

LHDにおける80チャンネルCO₂レーザー/量子カスケードレーザー 二波長イメージング干渉計

80channels CO₂ Laser /Quantum Cascade Laser two-color imaging interferometer in LHD

木下稔基¹⁾, 田中謙治¹⁾²⁾, 武村勇輝²⁾³⁾, 酒井彦那¹⁾
T. Kinoshita¹⁾, K. Tanaka¹⁾²⁾, Y. Takemura²⁾³⁾, H. Sakai¹⁾

¹⁾ 九大, ²⁾ 核融合研, ³⁾ 総研大
¹⁾ Kyushu Univ., ²⁾ NIFS, ³⁾ SOKENDAI

干渉計はプラズマの屈折率変化によって生じる位相変化から電子密度を絶対値計測する手法であり, 多くの高温プラズマ実験装置に導入されている. 大型ヘリカル装置(Large Helical Device; LHD)ではミリ波干渉計, 13ch遠赤外線レーザー(波長119 μ m)干渉計および80chCO₂レーザー(波長10.6 μ m)イメージング干渉計が稼働中である. 特にCO₂レーザー干渉計は短波長であるため, プラズマによるビームの屈折が小さく, 高密度プラズマ計測($n_e > 10^{20} \text{m}^{-3}$)が可能である. また, CO₂レーザーは光源, 検出器ともに開発が進んでおり, マルチチャンネル化が容易である. 次式は干渉計で得られる位相変化と電子密度および機械振動の関係である.

$$\phi \cong \frac{e^2}{4c^2\pi\epsilon_0 m_e} \bar{n}_e L \lambda + \frac{2\pi\Delta x}{\lambda}$$

ここでL, e, c, ϵ_0 , m_e , λ および Δx はそれぞれプラズマサイズ, 電荷, 光速, 真空の透磁率, 電子質量, 入射電磁波の波長および機械振動振幅である. 右辺第1項はプラズマによる位相変化で波長に比例し, 第2項の機械振動による位相変化は波長に反比例する. 機械振動による位相変化は遠赤外線レーザー干渉計では問題にならないが, CO₂レーザー干渉計の場合, 機械振動による位相変化を考慮する必要がある. また, CO₂レーザー干渉計の計測精度が向上すれば, 高空間分解能を活かしてマクロスケールの電子密度揺動計測など物理解析への貢献も期待できる. 2波長レーザー干渉計は異なる波長の干渉計を同軸に組み合わせ, 電子密度および機械振動に対する感度の違いにより振動成分を取り除く手法である. これまでLHDではCO₂レーザー干渉計をYAGレーザー(波長1.06 μ m)干渉計を組み合わせCO₂/YAGL干渉計として運用していた[1]. YAGレーザーはプラズマに感度を持たず, 振動のみを計測するため補正が容易である. 一方で短波長であるため, ミラーの汚

れなどによりビーム伝送の過程で波面が乱れ, 干渉信号が不安定になり, 結果として計測の安定性や振動補正精度が劣化する. 本研究では計測精度および安定性の向上を目指して波長4.6 μ mの量子カスケードレーザー(Quantum Cascade Laser; QCL)干渉計と組み合わせたCO₂/QCL干渉計を開発し, LHDへの導入を行った.

図1はLHDの定常プラズマにおけるCO₂/QCL干渉計で計測した線平均電子密度の時間発展である. ここで青色はCO₂レーザーの位相変化から評価した電子密度, 緑色はCO₂レーザーおよびQCLより評価した機械振動成分, 赤色は両者を差し引くことで振動成分を取り除いた成分, つまり, CO₂/QCL干渉計で評価した電子密度である. 図1(b)はプラズマのないt=3.0-3.1sの拡大図であり, 機械振動による位相変化, つまりノイズレベルは $n_e = 2 \times 10^{19} \text{m}^{-3}$ である. 一方, 振動補正をしたCO₂/QCL干渉計ではノイズレベルを $n_e = 2 \times 10^{18} \text{m}^{-3}$ まで低減することに成功した.

本講演ではベンチテストにおけるCO₂/QCL干渉計の開発やLHDにおけるさまざまな計測例について紹介する.

[1] K. Tanaka et al., *Plasma Fusion Res.*, 2, S1033 (2007)

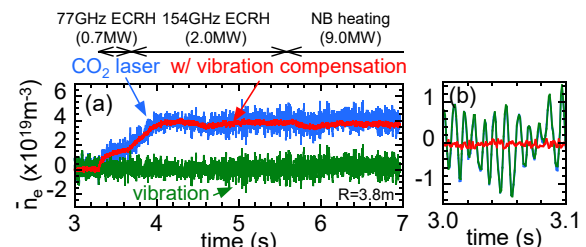


図1 LHD における CO₂/QCL 干渉計による電子密度計測