

# 省エネルギー化に取り組む 列車運転制御システムの最新動向

山本 律\* 玄田和行\*  
白鳥弘敏\* 田原一浩\*  
中桐慶之\*

Latest Development in Train Control System Contributing to Energy Savings

Tadashi Yamamoto, Hirotooshi Shiratori, Yoshiyuki Nakagiri, Kazuyuki Genda, Kazuhiro Tahara

## 要 旨

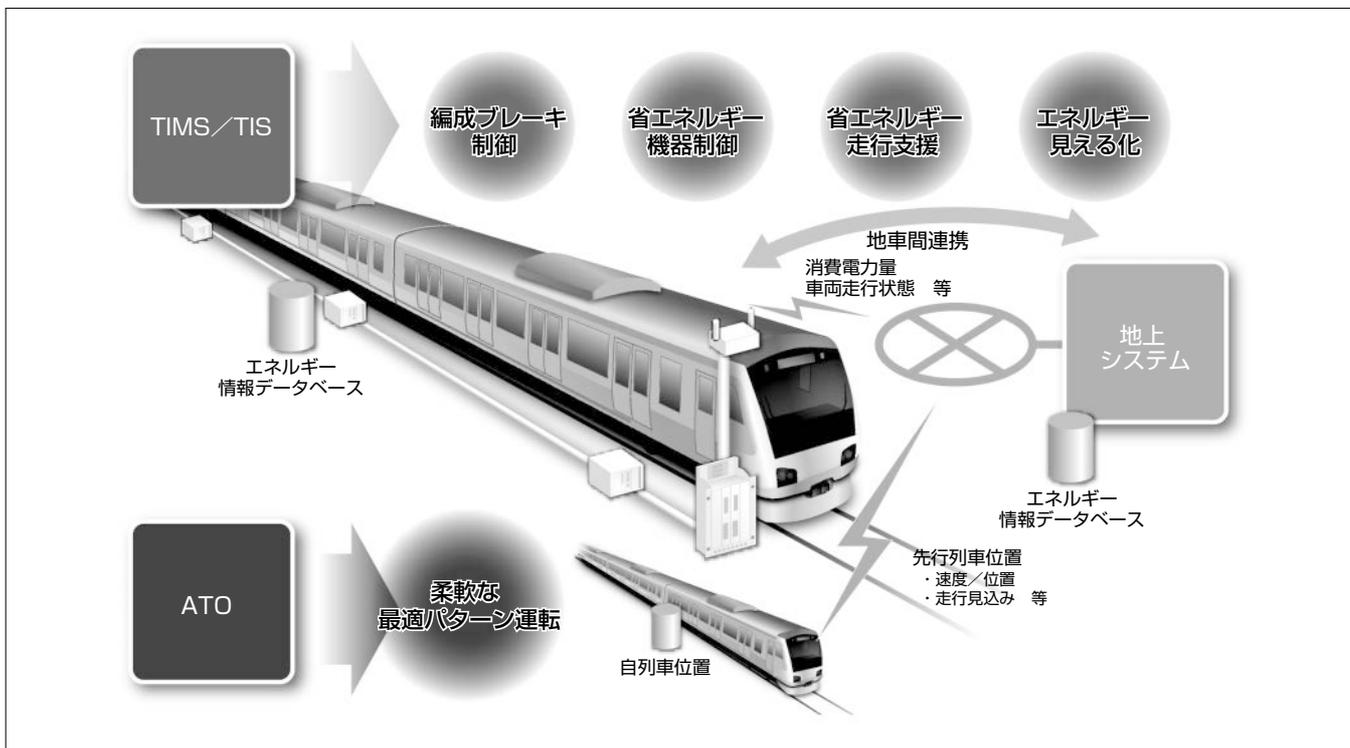
鉄道車両では、パワーエレクトロニクス技術の進歩や回生ブレーキの実用化など、各機器で省エネルギーに関する取組みが従来実施されてきた。近年省エネルギーに対するニーズがより一層高まる中で、定時性、利便性及び快適性を維持・向上させることと更なる省エネルギー化を両立させる施策として、情報通信技術 (ICT) の活用による列車運転制御システムの高度化が必要である。

本稿では、車両エネルギー管理システム (TEMS) の取組みの中で、車両情報統合管理装置 (Train Integrated Management System : TIMS) / 車両情報制御装置 (Train Control Information Management System : TIS), 自動列車運転装置 (Automatic Train Operation : ATO) 及び地車間連携など、ICT を活用した列車運転制御システムの最新動向について述べる。

車両システムに TIMS / TIS を適用することで、編成内のブレーキ分担を最適化して回生ブレーキを最大限活用する“編成ブレーキ制御”や、回生ブレーキ使用時にタイミン

グ良く負荷機器を稼働させる制御、及び車両走行状態 (時刻、位置情報、季節等) に応じてサービス機器の能力を制御する“省エネルギー機器制御”などによる省エネルギー化が可能となる。また、車両機器のモニタリングの延長線上で実現できる“車両エネルギーの見える化 (消費電力や付帯情報のエネルギー情報データベース化)”を適用することで、省エネルギー施策を定量的に評価し、推進することが可能と考える。

一方、ATO などによる運転制御でも、省エネルギーの観点から最適化された走行パターンでの走行が有効であり、安全性や定時性を確保しつつ、これを実現するには詳細な路線情報とそれに応じた制御を行う必要がある。近年インフラが整いつつあるデジタル無線伝送を用いた常時接続できる地車間連携ネットワークを活用することで、柔軟かつリアルタイムな制御や、実績データを活用した走行条件の改善を行うことができる。



## 省エネルギーに取り組む列車運転制御システムの最新動向

車両エネルギー管理として複数の機器・地上システムを連携させた改善に取り組んでいる。TIMS/TIS を活用した複数機器を連携した制御による改善と、地車間連携ネットワークを活用した、最適な走行パターンによる走行の実現が可能である。また、エネルギーの見える化を推進エンジンとして、省エネルギー施策を立案・実施した結果のフィードバックを行い、更なる改善につなげる。

## 1. ま え が き

列車のエネルギー最適化を目指す車両エネルギー管理システム(TEMS)のうち、TIMS/TIS及び地車間連携による情報共有をベースとして、複数機器・システムを連携した列車運転制御システムにおける最新動向について述べる。

まず2章ではTIMS/TISを用いた省エネルギー化として、編成制御や省エネルギー機器制御について述べ、3章ではATOによる省エネルギー運転制御の考え方や課題と改善策、及び運行管理との連携などについて述べる。

## 2. TIMS/TISによる省エネルギー化

### 2.1 編成制御による省エネルギー化

TIMS/TISを用いて編成内複数の機器を最適制御することで省エネルギー化が可能となる。その実現方法を以下に述べる。

#### (1) 編成ブレーキ制御(編成ブレンディング制御)

TIMS/TISはブレーキ指令時に編成で必要なブレーキ力と各車で負担すべきブレーキ力を算出し、主回路制御装置(VVVF)が負担できる回生ブレーキ量を除いた不足分を、各車の空気ブレーキ力で負担するようブレーキ装置(BCU)に指令する。これによって編成内の回生ブレーキを最大限活用することが可能となり、運転エネルギーを改善できる。図1にそのイメージを示す。

#### (2) 補機・サービス機器の回生電力有効利用

TIMS/TISを用いて、回生ブレーキ動作中に補機やサービス機器のタイミング制御を行うことで、自編成の回生電力を有効利用できる。

ブレーキ用コンプレッサの場合、元空気タンクの空気圧が規定値を下回ると間欠稼働を行うが、当該空気圧を常時監視し、可能な範囲で回生ブレーキ動作中にコンプレッサを稼働させる。

空調装置の場合、冷房は駅停車時のドア開の乗降中に室内温度が上昇することが予想されるため、室内温度を監視し設定温度しきい値に近い場合は回生ブレーキ動作中に空調を稼働させる。図2にそれらのイメージを示す。

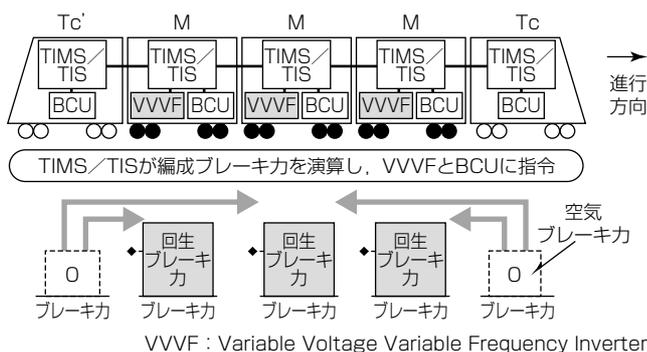


図1. 編成ブレーキ制御のイメージ

#### (3) 運転台数の編成制御

並列同期運転が可能な補助電源装置(SIV)を複数搭載している場合、SIVの負荷を監視し、軽負荷の場合にはSIVの運転台数を制限することで省エネルギー化ができる。

ディーゼルハイブリッドシステム等で電力貯蔵デバイスやディーゼルエンジンを複数搭載する場合、充放電状況に応じて使用する電力貯蔵デバイスを限定し長寿命化を図ることや、編成全体の負荷状況に応じてエンジンの運転台数をコントロールして省エネルギー化を図ることが可能と考える。

### 2.2 省エネルギー機器制御

TIMS/TISを用いてサービス機器の稼働状態を最適化することで、省エネルギー化ができる。

空調装置の場合、空調の基準温度設定を季節ごと、時間帯ごと及び営業運転中、回送中並びに泊車中等の車両運用状態ごとに最適に設定することで節電する。

表示器や車内照明機器なども、前述同様の車両運用状態に加え、駅停車中又は走行中などの判断によって、きめ細かなON/OFF制御を行い節電する。

### 2.3 エネルギーの見える化

近年は編成内のエネルギーの見える化が注目されている。TIMS/TISで収集した機器のモニタリング情報は、従来、機器の故障や動作回数等、車両保全に関する情報を中心に活用し、自編成の消費電力に関する情報については積極的な活用に至っていなかった。

編成内のエネルギー見える化を実現するために、TIMS/TISが収集する機器のモニタリング情報の消費電力を示す情報に、車両走行状態(時刻、位置情報、運転情報)を付帯情報として記録する。それらのデータを地車間連携ネットワーク(デジタル無線通信)を活用して地上へ送る仕組みを構築し、編成の消費電力を示すデータベース(以下“エネルギー情報データベース”という。)を新たに構築する。このエネルギー情報データベースを活用することで、省エネルギーにつながる次のようなことが実現可能となる。

#### (1) 編成内エネルギー見える化

エネルギー情報データベースを解析することで車両の各編成の編成内エネルギー見える化を行う。それによって、

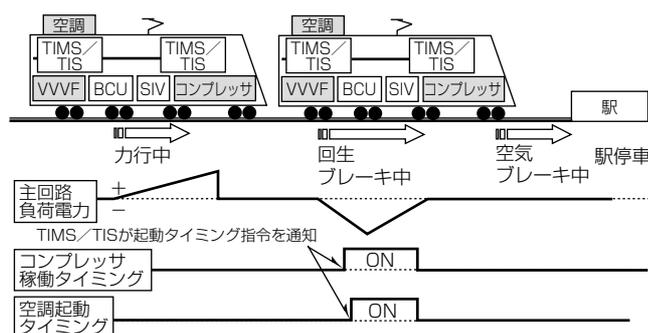


図2. 回生電力有効利用のイメージ

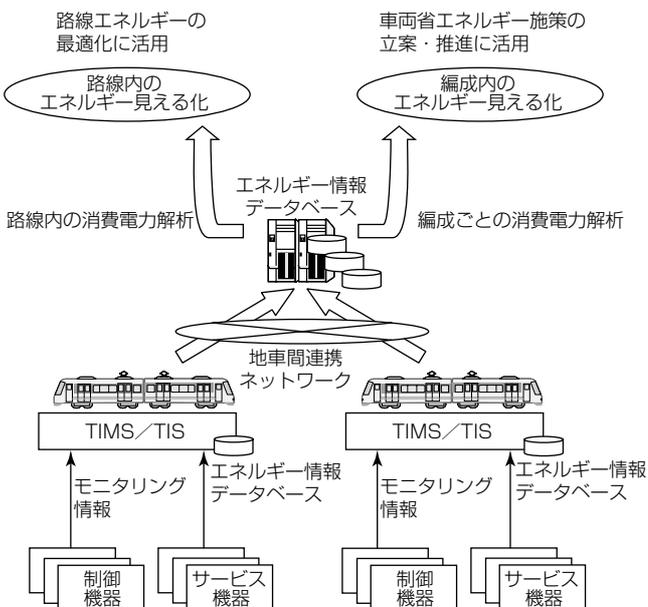


図3. エネルギー見える化のイメージ

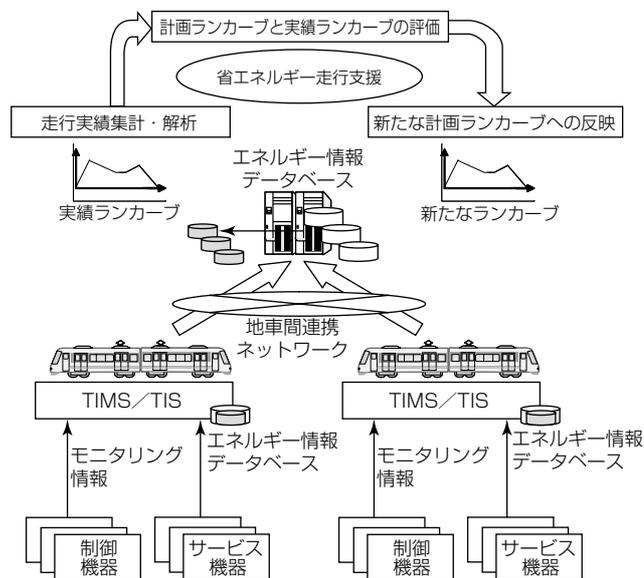


図4. 運転エネルギー効率を考慮したダイヤ計画への反映についてのイメージ

車両に搭載されている各種機器の効率改善や回生有効活用などの省エネルギー施策について、節電による費用対効果まで定量的に評価できるようになり、総合的かつ効率的な車両システムの立案・推進に活用できる。図3にそのイメージを示す。

(2) 路線内エネルギー見える化

収集したエネルギー情報データベースを路線ごとに解析することで路線ごとの回生エネルギーの有効利用状況の検証や、地上電力設備の検証が可能となる。図3にそのイメージを示す。また、地上変電設備とTMS/TISを連携することで車両状態に応じた、き電最適制御システム(TRECS)が構築可能となり、き電システム全体の省エネルギー化に貢献できる。TRECSについては、特集論文“路線全体の回生エ

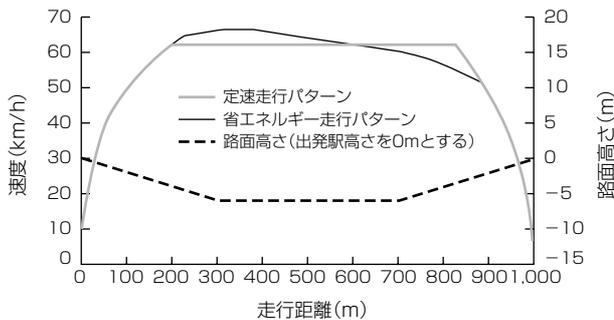


図5. 列車走行シミュレーション結果

ネルギー有効活用”に述べる。

(3) 運転エネルギー効率を考慮したダイヤ計画の立案

編成ごとのエネルギー情報データベースから、走行ごとに消費電力情報や位置情報と運転情報(速度、ノッチ情報等)を抽出することで、走行ごとの実績ランカーブと消費電力を把握できる。この実績ランカーブの消費電力と地上側輸送計画システムで作成した計画ランカーブの消費電力を比較検証することで、省エネルギー化の観点から最適なダイヤ計画を立案し、運転エネルギーの削減につなげることができる。図4にそのイメージを示す。

また後述のATO運転パターンへの適用や手動運転時における走行支援との連携も可能である。

3. 省エネルギー運転制御

3.1 従来ATOによる運転制御

列車走行については同一駅間を同一時分で走行しても、走行パターンによって消費電力量が変化することが知られている<sup>(1)</sup>。運転時分を考慮しつつ、省エネルギーの観点から最適化された走行パターンによって、列車を走行させる手法として、ATOを用いる方法が有効である。従来のATOの走行パターンは、鉄道事業者が運転士向けに設計した運転曲線をそのまま利用していたが、省エネルギー化に最適化した走行パターンとすることも可能である。

当社で実施した列車走行シミュレーション結果(図5)では、惰行(惰性走行)を活用することで、運転時分を変更することなく消費電力量を11%削減できることを確認した<sup>(2)</sup>。また、実車に適用して走行試験を行った結果、数~十数%の電力量削減効果を得た実績がある。

通常走行時の省エネルギー化については前述のような走行パターンの最適化が効果的であるが、列車遅れなどダイヤ乱れが発生している場合の最適な運転パターンは、通常のものとは異なる。

列車遅れ時にダイヤ回復を優先するために力行を多用する必要がある一方、先行列車との間隔が十分ではない場合には、自動列車制御装置(Automatic Train Control: ATC)によるブレーキが動作する可能性が高まる。省エネルギーの観点や乗心地の観点から、不要な加速やブレーキ

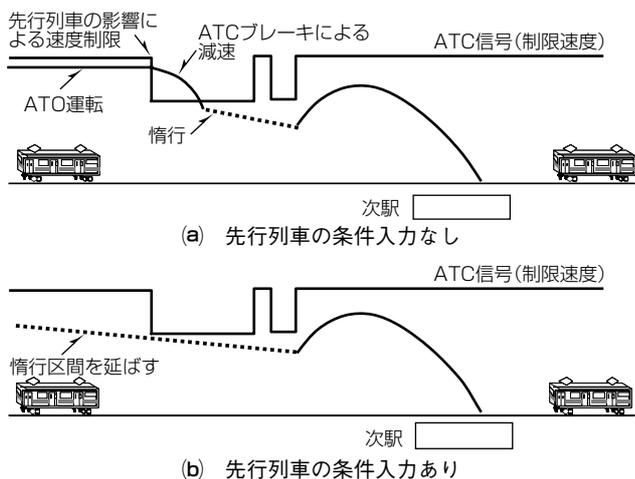


図6. 先行列車の条件入力の有無によるATO走行パターンの違いのイメージ

動作を避けることが望ましい。このため当社は、単独の列車に与えられた情報を基にした解決策として、ATCの予告信号を活用することで不要な加速を防ぐ方法を提案<sup>(2)</sup>している。

### 3.2 地車間連携を含めた改善

3.1節ではATOを使用した単独編成による省エネルギーへの取組みを述べた。これに対し、地車間ネットワークを活用して、ATOに先行列車の位置、速度及び今後の走行見込みを入力することで、より省エネルギー化と乗り心地の改善を実現する列車制御を検討している。

図6にそのイメージを示す。先行列車の条件を入力しない状態でATO走行を行った場合、先行列車との間隔が狭まるとATCの速度制限による常用最大ブレーキが動作する。しかし、ATOに先行列車の状態を入力すれば、力行が不要と判断して惰行区間を延ばし、力行及びATCによるブレーキを最小限にすることができる。これによって省エネルギー化と乗り心地の改善を図ることができる。

地車間ネットワークを使用した具体的な走行パターン決定手順を次に示すとともに図7にそのイメージを示す。

ATOは自列車の現在位置や現在速度及び制限速度を考慮して次駅の到着予定時刻を求め、その情報を地車間ネットワークによって運行管理システムへ伝送する。運行管理システムでは受信した車上からの情報を基に信号機制御の競合判断を行い、進路制御タイミングを求める。このように、車上で管理する正確な位置や速度から走行予測した時刻を用いて運行管理システムが競合判断することで、信号機競合判断の高精度化、進路制御タイミングの最適化が可能となる。

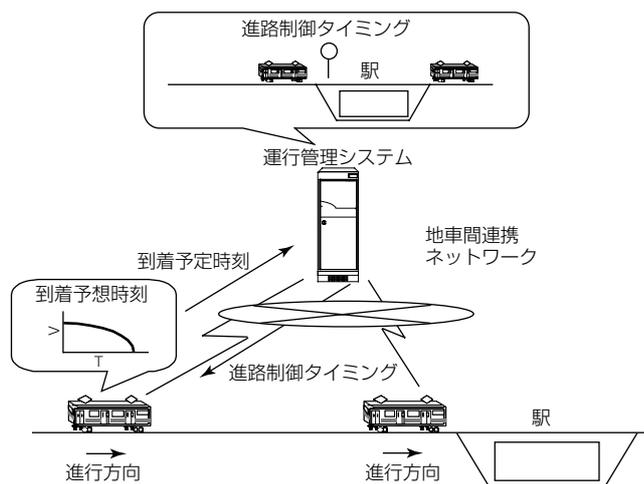


図7. 先行列車の状態に応じた列車運転イメージ

### 3.3 手動運転時における省エネルギー走行支援

3.2節ではATOによって省エネルギー化を実現する方法を提案した。一方で、ATOが導入されない手動運転の路線でも、TIMS/TISからメッセージや警報等を出力することで、乗務員への注意を喚起する方法も検討している。この方法であればATOを導入しない区間でも、先行列車の状態に応じて、省エネルギー化を考慮した運転を支援することができると思う。

## 4. むすび

列車運転制御における省エネルギー化について、TIMS/TISの活用や省エネルギー運転制御及び地車間連携ネットワークの活用など、ICTを活用した列車運転制御システムの最新動向について述べた。

世界的に地球温暖化防止と経済成長を両立させる低炭素社会の実現を目指しており、国内でも東日本大震災以降のエネルギー政策の見直しや電力供給事情の変化を背景に、省エネルギーに対するニーズが今後より一層高まると考えられる。このような社会的背景の中、汎用・高速な通信技術が普及期を迎え、ここに述べた地車間連携システムの構築も具体化されつつあるため、実用化に向けてひきつづき開発を推進していく所存である。

### 参考文献

- (1) 田部典之, ほか: 省エネで電車を運転する, RRR, 60, No.6, 6~9 (2003)
- (2) 吉本剛生, ほか: 列車運転制御における省エネルギー化, 三菱電機技報, 83, No.11, 660~663 (2009)