

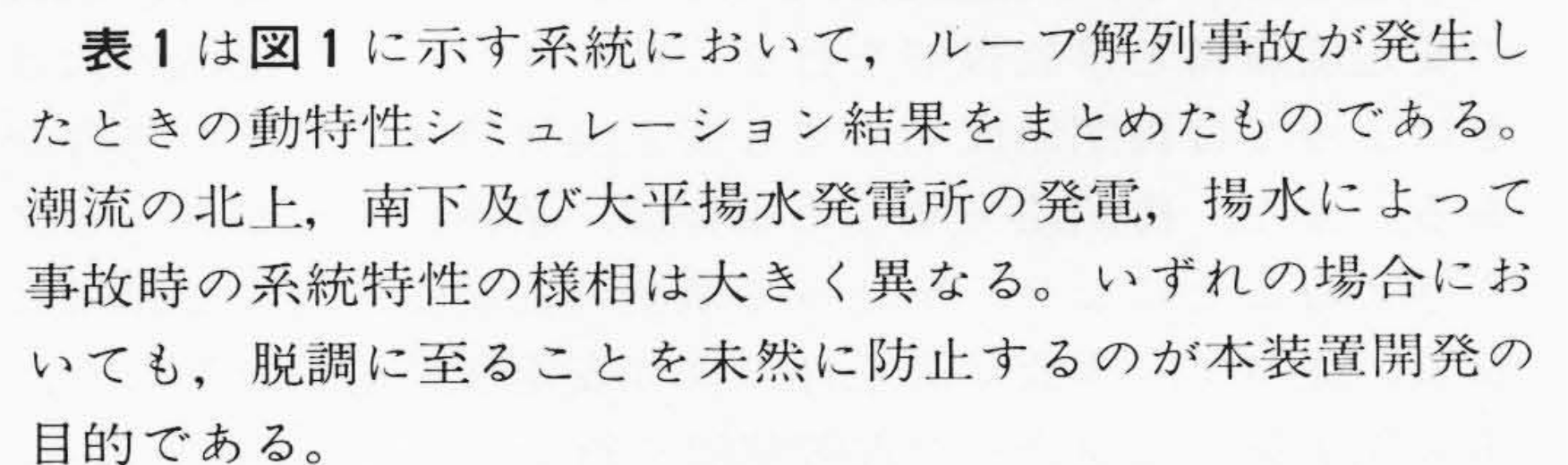
System Stabilizing Control Equipment for Power Systems

本装置は電力系統各所の事故前潮流を入力とし、制御用電子計算機で事故想定区間ごとに高速度再閉路の成功・失敗及び最終しゃ断を想定して電源制限量を算出する。この結果を一時記憶し、一定周期ごとに更新して系統事故情報の受信を待機する方式とした。本方式の適用により、系統事故発生後保護継電装置の動作、事故情報伝送時間を含めて15サイクル以内の高速度で電源制限を完了することができる。この結果、安定送電可能電力の増加に大きな効果を得たので、その制御方式、装置の構成について述べる。

1 緒 言

本装置は電力系統の各所の諸情報を取り込み、制御用電子計算機HIDIC 350を中核として構成されている。以下、電力系統安定化制御方式及びその装置の構成について述べる。

従って、本系統の特性としては、大平揚水発電所の発電、



43

表1 ループ解列事故時の特性一覧表 図1に示す系統におけるループ解列事故発生時の様相について解析した結果をまとめたものである。潮流の北上、南下及び発電、揚水などの系統運用状況により事故時の系統特性が大きく異なることが分かる。

ケース	系統運用状態		ループ解列時の系統の特性	具体的解析例
1	太平揚水発電所 発電時	北上潮流 大の場合	中央ループ系、及び川内発電所のすべての発電機が加速し、中央ループ系、川内発電所が一体となって加速脱調する傾向がある。	
		南下潮流 の場合	このケースは、運用上ほとんどなく比較的安定サイドにある。	
3	太平揚水発電所 揚水時	北上潮流 の場合	太平揚水発電所の発電機は減速し、他の川内発電所、小水力は加速の傾向にあり、系統条件によっては太平揚水発電所は減速脱調、他の発電機は加速脱調の傾向にある。	
		南下潮流 大の場合	太平揚水発電所の発電機は減速が著しく、減速脱調する傾向にある。	
4				

2.2 過渡安定度制御方式

系統の安定度は系統容量（発生と消費）、系統構成（系統間伝達インピーダンス）、事故前潮流、及び事故除去条件（事故除去時間、再閉路成功・失敗）などにより左右される。

系統保護は高速度保護継電方式と再閉路方式が組み合わされて適用される。高速度再閉路を実施することにより、系統の安定度維持と事故復旧を行なうわけであるが、潮流の大きさによっては再閉路成功しても安定度維持ができない場合がある。また、再閉路失敗した場合は、系統に繰返しショックを与えることになり、かえって系統の安定度を害する結果となる。従って、事故除去条件により安定極限電力は異なり、事故除去条件に見合った電源制限を行なうことが必要である。

本方式では常時図2に示すように、系統の主要個所の事故前潮流をサイクリック デジタル テレメータ（CDT）を介して一定時間（例えば5秒）ごとに取り込む。そのデータをも

とにして、図3に示すとおり各想定事故区間ごとに制御量を算出する方式とした。

まず事故前潮流 P_L と2回線三相再閉路失敗時の安定極限電力 P_{RF} と比較し、 $P_L \leq P_{RF}$ が成立すれば、電源制限することなく安定運転継続できる。しかし、この条件が成立しない場合には、なんらかの対策が必要であり2回線三相再閉路成功時の安定極限電力 P_{RS} と比較し、 $P_L \leq P_{RS}$ が成立すれば再閉路失敗時の制御量を算出する。またこの条件が成立しないときには、再閉路成功しても安定度を維持できない場合であり、事故除去に引き続き瞬時に電源制限する必要があり、その制御量を算出する。

また再閉路方式を用いない最終しゃ断時の安定極限電力を P_{FT} とすると、 $P_L \leq P_{FT}$ が成立すれば電源制限することなく、安定運転継続できる。しかし、この条件が成立しない場合は、事故除去に引き続き瞬時しゃ断する必要がありその制御量を

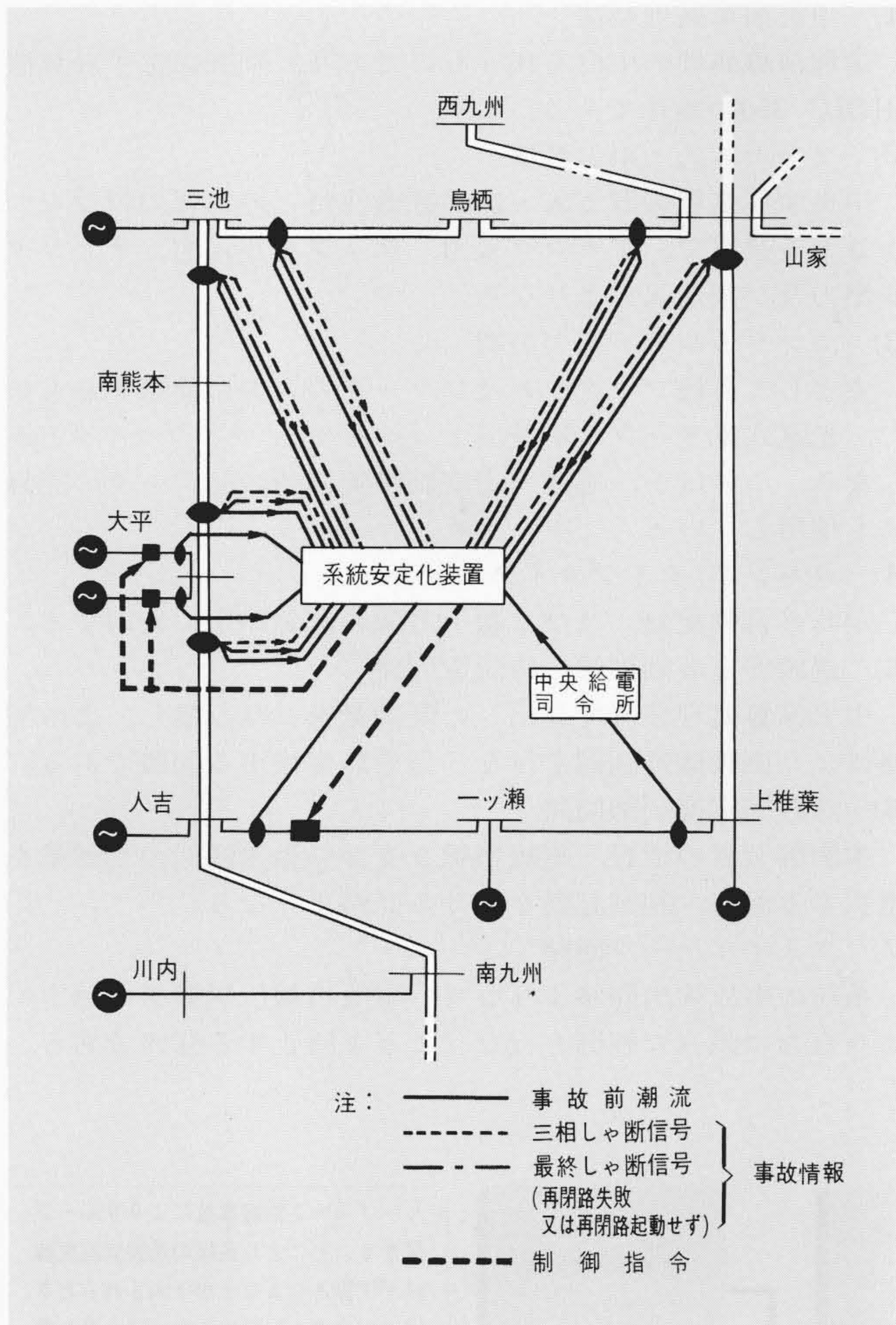


図2 対象系統情報ルート 電源制限量を算出するための事故前潮流と制御起動用事故情報とを系統安定化制御装置に取り込む。

算出する。以上のようにして三つのケースの制御量を事故想定区間ごとに算出し、この結果を一時記憶回路に記憶する。この制御量は一定時間ごとの実潮流で算出更新し、常に最新のデータに基づく制御量を記憶しておき系統の事故発生に対し待機させておく。なお、制御量は事故前潮流により発電、揚水及び北上・南下潮流であるかを判定し、それに基づいて算出する方式とし、あらゆる系統条件に対応できるようにした。

系統に事故発生するとその様相に従って保護継電装置が応動し、事故除去を行なうと同時に三相しゃ断、あるいは再閉路起動しない最終しゃ断の事故情報を送信してくる。この事故情報に基づいて、図4に示すように先に算出し一時記憶した制御量を選択起動して制御指令を出す方式とし、電力系統保護と協調のとれた最適な過渡安定度制御を実現した。本方式を用いることにより、瞬時制御は事故発生から伝送時間を含めて15サイクル以内の高速で制御完了することができる。

2.3 電源制限効果

中央ループ系において事故時、大平揚水発電所の電源制限(発電機解列)を行なうことによって脱調による系統分離を避け、安定運転維持するわけであるが、電源制限量はできるだけ少ないことが好ましい。

従って、電源制限効果を表わす尺度として、

$$\frac{\text{電源制限した場合の安定極限電力増加分(MW)}}{\text{電源制限量(MW)}} \times 100(\%)$$

を用いると、

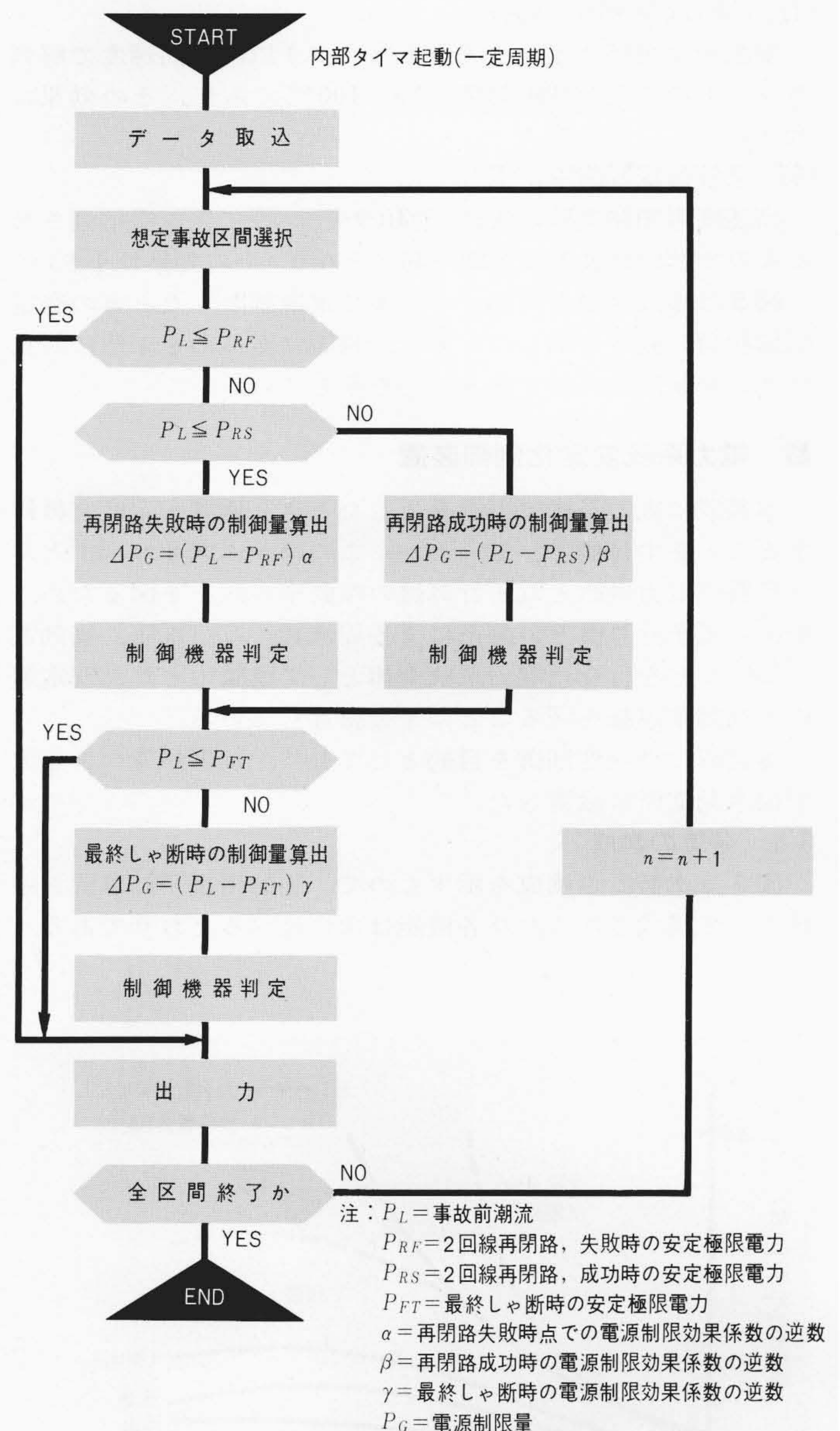


図3 過渡安定度制御量算出フロー 高速度再閉路成功、失敗及び最終しゃ断時の電源制限量を事故想定区間ごとに算出する。また、入力データにより発電、揚水、北上・南下潮流を判定し、あらゆる組み合わせにおける実系統状態に即した制御量を算出する。

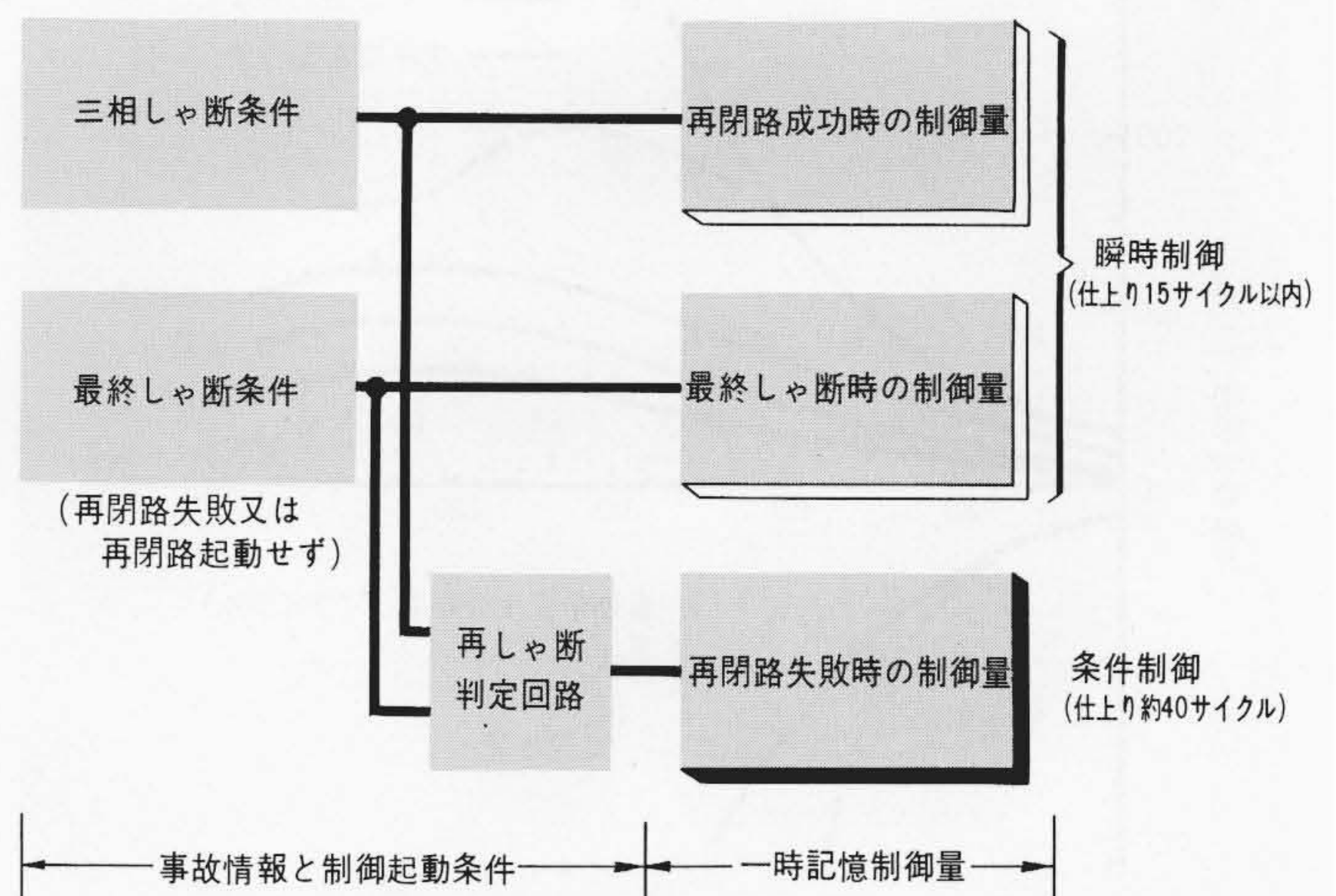


図4 過渡安定度制御起動説明図 系統各所の事故情報を受信し、それに基づき瞬時制御、条件制御を判定して保護継電装置の事故除去内容と十分協調のとれた最適な過渡安定度制御を実施する。

(1) 瞬時電源制限の場合

事故発生後15サイクル(60Hzベース)以内の高速で解列させるもので電源制限効果は70~100%であり、その効果は大きい。

(2) 条件付電源制限の場合

高速度再閉路失敗の条件(約40サイクル)で発電機解列させるもので電源制限効果は20~40%となり、その効果は小さい。

図5は事故発生から15サイクルで電源制限したときの発電機位相角の動きを示したもので、脱調に至るのを未然に防止でき電源制限が有効であることを示している。

3 電力系統安定化制御装置

本装置は電力系統に事故発生したとき、過渡安定度を維持することを主目的としているが、このほかに図6に示すとおり良質の電力供給と電子計算機の稼働率の向上を図るため、中央の電子計算機との連系による周波数、及び電圧、無効電力制御などを行ない電力系統全体として協調のとれた安定運転と高効率運転を図ることに十分留意している。

本装置は高速度制御を目的としており、制御対象のある大平揚水発電所に設置した。

3.1 装置の構成

図7は本装置の構成を示すもので、制御用電子計算機を中核として構成されており各機能は次に述べるとおりである。

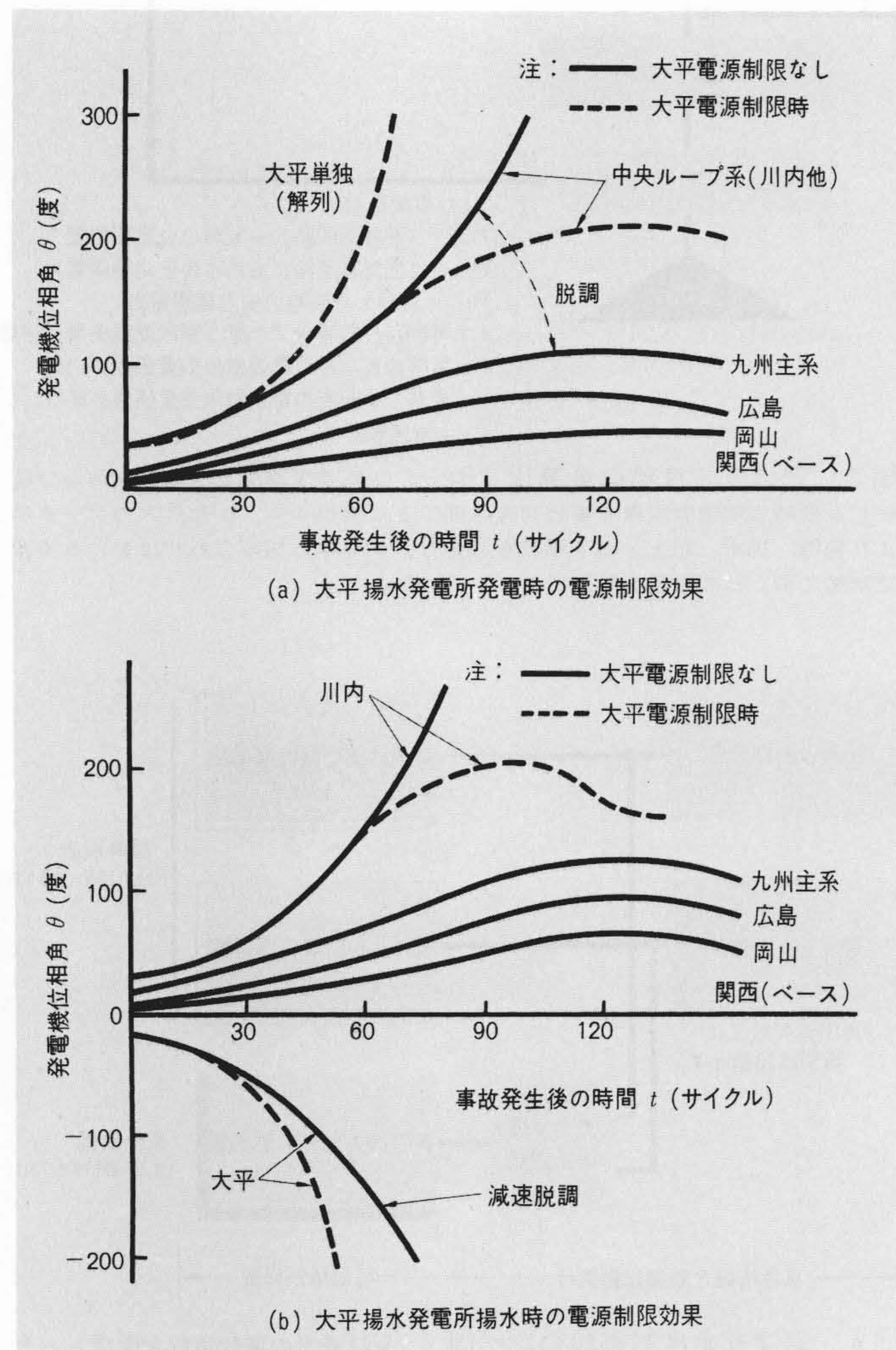


図5 電源制限効果例 発電、揚水いずれの場合も15サイクルで発電機解列すると脱調に至らず、安定運転継続できることが分かる。

(1) 中央演算処理装置

論理演算処理の中核を担うものであり、制御用電子計算機HIDIC 350の本体である。

(2) プロセス入・出力装置

中央演算処理装置と入・出力制御回路との情報の授受をつかさどる装置で、アナログ入力、デジタル入力、デジタル出力及び割込入力よりなる。

(3) コンソール入・出力装置

主として各種プログラム及びデータの入力に使用するもので、光電式紙テープ読取装置とコンソールタイプライタとからなる。このほか、過渡安定度制御実施時の諸データの記録にも使用している。

(4) ロギングタイプライタ

定時の自動記録、及び日報・月報の記録印字に使用する。

(5) 過渡安定度制御量一時記憶回路

中央演算処理装置で算出した制御量を一時記憶し、この回路により直接機器制御を行なう信号に変換する回路である。

(6) 過渡安定度制御回路

本制御装置の活殺、事故情報を受けて当該区間の制御量を選択する回路、制御起動をかける回路よりなる。

(7) フェイルセーフ回路

系統の事故検出回路よりなり、事故情報伝送装置の障害により直ちに誤った制御を行なうことを防止する回路である。

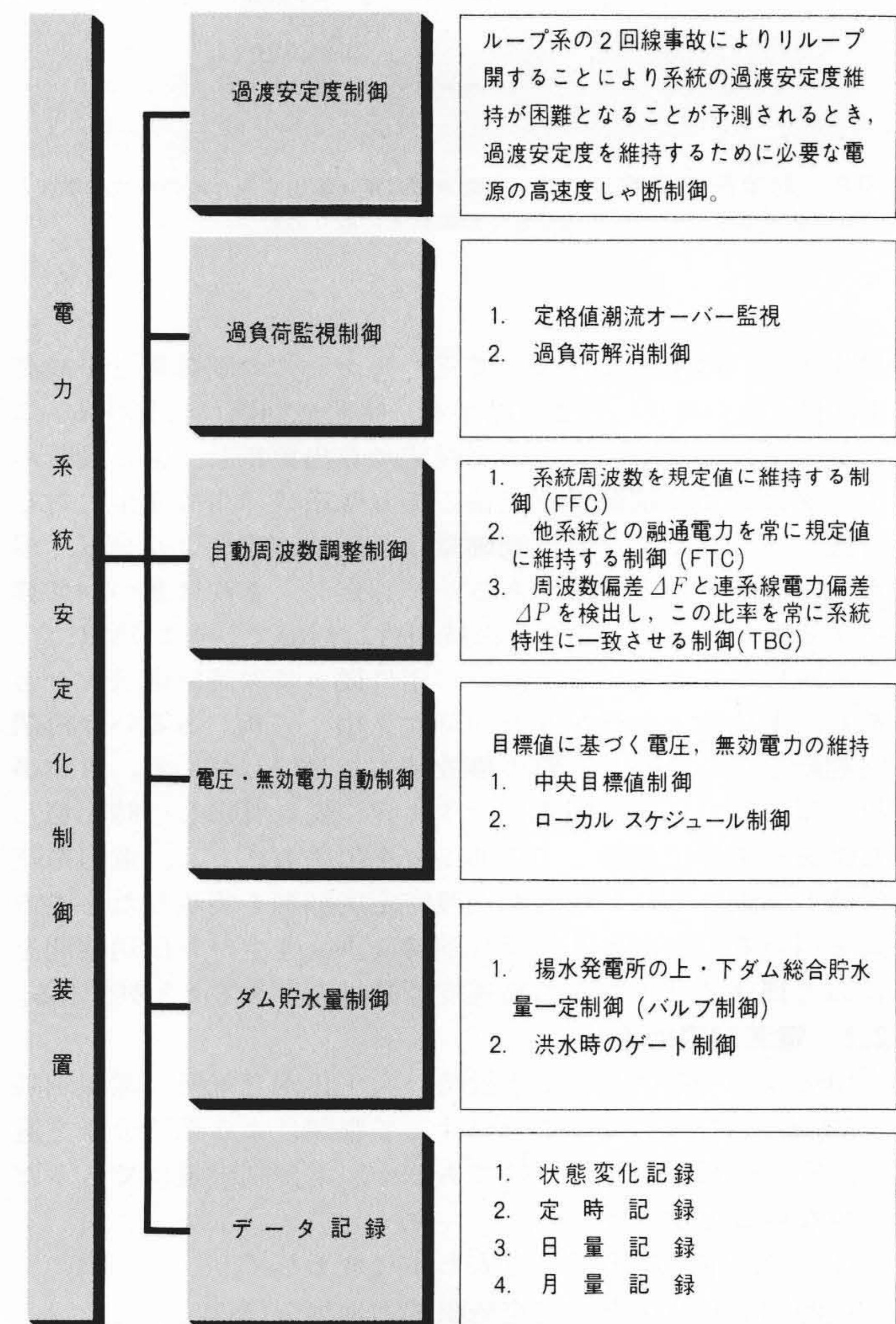


図6 電力系統安定化制御装置制御種別説明図 電力系統安定化制御装置で実現している機能を示す。

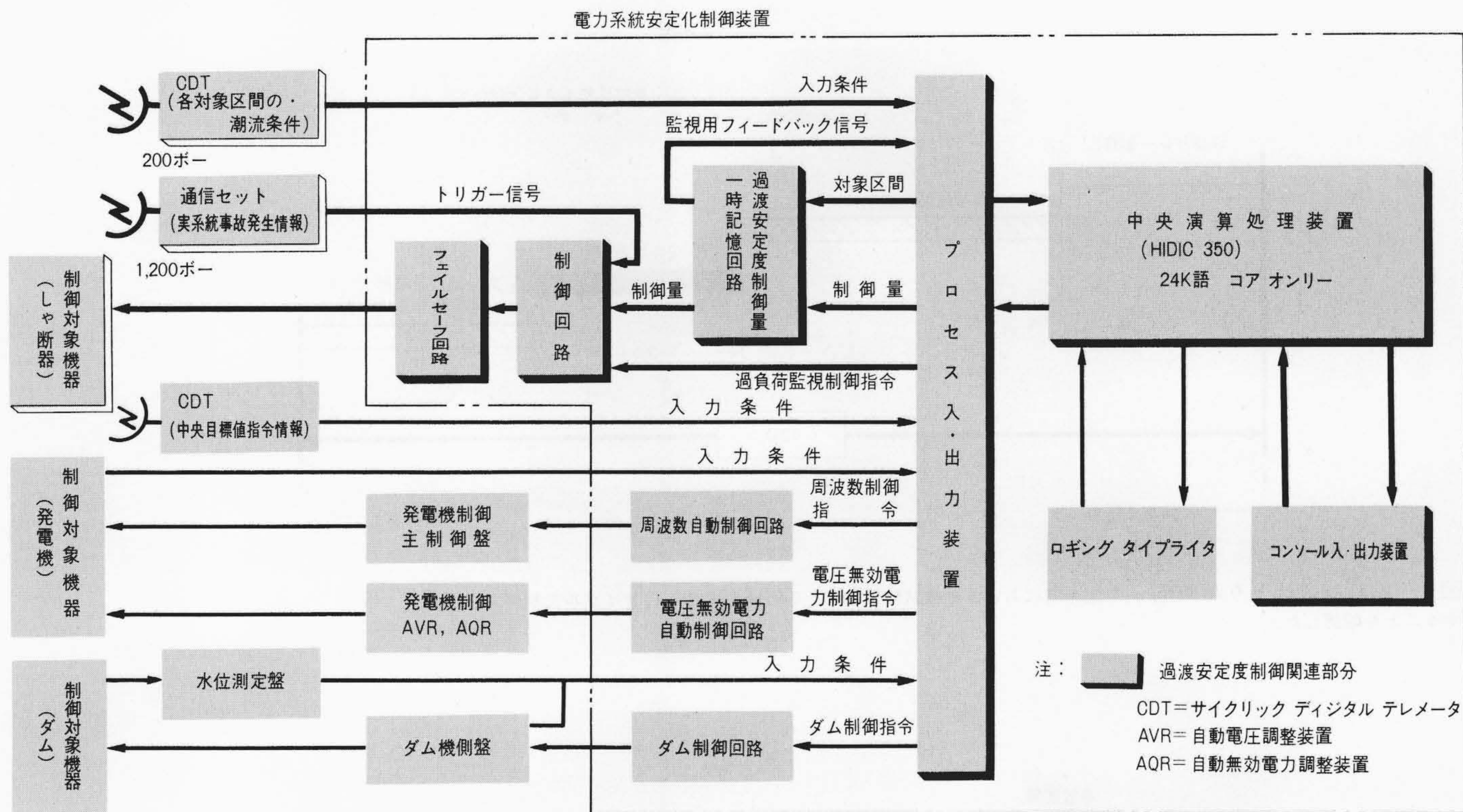


図7 電力系統安定化制御装置構成図 本装置は制御用電子計算機HIDIC 350を中核として構成し、一時記憶回路の状態フィードバック、フェイルセーフ回路の付加により、信頼度の向上を図っている。

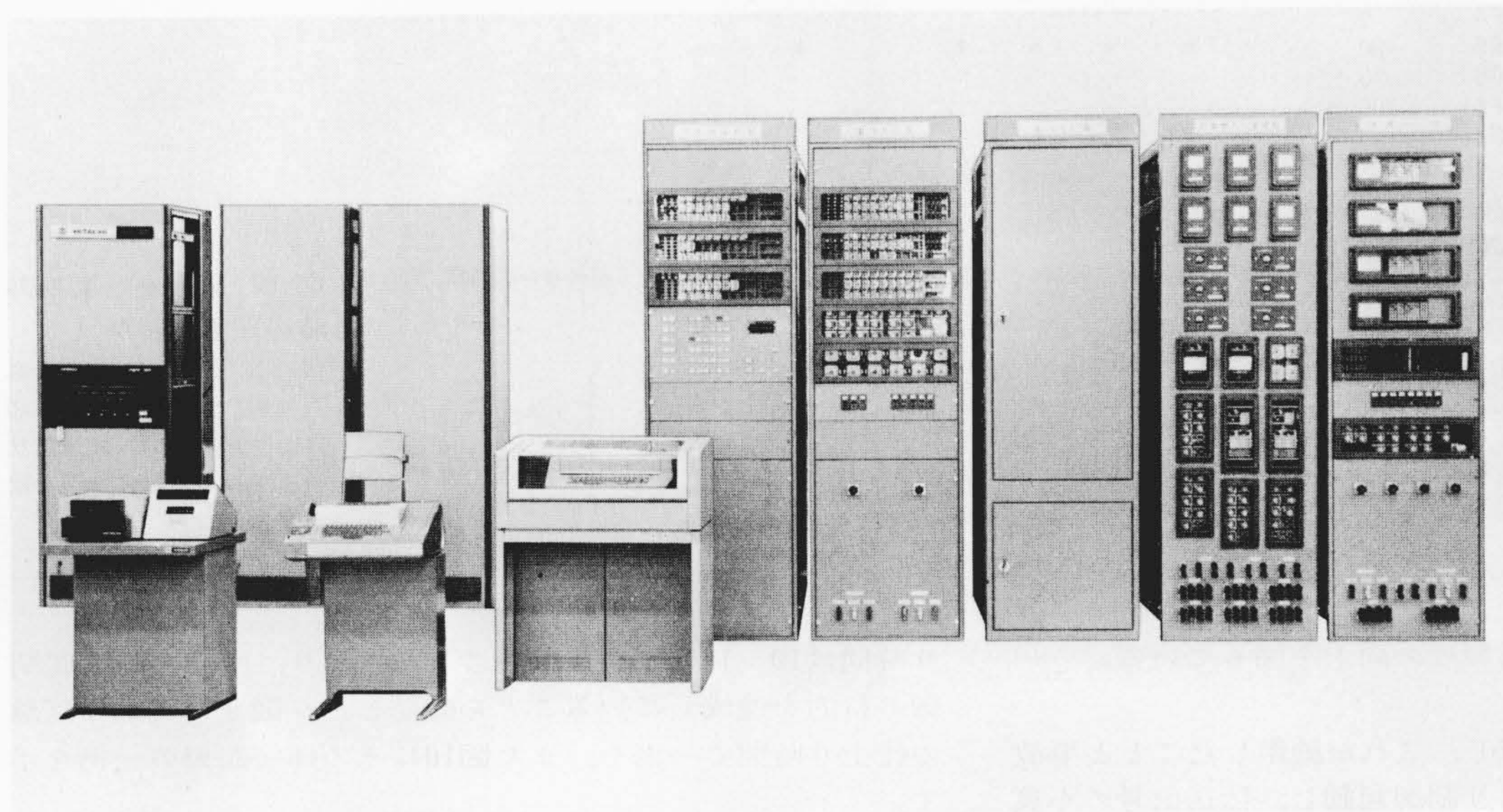


図8 電力系統安定化制御装置 電力系統安定化制御装置の外観を示したもので、左3面は電子計算機制御関係、右5面は過渡安定度制御用入・出力制御関係で右端は後備過渡安定度制御装置である。

(8) 各種自動制御回路

電子計算機出力により周波数制御、電圧無効電力制御、及びダム貯水量制御を実施するための信号変換する回路よりなる。

図8に本装置の外観を示す。

3.2 信頼度の向上

本装置は主幹系統に設置し、電力系統の安定運転維持を主目的とするため誤動作、誤不動作が系統に与える影響は非常に大きい。方式上信頼度の向上を図るとともに、装置自体の障害に基づく不正動作をも防止するため、装置の信頼度向上にも細心の注意をはらっている。

(1) 入力データ及びプログラムの確認

入力データ ビットをカウントし、奇数か偶数かを判定して

通信セットの奇数パリティとの照合判定、及び複数回取込方式により入力データの確認を行なうほか、演算開始に先立って試算プログラムによるプログラム内容の正常を確認する。

(2) 出力監視

演算結果に基づき一時記憶回路を更新するが、所望のとおり更新されたか否かを計算機制御部へフィードバックし、更新ごとに判定監視する。また制御用デジタル出力は、すべて一定時間幅のパルス信号を出すようにしており、この時間を経過してもなお出力が継続しているか否かを常時監視するなど、障害の早期発見に努めている。

(3) 情報伝送系の2系列化

事故情報は通信セット、伝送路とも2系列化し、オア条件

注：単位はサイクル(60Hzベース)

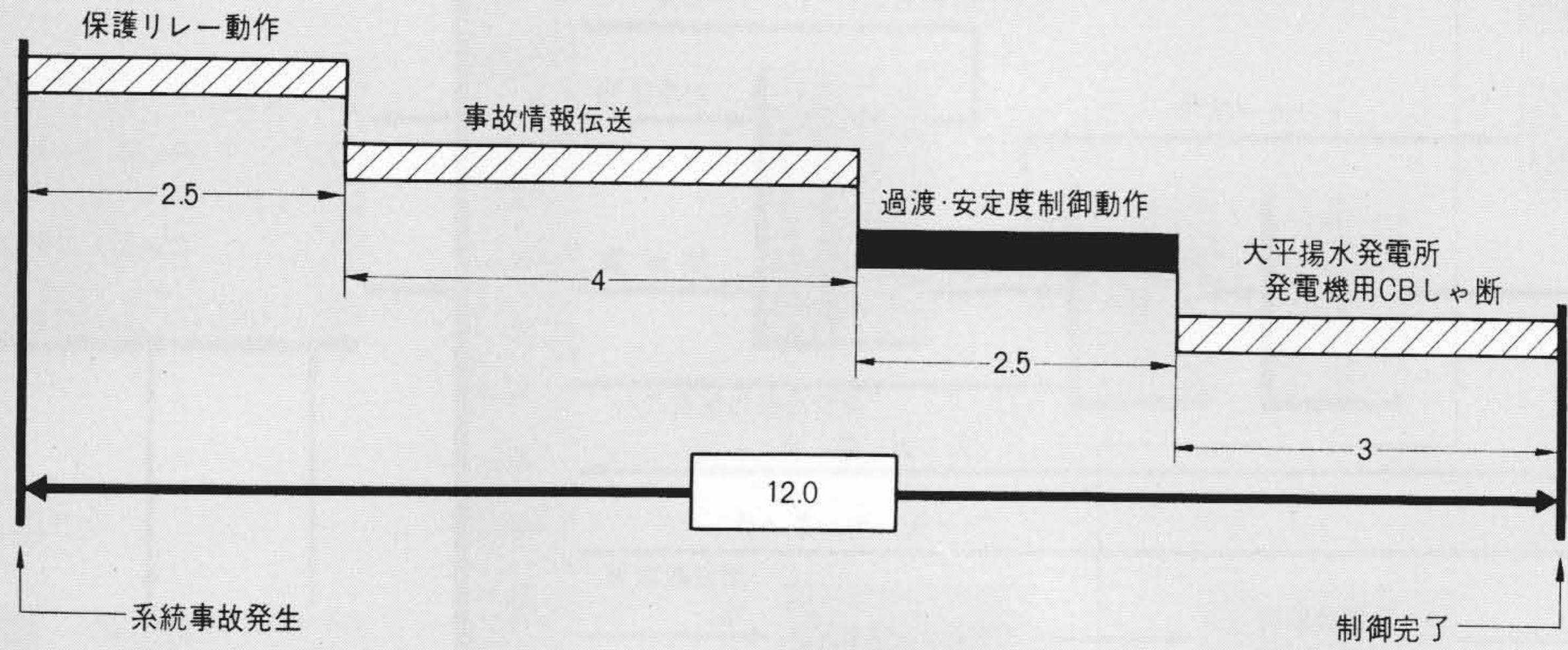


図9 瞬時制御仕上り時間例 実系統における動作試験の結果、各区間とも10～14サイクルで制御完了することを確認した。

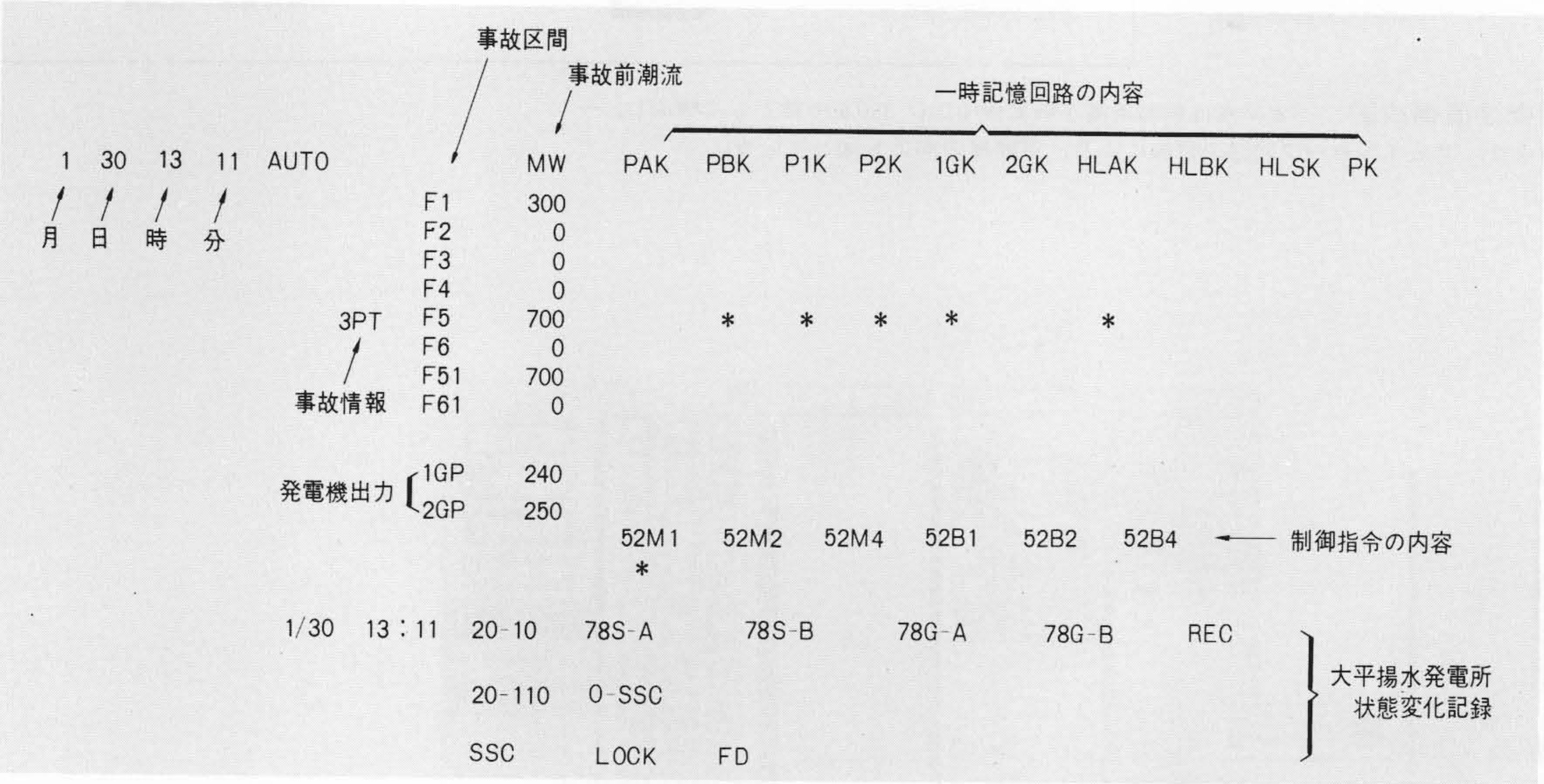


図10 過渡安定度制御時の印字記録例
本装置では事故前潮流、事故情報、制御指令などを印字し、制御時の系統運用状況、及び装置動作状況を記録する。

で使用するにより動作信頼度の向上を図っている。

(4) フェイルセーフ回路

系統事故検出継電器を設置し、これが動作したと事故情報信号とのアンド条件により制御起動し、伝送信号の不具合による誤った制御を防止している。

(5) 過渡安定度後備制御装置

線路潮流は熊本中線(大平～南熊本間)の潮流で代表し、これと発電機出力を方向要素付過電流継電器(発電機出力2段、線路潮流3段)で検出してこれを組み合わせ、判定演算を行なう過渡安定度後備制御装置を設けている。従って、制御用電子計算機による主制御装置が保守点検時、又は装置自体の不具合時には、直ちに後備制御装置に自動切換を行ないアベイラビリティの向上に努めている。

4 試験結果

工場において各種入力データを模擬し、所期の制御動作を行なうことを確認した。更に現地据付後、実際の伝送回線を用いて各区間ごとの動作試験を実施した結果、瞬時制御仕上

り時間は10～14サイクル以内に入っており、所期の高速度制御の目的を達成していることを確認した。図9に実動作試験の仕上り時間の一例を、また図10にその印字記録の一例を示す。

5 結 言

主幹系統における系統事故時の現象を解析し、保護継電方式と協調のとれた電力系統安定化制御装置を開発した。

本装置は、工場における詳細な試験の結果良好な成績を収め、引き続き九州電力株式会社大平揚水発電所に据付、調整試験を行なっていたが、昭和50年4月試験を完了した。

本装置の開発は、電力系統の給電運用面における信頼度監視から信頼度制御へと大きく道を開いたものであり、今後、オンラインでその果たす役割は非常に大きいものと信ずる。

終わりに本装置の開発に際し、終始御指導をいただいた九州電力株式会社の関係各位に対し、深く深謝の意を表わす次第である。