

平成13年度
デバイス規格研究委員会調査報告書

電子機器の新しい信頼度予測方法

- P R I S M -

平成14年3月

財団法人 日本電子部品信頼性センター

まえがき

本研究委員会では、この2年間、IECQ(IEC電子部品品質認証制度)で取り上げようしている航空宇宙電子機器(アビオニクス)用電子部品マネジメントに関する3つの規格(電子部品マネジメント計画のためのガイド¹⁾、製造業者指定の温度範囲外で半導体デバイスを使用するためのガイド²⁾、電子機器の信頼性審査(アセスメント)のためのガイド²⁾)について検討してきた。この中の電子機器の信頼性審査のためのガイドでは、電子機器の信頼性審査を扱っており、その手法の一つとして、MIL(米軍)-HDBK(ハンドブック)-217³⁾で代表される経験則モデルによる予測(この規格ではハンドブック予測と称している)に言及している。そこで、今年度は従来の検討の延長として、経験則に基づく電子機器の信頼度予測方法を取り上げ、その現状について検討することとした。

MIL-HDBK-217は、米軍が開発した電子機器の信頼度予測方法であり、よく知られている。しかし、1994年の米軍の軍仕様書と規格の改正、及びMIL-HDBK-217の開発・更新を担当していた空軍の研究所の使命の変更により、その規格を更新する軍の計画がなくなってしまった。その最終版は、MIL-HDBK-217F、Notice2(1995)であり、1995年以降改定がなされておらず、その規格は古くなってしまった。最近、MIL-HDBK-217に代わるものとして、RAC(Reliability Analysis Center)がPRISM⁴⁾と称している新しい電子機器の信頼度予測方法を発表し、そのソフトも販売している。

我が国では、工業技術院が昭和45年から信頼性データ交換制度を運用し、電子部品の試験データ及びフィールドデータを収集してきた。当センターは、この制度で得られた昭和50年代後半から60年代はじめのフィールドデータを基に、データの解析を行い、各種電子部品のフィールド故障率の実情と故障率予測方法の検討を行った⁵⁻⁶⁾。その後、当センターがこの信頼性データ交換制度を引き継ぎ運用してきたが、特にフィールドデータが思うように集まらなくなり、やむを得ず本制度を中止した。電電公社(現NTT)においても、通信機器のフィールドデータを基に、MIL-HDBK-217に準ずる信頼度予測方法をNTTハンドブックとして制定してきたが、民営化移行と共に廃止されている。このように、我が国においては、公表されている電子部品のフィールドデータとMIL-HDBK-217に相当する信頼度予測方法は存在しないのが実情である。一方、当センターに対し、我が国の企業、特に電子機器製造メーカーから、我が国の電子部品の故障率を示すフィールドデータや予測方法に関する問い合わせがかなり頻繁にある。残念ながら、これらの問い合わせについて答えられないのが現状である。

以上のような背景から、電子機器の信頼度予測方法として米国で開発され、公表されているPRISMを取り上げ、MIL-HDBK-217との違いにも着目し検討を行い、信頼度予測方法の現状を調査することにした。なお、PRISMは特定名称の略語ではなく、登録商標である。PRISMの基となったものは、RACで検討していた総合的信頼度評価モデル(Consolidated Reliability Assessment Model (CRAM))である。また、1999年にPRISMソフトウェアが公表され、本委員会で検討したPRISMは2001年に改定されたVersion 1.3である。

MIL-HDBK-217に代表される従来の経験則モデル予測の前提は、機器の故障率は機器を構成する部品により決まるということである。これは、部品が高い故障率を示し、機器が今日ほどに複雑でない場合には良い前提であった。最近の機器の複雑性の増加及び部品品質の向上は、結果として、機器の故障原因を部品そのものから、従来の予測法では明確に扱われていなかった部品以外の原因に移っている。RACデータによれば、部品そのものに起因する故障比率は20~30%程度であり、

大半の故障は部品以外の原因に帰着させられている。従って、部品に全ての責任を押し付ける従来モデルでは、精度の高い機器の故障率予測は困難である。そこで、RAC は部品以外の故障原因も考慮した PRISM と称する信頼度予測モデルを開発した。これは、部品以外の原因を考慮した機器(システム)レベルの信頼度予測モデルと部品レベルの故障率モデル(RACRates モデルと称している)の2つの部分からなっている。

電子機器(システム)の信頼度予測モデルは、部品を含めた 8 つの故障原因(部品、設計、製造、システムマネジメント、摩耗、非再現(無欠陥)、誘導、ソフトウェア)を考慮している。それらの故障率への寄与は、機器のフィールドデータの解析を基に設定し、さらに機器製造メーカーの管理レベルに応じた重み付けを行っている。

部品レベルの故障率モデルは、MIL-HDBK-217F に変わる新しいモデルである。MIL-HDBK-217F の部品故障率の従来モデルは、基礎故障率と故障率に影響するストレスと部品変数を考慮した幾つかのファクターとの積である。この乗算形式の主な不都合は、予測された故障率が極値条件(即ち、全てのファクターが最低又は最高の値の場合)で非現実的に大きくなったり小さくなったりすることである。そこで、PRISM では、RACRates モデルと称している故障メカニズムの種類毎に個別の故障率を予測する加算と乗算の組合せモデルを提案している。そのモデルでは、MIL-HDBK-217F で扱っている動作状態の他に、新しく非動作(待機)状態、はんだ接続の影響、電氣的過ストレス(Electrical Over Stress (EOS))の影響などを含めモデル化している。

この PRISM の基本的考え方、採用しているモデル、応用例等について検討した。PRISM ソフトに添付しているマニュアルの該当部分を翻訳し、実際に PRISM を動作させ各種部品について故障率予測を実施した。MIL-HDBK-217F による予測結果、さらに PRISM ソフトに含まれている米軍が収集したフィールドデータと比較・検討を行った。

本資料は、電子機器の信頼度予測方法について、最新の PRISM を中心に従来の MIL-HDBK-217F との比較し、検討した結果についてまとめたものである。この分野に興味のある電子機器メーカー、電子部品製造メーカーにとって一つの信頼度予測の指針となることを期待する。

参考資料

- 1) 平成 11 年度デバイス規格研究委員会調査報告書、SQA-11-01、(財)日本電子部品信頼性センター、2000.3.
- 2) 平成 12 年度デバイス規格研究委員会調査報告書、SQA-12-01、(財)日本電子部品信頼性センター、2001.3.
- 3) MIL-HDBK-217F, Notice 2 (1995).
- 4) PRISM, Users Manual, Ver.1.3, 2001.
- 5) 電子部品フィールドデータの解析(主として昭和 57~59 年データについて)、RD-60-01、(財)日本電子部品信頼性センター、1986.3.
- 6) 電子部品フィールドデータの解析(その2)(主として昭和 59~61 年データについて)、RD-62-01、(財)日本電子部品信頼性センター、1988.3.

目次

電子機器の新しい信頼度予測方法 - PRISM -

1 はじめに	1
2 電子機器信頼度予測方法の概要	1
2.1 信頼度予測の必要性	1
2.2 機器信頼度予測の各種方法	2
2.3 経験則モデル	3
2.4 新しい予測方法 (PRISM)	4
3 PRISM の方法論とそのモデル	5
3.1 方法論の技術的あらまし	5
3.1.1 背景	5
3.1.2 方法論の概要	6
3.1.3 システムの信頼度モデル	8
3.1.4 最初の故障率推定	8
3.1.5 プロセスグレードファクター	9
3.1.6 モデルの基本データ	10
3.1.7 システム故障原因	10
3.1.8 環境ファクター	17
3.1.9 信頼度成長	17
3.1.10 初期不良	18
3.1.11 ソフトウェア信頼度査定	19
3.1.12 部品信頼度モデル (RACRates) の開発	19
3.1.13 予測故障率と経験的データとの結合	23
3.1.14 トップダウン解析におけるモデルの使用	24
3.2 プログラムに導入された RACRates モデル	24
3.2.1 キャパシタモデル	25
3.2.2 ダイオードモデル	29
3.2.3 集積回路モデル	32
3.2.4 抵抗モデル	43
3.2.5 ソフトウェアモデル	47
3.2.6 サイリスターモデル	47
3.2.7 トランジスタモデル	49
3.3 RACRates 環境パラメータと応用環境	52
3.4 RACRates パイ - ファクター及び環境パラメータの関数としてのはんだ付け故障率	55
3.5 RACRates サイクルパラメータ及び動作プロファイル	61
3.6 RACRates 動作プロファイルの関数としてのパイ - ファクター	62
3.7 RACRates 部品型及び生産年の関数としてのパイ - ファクター	64
3.8 RACRates モデルパラメータのデフォルト	67
3.9 PRISM プロセスグレードファクター質問	69
4 考察	92
4.1 PRISM の特徴	92
4.2 機器 (システム) の信頼度予測モデル	92
4.2.1 モデルの要約	92
4.2.2 適用例	95
4.3 部品毎の故障率モデル (RACRates モデル)	97
4.3.1 RACRates モデルで採用している各種加速モデル	99
4.3.2 RACRates モデルと MIL-HDBK-217F による故障率予測の比較	102
4.3.3 予測値とフィールドデータとの比較	110
4.4 問題点	111
5 おわりに	112
参考文献	112

付録 1: MIL HDBK 217F Notice 2 (Feb 1995) - 電子機器の信頼度予測 -

1.0 適用範囲	113
1.1 目的	113
1.2 適用	113
2.0 参考文献	113
3.0 序論	113
3.1 信頼性エンジニアリング	113
3.2 信頼度予測の役割	113
3.3 信頼度予測の限界	114
3.4 部品ストレス解析予測法	115
3.4.1 適用可能性	115
3.4.2 部品品質	115
3.4.3 適用環境	116
3.4.4 部品故障率モデル	118
3.4.5 熱の観点	118
4.0 信頼度解析の評価	118
5.0 マイクロサーキット、序論	120
5.1 マイクロサーキット、ゲート/ロジックアレイ 及びマイクロプロセッサ	121
5.2 マイクロサーキット、メモリ	122
5.3 マイクロサーキット、VHSIC/VHSIC 類似及び VLSI CMOS	125
5.4 マイクロサーキット、ガリウム砒素 MMIC およびデジタルデバイス	126
5.5 マイクロサーキット、ハイブリッド	126
5.6 表面弾性波デバイス	127
5.7 マイクロサーキット、磁気バブルメモリ	127
5.8 マイクロサーキット、すべてに適用される π_T 表	128
5.9 マイクロサーキット、すべてに適用される C_2 表	129
5.10 マイクロサーキット、すべてに適用される π_E 、 π_L と π_Q 表	130
5.11 マイクロサーキット、 T_J の決定、(ハイブリッドを除くすべて)	132
5.12 マイクロサーキット、 T_J の決定、(ハイブリッドに対する)	132
5.13 マイクロサーキット、例題	134
6.0 ディスクリート半導体、序論	138
6.1 ダイオード、低周波	138
6.2 ダイオード、高周波(マイクロ波、RF)	140
6.3 トランジスタ、低周波、バイポーラ	141
6.4 トランジスタ、低周波、シリコン FET	143
6.5 トランジスタ、ユニジャンクション	143
6.6 トランジスタ、低雑音、高周波、バイポーラ	144
6.7 トランジスタ、高電力、高周波、バイポーラ	146
6.8 トランジスタ、高周波、GaAs FET	147
6.9 トランジスタ、高周波、シリコン FET	148
6.10 サイリスタと SCR	149
6.11 光電子デバイス、受光素子、光結合素子、エミッタ	150
6.12 光電子デバイス、英・数字ディスプレイ	151
6.13 光電子デバイス、レーザダイオード	152
6.14 ディスクリート半導体、 T_J の決定法	153
6.15 ディスクリート半導体、例題	155
7.0 電子管	156
7.1 電子管、進行波管とマグネトロンを除くすべてのタイプ	156
7.2 電子管、進行波管	157
7.3 電子管、マグネトロン	158

8.0 レーザ、序論	159
8.1 レーザ、ヘリウムとアルゴン	160
8.2 レーザ、炭酸ガス、シールド.....	161
8.3 レーザ、炭酸ガス、フローイング.....	162
8.4 レーザ、固体、ND:YAG とルビーロッド.....	163
9.0 抵抗器.....	165
9.1 抵抗器.....	165
10.0 コンデンサ	167
10.1 コンデンサ.....	167
10.2 コンデンサ、例題.....	170
11.0 インダクティブデバイス	170
11.1 インダクティブデバイス、変成器.....	170
11.2 インダクティブデバイス、コイル.....	172
11.3 インダクティブデバイス、ホットスポット温度の決定.....	173
12.0 回転機器.....	174
12.1 回転機器、モータ.....	174
12.2 回転機器、シンクロとレゾルバ.....	176
12.3 回転機器、経過時間計.....	177
13.0 リレー.....	177
13.1 リレー、メカニカル.....	177
13.2 リレー、ソリッドステートおよび時間遅延.....	179
14.0 スイッチ.....	180
14.1 スイッチ.....	180
14.2 スイッチ、サーキットブレーカ.....	181
15.0 コネクタ.....	182
15.1 コネクタ、一般用.....	182
15.2 コネクタ、ソケット.....	184
16.0 接続実装(インターコネクションアセンブリ).....	184
16.1 電解めっきスルーホール接続.....	184
16.2 表面実装接続.....	185
17.0 接続.....	188
17.1 接続.....	188
18.0 メータ.....	188
18.1 メータ、パネル.....	188
19.0 水晶発振子.....	189
19.1 水晶発振子.....	189
20.0 ランプ.....	190
20.1 ランプ.....	190
21.0 電子式フィルタ.....	190
21.1 電子式フィルタ、非同調形.....	190
22.0 ヒューズ.....	191
22.1 ヒューズ.....	191
23.0 その他の部品.....	192
23.1 その他の部品.....	192
付属書 A: 部品点数信頼度予測法.....	194
付属書 B: VHSIC/VHSIC 類似品および VLSI CMOS(詳細モデル).....	209
付属書 C: 参考文献.....	212

付録 2: 電子部品の故障率の基準条件及び換算のためのストレスモデル

序文	213
1 適用範囲	214
2 引用規格	214
3 定義	214
4 記号	215
5 基準条件	216
5.1 一般	216
5.2 期間 (動作フェーズ)	216
5.3 故障判定基準	216
5.4 動作モード	216
5.5 気候上及び機械的ストレス	216
5.6 電氣的ストレス	217
5.7 補足事項	218
6 汎用ストレスモデル	219
6.1 一般	219
6.2 電圧依存性に対するストレスファクター、 U	219
6.3 電流依存性に対するストレスファクター、 I	220
6.4 温度依存性に対するストレスファクター、 T	220
6.5 影響を及ぼすその他のファクター	221
7 固有のストレスモデル	221
7.1 一般	221
7.2 集積回路のストレスファクター	221
7.3 個別半導体のストレスファクター	224
7.4 オプトエレクトロニクス部品のストレスファクター	226
7.5 受動部品のストレスファクター	228
7.6 コネクタ及びプラグ - イン ソケットのストレスファクター	232
7.7 リレーのストレスファクター	232
7.8 スイッチ及び押しボタンのストレスファクター	235
7.9 パイロット及び信号ランプ(白熱)のストレスファクター	236
付属書 A (情報) 信頼性モデルと予測の限界	237
A.1 一般	237
A.2 故障率についてのデータベースの解説	237
A.3 注記	238
A.4 実使用信頼性と試験信頼性	240
付属書 B (情報) 例	240
付属書 C (情報) 参考文献	242