

鉄道システムの電力消費および 輸送力評価技術と省エネルギーへの取り組み

Evaluation Technology for Energy Consumption and Traffic Volume on Railroad Traffic Systems and Hitachi's Energy-saving Efforts

中村 恭之 宮内 努
Nakamura Yasushi Miyauchi Tsutomu
小田 篤史 佐藤 裕
Oda Atsushi Sato Yutaka

日立グループは、さまざまな鉄道サブシステムを実用化しており、これらを組み合わせることにより、鉄道システムの一括提案が可能である。鉄道システムの一括提案にあたっては、消費電力量と顧客が満足する輸送量の確保が重要と考えている。このため、(1)消費電力量と輸送力の評価を主目的とした鉄道統合評価システム、および(2)消費電力量削減を目的とした省エネルギー運転技術を開発している。鉄道統合評価システムでは、鉄道システム全体を車両、信号システム、運行管理システム、き電設備などのサブシステムに細分化し、それぞれのモデルを作成して、作成したモデルを任意に組み合わせることで、さまざまな形態による消費電力量や輸送量の評価ができる。また、省エネルギー運転技術では、電気ブレーキを最大限利用するエコブレーキ運転、運転士に対する支援技術、先行列車を考慮した走行制御を開発するなど省エネルギーに取り組んでいる。

1. はじめに

近年、環境に配慮した交通手段として鉄道需要が高まっており、世界各国で鉄道システムの導入が計画されている。日立グループは、これまで、信号・新型車両・駆動システムなどのサブシステムについて、さまざまな評価を基にしたエンジニアリングを行っている。一方、昨今は、これらのサブシステムを組み合わせることで全体としての提案が求められつつある。国内においては省エネルギーを、海外、特に新興国においては省エネルギーに加えて、顧客が満足する輸送量を達成することがそれぞれ求められている。

こうしたニーズに対応して、日立グループは省エネルギーと輸送量に基づく提案を行うために、鉄道システム全体を統合的に評価可能な評価システムと、具体的な省エネ

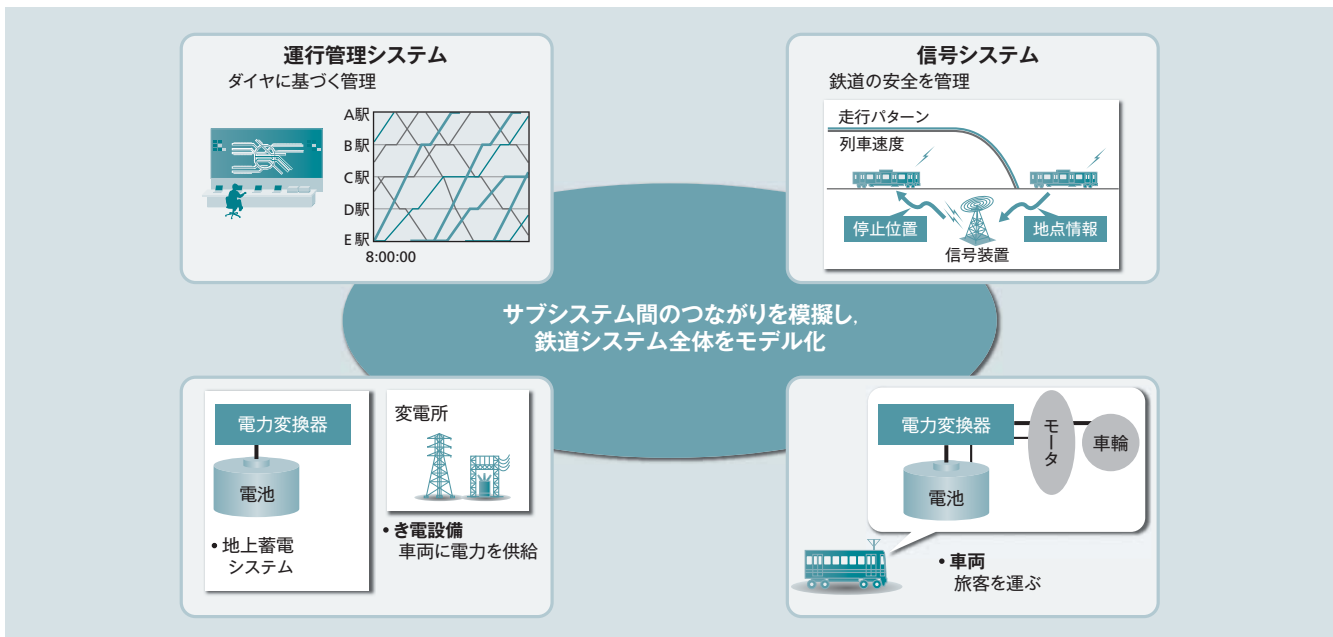


図1 | 鉄道統合評価システムの全体像

鉄道システム全体を構成する車両、信号システム、運行管理システム、き電設備などのサブシステムそれぞれの単体動作と、サブシステム間の相互作用や連携制御を模擬し、鉄道システム全体のエネルギーコストや輸送量を定量化することが可能である。

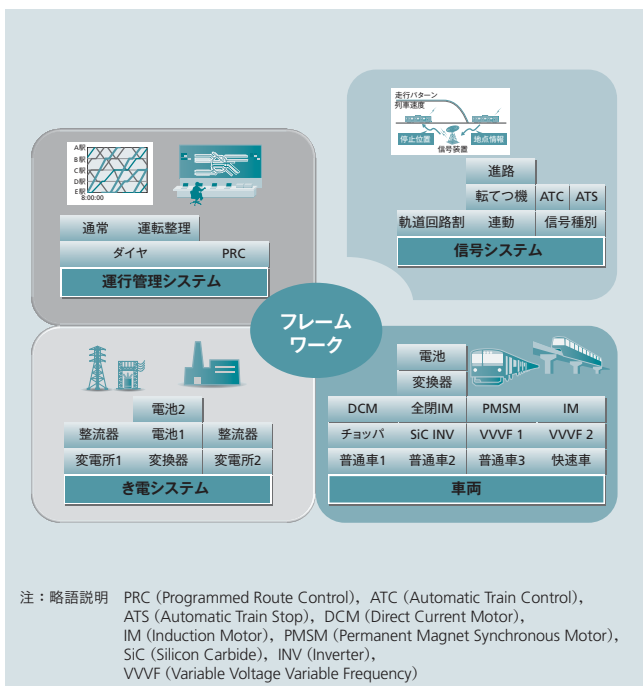


図2 | 鉄道統合評価システムの特徴 (ビルディングブロック方式)
 評価に必要なサブシステムや構成機器を任意に設定することで、構成機器からシステム全体の評価が可能となる。

ルギーシステムについて開発を行っている。
 ここでは、消費電力量と輸送力の評価を主目的とした鉄道統合評価システム、および消費電力量削減を目的とした省エネルギー運転技術について述べる。

2. 鉄道統合評価システム¹⁾

2.1 鉄道統合評価システムの特徴

鉄道システム全体を車両、信号システム、運行管理システム、き電設備などのサブシステムに細分化し、それぞれのサブシステムや機能についてモデルを作成して、共通のフレームワークの上に作成したモデルを任意に組み合わせることによって、さまざまな評価を可能としたものが鉄道統合評価システムである(図1参照)。例えば、車両の走行性能の評価を行うためには、車両単体のモデルだけで評価することができる。また、図2のように、車両、運行管理システム、き電設備を組み合わせ、計画ダイヤに基づく消費電力の評価を行うことが可能である。さらに、各サブシステムについてもそれぞれモデルを選択可能であり、車両であれば、気動車、VVVF (Variable Voltage Variable Frequency) 電車などを、信号であれば、ATC (Automatic Train Control) やATS (Automatic Train Stop)などをユーザーの解析目的に合わせて選択することができる。

2.2 鉄道統合評価システムを用いた評価例

鉄道統合評価システムを用いた具体的な評価例を示す。以下の三つの例におけるシミュレーション条件は各評価例

で断りがない限りは、き電設備の配置条件およびダイヤで定めた運行条件とする(表1、図3参照)。なお、車両はVVVF車両を前提としており、回生制動によって他車両に対して電力の供給が可能である。

(1) 計画ダイヤに基づく消費電力の評価

シミュレーション結果を図4に示す。なお、図4(a)は、図3(b)中に示した車両1の駅1から駅2までの走行パターン、架線電圧、架線電流であり、さらに各時刻における変電所の架線電圧、架線電流を示したものである。図3(b)のダイヤから、このときは1列車だけの走行となっているため、変電所からの電力供給は、車両1の走行によって決定される。力行中は最も近い変電所1から大きな電流が供給されているが、変電所2、変電所3でも電流の供給が発生しており、電流の流れによる架線電圧の低下が模擬されていることが確認できる。

また、シミュレーション時間範囲を5:30:00~6:00:00に広げ、各変電所の電圧/電流を示したものが、図4(b)である。時刻の経過によって変化する車両の位置や編成数などに基づき、各変電所が出力する電流が変化していることが確認できる。さらに、5:45:00に変電所2および変

表1 | 鉄道統合評価システムを用いた評価の条件
 評価に用いた設備条件を示す。

設備条件	変電所	定格電圧	DC 1,500 V
		定格出力	3,000 kW
		出力電圧変動率	6.7%
	車両	運転方法	惰行再力行
		モータ最大出力	224 kW
		構成	4M2T
	運行管理	運転時隔	10分

注: 略語説明 M (Motor), T (Trailer)

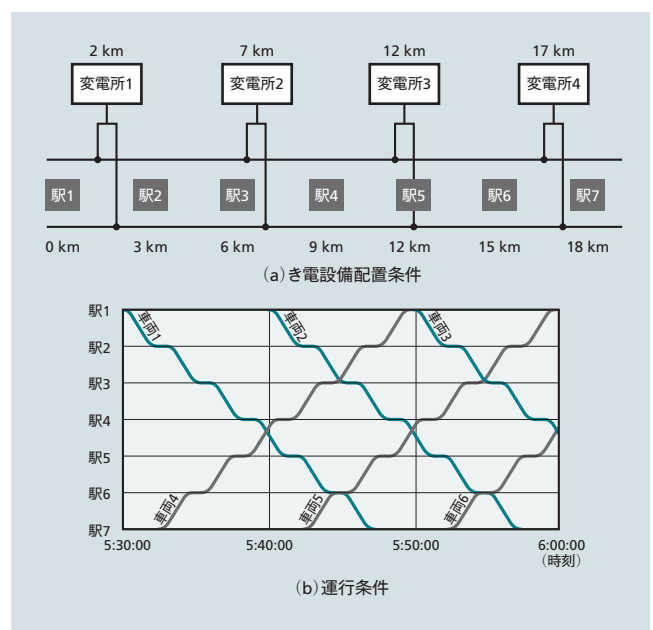


図3 | 鉄道統合評価システムを用いた具体的な評価条件
 き電設備配置条件(a)と運行条件(b)を示す。

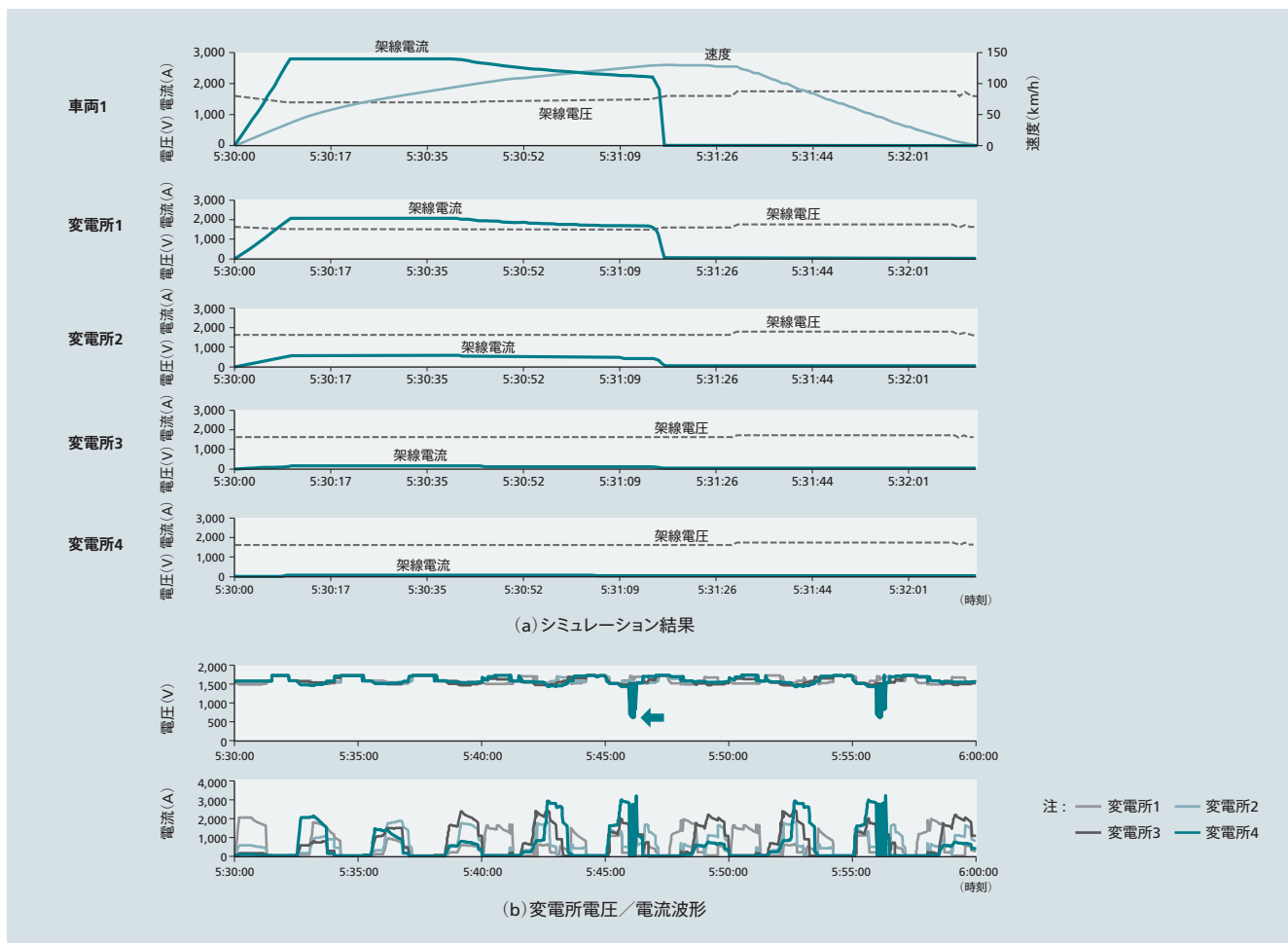


図4 鉄道統合評価システムを用いた評価例(1)
計画ダイヤに基づく、車両および変電所の消費電力評価結果を示す。

電所3の架線電圧が急降下しており、過負荷となっていることが確認できる。この要因は、図3(b)のダイヤにおいて時刻5:45:00に発車タイミングが重なっていることから列車の力行タイミングが重なったものと考えられる。上述したようにダイヤを定めることで、変電所で発生するピーク電力やその電力が発生する時刻の算出などが可能である。これにより、ピーク電力を考慮したダイヤ設計支援などが行えると考える。

(2) 変電所容量と消費電力量の関係

変電所容量を変化させた場合の消費電力量の違いについても解析可能である。(1)で述べた解析条件の一つである変電所容量を、3,000 kW、6,000 kW、9,000 kWの三つの条件に設定した場合に、すべての変電所で消費された電力量の合計値を図5に示す。変電所定格出力の増加に伴い、変電所総消費電力量の減少が確認できる。これは、変電所の定格出力を上げることで、変電所から送り出す電圧が上昇し、車両の架線電圧を高い状態に保つことによるものである。車両の架線電圧が高いほど、駆動時に流れる電流が減少するため、送電時に発生する損失を低減し、変電所の電力量の減少へとつながったと考えられる。

(3) 運行時隔と消費電力量の関係

運行時隔に対する消費電力量の違いも解析可能である。時間当たりの輸送量が同等となるように、4両編成4分間隔、8両編成8分間隔、10両編成10分間隔の三つの条件を設定し、1時間半の運行についてシミュレーションを行った場合について、すべての変電所で消費された電力量の合計値を図6に示す。運行頻度の増加に伴い、変電所総出力電力量の減少が確認できる。これは、編成数の増加に伴い、力行および回生の車両数が増え、回生電力を有効に

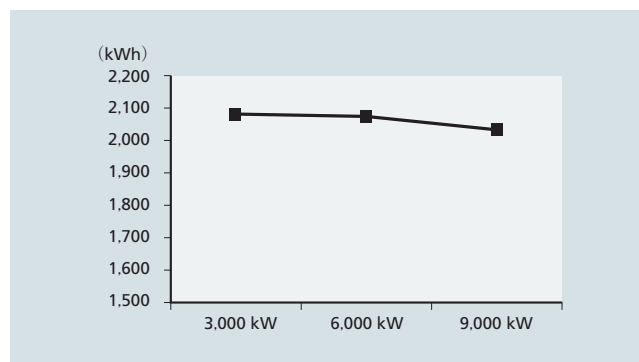


図5 鉄道統合評価システムを用いた評価例(2)
変電所容量と消費電力量の関係を示す。

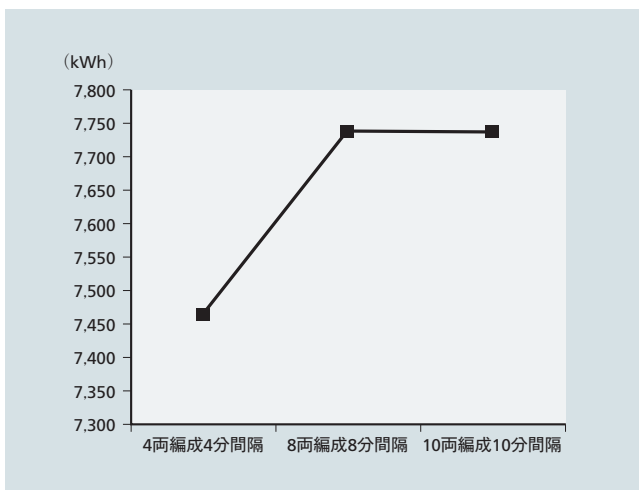


図6 | 鉄道統合評価システムを用いた評価例(3)
運行時隔と消費電力量の関係を示す。

活用できる頻度が上昇したためと考えられる。

なお、ここでは、鉄道統合評価システムの活用例として、変電所容量および運転時隔に依存する変電所の消費電力の解析例を示したが、より多くの条件について設定することで、さまざまな評価が可能である。例えば、ダイヤを決定するためのキーとなる数値である運転時隔の算出や、車両設備あるいは地上設備に対する蓄電装置の導入による省エネルギー効果の検討などが可能である。

3. 省エネルギー運転技術評価への取り組み

日立グループは、鉄道統合評価システムを、輸送力(ダイヤ)を維持した省エネルギー運転技術に関する評価に活用している。次に、評価システムを用いた省エネルギー評価に関する取り組みとして、(1) 最適ランカーブの評価、(2) ランカーブに基づく運転支援評価、および、(3) 他車の影響評価について述べる。

3.1 最適ランカーブの評価

一般的にランカーブは輸送力や所要時間を基に作成されており、必ずしも省エネルギーが考慮されていない場合がある。環境・節電意識の高まりから、より省エネルギーなランカーブが求められており、例えば、回生エネルギーの最大活用などもそのうちの一つである。現行のランカーブにおけるブレーキは、ブレーキのかけ始めから停止まで、ブレーキノッチを固定している場合が多い。この場合、高速域ではブレーキ力を電気ブレーキのみで負担しきれず、空気ブレーキが動作し、回生エネルギーを最大限利用できていない。そこで、日立グループでは省エネルギー技術として、ブレーキノッチを最適化し、電気ブレーキだけで減速するエコブレーキを開発している。評価システムによる評価において、エコブレーキで減速した場合、消費電力量

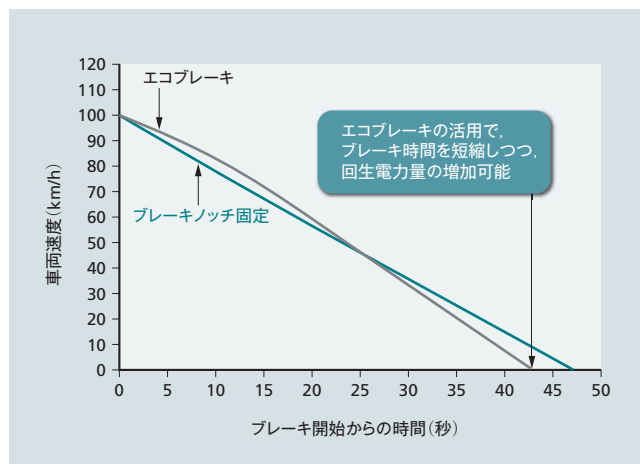


図7 | ランカーブ最適化の例

ブレーキ開始速度・ブレーキ距離が同等であっても、ブレーキノッチの扱いによって、ブレーキ時間や回生電力量に違いが生じる。

を削減しつつ、ブレーキ時間も短縮可能であることが分かった(図7参照)。エコブレーキの効果は、荷重条件に応じて異なることが考えられる。この評価システムは車両重量を変更可能であり、荷重条件に応じたエコブレーキの効果を見積もることも可能である。

そのほかの省エネルギー技術として、駅間のランカーブの最適化も挙げられる。路線条件・車両特性・ノッチ操作も自由に変更可能な前述の評価システムを活用し、定速を多用したランカーブと惰行を多用したランカーブ、下り勾配を利用したランカーブなど、さまざまなランカーブから最適な決定を行っている。

3.2 ランカーブに基づく運転支援評価

ATO (Automatic Train Operation) が導入されている線区では、鉄道統合評価システムで決定した最適ランカーブを実際の運用に適用することは比較的容易である。一方、ATO未導入の線区における最適ランカーブの実施には、運転士へのノッチガイダンスなどの支援が必要となる(図8参照)。運転支援を実施した場合の、運転士の操作実績

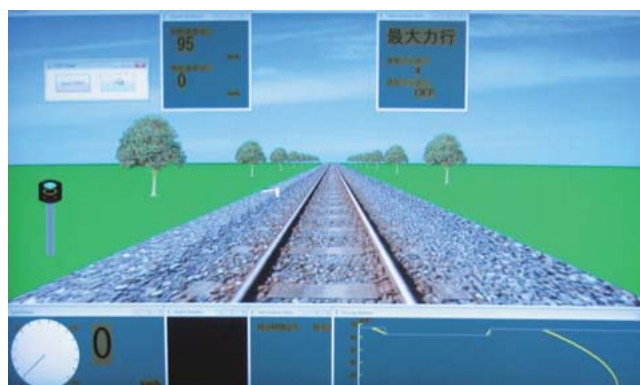


図8 | 運転支援例

鉄道評価システムで算出した最適ランカーブで走行できるように、運転士に対してノッチなどのガイダンスを表示する。

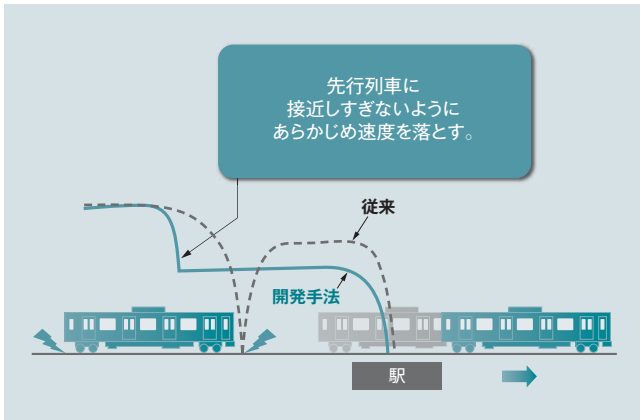


図9 | 他車の影響評価例

実際の運用では、先行列車の影響を受けて走行する。他車の状況に応じて制御する省エネルギー技術の評価に、鉄道統合評価システムは活用可能である。

ランカーブと、評価システムによる最適ランカーブを照らし合わせることで、より効果的な運転支援方法の開発が可能であると考えられる。

3.3 他車の影響評価

列車が本来の停車位置ではない、駅間で停止した場合に再力行が必要なため、消費電力量が増加する。これに対し、先行列車の遅延情報を後続列車に送信することで、先行列車への近づきすぎを抑制し、無駄な加減速を減らすことで省エネルギーを図ることが考えられる(図9参照)。

この鉄道統合評価システムは、車両だけでなく信号や運行管理も模擬可能であり、先行列車の動きが後続列車に与える影響なども評価できる。日立グループは、評価システムを用いて先行列車の動きに対し、後続列車のランカーブをどのようにすれば、ダイヤの乱れを最小限にしつつ、省エネルギーとなるかの検討を実施している。

4. おわりに

ここでは、消費電力量と輸送力の評価を主目的とした鉄道統合評価システム、および消費電力量削減を目的とした

省エネルギー運転技術について述べた。

地上一車上通信を活用した省エネルギー運転にはさまざまな可能性がある。乗降客数が少ない駅では、停車時分を減らし、その余剰時分を走行時分に割り当てることで省エネルギー運転とすることも考えられる。今後、実機データなどから問題点を抽出し、ますます複雑化する鉄道システムに対して鉄道統合評価システムを用いた検証を実施して、鉄道システムのさらなる省エネルギー化に貢献していく考えである。

参考文献

- 1) 鈴木, 外: 鉄道統合評価システムの開発, 第48回鉄道サイバネ・シンポジウム論文集, 103, 日本鉄道サイバネティクス協議会 (2011.11)

執筆者紹介



中村 恭之

1990年日立製作所入社, 交通システム社 水戸交通システム本部
プロセス設計部 所属
現在, 車両電気システム開発に従事
電気学会会員



宮内 努

1999年日立製作所入社, 日立研究所 情報制御研究センタ グリーン
モビリティ研究部 所属
現在, 鉄道統合評価システムの開発および鉄道省エネルギーシステムの研究開発に従事
電気学会会員



小田 篤史

2008年日立製作所入社, 日立研究所 情報制御研究センタ グリーン
モビリティ研究部 所属
現在, 鉄道車両の省エネルギー運転の研究開発に従事
自動車技術会会員



佐藤 裕

1992年日立製作所入社, 交通システム社 水戸交通システム本部
車両電気システム設計部 所属
現在, 車両電気システムの設計・開発に従事
電気学会会員