

バッフルフォーマボルトの保全技術向上に向けた取り組み

Improvement activities for the maintenance of Baffle Former Bolts

三菱重工業株式会社	小村 聡	Akira KOMURA	
三菱重工業株式会社	松原 亨	Toru MATSUBARA	
関西電力株式会社	中野 守人	Morihiro NAKANO	Member
一般社団法人原子力安全推進協会	関 弘明	Hiroaki SEKI	

Baffle Former Bolts (BFBs) in PWR nuclear plant have the possibility to be cracked due to Irradiation Assisted Stress Corrosion Cracking (IASCC). The maintenance guideline for BFBs had been established from Thermal and Nuclear Power Engineering Society in 2000, and BFBs have been maintained in accordance with this maintenance rules.

Recently, the new edition of this guideline has been published in order to reflect latest IASCC data and more precise stress evaluation of BFB into maintenance rules. The summary of the revised contents and these improvement activities are introduced in this paper.

Keywords: Baffle Former Bolt, IASCC, maintenance, guideline

1. 緒言

加圧水型原子力発電所 (PWR) の炉内構造物にあるバッフルフォーマボルト (BFB) は、Fig.1 に示すようにバッフル板とフォーマ板を固定する呼び径約 16mm のオーステナイトステンレス鋼製のボルトである。BFB は燃料集合体と隣り合う位置にあることから高い中性子照射を受け、またボルト首下の応力集中部に高応力が生じるため、照射誘起型応力腐食割れ (IASCC) 発生の可能性が高い部位である。海外では 1988 年のフランス Bugey 2 号機等、BFB の IASCC による割れが報告されている。BFB は 1 プラント当たり約 600~1,100 本存在しており、数本のボルトが損傷しても直ちに機能上問題とならないため、国内では BFB の IASCC に対して、適切かつ合理的に保全するための方針を示すものとして、平成 12 年 12 月に火力原子力発電技術協会から「炉内構造物点検評価ガイドライン」が発行され、運用されてきた。

第 1 版の発行以降、JNES 事業により IASCC の試験データが拡充されており、さらに BFB の応力評価手法の精緻化等、新しい知見や手法を取り入れて、今回ガイドラインの見直しが図られ、原子力安全推進協会からガイドライン第 2 版が発行された。ここでは、このガイドラインの見直しにおける、BFB の保全技術向上に向けた取り組みについて紹介する。

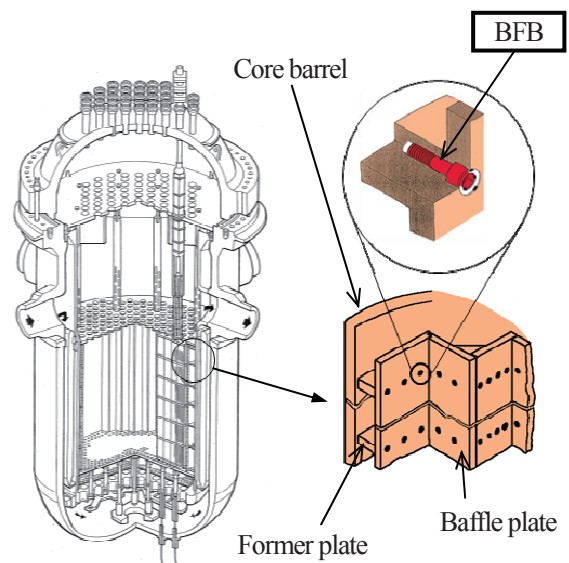
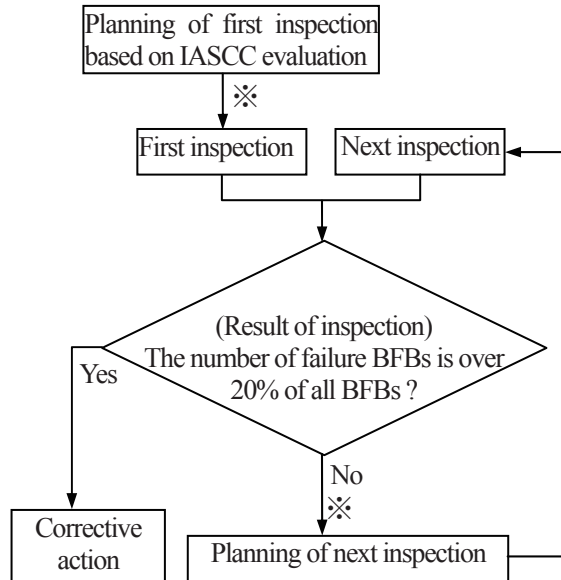


Fig.1 Core Internal and BFBs

小村 聡 〒652-8585 兵庫県神戸市兵庫区和田崎町一丁目 1 番 1 号、三菱重工業(株)原子力事業部機器設計部 炉内構造物設計課 E-mail:akira_komura@mhi.co.jp

2. ガイドライン第1版の概要

ガイドラインはBFBに要求される機能が維持できるように合理的な点検・評価の方法を示している。ガイドラインに基づいたBFBの点検・評価のフローをFig.2に示す。



※ Preventive maintenance may be applied before the inspection

Fig.2 Flow of inspection and evaluation

BFBの応力は照射効果により運転時間と共に複雑に変動すると考えられており、FEM解析で応力履歴を算出し、これとIASCC発生条件を基にIASCCが発生する時間を予測している。IASCC損傷評価の結果、損傷本数が全数の20%と評価される時期に初回点検を実施する。また、点検を実施した結果、BFBの損傷本数が全数の20%未満であれば、次回点検時期を設定して運転を継続できるが、損傷本数が全数の20%以上であれば、ボルト取替等の是正処置を求めている。

3. ガイドライン第2版での見直し内容

第1版が発行されて約13年が経過し、新しい知見や手法が確立しており、今回これらを取り込んだ改訂案が検討され、ガイドライン検討会で審議を受けた。BFB保全ルール策定の構成をFig.3に示す。IASCCの知見とBFBの応力評価結果を基に、BFBにIASCCが発生する時間を求め、これとBFBの許容損傷本数を基に保全策を策定している。Fig.3の3.1~3.5の項目を経て保全方針が策定されており、今回各項目で見直しを行っている。それぞれの内容を以降に示す。

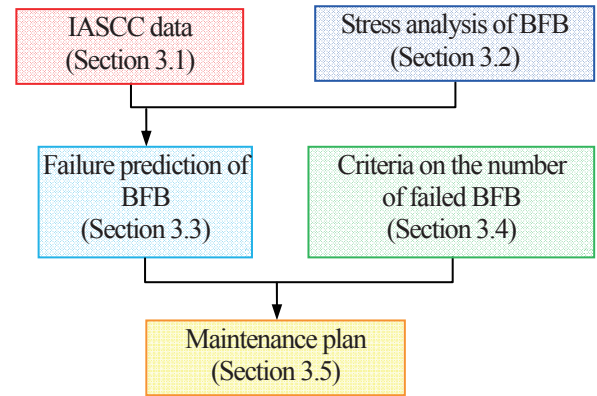
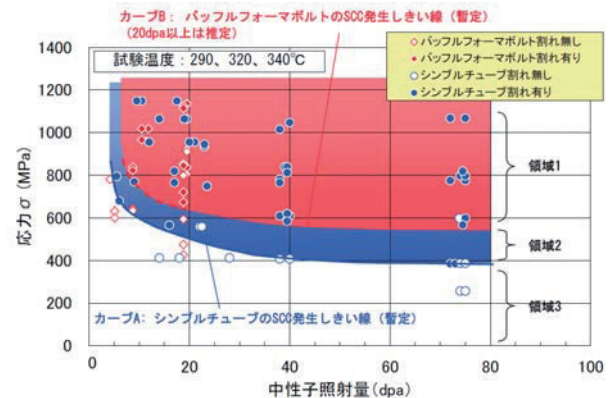


Fig.3 Flow of the making maintenance plan

3.1 IASCC 知見 (IASCC data)

平成12~20年度にJNES「照射誘起型応力腐食割れ (IASCC) 評価技術」事業にて、最大約70dpaの照射材を用いた定荷重SCC試験が行われており、その結果をFig.4に示す。ここでは、30dpa以上の高照射域では比較的応力でも損傷する試験結果が得られている。また、割れが発生する可能性のある領域が照射量と応力で整理されており、ガイドライン第2版ではこれを基にIASCC損傷評価を実施することとしている。



出典：独立行政法人 原子力安全基盤機構 平成20年度照射誘起型応力腐食割れ (IASCC) 評価技術に関する報告書

Fig.4 IASCC threshold curve

3.2 BFBの応力評価 (Stress analysis of BFB)

計算機の発達に伴い、BFBの応力評価手法をより高精度で評価できるようになった。Fig.5に示す3次元ソリッドモデルを用い、中性子照射によるスウェリングや照射下クリープの効果をサブルーチンとして組込むことで熱変形と同時にバッフル構造の照射変形の影響も考慮したFEM構造変形解析を実施している。また、バッフル構造全体のグローバルモデル、ボルト周辺のみローカルモデルの2つを用いてデータを受け渡すことによって、精

緻に応力を算出するブーミング手法を採用している。データ受け渡しのイメージを Fig.6 に示す。ボルト周辺の詳細モデルでは弾塑性解析を行い、照射による応力ひずみ線図の変化や塑性域も考慮したものとなっている。

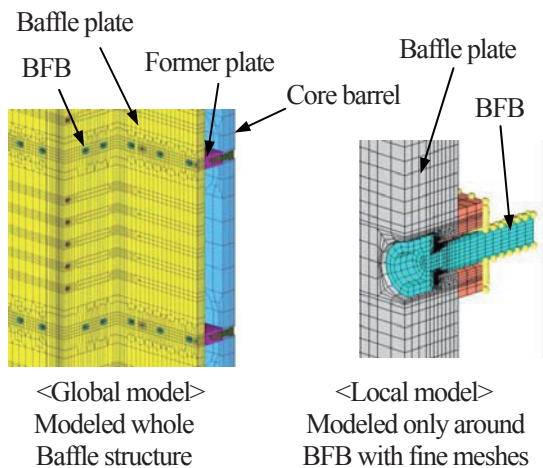


Fig.5 Stress analysis model

[Global model]

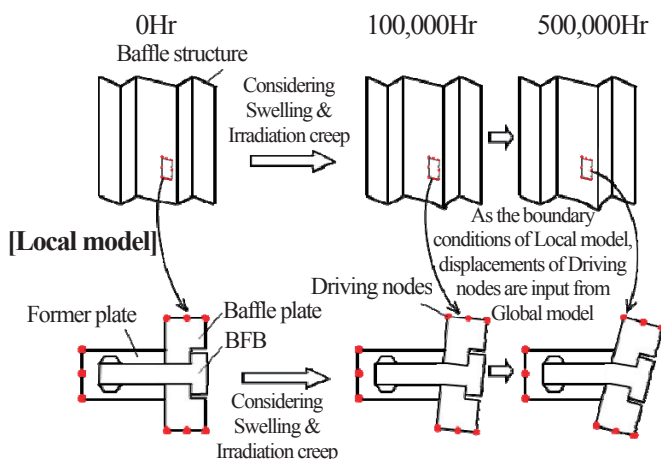


Fig.6 Image of data handling

3.3 BFBの損傷予測 (Failure prediction of BFB)

JNES「照射誘起型応力腐食割れ (IASCC) 評価技術」事業にて、Fig.7に示す「しきい値モデル」に基づくIASCC損傷評価手法が評価ガイドとして提案されており、ガイドライン第2版ではこの手法を取り入れている。これは、解析によって求めたBFBの応力履歴がIASCCによる割れ発生しきい応力線図を超えた時点をも損傷時間とする考え方である。3.2節で得たBFBの応力履歴を3.1節のIASCCによる割れ発生しきい応力線図に重ね合わせることで、損傷時間が求められる。

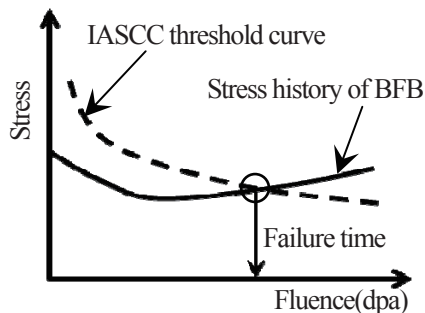


Fig.7 Concept of IASCC failure prediction

3.4 BFBの許容損傷本数 (Criteria on the number of failed BFB)

BFBの大多数が損傷する状態において、地震やLOCAが発生したとしても、炉内構造物が有する安全上重要な機能である「炉心支持及び位置決め」、「制御棒挿入性の確保」、「冷却水流路の維持及び流量適正配分」が維持できることを確認している。第2版では、近年の地震条件の見直しを反映して再評価し、Fig.8のように約70%のBFBが損傷した場合でも、上記の炉内構造物が有する安全上重要な機能が維持できることを確認している。

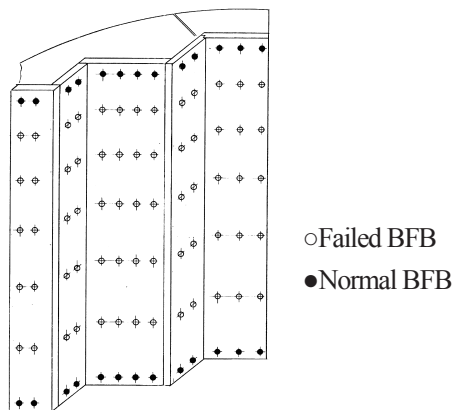


Fig.8 Assumption pattern of failed BFB for the functional evaluation

3.5 保全策 (Maintenance plan)

3.4節で得たBFBの許容損傷本数約70%に対し、管理する上での余裕を見込んだ損傷本数20%を管理上のクライテリアとして設定している。Fig.9に示すようにIASCC損傷評価による累積損傷本数が20%に達すると評価される時期に初回点検を実施する。初回点検時期の考え方自体は第1版と同じであるが、2回目以降の点検時期は、Fig.10に示す通り点検の直後から累積損傷本数のグラフと沿う直線の傾きでBFBが損傷し続けると仮定し、点検した時点からこの傾きの直線が損傷本数20%に達するまでの期間を点検周期としている。

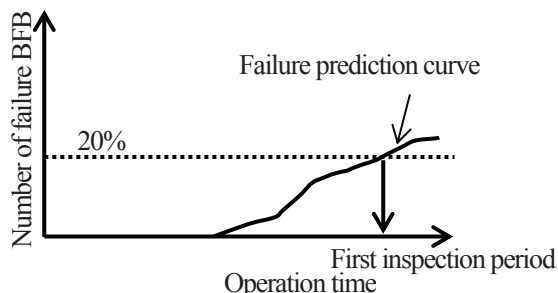


Fig.9 First inspection period of BFB

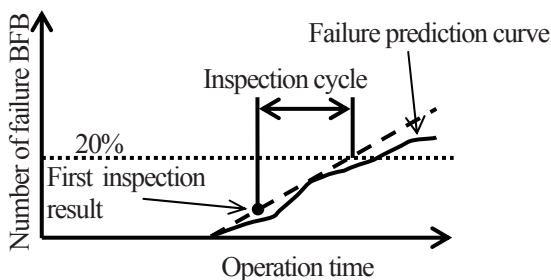


Fig.10 Inspection cycle of BFB

3.1～3.5 節に示すように、第 2 版では最新知見や評価手法の精緻化等を取り入れて見直しを図っており、プラントの安全・安定運転を維持した上で、BFB の合理的な点検・評価の方法を示すものとなっている。

3.6. 改善活動

第 2 版では必要とされる点検や予防保全措置等を着実に計画・実施していくとともに、実施された点検や評価、IASCC に関する新知見を適切に管理し、次回の点検や予防保全措置の計画に適切に反映していく取り組みについても触れられている。ガイドラインで示されている内容は Fig.11 の点線の中の PDCA サイクルであるが、今後得られる国内外の運転経験や各種研究成果などの最新知見をガイドラインに適時反映し、保全ルール自体にも新知見を反映・改善していくことがプラントの安全を維持するために、極めて重要である。

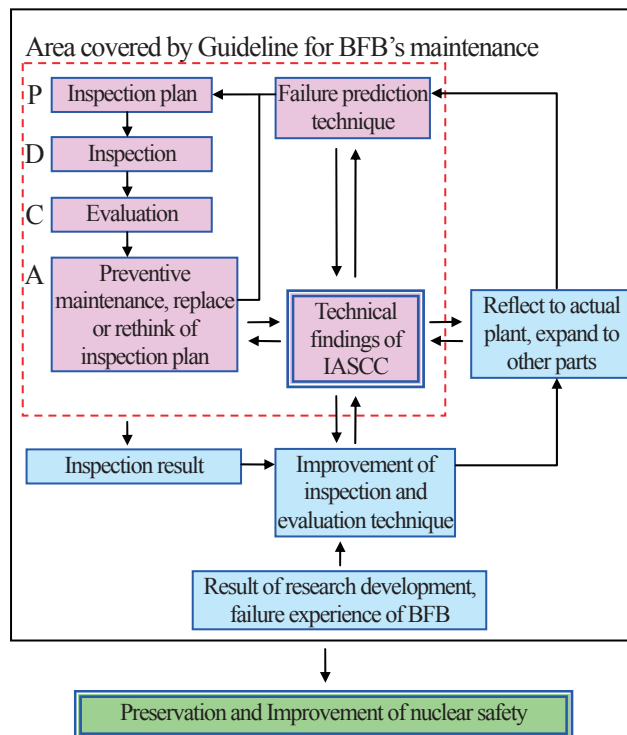


Fig.11 PDCA cycle for BFB maintenance improvement

4. 結言

BFB の IASCC に対する保全方針を示した炉内構造物点検評価ガイドラインは、IASCC 知見の拡充や、BFB の応力評価手法の精緻化等を取り込むために見直しが図られ、改訂第 2 版が発行された。ここでは、プラントの安全・安定運転を維持した上で、BFB の合理的な点検・評価の方法が示されている。このように、常に最新知見を取り入れ、改善していくことが保全活動の向上に繋がっており、今後もこの取り組みを継続していくこととする。

謝辞

BFB の保全策について協議頂きました電力会社の皆様、またガイドライン検討会においてご審議頂きました委員の皆様には感謝いたします。

参考文献

- [1] 一般社団法人 原子力安全推進協会 PWR 炉内構造物点検評価ガイドライン[バッフルフォーマボルト] (第 2 版)
- [2] 独立行政法人 原子力安全基盤機構 平成 20 年度照射誘起型応力腐食割れ (IASCC) 評価技術に関する報告書