

AMP 138 原子炉冷却材ポンプ (2020 年版)

プログラムの概要

一部の事業者 (WWER、CANDU など) の AMP 開発へのアプローチは、個々の劣化メカニズムではなく、部品 (RCP、RPV、SG、加圧器など) に焦点を当てている。これらの “umbrella” 型プログラムは、特定の部品に関連するすべての劣化メカニズムを理解し、経年劣化を管理するために必要なすべての活動を記述することに基づいている。このようなアプローチの主な利点は、部品の全体的な状態に関する知識である。

この経年劣化管理プログラムは、原子炉冷却材ポンプ (RCP) の部品特有 AMP であり、RCP が受ける可能性のある複数の劣化メカニズムと、経年劣化メカニズムを管理するために必要な活動を対象としている。この AMP は、特定の劣化メカニズムや経年劣化の影響を扱う、劣化に特化した AMP やモニタリングタイプの AMP を指す。

ポンプ本体はシール部も含めて安全クラス 1、ポンプの能動的機能 (一次系水の循環) を果たす内部は安全クラス 2 であり、IAEA Safety Report No.57[1]に準拠して LTO の対象範囲に含まれる。

安全関連 SSC の能動的機能の充足は、AMP の枠組みの中でも監視されることもあり、別の能動的機能のモニタリングシステムで監視されることもある。例えば、米国では保全規則が適用され、他の加盟国では AMP の範囲外の保全有効性監視システムが適用される。

評価と技術的根拠

1. 劣化の理解に基づく経年劣化管理プログラムの範囲:

本プログラムは原子炉冷却材ポンプの経年劣化を管理する。本 AMP では、以下の経年劣化メカニズムを考慮する (表 1 及び図 1 参照)。

- 疲労
- 応力腐食割れ
- ステンレス鋼の熱時効 (必要な場合、例えば WWER 1000 など)
- 摩耗
- エロージョン
- 製造欠陥の成長 (存在する場合)
- ホウ酸腐食 (ボルトに適用)
- 全面腐食 (RCP 支持システムに適用)

疲労 (疲労の累積効果)

疲労は、運転中のシステム、構造物、部品 (SSC) の繰返し荷重によって引き起こされる。RCP の疲労の重要な箇所は、本体とフランジ継手である。

応力腐食割れ

応力腐食割れは、機械的、電気化学的、冶金的要因の相乗効果により引き起こされる複雑な

現象である。

ステンレス鋼の熱時効 (必要な場合、例えば WWER 1000 など)

熱時効は、感受性の高い CASS 材料の破壊靱性の低下と機械的性質の変化を引き起こす。

摩耗

摩耗は、摺動、圧延、押付け、流動など、2 つの運動面の接触による材料損失を特徴とする。摩耗や応力緩和による劣化は、ボルトやキーのような嵌め合わされた接合部に適用される可能性がある。

エロージョン

エロージョンは、RCP の油圧部品の肉厚に影響を及ぼす。

製造欠陥の成長

この種の経年劣化は、供用期間中検査によって管理される。

ホウ酸腐食

RCP に使用されるボルトは炭素鋼または Ni 基合金であるため、ホウ酸腐食が潜在的な劣化メカニズムである。

劣化メカニズムの可能性のある重要な箇所の例を表 1 にまとめた。

表 1. 原子炉冷却材ポンプの重要な位置と劣化メカニズムの例

場所 #	劣化メカニズム	疲労	全面腐食	ホウ酸腐食	局部腐食(含 SCC)	浸食	摩耗	与荷重の損失
	重要箇所							
1	ポンプケーシング、溶接部				+	+	+	
2	圧力カバー	+			+		+	
3	ノズル					+		
4	メインフランジのボルト接続とその位置				+		+	+
5	メインフランジ	+			+		+	+
6	駆動輪	+			+	+		
7	シーリングブロック・ケーシング部品				+			
8	支持フレームと構造		+	+				

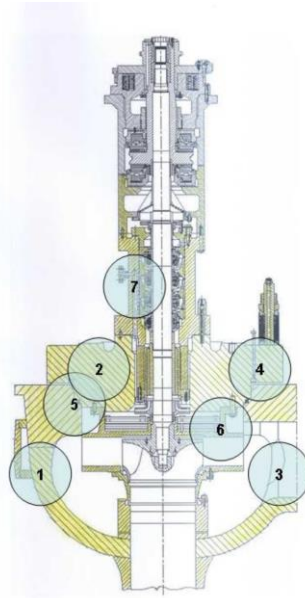


図 1. WWER-440 主循環ポンプと重要な箇所

2. 経年劣化を最小限に抑え、管理するための予防措置:

予防措置は、確立された管理によって通常運転中に実施され、水質条件が経年劣化メカニズムに及ぼすあらゆる悪影響を監視する。原子炉冷却水の水質を監視・維持するためのプログラムの記述と評価及び技術基盤は、AMP103に記載されている。

その他の予防措置は、承認されたスケジュールに準拠した定期的な保守である（一般修理、シーリングねじの締め付け検査、純粋な凝縮水配管の処理能力の検査など）。

3. 経年劣化の検出:

原子炉冷却材ポンプは、供用期間中検査プログラムの要求事項に準拠して検査・試験される。目視検査による表面亀裂検出のためのキャピラリーテスト、寸法管理、超音波検査、He バブルテストなどの非破壊検査法が使用される。さらに、加圧試験と気密性試験によって経年劣化の影響を監視する。AMP102 で実施される目視検査、表面検査、または体積検査によって、SCC または疲労による亀裂、製造欠陥の成長、肉厚測定によるエロージョン、または接続部の緩みや部品の欠落を検査することによる一般的な摩耗が検出されることが期待される。ホウ酸漏えいがボルト材料に及ぼす影響については、IGALL AMP110で対応している。疲労の累積的影響については、AMP101 が対応している。熱時効の進行は硬度測定によって示される。

原子炉冷却材ポンプの能動的な安全機能は、オンライン診断で監視することができる。

4. 経年劣化のモニタリングと傾向:

経年劣化の適時かつ信頼性の高い検出は、本 AMP の 3 節に準拠した検査・試験スケジュールの実施、信頼性の高い検査方法、及び有資格の検査要員によって実施しうる。モニタリング

と傾向分析は、本 AMP の 3 節に準拠して実施される。振動、及び／又は、歳差運動によって回転部品が摩耗する可能性があり、それが周期的な温度変化として現れることに関連して、回転の問題に関連した異常の早期発見と劣化防止のために、回転パラメータ(速度、振動)の継続的な監視が必要である。

5. 経年劣化の緩和

経年劣化を緩和するための推奨は、本 AMP と、劣化の進展の可能性について実施された分析結果に基づいている。状態監視保全(オンライン診断による推奨)も実施される。

6. 許容基準:

許容基準は、本 AMP、オンライン診断プログラム(能動的部品がある場合)及び保全手順の一部である。劣化の兆候や関連する状態は、例えば参考文献[2-6]のような関連する管理統制要件やガイダンス文書に準拠して、許容性の評価を行うことができる。検査結果及び欠陥が、関連する管理統制要件又はガイダンス文書の許容基準を超えている場合は、次の定期検査間隔の終了まで、規制当局が満足するような修理又は交換活動、又は部品の使用適合性を実証するための更なる評価が必要となる場合がある。

7. 是正措置:

満たされていない各許容基準について、解決のための手順が提示されるか、又は本 AMP に準拠して検討・具体化され、実施される。プロセスの終了時には、基準は満たされ、部品の要求された状態が回復される。部品の技術文書の要件やプラントのガイド文書に準拠した修理や交換は、可能な是正措置の一部である。場合によっては、運転体制の変更も可能である。

8. 運転経験のフィードバックと研究開発結果のフィードバック:

本 AMP は業界全体における一般的な経験を対象としている。プラント特有の関連運転経験は、プラント AMP がプラントに適切であることを確実にするために、プラント AMP の策定において考慮される。プラントはフィードバックプロセスを実施し、プラント及び業界全体の運転経験と研究開発(R&D)結果を定期的に評価し、必要に応じてプラント AMP を修正するか、または追加の措置(例えば、新たなプラント特有の AMP を策定する)を講じ、経年劣化管理の継続的な有効性を確保する。

経年劣化管理パラメータの値及び対応する分析(実施された場合)は、本 AMP に準拠して評価される。部品の運転履歴は、検査または試験サイクルごとに 1 回分析される。

いくつかの WWER NPPs(RCP タイプ:GCN-317と GCN-195)の RCP が 30 年近く運転された後、応力腐食割れに起因する亀裂が表面(特定の場所)に発生し始めた。

この亀裂は圧力フランジとガイドホイールに発生し、常に直径 840mm で発生する。熱応力解析[7]によると、ガイドホイールは材料内に高い温度勾配(内側はシール水の温度、外側は一次媒体の温度)で応力を受けている。ガイドホイールの膨張が不可能なため、応力ピークが上昇し、この応力ピークは圧力フランジにも伝達される。

ガイドホイールと圧力フランジの補正は、正確に解析された材料の除去と熱シールドの挿入によって行われる。熱シールドは、ガイドホイールの内壁とシールからの排水の間に設置され

る。この手順により、亀裂が排除され、劣化メカニズムの発生が防止されることが保証される。
この AMP が製作された時点では、関連する研究開発は確認されていない。

9. 品質管理：

AMP は、サイトの品質保証手順、レビュー及び承認プロセス、並びに管理統制に準拠して実施され、これらは、例えば参考文献[8-9]のような様々な国家の規制要件、様々な国家の基準に準拠して実施される。

References

- [1] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Safe long term operation of nuclear power plants, Safety Report Series No. 57, IAEA, Vienna, 2008.
- [2] Unified Procedure for Lifetime Assessment of Components and Piping in WWER NPPs during Operation, European Commission, COVERS – WP-D4.10, project VERLIFE, 2008.
- [3] NUCLEAR REGULATORY AUTHORITY OF THE SLOVAK REPUBLIC, Aging management of NPP, 2001National safety guide BNS1.9.2/2001, UJD-SR.
- [4] STATE OFFICE FOR NUCLEAR SAFETY OF CZECH REPUBLIC, Aging management of NPP, National safety guide BN-JB-2.1, SUJB, 2015.
- [5] Hungarian Atomic Energy Agency: Guideline 4.12. Ageing management during the operation of NPPs, April 2013.
- [6] PNAE G -7-010-89 Equipment and Piping of Nuclear Power Installations. Weld Joints and Weld. Overlays. Rules of inspection. Moscow 2000
- [7] UJV Rez, Analysis of guide wheel of RCP, DITI 2301/359, December 2013
- [8] STATE OFFICE FOR NUCLEAR SAFETY OF CZECH REPUBLIC, Decree No.132/2008 on Quality Assurance System in carrying out activities connected with utilization of nuclear energy and radiation protection, SUJB, 2008.
- [9] NUCLEAR REGULATORY AUTHORITY OF THE SLOVAK REPUBLIC, Regulation No. 431/2011 on a quality management system, 2011, UJD-SR.