

ヘリオトロン J における制動放射スペクトルによる  
真空紫外分光システムの分光感度較正法の検証

**Verification of Spectral Sensitivity Calibration of VUV Spectrometer System  
in Heliotron J Using Bremsstrahlung Spectrum**

白波瀬 一貴<sup>1)</sup>, 門 信一郎<sup>2)</sup>, 川染 勇人<sup>3)</sup>, 金沢 友美<sup>1)</sup>, 岡田 浩之<sup>2)</sup>, 山本 聰<sup>2)</sup>,  
南 貴司<sup>2)</sup>, 小林 進二<sup>2)</sup>, 長崎 百伸<sup>2)</sup>, 大島 慎介<sup>2)</sup>, 中村 祐司<sup>1)</sup>, 大谷 芳明<sup>1)</sup>,  
呂 湘潯<sup>1)</sup>, Inklin.Nutchaphol<sup>1)</sup>, 多和田 斎興<sup>1)</sup>, 望月 聰一郎<sup>1)</sup>, 國分 大<sup>1)</sup>, 飯村 幹<sup>1)</sup>,  
野崎 勇樹<sup>1)</sup>, 山田 晃生<sup>1)</sup>, 岡崎 悠<sup>1)</sup>, 安井 春輝<sup>1)</sup>, 山本 皓基<sup>1)</sup>, 木島 滋<sup>2)</sup>, 水内 亨<sup>2)</sup>,  
Kazuki Shirahase<sup>1)</sup>, Shinichiro Kado<sup>2)</sup>, Hayato Kawazome<sup>3)</sup>, Tomomi Kanazawa<sup>1)</sup>,  
Hiroyuki Okada<sup>2)</sup>, Satoshi Yamamoto<sup>2)</sup>, et al.

1) 京都大学大学院エネルギー科学研究所 2) 京都大学エネルギー理工学研究所

3) 香川高等専門学校

1) Graduate School of Energy Science, Kyoto University 2) Institute of Advanced Energy, Kyoto University

3) Department of Information Engineering, National Institute of Technology, Kagawa College

ヘリオトロン J における不純物計測として  
真空紫外分光システム(不等間隔凹面フラット  
フィールド回折格子を用いた分光器+浜松ホ  
トニクス製 MCP+NMOS リニアイメージング  
センサ)を用いて真空紫外領域(16nm~39nm)  
のスペクトルの計測を行っている[1]。プラズマの  
輝線強度や制動放射成分を定量評価するため  
には絶対感度較正が必要である。高密度プラズ  
マにおける制動放射スペクトルは絶対感度較  
正の手がかりとなる[2]。そこで本研究ではヘリ  
オトロン J における高強度ガスパフ(HIGP)入  
射により生成される高密度プラズマを利用し,  
トムソン散乱法により計測された電子温度  
 $T_e$ [eV], 及び電子密度  $n_e$  の空間分布を式(1)

$$I_{brems}^{abs}(\lambda) = \int_L 1.9 \times 10^{-26} \frac{Z_{eff} n_e^2}{4\pi l^2 \sqrt{T_e}} \exp\left(\frac{-hc \times 10^9}{e\lambda T_e}\right) dl \quad (1)$$

に代入し, 波長  $\lambda$ [nm]における制動放射スペクトルの放射輝度  $I_{brems}^{abs}(\lambda)$ を計算した[3]。ここで,  
 $e, h, c$  はそれぞれ電気素量, プランク定数, 光速  
である。有効核電荷  $Z_{eff}$  は視線  $L$  に沿って一様  
かつ時間的に一定であると仮定した。現段階で  
得られる較正係数は絶対感度較正係数  $CF(\lambda)$ を  
代表的な  $Z_{eff}$  の値  $\langle Z_{eff} \rangle$  で除したものとなり, 何  
らかの方法で  $Z_{eff}$  が得られると, 絶対感度較  
正係数が得られる。計測された真空紫外領域の  
スペクトルから制動放射スペクトルに相当する  
連続スペクトル  $I_{brems}^{mes}(\lambda)$ を抽出し、式(2)

$$\frac{I_{brems}^{abs}(\lambda)}{\langle Z_{eff} \rangle} = I_{brems}^{mes}(\lambda) \times \frac{CF(\lambda)}{\langle Z_{eff} \rangle} \quad (2)$$

を用いて  $\langle Z_{eff} \rangle$ あたりの較正係数を求めた。

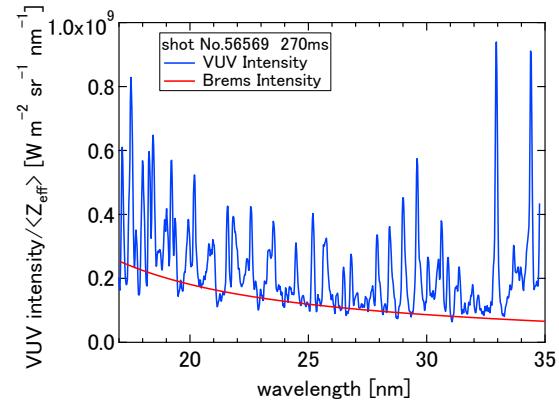


図1 較正後の真空紫外領域スペクトル波形例

較正したスペクトル波形例を図 1 に示す。

得られた較正係数には、MCP の増幅ノイズに  
起因するばらつき, 連続スペクトル成分の決定  
精度, 及びトムソン散乱計測の誤差等が含まれ  
る。現在、プラズマの時間発展や異なる放電条  
件のプラズマを利用することにより, 較正係数  
の再現性を調べ, 本手法の有効性, 及び分光感  
度較正係数の妥当性の検証を試みている。さ  
らに、絶対感度較正した可視領域の分光器で制動  
放射スペクトルを計測し, 真空紫外領域と比較  
することにより, 絶対感度較正への拡張を検討  
している。

[1]H. Kawazome, doctor thesis/dissertation, Kyoto Univ. (2004).

[2]C.F. Dong, S. Morita, M. Goto and E.H. Wang, Plasma and Fusion Res., 7, (2012) 2402139.

[3]H. Kawazome, K. Shirahase, S. Kado, T. Mizuuchi, Proc. 6th Int. Symp. of Advanced Energy Science (1 Sep. 2015, Kyoto Univ.) ZE27B-36.