U.D.C. 621.316.925:621.317.333.41.087.9:681.325-181.48

77kV系統用ディジタル形故障継続検出装置

Digital-type Power System Fault Continuation Detection Equipment for 77kV Power Networks

電力系統の大規模化・複雑化に伴い，安定した電力供給を維持するためには，保護リレーシステムのいっそうの高性能化，高信頼化及び保守運用の省力化が必要である。特に，多数の77kV負荷送電線をもつ基幹変電所では，送電線の数が上位系統に比べて多く，多回線を同一鉄塔に併架する場合が増加しているため，故障様相が複雑化する一方で，系統故障発生時の変電所運転業務は込み入ったものとなりつつある。

このような状況を解消するため，万一のしゃ断器不動作などに起因する系統の故障継続を検出する機能，系統故障時に故障点標定をはじめとする故障状態の解析結果を自動記録する機能，系統保護リレー停止中の仮リレーの機能などを具備したディジタル形故障継続検出装置を開発し，実用化した。

湯木　勝* *Masaru Yuki*
南浮泰造* *Taizô Nambu*
佐野和汪** *Yoshihiro Sano*
青木泰雄** *Yasuo Aoki*

1 緒　言

我が国での近年の社会，経済情勢の変化は環境保全，用地取得などの面で，電源立地や系統構成面に厳しい制約をもたらしている。このため系統の複雑化・大規模化が進み，この傾向は電力需要の伸長に伴い今後共増大することが予想され，安定した電力供給を維持してゆくことが重要な課題である。このため，電力系統の保護システムにもいっそうの高性能化，高信頼度化及び保守運用の省力化を図ってゆくことが要求されている。

これに対応する動きの一つとして，近年のマイクロプロセッサ技術の進歩を活用したディジタル保護リレー装置の開発と性能検証が各方面で実施されており[1)~2)]，その評価をベースとした実用化も一部で開始されている。

本報告では，そのような実用化の一端を担うものとして多数の77kV送電線をもつ基幹変電所の事故復旧業務の迅速化，及び故障解析精度の向上を主目的に開発した新しい形のディジタル形保護リレー装置について報告する。この装置は，既存の77kV系統保護リレーシステムには具備されていない故障継続検出機能及び故障解析・記録機能をもっており，このほか仮リレーにも使用できる後備保護リレー機能も備えている。本装置は，「ディジタル形故障継続検出装置」として，関西電力株式会社海南港変電所で昭和56年7月から運用を開始している。

2 装置開発のねらい

基幹変電所での77kV系統は，その送電線数が上位系統に比べて多く，また同一鉄塔に複数回線の送電線が設置される併架系統となるケースが多い。このような77kV系統に故障が発生したときの故障様相は複雑化し，これに対処するための変電所運転業務も込み入ったものとなる傾向が強い。万一のしゃ断器極間せん絡故障や保護リレー障害などに起因する故障除去失敗時には，電力の供給支障範囲が拡大するおそれがあり，その復旧操作，応急処置などが的確かつ迅速であることが要求される。

このため，既設の保護リレーシステムに加え，

(1) 故障除去失敗した送電線を検出し，その線路名を表示・警報する機能
(2) 故障状態の解析及び記録を自動的に行なう機能
(3) 既設の保護リレーの保守・点検時に，仮リレーとして使用できる機能

を具備した装置を開発することにより，変電所の事故復旧業務の円滑化，故障解析精度の向上などが可能となることが予想された。

そこで，このような諸機能を具備した装置を，マイクロコンピュータを中心に構成するディジタルリレーユニットを用いて開発し，実用化することとした。

3 装置の機能と構成

3.1 対象とした系統

図1は，2ルート・4回線の275kV送電線で受電した後，多数の77kV送電線に電力を供給する基幹変電所の構成を示す単線結線図である。本装置の対象とする系統は，同図で275kV/77kV変圧器により受電する77kV4分割母線(二つの母線連絡しゃ断器及び二つの母線区分断路器で分割される。)及びこれに放射状に接続される最大20回線までの送電線である。

3.2 装置の機能

本装置は，**図2**に示す三つの機能を具備している。

3.2.1 故障継続検出機能

一般に，しゃ断器の不具合動作(極間せん絡故障など)や保護リレー不具合などの原因により系統故障の高速除去に失敗した場合には，その故障除去は母線分離リレーなどにより当該回線以外のしゃ断器を動作させて行なう。このような場合，従来の77kVリレーシステムでは故障除去失敗回線判別機能を具備していないため，回線名は運転員が変電所全体の情報(保護リレー応動，しゃ断回線など)を総合的に判断し特定せざるを得なかった。

これに対し，本装置の故障継続検出機能は，

(1) しゃ断器の極間せん絡故障などによるしゃ断器不動作
(2) 保護リレーの不具合などによる系統故障の除去失敗

が起こり長時間故障が継続した場合でも，これを検出し，故

* 関西電力株式会社系統運用部　** 日立製作所国分工場

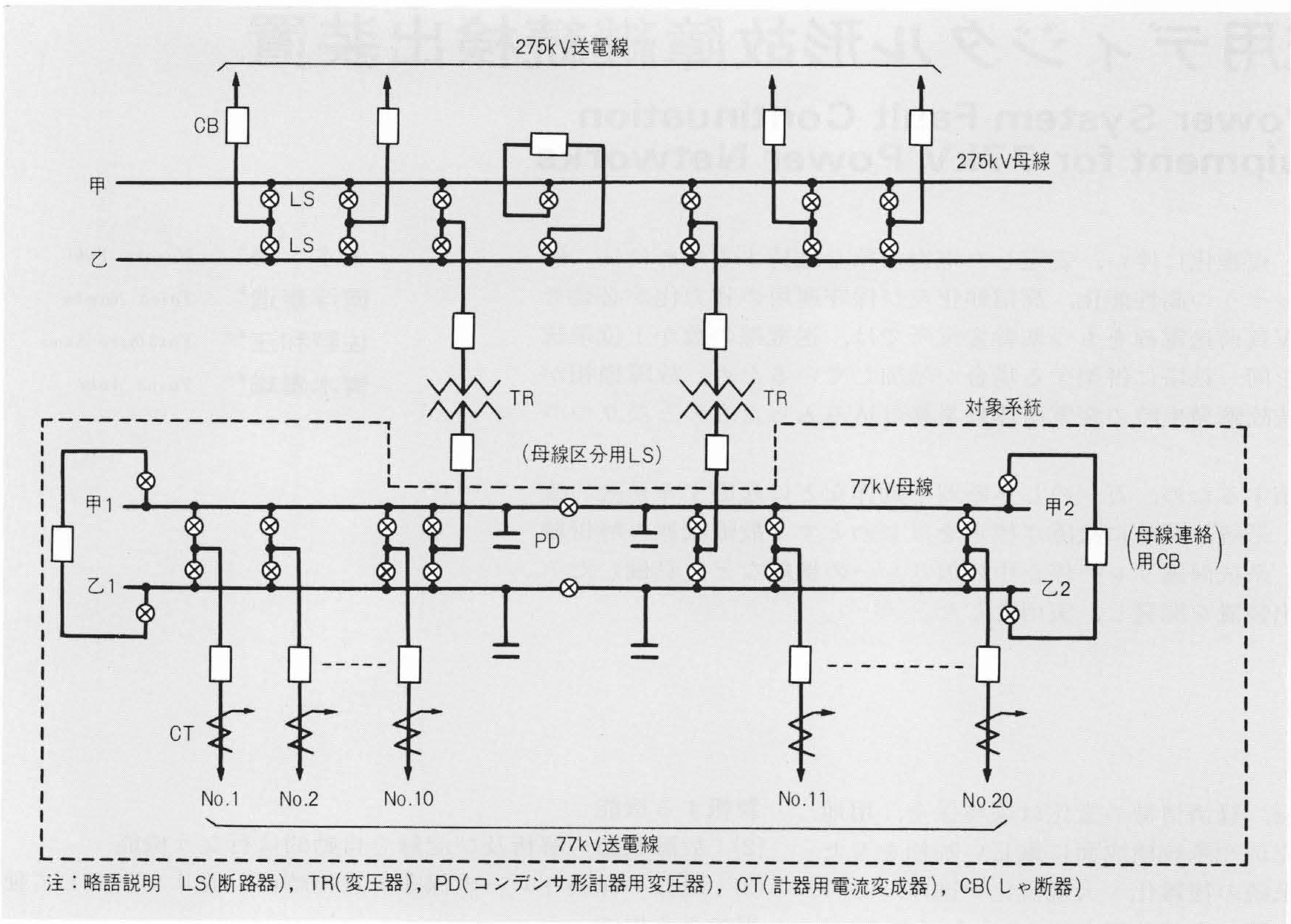


図1 対象とした基幹変電所の系統構成 本装置が対象とした系統は，二つの母線連絡しゃ断器，二つの母線区分断路器で分割される4分割母線に接続される送電線20回線とした。

障除去に失敗した当該線路名を表示するとともに，警報を発することが可能である。

したがって，変電所運転員は，上述のような故障が発生した場合でも，故障の継続している線路名を容易に把握することが可能となり，当該送電線の分離操作が迅速に行なえるので，既存保護リレーシステムの場合困難であった停電時間の短縮化ができるようになった。この機能は，事故復旧時の変電所運転業務の円滑化に大きく貢献できる。

3.2.2 故障解析・記録機能

既存の77kV系統保護リレーシステムの場合，系統故障状態の把握及び故障解析は，システムに併設されるアナログ形偶発現象記録装置によって記録されたオシログラム(系統故障発生前後の電圧，電流波形及びリレー動作接点情報などを記録)をもとに，人手によって行なわれてきた。これらの業務は，多大のマンアワーを要し，故障状態の正確な把握やその解析精度向上にも限界があった。本装置では，これらの業務を自動的に行なえる故障解析・記録機能を具備させることによって，上記問題点を解消することをねらいとした。

この故障解析・記録機能は，マイクロコンピュータに常時一定周期で入力される電圧，電流の瞬時値サンプリングデータを，系統故障発生時に所定サイクル分データメモリに記憶するようにし，この記憶データに基づく演算解析結果を，内蔵の小形プリンタを駆動して系統故障回復後に自動記録させるようにしたものである。

本装置の故障解析・記録機能によって記録される項目は，**図2**に示したとおりであり，この記録は，故障継続検出時はもちろん，後述する後備保護機能動作時及び既設保護リレーによる高速しゃ断時にも実施される。なお，既存オシログラフは電圧，電流についてデータ加工処理を行なわずに出力するのに対し，本装置ではフィルタリング他の加工処理を行なった後のデータを出力するものである。

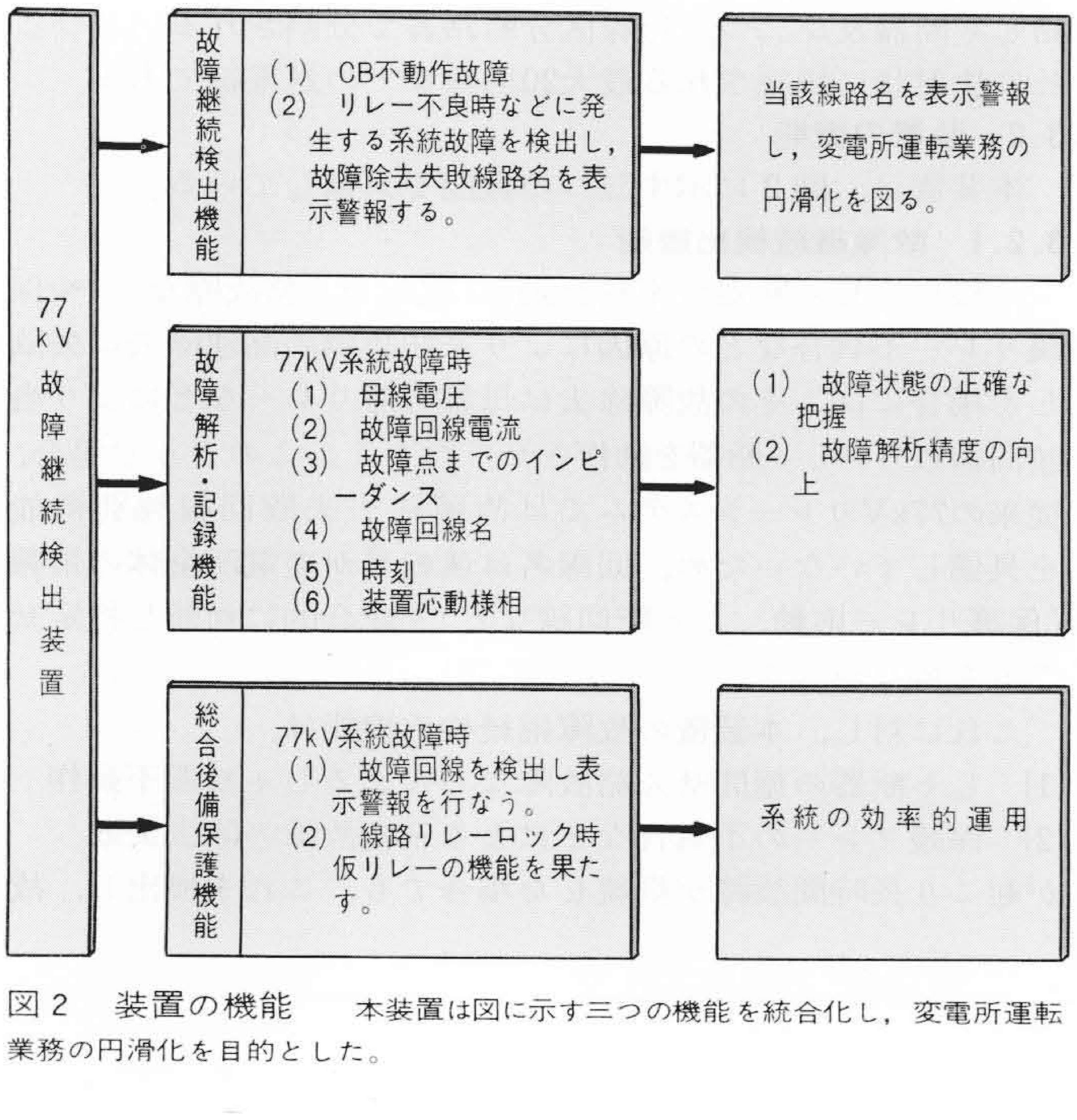


図2 装置の機能 本装置は図に示す三つの機能を統合化し，変電所運転業務の円滑化を目的とした。

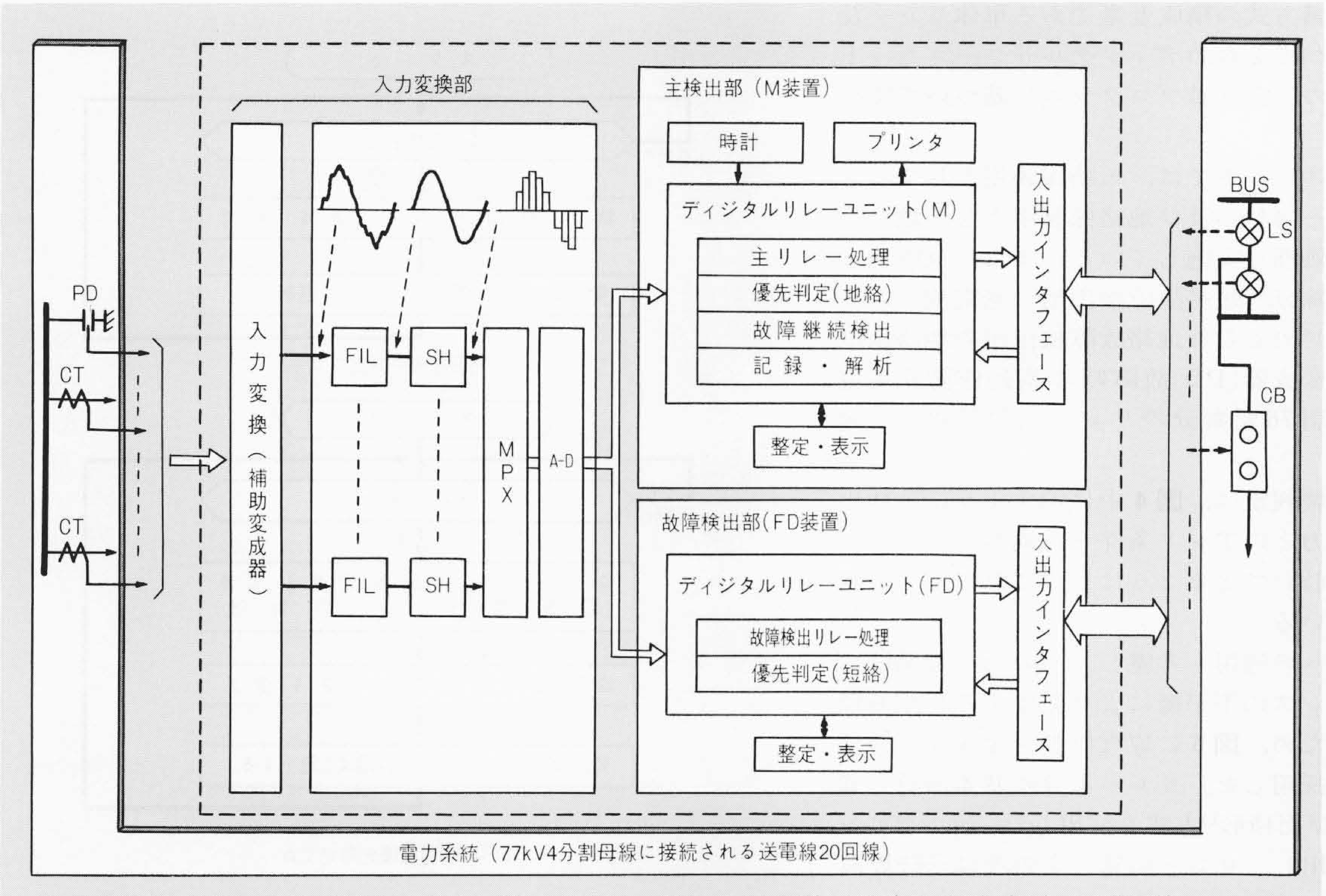
3.2.3 後備保護機能

既設保護リレーの保守・点検時に，仮リレーとして使用し送電線の保護を行なう目的で後備保護機能を設けた。

この機能では，短絡保護については至近端故障を確実に検出できるオフセットモー形距離リレーを，また地絡保護には併架系統への適用を考慮して，零相循環電流補償形地絡方向リレーを，演算処理によって実現し適用した。

3.3 装置の構成

装置構成の検討に当たっては，最新ディジタル技術の合理的適用手法の確立を目標とし，可能な限りシンプルな構成とすることを意図した。その結果，基幹変電所での77kV送電線



注：略語説明　FIL（フィルタ），SH（サンプルホルダ），A-D（アナログディジタル変換），MPX（マルチプレクサ），BUS（母線）

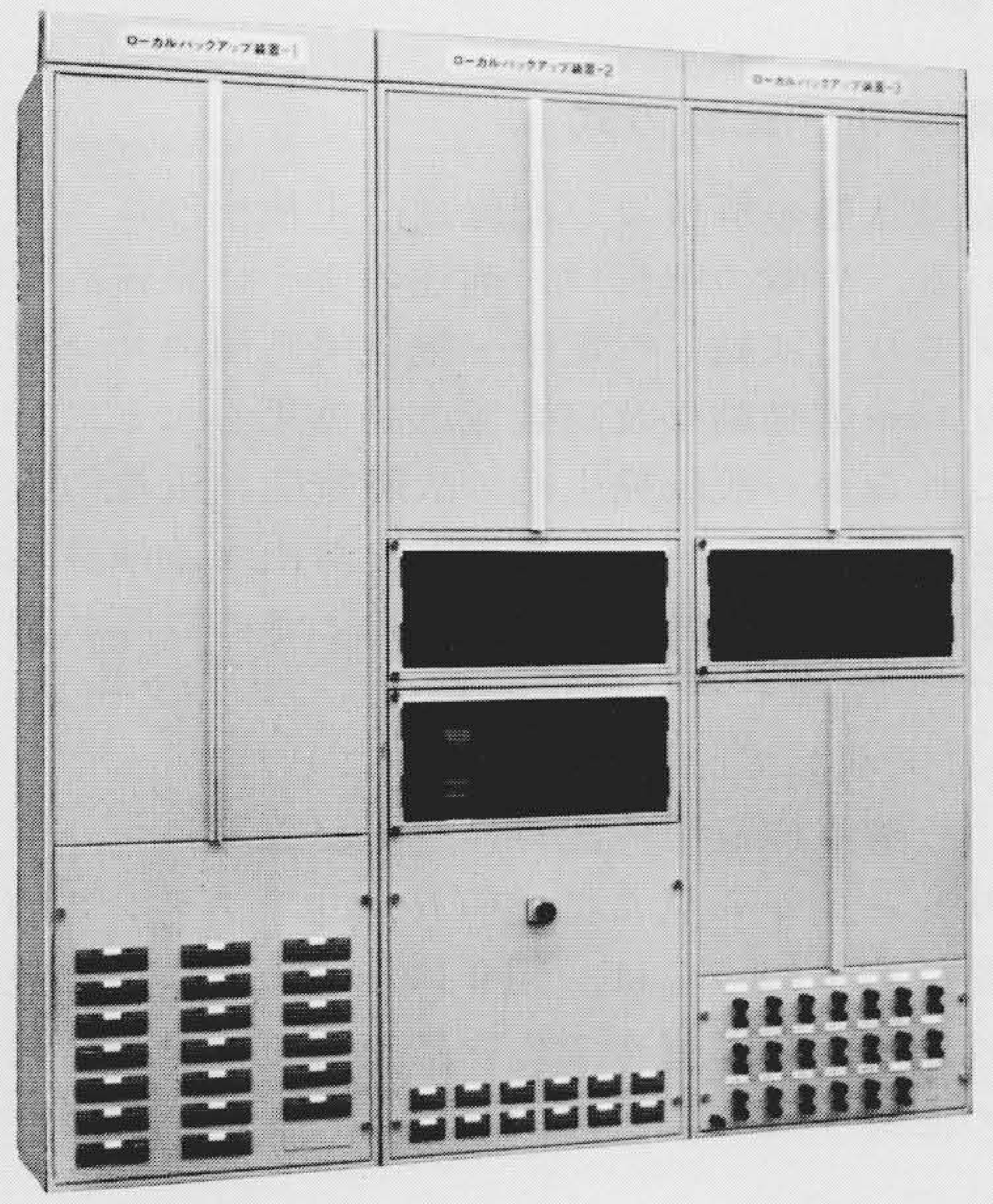
図3　装置の構成　ディジタルリレーユニット2台を中心とし，入力変換部，入出力インタフェース部などから構成され，ディジタルリレーユニットでは図中に示したソフトウェア処理を実施している。

20回線の対象系統に対し，**図3**に示すように2台のディジタルリレーユニットへ全機能を分担させる装置構成とした。本装置は**図4**に示す外観のとおり，入力変換部，主検出部（故障継続検出，故障解析・記録などの機能）及び故障検出部のそれぞれを各1面で構成されている。

4　保護リレー方式

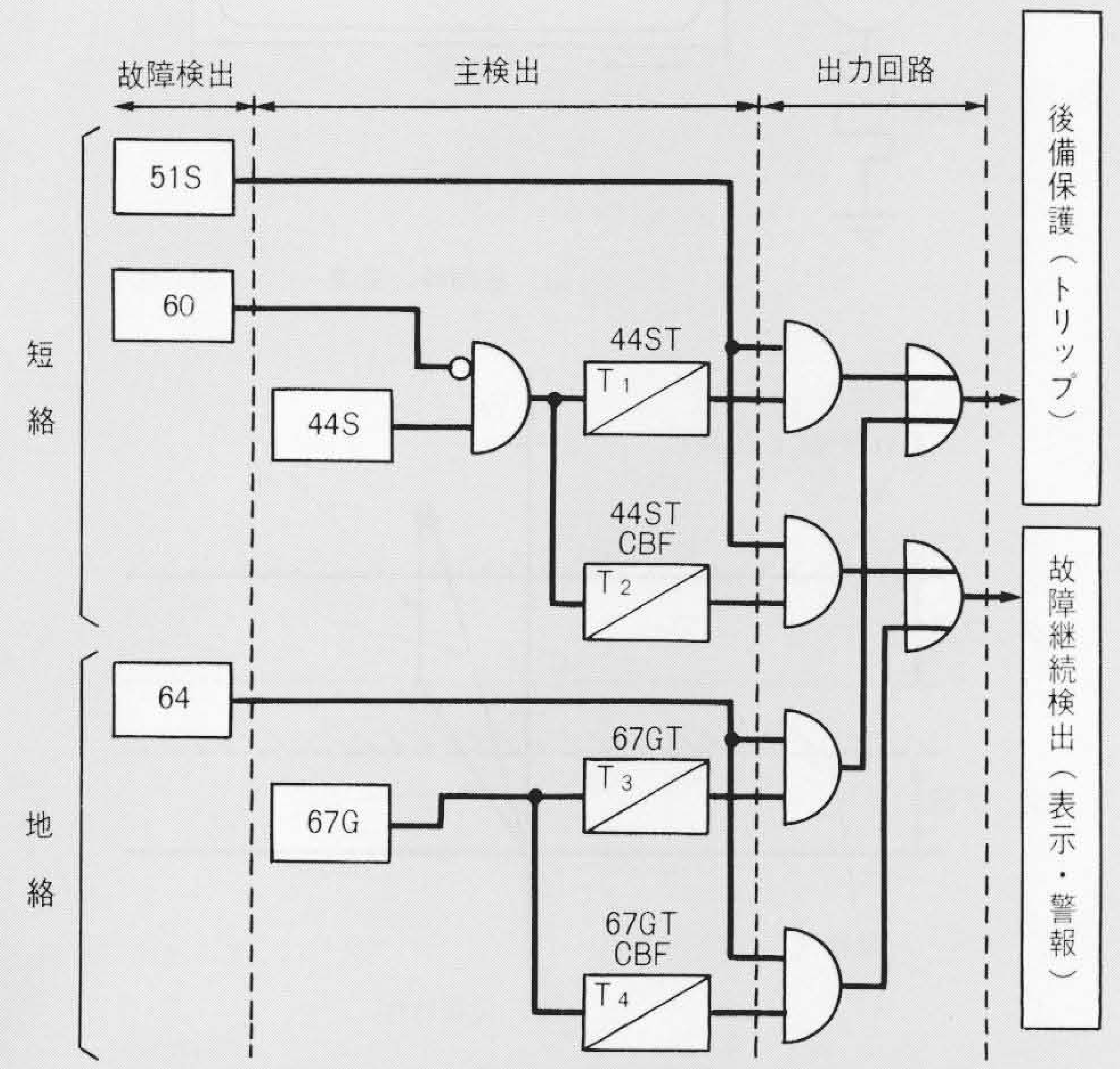
4.1　故障継続検出及び後備保護リレー方式

本装置での故障継続検出機能及び後備保護機能に用いた保護方式を，**図5**のシーケンスブロック図で示す。



（入力変換部）　（故障検出部）　（主検出部）

図4　装置外観　装置は入力変換部，故障検出部，主検出部をそれぞれ1面〔幅700×奥行450×高さ2,300（mm）〕で構成した。



注：略語説明　51S（過電流継電器），60（電圧平衡継電器），44S（短絡距離継電器），64（地絡過電圧継電器）
67G（地絡方向継電器），44ST，44STCBF，67GT，67GTCBF（タイマ）

図5　保護方式シーケンスブロック　故障検出出力と主検出出力とを出力回路のハードウェアでアンドとすることにより，システム信頼性を向上させた。

これら両機能とも保護方式の構成要素である単体リレー及びタイマの処理は，すべて2台のディジタルリレーユニットのうち当該ユニットでの所定演算プログラムに基づいて実行される。

すなわち，主検出部ユニットでは，短絡保護用としてオフセットモー形距離リレー(44S)及び地絡保護用として地絡方向リレー(67G)の演算処理を実施している。また，故障検出部ユニットでは，20回線分の短絡故障検出用の過電流リレー(51S)，4分割母線を対象とした地絡故障検出用の地絡過電圧リレー(64)及び電圧変成器(PD)故障時の誤動作防止用電圧平衡リレー(60)の合計76要素分のリレー演算処理を実施する。

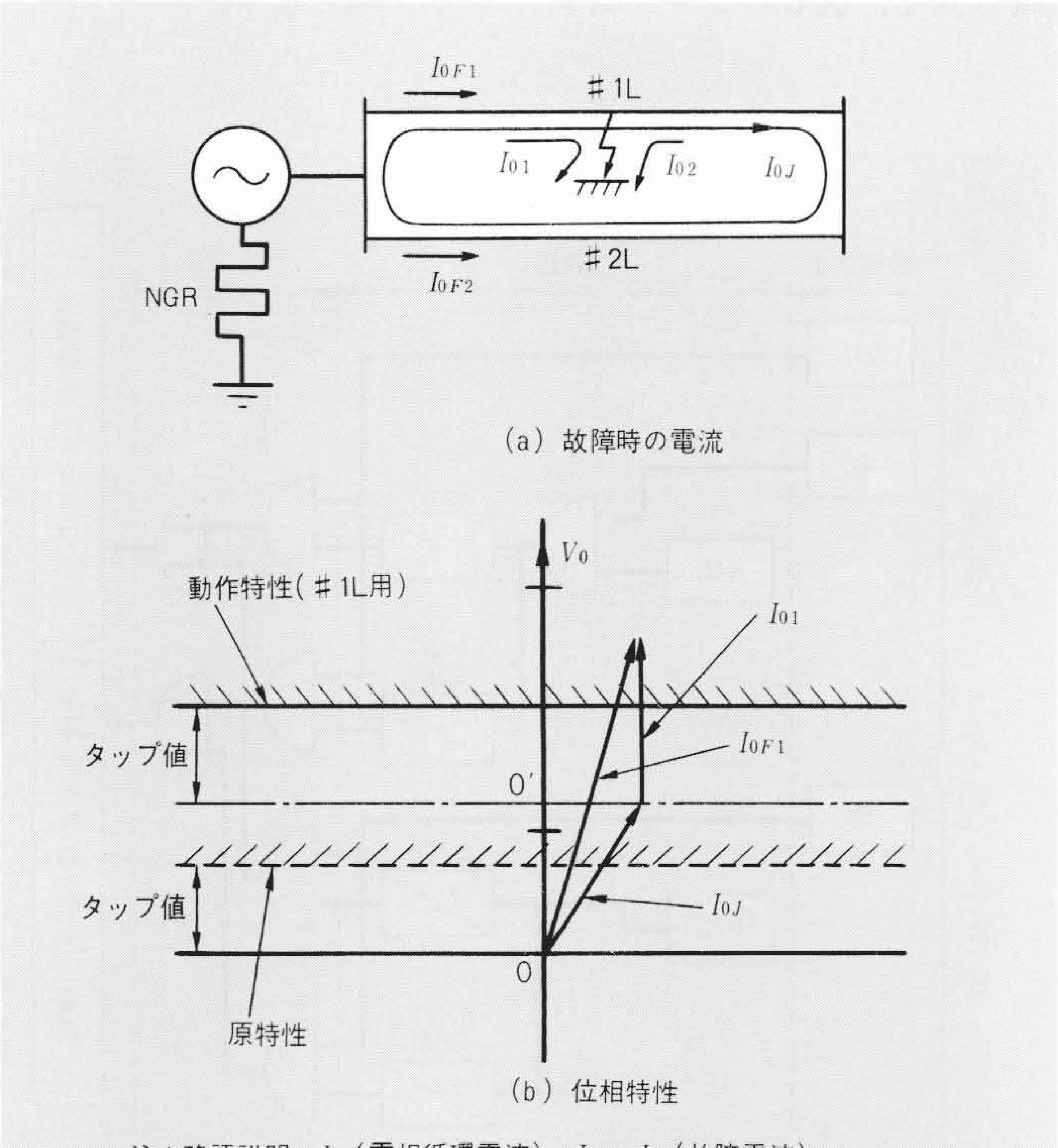
そして両機能とも最終判定は，**図4**中に示すように主検出部出力と故障検出部出力とのアンド条件を，両ユニットの外部ハードウェア(出力回路)でとるようにし，これによって判定の高信頼化を図っている。

本装置では併架系統への適用も考慮し，そのような系統で回線間相互インピーダンスの不平衡により発生する零相循環電流の影響を補償するため，**図6**に原理概要を示す新形の地絡方向リレーを開発し採用した。リレー演算の基本演算方式には，積形方式[3)~4)]及び面積形[1)]方式を採用した。サンプリング周波数は360Hzを採用し，リレー演算の全処理は系統周波数の$\frac{1}{3}$サイクルに相当する5.5msで一巡するようにした。

4.2 多重故障時の処理方式

本装置のように20回線を対象とした保護装置では，同時に多数の送電線で故障の発生する多重故障の扱いをどうするかが重要な問題である。本装置では，全体構成を可能な限りシンプルとするように意図したこと，及び過去の系統多重故障実績データから，重故障の順に優先して最大4回線単位で多重故障を同時処理できるようにした。進展故障などにより4回線を越えたときの処理は，優先順位の高い回線の処理が故障除去により終了後，順次4回線単位で実施するようにした。

多重故障での故障回線の優先判定方式は，短絡，地絡の双方とも故障電流(地絡の場合は，零相循環電流を補償した後の地絡故障電流)の大きい順に，選択処理する方法を採用した(**図7**参照)。



注：略語説明 I_{0J}(零相循環電流)，I_{01}，I_{02}(故障電流)，I_{0F1}，I_{0F2}(零相電流)，NGR(中性点接地抵抗器)，V_0(零相電圧)

図6 零相循環電流補償形地絡方向継電器 零相循環電流(故障発生前の零相電流)の有効電流により，位相特性の原点OをO′に移動させ循環電流を補償している。

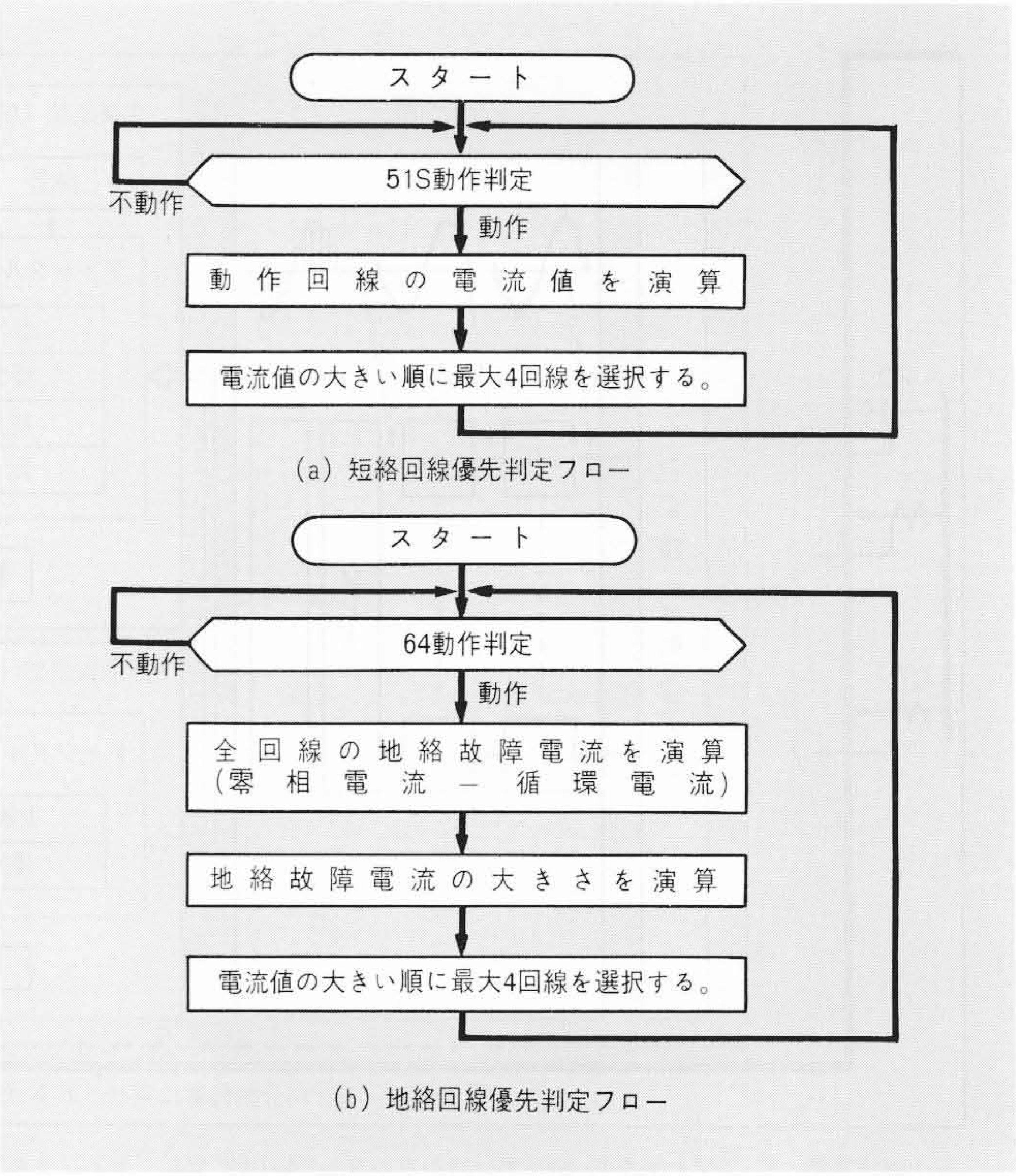


図7 故障回線の優先判定フロー 主検出部では最大4回線単位で多重故障を同時処理できるようにした。故障回線の選択は，短絡，地絡共故障電流の大きい順に4回線とする方式を採用した。

5 故障解析・記録方式

系統故障状態の解析及び記録は，主検出部ユニットで行なわせている。故障の解析は，前述のように系統故障検出時にデータメモリに凍結した電圧，電流瞬時値のサンプリングデータ，リレー応動結果及び装置応動結果をもとに行なうものとし，これらから故障発生時の故障電圧，電流の大きさ及び故障点までのインピーダンスなどを算出する演算処理をまず実行する。次いで，**図8**に従いそのときの故障状態の解析を実施して，故障モードに対応した八つのパターン(同図中の②～⑨)に区別して記録できるようにした。

なお，故障点標定用の記録は，短絡故障については故障点までのリレー側から見た抵抗値R，リアクタンス値Xで，また，地絡故障については，**図9**に示すように地絡故障電流の分流比によって故障点までの距離を送電線亘長に対する百分率で求め記録する方式を採用した。

6 信頼度向上策

本システムはその機能上，誤動作及び誤不動作のない装置とする必要がある。このため厳選した高信頼度部品の採用，適正なディレーティングの実施によるハードウェア要素の高

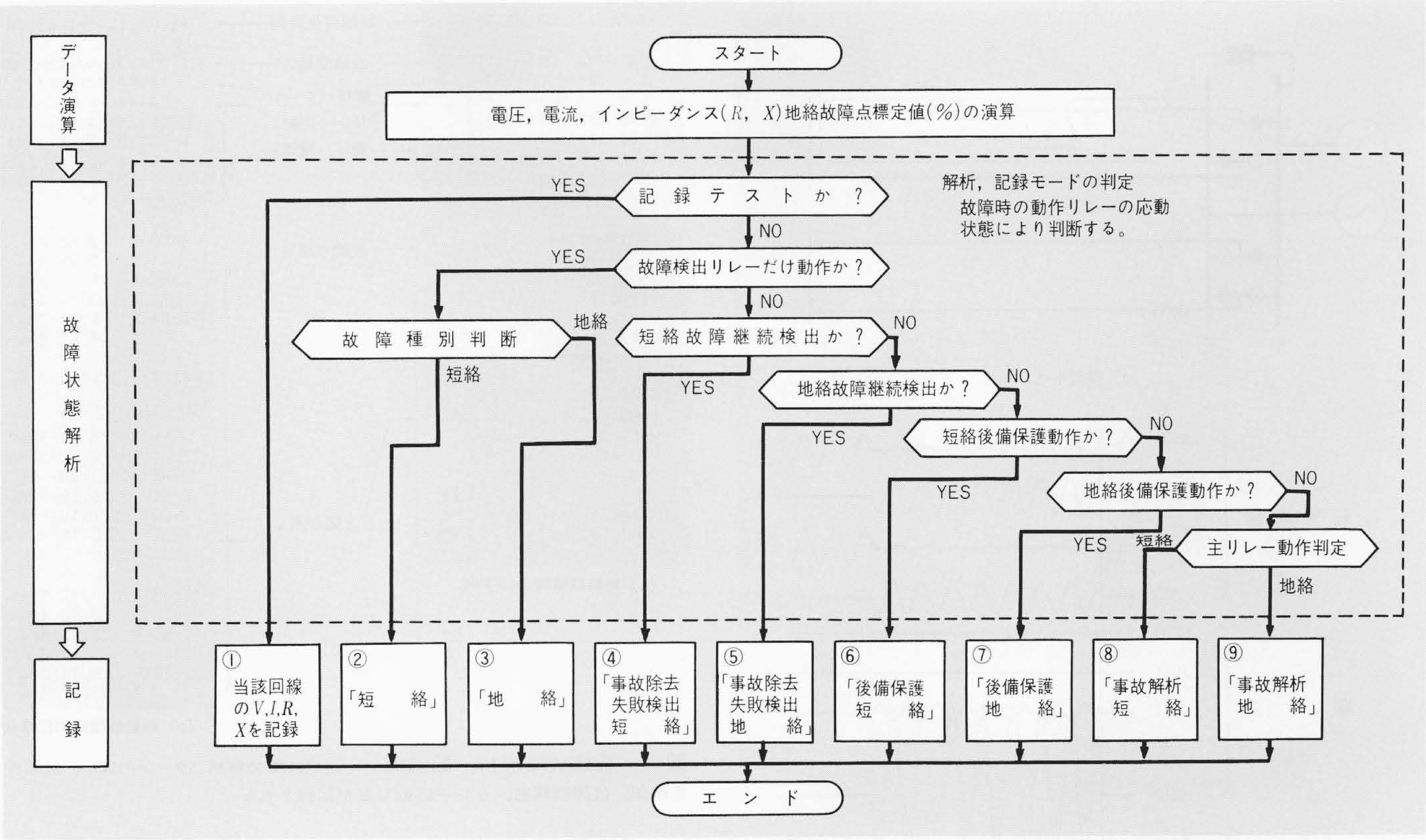


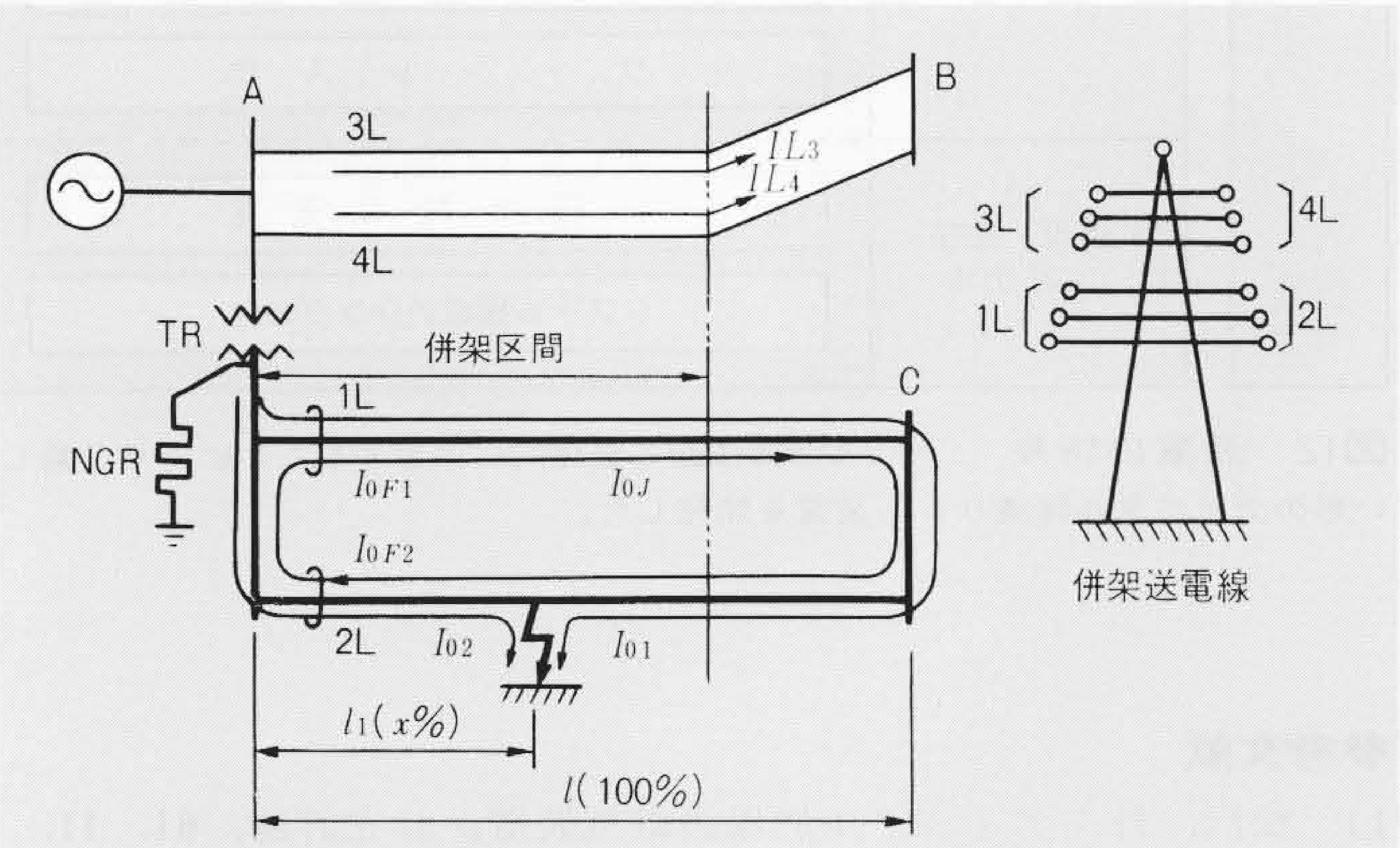
図8　系統故障状態の解析及び記録　系統の故障状態，保護リレー応動などを八つのパターンに分類し記録する。このほか任意の時点で電圧，電流などを記録できる「記録テスト」機能を付加した。

信頼度化，各実装レベルでのノイズやサージ防護策[5)]などの基本的事項のほかに，次に列挙する信頼度向上策を講じた。

(1)　誤動作防止策としてFD部(故障検出部)とM部(主検出部)を完全に分離した。

(2)　出力判定の複数回確認など，単発データエラーなどで誤動作しないソフトウェア処理構成とした。

(3)　ディジタルユニットでの時分割処理の特徴を活用し，オンラインのままで各構成ブロック単位の自動監視を行なう方法を採用し，ハードウェア不良の早期発見及び障害部分のローカライズに留意した。



地絡故障点標定演算

$$1L\text{------}\ l_1(\%) = \frac{|I_{0F2}+I_{0J}|}{|I_{0F1}+I_{0F2}|} \times 200(\%)$$

$$2L\text{------}\ l_2(\%) = \frac{|I_{0F1}-I_{0J}|}{|I_{0F1}+I_{0F2}|} \times 200(\%) = 200 - l_1(\%)$$

注：略語説明　TR(変圧器)，IL_3，IL_4(上位回線負荷電流)，I_{0J}(零相循環電流)　I_{0F1}(＃1L零相電流)，I_{0F2}(＃2L零相電流)，l_1，l_2(故障点標定値)　l(線路長)

図9　地絡故障点標定　地絡故障電流の分流比により，故障点までの距離を送電線亘長に対する百分率で求める方式とした。

7　試験結果

本装置は，工場試験で所期の機能，性能を確認後，関西電力株式会社海南港変電所に納入され，昭和56年7月から運用に入り現在まで順調に稼動している。

図10に1線地絡故障時の本装置の動作オシログラムを，図11に本装置による系統故障時の故障解析に従った記録結果の例をそれぞれ示す。

8　装置の特長と適用効果

本装置の特長を要約し図12に示す。

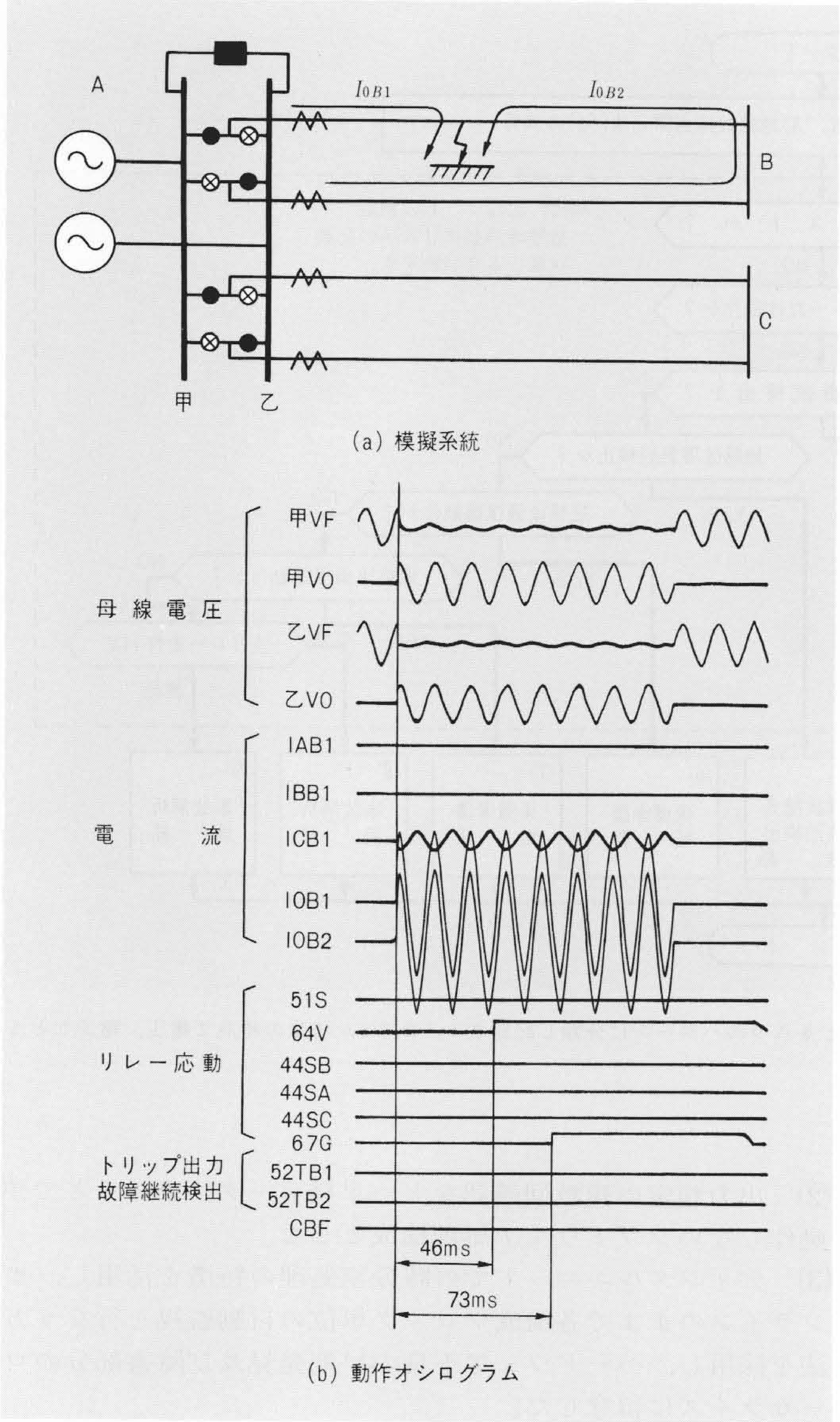
本装置を基幹変電所の77kV系統に適用することにより，次のような効果が期待できる。

(1)　しゃ断器もしくは保護リレー装置の障害に起因する故障除去失敗が起こっても，系統復旧操作や応急処置に必要な表示，警報情報を変電所運転員に提供できるので，変電所運転業務の円滑化が可能となった。

(2)　系統の故障状態を総合的に判断する解析，記録機能を付加したので，故障状態の正確な把握と解析精度の向上ができた。

(3)　既設保護リレーの保守，点検時に，本装置の後備保護機能によって送電線保護が可能となり，系統の効率的運用が達成できる。

(4)　ディジタル技術の駆使により，故障点標定を含む多数の



(a) 模擬系統

(b) 動作オシログラム

図10 工場試験結果のオシログラム例 I線地絡故障時のオシログラム例を示すもので，リレー応動時間は73msと既設主保護リレーとの協調がとれていることが分かる。

機能の統合化及び多回線処理を実現し，その合理的適用手法が確立できた。

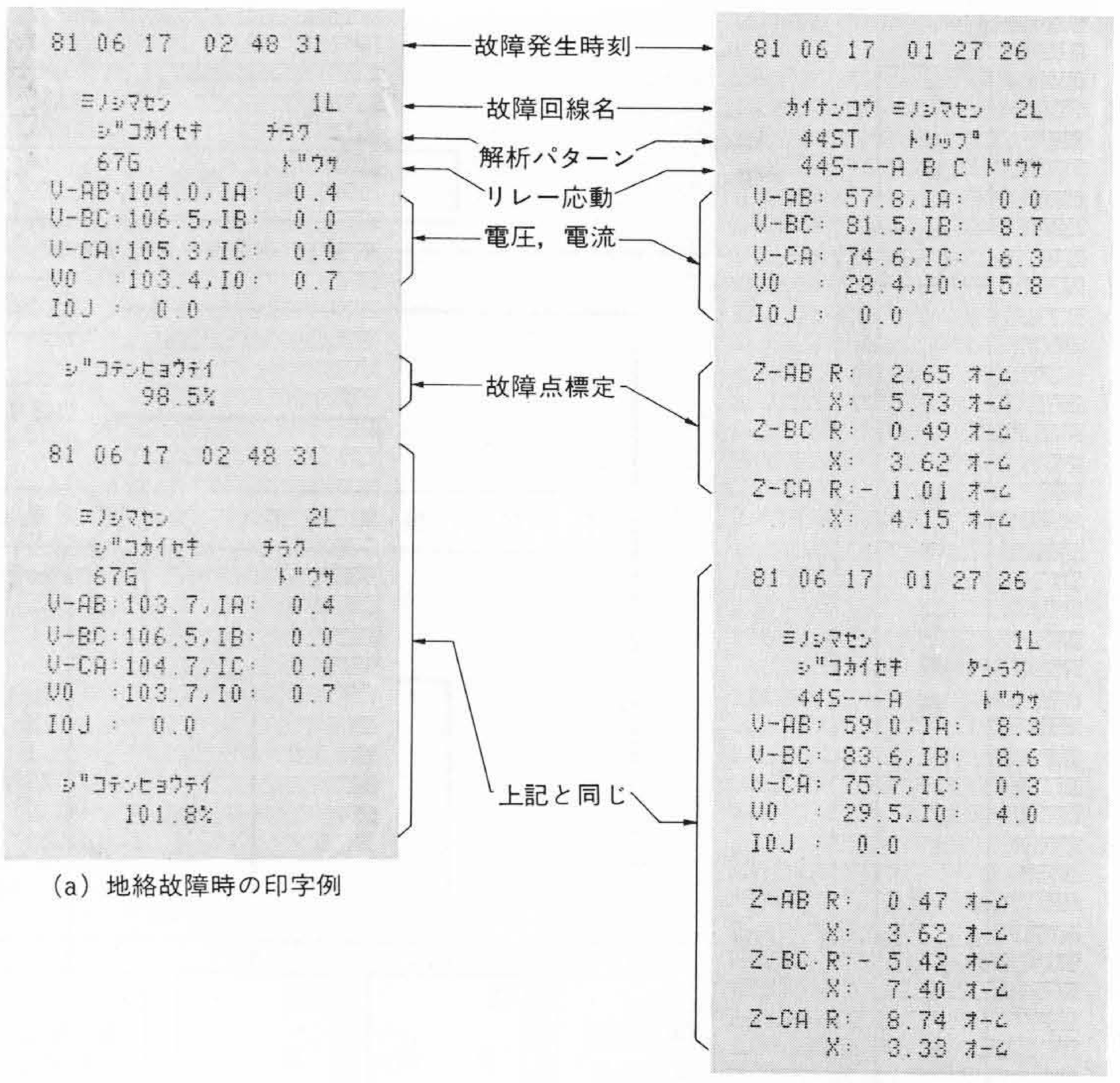
9 結　言

以上に，基幹変電所の77kV系統を保護対象として開発，実用化したディジタル形故障継続検出装置の機能，構成，特長などについて述べた。

本装置は，関西電力株式会社海南港変電所に導入され，順調に稼動しており，所期の目標である77kV系統故障時の変電所業務の円滑化，及び故障解析精度の向上のための有力な武器となっている。本装置はディジタル形保護リレー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も大きな効果が得られた。

日立製作所は今後とも，ニーズに適合した新しい保護リレーシステムの開発を進める考えである。

終わりに本システムの開発に当たり，御指導をいただいた関係各位に対し，厚く感謝の意を表わす次第である。



(a) 地絡故障時の印字例

(b) 短絡故障時の印字例

図11 系統故障解析，記録例 系統故障の解析パターンのほか，故障発生時刻，故障回線名，リレー応動などが記録される。

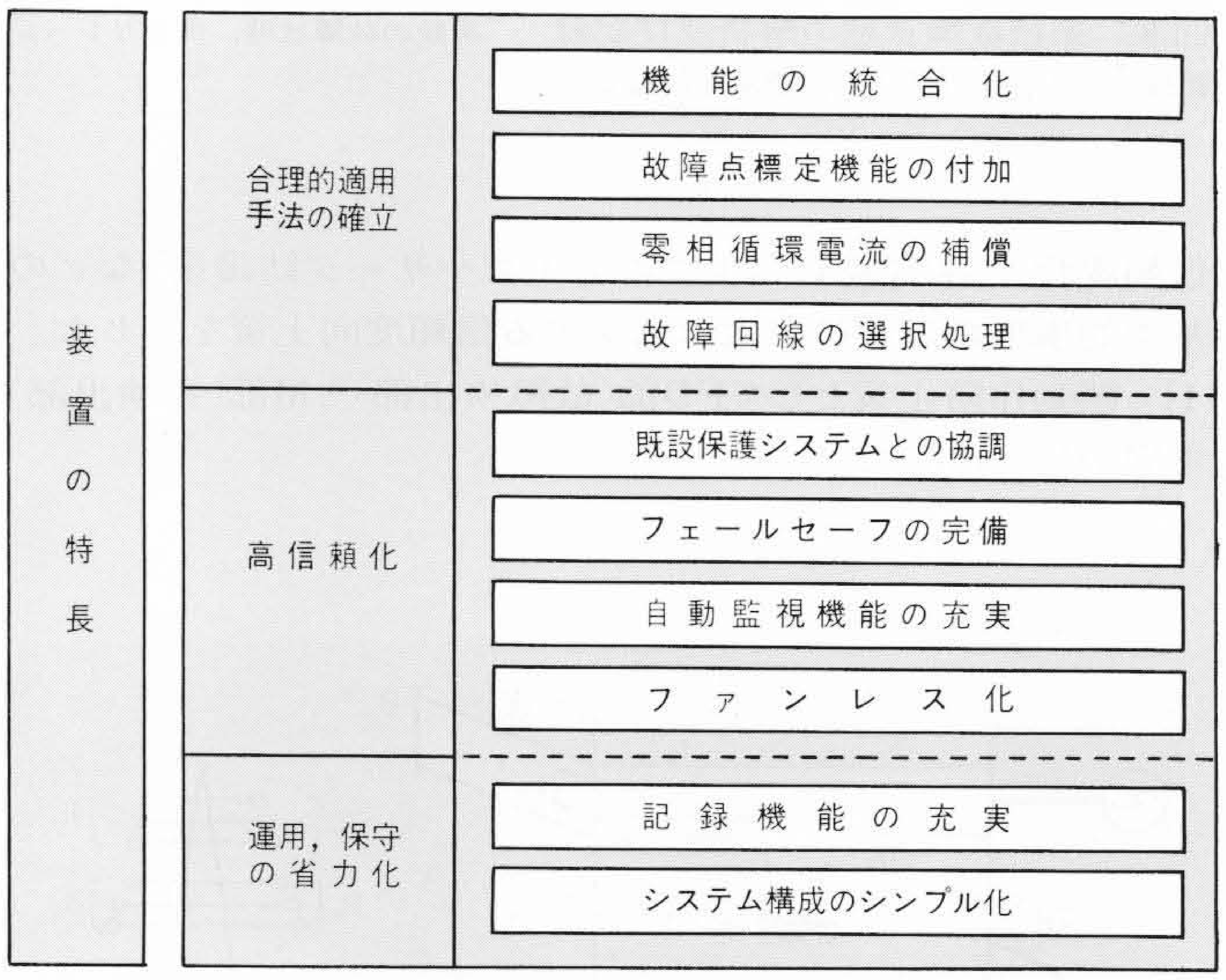


図12 装置の特長 ディジタル技術を合理的に活用することにより，新しい形のディジタル保護リレー装置を開発した。

参考文献

1) 松沢，外：ディジタル形保護継電装置，日立評論，**61**，11，779～784(昭54-11)
2) 佐野，外：発，変電所における光伝送システムの導入，日立評論，**63**，3，179～182(昭56-3)
3) J. Makino, et al.: Study of Operating Principles & Digital Filters for Protective Relays with Digital Computer, IEEE PES Winter Meeting, C75, 197-9(1975)
4) Y. Miki, et al.: Study of High-Speed Distance Relay Using Microcomputer, IEEE Transaction on Power Apparatus and System, Vol. PAS-96, No. 2, March/April, 602～613(1977)
5) 中山，外：最近の保護継電技術の動向，日立評論，**61**，11，761～765(昭54-11)