

協同トムソン散乱計測を用いたプラズマ中の高エネルギーイオンの
速度空間解析

Velocity space analysis of high energy ions in plasmas by using a collective Thomson scattering diagnostic

西浦正樹¹⁾²⁾、釧持尚輝¹⁾、奴賀秀男¹⁾、關良輔¹⁾、久保伸³⁾、田中謙治¹⁾、
矢内亮馬¹⁾、斉藤輝雄⁴⁾、Moseev Dmitry⁵⁾、Salewski Mirko⁶⁾
Masaki Nishiura¹⁾²⁾, Naoki Kenmochi¹⁾, Hideo Nuga¹⁾, Ryosuke Seki¹⁾, Shin Kubo³⁾, et al.

¹⁾核融合研、²⁾東大新領域、³⁾中部大、⁴⁾福井大遠赤セ、⁵⁾Max Planck Inst.、⁶⁾Tech. Univ. Denmark
¹⁾NIFS, ²⁾Univ. Tokyo, ³⁾Chubu Univ., ⁴⁾FIR UF, ⁵⁾Max Planck Inst., ⁶⁾Tech. Univ. Denmark

核融合炉はDT核融合反応(D:重水素, T:トリチウム)で発生した3.5MeVの α 粒子による加熱と高エネルギー粒子や電磁波による外部加熱により、自律した高温プラズマを維持することで成立する。核融合炉の実現には、高エネルギーイオンと炉心プラズマの良好な閉じ込めの両立が求められている。核融合プラズマ中のイオン速度分布関数を計測する手法として協同トムソン散乱計測 (CTS: Collective Thomson Scattering) を開発し、大型ヘリカル装置 (LHD) に於いて開発と高速イオンの分布関数の解析を行ってきた[1, 2] (図1)。

測定したCTSスペクトルから2次元速度分布関数 $f(v_{\parallel}, v_{\perp})$ を得るためには、速度空間上でのトモグラフィが必要になる。CTSスペクトルは観測視線である散乱波の波数ベクトルに投影された量として計測される。加熱等により非等方な $f(v_{\parallel}, v_{\perp})$ を持つ場合、非対称な形状として観測される。そのため、計測された1次元速度分布関数 $g(u)$ を速度空間 $(v_{\parallel}, v_{\perp})$ 上の $f(v_{\parallel}, v_{\perp})$ へ再構成する必要がある。そこで、深層学習を利用した発光分光の空間トモグラフィ法[3]を応用した速度空間トモグラフィ手法を新たに提案し、 $g(u)$ から $f(v_{\parallel}, v_{\perp})$ へ再構成可能なことを示した(図2)。

速度空間解析に基づき、得られた非対称なCTSスペクトルを評価したところ、中性粒子入射加熱由来の高エネルギーイオンが磁力線方向と垂直方向に減速しながら混在していることを定性的に示すことが出来た。また、高エネルギーイオンの磁気軸依存性を調べたところ、 $R_{ax}=3.6m$ の方が $R_{ax}=3.9m$ より高エネルギーイオン粒子数も多いことが分かった。その詳細を講演にて報告する。

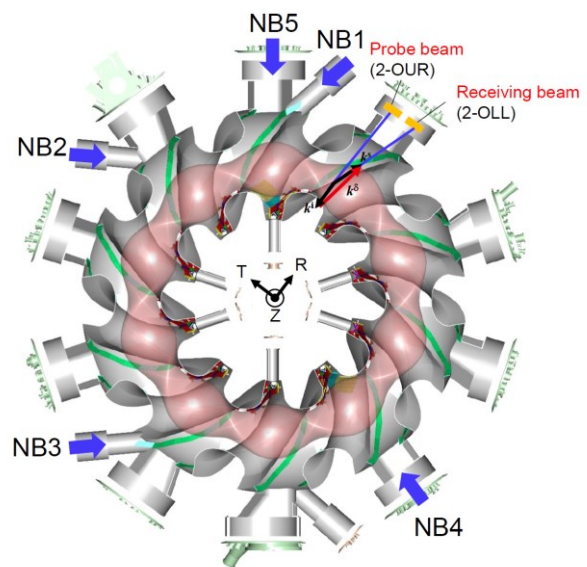


図1. LHDにおけるCTS計測位置と散乱波の波数ベクトル k^{δ} の関係。

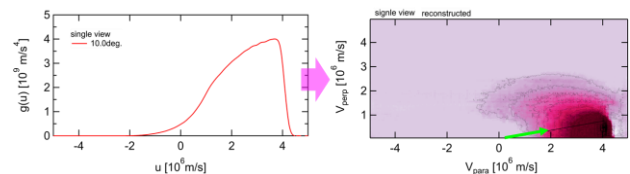


図2. CTS計測を模擬した1次元散乱スペクトルを速度空間トモグラフィ法により2次元 $f(v_{\parallel}, v_{\perp})$ に再構成した一例。矢印は視線方向 k^{δ} を示している。

参考文献

- [1] M. Nishiura *et al.* Nucl. Fusion **54**, 023006(2014).
- [2] M. Nishiura *et al.* Review of Scientific Instruments **93**, 053501(2022).
- [3] N. Kenmochi *et al.* Plasma and Fusion Research **14**, 1202117(2019).