

# アキシシャルギャップモータの性能向上

## Improvement of performance of axial gap-type motor

Axial gap-type motors make three-dimensional magnetic circuit by the rotor located opposite to the stator. So, it is not easy to evaluate the performance by the magnetic circuit method or experience. Therefore, we clarified the validity of the 3-D finite element analysis through the comparison of the measurements. We also clarified the effects of number of magnet division on the electrical loss of the motor for performance improvement.

森永 圭一  
Keiichi Morinaga

河瀬 順洋  
Yoshihiro Kawase

山口 忠  
Tadashi Yamaguchi

### 1. まえがき

アキシシャルギャップモータはロータとステータが軸方向に対向して回転する三次元磁気回路になっており、磁気回路法や経験値による評価は難しい。

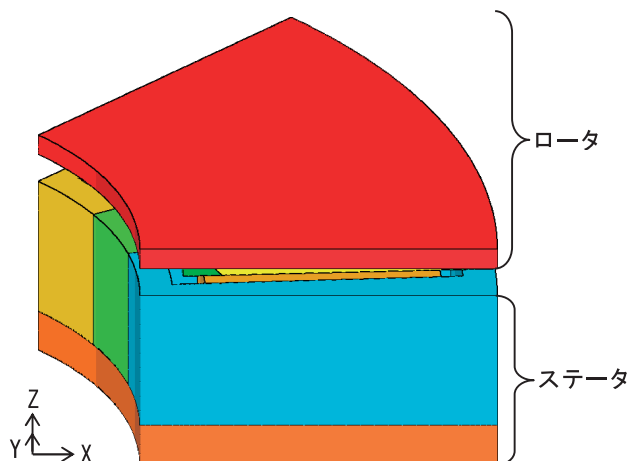
そこで三次元有限要素法を用いた磁界解析を行い、試作したモータの実測と比較し、解析の妥当性を明らかにする。

さらに、性能向上のために磁石分割<sup>[1]</sup>を施したことによる損失低減効果を磁界解析により明らかにする。

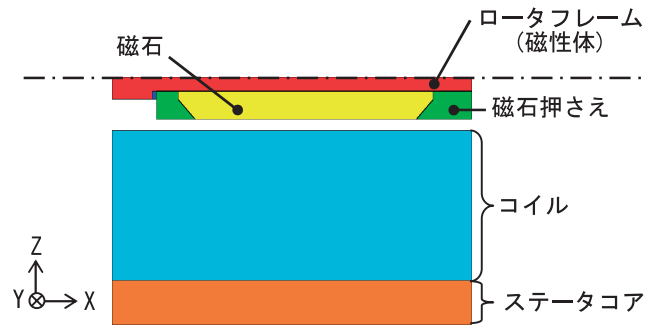
### 2. モータ仕様と解析モデル

図1に磁界解析<sup>[2]</sup>を行ったモータモデルを示す。モータは、16極24スロットで、二つのステータで一つのロータを挟む構造になっている。モデルを見やすくするために、空気領域およびシャフトは除いて表示している。

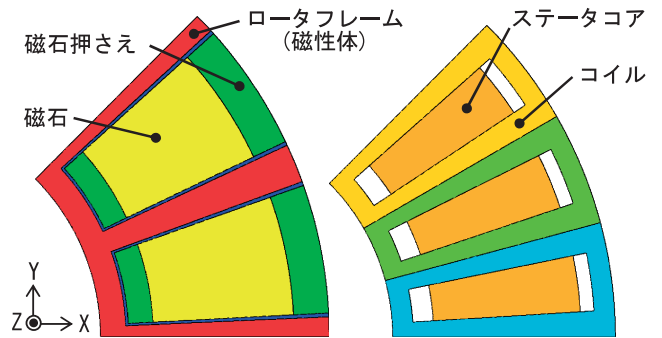
解析領域はモデルの対称性により周方向に1/8、軸方向に1/2としている。また、磁石とフレームの間には絶縁体を入れ、電流が流れないものとした。



■ 図1 解析モデルの鳥瞰図  
Fig.1 Birds-eye view



■ 図2 X-Z断面図  
Fig.2 X-Z sectional view



■ 図3 X-Y平面図  
Fig.3 X-Y Plane view

### 3. 解析条件

表1に解析条件を示す。本研究ではコイルに三相交流電流を与え、定常状態の解析結果を評価する。

■ 表1 解析条件  
Table1 Analyzed conditions

項目	仕様	
回転速度 [min <sup>-1</sup> ]	750	
周波数 [Hz]	100	
電流実効値 [A <sub>rms</sub> ]	25.56	
導電率 [S/m]	フレーム	5,555,556
	永久磁石	714,285
永久磁石の磁化 [T]	1.18	

4. 解析結果と実測における諸特性比較

永久磁石を分割していないモデルで、回転速度750min<sup>-1</sup>の定常トルク解析を行い、得られた結果と実測の諸特性を比較した。

4.1 トルク特性

トルクは実測の平均トルクを基準に正規化した。表2より、実測と近い結果が解析により得られることを確認した。

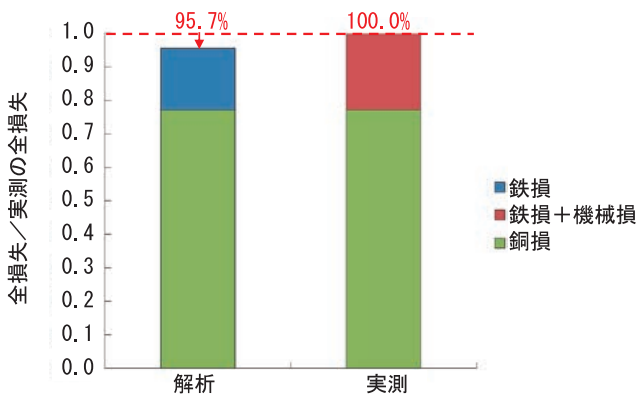
4.2 損失特性

損失も実測(入力-出力-銅損=鉄損+機械損)を基準に正規化した。表3より、損失においても解析結果は実測に近い結果を得ることができた。解析結果が約5%小さい理由には機械損を考慮できていないことが原因に挙げられる。

以上のことから、磁界解析で実機を適切に評価できるものと判断し、モータの高性能化を本解析モデルで検討する。

■ 表2 正規化したトルク  
Table2 Normalized torque

	解析	実測
平均トルク	1.036	1.00

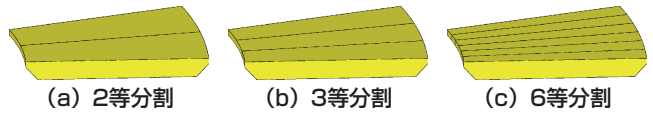


■ 図4 損失特性  
Fig.4 Loss characteristics

5. 損失低減対策

今回試作したアキシシャルギャップモータはオープンスロット構造であるために、スロット高調波による磁石の渦電流損失が大きいが予想される。

磁石を分割することにより、磁石に発生する渦電流損失を低減する効果があり、本稿では図5のように磁石を周方向に2, 3, 6等分割した。このときの渦電流損失低減効果と各諸特性の変化を磁界解析により明らかにする。



■ 図5 磁石の分割  
Fig.5 Division of permanent Magnet

5.1 磁石分割によるトルク特性の変化

平均トルクが磁石分割により受ける影響は、表3のように約1%に留まる。

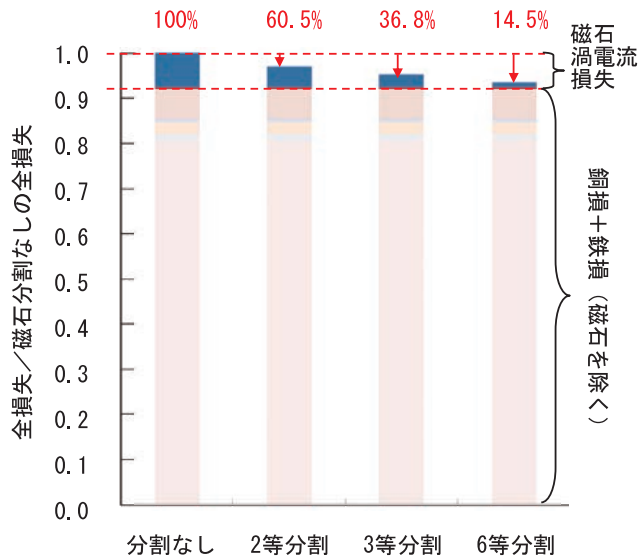
■ 表3 磁石分割数-トルク

Table3 Number of magnet divisions - Normalized torque

磁石分割数	分割なし	2	3	6
平均トルク	1.000	1.009	1.011	1.013
トルクリプル	0.124	0.126	0.122	0.123

5.2 磁石分割による損失特性の変化

鉄損は磁石渦電流損失を除き、磁石分割による影響は、ほとんどなく、図6のように磁石の渦電流損失のみが、分割により減少する。磁石渦電流損失の減少傾向は周方向に2, 3, 6等分割することで分割なしと比較して、それぞれ約40%, 約55%, 約85%減少する。



■ 図6 磁石分割数-損失特性  
 Fig.6 Number of magnet divisions - Loss characteristic

6. まとめ

アキシャルギャップモータに三次元有限要素法を用いた磁界解析を行い、実測と比較して解析の妥当性を確認した。  
 性能向上のため、磁石分割による磁石渦電流損失低減を図り、各特性を損なわず損失低減ができることを明らかにした。

参考文献

- [1] 河瀬, 山口, 亀井, 森北, 森永:「磁石分割によるアキシャルギャップモータの渦電流損の低減」電気学会静止器・回転機合同研究会, SA-17-33・RM-17-033, 2017年1月, pp.95-100
- [2] 伊藤昭吉, 河瀬順洋:「最新有限要素法による電気・電子機器のCAE」, 森北出版 (2000年4月)
- [3] 山崎克巳:「固定子及び回転子の高調波磁界を考慮した誘導電動機の損失算定」, 電気学会論文誌D, vol.123, no.4, 2003年4月, pp.392-400

執筆者略歴



森永 圭一  
 2009年入社。現在、研究所技術研究部回転機研究室に所属し主に回転機の電磁界解析の研究に従事。電気学会会員。



河瀬 順洋  
 1981年3月岡山大学大学院電気工学専攻修士課程修了。同年4月同大学電気工学科助手。1985年4月岐阜大学工学部電気工学科助手, 1988年6月同学部電子情報工学科助教授, 1997年11月同学部応用情報学科教授, 現在に至る。工学博士。主として有限要素法による電磁界の数値解析に関する研究に従事。IEEE会員他。



山口 忠  
 1996年3月岐阜大学大学院工学研究科電子情報システム工学専攻博士後期課程修了。同年4月中部大学工学部電気工学科助手, 1998年4月同講師, 1999年岐阜大学工学部応用情報学科講師, 2003年4月同准教授, 現在に至る。工学博士。IEEE会員他。