

磁場閉じ込め核融合実験装置における重水素実験のための 2.5MeV 中性子スペクトロメータの開発

Development of 2.5MeV neutron spectrometer for deuterium experiment at magnetic confinement fusion device

山本 洋輔¹, 山下 史隆¹, 富田 英生¹, 磯部 光孝², MunSeong Cheon³, 小川 国広², 河原林 順¹, 井口 哲夫¹
Y. Yamamoto¹, H. Yamashita², H. Tomita¹, M. Isobe², MunSeong Cheon³, K Ogawa², J. Kawarabayashi¹, T. Iguchi¹
名古屋大学大学院工学研究科¹, 核融合科学研究所², National Fusion Research Institute, Korea³
Nagoya Univ.¹, NIFS², NFRI³

1. はじめに 磁場閉じ込め核融合実験装置における重水素プラズマ実験では、重水素中性粒子ビーム入射加熱により生成された高速重水素イオンと熱平衡状態の重水素イオンの核融合反応により、2.5 MeV程度のエネルギーを持ったDD中性子が主に放出される。DD中性子は反応前粒子の情報（エネルギー・密度分布）を反映するために、DD中性子エネルギースペクトル測定は高速イオン診断法となりえる。核融合科学研究所大型ヘリカル装置(Large Helical Device: LHD)にて計画中の重水素プラズマ実験のために開発された共役粒子同時計数型中性子スペクトロメータ(Associated Particle Coincidence Counting –Neutron Spectrometer: APCCNS)^[1]を、韓国超伝導トカマク装置(Korea Superconducting Tokamak for Advanced Research :KSTAR)に設置し、重水素プラズマ実験により放出されるDD中性子を計測する準備を進めている。今回は、APCCNSのKSTAR設置に向け、KSTAR構造材における散乱を考慮した中性子輸送シミュレーションに基づき、コリメータを含めた遮蔽材の設計し、プロトタイプスペクトロメータの構築を行ったのでここに報告する。

2. 中性子用コリメータ及び遮蔽設計 APCCNSは、ラジエータ、反跳陽子検出器、散乱中性子検出器で構成されており、水素含有ラジエータ中における中性子-水素原子核弾性散乱の共役粒子である反跳陽子、散乱中性子のエネルギーを、ラジエータと反跳陽子検出器、ラジエータと散乱中性子検出器、でそれぞれ測定し足し合わせて入射中性子のエネルギーを求める。このため、重水素プラズマより放出されるDD中性子（直接成分）のコリメータと、真空容器等の構造材にて散乱された中性子（散乱成分）の遮蔽材を設計する必要がある。そこで、粒子・重イオン輸送統合コードシステム(PHITS)を用いて、Fig. 1に示すようなKSTAR中性子輸送計算モデルを構築した。ここでは、KSTAR構造材(真空容器、断熱シールド、超電導コイル)及び、コリメータ、遮蔽材による散乱を考慮し、コリメータの材質は、¹⁰B入りポリエチレン(密度1.11 g/cm³)とした。Fig. 2にコリメータの形状を示す。コリメータの性能を評価する指標として、検出面への全入射中性子に対する非散乱成分の割合(Peak-Total比)を用いた。コリメータ孔径Φを2 cm、長さLを45 cmとし、高さH/幅Wを変化させた際のPeak-Total比をFig. 3に示す。KSTARにおいてAPCCNSを設置するスペースや重量に制限があるため、H/W=40 cmとしたが、このときのPeak-Total比は0.7程度と見積もられた。次に、ポートからの散乱成分の入射を軽減するための遮蔽材として、鉛(5 cm厚)とその後方に¹⁰B入りポリエチレン(5 cm厚)を用いること検討した。これは、高密度の物質によって高速中性子を減速させ、水素原子核や¹⁰Bにより減速・捕獲吸収させるためであり、鉛にはγ線及びX線の軽減も期待できる。簡易体系を用いた計算より、この2層遮蔽材を用いることで、3 MeV以下の中性子に対して、散乱中性子を50%以下まで低減できる見込みを得た。

3. まとめと今後の課題 共役粒子同時計数型中性子スペクトロメータをKSTARに適用するために、中性子輸送計算モデルを用いた設計検討を行い、コリメータとして材質¹⁰B入りポリエチレン、サイズH:40 cm×W:40 cm×L:45 cm、遮蔽材として鉛:5 cm厚+¹⁰B入りポリエチレン:5 cm厚、を用いることとし、これをもとにプロトタイプスペクトロメータの構築を行った。今後、KSTAR重水素実験における中性子エネルギースペクトル測定を進める予定である。

[1] H. Tomita *et al.*, Rev. Sci. Instrum., **81**, 10D309, (2010)

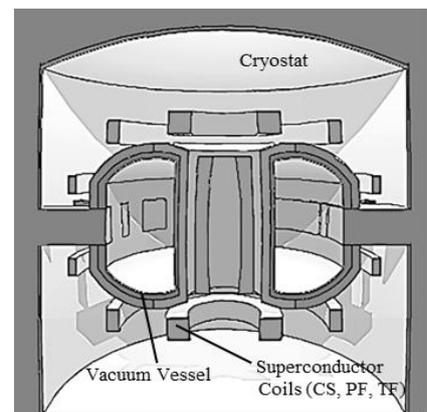


Fig. 1 KSTAR 中性子輸送計算体系

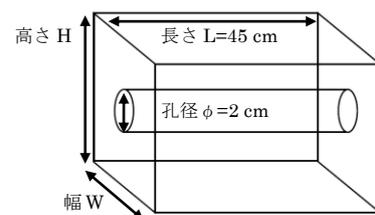


Fig. 2 中性子用コリメータ形状

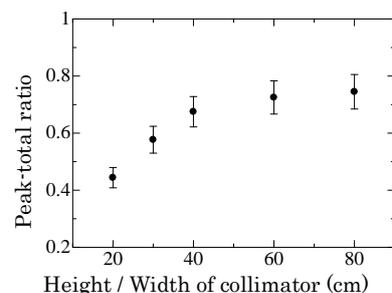


Fig. 3 Peak-total 比のサイズ依存性