

車両用電子機器の故障の傾向と対策

福田 典子*

Failure Investigation of On-board Electronic Equipments for Trains

Tenko FUKUDA

Railway vehicles are equipped with various electronic equipments including traction inverters. It is very important to improve the reliability of each element constituting the equipments. We have the maintenance problems of on-board electronics parts, such as difficulty to reproduce the occurrence of failures, difficulty to prevent sporadic occurrence of failures, difficulty to identify the reasons in case failure does not reoccur. Then, we have held the investigation committee on the prevention of failures of on-board electronic equipments since 2002. The members are experts from railway operators and manufacturers. This time we report on the characteristics of the failures of traction inverters and their countermeasures based on the survey results of the inverter faults/failures.

キーワード：VVVFインバータ装置，故障，経年劣化，信頼性，保守

1. はじめに

鉄道車両では、性能と信頼性の向上及び保守の省力化を目指して、VVVFインバータ装置、補助電源装置などの電子機器が広く普及している。しかし、製造、組立不良、使用環境条件の変化、そして経年劣化などの原因から故障がゼロというわけではない。また、インバータ装置などは特別な工夫をしない限り劣化が見えないこと、故障の予兆がない場合も多いことから、保守方法や故障対策が課題であった。このような状況を鑑みて、鉄道事業者36社、関係メーカ12社及び鉄道総研のメンバーで、「鉄道車両用電子機器の故障防止に関する検討会」（以下、本検討会）を開催している。本検討会では、毎年、故障アンケート調査を実施して、故障実績、故障原因を集計し、メーカの知見を加えて現状の分析を行い、電子機器の故障防止対策、保守のあり方、今後の電子機器に求められる要件を考察している。対象装置は、VVVFインバータ装置、補助電源装置、ブレーキ装置（電子機器部分のみ）、保安装置である。このうち、VVVFインバータ装置に関わる故障調査は、1995年度から実施しており、12年間のデータを取得することができた。ここでは、VVVFインバータ装置の故障の傾向と、設計、保守面からの故障対策について紹介する。

2. VVVFインバータ装置の故障の傾向^{1), 2)}

本検討会に報告された1995年度～2006年度のVVVF

インバータ装置に関わるABC故障（A故障：列車遅延10分以上，B故障：列車遅延10分未満，C故障：列車遅延には至らなかった故障）の傾向を以下にまとめる。但し、JR各社についてはAB故障のみの調査である。

2.1 年度毎の故障率の推移と季節による故障の傾向

図1に年度毎の累積VVVFインバータ制御車両数及びVVVFインバータ装置の故障件数と故障率の推移を示す。図1に示すように、2006年度までに投入されたインバータ制御車両数はおおよそ2万両である。故障率（＝報告されたABC故障件数／稼働装置台数×100）を見ると、2001年度が2.3%と最も高く、2002年度以降は年々低くなっている傾向が見られる。車両数が増加し、車齢が長くなっているにも関わらず故障率が低くなっているのは、これまでの様々な初期故障対策や経年劣化対策の効果であると考えられる。

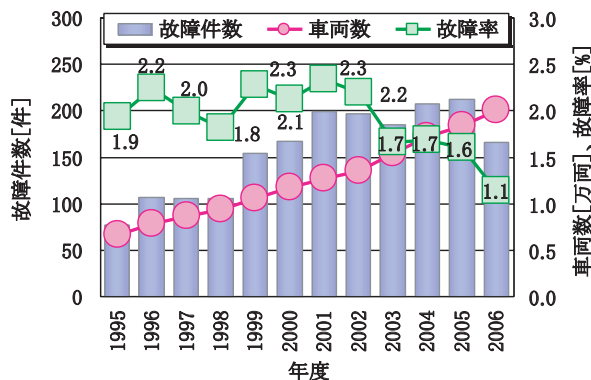


図1 年度に対する累積インバータ制御車両数とVVVFインバータ装置の故障件数及び故障率

* 車両制御術研究部（駆動制御）

図2は季節別の故障発生件数を集計した結果である。夏期(6月-8月)に発生した故障が全体の31%と最も多く、周囲温度が電子機器の動作に影響を与えることがわかる。

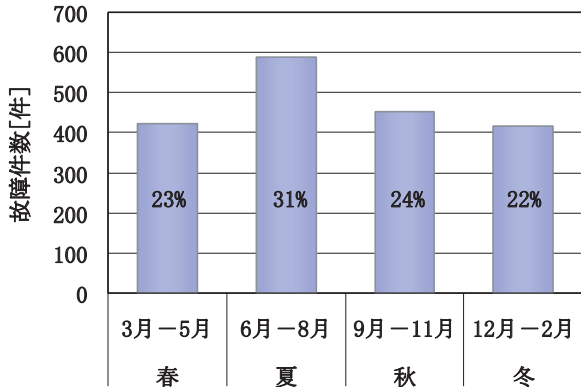


図2 季節別の故障件数

2.2 経年に対する故障件数の推移と故障傾向

図3に新製からの経過年数に対する故障件数を示す。最も故障が多く発生しているのは、新製から8年目、次に1年未満である。

以下に、全体の故障傾向と、件数の多い新製から1年未満及び8年目の故障の傾向についてまとめる。

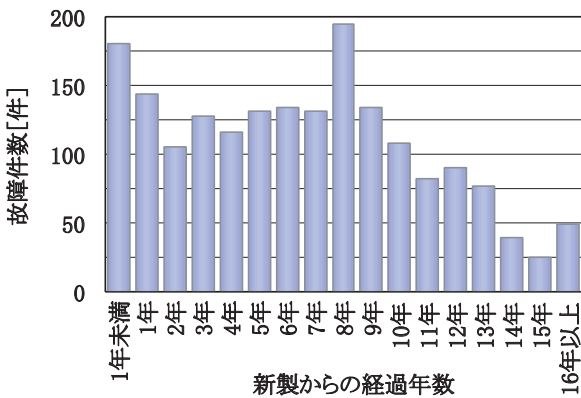


図3 新製からの経過年数に対する故障件数

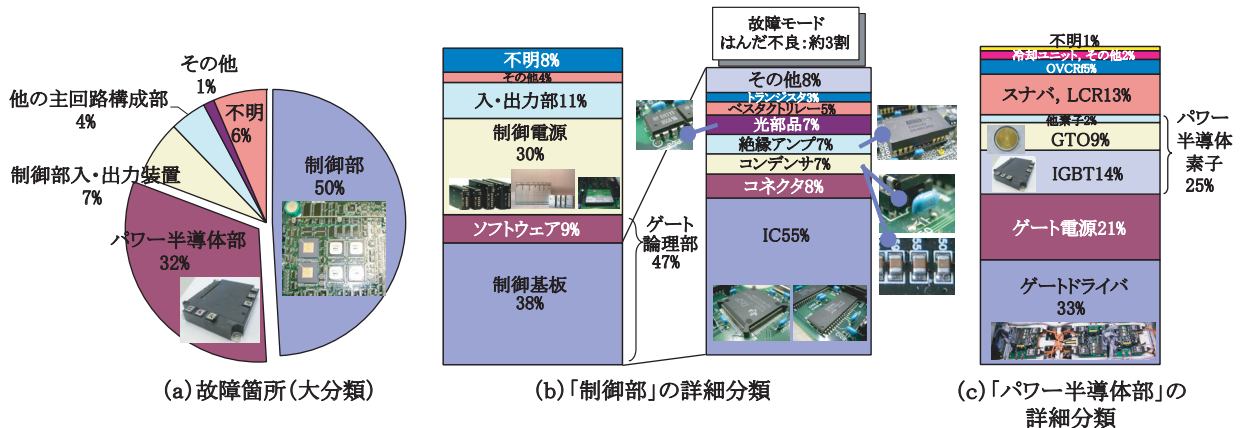


図4 故障箇所(全体)

2.2.1 全体の故障傾向

図4に故障箇所の分析結果を示す。図4(a)に示すように、故障箇所(大分類)は、制御部が50%と最も多く、次にパワー半導体部(ゲートドライバ含む)32%、制御部入・出力装置7%、他の主回路構成部4%である。最も多かった制御部とパワー半導体部の故障の特徴は以下の通りである。

(1) 制御部(図4(b))

- (a) ゲート論理部の不具合は47%で、その内ソフトウェアの不良は約2割であること。
- (b) 制御電源の不具合が30%を占めること。
- (c) 原因が判明した制御基板上部品は、ICが55%を占めること。また、基板上部品の故障モードの約3割がはんだ不良であること。

(2) パワー半導体部(図4(c))

- (a) ゲートドライバとゲート電源の不具合で54%を占めること。

2.2.2 新製から1年未満の故障傾向

図5に新製から1年未満の故障箇所を示す。図5(a)に示すように、制御部が54%と最も多く、次にパワー半導体部(ゲートドライバ含む)23%、他の主回路構成部10%、制御部入・出力装置6%である。制御部、パワー半導体部の故障の特徴は以下の通りである。

(1) 制御部(図5(b))

- (a) ゲート論理部の不具合は82%で、その内ソフトウェアの不良が約5割を占めること。
- (b) 原因が判明した制御基板上部品は、IC、絶縁アンプ、光部品、ダイオード、基板パターン、コンデンサ、抵抗、リレーと様々であること。

(2) パワー半導体部(図5(c))

- (a) ゲートドライバの不具合は40%で、その内の約9割がIGBTドライバの不良であること(調査期間がGTOからIGBTへの置き換わりの時期を含んだため)。
- (b) パワー半導体素子の不具合は44%とゲートドライバとほぼ同じ割合を占めること。

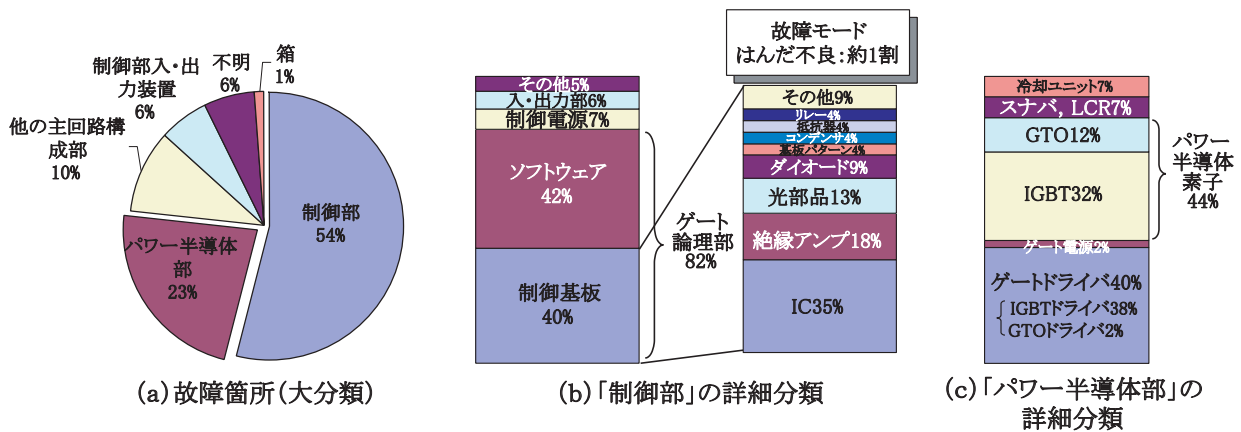


図5 故障箇所（新製から1年未満）

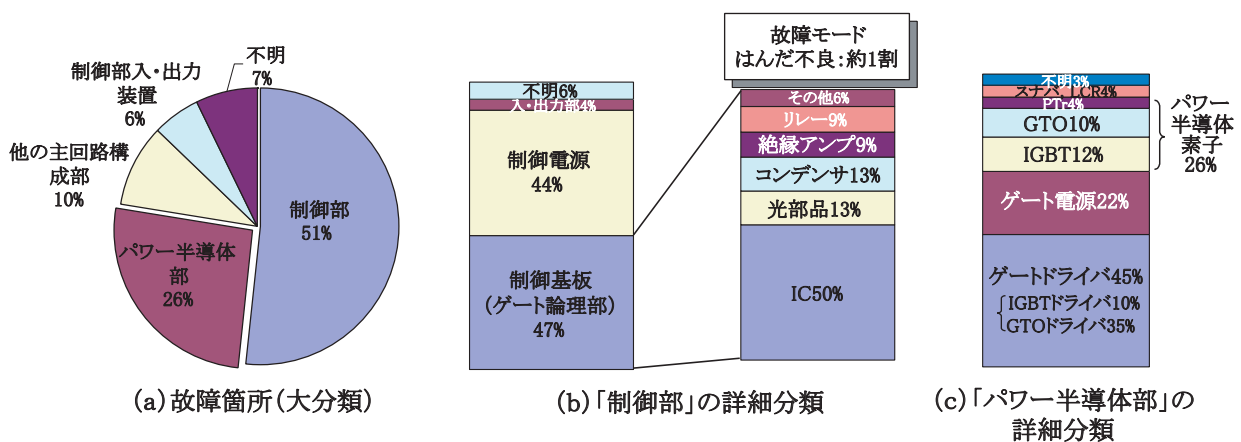


図6 故障箇所（新製から8年目）

2.2.3 新製から8年目の故障傾向

図6に新製から8年目の故障箇所を示す。図6(a)に示すように、制御部が51%、パワー半導体部（ゲートドライバ含む）26%、他の主回路構成部10%、制御部入・出力装置6%である。これは、図5(a)の新製から1年未満と同じ傾向であるが、制御部とパワー半導体部の故障の特徴は大きく異なり、以下の通りである。

(1) 制御部（図6 (b)）

- (a) ゲート論理部の不具合は47%で、その内ソフトウェアの不具合は見られないこと。
- (b) 制御電源の不具合は44%とゲート論理部とほぼ同じ割合を占めること。
- (c) 原因が判明した制御基板上部品は、IC、光部品、コンデンサ、絶縁アンプ、リレーであり、その内、50%がICの不具合であること。

(2) パワー半導体部（図6 (c)）

- (a) ゲートドライバとゲート電源の不具合で67%を占めること。

3. 故障対策^{3), 4), 5), 6), 7)}

3.1 設計による故障対策

VVVFインバータ装置の小型、軽量化及び高機能化と

故障防止を両立させるために実施している、設計面からの様々な対策を以下に紹介する。

(1) 信頼性向上策

高い信頼性の電子部品を採用するとともに、部品の数を減らすように機器の設計を行っている。抵抗器は、発熱量が大きく炭素皮膜抵抗器を使用していた箇所を、精度の高い金属皮膜相当の抵抗器に置き換えるように設計をしている。アルミ電解コンデンサは、極力、寿命の長いセラミックコンデンサなどを使用する方向である。また、機能集約型ICを使用し、ソフトウェア的に電子回路を実現することで、部品の数を減らしている。更に、多層基板や表面実装技術を採用し、基板の枚数を低減している。

(2) 熱設計の考慮と設計・開発時の寿命予測

不具合を起こしやすい部品の多くは熱により劣化する。アルミ電解コンデンサ、はんだ接合部などの劣化寿命の予測が可能な部品は、設計・開発時に劣化寿命の予測を行っている。劣化寿命の予測に必要な使用温度環境の把握は、事業者とメーカーが協力して実施している。メーカーはそのデータにより熱設計を行い、かつ確認試験の際に各部の温度が許容範囲に収まっているかどうかの検証を行っている（図7参照）。

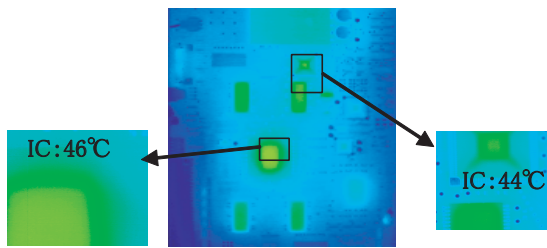


図7 サーモビューアを用いた基板の温度測定例

3.2 保守による故障対策

VVVFインバータ装置の保守面からの故障対策例について紹介する。本検討会では、36車両形式を対象に、検査内容（目視以外）と部品取替の実態について調査を実施した。調査対象車両形式の平均経年は15.4年である。

図8に各当該部品を検査対象としている車両形式数（割合）を示す。ここで、車両形式数（割合）は、36形式に対する該当車両形式数である。図8から、最も多かった検査部品は、ゲート論理部で、主に機能試験である。その他を見ると、フィルタコンデンサ、フィルタリアクトル、充電抵抗器、ゲート電源、制御電源などの検査が行われているが、車両形式数（割合）は30%以下で多くない。なお、重要部検査で行う検査部品と大きな差は見られない。

図9に制御回路関係の経過年数に対する部品の取替実績（累積件数）を示す。制御回路関係では、ゲート論理関連（ゲート論理部、制御電源）や入・出力ユニットの取替が多く実施されている。制御電源を除き、基板実装部品単位での取替事例が多く、アルミ電解コンデンサ、フォトカプラ、絶縁アンプ、光ケーブルなどが報告されている。

図9には示していないが、主回路関係では、ゲートドライバ関連（ゲートドライバ、ゲート電源）の取替が多く、基板実装部品単位で実施されている傾向が見られる。

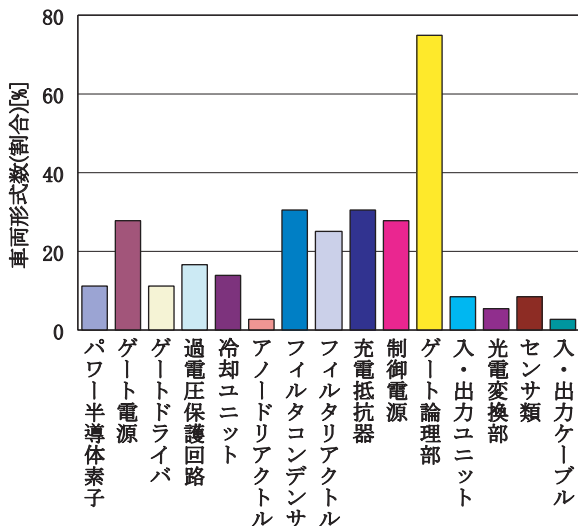


図8 各当該部品を検査対象としている車両形式数（割合）

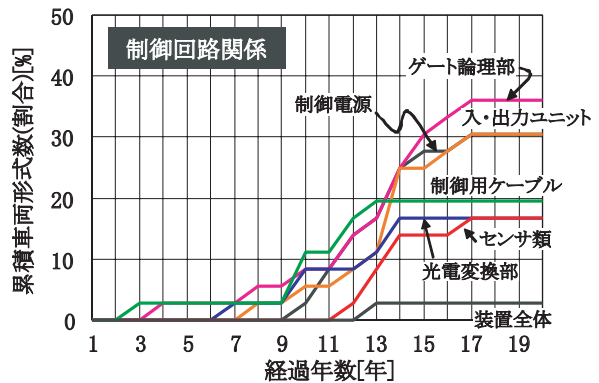


図9 経過年数に対する部品取替実績（累積件数）

る。フィルタコンデンサ、過電圧保護回路、スナバ回路では構成要素単位での取替が多い傾向である。全体を見ると、アルミ電解コンデンサの取替が多く行われている。

制御回路、主回路とも新製から10年～14年で、部品の一斉取替の件数が増えている。定期検査と部品の取替は、故障防止に大きく貢献していると推察される。

4. おわりに

今回は、12年間にわたり調査を行ったVVVFインバータ装置の故障の傾向と設計、保守面からの故障対策について紹介した。車両数が増加し、経年してゆく中で、故障の減少も見られる。これまでの様々な初期故障対策や経年劣化対策の効果であると考えられる。しかし、10年以上経過した装置はますます増加するため、故障防止には引き続き経年部品対策が必要である。

また、鉄道の発展のためには新技術の導入は不可避である。一方、新技術を導入すれば、新しい問題や初期故障も発生する。時代の要請にあわせた新技術の導入と故障防止を両立させることは、今後も大きな課題である。

故障データ収集、分析に関しては、鉄道事業者、各メーカーにご協力を頂きました。記して謝意を表します。

文献

- 1) 福田：車両用電子機器の故障の傾向と対策, R&m, 2008.10
- 2) 福田：鉄道車両を制御する電子部品, RRR, Vol.66, No.1, pp.7～10, 2009
- 3) 福田, 川村：車両用電子機器の故障傾向とその対策, R&m, 2006.11
- 4) 渡邊：車両用電子機器の故障傾向と対策, RRR, Vol.62, No.11, pp.30～33, 2005
- 5) 鉄道総研：電子機器の故障防止に関する調査研究 2005
- 6) 鉄道総研：電子機器の故障防止に関する調査研究 2008
- 7) 鉄道総研：電子機器の故障防止に関する調査研究 2004