

東京大学 大学院新領域創成科学研究科  
基盤科学研究系 先端エネルギー工学専攻  
2010年9月修了 修士論文要旨

# ドップラー分光トモグラフィを用いた 2次元局所イオン温度・流速計の開発

学生証番号 086120 氏名 田辺 博士  
(指導教員 小野 靖 教授)

Key Words : Ion Doppler Spectroscopy, Inverse Problem, Abel inversion, Magnetic Reconnection

プラズマ中の励起状態にあるイオンが電磁波を放出して低エネルギーの準位へ遷移するとき放出する電磁波は、その準位差に対応した固有の周波数あるいは波長を持ち、スペクトル線として観測される。こうした線スペクトル放射はプラズマ中の温度・流速・密度・磁場など、さまざまな物理量に関する情報を含むためプラズマ診断に広く用いられ、特にドップラー効果に伴う波長シフトを利用したイオン温度・流速計測法は宇宙プラズマから実験室プラズマまで一般的な計測手法として親しまれてきた。こうしたプラズマ放射光のスペクトル解析による分光診断は、計測対象の場を乱すことなく非接触でデータを収集できる利点を持つ反面、難点として計測器視線方向の分布が一様でない場合でも、積分された発光のスペクトルが計測されてしまう課題が存在し、局所分布を調べる問題は本質的に逆問題である。

計測器視線上で積分された信号の集合から被写体の内部構造を調べる逆問題は、CT として特に医療分野における人体断面構造の画像診断の形で用いられ、近年プラズマ診断においても密度や発光強度分布計測手法として応用がなされるようになってきた。しかし、特にプラズマの分光診断にCTを適用する場合は医療CTと決定的に異なる点として、

- ・計測される生信号が視線上の温度・流速の積分値ではなく波長分解されたスペクトル信号
- ・分光器1台で計測可能な入射光の空間方向の次元が1次元に制約されるため、2次元計測に拡張すると複数の分光システムが必要となってコストに直結

といった問題が存在することから、医用CTの手法をそのままでは応用できない問題が存在し、適切な逆変換手法が必要であるとともに、コストを抑えて2次元計測を実現するためには、分光システム1基で2次元計測を実現するための工夫が必要である。本研究では、こうした課題の解決策として、光ファイバーを用いて分光光学系を構成することによって、分光計測システム1基で2次元計測を達成するとともに、逆変換手法として、波長分解された発光強度を全て局所分布に逆変換する手法を用いることによって、局所的な発光スペクトルそのものを再構成し、局所的なドップラー広がりを中心波長シフトを見積もることで、トーラスプラズマのポロイダル断面における2次元局所イオン温度・流速分布計測を達成した。

TS-3装置におけるトーラスプラズマ合体実験への応用にあたり、実験に用いる計測視線の本数およびその配置は、シミュレーションによって再構成精度の見積もりを踏まえて決定し、 $7 \times 5$ 点( $r = 70, 105, 140, 175, 210, 240, 280\text{mm} / z = -48, -29, -10, 9, 28\text{mm}$ )の計35地点に光ファイバーを配置した。視線積分された計測信号の逆変換により得られた局所イオン温度・流速分布は、磁力線再結合に伴って発生するX点下流域へ向かうアウトフローの駆動およびアウトフロー領域におけるイオンの急速加熱、そしてその局所的な加熱が配位全体へと緩和する過程をクリアにとらえており、従来の視線積分された計測でなしえなかった局所計測を確立することに成功した。