

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	粒子法及び中性子輸送モンテカルロ法の結合による燃料デブリ水中落下時の臨界性評価シミュレーション
Title(English)	
著者(和文)	村本武司
Author(English)	Takeshi Muramoto
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11997号, 授与年月日:2021年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:小原 徹,千葉 敏,赤塚 洋,相樂 洋,筒井 広明
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11997号, Conferred date:2021/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	村本武司	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	小原 徹	教授	筒井広明	准教授
	審査員	千葉 敏	教授		
		赤塚 洋	准教授		
相楽 洋		准教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「粒子法及び中性子輸送モンテカルロ法の結合による燃料デブリ水中落下時の臨界性評価シミュレーション」と題し、5章より構成されている。

第1章「序論」では、福島第一原子力発電所の廃止措置について概観し、廃止措置において安全な燃料デブリの取り出し作業を行うためには作業時の未臨界の確保が重要であるものの、燃料デブリ水中落下事故時の臨界性評価に関するこれまでの解析では燃料デブリの水中での堆積を静的かつ保守的な条件でモデル化することで臨界性を評価しており燃料デブリの水中での挙動を考慮していないという問題を指摘し、粒子法と中性子輸送モンテカルロ法の結合による燃料デブリの水中挙動を考慮した臨界計算手法を確立しその有効性を明らかにするという本研究の目的を述べている。

第2章「MPS法と中性子輸送モンテカルロ法による臨界計算」では、粒子法の一つであるMPS法(Moving Particle Semi-implicit method)と連続エネルギーモンテカルロコードMVPを組み合わせた臨界計算手法について述べている。はじめに燃料デブリの水中挙動シミュレーションにMPS法の適用可能性を判断するため金属板の水中落下時の重心位置を実験と解析で比較し、金属板が左右に揺れながら水中落下する複雑な挙動をMPS法によって再現可能であることが明らかになっている。次に物体同士の相互作用を取り入れた解析の妥当性を評価するため金属ボルトで燃料デブリを模擬した水中堆積実験を行い実験と計算の堆積形状の比較を行ったところ、実験結果の95%信頼度区間に解析結果がほぼおさまることが確認されMPS法による解析の妥当性が明らかになった。最後にMPS法でのシミュレーション結果で得られた各時刻の燃料デブリの位置情報をMVPのジオメトリに反映させる数値解析ツールをプログラミング言語Pythonにより開発し、燃料デブリの水中挙動を考慮した実効増倍率の時間変化の計算を可能としたと述べている。

第3章「MPS-DEMによる粒状燃料デブリ水中堆積シミュレーション手法の確立」では、MPS法では、燃料デブリの大きさや形状の情報があればそれを詳細にモデル化することが可能であるものの、作業時に掘削等で生じる細かな燃料デブリは様々な大きさや形状であり、それら一つ一つの詳細な大きさや形状の情報を把握することは不可能であるためMPS法の適用には限界があることを指摘し、その解決策としてMPS法とDEM(Discrete Element Method)を結合したMPS-DEMによる粒状燃料デブリの水中堆積シミュレーションの可能性を検討した結果について述べている。はじめに多種多様な大きさ・形状を有する小石を燃料デブリサンプルとして水中堆積実験を実施し、サンプルの複雑な形状効果を表現する計算上のDEM粒子の滑り摩擦係数と転がり摩擦係数の二つの摩擦係数をベイズ最適化により決定し、得られた二つの摩擦係数を用いて、別体系で水中堆積実験と計算を実施した結果、水流の影響に比べ粒状燃料デブリ間の相互作用が支配的である条件下、また逆に粒状燃料デブリ間の相互作用がほぼなく水流の影響が支配的である条件下で本手法が適用可能であることを明らかにしている。

第4章「燃料デブリ水中落下時の臨界特性評価」では、粒子法と中性子輸送モンテカルロ法を結合した臨界計算による臨界事故リスクの予測の可能性について述べている。本手法を、実際の燃料デブリ取り出し作業時の状況に適用することを想定し、原子炉格納容器内のベドスタル内から燃料デブリを取り出す際の条件を燃料デブリ・環境・作業の三つのパラメータで表現し、それぞれのパラメータの変化が臨界性へ与える影響の評価を行った結果、多数の燃料デブリ片が一度に水中に落下し堆積する過程では、反応度が急速に増加するため水中落下過程で臨界に達するリスクが大きいこと、一方で燃料デブリ片が徐々に水中を落下し堆積する過程では、最終的な堆積形状がまとまって山状となりやすいため、水中堆積後に臨界のリスクが高まる可能性があることを明らかにし、作業時に未臨界を担保するためには、上記の状況を回避することが有効であることを明らかにしている。

第5章「結論」では、以上の各章で得られた成果を総括し、結論を述べている。

これを要するに、本論文は福島第一原子力発電所の廃止措置において重要な燃料デブリ取り出し作業で燃料デブリ水中落下事故が発生した場合の臨界事故に至る可能性を評価する数値解析手法を確立し、さらに燃料デブリ片が水中で堆積した場合に臨界となりやすい落下条件を明らかにしており、福島第一原子力発電所の廃止措置の安全確保に有用な手法と知見をもたらしており、工学上および工業上貢献するところが大きい。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として十分価値あるものと認められる。

注意:「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポータル(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。