

衝突輻射モデルおよび多数発光線解析に基づく 診断モデル最適化アルゴリズムの開発と課題

Developing and issues an optimization algorithm for diagnostic modeling

based on collisional-radiative model and multi-optical emission line analysis

都立産業技術研究センター¹, 東工大研究院² [○]山下 雄也¹, 秋葉 拓也¹,

岩永 敏秀¹, 山岡 英彦¹, 伊達 修一¹, 赤塚 洋²

TIRI¹, Tokyo Tech², [○]Yuya Yamashita¹, Takuya Akiba¹,

Toshihide Iwanaga¹, Hidehiko Yamaoka¹, Shuichi Date¹, and Hiroshi Akatsuka²

E-mail: yamashita.yuya@iri-tokyo.jp

1. はじめに

非平衡プラズマ診断において、発光線強度からプラズマパラメータを求める数式モデルである診断モデルは、生成条件に応じて個別的に定める必要があり、煩雑かつ柔軟性に欠ける。

本研究では、計測対象とするパラメータ範囲を初期条件として与えれば、同範囲に対する最適な診断モデルを算出するアルゴリズムを考案し、その課題について考察したので報告する。

2. EEDF を考慮したアルゴン衝突輻射モデル

アルゴン衝突輻射(Ar CR)モデル[1]は電子温度 T_e 、電子密度 N_e 、原子温度、イオン密度、プラズマ柱半径および圧力を入力として、励起状態数密度 n_i 分布を求める原子過程モデルで、 i は準位番号[1]である。Ar CR モデルにおいて電子エネルギー分布関数(EEDF)は、Maxwell 分布と仮定されているが、EEDF 変化を考慮するため、本研究ではEEDFを(T_e, x)の2パラメータで記述する一般化 EEDF[2]を適用した。

3. 診断モデル最適化アルゴリズム

本研究で求める診断モデルは、選定された多数本の発光線のプラズマ単位体積あたりの分光放射束を入力変数として与え、Ar CR モデルのレート方程式を逆算することで、(T_e, x, N_e)を解として得るという原理に基づく。

考案した診断モデル最適化アルゴリズムの動作は、講演にて詳説するが概略次の通りである。

(1) 計測対象とするプラズマパラメータ範囲の標本点 (T_e, x, N_e) から、Ar CR モデルにより換算占有密度 n_i/g_i を求める。(2) n_i/g_i の標本標準偏差 $\sigma(n_i/g_i)$ により定義される、(T_e, x, N_e) に対する変動係数(coefficient of variation):

$C_v(n_i/g_i) = \sigma(n_i/g_i) / (\overline{n_i/g_i})$ を求める[3,4]。

(3) 変動係数の大きな準位を用いて診断モデルの候補を作成する。(4) 標本点における n_i/g_i を診断モデルの候補に代入し、(T_e, x, N_e) を求める。

(5) (T_e, x, N_e) の診断結果と初期値を比較し、モデルに内在する理論上の誤差が最小の診断モデルの候補を、最終的に診断モデルとして提示する。

4. 解析結果と考察

プロセスプラズマを想定し、133Pa マイクロ波放電(MWD)、1Pa 誘導結合(ICP)、大気圧誘電体バリア放電(DBD)の各 Ar プラズマに対する診断モデルを、本アルゴリズムにより求めた。

提示された診断モデルに内在する理論上の診断誤差を検証するため、診断モデルの定義域において Ar CR モデルにより算出した n_i/g_i を、再帰的に診断モデルに代入して診断した。平均二乗平方根診断誤差率は T_e 診断において、0.258% (ICP)、1.84% (MWD)、18.6% (DBD) となり、ICP や MWD に比べ、DBD の診断誤差が大きくなる傾向は、 x や N_e 診断においても同様であった。

n_i/g_i の (T_e, x, N_e) 依存性を解析したところ、DBD では顕著な不単調性を呈した (Fig.1)。これにより、診断モデルの収束性が悪化し、誤差が大きくなった可能性がある。アルゴリズムの改良ならびに実験的検証が、今後の課題である。

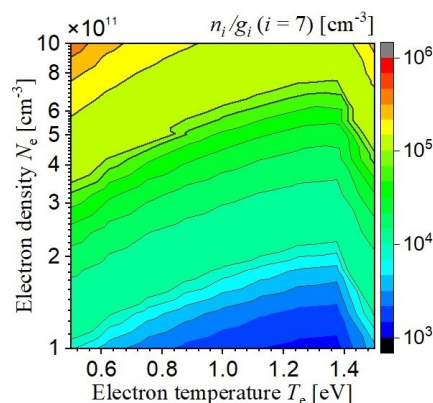


Fig.1 The electron temperature and density dependence of reduced population density in level $4p[3/2]_{1,2} + [5/2]_{2,3}$ of the DBD. This figure denotes the true value for $x = 2.0$ plane.

参考文献

- [1] J. Vlček, J. Phys. D:Appl. Phys. **22**, 623 (1989).
- [2] J. B. Boffard et al., Plasma Sources Sci. Technol. **19**, 065001 (2010).
- [3] 山下ほか, 第 80 回応物秋予稿集, 07-082 (2019).
- [4] 山下ほか, 核融合研素過程研究会, (2019).