

AMP 151 CANDU/PHWR 一次熱輸送計装管 (2021 年版)

プログラムの概要

このプログラムの目的は、CANDU/PHWR の一次熱輸送 (PHT) 重水冷却材のさまざまなプロセスパラメータの測定、モニタリング、サンプリングに使用される計装管の健全性を保証することである。

CANDU/PHWR には、原子炉の両端に設置されたフィーダキャビネット内で互いに近接して配線された細径管の計装ラインが多数ある。遅延中性子 (DN) システムとも呼ばれる破損燃料位置検出システムを備えた CANDU/PHWR 原子炉では、各燃料チャンネルの出口フィーダから PHT 冷却材をサンプリングする計装ラインが使用される (CANDU 6 では 380 本の DN システム計装ライン)。流量測定ベンチュリやレベル・圧力トランスミッタに使用されるインパルス管も、フィーダキャビネット内に設置され、フィーダキャビネットを貫通している。PHT 計装配管は、他の配管やフィーダ配管、支持体、その他のハードウェアとの接触や干渉によってフレットング損傷を受ける可能性があり、その結果、PHT システムからの漏えいや、フィーダキャビネットや原子炉保管庫の内部で放出されるトリチウム放射能が増加する可能性がある。特定の材料・環境・応力条件下では、PHT 計装管に応力腐食割れが発生する可能性がある。

この AMP は、PHT 装置管の経年劣化を管理するための予防策、検査、緩和策、是正策を含む具体的な戦略の策定に基づいている。

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:

このプログラムの適用範囲は、破損燃料位置/DN システム管のような、PHT 冷却材を含む計器ライン管とトランスミッターインパルスライン管である。

PHT 計器管の経年劣化メカニズムと影響には、フレットングによる減肉と応力腐食割れがある。これらの影響はいずれも、PHT システムからの漏えいや、フィーダキャビネットや原子炉建屋内のトリチウム濃度の上昇につながる可能性があり、原子炉の強制停止が必要となる場合がある。

他の配管との接触や干渉、フィーダキャビネットや原子炉保管庫内のフィーダ配管、支持体、その他のハードウェアとの接触や干渉により、計装管にフレットング損傷が発生する可能性がある。管の狭い間隔、運転中の部品間の熱膨張の差、燃料冷却材チャンネルのクリープ伸長によるずれ、これらによって配管が接触する。PHT ポンプ、局所的冷却装置の運転に誘発される、構造物の相対的な振動は、接触パーツ間の摩擦を引き起こし、管の接触点の減肉につながる。

ある種の応力・環境・材料条件下では、応力腐食割れが発生する可能性もあるが、これはフレットング損傷というよりも局所的な損傷となる。計装管は通常、オーステナイト系ステンレス鋼製である。SCC の発生には、ハロゲンなどの酸化性物質 (汚染された工具、検査・洗浄液、ミネラルウール断熱材など) の存在と、耐震クランプ、管の曲げ部、溶接部の塑性変形などによる高い残留引張応力が必要である。

プログラムには、計装管の健全性が維持されることを保証するための手順または管理統制要件が含まれる。

プログラムには、PHT 冷却材の水質を監視・管理するための水化学 (AMP103) が含まれる。このプログラムは、AMP140 及び AMP146 と関連して実施されることもある。

2. 経年劣化を最小限に抑え、抑制するための予防措置:

予防措置は、建設段階またはプラントの改修中に実施することができ、以下を含む。

- PHT 計装管は、参考文献[1]のような国家の規格・基準で規定された高い品質基準とクラス 1 要件に準拠して、設計、製造、設置されている。
- 管の製造、溶接、曲げ、クランプの方法を厳格に管理・改善し、残留応力を低減する。
- 部品の熱膨張や燃料チャンネルのクリープ伸びによる相対的な動きを考慮し、運転期間に見合った適切な隙間クリアランスを確保するための、管の入念な計画、ルーティング、設置、支援を行う。
- 工具、洗浄、断熱材が管の塩化物汚染の原因とならないよう、材料の品質管理をする。

運転段階における予防措置には、予防保全と検査が含まれる。包括的な検査戦略／チェックリストを作成し、関連手順に準拠して管理し、体系的な検査を実施する。このチェックリストは、管間の接触やフレットイングの発生が予想される／発生する危険性のある領域、あるいは SCC の危険性がある領域に加え、摩耗リングや継手が既に設置または固定されている領域を対象としている。目視検査は、締結具、摩耗リング、接触部の状態、フレットイングによる管の損傷の兆候をチェックするために実施される。劣化が確認された管は、フレットイングが発生した部分を切り取って継手を固定することで、局所的に強化することができる。管どうしの干渉や接触は、サンプルラインの慎重なルーティング／位置決めや交換によって防ぐこともできる。

3. 経年劣化の検出:

計装管の経年劣化、壁貫通漏えい発生前の予防的に検出するため、予防保全のための運転停止の都度、巡回検査と目視検査を実施する。主な監視・検査項目は、サンプルライン間の接点、フレットイング状態、摩耗リングの装着状態などである。ライン間の接触がなければ、フレットイング損傷によるサンプリングライン管の劣化は起こらない。管どうしの接触、フレットイングの程度、摩耗リングの状態は、目視検査と計装管の物理的な感触／動きによってチェックし、記録する。容易にアクセスできない場所では、鏡やビデオスコープを使用し、接触ラインやフレットイング損傷の兆候を検出することもある。

破損燃料箇所／DN システム管の損傷を確認する主な場所には、以下のようなものがある。

- フィーダキャビネットに接触する貫通部 (チーフイングシールド)
- フィーダキャビネット下部の管の曲げ部と管の交差部
- 高温による管の膨張に伴い、隣接する管と接触する可能性のある管
- 管支持体と管の交差部、管の曲げ部が隣接する管と接触する領域
- 交差する管の一方にのみ摩耗リングが取り付けられている場合
- 摩耗リングが管の接触部に適切に設置されていない、回転している、またはずれている場合
- 摩耗リングに隙間がある場合や、摩耗リングの鋭利な端部が他の管を傷つける懸念がある

場合

- 直管と、上側の管束から下側の管束に向かう円形または U 字形の管領域が交差する箇所
- 局部冷却器からの空気流によって直接または間接的に誘発される管の振動により、管どうしで接触が発生する領域
- 外部 (原子炉側) の DN 管束の下部・側面で安全スペースが確保されていないため、アクセスが困難な管どうしが交差する領域
- 安全柵及びチャンネル温度モニタリングシステム端子箱が設置されているため、遅延中性子管束前方の一部で作業スペースが狭く、詳細な点検・補強作業が制限される領域
- 貫通部に連結された 1/4 インチ管が交差する領域

点検結果は記録され、フレットイングが発生した領域には点検タグが取り付けられる。摩耗リングの場合は、フレットイングの発生状況、リングの位置・回転・変位が記録・管理される。管と管、管と支持体のクリアランスを記録し、30mm 以上と 30mm 以下に分類してチェック結果を管理する。

4. 経年変化のモニタリングと傾向管理:

PHT 装置管の状態は、2 節及び 3 節で説明したようにモニタリングされる。モニタリング検査結果や予防保全・是正保全により、サンプルラインの経年劣化の傾向を分析することが可能となる。

5. 経年劣化の影響の軽減:

PHT 装置管が劣化している、または劣化が予想される領域については、関連する管理統制手順に準拠し、ライン間の接触を低減または排除するために、継手の強化や管支持体の調整を試みることができる。減肉の程度が許容範囲と評価される場合 (6 節を参照)、管と同様の材質の摩耗リングを取り付けることで、管の劣化を緩和することができる。フレットイングによる減肉の程度が許容基準を満たさなくなった場合、7 節に概説されているように是正措置が講じられる。

6. 許容基準:

破損燃料/DN 検出システムの計器管のフレットイング劣化については、以下の許容基準が適用される。

- 配管は十分に支持されている。
- 経年劣化の可能性のある原因が取り除かれている。
- フレットイングによる減肉は、国家の規制または管理統制文書に準拠して設定された限界値を超えない。

7. 是正措置:

是正措置は、関連する手順に準拠して、フレットイングによる減肉の程度を評価することに基づ

づいて行われる。フレットイングによる減肉が許容範囲と評価された場合、5 節 に記載された緩和措置に準拠して、管のさらなる劣化を防止することができる。フレットイングの程度が許容基準を満たさない場合には、プラントの是正措置プログラム、品質保証手順、プラントの審査及び承認、並びに管理統制要件に準拠して、摩耗部位の削除、及び／又は、継手による補強を含む、是正保全措置が実施される。亀裂が検出された場合、損傷管を交換するための是正措置が実施される。審査員は、是正措置、確認手順、管理統制が要求事項を満たしているかどうかを確認する。

8. 運転経験のフィードバック及び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。

多くのプラントで、破損燃料位置/DN システムのサンプリングラインにおいて、管のフレットイングに起因するピンホール漏えいが発生してきた[2-6]。漏えいは、フィーダキャビネットや原子炉建屋内のトリチウムレベルの上昇によって検出された。いくつかのケースでは、重水の漏えい率が技術仕様の限界に近づき、強制停止に至った。これらの事象に基づき、規制当局は、破損燃料位置システム管の損傷確認を推奨した。目視による点検を実施し、サンプリングラインの状態をチェックし健全性を確認するとともに、再発防止のため、管の接触部にスペーサーを追加した。

例えば、冶金学的検査後、管表面の塩化物汚染に起因する粒内型応力腐食割れ (TGSCC) により、PHT 計装管から D₂O が漏えいした事例が報告されている[7]。この OPEX に基づき、SCC も本プログラムに含まれている。

外部の運転経験の適切な情報源は、Korean Institute of Nuclear Safety (KINS)、IAEA International Reporting System (IRS)、CANDU Owner's Group (COG)、Canadian Nuclear Laboratories、CANDU Energy Inc.、ならびにインド Bhabha Atomic Research Centre (BARC) などがある。

この AMP が作成された時点では、関連する研究開発は確認されていない。

9. 品質管理:

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、様々な国家の規制要件 (例えば CSA N286-12[8]) に準拠して実施される。

References

- [1] AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS, Rules for Construction of Nuclear Facility Components, The ASME Boiler and Pressure Vessel Code, ASME Section III, Division 1, Subsection NB - Class 1 Components, ASME, New York, NY.
- [2] KOREA INSTITUTE of NUCLEAR SAFETY, Operational Performance Information System of Nuclear Power Plant #2007-16, 2007.

- [3] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, International Reporting System for Operating Experience #8425, 2012.
- [4] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, International Reporting System for Operating Experience #8066, 2009.
- [5] CANDU OWNERS GROUP, Operating Experience #272: Unplanned Outage due to D2O Leak from a Tubing of Delayed Neutron Monitoring System, 2000.
- [6] M. H. Song, H. K. Kim, W. S. Ryu, Y. H. Lee, “Evaluation on Wear Reliability for Delayed Neutron Tubing in Pressurized Heavy Water Reactors”, Transactions of the Korean Nuclear Society Spring Meeting, Taebaek, Korea, May 26-27, 2011.
- [7] R Singh, Ed., “Weld Cracking in Ferrous Alloys”, pages 349-351, Woodhead Publishing Ltd., Cambridge, England, 2009.
- [8] CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, Management System Requirements for Nuclear Power Plants, CSA N286-12 CSA, 2012.