

ゴーストイメージング技術のプラズマ分光への展開
Application of ghost imaging technique to plasma spectroscopy

荒巻光利
 Mitsutoshi Aramaki

日本大学生産工学部
 College of Industrial Technology, Nihon University

位相空間における粒子の分布構造は、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の基礎・応用・核融合に共通する重要課題の1つである。本研究は、光の空間構造を制御して利用することで光計測の新たな可能性を切り拓き、プラズマの大域的な位相空間構造を明らかにすることを目的としている。近年、情報フォニクス分野では、ランダムな強度分布を持つ構造化照明を利用したゴーストイメージングという技術が注目されている。本研究では、構造化照明に結像系を導入することで、ゴーストイメージングを厚みのある半透明物体(プラズマ)の空間分解測定に適用することを目指している。これにより、従来は不可能であった光の伝搬方向に空間分解能がある吸収分光法をはじめとして、様々な新しいプラズマ分光法への展開が期待できる。

図1にゴーストイメージングの基本的な測定系を示す。プローブ光としてPCで生成したランダムな光強度分布 $I_r(x, y)$ を持つ構造化照明を用いて、物体の透過率分布 $T(x, y)$ を測定するのが目的である。ここで、添え字の r は、統計平均を得るために繰り返し照射される構造化照明の番号を表す。測定対象に照射された構造化照明は、レンズで集光されてフォトダイオード等の点検出器で測定される。レンズによる集光は、数学的には空間積分を意味しており、 r 番目の透過光強度 b_r は以下の式で表される。

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

これを用いて(2)式の演算を行い、 $T(x, y)$ を得るのがゴーストイメージングの原理である。

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

ここで、 $\langle \dots \rangle$ は統計平均を表す。(2)式は、

- ① 構造化照明、測定対象の物理量および測定値が(1)式の関係で表される
 - ② 構造化照明は十分にランダムな構造を持っており、 $\langle I_r(x_1, y_1) I_r(x_2, y_2) \rangle$ が δ 関数的に $x_1 = x_2, y_1 = y_2$ で鋭いピークを持つ
- という緩やかな条件に基づくため、 b_r, I_r, T を様々な物理量に置き換えた新しい測定への展開が容易であるという特徴がある。

一般的なゴーストイメージングに用いられる構造化照明は、図2(a)に示すように結像面を持たないため、吸収体中で光路にわたって測定対象と相関を持って相互作用してしまう。従って、プラズマのように厚みのある吸収体に適用した場合、一般的な吸収分光と同様に光路で積分した情報しか得られない。本研究では、図2(b)に示すように、照明が所望の構造で結像する範囲を焦点深度内に限定してゴーストイメージングに適用する。これにより、焦点深度内でプラズマと相互作用した成分のみが相関計算により抽出され、吸収分光でありながら視線方向に空間分解能を持った断層測定が可能となる。本講演では、新たに開発したゴーストイメージング吸収分光系の原理実証実験を紹介する。

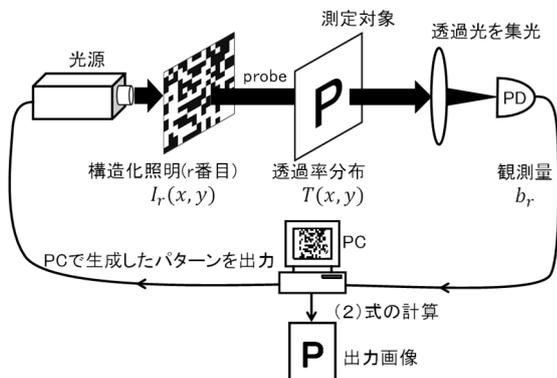


図1 ゴーストイメージングの基本的な測定系。

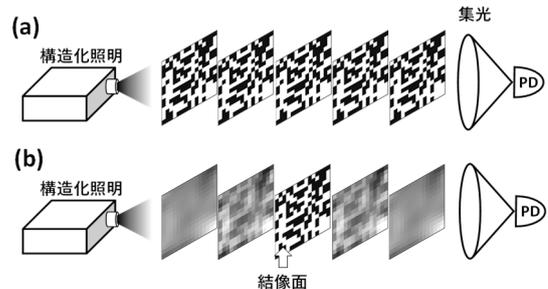


図2 (a)ゴーストイメージングの一般的な構造化照明、(b)結像系を導入した構造化照明。