

より環境に優しい鉄道システムへ、先端技術とシステム連携で貢献

高橋 弘隆	日立製作所 交通システム社 輸送システム本部 電力変電システム部 主任技師
徳山 和男	日立製作所 交通システム社 国内車両システム部 主任技師
三和 直樹	日立製作所 交通システム社 輸送システム本部 本部長
宮内 努	日立製作所 日立研究所 輸送システム研究部 TS4ユニット 主任研究員
横瀬 藤彦	日立製作所 交通システム社 経営企画本部 研究開発企画室 兼 輸送システム本部 輸送システム部 主任技師

鉄道は他の交通機関と比べてもエネルギー効率が高く、環境負荷が少ないことから、近年その価値が国内外で再認識されている。一方で、地球環境問題や、日本国内におけるエネルギー事情の変化を受け、いっそうの省エネルギー化も求められている。日立グループでは、鉄道の総合システムインテグレーターとして、常に鉄道システムの進化を支える先端技術の開発に取り組んできた。蓄積してきた経験と技術を基に、省エネルギー化を多角的に推進し、よりいっそう環境に優しい次世代の鉄道システムに貢献していく。

省エネルギーの鍵となる蓄電池と制御システム

横瀬 鉄道は消費エネルギーが少なく、環境に優しい交通機関として知られていますが、地球温暖化の進行やエネルギー環境の変化などを背景に、さらなる省エネルギー性能の向上が求められています。われわれメーカーがそれにどう貢献していくのか、現状の技術と将来展望について議論したいと思います。

高橋 省エネルギーの鍵を握る技術の一つが蓄電池技術です。日立は、回生電力の余剰分を地上設備のリチウムイオン電池に貯めておき、力行時に放電し駆動電力として再活用するB-CHOPシステムを国内外のお客様に提供しています。車両で生み出される回生電力を有効活用することで、鉄道システムの省エネルギー化に貢献するために開発した技術であり、最近の蓄電池技術の発展に伴って技術的にも成熟してきました。B-CHOPシステムの導入によって、回生電力をインバータで系統に戻して利用する従来方式と比べ、約20%の電力消費量削減を実現しているサイトもあります。

徳山 蓄電池を車両側に置くシステムでは、非電化路線を走るディーゼル車にモータとリチウムイオン電池を組み合わせたハイブリッド気動車を開発しました。非電化路線でも回生電力を有効活用することで、省エネルギーとCO₂削減

の両面で環境負荷軽減に貢献しています。電化・非電化の混在する路線に向けては、電化区間では架線からの電力で走行し、非電化区間では蓄電池の電力のみで走行する電池電車の実用化をめざした開発を加速しています。また、ハイブリッド自動車のように、通常の電車に蓄電池を搭載して力行をアシストするシステムの開発も進めています。

インバータやモータなどの機器の高効率化、低損失化による、車両そのものの省エネルギー化も進んでいます。さらに、制御システムによってそれらの機器を効率よく運用するという考え方も、既存および新規開発の車両に導入され始めていますね。

三和 最近では、国内だけでなく海外でも、運行管理システムや電力管理システムなどの制御システムをエネルギーマネジメントにも活用しようという動きが見え始めています。車上の電気機器システム、地上の変電所など、個別の電力消費量の最適化は比較的容易ですが、ある路線単位で全体最適化することを考えると、上位のシステムによるマネジメントが必要になります。例えば、同時に力行する車両とブレーキをかける車両をうまく分散させることができれば、電力消費のバランスが最適化できますよね。制御システムは、機器や設備の状況を監視しながら、指令員の意図に沿って適切な動作の指示を行うものであり、現在は、ダ



高橋 弘隆

日立製作所 交通システム社
輸送システム本部 電力変電システム部
主任技師

1991年日立製作所入社、入社以来、電気鉄道用変電システムのシステムエンジニアリング業務に従事。
電気学会会員。



徳山 和男

日立製作所 交通システム社
国内車両システム部
主任技師

1992年日立製作所入社、入社以来、在来線車両全般のシステム取りまとめに従事。

イヤ乱れからの迅速な回復など、乗客の利便性を主眼とした制御を行っています。その機能をさらに拡張し、車両の運行状況や変電設備の使用状況などのデータを活用した最適な省エネルギー制御に応用することが期待されています。

宮内 省エネルギーの推進には、どんなときにエネルギー消費が増え、対策の効果がどれくらい見込まれるのかを可視化できなければなりません。日立研究所では、車両、信号、運行管理、き電など、鉄道システムを構成する複数の要素をモデル化し、それらを連携して解析できる鉄道総合評価システムを開発しました。大規模な鉄道システムの動きをPC (Personal Computer) 上でシミュレーションできるため、車両の走行による電力消費量や、変電所の出力変動などを検討できます。また、ダイヤの乱れなどが起こった際の走行および走行に伴う消費電力量の影響についても検討可能です。省エネルギーの観点から見た変電所や蓄電池の効率的、効果的な配置や、運転方法による電力消費量の変化なども定量的に評価することも可能で、省エネルギーソリューションの提案にも活用できます。

実測データから見てきた意外な電力消費

横瀬 鉄道システムの省エネルギー化を推進する上での課題は、電力消費量の把握ですね。総量を把握するだけでなく、機器、車両、路線単位などでの個別の電力消費量や、その変動要因を明らかにしていくことが必要です。シミュレーションはもちろん重要であるものの、やはり実際の詳細な消費量を可視化することは、投資効果を把握するためにも欠かせません。

高橋 現状ではデータや状況から推測するしかありませんが、一つ興味深い推測が得られています。鉄道事業者さんと共同で行っているB-CHOPの効果測定の間年を通した結果を見ると、地上を走る鉄道の場合、春と秋には回生電力に余剰があるのですが、真夏と真冬にはB-CHOPに戻される回生電力の余剰が少ない結果が出ています。地下鉄に設置している装置の観測ではそうした季節による変動は

あまり見られていません。気温が高い、あるいは低い時に回生電力が車両の中で消費されているということは、その多くが空調の電力などの補機電源に使われていると推測できます。空調などの補機電力の電力消費量がそれほど多いとは、われわれも予想していませんでした。地上を走る鉄道では気候が電力消費量に大きく影響していると考えられ、車両の空調などの補機電源をきめ細かく制御することによって、省エネルギー効果が高まると期待されます。

宮内 われわれも最近になって分かったことですが、空調をはじめとする補器に電力を供給しているSIV (Static Inverter) の電力消費量が、蓄電システム導入時の省エネ効果に与える影響は、従来考えられていたよりも大きいようです。仮に、SIV電力が力行時に使用される電力の10%程度で、回生率が40% (力行電力の40%が回生電力) の場合には、SIV電力に使用される回生電力の割合は回生電力量全体の約25%程度であるため余剰がありますが、SIV電力がさらに大きくなると、多くの回生電力がSIV電力に使用されることになるため、回生余剰が少なくなり、省エネルギー効果に影響を与えるものと考えられます。

高橋 そうですね。さきほどの傾向は、特に変電所間の距離が長い路線で強くなるようです。

制御システムを応用して省エネルギー運転を支援

宮内 車両全体の電力消費量は、路線の条件にも依存しますが、特に影響が大きいのは走行抵抗と駆動機器だと考えられます。走行抵抗は車両の速度と相関していますから、なるべく速度の変動を抑える運転方法が省エネルギーにつながります。特にダイヤ乱れの際に、なるべく加減速を抑えてゆっくりでも走らせるような制御ができれば電力消費量を削減できます。そのためには、路線内の列車の位置と、動きを正確に把握する技術が必要になりますが、運行管理システムの技術を応用することが可能ではないでしょうか。

徳山 おっしゃるように、停止状態から走り出すときに多くのエネルギーを使うため、ゆっくりでも走行していると



三和 直樹

日立製作所 交通システム社
輸送システム本部
本部長

1983年日立製作所入社、インフラシステム社での計算制御システムの開発などを経て、現在、鉄道事業者向けのシステム品の取りまとめに従事。



宮内 努

日立製作所 日立研究所
輸送システム研究部
TS4ユニット主任研究員

1999年日立製作所入社、入社以来、鉄道システムの省エネルギー化およびシミュレーション技術に関する研究開発に従事。電気学会会員。

電力消費量は節約できます。車両側では、駅での停車時間や乗車率なども把握していますから、それらのデータを上位の運行管理システムで利用して、出発のタイミングや後続列車の速度調整などの連携がリアルタイムにとれると、もう一段進んだ省エネルギーが可能になるはずで

三和 運行管理システムは、駅間をどれだけ短く走れるか、車両間隔をどこまで詰められるのかを主眼に設計されており、省エネルギーのための走り方は系統的に定義されていません。公共インフラとしての輸送力の確保を第一としてきた以上、それは当然のことなのですが、今後は電力についても考慮していくべきであると思います。ただ、システム側からの電力消費量を抑えるアプローチを、運転士さんのフィーリングと合った形での運行支援にどうつなげるかが重要です。あるいは、ATO (Automatic Train Operation) と組み合わせ、エネルギー効率を最適化した走行パターンを実現すると言うアプローチもあり、われわれとしても、データを集めつつ、技術的な可能性を示していかなければならないと感じています。

横瀬 省エネルギー運転の支援という視点で、制御システム側からできることを考えていくのも重要ですね。

三和 車と異なり先行列車が目に見えるわけではないので、上位側の運行管理システムがそれをどう可視化して、運転支援、あるいは車間調整運転の自動化に結びつけるかがポイントになります。

技術を結集して鉄道システムの革新を

高橋 省エネルギーを追求すると、き電線の損失についても対策が必要です。変電所側で電線への供給電圧をコントロールすることも、一つの有効な手段になると思います。ただ、現状はき電電圧を制御できる変電所は少ないため、無線技術と蓄電池を活用しながらき電電圧をリアルタイムにコントロールするのが最適な方法と思われる。それには、CBTC (Communications - Based Train Control System) のような、無線を利用した列車制御システム技術が応用で

きるのではないのでしょうか。

徳山 蓄電池の地上設備はそういった面でも活用できますね。省エネルギーのみならず、大規模停電時に次の駅まで列車を動かす、非常用電源としての利用についても実証実験を進めています。日立グループは、鉄道関連システムだけでなく蓄電池も扱っており、それは技術的にも大きな強みと言えます。蓄電池技術に関しては、重量やコストなど、まだまだ技術革新が必要ですが、今後、環境負荷のより少ない鉄道システムを実現していく上では欠かせない技術ですから、機器、制御システムと蓄電池をうまく組み合わせたモデルを開発し、貢献していきたいと考えています。

宮内 日立は車両、信号システム、運行管理システム、変電所から、エンジンとモータ、蓄電池を組み合わせたハイブリッド駆動システムなど、鉄道システム技術を総合的に開発、提供しており、その中で培ってきた経験と知見をもとにした、さまざまな省エネルギー技術も有しています。それらを活用した新しい省エネルギーシステムの効果は、これまでで得られているデータと前述したシミュレーションでも推定はできますが、やはり実機で省エネルギー効果を検証したいですね。

三和 従来の開発の多くは、お客様のニーズに応えるという形で行われてきましたが、やはり省エネルギーのような価値を提供していくには、こちらである程度の効果を示したモデルを作って提案し、実証プロジェクトで検証していくという形が必要になると思います。その実現に向け、われわれの中でさらに技術を磨くとともに、システム間の連携を深めるなど、次の段階を見据えた取り組みを加速していきましょう。

横瀬 鉄道では、さまざまなサブシステムにおいて多種多様な、大量のデータを取得することが可能になっています。それらのビッグデータを、われわれが鉄道事業で培ってきたノウハウを適用してどう分析し、省エネルギーの観点から活用していくかが問われています。

これまで、安全運行、定時運行を目的として構築されてきた鉄道システムは、省エネルギーの観点を加えた、より発展したシステムへの転換期を迎えています。そのためには、鉄道関連技術のみならず、車両の位置を正確に把握するための無線通信やGPS (Global Positioning System) などの技術、変電所をきめ細かく制御するためのデータ伝送技術なども重要になります。

日立グループをあげて推進している社会イノベーション事業は、お客様とともにインフラを革新し、新しい価値を創造していく事業です。鉄道システムにおいても、これまで培ってきた鉄道に関する総合力にグループ内の他分野の技術と知を融合させ、より環境負荷の少ない次世代の鉄道システムへの革新に貢献していきます。



横瀬 藤彦

日立製作所 交通システム社
経営企画本部 研究開発企画室 兼
輸送システム本部
輸送システム部
主任技師

1988年日立製作所入社、鉄道輸送システムのエンジニアリング業務などを経て、現在、鉄道技術開発取りまとめ業務に従事。