

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	光核反応を用いた核物質同位体組成測定手法の理論構築及び測定可能性に係る研究
Title(English)	Theoretical analysis on photo-nuclear reactions for nuclear material isotopic composition assay and its applicability
著者(和文)	木村礼
Author(English)	Rei Kimura
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10915号, 授与年月日:2018年6月30日, 学位の種別:課程博士, 審査員:相樂 洋,小原 徹,千葉 敏,片淵 竜也,林崎 規託
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10915号, Conferred date:2018/6/30, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	原子核工学	専攻	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	（工学）
学生氏名： Student's Name	木村 礼		指導教員（主）： Academic Supervisor(main)	相楽 洋	
			指導教員（副）： Academic Supervisor(sub)	千葉 敏	

要旨（和文 2000 字程度）

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

隠匿・隠蔽された高濃縮ウランなどの検知・計量は内部で生成される光子・中性子が遮蔽されることや未知の情報に起因する測定結果の信頼性の低さから難度が高く、このような環境化でも同位体組成を測定出来る手法の開発が求められている。そこで本論文では近年開発の進む準単色の光子発生装置を利用した非破壊同位体組成測定技術の原理導出・検証などを行った。本手法はターゲットに対して複数のスペクトルで光子を照射した際の核分裂反応率の比から同位体組成を推定する。まず反応率の式に基づいて同位体組成の原理を導出し、数値解析により原理検証を行った。更に、同時計数法を想定した計数比補正手法の考案、核データ不確かさ影響評価を行い、提案手法により実際に同位体組成を測定できる可能性がある事を明らかにした。

本論文は全 8 章から構成される。以下に各章の概要を述べる。

第 1 章では本研究の背景として、核セキュリティ・保障措置技術への要求の高まりについて触れ、隠匿・隠蔽された高濃縮ウランなど、従来法では検知が難しい核物質に対する NDA 技術の課題について述べた。更に、光核反応の原理的特性を説明したのち、光核反応を用いて NDA 技術の持つ課題を解決出来る可能性を論じ、光核反応を用いた同位体組成推定手法の開発のうち、原理構築・測定可能性に関する部分について検討を行うという本論文の目的を示した。

第 2 章では提案する光核分裂反応を利用した同位体組成測定手法の原理導出を行った。光核分裂反応の反応率の式を出発点に、複数の入射エネルギーにおける核分裂反応率の式を組み合わせ、想定される核種数と同数の入射エネルギースペクトルにおける核分裂反応率の相対値を用いる事で、想定される核種の数密度比を評価する式を導出し、式から導かれる特性を示した。

第 3 章では第 2 章で導出した原理に基づいて厚さ 1mm の濃縮金属ウランをターゲットとした原理検証を行った。このとき、入射光子エネルギースペクトルが同位体組成推定結果に与える影響とそのメカニズムを検討した。検討ではターゲットの中央に光子を入射させ、その際にターゲット中で発生する核分裂の反応率比を求めた。結果、実測定で想定される逆コンプトン散乱のエネルギースペクトルよりも幅広の $\sigma = 0.5\text{MeV}$ のガウス分布スペクトルであっても 3at%以下の精度で同位体組成を推定出来る可能性を示した。このとき、エネルギー差が大きい入射エネルギーの選択により、推定結果がロバスト性を持つ事を明らかにした。

第 4 章ではパッシブ法では検知されにくい核物質の一つとして、濃縮ウラン (235U-238U 系) のほかに Th-U (232Th-233U) 系が挙げられる。本章では第 3 章で濃縮ウランに対して検証された同位体組成推定手法の適用性について核種依存性の有無を検討した。検討にはターゲット物質として 232Th-233U を用い、ターゲット厚さを第 3 章と同じ 1mm として第 3 章と同様の評価を行った。提案手法には核種依存性は見られないことを示した。

第 5 章では第 3 章、第 4 章における検討とは異なり、実際のターゲットは様々な厚さのものが考えられるため、提案手法の、ターゲット厚さ依存性を検討した。厚さ 10mm のターゲットに対して第 3 章と同様の検討を行った結果、同位体組成推定精度が 2.2at%から 10at%程度へ悪化した。この原因をターゲット中における光子フラックスの変化率が異なるとの仮定に基づいて核分裂反応率比の光子吸収効果補正式を導出し、補正を行ったところ、10at%程度であった精度が約 2at%まで改善する事を確認した。

第 6 章では同時計数法を模擬したシミュレーションを実施し、提案手法による実測定可能性を検証した。第 3 章～第 5 章における検討では、核分裂反応率としてターゲット中で発生した全核分裂の値を用いていた。しかしながら、実際の測定では中性子を検出する事で核分裂を検知する必要がある。提案手法では核分裂反応率の測定に、同時計数法を適用する事を想定している。同時計数法で得られた核分裂反応率比をそのまま用いた場合、提案手法による推定値と実際の同位体組成の間に 30at%以上の差異が見られた。この差異については補正計数と ν 値に基づいたパラメータとの相関式を構築する事で、5at%以下の精度で同位体組成を評価出来る事を確認した。

第 7 章では断面積不確かさが同位体組成評価結果に与える影響評価を行った。本論文における検討は光核反応断面積に基づいて行われている。しかしながら、光核反応断面積は概ね 10%程度の不確かさを有しているため、同位体組成評価結果に与える可能性がある。核データ不確かさ影響を評価した結果、現状の核データ不確かさ 10%を用いた場合、同位体組成推定結果が約 13%の不確かさを持つことが分かった。また、核物質検知の誤判定低減に求められる精度 5at%を実現する為には断面積不確かさを 3%以下まで低減する必要がある事を明らかにした。

最後に第 8 章にて各章で得られた結果を統括し、本論文の結論とした。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(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。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻 : Department of	原子核工学	専攻	申請学位 (専攻分野) : Academic Degree Requested	博士 Doctor of	(工学)
学生氏名 : Student's Name	木村 礼		指導教員 (主) : Academic Supervisor(main)	相楽 洋	
			指導教員 (副) : Academic Supervisor(sub)	千葉 敏	

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

The importance of the nondestructive assay (NDA) technique for quantifying special nuclear materials (SNMs) has been increasing. Therefore, various NDA techniques have been developed. However, these methodologies have some technical difficulties to apply for concealed and shielded highly enriched uranium due to few self-generated neutron or photon emissions of uranium.

Incidentally, compact and quasi-monochromatic photon source generators have been developed recently, which is expected to help realize a portable photon generator device with higher photon energy than the photonuclear threshold energy. This high energy photon has high permeability to shielding material, thus, photonuclear-reaction-based NDA technique is expected to apply to the NDA technique.

Current photonuclear-reaction-based NDA technique use the absolute value of the neutron production, however, this method have difficulty to quantifying of isotope composition due to large measurement uncertainty.

For these backgrounds, the present paper thus aims at proposing a new NDA technique principle which based on the only relative counts and validating this principle through case studies involving numerical simulations.

In the chapter 1, these backgrounds were described.

In the chapter 2, the principle of present methodology was derived from equation of reaction rate. The present methodology utilize plural spectrum of photon beam and photofission reaction rate.

In the chapter 3, the principle of present methodology was validated by MCNP simulation with simple geometry, additionally, dependency to incident photon energy spectrum was confirmed.

In the chapter 4, the dependency to the nuclide-system of present method was evaluated. In this evaluation, ^{232}Th - ^{233}U system was used as a different system from ^{235}U - ^{238}U system.

In the chapter 5, the dependency to the target thickness of present method was evaluated. In this evaluation, the dependency to the target thickness was occurred by attenuation of photon flux. Furthermore, this dependency could be corrected by considering of photon flux attenuation.

In the chapter 6, the measurement possibility of the present method was evaluated by numerical simulations. In this chapter, coincidence counting method was assumed as a measurement method. The predicted enrichment based on the coincidence counting method had a large difference of 30% from theoretical value, therefore, we provided a correction method based on the v value. As a results, precision of predicted enrichment was improved from 30% to less than 5%.

In the chapter 7, the effect of nuclear data uncertainty to isotope composition prediction results were evaluated. Furthermore, uncertainty of the predicted isotope composition was realized that 3% nuclear data uncertainty is required to improve the uncertainty of the predicted isotope composition to 5at%.

In the chapter 8, conclusion of each chapters were summarized and conclusion of this thesis was described.

備考 : 論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意 : 論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(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。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).