

# FBR を対象としたリスクベース保全検討について

## Study on Risk-Based Maintenance approach to FBR Plant

|                |       |                    |            |
|----------------|-------|--------------------|------------|
| (独)日本原子力研究開発機構 | 土井 基尾 | Motoo DOI          | Non Member |
| (独)日本原子力研究開発機構 | 月森 和之 | Kazuyuki TSUKIMORI | Non Member |
| (独)日本原子力研究開発機構 | 渡士 克己 | Katsumi WATASHI    | Member     |

An improved method of FBR maintenance program by utilizing the risk-informed approach is discussed through investigation of RI-ISI implementation program. This paper presents current activities such as extraction of failure modes and mechanisms in FBR plant, the risk index, ranking criteria and so on.

**Keywords:** Risk Based Maintenance, Risk matrix, Fast Breeder Reactor

### 1. 緒言

近年、特に米国において軽水炉の安全規制に係る意思決定にリスク情報を積極的に活用するしくみが実用化され、設備稼働率が大幅に向上している状況を踏まえて、日本の軽水炉においてもリスク情報の活用に向けた取り組みが行われている[1]。高速増殖炉の場合、軽水炉のように豊富な運転経験を有する段階になってはいないが海外先行高速炉の運転事例があり、日本でも基礎的な試験からモックアップ試験等を実施した常陽、もんじゅの経験があり、同様の手法でのリスク情報活用に関する研究が行われている[2]。しかし、ナトリウムを冷却材とする高速炉においては、原子力設備に特有な炉心損傷のリスクに加えて、ナトリウム漏えいのリスクを考慮することが必要と考えられる。ここではナトリウム漏えいという観点からリスク評価手法検討を行い、もんじゅを例として手法の適用を試みた。

### 2. 検討

#### 2.1 検討の流れ

米国軽水炉を対象にした EPRI の RI-ISI 検討方式[3]が過去の運転経験をベースとした定性的評価であることを参考に、FBR 先行プラントの運転経験を調査検討することにより、ナトリウム内包壁の破損の可能性と影響を検討し、「破損の起こり易さ」と「影響の大きさ」の組み合わせをリスクとし、以下の手順で検討する。

① 先行炉事例調査：先行炉で発生した破損モード/メ

カニズムについて調査する。

- ② FMEA による検討：機器配管の部位毎に考え得る破損について「破損の起こりやすさ」と「影響の大きさ」を評価する。
- ③ リスクマトリックスによる評価：検査などの対策推奨箇所を指摘する。

#### 2.2 先行炉事例調査

ナトリウム漏えいの観点から先行 FBR 破損事例よりナトリウム内包壁で考えられる破損要因を抽出した。特徴的な破損事例は、サーマルストライピング、弁ベローズのクラック、電磁誘導による圧力振動等である。なお、先行破損事例として現れてはいないが、設計基準で防止しているクリープ疲労などの破損要因についても発生の可能性として考慮する。

#### 2.3 FMEA による検討

(1) 「破損の起こり易さ」

「破損の起こり易さ」については次の 3 項目それぞれについてグレードを評価し、加点することで定性的ランク付けを行った。

第 1 項目；荷重／破損要因によるランク付け

FBR 先行炉破損事例の原因の大半は製作不良や運転ミスとなっており、十分に解析評価された部位の破損は稀である。あっても設計想定外荷重が原因の事例がほとんどである。そこで、構造物にかかる荷重と破損要因をどの程度設計評価に取り込んでいるかにより、①技術基準に規定されていない新たな破損様式も解析評価、②技術基準に規定された破損様式について解析評価、③一般の規格により設計の 3 段階に分けた。

連絡先:土井基尾、〒919-1279 福井県敦賀市白木 1 丁目、日本原子力研究開発機構、電話: 0770-39-1031、e-mail:doi.motoo@jaea.go.jp

## 第2項目；計算裕度によるランク付け

想定外の破損メカニズムの有無や制限値に対する設計余裕の程度を加味して、破損の起こり易さをランク分けする指標として設定した。また、新たに判明した破損メカニズムについて解析評価されている場合は、制限値に近い場合のみ更なる想定外荷重に対する余裕が少ないことから破損の可能性を高点に区分する。

## 第3項目；検査の有効度によるランク付け

破損の起こり易さは、検査で見つめた欠陥を除去することにより低減することから、検査の効果を考慮する。ここでの検査とは漏えいが発生する前に欠陥を検知する検査の有効度により3段階とし、減点する。

表1に設計グレードの高い部位の分類案を示す。

表1 「破損の起こり易さ」分類案

| 荷重/要因                                    | 計算裕度<br>(設計解析値)             | 検査有効度 | 点数      | ランク |    |   |
|--|-----------------------------|-------|---------|-----|----|---|
| 設計解析していない破損メカニズムが想定されるが、新たな荷重についても解析している | 裕度少<br>制限値に<br>近い<br>(90%超) | 10    | 検査できない  | 0   | 30 | 大 |
|  |                             | 10    | 検査範囲制限  | -5  | 25 | 大 |
|  |                             | 10    | 正しく検出する | -10 | 20 | 中 |
|  | 裕度有                         | 1     | 検査できない  | 0   | 21 | 中 |
|  |                             | 1     | 検査範囲制限  | -5  | 16 | 中 |
|  |                             | 1     | 正しく検出する | -10 | 11 | 小 |

## (2)「被害の大きさ」

軽水炉を対象としたリスクベース検査手法での影響度の指標は、条件付炉心損傷頻度が使われている。ここではナトリウム漏えいについて、炉心への影響と周辺設備への影響を合わせて次の3項目に分けた。

### 第1項目；漏えいの影響範囲によるランク付け

本分類では漏えいナトリウム自体の影響範囲に限定。漏洩室内を超えて影響が及ぶことは無いと考え、①室内広範囲に影響、②漏洩箇所の周辺にまで影響、③限定範囲内のみ影響の3段階とした。

### 第2項目；漏えいの影響設備によるランク付け

破損の「早期検知」「漏えいの抑制」「拡大防止」の観点から防護が必要な設備の有無によりランク付けする。

### 第3項目；安全性への影響によるランク付け

原子力施設の安全性の観点からは炉心への著しい影響により分類することが考えられるが、FBR設備はこれらを踏まえた機器区分により設計製作されているので安全性への影響は機器区分によりランク付けする。

表2に影響範囲が広い場合についての分類案を示す。

表2 「被害の大きさ」分類案

| 漏洩範囲 | 影響設備            | 安全性 | 点数  | ランク |    |   |
|------|-----------------|-----|-----|-----|----|---|
| 室内まで | 防護を必要とする設備に影響する | 10  | 最重要 | 20  | 50 | 大 |
|      |                 | 10  | 重要  | 15  | 45 | 大 |
|      |                 | 10  | 並   | 1   | 31 | 中 |
|      | 防護が必要な設備に影響しない  | 1   | 最重要 | 20  | 41 | 大 |
|      |                 | 1   | 重要  | 15  | 36 | 中 |
|      |                 | 1   | 並   | 1   | 22 | 中 |

## (3)FMEA

以上の方法に基づいて「破損の起こりやすさ」に関係する情報および「被害の大きさ」に關係する情報をFMEAシートに整理し、ランク付けを行う。

## 2.4 リスクマトリックスによる評価

FMEAによりランク付けした結果をリスクマトリックス上で定性的に評価する。相対的にリスクの大きい箇所は検査等の対策を施すことが推奨される。

以上の手法をもんじゅの主要部位に適用して得られたリスクマトリックスの例を表3に示す。例示した点は全て「最重要」の点で、被害の大きさは全て「大」であるが、破損の起こり易さはほとんど「小」である。1箇所「中」となっているが、これは絶対的なリスクを意味するものではなく、他の箇所比べて相対的にリスクが高いと推定されることを意味する。したがって、保全計画策定において検査順位を考える上で、このような評価は有効と考えられる。

表3 リスクマトリックスの例

|          |   |   |   |     |
|----------|---|---|---|-----|
| 破損の起こり易さ | 大 | — | — | —   |
|          | 中 | — | — | 1箇所 |
|          | 小 | — | — | 8箇所 |
|          |   | 小 | 中 | 大   |

被害の大きさ

## 3. まとめ

ナトリウム冷却高速炉に特有のリスクに着目した保全検討手法について紹介した。今後、PFMの導入などによる「破損の起こり易さ」の定量化が重要と考える。

## 参考文献

- [1] 原子力安全委員会、「リスク情報を活用した原子力安全規制の導入の基本方針について」平成15年
- [2] 「リスク情報を活用した安全規制の導入に関するタスクフォース」資料第5-2-2号
- [3] ASME Sec. XI, div. 1 Case N-578-1 Risk-Informed Requirements for Class 1, 2, or 3 Piping, Method B.