

# 波長シフト干渉計を用いる高温粗面物体の3次元形状計測

著者	安達 正明
著者別表示	Adachi Masaaki
雑誌名	精密工学会学術講演会講演論文集
巻	2016 Autumn
号	B13
ページ	31-32
発行年	2016
URL	<a href="http://doi.org/10.24517/00049984">http://doi.org/10.24517/00049984</a>

doi: 10.11522/pscjspe.2016A.0\_31



# 波長シフト干渉計を用いる高温粗面物体の3次元形状計測

金沢大学 理工研究域 安達正明

3D-shape measurement technique for a high-temperature rough surface  
using wavelength-shifted speckle interferograms

Kanazawa University, Institute of Science and Engineering, Masaaki ADACHI

We have studied a 3D-shape measurement technique using wavelength-shifted many speckle interferograms captured under air disturbance. In our technique, phase-shifts are extracted using twice normalizations of interference-light intensity changes, and the least-squares algorithm has been used to extract phase distribution of interferogram. This time we try to measure a 3D shape of rough surface of high temperature under blowing air. The temperature under blowing is set 25, 40, 77, 120, 210, 250, 290°C, respectively. High temperature courses phase shifts 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 3D-shape of whole area.

**Keyword:** 3D shape, speckle, phase extraction, wavelength shift, high temperature, rough surface

## 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>, 色んな測定環境下を想定し<sup>2,3)</sup>, 高温物体表面にも使える手法へ改良を試みている。

基礎にするのは、ランダムな位相シフト量で取り込む多数枚のスペックルグラムから画素毎の位相を最小二乗法<sup>4)</sup>で抽出する方法である。高温になると物体表面の熱により空気の密度変動が激しくなり、光の経路も大きく乱されるので、外部から室温空気を吹き付けながら形状計測をしている。この場合、測定面内の局所間で位相シフト量がかかり異なる。この条件下で3次元形状を精度良く計測する方法の開発を目的とした。

## II. 3次元形状計測の基礎原理

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干渉光強度変化の周波数を使う方法<sup>5)</sup>や、その周波数スペクトルの正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>6)</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>7)</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(位相シフト量変化を図2(a)に示す)、この位相シフト量変化と光強度変化から、最小二乗法で干渉像の位相を求める。

レーザー波長を778.19, 778.21, 778.25, 778.36, 778.61, 779.14, 780.28nmと変えながら各波長で画像を50枚取込み、位相シフト量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を得る。最も長い等価波長での位相マップを用いて次に長い等価波長の位相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す。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次元形状を計算できる。

## III. 高温粗面物体の形状計測の実験

しかし工場等の作業環境下では高い表面温度の部品も存在する。ここでは高温の粗面を想定し、干渉計近くに800Wの大型ハンダごてを持ち込み測定面から斜め上方15cmの位置からドライヤーで室温空気をハンダごて表面上に吹きながら、入力電圧により表面温度を変えて3次元形状計測を試みた。シャッター時間は0.138ms, 光量が減るので1眼レフレレンズの絞りは3.5, 画像は12bitで100×400画素, 7種の波長毎に50枚の計350枚を10枚/秒で取り込んだ。

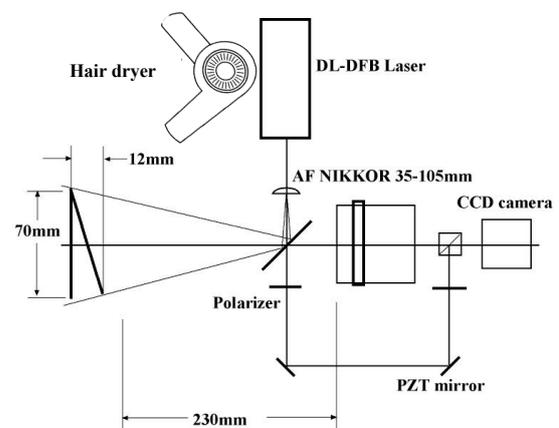


図1 実験に用いたスペックル干渉計。対物レンズは1眼レフ用ズームカメラレンズ, Laserは778~780nmで波長可変, 測定対象はアルミ粗面板や硬貨。干渉像取得中の空気擾乱は、それを摸す不規則信号をPZTミラーにアナログ出力したり、室温ドライヤー風を吹き付けて発生させた

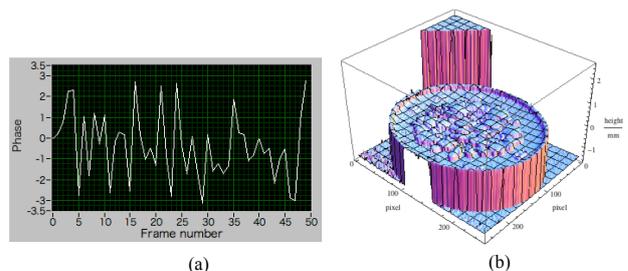


図2 (a)ランダム位相シフト量の抽出結果:高さの異なる2点の画素を選び、それらの光強度変動の最大値&最小値探索と2回規格化を用いて位相シフト量を抽出した。(b)7種の波長で位相分布を抽出し、波長変更に伴う位相差変化から高さを計算した百円硬貨と高さ5mmの三角柱の同時測定結果

## IV. 測定結果

温度計測のための熱電対シートをこて裏側に接して挟みこむためにコの字に折り曲げた1mm厚のアルミ板を一部含む白枠の測定箇所(15mm×4mm)の写真を図3に示す。温度設定を室温, 40度, 77度, 120度, 210度, 250度, 290度とした。室温では風を吹かない状態を含めたが、それ以外は吹いている。室温で測定した断面形状(5×5画素での平均処理後)の結果を図4に示す。アルミ面は滑らかだが、ハンダごて表面はかなり凹凸が激しい事が分

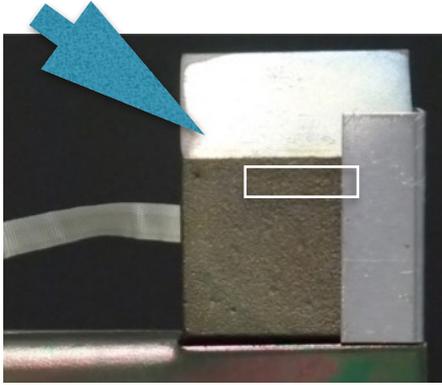


図3 測定対象とした大型ハンダこて表面。温度は裏側に熱電対を貼り付け、アルミ板をまげてこてに挟み込んだ。表側に回り込んだアルミ板の一部を含む白の枠で囲った部分が今回の測定部位で横15mm、縦4mmのサイズ。室温空気はドライヤーの冷風を左上から測定面に対し入射角度30度くらいで当てている。その方向を大きな矢印で示す。

かる。赤と白は位置がy画素で異なる水平方向の断面形状である。

室温以外の温度においては正しい位相シフト量を得るために測定面を横方向に20分割、縦方向に5分割して各分割域で計算した形状をステッチングで元の全体サイズに戻した。こて表面の凹凸形状を明暗差400 $\mu\text{m}$ スケールの明暗マップで表示した(図5)。温度が高くなっても計算した形状は低温の形状と高い相関を示している。ここで注意すべきなのは高温になるに従い、計算した凹凸形状が右斜め下にずれ始めたことである。特徴的な飛び出し形状を赤丸で囲んだ。210度くらいまでは室温測定時とあまり変わらないが、250度、290度になると10画素近くずれている。これはこて表面で暖められた吹き出し空気が左上から右下方への移動を受けて、定常的な空気流の密度分布異常が測定面付近で作られたためだろうと考えた。高温でない場合は、空気が吹かれていても大きな移動が発生しなかった。総ての温度の計測形状に対して、室温非分割で求めた形状に対する相関形状を計算し、相関値が最大ピークを与える位置を含む断面での相関形状を計算した結果を図6に示す。殆ど同じような形状を示し、この結果は300度くらいまでの温度であれば、3次元形状が正しく計測できることを示している。

## V. 考察と結論

図4, 5, 6の結果を見ると、空気擾乱影響を補正するために測定範囲を細かく分割しその内部では場所変動の少ない位相シフト量にすることで、高温においても粗面の3次元形状を数十 $\mu\text{m}$ の精度で測定できたと考える。ただし、流れを一定方向にした定常空気流下で測定する必要があり、この場合、測定形状が風下方向にずれる状態が観察される。

### 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) 安達, 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, 2015年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集5(2015)
- 3) 安達, 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), 2015年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集773(2015)
- 4) G.Lai, T.Yatagai, Generalized phase-shifting interferometry, J.Opt.Soc.Am.A, 8, 822 (1991).
- 5) S.Kuwamura, I.Yamaguchi, Wavelength scanning profilometry for real-time surface shape measurement, Appl.Opt., 36,4473 (1997)
- 6) 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)
- 7) M.Adachi, S.Sunada, Phase-shift extraction from twice-normalized light intensity

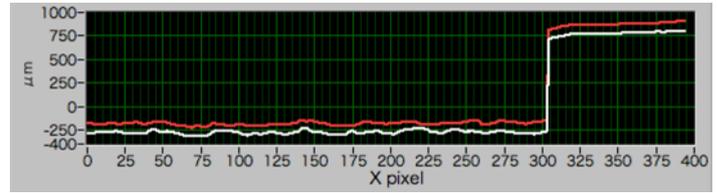


図4 図3の測定域内の水平方向の断面形状(5×5画素での高さ平均処理後)。赤と白はy画素で異なる位置。アルミ面は滑らかだがハンダこて面は凹凸が100 $\mu\text{m}$ 程度あるのが分かる。

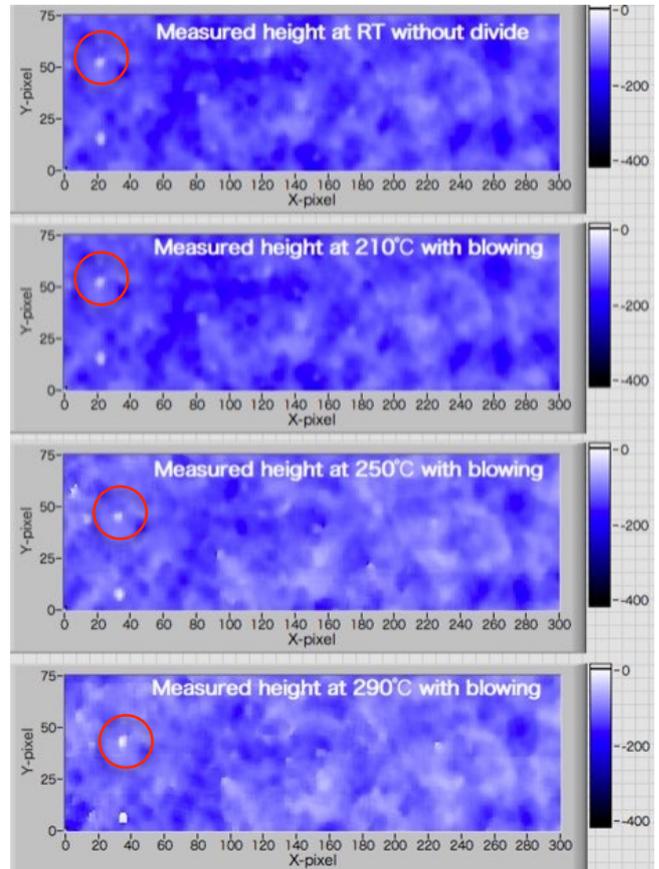


図5 室温空気吹きつけ下で表面温度を変えて形状測定した結果。上から粗面の温度は室温, 210度, 250度, 290度。表面凹凸は明暗差400 $\mu\text{m}$ のスケールの明暗マップで表示。測定範囲は図3の白枠でハンダこての表面部分

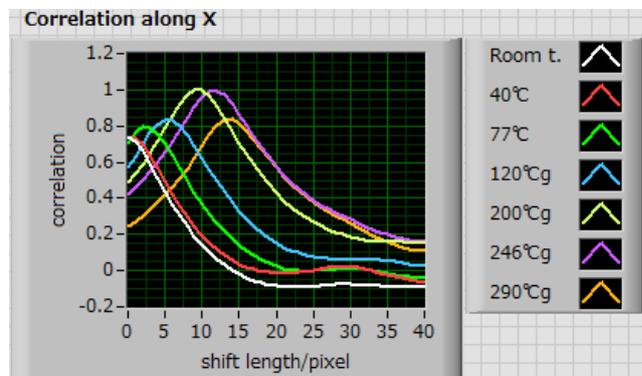


図6 図5のように計算できる3次元形状に関して、室温で分割しないで計算した3次元形状と、各温度の5×20に分割しその後ステッチングして得た3次元形状との相関計算の結果。

changes recorded with random phase shifts, Optical Review, 21,522(2014)