

鉄道車両用パワーエレクトロニクス機器の小型・軽量化技術

Technologies to Reduce Size and Weight of Power Electronics Equipment for Rolling Stock

滝沢 将光 TAKIZAWA, Masamitsu

西嶋 与貴 NISHIJIMA, Tomotaka

近年、鉄道車両に取り付けられる機器や装置に搭載するパワーエレクトロニクス（パワエレ）機器には、省エネルギーだけでなく小型・軽量化が強く求められている。富士電機は、冷却技術・機器実装技術の向上により、これらの要求に応えてきた。また、小型化に限界があった絶縁トランスにおいては、高周波絶縁回路技術と直流給電方式の採用、および最適設計を行うことにより、装置に対する占有率が減少し、さらなる小型・軽量化を実現した。新幹線などの鉄道車両用プロパルジョンシステムや補助電源装置など、最新の技術を用いたパワエレ機器を国内外に提供している。

Recently, there have been strong demands for power electronics equipment mounted on devices and units to be installed in rolling stock to have a smaller size, less weight and also to save energy. Fuji Electric has been meeting these demands by improving its cooling and equipment mounting technologies. For isolation transformers, which had limitations in terms of their downsizing, we have adopted a high-frequency isolation circuit technology and direct current power supply system and implemented an optimized design to reduce the ratio of their installation space to the unit volume, thereby realizing further size and weight reduction. We offer in Japan and overseas power electronics equipment that uses the latest technologies such as propulsion systems and auxiliary power supplies for rolling stock including the Shinkansen.

① まえがき

近年、鉄道車両において乗客サービスや車両機能を向上するために取り付けられる機器や装置に搭載するパワーエレクトロニクス（パワエレ）機器には、省エネルギー（省エネ）だけでなく小型・軽量化が強く求められる。このような要求に応えるため、富士電機は、冷却技術・機器実装技術の向上、ならびに高周波絶縁回路技術の採用と最適設計を行っている。本稿では、東海旅客鉄道株式会社（JR東海）向け新幹線電車用主変換装置と、北海道旅客鉄道株式会社（JR北海道）向け車両用補助電源装置を例に、パワエレ機器の小型・軽量化技術について述べる。

② 鉄道車両用パワーエレクトロニクス機器

鉄道車両におけるパワエレ機器（図1）への要求項目は、省エネ、環境への調和など社会の要求によるものから、安全性、信頼性など公共交通機関として必然的なもの、低価

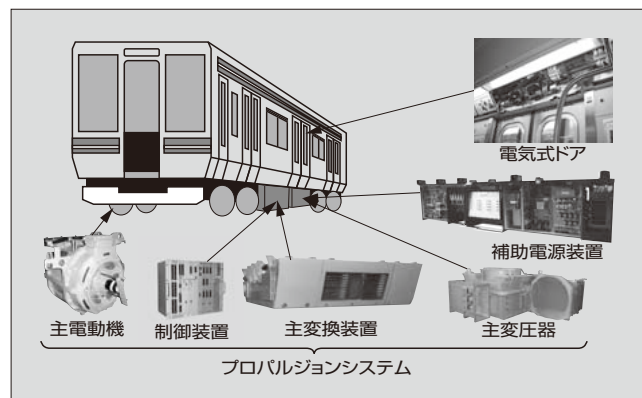


図1 鉄道車両用パワーエレクトロニクス機器

格、高出力、小型・軽量、省メンテナンス、低騒音、制御性能の向上など鉄道会社が求めるものまで、多岐にわたる。

富士電機は、鉄道車両用プロパルジョンシステム（駆動システム：主電動機、制御装置、主変換装置、主変圧器）、補助電源装置、電気式ドア（側引戸用戸閉装置）において次世代技術の開発に取り組んでいる。特に新幹線電車用プロパルジョンシステムでは、初代の0系新幹線電車から最新のN700A新幹線電車まで継続して採用され、歴代の新幹線電車用プロパルジョンシステムを納入してきた。信頼性と安全性が高く、実績のある製品として国内で高い評価を得ている。さらに、在来線車両用プロパルジョンシステムや補助電源装置においても、1950年代から国内外において納入してきた。

③ 小型・軽量化技術

鉄道車両用プロパルジョンシステムと補助電源装置の小型・軽量化技術について述べる。

3.1 新幹線電車向け主変換装置における冷却性能の向上

JR東海の新幹線電車の最新車両であるN700A新幹線電車（図2）の主変換装置における冷却技術・機器実装技術について概説する。

主変換装置は、図3に示すように3レベルPWM（パルス幅変調）コンバータと3レベルVVVF（可変電圧可変周波数）インバータで構成している。並列に接続した4台の主電動機を、1台のVVVFインバータで一括して駆動する。高耐圧、大容量かつ低損失のIGBT（Insulated Gate Bipolar Transistor）モジュール（3,300V、1,200A）を搭載した低損失のスナバ回路レス方式を採用して高効率化と軽量化を図っている。



図2 N700A 新幹線電車 (写真提供：東海旅客鉄道株式会社)

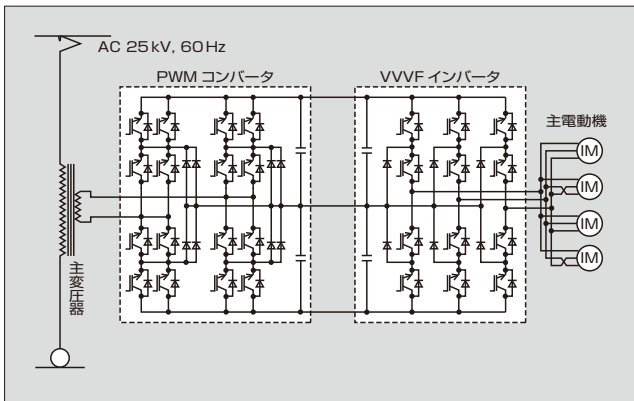


図3 N700A 新幹線電車主変換装置の構成

表1に、新幹線電車向け主変換装置の比較を示す。2007年に営業運転を開始したN700系新幹線電車向けのTCI3形主変換装置は、スナバ回路の省略や構造の最適化などにより、300系新幹線電車のTCI1形に比べて質量で43%の軽量化、体積で22%の小型化を実現している。冷却方式は、300系・700系新幹線電車と同一方式である冷媒を用いた沸騰冷却とブロワによる強制風冷の組合せを採用している。

2008年から営業運転を開始したN700系新幹線電車向けのTCI100形主変換装置は、冷却方式に冷媒やブロワを用いずに、シンプルなアルミニウム冷却フィンと、電車が走行することにより生じる風を冷却風として積極的に利用する走行風自冷方式を利用したブロワレス方式を採用している。これにより、TCI3形主変換装置と同じ外形でありながら、質量は12% (300系比-50%) 軽量化している。ブ

ロワレス化により客室内の騒音が低減し、居住性が向上している。

2013年から営業運転を開始したN700A新幹線電車向けTCI101形主変換装置は、TCI100形主変換装置と同一の冷却方式であるブロワレス方式を引き続き採用し、さらに体積は25% (300系比-42%) の小型化、質量は17% (300系比-59%) の軽量化を実現している。小型・軽量化に当たっては充電回路などの補助回路方式を顧客と共同で検討するとともに、電気品の仕様の見直しやアルミニウム冷却フィンの材質を変更することなどにより実現した。

今後、N700A新幹線電車向けにおいても、主変換装置のさらなる小型・軽量化を進めた製品を提案し開発していく。

3.2 高周波絶縁回路技術の採用と最適設計

(1) 商用周波数絶縁方式 (従来方式) の課題

補助電源装置は、架線の電圧 (600 ~ 825 V) を一般の機器が扱える電圧に変換するものである。安全性のために架線側と負荷側を絶縁する必要があり、これまではインバータにより商用周波数の交流電圧に変換した後、トランスにより絶縁する方法が一般的であった (図4)。

しかし、昨今の技術の進歩に合わせてパワーユニットや制御装置が小型化するのに対し、商用周波数のトランスは小型化に限界があった。

図5に、ワシントン首都交通局向け補助電源装置の外観を示す。本装置も部品の配置を工夫し、過去の同等機能の製品と比べて小型化した。トランスの占有率は上昇している (図6)。

(2) 高周波絶縁方式と直流給電方式の適用

トランスの占有率を削減し、補助電源装置のさらなる小

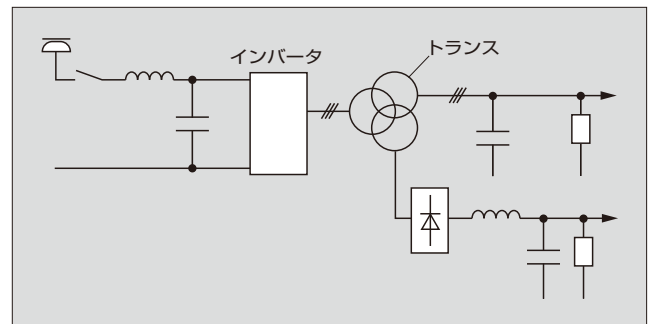







図4 一般的な補助電源装置の構成

表1 新幹線電車向け主変換装置

新幹線電車	300系	700系	N700系	N700系	N700A
主変換装置					
	TCI1形	TCI2A形	TCI3形	TCI100形	TCI101形
体積比 (%)	100	82	78	78	58
質量比 (%)	100	74	57	50	41

型化のため、次の技術開発を進めた。

- (a) 高周波絶縁回路技術（約 10 kHz）
- (b) 直流給電方式

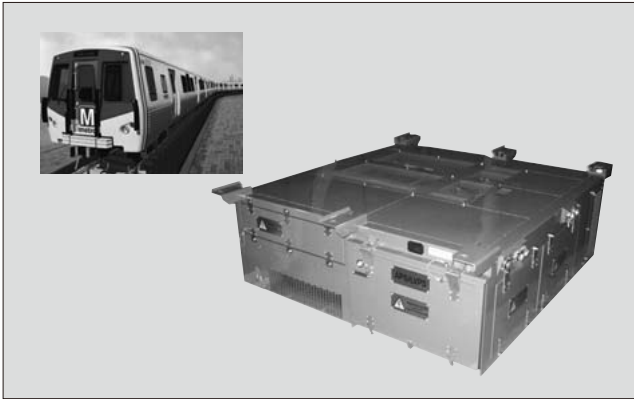


図5 ワシントン首都交通局向け補助電源装置

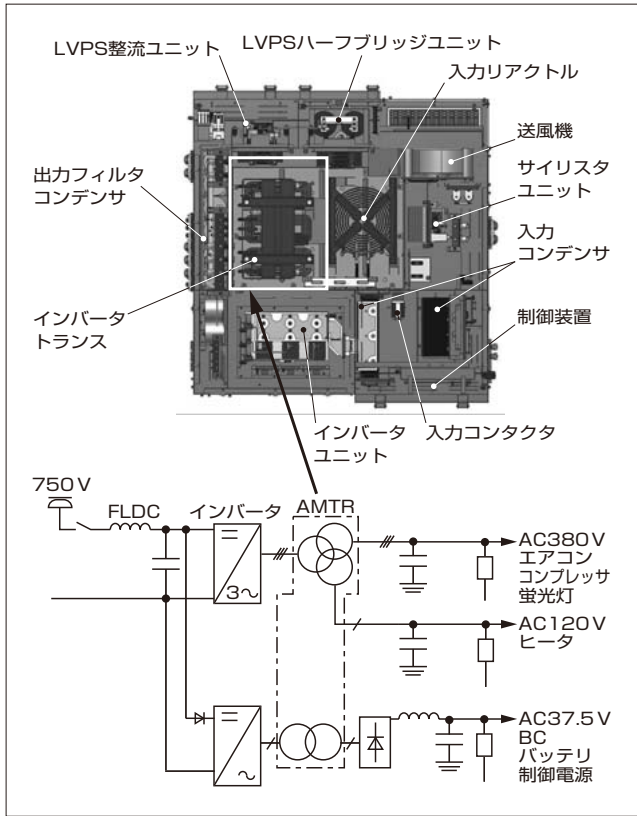


図6 ワシントン首都交通局向け補助電源装置の構成

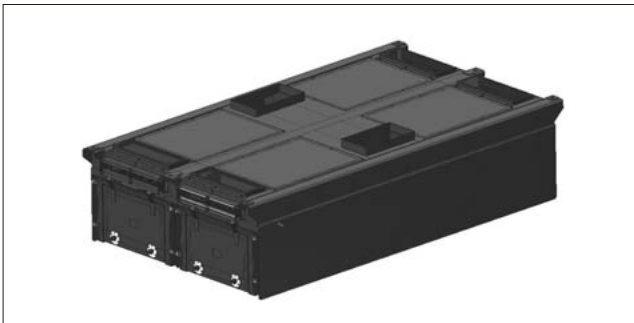


図7 北海道旅客鉄道株式会社向け補助電源装置

これらの小型・軽量化技術を確立した装置が、JR北海道向けに開発した補助電源装置である（図7）。

図8に示すように、インバータで直流を高周波交流に変換し、高周波トランスで絶縁した後、ダイオードブリッジで整流する高周波絶縁回路方式を採用している。高周波化により、トランスは磁束密度の低下による鉄心の小型化とコイル巻き数の減少による小型化、インバータは共振型回路の適用による小型化が可能となる。このように大幅な小型・軽量化（従来比75%減）を行った結果、トランスの占有率を5%まで減少できた。

また、これまでは補助電源装置の負荷となるインバータエアコンなどの負荷装置に対し、商用周波数の交流電圧で給電することが一般的だったが、JR北海道と連携して負荷装置の仕様を変更し、直流給電方式を採用した（図9）。この結果、補助電源装置の交流出力回路（インバータ回

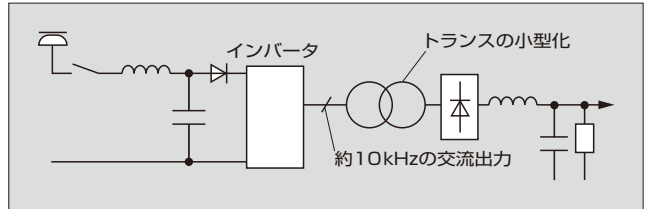


図8 高周波絶縁回路方式

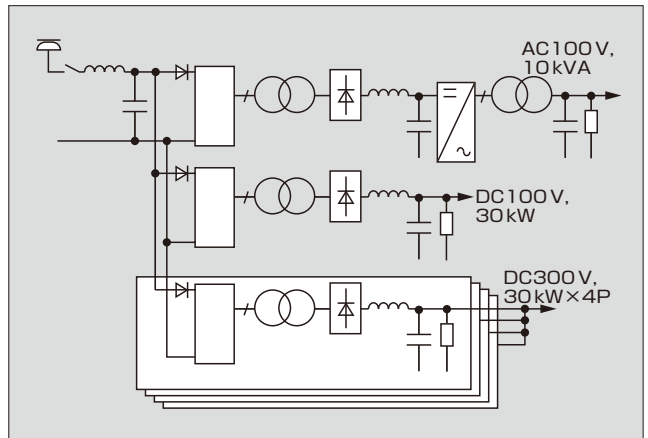


図9 直流給電方式における高周波補助電源装置の構成

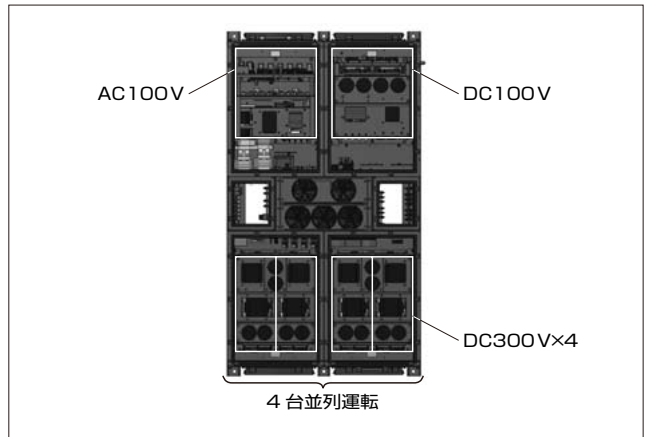


図10 高周波補助電源装置

路)だけでなく負荷装置の整流回路を削減することにもつながり、補助電源装置の小型化とともに、鉄道車両全体の軽量化にも貢献している。

高周波絶縁回路方式は、比較的小容量の装置に適している。このため、本装置では30kWの容量で最適設計された小型の装置を4台並列に接続することで、従来よりも小型・軽量で大容量の装置を実現している(図10)。補助電源装置は、鉄道車両の給電システムに応じてさまざまな出力仕様に対応する必要があるが、本装置は並列数を変えるだけで対応可能である。

4 あとがき

鉄道車両用パワーエレクトロニクス機器の小型・軽量化技術について述べた。これらの分野は、最先端のパワーエレクトロニクス技術をベースとして、小型・軽量、高性能、高機能、省メンテナンス、快適性などに加えて、地球環境保護への貢献という社会的テーマへの対応がますます重要になる。

今後も、省エネルギーと環境保護といった社会・市場

ニーズを先取りした研究開発を積極的に推進し、社会全体の環境負荷低減に貢献できる製品を提供していく所存である。

参考文献

- (1) 井上亮二, 大庭政利. 鉄道車両におけるパワーエレクトロニクス技術. 富士時報. 2007, vol.80, no.2, p.153-161.



滝沢 将光

鉄道車両用パワーエレクトロニクス機器の製品開発に従事。現在、富士電機株式会社パワエレ機器事業本部神戸工場パワエレ設計部主査。電気学会会員。



西嶋 与貴

鉄道車両用パワーエレクトロニクス機器の製品開発に従事。現在、富士電機株式会社パワエレ機器事業本部神戸工場パワエレ設計部課長補佐。





*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。