

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	Pd-107の中性子捕獲反応に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	中野秀仁
Author(English)	Hideto Nakano
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12458号, 授与年月日:2023年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:片渕 竜也,小栗 慶之,千葉 敏,赤塚 洋,長谷川 純
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12458号, Conferred date:2023/3/26, 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

系・コース： 融合理工学 系
Department of Graduate major in 原子核工学 コース
学生氏名： 中野秀仁
Student's Name

申請学位 (専攻分野)： 博士 (工学)
Academic Degree Requested Doctor of
指導教員 (主)： 片渕竜也
Academic Supervisor(main)
指導教員 (副)：
Academic Supervisor(sub)

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

原子力産業において原子炉から生成される高レベル放射性廃棄物の処理が大きな問題となっている。特に有害度の高い長寿命放射性物質を中性子核反応によって短寿命化、無害化する研究が行われている。核変換研究の対象核種はマイナーアクチノイド (MA) や長寿命核分裂生成物 (LLFP) などであるが、技術的な問題から中性子核反応データの精度が不足している核種がある。LLFP の中性子核データは LLFP 自身の核変換で当然必要となるが、MA の加速器駆動システムや高速炉を用いた核分裂による核変換でも重要となる。本研究では LLFP の中でも測定例が少なく核データの不確かさが大きい ^{107}Pd の中性子捕獲断面積を測定した。大強度陽子加速器施設 (J-PARC) の物質・生命科学実験施設 (MLF) の中性子核反応測定装置 (ANNRI) で実験を行った。

第 2 章では、核データ測定実験にあたり、これまで ANNRI に設置されていなかった入射中性子検出器の開発を行った。入射中性子検出器は各測定の規格化や中性子スペクトルを測定する目的で中性子核データ測定施設に設置される。J-PARC の ANNRI では核破砕中性子源からの高強度中性子ビームに既存の検出器が対応できず設置されていなかった。各測定の規格化には、入射中性子数は中性子源に入射する陽子パルス数に比例するという仮定のもと入射陽子パルス数を用いてきた。中性子スペクトルはホウ素試料での $^{10}\text{B}(n, \alpha\gamma)^7\text{Li}$ 反応だけを用いて決定しており、信頼性を向上するための他の手法での測定が行われていない。そこで ANNRI での核データ測定研究の信頼性向上のため入射中性子検出器を開発した。高効率率に対応する為に中性子変換膜とプラスチックシンチレータを組み合わせた時間応答の速い検出器を設計した。中性子変換膜には ^6Li を用いて $^6\text{Li}(n, t)^4\text{He}$ 反応で中性子を検出した。膜厚はモンテカルロシミュレーションにより $500\text{ }\mu\text{g}/\text{cm}^2$ と決定した。真空蒸着法で ^6LiF の薄膜を製作しプラスチックシンチレータ、光電子増倍管と組み合わせて検出器を製作した。J-PARC/ANNRI で性能実験を行い、数え落としは中性子検出に有効な飛行時間領域で最大約 1%であった。また、中性子スペクトルのエネルギー依存性を過去の測定データと比較したところよく一致した。

第 3 章では、 ^{107}Pd の中性子捕獲断面積測定実験を NaI(Tl) スペクトロメータを用いて飛行時間法で実験を行った。第 2 章で開発した中性子検出器を入射中性子検出器として設置し、実験期間中は常時入射中性子を計測した。計測した入射中性子数を各試料の測定データの規格化に使用した。また、1 陽子パルス数当たりの入射中性子数の変動を調べたところ中性子数の変動は他の誤差に埋もれるほど小さいことが分かった。1 陽子パルス数当たりの入射中性子数の変動はこれまで調べてこれなかったデータであり、新しい知見が得られた。捕獲ガンマ線は NaI(Tl) スペクトロメータで計測した。波高と飛行時間の 2 次元データを事象毎に記録した。得られた波高スペクトルに波高重み法を適用し捕獲反応数を計算した。重み積分をした係数の飛行時間スペクトルについて不感時間補正を行い数え落としによる効果を補正した。オーバーラップ中性子バックグラウンドを指数関数によるフィッティングで導出し除去した。その他のバックグラウンドとして、試料に依存しない成分や散乱中性子、 ^{107}Pd 試料の同位体不純物の成分を評価し除去した。また、 ^{107}Pd 試料はアルミケースに封入されているため、ダミーケースを用いてアルミケース由来のバックグラウンドを見積もり除去した。バックグラウンドを除去した正味の捕獲反応数について、波高スペクトルの外挿補正と多重散乱・自己遮蔽の補正を行った。中性子のエネルギー分布はホウ素試料の $^{10}\text{B}(n, \alpha\gamma)^7\text{Li}$ 反応のイベントを計測して導出した。断面積の絶対値は ^{108}Pd の熱中性子捕獲断面積を基準にして決定した。

第 4 章では、導出した中性子捕獲断面積の結果、及び共鳴解析の結果について報告した。 ^{107}Pd の中性子捕獲断面積は熱中性子エネルギーで $19.0 \pm 1.7\text{ b}$ となり、過去の測定データや評価値は著しく過小評価していることが分かった。keV 領域は過去の測定値及び評価値と一致した。共鳴領域については REFIT を用いて共鳴解析を行い、共鳴パラメータを導出した。放射幅の平均は $0.181 \pm 0.009\text{ eV}$ であった。

第 5 章では、以上の各章で得られた成果を総括し、結論を述べている。本論文は LLFP 核種の一つである ^{107}Pd の中性子捕獲断面積を熱中性子エネルギーから keV 領域の広いエネルギー範囲にわたって決定した。核変換システム開発で必要とされる ^{107}Pd の中性子捕獲断面積データの高精度化に大きく寄与し、核変換研究の更なる発展を可能とする。

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

系・コース：	融合理工学	系
Department of, Graduate major in	原子核工学	コース
学生氏名：	中野秀仁	
Student's Name		

申請学位 (専攻分野)：	博士	(工学)
Academic Degree Requested	Doctor of	
指導教員 (主)：	片渕竜也	
Academic Supervisor(main)		
指導教員 (副)：		
Academic Supervisor(sub)		

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

The nuclear transmutation of long-lived fission products (LLFPs) in nuclear waste into short-lived or stable nuclides is expected as a solution to reduce the high-level radioactive waste. Highly accurate nuclear data for the neutron-induced nuclear reactions are necessary in order to design LLFPs nuclear transmutation systems. However, some LLFPs have the large uncertainties of neutron nuclear data owing to a smaller number of experimental cross section data. ^{107}Pd is one the LLFPs that need more independent measurements with wide neutron energy range. In this study, the neutron capture cross section measurements of ^{107}Pd were conducted using the Accurate Neutron Nucleus Reaction Measurement Instrument (ANNRI) at the Materials and Life Science Facility (MLF) of the Japan Proton Accelerator Research Complex (J-PARC). A neutron detector was developed to monitor the incident neutrons. The neutron detector was built with a ^6Li foil and a thin plastic scintillator. The neutron monitor was installed in ANNRI and operated during the neutron capture cross section measurements of ^{107}Pd . The capture gamma-rays were detected using NaI(Tl) detectors of ANNRI. The time-of-flight (TOF) method was employed to determine the incident neutron energy. Two-dimensional data, TOF and pulse-height (PH), were recorded and the data were analyzed based on a PH weighting technique. The neutron capture cross section with a wide energy range was derived. In the thermal region, the past experimental value and evaluated cross section were about two times smaller than the present value, 19.0 ± 1.7 b. In keV region, the present results and the past experimental values are in good agreement. In resonance region, resonance analysis was performed using REFIT code. The average value of radiation width of s-wave resonances was 0.181 ± 0.009 eV. This paper derived the neutron capture cross section of ^{107}Pd with a wide energy range from the thermal to keV region. The results contribute to the improvement of the accuracy of the neutron capture cross section for ^{107}Pd , which is required for the study of nuclear transmutation systems, and enable further development of nuclear transmutation research.

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).