

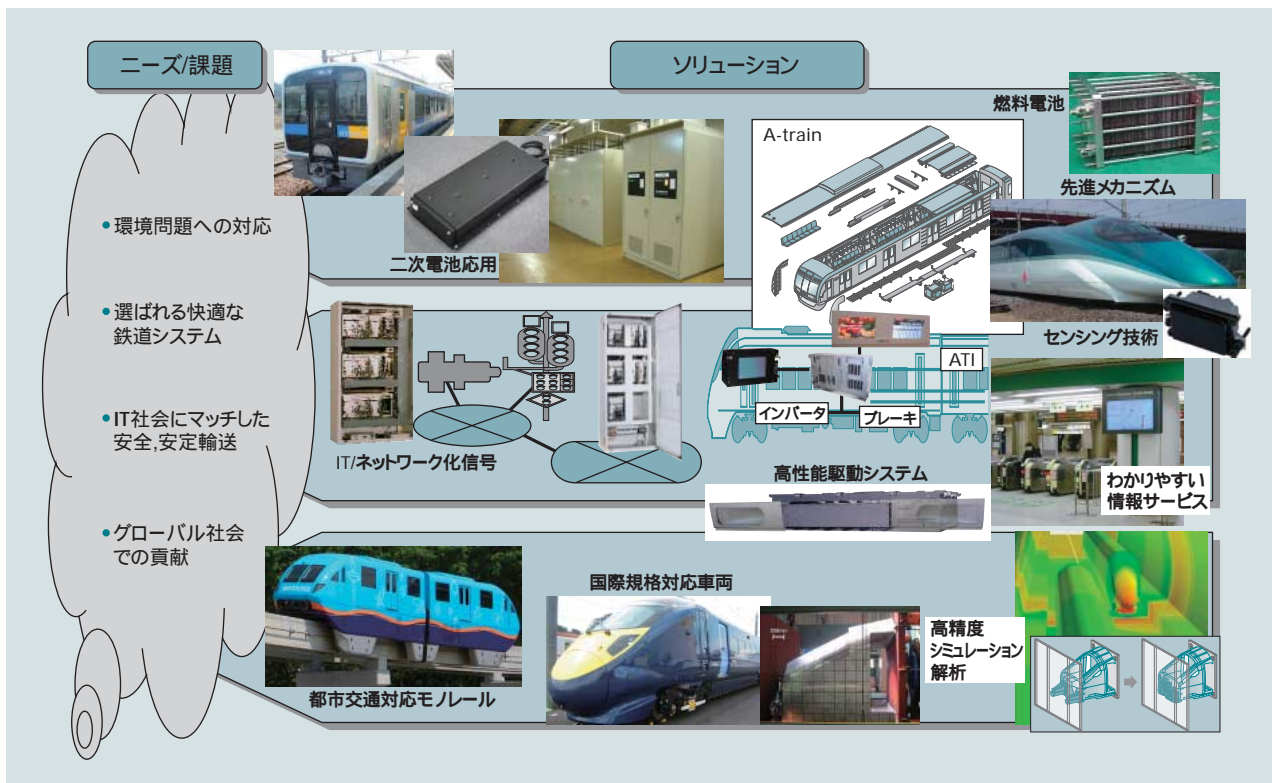
# 多様なニーズに応え、環境負荷がより低く 快適な鉄道システムをめざして

Flexible, Environmentally-friendly, and Comfortable Railway System

横須賀 靖 Yasushi Yokosuka  
和嶋 武典 Takenori Wajima

岡崎 澄之 Sumiyuki Okazaki  
堀場 達雄 Tatsuo Horiba

金川 信康 Nobuyasu Kanekawa  
鈴木 敦 Osamu Suzuki



注:略語説明 IT( Information Technology ),AT( Autonomous Train Integration ),A-train( AIは ,Advanced ,Amenity ,AbilityおよびAluminumを統合的に表したもの )

図1 多様なニーズに応える日立製作所のトータルソリューションシステム

日立製作所は多様なニーズや課題に対応し、環境負荷が低く、多くの人に選ばれる安全で快適な鉄道システムをめざして技術開発を行っている。

## 求められる環境負荷低減

世界的に地球温暖化をはじめとする環境問題がクローズアップされ、輸送手段としての鉄道の役割が重要になってきている。日本国内に目を向けると、環境問題に加えて少子高齢化が急速に進むという問題もある。

鉄道システムの社会的役割をより大きくし、社会に貢献するためには、環境負荷低減技術の開発も重要であるが、多くの旅行者に選んでもらえるシステムとしていくことも忘れてはならない。少子高齢化傾向の中でも多くの旅行者が利用することで、ますます

移動に伴う環境負荷が低減されることになる。そのためには、安全・安定輸送をたゆまぬ技術開発で革新し、さらに、鉄道旅行の質(システムの優しさや快適さ、タイムリーな情報サービスなど)を向上させる技術開発も重要になってくる。

## 多様なニーズに応える鉄道システム

日立製作所の交通システム事業は、1920年の蒸気機関車の開発に始まり、以来さまざまな分野の開発を手がけ、総合システムインテグレータとして、幅広い技術開発を

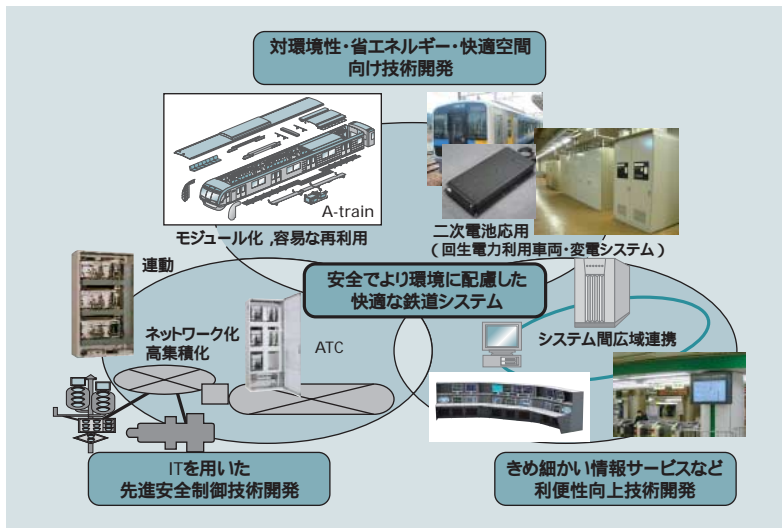


図2 次世代鉄道システムのための主要なソリューション開発  
環境問題へのさらなる対応と、多くの旅行者に利用してもらうためのソリューションを開発している。

### (a) ATC

Automatic Train Controlの略。自動列車制御装置。地上からの信号や速度情報によって自動的にブレーキをかけたり、制限速度以下になればブレーキを緩めたりして列車運転の安全を保つ。新幹線のほか、大都市の通勤線区や民営鉄道などで多く採用されている。従来のATCでは制限速度を地上からアナログ信号で車上装置に伝えていたが、新しいデジタルATCでは地上からデジタル信号で停止限界位置信号を伝え、車上装置が前の列車との間隔から自動的に間隔制御を行うために、一段ブレーキパターンで速度を算出し、設定する。このため、乗り心地がよく、列車間隔を短縮できることから混雑緩和にも効果的な保安装置となっている。

行っている。社会の進化とともに鉄道システムに求められる技術も変遷し、さらなる鉄道システムの向上のために、近年、以下のソリューション開発に重点を置いている(図1参照)。

- (1) 車両・変電システム:A-train(AはAdvanced, Amenity, AbilityおよびAluminumを統合的に表したもの)コンセプトの下、高品位な車両空間の提供、車上と変電設備での二次電池利用や高効率インバータなど省エネルギー駆動技術の開発
- (2) 信号システム:ITを利用して車上で自律的に走行制御できるATC<sup>(a)</sup>や、転てつ機、信号機の配線ケーブル量などを削減でき、自律的に動作する連動システムの開発
- (3) 旅客・運行系システム:タイムリーな運行情報の提供や他のシステムとの連携などによる利便性向上をめざすインテリジェント化(図2参照)



図3 東日本旅客鉄道株式会社のE954形式新幹線試験電車(左)と東京地下鉄株式会社10000系電車(右)

新幹線車両は高速化による騒音の低減、通勤電車では廃車時の分別・リサイクルを容易にする取り組みを行っている。

これらの開発を通して、多くの旅行者に移動手段として選んでもらえ、よりいっそう環境への負荷が低い鉄道システムを実現することに努力していく。また、これらの技術開発を通して培った技術を世界的なニーズに適合させ、グローバルな環境下でも交通システム発展に寄与していく考えである。

## 環境負荷低減の取り組み

### 鉄道の環境対応

現在、地球規模での化石燃料枯渇や温暖化対策が叫ばれ、運転時だけでなく、製造から保守、廃棄に至るまでトータルでのエネルギー低減、二酸化炭素排出量低減といった環境負荷低減が求められている。

鉄道の環境対策は、高速・高密度輸送での沿線への騒音抑制、車内快適性、省エネルギーを目的に、具体的には、空力課題の解決、低騒音冷却、軽量化、高効率駆動システムなど種々発展してきた。

### 車両の環境対応

新幹線車両は、高速化による騒音を低減する対策として、トンネル微気圧波低減、制御装置の走行風による冷却、遮音性向上による車内騒音低減について、東日本旅客鉄道株式会社(以下、JR東日本と言う。)のE954/E955形式新幹線高速試験電車が開発した(図3参照)。

通勤電車では、東京地下鉄株式会社10000系のように、従来のA-trainをさらに発展させ、ダブルスキン構体のほか、はり・柱などの部品を含め、アルミ合金種類の統一を図るなど、廃車時の分別・リサイクルを容易にする取り組みを行っている。

### 二次電池応用システム

電気鉄道の環境負荷は、他の陸上大量輸送手段に比べて低く、特に電車の駆動システムは、回生電力まで利用するインバータ制御へと発展し、エネルギー利用効率が向上している。

日立製作所は、電車で培ったインバータ技術を生かし、リチウムイオン二次電池を応用して、気動車のディーゼルエンジンによる環境負荷を低減する、ハイブリッド駆動シ

テムを実用化した。このシステムは2001年からJR東日本と共同開発を進めていたもので、回生電力の有効利用、エンジンの高効率運転、電車駆動系の採用により、運転時の環境負荷低減、メンテナンス負荷軽減を実現し、2007年7月末より営業運転されている（図4参照）。



図4 JR東日本のキハE200形気動車  
リチウムイオン二次電池を応用するハイブリッド駆動システムをJR東日本と共同開発した。



図5 蓄電池式回生電力吸収装置  
地上変電所の蓄電池式回生電力吸収装置により、供給電圧の安定化や回生効率の向上などを図る。

電車においても停電時の運転継続、軽負荷時の回生継続の観点から二次電池システムを車上に配し、安定・省保守運転を図る取り組みが行われている。

地上変電所においては、列車群の回生電力を蓄え、ピーク時に供給する蓄電池式回生電力吸収装置を開発した（図5参照）。これにより、供給電圧の安定化を図り、回生効率の向上、ブレーキ性能の安定、省エネルギーが期待される。

シンプル化する技術を実用化した。

具体的には、現場機器の器具箱に収納できる小型の制御端末（FC:Field Controller）と、中央論理部～制御端末の通信手順を開発し、中央論理部との間を光ケーブルで接続することを可能とした（図6参照）。

#### 統合型信号保安システム「SAINT」

これまでは独立して開発、施工されてきた電子連動装置とATC装置を、システムとしてのシンプル化、省スペース化、低コスト化を目標として統合型信号保安システム「SAINT（Shinkansen ATC and Interlocking System）」を開発、新幹線の信号保安システムの集大成として、東北・上越新幹線で実用化した（図7参照）。

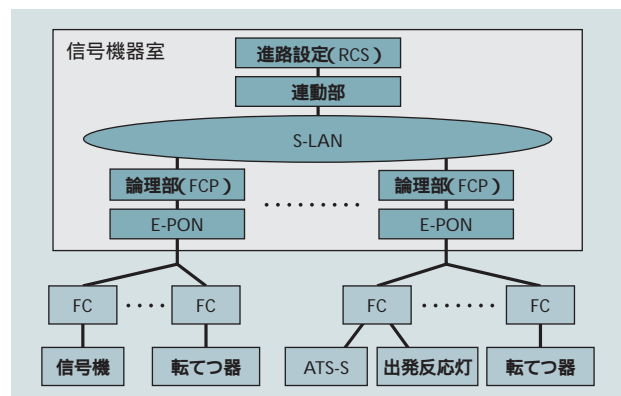
フェイルセーフソフトウェア技術とデジタル伝送技術を用いたデジタルATCを実用化し、今回の新幹線システムで同様の思想で開発

### インテリジェントかつシンプルなシステム構造をめざす信号システム

#### ネットワーク信号制御システム

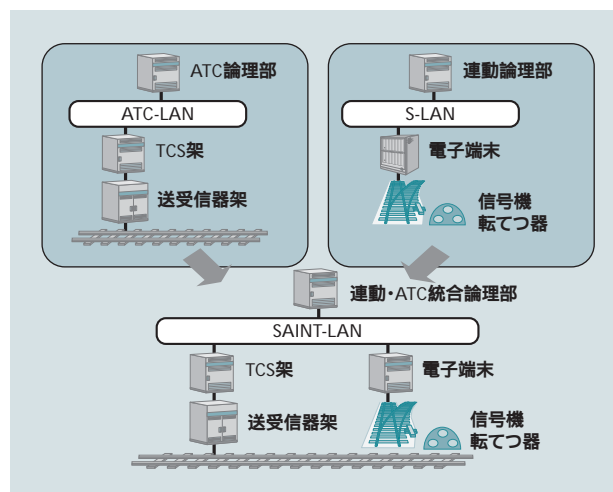
従来の信号保安設備では、機器室の連動装置と現場信号機器を接続する膨大な信号ケーブル類が、施工や維持保守を複雑にするといった課題を抱えていた。

この課題を解消するために、汎用のネットワーク技術を採用して連動装置と現場機器間の信号ケーブルを光ケーブルに集約し、



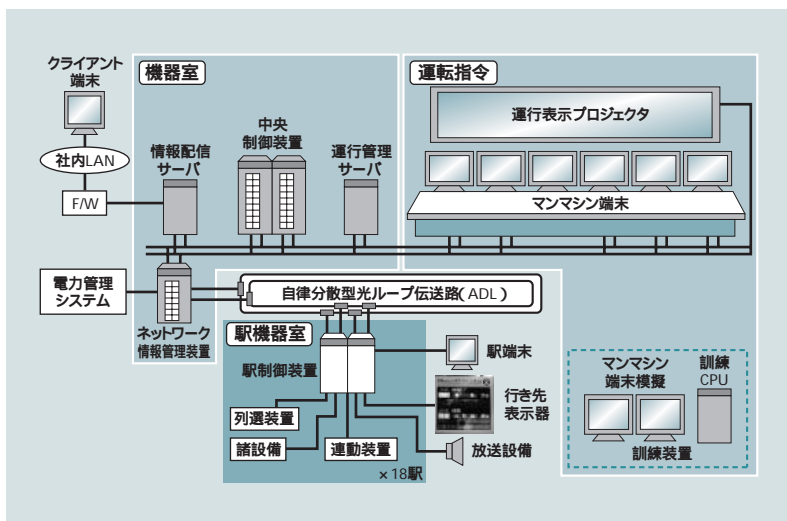
注:略語説明(か) RCS( Realtime Control Server )  
S-LAN( Signal-Local Area Network )  
FC( Field Object Controlled Processor )  
E-PON( Ethernet-Passive Optical Network )  
FC( Field Controller ),ATS-S( Automatic Train Stop-Signal )  
\* Ethernetは、米国Xerox Corp.の商品名称である。

図6 ネットワーク信号システムの構成  
汎用のネットワーク技術を採用してシンプル化する技術を実用化することにより、複雑だった施工や維持保守を容易にした。



注:略語説明 ATC( Automatic Train Control ), TCS( Terminal Control System )  
SAINT( Shinkansen ATC and Interlocking System )

図7 統合型信号保安システム「SAINT」の構成  
電子連動装置とATC装置を統合して開発した統合型信号保安システム「SAINT」の概略を示す。



注:略語説明 LAN( Local Area Network ), F/W( Fire Wall ), ADL( Autonomous Decentralized Loop CPU( Central Processing Unit )

図8 運行管理支援システムの構成(京阪電気鉄道株式会社納め)

サブシステムを統合し、信頼性や維持保守、旅客サービスの向上などを効率的に実現した。

が先行していた電子連動装置との統合を実現したものである。

### 快適な旅行を支援する 制御情報系システム

#### 情報共有化の推進

日立製作所は、長年にわたり、集中型システムと自律分散型システムの双方で、鉄道事業者のニーズに合わせた多数の運行管理システムを開発し、安全・安定輸送に貢献してきた。現在では、電子連動装置、デジタルATC、デジタル列車無線システムなど多岐にわたるシステムの実用化の実績を積み上げている。

最新のシステムでは、それらサブシステムを有機的に結合して、サブシステム間で重複した機能の削減や、データの統合管理による信頼性や維持保守性の向上に努めて

いる。加えて、ダイヤ乱れ時の迅速な回復を支援する運転整理システムや電力管理システムなどと連携し、情報を集約して指令員に提供し、指令業務を支援するなど、機能の拡大に努めている(図8参照)。

#### 地上・車上シームレス化の推進

最近のコピキタス技術の急速な発展は、鉄道利用者が個々に必要な情報を必要ときに参照するといったニーズとシーズを同時に一気に拡大している。

利用者の新たな要求に応えるためには、最新の移動体通信などの技術を情報制御系システムに取り込み、携帯電話やPDA(Personal Data Assistant)などのパーソナル端末と結び付け、さらに急速に普及している薄型モニタなどへ適切な情報表示をすることが必要である。

日立製作所は、それらの旅客サービスの向上につながる技術として、デジタル無線による車上へのコンテンツ配信、車両情報制御装置(ATI:Autonomous Train Integration)による車上でのコンテンツ配信・表示などの製品を開発し、実用化している。

また、駅などにおける音声放送による旅客への情報伝達の多様化に対応するため、音声合成技術を応用して文章入力データを自由に音声放送する技術を採用し、自動放送装置の柔軟性を大幅に改善した。

急速にコストパフォーマンスが増大している薄型ディスプレイを応用して、駅や街頭でリアルタイムな旅客情報コンテンツを表示する技術についても、情報の収集、加工方式や、ユーザーインターフェースについて、従来の知見にとらわれない技術を導入して実用化した(図9参照)。

今後ともさらなる機能向上をめざして、開発を継続して実施する予定である。

### グローバルなニーズに応える輸送システム

社会のグローバル化が進み、日本の先進鉄道システムで世界に貢献することも重要になってきている。

日立製作所は、跨(こ)座型モノレールシステムのトップメーカーとして、国内で多くの



図9 駅での情報サービス例

薄型ディスプレイを応用してリアルタイムな情報を表示する。

システムを構築してきた。これらの実績からシンガポールのセントーサ島へのメイン交通システムとして選定された。特徴は、(1) 連接構造を採用し小型・軽量化された車両、(2) 地上設備を簡素化した信号システムである。2007年1月の開業以来順調に稼働している(図10参照)。

英国では、通勤手段としても利用される高速海峡連絡に使用される車両(Class 395)を受注し、2007年8月にプロト車1編成6両が英国に到着した。日本で培った技術を欧州へ適応させている。A-trainコンセプトの下で開発した軽量化、高速化技術その他、衝突特性や材料強度など、さまざまな条件に適合させている。コンピュータシミュレーション技術など、これまで研究開発してきた技術を活用した(図11参照)。

## 鉄道システムの発展を支えるキー技術

### リチウムイオン電池技術

#### (1) 電池技術への期待

エネルギーの有効利用にかかわる重要な要素技術の一つにエネルギー貯蔵技術がある。数多く提案されてきているエネルギー貯蔵技術の中でも、二次電池によるエネルギー貯蔵は、立地・規模の制約が少ない、建設時間が比較的短いなどの利点があり、その本格導入への期待が大きい。その一方で、寿命、コストなどの解決すべき問題点も残されている。

#### (2) リチウムイオン電池

現在、世界中で生産されている主要な二次電池は、鉛電池、ニッケルカドミウム電池、ニッケル水素電池、リチウムイオン電池の4種類である。電池のエネルギー貯蔵能力の指標であるエネルギー密度で比較すると上記4種類の二次電池の中でリチウムイオン電池が最も高い(図12参照)。さらにこの電池は最も新しい電池であり、今後の性能向上の余地が大きいという特徴がある。

リチウムイオン電池は、3~4Vの高い単電池電圧と、それに起因する高いエネルギー密度、高いエネルギー効率、および長寿命化が可能な電池系であり、優れた特性を



図10 セントーサエクスプレスモノレール  
シンガポールのセントーサ島へのメインアクセスとして2007年1月以来、順調に稼働している。



図11 英国海峡線向け高速車両(Class 395)  
A-trainコンセプトの下に開発した軽量化、高速化技術を英国仕様に適合させた。

持っている。

#### (3) リチウムイオン電池の用途

リチウムイオン電池は1992年に上市されて以来15年の歴史しかないが、今日、日本では最大の市場規模を有する電池であり、世界的に見ても鉛電池に次ぐ地位を占めている。このような急速な発展は、携帯電話、パーソナルコンピュータなどのモバイル電子機器の普及拡大によるものであり、今後もこの傾向は持続するものと思われる。

モバイル電子機器の用途だけでなく、ハイブリッド電気自動車などの移動体用、電力貯蔵装置などの産業用への導入が期待されている。日立グループでは、1990年代の初頭より大型リチウム二次電池の研究開発を推進し、電気自動車、ハイブリッド電気自動車、あるいは電動二輪車などへ適用するリチウムイオン電池開発を世界に先駆けて着手し、その一部はすでに市販車両に採用されている。

#### (4) 鉄道技術とリチウムイオン電池

リチウムイオン電池を利用すれば、制動時の回生電力を貯蔵でき、そのエネルギーを停車中や走行中に使うことができる。さらに気動車であれば、静粛性、排気の清浄化などの効果も期待できる。

電池への要求特性は、ハイブリッド電気自動車用に近いものであるが、鉄道車両は、自動車に比べて規模が大きく、駆動力源となる電池容量が大きくなるため、自動車用電池を用いるには、より多数の電池を効率的に稼働させるための監視制御技術が重要になる(図13参照)。すでに気動車用のハイブリッド駆動システムで、いち早くこの技術を実現している。

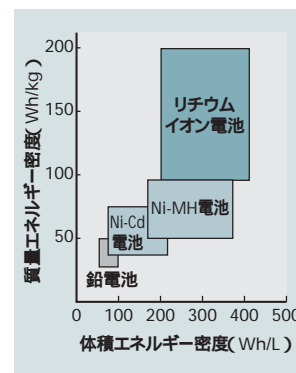


図12 二次電池の特性比較  
リチウムイオン電池はエネルギー密度比で最も高い特性を示す。

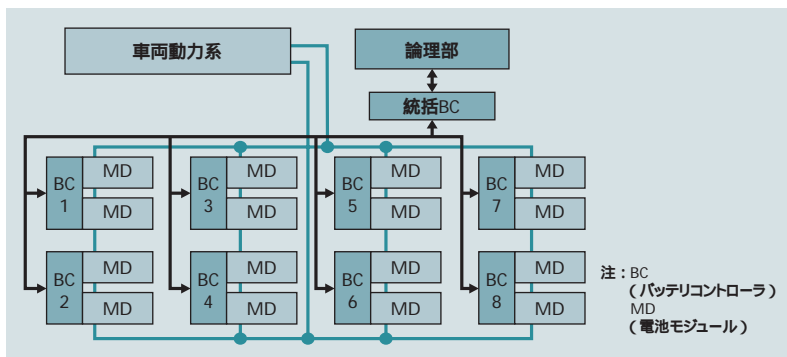


図13 鉄道用ハイブリッド駆動システムの構成  
モジュールや全体を監視するコントローラでバッテリーの最適制御を実現している。

(5) 電池技術の今後の展望

今後モリチウム二次電池の地位は揺るがないものと思われ、技術のいっそうの発展・深化と量的拡大による信頼性向上と低コスト化が期待される。また、それを越える新電池開発に向けた動きもあり、その展開にも期待したい。

センシング技術

鉄道より先車両の運動の自由度が高い自動車では、車両運動制御、予防安全(アクティブセーフティ)技術のために、さまざまなセンサーが使用されている。ここでは、ミリ波レーダとカメラを用いたセンシング技術について紹介する。

(1) ミリ波レーダセンサーとカメラを組み合わせた安全制御技術

近年、**ミリ波レーダ<sup>(b)</sup>**を応用した自動車用センサーが実用化されている。日立製作所も得意技術を生かしてミリ波レーダの開発に力を注いでいる。ミリ波レーダの主要な機能は、発射した電波が反射して戻ってくることによる障害物や先行車の存在の検出、反射波が戻ってくるまでの時間差による障害物や先行車との距離の計測、反射波の周波数変移(ドップラーシフト)による障害物や先行車との相対速度差の検出である。最近では電波を複数の方向に発射したり、発射する方向をスキャンしたりして障害物や先行車の方向を検出することも実現されている。また、カメラを用いた障害物や先行車を認識するセンサーも実用化している(図14参照)。

ミリ波レーダは、距離、速度計測の精度は高いが、方向計測の分解能が低いという特性がある。一方でカメラは、方向計測の

精度は高いが、距離、速度計測の精度が低いという特性がある。

これら両方の特性を相補的に組み合わせたセンサーフュージョン技術により、距離、速度、方向ともに高い精度で計測することが可能となる。こうして得られた障害物、先行車に関する情報は衝突回避技術に適用されており、鉄道システムにおいても同様に活用が考えられる。

(2) 速度センシング技術と応用

路面に対してミリ波センサーの電波を放射し、その反射波のドップラーシフトを計測すれば、自車の速度がタイヤの滑りに影響を受けずに計測できる。こうして得られた対地速度はABS( Anti-Lock Brake System )やVSC( Vehicle Stability Control )などの車両運動制御に活用されようとしている。

すなわちABSやVSCなどが動作する場面では、車輪と路面との間の滑りが増大し、車輪の回転を利用する速度検出では大きな誤差を伴うため、このような場面でこそ、ミリ波による対地速度計測は真価を発揮する。

(3) 鉄道システムへのセンサー技術の応用

今後これらのセンサーを鉄道システムへ適用することで、例えば、軌道内の障害物検知や侵入者の監視による安全性向上、空転滑走の影響を受けない速度や位置検知によって、最高速度の向上や精度の高い自動運転制御などが期待できる。その他、さまざまなセンシングと解析技術が進歩しており、保守の面での効率化なども期待されている。

シミュレーション技術

シミュレーション技術は、スーパーコンピュータなどの計算機能力の向上と解析技術の高度化により、製品貢献の領域を拡大しつつある。日立製作所の鉄道事業においても、シミュレーションを活用した設計上流段階での利用が進められている。

(1) シミュレーション技術を用いた解析技術

解析技術に関し、日立製作所は重電分野の開発において、耐衝撃性に関する研究を古くから実施してきた。その結果、強度や変形に関する多くの解析技術が蓄積されている。また、EMC( Electro-Magnetic Compatibility )や放熱特性、流体の解析評



図14 自動車用のミリ波センサー(a)と監視用カメラ(b)  
おのおのの特性を生かしたセンシング技術を融合し、安全制御に活用している。

(b) ミリ波レーダ

波長数ミリメートルの電波(ミリ波)を用いて対象物からの反射波を測定し、相対距離や速度などを検知する装置。現在、76 GHz帯のレーダが国内外で実用化されている。

価などでもシミュレーション技術を用いて製品設計に活用している。

## (2) 鉄道システムへの応用

### 衝突特性解析

英国をはじめとする欧州では、鉄道車両が万が一衝突した際の衝突安全性に関する規格が制定されているが、その中には実物車両による確認が困難なものも多く含まれている。そこで今回、これまで蓄積してきた衝撃変形解析技術を活用したスーパーコンピュータによるシミュレーションを通じて車両の安全性を検証し、実際の車両を用いて衝突試験を実施することなく、車両が各種規格を満足することを示した。図15は、先頭車両が正面衝突する条件を模擬した大規模衝突解析の結果である。

### 圧力変動解析

図16は、高速車両がトンネル内ですれ違い際のトンネルおよび車両表面に発生する圧力の変動シミュレーション結果のスナップショットである。この解析事例は、国内でトン

ネル突入時の微気圧波による騒音を抑える先頭形状の開発に活用してきた流体解析技術を展開したものである。

## (3) 今後のシミュレーション技術の応用展開

シミュレーション技術は、複雑な事象の解析と評価に非常に有効であり、さまざまな分野で進んでいる技術を鉄道システムにも適用し、設計開発のスピードアップを図ってきたい。

### 先進技術のグローバル展開

鉄道システムの発展に向けて、先端要素技術の開発力や、総合インテグレータとしての力を生かしていきたい。また、日本の先進システムのグローバル展開への期待も大きいと考えられ、応えていきたい。

このように日立製作所は、安全かつ環境に配慮した、グローバル規模で多くの人に選ばれる快適な鉄道システムを実現していく考えである。

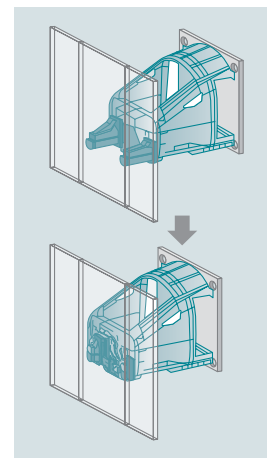


図15 衝突解析シミュレーション  
重電分野で蓄積した衝撃変形技術を応用し、精度よく規格への適合を実証した。

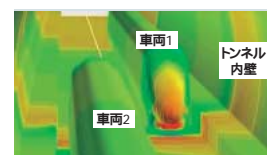


図16 トンネル内のすれ違い時の圧力波シミュレーション  
国内の微気圧波解析技術を応用し、英国規格への適合性を検証した。

### 参考文献

- 1) 和嶋, 外: 次世代鉄道システム構築のための新たなソリューション, 日立評論, 87, 9, 699 ~ 704 (2005.9)
- 2) 解良, 外: 鉄道システムの新しいトータルソリューション, 日立評論, 85, 8, 539 ~ 544 (2003.8)
- 3) 堀場: 中・大型リチウム二次電池の現状と将来, OHM, Vol.93, X (2006.2)
- 4) ボクセル法による製品全体熱流体解析技術, 日立評論, 88, 1, 145 (2006.1)
- 5) 吉田, 外: 自動車の安全走行支援システム, 日立評論, 86, 5, 371 ~ 374 (2004.5)

### 執筆者紹介



**横須賀 靖**  
1984年日立製作所入社, 電機グループ 交通システム事業部 輸送システム本部 所属  
現在, 鉄道信号システムの開発に従事  
電気学会会員, 電子情報通信学会会員



**堀場 達雄**  
1974年日立製作所入社, 日立ピークルエナジー株式会社 設計開発本部 所属  
現在, 大型リチウム電池の開発に従事  
工学博士  
日本化学会会員, 電気化学会会員



**和嶋 武典**  
1980年日立製作所入社, 電機グループ 交通システム事業部 車両システム本部 車両技術部 所属  
現在, 車両システムのエンジニアリング取りまとめに従事  
電気学会会員



**金川 信康**  
1987年日立製作所入社, 日立研究所 情報制御研究センター 情報制御第3研究部 所属  
現在, センシング技術や高信頼化技術の研究開発に従事  
工学博士  
IEEE会員, 電子情報通信学会会員, 電気学会会員



**岡崎 澄之**  
1981年日立製作所入社, 電機グループ 交通システム事業部 輸送システム本部 信号・変電システム部 所属  
現在, 鉄道情報制御システムのエンジニアリング取りまとめに従事



**鈴木 敦**  
1992年日立製作所入社, 機械研究所 第一部 所属  
現在, 鉄道車両向けパワーエレクトロニクス機器の実装冷却構造の開発に従事  
工学博士, 技術士(機械部門)  
日本機械学会会員, 日本伝熱学会会員