

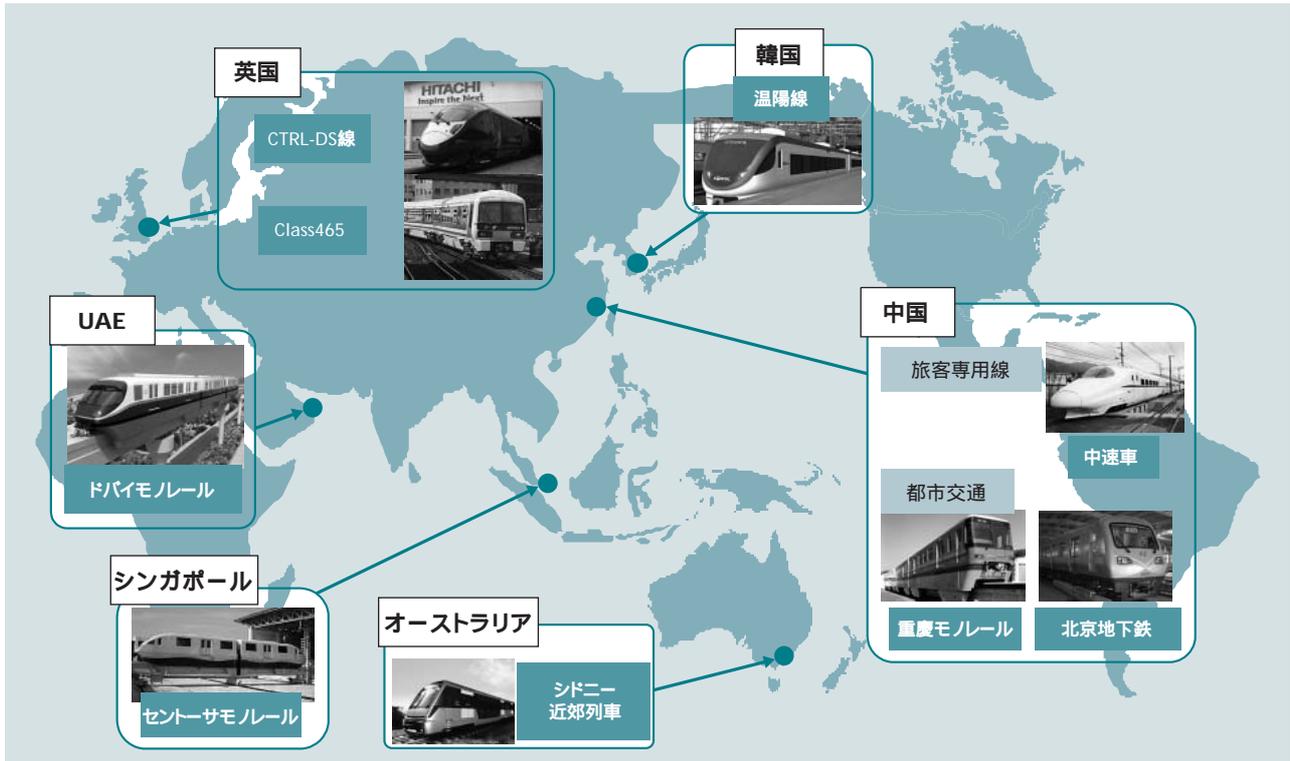
鉄道分野で活躍するパワーエレクトロニクス製品 グローバル鉄道市場に対応した環境技術

Power Electronics Products for Railway Application

河野 恭彦 Yasuhiko Kono

嶋田 基巳 Motomi Shimada

大河原 洋 Hiroshi Okawara



注:略語説明 CTRL-DS(Channel Tunnel Rail Link Domestic Service), UAE(United Arab Emirates:アラブ首長国連邦)

図1 グローバル展開が進む日立グループの鉄道用パワーエレクトロニクス機器

日立グループは、日本国内で培った高速車両やハイブリッド鉄道の技術を活用した鉄道用パワーエレクトロニクス機器を、英国、中国をはじめとする世界各国に供給している。これらグローバル鉄道市場に対応するために、(1)駆動用電気品のみを供給する英国「Class465」やオーストラリアの近郊列車など、(2)駆動用電気品と車両を一括で供給する英国CTRL-DS線など、および(3)フルターンキーシステムによるシステムを一括供給するセントーサモノレール、ドバイモノレールなど、多様な供給方式で幅広い顧客のニーズに応えている。

近年の世界的な環境意識の高まりに伴い、環境負荷の少ない交通機関として鉄道が再び注目されており、グローバルな鉄道市場が拡大している。これに対応するため、鉄道用パワーエレクトロニクス機器には、省エネルギー化、高信頼化、およびグローバル化が求められている。

日立グループは、これらの多様なニーズに応えるために、国内の市場で培った機器の小型・軽量化技術や、低損失・高効率化技術をベースにして、各種国際規格と各国のさまざまな環境に適合した鉄道用パワーエレクトロニクス製品を世界各地に供給している。

1.はじめに

近年、地球温暖化を防止するために、世界規模でCO₂排出抑制のさまざまな取り組みがなされている。運輸部門ではCO₂排出量の約90%を占めるガソリンエンジンの排出抑制が急務であり、このためにCO₂排出量の少ない鉄道が注目されている。鉄道は他の交通機関に比べ、乗客一人を輸送するための燃料消費量は、自動車の約 $\frac{1}{10}$ 、バスと比べても約 $\frac{2}{5}$ と大幅に少ない。

このように効率の高い鉄道であるが、近年はさらなる省エネルギー化のために、機器の小型・軽量化と低損失パワー半導体デバイスの開発などによる消費電力低減、蓄電池などを活用した電力回生システムなどの検討が盛んになっている。

省エネルギー化への機運は全世界で高まっており、これらのニーズに応えるために、鉄道用パワーエレクトロニクス機器

はさまざまな国際規格や各国の規格への適合と、日本とは異なる過酷な走行環境への対応が求められる。

日立グループは、省エネルギー化、高信頼化、そしてグローバル化をキーワードにさまざまな鉄道用パワーエレクトロニクス機器を製品化している(図1参照)。

ここでは、日立グループが開発した省エネルギー技術と、グローバル鉄道市場への対応について述べる。

2. 国内通勤・近郊車両, 地下鉄車両向けインバータ

日本国内の通勤・近郊車両および地下鉄車両向けインバータ装置では、装置の小型・軽量化, 低ノイズ化, 高信頼化に対するニーズが高い。

これに対応して、日立製作所は、主回路構成がシンプルな2レベルスナバレスインバータを2000年にいち早く実用化し、適用製品の拡大を進めてきた¹⁾。

さらに今回は、環境適合設計によるいっそうの小型・軽量・高性能化を図った次世代駆動用インバータシステムを開発した(図2参照)。

2.1 パワーユニット部

高電圧・大電流を制御するパワーユニット部には、新開発の低損失ソフトスイッチングIGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)と、IGBTの動作状態をリアルタイムに監視しながら最適なスイッチング制御をするアクティブゲートドライバを組み合わせることにより、ノイズを従来同等以下にし、かつ低損失化を図り、冷却器の小型化を実現している。また、ゲートドライバなどの電子部品の高寿命化のため、温度環境を考慮した最適実装設計を適用して信頼性を向上した。

2.2 制御論理部

制御論理部は高速マイコン採用で高性能化し、モータの制御性能向上による乗り心地改善や、インバータ制御に起因するノイズの抑制を図った。また、制御基板の低駆動電圧化によって発熱を低減し、従来と同等の信頼性を確保しながら冷

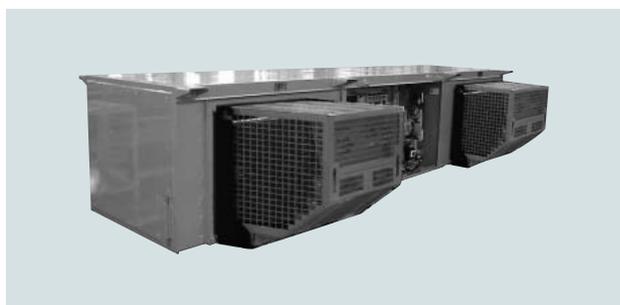


図2 次世代駆動用インバータ装置

新型IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)とアクティブゲート制御, 高効率新冷却器, 制御論理部などの新技術により, 大幅な小型・軽量化と環境適合性を両立した。

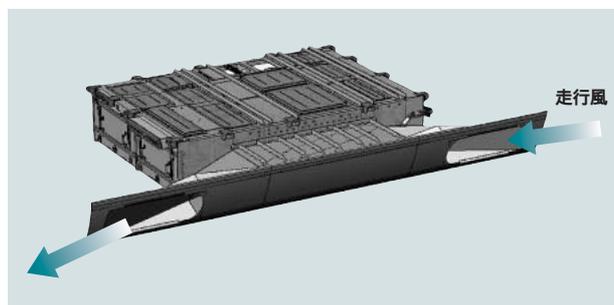


図3 東日本旅客鉄道株式会社「FASTEC360(新幹線車両)用の走行風利用水冷却システム搭載インバータ装置

クランプダイオードレス3レベル主回路と, 走行風を利用した水冷却システムにより, 低騒音で, 高出力, 小型・軽量化を実現した。

却ファンなどの可動部品を削除している。さらに、PCB(Printed Circuit Board)基板の鉛フリー化により、環境への適合性も向上させた。

このほか、インバータ搭載部品の徹底した点数削減により、いっそうの信頼性向上を図っている。

3. 新幹線・高速車両向け主変換装置

新幹線などの高速車両では、高効率, 小型・軽量化に加え、騒音低減などの環境への配慮が強く求められている。

これらのニーズに対応した取り組みとして、日立製作所は水循環冷却方式主変換装置を開発した(図3参照)。開発した主変換装置の特徴は以下のとおりである。

(1) 走行風利用水冷却システムによる低騒音化

IGBTから発生した熱を冷却水によって車体側面に設けたラジエータまで効率よく運び、走行風で冷却する構成としたことにより、従来は必須であった冷却ファンを不要とし、冷却ファンの騒音を解消した。

一方、室内空調装置の排風をラジエータに導入し、低速走行時などの走行風が期待できない場合にも対応できる構成とすることで、高い信頼性を確保した。

(2) 4.5 kVと3.3 kV耐圧のIGBTを組み合わせたクランプダイオードレス3レベル主回路構成による小型・軽量化

従来の3レベル主回路に比べ、通電経路の素子数を減らすことができるために導通損失を低減でき、高出力化とデバイス数削減による小型・軽量化を両立した。また、低インダクタンス実装構造とソフトスイッチングIGBTの適用, およびアクティブゲート制御技術により、スナバレス化を実現している。

4. 省エネルギー鉄道システム

4.1 鉄道車両における蓄電システムの応用

地球温暖化などの環境問題に対し、鉄道では「軽量化」, 「高効率化」, 「回生ブレーキ」による消費電力低減を通して、環境負荷低減に取り組んできた。

車両の走行エネルギーをブレーキ時に架線に戻す回生ブ

レーキは、最近のインバータ電車のほとんどで動作可能である。しかし、回生時に近くにいるほかの電車が加速電力として回生電力を消費することが要求されるため、運転本数が少ない線区では、回生率の向上が課題となっていた。また、非電化区間を走行する気動車は、ディーゼルエンジンによる直接駆動のために、回生ブレーキ自体を適用できなかった。

このような課題を解決するため、車両に蓄電システムを搭載し、回生電力を一時的に蓄え、必要な時に放電することにより、回生電力の有効活用を可能にした。

4.2 ハイブリッド駆動システムの開発

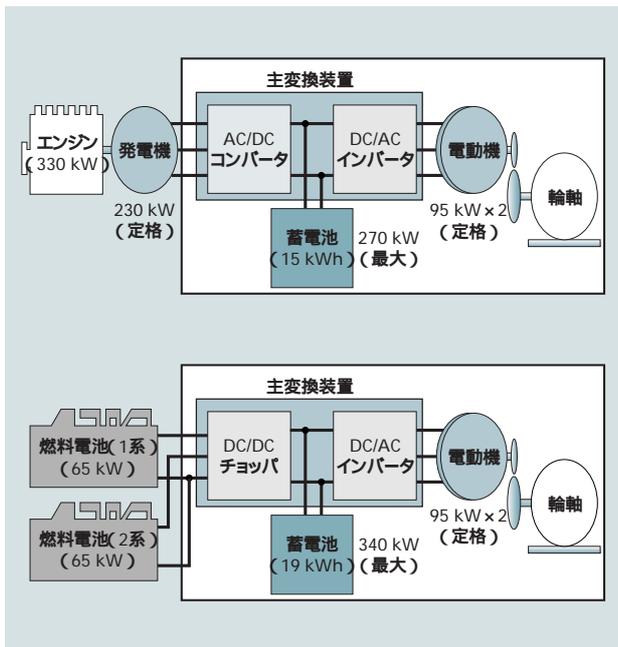
日立グループは、東日本旅客鉄道株式会社(以下、JR東日本と記す。)と共同で、環境負荷低減をめざした気動車のハイブリッド駆動システムの開発を2001年から進めている²⁾。

ハイブリッドシステムは、エンジンとモータの両方の駆動力を使って車輪を駆動するパラレル方式と、エンジンは発電だけに使い、発電した電力でモータを駆動するシリーズ方式に分類できる。

日立グループのハイブリッド駆動システムの開発では、電化区間を走行する電車のシステムとの機器共通化と、将来の鉄道システム(燃料電池車両など)への展開を考慮して、シリーズ方式を採用した。

シリーズハイブリッド方式の機器構成を図4に示す。

シリーズ方式は、ディーゼルハイブリッドシステムのエンジン発電機を燃料電池にAC/DC(Alternating Current/Direct Current)コンバータをDC/DCチョッパに、それぞれ置き換える



注:略語説明 AC(Alternating Current),DC(Direct Current)

図4 ハイブリッド駆動システムの概略

シリーズハイブリッド方式の適用により、燃料電池などの多様な電源に対応している。

ことで燃料電池ハイブリッドシステムにも対応できる。

4.3 ハイブリッドシステムの適用

4.3.1 「キハE200形」ハイブリッド車両

JR東日本の「キハE200形」は、世界初のハイブリッド車両として、小海線で2007年7月より営業運転を開始した(図5参照)。

主変換装置は、誘導電動機を駆動するインバータ回路、発電機からの交流電力を直流電力に変換するコンバータ回路、空調などへ電力供給する補助電源回路を一体箱に収め、小型・軽量化を実現した(図6参照)。また、屋根上のリチウムイオン電池は、電池箱ごとに独立した2群構成とし、電池異常時は故障群の開放による通常運転を可能として冗長性を確保している。

4.3.2 燃料電池車両

燃料電池車両ハイブリッドシステムは、将来の鉄道駆動システムとして、JR東日本と共同開発を進めている。

すでに開発したディーゼルハイブリッドシステムをベースに、エンジンを燃料電池システムに換装して実現した。燃料電池システムは、水素ガスを燃料とする固体高分子型を搭載し、コンバータ装置をDC/DCチョッパに改造して燃料電池出力と協調した電流制御を可能とした。

このシステムを搭載した燃料電池車両「NETレイン」(New Energy Train)は、本線走行試験によって走行性能、エネルギー効率の評価を進めており、100 km/hまでの走行試験に成功している³⁾。



図5 JR東日本「キハE200形」ハイブリッド車両の外観
小海線で2007年7月から営業運転を開始している。



図6 「キハE200形」用ハイブリッド駆動システム
インバータ、コンバータ、補助電源装置を一体箱に収めて小型・軽量化した。

5. グローバル鉄道市場への対応

世界的な環境意識の高まりや燃料費の高騰などにより、鉄道へのモーダルシフトが今後ますます進み、グローバル鉄道市場は拡大していくと予想される。日立グループは、増加するこれらの需要に応えるべく、(1) 既存車両の電気品の更新、(2) 電気品だけでなく車体を含めた車両一括の更新、(3) 地上システムも含めた一括受注となる新路線のシステムインテグレーションなどのさまざまな形態の製品を提供し、積極的に海外展開を進めている。

グローバル鉄道市場に製品を提供する場合に必須となるのは、海外のさまざまな規格への対応と安全認証取得活動である。特に欧州ではEU(European Union)加盟国が中心になって策定を進めている欧州規格(EN:European Norm)などをクリアする必要がある。また、国内にはない過酷な環境(温度、湿度など)への対応も海外展開の際の大きな課題となる。これらの課題の解決のために、日立グループは国内で培った技術をベースに、さまざまな規格・安全認証や過酷な環境に対応させた製品を展開しているが、その事例を以下に紹介する。

5.1 アラブ首長国連邦ドバイ市のモノレール

この案件はモノレールシステムを一括で供給したものである。リゾート地の人工島に敷設されているこの路線は、高温多湿に対する対策だけでなく、塩害への対応も必要な過酷な環境となっている。

この課題に対応すべく、外気温が高く、機器内部と外気との温度差が小さい状態でも効率よく機器内部を冷却できるように電子クーラーを採用し、外気温55℃までの安定動作を実現した。また、塩害への対応では、沖縄都市モノレールなどで実績を積んだ筐(きょう)体の密閉構造、防水処理を採用して十分な長期信頼性を確保した(図7参照)。

5.2 英国CTRL-DS線

2006年度に受注した英国のCTRL線(Channel Tunnel Rail Link:ドーバー海峡トンネル連絡線)と在来線を利用する近郊

執筆者紹介



河野 恭彦
1992年日立製作所入社、電機グループ 交通システム事業部 水戸交通システム本部 交通システム開発センター所属
現在、鉄道車両用インバータの開発に従事
電気学会会員



嶋田 基巳
1995年日立製作所入社、電機グループ 交通システム事業部 水戸交通システム本部 交通システム開発センター所属
現在、ハイブリッドシステムの開発に従事
日本機械学会会員



図7 アラブ首長国連邦ドバイ市納めインバータ装置
高い外気温でも機器内部を冷却可能な電子クーラーを搭載している。

路線サービスCTRL-DS(CTRL Domestic Service)線用に開発した車両「Class395」は、車体、電気品などのハードウェアだけでなく、メンテナンスまで含んで契約した点が特徴である。

また、欧州規格だけでなく英国の厳しい鉄道規格に対応するために、規格認証のための開発プロセスを新たに構築するとともに、現地のコンサルタントと一体となった活動を推進した⁴⁾。

ハードウェアは、国内で十分に実績を積んだ製品をベースに規格・安全認証への適合のためのさまざまな変更を実施した。この検証のために試作した検証用車両「V-Train」を現地で1年にわたって走行させ、十分な事前検証を実施し、高い信頼性を確保している。

6. おわりに

ここでは、日立グループが開発した省エネルギー技術と、グローバル鉄道市場への対応についてハイブリッド鉄道の技術を中心に実例を挙げて述べた。

鉄道分野では今後ますます環境への配慮とグローバル化が進み、鉄道用パワーエレクトロニクス機器にもいっそうの省エネルギー化と高効率化が求められると予測される。

日立グループは、今後も、これまで国内で培った技術をベースにグローバル展開を図っていく考えである。

参考文献

- 1) 神尾:東京急行5000系電車用主回路システム,第40回鉄道サイバネシンポジウム(2002)
- 2) 徳山,外:環境負荷を低減するハイブリッド駆動システムの実用化,日立評論,89,11,830~833(2007.11)
- 3) 中神:燃料電池車両ハイブリッドシステムのエネルギー管理,平成19年電気学会産業応用部門大会,第III分冊,3-34,235~238(2007年)
- 4) 川崎,外:欧州鉄道向け車両技術,日立評論,89,11,872~875(2007.11)



大河原 洋
1994年日立製作所入社、電機グループ 交通システム事業部 水戸交通システム本部 車両電気システム設計部所属
現在、鉄道車両用インバータの設計に従事