

トモグラフィック発光分光計測とアルゴン衝突輻射モデルによる プラズマ診断において視線配置が診断結果に及ぼす影響

○山下雄也^{1,2}, 土居謙太³, 清田哲司³, 菊地航行¹,
石健太¹, 渡邊修平¹, 根津篤¹, 赤塚洋¹

¹東工大, ²学振特別研究員DC, ³アルバック

<https://akatsuka.zc.iir.titech.ac.jp/>

1. 背景 近年, トモグラフィック発光分光計測および衝突輻射 (CR) モデルによる, 3次元分布診断が報告されている[1][2]. トモグラフィにおいて像再構成に起因する不確かさを低減するには, 被観測物に対してなるべく多角度から多数の視線により観測する必要がある. 他方, 減圧プロセスプラズマでは, 空間的に均一なプラズマを生成するために, 観測窓削減が要請される. そのため, 診断結果の許容不確かさに応じた視線配置を検討することが必要である. 我々は, 視線配置が, 再構成像としての分光放出係数, さらに診断結果としての電子温度 T_e ・電子密度 N_e に及ぼす影響を, 実験的に検討したので報告する.

2. 実験 エッチング用誘導結合プラズマ装置 (チャンバ最大部内寸 $\phi 177.5 \times H 211.8$ mm, 発振周波数 13.56 MHz) により, アルゴン (Ar) プラズマを生成した. 圧力 p : 0.5 - 10 Pa, 高周波電力 P : 20 - 800 W とした. 図1のように, チャンバ側面(+y側)および上面(+z側)に設けた観測窓の大気側に, レンズ付ファイバを17ないし18本配置した. マルチチャンネル分光器 (堀場製作所製, M116) により, 分光放射輝度 $L_{air}(\lambda)$ の視線依存性を測定した. なお, 誘導結合用アンテナは, +z側窓の大気側に配置された.

3. 解析 $L_{air}(\lambda)$ を入力に, 窓屈折によるフレネル反射および視線ずれを考慮[3]し, 窓真空側面における分光放射輝度の視線依存性を算出した. 次に, 逐次再構成法[4]による分光トモグラフィ計算[2]をもとに再構成像から再帰的に算出した分光放射輝度を, 実験値とフィッティングし, 分光放出係数の空間分布を求めた. 分光放出係数から線スペクトルを分離・同定し, 励起準位数密度分布 n_i を求めた. さらに, Ar CRモデル[5]により計算した n_i と, 実験により求めた n_i とをフィッティング[3]し, T_e , N_e の空間分布を得た.

4. 結果と考察 図2に, $p = 1$ Pa, $P = 300$ Wにおける電子温度の診断結果を示す. 視線配置(a)および(c)においては視線配置(b)に比して, 急峻な分布を得た. (a)および(c)は(b)に比して, 視線交差点数が多く, また視線交差範囲が電磁界強度の強いチャンバ中央上方に多く存在したことに起因すると考えられる. 紙面の都合上割愛した分光放出係数および電子密度に対する結果については, 講演にて論ずる.

謝辞 実験・解析における議論・協力をいただいた, 東京工業大学(当時)の小林明氏, 細谷宗太郎氏, 米田和真氏に感謝する. マルチチャンネル分光器を貸与いただき, 同器を用いた計測について助言いただいた, 堀場エステックの横井雅樹氏, 佐藤陽子氏, 堀場製作所の安井健吾氏, 宮岡拓実氏, 櫻井正行氏に感謝する. 本研究は, JSPS科研費JP23KJ088の助成を受けた.

参考文献

- [1] D. Lee et al., Plasma Sources Sci. Technol., **31**, 125004 (2022).
- [2] 山下雄也ほか, 第70回応用物理学会春季講演会予稿集, 07-007 (2023).
- [3] Y. Yamashita, et al., Rev. Sci. Instrum. **94**, 083503 (2023).
- [4] D. R. Ferreira: <https://github.com/diogoff/isttok-tomography>
- [5] J. Vlcek, J. Phys. D: Appl. Phys., **22**, 623 (1989).

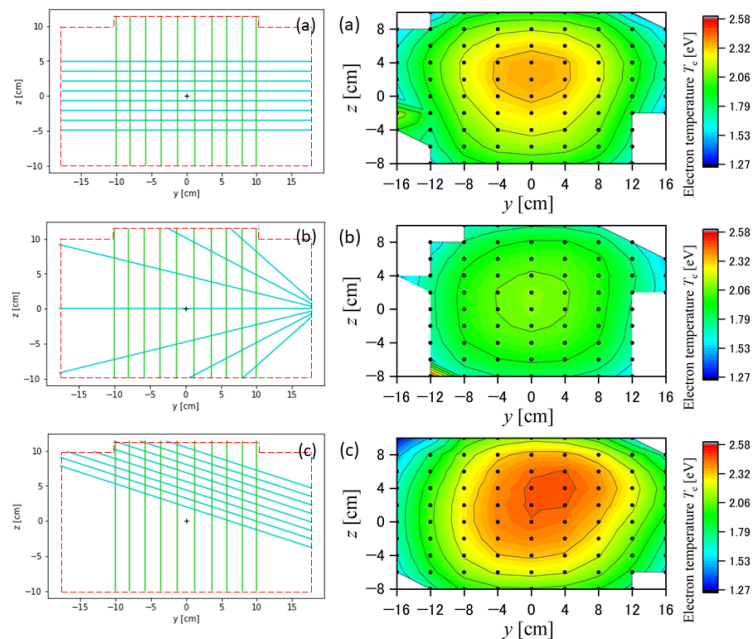


Fig. 1 The placements of lines-of sight.

Fig. 2 The spatial dependence of electron temperature on 1Pa 300W.