

氏名	おお 太 田 ひろ ぶん 太 田 博 文
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学位記番号	論 工 博 第 3349 号
学位授与の日付	平 成 10 年 5 月 25 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	同 期 発 電 機 空 隙 磁 束 の オ ン ラ イ ン 計 測 と 電 力 系 統 の 動 的 挙 動 に 関 す る 基 礎 研 究

(主査)

論文調査委員 教授 上田 院 亮 教授 宅間 董 教授 奥村 浩 士

論 文 内 容 の 要 旨

同期発電機の物理的な動作は内部磁束によって記述されるので、内部磁束の状態を把握すること、さらに、内部磁束に基づいた同期発電機の動作解析によって、同期発電機が電力系統の状態に及ぼす関係を考察することが、電力系統の安定度向上にとって重要である。しかしながら、内部磁束の状態を直接定量的に把握することは、端子電圧・電流などの計測に比べて困難であるので、同期発電機も電圧や電流で規定される電力系統内の構成要素と同様に扱われているのが実状である。

本論文は、同期発電機の内部磁束に着目して行なった一連の研究、すなわち発電機空隙部の磁束密度のオンライン計測法の開発、電力系統の電圧異常現象・電圧崩壊現象に関する計算機シミュレーションを併用した非線形力学的考察、およびシミュレーションで用いる定数値と電圧崩壊現象に関する実験に基づいた検討の3部より構成され、序論と結論を含む9章からなっている。

第1章は序論で、各研究の歴史を概観し、その流れにおける本研究の位置付けを明確にしている。

第2章では、同期発電機空隙磁束密度のオンライン計測装置の測定原理と測定方法について説明している。まず、発電機内部に設けたサーチ・コイルの誘導起電力より空隙磁束密度分布の算定原理を述べている。次に、電機子巻線構造の異なる2種類の発電機に対して、測定原理の適用方法について述べている。

第3章では、第2章の測定方法に基づいて試作された同期発電機空隙磁束密度のオンライン計測装置について説明している。まず、装置のハードウェア構成について述べている。次に、装置の動作について述べ、ソフトウェアの概要について述べている。

第4章では、電機子巻線構造と回転子位置検出装置の異なる3種類の発電機を対象とした空隙磁束密度の実測結果について説明している。まず、計測対象となる3機の供試発電機について述べ、それぞれの発電機について4種類の代表的な負荷状態に対するサーチ・コイルの誘導起電力波形を示している。次に、これらの負荷状態に対する空隙磁束密度と内部誘導起電力などの実測結果について述べている。また、計測装置の実用上の諸問題について検討している。最後に、第2章より第4章の研究で得られた成果をまとめている。

第5章では、本研究で対象とした電力系統を記述する諸方程式について説明している。まず、電力系統の構成について述べ、発電機とその制御系を記述するParkの式に基づく諸方程式、および諸定数の値について述べている。次に、送電線と非線形負荷を記述する諸方程式について述べている。また、本研究の発電機モデルと従来の研究で用いられた発電機モデルとの相違点について検討している。最後に、電力系統の正常な運用状態を表わす平衡点が満たすべき代数方程式を導いている。

第6章では、第5章の電力系統に対する計算機シミュレーションの結果について説明している。まず、シミュレーションで用いた主な数値計算の方法・条件を明らかにしている。次に、平衡点の分岐とリミット・サイクルの分岐について調べ、カオスのアトラクタに対してはLyapunov指数などを求めカオスであることを検証し、窓内のリミット・サイクルについて

て詳しく調べている。次に、電圧崩壊が不安定周期解によって起こることを明らかにし、電圧崩壊の仕組みについて述べている。また、発電機制御系のAVRにリミタを付加し、界磁電圧を制限した場合のシミュレーションについて述べている。最後に、第5章、第6章の研究で得られた成果をまとめている。

第7章では、第8章の実験で用いる同期発電機の諸定数について説明している。まず、測定の方法について説明している。次に、各巻線の抵抗と自己インダクタンス・各巻線間の相互インダクタンスをさまざまな条件の下で測定した結果について述べている。最後に、巻線電流などの測定条件に対する測定値の変化について考察し、従来の測定法によって測定した値と比較している。

第8章では、第7章で諸定数を測定した同期発電機を用いた電圧崩壊に関する実験、およびシミュレーションについて説明している。まず、電圧崩壊に関する実験の結果を述べ、負荷の定電力特性によって起こる電圧崩壊の仕組みについて述べている。次に、実験システムを記述する諸方程式について説明し、第7章で測定した諸定数の値を用いて、実験に対応するシミュレーションの結果を述べ、実験結果と比較検討している。また、定電力負荷を含む電力システムの平衡点についても考察している。最後に、第7章より第8章の研究で得られた成果をまとめている。

第9章は結論であり、本研究全体を通して、得られた成果をまとめ、今後の課題を述べている。

論文審査の結果の要旨

同期発電機の動作を支配する主要な物理量は空隙部の磁束であるため、その挙動を把握することは、電力システムを安定に運用するために重要である。また、電力システムに生じるカオス的動揺と電圧崩壊現象との関係が注目され、近年多くの研究が行なわれている。本論文は、同期発電機の空隙磁束密度分布計測装置の考案・試作、および電力システムの動的挙動と電圧崩壊現象を解明したもので、得られた主な成果は以下の通りである。

(1) 同期発電機が負荷を担って動作している現場で、その空隙部の磁束密度分布の直視可能な装置を開発した。この装置を用いて、従来から行なわれている端子量の計測からは得ることのできない内部誘導起電力やその無負荷誘導起電力に対する位相を求め、種々の負荷を担った同期発電機の動作特性を明らかにした。

(2) 同期発電機の内部磁束の変化を考慮した計算機シミュレーションによって、非線形負荷を含む電力システムに、定常的な動揺に対応する安定なリミット・サイクルやカオス的アトラクタが生じることを示し、同期発電機のダイナミクスを動揺方程式のみとした従来の研究結果と電圧崩壊の原因などが異なることを検証した。

(3) 研究対象とした電力システムにおける電圧崩壊の原因は、カオス的アトラクタが不安定周期解に接触する大域分岐現象であることを明らかにした。従来の研究で報告されている電圧崩壊の原因は、カオス的アトラクタが不安定平衡点に衝突する大域分岐であり、その状態に至るまでに負荷電圧は異常に低下するが、不安定周期解に接触する場合の負荷電圧はそれよりかなり高いので、現実のシステムで電圧崩壊の起こる危険性はより大きくなりうることを示唆した。

(4) 同期発電機の種々のインダクタンスの値は、磁気飽和に至るまでの過程においても、従来から知られている飽和値・不飽和値の相違以上に、発電機内部磁束の状態によって変化することを明らかにした。また、負荷の定電力特性によって引き起こされる電圧崩壊の仕組みを実験とシミュレーションの両面より検証した。

以上、要するに、本論文は稼働時同期発電機の空隙磁束密度計測装置を開発し、また、電圧崩壊現象を非線形力学の手法により解明したもので、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成10年3月23日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行なった結果、合格と認められた。