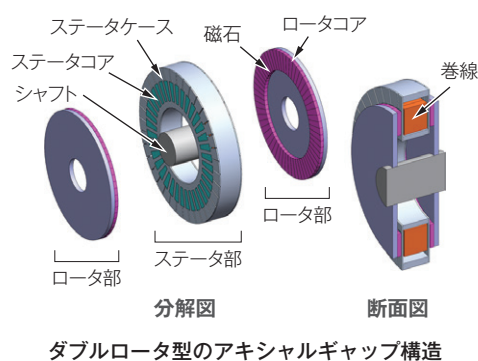


# モビリティ用アキシャルギャップモータの検討

太田 智 Satoru Ota  
沖津隆志 Takashi Okitsu

キーワード モータ, アキシャルギャップ, アウターロータ

## 概要



モビリティ用のモータは小形・軽量化が求められており、中でも低速・大トルク仕様では、アウターロータ構造とアキシャルギャップ構造が代表として挙げられる。近年は、薄形でギャップ面積を広く取れるアキシャルギャップ構造が注目されているが、ステータコアを固定するケース部に金属を用いると、交流磁場によって大きな渦電流損失が発生する課題があった。

そこで、このステータケースの渦電流損失を低減する方法を電磁界解析によって検討した。その結果、ステータケースにスリットを入れることで、ケースで発生する損失を88%低減できることを確認した。さらにアウターロータ構造とアキシャルギャップ構造のモータを比較解析し、アキシャルギャップ構造の方がギャップ面積を広く取れることで、2倍のトルクを得ることができた。

## 1 まえがき

低炭素社会の実現を目指すため、長期環境ビジョンに対する関心が様々な産業で高まっている。モビリティ分野でも、二酸化炭素排出量削減のため、自動車だけではなく船舶や航空機にまで電動化が加速している<sup>(1)</sup>。

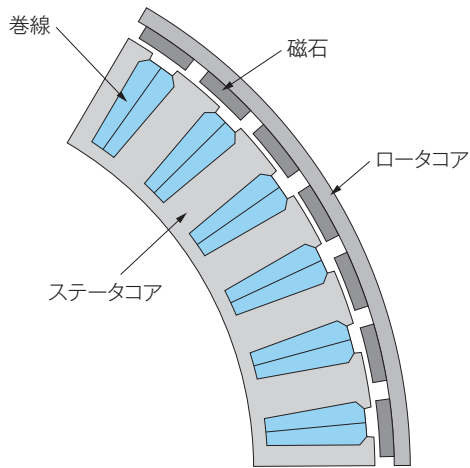
このような背景の中、モビリティには広い室内空間や高いエネルギー効率が求められ、使用されるモータには小形・軽量化が必要である。その中でも減速ギヤを介さずにダイレクトで駆動する低速・大トルク仕様では、アウターロータ構造とアキシャルギャップ構造のモータが代表として挙げられる。この中で、アウターロータ構造は、比較的容易に設計・製作できることから採用されることが多いが、近年では、薄形でギャップ面積を広く取ることができるアキシャルギャップ構造が注目されている<sup>(2)</sup>。

本稿では、アキシャルギャップモータの中でも、ギャップ面積を大きくでき、ステータコアのヨークも不要となるダブルロータ型のアキシャルギャップモータに着目し、ステータコアを固定する金属部品の渦電流損失を低減する方法を検討した。また、電磁界解析によって、提案するアキシャルギャップモータと市販のアウターロータ構造のモータ特性を比較した結果を紹介する。

## 2 比較モータとアキシャルギャップモータの構造

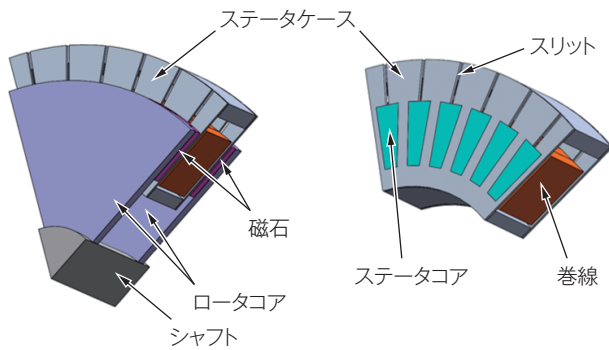
第1図に比較対象のアウターロータ構造の解析モデルを示す。解析モデルは、ステータコア・コイル・磁石・ロータコアで構成し、周期性を考慮して1/6モデルとしている。

第2図(a)に提案するアキシャルギャップ構造



第 1 図 アウターロータ構造解析モデル

比較対象となるアウターロータ構造の解析モデルを示す。



(a) 主な部品構成

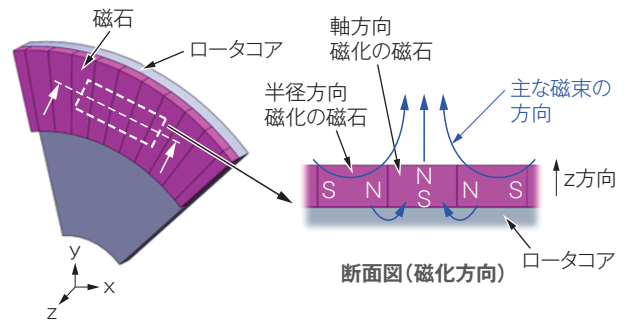
(b) ステータの部品構成

第 2 図 提案するアキシシャルギャップ構造

提案するアキシシャルギャップ構造の CAD モデルを示す。

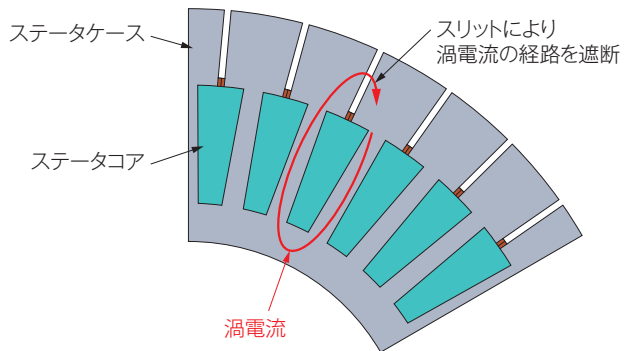
の主な部品構成を示す。提案構造はギャップ面を広く取り、トルクを向上させるため一つのステータを二つのロータで挟み込むダブルロータ型とした。また、モータをできるだけ軽量化するため、第 3 図に示すように、貼り付ける磁石はハルパツハ配置とした<sup>(3)</sup>。この磁石配置は、軸方向へ磁化された磁石と半径方向へ磁化された磁石を組み合わせることで、ステータ側に磁束を集中させる効果がある。これにより、ロータコアを非磁性のアルミ材としてもトルク特性が大きく低下することがないため、モータを軽量化することができる。

第 2 図 (b) にステータの部品構成を示す。ステータ部はステータコア・ステータケース・コイルで構成している。ステータケースには、スリットを設けている。第 4 図にスリットによる渦電流経路



第 3 図 磁石のハルパツハ配置による磁束方向

提案構造で採用している磁石のハルパツハ配置の図と磁束方向を示す。



第 4 図 スリットによる渦電流経路の遮断の様子

ステータケースに設けたスリットによって、ケースに発生する渦電流の経路を遮断していることを示す。

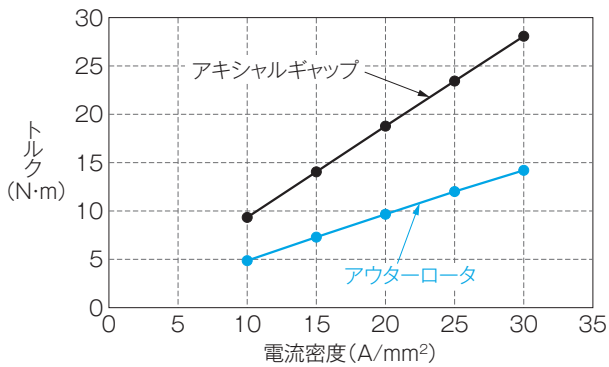
第 1 表 アウターロータ構造とアキシシャルギャップ構造の仕様

アウターロータ構造とアキシシャルギャップ構造のモータ仕様を示す。極数以外は全て同じである。

項目	アウターロータ構造	アキシシャルギャップ構造
スロット数	36	36
極数	42	30
モータケースの外径 (mm)	147.5	
モータの軸長 (mm)	55	
回転速度 (min <sup>-1</sup> )	3193	
最大電流密度 (A/mm <sup>2</sup> )	30	

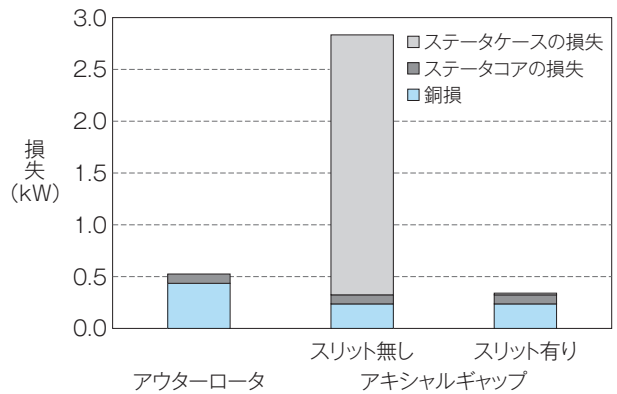
の遮断の様子を示す。ステータケースで発生する渦電流の経路を遮断することで、ケースで発生する損失の大幅な低減が期待できる。

第 1 表に比較モータのアウターロータ構造と提案するアキシシャルギャップ構造の仕様を示す。提案するアキシシャルギャップ構造は、ステータとロータがアウターロータ構造のモータケースに収まる寸法とした。



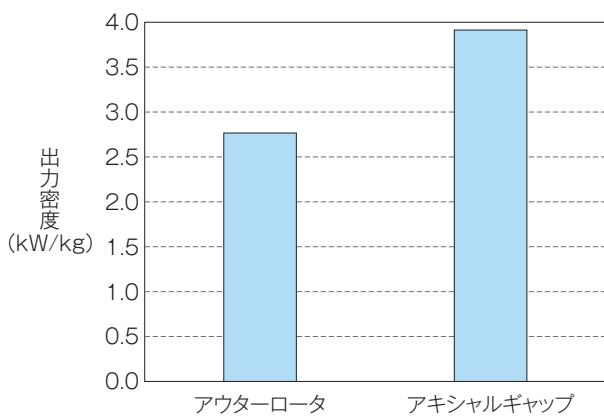
第5図 トルク特性の解析結果

アウターロータ構造とアキシシャルギャップ構造のトルク特性を比較し、アキシシャルギャップ構造の方が優位であることを示す。



第7図 損失特性の比較

アウターロータ構造とアキシシャルギャップ構造で「スリット無し」と「スリット有り」を比較し、「スリット有り」であればステータケースに発生する損失を大きく低減できることを示す。



第6図 出力密度の比較

アウターロータ構造とアキシシャルギャップ構造の出力密度を比較し、アキシシャルギャップ構造の方が優位であることを示す。

アキシシャルギャップ構造は、アウターロータ構造の約1.4倍の出力密度になることが分かる。トルクが2倍向上するのに対して、出力密度が2倍にならないのは、アキシシャルギャップ構造で使用する磁石・ステータコアの質量が、アウターロータ構造よりも大きいことが原因である。

### 3 解析結果

#### 3.1 トルク特性の比較

第5図に電流密度を10～30A/mm<sup>2</sup>に変えた場合のアウターロータ構造と提案するアキシシャルギャップ構造の各トルク特性の解析結果を示す。

解析結果を比較すると、アウターロータ構造に比べ、アキシシャルギャップ構造はトルクが約2倍になることが分かる。これは、アキシシャルギャップ構造がアウターロータ構造に比べ、ギャップ面積が約2倍になることが要因と考えられる。

#### 3.2 出力密度の比較

第6図にアウターロータ構造と提案するアキシシャルギャップ構造の出力密度の比較を示す。アキ

#### 3.3 損失特性の比較

第7図にアウターロータ構造及びアキシシャルギャップ構造の損失特性の比較を示す。ここで示す損失は、アウターロータ構造の電流密度30A/mm<sup>2</sup>時の出力に合わせて算出した。結果を比較すると、スリット無しのアキシシャルギャップ構造の場合、ステータのケースに発生する損失が非常に大きいため、アウターロータ構造と比較して全体の損失が約5.4倍になることが分かる。また、スリット無しとした場合にステータケースで発生する損失は、ステータコアを中心に発生する大きな渦電流によるものである。

以上から、ステータケースに発生する渦電流を切る方向にスリットを入れると、ステータケースに発生する損失が大きく低減できることを確認できた。

### 4 むすび

市販のアウターロータ構造のモータと提案する

アキシシャルギャップモータを、電磁界解析によってトルク特性及び出力密度の特性を比較した。その結果、提案するアキシシャルギャップ構造が、トルク特性で約2倍、出力密度特性で約1.4倍の優位性があることを確認した。また、アキシシャルギャップ構造のステータケースにスリットを入れることで、ケースの渦電流損失を大きく低減できることを確認した。

今後は試作・評価を行い、更なる高出力密度化を検討する。

・本論文に記載されている会社名・製品名などは、それぞれの会社の商標又は登録商標である。

#### 《参考文献》

- (1) 小川徹, 光岡大輔: 「航空機用電動力応用システムの技術動向」, 令和3年電気学会全国大会, No.S16-5
- (2) 竹本真紹: 「アキシシャルギャップモータの効率化の取り組み」, JMAG Users Conference 2016, p.16-1
- (3) 森下明平: 「永久磁石ハルバツハ配列界磁の特徴とドローン用モータへの応用」, Technical Journal of Advanced Mobility, Vol.1, No.1, 2020

#### 《執筆者紹介》



**太田 智**  
Satoru Ota  
先進技術研究所  
回転機の研究開発に従事



**沖津隆志**  
Takashi Okitsu  
先進技術研究所  
回転機の研究開発に従事