

遠赤外レーザーを用いた電子密度計測用 Cotton-Mouton 偏光計の開発

核融合科学研究所 秋山 毅志

1. 開発の背景と目的

干渉計で計測される線平均電子密度は、物理解析だけでなく、装置の運転上でも不可欠なパラメータの1つである。そのため、信頼性高い計測が必要であるが、核燃焼プラズマで想定される 10^{20} m^{-3} 程度のプラズマでは、既存のレーザー干渉計ではフリンジジャンプによる計測ミスが深刻となる。この点、プラズマ中での偏光面の回転 (Faraday 回転) を利用した偏光計は、回転角 (位相変化量) が通常 2π を超えないために原理的にフリンジジャンプがなく、計測ミスのない密度計測手法となる。これまで実機での検証もなされ、いずれも接線入射の計測配位で JT-60U [1]、LHD [2] にて、その有用性が確認されている。偏光計には、上記の Faraday 回転を利用したもの他に、Cotton-Mouton 効果を利用したものがある。Cotton-Mouton 効果とは、プラズマ中で O/X-mode の屈折率が異なるために透過光の楕円度が変化する現象である。O/X-mode 間に生じる位相差 ϕ_{CM} は、

$$\begin{aligned}\phi_{\text{CM}} [\text{rad.}] &= \phi_{\text{O}} - \phi_{\text{X}} \\ &= 2.4 \times 10^{-20} \lambda [\text{mm}]^3 \int n_e [\text{m}^{-3}] B_{\perp} [\text{T}]^2 dl [\text{m}]\end{aligned}$$

となり、磁場の重みがつくものの、位相差より線平均電子密度が評価できる。Faraday 効果による偏光計との違いは、寄与する磁場成分である。Cotton-Mouton 偏光計では、プローブ光の進行方向と垂直な磁場成分に対し、Faraday 偏光計では平行な磁場成分が寄与する。従って、ポロイダル断面にてプラズマ中心コードの線平均密度を計測する場合には、Cotton-Mouton 偏光計を利用するしかない。ITER においても、Faraday 偏光計 (電流分布計測用) と組み合わせた Cotton-Mouton 偏光計が計画されているが、その実機での適用はこれまで極めて少なく、計測精度や特性などの面で不明な点が多い。そこで、Cotton-Mouton 偏光計の計測精度を決める要因や特性を探り、核燃焼プラズマ計測への適用可能性を検証することを目的に、核融合科学研究所の Compact Helical System (CHS) にて、波長 $337 \mu\text{m}$ の HCN レーザーを用いた Cotton-Mouton 偏光計測を行った。

2. 計測システムの概要

CHS でのシステムは干渉計測も同時・同一計測コードで可能としている。Cotton-Mouton 効果は、O-/X-mode 成分の位相差として計測する方式を採用した。この方式は、レーザーの出力変動及びプローブ光のプラズマでの屈折の影響が少ないことが特長である。

3. 計測結果

図 1 に計測結果を示す。干渉計のデータを用いた Cotton-Mouton 効果の計算値は、磁場構造を考慮しない初期的なものであるが、それとほぼ合致する結果が得られている。現状では時定数 0.3 ms で ± 1 程度程度の位相変動があり、ビート周波数のノイズがその主原因である。周波数ノイズは、ヘテロダイン検波のための回転回折格子の製作精度に起因するものであることが分かった。また、電気的・光学的クロストークは致命的な位相変動の原因となり、偏光計の光学設計の際にはクロストーク抑制に十分留意しなくてはならない。

[1] Y. Kawano *et al.*, Rev. Sci. Instrum. **72**, 1068 (2001)

[2] T. Akiyama *et al.*, Rev. Sci. Instrum. **74**, 2695 (2003)

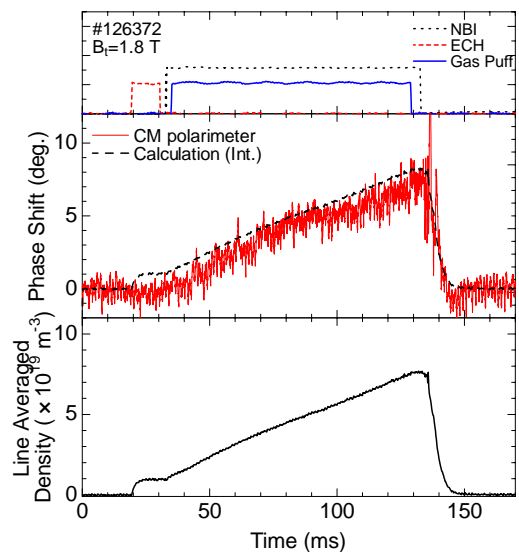


図 1 : Cotton-Mouton 偏光計測の計測結果。計算では磁場構造を考慮しておらず、若干の過大評価になっている。