

ゴーストイメージング吸収分光法のための高速データ処理プログラムの開発 Development of high-speed data processing program for ghost imaging absorption spectroscopy

山口一樹, 荒巻光利, 藤村哲也, 大舘暁, 長壁正樹
YAMAGUCHI Kazuki 1), ARAMAKI Mitsutoshi 1), FUJIMURA Tetsuya 2),
OHDACHI Satoshi 3), OSAKABE Masaki 3)

(1)日本大学, (2)東大新領域, (3)核融合研
(1) Nihon Univ., (2) The University of Tokyo, (3) NIFS.

1. はじめに

位相空間での粒子の分布構造は, プラズマ中の様々な現象を駆動しており, その観測はプラズマ計測において, 重要な課題である. 本研究では, 最先端の光科学の技術を導入して, プラズマの空間構造を明らかにすることを目的としている. 近年, フォトダイオード(PD)等の点型光検出器を用いて画像を取得する技術であるゴーストイメージング(GI)が注目されている. ゴーストイメージングは元々量子光学における量子もつれ光子対に関する研究が発端であった. その後, 新たにDMD(Digital Micromirror Device)を用いることにより, 簡易的な光路系での計算機ゴーストイメージング(CGI)が提案された.

我々の研究室では, 計算機ゴーストイメージングに結像系を導入することで, 新しいプラズマの吸収分光法の開発を目指している.

2. 計算機ゴーストイメージングの原理

Fig.1には, 単一光路を用いる計算機ゴーストイメージングの光学系を示す. ゴーストイメージングは照明光として構造化照明と呼ばれるランダムな2次元のパターンを用いる. 測定対象を通過した光はレンズで集光され, フォトダイオードでパターンごとの透過光強度として検出される. このとき, 検出される光強度 b_r を式(1)に示す.

$$b_r = \iint I_r(x, y)T(x, y)dx dy \quad (1)$$

ここで, $I_r(x, y)$ は, r 枚目の投影パターン上の位置 (x, y) での光強度分布, $T(x, y)$ は, 測定対象の透過率分布を示す. また, 投影パターンの r 枚目までの光強度分布平均 $\langle I_r(x, y) \rangle$ と, PDで検出される r 枚目までの光強度平均 $\langle b_r \rangle$ の相関から測定対象の透過率分布 $T(x, y)$ を得るのが計算機ゴーストイメージングの原理である.

$$T(x, y) = \frac{\langle b_r I_r(x, y) \rangle - \langle I_r(x, y) \rangle \langle b_r \rangle}{|\langle I_r(x, y) \rangle|^2} \quad (2)$$

式(2)での $\langle \dots \rangle$ は統計平均を表す.

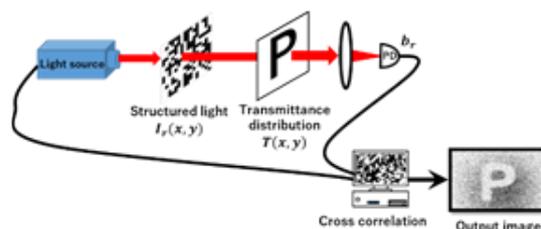


Fig.1 Schematic diagram of CGI system

3. システムの高速化とプラズマ終端板近傍でのゴーストイメージング吸収分光測定

CGIは式(2)に示す統計平均によって画像を得るため, 多数の構造化照明を切り替えて測定する必要があり, 測定系の高速化は重要な開発課題の1つである. 本研究では, 測定系のソフトウェアをLabVIEWからPythonに変更することで, 測定時間を大幅に短縮した.

今回は, 開発した測定系を用いて, ヘリコン波プラズマ装置のプラズマ終端板近傍における準安定ヘリウム原子のゴーストイメージング吸収分光測定を行った. プラズマはヘリカルアンテナに印加された13.56MHzのRF電力600Wで生成されており, 300mm下流に設置された金属板によって終端されている. ヘリウムガス流量300ccm, ガス圧40mTorrの生成条件でラングミュアプローブを用いて測定された電子密度は約 $10^{16} m^{-3}$ であった. Fig.2の左写真の赤枠内に構造化照明を照射して, 透過光強度の積分値を測定した. Fig.2右に式(2)により得られた準安定ヘリウム原子による吸収率分布を示す. 吸収率は終端板近傍では低く, 離れるにつれて増加している.

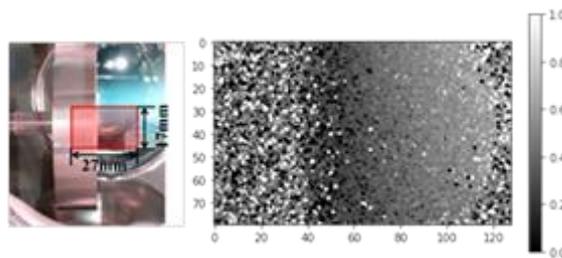


Fig.2 Absorption rate distribution in the vicinity of the end plate