



Title	弾性ロータを有する回転電気機械に生じる非線形現象の解析と制御
Author(s)	井上, 馨
Citation	大阪大学, 2001, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/42445">https://hdl.handle.net/11094/42445</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉</a> 大阪大学の博士論文について <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈/a〉</a> をご参照ください。

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

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

The University of Osaka

氏名	井上馨
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 16322 号
学位授与年月日	平成13年3月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 基礎工学研究科システム人間系専攻
学位論文名	弾性ロータを有する回転電気機械に生じる非線形現象の解析と制御
論文審査委員	(主査) 教授 潮 俊光  (副査) 教授 田村 坦之 教授 藤井 隆雄 助教授 山本 茂

### 論文内容の要旨

電動機や発電機などの回転電気機械では、内蔵するロータに何らかの不釣り合いが存在するために回転速度に応じた遠心力が働き、ロータがたわんだ状態で旋回するふれまわり振動が生じる。また回転速度と固有振動数が一致する共振が発生すると、ふれまわり振動の振幅が増大する。この現象は、実用化に向けて研究の行われている電力貯蔵用フライホイールシステムにも生じる。このシステムは、電動機(発電機)を介してフライホイールロータに電力を貯蔵(放出)ができる。これまでに、ふれまわり振動についての詳細な解析や制御方式の提案が行われてきたが、ふれまわり振動が電動機の消費電力や発電機の出力電圧にどのような影響を与えるのかについてはよく知られていない。そこで、本論文では、まずふれまわり振動が生じた場合の回転電気機械の挙動解析と制御系設計を行うために、直流電動機、弾性ロータ、および直流発電機が直列に接続された弾性ロータ系を提案した。そして実験とシミュレーションの両面から解析を行い、固有振動数付近でロータのふれまわり振幅、回転速度、電動機の消費電力、および発電機の出力電圧にジャンプを伴うヒステリシス現象が生じること、回転速度に動揺が生じそれが分岐してカオスに至ることなどを明らかにした。また、これらを抑制するトルクを用いた制御方式を提案し、その有効性を実験で確認した。ここでは、MDKシステムの制御問題として非線形現象の抑制問題を定式化し、リアプノフ関数法に基づき安定性を議論している。MDKシステムの安定論は、2階の微分方程式で表されるシステムの係数行列M、D、およびKが定性的な条件(例えば、 $M > 0$ 、 $D > 0$ 、 $K > 0$ )を満足すればそれらの数値がどのようなものであっても安定性が保証できる所に特徴があり、本論文ではこれをあるクラスの時変な係数行列を持つシステムに拡張した。

### 論文審査の結果の要旨

本論文は、回転電気機械を対象に、ふれまわり振動が電動機の消費電力や発電機の出力電圧に与える非線形的影響の解析とその影響を抑制するための制御を目的として行った研究成果をまとめたもので、5章からなる。

まず、ふれまわり振動が生じた場合の回転電気機械の挙動解析と制御系設計を行うために、直流電動機、弾性ロータ、および直流発電機から構成される弾性ロータ系を提案し、弾性ロータ系の数学モデルを導出している。

次に、実験とシミュレーションにより回転電気機械の挙動解析を行っている。その結果、ふれまわり振動は回転に

とって負荷となり、振動が生じない場合と比べて電動機で多くの電力が消費されること、ふれまわり振動の振幅と回転速度と電動機の消費電力にジャンプを伴うヒステリシス現象が生じること、回転速度にジャンプが発生することで発電機の出力電圧にもジャンプが発生すること、及び、ジャンプ現象がサドルノード分岐により生じることなどを明らかにしている。以上の結果から、これらの非線形現象を抑制することが回転電気機械の性能向上には必要であることを指摘している。

最後に、ふれまわり振動とジャンプ現象を電動機の発生するトルクを用いて抑制する制御方式を提案している。本手法では、磁気ベアリングが不要となるので、従来方式に比べて低コストで実装できる。安定解析では、定係数行列を持つM-D-Kシステムの安定論をあるクラスの時変システムに拡張した定理を証明し、その定理を基に、閉ループ系が一様安定もしくは一様終局有界となることを明らかにしている。この結果は、係数行列がある定性的な条件を満足するならば、それらの値がどのようなものであってもシステムの平衡点の安定性が保証できるという特徴を持っている。さらに、実験およびシミュレーションにより、本制御方式の有効性を確認している。

このように、本論文は、回転電気機械に生じる非線形現象の解析とM-D-Kシステムの安定論を応用した制御方式の提案を通じて、非線形力学系の解析と制御理論の両分野の発展に貢献をした。よって、博士（工学）の学位論文として価値があると認める。