

EPS 用 駆動 2 系統 MCU*

2-Drive Motor Control Unit for Electric Power Steering

大橋 正幸

Masayuki OHASHI

In major markets fuel consumption regulations are requiring lower fuel consumption and reduced CO₂ emissions. Even in vehicles without engines EPS (Electric Power Steering) is indispensable as HV and EV become more common. The contribution of EPS to active safety technology is significant. Combined with a brake system and various sensors, EPS contributes to driving support functions such as automatic parking. For these reasons, as vehicle production increases in the future, we expect EPS installation rates to increase. Considering these market conditions, and to assure compliance with severe fuel consumption regulations, EPS size and mass reductions are necessary. We developed MCU (Motor Control Unit) for EPS. To contribute to automotive safety the motor and ECU (Electric Control Unit) are integrated with redundant design, and the size and mass are reduced.

Key words :

electronics and control, electrical actuator, electrical equipment, Electric Power Steering

1. まえがき

近年、省燃費や CO₂ 排出量削減として、世界的な燃費規制が強化される中、ハイブリッド車や電気自動車の普及に伴い、エンジン駆動がなくてもアシストが可能な電動パワーステアリング (以下 EPS) が必要不可欠になっている¹⁾。

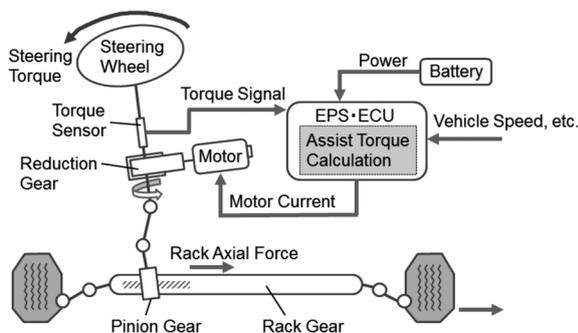


Fig. 1 EPS System

また、ブレーキシステムや各種センサとの協調によるアクティブセーフティ技術や、自動駐車などの運転支援機能において、EPS の貢献は非常に大きいことから²⁾、今後の自動車生産台数の増加に応じて EPS の実車搭載の増加が見込まれる¹⁾。

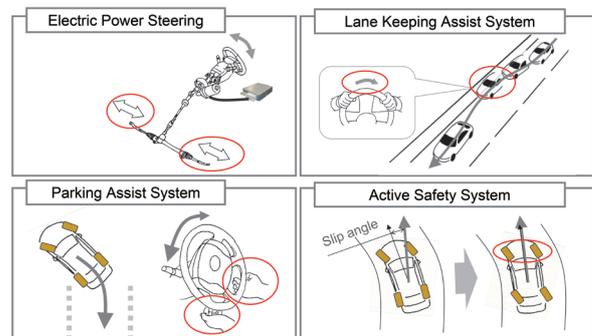


Fig. 2 EPS and applied products

* (社) 自動車技術会の了解を得て、「2013 年秋季大会学術講演会前刷集」20135682 より一部加筆して転載

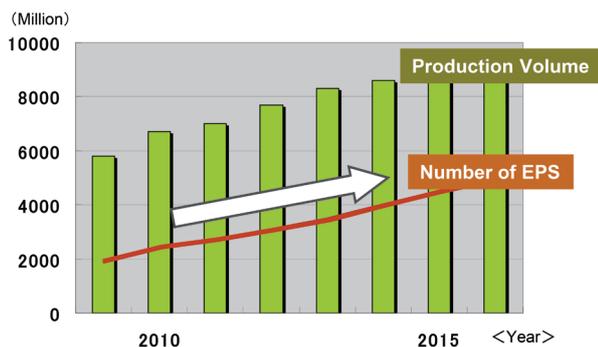


Fig. 3 World forecast production volume of EPS

このような状況下、厳しい燃費規制に対応していくためには、EPSには更なる小型・軽量化が求められている。

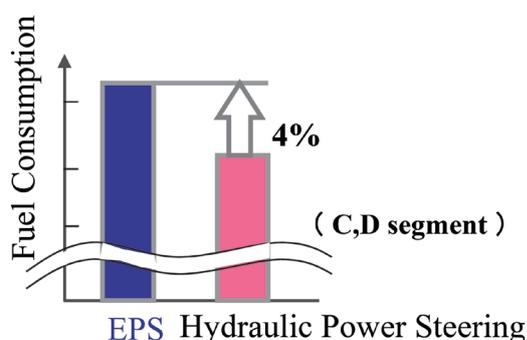


Fig. 4 Fuel Consumption

本報では、小型・軽量化に加え、安全・安心な自動車社会に貢献するために、モータとECU(Electric Control Unit)を一体化し、かつ冗長設計を織込んだ機電一体化EPS用MCU(Motor Control Unit)を開発したので、その内容について報告する。

2. EPSの安全設計思想

元々、小型乗用車に採用されていたEPSだが、その利便性から現在は大型乗用車にも採用されている。一方、EPSは電気・電子部品で構成されており、万が一、故障が発生した場合は、フェイルセーフの思想として安全側に作動するように、アシスト停止するように制御している。

アシスト停止した場合、操舵力が通常より大きくなるが、特に大型乗用車の場合、小型乗用車よりも大きなアシスト力を必要としているので、アシスト停止の影響も

大きく、このような状態において、通常と同じ操作性を確保するのはより難しくなる。アシスト停止を発生させないためには、故障させないこと、つまり本質安全が理想的である。ただし、現実的に電子部品の故障が皆無であるとは言い切れず、故障した場合においても、そのリスクを抑える機能安全の考え方が必要となる。

自動車部品において、機能安全の考え方はISO26262で規格化されており、EPSにおいてもISO26262準拠を目指している。アシスト停止の可能性が皆無でなくても、ISO26262に準拠する可能性はあるが、極力、アシスト停止は発生させない事が望ましい。そのためにモータの駆動回路を冗長にした、2系統駆動ブラシレスEPS用MCUを開発し、その効果として、アシスト停止の発生頻度を飛躍的に低減させた。

3. 駆動2系統ブラシレスEPS用MCU

従来のEPSはモータとECUがFig.1に示すように、別部品であるため車両搭載上、それぞれのスペースの確保が必要であった。本製品ではFig.5に示すように、モータの軸上にECUを配置する構造とし、これまでのモータシルエット内にECUとモータを納めることで、小型化を実現し搭載性を向上した設計としている。

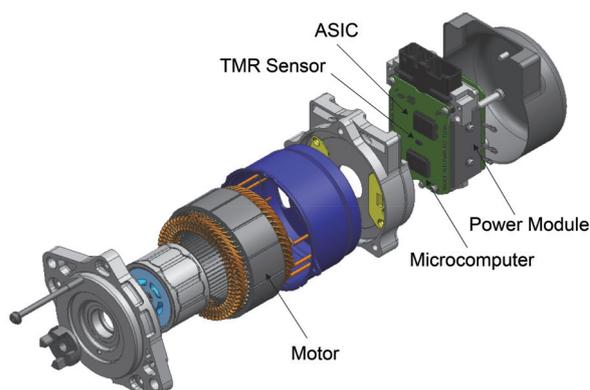


Fig. 5 2-drive MCU for EPS

具体的な小型化の手段として、バスバー廃止による機電直接接続、機電一体構造による磁気抵抗素子センサの採用、駆動回路の冗長化での発熱分散によるヒートシンクの小型化およびECU部品数の削減等があげられる。

3.1 磁気抵抗素子センサ

ブラシレスモータの場合、ブラシ付きモータでのブラシとコンミテータの整流作用の役目として、回転角センサが必要となる。回転角センサでモーターの回転角を把握し、ECUがその信号に応じて電流制御する。現在は、回転角センサとしてレゾルバが主流である。しかし、このレゾルバのデメリットとして

- ・回転角検出用のコネクタ、ハーネスが必要
- ・角度検出回路が大規模になってしまう
- ・故障発生時の不具合箇所の特定困難

といった点があげられる。そこで、回転角センサを磁気抵抗素子センサのTMR(Tunnel Magneto-Resistance)センサとすることで、非接触で、かつ簡素な回路構成での角度検出を可能にし、これらの課題をクリアした。

TMRセンサを採用するにあたっては、センサやI/F回路の特性や、TMRと被検出部であるセンサマグネットの相対的な位置関係のズレに起因した低次の角度誤差が課題であった。そこで、各々の誤差に応じて校正を施すことで、EPSで求められる検出精度を達成している。

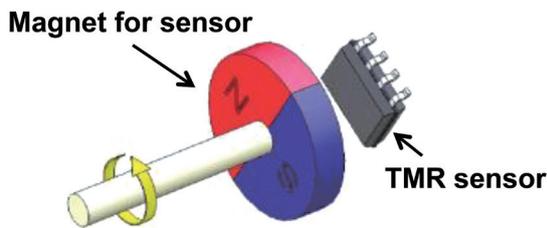


Fig. 6 TMR Sensor and Magnet for sensor

3.2 パワーモジュール

複数のMOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor) を、1つのパッケージに統合することで部品数を削減でき、従来よりも60%小型化できる設計とした。

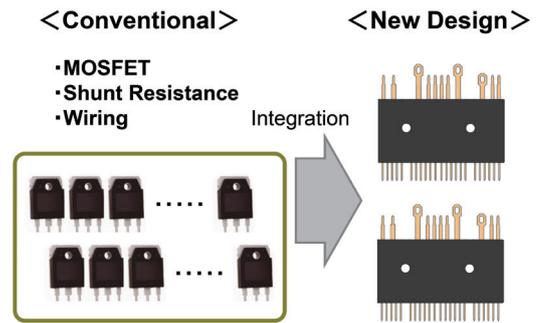


Fig. 7 Power Module

また、1パッケージとなることで故障率低減を可能にしている。このパワーモジュールを2個使用することで、モータの駆動回路が冗長設計となり、1系統の特定の故障を除いた場合のアシスト継続が可能な設計となっている。

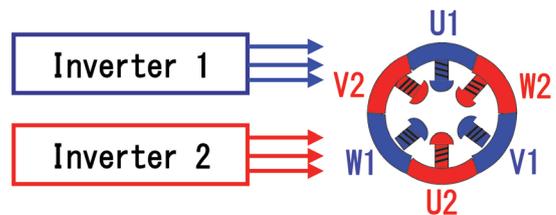


Fig. 8 2-Drive Inverter

3.3 マイコン

機能安全規格ISO26262にて要求されるASIL-Dシステムの故障検出率はSPFM $\geq 99\%$ であるため、CPUなどマイコンの基本動作を司る部位を二重化し、各出力値をコンパレータで比較して異常を検出する監視機能が必要となる。ASIL-Dシステムでの演算監視としてはデュアルコアロックステップを採用している。

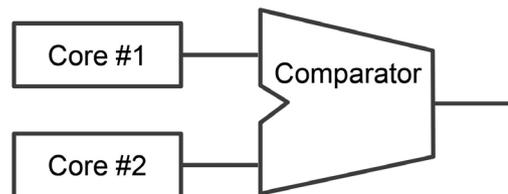


Fig. 9 Operation part

3.4 モータ

2系統巻線とすることで、冗長性を確保できる設計としている。この2系統をキャンセル巻線にし、この巻線に応じた30°位相差通電することで、2系統の電流位相を逆位相化で通電し、30°位相ずれたトルク波形で6次のトルクリップルをキャンセルできる。この効果でトルクリップル全体として従来よりも54%低減することを可能とした²⁾。

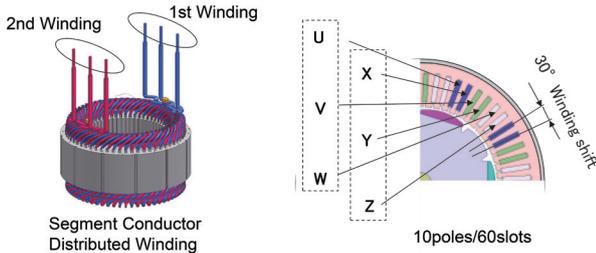


Fig. 10 Dual Windings Motor

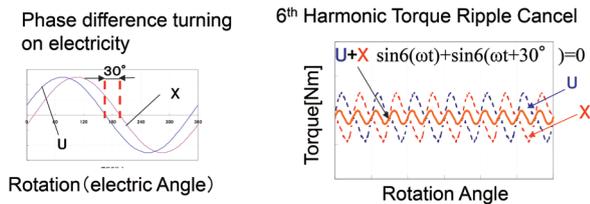


Fig. 11 Phase difference turning on electricity

また、従来よりもトルクを3.5%アップすることで高出力対応を可能とし、コア積厚を低減できた。

さらに、低騒音化のため加振力を低減する手段として、従来の10極12スロットでの集中巻きから、10極60スロットの分布巻きとすることで加振力を分散させ、変形モードを多角形化させた。また、分割コアから一体コアとすることで剛性をアップし、従来から振動レベルを90%低減、作動音レベルは、1.8Nm,1665rpm時において、7dBA低減することを可能にした。

また、従来のケース剛性アップで対応してきた構造から、ケース厚を薄肉化することで軽量化を可能にしている。

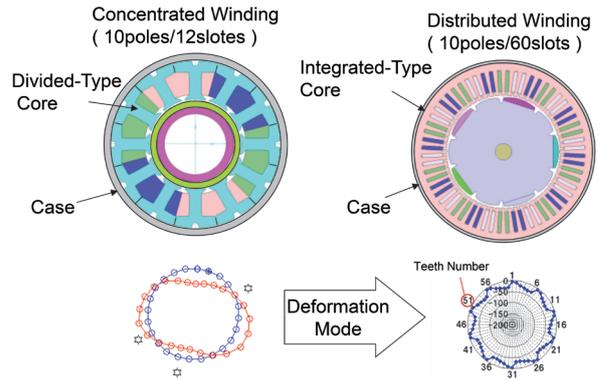


Fig. 12 Low Noise

3.5 モータ制御

モータを駆動するための印加電圧の制御は、一定周期内でON/OFFを繰り返すPWM (Pulse Width Modulation) 制御にて実施しており、1周期中にコンデンサに流れる電流は、充電・放電を繰り返している。駆動回路の1系統と2系統の充放電が同じタイミングであれば、コンデンサ電流が1系統の2倍となってしまいが、系統1と系統2の中性点をそれぞれ上下にシフトさせることで、IPWMのON/OFFタイミングをずらすことができる。このため、モータ巻線の印加電圧は同じでも、電圧指令を上下に寄せて可能な限り同時に充電・放電とならない設計とすることで、コンデンサ個数を削減することができた。

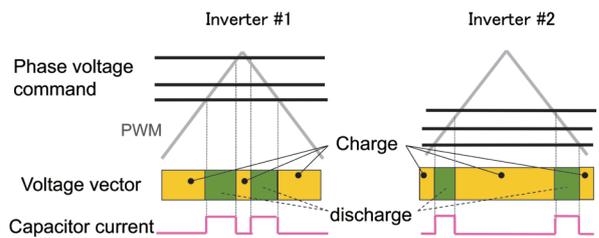


Fig. 13 Current Ripple cancellation control

4. 駆動2系統化の効果

従来の駆動回路 (Fig. 14) では、異常が発生すると故障モードによってはモータアシストを停止していたが、冗長設計によって (Fig. 15), 異常系統は停止させ、正常系統でのモータアシスト継続が可能になった。

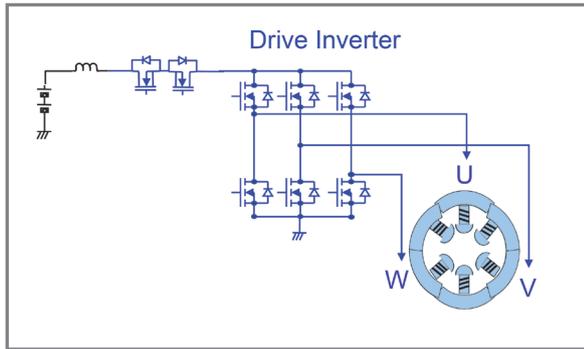


Fig. 14 Single Drive Motor Control (Conventional)

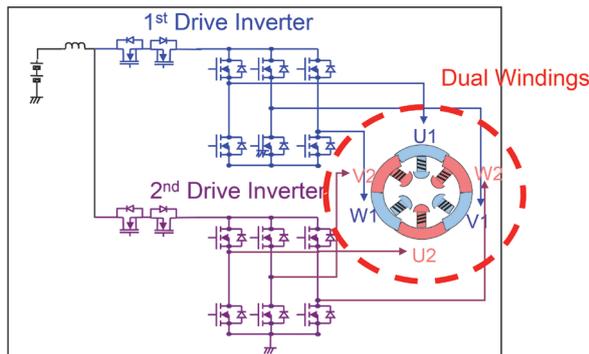


Fig. 15 2-Drive Motor Control (New Design)

2系統化による機能失陥時のイメージとして、最大の必要ステアリングトルクを100%とした場合、走行時(10km/h以上)の必要ステアリングトルクは≒40%程度であるが、1系統だと失陥時には運転者トルクのみとなり大幅に不足するため操舵が困難となる。しかし、2系統であれば1系統失陥時でも必要トルク以上を出すことが可能であり必要十分となる。

この1系統失陥時でのカバー可能領域は高速道路・一般道・走行時車庫入れであり、停止時の操舵(据え切り)以外はカバー出来ており、ユーザーにはランプやブザーで警告することで、安全な場所までの退避やディーラー・修理工場などへの走行は可能であると考える。

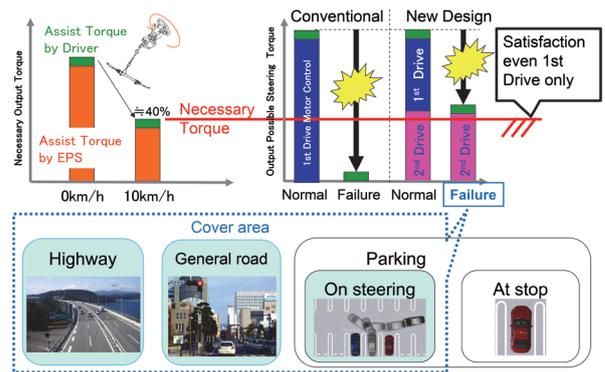


Fig. 16 Effect of 2-Drive MCU

また、従来と比較して、モータアシスト停止率を87.5%低減することが可能となった。

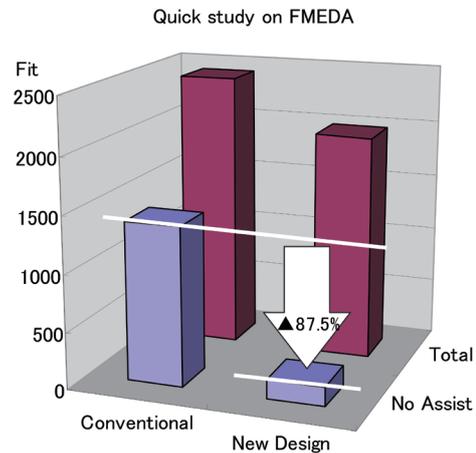


Fig. 17 Effect of 2-Drive MCU

5. むすび

本開発により、①止まらないEPS→機能失陥時のアシスト継続率(全故障モードにおける、アシスト継続可能な故障モードの割合)90%以上、ISO26262電子機能安全規格対応、②小型化→従来比:小型▲30%、③軽量化→従来比:軽量▲20%、④低騒音化→従来比:▲7dBAを達成することができた。

これによって、駆動回路とモータを2系統化による世界初の「止まらないEPS」の実現、およびモータ+ECU一体構造による小型・軽量といった環境面を両立させた、駆動2系統機電一体EPS用MCUを開発することができた。

本駆動2系統機電一体EPS用MCUは、2015年1月

発売のトヨタ自動車のアルファード／ヴェルファイアおよび12月発売のプリウスにも採用され、今後もBセグメント～Eセグメント車両において展開される予定である。

自動運転への機運はますます高まりつつあり、2系統EPSは自動運転にも大きな力を発揮することになると考える。

参考文献

- 1) (株) 矢野経済研究所：電動パワーステアリングシステム市場の最新動向と将来展望 2013
- 2) Jiro hayashi: Road map of the motor for an electric power steering system, chassis.tech plus 4th International Munich Chassis Symposium(2013), p.317-326

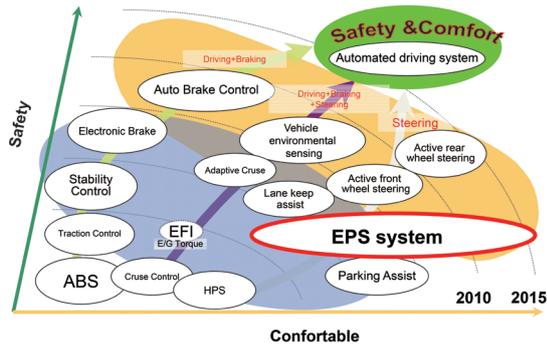


Fig. 18 Road Map

著者



大橋 正幸

おおはし まさゆき

電気制御機器部 電気制御技術1室
EPSの開発・設計に従事