

# 二輪車用発電機の高効率化に関する検討

紅林 裕貴\* 野口 季彦 (静岡大学)

刑部 鉄也 高木 俊尚 (スズキ株式会社)

## Study on High-Efficiency Design of Motorcycle Generator

Yuki Kurebayashi, Toshihiko Noguchi (Shizuoka University)

Tetsuya Osakabe, Toshihisa Takagi (SUZUKI Motor Corporation)

### 1. まえがき

従来、二輪車はエンジンの効率改善を図ることで燃費向上を行ってきた。しかし、近年は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ソフト JMAG-Designer 15.1 を使用し二輪車用発電機の高効率化について検討したので報告する。

### 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。三相 12 極 18 スロット集中巻のアウターロータ形発電機である。ステータには電磁鋼板 (EMSP) と圧延鋼板 (SPCC) が使用されている。SPCC のティース先端をアキシャル方向に 90 度折り曲げることによって磁束回収量を増やしている。発電機の出力電流はレクティファイアによって整流され、バッテリーの充電やランプ類の負荷電力供給に使用される。

図 2 に車両の電装回路図を示す。サイリスタを用いたオープン式レクティファイアを使用するため、このレクティファイアと発電機を組み合わせ、所定の動作点で発電機損失を低減することを目標とした。この場合、発電機は 2 つの動作状態で運転される。即ち、バッテリー満充電時はレクティファイアが常にオフし、充電時は全波整流を行うが、点弧角制御は行われず、これら 2 状態を切り換えることによって平均的な出力電流を調整する。図 3 に既存発電機の 2 状態における諸損失を示す。ここで 3000 r/min はモード運転中の比較的使用頻度の高い回転数である。実験ではバッテリー電圧が 13 V 一定となるように電子負荷で制御を行った。レクティファイアがオンのとき、電機子反作用磁束によってステータティース内の磁束密度が減少するため無負荷時よりも発電機の鉄損が低下する。

### 3. 設計仕様

車両との取り付け互換性を考慮し、新規設計発電機では既存発電機のロータバックヨークをそのまま使用することとした。磁石については既存の型の中から選定し、磁石材料のみを変更する。ステータも同様に車両との取り付け互換性を考慮しながら設計を行い、後述の方策に基づいて高効率化を目指した。

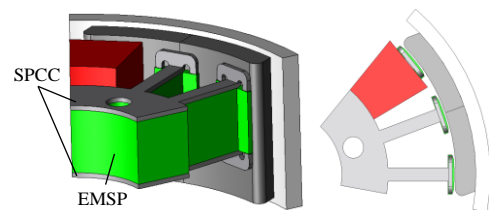


図 1 既存発電機

Fig. 1. Conventional generator.

表 1 既存発電機諸元

Table 1. Specifications of conventional generator.

Normalized rotor diameter	1
Normalized stator diameter	0.828
Normalized axial length of stator core	0.144
Normalized air gap length	$3.82 \times 10^{-3}$
Winding resistance for one phase	0.30 $\Omega$
Number of coil-turns per pole	42
Normalized thickness of iron core plate	$3.82 \times 10^{-3}$ (EMSP)
Normalized thickness of iron core plate	$9.16 \times 10^{-3}$ (SPCC)

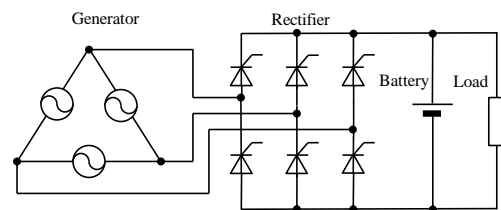


図 2 電装回路図

Fig. 2. Electric circuit diagram.

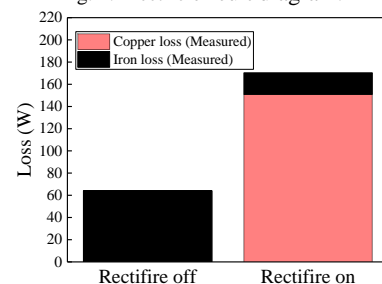


図 3 既存発電機の損失割合 (3000 r/min)

Fig. 3. Losses of conventional generator (3000 r/min) .

本発電機では次の出力条件を満たす必要がある。

- (1)10500 r/min で無負荷線間電圧  $V_{p-p}$  400 V 以下
- (2)1300 r/min でバッテリー入力電流 18.5 A 以上
- (3)10500 r/min でバッテリー入力電流 35 A 以下

#### 4. 新規設計発電機

図 4 と表 2 に新規設計発電機の断面図と主要諸元を示す。本発電機では磁石カバー (SUS) が追加されている。図 5 に電磁界解析により無負荷状態における既存発電機の鉄損を求めた結果を示す。この結果から、ステータに使用している SPCC の渦電流損が大きな損失要因となっていることが判明したため、新規設計発電機では SPCC を廃止した。さらに、EMSP での鉄損を減らすため、既存発電機に使用していた電磁鋼板よりも鉄損が 40 % 小さなものに変更した。レクティファイアがオンのとき、発電機での損失は銅損が支配的となるため、コイル径を太くし銅損を抑える必要がある。そのため、既存発電機に比べスロットの深さを変更し、スロット面積を 8.7 % 拡大した。SPCC 廃止によるコイル鎖交磁束の減少を補うため、EMSP の積厚を 21.2 % 増やし、コイル巻数を 42 T から 37 T に減らした。スロット面積の拡大とコイル巻数の減少により、コイル直径を既存発電機に比べ 0.1 mm 太くし一相巻線抵抗を 0.3  $\Omega$  から 0.2  $\Omega$  に低減することができた。

既存発電機の磁石はオーバーハングが大きく、発電に寄与していない部分が多い。このため、既存発電機よりも軸方向の長さが短い型を使用した。最後にスロット開口幅を調整し、出力使用を満たすようにした。

図 6 に新規設計発電機の 2 状態における損失解析結果を示す。この結果から既存発電機に比べ、両状態において損失を低減することができると予想される。図 7 にバッテリー電圧を 13 V とした場合の出力電流特性と図 8 に 10500 r/min での無負荷線間電圧波形を示す。これらの図から、新規設計発電機が要求仕様を満たすことが確認できる。

#### 5. まとめ

本稿では、既存発電機に対してステータの SPCC 廃止と電磁鋼板の変更、ステータ形状変更によって損失低減を図った。電磁界解析の結果、新規設計発電機において 3000 r/min での動作状態における損失を無負荷状態で 61.7 % (-39.6 W)、レクティファイア動作時で 15.1 % (-25.7 W) 低減することができた。

今後は新規設計発電機の実機試作を行い、実験的に解析結果と運転特性の比較、評価を行う所存である。

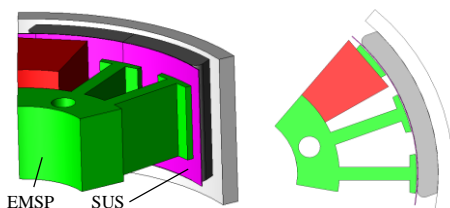


図 4 新規設計発電機  
Fig. 4. Improved generator.

表 2 新規設計発電機諸元

Table 2. Specifications of improved generator.

Normalized rotor diameter	1
Normalized stator diameter	0.832
Normalized axial length of iron core	0.153
Normalized air gap length	$3.82 \times 10^{-3}$
Winding resistance	0.20 $\Omega$
Number of coil-turns per pole	37
Normalized thickness of iron core plate	$3.82 \times 10^{-3}$ (EMSP)

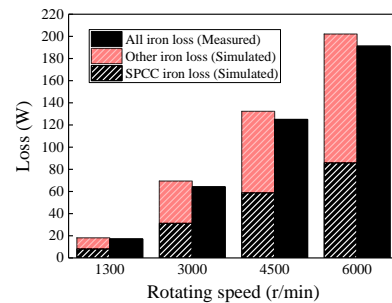


図 5 既存発電機無負荷鉄損分離結果  
Fig. 5. No-load iron losses of conventional generator.

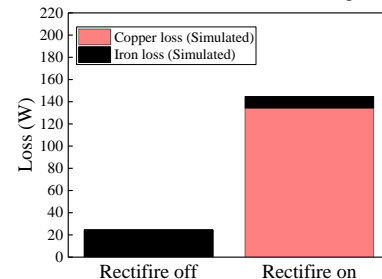


図 6 新規設計発電機損失割合 (3000 r/min)  
Fig. 6. Losses of improved generator (3000 r/min).

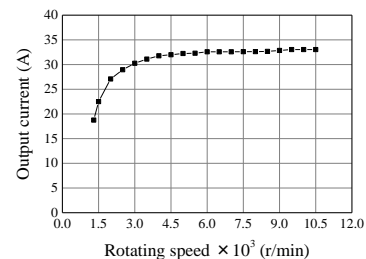


図 7 新規設計発電機出力電流特性  
Fig. 7. Output current characteristic of improved generator.

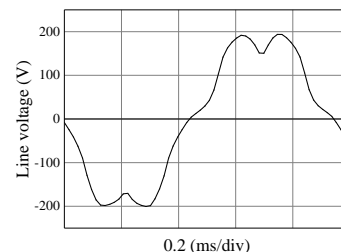


図 8 新規設計発電機の無負荷線間電圧波形 (10500 r/min)  
Fig. 8. No-load line-to-line voltage waveform of improved generator (10500 r/min).

#### 文 献

- (1) 竹内・野口・刑部・佐光・高木 : 「二輪車用小形発電機の高効率化に関する検討」電学産応大, vol.III, pp.211-212 (2013)