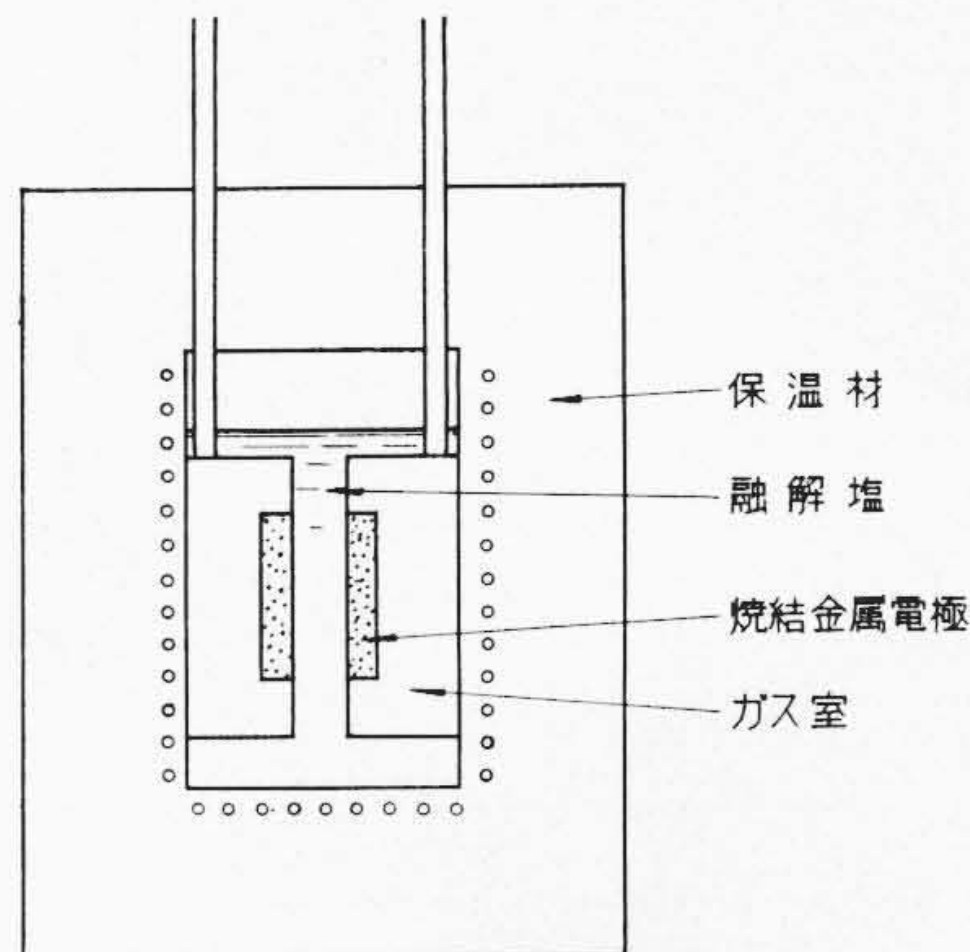
燃料電池が実現すれば他のエネルギー変換器に比べて効率のよいものになる可能性があり、各方面から注目されている。日立製作所においては昭和 35 年から研究に着手し、高温燃料電池を開発しつつ





第76図 実験用高温燃料電池の外観

ある。第76図は机上実験用の高温燃料電池の外観であり、第77図にその断面図を示した。この電池は銀またはニッケルの多孔質焼結金属電極の間に融解した炭酸リチウム、炭酸ナトリウム、炭酸カリ



第77図 電池断面図

ウムの混合物を入れ、600~700°Cで駆動する。一方の極には空気(または酸素)と炭酸ガスを通じ、他方の極には燃料ガスとして水素、プロパン、都市ガスなどを通じる。

#### ……………編集後記……………

高度の経済成長率が期待されて明けた昭和36年は、後半にいたり国際収支の大幅の赤字から公定歩合の引き上げ、設備投資の削減など、一連の金融引きしめが行なわれたため、波乱の多いうちに暮れここに新年を迎えた。

この間にあって、日立製作所の業績はますます伸張り、アメリカの経済雑誌フォーチュン誌による企業ランキングにおいて、アメリカを除いた100社中に第17位を占めたことは力強い。

昭和37年は日本経済の調整と、今後の発展の基礎を築く年として、技術革新と海外輸出が大きく期待されているので、ここに最近の日立製作所の技術の成果をふりかえって見よう。

◎

まず技術革新の面で特筆されるものとしては、世界最高水準を抜く3,600 rpm、660 mm翼、125,000 kW再熱タービンプラント(中国電力水島火力発電所納)、世界屈指の大容量高速95,000 kW立軸6ノズルペルトン水車(関西電力黒部第四発電所納)、日本最高記録の6,200 kW斜流水車用発電機(東北電力新大倉発電所納)、高純度酸素の発生では世界で最高級の記録品であるTO-プラント(富士製鉄室蘭製鉄所納)、世界にも類例のない経済負荷配分装置(関西電力納)、国産初の民間原子炉として最近臨界にはいった教育訓練用原子炉(東京原子力産業研究所納)、等々、国際水準を抜く独創的な製品が枚挙にいとまがない。

◎

一方海外輸出の面では、水力発電用水車がインドにおいて、その

#### 謹 賀 新 年

昭和37年1月1日

日立評論社

発注量の約80%を受注することができたほか、中米、南米方面にも数多く輸出することができた。そのほかおもなものをあげても36 MVA変圧器など5台(いずれもインド向け)、950 PSディーゼル機関車25両(タイ向け)、ディーゼルカー350両中220両を積出し、さらに100両の受注(エジプト向け)、2,300 mm斜形軸流ポンプ(エジプト向け)をはじめ、電子顕微鏡、電気冷蔵庫、トランジスタラジオ、受信管、管継手、各種電線などがある。いずれも輸出先各国で日立製作所の技術の真価を発揮しており、今後の飛躍的発展の基礎となっている。

◎

恒例により、これらの日立製作所の数々の業績と、技術の進歩をあつめて本号を「技術の成果号」とした。収録された記録の一つ一つはいずれも日本工業技術発達史の一コマとして貴重な資料であることを確信する。

#### 日立評論 第44巻 第1号

昭和37年1月20日印刷 昭和37年1月25日発行  
(毎月1回25日発行)

< 禁無断転載 >

定価1部100円(送料48円)

© 1962 by Hitachi Hyoronsha Printed in Japan

乱丁落丁本は発行所においてお取りかえいたします。

編集兼発行人  
印刷人  
印刷所  
発行所

長谷川 俊雄  
浅野 浩  
株式会社日立印刷所  
日立評論社

東京都千代田区丸の内1丁目4番地  
電話東京(212)1111(大代)  
振替口座東京71824番

取次店

株式会社オーム社書店  
東京都千代田区神田錦町3丁目1番地  
振替口座東京20018番 電話東京(291)0912