

電気鉄道技術の現状と21世紀への展望

衛藤 福雄(えとう ふくお)

① まえがき

電気鉄道では安全性はもとより、高速性、快適性、利便性が追求されてきた。これらに加え最近では経済性や省電力、省力、省メンテナンスなどの効率化や地球環境対応など幅広い期待が鉄道分野に寄せられており、鉄道関連部門で懸命な技術開発がなされている。

特にパワーエレクトロニクス、マイクロエレクトロニクス、情報処理制御技術や無線を含めた情報通信技術などの最近のめざましい進歩はこれらのニーズや期待の実現に大きく貢献してきた。

車両駆動装置では最新の半導体素子の一つである IGBT (絶縁ゲートバイポーラトランジスタ) を使用したインバータが新幹線や在来線の車両駆動用に採用され、大幅な小形軽量化を図るとともに高効率、低騒音ならびに乗り心地の向上を実現している。

また、磁気式乗車券・定期券に代わり非接触 IC (Integrated Circuit) カードが導入されようとしている。

富士電機では電力供給を主とした交通地上分野と、車両駆動用電気品を主とした車両電気システム分野でこれらのニーズにこたえるべく技術開発を行い製品を提供してきた。

本稿では交通地上分野と車両電気システム分野における富士電機の現状の取組みと21世紀へ向けての展開について紹介する。

② 交通地上設備

2.1 電力供給システム

電力の安定供給ならびに供給電力の高品質化、省電力のために富士電機は設備の小形化、省メンテナンス、低騒音、不燃化とともに地球環境を考慮した高性能で高効率な種々の電力供給システムと設備を提供している。

直流変電所の重要設備の整流器では 3,000 kW 級の整流システムを 3,000 A 級の大容量素子を採用して 1 並列で実現し、高効率の冷却システムの採用と相まって小形、高性能な整流器を提供している。フッ化炭素を冷媒とした沸騰

冷却方式を採用しているが、今後は地球環境により適した冷却媒体の適用が必要となる。

電気鉄道(電鉄)変電所の変電設備ではガス遮断器や縮小形ガス絶縁開閉装置(GIS, C-GIS)の多回線一括輸送が可能な装置を開発し、装置の小形化、省スペース化とともに装置の信頼性と経済性向上を図っている。

き電用遮断器は高頻度開閉とともに直流大電流の遮断を要求されるが、遮断時にアークを発生しない高寿命で省保守のアークレス遮断器が切望されている。富士電機ではアークレスを狙った転流式高速度真空遮断器を開発完了しており、信頼性向上とともに保守の大幅な簡略化を実現している。

電鉄変電所設備の制御・保護にはマイクロエレクトロニクス化が進み、汎用プログラマブルコントローラ(PLC)による制御システムや、デジタル化した高機能の保護システムを提供している。

2.2 電力回生・吸収装置、電圧補償装置

車両の減速・停止時の運動エネルギーを電気エネルギーに変換し、電力を有効に利用するための電力回生インバータや回生失効防止のための回生電力吸収装置にも最新のパワーエレクトロニクスを適用し、高性能な装置を提供している。

単相で変動の激しい不平衡の車両負荷に対する電源電圧安定化のために、光サイリスタやGTO(ゲートターンオフサイリスタ)と制御技術を駆使して高性能な自励式静止形無効電力補償装置(自励式SVC)を提供してきた。今後はGTOに比べて駆動回路が簡単かつ低損失で高制御性能が可能な高耐圧、大容量のIGBTを使用した小形、高効率で信頼性と経済性に優れた装置を提供していく予定である。

直流変電所の整流器や回生インバータから発生する比較的低次の高調波を効率よく補償するためにアクティブフィルタが設置されるケースも出てきており、富士電機ではIGBTを使用した小形、高性能なアクティブフィルタを提供している。



衛藤 福雄

産業ならびに交通分野の電力変換装置を主とするプラントエンジニアリング業務に従事。現在、システム事業本部交通・特機事業部長。

2.3 鉄道省電力・省力化機器

駅舎の省電力や省力化に対しても富士電機は積極的な技術開発ならびに製品開発を行っている。

駅舎の照明設備の省電力化を狙った IGBT 使用 PWM (Pulse Width Modulation) 式節電装置を開発完了しフィールドにて検証中であり、駅舎の省電力化に大いに貢献できると期待している。また、空調負荷などの省電力化にも電源のインバータ化が有効である。富士電機は産業分野での豊富な経験から最適な省電力システムを提供している。

点在する機器の集中管理や制御のために無線通信技術を採用した簡易で経済的なシステムを開発し、フィールドでの検証を完了済みで、駅務の省人化に大いに貢献できると考える。

券売機や自動改札機に、非接触 IC カードの実用化が目前にきているが、富士電機は汎用電子乗車券技術研究組合 (TRAMET) に参画し、東京都交通局地下鉄12号線で開始された IC カードの実証試験には IC カード用リーダー・ライタと残額表示機を納入している。

2.4 ホームドア

富士電機では車両用戸締め装置での実績をベースにリニアモータを採用した腰高式ホームドアを開発し製品化している。リニアモータ式ホームドアは制御性に優れ、摩擦部がなく保守がきわめて簡単な特長を有している。ATO (Automatic Train Operation) の採用とともにホームドアの設置が多くなってきており、信頼性向上と保守費の大幅低減に貢献できるものと考えられる。

③ 車両電気システム・設備

3.1 車両駆動用主変換装置

GTO や IGBT などの自己消弧形電力用半導体の出現により、近年、鉄道車両の駆動方式は高速化、小形軽量化、低騒音化、省メンテナンス化を狙った主変換装置による交流電動機駆動方式が主流となっている。特に近年は、GTO に比べて駆動回路が簡単で低損失で高速スイッチングが可能な IGBT の高耐圧、大容量化が進展し、GTO に代わって車両駆動用に使用されるようになってきた。

富士電機はいち早く車両駆動装置への IGBT 適用に着目し、IGBT の高耐圧化、大容量化を図るとともに IGBT を使用した小形軽量、高性能で主変圧器や主電動機からの電磁音の低減と高調波を抑制した車両駆動用主変換装置の製品化を進めてきた。

次世代新幹線の駆動装置用として高耐圧、大容量化に適した平形 IGBT に着目し、世界最大容量の 2.5 kV, 1.8 kA 平形 IGBT と本素子を使用した 3 レベル主回路システムを開発し、700 系新幹線の主変換装置に適用し大幅な小形軽量化を図るとともに、低騒音化、高効率化、省メンテナンスなどを実現している。素子の冷却は冷媒にフッ化炭素を使用した個別フィン形沸騰冷却方式を採用しているが、地

球環境を考へて、水冷式ユニットの製品化を推進中である。

比較的小容量の在来線や地下鉄向けインバータ装置には適用素子の経済性を含めた最適化の観点から、モジュール形 IGBT を採用している。

富士電機では 1.8 kV, 800 A などの大容量モジュール形 IGBT を開発し、3 レベルならびに 2 レベル主回路システムに適用し、小形軽量化、高性能で経済的なインバータ装置を製品化している。

主回路システムとしては低騒音と高調波の低減を狙った 3 レベル回路が 700 系新幹線や在来線に適用されているが、今後は適用素子の高耐圧化の進展に伴い 2 レベルシステムが採用され、さらなる小形軽量化と経済性が追求されていくものと考えられる。富士電機では在来線向けに 3.3 kV のモジュール形 IGBT を使用した 2 レベル主変換装置の開発を完了し、製品化レベルへ展開中であるが、今後は平形 IGBT の高耐圧化、大容量化を図り、さらなる小形軽量化と経済性を追求した装置を開発予定である。

主回路システムの制御には富士電機の「ベクトル・すべり周波数制御」と再空転抑制制御を搭載した高性能な制御装置を製品化し在来線に採用しているが、32ビットマイクロコンピュータを採用し、さらに深度化した一次磁束基準磁束制御形ベクトル制御方式を実用化し高性能化を実現するとともに、豊富な自己診断機能、故障モニタ機能や自動試験機能を搭載し、迅速な故障解析や点検の軽減を可能としている。

3.2 補助電源装置

補助電源装置においても小形軽量化、低騒音化、省メンテナンス化や低価格へのニーズから、IGBT を使用した静止形補助電源装置が主流となっており、富士電機は種々の特長ある補助電源装置を製品化している。

直流電車用補助電源装置としては、高耐圧、大容量の IGBT を使用した 2 レベル 2 段直列方式と 2 レベル 1 段方式の補助電源装置を製品化している。大容量用は 2 段直列方式を採用し、中・小容量用には 1 段方式を採用し、要求容量に最適な補助電源装置を提供している。

交流電車用にはセクション通過時にも対応可能なようにバッテリーバックアップ式の小形軽量の静止形補助電源装置を製品化している。

3.3 シミュレーション技術

ますます高度化する小形軽量、低価格化や高性能化の実現にシミュレーション技術が重要な役割を担っている。

富士電機では走行性能、温度推定と冷却性能、構造応力解析、車両制御性能、高調波や電磁ノイズ解析などに種々のシミュレーション技術を開発しており、装置の開発や製品化に有効に活用している。

3.4 直接駆動 (DDM) システム

電動機と車軸とを接続するギヤをなくし、低騒音化と省保守化を目的として DDM (Direct Drive Motor) システ

ムが開発されている。

富士電機は東日本旅客鉄道(株)と(財)鉄道総合技術研究所の直接駆動システムの開発に参画し、インナロータ式永久磁石同期電動機を製作し、現車試験で高効率、低騒音などの性能を確認してきた。また、東日本旅客鉄道(株)と引き続き共同開発を実施し、電動機の軽量化や低価格化などの深度化を図った。

3.5 リニアモータ駆動車両用閉め装置

高制御性能、高信頼性、省保守な車両用閉め装置としてリニアモータを適用した車両用閉めシステムを製品化している。TIMS(列車情報管理システム)からの制御伝送による遠隔制御、状態監視やパラメータ書換えなどを可

能としている。

④ あとがき

以上、交通地上設備と車両電気システム・設備について富士電機の主な現状の取組みと21世紀に向けた今後の展望について述べたが、高信頼性、高速性、快適性、利便性とともに低価格、省電力、省人省保守、地球環境に対応したニーズがますます高まってくるものと考える。

富士電機はこれらのニーズを見据えて交通地上設備と車両電気システム・設備の技術開発を進め、21世紀の電気鉄道の発展に貢献していく所存である。

技術論文社外公表一覧

標 題	所 属	氏 名	発 表 機 関	
UPS の高調波対策	東京システム製作所	木田 和幸	生産と電気, 50, 11 (1998)	日本電気協会
平型 IGBT とその応用	富士電機総合研究所 松 本 工 場	高坂 憲司 高橋 良和	OHM, 85, 11 (1998)	オーム社
YAG レーザの切断への適用例	富士電機総合研究所 " "	葛西 彪 沼田 忍 藤井 政義	レーザー熱加工研究会誌, 5, 3 (1998)	レーザー熱加工研究会
FE-SEM によるパワー半導体デバイスの欠陥形態観察	松 本 工 場 富士電機総合研究所	横山 拓也 立町 寛児	日本金属学会誌, 37, 12 (1998)	日本金属学会
同期発電機用単独運転検出機能と等価変換手法 ---- 無効電力変動方式と無効電力補償方式 ----	富士電機総合研究所 " "	中沢 親志 深井 裕幸 千原 勲	電気学会電力・エネルギー部門誌, 119-B, 1 (1999)	電気学会
冷蔵ショーケース・トータル制御システム	富士電機総合研究所	中山 伸一	日本冷凍空調学会・学会誌, 74, 855 (1999)	日本冷凍空調学会
3次元系統情報視覚化システムの開発	富士電機総合研究所 "	松井 哲郎 植木 芳照	平成10年電気学会電力・エネルギー部門全国大会 (1998-8)	
ガス流解析による進み小電流遮断性能の評価	富士電機総合研究所 変電システム製作所 " 富士電機総合研究所 "	杉山 修一 佐藤 賢 堤 睦生 恩地 俊行 岩井 弘美		
高速ターンオン時のキャリアの挙動	松 本 工 場 "	桐畑 文明 田上 三郎	平成10年電気学会産業応用部門全国大会 (1998-8)	
誘導電動機の V/f 制御における速度変動補償法	富士電機総合研究所 " 鈴 鹿 工 場	田島 宏一 石井 新一 米澤 裕之		
電力用半導体素子の熱挙動	富士テクノサーバイ	橋本 理	平成10年度電気関係学会東海支部連合大会 (1998-9)	
高耐圧 SOI-pMOS の耐圧と電流駆動能力のトレードオフ特性改善	松 本 工 場 "	澄田 仁志 平林 温夫	電子情報通信学会秋季大会 (1998-9)	



*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。