R-2022-RC-02

経験則に基づくハンドブック予測方法による電子部品の故障率予測

IEC/ TR 62380、FIDES、217Plus の解説と故障率予測計算例

2023年3月

一般財団法人　日本電子部品信頼性センター

経験則に基づくハンドブック予測方法による電子部品の故障率予測

目　次

1. まえがき 1

2. 経験則に基づくハンドブック予測方法 1

2.1 はじめに 1

2.2 故障に影響するストレスと故障モデル 6

2.2.1 温度（温度及び熱－電気的ストレス） 7

2.2.2 温度サイクル（熱－機械的ストレス） 8

2.2.3 相対湿度 9

2.2.4 機械的ストレス（振動）の加速式 10

2.2.5 化学的ストレス 10

2.2.6 誘導（オーバーストレス） 11

2.2.7 モデル間の比較 12

2.3 使用環境ファクター 13

2.4 ミッションプロファイル 14

2.5 品質ファクター 20

2.6 習熟ファクター 21

参考文献 23

3. IEC/TR 62380、FIDES 及び 217plus による各種電子部品の予測故障率の比較 24

3.1 はじめに 24

3.2 各種モデルの特徴 24

3.2.1 IEC/TR 62380 24

3.2.2 FIDES モデル 24

3.2.3 217Plus 26

3.3 ミッションプロファイル 27

3.4 各種部品の故障率算出 29

3.4.1 集積回路 29

3.4.1.1 低消費電力 SRAM の例 29

3.4.1.1.1 IEC/TR 62380 による故障率算出 29

3.4.1.1.2 FIDES による故障率算出 36

3.4.1.1.3 217Plus 42

3.4.1.1.4 IEC/TR 62380、FIDES 及 217Plus による故障率予測結果の比較 47

3.4.1.2 ゲートアレー（0.3μm CMOS)－1.9Mgate, パッケージ 504pin pBGA 48

3.4.1.2.1 IEC/TR 62380 48

3.4.1.2.2 FIDES を用いた故障率予測 52

3.4.1.2.3　217plus を用いた故障率予測 57
3.4.1.2.4　IEC/TR 62380、FIDES 及 217Plus による故障率予測結果の比較 60
3.4.2　ダイオード 60
3.4.2.1　IEC/TR 62380 モデルによる故障率予測 60
3.4.2.2　FIDES モデルによる故障率予測 64
3.4.2.3　217Plus による予測 69
3.4.2.4　IEC/TR 62380、FIDES 及 217Plus による故障率予測結果の比較 74
3.4.3　低電力トランジスタ 74
3.4.3.1　IEC/TR 62380 による故障率予測 74
3.4.3.2　FIDES による故障率予測 78
3.4.3.3　217Plus による故障率予測 83
3.4.3.4　IEC/TR 62380、FIDES 及 217Plus による故障率予測結果の比較 87
3.4.4　コンデンサ 88
3.4.4.1　セラミックコンデンサ 88
3.4.4.1.1　IEC/TR 62380 による故障率予測 88
3.4.4.1.2　FIDES による故障率予測 91
3.4.4.1.3　217Plus による故障率予測 96
3.4.4.1.4　IEC/TR 62380、FIDES 及 217Plus による故障率予測結果の比較 101
3.4.4.2　タンタルコンデンサ 101
3.4.4.2.1　IEC/TR 62380 による故障率予測 101
3.4.4.2.2　FIDES による故障率予測 104
3.4.4.2.3　217Plus による故障率予測 106
3.4.4.2.4　IEC/TR 62380、FIDES 及 217Plus による故障率予測結果の比較 109
3.4.5. 抵抗 110
3.4.5.1　IEC/TR 62380 による故障率予測 110
3.4.5.2　FIDES による故障率予測 112
3.4.5.2　217Plus 116
3.4.5.4　IEC/TR 62380、FIDES 及 217Plus による故障率予測結果の比較 121
3.5　まとめ 121
4　ISO 26262 における電子部品故障率の取り扱い 124
4.1　はじめに 124
4.2　ISO 26262 における電子部品故障率の取り扱い 124
4.2.1　ISO 26262-5:2018（ハードウェアレベルにおける製品開発） 124
4.2.2　ISO 26262-10:2018（ISO 26262 のガイドライン） 126
4.2.3　ISO 26262-11：2018（半導体への ISO 26262 適用のガイドライン） 126
4.3　産業界のデータベースを用いた故障率計算方法と例 134
4.3.1　対象の集積回路と使用環境条件 134
4.3.1.1　対象の集積回路 134
4.3.1.2　使用環境 134
4.3.2　IEC/TR 62380 を用いた場合の故障率推定 135
4.3.2.1　モデル式（ISO 26262-11:2018 に記載有り） 136

4.3.2.2　接合温度 138
4.3.2.3　ダイ基礎故障率の計算 139
4.3.2.3.1 ミッションプロファイルを適用した場合 139
4.3.2.3.2 ミッションプロファイルを適用しない場合 140
4.3.2.4　パッケージの基礎故障率の計算 141
4.3.2.5　電気的オーバーストレスによる故障率の例 144
4.3.3　SN 29500（ISO 26262-11 に記載） 145
4.3.3.1 半導体コンポーネントの計算例 145
4.3.3.2　非動作フェーズが無い半導体コンポーネントの計算例 148
3.3.3.3　非動作フェーズを考慮した半導体コンポーネントの計算例 149
4.4　ストレスプロファイルファクター π_W 150
4.3.3.4　SN 29500 の全体の故障率をダイとパッケージの故障率に分離する方法 151
4.3.4　FIDES ガイド 151
4.3.5　各故障モデルによる比較 160
4.4　まとめ 160
5．あとがき 162

経験則に基づくハンドブック予測方法による電子部品の故障率予測

1. まえがき

電気・電子システムにおいて、機能安全の概念が広がっている。機能安全の基本規格は、IEC 61508 ed.2:2010「電気・電子・プログラマブル電子（E/E/PE）安全関連系の機能安全」[1)]であり、自動車向けの機能安全規格は、ISO 26262「自動車－機能安全」[2)]である。これらの規格では、ハードウエアの安全度水準（SIL（Safety Integrity Level））（自動車の安全規格では ASIL（Automotive SIL））の算出が求められている。

SIL（ASIL）は、E/E/PE 安全関連系の当該安全機能に関する危険側故障率と定義されており、部品で用いる単純な故障率とは異なっている。すなわち、安全機能が喪失し、危険側になる確率である。SIL の評価方法では、電子機器の構成電子部品の故障率を基に算出している。

部品の故障率算出方法では、信頼性データやフィールドデータを基に算出する方が高精度で予測でき望ましいが、手元にデータが無い場合に、公表されている経験則に基づく故障率データ（ハンドブックやデータブックと呼ばれる）を基に算出せざるを得ない。このような経験則に基づくハンドブック予測方法（部品毎に、予め定められた故障率が記載されているハンドブックを用いる方法）は、1965 年に発表された MIL-HDBK-217[3)]を先駆けとして多種類ある。その中で、機能安全規格で推奨されているモデルは、新しいハンドブック予測方法の IEC/ TR 62380[4)]や FIDES[5)]などである。

本稿では、新しいハンドブック予測である IEC/ TR 62380、FIDES、及び 217Plus を中心に、そのモデルの概要と各種電子部品への適用例をまとめる。

2. 経験則に基づくハンドブック予測方法

2.1 はじめに

電子機器を構成する電子部品の故障率予測方法には、表 2.1 に示すような各種方法があり、それぞれ長短がある。

表 2.1　各種故障率予測方法

	方法	概要
1	試験又はフィールドデータからの予測	対象製品（改良製品や在庫製品を含む）の社内試験データやフィールドデータから推定する。 長所：　正確な予測可能　　短所：　データ取得が困難
2	類似製品データに基づく予測	類似製品の試験データやフィールドデータより予測。 類似性が低い場合は、得られている部品や回路の故障率を参考に予測。 長所：　ある程度の正確な予測可能 短所：　データ収集、解析が幾分困難
3	経験則に基づくハンドブック予測	過去の部品レベルのフィールドデータや試験データを基に導出した経験則による予測。 　MIL-HDBK-217、217Plus、IEC/TR 62380 など

		長所：　故障率算出モデルとデータがハンドブック形式でそろっているので比較的容易に予測可能 短所：　部品をブラックボックスとして扱っているので、製造業者や品質管理による差がない。精度は必ずしもよくなくモデルによる差が大きい。新しい部品に対応していない。
4	故障物理に基づく予測	部品毎に、各種故障メカニズムをモデル化し、使用環境での故障メカニズムの発生確率と組み合わせ故障率を予測する。 長所：　部品毎の本質的な故障メカニズムを明らかにするので、実際の故障を反映できる。 短所：　摩耗故障のみを扱っており、初期故障や偶発故障期間の故障率は予測できない。故障メカニズムの明確化が困難である。

以上のような故障率算出方法の中で、①や②の自社の信頼性データやフィールドデータを基にした故障率予測が高精度で望ましいが、手元にデータが無い場合に、③の公表されている経験則に基づくハンドブック予測の故障率データを基に算出せざるをえない。経験則に基づくハンドブック予測方法には、以下の表 2.2 に示すようなモデルが公表されている。

表 2.2　主な経験則に基づくハンドブック予測方法

モデル	発表機関	発表年	特徴
旧モデル			
MIL-HDBK-217[3)]	米軍	・A 版 1965 年、最終版（F 版）は 1995 年。	・連続動作を想定した単純なモデル ・米軍への納入電子機器に、MTBF 算出を義務づけ（現在は義務づけ無し）。そのための基礎資料
ANSI / VITA 51.1[4)]	米国 VMEbus International Trade Association（VITA）	初版 2008 年 最新版 2016 年	・MIL-HDBK-217 の品質ファクター（π_Q）を、現実な値に変更。 ・基本モデルは MIL-HDBK-217F と同じ
NTT モデル [7)]	電電公社（NTT）	1981 年	・MIL-HDBK-217 の日本版（但し通信機器に限定）
TR-332[8)] (SR-332)	旧 BELLCORE（旧 ATT、現在 TELCORDIA）	初版 1975 年 2001 年に SR-332 と名称変更 現在も有効	・MIL-HDBK-217 を基に通信機器用に改定
SN 29500[9)]	シーメンス（独）	産業用機器のフィールドデータを基に、開発。現在も有効	SN 29500-1（一般）を参照して、IEC 61709（故障率の基準条件及び換算のためのストレスモデル）が作成された。

新モデル			
IEC/ TR 62380[5)]	仏の経済産業省に当たる機関（UTE）から提案され、IECの技術情報（TR）になった。	2003 年 現在は有効期限切れで、廃止されている。	・連続動作以外に、待機時、温度サイクル、外部誘導（EOS/ESD）の影響を考慮 ・CNET（仏テレコム）のデータが元になっている。
FIDES[6)*]	仏、軍と航空産業	・1990 年代（正確な年代は不明）。 ・最新版は、A 版（2010 年）で有効 ・2022 年 12 月に改定された（FIDES 2022）（現在は、仏語版のみ発行）	・連続動作以外に、待機時、温度サイクル、外部誘導（EOS/ESD）の影響を考慮 ・品質レベルの詳細評価項目（製造プロセス、マネジメント評価）有り
217Plus[10)] （PRISM）	RIAC**	・MIL-HDBK-217 の後継版、最新版は、2015 年版 ・当初 PRISM と呼ばれていた（初版 2000 年）	・連続動作以外に、待機時、温度サイクル、外部誘導（EOS/ESD）の影響を考慮 ・部品以外の故障要因を考慮したシステムレベルでの故障率モデルも提示

* FIDES は、TC56 で仏より提案され、IEC 63142（A global methodology for reliability data prediction of electronic components）として、審議されている。

**RIAC： Reliability Information Analysis Center （古くは RAC と呼ばれてい。米軍の附属機関）

故障率モデルの先駆けは、1965 年に発表された MIL-HDBK-217 である。これは、米軍の電子機器の信頼性を確保するため、軍用電子機器を調達する際の要求事項として制定された。また部品毎に定めた MIL 仕様書に従った部品調達を想定しており、安全係数を十分に考慮した厳しい予測値になっている。そのため、特に MIL 仕様書に従っていない一般用部品（MIL-HDBK-217 ではスクリーニング無し部品を想定している）に対しては、かなり高い故障率を予測し実績と比較して 1~2 桁高い値になっていると言われている。MIL-HDBK-217 の最終版は、MIL-HDBK-217F Notice2（1995 年）であり、その後 MIL では改定は行われていない。MIL-HDBK-217 の改定終了後も、依然として使用されている状況があり、民間組織の VITA（VMEbus International Trade Association）が、MIL-HDBK-217F Notice2 の見直しを行い、ANSI / VITA 51.1-2008（最新版 2016）として公表した。改定内容は、MIL-HDBK-217F Notice2 の修正ファクター（特に π_Q（品質）ファクター）を見直し、現実的な値をデフォルト値として提供したことである。但し、π_Q ファクター以外の本質的な故障率算出モデルは変更していない。従って、MIL-HDBK-217F を使用する場合は、ANSI / VITA 51.1 も参考にするとよい。

その後、通信業界を中心に、各国で故障率モデルを確立し、通信システムの信頼性設計の基礎データとして使用された。そのモデルは、米国では、BELLCORE（旧 ATT）の SR-332、仏 TELECOM（CNET（National Center for Telecommunication））のモデル（IEC/ TR 62380 の元になっているモデル）、英国 BT（British Telecom）のモデル、そして日本の NTT モデルなどある。その他、産業用機器用モデルとして、独のシーメンスモデル SN 29500 もある。シーメンスモデルは、IEC/TR