

審査の結果の要旨

氏名 中村 康一

本論文は、原子力施設の確率論的リスク評価（PRA）において動的効果を考慮する、ダイナミック PRA（DPRA）に適用可能な新しいリスク評価手法を開発するものである。

第 1 章には研究背景と研究目的を示した。DPRA は、イベントツリー法に比べ、事故シナリオの挙動変化やリスクの時間的変化をより詳細に評価することができる。DPRA を原子力発電所の PRA に適用することができれば、従来の方法に比べてより詳細なリスク情報が得られるため、安全向上の最適化が可能となる。しかし、DPRA では多数の事故進展解析を実施する必要があり、従来事故進展解析手法では実施困難である。本研究は、原子力事故時の環境への核分裂生成物の放出に係るリスクを対象としたレベル 2 の DPRA に適用可能なソースターム評価手法の開発を行うことを目的とする。そのため、現象相関ダイアグラム法（Phenomenological Relationship Diagram: PRD）を適用した。PRD は定量化対象の事象（頂上事象）を階層的に素事象へ分解し、単純化された関数ゲートにより素事象同士の相互作用を定量化し、頂上事象を評価する方法である。そのような特徴から現象論的な分析を適切に反映しつつも、数値解析的な膨大な計算負荷を回避して不確実さを含めた定量化が可能である。

第 2 章では、PRD を適用したソースターム評価手法（ソースターム PRD と呼ぶ）を構築し、原子力発電所を対象としてソースターム評価を実施した。PRD は頂上事象とその直接因子で構成するメイン PRD と、その下位に展開し具体的な関数ゲートや物性値で構成されるサブ PRD から成る。事故時の環境へ放出されるセシウム（Cs）量を PRD の頂上事象に設定し、その直接因子でメイン PRD を構成した。さらに環境へ放出される Cs に影響を与えるプラント内現象とその定量化過程をサブ PRD としてメイン PRD の下位に展開した。環境へ放出される Cs に影響を与えるプラント内現象は PIRT（Phenomenon Identification and Ranking Table）法により同定した。ソースターム PRD の各モデルの詳細度は、シビアア

クシデント解析コード MELCOR のモデルを参照し、現象の影響度及び計算負荷を勘案して定めた。ソースターム PRD による解析は、長期全電源喪失を対象とした。時間経過に伴うプラント内の主要な Cs の挙動及び環境への放出挙動について、ソースターム PRD は MELCOR コードと整合する結果を与えることを示し、その計算負荷は、MELCOR コードよりも大幅に小さいことを確認した。これらは、実際の事故条件を対象としたレベル 2DPRA に適用できる水準と判断した。以上のおり、ソースターム PRD がレベル 2DPRA へ適用可能であることを示すとともに、本手法の性能について定量的に明らかにした。

第 3 章では、原子力発電所を対象にソースタームPRDを用いてレベル2DPRAを実施した。レベル2DPRAとして、(1) MELCORコード（ケース 1）、(2) ソースタームPRDと MELCORコードの熱水力解析結果に基づくライブラリ（ケース 2）、(3) ソースタームPRDとメタモデル（ケース 3）による 3 ケースを実施した。メタモデルは、MELCORコードとの整合性を取りつつ、単純化したモデルで熱水力挙動を解析する手法であり、計算負荷の大幅な低減が期待できる。解析により、ケース2はケース3に比べて、多くの事故シナリオにおいてケース1をよりよく再現すること、ケース3では急激な過渡変化を伴う事故シナリオに適用できないことを明らかにした。格納容器直接加熱等の特定事象に対してはメタモデルを適用せず、MELCORコードを使用すべきであることが推奨される。計算負荷については、ケース3はケース2を大幅に下回ることを示した。ケース2の計算負荷はケース1の1/3程度であった。対象とする事故事象の熱水力的条件に応じて、MELCORコード、ソースタームPRD又はメタモデルの各手法をそれぞれの特徴を踏まえて使い分ければ、レベル2DPRAが現実的な計算時間で実施可能である。本章ではソースタームPRDは原子力発電所のレベル2DPRAへ適用可能であることを示すとともにその適用範囲を明らかにした。

第 4 章は結論であり、本研究の成果をまとめている。

新しいリスク評価手法を提案して、シビアアクシデント解析とリスク評価を結びつけた本研究の成果は、リスク学ならびに安全工学に多大な貢献を果たすものであり、原子力工学の進展に寄与するところが少なくない。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。