

回転機電磁界解析に関する 高度先端技術

回転機電磁界解析に関する高度先端技術調査専門委員会編

目 次

1. まえがき	3	5.2 D1 モデルを対象とした磁石残留磁化と誘起電圧の相関関係	60
2. 解析技術の最新動向	4	5.3 D1 モデルを用いた PWM 電圧入力解析による諸特性解析	61
2.1 回転機における電磁界解析の利用状況	4	5.4 D1 モデルの測定結果と解析結果の差異に関する検討	63
2.2 並列計算による高速化	6	5.5 過変調・弱め磁束制御	65
2.3 誘導電動機の高速度定常場解析	8	6. 誘導電動機の解析技術	68
2.4 最適化	10	6.1 スキューのモデル化	68
3. 材料特性のモデル化	18	6.2 横流解析	73
3.1 電磁鋼板	18	6.3 誘導電動機の解析事例	75
3.2 磁性体にかかる電磁力	31	7. 回転機電磁界解析の応用事例	81
3.3 永久磁石の基礎と開発動向	33	7.1 設計に役立つ回転機電磁界解析利用法	81
4. 連成・連携解析	37	7.2 各種回転機を対象とした解析事例	83
4.1 音・振動	37	7.3 三次元形状を考慮した解析事例	87
4.2 熱・温度	39	8. あとがき	90
4.3 回路・制御	43		
5. 永久磁石モータベンチマークモデル	56		
5.1 D モデルと D1 モデルの比較	56		

回転機電磁界解析に関する高度先端技術調査専門委員会委員

委員長	宮田 健治(株日立製作所)	委員	藤田 真史(株東芝)
幹事	貝森 弘行(サイエンスソリューションズ株)		牧田 真治(株デンソー)
	山口 忠(岐阜大学)		正木 知宏(株フォトン)
幹事補佐	中原 明仁(株日立製作所)		三須 大輔(株東芝)
委員	赤津 観(芝浦工業大学)		宮城 大輔(東北大学大学院)
	石川 赴夫(群馬大学)		村松 和弘(佐賀大学)
	岩井 明信(株本田技術研究所)		矢野 博幸(株エルフ)
	梅谷 和弘(岡山大学大学院)		藪見 崇生(株ダイドー電子)
	大口 英樹(富士電機株)		山際 昭雄(ダイキン工業株)
	大戸 基道(株安川電機)		山崎 克巳(千葉工業大学)
	岡本 吉史(法政大学)		山田 隆(株J S O L)
	沖津 隆志(株明電舎)		和嶋 潔(新日鐵住金株)
	河瀬 順洋(岐阜大学)	途中退任	大神 光司(株フォトン)
	北川 亘(名古屋工業大学大学院)	委員	樋口 大(信越化学工業株)
	古賀 誉大(アンシス・ジャパン株)		廣塚 功(中部大学)
	齋藤 陽亮(サイバネットシステム株)	主な	今盛 聡(富士電機株)
	笹山 瑛由(九州大学大学院)	参加者	岩井 良樹(岐阜大学)
	高橋 康人(同志社大学)		太田 信治(岐阜大学)
	筒井 宏次(東芝三菱電機産業システム株)		長田 俊一(岐阜大学)
	中村 雅憲(中部大学)		桜木 拓也(岐阜大学)
	西田 青示(株I D A J)		佐藤 孝洋(株東芝)
	野口 聡(北海道大学大学院)		佐藤 佑樹(北海道大学)
	野見山 琢磨(シンフォニアテクノロジー株)		清水 謙太(岐阜大学)
	橋本 真吾(信越化学工業株)		徳増 正(株東芝)
	廣谷 迪(三菱電機株)		平野 博志(岐阜大学)
	福井 聡(新潟大学大学院)		前 健一(富士電機株)
	藤岡 琢志(株富士通ゼネラル)		諸 星 時男(シンフォニアテクノロジー株)

1. まえがき

モータで消費される電力は、我が国の全消費電力量の50%を超えており、より広範囲においてモータの高効率化を図ることが地球温暖化に関する環境対策の上できわめて重要である。

回転機の高効率化・高性能化を図る上で回転機の電磁界解析技術の利用は重要である。本解析技術の発展ならびに普及促進を図るべく、電気学会産業応用部門では、1987年以降、数多くの調査専門委員会活動を通じて、回転機の電磁界数値解析技術に関する調査検討が精力的に進められてきた⁽¹⁾⁽¹²⁾。その間、三次元電磁界解析技術や最適化問題への応用技術、さらにこの数年間は、実用化に向けた高速大規模解析技術を中心に各種解析法が調査検討されてきた。しかし、産業界における回転機の実用的な解析設計の観点から言えば、回転機の電磁界解析にはまだ解決すべき課題が多く、継続的な技術の進展が切望されている。

このような背景のもと、回転機の電磁界数値解析技術を調査検討し、その内容を体系的にまとめ、効果的な技術を広く普及させ、我が国の回転機電磁界解析技術のレベル向上に資することを目的として、2013年4月に「回転機電磁界解析に関する高度先端技術調査専門委員会」が発足し、3年間調査活動を実施してきた。この間、電気学会電力エネルギー部門において同時期に活動した「先進電磁界解析による設計高度化技術調査専門委員会」と連携をとりながら、静止器・回転機合同研究会を年に2回開催することで、電磁界解析に関する技術交流を図ってきた。また、毎年、両委員会で「電磁界数値解析に関するセミナー」を交互に開催し、電磁界解析技術の教育普及を図ってきた。これらの活動において議論された最新の技術動向について体系化した形でまとめておくことは、解析技術の普及促進の観点で大変重要であり、本技術報告にも多くの内容を収めた。

本調査専門委員会では、前の委員会である「回転機の三次元電磁界解析実用化技術調査専門委員会」の流れを引き継ぎ、集中巻IPMSMのベンチマークモデルの測定および解析を進めた。また、スキューを施した誘導電動機の解析やそれに伴う横流に関する解析技術について調査した。また、すべりの小さい誘導電動機の過渡解析では、定常状態に収束するのに多大な計算時間を要するが、これを解消するための技術についても調査した。さらに、回転機のコア材である電磁鋼板に関して応力による磁気特性劣化、異常渦電流損、積層構造に関連する解析技術に関する最近の動向についても調査した。また、新たな試みとして非同期PWMインバータにより駆動されるモータの解析についても調査検討した。

本技術報告は、以上の結果をまとめたものであり、第2章以降、以下のように構成されている。

第2章では最近の解析技術動向として、並列計算による高速化、高速定常場解析、モータ形状の最適化について技術

動向を調査した結果をまとめている。

第3章では磁気特性のモデル化について、電磁鋼板、永久磁石、磁性体に働く電磁力の考え方についてまとめている。

第4章では音・振動、熱・温度、回路・磁場連成解析についてまとめている。

第5章では、永久磁石モータのベンチマークモデルに関する測定および解析結果についてまとめている。

第6章は、誘導電動機の解析技術に関して、スキューのモデル化、横流解析、いくつかの解析事例をまとめている。

第7章は、回転機電磁界解析利用法ならびに応用事例についてまとめている。

第8章において、本技術報告を総括している。

参考文献

- (1) 回転機の電磁界数値解析法応用調査専門委員会：「回転機の電磁界数値解析法」，電学技報，No.375 (1991)
- (2) 回転機電磁界解析ソフトウェアの適用技術調査専門委員会：「回転機電磁界解析ソフトウェアの適用技術」，電学技報，No.486 (1994)
- (3) 回転機の電磁界高精度数値シミュレーション技術調査専門委員会：「回転機の高精度数値シミュレーション技術」，電学技報，No.565 (1996)
- (4) 回転機の電磁界解析応用技術調査専門委員会：「回転機の電磁界解析実用化技術の現状と実例」，電学技報，No.663 (1998)
- (5) 回転機のバーチャルエンジニアリングのための電磁界解析技術調査専門委員会：「回転機のバーチャルエンジニアリングのための電磁界解析技術」，電学技報，No.776 (2000)
- (6) 回転機の三次元CAEのための電磁界解析技術調査専門委員会：「回転機の三次元CAEのための電磁界解析技術」，電学技報，No.855 (2001)
- (7) 回転機の三次元電磁界解析高度化技術調査専門委員会：「回転機の電磁界解析高度化技術」，電学技報，No.942 (2004)
- (8) 回転機の電磁界解析高精度モデリング技術調査専門委員会：「回転機の電磁界解析高精度モデリング技術」，電学技報，No.1044 (2006)
- (9) 回転機の高速度高精度電磁界解析技術調査専門委員会：「回転機の高速度高精度電磁界解析技術」，電学技報，No.1094 (2007)
- (10) 電磁界解析による回転機的设计・性能評価技術調査専門委員会：「電磁界解析による回転機的设计・性能評価技術」，電学技報，No.1168 (2009)
- (11) 電磁界解析による回転機の実用的性能評価技術調査専門委員会：「電磁界解析による回転機の実用的性能評価技術」，電学技報，No.1244 (2012)
- (12) 回転機の三次元電磁界解析実用化技術調査専門委員会：「回転機の三次元電磁界解析実用化技術」，電学技報，No.1296 (2013)