

# 車両制御システム技術の進化と展望

柿崎庸泰\*

Evolution and Prospect of Rolling Stock System Technologies

Tsuneyasu Kakizaki

## 要旨

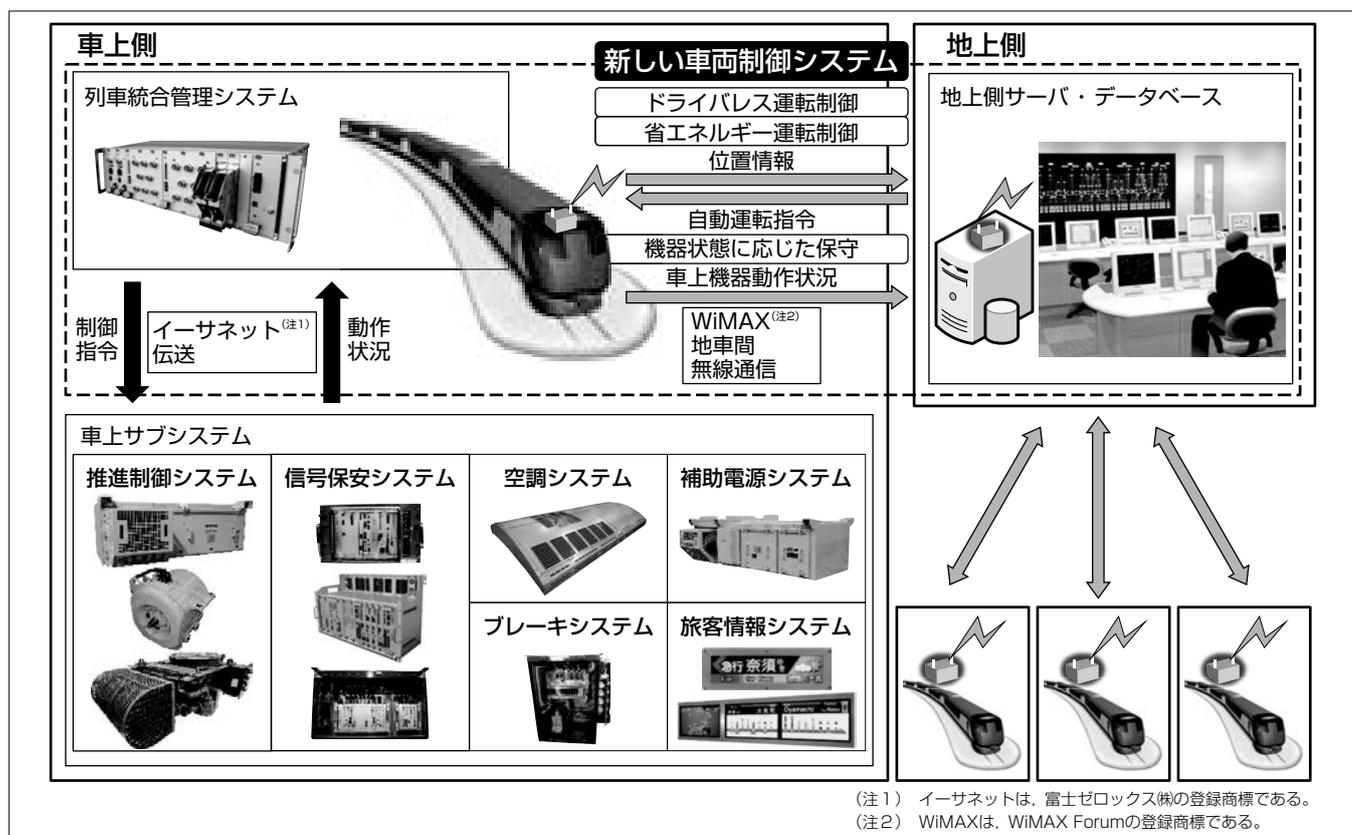
鉄道車両に適用される車両システムの技術は、パワーエレクトロニクス技術や情報伝送技術の技術革新を応用して、常に進化を続けてきた。

車両システムは、情報伝送、推進制御、信号保安、車両制御、空調、ブレーキ、補助電源、旅客情報など、多くのサブシステムで構成され、技術の進歩によって省エネルギー性能、保守性、信頼性・耐久性の向上や高機能化が図られている。また、情報伝送の高速化・大容量化に伴い、これらのサブシステムを列車統合管理システムで統括制御し、編成全体での協調・最適制御を実現している。

さらに、地車間の情報伝送によって、地上の信号システ

ムやき電システムと連携し、自動運転、高密度運行や、エネルギー需給の最適化など、より高度な協調制御が実現できる。また、列車統合管理システムから各車上機器の稼働状態データを地上に伝送し、膨大なデータを解析して編成・機器間などの精緻な差異分析を行い、早期異常検知や寿命予測も可能となる。

本稿では、最新技術を適用した車両システムの進化について概観し、さらに、列車統合管理システム、地車間の情報伝送、無線式列車制御などの新技術を応用した鉄道システムの利便性向上やコスト低減など、最新の車両制御システムの発展と展望について述べる。



(注1) イーサネットは、富士ゼロックス機の登録商標である。  
 (注2) WIMAXは、WIMAX Forumの登録商標である。

## 車両システムでの新しい車両制御システム

列車統合管理システムが車上機器のデータを一元管理して地上側サーバと通信することによって、ドライバレスかつ省エネルギー効果に優れた車両の運行を実現する。また、車上機器の稼働データは地上側データベースに蓄積し、分析された情報によって車上機器の劣化傾向を把握し、機器の状態に応じたメンテナンスが可能になり、ダウンタイムやライフサイクルコストが低減できる。

## 1. ま え が き

車両システムは、情報伝送、推進制御、信号保安、車両制御、空調、ブレーキ、補助電源、旅客情報など、多くのサブシステムから構成され、パワーエレクトロニクス技術や情報伝送技術の進歩を応用して高機能化が図られてきた。また、これらのサブシステムを列車統合管理システムで統括制御し、編成全体での協調・最適制御を実現している。

さらに、地車間の情報伝送によって、地上の信号システムやき電システムと連携し、自動運転、列車運行密度の向上や、エネルギー需給の最適化など、より高度な協調制御が実現できる。また、車上機器の稼働状態データを地上に伝送し、膨大なデータを解析して編成・機器間などの差異分析を行うことで、早期異常検知や寿命予測も可能となる。

本稿では、最新技術を応用した車両システムの進化について概観し、さらに、列車統合管理システムを活用した、最新の車両制御システム技術の発展と展望について述べる。

## 2. 車両システムの技術革新

### 2.1 情報伝送システム

#### 2.1.1 列車統合管理システムへの進化

情報伝送技術の進歩によって、車上に情報ネットワークを構築することで、各機器の稼働状態を運転台モニタで遠隔監視して、車上機器の状態を一元管理できるようになった。さらに、双方向通信の導入によって、機器情報を収集するだけでなく、各車上機器へ指令を伝送する機能を持つ、列車統合管理システムとして進化した。

#### 2.1.2 地車間通信の実現

最新の列車統合管理システムでは、車上機器との通信を産業用途として普及しているイーサネット伝送で構成するシステムが増えている。これによって、車上の伝送システムに多様な機器を接続できるようになった。

さらに、地車間のデータ伝送に、高速な無線通信が可能なWiMAXを利用することで、地上システムと車両間で様々なデータを伝送することが可能になった。

### 2.2 推進制御システム

#### 2.2.1 パワーエレクトロニクス技術の進歩と推進制御への応用

鉄道車両は、鉄車輪・鉄レールで支持されるため、転がり抵抗が小さく、元来エネルギー消費の小さいシステムである。省エネルギーの観点では、昨今、パワーエレクトロニクス技術の進歩を背景とし、低損失で耐熱性に優れたSiC(シリコンカーバイド)を適用したパワー半導体によって、推進制御装置の更なる小型・軽量化と省エネルギー化が進められている。

#### 2.2.2 推進制御技術の最新動向

従来のSi(シリコン)に比べて、低損失で耐熱性が良いSiCを適用したパワー半導体をVVVF(Variable Voltage Variable Frequency)インバータに採用するとともに、制御方法を改善し、主電動機を含めた主回路システム全体として省エネルギー化を実現している。このシステムでの省エネルギー技術の特長は二つあり、一つがVVVFインバータのスイッチング高周波化による主電動機での高調波損失低減、もう一つが回生ブレーキを適用する速度域の拡大による回生電力量の増大である。

これらの技術を適用した東日本旅客鉄道株のE235系電車では、営業運転での消費電力量について、従来車両と比較して、車両重量比で換算した走行キロ当たり19.8%の削減を実現している<sup>(1)</sup>。

### 2.3 信号保安システム

#### 2.3.1 軌道回路を用いた従来の信号保安システム

列車の安全な運行には“一つの区間に二つの列車が入らない”ことが必要となる。列車の在線を検知する技術として、広く用いられているのが軌道回路である。これは、一定区間のレールを電気回路として利用し、車輪・車軸でレールを短絡することによって、列車の在線を検知する技術である。

軌道回路を利用した技術は、信頼性の高いシステムである反面、地上側の装置が大規模になることや、あらかじめ定められた軌道回路長単位での制御となるため、きめ細かな車両運行が難しいなどの課題がある。これらの課題を克服するため、無線を使った信号保安システムが実用化されている。

#### 2.3.2 無線式列車制御システム

##### (1) 日本国内の適用事例

日本国内での無線を使った信号保安システムにはATACS(Advanced Train Administration and Communications System)の例がある<sup>(2)</sup>。

ATACSは、車上装置が速度発電機の信号を積算して列車の位置を自己認識し、これを無線通信で地上側に知らせることによって、列車の在線を検知する機能を実現している。また、各車両の速度制限については、列車が安全に到達可能な停止限界位置情報を、地上側から車上側へ無線通信で伝送し、車上装置が最適な速度パターンを生成することで、機能を実現している(図1)。

ATACSでは、無線通信を用いて地車間の情報伝送をすることによって、地上設備を簡素化しつつ、よりきめ細かな車両運行が可能なシステムを実現している。

##### (2) 海外での適用事例

欧州では国境を越えて列車が相互直通運転する(インターオペラビリティ)ため、欧州統一の信号システムETCS(European Train Control System)が規格化されており、この中で無線伝送として、鉄道用無線通信GSM-R

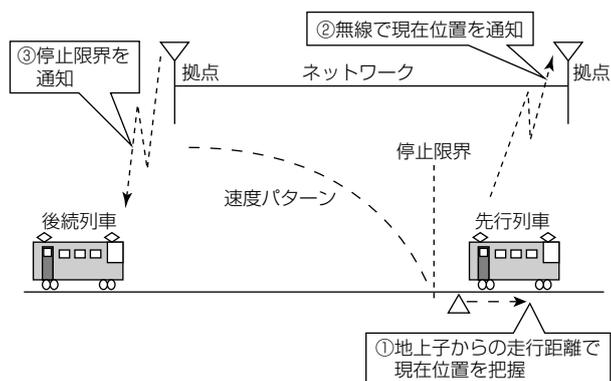


図1. ATACSの原理

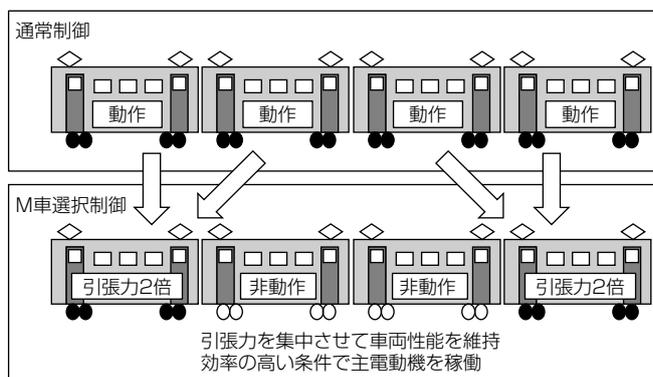


図2. M車選択運転機能の例

(Global System for Mobile communications-Railway)が規定されている。ETCSは実現される機能によってレベルが定められており<sup>(3)</sup>、レベル2以上で地車間の情報伝送に無線が適用される。

レベル2では、列車検知は軌道回路などで行うが、信号現示に関する情報はGSM-Rを使って地上から車上に伝送される。レベル3では、軌道回路などはなくなり、車上の速度発電機によって算出された位置情報がGSM-Rによって地上に伝送され、これに基づいて列車制御が行われる。レベル3が、ATACSに相当する規格である。

車両の保安制御に必要な本質的な情報は、前方列車の位置情報である。従来は軌道回路から複雑な地上装置を通じてこの情報を伝達していたが、無線通信による伝送によって、単純かつ本質的な姿に近づきつつある。軌道回路を必要としない信号保安システムは、路面電車やLRT (Light Rail Transit)などの道路を走るシステムにも応用が可能になり、保守性にも優れ、今後の展開が期待されている。

### 3. 車両制御システムの発展と展望

#### 3.1 列車統合管理システムを活用した高機能化

##### 3.1.1 高効率運転機能

車両を駆動する主電動機は、速度やトルクによって効率が大きく変動する。このため、車両全体に必要なトルクを把握している列車統合管理システムが、主電動機ごとに効率の高い領域にトルクを分配して省エネルギー効果を高め、車両全体として消費エネルギーを削減する制御が考えられる。

東日本旅客鉄道(株)の“M車(電動車)選択運転機能<sup>(4)</sup>”はこの例であり、編成全体に必要なトルクが低下した場合に、稼働M車数を減少させ、主電動機1台当たりの負担トルクを増加させて、効率の高い運転条件で稼働させる制御である(図2)。

##### 3.1.2 省エネルギー運転支援機能

力行速度の制限や回生ブレーキの有効活用によって、車

両の消費電力量を減少させる運転パターンの研究が進められている<sup>(5)</sup>。この運転パターンを、列車統合管理システムを通じて運転台に提示し、乗務員に省エネルギー運転を促す機能が考えられる。

回生エネルギーを吸収する周囲の車両の存在や、列車の遅延などによって、最適な運転パターンは常に変動する。したがって、実際の車両運用に適用するには、動的に運転パターンを算出する機能との融合が必要となる。

##### 3.1.3 地車間通信機能の活用

高速、大容量の通信方式であるWiMAXを用いて、地上側の専用サーバに車両の情報が蓄積されるシステムが実用化されている<sup>(6)</sup>。これによって、専用サーバへのアクセスによって、同時に複数の場所から車両のリアルタイムデータを確認することが可能になった。

このシステムでは、地上側の専用サーバから車上機器に対して、反対方向にデータを送信することも可能である。これによって、例えば、複数編成での旅客案内情報のコンテンツの一括更新や、更新結果の一元把握など、作業や管理の効率化を実現している。

#### 3.2 車両制御システムの今後の展望

##### 3.2.1 大規模・大量輸送への対応

日本国内では、大都市圏への人口集中と地方の過疎化が、同時に急激に進んでいる。人やモノを輸送する鉄道システムで、最新の車両制御システムを活用することによって、これらの環境の変化に柔軟に対応することが可能になる。

まず、大都市圏への人口集中に対しては、車両制御システムを大規模・大量輸送に適した形で適用できる。具体的には、従来からの列車の速度向上に加えて、先に述べたATACSなどの新しい無線式列車制御システムを旅客需要の多い線区に導入することで、安全性を維持しつつ、より高頻度な運行を実現できる。

また、大規模・大量輸送では多くの運転用電力が必要となるため、より省エネルギー効果の高い運行が求められる。具体的には、地上システムと車両間で、車両の運転に必要な電力量を互いに通信することによって、省エネルギー効

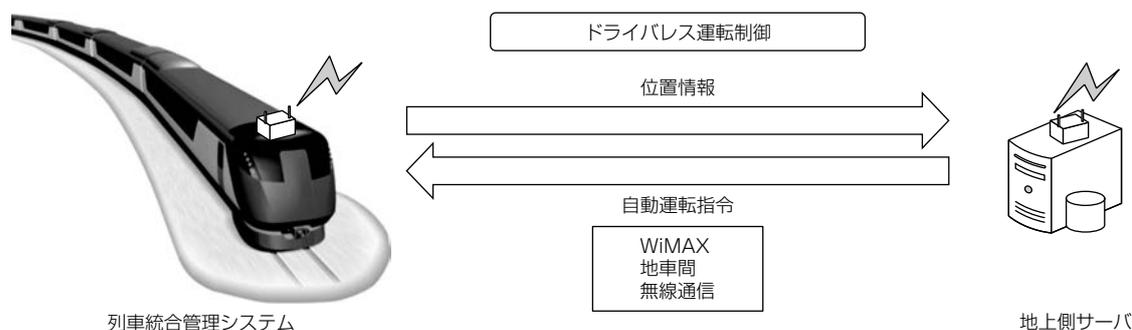


図3. 無線によるドライバレス運転制御のイメージ

果の高い運転パターンを算出して、運転用電力を低減できる。これに、先に述べた編成制御による高効率運転機能や、無線式列車制御システムを組み合わせることによって、変電所などの地上設備を含めた、高効率運転システムへ発展するものと考えられる。

### 3.2.2 小規模・低頻度輸送への対応

一方、地方の過疎地域では鉄道利用者が減少し、鉄道の存続が危ぶまれるケースもある。地方には鉄道の利用を希望する高齢者もあり、鉄道存続のためにも運行コストの低減は不可欠である。

この課題に対して、鉄道の自動運転による運行コストの低減も考えられる。自動運転は“独立した排他的軌道を自動で、自走する無人・自動運転交通システム”として、IEC(International Electrotechnical Commission)で規格化されており<sup>7)</sup>、運転免許を持たない乗務員による運行(ライセンスレス運行)、又は乗務員自体を必要としない運行(ドライバレス運行)が想定されている(図3)。日本でも、新交通システムでドライバレス運行が実用化されているが、これは主に、隔離された専用軌道によって安全性を確保することで実現されている。

自動運転を適用するためには、様々な異常時を想定した安全性の確保が課題となる。例えば、走行中の前方監視や、車上機器不具合等の処置を可能な限り自動化できるシステムが必要となるが、車上機器のリアルタイムデータを収集・分析して、車上データベースを構築することで、車上機器のトラブルシューティングを自動化できる。自動運転の実現には、列車統合管理システムと各車上機器との密接な連携が、今まで以上に重要となる。

車両制御システムの進歩によって、完全な自動運転が実用化できれば、待ち時間が少なく、旅客の需要変化に応じたオンデマンド運転や、終夜運転などへの展開も容易になり、より利便性の高い鉄道システムを実現できる。

## 4. むすび

車両システムは、技術の進歩によって各車上機器の高機能化が進み、列車統合管理システムで編成制御が可能になり、さらに、地車間連携による高度な機能協調も実現している。

車両制御システムの進化によって、大都市圏ではより高頻度な運行による大量輸送を、地方では自動運転を活用したオンデマンド運行などを実現することで、鉄道システムが将来にわたり、事業者・利用者側双方にとって安心、安全、効率的で利便性が高い社会インフラとして発展し、活用されていくものと期待している。

## 参考文献

- (1) 渡邊浩司, ほか: E235系量産先行車の走行電力量削減効果—回生領域拡大による運転消費エネルギー削減効果の検証—, 第52回鉄道サイバネ・シンポジウム, No.511 (2015)
- (2) 中村英夫: 鉄道信号システムの革新, 情報処理, 55, No.3, 268~276 (2014)
- (3) 渡辺郁夫: 無線式列車制御の動向, 鉄道総研報告, 25, No.5, 1~4 (2011)
- (4) 加藤洋子, ほか: E235系の主回路システムの紹介, JR EAST Technical Review, No.51, 41~44 (2015)
- (5) 渡邊翔一郎, ほか: 直流電気鉄道の省エネルギー運転における電力制限回生ブレーキの効果と回生率の影響評価, 平成25年電気学会全国大会 (2013)
- (6) 山下雅徳, ほか: E235系~次世代列車情報管理装置 (INTEROS)と車両メンテナンス~, デジタルプラクティス, 8, No.3, 230~235 (2017)
- (7) 水間 毅: 鉄道における自動運転の歴史と今後, 計測と制御, 56, No.2, 93~98 (2017)