

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
2011年3月修了 修士論文要旨

UTST 装置における可視光トモグラフィー計測の開発

学籍番号 096074 曹 慶紅
(指導教員 小野 靖 教授)

KeyWords: Spherical Tokamak, merging, high β , visible light tomography

核融合反応を起こすためには高温、高密度のプラズマの閉じ込めを長時間維持しなければならない。プラズマの閉じ込め方式には慣性閉じ込めと磁場閉じ込めの2つがあるが、磁場閉じ込めが主流となっている。実用化のためには軽水炉並みの低コストを実現する核融合炉が必要であるため、「効率的に高温高密度のプラズマを長時間閉じ込めることができる磁場配位を作る」ということが核融合炉心プラズマ研究の大きな課題となっている。国際協力で建設されている大型の核融合炉 ITER のように、最も研究されている磁場配位はトカマク型と呼ばれる。このトカマク炉の経済性を表す指標として β 値 (=熱圧力/磁気圧力) がある。 β 値が高いほど同程度のプラズマ熱圧力をより小さな磁気圧で閉じ込められ、炉のコイル重量も小さくなるため、経済的な炉の建設が可能となる。この β 値を大きくするためにはトカマクのアスペクト比 (=大半径/小半径) を下げ、非円形の断面形状にすることが有効である。そこで、球状トカマク (ST) が注目されている。本研究で用いられている ST の実験装置 UTST において、プラズマ合体法によるイオン加熱と超高 β なプラズマの生成を目標としている。UTST 実験装置は、真空容器外の磁場コイルのみを用い、Double-Null Merging (DNM) 法でプラズマの合体を実証してきた。DNM 法とは、装置の上下部に生成された2つの磁気中性点 (Null 点) において2つのプラズマを生成し、中心部に押し出すことで1つの ST プラズマに合体させて急速加熱する方法である。このようにして得られた超高ベータ ST プラズマの次の課題はバルーニング不安定と呼ばれる圧力駆動型不安定を回避して、高ベータ状態を安定に保てるかであるといえる。

本研究の目的は、可視光トモグラフィーによって、UTST プラズマの合体時に発生しやすいバルーニング不安定性を観測するプラズマ形状モニターを完成することである。このシステムのハードウェアは、24チャンネルの光ファイバーと同数の光電子増倍管、2台の分光器からなる。スリット越しに6本の光ファイバーを装着した観測プレートをトロイダル方向4カ所に配置し、プラズマの発光を観測する。分光器で特定の光の波長のみを選び出して、プラズマのラインスペクトルを光電子増倍管で計測するものである。径方向に6視線、4方向からなる可視光トモグラフィー計測装置を完成させることができた。一方、ソフトウェアは2次元分布を再構成するトモグラフィーソフトを作成し、最終的に UTST 装置における可視光トモグラフィー計測システムの開発に成功した。プラズマの低次中心の MHD モード対象とするため、再構成手法には、径方向 (r) と周方向 (θ) を含む級数展開法を採用し、トカマクプラズマのトロイダルの円環面にも対応させるべく、真空容器の内外壁面で光量空間分布 $g(r, \theta) = 0$ という境界条件を満たした変形フーリエ・ベッセル展開法を採用した。可視光トモグラフィー再構成アルゴリズムのプログラムをテストするために、放射源としてはトロイダルモード数 $n=0, 1, 2$ の内部構造のプラズマ放射分布を仮定し、検出器アレイが見込む視線方向に沿って線積分したものを投影信号として、トロイダル断面の放射分布を再構成することができた。

この可視光トモグラフィー計測システムにより、センターソレノイド (CS) による放電のみと DNM + CS 放電のプラズマ不純物 CIII のラインスペクトルを計測し、CIII ラインのトロイダル断面の放射分布の再構成に成功した。プラズマ合体することで生成された高ベータのプラズマのトロイダルモード数 $n=1$ の不安定性が観測できた。