

## 激しい空気擾乱にも影響されない波長変更干渉計による3次元形状計測法（第2報）

著者	安達 正明
雑誌名	精密工学会学術講演会講演論文集 = JSPE Conference
巻	2015A
号	2015 JSPE Autumn Conference
ページ	M66
発行年	2015-01-01
URL	<a href="http://hdl.handle.net/2297/45472">http://hdl.handle.net/2297/45472</a>

# 激しい空気擾乱にも影響されない波長変更干渉計による

## 3次元形状計測法(第2報)

金沢大学 理工研究域 安達正明

3D-shape measurement technique using wavelength-changed many speckle interferograms, which is not affected by hard hot-air blowing (The second report)

Kanazawa University, Institute of Science and Engineering, Masaaki ADACHI

We are studying a 3D-shape measurement technique using wavelength-changed many speckle interferograms captured under hard air disturbance. In our technique, phase-shifts are extracted using twice normalizations of interference-light intensity changes, and a Least-squares algorithm has been used to extract phase distribution in each wavelength. But hard hot-air blowing makes phase shifts due to air disturbance different between local parts in a measured area. Then, the measurement area is divided to many local parts in virtual. The phase-shifts are extracted at each part and are used to calculate phase distribution. Finally, height distributions in all the parts are calculated from phase distributions at 7 different light wavelengths, and are stitched to obtain a whole 3D-shape.

**Keyword:** 3D shape, speckle, phase extraction, wavelength change

### I. 研究目的

カメラ方向から光を出す3次元形状計測法として波長可変レーザを用いる手法を取り上げ<sup>1)</sup>, 工場環境下で用いる場合を想定し, 激しい空気擾乱下でも使える手法へ改良している.

基礎にするのは, ランダムな位相シフト下で取り込む多数枚のスペックルグラムから画面内の位相分布を最小二乗法<sup>2)</sup>で抽出する方法である. 空気擾乱が激しくなると測定面内の局所間で位相シフト量が異なり, 全体を同一のシフト量と見なせない. そのような擾乱下でも形状を精度良く計算する方法の開発を目的とした.

### II. 3次元形状計測の原理

波長変更を用いた反射面までの距離計測では, 線形的波長走査時の光強度変化周波数を抽出する方法<sup>3)</sup>や, その正の周波数スペクトル成分のみの逆フーリエ変換で得られる位相をアンラップする方法<sup>4)</sup>などが知られる. しかし, 空気擾乱があると, 光強度は擾乱にあまりに敏感なので, それらは使えない.

我々は図1に示す光学系を用いて, 一般的な空気擾乱を想定してPZTミラーで光路差をランダム変調し, 干渉位相が画像取込毎に $2\pi$ 以上変動する状況下で干渉画像を多数枚取込んだ. そして画像内の位相の異なる2画素での光強度変化に関して2回規格化<sup>5)</sup>を用いて, 取り込み順のランダム位相シフト量を抽出し(ランダム位相シフト変化を図2(a)に示す), この位相シフト量変化と光強度変化から, 最小二乗法<sup>2)</sup>で最初の1枚目の干渉像に対し画素毎の位相を求めた.

レーザ波長を778.19, 778.21, 778.25, 778.36, 778.61, 779.14, 780.28nmと7段階変えながら各波長で画像を50枚ずつ取込み, 位相シフト変化から位相を計算して, その後6種の等価波長別の位相差マップ(図3)を得る. 最も長い等価波長の位相差マップを用いて次に長い等価波長の位相差マップをアンラップし, より短い等価波長へとアンラップを繰り返して形状計算する. この方法で百円硬貨と5mm高さの三角柱に関して図2(b)に示すような3次元形状をこれまで計算できた.

### III. 激しい空気擾乱下での形状計測の実験

しかし, 工場等の作業環境下では各種の振動に加えて非常に激しい空気擾乱も存在する. ここでは極めて激しい空気擾乱を想定し, 干渉計近くにホットドライヤーを持ち込み測定対象から30cm離れた位置から高温空気を500円硬貨面上に吹きながら, 3次元形状計測を試みた. 試みる中で, シャッター時間は短い方が良く0.031ms, 光量が落ちるので1眼レフレレンズの絞りは3.5, 画像は12bitで512×512画素, 7種の波長毎に36枚の計252枚を10枚/秒で取り込むことになった.

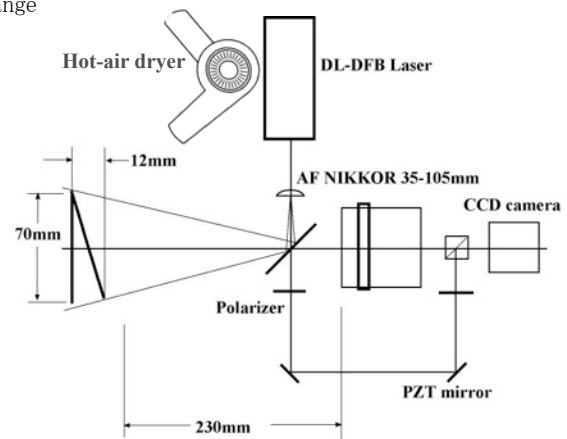


図1 実験に用いたスペックル干渉計. 対物レンズは1眼レフ用ズームカメラレンズ, Laserは778~780nmで波長可変, 測定対象はアルミ粗面板や硬貨. 干渉像取得中の空気擾乱を摸す不規則振動は乱数をPZTミラーにアナログ出力したり, 高温ドライヤー風を吹き付けて発生させた

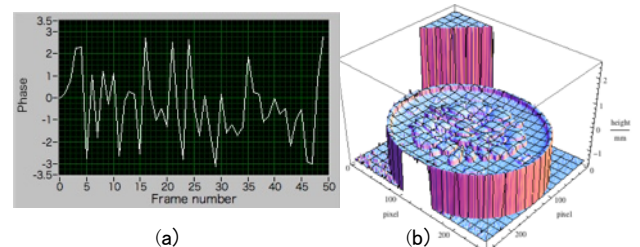


図2(a)ランダム位相シフト量の抽出結果. 高さの異なる光強度変動を持つ2点の画素を選び, それらの光強度の最大値&最小値探索と2回規格化を用いて1枚目に対する位相シフト量を抽出した結果. (b)7種の波長で位相分布を抽出し, 波長変更に伴う位相差変化から高さを計算した百円硬貨と5mmの三角柱の同時測定結果

### IV. 測定結果

空気擾乱のない(位相シフトが視野内で一定となる)状態で波長を変えながら傾斜面に関する干渉画像を取込み, 6種の等価波長別の位相差マップを計算(5x5画素で平均)すると図3のようになるが, ホットドライヤー(800W)をONにして500円硬貨に対して干渉像を取込み, 位相差マップを計算した結果は図4となった. 激しい擾乱のために位相シフト量が場所によって違い, これを無視して位相差を計算しても結果は出るのが正しくないと思われた. しかし局所的には図3の一部に近い領域も見られる. そこで計算範囲を小さく分割し各内部では場所変動のないシフト量になるようにすると, 位相シフト変化が正しく抽出できようと考えた. 測定面を45×45画素の局所域に分けその中では位相シフト量は場所によらず一定として, 各波長で取込む1枚目の位相を計算し, そ

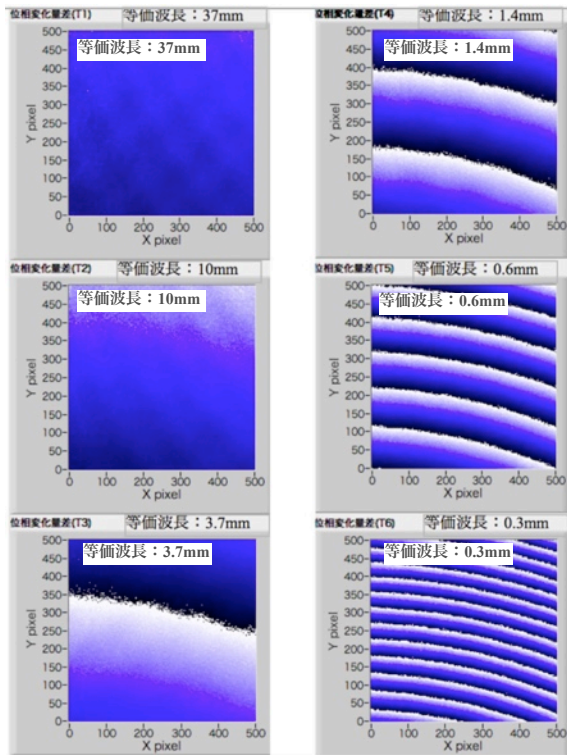


図3 傾斜したアルミ粗面を3次元測定する時の等価波長別の位相差マップ. 外部からの擾乱として最大振幅 $5\mu\text{m}$ のPZT振動で光路差を変化させた. 視野は $20\text{mm} \times 20\text{mm}$ で等価波長を各図面内に示す

れから3次元形状を計算してみた. その処理での中間結果を図5に示す. 局所域内では正しく位相抽出ができていない. しかし, 新たな問題は局所間での位相シフト量の符号の不一致であった. 位相シフトの符号は2回規格化で使われる2画素の高さの差の正負に依存する. 擾乱下では, ピエゾを瞬間的に伸ばしてもピエゾによる光強度変化が擾乱でかき消され, 高さの方向は判別しにくい. 故に局所域間で高さの符号が異なってしまう. 図5から得られる形状をつなぎ合わせるために, 隣り合う局所域間で位相シフト変化の符号を人工的に一致させた. 位相シフトは空気擾乱が発生するため隣り合う領域での位相シフト変化は似ているとし符号を統一したのである. このようにしてつなぎ合わせ結合した3次元形状計算結果を図6に示す. しかし, 一部に正しく接続できない箇所もある.

## V. 結論

激しい空気擾乱下でのカメラ方向からの3次元形状計測法に関して実験を行った. 空気擾乱としてドライヤーを持ち込み測定対象から $30\text{cm}$ 離して測定面に高温風を吹き付け, この状態で得られる干渉像をこれまでに開発してきた方法を改良して適用し, 各局所域で形状計算した. その後この局所形状を横方向につなぎ合わせ全体的な3次元形状を計算して, 擾乱の影響の除去を試みた.

## 参考文献

- 1) 安達, 佐々木, 振動環境下での波長走査を用いた電子基板の3次元形状測定法, 2014年度精密工学会春季大会講演論文集111(2014)
- 2) G.Lai, T.Yatagai, Generalized phase-shifting interferometry, J.Opt.Soc.Am.A, 8, 822 (1991).
- 3) S.Kuwamura, I.Yamaguchi, Wavelength scanning profilometry for real-time surface shape measurement, Appl.Opt., 36,4473 (1997)
- 4) M.Takeda,H.Yamamoto,Fourier-transform speckle profilometry: three-dimensional shape measurement of diffuse objects with large height steps and /or spatially isolated surfaces, Appl.Opt.,33,7829 (1994)
- 5) M.Adachi, S.Sunada, Phase-shift extraction from twice-normalized light intensity changes recorded with random phase shifts, Optical Review, 21,522(2014)

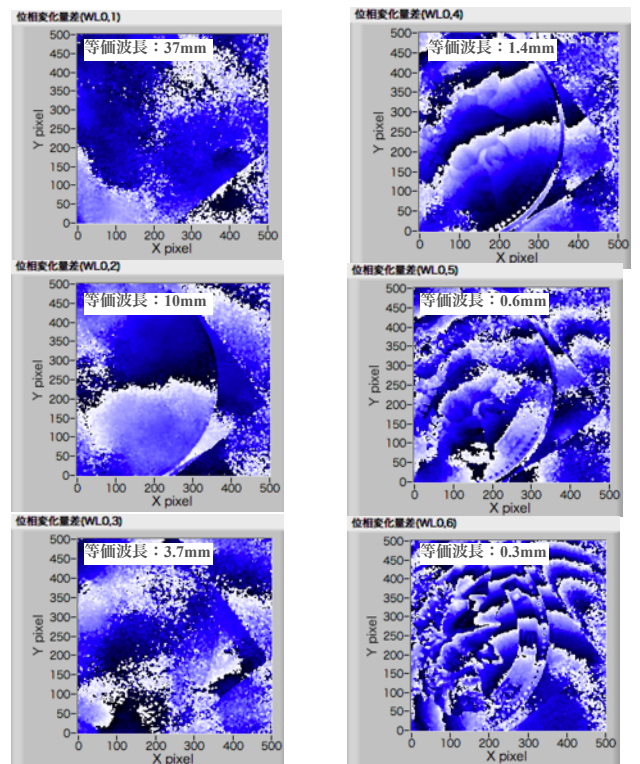


図4 ホットドライヤーを持ち込み, 極めて激しい空気擾乱を発生させて, 撮影した500円玉の等価波長別の位相差マップ. 視野は $20\text{mm} \times 20\text{mm}$ で等価波長を各図面内に示す. 正しく抽出できていない

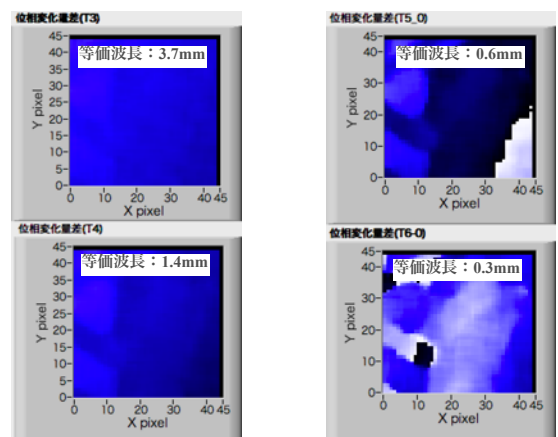


図5  $45 \times 45$ 画素のある局所域で計算した等価波長別の位相差マップ. 正しく計算できるが位相差の符号は局所間でバラバラとなる

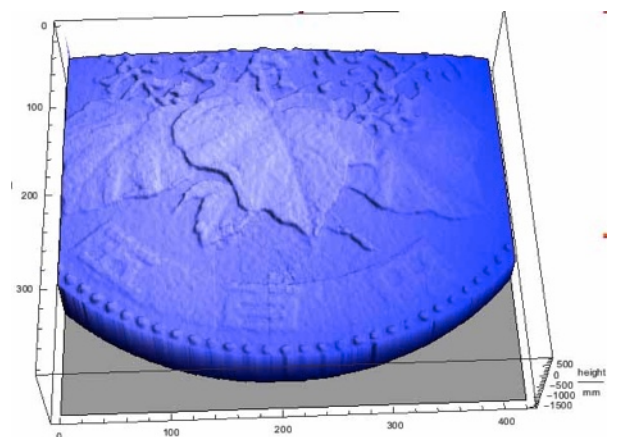


図6 全体が $500 \times 500$ 画素のデータを $45 \times 45$ 画素の局所域に分けてデータを処理し高さの符号を隣同士の局所域間で合わせて得た3次元形状を100個つなぎ合わせた全体の結果.表示は $20\text{mm} \times 15\text{mm}$ . 局所域内での形状は激しい空気擾乱による位相ずれの影響を受け, 小さく凸凹している