最適化手法を用いた液晶フレネルレンズの収差補正の検討

Study on aberration correction of liquid crystal Fresnel lens using optimization method

長岡技科大[1]，阿南高専[2]，兵庫県立大[3]，○(M2)大越 健太郎[1]，坂本 盛嗣[1]，野田 浩平[1]，
佐々木 友之[1]，坪根 正[1]，岡本 浩行[2]，川月 喜弘[3]，小野 浩司[1]
Nagaoka Univ. of Technol.[1], National Institute of Technol., Anan College[2], Univ. of Hyogo[3],
○Kentaro Okoshi[1], Moritsugu Sakamoto[1], Kohei Noda[1], Tomoyuki Sasaki[1], Tadashi Tsubone[1],
Hiroyuki Okamoto[2], Nobuhiro Kawatsuki[3] and Hiroshi Ono[1]
E-mail: onoh@vos.nagaokaut.ac.jp

レンズを一般の光学系に使用する場合、光学系由来の収差が結像特性に影響を与えるため、光学系に合わせたレンズの設計が必要となる。しかし、複雑な収差に対しては、人間の知見に基づいた設計手法では十分な収差補正は容易ではない。そこで本研究では、パターン化液晶フレネルレンズの液晶配向パターンを進化論的計算手法等によって最適化し、収差補正機能と結像機能が複合化されたレンズを設計することを試みる。今回我々は、入射光の位相分布に起因する収差の補正と、レンズへの斜め入射によって生じる収差の補正についてそれぞれ検討を行ったので報告する。

前者の入射光の位相分布に起因する収差については、Jones 行列計算によって解析的に収差を補正した設計が可能であることを見出した。液晶層の位相差を$\Gamma = \pi$,位相分布$\phi_{in}(x,y)$を持つ右回り円偏光$E_{in} = {}^{t}[1 \quad i]\exp(i\phi_{in})$を入射したときの出射光の電場は Eq. 1 のようになる。よって、所望の出射光の位相分布$\phi_{out}(x,y)$を得るためには半波長板の軸方位θを$\theta = (\phi_{out} - \phi_{in})/2$として液晶ダイレクタの角度を設計すれば良い。

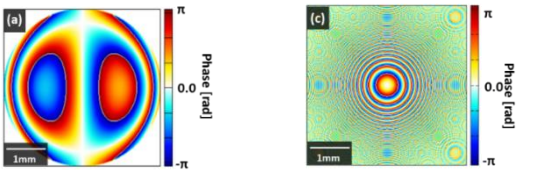
$$\mathbf{E}_{\mathrm{out}} = \mathbf{T} \cdot \mathbf{E}_{\mathbf{in}} = -i\ {}^{t}[1 \quad -i]e^{i(2\theta - \phi_{in})} \qquad (1)$$

補正を行う入射光の位相分布を Fig. 1(a)に、補正した液晶レンズから出射直後の位相分布を(b)に示す。Fig. 1(b)から歪みのない同心円状の位相分布が確認できる。Fig. 2 にシミュレーションと実験で得られた結像面での強度分布を示す。Fig. 2 から補正したレンズでは伝搬方向の中心で結像が認められ、入射光位相分布に起因する収差の影響の除去が確認できる。

レンズが光源面に対して斜めに配置されている場合は伝搬計算が必要となるため、解析的な収差を補正した液晶フレネルレンズの設計が困難である。そこで最適化計算を用いて液晶フレネルレンズの設計を行った。まず、液晶フレネルレンズの 1 次元の位相分布を以下のように仮定した。

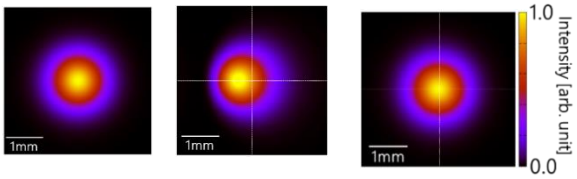
$$\varphi(y) = \begin{cases} k\left(f - \sqrt{{\alpha_+}^2 - y^2} - (f - \alpha_+)\right) & (y \geq 0) \\ k\left(f - \sqrt{{\alpha_-}^2 - y^2} - (f - \alpha_-)\right) & (y < 0) \end{cases} \qquad (2)$$

ここでkは波数、fはレンズの焦点距離、α_+, α_-は設計パラメータである。最適化計算では光源面にスポット径 10 μm の点光源を 3 点配置し、遺伝的アルゴリズムによって(1)結像面での強度の空間的広がりが小さくなる、(2)スポット間の強度の均一性が高くなる、の 2 点を評価パラメータとして最適化を行った。最適化したレンズと最適化していないレンズの結像面での強度分布の比較を Fig. 3 に示す。Fig. 3 から、レンズが付与する位相分布を最適化することで結像の歪みが補正できることが確認できた。

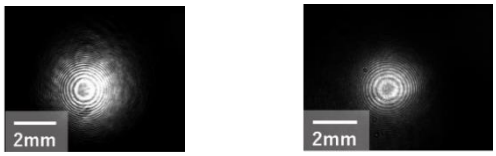


(a) Incident light (b) Emitting light with correction

Fig.1 Phase distribution.

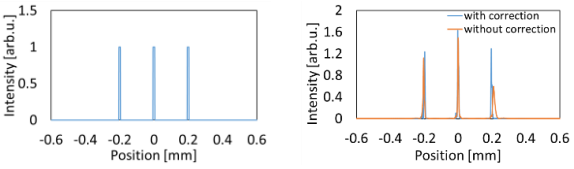


(a) Incident light (b) Without correction (c) With correction

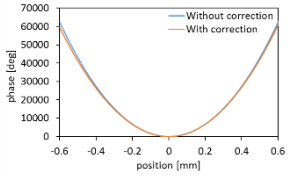


(d) Without correction (e) With correction

Fig.2 (a)-(c) Numerically simulated and (d)-(e) experimentally observed intensity distribution.



(a) Intensity pattern on the object plane (b) Emitting light on imaging plane



(c) Geometric phase imparted to a LC Fresnel lens

Fig.3 Intensity distribution of incident light and emitting light.

© 2020年 応用物理学会