

本資料は2026年5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

2026年5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: マルチユニットPRAの手法

アポストラキス博士殿:

2026年5月18日から22日にかけて開催された原子力リスク研究センター（NRRC）技術諮問委員会の第24回会合において、我々はNRRCのスタッフと会合を持ち、複数の原子炉を有する発電所（サイト）におけるサイト全体のリスクを評価するための提案手法の現状について検討を行った。本書簡は、当該手法に関するNRRCの技術報告書草案に対する改善案をまとめたものである。

## 結論と提言

1. 複数の原子炉を有するサイトにおけるサイト全体のリスクおよびその要因の評価は、極めて困難である。NRRCは、こうした分析を支援するための手法やツールの開発において、大きな進展を遂げている。
2. 2026年度に完成予定の技術報告書は、あらゆるハザードに起因するサイト全体のリスクを評価するために適用可能な分析フレームワークおよび方法論を記述するよう、内容を充実させるべきである。
3. NRRCは、敷地外への放出を伴う事故シナリオを選別するための、提案されているレベル2のリスク上の重要性に関わる指標（risk significance metrics）について再検討すべきである。

## 背景

複数の原子炉を有するサイトにおけるサイト全体のリスクおよびその要因の評価は、極めて困難である。こうした分析は、しばしば「マルチユニット確率論的リスク評

価（MUPRA）」と呼ばれる。これらの分析を行うための包括的な手法は一般的に確立されておらず、現在、国際的に開発が進められている段階にある。実際の原子力発電所サイトにおいて、これらの手法が適用された事例はごくわずかである。

NRRCは数年にわたり、MUPRA手法の提案に取り組んできた。2023年（2022年度）、研究チームは本手法に関する初期の技術報告書を作成した。これは、内的事象に起因するリスク評価のための手法とツールに焦点を当てたものである。2026年（2025年度）、チームは同報告書の更新版を発行し、火災や洪水などの内部ハザードも分析範囲に含めるよう拡張した。また、チームは地震によるリスクを評価するための手法案も策定した。

我々は、この研究の継続的な進捗状況について説明を受けた。また、当委員会のメンバーは、技術報告書草案に対して個人的なコメントも提供した。NRRCは、これらの困難な解析を支援するための手法およびツールの開発において、著しい進展を遂げている。

今回の会合において、本研究プロジェクトは2026年度末をもって中断されることが通知された。その際、チームは現在の技術報告書の最終更新版を作成し、そこに方法論とツールを記載する予定である。

## 議論

2026年度末に作成される技術報告書について、以下の改善点を提案する。

### (1) 全てのハザードに対応した評価フレームワーク

提案されているMUPRA手法は、当初は内的事象のみを対象としていたものが、その後、内部ハザードや地震への拡張と段階的に発展してきた。各拡張については、「内部事象MUPRA」、「火災MUPRA」、「地震MUPRA」といった、それぞれ独立した手法の枠組みの中で検討されてきた。しかし、これらのハザードや、特定のサイトに影響を及ぼしうるその他のあらゆるハザードの解析には、共通の一般的な枠組みが適用される。その枠組みは、マルチユニット起因事象（MU-IE）の3つの一般的なカテゴリーを定義する、非常に有用な概念的分類法に基づいている。

- 共通 MU-IE とは、2 つ以上のユニットに同時に影響する単一の起因事象である。
- 従属 MU-IE とは、1 つのユニットで発生し、機能的に依存する、あるいは連鎖的な影響を 1 つ以上の他のユニットに及ぼす起因事象である。
- 独立 MU-IE とは、2 つ以上のユニットで偶発的に発生する起因事象であるが、共通性や従属的な機能的影響を有さない起因事象である。

共通原因**MU-IE**には、通常、地震、津波、近隣の産業施設での事故など、自然または人為的な外部ハザードによって引き起こされるほとんどの発生事象が含まれる。このカテゴリーには内部ハザードも含まれる。例えば、共用区画で発生した火災や溢水は、2つ以上のユニットに同時的な損傷を引き起こす可能性がある。また、このカテゴリーには、電源系統、冷却水系統、換気系統などの共用支援システムを機能不能にする内的事象も含まれる。

従属**MU-IE**には、あるユニットでの起因事象に起因して複数のユニットで連鎖的に発生する故障が含まれる。これらの影響を特定するには、通常、ユニット間の潜在的に微妙な相互作用についてかなり詳細な検討が必要となる。例えば、あるユニットからのタービン破片が隣接するユニットに損傷を与える可能性がある。あるユニットでの火災による煙や有毒ガスが、別のユニットの換気吸気口に入り込み、自動停止を引き起こしたり、手動停止を必要としたりする場合がある。あるユニットへの落雷や深刻な内部電氣的故障は、共通のフローティング・アース・グリッドに電位を誘導し、その結果、別のユニットの自動トリップを引き起こす可能性がある。従属**MU-IE**には、サイト固有の手順指針や管理慣行による、別のユニットの強制的な手動停止も含まれる。例えば、特定の内部火災や洪水に対するサイト全体の手順では、ユニット間の延焼による影響を防ぐための予防措置として、隣接するユニットの即時手動トリップが求められる場合がある。また、手順では、主蒸気系統や給水系統の大規模な破損など、特定の内部事象に対する手動停止が求められる場合もある。これらは、共有されている二次プラント区画に蒸気や水を放出する可能性がある。

独立起因事象には、通常、ほとんどの内的事象および内部ハザードに起因する起因事象が含まれる。それぞれの独立した起因事象は、1ユニットにのみ直接的な影響を及ぼす。**MUPRA**の文脈において、独立した**MU-IE**の例としては、1号機に影響を及ぼす起因事象**X**と、1号機の事象緩和期間中に2号機に影響を及ぼす起因事象**Y**が相次いで発生するケースが挙げられる。これらの同時発生する起因事象による影響は、各シングルユニット**PRA** (**SUPRA**) モデルにおいて共用設備に適用される機能的成功基準を変更する可能性がある。また、複数のユニットで共用される恒設型または可搬型のシビアアクシデント設備の使用が必要となる場合がある。さらに、これらの状況は、サイト全体での要員対応を必要とし、利用可能な人員体制に負荷をかけるほか、運転員や監督者間、あるいは緊急対応要員間のユニット間認知的依存の要因となる可能性がある。

提案された手法では、(1) 各ハザードによって引き起こされるユニット間の相互依存性の影響を考慮するために**SUPRA**モデルおよび解析に適切な修正を加えること、(2) 各**SUPRA**モデルから得られた事故シーケンスを統合すること、および(3) 構造化された基準を適用して、サイト全体のリスクにとって潜在的に最も重要な事故シナリオを特定することのために用いられる技術とツールについて記述している。これらの基本的な手法は、これまでに検討されてきた各ハザードの分析に使用されている。これらは、共通の**MUPRA**フレームワークおよび分析プロセスの基本的な要素であり、他のすべてのハザードにも適用されるべきである。

ユニット間の相互依存性に重要な影響を及ぼす問題を評価するには、特別な手法が必要となる。その例としては、以下のものが挙げられる：

- ユニット間の共通原因によるハードウェア故障の取り扱い、およびユニット内の共通原因による故障モデルとの関係。これらの評価は、全てのハザードの解析に適用される。
- 事故シナリオの進展中のユニット間の人的認知に関わる相互依存性の取り扱い。これらの評価は、すべてのハザードの解析に適用される。
- ユニット間の関連したフラジリティの取り扱い、およびユニット内の関連したフラジリティのモデルとの関係。これらの評価は、地震の評価にのみ適用される。

こうした専門的な解析には、技術的に困難な手法が用いられることが多く、解析担当者の多大な労力や高度な計算能力が必要となる場合がある。そのため、各手法の基本的な要素として、リスク情報を踏まえた段階的アプローチが採用されており、リスクが最も高い事故シナリオに対してのみ、より詳細な解析が行われる。各解析タイプにおけるNRRCの手法の詳細は、現在もなお発展途上である。

ユニット間の相互依存性に影響を及ぼす問題に対するこうした重点的な評価は、最適評価熱水力解析がシナリオ固有の成功基準の策定を支援したり、火災モデリングツールが火災の拡大や被害の分析を支援したりするのと同様に、一般的なMUPRAフレームワークおよび手法の実施を支援するものである。したがって、各タイプのユニット間相互依存性評価の手法は、個別のトピック別報告書に記載され、一般的なMUPRA手法において参照されることになる。さらに、これらの詳細かつ焦点を絞った手法は、時間の経過とともに進化し続ける可能性がある一方で、MUPRAの全体的な枠組みはあらゆるハザードに対して適用可能であり続ける。

2026年度に完成予定の技術報告書は、あらゆるハザードによるサイト全体のリスクを評価するために適用可能な、共通のMUPRAフレームワークおよび方法論を記述するよう充実させるべきである。特定の種類のユニット間依存性を評価するためのリスク情報に基づく段階的手法の現状は、一般的な方法論の実施を支援する、焦点を絞ったトピック別報告書または付録に文書化されるべきである。また、選択肢として、技術報告書において、将来の統合リスク評価においてMUPRA手法をどのように活用できるか、特に、効果的なサイト全体のリスク管理活動を支援するために、共通のリスク指標、互換性のあるPRAモデル出力、相互依存関係の取り扱い、およびリスク情報に基づくスクリーニング基準の調整が必要となる場合について、検討することも可能である。

## (2) レベル2 PRAリスクの重要性に関わる指標

提案された手法には、個別の独立起因事象の組み合わせがサイト全体のリスクに重大な影響を及ぼす可能性があるかどうかを判断するためのスクリーニングプロセスが含まれている。研究チームは、当該プロセスに関する会議での議論およびメンバーからのコメントを検討した。2025年版の技術報告書更新案では、この手法を拡張

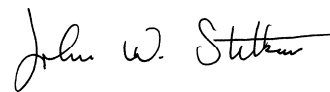
し、炉心損傷頻度（CDF）に対するレベル1 PRAの寄与に加え、敷地外への放出に対するレベル2 PRAの寄与も考慮するようにしている。

現在提案されている手法では、セシウム137（Cs-137）100 TBqを超える放出頻度が $10^{-6}$ /年未満であるべきとする原子力規制庁（NRA）の暫定性能目標に由来するレベル2 PRAスクリーニング基準を採用している。

オンライン・メンテナンス（OLM）や格納容器漏洩率試験（CVLRT）間隔の延長など、リスク情報に基づく申請に関するNRRCのガイダンスの文脈において、この基準を敷地外への影響の尺度として用いることについて、我々は何度か議論を行ってきた。これらの取り組みに関する方法論について報告した当方の書簡では、この指標を格納容器破損頻度（CFF）や条件付き格納容器破損確率（CCFP）といった他のレベル2 PRA指標を補完する要素として、どのように扱うべきかについて論じている。

NRRCの研究チームは、2026年度版のMUPRA手法に関する技術報告書の作成にあたり、敷地外への放出を伴う事故シナリオを選別するための、提案されているレベル2 PRAリスク重要度指標を再検討すべきである。

敬具



ジョン・ステットカー  
委員長

## 参考文献

1. Soga, et. al., "A Systematic Approach to Estimate an Inter-Unit Common-Cause Failure Probability," Reliability Engineering and System Safety, 215 (2021) 107802, June 27, 2021.
2. Nuclear Risk Research Center, "Development of Methods for Internal Event Level 1 Multi-Unit Probabilistic Risk Assessment," February 2023, Proprietary.
3. Stetkar, J. W., "Comments and Questions on Development of Methods for Internal Event Level 1 Multi-Unit Probabilistic Risk Assessment," March 4, 2023, Confidential.
4. Nuclear Risk Research Center, CRIEPI Report NR22003, "Development of Methods for Internal Event Level 1 Multi-Unit Probabilistic Risk Assessment," April 2023.

5. Nuclear Risk Research Center, "MUPRA Research Overview - Research Plan and Current Outcomes," Presentation to NRRC Technical Advisory Committee, May 17, 2023, Proprietary.
6. Stetkar, J. W., "Comments and Questions on Development of Methods for Internal Event Level 1 Multi-Unit Probabilistic Risk Assessment," January 15, 2024, Confidential.
7. Nuclear Risk Research Center, "Development of Methods for Internal Event Level 1 Multi-Unit Probabilistic Risk Assessment," Draft Update, December 2025, Proprietary.
8. Nuclear Risk Research Center, Responses to "Comments and Questions on Development of Methods for Internal Event Level 1 Multi-Unit Probabilistic Risk Assessment, January 15, 2024," December 29, 2025, Confidential.
9. Stetkar, J. W., "Comments and Questions on A Systematic Approach to Estimate an Inter-Unit Common-Cause Failure Probability, Soga, et. al., Reliability Engineering and System Safety, 215 (2021) 107802, June 27, 2021," January 12, 2026, Confidential.
10. Stetkar, J. W., "Comments and Questions on Development of Methods for Internal Event Level 1 Multi-Unit Probabilistic Risk Assessment," February 9, 2026, Confidential.
11. Nuclear Risk Research Center, "Briefing on Multi-Unit PRA (MUPRA) Methodology," Presentation to NRRC Technical Advisory Committee, May 20, 2026, Proprietary
12. Technical Advisory Committee of the Nuclear Risk Research Center, "Interim Review of Risk-Informed Containment Vessel Leak Rate Testing Guideline," January 13, 2025.
13. Technical Advisory Committee of the Nuclear Risk Research Center, "Interim Review of Risk-Informed On-Line Maintenance Guideline," January 13, 2025.
14. Technical Advisory Committee of the Nuclear Risk Research Center, "Risk-Informed Containment Vessel Leak Rate Testing Guideline," May 26, 2025.
15. Technical Advisory Committee of the Nuclear Risk Research Center, "Risk-Informed On-Line Maintenance Guideline," November 27, 2025.