

審査の結果の要旨

氏名 クスマワティ ユディティヤ

本研究の目的は、福島1F燃料デブリに含まれるウランおよびプルトニウム同位体のその場非破壊成分分析のための、可搬型 X バンドライナックパルス中性子源による近距離中性子共鳴透過分析法(NRTA)の開発と実証である。3.95 MeV X バンドライナックのパルス中性子源およびヘリウム 3 ガス中性子検出器を用いた近距離中性子飛行時間 (TOF) 測定を行う。

第1章では、研究の背景と動機を、また研究方法の原理を詳しく説明している。福島第一原子力発電所事故後、1F サイトにおけるより効率的な核デブリ除去活動と分析のため、オンサイト燃料デブリ成分分析システムを提案した。X 線分析のみで正確に U/Pu の存在を確認することができないため、主な X 線 CT スクリーニングに対する補足的方法として、NRTA を選択した。説明された課題や研究動機は、近距離 NRTA システムを開発するための研究目的につながる。

第2章の主題は、研究目的の実用的なアプローチ提案である。3.95 MeV の X バンド電子ライナックや中性子ターゲット設計など、可搬型 X バンドライナックパルス中性子源の理論と仕様について詳しく説明している。

第3章では、システムの回路図、コンポーネント、および実験セットアップを説明する。近距離 NRTA 方法を詳しく説明している。本章では近距離 NRTA システムのシミュレーション結果、および核デブリ内のウランとプルトニウムを同定することの実現可能性についても論じている。シミュレーション結果は、2.5メートルの TOF 距離を使用することによって、100eV までの中性子エネルギースペクトルが得られることを示している。この範囲内で、プルトニウム同位体の 0.1~5 eV での吸収と、ウラン同位体の 6~40 eV での吸収を観測することができる。

第4章では、3.95 MeV の X バンドライナックのパルス中性子源を用いた近距離 NRTA の実験結果、また、U/Pu ダミーサンプルに検出された中性子共鳴について説明している。実験パラメータは 2.5メートルの TOF 距離、2.5 マイクロ秒のライナックパルス幅、2cm 中性子減速材、ヘリウム 3 中性子検出器で 1~2 時間以内の測定時間とした。TOF の距離、検出器遮蔽、およびデジタル信号処理を調整して、X 線/ガンマ線からのノイズを減少させ、そして信号対ノイズ比を 9:1 に設定した。この設定では、1 時間の中性子 TOF 測定で、最大 70eV の観測可能な中性子エネルギースペクトルが得られる。NRTA の実験では、選択した模擬試料はインジウムとタングステンの純金属である。その理由は、この 2 つの元素内の同位体は、中性子エネルギー吸収が、ウランやプルトニウムの同位体と同じ中性子エネルギー領域にあることにある。中性子 TOF 測定結果より、1 時間で $20 \times 80 \times 0.6 \text{ mm}^3$ から、2 時間で $20 \times 20 \times 1.2 \text{ mm}^3$ のサンプルサイズの、インジウムおよびタングステンによる中性子吸収が観測された。観測された吸収は、In-115 では 1.5eV と 3.5eV、W-186 では 14.2eV にある。これらの

値は、特定の同位体の中性子エネルギー吸収データに関する JENDL からの参照と一致する。特に $20 \times 20 \times 1.2 \text{ mm}^3$ が現システム体系での測定可能な最小サイズの見込みとなった。

今後、模擬燃料デブリは、この大きさのケースに収めれば中性子共鳴吸収が可能となる。

結論と課題の章では、現場での近距離 NRTA 法と X 線 CT スクリーニング法の組み合わせ核デブリ分析システムの提案を行った。2 色 X 線 CT で U/Pu、Fe、Zr 等を群で識別し、近距離 NRTA 法は、燃料デブリテスト抽出によるデータベース・校正システム構築、次に本格取り出し時でのデータベース・校正関係を行って、燃料デブリ取り出し時、貯蔵のための臨界評価も組み込むことを提案している。微小な燃料デブリを数時間で測定するための新しい中性子源システムや燃料デブリの装填の仕方など、将来に向けた提案も行った。

最後に、当研究のシミュレーションに通用する Fortran コードやジオメトリを含めた。Appendix A は中性子源設計用、Appendix B は PHITS で実行する U / Pu を使用した近距離 NRTA シミュレーション用である。Appendix C には、実験から記録された中性子 TOF データが中性子エネルギースペクトルと対応する計数比にプロットするために使用される Python コードを含めた。

以上のように、本論文は、福島 1F 燃料デブリその場成分分析のための、可搬型 X バンドライナックパルス中性子源による近距離中性子共鳴透過分析法 (NRTA) の開発と実証に関するものである。本論文で設計した近距離 NRTA は、同じ装置による 2 色 X 線 CT を組み合わせて、その場での燃料デブリ中の U/Pu 濃度の推定を可能とする。そして、燃料デブリ取り出し・保管における臨界安全評価と安全保管に寄与できる可能性があり、原子力工学の重要分野の福島廃炉技術への貢献は小さくない。

よって本論文は、博士 (工学) の学位請求論文として合格と認められる。