

R-29-RC-01

平成29年度

電子部品信頼性調査研究委員会  
研究成果報告書

移動ロボットの安全性に係る自動化レベルの等級化  
及び半導体の従属故障分析と ISO 26262  
— 付録：IEC 61709/Ed3:2017 電子部品-信頼性-故障率の  
基準条件及び換算のためのストレスモデル —

平成30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. 移動ロボットの安全性に係る自動化レベルの等級化について .....	6
2.1 はじめに .....	6
2.2 潜在危険抑制原理と安全原則/方策 .....	6
2.2.1 A-C モデルと潜在危険抑制原理 .....	6
2.2.2 安全原則と安全方策 .....	8
2.3 ロボットの自動化レベル .....	9
2.3.1 固有安全原則の適用 .....	9
2.4 まとめ .....	10
3. 半導体の従属故障分析と ISO 26262 .....	12
3.1 はじめに .....	12
3.2 ハードウェアアーキテクチャーの定量的評価 .....	12
3.3 従属故障の分析方法 .....	17
3.4 ISO/PAS 19451-1 で採り上げている従属故障分析 .....	20
3.4.1 半導体の従属故障 (dependent failure analysis (DFA)) の序論 .....	20
3.4.2 DFA と安全分析との関係 .....	21
3.4.3 従属故障シナリオ .....	22
3.4.4 カスケード故障と共通原因故障の区別 .....	25
3.4.5 従属故障のイニシエータ .....	25
3.4.5.1 従属故障のイニシエータのリスト .....	25
3.4.5.2 緩和策の検証 .....	31
3.4.6 DFA ワークフロー .....	32
3.4.6.1 DFA の決定と HW 及び SW エLEMENTの明確化 (B1) .....	33
3.4.6.2 DFI の識別 (B2) .....	34
3.4.6.3 特定された DFI の影響に関する利用可能な情報によって提供される考察の十分性 (B3、 B4) .....	34
3.4.6.4 関連する DFI リストの整理 (B5) .....	35
3.4.6.5 DFI を制御または緩和するための必要な安全方策の特定 (B6) .....	35
3.4.6.6 定義された緩和方策に関する利用可能な情報によって提供される考察の十分性 (B7 と B8) .....	35
3.4.6.7 安全方策のリストを統合する (B9) .....	35
3.4.6.8 従属故障を抑制または回避する有効性の評価 (B10) .....	36
3.4.6.9 リスク低減の十分性の評価、必要に応じて定義された措置の改善 (B11 及び B12) .....	36
3.4.7 従属故障分析の例 .....	36
3.4.7.1 マイクロコントローラの例 .....	36
3.4.7.1.1 概要 .....	36
3.4.7.1.2 従属故障分析 .....	39
3.4.7.2 アナログ回路の例 .....	42

3.4.7.2.1	概要 .....	42
3.4.7.2.2	共通の電源電圧レギュレータによる従属故障.....	45
3.4.7.2.3	干渉メカニズムによる従属故障.....	49
3.4.8	考察 .....	52
3.5	まとめ .....	53
4.	故障率に着目した安全設計の注意点.....	55
4.1	はじめに .....	55
4.2	故障 0 件の平均故障率 .....	55
4.3	許容故障台数に関する考察 .....	57
5.	まとめ .....	60

付録：IEC 61709/Ed3:2017 電子部品－信頼性－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 .....	61
1 適用範囲 .....	62
2 引用規格 .....	62
3 用語、定義及びシンボル .....	62
3.1 用語及び定義 .....	62
3.2 記号 .....	65
4 コンテキストと条件 .....	67
4.1 故障モードとメカニズム .....	67
4.2 温度モデル .....	67
4.3 ミッションプロファイルの考察 .....	67
4.3.1 一般 .....	67
4.3.2 動作及び非動作条件 .....	68
4.3.3 休止 .....	68
4.3.4 保管 .....	68
4.4 環境条件 .....	68
4.5 部品選定 .....	70
4.6 新しい機器の展開フェーズ中の信頼度成長.....	71
4.7 本規格の使い方 .....	71
5 汎用の基準条件とストレスモデル .....	73
5.1 推奨する汎用の基準条件 .....	73
5.2 汎用ストレスモデル .....	73
5.2.1 一般 .....	73
5.2.2 電圧依存性に対するストレスファクター、 $\pi_U$ .....	74
5.2.3 電流依存性に対するストレスファクター、 $\pi_I$ .....	74
5.2.4 温度依存性に対するストレスファクター、 $\pi_T$ .....	75
5.2.5 環境応用ファクター、 $\pi_E$ .....	76
5.2.6 スイッチングレート依存性、 $\pi_S$ .....	76

5.2.7	電氣的ストレス依存性、 $\pi_{ES}$ .....	77
5.2.8	影響を及ぼすその他のファクター.....	77
6	集積回路.....	77
6.1	固有の基準条件 .....	77
6.2	固有のストレスモデル .....	79
6.2.1	一般.....	79
6.2.2	電圧依存性、ファクター $\pi_U$ .....	79
6.2.3	温度依存性、ファクター $\pi_T$ .....	80
7	ディスクリート半導体 .....	81
7.1	固有の基準条件 .....	81
7.2	固有のストレスモデル .....	82
7.2.1	一般.....	82
7.2.2	電圧依存性、ファクター $\pi_U$ .....	83
7.2.3	温度依存性、ファクター $\pi_T$ .....	83
8	オプトエレクトロニクス部品 .....	84
8.1	固有の基準条件 .....	84
8.2	固有のストレスモデル .....	86
8.2.1	一般.....	86
8.2.2	電圧依存性、ファクター $\pi_U$ .....	86
8.2.3	電流依存性、ファクター $\pi_I$ .....	87
8.2.4	温度依存性、ファクター $\pi_T$ .....	87
9	コンデンサ .....	88
9.1	固有の基準条件 .....	88
9.2	固有ストレスモデル .....	89
9.2.1	一般.....	89
9.2.2	電圧依存性、ファクター $\pi_U$ .....	89
9.2.3	温度依存性、ファクター $\pi_T$ .....	91
10	抵抗及びネットワーク抵抗 .....	92
10.1	固有の基準条件 .....	92
10.2	固有ストレスモデル .....	93
10.2.1	一般.....	93
10.2.2	抵抗についての温度依存性、ファクター $\pi_T$ .....	93
11	インダクタ、トランス及びコイル.....	94
11.1	固有の基準条件 .....	94
11.2	固有ストレスモデル.....	94
11.2.1	一般.....	94
11.2.2	温度依存性、ファクター $\pi_T$ .....	94
12	高周波デバイス .....	95
12.1	固有の基準条件 .....	95
12.2	固有ストレスモデル .....	95

13	その他の受動部品 .....	95
13.1	固有の基準条件 .....	95
13.2	固有ストレスモデル .....	96
14	電氣的接続 .....	96
14.1	固有の基準条件 .....	96
14.2	固有ストレスモデル .....	96
15	コネクタ及びソケット .....	96
15.1	固有の基準条件 .....	96
15.2	固有ストレスモデル .....	97
16	リレー .....	97
16.1	固有の基準条件 .....	97
16.2	固有ストレスモデル .....	97
16.2.1	一般 .....	97
16.2.2	スイッチングレート依存性、ファクター $\pi_S$ .....	98
16.2.3	電氣的ストレス依存性、ファクター $\pi_{ES}$ .....	98
16.2.4	温度依存性、ファクター $\pi_T$ .....	99
17	スイッチ及び押しボタン .....	100
17.1	固有の基準条件 .....	100
17.2	固有ストレスモデル .....	100
17.2.1	一般 .....	100
17.2.2	電氣的ストレス依存性、ファクター $\pi_{ES}$ .....	100
18	パイロット及び信号ランプ .....	101
18.1	固有の基準条件 .....	101
18.2	固有ストレスモデル .....	102
18.2.1	一般 .....	102
19	プリント配線板 (PCB) .....	102
20	ハイブリッド回路 .....	102
	付属書 A (規定) 部品の故障モード .....	103
	付属書 B (情報) 半導体の熱モデル .....	106
B.1	熱モデル .....	106
B.2	接合温度の計算 .....	107
B.3	熱抵抗評価 .....	107
B.4	集積回路の電力消費 P .....	109
	付属書 C (情報) 故障率予測 .....	111
C.1	一般 .....	111
C.2	アセンブリの故障率予測 .....	111
C.2.1	一般 .....	111
C.2.2	仮定と限界 .....	112
C.2.3	故障率予測のプロセス .....	112
C.2.4	故障率モデル .....	113

C.2.4.1	一般.....	113
C.2.4.2	基準条件における故障率予測.....	113
C.2.4.3	動作条件における故障率予測.....	113
C.2.5	故障率予測のその他の方法.....	114
C.2.5.1	類似性分析.....	114
C.2.5.2	シミュレーション.....	114
C.2.5.3	試験.....	114
C.2.5.4	故障物理.....	114
C.2.6	信頼性モデルと予測の妥当性検討.....	115
C.3	部品の考慮.....	115
C.3.1	部品モデル.....	115
C.3.2	部品の分類.....	115
C.4	故障率に関する一般的な考察.....	116
C.4.1	一般.....	116
C.4.2	部品の故障率の一般的な挙動.....	116
C.4.3	故障の期待値.....	117
C.4.4	故障率のソースによるばらつき.....	117
付属書 D (情報) ミッションプロファイルの考慮.....		119
D.1	一般.....	119
D.2	待機.....	119
D.3	ミッションプロファイル.....	120
D.4	ミッションプロファイルの例.....	121
付属書 E (情報) 耐用寿命モデル.....		122
E.1	一般.....	122
E.2	パワートランジスタ.....	122
E.3	オプトカップラー.....	122
E.3.1	耐用寿命 $L$ .....	122
E.3.2	ファクター $L_0$ .....	122
E.3.3	ファクター $\kappa_0$ .....	123
E.3.4	ファクター $\kappa_1$ .....	123
E.3.5	ファクター $\kappa_2$ .....	124
E.3.6	ファクター $\kappa_3$ .....	124
E.4	LED 及び LED モジュール.....	124
E.4.1	耐用寿命 $L$ .....	124
E.4.2	ファクター $L_0$ .....	125
E.4.3	ファクター $\kappa_0$ .....	126
E.4.4	ファクター $\kappa_1$ .....	126
E.4.5	ファクター $\kappa_2$ .....	126
E.4.6	ファクター $\kappa_3$ .....	127
E.5	アルミニウム、非固体電解コンデンサ.....	127

E.6	リレー .....	128
E.7	スイッチ及びキーボード .....	128
E.8	コネクタ .....	128
付属書 F (情報)	故障物理 .....	129
F.1	一般 .....	129
F.2	集積回路の故障メカニズム .....	129
付属書 G (情報)	故障率データベースの設計に関する考察 .....	131
G.1	一般 .....	131
G.2	データ収集の収集 - 収集プロセス .....	131
G.3	収集するデータと収集方法 .....	131
G.4	計算と意思決定 .....	131
G.5	データ記述 .....	132
G.6	部品の識別 .....	132
G.6.1	一般 .....	132
G.6.2	部品の識別 .....	132
G.6.3	部品技術 .....	133
G.7	部品の仕様 .....	133
G.7.1	一般 .....	133
G.7.2	部品の電氣的仕様 .....	133
G.7.3	部品の環境仕様 .....	133
G.8	フィールド関連のデータ .....	133
G.8.1	一般 .....	133
G.8.2	実際のフィールド条件 .....	133
G.8.3	フィールド故障に関するデータ .....	133
G.9	テスト関連の問題データ .....	134
G.9.1	一般 .....	134
G.9.2	実際の試験条件 .....	134
G.9.3	試験で生じた故障に関するデータ .....	134
G.10	故障率データベースの属性 .....	135
付属書 H (情報)	故障率データのソースと選定方法 .....	137
H.1	一般 .....	137
H.2	データソースの選択 .....	137
H.3	ユーザーデータ .....	138
H.4	製造業者のデータ .....	138
H.5	ハンドブックの信頼性データ .....	138
H.5.1	一般 .....	138
H.5.2	本文書でのハンドブックデータの使用 .....	139
H.5.3	利用可能なハンドブックのリスト .....	140
付属書 I (情報)	部品分類の概要 .....	143
I.1	概要 .....	143



I.2	IEC 61360 システム.....	143
I.3	その他のシステム.....	151
I.3.1	一般.....	151
I.3.2	NATO のストック番号.....	151
I.3.3	UNSPSC コード.....	151
I.3.4	ステップ/エクспレス.....	151
I.3.5	IECQ.....	151
I.3.6	ECALS.....	152
I.3.7	ISO 13584.....	152
I.3.8	MIL 仕様.....	152
付属書 J (情報)	部品信頼性データの表現.....	153
J.1	一般.....	153
J.2	部品の識別.....	153
J.2.1	一般.....	153
J.2.2	部品の識別.....	153
J.2.3	部品技術.....	154
J.3	部品の仕様.....	154
J.3.1	一般.....	154
J.3.2	部品の電氣的仕様.....	154
J.3.3	部品の環境仕様.....	154
J.4	試験関連のデータ.....	154
J.4.1	一般.....	154
J.4.2	実際の試験条件.....	154
J.5	試験で生じた故障に関するデータ.....	155
付属書 K (情報)	例.....	156
参考文献	.....	158