

## 反射計マイクロ波を用いたホログラフィー計測の検討 Feasibility Study of Holography using a Reflectometry Microwave

土屋隼人<sup>1</sup>, 竹中亮太<sup>2</sup>, 古賀麻由子<sup>2</sup>, 岩間尚文, 山口聡一郎<sup>3</sup>  
Hayato Tsuchiya<sup>1</sup>, Ryota Takenaka<sup>2</sup>, Mayuko Koga<sup>2</sup>, Naofumi Iwama, Soichiro Yamaguchi<sup>3</sup>

1.核融合研, 2.兵庫県立大, 3.関西大  
1.NIFS, 2.University of Hyogo, 3. Kansai Univ.

プラズマ乱流は、輸送にとって重要であると理解され、マルチスケール現象間の非線形結合を介してプラズマプロファイル全体に影響を与える。しかしながら、実験的研究では、乱気流の計測は限られており、それらは良好な時間分解能を有するが空間分解能は乏しいことが一般的である。その意味では、高解像度の画像診断は強く望まれており、それらの開発は世界で進行している。我々は今、プラズマ診断のためのマイクロ波ホログラフィーを提案する。

ホログラフィーは既に様々な分野でよく知られており、利用されているが、プラズマ研究分野ではまだ導入されていない。その理由として、プラズマと強く相互作用する周波数帯域はいわゆるマイクロ波帯（数GHz～数百GHz）であるからであり、その周波数帯で利用できる解像度の良い撮像素子が普及していないためともいえるであろう。幸いなことに、核融合研ではマイクロ波イメージング反射計（MIR）に使用する目的で、ホーンアンテナ型ミリ波イメージングデバイス（HMID）と名付けたマイクロ波カメラを開発した。HMIDは、正方格子型に受信チャンネルを持ち、同時に複素振幅（パワーと位相）を検出することができる。MIRでは、HMIDを複数のミラー等から成る光学系と共に使用していたが、今回の提案では、光学系を使用しない“レンズ無しマイクロ波ホログラフィー”の手法を提案する。

この手法の利点として、図1に示すように結像光学系があるときに比べて、結像光学系なし（レンズなし）の場合は視野が広く取れることにある。図1 a)のLHDのMIRでは、焦点を結ぶので、イメージングセンサーとして使用したHMIDのアンテナ数と同じ数の画素をもつイメージ画像が得られた。結像光学系がない場合(図1 b))、いわゆるピン트가無い状態であるので、一つの受信アンテナに入るマイクロ波は、あらゆる地点からくる反射波の重ね合わせとなる。

2点間のマイクロ波波動伝搬は想定するマイクロ波の伝搬の種類（平面波、球面波、ガウシアンビーム）に関わらず、複素関数 $s(r_1, r_2)$ （位相と振幅の情報をもつ）で表される。ある点 $r$ の反射係数を $f(r)$ とし、照射アンテナ( $r_0$ )からある点( $r_n$ )で反射もしくは散乱され、ある受信アンテナ( $r_m$ )に入る信号 $g(r_m)$ を $s_T(r_0, r_n)f(r_n)s_R(r_n, r_m)$ と表わす。波の重ね合わせを考え、離散化すると線型方程式

$$Hf = g \quad (1)$$

を得る。 $H$ は複素行列でその要素 $h_{mm}$ は $s_T(r_0, r_m)s_R(r_m, r_n)$ であり、 $f, g$ は列ベクトルである。一般に $g$ はノイズを含み、受信アンテナ数( $M$ )は画素数( $N$ )に比べ小さいので、式(1)は条件の悪い逆問題となる。この逆問題を解くために、Tikhonov正則化を導入すると共に、観測値( $g$ )が複素振幅であることを考慮し、 $g' = (\text{Re}(g))^T, \text{Im}(g))^T$ ,  $H' = (\text{real}(H))^T, \text{imag}(H))^T$ と展開するなど工夫をする。発表ではその工夫の結果や、実験室で行った検証実験と、3次元電磁界数値計算の比較結果などを示し、この手法について議論したい。

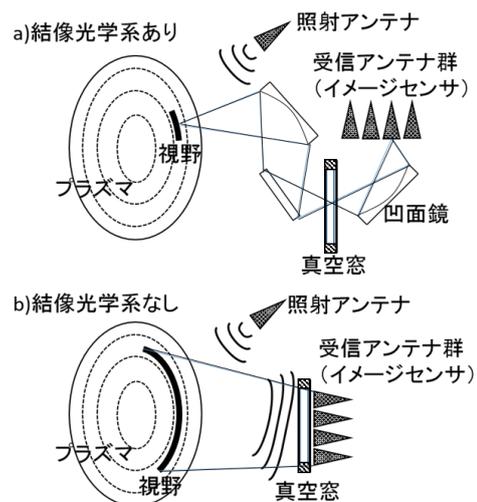


図1. 結像光学系(a)あり/(b)なしの場合の照射/受信アンテナの配置イメージ図