



# 電力システムの安定化と操作支援に関する研究

杉原, 弘章

---

(Degree)

博士 (工学)

(Date of Degree)

2000-03-10

(Date of Publication)

2012-07-26

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

乙2391

(JaLCD0I)

<https://doi.org/10.11501/3173147>

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D2002391>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



氏名・（本籍）	すぎ はら ひろ あき 杉 原 弘 章	（広島県）
博士の専攻 分野の名称	博士（工学）	
学位記番号	博ろ第198号	
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当	
学位授与の日付	平成12年3月10日	
学位論文題目	電力系統の安定化と操作支援に関する研究	
審査委員	主査 教授 大澤 靖 治	
	教授 阿 部 重 夫	教授 羽根田 博 正

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、著者が中国電力技術研究センターにて行ってきた研究内容のうち、電力系統の安定化および操作支援に関する研究成果をまとめたものである。

我が国の各電力会社はこれまで基幹系送電網の建設を進め、相互の連系を強めることで、遠隔の発電所から都市部の大消費地への電力輸送を可能とし、電力の安定供給を確保してきた。最近では幹線の2ルート化などの連系強化もほぼ完成し、今後1～2年のうちには500kV 基幹系統はほぼ完成といえるまでに整備される。しかし、このような長大系統では潮流の増加に伴い同期化力が低下し、長周期の電力動揺が発生することが知られており、現実には事故時のみならず、平常時にも負荷変動等比較的小さな擾乱で電力動揺が発生しており、系統安定化装置（PSS）等、各種の安定化対策がとられてきた。また、基幹系統の中にも多くのループが構成されて潮流が複雑化しており、直流連系等、能動的な潮流制御の方策が適用されるようになってきている。

さて、現在、電力の自由化が進められており、卸発電事業への参入が自由化され、今後は大口の顧客への小売りも自由化される。このため、複数の電源と負荷を相互に接続する送電網はこれまでのような限られた電力会社の輸送路ではなく多様な電気事業者と顧客のために公平に輸送力を提供するインフラとして位置付けられるようになってきているが、その計画、運用は既存の電力会社で行うことになる。

これらのことから、今後は完成されたネットワークとしての電力系統に既存の電力会社内の潮流およびそれら相互の融通潮流ならびに各種の託送電力が重畳し潮流が複雑化すると共に、個々の潮流の時間的、季節的な変動も大きくなると考えられる。したがって、電力系統の計画および平常時、事故時の運用は困難の度合いを増すことが考えられる。

一方、パワーエレクトロニクス技術の進展によりこれと高速の通信を応用した安定化方策を電力系統に適用し能動的に潮流を制御したり、安定度を向上することが提案され一部実施されている。また、近年の高性能な小型の計算機（エンジニアリングワークステーション等）の普及および構造的なプログラミング言語の発達により、エキスパートシステムのように、人間の思考過程をある程度まで計算

機で模擬することが可能となり、実用システムの開発が推進された。しかし、専門家の持つ知識の量、瞬時に必要な部分呼び出す速さ、明文化し難いあいまいな判断等がシステムに反映できず、実用に供されなかったシステムも数多く存在した。

今後多くの制約の中で、電力システムを安定に運用するための潮流・安定化制御および電力システムの操作を迅速、的確に行うための支援等についてパワーエレクトロニクスやエキスパートシステムの適用を進めるにあたり、電力システムの実情に即した具体的検討が求められている。

本論文は、これらの背景のもとに電力システムの潮流・安定化制御ならびに平常時および事故時の操作の支援に関して行った研究をまとめたものであり、以下の11章により構成されている。

第1章では、電力システムおよびその安定化、操作支援の現状を概観し、本研究の目的と本論文の構成を示した。

第2章では、実際の長距離串型システムにおいて、平常時にも頻繁に観測された電力動揺を例としてその発生が動揺モードにより説明できることを示した。すなわち、電力動揺はシステムに内在する不安定モードが何らかの擾乱によって励振されたものと考え、固有値解析により不安定モードを求め、各種の実測結果からこれを励振する擾乱を特定して、シミュレーションを行い、観測結果と比較して当該不安定モードによるものであることを確認した。次に一部システム変更後の電力動揺の観測と固有値解析結果からシステム運用の工夫による対策の可能性について示した。

第3章では、交流システムにおける安定化対策として、システム構成の変更および新たな送電線等の建設によるシステム増強について検討した。今後の実システムで考えられるシステム構成、潮流状態について、解析的に固有値を求めて定性的な考察を行った後、実システムを念頭においた数値を用いて固有値解析を行いこれを検証した。この結果は、交流システムにおける従来型安定化方策の選択の際に有用である。

第4章では、パワーエレクトロニクス技術の発達により今後適用が拡大すると予想される各種の安定化方策のうち自励式の無効電力補償装置（自励式 SVC）を用いた安定化のシミュレーションを行った。自励式 SVC は PWM インバータを用いており実際の適用において問題となる過渡的な過電圧等を安定度と同時に検討するためリアルタイムの瞬時値シミュレーションを行い、制御上の留意点、効果について検討した。

第5章では、安定化においてもっとも大きな調整力が必要となる、事故後の第1波動揺の抑制に原理的に大きな効果がある、タービン高速バルブ制御について検討した。バルブ制御を行う場合にその効果を最大限発揮させるため、励磁系の最適制御を求めた。次に、潮流等システム状況の変動により前提条件が変化した場合にも十分な効果を得るための方法とその効果について示した。

第6章では「電力システムの操作手順検証支援システム」について述べた。このシステムは複雑な電力システムの、遮断器等開閉器類の操作に先立ち、一連の操作のすべての断面において、予想外の停電等の支障がないよう事前にチェックする業務を支援するものである。実用化に際しては、高速な処理、良好なマンマシンインターフェースを備えたものとした。これについて、システムの機能、構成、検証のアルゴリズムおよび検証例を示した。

第7章では、電力システムの事故時にその状況、事故区間などの把握についてオペレータを支援する「制御所運転支援装置」について述べた。これは電力システムの事故発生時に、最前線の運転機関である制御所において、迅速に事故の状況を把握するため、入力可能な限られた情報から、停電区間、事故区間等を判定して、系統図上に表示するものであり、実際の制御所において実証試験を行った。これについて、装置構成、機能およびデータメンテナンスツールについて述べた。

第8章および第9章では、超高圧システム全停時の復旧操作の支援について述べた。ここで対象とする

のは、負荷供給線のみの停電といった部分的な事故ではなく、発電所を含む広範な系統が停電するといった大規模な事故の復旧である。したがって、初期電源の確保、停電した系統の充電過程における電圧、無効電力バランスを考慮する必要がある。また、有効電力についても、単に通過機器の過負荷のみならず、発電機が停止した場合は、再立ち上げの過程における需給バランスの考慮が必要となる。これらを考慮した復旧操作手順を生成するアルゴリズムの考案と、その検証について述べた。

第10章では事故解析の支援について述べた。電力系統の短絡や地絡事故は、保護装置により事故の区間を停電させることで除去されるしくみになっているが、複雑、大規模な系統においては、多数の保護装置の協調、バックアップなどが考慮されており、これらが運用者の思いどおり動作したかどうかの確認、そうでない場合の改修などが重要な業務となる。そこで、保護装置の動作に加え、関係する電気量の波形記録であるオシロ波形を参照して事故現象の把握および保護動作の検証を支援するシステムの提案と事故例による検証について述べた

第11章では結論として本研究で得られた成果を要約した。

## 論文審査の結果の要旨

遠隔の発電所から都市部の大消費地への電力輸送を可能とし、電力の安定供給を確保するために、我が国の電力各社の基幹系送電網は、高電圧化、大容量化されるとともに、相互の連系も強化されてきた。このような長大系統では潮流の増加に伴い同期化力が低下し、長周期の電力動揺が発生することが知られている。また、基幹系統の中にも多くのループが構成されて潮流が複雑化してきている。一方、電力供給の規制緩和により卸発電事業への参入が自由化され、近い将来、大口需要家への小売りも自由化される予定である。そのため、電力系統には、既存の電力会社内の潮流、電力会社間の融通潮流に加えて、各種の託送電力が重畳して流れ、潮流が複雑化するとともに、その時間的、季節的な変動も大きくなると考えられる。したがって、電力系統の計画および平常時、事故時の運用は困難の度合いを増すと予想される。

本論文は、これらの背景のもとに電力系統の潮流・安定化制御、および、平常時ならびに事故時の操作の支援に関して行った研究をまとめたものであり、11章により構成されている。

第1章は、電力系統およびその安定化、操作支援の現状を概観し、本研究の目的と本論文の構成を示している。

第2章では、実際の長距離串型系統において頻繁に観測された電力動揺を例としてその発生が動揺モードにより説明できることを示している。すなわち、固有値解析により系統に内在する不安定モードを求め、観測された電力動揺がその不安定モードによるものであることを確認している。

第3章では、交流系統における安定化対策として、系統構成の変更および新たな送電線等の建設による系統増強について、解析的に固有値を求めることにより定性的な検討を行っている。

第4章では、パワーエレクトロニクス技術の発達により今後適用が拡大すると予想される各種の安定化方策のうち自励式の無効電力補償装置（自励式 SVC）を用いた安定化制御のシュミレーションを行い、制御上の留意点、効果について明らかにしている。

安定化において最も大きな調整力が必要となるのは、事故後の第1波動揺の抑制である。第5章では、この第1波動揺の抑制に原理的に大きな効果がある、タービン高速バルブ制御について、励磁系の最適制御と併用した形で検討を行い、その効果を確認している。

第6章では「電力系統の操作手順検証支援システム」の開発について、システムの機能、構成、検

証アルゴリズム、検証例を述べている。このシステムは、複雑な電力系統の遮断器等開閉器類の操作に先立ち、一連の操作のすべての断面において、予想外の停電等の支障がないよう事前にチェックする業務を支援するものである。

第7章では、電力系統の事故時にオペレータを支援する「制御所運転支援装置」の開発に関して、装置構成、機能、データメンテナンスツールについて述べている。これは電力系統の事故発生時に、最前線の運転機関である制御所において、迅速に事故の状況を把握するため、入力可能な限られた情報から、停電区間、事故区間等を判定して、系統図上に表示するものである。

第8章および第9章では、超高圧系統全停時の復旧操作の支援について述べている。発電所を含む広範な系統が停電する大規模な事故の復旧が対象であるため、初期電源の確保、停電した系統の充電過程における電圧、無効電力バランスとともに、再立ち上げの過程における需給バランスを考慮して復旧操作を支援するシステムとなっている。

複雑、大規模な系統においては、多数の保護装置の協調、バックアップなどが考慮されており、これらが運用者の思いどおり動作したかどうかの確認、そうでない場合の改修などが重要な業務となる。第10章では、保護装置の動作に加え、関係する電気量の波形記録であるオシロ波形を参照して事故現象の把握および保護動作の検証を支援するシステムの提案と事故例による検証について述べている。

第11章では結論として本研究で得られた成果を要約している。

本研究は、電力系統の解析と運用・制御について、主として系統安定化へのパワーエレクトロニクス技術の適用と、系統操作支援へのエキスパートシステムの応用を研究したものであり、電力供給規制緩和により新しい局面を迎えた電力系統の安定度、安定化、操作支援、事故解析支援について重要な知見を得たものとして価値ある集積であると認める。

よって、学位申請者 杉原 弘章は、博士（工学）の学位を得る資格があると認める。