

# 非破壊評価の観点から見た 原子力発電所機器の疲労割れ管理方法に関する考察

Consideration on How to Manage Fatigue Cracking in Nuclear Power Plants  
from the viewpoint of Non-destructive Evaluation

東北大学 流体科学研究所  
東北大学 流体科学研究所

青木 孝行 Takayuki AOKI  
高木 敏行 Toshiyuki TAKAGI

Member  
Member

System safety is considered to secure safety in a comprehensive manner as an entire plant by multiple elements serving an entire plant for a common purpose of safety and an interdependent relationship among elements. Under this concept, we considered how the scheme of fatigue crack management in nuclear power plants should be and also considered the problems to be solved to establish the effective and efficient management system.

**Keywords:** Nuclear Power Plant, Plant Safety, Fatigue, Evaluation, Inspection, Monitoring, POD, Inspection Effectiveness

## 1. 緒言

「システム安全」とは、安全確保という共通の目的に奉仕する複数の要素と、要素間の相互依存関係により、リスク（安全設備の機能喪失）を極力低減し、プラント全体として総合的に安全を確保すること、とされている<sup>1)</sup>である。このような考え方に立ち、設備の劣化管理を行えば、従来に増して原子力発電所の安全性を向上させることが期待できる。

原子力発電所は多くの系統、機器から成っており、疲労割れが発生する可能性のある部位は広範囲に分散して存在する。また、疲労割れには高サイクル疲労（機械疲労、熱疲労）、低サイクル疲労およびその組み合わせがあり、その形態は一様ではない。本研究では、原子力発電所のシステム安全の観点から効率的・効果的な疲労割れ管理のあり方について検討する。

## 2. 経年劣化の管理方法

### 2.1 経年劣化管理の概要

一般に原子力発電所のような大規模複雑プラントシステムは、複数の系統から構成されており、その系統は機械、電気、制御、土木建築の4つの設備あるいは機器で構成されている。また、プラントはそれを構成する各系統が機能して初めて所期の機能を発揮し、各系統はそ

れを構成する設備あるいは機器が機能して初めて機能を事は系統や機器の機能を維持することであり、必ずしも個々の設備・機器の経年劣化を管理することではない。したがって、個々の設備・機器の経年劣化を管理するも、その管理は系統の機能あるいは機器の機能を維持するための管理であることが効率的、効果的であり、重要である。(Fig.1)

したがって、プラントを管理する場合、系統および機器の単位で経年劣化管理プログラム（AMP: Ageing Management Program）を確立し、それらの機能を維持することに注力するのが通常である。ただし、便宜的に経年劣化事象毎に管理する場合もある。

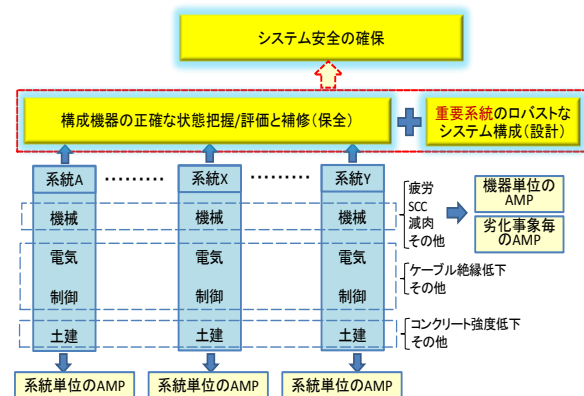


Fig.1 Plant Configuration and Ageing Degradation Management

### 2.2 経年劣化の解析評価と検査の関係

機器の健全性（機器の機能を維持できるか否か）は、

連絡先:青木孝行、〒980-8577 仙台市青葉区片平 2-2-1、  
東北大学 流体科学研究所、  
E-mail: aoki@wert.ifs.tohoku.ac.jp

検査（モニタリングも含む。以下同様。）を実施するだけでは判定できない。機器の状態を把握するために検査を実施した上で、その結果を解析評価技術に入力してその後の状態を評価することによって初めて機能が維持されるか否か判定できる（Fig.2）。このように、機器の健全性を評価・判定するには、検査技術と解析評価技術の両方が必要であり、いずれを欠いても評価・判定できない。言い換えると、両技術の組合せは機器の機能が維持されるか否かを評価、判定するのに必要不可欠であり、これら両技術が無いと機器の健全性を証明できない、あるいは機器の健全性に確信を持ってない、とすることができる。

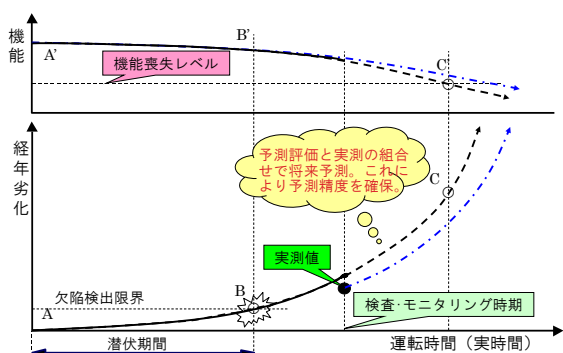


Fig.2 Relationship between Evaluation and Inspection

## 2.2 効率的・効果的な経年劣化評価方法

疲労割れ管理はシステム安全を確保するための1つの重要な要素である。その重要な要素である疲労割れ管理は、これまた複数の要素から成っている。ロバスト性が高く、合理的な疲労割れ管理方法を確認するには、これら複数の要素の特性を十分に理解した上で、総合的に安全を確保できるシステムを構築する必要がある。それには、まず、対象であるシステム全体の状態を俯瞰的に把握し、詳細把握すべき箇所（弱点）を明確にすることが重要である。その上で詳細把握すべき箇所の状態を正確に把握することが必要である。これを実現する手段として、システム全体の状況を効率的、効果的に把握するための解析評価技術と検査技術が、また、詳細把握すべき箇所の状態を正確に把握するための解析評価技術と検査技術が必要である。（Fig.3）

## 3. 疲労割れ現象とその管理方法

### 3.1 注目すべき疲労割れ現象

疲労割れ現象には、機械振動や熱変動による高サイクル疲労、プラントの起動停止等に伴う低サイクル疲労があることが知られている。我国の原子力発電所の疲労による損傷事例を見ると、下記のケースが大部分を占めて

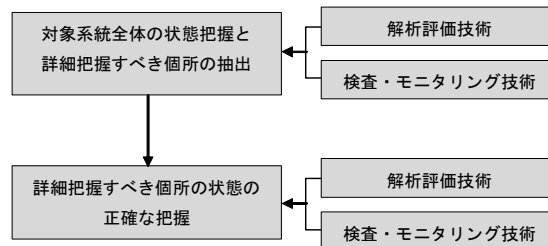


Fig.3 Efficient and Effective Management of Ageing Degradation

いる<sup>[2]</sup>。

- ・小口径配管の機械振動による高サイクル疲労割れ
- ・冷却材の温度変動による高サイクル熱疲労割れ
- ・冷却材の温度変動による高サイクル熱疲労割れに、プラントの起動停止等による低サイクル疲労が重畳したものの

### 3.2 疲労割れの効率的・効果的な管理方法

前項の疲労割れケースを効率的・効果的に評価し、管理する方法として下記が考えられる。

- (1) 小口径配管の機械振動による高サイクル疲労割れ本疲労割れを管理する方法として下記が考えられる。

#### ①対象システム全体の状態把握

- ・まず、対象システム全体の把握のため、配管系の振動解析を行い、固有モード（固有振動数と変形モード）を把握する。
- ・その上で、各固有モードの振動を把握しやすい箇所に振動計を設置し、運転中のベースラインの振動データを採取する。この時、定格運転時のみでなく、起動停止などの過渡条件時もすべてデータ採取する。
- ・当該配管系の実測振動データを振動解析コードに入力し、当該配管系の応答を解析・評価した結果から疲労割れ感受性の高い小口径配管を抽出する。

#### ②疲労割れ感受性の高い小口径管の詳細把握

- ・必要に応じ、当該小口径配管の振動解析を行い、固有モード（固有振動数と変形モード）を把握する。
- ・当該小口径配管の固有振動数を実測する。
- ・小口径配管の固有振動数実測値と振動解析結果を比較し、必要に応じて振動解析モデルを調整し、再評価を行う。
- ・上記評価を踏まえて、小口径管のサポート部の検査（摩耗の有無等）を計画的に行う。

- (2) 冷却材の温度変動による高サイクル熱疲労割れ本疲労割れを管理する方法として下記が考えられる。

#### ①対象システム全体の状態把握

- ・まず、対象システム全体の把握のため、高低温の冷却材が混合する部位を解析あるいはエキスパート等により抽出する。
- ・必要に応じて、対象システム全体の温度変動を実測し、有意な温度変動のあることを確認する。
- ・その上で、温度実測値を評価して疲労割れ感受性の高い温度変動箇所を抽出する。

#### ②疲労割れ感受性の高い温度変動箇所の詳細把握

- ・疲労割れ感受性の高い温度変動箇所の熱流動解析、疲労解析、疲労割れ進展解析等を行い、当該箇所の疲労特性を把握する。
- ・必要に応じて疲労割れ感受性の高い温度変動箇所の詳細な温度測定を実施する。
- ・疲労割れ感受性の高い温度変動箇所の詳細な温度測定結果と解析結果を比較し、必要に応じて解析モデルを調整し、再評価を行う。
- ・上記評価を踏まえて、疲労割れ感受性の高い温度変動箇所の詳細検査を計画的に行う。

- (3) 冷却材の温度変動による高サイクル熱疲労割れに、プラントの起動停止等による低サイクル疲労が重畳したもの
- ・基本的に前項(2)と同じである。

### 4. 今後の課題

原子力発電所のシステム安全の観点から効率的・効果的な疲労割れ管理のスキームを構築するためには、下記の課題があると、考えられる。

#### (1) 検査に関する課題 (Fig.4)

- ・広域検査・連続モニタリング技術の有無調査
- ・局部連続モニタリング技術の有無調査
- ・局部検査技術の検査精度（限界）の明確化
- ・局部検査技術の信頼性の明確化（POD、検査有効度）

#### (2) 解析評価に関する課題 (Fig.4)

- ・広域解析手法の有無調査
- ・広域解析手法の精度調査
- ・局部解析手法の有無調査
- ・局部解析手法の精度調査

#### (3) 保全指標に関する課題

- ・解析評価/検査の信頼性と疲労状態掌握度の関係
- ・疲労状態掌握度と保全指標の関係

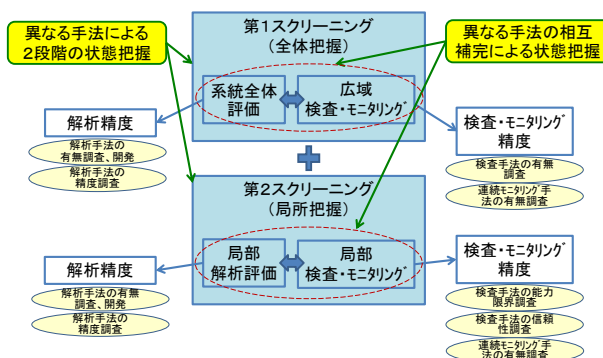


Fig.4 Problems to be solved for the efficient and effective fatigue management

### 5. 緒言

システム安全の観点から原子力発電所の効率的・効果的な疲労割れ管理のあり方について検討した。また、今後の課題について検討した。

### 参考文献

- [1] MRI 株式会社三菱総合研究所: “平成 24 年度高経年化技術評価高度化事業 成果報告書<第 1 分冊>”, 平成 25 年 3 月, pp.2-21~2-22
- [2] MRI 株式会社三菱総合研究所: “平成 24 年度高経年化技術評価高度化事業 成果報告書<第 2 分冊>”, 平成 25 年 3 月, pp.2-873~2-904