

中部電力(株) 新オンラインTSCシステム

Online Transient Stability Control System Replacement for Chubu Electric Power Co., Inc.

寺田 哲哉 原 有治 西入 秀明 佐藤 孝

■ TERADA Tetsuya

■ HARA Yuji

■ NISHIIRI Hideaki

■ SATO Takashi

中部電力(株)では、電力系統の安定化を目的に、1995年に500 kV基幹系統向けの基幹系TSC (Transient Stability Control) システム^(注1)の運用を開始し、また、2002年までに275 kV以下の電源系統向けの電源系TSCシステムの運用を、西部方面、東部方面、及び新三河方面で順次開始してきたが、信頼性を維持するため、システムを更新することになった。

システムを更新するにあたっては、信頼度確保の観点で、異論理で安定度計算を二重に行う構成を継承しながら、基幹系TSCシステムと電源系TSCシステム(以降、既設TSCシステムと呼ぶ)の統合化を図るとともに、故障監視点のランキングを行う新しい機能を開発し、安定度計算の実行周期の短縮による精度向上を図っている。

For stabilization of the power systems of Chubu Electric Power Co., Inc., an online transient stability control (TSC) system for the 500 kV trunk power system was put into commercial operation in 1995 and three online TSC systems for the 275 kV power source system were sequentially put into commercial operation by 2002.

To replace these decade-old systems, Toshiba has developed a new online TSC system that is integrated with the TSC system for the 500 kV trunk power system and the three TSC systems for the 275 kV power source system. The new system is equipped with two computer systems that execute transient stability calculations respectively using different software to secure reliability. It also incorporates a new transient stability ranking method for ranking the severity of contingencies to shorten the calculation cycle and improve accuracy.

1 まえがき

年々着実に増加する電力需要と近年の規制緩和によって、電力系統規模が拡大してきた。特に、電源の大容量化及び遠隔地化、偏在化に伴う送電線の長距離・重潮流化^(注2)が進む傾向にある。これらは系統の安定度特性を厳しくし、系統故障発生時に故障波及による大規模停電が生じる可能性を高めている。このような大規模停電に至る要因は排除する必要があるが、同時に潮流制約を受け、電力系統の経済運用が犠牲になる。このため、供給信頼度向上と経済運用の両立は、電力系統運用における課題となっている。

この課題の解決策として、系統故障発生時に発電機の一部を解列^(注3)して電源制限などを行うことにより発電機の加速を抑制し、脱調^(注4)を未然に防止する系統安定化システムが開発、運転されてきた。

中部電力(株)は系統情報をオンラインで取り込み、一定の周期で安定度計算を行って、その時点の系統状況に最適な安定化制御演算を行い、基幹系統を監視制御する基幹系TSC

システムを1995年に世界で初めて実用化した。

以降、電源系統を監視制御する電源系TSCシステムを開発し、2002年までに、西部方面、東部方面、及び新三河方面と制御対象系統を広げて、中部電力主幹系統の系統安定化システムとして運転している。

この1995年から導入してきた既設TSCシステムの運用が10年以上経過したため、システムの統合化及び新機能の開発を行い、新TSCシステムとして、2009年5月1日に切替えを完了し、順調に運転を継続している。

ここでは、新TSCシステムにおける統合化と機能について述べる⁽¹⁾。

2 オンラインTSCシステムの基本構成

発電機の脱調現象は、故障発生後1秒(s)以内に脱調する速いものから、振動しながら10s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(故障発生後150ms程度)で発電機遮断を行う必要がある。このため、オンラインTSCシステムでは、装置を事前演算部と事後制御部に分け、詳細過渡安定度計算で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ている。

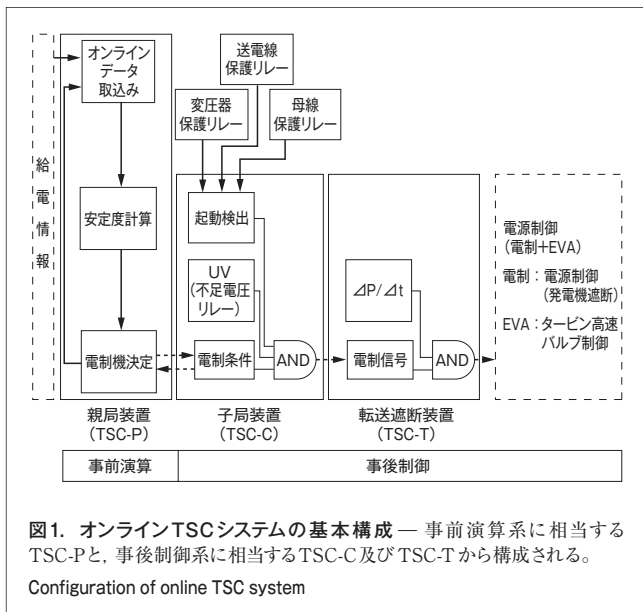
オンラインTSCシステムの基本構成を図1に示す。TSCシステムは、事前演算を担当する親局装置TSC-P (Parent)と

(注1) オンライン事前演算型系統脱調・事故波及防止システム。

(注2) 送電線に設備定格内の大電流が流れている状態のこと。設備上は問題ないが、系統安定度に好ましくない。

(注3) 電力系統から切り離すこと。

(注4) 発電機において、負荷が大きくなると同期速度と実際の回転速度が一致しなくなること。



事後制御を担当する子局装置 TSC-C (Child)、転送遮断装置 TSC-T (Transfer Trip) から構成される。システム構成のうち、今回更新対象となったのは TSC-P であり、システム全体の基本的な構成は新オンライン TSC システムでも同じである。それぞれの装置概要について次に述べる。

2.1 TSC-P

システムのオンライン情報を基に、詳細過渡安定度計算を用いて各故障ケースに対する発電機遮断条件を求め、結果を TSC-C に送信するもので、基幹給電制御所に設置されている。

2.2 TSC-C

送電線・母線保護リレーの動作情報などから実際に発生した故障監視点と故障様相を判別し、不足電圧リレー (UV) の動作をフェイルセーフ条件として検出し、TSC-P の演算結果に基づき発電機遮断信号を TSC-T に送出するもので、基幹系統及び電源系統の主要変電所に設置されている。

2.3 TSC-T

TSC-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、電力変化リレー ($\Delta P/\Delta t$) の動作を条件に発電機遮断と EVA (Early Valve Actuation: タービン高速バルブ制御方式) 制御をするもので、制御対象となる大規模発電所に設置される²⁾。

3 新 TSC システム TSC-P の開発

3.1 既設 TSC システムの課題

既設 TSC システムでは、オンラインの系統情報を取り込んで TSC-P で演算を行っており、1 回の演算周期はおよそ 3 ~ 5 分 (min) で行っていた。そのため、オンラインの系統情報取込みからおよそ 5 min 後に TSC-C 側で反映されることになり、最大で 10 min 前の系統情報に基づく制御を行っていた。

また、TSC-P では、不安定な故障監視点でも安定な故障監視点でも同じ周期で演算を行っており、計算機能力の配分の観点では非効率であった。

このため、演算周期の短縮化及び安定度判別方法の改良による安定度制御の精度向上が望まれていた。

3.2 新 TSC システム TSC-P での統合化

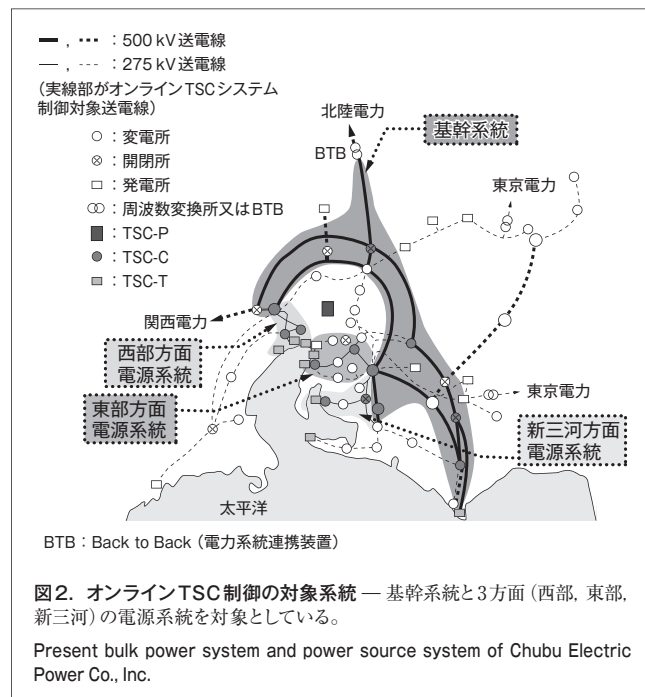
オンライン TSC システムの制御対象システムを図 2 に示す。

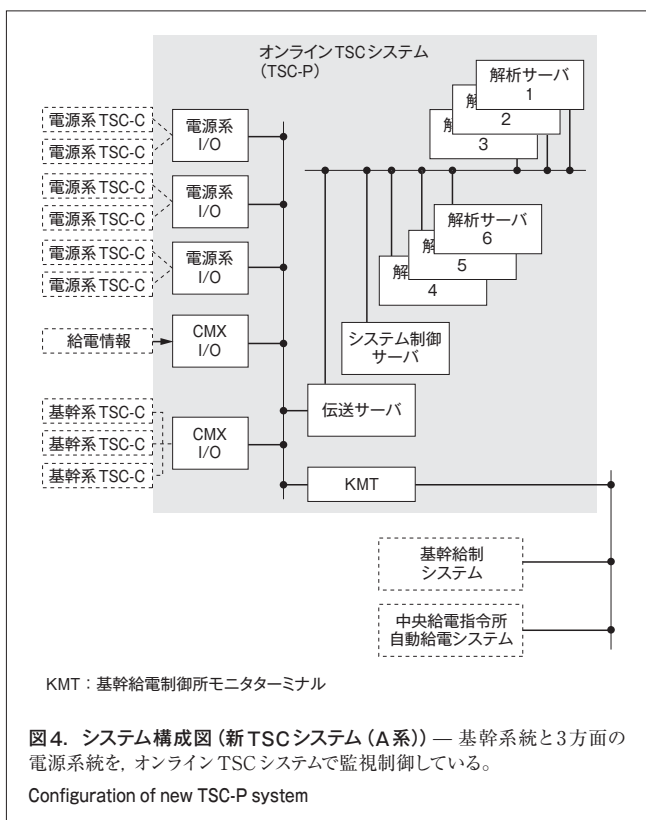
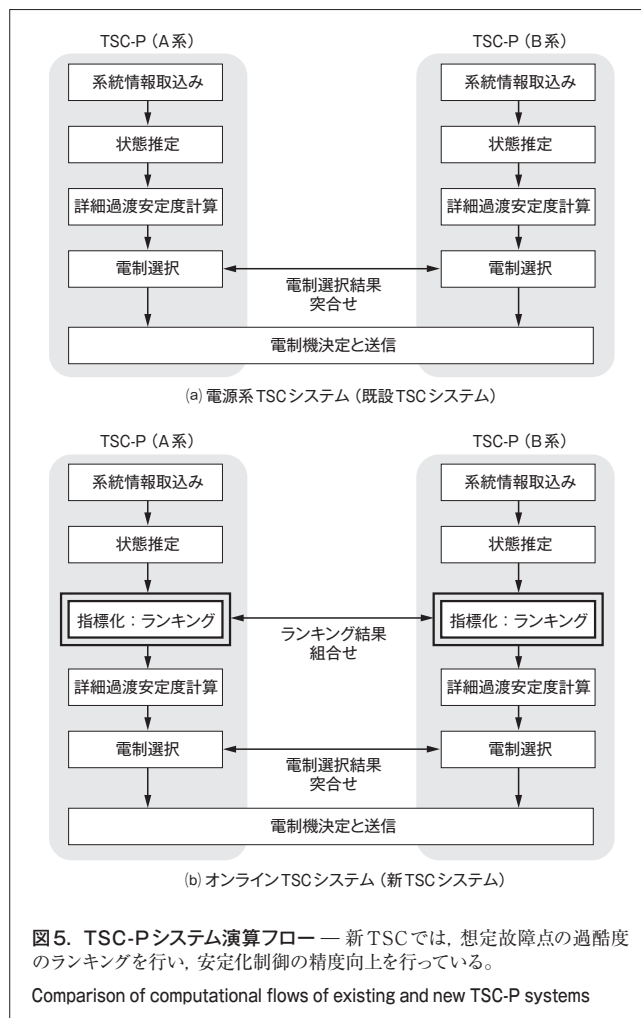
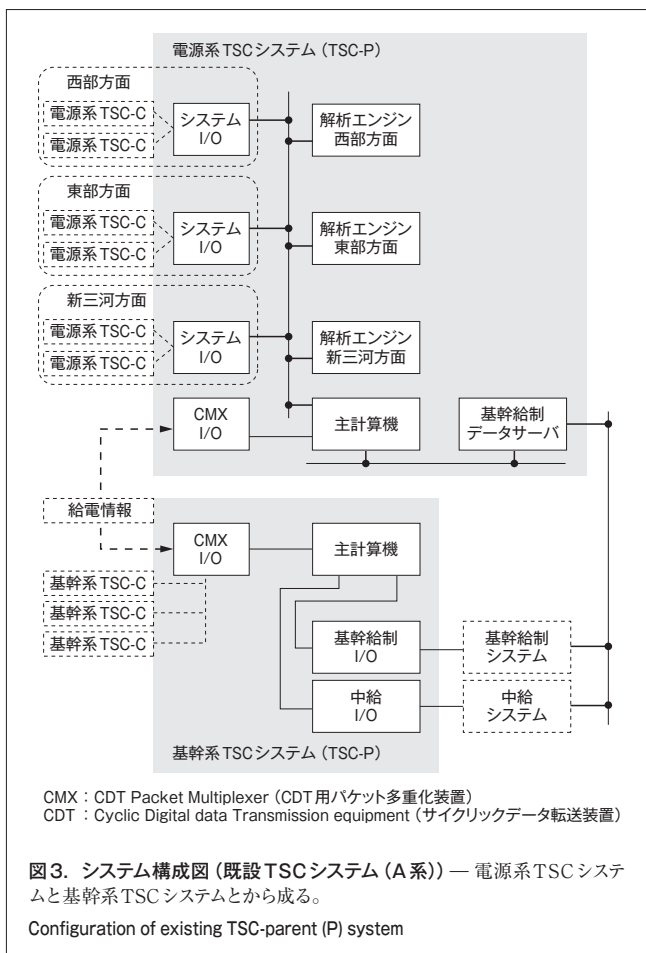
既設 TSC システムの装置構成を図 3 に示す。装置構成上は二つのシステムであるが、電源系 TSC システムでは、TSC-C との伝送インタフェースである I/O (入出力) 装置と解析エンジンを方面ごとに持つ構成としている。また、電源系 TSC システムは一つのシステムではあるが、機能的には 3 方面の安定度計算ほか一連の演算を方面ごとにおよそ 5 min 周期で実施し、基幹系を含めると四つの系統エリアの監視制御を並列で行っていた。

これに対し、新 TSC システムでは、次節で述べる新機能の演算論理と並列演算順序の最適化の組合せにより、全故障監視点を 1 システムで 30 s で計算できる構成とした。また、演算処理のなかで時間の掛かる詳細過渡安定度計算と遮断発電機選択を、全体を管理するシステム制御サーバの下で、6 個の解析エンジンにより並列処理できる構成とした。新 TSC システムは異メーカー・異論理構成による二重化システムであり、東芝は A 系の開発を行った。当社が開発を担当した新 TSC システムの装置構成を図 4 に示す

3.3 新 TSC システム TSC-P での新機能

今回のシステム更新計画では、これまでの運転実績を踏まえ、既設 TSC システムよりも演算周期の短縮及び安定化制御





の精度向上をコンセプトに新機能を開発した。

ここでは、演算周期の短縮化、及び精度向上のために新たに導入した安定度判別方法の改良について述べる。

3.3.1 新TSCシステムの構成と演算フロー 基幹系TSCシステム及び電源系TSCシステムを一つに統合化し、新TSCシステムTSC-Pとして導入した新機能(ランキング計算)の演算フローを図5に示す。

3.3.2 安定度の指標化による順位付け機能(ランキング手法) 既設TSCシステムでは、故障監視点(送電線、母線、変圧器)として、基幹系と電源系合わせて81か所を対象に安定化演算を行っていた。故障監視点1か所に対し複数の故障様相を計算する必要があるため、実際には合計およそ120ケースを演算する。1ケースの演算においては、現在の系統状態に対し故障が発生した場合に、系統内の複数の発電機が故障発生後10s後までどのようにふるまうかを0.01s刻みでシミュレーションし(詳細過渡安定度計算)、安定化可能か不可能かを判定する必要がある。既設TSCシステムでは、常にすべてのケースについて詳細過渡安定度計算を行うため、演算周期と演算精度(リアルタイム性)における改善の余地が

あった。

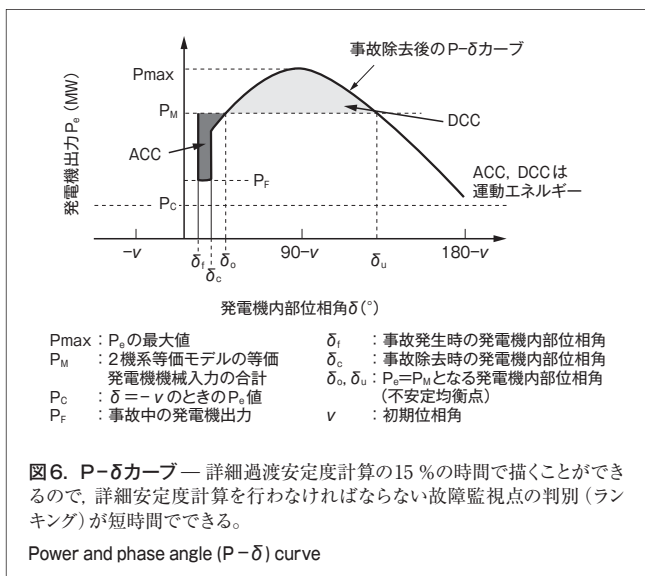
そこで、新TSCシステムでは、高速に故障ケースの過酷度(不安定の度合い)を指標化し、すべてのケースについて詳細過渡安定度計算をすることなく、各ケースの順位付け(ランキング計算)を行う手法を新たに開発した。

そしてランキングが上位、すなわち安定度が過酷な故障監視点については、30 s周期で詳細過渡安定度計算を行い、ランキングが下位、すなわち安定度に比較的余裕がある故障監視点については、数周期に1回(ただし、最長でも5 min間に1回以上)の演算対象となるようにする。ランキングによって故障監視点を差別化し、演算周期を短縮することで安定化制御の精度を向上させることができ、計算機のリソース(メモリやCPUなど)を効率よく活用することが可能である。

当社が今回開発したランキング手法は、故障発生時の加速エネルギーと減速エネルギーを基に安定度指標を算出する、拡張等面積法⁽¹⁾と呼ばれる手法をベースとした新しい手法である。この手法は、以下の四つの計算から成る。

- (1) 各故障監視点に対して、故障発生後0.5 sまでという短時間の詳細過渡安定度計算を実行する。
- (2) 系統内の全発電機を、故障箇所によって異なる動揺モードから、不安定グループと安定グループに分ける。
- (3) 上記(2)から2機系縮約モデルを作成し、系統パラメータを最小二乗法で推定する。
- (4) 上記(3)の2機系モデルを1機無限大母線モデルに変換し、安定度指標を求めるために必要な“P- δ カーブ”を推定計算する。このP- δ カーブから、発電機が不安定傾向になる加速エネルギー(ACC)と安定傾向になる減速エネルギー(DCC)の差分で安定度指標を求める(図6)。

これら(1)~(4)は、詳細過渡安定度計算のわずか15%の時間で計算できる。



4 あとがき

オンラインで詳細過渡安定度計算を実行するTSCシステムでは、計算の高速化が最大の課題であるが、既設TSCシステムでは、発電機遮断選択の演算論理と並列演算順序の最適化の組合せにより解決し、一連の演算をおよそ5 min周期で実現した。この既設TSCシステムの実績を踏まえたうえで、新TSCシステムでは、装置の統合化により、全故障監視点を1システムで計算して最適な遮断発電機の選択ができるようにした。更に、新機能の追加により、安定度が過酷なランキング上位の故障監視点については30 s周期で優先的に詳細過渡安定度計算を行い、ランキングが低く比較的余裕がある故障監視点については数周期に1回の詳細過渡安定度計算を行うことで、演算周期の短縮及び安定化制御の精度向上を図ることができた。この新TSCシステムは、2009年5月1日から運用を開始しており、順調に運転継続している。

文献

- (1) 竹内 昭, ほか. 系統パラメータ推定と拡張等面積法による過渡安定度ランキング手法の開発. 電気学会論文誌B部門誌. 128, 1, 2008, p.101-109.
- (2) 須藤義也, ほか. オンラインシミュレーション形過渡安定度維持システム. 東芝レビュー. 50, 11, 1995, p.832-833.



寺田 哲哉 TERADA Tetsuya

電力流通・産業システム社 電力流通システム事業部 電力系統技術部。電力系統監視制御システムのエンジニアリング業務に従事。

Transmission & Distribution Systems Div.



原 有治 HARA Yuji

電力流通・産業システム社 府中事業所 電力系統システム部 主務。電力系統監視制御システムの設計・開発に従事。電気学会会員。

Fuchu Complex



西入 秀明 NISHIIRI Hideaki

電力流通・産業システム社 府中事業所 電力系統システム部 主査。電力系統監視制御システムの設計・開発に従事。電気学会、IEEE会員。

Fuchu Complex



佐藤 孝 SATO Takashi

中部電力(株) 系統運用部 系統技術グループ課長。電力系統計画・解析・運用、系統安定化システムの開発などに従事。電気学会会員。

Chubu Electric Power Co., Inc.