

R-25-RC-01

平成25年度

電子部品信頼性調査研究委員会
研究成果報告書

機能安全規格の解説と SIL (ASIL) 評価のための
電子部品故障率予測ガイドライン

平成26年3月

一般財団法人 日本電子部品信頼性センター

目 次

1. まえがき	1
2. 機能安全の概要と IEC 61508 (JIS C 0508) 及び ISO 26262.....	2
2.1 基本規格 IEC 61508 (JIS C 0508)の概要	2
2.1.1 基本規格 IEC 61508 (JIS C 0508)の構成	2
2.1.2 IEC 61508 (JIS C 0508) の基本的考え方と安全度水準 (SIL) について	3
2.1.2.1 社会的及び技術的背景.....	4
2.1.2.2 複雑系とは何か：機能安全の適用対象システム	5
2.1.2.3 複雑系の安全性と信頼性：機能安全のフレームワーク	7
2.2 自動車の機能安全規格 ISO 26262.....	10
2.3 IEC 61508 (JIS C 0508)と ISO 26262 との校合	11
2.3.1 プロセス分野と自動車電子制御分野	11
2.3.2 安全な状態とその発現	12
2.3.3 用語法の比較	13
2.3.3.1 故障(failure)とフォールト(fault).....	13
2.3.3.2 各種フォールトの IEC 61508 との照合.....	14
2.3.3.3 故障と安全目標の侵害	14
2.3.3.4 SIL と ASIL	14
2.3.3.5 決定論的能力 SC と ASIL 分解	15
2.3.3.6 IEC 61508 の安全側故障割合 SFF.....	16
2.3.3.7 ISO 26262 のハードウェア構成メトリクス.....	18
2.3.3.8 診断率 DC と故障率とによる制約事項.....	18
2.3.3.9 ASIL 向け解析と安全解析	19
2.4 まとめ	20
3. 各種電子部品の故障率モデルと使用する場合のガイドライン	22
3.1 はじめに.....	22
3.2 IEC/TR 62380 (信頼性データハンドブック) の概要と ミッションプロファイル適用例.....	25
3.2.1 IEC/TR 62380 (信頼性データハンドブック) の特徴.....	25
3.2.2 IEC/TR 62380 を適用した故障率算出例	27
3.2.2.1 集積回路 (IEC/TR 62380 の 7.3 項)	27
3.2.2.2 ダイオード、トランジスタ (IEC/TR 62380 の 8 章)	28
3.2.2.3 コンデンサ、サーミスタ (IEC/TR 62380 の 10 章)	30
3.2.2.4 抵抗器 (IEC/TR 62380 の 11 章)	34
3.2.2.5 インダクタ及び変圧器 (IEC/TR 62380 の 12 章)	35
3.3 217Plus の概要とミッションプロファイル適用例	36
3.3.1 217Plus の特徴.....	36
3.3.2 セラミックコンデンサの自動車の標準動作プロファイルでの故障率	38
3.3.2.1 自動車の動作プロファイル (エンジン部分) を適用した場合の故障率	39
3.3.2.2 自動車の動作プロファイル (車内の装置・パネル装着部分) を適用した場合の故障率.....	40
3.3.3 部品点数 (Part Count) 表.....	41
3.4 MIL-HDBK-217F の概要と部品点数表.....	43
3.4.1 MIL-HDBK-217F の特徴.....	43
3.4.2 セラミックチップコンデンサ (温度補償用) の故障率	44
3.4.3 部品点数表.....	44
3.5 部品故障率モデル使用のガイドライン	52

4. 故障率モデルを使用しない場合の故障率の求め方及び電子部品の初期故障率 と市場故障件数の考察.....	54
4.1 故障率モデルを使用しない場合の故障率の求め方 (JEITA EDR-4078 より)	54
4.1.1 半導体部品における故障率予測方法について	54
4.1.2 故障分布	54
4.1.3 スクリーニング収束性試験結果に基づく故障率予測	55
4.2 電子部品の故障率と故障件数の関係についての考察	57
4.2.1 まえがき	57
4.2.2 初期故障率の推定	57
4.2.2.1 試験に基づく故障率推定	57
4.2.2.2 データベースに基づく故障率推定	58
4.2.2.3 工程情報に基づく故障率推定	59
4.2.3 初期故障率と故障発生件数	60
4.2.4 まとめ	61
5. SIL 及び ASIL の求め方	63
5.1 リスク、危害事象及び危害のモデル	63
5.2 危害事象率と危険事象頻度	64
5.3 多重防護層とリスク軽減	65
5.3.1 多重防護層への作動要求と機能失敗	65
5.3.2 危険事象に関わる特性値の定式化	68
5.4 危険事象による作動要求モードと安全度	70
5.4.1 低頻度作動要求モードと安全度	70
5.4.2 高頻度作動要求/連続モードと安全度	71
5.5 危害事象頻度と危害事象率	72
5.5.1 最終防護層の安全機能失敗の状態遷移モデル	72
5.5.2 危害事象頻度	73
5.5.3 危害事象率	74
5.5.4 低頻度作動要求モードと危害事象に関する安全度	74
5.5.5 高頻度作動要求/連続モードと危害事象に関する安全度	75
5.5.6 DD 故障及び DD フォールトによる危害事象率	75
5.5.7 全故障及びフォールトによる危害事象率	75
5.5.8 目標機能失敗尺度と危害事象率との比較	75
5.6 冗長構成の E/E/PE 安全関連系の安全度及び SIL	76
5.6.1 2 チャネル冗長構成の E/E/PE 安全関連系	77
5.6.2 故障の検出	78
5.6.3 DD フォールトによるシステムのアンアベイラビリティ	78
5.6.4 DD 故障によるシステムの DD 故障率	79
5.6.5 DU フォールトの PFD_{avg}	79
5.6.6 DU 故障によるシステムの DU 故障率	80
5.7 まとめ	80
6. まとめ	80

付録 1 : IEC TR 62380 1 st Edition (2004-08)、"Reliability Data Handbook - Universal model for reliability prediction of electronic components, PCBs and equipment"	82
序	82
1. 適用範囲	82
2. 引用規格	82
3. 用語及び定義	83
4. 使用条件	84

4.1	はじめに.....	84
4.1.1	信頼度予測の理論.....	84
4.1.2	ハンドブックの構成.....	84
4.1.3	データソース.....	84
4.2	TR 62380 で採用している仮定.....	85
4.2.1	データの性質.....	85
4.2.1.1	信頼性データ.....	85
4.2.1.2	初期故障期間.....	85
4.2.1.3	摩耗故障期間.....	85
4.2.2	故障の性質.....	86
4.2.2.1	本質的な故障.....	86
4.2.2.2	電氣的過負荷による非本質的な残留故障 (residual failure) の特別な場合.....	86
4.2.2.3	その他の非本質的故障.....	86
4.2.3	大規模集積回路、製造年月日の影響.....	87
4.3	影響ファクター (Influence Factor).....	87
4.3.1	部品の故障率.....	87
4.3.2	寿命予測.....	88
4.4	データの使い方.....	88
4.4.1	計算方法.....	88
4.4.2	信頼度予測結果.....	88
4.4.3	故障率.....	88
4.4.4	条件が不明の場合はデフォルト条件を仮定する.....	88
4.5	信頼度予測の使用と目的.....	89
4.5.1	装置設計の手助けとしての信頼度予測.....	89
4.5.2	新しい装置の実現性評価の手助けとしての信頼度予測.....	89
4.5.3	信頼度に関する契約の基礎としての信頼度予測値.....	89
5	環境の影響.....	90
5.1	一般.....	90
5.2	規定した環境タイプ.....	90
5.3	電氣的環境条件.....	92
5.4	環境に従った妥当性モデル.....	92
5.5	部品選定.....	93
5.6	新しい装置の採用における習熟.....	93
5.7	ミッションプロファイル.....	94
5.8	ミッションプロファイル例.....	95
5.8.1	通信.....	95
5.8.2	軍と民間航空.....	96
5.8.3	自動車.....	97
6	実装したプリント配線板及びハイブリッド (IEC 60326).....	98
6.1	実装したプリント配線板の故障率計算.....	98
6.2	ハイブリッド回路.....	100
7	集積回路.....	102
7.1	妥当性の領域.....	102
7.2	集積回路の接合温度の評価.....	102
7.2.1	接合温度.....	102
7.2.2	熱抵抗の評価.....	103
7.2.2.1	推奨方法.....	103
7.2.2.2	デフォルト値.....	103
7.2.2.3	集積回路で消費される電力の平均値の評価.....	104

7.3	信頼性モデル	105
7.3.1	モデルの一般形式と定義	105
8	ダイオード、サイリスタ、トランジスタ、オプトカップラ (IEC 60747-xx)	112
8.1	ダイオードとトランジスタの接合温度の評価	112
8.2	低電力ダイオード	114
8.3	電力ダイオード	117
8.4	低電力トランジスタ	120
8.5	電力トランジスタ	124
8.6	オプトカップラ	128
8.6.1	寿命予測	128
8.6.2	故障率	129
9	オプトエレクトロニクス	132
9.1	発光ダイオードモジュール (IEC 60747-12-12、IEC 62007)	132
9.1.1	寿命予測	132
9.1.2	故障率	133
9.2	レーザダイオードモジュール)	134
9.2.1	寿命予測	134
9.2.2	故障率	135
9.3	通信用のホトダイオードとレシーバモジュール (IEC 60747-12)	137
9.4	受動光部品	137
9.5	その他の光部品	138
10	コンデンサ及びサーミスタ (NTC)	139
10.1	固定プラスチック、紙、コンデンサ雑音防止用 (プラスチック、紙)	139
10.2	固定セラミックコンデンサー規定の温度係数ークラス I (IEC 60384)	141
10.3	固定セラミックコンデンサー温度係数の規定が無いークラス II ー雑音防止用	143
10.4	タンタルコンデンサ、固体電解 (IEC 60384)	145
10.5	アルミニウム、非固体電解コンデンサ	147
10.5.1	寿命予測	147
10.5.2	故障率	148
10.6	アルミニウム電解コンデンサ、固体電解	150
10.7	アルミニウム電解コンデンサ、ポリマ電解 (IEC 60384)	152
10.8	可変セラミックコンデンサ、ディスク (誘電体セラミック) (IEC 60384)	154
10.9	負温度係数のサーミスタ (NTC) (IEC 60539)	156
11	抵抗器及びポテンシオメータ (IEC 60115)	158
11.1	固定、低消費電力フィルム抵抗器ー高安定 (rs)、一般用 (tc)、”MINIMELF”	158
11.2	ホットモールド炭素化合物、固定抵抗器 (IEC 60115)	160
11.3	固定、高電力フィルム抵抗器 (IEC 60115)	162
11.4	低電力巻き線抵抗器 (IEC 60115)	164
11.5	高電力巻き線抵抗器 (IEC 60115)	166
11.6	固定、低電力表面実装抵抗器及び抵抗器アレイ (IEC 60115)	168
11.7	非巻線サーメットポテンシオメータ (1回又は数回回転) (IEC 60393)	170
12	インダクタ及び変圧器 (IEC 61248)	172
13	高周波受動部品、圧電部品、及び表面弾性波フィルタ (IEC 61261、IEC 61019、IEC 60368)	174
13.1	高周波受動部品	174
13.2	圧電部品	174
13.3	表面弾性波フィルタ	174
14	リレー	175
14.1	過渡条件での電圧と電流 (Vt,It) 評価	175

14.1.1	推奨される方法	175
14.1.2	デフォルト方法	175
14.2	水銀湿式リードリレー、低電力 (IEC 60255)	178
14.2.1	寿命予測	178
14.2.2	故障率	179
14.3	乾式リードリレー、低電力 (IEC 60255)	181
14.3.1	寿命予測	181
14.3.2	故障率	182
14.4	電気機械的リレー、小型又はカードー欧州型、熱リレー (電力<500 W) (IEC 60255)	184
14.4.1	寿命予測	184
14.4.2	故障率	185
14.5	産業用リレー、高電圧真空管リレー、電力水銀湿式リレー (IEC 60255)	187
14.5.1	寿命予測	187
14.5.2	故障率	188
15	スイッチ及びキーボード (IEC 60948)	191
16	コネクタ	192
16.1	丸型、各型	192
16.2	同軸コネクタ	192
16.3	PCB 用コネクタ及び関連するコネクタ	192
17	ディスプレイ、半導体ランプ	194
17.1	ディスプレイ	194
17.2	半導体ランプ (IEC 60747)	194
18	保護デバイス (IEC 60099, IEC 60269, IEC 60738, IEC 61051)	195
18.1	サーミスタ (PTC)	195
18.2	バリスタ (モデル無し)	195
18.3	フューズ (モデル無し)	195
18.4	アレスタ (モデル無し)	195
19	エネルギーデバイス、熱管理デバイス、ディスクドライブ (IEC 60086, IEC 60879, IEC 61436, IEC 61440)	196
19.1	一次電池	196
19.2	二次電池	196
19.3	ファン	196
19.4	熱電クーラー	196
19.5	ディスクドライブ	196
19.6	コンバータ (IEC 60146)	196

付録 2 : Handbook of 217Plus, “Reliability Prediction Model”, 2006.

	“信頼性予測モデルの部品信頼性モデル“	197
1	はじめに	197
2	217F の部品故障率モデルの考え方	197
2.1	モデル形式	197
2.2	環境ストレスの取り扱い	198
2.3	加速ファクター	198
2.4	部品の信頼度成長	198
2.5	故障モード対故障原因マッピング	199
2.6	基礎故障率の導出	200
3	各種部品の故障率モデル	201
3.1	序論	201

3.1.1	共通パラメータ	201
3.1.2	部品品質レベルについての見解	201
3.1.3	故障率モデルの時間の基本	202
3.2	部品故障率モデル	202
3.2.1	コンデンサ	202
3.2.2	ダイオードモデル	205
3.2.3	樹脂封止集積回路	208
3.2.4	ハーメテック封止集積回路	211
3.2.5	インダクタ	214
3.2.6	トランス	216
3.2.7	光デバイス	218
3.2.8	スイッチ	221
3.2.9	リレー	223
3.2.10	コネクタ	225
3.2.11	抵抗	227
3.2.12	サイリスタ	230
3.2.13	トランジスタ	233
3.2.14	環境と動作プロファイルのデフォルト値	236
3.3	部品点数表	238
	参考文献	245

1. まえがき

21 世紀に入り、十有余年が経過した。この間、技術革新は進展し続け、その成果を取り込んだ製品・システム・プロセスは複雑化の度合を深化させている。この複雑化の一因として、あらゆる分野における電機・電子・プログラマブル電子 (E/E/PE) 技術の関与と貢献とがあげられる¹⁾。

この傾向は、安全の分野においても例外ではない。安全に関連するシステムすなわち安全機能を遂行する安全関連系にも E/E/PE 技術が適用されるようになった。E/E/PE 技術を用いた電機・電子・プログラマブル電子 (E/E/PE) 安全関連系は、例えば自動車プリクラッシュシステムのように、従来では考えられなかった安全機能の実現も可能とするようになってきた。このような安全機能による安全確保を確実なものとするために、機能安全 (Functional safety) というパラダイムが国際標準として確立しつつある^{2),3)}。機能安全の規格に適合して安全を確保していくためには、まず機能安全の基本を適切に把握することが近道である。

以上の観点から、一般財団法人日本電子部品信頼性センター (RCJ) では、平成 25 年度から電子部品信頼性研究委員会を設置し、機能安全の基本安全規格 IEC 61508²⁾ (JIS C 0508^{4)~7)}、自動車電子制御分野の機能安全規格 ISO 26262³⁾などの機能安全規格に適合するために、電子部品の故障率と機能安全との関係について検討を開始した。

本報告書は、この電子部品信頼性研究委員会の平成 25 年度の活動をまとめたものであり、機能安全の概要と機能安全規格への適合条件、SIL (自動車用 ASIL) 算定のための電子部品の故障率モデル予測のガイドライン、故障率モデルを使用しない場合の故障率の求め方及び電子部品の初期故障率と市場故障件数の考察、SIL (ASIL) の算定方法、まとめ、及び付録から構成される。

ところで、機能安全の実践に際して、組織の中でどのような役割分担があるであろうか。機能安全の実践の主体は、機能安全に適合する製品の開発設計に関わる者が中心となる。その他、機能安全に特有なリスクアセッサ、機能安全アセッサ、安全解析担当者などが携わることになる。しかし、現時点で、多くの企業、組織体では、まだ機能安全実施体制が未整備であると考えられる。製品の設計・開発に携わる者の機能安全に関する教育から始まり、機能安全に特有なリスクアセッサ、機能安全アセッサ、安全解析担当者などの育成を行うための体制、さらには機能安全規格の要求事項に適合するプロセス運用の組織体制の構築が喫緊の課題である。

このような要求に答えるために、機能安全規格適合のための基本的共通知識ともいえる電子部品の信頼性に関する知見は、今後もその重要性を増大させていくものと考えられる。

参考文献

- 1) 佐藤吉信、機能安全／機械安全規格の基礎とリスクアセスメント—SIL、PL、自動車用 SIL の評価法、日刊工業新聞社、2011 年 8 月 (東京)。
- 2) IEC 61508 Ed.2: Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems、Part 1~7、IEC、April 2010 (Geneva).
- 3) ISO 26262: Road vehicles—Functional safety—、Part 1~9、ISO、Nov. 2011 (Geneva).
- 4) JIS C 0508-1: 電機・電子・プログラマブル電子安全関連系の機能安全—第 1 部: 一般要求事項 (2012 年 10 月)。
- 5) JIS C 0508-2: 電機・電子・プログラマブル電子安全関連系の機能安全—第 2 部: 電機・電子・プログラマブル電子安全関連系に対する要求事項 (2014 年 2 月)。
- 6) JIS C 0508-3: 電機・電子・プログラマブル電子安全関連系の機能安全—第 3 部: ソフトウェア要求事項 (2014 年 2 月)。
- 7) JIS C 0508-4: 電機・電子・プログラマブル電子安全関連系の機能安全—第 4 部: 用語の定義及び略語 (2012 年 10 月)。