U.D.C. 〔621.311.48:658.262〕:〔621.316.3/.5.048.83+621.316.37::681.527.7〕

最近の産業用受変電システム

Recent Aspects of Power Distribution Systems for Industrial Use

石田真之助* *Shinnosuke Ishida*
渡辺一朗** *Ichirô Watanabe*
丸山征一* *Seiichi Maruyama*
沢入光雄* *Mitsuo Sawairi*

最近の産業用受変電システムには，高信頼性，小形・軽量などの特性に加えて，省エネルギー性，増設・更新のしやすさ，すなわち拡張性及び環境調和性が要求される。これらのニーズに対応して，変圧器，遮断器，配電盤などのいっそうの高信頼化，小形化などが推進されているが，受変電システムとしてみた場合，これらの機器がよくコーディネイトされたものであり，かつ拡張性に富み，環境調和のとれたものであることが望ましい。その代表例として，縮小形ガス絶縁開閉装置とエレクトロニクス化された受変電監視制御装置を挙げることができる。これらは更に協調して，縮小形ガス絶縁変電所というべきシステムを構成するが，本稿では，これらの最近開発・改良された機器及びシステムの概要と特長について紹介する。

1 緒　言

近年の受変電設備のハードウェア上の革新には目覚ましいものがあり，変電所の形態も一変しつつある。66kV以上の主回路開閉装置としては，床面積が従来品に比べて半分以下で済むSF_6ガス絶縁開閉装置(GIS：Gas Insulated Switchgear)が主力を占め，33kV以下の領域では，小形の真空遮断器が中心になってきている。変圧器も，絶縁や鉄心材料の進歩で小形・軽量化に加えて低損失化・低騒音化が図られ，モールド変圧器，SF_6ガス絶縁式変圧器も用途に応じ用いられるようになった。

監視制御やオペレーションの分野では，最近のエレクトロニクスの進歩を反映した電子式監視制御装置が多く用いられるようになり，受変電機器の操作・状態監視，力率制御などにとどまらず，予防保全などを含めた受変電システム専用の監視制御装置が開発されている。保護継電システムについても同様である。

これらのハードウェア及びオペレーション上の変革に加えて，計画・系統解析・設計のコンピュータ化，最適化も進んでおり，電鉄用受変電システムなどでは，変電所の数や(直流式の場合の)電力回生用インバータの設置数の最適値なども

シミュレーションで求められる。高調波の発生やその対策としてのフィルタの設置効果なども同様に決定される。

以下に，これらの最近の産業用受変電システムの動向と概況について報告する。

2 産業用受変電システムの計画

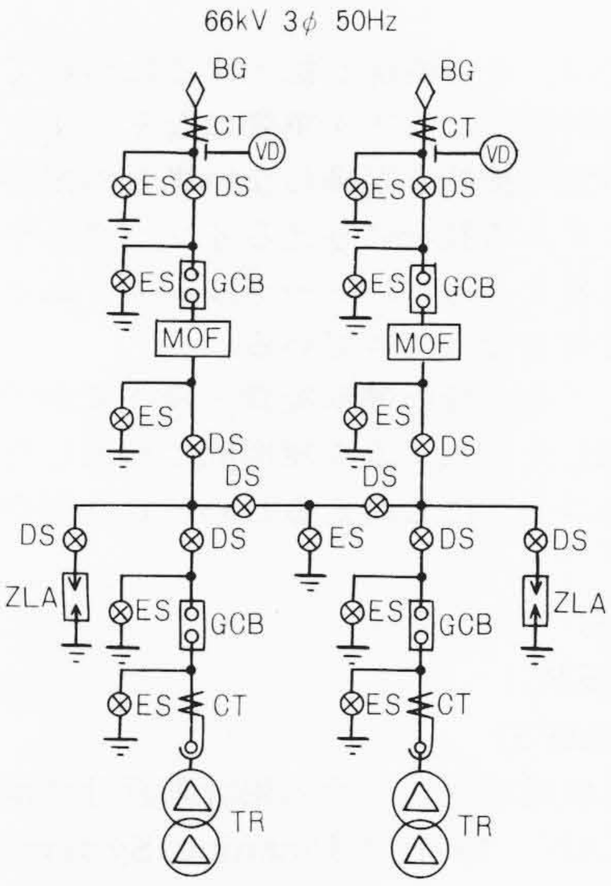
2.1 最近のニーズと計画

2.1.1 高信頼・無停電

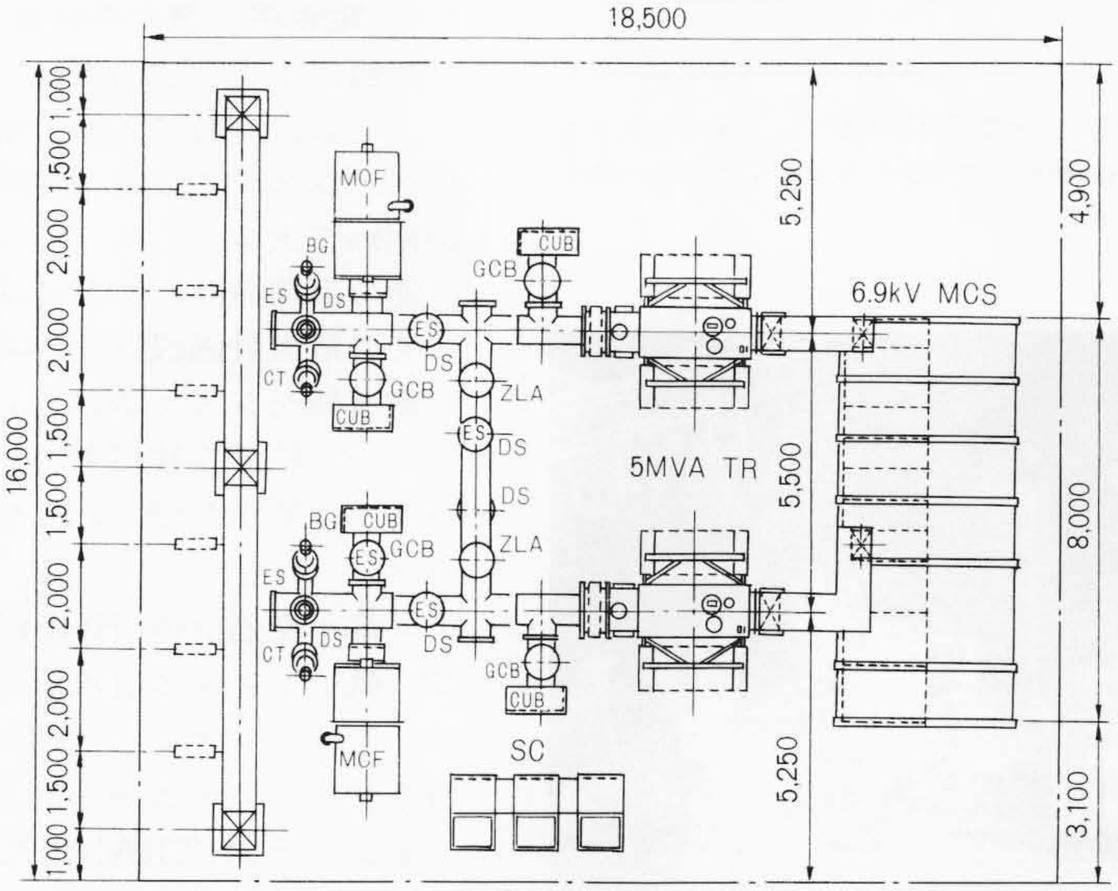
最近の産業用受変電システムの需要に対する著しい特長として，エレクトロニクス関連需要の伸長を挙げることができる。エレクトロニクス関連工場や公共施設である大規模浄水場などでは，一瞬の停電も許されないことから，高信頼化や単なる非常用発電機設置などにとどまらず，平行2回線受電による送電線故障時の無停電受電化，2MOF(計器用変圧変流器)方式によるMOFの校正・点検時の無停電電力供給化などが図られる。**図1**に，77kV常用・予備2回線受電，2MOF方式の構成例を示す。

2.1.2 拡張性・縮小性

これらの施設の他の一つの特長は，需要の増大に伴う受変



(a) 概略単線接続図



(b) 全体配置図

注：略語説明
GCB(ガス遮断器)
DS(断路器)
ES(接地開閉器)
BG(ブッシング)
CT(変流器)
ZLA(酸化亜鉛避雷器)
MCS(メタルクラッド配電盤)
TR(変圧器)
MOF(計器用変圧変流器)
SC(力率改善用コンデンサ)
VD(充電判定装置)
CUB(キュービクル)

図1　常用・予備2回線受電，2MOF方式　常用・予備2回線受電方式の採用により受電信頼度が向上し，2バンク化による供給信頼度の向上とともに，2MOF方式によってMOFの校正・点検時の無停電化を図っている。

* 日立製作所国分工場　** 日立製作所機電事業本部

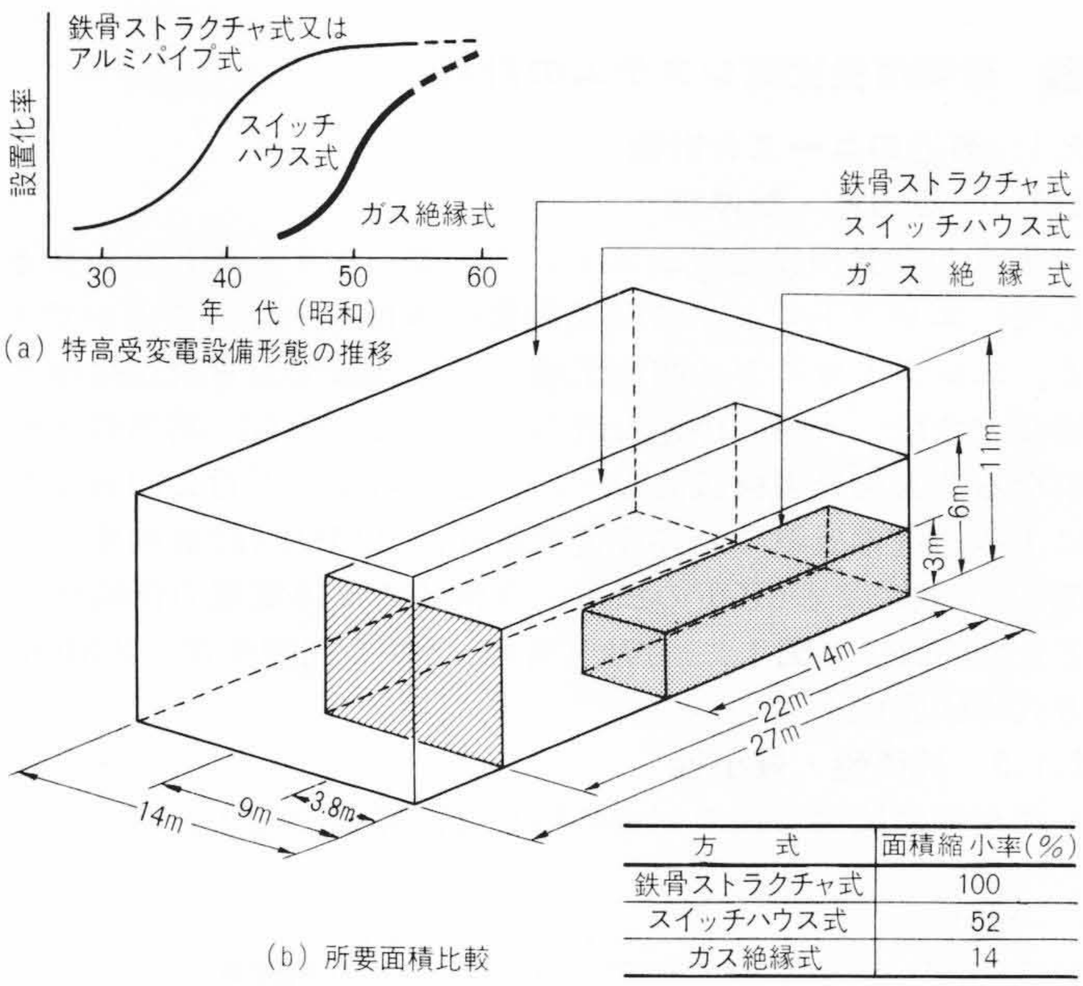
電設備の増設のしやすさ，すなわち拡張性である。66kV又は154kV特別高圧(以後，特高と略称する。)変電所のタイプとしては，

(1) 鉄骨ストラクチャ式変電所
(2) アルミパイプ母線式変電所
(3) スイッチハウス式変電所
(4) SF_6ガス絶縁式変電所

などがあり，それぞれの開発経緯と特長をもって用いられてきたわけであるが，近年では(4)のガス絶縁式変電所の伸長が顕著である。**図2**に特高変電所の形態の推移と所要面積比較を，**図3**に三相一括形ガス絶縁式変電所の外観を示す。このガス絶縁式受変電設備は，据付面積が他の方式のものに比べ$\frac{1}{3}$～$\frac{1}{7}$(当社比)で済むため，増設及びリプレースが容易なだけでなく，スイッチハウス式との連結なども他の方式に比べるとやりやすく，据付期間も$\frac{1}{2}$～$\frac{1}{10}$で済むなど優れた拡張性をもっている。

2.1.3 耐環境性・安全性・保守性

塩害，塵埃の影響による汚損，天候などの影響を受けない点ではスイッチハウス式とガス絶縁式が構造上から優れていることは容易に理解できる。更に，ガス絶縁式の場合は完全



方 式	面積縮小率(%)
鉄骨ストラクチャ式	100
スイッチハウス式	52
ガス絶縁式	14

図2 特高受変電設備の形態推移と所要面積比較 三相一括形ガス絶縁変電所の実現により，特高変電所の所要面積はストラクチャ式に比べ約$\frac{1}{7}$，スイッチハウス式に比べ約$\frac{1}{3}$と著しく縮小された。

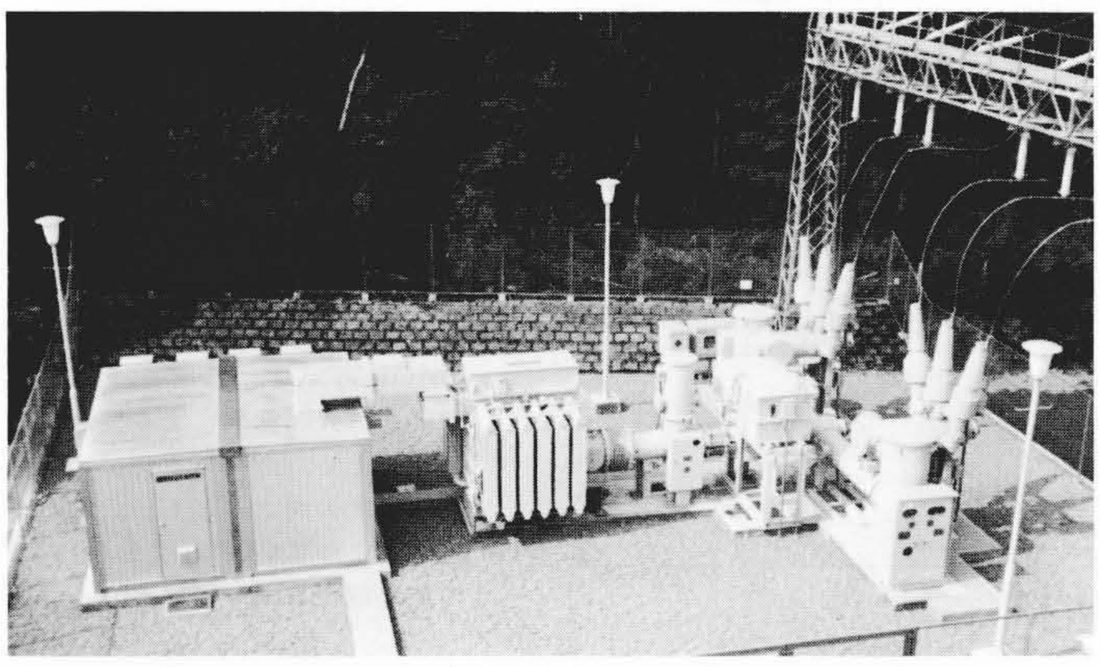


図3 ガス絶縁式変電所の外観 ガス絶縁式変電所は小形で所要面積が少なく，安全，環境問題がないなどの特長をもち，環境とよく調和する。

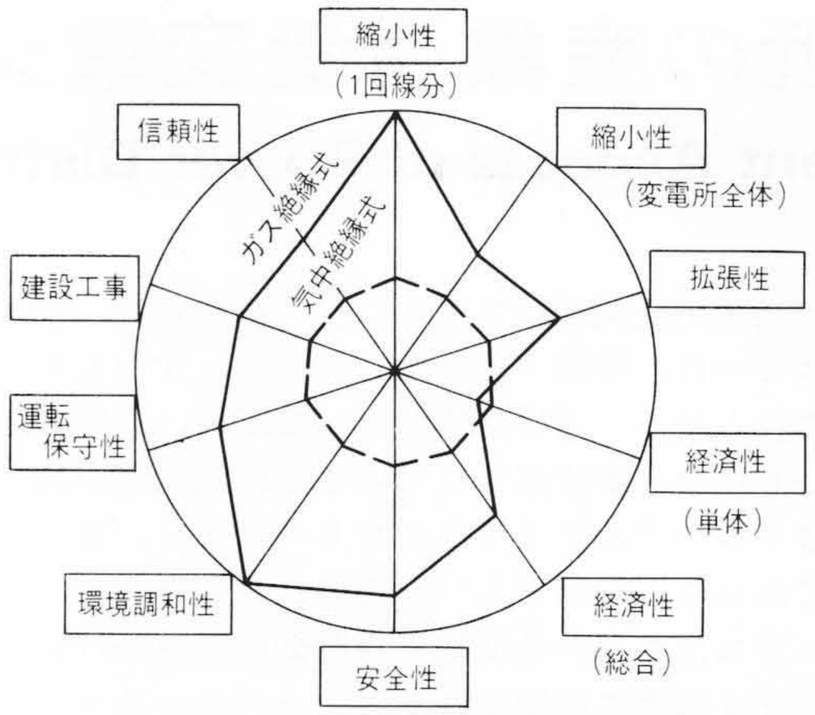


図4 ガス絶縁式変電所と気中絶縁式の総合評価 安全性，縮小性，拡張性，環境調和などで，気中絶縁式と比べガス絶縁式が優れていることが分かる。

密閉タイプで，人身に対する安全確保，小動物侵入による地絡・短絡防止が図られるほか，機器が不活性のSF_6ガス中で使用されるため機器や絶縁物の劣化が少なく，母線，断路器などはほとんど保守の必要がなく，遮断器の点検も5～6年に1回程度でよいので耐環境性，安全性と保守性を併せ考慮するとガス絶縁式が推奨される。

2.1.4 環境調和

産業用受変電設備は，都市部，近郊への設置が多く，環境との調和と環境問題のないことが大きいファクタとなる。SF_6ガスは無臭，無毒，不燃性の気体で，火災の危険もなく，遮断器を含めた開閉器全体が完全密閉形なので，動作時の騒音が小さくラジオ障害の心配がないなど，この点でもガス絶縁式が優位を占める。ガス遮断器は空気遮断器に比べ開閉時騒音が約30ホン低減される。低騒音形の変圧器と組み合わせて変電所を構成することにより，低騒音形変電所の実現が可能である。

以上をまとめて経済性も加味して10個のファクタを選び，気中絶縁式とガス絶縁式についてレーダチャートを描いたものが**図4**である。総合的に評価して，ガス絶縁式変電所のほうが優れていることが分かる。

2.2 電鉄用変電所の計画

一般にシステムの開発では，その機能が拡大するにつれてシステム設計時での総合的評価がますます重要になる。すなわち，システム完成後に所定の機能を発揮しない場合の損害が極めて大きいため，システムの社会に与えるインパクトや性能の事前確認が必要であるとともに，トータルシステムとしての最適計画設計が不可欠となってきている。

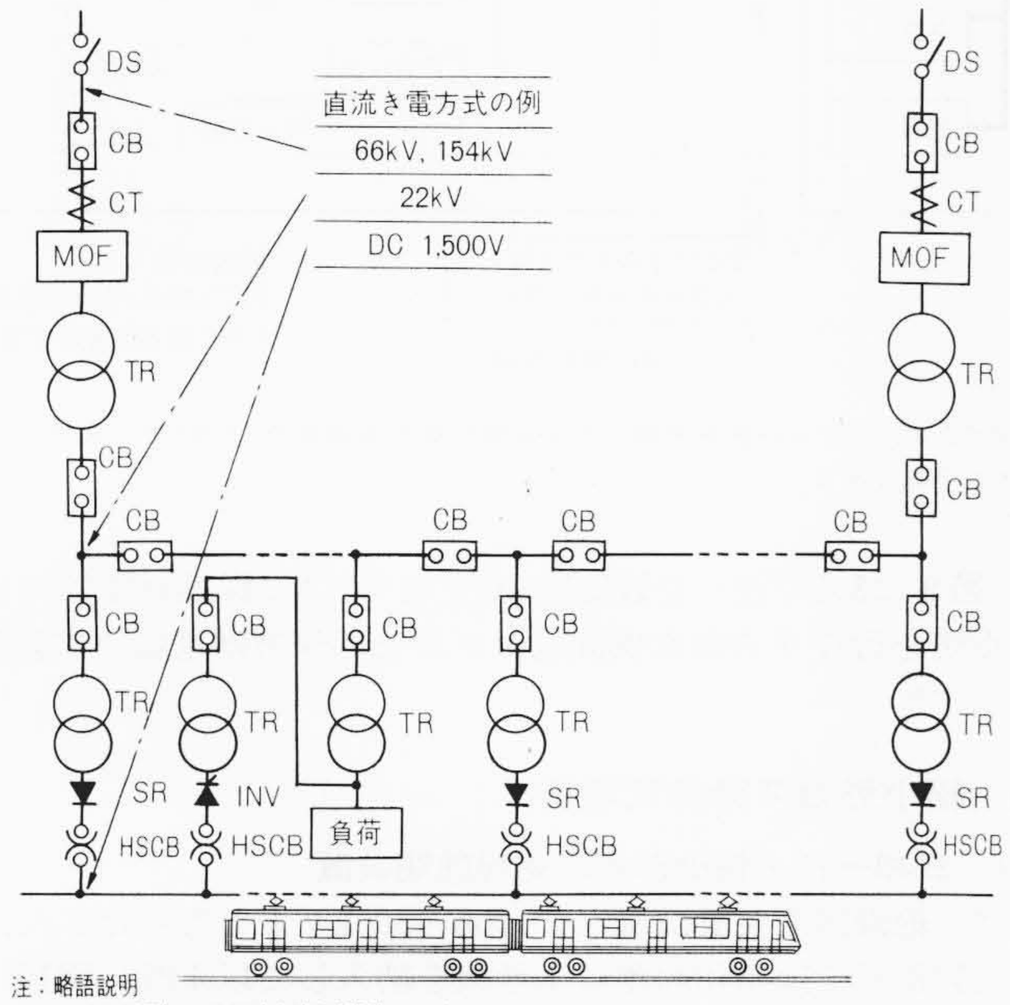
軌道輸送システムについても，低い運転経費・投下資本で最大かつ快適な輸送を目指したシステムを短期間で構築したいという要求が強く，このニーズにこたえるために日立製作所は，

(1) 都市交通計画(HOPPS)
(2) 軌道システム計画(STEPS)
(3) 運転システム設計(JUMPS)

の3サブシステムから成る軌道輸送システム用計画設計サポートシステム(TRANSPLAN：Transit Planning System)を開発している[1]。

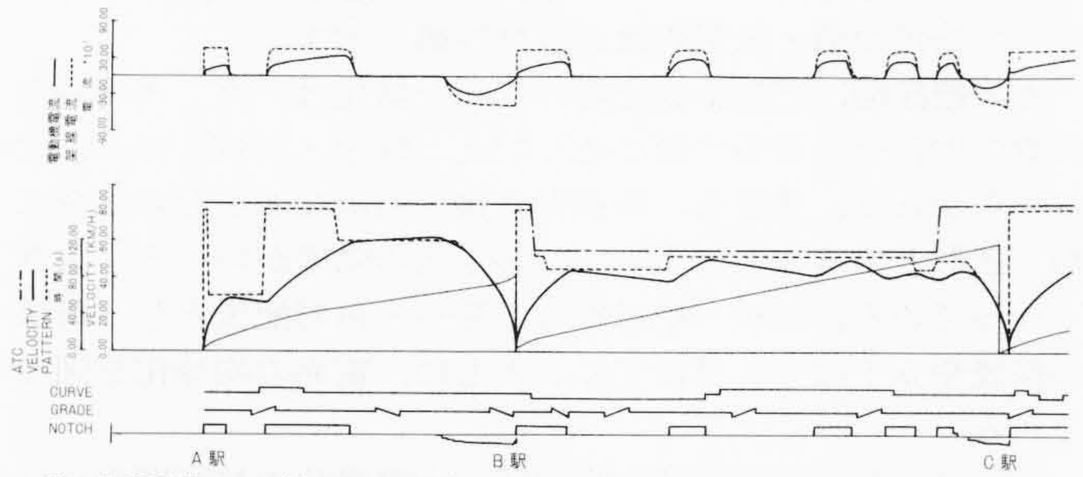
受電変電所から列車までの電力給電システムの設計・評価を行なう電力シミュレータは，上記(3)のJUMPSのサブシステムであり，給電方式(交流き電方式か，直流き電方式か)，路

線条件(路線長，こう配，曲率など)，車両条件(車両種別，重量，走行抵抗など)，運行条件(運転間隔，仮定ダイヤなど)などを考慮して，インピーダンスマップを計算機で解くことにより，変電所配置・容量，架線電圧，電力回生用インバータ要否・容量，高調波対策としてのフィルタの効果などを求めるものである[2)]。



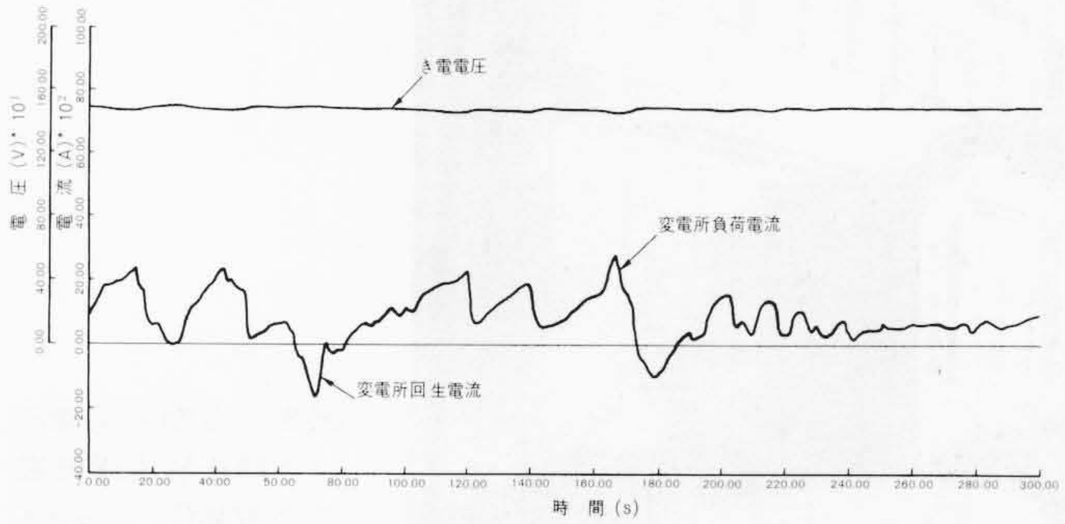
注：略語説明
CB(遮断器)，HSCB(高速遮断器)，SR(シリコン整流器)，INV(インバータ)

図5　電鉄用変電所の構成例　電鉄用の変電所では，各変電所は1回線受電でも全体としては2回線受電で信頼性を向上させている。また，最近では電力回生用のインバータを備えた変電所が増えている。



注：略語説明　ATC(自動列車制御)，VELOCITY(速度)，PATTERN(速度パターン)，CURVE(カーブ)，GRADE(こう配)，NOTCH(コントローラノッチ)

(a) 単列車走行曲線



(b) 変電所負荷パターン

図6　シミュレーションによって求められた単列車走行曲線と変電所負荷パターンの例　単列車走行曲線では，一つの列車の走行特性がシミュレートされ，変電所負荷パターンでは変電所負荷電流の変動にかかわらず，インバータによる回生などの効果で，き電電圧は安定していることが分かる。

図5に電鉄用変電所の構成例を，図6にシミュレーションによって求められた単列車走行曲線の例と変電所負荷パターン例を示す。

3　受変電システムの監視制御

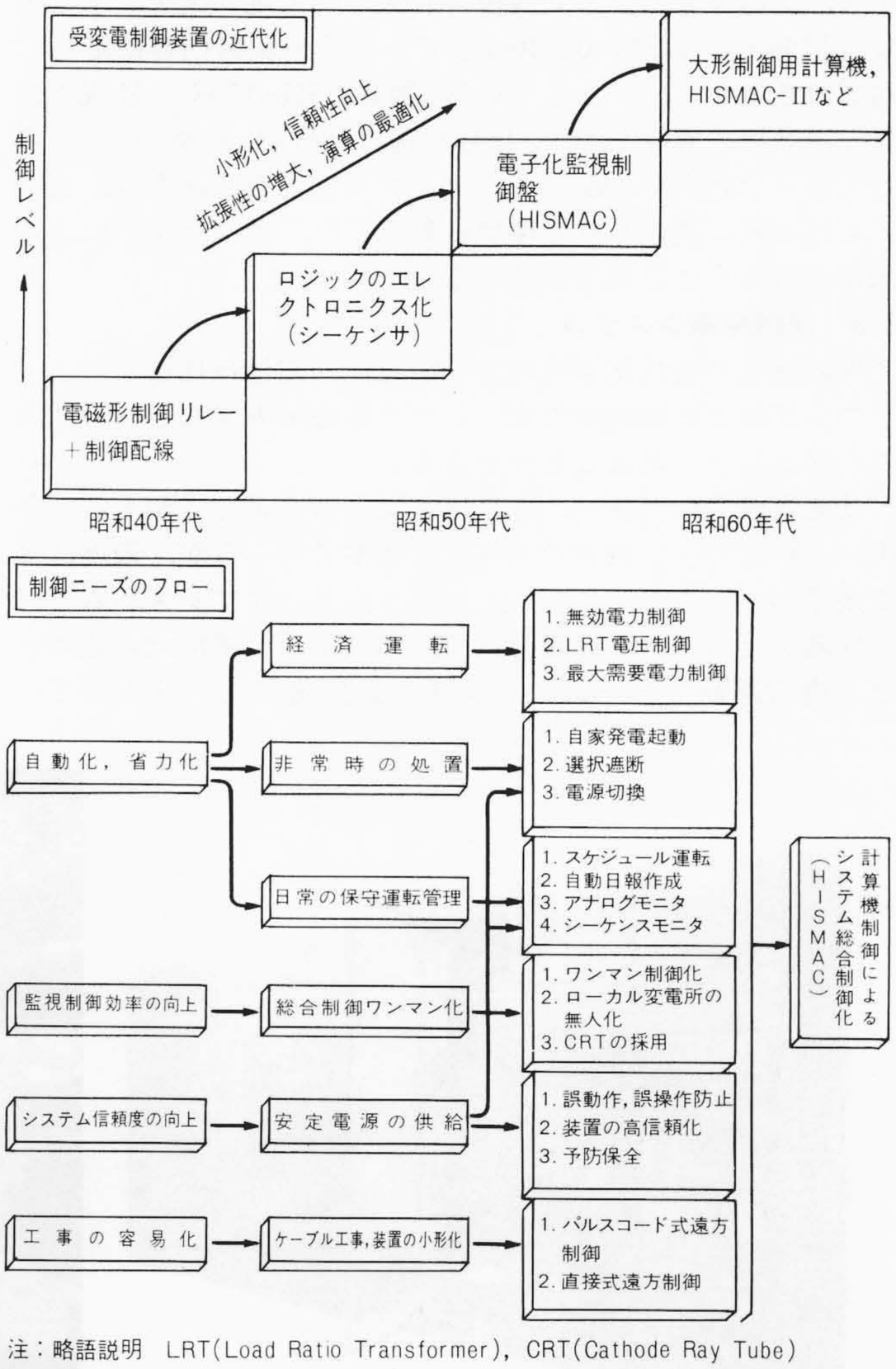
3.1　監視制御の動向

受変電設備は単に電力を安定供給できればよいという時代は終わり，いま求められているのは信頼性向上はもちろん，省エネルギー，省力化を実現した効率のよい運用であると言えよう。監視制御にとっては小形化，信頼性向上及びマンマシンインタフェース性能の向上が必要であり，制御装置のエレクトロニクス化が進んでいる。

特に，複雑な制御や高度な最適値演算が必要となる場合，最近は電子計算機により受変電システムを総合的に監視制御させる方式が増えている。この場合，主要な演算操作は計算機に行なわせるので，監視制御盤が従来に比べて大幅に小さくなり，小数の運転員で経済的なオペレーションが可能となる。図7に，受変電システム監視制御に対するニーズフローと制御装置の近代化推移を示す。

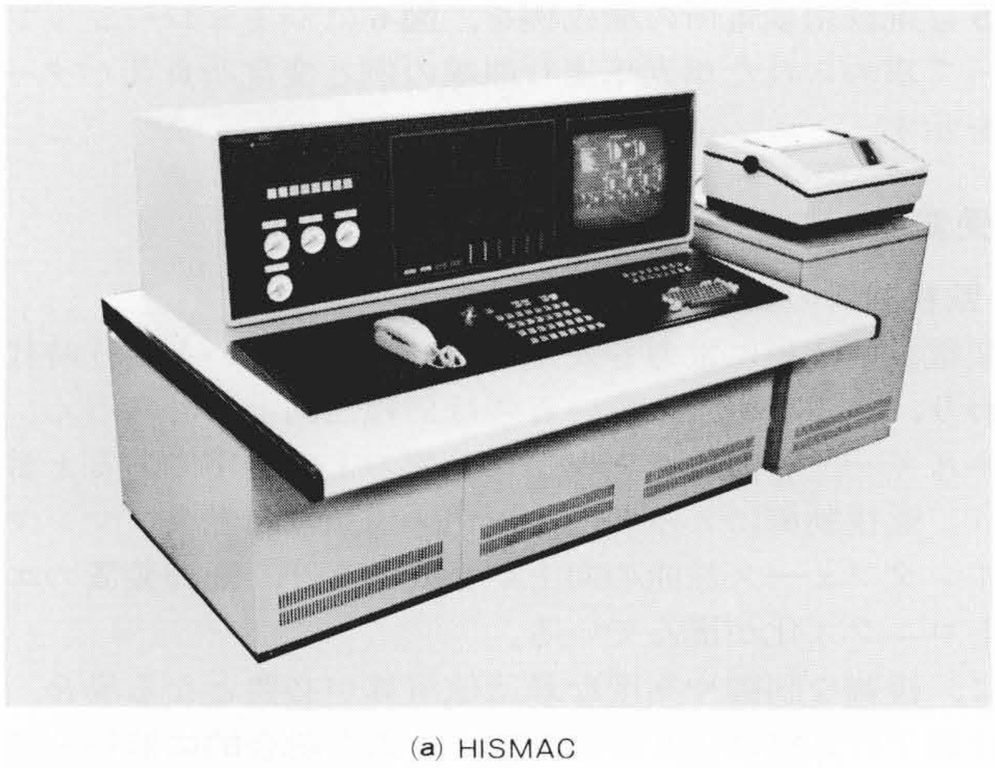
3.2　受変電監視制御装置

3.1に述べたようなニーズに対応して，日立電子式受変電監視制御装置“HISMAC”(Hitachi Substation Man-Machine Console)を開発した。HISMACには従来のリレーシステムに

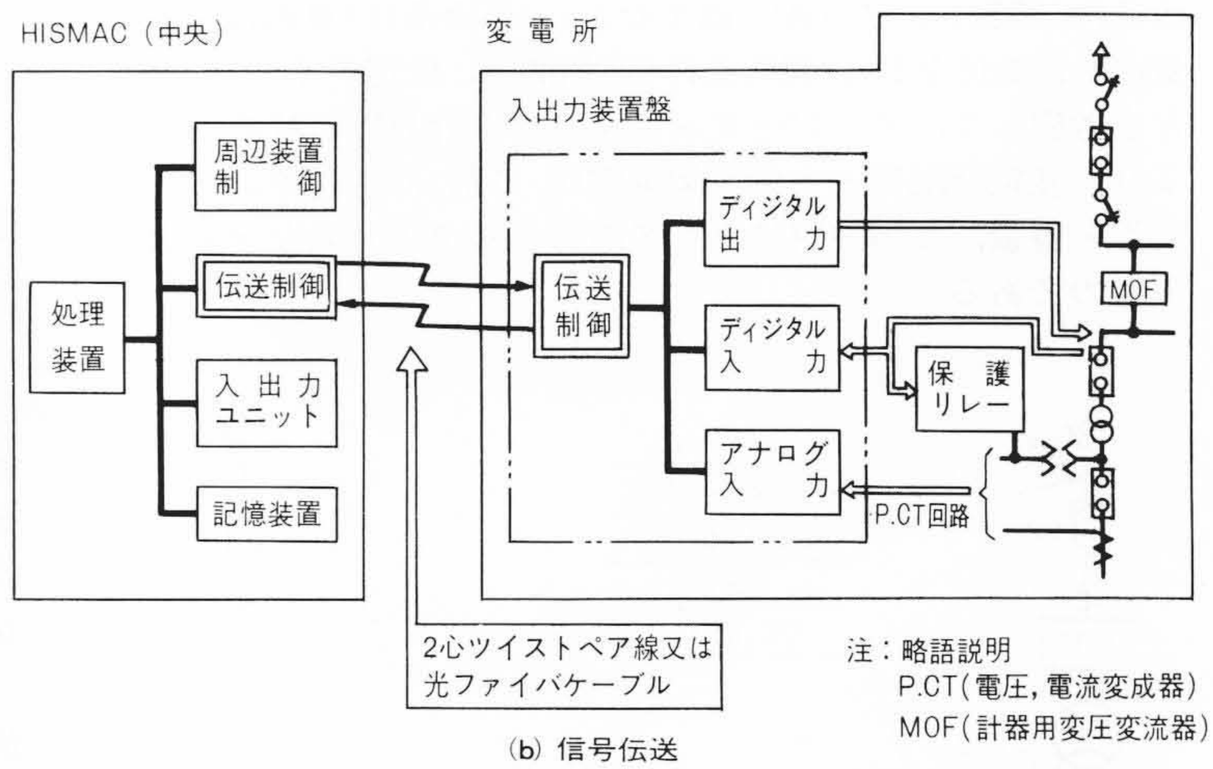


注：略語説明　LRT(Load Ratio Transformer)，CRT(Cathode Ray Tube)

図7　受変電監視制御に対するニーズフローと制御装置の近代化　制御装置の小形化，信頼性向上のニーズに対応して，制御装置のエレクトロニクス化が進んでおり，最近は電子計算機により総合制御させる方式が増えている。



(a) HISMAC



(b) 信号伝送

図8 日立電子式受変電監視制御装置“HISMAC”と信号伝送 HISMACはマイクロコンピュータを内蔵した受変電監視制御装置で，CRTディスプレイなどによりマンマシン性が向上しており，1対のケーブル又は光ファイバによる信号伝送も可能である。

変えて，マイクロコンピュータを採用しており，監視制御効率の向上，自動化・省力化，システム信頼度の向上などが図られるほか，将来設備容量の拡大を図る場合にも，基本モジュールの積み重ねによって容易にシステムの拡張が図れる。

シリーズ構成としては，デマンド制御，力率制御及び日報・月報の作成などを行なう小規模のもの(HISMAC-5L，10L)から，伝送装置による大規模，広域の受変電システムを集中監視制御するHISMAC-1000まで，規模や制御内容に応じて対応できるシリーズとしている。**図8**にHISMACの外観と信号伝送装置の構成を示す。信号伝送には専用LSIを開発，使用しているため小形，高速で，アナログ信号も伝送でき，耐ノイズ性が特に要求される環境に対しては，光ファイバによる伝送を行なうことも可能である。

3.3 保護継電システム

保護継電の近代化も継電器の静止化，高信頼化などのハードウェア面と区間保護方式，システム保護方式などの方式面の両面からとらえることができる。

受変電設備の保護は，従来は電流限時協調方式がもっぱら用いられており，現在でも保護の基本ではあるが，最近は受変電設備を一つのシステムとしてとらえ，サブシステムごとの保護を行なう区間保護方式や，事故を最小限に食い止めるため選択遮断などを行なうシステム保護方式が拡大している。**図9**に**3.2**で述べたHISMACを利用して，保護継電器の自動点検を行なう自動点検機能付き静止形保護継電器の実装例を示す[3]。

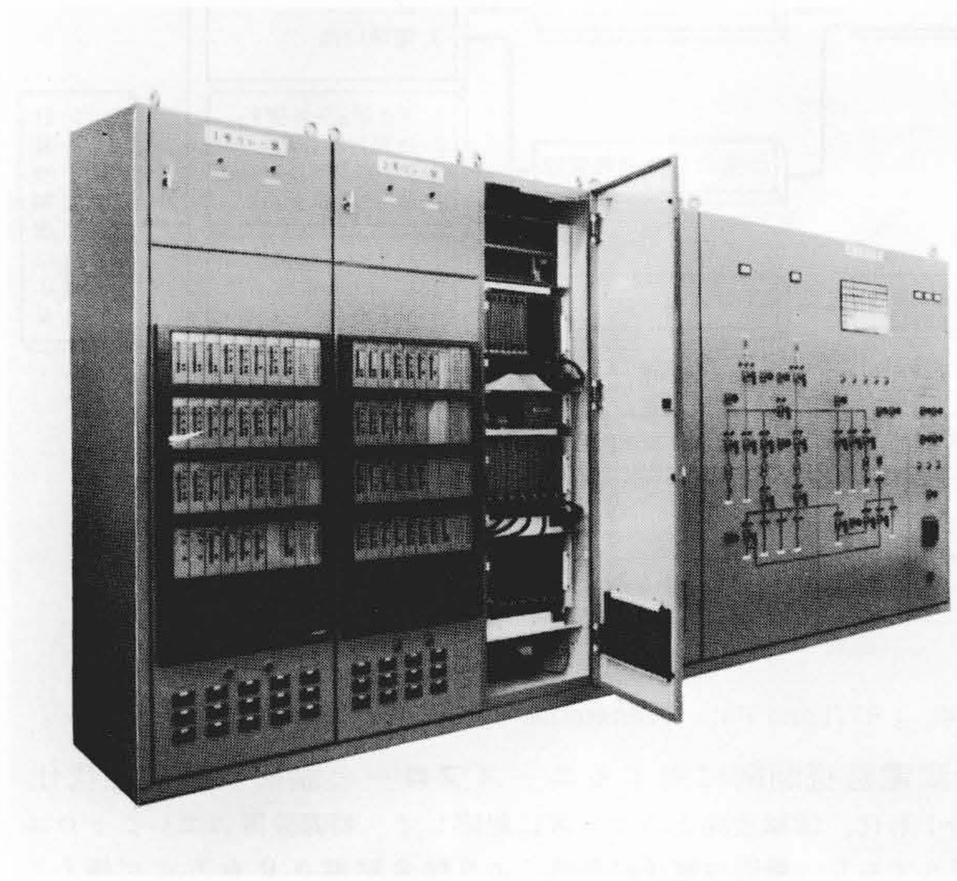
4 縮小形ガス絶縁変電所

4.1 三相一括・縮小形ガス絶縁開閉装置

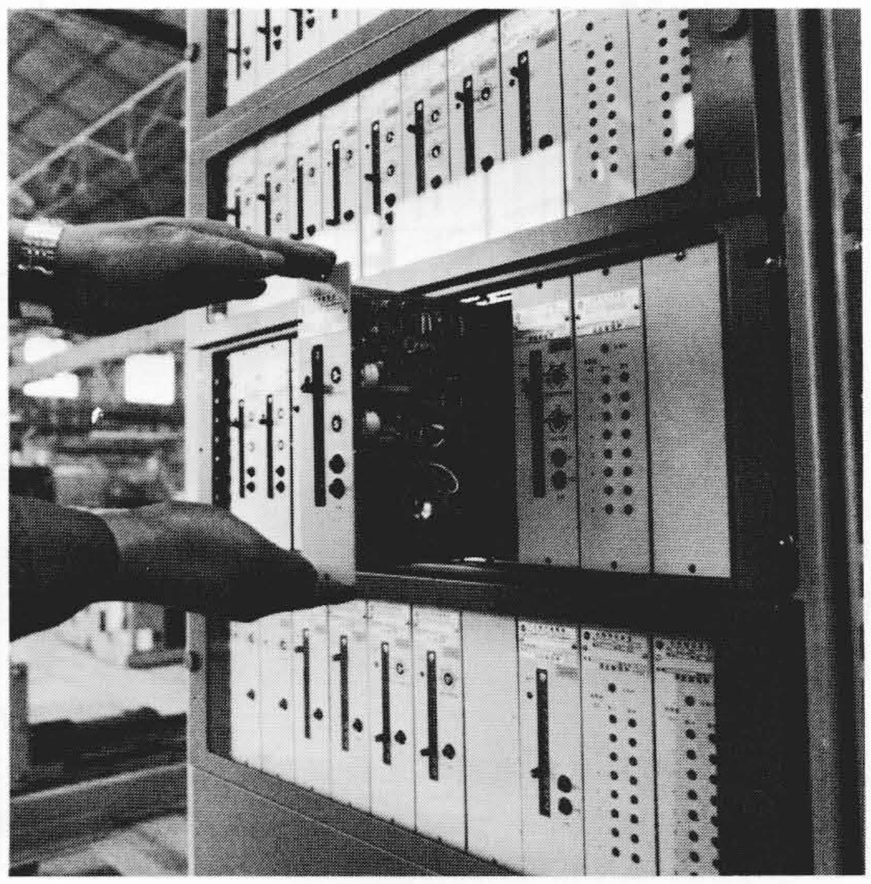
ガス絶縁開閉装置は現在では66～500kVまで実用化され，日立製作所では昭和44年に1号機を納入して以来既に**図10**に示すように1,700Bay(フィーダ数)以上の実績をもち好評を博しているが，このたび66/77kV級で更に小形・軽量化を図った縮小形ガス絶縁開閉装置を開発し，昭和59年5月その1号機を納入した。**図11**にガス絶縁開閉装置の小形・軽量化へのアプローチ手法と[4]66/77kV縮小形ガス絶縁開閉装置の従来形との据付面積・重量の比較及び外観を示す。

ガス絶縁開閉装置構成機器の三相一括化は，ガス絶縁開閉装置の据付所要面積の最小化に加え，輸送・据付を容易にする利点があり，遮断器，断路器，接地装置などを含めた全三相一括形とすることによって，縮小化の効果がいっそう大きくなっている。三相一括母線は二等辺三角形配置とし，母線の接続や立上げを容易にするとともに，電界の均等化を図っている。

パッファ形ガス遮断器の高電圧，大容量化の技術開発には

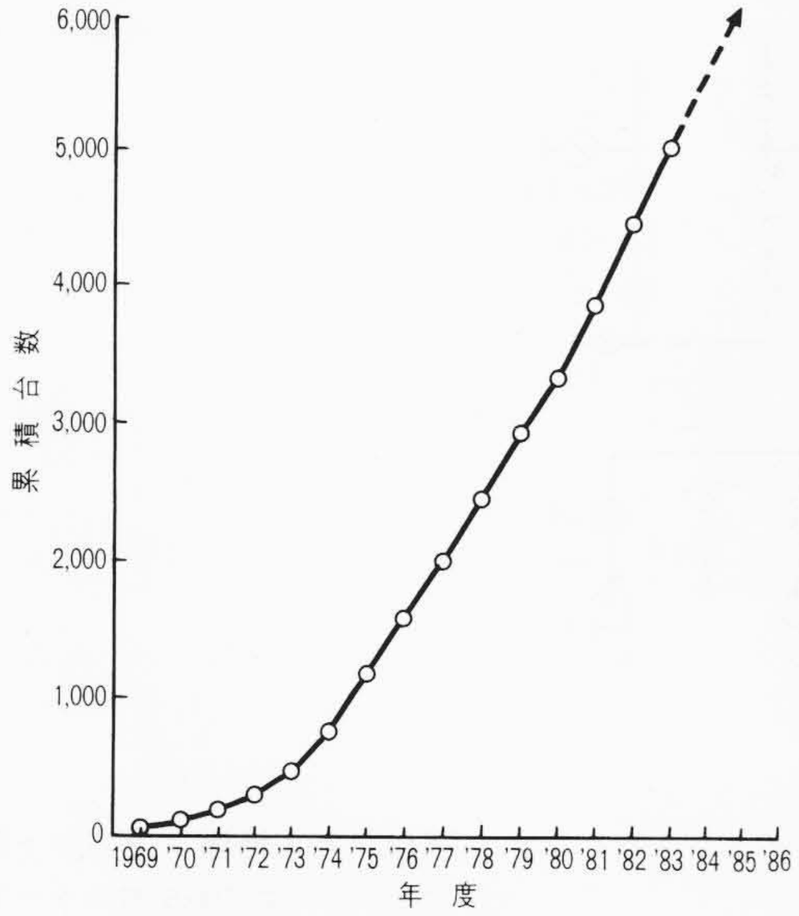


(a) 保護継電器盤と監視操作盤

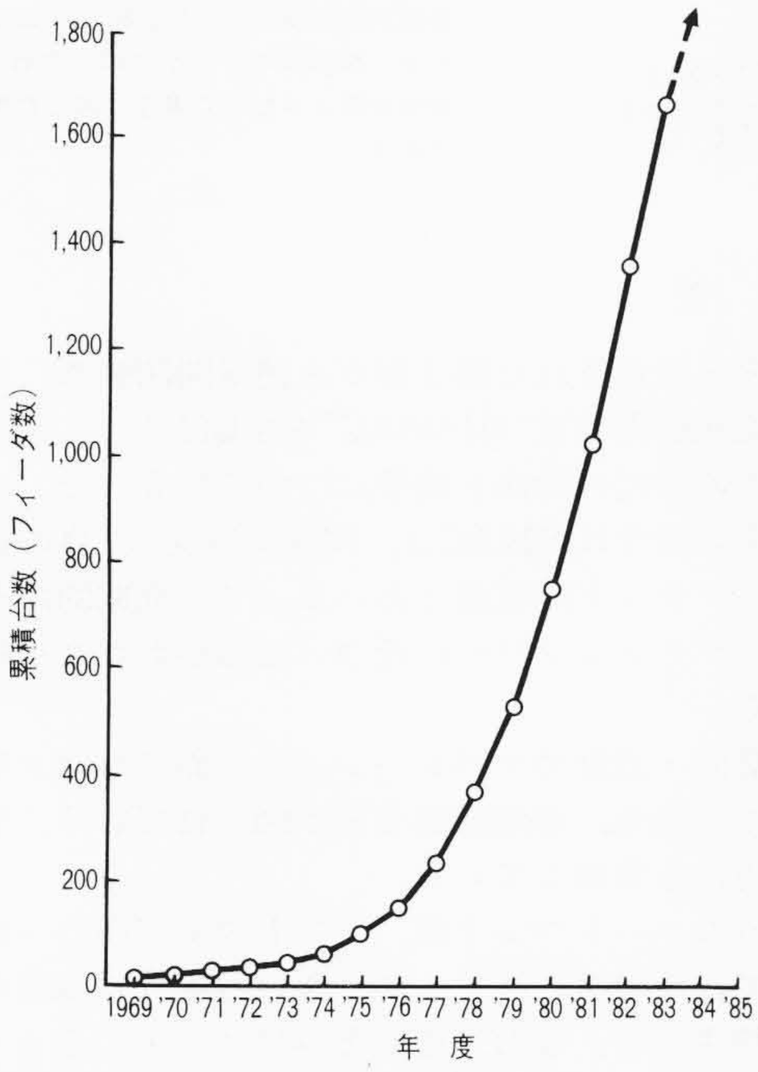


(b) 静止形保護継電器実装例

図9 自動点検機能付き静止形保護継電器の実装例 マイクロコンピュータと自動点検機能付き静止形保護継電器の採用により，保護継電器の自動点検が可能となった。



(a) SF_6ガス遮断器



(b) SF_6ガス絶縁開閉装置

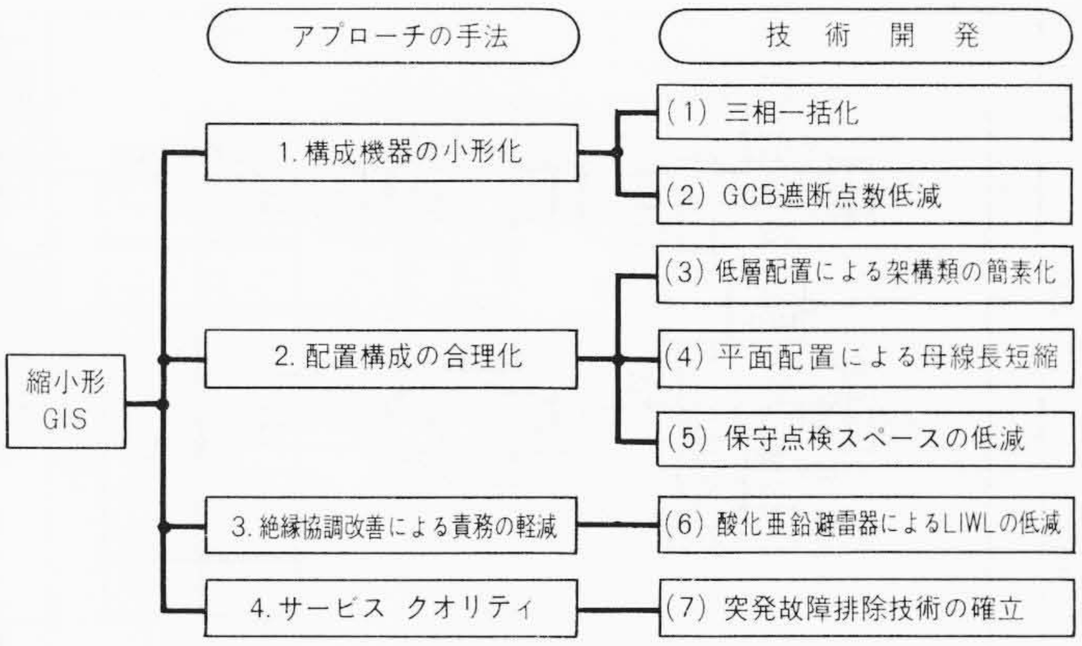
図10　SF_6ガス絶縁開閉装置の納入実績　日立ガス絶縁開閉装置は，1969年(昭和44年)に1号機を納入以来その優秀さが認められ，既にフィーダ数で1,800台を超える納入実績をもっている。

近年特に目覚ましいものがあり，解析技術の向上，耐アーク材料の開発などの技術開発を基に，既に300kV，50kAまで一点切りが実用化されているが，縮小化の重要技術として遮断部だけでなく，断路部，避雷器など各機器の合理的収納，収納容器数の低減があり，今回の縮小化でも容器数を従来形の13個から11個へ低減し，据付面積を従来の81%へ，重量を84%へそれぞれ低減した。

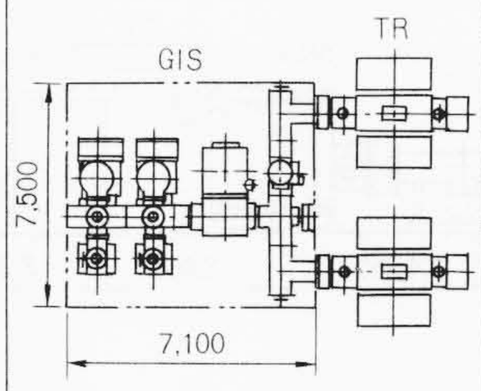
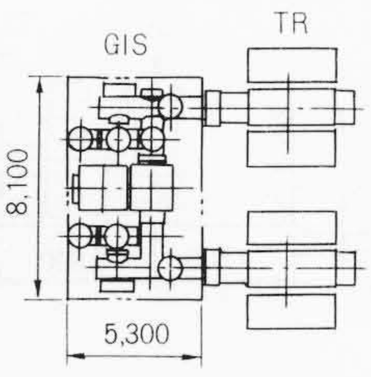
4.2　SF_6ガス絶縁コンパクト変電所

新たに開発した縮小形ガス絶縁開閉装置と不燃化の進むSF_6ガス絶縁変圧器などをスペースファクタよく，シンプルに一体化したSF_6ガス絶縁コンパクト変電所の配置・構成例を**図12**に示す。配置構成に当たっては，低層配置による架構類の簡素化と耐震性向上，保守点検の容易化，平面配置による母線長の短縮などが図られている。

変圧器のオイルレス化に関しては，優れた絶縁性能をもつ

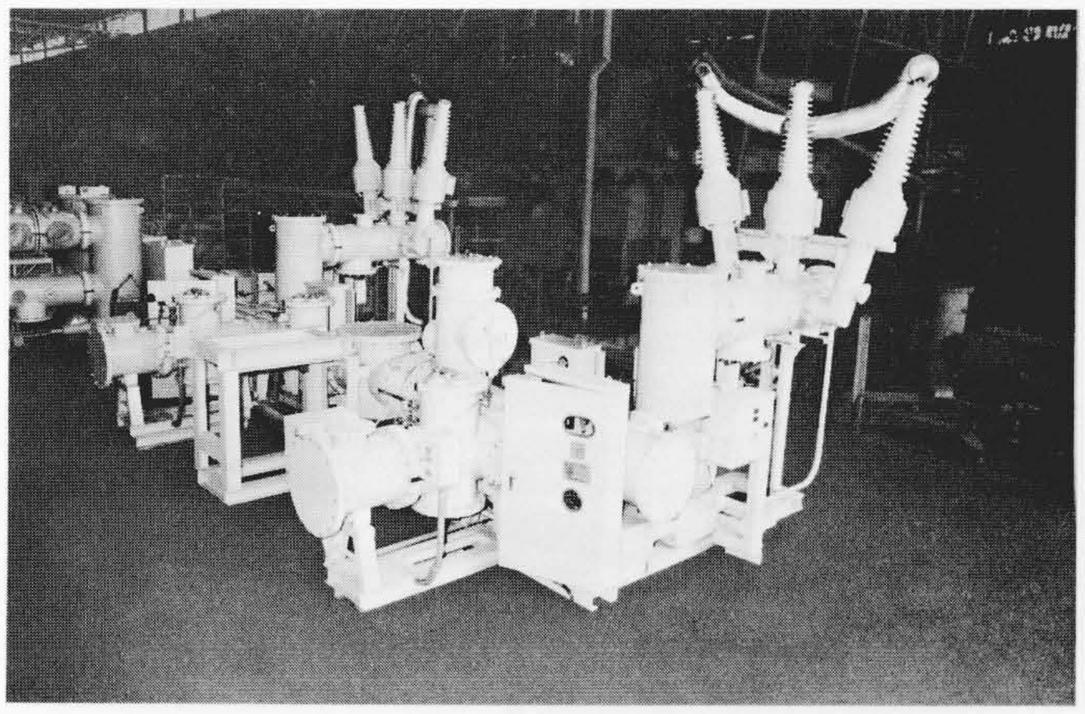


(a) ガス絶縁開閉装置の小形・軽量化へのアプローチ

	従　来　形	開　発　品
配　置		
据付面積 (m^2)	53 (100%)	43 (81%)
重　量 (t)	25 (100%)	21 (84%)
容　器　数	13 (100%)	11 (85%)

(b) 66/77kV縮小形ガス絶縁変電所の従来形との比較(ケーブル引込の場合)

注：略語説明　GIS(ガス絶縁開閉装置)
LIWL(Lightniing Impulse Withstand Level)



(c) 66/77kV縮小形ガス絶縁開閉装置の外観

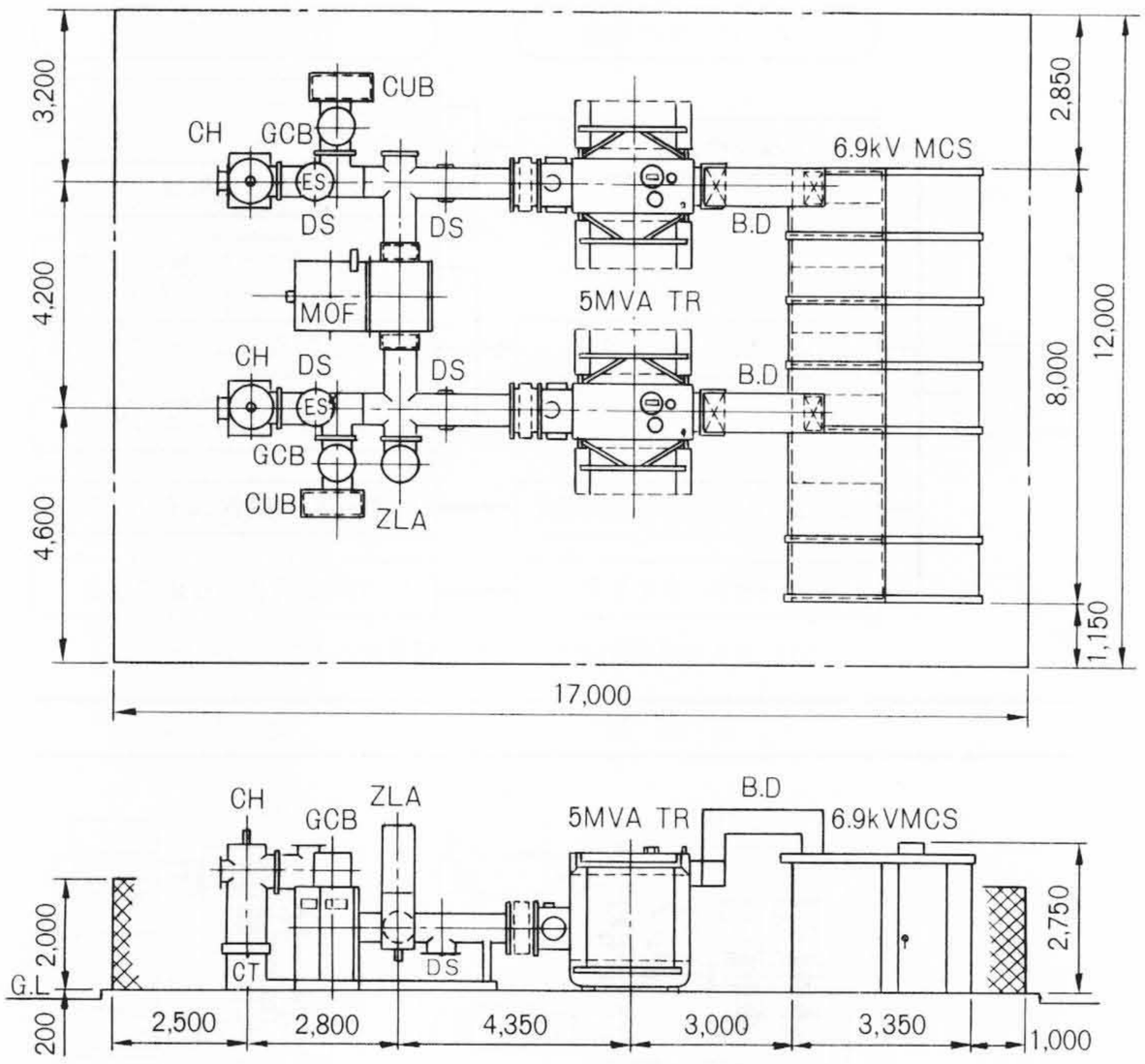
図11　ガス絶縁開閉装置の小形・軽量化へのアプローチと縮小形ガス絶縁開閉装置　縮小形ガス絶縁開閉装置は，構成機器の小形化，配置構成の合理化などにより，据付面積で81%，重量で84%と大幅に小形・軽量化され，同時にサービス クォリティの改善が図られている。

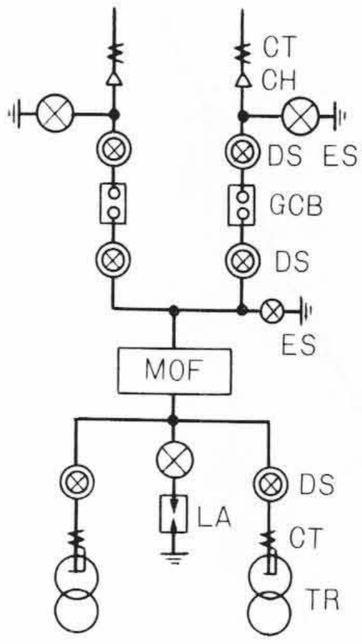
SF_6ガスの採用により22kVを超える特高の領域(22～154kV)での防災変圧器の実用化が可能となった。

このSF_6ガス絶縁変圧器の製品化により，縮小形ガス絶縁開閉装置と組み合わせ，超小形ガス絶縁変電所(GSS)が可能となり，不燃化・安全性向上，据付工事・保守の簡略化が推進された。

防災・不燃化の観点から，高圧(6/3kV)の分野ではモールド変圧器も低損失，低騒音，優れた耐震性などの特長が評価され，ビル，地下変電所などに多く用いられている。

高圧遮断器もオイルレス化が進み，メンテナンスフリーに



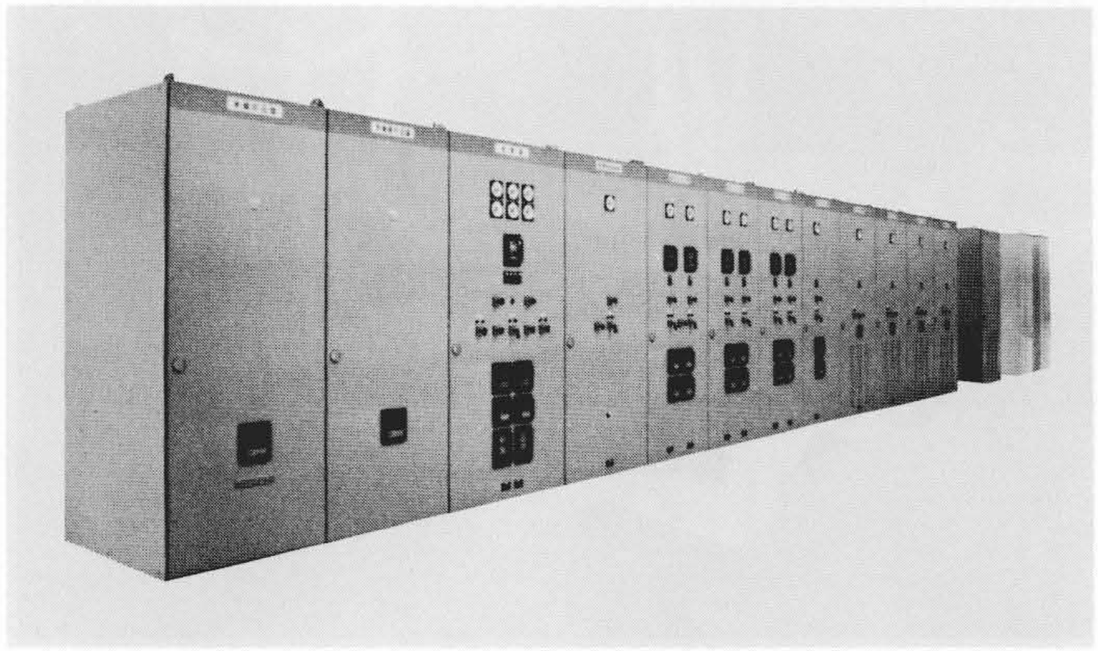


注：略語説明
B.D(ブスダクト)
CH(ケーブルヘッド)
LA(避雷器)

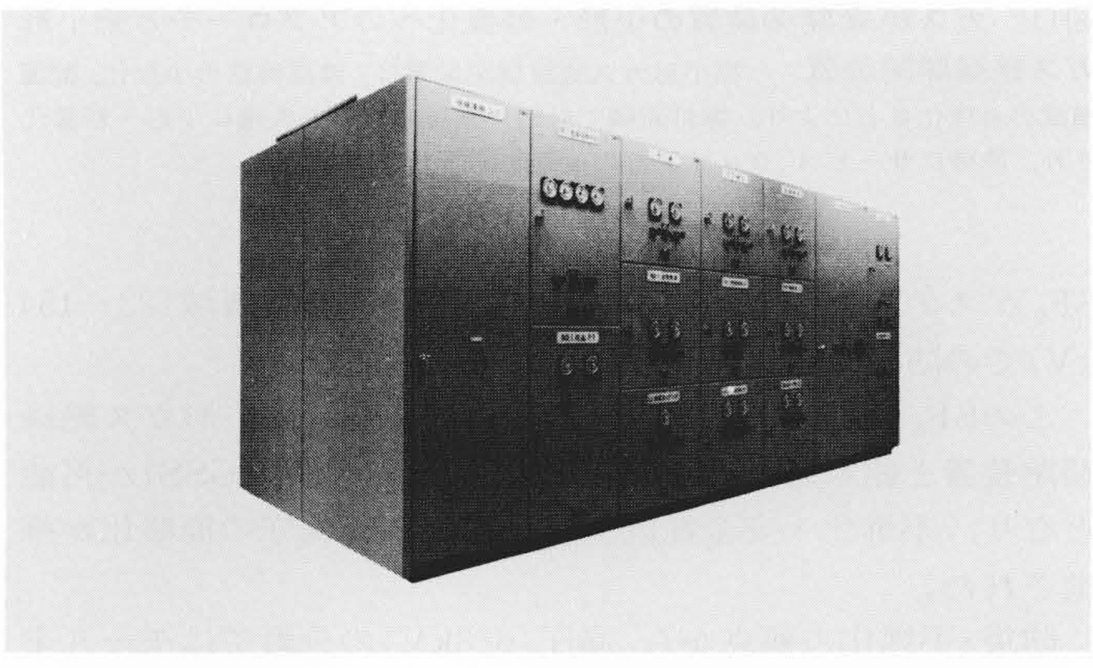
図12 ガス絶縁コンパクト変電所の構成例 本図は66/77kVケーブル引込の場合の構成例を示す。機器の構成は変電所の受電方式，屋内外の別，結線方式などで異なるが，機器ユニットが標準化されており，組合せを変えるだけで用途に適した構成が可能である。

近いVCB(真空遮断器)の採用が多くなってきている[5]。

高圧遮断器を収納した高圧閉鎖配電盤は，Cub(キュービクルタイプ配電盤)とMCS(メタルクラッド配電盤)に大別されるが，**図13**に薄形壁密着式キュービクル(商品名：フィットバックキュービクル)の外観構造と7.2kV，600A，20kA真空遮断器収納3段積メタルクラッド配電盤(JEM1153，F_2級)の外観構造を示す。



(a) 6.9kV，600A，12.5kA薄形壁密着式キュービクル



(b) 7.2kV，600A，20kA真空遮断器収納3段積メタルクラッド配電盤

図13 最近の高圧閉鎖配電盤 小形の高圧真空遮断器を採用し，(a)では奥行を700mmとして壁密着式を，(b)ではF_3級で3段積を可能としている。

5 結 言

最近開発・改良された縮小形ガス絶縁開閉装置，日立電子式受変電監視制御装置“HISMAC”を主題として，産業用受変電システムの最近の動向と概要について紹介した。縮小形ガス絶縁開閉装置やHISMACは，同様に開発・改良の進む変圧器やメタルクラッド配電盤とあいまって，画期的に小形，高信頼でメンテナンスフリーに近づいた縮小形ガス絶縁変電所を形成する。

また，計画・設計やオペレーションの面でもコンピュータを活用した最適化，事前確認などが図られており，省エネルギー，省力にも貢献している。

このようなハードウェア面，ソフトウェア面の一体進歩があいまって，受変電システムの今後いっそうの改善が可能になると期待される。なお，近年とみにニーズの高まっている受変電設備の予防保全や耐震性については，紙面の都合で詳しく紹介できなかったが，予防保全については文献[4),6)]などを参照いただきたい。受変電設備の耐震性については別稿[7)]に述べることとする。

最後に，有益なアドバイス，率直なニーズを与えていただいたユーザー各位に対し厚く御礼申し上げるとともに，今後いっそうの御指導をお願いする。

参考文献

1) 宮本，外：軌道輸送システム用計画設計サポートシステム，日立評論，**60**，10，751～756(昭53-10)
2) 安信，外：軌道輸送システム用電力シミュレータ，情報処理研究会資料IP-79-55，電気学会(1979-5)
3) 若狭，外：産業用受変電設備の保護継電方式，日立評論，**65**，9，649～654(昭58-9)
4) 佐々木，外：最近のガス絶縁開閉装置，日立評論，**65**，5，321～326(昭58-5)
5) 石上，外：3.6～36kV用遮断器及び閉鎖配電盤の最近の動向，日立評論，**65**，7，503～508(昭58-7)
6) 星，外：電力用変圧器の技術動向，日立評論，**65**，5，315～320(昭58-5)
7) 石田，外：産業用受変電設備に於ける耐震性の検討と向上，日立評論，**67**，2，153～158(昭60-2)