

確率論的リスク評価手法の概念に基づいた 海難要因分析に関する研究

日大生産工 ○三友 信夫

1. 緒言

原子力プラントの安全性の評価手法の代表的なものとして、確率論的リスク評価手法がある。確率論的リスク評価手法は3段階で実施するものである。この中でも特にレベル1PRAと呼ばれる手法の概念は幅広い分野で導入されている¹⁾。このレベル1PRAにおいては、重要度評価の実施によりリスクの低減に有効な要因の抽出などを行う²⁾ものである。著者らは このレベル1PRAの分野において、故障率の経時変化に対応した信頼性解析手法の開発、またイベントツリー手法をタイタニック事故解析への応用等幅広い研究を行ってきた³⁾。

一方 海難の要因の多くは、ヒューマンファクターに起因するといわれている。しかしながら、海難の要因を分析するために有効な手法は未だ確立されていないと考えられ、国際海事機関 (IMO) の海難調査官が利用するマニュアル等が存在する程度である。特に、主要因とされるヒューマンファクターに基づいた海難要因の分析手法は確立されていない。また、このような海難の要因分析には、海難の再現性などの優位性からシミュレータを用いた方法が有効であることが知られている。

そこで本研究では、海難防止対策への応用も含めた海難リスクの低減を最終的な目標とし、レベル1PRAの概念を導入した海難要因分析手法の開発を検討した。本報告では、実際に発生した海難を参考にシミュレータ実験を行い、評価手法の検討を行った結果について報告する。

2. 確率論的リスク評価手法

確率論的リスク評価では、リスク評価を3段階で実施することになっており、炉心損傷頻度原子炉の炉心損傷頻度(Core Damage Frequency, CDF)までを評価するものがレベル1PRAである。レベル2PRAでは炉心損傷によって放出される放射性物質の挙動を評価する。レベル

3PRAは、CDFと放射性物質の挙動を用いて公衆の被爆量を評価する。

レベル1PRAでは、シーケンスの発生頻度を、図1に示すようなイベントツリー手法とフォールトツリー解析手法を組み合わせることにより評価を行うことが一般的である。詳細な解析が必要なイベントツリーの分岐確率は、フォールトツリー解析等の手法により機器故障や人間の過誤のレベルまで分解し、評価を行うものである。またレベル1PRAでは、リスク低減価値(Risk Reduction Worth: RRW)指標等を用いた重要度解析等も行われる。重要度解析は、各機器や操作の失敗がどれほど重要かを分析するものであり、レベル1PRAにおいては、対象となる炉心損傷頻度への寄与の観点から行われる。機器等の失敗確率を個別に変化させることにより、炉心損傷頻度への影響を系統的に調査するものである。代表的な指標として前述のRRW指標のほかリスク増加価値(Risk Achievement Worth: RAW)指標等が用いられる。たとえば リスク低減価値は、ある事象(ある機器の故障)の生起確率を0とした時にリスクがどれだけ低減されるかを示す指標であり、次式で定義される。

$$RiskReductionWorth = \frac{P(CD)}{P(CD / A = 0)} \quad (1)$$

$P(CD/A=0)$: 事象Aの生起確率が0の場合の炉心損傷の発生確率

$P(CD)$: 炉心損傷の発生確率

リスク増加価値(Risk Achievement Worth)は、ある事象が必ず発生するとした時にリスクがどれだけ増加するかを表す指標であり、次式で定義される。

$$RiskAchievementWorth = \frac{P(CD / A = 1)}{P(CD)} \quad (2)$$

A Method for Marine Accident Analysis based on the Concepts of PRA

Nobuo MITOMO

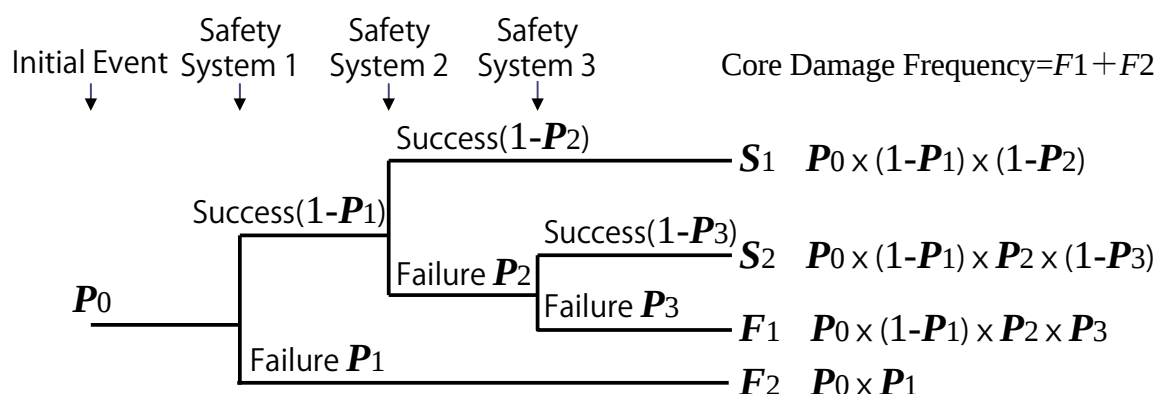


図 1 イベントツリーの例

$P(CD/A=1)$ ：事象Aの生起確率が1の場合の炉心損傷の発生確率

リスク低減価値指標は、特定の機器の故障や人的過誤の発生確率を低減することにより、どれほどの安全性の向上が望めるかを示す指標である。この指標は、プラントに何らかの改良を行ってリスク低減化を図ろうとする時に注目すべき機器の候補を同定する際に有用である。一方、リスク増加価値指標は、特定の機器の故障や人的過誤の発生確率を低く保つことが、現在の安全レベルを維持する上でどれほど重要であるかを表すものであり、点検や定例試験などの計画作成における優先度の設定などに有用である⁴⁾。

この重要度指標の考え方を要因分析に導入することにより、海難要因分析手法の検討を行った。

3. 解析方法と結果

解析は、西崎らの行った実際に発生した海難を再現したシミュレータ実験の結果⁵⁾について行った。重要度指標としては、前述のリスク低減価値指標とリスク増加価値指標で評価を行い結果を比較した。表1に結果の例を示す。標柱に示した数字は、実験の結果から想定される、評価対照となる操作を確実にを行った（行わない）場合の海難の発生数を示している。

解析結果より、リスク低減価値指標からは「判断」と「注視」が安全性の向上のために重要な要因として抽出された。一方、リスク増加価値指標からは、「判断」、「注視」そして「操作」が安全レベルの維持に重要な要因として抽出された。

4. まとめ

レベル1PRAの概念を導入した海難要因分析手法の開発の検討のために、重要度評価指標

表1 RAW指標による評価結果

	発見	判断	注視	操作1	操作2	操作3	操作4
回避	0	0	0	0	4	4	4
衝突	1	17	10	19	11	11	11

を用い実際に発生した海難のシミュレータ実験について解析を行った。その結果、以下のことが明らかとなった。

1. 重要度指標を用いることで、海難の要因を明確にすることができた。
2. 2つの手法を用い、比較することで、抽出された要因について、その妥当性の検討を行うことが可能であることが確認された。

「参考文献」

- 1) 例えば、IMO, “Guidelines for Formal Safety Assessment (FSA) for Use in the IMO Rule-making Process,” MSC/Circ. 1023 (MEPC/Circ.935), April 2002
- 2) NUREG/CR-2300, “PRA PROCEDURES GUIDE,” 2012
- 3) 例えば、Nobuo MITOMO, etc. “Development of Aging Risk Assessment Method with Incorporation of Aging and Maintenance Effects into System Reliability Models,” Proceedings of International Conference on Probabilistic Safety Assessment and Management; PSAM10, 7-1:Aging Management, 2010
- 4) 日本原子力学会, 原子力発電所の停止状態を対象とした確率論的安全評価手順, 2002 AESC-SCP001:2002, 2002年4月, P.154-156
- 5) 西崎ちひろ, 吉村健志, 田村兼吉, 三友信夫, “操船シミュレータを用いた操船行動に関する解析手法”, 日本航海学会論文集, Vol. 123(2010), pp. 95-102.