

マルチ軟X線カメラによるトカマク合体中の高エネルギー電子イメージング計測 High-energy electron imaging measurement of merging tokamak plasmas by multi X-ray camera development

竹田慎次郎, 奥西衛門, 蔡雲漢, 田辺博士, 小野靖
Shinjiro Takeda, Yukehi Okunishi, Yunhan Cai, Hiroshi Tanabe, Yasushi Ono

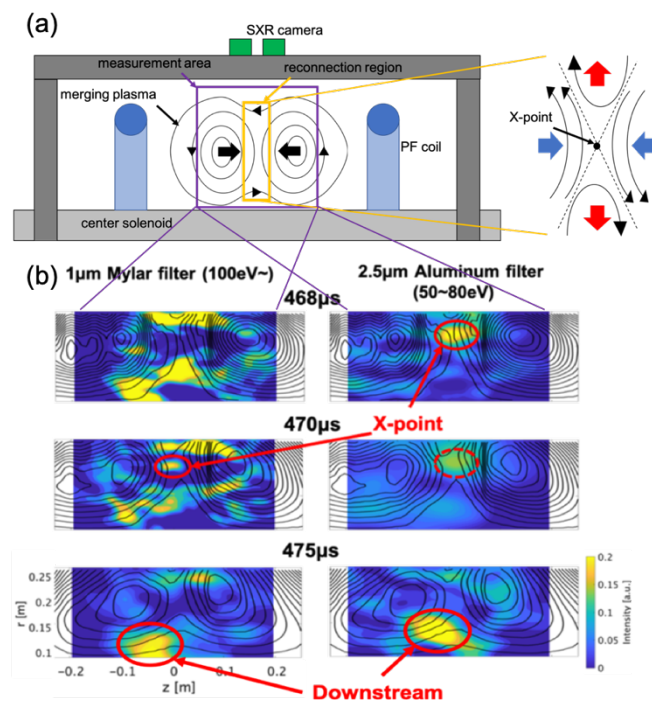
東京大学
The University of Tokyo

磁気リコネクションでは、磁場構造が大きく変化するとともに磁場のエネルギーがプラズマ中の粒子の運動・熱エネルギーに変換される。特に電子の加速・加熱については、PIC シミュレーション[1]で高エネルギー電子の生成が確認されたほか、実験室プラズマにおける高温・高エネルギー電子生成も観測されている[2,3]。高エネルギー電子の分布測定は、電子から放出される制動放射を観測することで行われることが多い。本研究では、異なるエネルギー帯の制動放射の発光分布を2枚の画像で同時に取得できる2視点軟X線カメラ[4]を用いて合体トカマクにおいて発生する高ガイド磁場リコネクションの計測を行った。

図(a)に示すように、マイクロチャンネルプレートおよびフィルタ付きピンホールを内蔵した小型真空容器（軟X線カメラ）を球状トカマク合体実験装置 TS-6 に取り付けた。今回は、高エネルギー用のマイラーと低エネルギー用のアルミニウムの2種類のフィルタを使用した。撮影された画像からの軟X線発光分布の再構成には Tikhonov-Philips 正則化と最小 GCV 基準[5]を用いた。

計測の結果として、図(b)に示すような軟X線発光分布の時間発展が計測された。左列の画像はマイラーフィルタを通して観測した高エネルギー画像、右列の画像はアルミニウムフィルタを通して観測した低エネルギー画像になる。高エネルギー画像では $t=470\mu\text{s}$ に、低エネルギー画像では $468\mu\text{s}$ に X 点近傍において発光ピークが局在していることがわかる。この発光強度は高エネルギー画像ではガイド磁場の大きさに応じて増加したが、低エネルギー画像では反対に減少した。このことは、X 点近傍の電子加速がリコネクション電界のある電流シート領域中を周回する磁力線の長さに影響されていることを示唆している。また、下流領域における発光ピークは高

エネルギー画像と低エネルギー画像の双方で観測されたが、この強度は再結合磁場強度に依存して増加した。この発光は磁場に平行な電界による加速やフェルミ加速などの機構[6]によって下流領域で加速された電子数を検出した可能性がある。今後具体的な機構の特定のためさらに視点数を拡張した実験を行い、異なるフィルタを通した観測結果から制動放射スペクトルの再構成を試みる。



(a) Schematic diagram of the measurement system and (b) R-Z contours of 2D soft X-ray emission (color) with poloidal flux surfaces (black lines) for 1- μm -thick Mylar and 2.5- μm -thick Aluminum

参考文献

- [1] P. Pritchett, et al.: *J. Geophys. Res.*, Vol.109, A01220 (2004)
- [2] T. Yamada, et al.: *Nucl. Fusion*, Vol.56, 106019 (2017)
- [3] M. Inomoto, et al.: *Nucl. Fusion*, Vol.59, 086040 (2019)
- [4] J. Xiang, et al.: *Rev. Sci. Instrum.*, Vol.92, 083504 (2021)
- [5] N. Iwama, et al.: *Appl. Phys. Lett.*, Vol.54, 502 (1989)
- [6] J. T. Dahlin: *Phys. Plasmas*, Vol. 27, 100601 (2020)