

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 12 日現在

機関番号：34419

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23561016

研究課題名(和文) 加速器駆動炉の動特性解析用遅発中性子データの研究

研究課題名(英文) Study on the Delayed Neutron Nuclear Data for Analysis of Accelerator-Driven Reactor Dynamics

研究代表者

大澤 孝明(OHSAWA, Takaaki)

近畿大学・理工学部・教授

研究者番号：10038028

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円、(間接経費) 930,000円

研究成果の概要(和文)：加速器駆動未臨界炉(ADS)の時間的挙動を解析するために必要な、多種のアクチノイド核種の遅発中性子データの評価研究を行い、次の結果を得た。(1)核分裂収率を固定して計算した場合、核種による遅発中性子収率の変化は、実験データと同じく指数関数型傾向を示す。(2)遅発中性子放出確率として2種類のデータセットを用いた結果、両者の間には数倍の差異が見られた。(3)遅発中性子収率の値の約90%は主要20先行核で決定されるので、これらのデータの精度の向上が重要である。(4)高エネルギーでは遅発中性子収率は減少する傾向があるが、その減少の程度は、即発中性子数、核分裂生成物中の陽子数の偶奇性に依存する。

研究成果の概要(英文)：Evaluation methods for the delayed neutron yield (DNY) data for actinides for use in the analysis of dynamics of an accelerator-driven system were studied. The findings are the following: (1) The DNY calculated with summation method showed an exponential decrease similar to the one observed in experiments as we go to heavier actinides; (2) Two different sets of DN emission probability led to calculated results several times discrepant in magnitude; (3) More than 90% of contribution to the total DNY comes from major 20 precursors. This implies importance of improving accuracy of DN emission probability for these precursors; (4) At higher energies the DNY tends to decrease, the degree of which depends on prompt neutron multiplicity and proton even-odd effects of precursors.

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：加速器駆動未臨界炉 遅発中性子 核データ アクチノイド核種 核分裂収率 遅発中性子放出確率 先行核

学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 4 月 10 日現在

機関番号：34419  
研究種目：基盤研究(C)  
研究期間：2011～2013  
課題番号：23561016  
研究課題名 加速器駆動炉の動特性解析用遅発中性子データの研究  
Study on the Delayed Neutron Nuclear Data for Analysis of Accelerator-Driven Reactor Dynamics  
研究代表者  
大澤孝明 (OHSAWA Takaaki)  
近畿大学・理工学部・教授  
研究者番号：10038028  
交付決定額(研究期間全体)：(直接経費)3,100,000円、(間接経費)930,000円

研究成果の概要(和文)：加速器駆動未臨界炉(ADS)の時間的挙動を解析するために必要な、多種のアクチノイド核種の遅発中性子データの評価研究を行い、次の結果を得た。(1)核分裂収率を森山・大西モデルに固定して計算した場合、核種による遅発中性子収率の変化は、Tuttleの系統式と同様な傾向を示す。(2)遅発中性子放出確率として2種類のデータセットを用いた結果、両者の間には数倍の差異が見られた。(3)遅発中性子収率の値の約90%は主要20先行核で決定されるので、これらのデータの精度の向上が重要である。(4)高エネルギーでは遅発中性子収率は減少する傾向があるが、その減少の程度は、即発中性子数、核分裂生成物中の陽子数の偶奇性に依存する。

研究成果の概要(英文)：Evaluation methods for the delayed neutron yield (DNY) data for actinides for use in the analysis of dynamics of an accelerator-driven system were studied. The findings are the following: (1) The DNY calculated with summation method showed an exponential decrease similar to the empirical systematics proposed by Tuttle as we go to heavier actinides; (2) Two different sets of DN emission probability led to calculated results several times discrepant in magnitude; (3) It was found that more than 90% of contribution to the total DNY comes from major 20 precursors. This implies importance of improving accuracy of DN emission probability for these precursors; (4) At higher energies the DNY tends to decrease, the degree of which depends on prompt neutron multiplicity and proton even-odd effects of precursors.

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：加速器駆動炉 遅発中性子 核データ アクチノイド核種 核分裂収率  
遅発中性子放出確率 先行核

## 1. 研究開始当初の背景

長寿命放射性物質の核種変換とエネルギー生産を同時に行う加速器駆動未臨界炉システム (ADS) は、加速器技術の進展と社会的必要性が相俟って関心が高まっており、各国でその基本特性の研究および実験的研究が進められている。ADS の特徴の一つは従来の原子炉とは違い、パルスモードで運転されることである。パルス打ち込み後の出力の変動は様々な炉物理的情報を含んでおり、そこから炉心系の未臨界度などの特性値を求めることもできる。研究代表者は臨界集合体を用いて深い未臨界度の測定実験を実施しているが、その際にも遅発中性子割合のデータが必要になる。

研究代表者らは従来、核分裂片からの即発・遅発中性子の系統的な研究を行ってきた。本研究では、従来ほとんど注目されてこなかった高エネルギー領域における遅発中性子収率をモデル計算で評価し、即発中性子数との関連を明らかにすることを目的とする。

## 2. 研究の目的

ADS の炉心系の平均核分裂エネルギーは核分裂炉に比べて高いため、遅発中性子先行核の種類と収率は従来の原子炉とは異なり、したがって遅発中性子収率  $\lambda_d$  およびその群構造定数も大きく異なると思われる。本研究ではアクチニド元素の高エネルギー核分裂および核破砕反応における遅発中性子の生成を、物理モデルにより評価しようとするものである。具体的には、まず U、Pu など測定データがある核種について計算モデルを適用し、結果と測定値との比較、計算値を左右する要因などについて検討する。次いで、ADS で核種変換の対象となっている核種 ( $Np$ 、 $Am$ 、 $Cm$  などの重いアクチニド核種) および、ADS のターゲット物質を対象として、熱中性子エネルギー  $\sim 100\text{MeV}$  の入射エネルギーに対する遅発中性子核データを評価すること

を目的とする。

## 3. 研究の方法

(1) 遅発中性子収率  $\lambda_d$  は、先行核の核分裂収率  $Y_i$  とその先行核の遅発中性子放出確率  $P_{n,i}$  の積の和で表される。

先行核の核分裂収率は、核分裂生成物 (即発中性子放出後) の質量分布  $Y(A)$  と荷電分布  $Y(Z|A)$  の積で与えられる。本研究では、 $Y(A)$  は主に森山・大西 (MO) モデルを用い、荷電分布は標準的なガウス関数型を仮定した。高エネルギー領域では即発中性子数が大きくなり、MO モデルで仮定されている即発中性子数の核分裂生成物質量 ( $A$ ) 依存性が適当であるか否かについては検討の余地があるので、そのことの検討も行った。

(2) 遅発中性子放出確率  $P_{n,i}$  も、未だ完全なデータセットが存在しているわけではないので、本研究では Wahl セットと橋ら (TUYY) セットの2つを使い、両者の結果を比較した。

## 4. 研究成果

$Y_i$  と  $P_{n,i}$  の両方に不確かさ (誤差) が伴うので、まず一方を固定した上で他方を変化させて系統的変化を見た。

(1) 先行核収率を MO モデルで計算した場合、親核種 (核分裂する核種) による遅発中性子収率の変化は、パラメータ  $x = (Z_c - A_c) \cdot (A_c/Z_c)$  [ $Z_c$ 、 $A_c$  は核分裂する親核の電荷および質量数] に対してほぼ指数関数型 (Tuttle 型) 依存性を示し、この傾向は採用した  $P_{n,i}$  データセットによらないことがわかった。遅発中性子収率の既存の測定データも同様な傾向を示す。

このように、重いアクチニド核種ほど遅発中性子収率が小さくなるのは、主に、核分裂片 (特に軽分裂片) ピーク質量収率が主要先行核の存在領域から外れていくためであり、その傾向が MO モデルで近似的に表現されているためである。

(2) 核分裂収率を MO モデル計算値に固

定し、 $P_{n,i}$ として Wahl および TUYU のデータセットを用いて計算した結果を比較すると、全般に Wahl が高目、TUYU が低目の値を与え、その差は数倍に及ぶ。この差が、現時点における  $P_{n,i}$  データの不確かさを示すものであると考えられる。

(3) 遅発中性子先行核は約 270 核種あるが、遅発中性子収率  $v_d$  の値の約 90% は主要 20 先行核で決定されることがわかった。したがって  $v_d$  を正確に評価するためには、まず、これら主要 20 先行核のデータの精度の向上が重要である。感度解析によると、遅発中性子収率  $v_d$  は、 $P_{n,i}$  よりも  $Y_i$  に対して 3~4 倍高い感度を有するので、先行核収率の精度を向上するためには、 $Y_i$  の評価法の精度を向上することが重要であると考えられる。

(4) 高い入射エネルギー  $E_n$  における  $v_d(E_n)$  は一般に減少傾向を示すことがわかった。その減少の程度は、即発中性子数、核分裂生成物中の陽子数の偶奇性により左右されることがわかった。即発中性子数のいわゆる“鋸歯状構造”が変化すると、高エネルギーにおける  $v_d(E_n)$  が変化する。これは、初期核分裂片からの即発中性子放出により、(a) 先行核になるはずの核種が先行核になり損なう効果、および、(b) 先行核よりも中性子数が多い核が即発中性子放出により先行核領域に入ってくる効果のバランスが変化するためであると考えられるが、これについては、先行核ごとの詳細な解析が必要である。また、核分裂生成物の陽子数の偶奇性の入射エネルギー依存性を今後詳細に検討すべきである。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 3 件)

Atsushi Sakon, Kengo Hashimoto, Muhammad Aiman bin Maarov, Masahiro Kawasaki, Wataru Sugiyama, Cheol-Ho Pyeon, Tadafumi Sano, Takaaki Ohsawa,  
”Measurement of large negative reactivity of an accelerator-driven system in the Kyoto University Critical

Assembly”,  
Journal of Nuclear Science and Technology **51** (2013) 116-126 [査読あり]

Atsushi Sakon, Kengo Hashimoto, Wataru Sugiyama, Hiroshi Taninaka, Cheol-Ho Pyeon, Tadafumi Sano, Tsuyoshi Misawa, Hironobu Unesaki, Takaaki Ohsawa,

”Power spectral analysis for a thermal subcritical reactor system driven by a pulsed 14 MeV neutron source”,  
Journal of Nuclear Science and Technology **50** (2013) 481-492 [査読あり]

Atsushi Matsumoto, Hiroshi Taninaka, Kengo Hashimoto and Takaaki Ohsawa,  
”Monte Carlo simulation of prompt neutron emission during acceleration in fission”,

Journal of Nuclear Science and Technology **49** (2012) 782-792 [査読あり]

〔学会発表〕(計 2 件)

有澤公一、大澤孝明

「Th サイクル核種および MA 核種の核分裂即発中性子スペクトル計算法の精密化」  
2014 年度日本原子力学会春の年会 J21  
2014 年 3 月 27 日 東京都市大学

大澤孝明

「今さら訊けない核分裂の話」

2013 年核データ研究会(日本原子力研究開発機構主催) 2013 年 11 月 15 日 福井大学

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕  
出願状況(計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：

種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大澤 孝明 (OHSAWA, Takaaki)  
近畿大学・理工学部・教授  
研究者番号：10038028

(2) 研究分担者

なし ( )

研究者番号：

(3) 連携研究者

なし ( )

研究者番号：