

新幹線電車で走行風冷却主変換装置の開発

[機] 上野 雅之 [電] 佐藤 賢司 ○福島 隆文 (東海旅客鉄道株式会社)

Development of Train-Draft-Cooling Power Converters for the Shinkansen High-Speed Train

Masayuki Ueno, Kenji Sato, ○Takafumi Fukushima, (Central Japan Railway Company)

This paper introduces novel train-draft-cooling power converters developed by Central Japan Railway Co. (JR Central) for the Shinkansen high-speed train. Due to the absence of blower motors, fans and liquid cooling mediums, the train-draft-cooling power converters for the Series N700, which made its commenced commercial operation in July, 2007, realized a weight-reduction of about 180kg (10%) compared with conventional forced-ventilation-cooling power converters. This system will contribute to reductions in the greenhouse gases through no use of cooling mediums and in energy consumption which accompanies the decrease in weight.

キーワード: 走行風冷却、主変換装置、軽量化、新幹線

Key Words: train-draft-cooling, power converters, weight-reduction, Shinkansen high-speed train

1. 背景

新幹線電車の駆動用に用いられる主回路機器はパワーエレクトロニクス技術の発展とともに進歩し、出力向上、機能向上、保守省力化と小型・軽量化が図られてきた。主回路素子はサイリスタから、GTO サイリスタ、IGBT へ進歩してきており、IGBT 低損失化は現在も進んでいる。これにより最新の N700 系の主回路システムの出力/質量比は 0 系の 3 倍以上に達している。

また、素子の冷却方式も進歩しており、300 系の主変換装置の浸漬式から、個別フィン方式を経て、絶縁構造のモジュール型 IGBT では冷却板上に直接素子を並べる構成となり、従来の圧接構造に比べて冷却構造が格段に簡素化された。ただし、これらはいずれも電動送風機による冷却風を凝縮器に送り熱交換する方式である。在来線電車では自然風冷又は走行風冷が一般的であるが、新幹線電車では機器容量が大きい上に、機器質量や床下艀装スペースなどの制約も大きいため、主回路機器の小型軽量化のためには強制風冷方式が最も有効な手段であった。しかし近年、IGBT の素子損失低減や床下走行風の解明が進み、新幹線電車のような大容量でも走行風冷却方式が採用できる可能性が出てきた。走行風冷却方式では、冷却器自体はやや大型になるものの、電動送風機や冷却用風道、冷媒などが不要になるため、装置全体として構造が非常にシンプルになり、軽量化できる可能性が出てきた。また、冷媒を使用しないことから凝縮器の腐食などによる冷媒漏れもなく、信頼性向上や温室効果ガス削減による環境負荷軽減、コストダウンも期待できるというメリットがあった。

このため、新幹線では初めてとなる走行風冷却方式の主

変換装置の開発に着手することになった。

2. 走行風冷却の基礎的検討

2.1 走行風の把握

高速車両における走行風冷却方式の主変換装置の開発にあたり、16 両編成の車両において車体近傍の走行風速の測定及び模型による風洞試験を実施した。導風用スロープの角度を最適化することにより、走行速度の 20% 程度の風速の冷却風を冷却器に取り込むことが可能であり、走行風冷却方式でも十分な冷却性能が得られる見通しが得られた。

2.1 実物大モックアップによる検証試験

実走行における冷却能力を確認するため、走行風冷却主変換装置の実物大モックアップを製作し、現車搭載し、試験を行った。(図 1, 2 参照)

その結果、編成中、取り込み風速の最も少ない後尾車でも冷却に必要な十分な冷却風を取り込めることが確認でき、冷却性能も計画値通りであった。

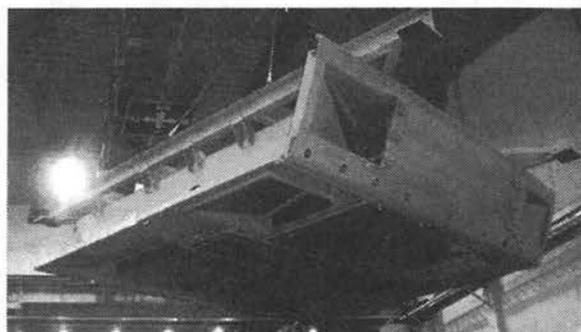


図 1 走行風冷却主変換装置実物大モックアップ

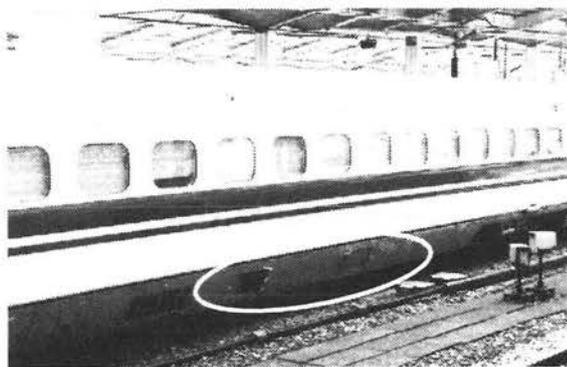


図2 モックアップの現車搭載試験状況

3. 700系用プロトタイプの開発

以上の基礎検討結果を元に、従来の強制風冷タイプの700系主変換装置(TCI2A型)と性能及び取付互換の走行風冷却主変換装置の試作機を製作した(図3参照)。

これまで冷却器は底部と側カウル部の両方で検討してきたが、床下走行風の解明により冷却能力に目処がたったことから、底部にのみ冷却器を配置する方式としてシンプルな装置構成とした。

パワーユニット(冷却器含む)はレール方向にコンバータ、インバータの2段の配置とした。コンバータは高速時のパワーの大きい領域で温度が上がり、インバータは中低速のモータ電流の大きい領域で温度が上がるという異なる温度上昇の傾向であることから、速度域全域にわたり、装置全体として温度上昇のバランスを考慮したためである。

現車試験にて、実使用環境下で冷却性能及び制御性能の確認を行った。その結果、計画通りの走行風が利用でき、冷却性能は良好であった。

またフィンを保護する底カバー有り、無しを条件を比較したところ、底カバー無しの方が放熱性に優れることが分かった。

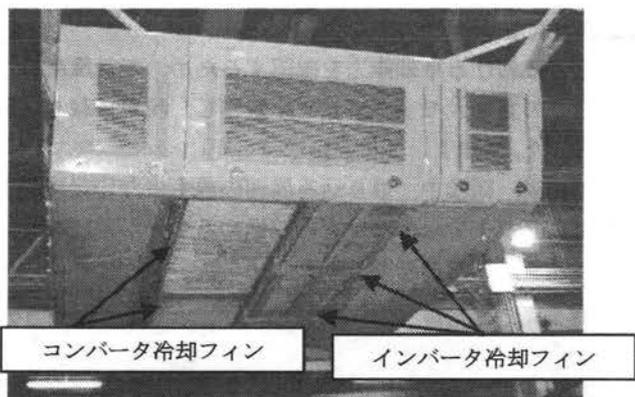


図3 700系用走行風冷却主変換装置

4. N700系用プロトタイプの開発

以上の検討結果をベースとして、従来の強制風冷タイプのN700系用主変換装置(TCI3型)と性能及び取付互換のプロトタイプを開発した(図4参照)。

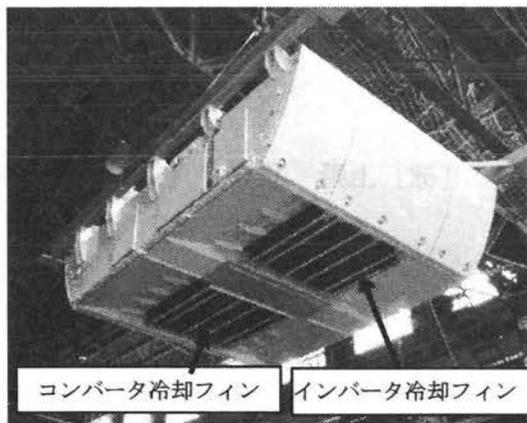


図4 N700系用走行風冷却主変換装置(プロトタイプ)

N700系は700系より出力が増加しているために、更に冷却性能を向上する必要がある。走行風の取り込みを最適化するためにパワーユニットの配置を海側コンバータ、山側インバータとした。方向性も考慮し、冷却フィンを進行方向に対し1段として、スムーズに冷却風を流すためである。

フィンは底面にあるので、フィンの脱落防止の対策は十分に行った。フィンに対し実際に石(バラスト)を速度300km/hで衝突させる試験を繰り返した(図5参照)。フィン自体に剛性を持たせると共に、万一フィンが損傷を受けても脱落を防止するため、フィンとパワーユニットフレーム間を脱落防止金具で連結する構造を取り入れた。最終フィン構造でも試験を実施し、対策は有効であることを確認した。

重量についてはN700系用プロトタイプは700系に対し10%以上出力が増加しているにも関わらず、N700系TCI3に対し△180kgと大幅な軽量化が実現できた。

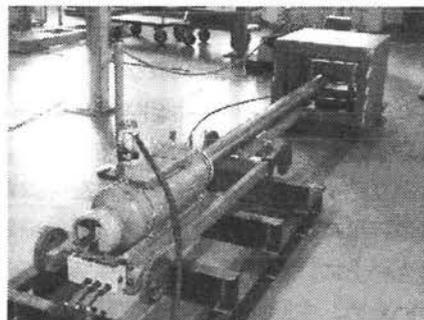


図5 空気砲による300km/hでの飛石衝撃試験

これをN700系に搭載して現車試験を行った結果、温度上昇限度(55K)に対し十分余裕のある結果であった。(図6, 7, 8参照)

また編成内の位置の影響や、1両に主変換装置2台を搭載する号車において前位側走行風冷却主変換装置の廃熱による後位側への影響なども確認し、良好な結果であった。試験結果をもとに1ユニット開放条件の温度シミュレーションを実施し、温度上昇値は許容値以内で、走行上問題ないという結果が得られた。

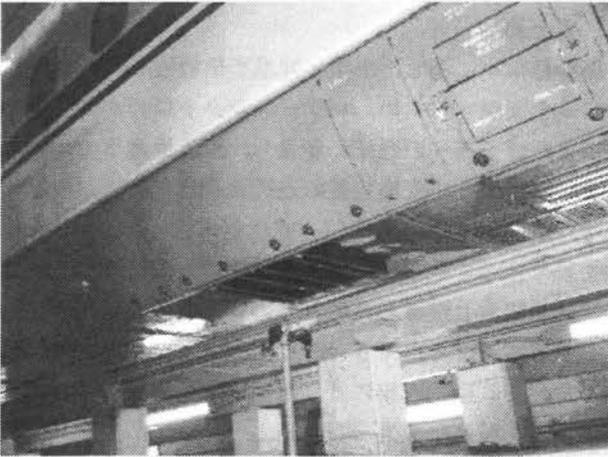


図 6 N700 系への走行風冷却主変換装置搭載状況

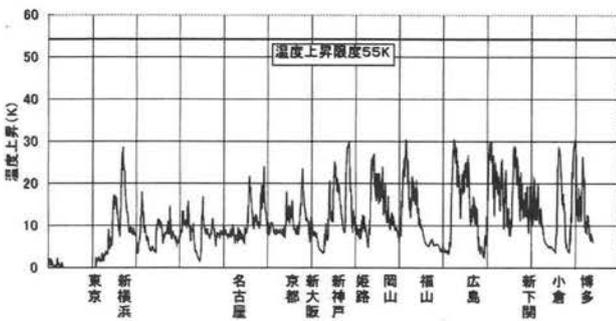


図 7 コンバータ温度測定結果 (2006/8/5 下り)

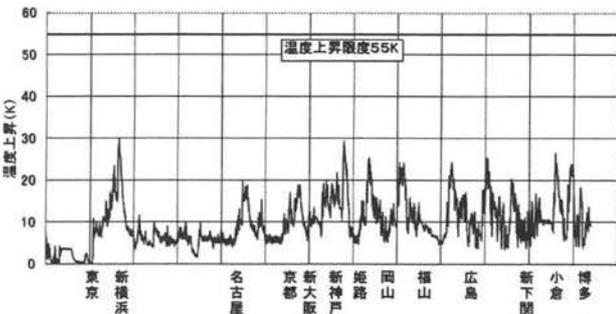


図 8 インバータ温度測定結果 (2006/8/5 下り)

5. N700 系量産車への適用

以上の開発により、走行風冷却主変換装置の技術的見通しが得られたので、N700 系量産車へ採用することとなった。(1 編成中 6 台)

以下に N700 系量産タイプ走行風冷却主変換装置 (TCI100 型) の主な特徴を示す。また、主要諸元表を表 1 に示す。

5.1 互換性

- ・ N700 系用 TCI3 型主変換装置と同一性能とした。
- ・ 導風スロープを装置内に構成し TCI3 型主変換装置と外形寸法を合わせ、取り付けの互換性を持たせた。
- ・ コンバータ、インバータのパワーユニット以外の部品はすべて TCI3 型主変換装置と互換性を持たせた。

5.2 検修面への配慮

- ・ 山側にインバータユニット、海側にコンバータユニットを配置し、横引き出し方式を採用した。またパワーユニット交換用リフトにより交換作業の容易化を図った。
- ・ 素子温度監視常時監視するため素子直近にサーミスタを設置した。この検出温度は素子自体の過温度保護に用いると共に、SS 無線で地上へ送り、フィンの汚損等による冷却性能の低下について状態監視を実施する。これにより効率的な点検及び清掃を実施することが可能となる。
- ・ フィンの検査容易化、清掃性向上のため、フィンを保護するための底カバーは省略した。(フィンの脱落防止はフィン自体の強化+脱落防止金具の装着で担保)

5.3 軽量化

- ・ 各部の最適化を図りプロトタイプより更に軽量化した。

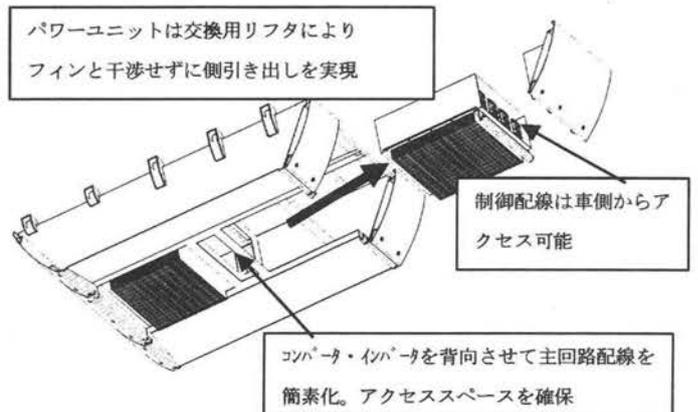


図 9 引き出し構造図

表 1 主要諸元表

| | TCI100 型走行風冷却主変換装置 | TCI3 型主変換装置 |
|--------|--|-------------|
| コンバータ | 3 レベル変調単相電圧形 PWM コンバータ | ? |
| インバータ | 3 レベル変調三相電圧形 VVVF インバータ | ? |
| 冷却方式 | 走行風自然冷却方式 | 強制風冷方式 |
| 定格入力 | 単相 AC1520V-882A-60Hz | ? |
| 直流中間電圧 | 力行 : 2700-3000V 回生 : 3000V | ? |
| 定格出力 | 三 相 AC2300V-400A-110Hz | ? |
| 素子 | コンバータ : IGBT 3300V-1200A(2P) インバータ : IGBT 3300V-1200A(1P) | ? |

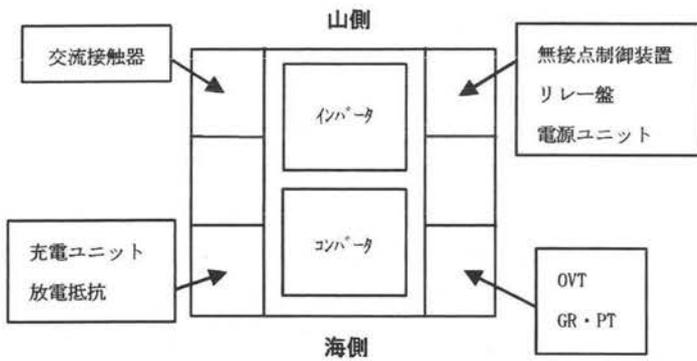


図 10 主変換装置内の機器配置 (上方より)

TCI100 型走行風冷却主変換装置 を搭載した N700 系量産車は平成 19 年 7 月より営業運転を開始した。導入から 1 年あまりが経過したが (平成 20 年 9 月現在)、TCI100 型走行風冷却主変換装置は非常に安定して稼働している。素子付近温度の常時監視データの解析結果からも、夏期の走行においても温度許容値に対し十分な冷却性能を維持していることを確認している (図 11, 12 参照)。

コンバータ最高温度 (平成 20 年 7 月分)

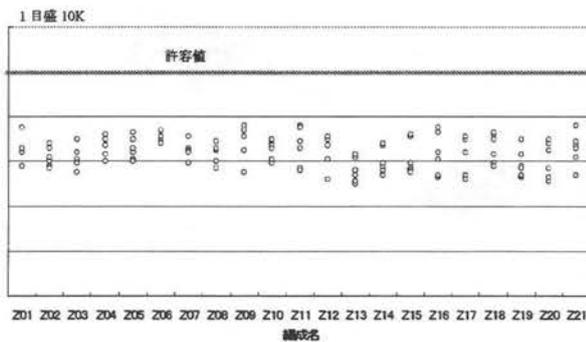


図 11 全編成のコンバータ素子付近最高温度 (2008/7)

インバータ最高温度 (平成 20 年 7 月分)

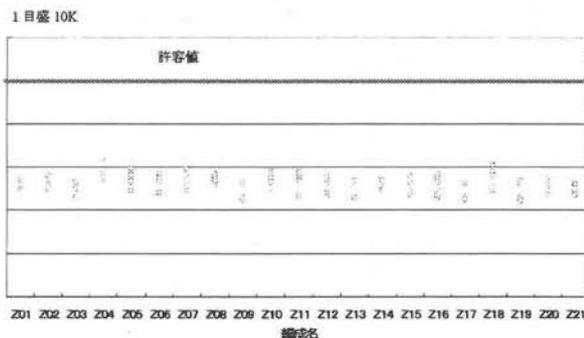


図 12 全編成のインバータ素子付近最高温度 (2008/7)

6. まとめ

新幹線電車に適した小型・軽量で信頼性の高い主回路システムを実現するため、パワーエレクトロニクス技術の発達による素子損失の低減に着眼し、新幹線電車では困難と考えられていた主変換装置の走行風冷却化の検討を進めてきた。基礎研究から開始し、プロトタイプ製作と現車試験を繰り返してきた結果、機器単体での冷却性能、編成内の位置や複数台搭載した場合の影響、その他諸課題についてクリアすることができ、N700 系量産車へ搭載する運びとなった。これは約 6 年に亘り着実に技術開発を行ってきたことが実を結んだ成果と言える。

走行風冷却主変換装置は、冷媒の廃止による地球環境負荷軽減、軽量化に伴う消費電力量削減による温室効果ガスの削減への効果があるため、今後の新幹線用主変換装置のスタンダードになるものと考えられ、今回はその一歩を踏み出したと言える。

試験に際し、多大なるご協力を頂きました JR 西日本殿に感謝を致します。また、試作機の製作、測定などご協力いただいた、株式会社東芝殿、株式会社日立製作所殿、三菱電機株式会社殿、富士電機システムズ株式会社殿に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 萩原, 福島 : 新幹線電車走行風冷却方式主変換装置の開発, JREA, Vol48, No.10, 2005
- 2) Fukushima T., Hagiwara Y.: A study on optimization of cooling system of PWM power converter of Shinkansen high-speed train, Stech03, 2003.8
- 3) 菊野, 福島, 福田, 岡安, 亀田 : 新幹線電車用走行風冷却主変換装置の開発, J-Rail2001, 2001.12
- 4) 萩原, 山下 : 700 系新幹線電車用主回路システムの軽量化と高効率化, J-Rail98, 1998.11
- 5) 古屋, 加藤, 萩原 : 新幹線電車用走行風冷却主変換装置の開発, JREA, Vol49, No.12, 2006