

機関番号：14301

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2008 年度 ～ 2010 年度

課題番号：20760593

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測定に関する研究

研究課題名 (英文) Study on nuclide-production cross-section measurements induced 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

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。得られた結果を陽子入射による生成断面積及び評価済み核データライブラリーと比較を行った。本結果は核データライブラリーとは全体的によく一致し、陽子入射による生成断面積とは反応によって本結果と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 proton-induced reaction results and nuclear data library. These results agree with nuclear data library and differ from proton-induced reaction results for some reactions.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
平成 20 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
平成 21 年度	600,000	180,000	780,000
平成 22 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	2,100,000	630,000	2,730,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・原子力学

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

これまで、加速器は主に原子核物理分野に利用されていたが、最近では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、利用分野が多様化している。この加速器利用の多様化に伴い、世界各地で大強度の高エネルギーイオン加速器施設の建設計画が進められている。これらの高エネルギーイオン加速器施設において、施設の遮蔽設計を行ったり、加速器駆

動未臨界炉や大強度中性子源等、中性子を利用する施設のビームラインを設計するためには高エネルギー中性子の断面積データが必要となる。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、Glasser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実験データが存在するものの、まだまだ不足しており、また200MeV以上の中性子入射による核種生成断面積の実験データはまだ無い。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。

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、実験データが非常に乏しい200 MeV以上の中性子入射による核反応断面積データを取得し、核データライブラリの精度評価や得られた断面積データを既存の陽子入射による核反応断面積データと比較し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知見を得ることを目的としている。また得られた反応断面積を用いた高エネルギー中性子測定用放射化箔としての利用についても検討する。

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。RCNPのリングサイクロトロンは100~400 MeVまで陽子を加速できるので本研究で目的とする100 MeV以上の準単色中性子ビームを作り出すことができる。

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。NolteらはLi(p,n)中性子のピーク成分が高い前方性をもち、低エネルギー中性子成分がほぼ等方的に放出されることに着目し、0度方向の中性子による照射と16度方向の中性子による照射を行い、照射結果を差し引くことによって低エネルギー中性子成分の寄与の補正を行う手法を中性子線量計の校正に適用した。研究目的で述べたSistersonら、鎌田らの中性子入射による核種生成断面積の測定でも同様の手法を用いている。本研究でもこの手法を用いて中性子入射による核種生成断面積の測定を行う。

測定するサンプルとしてはCo, Biを用い、これまでに測定されていない核種の測定も目指す。

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300MeV陽子入射によるp-Li準単色中性子(240-300MeV, 平均エネルギー287MeV)入射によるBi-209(n,xn)Bi-201, 203, 204, 205, 206, Bi-209(n,x)Tl-199, Bi-209(n,x)Pb-200, 201反応断面積を得た。図1~8にそれぞれ反応断面積をこれまでの実験結果(中性子入射、陽子入射)及び評価値(ENDFB-VI high energy file, JENDL-HE)とともに示す。

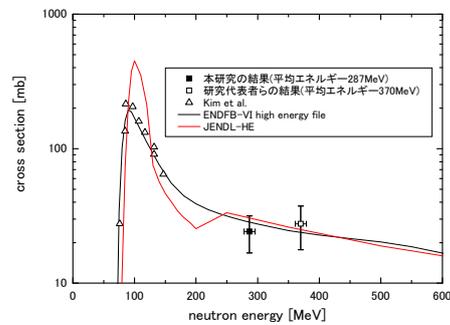


図1 Bi-209(n, 9n)Bi-201 反応断面積

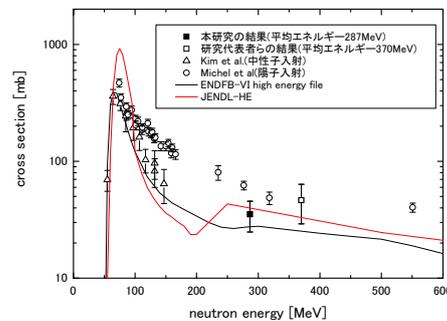


図2 Bi-209(n, 7n)Bi-203 反応断面積

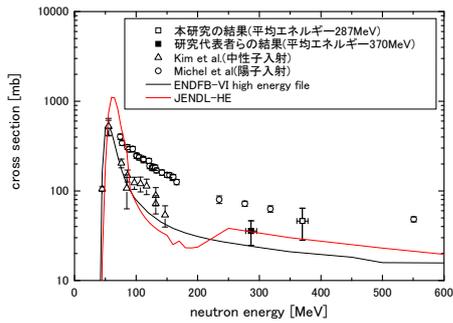


図 3 Bi-209(n, 6n)Bi-204 反応断面積

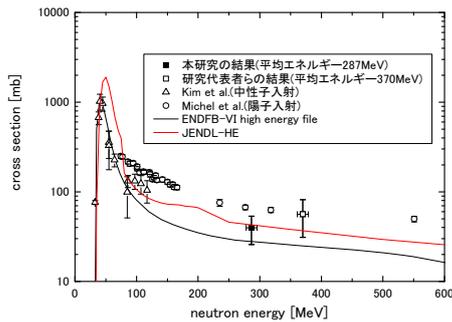


図 4 Bi-209(n, 5n)Bi-205 反応断面積

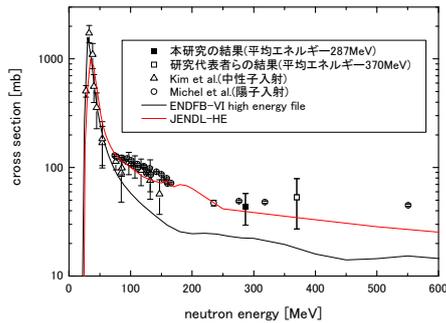


図 5 Bi-209(n, 4n)Bi-206 反応断面積

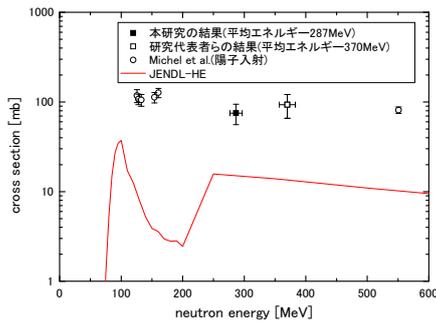


図 6 Bi-209(n, x)Tl-199 反応断面積

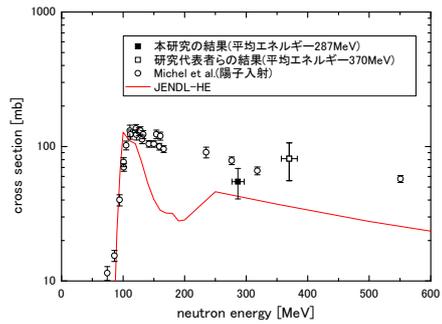


図 7 Bi-209(n, x)Pb-200 反応断面積

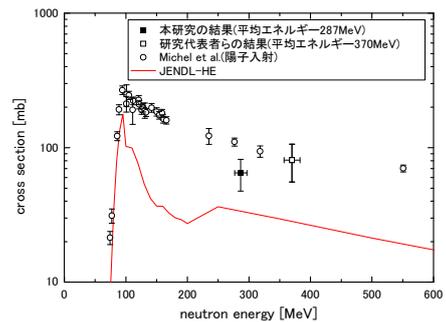


図 8 Bi-209(n, x)Pb-201 反応断面積

図1~5を見ると本研究の結果はJENDL-HEの結果とよく一致しており、ENDFB-VI high energy fileの結果ともBi-206生成断面積で実験値が評価値よりも大きくなっているがそれ以外についてはよく一致している。JENDL-HEは本研究の結果とよく一致しているが200MeV付近で大きなずれがあり、しきいエネルギー付近では過去に評価されたENDFB-VI high energy fileの方が実験値をよく再現している。

陽子入射による断面積と比較すると筆者らが以前に行った平均エネルギー370MeV 中性子による生成断面積の実験結果は陽子入射の結果とよく合っているが本研究で得られた平均エネルギー287MeV 中性子入射による生成断面積は Bi-206 については陽子入射の結果とよく合っているがそれ以外については陽子入射の結果より低い値となった。数100MeV 以上のエネルギー領域では陽子入射と中性子入射で核種生成断面積が同じになると考えられているが反応によっては陽子入射と中性子入射に違いが見られることが分かった。

図6~8を見ると本研究の結果はJENDL-HEの結果よりも大きくなり、陽子入射の結果よりも小さくなる傾向が見られた。

(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 392MeV 陽子入射による p-Li 準単色中性子(300-400MeV, 平均エネルギー387MeV)入射による Co-59 (n, xn) Co-56, 57, 58, Co-59 (n, xn) Mn-52, 54 反応断面積を得た。図 9~13 にそれぞれ反応断面積をこれまでの陽子入射による実験結果及びに JENDL-HE による評価値とともに示す。

図 9~13 を見ると本研究の結果は Co-56, 58, Mn-52 に関しては JENDL-HE の評価値とよく一致しており、Co-57, Mn-54 に関しては JENDL-HE の評価値より大きくなる傾向が見られた。また、陽子入射の結果と比較すると Co-56 以外の核種については本研究の結果はよく一致していた。

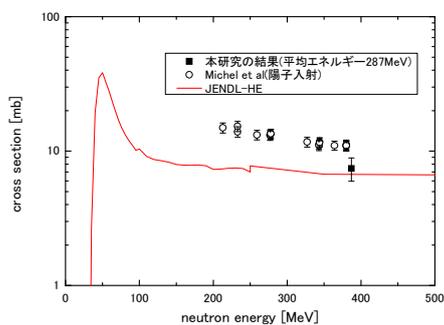


図 9 Co-59 (n, 4n)Co-56 反応断面積

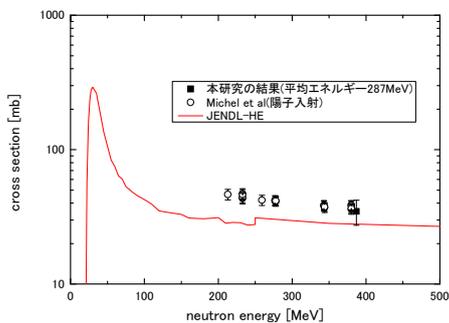


図 10 Co-59 (n, 3n)Co-57 反応断面積

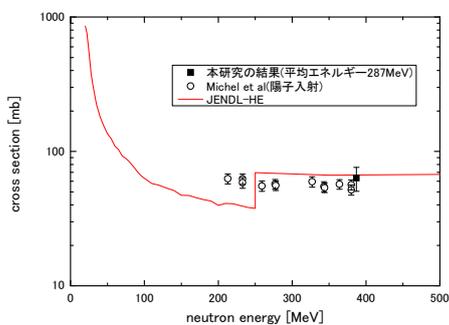


図 11 Co-59 (n, 2n)Co-58 反応断面積

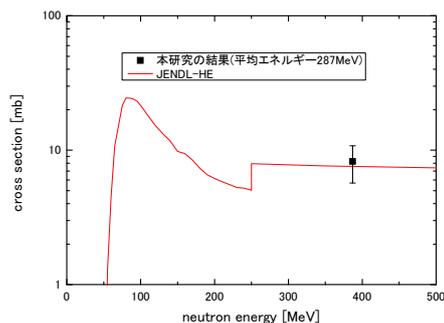


図 12 Co-59 (n, x) Mn-52 反応断面積

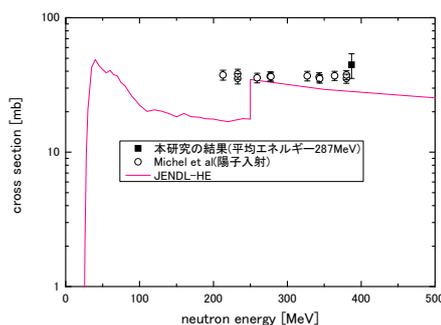


図 13 Co-59 (n, x) Mn-54 反応断面積

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)

H. Yashima, S. Sekimoto, T. Utsunomiya, K. Ninomiya, T. Omoto, R. Nakagaki, T. Shima, N. Takahashi, A. Shinohara, H. Matsumura, D. Satoh, Y. Iwamoto, M. Hagiwara, K. Nishizumi and S. Shibata, MEASUREMENTS OF THE NEUTRON ACTIVATION CROSS SECTIONS FOR Bi AT 287 AND 370 MEV, Radiochimica Acta, 査読有, to be published.

[学会発表] (計 1 件)

H. Yashima, S. Sekimoto, T. Utsunomiya, K. Ninomiya, T. Omoto, R. Nakagaki, T. Shima, N. Takahashi, A. Shinohara, H. Matsumura, D. Satoh, Y. Iwamoto, M. Hagiwara, K. Nishizumi and S. Shibata, MEASUREMENTS OF THE NEUTRON ACTIVATION CROSS SECTIONS FOR Bi AT 287 AND 370 MEV, The fourth international conference in the series of Asia-Pacific Symposium on Radiochemistry.

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