

製品寿命を確保する設計思想

Design concept to ensure the product life

株式会社テクノリテイー 渡部利範

Toshinori WATABE

Design concept to ensure the product life, is to employ a method of reducing the degree of harm and how to reduce the occurrence frequency of breaking. A method for reducing the frequency of occurrence, it is to understand the rating of electrical components and the derating of electrical components. A method for reducing the degree of harm, it is a method to cover the like metal cover, measures captures the essence of the electronic component, the use of appropriate electrical protective devices.

1. はじめに

どのような材料、部品でも長年使用すれば、環境条件、使用条件で性能が劣化して寿命に達する。寿命が尽きるとは、材料や部品の機能を失い製品が停止して故障することである。製品が故障した場合、安全を確保されていれば問題ない。寿命が尽きた時、発火したり漏電したりして製品自身が安全を脅かす可能性がある。材料、部品の寿命を考える上で重要なのは、故障した場合の製品への影響であり、製品に応じて要求性能が異なる。

例えば、航空機器、生命維持のための医療機器などの製品群は、運転中・動作中に絶対に止まってはいけない製品である。コンピュータ、OA 機器、AV 機器、家電、工作機械、設備機器製品群は、安全に停止することが必須である。

コンデンサ、スイッチなどの電気・電

子部品(以下部品と呼ぶ)を航空機器、輸送機器、家電に使う場合がある。同じ部品でありながら、製品群ごとに要求される信頼性の水準や冗長回路の有無等により、基本的な設計思想は異なる。本論文では、コンピュータ、OA 機器、AV 機器、家電、工作機械、設備機器(厨房、温水便座)等に関して、製品寿命を確保する設計思想を提案したい。

2. 寿命の定義

JIS で定義する耐用寿命は、規定の故障率との関連で考えるので、一定の故障率以下の水準を維持している期間が耐用寿命と言える。しかし、故障した際の危害の程度や深刻さを考慮していない。本論文では、すでに定義されている機能耐用寿命、安全耐用寿命を新たに提案したい。

機能耐用寿命とは、製品または組み込まれ

株式会社テクノクオリテイー

【キーワード】：安全耐用寿命、設計思想、

品質部門 rie4337@nifty.com

電気定格、ディレーティング、発火防止

た製品が市場で使用され、その機能の低下が認められた寿命（使用年数、走行距離、使用回数など）を言う。

安全耐用寿命とは、製品又は機器に組み込まれた製品が市場で使用され、その機能耐用寿命を超えて使用されたとしても安全に使用することができる寿命（使用年数、走行距離、使用回数など）を言う。

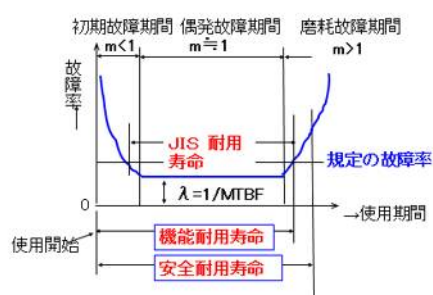


図1 バスタブ曲線と寿命の定義

R-Map 手法は、リスクを「見える化」する手法としてその有効性が広く知られている。

縦軸に「発生頻度」、横軸に「危害の程度」のマトリックスを使用して、リスクの大きさを表現する手法で、受入れられないリスク領域や安全領域をビジュアルに表現することが可能である。

本論文では、安全耐用寿命とは R-Map 上で C 領域を維持できる期間と定義する。C 領域は「現代の社会から許容されるレベル」である。

3. 製品の使用後の電気・電子部品の壊れ方の事例

3.1 バリスタ、コンデンサ

バリスタの発火・破損は、AC 電源ラインに侵入した過電圧が原因である。バリスタはバリスタ電圧の 80% の過電圧値で発煙・発火する。バリスタを構成している材料（素体の

酸化亜鉛、外装のエポキシ樹脂）を考慮すれば、通常の温度湿度環境下では、機能耐用寿命に関し影響はないと考えられる。定格を超えたサージ耐量を連続印加するとバリスタの温度が上昇し機能耐用寿命に影響する。

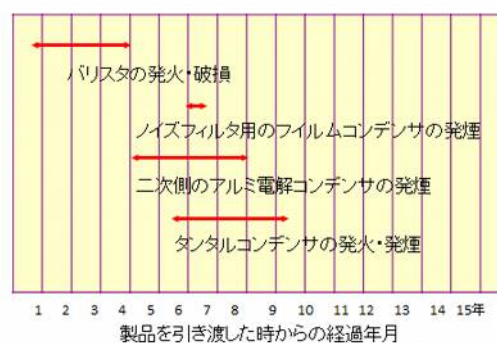


図2 バリスタ、コンデンサの故障

ノイズフィルタ用のフィルムコンデンサの発煙は、温度による誘電体の劣化が原因であった。フィルムコンデンサの安全性は、誘電体であるフィルムの材質の種類と厚み、巻き取ったフィルムのマージン幅、リード線と素子の間のメタリコンで決定される。特に寿命は、フィルムの材質の耐熱温度に依存する。

二次側のアルミ電解コンデンサの発煙は、誘電体の経年劣化で内部ショートしたためである。絶縁体である誘電体が極めて薄い不均一材料に起因すると考えられる。

タンタルコンデンサを逆接続で使用し経年劣化で誘電体が破損した。誘電体（酸化タンタル）は、逆接続でも一定の電圧に耐えられる。出荷時点では正常に動作するので逆接続を発見できない。

3.2 トライアック、ダイオード

トライアックへのヒータの繰り返し突入電流による過熱でワイヤーボンディングが発熱して周りを覆う樹脂が炭化により、トライアッ

クが短絡してヒータが連続点灯した。ワイヤーボンディングの安全耐用寿命が尽きた。

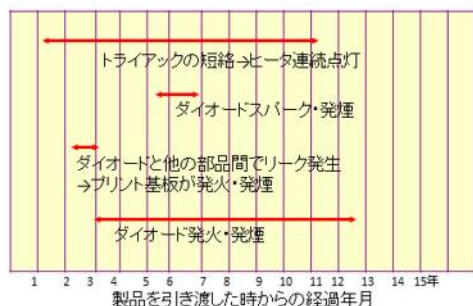


図3 トライアック、ダイオードの故障

4. 製品寿命を確保する設計思想

製品寿命を確保する設計を考える上で、市場における電気機器の壊れ方の原因となる条件を理解する。それは、外的要因と内的要因に分類される。

外的要因とは、電源ラインに侵入する雷、過電圧、電圧歪などの電源品質、温度、湿度、気圧などの環境要因である。内的要因とは、設計ミス、製造の不手際、誤った使い方などが挙げられる。これらの要因で電気製品が発火するあるいは人的被害が発生する可能性がある。

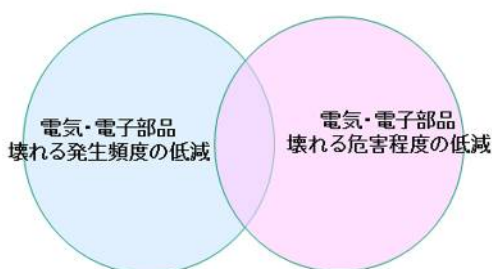


図4 製品寿命を確保する設計思想

製品寿命を確保する対応は、第一に、機能耐用寿命を確保するため壊れる発生頻度を低減する。具体的には、部品の故障の物理現象

を理解する。このような知識があれば、電気定格、温度定格、繰り返し定格等を正確に理解することができ、部品の使い方に効果を上げることができる。

第二に、安全耐用寿命を確保するために危害の程度を下げる。製品を発火させないあるいは人的被害が出ないように設計する。壊れる場合の最悪状況（死に様）を把握し、部品が燃える様（炎の高さ、延焼時間）を認識し、部品ごとに発火対策の設計思想を決める。

5. 電気・電子部品の壊れる発生頻度を低減する設計

基本は、定格（電気、温度、湿度等）の意味を正確に理解して、部品の正しい使い方をする。定格とは、電気・電子部品に対し指定された諸条件のもとで、安全度をもち込んだ部品の使用可能な限度を示す。

壊れる発生頻度を低減する設計の基本は、定格に対してディレーティングをとることである。ディレーティングとは、電気定格に対するストレスを軽減することである。部品に安全余裕を与えて、偶発的な過大ストレスによる故障の可能性を低減し、期待する機能耐用寿命が長くなり、故障しないで稼働する期間を延長させる考え方である。

5.1 電源スイッチの電気定格を考える

認証対象部品の場合、部品で認証された状況は、実際の製品の実装状態と異なることを認識しておく。電源スイッチの場合、室温にて250VAC、抵抗負荷で16Aを流し1分間に6回～10回のON-OFFを6000回繰り返して試験する。しかし、実際の製品に電源スイッチが使用される場合、1分間に6回～10回のON-OFF

を繰り返すモードは考えられない。このような使用条件はあり得ないので、実際の負荷を接続して耐久試験をする。

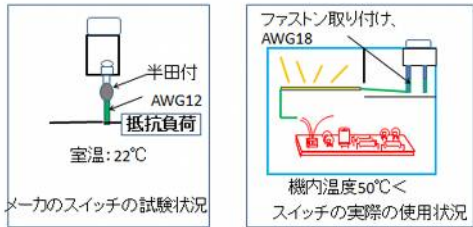


図5 認証部品の電気定格の意味

5.2 バリスタの定格の意義

バリスタ電圧 V とは、バリスタの仕様を判断する指標である。バリスタに 1mA_{dc} の電流を流したときのバリスタ端子間の電圧を示し、バリスタを構成する結晶粒 (ZnO) と境界層 (Bi_2O_3 等) との素体の厚みに比例する。

サージ耐量 (サージ電流耐量) とは、 $8/20\mu\text{s}$ の雷インパルス波形を 1 回、または 2 回のサージ耐量が規定されており、素体の径の大きさに依存する。バリスタは、その吸収能力以上のサージ電流が吸収されると劣化するので、バリスタ電圧の変化率あるいは漏れ電流の大きさに劣化の程度を評価する。

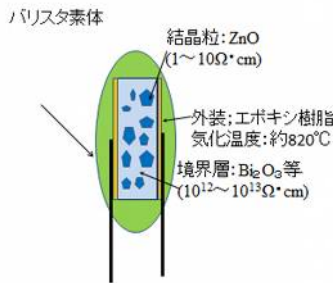


図6 バリスタの定格は素体の厚みと径で決定される

バリスタ電圧が初期値に対して -10% 変化した場合、寿命が尽きたと判断する。この時点

で、機能耐用寿命が尽きたと言える。漏れ電流に関して述べると、通常は初期値で $1\mu\text{A}$ 程度であり、 $10\mu\text{A}$ 以上になったら劣化が開始したと判断する。

5.3 コンデンサのディレーティング

コンデンサの陽極と陰極の間は、誘電体で構成されている。ディレーティングは、誘電体の材料の特性と厚みおよびコンデンサの製造の工程管理等による絶縁構造に依存する。コンデンサの誘電体の種類と厚みにより電圧ディレーティングが決まり、温度ディレーティングは誘電体の劣化や減少の形で表面化する。

コンデンサが発火するとは、電極間の絶縁物が破壊して短絡電流が流れ、内部抵抗による高熱でコンデンサを構成している有機物や電解液が燃焼することである。

絶縁物が破壊する場合とは、定格電圧をはるかに超える異常電圧が印加されて短絡する、あるいはコンデンサに応力が付加されて絶縁物に亀裂が生じる場合が考えられる。

表1 コンデンサのディレーティング

コンデンサの種類	ディレーティング基準 電圧	ディレーティング基準 温度
フィルムコンデンサ	80%	70%
アルミ電解コンデンサ	80%	70%~80%
積層セラミックコンデンサ	80%	90%
タンタルコンデンサ	33%	70%

5.4 半導体部品のディレーティング

間違えやすいのは、最大定格の意味である。半導体のせん頭電流の定格値は、その値を 1 回限り耐えうる数値である。繰り返しサージ、

繰り返しパルスを含めた突入電流を想定していない。

ヒータ、モータ等の負荷の ON-OFF を繰り返すトライアック、SSR 等の素子の選定の際の注意事項である。

温度、湿度、電圧、電流、電力等のストレスは、すべてのストレスが、同じ様な効果を持つわけではなく、ストレスの影響が部品によって異なる。過大なストレスが定格値を超え、その部品本来の機能を破壊する。

表2 半導体部品のディレーティング

ディレーティング要素	ディレーティング基準	ディレーティング基準の詳細
電圧	最大定格:80%	サージ、静電気、繰り返しパルス等の最大定格の80%以下。
電流	せん頭電流:80% 平均電流:50%	せん頭電流は、サージ、繰り返しパルスを含めた最悪時の電流が最大定格の80%以下。
電力	平均電力:50%	サージを含めた最悪時の電力が最大定格の50%以下
温度	接合部温度(Tj) 70%~80% ケース温度(Tc) 65% 周囲温度:70%	サージ電流の集中を含めた動作最大接合部温度が、最大定格の接合部温度の70%~80%にする。

5.5 ディレーティング基準を設計に活かす

ディレーティング基準は、標準的な値であり、製品の環境等により一元的に定めることはできない。自社の製品にあったディレーティング基準を決める。

ディレーティングは、同時に満たすことが原則であり、接合温度、動作周囲温度、自己発熱、電圧、電流、電力、パルス、湿度、振動、衝撃、保存温度等、様々な定格値に留意する。

実際は多種多用の定格を漏れなく検討することは難しいので、ディレーティングは、部品の寿命・故障率を検証する時の限界値として使用する。限界値から漏れた部品について、故障率や寿命を検証して精査する。

6. 電気・電子部品が壊れる危害の程度を低減する設計

危害の程度を低減する設計思想の場合、炎の広がりや延焼時間を軸に発火防止を考える。部品が発火した場合、近傍のプラスチックへの着火に至るまでの発火の連鎖を断ち切ることである。

6.1 電気・電子部品の特徴を捉えた電氣的対策

部品の個別の対策では、部品ごとの構造、特性を考えた対策コンセプトを考える。例えば、雑音防止用の X コンデンサの誘電体はフィルムなので、絶縁破壊時には数十mA でも発火する場合がある。電流ヒューズをわずかな電流で遮断することが困難である。絶縁破壊しにくいコンデンサを選定の基本とする。加えて、バリスタ、アルミ電解コンデンサは、発火への対策を考慮した部品が市販されている。

表3 電気・電子部品の特徴を捉えた電氣的対策

設計思想	発火源	設計思想
電気・電子部品から炎を出さない	Xコンデンサ	DC3kvの絶縁耐圧に耐えるコンデンサ
	バリスタ	難燃バリスタ(発火時の炎が1cm以下)
	アルミ電解コンデンサ	ショートゼロのコンデンサ
電気保護素子・保護回路を駆使する	光源、熱源	二重保護回路
	トランジスタ、FET	電流ヒューズ、ヒューズ抵抗等
	DC-DCコンバータ	電源回路のフの字特性

電気保護素子として、電流ヒューズ、漏電ブレーカ、サーモスタット、温度ヒューズ等があげられる。通常使用してそれらが作動せず、異常時に確実に作動するように、部品の選択を適切に行うことが重要である。選択後

は、異常時の確認試験を行う。異常時の危険性を考えて、ヒータ回路は、二重保護回路にすることを基本にすることを推奨する。

6.2 AC 電気回路のはんだ付け、ネジ締め、カシメなどの要素作業

はんだ付け、ネジ締めなどの要素作業は、現場の作業環境や人材に依存する。部材の温度管理、材料特定と保管条件、作業環境等、きめ細かな標準に従い作業して初めて初期の目的が達成される。これらの条件が満たされず、経年劣化で電気機器が故障、発火する事故が多数報告されている。原点に戻り、要素作業の確実性に目をとめるべきである。

6.3 機械的な方法（部品間の隔離距離、遮蔽、囲う）

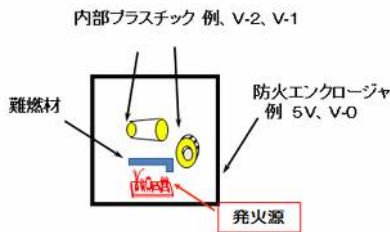


図7 機械的な方法（部品間の隔離距離、遮蔽、囲う）

機械的対策とは、発火してもプラスチックに炎を暴露させない方法である。対策の有効性を確認するには、検証方法に工夫が必要である。

第一として、部品からの炎とプラスチックを隔離する場合は、炎の継続時間と高さ・広がりの数値を量的に把握する。

第二に部品とプラスチックの間に難燃材あるいは金属を設置する。この場合、思わぬ隙間を作らないようにする。

第三に部品を難燃材あるいは金属で覆う方法がある。内部温度上昇による部品の寿命への影響を考慮することが肝心である。

7. さいごに

使い方を工夫しても経年劣化による発火事故、想定外の外的ストレスの製品への浸入、思わぬ使い方などが原因で、製品の事故が発生する。

発生頻度を下げる方法を取りながら、製品を発火させない、人的被害が出ないように危害の程度を極限まで下げる安全な設計することが原則である。

ここで一般家屋に浸入する雷サージ、過電圧、電圧歪等の異常電圧に対する対策から、発生頻度を低減する方法と危害の程度を低減した複写機の事例を示す。

危害の程度を低減		発生頻度を低減	
故障部品、現象	発火対策	故障対策	誤動作対策
バリスタ	難燃バリスタ	バリスタ電圧UP 510V	
アルミ電解コンデンサ	発火ゼロのアルミ電解コンデンサ	絶縁耐電圧の11%アップ	
スイッチングFET	実験で確認	耐電圧のアップ	
ゼロクロス検知の誤動作			フィルタ回路追加

図8 異常電圧環境下への電気製品への対策

参考文献

[1] 日本能率協会：耐用寿命研究会報告書 pp, 15-29, 2012

[2] 渡部利範：「電子機器の発火防止の設計思想」, 電子情報通信学会技術報告書, pp. 9-12, 2011