

高効率・高出力コアレスモータに関する試験研究

山下 宏* 齋藤 和哉* 小石川 勝男* 谷萩 雄一朗*

1. はじめに

茨城県の県北臨海地域は国産モータ発祥の地であり、長年培われたモータ関連技術を有した企業が多い。しかし昨今モータ業界では、省エネ・低コスト化に対する要求が厳しく、付加価値の低いモータは海外での生産がメインとなってきている。そこで、他の各種モータに対して優位な特徴を持つコアレスモータについて、高効率・高出力化に必要な技術構築を行う。

一般的なコアドモータの分解図を図1、コアレスモータの分解図を図2に示す。コアレスモータは、一般的なコアドモータと異なり回転体にコア（鉄芯）がないことにより主に3つの長所を備えている。まず一つ目としてコアがないため慣性モーメントが小さく、応答性がよい。二つ目として巻線部にコアがないことにより巻線部のインダクタンスが小さい。従ってブラシモータの整流時に発生する火花が小さく（あるいは発生しない）、ブラシの摩耗が少ない。一般的にブラシモータの構成部品の中では、ブラシ寿命が最も短いため、ブラシの摩耗が少ないということは、モータ寿命が長いこととなる。さらに三つ目として、コアドモータのコアと磁石の間に発生する磁気吸引力による脈動トルク（コギングトルク）が発生しないことが挙げられる。コギングトルクが発生せず、滑らかに回転するため、モータの振動・騒音が小さくなる。以上のような長所から、携帯電話の振動機能、ロボット、光学機器など様々な用途として使用されている。

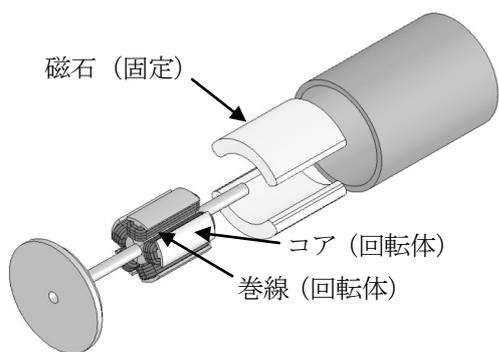


図1 コアドモータ分解図

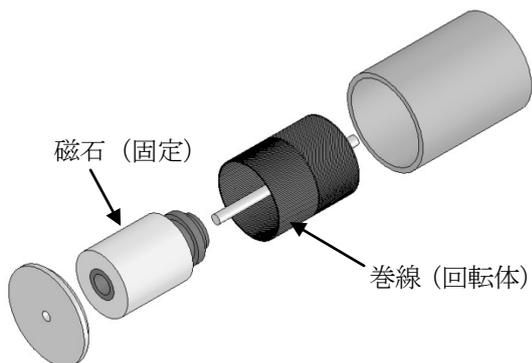
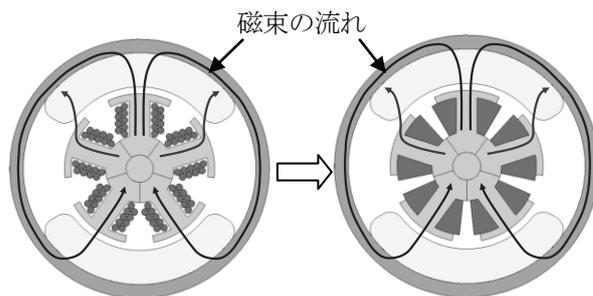
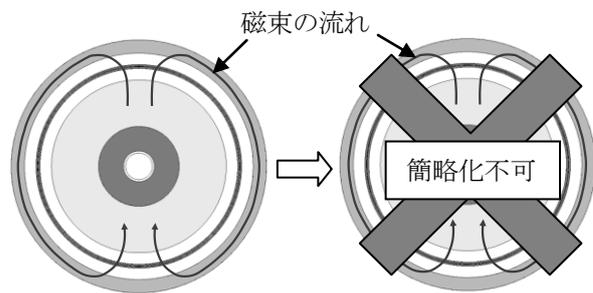


図2 コアレスモータ分解図

現在、モータの開発には CAE (Computer Aided Engineering) 解析が不可欠となっているが、コアレスモータについては、通常のコアドモータと違い巻線を鎖交する磁石磁束により発生する損失を考慮する必要があるため、モデル化や解析手法が確立されていない。図3にコアドモータの断面図、図4にコアレスモータの断面図を示し、具体的な影響を説明する。CAE解析では、求めたい実機の現象に対して、影響しない部分を如何に簡略化したモデル作成を行うかが重要なポイントとなる。コアドモータでは磁石の磁束は透磁率が高いコアの部分を通るため、磁石の磁束が巻線に及ぼす影響は無視し、巻線モデルを塊りに簡略化してCAE解析を行うことができる。しかし、図4のコアレスモータでは、磁石の磁束が巻線を鎖交する影響をCAE解析で表現する必要があり、巻線モデルを塊りに簡略化してしまうと、実機に即したCAE解析が行えないことが課題となっている。



(a) 詳細モデル (b) 簡略モデル
図3 コアドモータ断面図



(a) 詳細モデル (b) 簡略モデル
図4 コアレスモータ断面図

2. 目的

モータの高効率化を図るためには、損失が発生する現象を正しく捉える必要がある。そこで、これまで考慮されていなかったコアレスモータ巻線部の交番境界より発生する渦電流損について、CAE解析を用いたシミュレーションを行い、より実機に近い状態を表現する。なお、本研究は2カ年（平成22～23年度）で実施

しており、本年度は巻線部の渦電流損のCAE解析結果を元に設計を行った試作品とCAE解析の特性比較を行ったので報告する。

3. 研究内容

3.1 評価用コアレスモータの仕様検討および試作

平成22年度に検討した巻線に発生する渦電流損とモータ特性(渦電流は未考慮)をそれぞれ分離して解析し、2つの解析結果を合成し、巻線の渦電流を考慮したモータ特性を求める手法(図5)により、評価用コアレスモータの仕様を決定した。

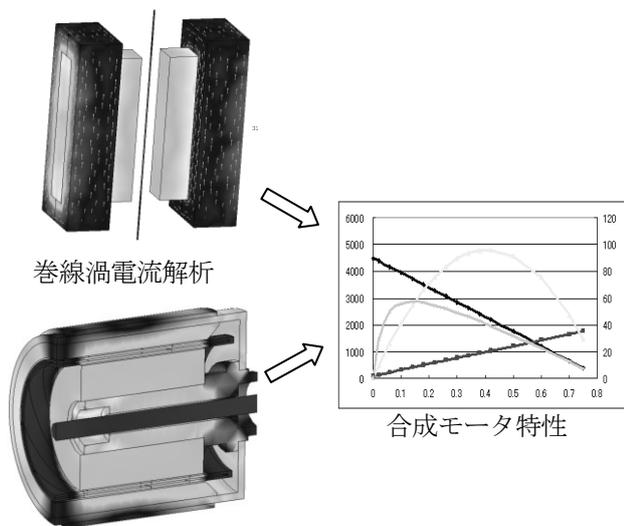
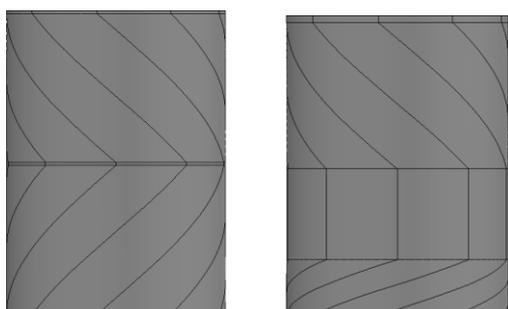


図5 モータ解析手法

試作ではモータの巻線仕様違いによる影響についても検証を行うため、巻線形状と巻線径をパラメータとした。コアレスモータは各社様々な巻線形状が採用されており、大きく分類すると軸方向に対して斜め方向のみの巻線と、一部(あるいは全部)が軸方向と平行になっている巻線がある。今回の評価用試作品では図6(a)のベル型と(b)のベル型の一部にストレート部を設けたベルカップ型を試作した。また、巻線径および巻数については表1の組合せとして結果を比較することとした。



(a) ベル型 (b) ベルカップ型
図6 コアレスモータ巻線形状

表1 試作モータ巻線仕様

仕様項目	①	②	③	④
形状	ベル		ベルカップ	
線径 [mm]	φ0.14	φ0.12	φ0.14	φ0.12
巻数 [ターン]	18	18	18	18

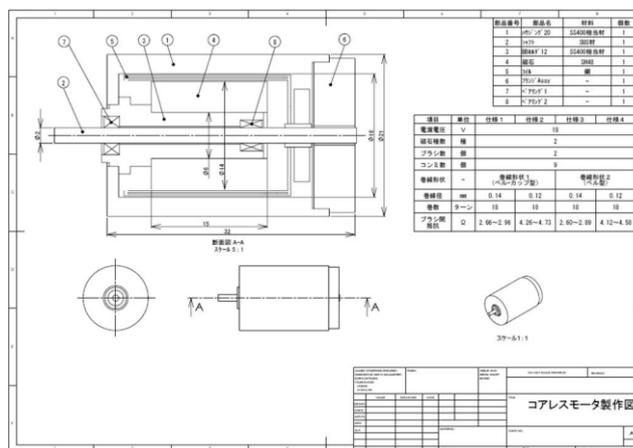


図7 コアレスモータ製作図

3.2 NT特性測定

3.1の表1および図7コアレスモータ製作図の仕様にて試作品(仕様毎に各5台)を製作し、図8のモータ特性測定装置(株式会社菅原研究所 PC-SAA3, TB-1KS)を用いてNT特性を測定した。具体的な測定内容は以下の通りである。

【測定内容】

- (1) モータへ印加する電圧はDC18Vとする。
- (2) トルク測定部に内蔵されるヒステリシスブレーキによる負荷トルクを徐々に増やしていく。
- (3) 上記(2)の各負荷トルク時の回転速度、電流を測定する。

次に測定結果とCAE解析結果の比較を行った。ここで、試作品の測定結果については仕様毎の5台の平均値とした。

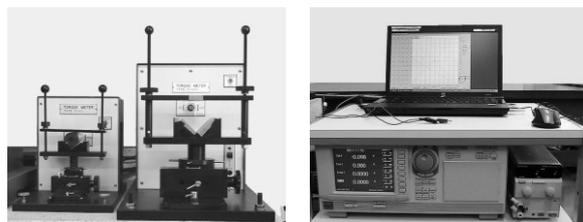


図8 モータ特性測定装置 (NT特性用)

3.3 コギングトルクの測定

「1.はじめに」でコアレスモータでは磁気吸引力による脈動トルク（コギングトルク）が発生しないことを説明した。そこで、既存のコアドモータ（定格トルク 1.3mN・m）とコアレスモータ試作品（定格トルク 4mN・m）のコギングトルク測定を行った。測定には図9に示すコギングトルク測定用の装置（株式会社菅原研究所 ATM-10MN）を用いた。本装置では、被測定用モータの軸が縦になる構造を採用することにより、偏芯を抑えより精度の良いトルク測定を可能にしている。

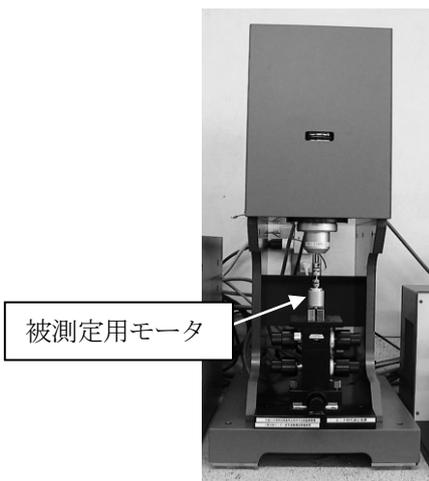
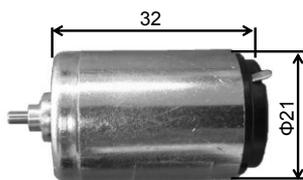


図9 モータ特性測定装置【コギングトルク用】

4. 研究結果と考察

4.1 評価用コアレスモータの試作

コアレスモータ試作品の概観および巻線の様子を図10に示す。



(a) モータ概観



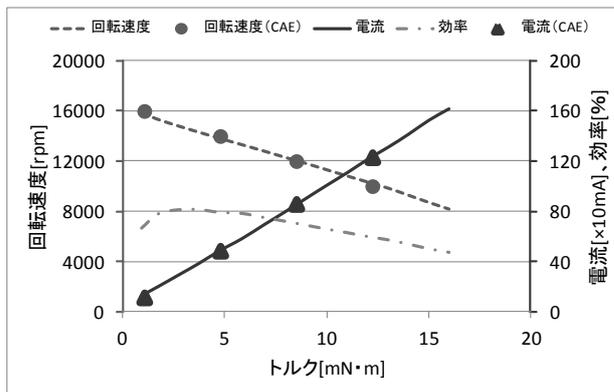
(b) ベル型巻線

(c) ベルーカップ型巻線

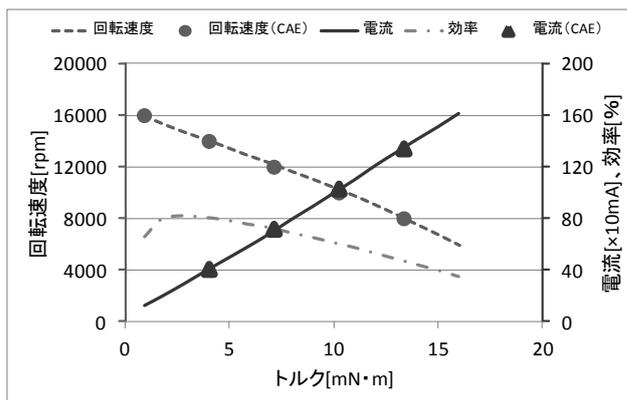
図10 コアレスモータ試作品

4.2 NT特性測定結果

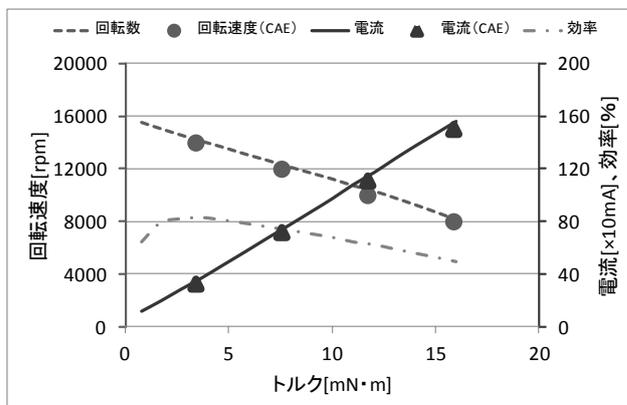
CAE解析結果と試作品実測のNT特性を図11(a)～(d)に示す。グラフの『マーカー』はCAE解析結果、『線』は試作品実測の特性 (N=5台の平均) を示しており、(a)～(d)のグラフはいずれもCAE解析結果と試作品実測の値が良く一致していることが確認できる。また全ての仕様について、最大効率が80%以上となっていることが確認できる。



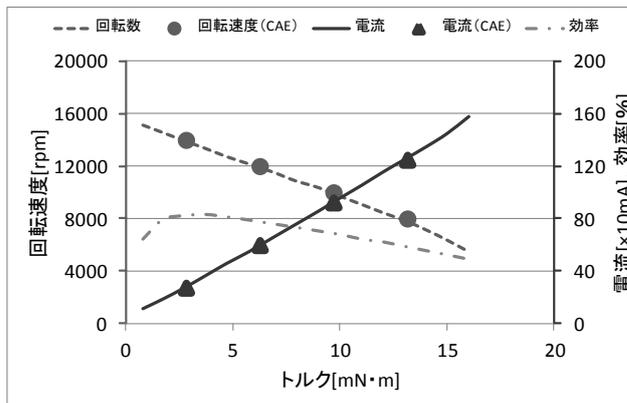
(a) 仕様① ベル型φ0.14



(b) 仕様② ベル型φ0.12



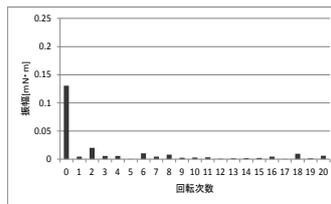
(c) 仕様③ ベルーカップ型φ0.14



(d) 仕様④ ベルーカップ型φ0.12

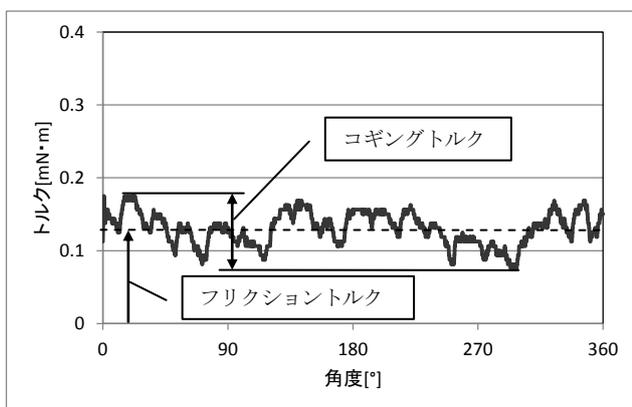
図11 コアレスモータ試作品の NT特性

仕様①と②,あるいは仕様③と④では巻線径のみが異なる仕様となっており,いずれもφ0.14をφ0.12にすると抵抗値が上がることによりトルクを大きくするにつれ電圧降下も大きくなるため,回転速度が低くなっていることがわかる。

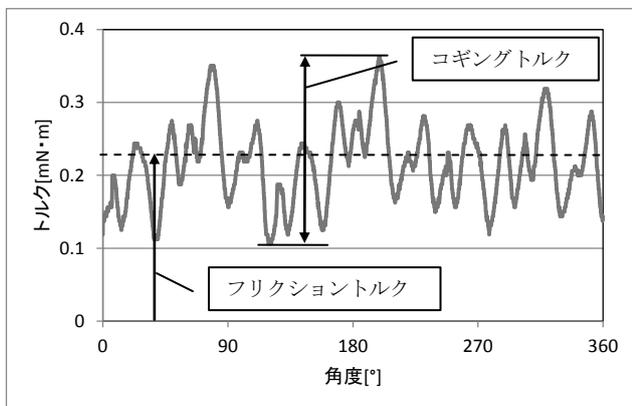


4.3 コギングトルク測定結果

試作したコアレスモータと比較用のコアードモータのコギングトルク測定結果を図12に示す。図12より比較用コアードモータのコギングトルクに対して,試作したコアレスモータのトルク脈動が非常に小さいことが確認できる。



(a) コアレスモータ コギングトルク

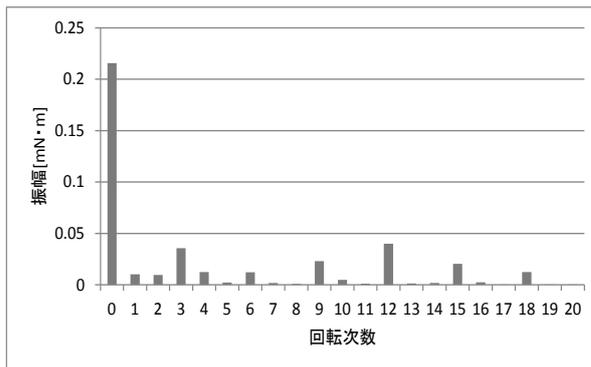


(b) コアードモータ コギングトルク

図12 コギングトルク測定結果

次に,それぞれのコギングトルクについてFFTにより回転次数分析を行った結果を図13に示す。回転次数の0次成分は直流成分を示しており,フリクショントルクに相当する。コアレスモータについては,ブラシ数が2個であること,ブラシと接触する整流子が9個であることから,2次成分と両者の最小公倍数である18次成分などに機械的な接触による振幅が確認できるが,磁気的な脈動トルクであるコギングトルクは無い。それに対して比較用のコアードモータでは磁力の弱いフェライト磁石が採用されているが,コアのスロット数である3の倍数に当たる成分の振幅が大きいことから,機械的な接触によるものだけではなく,コギングトルクが発生していることが分かる。

(a) コアレスモータ回転次数分析結果



(b) コアードモータ回転次数分析結果

図13 回転次数分析結果

5. まとめ

1. CAE解析と試作品のモータ特性は良く一致し,巻線渦電流損の分離解析手法の有効性を確認した。
2. 試作前にCAEを用いてモータ特性の検討を行うことにより,最大効率80%以上の高効率なモータを開発した。