

炉壁への中性子入射スペクトルとその高速イオン診断への応用

Neutron Incident Spectra to First wall and Their Application to Energetic Ion Diagnostics

杉山 翔太

九州大学工学府エネルギー量子工学専攻

1. 緒言

プラズマ中の高速イオンはイオン速度分布関数上に非 Maxwell 成分である高速イオンテイルを形成し、この時核融合反応で生成される中性子の放出スペクトルは Gauss 分布から歪むことが知られている[1]。従って中性子放出スペクトルの非 Gauss 成分を計測することで高速イオンの診断を行うことができる[2]。高速イオン診断は、加熱特性や粒子閉じ込め、不安定性等の高速イオンの物理の理解のために重要である[3]。ITER や原型炉以降のプラズマでは、バルクイオンに対する高速イオンの存在割合が小さく、中性子放出スペクトルの非 Gauss 成分は Gauss 成分に対して数桁小さいことが想定されるため、計測の統計精度を高める工夫が必要となることが考えられる。

中性粒子ビーム入射 (NBI) 加熱は高エネルギー中性粒子を特定の方向に入射するため、高速イオンは非等方的に分布する。イオン速度分布関数に非等方的な高速イオンテイルが形成された場合、中性子放出スペクトルの非 Gauss 成分も非等方性を持つ。トーラス装置では炉壁位置毎に入射する中性子束が異なることが知られており、等方的な中性子放出の場合に対しては中性子束分布が評価されている。中性子放出が非等方的な場合には、入射中性子束分布に加えて壁面位置や入射方向によって入射スペクトルが異なることが考えられる。従って、全ての炉壁位置、入射角毎の炉壁への中性子入射スペクトルを把握して、高速イオン診断に適した中性子計測器位置と方向とを決定することで、中性子スペクトルを選択的に計測できる可能性がある。

本研究の目的は、燃料イオン速度分布関数上に非等方的な高速イオンテイルが形成された場合に対して、炉壁位置及び入射角毎の中性子入射スペクトルを評価し、得られた結果を元に高速イオン診断の精度を高める方法を提示することである。そのために、軌道計算により得られる高速イオンの核融合反応時の位置や速度等から中性子の放出方向とエネルギーとを計算し、中性子放出ベクトルと壁面形状関数との連立方程式を解くことで、炉壁への中性子入射位置及び角度を解析する手法を構築した。

2. 計算結果

ITER の DT プラズマ中心に重水素ビームを接線方向に入射した場合を想定した。計算条件は Inductive operation scenario 2 から引用した。図 1 に 14.1 MeV の値で規格化した中性子放出スペクトル ε_e 、 $\theta = 0^\circ$ 、 $l_p = 90^\circ$ 、 $l_t = 137^\circ$ における入射スペクトル ε_i 及び非 Gauss 成分の増加率 $\eta \equiv \varepsilon_i / \varepsilon_e$ を示す。 θ はポロイダル角、 l_p はポロイダル断面内の、 l_t は水平面内で定義した入射角である。非 Gauss 成分が最も多く観測される壁面位置と入射角における非 Gauss 成分と 14.1 MeV ピークとの割合は、放出スペクトルにおける割合に対して、16 MeV 以上で 3 桁以上増加する。これは高速イオン診断に対して非常に有利な結果である。

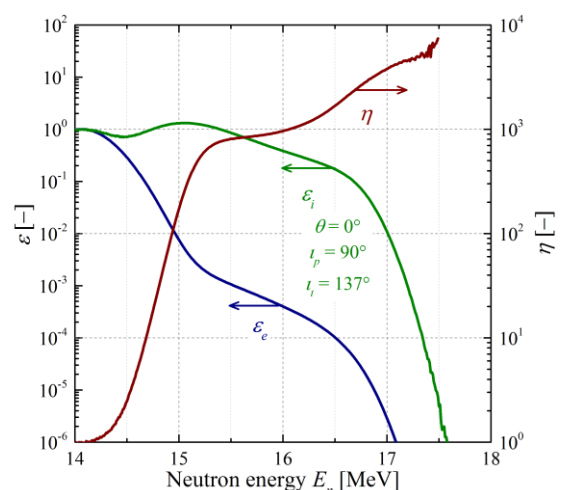


図 1 規格化した中性子放出スペクトル ε_e と $\theta = 0^\circ$ 、 $l_p = 90^\circ$ 、 $l_t = 137^\circ$ における入射スペクトル ε_i 及び非 Gauss 成分の増加率 η

[1] H. Matsuura, et al., Plasma Phys. Control. Fusion, **53** (2011) 035023.

[2] C. Hellesen, et al. Nucl. Fusion, **53** (2013) 113009.

[3] A. Fasoli, et al., Nucl. Fusion, **47** (2007) S264.