

JT-60SA トムソン散乱計測の設計

東條 寛

量研機構

tojo.hiroshi@qst.go.jp

JT-60SA においてトムソン散乱計測は、基幹計測として位置付けられており、電子温度と密度の分布を 10-30mm の径方向空間分解能で計測するために設計開発を行っている。波長 1064nm の YAG レーザーをトロイダル接線方向に入射し、散乱光を合計 3ヶ所に設置された集光光学系にて集光することで、径方向の分布を得る[1]。

集光光学系には複数のレンズを利用して集光する屈折型光学系を採用する。これらは、真空容器にアクセスするポートプラグの中に設置する。中心計測用の集光光学系では、集光立体角を大きくとるために入射瞳を真空窓直後の第一ミラーに置いた場合、広がった光束を大型レンズ(ϕ 400 mm)で集光しなければならない。また、その場合に生じる波長依存性を含んだ収差(色収差)を軽減するためにレンズ 9 枚ものレンズが必要になる。この設計では、レンズ製作が困難であるだけでなく透過率低下も懸念される。この問題を解決するために、 ϕ 200mm 程度の小型レンズ 4 枚からなるエルノスターレンズを改良したレンズシステムの途中に入射瞳を入れることで、集光立体角はほぼ維持したまま、大型レンズを利用した光学系よりも高効率(おおよそ 20%程度)で計測できる見込みを得た。プラズマ周辺部計測用集光光学系についてもレンズシステム内に入射瞳を置く形式を採用し、 ϕ 200mm 以下のレンズを 6 枚組み合わせたレンズシステムを設計した。光学性能としては、プラズマ側で 5mm 程度の空間分解能で、散乱光を計測できる。

ポートプラグの先端部には真空窓がある。プラズマからの熱束やディスラプションによる電磁力に耐える構造が必要である。真空窓の前に真空シールを必要としない板厚 15mm のカバーガラスを設けることで、真空窓の真空シールへの影響を防ぐ。また、プラズマから窓への不純物付着への透過率低下が懸念されるが、板厚 2.5mm のステンレスシャッターをポートプラグの外側を通ったワイヤー使って上下する方式を採用し、集光光学系とは干渉を防ぐ構造とした。

JT-60SA 装置では運転中、厳しい放射線環境(中性子、ガンマ線)が予想され、集光光学系に使用するレンズや光ファイバーの波長依存性のある透過率劣化が起きる。この問題を解決するために、レーザーがプラズマ中の同じ光路を往復するダブルパス散乱計測によるその場相対較正手法を開発した。往路分の散乱光と復路分の散乱光を分離して計測し、それらの強度比を評価することで、劣化した透過率とは独立に電子温度が求まる。また相対的な透過率も得られた電子温度と散乱角を考慮し求めることができる。TST-2 装置、LHD 装置において、ダブルパス散乱を用いた実証実験を行い、0.1-1.5keV の温度領域で、通常的手法で求めた電子温度と本手法で求めた電子温度が 10%程度の精度で一致する結果を得た[2]。

[1] H. Tojo et al., Review of Scientific Instruments **81** 10D539 (2010).

[2] H. Tojo et al., Review of Scientific Instruments **87** 093502 (2016).