

LHDにおける協同トムソン散乱のための受信機感度較正 Sensitivity calibration of a receiver for collective Thomson scattering in LHD

足立 迅¹、西浦正樹^{2,3}、田中謙治^{1,2}、久保伸^{2,4}、釧持尚輝²、下妻隆²、矢内亮馬²、齊藤輝雄⁵、LHD 実験グループ²

ADACHI Shun¹, NISHIURA Masaki^{2,3}, TANAKA Kenji^{1,2}, KUBO Shin^{2,4}, KENMOCHI Naoki², SHIMOZUMA Takashi², YANAI Ryoma², SAITOU Teruo⁵, LHD experiment group²

¹九大、²核融合研、³東大、⁴名大、⁵福井大

¹Kyushu Univ., ²NIFS, ³The Univ. of Tokyo, ⁴Nagoya Univ., ⁵Univ. of Fukui

協同トムソン散乱(CTS)計測は、プラズマ中のバルクイオンや高速イオンの計測手法の1つである。大型ヘリカル装置(LHD)では、77 GHzの電子サイクロトロン加熱ビームを用いてCTS計測が行われてきた。最近の研究では、CTSスペクトルの時間変化を計測し、イオン温度に応じた定性的な変化を捉えられるようになった。[1]しかしながら、CTS計測から評価したイオン温度と電子温度は、荷電交換分光法およびトムソン散乱計測による計測値と比較して誤差がある。その原因の一つとして、CTS受信機の較正が十分でないと考え、較正手法の開発を進めた。

プローブビームの周波数が77 GHzの場合、CTS受信機は74 ~ 80 GHzのRF帯域を計測する。ヘテロダイン検波RF帯域の信号をGHz帯中間周波数に変換する。これを32チャンネルに分割し、検出器により直流信号に変換後のデータを記録する。伝送路、フィルター、アンプがそれぞれ周波数特性を持つため、各周波数チャンネルごとのばらつきをなくすために較正が必要がある。

これまで受信機の較正には液体窒素や黒体炉が用いられていた。しかし、それらの温度領域は高温プラズマの温度領域に比べて非常に低く、計測するCTS信号の領域まで感度の線形性が担保されない可能性があった。そのため、CTS受信機でCTS信号と同等の信号強度となるプラズマからの電子サイクロトロン放射(ECE)を計測し、各チャンネルをYAGレーザートムソン散乱(YAG-TS)計測の電子温度 T_e を用いて較正を行っていた。

本研究では、CTS受信機の較正に、CTS受信機で計測されたECEの電圧信号、TSの T_e を用い、加えて周波数チャンネル毎に受信ビームの観測位置をレイトリングコード TRAVIS[2]により補正し、新たな較正曲線を求めた(Fig.1)。さらに、この補正では、TRAVISによって得られる視線上の吸収係数 α と光学的厚さ τ を用いて、輻射輸送方程式から得られた、

$$T_{rad}(s_2) = \int_{s_1}^{s_2} T_e(s)\alpha(s)e^{-\tau(s)} ds \quad (1)$$

により放射温度 T_{rad} を求め、ドップラー効果や相対論効果による計測周波数の変化も考慮している。

この温度領域ではレイトリングによる軌道の補正が重要であることが分かった。較正值には、最小二乗法の多項式フィッティングを行い、赤池情報量基準(AIC)を基に次数の選定し、直線フィッティングを行った。

Fig. 2 に過去に作成した較正直線と本手法で作成した較正直線を用いて得られたCTSスペクトルを示す。信号強度が強いバルクイオン領域(± 1 GHz)でスペクトル幅に変化がみられ、誤差の一因になることが考えられる。今後、このスペクトルをシミュレーションの結果と比較することでイオン温度と高速イオンの速度分布関数を推定する。

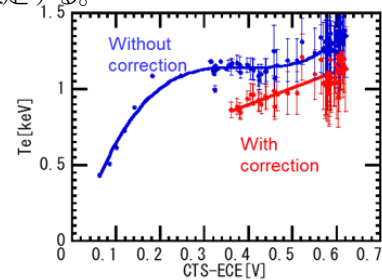


Fig.1 CTS 受信機の 1 つのチャンネルの較正曲線

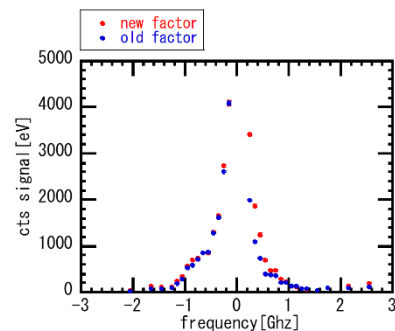


Fig.2 新旧較正值を利用した CTS スペクトル

[1] M. Nishiura et al., Nucl. Fusion **54**, 023006(2014)

[2] N.B. Marushchenko et al., Comput. Phys. Comm. **185**, 165-176 (2014)