

**³Heの可視光スペクトルを利用した高速イオン診断法
～LHDを想定した可視光スペクトル計測可能性の検討～**

**Fast ion diagnostics method using visible light spectra of ³He by DD reaction
～Investigation of measurability of visible light spectra in LHD～**

○伊藤忠恕¹, 松浦秀明¹, 木村建斗¹, 川本靖子², 大石鉄太郎^{2,3}, 後藤基志^{2,3},
小川国大^{2,3}, 磯部光孝^{2,3}, 西谷健夫⁴, 長壁正樹^{2,3}

○ITOH Chujo¹, MATSUURA Hideaki¹, KIMURA Kento¹, KAWAMOTO Yasuko^{2,3},
OISHI Tetsutarou^{2,3}, GOTO Motoshi^{2,3}, OGAWA Kunihiro^{2,3}, ISOBE Mitsutaka^{2,3},
NISHITANI Takeo⁴, OSAKABE Masaki^{2,3}

¹九大院工, ²核融合研, ³総研大, ⁴名大院工

¹Kyushu Univ., ²NIFS, ³SOKENDAI, ⁴Nagoya Univ.

【はじめに】

FIDA等の分光計測を利用した高速イオン速度分布関数診断法が提案・実装されている [1,2]。しかし従来の方法では、観測粒子エネルギーが～MeV領域となる場合に、観測対象のスペクトルがビーム発光の干渉を受ける [3]。現在、MeVオーダのエネルギーを持つ高速重陽子の診断法として、DD反応により放出される³Heの可視光スペクトルの利用が提案され、検討が進められている [4,5]。現状は数値解析による予測のみで、実験的には未確認である。したがって、現存する核融合装置で実験的検証を行い提案手法の妥当性を確認する必要がある。本研究ではLHDを想定し、高速³Heの可視光スペクトルの発光強度とノイズを比較することにより提案手法の計測可能性を評価する。

【解析モデル及び解析結果】

まず、想定する実験方法について説明する。重陽子プラズマ中において、加熱用NBI(D)を入射した際に、DD反応によって³Heが生成される。その³Heと診断用NBI(H or D)によって入射された(重)水素が荷電交換反応を起こした際に放出される可視光スペクトル(中心波長: 469nm)を観測する。これらの解析の際に、入射された重水素の空間的な電離分布を得るため、FIT3Dコード [6]のHFREYAを用いた。重陽子・³Heの速度分布関数は荷電粒子軌道計算コードDELTA5D[7]を用いて求めた。また、診断用NBIによって入射される中性粒子の密度は、文献 [8]を参考に計算した。

まず、これらの解析モデルの妥当性を確認するために、提案手法の計算と同様の方法で、FIDAの実験結果及び解析結果[2,3]を再現した。次に、観測対象の³He signalが統計的に優位な値を持つか調べるため、³He signalに干渉し得るsignalの値から3σ離れた値を検出限界値(n_{LOD})と定め、それらの比較を基に検出可能性を検討した。最初に制動放射との比較を行った。制動放射は理論・計測ともに良く理解されているため、文献の実測値を参考に計算条件下での制動放射を推定した[9,10]。ここで加熱用NBIのパワー(P_{HNB})を変化させたときの³He signalと制動放射との比較を図1に示す。 $P_{HNB}=6$ MWのときの³He signalは、文献[9]の制動放射実測値の約40%の強度となった。次に、ノイズとの比較を行った。ノイズは装置ノイズ・環境ノイズなど様々な要因が考えられるため、分光計測が行われた文献 [2]から、制動放射の100倍と推定した。ここで、検出限界値と³He signalの比の露光時間依存性を図2に示す。 n_s , n_b , n_{LOD} , t_{exp} はそれぞれ³He signalの計数率、バックグラウンド(制動放射・ノイズ)の計数率、検出限界値、露光時間である。ノイズが制動放射の100倍のとき、³He signalは $t_{exp} \geq 221$ msで検出可能である。以上の検討より、本検討で推定したノイズの値を仮定した場合、LHDにおいて³He可視光スペクトルは計測可能であると考えられる。

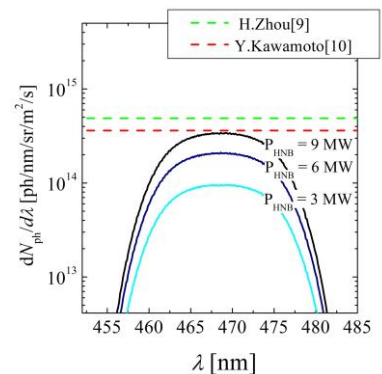


図1: ³He signalの理論解析値と制動放射推定値

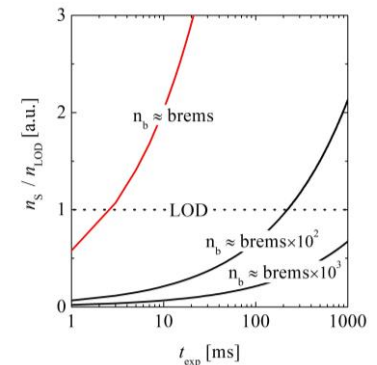


図2: 検出限界と³He signalの発光強度比の露光時間依存性

[1] W. W. Heidbrink et al.: Plasma Phys. Control. Fusion **46** (2004), 1855. [2] Y. Fujiwara et al.: Nucl. Fusion **60** (2020), 112014. [3] C. M. Muscatello et al.: Rev. Sci. Instrum. **90** (2019), 073504. [4] K. Kimura et al.: Rev. Sci. Instrum. **92** (2021), 053524. [5] K. Kimura et al.: IEEE Trans. Plasma Sci. **49** (2021), 3142. [6] S. Murakami et al.: Trans. Fusion Technol. **27** (1995), 256. [7] D. A. Spong: Phys. Plasmas **18** (2011), 056109. [8] T. ITO et al., Plasma Fusion Res. **5** (2010), S2099. [9] H. Zhou et al.: J. Appl. Phys. **49** (2010), 106103. [10] Y. Kawamoto et al.: Plasma Fusion Res. **16** (2021), 2402072.