ソフトエラー信頼性登録ガイドライン
技術基準　第 1 部

- 信頼性評価および判定方法 -

第 1 版

CES-0110-1

2022 年 6 月

一般社団法人　情報通信ネットワーク産業協会

ソフトエラー信頼性登録ガイドライン　技術基準第 1 部
- 信頼性評価および判定方法

1.　適用

本ガイドラインは、一般社団法人情報通信ネットワーク産業協会（CIAJ）において、会員会社の製造・販売する通信機器のソフトエラーに対する信頼性を登録するために、信頼性を評価し信頼度基準への適合を判断するために必要な技術基準を定める。

2. 引用規格

[JT-K124] TTC 標準 JT-K124（2018 年 11 月）, 通信装置の粒子放射線影響の概要

[JT-K130]　TTC 標準 JT-K130（2019 年 2 月）, 通信装置の中性子照射試験法

[JT-K138]　TTC 標準 JT-K138（2019 年 5　月）, 粒子放射線試験に基づく対策のための品質推定法とアプリケーションガイドライン

[JT-K139] TTC 標準 JT-K139（2019 年 5　月）, 通信装置の粒子放射線影響の信頼度基準

3. 用語の定義

中性子束：Neutron flux

　　単位時間当たりに単位面積を通過する中性子数

中性子フルエンス：Neutron fluence

　　単位面積当たりの中性子数

キャリア：Carrier

　　物理的なネットワーク設備を所有し、その設備を使ってカスタマにサービスを提供するインフラ供給者。仮想ネットワーク供給者はキャリアのカスタマである。

FIT：failure in time

　　稼働 10^9 時間中に派生する故障数の期待値を示す単位

ソフトエラー：soft error

　　半導体デバイス内のデータの 1 または複数ビットが反転する現象。半導体デバイス自体の損傷ではない。

物理欠陥故障：physical fault failure

　　物理的にデバイスが劣化して誤動作する現象

ソフトエラー故障：soft error failure

　　ソフトエラー起因のハードウェア故障

ソフトエラー故障発生率：soft error failure rate

　　デバイス内のソフトエラーに起因した装置故障の単位時間当たり発生数

パッケージ：circuit pack

　　ユニットに挿入され、保守者が容易に交換可能な回路基板

警報機能信頼度：alert function reliability

設備運用の観点からの信頼度

AR 故障：AR failure

警報機能信頼度に関係する故障

サービス信頼度：service reliability

サービス提供の観点からの信頼度

SR 故障：SR failure

サービス信頼度に関係する故障

保守信頼度：maintenance reliability

設備保守の観点からの信頼度

MR 故障：MR failure

保守信頼度の関係する故障

サイレント故障：silent failure

クライアント信号影響があるにもかかわらずネットワーク保守装置や保守要員への警報が発せられない故障

4. 機器のクラス分け

対象となるキャリアネットワークの規模や提供サービスにより、適用装置への要求信頼度が異なる。これを考慮して、X、A、B の3つの信頼度クラスに分類し、登録装置の信頼度クラスを設定する。信頼度クラスの選択基準の基本的な考え方は[JT-K139] の表 8.1 に従う。

クラス X は高品質クラスである。高品質クラスの要求条件を一律に決めることは難しいため[JT-K139]では、キャリアとベンダ間の交渉で決定することとなっている。しかし、本ガイドラインでは装置を登録する製造会社がクラス A 以上の信頼性でキャリアなどのユーザのターゲットを想定して信頼度を設定し、登録時に宣言する。

5. 信頼度基準および適合性の判定

[JT-K139]に従って AR, SR, MR の3種類の信頼度基準を適用する。AR, SR, MR の基準値は[JT-K139]の表 9.1、表 9.2、表 9.3 に示す。

信頼度判定基準に適合するかどうかは、6 項または 7 項の評価方法に従って評価を行い、信頼度基準を満足するかどうかを判定する。

注：SR の判定基準である[JT-K139]表 9.2 では SR(M) と SR(P)に分類して、SR(M)は 0.2 秒～1.0 秒のクライアント信号瞬断、SR(P)）は 1.0 秒超のクライアント信号瞬断をカウントしてそれぞれの故障率を求める事となっている。しかし、ユーザインターフェースの種類によっては、短時間の瞬断に関してはユーザがサービス品質劣化と認識しない場合がある。また、断時間以外に可聴雑音などのファクタがサービス品質として重要な場合もある。このような場合には、[JT-K139]表 9.2 に示した瞬断時間の定義にこだわらずユーザの要求するサービス品質に対する信頼度として評価することが可能である。この場合には試験報告書に変更の妥当性を示す根拠を記載する。

6. 中性子線照射試験による評価方法

通信装置においては、ソフトエラー発生後の故障モードおよび対策効果は粒子線の種類によらず同等である。装置の信頼性試験は高速中性子を照射して発生するソフトエラーを再現して実施する、中性子照射試験を推奨する。

中性子線照射試験の具体的な方法は、[JT-K130]に従う。[JT-K130]には、中性子照射試験設備の構成、試験系、EUT の動作と試験手順等について記載されている。

[JT-K130]による中性子照射試験の結果をもとに信頼性基準に適合するかどうかを判定するためには、[JT-K138]に従って 3 種類の信頼性（AR, SR, MR）を求める。

試験設備における、EUT への中性子照射量の評価位置と信頼性評価方法について付則1に示す。

ユニット構成の追加・変更があった場合には装置全体の試験を再度実施するかわりに付則2の方法を適用してもよい。

SR 評価のための試験条件および評価方法の詳細については付則3に従う。

制御・運用機能の試験内容および確認タイミングに関しては付則4に従う。

7. 報告書

評価結果を得るために適用した、評価方法、評価条件などを再現検証できるように、以下の項目を報告書に記載する。

試験設備

被試験装置（EUT） の構成、対向装置（AE）の構成

試験セットアップ

試験結果データ

試験結果等の評価計算方法

信頼性判定結果

8. 試験・評価の不確かさ

試験・評価の不確かさとしては、

① 試験系の精度に関わるもの、

② ソフトエラーが確率的に発生する事象であることにより有限な試験データによって得られる信頼性には一定の信頼区間を考慮する必要があること、

③ 実環境での故障発生も確率的に発生するため、信頼性の評価値と実環境での故障発生率とは乖離が生じること、

が考えられる。これらの事象について理解し、不確かさや信頼区間を把握しておく必要がある。

8.1 試験系の精度に関わる不確かさ

試験は校正、点検された設備で実施することが前提である。

校正された設備でのソフトエラー試験において、設備の不安定さなどが試験結果に及ぼす影響については、まだ十分な知見が得られていない。

従って、試験系の精度や安定性に関する不確かさについては当面考慮しない。

8. 2 試験結果の信頼区間の考え方

(1)ソフトエラー試験時の信頼区間

ソフトエラーの発生は確率的なものであり、中性子照射試験の結果についても確定的な数値ではない。[JTK.138]に従えば、装置の信頼性について、SR および MR の故障発生率については、中性子照射の結果に対して信頼度 68%で評価することとなっている。具体的には、[JTK.138]の 8.3.2 節および 8.3.3 節の式 8.2 および 8.3、8.6 で計算する。

$$Q_{SR(M)}[FIT] = \frac{N_{SR(M)}+\sqrt{N_{SR(M)}}}{T_R[h]} \times 10^9 \quad \text{(JTK.138- 8.2)}$$

$$Q_{SR(P)}[FIT] = \frac{N_{SR(P)}+\sqrt{N_{SR(P)}}}{T_R[\mathrm{h}]} \times 10^9 \quad \text{(JTK.138-8.3)}$$

$$Q_{MR}[FIT] = \frac{N_{MR}+\sqrt{N_{MR}}}{T_R[h]} \times 10^9 \quad \text{(JTK.138-8.6)}$$

信頼度 68%の信頼区間の上限値は、測定された故障発生率に対して以下の比率で表される。

$$R_U = 1 + \frac{1}{\sqrt{N}} \quad (1)$$

また、下限値は

$$R_L = 1 - \frac{1}{\sqrt{N}} \quad (2)$$

で表され、この区間に 68%の確率で故障発生データを無限に取得できたときの故障率が存在することを示す。

一方、信頼度を 95%とすると

$$Q_{SR(M)}[FIT] = \frac{N_{SR(M)}+2\sqrt{N_{SR(M)}}}{T_R[h]} \times 10^9 \quad (3)$$

$$Q_{SR(P)}[FIT] = \frac{N_{SR(P)}+2\sqrt{N_{SR(P)}}}{T_R[\mathrm{h}]} \times 10^9 \quad (4)$$

$$Q_{MR}[FIT] = \frac{N_{MR}+2\sqrt{N_{MR}}}{T_R[h]} \times 10^9 \quad (5)$$

となり、さらに故障発生率の上限値が大きくなる。

また、上下の区間の比率は以下の式で表される。

$$R_{U,L} = 1 \pm \frac{2}{\sqrt{N}}$$

従って、限られた個数の故障データから得られる故障率は信頼度に対応した範囲の値となり、また、確率は低いが信頼区間外となる場合もある。

(これらの式は故障が正規分布で近似できる場合である。時間に対して一定の故障確率の場合に故障発生個数の確率密度として適用されるポアソン分布においては N が 15 以上のときにこれらの式で近似できる。ポアソン分布の場合には N が小さいときには、下図のように信頼区間上限が大きくなる。)

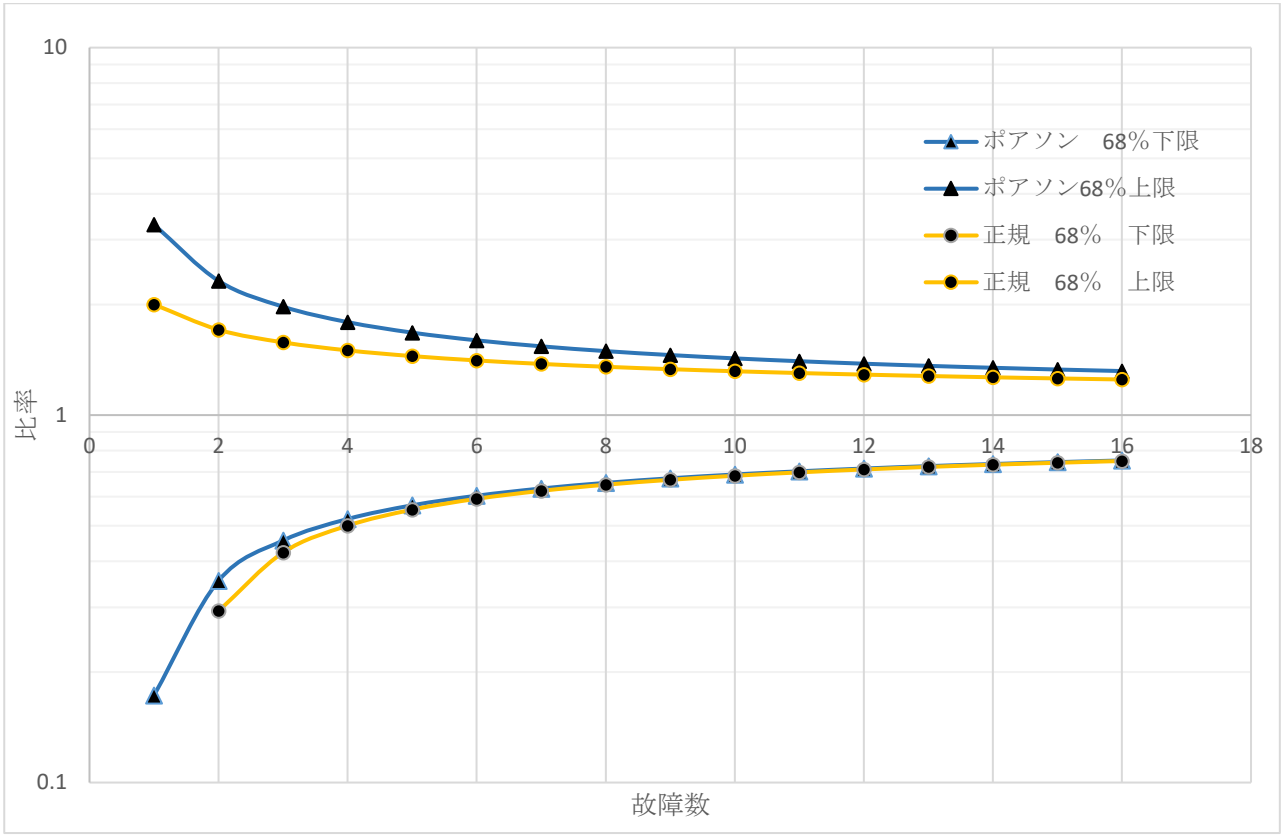

図1　故障発生率の 68%信頼区間の上限、下限

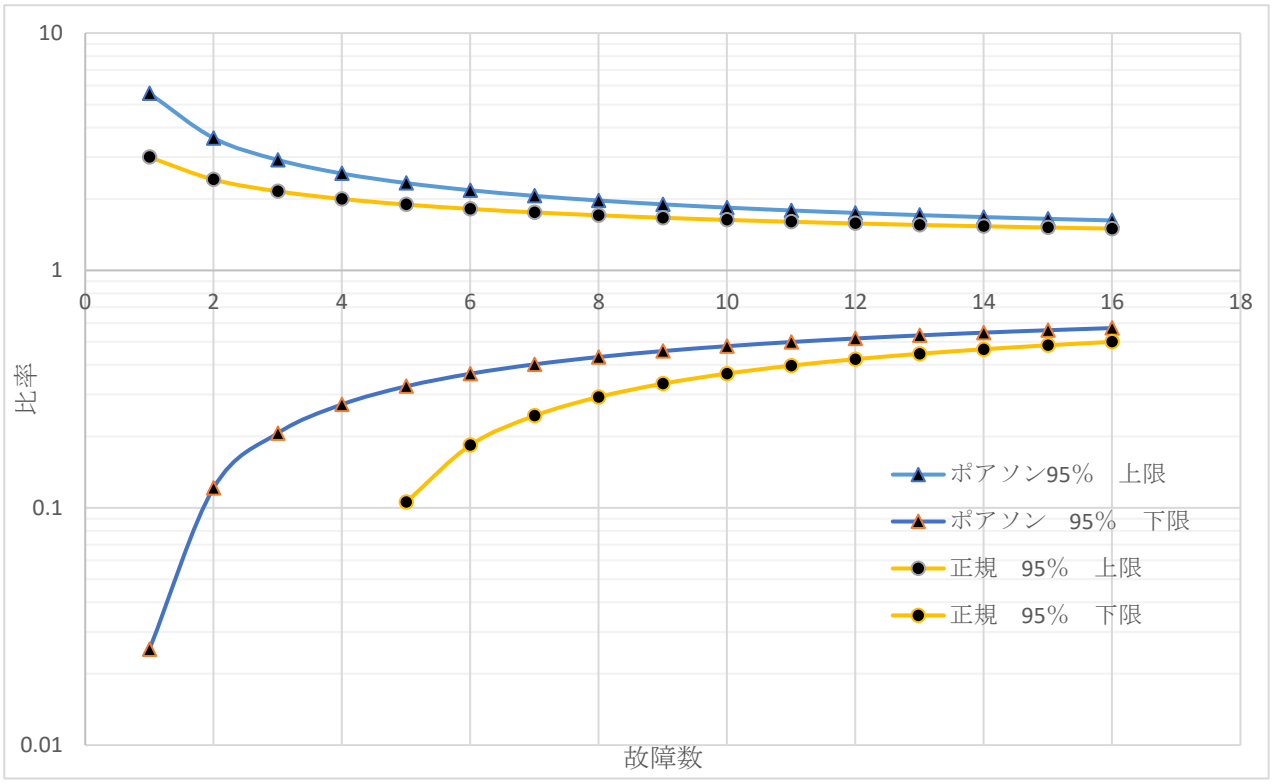

図 2　故障発生率の 95%信頼区間の上限、下限

(2) 半導体デバイスベンダーから提供される故障発生率

半導体デバイスベンダーから提供される故障発生率についても限られた個数のソフトエラー発生データから得られたものである。このため、故障発生率は一定の信頼度のデータと考えられる。また、デバイスの評価時に発生したソフトエラー発生回数や信頼区間が明示されていない場合もある。このため、装置に組み込み設計した場合の装置としての故障発生率についても信頼区間を考慮する必要がある。また、デバイスベンダーから信頼度水準が示されていない場合には装置としての信頼区間が不明となる場合もある。

8.3 ソフトエラー信頼性評価結果と実環境での故障発生率の関係

実環境での故障発生率についても、故障発生数によって、それから求められる故障発生率の信頼区間が信頼率によって増減する。

実環境故障における故障件数を N とすると、信頼度 68%に対する信頼区間は下式で表される。

$$R_I = 1 \pm \frac{1}{\sqrt{N}} \qquad (6)$$

また、信頼度 95%の信頼区間は、

$$R_I = 1 \pm \frac{2}{\sqrt{N}} \qquad (7)$$

である。

実環境故障の故障率は信頼度に対応して上記の範囲で存在すると考えられる。

中性子照射試験によるソフトエラー信頼性評価、半導体デバイスデータからの設計値、実環境の故障率すべてにおいて、確率的な信頼区間が想定されるものであり、確定的な数値ではない。

従って、一定の確率では上限、下限の重なりの範囲に故障率が入るものの、常にこれらが一致するとは限らない。

しかし、信頼区間を考慮した実環境データが、試験データによる信頼区間外になる確率が小さいことも確かであり、試験評価が不要ということではない。これらのことを考慮して試験評価データや設計信頼性を確認する必要がある。

上記は理想的に考えた場合であるが、実環境データでは収集された故障事例が発生した装置の母数や、故障原因の分類が必ずしも正確でない場合もあるので、さらに注意が必要と考えられる。

付則1　EUTへの中性子照射量の評価位置と信頼性評価方法

表 A1　評価方法種別と特徴

種別	評価位置と評価方法	特徴
方法1	EUT 筐体内の部品位置で最低の中性子束を用いて評価する。	安全側の評価となる。耐力に余裕がない装置では、試験に合格しない場合もある。
方法2	デバイス毎に照射位置の中性子束とそのデバイスに起因する故障数を用いて評価する。	最も正確な評価が可能であるが、どのデバイスでのエラーが故障の原因になったかを明確にする必要がある。このため、評価手順が複雑になるとともに、故障分析と信頼性評価に時間を要する。
方法3	前面からの中性子照射時間と後面からの照射時間が同じになるように、EUT の前面後面をひっくり返して試験を実施し、筐体内の中性子束の中間値を用いて信頼性を評価する。	計算が簡単で、方法1よりも正確な評価が可能である。また、AR 評価が最短時間で可能である。

中性子束は EUT 筐体内の場所によって違いが生じるため、信頼性評価のために使用する中性子束の決定方法とその特徴を表 A1 に示す。方法1では、筐体の中で最も小さい中性子束の値で信頼性を評価する。通常は EUT 筐体内でターゲットから最も遠い半導体部品に照射される中性子束が最低値となる。中性子によりソフトエラーを発生しない部品が明確にわかっている場合には、最低の中性子束の値を決める場合にその部品のところは無視できる。

方法2または方法3を適用すると、方法 1 よりも信頼性を正確に評価でき、自然環境に近い現実的な値を得ることができる。適用した評価方法を試験成績書に記載する。

付則2　ユニット構成の追加・変更があった場合の評価方法

信頼性評価済みの装置において、新規パッケージの追加や既存パッケージの回路変更等があった場合、装置全体の再評価を行わずに下記の評価方法を適用してもよい。

「新規または変更したパッケージが及ぼす影響範囲を考慮し必要なパッケージを実装した構成で新たに評価を実施し、影響しないことが明確な部分は過去データを流用して評価する。」

付則3　SR評価のための中性子照射試験条件

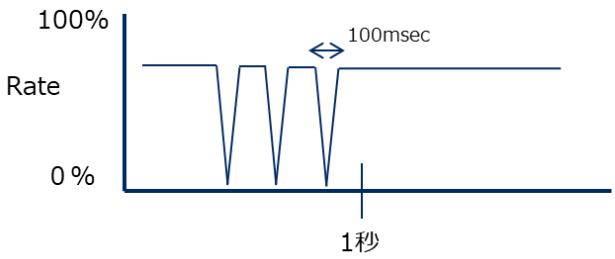

図 A1　SR（M）に含まれる瞬断例

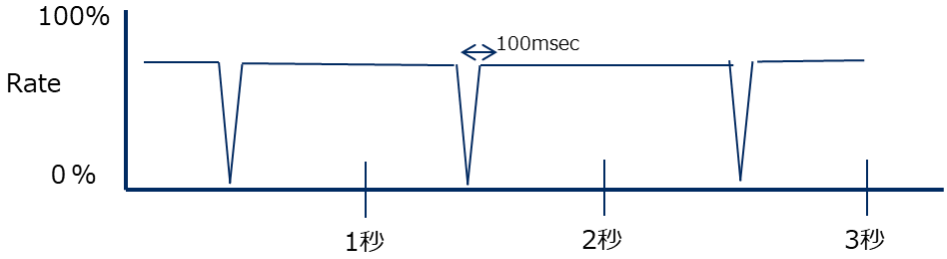

図 A2　SR(P)に含まれる瞬断例

SR 評価のために、クライアント信号導通に用いる測定器出力トラヒックについては、[JT-K130]に「パケット装置の場合、最小パケット長から最大パケット長までのパケットを含む」とあるように、固定長パケットでなく可変長パケットを使用する。

その際に、SR(M)のように1秒以下の瞬断時間の測定は難しいことから、測定器出力トラヒックの平均パケット長とパケットロス数から断時間を判定する。SR(M)は、0.2 秒以上の瞬断を規定しているが、図 A1のように1秒以内に 0.1 秒×3 回と 0.3 秒の瞬断は切り分け困難でありかつ影響度は同一と考えられるため、これもSR(M)1回相当とみなす。

一方、SR(P)のように1秒以上の継続断については、測定器のログ等からタイムスタンプにより判定する。図 A2 のように、個々の瞬断時間は1秒以下であるが、タイムスタンプにより一定間隔で繰り返されていることが確認できる場合には、専用線などの特定カスタマ回線が継続して切断されている可能性があるので、1 秒以上断の SR(P)1 回相当とみなす。

付則4　制御・運用機能確認方法

[JT-K130]には制御・運用機能について下記の項目を実施することが記載されている。

- 冗長化構成部の切替制御の実施
- 試験機能を実施（パス導通試験、ループバック試験等）
- 起動（立ち上げ）機能の実施
- ファームウェア更新の実施

これらのうち、起動（立ち上げ）機能については下記の手順で実施する。

(ア) コマンドによる CPU リセット（レジスタ、SRAM 設定状態確認のため）

(イ) コマンド または PKG 挿抜 または電源 OFF/ON によるハードウェアリセット（フラッシュメモリ保存データ確認のため）

上記起動（立ち上げ）機能により、ファームウェア更新機能についてもソフトエラー耐力の観点からは確認可能と判断できる場合は、ファームウェア更新は実施しなくてもよい。

また、[JT-K130]には制御運用機能の確認は、AR の信頼度基準への適合性の確認に必要な照射時間の25%、50%、75%、100%時点で実施すると記載されているが、これらは目安でありほぼ等間隔で4回実施すればよい。

付録

「ソフトエラー信頼性登録ガイドライン技術基準　第１部」検討委員名簿

（敬称略・順不同）

電磁妨害対策技術委員会

委員長	出原	昇	富士通㈱
副委員長	堺	和則	ＮＥＣマグナスコミュニケーションズ㈱
副委員長	飯塚	二郎	沖電気工業㈱

ソフトエラー信頼性登録ＷＧ主査　　服部　光男　ＮＴＴアドバンステクノロジ㈱

委員

小林　隆一	ＮＴＴアドバンステクノロジ㈱
三瓶　健	元　ＮＴＴアドバンステクノロジ㈱
田島　公博	ＮＴＴアドバンステクノロジ㈱
服部　光男	ＮＴＴアドバンステクノロジ㈱
星野　拓哉	ＮＴＴアドバンステクノロジ㈱
大槻　豊	京セラ㈱
飯塚　浩人	日本電気㈱
寺本　修司	日本電気㈱
岩下　秀徳	日本電信電話株式会社
渡辺　光	㈱リコー

事務局	宮守　良夫	（一社）情報通信ネットワーク産業協会
	齊藤　利雄	（一社）情報通信ネットワーク産業協会

ソフトエラー信頼性登録ガイドライン　技術基準　第１部
第１版
(CES-0110-1)

令和　4年　6月　　第１版　　発行

発 行 人　電磁妨害対策技術委員会

発 行 元　〒103-0026　東京都中央区日本橋兜町21番7号
兜町ユニ・スクエア　6階
一般社団法人　情報通信ネットワーク産業協会
TEL:　03-5962-3452
FAX:　03-5062-3455