

博士学位論文

(内容の要旨及び論文審査の結果の要旨)

	Hiroshi Yamada				
氏名	山田 浩				
学位の種類	博士(工学)				
学位記番号	博 甲 14 号				
学位授与年月日	平成 16 年 2 月 26 日				
学位授与の要件	学位規程第 3 条第 3 項該当				
論文題目	大規模電力系統故障時の安定度推定法および電源制限発電機の 選択法に関する研究				
論文審査	(主査)	教授	一柳勝宏 ¹	教授	後藤泰之 ¹
		教授	依田正之 ¹	教授	村瀬 洋 ¹
		教授	松村年郎 ²		

論文内容の要旨

大規模電力系統故障時の安定度推定法および電源制限発電機 の選択法に関する研究

電源の大容量化、遠隔化の進展や電力自由化による小規模分散型電源の増加等の理由により、わが国の電力系統は大規模化、複雑化する傾向にある。このような状況下において故障が発生した場合、その影響が系統全体に波及し、大規模停電に至ってしまうおそれがある。したがって、電源制限等の故障発生時における安定度向上を目的とした緊急制御システムの構築が重要であると考えられる。わが国においては、「事故波及防止リレーシステム」という考えに基づき、電源制限、負荷制限といった故障発生時における緊急制御により、事故波及を未然防止することに努めている。しかし、緊急制御を実施した場合においても、故障様相によっては停電に至ってしまう事例がある。本研究では、故障発生時における緊急制御手法のうち電源制限を主題としている。電源制限を必要とするか否か、必要であるならば系統に接続された発電機のいずれを遮断すればよいかといった情報を、故障発生後において可能な限り早い段階で知ることが、事故波及防止を100%に限りなく近づけるために大変重要であると考えられる。そこで、オフラインでの学習機能を有するニューラルネットワークを利用することにより、故障除去と同時に電源制限発電機を高精度に推定可能とすることを本研究の目的としている。具体的には、ま

ず電力系統故障発生時における高速な安定度算出に関して、オフラインでの学習機能を有するニューラルネットワークを用いる推定手法を提案している。故障発生時において電源制限を想定する場合、故障区間の分離および系統安定化装置(PSS)等の制御装置のみで系統全体が安定運転に復帰できるか否かという情報を、できる限り早い段階で得ることが重要であると考えられる。そこで、故障除去時点のエネルギー関数値をニューラルネットワークの入力情報とする過渡安定度推定システムを提案している。ニューラルネットワークの学習段階において、入力情報が多数になると、演算時間の増加や学習精度の悪化等が懸念される。

多機系統の安定度問題にニューラルネットワークを利用することにおいて、各発電機の位相角や角速度偏差といった情報を用いることも考えられるが、系統が大規模になるほどこれらの情報数も増え、学習時間の増加、精度の悪化が懸念される。そこで、多機系統を等価な1機無限大母線系統に縮約し、その縮約系統に与えられる運動エネルギーおよび位置エネルギーの2つをニューラルネットワークの入力情報に用いることを提案した。さらに、想定される複数の故障地点にも適用可能とするため、入力情報に故障点情報を加えた安定度推定システムを提案した。具体的な安定度推定のシミュレーションをループ状系統である IEEE New England 系統およびくし型で構成された電気学会 WEST10 機系統(西日本系統モデル)を対象として実施した。その結果、種々の負荷状態、故障時間における安定度実績に対して、推定結果の完全な一致が見られた。さらに、複雑なループで構成されるような比較的送電線数の多い系統においては、数個のブロックに系

1 愛知工業大学 工学部 電気工学科(豊田市)
2 名古屋大学大学院 工学研究科(名古屋市)

統を分け、ひとつの推定システムに用いる故障点情報を 6 個程度とすることが、学習演算時間、推定精度を考慮する上で有効であることを確認した。次に、提案する過渡安定度推定システムを電源制限発電機選択システムとして発展させた。電源制限を必要とする故障か否か（故障除去のみで安定化が可能か否か）という情報および対象発電機遮断後の系統安定度指標をニューラルネットワークの出力として得ている。これにより、電源制限実施後における安定度の面から適切と考えられる解列発電機の選択を可能とした。電源制限実施後における安定度余裕を定義し、想定解列発電機ごとに安定度余裕を算出することにより、その大小比較から解列発電機の選択を可能としたシステムの構築を行った。具体的に、くし型で構成された電気学会 WEST10 機系統を対象として電源制限発電機選択のシミュレーションを実施することにより、提案する解列発電機選択システムの有効性を実証した。また、提案手法においては、故障発生後、故障除去時点において遮断発電機の選択を可能とすることを目的としている。従来、いずれかの発電機の脱調現象を検知した段階において、その発電機を電源制限するといった手法が用いられてきた。しかし、脱調検知時ではすでに故障の影響が波及してしまい、電源制限の効果が得られない事例がある。提案手法においては、発電機の脱調検知より早い段階において遮断発電機を決定することが可能であり、電源制限による安定度は向上し、大規模停電を未然に防止できる。従来法の一つである系統の運動エネルギーの時間変化をもとに電源制限発電機を決定する手法と提案手法との比較検討を行い、従来法では安定化できない故障に対しても提案手法は有効であることも確認できた。

論文審査結果の要旨

電源の大容量化、遠隔化の進展や電力自由化による小規模分散型電源の増加等の理由により、わが国の電力系統は大規模化、複雑化する傾向にある。このような状況下において故障が発生した場合、その影響が系統全体に波及し、大規模停電に至ってしまうおそれがある。したがって、電源制限等の故障発生時における安定度向上を目的とした緊急制御システムの構築が重要であると考えられる。わが国においては、「事故波及防止リレーシステム」という考えに基づき、電源制限、負荷制限といった故障発生時における緊急制御により、事故波及を未然防止することに努めている。本論文は、故障発生時における緊急制御手法のうち電源制限を主題としている。電源制限を必要とするか否か、必要であれば系統に接続された発電機のいずれを遮断すればよいかといった情報を、故障発生後において可能

な限り早い段階で知ることが、事故波及防止を 100% に限りなく近づけるために大変重要であると考えられる。そこで、オフラインでの学習機能を有するニューラルネットワークを利用することにより、故障除去と同時に電源制限発電機を高精度に推定可能とすることを目的としている。本論文は 6 章から成る。第 1 章は緒論であり、電力系統における安定度向上対策の必要性と近年における適用、研究状況をまとめている。また、国内の事故事例を紹介するとともに、事故波及防止リレーシステムにおける電源制限の適用例、重要性をまとめている。第 2 章では、本研究で行っている過渡安定度解析に用いたエネルギー関数の導出に関して解説している。第 3 章では、高速な安定度算出に関して、オフラインでの学習機能を有するニューラルネットワークを用いる推定手法を提案している。故障発生時において電源制限を実施する場合、故障区間の分離および系統安定化装置 (PSS) 等の制御装置のみで系統全体が安定運転に復帰できるか否かという情報を、できる限り早い段階で得ることが重要であると考えられる。そこで、故障除去時点のエネルギー関数値および故障点情報をニューラルネットワークの入力情報とする過渡安定度推定システムを提案している。具体的な安定度推定のシミュレーションをループ状、くし型で構成されたモデル系統を対象として実施した結果、種々の負荷状態、故障時間における安定度実績に対して、推定結果の完全な一致が見られた。さらに、複雑なループで構成されるような比較的送電線数の多い系統においては、数個のブロックに系統を分け、ひとつの推定システムに用いる故障点情報を 6 個程度とすることが、学習演算時間、推定精度を考慮する上で有効であることを確認している。第 4 章では、第 3 章で提案した過渡安定度推定システムを電源制限発電機選択システムとして発展させている。電源制限を必要とする故障か否か（故障除去のみで安定化が可能か否か）という情報および対象発電機遮断後の系統安定度をニューラルネットワークの出力として得ることにより、電源制限実施後における安定度の面から適切と考えられる遮断発電機の選択を可能としている。電源制限実施後における安定度余裕を定義し、想定遮断発電機ごとに安定度余裕を算出することにより、その大小比較から遮断発電機の選択を可能としたシステムの構築を行った。具体的に、くし型で構成されたモデル系統を対象として電源制限発電機選択のシミュレーションを実施することにより、提案する電源制限発電機選択システムの有効性を実証している。第 5 章では、提案する過渡安定度推定システムを、N 波脱調と呼ばれる中間領域での脱調現象（故障発生から数秒～10 数秒程度で脱調）を伴う故障に対して適用している。大規模、複雑化している近年の電力系統において、N 波脱調現象は特に

注目されており、重潮流化するほど発生しやすいとされている。N波脱調を伴う故障発生時において安定度を高速に算出することは、発電機の脱調現象が検出されるまでの時間が数秒程度以上と長いため、1波脱調現象に比べ困難であると考えられる。提案手法であるニューラルネットワークを用いる過渡安定度推定法は、N波脱調現象を伴う故障を含んで学習を行うことにより、1波、N波脱調を問わず安定度推定に適用可能となる。そこで、第3章で提案した過渡安定度推定システムを、N波脱調を伴う故障に対して適用し、良好な推定結果が得られることを確認している。さらに、過渡安定度推定システムの出力として、故障除去後の不安定判別値および電源制限実施後の不安定判別値を得

ることにより、対象発電機遮断後の安定度推定を可能としている。N波脱調を伴う故障に対しても電源制限による安定化効果の有無を比較的良好に推定可能であり、N波脱調を対象とする脱調未然防止リレーシステムとして応用可能であることを確認している。第6章は総括であり、各章の内容をまとめるとともに、故障発生後の緊急制御に関する今後の課題について述べている。

電力系統故障時における電力の安定供給に対し、本研究で得られた知見が貢献できること、本研究が工学上高い価値を有することを認める。以上のことから、博士論文として、合格であると判定した。

(受理 平成16年3月19日)