

# 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

Universal Simulator for Railway Systems with New Energy Supply System

三吉 京 平 政人 長谷部 寿郎

■ MIYOSHI Miyako

■ TAIRA Masato

■ HASEBE Toshio

一般に、鉄道は省エネルギーな交通機関と言われているが、更に消費電力を削減するための様々な取組みが進められている。その一つとして、車両システムや変電所への蓄電装置の応用がある。鉄道では、回生ブレーキといって架線を通して電力をリサイクルする仕組みが実用化されている。しかし、これも列車の運行本数が多いところでは活用されるが、少ないところでは電力リサイクルが期待できず、車両に蓄電装置を搭載することのほうが省エネルギーは期待できる。このように、鉄道システムのエネルギー所要量の違いは、輸送条件に大きく依存すると考えられる。

東芝は、鉄道システムの消費電力削減のために、これら輸送条件の違いを踏まえた所要電力の的確な予測を行うことにより、電力供給システムの構成を立案・検討するための計算機シミュレーション技術を開発し活用している。

Although railways are generally considered to be an energy-saving form of transportation, various efforts have still been made to reduce their power consumption. One such example is the application of energy storage devices to the train system or substations. Regenerative braking, which recycles electric power through the overhead wires, is in practical use in railway systems, particularly when many trains are in operation. However, the recycling of electric power is not fully effective when fewer trains are running, and in such cases the installation of energy storage devices on the train cars is a highly promising means of energy saving. It is assumed that differences in energy requirements in railway systems depend greatly on the transportation conditions. Therefore, when considering the architecture of a power supply system, it is necessary to calculate the power requirements based on these differences in transportation conditions.

Toshiba is developing and utilizing computer simulation technologies and software systems for this purpose.

## 1 まえがき

道路交通や鉄道、飛行機、船舶などの交通機関のなかで、一般に、鉄道は省エネルギーな交通機関と言われている。しかし、昨今の地球環境問題の観点から、鉄道業界でも更に消費電力を削減するための様々な取組みが進められている。

鉄道では、電力回生ブレーキが活用されている。これは、ブレーキ時にモータを発電機として作動させることにより、車両の運動エネルギーを電気エネルギーに変換し、電力を再利用するものである。今まで実用化してきたものは、架線を媒体として、近隣を走行する他の列車に電力を融通するものである。

一方、最近では、放電出力やエネルギー蓄積量に優れ、列車に搭載することができる程度に小型化された蓄電装置が開発され、ハイブリッド自動車にみられるように回生エネルギーを自列車で回収し省エネルギーを図る研究が進められている。また、ディーゼル車両の電化とともに、燃料電池といった新しい動力源の搭載も検討されており、鉄道においても小回りのきく架線のないタイプの鉄道システムやハイブリッド動力源車両の実用化検討が進められている。

このように、様々な動力源によるエネルギー供給システムのバリエーションがあるなかで、エネルギー消費量最小など

の観点から最適なシステムは、路線勾配(こうばい)、駅間距離、変電所間隔、最高速度、運転ダイヤなどの輸送条件によって異なると考えられる。しかし、鉄道システムでは、実際に実験を行いデータを収集・解析し、最適なシステム構成を立案するといった方法は困難であり、机上における計算機シミュレーションの果たす役割は大きい。

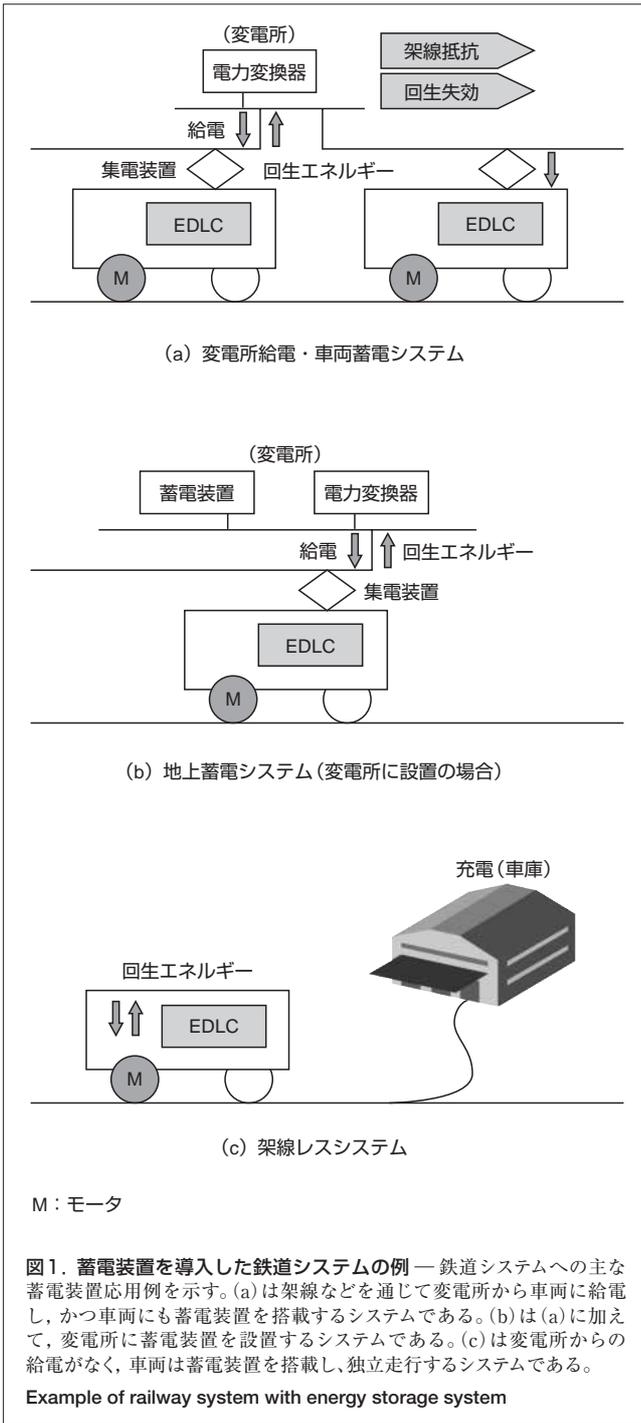
東芝は、鉄道輸送の条件の違いによりどのようなエネルギー供給システム構成が省エネルギーに適切かを検討するために、鉄道輸送システムを模擬する計算機シミュレーション技術を開発している。

ここでは、エネルギー供給・列車制御・車両システムを統合的に模擬するパソコンシミュレータについて述べる。

## 2 蓄電応用システム

鉄道における蓄電応用システムとしては、鉄道車両に蓄電装置を搭載し、自列車の回生エネルギーをリサイクル利用するものがあげられる。また、地上の変電所に導入し、電力の一日の所要負荷に対してパフファの役割を持たせ、電力会社などから受電する電力のピークカットや総所要エネルギーの低減を見込むことも有効である。

鉄道システムへの主な蓄電装置応用例を図1に示す。



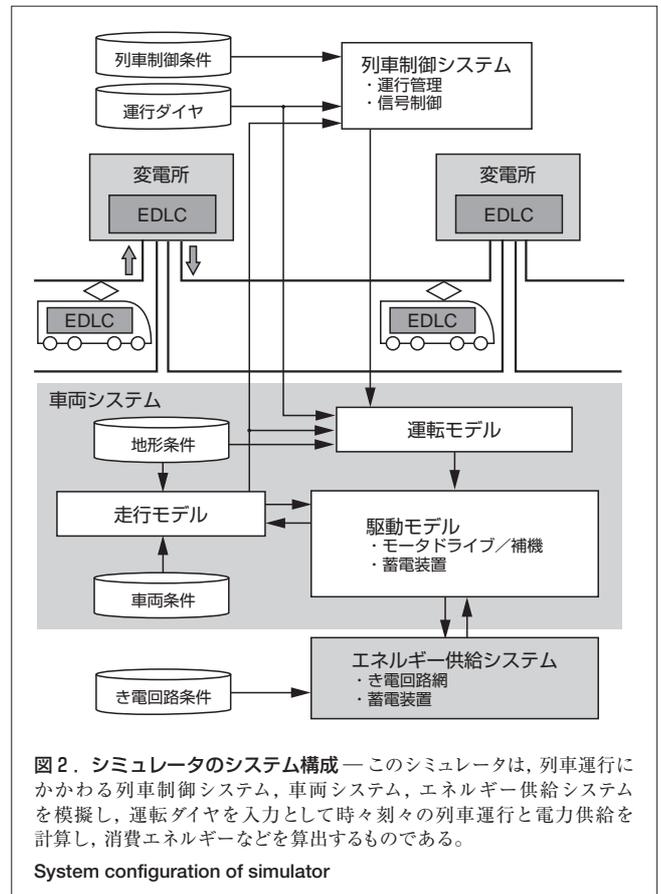
(a)は、現在では一般的である変電所から架線を通じて列車に電力を供給し、列車からの回生エネルギーをほかの列車に供給するシステムである。図中のEDLC(Electric Double Layer Capacitor:電気二重層キャパシタ)は、蓄電装置の一つとして有力視されているものであり、高速充電に優れたキャパシタタイプの蓄電装置である。このシステムは省エネルギーの観点からみると、車両から架線を経由して電力を融通するために、回生失効や架線抵抗による損失といった課題がある。

(b)は、変電所に蓄電装置を、若しくは変電所の代わりに蓄電装置だけの設備を設置し、回生エネルギーを吸収し、き電圧降下対策や負荷平準化を行おうとするものである。変電所に蓄電装置を設置することから、大きさや重さなどの制約は車両に搭載するより軽減される。

(c)は、架線のないタイプの鉄道システムである。始業時に車庫から出発する際などに十分充電しておき、走行可能距離に応じて運行し、車庫に帰着する。ブレーキ時の電力は回生されてリサイクルされるが、列車走行における走行抵抗分は必ず消費されることから、列車走行とともに減少する車両内の蓄積エネルギーを一定範囲に維持するために、駅ごとやき電区間ごとに充電設備を設置し充電するタイプも考えられる。

### 3 蓄電応用鉄道システム統合シミュレータ

このシミュレータは、列車運行にかかわる列車制御システム、車両システム、エネルギー供給システムを模擬し、運転ダイヤなどを入力として時々刻々の列車運行・電力供給を計算し、消費エネルギーなどを算出するものである。システムの構成を図2に示す。都市圏の通勤路線や市街電車などに対応する直流き電用と、新幹線向けの交流き電用がある。



列車は運行ダイヤに従って運行する。列車運行ダイヤに合わせて、また、先行列車の位置や駅に進入する場合の分岐装置の状態に基づき信号制御を行い、列車はこの信号に従って走行する。

車両システムには運転士の運転モデルが組み込まれ、信号に沿った形で力行(加速)させたりブレーキをかけるといった駆動モデルに対する指令を行う。車両は走行モデルによりその加減速度、速度並びに位置が計算される。この際、所要電力や走行速度は、走行する路線の地形条件や走行する車両の加速特性などの車両特性に大きく依存する。このため、勾配量などを入力することにより、詳細な模擬ができるようになっている。

エネルギー供給システムの模擬については、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の計算や電流量の計算を行っている。

架線がないシステムの場合には架線を模擬する必要がなく、変電所を中心とした電力計算は行わない。

#### 4 シミュレーション例

蓄電装置を車両に搭載するシステムの応用例として、今後早い時期での実用化が期待できる交通システムに路面電車が挙げられる。ある都市の現行システムを変形してモデル化した、路面電車に適用した場合のシミュレーション結果を図3に示す。

シミュレーション結果の解析・評価の効率性向上のために、図3に示すようなシミュレーション結果を自由に再現できる画面を用意し、時々刻々の列車の挙動や変電所の電力負荷の重なりなどを確認している。

画面は、路線図、運転ダイヤ、変電所、車両、車両内充放電

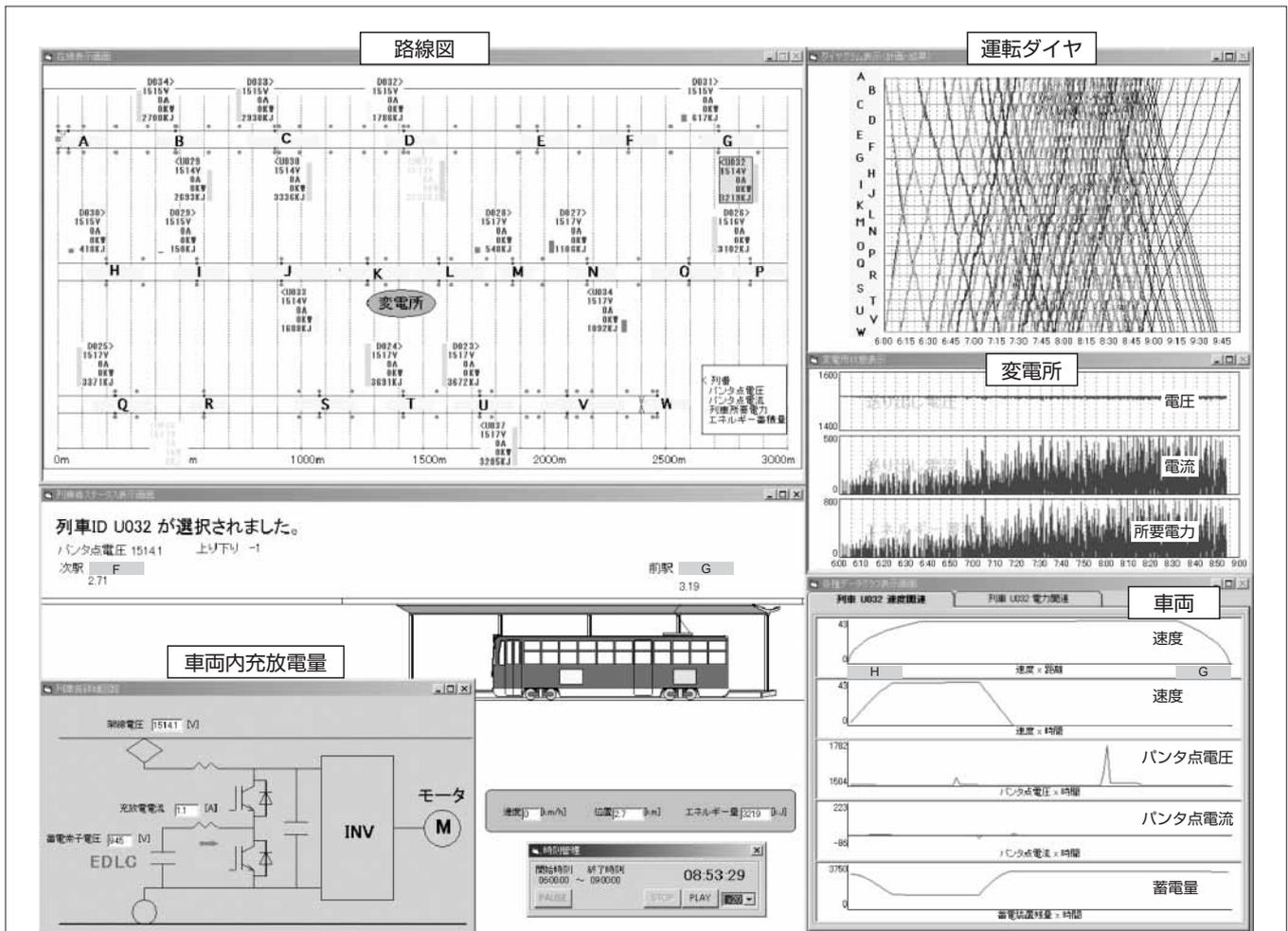


図3. シミュレーション例 — 早い時期に実用化が期待できる蓄電応用鉄道システムとして、路面電車があげられる。これは、路面電車をモデル化したシミュレーション結果を示したもので、シミュレーション結果を自由に再現できる画面を用意し、時々刻々の列車の挙動や変電所の電力負荷の重なりなどを確認することができる。

Example of simulation results

量に分かれ、それぞれ以下のものを示している。

路線図では、路線路上を走行する車両のパンタグラフの位置(以下、パンタ点と略記)での電圧、電流や蓄電量などを示す。路線の上り坂などの勾配条件により所要電力が増えるようす、内部蓄電量が急激に低下するようすなどを確認することができる。

その下の車両内充放電量では、路線図上でピックアップした1車両について、車両の走行と時々刻々の車両内の充放電量の変化を確認することができる。

右上は運転ダイヤであり、このシミュレーション結果では、約3分間隔の運転を想定した。

変電所については、横軸を時間とした電圧・電流の推移を、車両については、路線図上で選択した車両の走行速度(横軸は位置と時間の2種類)と、パンタ点電圧・電流、蓄電量などを示す。加速時には放電により蓄電量が減少し、ブレーキ時には充電により蓄電量が増加するようすがわかる。また、このシミュレータを使用することにより、車両の込み具合や勾配条件などの違いに基づき、時刻や路線上の位置に応じた特性を把握することができる。

## 5 あとがき

蓄電装置の適用検討が始まり、鉄道のエネルギー供給システム構成が多様化するなかで、机上で容易に、かつ詳細にシステム構成や制御を解析・検証できる鉄道システム統合シミュレータを開発した。今後は、このシミュレータを使用して、複数のシステム構成におけるエネルギー消費量、車両搭載質量などの評価パラメータを算出し比較することにより、輸送条件のシステム構成に対する影響度合いの解析や、輸送条件によるシステム構成の在り方などの立案・評価・検証を実施していく。また、システム提案における理論的な根拠の確認にも活用していきたい。

## 文 献

- (1) 小前武則, ほか. “鉄道変電所電力供給ダイナミックシミュレータの開発(第2報)”. 平成10年度電気学会 全国大会, 1248. No.5, p.366-367.
- (2) 三吉 京, ほか. “交流き電式鉄道電力シミュレータの開発”. 第36回鉄道におけるサイバネティクス利用国内シンポジウム論文集, 日本鉄道サイバネティクス協議会. 1999. p.275-278.
- (3) 門田行生, ほか. “エネルギー搭載鉄道車両動作シミュレータの開発”. 平成17年電気学会全国大会. No.5, p.257.
- (4) 大矢純子. 列車制御システムの評価解析技術. 東芝レビュー. 59, 7, 2004. p.58-59.



三吉 京 MIYOSHI Miyako

電力・社会システム社 電力・社会システム技術開発センター  
社会システム開発部グループ長。鉄道・道路・空港システム  
における制御・無線応用技術の開発に従事。  
Power and Industrial Systems R&D Center



平 政人 TAIRA Masato

電力・社会システム社 電力・社会システム技術開発センター  
エネルギーシステム開発部。鉄道を含む電力供給システム  
における系統解析・制御技術の開発に従事。  
Power and Industrial Systems R&D Center



長谷部 寿郎 HASEBE Toshio

電力・社会システム社 交通システム事業部 交通車両シ  
ステム技術部主幹。車両ドライブシステムをはじめ車両シ  
ステム全般の技術開発に従事。  
Transportation Systems Division