

ヘリオトロン J における二次元密度揺動計測のためのビーム放射分光装置の改良 Improvement of Beam Emission Spectrometer for Two-Dimensional Density Fluctuation Measurement in Heliotron J

福田大貴¹, 小林進二², 大島慎介², 小林達哉³, 居田克己³, 南貴司², 水内亨²,
岡田浩之², 門信一郎², 山本聡², 長慎一郎¹, 萬家幹人¹, 山下裕登¹, 河野星志¹, 中村祐司¹,
石澤明宏¹, 木島滋², 溝川ゆき¹, 的池遼太¹, 竹内裕人¹, 西出拓矢¹, 久米秀和¹, 長崎百伸²
H. Fukuda¹, S. Kobayashi², S. Ohshima², T. Kobayashi³, K. Ida³, et al.

京大エネ科¹, 京大エネ理工研², 核融合科学研究所³
GSES Kyoto Univ.¹, IAE Kyoto Univ.², (NIFS)³

核融合プラズマ閉じ込め悪化の原因として、揺動に伴う輸送が考えられており、その物理機構の解明が重要である。ヘリオトロン J では、ビーム放射分光計測 (BES) によって密度揺動が計測されてきた [1]。BES 法は、中性粒子ビームがプラズマ中のイオン及び電子との衝突によって励起・脱励起する際の輝線を検出することでビームとプラズマが交差する領域の局所的な密度揺動を計測することができる。

先行研究では、径方向×ポロイダル方向：16×2=32 の視線で密度揺動の二次元分布計測を行ってきた [2]。本研究では $0.4 < r/a < 0.9$ を観測する光ファイバーを径方向×ポロイダル方向：10×4=40 視線に改良することで、密度揺動の二次元分布計測の領域をポロイダル方向に拡張 ($-2 \text{ cm} < \Delta z < 2 \text{ cm}$) した (図 1)。この改良にあたり、光検出器に 8×4 視線の領域を一度に計測可能なアレイ型 APD を用いた高速カメラ (Fusion Instruments : APDCAM) を使用した。APDCAM には遮断周波数が 220 kHz のプリアンプおよび ADC が内蔵されており、本研究では ADC のサンプリング周波数を 500 kHz でデータを収集した。加えて真空容器内のミラーに多層膜コーティング (Ta_2O_5) を施し、反射率を約 95 % まで向上した。

ECH+NBI プラズマで観測された密度揺動のパワースペクトルを図 2 に示す。この時、ECH, NBI のパワーはそれぞれ 236, 313 kW であった。プラズマ周辺部 ($0.55 < r/a < 0.78$) で、周波数：45 – 70 kHz に複数のピークを持つ密度揺動が観測された。 $r/a = 0.64$ において揺動強度の高い $f = 49.8, 55.7 \text{ kHz}$ の揺動のポロイダル方向 (鉛直方向: Δz) の位相差を図 3 に示す。なお、位相差は $\Delta z = 0.5$ の観測位置を基準とした。 Δz が減少するにつれて位相が進んでおり、揺動は Δz の負の方向に伝播していることが分かる。この方向は、イオンの反磁性方向に相当す

る。図 3 の位相差の傾きは鉛直方向の波数 k_z に相当するため、この傾きから揺動のポロイダルモード数 m を推定した。図の点線、実線はそれぞれ $m = 3, 10$ における $k_z (= m/(r/a))$ の直線を示しており、これから観測された密度揺動のポロイダルモード数は $f = 49.8 \text{ kHz}$ で $m = 3$, $f = 55.7 \text{ kHz}$ で $m = 10$ と推定できる。本研究で遂行した BES 装置の改良によりポロイダル方向の観測領域を拡張したことで、ポロイダルモード数の推定精度が向上した。

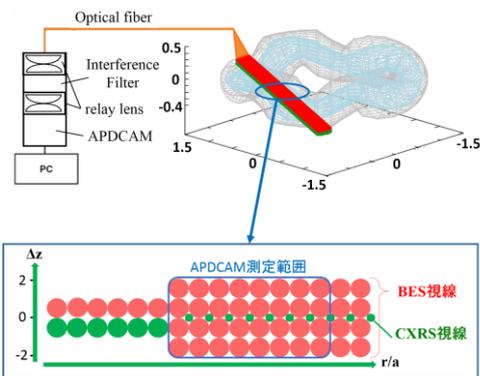


図 1: BES システム概略図

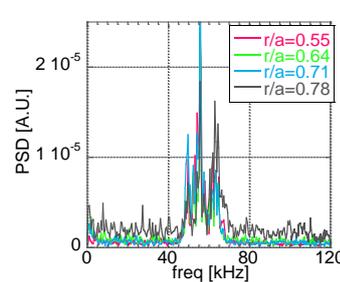


図 2: パワースペクトル密度

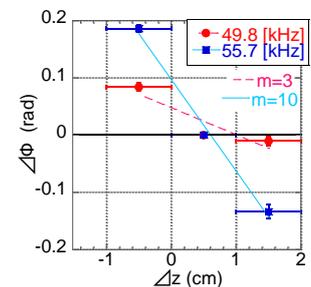


図 3: $r/a = 0.64$ におけるポロイダル方向の位相差

- [1] S. Kobayashi, et al., RSI83(2012) 10D535
[2] S. Kobayashi, Journal of Plasma and Fusion Research Vol. 93, No.1 (2017), pp.2~9