

鉄道車両用走行風利用自冷式主変圧器

速水賜基* 新庄孝基*
 小林伸匡*
 野田敏広*

Natural Air Cooling for Traction Transformer

Shiki Hayamizu, Nobumasa Kobayashi, Toshihiro Noda, Koki Shinjo

要 旨⁽¹⁾

交流電車に搭載される主変圧器を冷却する手段としては、従来電動送風機を用いた強制風冷式が主流であったが、近年では走行時の自然風を利用して電動送風機を不要とした走行風利用自冷式が主流となっている。三菱電機も、従来の強制風冷式とは異なる特質を持った走行風利用自冷式の鉄道車両用主変圧器及び冷却器を開発・提供している。

自冷式主変圧器の特長は次のとおりである。

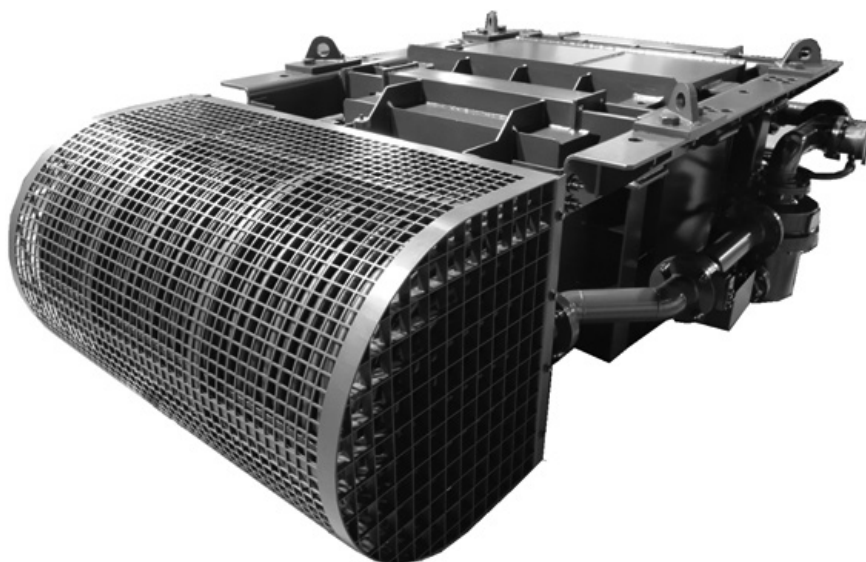
- (1) 省エネルギー(電動送風機の運転電力不要)
- (2) 省メンテナンス(電動送風機のメンテナンス、及び冷却器の清掃作業不要)
- (3) 低騒音化(電動送風機の運転騒音なし)

冷却設計としては次の留意点がある。

- (1) 車両走行速度と冷却風速との関係
- (2) 冷却性能と主変圧器容量の算定
- (3) 主変圧器の配置
- (4) 冷却器の保護

国内では在来線向けとして広く用いられているが、海外でも、環境に対する関心の高まりから、自冷式主変圧器の特長が顧客のニーズとマッチし、高く評価されている。アジアではインド向けで、欧州ではフランス向けで適用するなど、規模の拡大を図っている。

走行風利用自冷式の冷却器の海外展開では国内とは異なる環境に配慮する必要がある、現地の環境条件を分析・検討をすることで、最適な機種として進化している。



インドデリー地下鉄RS13向け自冷式主変圧器

鉄道車両用走行風利用自冷式主変圧器

鉄道車両用走行風利用自冷式主変圧器は省エネルギー、省メンテナンス、低騒音化を実現するだけでなく、欧州のEN45545(Railway applications-Fire protection on railway vehicles)、EN15085(Welding of Railway Vehicle and Components)といった規格に準拠した機種となっている。また、鉄道車両用主変圧器としてIRIS(International Railway Industry Standard)の認証を取得している。

*系統変電システム製作所

1. ま え が き

近年の在来線車両で、交流電車で搭載される主変圧器は、走行時の自然風を利用して電動送風機を不要とした走行風利用自冷式が主流となっているが、従来の強制風冷式とは異なる特質があり、設計時によく検討する必要がある。

本稿では、“省エネルギー、省メンテナンス、低騒音化”に貢献している自冷式主変圧器及び国内・海外への展開・適用について述べる。

2. 走行風利用自冷式

2.1 鉄道車両用主変圧器の冷却

主変圧器は、架線から受電した電力を全ての車両搭載機器に給電する重要機器であり、車両を駆動するための主回路と空調装置などを運転するための補助回路に電力を供給する。

通常、主変圧器では、電動送風機を用いて強制的に冷却器に風を取り込み、冷却する。一方、自冷式主変圧器では、車両走行によって生じる走行風を冷却器に取り込むことによって、主変圧器を冷却している。そのため、電動送風機が不要となっている。

図1に自冷式主変圧器のイメージを、図2に外観を示す。

2.2 自冷式主変圧器の特長

自冷式主変圧器には、電動送風機を不要としていることで、次の特長がある。

- (1) 省エネルギー(電動送風機の運転電力不要)
- (2) 省メンテナンス(電動送風機のメンテナンス、及び冷却器の清掃作業不要)
- (3) 低騒音化(電動送風機の運転騒音なし)

2.3 冷却設計の留意点

自冷式主変圧器は冷却設計上、次のことを考慮している。

2.3.1 車両走行速度と冷却風速との関係

走行風利用自冷式冷却での特質は、走行速度によって走行風の風速が変わり、冷却性能が常時変化することである。過去の試験から得られた走行速度と冷却風速との関係を基に冷却設計を行っている。

2.3.2 冷却性能と主変圧器容量の算定

走行速度の関数で冷却性能が変化することを考慮して、所定の走行線区及び走行パターンについて温度シミュレーションを実施し、定格容量を設定する。

2.3.3 主変圧器の配置

自冷式主変圧器は、図1のように冷却器を極力車体の側面に配置し、冷却器へ走行風を取り入れやすいように、前後の機器との間に適当な間隔を確保する必要がある。

車両の床下が完全にカバーで覆われる車両では、走行風取り入れのために、冷却器を側面カバーの外に出す構成が必要となる。このとき、冷却器前後のカバーをスロープ形状

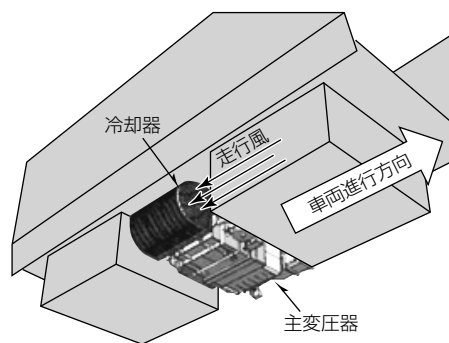


図1. 自冷式主変圧器のイメージ

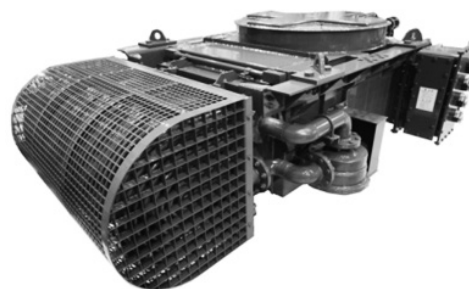


図2. 東日本旅客鉄道(株)E657の系特急形交直流電車用自冷式主変圧器

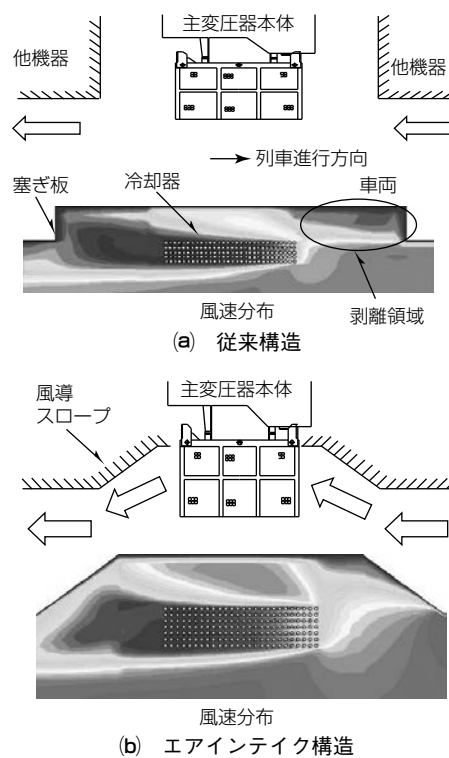


図3. 冷却風の解析例

とすることによって、より多くの走行風を冷却器へ取り入れる工夫が施されたエアインテイク構造(特許第3373446号)を採用している。図3に冷却風の解析例を示す。

2.3.4 冷却器の保護

2.3.3項のように走行風利用自冷式冷却は、走行風を取り入れるために車両側面に寄せる必要がある一方で、飛石などの飛来物に配慮する必要がある。

3. 国内での実績

2. 2節の特長を持つ自冷式主変圧器は、その特長が評価され、国内在来線向けに広く適用されている。1980年の初適用から、2018年2月現在までで945台の自冷式主変圧器を納入している(図2、図4)。

35年以上の実績を持つが、これまで走行風利用自冷式冷却に起因した不具合は起きておらず、信頼性の高い機器と評価されている。また、保守面に関しても清掃作業不要であることを実証できている。

4. アジアへの展開・適用

アジアへの展開として、鉄道需要の高いインド市場への提案を試みた。インドでは、大気汚染問題が深刻であり、排気ガス削減などの省エネルギー意識や環境への意識が高まっている。特に近年では、単なる鉄道の整備だけでなく、鉄道車両としての省エネルギーも求められるようになってきている。

また、運用環境は塵埃(じんあい)や羽、油分を含んだゴミなどが多く、通常の強制風冷式では清掃保守に多くの費用がかかっている。このような背景の中、走行風利用自冷式はそれらの問題を解決するために適した技術であるにもかかわらず、インド市場では、走行風利用自冷式の技術は認知度が低かった。そのため、顧客に走行風利用自冷式の技術、実績、既存機種に対する消費電力量の差、騒音低減率などを提案して2016年からデリー地下鉄を走行する車両に適用された(図5)。

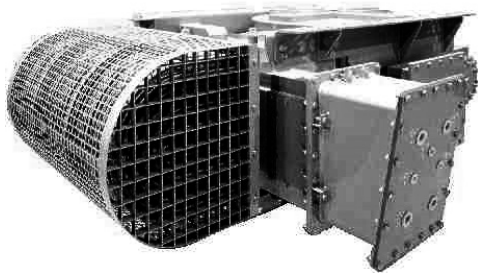


図4. 西日本旅客鉄道(株)の683系特急電車(サンダーバード)用自冷式主変圧器

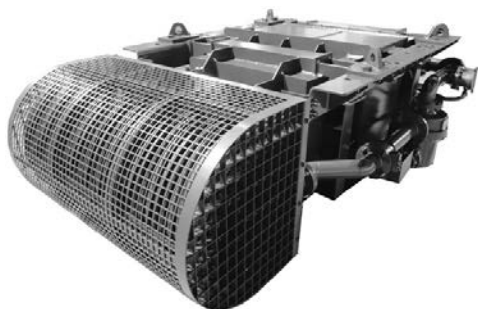


図5. インドデリー地下鉄RS13向け自冷式主変圧器

1年運用後に現車で温度上昇試験、及び状態確認を実施した。現車で油温度測定結果及びシミュレーション結果の比較を図6に示す。油温度は許容値(100℃)内であり、シミュレーション結果と同等であることから、設計の妥当性も評価できた(図7)。

また、走行風利用自冷式冷却器の状態確認を実施した結果を図8に示す。走行風利用自冷式冷却器の状態は国内と同様に塵埃や羽、油分を含んだゴミの付着などなく良好な状態が保たれていることを確認でき、インドのような過酷な状況下でも、走行風自冷式冷却器が問題なく適用できることを実証できた。

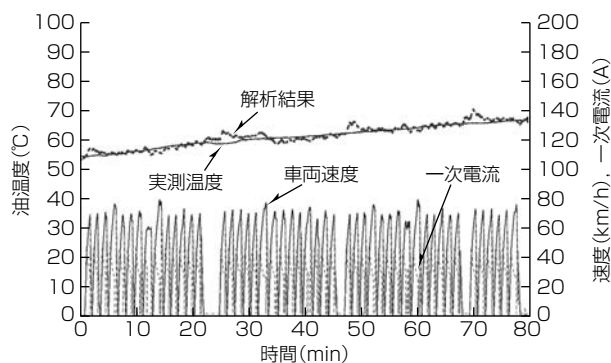


図6. 油温度測定結果とシミュレーション結果

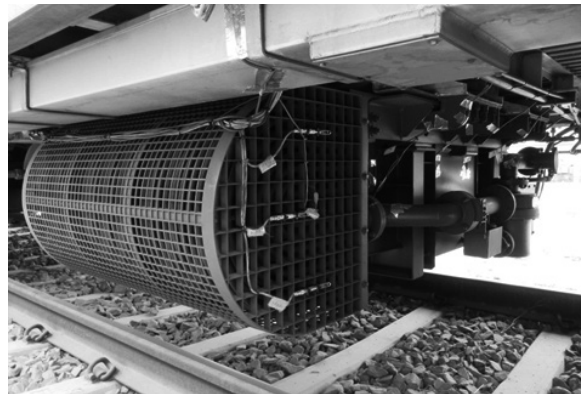


図7. 現車走行試験での油温度測定



図8. インドデリー地下鉄RS13向け1年走行後の冷却器の状況

5. 欧州への展開・適用

5.1 屋根上走行風利用自冷式冷却器

海外へのもう一つの展開として、欧州市場への提案を進めた。欧州の環境は国内と同等と予想されるが、主変圧器の設置場所が異なる。国内では主変圧器は車両の床下に設置されるのが一般的であるが、欧州では駅のプラットフォームが低く、バリアフリーの観点から低床車両が適用され、主変圧器などの電機品は屋根上に設置される。したがって、走行風利用自冷式冷却器の冷却器も屋根上に設置されることになる。

走行風利用自冷式冷却器の冷却器の設置場所が閉塞された車両の床下から、開放された車両の屋根上に変更されることによって、走行風をより多く取り込むことが可能であると考えられるが、屋根上設置の実績がなく、車両速度と走行風の関係が不明な状況であった。そこで、車両状態を模擬した流体解析を実施し、屋根上の走行風の状態を確認した。

解析結果の例を図9に示す。解析結果から床下よりも多くの走行風が得られるが、風の流れ方も異なることが分かった。屋根上に適した自冷式冷却器を設計し、屋根上設置に適した軽量の屋根上走行風利用自冷式主変圧器を開発した。

5.2 フランス国鉄への参入

フランス国鉄は、TGV(高速車両)や通勤用車両として新造車を調達する一方で、環境に配慮して資源を有効活用するため、老朽化した車両の車体はそのまま流用して電機品だけをリニューアルする更新工事にも積極的に取り組んでいる。その中で、T4型路面電車(図10)では省エネルギー化、低騒音化、ライフサイクルコストの低減が求められていた。

当社が開発した屋根上設置型の自冷式主変圧器は、フランス国鉄の訴求ポイントにマッチし、これまで培ってきた当社車両用主変圧器の技術が高く評価されて採用に至った。フランス国鉄に対しては日本メーカーとして初めての参入となる。表1にT4型路面電車の既設器と当社の自冷式主変圧器の比較を示す。

更新工事となるため、既設器からの優位性を保ちながら、車両とのインタフェースを完全に合わせる必要がある。また、屋根上自冷式主変圧器であるが、車両側の条件、他機器との位置関係なども変更できないため、周囲の走行風の条件について、慎重に検討を重ね、設計・製造を進めている。

今後、実際の車両で約1年間の走行試験が行われた後、量産での仕様が決定される予定となっており、屋根上自冷

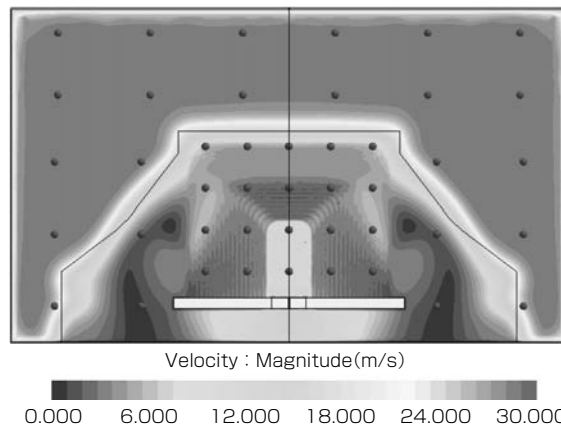


図9. 屋根上走行風利用自冷式冷却器の解析例



図10. T4型路面電車

表1. T4型路面電車の既設器と当社自冷式主変圧器の比較 (同一容量, インピーダンス, 質量での比較)

項目	既設器	当社器
サイズ(車長方向寸法)	2,493mm	2,125mm
信頼性	1回/5年の頻度で故障	30年ほぼ故障なし
騒音レベル	80dB(A)	67dB(A)
メンテナンス	<ul style="list-style-type: none"> 部品メンテナンス ブロワーモータのベアリング交換 冷却器の清掃など 	<ul style="list-style-type: none"> ベアリング交換不要 冷却器清掃不要
損失(効率)@定格	27.3kW(96.2%)	14kW(98.0%)

式主変圧器として初適用である本車両で、屋根上走行風の状況を把握し、量産時の設計にフィードバックしていく。

6. むすび

近年の環境意識の高まりによって、鉄道は環境負荷の少ない移動・輸送手段として重要度がますます高くなってきており、自冷式主変圧器は顧客から高い評価を得ている。今後も、環境負荷の少ない自冷式主変圧器の適用拡大に向けて取り組み、社会貢献していく。

参考文献

- (1) 三菱電機株：走行風利用自冷式車両用主変圧器，電気評論，101，No.3，74 (2016)