



Title	高速炉における地震起因の反応度投入事象と炉心安全性に関する研究
Author(s)	有吉, 昌彦
Citation	大阪大学, 2016, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/55906
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏 名 (有 吉 昌 彦)

論文題名 高速炉における地震起因の反応度投入事象と炉心安全性に関する研究

論文内容の要旨

1. 序論

高速炉は冷却材にナトリウムを使用し、炉心出口温度が高温になることから、熱応力緩和のため薄肉構造になっている。耐圧構造である軽水炉に比べて地震時の振動変位が大きくなりやすいため、想定を超える地震に対して確率論的リスク評価(PRA)による体系的な評価が重要である。従来の地震PRAは構造強度が中心であり、地震応答に起因する反応度投入事象の炉心損傷挙動が対象とされていなかった。そこで本研究では、高速炉の代表的な地震応答である集合体群振動に着目し、燃料集合体が集中することによって反応度が投入されるメカニズムを解明するとともに、地震加速度と炉心燃料の損傷確率の関係を示すフラジリティに関する新しい評価手法を構築することにより、炉心安全性を解析した。

2. 基準地震動を上回る領域における高速炉炉心の集合体群振動挙動

高速炉の燃料集合体は、燃料要素バンドルを収納したラッパー管の剛性により炉心支持板上に自立している。ラッパー管表面のスペーサパッドにより隣接集合体との間隔を確保し、炉心槽と相まって集合体の変位を制限している。炉心支持板を介して加振波が伝達されると全集合体が同時に振動するため、全炉心で約700体の集合体をはり要素でモデル化し、スペーサパッドにおける衝突を考慮して集合体群振動挙動を解析した。その結果、全ての集合体が総片寄り状態になって頂部スペーサパッドでほぼ同時に衝突し、その後の湾曲変形により炉心高さ中心付近で燃料集合体間隔が縮小することを確認した。この挙動の加振加速度及び周波数に対する依存性を解明するため、相関係数を用いた評価手法を考案した。その結果、加振加速度が基準地震動を超えて最大 40m/s^2 になる条件において、加振周波数が約5Hzの場合にはほぼ全ての炉心領域で集合体間隔変動の位相が揃うため、集合体が最も集中することを確認した。

3. 集合体群振動挙動による反応度投入量評価について

燃料集合体群振動による反応度投入量を時刻歴で解析するため、予め求めた炉心領域の反応度係数分布と燃料集合体の変位履歴を用いる新たな手法を開発した。この手法は多群モンテカルロコード(GMVP)との比較により妥当性を確認した。そして、最大加速度を一定とする条件で正弦波加振による周波数掃引解析を行い、投入反応度の最大値とその周波数条件を明らかにした。その結果、前項3. で示唆されたとおり、加振加速度が 40m/s^2 の場合は約5Hzで反応度投入量が最大になり、その値は約1\$となった。

4. 集合体群振動挙動による炉心損傷限界について

地震起因の反応度が投入された場合、その大きさと継続時間に応じて燃料溶融が進行する。そこで、制御棒を挿入することにより著しい炉心損傷に至る前に燃料溶融領域の拡大を防止することとし、炉心損傷限界を明らかにする評価手法を開発した。本研究では燃料溶融割合が20%に到達する時間を燃料溶融時間と定義し、それ以前に制御棒が挿入できれば炉心損傷を回避できると仮定した。地震加速度に応じた反応度投入量については前項2. 及び3. の手法により評価し、更に高速炉汎用事故解析コードを用いて、正弦波で地震反応度を模擬することにより燃料溶融時間を評価した。そして不確かさを考慮して燃料溶融時間とスクラム時間と比較することにより、地震加速度と集合体群振動に起因した炉心燃料の損傷確率との関係(フラジリティ)を明らかにした。

5. 結論

ナトリウム冷却型高速炉の代表的な地震起因の反応度投入事象である燃料集合体の群振動に着目し、従来の地震時における確率論的リスク評価(地震PRA)では考慮されていなかった地震応答における炉心損傷限界(フラジリティ)の確率論的評価手法を新規に開発した。これにより高速炉炉心の地震時反応度投入現象を解明するとともに炉心安全性を解析した。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (有 吉 昌 彦)			
論文審査担当者	(職)	氏 名	
	主 査	教 授	福田 武司
	副 査	教 授	北田 孝典
	副 査	准教授	帆足 英二
	副 査	教 授	山口 彰 (東京大学大学院工学系研究科)

論文審査の結果の要旨

高速炉は冷却材にナトリウムを使用し、炉心出口温度が高温になることから、熱応力緩和のため薄肉構造になっている。耐圧構造である軽水炉に比べて地震時の振動変位が大きくなりやすいため、想定を超える地震に対して確率論的リスク評価(PRA)による体系的な評価が重要である。従来の地震PRAは構造強度が中心であり、地震応答に起因する反応度投入事象の炉心損傷挙動が対象とされていなかった。そこで本研究では、高速炉の代表的な地震応答である集合体群振動に着目し、燃料集合体が集中することによって反応度が投入されるメカニズムを解明するとともに、地震加速度と炉心燃料の損傷確率の関係を示すフラジリティに関する新しい評価手法を構築した。

高速炉の燃料集合体は、燃料要素バンドルを収納したラッパー管の剛性により炉心支持板上に自立している。ラッパー管表面のスペーサパッドにより隣接集合体との間隔を確保し、炉心槽と相まって集合体の変位を制限している。炉心支持板を介して加振波が伝達されると全集合体が同時に振動するため、全炉心で約 700 体の集合体をはり要素でモデル化し、スペーサパッドにおける衝突を考慮して集合体群振動挙動を解析した。その結果、全ての集合体が総片寄り状態になって頂部スペーサパッドでほぼ同時に衝突し、その後の湾曲変形により炉心高さ中心付近で燃料集合体間隔が縮小することを確認した。この挙動の加振加速度及び周波数に対する依存性を解明するため、相関係数を用いた評価手法を考案した。その結果、加振加速度が基準地震動を超えて最大 40m/s^2 になる条件において、加振周波数が約 5Hz の場合にほぼ全ての炉心領域で集合体間隔変動の位相が揃うため、集合体が最も集中することを確認した。

燃料集合体群振動による反応度投入量を時刻歴で解析するため、予め求めた炉心領域の反応度係数分布と燃料集合体の変位履歴を用いる新たな手法を開発した。この手法は多群モンテカルロコード(GMVP)との比較により妥当性を確認した。そして、最大加速度を一定とする条件で正弦波加振による周波数掃引解析を行い、投入反応度の最大値とその周波数条件を明らかにした。その結果、前項 3. で示唆されたとおり、加振加速度が 40m/s^2 の場合は約 5Hz で反応度投入量が最大になり、その値は約 1\$ となった。

地震起因の反応度が投入された場合、その大きさと継続時間に応じて燃料溶融が進行する。そこで、制御棒を挿入することにより著しい炉心損傷に至る前に燃料溶融領域の拡大を防止することとし、炉心損傷限界を明らかにする評価手法を開発した。本研究では燃料溶融割合が 20%に到達する時間を燃料溶融時間と定義し、それ以前に制御棒が挿入できれば炉心損傷を回避できると仮定した。地震加速度に応じた反応度投入量については前項 2. 及び 3. の手法により評価し、更に高速炉汎用事故解析コードを用いて、正弦波で地震反応度を模擬することにより燃料溶融時間を評価した。そして不確かさを考慮して燃料溶融時間とスクラム時間と比較することにより、地震加速度と集合体群振動に起因した炉心燃料の損傷確率との関係(フラジリティ)を明らかにした。

以上のように、本論文はナトリウム冷却型高速炉の代表的な地震起因の反応度投入事象である燃料集合体の群振動に着目し、従来の地震時における確率論的リスク評価(地震PRA)では考慮されていなかった地震応答における炉心損傷限界(フラジリティ)の確率論的評価手法を新規に開発したものであり、これにより高速炉炉心の地震時反応度投入現象を解明するとともに炉心安全性を解析している。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。