

ラゲールガウスビームによる位相回復

Phase Recovery by Laguerre-Gaussian Beam

茨大院理工 (M1) 鬼藤 将平, 鵜野 克宏

Graduate School of Sci. and Eng., Ibaraki Univ., (M1) Shohei Kito, Katsuhiko Uno

E-mail: katsuhiko.uno.catsin3@vc.ibaraki.ac.jp

1. はじめに

測定物体に照射されたプローブビームとその回折パターンの対を複数取得し、その強度分布から反復位相回復によって物体の振幅と位相情報を回復する手法をフーリエタイコグラフィという。フーリエタイコグラフィで物体の位相回復を行う場合、通常 TEM00 モードのガウスビームが用いられる。しかしこの場合、ビーム周辺部に減衰の無いトップハットビームに比べ、回復された位相の精度が悪く、ビーム径の拡大とともに悪化することがシミュレーションにより確認されている。我々は、プローブビームとしてラゲールガウス(LG)ビームを用い、物体の位相回復を試みた。本稿では LG ビームをプローブビームとしたフーリエタイコグラフィのシミュレーション結果を報告する。

2. ラゲールガウス(LG)ビーム

LG ビームは、軌道角運動量を有するビームであり、その複素振幅分布はヘルムホルツ方程式の円筒座標系の解で径方向の次数を p 、方位角方向の次数を l として以下の様に表現される。

$$U(r, \phi, z) = \frac{C_{lp}^{LG}}{\omega(z)} \left(\frac{r\sqrt{2}}{\omega(z)} \right)^{|l|} \exp\left(-\frac{r^2}{\omega^2(z)}\right) L_p^{|l|} \left(\frac{2r^2}{\omega^2(z)} \right) \times \exp\left(-ik \frac{r^2}{2R(z)}\right) \exp(il\phi) \exp[i(2p + |l| + 1)\xi(z)]$$

ここで、 $L_p^{|l|}$ はラゲールの陪多項式、 $\omega(z)$ 、 $R(z)$ 、 $\xi(z)$ は、ビーム幅、曲率半径、グイ位相を表す。

3. シミュレーション

256 × 256 ピクセルの画像内に矩形の位相物体があると想定し、位相物体に対し、通常のガウスビームに相当する LG ビーム($p, l = (0, 0)$)を照射した場合と、方位次数が 1 次の LG ビーム($p, l = (0, 1)$)を照射した場合に回復された位相分布を図 1 に示す。

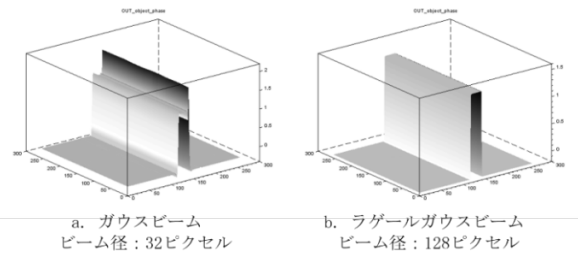


図 1 回復された位相分布

これより、通常のガウスビームよりも LG ビームを用いた方が、より大きなビーム径において回復精度が向上することがわかった。図 2 は、ビーム径に対する反復回数と回復位相の平均二乗誤差(MSE)を示す。なお、シミュレーションでは反復回数の上限を 20000 回とし、MSE が 1.0×10^{-5} を下回った時に反復を終えるようにした。

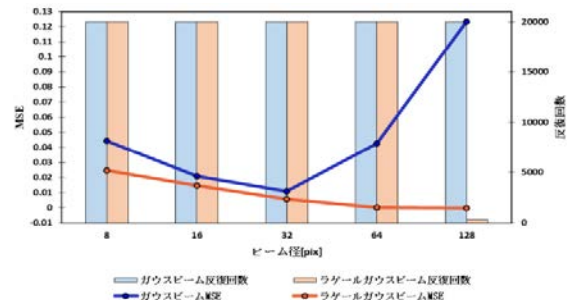


図 2 ビーム径における反復回数及び MSE

図 2 に示すように、通常のガウスビームでは、ビーム径を適切な大きさにしないと良好に収束しないことが分かった。これに対して、LG ビームでは、ビーム径が大きくなるほど良好に収束し、且つ、短時間で収束することが分かった。また、全体的に見ても LG ビームの方が、MSE が小さい値を示した。

4. まとめ

物体の位相回復において、LG ビームによるフーリエタイコグラフィが、位相回復の精度と効率に対して有利である事が分かった。