

鉄道車両用電気品に対する予防保全の取組み

Preventive Maintenance Ensuring Reliability of Electrical Equipment for Rolling Stock

萩原 純一

■ HAGIWARA Junichi

鉄道車両は耐用年数が長く、車両用電気品も20年以上使われる場合が多い。一般的に、電気品に使用されている電子部品は、使用開始後10年頃から劣化によると思われる故障が発生し始める。これらの故障は部品の稼働時間に依存するため、いくつかの故障が同時期に発生する可能性が高く、車両の運用に影響を及ぼし、社会的にも影響が大きい。このため、劣化が始まる前に電子部品を交換することで電気品の延命を図り、信頼性を維持することが重要である。

東芝は、鉄道車両用電気品の予防保全分野において、現車調査やサンプルの分解調査による劣化調査の精度向上や、入手が困難になった部品の改廃設計による代替部品への更新などを、納入先の事業者の協力を得て進めることで、鉄道車両の安定運用をサポートしている。

Electrical equipment for rolling stock tends to be in operation for more than 20 years because rolling stock usually has a long service lifetime. Problems caused by the degradation of electronic parts mounted on such electrical equipment often occur about 10 years after the commencement of operations. Due to the close relationship between these problems and the operating time of each part, there is a possibility that multiple failures might occur at around the same time. This can disrupt transportation schedules and lead to adverse effects on society. The need has therefore arisen to extend the service lifetime of electrical equipment and sustain its reliability by replacing electronic parts before degradation takes place, based on preventive maintenance methods.

In cooperation with railway companies, Toshiba has been making efforts to support the stable operation of rolling stock through improvements in degradation investigations by means of actual products and the disassembly of sample parts, as well as design techniques to replace parts that are difficult to procure.

1 まえがき

鉄道車両は耐用年数が長く、車両用電気品も20年以上使用される。これらの電気品に使用されている電子部品は10年程度で劣化による故障が発生し始め、車両の運用に影響を及ぼす。

このため、劣化が始まる前にこれらの部品を交換することで電気品の延命を図り、信頼性を維持する予防保全が重要になる。

ここでは、これまで行ってきた予防保全活動の概要と今後の展開について述べる。

2 電子部品の劣化と予防保全の始まり

鉄道車両用の電気品向けに、主回路に半導体を使用したインバータ装置の量産が1980年代から開始された。この結果、それまで使用されていた直流主電動機、カム方式主制御器、直流電動発電機のブラシや接触器などの可動部品の日常的なメンテナンスが不要になった。

一方、半導体を使用した電子部品は10年程度で劣化が発生し、電気品の故障が増えた。

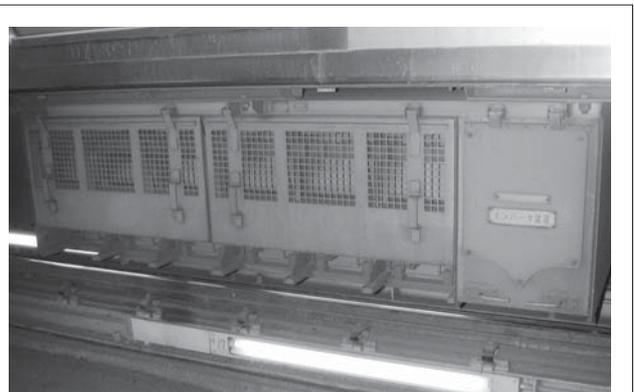


図1. 12相GTOインバータ装置 — 1984年に量産が開始された。
Auxiliary power unit with 12-phase gate turn-off thyristor (GTO) circuits

電気品の故障の傾向を、納入台数の多い鉄道車両補助電源装置である12相Gate Turn-Off thyristor (GTO) インバータ装置(図1)を例として述べる。この装置は1984年の納入開始から1,000台以上の納入実績があり、その多くが現在も稼働している。

最初に故障が発生したのは製造後10年程度で、GTO周辺回路のはんだ亀裂が原因と思われる故障であった。はんだ亀

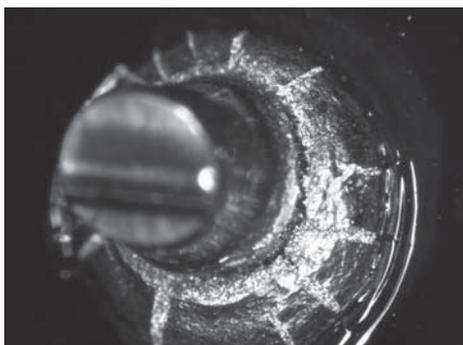


図2. ゲート基板のはんだ亀裂 — 亀裂ははんだ面全周で発生し、亀裂によって接触不良が起こる。
Solder cracks in gate board

裂は、ゲート基板やゲートアンプの抵抗からの発熱が大きい部分に発生する。抵抗の直下では基板が変色するほどの状態になり、亀裂ははんだ面全周にわたって発生していた(図2)。

ゲート基板ではんだ亀裂が発生すると、亀裂面での接触不良でゲート信号が正しく伝わらなくなり、故障の原因になっていた。

同じ頃に電解コンデンサの劣化も始まった。ゲート電源や制御電源などのスイッチングレギュレータ内部に使われている電解コンデンサの容量低下や液漏れによるパターン損傷が見られるようになり、故障が多くなった。

更に、15年を超えるとスナバコンデンサやフィルタコンデンサなどの主回路用のオイルコンデンサが劣化し、内部のオイルのガス化で内圧が上がりケースが膨張し(図3)、破裂する事象が発生した。特にスナバコンデンサでこの事象が発生すると、GTOがいっしょに破壊されることが多くなった。

この頃には既に主回路素子であるGTOは製造が中止され、



図3. オイルコンデンサの劣化 — 経時変化によるオイルのガス化でケースが膨張する。
Degradation of oil-filled capacitor

予備の部品に頼っていたため、このまま故障が増え続ければ修理ができなくなる可能性が出てきた。

当初、これらの事象に対し発生の際に対策を講じていたが、現車での電気品の調査や修理の実績から、複数の納入先で同様の現象が発生していることが判明した。そこで、それらの状況を踏まえて電気品に使われている部品や基板などの交換を提案したのが予防保全の始まりであり、関東を皮切りに全国の納入先に展開した。

12相GTOインバータ装置で交換した主な部品は以下のとおりである。

- (1) ゲート基板
- (2) ゲートアンプ
- (3) 電源ユニット
- (4) フィルタコンデンサ
- (5) スナバコンデンサ
- (6) シーケンスユニット
- (7) 制御ユニット

ある鉄道事業者に納入した12相GTOインバータ装置の修理件数と予防保全の実施率を図4に示す。

1996年までに納入を完了したGTOインバータ装置に対して、2006年から予防保全を開始したが、スナバコンデンサの劣化による故障が多発したために2010年には100件を超える修理件数があった。予防保全の実施率が上がるに従って修理件数は減少し、77%の装置の予防保全が終了した2014年には、修理件数は予防保全開始前の1/2以下になり、故障がもっとも多かった年の1/5まで減少した。

この事業者への納入開始は1986年であり、2016年で製造から30年を迎えることになるが、予防保全を実施しながら今後も10年程度は継続して使用される見込みである。

更に、12相GTOインバータ装置の予防保全での実績に基づき、モータ駆動用の可変電圧可変周波数(VVVF)インバータ装置へも予防保全の導入を拡大させた。

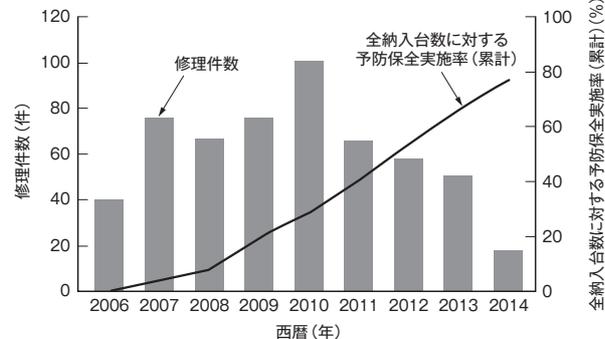


図4. 予防保全実施後の修理件数の推移 — 予防保全の進捗に従って修理件数が減少し、有効性が確認できた。

Trend in number of repairs after introduction of preventive maintenance

VVVFインバータ装置でも12相GTOインバータ装置と同様の劣化傾向だったが、特徴的なものとしてはゲート信号の伝送に使っている光ケーブルの劣化があった。これらのケーブルには取扱いの容易さからプラスチック製のものが採用されていたが、製造から10年程度で伝送損失が大きくなり、ゲート信号が正しく伝わらず保護機能が働く故障が発生した。

また、運転手からの取扱い指令信号を受けるリレー基板とその信号の電圧を下げる抵抗基板に、はんだ亀裂が数多く発生した。これらの部品を交換することで、VVVFインバータ装置でも故障の発生件数を抑えることができた。

3 IGBTを使用したインバータ装置の劣化傾向

1992年から鉄道車両用のインバータ装置は、主回路素子としてIGBT（絶縁ゲートバイポーラトランジスタ）を使用するようになった。これらの装置も既に製造から20年以上を経過したものがあるが、2016年現在も使用されており、劣化状況の調査を行っている。

IGBTを使用したインバータ装置ではGTOを使用した装置と比較して以下の部位に違いがある。

- (1) ゲートパワーが小さいため発熱が少なく、GTOでは顕著であったゲート基板のはんだ亀裂が少ない。
- (2) 基板の集約化やスナバ回路の簡素化などで部品点数が減ったため、劣化する部品数が減った。
- (3) 電解コンデンサの高寿命化と電解コンデンサを使用する回路の減少で、電解コンデンサに起因する故障が減った。
- (4) IGBT内に使用されているはんだが脆化（ぜいか）し、亀裂が発生する。

GTOを使用したインバータ装置では、フィールドでの現車調査ではんだの亀裂やコンデンサの劣化を目視や測定器で確認してきたが、IGBTを使用した装置では、現車での調査に加えて表1に示すようなサンプルによる分解調査も行い、劣化調査の精度を上げている。

これらの分解調査でも、製造から10年程度では電解コンデンサの容量低下などの他は顕著な劣化は見られず、今後の劣化の傾向については引き続き追跡調査や加速試験などを行って状態を把握していく必要がある。

劣化に関する調査や故障予測については、今後、検証方法

表1. サンプルの分解による劣化調査

Degradation investigations by means of disassembly of sample parts

サンプル	調査項目
IGBT	特性調査、はんだ断面調査
コンデンサ	特性調査、内部素子の点検、電圧破壊試験
基板	特性調査、電解コンデンサの容量測定、基板上の部品の特性調査

を確立していく。

4 交換用部品の確保

予防保全は最初の製造から10年以上経過してから行われるため、交換に使用する部品として、オリジナルの部品が入手できたり、予備として豊富に所持していたりする場合は問題ないが、入手困難な場合は以下のような手順に従った改廃設計が必要になる。

- (1) 同一特性又は類似特性の部品を選定する。
- (2) 部品が見つからない場合は代替回路を検討し、基板を新規に設計し、作製する。
- (3) コンデンサの場合はメーカーに代替品の検討を依頼し、外形が変更になる場合はアダプタなどで取付け互換性を維持する。
- (4) 制御基板の交換などでマイコンが入手できない場合は、基板を新たに設計して作製し、これに合わせたソフトウェアの設計も行う。
- (5) これらの部品の選定にあたっては、長期にわたる部品の入手性も考慮する。

これらの部品の供給問題は、主回路用のGTOでも同様である。このため、主回路素子が供給困難になるおそれがあるものに対しては、代替素子での更新も行っており、図5～図7にその例を示す。

いずれの装置やユニットも予防保全を行い、営業運転で問題なく使用されており、このまま車両の寿命まで継続使用される見込みである。

更に、初期のIGBTを使用したインバータ装置では、そのIGBTが製造中止になったために予備として所持している数が少なくなったものがあり、これらについても代替品の使用を検討している。



図5. IGBT界磁チョッパ装置 — 1983年に納入したGTOを使用した直流主電動機駆動用界磁チョッパ装置の更新用装置を、IGBTを使って作製した。

Insulated gate bipolar transistor (IGBT) field chopper control unit

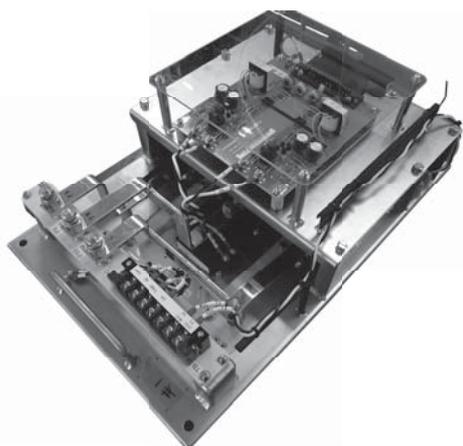


図6. IGBT DC/DCコンバータユニット — 1987年に路面電車用に納入したGTOを使用したDC/DCコンバータ (DC: 直流) の更新用ユニットを, IGBTを使って作製した。

IGBT converter unit for tram vehicles

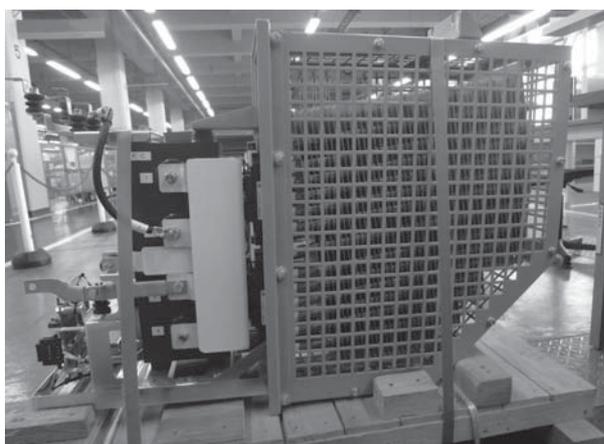


図7. IGBT VVVFインバータ装置 — 1994年に納入したGTOを使用した個別VVVFインバータ装置の更新用装置を, IGBTを使って作製した。

IGBT variable-voltage variable-frequency (VVVF) inverter unit

しかし、インバータ装置のパワー素子を置換する場合は、信号機器への影響をこれまで以下とする必要がある。代替素子の導入に際しては現車での検証を含め、納入先の鉄道事業者の協力を得て、慎重に検討を進めている。

5 あとがき

電子部品は供給可能期間が短いので、長期にわたって部品の供給や修理を行うことは困難だが、鉄道の安定運用を維持するためには車両の信頼性を確保することが不可欠であり、社会的なニーズでもある。そのため、予防保全が重要である。

東芝は、PMSM (永久磁石同期電動機) やSiC (炭化ケイ素) パワーデバイスを使ったインバータ装置などの新しい技術による省エネ化で社会貢献をしている。更に、これらの装置を長期にわたり維持していく地道な活動も重要な役割と考え、今後も提案活動を継続して鉄道車両の信頼性向上に貢献していく。



萩原 純一 HAGIWARA Junichi

東芝トランスポートエンジニアリング(株) 交通技術部長。
鉄道車両用電気品のメンテナンス業務に従事。
Toshiba Transport Engineering Inc.