

原子核乾板を用いた核融合中性子計測法の開発とKSTARへの適用 Development of Fusion Neutron Measurement by Nuclear Emulsion and its Application to KSTAR

中山陽一朗¹, 和泉佑哉¹, 富田英生¹, 森島邦博², 林翔太¹, 磯部光孝^{3,4}, 小川国大^{3,4},
MunSeong Cheon⁵, 中竜大², 中野敏行², 中村光廣², 井口哲夫¹
Y. Nakayama¹, Y. Izumi¹, H. Tomita¹, K. Morishima², S. Hayashi¹, M. Isobe^{3,4}, K. Ogawa^{3,4},
MunSeong Cheon⁵, T. Naka², T. Nakano², M. Nakamura² and T. Iguchi¹

¹名大工, ²名大理, ³核融合研, ⁴総研大, ⁵National Fusion Research Institute
¹School of Eng., Nagoya Univ., ²School of Sci., Nagoya Univ., ³NIFS, ⁴SOKENDAI, ⁵NFRI,

1. はじめに 核融合実験装置における重水素実験では、DD核融合反応によりエネルギー2.5MeVのDD中性子が放出される。特にNBI加熱時には高速イオンとバルクイオンの反応が支配的となるため、発生するDD中性子は高速イオンの情報を反映する。原子核乾板は荷電粒子に有感な写真乳剤を用いた固体検出器であり、高速中性子が入射した場合、乳剤中の水素との弾性散乱により反跳陽子が生成され、その飛跡を記録するため高速中性子の検出が可能である。これまでに原子核乾板とピンホールコリメータを用いた高速中性子計測法の開発を進めてきた^(1,2)。今回は、加速器DD中性子源を用いた原子核乾板ピンホールカメラの応答評価と、超伝導トカマク実験装置KSTARでのDD中性子計測への適用を行った。

2. 加速器DD中性子源を用いた原子核乾板ピンホールカメラの応答評価 検出器の概要を Fig. 1 に示す。原子核乾板前面のタングステン製ピンホールコリメータにより、DD 中性子はピンホールを通過して原子核乾板に入射する。そのため、反跳陽子飛跡位置とピンホールを結ぶ直線を中性子入射方向と推定でき、イメージングが可能となる。

本カメラの応答を実測するために、日本原子力研究開発機構の核融合中性子源 FNS (Fusion Neutronics Source)を用いて、加速器DD 中性子源に対する飛跡密度の分布、すなわち、点線源に対する点広がり関数を測定した。ここで、原子核乾板中の反跳陽子飛跡の解析に、超高速自動解析装置 S-UTS を用いた。点線源から 100 cm の位置に検出器を設置し、点線源に対する検出器視野方向を 0°, 5°, 10° と変化させた。得られた原子核乾板上の反跳陽子飛跡密度分布(40 mm×40 mm)と重イオン輸送コード PHITS によるモンテカルロ計算結果を Fig. 2 に示す。計算と実験の点広がり関数は、絶対値、プロファイル形状、ピーク位置がそれぞれよく一致した。原子核乾板の設置に起因する位置再現性・精度・現像条件・読み取り効率等を含む応答をモンテカルロ計算モデルにより評価可能であることが示された。さらにピンホールを通過する有感領域内の飛跡数と領域外の飛跡数(コリメータを透過した成分などのバックグラウンド)を差し引き、正味の飛跡数を得ることで、本検出器の検出効率、 $(3.5 \pm 0.3) \times 10^{-6}$ tracks/n であると評価された。

3. KSTAR への適用 KSTAR における重水素実験に対し、本検出器を適用した。本検出器を KSTAR J ポートに設置し、複数の放電ショットを積算した測定を 3 回実施した (#8963-8969, #8978-9010, #8892-8910)。KSTAR に設置された中性子総発生量モニター (Neutron Flux Monitor: NFM)の値と得られた飛跡数の関係を Fig. 3 に示す。正味の飛跡数と総中性子発生数と相関が確認できた。ここで、 η_{emulsion} を検出効率、 SA を立体角、 S_n を総中性子発生率としたとき、反跳陽子飛跡数 $N_{\text{pt}} = \eta_{\text{emulsion}} \times SA \times S_n$ と表される。立体角は幾何学効率より $SA = (1.8 \pm 0.2) \times 10^{-6}$ 、飛跡数は $N_{\text{pt}} = (1.8 \pm 0.1) \times 10^2$ tracks/s であったため、平均中性子発生率は $S_n = (2.9 \pm 0.4) \times 10^{13}$ n/s であると見積もられた。

4. まとめと今後の課題 加速器DD 中性子源による点広がり関数を実測し、原子核乾板ピンホールカメラの応答をモンテカルロ計算モデルにより評価可能であることが示された。また、超伝導トカマク実験装置 KSTAR における重水素実験へ適用し、平均中性子発生率を推定した。今後、DD 中性子発生プロファイル計測等への適用を進め、本手法による DD 中性子イメージングの実証を行う予定である。

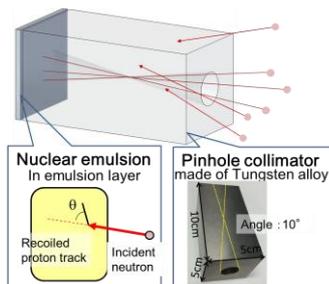


Fig. 1 検出器概要

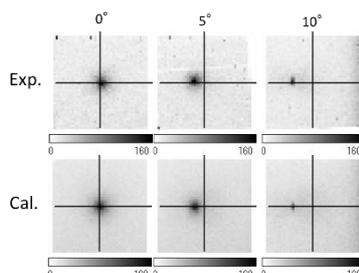


Fig. 2 単色DD中性子に対する点広がり関数

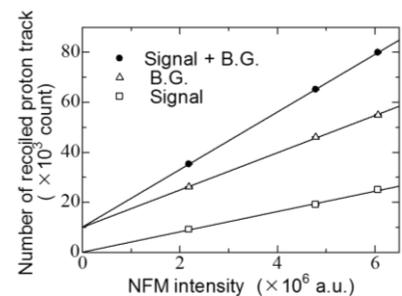


Fig. 3 飛跡数と中性子発生数の関係

参考文献 [1] H. Tomita *et al.*, Plasma Fusion Res. **8**, 2406095 (2013). [2] Y. Nakayama *et al.*, Physics Procedia (accepted).