

FMEA 手法の改良提案

A Proposal of Revised FMEA

宇宙開発事業団

原 宣一

The object of risk management during development phase is to allocate resources effectively. FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) has usually been conducted for this so far. Basic idea in FMEA has remained the same although various type of FMEA were born.

The revised FMEA in this paper adopts a new evaluation function LOR (Logarithm Of Risk) instead of the RPN (Risk Priority Number). LOR corresponds to the risk itself, that is, the expectation of loss. Therefore, we can make a rational decision using LOR. In addition, this LOR does not require the three tables for calculation of RPN.

1. はじめに

FMEA はこれから開発する機器の設計改善／検証を効果的に行うために用いる手法である。すなわち、どの部分に開発リスクが高いかを見つけ出す手法である。これを実施することは、確実な開発のために必要なリスクマネジメントの一部に他ならない。

FMEA は信頼性保証のために必要な手法と考えられており、NASA において昔から使われてきた。NASDA においても信頼性プログラム標準 (NASDA-STD-17) で、この解析の実施を規定している。つまりこの解析作業に必要な資源は得られる設計改善効果が十分見合うものであると考えられてきた。

しかし、これまで NASDA が開発した衛星やロケットでの実情を見ると必ずしも FMEA が

期待どおり重視されては来なかったきらいがある。

その理由をリスクマネジメントの観点から見ると FMEA 自体に不合理な一面があったからであると思われる。

2. FMEA の要点

FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) は、JIS Z8115 に「設計の不完全や潜在的な欠点を見いだすために、構成要素の故障モードとその上位アイテムへの影響を解析する技法。特に影響の致命度の格付けを重視する場合は、FMECA (Failure Mode Effect and Criticality Analysis) という。」と定義されている。

FMEA はその解析を表で行うものである。表の一般的な記載項目は、次の 13 項目である。

安全・信頼性管理部、部長

〒105-8060 東京都港区浜松町 2 丁目 4 番地 1 号 TEL03-3438-6210

- ① 品名・機能
- ② 潜在故障モード
- ③ 故障の潜在的影響
- ④ きびしさ (S)
- ⑤ 等級
- ⑥ 潜在的故障の原因・構造
- ⑦ 発生率 (O)
- ⑧ 現在の設計管理
- ⑨ 発見率 (D)
- ⑩ RPN : Risk Priority Number
($RPN = S \times O \times D$)
- ⑪ 勧告・処置
- ⑫ 担当と納期
- ⑬ 是正結果

④、⑦、⑨は評価点として、例えば、1 から 10 までの整数を割り当てる。この割り当てるためにあらかじめ表を作っておく必要がある。

文献(1)の DFMEA の例を見ると、きびしさ S の評価基準の例として表-1 を、発生率 O の評価基準として表-2 を、また発見率 D の評価基準として表-3 を提示している。

⑩の RPN が評価値であるが一桁の掛け算、つまり暗算で求められることが要点であろう。

⑩の値が大きいものは対策を取り、是正結果としてもう一度同じ評価を行い RPN 値が低くなったことを確認する仕組みである。

3. 現行方式に対する検討

1) FMEA の解析表で主要な部分は④、⑦、⑨、⑩である。設計改善可否の判断は⑩で行うので、他の項目は④、⑦、⑨の値に対する参考情報と見ることが出来る。

2) ④、⑦、⑨に 1 から 10 までの整数を割り当てた場合、RPN 値は 1 から 1000 までの

範囲の整数になるが、実際は 120 種類の数値になる。また、大きい側で取り得ない数値が多く、小さい側に分布が偏る性質がある。

3) ④と⑦に 1 から 5 までの整数、⑨に 1 から 4 までの整数を割り当てた場合は、RPN の取り得る値の範囲は 1 から 100 になる。この場合は実際に取り得る数値は 29 種類になり、やはり小さい側に分布は偏っている。

4) 仮に RPN の定義として 3 種の評価点を乗ずる代わりに 3 数の和であると定義する。するとこのような RPN は 3 から 30 または 3 から 14 までの整数で分布する。このような和で定義しても殆ど同じことである。つまり積で定義する意味づけが無い。

5) 評価点の積である RPN はもはや実際の意味を持たないので、順序付けの数字が実際の感覚とかけ離れてしまうことが生じる。

例えば、(影響=前兆なしの危険、故障の可能性=時々、発見=非常に高い) と (影響=非常に低い、故障の可能性=少ない、発見=ほとんど不確実) の組み合わせは同じ RPN=120 を与えるが感覚的には同じでないかも知れない。

4. 改良 FMEA

改良の目標は評価関数に直接リスクの大きさと関連があるようにすること、及び評価のし易さを保つことである。

用語「リスク」の定義は NASA に限っても文書によって違いがあり、世間には漠然とした懸念事項という概念で定義する場合もある。

しかし、リスクは大小を比べることに意義がある。大小でなく高低であると言っても、比べることができるためにリスクは 1 次元量でなくてはならない。従って、リスクは被害 (又は損害) の期待値であるとする定義が適切である (文献 (9))。

期待値は確率を重みとする重み付け平均値 の次元を持つことになる。 (図-1)
 であるので、被害の期待値は被害と同じ「価値」

表-1 きびしさSの評価基準 文献(1)

影響	評価基準	ランク
前兆なしの危険	車の安全運転、法規定違反を起こし非常に重大	10
前兆のある危険	上記が前兆で分かる	9
非常に高い	基本機能損傷による車両/アイテムの動作不良	8
高い	作動可能であるが性能低下	7
中度	作動可能であるが快適でない。顧客は不便	6
低い	作動可能、顧客はいくらかの不満足	5
非常に低い	がたつき、きしみがあり、顧客が気が付く	4
僅少	上記が平均的な顧客が気が付く	3
非常に僅少	上記が敏感な顧客が気が付く	2
なし	影響なし	1

表-2 発生率Oの評価基準 文献(1)

故障の可能性	故障率	ランク
非常に高く、回避ほとんど不可能	$\geq 1/2$	10
	$1/3$	9
高く故障頻発	$1/8$	8
	$1/20$	7
中度、時々	$1/80$	6
	$1/400$	5
	$1/2000$	4
低い、少ない故障	$1/15000$	3
	$1/150000$	2
非常に低い、故障見込みなし	$\leq 1/1500000$	1

表-3 発見率Dの評価基準 文献(1)

発見	評価基準	ランク
ほとんど不確実	故障原因や機構の発見不可能か無管理	10
非常にわずか	非常にわずかな機会に発見可能	9
わずか	わずかな機会	8
非常に低い	非常に低い機会	7
低い	低い機会	6
中度	中度の機会	5
やや高い	やや高い機会	4
高い	高い機会	3
非常に高い	非常に高い機会	2
ほとんど確実	ほとんど確実に発見	1

1) リスクが価値の次元を持つことを利用し、RPN の代わりにリスクそのものの常用対数 LOR(Logarithm Of Risk)を評価関数とする。

即ち、リスク指標 LOR はリスクを価値の次元（例えば円を単位として採用する）で表し、その対数の小数点以下1桁までの数値とする。例えば、リスクが1万円ならば LOR=4.0、リスクが1億円ならば、LOR=8.0 となる。

2) きびしさは当該物が故障したときの全損害額で表現する。きびしさ指標 SI は、1) 項のリスクと同じ単位で表した金額の対数で、小数点以下一桁までの数値とする。

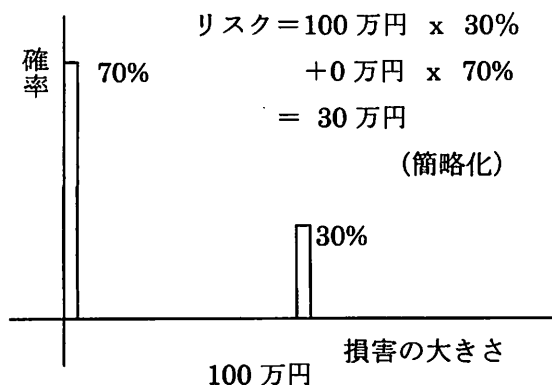
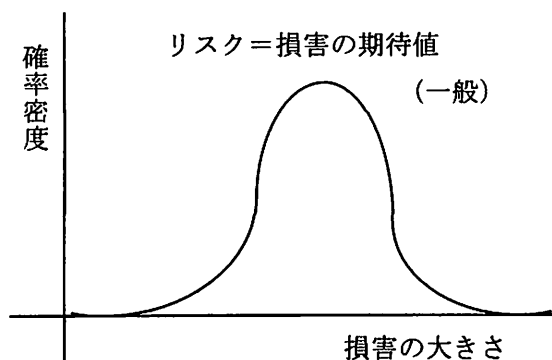


図-1 リスクの概念

3) 発生率は故障原因が存在する確率である。発生率指標 OI は、存在確率の対数で、小数点以下一桁までの数値とする。例えば、確率 0.1 なら OI=-1.0 であり 0.001 なら OI=-3.0 である。

4) 発見率については表-3において評価基準値を与えている。評価は悪い方に大きな値を与えるので、もともと非発見率とした方が理解し易い。そこで検査での故障原因の見逃し確率を採用する。これは故障原因が存在するという条件において、検査で見逃す確率、つまり条件付き確率である。検査指標 DI はこの見逃し確率の対数で、小数点以下一桁までの数値とする。例えば、故障原因があれば 99%見つけられる検査法は、見逃し確率が 0.01 なので DI=-2.0 である。

5) $PI = OI + DI$ は製品の故障確率になる。 $LOR = SI + PI$ で計算する。

6) 3 種の指標は少数以下一桁を取ったが、面倒なら整数部分だけでも良い。一桁の加減算になる。

5. 改良 FMEA の表

上記の検討により改良 FMEA の主要部は表-4 のようになる。上記の方法で特筆すべき事項は次の通りである。

1) $OI+DI$ は、故障原因が存在する確率があつて、かつ検査でも見つからずすり抜けてしまう確率の対数である。これは開発終了時点でなお残存する故障発生確率の対数となる。これを PI とする。

$$PI = OI + DI$$

2) リスクは最も簡略に見積もった被害の

期待値になっている。即ち、リスクは故障した時の損害額にその故障の発生確率を乗じたものである。

3) 完全に独立で異なる検査を2重にする場合は、それぞれの見逃し確率を乗ずることで良い。DIは内訳DI1、DI2を足せば良い。

$$DI=DI1+DI2$$

4) SIは正数、OI、DI、PIは全て非正数である。LORが負数になる事は事実上無い。

5) SI、OI、DIに対して評価基準の表を用意する必要がない。

6) LORはリスクを実際の価格であらわした絶対額の指標値(対数)なので、複雑なシステムを2社で分担して実施しても比べる事ができる。即ち、絶対評価が出来る。

7) 当該アイテムがミッション全体に対する単一故障点の場合は、被害額はプログラムコスト全体を採用すべきである。

8) 冗長系を持つアイテムについては故障発生確率を通常の方法で推算すればよい。

9) 故障モードはJIS Z8115による区分けで記載する。

10) 従来のFMEAで記載されていた他の項目は必要に応じて記載すれば良いが影響に対応する項目は記入した方が良い。

6. リスクの合成

表-4により、あるアイテムの故障モードごとのリスク指標が求まると、そのアイテム全ての故障モードに対するリスク指標、即ち、そのアイテムのリスク指標を合成することが出来る。換言すると、一つのコンポーネントにリスクアイテムが二つあったとすると、おのおののリスクを加算したものがそのコンポーネントの保有するリスクとなる。但し、近似的に加算できるのであって、正確にはコンポーネントの故障確率を合成した後、リスクを求めなければならない。

リスクは加算できるがリスク指標はリスクの対数であるからそのまま加算してはならない。例えば、二つの故障モードを持つアイテムがあってそのおのおののリスク指標が4.0と4.0であったとすると合成したリスク指標は8でなくて、4.3となる。

このようにしてコンポーネントレベルからサブシステムレベル、そしてシステムレベルと合成していけば、システム全体のリスク(指標)が求まる。

表-4 改良FMEAの主要部分

アイテム 名称	故障モード	損害 SI	発生 PI=OI+DI	潜在 OI	検査 DI	リスク指標 LOR=SI+PI
エンジンチャンバ	焼損	10.0	-5.0	-3.0	-2.0	5.0

ここで、

SI: 被害額指標 (=被害額の対数)

PI: 発生確率指標 (=発生確率の対数
=OI+DI)

OI: 故障潜在確率指標 (潜在確率の対数)

DI: 検査見逃し確率指標 (見逃し確率の対数)

LOR: リスク指標 (リスクの対数=SI+PI)

7. 考察

1) 概念設計、予備設計の段階では早期にリスク指標の高いアイテムを見つけることが重要である。リスク指標は1桁でも良い。

2) システムレベルまで合成したリスク指標がミッション失敗に対応する損失額指標を越えてしまった場合は、リスクが加算できる近似の範囲を超えていることになる。このような場合は、開発計画自体が無理なものと判定されるべきである。つまり、あるミッションにおいて高いリスクの懸念事項(リスク項目)が多すぎたら開発に移行できないということである。

3) これらの計算はエクセル等の表計算ソフトに一度セットしておけば容易に維持更新が出来る。

8. 終わりに

現行の FMEA は評価関数を修正することにより、開発段階における強力なリスクマネジメントのツールになり得ることを示した。この方式によれば、システムレベルまでの開発リスクを求めうることを示した。

故障モードごとのリスクの算定に当たっては、故障した場合の被害額の推定よりも故障する確率の推定の方が一般的に難しい。この点は従来の FMEA でも同じであり、それぞれのケースで検討することになる。

表計算は簡単であるが、あくまでも数値の

桁を取り過ぎずに、設計者が自分で設計内容をチェックしながら表を埋めていくところに意義があると思われる。

世の中には懸念事項のことを指してリスクと称している場合も多いが、これはリスク項目であって定量的表現に限ったリスクと使い分けるべきであろう。

確率についても定義が必要であるが、詳細は別の機会に説明する。ここでは見積もれるものとした。また、見積もれなくてはリスクの大小を言うことは出来ない。

参考文献

- 1) 「品質保証部長ハンドブック」アーバンプロデュース、西沢隆二、1998.10.28
- 2) NASDA-STD-17 信頼性プログラム標準、1997.3.18
- 3) JIS Z8115 「信頼性用語」
- 4) 「信頼性工学とは」、宮村鐵夫、「草のみどり」1998.3(第114号)
- 5) 「重要品質特性管理」、森正雄、宇宙開発シンポジウム後刷集、1999.11.11
- 6) 「QC的ものの見方、考え方」細谷克也、日科技連、1984.11.2
- 7) 「QS-9000 品質システム要求事項」、(第3版)、日本規格協会
- 8) NASDA-HDBK-1001「宇宙開発信頼性ハンドブック」宇宙開発事業団、1995.11.2
- 9) 「原子力の安全性」、近藤俊介、同文書院