

アセアンコンピュータービークル用 SMG 開発・製造 ～コスト低減への挑戦～

Development and Manufacturing of Smart Motor Generators for
ASEAN Commuter Motorcycles: The Challenge of Cost Reduction

正岡 晃 永田 剛

Abstract

The Smart Motor Generator (hereafter “SMG”) system for air-cooled engines is included in the Grand Filano sold in Thailand from the 2018 model onwards. Yamaha Motor Electronics Co., Ltd. develops and manufactures the Starter Generator Control Unit and the Starter Generator, which are core components of the SMG system.

During the development of the SMG system at our company, an even bigger issue than incorporating functionality was how to build in low costs. This report introduces the cost reduction initiatives taken as part of SMG system development.

1 はじめに

タイ市場で販売されているGRAND FILANOの2018年モデルより、空冷エンジン用SMART MOTOR GENERATOR(以下、SMG)システムが搭載されている。ヤマハモーターエレクトロニクス株式会社(以下、当社)ではSMGシステムの構成部品の内、基幹部品であるSGCU(STARTER GENERATOR CONTROL UNIT)およびSG(STARTER GENERATOR)を開発・製造した。

当社の SMG システムの開発においては、機能の作り込み以上にコストの作り込みが大きな課題であった。本稿ではコスト低減の取り組みについて紹介する。

2 開発の狙い

GRAND FILANO 2018 年モデルへの SMG システムの採用は、燃費の向上および静粛なエンジン始動が狙いであり、今後もコンピュータービークルに順次採用が計画されている。

本システムが市場にて多くのお客様に受け入れられるようにするためには、既存の車両に対するコストアップは最小限に抑える必要がある。よって SGCU、SG とともに、要求仕様を満足する製品を可能な限りローコストで実現することが最重要課題であった。

3 システム構成

SMG システムの構成概要について紹介する。

通常の FI システム（電子制御ガソリン噴射システム）は、主に以下の製品によって構成されている。

① ECU (ENGINE CONTROL UNIT)

各種センサ入力から最適な点火、噴射時期を算出し、点火コイル、インジェクタ等を制御する。

② REG (REGULATOR)

ACMG の発電を整流し、バッテリーに充電する。

③ ACMG (AC MAGNETO GENERATOR)

ローターとステーターから構成され、クランクシャフトに取り付けられたローターがエンジン回転により回転することで発電する。またローター外周に設けられた突起位置をセンサで検出し、クランク角として ECU へ出力している。

④ STARTING MOTOR

エンジン始動の際、モータが回転し、ギアを介してクランクシャフトを回転させる。

一方、今回の SMG システムは主に SGCU と SG にて構成される。SGCU は前述の ECU と REG の機能を担い、SG は ACMG と STARTING MOTOR の機能を担っている（図 1）。

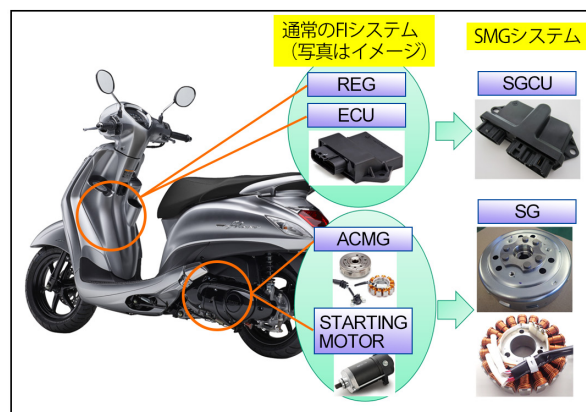


図1 SMGシステム構成部品概要

つまり SGCU は ECU 回路および SG 用のインバーター回路を実装した製品であり、ECU に対して以下の機能が追加されている。

- ・エンジン始動時には SG を三相 MOTOR として駆動
→ギアを介さず駆動するため、静粛な始動が可能。
- ・走行中は SG から発電される出力をバッテリーへ充電
→ REG が不要となる。

なお、今回のシステムはハイブリッドシステムであり、車両が加速する際の条件によって、SG を三相 MOTOR として駆動し、エンジン出力をアシストする機能も有する（図 2）。

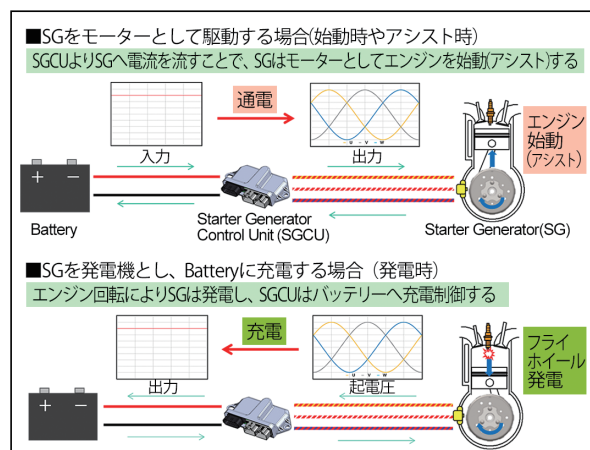


図2 駆動と発電の機能概要

4 コスト低減の取り組み

4-1. SGCU

コスト低減のために、材料費、加工費、設備投資を抑える必要がある。先行開発段階では放熱性を考慮してアルミケースを採用していたが、量産開発段階ではコスト低減のため、封筒型の樹脂ケースに基板を挿入し、ウレタン樹脂で注型する、という従来の ECU と同じ構造で製品を成立させることを目標に開発を行った。

この構造を採用するために、主に熱と振動の二つの課題に取り組んだ。以下、それらの課題に対する取り組みの概要を紹介する。

4-1-1. 熱に対する取り組み

インバーター回路は SG への通電電流が大きく、ECU 回路より発熱が大きいいため、従来の ECU 以上の熱対策が必要である。

まず取り組んだのは、基板の銅箔を利用して熱を分散する方法である。発熱部品の周辺にはスルーホールを設け、複数の銅箔層へ、さらにその先のコネクタとハーネスまで熱を伝え、熱を分散させている。放熱のため、銅箔厚も従来の ECU より厚くした。

またインバーター回路の FET は、特性（オン抵抗と動作スピード）を考慮して発熱し難いものを選定した。しかしながら、発熱し難い特性の FET はそれ自体が高価である。そのため、ケースや注型樹脂など、その他の熱対策要素と組み合わせた場合のトータルコストを考慮して選定する必要がある。そこで今回の開発では、まず図 3 に示す組み合わせを机上で検討し、続いて熱設計を行うためのシステムの動作パターンを、ヤマハ発動機の SMG システム設計チームと設計した。次に各熱対策要素を組み合わせた試作品を作成し、目標とする放熱性を満足し、かつ材料費（および加工費と設備投資の総額）が最も安価な組み合わせを採用する手法を採った（図 3）。

ケース材		放熱性			
		アルミ		樹脂	
		樹脂 A	樹脂 B	樹脂 A	樹脂 B
駆動用 FET	FET_1	OK	OK	OK	NG
	FET_2	OK	OK	OK	NG
	FET_3	OK	OK	NG	NG
	FET_4	OK	OK	NG	NG
	FET_5	OK	NG	NG	NG
	FET_6	NG	NG	NG	NG

図3 熱対策選定テーブル

4-1-2. 振動に対する取り組み

SGCU はバッテリーとインバーター回路間に電源平滑用電解コンデンサを有している。この平滑用コンデンサは ECU で使用しているその他用途の電解コンデンサに対し、大きな容量、電流定格が必要なため、サイズも大型である。そして大型であるがゆえ、振動により内部の素子が振れ、素子に接続されている端子が折れるという問題が発生しやすい。さらに今回、アルミから樹脂のケースに変更することで、ケース剛性が下がり、振動に対しては不利な構造となっている。よってコンデンサは使用条件を見極め、可能な限り小型なものを選定する必要がある。

具体的には、

- ① システム動作条件で電氣的寿命を満足するコンデンサを複数選定した。
- ② SGCU の保証振動条件で振動させた時のコンデンサの振動を測定し、耐振動寿命予測を実施した。

以上の取り組みを経て、樹脂ケースでも振動に耐え得る平滑用コンデンサを選定した。なお、先行開発段階では高さ 35.5mm の平滑用コンデンサを選定していたが、量産開発段階では先ほどの取り組みにより 20mm まで小型化することができた。

これらの取り組みにより、構造を ECU と同一とすることで、材料費と加工費を削減し、また既存の ECU ラインの多くを流用することが可能となり、結果、設備投資を大幅に抑制することができた（図 4）。



図4 SGCU量産品

4-2. SG

SG も SGCU 同様、材料費、加工費、設備投資を抑制することが課題である。

先行開発段階では技術的な成立性の確認に重きを置き、要求サイズにて要求性能を成立させる開発に注力し、量産開発段階では構造を見直すことで、コスト低減を実現した。以下、コスト低減のための施策を中心に紹介する。

4-2-1. 巻線仕様の見直し

前述の通り、SG はギアを介さずエンジンを始動する。したがって、STARTING MOTOR と比較した場合、エンジン始動時により大きなトルクが要求される。先行開発段階では要求トルクを満たすために、18 スロットの STATOR に、1 直 × 6 並列の巻線を行っていた。この巻線仕様は当社の製造拠点では経験の無い、高密度な巻線仕様であった。この巻線を実現するために、先行開発段階ではコア（STATOR の磁性体からなる鉄芯）を分割し、個別に巻線した後にスロットを組み合わせ、ボードコネクションを使用して結線する構造（図 5）を採用し、開発を進めてきた。

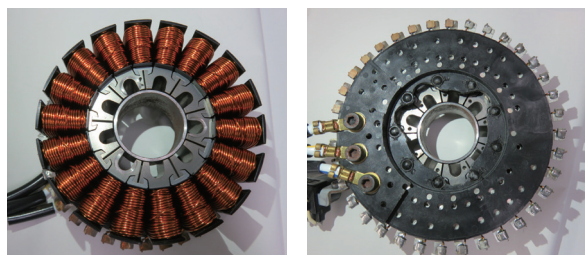


図5 分割コアとボードコネクション

しかしながら、分割コア+ボードコネクションの構成は製造拠点の既存設備だけでの生産が難しく、多大な設備投資が必要となる。さらに従来の ACMG に対しボードコネクションを筆頭として部品費も高額となり、目標コストをクリアするには課題が山積していた。その課題を解決すべく量産開発段階では巻線仕様を大きく見直すことからスタートした。

要求トルクを満たしつつ巻線仕様を変更しなければならぬため、各スロットの A（アンペア：電流）× T（ターン：巻数）は変更せず、かつ一体型のコアで巻き線ができる仕様の検討を行った。電流値は巻線の抵抗値に依存するため、銅線の線径や巻数に影響される。よって相互の影響を考慮しながら巻線仕様を検討する必要がある。最終的に、巻線仕様を 2 直 × 3 並列 Y 結線とし、各スロットの巻線数を半減する巻線仕様へ見直しを行った（図 6）。

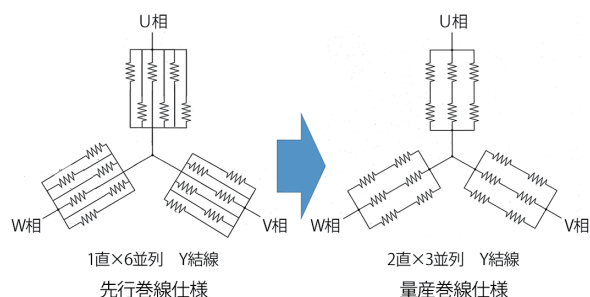
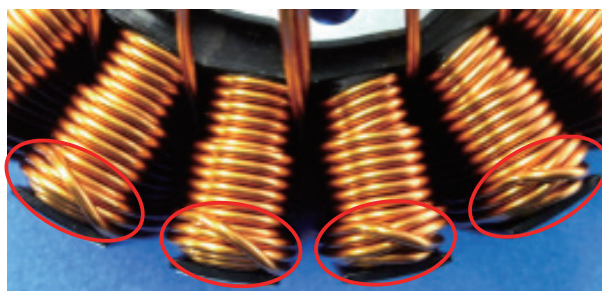


図6 巻線仕様の変更

4-2-2. コア仕様の見直し

巻線仕様を見直したことにより、各スロットの巻数を先行開発段階に比べ半減させることができた。さらにスロット間隔の広い最外部に俵状（図 7）の巻線を追加することで、コアを分割せず一体型の形状であっても巻線が可能となった。これにより、従来の巻線機での巻線が可能となり、大幅な設備投資抑制につながった。



最外部の俵状巻線

図7 スロット最外部巻線

4-2-3. ボードコネクションの廃止

巻線仕様を見直したことによるもう 1 つのメリットとして、ボードコネクションの廃止がある。先行開発段階では分割コアのため、各スロット巻始めと巻終わりの線が 2 本引き出され、合計 36 本の結線が必要であった。これを前述の巻線見直しにより、各スロット巻始めもしくは巻終わりの 1 本のみの引き出し線となり、合計 18 本へ減らすことができた。これにより、ボードコネクションを用いずとも組み立てが可能なレベルとなった。

主に以上の構造見直しを通じ、当社の従来の ACMG に近い構造とすることができ、結果、設備投資を大幅に抑制することができた（図 8）。



図8 SG量産品

■著者



正岡 晃
Akira Masaoka
ヤマハモーター
エレクトロニクス株式会社
開発統括部
電装開発部



永田 剛
Tsuyoshi Nagata
ヤマハモーター
エレクトロニクス株式会社
開発統括部
電装開発部

5 おわりに

以上の取り組みの結果、SGCU、SG ともに可能な限りローコストで要求仕様を満足する製品を実現することができた。

最初に述べたとおり、本製品によって燃費の向上および静粛なエンジン始動が実現できる。当社も感動創造企業であるヤマハ発動機のグループ会社として、本製品を搭載した車両を通じ、より多くのお客様に新たな感動と豊かな生活を提供できれば幸いである。