

研究種目： 若手研究 (B)  
 研究期間： 2007～2008  
 課題番号： 19760198  
 研究課題名 (和文) 広域位相計測に基づく電気エネルギーシステムオンライン適応制御  
 研究課題名 (英文) Online Adaptive Control of Electric Energy System Based on Wide Area Phasor Measurements  
 研究代表者  
 渡邊 政幸 (WATANABE MASAYUKI)  
 九州工業大学・工学研究院・准教授  
 研究者番号： 90398115

## 研究成果の概要：

電力システムにおける位相計測を利用した制御系設計による安定化制御方法を検討した。観測情報から推定される広域系統の動揺特性を低次モデルとして表現することで、システム全体を表現する大掛かりなモデルを用いずとも容易に制御系設計を実現できることが特長である。観測情報に基づくため電力システムの状態変化に対して適応的に設計でき、不確定要素が増加しつつある電力システムの広域安定化に寄与する方策を検討した。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,200,000	0	1,200,000
2008年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,900,000	210,000	2,110,000

研究分野： 電力系統工学

科研費の分科・細目： 電気電子工学，電力工学・電気機器工学

キーワード： 電力系統，系統制御，位相計測，安定度，電力系統安定化装置

## 1. 研究開始当初の背景

電力市場開放に伴う新規事業者の参入，発電量が環境により変動する風力・太陽光発電等の導入，電力取引に伴う連系線重潮流化など，電力システムにおける不確定要素はさらに増加しつつある。こうした不確定要素に対して柔軟に対応できる体制づくりが求められ，リアルタイムの電力システム監視・制御技術が重要視されている。とくにGPS (Global Positioning System) を利用した時刻同期機能を持つ位相計測装置 (PMU: Phasor

Measurement Unit) による多地点同期位相計測技術が注目されている。一方，電力システムの運用面から見れば，安定化制御の一つの方法として発電機制御系である系統安定化装置 (PSS: Power System Stabilizer) の利用があり，位相計測と組み合わせることで不確定要素に対する有効な系統安定化制御方策となることが期待される。

こうした背景のもと，これまでに同期位相計測技術に基づく電力システムの広域安定度監視手法および系統監視に基づく発電機

制御系調整手法について基礎的検討を進めてきた。電圧位相の観測に基づいて構成した低次動揺モデルを用いることで電力システムにおける広域安定度が高い精度で推定できることを確認している。さらに、位相計測を利用したPSSの調整による系統安定化制御手法に関して検討を進めており、その有用性を確認している。とくに後者の安定化制御手法については基礎的検討にとどまっており、実システムへの適用を考慮した応用的検討を進める上で解決すべき課題を克服すべく、研究をさらに進展させる必要がある。

## 2. 研究の目的

本研究課題では位相計測の一応用としての発展的位置付けとして、位相計測を利用した制御系設計、とくに系統安定化装置(PSS: Power System Stabilizer)のオンライン調整に焦点を絞って検討を行う。位相計測の利用価値として挙げられるリアルタイム性は重要であり、制御系調整のオンライン処理に伴う柔軟性・信頼性が重要となってくる。

位相計測に基づく安定度評価法および制御系調整法は密接に関係しており、観測に基づいて構成される低次簡略動揺モデルにより実現されることから、この簡略モデルの精度向上が重要な技術的課題である。これまでの基礎的検討において一つの表現方法を考案し、その有用性を検討してきた。しかしながら、より高い精度のモデル表現によるより確実な制御系設計や、オンライン調整の実現に適したモデル表現を検討する必要がある。これらを含めてより柔軟性・確実性・信頼性の高い方法を検討し、PSSの新たなオンライン調整手法としての構築を目指して、広域位相計測技術と組み合わせた電力システム制御方式の有用性を明らかにする。

## 3. 研究の方法

同期位相計測に基づく電気エネルギーシステムの広域安定度監視および安定化制御手法の確立を目的として、その技術的課題である信号処理の高度化、監視・制御のオンライン化を行うための基礎的検討を進めた。

(1) 広域位相計測データを利用した系統安定化装置調整による系統安定化制御方法において、観測量に基づいて構成される低次簡略動揺モデルの精度向上を図った。モデル化精度の向上が制御性能の改善に直接寄与することから、従来のモデルに対して新たな観測量を付加することでモデル表現の改善を検討した。

(2) 連系系統全体にわたる広域計測によらずとも自系統内における観測で広域動揺特性の抽出が可能となれば、得られた情報を他

の系統運用情報と組み合わせる利用できるようになり、より柔軟な系統監視・運用・制御が広域連系系統から自系統内までの広範囲にわたり実現できる可能性があることから、位相計測地点とモデル化精度に関する評価、信号処理方法の改善、制御系調整法への適用を検討した。

(3) より柔軟な制御系設計を実現するため、詳細な電力システムの情報を必要とせず、複数地点の電圧位相情報を利用して電力システムの特徴を表現する低次電力システムモデルの構成方法を検討した。制御系が系統に与える効果をシステム同定手法により表現することでより確実性を高めるための方法を検討した。

上記(1)、(2)、(3)の各検討項目について、電力システムシミュレーションによる解析を実施した。主に西日本の電力システムを模擬した広域システムモデルを用いることで実際的な適用を想定して、各手法の有効性について検証を行った。実測データを適宜利用することでシミュレーション条件を見直し、より実系統に近い状態で解析を行うなど工夫して検討を進めた。

## 4. 研究成果

(1) 位相計測データを利用した系統安定化装置調整による系統安定化制御方式においては、電力システムの安定度において支配的となる長周期動揺モードおよび対象となる制御装置の動特性を含む簡略動揺モデル構成により制御系の設計を試みてきた。この方法では、電力システム全体を簡略モデルとして表現するため制御系設計が容易になる一方で、考慮されていない状態量への影響を評価することが困難であった。制御系調整に伴い、簡略モデルにおいて考慮されていない発電機内部磁束に関する状態が特に不安定化する問題が明らかとなったため、モデル表現の改善を検討した。

発電機の内部状態を直接観測することは困難であることから、観測が容易な状態量として発電機端子電圧に着目した。制御系調整に伴う影響を評価したところ、不安定化する内部状態と発電機端子電圧が類似の特性を持ち、等価的に端子電圧を観測することで内部状態への影響を評価できることを明らかにした。これにより、従来の電圧位相情報および制御系の情報に加えて新たに電圧情報を含むモデル構成を考案することで、制御系設計に必要な簡略動揺モデルの精度を向上するとともに、発電機の内部状態を考慮した状態で制御系設計を行えるようになった。小規模電力システムを対象としたシステムシミュレーションによる解析を実施した結果、

発電機磁束に関する状態の不安定化を防止しつつ、支配動揺モードを安定化できることを確認した。

(2) 電力系統の広域安定性において特に支配的となる弱制動の長周期動揺モードは、系統全体にわたる動揺として観測されるため電力会社間の系統連系線を越えた広域観測が必要と考えられてきた。一方、系統全体での動揺である点を考慮すれば、連系線を越えるような観測によらずとも、たとえば一電力会社管内といった自系統内の任意の地点における位相情報からでも長周期動揺モードの特性把握が可能と考えられることから、特性を抽出するための処理方法を検討した。

高速フーリエ変換を利用したバンドパスフィルタ処理によって任意の周波数帯を特定して動揺抽出を行えるようになり、他の動揺成分を除去して着目する電力動揺成分のみを抽出することができることを確認した。この処理方法を用いることで、系統端部一地点の位相情報からでも支配的な弱制動の長周期動揺モードの特性が抽出できるようになった。また、広域にわたる複数地点での計測で得られるデータと同程度の精度で電力動揺の安定度評価が可能であることを明らかにして、位相計測の適応性を高めることができた。得られた情報を他の系統運用情報と組み合わせて利用することで、より柔軟な系統監視・運用・制御が実現できる可能性を示すことができた。

(3) 前記(2)により、系統端部一地点の位相情報から支配的電力動揺モードの特性が抽出できることを利用して、発電機自端の位相情報を利用した制御系調整による広域安定化制御手法を検討した。この方法では、自端情報のみでよいため、複数地点における同期計測を必要としない特長を有している。ただし、複数地点の観測とは異なり一地点での観測では位相角の基準を設定することが困難であるため、位相の動揺を正しく捉えることが難しくなる。そこで、位相情報を一階微分することで得られる周波数偏差情報を用いる方法を検討した。

発電機自端情報を利用する場合における簡略動揺モデル構成法を考案し、従来の二地点間の位相差情報を利用して構成したモデルに基づく系統安定化制御方法と類似の検討ができるようになった。西日本系統を想定した系統シミュレーションによって複数のケースに対して適用し、有効性の検証を行った。その結果、自端情報を利用した方法においても従来の複数地点の位相情報を利用した場合と同程度の制御効果が得られ、電力系統の状態変化に対する適応動作も有効であることがわかった。

(4) 安定化制御系の設計をより容易に実現するため、位相計測で得られる位相情報に基づいてより低次で実系統の状態を反映する電力動揺モデルを構成する方法を検討した。適切な制御系設計・検証のためには実系統の動特性を反映した電力系統モデルが必要となるが、一般に安定化対象となる電力系統は広域・大規模であり制御系設計を困難にしている。これに対し、電力系統の広域安定度において特に支配的となる電力動揺モードは限られており、このモードに着目して制御系設計を行うことで効率的に広域系統を安定化できる。

支配的となる電力動揺モードの動特性を表現するモデルは位相計測によって推定可能である。これに対し、観測情報から得られる入出力データから部分空間法に基づくシステム同定手法を用いることで、安定化制御系が電力系統に与える効果を表現するモデルを数次の伝達関数によって表現することを考えた。上記で得られたモデルおよび設計対象となる制御系を含むフィードバック制御ループを構成することで低次電力系統モデルを表現する方法を考案した。前記(1)で検討した方法とは異なり、安定化制御系が電力系統に与える効果を明確にモデル化することでより効果的な制御系設計を可能とした。また、得られる低次電力系統モデルはすべて伝達関数で表現されることから、種々の制御系定数の調整を容易かつ効率的に行うことができる特長を有している。系統シミュレーションによって模擬した定常時の微小動揺を用いて適用した結果、複数のケースに対して同定した低次電力系統モデルが原システムの特性をよく表現できていることが確認できた。

また、構成した低次電力系統モデルを用いて安定化制御系の調整を試みた。制御系のゲインや位相進み遅れの時定数を比較的容易に決定できる方法として、ボード線図の作図で視覚的に実行可能な方法により設計した制御系を原システムに適用した。三相短絡故障発生時における応答を比較した結果、減衰性が改善されたことから、本方法による制御系設計の有効性を確認することができた。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計2件)

- ① 渡邊政幸・橋口卓平・三谷康範・佐伯修・北條昌秀・鵜飼裕之：「多地点同期位相計測に基づく電力系統広域安定度推定における観測地点変更時の精度向上」, 電気学

会論文誌B分冊, 第128巻, 1号, pp. 84-90,  
2008年, 査読有

[学会発表] (計7件)

- ① 野口圭太・渡邊政幸・三谷康範: 「長周期動揺抑制のための電圧・位相情報を用いた電力系統安定化制御」, 平成21年電気学会全国大会, 2008年3月18日, 北海道
- ② 渡邊政幸・安部将太・三谷康範: 「位相計測に基づく電力系統安定化制御のための系統モデル構成法の検討」, 平成20年電気学会電力技術・電力系統技術合同研究会, 2008年8月7日, 熊本
- ③ Masayuki Watanabe, Kenichiro Higuma, Yasunori Mitani, and Issarachai Ngamroo, "Analyses of Power System Dynamics in Southeast Asia Power Network Based on Multiple Synchronized Phasor Measurements," IEEJ-EIT Joint Symposium on Advanced Technology in Power Systems, 2007年11月20日, Bangkok Thailand
- ④ 渡邊政幸・三谷康範: 「自端位相情報を利用したPSSの調整による電力系統広域安定化制御」, 平成19年電気学会電力技術・電力系統技術合同研究会, 2007年9月13日, 愛知

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

渡邊 政幸 (WATANABE MASAYUKI)  
九州工業大学・工学研究院・准教授  
研究者番号: 90398115

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号:

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号: