

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	燃料デブリ中のプルトニウム定量のためのパッシブ中性子非破壊測定技術の研究
Title(English)	
著者(和文)	長谷竹晃
Author(English)	Taketeru Nagatani
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12581号, 授与年月日:2023年9月22日, 学位の種別:課程博士, 審査員:相樂 洋,小原 徹,林崎 規託,木倉 宏成,片淵 竜也
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12581号, Conferred date:2023/9/22, 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	長谷 竹晃	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	相楽 洋	准教授	片渕 竜也	准教授
	審査員	小原 徹	教授		
		林崎 規託	教授		
木倉 宏成		准教授			

### 論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「燃料デブリ中のプルトニウム定量のためのパッシブ中性子非破壊測定技術の研究」と題し、7章から構成されている。

第1章「序論」では、本研究の背景として、核物質管理において非破壊測定技術の開発が強く求められている社会的ニーズを述べ、福島第一原子力発電所の廃炉を進めていく上では燃料デブリ中の核物質の定量が重要であるが、既存技術を用いた測定が技術的に困難であることを指摘し、多様な中性子源を持つ燃料デブリからプルトニウムの直接情報を外部線源を用いずに取り出すパッシブ中性子非破壊測定技術を提案した上で、提案した手法の不確かさを数値解析により評価し、燃料デブリ中のプルトニウム定量への適用性を明らかにするとともに、模擬燃料デブリ試料を用いた試験により要素技術の原理を実証することを目的とし、本研究の位置づけ、意義を述べている。

第2章「燃料デブリ中のプルトニウム定量手法の提案」では、燃料デブリ中のプルトニウムを燃料自身から放出される中性子情報を活用して定量するにあたり、従来開発されてきている健全な使用済燃料集合体に対する非破壊測定技術では、燃料デブリの性状の多様性に伴う中性子漏れ増倍率及び燃焼度の多様性に伴う中性子放出源核種割合の不確かさが課題である点を指摘している。これらを解決するため、中性子漏れ増倍率評価技術として Differential Die-Away Self-Interrogation (DDSI) 法を提案するとともに、中性子放出源核種割合評価技術として Differential Half-life of Spontaneous Fission Nuclides (DHS) 法を新たに考案し、これらを組み合わせてプルトニウムを定量する手法 (DDSI-DHS 法) を考案している。

第3章「DDSI 法の中性子漏れ増倍率測定への適用性」では、収納缶内の燃料デブリ (燃料、構造材、中性子吸収材等) と雰囲気物質 (水または空気) を均質化したモデルを構築し、DDSI 法により中性子漏れ増倍率の評価が可能であることを明らかにしている。また、塊状の燃料デブリ中の Cm-244 実効質量定量の不確かさについて、乾式貯蔵で約 4%及び湿式貯蔵で約 8%と定量的に評価し、湿式貯蔵については単純な中性子同時計数値を用いた評価と比較して、DDSI 法を用いることにより不確かさを 1/4 程度に低減できることを明らかにしている。

第4章「DDSI 法による中性子漏れ増倍率測定の原理実証」では、DDSI 法による中性子漏れ増倍率測定の実証試験を行っている。MOX 試料の周辺にホウ酸粉末及び Cf-252 密封線源を配置することにより燃料デブリを模擬した試料を中性子非破壊測定装置により測定し、DDSI 応答値と中性子漏れ増倍率の間に強い相関関係を確認し、DDSI 法による中性子漏れ増倍率評価の不確かさが、IAEA が定める非破壊測定の実験精度と比較して十分に小さいことから、燃料デブリのように中性子増倍・吸収双方の効果が存在する測定体系における中性子漏れ増倍率の評価に DDSI 法が有効であることを実証している。

第5章「自発核分裂中性子源特定手法の開発及びプルトニウム定量への適用性」では、第2章で考案した自発核分裂中性子源特定手法を開発し、数値解析により燃料デブリ中の Pu-240 実効質量及びプルトニウム定量の不確かさを明らかにしている。Pu-240 実効質量の系統誤差については、長半減期核種である Cm-246 の影響により最大約 80%過大評価されることを指摘し、Cm-246 定量による新たな補正手法を考案している。DDSI-DHS 法のプルトニウム定量の不確かさを評価し、32年間の測定間隔をとった場合、不確かさが最も悪化すると想定される大量の低燃焼度組成と微量の高燃焼度組成が混在する組成に対して 40%程度過小評価するという課題はあるものの、それ以外の組成に対しては全誤差 10%以内でプルトニウム定量が可能であり、燃料デブリ中のプルトニウム定量への DDSI-DHS 法の高い適用性を明らかにしている。

第6章「パッシブ中性子非破壊測定技術の総合評価」では、提案したパッシブ中性子非破壊測定技術を燃料デブリの仕分けや核物質管理といった社会実装に対する有効性を総合評価している。燃料デブリと放射性廃棄物の仕分け技術について、DDSI 法によるプルトニウムの検出下限は数百 mg と仕分けに求められる水準と比較し十分に小さく、十分活用可能であることを述べている。次に、核物質管理技術について、DDSI-DHS 法のプルトニウム定量の不確かさは、燃焼度の違いを考慮しない場合と比べ大幅に減少することを明らかにしている。本技術の保障措置への適用性について、封じ込め監視と組み合わせることによりベストエフォートの計量管理及び査察側が行う再検証に適用可能であり、保障措置結論導出のために重要な技術となり得ると述べている。

第7章「結論」では、各章によって得られた結果を総括し、本論文の結論としている。

これを要するに本論文は、燃料デブリ中のプルトニウム定量の課題を指摘した上で、これらを解決する DDSI 法及び DHS 法を考案し、数値解析や実証試験によりこれらの技術の有効性や不確かさを定量的に明らかにし、適切な核物質管理や廃炉作業に貢献する重要な技術となり得ることを示しており、これは原子力平和利用に資するものであり、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のあるものとして認められる。

注意: 「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ(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。