

地上車上を連携したエネルギーマネジメントシステムの開発に向けた取り組み

—沖縄都市モノレールにおけるエネルギー使用実態分析と鉄道統合評価システムの精度評価—

宮内 努
Miyauchi Tsutomu

徳山 和男
Tokuyama Kazuo

高橋 弘隆
Takahashi Hiroataka

黒島 隆
Kuroshima Takashi

日立グループでは、さまざまな鉄道サブシステムを製品として取り扱っている。これらのサブシステムを組み合わせた省エネルギー提案として運行管理／変電所／電力管理といった地上システムと車両システムの連携によるエネルギーマネジメントシステムの開発を進めている。この取り組みの一環として、鉄道システム全体のエネルギー使用実態調査と、鉄道システムを模擬して輸送量やエネルギーを評価

する鉄道統合評価システムの開発を進めている。今回、沖縄都市モノレール株式会社と共同でエネルギー使用実態調査を実施し、(1) 車両の走行方法の違いによる消費電力量への影響、(2) 同時力行を回避することで得られる省エネルギー効果、(3) 鉄道統合評価システムの精度の3点を評価した。

1. はじめに

近年、世界各国で、環境問題への意識が高まっている。鉄道は自動車、航空機などと比較すると人1人当たりを1 km運ぶエネルギーが小さい省エネルギーな交通手段とされているが¹⁾、環境問題への対応のため、さらなる省エネルギー化が求められている。

鉄道システムは、旅客を輸送する車両、安全を確保する信号、円滑な運行のための運行管理、電力を供給する変電所、変電所を監視する電力管理など車両運行に関わるサブシステムに加え、駅やビルなど商用施設から構成される大規模かつ複雑なシステムである。このような鉄道システムにおいて、消費エネルギーのおよそ70%を占めるのは、車両運行に伴うエネルギーであり、省エネルギーの促進にはこのエネルギーの削減が重要である²⁾。

日立では、車両運行のエネルギー削減にあたって、サブシステム単体での省エネルギーを追求するとともに、運行管理／変電所／電力管理といった地上システムと車両システムの連携による省エネルギーをめざしたエネルギーマネジメントシステムを開発している。図1にエネルギーマネジメントシステムの概要を示す。車両、変電所、電力管理、運行管理の情報を連携させ、運行状況から出発抑止や惰行運転指示などを行うことで車両運行のさらなる省エネルギー化を図ることを目的としている。

これにあたって、鉄道システムのエネルギー使用実態の把握と、省エネルギーの手法を検討するための高精度なシミュレータが必要である。このため、車両運行を中心にエネルギー使用実態および効率的な使用方法を検討していた沖縄都市モノレール株式会社（以下、「沖縄モノレール」と記す。）と連携し、鉄道システムのエネルギー使用実態調

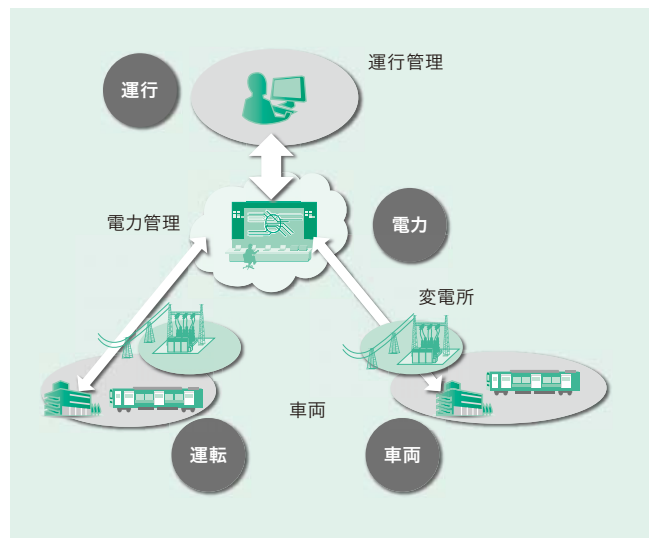


図1 | 日立が考える地上車上を連携したエネルギーマネジメントシステム

車両、変電所、電力を管理する電力管理システム、運行を管理する運行管理システムの情報を連携させ、運行状況から出発抑止や惰行運転指示などを行うことで車両運行の省エネルギー化を図る。

査を実施した。また、その調査結果を用いて、日立が開発した鉄道システムを模擬し、輸送量やエネルギーを評価する鉄道統合評価システムの精度評価を行った。

2. 沖縄モノレール走行試験による エネルギー使用実態調査

2.1 走行試験の内容

エネルギー使用実態を分析するため、沖縄モノレールの車両および変電所に計測器を設置し、(1) 定速運転の有無による消費電力量への影響確認試験、(2) 2編成を使用し、同時力行させた場合と同時力行を回避させた場合の消費電力量への影響確認試験を実施した。また、(3) 約1か月の営業運転中のデータを計測し、1車両当たり1 km 走行するための消費電力量を表す車両原単位についての1日単位での揺らぎについても調査した。これらの試験で取得した車両データについて表1に、変電所データについて表2に示す。

2.2 走行試験結果

(1) 定速運転の有無による消費電力量への影響確認試験の結果

上り方向(首里-那覇空港)の区間を用いて、定速運転を使用した走行と定速運転を使用せずノッチの入り切りによる走行(マニュアル運転)を実施し、消費電力量への影響を分析した。消費電力量の結果を図2に示す。なお、消費電力量は、力行電力量と回生電力量の差とした。マニュアル運転の方が、定速運転よりも5%省エネルギーとなった。この結果から、走行方法の工夫により省エネルギー化

表1 | 車両データ

今回の調査において、車両で測定した代表的なデータ項目を示す。

No.	項目
1	架線電圧/フィルタコンデンサ電圧
2	運転指令
3	ブレーキ指令
4	電制力
5	速度
6	乗車率
7	主回路電流
8	補機電流

表2 | 変電所データ

今回の調査において、変電所で計測した代表的なデータ項目を示す。

No.	項目
1	受電電圧
2	受電電流
3	整流器一次電流
4	直流き電電圧
5	回生電流

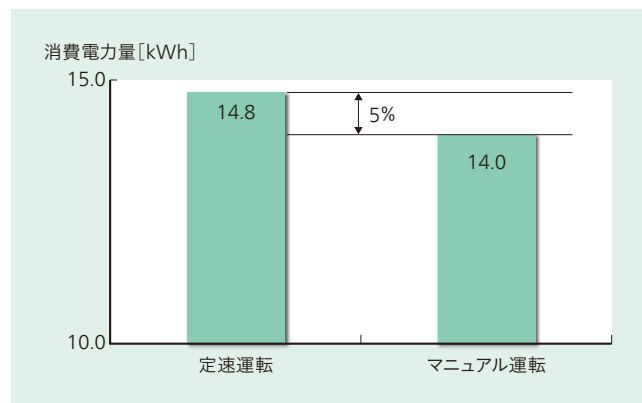


図2 | 走行方法の消費電力量への影響

走行方法を変更した場合の各駅間の消費電力量の測定結果を示す。

を図る余地が残っていると考えられる。

(2) 同時力行および同時力行回避による結果

同時力行および同時力行回避では、エネルギー使用実態をより分析しやすくするため、3つある変電所のうち両端にある安次嶺変電所および末吉変電所の2つの変電所のみを動作させた状態で試験を実施した。同時力行試験(試番A)では測定に用いた2つの車両を同時に出発させ、同時力行回避試験(試番B)では2つの車両のうち1車両の出発タイミングを15秒遅らせることとし、その他の条件はすべて同一とした。2つの試験について車両の走行パターンを図3に、各変電所の供給電力量を図4に、各変電所の瞬時最大電力を図5に示す。車両の走行パターンは、図3に示したように試番Aおよび試番Bにおいて同一であるため、車両の力行電力量は同等であると考えられる。一方、図4に示すように試番Bの変電所の供給電力量は、試番Aよりも安次嶺変電所で16%、末吉変電所で13%低減している。このことから、同時力行回避により大幅な省エネルギー効果が期待できると考えられる。省エネルギー効果が得られる要因としては、図5に示すように試番Bの変電所の瞬時最大電力が、試番Aの変電所の瞬時最大電力に比べ

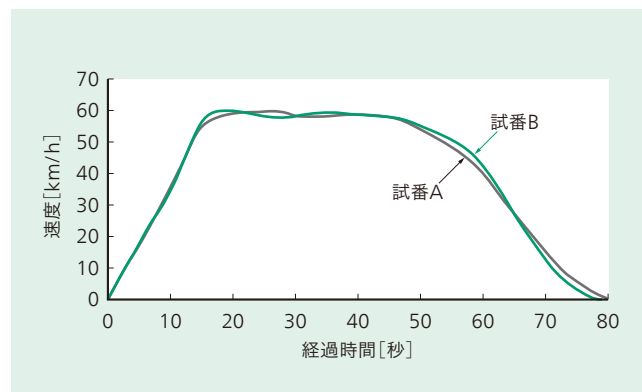


図3 | 同時力行の有無による車両走行パターンの違い

同時力行をした場合(試番A)と同時力行を回避した場合(試番B)の車両走行パターンを比較したものである。走行について同一条件としたことが確認できる。

て半減していることで、架線に流れる電流が半減するため、架線による損失が低減することが考えられる。

(3) 営業運転結果の分析

営業運転期間中に計測したデータを分析し、日ごとの車両原単位を抽出した。日ごとの車両原単位を図6に示す。車両原単位は日ごとに変化しており、最大10%の差があることが確認できる。この要因としては、計画ダイヤと実績ダイヤの違いによるもので、主に同時力行が発生したことによるものと考えられる。

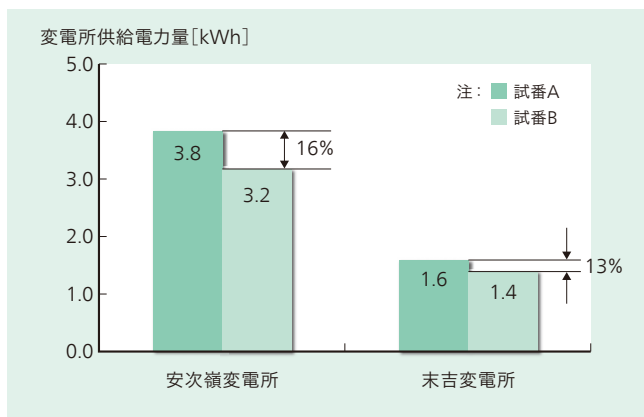


図4 | 同時力行の有無による変電所の供給電力量の違い
同時力行をした場合（試番A）と同時力行を回避した場合（試番B）の変電所の供給電力量の比較を示す。

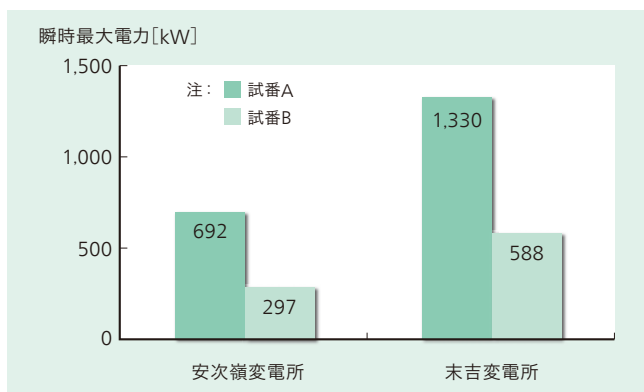


図5 | 同時力行の有無による変電所の瞬時最大電力の違い
同時力行をした場合（試番A）と同時力行を回避した場合（試番B）の変電所の瞬時最大電力の比較を示す。同時力行を回避することで瞬時最大電力が低減していることが分かる。

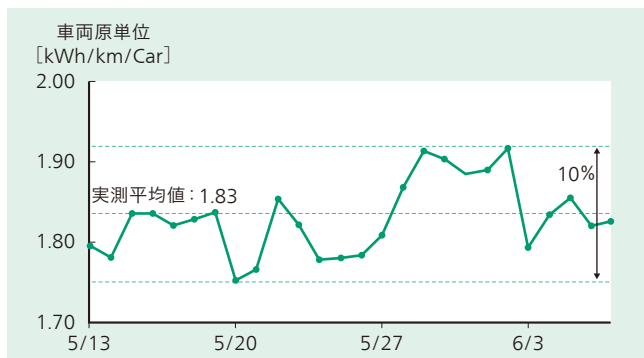


図6 | 日ごとの車両原単位の違い
測定した期間における日々の車両原単位を示す。

3. 日立鉄道統合評価システムの概要

鉄道統合評価システムは、図7に示すように、共通のフレームワークの上に、列車運行に関わるサブシステムである車両、信号システム、運行管理システム、変電所・電力管理を含めたき電システムのモデルを有している。さらに、各サブシステムの中にさまざまなモデルを有している。一例としてき電システムのモデルについて説明する。直流電化方式、交流電化方式[AT (Auto Transformer) き電方式、BT (Booster Transformer) き電方式]などのモデルを有し、さらに、各種省エネルギー機器として、直流電化方式では、図8に示すような抵抗式あるいは蓄電池式の回生吸収装置や回生インバータ、交流電化方式では、図9に示すようなRPC (Railway static Power Conditioner) システムのモデルを有している。

これらのさまざまなモデルの組み合わせや制御の最適化により路線に応じた省エネルギー提案を行うことが可能である。提案をするうえで、シミュレーション精度は重要であるため、鉄道統合評価システムの目標精度は、車両とし

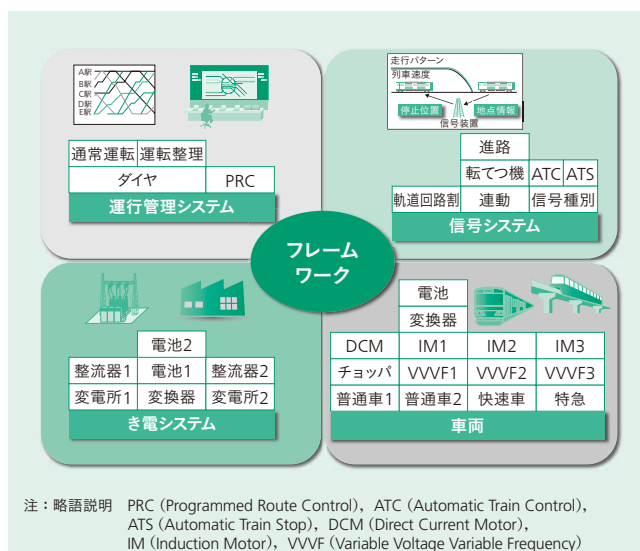


図7 | 鉄道統合評価システムの特徴
評価に必要なサブシステムや構成機器を任意に設定することで、構成機器から系統全体の評価が可能である。

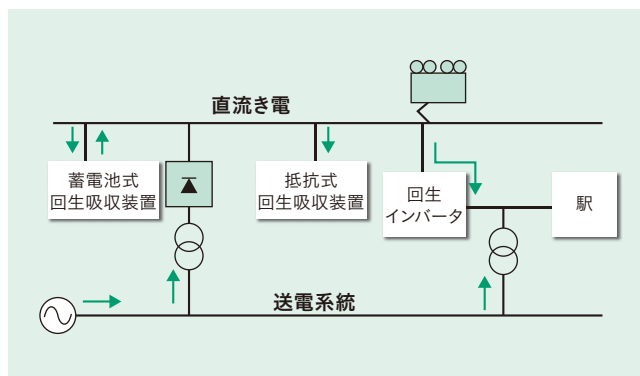


図8 | 抵抗式あるいは蓄電池式の回生吸収装置や回生インバータ
直流電化方式における各種回生吸収装置を模擬しており、導入した場合の評価を可能としている。

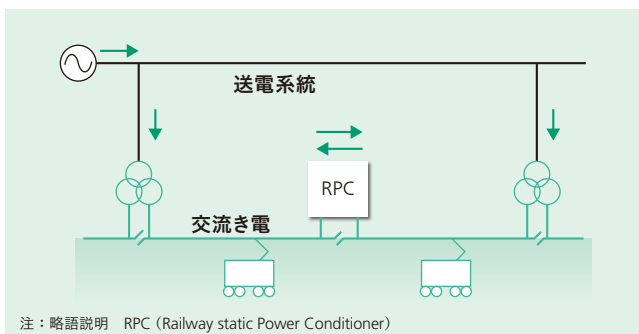


図9 | 交流電化方式でのRPCシステム

交流電化方式における電力融通装置を模擬しており、導入した場合の評価を可能としている。

での電力量比較で5%以内のズレを目標として開発を進めている。

4. 日立鉄道統合評価システムの精度評価

走行試験結果(実測)を用いて鉄道統合評価システムの精度を評価した。走行パターンの比較結果の一例を図10に示す。実測と鉄道統合評価システムの走行パターンは、挙動がよく一致しているといえる。また、全線走行した場合における車両の力行電力量、回生電力量の比較結果を図11に示す。力行電力量は、実測が39.5 kWhに対して鉄

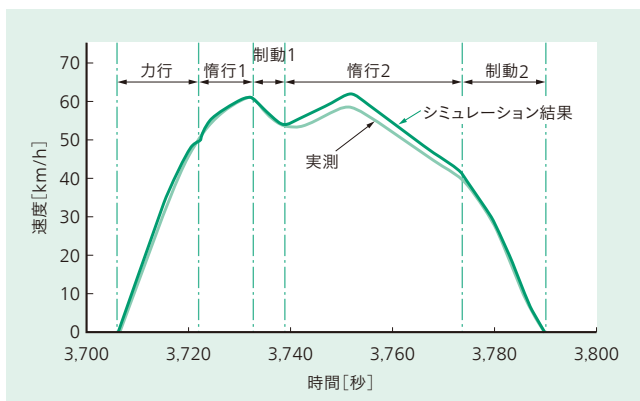


図10 | 走行パターン比較例

実測とシミュレーションの走行パターンを比較したものである。

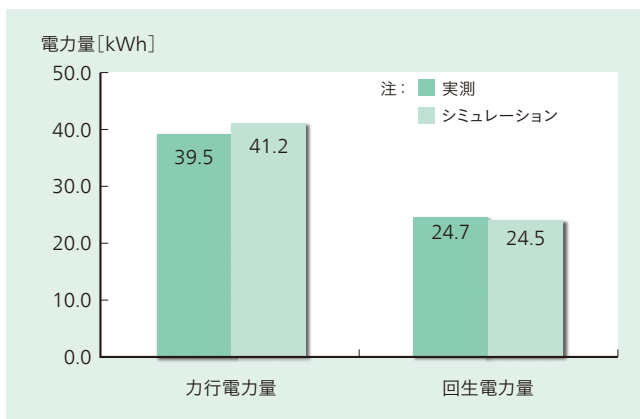


図11 | 力行電力量と回生電力量の比較

実測データとシミュレーション、それぞれで得られた力行電力量と回生電力量について、比較したものである。

道統合評価システムの結果が41.2 kWhであり約4%のズレがあることを確認した。また、回生電力量は、実測が24.7 kWhに対して鉄道統合評価システムの結果が24.5 kWhとほぼ同等の値であることを確認した。

5. まとめと今後の展望

今回、沖縄モノレールと日立の共同で、エネルギー使用実態を調査した。沖縄モノレールでは、車両の走行パターンを工夫することで省エネルギー効率向上の可能性があったことが分かった。また、同時力行の回避により、省エネルギー化が図れるものと推測される。

日立の鉄道統合評価システムについては、実測と約4%のズレで車両としての電力量を評価可能であることを確認し、目標としていた実測との5%以内のズレで電力量を評価可能であることを確認した。今後、このシステムを用いてさまざまな省エネルギー施策を鉄道事業者に対して提案していく所存である。

謝辞

今回、エネルギー使用実態調査をするにあたって、多大なるご協力を頂いた沖縄都市モノレール株式会社関係各位に対してあらためてお礼を申し上げる次第である。

参考文献

- 1) 運輸・交通と環境2009年版、公益財団法人交通エコロジー・モビリティ財団(2009)
- 2) 社会環境報告書2009、東日本旅客鉄道株式会社(2009)

執筆者紹介



宮内 努

日立製作所 日立研究所 機械研究センタ 輸送システム研究部 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



徳山 和男

日立製作所 交通システム社 交通営業統括本部 国内車両システム部 所属
現在、在来線電車のシステムエンジニアリング業務に従事



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 所属
現在、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



黒島 隆

沖縄都市モノレール株式会社 業務部 所属
現在、沖縄都市モノレールの業務取りまとめに従事