

# EPS用次世代モータコントロールユニット

有働豊秋\*  
國光威宏\*  
米澤亮一\*

Next Generation Motor Control Unit for Electric Power Steering

Toyoaki Udo, Takahiro Kunimitsu, Ryoichi Yonezawa

## 要 旨

EPS(電動パワーステアリング)はドライバーの操舵(そ  
うだ)負荷トルクをモータでアシストするシステムで、数多  
くの乗用車に搭載されている。三菱電機はこれまで、中・  
小型乗用車のEPS向けを中心に、ブラシレス方式のモー  
タとECU(Electronic Control Unit)を一体型にしたMCU  
(モータコントロールユニット)である2G-FI(ECU前方搭  
載型第2世代MCU)を量産してきた。今回、大型乗用車の  
EPS向けに高出力な次世代MCUである2G-RI(ECU後方  
搭載型第2世代MCU)を開発し、量産化した。

開発に当たっては、高出力化のために、従来機種に比べ  
てモータ径を拡大し、定格電流を増やした。さらに、アル  
ミ製円筒フレームにモータ部品とECU部品を収納し、最

適設計することで、スリムで、かつ広い周波数帯で高い  
EMC(ElectroMagnetic Compatibility)性能を持つ製品を  
実現した。

安全面では、従来の信頼性が高い安全設計を踏襲しつつ、  
新たな安全機構の構築によって機能安全規格ISO26262で  
最も要求レベルの高いASIL-D(Automotive Safety In-  
tegrity Level-D)に適合する安全設計を実現した。

また、車載ソフトウェア標準化プラットフォームAU-  
TOSAR<sup>(注1)</sup>(AUTomotive Open System ARchitecture)  
や次世代通信プロトコルFlexRay<sup>(注2)</sup>の採用など、ソフト  
ウェア面でも付加価値の高い製品を開発した。

(注1) AUTOSARは、AUTOSAR GbRの登録商標である。

(注2) FlexRayは、Daimler AGの登録商標である。



## ECU後方搭載型第2世代MCU(2G-RI)

大型乗用車のラック搭載型EPS向けの次世代MCUを開発した。全体構造の最適化によって、従来機種よりも高出力だが、スリムで優れた  
EMC性能を持つ高機能なMCUを実現した。

## 1. ま え が き

EPSはドライバーの操舵負荷トルクをモータでアシストするシステムで、中・小型乗用車を中心にコラム搭載型EPSが採用されてきた。近年では、大型乗用車向けのラック搭載型EPSの需要も拡大している。

当社はこれまで、コラム搭載型EPS向けを中心に、ブラシレス方式のモータとECUを一体型にしたMCUである2G-FIを2013年から量産してきた<sup>(1)</sup>。今回、ラック搭載型EPS向けに高出力かつスリムなパッケージの次世代MCUとして2G-RIを開発し、量産を開始した。

本稿では、2G-RIの特長について述べる。

## 2. 次世代MCU 2G-RIの特長

### 2.1 高出力とスリムなパッケージの両立

従来機種2G-FIと今回開発した2G-RIの仕様比較を表1に示す。大型乗用車向けの高出力対応として、基本的な電磁気設計は2G-FIと同じ10極12スロット、デルタ結線を踏襲しつつ、ロータとステータの外径を拡大して電磁気設計を最適化した。また、ECU部のFET(Field Effect Transistor)等の通電部品の容量アップと放熱性能を向上させることで定格電流を80Armsから100Armsに拡大し、高トルク化と高回転数化を図った。

一方で、ステアリングラックへの搭載性に影響するMCU外径寸法を小さくするために、図1に示すように、一様円筒形状のアルミ製フレームに開口面からステータと

表1. 2G-FIと2G-RIの仕様比較

		仕様(同等トルクで比較)	
		2G-FI	2G-RI
性能	定格電流(Arms)	80	100
	定格トルク(N・m)	4.79	4.71
	定格回転数(r/min)	1,380	1,830
	出力(W)	692	903
寸法	円筒部半径(mm)	65.0	46.2
	全長(mm)	135	201
質量(kg)		3.1	2.9

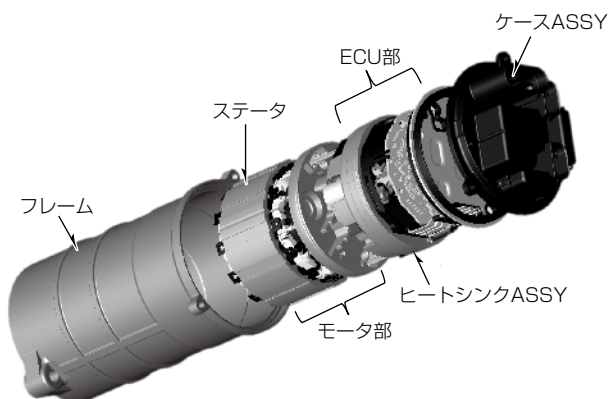


図1. 2G-RIの内部構造

ヒートシンクASSY(Assembly)を挿入・圧入し、最後に車両コネクタ部を持つケースASSYで蓋をする構成とした。これによって図2に示すように、2G-FIでは外径方向に突出していたステータを持つフレームとハウジングの締結部及びハウジングとヒートシンクの締結部を廃止することができ、また、ケースASSYの軸方向端面に車両コネクタ部を設けることで、スリムなMCUになった。ECUについては図3に示すとおり、従来、モータ軸方向寸法短縮のために、同一平面に配置していたパワーモジュールとコンデンサを、2G-RIではヒートシンクの両面に同軸上に配置することで、ヒートシンクASSYを径方向に小型化した。

### 2.2 EMC性能向上

車両を安全に走行させるために、車両内の電子機器にはその動作によって、他のシステムの動作を妨害しないこと(EMI(ElectroMagnetic Interference)性能)、他のシステムから妨害されずに動作すること(EMS(Electro-Magnetic Susceptibility)性能)の両立(EMC性能)が求められる。2G-RIが搭載される欧州の自動車メーカーでは、EMI性能に対する要求が高く、中波放送帯・FM放送帯でCISPR(Comité International Spécial des Peturbations Radio électriques) 25で最も厳しいクラス5を満足することが求められる。

この対策として、図4に示すようにECU部をアルミ製のフレームと、プレートASSYに収納する構成とし、パワーモジュールなどのインバータ主回路及び制御回路基板から放射されるノイズが外部に漏れるのを抑制した。ま

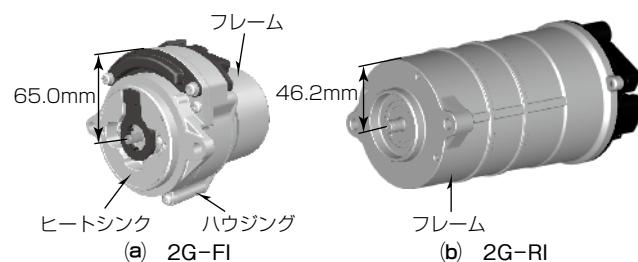


図2. 2G-FIと2G-RIの外観比較

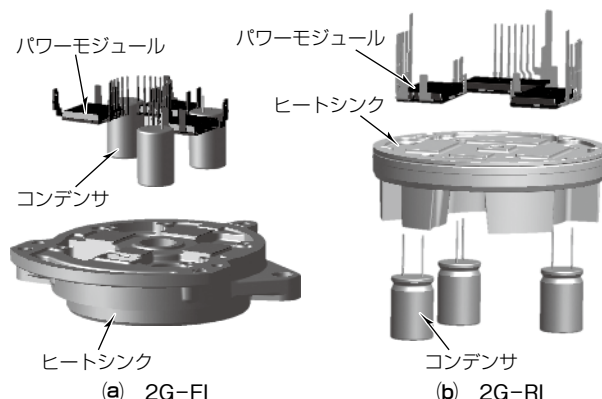


図3. ヒートシンクASSYの概略構成

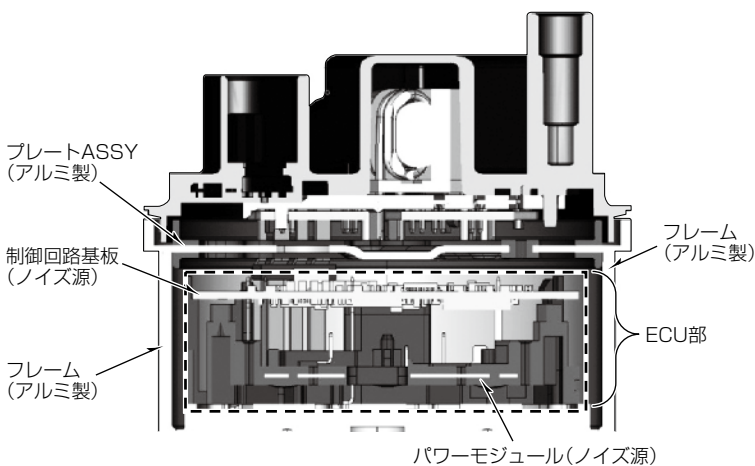


図4. 2G-RI ECU周辺部の断面図

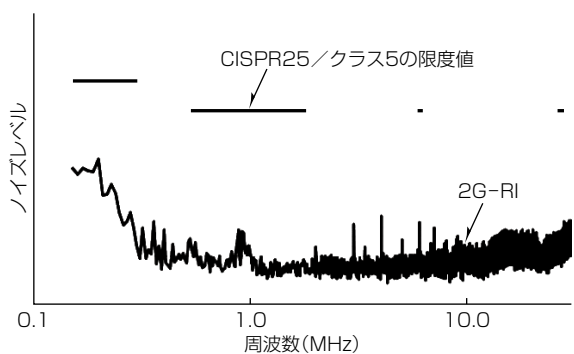


図5. 放射EMI性能

た、伝導雑音抑制のためのフィルタ設計の最適化も行った。これらによって、伝導及び放射EMI性能共に中波放送帯・FM放送帯でCISPR25/クラス5を満足する性能を達成した(図5)。同時に、周波数1MHz～3GHzの広い周波数にわたって400V/m以上の高いEMS耐性も確保し、製品に求められるEMC性能を実現できた。

### 2.3 安全設計

中・大型乗用車でのEPS機能失陥は車両の操舵機能の喪失につながり、重大事故へと至る可能性がある。このため、EPSは機能安全規格ISO26262で最も要求レベルの高いASIL-Dが求められ、信頼性の高い設計が必要となる。当社は当初から安全性を考慮したEPSを設計し、これまで数多く量産化してきた。2G-RIでは、これまでの量産で実績がある安全設計は踏襲しつつ、ASIL-D適合のマイコンを採用するなど新たな設計を盛り込み、ASIL-Dの要求を満足する安全設計を実現した。

ハードウェア設計では、パワーモジュールの適用など2G-FIで実績のある信頼性の高い要素技術を継承した。さらに、部品・回路レベルでの冗長化設計を実施し、故障部位検出性とアシスト継続性の向上を実現した。またISO26262に基づき、電子部品の故障率を用いて、定量的に安全性を検証した。

ソフトウェア設計では、従来実装している実績のある安全機構を踏襲しつつ、不正アクセスからメモリを保護する機能や、プログラム実行状態を監視する機能を強化し、また、一部の機能が故障しても他の機能への影響を最小限に抑えるアーキテクチャを新たに構築した。開発プロセス面では、安全目標達成に必要な活動が全ての開発工程で確実に実行されたことを確認するため、構成管理ツール導入によって開発に関連する膨大な文書を一元管理し、文書間のつながりや抜け漏れチェックを容易にした。これらによって、安全性の証明と品質の確保を実現した。

### 2.4 高付加価値化

この製品には、欧州自動車メーカーを中心に採用が進む車載ソフトウェア標準化のプラットフォームであるAUTOSARを適用した。自動運転や電動化の普及にしたがって自動車に搭載される機能は年々増加かつ高度化している。それに伴い、ソフトウェアの開発規模や複雑性も増大している。AUTOSARは、こうした車載ソフトウェア開発の課題解決を目的にした標準化プラットフォームであり、この製品に適用することによって開発規模抑制、移植性の面で優位性を得た。

また、顧客ソフトウェアを当社ソフトウェア内に組み込む仕組みを提供することで、操舵フィーリング制御に関わるソフトウェアの自社開発を望む顧客要求にきめ細かく応えることができた。同時に、この仕組みによってソフトウェア開発を顧客と並行して実施できるためソフトウェア開発効率化にも寄与した。

車両との通信機能については、次世代車載ネットワークの一つであるFlexRayを新採用した。近年、自動車に搭載されるECU自体の増加や、複数のECUがネットワークを介して協調動作する運転支援機能追加に伴い、通信の高速化と信頼性向上が車載ネットワークに対する主な課題となっていた。FlexRayは、従来の車載ネットワークであるCAN(Controller Area Network)が抱えるこれらの課題を解決する次世代の通信プロトコルであり、この採用によって高速・高信頼性の車両内通信を可能とした。

## 3. むすび

高出力でスリムな高機能次世代MCU 2G-RIを開発し、量産化した。今後も、自動運転や各機能の二重化による止めないEPSの実現など、更なる高機能で小型なMCUを開発し、よりよい車社会に貢献していく。

### 参考文献

- (1) 浅尾淑人, ほか: EPS用次世代モータコントロールユニット, 三菱電機技報, 87, No8, 452~455 (2013)