

二波長光干渉式高速高精度 三次元形状測定法

金沢大学 上田覚児, 安達正明,
稲部勝幸
立山マシン株式会社 五十島一興

1. 研究目的

白色干渉を応用した干渉測定では, 物体と参照鏡が作る干渉像の「位相とコントラスト情報」から形状を高精度に計算する. 一般に取込む画像毎の位相シフト量を $\pi/2$ とすることが多いが, この場合, 大きな凹凸のある形状測定には時間がかかる. この点に着目し, 本研究では位相シフト量を $2n\pi \pm \pi/2$ (n は自然数で, この実験では 3) とし, シフトスピード (走査スピード) を速くする. また, 光源として波長の異なる LED を交互に点灯させ, 干渉像を一般的な CCD カメラで取込み, 形状測定をする方法を研究している.

2. 実験装置と測定原理

実験装置の構成図を図 1 に示す. 交互に点灯する LED 光を中心波長 λ_1, λ_2 の干渉フィルタに通し, これを測定物体に投射する. 測定物体で反射した光は参照鏡で反射した光と干渉し, リレーレンズ等を通して CCD カメラ上で結像する.

PZT を一定速度でゆっくりと動かしながら光強度を取込むと, ある点における干渉光強度は正弦波的に変化する. ここで, λ_1, λ_2 での位相シフト量がほぼ $2n\pi + \pi/2, 2n\pi - \pi/2$ となるように取込み間隔 S を設定する. λ_1, λ_2 の干渉画像は図 2 に示すようなタイミングで取込む. 図 2 の立ち上がり時に取込みを開始する. ここで, 各波長の画像取込み番号 i の時の光強度を I_i とし, 位相シフト量を α とする. 取込まれた画像から以下の式で各波長の i での位相 ϕ_i と振幅 A_i を計算する.

$$\phi_1^i = \arg [2 \sin(\alpha^1) (I_{i+1}^1 - I_{i-1}^1) i + (2I_i^1 - I_{i+2}^1 - I_{i-2}^1)] \quad (1)$$

$$\phi_2^i = \arg [2 \sin(\alpha^2) (I_{i+1}^2 - I_{i-1}^2) i + (2I_i^2 - I_{i+2}^2 - I_{i-2}^2)] - (2n\pi - \pi/2)/2 \quad (2)$$

$$A_i^i = \sqrt{[2 \sin(\alpha^1) (I_{i+1}^1 - I_{i-1}^1)]^2 + (2I_i^1 - I_{i+2}^1 - I_{i-2}^1)^2} \quad (3)$$

カメラの各画素で, i の光強度変化から振幅 A_i^i が最も大きくなる画像取込み番号 $i=k$ を探し出し k を中心に画像取込み番号が $k \pm 1, k \pm 2$ の画像を用いて各波長での位相 ϕ_k を測定する. この各波長の位相の差 ($\phi_k = \phi_k^1 - \phi_k^2$) は k 取込み時の光路差に比例するので, i と j の実効波長 (λ_{eff}) と位相差 ϕ_k から画像番号 k の取込み時の光路差を ($\lambda_{eff} \times \phi_k/2$) で計算できる. しかし, これは抽出位相 ϕ_k の S/N の影響を強く受ける. そこで, 波長 λ_2 と位相 ϕ_2 も考慮して以下の式で精度が高くなる光路差 $NewOPD$ を計算する.

$$NewOPD = \text{int} \left\{ \left[\lambda_1 (\Delta\phi_k/2\pi) - \lambda_2 (\phi_2/2\pi) \right] / \lambda_2 + \lambda_2 (\phi_2/2\pi) \right\} \quad (4)$$

ここで, int は四捨五入による整数値抽出を指す. また, 右辺第一項は編次数の決定に使用する. 各画素における k と $NewOPD$, そしてテーブルの移動速度から形状を計算する.

3. 測定結果と結論

実験は z 軸ステップ量 $S/2=0.8\mu\text{m}$, $\lambda_1=492.5\text{nm}$, $\lambda_2=581.8\text{nm}$ として平面鏡, 曲面, VLSI 社製の標準器の測定結果をそれぞれ図 3, 図 4, 図 5 に示す. 図 3 の平面鏡測定では, ほぼ前面に渡り滑らかに連続する結果を得ることが出来た. 図 4 の曲面の測定では, 表面の傷により正しく形状を求めることが出来ない領域が存在するが, 大部分の領域においてほぼ正しい結果を得ることが出来た. 図 5 は高さ $84.9 \pm 1.1\text{nm}$ の標準器ステップを測定した結果である. 実験から得られたステップ量は高さで 87nm となり, ほぼ正しい結果が得られた.

よって, ここで述べた測定方法において測定物体の形状を正しく測定することが出来る事が分かる.

参考文献

- 1) 上田, 安達, 稲部: 2 色干渉式高速高精度 3 次元形状測定法の開発, 2002 年度 精密工学会秋季大会公演論文集, 562P

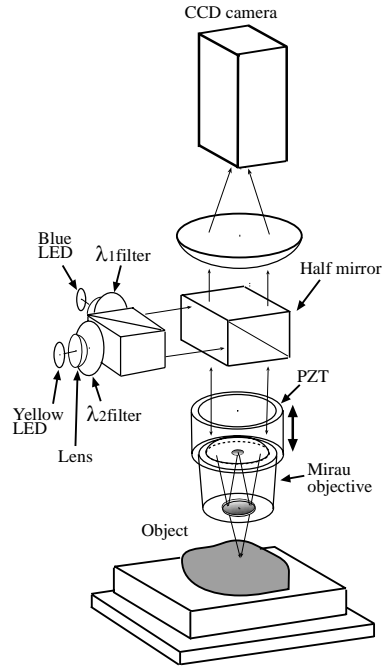


図 1. 実験装置の構成

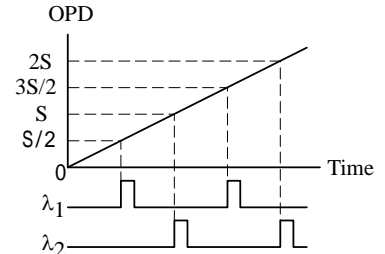


図 2. OPD と干渉像取込みタイミング

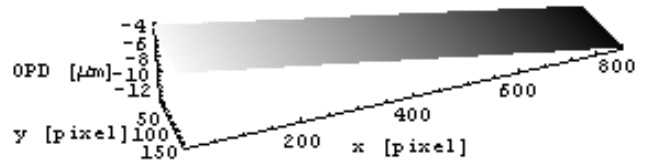


図 3. 平面鏡測定結果

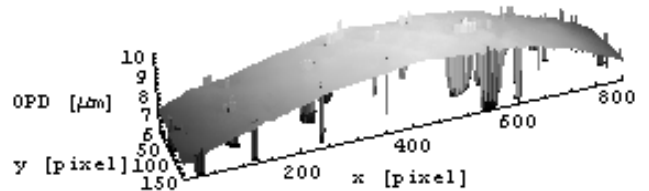


図 4. 曲面測定結果

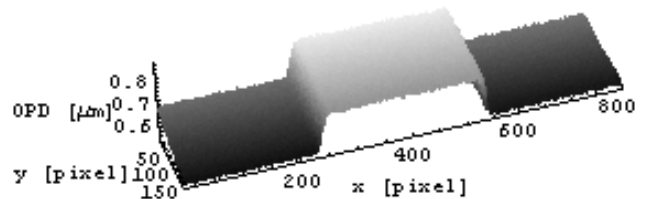


図 5. 標準器のステップ測定結果