

省エネを実現する鉄道車両用機器

Energy-Saving Technologies for Rolling Stock

川口 修

■KAWAGUCHI Osamu

鉄道車両システムの消費電力量をトータルで管理して最適化し省エネを図る車両EMS (Energy Management System) では、それを支える高効率な鉄道車両用機器の存在が欠かせない。

東芝はこのニーズに応えて、省エネ化のコア技術となる永久磁石同期電動機 (PMSM: Permanent Magnet Synchronous Motor)を用いた主回路システム、高効率を追求した補助電源システム、LED (発光ダイオード) による車内照明、及び冷房能力を向上させた省エネ空調システムを開発し提供している。また、炭化ケイ素 (SiC) パワーデバイスを適用した主回路システムを開発し、更なる省エネへの追求を続けている。

To enhance energy conservation in rolling stock, high-efficiency electrical equipment is crucial for proper functioning of the railway energy management system (EMS) that manages and optimizes the total power consumption of the rolling stock.

Toshiba has developed and released the following high-efficiency electrical equipment in this field: (1) a permanent magnet synchronous motor (PMSM) propulsion system as the core technology for energy saving, (2) an inverter-type auxiliary power supply (APS) system pursuing higher efficiency, (3) light-emitting diode (LED) equipment that is gradually coming into use, and (4) an energy-saving air-conditioning unit with improved cooling capacity. We are continuing our efforts to apply silicon carbide (SiC)-based insulated gate bipolar transistor (IGBT) power devices to inverters for further improvement of energy efficiency.

1 まえがき

2011年3月11日に発生した東日本大震災の影響により、同年夏期に実施された電力使用制限では、2010年夏期の同期間の使用電力最大値に対して15%の削減が求められ、消費電

力量の削減に関心が高まるとともに、その対策が急がれた。

鉄道車両では、運行本数や運転速度の変更、車内照明の一部停止、空調の設定温度の見直しなどにより、夏期の消費電力量の削減対策が実施された。一方で、鉄道車両用機器は、高効率な主電動機や補助電源システムなどの最新技術を用

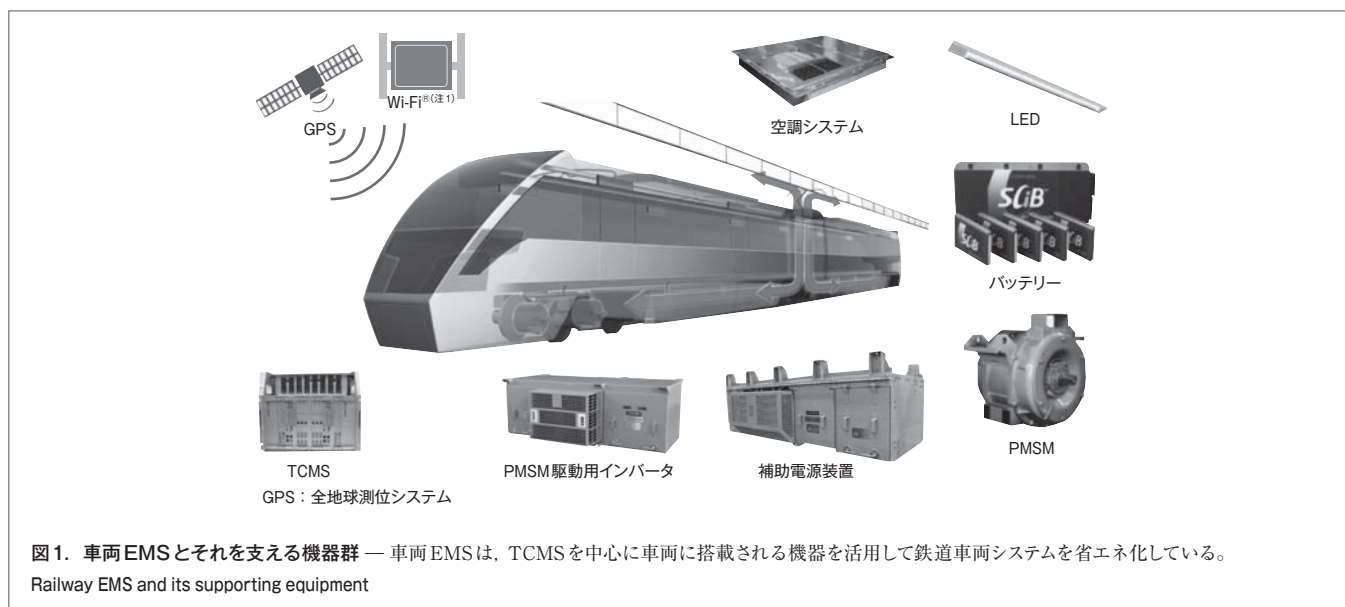


図1. 車両EMSとそれを支える機器群 — 車両EMSは、TCMSを中心に車両に搭載される機器を活用して鉄道車両システムを省エネ化している。
Railway EMS and its supporting equipment

(注1) Wi-Fiは、Wi-Fi Allianceの登録商標。

活用したシステムを採用することで、消費電力量を削減することができ、省エネに貢献している。

ここでは、鉄道車両システムの省エネを実現する車両搭載機器について、東芝の省エネ技術の現状と可能性を述べる。

2 鉄道車両のEMS^{(1), (2)}

車両EMS (Energy Management System) は、鉄道車両システムの消費電力量をトータルで管理して最適化し、省エネを図る。搭載している車両情報制御装置 (TCMS: Train Control Management System) が中心となり、各装置の電力量を管理したり、これらの電力量の変化をトータルでマネジメントしたりすることで、ピーク電力を抑え、全体の消費電力量を低減することを目指している (図1)。また、ブレーキ時の回生エネルギーをバッテリーなどに蓄電して力行時に使用し、省エネを図ることもできる。更に車両と地上の運行管理システムを連携させて車両を運用し、節電を図ることも可能である。

車両EMSで、より高い省エネ性を実現するためには、それを支える高効率な鉄道車両用機器が欠かせない。そのため、当社は、高効率な機器や技術を開発し、提供している。以下に、代表的な機器の技術について述べる。

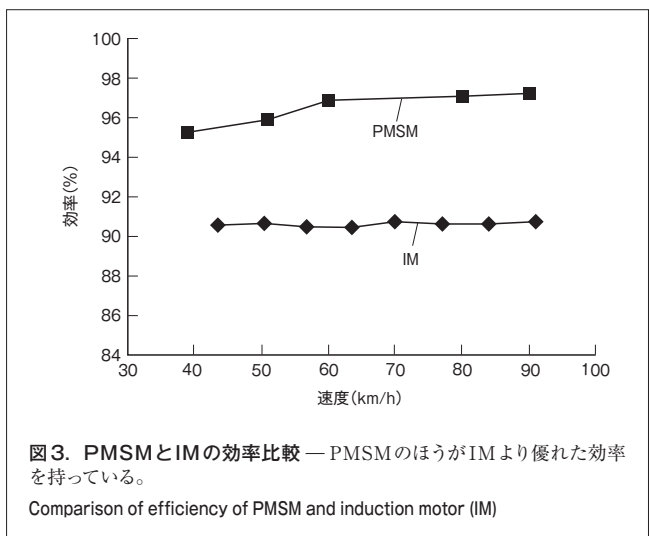
3 省エネを実現する鉄道車両用機器とその技術

3.1 PMSM主回路システム^{(3), (4)}

鉄道車両を駆動するための主電動機として誘導電動機 (IM: Induction Motor) が本格的に適用されて約20年が経過した現在、主電動機には更なる高効率化、省メンテナンス、及び低騒音化が求められている。これらの要求に応える主電動機として、当社では早くから、全閉自冷式の永久磁石同期電動機 (PMSM: Permanent Magnet Synchronous Motor) の開発に着手し、PMSMを用いた主回路システムを製品化している。

この全閉自冷式PMSM (図2) は、次に示す三つの特長を備えており、様々なメリットを鉄道事業者に提供している。

- (1) 省エネ 回転子に永久磁石を用いることで、2次側 (回転子側) の銅損がなくなることにより、効率が従来のIMでは91%程度であるのに対して、97%まで向上する (図3)。各駅運用の試験走行において、IMを適用した車両と比べ、最大50%の電力削減効果が確認できている。
- (2) メンテナンス低減 全閉構造を採用しており、内部汚損がほとんど発生せず、周期的な内部清掃作業が一切不要になる。更に、当社独自の設計工夫により、ベアリング交換の際にも機体の分解が不要である。
- (3) 低騒音 全閉構造の採用により、機外への騒音も従来のIMと比べ、-12 dBと大幅に低騒音化を実現している。



これらの特長により、PMSM主回路システムの通勤電車や入換機関車向けなど営業運用への採用が、着実に拡大している。

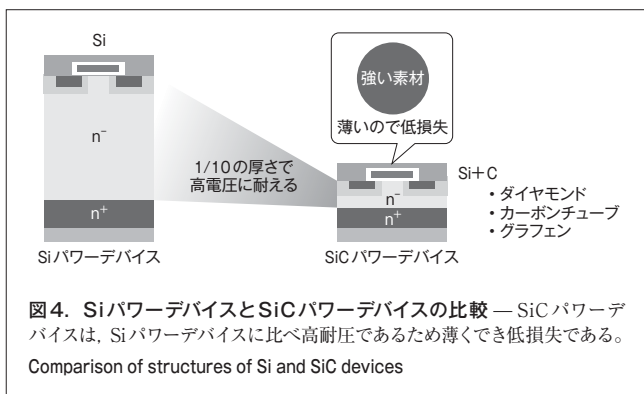
3.2 SiCパワーデバイスを用いた主回路システム

半導体材料として今日広く使われているのはシリコン (Si) であるが、従来から、次世代のパワー半導体材料として期待されていた炭化ケイ素 (SiC) が、いよいよ実用化の段階を迎えている。SiCは、Siに炭素 (C) が1:1で結合した化合物である。

SiCはSiよりも絶縁破壊電界強度が大きいので、図4に示すように、SiCパワーデバイスは、Siパワーデバイスに比べ厚さを約1/10まで薄くすることができる。そのため、導通時のデバイスのオン抵抗は1桁以上小さくすることができる。また、SiCは、高周波動作時の損失が小さく、高温動作も可能である。

これを鉄道車両用の主回路システムに適用することで効率を向上させることができ、またパワーデバイスの冷却器周りを簡素化することができるため、装置の更なる小型軽量化が可能になる。

当社は、より高効率な主回路システム製品を目指し、この



SiCパワーデバイスを用いた、鉄道車両用のPMSM主回路システムを開発した。

3.3 高効率を追求した補助電源装置⁽⁵⁾

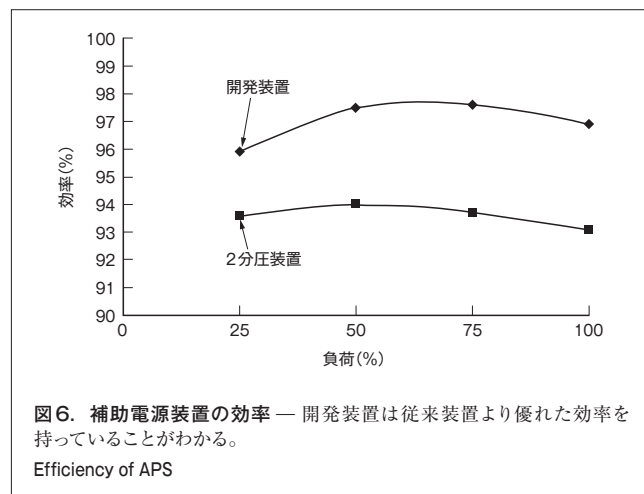
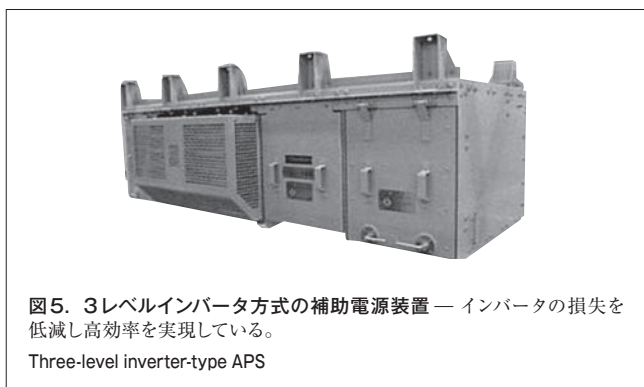
鉄道車両に搭載されている空調装置、照明、空気圧縮機、その他ほとんどの機器は、DC（直流）1,500 Vなどの架線電圧を電源としては直接使用していない。鉄道車両では、補助電源装置を搭載し架線電圧から各種機器の電源となるAC（交流）440 Vなどへ変換し、各機器へ出力している。

この補助電源装置は、従来の電動発電機（MG）からGTO（Gate Turn-Off）素子を使用したインバータ方式になり、その後、IGBT（Insulated Gate Bipolar Transistor）素子を使用したインバータ方式の補助電源装置へと変遷してきた。その効率は、MGの頃の70～80%から現在は90%台まで向上している。

最新の補助電源装置は、新型のIGBT素子を採用した3レベルインバータ方式とすることで、損失を低減している（図5）。従来の補助電源装置の定格出力における効率が94%であったのに対して、新たに開発した補助電源装置では96%の高効率を実現した（図6）。既に営業運用に搭載されており、省エネに貢献している。

3.4 LEDによる車内照明

現在、鉄道車両の車内照明には一般的に蛍光灯が使用されているが、東日本大震災以降は節電対応のために一部の蛍光灯が外され、現在でもそのままのケースが多く見られる。



蛍光灯に替えてLEDを適用することで、消費電力量及び二酸化炭素排出量の削減につながるため、最近では鉄道車両にもLED照明が採用され始めた。

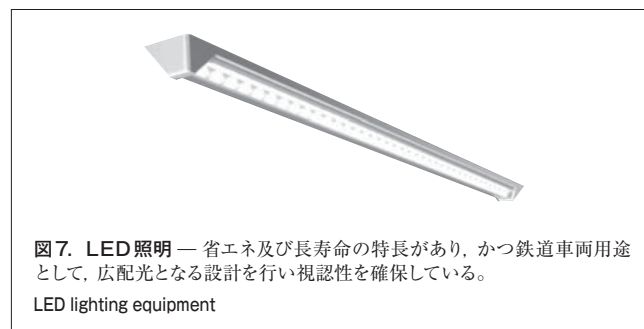
鉄道車両にLED照明を搭載する場合には、LED照明の持つ省エネ及び長寿命の特長を生かしたうえで、LEDの強い指向性に対して、不快なまぶしさがなく、広告やモニタ画面、手元などの明るさが確保されるよう広配光となる設計を行い、視認性を確保している（図7）。視認性を実現するために、鉄道車両材料燃焼試験に合格した不燃材料を使用して独自に設計したカバーを採用している。

また、当社では鉄道業界初^(注2)となる調光機能付きLED車内照明を量産納入した。目的や状況に合わせた明るさを選ぶことが可能で、不自然な間引き点灯をしなくても、均一な明るさを確保しつつ省エネを図ることができる。これを搭載した車両の営業運用が2013年3月から始まっている。

3.5 冷房能力を向上した省エネ空調システム⁽⁶⁾

鉄道車両の空調システムは乗客の快適さを維持するために重要な設備の一つとなっているが、首都圏を中心に、通勤ラッシュ時には車内温度が上昇する必要があるため、いっそうの冷房能力の向上が求められている。

省エネ空調システムでは、冷房能力を現行システムに比べて



(注2) 2013年2月時点、当社調べ。

40%以上向上させて通勤ラッシュ時の高負荷に十分な能力を実現した。一方、冷房能力の向上によるコンプレッサの大型化に伴い、空調システムの総合入力（電力消費）は通常では70%増となるが、高効率なコンプレッサ（図8）の採用や熱交換器及び送風機の工夫と改善により42%にまで抑えており、省エネ化を実現した。

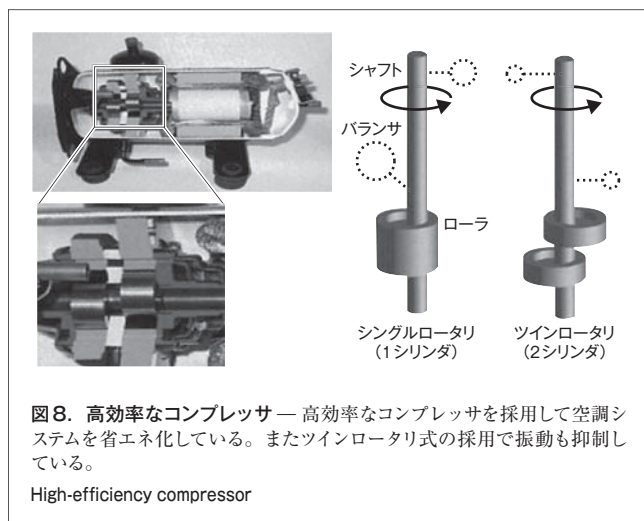
また空調制御として、限られた車両電源容量の超過を避けるために、伝送情報及び総合電流監視による空調システムの運転制限も取り入れた。

更に同等クラスの冷房能力の空調システムに対して約60%の小型化も同時に図っており、冷房能力が高く、省エネ性と省スペース性に優れた空調システムを実現した。

今後は、家庭用や産業用では既に一般的となっている永久磁石電動機を使用した更に高効率なDCコンプレッサの鉄道車両向け空調システムへの導入を図っていく。

4 あとがき

省エネを実現する鉄道車両用機器の技術について述べた。電気自動車やハイブリッド自動車などで採用されているPMSMのシステムは鉄道車両でも採用されており、消費電力の削減に貢献している。



また、これを駆動するインバータや、補助電源のインバータ回路で使用するデバイスを、現状のSiパワーデバイスからSiCパワーデバイスに変更することで、今後更なる装置の小型化及び高効率化が期待される。

その他様々な電氣的なシステムの省エネ技術とともに、今後は車両と地上の運行管理システムなどを連携させて鉄道システム全体でのエネルギー管理を進めることで、よりいっそうの省エネ化が進んでいくと考える。

文献

- (1) 石井秀明. サステイナブルな社会に向けたスマートコミュニティソリューション. 鉄道と電気技術. 23, 4, 2012, p.3-10.
- (2) 三吉 京 他. “鉄道におけるエネルギー管理と制御 (その2: 省エネ型列車運行制御)”. 平成24年電気学会全国大会. 広島, 2012-03, 電気学会, 5-083.
- (3) 青木宏之 他. “鉄道車両用主電動機における誘導電動機と永久磁石同期電動機の比較検討”. 第47回サイバネ・シンポジウム論文集. 東京, 2010-11, 日本鉄道サイバネティクス協議会.
- (4) 村上 理 他. 環境に配慮した鉄道車両用主電動機. 東芝レビュー. 64, 9, 2009, p.10-14.
- (5) 富川英朝 他. “大容量高効率電源装置の開発”. 第47回サイバネ・シンポジウム論文集. 東京, 2010-11, 日本鉄道サイバネティクス協議会.
- (6) 笹井雄太 他. 通勤ラッシュ時の冷房能力を改善した車両用空調システム. 東芝レビュー. 64, 9, 2009, p.49-52.



川口 修 KAWAGUCHI Osamu

社会インフラシステム社 鉄道・自動車システム事業部 車両システム技術部主務。鉄道車両電機品のエンジニアリング業務に従事。

Railway & Automotive Systems Div.