

# ブロック制御事故波及未然防止システム“BSPC”

## Block System Emergency Preventive Control System

電源の遠隔・大容量化，送電系統運用潮流の増大などに伴う系統事故波及現象の複雑・広域化に対処するため，多数電気所の情報をもとに，高速度で最適な事故波及防止制御を行なう新形の系統安定化システムを開発し，実用化した。

本システムは，基幹送電系統の運用潮流を，従来の2倍以上に増大でき，電力動揺など系統不安定現象の監視も可能なので，系統の安定運用，高効率運用に大きく寄与できる。

システムの主装置は高速マイクロコンピュータ7台を中心に構成され，ファンレス化の実現をはじめとした数多くの新技術が適用されている。

本論文では，システム開発の動機，制御機能，装置構成，システムの特長及び実用装置の性能について述べる。

齊藤寿一\* Juichi Saitō  
 松岡俊司\* Shunji Matsuoka  
 森 英夫\*\* Hideo Mori  
 三木義照\*\*\* Yoshiteru Miki  
 久保隆生\*\*\* Takao Kubo  
 佐野和汪\*\*\* Yoshihiro Sano

### 1 緒 言

近年，我が国の電力系統では，社会情勢の変化による種々の制約の中で，電力需要の増大に対応した拡充強化が行なわれ，電源の遠隔・大容量化，主幹系統間の連系やループ構成が進められてきた。これら系統の構成面での傾向と，運用面での設備効率運用の促進による送電系統の運用潮流の増大に伴って，系統事故時の波及現象は複雑・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の維持ができないときの対策を目的とする系統安定化制御システム<sup>1)</sup>の重要性は，従来以上に増し，その機能のいっそうの高度化，及び信頼性の向上が必要となっている。

これらの要求に対処するため，東北電力株式会社と日立製作所は，電力中央研究所の協力を得て，電力動揺など系統不安定現象の監視も可能で，従来システムに比べ，より幅広い安定化制御機能をもつ信頼度の高い，新しい形の系統安定化制御システムを開発し，実用化した。

本システムは，BSPC (Block System Emergency Preventive Control System: ブロック制御事故波及未然防止システム)と呼んでおり，東北電力株式会社宮城変電所で昭和55年6月から運用を開始している。

### 2 対象系統特性と安定化対策

系統の安定度維持を図るために最も効果のある系統安定化システムを開発するためには，事故波及の様相が系統構成，事故除去時間などによって異なることから，既設の系統保護継電装置を含む対象系統の諸特性を十分に把握する必要がある。

このため，大形コンピュータにより対象系統の定態及び動態安定度の解析を行ない，常時の系統運用特性及び事故時の事故波及様相を解明した上で安定化システムの開発を進めた。

#### 2.1 対象系統特性

図1に示すように東北電力株式会社の送電系統は，本州の半を占める広大な地域に分散した需要をかかえ，かつ電源が偏在化しているという地域特性に対し，供給信頼度の確保と設備の有効活用を図るため，北部系統と南部系統とを亘長170kmに達する275kV奥羽幹線Hと二つの154kV送電線J, K (同図中のLは昭和55年12月運開)によって結んだ多重ループ構成で

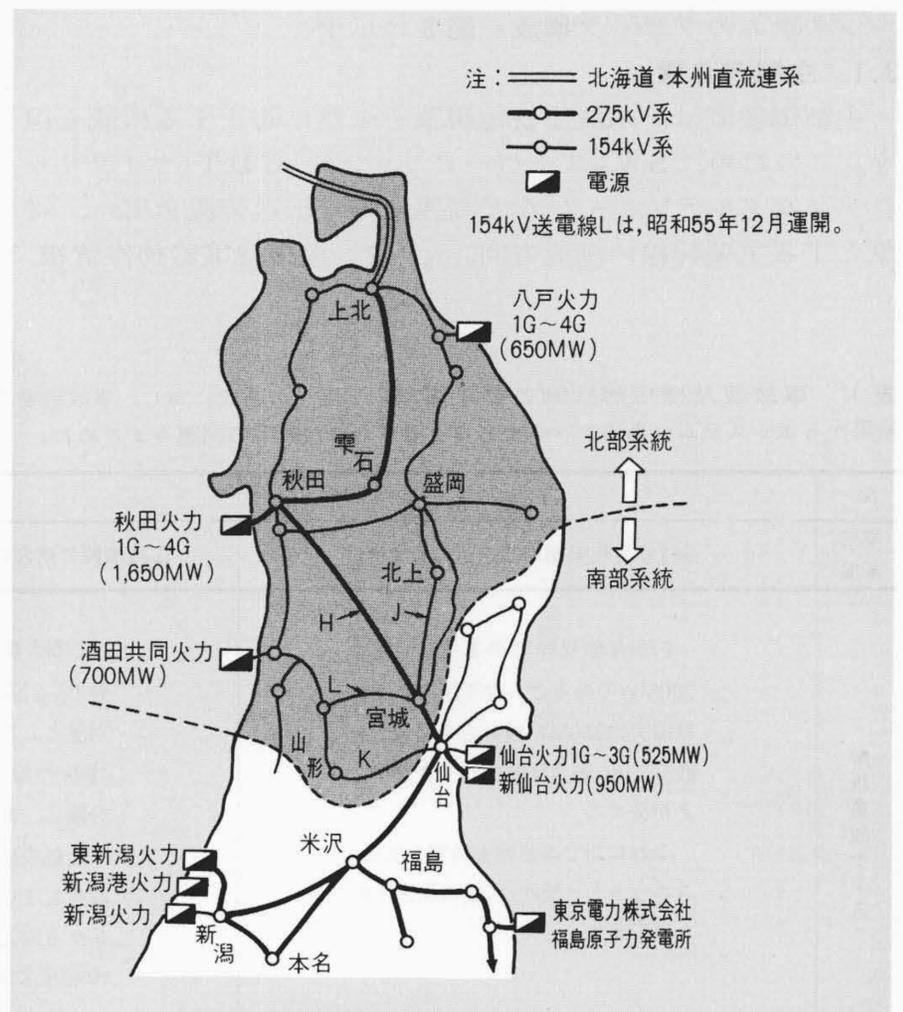


図1 システムの適用対象系統 本システムは，図中の点線上部に位置する北部系統を対象としている。北部系統の火力発電所が高出力運転時には275kV奥羽幹線Hなどループ系統の南下潮流が大幅に増し，系統安定度が著しく過酷になる。

運用されてきており，これまでは満足のゆく実績を取ってきた。

しかし，既設の275kV-154kVループ系統の中で北部系統に，秋田火力発電所4号機(600MW)を導入すると，流通設備の運用潮流は一段と増大し，従来のローカル処理の安定化装置では対応しきれず，北部系統電源の出力制御が必要となるなど，需給運用上，重大な支障を来すおそれがあった。<sup>2)</sup>

\* 東北電力株式会社技術部 \*\* 東北電力株式会社工務部 \*\*\* 日立製作所大みか工場

2.2 事故波及様相と安定化対策

表1は、図1のシステムに対し事故前潮流、事故除去時間などをパラメータとして事故波及様相を解析した結果の代表ケースをまとめたものである。

この結果から、新しく開発するシステム安定化システムには、次に列挙する機能を具備すべきことが指摘された。

- (1) 広域情報の総合判定により事故波及現象が現われる前に高速度(220~300ms)で最適な脱調未然防止制御を行なう機能
- (2) そのまま放置すると、火力電源の脱落など事故波及に進展のおそれがある電力動揺などのシステム不安定現象の監視機能
- (3) バックアップとして脱調の連鎖的波及を防止する機能

そこで、これら諸機能と、システムの合理的管理を行なうために必要な記録機能とを備えたBSPCを開発し、適用することになった。

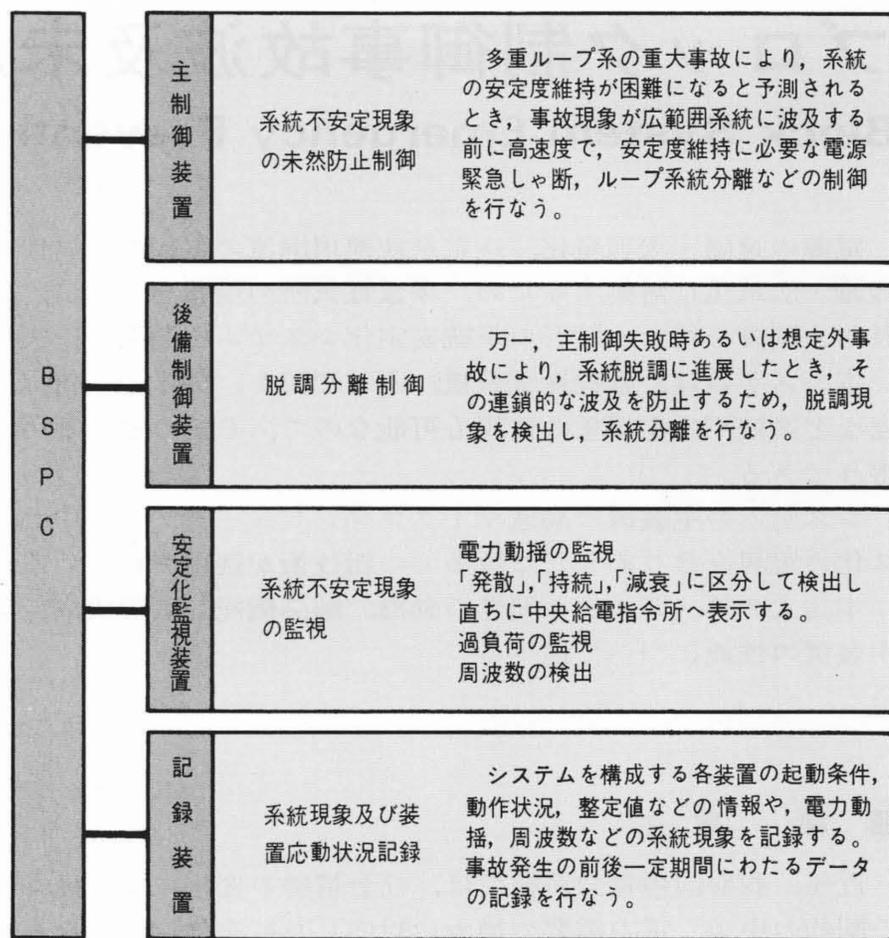
3 システムの構成と機能

本システムは、図2に示すように四つの装置で構成し、事故波及防止制御の体系化を図り電力系統全体が協調のとれた安定運用、高効率運用ができるように十分留意した。

システムのブロック構成を図3に示す。

3.1 主制御装置

主制御装置は、システム不安定現象を未然に防止する機能を担う。このため、SV(スーパービジョン)、CDT(サイクリックデジタルテレメータ)など高速度符号伝送装置を用い、対象とする主要幹線の潮流方向、大きさ、保護継電器動作情報、



注：略語説明 BSPC(Block System Emergency Preventive Control System：ブロック制御事故波及未然防止システム)

図2 システムの機能 本システムは、図中に示す四つの装置で構成し、事故波及及未然防止制御の体系化を図った。

表1 事故波及様相解析例と要求事項 図1のシステムに対し、事故前潮流、事故除去時間をパラメータとして事故波及様相を解析した結果の代表例と、その結果から本システムに具備すべきであると要求された事項の関連をまとめた。

No.	1	2	3
要求事項	システム安定化制御の高速化の必要性	広域情報の総合判定による最適制御の必要性	脱調分離機能の必要性
解析事故ケース	<p>275kV奥羽幹線の事故前潮流が700MWであると、左下図のように秋田火力350MW機1台を緊急しゃ断しても、安定度維持ができないことが分かる。</p> <p>これに対し事故除去時間を0.1s、ユニットしゃ断を0.2sに高速化すれば安定化できる。</p>	<p>275kV奥羽幹線南流690MWの状態、2回線事故が発生。安定化対策として、秋田火力350MW機と154kVJ線、K線のループ系を高速分離し、北部単独系とした例。</p> <p>北部系統周波数は時間とともに収束している。本系統も供給力不足から周波数は低下するが、0.25Hz程度で問題はない。</p>	<p>275kV奥羽幹線が南流400MWで運用中、2回線事故によりしゃ断した結果、北部系統との連系は、154kVJ線、K線だけとなり、これに潮流が重畳したため、秋田火力発電所など北部系火力機が脱調し、そのインピーダンス軌跡が154kVJ線を通過する。これを放置すると仙台系火力にも波及のおそれがある。</p>
解析結果の事故波及現象例			

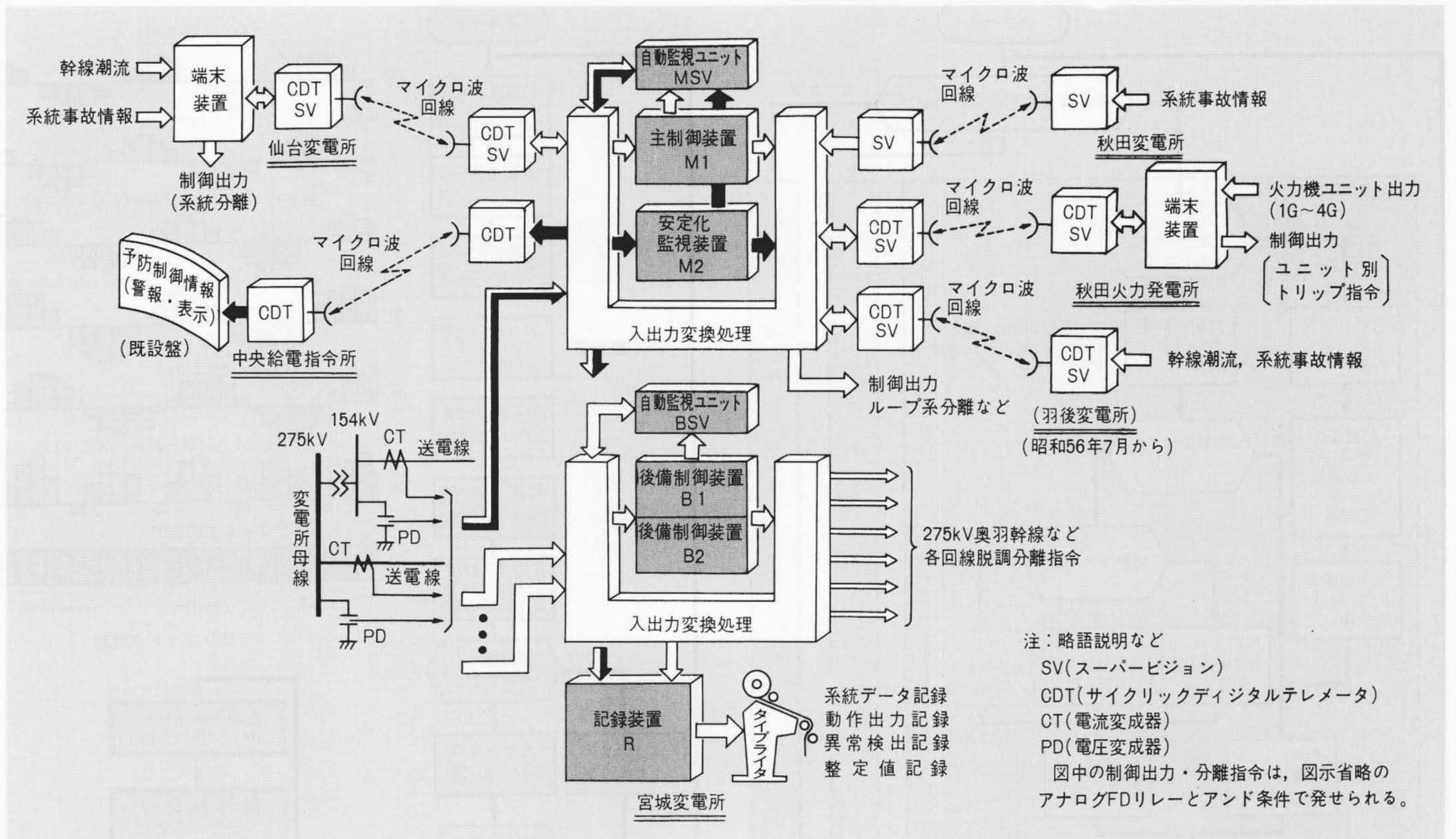


図3 システムのブロック構成 システムの主要部は7台の専用マイクロコンピュータで構成している。遠方電気所の系統情報などはサイクリックデジタルテレメータやスーパービジョンによって収集している。

火力発電所ユニット別出力などの情報を常時所定周期で収集し、万一基幹送電線の2回線同時事故や母線事故などの過酷事故が発生した場合、収集データをもとにその時点の系統運用状態に応じて高速度に安定化制御を行なって、系統脱調への進展を未然に防止する。対象とする主要幹線は、当面275kV奥羽幹線、宮城幹線であるが、装置は将来の系統構成を考慮し、最大5回線まで対応できる。

### 3.2 後備制御装置

上述の主制御に万一失敗した場合、あるいは想定外の系統事故により系統脱調に進展したときに、脱調が更に連鎖的に広範囲系統へ波及することを防止するため、後備制御装置を設け脱調分離を行なう。脱調現象は将来分も含めると六つの幹線で検出し、系統分離は分離単系統需給バランス、及び系統構成を考慮して任意に設定できる。

### 3.3 安定化監視装置

系統での電力動揺、過負荷などの不安定現象を監視し、安定化操作に活用する目的で、次の三機能をもつ安定化監視装置を具備している。

#### (1) 電力動揺現象の検出

定態安定度限界近くで運用中に、電圧や負荷変動などの小外乱が原因で電力動揺など不安定現象が誘発される場合がある。これを放置すると、火力電源の脱落など事故波及に進展するおそれがあるので、ループ系統の主幹送電線である275kV奥羽幹線の電力変動状況を常に監視し、電力動揺状態を発散、持続、減衰の三つに区分して検出し、中央給電所へ表示、警報させ、安定化操作への対応が迅速に図れるようにしている。

#### (2) 過負荷及び周波数検出

ループ系統の275kV基幹送電線しゃ断や電源脱落が起こった場合、154kVループ送電系統が過負荷となるおそれがある

のでこれを監視している。また、主制御装置あるいは後備制御装置による安定化制御を行ない北部単系統を構成した場合、この単系統の周波数変動を検出し、記録させている。

### 3.4 記録装置

システムを構成する各装置の起動条件、動作状況、整定値などの情報や、電力動揺、周波数などの系統現象を記録し、システムの合理的な管理を可能としている。

## 4 制御アルゴリズム

### 4.1 脱調未然防止制御処理

図4は主制御装置M1に具備した処理プログラムを示す。ブロック系統の主要点情報は、一定周期でM1に入力され、処理プログラムの起動は、この周期と同期して繰り返し行なわれる。その実行処理の中で、運用中の系統構成モードの判定が行なわれ、これに従った判断の後、M1用のFD(故障検出継電器)出力を参照し、系統事故発生時には脱調未然防止制御処理を、また平常時には選択しゃ断予測処理を実行する。制御出力は電源しゃ断、ループ系分離及び系統分離の三つに大別されるが、これらは、系統構成モード(I~III)、そのモードに対応して定められる演算対象(A~E)、起動条件、そのときの事故前潮流レベル、整定値として与えられる基準潮流レベル(P10, P11, P20~P24)などから、実行処理の中で判断され単独又は併用の形で発せられる。

### 4.2 脱調分離処理

後備制御装置での脱調検出は、対象系統の電圧、電流瞬時値のサンプリング情報をもとに、脱調時の系統インピーダンス軌跡が、四辺形距離継電器で構成される三つの領域を順次経過することを確認して行なう。その要素距離継電器の演算アルゴリズムには、積演算法<sup>3)~5)</sup>をベースとした方法を採用

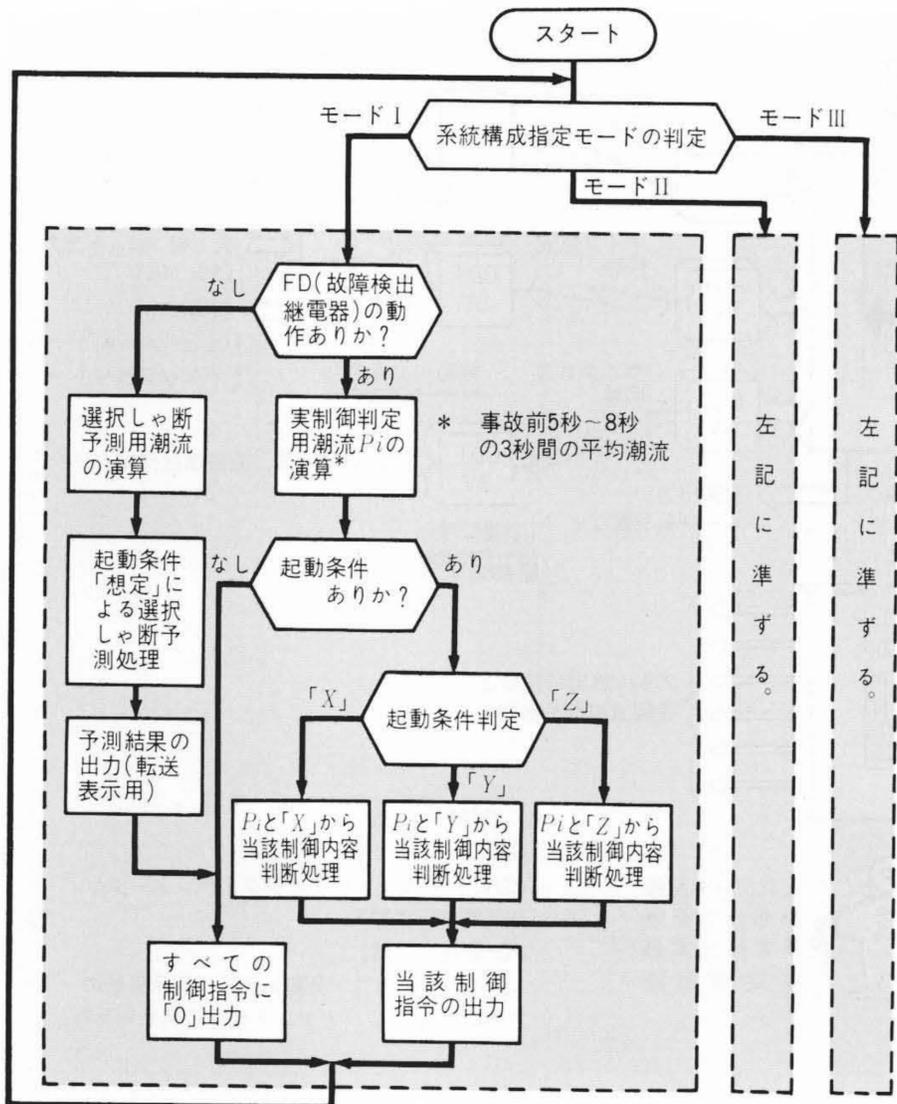


図4 脱調未然防止制御処理のフロー図 本システムでは、将来増設分の系統構成などを考慮し、当初から三つの系統構成モードに対する制御プログラムを内蔵している。そして、スイッチの切換で容易に運用系統構成モードの変更に対応できるようにした。

用した。図5に、そのフロー図<sup>4)</sup>と各ステップの演算結果を波形形状で示す。

### 4.3 電力動揺検出処理

安定化監視装置での電力動揺の検出は、時系列的に演算される対象系統の瞬時電力 $P(t)$ の大きさが、所定期間の $P(t)$ をもとに求めた平均電力 $P_{av}(t)$ を境に、上下方向に交互に整定偏差 $|P_{K1}|$ を超えて振動状態を示すか否かで判別する方法を採った(図6)。電力動揺は、電力系統の特性から周期が0.7~3.0秒で、正弦波状に変化するが、その時間的変化の傾向が同図の三つのパターンのうち、いずれの傾向にあるかを精度良く判定する処理方法も考案して採用した。

### 4.4 周波数検出処理

周波数の検出には、交流の瞬時値を一定周期で連続的にサンプリングした情報で、その極性符号が変化する近傍の情報ほぼ直線的に変化することを利用し、600Hzサンプリングでありながら0.05Hzの分解能という高精度で周波数を検出することを可能とした。

## 5 ハードウェア

### 5.1 マイクロコンピュータ

本システムを構成する四つの装置には、自動監視ユニットも含め合計7台のマイクロコンピュータを用いた。

図7にその主な具備機能と特長を示す。

### 5.2 ファンレス化

本システムでは、極力低消費電力のICを使用した。マイクロコンピュータの演算処理部にバイポーラ形LSIも採用している。LSIの消費電力は通常のICに比べ大きく、

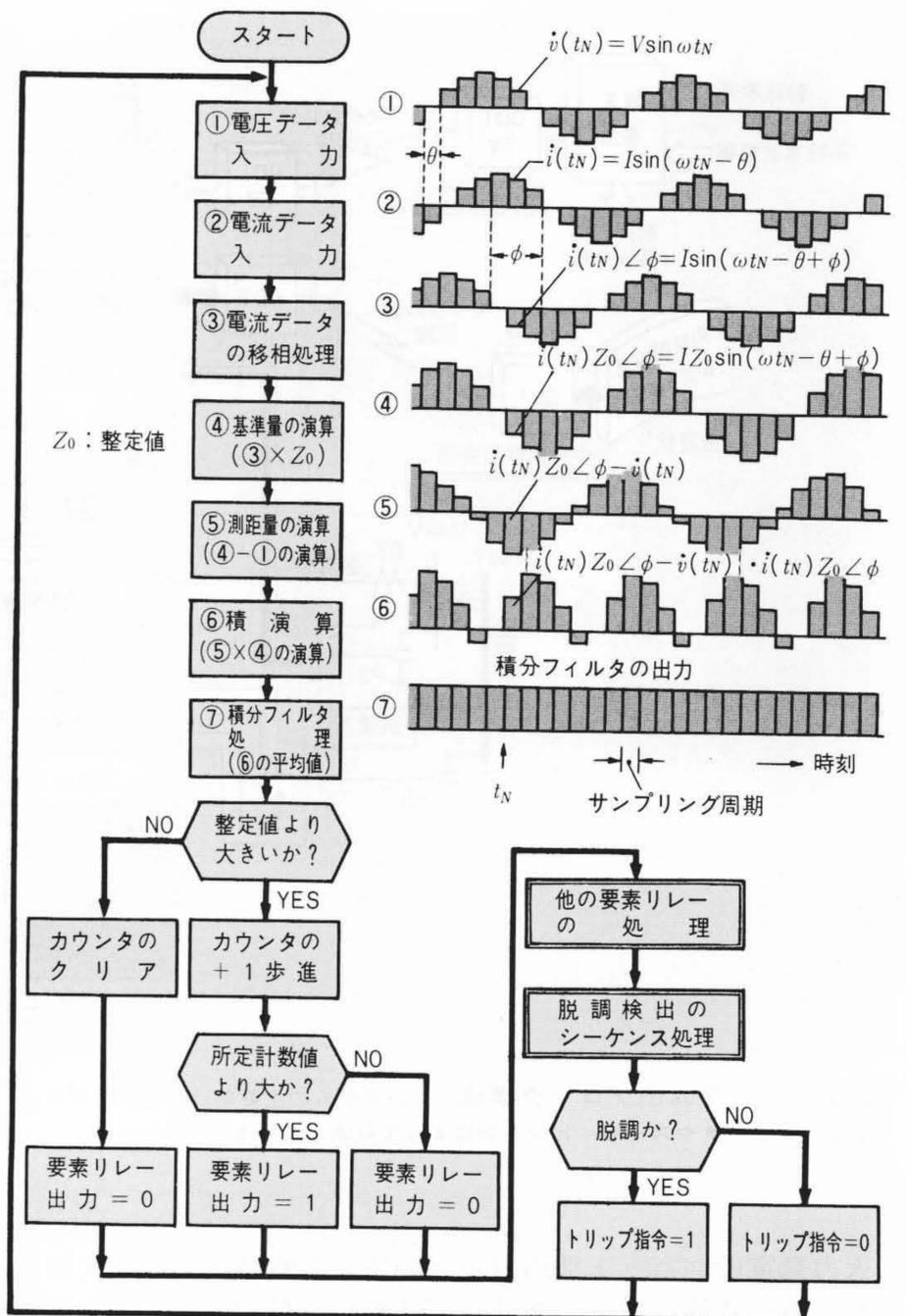


図5 脱調検出処理のフロー図 時々刻々変動する系統の電圧、電流瞬時値データから、積演算法により脱調検出に用いる四辺形距離継電器用の、高精度の要素継電器(リアクタンス継電器及びブーム継電器)を実現している。

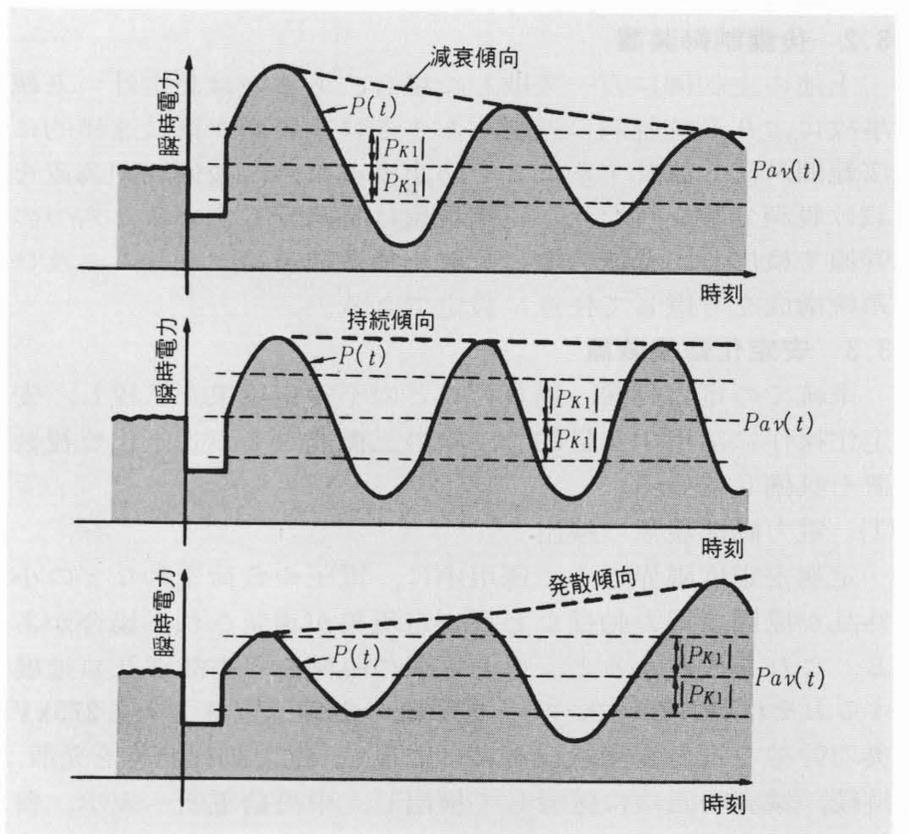


図6 電力動揺の検出処理 電力系統では多くの発電機が同期を保って運転される。ここに、負荷や電圧変動などの小外乱が発生すると、系統の電力がある周期をもって振動する。この現象を電力動揺と呼ぶが、本システムでは、これを「発散」、「持続」、「減衰」の三つに区別して検出する。

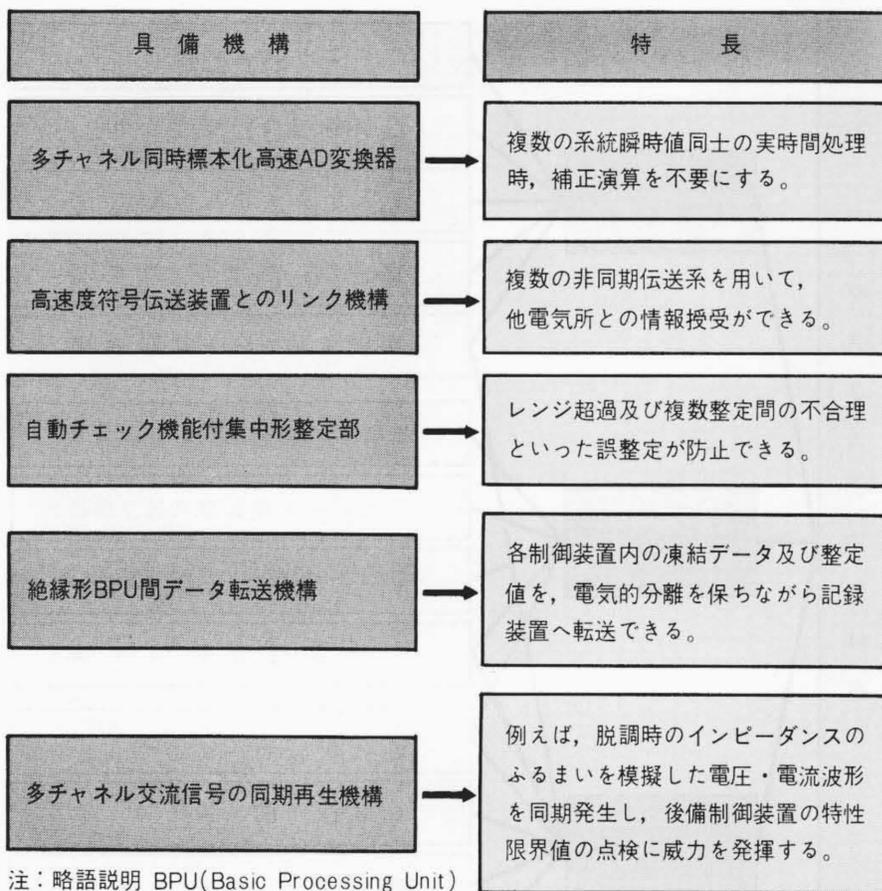


図7 マイコンコンピュータの具備機構と特長 高性能、高信頼度の装置を実現するため、これらの機構を備えている。

そのジャンクション温度及び盤内温度上昇が、素子寿命、動作安定性確保の点から無視できないため、通常の装置ではファンなどを用い強制空冷している。しかし、可動部をもつ方式は定期的に保守が必要な欠点がある。

そこで、本質的に故障モードのない冷却(放熱)方式の開発を目標に、モデル実験を含む種々の検討を行なった結果をもとに、図8の諸施策を採用し、ファンレス化を実現することができた。

### 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、適正な低減定格設計の実施、各実装レベルでのノイズやサージ防護策などの基本的事項のほか、次に列挙する信頼度向上策を講じた。

- (1) バックアップ機能を完備させ、盤構成も分離させた。
- (2) 誤動作防止対策としてFD(故障検出要素)を完備した。
- (3) 自動監視機能の充実により、装置不具合発生時の早期発見及びブロック単位のローカライズを可能とした。

### 7 試験結果

本システムは、工場試験で所期の制御動作を行なうことを確認後、現地に搬入、据え付けた(図9参照)。そして実運用に先立ち、各制御装置はもとより伝送系及び火力発電所と変電所の端末装置をも含めた総合動作試験を実施した結果、各装置とも所望の性能をもっていることが確認された。

代表的な試験結果を以下に述べる。

- (1) 脱調未然防止制御の仕上り時間

図10に、主制御装置M1による秋田火力4号機しゃ断試験時のオシログラムを示す。これより、M1の演算処理時間は26msと高速であること、起動時間から制御のためのしゃ断器開極時間までの総合動作時間が200ms(自所起動)であることが確認できた。また、遠方起動の最悪ケースでも290msで、仕様条件300

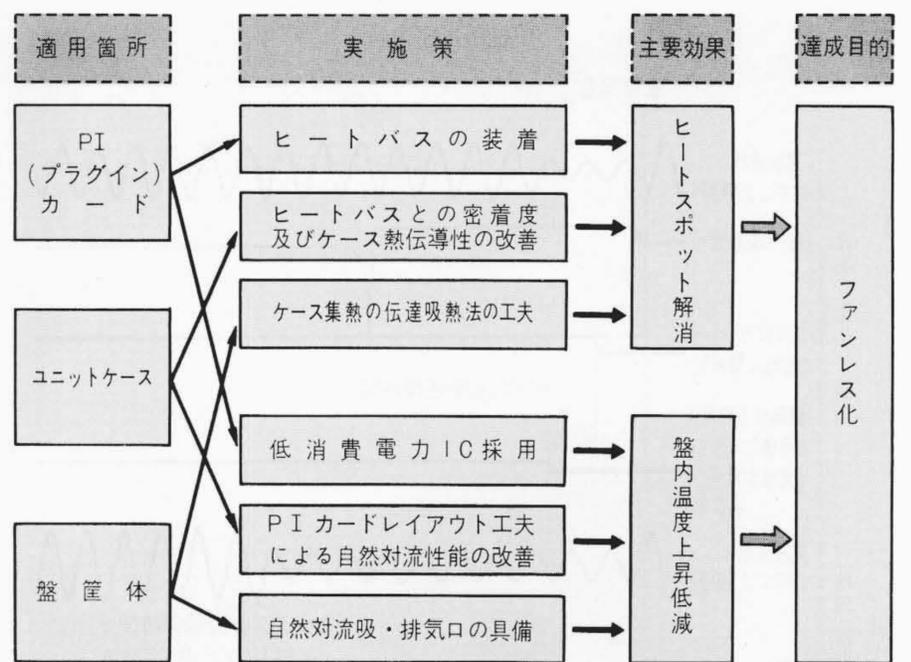


図8 ファンレス化のための施策 故障モードのない放熱手法により、ファンレス化を実現することをねらいとした。



図9 装置の整定表示パネル 本システムは、遠方電気所の端末装置を除けば、主制御装置3架、後備制御装置2架、記録装置1架及び電流合成変流器盤1架の7架で構成している。

ms以下を満足し高速度制御の目的を達することも確認した。

- (2) 脱調検出動作

図11は、工場の模擬システムでの脱調試験時の後備制御装置内各部判定処理結果のオシログラムである。各要素継電器の判定処理が、系統インピーダンス軌跡の移行に従った忠実な検出動作を行なっていることが認められる。

### 8 システムの特長と適用効果

本システムの主な特長を要約して図12に示す。

本システムの適用により次のような効果がある。

- (1) これまで300MWであった基幹送電線の運用限界潮流を700MWと2倍以上に向上でき、新設ユニットを含む火力発電ユニットのいっそうの効率運用が可能となった。
- (2) 大規模ループシステムの重潮流運用中に、万一システム事故が発生しても事故波及を未然に防止できる。
- (3) 電力システムのクリティカルな運転状態で発生する電力動揺現象など、システム不安定状態の発生を直ちに検出し、安定化操作に活用できる。

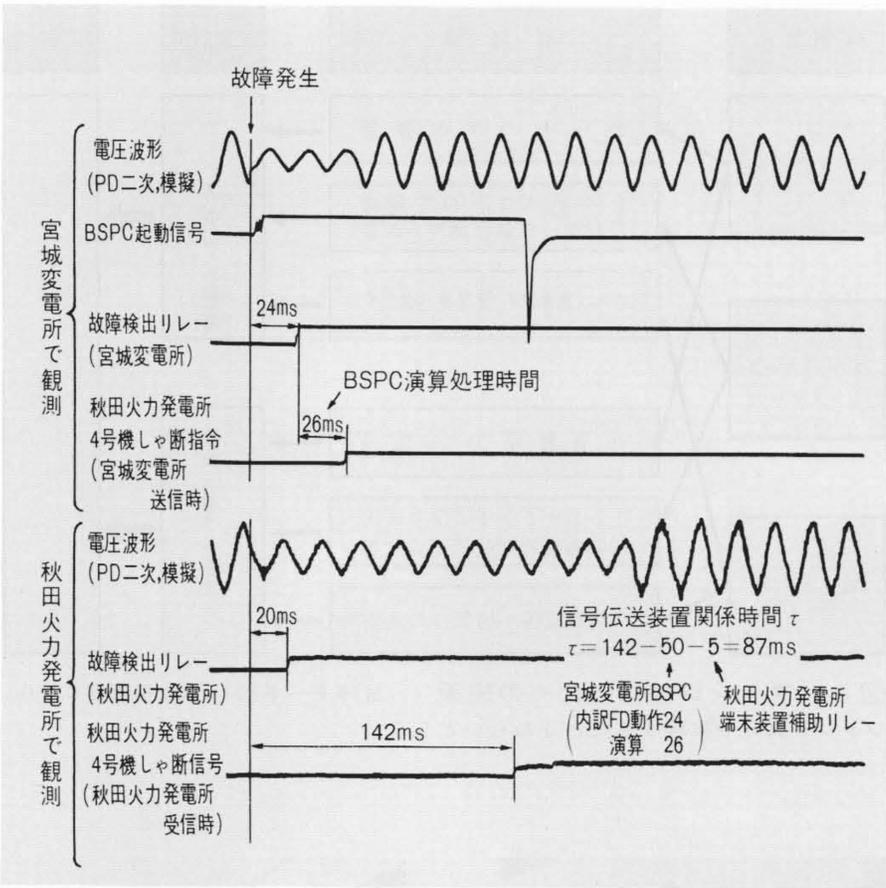


図10 主制御装置による秋田火力発電所4号機しゃ断試験のオシログラム 新設の秋田火力発電所4号機のFCB(ファーストカットバック)所内単独試験と協調をとって実施した。主制御装置が26msと高速動作を示すこと、及び秋田火力発電所での端末装置動作、しゃ断器開極時間をも含めた総合動作時が200msと十分高速動作を示すことが確認された。

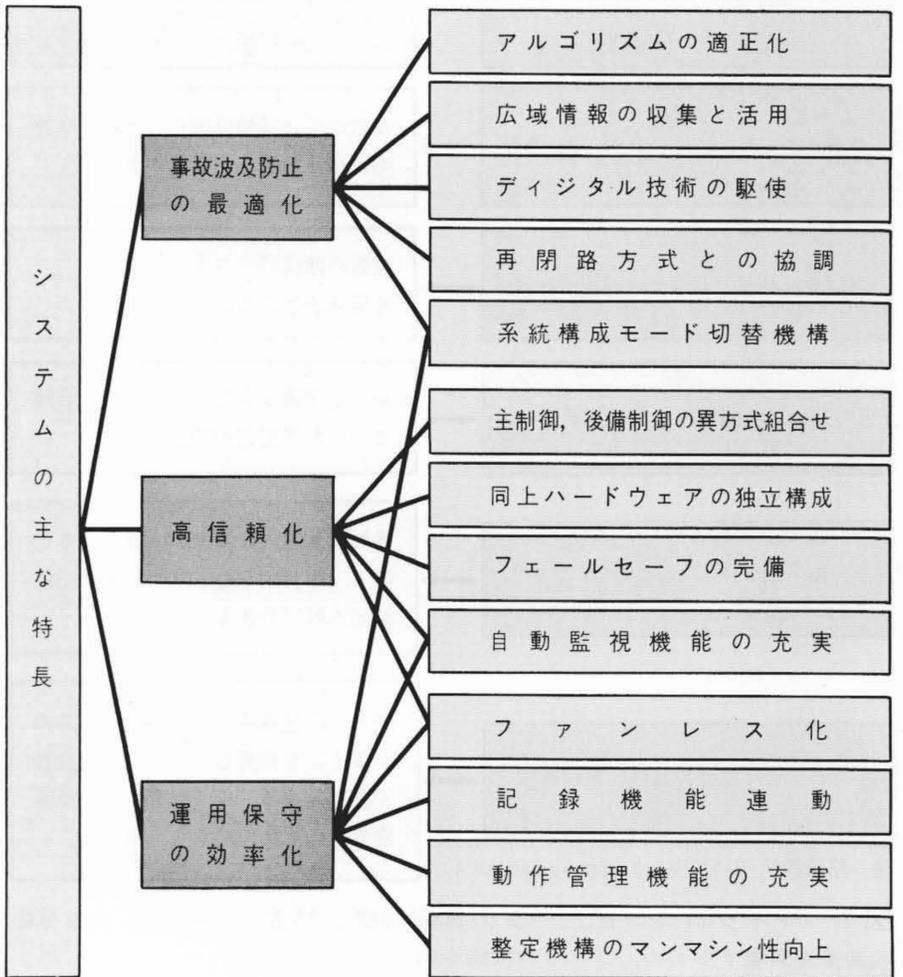


図12 本システムの主な特長 新技術の積極的な導入により、本システムに課せられた高度の機能を実現した。

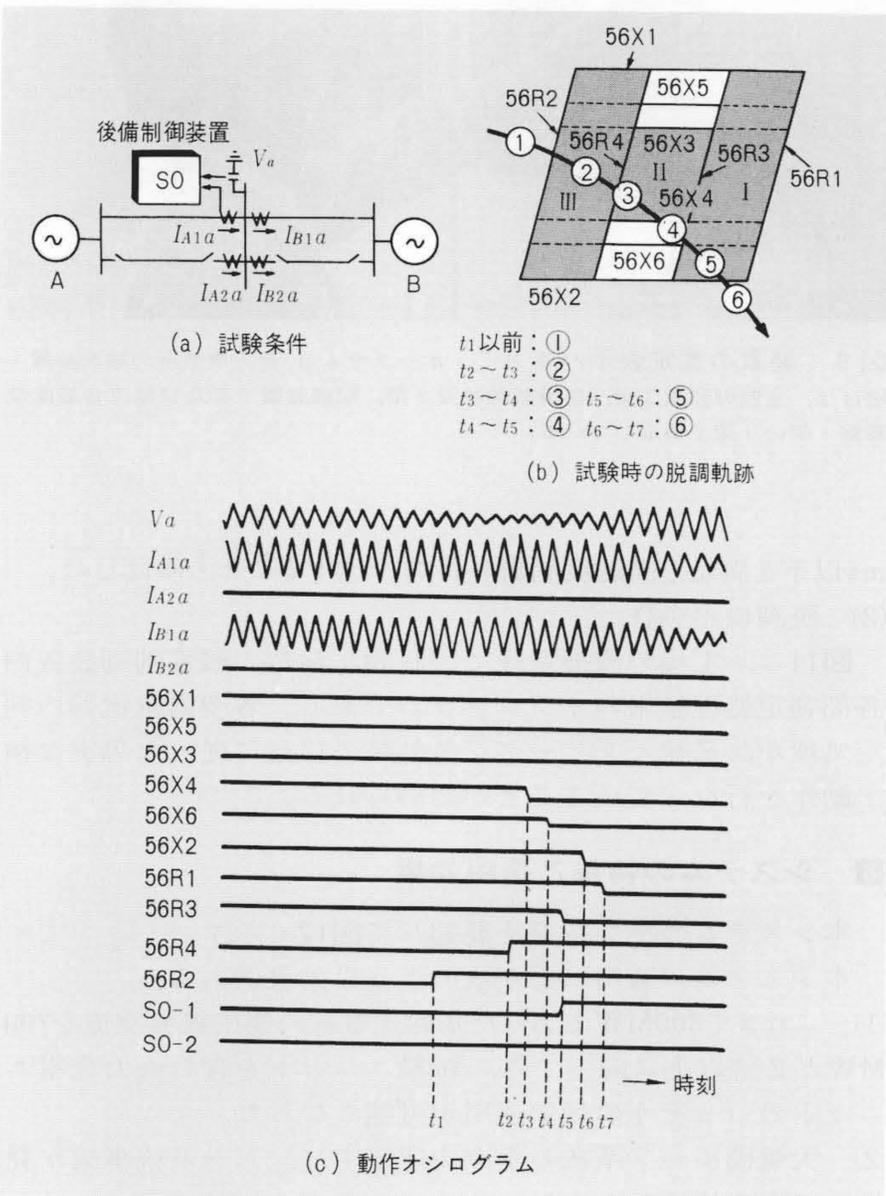


図11 後備制御装置の動作オシログラム 脱調時のインピーダンス軌跡①～⑥の検出は、デジタル演算処理によるリアクタンス継電器要素56X, オーム継電器要素56Rを組み合わせた三つの四辺形距離継電器I, II, IIIを用いて行なっている。

9 結 言

電源の大型化、基幹送電システムの運用潮流増大などに伴う多重ループシステムの事故波及現象の複雑・広域化に対処するため、マイクロコンピュータ及び高速度符号伝送装置を主体に、デジタル技術を駆使した新しい電力系統事故波及未然防止システムを開発し、実用化した。本システムは、東北電力株式会社宮城変電所に設置され、昭和55年6月から当社仙台以北ループシステムを制御対象に運用を開始しており、電力の安定供給、設備の効率運用に威力を発揮している。

今後、脱石油を目指した電源の大形化、遠隔化、送電システムの長距離化などが進む中で、本システムの実用化は電力システムの構成、運用の効率化、及び供給信頼度の向上に大いに寄与するものと考えられる。

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電力中央研究所電力技術研究所の中島副所長、上之蘭副所長をはじめ関係各位に対して、心からお礼を申しあげる次第である。

参考文献

- 1) 継電方式委員会：事故波及防止方式，電力中央研究所報告，委員会報告178001(昭54-7)
- 2) 若林，外：東北北部ループシステムの故障現象と安定化システムについて，昭和55年電気学会全国大会 822
- 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 Systems, Vol. PAS-96, No.2 March/April, 602~613 (1977)
- 5) 松沢，外：デジタル形保護継電装置，日立評論，61, 779~784(昭54-11)