

氏名	こめ たに はる ゆき 米 谷 晴 之
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学位記番号	論 工 博 第 3526 号
学位授与の日付	平 成 12 年 5 月 23 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	回 転 機 に お け る 大 規 模 電 磁 界 解 析 技 術 の 実 用 化 研 究

論文調査委員 (主査) 教授 牟田一彌 教授 上田皖亮 教授 島崎真昭

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、近年その性能やコストにおいて限界設計が求められるようになってきている回転機について、従来から用いられている設計計算あるいは解析技術において擬似的にしか考慮されていなかった物理現象を大規模な数値解析を用いることで詳細に検討したものである。すなわち、本論文の内容は、この大規模電磁界解析システムを実用化するための運用方法、および実設計へ適用するための手法及び解析例をまとめたものである。本論文は、6章からなっている。

第1章は序論であり、まず、回転機に関する研究の趨勢を踏まえ、現在の産業界から各種回転機への要求項目をまとめている。これには、性能の向上、とコストの低減を同時に満足する限界設計が求められているとしている。一方、限界設計を推進するためには、従来では曖昧にしか考慮されていなかった物理現象を詳細に検討する必要がある、より詳細な解析技術が要求されている。本章では、電磁界解析についてより詳細な大規模解析が必要であると示し、その要求される具体例を示している。

第2章では、まず、回転機を電磁界解析するために必要とされる解析ツールの機能について説明し、外部回路との連成、回転子の回転の考慮、電流連続を厳密に満たすための入力法について示している。このうち、回転子の回転の考慮については、空隙中央にて固定子側と回転子側の諸量を補間するスライド要素法を提案し、実解析に有効であることを示している。次に、大規模三次元解析を実用化するためには、ユーザーが容易に解析できるメッシュ分割からポスト処理までの解析システムを構築することが必要であることを示し、この解析システムを構築し、その概要を示している。

第3章では、スキュー付き誘導電動機、表面配置永久磁石電動機および埋込磁石構造電動機を例にとり、回転機の基本的な特性であるトルク特性の解析を行っている。スキュー付き誘導電動機では、大規模三次元解析することでトルク特性にスキューの影響を考慮することができることを示し、特に、始動付近のトルク特性が高精度化されていることを示している。表面配置永久磁石電動機では、磁石のオーバーハングによるコギングトルクへの影響を検討し、オーバーハングによりコギングトルクが大きくなること、またその量はオーバーハング量に比例しないことを示している。また、埋込磁石構造電動機では電機子反作用磁束による磁気飽和の影響を詳細に考慮する解析手法を提案し、d、q軸インダクタンスを精度よく計算し、レクタンストルクの進み位相角による影響を詳細に解析している。

第4章では、回転機の振動騒音の原因となる電磁加振力の解析を、スキュー付き誘導電動機、クローボール型発電機について行っている。スキュー付き誘導電動機では、電磁加振力がスキュー係数を用いた単純計算で検討できないことを示し、大規模電磁界解析の有効性を示している。クローボール型発電機では、電磁音がモード0で基本周波数の6倍の周波数である電磁加振力により発生していることを示し、これを大規模電磁界解析により定量化している。また、電磁加振力の軸方向分布を解析し、局所振動の原因を究明している。さらに、タービン発電機の電機子巻線端部に発生する電磁力を大規模電磁界解析により計算し、巻線位置によって電磁力が異なり、インボリュート部では最も内側のコイルで電磁力が最大になることを示している。

第5章では、高効率化の妨げとなる渦電流損失の解析を、スキュー付き誘導電動機、保持リング付き表面配置永久磁石電

動機およびタービン発電機の固定子クランパについて行っている。スキュー付き誘導電動機では、漂遊損の主原因となると考えられている高調波二次銅損を解析するためには大規模電磁界解析が必要であることを示し、従来から用いられている二次元解析ではこれを曖昧に取り扱っていることを示している。保持リング付き表面配置永久磁石電動機では、120°通電方式の簡易インバータ回路との連成解析法を示している。これは、環流ダイオードの影響を含めた外部回路を切り替える方法である。本解析では本手法を用い、保持リングに発生する渦電流損失を計算している。これにより、DUTY比およびキャリア周波数により保持リング損失が変化することを示し、これを定量化している。タービン発電機では、固定子クランパに発生する渦電流を実測及び解析で照合し、大規模電磁界解析の妥当性を実証している。また、解析手法による差異を示し、大規模非線形解析が有効であることを示している。これにより、固定子クランパ部の発熱分布が詳細に解析されている。

これらの解析結果は、設計現場へフィードバックされ、実設計において有用な情報を与えている。

第6章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。

### 論文審査の結果の要旨

本論文は、近年その性能やコストにおいて限界設計が求められるようになってきている回転機について、従来から用いられている設計計算あるいは解析技術において擬似的にしか考慮されていなかった物理現象を大規模な数値解析を用いることで詳細検討したものである。すなわち、本論文の内容は、この大規模電磁界解析システムを実用化するための運用方法、および実設計へ適用するための手法及び解析例をまとめたものであり、得られた主な成果は以下の通りである。

1. 回転機を電磁界解析する場合、回転子の回転を数値解析上で考慮する必要があることを示し、これを考慮するため、空隙中央で回転子と固定子の諸量を補間するスライド要素法を提案し、大規模解析においては有効であること明らかにしている。
2. 大規模電磁界解析を実用化するためには、ユーザーが容易に解析を行うための解析システムを構築する必要があることを指摘し、メッシュ分割からポスト処理までの解析システムを構築している。
3. 回転子にスキューがある誘導電動機を三次元電磁界解析し、トルク特性、電磁加振力、高調波二次銅損について精度よく計算できることを示し、電磁騒音対策や漂遊負荷損の分離について指針を示している。
4. タービン発電機では、固定子巻線端部に働く電磁力分布や固定子クランパに発生する渦電流損失分布を大規模電磁界解析により求め、端部の強度や冷却に関する設計の高精度化に貢献している。
5. 表面配置永久磁石電動機では、コギングトルクの三次元効果の解析や、簡易的なインバータ回路を模擬する手法を示し、保持リング損失を計算している。これにより、オーバーハングとコギングトルクの関係、キャリア周波数、DUTY比と保持リング損失の関係を明らかにしている。
6. 埋込磁石構造電動機では、電機子反作用磁束、dq軸相互作用による、d、q軸インダクタンスの影響を解析する手法を提案し、電機子反作用磁束による磁気飽和によりインダクタンスおよびレラクタンストルクが変化することを明らかにしている。
7. クローボール型回転機では、電磁騒音の発生原因がモード0で周波数が基本周波数の6倍の電磁加振力によるものであることを示し、これを大規模電磁界解析することにより定量化している。さらに、電磁加振力の軸方向分布を計算し、局所的な電磁振動の原因を解明している。

以上、これらの成果は、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12年3月27日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認められた。