交通・特機分野における最新技術と取組み

田中　滋夫（たなか　しげお）

1　まえがき

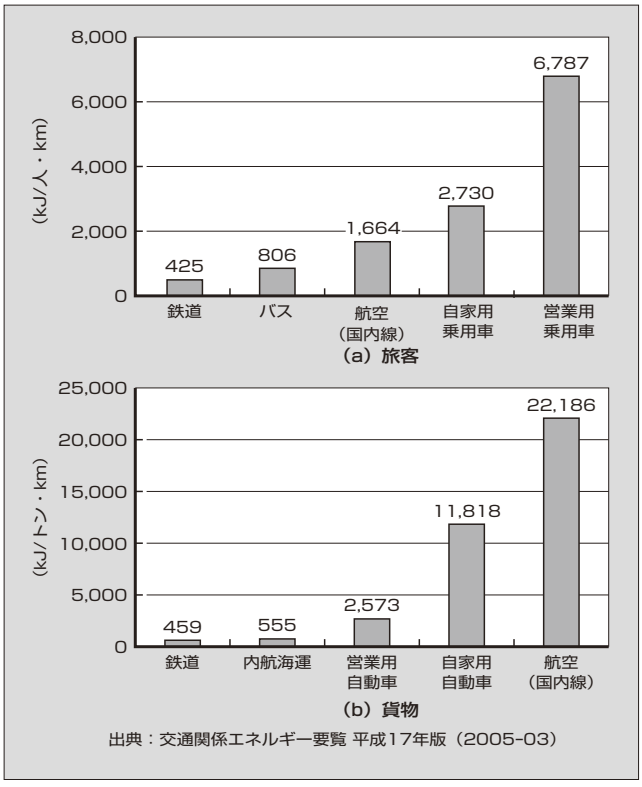
地球温暖化対策の国際的な枠組みとして 1997 年 12 月に採択された京都議定書は 2005 年 2 月に発効に至り，正式に国際法としての効力を持つようになった。

鉄道は**図 1** から分かるように圧倒的にエネルギー効率が高く，大量・高速・安全かつ経済的な輸送手段であり，高速化・快適性・利便性の向上を目指した各種政策の実行により都市圏の混雑率は**図 2** のように着実に低下してきている。これらに加えて少子高齢化社会への対応などニーズが多様化する中で，欧州風で快適な低床形 LRT（Light Rail Transit）の都市部への導入も交通政策の一環に加えられたり，あるいは貨物輸送の自動車からの利用転換，いわゆるモーダルシフトもバブル期のそれとは異なる時代背景のもとで改めて提唱される中で，鉄道は環境保護というゆるぎなく太い基軸の中で今後とも持続的に発展を続けていくであろう。

道路交通分野の要件は環境基準の達成である。今後の都市部における高速道路は環状道路の整備によりトンネルが多く，その延長は長くなるが，環境基準達成のためにトンネル換気塔からの排出空気による周辺の二酸化窒素などの濃度を軽減する局所対策技術が注目される。

本稿では，交通・特機分野における富士電機の最新技術と取組みについて概括する。

図 1　輸送機関別エネルギー消費原単位

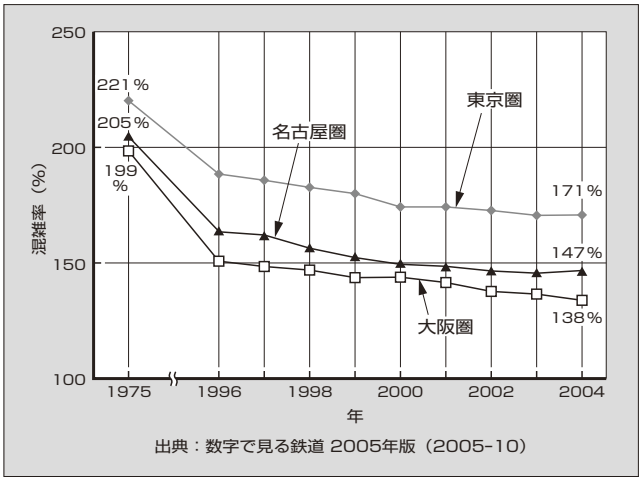


出典：交通関係エネルギー要覧 平成17年版（2005-03）

2　鉄道車両システム

鉄道車両システムは，**図 3** に示すようにその飽くなきニーズを実現するために，パワーエレクトロニクス技術とマイクロエレクトロニクス技術を中核とし，変圧器や電動機の小型軽量化技術，ならびにその最適設計を実現するための高度なシミュレーション技術が求められる。

図 2　最混雑区間におけるピーク時の混雑率



出典：数字で見る鉄道 2005年版（2005-10）

田中　滋夫

電気鉄道電力システムの技術企画業務に従事。現在，富士電機システムズ株式会社産業・交通システム本部交通・特機統括部長。電気学会会員。

2.1　新幹線車両システム

富士電機は，新幹線の初代営業車である東海道新幹線0系から，現在試作車両が連日試験走行している東海道・山陽新幹線直通用次世代車両であるN700系に至るまで，主回路電気品（主変圧器，主変換装置，主電動機）を納入してきた。

N700系の主回路システムは，パワーデバイスの主流であるIGBT（Insulated Gate Bipolar Transistor）を適用した3レベル制御PWM（Pulse Width Modulation）コンバータ・インバータ方式を核として高性能・高機能・低騒音化を図ることによって乗り心地・車内静粛性などを向上させるとともに，環境適合・省エネルギーを実現している。主変換装置には64ビットマルチCPU構成の制御装置を搭載し，多岐にわたる制御演算処理を高速・高精度で実行している。この制御では，加速性能を確保しながら乗り心地の向上を可能とする新開発の複数電動機駆動ベクトル制御と空転再粘着機能を搭載，また騒音・振動を抑制するためのキャリヤ周波数変調機能を付加した新PWM方式を採用している。

2.2　在来線車両システム

直流電車の駆動・補助電源システムはインバータ技術としての共通性が高く，双方とも架線電圧に最適な電圧のIGBTを適用した2レベルインバータ方式としている。補助電源システムは近年その重要性がますます高まっており，小型軽量・高信頼・高効率・省メンテナンスに加えて冗長性や静粛性が要求される。今後，さらなる省エネルギー・車内快適性を目指して，高周波スイッチングと低損失という二律背反をクリアする新しい回路方式による補助電源装置を提供していく計画である。

また，2005年に開催された日本国際博覧会（愛知万博）へのアクセス線として，日本で初めて営業運転された愛知高速交通株式会社東部丘陵線用リニアモータ車両には磁気浮上システムを納入し，万博中およびその後の安定輸送に貢献している。

2.3　リニアモータ駆動ドアシステム

永久磁石可動コイル型リニア同期モータを適用した安全性・高信頼性・保守性に優れたドア駆動システムを東日本旅客鉄道株式会社（JR東日本）に累積1万台以上納入し，またニューヨーク市交通局向けにも鋭意納入中である。閉動作時の戸挟み検知機能により乗客の安全性を高めるとともに，冗長式システムによりきわめて高い信頼性を実現している。

2.4　鉄道車両分野における先進技術

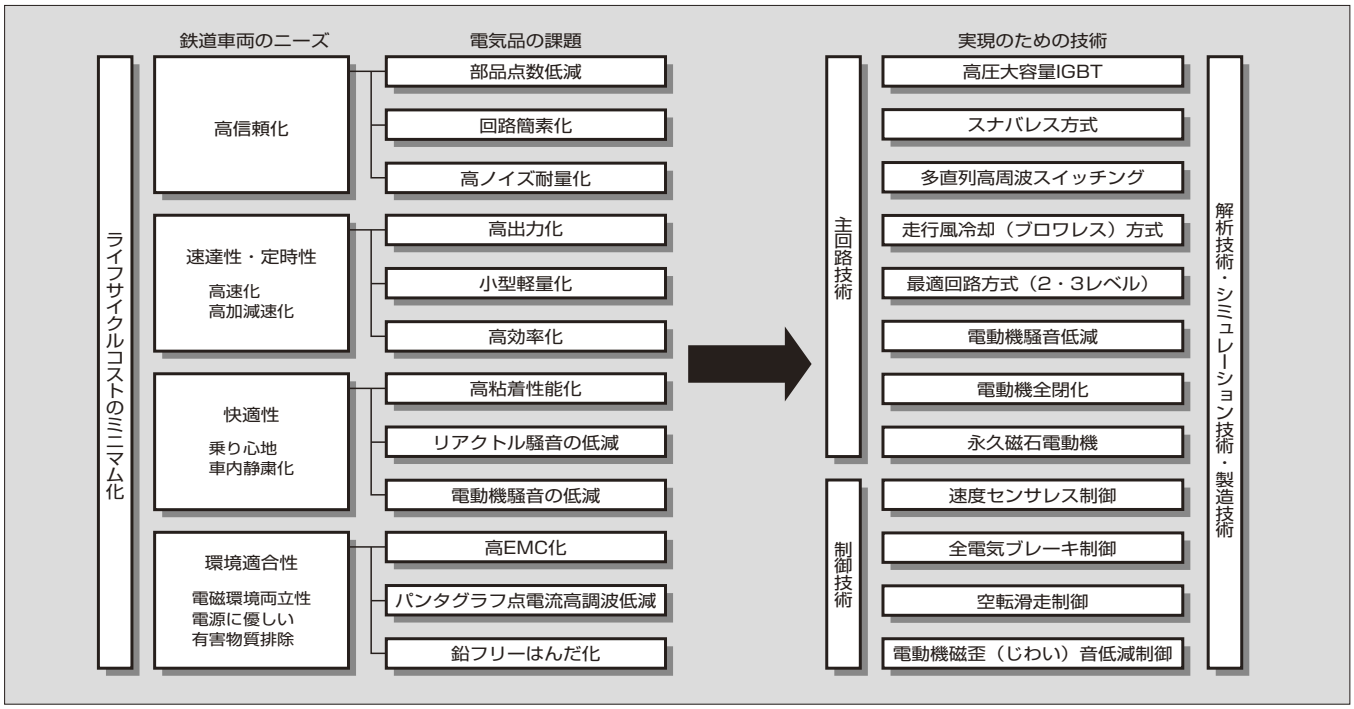
鉄道車両分野では，多くの技術開発に取り組んでいるが，以下にその代表例について紹介する。

(1)　速度センサレスベクトル制御技術

誘導電動機のベクトル制御が車両駆動に導入され，きめ細かいトルク制御を高速に行うことが可能となった。最近では，電動機の小型軽量・全閉化，速度センサ・ケーブル削除による省メンテナンス・コスト低減を可能とする速度センサレス化への取組みが進んでいる。

速度センサレスベクトル制御では，**図4**に示すように，インバータ出力電圧と電動機電流から速度推定を行っている。このため，インバータオフ時の速度推定ができない，インバータ出力電圧の小さい低速では精度よく速度を推定するのが難しい，複数台の誘導電動機を駆動する場合は

図3　鉄道車両のニーズと実現のための技術

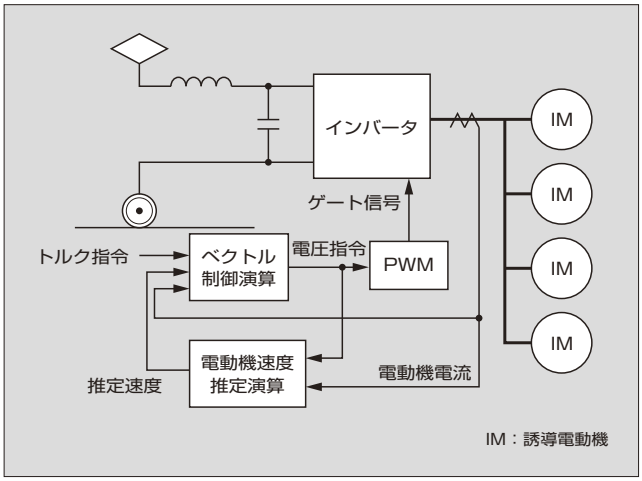


平均速度・平均加速度しか推定できないなどの制約があり，車両駆動分野への適用においては，これらの課題を克服する必要がある。富士電機では，高速に速度推定を行うことが可能な誘起電圧に基づく速度推定方式と，速度推定誤差の少ない電流・磁束オブザーバに基づく速度推定方式とのハイブリッド方式を採用し，両方式それぞれの長所を生かすことで，**表 1** に示すとおりその課題解決に取り組んでいる。

(2)　主電動機システム技術

現在主流の誘導電動機は冷却のために外気を取り入れるため内部に金属粉やじんあいが堆積（たいせき）し，かつファンや回転子バーの風切り音が大きい。分解周期の延長によるライフサイクルコストの低減と静粛性の向上を目指して密閉型誘導電動機を開発している。

図 4　速度センサレスベクトル制御系構成



さらに高効率・小型軽量化するために，近い将来，永久磁石同期電動機駆動システムが実用化されるであろう。永久磁石同期電動機は，誘導電動機より高効率・軽量化を図ることができるため，環境に最適合のシステムとして期待されるが，個別インバータ方式となることによるパワーデバイスの増加や，惰行時の誘起電圧対策などが必要となり，これらをクリアし，小型軽量化を目指した最適システムを研究している。

3　鉄道地上システム

鉄道電力分野で取り組んでいる代表的なシステムや新鋭製品について紹介する。

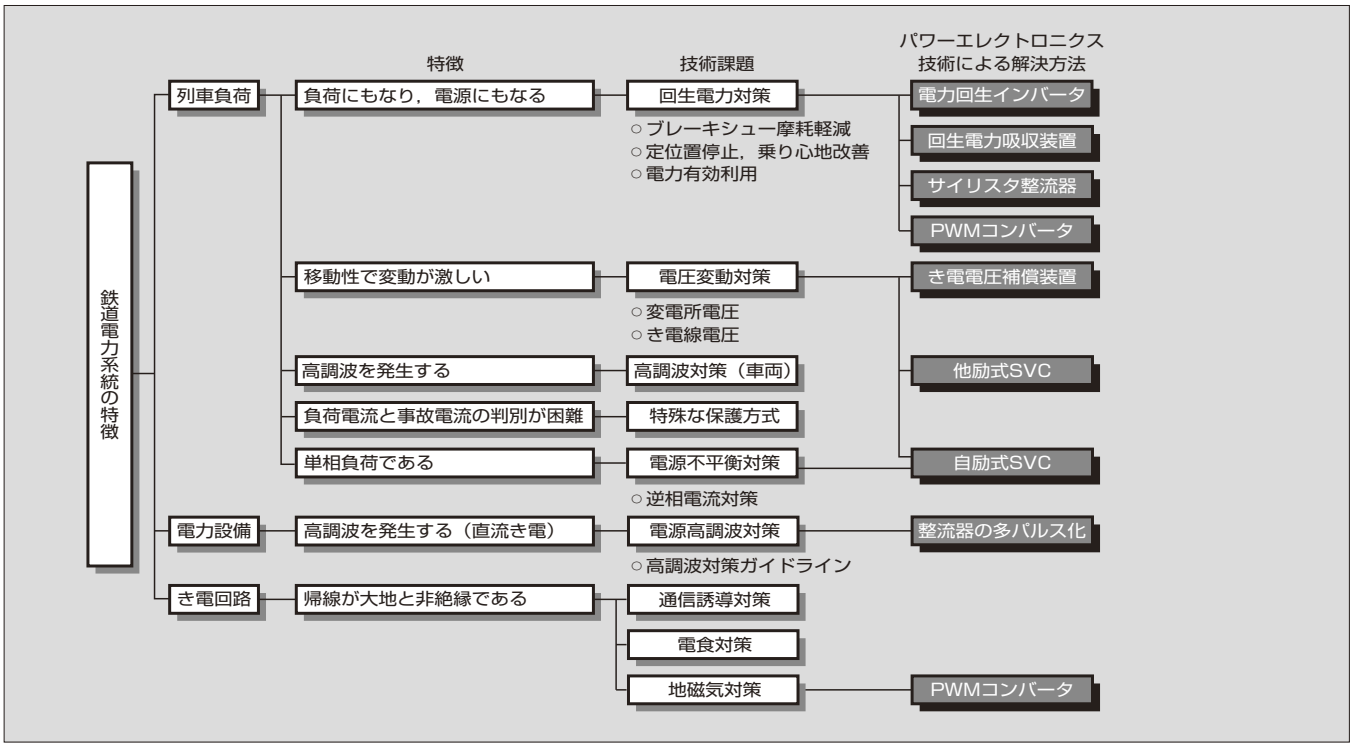
3.1　パワーエレクトロニクス技術応用システム

電気鉄道電力システムのニーズとしては，**図 5** に示すように移動性重負荷であることに起因する電圧変動や回生電力対策，あるいは交流き電システムにおいては単相負荷に起因する電源不平衡対策などがあげられる。また，2005 年の夏に開業した秋葉原－つくば間を最速 45 分で結ぶつ

表 1　速度センサレスベクトル制御方式の課題と解決方法

課　題	解決方法
惰行再起動時の速度推定	誘起電圧に基づく速度推定方式による励磁通流直後の高速・高確度速度推定
後退起動・全電気ブレーキ	電流・磁束オブザーバに基づく速度推定方式による極低速での高精度速度推定・高精度トルク制御
複数台駆動時の空転抑制・再粘着	オブザーバ電流・磁束，誘起電圧の変動に基づく高速・高感度加速度演算

図 5　鉄道電力系統の特徴とパワーエレクトロニクス技術応用システム



くばエクスプレスではレールから大地への漏れ電流が茨城県にある地磁気観測所のデータにじょう乱を与えないように，漏れ電流を局所化する目的できわめて高精度な直流電圧制御機能を有し，かつ力行・回生の可逆変換機能を持つPWMコンバータがわが国で初めて採用された。これらはすべてIGBTを適用した自励式パワーエレクトロニクス技術がベースとなっている。

3.2　直流変電設備

直流変電所の機器は小型軽量・省メンテナンス・省エネルギーに加え環境対応へのニーズがきわめて強い。代表的な新鋭製品としては，京都議定書に呼応して脱六フッ化硫黄（SF_6）化を実現したドライエア式スイッチギヤや脱フロン化を実現した純水沸騰冷却式半導体変換装置があげられ，また小型軽量・省保守の観点からは直流高速度真空遮断器があげられる。この遮断器は従来50 kA遮断形が主流であったが，規格最大容量でありながらさらに小型化を図った100 kA遮断形を開発し，2005年から納入している。

4　道路環境設備

富士電機は道路環境の改善を目指して約30年前に電気集じん装置の実用化研究に取り組み多くの実績をあげてきたが，従来の直流集じん方式では再飛散により大粒径粒子の集じん性能が低下することをつきとめ，再飛散防止に注目して研究を重ねてきた。この結果，2002年に独創的な交流集じん方式を考案し，2004年には世界で初めて再飛散を防止した交流電気集じん装置の製品化に成功した。この集じん装置はトンネルの換気塔から排出される自動車排出ガスを含むトンネル内空気から浮遊粒子状物質を除去するもので，集じん部に交流電界を印加することにより高い集じん効率とともに大粒径粒子の再飛散が防止できるものである。

さらなる道路環境改善を目指し，生態系への影響が懸念されている100 nm以下のナノ粒子を効率的に集じんできる方法などの研究開発を進めている。

5　新しい取組み

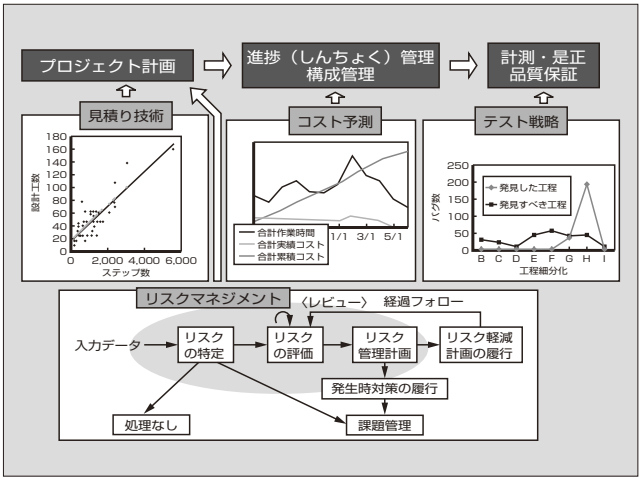
交通分野における新しいシステムや品質管理への取組みについて紹介する。

5.1　列車無線システム

鉄道の使命は安全・安定輸送であり，その中で列車の運行を管理する指令センターと列車乗務員との連絡業務は重要な役割を持つ。近年の列車の高速化・高密度化により，指令と列車の通信量は増加する傾向にあり，限られた既存通信インフラストラクチャー（インフラ）の中で，情報交換が迅速かつ正確に行われることが重要となる。一方，無線通信技術は携帯電話に代表されるように急速な技術進歩が見られるが，在来鉄道においては既存の線路に沿った通信エリアを実現する必要から，多数の駅無線装置を保有しており，近年の高度化されたデジタル通信への移行は新線以外では投資対効果面から難しい実情にある。

富士電機では，既存のアナログ音声による列車無線通信インフラを活用する中で，通信品質の改善と迅速化，運用の高機能化を実現した経済的な列車無線システムに取り組んでいる。

図6　プロセス管理ドキュメント例



5.2　組込形ソフトウェア品質の向上

パワーエレクトロニクス製品の組込形ソフトウェアの品質向上を目的として，米国が提唱するソフトウェア開発プロセスの成熟度モデルであるSW-CMM（Software Capability Maturity Model）をベースとしたプロジェクトプロセス技術を開発した。

この手法をニューヨーク市交通局の地下鉄車両用ドアコントローラ開発プロジェクトに適用し，**図6**に示す活動によりわずか1年で第三者である米公認エバリュエーターからCMMレベル2の認定を受けた。国内では第三者監査による認定取得例は少ない。

6　あとがき

交通・特機分野における最新技術と取組みについて紹介した。この分野は最先端のパワーエレクトロニクス技術とマイクロエレクトロニクス技術をベースとして小型・高性能・省エネルギー・省メンテナンス・快適性に加えて環境対応が今後ますます強く求められていくであろう。富士電機は市場ニーズを先取りして積極的に研究開発を推進し，これからも真にユーザー本意の製品を提供していく所存である。

参考文献

(1)　国土交通省総合政策局情報管理部．交通関係エネルギー要覧 平成17年版．国立印刷局．2005-03.

(2)　国土交通省鉄道局．数字で見る鉄道 2005年版．運輸政策研究機構．2005-10.

e-Front runners

＊本誌に記載されている会社名および製品名は，それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。