

(続紙 1)

京都大学	博士 (エネルギー科学)	氏名	HANI HUSSEIN NEGM (ハニ ホセン アブド ホセン ネギム)
論文題目	Studies on the Optimum Geometry for a Nuclear Resonance Fluorescence Detection System for Nuclear Security Applications(核セキュリティのための光核共鳴蛍光散乱検出システムの最適配置に関する研究)		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>本論文は、核セキュリティ上重要な核物質の検知システムの設計に関し、必須となる光核共鳴蛍光散乱(NRF)ガンマ線検出器システムの最適な配置について論じた結果をまとめたもので、7章からなっている。</p> <p>第1章は序論で、本研究のエネルギー科学上、また社会的な意義について述べ、これまでに行われた関連する研究について述べた上で、本論文の目的について述べている。</p> <p>第2章では、本研究の基となる、ガンマ線と物質の相互作用について述べるとともに、核共鳴散乱の基本的な事項について述べている。</p> <p>第3章では、汎用モンテカルロ計算コード GEANT4 をベースに、NRF の物理過程を正確に取り込んだシミュレーションコードの整備を行った研究に関し、まず GEANT4 の概略を述べている。さらに、これを NRF 現象に拡張した計算の概要を述べ、最終的に NRF ガンマ線の収量と散乱角の関係や標的厚に関する計算等を示している。この結果、核物質の検知システムの NRF ガンマ線検出器システムの最適な配置は入射ガンマ線に対し後方に位置する事が有利である事、更に、標的厚に対して NRF ガンマ線の収量が急速に飽和する事を見出している。</p> <p>第4章では、NRF ガンマ線の収量と標的厚の飽和について、解析的に取扱い、原子及び核反応に由来する減衰係数で表される有効減衰係数を用いて、飽和曲線を再現できる事を示している。</p> <p>第5章では、核物質の検知システムのガンマ線検出器として、有望視されている LaBr₃(Ce)シンチレーション検出器について、その欠点である、内部放射線によるバックグラウンドを含むエネルギー応答関数について調べた。結晶に含まれる内部放射能の影響を全て取り込んだシミュレーション計算を行い、実験から得られたエネルギー応答関数を再現できることを示している。</p> <p>第6章では、本研究で開発したシミュレーションコードの有効性の検証を行った。兵庫県にある New-SUBARU のレーザーコンプトン散乱ガンマ線利用施設における、異なった厚みの ²⁰⁸Pb 標的を用いた NRF 測定実験について述べている。更に、米国 Duke 大学のレーザーコンプトン散乱ガンマ線を用いて、異なる厚みの ²³⁸U 標的に対して行った NRF 実験について述べ、実験結果とシミュレーション計算の良好な一致を確認している。なお、²³⁸U の NRF 実験では、2.5MeV 領域において、これまでに報告されていなかった4本の励起レベルを発見している。更に、LaBr₃(Ce)</p>			

シンチレーション検出器アレイの測定結果から、第 5 章で述べたエネルギー応答関数を利用し、シミュレーション計算によるバックグラウンド処理が可能である事、 $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ シンチレーション検出器から得られた光核共鳴蛍光散乱断面積が高純度 Ge 検出器からの値と誤差の範囲で一致する事を示している。また、標的の厚みに対する飽和曲線から、これまで行われてきた絶対値測定よりも高精度の光核共鳴蛍光散乱断面積が導出可能な事を示している。

第 7 章は本論文の総括と結論を記述している。更に本研究にて開発したシミュレーションコードを用いて、海上輸送コンテナを想定した現実的なスケールでのシミュレーション計算を行い、検知に必要な検出器システムの配置や、必要とされる検出器の本数、形状等について明確な指針を出している。

これらの研究成果は、核物質検知のためのガンマ線検知用検出器システムの配置に関して、シミュレーションによる現実的なシステム設計を可能にしたという、工学的な意義とともに、基本的な原子核データの取得に関する有用な手法の提案という重要な寄与を行っている。よって、本論文は博士（エネルギー科学）の学位論文として価値あるものと認める。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、核セキュリティ上重要な核物質の検知システムの設計に関し、必須となる光核共鳴蛍光散乱 (NRF) ガンマ線の検出器システムの最適な配置について研究した結果をまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

本論文では、核物質の検知システムの目的で、レーザーコンプトン散乱ガンマ線を用いて核共鳴散乱ガンマ線を測定する検出器システムの配置は、入射ガンマ線に対し後方に置くことが重要であることを、シミュレーション及び ^{238}U 等を用いた実験により明らかにしている。このためにまず、汎用モンテカルロ計算コード GEANT4 をベースに、NRF の物理過程を正確に取り込んだシミュレーションコードの整備を行っている。また、ある程度の厚みを持った標的に対しシミュレーション計算を行い、NRF ガンマ線の収量が急速に飽和する事を見出した。更に、この飽和現象を解析的に取扱い、飽和曲線の導出に成功している。次に核物質の検知システムのガンマ線検出器として有望な $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ シンチレーション検出器のエネルギー応答関数を、結晶に含まれる内部放射能の影響を全て取り込んだシミュレーション計算を行い、実験から得られたエネルギー応答関数を再現できることを示している。これらのシミュレーションの有効性に関しては、RI 線源を用いた実験や、New-SUBARU (兵庫県) や米国 Duke 大学において、レーザーコンプトン散乱ガンマ線を用いた NRF 実験を ^{208}Pb や ^{238}U に対して行い、確認している。特に ^{238}U の NRF 実験では、 2.5MeV 領域において、これまでに報告されていなかった 4 本の励起レベルを発見している。また、標的の厚みに対する飽和曲線から、これまで行われてきた絶対値測定よりも高精度の光核共鳴蛍光散乱断面積が導出可能な事を示している。更に本研究にて開発したシミュレーションコードを用いて、海上輸送コンテナを想定した現実的なスケールでの計算を行い、検知に必要な検出器の配置や本数について指針を示している。

これらの研究成果は、核物質検知のためのガンマ線検知用検出器システムの配置に関して、現実的なシステム設計を可能にしたという、工学的な意義とともに、基本的な原子核データの取得に関しても有用な手法の提案という重要な寄与を行っている。よって、本論文は博士 (エネルギー科学) の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 26 年 10 月 24 日実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。なお、本論文は、京都大学学位規程第 14 条第 2 項に該当するものと判断し、公表に際しては、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。

論文内容の要旨、審査の結果の要旨及び学位論文の全文は、本学学術情報リポジトリに掲載し、公表とする。ただし、特許申請、雑誌掲載等の関係により、要旨を学位授与後即日公表することに支障がある場合は、以下に公表可能とする日付を記入すること。

要旨公開可能日：平成 27 年 10 月 31 日以降