

AMP 120 選択的浸出(2023 年版)

プログラムの概要

材料の選択的浸出 (脱合金化) プログラムは、ねずみ鉄、延性鉄、及び Zn 15%以上または Al 8%以上を含む Cu 合金 (抑制された黄銅を除く)で製造された部品が、原水、閉鎖型サイクル冷却水 (CCCW)、処理水、排水、土壌、または地下水環境に曝される場合の健全性を確保する。環境に応じて、本 AMP には選択的浸出の影響を受けやすい特定の部品に対する、1 回限りの、臨時の、及び／又は、定期的な検査が含まれる。利用される検査技術によって、選択的浸出による材料損失が発生しているかどうか、及び選択的浸出が意図された期間の運転において、その部品が意図された機能を果たす能力に影響を与えるかどうかを判断する。

選択的浸出の影響を受けやすい材料、高温、停滞流の状態及び腐食環境 (Zn 含有量や溶存酸素量が高い黄銅に対する酸性溶液など) は、選択的浸出を促進する[1-2,10,14]。選択的浸出プロセスでは、材料から合金成分の 1 つが優先的に除去される。脱亜鉛化 (黄銅からの Zn の損失) や黒鉛化腐食 (ねずみ鉄や延性鉄からの Fe の除去) は、このような過程の例である。合金成分が除去された部品は、形状を維持していることが多く、外見上は影響を受けていないように見えることもあるが、材料の機能断面積は減少している。選択的浸出による経年劣化の影響は、影響を受けた部分の体積が恒久的に密度変化を起こし、構造健全性を維持できる機械的特性を保持できなくなるため、材料損失となる。

評価と技術的根拠

1. 経年劣化の理解に基づく経年劣化管理プログラムの範囲:

材料の選択的浸出 (脱合金化) プログラムは、ねずみ鉄、延性鉄及び Zn 15%以上または Al 8%以上を含む Cu 合金 (抑制された黄銅を除く) で製造された部品が、原水、閉鎖型サイクル冷却水 (CCCW)、処理水、排水、土壌、または地下水環境に曝される場合の健全性を確保する。部品には、配管、弁本体及びボンネット、ポンプケーシング、熱交換器部品が含まれる。

2. 経年による劣化を最小限に抑え、管理するための予防措置:

本プログラムでは予防措置に関する指針は提供していないが、pH や腐食性汚染物質の濃度を制御するための水質のモニタリング及び水中の溶存酸素を最小限に抑える処理が選択的浸出を低減するのに効果的であることが指摘されている。水質は AMP103 によって管理される。選択的浸出による劣化の発生を低減または最小限に抑える効果的な手段として、カソード保護及び塗装の使用が挙げられる。

3. 経年劣化影響の検出:

検査及び試験は、以下の方法で実施される場合がある。以下の検出方法は、配置の複雑さ及び検出能力の順に記載している。特定の検査方法で結論が得られない、または潜在的に許容しが

たい結果が得られた場合、より能力の高い方法を選択して、その後の検査及び結果の処理を行うことができる。

ねずみ鉄及び延性鉄の場合は、以下が適用される。

- 不均一な感触、変色の証、及び／又は、突起、腐食、スケール、内部表面上の堆積物の存在を調べるために、アクセス可能な表面を目視検査する。
- 鉄の黒鉛化腐食は、目視のみでは確実に検出できない。そのため、特に目視検査で特定された重点領域においては、機械的検査技術で補完する。機械的検査技術には、露出したアクセス可能な表面をチップング、スクレイピング、スクラッチング、またはその他の方法で研磨するなどの措置が含まれる。
- ブリネル硬さ試験 (部品の形状と構成に基づき実施可能な場合) または業界で認められたその他の機械的検査技術を、影響を受けた部品の表面に適用し、選択的浸出が発生しているかどうかを判断することができるが、選択的浸出の程度を判断する上では正確ではない[13]。
- 部品における選択的溶出の存在、及び／又は、程度を検出できることが実証されている非破壊検査技術。非破壊検査プロセスの有効性を示す技術的根拠は、プログラムの文書化の一部として記載しなければならない[10-12,15-17]、このうち参考文献[15-17]は最近の研究開発の結果である。
- 破壊検査は、脱合金化の発生及びその深さを確認するために使用できる。

Cu 合金の場合は、以下が適用される。

- アクセス可能な表面の目視検査。選択的浸出は一般的に寸法の変化を引き起こさないため、目視検査では検出が困難である。しかし、選択的浸出は、通常の黄色から赤みがかった銅色や緑色の酸化銅への色の変化により、より容易に特定できる可能性がある。Zn 含有量が15%を超える Cu 合金の場合、表面に白または灰色のメレンゲ状の沈着物が形成される可能性がある。[10,14]
- 選択的浸出が発生しているかどうかを判断するために、選択された部品群の影響を受けた表面にブリネル硬さ試験 (形状と構成に基づき実施可能な場合) または業界で認められたその他の機械的検査技術を使用することができるが、選択的浸出の程度を判断する上では正確ではない。[10,13]
- 部品における選択的浸出の存在、及び／又は、程度を検出できることが実証された非破壊検査技術。非破壊検査プロセスの有効性を示す技術的根拠は、監査可能で検索可能な形式で維持されなければならない。[10-12]
- 破壊検査は、脱合金化の発生及びその深さを確認するために使用できる。

検査は、可能な場合、各母集団の稼働期間及び運転条件の厳しさに基づいて、境界となる部品、または最も経年劣化の影響を受けやすいと考えられる部品を対象に重点的に実施する。各母集団の代表サンプルに対して、1 回限りの及び定期的な検査を実施する。母集団とは、同じ材料と

環境の組み合わせを指す。

1 度限りの検査は、選択的浸出のプラント特有 OE がこれらの環境に存在しない場合、CCCW または処理水に曝された部品に対してのみ実施される。

生水、排水、土壌、または地下水に曝された部品、及びプラント特有の OE がこれらの環境における選択的浸出を含む CCCW または処理水に曝された部品に対しては、臨時検査及び定期検査が実施される。部品が開けられたり、埋設あるいは水没した表面が曝される場合は、プラント及び運転条件が許す限り、臨時検査が実施される。プラント特有の評価及び国家の規制要件に準拠して、定期的な検査が実施される。

選択的浸出は遅効性の腐食プロセスであるため、最初の検査は長期運転期間に入る前の 5 年以内に実施されることとなる。許容できない検査結果が出た場合の対応としては、是正措置プログラムを用いた評価及び検査サンプルの規模と場所の拡大が考えられる。

実際には、検査にはシステムの代表サンプルが含まれ、境界部品、または稼働期間、運転条件の厳しさ、設計上での安全裕度の低さにより、選択的浸出に最も影響を受けやすいと考えられる部品に焦点を当てる。最大サンプル数 25 の母集団 20%が、代表サンプルサイズを構成する。それ以外の場合、1 回限りの検査で部品を選定するために使用される方法及びサンプルサイズの技術的根拠は、プログラム文書の一部として記載される[18]。異なる材料／環境の組み合わせを持つ部品の各グループは、独立した母集団とみなされる。この 1 回限りの検査または初期検査に続くその後の検査では、参考文献[4]で議論されているように、サンプリングの削減が技術的に正当化される場合がある。部品のサンプリング削減の指針は、参考文献[5]でさらに詳しく説明されている。

4. 経年劣化の影響に関する傾向の監視及び分析:

実際には、定期検査の結果は、観察された劣化を意図した運転期間の終了時または次の定期検査までの期間 (いずれか短い方) の予測を行うために傾向分析される。傾向分析の結果、次の検査までに意図した機能の喪失が起こりうることを示す場合、是正措置が取られる。

5. 経年劣化の影響の緩和:

このプログラムは状態監視プログラムであり、選択的浸出の影響を緩和するものではない。しかし、選択的浸出は環境条件と影響を受けやすい材料の存在に左右されるため、環境 (酸素濃度の低下と pH の上昇) と材料 (設計段階または交換時に影響を受けにくい材料を選択) に関して緩和措置を講じることができる。カソード防食と塗装の使用は、選択的浸出劣化の発生を低減または最小化する効果的な手段となり得る。

6. 許容基準:

許容基準は以下の通りである。

Table 1. 許容基準

許容基準	ねずみ鑄鉄／延性鉄	銅合金と青銅
目視点検	チッピングまたはスクレイピングによる脱合金材の除去によって判断される、表面的な脱合金層が存在しないこと。 注 1.	通常の黄色から赤みがかった銅色や緑色の酸化銅色への顕著な変化はない。 緑色の酸化物が確認された場合は、それを除去し、母材の色が通常の黄色から赤銅色に変化していないか検査する必要がある。 15%以上の Zn を含む Cu 合金の場合、特定の環境条件下では表面に白／灰色のメレンゲ状の沈殿物が生じることがある。
機械試験		適用なし
硬さ試験	硬度が 20%以上低下しないこと	硬度が 20%以上低下しないこと
実証された NDE 技術	表面技術: 表層以上の選択的溶出の証拠はない。 体積法 - 注 2 参照	表面技術: 表層以上の選択的溶出の証拠はない。 体積法 - 注 2 参照
破壊検査	注 2 参照	注 2 参照

注 1: 目視検査を補うために機械的検査が使用される。

注 2: 選択的浸出が検出された領域における部品の残存壁厚は定量化し、システム及び部品の設計要件に照らして評価しなければならない。選択的浸出が検出されたすべての位置において、最小壁厚要件を満たさなければならない。体積非破壊検査、及び／又は、破壊検査の結果の評価においては、選択的浸出の範囲を推定し、運転終了時までその劣化進行を予測しなければならない。使用性評価の際には、部品の合金除去された部分の材料特性は考慮しない。

7. 是正措置:

確立された許容基準を満たさない試験または検査結果については、工学的評価を行う。プラントの是正措置プログラムを通じて措置が実施され、品質に悪影響を及ぼす状況が速やかに是正されることを確実にする。欠陥が品質に著しく悪影響を及ぼすと評価された場合、その状況の原因が特定され、再発防止のためのアクションプランが策定される。許容できない検査結果が出た場合は、追加の検査 (複数回) を実施し、定期的に実施する場合もある。または、部品の修理または交換を行う場合もある。

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、業界全体の一般的な経験に対応している。関連するプラント特有の運転経験は、AMP がプラントにとって適切であることを確認するために、プラントの AMP の開発において考慮される。プラント及び業界全体の運転経験と研究開発 (R&D) の結果を定期的に評価するフィード

バックプロセスを実施し、必要に応じ、プラント AMP を修正するか、経年劣化管理の継続的有効性を確保するための追加措置 (例えば、新しいプラント特有 AMP を開発する) をとる。

鋳鉄、黄銅、青銅、延性鉄、Al 青銅で構成された部品から選択的浸出が検出されている (例: 参考文献[5,7-8,10,14])。影響を受けた部品には、弁本体、ポンプケーシング、配管、土壤に埋設された鋳鉄製の消火配管が含まれる。検査を構成する要素技術 (検査の範囲や検査技術など) は、業界の慣行や適切な規制機関の指針と一致している。

適切な外部運転経験の情報源としては、例えば、Owner's Groups、OECD-NEA、WANO、INPO、IAEA、EPRI、NRC general communications などがある。

選択的浸出によって損傷を受けた部品領域の機械的硬度は、損傷を受けていない部品の残りの領域の硬度よりも大幅に低い。一般的に、硬度試験は、適切な方法で行われる場合、選択的浸出の影響を受けた部品の表面上の箇所と、正常な箇所を区別することができる。しかし、部品の表面硬度の点測定は、測定が行われた場所のみを示すものであり、周辺の領域における部品の健全状態を一般化するために単独で使用すべきではない。さらに、EPRI が実施した研究において、選択的浸出の存在を示す硬度値は、選択的浸出による損傷の深さを評価する際に単独で使用すべきではないことが示唆されている[10,13]。

選択的浸出を検出できる非破壊検査技術は、EPRI により 2009 年から調査されている[11,12]。2016 年には、鋳鉄及び Al 青銅材料における選択的浸出に対する利用可能な非破壊検査 (NDE) 方法の評価が発表された[15]。参考文献[15]で特定された超音波法を使用した選択的浸出を非破壊的に検出及び特性評価するための手順開発に関するベストプラクティスと指針は、さらに文書化され、2018 年に発表された[9]。2021 年には、複雑な形状をしたねずみ鋳鉄製の弁本体部品における選択的浸出劣化を検出及び特性評価するための超音波技術を使用した追加の試験結果が発表された[16]。また 2021 年には、さまざまな電磁氣的 NDE が、ねずみ鋳鉄製の配管部品における選択的浸出の存在を検出できることが実証された[17]。

2022 年現在、特定の経年劣化管理プログラムへのリスク洞察の適用に関する実証を含め、経年劣化管理プログラム実施のための共通のリスクベースアプローチの策定に関する民間の研究が継続中である。2020 年と 2021 年には、リスク概念を選択的浸出の経年劣化管理プログラムに適用した例が調査された[18]が、NPP では適用されていない。サンプル母集団に対するリスクベースアプローチは、劣化の影響を最も受けやすく、故障の影響が最も大きい場所を特定して検査を行うのに役立つ。また、選択的浸出に対する感受性に影響を与える冶金学的及び環境的因子に関するフォローアップの研究も開始され、計画されている[19]。

9. 品質管理:

SSG-48[20]に沿って、IGALL 安全報告書の 4.9 項では、(a) 管理統制、(b) 安全分析報告書の補足、(c) パフォーマンス指標、(d) 確認 (検証) プロセス、(e) データ収集と記録保持、これらの観点からこの属性に期待される内容に関する一般的な情報を提供している[21]。さらなるガイダンスは、SSG61[22]の Paras 3.13.16 - 3.13.17 の安全解析報告書の補足、GS-G3.1 の確認プロセス (予防措置については Paras 6.76-6.77、是正措置については Paras 6.66-6.75) にあり[23]、SRS No.106 の第 2 章には経年劣化管理のためのデータ収集と記録保存に関するグッドプラクティスが記載されている[24]。

本 AMP に関する追加的な具体的情報はない。

References

- [1] FONTANA, M. G., Corrosion Engineering, McGraw Hill, p 86-90, 1986
- [2] SCHWEITZER, P. A., Encyclopedia of Corrosion Technology, 2nd Ed, Marcel Dekker, p 201-202. March 17, 2004
- [3] Age Related Degradation Inspection Method and Demonstration: In Behalf of Calvert Cliffs Nuclear Power Plant License Renewal Application, EPRI, Palo Alto, CA: 1998. TR- 107514
- [4] UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, Technical Bases for Changes in the Subsequent License Renewal Guidance Documents NUREG-2191 and NUREG-2192 (NUREG-2221), USNRC, December 2017
- [5] UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, Generic Aging Lessons Learned for Subsequent License Renewal (GALL-SLR) Report — Final Report (NUREG-2191), USNRC, 2017
- [6] UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, 10 CFR Part 50, Appendix B, Quality Assurance Criteria for Nuclear Power Plants, Office of the Federal Register, National Archives and Records Administration, USNRC, Latest Edition
- [7] UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, Information Notice No. 84-71: Graphitic Corrosion of Cast Iron in Salt Water, USNRC, 1984
- [8] UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, Information Notice No. 94-59: Accelerated Dealloying of Cast Aluminum-Bronze Valves Caused by Microbiologically Induced Corrosion, USNRC, 1984
- [9] ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE, Nondestructive Evaluation: Guidance for Conducting Ultrasonic Examinations for the Detection of Selective Leaching, EPRI, Palo Alto, CA: 2018.
- [10] ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE, Selective Leaching: State-of-the-Art Technical Update. 3002013168 EPRI. Palo Alto, CA: 2019. 3002016057.
- [11] ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE, NDE for Selective Leaching of Gray Cast Iron Components. 1018939. EPRI, Palo Alto, CA: 2009.
- [12] ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE, Nondestructive Evaluation: Update to NDE for Selective Leaching of Gray Cast Iron Components. 1019111. EPRI, Palo Alto, CA: 2009.
- [13] ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE, Nondestructive Evaluation: Correlation of Selectively Leached Thickness to Hardness for Gray Cast Iron and Brass. 1025218. EPRI, Palo Alto, CA: 2012.
- [14] ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE, Non-Class 1 Mechanical Implementation Guideline and Mechanical Tools, Revision 4. 1010639. EPRI, Palo Alto, CA: 2006.
- [15] ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE, Assessment of Available Nondestructive Evaluation Techniques for Selective Leaching: Technology Review. 3002008013. EPRI, Palo

Alto, CA: 2016.

- [16] ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE, Ultrasonic NDE Techniques for Detection of Selective Leaching in Complex Shaped Gray Cast Iron Components. 3002020830 EPRI, Palo Alto, CA: 2021.
- [17] ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE, Electromagnetic NDE Techniques for Detection of Selective Leaching in Gray Cast Iron Piping. 3002020832. EPRI, Palo Alto, CA: 2021.
- [18] ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE, Long-Term Operations: Leveraging Risk Insights for Aging Management Program Implementation. 3002018403. EPRI, Palo Alto, CA: 2020.
- [19] ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE, Accelerated Testing and Evaluation of Factors Affecting Selective Leaching Susceptibility. 3002020822. EPRI, Palo Alto, CA: 2021.
- [20] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Ageing Management and Development of a Programme for Long Term Operation of Nuclear Power Plants, Specific Safety Guide, Safety Standards Series No. SSG-48, IAEA, Vienna (2018).
- [21] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Ageing Management for Nuclear Power Plants: International Generic Ageing Lessons Learned (IGALL), Safety Reports Series No. 82 (Rev. 2), IAEA, Vienna. Preprint.
- [22] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Format and Content of the Safety Analysis Report for Nuclear Power Plants, SSG-61, IAEA, Vienna (2021).
- [23] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Application of the Management System for Facilities and Activities, GS-G-3.1, IAEA, Vienna (2006).
- [24] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Ageing Management and Long Term Operation of Nuclear Power Plants: Data Management, Scope Setting, Plant Programs and Documentation, Safety Report Series No. 106, IAEA, Vienna (2022)