

# 反復フーリエ変換法により設計した回折型ビームシェーパの出力に対する位相公差と入射ビーム誤差の影響

## Output of diffractive beam shapers with various errors of the incident beam and the relief profile in the iterative Fourier transform algorithm

平田博之 森村隆 松島恭治

○Hiroyuki Hirata Takashi Morimura Kyoji Matushima

関西大学工学部電気工学科

Department of Electrical Engineering, Kansai University

E-mail:hirata@laser.ee.kansai-u.ca.jp

Although diffractive optical elements (DOEs) are flexible and highly efficient optical elements, DOEs are strongly affected by errors of the surface profile arose in fabrication and errors of the incident beam profile. In this research, sensitivity of output intensity to these errors is investigated. The result show one can reduce the sensitivity by optimizing the design parameters.

### 1. はじめに

回折光学素子 (Diffractive Optical Element, 以下 DOE) は光の回折現象を利用して, 入射波面を定められた波面に変換する光学素子である.

回折光学素子の最適化には, Direct Binary Search や Simulated Annealing, 反復フーリエ変換法 (Iterative Fourier Transform Algorithm, 以下 IFTA)[1] などが知られているが, 回折型ビーム成形素子は非常にピクセル数が多いため, 従来 IFTA がもっとも一般的に用いられてきた.

DOE は高い柔軟性を有する反面, その出力強度分布が素子の作製時に生じる表面レリーフの段差公差や入射ビーム径の変化などに敏感であり, それが回折型ビーム成形素子を実用的に使い難いものにしてている. 本研究ではこれらの条件に対する DOE の出力強度分布を調べ, これらの条件が変化した時の影響を減少させるための設計パラメータの最適化について検討した結果を報告する.

### 2. ビーム成形素子設計と出力ビームの評価

本研究では焦点距離  $d$ [m] のフーリエ光学系を仮定しビーム径  $(1/e^2)\omega_0 = 1.5$ [mm] の入射ガウスビームを一辺 5[mm] の均一な正方形強度分布 (20 次変数分離型スーパーガウス関数形状) に変換するための素子の位相分布を IFTA を用いて設計した. ビーム径変化に対する許容性を調べるために, 素子使用時のビーム径  $\omega$  と設計値との比をビーム径誤差

$$E_\omega = \frac{\omega}{\omega_0} \quad [\%]$$

と定義した. また設計した DOE の位相分布  $\varphi_o(x, y)$  を表面レリーフとして製作する際に一様な誤差公差  $E_\varphi$  が生じると仮定し, 実際に製造された DOE の位相分布が

$$\varphi(x, y) = E_\varphi \varphi_o(x, y)$$

となると仮定した. これら 2 つの誤差に対する DOE 出力ビームの感度に影響する主な設計パラメータとして焦点距離  $d$ [m] と信号領域  $R_{sig}$  [%] がある.

$R_{sig}$  は設計目標となる出力強度分布を表す関数の定義域内に設けた領域であり, この領域外にノイズ成分が拡散する. 本研究では  $R_{sig}$  を  $x$  方向または  $y$  方向の関数領域に対する長さの比率として定義した.

設計した DOE の出力ビームを評価する方法として出力強度分布の均一性上限  $f_{max}$  と下限  $f_{min}$  を次のように定義する.

$$f_{max}(E_\omega, E_\varphi) = \frac{|I_{max} - I_{ave}|}{I_{ave}} \times 100 \quad [\%]$$

$$f_{min}(E_\omega, E_\varphi) = \frac{|I_{min} - I_{ave}|}{I_{ave}} \times 100 \quad [\%]$$

$I_{max}$  は信号関数のトップハット部の強度最大値であり,  $I_{min}$  は最小値,  $I_{ave}$  は平均値である. また, これらの平均値を  $f$  とした. この値が小さいほど均一性の良い出力強度分布であり, この値は誤差  $E_\omega$  と  $E_\varphi$  が増加するに従って急激に増加する.

### 3. ビーム径誤差と位相誤差に対する感度

Table 1 に示す共通パラメータと  $d=0.25$ [m],  $R_{sig}=100$ [%] で設計した DOE の出力分布の均一性  $f$  の特性を Fig1 に示す. 誤差  $E_\omega$  と  $E_\varphi$  が大きくなると均一性  $f$  が増加し, 出力ビームが劣化することがわかる. また特に位相誤差  $E_\varphi$  の影響が大きいことがわかる.

Table 1 Common parameters used for designing DOEs

Number of sampling	1024 × 1024
Sampling pitch	10[μm]
Wavelength	1.064[μm]YAG laser

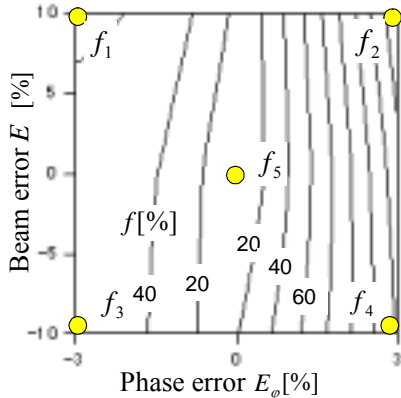


Fig 1 A map of uniformity  $f$  for the phase and the beam errors.

この様な誤差に対する DOE 出力分布の感度を評価するため, Fig1 上で  $N$  点で  $f$  をサンプリングし, その標本値,  $f_1 \dots f_N$  の平均値

$$f_{ave} = \sum_{n=1}^N \frac{f_n}{N} \quad [%]$$

を感度の表価値とした. なおここでは  $N = 5$  として Fig1 中に示した点の平均値で感度を評価した.

焦点距離  $d[m]$  と信号領域  $R_{sig} [%]$  を変化させ, それぞれ IFTA を 50 回反復して設計した DOE に対して感度  $f_{ave}$  を評価したグラフを Fig2 に示す.

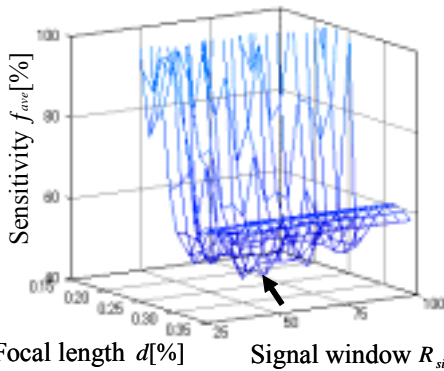


Fig 2 The sensitivity of DOE for focal lengths and signal windows.

Fig3 から焦点距離  $d=0.27[m]$ , 信号領域  $R_{sig} =65[%]$  のときに最も  $f_{ave}$  が低い値をとっており, 最適なパラメータと思われる. このパラメータを用いて IFTA で設計を行い, Fig1 と同様に, 誤差に対する DOE の出力分布の均一性を調べた結果を Fig3 に示す.

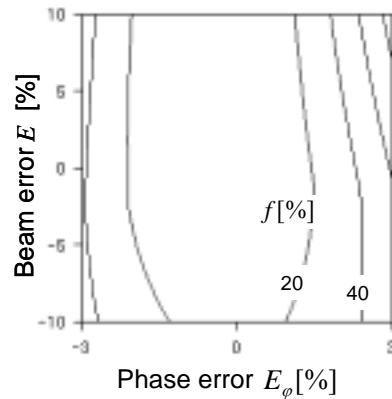


Fig 3 A map of uniformity  $f$  for the phase and the beam errors.

Fig1 と比較すると Fig3 では明らかに全体的に均一性が良くなり, DOE の誤差に対する許容性が増加していることがわかる. Fig4 にこの最適パラメータを用いて設計した DOE の出力強度分布のシミュレーション結果を示す. (a)は誤差がないときの出力強度分布, (b)は  $E_\phi = 0.5[%]$ ,  $E_\omega = 4.5[%]$  の出力強度分布を示している.

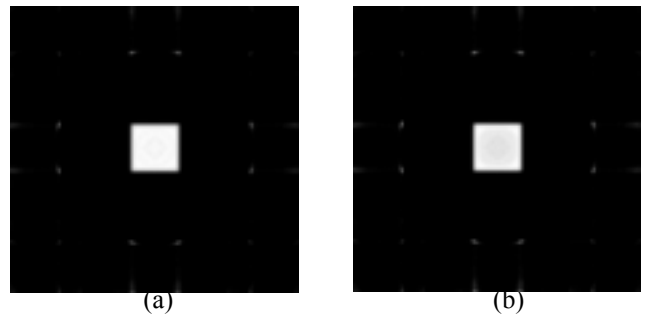


Fig 4 Output intensity in no error (a) and in errors of  $E_\phi = 0.5[%]$  and  $E_\omega = 4.5[%]$  (b).

Fig4 より誤差がある場合とない場合でほとんど差がないことがわかる. 以上のことから最適パラメータを見つけることで誤差に対する許容性が良くなることが確認できた.

### 3. まとめ

設計パラメータを変化させながら IFTA により DOE を設計し, その誤差に対する感度の評価値をグラフ化することによって最適な設計パラメータを求めることができた.

### 4. 参考文献

[1] F. Wyrowski: J. Opt. Soc. Am., A5, 1058 (1988).