

令和 4 年 6 月 27 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H03520

研究課題名(和文) 中性子とガンマ線を同時に計測する混合雑音解析法による未知体系の核物質検知

研究課題名(英文) Measurement of amount of nuclear material by using combination of neutron and gamma-ray noise analysis

研究代表者

三澤 毅 (Tsuyoshi, Misawa)

京都大学・複合原子力科学研究所・教授

研究者番号：70219616

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,100,000円

研究成果の概要(和文)：核セキュリティ対策として隠匿されたウラン等の核物質を探知しその量を推定するための手法として外部から中性子を対象物に照射して放出される中性子とガンマ線を同時に測定する混合雑音解析法を提案した。ガンマ線のエネルギー弁別をしながら雑音解析を行うことで検出器の位置依存性の低減が可能であること、バックグラウンドの高い場合の信号のパイルアップを除去するために、検出器からのパルス形状をすべて詳細に測定して分析するという新しい解析手法が有用であることが判った。これらの手法を併用した混合雑音解析法により核物質探知の探知と定量を精度良く行うことができる見通しを立てることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年の世界情勢の様々な問題の中で核テロを未然に防ぐことは非常に重要であり、そのためにはスーツケース等に違法に隠匿された核爆弾の原料となり得る高濃縮ウラン等の核物質を探知する必要がある。本研究においては別途開発をしている小型中性子加速器の利用を念頭に置き、そこから中性子をスーツケース等に照射し、周囲に設置した検出器により中性子とガンマ線を同時に測定する混合雑音解析法を新たに提案した。これまでの実験で本手法測定手法が核物質の検知に有効であることを確認することができた。この小型な装置を空港などに設置する検査装置として実用化することができれば、核セキュリティ対策に大いに役立てることができると期待される。

研究成果の概要(英文)：For nuclear security purpose, it is necessary to detect nuclear material such as enriched uranium and to determine its weight. We proposed new experimental method to measure neutron and gamma-ray noise simultaneously. Through critical and subcritical experiments, it was found that the gamma-ray noise analysis method is effective to decrease detector position dependency for evaluation of subcriticality which is related to nuclear material weight. For precise measurement, one of problems is the pile-up effect of signal caused by high background noise especially in gamma-ray noise analysis, and we developed new analysis method by measuring and storing all precise signal shape from detector and to evaluate each shape to eliminate signal pile up. Including other improvement of experimental techniques, we found that neutron and gamma-ray simultaneous noise analysis method is effective for detecting nuclear material and evaluation of its weight.

研究分野：原子力

キーワード：核物質 中性子雑音 ガンマ線雑音 臨界実験 未臨界実験 パイルアップ

1. 研究開始当初の背景

核物質は原子炉や核燃料工場などの核燃料取扱い施設で使用され、その臨界安全性を確保することは安全管理の基本といえる。一方、現在、世界各国で発生している様々なテロ行為を防止することは国際社会にとっての大きな課題あり、中でも核物質を用いた核テロはその影響を考えると最も危険な行為であるためそれを防ぐことは非常に重要である。申請者は長年、原子炉実験を通じて臨界とはならない体系のウラン量を測定するための研究(未臨界度測定法の開発)を行ってきており、これまでに、Feynman-法と呼ばれる中性子雑音解析法を初めて未臨界度測定に適用し、そのための新しい実験データ処理手法を開発した研究、高次モード解析法と中性子源増倍法を組み合わせた新しい未臨界度測定手法を開発した研究、パルス中性子源と遅発中性子を用いた中性子源増倍法などの全く新しい測定手法を提案してきた。

一方、スーツケースやコンテナ等に隠匿されたウランやプルトニウム等の核物質を探知するための手法として放射線を用いる様々な方法が提案されてきた。例えば日本原子力研究開発機構の春山らは、中性子問いかけ法と呼ぶ中性子を定常的に照射してその検出器応答を調べる方法を提案しており、また京大の大垣らは後方散乱線を用いてウランを検出する手法を提案している。これまで申請者が行ってきた未臨界度測定法は核物質質量に関するパラメータを測定するものであり、核テロ対策の隠匿された核物質質量を求める手法にも適用できると考えられる。しかし、従来の未臨界度測定に関する研究は、主として核燃料取扱い施設での臨界安全を対象としていたため未臨界度が比較的浅い状態(臨界に近い状態)での測定が主であり、隠匿された核物質のような未臨界度が非常に深い状態での研究はほとんど行われていなかった。

申請者は近年、パルス状の中性子を発生させることができる加速器中性子源を用いて未臨界度測定を行うための新しい実験を実施しており、その中で遅発中性子に着目した新しい解析法により未臨界度を精度良く評価できる可能性があることを見出した。この手法では、パルス状の中性子を対象物に照射し、そこから放出される中性子を測定するもので、パルス状中性子が発生してしばらくした後の遅発中性子のみが支配する時間領域に着目し、その時間領域のみの中性子雑音解析、または中性子源増倍法のための計数率測定を行うことで未臨界度を求めるという全く新しい発想に基づく測定法である。その結果、本手法が核物質の検知のために有効な手法であることは確認することができたが、外部中性子源として小型加速器を用いる必要があること、少量の核物質を探知するためには精度をさらに向上させるための手法を検討しなければいけないことが課題であることが判ってきた。

2. 研究の目的

核テロを未然に防ぐ核セキュリティー対策ではスーツケース等に違法に隠匿された核爆弾の原料となり得るウラン等の核物質を探知し、さらにその量を推定することが重要である。本研究においては核物質の探知と定量方法として、パルス中性子や RI 中性子源からの中性子を対象物に照射して対象物から放出される中性子及びガンマ線を同時に測定する混合雑音解析法を提案し、核燃料を用いた臨界実験や未臨界実験、およびその解析を行うことを通じて本解析法の有効性と問題点を明らかにして、核物質探知および核燃料の安全管理に役立てることを目的としている。

3. 研究の方法

隠匿された核物質のような未臨界度が非常に深い状態での研究はほとんど行われていなかったため、実験データを取得することが最も重要となる。実験では使用する核物質の量、中性子源の種類と配置、中性子とガンマ線検出器の種類と配置、等をパラメータとして変化させて中性子とガンマ線の計数の同時時系列測定を行う。その後、新たに提案した「混合雑音解析法」を用いて中性子雑音解析のデータ処理を行う。さらに実際のスーツケースやコンテナに核燃料が隠匿された体系を模擬したシミュレーション計算を行い、同様な解析処理を実施する。これらの実験と解析を通じて、新たに提案する「混合雑音解析法」の有効性と問題点を明らかにし、もし適用が難しい場合には実験手法の改良、または解析理論(申請者が開発した高次モード中性子源増倍解析法を併用)の改良により対応できるかどうか検討すること、さらに実際の核物質探知の装置の開発につながるようなシミュレーションも本研究期間内に実施する。

4. 研究成果

これまでに未臨界体系において中性子雑音とガンマ線雑音解析を行い、特に実施例が乏しか

ったガンマ線のエネルギーを弁別しながら雑音解析を行う手法が検出器の位置依存性を抑えながら未臨界度を評価する手法として有効であることを確認することができたが、計数率が高い場合の検出信号パルスのパイルアップによる計数の数え落とし及び誤検出信号を低減させることが課題であった。そこで京都大学の原子炉および天然ウラン未臨界体系において再度実験を実施し、これまでの検出時刻とその最大波高値のみを測定するという従来からの方法ではなく、近年のデジタル測定技術の高度化により可能となった検出器からのパルスの形状をすべて詳細に測定して分析するという全く新しい解析を行った。その結果、パイルアップにより生じる誤信号をすべて除去することができ、測定精度を格段に向上させることができることが判った。この手法を用いることにより外部中性子源の強度が強い場合や中性子発生加速器からのバックグラウンドノイズが高い場合に生じる様々な問題を解決し、当初の目標としていたガンマ線と中性子を正確に弁別して同時に雑音測定を行うことで核物質探知の探知と定量を精度良く行うことができる見通しを立てることができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Y. Kitamura, T. Misawa	4. 巻 123
2. 論文標題 Delayed neutron effect in time-domain fluctuation analyses of neutron detector current signals.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Ann. Nucl. Energy	6. 最初と最後の頁 119-134
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.anucene.2018.09.004	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Y. Kitamura, I. Pazsit, T. Misawa	4. 巻 120
2. 論文標題 Determination of prompt neutron decay constant by time-domain fluctuation analyses of detector current signals.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Ann. Nucl. Energy	6. 最初と最後の頁 691-706
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.anucene.2018.06.021	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 加納慎也, 和田怜志, 三澤毅, 北村康則
2. 発表標題 燃料デブリの臨界管理技術の開発（43）ファインマン 法と中性子源増倍法を組み合わせた臨界近接監視手法の成立性の検討
3. 学会等名 日本原子力学会「2018年秋の大会」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Misawa, Y. Kitamura
2. 発表標題 Development of portable SNMs detection system with D-D neutron source based on combination of noise analysis and threshold energy neutron analysis method
3. 学会等名 IEEE 2018 Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, 10-17 Nov, 2018, Sydney, Australia. (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋佳之, 三澤毅, 北村康則, 堀順一, 安井彬
2. 発表標題 未臨界度測定に用いる放射線体勢の高い小型信号伝送システムの開発
3. 学会等名 日本原子力学会「2020年秋の大会」
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 和田怜志, 加納慎也, 三澤毅, 北村康則
2. 発表標題 燃料デブリの臨界管理技術の開発(52) KUCAでの不均一炉心体系を模擬した未臨界度測定実験
3. 学会等名 日本原子力学会「2021年秋の大会」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tsuayoshi Misawa, Yasunori Kitamura and Yamato Hayashi
2. 発表標題 Subcriticality measurement by two-point approximation of Feynman-alpha method at a loosely coupled core to simulate widely spread fuel debris
3. 学会等名 International Topical Workshop on Fukushima Decommissioning Research, FDR2019 (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	高橋 佳之 (Yoshiyuki Takahashi) (40579273)	京都大学・複合原子力科学研究所・助教 (14301)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	北村 康則 (Yasunori Kitamura) (60332706)	京都大学・複合原子力科学研究所・助教 (14301)	
研究分担者	志賀 大史 (Daishi Shiga) (70650836)	京都大学・複合原子力科学研究所・助教 (14301)	削除：2017年12月12日

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関