

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 8 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25870367

研究課題名(和文) 高エネルギー中性子による核種生成断面積の系統的測定と核種生成反応に関する研究

研究課題名(英文) Study on systematic measurement of nuclide-production cross sections and nuclear reaction by high energy neutrons

研究代表者

八島 浩 (Yashima, Hiroshi)

京都大学・原子炉実験所・助教

研究者番号：40378972

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：p-Li準単色中性子場を用いて高エネルギー中性子による核種生成断面積測定を行い、ビスマス、コバルト中に生成する核種の生成断面積を得た。得られた結果と過去に行われた実験結果、評価済み核データライブラリ及びモンテカルロコードPHITSによる計算結果との比較を行った。本結果は一部の例外を除いて過去に行われた実験結果とよく一致した。また、本結果と核データライブラリ及びPHITSによる計算結果との比較においては一致しないものもあった。

研究成果の概要(英文)：The nuclide-production cross section for high energy neutrons were measured by using a quasi-monoenergetic neutron field based on the ${}^7\text{Li}(p,n)$ reaction. The cross sections obtained for Bi and Co were compared with previous experimental results, nuclear data and calculated results by PHITS code. These results agree with previous experimental results except a part and differ from nuclear data and calculated results for some reactions.

研究分野：核データ測定、放射線計測、放射線遮蔽

キーワード：高エネルギー中性子 放射化断面積

1. 研究開始当初の背景

中性子入射による核種生成断面積データは、原子炉施設や加速器施設に生成する誘導放射能の評価や施設の中性子場のドシメトリ評価のための基礎データとして非常に重要である。これらの断面積データは理論計算や実験データに基づいて評価され核データライブラリとして整備される。20MeV以下のエネルギー領域については理論計算を評価するための実験データも豊富にあり、核データライブラリも整備されている。しかし、近年、加速器駆動未臨界炉による放射性廃棄物の核変換処理の研究、大強度中性子源を用いた材料物性の研究、イオン加速器による放射線治療等、20MeV以上の中性子を利用する施設が増えており、高エネルギー中性子の断面積データの必要性が増している。しかしながら、20 MeV以上の中性子に関しては単色(単一エネルギー)中性子を発生させるのが非常に困難であり、金らによるC、Bi、Cu中の核種生成断面積の測定、GlaesserらによるPb中の核種生成断面積の測定、研究代表者らによるN、O、Na、Si、Ca、Mg中の核種生成断面積の測定、SistersonらによるCu中の核種生成断面積の測定、鎌田らによるC、Bi、Fe、O、N中の核種生成断面積の測定等いくつかの実験データが存在するものの、まだまだ不足している。このように実験値が不足しているので、断面積の評価は理論計算で行ったり、100 MeV以上の高エネルギーでは入射粒子の電荷の影響が無視できるとして陽子入射による断面積を用いたりしている。日本の核データライブラリJENDL-HE/2007では、3GeVまでの中性子入射による核種生成断面積が評価されているが150MeV-250MeVの領域を境に計算モデルが異なっており、反応によっては計算モデルが切り替わるエネルギーでの結果が大きく異なっているものもある。これらの評価値の検証を行うために実験データが必要とされている。世界的にもIAEAを中心に原子炉、核融合、加速器施設のための20MeV以上のドシメトリ断面積の検証プロジェクトが始まろうとしている。このような背景の基、研究代表者はp-Li準単色中性子場による核種生成断面積測定に関する研究を進めており、反応によっては100MeV以上のエネルギー領域においても陽子入射による核種生成断面積と中性子入射による核種生成断面積に違いが見られるという結果が得られている。

2. 研究の目的

そこで本研究では、p-Li準単色中性子場を用いて高エネルギー中性子による核種生成断面積測定を行い、ピークエネルギー76、134 MeVのp-Li準単色中性子入射による核反応断面積の系統的なデータを取得する。取得したデータを既存の中性子及び陽子入射による

核反応断面積データや理論計算による核反応断面積データと比較することで、陽子入射と中性子入射による核反応断面積の違いについての系統性及び理論計算モデルによる評価値の精度向上に資する知見を得ることを目的としている。

3. 研究の方法

本研究では比較的単色性の良いLi(p, n)反応による準単色中性子を用いて核反応断面積測定を行う。照射実験は大阪大学核物理研究センター(RCNP)で行う。

断面積の測定は放射化法を用いて行う。放射化サンプルに準単色中性子ビームを照射し、サンプルに生成した放射性核種から放出されるガンマ線を高純度Ge検出器で測定し、放射性核種の生成量を求める。生成した放射性核種はそれぞれ固有のエネルギーを持つガンマ線を放出するのでガンマ線のエネルギースペクトルを測定することで一度の実験で複数の核種の生成量を測定することができる。Li(p, n)中性子エネルギースペクトルはピーク成分とピーク以外の低エネルギー中性子成分とに分かれる。測定された放射性核種の生成量はピーク成分によるものに加えて低エネルギー中性子成分によるものが含まれる。本研究では、Biサンプルについては金らによる実験値、CoサンプルについてはJENDL4.0/HEの評価値を用いて低エネルギー中性子成分による寄与を補正してピーク中性子入射による核種生成断面積を求める。また、モンテカルロコードPHITSを用いて中性子入射による核種生成断面積を計算し、実験値との比較を行う。

4. 研究成果

(1) 高エネルギー中性子によってBiに生成した核種の生成断面積

本研究で行った照射実験により80, 138MeV陽子入射で生成したp-Li準単色中性子(中性子ピークエネルギー76, 134MeV)に対するBi-209(n, xn)Bi-203, 204, 205, 206反応断面積を得た。図1~4に核反応断面積をこれまでの実験結果(中性子入射、陽子入射)、評価値(JENDL-HE/2007、JENDL4.0/HE)、計算値(PHITSコード)とともに示す。

図1を見ると本研究結果は他の実験値、評価値、計算値と良い一致を示している。図2~4を見ると本研究結果は金らによる中性子入射の実験値、JENDL4.0/HEの評価値と良い一致を示している。陽子入射による実験値、JENDL-HE/2007の評価値、PHITSコードの計算値とは多少違いが見られる。

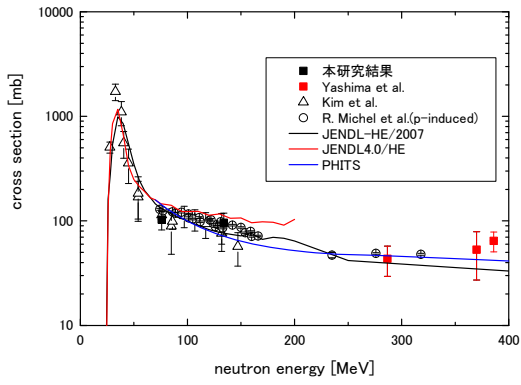


図 1 Bi-209(n, 4n)Bi-206 反応断面積

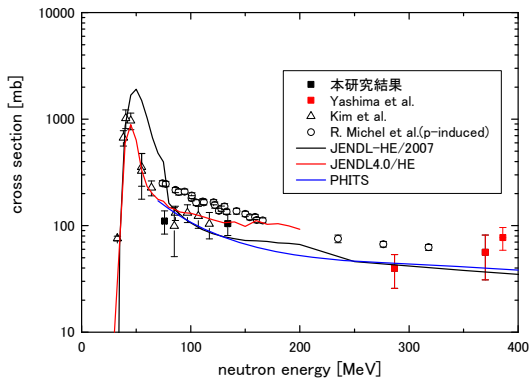


図 2 Bi-209(n, 5n)Bi-205 反応断面積

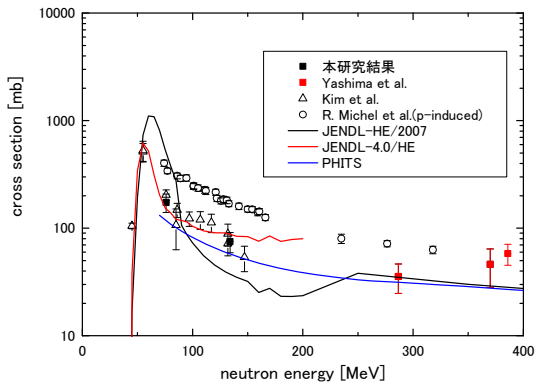


図 3 Bi-209(n, 6n)Bi-204 反応断面積

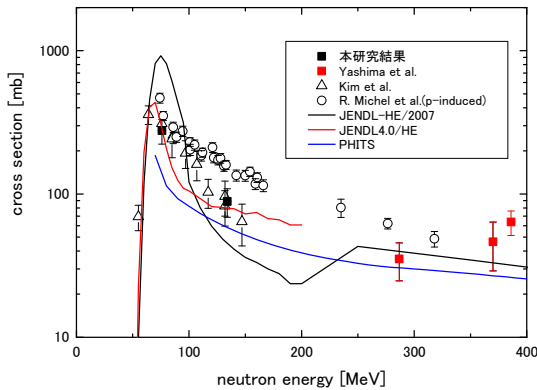


図 4 Bi-209(n, 7n)Bi-203 反応断面積

(2) 高エネルギー中性子によって Co に生成した核種の生成断面積

本研究で行った照射実験により 80, 138MeV 陽子入射で生成した p-Li 準単色中性子(中性子ピークエネルギー76, 134MeV)に対する Co-59(n, xn)Co-56, 57, 58 反応断面積を得た。図 5~7 に核反応断面積をこれまでの実験結果(中性子入射、陽子入射)、評価値(JENDL-HE/2007、JENDL4.0/HE)、計算値(PHITS コード)とともに示す。

図 5 を見ると本研究結果は金らによる中性子入射の実験値及び評価値(JENDL-HE/2007、JENDL4.0/HE)と良い一致を示している。PHITS コードの計算値は本研究結果よりも大きくなる傾向が見られる。図 6 を見ると本研究結果は金らによる中性子入射の実験値、JENDL4.0/HE の評価値と良い一致を示している。JENDL-HE/2007 の評価値及び PHITS コードの計算値は本研究結果よりも小さくなる傾向が見られる。図 7 を見ると本研究結果は他の結果よりも大きくなる傾向が見られている。

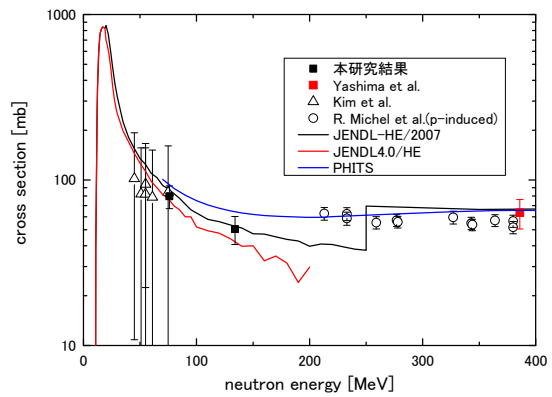


図 5 Co-59(n, 2n)Co-58 反応断面積

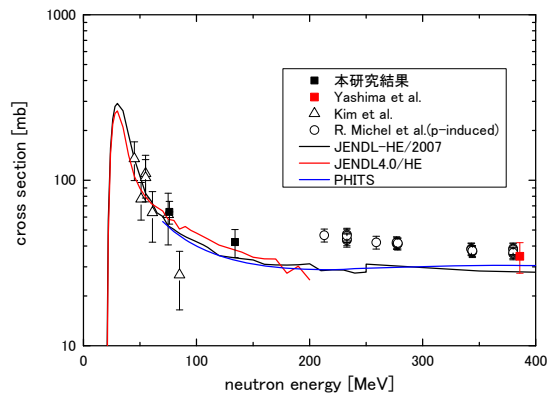


図 6 Co-59(n, 3n)Co-57 反応断面積

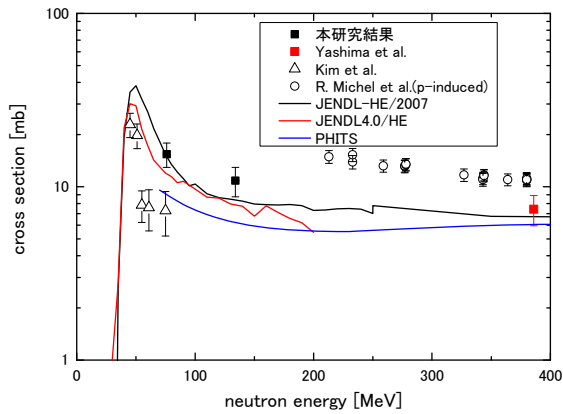


図 7 Co-59(n, 4n)Co-56 反応断面積

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

- ① H. Yashima, S. Sekimoto, K. Ninomiya, Y. Kasamatsu, T. Shima, N. Takahashi, A. Shinohara, H. Matsumura, D. Satoh, Y. Iwamoto, M. Hagiwara, K. Nishiizumi, M. W. Caffee and S. Shibata, MEASUREMENTS OF THE NEUTRON ACTIVATION CROSS SECTIONS FOR BI AND CO AT 386 MeV, Radiation Protection Dosimetry, 査読有, 161, No.1-4, 2014, 139-143
<http://repository.kulib.kyoto-u.ac.jp/dspace/handle/2433/200822>
 DOI:10.1093/rpd/nct334

[学会発表] (計 2 件)

- ① H. Yashima, S. Sekimoto, K. Ninomiya, Y. Kasamatsu, T. Shima, N. Takahashi, A. Shinohara, H. Matsumura, D. Satoh, Y. Iwamoto, M. Hagiwara, K. Nishiizumi, M. W. Caffee and S. Shibata, Measurements of the neutron activation cross sections for Bi and Co at 134 MeV, the International Conference on Methods and Applications of Radioanalytical Chemistry(MARC) X, 2015 年 4 月 12~17 日, ハワイ島コナ(アメリカ).
- ② H. Yashima, S. Sekimoto, K. Ninomiya, Y. Kasamatsu, T. Shima, N. Takahashi, A. Shinohara, H. Matsumura, D. Satoh, Y. Iwamoto, M. Hagiwara, K. Nishiizumi, M. W. Caffee and S. Shibata, MEASUREMENTS OF THE NEUTRON ACTIVATION CROSS SECTIONS FOR BI AND CO AT 386 MeV, 12th Neutron and Ion Dosimetry Symposium, 2013 年 6 月 3~7 日, エクスアンプロヴァンス(フランス).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

八島 浩 (YASHIMA, Hiroshi)
 京都大学・原子炉実験所・助教
 研究者番号：40378972