

収差存在下における非回折光ニードルスポット形成

Formation of Nondiffracting, Optical Needle Spot under Aberration

東北大多元研¹, JST さきがけ² ○小澤 祐市^{1,2}, 佐藤 俊一¹

IMRAM, Tohoku Univ.¹, JST PRESTO², °Yuichi Kozawa^{1,2}, Shunichi Sato¹

E-mail: kozawa@tagen.tohoku.ac.jp

はじめに：集光する光ビームに対してレンズの瞳面に円環状のマスクを施すと、その集光スポットは円環マスクの幅に応じてサイドローブを伴うベッセルビームに近づくことが知られている。理想的なベッセルビームは非回折ビームであるため、円環マスクによって生ずる集光スポットは、光軸方向に針状に伸びた非回折な光ニードル状のスポットを形成する。このような光ニードルスポットは大きな焦点深度を持つことから、生物試料が深さ方向に移動する場合にもボケを生じずに画像を取得可能な長焦点深度イメージング[1]や、レーザー加工における高アスペクト比の穴加工への応用[2]、加工時のレーザー焦点位置ズレに対する許容範囲の拡大といった効果[3]が期待されている。現在我々は、円環マスクを用いた集光においては集光角が一定であることに着目し、集光時に強い球面収差が存在する場合でも良好な光ニードルスポットが形成できる可能性を検討している。本講演では、実際に円環ビームの集光により光ニードルスポットを形成し、球面収差が存在する場合の集光特性について実験的に検証した結果を報告する。

実験および結果：ピエゾステージ走査型のレーザー顕微鏡を構築し、波長 488 nm のレーザーを油浸対物レンズ(開口数 1.4)で集光した。リレー光学系により対物レンズの瞳面に対応する位置に液晶型空間光変調器を設置し、円環マスクと擬似的な球面収差波面を形成した。ここでは、ゼルニケ多項式において 3 次の球面収差に対応する波面 $W(\rho) = A_{sp}(6\rho^4 - 6\rho^2 + 1)$ を用いた (A_{sp} は係数, ρ は瞳半径方向の座標)。直径 100 nm の金微粒子を走査し、その散乱光を検出することによって焦点での強度分布を計測した。

通常の直線偏光ビームおよび円環マスクを形成した場合の焦点 xz 断面での強度分布を測定した結果を図 1(a)および図 1(b)にそれぞれ示す。通常の直線偏光ビームによる集光では、球面収差が大きくなるにつれてピーク強度の低下と光軸方向へのスポット伸びが顕著になった。一方で、光ニードルスポット(通常のスポットに比べて約 4.4 倍の焦点深度)では、 A_{sp} が 1λ の条件でも光ニードルスポットの形状やピーク強度がほとんど変化しないことが分かる。このように、円環マスクによる光ニードルスポット形成では原理的に球面収差に対して集光特性の劣化がほとんど無く、試料深部での集光や屈折率ミスマッチ等により生ずる球面収差に対しても良好な集光特性を示すことが期待される。

参考文献：

- [1] S. Ipponjima *et al.*, *Microscopy* **63**, 23 (2014).
- [2] M. Duocastella and C. B. Arnold, *Laser Photonics Rev.* **6**, 607 (2012).
- [3] 大町, 中村, 佐藤, 第 63 会応用物理学会春季学術講演会, 20a-W321-3 (2016).

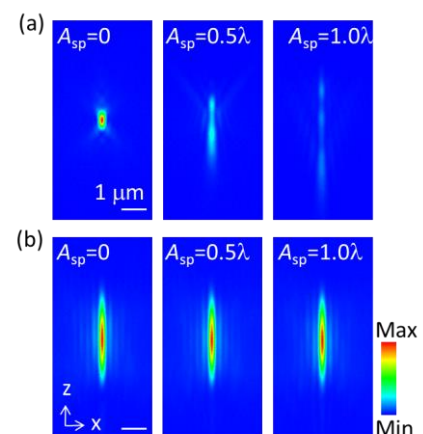


Fig.1 Measured intensity distributions at the focus of (a) a conventional beam and (b) an annular-shaped beam under the spherical aberrations.