

# コスト重要度を用いた保全計画策定手法に関する研究

## Study of Maintenance Planning Using Cost Importance

東京大学大学院 藤井 秀樹 Hideki FUJII Student  
 東京大学大学院 関村 直人 Naoto SEKIMURA Member

**Abstract** This study proposes importance factors of components to optimize maintenance of a system. Cost Fussell Vesely (C-FV) parameter measures the effectiveness of maintenance for total cost optimization. Absolute risk achievement worth (ARAW), which can be a good parameter to optimize maintenance based on risk, is estimated by multiplying RAW value with non-reliability. Correlation between these factors and optimized maintenance methods is compared and discussed from the viewpoints of improvement of total maintenance cost and system reliability.

**Keywords:** Cost Fussell Vesely, Absolute Risk Achievement Worth, Optimization of Maintenance

E-mail: sekimura@q.t.u-tokyo.ac.jp

### 1. 研究の背景と目的

原子力発電所の保全については、従来、安全性を重視するあまり過剰な点検・取り替え等が行われてきた。しかし現在は、ただ高度の安全性を維持出来れば良いだけではなく、許容され得る安全性の中で保全活動の経済性を同時に追求していかなければならない状況にある。

原子力発電所のような大規模システムは構成機器の数が膨大であり、かつ保全費用関数が不連続であるため、微分・積分を用いて数理的に最適化する事は困難である。そこで、実際の保全分野では、技術者の経験によって機器の重要度を定めて分類を行い、これに応じて保全の優先順位を定めている。しかし、この手法は体系化・一般化されていないため、十分な社会的受容性を持つとは言えない。

そこで、本研究では保全コストの概念を含めた定量的な機器重要度を評価する指標を提案し、モデルに適用する事で有効性を検討した。

### 2. 解析手法

#### 2.1 頂上事象発生確率の評価

本研究では、構成機器の故障率データから頂上事象発生確率を定量的に算出するために

Fault Tree 解析 (FTA) を利用し、ミニマルカットセットを求めた<sup>1)</sup>。

#### 2.2. 機器重要度の評価

##### 2.2.1 従来の評価指標

信頼性解析には、一般に数種類の指標が使用されており、その中でも Fussell-Vesely (FV)、RAWは多くの分野で用いられている<sup>2)</sup>。

Fussell-Vesely (FV) : 頂上事象の発生を仮定した時に機器の故障が寄与している条件付確率を表す指標であり、次式で定義されている。

$$FV = \frac{P(\text{top}) - P(\text{top} / i = 0)}{P(\text{top})} \quad (1)$$

$P(\text{top})$  は頂上事象の発生確率を表し、 $P(\text{top}/i=0)$ は機器  $i$  が故障していない場合に頂上事象が発生する確率である。

リスク増加価値 (RAW) : ある機器が故障した時の頂上事象の発生確率の増加を示す指標であり、次式で定義される。

$$RAW = \frac{P(\text{top} / i = 1)}{P(\text{top})} \quad (2)$$

$P(\text{top}/i=1)$ は機器  $i$  が故障している場合に頂上事象が発生する確率を表す。

### 2.2.2 新たに提案する評価指標

本研究で定めた独自の指標はコスト Fussell-Vesely と絶対リスク価値である。これらを用いた機器重要度評価の結果を、FV、RAW による評価結果と比較した。

コスト Fussell-Vesely (C-FV) : FV は保全効果を示す指標であるが、コストを重視する保全計画においては保全効果もコストで表現されるべきである。そこで、C-FV を保全効果と保全コストの比として、次式の様に定義することとした。

$$CFV = L \cdot \frac{P(\text{top}) - P(\text{top} / i = 0)}{P(\text{top})} / M_i \\ = \frac{L}{M_i} FV$$
(3)

ここで、 $L$  は頂上事象発生時の損害、 $M_i$  は機器  $i$  の保全コストを表す。

絶対リスク価値(A-RAW) : リスクは一般的に、生じる結果とその可能性との積で定義される。RAW は故障の結果を示す相対的な指標であるので、絶対的なリスク価値を論じるために機器の故障率(非信頼度)との積を A-RAW とし、次式の様に定義した。

$$ARAW = F_i \cdot RAW \quad (4)$$

ただし、 $F_i$  は機器  $i$  の故障率を表す。

### 2.3 期待保全費用と保全計画の合理化

保全計画は、期待保全費用と非信頼度によって評価される。期待保全費用とは、頂上事象発生時の損失の期待値と保全コストの和である。

また、各機器に適用する保全方式を以下のように定義した。

- (1) 事後取替 機器が故障した時点で、新品と取り替えたり、修理を行ったりして、機器に要求された機能を回復する方式
- (2) 予防取替 システムや機器の状態に関係なく、機器の取り替えや修理を行って、機

能を回復する方式

(3) 点検 システムを停止させて機器の状態を点検し、故障に至るような劣化が発見された場合に機能回復措置をとる方式

(4) 状態監視 機器の状態を計器等で常時モニタリングし、劣化が発見された場合はシステムを停止して機能回復措置をとる方式

本研究では重要度と保全方式の決定についての関連を見出す事を目的としているため、保全計画の決定については、その時点での保全行為が経済的合理性を持っているかどうかについてのみ判断している。なお、時間計画保全の周期の最適化までは行っていない。

### 3. 例題解析

本研究では、機器数 52、ミニマルカットセット数 176 である軽水炉のある制御系を対象としたモデルについて解析を行った。Fault Tree (FT) データは実際のプラントのものを使用した。機器の故障率はワイブル分布に従うものと仮定し<sup>3)</sup>、そのパラメータや保全コストは "Weibull Database"<sup>4)</sup> 等から決定した。

解析は 2 段階に分けて行った。第 1 段階として、保全方式を事後取替と予防取替のみに限定し、重要度指標が保全計画に及ぼす影響についての比較を行った。次に第 2 段階として、点検、状態監視を含めた合理化を行い、保全方式の選択と重要度指標の関連性について検討した。

### 4. 結果

重要度指標の比較の結果は Figure 1 のようになった。C-FV を用いると期待保全費用が増加し、A-RAW を用いると減少した。ただし、故障率のパラメータの設定によっては期待費用の相対的な高低が逆転する事もある。故障率の高い場合には C-FV を用いた場合の費用が低下し、故障率の低い場合は A-RAW を用いた場合の費用が低下する傾向が見られた。また、非信頼度については有意な差が見られなかった。信頼度を真に左右する重要な機器に

は保全方式の違いが見られなかった事によると考えられる。

次に、保全方式の決定との関連を調べた。得られた保全方式を Table 1 に、保全方式と指標の関連を Figure 2 に示す。A-RAW の高い機器は状態監視、C-FV の高い機器は予防取替や点検を選択する傾向が見られた。FV、RAW を用いた時にはこの様な傾向は見られず、C-FV と A-RAW の指標の有効性が示された。

Table 1 Examples of Importance of the Components and Optimized Maintenance

機器名	方式	C-FV	A-RAW
空気作動弁 7	事後	0.0038	0.0367
フィルタ 1	監視	0.2322	0.4414
1 系ポンプ	点検	0.6889	0.3936
1 系逆止弁	予防	0.2200	0.0373

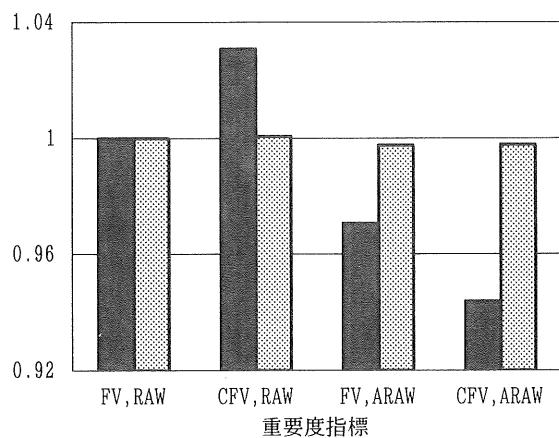


Figure 1 Comparison of Expected Maintenance Cost and Non-Reliability for 4 Different Importance Factors

## 5. 結論

本研究では、保全コストやリスクの絶対的な価値に着目した指標である C-FV、A-RAW を提案した。

これらの指標は保全方式の選択とも関連性を持ち、これは直感的な理解とも一致してい

る。他の例にも適用可能であるので、これを応用し、機器に対して選択すべき保全方式に指針を与える事が出来れば、効率的な保全計画の最適化が可能となる。これが、C-FV と A-RAW を指標として用いる事の利点であると言える。

しかしこれらの指標は、故障率パラメータへの依存性等により、重要機器の絞り込みについては一般的な有効性が示されたと言う事が出来なかった。この点については、データの蓄積等を含め、今後さらに詳細な検討が必要である。

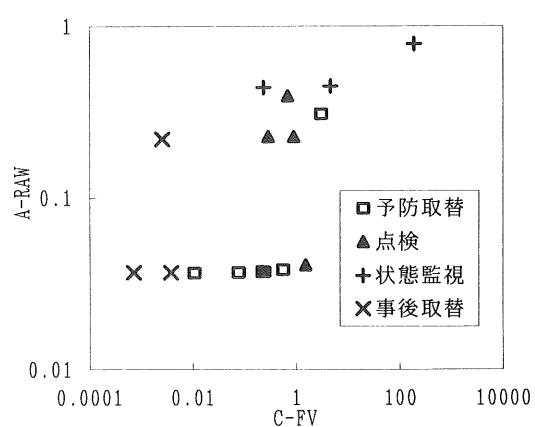


Figure 2 Correlation between Optimized Maintenance Methods and Used Importance Factors

## 参考文献

- [1] 井上威恭 監修,総合安全工学研究所 編;『FTA 安全工学』,日刊工業新聞社(1979)
- [2]『確率的安全評価実施手順に関する調査検討 レベル 1 PSA、内的事象』,pp.125-127, 原子力安全研究協会(1992)
- [3] 三根久,河合一;『信頼性・保全性の基礎数理』,日科技連(1984)
- [4] <http://www.barringer1.com/wdbase.htm>

