

R-27-RC-01

平成27年度

電子部品信頼性調査研究委員会
研究成果報告書

機能安全規格の動向及び
— 電子部品故障率モデルの IEC/TR 62380、FIDES —
及び 217Plus を用いた故障率算出例と比較

平成28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. 基本機能安全規格 IEC 61508 の改正に向けて	3
2.1 機能安全に係る主な分野・製品規格の現状	3
2.1.1 プロセス産業の安全計装分野 IEC 61511	3
2.1.2 機械類の安全制御分野 IEC 62061 及び ISO 13849-1	3
2.1.3 鉄道分野 IEC 62278 他	4
2.1.4 自動車分野	4
2.2 IEC 61508 と産業分野との親和性と活用度	7
2.3 IEC 61508 の改正に向けた提言	8
2.4 おわりに	9
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	11
3.1 はじめに	11
3.2 各種モデルの特徴	11
3.2.1 IEC/TR 62380	11
3.2.2 FIDES モデル	11
3.2.3 217Plus	13
3.3 ミッションプロファイル	14
3.4 各種部品の故障率算出	16
3.4.1 集積回路	16
3.4.1.1 低消費電力 SRAM の例	16
3.4.1.1.1 IEC/TR 62380 による故障率算出	16
3.4.1.1.2 FIDES による故障率算出	23
3.4.1.1.3 217Plus	29
3.4.1.1.4 IEC/TR 62380、FIDES 及 217Plus による故障率予測結果の比較	34
3.4.1.2 ゲートアレー (0.3 μ m CMOS)–1.9Mgate, パッケージ 504pin pBGA	34
3.4.1.2.1 IEC/TR 62380	35
3.4.1.2.2 FIDES を用いた故障率予測	38
3.4.1.2.3 217plus を用いた故障率予測	43
3.4.1.2.4 IEC/TR 62380、FIDES 及 217Plus による故障率予測結果の比較	46
3.4.2 ダイオード	47
3.4.2.1 IEC/TR 62380 モデルによる故障率予測	47
3.4.2.2 FIDES モデルによる故障率予測	50
3.4.2.3 217Plus による予測	55
3.4.2.4 IEC/TR 62380、FIDES 及 217Plus による故障率予測結果の比較	60
3.4.3 低電力トランジスタ	60
3.4.3.1 IEC/TR 62380 による故障率予測	60
3.4.3.2 FIDES による故障率予測	64
3.4.3.3 217Plus による故障率予測	68
3.4.3.4 IEC/TR 62380、FIDES 及 217Plus による故障率予測結果の比較	73
3.4.4 コンデンサ	74
3.4.4.1 セラミックコンデンサ	74

3.4.4.1.1	IEC/TR 62380 による故障率予測.....	74
3.4.4.1.2	FIDES による故障率予測.....	77
3.4.4.1.3	217Plus による故障率予測.....	81
3.4.4.1.4	IEC/TR 62380、FIDES 及 217Plus による故障率予測結果の比較.....	86
3.4.4.2	タンタルコンデンサ.....	87
3.4.4.2.1	IEC/TR 62380 による故障率予測.....	87
3.4.4.2.2	FIDES による故障率予測.....	89
3.4.4.2.3	217Plus による故障率予測.....	91
3.4.4.2.4	IEC/TR 62380、FIDES 及 217Plus による故障率予測結果の比較.....	95
3.4.5	抵抗.....	95
3.4.5.1	IEC/TR 62380 による故障率予測.....	95
3.4.5.2	FIDES による故障率予測.....	98
3.4.5.2	217Plus.....	101
3.4.5.4	IEC/TR 62380、FIDES 及 217Plus による故障率予測結果の比較.....	106
3.5	まとめ.....	106
4.	まとめ.....	110

付録 1	: Handbook of 217Plus, “Reliability Prediction Model”, 2015. “信頼性予測モデルの部品信頼性モデル”.....	112
前書き	112
序	112
1.	はじめに.....	112
2.	217Plus 信頼性予測モデル.....	114
2.1	モデルの概要.....	114
2.1.1	$\lambda_{IA,predecessor}$	115
2.1.2	$\lambda_{observed,predecessor}$	115
2.1.3	調整可能なデータ.....	115
2.1.4	$\lambda_{predicted,predecessor}$	115
2.1.5	$\lambda_{IA,new}$	116
2.1.6	$\lambda_{predicted,new}$	116
2.1.7	λ_1	116
2.1.8	a_i	116
2.1.9	b_i	116
2.1.10	AF_i	116
2.1.11	b_i'	117
2.1.12	a_0	117
2.1.13	λ_2	117
2.1.13.1	λ_2 の式内のベイズ定数 a_0 の調整.....	117
2.2	217F の部品故障率モデルの考え方.....	119
2.2.1	モデル形式.....	119
2.2.2	環境ストレスの取り扱い.....	120
2.2.3	加速ファクター.....	120
2.2.4	部品の信頼度成長.....	120

2.2.5	故障モード対故障原因マッピング	121
2.2.6	基礎故障率の導出	122
3	各種部品の故障率モデル	123
3.1	序論	123
3.1.1	共通パラメータ	123
3.1.2	部品品質レベルについての見解	123
3.1.3	故障率モデルの時間の基本	124
3.2	部品故障率モデル	124
3.2.1	コンデンサ	124
3.2.2	ダイオードモデル	128
3.2.3	樹脂封止集積回路	132
3.2.4	ハーメテック封止集積回路	135
3.2.5	インダクタ	137
3.2.6	トランス	139
3.2.7	光デバイス	142
3.2.8	スイッチ	144
3.2.9	リレー	147
3.2.10	コネクタ	150
3.2.11	抵抗	153
3.2.12	サイリスタ	157
3.2.13	トランジスタ	160
3.2.15	ホトニックデバイス	164
3.2.15	環境と動作プロファイルのデフォルト値	167
3.3	部品点数表	169
4	システムレベルモデル	176
4.1	はじめに	176
4.2	システムの信頼度モデル	178
4.2.1	最初の故障率推定 (λ_{IA})	179
4.2.2	プロセスグレードファクター	179
4.2.3	初期不良ファクター (Π_M)	184
4.2.4	環境ファクター (Π_E)	184
4.2.5	信頼度成長 (Π_G)	184
4.2.6	プロセスグレードファクター質問 (省略)	185
5	トレードオフ分析	185
	参考文献	190

1. まえがき

一般財団法人日本電子部品信頼性センター（RCJ）では、自動車電子制御に関わる機能安全規格 ISO 26262:2011「自動車—機能安全」¹⁾ 及び基本機能安全規格である IEC 61508:20102)(JIS C 05083)^{2)~6)}等の理解を深めて機能安全活動を効果的に実践するために、平成 25 年度に「電子部品信頼性研究委員会」を設置した。平成 27 年度においても平成 26 年度に引き続いて、機能安全と電子部品の故障、故障率等との関係について検討した。

20 世紀の半ばを過ぎて登場した電気・電子・プログラマブル電子（E/E/PE）技術は、製品・システム・プロセスの利便性を著しく向上させたが、同時にそれらの技術上の複雑化が進行した。当初、E/E/PE 技術は、市場の製品において、安全以外の機能を実現するためにのみ用いられていた。しかし、20 世紀の終盤には、安全性に関わる機能すなわち安全機能をも実現するために用いられるようになった。このような背景によって、機能安全基本規格 IEC 61508(JIS C 0508)は、その開発作業が 1990 年前後から開始され、その初版が 2000 年に、改正第 2 版が 2010 年に発行され現在に至ったのである^{7,8)}。

ところで、最近では、アセットマネジメント⁹⁾の観点から、安全機能の遂行によるアセットへ生ずるネガティブなリスクを制御するための E/E/PE 安全関連技術の開発と実用化が広範囲に進みつつある。

例えば、鉄道車両において、その常用停止システムは、車両による衝突潜在危険などを制御する重要な安全機能を遂行する安全関連系である。常用停止システムによる車両の停止時に、制動機構が固着して車輪がレール上を滑走すると、車輪の偏摩耗が生ずる。真円でない車輪によるレール打撃現象により、レール等を著しく劣化・損傷させるというアセットリスクが無視できなくなる。このリスクの制御を企図して、車輪の停止時スライド防止装置が開発実用化されつつある。スライド防止装置は、車輪のスライドを検出して常用停止システムの制動力を ON-OFF 制御する。このため、スライド防止装置と常用停止システムとは、機能安全性能上独立性を維持することは困難である。すなわち、スライド防止装置の故障は、新たな衝突潜在危険/リスクの原因となり得る。

このように、安全機能の遂行によるアセット等へ生ずるネガティブなリスクを制御するために E/E/PE 安全関連に付加された装置に起因して生ずる潜在危険・リスクを随伴潜在危険/随伴リスク (Concomitant hazard/risk)という。

随伴潜在危険/リスクとしては、自動運転を行う自動車の制御系に手動運転のための装置を付加することにより生ずる新たな衝突潜在危険/リスク、逆に、手動運転を行う自動車に自動運転を行うための装置を付加することによる新たな衝突潜在危険/リスク、さらに、介護ロボットなど自立制御が可能なロボットに非常停止など手動操作装置を付加することにより生ずる新たな衝突潜在危険/リスクなどが典型的な事例としてあげられよう。

現在のところ、いずれの機能安全規格においても、随伴潜在危険/リスクを想定した規格の要求事項あるいはガイドラインは存在しない。随伴潜在危険/リスクへの要求事項の開発は、機能安全規格改正の今後の主要な課題として位置づけられよう。

本報告書は、以上のような状況を踏まえ、平成 27 年度の電子部品信頼性研究委員会における検

討結果をまとめたものである。

参考文献

- 1) ISO 26262: Road vehicles—Functional safety—, Part 1～9, ISO, Nov. 2011 (Geneva).
- 2) IEC 61508 Ed.2: Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems, Part 1～7, IEC, April 2010 (Geneva).
- 3) JIS C 0508-1: 電気・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) .
- 4) JIS C 0508-2: 電気・電子・プログラマブル電子安全関連系の機能安全—第2部: 電気・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) .
- 5) JIS C 0508-3: 電気・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) .
- 6) JIS C 0508-4: 電気・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) .
- 7) 佐藤吉信著、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) .
- 8) 佐藤吉信著、機能安全の基礎、日本規格協会、2014年6月 (東京) .
- 9) ISO 55001: Asset management - Management systems – Requirements, ISO, Jan. 2014 (Geneva).