

最近の産業用受変電設備の動向

Recent Trends of Substation Equipments

連続プロセス産業、上下水道など、あらゆる分野で電源の停止は企業並びに地域社会に多大な影響を及ぼす。このため、産業用受変電設備に対して最近特に設備のトータルシステムとして高い信頼度をもつものを設置する動向にある。同時に省力化、安全性、経済性など多様化するニーズに対応して、システム構成機器も新規製品の開発と在来機種改良が研究されている。

本論文では各種ニーズとその対応技術及びそこから生まれる製品の推移を中心に、受変電設備の系統構成、監視制御及び主回路構成機器の最近の動向について述べた。

中川幸太郎* Kôtarô Nakagawa
梶 徳 敬* Yoshiyuki Kaji
竹島良博** Yoshihiro Takeshima
豊田武二*** Takeji Toyoda

1 緒 言

受変電設備は石油精製、鉄鋼、アルミ製錬、機械その他の各種産業の生産動力源であり、特にビルディングをはじめ各種事業所の居住性の維持(空調、照明、昇降機など)、保安設備確保(防災など)の各種電源である。また、プロセス自動制御を行なう電子計算機など重要負荷の電源でもある。近年は設備システムが巨大となり複雑・高度化されており、これら重要負荷の短時間電源停止でも、その受ける影響は多大となり電源設備にはますます高い信頼度が要求されるようになった。

一方、最近の地価の高騰に対する設備の小形化、環境保全に対する低騒音化、安全性の確保、設備保守の容易性及び省力化など多くのニーズが要請されるとともに、経済面での当初設備費及び運転費の最小化が要求される。

受変電設備を構成する各コンポーネントは同一容量であっても、多様化する各ニーズに対応したそれぞれの特徴をもつ多種類のものが用意されているので、設備規模や目的に応じ、要求されるニーズの優先順位を決定し、設備形態、構成、各コンポーネントの仕様など、最適の設備を選択することが必要である。

以下、個別論文に先だち最近の受変電設備の動向について述べる。

2 系統構成の動向

2.1 主回路系統

主回路系統は需要家受変電設備の動脈に相当するもので、受電から負荷に至るまでのエネルギー供給ルートである。

主回路系統は大別すると、電力会社から直接受電する受電系、受電された電圧を負荷配電に適切な電圧に降圧する変圧器系及び負荷に配電する二次母線系の三つの系統に分割することができる。従来はこれらの系統の内部構成については、電力会社や需要家又はメーカーによりそれぞれ方式が異なっていたが、需要家の受電設備にかかわる事故及びそれに起因する波及事故を防止し、併せて電力供給信頼度の向上を目的とし、70kV以下の特別高圧受電設備に対して標準的な基準⁽¹⁾が作成され、これに基づく方式が今後の主回路系統の主流となろう。特に受電系における受電方式は電力会社の送配電系と直結しているために、この標準方式の適用が不可欠となる。受電方式の適用を規模と重要度の点から示すと図1のようになる。石油化学や鉄鋼のような連続プロセス産業においては、

規模も大きく瞬時の停電も許容されない分野では常時自家発電機を並列運転する方式が適している。また一般工場においても、最近では生産性の向上面から負荷に対する電源の供給信頼度が重要視され、そのため信頼性の高い受電方式へと計画されるようになってきている。

主変圧器は変圧器系における主要機器であると同時に、受変電システムの中心的な機器であり、その事故は負荷に対する電力供給停止に直ちにつながる。従って、主変圧器系の選定は経済性の点だけではなく電源供給信頼度、負荷に対する系統の安定度及び将来の拡張性の点から行なう必要がある。

二次母線系については、最近のしゃ断器や閉鎖形配電盤などの主回路構成機器の品質及び性能の向上による信頼性向上により簡素化される傾向にあるが、同時に運用の自由度のある方式(例えば、しゃ断器連絡単一母線方式)などが多く用いられている。しかし、連続プロセス産業や超高層ビルのように瞬時の停電も許容できない設備では、二重母線方式や、構内における常用と予備の2電源方式を用い、重要負荷に対し

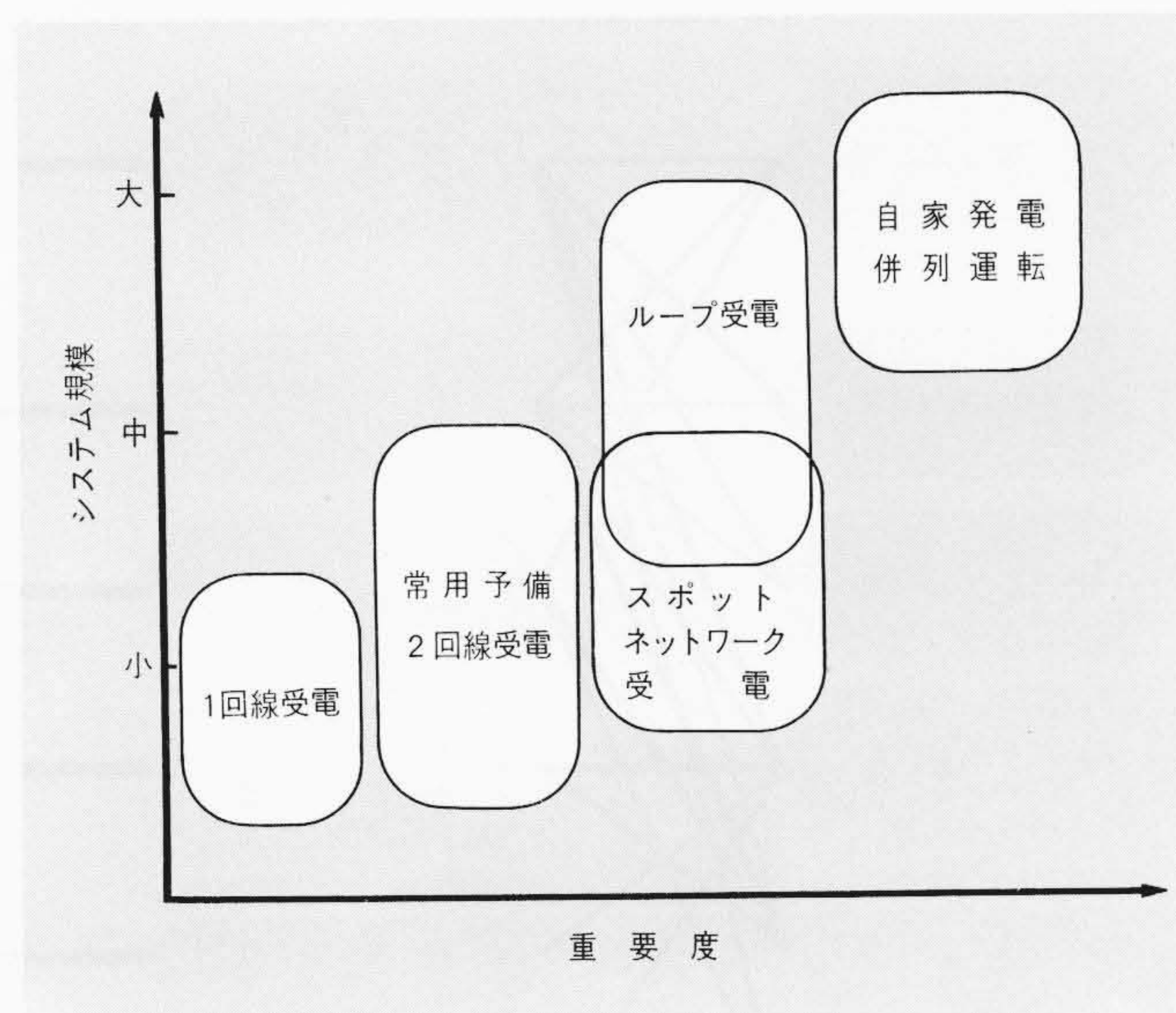


図1 受電方式の適用 システムの規模と重要度による受電方式の適用を示す。

* 日立製作所機電事業本部産業技術本部 ** 日立製作所国分工場 *** 日立製作所大みか工場

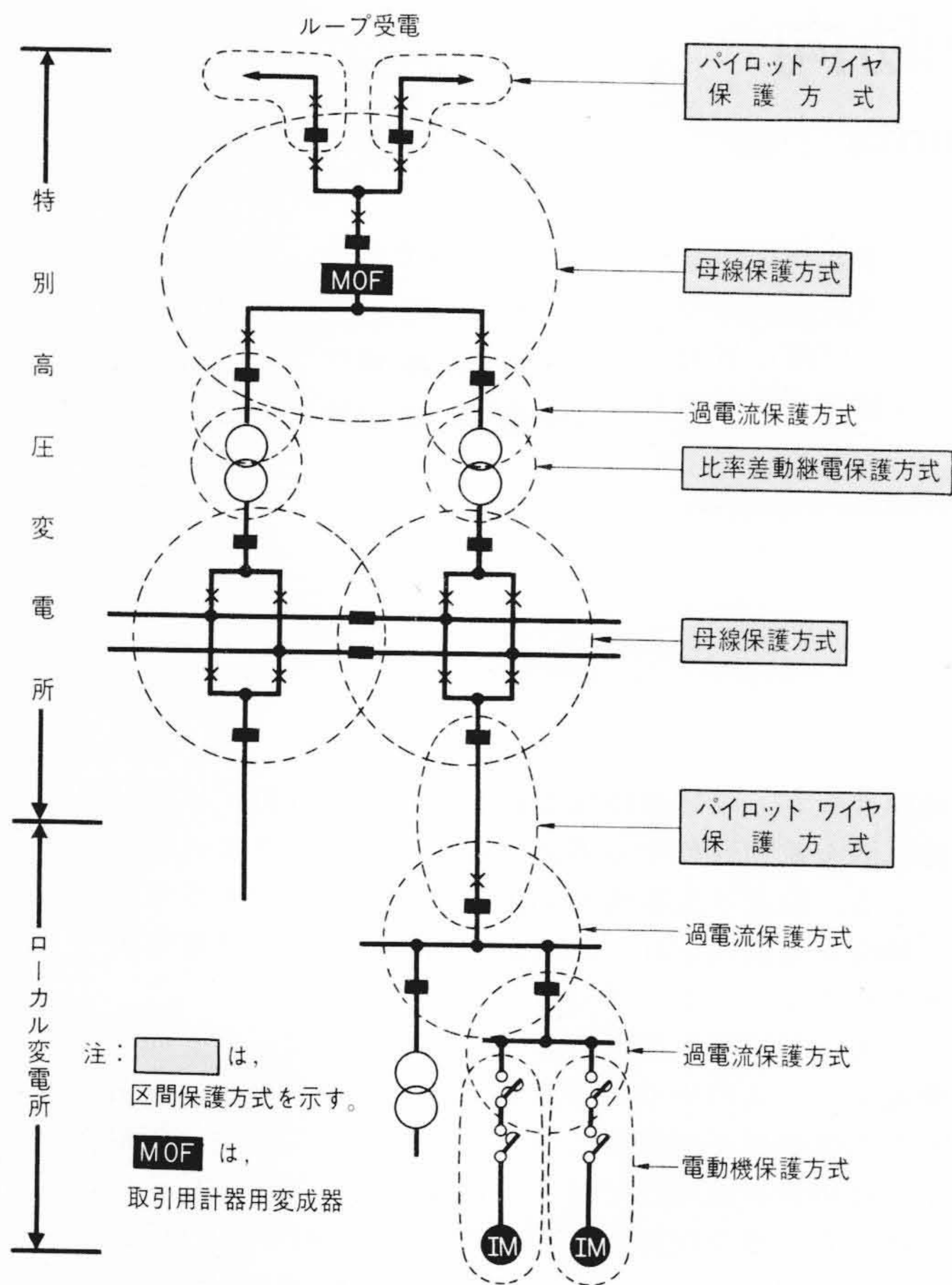


図2 広域需要家保護方式の例 広域需要家における保護継電システム適用の一例を示す。

常に電源の確保を図っている例が多い。

2.2 供給信頼度の向上

受変電設備の故障は負荷に対する全停電、若しくは広範囲の部分停電を発生させるため、電源の供給信頼度をあらかじめ計算して最適の方式を選定する動きにあり、その計算法については電気学会など⁽²⁾⁽³⁾に報告されている。供給信頼度は停電発生確率(P 回/年)と停電時間(T 時間/年)の2要素を考え、それぞれを小さくする必要がある。 P を小さくするものとしては、機器の構成点数を減らし、また信頼性の高い機器を使用することであり、この方向としては系統の簡素化、乾式化及び安全性の向上などが挙げられる。 T を小さくするものとしては、故障復旧時間の短縮であり、保護しゃ断範囲の極小化と選択性の確保、変圧器を2バンク以上設けるなどの並列冗長回路の採用がある。

2.3 保護方式

受電点に対し樹枝状に配電される構内電力系統では、保護協調は電流限時協調による限時選択方式で十分であったが、設備規模の拡大や自家用発電設備の併用により、端末負荷側からの要求と受電点における短絡強度と電力会社の送配電系統との保護協調から、従来の限時選択方式だけでは需要家内の完全な保護協調を得ることは困難となり、図2の例に示すように区間選択方式やトランジスタ継電器による性能の向上などにより問題の解決を図っている。これらのほか、従来は単に故障が発生すれば故障箇所を系統より迅速に選択しゃ断するのが主であったが、最近は設備全システムとしての保護を行なう方向になっている。すなわち、故障モードをあらかじめ予測し、異常発生時には直ちに予測した内容でシステム保護動作を行ない、システムとしての電源供給信頼度の向上を図ろうとするものである。この内容としては、買電、自家発電並列運転時の電源故障時に行なう負荷選択しゃ断装置⁽⁴⁾や、電源故障時に直ちに健全回線を探して復旧させる自動事故復

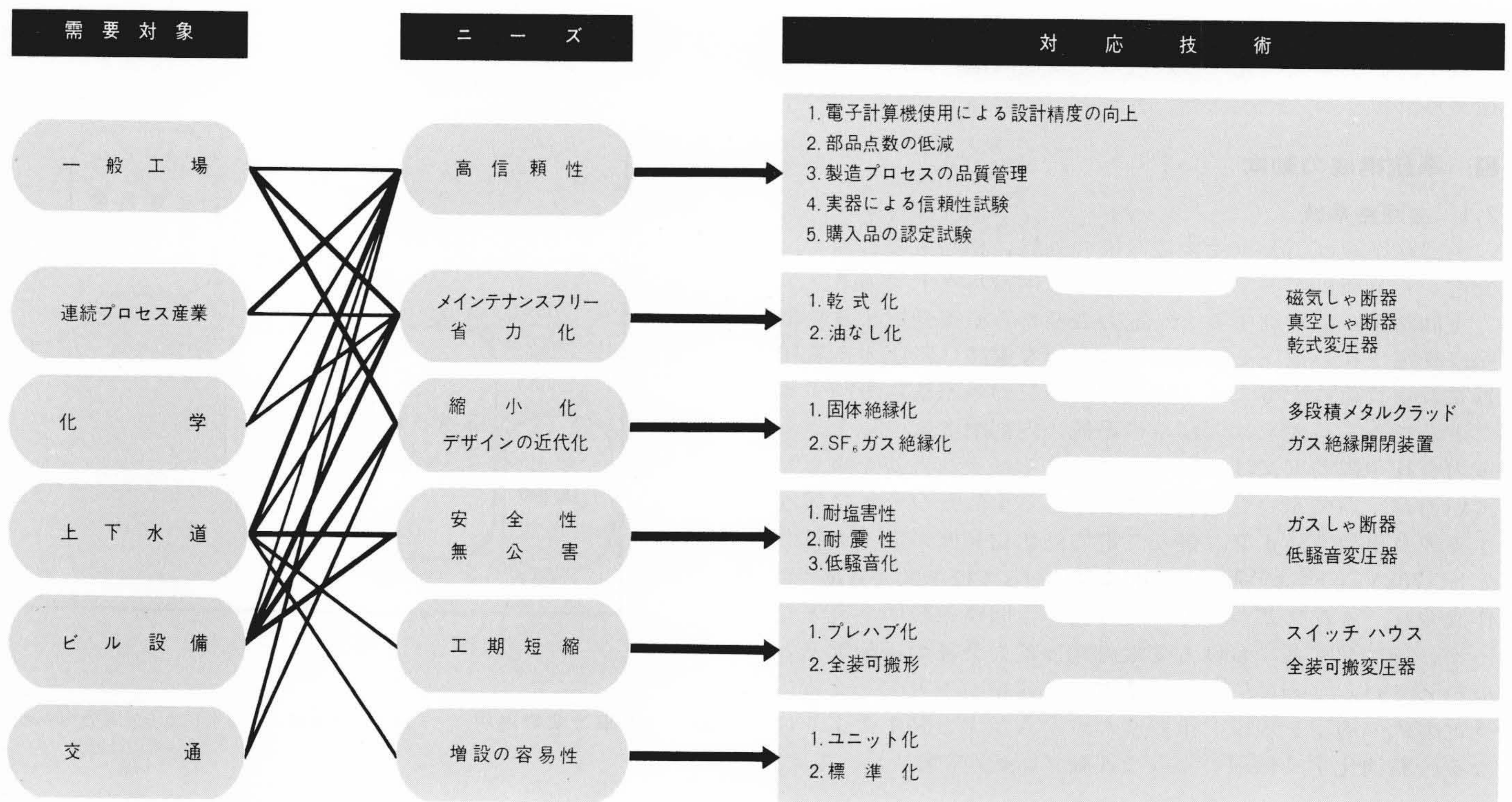


図3 各種需要対象からみたニーズと対応技術 それぞれの需要対象のニーズに対応して、主回路機器に基礎技術の向上と新製品の開発がみられる。

旧装置及び事故前に故障を予測する計測データ モニタリングシステムがある。

3 主回路機器の動向

受変電設備を構成する主回路機器は、変圧器、受電しゃ断器、二次側しゃ断器、閉鎖配電盤など従来から使用されている機器である。しかし、時代とともに需要対象から要求されるニーズに対応する特性を備える必要があり、設計製造技術の向上と電気材料の改良、進歩及び新材料の出現と相まって、新製品が開発され、その対応技術が確立されてきている。

各種需要対象からみたニーズと、これに対応する技術及び製品の一例を図3に示す。これらニーズのうち、とりわけ最近では高信頼性、省力化、安全性、無公害性などが強く要求されるようになっている。

3.1 高信頼性

すべての需要側から設備システムの高い信頼性を要求されるが、特に石油化学、鉄鋼など連続プロセス産業ではプラント施設が複雑且つ大規模となり、短時間の停電でも生産上の被害は広範囲で巨額となり、プロセスの再スタートに長時間を要し企業に与える影響は極めて大きい。また上下水道設備のように民生に直結したもの、公害防止装置など環境衛生に影響を与えるもの、地下街の照明・昇降機電源など保安、人身にかかわる社会性の影響あるものなど設備システムの信頼性を支える各機器に要求される信頼度はますます高まっている。

高信頼性ニーズに対応して電子計算機を使用し、複雑な電気現象(電界強度の分布、侵入サージ電圧など)の解析をはじめ設計精度の向上を図るほか、500kV級大容量機器の技術開発により得た各種データ、解析手法⁽⁵⁾⁻⁽⁸⁾の中容量器への適用、実器による実負荷試験や過酷試験(図4)、製造課程における品質管理、購入品の認定試験制度など管理面の諸施策のほか、構成部品点数の低減、組立輸送限界の拡大などすべての機種にわたり製品の信頼性向上が図られている。

3.2 省力化

設備の近代化、高度化により運転の無人化、保守・保全の省力化が要求され、油入機器から乾式化(油なし化)へと移りつつある。すなわち、高圧しゃ断器にあっては在来の油しゃ断器から磁気しゃ断器、真空しゃ断器の採用が多くなり、保守間隔を広げ省力化を図っている。特別高圧(以下、特高と略

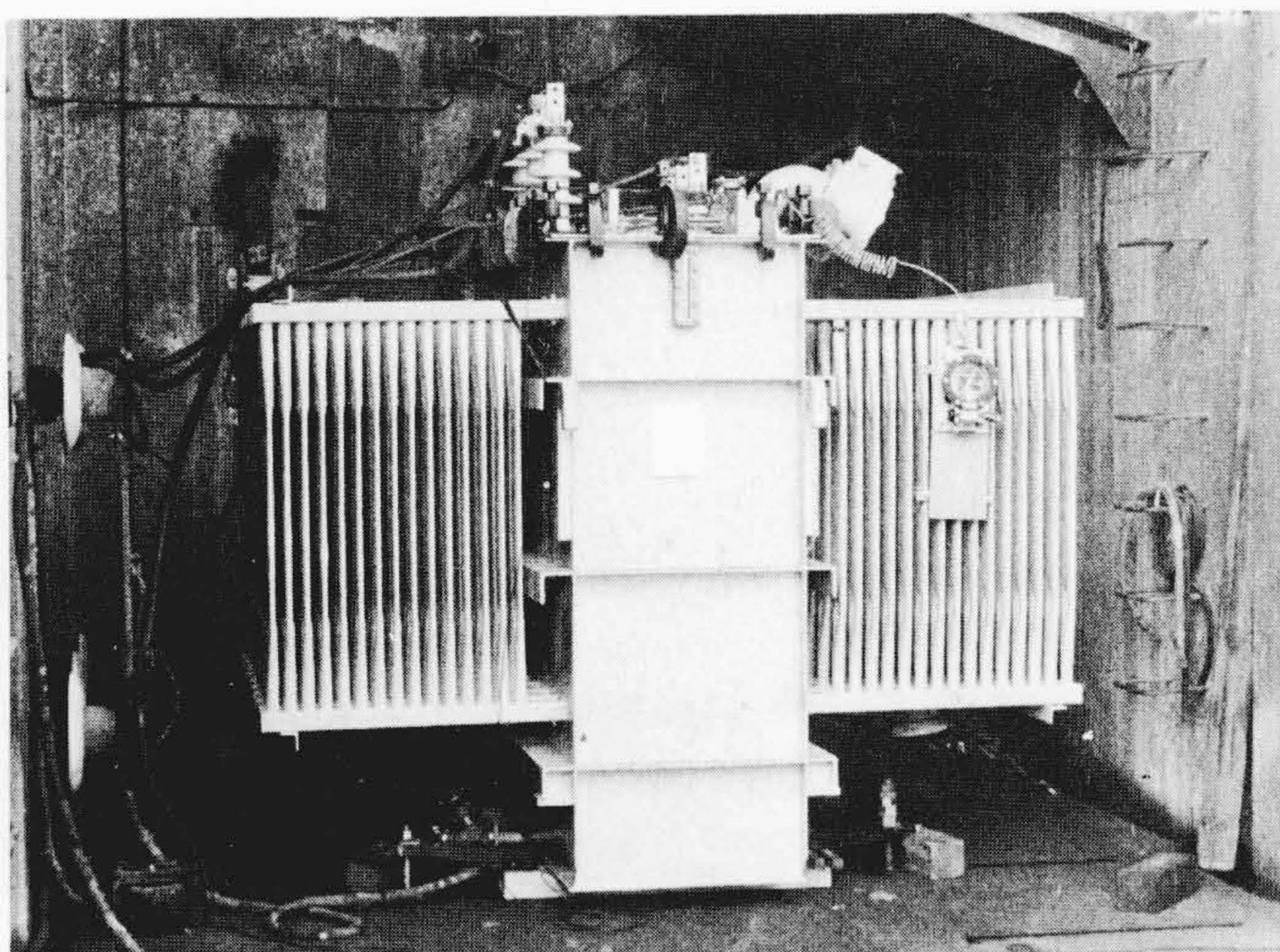


図4 短絡試験中の変圧器 中容量変圧器は実器により過酷試験など行ない信頼性を検証している。

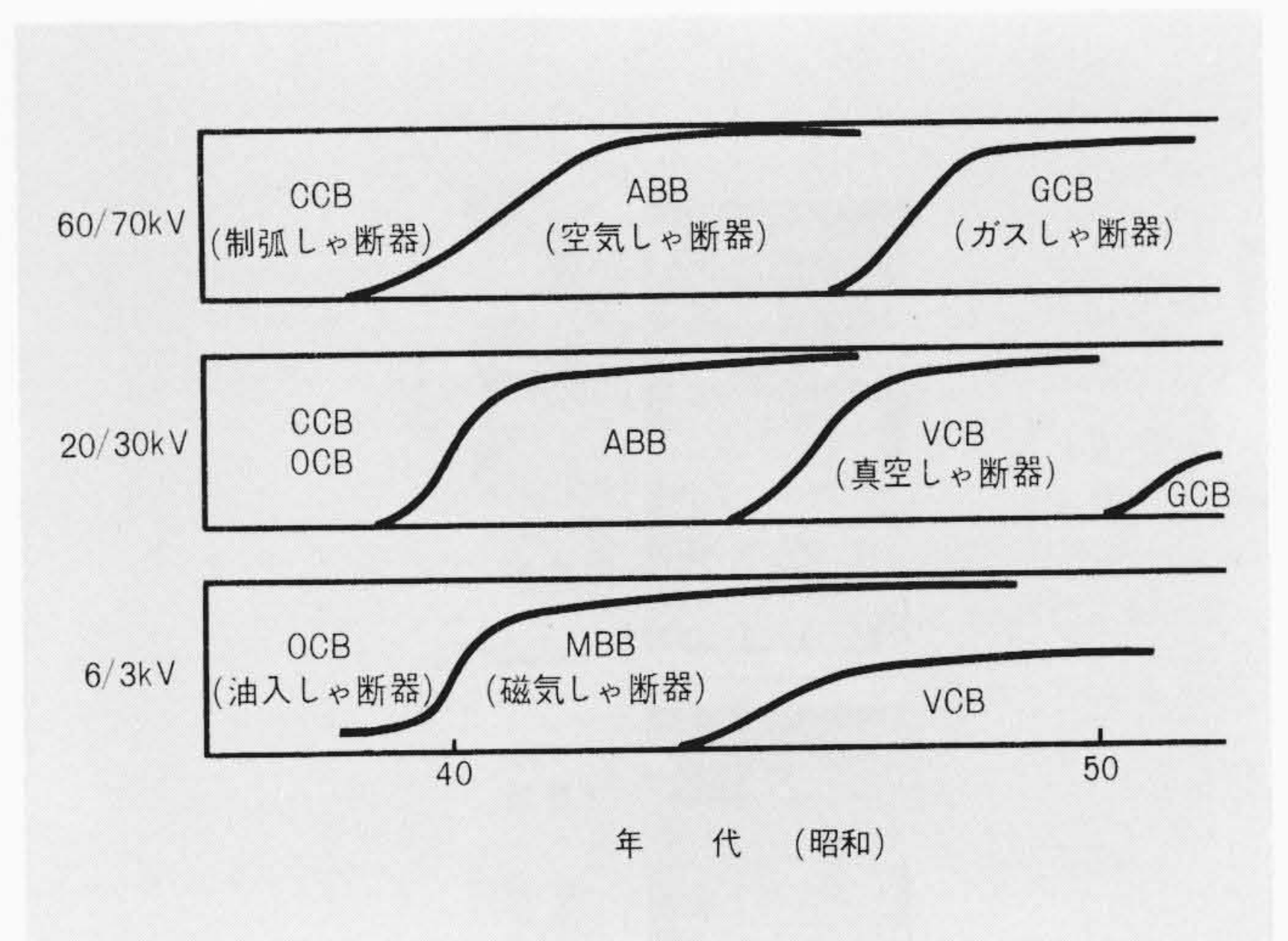


図5 各種しゃ断器の変遷 油入しゃ断器から乾式化され、高圧級では真空しゃ断器、磁気しゃ断器が多く採用され、60/70kV級ではほとんどガスしゃ断器となり、しゃ断性能の向上と保守の省力化が進んでいる。



図6 SF₆ガス絶縁開閉装置 特高受電部機器をSF₆ガス絶縁母線で連結し、大幅にスペースが縮小されて信頼性、保安性ともに優れ、今後の特高変電所の主流とみられる。

す)しゃ断器についても油入しゃ断器から空気しゃ断器、更にガスしゃ断器となり、メンテナンスフリーに近づいている。変圧器の場合は油入式が乾式に比べ圧倒的に多いが、これは電圧、容量によっては、製作上の制約と費用の問題があるほか、窒素ガス封入完全密封式やダイアフラム コンサベータにより油を大気から隔離する方式がとられるなど、技術面の向上から最近の油入変圧器は実質的に無点検、無保守に近い機器と認識されるようになっているためである。

3.3 縮小化

生産、販売など企業活動上の貴重なスペースを確保するために受変電設備の用地は極小化が要望され、更に配電効率の向上の面から負荷中心近くに受変電設備を設置したいため、ますます機器の縮小化を図る必要がある。

ここ数年、SF₆ガス絶縁による開閉装置の開発が急速に進められ、図6にみられるように特高受電部周辺は大幅に縮小され、また高圧閉鎖配電盤では真空しゃ断器、磁気しゃ断器を収納した多段積シリーズを提供し、設備スペースの縮小化

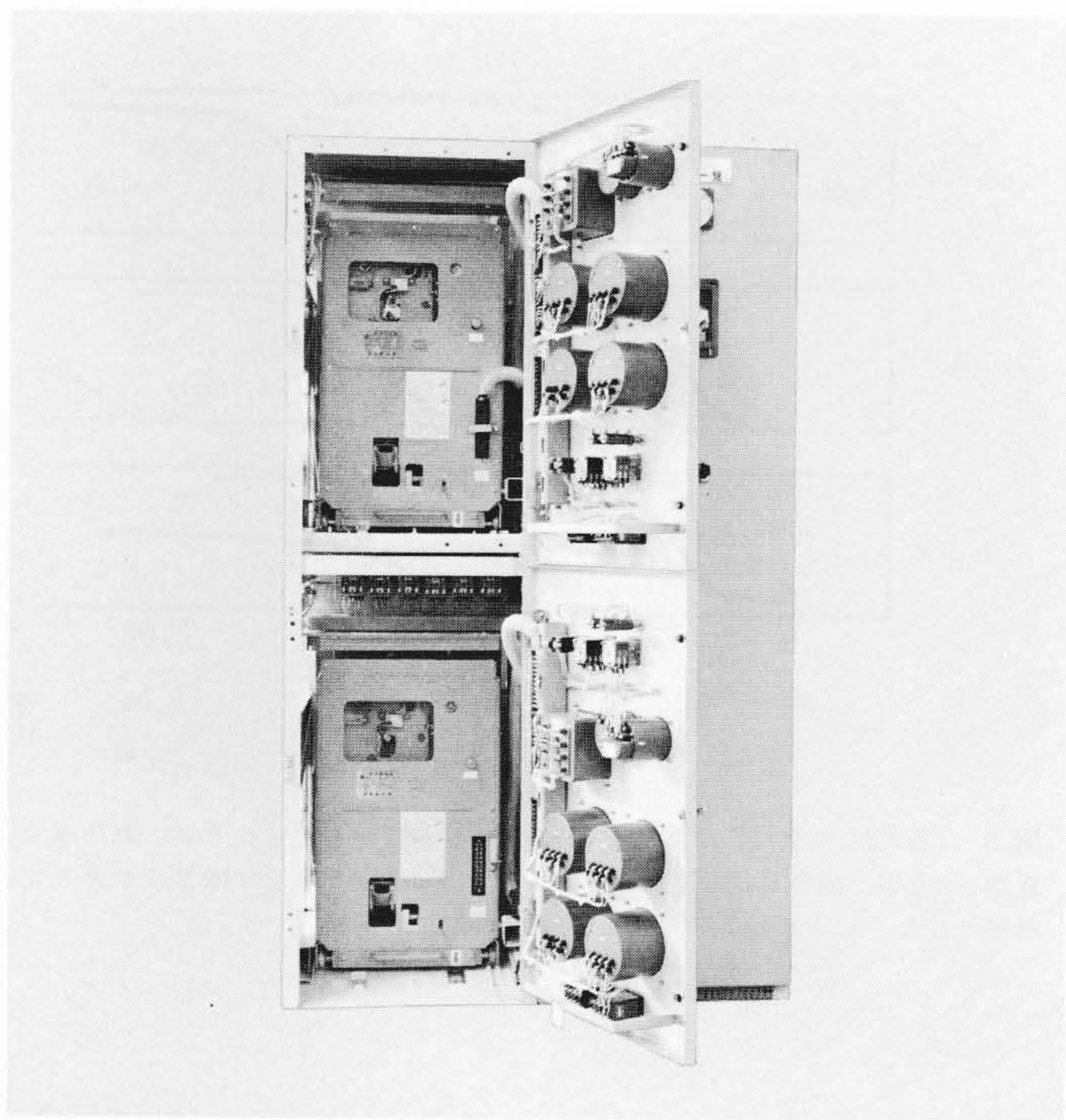


図7 磁気しゃ断器収納二段積配電盤 同一スペースに配電2回路分が収納され、所要面積の縮小に寄与している。

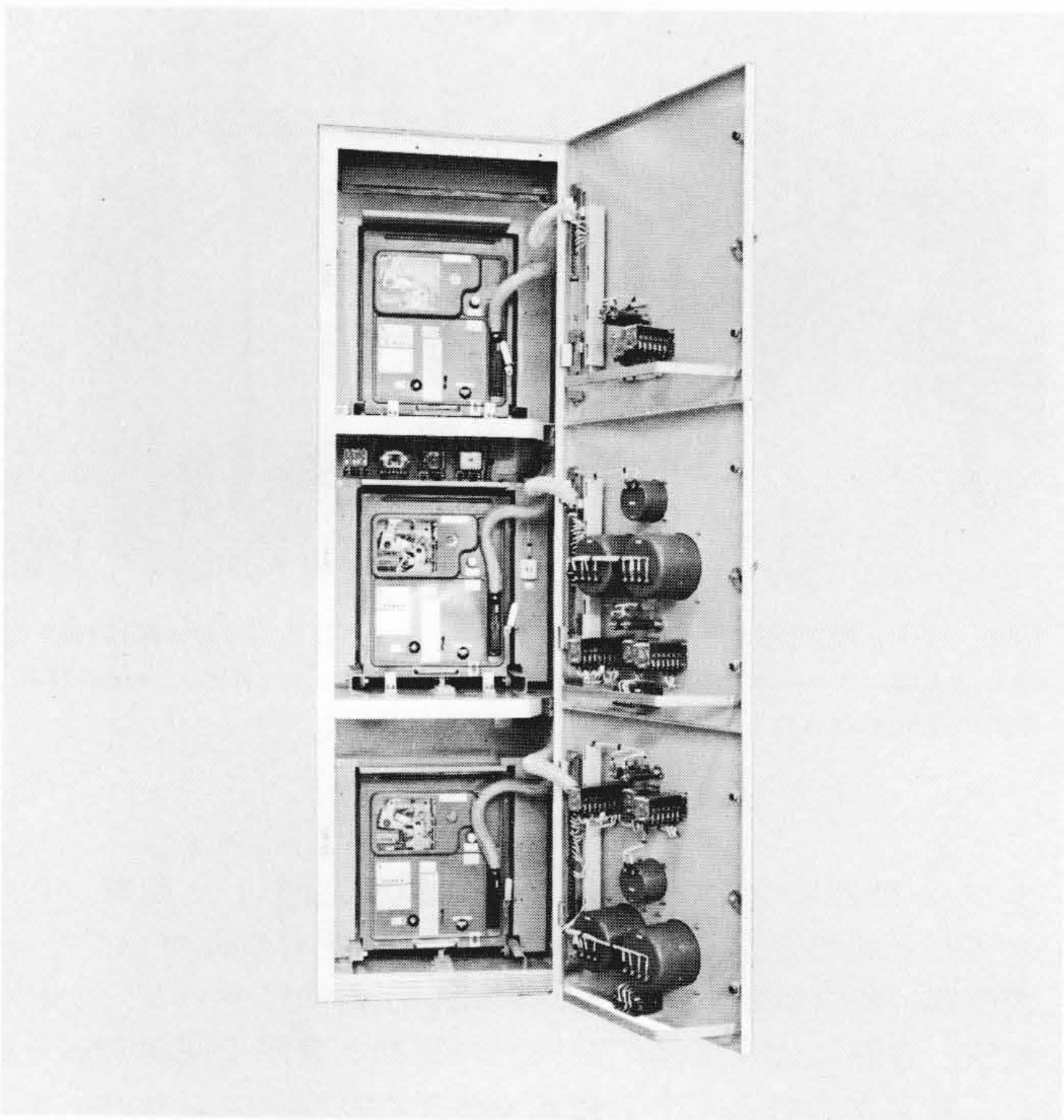


図8 真空しゃ断器収納三段積配電盤 ビル設備用として特にスペースの縮小は必要で、これはそのニーズに適したものだといえる。

に応じている。多段積配電盤を図7、8に示す。

3.4 安全性

充電露出部をなくして全閉化することにより、人身に対する安全性の確保と、小動物の侵入などによる地絡・短絡事故の防止が図れる。また、我が国特有の事情として、耐塩害特性の要求があり、これらのニーズに対応して図9に示すようなすべての特高機器を内部に収納するスイッチハウス式受変電設備がある。また前記のガス絶縁開閉装置は接地金属で完

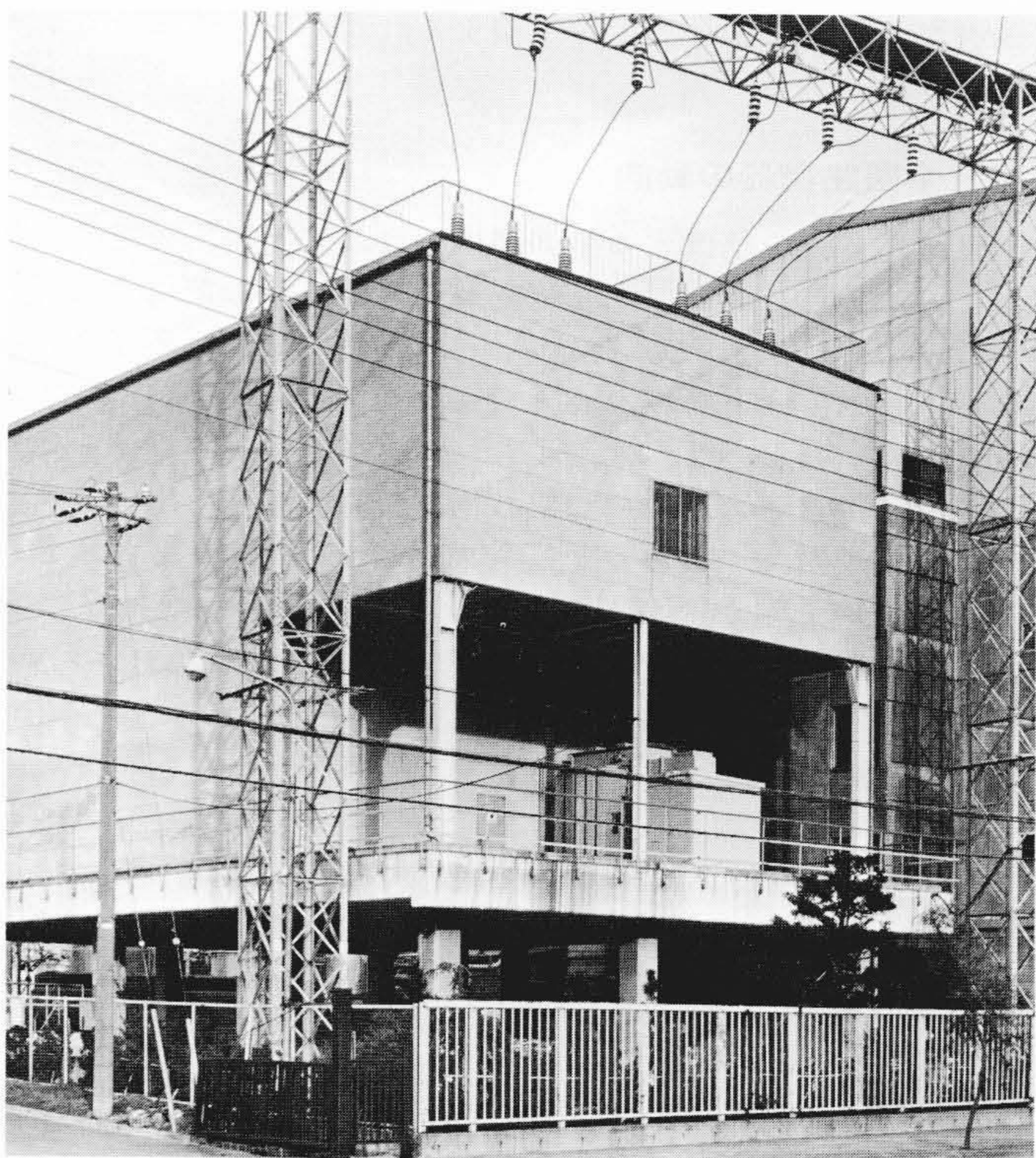


図9 軽量発泡コンクリート式スイッチハウス ケーブル引込み方式とすれば、充電露出部は全くなすことができる。

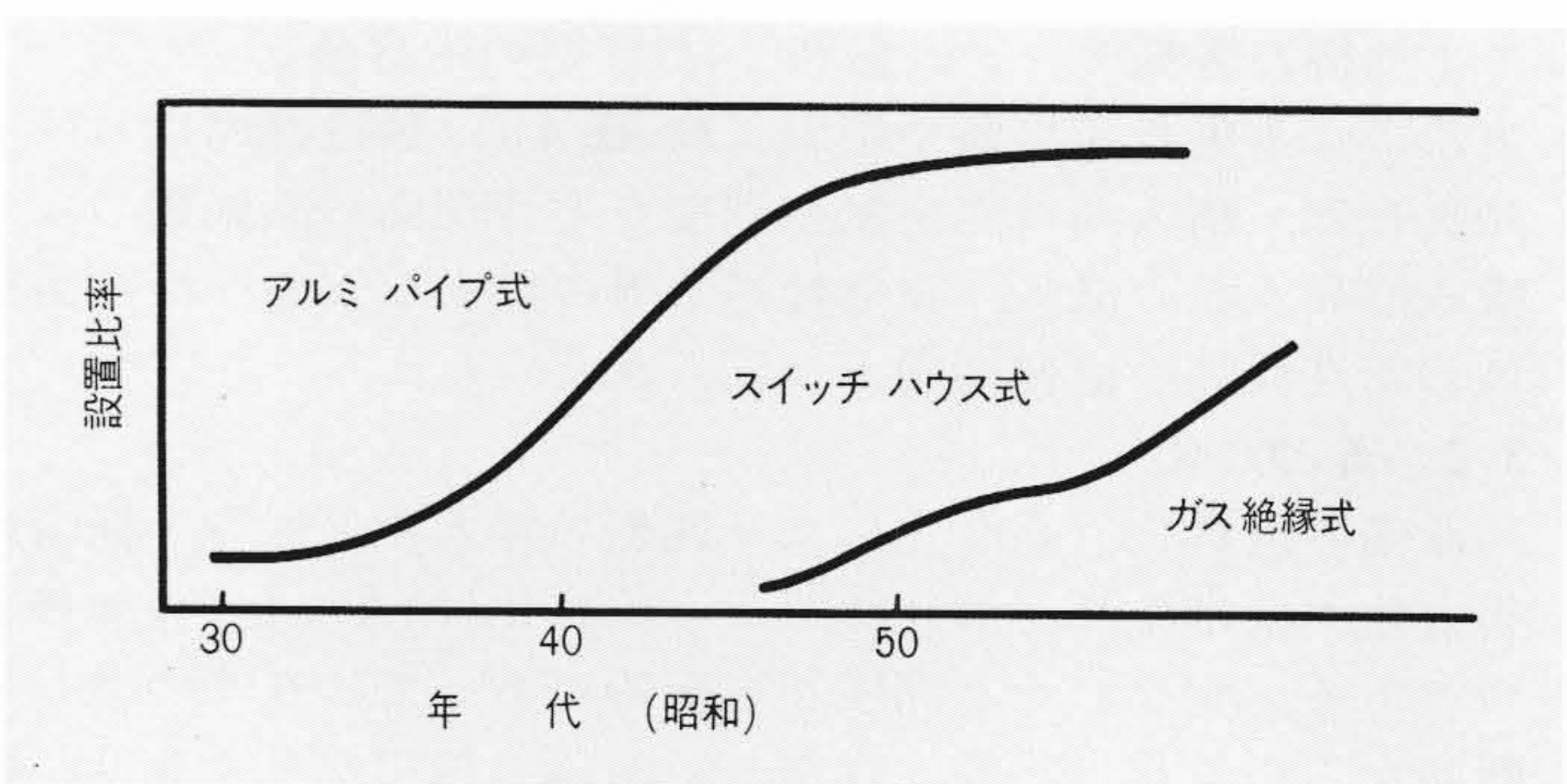


図10 特高受変電設備形態の推移 信頼性、保安性の向上の面から、スイッチハウス式・ガス絶縁式変電所が今後増加するものとみられる。

全に密閉されているため、更に安全であるのでスイッチハウス式とともにこれからの特高受変電設備の主流と考えられる。図10にその傾向を示す。我が国では耐震性について十分配慮する必要があり、図11に示すタンク形ガスしゃ断器は耐震性に優れ、他の特長⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾と合わせて最近の特高しゃ断器の主流になっている。

3.5 無公害

「公害対策基本法」の施行(昭和42年)により、住居専用地域の特高変電所は法規上からもなんらかの騒音防止対策⁽¹¹⁾を必要とする。変電所で唯一の持続騒音源である変圧器の騒音レベルと距離特性の一般例を図12に示す。45ホン程度の規制値に対しては標準騒音レベルの変圧器では不十分であるが、55ホン低騒音形変圧器では、多くの場合これを満足することが分かる。

日立製作所においても一般形(標準騒音レベル)と55ホン低騒音形の二つのシリーズを提供している。

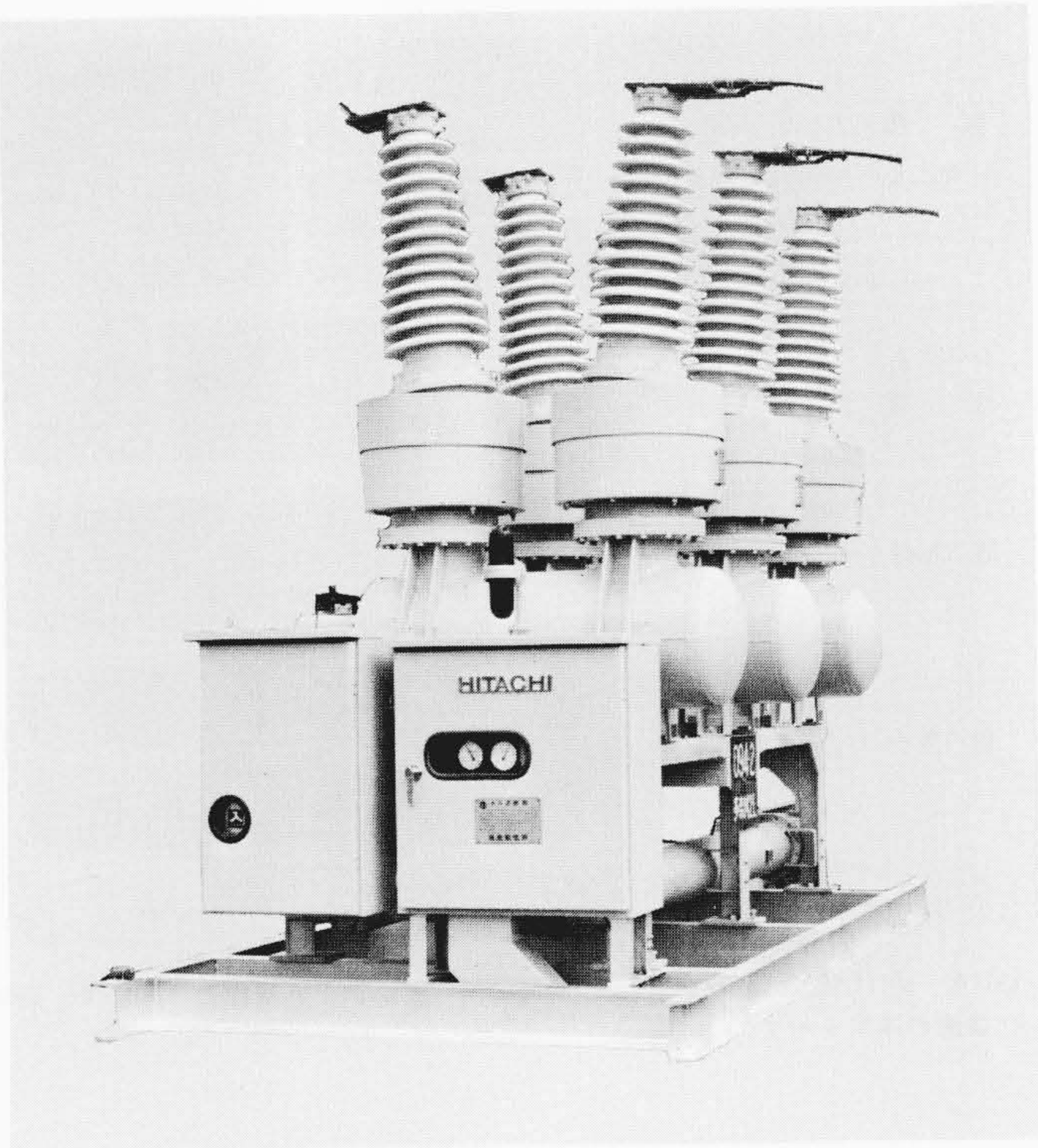


図11 72/84kVタンク形ガスしゃ断器 他機種しゃ断器に比べて数々の特長をもつガスしゃ断器がこれからの主流である。

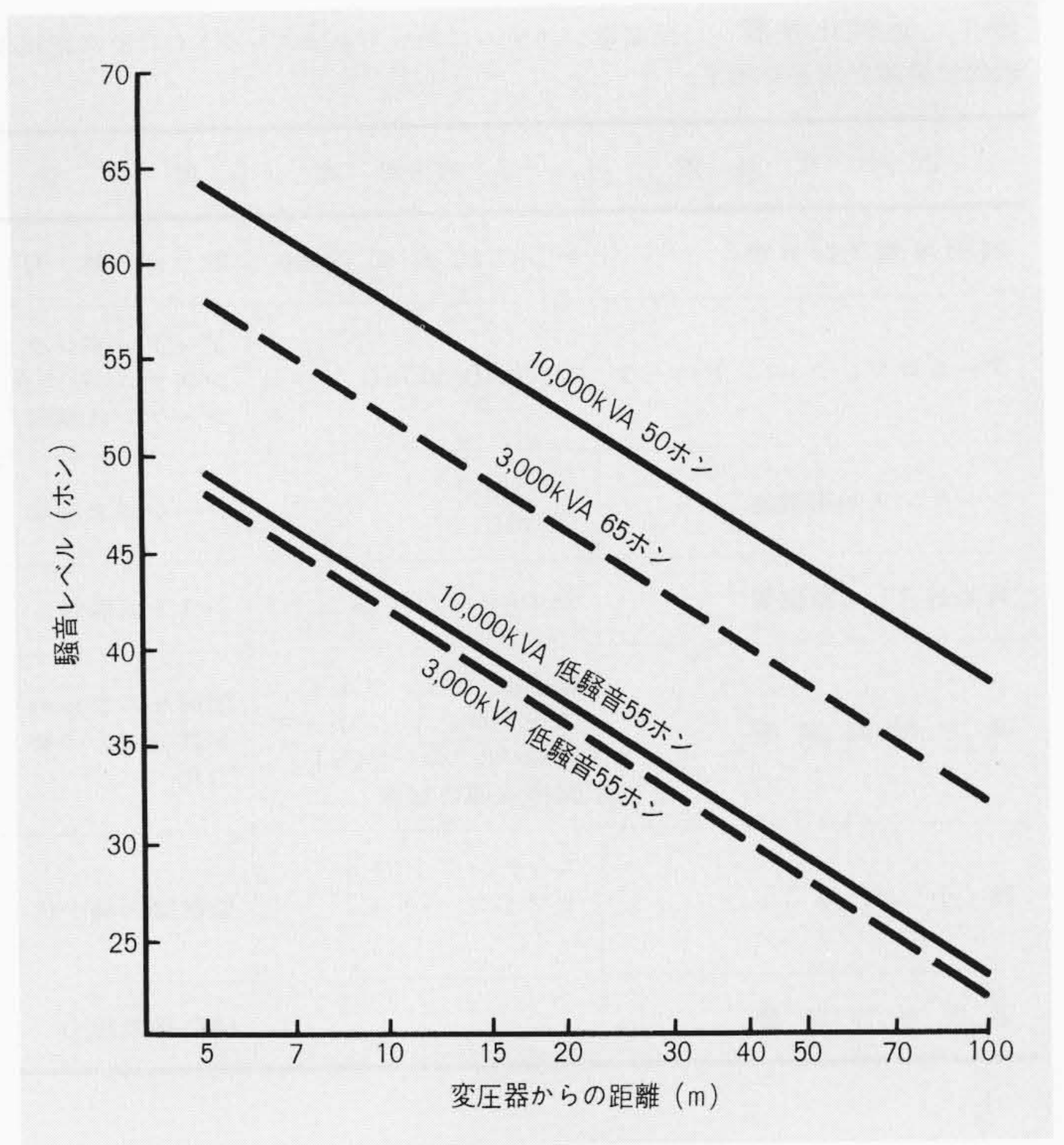
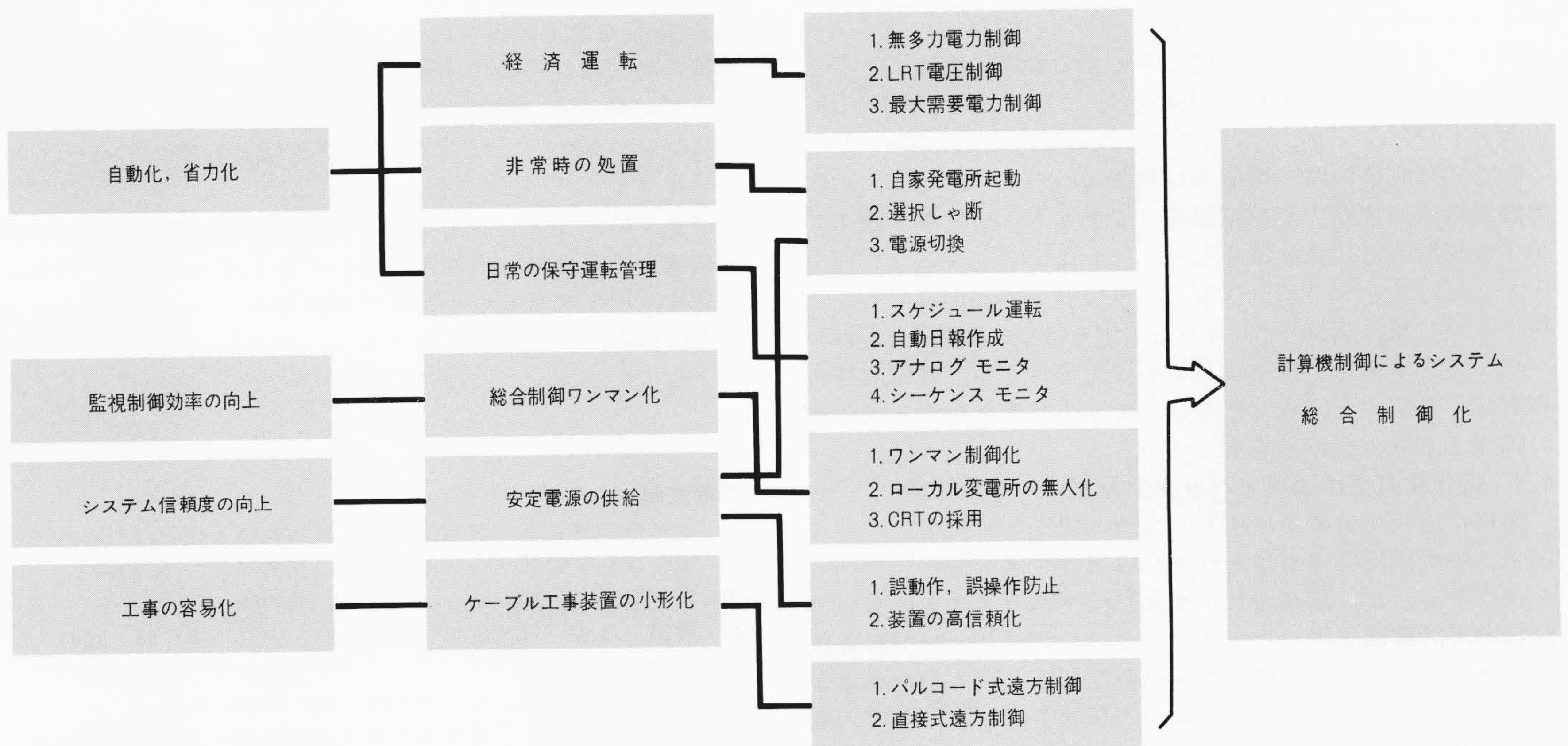


図12 変圧器騒音の距離特性 60kV 3 MVA, 10MVA変圧器の一例で、境界線上45ホンの規制値とすれば、低騒音55ホン形では10m程度離せば満足することが分かる。



注：LRT= 電圧自動調整装置付変圧器

図13 制御ニーズのフロー 制御のニーズからそれを実現するまでのフローを示す。

4 監視制御の近代化

4.1 近代化のニーズ

制御規模の量的増大と制御内容の質的拡大及び最近の社会的情勢により中央監視制御装置に求められるニーズは多様化し、単に監視、操作及び保護だけではなく自動化、省力化、

監視制御効率の向上及び工事の容易性が強く要望されるようになった。これらのニーズを満足させるために、最近では特に進歩発達の顕著なエレクトロニクス機器を用いて、中央監視盤の近代化を図ることが求められている。図13はこれら近代化のニーズと効果、達成の手段を示す。

表1 近代化装置 受変電システムに用いられるエレクトロニクス応用の近代化装置と用途を示す。

近代化装置	品名・形式	用途
制御用電子計算機	HIDIC 80,同150,同350	総合制御
データロギングコントローラ	MIVIDIC-30DLC	データロギングシステム モニタシーケンス制御
シーケンス制御装置	“HISEC” “FREELOG”	シーケンス制御
負荷選択しゃ断装置	SUPER TRIP-25	システム保護
遠方制御装置	データフリーウェイ スーパーロールシリーズ 簡易パルスコード(STU) 直接式遠方制御	制御ケーブルの本数低減と少勢力化
縮小パネル	エッチングパネル モザイクパネル	監視盤の縮小化
選択操作装置	—	操作盤の縮小

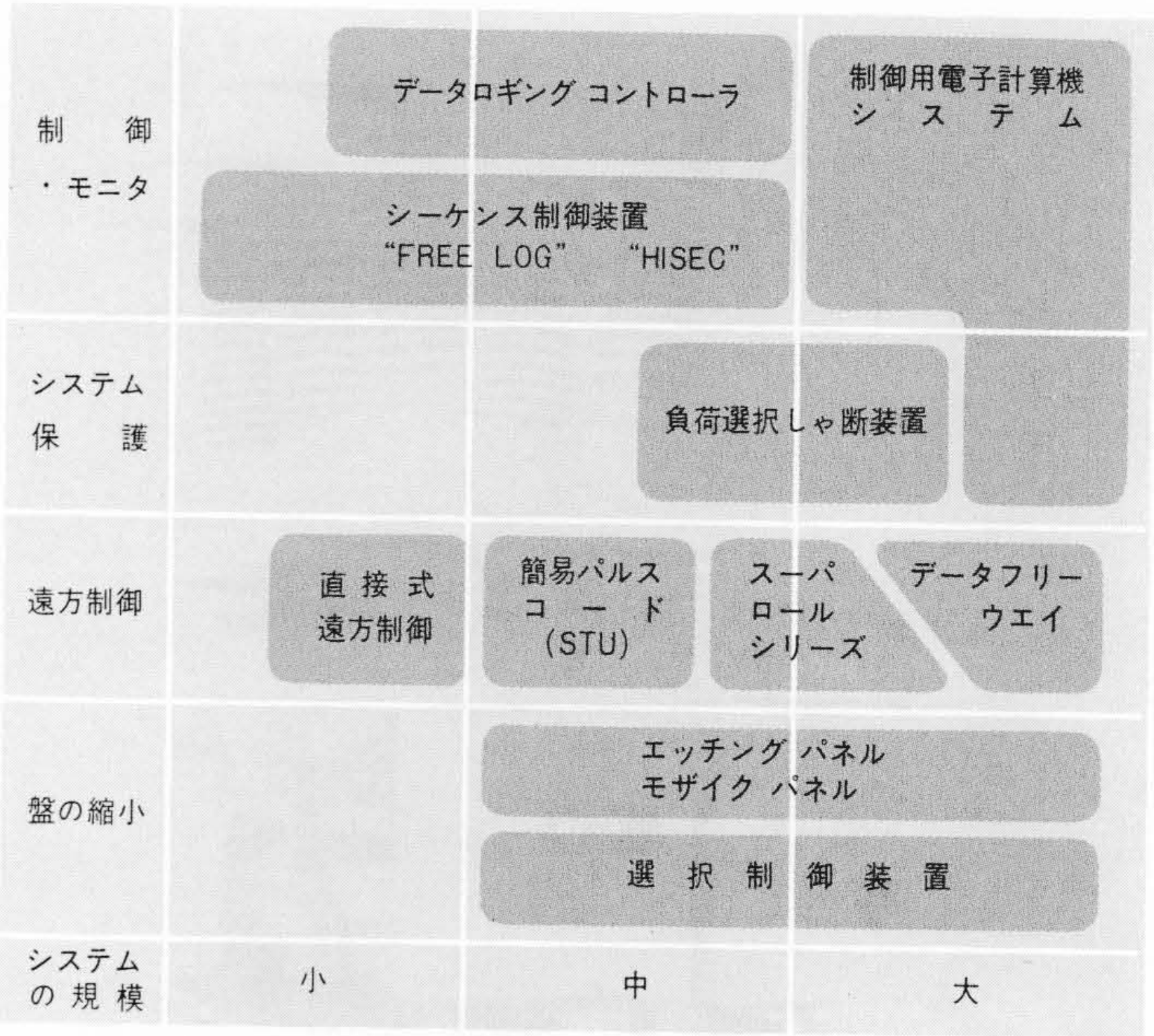


図14 近代化装置の適用 制御の内容とシステム規模との関係で、近代化装置の適用を示す。

5 結 言

産業用受変電設備は、その設備容量も数百キロボルトアンペアから十数万ないし数十万キロボルトアンペアまでわたり、受電電圧も設備規模に応じて3/6kV普通高圧から275kV超高圧までの各種がある。本論文では最も汎用性の高い主として60/70 kV級特高受変電設備の最近の動向について述べた。普通高圧受電の場合は、一般に小規模設備が多く比較的経済性の要求ニーズが高いが、信頼度の高い設備を必要とすることには変わりなく、これらに対して簡易受電設備としてハイセーフキュービクルシリーズを提供している。

終わりに、今後とも需要家各位の御指導を得て、時代の要求に適合する受変電設備を提供してゆく考えである。今回、本誌産業用受変電設備小特集の発行に当たり、関係各位の御協力に対し、深謝する次第である。

参考文献

(1) 電気協同研究会「電気協同研究第29巻第4号」(昭和49年)
(2) 電気学会「電気学会技術報告(II)部第27号」(昭和49年)
(3) 電気学会「工場配電」(電気学会 昭和50年)
(4) 豊田, 細谷「負荷選択しゃ断装置」日立評論 54, 1041 (昭47-12)
(5) 泉「信頼性特集」日立評論56, 361 (昭49-4)
(6) 福田, 木内ほか「関西電力株式会社奥多々良木発電所納め500kV 640MVA変圧器」日立評論56, 115 (昭49-2)
(7) 鎌田, 山口「変圧器絶縁におけるコロナ」日立評論54, 681 (昭47-8)
(8) K.KuritaほかIEEE, Transactions Paper 68TP 661-PWR (1968)
(9) 椿, 中野ほか「240/300kV 40kA 2,000, 3,000, 4,000 A 日立パツファ形2サイクルガスしゃ断器」日立評論55, 975 (昭48-10)
(10) 中野, 椿ほか「大容量単一圧力パツファ形ガスしゃ断器の開発」日立評論54, 1071 (昭47-12)
(11) 土屋, 仰木ほか「変電所の防音対策」日立評論55, 410 (昭48-4)

4.2 近代化の手段

従来は制御機能として保護機能以外は監視と操作をそれぞれに分離され、これらを有機的に結びつけるものは人間の判断であったが、監視盤の近代化によりこれらの機能を一体化し、人間の経験的判断業務を自動化して演算による最適化を行なうことにより、受変電システム全体の最適化、経済化及びシステム信頼度の向上を図ろうとするものである。

また従来は、電磁形制御用継電器とこれらを結ぶ制御配線、すなわちワイヤードロジックにより装置を構成していたが、この方式は制御回路・機能及び対象がハードに固定し、被制御機器数、処理能力及び拡張性に限界がある。そこで表1に示す監視盤の近代化装置を用い、ワイヤードロジックを極力少なくし、インタフェース盤などを用いて入・出力レベルを統一した。更に制御のソフトウェア化を行なって盤などのハードウェアを単純化、標準化及び小形化を行ない、制御内容の高度化、充実化を図るとともに、併せて将来に対する拡張性の確保と工期の短縮を実現している。

4.3 近代化装置の適用とバックアップ

図14に近代化装置の適用とシステム規模との対応について示す。中規模程度まではそれぞれ専用の装置で近代化を図ったほうがよいが、超高層ビルや大規模プロセス産業においては制御用計算機を用いたシステムが適しており、制御計算機システムを用いると図13に示す受変電関係の制御だけではなく、負荷側のプロセス最適制御や、空調衛生、防災などの制御も併せて行ない、プラントとしての総合制御化が可能となる。一方、これらの近代化装置の定期点検による計画停止や不具合による停止の場合にでも、システム全体の機能維持に支障をきたさないように最低のバックアップ機能が必要である。このバックアップ機能は、システムとしての機能維持が目的であるため、主として供給信頼度に影響する非常時の処置に関するものに対して必要である。例えば、ブラウン管式ディスプレイ(CRT)を用いた計算機制御システムでは、運転及び故障表示装置、手動機器操作盤、ピンボード式負荷選択しゃ断装置、グループ別一斉投入・引はずし装置などがバックアップ装置である。