

フォールトツリー解析に対するAHPの適用

01109135 岡山県立大学 *倉重賢治 KURASHIGE Kenji
01105545 岡山県立大学 亀山嘉正 KAMEYAMA Yoshimasa
01602404 岡山大学 宮崎茂次 MIYAZAKI Shigeji

1. はじめに

システムの信頼性・安全性解析のための手法の一つとして、フォールトツリー解析 (Fault Tree Analysis = FTA) が存在しており、どの基本事象を制御することが、効果的にトップ事象の発生を制御できるかを、検討するための指標としてクリティカリティ重要度が定義されている¹⁾。本来、算出に必要な基本事象の発生確率データを得ることは非常に困難であった。しかし、対象システムを熟知したオペレータの持っている感覚的な知識を、AHP における一対比較法を用いて数量化し、基本事象の主観的発生確率を推定してクリティカリティ重要度を評価する方法が提案されている²⁾。しかし、従来の AHP 手法では、一対比較の整合性が取り難い等の欠点が存在する。そこで、本研究では、整合性が取り易く考慮されたファジイ数を用いた AHP³⁾ をフォールトツリー解析に適用する。

2. フォールトツリー解析

2.1 クリティカリティ重要度解析

トップ事象がシステムの故障であり、基本事象の発生が統計的に独立であるフォールトツリーが構成されていると仮定すると、トップ事象の発生確率は、

$$P_{top} = P(\mathbf{q}), \quad \mathbf{q} = (q_1, q_2, \dots, q_N)^T \quad (1)$$

で表現される。ここで q_i は、基本事象 X_i ($i=1, \dots, N$) の発生確率であり、 $P(\mathbf{q})$ は、フォールトツリーのトップ事象発生確率を基本事象発生確率 \mathbf{q} で表現する式である。 X_i の確率重要度は、基本事象発生確率の増加に対するトップ事象発生確率の増加率と定義され、

$$I_p(X_i) = \frac{\partial P(\mathbf{q})}{\partial q_i}, \quad (i=1, \dots, N) \quad (2)$$

となり、大きな確率重要度を示す基本事象の生起確率を小さくすることができれば、トップ事象の発生確率を効率よく低減することが可能となる。しかしながら、もともと生起確率の小さな基本事象をさらに改善することは、生起確率の大きな基本事象を改善することよりも困難であり、この事実が(2)

式では反映されていない。そこで、これらの問題点を克服するために、基本事象発生確率のパーセント変化の増加に対する、トップ事象発生確率のパーセント変化増加の割合として、 X_i のクリティカリティ重要度は、

$$CI_p(X_i) = \frac{q_i}{P_{top}} \cdot \frac{\partial P(\mathbf{q})}{\partial q_i}, \quad (i=1, \dots, N) \quad (3)$$

で表される。この式から、すべての基本事象に対するクリティカリティ重要度を求めて比較すれば、フォールトツリーの論理的構造と発生確率から考慮した、基本事象の重要性に順位を付けることができる。

2.2 一対比較法を用いた発生確率の推定

対象システムの熟練者であっても、彼らの持っている感覚的知識から、基本事象の発生確率の大きさを一度に推定することは困難である。そこで、AHP 手法を用いて、基本事象発生確率の値を感覚的に求める方法が提案されている²⁾。

まず、基本事象 X_i ($i=1, \dots, N$) に対して、 X_i の X_j に対する相対発生確率 q_i/q_j の推測結果 a_{ij} は言葉による修飾語で表現し、つぎに、これらの修飾語を予め設定しておいた数値化案で置き換える。数値で置き換えられた一対比較行列に対して、その最大固有値から整合性を検討し、整合度が許容範囲内ならば、最大固有ベクトルから基本事象発生確率に主観的な重み付けを行うことができる。

2.3 複数のフォールトツリーを考慮した解析

ここでは、考慮すべき複数のフォールトツリーに対して、それぞれのトップ事象が、システムに与えるリスクを総合的に評価した、各基本事象のクリティカリティ重要度を算出する方法を述べる。まず、複数のフォールトツリーに対するクリティカリティ重要度評価の概念を図1に示す。トップ事象 T_1 における、基本事象 X_i のクリティカリティ重要度を $CI_p(X_i)$ とすると、基本事象 X_i の総合クリティカリティ重要度 $CI_{p,TOTAL}(X_i)$ は(4)式により定義される。

$$CI_{pTOTAL}(X_i) = \sum_{j=1}^{n_t} w_j CI_{pj}(X_i) \quad (4)$$

ただし、 n_t はトップ事象の数であり、 w_j はトップ事象 T_j が、システムに与える望ましくないリスクの相対的な大きさを示す。ここで、各トップ事象がシステムに与えるリスクは、そのトップ事象がシステムに与えるダメージ(損害)とそのトップ事象の発生確率の積で与えられる。また、

$$\sum_{j=1}^{n_t} w_j = 1 \quad (5)$$

を満たす。

3. ファジィ数を用いた AHP 手法

従来の AHP 手法では、整合性が取りづらいなどの欠点が生じる。そこで、本研究では、数値化案に、ある程度幅を持ったファジィ数を用いた AHP 手法³⁾を用いる。

まず、相対的発生確率を $v_i (i=1,2,\dots,n)$ として $\log_{10} v_i = e_i$ (これ以降は $\log v_i$) とおく、意思決定者に、各修飾語とそれに割り当てる数値化案のモード値 m 、及び、修飾語に割り当てる数値として、充分満足できる範囲 $[r, s]$ を決定してもらう。それらの関係から、図2に示す三角型メンバシップ関数を作成する。ここで、要素 j に対する要素 i の一対比較の解答値 a_{ij} に割り当てる対数グラフ上の三角型ファジィ数を図2より、

$$A_{ij} = (\log(r^2_{ij}/m_{ij}), \log m_{ij}, \log(s^2_{ij}/m_{ij}))$$

とすると、メンバシップ関数 $\mu_{A_{ij}}(e_i - e_j)$ は、

$$\mu_{A_{ij}}(e_i - e_j) = \begin{cases} 0 & (e_i - e_j) \leq \log \frac{r^2_{ij}}{m_{ij}} \\ \frac{1}{2 \log \frac{m_{ij}}{r_{ij}}} (e_i - e_j) + 1 - \frac{\log m_{ij}}{2 \log \frac{m_{ij}}{r_{ij}}} & \log \frac{r^2_{ij}}{m_{ij}} \leq (e_i - e_j) \leq \log m_{ij} \\ \frac{1}{2 \log \frac{m_{ij}}{s_{ij}}} (e_i - e_j) + 1 - \frac{\log m_{ij}}{2 \log \frac{m_{ij}}{s_{ij}}} & \log m_{ij} \leq (e_i - e_j) \leq \log \frac{s^2_{ij}}{m_{ij}} \\ 0 & \log \frac{s^2_{ij}}{m_{ij}} \leq (e_i - e_j) \end{cases}$$

$$e = (e_1, e_2, \dots, e_n)$$

となり、

$$\max \lambda$$

subject to

$$\lambda \leq \frac{1}{2 \log \frac{m_{ij}}{r_{ij}}} (e_i - e_j) + 1 - \frac{\log m_{ij}}{2 \log \frac{m_{ij}}{r_{ij}}} \quad (7)$$

$$\lambda \leq \frac{1}{2 \log \frac{m_{ij}}{s_{ij}}} (e_i - e_j) + 1 - \frac{\log m_{ij}}{2 \log \frac{m_{ij}}{s_{ij}}}$$

$$e_i, e_j \geq 0, 0 \leq \lambda \leq 1, 1 \leq i < j \leq n$$

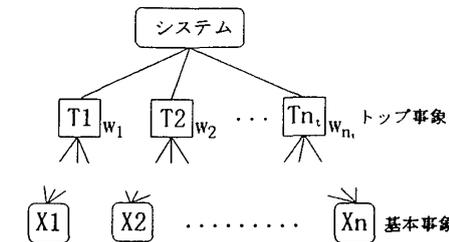


図1 複数のトップ事象を取り扱う概念

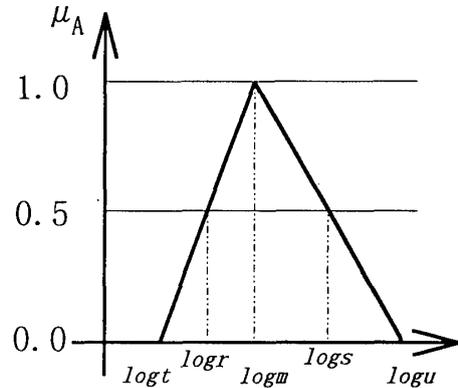


図2 メンバシップ関数

のようなファジィ線形計画問題に変換でき、この問題の最適解より、 $e^* = (e^*_1, e^*_2, \dots, e^*_n)$ を求め

$$v_i = \frac{10^{e^*_i}}{\sum_{i=1}^n 10^{e^*_i}} \quad (i=1,2,\dots,n) \quad (8)$$

から、相対的発生確率を決定する。

4. おわりに

本研究では、フォールト・ツリー解析を用いてクリティシティ重要度を算出する際、経験の深い技術者の、発生確率に対する感覚をファジィ AHP を用いて推測する方法を試みた。

参考文献

- 1) 鈴木, 牧野, 石坂: FMEA・FTA 実施法, 日科技連(1982)
- 2) 亀山, 佐山, 鈴木, 大島, 中山: フォールトツリーにおける主観的クリティシティ重要度解析について, システム制御情報学会論文誌, Vol.3, No.6, pp.185-193(1990)
- 3) 倉重, 亀山, 宮崎: AHPにおける意思決定者の感覚を対数型ファジィ数にあてはめた相対的重要度決定法, OR 学会秋季研究発表会アブストラクト集, pp.72-73(1996)