



定性的リスクマトリクスの定量化手法と 実務適用に関する研究

森 康

長岡技術科学大学 大学院
工学研究科博士後期課程 情報・制御工学専攻

1



内 容

1. 研究の背景
2. 研究の目的
3. 製品安全と関連事項
4. 定性的リスクマトリクスの定量化手法
5. 定性的リスクマトリクスの定量化手法の適用
6. 予防型安全管理のフレームワークへの適用
7. まとめ

2

2. 研究の目的

開発現場において比較的誰もが実施可能な方法として活用してきた定性的リスクアセスメントに注目し、特定の専門家やマクロな視点での分析ではない個別事例に対応した関係者各自のリスク判断の定量化を実施し、その結果を協議することで、**企業等の開発組織において複数の関係者が合理的、かつ、整合性をもって目標を明確化し、本質安全設計に取り組むことが可能となるリスクアセスメント手法と効果的実施のフレームワークを明らかにすることを目的とした研究**

3

4. 定性的リスクマトリクスの定量化手法

■ 定性的リスクマトリクス規定の問題点

表 4-1 衛星開発に利用されるリスクマトリクス例

Probability Level	Severity Categories			
	I Catastrophic	II Critical	III Marginal	IV Negligible
A - Frequent	Not acceptable	Not acceptable	Not acceptable	Acceptable
B - Probable	Not acceptable	Not acceptable	Required to review	Acceptable
C - Occasional	Not acceptable	Required to review	Acceptable	Acceptable
D - Remote	Required to review	Acceptable	Acceptable	Acceptable
E - Improbable	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Acceptable

- (1) 尺度水準に基づく他者との共有が可能な尺度定義の欠如
- (2) リスクマトリクス内でのリスクの大小関係の規定抜け

4

4. 定性的リスクマトリクスの定量化手法

(1) 尺度水準に基づく他者との共有が可能な尺度定義の欠如

Precedence of severity, probability and risk

		Severity				
		I	II	...	i	
		Rs1	Rs2	...	Rs1	
Probability	A	Rp1	R11	R21	...	Ri1
	B	Rp2	R12	R22	...	Ri2
C	Rp3	R13	R23	...	Ri3	
...
...
j	Rpj	R1j	R2j	...	Rij	

$$R_x = \alpha_x \log(S / S_0) = \alpha_x \log S + \beta_x \quad (3.3)$$

$$R_y = \alpha_y \log(P / P_0) = \alpha_y \log P + \beta_y \quad (3.4)$$

S: 「被害の度合い」の状態を示す換算値
 S₀: 「被害の度合い」の基準状態を示す換算値
 R_x: 「被害の度合い」のリスクポイント
 α_x: リスク認知係数
 β_x: リスク認知係数 (β_x = -α_x log S₀)

P: 「発生の頻度」の状態を示す換算値
 P₀: 「発生の頻度」の基準状態を示す換算値
 R_y: 「発生の頻度」のリスクポイント
 α_y: リスク認知係数
 β_y: リスク認知係数 (β_y = -α_y log P₀)

5

4. 定性的リスクマトリクスの定量化手法

$$Y = \alpha \log(X / X_0) = \alpha \log X + \beta \quad (3.1)$$

X: リスクを構成する属性の状態を示す換算値
 X₀: リスクを構成する属性の基準状態を示す換算値
 Y: リスクを構成する属性に与えるポイント
 α: リスク認知係数
 β: リスク認知係数 (β = -α log X₀)

Log性

ウェーバー = フェヒナーの法則
限界効用逓減の法則

6

4. 定性的リスクマトリクスの定量化手法

(2) リスクの大小関係の規定抜け

Precedence of severity, probability and risk

Severity \ Probability		I	II	...	i
		Rs1	Rs2	...	Rsi
A	Rp1	R21	R22	...	Ri2
B	Rp2	R13	R23	...	Ri3
C	Rp3
...
j	Rpj	R1j	R2j	...	Rij

Note) Precedence:

Severity $R_{s1} > R_{s2} > \dots > R_{si}$

Probability $R_{p1} > R_{p2} > \dots > R_{pj}$

Risk $R_{1j} > R_{2j} > \dots > R_{ij}$

$R_{i1} > R_{i2} > R_{i3} > \dots > R_{ij}$

$R_{11} > R_{22} > \dots > R_{ii}$

リスクマトリクスの逆対角方向にも大小関係を与える必要がある。

7

4. 定性的リスクマトリクスの定量化手法

$$R_e = R_s + R_p \quad (3.2)$$

R_e : リスク見積り

R_s : 「被害の度合い」のリスクポイント

R_p : 「発生の頻度」のリスクポイント

表 3-3 リスクポイントの配分 (第1ステップ)

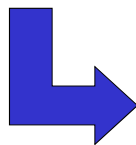
Probability		E	D	C	B	A
R_p		1	2	3	4	5
Severity	R_s					
IV	1	2	3	4	5	6
III	2	3	4	5	6	7
II	3	4	5	6	7	8
I	4	5	6	7	8	9

独立の重み付けが可能な和 ($R_e = R_s + R_p$) のモデル

表 3-9 リスクポイントの配分 (第7ステップ)

Probability		E	D	C	B	A
R_p		0	2	4	6	8
Severity	R_s					
IV	0	0	2	4	6	8
III	5	5	7	9	11	13
II	8	8	10	12	14	16
I	10	10	12	14	16	18

マトリクスのリスク区分情報のみからリスクの大小関係を規定



8



4. 定性的リスクマトリクスの定量化手法

MIL-STD-882D APPENDIX A TABLE A-

Severity / Probability		I	II	III	IV
		Catastrophic	Critical	Marginal	Negligible
A	Frequent	1	3	7	13
B	Probable	2	5	9	16
C	Occasional	4	6	11	18
D	Remote	8	10	14	19
E	Improbable	12	15	17	20

Note)

Mishap Risk Assessment Value	Mishap Risk Category
1-5 (I A, I B, I C, II A, II B)	High
6-9 (I D, II C, III A, III B)	Serious
10-17 (I E, II D, II E, III C, III D, III E, IV A, IV B)	Medium
18-20 (IV C, IV D, IV E)	Low



4. 定性的リスクマトリクスの定量化手法

MIL-STD-882D APPENDIX A TABLE A-

表3-13 想定された確率(発生の頻度)とリスクポイントR_s

Probability Suggested Probability /life time	E	D	C	B	A
1.0 × 10 ⁻⁶	1.0 × 10 ⁻⁶	1.0 × 10 ⁻⁵	1.0 × 10 ⁻³	1.0 × 10 ⁻²	1.0 × 10 ⁻¹
R _s	0	2	4	6	8

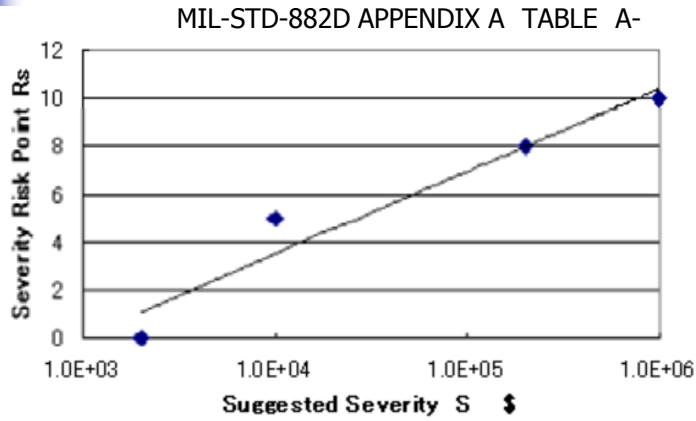
Severity / Probability		E	D	C	B	A
		R _s	0	2	4	6
IV	0	0	2	4	6	8
III	5	5	7	9	11	13
II	8	8	10	12	14	16
I	10	10	12	14	16	18

表3-12 想定された被害の度合いとリスクポイントR_s

Severity	IV	III	II	I
Suggested Severity \$	2.0 × 10 ⁸	1.0 × 10 ⁸	2.0 × 10 ⁶	1.0 × 10 ⁶
R _s	0	5	8	10



4. 定性的リスクマトリクスの定量化手法



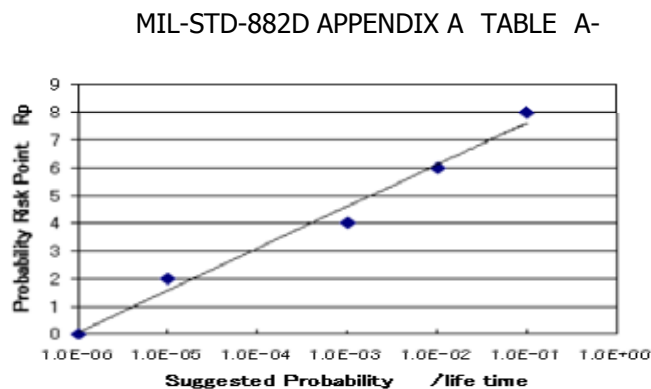
Approximation formula $R_s = 3.441 \log S - 10.254$
 Coefficient of determination $R^2 = 0.937$

図3 - 2 想定された被害の度合いSと被害の度合いのリスクポイント R_s による近似式

11



4. 定性的リスクマトリクスの定量化手法



Approximation formula $R_p = 1.512 \log P + 9.140$
 Coefficient of determination $R^2 = 0.983$

図3 - 3 想定された確率(発生の頻度)Pと発生の頻度のリスクポイント R_p による近似式

12

5. 定性的リスクマトリクス定量化手法の適用

■ 衛星開発に利用されるリスクマトリクス例

表 4-1 衛星開発に利用されるリスクマトリクス例

Probability Level	Severity Categories			
	I Catastrophic	II Critical	III Marginal	IV Negligible
A - Frequent	Not acceptable	Not acceptable	Not acceptable	Acceptable
B - Probable	Not acceptable	Not acceptable	Required to review	Acceptable
C - Occasional	Not acceptable	Required to review	Acceptable	Acceptable
D - Remote	Required to review	Acceptable	Acceptable	Acceptable
E - Improbable	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Acceptable

表 4-2 リスクポイント付与結果

Severity	Probability R _p	Severity Categories				
		E	D	C	B	A
IV	0	0	2	4	6	8
III	3	3	5	7	9	11
II	5	5	7	9	11	13
I	7	7	9	11	13	15

Note) Not acceptable : (I A, I B, I C, II A, II B, III A), Required to review : (I D, II C, III B), Acceptable : (I E, II D, II E, III C, III D, III E, IV A, IV B, IV C, IV D, IV E),

5. 定性的リスクマトリクス定量化手法の適用

■ アンケート調査

表 4-2 リスクポイント付与結果

Severity	Probability R _p	Severity Categories				
		E	D	C	B	A
IV	0	0	2	4	6	8
III	3	3	5	7	9	11
II	5	5	7	9	11	13
I	7	7	9	11	13	15

Note) Not acceptable : (I A, I B, I C, II A, II B, III A), Required to review : (I D, II C, III B), Acceptable : (I E, II D, II E, III C, III D, III E, IV A, IV B, IV C, IV D, IV E),

表 4-3 「被害の度合い」カテゴリに対するアンケート用紙

Severity Categories	Term	Description	Answer (Estimation)
I	Catastrophic	Could result in death, permanent total disability, loss of property, or irreversible severe environmental damage.	
II	Critical	Could result in minor injury of outsider, permanent partial disability, serious injuries or long-term occupational illness of worker, partial loss of property or irreversible environmental damage.	
III	Marginal	Could result in minor injury or occupational illness of worker or reversible environmental damage.	
IV	Negligible	Could be much less damage said above.	

$$R_s = \alpha_s \log(S/S_0) = \alpha_s \log S + \beta_s \quad (3.3)$$

$$R_p = \alpha_p \log(P/P_0) = \alpha_p \log P + \beta_p \quad (3.4)$$

表 4-4 「発生の頻度」カテゴリに対するアンケート用紙

Probability Level	Term	Description	Answer (Estimation)
A	Frequent	Likely to occur immediately	
B	Probable	Probably will occur in time	
C	Occasional	May occur in time	
D	Remote	Unlikely to occur	
E	Improbable	Improbable to occur	

回帰分析によって
リスク認知係数を導出

5. 定性的リスクマトリクス定量化手法の適用

■ リスク認知係数に対する考察

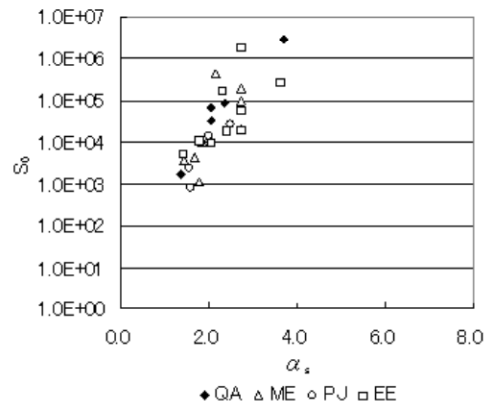


図 4-1 想定された「被害の度合い」リスクによるリスク認知係数

α_s と $\log S_0$ の相関係数:0.775

15

5. 定性的リスクマトリクス定量化手法の適用

■ リスク認知係数に対する考察(続き)

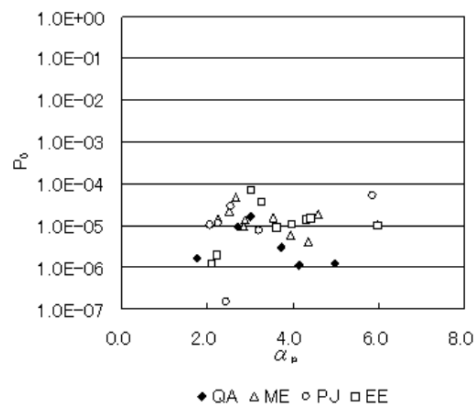


図 4-2 想定された「発生の頻度」リスクによるリスク認知係数

α_p と $\log P_0$ の相関係数:-0.145

16

5. 定性的リスクマトリクス定量化手法の適用

■ 定量化手法による目標設定方法の提案(続き)

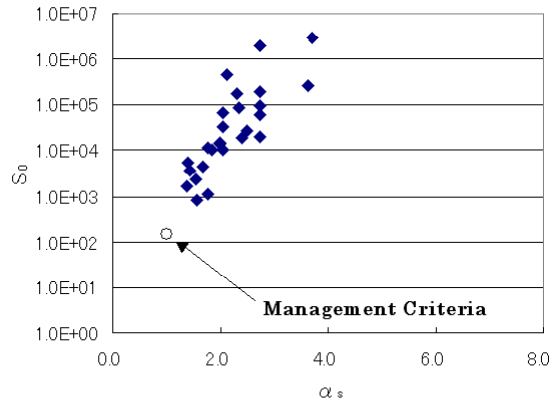


図4-21 想定された被害の度合いのリスク認知係数と
マネジメント側基準

17

5. 定性的リスクマトリクス定量化手法の適用

■ 定量化手法による目標設定方法の提案(続き)

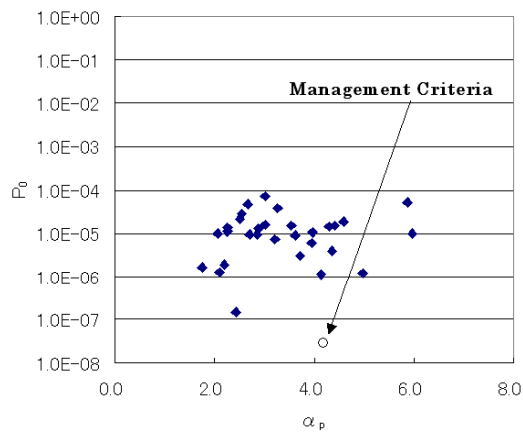


図4-22 想定された発生の頻度のリスク認知係数と
マネジメント側基準

18

6. 予防型安全管理のフレームワークへの適用

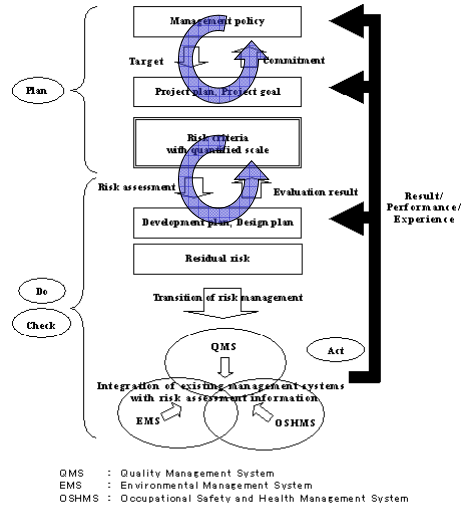


図5-2 定性的リスクアセスメントの定量化と既存マネジメントシステムとの統合を含むリスクマネジメントプロセスフロー

19

6. 予防型安全管理のフレームワークへの適用

■ 製品開発業務への適用事例

1. 衛星開発業務での適用事例

2. 社会インフラ系製品
開発業務での適用事例

20



7. まとめ

- (1) . 定性的リスクマトリクスのリスク区分情報から決定されるリスクポイント付与方法
- (2) . リスクアセスメント結果の定性と定量の相互の関係や人間の特性に対して矛盾の無い定量化モデル
- (3) . 開発関係者のリスク認知分析や組織目標の導出に対する本定量的手法の適用方法
- (4) . 本定量化手法で得られた情報によるリスクマトリクスの相互比較とカテゴリ区分の明確化・設定の方法
- (5) . 以上の事項を効果的に活用し予防型の製品安全管理活動を展開するためのフレームワーク

21



7. まとめ

本研究で得られた成果により、製品分野や業務の形態に関わらず製品事故未然防止の観点からの予防型の本質安全設計実施を目的とした、リスクアセスメントをより合理的かつ整合性をもって遂行することが可能となる。

特に、自主基準を用いたリスクの受容/許容/非許容の判断に対する客観的根拠を伴う関係者間のコミュニケーション促進や合理的判断プロセスの明確化を図ることで、業務を分担して開発にあたるプロジェクトや製品における自主的な製品安全管理の整合性確保・質向上に効果をもたらす。

22