

二輪車用小形発電機の高効率化に関する検討

竹内 大補* 野口 季彦 (静岡大学)

刑部 鉄也 佐光 信作 高木 俊尚 (スズキ株式会社)

Study on Efficiency Improvement of Compact Generator for Motorcycle

Daisuke Takeuchi, Toshihiko Noguchi (Shizuoka University)

Tetsuya Osakabe, Sinsaku Sako, Toshihisa Takagi (Suzuki Motor Corporation)

This paper describes a high-efficiency design of a motorcycle generator using an electromagnetic field analysis. The new design employs optimum placement of permanent magnets, modification of the stator teeth shape, copper winding volume optimization, and so forth to raise the efficiency comprehensively. The designed generator has achieved the maximum efficiency of 92.4 %, which is 12 points better than the existing model.

キーワード：電磁界解析，二輪車用発電機，高効率化，小形化

Keywords : electromagnetic field analysis, motorcycle generator, efficiency improvement, size reduction

1. まえがき

近年，アジアを中心に二輪車市場が拡大し販売台数が急速に増加している。それに加えて，ガソリン価格の高騰により，二輪車にも燃費向上の要求が高まっている。従来，二輪車の燃費向上はエンジンを主体として効率改善を行うことで燃費向上を図ってきたが，近年発電機をはじめとする補機の高効率化による総合的な燃費向上が注目されている。本稿では，電磁界解析を用いて既存発電機の損失原因を特定し，その結果を基に発電機の高効率化を図ったので報告する。

2. 既存発電機

図 1 と表 1 に既存発電機の断面図と主要諸元を示す。单相 12 極 12 ポールのアウターロータ形発電機である。周知のとおり発電機の損失は鉄損と銅損，機械損に分けられる。今回は電磁界解析を用いて鉄損と銅損の低減について検討する。既存発電機は鉄損が支配的であり，その原因として考えられるのは，ステータ鉄心のヒステリシス損や渦電流損，磁石の渦電流損，磁石保護のため装着されている金属カバーにおける渦電流損が挙げられる。特にステータ鉄心には圧延鋼板 (SPCC) が使用されており，大きな鉄損が発生する。その他に，磁石が隣り合うことにより発電に寄与しない短絡磁束が発生しており効率低下の原因となっている。電磁界解析でステータ中心部の磁束密度が低いことも判明したため，ステータ鉄心の体積を削減することも可能である。

3. 電磁鋼板の採用

一般に二輪車の発電機では，ステータ鉄心に SPCC を使用しているためステータ鉄損が大きく，効率低下の主因とな

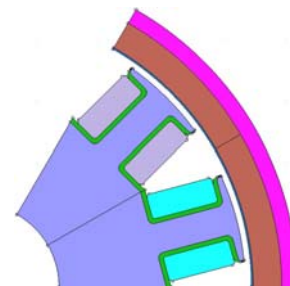


図 1 既存発電機
Fig 1. Existing generator.

表 1 既存発電機諸元

Table 1. Specifications of existing generator.

Normalized rotor diameter	1
Normalized stator diameter	0.839
Normalized axial length of iron core	0.108
Normalized air gap length	9.47×10^{-3}
Winding resistance	0.805 Ω
Number of coil-turn per pole	37
Winding connection	12 series
Normalized thickness of iron core plate	9.02×10^{-3} (SPCC)

っていた。そこで，ステータ鉄心を SPCC の半分の厚みをもった電磁鋼板 (EMSP) に変更し特性評価を行った結果，図 2 に示すように鉄損が大幅に減少し既存発電機から効率が 8 pt 向上した。

4. 改良モデル

<4.1> 磁石の分割

図 3 と表 2 に改良モデルの断面図と主要諸元を示す。既存発電機の磁石は，極間にギャップを設けず相互に接する

ように配置されている。そのため発電に寄与しない短絡磁束が発生し、誘起電圧を下げて結果的に効率を悪化させていた。そこで、磁石を分割して極間に非磁性体を挟み、短絡磁束を低減した。磁石分割を行った結果、既存モデルに対して磁石の使用量を 33%削減することもできた。

〈4.2〉 ティース形状の変更

一般に回転機は双方向に回転して使用することが想定されるため、ティース形状を対称に設計する必要がある。しかし、二輪車用発電機の場合、回転方向が一定であることから、ティース形状を非対称に設計することを検討した。結果として、回転方向のティース先端を伸ばすことで磁束回収量が増加し、発電量を向上させることができた。

〈4.3〉 磁石カバーの穴あけ

磁石カバーは磁石の欠け防止のために装着されているが、素材が導電体であるため、渦電流損が発生し効率低下の要因となっていた。そこで、カバーに開口部を設け磁石を露出することにより渦電流損の低減を目指した。結果として渦電流損が減り効率向上に寄与した。

〈4.4〉 巻線径の変更

図 2 より EMSP を採用した発電機の損失は銅損が支配的となるため、銅損を低減することで効率を大幅に向上させることができると予想した。銅損低減のためには巻線抵抗を下げる必要があり、巻線長を短くし、巻線径を太くすることで対処できる。電磁界解析の結果より、既存モデルのティースは、磁束密度に余裕があることがわかったのでティース幅を狭くすることでスロット面積を確保し、コイル断面積を拡大した。その結果、巻線径を既存発電機の 1.3 倍に変更することができ、巻線抵抗は 0.31Ω 減少した。これにより銅損が低減され効率が向上した。

〈4.5〉 ステータ鉄心の軽量化

電磁界解析の結果から、ステータ鉄心の中心付近は磁束がほとんど鎖交しないため、ここに穴を開けても効率には影響しない。そこで、ステータ鉄心の肉抜きを行って軽量化を図った。

〈4.6〉 損失分離結果

図 2 に 3000 r/min、車両電気負荷相当の 8Ω を与えた場合の損失分離結果を示す。図より既存発電機では、EMSP に変更することで鉄損が大幅に減少したことから、既存発電機の損失はステータ鉄心材料が最大の原因であることがわかる。次に EMSP モデルでは逆に銅損が支配的となるため、銅損の低減が効率改善に効果的である。銅損の低減には巻線抵抗の低減が必要である。そのために巻線径を太くする、もしくは巻線長を短くする必要がある。改良モデルでは、銅損を低減したことにより更に 3.2 pt 効率が向上した。

〈4.7〉 効率特性

図 4 に 3000 r/min 時の効率特性を示す。図より、既存発電機は負荷電流による効率の変化が著しく、軽負荷時に高い効率を維持できない。これに対し改良モデルは、負荷の状態によらず広い範囲で高効率を保つことができる。

5. まとめ

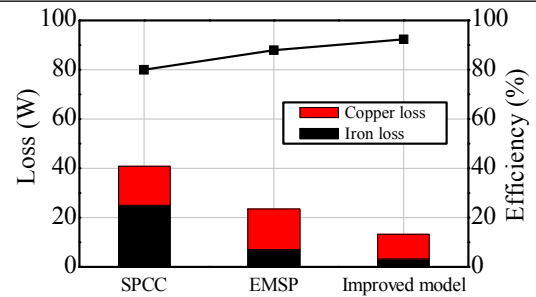


図 2 損失分離結果 (3000 r/min, 8 Ω)
Fig 2. Loss analysis result (3000 r/min, 8 Ω)

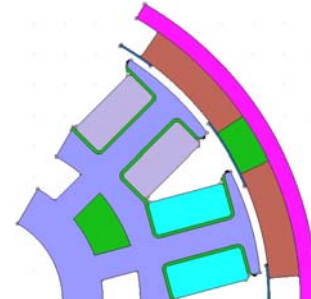


図 3 改良モデル
Fig 3. Improved model.

表 2 改良モデル諸元

Table 2. Specifications of improved model.

Normalized rotor diameter	1
Normalized stator diameter	0.839
Normalized axial length of iron core	0.081
Normalized air gap length	9.47×10^{-3}
Winding resistance	0.494Ω
Number of coil-turn per pole	31
Winding connection	12 series
Normalized thickness of iron core plate	4.51×10^{-3} (EMSP)

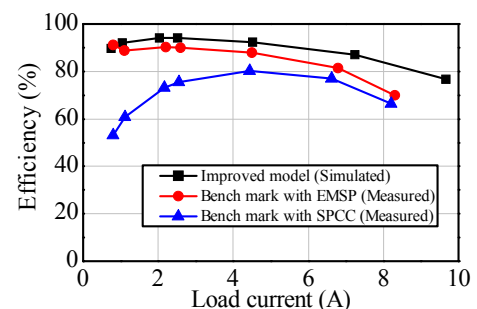


図 4 効率特性 (3000 r/min)
Fig 4. Efficiency characteristic (3000 r/min)

本稿では、既存発電機に対してステータ鉄心材料、磁石配置、ステータティース形状、磁石カバー、巻線径に関する最適化を検討した。電磁界解析の結果、改良モデルは既存発電機に比べ効率で 12 pt 向上し最高効率 92.4%、積厚を 3 mm 短縮することもできた。

今後は、改良モデルの実機試作を行い、性能評価をする所存である。

文 献

- (1) 荻須・野口：「パワー密度を向上した低電圧大電流スロットレス超高速モータに関する検討」, 電学産大, vol. III, pp.119-120 (2011)
- (2) 青山・野口：「空間高調波を界磁エネルギー源とするリアースフリーモータの基礎検討」, H25 年度電学全大, no.5-051(2013)