

鉄道車両を制御する電子部品



ふくだ てんこ

福田 典子

車両制御技術研究部(駆動制御 主任研究員)

はじめに

電車には、インバータ装置、補助電源装置、ブレーキ装置、保安装置(ATS/ATC)、モニタ装置、放送装置、空調装置など多くの電子機器が搭載されています(図1)。これらの機器の機能を実現しているのは電子部品です。わずか数mmから1cmというような、電車の大きさに比べると非常に小さいものが、必要不可欠なものとしてたくさん使われています。しかし、電子部品の技術開発(小型・高

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ています。その結果、車載用電子機器の故障の内容は年々変化し、それに対応した対策を行うこととなります。

ここでは、小さな部品の集合体とも言えるインバータ装置(電車を動かすモータを制御する装置)の故障の特徴と故障原因となる代表的な電子部品及び、車載用電子機器の故障対策についてまとめます。

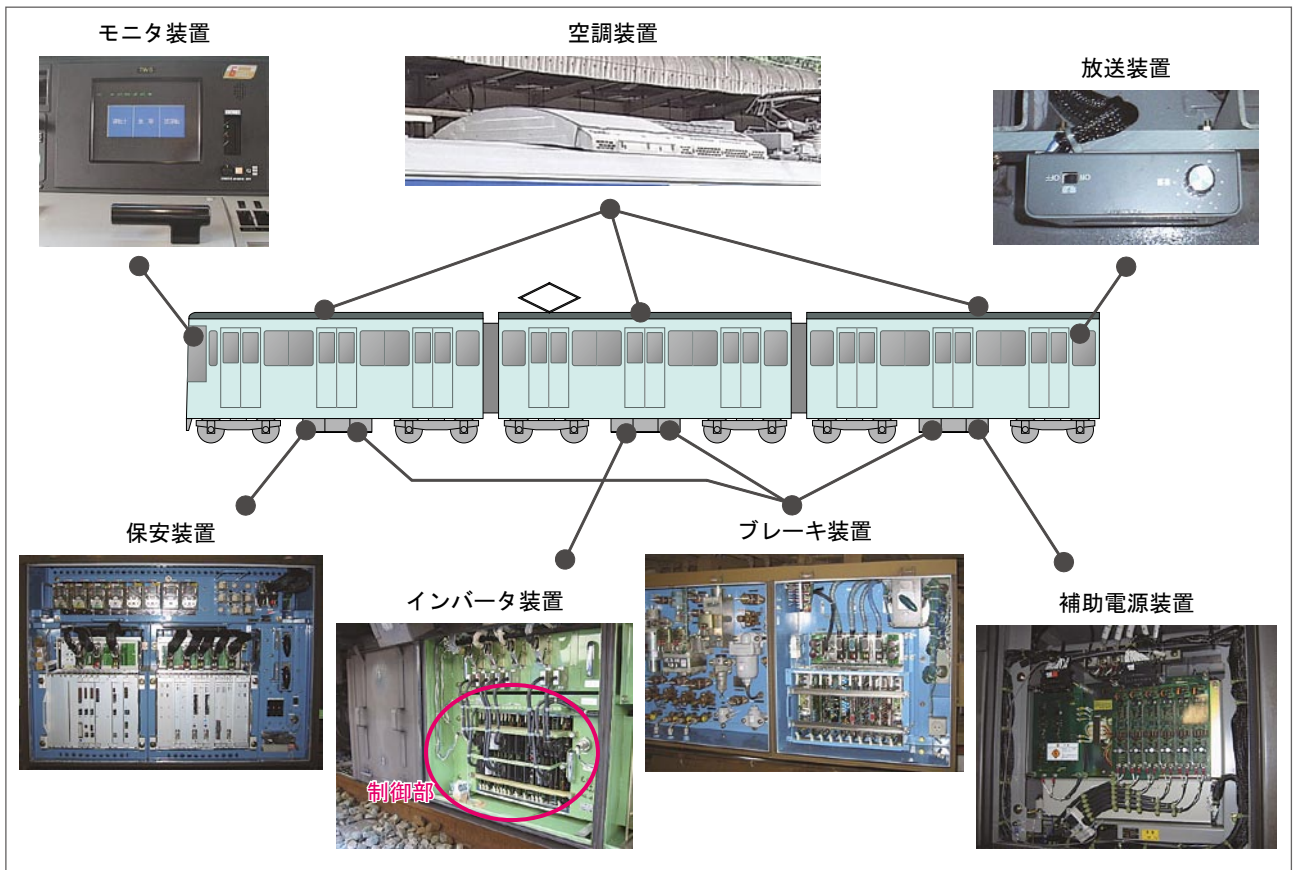


図1 電車で搭載されている電子機器の例

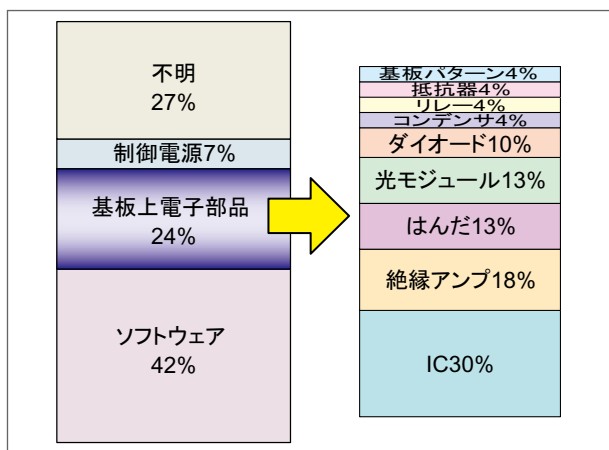


図2 新製から1年未満のインバータ装置(制御部)の故障原因と不具合がわかった電子部品

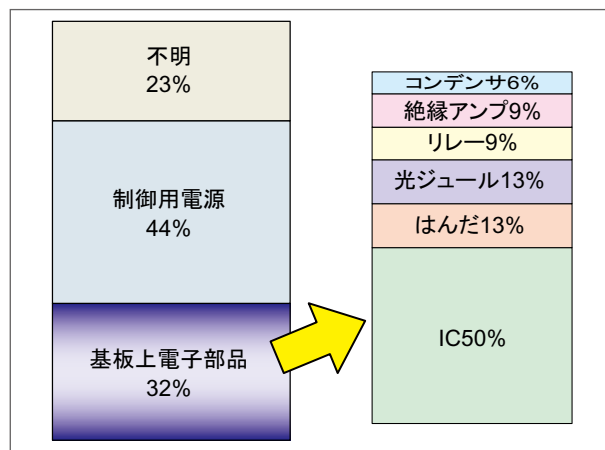


図3 新製から8年経ったインバータ装置(制御部)の故障原因と不具合がわかった電子部品

新製から1年未満の装置の故障内容

図2に電車が新製されてから1年未満のインバータ装置の制御部(基板のかたまりの部分:図1)の故障内容を示します。図2から、故障の特徴として、

- ・ソフトウェアの不具合が約40%で最も多いこと。
- ・基板上電子部品の不具合は、IC(半導体集積回路)、絶縁アンプ、はんだ、光モジュール、ダイオード、コンデンサ、リレー、抵抗器、基板パターンと様々であること。

が挙げられます。ここで、光モジュールとは、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。

新製から8年経った装置の故障内容

図3に電車が新製されてから8年経ったインバータ装置の制御部の故障内容を示します。図3から、故障の特徴として、

- ・制御用電源(図4)の不具合が約40%と最も多いこと。
- ・基板上電子部品の不具合は、IC(半導体集積回路)、はんだ、光モジュール、リレー、絶縁アンプ、コンデンサであり、その内、50%がICの不良であること。

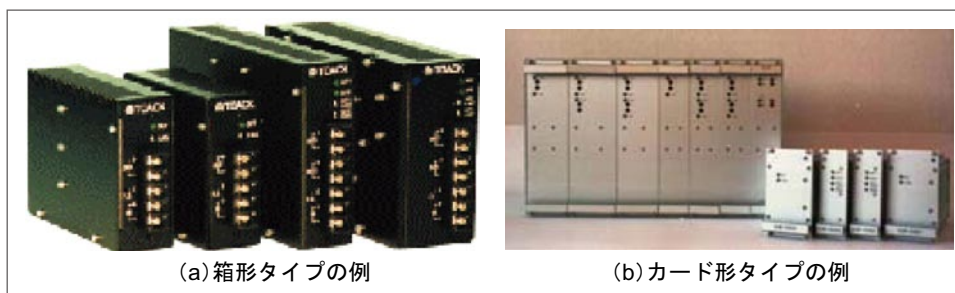


図4 制御用電源の例

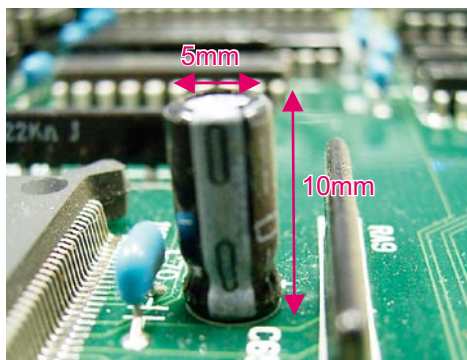


図5 アルミ電解コンデンサ・容量10 μ Fの例(穴挿入実装)



図6 基板上ICを固定・接続しているはんだの例(表面実装)

が挙げられます。

新製から1年未満に発生した故障内容との違いは、ソフトウェアの不具合による故障は見られないこと、制御用電源とICの不具合による故障が目立つことです。

装置の故障原因となる代表的な有寿命部品

アルミ電解コンデンサ(図5)とはんだ(図6)は、周囲温度や温度変化により寿命が短くなる代表的な部品です。そのため、装置の故障の原因となる場合もあります。制御用電源にも、この2つの部品が使用されています。以下に、

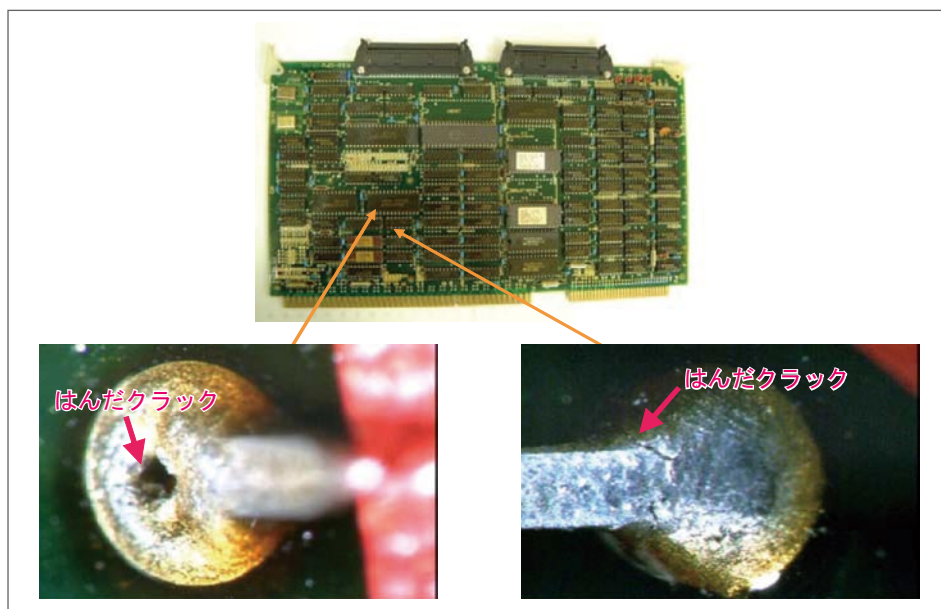


図7 はんだの観察例

アルミ電解コンデンサとはんだの劣化の要因について説明します。

アルミ電解コンデンサの劣化には、電解液の蒸発や液漏れがあります。これを加速させる主な要因は、周囲温度です。周囲温度が10℃高くなると、寿命は1/2に低下すると言われています。

はんだの劣化には、接合部に発生するクラック（亀裂）があります。これを加速させる主な要因は、温度変化です。温度変化が生じると、電子部品の取り付け部と基板の熱膨張係数の差により、はんだに応力ひずみが生じて、この応力が繰り返されて、クラックが発生し、断線に至ります。

有寿命部品の故障対策

アルミ電解コンデンサの故障対策としては、保証寿命の長いものを選定して、計画する寿命に対応した周囲環境で使用されるように設計を行っています。1990年頃は、85℃ 1000時間、105℃ 1000時間程度だった保証寿命（周囲温度85℃又は105℃で使用した場合、1000時間の寿命が保証されること）も、最近では、105℃ 3000時間～10000時間、125℃ 3000時間～5000時間など、長寿命品の採用が進められています。

はんだの故障対策としては、定置試験から、想定する温度変化における寿命予測を行っています。図7は、基板上のはんだの観察結果の一例です。図7は、ICのリード取り付け部にクラックがみられますが、いずれも全周には及んでおらず、使用に問題ありません。このクラックがいつ断線に至るかを精度良く予測するために、観察データを蓄

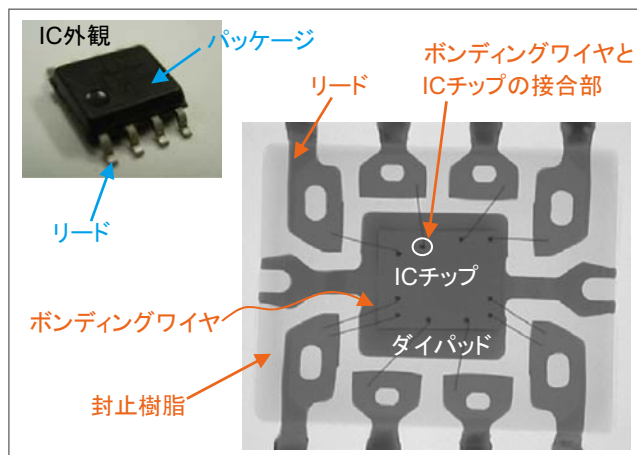


図8 ICパッケージの内部構造の例(上からのX線画像)

積し、定置試験データと照合をしています。

ICの劣化と故障対策

図8にICの内部構造の例を示します。ICの劣化故障には、

- ・温度変化が要因であるボンディングワイヤ（ICチップ側とリードをつなぐ金又はアルミ線）の断線
 - ・周囲温度が要因であるボンディングワイヤとICチップ接合部の強度低下や断線
 - ・水分の浸入が要因であるICチップ内の配線の腐食による断線
- があります。

故障対策としては、サンプル調査の実施、定置試験による寿命予測の実施、また、故障が発生した際には、ICを開封して故障解析を実施し、原因の究明を行っています。

- ①使用条件の決定（最高・最低温度、温度変化、湿度）
- ②使用部品の選定（大きさ、定格電力、熱仕様、価格）
- ③電子部品のディレーティングの検討
（使用条件の緩和、使用条件に対する余裕）
- ④プリント基板の実装設計（多層基板、電子部品の配置）
- ⑤筐体設計（冷却器の配置、防水・防塵）

図9 車載用電子機器の熱設計の項目

熱設計による故障対策

車載用電子機器の熱設計は、図9に示す項目に分けられます。ここで、使用条件の決定は、鉄道事業者に大きく関わる項目です。事業者は、実際の温度変化がどのようなものであるかを正確に把握するために、現車でデータを取得しています。

メーカは、装置内部の冷却方式の選定、装置内部温度上昇を見積もって、使用する電子部品を選定しています。また、ディレーティングと呼ばれる、電子部品の仕様範囲及び実使用条件に対して余裕を持たせる使い方をしています。

基板の実装設計では、発熱部品の位置、空気の流れ、配線による放熱などを考慮して部品の配置を決定しています。

筐体設計では、空気の対流、熱の放射などを考慮して温度上昇を予測し、必要により設計変更を行っています。更に製作された装置では、動作状態における各電子部品の温度を測定し、熱設計を検証しています(図10)。

更なる高信頼化に向けて

①設計による信頼性向上策

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ます。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ます。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す。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ます。更に、多層基板や表面実装技術(図6、基板の穴に部品のリードを通すのではなく、基板の上に部品の表面を実装する技術)を採用し、基板の枚数を低減しています。

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します。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ます。劣化寿命の予測に必要な使用温度環境の把握は、

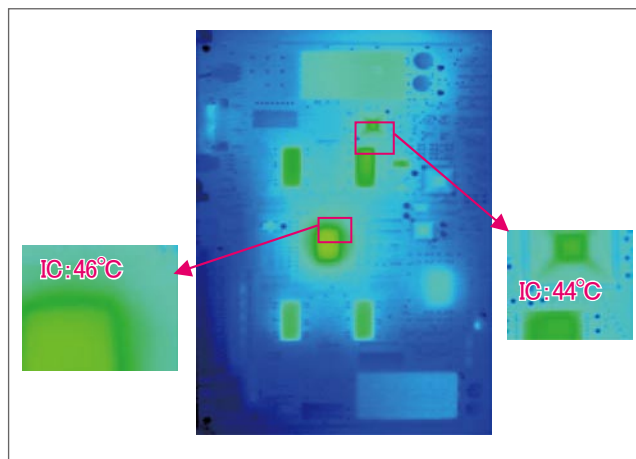


図10 サーモビューアを用いた基板の温度測定例

事業者とメーカが協力して実施しています。メーカ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ます。

③電子機器の検査

メンテナンス時を活用して、目視点検・サンプル回収調査を実施し、健全性の確認と予想外の不具合の発生を防止しています。また、故障原因をできる限り究明し、不具合を設計にフィードバックしています。

④情報の共有化

ある電子部品が、異なった機器メーカ、あるいは異なったユーザに共通に使用されることはよくあります。そこで、同じ故障を繰り返すことを防ぐために、電子部品の故障、劣化に関する情報をメーカ、ユーザ間で共有しています。また、メンテナンス手法についても同様に情報の共有を行っています。

おわりに

1980年代までは、鉄道車両のために特注で製造される部品が多くありました。しかし、最近ではIC等の小型電子部品の大半は、家電製品などの一般向けに生産されています。これらの製品は競争が激しく、しかも寿命が短いため、電子部品の移り変わりが速くなっています。その結果、車載用電子機器に使用される電子部品は年々変化していて、故障やその対策について継続的なフォローが必要になっています。

ここでは、「小さなもの」の集合体としての電車のインバータ装置の故障の傾向とその対策についてまとめました。今後は、更なる高信頼化に向けて、電子部品の改廃と装置への影響度について、情報を整理しておくことも必要になるでしょう。[RRR]