

4. 送配電・変電用機器



電力の需要の増大に伴い、送電電圧としても現在の超高压では不足をきたすようになった現状から、次期超々高压の送電電圧として500 kVの採用が決定され、各電力会社ではそれぞれ、具体的な計画を進めつつあって、その実現も近い情勢に即応して500 kV用機器の開発が精力的に行なわれた。

本文中に紹介する500 kV級試作変圧器の完成のほか、避雷器、断路器の完成を見、さらに500 kV空気遮断器の基礎試験の終了を見るなど、着々と成果を収めつつある。

一方、一般の電力用変圧器としても、多数の大容量器の完成納入を見ている。そのおもなものをあげれば、東京電力株式会社東東京変電所納275 kV, 300 MVA(等価容量345 MVA)、中部電力株式会社西名古屋変電所納275 kV, 300 MVA(等価容量345 MVA)各1台、関西電力株式会社新加古川変電所納250 kV, 200 MVA(等価容量230 MVA)1台、および中部電力株式会社日進変電所納154 kV, 120 MVA、四国電力株式会社香川変電所納187 kV, 120 MVA(等価容量140 MVA)各1台、北海道電力株式会社西札幌変電所納、東北電力株式会社山形変電所納、東京電力株式会社茨城変電所納、関西電力株式会社新八幡変電所納140 kV級100 MVA(等価容量115 MVA)各1台計4台などの負荷時タップ切換変圧器があり、東京電力株式会社五井火力発電所納147 kV, 300 MVA、中部電力株式会社大井川連系変電所納275 kV, 200 MVA(等価容量250 MVA)3相変圧器各1台などの一般変圧器がある。これらはいずれも合理的設計によって軽量化された組立輸送式のものであり、負荷時タップ切換変圧器の場合のタップ切換器は抵抗式で、変圧器本体に内蔵されているなどの特長をもっている。また、全装可搬形の容量の限度を大幅に引き上げたものとして国鉄新幹線き電用の30 MVA移動用スコット変圧器の完成をみており、輸出向としては、フィリピン・マニラ電力会社納110 kV, 125 MVA 3相変圧器1台、インド・カ

ンプール変電所納132 kV, 40 MVA 3相変圧器2台などが出荷されている。そのほか、配電用10 MVA負荷時タップ切換変圧器も東京電力株式会社、関西電力株式会社その他へ多数製作納入された。さらにこれらに引きつづいて設計製作中のものは、負荷時タップ切換変圧器としては、東京電力株式会社東東京変電所納275 kV, 300 MVA(5号機)1台、中部電力株式会社三河変電所納275 kV, 300 MVA 1台、関西電力株式会社南姫路変電所納250 kV, 200 MVA 2台、岩塚変電所納154 kV, 150 MVA 1台、東京電力株式会社姉崎変電所納275 kV, 150 MVA 2台、下総変電所納147 kV, 100 MVA 1台、九州電力株式会社長崎変電所納110 kV, 90 MVA 1台、中国電力株式会社松江変電所納115 kV, 60 MVA 1台、関西電力株式会社70 kV, 30 MVA 1台、東京都水道局納140 kV, 25 MVA 1台および60 kV, 15 MVA 1台があり、配電用としては九州電力株式会社納66 kV, 15 MVA、関西電力株式会社および東京電力株式会社納10 MVAなど20余台があり、また発電所用変圧器としては、東京電力株式会社五井火力発電所6号機用287.5 kV, 420 MVA 1台、関西電力株式会社堺港火力発電所納154 kV, 290 MVA 1台、中部電力株式会社武豊火力発電所納154 kV, 250 MVA 1台、電源開発株式会社池原発電所納275 kV, 113 MVA 2台、東京電力株式会社八木沢発電所納275 kV, 85 MVA 1台、北海道電力株式会社金山発電所納66 kV, 28 MVA 1台などがある。国外向としては、フィリピン・マニラ電力会社納増設用125 MVA 1台、インドUP州納200 kV, 100 MVA単巻変圧器3台、3相変圧器1台、60 MVA単巻変圧器4台、シンガポール・パシールパンジャ“B”発電所納63.5 kV, 75 MVA 2台、チリー・ラベル発電所納230 kV, 57 MVA単相変圧器7台、インド・カンプール変電所納132 kV, 40 MVA 2台、グジアラット肥料公社納66 kV, 35 MVA負荷時タップ切換変圧器2台、オリッサ州納132 kV, 12.5 MVA負荷時タップ切換変圧器4台があり、最

近ブラジル・コアランヌーネス発電所納 66 kV, 34.5 MVA 3 相変圧器の受注に成功して輸出拡大の一翼をになっている。

これらの大容量変圧器は、いずれも巻線構造の改良により信頼度を一段と高めたものであり、負荷時タップ切換装置については 1,000 A という大容量変圧器用から配電用変圧器用までの一連の系列を完成し、各電力会社の形式試験をうけ適用区分も確立した。中容量変圧器としては巻線内部の強制冷却、コンパクトな冷却器の採用などにより全装可搬形の限界を拡大し、信頼度の向上、経済面に寄与するなど新技術の開発が行なわれた。配電用密封全装加搬形変圧器についてもコンサペータを使用せず、低油面形を採用し、よって構造の単純化をはかり、いっそうコンパクトで取扱保守を容易とすることができるようになった。

小容量の変圧器、特に柱上変圧器は都市の美化を目的とした配電線の簡素化のため配電回路用の各種開閉器、保護装置を内蔵し、かつ外形を細い円筒形とした美化装柱用変圧器を完成、さらに、塩害事故の絶無を期して、重汚損地区に使用する変圧器用の新形耐塩害ブッシングを開発するなど各種の改良進歩が見られた。

なお本文中で後述するように 600 kVA 全アルミ軽量変圧器の完成を見ており、今後の需要の趨勢に対処して全アルミ製変圧器の製造技術を確立した点でその意義は大きい。

そのほか、計器用変流器としては、インド UP 州納 220 kV, 68 台、アメリカ納 230 kV 9 台や、計器用変圧器としてはアメリカ納 115 kV 接地形 3 台などが合理的な絶縁設計により小形軽量化されたものとして目だつものであり、全装可搬形計器用変圧変流器としては 154 kV のものを神奈川県企業庁城山発電所に納入している。

遮断器としては、すでに多数の実績を持つ OPG 形内部充気式空気遮断器を基本とし、操作気圧を 30 kg/cm^2 に昇圧して性能の向上をはかった OPH 形として 300 kV, 4,000 A, 250,000 kVA の遮断容量をもつ空気遮断器を開発した。本器の開発により 270 kV より 72 kV までの屋外用空気遮断器の新系列が完成し、適用範囲が著しく拡大された。詳細については本文中に紹介したのでご参照されたい。

屋外用内部充気式空気遮断器の納入実績としては関西電力株式会社宝塚開閉所納 300 kV 6 台ほか 200 余台を納入または製作中で、屋内用としてはオーストラリア納 33 kV, 1,500 MVA 空気遮断器 28 台をはじめ 100 台余を製作中であり、国鉄新幹線用その他に車両用として 30 kV 空気遮断器約 200 台を納入、引きつづいて 100 余台を製作中である。

一方、配電回路用遮断器として、容積、重量とも従来の 40% という 7.2 kV, 150 MVA の超小形磁気遮断器を開発し、遮断性能の優秀さとともに顧客の好評を得て多数を納入、製作中である。また、わが国で発表されている真空遮断器として、最初にして最大容量の 7.2 kV, 400 A, 100 MVA 真空遮断器を“ハイバックブレーカ”として開発完成した。本器は、従来の遮断器に比し容積五分の一、重量三分の一と小形軽量であり、堅ろう、長寿命であって無保守でよく、高ひん度の開閉に適しているなど画期的な特長があり、さらに利用に便なるよう、この真空遮断器収納のメタルクラッド配電盤の開発も行なわれた。このメタルクラッド配電盤は真空遮断器“ハイバックブレーカ”を立体的に 2 段積みとし、小形コンパクトになっているので従来のものに比べて床面積が約四分の一となり、据付面積が狭小で、安全を必要とするビルなどに好適であり、真空遮断器の特長とあいまって、あらゆる電力設備用として広範囲に使用されるものと期待されている。

また、60~70 kV の変電設備一式をキュービクル内にコンパクトに収納した屋外キュービクルも開発以来各方面より好評を得て、さきに納入した日産自動車株式会社座間工場、日本セメント株式会社香春工場、ゼネラル石油株式会社堺工場に引きつづき、日通伊豆観

光開発株式会社葦山センターおよび東京都水道局上井草給水所納めなどを、目下設計製作中である。20~30 kV キュービクルも、東京電力株式会社のほか富士銀行本店ビル納など一般産業会社にも採用され十数セットを納入し、また多数を製作中である。配電用メタルクラッド配電盤の需要も引きつづいて多く、東京電力株式会社はじめ関西電力株式会社、九州電力株式会社ほか産業会社多数に約 50 バンク余を納入している。また火力発電所用高低圧メタルクラッド配電盤として、東北電力株式会社新潟発電所納、中部電力株式会社武豊発電所納などがあり、国外向としてもインド・コタグデム発電所納などを製作している。

断路器としては、JEC の改良に対処して改良を行ない系列の標準化により量産体勢をととのえている。発電所用避雷器では、耐汚損形の開発に意をそそぎ、配電用避雷器では、東京電力株式会社、東北電力株式会社への数千台の納入を見ている。

次に配電盤関係でも、新しい技術による新製品が多数開発され、好評裏に運転にはいっている。特に、電子応用器具の採用により器具の小形化、信頼度の向上が目だっている。すなわち、中部電力株式会社岩塚線 140 kV 多回線併架送電線のトランジスタ式差電流キャリヤリレー、関西電力株式会社ほかへ納入の SDB 形母線保護継電器、系統自動復旧装置や全トランジスタ式自動同期化装置など枚挙にいとまがない。また遠方監視制御装置も従来のスーパーセットによるほど制御対象の数が多い場合に経済的に集中制御を行なうことのできる方式としてコンビナートコントロール装置が開発され、デジタルサイクリックテレメータとともに好調に運転にはいっている。水資源公団秋ヶ瀬管理所に設置された集中自動制御装置は水位、流量を一定に保つように、流入量により 6 個所のゲートを計算制御するものであり、中部電力株式会社現業センターに納入された選択式サイクリックスーパービジョンは、5 変電所の配電線遮断器の開閉状態など 144 の表示項目を切換装置の組合せにより小形単純な装置で完成している。またこの数年電力系統の経済運用は急速に促進されているが、東北電力株式会社に納入された 460 A MOA 式 ELD は on-line ができる装置となっておりきわめて順調に運転を続けている。

次に整流器関係では、シリコン整流器の進出が著しく、電気化学用をはじめ電鉄、車両用、電動力応用にきわめて広範囲に重要な分野を占めるに至っている。特に整流素子においては大電流用や、世界最高の 3,000 V という高逆耐圧のものを完成し量産体勢を整えた。すなわち電力用整流素子としては逆耐圧 3,000 V、電流 300 A を、制御整流素子としては逆耐圧 1,400 V、電流 150 A のものや、逆耐圧 600 V、電流 250 A のものなどがそれぞれ実用化され大容量器の経済性の合理化を確立した。京阪電鉄株式会社納の電鉄用 3,000 kW 600 V シリコン整流器は逆耐圧 3,000 V、電流 300 A の整流素子を採用して完成を見たものであり、さらに東急電鉄株式会社納の 3,000 kW 600 V シリコン整流器も続いて完成した。これらはいずれも占有面積が従来の約 50% となっている。また全容量 13,000 kW シリコン制御整流器に、逆耐圧 1,400 V、電流 150 A の高耐圧用制御整流素子を使用して、スカイアルミ向に目下製作中である。一方、逆耐圧 600 V、電流 250 A の大電流制御整流素子を採用した本格的大容量器としては、1,350 kW, 3,000 A シリコン整流器が志村化工に納入されている。また、電気化学向けとして、効率、力率の向上と、配線、据付工事の簡易化を目的とした大容量シリコフォーマ（シリコン変圧整流器）として東邦亜鉛向に 4,000 kW 16 kA 4 台や、海外向の台湾中国プラスチック納の 11,000 kW 50 kA 1 台が製作納入された。その他制御整流素子の応用として多重インバータ方式を確立し、NHK そのほかに納入した。今後、この種機器の進出はきわめて活発化するものと期待される。

■ 500 kV 変圧器の研究成果

わが国における超々高圧送電も、東京電力株式会社における 500 kV 設計房総線の建設が開始され、また超高压電力研究所、武山研究所に設置される 500 kV プロト・タイプ変圧器の発注など活発な動きを示し、ようやくその実現が近づいてきた。

日立製作所においては早くからこれら超々高圧変圧器の研究をはじめ、すでに昭和 34 年に日立研究所の超高压遮断器短絡試験電源用として 400 kV (BIL 1,450 kV) 200 MVA 単相変圧器を完成した。また昭和 37 年には武山研究所に 330 kV (BIL 1,550 kV) 50 MVA 単相変圧器を納入した。

今回の研究は、500 kV 連系用として予想される仕様の $\frac{520}{\sqrt{3}} / \frac{275}{\sqrt{3}} / 22$ kV 単相変圧器を模擬した試作変圧器を製作し、電位分布の検討から絶縁破壊試験までの総合的絶縁研究を行なったことが特長であり、このため交流電圧試験用と衝撃電圧試験用に分けて試作研究を行なった。

交流電圧試験用は、試験電圧を 860/460 kV を目標とし、加電圧は段絶縁の巻線であるため、誘導試験となり、鉄心を使用し、内側から励磁用三次巻線、低圧(分路)巻線、高圧(直列)巻線の配置として実物変圧器と同一の巻線構造を模擬した。図 1 はその外観を示すものである。

衝撃電圧試験用巻線は BIL を最高の 1,925/1,050 kV とし、電線

サイズ、コイル巻回数、コイル数および巻線高さなどを実物と合わせて、電位分布と絶縁強度を検討した。

以上の結果、コロナ特性、耐電圧試験、破壊強度など絶縁設計における貴重なデータを得たので、この研究成果を 500 kV 級変圧器の製作に活用する日の近いことを待ち望んでいる。

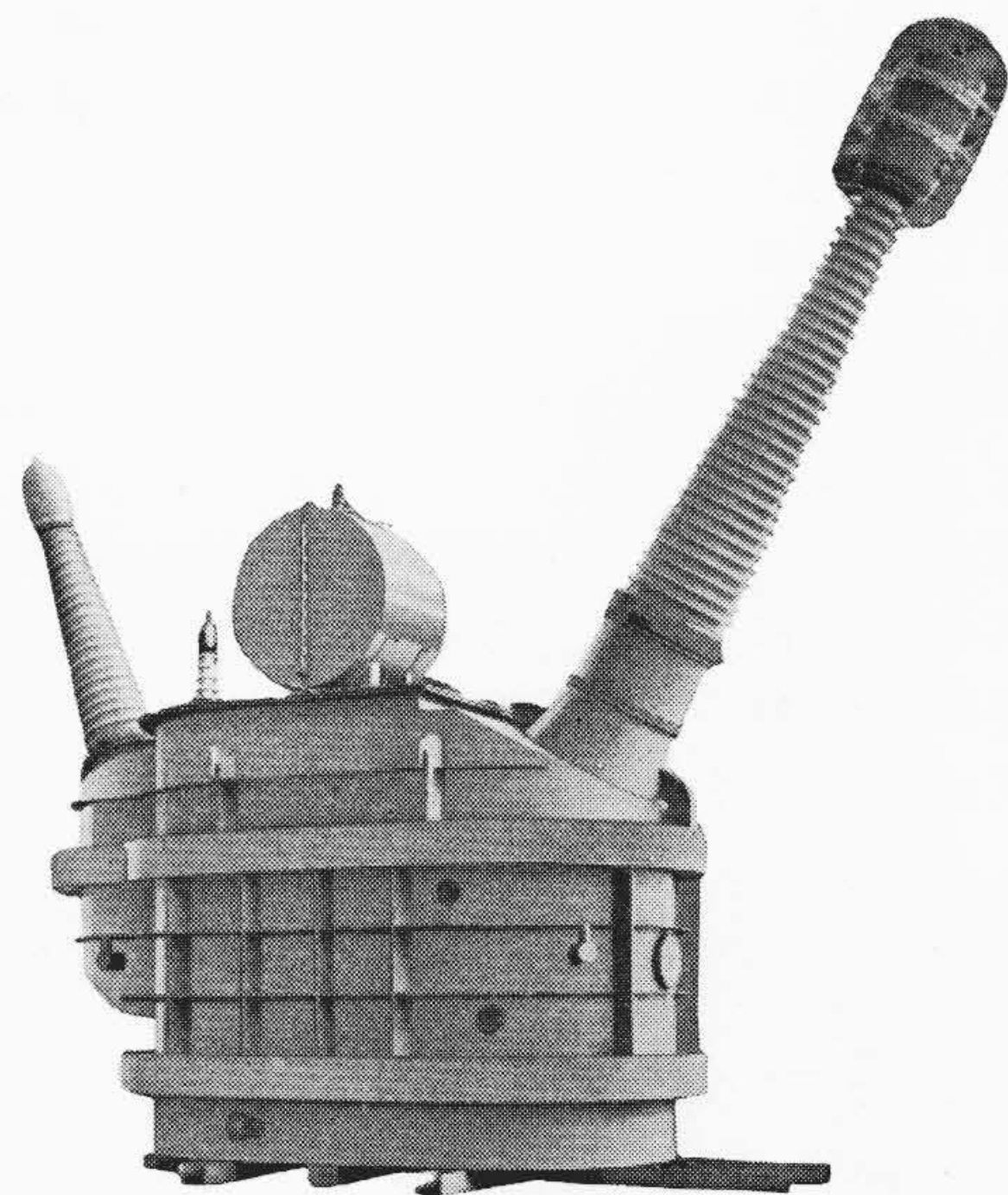


図 1 500 kV 試作変圧器

■ 大容量変圧器の開発と鉄道組立輸送限界の拡大

最近の電力需要の増大にともない、単器容量の大容量化と、負荷時タップ切換器付変圧器が多くなってきた。

超高压変電所への運搬は、鉄道とトレーラによる場合が多く、中身組立輸送が原則であり、各社ともに、その限界容量の拡大に努力してきた。

日立製作所では、昭和 39 年 275/154/33 kV 300/300/100 MVA の鉄道による中身組立輸送に成功して、従来の記録を更新したが、昭和 40 年には、負荷時タップ切換変圧器も完成し、さらに技術向上の成果を内外に示した。

すなわち東京電力株式会社東東京変電所納 275±28.4/147/63 kV 300/300/90 MVA と中部電力株式会社西名古屋変電所納 275±25/154/33 kV 300/300/90 MVA を相ついで完成した。

これらの変圧器は、抵抗式負荷時タップ切換器を内蔵し、三相変圧器として鉄道輸送に成功した記録品である。

従来は、主変圧器の超高压中性点を開放して外部へ引出し、別置負荷時電圧調整器に接続して、負荷時タップ切換を行なったが、これと並列運転する場合の負荷時タップ切換変圧器は、タップ電圧とインピーダンスの関係を図 2 の曲線(A)のようにするほうが、既設との負荷分担に有利である。また、なるべくインピーダンス変動の少ないことを望む場合は、曲線(B)のようにも製作することができる。

西名古屋変電所納 300 MVA は曲線(A)、東東京変電所納 300 MVA は曲線(B)の設計である。

これらの変圧器は、タップ巻線を主巻線と同心状に配置して、各タップにおける不平衡をなくし、短絡時の機械力を低減するとともに、タップ電圧変動による損失も最小にするよう考慮が払われている。

また輸送限界は、もはや拡大の余地がないため、内部絶縁設計を合理的に行なうとともに、タンクの形状、輸送時の強度にさらに検討を加え、実物についても各部の応力測定を行なって、十分な安全

性を確認した。

このように、記録的大容量器にいたるまで負荷時タップ切換器付となるすう勢にあり、その性能向上が進められている。

日立製作所でも抵抗式負荷時タップ切換器を開発し、すでに関西電力株式会社新加古川変電所に 262.5±25/77/21 kV 200/200/60 MVA を納入し、約 2 万回切換えたのち、点検したところ予期以上の好結果を得た。よってこれをさらに改良し 1,000 A 定格を完成し、超高压 400 MVA 程度まで適用できるようにした。

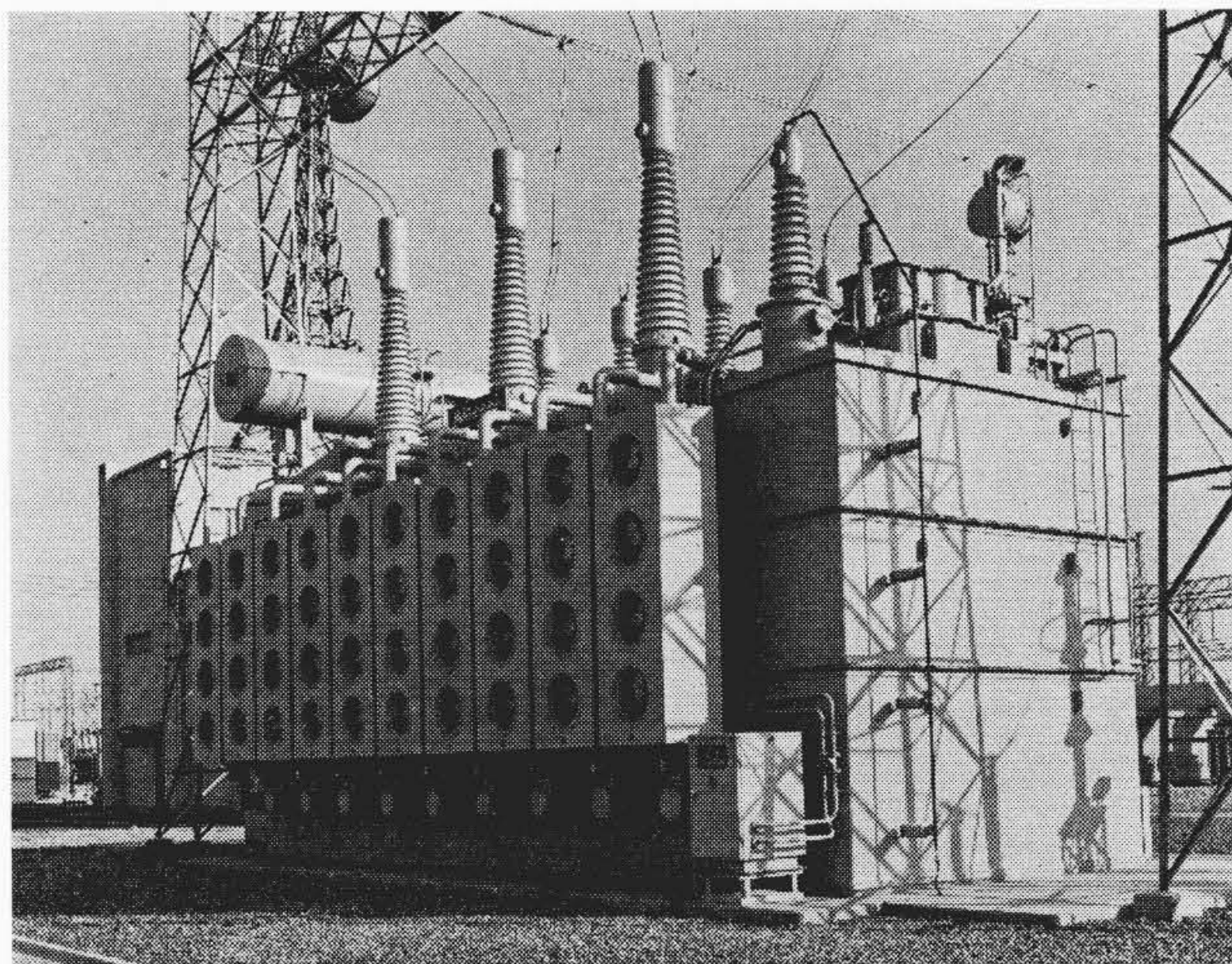


図 1 中部電力株式会社西名古屋変電所 275 kV 300 MVA 負荷時タップ切換変圧器 (日立抵抗式負荷時タップ切換器 LR-2K-1000 付)

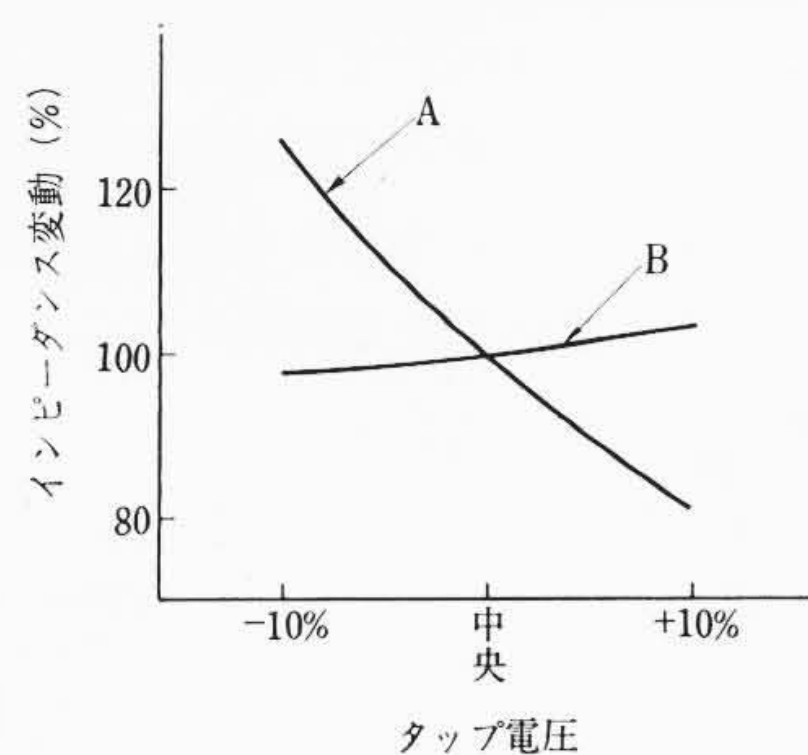


図 2 タップ電圧とインピーダンス変動との関係

■ 配電用変圧器の小形軽量化

電力需要の増大につれて配電用変圧器の容量が大形化してきているが、一方設置場所など各種の制限により機器の小形軽量化が大きな問題となっている。

変圧器の小形軽量化には種々の方法があるが、耐熱性の良い材料を使用して機器の温度上昇を高めたり、あるいは軽い材料を使用することなどの効果は大きい。前者について油入変圧器では絶縁物として絶縁紙など天然繊維性材料を使用しているため、これの耐熱性を向上することに種々の難点があった。しかしシアノエチル化紙のごとく絶縁紙の分子構造中、熱的に最も弱い点をほかの物質で置換することにより耐熱性を向上する方法が開発され、さらに高温用の絶縁油を開発することにより、油入変圧器の温度上昇を 10°C 高め得ることができた。図1中の左側3機種がこのシアノエチル化紙を使用した单相75~133 kVA変圧器で、右端の従来形75 kVA変圧器に較べてはるかに小さいことがわかる。この変圧器はこのたび、

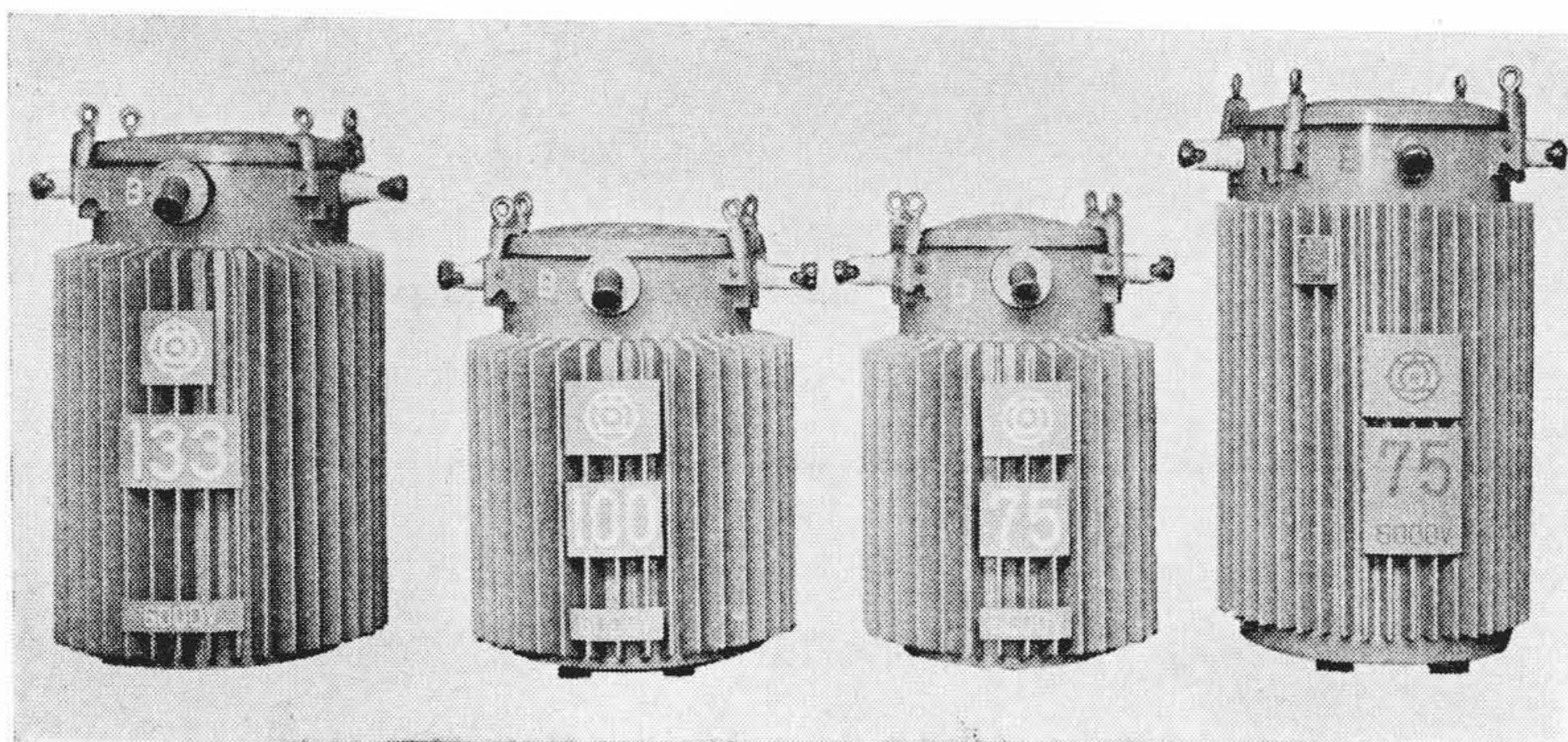


図1 関西電力株式会社納 单相75 kVA, 100 kVA, 133 kVA 軽量柱上変圧器(左側)と従来の75 kVA 柱上変圧器(右端)

関西電力株式会社に納入されたもので、耐熱絶縁紙を使用したほか冷却効果をよくするため特殊な波打ケースを採用して軽量化を促進した結果、従来の変圧器に較べ重量で約70%、容積で約60%になっている。またこの変圧器には調整容易な手動復帰形過負荷標示装置が付いている。つぎに軽い材料を使用する方法として銅、あるいは鉄の代わりにアルミニウムの使用が挙げられる。この際腐食と接続方法が問題であることはよく知られている。これらの点については数年前から実物による寿命試験など各種の試験を行なってきたがこのほど昭和電工株式会社に3相600 kVA全アルミ変圧器を納入した。この変圧器はケイ素鋼板を除いてはネジに至るまですべてアルミニウム合金を採用しており、巻線もアルミニウム導体の性質を有効に生かすような特殊な巻線方式を採用している。この変圧器は従来のものに較べ重量は約60%、容積で約70%になっている。

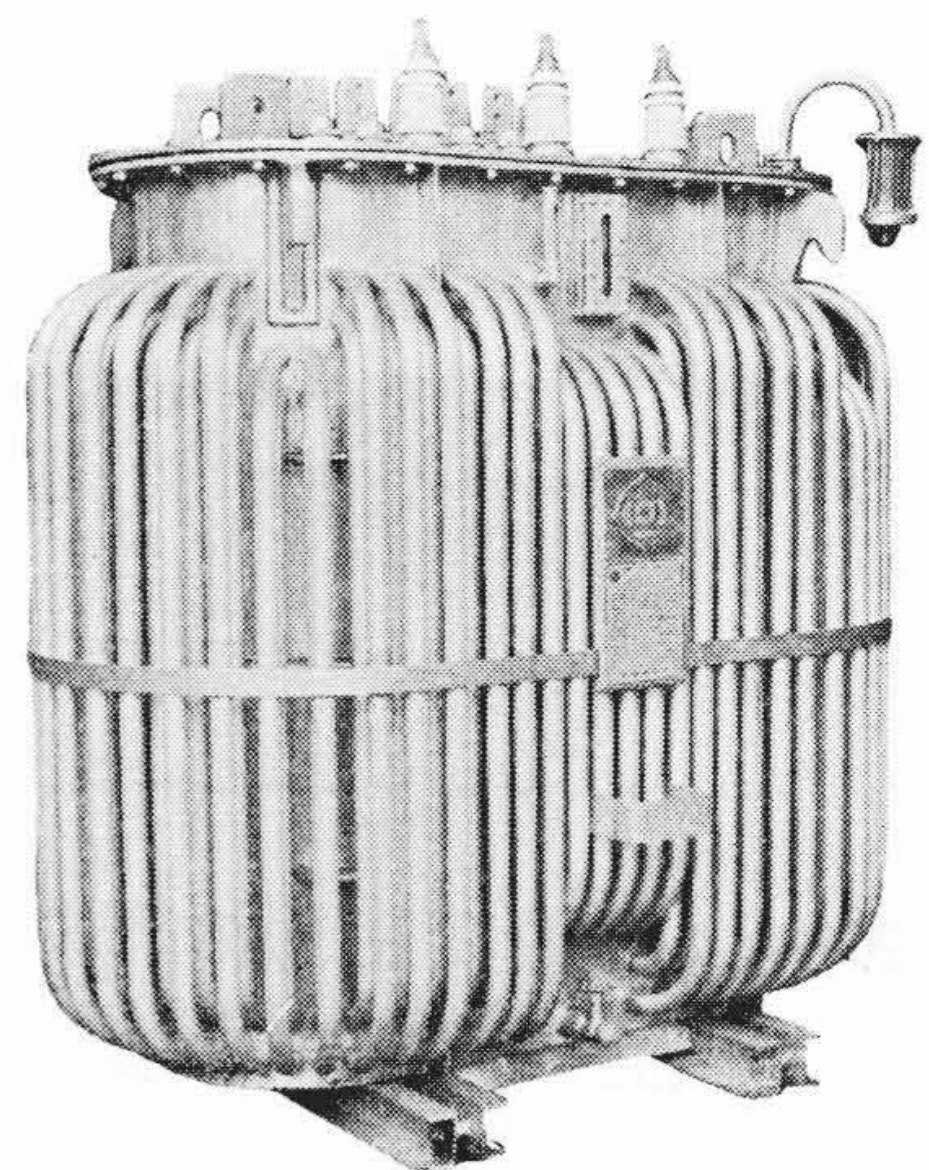


図2 3相600 kVA全アルミ変圧器

■ 超大容量形空気遮断器の開発

(1) OPH形300 kV, 4,000 A, 25,000 MVA 空気遮断器の開発

電力システムの拡大につれて要求される300 kV, 4,000 A, 遮断容量25,000 MVA, OPH形超大容量空気遮断器を開発し、主要電力会社の形式試験を終了した。本器の基本的構造はすでに発表されているOPG形空気遮断器と変わらないが、操作気圧を 30 kg/cm^2 (OPGは 15 kg/cm^2)に昇圧して大容量化をはかった。この結果、本器は300 kV, 25,000 MVAという超大容量にもかかわらず6点/相(OPG形は8点/相)と小形軽量に構成されている。また本器には主遮断点に数 $\text{k}\Omega$ /相の低抵抗を付属させているため、短絡電流はもちろん、小電流の遮断にもすぐれた性能を示している。図1および図2は本器の構造説明図である。

(2) OPG大容量系列空気遮断器の完成

本器はOPG形遮断器の遮断部接触子部分の小改造のみで大容量化に成功したもので、84 kVで5,000 MVA, 168 kVで10,000 MVA, 300 kVで20,000 MVAの新系列が整備されている。この遮断器は標準のOPG形と大部分が共用できるため、系統の短絡容量が増加した場合にも、標準形遮断部の一部分を改造するだけで大容量化できる特長がある。

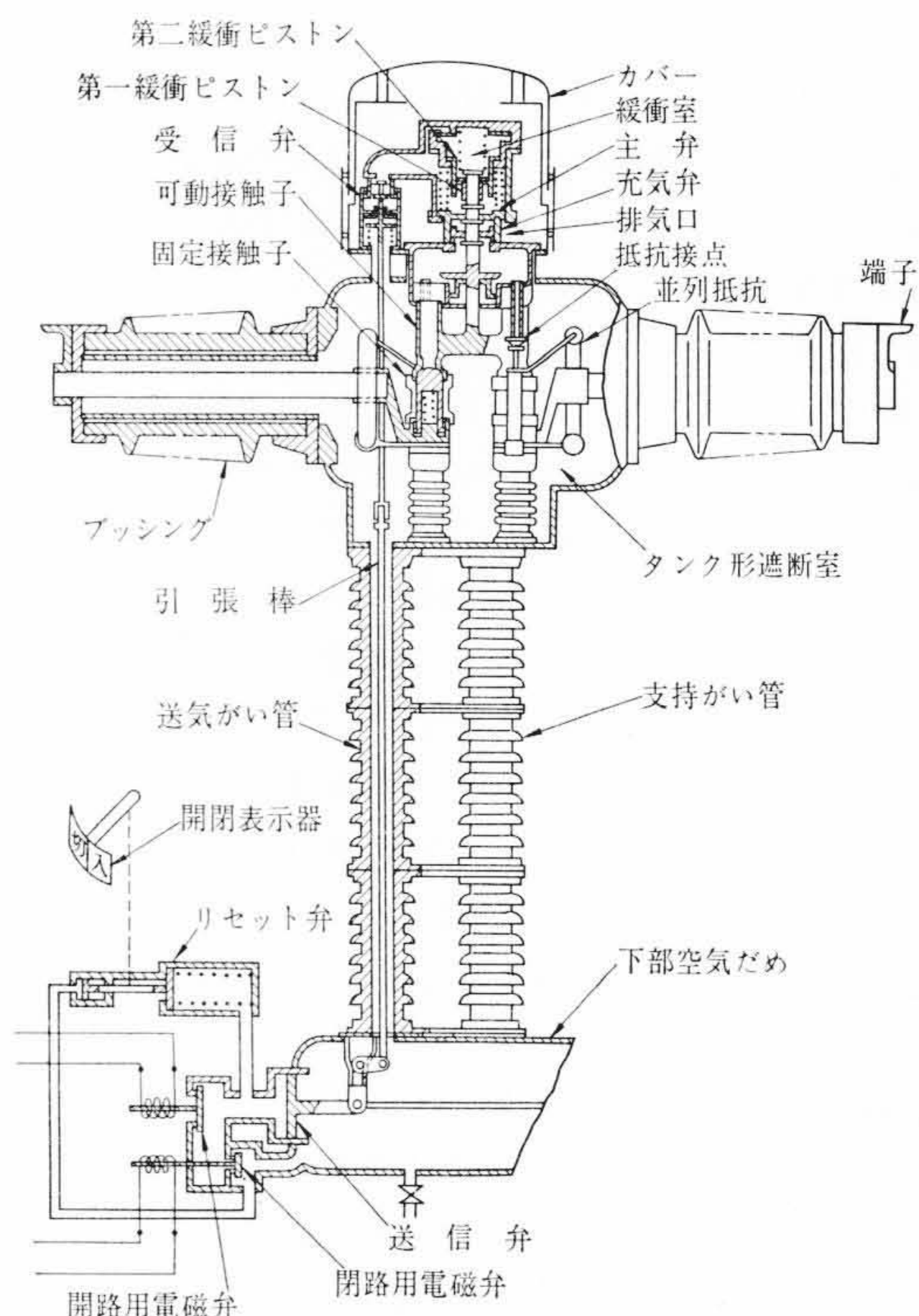
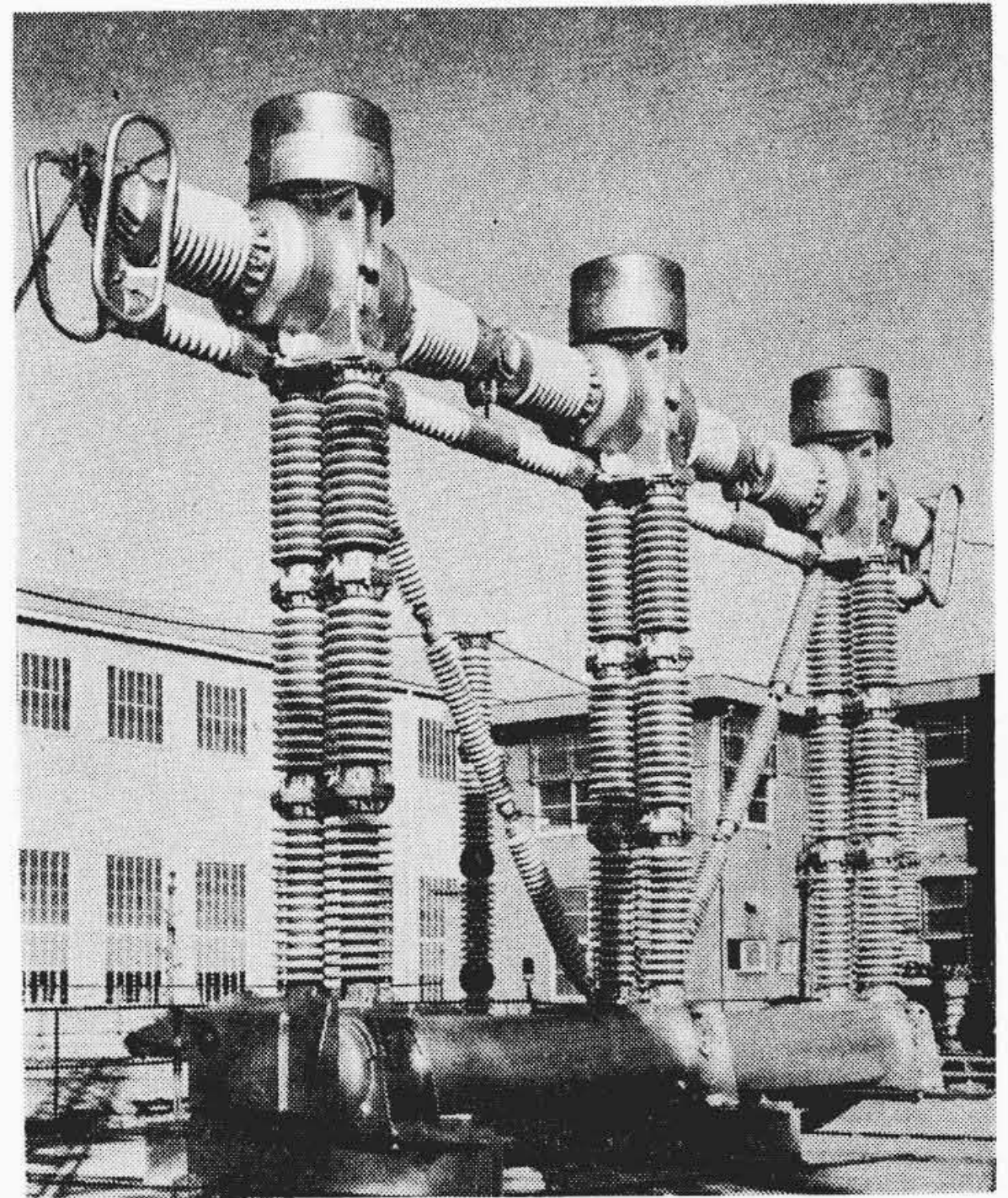


図1 OPH形空気遮断器構造説明図

表1 超大容量空気遮断器系列表

形 式	OPG-500A -PA	OPG-1,000A -PAR	OPG-2,000A -PAR	OPH-2,500A -PAR
項 目				
電 圧 (kV)	84	168	300	300
電 流 (A)	2,000	2,000	2,000	4,000
遮 断 容 量 (MVA)	5,000	10,000	20,000	25,000
遮 断 電 流 (kA)	34.4	34.4	38.5	48.0
投 入 電 流 (kA)	93.7	93.7	105.0	131
遮 断 時 間 (サイクル)	5 (3)	3	3	3
投 入 時 間 (s)	0.1	0.1	0.1	0.1
操 作 気 圧 (kg/cm ²)	15	15	15	30
遮 断 点 数 (点/相)	2	4	8	6
重 量 (t)	2.8	6.8	16	25
動 作 責 務	甲 号	0-0.25秒-CO -1分-CO	0-0.25秒-CO -1分-CO	0-0.25秒-CO -1分-CO

図2 OPH-2,500A形PAR式300kV,
4,000A, 25,000MVA空気遮断器

■ 超小形屋内用断路器および 新形負荷開閉器

(1) V形・VR₃形断路器

受電設備に使用されている断路器は細かい部分についてはいろいろ改良されてはいるが、全体の形としては戦前、戦後を通じてほとんど変わっていない。今回開発された超小形V形(単極フック棒操作形)およびVR₃形(三相一体遠方操作形)断路器は、従来のイメージを破る画期的なものとして注目されている。従来形断路器は金具ベース上に2本の磁器がいしを立て、その上に刃形構造の導電部を設置したものであったが、V、VR₃形断路器は、磁器がいしに代えてV字形状のエポキシレジン製がいしとして、超小形化したばかりでなく、重量も約1/8と著しく軽量化された。レジンがいしはDIN滴下法および塩水噴霧試験法などの過酷なトラッキング試験にも合格し、従来の磁器がいしにおとらぬ電気的特性を有している。導電部は端子板の両側面を2枚のブレードで狭圧する方式としたので、電流方向は一直線となり電磁力の影響でブレードが飛び出す作用はなく、また、2枚ブレード相互間に吸引力が作用し、短時間電流通電容量が増大するなど多くの特長を有している。3.6kVおよび7.2kVはすでに量産にはいっており、関係者の期待は大きいものと確信する。

(2) LGB形負荷開閉器

負荷開閉器は負荷電流を開閉するもので、最近遮断器にかわって多用されるようになってきた。本器は従来製作されているLG形と同様、自力空気吹付消弧方式であるがキュービクル組み込みとしての使用が多いので小形軽量化および開閉性能の向上に主眼を置き、7.2kV-100A用として開発されたものである。最近屋内用電力機器に多数使用されるようになってきたエポキシレジンを大幅に採用した開閉性能のすぐれた開閉器である。

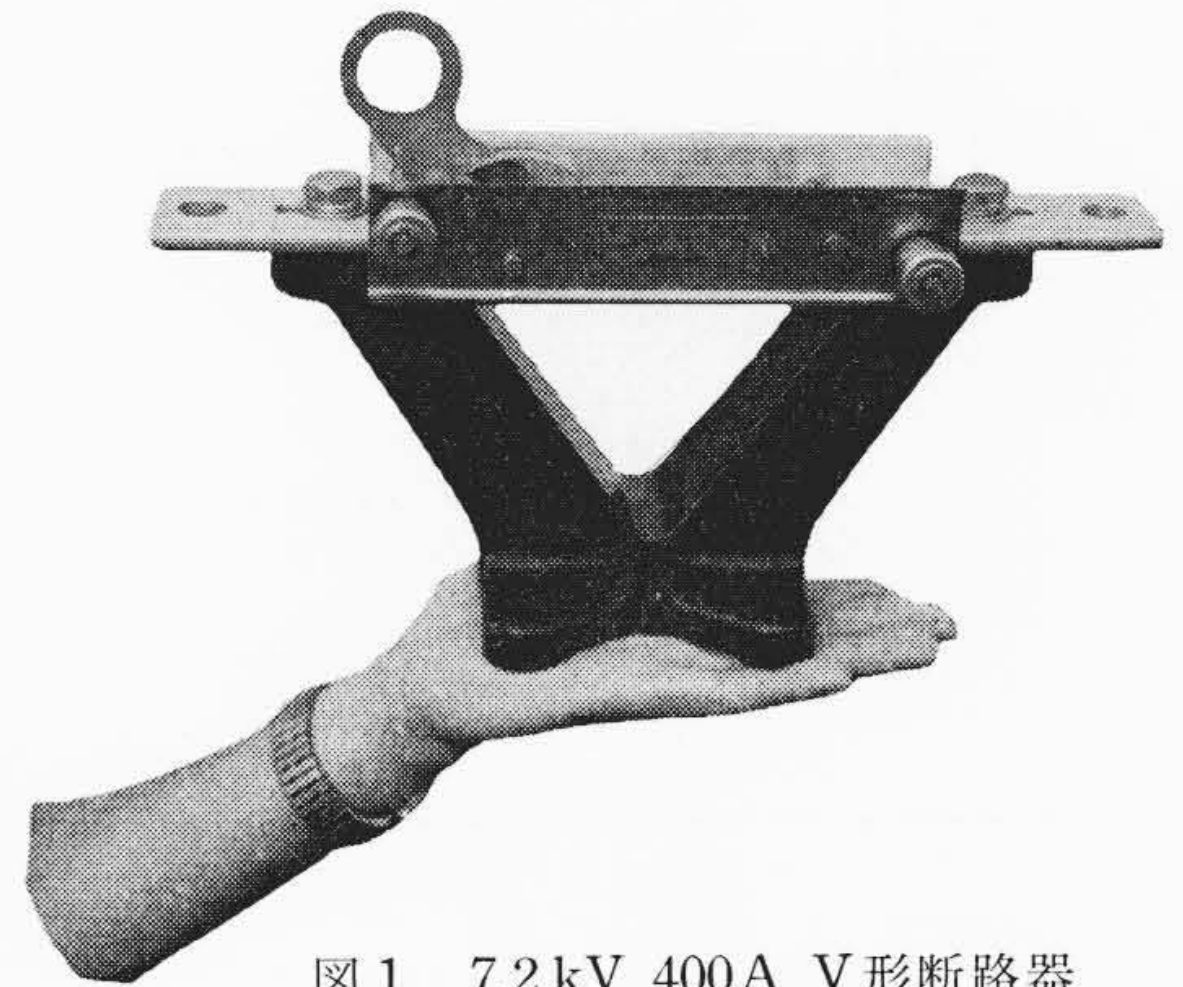
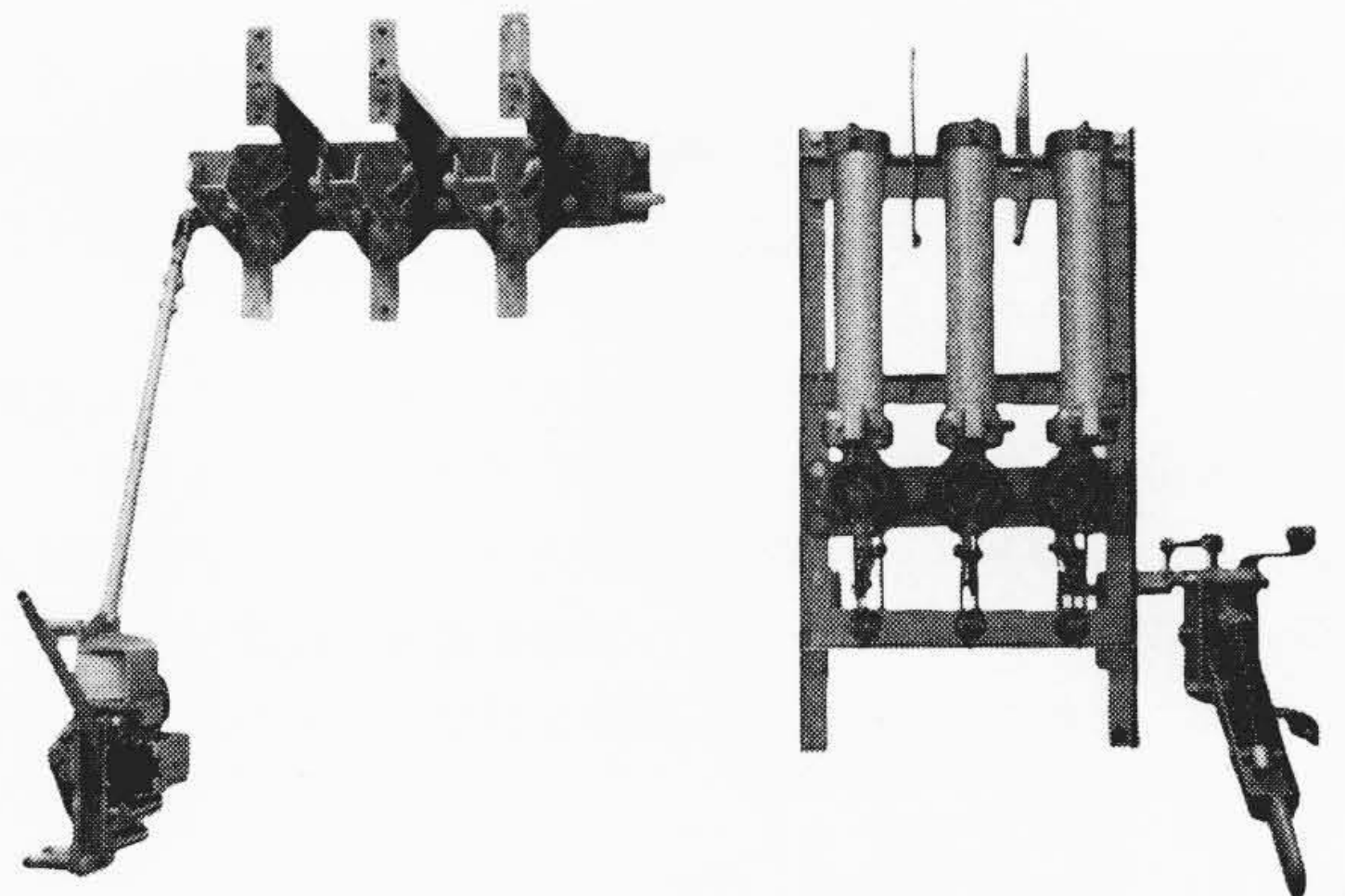


図1 7.2kV 400A V形断路器

図2 7.2kV 800A VR₃形
断路器図3 7.2kV 100A LGB形
R式負荷開閉器

■ 共架多回線送電線用差電流 特性キャリヤリレーの完成

送電線の用地確保が困難になってきたため、同一鉄塔に3回線以上を共架したいわゆる共架多回線送電線が都市近郊に増加する傾向

にある。多回線送電線では導体撚架(ねんか)を完全に行なうことが困難で、線路定数が不平衡になるので、共架回線内を不平衡電流が循環し、とくに抵抗接地系統の地絡保護リレーが誤動作するおそれがある。今回、この問題を解決する差電流特性キャリヤリレー方式(特許出願中)を開発し、中部電力株式会社西名古屋、岩塚、寛政変

電所間140kV送電線に適用した。なお昭和40年8月電力中研主催で日立製作所ほか各社製の装置を模擬送電線にかけ試験を行なったが、本装置は全ケースとも正規動作した。

従来の方向比較キャリアリレー方式は、両端の方向リレーの動作条件により動作するもので、両端の電流値で示される差電流特性は図の太線(t_0)のようになる。循環電流がない場合、A、B各端の故障電流をそれぞれ I_{FA} 、 I_{FB} とすると、差電流特性上では F_1 点のよ

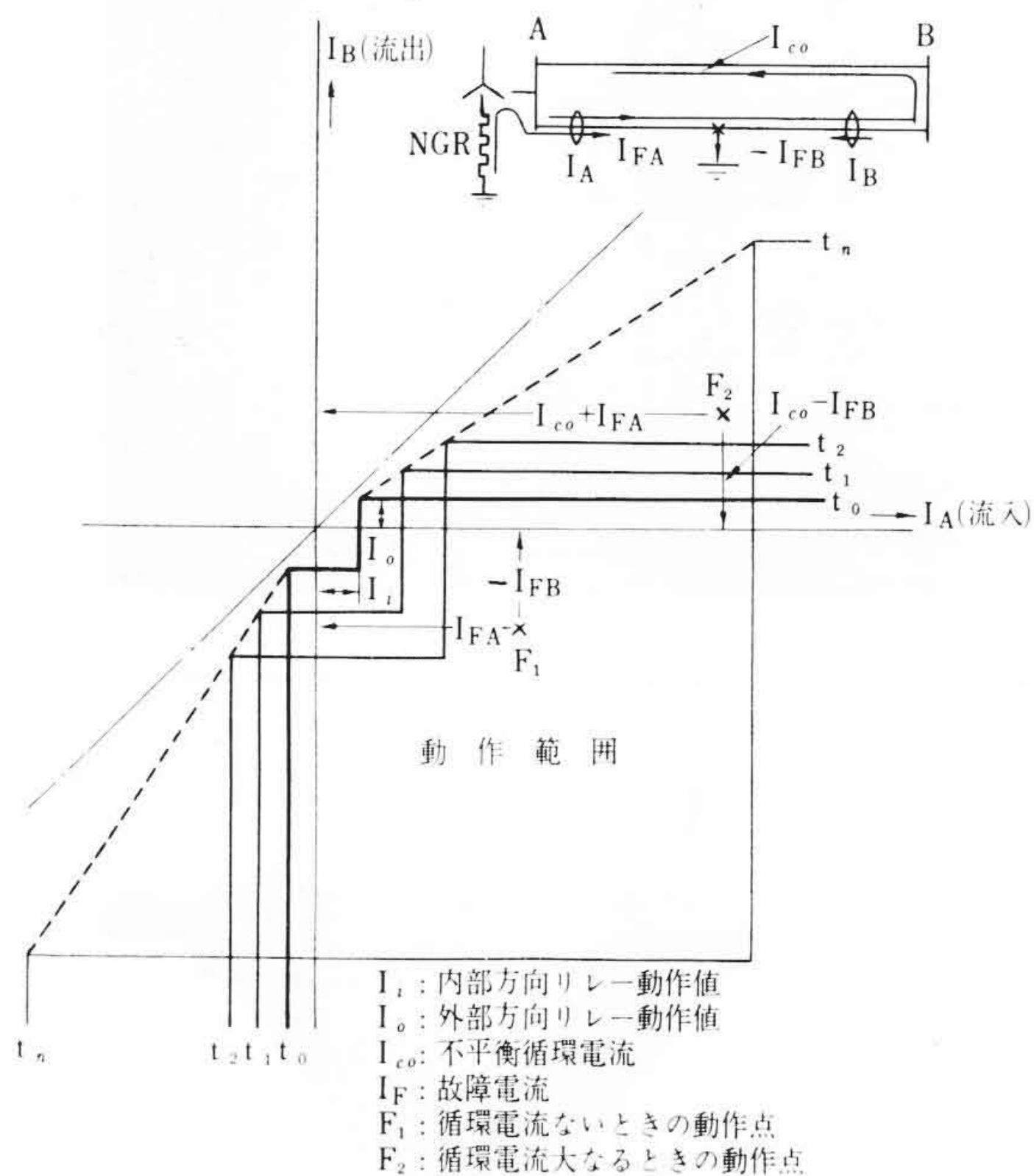


図1 差電流特性原理説明図

うになり動作範囲にはいるが、循環電流 I_{co} が大きいと F_2 点のように不動作になる。これに対して新方式は、常時の特性を太線のようしておき、故障発生直後に内外方向リレーの動作値(I_i 、 I_o)を時間とともに連続的に変化させることによりキャリアリレーの動作範囲を図の t_1 、 t_2 で示すように変化させ、結局点線で示す特性を得るもので、これにより循環電流が重畳された F_2 点のような故障も保護可能である。方向リレー動作値は0.5秒間に12倍まで変化する。したがって動作時間は、循環電流が外部方向リレー動作値の3倍であっても約0.15秒程度である。循環電流と故障電流との比は2対1程度でも動作可能であり、内、外方向リレーの変化率を変えれば図の点線の特性を変えることもできる。また感度走査はくりかえし行なわれるから事故状況が変化しても問題ない。搬送方式は普通の狭帯域(± 150 c/s)で各端異周波方式である。図2は本装置の正面を示したものである。

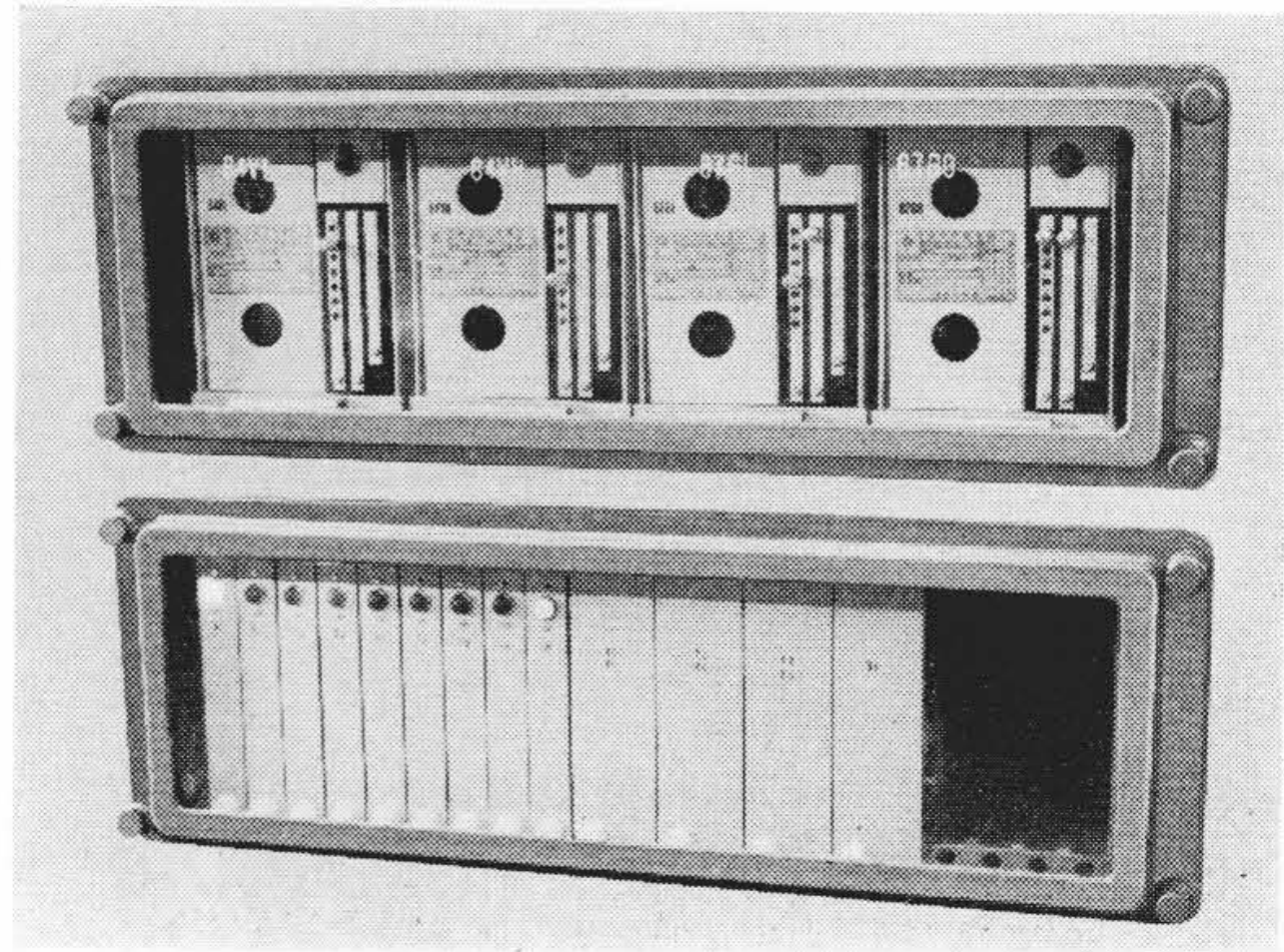


図2 差電流特性キャリアリレー装置

■ 系統自動復旧装置の開発

電力供給のサービス向上と運転の合理化を達成するには、電力系統に事故が発生したときの復旧操作を自動化して、迅速かつ確実な復旧を行なうことが必要である。本装置はこの要求にこたえて新しく開発されたものである。

本装置は一種の低速度再開路装置であり、送電線の事故を遮断したとき、1分経過後再開路条件が成立しておれば強行送電を行なうのはじめ、全停時に一回線受電待機とするための遮断器開放操作、受電回復後の並列投入および一回線受電時に停電が発生したとき健全回線へ自動的に切り換える操作を行なうことができる。母線

電圧、線路電圧および各種保護リレーの動作を入力条件として、電圧の有無、同期状態などを検出し総合的に判断して動作し、相当広範囲にわたる事故でも永久事故区間を除き1分強で復旧を完了できる。遮断器投入条件は、図1のように送電線の回線数、背後電源の有無、送受電端の別など、系統条件、設置個所に応じて最も適切なものとしている。

本装置では特殊な電圧検出回路、同期検出回路、直流長限時回路および複雑な条件論理回路をシリコントランジスタを主体とする電子回路で構成するため、図2のように小形、高性能で動作が非常に安定である。さらに単位機能回路に分けることにより、単にパッケージの着脱のみで、あらゆる個所に適用できる万能方式になっており、保守、運用および方式の変更が非常に簡単である。

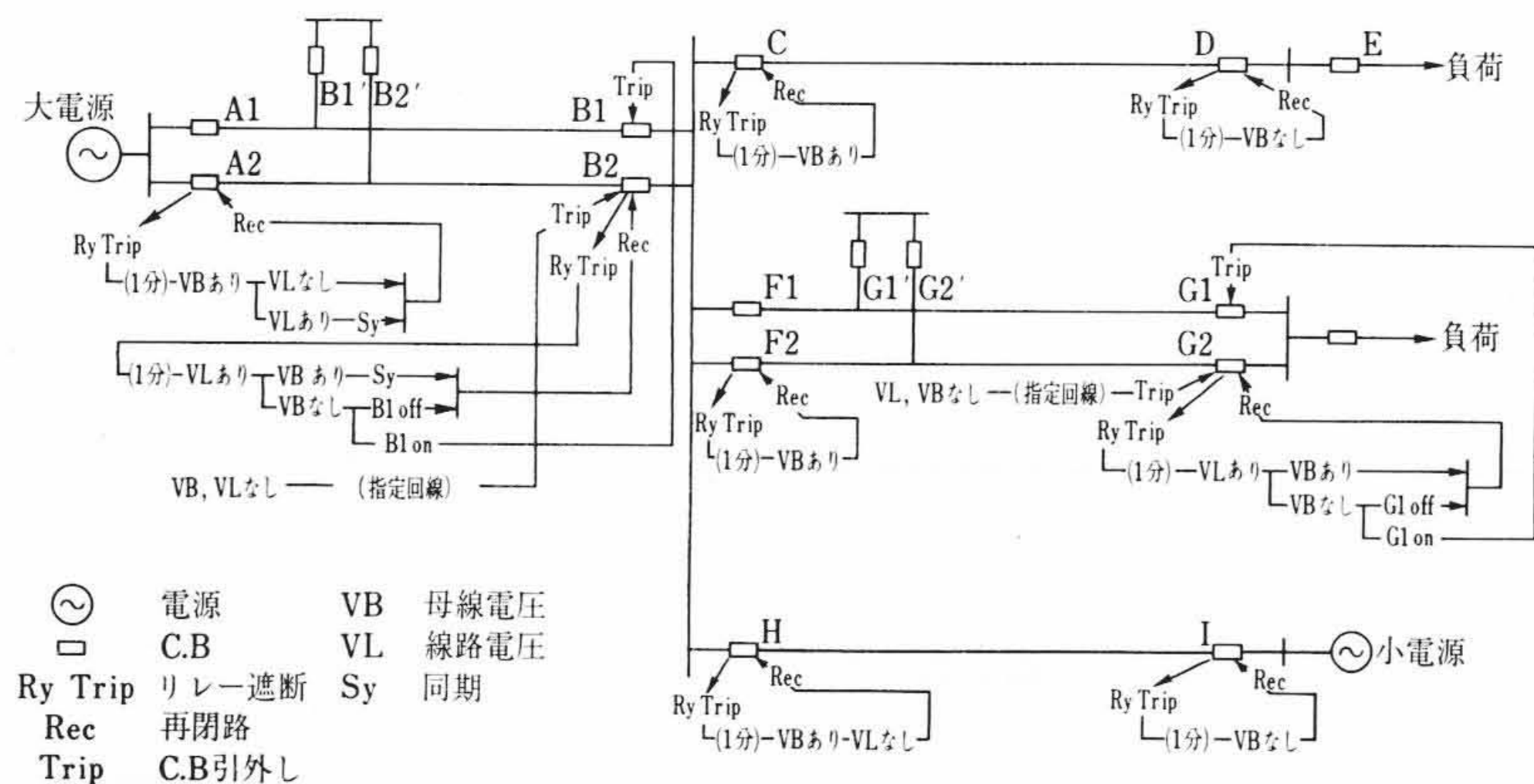


図1 系統自動復旧再開路方式

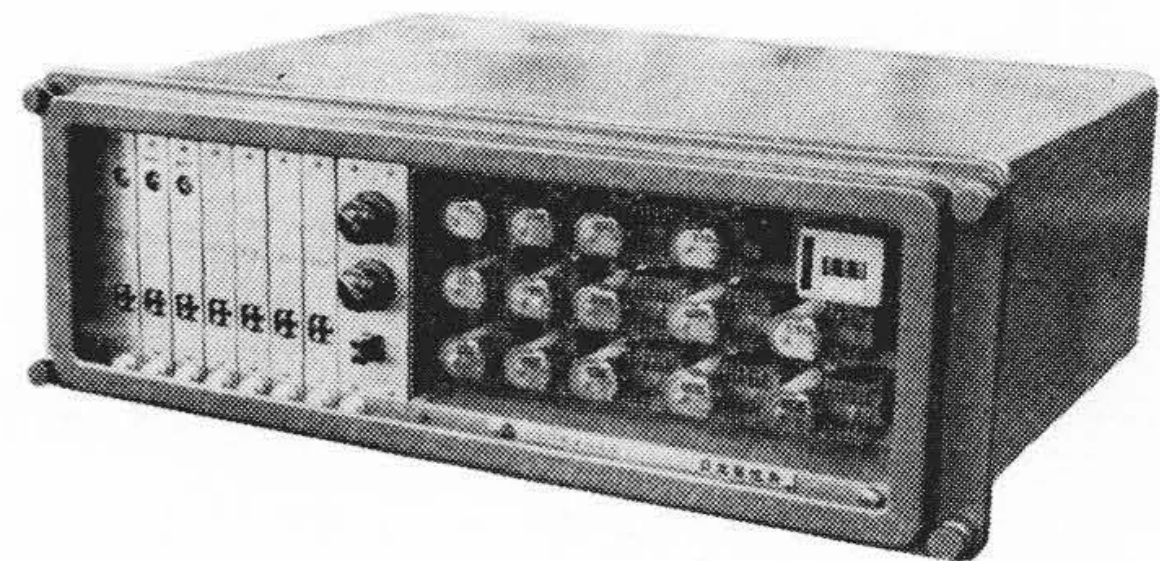


図2 系統自動復旧装置

■ 遠方制御装置およびテレメータの進歩

(1) HS-B 形リレー式遠方制御装置

本装置はワイヤスプリングリレーを使用した、高速動作（選択時間約 2 秒）パルスコード形で、多数変電所の集中制御に適している。盤全体が一体の防塵構造を有しており、かつ双子形ワイヤスプリングリレーの採用により、装置が小形化されたので、リレー盤 1 面の最大実装ポジション数は、従来の 50 から 70 に増加した。

図 1 は関西電力株式会社中京変電所用の装置を示し、現在までに本変電所ほか 21 個所に納入されている。

(2) サイクリックスーパービジョン装置

本装置は遠方にある機器の状態をサイクリックに走査して、中央に表示し、運転状態の監視を行なう装置である。1 要素の表示時間は 0.08 秒で、30 ポジションの表示を約 2.4 秒以内に行なうことができる。また本装置に選択装置を付加することにより、表示項目のうち状態変化したもののみ選択走査するようにでき、30 ポジションの装置により、147 個の表示が可能である。

図 2 は中部電力株式会社名古屋支店現業センタに納入した選択式サイクリックスーパービジョン装置で、配電系統の運転状態の一括監視に適している。

(3) コンビナトーン遠方制御装置

本装置はメカニカルフィルタにより狭帯域周波数 (562.5～

2,962.5 c/s) を選別して、各機器ごとにそれぞれ操作用 3 チャンネル、表示用 1 チャンネルの専用周波数を割り当て、この周波数を送受して、共通の連絡線により散在する機器の集中制御を経済的に行なうものである。

操作、表示時間は、各機器とも約 0.5 秒で、多数の機器の同時操作も可能である。

(4) 無線式デジタルテレメータ装置

本装置は、無線周波数には都市雑音を考慮して、400 Mc 帯をはじめて使用し、信号伝送部には新しく開発した、コンビナトーン方式を適用した。測定および呼出符号は 5 周波の組み合わせによる 2 out of 5 の並列符号を使用しているため、装置の構成が簡単で、測定時間も短く信頼度が高い。

図 3 は名古屋市役所に納入した無線式デジタル水位テレメータで、本装置は都市の水道やガス系統の集中管理に広い応用が期待される。

(5) 積算電力集中自動記録装置

簡易、安価な積算電力集中自動記録装置を開発した。本装置は、電力量の積算値の表示のほか印字用接点出力が簡単に得られる新形積算電力表示器を使用し、これと走査、印字装置を組み合わせ、多数電気所の使用電力量の合理的な集中自動記録を行なうもので、発電所の積算電力量の集中管理や、日報の作成など用途が広い。

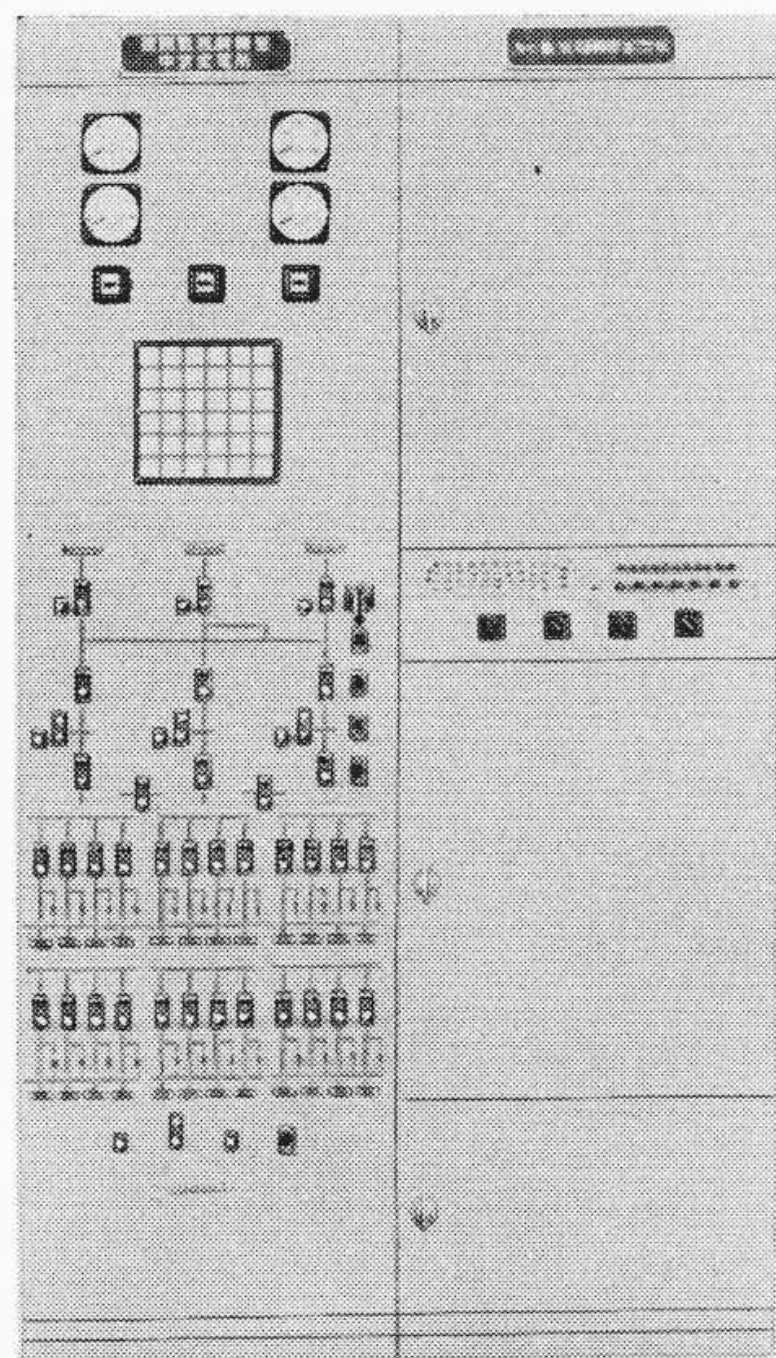


図 1 関西電力株式会社中京変電所納 HS-B 形遠方制御装置

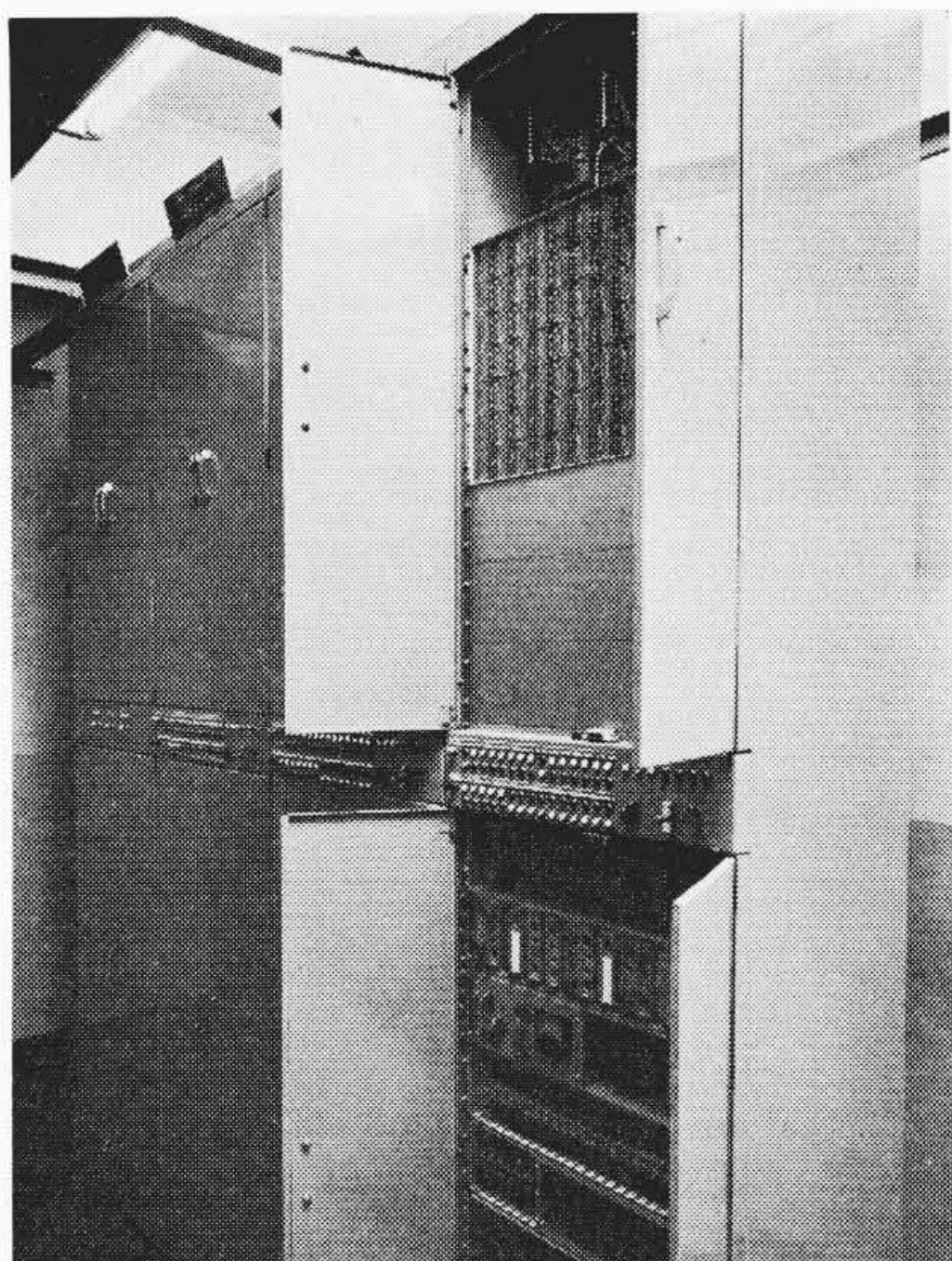


図 2 中部電力株式会社名古屋現業センタ納選択式サイクリックスーパービジョン装置

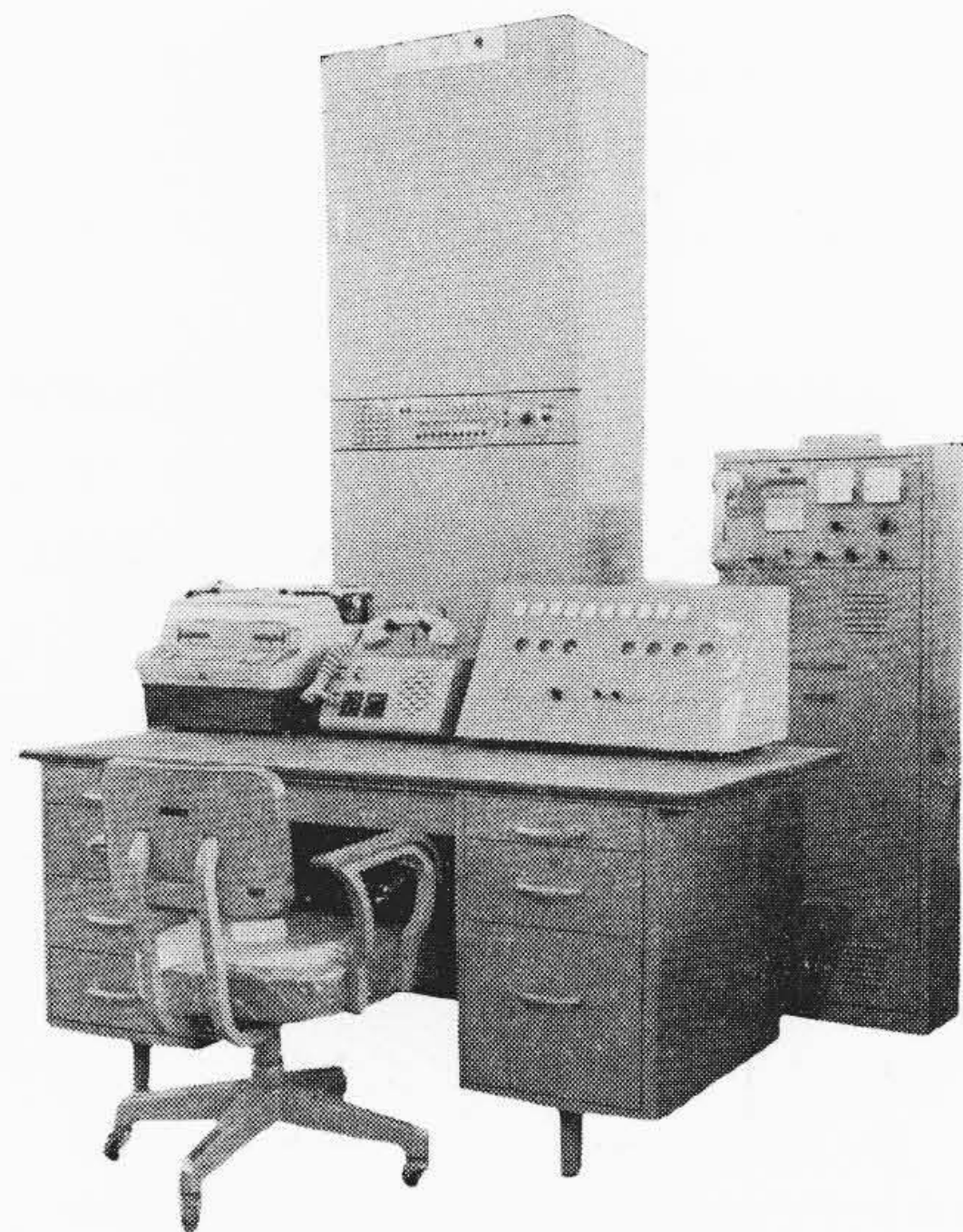


図 3 名古屋市役所納デジタル無線テレメータ受量および記録装置

■ 高圧ネットワーク配電線にパイロットワイヤリレー方式の適用

都市市街地においては電力負荷密度が高く、また瞬時の停電も許されないため、従来の樹枝状配電方式にかわって図 1 のような高圧ネットワーク配電方式が実施されつつある。本ネットワーク配電用として新しいパイロットワイヤリレー方式を開発した。本方式は区分用遮断器として十分な遮断容量をもつ OCB を使用し、短絡・地絡故障とともに事故区間だけを選択遮断して停電区間を極限することを目的としたものである。そのため保護リレー方式としては、2 端子および 3 端子のいずれにも使用できるパイロットワイヤリレー方

式を適用し、さらに故障遮断後は自動再閉路を行ない、停電時間の短縮によるサービスの向上をはかった。

装置は図 2 に示すように高低圧の二つの部分からなり、一括して柱上に設置する。高圧部には遮断器と CT を、低圧部にはパイロットワイヤリレーおよび再閉路回路、遮断器操作回路を収納している。このうち短絡および地絡パイロットワイヤリレーには新しく開発した整流形トランジスタ式リレーを用いた。とくに地絡リレーは配電線が中性点非接地方式であるため新形の ZCT と組み合わせた特別高感度のリレーとし、さらに短絡事故時の誤動作をさけるため短絡優先回路を付加している。図 1 に示すパイロットワイヤは短絡、地絡各リレー間に 3.5 mm^2 、2 対が使用されている。

トランジスタ式であるから回路は簡単で振動に強く、シリコン素子を用いたため温度影響も少ない。また遮断器は電源喪失を考慮したコンデンサトリップ方式を用いているため専用バッテリーの必要がない。本方式は負荷密度の増大にともない、順次ネットワーク化さ

れようとしている都市部配電系統の保護方式として十分の将来性をもつと考えられる。

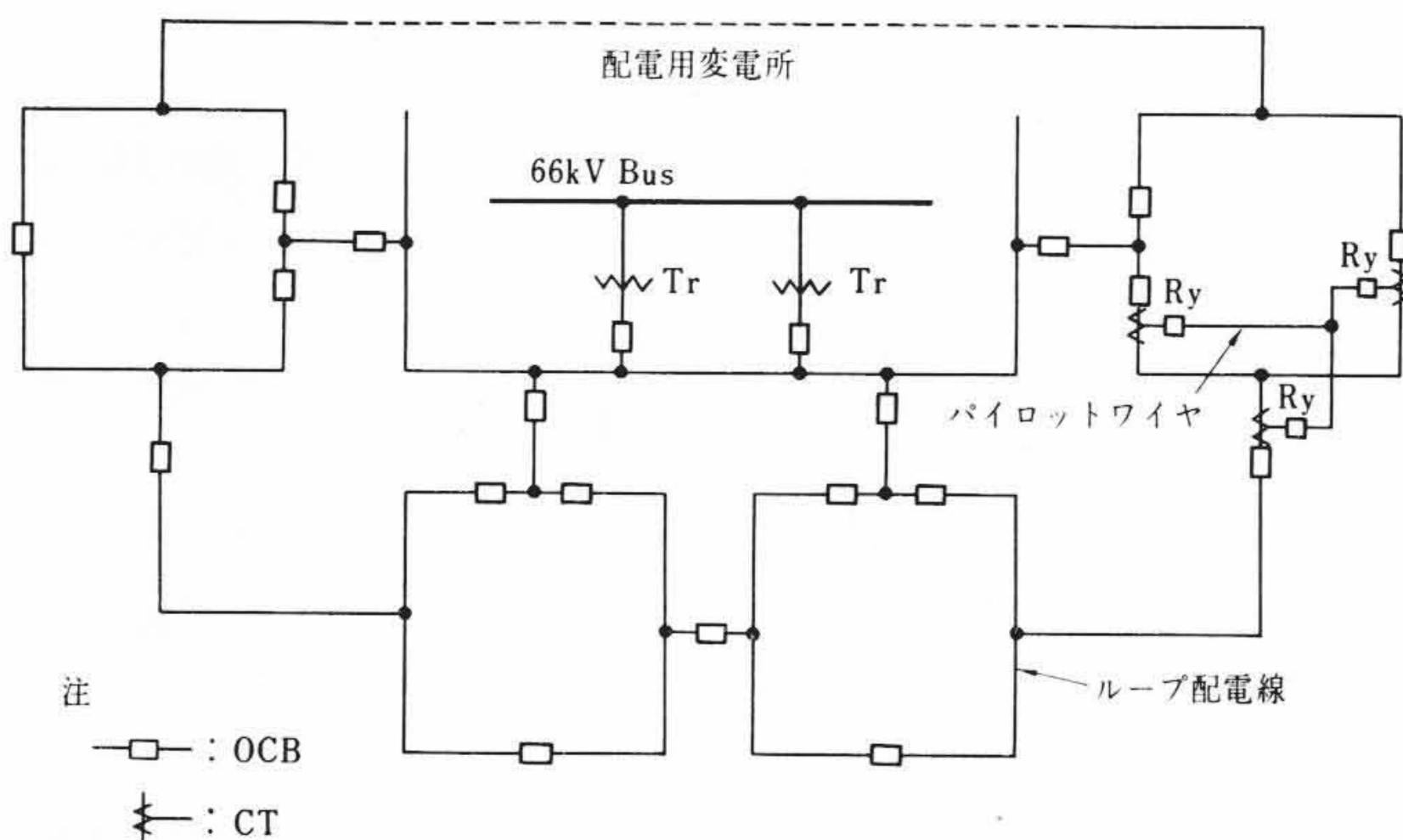
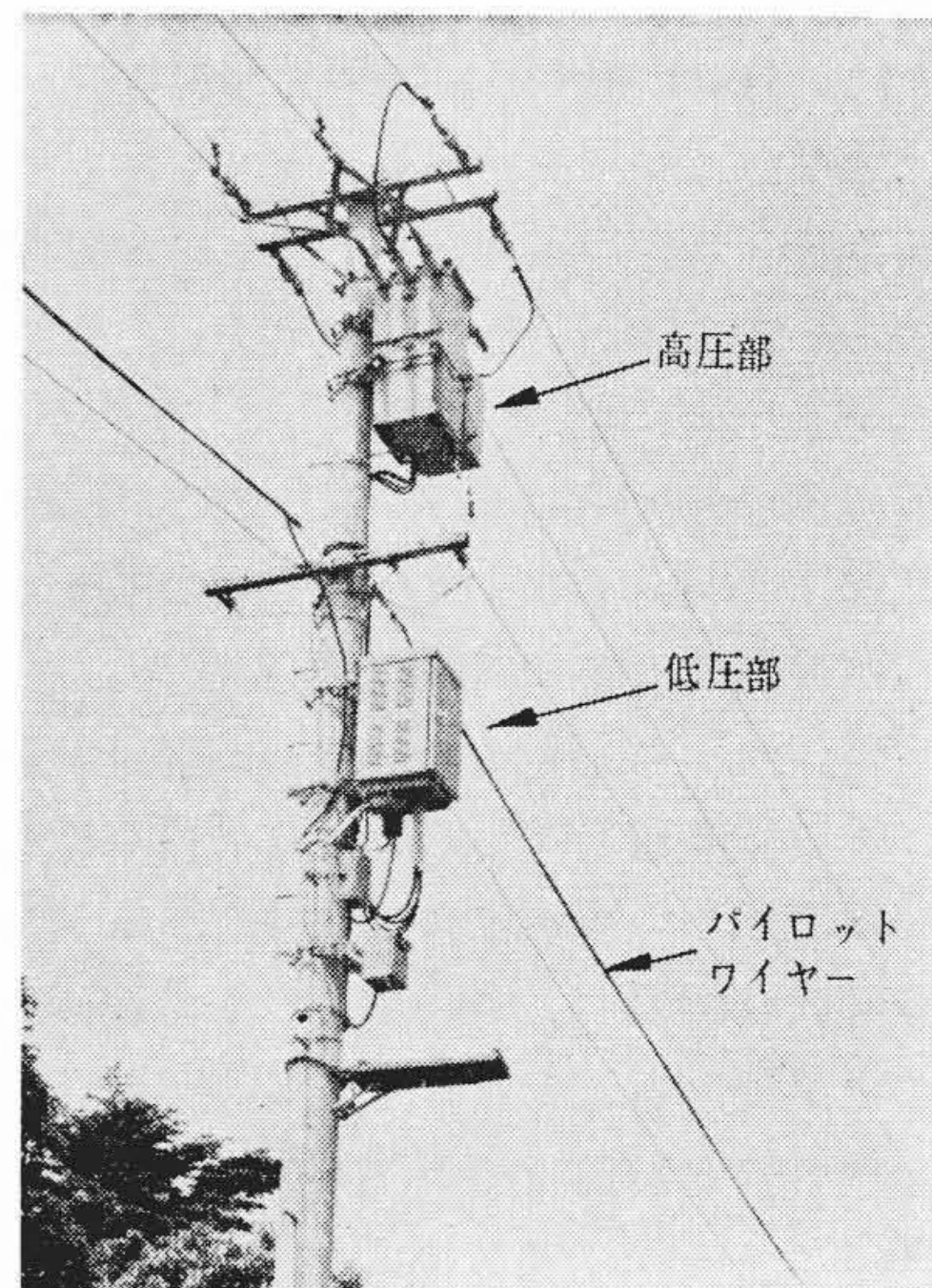


図 1 高圧ネットワーク配電方式

図 2 配電線保護用
パイロットワイヤ
リレー装置



■ 並列分流器による大電流測定装置

化学用電解工場のような低電圧大電流整流設備において、数十 kA 以上の直流大電流を高精度 (0.1~0.5%) で計測するための測定法を開発した。

従来、直流大電流を測定するには、クレーマ形直流変流器 (DCCT) とかホール発電器式直流変流器 (ホール CT) などの間接的な方法が用いられているが、これらは精度の向上および据付後の校正に難点があった。

今回開発した並列分流器による大電流測定方式では 10 kA 程度の同一定格の多数の並列分流器から精密に抵抗値をそろえた抵抗加算器を介して、各分流器の電圧降下の平均値を計測する原理を採用し 0.5% 以上の高精度が得られた。図 1 (A) は加算方式の原理と計測器の入力電圧 (e_0) の理論式を示す。この式からも明らかなように、加算器の各対の抵抗値 (R_{11} と R_{12} , R_{21} と R_{22} , ..., R_{n1} と R_{n2}) が高精度にそろっていると、誤差の要因となる母線電圧降下 (V_1 , V_2 , ..., V_n) は完全に消去されて計測器 (Z_f) の入力端子には表われない。こ

れが本方式の大きな特長となっている。

この計測システムの見定めは、図 1 (B) に示すように、実際に使用する分流器を直列に接続し、これに加算器および計測器を組み合わせ、単位分流器の定格程度の 10~15 kA の電流で、容易に実施できる。これは DCCT, ホール CT のように磁氣的結合ではなく、直接電氣的に結合した回路なので製作工場での校正試験と現地使用状態との等価性については最もすぐれた方式である。計測器としては電子式平衡形電流計、記録計、電流積算計、WH 計、またはデジタル・ボルトメータなどが使用される。

本方式の開発にあたっては、昭和電工株式会社喜多方工場のご協力を得て、DC640 V・40 kA, および DC 320 V・120 kA の電源設備を使用して、母線電圧降下の影響、誘導ノイズ、磁界の影響などについて検討し、十分満足すべき結果が得られた。

化学用電解設備では変電効率の向上をはかる目的から 100~200 kA の大電流を高精度に測定することが要求されており、本方式は単位分流器のチェックが容易な 10 kA 程度の分流器の組合せで、高精度に計測するもので、今後この方面で広く採用されることが期待される。

図 2 は昭和電工株式会社喜多方工場 DC320 V・120 kA 設備に納入した計測装置の外観である。

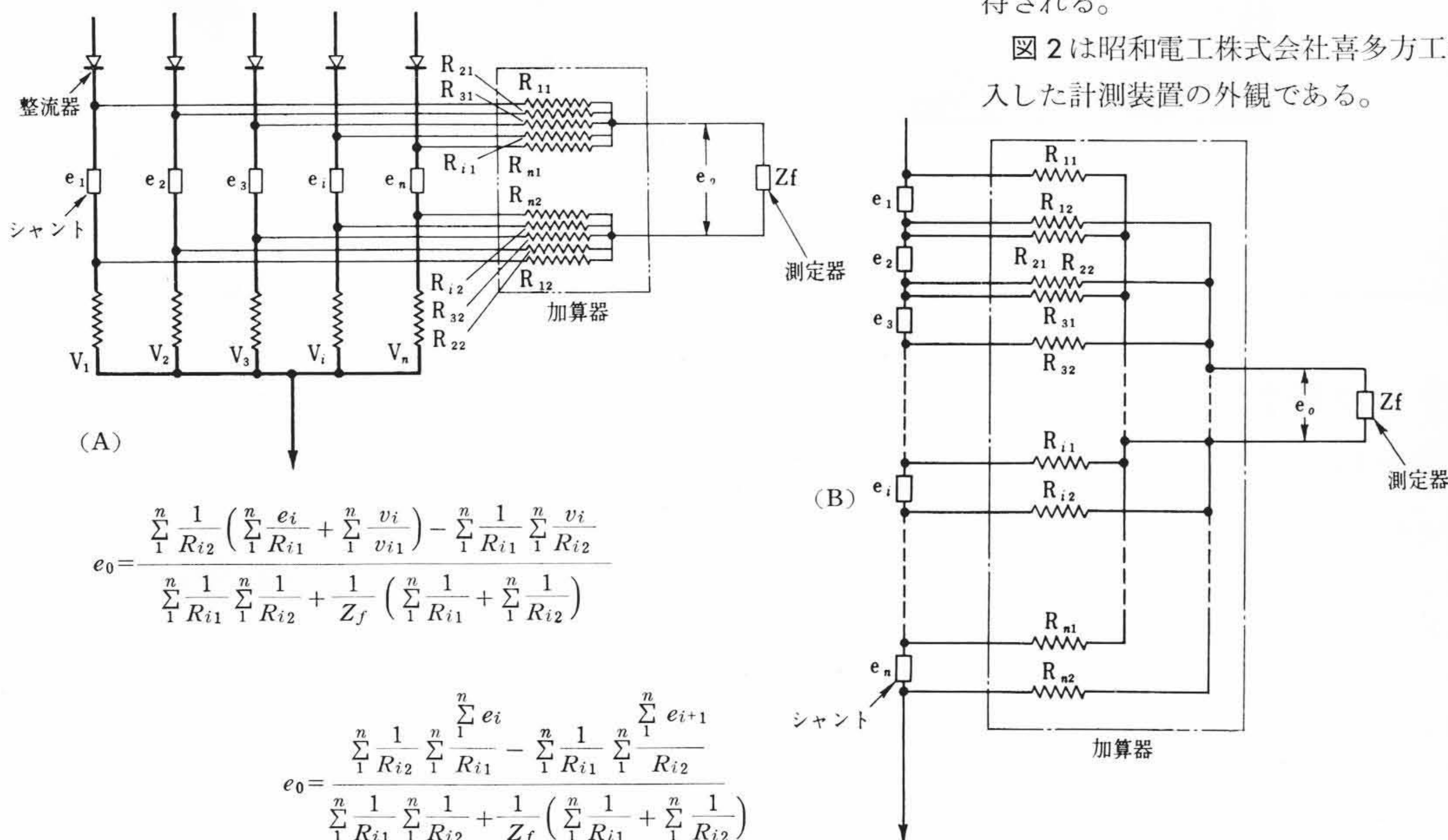


図 1 加算方式原理図



図 2 大電流測定装置

■ 60～70 kV 屋外キュービクル

塩害、塵害(じんがい)の防止、保守の安全、敷地の縮小、美観などの点から従来の開放式受電設備に代わって主回路機器を接地金属板で囲い、充電部が露出しない全閉鎖式の60～70 kV屋外用キュービクルを開発し、さきに納入した日産自動車株式会社座間工場に引きつづき、日本セメント株式会社香春工場、およびゼネラル石油株式会社堺製油所に納入した。

本キュービクルは鋼板製1.8 m幅の側壁および屋根のユニットパネルを門形ラーメンに組み立て、数ユニット接続する完全組立方式である。柱を使用せず側壁で全荷重を受ける構造としているので、鉄骨構造やコンクリート式建屋にくらべ、基礎工事が簡単であり、各部品は工場で製作され、現地では各ユニットを組み立てるだけなので据付期間が短く、また増設が容易であるなど日立独自の特長をもっている。

なお、ゼネラル石油株式会社堺製油所には、70 kV受電用キュービクルのほか、構内の各変電所用として、屋内用メタルクラッド、

コンビネーションスタータ、低圧制御装置などを収納するハウジングを4組納入した。これは70 kVキュービクルのハウジングと同様の鋼板製組立式の構造のもので、内部収納機器は屋内用となり運転保守が容易である。

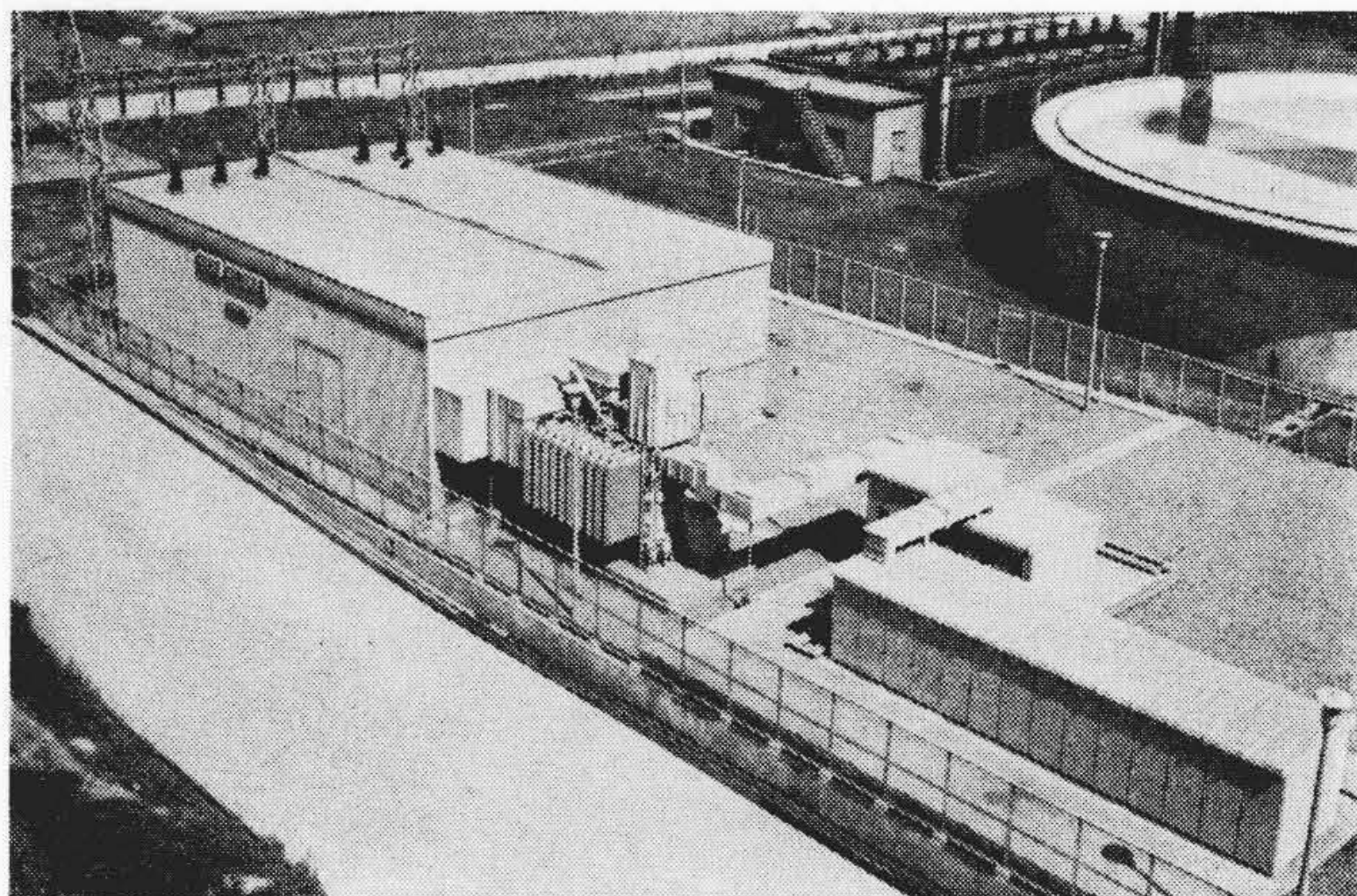


図1 60～70 kV 屋外キュービクル

■ 1,600 V SCR, 3,000 V SR の完成

SCRの耐電圧の向上、電流量の増加は著しいものがあり、定格電圧1,600 V 過渡定格電圧1,920 V, 250 A SCRを完成した。耐電圧が増すため接合パラメータの設計には電子計算機を使用して最適パラメータの決定を行ない、接合表面整形により表面電界強度を小さくした構造にした。耐電圧を増す結果順電圧降下、ターンオン特性が低下するのでベース層の少数キャリアのライフタイムを増す拡散技術と耐電圧特性、ターンオン特性に影響を及ぼす均一な接合面を得る合金技術によってアバランシェ形のV-I特性を有し表面電界強度の低減とともに素子の信頼性をたかめている。

本SCRの完成によりタップチェンジャ方式にかわりSCR制御方式により日本国有鉄道納2,200 kW交流電気機関車を製作中であり、車両分野にSCRが本格的に使用されようとしている。一方電動応用においても1,500 kW級静止レオナードをはじめ各種励磁

用電源などへの適用が活発化している。このようにSCRは電力装置への適用がすすんできているが今後耐電圧の向上はさらにすすむと考えられ、それにとまってスイッチング損失の処理に対するSCRの改良と回路設計上の検討が必要となると思われる。

一方従来1,300 V素子が量産されていたSRは世界でも類を見ない定格せん頭逆耐電圧3,000 V, 300 A SRの完成を見た。高耐圧SRを開発するためSCRの製作技術を十分採り入れた。特に拡散工程の少数キャリアのライフタイムの制御、接合表面整形および処理に検討を加えアバランシェ形特性の信頼性ある素子である。

本素子の完成により装置適用時直列数が余裕分として必要直列数+1個と考えても57%に低減が可能となり、据付面積54%、重量で63%に、損失が58%に低減する経済設計が可能となる。現在電鉄用直流変電所整流装置として3,000 kW 600 V, 3,000 kW 1,500 V容量のものを製作中であるが、今後本素子を1段階としてさらに耐電圧向上がみられるであろう。

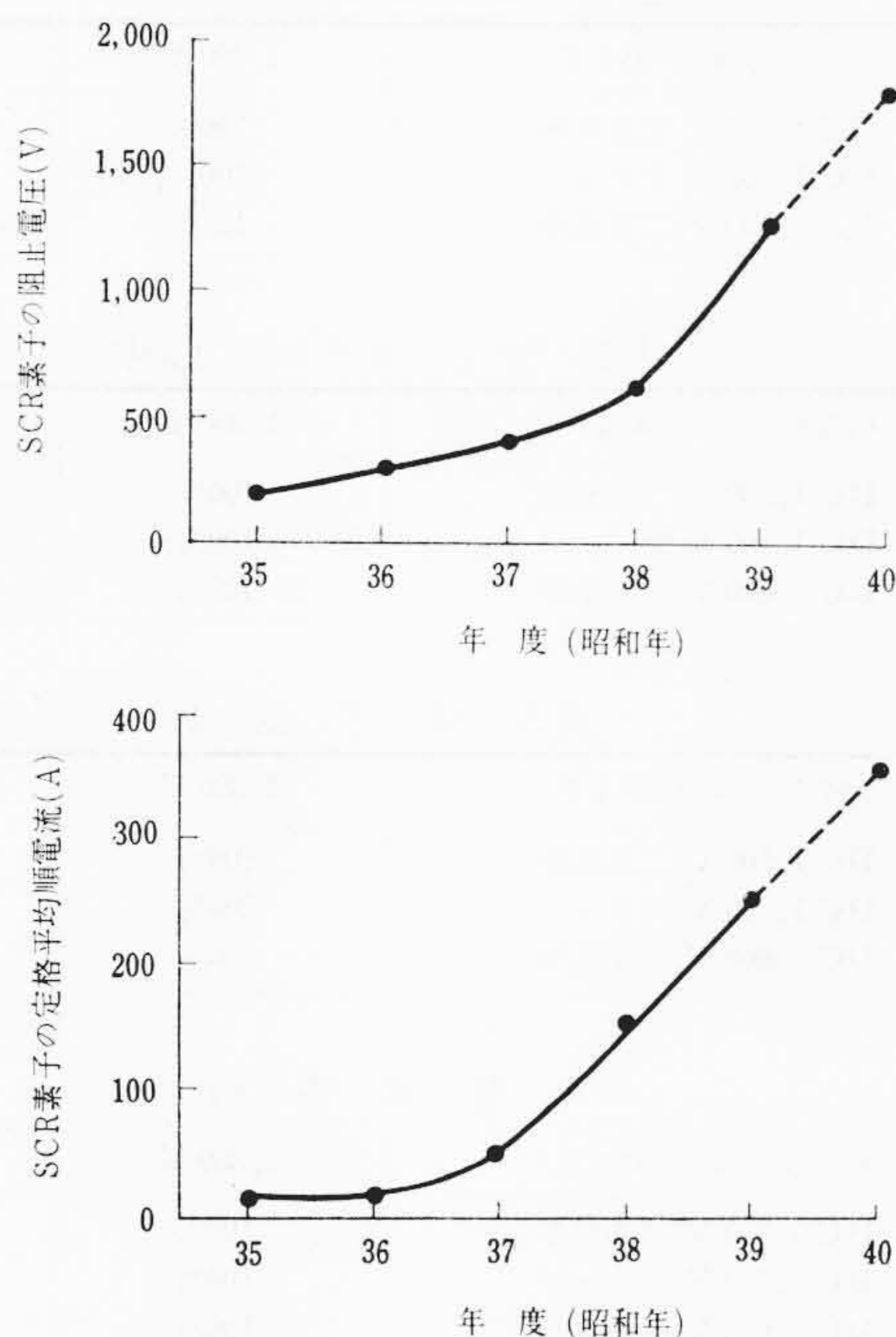


図1 SCR 定格電圧・電流の推移

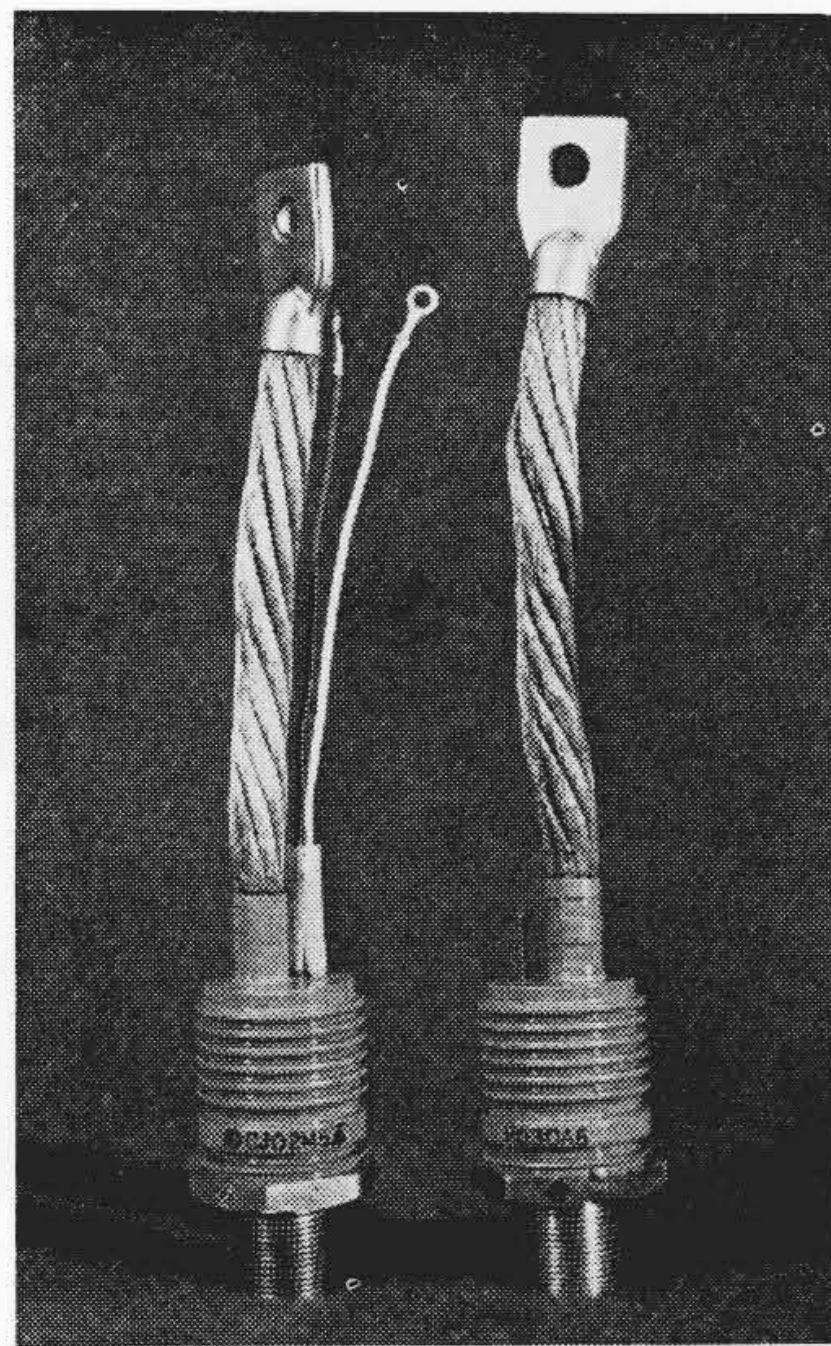


図2

(左) 1,600V 250A SCR (右) 3,000V 300A SR

■ 海外に進出する大容量シリコ フォーマ

従来のシリコン整流装置は変圧器と整流器がそれぞれ単独に設置され、機器間を導体で接続する方式であったが、最近、整流装置を構成する各機器を一体化して接続導体を簡略化し、効率、力率の向上、据付床面積の縮小が得られるシリコフォーマ（Silicoformer、日立シリコン変圧整流装置）を開発し、台湾チャイナプラスチックス社へ 11,000 kW 220 V 50,000 A のものを納入した。本装置は、33 タップの負荷時電圧調整器、整流器用変圧器、電圧微調整用可飽和リアクトル、シリコン整流器、異常電圧吸収装置などすべて一体として構成されているため、交流側ブッシングに電源を接続すれば、直流端子より出力が得られるきわめて簡便な整流装置である。このため現地据付工事が簡単になり、工事費、工事期間が著しく節減できた。

すでに日立製作所ではインド、台湾、韓国、ブラジルなどにシリコン整流器を多数輸出しているが、本 11,000 kW シリコフォーマは輸出品としてわが国の記録であるばかりでなく、受電電圧が 66, 33 kV の 2 重定格で、直流電圧の調整範囲も 55~220 V の広範囲にわたる特殊仕様のものである。本シリコフォーマの総合効率は、220 V の低電圧で特殊仕様にかかわらず、熱交換効率の高い特殊水冷式導体を使用した整流器の小形化などにより、受電端の交流遮断器から直流開閉器まで接続導体もすべて含めて 97% 以上の高効率が得られ、

シリコフォーマのすぐれていることが確認された。直流電流は磁気増幅器形可飽和リアクトルにより定電流制御され、現地運転結果 ±0.6% の高精度が得られ、昭和 40 年 9 月運転開始以来好調に連続運転中である。

これにひきつづき、韓国向食塩水電解用として 2,380 kW 85 V 28,000 A シリコフォーマが製作中であり、今後の海外進出が期待される。図 1 は 11,000 kW シリコフォーマの外観を示す。

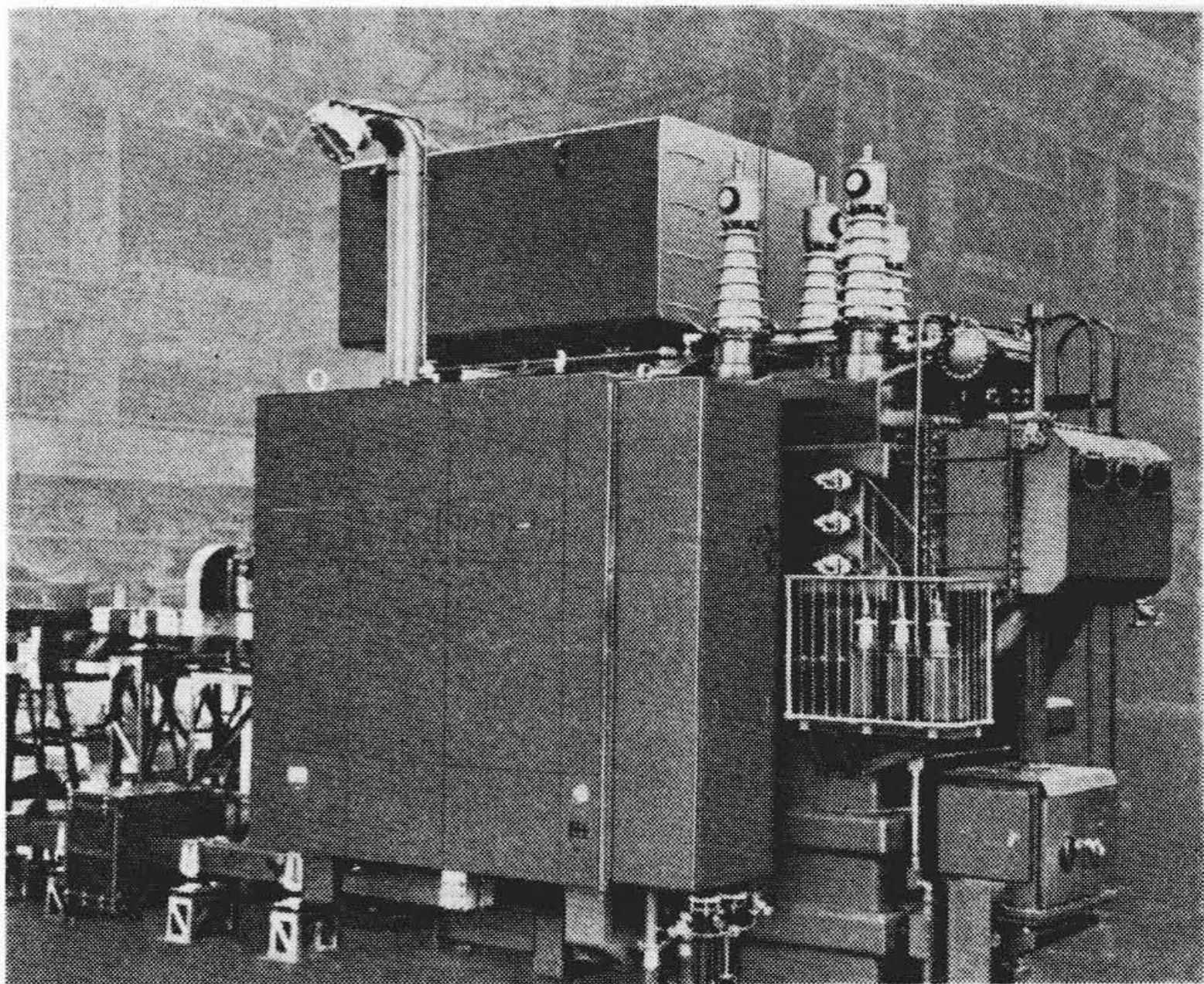


図 1 11,000 kW シリコフォーマ

■ 3,000 V 高耐圧素子を使用した 電鉄用シリコン整流器

3,000 V 高耐圧素子を使用した電鉄用シリコン整流器を開発し、京阪電鉄天満変電所に 3,000 kW/600 V 整流器を、また東京急行中目黒変電所に 3,000 kW/1,500 V 整流器を納入した。H03 形 3,000 V 300 A 素子は世界最高の逆耐圧を有する大容量整流素子であり、この素子を使用した結果非常にコンパクトな構造とすることができた。この利点は次のとおりである。

- (1) 使用素子数が従来のものと比較し半減した。この結果キュービクルの重量、占床面積が大幅に縮小した。
- (2) 付属部品の減少に伴い、装置の信頼度が向上し、保守の手

- 数を減少させることができた。
- (3) 素子直列数が半減したのでキュービクル内発生損失は 30~40% 減少し、効率も大幅に向上した。
- (4) 損失が大幅に減少した結果、冷却風量も従来の約半分となり、冷却ファンの騒音をそれだけ低下させることができた。
- (5) 据付床面積の減少、ファン騒音の低下、信頼度の向上、保守の手数の減少は変電所の計画、特に市街地における大容量無人変電所の計画をいっそう容易なものとした。

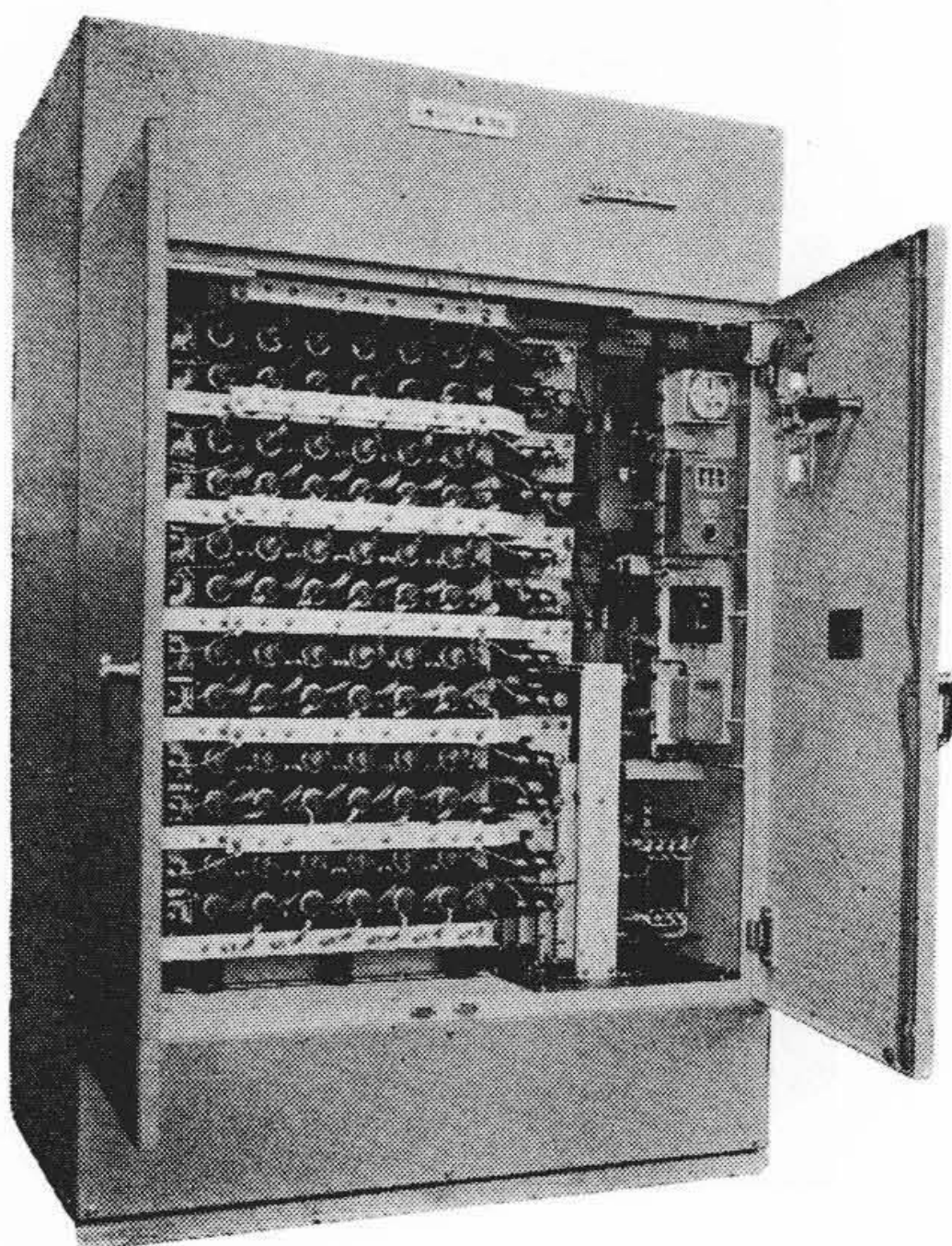


図 1 3,000 kW 600 V SR

表 1 素子直列数の比較

結線方式/素子 P I V	1,300 V	3,000 V
DC 1,500 V 二重星形	100%	60%
DC 1,500 V ブリッジ	100%	60%
DC 600 V 二重星形	100%	50%

表 2 キュービクル据付面積

結線方式/素子 P I V	1,300 V	3,000 V
DC 1,500 V 二重星形	100%	55%
DC 1,500 V ブリッジ	100%	75%
DC 600 V 二重星形	100%	50%

表 3 分 圧 器 数

結線方式/素子 P I V	1,300 V	3,000 V
DC 1,500 V 二重星形	100%	60%
DC 1,500 V ブリッジ	100%	60%
DC 600 V 二重星形	100%	50%

表 4 整 流 器 損 失

結線方式/素子 P I V	1,300 V	3,000 V
DC 1,500 V 二重星形	100%	60%
DC 1,500 V ブリッジ	100%	70%
DC 600 V 二重星形	100%	60%

■ 電気化学工業用に進出するSCR装置

最近のシリコン制御整流素子(SCR)の単位容量の急速な増大、高耐圧化、価格の低下、およびこれに伴う素子の直並列技術の進歩、ゲート位相制御装置の信頼度の確立などより、低圧大電流を要求する電気化学工業用直流電源装置にもSCRの使用が性能的にも價格的にも十分有利な態勢となってきた。従来使用されて来たSR(ダイオード)に対しSCRはそれ自体電圧制御能力を有するため、負荷時電圧調整器、誘導電圧調整器および可飽和リアクトルなどの付帯の電圧調整機器をいっさい不要となるため、総合効率の改善、小形軽量、電圧の円滑な調整、速応性、接点などの消耗品の絶無、低騒音、保守の容易性などとあらゆる利点を有し可変電圧直流電源装置の最終的理想形態といえる。またゲート位相制御装置はすべてトランジスタ、小形SCRの使用によりきわめてコンパクトとなり、本体SCRキュービクル内にまとめられるため従来の磁気増幅器式定電流装置一面が不要となった。今回日立製作所では志村化工株式会社向ニッケル電解用1,350 kW 450 V 3,000 A SCR 2台を納入した。本装置は直流電圧の調整範囲が145~450 Vの広範囲にわたるため、整流器用変圧器1次側△-人切換とともに3相ブリッジSRと3相ブリッジSCRとの直列接続方式を採用しており、SCRにはインバータ領域より整流器領域まで広範囲の位相制御を行なっている。また変圧器—整流器間導体損失を含めた総合効率97%以上、定電流精度±1.0%以下というきびしい仕様に対しても工場および現地試験で十分満足していることが確められた。さらに25 Vの負荷急変に対し

て定電流制御系の応答速度が5 c/s以下で、直流電流計の指針の振れがほとんど見られないすぐれた結果が得られた。昭和40年10月運転開始以来現在まで好調に連続運転中である。日立製作所ではこのほか600 kW 3,000 A 2台、92.5 kW 5,000 A 4台を製作しすべて好調に運転中でありSCRの今後の進出が期待される。

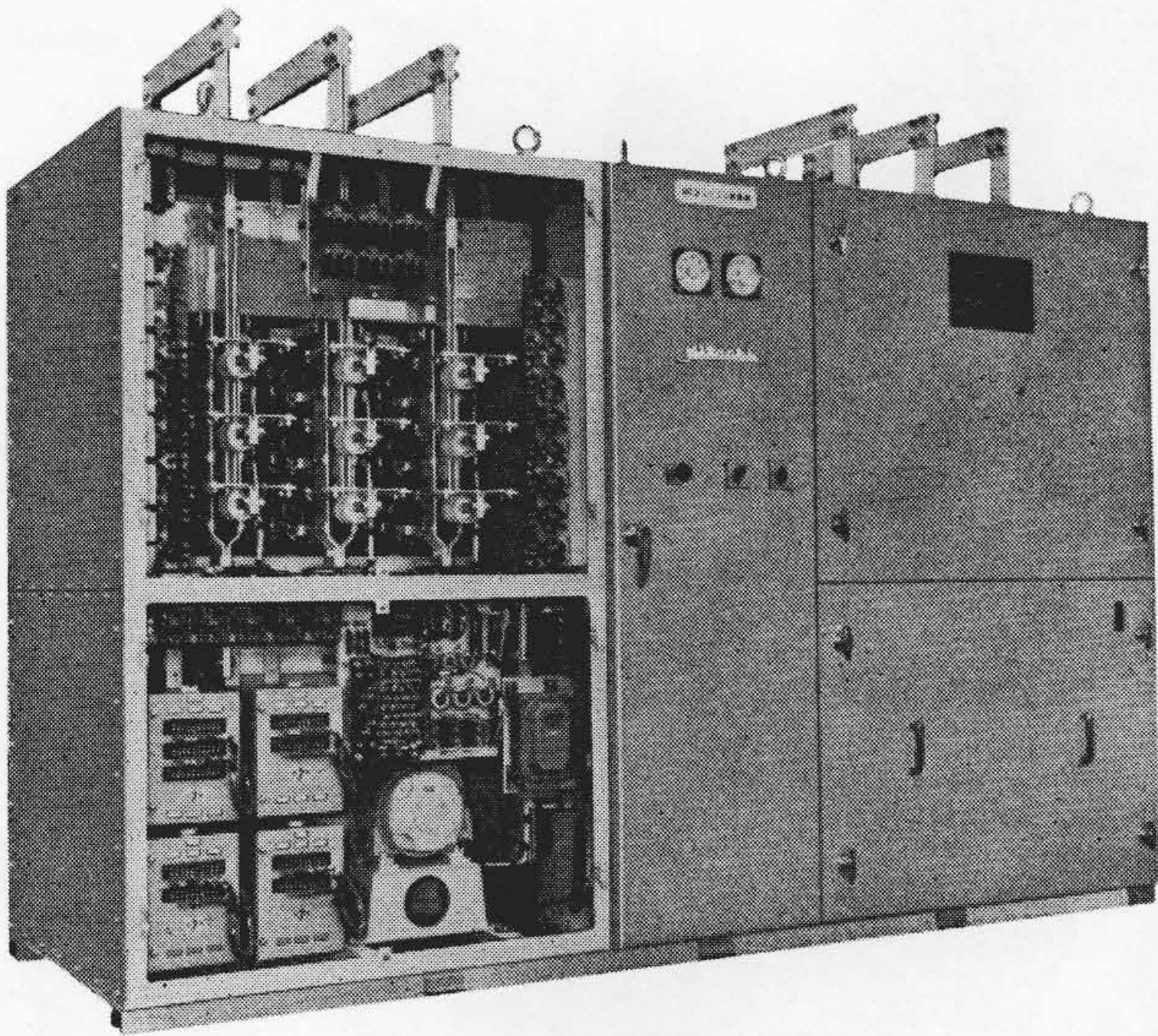


図1 1,350 kW 450 V 3,000 A SCR

昭和40年度における日立製作所の社外寄稿の成果													(昭和39年11月~昭和40年10月)
	39/11月	12月	40/1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	合計
電気関係	47	10	51	12	21	21	13	16	32	27	31	11	292
車両関係	6	11	7	2	5	2	6	2		2	2	5	50
機械関係	4	7	3	3	10	17	7	14	11	7	9	13	105
化学プラント関係	2	2	5	10	5	4	1	1	2		5	1	38
建設機械関係		1	1	2		1			5	2	2	2	16
汎用機関係	1	2			1	1	1	1	1		2	1	11
商品関係	7	6	4	2	3	4	6	2	5	5	3	2	49
自動車機器関係		1				2	1	1	1	2			8
家電関係	4	4	5	4		6	4	2	7	1	3	6	46
通信関係	10	4	6	2	6	3	4	7	5	19	3	8	77
コンピュータ関係	3	4	1		4	1	4	1	3	10	1	1	33
電子部品関係	7	3	7	8	8	9	5	7	3	14	5	8	84
計測器関係	9	3	7	15	9	8	9	7	6	6	8	7	94
研究関係	19	17	18	26	16	6	13	27	34	46	23	17	262
経営・管理関係	2		2	1	1						2		8
その他	1	2			1	1	4	2	1	2	2		16
計	122	77	117	87	90	86	78	90	116	143	101	82	1,189
学協会	69	20	59	47	29	22	21	32	55	89	38	26	507
協会の他	13	10	16	10	7	16	11	13	14	3	23	15	151
その他	40	47	42	30	54	48	46	45	47	51	40	41	531
合計	122	77	117	87	90	86	78	90	116	143	101	82	1,189