



Title	Hopf分岐理論に基づく多機電力系統大域的安定領域の数値的解析手法に関する研究
Author(s)	渡邊, 政幸
Citation	大阪大学, 2004, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/2278">https://hdl.handle.net/11094/2278</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏名	渡邊政幸
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第18766号
学位授与年月日	平成16年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科電気工学専攻
学位論文名	Hopf分岐理論に基づく多機電力系統大域的安定領域の数値的解析手法に関する研究
論文審査委員	(主査) 教授辻毅一郎 (副査) 教授伊瀬敏史 教授熊谷貞俊 教授伊藤利道 教授杉野隆 教授佐々木孝友 教授西村博明 教授中塚正大 教授斗内政吉 九州工業大学教授 三谷康範 助教授土居伸二

### 論文内容の要旨

本論文は電力系統の非線形性によって定まる大域的安定領域の数値的解析手法に関する研究成果をまとめたもので、大規模な多機連系系統において適用可能な、非線形性に関わる大域的安定領域の数値的解析手法の提案を行っており、以下の7章により構成されている。

第1章では、電力系統の安定度問題を示すとともに、電力系統の持つ非線形性が過渡安定度に与える影響について述べ、非線形性を考慮した安定度解析の重要性を示して、本研究の目的を明確にしている。

第2章では、まず、非線形システムの解析において重要な分岐理論について本論文と関連の深い事項を述べている。次に、非線形システム理論に基づいて電力系統の動特性の解析を行った種々の研究成果について調査し、各解析手法の特徴を示して本論文との関連を述べるとともに、例題系統を対象として非線形周期軌道が電力系統の大域的安定性に与える影響を示している。

第3章では、非線形動特性解析プログラムを用いて、比較的構成が簡単な電力系統を対象として不安定周期軌道に起因する大域的安定領域の詳細な解析を行い、位相平面上での解析においてより正確な安定領域によって電力系統の安定性を判定する手法について述べている。位相平面上に投影された周期軌道は界磁巻線の応答が考慮されていないため誤差を含んでいるので、この効果を含んだ周期軌道を求めるこによって正確な安定判別が可能となることを示している。また、くし形連系系統へこの手法を適用した結果を示し、その有効性を確認している。

第4章では、非線形動特性解析プログラムの適用が困難な大規模連系系統の非線形周期軌道を数値的に推定する手法を提案している。ここでは、単一のモードが支配的になるケースに対し、動搖波形から2次非線形多項式モデルを構成して分岐特性の解析および安定領域の評価を行う方法を提案している。また、励磁系のリミタの影響も考慮できる多項式近似モデルの構成方法についても述べ、詳細モデルとの比較による評価を行っている。

第5章では、多機系統において支配モードが複数現れモード間に相互作用を生じる場合において、連成振動モデルを構成して非線形動特性を解析する方法について検討を行っている。モード間の相互作用が強くなると、第4章で提案した手法でモデル化の精度が悪化し、分岐特性の評価を正確に行うことが困難となるが、連成振動モデルの構成によって近似精度の向上が見られ、分岐特性の評価も正しく行えるようになることを示している。また、連成振動モ

ルにおいて励磁系リミタを考慮した解析を行うための方法についても述べ、3機くし形系統を用いて厳密解との比較による評価を行っている。

第6章では、電気学会標準モデル系統を対象として提案した数値的解析手法を適用し、分岐特性の解析と大域的安定領域の評価を行っている。系統規模が大きくなるにつれ、汎用の非線形動特性解析プログラムを用いて詳細に解析することが困難となるため、本論文で提案する数値的解析手法が有用となることを示している。この手法によって得られた特性についてシミュレーションによる検証を行い、多機くし形系統における長周期動搖の安定性評価に対する提案手法の有効性を示している。

第7章では、本研究により得られた結果を総括している。

## 論文審査の結果の要旨

本論文では、電力系統の非線形性が過渡安定度に与える影響の大きさから、非線形性を考慮した解析の重要性を示し、とくに、Hopf 分岐理論に基づく非線形周期軌道が電力系統の大域的安定領域を定めることから、その特性を評価するための数値的解析手法の構築を目的として詳細な検討を行い、大規模な連系系統における解析を可能とするための数値的な計算方法の導出を行っている。得られた成果は以下の通りである。

- (1) 位相面解析による過渡安定度評価における問題点として、界磁巻線の応答が考慮されていないことによって生じる誤差を指摘し、界磁巻線の応答を準静的な応答として考慮した非線形周期軌道を導出し、これを用いて安定性判別を行う手法を提案している。一機無限大母線系統モデルおよびくし形連系系統モデルへ提案手法を適用し、求めた安定領域についてシミュレーションによる評価を行っている。その結果、位相平面上においてより正確な安定領域によって、故障発生後の状態から直ちに電力系統の安定性を判定できることを確認している。
- (2) 大規模連系系統における長周期動搖に関連したシステムの安定性の評価方法として、系統の動搖特性を2次多项式近似モデルとして表し、Hopf 分岐に伴う非線形特性を解析する数値的な解析手法について述べている。また、励磁電圧一定時の特性を求めるこによって励磁系の特性を分離したモデルを構成し、分離した部分にリミタを設けることによって励磁系リミタの効果を定性的に表現する方法を提案している。また、くし形連系系統における不安定動搖モードの安定性について、非線形周期軌道の観点から励磁系リミタの影響を含んだ詳細な検討を行っている。その結果、励磁系リミタによって周期軌道の安定性が変化する特性を良好に評価できることが確認されている。
- (3) 大規模連系系統において複数モードが支配的となるケースに対して、非線形連成振動モデルを用いた Hopf 分岐特性の数値的解析手法を新たに考案している。本手法は、支配モードおよび相互作用を及ぼす準支配モードが明確に特定でき、発電機との対応関係が明確になるケースに対して適用可能となっている。また、標準形への変換の過程において除去できない高次の非線形項に寄与の大きい項を制限することで、連成振動モデルにおいて励磁系リミタの効果を表現している。小規模なくし形連系系統に適用し、複数モードが寄与する動搖に対して、4次非線形連成振動モデルを構成することにより、励磁系リミタの影響を含めた非線形動特性を良好に評価できることが確認されている。
- (4) 提案する非線形連成振動モデルを用いた解析手法を大規模な電気学会 WEST10 機系統および WEST30 機系統モデルに適用し、その評価を行っている。寄与率を用いた評価によって、対象とするモデル系統においては系統の両端と中央に位置する発電機が支配モードに対して最も寄与が大きくなることが明らかとなり、その結果を基に非線形連成振動モデルを構成し、分岐特性の解析を行っている。シミュレーションによる検証の結果、実規模の多機くし形連系系統において非線形性によって定まる系統の安定性評価における有効性を確認している。

以上のように、本論文は Hopf 分岐理論に基づく大規模連系系統の安定領域の解析において、系統動搖データを用いた数値的な解析手法を提案し、モデル系統を用いた効果の検証によって、安定領域評価における際だった効果の高さを実証しており、電力系統工学の進展に寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。