

# 車載用電子機器の 更なる信頼性向上への取り組み

福田 典子  
車両制御技術研究部  
(駆動制御研究室 主任研究員)

奥村 正弘  
前 鉄道技術推進センター(主査)  
(現 西日本旅客鉄道(株))



ふくだ てんこ



おくむら まさひろ

## はじめに

鉄道は経験工学とよく言われますが、それは鉄道車両の分野においても言えることです。電車は長らく同じシステムを使用しましたので、その間に発生した不具合を設計や保守作業にフィードバックすることで、車両に不具合が発生することを防止してきました。

1980年代に入ると、将来の労働人口の減少に伴い保守要員の確保が心配されるなか、保守に手間がかからないと言われた半導体を使用したインバータ装置が、車両走行用の電動機の制御装置として採用されるなど、鉄道車両に電子機器が多用されるようになってきました。

もともと無保守を目指した電子機器でしたが、最近では車両故障の中で電子機器の故障が目立つようになりました。電子機器はこれまでの経験だけでは保守できないことに加えて、ブラックボックス化されているため、適切な保守方法の確立や故障防止対策などが課題となっています。

鉄道総合技術研究所では、2002(平成14)年度より車両用電子機器の保守や故障対策に関して、鉄道事業者の事例を調査しメーカーの知見を加えて適切な検査方法を提案することを目的とした検討会(図1参照)をつくり、鉄道車両用電子機器の故障に関する調査研究に取り組み始めました。検討会では、年度毎に、インバータ装置(走行用の電動機の制御装置)、補助電源装置(室内灯などのサービス用の電源装置)、ブレーキ装置、車上保安装置に関わる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

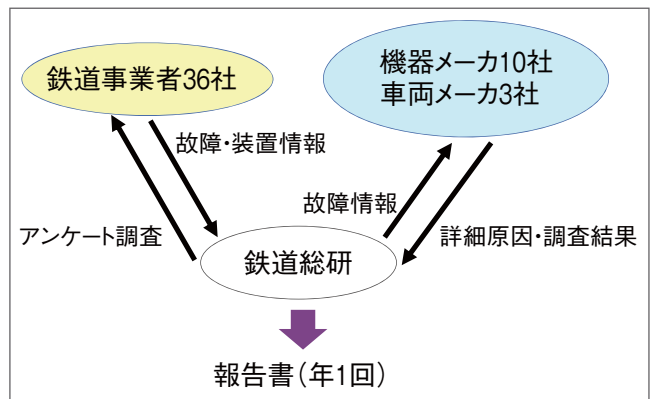


図1 鉄道車両用電子機器の故障防止に関する検討会

故障：列車遅延には至らなかった故障)の調査を行っています。

ここでは、1995(平成7)年度以降の情報を集めて分析してきたインバータ装置に関する故障傾向を紹介します。

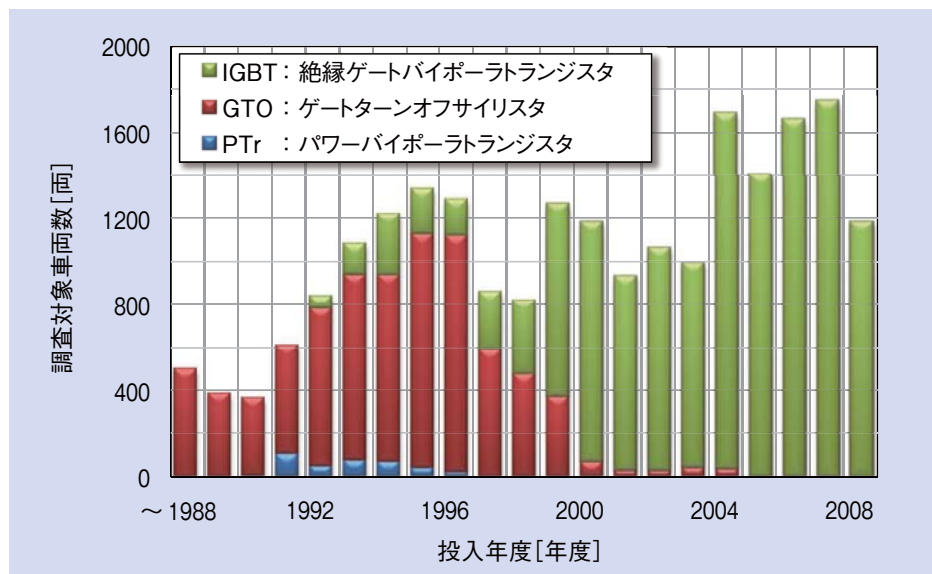


図2 投入年度毎の調査対象車両数(主回路半導体の種類別)

## 調査対象車両数

2008年度における調査対象車両数は、およそ22,000両です。図2は、投入年度毎の調査対象車両数です。パワーバイポーラトランジスタ(以下、PTr)、ゲートターンオフサイリスタ(以下、GTO)、絶縁ゲートバイポーラトランジスタ(以下、IGBT)は、インバータ装置に使用されている主回路半導体の種類です。1990年代の半ばまでは、GTOを使用した装置の車両が多く投入されていますが、現在はIGBTが主流となっており、使用されている部品は替わっています。

## 経過年数と故障件数 および故障率<sup>1)</sup>

図3は、1995(平成7)年度～2008(平成20)年度の14年間のデータを用いて、新製からの経過年数に対して故障件数を示したグラフです。最も故障件数が多いのは、新製から8年目の装置であり、次に、1年未満の装置であることがわかります。主回路半導体の種類別に見ると、GTOを使用した装置の故障件数■は、新製から8年目、

IGBTの装置■は1年未満が最も多くなっています。PTrを使用した装置の経過年数と故障件数■の関係については、調査対象の車両数が少ないこともあり(図2参照、調査対象車両数の1.6%)、特徴は見られません。

図4に、経過年数と故障率[%](=故障件数[件] / 装置台数[台] × 100)の関係のグラフを示します。全体の故障率●は、新製から8年目になると高くなり、その後低くなり、再度12年目から高くなる傾向です。主回路半導体の種類別に見ると、GTOを使用した装置の故障率■は、新製から1年経過すると低くなる傾向です。その後は、8年目で高くなり、全体の場合●と同じような傾向で

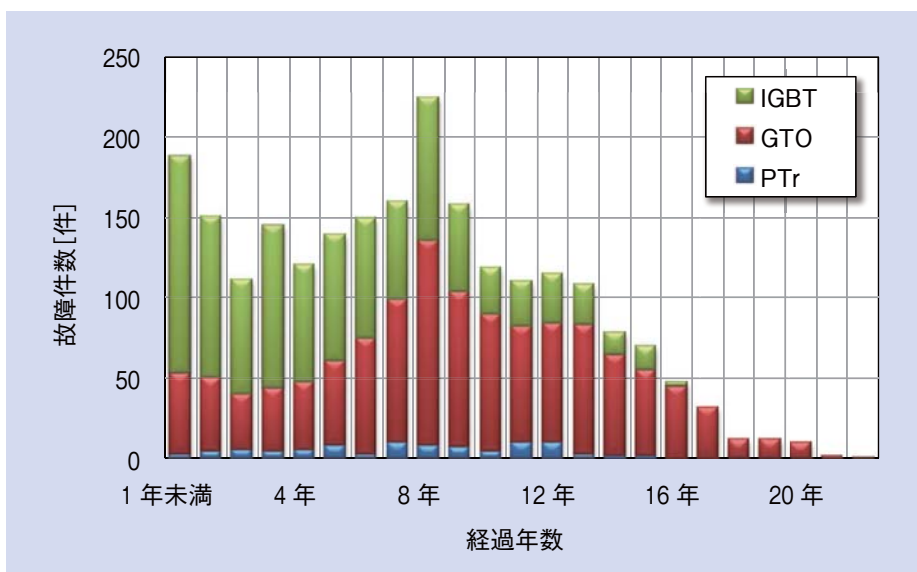


図3 インバータ装置の経過年数と故障件数

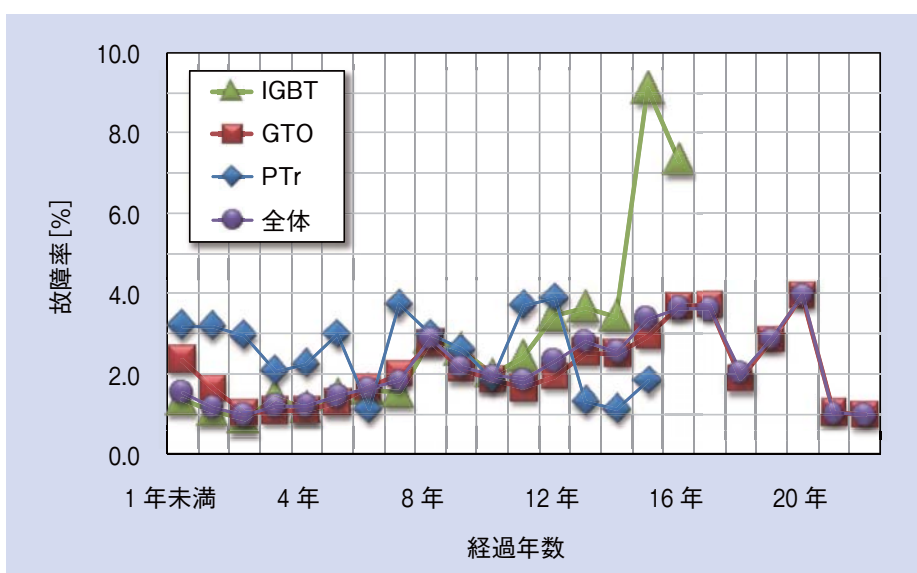


図4 インバータ装置の経過年数と故障率

す。IGBTを使用した装置の故障率▲は、新製から8年目になると高くなっています。故障件数が最も多い1年未満は、GTOの装置■よりも低い値です。その後、IGBT装置の故障率▲は、再度12年目から高くなる傾向が見られ、15年目に最も高くなっています。15年目の故障件数は15件(図3参照)、装置台数は165台と少ないため、故障率が高くなるかどうかを判断するには、継続してデータを収集する必要があります。PTrを使用した装置の経過年数と故障率◆の関係については、故障件数と同様、調査対象の車両数が少ないこともあり、傾向は見られません。

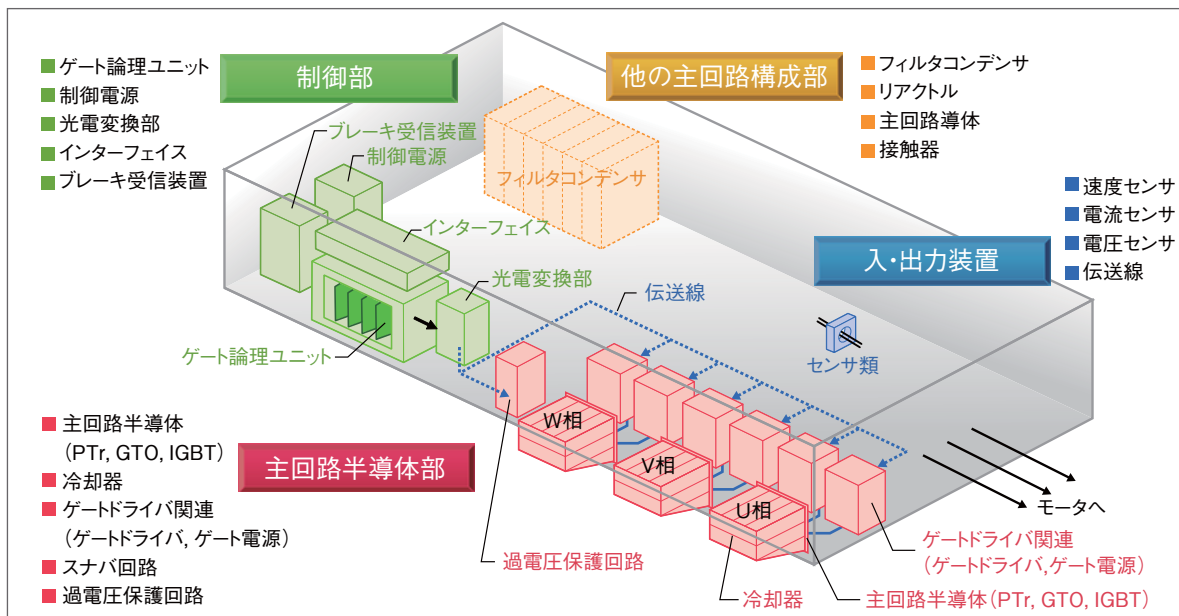


図5 インバータ装置の故障箇所の分類

### 故障箇所と内容<sup>2),3)</sup>

図5に示すように、インバータ装置を、制御部、主回路半導体部、その他の主回路構成部、入・出力装置に分け、故障箇所と内容の分析を行った結果を、図6、図7に示します。

図6から、故障箇所は、制御部が50%と最も多く、次に、主回路半導体部32%、入・出力装置7%、他の主回路構成部4%であることがわかります。最も多かった制御部について、原因が判明した故障の内容を見ると(図7参照)、

- ゲート論理ユニットの不具合は47%で、その内ソフトウェアの不良は約2割であること。
- 制御電源の不具合が30%を占めること。
- 制御基板上の部品は、ICが50%を占めること。他は、

コネクタ、コンデンサ、絶縁アンプ、光部品、リレー、基板またはパターンと様々であること。が挙げられます。ここで、光部品とは、電気信号と光信号を相互に変換するための電子部品のことです。

### 更なる高信頼化に向けて

電子部品の技術開発(小型・集積化技術など)のスピードは速く、それとともに機器の設計も変更され、故障内容やその対策も変わります。そのため、検討会では、継続的な故障調査を行うことに加え、

- 電子機器の熱設計
- 電子機器内の環境(温度・湿度)測定
- 制御基板の劣化調査

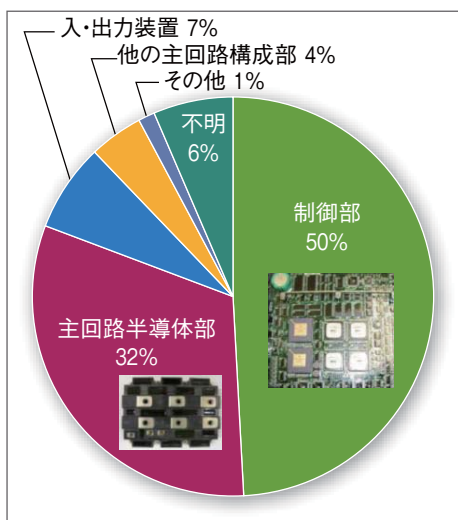


図6 インバータ装置の故障箇所

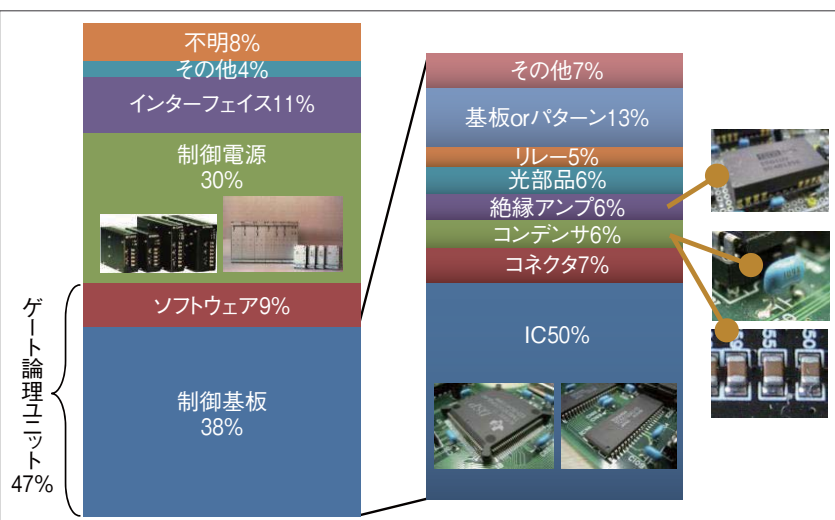


図7 制御部の故障内容

- RAMS (Reliability, Availability, Maintainability, Safety) および電磁両立性
  - 電子機器の寿命延伸の可能性
  - 電子機器の検査内容と更新状況
  - 電子部品の技術変遷と改廃に伴う対処方針
- などについても調査研究として取り組んできました。

2010 (H22) 年度は、更なる信頼性向上のために、故障箇所の割合に加え、原因解明にはどのような工夫が必要かを検討するため、調査内容を変更・追加し、不具合の再現性、故障記録と故障箇所の関係などの分析も行っています<sup>1)</sup>。

インバータ装置では、表1に示す故障記録を抽出し、故障箇所との関係を調べました。図8に結果の一部を示します。図8 (a) は、主回路半導体の短絡であるアーム短絡 (CFD) と記録されていた場合の故障箇所の分析結果です。主回路半導体部 (スナバ回路, 主回路半導体, ゲートドライバ関連) が約90%であり、故障記録から、比較的容易に故障箇所の特定は可能であると考えられます。

表1 抽出したインバータ装置の故障記録

故障記録	
1	アーム短絡 (CFD) : 主回路半導体の短絡
2	過電流 (OCR)
3	電源故障 (LVD)
4	主電動機過電流 (MMOCR)
5	起動・加速不良
6	フィルタコンデンサ低電圧 (FCLVD)
7	速度センサ異常 (PGD)
8	相電流不平衡 (PUD)
9	伝送不良
10	マイコン異常 (WDTD)

図8 (b) は、過電流 (OCR) と記録されていた場合の故障箇所です。主回路半導体部が60%、制御部 (ゲート論理ユニット, 制御電源, 光電変換部) が24%、伝送線が8%と、主回路部と制御回路部のいずれも考えられるため、故障記録からの故障箇所の特定は容易でないと思われます。故障記録の残し方など、故障原因を解明する方法について、今後も調査研究を行う予定です。

### おわりに

当初は調査年度ごとに事例を分析することしかできませんでしたが、継続してデータを蓄積したおかげで、経年による故障の発生傾向を分析することができ、保守や故障防止対策に必要な情報が得られたのではないかと思います。今回ご紹介したのは一部の装置を分析した結果ですが、他の装置についても分析を行う予定です。これからも車両用電子機器の保守や設計の役に立つ新たな調査研究に取り組んでいきたいと思っています。

最後に、このような分析ができたのもデータを提供していただいた鉄道事業者のみなさま、また、故障の分析にご協力いただいたメーカーのみなさまのおかげです。この場を借りて感謝を申し上げます。[RRR]

### 文献

- 1) 鉄道技術推進センター：車両用電子機器の故障防止に関する調査研究, 2011.3
- 2) 福田典子：鉄道車両を制御する電子部品, RRR, 2009.1
- 3) 福田典子：車両用電子機器の故障の傾向と対策, 鉄道総研報告, 2009.4

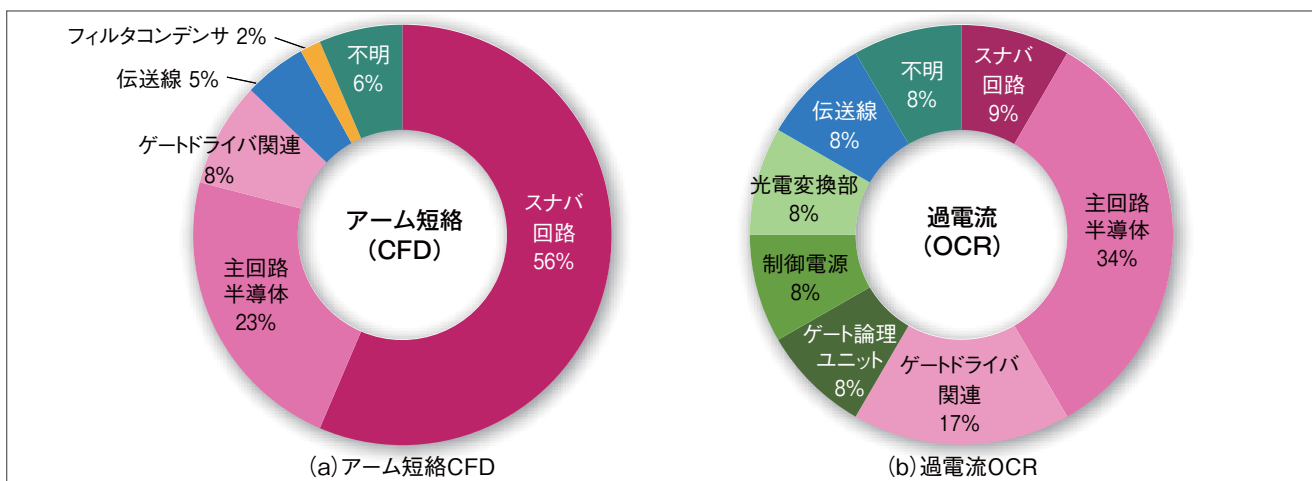


図8 インバータ装置の故障記録と故障箇所