

ヘリオトロン J における非共鳴マイクロ波加熱プラズマ中の 高エネルギー X 線スペクトル解析

High energy X-ray spectrum analysis in non-resonant microwave heating plasma of Heliotron J

伊藤龍志¹、小林進二²、永岡賢一³、長崎百伸²、大垣英明²、紀井俊輝²、全炳俊²、
稲垣滋²、岡田浩之²、南貴司²、門信一郎¹、大島慎介²、水内享²、木島滋²
ITO Ryuji¹, KOBAYASHI Shinji², NAGAOKA Kenichi³, NAGASAKI Kazunobu², et al

¹京大エネ科、²京大エネ理工研、³核融合研
¹GSES Kyoto Univ., ²IAE Kyoto Univ., ³NIFS

ヘリオトロン J では、トカマクと異なり、磁力線方向に進む高速電子をプラズマ電流がなくても外部コイルのみで閉じ込められる。磁場強度 0.6~1.4T の真空磁場中に 2.45GHz マイクロ波を入射すると、2MeV を超える高速電子がシンクロトロン放射により観測された¹。閉じ込め磁場中にマイクロ波の共鳴層はないため、加速機構としてマイクロ波電界と電子との相互作用による統計加速²が考えられる。この現象を理解するためにシンチレータを用いた X 線スペクトル計測と放射線シミュレーションを組み合わせた X 線エネルギースペクトル解析を行った。

本研究では真空容器外に設置したシンチレータ (LaBr₃(Ce)) を用いて X 線エネルギースペクトル計測を行った。磁力線に対して垂直方向の観測視線では指数関数的なスペクトルが得られ、2MeV の高エネルギー X 線が観測された (図 1 参照)。観測された X 線は高速電子による制動放射が起源と想定されており、真空容器で減衰されてシンチレータにより計測される。そこで PHITS(ver3.26)³シミュレーションを用いて遮蔽効果を考慮して、真空容器内に発生する X 線スペクトルを評価した。ヘリオトロン J 真空容器を模擬するため、シミュレーションでは厚さ 20mm の円形のトーラス真空容器を仮定した。この厚みは真空容器の最薄部に相当する。線源は photon とし大半径 1.2m、縦横 6cm のトーラス(角型)形状として容器中心に設置した。Tally(検出器)はシンチレータの位置に設置し、鉛でカバーされている空間とした。このとき、統計精度を改善するため、回転対称を仮定して、tally を多数設置し、最後に足し合わせた。

垂直視線のシンチレータで観測された X 線分布を再現するために、低エネルギー側は実効温度を 40keV、高エネルギー側は 0.21MeV として与えた(図 2 参照)。その結果シミュレーションで実測値を再現できる分布が得られた。従って、ヘリオトロン J 真空容器内で垂直方向に発

生する高エネルギー X 線は、低エネルギー側は実効温度を 40keV、高エネルギー側は実効温度 0.21MeV の指数関数であることが予想される。今後、より実際に即したシミュレーションを行うにあたり、ヘリオトロン J の複雑な形状の簡略化、装置周辺の計測機器による影響のモデル化が課題となる。

1. S. Kobayashi, et al., PPCF 62 065009 (2020).
2. H. Laqua et al., PPCF 56 075022 (2014).
3. Y. Iwamoto et al., JNST 54, 617-635 (2017)

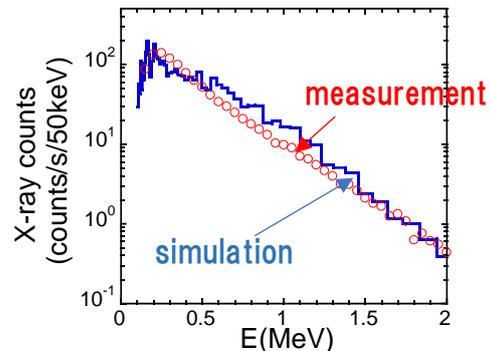


図 1. 垂直視線のシンチレータで観測された X 線エネルギースペクトルと PHITS シミュレーション結果との比較。

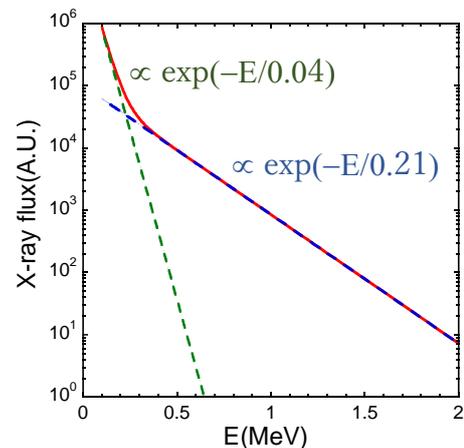


図 2. フォトンの初期エネルギー分布