

論文の内容の要旨

論文題目 PRDを用いたレベル2PRAを対象とするダイナミックPRAに適用可能な
ソースターム評価手法の開発

A development of source term evaluation method using PRD
applicable to dynamic PRA for level 2 PRA

氏 名 中村 康一

本論文は第1章から第4章で構成する。

第1章では、研究背景と研究目的を示した。ダイナミック確率論的リスク評価（DPRA）は、従来のイベントツリーを用いたPRAに比べ、事故シナリオの挙動変化やリスクの時間的变化をより詳細に評価することができる。DPRAを原子力発電所のリスク評価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、安全対策の投資の一層の最適化が可能となる。しかし、DPRAは、事故進展解析の大量の実施を必要とし、従来の事故進展解析手法を用いた方法では実施が困難なため、実施技術は確立されていない。本研究では、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評価を対象としたDPRA（レベル2DPRA）に着目し、レベル2DPRAに適用可能なソースターム評価手法の開発を行った。開発にあたっては、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。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ながら不確実さを含めた定量化が可能であり、レベル2DPRAへの適用が可能と判断できる。本研究ではPRDを適用したソースターム評価手法を構築し、構築したソースターム評価手法を用いてレベル2DPRAを実施し、原子力発電所のレベル2DPRAに対するソースタームPRDの適用性を明らかにした。

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たソースターム評価を実施し、本手法をレベル2DPRAへ適用する場合の性能を明らかにした。PRDは頂上事象とその直接因子で構成するメインPRDと、メインPRD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。本研究で

は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、その直接因子を含めてメイン 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 の下位に構成した。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 手法を参考に同定した。その評価モデルは MELCOR コードのモデルを参照して構築し、現象の影響度及び解析に係る計算負荷を勘案し、それぞれのモデル詳細度を定めた。構築したソースターム PRD によりソースターム解析を実施した。解析は限定的な事故条件を対象とした。評価精度の判断基準として同プラントを対象とした MELCOR コードの解析結果との比較を行った。ソースターム PRD は、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、MELCOR コードと整合する結果を与えた。さらにその計算負荷は、MELCOR コードよりも大幅に小さく、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できた。以上より、ソースターム PRD は十分に低い計算負荷により MELCOR コードと整合するソースターム評価結果を与えることを確認し、ソースターム PRD がレベル 2DPRA へ適用可能な見込みを得た。

第 3 章では、原子力発電所を対象に限定的な条件に基づくレベル 2DPRA をソースターム PRD により実施し、原子力発電所のレベル 2DPRA に対するソースターム PRD の適用性を明らかにした。限定的な条件を適用したレベル 2DPRA は 3 ケースを実施した。ケース 1 では、ソースターム PRD の評価精度の判断基準として MELCOR コードによるレベル 2DPRA を実施した。次に、ソースターム PRD によるレベル 2DPRA として、MELCOR コードの熱水力解析結果に基づくケース (ケース 2) と、メタモデルの熱水力解析結果に基づくケース (ケース 3) を実施した。メタモデルは熱水力挙動を解析する手法であり、MELCOR コードとの挙動の整合性を取りつつ、単純化したモデルを適用することを特徴とする。そのため計算負荷の大幅な低減が期待できる。解析の結果、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 をより再現した。これはケース 3 でメタモデルにおける評価モデルの単純性により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が原因である。一方でケース 3 の計算負荷はケース 2 を大幅に下回った。ケース 2 はケース 1 に対して、評価値の不確実さ分布を十分に再現できなかった。これはソースターム PRD が格納容器直接加熱等の特定事象に対し、単純化した評価モデルを採用したことで、それらの詳細な挙動を再現できなかったことが原因である。一方、ケース 2 の計算負荷はケース 1 に比べて 1/3 程度であった。以上より、3 ケースの解析において、レベル 2DPRA は評価精度が上がるほど、計算負荷の観点から実施が困難となるトレードオフの関係を示すことが分かった。それぞれのケースの特徴を生かし、レベル 2DPRA の評価結果の活用目的を踏まえて、MELCOR コード、ソースターム PRD 又はメタモデルを組み合わせることでレベル 2DPRA を実施することが有効であることを見出した。以上、本研究によりソースターム 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し、その適用範囲が明らかにした。

第 4 章では、本研究の結論を述べた。PRD を適用したソースターム評価手法を構築し、構築

したソースターム評価手法を用いて限定された条件に基づくレベル 2DPRA を実施し、原子力発電所のレベル 2DPRA に対するソースターム PRD の適用性を評価した。その結果ソースターム PRD は十分に低い計算負荷により MELCOR コードと整合するソースターム評価結果を与えることから、レベル 2DPRA へ適用できる見込みが得られた。次に、原子力発電所を対象にレベル 2DPRA をソースターム PRD により実施し、原子力発電所のレベル 2DPRA に対するソースターム PRD の適用性を明らかにした。ソースターム PRD における MELCOR コードによる結果との整合する範囲と、計算負荷の小ささを確認し、ソースターム PRD が原子力発電所のレベル 2DPRA へ適用可能であることを確認した。原子力発電所のレベル 2DPRA を実施する上では、その目的に応じて MELCOR コードやメタモデルと組み合わせた適用を行うことが妥当であることが見出された。以上より、ソースターム PRD はレベル 2DPRA に適用可能であり、レベル 2DPRA を実施する際の重要な選択肢となることを明らかにした。