

基幹系系統安定化システム (基幹系 SSC)

Emergency Stability Control System for Large-Capacity Interconnected Power System

長江 泰太郎
NAGAE Yasutaro

平野 彰
HIRANO Akira

高崎 耕太郎
TAKASAKI Kotaro

東田 恵美
HIGASHIDA Emi

近年、電力需要増加に対処するため、発電所の新設、電力供給量の増加を進めてきた電力系統は、電源の建設場所の偏在化や大容量化に伴い、送電線事故のケースによっては系統間脱調（電源周波数のずれ）などの大規模電源脱落^(注1)や広域停電へ進展する系統安定度面での問題が生ずる場合も想定される。これに対処するため、オンラインで制御する系統安定化システムを開発した。このシステムは中国電力^(株)系統に連結している西・東・南の系統モデルを瞬時に計算し、オンラインで結果を表示する。

To cope with the recent increase in electric power demand, construction of new power sources, and increasing power flow, the existing 500 kV parallel transmission lines were expanded with an additional route to form a loop configuration. The reinforced power system configuration significantly increased the interconnected power flow. However, our simulation analysis revealed that the increase in the power flow would cause step out between the eastern and western power systems on the occurrence of simultaneous faults in the parallel transmission lines of the 500 kV interconnected transmission system.

In order to maintain the stability of the entire power system operating at 60 Hz, we developed an emergency stability control system. This control system employs an on-line transient stability calculation using a detailed model of the entire power system of Chugoku Electric Power Co., Inc., and coherent reduced power system models that are appropriate to simulate the western, eastern, and southern power systems.

1 まえがき

中国電力^(株)は、近年増加する電力需要に対処するため電源容量増大と送電線拡張を進めており、これに対応する系統過渡（事故発生直後）安定度の維持対策を求められていた。そこで、オンラインの系統情報から過渡安定度計算を行う基幹系系統安定化システム（基幹系 SSC）を開発し、1998年6月に運用を開始した。

基幹系 SSC のホストサーバは、中国電力^(株)内のオンライン系統情報などにより状態推定演算および想定事故に対する過渡安定度計算を行い、系統安定化に遮断が必要な制御対象発電機を求める。一方、親局マイコンでは、ホストサーバでの計算結果と事故検出装置から伝送される 500 kV 送電線の事故情報とを照合し、発電機遮断必要時に最適な制御を行う。

2 システムの構成

発電機の脱調現象は、事故発生後 1 秒以内の速いものから振動しながら 10 秒以降に脱調するものまで多様であり、速い脱調現象に対応するためには、高速で（事故発生後 300 ms から 400 ms 程度）発電機遮断を行う必要がある。そのため、このシステムでは装置を事前演算部と事後制御部に分

(注1) 発電機が事故などにより系統から切り離されること。

け、実系統に則した詳細安定度計算による高精度な制御条件を算出しながら高速な発電機遮断を実現した。

対象の電力系統では複数の想定事故箇所に対して遮断する発電機を限定できることから、このシステムの構成は事故検出装置と制御装置とを分けた構成とした。

図 1 にシステム構成を示す。このシステムは、事前演算を担当する演算装置（ホストサーバ：SSC-P）、事後制御を担当する制御装置（親局マイコン：SSC-C）、事故検出装置（SSC-F）、発電機遮断装置（SSC-T）とで構成されている。

2.1 SSC-P

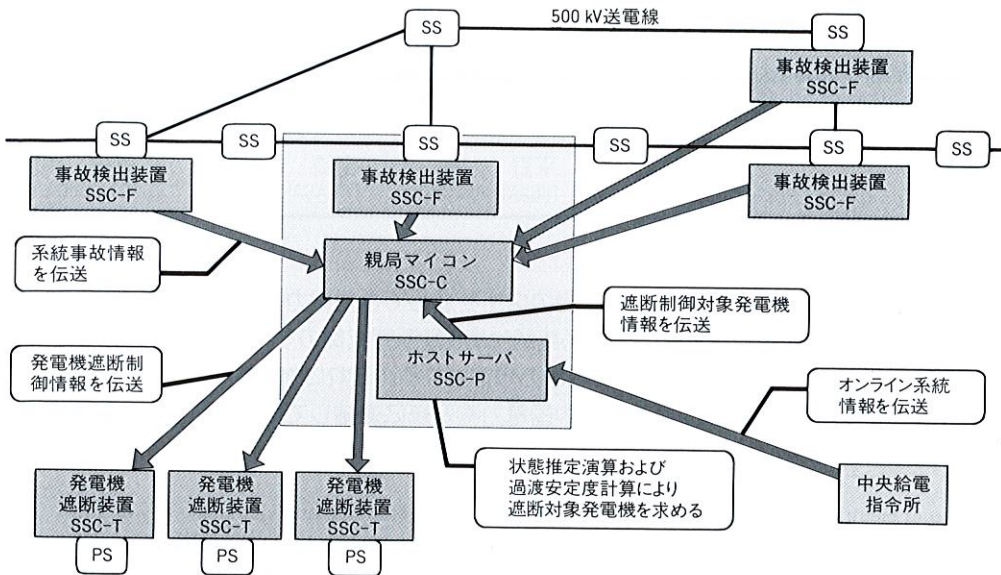
系統のオンライン情報を基に、詳細安定度計算により約 40 ケースの想定事故に対する発電機遮断条件を数分ごとに求め、結果を SSC-C に送信する。SSC-P は中国電力^(株)新西広島変電所に設置されており、図 2 に示す東芝の最新型制御用エンジニアリングワークステーション（EWS）の SX3000 を採用した。

2.2 SSC-C

SSC-F からの事故発生情報を受け取ることで、数分ごとに更新する SSC-P の演算結果に基づき作成した発電機遮断信号を SSC-T に送信する。SSC-P と同じく新西広島変電所に設置されている。

2.3 SSC-F

線路保護リレーの動作情報などから実際に発生した事故の地点・様相（種類）をアンダボルテージ（UV）リレーの動



SS: Sub Station(変電所)
PS: Power Station(発電所)

図1. SSCシステムの構成 事故検出装置(SSC-F)と制御装置(SSC-C)を分け、EWSで構成されている。

Configuration of system stability control (SSC) system

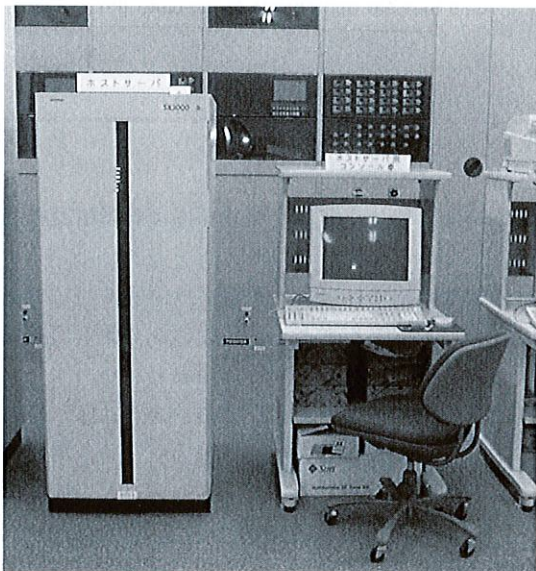


図2. SSC-P ホストサーバにEWS(SX3000)を採用した。External view of SSC-P (processor)

作をフェイルセーフ^(注2)条件にして検出し、SSC-Cへ事故発生を通知する。基幹系統の主要変電所4か所に設置されている。

2.4 SSC-T

SSC-Cからの発電機遮断信号を受信し、フェイルセーフのため、電力変化(ΔP)リレーの動作を条件にして発電機を開閉^(注3)する。遮断対象となる大規模発電所3か所に設置されている。

(注2) システムの一部に故障や誤操があっても、安全装置が必ず働くようになっている機構。

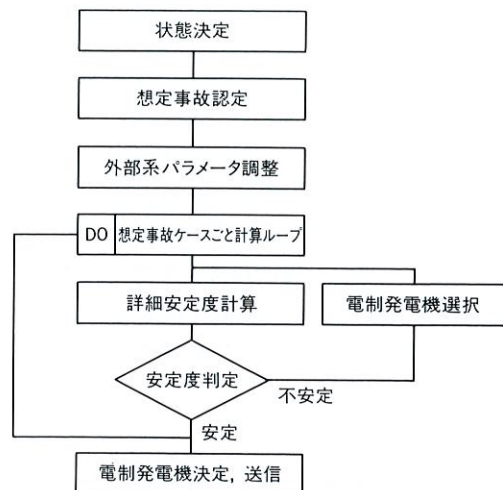
(注3) 系統操作により電力系統から切り離すこと。

3 演算アルゴリズム

SSC-Pでは、電力系統のオンラインデータを基に、多数の想定事故の安定度判定と不安定ケースに対する遮断発電機の選択を数分周期で行う。図3にSSC-Pの演算処理の流れを示す。

各ブロックの機能は次のとおりである。

- (1) 状態決定 オンライン計測値を入力データとし、重み付き最小二乗法^(注4)を用いて、最新系統状態を決定



DO: フローチャートのループ処理を意味し、ここでは事故ケース分処理を繰り返すという意味。

図3. SSC-Pの演算処理の流れ あらかじめ設定された事故ケースに対し詳細安定度計算を行うことにより、事故発生時の安定度を判断し、必要に応じて遮断する発電機を決定する。

Processing flow of SSC-P

(注4) 入力データに重み付けを行い、もっとも確からしい値を計算する統計的近似処理。

する。

- (2) 想定事故選定 最新系統状態に見合った想定事故箇所、事故様相を決定し、詳細安定度計算を行うケースを設定する。
- (3) 外部系パラメータ調整 外部系統の縮約系統(簡略化された系統)モデルのパラメータを調整し、最新系統状態に見合った外部系統状態を作成する。
- (4) 詳細安定度計算 最新系統状態に対し、想定事故が発生した場合の各発電機の動揺をシミュレーション計算する。
- (5) 安定度判定 詳細安定度計算から得られた各発電機の内部位相角を用いて、脱調発電機の有無を判定する。脱調発電機は大規模停電を引き起こす原因であり、その系統は不安定である。
- (6) 電制(電源制限)発電機選択 安定度判定で不安定と判断されたケースに対して、電制効果と運用上の諸制約を考慮し、適切な電制発電機を選択する。

以下、このシステム独自の機能の外部系パラメータ調整、安定度余裕量計算について詳細を述べる。

3.1 外部系パラメータ調整

中国電力(株)管内の安定度は 60 Hz 系統の外部系統の運用状態に影響されるため、このシステムではどのように外部系統の状態を決定するかがポイントとなった。外部系統のオンラインデータをすべて取り込むことは困難である。したがって、外部系統の系統モデルを作成するには、系統縮約(系統モデルの簡略化)および系統状態の推定を行う必要がある。そこで、以下の手法を開発し実用化した。

- (1) 事故発生時の動揺が類似する発電機をグループ化し、グループごとに系統縮約を行う(オフライン処理)。
- (2) 縮約した外部系統モデルのパラメータ(インピーダンス、発電機出力など)を、主要発電機閉列状態や連系線潮流(電力)など限られたオンラインデータからできるだけ精度よく推定して、実系統に則した外部系統の等価系統縮約モデルを作成する(オンライン処理)。
- (3) 外部系統モデルとオンライン系統モデルを結合して、安定度計算を行う(オンライン処理)。

以上により、SSC-P は高精度を維持したうえで、安定度計算に必要なデータ量を大幅に削減できるため、高速演算ができるようになった。

3.2 安定度余裕量計算

この機能は、送電線にあとどのくらいの電力(潮流)を流しても安定であるという“安定度余裕量”を計算する機能である。詳細安定度計算を行った結果、すべての想定事故ケースが発電機遮断なしで安定であるという場合に、もっとも過酷な想定事故ケースの送電線に対して、安定度余裕量を計算する。このとき、増分テーブルのデータを基に、西系統および東系統の発電機に配分することで、該当送電

線に流れる潮流を増加させる。中央給電指令所の運用者(以下、運用者と略記)は、この安定度余裕量により、現在の系統の過渡安定度の評価を定量的に把握することができる。また、このシステムの安定度余裕量計算では、従来の安定限界だけではなく、電制を考慮した場合の送電限界を求めている点に特長がある。例えば“電制 1 台では 600 MW だが、電制 2 台まで許せば 1,000 MW 送電することができる。”という結果を提示することで、運用者の判断を支援することができる。図 4 に、安定度余裕量計算の処理の流れを示す。

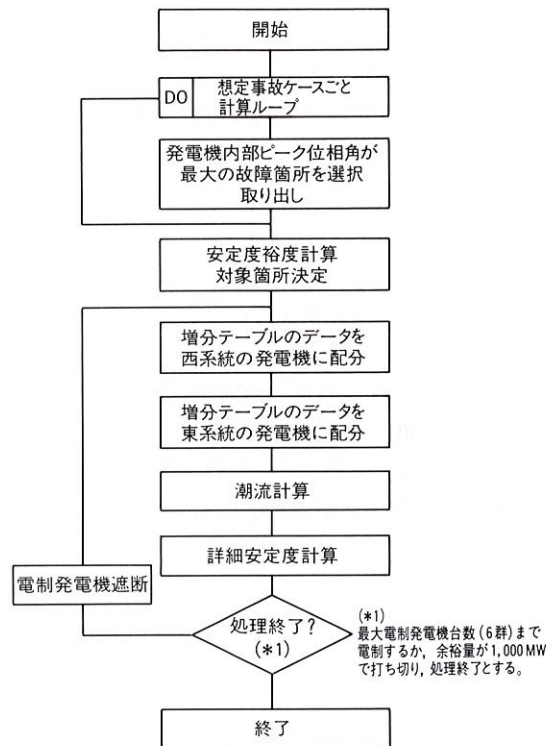


図 4. 安定度余裕量計算の処理の流れ 送電線に流すことのできる電力の安定限界を求め、現在の電力との差分により“余裕量”を求める。

Processing flow of stability margin calculation

以下に、機能ブロックについて述べる。なお、下記(2)~(5)を並列処理することで、演算処理時間の短縮を図っている。

- (1) 電制対象選定結果を基に、想定事故ケースの中から、安定度余裕量計算の対象となる 1 か所を決定する。この決定では、発電機内部位相角が最大となる(もっとも不安定傾向にある)想定事故ケースを選択する。
- (2) 増分テーブルのデータを、西系統および、東系統の発電機に配分する。
- (3) 潮流計算を行う。
- (4) 詳細安定度計算を行い、安定度判定を行う。
- (5) 電制発電機選択を行う。
- (6) 上記(2)~(5)を繰り返す。

4 システムの特長

4.1 制御用 EWS による高速演算

4.1.1 システム構成 対象とする電力系統の過渡安定度には長周期の脱調モードがあるため、このシステムでは詳細安定度計算において、従来システムより長いシミュレーション時間が要求された。そこで、数分の周期演算を実現するため、最新の制御用 EWS である SX3000 を採用した。EWS 台数は 1 台であるが、CPU を 10 個搭載し、うち 8 個を用いて SSC-P の演算処理のなかでもっとも時間のかかる詳細安定度計算の並列処理を実行する。

4.1.2 並列演算処理方法 計算全体のスループット（単位時間内の処理能力）を向上させるため、演算 CPU に計算処理を適正に割り付ける。異なる想定事故ケース、事故様相間で優先順位付けを行い、演算 CPU の待ち時間が少なくなるよう割り付けた。

4.1.3 演算時間 オンラインデータの収集に始まり、状態推定計算、約 40 ケースの詳細安定度計算、電制発電機選択、安定度余裕量計算までの 1 演算周期を数分で実行する。詳細安定度計算は、シミュレーション刻み幅 10 ms、シミュレーション時間 20 秒、発電機台数 35 台で、1 ケースあたり約 25 秒で計算する。これは従来に比べて 2 倍の高速化となる。

4.2 システム安定度の運用者への提示

システムの運転状況、演算状況、および安定度余裕量は情報提供用端末に表示する。この情報提供用端末は中央給電指令所に設置してあり、新西広島変電所の SSC-P とは LAN で接続されている。これにより中央給電指令所の運用

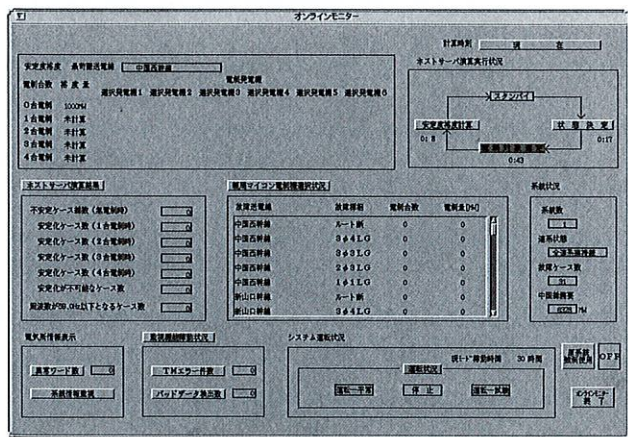


図 5. オンラインモニタの画面例 情報提供端末の画面を示す。リアルタイムにシステム安定度を把握できる。

Example of MMI display

者は、リアルタイムのシステム安定度を見ることができ。図 5 にオンライン モニタの画面例を示す。

4.3 SSC-C によるバックアップ運転

バックアップがない SSC-P が停止している場合には、SSC-C がバックアップ運転状態となり、精度は劣るものの発電機の運転状態に合わせた遮断発電機を選択する。

5 あとがき

詳細安定度計算をオンラインで実行する SSC システムとして、演算装置である SSC-P を制御用 EWS だけのシステム構成で初めて実現できた。SSC システムは 98 年 6 月に運用を開始した。運用者はリアルタイムでシステムの過渡安定度を把握することができ、さらに安定度余裕量を見ることができ好評である。

オンラインシミュレーション型過渡安定度維持システムの開発は、中部電力の基幹系 TSC (Transient Stability Control) システム、電源系 TSC システムに続いて、このシステムは 3 システム目である。国内のシステムはすべて東芝がかかわっており、この分野における東芝の国内での地位を確立することができた。

近年の米国西海岸地域での大規模停電などにより、システムの安定度問題は国内だけでなく、海外でも非常に注目されている。今後は海外もターゲットにした適用拡大と技術開発を進めていく所存である。



長江 泰太郎 NAGAE Yasutaro

中国電力(株) 系統運用部。
電力系統運用業務に従事。電気学会会員。
Chugoku Electric Power Co., Inc.



平野 彰 HIRANO Akira

中国電力(株) 系統運用部。
電力系統運用業務に従事。
Chugoku Electric Power Co., Inc.



高崎 耕太郎 TAKASAKI Kotaro

府中工場 電力計算機システム部主務。
電力系統計算機システムの開発・設計に従事。電気学会会員。
Fuchu Works



東田 恵美 HIGASHIDA Emi

電力事業部 電力系統技術部。
電力系統計算機システムの開発に従事。
Power Systems Div.