

モータの高效率化と適用拡大による環境負荷低減

大穀晃裕*

Environmental Load-reduction by High Efficiency Motors and Expanding Motor Applications

Akihiro Daikoku

要旨

日本の電力の半分以上はモータで消費され、モータの高效率化による消費電力削減は環境負荷低減に大きな効果がある。また高效率、高応答という利点を活用したモータ駆動システムの適用拡大、すなわち従来の内燃機関や油圧システムの電動化、ギヤ駆動システムのダイレクトドライブ化もまた、消費エネルギーや排気ガスが削減され、環境負荷の低減につながる。

三菱電機は産業用や車載用など多くのモータを量産しており、独自の“ポキポキモータ”に代表される高密度巻線技術と、これらを活用する磁気設計技術を核として、環境負荷を低減する高性能モータの開発や設計・製造に取り組んでいる。

本稿では、当社のモータ及び駆動システムの環境負荷低

減への取組みとして、2つの観点から最近の取組み事例を述べる。高效率化の観点では、国際的な効率クラスの規格化と国内トップランナ基準の法規制に対応して開発した産業用高效率モータを、また次世代のパワー半導体デバイスであるSiC(Silicon Carbide)を活用した高效率化の例として鉄道車両用モータ駆動システムについて述べる。次に適用拡大の観点では、内燃機関の電動化拡大に貢献するために開発中の電気自動車／ハイブリッド車用駆動モータと、油圧システムの電動化によって燃費を改善する電動パワーステアリング用モータコントローラユニット、及びダイレクトドライブ化によってシステムの省エネルギー化を実現するエレベーター巻上機用モータについて述べる。



産業用モータ

鉄道車両用モータ

電気自動車／ハイブリッド車用駆動モータ

エレベーター巻上機用モータ

環境負荷低減に向けて開発／製品化された各種モータ

当社は、社会の様々な場面で用いられるモータを開発／製品化しており、これらのモータの高性能化と適用拡大によって環境負荷低減に貢献している。この図では、環境負荷低減に向けた当社モータの代表的な事例として、産業用モータ、鉄道車両用モータ、電気自動車／ハイブリッド車用駆動モータ、エレベーター巻上機用モータを取り上げた。

*先端技術総合研究所(工博)

1. ま え が き

日本の電力の半分以上はモータで消費されており⁽¹⁾、モータの高効率化は消費電力削減に大きく貢献する。また高効率で高応答なモータ駆動システムの利点を活用し、従来の内燃機関や油圧システムの電動化、機械損失が付加されるギヤ駆動システムのダイレクトドライブ化によって消費エネルギーや排気ガスが削減され、環境負荷低減につながる。

当社は産業用や車載用など多くのモータを量産しており、独自の高密度巻線技術と磁気設計技術によってモータの高効率化を図るとともに、最新のSiCパワーデバイスの適用によって駆動システム全体の効率向上を図っている。三菱電機技報2009年10月号の論文⁽²⁾では回転機の高効率化に向けた当社の技術開発と製品化事例を述べた。

本稿ではその後の取組みとして、モータ／駆動システムの高効率化の観点から、産業用モータの効率規制への対応とSiCインバータ駆動鉄道車両用モータについて、電動化やダイレクトドライブ化の拡大によるシステムの省エネルギー化の観点から、電気自動車／ハイブリッド車用駆動モータと電動パワーステアリング用モータコントローラユニット、エレベーター巻上機用モータについて述べる。

2. モータ・駆動システムの高効率化

2.1 産業用モータの高効率化

世界的に環境意識が高まる中、工場の生産設備における省エネルギーが求められている。当社の代表的な工場でエネルギー消費要素を調査した結果、ほとんどの生産設備にモータが使用されており、産業用モータの高効率化が重要課題であることが改めて確認された⁽³⁾。一方、2008年10月制定のIEC(International Electrotechnical Commission) 60034-30によって誘導モータの効率クラスが規格化され、各国で高効率モータ普及拡大のための法規制化が加速している。日本国内でも法律が施行され、2015年度からトップランナ基準値で法規制が開始される。

このような背景の下、当社はIE4(スーパープレミアム効率)相当の高効率IPM(Interior Permanent Magnet)モータ“MM-EFSシリーズ”を2011年に、IE3対応の高性能省エネルギーモータ“スーパーラインプレミアムシリーズ(以下“プレミアム効率モータ”という。)SF-PR形”を2013年に製品化した。

2.1.1 IE4相当の高効率を実現したIPMモータ

高効率IPMモータMM-EFSシリーズ⁽⁴⁾は、IE4相当の高効率を実現し、当社の標準効率誘導モータ“SF-JR形”、従来型IPMモータ“MM-EFシリーズ”に比べて損失を各々60%、33%低減(22kWにおける定格負荷時の比較)しつつ、当社誘導モータ“SF-JR/SF-HR(4極)形”と同一枠番で取り付け互換とし、誘導モータからの置き換えが容易である。図1に外観を、図2に定格運転時のモータ効率を示す。

全機種でIE4基準値を上回る高効率を実現している。高効率化のポイントは、①高性能磁石及び高性能鉄心材料の採用、②磁気回路(鉄損/銅損比や磁束密度分布)の最適化である。対応インバータは、誘導モータの商用電源駆動からインバータ駆動、さらにIPMモータへの置き換えといった段階的リニューアルを推進するために、設定1つで誘導モータとIPMモータの切り換えを可能としている。

2.1.2 IE3に対応した誘導モータ

プレミアム効率モータSF-PR形⁽⁵⁾は、モータの各損失を徹底的に低減して1台のモータで国内と米国の法規制に対応し、取付寸法や保護装置の互換性も維持した製品である。図3にSF-PR形の外観を、図4に定格運転時のモータ効率を示す。従来機種に対して各機種平均で39%の損失低減を実現している。高効率化実現のための代表的な技術項目は、①高密度巻線技術によって巻線の導体断面積を増



図1. 高効率IPMモータMM-EFSシリーズ

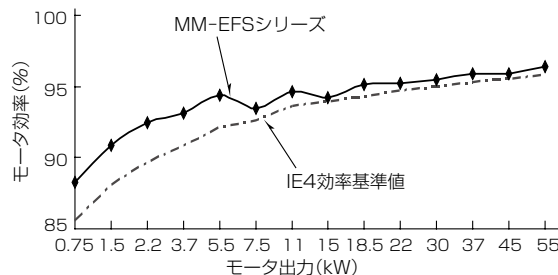


図2. MM-EFSシリーズ定格運転時のモータ効率



図3. プレミアム効率モータSF-PR形

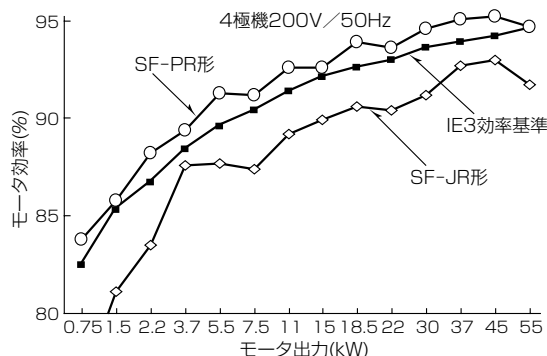


図4. SF-PR形の定格運転時のモータ効率

加させて固定子銅損を低減、②回転子溝形状の最適化によって始動電流増大やすべり減少を抑制しつつ回転子銅損を低減、③鉄心材料とスロット形状の最適化によって鉄損を低減、④①～③による損失低減を踏まえて風量を低減した小型外扇ファンを採用することによって機械損(風損)を低減、である。

2.2 SiCインバータ適用による 鉄道車両用駆動システムの高効率化

近年の性能向上が著しいSiCデバイスはSiに代わるキーデバイスであり、低損失・高温動作の特長を持つ。SiCはSiに比べ高温動作が可能で、絶縁破壊電界強度が約10倍あり半導体を薄くできるため、大幅にオン抵抗が低減できる。また、絶縁破壊電界強度が高いことから逆回復電流の少ないショットキーバリアダイオードの適用が可能となり、その結果、ダイオードのターンオフ損失を大幅に低減でき、メインスイッチであるIGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)やMOSFET(Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor)のスイッチング損失も低減する。当社はSiCインバータの鉄道車両用、エアコン用、産業用などへの適用開発に早くから取り組み、一部既に市場投入済みである。ここではSiCデバイスを世界に先駆けて^(注1)適用し、主回路システム全体を省エネルギー化した鉄道車両用インバータシステムを述べる⁽⁶⁾。

このシステムではインバータに比べモータの損失が大きいため、単にデバイスを置き換えるのではなくモータ損失の低減に着目して開発・設計を行った。図5に従来型とSiC適用インバータの回生動作時の性能曲線比較を示す。回生動作領域の拡大には、高速時のブレーキ力上限値(停動トルク)を増加させるため低インピーダンスモータ設計が必要となる。そこで今回、モータ電圧/速度比(V/F)を

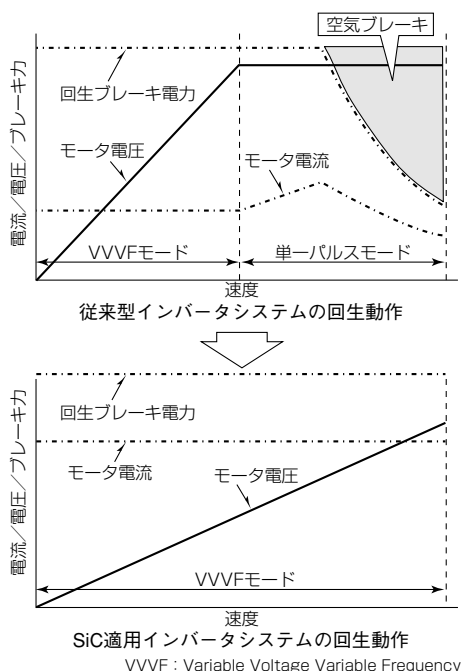


図5. 従来型とSiC適用インバータシステムの回生動作時の性能曲線

低く設計した。この場合、従来よりもモータ電流が大きくなるが、低損失であるSiCの特長を生かして素子面積増大を抑制し、さらにスイッチング周波数を高くすることでモータ高調波損失も低減した。図6にモータの外観を、図7に損失比較を示す。インバータ損失低減に加え、電力回生、ブレーキ領域の拡大、高周波スイッチングによるモータ損失の低減を併せ、トータル電力損失を約30%低減した。

(注1) 2011年10月3日現在、当社調べ

3. 電動化の拡大とダイレクトドライブ化

3.1 電気自動車/ハイブリッド車用駆動モータ

世界的な原油の需要拡大による価格高騰や燃費規制強化を背景に、電気自動車(EV)やハイブリッド車(HEV)に代表される原動機の電動化が進んでいる。このようなニーズに応えるため、EV/HEV用モータを開発している⁽⁷⁾。当社独自の高密度巻線技術をベースに、集中巻き・分割コア方式を採用し、コイル巻数変更に対して生産設備を共用化することで、図8に示すように広範囲なコア径とコア長に対応可能な標準



図6. SiC適用インバータ対応全閉型モータ

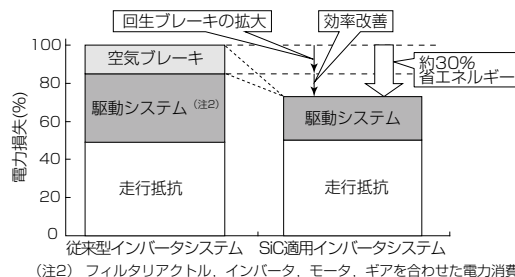


図7. 従来型とSiC適用インバータシステムの損失比較

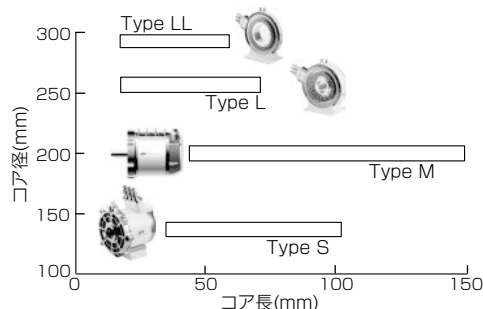


図8. EV/HEV用駆動モータのラインアップ



図9. SiCインバータ内蔵モータ駆動システム

ラインアップ化を実現した。このほか、将来に向けた研究開発の例として、EV用を想定したSiCインバータ内蔵モータ駆動システム⁽⁸⁾を図9に示す。モータ軸端部にSiCインバータを配置して両者間の電気配線や冷却配管をなくすことで、コンパクト化と省エネルギー化を両立させている。

3.2 電動パワーステアリング用モータコントローラユニット

電動パワーステアリング(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、従来の油圧システムに対し燃費が改善できるため市場が急拡大しており、世界で新車の約60%に搭載されている。当社は1988年からEPS用モータを量産化し、累計生産台数は約1億台に達する。EPSシステムはモータとECU(Electronic Control Unit)とから構成され、従来はこれらを別個に配置していたが、近年はこれらを一体化したモータコントローラユニット(MCU)として製品化している。2013年に量産化した第2世代MCUは、“ポキポキモータ”技術、10極12スロット、△結線、セグメント磁石をモータ部に採用し、ECUを軸方向端部に配置することで、図10に示すように当社第1世代に比べ大幅な小型化(体積50%、質量30%減)を実現した。これによって装着性が改善され、燃費改善効果の高いEPSシステムの更なる普及拡大に貢献している⁽⁹⁾。

3.3 エレベーター巻上機用モータ

持続可能な社会の実現に向け、ビルの建設から取壊しにいたるまでの消費エネルギーを総合的に削減する“グリーンビルディング”が世界で広まっており、エレベーターにも環境への配慮が求められている。当社の取組みの一例として、小型、軽量、省資源、省エネルギーを追求した海外市場向け標準エレベーター“NEXIEZ-MR(機械室あり、2010年発売)”，“NEXIEZ-MRL(機械室なし、2011年発売)”について述べる。従来のギヤードモータに代えて効率の高い永久磁石(PM)モータを採用し、歯車を用いずにロープを直接巻き上げるPMギヤレス巻上機を標準搭載している。

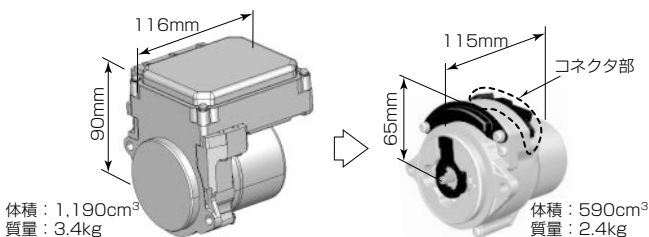


図10. 電動パワーステアリング用MCU(第1/第2世代の比較)

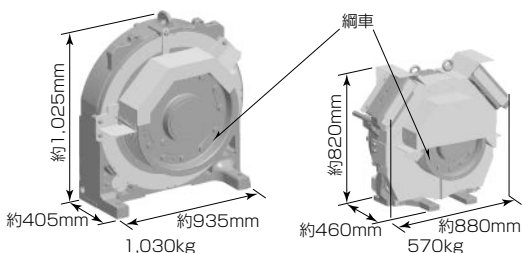


図11. 海外向け標準エレベーター用巻上機(従来型との比較)

モータには巻線密度を高めて効率を更に向上させる独自の“ポキポキモータ”技術を適用し、小型化と省エネルギー運転を実現している。2013年発売の新シリーズでは積載量のラインアップを大幅に強化するために、大容量領域に適用する巻上機“PM018S/025S”を新規開発した⁽¹⁰⁾。図11に従来機種と比較して示す。綱車の小径化に伴いモータの小型化(当社従来体積比61%)と大幅な軽量化(当社従来比55%)を実現し、同時にグリス使用量を削減(当社従来比40%)するなど、使用材料削減の観点でも環境負荷低減に配慮している。

このほか、国内向け標準エレベーターや高速/超高速エレベーターにも高効率のPMギヤレス巻上機を幅広く展開し、エレベーターシステムの省エネルギー化に貢献している。

4. むすび

当社でのモータの高効率化、適用拡大による環境負荷低減の代表的な取組み事例を述べた。今回は紙面の都合で割愛したが、エアコン、冷蔵庫、換気扇、クリーナーなど家電製品用のモータも同様に環境負荷低減に向け絶えず取り組んでいる。今後もモータの高効率化と適用拡大を行い、更なる環境負荷低減に努めていく。

参考文献

- (1) 電力使用機器の消費電力量に関する現状と近未来の動向調査, 財団法人新機能素子研究開発協会 (2009)
- (2) 大穀晃裕: 回転機の高性能化による環境負荷低減, 三菱電機技報, **83**, No.10, 595~598 (2009)
- (3) 山口 博: 生産時のCO₂排出量削減に向けて, 三菱電機技報, **85**, No.12, 675~679 (2011)
- (4) 木村友和, ほか: プレミアム高効率モータ“MM-EFS”と省エネルギーインバータFREQROL-F700P/F700PJ”, 三菱電機技報, **85**, No.4, 232~235 (2011)
- (5) 長谷川裕之, ほか: 高性能省エネルギーモータ“スーパーラインプレミアムシリーズSF-PR形”, 三菱電機技報, **88**, No.4, 249~252 (2014)
- (6) 中嶋幸夫, ほか: 環境配慮型鉄道車両用パワーエレクトロニクス機器の最新動向~SiC適用インバータシステム, 補助電源装置~, 三菱電機技報, **86**, No.9, 511~515 (2012)
- (7) 加古 一: 自動車機器の変遷と今後の展望, 三菱電機技報, **88**, No.9, 576~583 (2014)
- (8) EV用SiCインバータ内蔵モータシステム, 三菱電機技報, **87**, No.1, 5 (2013)
- (9) 浅尾淑人, ほか: EPS用次世代モータコントローラユニット, 三菱電機技報, **87**, No.8, 452~455 (2013)
- (10) 丸藻英昭, ほか: 海外向け標準エレベーター“NEXIEZ-MR/MRL”の仕様拡充, 三菱電機技報, **88**, No.3, 173~176 (2014)