

## 給電系の信頼度設計

株式会社NTTファシリティーズ 総研本部  
研究開発コンサルティング部  
EHS&S研究センター 上級研究員  
山下 隆司

通信用給電系には、整流装置やブースタコンバータ、交流無停電電源装置などの電力変換装置が多数使用されている。電力変換装置は半導体素子やコンデンサ、抵抗器など多くの部品で構成されており、部品故障等による給電断を避けるため、装置を複数台のユニットによる冗長構成として高信頼な給電を実現している。

例えば通信用の直流 48V を供給する整流装置では、整流器ユニットを出力側のダイオード経由で接続する複数台で構成し、必要な容量 (n 台) に対して 1 台のユニットを追加する n+1 台の冗長構成が基本である (n が大きい場合は、n+2 台のようにユニットをさらに追加する場合もある)。これは整流器ユニット 1 台に故障が発生しても残りのユニットで給電を継続でき、その間に故障したユニットを交換することで高信頼動作を実現するためである。このようにユニットの故障が直ちに給電断にはならないように構成されているが、ユニットそのものの故障発生確率が大きいと頻りに交換を行わなければならない、また交換が完了するまでに更にもう 1 台のユニットが故障して給電断となる可能性もあるため、ユニットそのものの故障発生確率を抑えることが重要である。

電力変換装置などの各種装置の故障発生確率を予測する方法としては、1962 年に米国国防省が作成した MIL-HDBK-217 (Reliability Prediction of Electronic Equipment) が代表的であり、「部品ストレス解析法」と簡易な「部品点数法」がある。部品ストレス解析法は、装置を構成する各部品の基礎故障率に、部品が使用されている条件 (温度条件、電圧条件、電力条件、その他環境条件等) による補正係数を乗じて部品の故障率を算出し、装置全体で積算する方法である。部品点数法は、装置を構成する各部品の使用条件における補正係数を上記のように詳細に変更することなく標準状態の値を設定し、装置全体で積算する方法である。従来の方法が部品の故障率を固定値として評価していたのに対して、部品が使用される条件を反映したことにより、信頼度予測の精度が非常に向上した。

電力変換装置に使用される部品は、トランジスタ、ダイオード、MOSFET、IGBT などの半導体素子、電解コンデンサ、フィルムコンデンサ、セラミックコンデンサ等のコンデンサ、炭素皮膜抵抗、金属皮膜抵抗等の抵抗器、インダクタンス素子などがある。基礎故障率や補正係数の種類、補正係数の値などは部品の種類や実装構造によって異なり、各部品を信頼性試験することによって求める。例えば、半導体のハーメチックシール品と樹脂モールド品などの実装構造の違い、金属皮膜抵抗器と炭素皮膜抵抗器のような材料の違いによって、基礎

故障率や補正係数は異なる。

MIL-HDBK-217 は 1995 年以降改訂されていないが、この考え方に基づく信頼度予測は現在に至るまで広く使用されている。

MIL-HDBK-217 による信頼度予測手法は、それまで用いられていた方法より予測精度が向上したと述べたが、以下のように限界もある。

まず、部品の種類と構造によって基礎故障率を定めているが、現実には同じ部品でも材料や製造プロセス、製造者によってこの値は異なるはずである。また、部品の故障発生頻度が、初期故障、偶発故障、摩耗故障によるいわゆるバスタブカーブで表され、初期故障はスクリーニングで除去することで、偶発故障期間の一定値を基礎故障率としているが、実際には必ずしも偶発故障の一定期間が存在しない部品もある。このように部品の基礎故障率を一定値と定めることには無理な場合もある。

また、部品の故障モード（例えば短絡や断線）によって回路動作に与える影響は異なるが、部品の故障率ではそこまで詳細に考慮されていない。

さらに、部品の基礎故障率と環境変化による補正係数は、各部品の信頼性試験で求めると述べたが、この部品毎の故障率データが現在ではほとんど更新されていない。1960 年代から 1970 年代には、電電公社で多くの部品の信頼度試験によって故障率が求められ、工業技術院が中心となって、大学・研究機関・ユーザ・メーカ等の信頼性データが共有・公開される試みも進められたが、その後は装置の短命化や部品の種類が膨大になったこともあり、故障率データを共有できる環境ではなくなってきた。

さらに信頼度予測を難しくする要因として、最近では電力変換装置にデジタル制御が適用されていることがある。デジタル制御にはマイクロコンピュータやメモリなどが用いられるが、これらの故障率データが得られ難いこと、ソフトウェアのバグのようにこれまでの物理的な故障率とは異なる評価が必要なこと等があげられる。

電力変換装置の導入にあたっては、その装置が目標とする信頼度を満足する必要があるが、故障率の算出根拠について厳密に確認することが現在では困難となっている。基本的な信頼度予測手法は存在するが、故障率算出の基となる部品の故障率データとして公開されたものがほとんどないからである。製造メーカ毎の算出根拠が異なっている可能性があるため、複数メーカの装置を故障率で比較して優劣をつけることができない。装置故障率の実績値が示されればよいが、動作環境条件や装置の故障内容を詳細に管理した実績故障率データは見たことがない。装置を導入する立場としては、装置運用過程で発生する故障データの蓄積が重要であると考えている。

装置にどのような故障が発生したか、故障原因となった部品はどれか、部品の故障モード（短絡、断線等）・故障原因は何か等のデータを蓄積することが有効である。装置の動作環

境（温度、湿度等）を継続的に管理・蓄積することも必要である。これらのデータを統計的に管理することにより、装置の故障率の実績値や設計信頼度の妥当性を確認でき、想定する故障率を逸脱した場合にはその要因を明確化し、その後の改善に反映することができる。これには装置の製造メーカーの協力も必要である。

現在は部品を構成する材料、部品製造、装置製造が世界的なサプライチェーンで結ばれており、それらを詳細な製造工程も含めて管理することは非常に難しい時代である。これは装置製造時に信頼度を正しく評価することを非常に困難にしている。製造メーカーとしては、装置製造時に部品や材料を見極めて信頼度設計ができることが必要であるが、装置を導入・運用する立場としては、やはり運用時の故障データの蓄積・管理と分析が重要である。

(2022年5月1日 山下 隆司)