

## 校正に使用する DD 反応角度分布の実験的検証

Experimental verification of the angular distribution for the DD reaction used in neutron calibrations

松本 哲郎<sup>1)</sup> 増田 明彦<sup>1)</sup> 真鍋 征也<sup>1)</sup> 原野 英樹<sup>1)</sup>

Tetsuro MATSUMOTO Akihiko MASUDA Seiya MANABE Hideki HARANO

西野 翔<sup>2)</sup> 谷村 嘉彦<sup>2)</sup>

Sho NISHINO Yoshihiko TANIMURA

<sup>1)</sup>産業技術総合研究所 <sup>2)</sup>原子力機構

(概要)

中性子サーベイメータ等の校正に用いられる 5.0 MeV 単色中性子を生成するための D(d, n)<sup>3</sup>He 反応 (DD 反応) の評価済み核データとして、DROSG2000 及び ENDF/B-VIII.0 が使用されるが、それらに格納されている角度分布には違いがみられる。角度分布を実験的に検証するために、DD 反応により生成される中性子の角度分布を液体シンチレータにより測定した。本実験では、バックグラウンドを引き去り中性子フルエンスを求める方法として、シャドーコーン法と中性子飛行時間法の 2 種類の測定を行った。現在、データ処理の途中であるが、最終的には得られた実験データと評価済み核データの比較を行い、中性子校正に反映させていく予定である。

キーワード : 中性子標準、中性子校正、DD 反応、角度分布、5.0 MeV、核データ

(1 行あける)

### 1. 目的

産業技術総合研究所 (以下、産総研) における加速器を用いた単色中性子標準場[1]では、中性子スペクトル評価のために JAEA コードの一つである MCNP-ANT[2]を使用している。大きな検出器の校正時には、中性子場の角度分布情報が必要になる場合もあり、その際 MCNP-ANT コードを用いて評価を行っている。MCNP-ANT では、評価済み核データを用いてイオン、中性子の輸送計算を行っている。

現在、2.5 MeV、5.0 MeV を発生させるために使用している DD 反応については、DROSG2000 評価済み核データを使用している。しかしながら、米国の評価済み核データ ENDF/B-VIII.0 に格納されているデータと比較すると、特に角度分布について違うことが分かっている。図 1 は、5.0 MeV を生成する重水素イオンビームエネルギー近傍の 1.8 MeV に対する DROSG (黒点) と ENDF (青点) の重心系角度分布の比較である。本研究では、角度分布の違いについて、液体シンチレーション検出器を用いた実験による検証を行う。

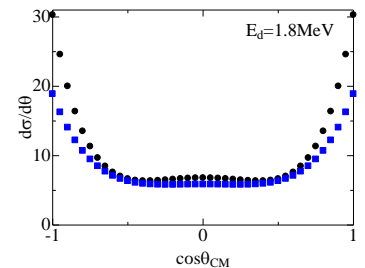
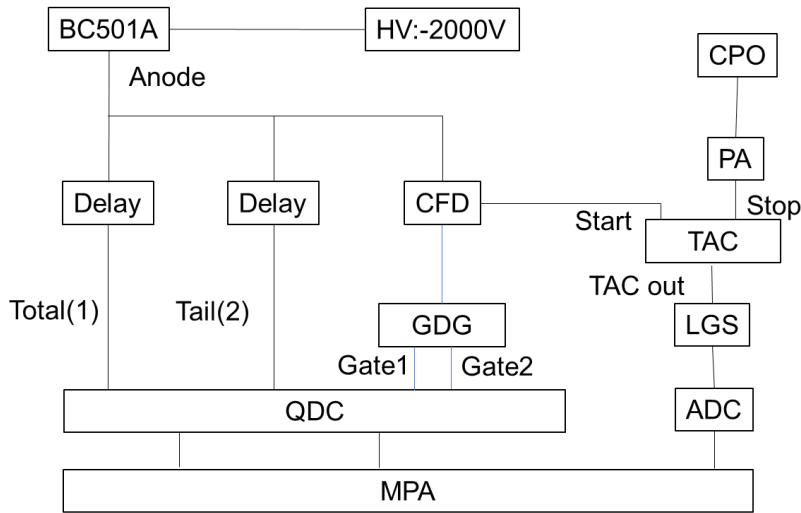


図 1 DD 反応 ( $E_d=1.8$  MeV) における重心系角度分布の比較

### 2. 方法

日本原子力研究開発機構放射線標準施設 (FRS) において、5.0 MeV 中性子は、重水素ガスターゲットを用いた DD 反応によって生成される。本実験では、加速器からの重水素ビームは、4 MHz の繰り返し周波数を持ったパルスビームとして得られた。検出器としては、5.08 cm 直径、5.08 cm 長さの液体シンチレーション検出器 (BC501A) を使用した。検出器からの信号は、図 2 に示す体系で処理された。液体シンチレータが陽子を検出したときと電子を検出したときの減衰時間の違いを利用して、検出器からの信号は中性子起因の信号とガンマ線起因の信号を弁別して取り出せるようにした。また、中性子飛行時間 (TOF) データを取り出せるようにした。中性子モニターとしては、FRS に設置されているロングカウンターを使用した。

本実験では、ビームラインに対して  $0^\circ$ 、 $10^\circ$ 、 $20^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $40^\circ$ 、 $50^\circ$ 、 $60^\circ$  の 7 角度の測定を行った。検出器は、検出器表面と中性子発生ターゲットとの距離が約 2.15 m となる位置に設置された。各角度



ADC: Analogue to digital converter (FastComTec 7072)  
 QDC: Charge to digital converter (Daiei musen D501)  
 HV: High voltage (ORTEC 556)  
 Delay: ORTEC 463  
 CFD: Constand fraction discriminator (ORTEC 584)  
 GDG: Gate and delay generator (Technoland N-RY 007)  
 TAC: Time to amplitude converter (ORTEC567)  
 LGS: Linear gate and stretcher (ORTEC 542)  
 CPO: Capacitive pick off  
 PA: Preamplifier (ORTEC VT120)  
 MPA: Multiparameter system (FastComTec MPA4)

図 2 測定の信号処理体系

の測定では、シャドーコーンがある場合とない場合の2種類の測定が行われ、シャドーコーンを用いて散乱中性子に起因するバックグラウンドを引き去れるようにした。

### 3. 結果及び考察

液体シンチレータで得られた波高スペクトルから中性子起因の成分を取り出し、さらに各角度の測定にお

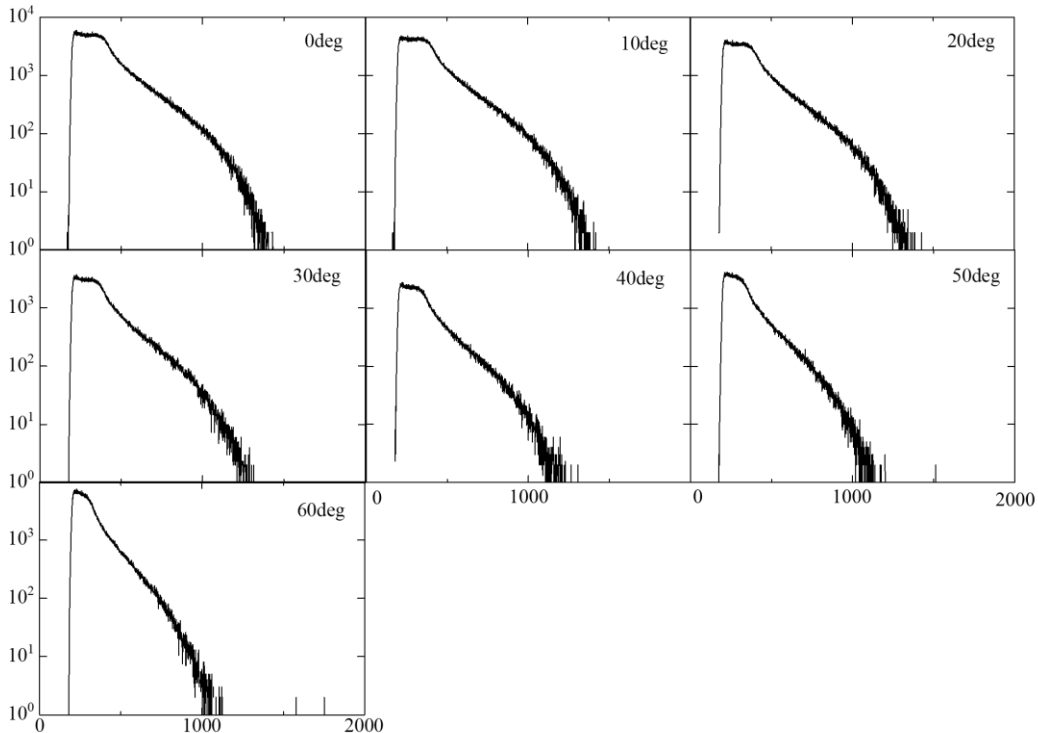


図 3 各角度の測定で得られた正味の波高スペクトル

いてシャドーコーン測定の結果を引き去った正味の波高スペクトルを図3に示す。波高スペクトルの下限チャンネルからエッジまでの長さを見ると、角度が大きくなるにつれて中性子エネルギーが小さくなっていることが分かり、現在データ処理の途中であるが、測定は成功していると考えられる。今後、SCINFUL-QMD [3]によって得られる検出器の応答関数を利用して、DD 中性子発生断面積の角度分布を導出する。また、TOF測定によって得られる結果とシャドーコーン測定によって得られる結果の比較をする。TOF測定から導出されるエネルギー分布とシミュレーションによって得られるエネルギー分布の比較も行う。TOF測定においては、ビームパルス幅に起因するエネルギー分解能が存在している。また、角度が大きくなるにつれてガンマ成分と中性子成分の間のバックグラウンドが時間依存する傾向もみられる。しかしながら、角度が大きい時に、 $0^\circ$  方向のエネルギーの大きな中性子が小角散乱によって混入することも考えられるため、それらの確認にデータ処理を工夫する必要がある。最終的に得られた結果は、DROSG 及び ENDF の評価済み核データと比較し、成果としてまとめる予定である。

#### 4. 引用(参照)文献等

- [1] H. Harano, T. Matsumoto, J. Nishiyama, A. Uritani, K. Kudo, Accelerator-based neutron fluence standard at the National Metrology Institute of Japan, AIP Conf. Proc. 1099 915 (2009).
- [2] M.Yoshizawa, T.Sugita, J. Saegusa, Y. Tanimura and M. Yoshida, A Monte Carlo Program for Estimating Characteristics of Neutron Calibration Fields Using a Pelletron Accelerator, J. Nucl. Sci. and Technol., Suppl. 2, 1240 (2002).
- [3] D.Satoh, T.Sato, N.Shigyo and K.Ishinbashi, SCINFUL-QMD:Monte Carlo based computer code to calculate response function and detection efficiency of a liquid organic scintillator for neutron energies up to 3 GeV, JAEA-Data/Code 2006-023 (2006).