

走行風を利用した冷却システムを導入した新幹線用主変換装置

Train-Draft-Cooling Power Converters for the SHINKANSEN High-Speed-Train

執筆者プロフィール



加藤 宏和
Hirokazu KATO

■1994年4月東海旅客鉄道(株)入社, 2005年7月新幹線鉄道事業本部車両部車両課課長代理(車両の電気機器の設計に従事, 走行風冷却主変換装置の量産設計に関わる), 2008年7月浜松工場電機職場職場長, (走行風冷却主変換装置の検修方法の確立に関わる) 2010年7月新幹線鉄道事業本部車両部車両課課長代理
 ■主として行っている業務・研究
 ・車両の電気機器の設計
 ■所属学会および主な活動
 電気学会
 ■勤務先
 東海旅客鉄道(株)新幹線鉄道事業本部 車両部車両課
 (〒100-0005 東京都千代田区丸の内1-9-1)

東海道新幹線のN700系は、「東海道・山陽新幹線として最新・最良・最速の車両」として開発され, 2007年7月にデビューした。そのN700系の動力源である主電動機を制御する主変換装置には高速車両としては初めての走行風で冷却する方式を導入している。以下に装置の概要と開発経緯を示す。

1. 主変換装置とは

主変換装置とは主電動機を可変速制御するために電圧, 電流, 周波数を変換する重要な装置である。その主変換装置は東海道新幹線では300系新幹線車両から採用され, その主要な半導

体素子にはGTO (Gate Turn-Off Thyristor) 素子を適用し, その後の700系, N700系ではIGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) 素子を適用した。主変換装置は単相交流を直流に変換するコンバータ部とその直流を三相交流に変換するインバータ部に分けられる。(図1)

これらには半導体素子が使用され, その高速スイッチングにより電圧を制御している。半導体はオンしているときにも損失が発生するし(導通損失), スwitching過程でも損失が発生する(Switching損失)。主変換装置は半導体素子の低損失化に従い, 変換効率が向上し, N700系ではコンバータ部が約98%以上, インバータ部が約99%以上と高効率になっている。しかし, 新幹線の主変換装置は高速走行を行うため大きなパワーを出力する。最高速度270km/h(東海道)での走行中の損失(発熱量)はコンバータ部, インバータ部の合計で約12kWとなる。この発熱量は家庭用の電気ストーブが約1200W程度と考えると, 10台程度の発熱量となる。一方, 熱の発生源である半導体素子のPN

接合部の温度限度は120℃程度であり, これを超えると半導体素子は破壊する。このため主変換装置には発熱を積極的に取り除く冷却器が必要なのである。

2. 冷却器の変遷

新幹線の主変換装置は大出力であるために, 冷却器も大容量である。冷却器を小型化していくことが, 主変換装置の軽量化につながり, 車両全体の軽量化にもつながる。よって冷却器には冷却能力の高い強制風冷方式を採用してきた。この方式は冷媒を用いて, その熱を大型の送風機で強制的に冷却するものである。送風機を利用することにより走行条件にかかわらず, 常に安定した冷却風量が得られる。そして素子の低損失化を利用し, 冷却器も最適化を図ってきた。近年では沸騰した冷媒をヒートパイプで熱交換器へ送り, 送風機により冷却する方式が主流となっている。

N700系開発当時, 主変換装置の冷却はこれまでの技術的な流れのとおり, 送風機による強制風冷で冷却器の

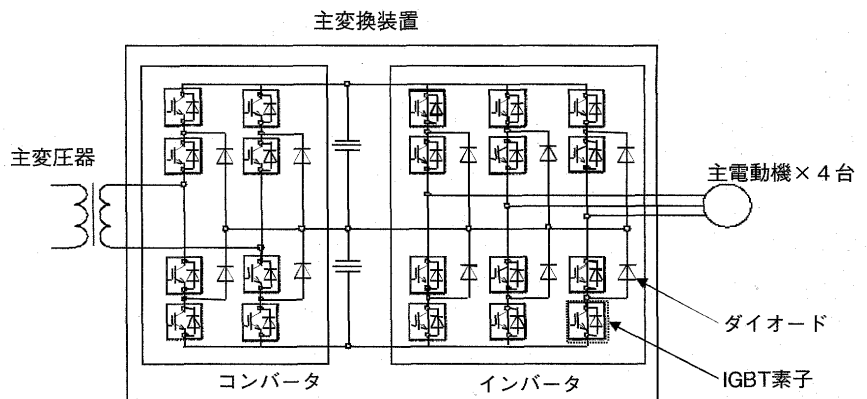


図1 主変換装置の内部回路概要図

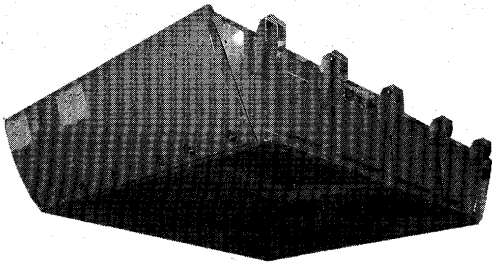


図2 N700系主変換装置（走行風冷却方式）

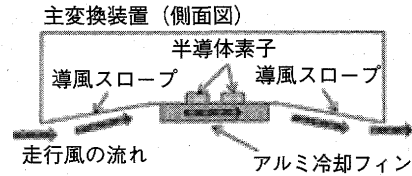


図3 主変換装置模式側面図

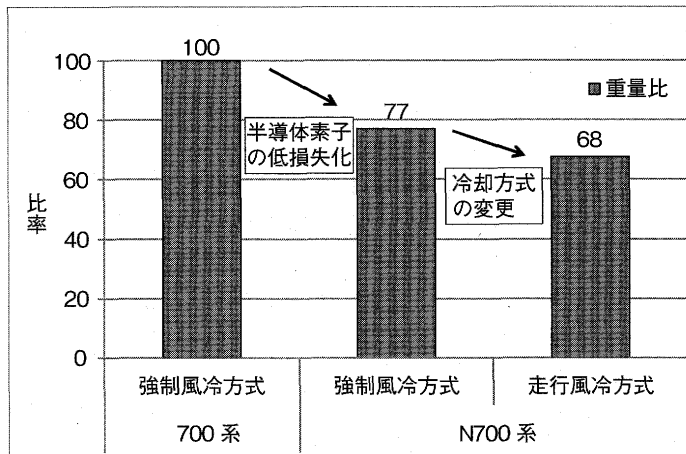


図4 主変換装置重量変遷

小型化を進めていくことが確実かつ常識的な方向性だった。

しかし、少し見方を変えると新幹線はそもそも高速走行しており、その走行風をうまく活用できれば、十分な冷却性能が得られる可能性がある。そうすれば大型の送風機を廃止できる。そこで周辺技術を調べたが、新幹線のような大容量の主変換装置に走行風冷却方式を採用することは国内外で前例がなかった。というのは車両の側面や床下ではどの程度の風速があるのか不明で、さらに16両という長大編成(400m)であるために先頭からの距離により風速が変わるかについても不明であった。さらに高速時なら風量は多いが、駅近傍の低速走行時に風量が足りるか、装置内部へ冷却風を取り込むためにはどのような構造とするかについても知見はなく、ハードルは高いものだった。しかし、さらなる技術的な飛躍を目指し走行風冷却方式への挑戦を開始した。

3. 走行風冷却方式の開発

最初に16編成(400m)の車両において車体近傍の走行風の解明に着手した。車両の各部に風速測定用のピトー管を取り付けて測定した。その結果、編成後部に行くほど風速は低下するが、最後尾でも冷却には十分な風速があることが確認できた。その次に、この風を取り込む構造を検討するため、小型の模型を作り風洞試験を実施した。風を導くために適切な構造を設ければ、十分な冷却風を取り込めるといった知見を得た。

そして実物大の主変換装置のモックアップを製作し、700系新幹線車両に搭載し、冷却風を取り込み状況など、実機開発に向けた必要データを取得した。さらに700系主変換装置と互換のある走行風冷却方式の主変換装置を製作し、現車試験を実施し、その結果を反映した試作2号機をN700系先行試作車で現車試験を行い、十分な性能であることが確認できた。そして開発開始から約8年間を経てN700

系量産車への適用を実現した。図2が実際のN700系主変換装置外形写真である。図3が側面から見た模式図である。中央にあるのが冷却器であり、その前後に導風スロープを設け、冷却器に走行風を効率よく導いている。

4. まとめ

従来とは異なる方向性を見出し、基礎検討から着手し、試作、試験を繰り返して、走行風冷却方式の主変換装置を実用化した。その効果を重量で示す。700系の強制風冷方式の主変換装置を100とすると、素子の低損失化を活用し開発したN700系強制風冷方式が77、そこから冷却方式を変更した走行風冷却方式が68というように軽量化を達成し、新幹線車両の走行性能向上に寄与している(図4)。