

LHDにおけるディスペーション干渉計の開発 Development of a dispersion interferometer on LHD

秋山毅志、安原亮、川端一男、岡島茂樹、中山和也
T. Akiyama, R. Yasuhara, K. Kawahata, S. Okajima¹ and K. Nakayama¹

核融合研、¹中部大
NIFS, ¹Chubu Univ.

磁場閉じ込め核融合プラズマにおいて、線平均電子密度は物理研究だけでなく、燃料供給制御にも使用され、装置の安全な運転に不可欠なパラメータである。そのため、電子密度計測には高い計測精度と信頼性が求められる。既存の核融合実験装置では、干渉計による線平均電子密度計測が一般的であるが、機械振動による光路長変化が計測誤差となる。現状では、除振設備を用いて光学系を装置本体から分離したり、2 波長で同時に計測して、プラズマと機械振動による位相変化を波長依存性の違いを利用して分離したりする。これらは振動を低減する有効な手法ではあるが、根本的な解決ではない。ITER をはじめ将来の核融合炉では、装置本体から光学系を完全に分離することは現実的には不可能で、装置内部に複数の伝送ミラーを設置する必要がある、大きな機械振動を受けることは避けられない。

この問題に対し、根本的な解決手法と成り得るのが Dispersion 干渉計である。本手法の原理を図 1 に示す。Dispersion 干渉計は、レーザー光の基本波と非線形結晶で生成した 2 倍高調波の混合波をプローブ光として用いる。これらはほぼ同一光路を取り、同じ機械振動を受ける。プラズマ透過後、再び非線形結晶で基本波成分から 2 倍高調波成分を生成する。その後、残った基本波成分はフィルタ等で除去し、2 倍高調波同士の干渉信号を測定する。それぞれの 2 倍高調波の位相は、図 1 の右側に記載しているが、機械振動による位相変化は両者で共通である。干渉信号の位相は 2 倍高調波の位相の差分になるため、この光学配置にすることで機械振動の成分はキャンセルされ、プラズマによる位相変化のみが残る。この

ように、Dispersion 干渉計は機械振動成分を「自己補正」することができ、原理的に機械振動の問題を解決することができる。これにより、光学系の除振設備が不要になり、装置本体に光学系を設置することが可能になる。

ディスペーション干渉計は、計測信号強度の変化が計測誤差となる問題があったが、プローブ光に位相変調を導入し、その結果得られる干渉信号の変調強度の比を用いると、測定信号強度に依存せず位相変化を抽出できることを見出した。ベンチテストにて原理検証を行った後、炭酸ガスレーザーを光源とするシステムを LHD に設置し、プラズマ計測を開始した。図 2 にその計測例を示す。Dispersion 干渉計の計測結果は、既存の FIR レーザー干渉計とは約 10% 程度の誤差の範囲内でよく一致することが分かった。計測の分解能は、光学系に除振設備を使用せず、一部の光学系を LHD 本体に固定しているにも関わらず、時間分解能 0.1 ms でゼロ点の変動で決まる密度分解能 $4 \times 10^{17} \text{ m}^{-3}$ が得られている。

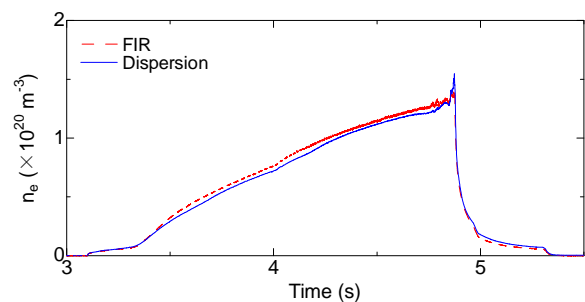


図 2 : LHD での Dispersion 干渉計の計測例

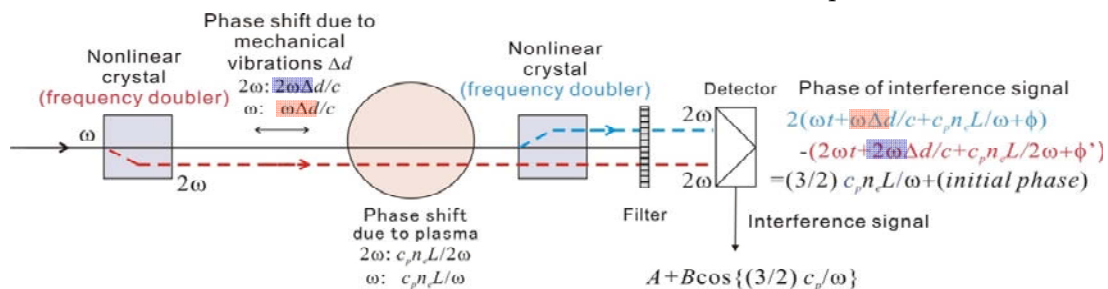


図 1 : Dispersion 干渉計の原理図