



漆間 啓\*

# 交通システムの将来展望

Future Prospects of Transportation Systems

Kei Uruma

## 要旨

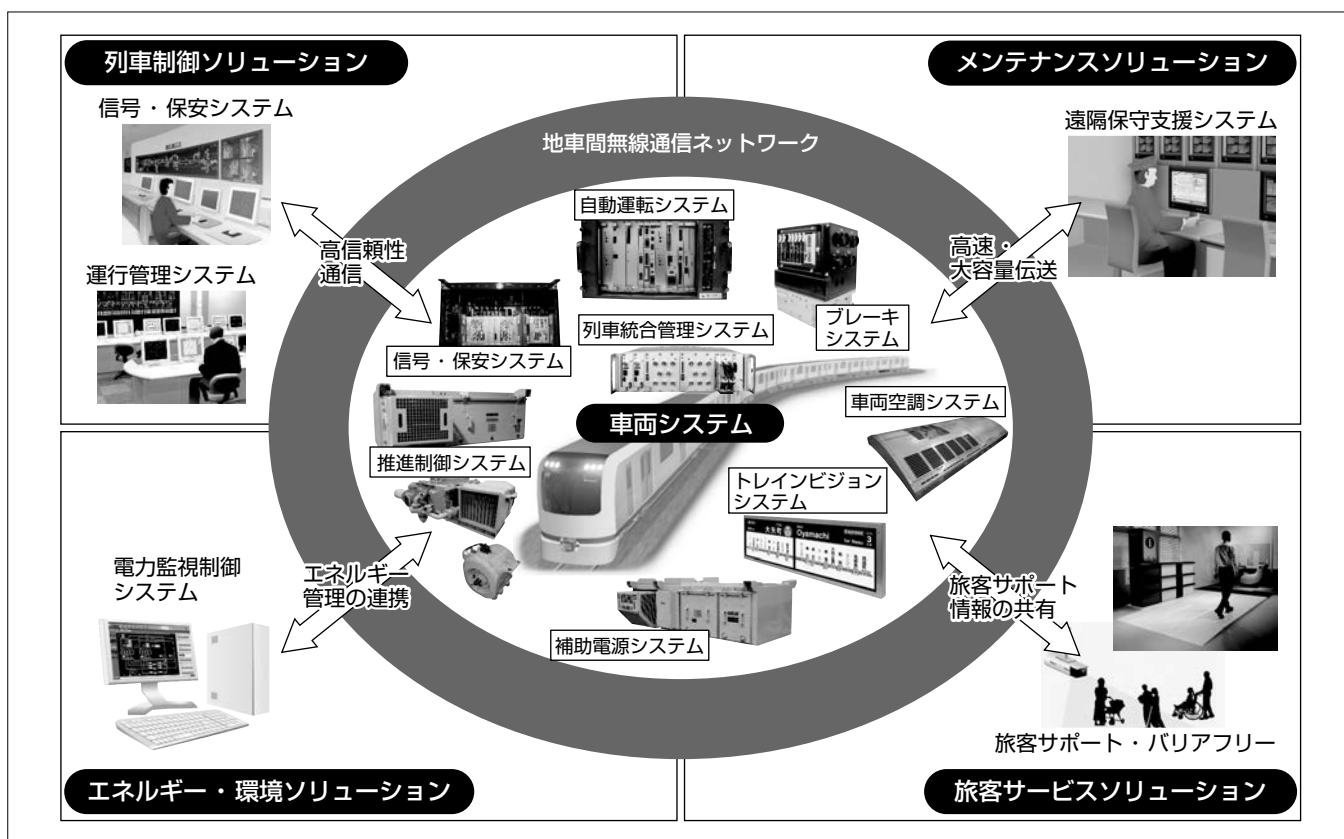
近年の環境意識の高まりから、鉄道は環境負荷の少ない移動・輸送手段として世界的にも注目を集めており、多くの国々で鉄道プロジェクトが進められている。

日本の鉄道は、極めて正確なダイヤと膨大な輸送人員、安全性・稼働率の高さや案内の丁寧さ、さらには省エネルギー、省メンテナンスなど、高性能・高品質が大きな特長で、三菱電機も車両用電機品を中心に、電力・信号・通信などの分野で各種製品・システムの開発を行ってきた。さらに、ICT(Information and Communication Technology)を用いた車上・地上システムのシームレスな連携によって、鉄道システム全体の最適化を図る“次世代交通ソリューション”の技術開発に取り組んでいる。

無線式列車制御システム(CBTC)を中心に、自動運転な

どの将来の鉄道輸送の姿を追求する“列車制御”，IoT(Internet of Things)やAI(Artificial Intelligence)を活用し、故障の予兆検知や保守作業支援を行う“メンテナンス”，列車と駅が連携し、さらに他の交通機関ともつながり、旅客が目的地までシームレスに安心して移動できる“旅客サービス”，鉄道のエネルギー全体最適化を目指し、車両、駅、車両基地・工場、路線全体で創エネルギーと蓄エネルギーを実現する“エネルギー・環境”の四つのソリューションで、交通システムを革新する。

この特集号は、“交通システムの将来展望”をテーマに、各ソリューションを実現する当社の車上・地上システムの最新技術の特集である。



## 車両システムを中心とした次世代交通ソリューション

当社は、“安心”“安全”“快適”な鉄道輸送を目指し、高性能・高品質の交通システムを提供してきた。これからは車上と地上が当社の高い無線・通信技術によってつながり、全体がシームレスに連携した鉄道システムを提供することで、鉄道に関わる全ての人に優しいソリューションを追求していく。

### 1. ま え が き

鉄道システムで、顧客を運ぶ“車両”，顧客が乗降する“駅”，及び、車両が走行する“軌道”は必要不可欠な要素であり、さらに安心・安全・快適な運行を支えるために、電力・信号・通信などの各種電気設備や機械設備が設けられている。

当社では、車両・電力・信号通信などの各種製品とともに、ICTを用いた車上・地上システムのシームレスな連携によって、鉄道システム全体の最適化を図る“次世代交通ソリューション”として、列車制御、メンテナンス、旅客サービス、エネルギー・環境の四つの分野で技術開発に取り組んでいる。

本稿では、これら四つの分野のソリューションの概要と、その中で、車両システムや駅設備などが将来的にどのように変化していくかを展望する(図1)。

### 2. 次世代交通ソリューション

#### 2.1 列車制御ソリューション

列車制御は、これまで軌道回路による方式が主流であったが、近年では設備点数が少なくメンテナンス性に優れた無線式列車制御システム(Communication-Based Train Control: CBTC)が注目されており、国内でも導入検討が進んでいる。

無線式列車制御システムは、列車が自ら位置を検知してその位置を無線で地上へ送信、地上では各列車の列車位置から列車個々の停止限界位置を算出して各列車へ配信、列

車は受信した停止限界位置に基づき速度照査パターンを作成して走行するというシステムである。

無人運転は高架構造の新交通システムでは1980年代から実用化されている。地上からの指令によって、列車自動運転装置(ATO)が定められたランカーブに基づいて走行制御を行う。ATOはワンマン運転を支援するために地下鉄等にも導入されており、最近では、路線条件に応じて安全性や定時性を確保しつつ、乗り心地や省エネルギーを考慮した最適な運転の実現が可能になっている。

現在の列車制御・自動運転システムは、自動車分野に例えるとインフラ協調型のシステムであるが、将来的には無線通信の高速大容量化や列車-列車間通信の実現によって、自律型の列車制御・自動運転が可能であると考えられる。各列車は、運転に必要な路線条件や運転ダイヤなどの情報をあらかじめデータベースとして保存するとともに、路線全体の列車情報(位置・速度など)をリアルタイムに受信し、自ら走行パターンを算出して走行する。

指令所では全線の列車を総合的に管理し、列車運行の全体最適化と運用の効率化を図る。当社では、列車の運行や乗客の行動をシミュレーションする技術を応用して、ダイヤの作成・変更を省力化する様々な機能を開発し、輸送計画部門の業務や指令所の運転整理業務を支援しており、遅延などの運行乱れ発生時にも指令所から列車へ変更情報などの包括的な指示を行うことで自律的な列車制御を継続できる。

新交通システムだけでなく、地下鉄ほか都市鉄道一般への自動(無人)運転導入のためには、前方障害物の検知、踏

	列車制御ソリューション	メンテナンスソリューション	旅客サービスソリューション	エネルギー・環境ソリューション
指令所など	CBTC型運行管理システム ・輸送総合シミュレーション技術 ・列車群管理の高度化	状態監視/モニタリングシステム ・車両システム(車体/台車/電機品など) ・地上システム(架線/軌道/沿線構造物など) ・自動計測装置(パンタグラフ/屋根上/車輪) ・データ解析による予防保全	旅客案内システム(表示/放送/インタホンなど) 遠隔監視システム(CCTV) ・旅客流動の把握 ・避難誘導シミュレーション技術	電力管理システム ・電力消費予測シミュレーション ・電力制御アルゴリズム  電力機器 ・リアルタイム制御可能な電力機器
駅・沿線	CBTC地上装置 電子連動装置 踏切保安設備  ATO駅装置 ホームドア	状態監視/モニタリングシステム ・各種電気設備・機械設備にセンサ設置	旅客案内システム(表示/放送/インタホンなど) <b>高機能セキュリティ</b> ・画像処理/危険物検知など 出改札システム ・チケットレス/ゲートレス	駅エネルギー管理システム 太陽光発電システム 駅舎補助電源装置  急速充電設備 ・非接触充電システム
無線通信システム(公衆網/専用網) CBTC無線 車々間通信 列車無線 ミリ波無線 5G(第5世代移動通信システム) ほか				
車両	・制御表示情報伝送  CBTC車上装置 ATO装置 ・車上データベース(路線条件/運転ダイヤなど)による自律運転 ・全線の列車位置・運転状態把握による自車の走行パターン算出  前方監視装置 ・画像処理/各種センシング	・リアルタイムモニタリング/データ収集 ・出庫点検/自動試験  状態監視/ データ収集装置(各種センサ) ・車両システムを対象としたセンサ ・地上システム(架線/軌道/沿線構造物など)を対象としたセンサ	列車統合管理システム(TCMS) ・旅客案内データ管理  旅客案内システム(表示/放送/インタホンなど) トレインビジョン パーソナル情報提供システム 車内防犯装置(車内CCTV)  空調装置 ・次世代冷媒 ・省エネルギー/最適制御	・編成制御による省エネルギー  推進制御システム ・SiC適用VVVF/SIVシステム ・高効率全閉型モータ ・蓄電デバイス応用  ・次世代パワーデバイス

太字は、今後の検討事項を示す。

CCTV: Closed Circuit Television, VVVF: Variable Voltage Variable Frequency Inverter, SIV: Static Inverter

図1. 四つのソリューションを実現する各種システム・装置と技術(例)

切の安全確保、異常時の避難誘導など解決すべき課題は多いが、自動車の自動運転向けに検討している各種センシング技術(前方監視カメラ・ミリ波レーダ・超音波コーナセンサなど)や準天頂衛星を活用した高精度位置把握技術の応用などによる対策が期待できる。

## 2.2 メンテナンスソリューション

安心かつ安全な鉄道輸送を行うためには、車両や設備の状態を把握し、維持管理することが重要である。一方、少子高齢化による輸送需要減少や熟練技術者の大量退職、人手不足等への懸念の高まりも背景に、これまでの時間基準保全(Time-Based Maintenance : TBM)に代わり、IoT、センサネットワークやビッグデータを活用した状態基準保全(Condition-Based Maintenance : CBM)によるメンテナンスの変革を目指す取組みが加速化している。

当社は、鉄道の“走る”“止まる”“制御する”を1社で実現できるメーカーとして国内外に幅広く車両用電機品を供給してきた。この経験を活用し、車両用電機品の状態変化を管理・保守部門でリアルタイムに把握する仕組みとしてLMS(Lifecycle Management Solution)の開発に取り組んでいる。列車統合管理システム(TCMS)が収集する各種車両用電機品の動態データを無線で伝送し、機器に関する知見と時系列分析、相関分析などの各種データ分析手法を用いて劣化や故障の予兆を検知する。これによって、故障発生頻度を抑制しつつ鉄道事業者のメンテナンスに要する負荷を軽減し、持続可能で安定した輸送の提供に貢献できると考えている。

また、車両に各種のセンサを設置すれば、営業運転をしながら架線の状態、軌道変位、沿線構造物の状態などメンテナンスに必要な情報も収集できる。車両に限らずトンネルや橋梁(きょうりょう)、電力・信号・通信の各設備機器についてもIoTを利用したモニタリング・ビッグデータ分析・AI活用によるCBMが可能である。

現場の人手不足対策も念頭に、保守点検作業を支援するシステムにも取り組んでおり、AR(Augmented Reality)を活用してウェアラブル端末上に設備の点検手順を表示し、点検結果を音声入力することで、保守作業のペーパーレス化・効率化・確実化を実現した。

車両基地などへの入区時に、地上設備を用いて、走行しながら屋根上、パンタグラフ及び車輪の状態を自動計測するシステムも開発し、検査データの見える化と分析による事故の未然防止と作業の安全性向上を図っている。

## 2.3 旅客サービスソリューション

旅客サービスには情報提供サービスと安全サービスがある。情報提供サービスの当社の代表的なシステムが液晶ディスプレイ(LCD)を用いた案内表示、“トレインビジョン”である。初期のトレインビジョンは車両の扉上に2面のLCDを設置し、運行案内と広告を表示していた。現在は、

首都圏での相互直通運転への対応や訪日旅客増加対策としての多言語表示など、旅客へ提供すべき情報が多様化していることから、大型液晶パネルを採用した2画面一体型トレインビジョンを開発した。コンテンツにはユニバーサルデザインを採用することで、全ての人に分かりやすい情報提供を目指している。また、スマートフォンの普及に伴い、トレインビジョンと連動させ、各個人に対してより必要とされる情報を提供するパーソナル情報提供システムも開発し、多様化するニーズに 대응している。

駅での情報提供サービスも、従来の案内放送や発車標に加え、大型ディスプレイや双方向デジタルサイネージを用いて運行情報やサービス情報などを提供するシステムが導入されている。

安全サービスとしては、車内セキュリティカメラの導入が進み、車内トラブルへの迅速な対応が可能になっている。駅にも多数のカメラが設置され、ホームやコンコースなど駅構内の監視が可能となっているが、最近では、映像解析技術やセンサ技術を応用したリアルタイムでの危険・異常や旅客の流動・滞留を検知する高度なセキュリティサービスの研究に取り組んでいる。

鉄道を利用する顧客に対して、駅の入場から退場まで、情報提供と安全の両面でシームレスなサービスをするために、車上・地上で連携したシステムの開発を目指している。さらに、将来の駅・車両で円滑で快適な移動を実現するため、ゲートのない平坦(へいたん)な改札などのコンセプトを構築し技術開発を進めている(図2)。

顧客に快適空間を提供するための空調装置については、季節・時間帯・車両ごとの温度設定や乗車率を考慮した制御、ファンと圧縮機のインバータによる可変速化、寒冷地でも暖房性能を確保できるヒートポンプの導入などによって、更なる快適性の向上に取り組んでいる。

## 2.4 エネルギー・環境ソリューション

鉄道は、航空機や自動車に比べてエネルギー効率が良く環境に優しい交通機関であるが、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激変によって、更なる省エネルギーの必要性が高まっている。



図2. ゲートのない平坦な改札のプロトタイプ

当社では、鉄道のエネルギーマネジメントシステムに四つの視点(車両、駅、車両基地・工場、路線全体)で取り組んでいるが、その中でも鉄道の消費電力量の大部分を占める車両の運転電力量に関しては、これまでも推進制御装置を中心に省エネルギー化を進めてきた。最近の取組みの一つが、低損失かつ高温動作が可能なSiC(シリコンカーバイド)素子の推進制御装置・補助電源装置への適用である。当社は2013年にフルSiC適用のVVVFインバータ装置を世界で初めて(注1)製品化し、装置の小型・軽量化及び電力回生ブレーキ性能の大幅な拡大によって、従来製品比40%の省エネルギー化を実現した。また、TCMSを利用して、編成単位で電気/空気ブレーキ力を最適に配分し、回生ブレーキを最大限に活用して回生率を向上させ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省エネルギー機器制御などによって、車両エネルギー全体の最適化を実現している。

SiC適用によって増大した車両回生エネルギーの活用として、これを駅で利用する駅舎補助電源装置S-EIV(Station Energy saving Inverter)を開発した。これは、車両停止時に発生する回生エネルギーのうち、他の車両で消費しきれなかった分を近くの駅負荷で効率的に消費することを目的としたもので、小容量のコンパクトな装置であるが、大規模な回生インバータと同等の機能を得ることができる。

駅の照明、空調設備などの付帯用電力も増加の傾向にあり、これらの省エネルギーも重要な課題である。各設備を最新の省エネルギー機器(LED照明、高効率空調など)に更新するとともに、快適なサービスと省エネルギーを両立させる最適な制御を行う。また、駅の規模や立地条件に適した太陽光発電の導入が進められており、安定的で効果的な利用のために、電力貯蔵を含めた各種のスマートグリッド技術を適用し、エネルギーの最適化を進めている。

近年、リチウムイオン電池を始めとする電力貯蔵デバイスの性能が向上し、自動車分野はもとより鉄道分野でも回生電力の吸収や架線電圧の補完用途など実用化が進んでいる。既存の推進制御装置に電力貯蔵デバイスを追設し、余剰回生電力を吸収して力行時に使用することで回生率が向上する。また、架線停電時に最寄り駅までの走行を可能にする緊急走行システム、非電化区間を走行する蓄電池電車なども導入されている。将来的には、電池の小型・大容量化が進み、都市交通などの駅間距離が短い路線では、駅での急速充電によって蓄電池による走行が可能になると考えられる。

(注1) 2013年12月25日現在、当社調べ

### 3. 車両システムの将来展望

四つのソリューションを実現するための、車両システムの将来展望をまとめると次のとおりである(図3)。

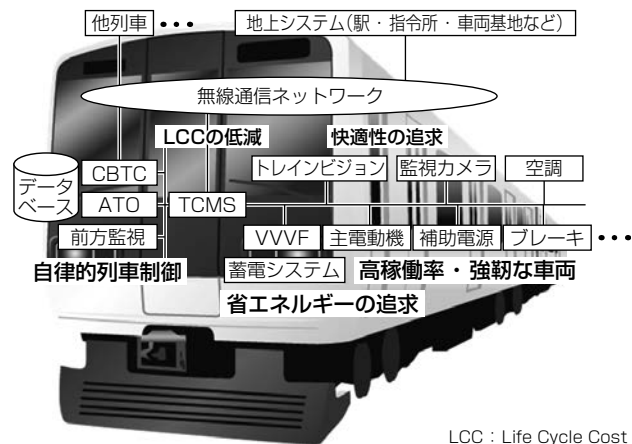


図3. 車両システムの将来展望

- (1) 路線条件や運転ダイヤなどの情報をデータベースとして保存し、変更情報を地上からリアルタイムに受け取ることで、車両が自ら考え走行する“自立的列車制御”
- (2) 列車統合管理システム(TCMS)が収集する各種車両用電機品の動作・状態情報を無線で伝送し、蓄積されたビッグデータを分析することによる“LCCの低減”
- (3) 多様化するニーズに応える情報提供システム、映像解析などによる高度なセキュリティ、季節・時間帯・乗車率を考慮した最適空調制御による“快適性の追求”
- (4) SiCを適用した推進制御装置、TCMSを利用した編成全体の車両エネルギー最適化、電力貯蔵デバイスの応用による“省エネルギーの追求”
- (5) 各電機品の小型・軽量化、品質・信頼性の向上、主要部の冗長構成などによる“高稼働率・強靱(きょうじん)な車両”

## 4. むすび

当社は家庭から宇宙まで、重電・産業メカトロニクス・情報通信・電子デバイス・家庭機器の五つの分野、10の事業本部で総合電機メーカーとして事業を展開しているが、最近の技術革新の加速化や事業環境の急激な変化、顧客ニーズの多様化に対応するためには、事業本部の枠を越えた部門横断的な活動を推進することが重要となっている。

鉄道システムでも、本稿にも述べたように、自動車分野の自動運転技術との連携、AIを活用した映像解析技術の車内・駅セキュリティへの展開、ZEB(net Zero Energy Building)技術の駅エネルギーマネジメントへの適用、さらには、“e-F@ctory”コンセプトに基づく工場のスマート化・生産性向上など、技術シナジー・事業シナジーによって顧客に新たな価値を提供することで、今後も鉄道事業の発展に貢献していく。

### 参考文献

- (1) 福嶋秀樹：交通システムの将来展望，三菱電機技報，90，No.9，488～492(2016)