

基準面と試料の非平行配置における低コヒーレンス デジタルホログラフィを用いた屈折率分布計測のための配置条件の考察 Consideration of Non-Parallel Configuration Condition for Measurement of Refractive Index Distribution Using Low-Coherence Digital Holography

和歌山大学院システム工¹, 和歌山大学システム工² ○ 渡辺 果歩¹, 野村 孝徳²

Wakayama Univ.^{1,2} ○ Kaho Watanabe¹ and Takanori Nomura²

E-mail: s132068@sys.wakayama-u.ac.jp

産業分野の製品検査などのために非接触・非破壊・無侵襲の屈折率分布計測手法が求められている。我々はこれまでに、基準となる面（基準面）と試料が非平行な配置という簡易な光学系においても、信号処理を用いて試料と基準面が再生される画素を一致させ、高速・高精度に計測可能な低コヒーレンスデジタルホログラフィを用いた手法を提案してきた¹⁾。本稿では提案手法が適応可能な配置条件を考察した結果について述べる。

干渉計の物体光側の光路に Fig. 1 に示すように試料と基準面を部分的に重ねて配置し、参照ミラーを走査させ、多数枚のホログラム（ホログラム群）を記録する。ここで、試料は部分的に平行平板であるとし、光軸方向に屈折率は一定であるとする。記録したホログラム群を数値再生させ、再生画像群を得る。光源に低コヒーレンス光を用いたとき、得られた再生画像群の特定の画素に着目すると、参照ミラーの走査距離に対する振幅は Fig. 2 のようになる。Fig. 2(a) は基準面と試料が重なって再生される画素であり、Fig. 2(b) は基準面のみが再生される画素である。ここで試料の物理的厚さを d 、屈折率を n 、試料表面と基準面の物理的距離を r 、空隙の厚さを a とする。振幅は Fig. 1 中に示す各反射面に対応する $l_I \sim l_{IV}$ の 4 種のピークをもつ。このピーク間距離より、 nd , a , r という 3 つのパラメータを測定し、 $d = r - a$, $n = nd/d$ という関係を用いて、試料の屈折率 n を計測する。試料全面について同様の計算をおこない、試料の 2 次元屈折率分布を計測する。

しかし、非平行な配置の場合は光波の屈折のために試料と基準面のなす角 θ_1 に限界があると考えられるため、その条件を考察する。入射・屈折した光線とデジタルホログラフィにより再生される画素位置を Fig. 3 に示す。ここで入射光は基準面に対して垂直であるとし、試料と撮像素子面は平行であるとする。 θ_1 は試料への入射角であり、 θ_2 は屈折角、 $\circ$ は再生される画素位置である。ただし、再生される画素位置は試料の屈折率の影響を受けて、面上にはない。Fig. 3 より試料と基準面の再生される画素位置が面内方向に一致する条件は $nd \tan \theta_1 - 2d \tan \theta_2 + (nd + a) \tan \theta_1 < \Delta x$ である。ここで Δx は再生面の画素サイズである。試料の表面

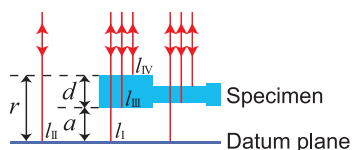


Fig. 1 Partially overlapped a specimen and a datum plane.

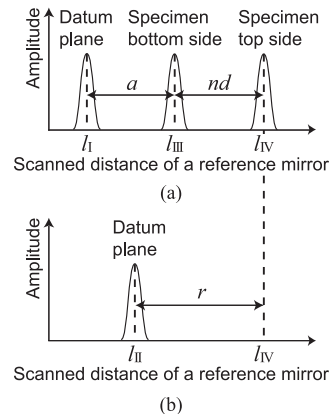


Fig. 2 Two types of pixels in a series of reconstructed images: (a) a pixel reconstructing a datum plane and a specimen; (b) a pixel reconstructing only a datum plane.

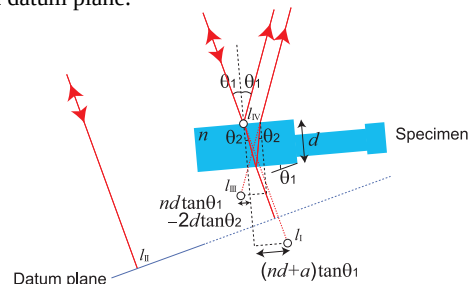


Fig. 3 The limit of the angle between a specimen and a datum plane.

におけるスネルの法則と微小角の三角関数の近似を用いると、試料と基準面のなす角 θ_1 は

$$\theta_1 < \frac{\Delta x}{2nd + a - \frac{2d}{n}} \quad (1)$$

と与えられる。この条件を満たすとき提案手法が適応可能である。

試料に仕様書屈折率 1.520 のスライドガラスを用いた原理確認実験をおこなった。試料と基準面のなす角を、(1) 式を満たす横方向と縦方向、それぞれ ($0.08 \times 10^{-1} \text{deg.}$, $0.16 \times 10^{-1} \text{deg.}$) に配置した。得られた屈折率分布の平均値、標準偏差はそれぞれ 1.540, 1.570×10^{-3} であった。仕様書と近い値の計測結果が得られ、提案手法は配置条件を満たすとき、試料の 2 次元屈折率分布を計測可能であるということがわかった。

文献

- 1) K. Watanabe and T. Nomura, International Workshop on Holography and Related Technologies 2012, IWH 2012 Digests, pp. 81–82 (2012).