

システム全体のエネルギーを効率的に管理，制御する 鉄道EMS

Railway EMS Realizing Effective Energy Management of Entire Transportation System

三吉 京 角谷 彰彦 吉川 賢一

■MIYOSHI Miyako ■SUMIYA Akihiko ■KIKKAWA Kenichi

鉄道は省エネな輸送手段とされているが，地球環境の保護及び電力供給との調和のために，更なるエネルギー消費量の削減やピークカット，ピークシフトが必要とされている。このような状況においては，見える化によるエネルギー消費量の実態把握，及び節電や電力使用規制への対応のためにエネルギー消費量の管理と制御が重要になる。

東芝は，回生インバータ装置や蓄電装置などを用いてエネルギーを循環させ，鉄道のサービスレベルを維持できる範囲で，輸送量と輸送にかかるエネルギー消費量の調和を図りながらエネルギーを管理する，鉄道エネルギー管理システム (EMS: Energy Management System) の開発を推進している。この鉄道EMSを核として，旅客向けの都市鉄道や市街交通における交通ソリューション，貨物輸送を対象とした交通ソリューション，及びそれらを支えるシミュレーション技術などの開発も進め，交通システムの広い範囲でトータルにエネルギーを管理，制御するソリューションの検討を進めている。

Although railways are considered to be an energy-efficient form of transportation, further reductions in energy consumption and measures for the lowering and shifting of peak energy usage have become necessary for protection of the global environment and harmonization of electricity supplies. Management and control of energy consumption are therefore required, to grasp the actual situation of energy consumption and respond to power-saving requirements and electricity usage regulation.

Toshiba is promoting the development of technologies for a railway energy management system (EMS), including train station energy solutions, battery-powered light rail transit (LRT) solutions, freight transportation solutions, and simulation technologies, in order to maintain the service level of a railway system while achieving a balance between its transportation and energy requirements by circulating energy through the application of regenerative inverters and battery systems.

1 まえがき

鉄道は，投入エネルギー当たりの輸送力が大きく，また，ブレーキ時に電力を回生できることから，省エネな輸送手段とされている。しかし，温暖化の防止や資源の枯渇化に備えて，鉄道においてもいっそうの省エネや再生可能エネルギーの利用が検討されている。更に，東日本大震災以降，わが国でも電力使用規制や電力料金の高騰が予想され，また，災害への対策や減災の必要性が強く叫ばれるようになり，それらへの備えも重要である。

エネルギー消費量を削減するためには，エネルギー効率の高い機器への更新や，電気をためて使うための蓄電装置の導入など，ハード面での対策が有効である。また，わが国では古くから列車運転曲線の最適化について研究が進められており，運転におけるエネルギーの削減も検討されてきている⁽¹⁾。

現在わが国では，多くの旅客鉄道が安定輸送を目指しており，そのために必要な電力を十分に供給することで運転ダイヤの定時性を維持している。そして，各鉄道事業者は，電力供給，車両，運行管理，及び運転などそれぞれの分野において，省エネのための施策を重ねている。今後は，ソフト面での対応など，更なる電力消費量の削減を追求していく必要がある。

東芝は，このような状況を踏まえ，鉄道におけるエネルギーの管理と制御に関する開発を行っている⁽²⁾⁻⁽⁵⁾。また，上位概念である交通システムを対象とした次の五つのソリューションビジネスを展開しており，道路交通や鉄道といった交通機関，商業施設，及びロジスティクスなどの異業種連携により収集するビッグデータを，クラウドコンピューティングを利用して活用することで，サービス融合型のソリューションビジネスを目指している。

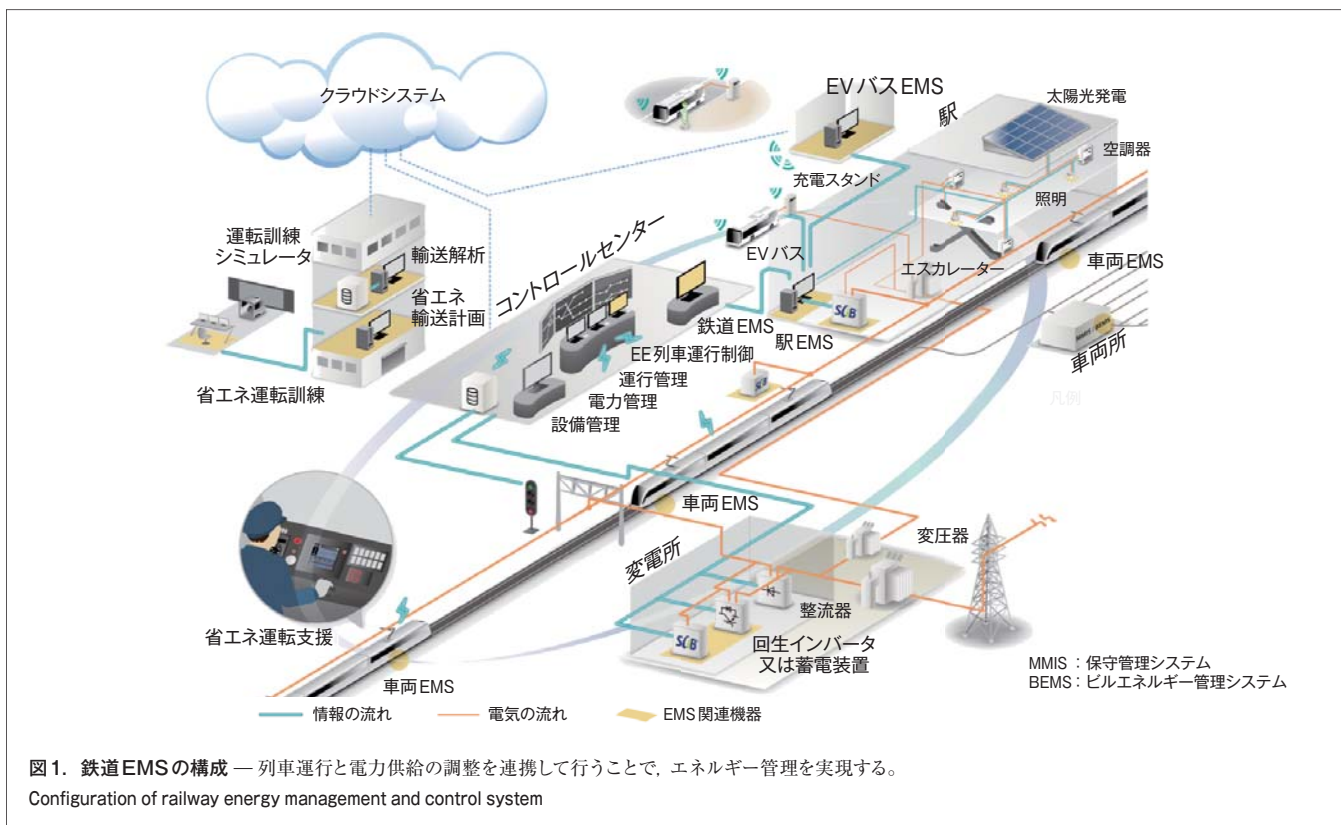
- (1) 鉄道エネルギー管理システム (EMS: Energy Management System) ソリューション
- (2) 車両EMSソリューション
- (3) バッテリー LRT (Light Rail Transit) ソリューション
- (4) EV (電気自動車) バスソリューション
- (5) Loco-EMSソリューション

ここでは，鉄道エネルギーの管理と制御を含む前述のソリューションと，それらを支えるシミュレーション技術について述べる。

2 東芝の考える鉄道エネルギーの管理と制御

2.1 鉄道EMSのコンセプト

現在，一般電力網では，スマートグリッドの構築が進められ



ている。双方向通信による電力の見える化やデマンドレスポンス対応が現実のものとなり、再生可能エネルギーの導入や蓄電装置の利用も目覚ましい。

当社は、これらの技術を取り入れ、列車の運行と電力供給を連携して制御する鉄道EMSを開発している。これは、計画した輸送量に対してエネルギー消費量の目標値を設定し、所定の列車運転ダイヤを維持するなかで、列車の運行や運転方法と変電所における電力供給の調整を連携して行うものである。これにより、輸送の量や品質と、輸送にかかるエネルギー消費量との調和を図り、回生電力と再生可能エネルギーを用いた適切なエネルギー循環により、化石燃料などの枯渇性エネルギーの消費が削減できる。また、エネルギー供給量の制約に対応した鉄道システムの運用も可能になる。

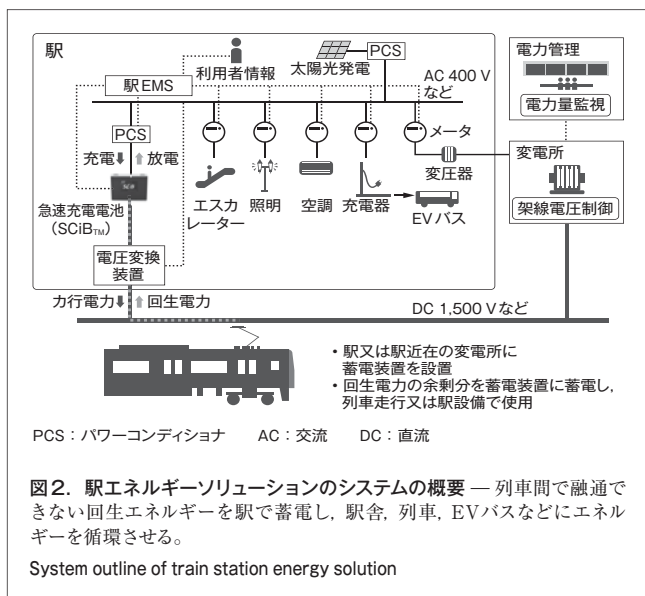
2.2 鉄道EMSのシステム構成

鉄道EMSの構成を図1に示す。対象は、鉄道システムと、鉄道と結節するバスシステムなどである。一般に鉄道システムは、列車、駅や変電所などの地上設備、それらを集中監視する電力管理システムや設備管理システム、及び列車の運行をつかさどる輸送計画システムや運行管理システムで構成されている。これら従来のシステムに対し、鉄道EMSでは、列車ごとの運行を制御するEE (Energy Efficient) 列車運行制御機能がある。また、前日の電力需給情報などにに基づき、必要に応じて電力消費量の設定値の見直しを行い、輸送計画や電力供給計画に反映させる電力需給計画制御機能がある。

リアルタイムの列車運行制御では、平常時にはあらかじめ策定した輸送計画に基づいて制御を行う。突発的な電力緊急制限指令や変電所障害による電力供給停止などが発生した場合には、エネルギー消費量を考慮した新しい輸送計画を策定し、これに基づき運行制御を行う。各列車には、例えば、到着予定時刻のような走行位置-時刻目標をエネルギー消費量目標値とともに与える。各列車は、車両性能や運転制約のなかで、できるかぎり目標値に沿った運転を行うことで列車運行全体での省エネを図る。

日々の運用の変更や日常の外乱に対しては、エネルギー消費量に着目し、運転支援情報又は信号情報として列車に情報を送信することで、各列車の運行を制御する。列車側では、車両EMSが列車自動運転の指令又は運転士に対する運転支援情報の提示を行う。その際、利用客が許容できる範囲での節エネルギーを積極的に実施する。一方、列車は車両EMS機能により、列車内のエネルギー管理を行う。

路線沿線には鉄道用変電所が設置され、商用系統から受電した交流電力を直流電力に変換し、鉄道用マイクログリッド網である電車線に供給する。更に、回生エネルギーを有効利用するためにインバータや蓄電装置などの回生吸収装置と連携させ、枯渇性エネルギーの消費を抑制するスマートグリッド網を構築する。回生吸収装置は、変電所に限らず、駅などの回生エネルギーが発生しやすい場所に設置することが可能である。次節で、駅についてのソリューションを述べる。



2.3 駅エネルギーソリューション

駅は鉄道とフィード交通^(注1)の結節点であり、また、列車の再生エネルギーが発生する場所である。このような駅で再生エネルギーと再生可能エネルギーを蓄電し、駅舎や、電車、EVバスなどでエネルギーを活用する駅エネルギーソリューションを提案している。災害時には蓄電装置を活用して、駅を情報発信拠点とする。

図2は、駅エネルギーソリューションのシステムの概要を示したものである。列車間で電力融通できずに捨てられてしまう余剰電力を駅で直接蓄電し、架線に戻して列車の加速時に再利用したり、駅構内の空調やエスカレーター、EVなどの充電に利用する。このように廃棄していた電力を循環させ生かすことにより、列車の回生率を5～15%向上させる。

図3は、機能構成の例を示したものである。駅に設置した制御装置は、蓄電装置の使用切替え、充放電制御の制御特性変更、及び駅設備の制御をつかさどる。

これらにより、蓄電装置を利用した再生エネルギーの有効活用、駅設備の電力見える化と節電、及び再生可能エネルギーの有効利用やピークシフトなどが可能である。

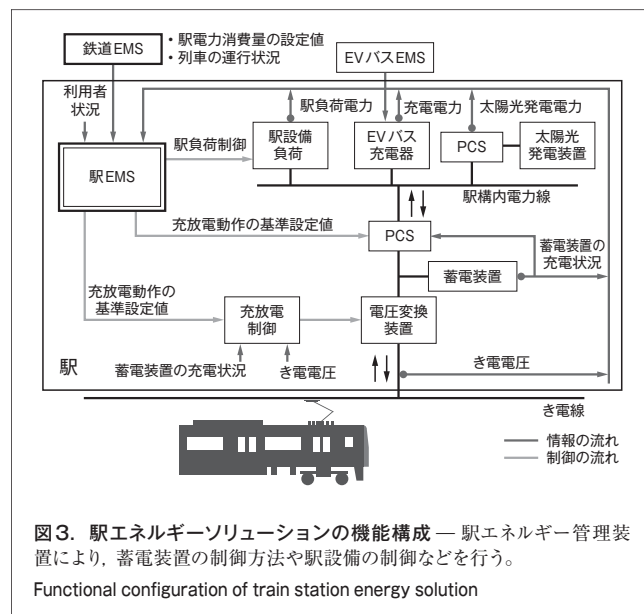
2.4 バッテリー LRT ソリューション

昨今の蓄電装置の発達により、架線を必要としないバッテリー LRT システムの実用化が欧州を中心に進み始めている。架線を必要としないことから、延伸が比較的容易であり、景観を損なう度合いも少ない。

図4は、現在、当社が実現を目指しているバッテリー LRT システムの予想図である。

バッテリー LRT システムには、このほか次のようなメリットがある。

(注1) 交通網において、幹線(主に鉄道)と接続して支線の役割をもって運行される路線を言い、主にバスやLRTがこれにあたる。



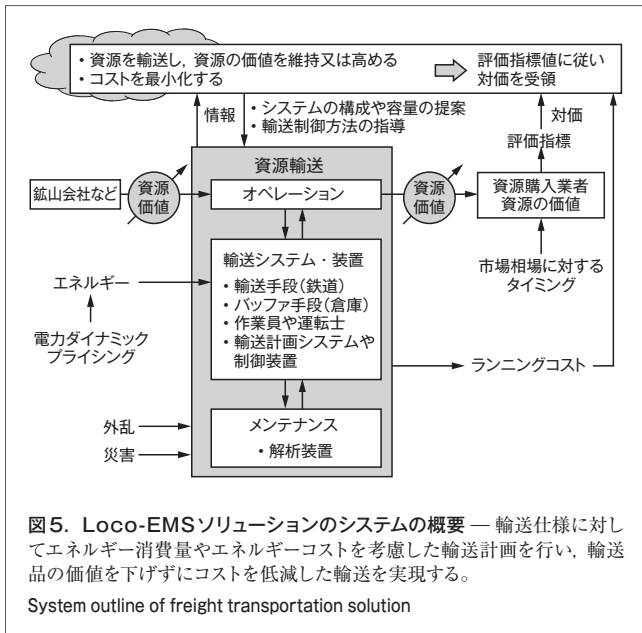
- (1) 不安定な電力供給事情における安定走行の継続
 - (2) 架線建設費の削減によるインシヤルコストの低減
 - (3) 架線保守の省略によるライフサイクルコストの低減
- バッテリー LRT システムは、再生電力を自列車内で蓄積し活用することができ、エネルギーの有効活用が可能である。

2.5 Loco-EMS ソリューション

資源輸送などの貨物輸送の分野では、旅客鉄道と異なり、エネルギー消費量や電力のダイナミックプライシングに着目した輸送計画を策定することが可能である。貨物輸送では次の3点を目指している。

- (1) 輸送する資源の価値の維持と増加
- (2) 輸送コストの最小化
- (3) 輸送障害発生時などにおける輸送継続と遅延最小化

Loco-EMS ソリューションとは、これら目指すところを踏まえ、輸送の量や品質と、輸送に必要なエネルギー消費量とを



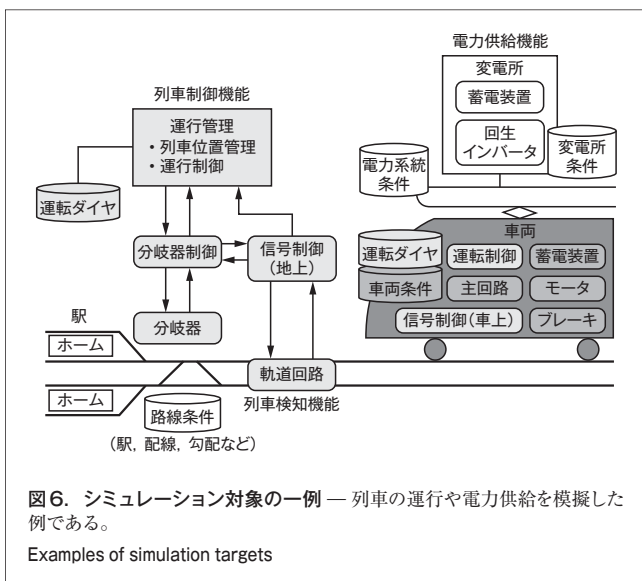
んびんにかけて輸送のタイミングを見計らいながら貨物の価値を生み出すソリューションである。

Loco-EMSソリューションのシステムの概要を図5に示す。

3 シミュレーション技術

これらのソリューション並びにシステムの立案を行うためには、列車の運行と電力供給を模擬する計算機シミュレーション技術が必要不可欠である。当社は、長年培ってきたシミュレーション技術⁽⁶⁾やノウハウを、これらの技術や製品の開発に生かしている。

シミュレーション対象の一例を図6に示す。このシミュレーションでは、列車運行と電力供給に関わる機能である運行管



理や、信号制御、車両、変電所、き電システムなどを模擬している。運転ダイヤを入力として、時々刻々の電力供給とこれに基づく列車運行を模擬し、エネルギー消費量を計算して出力する。電力供給の模擬については、き電線の回路構成を設定し、回路網計算により変電所の送り出し電圧と電流量を計算する。

4 あとがき

鉄道システムを中心とした、当社のエネルギー管理・制御技術開発への取組みについて述べた。ICT（情報通信技術）と急速充放電特性を持つ蓄電技術の発達している今日、従来ではコストが掛かり不可能であったことも可能になり始めている。更に、蓄電装置の導入によるエネルギー効率向上の可能性は大きい。

今後も、交通システム又は輸送システム全体の最適化を目指して開発に取り組み、スマートモビリティインテグレータとして社会に貢献していく。

文献

- (1) 関根利文 他. “鉄道における夏期電力削減の検討”. 第48回鉄道サイバネ・シンポジウム. 東京, 2011-11, 日本鉄道サイバネティクス協議会. 論文番号401.
- (2) 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ステーション. 鉄道と電気技術. 23, 4, 2012, p.3-10.
- (3) 麦屋安義 他. “鉄道におけるエネルギー管理と制御(その1:全体構想)”. 平成24年電気学会全国大会. 広島, 2012-03, 電気学会. p.136-137.
- (4) 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. p.138-139.
- (5) 三吉 京 他. “鉄道エネルギー管理のための列車運行制御”. 第49回鉄道サイバネ・シンポジウム. 大阪, 2012-11, 日本鉄道サイバネティクス協議会. 論文番号401.
- (6) 三吉 京 他. 新しいエネルギー供給システムに対応した鉄道システム統合シミュレータ. 東芝レビュー. 60, 9, 2005, p.38-41.



三吉 京 MIYOSHI Miyako

社会インフラシステム社 鉄道・自動車システム事業部 交通システム推進部。鉄道システムシミュレーション、列車制御、鉄道エネルギー管理システムの開発に従事。
Railway & Automotive Systems Div.



角谷 彰彦 SUMIYA Akihiko

社会インフラシステム社 電力流通システム事業部 鉄道電力システム技術部グループ長。電鉄変電所のシステムエンジニアリング業務に従事。
Transmission & Distribution Systems Div.



吉川 賢一 KIKKAWA Kenichi

社会インフラシステム社 鉄道・自動車システム事業部 交通システム推進部参事。鉄道システムのエンジニアリング業務に従事。
Railway & Automotive Systems Div.