

最近の電力系統でのデジタル形制御保護装置

Digital Type Power System Control and Protective Relaying Equipment

最近の我が国での社会情勢の変化は、電力系統の構成及び運用面に種々の制約をもたらしているため、電力の安定供給を図る上で重要な役割を担う系統制御、保護の分野にも従来とは異なった新しい課題をもたらしている。

これらの課題を克服するには、両分野で従来とられてきた基本方式、根本思想に変更の必要はないが、最近の制御技術やデバイス技術を導入してその高性能化を図ってゆくことが重要である。このための主要な方策の一つとして日立製作所は、マイクロコンピュータを中心としたデジタル技術を積極的にこの分野に導入して、多数の系統制御装置及び保護継電装置を開発してきた。

この論文は、両分野に対するデジタル技術適用の基本的考え方と、それに基づいて開発し実用に供され、種々のメリットを生み出しつつある装置を中心に、適用の現状と動向について述べる。

三木義照* Yoshiteru Miki
佐野和汪* Yoshihiro Sano
吉崎敦浩** Atsuhiko Yoshizaki
渡部篤美*** Atsumi Watanabe

1 緒 言

我が国では、かつての経済高度成長期から安定成長期に移行した現在、省エネルギー、省電力の動きが、社会全体で進められているが、このような状況のもとでも長期的にみれば電力の総需要は、今後も年率で数パーセント程度の伸びを示すことが予測されている¹⁾。このため、電力設備の拡充も着実に進めてゆく必要があるが、近年の社会情勢の変化は、用地取得難などの形となって系統拡充強化の面で図1に示すように大きな制約をもたらしている。

この制約の影響を受けて、系統構成の面では、電源の遠隔偏在化・大容量化に伴う送電線の大容量長距離化をはじめ、送電線の多端子化、同一鉄塔への併架多回線化などが、また系統運用面でも、設備効率運用のいっそうの推進、電気所の無人化などが、更に強力に進められる傾向にある。そしてこ

れらの傾向は、日常の系統運用に必要な監視・制御・操作の機能を果たす系統制御、及び系統事故のような突発性の異常状態が発生したとき、直ちにこれを検出して異常条件を解消する働きを担う系統保護を行なう上で、図1中に示すようにより高度の技術を必要とする幾つかの新しい課題をもたらしている。

これらの課題を克服するには、系統制御や系統保護にこれまでとられてきた基本方式、根本思想に変更の必要はないが、従来にない厳しい条件に対処するため、最近の制御技術やデバイス技術の導入などによる新しい高性能化への取組みが要望されている。

ここでは、その方策の一つとして、マイクロコンピュータを中心としたデジタル技術を活用して開発し、種々のメリ

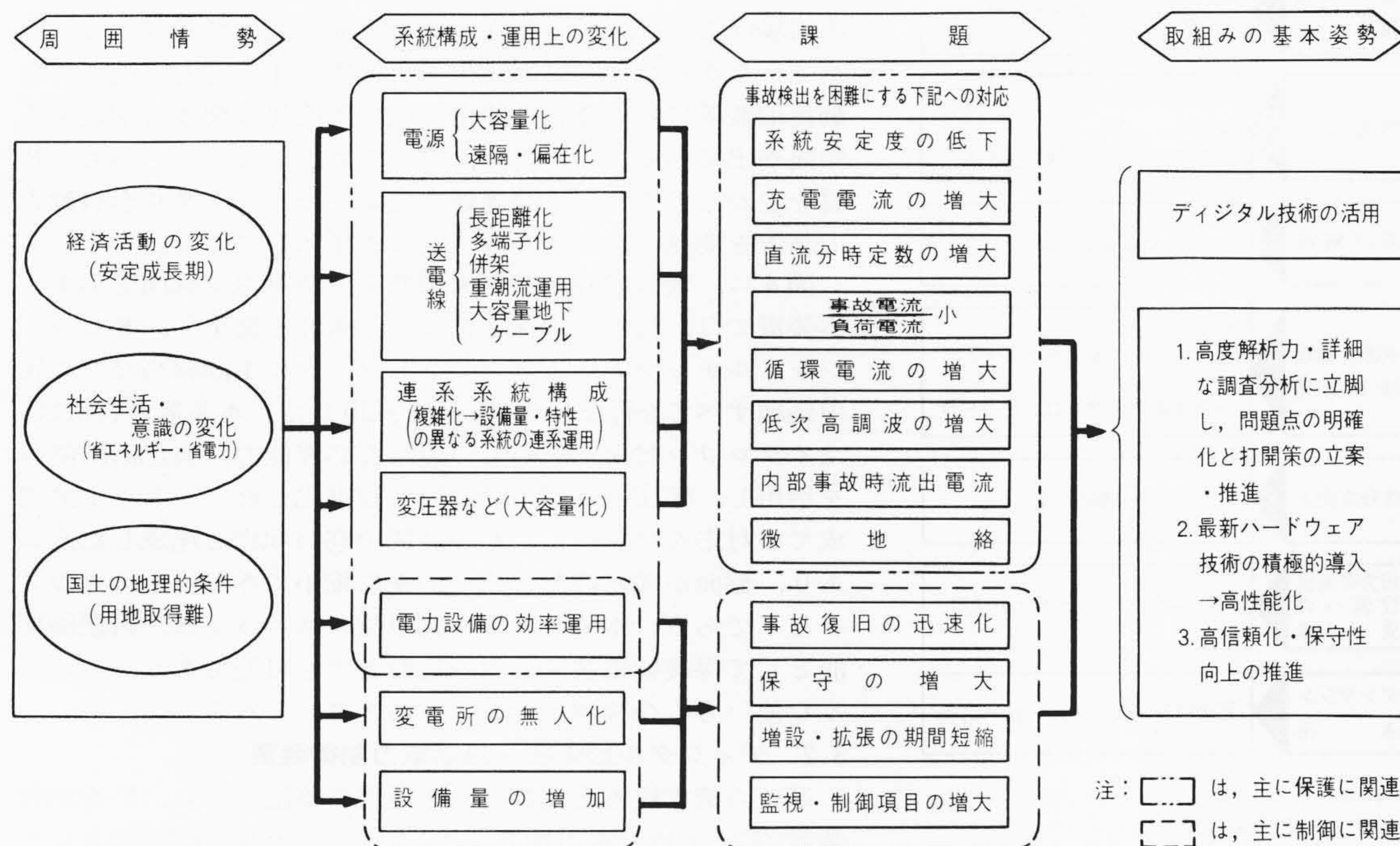


図1 電力系統構成と運用の動向及びそれによって生ずる課題とその打開の基本姿勢 近年、電力系統を取り巻く情勢の変化は、系統制御及び保護の分野に新しい課題をもたらしている。従来にないこの厳しい条件に対処するためデジタル技術の活用を中心に取り組んでいる。

* 日立製作所国分工場 ** 日立製作所那珂工場 *** 日立製作所日立研究所

ットを生み出しつつある系統制御、及び系統保護装置の現状と動向について述べる。

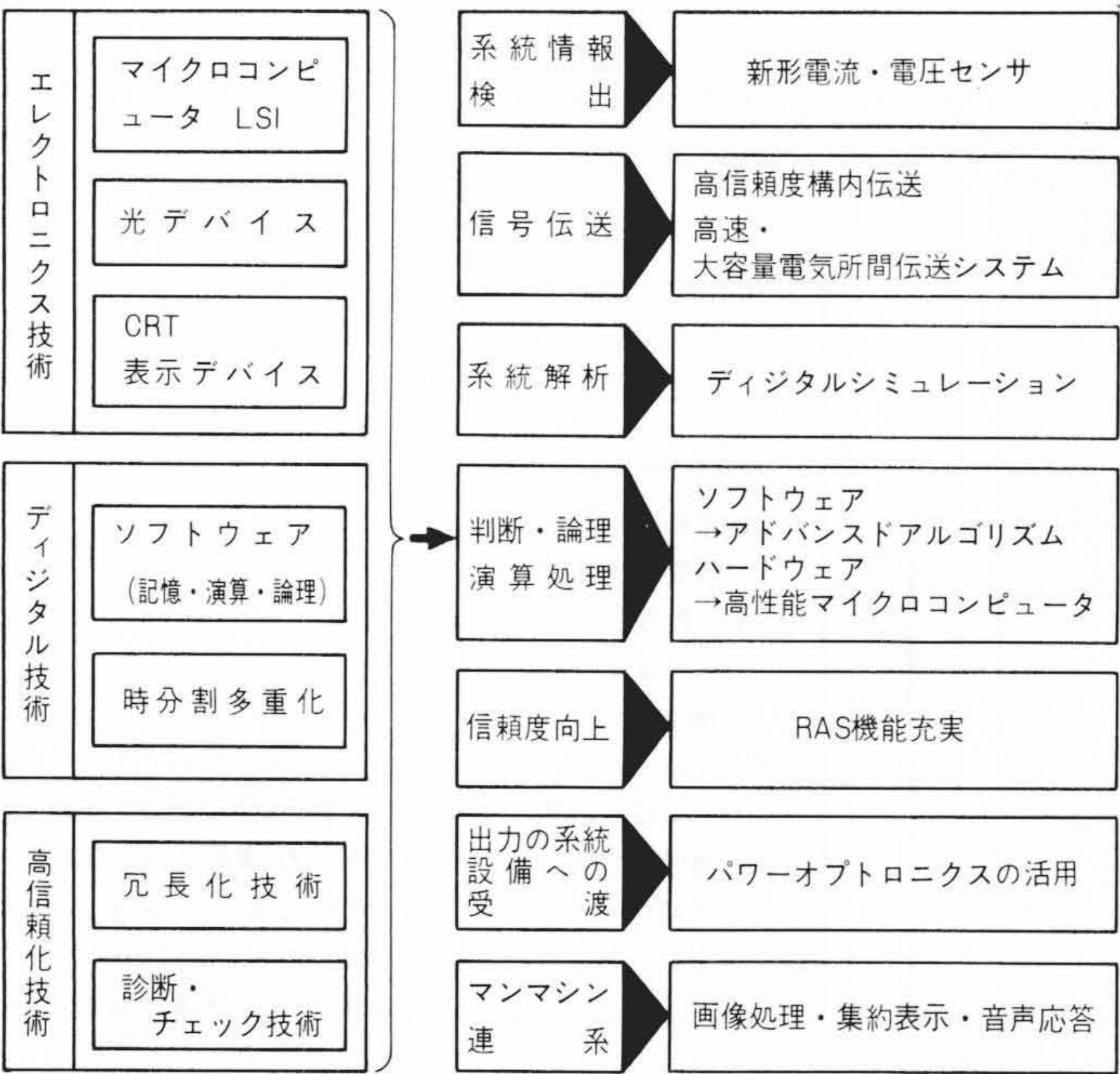
2 系統制御保護分野への最新技術導入の方向性

過去10年間で長足の進歩を遂げてきた半導体や光素子をはじめとするエレクトロニクス技術は、今後の10年間も高速化、高信頼度化の面で更に画期的な進歩が予想される。制御技術に関しても、デジタル技術の導入範囲の拡大には目覚ましいものがあり、この傾向は着実に進展していくものと考えられる。図2は、これら制御技術、デバイス技術の進歩によってもたらされた手法や素子を活用し、系統制御及び系統保護の機能をより高度化してゆくときの方向性をマクロに示したものである。

これら最新技術の導入のねらいとそれによって得られるメリットは、装置の種類によって異なるが、図3に要約したように、被制御対象である電力系統の特質と導入技術の特長^{2),3)}とをうまく適合させることが重要と考え、この点を基本に開発に取り組んできた。また、この分野は他産業用に比べ、信頼性、保守性が極めて重要視されるので、これらの点にも十分留意した。既に現在までに多数の装置を開発し実用に供しており、電力の安定供給及び設備の高効率運用に寄与している。次にこれらの装置の概要について紹介する。

3 系統制御分野でのデジタル化

マイクロコンピュータを中心とするデジタル技術を適用した系統制御装置では、比較的頻繁に行なわれる系統構成変更に応じて改造・変更の容易性を伴った制御機能の向上を、豊富な演算処理機能を活用してコストメリットも発揮しながら達成する指向が重要となる。特に、この分野の装置は、多種少量生産の色彩が強いため、プログラムやデータの一部が



注：略語説明 CRT(Cathode Ray Tube)
RAS(Reliability, Availability, Serviceability)

図2 最新技術の導入による系統制御・保護装置高度化の方向性
系統情報の検出、制御や判断のための演算処理、信号伝送、装置出力の系統設備への受渡し、マンマシン連系などに最新技術を積極的に導入して、高性能化を図る必要がある。

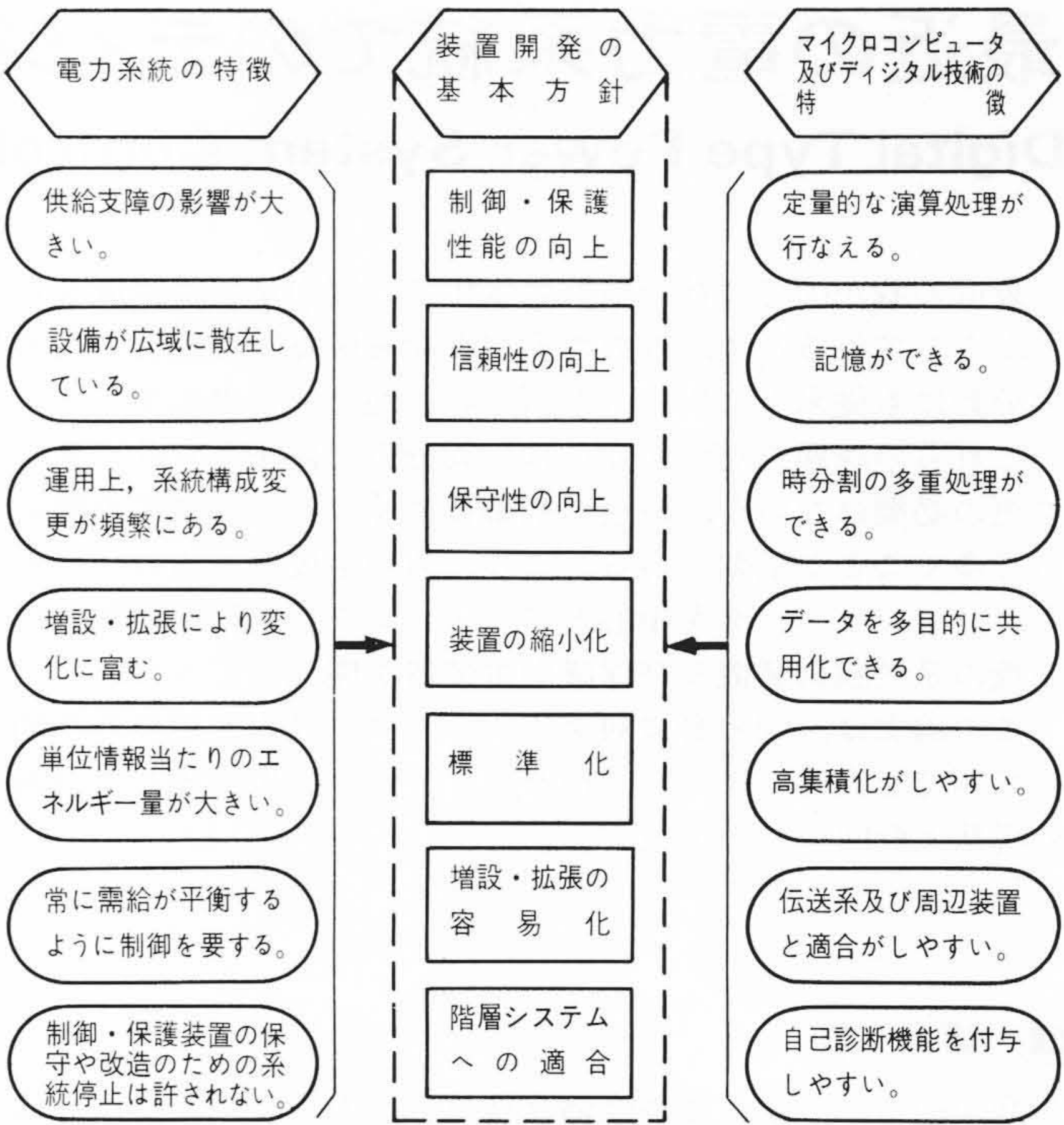


図3 装置開発の基本方針 電力系統の特質と導入技術の特徴とを、うまく適合させることが重要である。

パラメータ設定できるようにソフトウェア構成を工夫するなどの手法によって、上記の改造変更やオプション機能への対応を行ないハードウェアを極力標準化する動きがみられる。

3.1 デジタル形系統自動復旧装置

電力系統に故障が発生した場合、保護継電装置によって故障区間が健全系統から除去されるが、これによって生じた変則系統から正常系統への復旧操作は、迅速かつ確実に行なう必要がある。この復旧操作は、事故の種類や状況ごとにある一定の手順で行なわれるものであり、従来からワイヤードロジックによってこれを自動化した装置が用いられてきたが、適用場所ごとに異なる操作手順を共通の装置で吸収することができなかった。一方、ますます複雑化する電力系統では自動復旧装置に対する高性能化、高信頼度化の要求も増大する傾向が出ている。このため、マイクロコンピュータのもつ特質を生かしてこれらの諸課題を克服したデジタル形自動復旧装置を開発し、既に多数の装置を納入してきた。

図4に、装置の外観及び適用変電所の単線結線図を示す。本装置では、信頼性、保守性及び拡張性を勘案し、8ビットシングルチップのマイクロコンピュータに1回線当たりの復旧処理すべてを行なわせる方式を採用した。本装置の特徴は、マイクロコンピュータのもつ豊富な処理能力、自己診断能力を活用し、幅広い適用系統に対し標準化したハードウェア構成での対応を可能にし、かつ装置の高信頼化を達成した点にあり、盤面が従来装置に比べ約1/2に縮小できた点も大きなメリットである。本装置の1回線単位のユニットは、再閉路機能として保護継電装置に組み込むことも可能であり、このような使い方も今後増えてゆくものと考えられる。

3.2 デジタル形電圧・無効電力制御装置

系統の構成複雑化及び高効率運用の推進に伴い、V-Q制御装置(電圧・無効電力制御装置)を、ローカル制御装置としてばかりでなく、電力系統総合制御の一端を担う、上位階層と連系した端末制御装置として活用したいとの要請も出てきている³⁾。この目的を果たすには、制御演算処理機能のほかに、

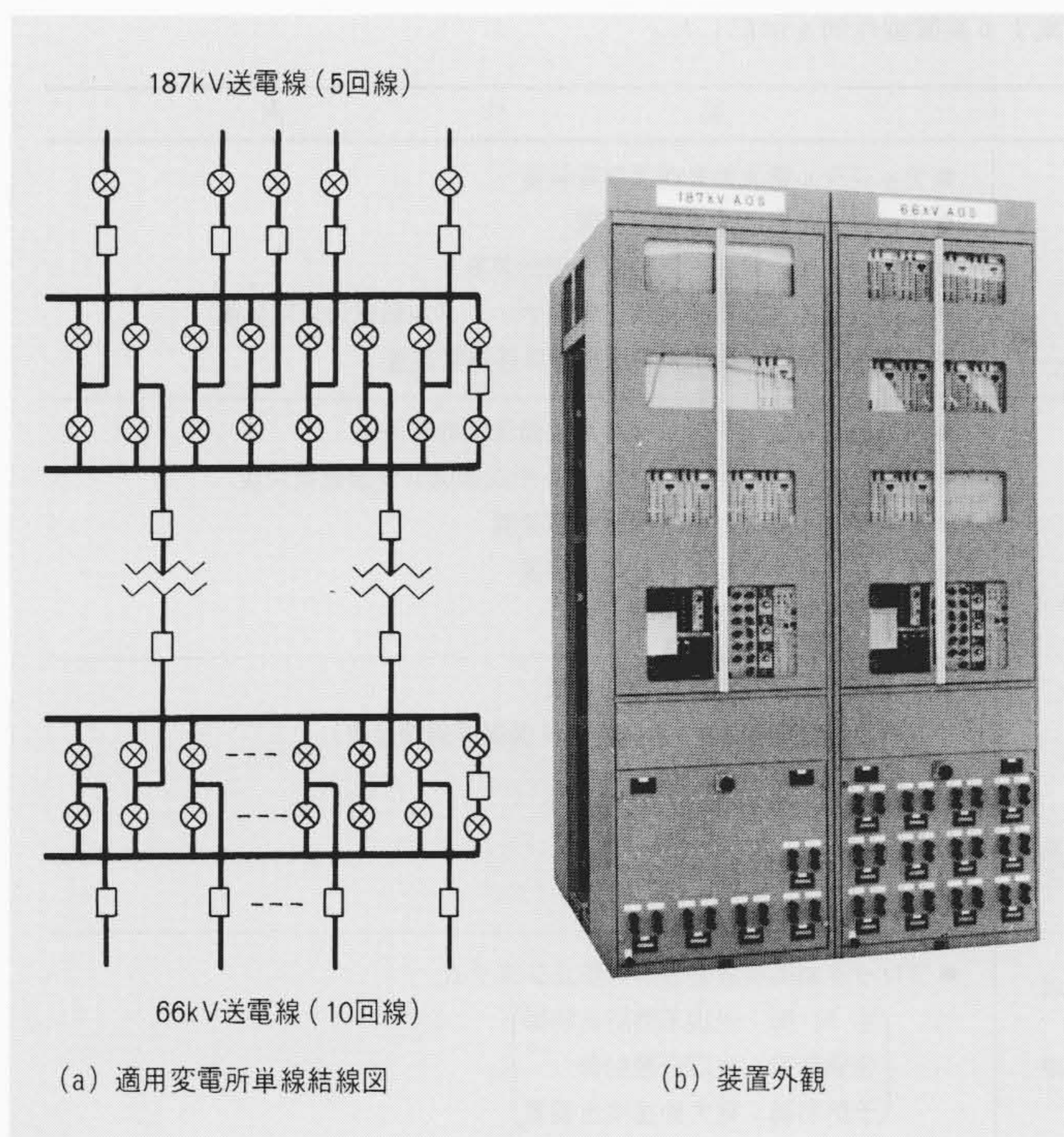


図4 デジタル形系統自動復旧装置 信頼性、保守性及び拡張性を勘案し、8ビットシングルチップのマイクロコンピュータに1回線当たりの復旧処理を行なわせている。盤1面で12回線分を実装可能である。

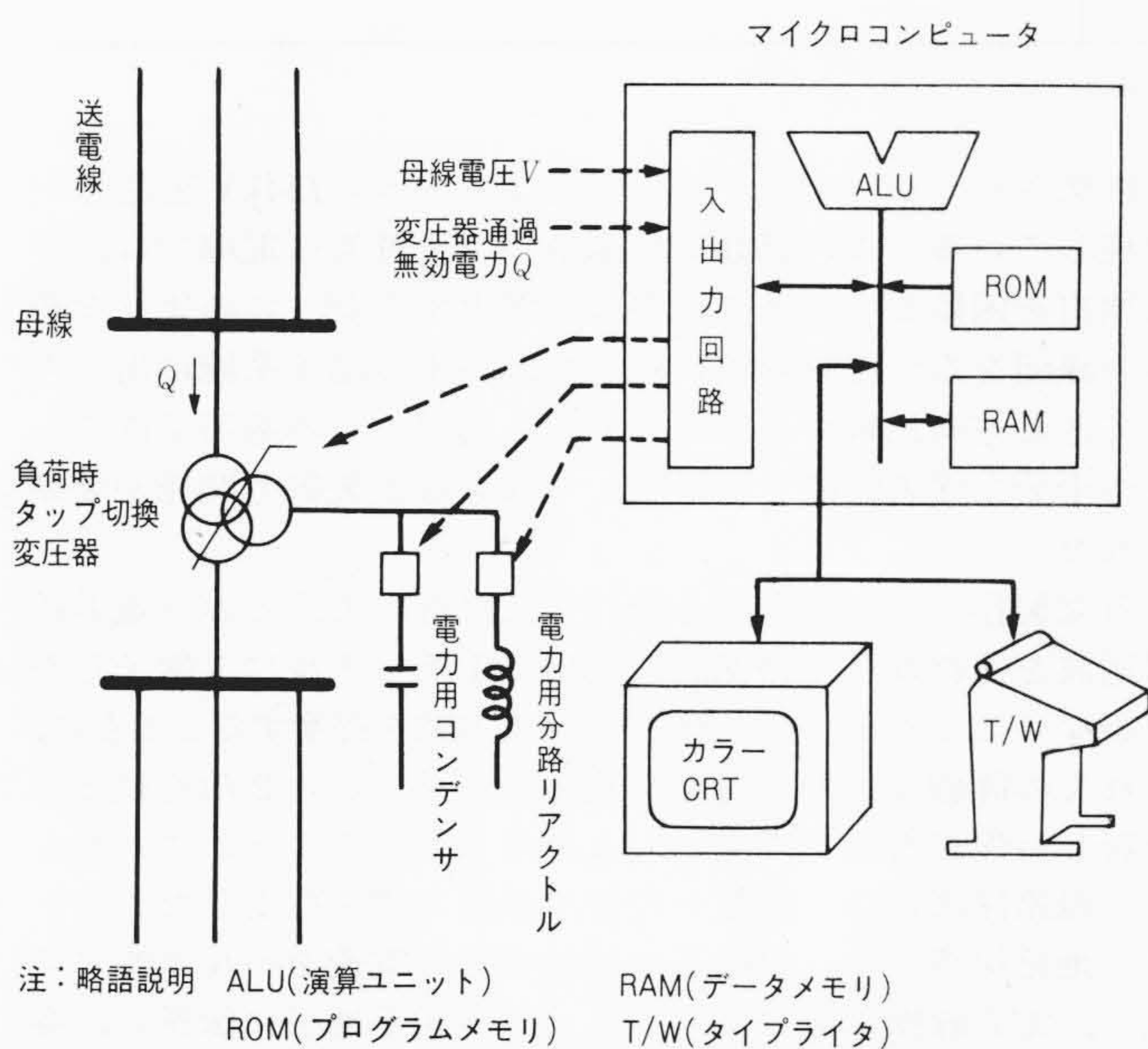


図5 デジタル形V-Q制御装置のブロック構成 制御に先立って系統に及ぼす効果を予測計算し、ハンチングを起こさず滑らかな状態で制御できる。

上位階層との交信制御の機能も必要である。このため、これら両機能の実現に有利なマイクロコンピュータをV-Q制御装置に活用するケースが増えてゆくものと推察される。

図5に、この傾向に適合するために開発し超高压変電所に納入したマイクロコンピュータ使用のデジタル形V-Q制御装置のブロック構成を示す⁴⁾。この装置の特徴は、下記のとおりである。

- (1) ハンチングのない制御が行なえるように、制御に先立って系統に及ぼす効果を詳しく予測計算している。

- (2) 上位コンピュータと接続し、自動設定やデータの受渡しを可能とした。
- (3) 手動操作を行なうときの操作ガイドに活用する目的で、VとQの状態をカラーCRT(Cathode Ray Tube)画面に表示している。
- (4) 制御効果、操作記録をタイプライタで自動記録できる。

3.3 デジタル形監視制御盤

最近のように系統が大規模・複雑化した状況のもとでは、日常の系統運用での監視制御の範囲が拡大している。しかも、電力系統は本質的にその構成が割合頻繁に変更される性質をもっている。このため、系統監視盤によって、多種多量の情報を迅速かつ正確に把握する必要性も増大しており、これに円滑に対処する目的で、監視制御盤内の論理部にマイクロコンピュータを活用する動きがみられるようになった。

図6に、日立製作所が開発し超高压変電所に納入したマイクロコンピュータ使用のデジタル形監視制御盤の外観を示す。

マイクロコンピュータの適用によって、系統や機器状態の表示やアラーム方式変更への対処が容易となり、外部機器とのインタフェースも簡素化できた。また、上位制御所へ伝送するデータの編集処理も付加可能であり、伝送系との結合も割合自由に行なえるので、今後ますますこの分野へのマイクロコンピュータ応用が増加してゆくものと考えられる。

4 系統保護分野におけるデジタル化

系統保護分野に対するデジタル技術適用は、次の4項に示す形態を採ることを基本方針としている。

- (1) 演算アルゴリズムやハードウェア構成に工夫を凝らして新機能を創出し、適用範囲拡大及び高性能化を図る。
- (2) デジタル化を契機にその多重処理性を活用し、同種機能もしくは異種機能の複数装置を統合して、設置スペースの縮小化及び運用保守面での合理化を図る。
- (3) 伝送系と接続しやすい性質と豊富な演算処理能力を活用し、広域情報の収集とその多角的かつ総合的判断処理による系統保護の質的向上の達成を図る。
- (4) 最新デバイスを積極的に導入し、高信頼度のトータルシステムを実現し、運用の効率化・合理化を図る。

これまで開発してきた多数のデジタル形保護継電装置を、上記の考えに基づいて分類すると表1に示ようになるが、以下ではこれらのうちの代表例について述べる。

4.1 デジタル電流差動保護継電装置

多端子系統やケーブル系統の増大に伴い、電流差動原理による送電線事故区間の確実かつ高速除去がいっそう重要とな



図6 デジタル形監視制御盤 系統の大規模化・複雑化に伴い、監視範囲が拡大し多種多量の情報を迅速かつ正確に把握するため、監視制御盤の論理部にマイクロコンピュータを用いるケースが出ている。

表 1 系統保護分野へのデジタル技術適用の形態 表中には、各形態に属する装置製作例を併記した。

No.	適用形態	適用目的	概要	製作例
1	新機能創出	新分野対応 高性能化		●デジタル電流差動保護継電装置 ●デジタル形故障点標定装置 ●デジタル式電圧・無効電力制御装置 ●高抵抗接地系多端子併架送電線デジタル形保護継電装置 ●154kV大容量多端子併架送電線保護継電装置
2	同種装置の統合	高性能化 保守省力化 小形化		●超高压送電線用デジタル形後備保護継電装置 ●66kV/77kV送電線用デジタル形回線選択保護継電装置 ●デジタル周波数低下保護継電装置 ●デジタル形変電所自動復旧装置 ●デジタル形監視制御盤
	異種装置の統合	高性能化 合理化 (小形化) 運用省力化 経済性		●デジタル形故障継続検出装置 (基幹変電所77kV系統総合後備保護継電装置)
3	広域系統保護システム	高性能化 (新機能付加) 制御の質的向上		●ブロック制御事故波及未然防止システム (主制御：脱調未然防止制御) (後備制御：脱調分離制御) (予防制御：電力動揺検出装置)
4	変電所全デジタル制御保護システム	トータルメリットの追求		●電気所構内光ファイバ伝送システム ●光電流変成器

注：略語説明 μC(マイクロコンピュータ)、PCM(パルスコード変調)、v(電圧)、i(電流)、P(電力)

る。デジタル電流差動保護継電装置は、このような要請にこたえるものとして、超高压系統以上の送電線の主保護用に開発されたもので、図7にその基本構成ブロック(2端子送電線への適用例)を示す⁵⁾。この装置は、各端子で電流情報を同時刻にサンプリングし、デジタルデータに変換(パルスコード変調信号)して、それらをマイクロ波あるいは光信号を用いて伝送しあい、各端子で1台の16ビットマイクロコンピュータによって3相1回線分の差動保護演算を行なう。このマイクロコンピュータは、脱調検出のための電圧位相比較、再閉路処理も行なっている⁶⁾。

デジタル電流差動保護継電装置の最小検出感度は、2端子系統で700A、3端子系統で1,000Aであり、動作時間は相手端情報の伝送時間を含め30ms以内である。図8に本装置の外観(両対向端子分の継電装置と情報伝送装置を含む。)を示す。

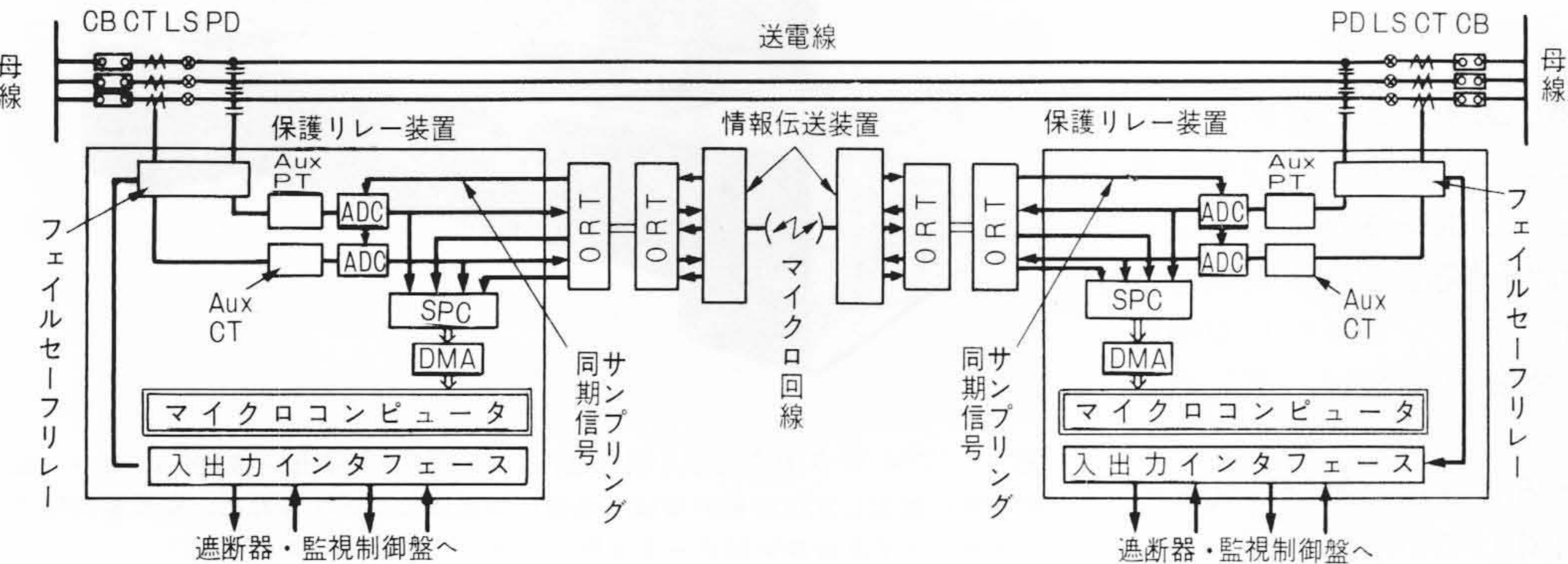
4.2 154kV大容量多端子併架送電線保護継電装置

最近、送電線建設費用や用地事情から、超高压送電線など

と併架され、かつ多端子の送電容量の大きい154kV送電線が出現している。この154kV大容量多端子併架送電線では、事故検出を困難とする多くの要因が派生するが、このような新しい課題をもつ保護対象に対して、従来2端子系統に用いられてきた方向比較キャリアリレーと同レベルの適用条件で、かつ十分な保護性能をもつ新しい保護継電装置の開発が要請された。

日立製作所はこの要請を受けて、既存の方式どおり電力線搬送波を短絡及び地絡保護に共用で1チャンネルに1端子しか使わないことを前提に、種々の保護方式を提案するとともに、これらの詳細な比較検討を実施した結果、次の2項を柱とした新しい保護方式を開発し、これにこたえることができた。

- (1) 短絡保護には、距離一段併用保護方式を採用した。
- (2) 地絡保護には、自端子の地絡有効分電流をパルス幅に変換し、電力線搬送波によってすべての相手端子に伝送し、各端で同時に電流量の全加算を行なうことで多端子電流の差動特性を具備する方式を採用した(図9参照)。



注：略語説明
ADC(アナログ-デジタル変換部)
SPC(シリアル-パラレル変換部)
DMA(ダイレクトメモリアクセス
コントローラ)
ORT(光送受信装置)

図7 デジタル電流差動保護継電装置の基本ブロック構成⁵⁾
2端子送電線に適用した場合を示す。伝送方式としてはPCM伝送方式(パルスコード変調方式)を採用している。

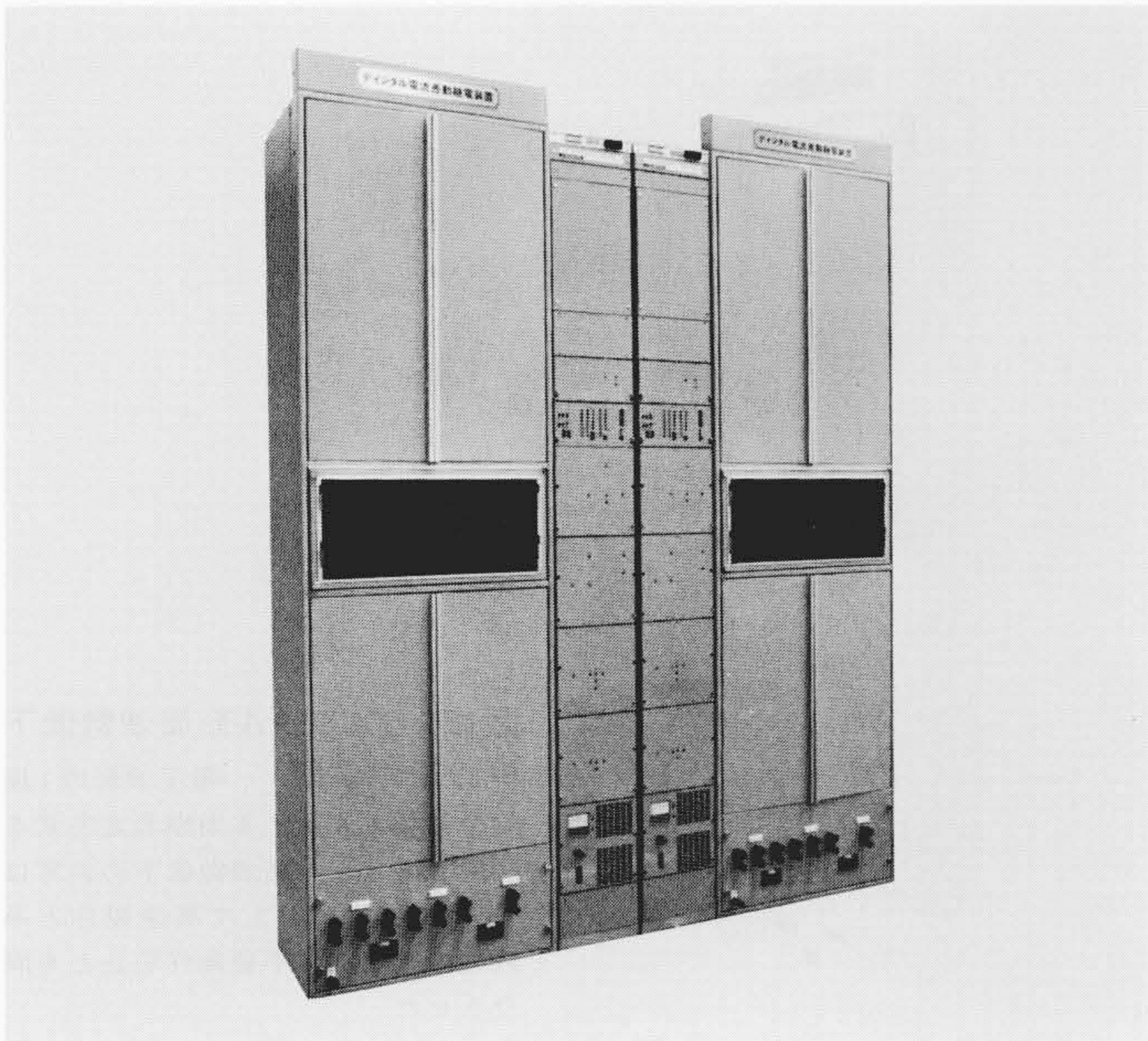


図8 デジタル電流差動保護継電装置の外観 中央部のラックは情報伝送装置を示す。この情報伝送装置には、両端子のサンプリングクロックを自動的に同期化するための機能が具備されている。

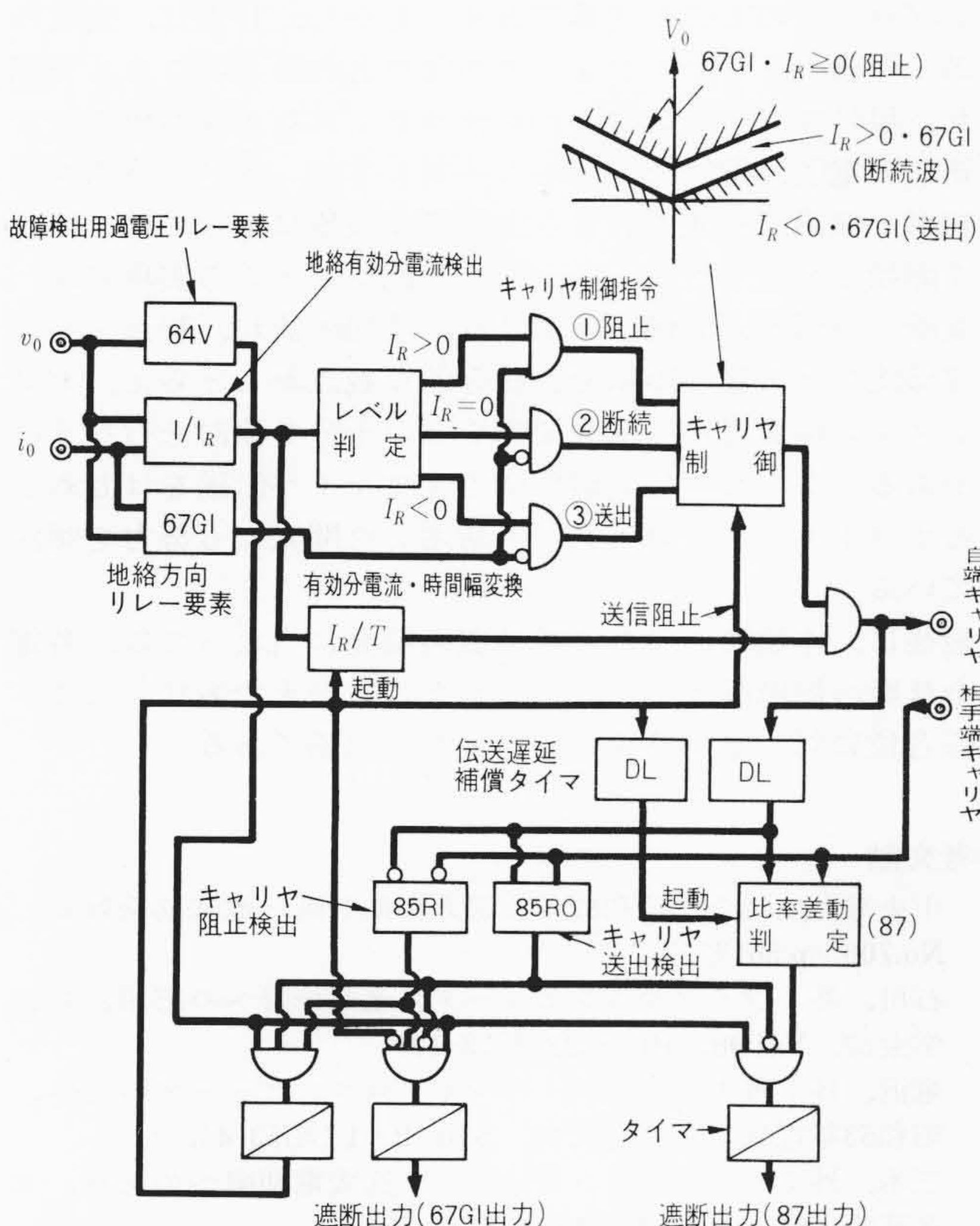


図9 154kV大容量多端子併架送電線保護継電装置の地絡主保護リレーのブロック構成 この処理をシングルチップのマイクロコンピュータによって処理している。

特に地絡保護の場合、定量的演算処理が多いのでこの点で有利なシングルチップのマイクロコンピュータを用いて実用化した。

4.3 デジタル形回線選択保護継電装置

本装置は66kV(もしくは77kV)送電線用として開発し既に実運用に入っているもので、図10(a)に示すように2回線分の保護機能を標準リレー盤1架に実装し、所要盤面を従来の1/2

に小形化している(同図(b)は、整定表示パネルを示す)。保護方式は、基本的には既存の回線選択保護継電装置と同じ方式を踏襲しているが、今後の系統構成の趨勢を加味し、主として次の3点に関する改善を施し、装置の適用性能の大幅な向上を図っている。

- (1) モー要素整定値に連動した木の葉形特性のブラインダを具備し、長距離重潮流送電線への適用を可能にした。
- (2) 零相循環電流対策付の変化幅地絡回線選択リレー方式を採用し、併架送電線への適用を可能にした。
- (3) 整合変流器を設け、変流比にかかわらず装置を適用できるようにした。

装置の高信頼度化のため、リレー処理の余裕時間を使って常時高頻度に自己診断(常時監視)を実行するとともに、200ms以内で実行できる高速自動点検方式を開発、採用している。

4.4 デジタル形故障継続検出装置

系統事故時の遮断器不動作対策として、超高圧系統にはローカルバックアップリレー装置を設け、事故除去及び復旧操作の迅速化を図っている。しかし、超高圧以外の系統ではそのような対策は実施されておらず、特に77kV(もしくは66kV)系では引出回線数が多く、多回線併架となっている場合もあるので、多重事故発生時に遮断器不動作が発生すると、これに対処するための変電所業務が込み入ったものとなる。このため、万一そのような事態が起こった場合でも、応急処置、復旧操作などを的確かつ迅速に行なえるようにするため、図11に示す三つの機能を具備した装置を開発し、実用化した⁷⁾。

装置構成は、極力シンプルな構成とすることを意図し、基幹変電所の77kV送電線20回線の対象系統に対し、2台のデジタルリレーユニットへ全機能を分担させている。もちろん、誤動作、誤不動作防止策に十分留意した自動監視技術を適用して高信頼度化を図っている。

本装置はデジタル形保護継電装置のひとつの指向である多回線の一括処理、多種機能の統合化を具現したもので、これにより設備運用の効率化、装置の縮小化、保守の省力化の面で大きな効果が得られるので、今後はこのような形のアプローチがますます増加するであろう。

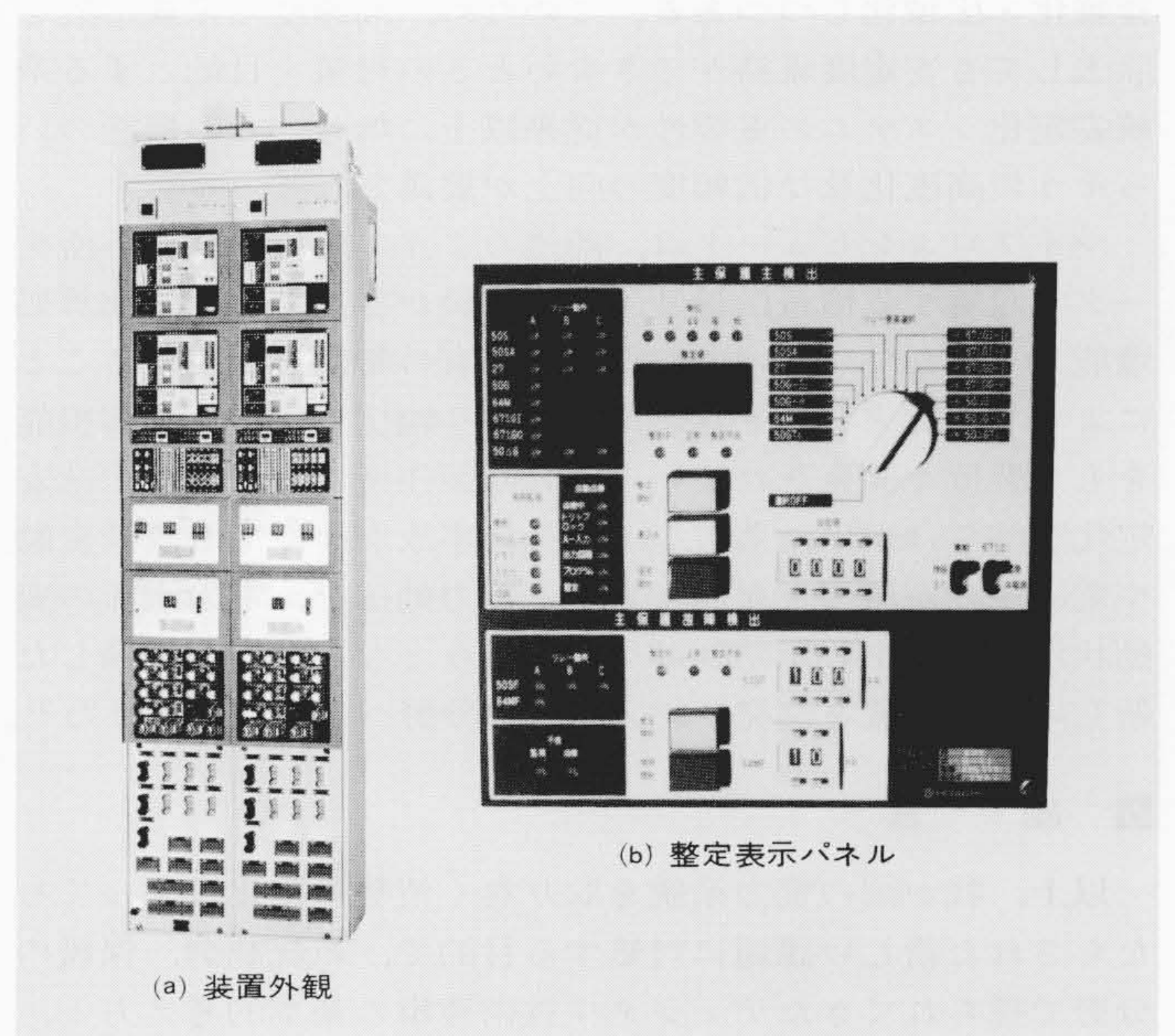


図10 デジタル形回線選択保護継電装置 66kV送電線保護用として開発し、実運用に供されている。2回線分の保護機能が1架に実装されている。

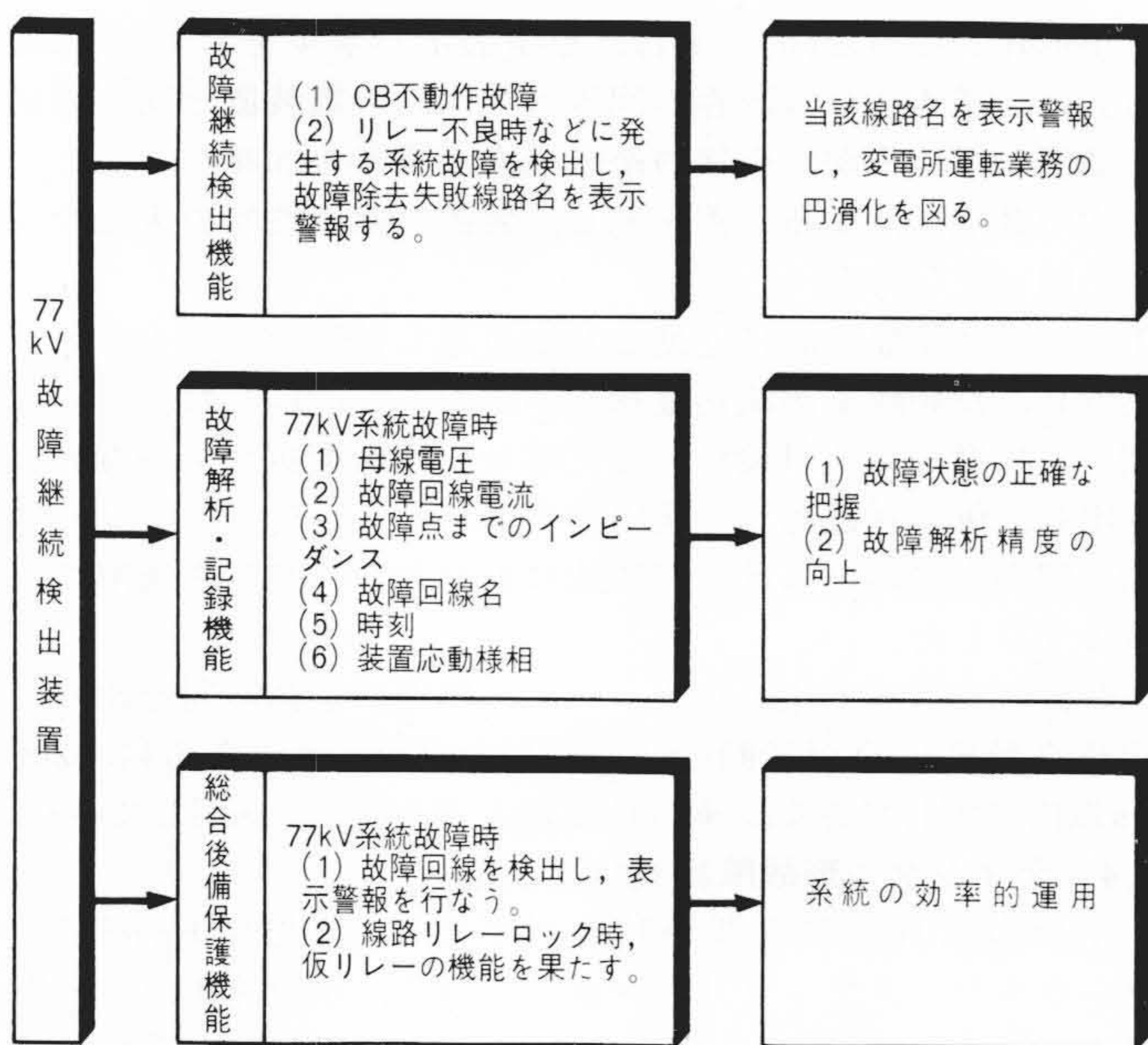


図11 デジタル形故障継続検出装置の機能⁷⁾ 本装置は図に示す三つの機能を統合化し、変電所運転業務の円滑化を図っている⁷⁾。

4.5 デジタル形周波数低下保護継電装置

電源の偏在化など近年の電力系統体質の変化に伴い、送電線ルート事故などによる電源脱落容量が増大し、また系統分離後の単独系統の負荷増大など、周波数低下の要因も多様化している。このような情勢に対処するため、高精度・高性能のデジタル形周波数低下保護継電装置を開発し、多数の装置を納入してきた⁸⁾(図12参照)。

本装置の動作原理は、電圧波形の1周期の時間を測定する周期測定方式を採用しており、周波数低下の判定は、系統事故時や系統動揺時などの見掛け上の周波数変化に不要動作することなく、しかも高速動作できるように連続する6サイクルのうち4サイクル以上のアンド条件をとって判定する方式とした。総合精度は $\pm 0.05\text{Hz}$ 以下で、動作時間は 100ms 以下としている。

4.6 デジタル形系統安定化制御装置

近年の電力系統の巨大化傾向は、系統事故時の波及現象を複雑化・広域化しつつある。このため、高速度で系統事故を除去しても安定度維持ができないときの対策を目的とする系統安定化システムの重要性が従来以上に増し、その機能のいっそうの高度化及び信頼度の向上が要請されている。

マイクロコンピュータは、前述のように対象系統の各所データを収集する情報伝送装置との接続が容易であり、演算処理能力も優れているので、これら固有の特徴を活用することによって、従来システムに比べ、より幅広い安定化制御機能をもつ装置が開発されている。日立製作所は、通常の系統安定化制御のほかに、落雷などの系統事故がなくても負荷変動や電圧変動が原因となって生ずる電力動揺を、電力潮流の変動状況から検出し予防制御への足掛りとなる機能を具備した新しい形の装置を開発、納入しこの分野への先鞭をつけた⁹⁾。

5 結 言

以上、我が国の電力系統を取り巻く情勢の変化によってもたらされた新しい課題に対処する目的で、系統制御、保護の分野で採られてきたデジタル技術適用の基本的考え方と、これに基づいて開発した装置例を中心に、適用の現状と動向について述べた。

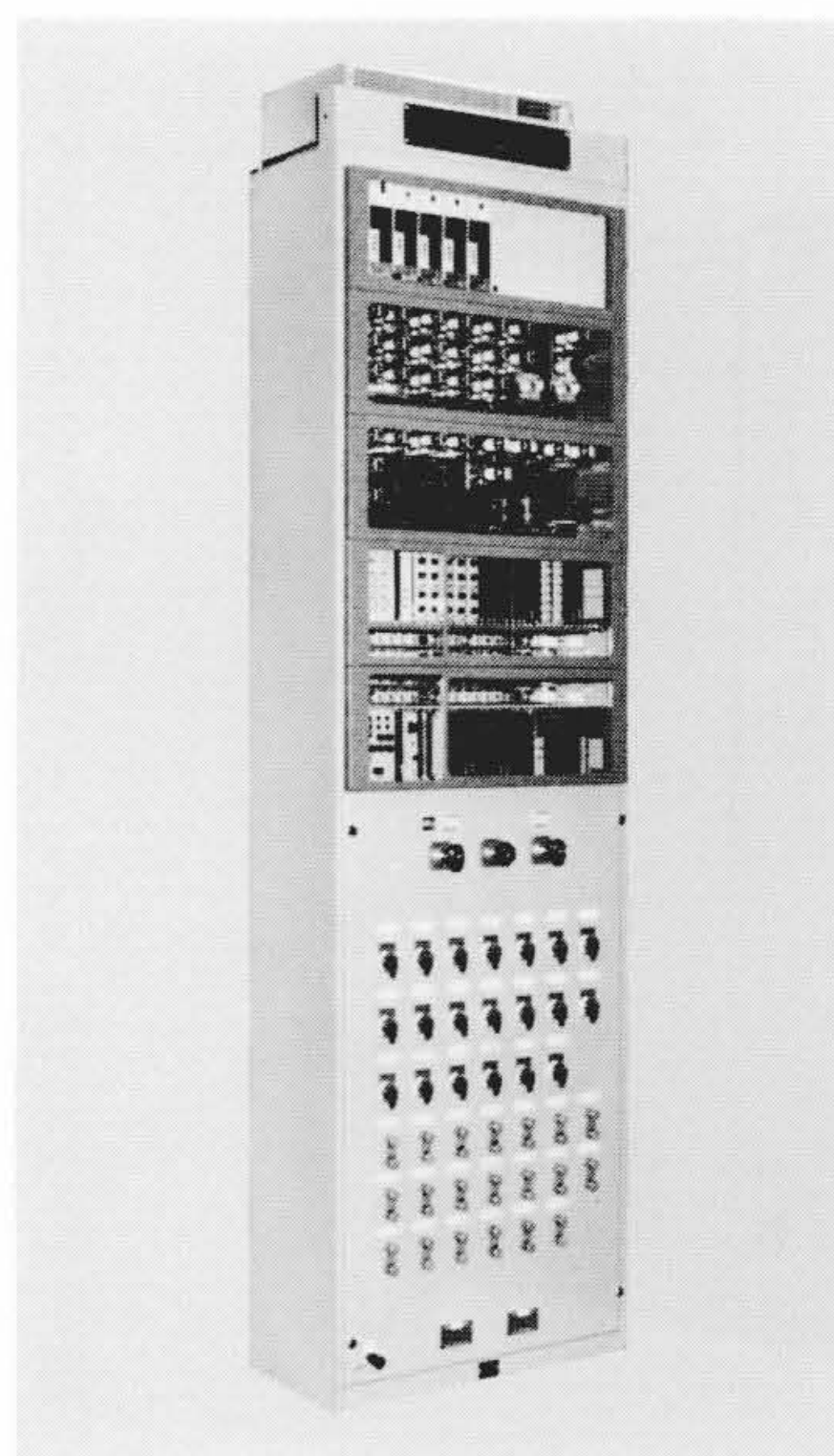


図12 デジタル形周波数低下保護継電装置 電圧波形の1周期の時間を測定する周期測定方式を採用しており、周波数低下の判定は4 out of 6方式として高速動作と系統動揺時などの不要動作防止とを両立させた。

これら現在までに開発されているデジタル形系統制御・保護装置は、単独ないしは限定された範囲の装置を統合化するアプローチのものが主体である。しかし、将来は、変電所制御・保護のトータルデジタル化の方向に進むことも予想され、現にフランス電力庁のレナルディエ大電力研究所では新形の電圧、電流センサから一貫してデジタル技術を使い制御、保護の機能を行なう大規模な設備によって種々の試験を開始している¹⁰⁾。このトータル化システムの実現には、変電所での機器、設備の運用状況、情報の流れ、制御・保護の諸機能など広範の事項を、総合的な観点からとらえ、有効なシステム構成方法や構成要素などの十分な検討を行なう必要がある。このため日立製作所も光ファイバ伝送をはじめとするオプトエレクトロニクスを活用した開発にも努力を傾注している。

最後に、本稿で述べた多数装置の開発に当たっては、各電力会社殿の御理解と御指導に負うところが大きく、ここに関係各位に対し厚く感謝の意を表わす次第である。

参考文献

- 1) 中央電力協議会：昭和57年度電力長期計画，電気協会雑誌，No.706，p.56(昭57-7)
- 2) 石川，外：マイクロコンピュータの産業分野への応用，電気学会誌，Vol.98，10，p.25(昭53-10)
- 3) 竜沢，外：電力系統制御へのマイクロコンピュータの応用，昭和53年電気学会全国大会，S10-2-1(昭53-4)
- 4) 三木，外：マイクロコンピュータの送変電制御への応用，日立評論，61，4，245～248(昭54-4)
- 5) 山口，外：電力系統におけるデジタル保護リレー，電気学会誌，Vol.100，7，p.31(昭55-7)
- 6) 丸山，外：デジタル電流差動継電装置の開発，昭和57年電気学会全国大会，No.972(昭57-4)
- 7) 湯木，外：77kV系統用デジタル形故障継続検出装置，日立評論，64，11，829～834(昭57-11)
- 8) 松田，外：高性能デジタル形周波数低下保護リレー装置の開発，昭和56年電気学会全国大会，No.1096(昭56-4)
- 9) 斉藤，外：電力系統のブロック制御による事故波及未然防止システム，OHM，Vol.68，6，p.17(昭56-6)
- 10) EdF編集：Digital Control System for a Line Bay (PAN-DOR)，CIGRE 1982 Technical Visit Pamphlet (1982-8)