

ITER周辺トムソン散乱計測装置の開発

谷塚 英一、波多江 仰紀、山田 一博¹、安原 亮¹、舟場 久芳¹、伊丹 潔
量研機構、核融合研¹

ITER周辺トムソン散乱計測装置（以下、ETSという。）は、規格化小半径（ r/a ）が0.85以上となるプラズマ周辺部における、電子温度・密度の分布を計測する装置である。周辺部では、輸送障壁の形成によって温度・密度分布が急峻になることが予期されており、5 mmの空間分解能で測定する。

ITERでのトムソン散乱計測は、従来の装置と比較して、格段に高い負荷のもとで行う必要があり、特有の課題がある。図1に、ETSの機器配置を示す。稼働率向上のため、2系統のレーザー装置から50 Hzの繰返しで交互にレーザービームを生成することにより、実効的に100 Hzの繰返しでプラズマ中にレーザービームを

入射し、10 msの時間分解能を達成する。このとき、2系統のレーザービームを同軸に重ね合わせることで、レーザー入射用の開口部を最小化し、核融合プラズマで生成される中性子を遮蔽する。また、集光光学系は迷路状の光路を持ち、光路以外の空間は遮蔽体によって埋められる。プラズマ中に入射したレーザービームは、ブランケットに埋め込んで設置されたビームダンプにより吸収する。

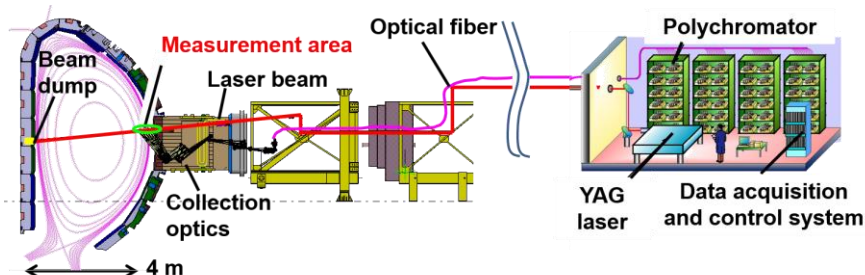


図1 ITER周辺トムソン散乱計測装置の機器配置図

光学機器は中性子、ガンマ線、第1壁材料の損耗によって生じた微粒子にさらされるため、分光透過率、反射率が経年変化して、電子温度及び密度測定に系統的な誤差を生じることが懸念される。したがって、高頻度に分光透過率を校正する必要がある。一方、ITERの放射線環境では、真空容器付近に人が立ち入ることは著しく制限されるため、従来のように光源を持ち込んで校正することが困難である。同様の理由で、集光光学系の視野も、真空容器付近に立入らずに、入射レーザービームに合わせる必要がある。

本研究では、最初に、放射線環境下で適用できる光学系の分光透過率校正法を確立するため、核融合プラズマ生成中に、計測と同時に光学系をその場校正する手法について検討した。ITERの周辺ペDESTAL付近の電子温度が数keVであることを考慮すると、ETSでは、計測用のYAGレーザーに加えてルビーレーザーもプラズマ中に入射し、両方のレーザービームから発生したトムソン散乱光のスペクトルを利用して、プラズマ放電中に校正を行える見通しを得た[1]。この検討に基づき、LHD第19サイクルにおいて、電子温度が2から4 keV程度のプラズマにYAGレーザーとルビーレーザーを入射して、トムソン散乱スペクトルを取得した。今後、データを蓄積することにより、校正手法の妥当性と精度を評価する。

また、微弱なトムソン散乱光を大きな集光立体角で効率よく収集し、中性子は遮蔽して、かつ、周辺ペDESTALの急峻な温度・密度勾配を高い空間分解能（5 mm）で測定するための集光光学系を設計した[2]。曲率を持つミラーに対する入射角を15度以下程度になるようにして、非点収差を抑制し、2枚組のミラーをポート内で3組使用することによって、集光立体角、放射線遮蔽、空間分解能すべてを成立させることができた。

さらに、真空容器付近に立ち入ることなく、集光光学系の視線をレーザービーム上で一定の位置に合わせる手法について検討した。集光光学系を通じて逆向きに光を入射し、ブランケットに投影されたスポットを検出する。ここで、集光光学系の端部に設置された光ファイバーバンドル位置を遠隔で調整し、逆向きに入射した光が第1壁の開口部によって口径食が起こり始める位置を探すことにより、熱膨張、ディスラプションによる振動などによって光学機器の相対位置が変化してしまった場合でも、視線の位置を1 mm以下の精度で再現できることを光線追跡によって明らかにした。

本研究の一部は、核融合研との一般共同研究（課題番号：NIFS16KLEH059）により行われました。The views and opinions expressed herein do not necessarily reflect those of the ITER Organization

[1] E. Yatsuka *et al.*, J. Plasma Fus. Res. SERIES, **9**, 12 (2010).

[2] E. Yatsuka *et al.*, J. Instrum. **8**, C12001 (2013).