

最近のビル・工場用受配電設備

Recent Substations for Building and Factory Use

社会の高度情報化・国際化・インテリジェント化に伴い、受配電設備に対する電力安定供給の責務はますます重大となりつつある。また、スペースの有効利用・防災・監視制御の集約化のニーズから、機器のコンパクト化・不燃化・インテリジェント化が求められている。これらのニーズは複合化された二重系のSF₆ガス絶縁開閉装置、特別高压防災変圧器、スポットネットワーク受変電設備によって、かなりの程度で実現されている。

齊藤 博* Hiroshi Saitō

高本 学** Manabu Takamoto

上野善人** Yoshito Uwano

若狭文雄** Fumio Wakasa

沢入光雄** Mitsuo Sawairi

1 緒 言

近年、金融・保険関係をはじめとする各種の情報ネットワークの整備およびサービス産業の拡大などによる社会の高度情報化、ビジネスの国際化、OA化の進展に伴い、インテリジェントビルや電子計算機センターの建設が増加している。一方、製造業でも経営の多角化、生産設備の合理化・増強が行われ設備投資が盛んになっている。これらを支える受配電設備に対しては、24時間連続稼動・無瞬断・電圧の波形ひずみや変動に対する厳しい制約が要求されている。一方、スペースの有効利用を図るためのコンパクト化、防災面での不燃化、保守技術者不足に対する無保守化が、受配電設備に対する基本的ニーズとなっている。本稿では、これらのニーズに対応した受配電設備についてその一端を紹介する。

2 受配電設備の動向

2.1 電源機器の動向

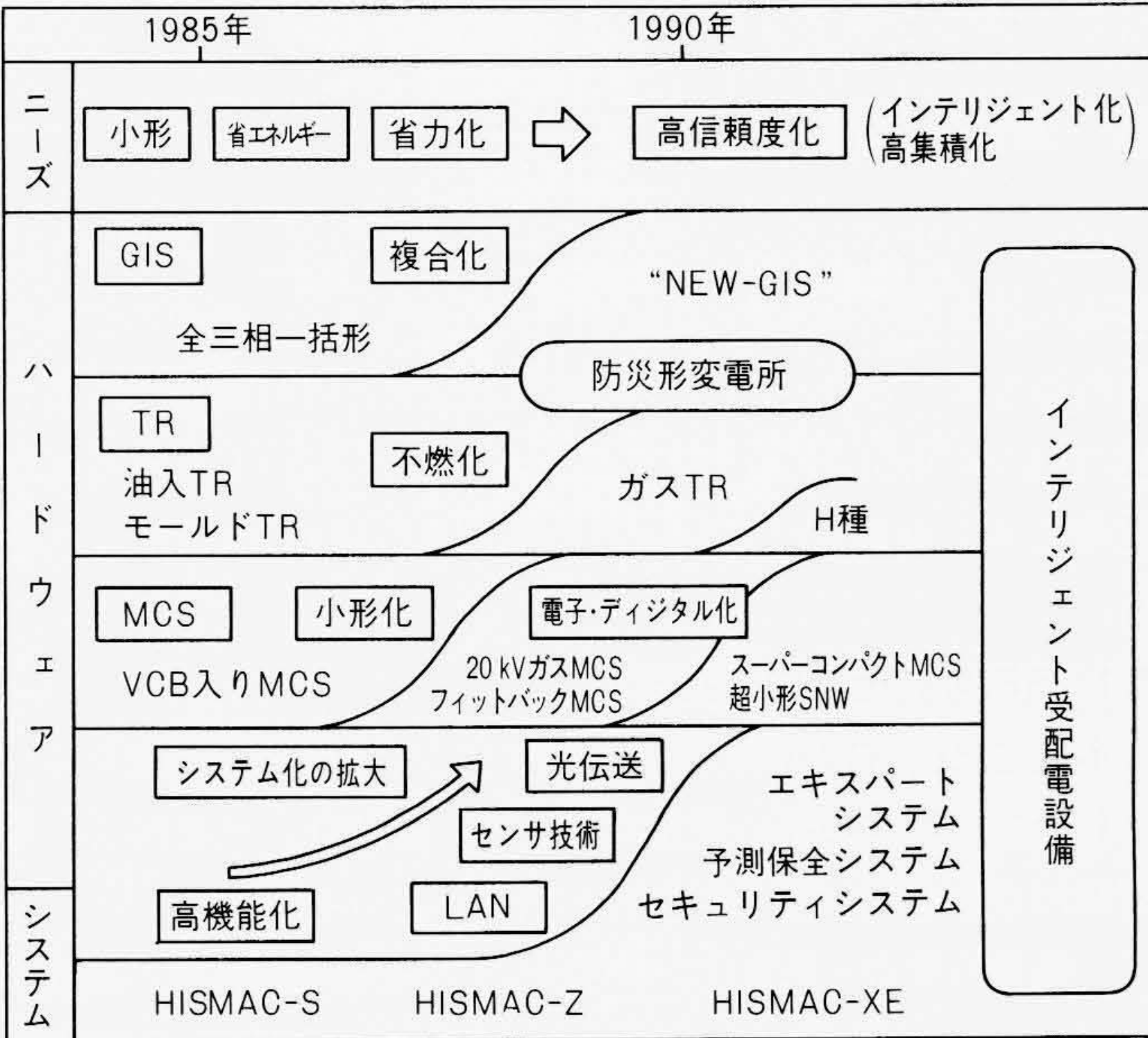
電源機器の現状と将来を図1に示す。66/77 kV SF₆ガス絶縁開閉装置は、機器の複合化によって2回線2バンクならば一体で運搬できるまでに縮小化されており、変圧器はSF₆ガス絶縁変圧器の自冷容量の拡大が課題となっていたが、H種絶縁の採用によって20 MVA (66 kV) まで自冷可能となっている。また、閉鎖形配電盤などはICU (Intelligent Control Unit) によって制御・状態表示・故障表示・計測回路が電子化、ユニット化され、真空遮断器の多段積は3段積よりも増える方向となっている。

最近の情報化社会の進展に伴い、受配電設備の監視制御の自動化がいっそう進められており、当初はロガー機能を持つ程度のものであったが、最近は高度な監視のできるものが強く望まれている。さらに、これに現在一部の変電所で実用化

されている運転支援エキスパートシステムまたは予測保全システムが付加されれば、名実ともにインテリジェント変電所の実現が可能となる。

2.2 電源システムの高信頼度化

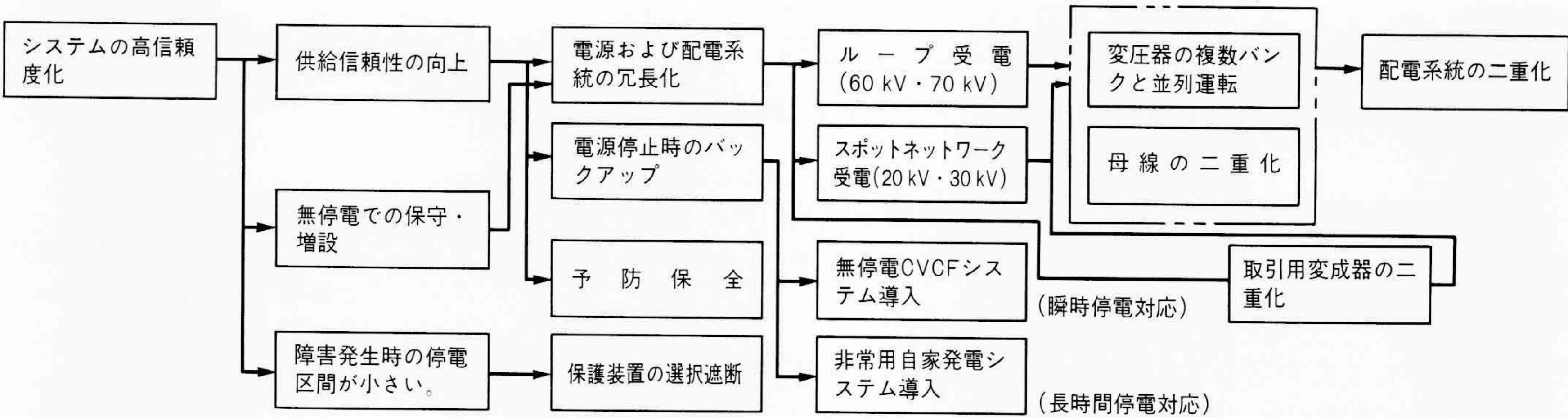
電源システムの高信頼度化は負荷設備の重要度、運用方法、



注：略語説明 GIS (SF₆ガス絶縁開閉装置)
NEW-GIS (新形SF₆ガス絶縁開閉装置)
TR (変圧器), MCS (閉鎖形配電盤), VCB (真空遮断器)
SNW (スポットネットワーク受配電システム)
HISMAC (中央監視制御装置)

図1 受配電設備の現状と将来 受配電設備は、将来、インテリジェント化、高集積化されたインテリジェント受配電設備になっていくと考える。

* 日立製作所機電事業本部 ** 日立製作所国分工場



注：略語説明 CVCF（定電圧定周波）

図2 受配電システムの高信頼度化手法 受配電設備の二重化システムと非常用自家発電システム，無停電CVCFシステムの導入によって，もっとも信頼度の高いシステムが構成される。

システムの経済性などを十分に検討し，最適な系統構成を行い，適格な構成機器を選択することによって行われる。系統構成上，もっとも高い信頼性を得るための考え方を図2に示す。

最近増加しているOA機器やインバータから発生する高調波電流は，コンデンサの過熱，蛍光灯のフリッカ，機器の誤動作など，障害発生 の 要因となっている。これを防止するため高調波解析を行い，コンデンサ回路の直列リアクトルのインピーダンスやフィルタの設置を検討し，電源電圧のひずみを小さく抑えることが必要である。

3 最近の受配電設備

ビル，工場の受配電設備としては，66/77 kV，22/33 kV特別高圧設備，6 kV高圧設備がある。本稿では，前述の技術的な内容を66/77 kV SF₆ガス絶縁開閉装置，特別高圧変圧器，22/33 kVのビル用スポットネットワークおよび工場の受変電設備に多く適用される監視制御装置HISMACについて述べる。

3.1 SF₆ガス絶縁開閉装置

本装置は66/77 kV特別高圧設備として約20年の実績を持つきわめて信頼性の高い装置であるが，縮小化，系統構成，環境調和などでいっそうの改善が行われている。

(1) 機器の複合・集積化によるSF₆ガス絶縁開閉装置の縮小化

SF₆ガスの優れた消弧性能と絶縁性能を利用した本開閉装置は，その最大の特長である設置スペースの縮小化を最大限に活用するように，開発以来多くの技術的検討が進められてきた。

機器の複合，集積化の技術もその一つであり，従来各機器ごとに容器へ収納していたものを，複数個の機器を一つの容器に収納することによってガス絶縁開閉装置を小形化しようとしたものである。66/77 kV特別高圧ガス絶縁開閉装置は電力会社からの安定した電力供給システムを構成する基幹の設備であり，その縮小化を検討する場合，ユーザー側の負荷仕

様，運用，保守などを十分検討して総合的に判断すべきである。特別高圧受電の標準回路構成である常用予備2回線受電2バンク方式について，日立製作所のSF₆ガス絶縁開閉装置縮小化の例を図3に示す。同図に示すように，母線の複合化および機器の複合化の両面から検討を進めた。

通常，特別高圧受変電設備には取引用変成器が設置されるため，従来形ガス絶縁開閉装置では2回線の受電ユニットをいったん1本の母線①にして，取引用変成器を通し，さらにバンク用母線②から2バンクに分岐させていた。この母線部分のスペースは往復母線の開発によって大幅に低減された。これは母線①，②の導体を一体構成として1本のタンク内に収納したものであり，バンク数が増加してもこの共通母線を延長するだけでガス絶縁開閉装置を構成できる。

機器の複合化については，図3に示すとおりガス絶縁開閉装置の構成を受電部(ケーブルヘッド，接地開閉器，断路器，避雷器)，遮断器部(遮断器，接地開閉器)，母線部(母線，断路器)の3ユニットに大別する。この大別の方法はガス絶縁開閉装置の内部不具合時の影響度によって区分される。例えば，受電部の構成機器(ケーブルヘッド，接地開閉器，断路器，避雷器)のいずれに不具合が発生しても当該回線は停止せざるを得ないため，同一容器に収納しても問題はない。同様に母線用断路器と母線も同一容器(母線部)となり，このようにして従来の容器数は5個から3個に低減され，縮小化だけでなく軽量化，部品点数の低減による信頼性の向上など複合化の貢献するところは大きい。

日立製作所では，複合化による縮小形SF₆ガス絶縁開閉装置を“NEW-GIS”(新形SF₆ガス絶縁開閉装置)と称しているが，このタイプをさらに合理的に配置した新シリーズも開発を完了している。このガス絶縁開閉装置はトレーラによる一括輸送の限界まで縮小化を達成している。現地では気中ブッシングおよび変圧器との結合作業だけを実施すればよく，縮小化追求の成果の一つである。

		従来形GIS	NEW-GIS	NEW-GIS新シリーズ
1	配置 (2回線, 2バンク)			
2	据え付け面積	50.4 m ² (100%)	34.4 m ² (68%)	23.4 m ² (46%)
3	質 量	32,000 kg(100%)	21,000 kg(66%)	21,000 kg(66%)
4	母線の 複合化			
	機器の 複合化			

注：略語説明 CB (SF₆ガス遮断器), DS (断路器), ES (接地開閉器), LA (避雷器), CHD (ケーブルヘッド), BUS (母線), MOF (取引用変成器)

図3 機器の複合、集積化によるGISの縮小化 据え付け面積は従来形GISに対し、NEW-GISは68%、NEW-GIS新シリーズは46%と大幅に縮小されている。

(2) SF₆ガス絶縁開閉装置の高信頼度化

特別高圧受変電設備の負荷は、半導体産業のような生産設備の高度プロセス化や生産のコンピュータ管理システムの開発などによって、ますます電力の安定供給を要求してきている。このためガス絶縁開閉装置の信頼性向上だけでなく、システムとしての運用方法または保守方法といった総合的な信頼性の向上が必要である。

ガス絶縁開閉装置回路構成上での高信頼度化としては、取引用変成器の2回線化が挙げられる。これは前述のように、標準の回路構成では取引用変成器の部分でいったん1本の母線に絞っているため、母線での不具合または取引用変成器の定期点検時全停電を伴う作業が生じてしまう。そのため重要負荷では、図4に示すように取引用変成器設置母線を二重化してシステムの冗長性を向上することが必要である。もちろん二重化母線間は母線区分断路器によって区分しておき、母線間の切り換えを実施する。

ガス区画、監視の考え方もガス絶縁開閉装置の配置、構成以上に重要な要素である。徹底した二重監視方式によって1回線が停止してもほかの1回線は確実に電力供給を実施できるシステムの構築が、デザインレビュー時の重要ポイントとなる。

(3) 環境調和形SF₆ガス絶縁開閉装置

社会情勢や生活環境の高度化に伴い、受変電設備に対する社会的ニーズが多様化してきており、特に市街地のビルや公共施設などに設置されるガス絶縁開閉装置では変電所周囲との環境調和が要求される。環境調和形パッケージ方式によるガス絶縁開閉装置の外観を図5に示す。変圧器、閉鎖形配電盤を含めた全パッケージ形設備は、従来の受変電設備のイメージを大きく覆すものである。

(4) 産業用SF₆ガス絶縁開閉装置の将来動向

受変電設備への社会的要請は、量的なニーズから質的なものへと移行してきており、(1)全装可搬形ガス絶縁開閉装置、(2)マイクロコンピュータ制御による予測保全装置搭載形イン

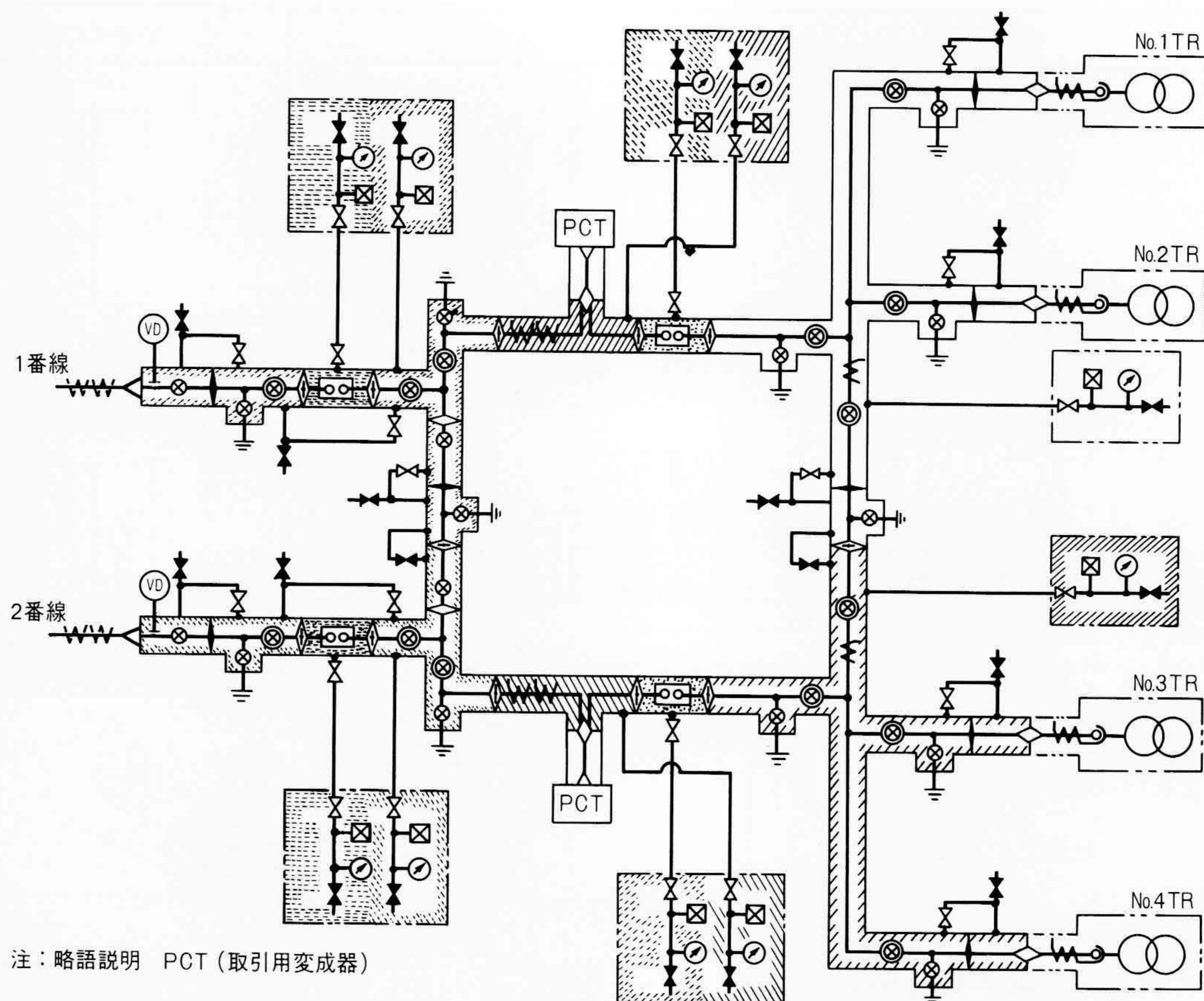


図4 二重化システムのGIS ループ受電方式，2 PCT，No. 1 TRとNo. 4 TRの並列運転，No. 2 TRとNo. 3 TRとの並列運転によって二重化システムを構成している。

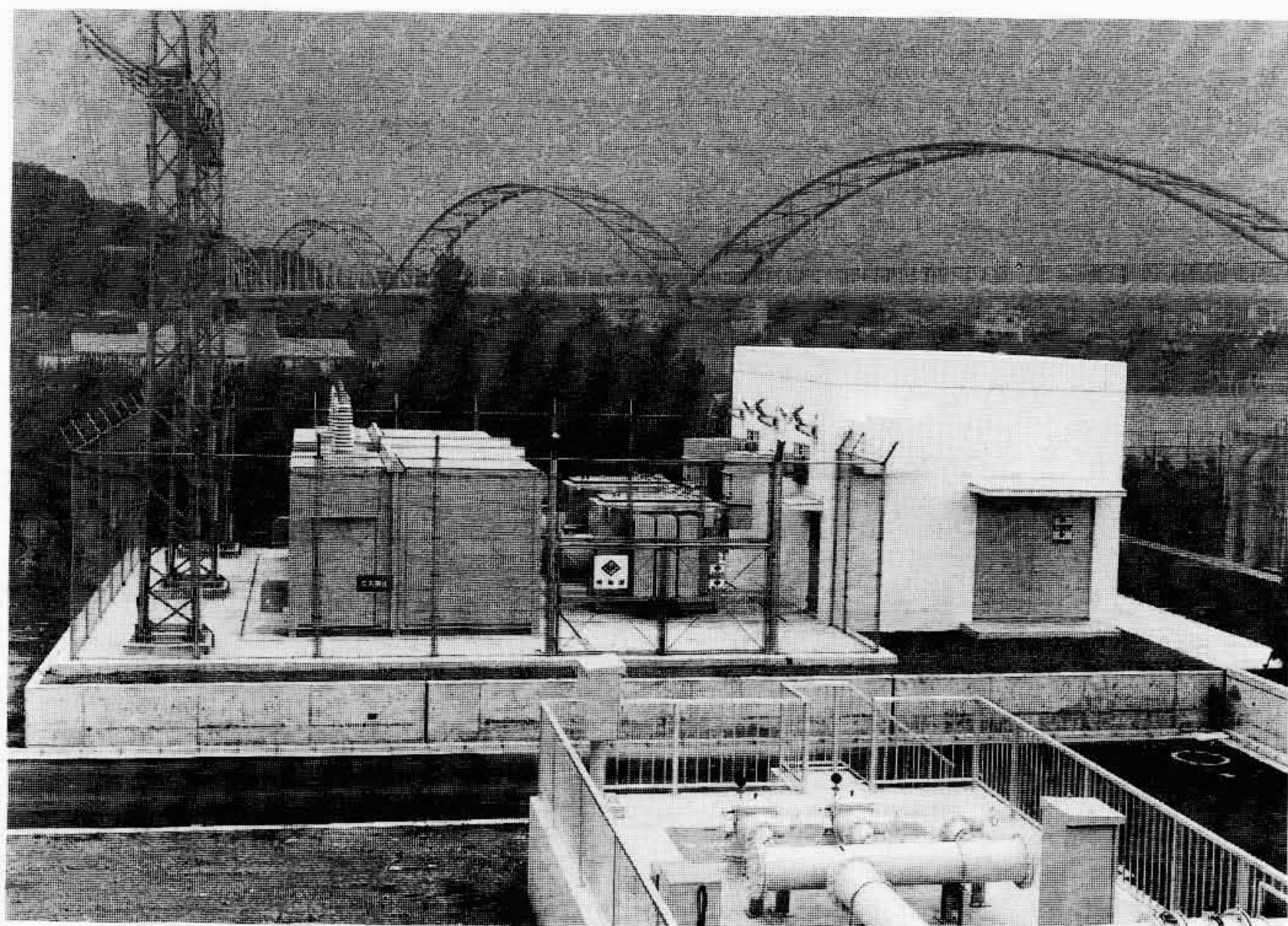


図5 環境調和形パッケージ方式GIS 外観はキュービクル形とし、外部環境と違和感がないようになっている。

テリジェントガス絶縁開閉装置の製品化などによって、いっそうの小形・高信頼度化を実現している。

3.2 特別高圧変圧器

受配電設備の重要な機器である変圧器は、難燃化、不燃化という社会的ニーズに対応して、新しいタイプの変圧器が開発実用化されてきた。現在では、その主流がモールド変圧器、

SF₆ガス絶縁変圧器となっている。

(1) モールド変圧器

モールド変圧器は、開発以来約15年の実績を持ち、現在多くの屋内用の受配電設備に使用されている。モールド変圧器は難燃性、自己消炎性の樹脂で巻線が覆われているので、難燃性であるほかに耐湿、耐塵(じん)性に優れ、構造が簡潔・堅ろうのため機械的強度も強い。さらに、巻線で生じる損失による発熱を直接空気に伝えるため冷却効率が良く、かつ冷却のための装置が不要なため小形になるなどの特徴を持っている。

日立製作所では、H種モールド変圧器を開発し、小形・軽量化に対応している。その外観を図6に示す。

(2) SF₆ガス絶縁変圧器

SF₆ガス絶縁変圧器は、昭和40年代初頭に開発された製品である。昭和50年代に入り高電圧・大容量変圧器の不燃化のニーズによって見直され、この時期に本格的に使用されるようになった。SF₆ガス絶縁変圧器の外観を図7に示す。

SF₆ガスは不燃・非爆発性であり、変圧器に対する防火壁・消火設備を軽減できる。また、空気よりも絶縁・冷却性能が優れ、モールド変圧器ではできなかった電圧154 kV、容量50 MVA級の不燃性変圧器の製作が可能となった。さらに、SF₆ガスは変圧器油に比べて音響インピーダンスが小さく、かつSF₆ガス絶縁変圧器本体で発生する騒音がタンクによって遮音

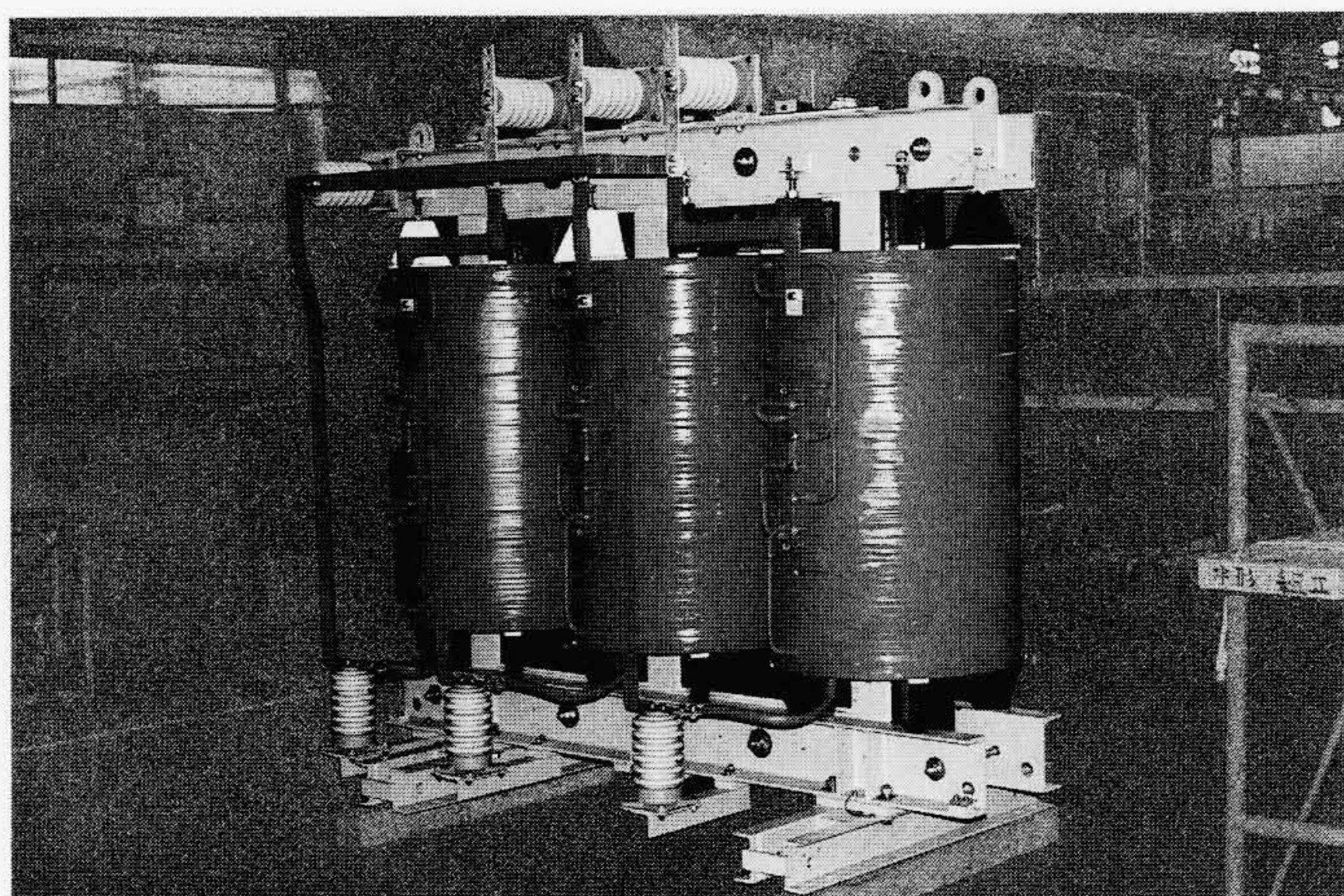


図6 H種FRPモールド変圧器 5,000 kVA, 22 kV/3.3 kVの外観を示す。

されるため低騒音となり、完全自冷式では油入変圧器に比べ3ホン程度騒音を低減できる。一方、SF₆ガスは変圧器油に比べて冷却特性が悪いため変圧器の寸法が大きくなるが、強制冷却方式を適用することによって小形化でき、据え付けスペースの低減を図ることができる。

また、SF₆ガス絶縁変圧器の鉄心には新接合方式(V接合、D形ヨーク方式)を採用し、低損失化(当社比-20%)、低騒音化(当社比-5ホン)を、また巻線にはSF₆ガス冷却に適した新折流板方式を開発し、ガス流分布の均一化を図っている。

3.3 スポットネットワーク受電設備

ビル用受電設備として、都市部で電力供給信頼性の高いスポットネットワーク受電設備が採用されている。ビルの大形化によって受電容量も大容量化しているほか、信頼性の向上、高機能化のニーズが高まっている。また、最近の動向として発電設備を従来の非常用だけにとどまらず、排熱利用を目的として常用のコージェネレーションシステムが導入され、スポットネットワーク受電設備との並列運転が行われている。

(1) 大容量化

受電容量の大容量化に伴い、ネットワーク変圧器の容量、プロテクタヒューズ、プロテクタ遮断器の定格電流や遮断容量が大きくなるが、もっとも影響を受けるのがネットワーク母線で、大通電容量を必要とする。母線の電流値が大きくなると、表皮効果やヒステリシス損などに対処するため母線サイズが電流容量増分以上に大きくなる。また、周辺の外被金属もステンレスなどの非磁性体とする必要がある。これらによって盤の形状が大形化するため、母線の形状、配置を検討し、より小形化するとともに三相母線間の磁束を互いに打ち消すことによって、周辺の外被をステンレスとする必要をなくす。母線構造は、母線形状および通電可能電流の関係をシミュレーションし決定する。5,000 Aの場合の母線の厚さ・枚数・幅寸法の出力例を図8に示す。

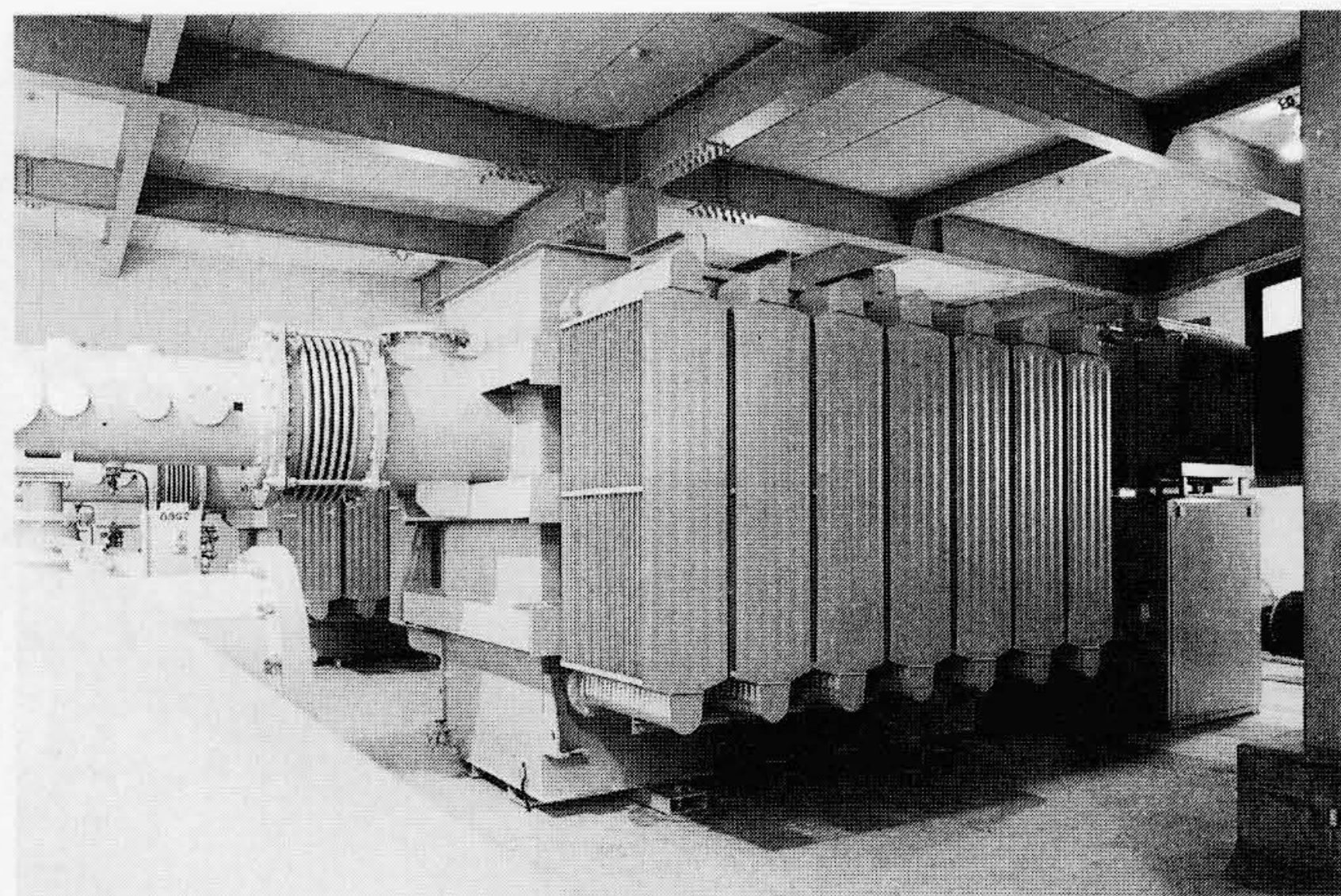


図7 SF₆ガス絶縁変圧器 完全自冷式4,950 kVA, 66 kV/11.80 kVの外観を示す。油入自冷変圧器の外観と同様である。

(2) 高機能化

スポットネットワーク設備で制御の中核となるものはネットワーク継電器である。ネットワーク継電器は、多機能形デジタル継電器を採用している。その外観を図9に示す。デジタル形とすることによって従来の誘導形と比較し、逆電力検出機能が大幅に向上し、ネットワーク変圧器の無効励磁分を低減するとともに大きな省エネルギー効果を得ることができる。また、スポットネットワークシステムの特長である無電圧投入や差電圧投入のロジックも継電器内部で処理することによって、回路の簡素化が図られ信頼性が向上している。過負荷警報も従来はメータリレーによる方式を採用していたが、ネットワーク継電器の中に組み込むことによって整定値や時限も任意に設定できるなどの機能も向上している。

(3) コージェネレーション並列運転

スポットネットワークプロテクタは、電力会社ネットワーク配電線内で事故が発生した場合、事故線を分離し、残る健全回線による配電を維持するため、各変圧器バンクに逆電力遮断機能を持っている。また、大規模なビルは複数台のエレベーターが設置されており、このエレベーターから回生電力が発生するため、もし全バンクとも逆電力を検出しているときは、プロテクタ遮断器の引外しをロックするように考案されている。ただし、特別高圧側で短絡事故のように過電流を伴う逆電力の場合は、瞬時にプロテクタ遮断器を開路して、故障区分の早期除去を図っている。

一方、コージェネレーションと並列運転の場合は、発電機から系統側へ逆電力が発生すると、前述のように全ネットワーク継電器の逆電力要素が動作しプロテクタ遮断器の引外しはロックされるので、母線連絡遮断器CB_Tを解列することによって発電機からの逆電力送電を防止している。また、ネットワーク配電線の短絡保護時には保護概念(図10)に示すように、発電機側母線に発電機容量に見合った負荷Bを接続しておき、

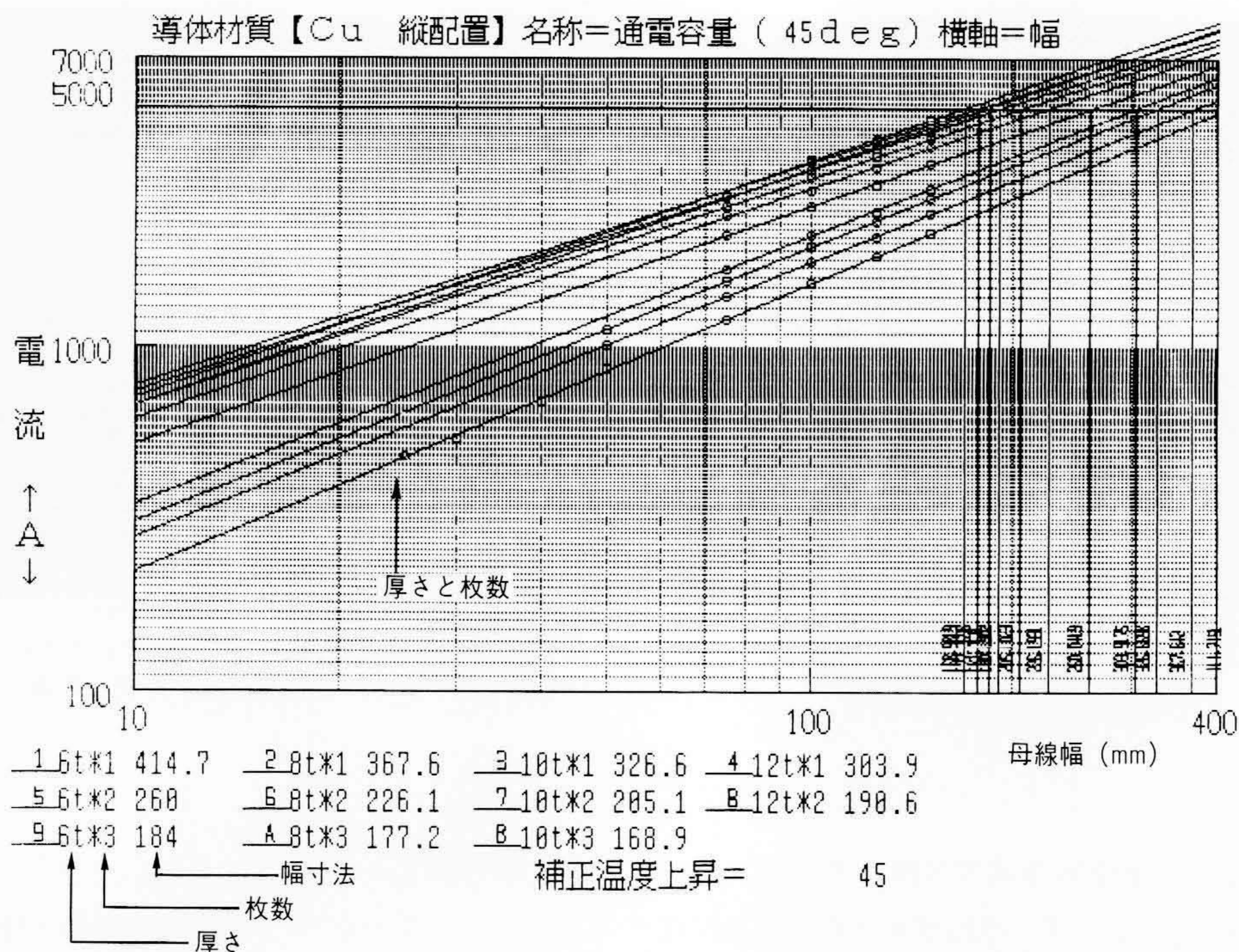


図8 ネットワーク母線計算出力例 縦軸に電流、横軸に母線幅をとり、厚さと枚数を関数として、5,000 Aに必要な母線幅を算出する。

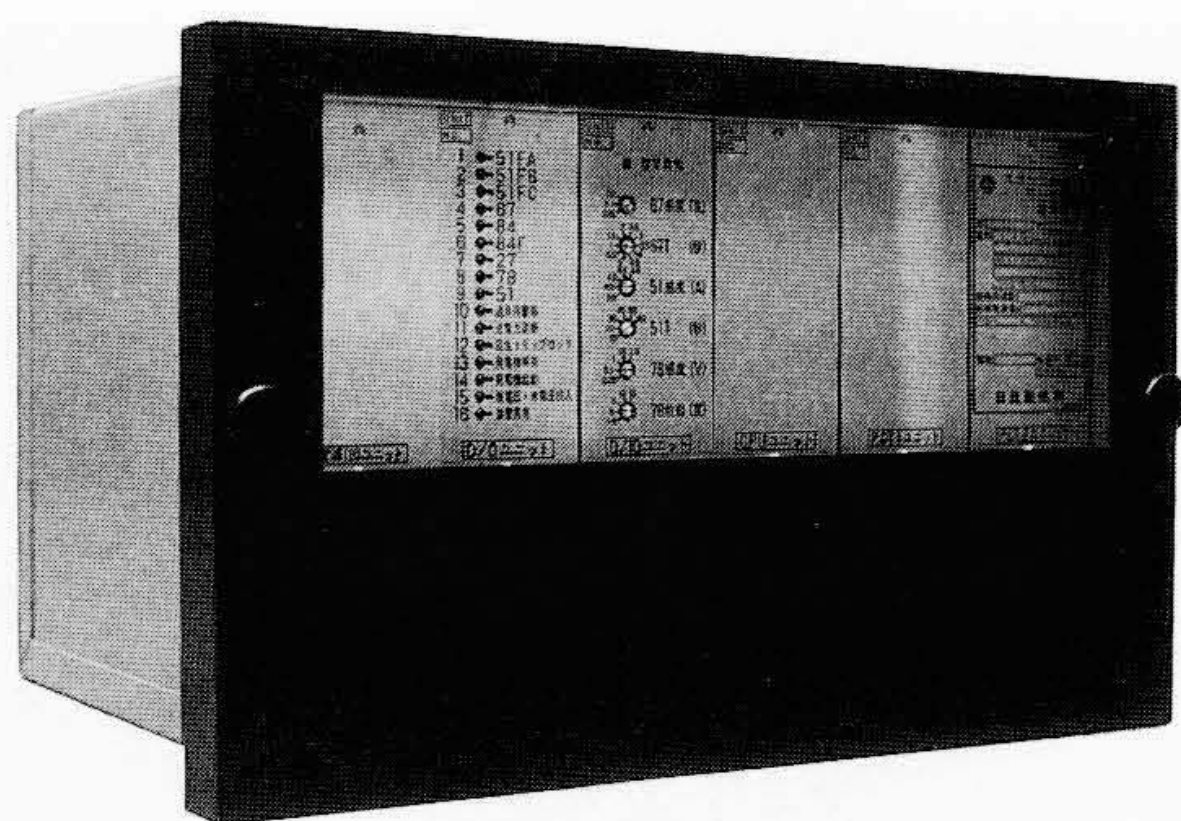


図9 デジタル形ネットワーク継電器 デジタル形ネットワーク継電器の外観を示す。

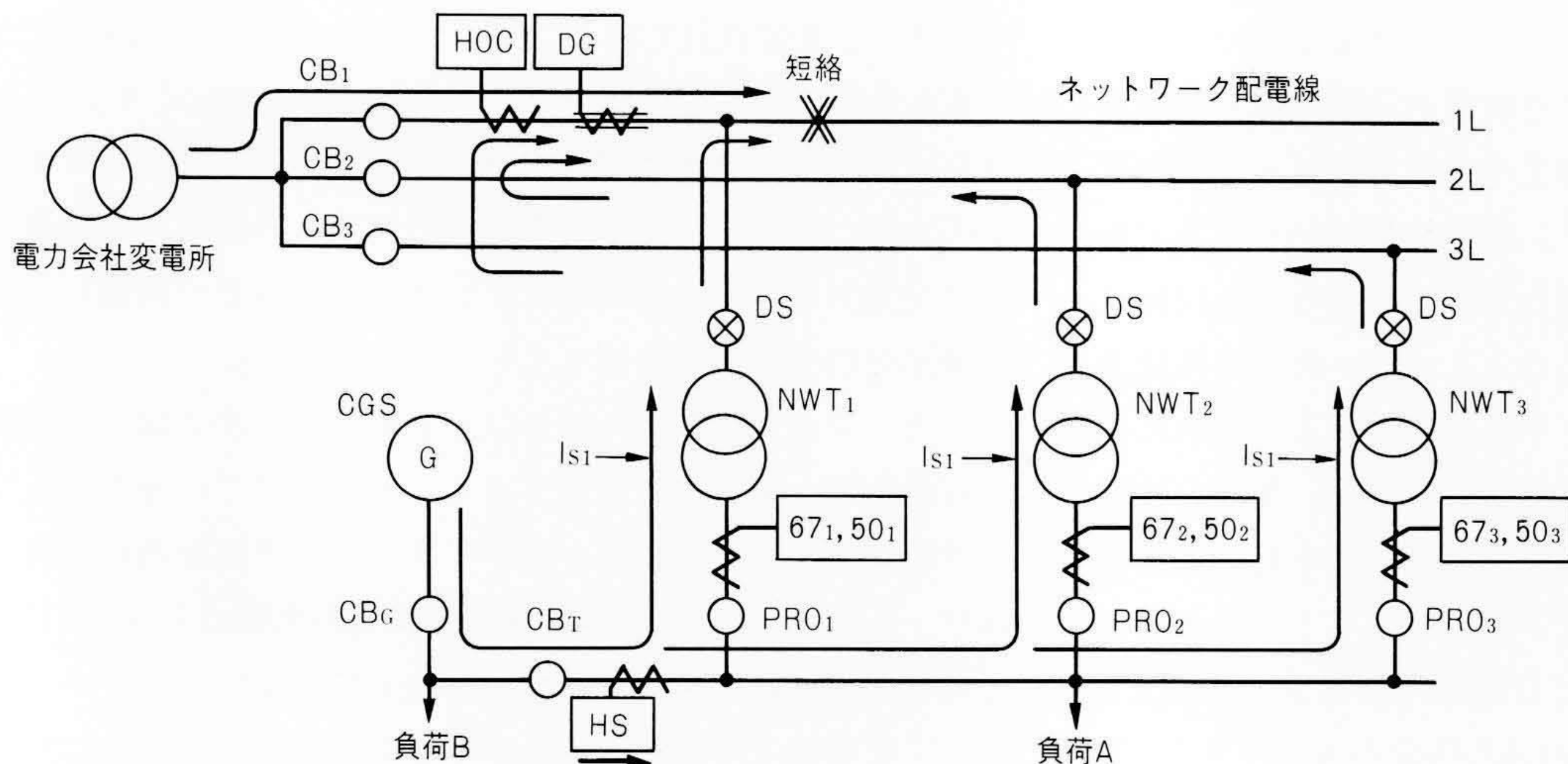
母線連絡部に高速度方向短絡継電器HSを設置し、母線連絡遮断器CB_Tを解列する方式としている。

3.4 監視制御装置

近年の目覚ましい電子技術の進歩によって、受配電設備の監視、制御システムも大きく変ぼうを遂げようとしている。

高機能マイクロコンピュータの開発、光通信技術や人工知能の開発などがその主なものとして挙げられる。これらの技術は、受配電監視制御システムへ次のようなインパクトを与えている。

- (1) 現場盤の制御、保護装置のインテリジェント化



- 注：略語説明
- CB₁~3 (遮断器)
 - HOC (高速度過電流継電器)
 - DG (地絡方向継電器)
 - DS (断路器)
 - CGS (コージェネレーション)
 - Is (事故電流)
 - CB_T (母線連絡遮断器)
 - NWT₁~3 (ネットワーク変圧器)
 - PRO₁~3 (プロテクタ遮断器)
 - HS (高速度方向短絡継電器)

図10 コージェネレーション並列運転時の保護概念 ネットワーク配電線で短絡事故が発生した場合、CGSから供給される電流を示す。

- (2) 現場盤と監視盤間の光LANによる情報伝送
- (3) 運転、保守へのエキスパートシステムの導入

このような流れから、具体的には次にあげる効果が期待できる。

- (1) 現場盤のインテリジェント化によって、機能分散が可能となり、システム全体の高信頼化を図ることができる。
- (2) LANによって、多量の情報伝送が可能となり、監視、制御の質の向上を図ることができる。
- (3) 盤間のケーブル工事費を低減できる。
- (4) 運転、保守の高信頼化および省力化を図ることができる。

3.4.1 監視・制御システムの構成

受配電監視システムの構成を図11に示す。この内部は大きく次の3部から構成されている。

(1) ローカル制御部

主機側には、遮断器や取引用変成器の入力情報を基に保護・計測を行うICUを設置する。

(2) 通信系(光LAN)

ICUで処理された、計測・制御情報を中央監視盤(HISMAC)へ伝達する。

(3) 中央監視盤

ICUから送られてきた情報に基づき、システム全体の統括制御および監視を行う。

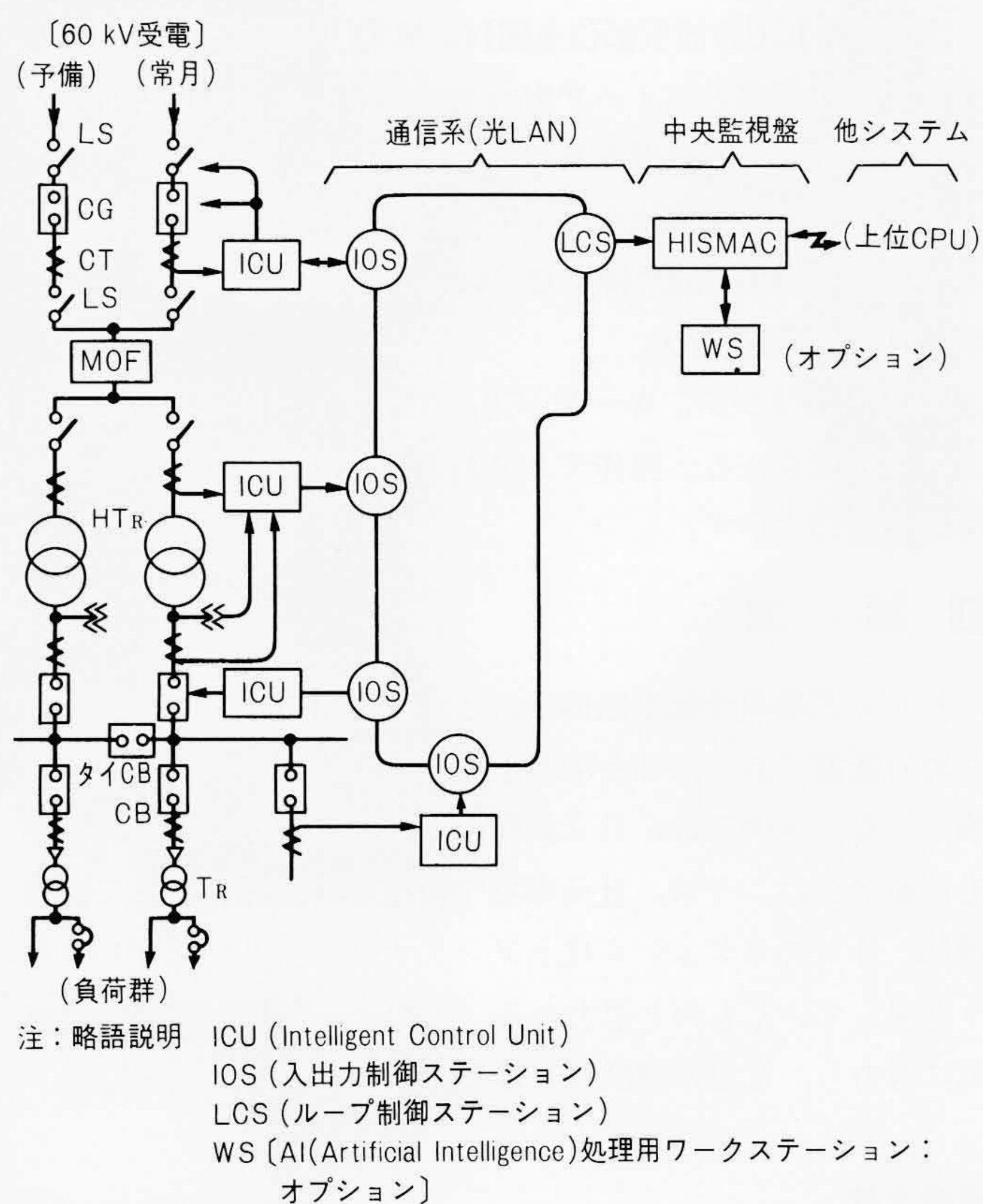


図11 監視制御装置の構成 60 kV受配電設備に適用した場合の構成を示す。

3.4.2 監視・制御システムの機能

受配電システムの使命は、より安全かつ安価に電力を供給することにある。これらの目的を達成するために、以下に示す機能が必要となる。

(1) 運転機能

- (a) 要素別・多要素複合のデジタル保護継電器による系統保護と遮断器の制御
- (b) 系統変更の選択制御(シーケンス動作指令)
- (c) 電圧・力率・デマンドなどの自動制御
- (d) 多要素計測量(電流・電力量など)のモニタリング
- (e) 故障情報の表示と制御リンケージ

(2) 保守機能

- (a) 電力日誌の自動作成とプリンタ出力
- (b) 運転・故障情報の自動作成とプリンタ出力
- (c) CRTモニタリング
- (d) 主機診断センサによる予測保全情報モニタリング

3.4.3 製品のシリーズ化

(1) ローカル制御

ICU(図12)によって制御する。ICUは、

- (a) デジタル保護継電要素(51, 67, 27, 64, 87ほか)
- (b) 計測機能(電圧、電流、電力量など6種)
- (c) 制御機能(ラダーシーケンス、デマンド、力率制御、故障表示など)
- (d) 通信機能(遮断器の開閉、計測量、故障情報)

を持ち、寸法〔幅300×奥行145×高さ300(mm)〕のユニット構成で5 kgと軽量にしている。また、入出力回路の絶縁対策、「直接」操作時のダイレクト遮断器指令、「遠方」操作時の自己診断、ソフトによる誤動作防止チェックなどを行い、信頼性向上対策を実施している。

(2) 通信機能

図11に示すようにIOS(入出力制御ステーション)とLCS(ループ制御ステーション)間のリンケージは、トークンパッシン



図12 ICU外観図 左側は液晶表示部、右側はシートキーによる操作・設定部となっている。

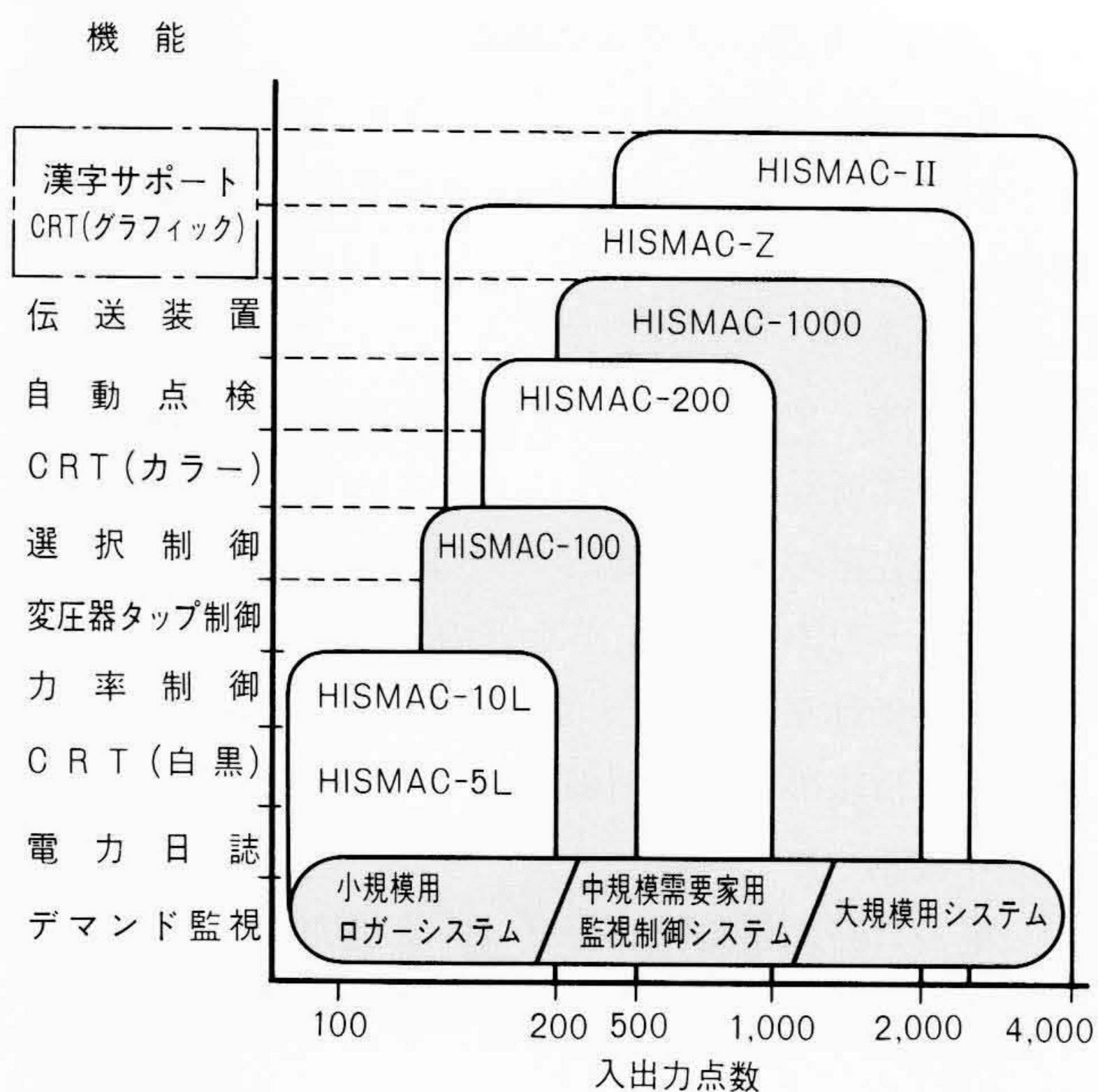
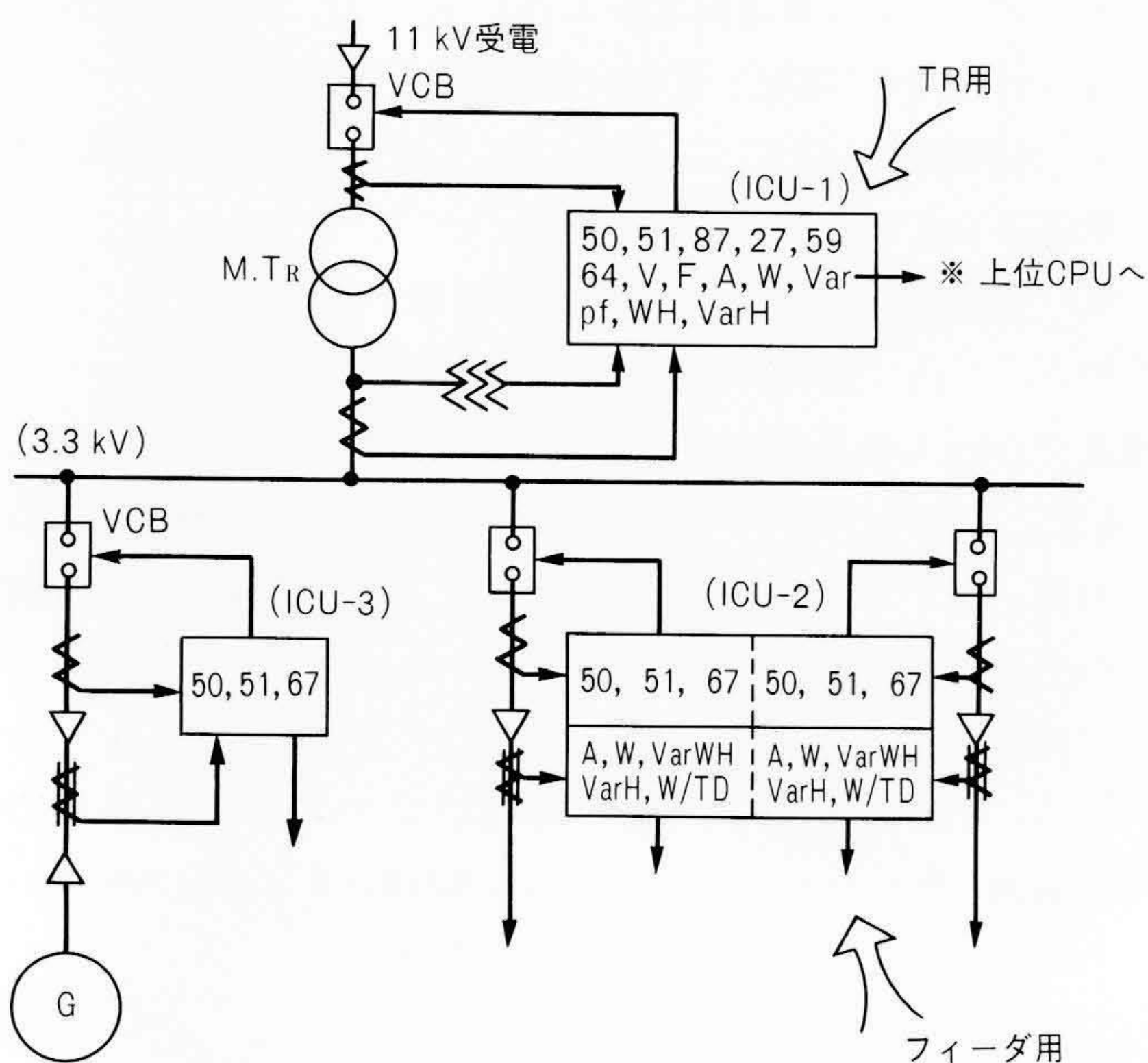


図13 HISMACシリーズ 縦軸に機能、横軸に入出力点数、適用されるHISMACを示す。



注：略語説明 M.Tr (主変圧器)
ICU (インテリジェントコントロールユニット)

図14 ICU適用例 11 kV受配電設備への適用例を示す。

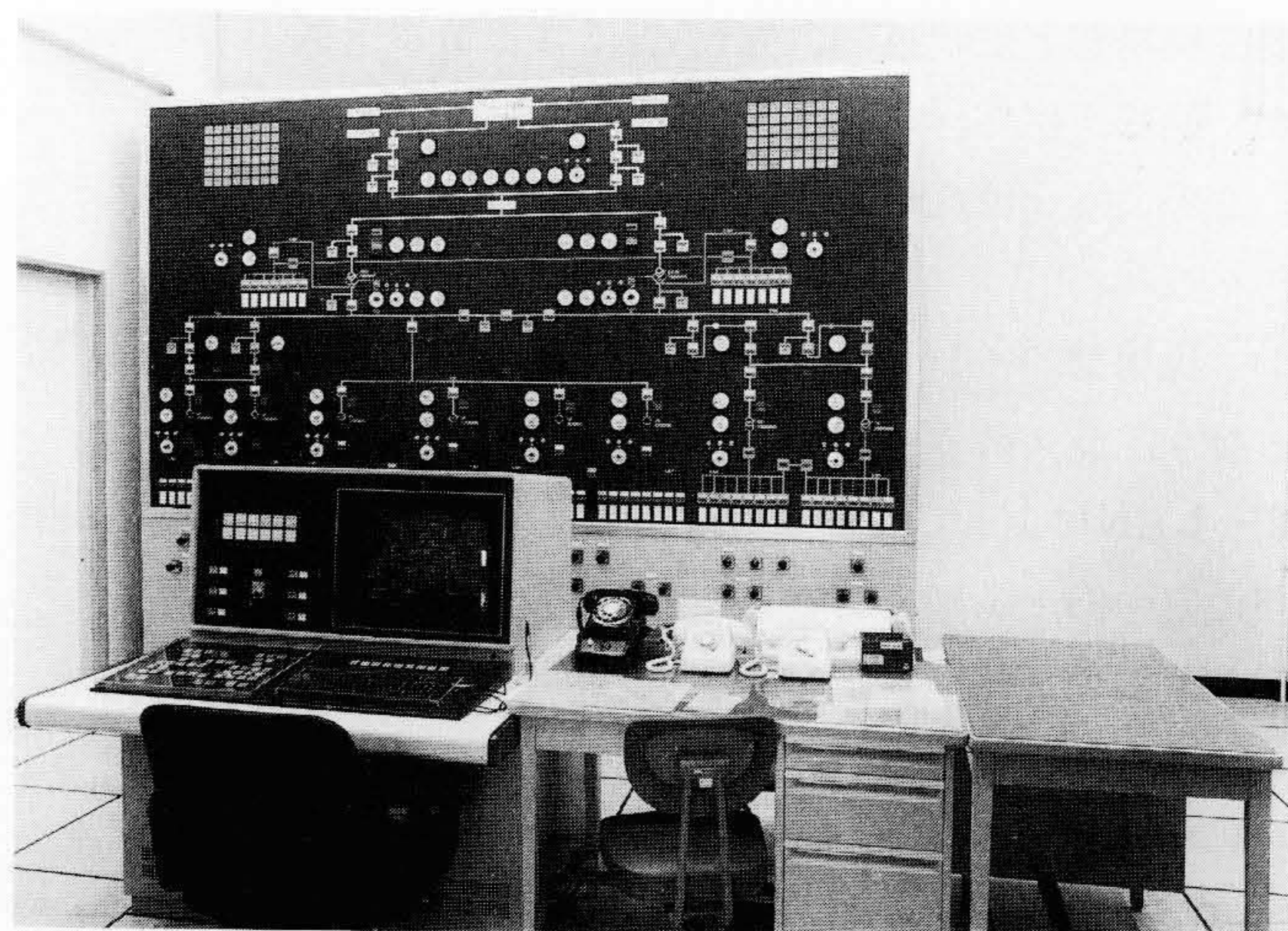


図15 HISMAC-IIシステム外観図 大規模受配電設備向けの適用例を示す。

アナログ入力) インタフェース

HISMAC-5L, 10L, 100, 200, 1,000

(b) 光LANインタフェース

HISMAC-Z, II

(c) 上記(a), (b)の混在インタフェース

HISMAC-Z, II

3.4.4 監視制御装置の適用例

(1) ICUの適用例

主回路とICUの設置部位を図14に示す。同図に示すICUは、受電・変圧器用とフィーダ用の2種類からなる。保護継電器の専用変成器は計測用と兼用できる。

また、フィーダ用は2フィーダ一括制御とし、トランジェーサ機能もICU内部に持たせている。

(2) HISMAC適用例

CRT, プリンタ, キーボード, グラフィックパネルなどによって構成される。操作デスクおよびグラフィックパネルの外観を図15に示す。

4 結 言

ビル・工場用受配電設備は、ビルの運用や生産設備稼働のための基盤であり、社会活動を維持していくための重要な設備である。本稿では、日立製作所の受配電設備の実施例を中心に紹介した。今後、社会環境や新技術の開発によって高集積化・インテリジェント化・メンテナンスフリー化がいつそう進展していくものと思われる。このような受配電設備の実現に努力し、社会の発展に貢献していきたい。

参考文献

- 1) 特集 都市開発におけるインテリジェントビル：日立評論, 69, 8(昭62-8)

グによるLANで構成する。LCSには最大64台のIOSが接続可能であり、伝送速度は1 Mbpsで高速性を持たせている。

(3) 監視制御盤(HISMAC)

機能別のシリーズ化を図13に示す。機器とのインタフェースは下記の3種類となっている。

- (a) プロセス入出力装置(デジタル入力, デジタル出力,