



## 核燃料物質使用施設の高経年化に係る安全性評価手法の開発

Development of safety review method to cope with an aging degradation for the facilities using nuclear material

日本原子力研究 開発機構	藤島雅継	Tadatsune FUJISHIMA	Nonmember
日本原子力研究 開発機構	水越保貴	Yasutaka MIZUKOSHI	Nonmember
日本原子力研究 開発機構	坂本直樹	Naoki SAKAMOTO	Nonmember
日本原子力研究 開発機構	大森 雄	Tsuyoshi OHMORI	Nonmember

In order to develop fuels and materials for fast reactors, five hot laboratories as a facility using nuclear materials for post irradiation examination (PIE) are now in operation at the Oarai Research and Development Centre of Japan Atomic Energy Agency. More than 30 years have passed since the first hot run of these facilities was started, and it has been indispensable to maintain the principal equipment for continuous safe operation.

For application to preventive maintenance and the safe operation, a new safety review method that could be applied for these facilities was developed by modification of periodic safety review tools using for Japanese commercialized power reactors. Effective repair or replacement of equipment before malfunction have been performed and the priority for preventive maintenance could be appropriately determined for stable management of hot facility operations by the developed method.

**Keywords:** Safety review method, Performance indicator, Nuclear materials, Hot laboratory, Preventive maintenance

### 1. 緒言

もんじゅのナトリウム漏洩事故、JCO の臨界事故などを契機に、事業者の安全に対する規制のあり方が見直され、法改正なども行われてきたが、福島第一原発事故を受け、さらに厳格な規制のあり方が求められることとなった。現在、原子力発電所の新しい規制基準が既に施行され、また核燃料使用施設の基準等が議論されている段階である。同時に、原子力発電所の耐用年数、原子力の研究開発に伴って建設された施設の老朽化など、将来の廃炉や施設解体をどのように進めていくか具体的な方策が求められる状況となってきた。

独立行政法人日本原子力研究開発機構大洗研究開発センター・福島燃料材料試験部（以下、燃材部）は、核燃料物質・核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律（以

下、原子炉等規制法）で規制された核燃料物質使用施設（以下、核燃料使用施設）として、東京電力（株）福島第一原子力発電所1～4号機の廃止措置等に向けた技術開発や、高速増殖炉用の高性能燃料材料の研究開発を行っている。燃材部は、以下に示すように5つの核燃料使用施設群で構成される。

- ・照射燃料集合体試験施設 (Fuels Monitoring Facility (以下、FMF) 昭和47年竣工)
- ・照射燃料試験施設 (Alpha-Gamma Facility (以下、AGF) 昭和44年竣工)
- ・照射材料試験施設及び第2照射材料試験施設 (Materials Monitoring Facility (以下、MMF) 昭和47年竣工、Materials Monitoring Facility-2 (以下、MMF-2) 昭和57年竣工)
- ・燃料研究棟 (Plutonium Fuel Research Facility (以下、PFRF) 昭和49年竣工)

これらの施設はいずれも竣工から30年以上が経過し、高経年化対策の観点から適切な保全活動が必要となってきた。施設の安全を確保し、予算や人的資源の適切かつ有効な執行を行うためには、施設・設備の安全性の評価が重要である。

連絡先: 藤島雅継、〒311-1393 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002番、(独) 日本原子力研究開発機構大洗研究開発センター 福島燃料材料試験部 燃料試験課  
E-mail: fujishima.tadatsune@jaea.go.jp

実用発電用原子炉施設については、その安全性、信頼性のより一層の向上を図るため、平成4年、通商産業省(現、経済産業省)が国内の軽水型原子力発電所を対象として、電力会社9社等に対し「定期安全レビュー(PSR: Periodic Safety Review)の実施」を各社の品質保証活動として行うことを通達した[1]。すなわち、高経年化対策として、この経年変化に対する技術的な評価を定期的に行うことが義務づけられた。核燃料使用施設に対しては、これらの評価が法的に義務づけられているわけではないが、原子力の研究開発を行う事業者として安全・安定な施設運営を行うため、継続性のある安全評価手法を確立する必要がある。

一般に原子炉施設の場合、経年劣化により不安全を招く事象を想定又は摘出し、一定の仕組みに基づいて現状の施設が安全な状態にあるのか不安全な状態にあるのかを判定する。すなわち、原子炉プラントは、一つの設備の不適合が他の設備に伝搬するといった設備相互の連動性が強いという特徴を有しているため、特定の異常事態を想定して施設全体の安全性を評価する概念がある。一方で核燃料使用施設は、核燃料物質が各使用場所や貯蔵場所に分散して存在しているうえ、施設内の個々の設備の独立性が高い特徴を有しており、原子炉施設の安全性評価の考え方がそのままあてはまらない面がある。

そこで、本論文では、

- ①核燃料使用施設に合致した高経年化対策のための安全性評価手法の開発
- ②開発した手法に基づく評価
- ③評価に基づいて保全活動へ展開した結果について述べる。

## 2. 核燃料使用施設の安全性評価の方法論

平成4年に通達された「原子炉施設における定期安全性評価」では、

- ①運転経験の包括的な評価、
- ②最新の技術的知見の反映状況の把握及び必要な対策の立案、
- ③確率論的安全評価並びにこれに基づく対策の措置状況の把握及び必要な対策の立案、

が主な実施項目であった。その後、平成16年度までに同様の趣旨で原子炉等規制法が改正され、実用発電用原子炉の他、文部科学省所管の試験研究用原子炉等についても、運転開始から30年を経過するまでに安全上重要な機器等の経年劣化に対する技術的な評価を行い、その結

果に基づいて長期保守管理方針を策定するなどの定期的な評価が義務付けられている。

核燃料使用施設は、放射線遮へい機能を有するホットセル、気密機能を有するグローブボックス、それらの内部を常時負圧に保持する気体廃棄設備、放射性廃液を貯留・移送する液体廃棄設備など、密封されていない固形状、液体状、粉状の核燃料物質を閉じ込めて放射線障害を防止するための個々の設備の複合体である。さらにこれらを機能させるための電源設備、ガス設備、給水設備などが関わってくる。そこで、核燃料使用施設の安全評価の前提として、特定の異常事態を想定して原因を特定していく方法ではなく、経年劣化による個々の設備の故障に起因して不安全を招く事象を想定し、その個々の設備の健全性が今後も継続的に維持できるかどうかを評価し、施設全体としての安全性を考えていくこととした。

### 2.1 安全性評価にかかる評価項目の設定

はじめに、個々の設備の故障に起因する安全性評価手法として、安全性解析手法である故障モード影響解析(FMEA: Failure Mode and Effect Analysis)やフォルトツリー解析(FTA: Fault Tree Analysis) [2]の他、厚生労働省「化学プラントにかかるセーフティ・アセスメントに関する指針」の2000年3月21日(基発第149号) [3]等の調査を行った。

FMEAは、製品を構成する部品の故障がどのように製品自体の不適合として現れるのかを分析する概念であり、部品数に応じた故障モード解析が特徴である。本研究の目的は、高経年化対策の観点からの安全性評価であるため、基本的にはこれらの解析手法をベースとしながら、その部品の特定と故障への波及性の評価が重要と考えた。すなわち、一般にはこれらの設備には耐用年数が設けられており、この期間の経過の有無がひとつの指標になりうる。しかしながら、ここでは設備の巡視点検や定期的に行っている自主検査等(以下、定期点検等)の結果から性能劣化の懸念があるとして着目される部品あるいは設備を特定する。この特定には、日々の監視におけるトレンドの変化や正常稼働範囲内におけるばらつきなどが直接反映される。ここでは、特定された設備について、リスクに係る因子を除去するために必要な課題を「補修課題」と定義した。

本研究では、この補修課題について、その部品・設備の故障、さらにそれを起因として、施設全体に影響していく危険度等を我々自身の30数年間の運転保守の経験を

加味して判断し、それをリスクに係る因子として項目立てして数値化し、評価手法に組み込む方法を検討した。具体的には、当該設備が万一故障した場合に起こる、従業員への障害や公衆環境等への影響度、標準更新年数に基づく経年化の度合い、当該設備に適用されている法律や規則等に取り入れられた最新の技術的な知見との整合性を精査し、抵触のおそれがある場合などである。

発電用原子炉施設の安全性評価には、安全性能等の劣化を監視する指標 (PI : Performance Indicator) という概念がある。これは、例えば一定期間におけるスクラム率など、プラント全体の安全実績を評価するために設定される指標である。本研究では、経年劣化により不安全を招く事象を、点検等により特定した設備部品の故障起因に単純化している。したがって、ここで設定した補修課題に該当する設備の性能劣化の進展を監視するための指標 (点検事項)としてPIを設定し、特定した設備に対して、そのPIがどの程度有効かを数値化して故障時期推定に反映する試みを実施した。

以上の項目を有機的に結合、評価し、総合的な評価結果を「総合リスクポイント」として数値化し、同時に段階的な評価区分を与える独自の評価手法の構築を行った。

## 2.2 安全性評価のフロー構築

2.1 項で述べたように、特定した部品・設備の補修課題について、安全性評価に係る概略フローを Fig.1 に、各プロセスの評価概要を以下に示す。

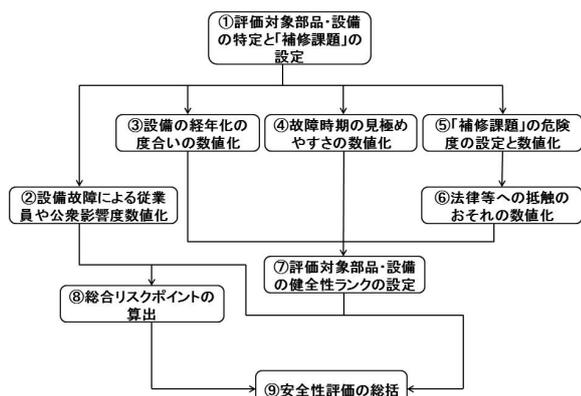


Fig.1 Schematic flow-sheet for safety review

### ①評価対象部品・設備の特定と補修課題の設定

自主検査等 (以下、定期点検等) の結果から性能劣化の懸念があるとして選択もしくは特定された部品あるいは設備に着目し、そのリスクを除去するための課題「補修課題」を抽出する。

### ②設備故障による従業員や公衆影響度の数値化

評価対象部品・設備が万一故障した場合に起こる、従業員への障害や公衆環境等への影響度を数値化する。

### ③設備の経年化の度合いの数値化

一般に設定されている耐用年数との関係について、経過の有無がひとつの指標になりうる。高経年化により設備を故障に至らしめる経年の程度を数値化する。

### ④故障時期の見極めやすさの数値化

抽出した補修課題に係る設備の経年劣化を把握するためPIを設定し、故障時期の見極めやすさとの観点から数値化する。

### ⑤補修課題の危険度の設定と数値化

抽出した補修課題について、これまでの設備の運転保守の経験に基づき、設備を故障に至らしめる危険度を定めておき、それを数値化する。

### ⑥法律・規則等への関連

法律や規則等に取り入れられた最新の技術的な知見に照らし、その抵触のおそれを数値化する。

### ⑦評価対象部品・設備の健全性ランクの設定

補修課題を有する評価対象部品・設備について、今後も継続的に機能し得るかどうかという視点から③～⑥の数値を統合化 (ポイント化) し、「評価対象部品・設備の健全性確認」のためのランク付けを実施する。これは、ある段階以上であれば、高経年化に対する危険度が少ない、といったことを意味する指標として用いる。

### ⑧総合リスクポイントの算出

評価対象部品・設備の健全性ランク確認のために求めたポイントに対して、②で設定した設備故障による従業員や公衆影響度を加味し、総合リスクポイントを設定した。これは、⑦で示す健全性ランクが同じであっても、ポイントの高い方が危険度に対する裕度が少ないことを意味するため、予防保全活動の際、処理優先度の設定を考える際に役立つ指標となる。

### ⑨安全性評価の総括

健全性ランク及び総合リスクポイント評価結果に基づき、高経年化に係る核燃料使用施設の安全性評価、適切な保全活動を行う。

## 2.3 安全性評価の対象設備

本研究は、原子炉等規制法に基づく核燃料使用施設に係る安全性評価を端緒としているが、基本的には当該施設

設に係るすべての法令、規則等に基づく設備を対象とする。

## 2.4 安全性評価の頻度

本手法による核燃料使用施設の安全性評価は、補修課題に対する時間的な危険度の変動や、新たな補修課題の発生に迅速に対処する必要がある。そのため、すべての設備を対象として年度ごとに総括することを基本とした。そして、設備の定期点検等により、危険度の変動が認められた場合や、期中に新しい補修課題が生じた場合は、その都度、各評価因子の修正、PI と経過措置を設定するなど、評価体系の修正や組み込みを行った。

## 2.5 評価体制と運用環境

安全性評価手法は、パーソナルコンピュータの表計算ソフトウェア (Microsoft Excel) の環境上で作動するものとし、現場で容易に運用できるようにする。これにより、利便性を確保するとともに、運転保守要員も理解しやすいシステムとし、保全活動と一元化した評価体制を実現した。

## 3. 安全性評価手法の詳細

本項では、開発した安全評価手法の詳細について述べる。

核燃料使用施設の高経年化に係る安全性評価と適切な保全活動の詳細について、Table1 に評価フォーマットと記載例を、それらの評価フローを Fig.2 に示す。以下に示す説明において、【 】内は Table 1 および Fig.2 中の引用符を示す。なお、Table1 に示す評価フォーマットには、数値入力セルに各定義に従って点数を入力することで、設備の継続的な健全性のランクと適切な保全活動を展開するための総合リスクポイントがスプレッドシート上で一覧できる。さらに、設備機器影響度や総合リスクポイントの数値化も含め、課題抽出年月・解決年月、PI、経過措置などの記載欄を設け、設備の補修課題の管理にも考慮した。さらに、Microsoft Excel のコメント吹き出し機能により、評価フォーマット中の数値化する項目にマウスをポイントすることで配点等の定義を表示し、点数付けの根拠を記録・継承できるとともに記入を容易にした。

### 3.1 評価対象部品・設備の健全性確認

2章2.2項⑦において記述したように、評価対象部品・

設備の健全性確認のため、健全性ランクを設ける。このランクはリスクが除去されて補修課題が解消されている段階から、早急に保全を要する、あるいはコンプライアンス上問題がある段階の計7段階に区分される。

健全性ランク設定に必要な各項目の設定もしくはその数値化について、詳細を述べる。

#### (1)補修課題の設定

性能の劣化が懸念される部品等の選定、すなわち高経年化により設備を故障に至らしめる因子は、設備を運転している環境条件 (放射線環境も含む)、構造や材質などを考慮しながら、腐食や摩耗、電気的特性、変質や硬化といった経年によって進行する状態や症状等から判断する。着眼点を以下に示す。

- (i) 過去何年かに渡る定期点検等のデータを分析し、部品等の要求性能や規格基準は正常の範囲内にあるが、データの変化傾向 (トレンド) で劣化が疑われる状態や症状が観察された場合。
- (ii) 個々の設備に適用される法律や規則等に取り入れられた最新の技術的な知見に照らし、抵触のおそれがある状態や症状が観察された場合。  
また、(i)において劣化の傾向が伺えなくても、潜在化しているリスク因子に配慮するため、
- (iii) これまでの運転保守の経験からその設備で懸念される状態や症状が観察された場合。
- (iv) 対象設備の運転年数が耐用年数を超過している場合。

#### (2)機器・設備の経年化の度合い【II】

設備全体又は設備に使われている部品の経過年数【II②】を理想的な更新年数【II①】で除して、以下の通り、超過度【II③】の大きさに応じて以下のように配点する。

1 以下	→	1 点
1 以上 3 未満	→	2 点
3 以上 5 未満	→	4 点
5 以上 7 未満	→	6 点
7 以上 9 未満	→	8 点
9 以上	→	10 点

この数値が、後述する(4)補修課題の危険度【IV】で評価される経年化の度合い【IV③】の値として入力される。

経年化の度合いは、補修課題により故障する可能性に対するリスク増加係数的な意味合いを持つ。

設備やその部品の仕様に明確な更新年数が定まっていない場合は、これまでの更新実績や類似の設備の保守経験、定期点検等の結果を拠り所として保守的に理想的な更新年数を定める。



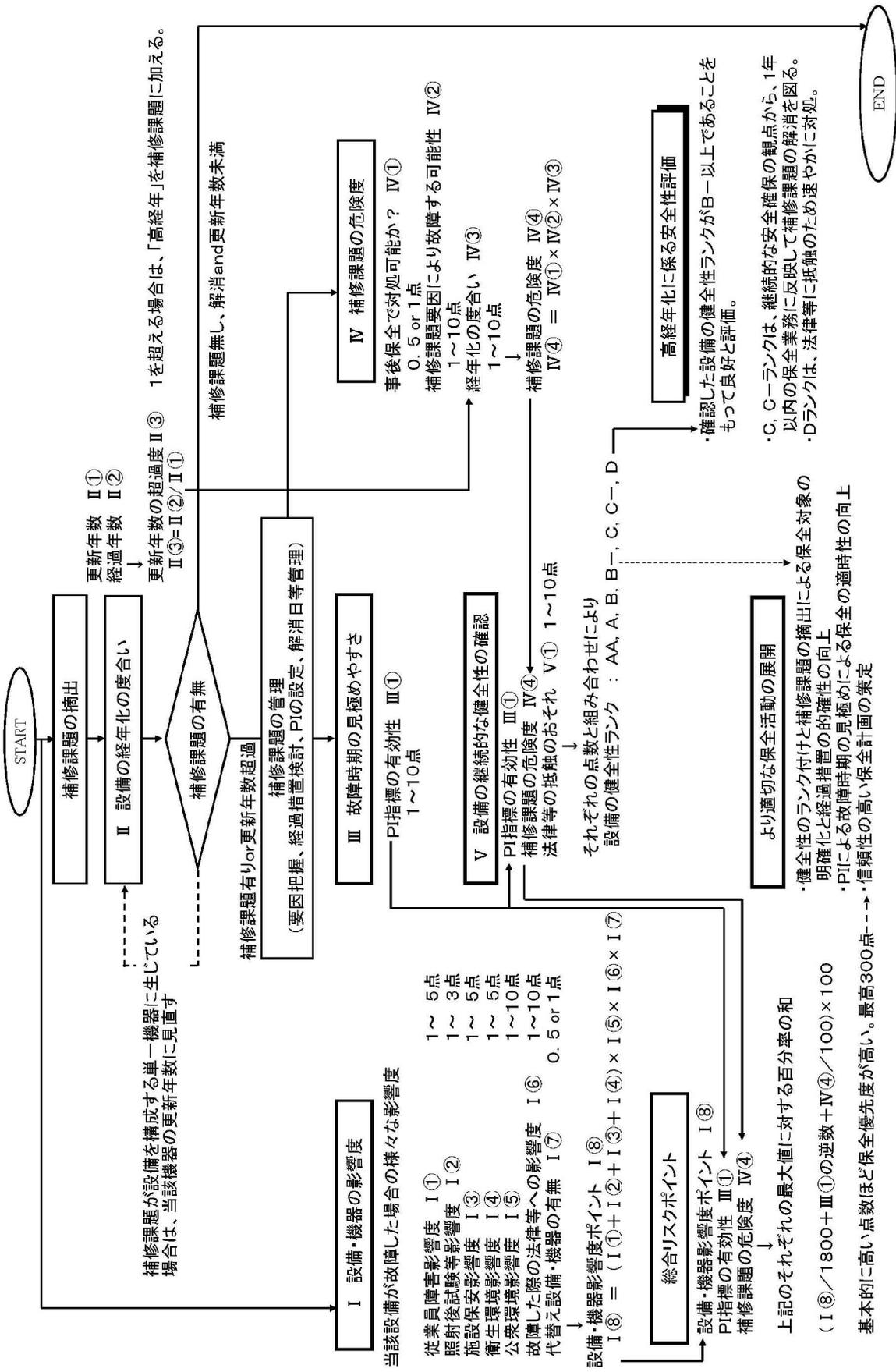


Fig.2 Flow-sheet for safety review and appropriate preventive maintenance on aging degradation

設備単位では経過年数が理想的な更新年数を数倍も超過することはまずありえないが、電源回路に使用されている電解コンデンサなど、部品単位の理想的な更新が難しいケースを想定して1以上の超過度を設定している。

### (3)故障時期の見極めやすさ【Ⅲ】とその有効性

抽出した「補修課題」に係る設備の経年劣化を把握するためPIを設定し、故障時期の見極めやすさとの観点から数値化する。PIの設定にあたっては、当該設備を熟知した運転保守要員とよく議論し、その内容と頻度を十分に吟味する。できるだけ定量的な指標とするが、困難な場合は定性的であったり感覚（五感）的な指標であっても設定を試みる。

次に、補修課題にPIの概念が適用できるか否か、設定したPIが定量的か定性（感覚）的かといった故障時期の見極めに必要な熟練度などに応じ、以下の(i)～(iv)の通り、その有効性が高い（故障時期が見極めやすい）かどうか判断し、高いほど高配点とする。【Ⅲ①】

- (i)PI指数の概念が適用不可 → 1点
- (ii)感覚的で劣化判断の難易度が高い → 4点
- (iii)感覚的であるが劣化判断が比較的容易 → 7点
- (iv)定量的で劣化の判断が容易 → 10点

### (4)補修課題の危険度【Ⅳ】

抽出した補修課題が、どのように設備の不適合となって現れるのかなどを検討し、以下に示す1)から3)の尺度の積により、補修課題の危険度【Ⅳ】を数値化する。

#### 1) 事後保全での対処可能性【Ⅳ①】

設備の故障時に複系統化によるバックアップや代替などができる場合、設備が故障しても核燃料物質の漏えいを防止するための負圧の維持などの安全確保に直接的な影響を与えない場合、同様に業務遂行上の支障となりえない場合などは事後保全可能として0.5点とし、補修課題の危険度を1/2とする。

#### 2) 補修課題が原因で故障する可能性【Ⅳ②】

補修課題の悪化が、どのように設備自体の不適合となって現れるのかを部品等の役割やシーケンスから読み解き、その設備を故障に至らしめるのか否か、どの程度の期間正常に作動し得るのかを判断する。

以下の(i)～(vi)の補修課題の拡大性（経年により当該部品等の状態や症状が悪化する度合い、及び他の部品等の不適合を誘発するおそれが高いか低い）と、補修課

題の悪化によって当該設備が故障する可能性の大小により数値化する。

- (i)可能性極小 → 1点
    - ・故障する可能性はないと判断できる。
  - (ii)可能性小 → 2点
    - ・拡大性は小さく、症状が悪化して故障する可能性も小さい。
  - (iii)可能性中低 → 4点
    - ・拡大性は中程度で、症状が悪化して故障する可能性は小さい。
- ↓
- 概ね5年以上、健全性が維持できる。
- (iv)可能性中 → 6点
    - ・拡大性は大きい、症状が悪化して故障する可能性は小さい。
    - ・拡大性は中程度で、症状が悪化して故障する可能性も中程度である。
- ↓
- 概ね3～5年程度は、健全性が維持できる。
- (v)可能性中高 → 8点
    - ・拡大性は大きく、症状が悪化して故障する可能性も大きい。
  - (vi)可能性大 → 10点
    - ・拡大性が大きく、症状が悪化したら故障する。

3年程度の健全性の維持が難しい。

### 3) 経年化の度合い【Ⅳ③】

前項の(2)機器・設備の経年化の度合い【Ⅱ】で求めた値を、Ⅳ項の③として入力する。

### (5)法律等への抵触のおそれの数値化【Ⅴ①】

補修課題が、法律や規則等に取り入れられた最新の技術的な知見のほか、関係自治体等との協定類、事業者として自ら定めた各種規定やマニュアル等も含めて抵触するおそれがあるか否かを確認する。以下の(i)～(iii)の通り、法律や協定等に抵触するおそれのある場合を最も高配点とする。

- (i)抵触無し → 1点
- (ii)各種規定やマニュアル等に抵触 → 7点
- (iii)法律や協定等に抵触 → 10点

### (6)健全性ランクの設定

設備の継続的な健全性に係るランクの設定は以下のプ

ロセスで進める。

はじめに、前項(4)補修課題の危険度【IV】の値によりA、B、Cの3つの段階に区分する。

この補修課題の危険度【IV】は、事後保全での対処可能性【IV①】、補修課題が原因で故障する可能性【IV②】及び経年化の度合い【IV③】で数値化した値の積で求める。その数値は最大で100点となり、その点数に応じて以下の意味合いを持ち、当該設備の健全性のランクに直接反映される。

- ・4点以下：Aランク  
継続的な健全性良好。補修課題の危険度は極めて低い。
- ・4点超え40点未満：Bランク  
継続的な健全性に問題なし。ただし補修課題に留意の必要あり。
- ・40点以上：Cランク  
健全性は保たれているが、補修課題に十分注視して早めに対処する必要あり。

次に、故障時期の見極めやすさ【III】に対する有効性と、法律等への抵触のおそれに係る値【V①】をそれぞれ組み合わせるA～Cのランクを、AA、A、B、B<sup>-</sup>、C、C<sup>-</sup>、Dの7ランクに区分する。

補修課題の危険度、PIの有効性及び法律等への抵触のおそれの3つの要因と設備の継続的な健全性ランクとの関係をTable2に、各健全性ランクの解釈と基本的な対処をTable3に示す。

Table2 Defined safety grades and evaluation factors

健全性ランク	補修課題の危険度	PIの有効性	法律等への抵触のおそれ
AA	補修課題なし(解消)		
A	4点以下	関連なし	抵触なし(1点)
B		適用可(4点以上)	
B <sup>-</sup>	適用不可(1点)		
C	適用可(4点以上)		
C <sup>-</sup>	40点以上	適用不可(1点)	
D	関連なし		抵触有り(7点以上)

Table3 Defined safety grade and its measures

健全性ランク	解釈と基本的な対処
AA	保全が完了し、補修課題が解消
A	継続的な健全性良好。補修課題の危険度は極めて低い。
B	継続的な健全性に問題ないが、補修課題の危険度に留意し、PIに応じた保全を要する。
B <sup>-</sup>	継続的な健全性に問題ないが、故障時期の見極めが困難なため、補修課題の危険度に留意し、適切な保全を要する。
C	健全性は保たれているが、補修課題の危険度に十分注視し、PIに応じた早めの保全を要する。
C <sup>-</sup>	健全性は保たれているが、故障時期の見極めが困難なため、早急に保全を要する。
D	コンプライアンス上、速やかな保全及び必要な通報連絡を要する。

### (7)高経年化に係る安全性評価

上記の結果から評価される核燃料使用施設の高経年化に係る安全性のランクとして、Bランク(B<sup>-</sup>以上)までは、緊急の対処が不要な項目として認識する。

C又はC<sup>-</sup>ランクの設備は、評価時点では故障等の問題が発生している状態ではない。しかしながら、安全確保の観点から、評価時点から速やかに補修課題解消のための施策(改修計画、予算措置、人員確保等)を講じる案件とする。

Dについては、法律等への抵触が疑われる事象であれば速やかな通報連絡を、また設備上の問題であれば可及的速やかな補修等の対処が必要である。

### 3.2 総合リスクポイントと保全順位

総合リスクポイントとは、評価対象部品・設備の健全性ランク確認のために求めたポイントに対して、設備故障による従業員や公衆影響度を求めてそれを加味することによって得られる。

この総合リスクポイントは、3.1項で示した健全性ランクが同じであっても、ポイントの高い方が危険度に対する裕度が少ないことを意味するため、予防保全活動の際、処理優先度の設定に役立つ指標となる。

以下にその算出方法を述べる。

前項で数値化した設備機器影響度と安全性の評価で数値化したリスク因子の危険度等を合わせて総合的なリスクポイントを算出する。

#### (1)設備・機器の影響度【I】

ここでは、評価対象部品・設備が万一故障した場合に

起こる、従業員への障害や公衆環境等への影響度を設定し、それぞれ(i)～(vii)を数値化し、(1)式により設備・機器影響度ポイント【I⑧】を求める。

(i)従業員障害影響度【I①】・・・・・・・・・・ a

従業員が障害を被る可能性。

- ・可能性小 → 1点
- ・可能性中 → 3点
- ・可能性大 → 5点

(ii)照射後試験影響度【I②】・・・・・・・・・・ b

照射後試験等、施設の設備・機器を用いた行為に影響を与える可能性。

- ・可能性小 → 1点
- ・可能性中 → 2点
- ・可能性大 → 3点

(iii)施設保安影響度【I③】・・・・・・・・・・ c

施設の安全運転に影響を与える可能性。

- ・配点は、(i)と同じ。

(iv)衛生環境影響度【I④】・・・・・・・・・・ d

作業場所の労働衛生上の環境に影響を与える可能性。

- ・配点は、(i)と同じ。

(v)公衆環境影響度【I⑤】・・・・・・・・・・ e

設備の故障により施設内の放射性物質が大気中に拡散し、公衆が有意な被ばくをする可能性。

- ・可能性極小 → 1点
- ・可能性小 → 4点
- ・可能性中 → 7点
- ・可能性大 → 10点

(vi)故障した際の法律等への抵触度【I⑥】

・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ f

当該設備が故障した際の法律等への抵触の度合い。

- ・抵触なし → 1点
- ・事業者が自ら定めた規則に抵触 → 7点
- ・法律や協定等に抵触 → 10点

(vii)代替の有無【I⑦】・・・・・・・・・・ g

当該設備の代替設備の有無。

- ・代替の設備・機器あり → 0.5点
- ・代替機器なし → 1点

$$\text{設備・機器影響度} = (a+b+c+d) \times e \times f \times g$$

・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ (1)

設備機器影響度ポイントの算出において、aからdの従

業員障害影響度等については和であるが、e、f、gの公衆環境影響度や故障した際の法律等への抵触度等は積として、重要視している。また、影響度の重み付けを考慮し、最大点数に差を設けている。最大で1800点となる。

## (2)総合リスクポイント

前項(1)で数値化した設備機器影響度ポイントと安全性の評価で数値化したリスク因子の危険度等を合わせて、式(2)により総合リスクポイントを算出する。

$$\text{総合リスクポイント} = (I⑧/1800 + 1/III① + IV/100) \times 100 \dots \dots \dots (2)$$

ここで、

設備機器影響度ポイント【I⑧】

PIの有効性【III①】

補修課題の危険度【IV】

総合リスクポイントは、PIの有効性が低く(すなわち故障時期が見極め難く)、補修課題の危険度が高いほど点数が高くなり、最大で300点となる。

## 4. 保全活動への展開

本章では、独自に開発した安全性評価手法に基づいて、施設保全活動への展開方法、燃材部における運用実績、運用にかかる課題等について考察する。

### (1)保全順位と保全計画の策定

保全順位は、数値化した総合リスクポイント等を抛り所として決定する。これにより保全順位の信頼性が向上し、安全性評価結果を反映したより適切な保全活動の展開が可能となる。

基本的な保全計画は、まず総合リスクポイントに準じて策定する。燃材部では、5年先までの高経年化対策中期計画をこの総合リスクポイントに基づいて毎年度見直しを図り、効果的な予算要求を行っている。しかしながら、現状の総合リスクポイントには、次のような課題がある。

- ・総合リスクポイントの大小と健全性ランクの高低が一致しないケースがある。
- ・同点の場合、優先度を判断しかねる。

よって、保全順位を決定するための最初のソートを健全性ランク(D>C>B>A)とし、次に同じ健全性ランク内における優先度を総合リスクポイントにより順位付

けするという方法を設定した。

総合リスクポイントを算出する際に用いる設備・機器影響度、補修課題の危険性及びPIの有効性の重み付けに考慮した計算方式の最適化は、運用に応じて順次見直し、改訂していくこととする。

## (2) PI の活用と効果

補修課題毎に設定したPIは、継続的な評価が必要である。PIの監視頻度は、日常的なものから年次的なものまで幅広く設定され、性能劣化が緩やかに進行するケースもあるため、設備を熟知した運転保守要員の見解を得ながら年に1回程度の間隔で定期的に傾向評価し、所掌部署が異なる設備のPIのデータも含めて核燃料使用施設の管理者のもとで一元管理することとした。また、傾向評価の結果は、関係部署に配布して情報の共有化を図る必要がある。

一方、急激な性能劣化にも留意する必要がある。この場合は、日常の点検や使用中に発見される場合が多いことから、PI監視の重要性を運転保守要員の一人ひとりに十分に周知し、変化が生じた際に速やかに報告が上がり対処できるようにする仕組みの構築が望まれる。

本件では、このようにPIを活用することで、高経年化した設備の継続的、かつ横断的な性能劣化の監視を可能とし、故障時期を見極めることで予防保全の適時性が向上することを明らかにし、それを具体的な手法に組み入れることができた。さらに、PIは、設備の設計要件や部品構成、不適合の検知法や発見法などを熟知した運転保守要員の意見を尊重し、関係者で良く議論して監視項目とその頻度を定めるため、PIの設定、監視及び傾向評価のプロセスにおいて、熟練者から次の世代を担う者への各設備固有の技術技能の伝承といった副次的な人材育成効果も得られることがわかった。

## (3)安全性評価の適用結果

ここで開発した安全性評価手法を用いて、燃材部で実施した平成23年度の実績を述べる。

平成23年度は、FMFで72、AGFで76、MMFで158、PFRFで87の合計393の設備の継続的な健全性を確認した。それぞれの施設の設備の健全性ランクの割合をTable4に示す。

Table4 Current status by safety review for each hot cell

健全性ランク	FMF	AGF	MMF	PFRF
AA	11.1	23.7	48.7	32.2
A	44.4	1.3	16.5	17.2
B	44.4	73.7	33.5	50.6
B <sup>-</sup>	0.0	1.3	1.3	0.0
C	0.0	0.0	0.0	0.0
C <sup>-</sup>	0.0	0.0	0.0	0.0
D	0.0	0.0	0.0	0.0

いずれの施設もB<sup>-</sup>ランク以上であり、高経年化に係る安全性は良好であると評価された。

## (4)安全性評価に基づく保全活動の実際と効果

前述したように、燃材部における平成23年度の評価結果ではCランクの該当事例はなかった。しかし、当該年度においてBランク以上の該当案件に対し、主に総合リスクポイントに基づき、燃材部全施設合計で34の補修課題を解消した。本取り組みを始めてから累計で191の補修課題について解消し、継続的な予防保全に寄与している。

## (5)本研究による高経年化対応の効果

平成22年度と平成23年度の各施設を集計した健全性ランクの割合を対比してFig.3に示す。

平成23年度は、補修課題が解消されたことにより前年度に比べBランクが3%少なくなり、その分AAランクが増えており、高経年化に対応した適切な保全活動の効果が認められるとともに、この評価手法が有効に機能していることが確認できた。

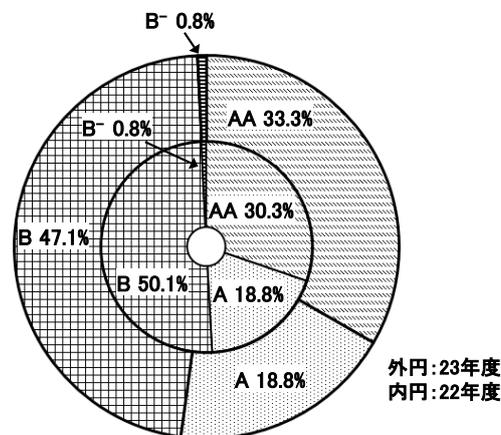


Fig.3 Modification of safety grade from 2010 to 2011

## 5. まとめ

核燃料使用施設を有する燃材部では、安全に対する脅威に対処し、安全運転への信頼性向上をめざして、施設の実情に合致した高経年化対策のための安全性評価手法を開発した。本手法は、管理を要する部品や設備の経年劣化に起因する様々な事象について、経験に基づく判断基準を含めすべて数値化し、またランク付けを行った点に特徴がある。その安全性評価手法は、

- ①高経年化対策の観点からリスクとなる因子とそれを除去するための補修課題を抽出し、
  - ②数値化によって補修課題に対する危険度等を示し、ランク付けすることによって、一定の客観性をもって容易に核燃料使用施設の安全性評価を実現した。
  - ③保全順位の信頼性を高める総合リスクポイントの算出と、
  - ④補修課題の1つひとつに設定したPIによる性能劣化の監視により、予防保全の適時性と的確性が向上した。
- すなわち、総合リスクポイントや健全性ランクに基づき対処案件及び順位を設定し、予算計画への反映、施設保全計画への組み込みを容易にした。事後保全と予防保全を的確に区別し、また施設整備予算の効果的な運用にもつながっている。

本評価手法は燃材部において継続的に運用され、運用

を開始して以来、191の補修課題について予防保全を行っており、施設の安全運転実績を積み重ねている。

本手法は、簡便性及び利便性を兼ね備え、運転保守要員の育成、技術技能の伝承にも役立てることが可能であり、他施設への適用も可能である。また、本手法は高経年化が進行していない比較的新しい設備の定期点検等で抽出された課題についても評価可能であり、必要に応じた予算措置を行うなど、適切にPDCAを回すことで補修課題の改善を行っていく。

今後も本取り組みを継続するとともに、実績を積み重ねながら評価手法そのものについて随時評価により必要に応じた改訂を進め、安全確保に努めていく。

## 参考文献

- [1] 通商産業省：“原子力発電所の定期安全レビューについて” 4資公部第281号、1992年6月22日
- [2] (財)日本科学技術連盟：“信頼性技法実践講座 FMEA・FTAテキスト”，2000年度版
- [3] 厚生労働省：“化学プラントにかかるセーフティ・アセスメントに関する指針” 基発第149号、2000年3月21日

(平成25年3月21日)