

Estimation of radial profile of electron density and temperature in a linear plasma device NUMBER using single line-of-sight signal

杉本みなみ, 岡本敦, 藤田隆明, 有本英樹, 橋口舜也, 矢ヶ崎謙輔

Minami SUGIMOTO, Atsushi OKAMOTO, Takaaki FUJITA, Hideki ARIMOTO, et al.

名大院工

Nagoya Univ.

ヘリウム原子線の強度比と、衝突輻射モデルの計算結果を比較することにより電子密度 n_e 、電子温度 T_e を計測する方法が用いられている。得られる分光信号は視線積分信号であることから、複数視線の信号から局所発光量を再構成することで、局所的なプラズマパラメータを求める方法が用いられることが多い。 α 粒子模擬のための高エネルギー粒子生成法の確立のために開発された直線型プラズマ装置 NUMBER においても、ヘリウム原子線の計測が行われている。ただし、これまで計測窓の制約から 1 視線の計測しか行うことができなかった。そのため、単一視線の分光信号から単純な形状の n_e 径方向分布を推定する手法を開発している。本研究ではさらに、 T_e 分布や、これまでとは異なる形状の n_e 分布を推定することを目的とする。

本手法ではまず、衝突輻射モデルの計算に必要なパラメータに空間分布を仮定する。仮定した分布をもとに、視線積分された線強度比を計算し、実験値と比較することで各パラメータを最適化する。

計算に用いたヘリウム原子衝突輻射モデル [1, 2] には、輻射捕獲による影響を考慮するために、 1^1S から 3^1P への光子吸収励起速度 I_{3^1P} をパラメータとして導入した [3]。NUMBER のプラズマは電離進行プラズマであり基底準位以外に準定常近似が成り立つことを仮定すると、このモデルは n_e , T_e , I_{3^1P} を入力することで各線強度比を出力する。

パラメータ最適化には、パラメータへの感度係数を用いて重みづけされた以下のような目的関数を用いた。

$$\sqrt{\sum_i \left(\frac{\sum_n \sum_m S_{\rho_n, x_m}}{\sum_j S_{\rho_i, x_j}} \left(\frac{\rho_i^{exp} - \rho_i^{cal}}{\sigma_i^{exp}} \right)^2 \right)}$$

ここで、 ρ_i^{cal} は強度比の計算値、 ρ_i^{exp} は強度比の実験値の平均値、 σ_i^{exp} は実験値の標準偏差である。また、強度比 ρ_i に対するパラメータ x_j の感度係数は $S_{\rho_i, x_j} = |\partial \rho_i / \partial x_j \cdot x_j / \rho_i|$ で定義される。 n_e 分布を中心電子密度 n_{e0} と径方向分布を特徴づけるパラメータ r_1 を用いて次式のように表し、 T_e , I_{3^1P} は一様と仮

定した場合の感度係数の値を Fig.1 に示す。

$$n_e(r) = \begin{cases} n_{e0} & (r \leq r_1) \\ n_{e0} \frac{(2r-3r_1+r_0)}{(r_0-r_1)^3} (r - r_0)^2 & (r_1 \leq r \leq r_0) \end{cases}$$

Fig.1 の ρ_{501} などのように T_e への感度が非常に高い強度比が存在すると、重み付けなしでは目的関数がこれらの強度比の残差二乗に支配される。感度を用いて重み付けを行うことで、感度の低い強度比も目的関数へ寄与するようになり、 r_1 など感度の低いパラメータの最適化が易しくなる。

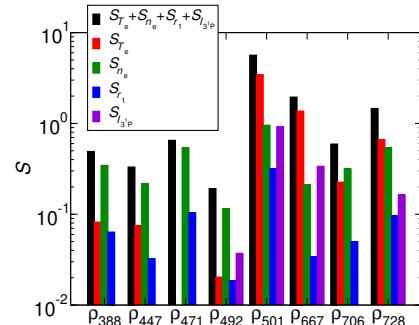


Fig.1: 587nm の線強度で規格化した強度比に対する感度係数の値。各パラメータの値は $T_e = 5$ eV, $n_e = 1 \times 10^{18} \text{ m}^{-3}$, $r_1 = 45$ mm, $I_{3^1P} = 100 \text{ s}^{-1}$ として計算した。

NUMBER は直径 0.2 m、長さ約 2 m で、円柱プラズマを生成する [4]。本研究ではこの装置において、マルチチャンネル分光器を用いて、343 – 828 nm のスペクトルを取得し、ヘリウム原子の 9 本の線スペクトルを同定した。計測視線は、径方向に中心を通る 1 視線である。これまでの研究では n_e のみ単純な形状の分布を仮定し、 T_e , I_{3^1P} は一様と仮定していた。本研究では、これらの仮定を変更することでより様々なプラズマの分布推定が可能かどうか調査する。

本研究の一部は JSPS 科研費補助金 JP19H01869, JP20H01883 により支援されている。

- [1] T. Fujimoto, J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. **21**, 439, (1979).
- [2] M. Goto, J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. **76**, 331, (2003).
- [3] K. Sawada, Y. Yamada, T. Miyachika, N. Ezumi, A. Iwamae, and M. Goto, Plasma Fusion Res. **5**, 001, (2010).
- [4] D. Hamada et al., Plasma Fusion Res. **13**, 3401044, (2018).