



バック・ツー・バック(BTB)核分裂 検出器の開発および特性試験

高嶋 秀樹 野村 紀男 山本 敏久*
小山 真一** 若林 利男***

大洗工学センター安全管理部
* 大洗工学センターシステム開発推進部
** 大洗工学センター燃料材料開発部
***大洗工学センター基盤技術開発部

資料番号: 92-2

Development of a BTB Detector and Examination on the
Characterization for the Detector with the Measuring
System

Hideki Takashima Norio Nomura Toshihisa Yamamoto**
Shin-ichi Koyama*** Toshio Wakebayashi****
(Health and Safety Division, O-arai Engineering Center
* System Engineering Division, O-arai Engineering Center
** Fuels and Materials Division, O-arai Engineering Center
***Advanced Technology Division, O-arai Engineering Center)

使用済燃料から発生する長半減期の放射性廃棄物、特にマイナーアクチノイド核種 (MA核種) の消滅処理技術確立のためには、MA核種の正確な核反応断面積を測定・評価する必要がある。

MA核種の核反応断面積のデータを測定評価するために、今回バック・ツー・バックタイプの検出器 (BTB核分裂検出器) を開発し、高速中性子が「弥生」で²³⁵U試料のみを内蔵させて特性試験を実施した。

その結果、今回製作したBTB核分裂検出器は、MA核種の核反応断面積を測定評価する上で十分な性能を有することが確認された。

1. はじめに

現在、高速炉の中性子を利用して、原子炉で照射された燃料 (使用済燃料) に含まれる長半減期の放射性物質であるマイナーアクチノイド核種 (MA核種: ²³⁷Np, ²⁴¹Am等) の消滅処理技術に関する研究を進めている。MA核種の消滅処理技術の確立に当たっては、高速中性子スペクトルにおけるMA核種の正確な核反応断面積のデータを取得する必要がある。しかし、MA核種の核反応断面積については、核データライブラリー間 (JENDL, ENDF/B等)^{1,2)} で相互に違いがあるとともに、その精度検証に必要な実験データも少なく、かつ実験データ間の相違もみられる。

そこで、高速中性子スペクトル場におけるMA核種の核反応断面積を測定評価するために、評価手法の1つであるBTB法 (²³⁵U等の標準試料とMA核種試料を同時計測することにより、MA核種の核反応断面積を求める手法) を用いた核分裂検出器を設計・製作した。

本報告では、1993年度に実施したBTB核分裂検出器の設計・製作およびその性能確認のための予備特性試験結果について紹介する。

2. 検出器の構造および原理³⁾

BTB核分裂検出器の構造を図1に示す。

本検出器は、パルス型電離箱と同様であるが、検出部が2室構造となっており、それぞれの室から信号を取り出せる特徴を有している。

BTB核分裂検出器による核反応断面積は、次の

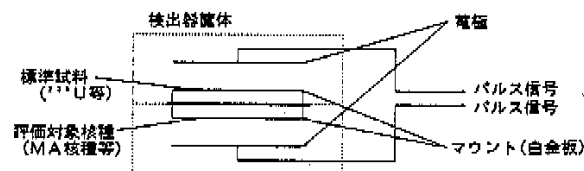


図1 BTB核分裂検出器の構造

方法によって求めることができる。

すでに核反応断面積が明らかとなっている標準核種 (^{235}U 等) と、評価対象核種 (MA核種) を白金板上に焼き付け処理等を実施し、図1に示すように配置する。この状態で中性子を照射し、それぞれの核分裂計数値を求める。

ここで、標準核種の正味計数値を CA_1 、評価対象核種の正味計数値を CX_1 とすると、それぞれの値は以下の式で求められる。

$$CA_1 = \sigma_A \cdot N_A \cdot \Phi_1 \cdot F_1 \quad (1)$$

$$CX_1 = \sigma_X \cdot N_X \cdot \Phi_2 \cdot F_2 \quad (2)$$

σ : 核反応断面積 (cm²)

N : 核種の原子数(N)

Φ : 中性子束密度(n/cm²・sec)

F : 測定系の違いで生ずる測定誤差

次に、標準試料と評価対象核種の測定系が独立していることに起因する両者の測定誤差 ($F_{1,2}$) および標準核種と評価対象核種の配置場所での中性子束密度 ($\phi_{1,2}$) の相違に対する補正の必要性を除くため、検出器内の各試料の位置を相互に入れ換えて測定する。ここで、標準核種の正味計数値を CA_2 、評価対象核種の正味計数値を CX_2 とすると、それぞれの値は以下の式で求められる。

$$CA_2 = \sigma_A \cdot N_A \cdot \Phi_2 \cdot F_2 \quad (3)$$

$$CX_2 = \sigma_X \cdot N_X \cdot \Phi_1 \cdot F_1 \quad (4)$$

(1)~(4)式を整理すると、 σ_X を求めることができる。

$$\sigma_X = \sigma_A \cdot \frac{N_A}{N_X} \cdot \sqrt{\frac{CX_1 \cdot CX_2}{CA_1 \cdot CA_2}}$$

したがって、評価対象核種の核反応断面積は、標準核種の反応断面積、標準核種および評価対象核種の原子数および測定された核分裂計数値により評価することができる。

3. 検出器の開発および核反応断面積の測定試験工程

MA核種の核反応断面積の測定・評価に関する試験工程を図2に示す。

1993年度は、BTB核分裂検出器の設計・製作および当該検出器の特性を把握するために ^{235}U を用いた予備特性試験を実施した。

なお、検出器の設計・製作にあたっては、東大高速中性子源炉「弥生」(以下「弥生炉」という)の炉心中心位置にあるグローリホールに挿入する検出器を目標としている。しかしながら、当該検出器の開発が完了していないため、従来使用実績のある形状の検出器を採用して、「弥生炉」側面にあるグ

項目	年度	1993年度	1994年度	1995年度
検出器の設計・製作		(グライジングホール用)	(グローリホール用)	
^{235}U を用いた検出器の特性試験		(グライジングホール用)	(グローリホール用)	
MA核種の核反応断面積測定・評価試験				(グローリホール用)

① グライジングホール: 東大「弥生炉」炉心側面のブラケットに設置している照射孔 (直径約50mm)
グローリホール: 東大「弥生炉」炉心中心に貫通している照射孔 (直径約20mm)

図2 BTB核分裂検出器の製作およびMA核種核反応断面積測定試験工程

イジングホール挿入用のBTB核分裂検出器を設計・製作した。

1994年度以降は予備特性試験を踏まえて、グローリホール用の検出器を設計・製作し、MA核種の核反応断面積の測定・評価を予定している。

4. 検出器の設計・製作および予備特性試験

4.1 検出器および測定装置の仕様

図3に今回設計・製作した検出器および測定装置の概略を示す。

検出器内の試料と電極間の距離は、FPによる計測値とその他の成分(ノイズの線)の分離性能に影響を与える⁴⁾。したがって、試料と電極間距離の最適条件を調べるために、電極間距離の異なる検出器(15mmおよび6mm)を設計・製作した。また、検出器壁材の違いによる計測値への影響を確認するために、通常検出器の壁材として使用されているSUS製とAl製の2つを設計・製作した。また、炉内の中性子分布をなるべく歪めないため、検出器内に使用する材料(電極固定材およびパッキン材)は、中性子吸収断面積の小さい材料(セラミックおよびインジウム)を使用した。

測定装置は、検出器からの信号を増幅・計数する計測部およびデータ処理を行う解析部からなっている。

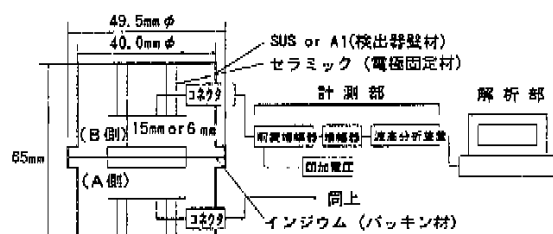


図3 BTB核分裂検出装置の概略図

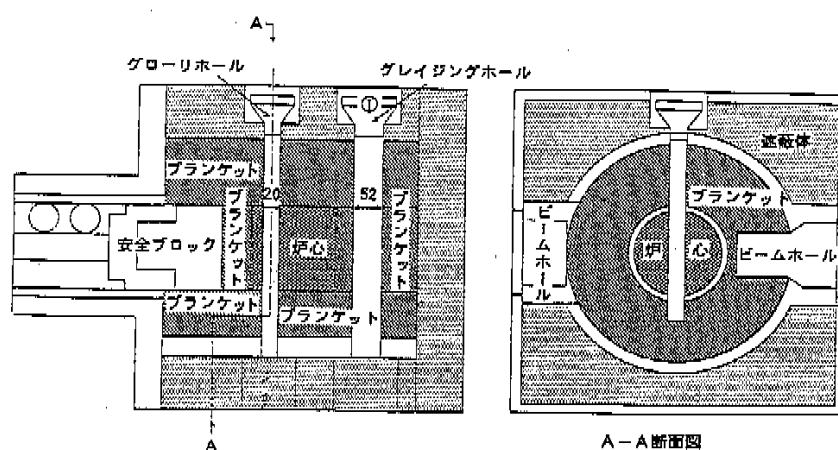


図4 弥生炉心構造図

単位: mm

4.2 高速中性子場における予備特性試験

(1) 検出器の設置場所

検出器は、高速中性子エネルギーを得ることができる「弥生炉」のグレイジングホール（図4中の①参照）に設置した。このグレイジングホールは、炉心側面のブランケットに貫通している直径約50mmの照射孔で、中性子束密度は、 $10^8 \sim 10^9$ n/cm²・sec（平均エネルギー：約0.5MeV）⁵⁾である。

(2) 予備特性試験結果および考察

今回の試料は、1インチφの白金板に焼付けられた²³⁵U(99.7%)である。この試料を検出器内の両側に設置して予備特性試験を行った。

① プラトー特性の確認

電極間距離6mm（検出器-1）のプラトー領域は、250～1000V、電極間距離15mm（検出器-2）については500～1500Vの範囲が得られた。

② 電極間距離の違いによる影響

波高分析装置(PHA)で測定した検出器-1および検出器-2（材質はそれぞれSUS製）の波高スペクトルを、図5および図6に示す。図の縦軸はカウント数を、横軸はチャンネル数を示す。

波高スペクトルには、両方の検出器ともに低チャンネル側に低計数領域（以下、谷間という）が確認され、いずれもFP成分とその他の成分の分離がみられた。一方両者のスペクトルを比較すると、電極間距離が広い方が、FP成分に対する谷間部分の計数値の割合が約2倍高くなることが確認された。この結果から、電極間距離においては、短い方が分離性能が良いことがわかった。

③ 原子炉出力による影響

原子炉出力の違いによる測定値および一定出力当たりの測定値を表1に示す（SUS製、電

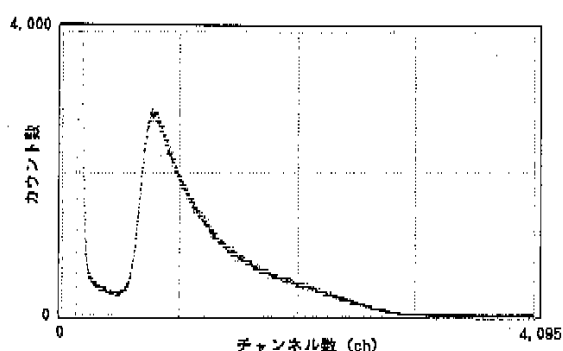


図5 電極間距離6mmの波高スペクトル

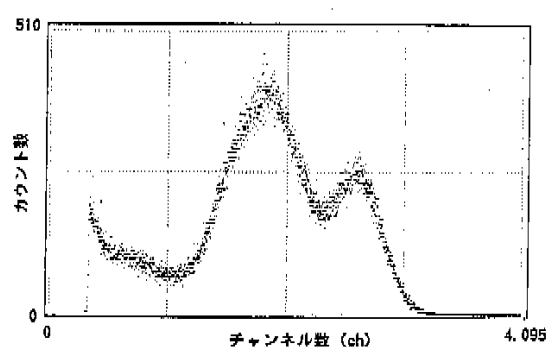


図6 電極間距離15mmの波高スペクトル

表1 出力の違いによる測定値および一定出力当たりの測定値 (検出器: SUS 15mm)

出力(W)	測定値(cps)	1W当たりの測定値(cps/W)
250	3679.27	14.7
	3708.63	14.8
50	735.94	14.7
	741.67	14.8

表2 検出器の材質を変更した場合の測定値 (平均)

検出器の種類	測定値(cps)
検出器-1 (SUS製)	815 $\pm$ 1.1
検出器-2 (アルミニウム製)	855 $\pm$ 1.2

注) 電極間距離: 15mm
炉出力: 50W

表3 長時間連続使用における測定値の時間変化 (検出器: SUS 6mm)

ガス封印経過時間 (h:m)	ピークカウンタ数 (cps/w)	ピーク位置 (ch)	総カウンタ数 (cps/w)
1:43	0.023	834	17.60
4:33	0.024	801	18.25
5:35	0.024	799	18.32
6:35	0.025	776	18.33
6:59	0.026	776	18.40

注) 図7データの抜粋を掲載

極間距離15mmの検出器を使用)。FPの計数値は、原子炉の出力に比例しており、BTB検出器が「弥生炉」において炉出力250W以内で使用可能であることがわかった。

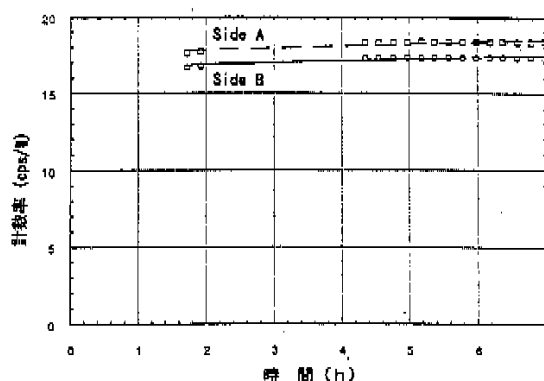
④ 構造材の違いによる影響

SUS製およびアルミニウム製検出器の測定値の平均値を表2に示す。この結果、双方の検出器の材質の違いによる影響の度合いは低いことがわかった。

⑤ 測定環境下における影響

MA核種の核反応断面積の測定では、約6時間の連続照射を予定している。そこで、この測定環境下における計数値変化の有無を確認するため、連続照射による測定を行った。この結果を表3および図7に示す(SUS製、電極間距離6mmの検出器を使用)。図の縦軸は計数率を、横軸は測定時間を、また図中のsideA、sideBは、検出器の両側の計測値を示す。表3から、ピーク位置が低チャンネル側へ移動(7時間経過で約7%の移動)していることがわかるが、ピーク位置における計測値および全測定値はほぼ一定であった。測定で必要な値は全計測値であることから、核反応断面積評価上、測定環境下における影響は無いことがわかった。

図7 長時間照射による測定値の変動



5. おわりに

5.1 まとめ

BTB核分裂検出器を設計・製作し、当該検出器を用いて予備特性試験を実施した。

その結果、検出器の材質については、SUS製とアルミニウム製のFP計数値に有意な差がみられなかったことにより、材質強度が高いSUS製が好ましいことがわかった。また、電極間距離については、分離性能の点で6mmの方が良いことがわかった。この他、本検出器が「弥生炉」の測定環境下において測定上問題ないことがわかった。

5.2 今後の予定

高速中性子領域におけるMA核種の核反応断面積の測定にあたって、測定位置をグレーシングホールからグローリーホールに移して行うため、グローリーホールに挿入することができる小型検出器を今回の予備試験を踏まえ製作する。また、当該検出器にMA核種を内蔵し、検出器性能の確認およびMA核種の核反応断面積を測定・評価する予定である。

5.3 謝辞

BTB核分裂検出器の開発にあたっては、東北大学の馬場 護助教授のご指導を頂いた。また、検出器の製作にあたっては、日本放射線エンジニアリング㈱の道川太一氏の協力を得た。この他、特性実験の際には東京大学の山口賢司先生をはじめ関係者のご指導および協力を得た。ここに感謝の意を表わします。

参考文献

- 1) Harold T. Maguire, Jr., et al., "Neutron-Induced Cross-Section

- Measurements of ^{244}Cm , ^{246}Cm and ^{248}Cm ," NUCLEAR SCIENCE AND ENGINEERING, 89, PP. 293-304, (1985).
- 2) Badrol Alam, et al., "Measurement of the Neu-tron-Induced Fission Cross Section of ^{242}Cm and ^{238}Pu ," NUCLEAR SCIENCE AND ENGINEERING, 99, PP. 267-277, (1988).
- 3) Kazutaka Kanda, et al., "Measurement of Fast Neutron Induced Fission Cross Section of Americium-243 Relative to Uranium-235," Journal of Nuclear Science and Technology, Vol. 24, No. 6, pp. 423-430, (1987).
- 4) 大部 誠, 「アクチノイド核種を用いた核分裂計数管の製作と特性」, JAERI-M 9757, (1981).
- 5) 吉井康司 他, 「東京大学高速中性子源施設における高速中性子ラジオグラフィ」, 日本原子力学会誌, Vol. 32, No. 6, (1990).