

AMP 144 安全関連ポンプ(2020 年版)

プログラムの概要

一部の事業者 (例:WWER、CANDU) は、個々の劣化メカニズムではなく、部品 (原子炉冷却材配管、原子炉圧力容器、蒸気発生器、加圧器など) に焦点を当てた AMP を開発している。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の理解に基づいており、経年劣化を管理するために必要なすべての活動を記述している。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、ポンプが受ける可能性のある複数の劣化メカニズムと、そのような経年劣化メカニズムを管理するために必要な活動を網羅した、ポンプの部品特有の AMP である。この AMP は、特定の劣化メカニズムや経年劣化の影響に対応する、他の劣化に特化した AMP やモニタリングタイプの AMP を参照する。

シール部品を含む安全関連ポンプ本体は受動的な安全機能を持ち、ポンプ内部は能動的な機能 (冷却水の循環など) を果たす。安全関連ポンプの全ての安全関連部品は、参考文献[1]に準拠し運転期間中の経年劣化管理の対象に含まれる。

安全関連部品の能動的機能は、本 AMP の枠内でモニタリングしてもよいし、別の能動的機能監視システムでモニタリングしてもよい。例えば、米国では保全ルールの対象であるが、保全の有効性モニタリングシステムを導入している他の加盟国では経年劣化マネジメントレビュー (AMR) の対象外である。

このプログラムの主な目的は、安全系に分類されたポンプの経年劣化メカニズム (ARDMs) を適時的に検出し、緩和することであり、ポンプの構造健全性と適切な機能性を確実に維持することである。

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:

このプログラムは、放射状方向流れ、軸方向流れ、またはそれらの複合的方向流れのインペラを持つ遠心式水平垂直ユニットポンプを含むが、これに限定されない、遠心ポンプと容積式ポンプを含む、意図された運転期間の範囲内で安全関連設備に分類されたポンプに適用される。本 AMP では、以下の経年劣化メカニズムを考慮する:

- 全面腐食
- 応力腐食割れ
- 流れ加速型腐食
- エロージョン (キャビテーション・エロージョンを含む)
- 摩耗
- 疲労 (低・高サイクル疲労を含む)

- 予圧喪失、自己緩み
- ホウ酸腐食 (その他)

全面腐食

ポンプの全面腐食で重要な場所の例としては、ケーシング、ノズル、ボルト締結部が挙げられる。

応力腐食割れ

応力腐食割れは、機械的、電気化学的、金属学的要因の相乗作用によって引き起こされる複雑な現象である。ポンプの応力腐食割れの重要な部位の例としては、ケーシング、ノズル、ボルト締結部が挙げられる。

流れ加速型腐食

流れ加速型腐食は、影響を受けやすい材料で減肉をもたらす腐食メカニズムである。ポンプの流れ加速型腐食の重要な部位の例としては、ケーシングとノズルが挙げられる。

エロージョン

エロージョンはポンプの油圧部品の肉厚に影響する。

摩耗

摩耗は、摺動、転がり、押し付け、流れなど、2 つの動く表面の接触による材料損失によって特徴づけられる。摩耗による劣化は、回転部品や、ボルトやキーなどのはめ込み式接続部に適用できる。

疲労 (低・高サイクル疲労を含む)

疲労は、運転中のシステム、構造、部品 (SSC) の繰り返し荷重によって引き起こされる。ポンプの低サイクル疲労の重要な部位は、本体とフランジ継手である。高サイクル疲労の重要な部位は回転パーツである。

予圧喪失、自己緩み

予圧喪失による劣化は、ボルトやキーのようなはめ込み式接続部に適用される可能性がある。

ホウ酸腐食

ポンプ本体、あるいはポンプに使用されるボルトは、炭素鋼の可能性があるので、ホウ酸腐食が劣化メカニズムとして考えられる。

2. 経年劣化を最小限に抑え、管理するための予防措置:

予防措置は通常運転中に、確立された水質管理及び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ことによって実施される。原子炉冷却水の化学的狀態を監視・維持するためのプログラムの記述と評価、及び技術的基盤は、AMP103 に記載されている。

その他の予防措置は、各サイトの内部手順に準拠した状態監視保全または定期保全 (ポンプのオーバーホール、機械的シールとガスケットの交換、内部パーツの目視点検など)、潤滑と校正、

オイルフィルターの定期交換、基礎ボルトのトルク管理である。

3. 経年劣化の検出:

ポンプは、一般的なガイドライン (例えば参考文献[2]) に準拠し、各サイトの供用期間中検査プログラム の要件に準拠して検査及び試験される。

受動的安全機能の AM には、目視検査、超音波検査、表面亀裂検出のためのキャピラリテスト、寸法管理、他の種類の検査、写真記録などの非破壊的方法が使用されることがある。

プラントの運転停止中に巡回検査が実施されることもある。

AMP102 で実施される目視検査、表面検査、または体積検査は、SCC、または疲労による亀裂、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損を検査することによる通常の摩耗を検出することが期待される。

低サイクル疲労の累積的影響は、AMP101 で扱われる。ホウ酸の漏えいがボルト材料に及ぼす影響については、AMP110 で扱われる。

経年劣化の影響の検出は、ポンプを構成するすべての補完部品 (受動部品 (ケーシング、ノズル、ボルト/スタッド) 、及び能動部品 (シャフト、インペラ、軸受、シール、摩耗リングなど)) を対象としている。

ケーシング

ポンプのケーシングは炭素鋼でできており、全面腐食、応力腐食割れ、隙間腐食、そしてエロージョン・キャビテーションエロージョン・FAC・液体衝撃エロージョン・風化・大気腐食などの流れに関連した経年劣化の影響を受けやすい (AMP102 など)。

ノズル

ポンプのノズルでは、全面腐食、FAC、応力腐食割れによる亀裂、これらによる材料損失が検出されうる (AMP102、AMP114、AMP107、AMP111 など)。

ボルト、スタッドとナット、ファスナー

風化、大気腐食、動的負荷/振動は、緩みや破損の原因となる。これらの影響は、ボルトのトルク、振動、軸方向位置、ノイズなどの状態監視によって検出することができる (AMP115)。

ポンプの能動的な安全機能 (及び関連部品) は、umbrella 型 AMP の枠組みの中でオンライン診断によって、または別の能動的機能監視システムで監視することができる。

シャフト

シャフトはステンレス製あるいは鋼製である。シールや軸受部分にフレッティングや摩耗が発生することがある。孔食や隙間腐食、電氣的孔食、動的負荷/振動、疲労亀裂は、回転トルク、外観、発生熱、吐出流量、モーター電流と出力、回転数、振動、バランス、騒音、表面表示、動圧など、適切な方法で検出できるが、方法はこれらのみに限定されない。

インペラ

キャビテーション・エロージョン、液体衝撃エロージョン、孔食、隙間腐食、動的負荷／振動、疲労亀裂は、回転トルク、外観、吐出熱量、吐出流量、モーター電流と圧力、回転数、振動、バランス、騒音、摩耗面、はめあいすきまなどの適切な方法によって検出できるが、方法はこれらのみに限定されない。

軸受

フレットイング／摩耗、電氣的孔食、動的負荷／振動、疲労は、回転トルク、外観、モーター電流出力、振動、潤滑油の純度、軸方向位置、摩耗面、騒音、はめあいすきま、油の質などの適切な方法 (状態監視パラメータ) によって検出できるが、方法はこれらのみに限定されない。

シール

シールは状態に応じて交換される。エラストマー化合物の熱脆化が発生する可能性がある。フレットイング／摩耗は、回転トルク、外観、モーター電流出力、振動、軸方向位置、摩耗面、騒音、はめあいすきまが主な状態監視パラメータであるが、方法はこれらのみに限定されない。

摩耗リング

隙間腐食やフレットイング／摩耗は、吐出流量、モーター電流及び圧力などによって検出できるが、方法はこれらのみに限定されない。

ピストン (容積式ポンプ[3])

ピストンはステンレス鋼製で、場合によっては硬質塗装が施されている。これらの部品は、定期的な表面処理または定期的な交換プログラムの対象となる。

内部弁

ほとんどがステンレス鋼製であり、主な劣化メカニズムは摩耗と疲労である。

能動的な安全機能制御のためのパラメータ

- 部品の定期測定と点検リストを規定した各サイトの内部手順に準拠した、ポンプの振動制御
- プラントオペレータによる圧力と流量のオンライン制御
- 部品の定期測定と点検リストを規定した各サイトの内部手順に準拠した、超音波による騒音測定

故障診断のため、振動と電流シングネチャ分析が実施される。潤滑と校正は通常、年に 1 回実施される。適切な品質と量の潤滑は、軸受の問題を避けるために不可欠である。ポンプ内部の目視検査は通常、製造業者の推奨に基づいて実施される。非破壊検査 (NDT) 実施者の評価と資格認定は、国家の規格 (例えば、参考文献[4-7]) に準拠し、実施される。

軸受油分析

油の水分汚染を回避し、軸受の摩耗や損傷を予測する。AMP136 も参照。

4. 経年劣化の監視と傾向分析:

経年劣化の適時的かつ確実な検出は、3 節の記載内容に準拠した検査・試験スケジュールの実

施、信頼できる検査方法、資格を有する検査要員によって行われる。

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、歳差運動による回転部品の摩耗の可能性に関連して、管理箇所の温度の定期的な変化で示されるように、回転パラメータ (回転数、振動) の継続的なモニタリングを確実にし、異常の早期発見と回転の問題に関連する劣化の予防のために、適切なパラメータをインターフェースに出力することが必要である。

パフォーマンス指標は、実施されたプログラムの評価と改善を強化するために定義される。例えば、是正保全と予防保全の工数の比較 (人・時間ベース)、繰り返し発生する故障の数などの統計指標を使用することができる。

5. 経年劣化の緩和:

経年劣化の影響を緩和するための推奨は、本 AMP、及び実行された分析結果に基づいている。

6. 許容基準:

以下の欠陥の中のいくつかが発見された場合、その部品は使用できないとみなされる。その場合、是正措置が実施される。

- 圧力と流量が公称値 (例:5%) を下回る
- 異常な振動や騒音
- 関連モーターの電流変動
- 重大な漏えい、流体漏えいの許容基準は 0.5 l/h
- ISI プログラムの許容基準を超える欠陥の兆候

許容基準は、本 AMP、オンライン診断プログラム (存在する場合は能動的部品) 及び保全手順の一部である。

劣化の兆候又は劣化に関連する条件は、例えば参考文献[8]のような関連する管理統制要件又はガイダンス文書に準拠して、許容性の評価をすることができる。

検査結果及び欠陥が、管理統制要件又はガイダンス文書の許容基準を超える場合、次の定期検査までの間、規制当局が満足するような修理又は交換作業、あるい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:

部品が許容基準を満たさない場合、異常状態は直ちに報告され、適時的な修理のための作業が指示・実行される。満たされなかった各許容基準について、解決のための手順が決定され、または詳しく説明され、それに基づいて実施される。

プロセスの最後には、基準が満たされ、部品は要求された状態に到達する。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。

運転経験及び研究開発結果の適時的なフィードバックを保証し、それらが AMP に考慮されていることの客観的証拠を提供する枠組みを構築することが望ましい。研究開発の努力と効果的な経験の交換は、このプログラムの継続的改善を実施し、適切な是正措置を決定する上での重要な要素である。

CANDU/PHWR 補助系統ポンプの腐食や亀裂による故障、その他の関連事象に関する運転経験は、CANDU Owners Group (COG) や EPRI の運転経験データベース[9]、あるいは WANO Operating Experience Programmeなどで報告されている。

ポンプの劣化の観察には、ポンプハウジング部品の局部腐食による亀裂が含まれる。これは、改善された ISI 制御、ポンプハウジング表面の補修によって管理されている。適切な水質プログラムによって、ポンプの局部腐食が軽減される。

ポンプのボルト部品摩耗とハウジング要素のエロージョンが観察された。これは、改善された予圧管理や、シーリング及びハウジング表面の補修によって管理されている。ボルトやシーリングリングの交換などの予防措置が、摩耗の影響を防いだ。既存の重要箇所を対象とした状態監視プログラム (ISI、保全プログラム) により、摩耗とエロージョンによる経年劣化の程度が検査されている。

疲労腐食による給水ポンプシャフトの故障の記録がある[10]。一次系給水システムのポンプで3件のシャフト破損が発生した。破損したシャフトの分析から、シャフトの不十分な材料特性に起因する腐食疲労が主な破損メカニズムであることが判明した。最初の故障をきっかけに、すべての一次系給水ポンプのシャフトが交換された。新しいシャフトは 1.7227 鋼製である。予防的に交換されたシャフトのうち 2 本を超音波検査したところ、1 本にはわずかな亀裂の兆候があり、もう 1 本には大きな亀裂があった。新しいシャフトは、運転開始後しばらくして検査したところ、腐食の兆候が見られたため、おそらくさらなる是正措置が必要であろう。事象報告の時点では、調査が進行中である。材料の欠陥 (スラグの介在物など) が亀裂伝播の一因であり、河川水中の塩化物も腐食を促進した。冬期には、道路塩が広く使用されるため、水中の塩化物含有量が増加する。また、一次系給水システムでは、配管の大部分を改良された材質のパイプに交換する改造プロジェクトが実施された。配管のレイアウトが変更されたため、ポンプ位置での振動のスペクトルと振幅が変化し、ポンプシャフトの破損が加速された可能性が疑われる。改良された電気化学的条件による腐食の促進、砂の取り込みによる表面粗さ、改造後の新しいシステム構成による負荷/振動、ポンプの絞りが故障の一因となった。

このプログラムには、プラント特有の運転経験、業界全体の運転経験、及び研究開発結果（例えば参考文献[11-14]）を継続的にレビューするための規定が含まれており、プログラムへの影響が評価され、プログラムに対する必要な措置や修正が実行されるようになっている。

この AMP が作成された時点では、ポンプに関連する研究開発は確認されていない。

9. 品質管理:

サイトの品質保証手順、レビュー及び承認プロセス、並びに管理統制は、例えば参考文献[15-16]のような様々な国内の規制要件に準拠して実施される。

References

- [1] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Safety Standard Series No. SSG-48, Ageing Management and Development of a Programme for Long Term Operation of Nuclear Power Plants, Specific Safety Guide, IAEA, Vienna, 2018.
- [2] AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS, Section XI, Rules for Inservice Inspection of Nuclear Power Plant Components, The ASME Boiler and Pressure Vessel Code, 2004 edition as approved in 10 CFR 50.55A, ASME, New York, NY.
- [3] ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE, Centrifugal and positive displacement charging pumps, EPRI TR-107252, EPRI, Palo Alto, 1996.
- [4] IRAM-CNEA Y 9712, Ensayos no destructivos. Calificación y certificación de personal, Argentina.
- [5] CANADIAN GENERAL STANDARDS BOARD, Qualification and Certification of Nondestructive Testing Personnel, Can/CGSB-48.9712-2014, CAN/CGSB, Canada, 2014
- [6] ATOMIC ENERGY REGULATORY BOARD, In-Service Inspection of Nuclear Power Plants, AERB/NPP/SG-O2, AERB, Mumbai, India, 2004.
- [7] ATOMIC ENERGY REGULATORY BOARD, Life Management of Nuclear Power Plants, AERB Safety Guide AERB/NPP/SG/O-14, AERB, Mumbai, India, 2005.
- [8] PNAE G -7-010-89 Equipment and Piping of Nuclear Power Installations. Weld Joints and Weld. Overlays. Rules of inspection. Moscow 2000.
- [9] EPRI, Preventive Maintenance Basis Database (PMBD), available at <http://pmbd.epri.com>.
- [10] JOINT RESEARCH CENTER, Analysis of ageing related events occurred in nuclear power plants, JRC Technical Reports, JRC119082, 2019.
- [11] D. M. Kitch, J. S. Schlonski, P. J. Sowatskey, W. V. Cesarski, Aging and Service Wear of Auxiliary Feedwater Pumps for PWR Nuclear Plants, ORNL NUREG/CR-4597, USA, 1988.
- [12] Sandia NL, Aging management guideline for commercial nuclear power plants pumps, US DoE, New Mexico, 1994.
- [13] ASTM, D 6224 Standard Practice for In-Service Monitoring of Lubricating Oil for Auxiliary Power Plant Equipment, Pennsylvania, 2002.

- [14] AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS, ASME OM - Operation and Maintenance of Nuclear Power Plants, ASME, New York, 2017.
- [15] CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, Management System Requirements for Nuclear Power Plants, CSA N286-05, CSA, Canada, 2007.
- [16] Hungarian Atomic Energy Agency: Guideline 4.12. Ageing management during the operation of NPPs, March 2016.