九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

高温ガス炉の確率論的リスク評価手法構築のための原子炉動特性解析に関する研究

本多，友貴

https://hdl.handle.net/2324/2198519

出版情報：Kyushu University, 2018, 博士（工学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：

KYUSHU UNIVERSITY

（様式２）

氏　　名　：本多 友貴

論 文 名　：高温ガス炉の確率論的リスク評価手法構築のための原子炉動特性解析に関する研究

区　　分　：甲

論 文 内 容 の 要 旨

東京電力福島第一原子力発電所の事故を受けて、我が国では、実用炉において重要事故シーケンスの導出や安全性向上に確率論的リスク評価（Probabilistic Risk Assessment：PRA ）を活用することが必須となっている。高温ガス炉は固有の特性から、炉心溶融の可能性が極めて低く、溶融燃料による格納系への脅威も極めて低いという優れた安全上の特長を有する。このため、高温ガス炉の PRA では、在来の軽水炉を対象とした PRA のようにレベル１、２、３という区分をとらず、事故シーケンスごとに公衆被ばく線量評価までを一気通貫して評価する体系をとっている。また、高温ガス炉での PRA ではリスク指標として、事故シーケンス発生頻度とその影響の２つの指標を組み合わせた２次元的な指標が使用されているため、ソースターム評価が必須である。

これまでに実施された高温ガス炉の PRA では、事故シーケンスの打切り頻度を設定しており、静的な構築物、系統及び機器（Structure, System and Component :SSC）の機能喪失が想定されていないことが問題であった。このため、高温ガス炉の実用化に向けては、PRA において静的 SSC の機能喪失を考慮したソースターム評価が必須であった。さらに、PRA では不確実さ評価が必要となり、不確実さの定量化には妥当性を確認した手法により評価された中央値及び不確実さの分析が必要であった。

現在、日本原子力研究開発機構で開発されている高温ガス炉のソースターム計算コードシステムは、原子炉動特性評価計算コード、燃料酸化挙動評価計算コード及び燃料核分裂生成物放出挙動評価計算コードから構成される。これらのうち、原子炉動特性評価計算コードについては、地震起因による静的 SSC 損傷を考慮するため、任意に流路や構造物の形状をモデル化可能な RELAP5-3D コードを適用している。本計算コードは、基本的な機能の妥当性は確認されているものの、高温ガス炉特有の条件下における妥当性確認が必要であった。また、評価コードの妥当性確認に当たり、静的 SSC の損傷が発生した場合に考慮すべき現象の把握が必要であった。

本研究では、上記の課題を踏まえ、高温ガス炉の PRA で必須となるソースターム計算コードシステムの構築を目指して、静的 SSC の多重故障を考慮できるよう評価モデルの改良を行った。更に、評価モデルの高温ガス炉への妥当性を確認するとともに、リスク情報活用に資する系統的、かつ、追跡性を確保した不確実さの定量化手法を構築した。

第１章の序論では、高温ガス炉の現状を述べるとともに、高温ガス炉の静的 SSC の多重故障事故における PRA 手法開発及びソースターム評価手法開発について紹介した。PRA で求められる要件及び検討が必要な事項について調査し、本研究の目的及び位置づけとして、静的 SSC の多重故障事故における原子炉動特性の評価コードの妥当性確認及び系統的な不確実さ評価を設定した。

第２章の事象進展評価では、公衆被ばくの観点から最も厳しいと考えられる空気侵入を起因事象として、静的 SSC の機能喪失を考慮した高温ガス炉の事象進展評価及び原子炉動特性に関する不確

かさ因子分析を行った。事象進展評価の結果、燃料溶融に伴う著しい炉心損傷が発生しないことを確認した。このことから、燃料溶融に伴う燃料デブリの挙動評価と原子炉外への放射性物質の移行評価等を必要としないこと及び考慮すべき現象の範囲を明らかにした。更に、ソースターム評価上考慮すべき不確実さ因子として燃料温度を選定した。

第３章の原子炉動特性評価コードの妥当性確認では、空気侵入事故に反応度制御設備（Control Rod System ; CRS）の機能喪失が重畳した事象を対象として原子炉動特性評価コードによる燃料温度評価の妥当性確認を行った。既往研究での各代表因子の妥当性確認情報を調査した結果、ゼノン反応度の温度依存性についてモデル高度化の必要性を明らかにした。そこで、空気侵入事故に CRS 機能喪失が重畳した事象を模擬した試験である、高温工学試験研究炉 HTTR での炉心流量喪失試験の解析を実施した。解析では、再臨界時刻を指標として、ゼノン反応度の感度解析と温度依存モデルの構築及び妥当性確認を行った。その結果、再臨界時間の解析値が事象発生後 5 時間から約 7.6 時間となり、測定結果である事象発生後約 8 時間と 10%以内で一致することを明らかにした。このことにより、改良した評価モデルの妥当性を確認した。

第 4 章の不確かさ評価では、既往研究において不確実さ因子に影響を与える重要因子の選定手順が不明瞭であったことを受けて、系統的、かつ、追跡性を確保した重要因子選定手順の構築を行った。また、不確実さ因子として選定した燃料温度について、空気侵入事故に CRS 機能喪失が重畳した事象を対象とした評価を行い、重要因子として６因子を抽出し、これらの因子を入力値とした不確かさ伝播評価を実施した。その結果、ソースタームの不確かさに最も寄与する重要因子は崩壊熱であることを明らかにした。このことにより、不確実さの定量化手法を確立することができた。

第５章では、本論文のまとめと将来の展望を述べた。