

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) | 審査の要旨 |
| Type(English) | Exam Summary |

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 | 木村 礼 | |
| 論文審査 審査員 | | 氏名 | 職名 | | |
| | 主査 | 相楽 洋 | 准教授 | 片渕 竜也 | 准教授 |
| | 審査員 | 小原 徹 | 教授 | 審査員 | |
| | | 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「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」と題し8章より構成されている。

第1章「緒言」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、複数エネルギーの光核反応を利用して中性子カウントの絶対値を用いずに高濃縮ウラン検知及び高い精度での濃縮度測定を解決する可能性を持つ NDA 手法の新たな理論構築、および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ていることを述べている。

第2章「光核分裂反応を利用した同位体組成測定手法原理導出」では、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ている。光核分裂反応において入射光子エネルギー及び核種依存性より発生中性子量に変化することに着目し、複数の入射エネルギー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新たな理論を構築し、理論式から導かれる同位体組成測定手法の原理を導出している。

第3章「同位体組成推定結果に対する入射光子エネルギー依存性」では、導出した同位体組成測定原理について、入射光子エネルギーを変化させ粒子輸送計算コード MCNP を用いた数値解析により定量的に検証している。厚さ 1 mm の微小で異なる濃縮度の金属ウラン (^{235}U - ^{238}U 系) について検証した結果、光核分裂反応しきい値以上で ($\gamma, 2n$) 反応しきい値以下の入射光子エネルギーとして 6 MeV および 11 MeV 選択が最も推定精度を良くし、真値からの差が 2.2 at.% 以下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「同位体組成推定結果に対するターゲット核種依存性」では、第3章で濃縮ウラン (^{235}U - ^{238}U 系) に対して検証された同位体組成測定手法の ^{232}Th - ^{233}U 系に対する適用可能性を評価し、本提案手法の核種依存性を検証している。結果として ^{232}Th - ^{233}U 系に対しても 5 at.% 以内の精度で推定できることを示し、核種系の違いが本手法の適用性に及ぼす影響は小さい事を明らかにしている。

第5章「同位体組成推定結果に対するターゲット厚さ依存性」では、同位体組成推定精度に対してターゲット厚さが与える影響を厚さ 1 mm および 10 mm のターゲットを用いて評価し、本提案手法のターゲット厚さ依存性を検証している。光子自己吸収によりターゲット厚さが 10 mm の場合は同位体組成真値から 50 at.% 以上過小評価する事、また光子の減弱補正の適用により 2 at.% 以下で同位体組成を推定可能であることを明らかにしている。

第6章「実測定における核物質の同位体比測定可能性評価」では、本提案手法の実測定適用で想定される同時計数法の数値解析を行い、測定可能性を評価している。結果として同位体組成推定精度が 30 at.% 程度まで悪化する事、またこの原因が入射エネルギーによる $\bar{\nu}$ 値に起因している技術的課題を示している。本影響を補正する為に新たに $\bar{\nu}$ 値を用いた指標 Neutron multiplicity index を提案し、核分裂反応率比の補正計数相関式を構築し、5 at.% 程度の精度で同位体組成を推定出来ることを明らかにしている。

第7章「核データ不確かさの影響評価」では、本提案手法に対する核データ不確かさの影響を評価している。光核反応断面積の持つ 10% の不確かさを想定し、同位体組成比推定精度に対する影響評価を行った結果、断面積起因の同位体組成比不確かさが約 13 at.% となる事を明らかにしており、高濃縮ウラン検知の目的には十分適用可能であるが、保障措置上の目標値である 5 at.% 以下を達成するためには、断面積の不確かさを少なくとも 3% 以下に低減する必要がある事を明らかにしている。

第8章「結言」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、本論文は複数エネルギーの光核反応を利用して中性子カウントの絶対値を用いない同位体組成測定手法の理論構築及び概念を提示し、遮蔽・隠匿された検知困難な高濃縮ウランなどへの適用により核不拡散・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、東工大リサーチポータル(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。

(博士課程)