

大型装置での乱流揺動計測を目指した波長1.06mm YAGレーザーを用いた
位相コントラストイメージングの開発

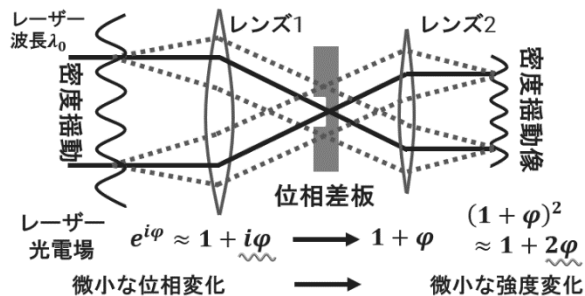
Development of phase contrast imaging using 1.06mm YAG laser for micro-turbulence measurements on large device

酒井彦那^[1], 田中謙治^{[1][2]}, 木下稔基^[1]
H. Sakai^[1], K. Tanaka^{[1][2]}, T. Kinoshita^[1]

九大総理工^[1], 核融合研^[2]
IGSES^[1], NIFS^[2]

微視的乱流揺動は、高温磁場閉じ込めプラズマにおいて熱、粒子、運動量の輸送に大きな影響を及ぼすことが、輸送解析および理論シミュレーションにより示唆されている。これら多くの研究では乱流計測が行われておらず、乱流の輸送への寄与が実験的に明らかにされていない。そこで本研究では、乱流を直接計測する手法として位相コントラストイメージング (Phase Contrast Imaging, PCI) を用いた研究に取り組んだ。

PCI は、レーザーを用いて高温プラズマにおける乱流揺動を計測する手法として、LHDをはじめ世界的に活用されている^{[1][2]}。PCIの計測原理を図1に示す。乱流によって散乱されたコリメートレーザーを集光すると、透過光と散乱光の集光位置が異なる。これを利用して、集光位置に位相差板 (Phase Plate, PP) を設置し、透過光と散乱光に $\pi/2$ の位相差を付けることで、散乱光を微小な強度変化として検出する。この強度変化から計算される位相変化 ϕ は乱流による電子密度変化に比例するため、電子密度の微小な揺らぎを計測可能となる。



従来のPCIでは、レーザー光の安定性、光源の汎用性等の理由から、波長10.6 μm のCO₂レーザーが用いられている。一方、今後実験を開始するJT-60SAやITERなどの大型装置においては、より短波長なレーザーの使用が以下の理

由により有用であり、本研究では波長1.06 μm のYAGレーザーを用いたPCI (YAG-PCI)を開発に着手した。

- ・乱流によるレーザーの散乱角がレーザーの波長に反比例するため高い波数を持つ乱流揺動の計測が容易となる。
- ・検出器に、従来のCO₂PCI計測システムで必要だった冷却システムが不要なInGaAsのAPD (Avalanche Photo Diode)を使用可能となる。

本研究ではまず、大型ヘリカル装置 (Large Helical Device, LHD) への適用に先駆けて、ベンチテストを実施した。ベンチテストでは、電子密度揺動の代わりに音波を用いた^[3]。本研究では、YAG-PCIの絶対値計測性を確認するために、ヘテロダイン干渉計 (Heterodyne Interferometer, HI) を同軸で組み同時計測を行った。HIは位相変化を直接計測することから、音波による空気の屈折率の変化 (音圧) を絶対値計測可能である。ベンチテストの結果、YAG-PCIが音波の音圧の絶対値および波数を精度よく計測できることを確認した。そこで、YAG-PCIをLHDに実装し23サイクルのプラズマ実験から稼働を開始した。現行のCO₂-PCIと同時計測可能な光学システムを組んでいるため、YAG-PCIとCO₂-PCIの比較が可能である。本発表では、PCIの計測原理とYAG-PCIのベンチテストの結果、そしてプラズマ計測の初期結果について報告する。

参考文献

- [1] K. Tanaka et al, Rev. Sci. Instrum. 79, 2008
- [2] S. Coda et al, Rev. Sci. Instrum, 63, 1992
- [3] T. Kinoshita et al, JINST 15, C01045, 2020