

## - PRA から想定される検査対象設備候補の検討-

### - A trial use of New Inspection Guidance for Selection SSCs with using Risk importance -

三菱重工業株式会社 炉心・安全技術部	高橋 浩道	Hirromichi Takahashi	Member
三菱重工業株式会社 炉心・安全技術部	長谷川 悠	Yu hasegawa	Member
三菱重工業株式会社 炉心・安全技術部	田中 太	Futoshi tanaka	Member
三菱重工業株式会社 炉心・安全技術部	高田 洋祐	Yosuke Takada	Member

MHI (Mitsubishi Heavy Industry) is focusing on selection SSCs with using risk importance for new inspection system. In this paper, a trial use of new inspection guidance for selection SSCs is described.

**Keywords:** ROP , New Inspection Guidance , PRA , Risk importance, Selection SSCs,t

## 1. はじめに

新検査制度については2018年10月より試運用が開始される。この準備のために2018年4月16日に原子力規制庁より検査ガイド(案)が示されたが、本ガイドでは検査対象設備の選定にリスク重要度が用いられることになっている。

産業界では新検査制度に向けてPRAモデルの整備を実施中であるが、現時点で上記ガイドを正確に適用できるPRA結果はない。しかし、非常にタイトなスケジュールで新検査制度の試運用、実運用が開始されることから、過去のPRAのリスク重要度を用いて、どういった設備が検査対象設備として選定されるか試評価を行うことが有益であると考えた。

本論文では、過去のPRAのリスク重要度を用いて、検査ガイド(案)を適用した場合に、どういった設備が検査対象設備として選定されるか試評価を行い、その結果の一部を報告する。

## 2. 検査対象機器の選定ガイダンス

検査対象機器の選定は、以下のアプローチを通して遂行するとしている。

### 2.1 選定ガイダンスの概要

#### ・系統アプローチ

リスク重要度が最も高い系統内の機器を検査対象として選定する。系統アプローチでは、リスク重要度が最も高い系統内の、特にリスク重要度が高い機器を検査対象として検討する。(詳しいガイダンスは次項(1)参照)

#### ・リスク重要度/低裕度アプローチ

リスク重要度が高い機器を選定する。検査対象機器の選定に、裕度(設計、保全又は運転上の裕度)の低さを追加的に利用してもよい。(詳しいガイダンスは次項(2)参照)

#### ・(事故)事象シナリオに基づくアプローチ

(事故)事象シナリオに基づくアプローチの利用に関する詳しいガイダンスは次項(3)参照。

### 2.2 選定ガイダンスの詳細

#### (1) 系統アプローチ

リスク重要度が最も高い系統を識別し、そのリスク重要度が高い系統内からそれぞれのリスクの種別に基づいて機器を選定する。該当する場合、選定を進める上で以下の(2)及び(3)(d)で説明している構成要素を利用すべき。また、事業者の是正処置プログラム、保全上の是正工事及び運転経験から特定された欠陥も判断材料の一つ

として考慮する。

(2) リスク重要度／低裕度アプローチ

リスク重要度／低裕度アプローチを使用して機器を選定する際は、以下の基準・指標による。

(a) リスク低減価値 (RRW : Risk reduction worth)

リスク低減価値は機器又は運転員の対応や措置が適切に機能した場合に、炉心損傷頻度を低下させる構成要素。RRW 値が 1.005 以上の機器又は運転員対応や措置を検査対象に含めることを検討すべき。なお、望むなら、より低い閾値を使用しても良い。

(b) リスク増加価値 (RAW : Risk achievement worth)

リスク増加価値は対象の機器又は運転員の対応や措置が適切に機能しない場合に、炉心損傷頻度を増加させる構成要素。RAW 値が 1.3 以上の機器及び運転員対応や措置を検査対象に含めることを検討すべき。なお、望むなら、より低い閾値を使用しても良い。

(c) 設置者の保全プログラムにリスク重要度が高い構造物、系統及び機器を 特定するために実施されたもの等、技術的判断又は専門委員会判断に基づく主観的なリスクの等級付け。(PRA でモデル化されない可能性がある設備のリスク重要度を定めるために実施)。

(d) CDF よりも LERF、内の事象よりも外的事象、通常運転時よりも停止時の方がリスク重要度が高い SSC に対しては、機器選定に支配的事故シーケンスを使用する方が適切な場合がある。

(3) (事故) 事象シナリオに基づくアプローチ

(d) 以下の構成要素も考察すべきである。

- ① 妥当な被ばく時間は何時間か。
- ② 当該機器は待機状態か、通常運転状態か。
- ③ 通常運転条件は、事故条件をどの程度反映しているか。
- ④ 事故時性能の観点で、定期試験によってどの程度の信頼度がもたらされるか。
- ⑤ 関与する潜在的故障メカニズムは何か。
- ⑥ 技術仕様によって機器の使用不能時間が左右されるか。
- ⑦ 機器の故障からの復旧までのプロセスは妥当か。

### 3. リスク重要度について

検査機器の選定にリスク重要度が使われる。本章では、リスク重要度について簡単に説明する。

### 3.1 リスク増加価値 (RAW : Risk achievement worth)

炉心損傷頻度(CDF)を演繹的に示すと下式のように表現できる。

$$\begin{aligned} F(\text{CDF}) &= IE_1 * P * B_1 + IE_1 * P * B_2 + \dots + IE_1 * A_1 * B_1 + IE_1 * A_1 * B_2 + \dots \\ &+ IE_2 * P * B_1 + IE_2 * P * B_2 + \dots + IE_2 * A_1 * B_1 + IE_2 * A_1 * B_2 + \dots \\ &+ \dots \dots \dots \\ &= P * (IE_1 * B_1 + IE_1 * B_2 + \dots + IE_2 * B_1 + IE_2 * B_2) + b \\ &= P * a + b \quad (1) \text{式} \end{aligned}$$

- ここで、
- IE<sub>i</sub> : 起因事象 i の発生頻度
- P : 当該機器の故障確率
- A<sub>i</sub> : 当該機器側のトレンの緩和機器の故障確率
- B<sub>i</sub> : 当該機器の別トレンの緩和機器の故障確率
- a : 当該機器がからむ事故シーケンスの片割れ
- b : 当該機器に無関係の事故シーケンスの頻度

すなわち、CDF は当該機器がからむ事故シーケンスの発生頻度と当該機器に無関係の事故シーケンスの発生頻度の合算値であると考えることができる。

今、リスク増加価値 : RAW の定義式は下記(2)式で表現される。即ち、RAW は当該機器が故障した場合 (P=1)、CDF が何倍になるかの指標である。

$$RAW = F(\text{CDF} | P=1) / F(\text{CDF}) \quad (2) \text{式}$$

(2)式に(1)式の関係を入ると、

$$\begin{aligned} RAW &= (a + b) / (P * a + b) \\ &= (a + b) / b \quad (\because P * a \ll b) \\ &= 1 + a / b \end{aligned}$$

導かれた上式を眺めて、RAW=2 を想定すると、当該機器が故障した際の事故シーケンスの発生頻度が、それ以外の全事故シーケンスの発生頻度と同等であるということであり、当該機器の故障の影響度が大きいことが容易に類推できる。ガイドで示された RAW=1.3 はその比が 30%ということだが、1.3 を機器選定のための閾値とするのが適切なのか議論の余地があると考ええる。

### 3.2 リスク減少価値 (RRW : Risk reduction worth) と Fussell-Vesely 重要度 (FV importance)

Fussell-Vesely 重要度 : FV の定義式は下記(3)式で表現される。即ち、FV は当該機器の故障 (P=1) に関連する事故シーケンスの頻度が、CDF に対してどの程度寄与して

いるかの指標である。

$$FV = F(CDF) - F(CDF | P=0) / F(CDF) \quad (3)式$$

(3)式に(1)式の関係を代入すると、

$$\begin{aligned} FV &= (P \cdot a + b) - b / (P \cdot a + b) \\ &= P \cdot a / (P \cdot a + b) \\ &\approx P \cdot a / b \quad (\because P \cdot a \ll b) \end{aligned} \quad (4)式$$

一方、リスク低減価値：RRW の定義式は下記(5)式で表現される。即ち、RRW は当該機器が故障しないとした場合 (P=0)、CDF が何分の1になるかの指標である。

$$RRW = F(CDF) / F(CDF | P=0) \quad (5)式$$

(5)式に(1)式の関係を代入すると、

$$\begin{aligned} RRW &= (P \cdot a + b) / b \\ &= 1 + P \cdot a / b \end{aligned} \quad (6)式$$

(4)式と(6)式を比較すると、 $RRW = 1 + FV$  と考えることができる。

これを2章に翻って考えると、ガイドで示された「RRW 値が 1.005 以上の機器又は運転員対応や措置を検査対象に含めることを検討すべき。」の定義は、「FV 値が 0.005 以上の機器又は運転員対応や措置を検査対象に含めることを検討すべき。」と等価と考えることができる。

## 4. 検査対象設備候補の検討

### 4.1 これまでの保全重要度分類

これまでの保全管理では、機器単位の FV 重要度及び RAW を算出し、下記の閾値を使用して分類している。

領域Ⅰ：FV  $\geq$  0.001 かつ RAW  $\geq$  2

領域Ⅱ：FV  $\geq$  0.001 かつ RAW  $<$  2

領域Ⅲ：FV  $<$  0.001 かつ RAW  $\geq$  2

領域Ⅳ：FV  $<$  0.001 かつ RAW  $<$  2

領域Ⅰはリスク重要度高、領域Ⅳはリスク重要度低とし、領域Ⅱ、Ⅲについては保守的にリスク重要度高としている。

### 4.2 検査対象設備選定のためのリスク指標(仮設定)

一方、2章及び3章の整理から、検査ガイドに示された検査対象設備の選定条件をリスク指標の観点のみで示すと以下のようなになる。

- ① FV 値が 0.005 以上の機器又は運転員対応や措

置を検査対象に含めることを検討すべき。なお、望むなら、より低い閾値を使用しても良い。

- ② RAW 値が 1.3 以上の機器及び運転員対応や措置を検査対象に含めることを検討すべき。なお、望むなら、より低い閾値を使用しても良い。

検査ガイドに示されたリスク指標がどのような根拠に基づき示されたのか不明であるが、「より低い閾値を使用しても良い」との“なお書き”が存在する。

ここでは、従前の保全管理の実績も踏まえ、以下の閾値を検査対象設備の選定条件と仮設定する。

- a. FV 値が 0.001 以上の機器又は運転員対応や措置を検査対象とする。
- b. RAW 値が 1.3 以上の機器及び運転員対応や措置を検査対象とする。

## 4.3 検査対象設備選定結果

仮設定した上記 a 及び b の条件を使用して、検査対象設備を選定する。

選定される設備は、従前の保全管理でリスク重要度高の設備全てと、リスク重要度低のうち、RAW が 1.3 以上の設備が対象となる。

後者の重要度低のうち、RAW が 1.3 以上 (2.0 未満) の設備には、安全注入系や制御用空気系の弁類、原子炉保護制御装置のカード類等が抽出される。また、これらの機器以外のリスク重要度低の機器 (図-1 最下段にプロットされた機器) は、リスク重要度の観点のみからは検査対象設備から除外される。

## 5. まとめ

過去の PRA のリスク重要度を用いて、どういった設備が検査対象設備として選定されるか試評価を行った。

ただし、検査ガイドに示されたリスク指標の設定根拠が不明確であること、新検査制度に向けた PRA モデルが整備中であること等を踏まえ、試運用に向け、さらなる検討が必要である。

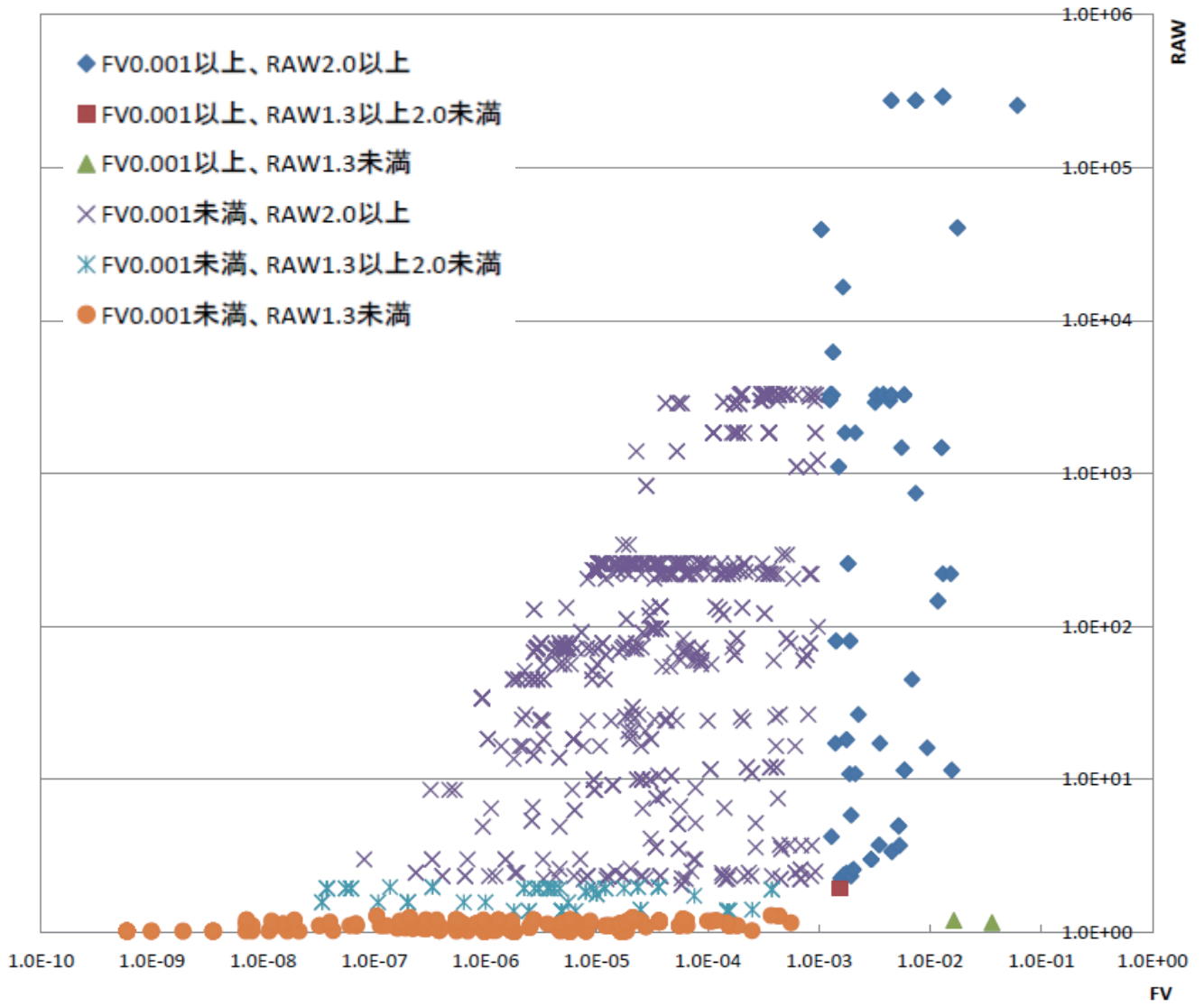


図-1 リスク重要度に基づく機器分類図