

レンズの光学ひずみの波動光学解析
 - レーザ用光学部品の熱誘起光学ひずみ (第2報) -

大阪大学工学部 丸尾 大、○宮本 勇、宮平 正剛

Analysis of Optical Distortion in Lens by Physical Optics
 - Thermally Induced Optical Distortion of Optics for High Power Laser (2) -

by Hiroshi Maruo, Isamu Miyamoto and Seigo Miyahira

1. はじめに

本報告では大出力CO₂ビームをZnSeレンズで集光する場合の熱誘起光学ひずみ(焦点距離ならびに焦点近傍の強度分布の変化)を波動光学により解析する。この解析においては屈折率勾配は第1報で計算した温度分布から求めている。

2. 計算および実験方法

レンズ厚さが薄いので等位相面K'までの経路では回折を無視し、K'からの2次波をフレネル積分した。平面波ビームが平凸レンズに入射したとき(Fig.1)、半径rでの波面収差は

$$E(r) = AB + \left(n_0 + \frac{dn}{dT} \Delta T_r \right) \cdot BC + CD - \left(n_0 + \frac{dn}{dT} \Delta T_0 \right) \cdot OE \quad \dots\dots\dots (1)$$

で与えられる。ただし、 n_0 = 室温での屈折率(ZnSe:2.40)、 ΔT_r = 半径rでの温度上昇、 ΔT_0 = 光軸での温度上昇、 dn/dT = 屈折率の温度係数($67 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$)²⁾である。焦点前後の強度分布は次式で表される。

$$I(r, z) = 2\pi \left| \int_0^\infty \exp\{iZr^2 + ikE(r)\} \cdot J_0(Rr) r \cdot dr \right|^2 \quad \dots\dots\dots (2)$$

ただし、 f = レンズの焦点距離、 λ = 波長、 $Z = -\pi z/\lambda f^2$ 、 $R = 2\pi x/\lambda f$ (z は焦点からの距離:ビームの進行方向を正とする)、 J_0 = 第1種0次のベッセル関数である。なお上記光路長変化には熱膨張による厚さの変化も考慮に入れている。

焦点付近での強度分布は著者らが開発した3次元ビーム計測装置¹⁾により、迅速かつ正確な測定が可能で、 $\pm 0.2\text{mm}$ の精度で焦点位置を求めることができる。実験には定格出力2.5kW(TEM₀₀主成分で最大1.5kW)のCO₂レーザー発振装置と種々の表面状態のZnSeレンズ(平凸:焦点距離517f、外径217f)を使用した。

3. 結果と考察

焦点距離はビーム照射直後の約10秒で急激に短くなり、60~90秒で定常値に達する(Fig.2)。Fig.3にレンズが吸収したエネルギーEに対する焦点距離の短縮量 Δf (定常値)の関係を示す。計算値は測定値(プロット点)とよく一致し、入射ビームの分布とレンズの吸収割合がわかると波動光学解析により光学ひずみが正確に予測できることがわかった。また、Eが小さいときは Δf はほぼ直線的に増大するが、Eが大きくなると急上昇することがわかる。これはレンズの熱伝導率が温度上昇と共に小さくなるため、光軸付近の温度がより上昇して屈折率勾配が大きくなるためである。

Fig.4は光学ひずみがある場合とない場合の焦点付近の半径方向の強度分布を比較している。焦点面では周辺にリング状の分布を形成するため、集光性が低減することがわかる。これは温度勾配(屈折率勾配)によって生じるビームの屈折角の変化が $r=5\sim 8\text{mm}$ で特に大きくなり、収差を生じるためである。特に $z>0$ での分布の乱れならびにスポット変化が大きくなり、光軸上の強度も $z>0$ でより急激になる(Fig.5)。

[参考文献] 1) 丸尾, 宮本ら; 溶接学会全国大会講演概要集, 第44集(1989) 182-183

2) T.F.Deutch; Journal of Elect. Materials, Vol.4, No.4(1975) 663-719

溶接学会全国大会講演概要 第45集 ('89-9)

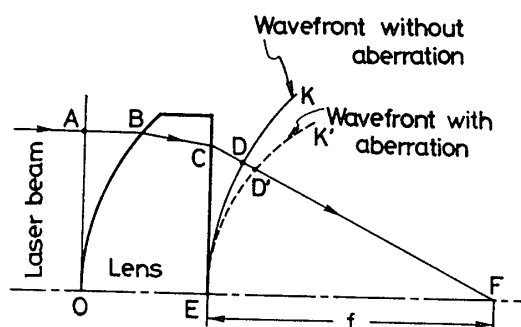


Fig.1 Beam pass and wavefront in lens with thermally induced optical distortion.

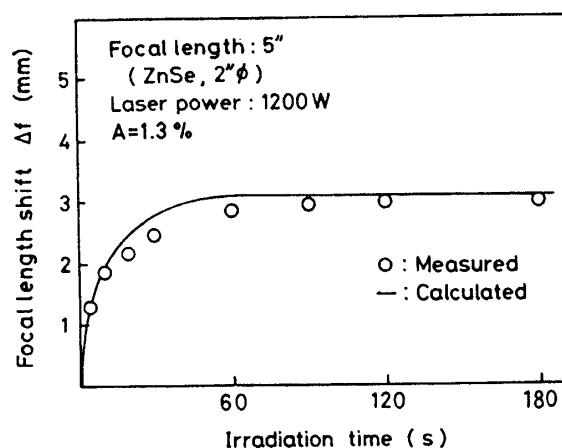


Fig.2 Effect of beam irradiation time on the shift of focal length Δf .

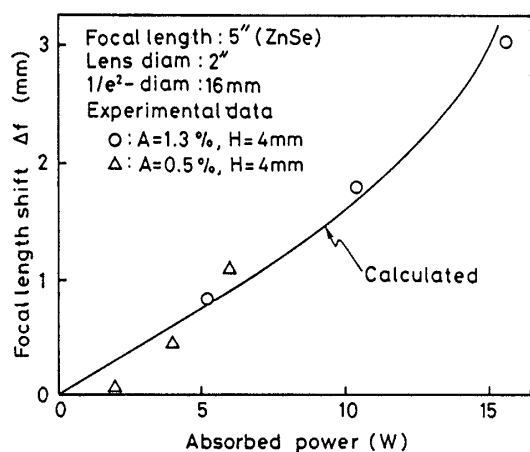


Fig.3 Absorbed laser power vs Δf .

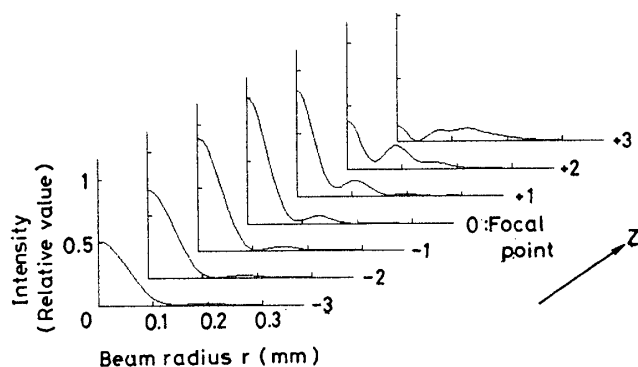
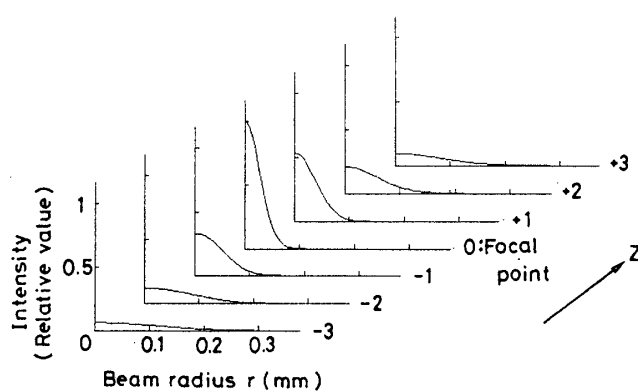


Fig.4 Comparison of radial intensity distributions. (a)no optical distortion, (b)with optical distortion.

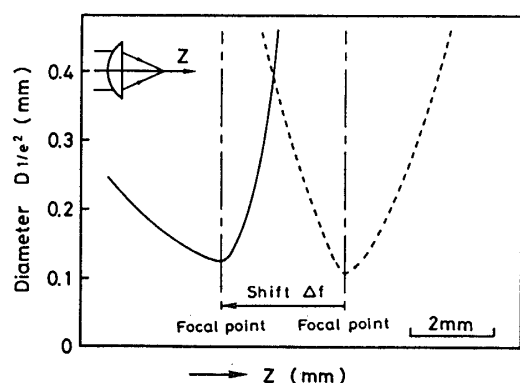


Fig.5 Axial intensity distribution.