

超電導トカマク実験装置KSTARにおける高エネルギーイオン診断のための 中性子スペクトロメータの開発

Development of the neutron energy spectrometer for energetic-ion diagnostics in KSTAR

山下 史隆¹, 山本 洋輔¹, 富田 英生¹, 磯部 光孝², MunSeong Cheon³, 森島 邦博⁴, 小川 国大²,
不破 裕太¹, 中野 敏行⁴, 中村 光廣⁴, 河原林 順¹, 井口 哲夫¹
F. Yamashita¹, Y. Yamamoto¹, H. Tomita¹, M. Isobe², MunSeong Cheon³, K. Morishima⁴, K. Ogawa²,
Y. Fuwa¹, T. Nakano⁴, M. Nakamura⁴, J. Kwarabayashi¹, T. Iguchi¹

名古屋大学工学研究科¹, 核融合科学研究所², National Fusion Research Institute, Republic of Korea³,
名古屋大学大学院理学研究科⁴
Dept. of Eng., Nagoya Univ.¹, NIFS², NFRI³, Dept. of Sci., Nagoya Univ.⁴

1. はじめに 磁場閉じ込め型核融合実験装置における中性粒子ビーム (NBI) 加熱を伴う重水素プラズマ実験では、NBIに起因する高エネルギー重水素イオンとプラズマ中で熱平衡状態にある重水素イオンとのDD核融合反応が主に起こる。この反応に伴って発生するDD中性子のエネルギースペクトルは、高エネルギー重水素イオンの密度分布やエネルギーといった情報を反映するため、DD中性子エネルギースペクトル測定は高エネルギーイオン診断に有用である。

そこで、本研究では、韓国超電導トカマク実験装置KSTARの重水素プラズマ実験にて放出されるDD中性子に対するエネルギースペクトロメータ (NES) の開発を進めている。今回は、トカマクにおけるNBI加熱起因の高エネルギーイオン数値計算コードNUBEAM^[1]に基づくDD中性子発生モデルを構築し、NESの応答を見積もるとともに、NESのKSTAR Jポートへの設置について報告する。

2. NUBEAMに基づくDD中性子発生モデル DD核融合反応により放出される中性子エネルギーは、運動力学により以下の式で与えられる。

$$E_n = \frac{1}{2} m_n V^2 + \frac{m_{3He}}{m_{3He} + m_n} (Q + K) + V \mu \left[\frac{2m_{3He}m_n}{m_{3He} + m_n} (Q + K) \right]^{1/2}$$

ここで V : 反応前粒子の重心の速度、 Q : DD($n, {}^3\text{He}$)核融合反応の Q 値、 K : 反応前粒子の運動エネルギー、 E_n : 反応後中性子の実験室系エネルギー、 μ : 反応前後粒子飛跡間の角度の余弦、 m_n 、 m_{3He} : 中性子質量、 ${}^3\text{He}$ 質量である。DD 中性子の発生率は、DD 反応に寄与したイオン密度と断面積に依存するが、NES の視野中のプラズマ領域から発生し、コリメータを通して NES に入射する中性子のエネルギースペクトルは、DD 反応が生じた各領域での高速イオンのエネルギー・方向と、立体角にも依存する。このため、トカマク核融合実験装置での高速イオンのエネルギー付与や減速、熱化を扱うモンテカルロ数値シミュレーションコードNUBEAMを用いて、プラズマ中の各領域における定常状態での高速イオンの密度・エネルギー・平均的な方向 (磁力線に対する平均ピッチ角) の空間分布を求め、NES 設置位置での中性子エネルギースペクトルを計算した。その結果、NES 視野を Fig. 2 のようにプラズマの接線方向に向けた場合、高速イオンの進行方向に対応した中性子エネルギースペクトルのシフトが生じることが確認され、そのスペクトルシフトは共役粒子同時計数型 (Associated particle Coincidence Counting APCC-)NES^[2]のエネルギー分解能で弁別可能であることが示された。

3. KSTAR における NES 設置と今後の展望 APCC-NES および原子核乾板を用いた NES を計測用水平 J ポート近傍にプラズマに対して垂直となる視野で設置した (Fig. 2 参照)。NES の設置位置はプラズマ中心から 4 m 程度と近いと、その視野を変更することで十分な中性子エネルギースペクトルのシフトを観測することが出来るメリットがある一方、多量の X 線や、散乱中性子による検出器へのノイズ等の影響が懸念されている。今後、APCC-NES の遮蔽構造の増設や、最適な設置位置についての検討を行う予定である。

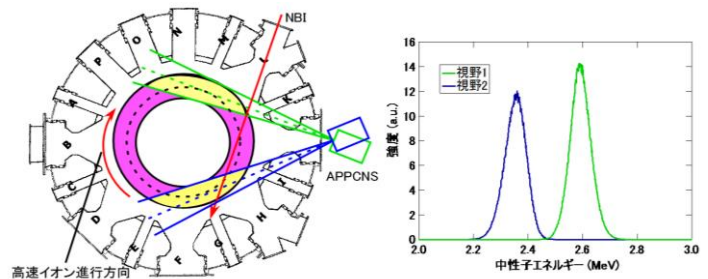


Fig. 1 視野を変更した場合の中性子スペクトル

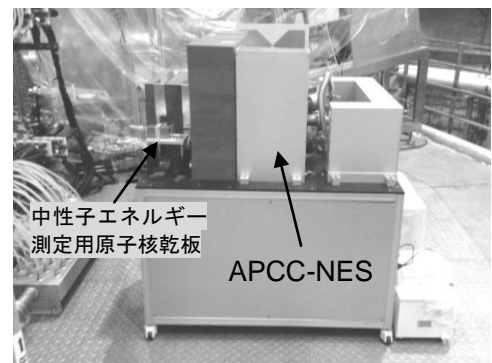


Fig. 2 J ポートに設置された NES

[1] A. Pankin *et al.*, Computer Physics Communications, 159, 157-184, (2004).

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