

低炭素社会を支える 鉄道エネルギー・環境ソリューション

堀内謙二*
宮川雅彦**
岡田万基***

Energy and Environment Solutions for Railroad Supporting Progress Toward Low-carbon Society
Kenji Horiuchi, Masahiko Miyakawa, Yuruki Okada

要旨

2015年末、パリで開催されたCOP21(注1)では、世界の気温上昇を抑える取組みに多くの国が合意し、パリ協定が採択された。従来にも増して地球環境負荷低減の努力が求められつつある中、三菱電機は、“鉄道エネルギー・環境ソリューション”の実現に取り組んでいる(1)。これは、鉄道のエネルギー管理を構成する4つの分野を次のとおり設定し、個別機器の効率化に加えて、ICT技術の活用と機器・設備間の協調・連携によって、鉄道システム全体でエネルギー活用の最適化と消費低減を目指す取組みである。

(1) 車両エネルギー管理(TEMS)

業界に先駆けて開発を進めてきたSiCパワーモジュール適用による車両用電機品の効率改善・機能向上、蓄電池駆動電車及び複数機器の連携制御によるエネルギー効率改善

など、列車を対象とした取組みを実施している。

(2) 路線エネルギー管理(REMS)

列車が発生する回生エネルギーを路線全体で更に有効活用することを目指した取組みとして、駅舎補助電源装置“S-EIV”、及び、き電最適制御システムがある。

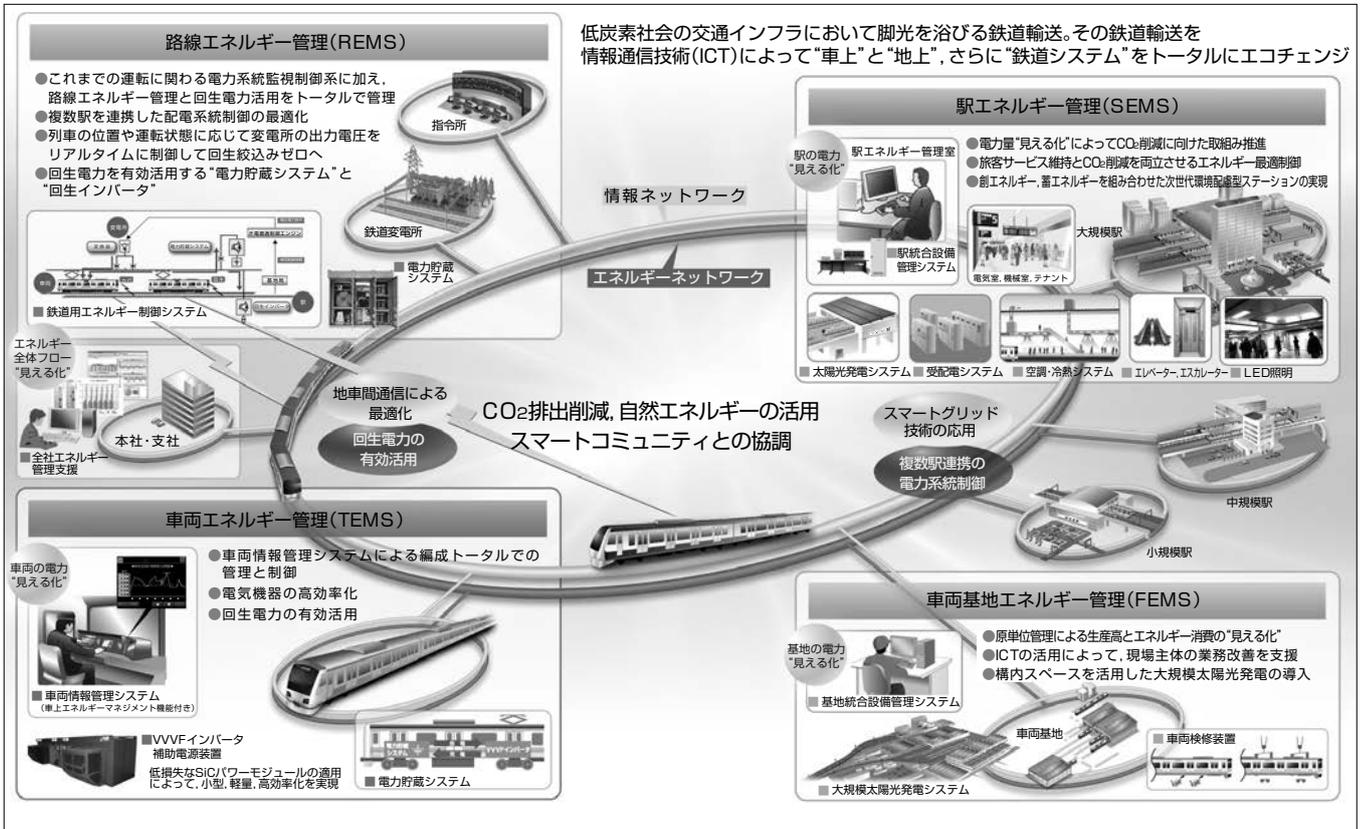
(3) 駅エネルギー管理(SEMS)

エネルギー管理システム導入による駅のエネルギーの見える化、デマンド制御等に取り組んでいる。

(4) 車両基地エネルギー管理(FEMS)

車両基地の検査装置・機器など、検修ライン全体を対象としたエネルギー管理の取組みを実施している。

(注1) 国連気候変動枠組条約第21回締約国会議



鉄道エネルギー・環境ソリューション

当社は、低炭素社会の牽引(けんいん)役を担う鉄道のエネルギー全体最適化を目指し、車両エネルギー管理、路線エネルギー管理、駅エネルギー管理、車両基地エネルギー管理の各分野で、創エネルギーと蓄エネルギーを実現する新たなエネルギー技術とICT技術を活用したトータルソリューションを提供していく。

1. ま え が き

鉄道は、輸送量当たりのCO₂排出量が少なく元来環境に優しい輸送機関であるが、高まる社会からの環境負荷低減要求を受け、よりエコで将来にわたって持続可能な鉄道を目指す研究開発が進んでいる。当社は、鉄道エネルギー・環境ソリューションとして、列車、駅、車両基地それぞれとその組合せである路線全体の4つのエネルギー管理分野で、並行して取組みを進めている。

本稿では、当社が取り組んでいる鉄道エネルギー・環境ソリューションの取組みについて述べる。

2. 鉄道エネルギー・環境ソリューション

鉄道における電力需要は、車両を走行させるための運転エネルギーと地上施設を運営するための付帯エネルギーで構成される。総需要の多くを占める運転エネルギーの低減は古くからの課題であり、当社は、基幹製品である車両機器の高効率化・制御の高度化、回生ブレーキシステムの高度化、それらを全体制御する列車統合管理システムの開発によって省エネルギー化を進めてきた。また、地上設備では、回生電力の有効活用のため、余剰回生電力を地上側で吸収するための回生インバータを開発し、エネルギー利用率の向上を図ってきた。

これらの省エネルギー技術・製品は、その時々々のエネルギー消費低減に寄与してきたが、鉄道システム全体から見ると部分的な取組みにとどまっていた。一方、このソリューションが目指すのは、電力システムにおけるスマートグリッドと同様に、鉄道システム全体でエネルギーの需要と供給の最適化を実現することである。近年急速に発展するIoT(Internet of Things)やM2M(Machine To Machine)と呼ばれるICT(Information and Communication Technology)技術を活用し、時々刻々変化する需要と供給の関係をリアルタイムに把握し、協調連係させることで、鉄道システム全体の最適化を実現する新たなエネルギー管理システムの構築が可能となる。

このコンセプトに基づき、図1に示すように4つのエネ

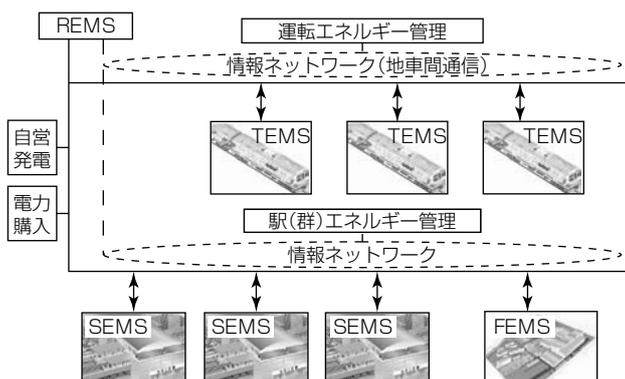


図1. エネルギー管理の4分野

ルギー管理の分野で研究開発を進めてきた。

3. エネルギー管理システムへの取組み

この章では4つのエネルギー管理分野(システム)での研究開発の取組み状況及び市場への適用状況や得られた成果等について述べる。

3.1 車両エネルギー管理システム(TEMS)

TEMS(Train Energy Management System)は、列車のエネルギー最適化を行うシステムである。このシステムでの取組みは、主に、電気機器の効率改善・機能向上と、複数機器を連携制御することによる改善の2方向から進めている。

電気機器の効率改善・機能向上として、2つのデバイスの適用システムを営業車両に適用してきている。1点目はSiC(シリコンカーバイド)パワーモジュール適用推進制御装置と高効率全閉形誘導電動機を組み合わせた主回路システムであり、2点目は、蓄電デバイス適用による回生電力の利用拡大や、非電化区間における低騒音化、低排ガス化である。

SiCパワーモジュール適用推進制御装置と高効率全閉形誘導電動機を組み合わせた主回路システムの事例としては、小田急電鉄(株)での1000形更新車両への投入がある⁽²⁾。図2に示すとおり、1000形更新車両(1編成4両)に、当社製の直流1,500V架線対応の“フルSiCパワーモジュール適用VVVF(Variable Voltage Variable Frequency)インバータ装置”が採用され、2015年1月から投入された。3.3kV/1,500A定格対応の大容量フルSiCパワーモジュールを適用した鉄道車両用インバータ装置の採用は世界初^(注2)であり、低損失の特長を活用し、従来車両比で消費電力量40%の低減、従来装置比で体積・質量とも約80%の低減を実現した。なお、これらの詳細は、この特集号の論文“SiCパワーモジュールの主回路素子への適用技術”(本号31ページ)で述べる。

また、蓄電デバイス適用システムの事例は、東日本旅客鉄道(株)でのEV-E301系車両系への投入である⁽³⁾。図3に、EV-E301系車両及び電力変換装置の外観を示す。EV-E301は、2008年から開発を実施した蓄電池駆動電車試験



図2. 1000形更新車両とVVVFインバータ装置



図3. EV-E301系車両と電力変換装置

車両“NE-Train”の成果に基づき、2014年3月に投入されたもので、これによるメリットは次のとおりである。

- (1) 図4で示すように、電化区間では架線から、非電化区間では蓄電池からの給電で走行するため、直通運転が可能となり、乗客の利便性が向上する。
- (2) 非電化区間でも電車と同性能になることから、従来気動車比で加速性能が向上する。
- (3) 非電化区間でも再生エネルギーの回収と再利用、低騒音化と排ガスレス化が可能となる。

複数機器を連携制御した改善では、列車統合管理システム(TCMS)を活用した編成ブレーキプレディング制御や機器稼働タイミング制御最適化による省エネルギー機器制御の提供に加え、地車間連携ネットワーク(無線通信)を活用して編成ごとの電力データ等を取得し、“車両エネルギーの見える化”にも取り組んでいる。複数機器を連携制御した新たな取組みについては、この特集号の論文“列車統合管理システムの最新技術と今後の展望”(本号19ページ)で述べる。

(注2) 2014年4月30日現在、当社調べ

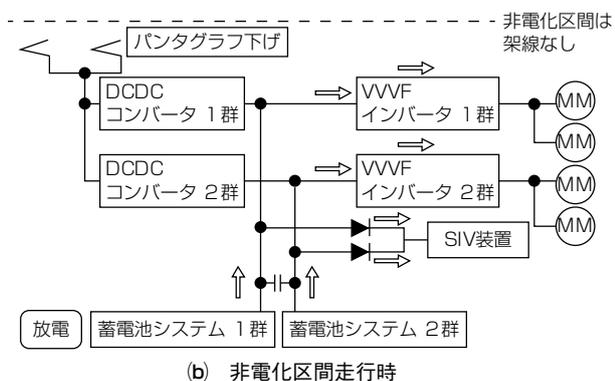
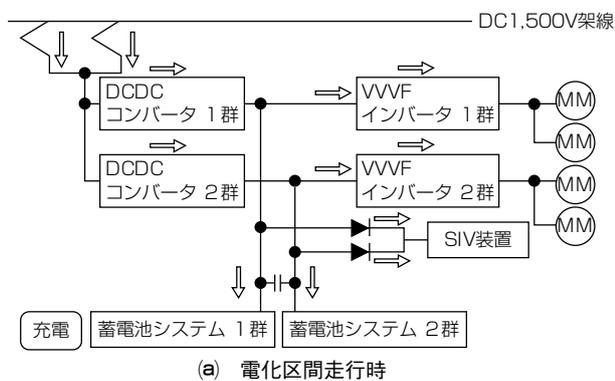
3.2 路線エネルギー管理システム(REMS)

REMS(Railway Energy Management System)は、路線全体のエネルギー最適化を行うシステムである。列車の再生エネルギーは、VVVF車の普及と車両用インバータのSiCパワーモジュール適用とともに年々増加する傾向にある。これに伴い、直流電車線を通じて加速中の列車に融

通できずに破棄されるエネルギーも増加している。したがって、この列車間で融通できずに余剰となる再生エネルギーを有効活用することが、路線全体の更なる省エネルギー化を実現するための課題となる。ここでは、列車の運転エネルギーを供給する、き電システムにおけるエネルギーの最小化・最適化を目的とする代表的な装置とシステムについて述べる。

3.2.1 駅舎補助電源装置S-EIV

S-EIV(Station Energy Saving Inverter)は、列車が駅に停止する際に発生する再生エネルギーの余剰分を交流電力に変換し、駅舎の電気設備に供給することで省エネルギー化を図る装置である。S-EIVによる余剰再生エネルギーフローを図5に、製品仕様を表1に示す。列車がブレーキをかけて再生エネルギーが発生する直近場所の駅舎に設置し、交流電力に変換して活用するため、送電損失が少なく効率よく余剰再生エネルギーの地産地消が可能となる。次にS-EIVの製品化の歩みを表2に示す。製品開発に当たり、プロトタイプ機によるフィールド検証を2012年8月から12月まで実施した。ここで得た知見を、製品開発にフィードバックするとともに装置の機能と省エネルギー効果の確認を行った⁽⁴⁾。その後、2014年6月に製品1号機を納入し、1日当たり約600kWhの省エネルギー効果を確認している⁽⁵⁾。その後、複数の鉄道事業者に納入して実績を重ねるとともに製品開発を継続し、2016年2月には従来比で設置面積を約40%削減し、地絡検出回路の搭載など



DC : Direct Current, SIV : Static Inverter, MM : Main Motor

図4. 走行時の主回路動作

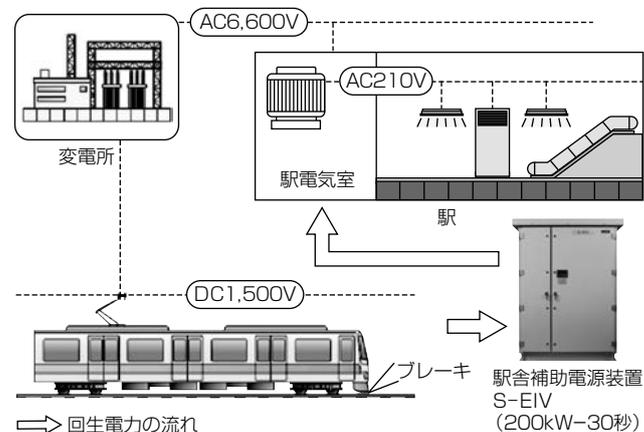


図5. S-EIVによる余剰再生エネルギーフロー

表1. S-EIVの仕様

定格容量	200kW 30秒通電, 2分30秒休止
入力電圧	DC1,500V DC750V DC600V
出力電圧	AC210V, 3相, 50/60Hz
冷却方式	自冷

表2. S-EIV製品化の歩み

時期	主な事柄
2012年8~12月	プロトタイプ機によるフィールド検証
2014年6月	製品1号機納入
2016年2月	小型高機能タイプ製品納入

