

電気鉄道地上システム

田中 滋夫（たなか しげお）

① まえがき

電気鉄道は、最もエネルギー効率がよく、新たな地球温暖化防止というグローバルな視点からの省エネルギー志向にもマッチした大量・高速・安全かつ経済的な輸送手段として今後とも大いに発展を続けるであろう。

電気鉄道（電鉄）地上システムにおいては、電力の安定供給、高品質化、省エネルギーあるいは省力化などの課題がパワーエレクトロニクスやマイクロエレクトロニクス技術の急速な進展をベースにした技術革新により解決され、富士電機は顧客ニーズに合致した電鉄地上システムならびに機器を提供してきた。

本稿では、電鉄地上システムにおける富士電機の取り組みと次世紀に向けて提供していくシステムについて紹介する。

② 21世紀に向けた電気鉄道の課題

次世紀に向けた鉄道のあるべき姿とそれを実現するための技術開発課題は、表1に示す運輸省運輸技術審議会答申「21世紀に向けての鉄道技術開発のあり方について（SUCCESS21）」に網羅的にまとめられているが、これを電鉄地上システムの観点から総括すると、下記のとおりである。

- (1) 高速化や輸送力増強のための安定した電力供給
- (2) ライフサイクルコストの低減
- (3) 環境調和・省エネルギー
- (4) 利便性の向上

これらの要件に対する富士電機としての取り組みを以下に述べる。

③ 電鉄電力システム

電鉄電力システムは、高速化や輸送力増強のための安定した電力供給を最大の目的としているが、その特殊性から、供給能力だけでなく、電源側に対しても種々の考慮をしなければならない。

3.1 電鉄電力システムの技術課題と対応

(1) 電鉄電力システムの特殊性

図1に日本国内における各種電化方式を示す。電鉄電力システムは以下のような種々の特殊性がある。

- (a) 列車は変動が激しい移動性の大容量負荷である。また、力行時は負荷になり、回生制動時には電源となる。交流電気鉄道では単相負荷であるため、変電所には図2に示すようにスコット結線変圧器などのいわゆる「三相二相変換」変圧器が採用され、電源側では三相が平衡するようになっているが、前述の負荷特性と相まって瞬時瞬時には不平衡となる。

これらの負荷特性はき電系統や受電電力系統へさまざまな影響を与え、また保護リレーは特殊な特性が必要となる。

- (b) 車両や変電所の変換装置から高調波を発生する。
- (c) 帰線電流はレールを流れるが、大地から非絶縁であるため漏れ電流により通信誘導障害や電食を引き起こす。
- (d) 負荷電流と事故電流が判別しにくく、特殊な保護方式が必要となる。

(2) 電鉄電力システムの技術課題と対応

上記の電鉄電力システム上の特殊性は種々の技術課題を生み、長い歴史のなかで着実に解決されてきたが、その具体的展開を図3、図4に示す。

特徴としては、これらの課題は主としてパワーエレクトロニクス技術で解決されてきたという点である。

富士電機は、最新のパワーエレクトロニクス技術を駆使した種々の製品を提供してきたが、これまで納入してきた種々の他励式変換システムあるいは自励式変換システムの実績やフィールドでの効果については別稿（電気鉄道用地上設備におけるパワーエレクトロニクス応用システム）で紹介する。

3.2 電鉄変電設備の技術課題と対応

電力供給のかなめとなる電鉄変電設備を構成する機器は、鉄道特有の機器と他分野（電力、公共、一般産業など）と



田中 滋夫

電気鉄道地上システムの技術企画業務に従事。現在、システム事業本部交通・特機事業部交通技術第一部長。

表1 運輸技術審議会答申「21世紀に向けての鉄道技術開発のあり方について」(抜粋)

技術開発目標大区分	技術開発目標	技術開発課題
交通ネットワークの充実・強化	計画技術の高度化	予測の高精度化・簡易化
		経済効果把握手法の確立
		ネットワーク構成の最適化
		路線・施設配置計画手法の確立
	設計・施工技術の高度化	設計・施工法の高度化
		設計・施工の効率化・省力化
		未利用空間の活用
	新しい輸送システムの開発	磁気浮上鉄道の開発
		小・中量新輸送システムの開発
鉄道のサービス水準の向上	幹線鉄道の高速化	新幹線の最高速度の向上
		在来線の最高速度の向上
		表定速度の向上
	都市鉄道の混雑緩和・到達時分の短縮	輸送力向上
		表定速度の向上
	移動の円滑化・連続性の確保	交通の連続性の確保
		移動制約者対策
	快適性の向上	乗り心地の向上
		居住性の向上
		駅・車内の利便性の向上
	貨物鉄道の高度化	高速化・輸送力増強
		複合一貫輸送の推進
		システムの近代化
	コスト低減	建設・製造コストの低減
		保守・運営コストの低減
社会環境の変化への対応	快適環境の形成	沿線環境の快適化
		省エネルギー化
		廃棄物対策など
	効率的な保守運営方式へのシステムチェンジ	保守業務の効率化・省力化
		輸送業務の効率化・省力化
輸送の安全性および安定性の向上	安全性および安定性の向上	作業環境の改善
		安全性の向上
		信頼性の向上
		防災技術の向上

共通する機器があるが、き電用変圧器や変成器および列車に電力供給するき電設備には電鉄専用の機器が必要となる。また、新幹線などの大容量設備を除き、各機器は小形・軽量・低騒音・不燃化とともに、保守省力化のため、冷却ファンなどの補機のないことが必須(ひっす)条件である。

(1) 受電用機器・変圧器

電鉄用変電設備の受電電圧は、超高圧(新幹線)から特別高圧まで幅広い。富士電機は、小形、省保守などの顧客ニーズを満足させたこれら全クラスの開閉装置をフルラインアップ化し、ガス遮断器、縮小形ガス絶縁開閉装置(GIS, C-GIS)、真空遮断器などによりユーザーの期待にこたえている。例えば最近では、業界初の回線一体輸送ができる超高圧用GISや多回線一括輸送ができる特別高圧

図1 各種電化方式

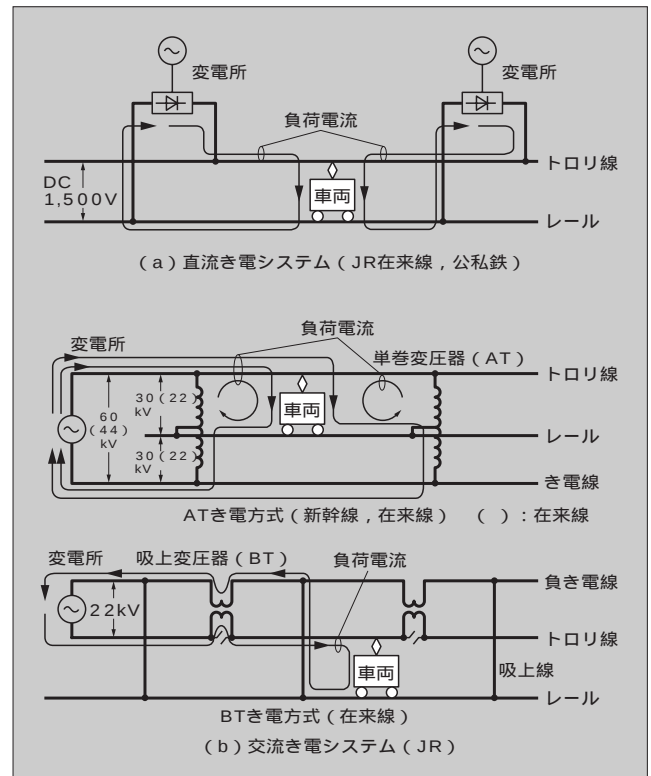
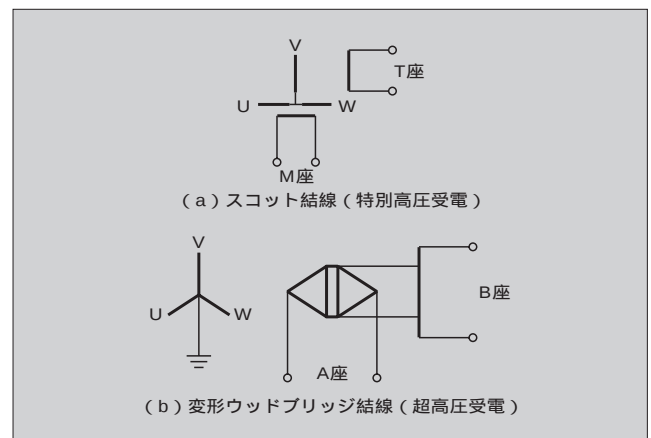


図2 三相二相変換変圧器の結線(例)



用GISおよびC-GISなどの縮小形機器を提供し、省保守・省スペース化とともに、現地組立作業のミニマム化による信頼性向上や経済性向上に貢献している。

都市圏では、低騒音化や地下変電所をはじめとした不燃化のニーズがきわめて強い。低騒音化は、鉄心のステップラップ接合方式や制振鋼板を採用した経済的な低騒音化変圧器、不燃化については完全自冷式ガス絶縁変圧器やモールド変圧器を提供している。

(2) 変成器

直流変電所の変成器は一般にシリコン整流器が使用される。ダイオード素子は逐次大容量化を推進してきており、現在では3,000kW(DC1,500V)整流器を3,000A級素子1並列で実現している。一方、単位素子あたりの発生熱量の増加に対応するため、冷却効率が高くかつ補機がないフッ

図3 電鉄電力システムの特徴と地上側におけるパワーエレクトロニクス技術での対策内容

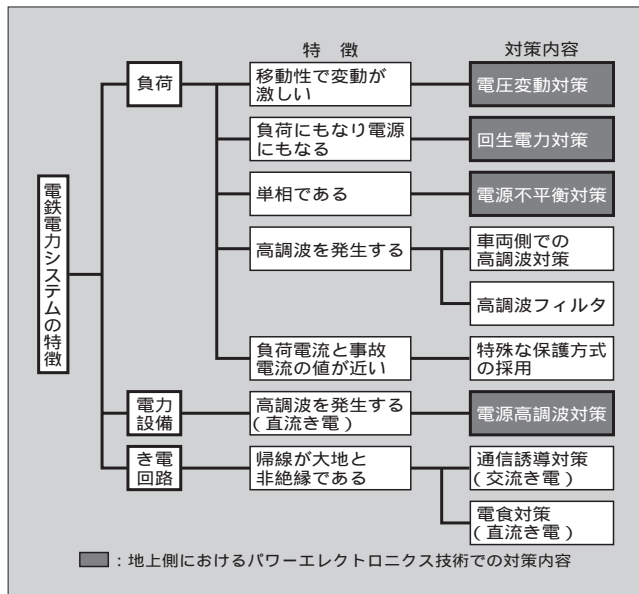
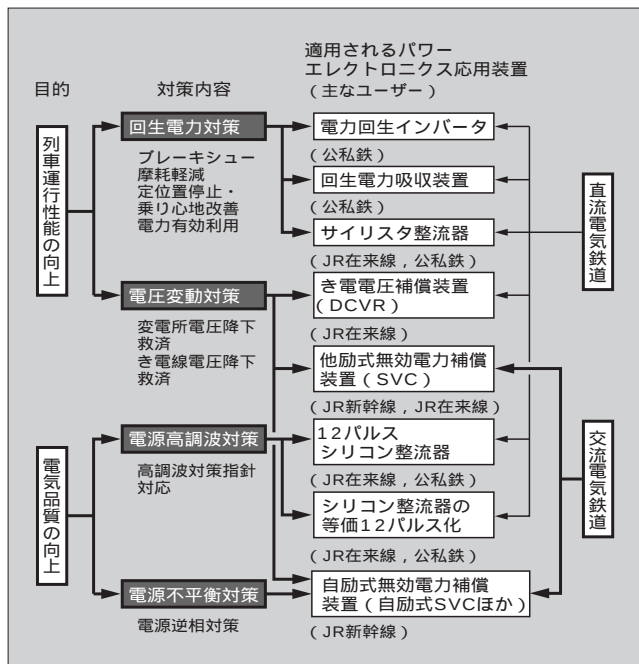


図4 電鉄地上設備におけるパワーエレクトロニクス応用装置



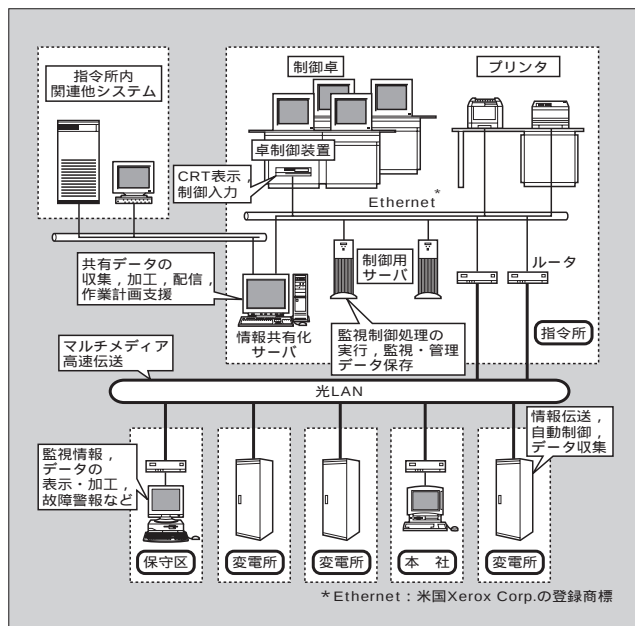
化炭素を使用した沸騰冷却方式を採用している。

(3) き電用遮断器

交流電気鉄道におけるき電用遮断器は、高速再閉路仕様の2極ガス遮断器〔AT（Auto-Transformer）き電方式〕あるいは単極真空遮断器〔BT（Booster Transformer）き電方式〕である。

直流電気鉄道のき電用遮断器は、直流高圧大電流を遮断する責務を担うが、現在でも依然として従来からの直流高速度気中遮断器が主流である。富士電機では、十数年前から半導体遮断器の開発や、高速度気中遮断器の電気保持式から機械保持式への変更による小形化などを行ってきたが、保守点検周期を大幅に改善したアークレス遮断器を新たに

図5 最近の電力管理システムの構成



開発した。詳細は別稿で紹介するが、次世紀に向けた時代の要請にマッチした最適な遮断器として提案したい。

(4) 制御・保護システム

電鉄変電所においてはいち早く制御・保護システムのマイクロエレクトロニクス化が図られ、汎用プログラマブルコントローラの採用による分散形システムや集中形システムなど、顧客のニーズにマッチしたシステムを提供している。

保護リレーでは、交流き電用距離リレーに見られるように、高調波含有率による保護領域の自動可変方式など、従来の電磁式リレーでは実現が困難であった高度な機能をデジタル化により実現している。

④ 電力情報処理システム

電力情報処理システムでは、ダウンサイジング、オープンシステム化および汎用化を追求したシステムを提供している。

図5に、分散制御形電力管理システムの例を示し、富士電機の実態を述べる。

(1) 指令所システム

OS（Operating System）、ウィンドウなど、汎用技術を活用した小形ワークステーションを使用し、全装置を指令室に設置している。機器室が不要なため省スペース化でき、分散化による高機能・高性能化が図れる方式である。

制御用サーバは二重化構成としているが、万が一2台とも停止した場合にも卓制御装置に子局に対するバックアップ制御機能をもたせるなど、信頼性を強化している。

各種制御システムとリンクして情報を収集・編集・加工し、保守区・本社端末に配信する情報共有化サーバを設けている。他システムとの情報連携も本サーバが行うため、制御系に影響を与えずに機能拡充できるほか、端末のアプリ

リケーションソフトウェアを不要にし、制御卓と同様な監視画面の表示や汎用ソフトウェアを使用したデータ加工が容易に行える。

(2) 光 LAN

パーソナルコンピュータ端末などとの連携容易化のため、監視制御情報伝送のほか、マルチメディア伝送にも対応できる汎用高速 LAN を適用している。

(3) 子局システム

伝送処理機能と分散制御機能を持たせることにより、定時停送電などの一斉制御の高機能化が図れ、さらに LAN を経由した隣接子局間の連絡ができるため、連携制御の分散化も可能な方式である。

⑤ 駅の省エネルギー・省力化システム

省エネルギー、省力化および利便性の向上には、駅が大きな効果を上げうると考えられる。省力化は機械化・自動化による合理化だけでなく、利便性の向上、安全性の確保もめざしたシステムが追求されていくであろう。

5.1 汎用 APR 式節電装置

動力設備においては汎用インバータによる省電力化が図られてきているが、本装置は照明設備にターゲットを絞って富士電機がいち早く市場に投入したパワーエレクトロニクス技術を応用した汎用省電力装置で、IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) を使用した PWM (Pulse Width Modulation) 式 APR (自動電力調整装置) である。10 kVA から 72 kVA までシリーズ化しており、駅舎やホームにおける照明の節電に最適である。

本装置の特長は以下のとおりである。

- (1) 入力電圧が変化しても出力電圧は設定値に保たれるため、余剰電力を安定して節減できる。
- (2) 高効率で瞬断がない。
- (3) 小形軽量かつファンレスで安価である。

5.2 無線応用システム

利便性や快適性向上のためのエスカレータ、空調設備などの増強により、これらの起動・停止、状態監視など、駅設備の管理業務が増加する。

点在する機器の駅務室での集中管理のためには構内通信インフラストラクチャの整備が必要となるが、無線通信は配線が不要で被監視設備の増設・移設に対して柔軟に対応

できるため、今後適用が期待される。駅構内に無線通信を導入する場合、他の無線通信設備に与える影響、車両・乗降客などの移動によるシャドーイング、建物構造による伝搬の減衰などを考慮した妥当性の検証が重要であるが、富士電機ではすでにフィールドで十分なデータを得ている。

5.3 非接触 IC カードシステム

磁気式乗車券・定期券に代わり、非接触 IC (Integrated Circuit) カードが実用化に向けて開発されてきているが、これにより利便性向上と鉄道事業者の業務軽減が実現できる。また、カードに電子財布機能を付加することで、精算時の煩わしさの解消による利便性の向上や自動販売機、構内コンビニエンスストアなどでの使用による事業の拡大が期待される。

実用化に向けて、1998年6月から東京都交通局地下鉄12号線において一般モニタによる IC カード定期券の実証試験が開始された。富士電機は IC カード用リーダ・ライタ、残額表示機を納入しており、これらは順調に稼働している。さらに、1999年初頭から自動販売機での物品購入実験を開始している。

⑥ あとがき

富士電機は次世紀に向けた鉄道システムのあるべき姿に向けて、半導体素子や冷却技術を含めたパワーエレクトロニクス技術のさらなる向上を図り、高調波の低減、力率や効率の向上、小形軽量化など、さらには利便性の向上や省エネルギー化などについて追求し、時代にマッチした魅力あるシステムや機器を提供していきたい。

また、省エネルギー化や省人化など、常に地球環境と人への優しさを意識して進めていく所存である。

今後ともユーザー各位の忌憚のないご意見、ご指導をお願いしたい。

参考文献

- (1) 津田信吾ほか：最近の電気鉄道用変電所向け制御・保護システム，富士時報，Vol.68，No.2，p.126-130 (1995)
- (2) 津田信吾・井上亮二：電気鉄道設備における高調波の発生とその抑制対策，富士時報，Vol.69，No.12，p.620-625 (1996)
- (3) 変電技術特集，富士時報，Vol.71，No.9 (1998)



＊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。