

本資料は2025年11月27日付で技術諮問委員会より提出された報告書を原子力リスク研究センターにて仮訳したものです。正式な報告書は、英文版の原文のみとなりますのでご注意ください。

原子力リスク研究センター (NRRC)
一般財団法人 電力中央研究所
〒100-8126 東京都千代田区大手町1-6-1

2025年11月27日

ジョージ・アポストラキス博士
一般財団法人 電力中央研究所
原子力リスク研究センター所長
〒100-8126 東京都千代田区大手町1-6-1

件名: リスク情報を活用した運転中保全ガイドライン

アポストラキス博士殿:

2025年11月17～21日に行われた原子力リスク研究センター (NRRC) の第23回技術諮問委員会 (TAC) では、NRRC研究スタッフと会合を行い、日本の原子力発電プラントにおけるリスク情報を活用した運転中保全 (On-Line Maintenance) プログラムの実施ガイダンスについて議論を行った。本報は、2025年9月版報告書NR24001「運転中保全ガイドライン」に記載されたガイダンスに関する当委員会の検討内容を述べるものである。

なお、アフザリ氏は、NRRCリスク情報を活用した意思決定推進チームと緊密に連携し、本ガイドラインの改訂版においていくつかの重要な改善を実施した。このため、同氏は本レター報告書に関する当委員会の審議には参加していない。

結論と提言

1. 2025年9月版レポートNR24001「運転中保全ガイドライン」には、2025年1月13日付書簡報告書におけるコメントおよび提言を適切に解決する改良点が含まれている。
2. 本ガイドラインは試験運用として発行されるべきである。
3. 本ガイダンスのパイロット適用は、少なくとも1か所または2か所のプラントで実施すべきである。それらの適用では、ガイダンスの全要素が実証される必要がある。

4. 当方の検討過程において、ガイドラインの次回改訂版発行前にさらなる検討を要するいくつかの課題が特定された。それらの課題は本報告書の「考察」セクションにまとめられている。

背景

国際的な経験から、発電所の運転中に設備点検や予防保全を実施することで、プラントの安全性と運転効率が向上することが示されている。日本では現在、この種の保守活動は燃料交換のための停止期間中のみ実施されている。この慣行では、運転中に実施できない他の検査・保守作業との複雑かつ困難な調整を伴う。さらに、これらの全活動は、プラントの稼働率に影響を与える停止時間の制約やスケジュールというプレッシャーのもとで達成されなければならない。

運転中保全（OLM）の導入により、プラント担当者は定期停止時に生じる時間的・スケジュールの制約なしに、年間を通じて設備の性能をより適切に監視し、変化する状況に対応できるようになる。これによりプラントの安全機能を提供する設備の総合性能と稼働率が向上する。また、各燃料交換停止期間中に稼働停止となる設備が減少するため、プラント停止モード中のリスクも低減される。

リスク情報を活用したOLMの実施は、日本の原子力産業による先駆的なリスク情報に基づく取り組みである。提案される各保守作業のリスクを包括的に評価することで、プラント全体のリスクが極めて低い水準に維持されていることが保証される。この保証は、特定の作業に対する追加的なリスク管理措置の実施と、OLM期間を通じてのプラント安全状態の注意深い監視によってさらに強化される。

この件に関しては、NRRCスタッフとのブリーフィングや情報交換を数回実施した。支援する手法およびガイダンスの草案を検討し、当委員会のメンバーは具体的な詳細事項について個別にコメントを提供した。2025年1月13日付「リスク情報を活用した運転中保全ガイドラインの中間レビュー」報告書では、ガイダンスの一部要素に対する改善提案を要約した。NRRC研究チームは当方のコメントと提言に対応するためガイダンスを更新した。本報告書は2025年9月版ガイドラインの当方によるレビュー内容をまとめたものである。

一般的な参照として、本ガイドラインでは「外的事象」という用語を用いて、プラント内部の発生源（例：火災、溢水など）、外部自然発生源（例：地震、津波、強風など）、および外部人為的発生源（例：航空機事故、輸送事故、近隣の港湾・産業施設における事故など）によるハザードを含む。本報告書においても、同様の文脈で「外的事象」という用語を使用する。

議論

以下のセクションでは、結論と提言の各項目に関する当社のコメントと技術的根拠を要約する。

リスク情報を活用した運転中保全ガイドライン

NRRCのOLMプログラム実施ガイダンスは、リスク情報を活用した意思決定（RIDM）の基本原則に基づいている。これらの原則は、米国原子力規制委員会（NRC）規制指針1.174、国際原子力機関（IAEA）技術文書TECDOC-1909、および日本原子力学会（AESJ）規格AESJ-SC-S012E:2019に記載されている。NRRCガイダンスは、米国NRC規制指針1.160でエンドースされている原子力エネルギー協会（NEI）のNUMARC 93-01ガイダンスからも恩恵を受けている。

本ガイドラインは、OLM用機器の待機除外がプラントリスクに及ぼす影響を評価するためのガイダンスと手法を規定する。プラントの現行PRAモデルが対応する範囲において、全ての内的事象及び外的事象に対して定量的評価を実施すべきことを示している。適用される定量的リスク許容基準は、炉心損傷頻度（CDF）及び格納容器機能喪失頻度（CFF）の変化を考慮するものである。この許容基準はCFFとLERFの違いがあるもののNUMARC 93-01で推奨されるものと整合している。米国原子力規制委員会（NRC）によりエンドースされ、米国のリスク情報に基づく保守プログラムで使用されている。

本ガイドラインでは、プラントのPRAモデルに現在含まれていない外的事象について、リスクの定性的評価を実施すべきであると示している。これらの評価には、保守活動が作業場所で発生する可能性のある各ハザードの頻度を増加させるか、その深刻度を高めるか、あるいは作業場所外への損傷拡大を防ぐ障壁に影響を与えるかの評価が含まれる。また、保守活動により稼働停止状態となる機器に基づき、利用可能な安全な停止成功経路の数を減少させる可能性の評価も含まれる。これらの評価を組み合わせることで、リスクに対する包括的な定性的検討が提供される。

原子力規制委員会（NRC）は、セシウム137（Cs-137）の放出量が100テラベクレル（TBq）を超える事象の年間平均発生頻度を 10^{-6} 件以下に抑えるという暫定的な性能目標について合意に達した。この性能目標は、米国が参考とするガイダンスや手法で用いられるリスクへの考慮を超えたものである。本ガイドラインは、この課題がOLMの評価において検討されるべきことを示し、一般的な手法に関する考慮事項をまとめている。また、より詳細な評価手法を開発する前に、さらなる議論と明確化が必要であることも指摘している。この性能目標に関する理解が発展途上であることを考慮すると、このレベルのガイダンスは適切である。

本ガイドラインは、深層防護評価を実施するためのガイダンスと手法を記載している。これらの「決定論的」評価は、OLMがプラントの課題の緩和に利用可能な冗長性と多様性のレベルにどのように影響するかを検証するものである。深層防護評価はリスク情報に対する補完的視点を提供し、統合RIDMプロセスへの重要な入力となる。本ガイダンスでは、安全機能評価ツリー（SFAT）を用いてこれらの評価を体系的に整理・文書化する方法を説明する。

本ガイドラインは、プラントの多分野にわたるRIDMパネルが、リスク及び深層防護の考慮事項に関する情報を用いて、提案されたOLMを実施すべきかどうかを判断す

るためのガイダンスと手法を記載している。本ガイダンスは、**OLM**期間中に適用される強化措置を特定するために用いられる定量的及び定性的基準を説明し、特定のリスク源を効果的に管理することを目的としている。

本ガイドラインには、各**OLM**アプリケーションの計画、構成、管理方法について、各プラント部門の責任を含め、詳細なガイダンスと事例が記載されている。また、**OLM**期間中のプラント全体の安全監視、および安全状況が変化した場合の事前計画された緊急対応策の必要性についても説明している。

本ガイドラインは試験運用として発行されるべきである。

パイロット適用

経験上、こうした先駆的な取り組みは、一つ以上のプラントにおける試験的適用によって大きな効果を得られることが示されている。これらの試験的適用は、手法やガイダンスの活用、およびリスク情報を活用した**OLM**プログラムを支援するための評価結果の統合に関する貴重な実践的知見を提供する。試験的適用は往々にして、その実践的経験なしには予測が困難な手法やガイダンスの改良をもたらす。

伊方3号機で実施されたガイダンスの試験的適用に関する要素について説明を受けた。原子力規制委員会（**NRA**）職員がその過程を観察し、プラントおよび**NRRC**にフィードバックを提供していることを知り、我々は非常に心強く感じている。これらの試験的適用から得られた教訓とフィードバックは、ガイドラインの今後の改善に向けた貴重な情報となるだろう。

この取り組みの重要性とガイダンスの複雑性を考慮すると、少なくとも**1~2**つの他のプラントで追加のパイロット適用を実施すべきである。これらの適用の目的は、全ての事業者の分析者及び意思決定者がガイダンスを明確かつ一貫して理解し適用することを、より確実に保証することにある。この文脈において、パイロット適用ではガイドラインの全要素を完全に実施すべきである。これには定量的リスク評価、定性的評価として外的事象リスクと深層防護評価の両方、ならびに具体的なリスク管理措置の特定と**OLM**計画策定のためのプラント**RIDM**パネルの関与が含まれる。

あるパイロット適用が、同一の安全系列内で異なる機能を提供する複数のシステムから同時に機器を運用停止させる提案された**OLM**構成を検討すれば有用である。そのアプリケーションは、単一機器の保守よりも複雑な構成において、ガイダンスがどのように適用されるかを確認するものである。

さらなる検討事項

現行版のガイドラインを試験運用として発行することを推奨する。パイロット適用からの経験により、改善と明確化が必要な具体的な事項が特定され、これらは次回のガイダンス改訂時に実施される。当方のレビュー過程において、ガイドラインの次回改訂発行前にさらなる検討を要するいくつかの課題を確認した。

外的事象によるリスクの定性的評価

OLM構成において利用可能な安全停止成功パスの数に与える影響を定性的に評価するためのガイダンスは、特に内部火災および内部溢水によるハザードのみに焦点を当てている。経験上、これらのハザードは、待機除外となる特定の設備によってはリスクにとって極めて重要となる可能性がある。プラント固有の脆弱性が他の外的事象に対して生じる場合、これらが重大なリスク要因となる可能性もある。OLM構成は、内部火災や内部溢水によるリスクと比較して、これらのハザード要因から生じるリスクに対して異なる影響を及ぼす可能性がある。

運転を再開し、安全性向上評価（SAR）を終えたプラントには、地震や津波によるリスクを定量化するPRA（確率論的リスク評価）が実施されていると報告を受けている。サイトに影響を及ぼす可能性のあるその他の外的事象には、強風、火山、その他のサイト固有の自然災害、およびサイト固有の人為的ハザードが含まれる。各ハザードによる損傷と対応するPRAの成功基準に応じて、OLM構成は、炉心損傷やサイト外放出を防止するために利用可能な安全停止パスの残存数に影響を及ぼす。経験上、他の定量的・定性的評価手法に基づき、こうしたハザードリスクの多くが極めて低いと結論付けられる場合が多い。ただしそれが不可能な場合、安全停止成功パス評価手法を用いてハザードリスクの代替的定性評価を実施できる。したがって本指針では、他の検討事項で十分に対処できない全ての外的事象リスクを評価するため、安全停止成功パス評価手法を適用すべきと明記すべきである。

本ガイドラインには、炉心損傷確率増分（ICDP）や格納容器機能喪失確率増分（ICFP）などの定量的リスク指標を導出するための詳細なガイダンスと手法が記載されている。また、保守活動が作業区域内で発生し得る各ハザードの頻度を増加させる可能性、その深刻度を高める可能性、あるいは損傷の作業区域外への伝播を防ぐ障壁に影響を与える可能性に関する定性的評価についての広範な議論も含まれている。本ガイドラインは、OLM構成が利用可能な安全停止成功パスの数に与える影響に関する定性的評価について、同様のガイダンスや手法を記載していない。原則として、本ガイドラインは、この手法についてより完全な記述を含む他の参考文献を分析者に参照させる可能性がある。しかし、本ガイドラインが3つの基本評価手法すべてについて同様のガイダンスを1つの簡潔な参照資料として提供すれば、事業者の分析者は大きな恩恵を受けるだろう。チームは、安全停止成功パス評価手法に関する拡張ガイダンスの追加を検討すべきであり、必要に応じて適切な説明例を付加することが望ましい。

累積リスク影響の評価とモニタリング

ガイドラインの以前のバージョンには、OLMによる累積的影響が、性能目標案と比較してプラントの年間平均CDFまたはCFFを著しく増加させないことを確認する要件が含まれていた。また本ガイダンスでは、OLM期間中に蓄積される増分リスクを等価な年間平均リスクに変換する比較手法を要約した。これらの累積的影響は各OLM停止期間終了後に更新され、その後の保守作業の計画決定において考慮されるべきであると示されている。

累積リスク影響の追跡と傾向分析は、規制ガイド1.174における性能監視ガイダンスの重要な要素である。これにより、連続するOLM活動における「小規模かつ短期間」のリスク増加の総合的影響が、プラントの年間平均リスクに重大な影響を与えないことが保証される。

これらの更新を実施するための要件および支援方法の概要は、現行版のガイドラインから削除された。チームは、累積リスク更新が一貫して実施されるよう、以前のガイダンスを復元するか、代替ガイダンスを提供すべきである。

深層防護評価

様々な文献では「深層防護」という用語が、複数の防護壁や安全レベルといった、多少異なるが関連する概念を説明するために用いられている。本報告書では、OLM構成が主要な安全機能を達成するためのプラントの冗長性と多様性に与える影響を評価する文脈において、深層防護という用語を使用する。

ガイドラインは、深層防護評価を特定のハザードに対する定量的または定性的リスク評価の代替として使用できると示している。これは規制指針1.174およびAESJ規格AESJ-SC-S012E:2019のガイダンスと整合しない。当該ガイダンスは、統合的なリスク情報を活用した意思決定において、OLMが全ハザード源によるプラント全体のリスクに与える影響の推定値を考慮すべきであると明示的に規定している。かつ、OLMが深層防護に与える影響の評価を考慮すべきである。深層防護の評価はリスク評価を補完するものである。両者は類似した結論を含む場合があるが、プラントのRIDMパネルが検討すべき異なる安全性の視点を提供する。チームは、深層防護の評価が、OLMがプラントリスクに与える影響に関する定量的・定性的評価の代替ではないことを示すよう、ガイダンスを明確化すべきである。

これらの評価に関する現行のガイダンスは、OLMが内的事象の緩和に利用可能な深層防護に与える影響の検討にのみ焦点を当てている。一部の外的事象における炉心損傷及び外部放出を防止するための機能的達成基準は、プラントのPRAモデルで評価される内的事象に適用される達成基準とは異なる可能性がある。したがって、本指針では、これらの評価においてOLMが内的事象及び外的事象の緩和に利用可能な深層防護に与える影響を扱うべきであることを明記すべきである。

初期スクリーニング基準

本ガイドラインでは、OLMの実施可否を初期段階で判断するためのスクリーニング評価を規定している。この評価は、OLM構成時のリスク推定値を、CDFおよびCFFの定量的スクリーニング基準と比較して行う。外的事象によるリスクを含むか否かによって、2種類の異なるスクリーニング基準が適用される。

NUMARC 93-01の評価プロセスには同様のスクリーニング段階が含まれる。ただし、当該ガイダンスでは単一の基準のみを使用しており、これは内的事象と外的事象の総合リスクに適用される。この統合評価は、リスク情報を活用した意思決定が全てのハザード源からのリスクを考慮すべきことを示す規制指針1.174のガイダンスと整合している。

事業者の分析者は、2つのスクリーニング基準を実際にどのように使用すべきかを明確に理解していない可能性がある。また、各プラントの確率論的リスク評価（PRA）モデルに含まれる外的事象の範囲によって、基準が一貫して適用されない場合もある。チームはこれらのスクリーニング基準の技術的根拠を再検討すべきである。ガイドラインが別個のスクリーニング基準を維持する場合、それらが一貫して解釈・適用されるようガイダンスを強化する必要がある。

運転中保全の予見される状況によるリスク

プラントの安全状態は継続的に監視される。ガイドラインでは、OLMによる設備の待機除外期間に発生する予期せぬプラント状態の変化や不測の事態によるリスク増大の可能性に対処するため、緊急時対応計画を用意すべきと示されている。このガイダンスはプラント安全の積極的管理にとって極めて重要である。

各OLM活動の計画プロセスにおいて、OLM構成がプラントリスクに与える影響を評価するため、定量的および定性的評価が実施される。これらの評価では、リスクを増加させる可能性のある全ての計画活動を慎重に考慮すべきである。例えば、プラントの保安規定では、OLM実施中に冗長設備の試験が要求される場合があると通知されている。具体的な要求事項によっては、これらの試験により機器が一定期間機能停止状態となる可能性がある。また試験は機器故障発生確率を高める負荷を誘発する恐れもある（これらは「試験起因故障」と呼ばれることが多い）。したがって、提案されたOLM構成中にこうした状況が発生する場合、事前計画段階のリスク評価ではそれらを考慮に入れ、OLMリスクへの既知の寄与要因として含める必要がある。

本ガイドラインは、リスク評価において、必要な試験およびその他の計画された活動（運転期間中に設備を停止させるもの、または試験起因の故障の可能性を導入するもの）を考慮に入れるべきであることを明確に示すべきである。

リスク増加価値の閾値

本ガイドラインは、特定の設備、システム、機能のリスク重要度の定量的な推定値に基づき、強化されたリスク管理措置の特定と実施に関するガイダンスを定めたものである。「グリーン」「ホワイト」「イエロー」の閾値を用いて、段階的に包括的な措置を必要とする3段階のリスク重要度を区別する。

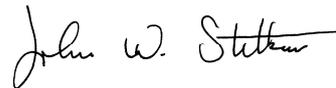
リスク増加価値（RAW）は、項目のリスク重要度を判断するために用いられる指標の一つである。米国で用いられるガイダンスでは、通常、 $RAW \geq 2$ の値を適用し、項目のリスク重要度が強化された注意を払うに値するかどうかを判断する。

本ガイドラインは、リスク管理措置の実施を促す閾値RAW値の推定値を得るための代替手法を要約したものである。ガイダンス及び計算例は、OLM期間中の「ホワイト」または「イエロー」リスクレベルに適用される閾値と整合していないように見える。チームは、これらの代替RAW閾値の使用に関するガイダンスと、各リスク管理措置レベルへの適用可能性を再検討すべきである。

まとめ

本ガイドラインは、原子力発電所の安全性と運転の改善に向けたリスク情報を活用した意思決定の日本産業における活用に向けた先駆的な貢献である。パイロット適用が完了し、ガイダンスが更新されるにつれ、NRRCスタッフとの議論を継続することを期待している。

敬具



ジョン・ステットカー
委員長

参考文献

1. United States Nuclear Regulatory Commission, Regulatory Guide 1.174, "An Approach for Using Probabilistic Risk Assessment in Risk-Informed Decisions on Plant-Specific Changes to the Licensing Basis," Revision 3, January 2018.
2. Nuclear Energy Institute, NUMARC 93-01, "Industry Guideline for Monitoring the Effectiveness of Maintenance at Nuclear Power Plants," Revision 4f, April 2018.
3. United States Nuclear Regulatory Commission, Regulatory Guide 1.160, "Monitoring the Effectiveness of Maintenance at Nuclear Power Plants," Revision 4, August 2018.
4. United States Nuclear Regulatory Commission, NUREG-1855, "Guidance on the Treatment of Uncertainties Associated with PRAs in Risk-Informed Decision making", Revision 1, March 2017.
5. International Atomic Energy Agency, IAEA-TECDOC-1909, "Considerations on Performing Integrated Risk Informed Decision Making," 2020.
6. Atomic Energy Society of Japan, Standard AESJ-SC-S012E:2019, "Implementation Standard Concerning Integrated Risk-Informed Decision Making for the Continuous Safety Improvements in Nuclear Power Plants: 2019," March 2022.
7. Nuclear Risk Research Center, "On-Line Maintenance (OLM) Project in Japan," Presentation to NRRC Technical Advisory Committee, May 2022, Proprietary.

8. Nuclear Risk Research Center, "Briefing on Risk-Informed OLM," Presentation to NRRRC Technical Advisory Committee, November 2022, Proprietary.
9. Nuclear Risk Research Center, "On-Line Maintenance Guidelines (Draft)," January 2023, Proprietary.
10. Nuclear Risk Research Center, "Draft Guidelines for On-Line Maintenance," Presentation to NRRRC Technical Advisory Committee, May 2023, Proprietary.
11. Nuclear Risk Research Center, Research Report NR23002, "On-Line Maintenance Guideline," October 2023.
12. Nuclear Risk Research Center, "Recent Activities by RIDM Team," Presentation to NRRRC Technical Advisory Committee, November 2023, Proprietary.
13. Stetkar, J. W., "Comments and Questions on On-Line Maintenance Guideline, CRIEPI Report NR23002," December 1, 2023, Confidential.
14. Miraucourt, J-M., "Comments and Questions on On-Line Maintenance Guideline, CRIEPI Report NR23002," February 1, 2024, Confidential.
15. Nuclear Risk Research Center, "Revisions to the On-Line Maintenance (OLM) Guideline," Presentation to NRRRC Technical Advisory Committee, May 2024, Proprietary.
16. Nuclear Risk Research Center, Research Report NR24001, "On-Line Maintenance Guideline (Rev. 2024) – Expansion of Scope of Application (Simultaneous Implementation of Multiple Systems, etc.)," July 2024, Proprietary.
17. Technical Advisory Committee individual members' comments and questions on "On-Line Maintenance Guideline (Rev. 2024) – Expansion of Scope of Application (Simultaneous Implementation of Multiple Systems, etc.), CRIEPI Report NR24001," September 2, 2024, Confidential.
18. Nuclear Risk Research Center responses to individual members' comments and questions on On-Line Maintenance Guideline, October 2024, Confidential.
19. Nuclear Risk Research Center, "Policy on Responding to the OLM Guidelines Based on Reviews from TAC Members," Presentation to NRRRC Technical Advisory Committee, November 2024, Proprietary.
20. Technical Advisory Committee individual members' comments and questions on On-Line Maintenance Guideline, January 6, 2025, Confidential.
21. Technical Advisory Committee of the Nuclear Risk Research Center, "Interim Review of Risk-Informed On-Line Maintenance Guideline," January 13, 2025.

22. Nuclear Risk Research Center, "TAC Report Titled 'Interim Review of Risk-Informed On-Line Maintenance Guideline' (13 January 2025)," January 20, 2025.
23. Nuclear Risk Research Center, Responses to "Technical Advisory Committee individual members' comments and questions on On-Line Maintenance Guideline, January 6, 2025," March 17, 2025, Confidential.
24. Nuclear Risk Research Center, "Policy for Responding to the OLM Guidelines Based on the TAC Letter," Presentation to NRRC Technical Advisory Committee, March 24-25, 2025, Proprietary.
25. Nuclear Risk Research Center, Research Report NR24001, "On-Line Maintenance Guideline (Rev. 2024) – Expansion of Scope of Application (Simultaneous Implementation of Multiple Systems, etc.)," interim version received May 1, 2025, Proprietary.
26. Nuclear Risk Research Center, "Draft Revision of the OLM Guidelines," Presentation to NRRC Technical Advisory Committee, May 20, 2025, Proprietary.
27. Stetkar, J. W., "Comments on Selection of Risk Management Measures for Emergency Diesel Generator A On-Line Maintenance Example, Basic Events with Risk Achievement Worth ≥ 2 ," June 6, 2025, Confidential.
28. Nuclear Risk Research Center, Research Report NR24001, "On-Line Maintenance Guideline (Rev. XX) – Enhancement of Risk Management for External Events," version received September 26, 2025, Proprietary.
29. Nuclear Risk Research Center, "Revised OLM Guidelines and Field Demonstration at Ikata Nuclear Power Plant," Presentation to NRRC Technical Advisory Committee, November 17, 2025, Proprietary.