

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Non-destructive assay technology development using photofission reactions with bremsstrahlung photons for multi-nuclide composition assay in nuclear material
著者(和文)	ChinKim Wei
Author(English)	Kim Wei Chin
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12235号, 授与年月日:2022年9月22日, 学位の種別:課程博士, 審査員:相樂 洋,小原 徹,千葉 敏,林崎 規託,片淵 竜也
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12235号, Conferred date:2022/9/22, 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	CHIN Kim Wei		
論文審査 審査員		氏名	職名		氏名	職名
	主査	相楽 洋	准教授	審査員	片淵 竜也	准教授
	審査員	小原 徹	教授			
		千葉 敏	教授			
林崎 規託		教授				

### 論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Non-destructive Assay Technology Development Using Photofission Reactions with Bremsstrahlung Photons for Multi-nuclide Composition Assay in Nuclear Material」と題し6章より構成されている。

第1章「Introduction」では、世界の核不拡散・核セキュリティ強化は喫緊の課題であり核物質の適正管理や不法移転適時検知技術として非破壊測定 (NDA) 技術開発の要求の高まりについて述べ、遮蔽・隠匿された高濃縮ウラン(HEU)など従来の NDA 技術では検知が難しい核物質に対する技術課題について摘出し、透過性の高い高エネルギー・高輝度光子源の有効性を指摘し、エネルギー可変で工学的に導入が容易な制動 X 線を用いた光核反応による HEU および多核種系の核物質検知を可能とする NDA 手法を新たに開発し測定可能性を定量的に明らかにすることを本論文の目的とし、本研究の位置づけ、意義を述べている。

第2章「Principle Validation of PFRR with Bremsstrahlung Photons for HEU Detection」では、これまで開発されてきた二種類の単色入射光子における核分裂反応率の相対値を用いる事で核種の数密度比を評価する Photofission Reaction Ratio(PFRR)法に対して、電子線形加速器から Ta 標的に電子を照射させ発生した広いエネルギー分布を有する制動 X 線に拡張した適用可能性を評価し、2 核種系 ( $^{235}\text{U}$ - $^{238}\text{U}$ ) の U 濃縮度測定手法の原理検証を行っている。光核分裂反応同様に同時に複数個の中性子を放出し中性子測定時の測定誤差要因となる  $\text{U}(\gamma,2n)$  反応による影響範囲を同定し、U 濃縮度測定理論式を導出しその原理的不確かさを定量的に明らかにしている。

第3章「Methodology Development to Solve Multi-nuclide System with Multi-energy photons」では、PFRR 法を多核種系に拡張することを目的とし、従来の数学的な逆行列解法では多核種系に適用が困難であることを指摘し、三種類の異なる単色エネルギー光子を用いた光核分裂反応率と 3 核種組成比間の相関性を数値解法により導出する新たな測定手法を開発している。 $^{235}\text{U}$ - $^{238}\text{U}$ - $^{232}\text{Th}$  の 3 核種系の 10 種の組成比において、数値解析法として非線形計画法(GRG 法)を用いて評価したところ、6-6.5-11MeV の入射単色光子エネルギーによる光核分裂反応率情報を組み合わせた場合が最も高い精度を有し、10at.%以内で同位体組成比を推定可能であることを明らかにしている。

第4章「Applicability Study to Detect U-Th Multi-nuclide System with Bremsstrahlung Photons」では、第3章で多核種系 ( $^{235}\text{U}$ - $^{238}\text{U}$ - $^{232}\text{Th}$ ) に対して検証された 3 つの異なる単色エネルギー光子を用いた同位体組成比推定手法について、入射光子を制動 X 線に拡張した適用可能性を評価している。 $^{235}\text{U}$ - $^{238}\text{U}$ - $^{232}\text{Th}$  の 3 核種系の 19 種の組成比において、数値解析法として非負拘束最小二乗法(NNLS)を用いて評価したところ、7-11-13.5MeV および 7-12-13MeV の三種類の異なるエネルギーを持つ電子から発生する制動 X 線による光核分裂反応率情報を組み合わせた場合が最も高い精度を有し、2 at.%以内の精度で同位体組成比を推定できることを示し、本手法が制動 X 線に対しても拡張して適用可能であることを明らかにしている。

第5章「Measurement System Requirement for Photofission Signal with Coincidence Neutron Counting Method」では、本測定原理を実証するための実証試験体系への要求を見出している。中子数の同時計数を想定し、測定ノイズとして光核分裂反応以外の複数中性子発生反応 ( $(\gamma,2n)$ 、 $(n,\text{fis})$ 、 $(n,2n)$ )、電子線の Ta 標的における発生中子数とその偶発的な同時計数を考慮し、複数の  $^3\text{He}$  測定管を用いた同時計数法を導入した光核分裂反応の測定可能性を評価している。バックグラウンド中子が中性子検出器へ直接入射することを避けるための遮へい体の導入と、核物質への直接中性子入射を低減するための中性子吸収体導入により、光核分裂反応中子数計数に対する測定ノイズ割合は 1%未満となり、本原理の実証試験への測定要求条件を明らかにしている。

第6章「Conclusion」では、以上の各章で得られた成果を総括し、結論を述べている。

これを要するに、本論文はエネルギー可変で工学的に導入が容易な制動 X 線を用いた光核反応を利用して、多核種系の核物質検知のための NDA 技術を開発し測定可能性を定量的に明らかにしており、遮蔽・隠匿された核物質検知等により核不拡散・核セキュリティ強化に対し技術により資するものであり、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。