

# 波長シフト干渉計を用いる昇温粗面物体の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 = JSPE Conference
巻	2017 JSPE Spring Conference 2017年度精密工学会春季大会
号	G36
ページ	503-504
発行年	2017-03
URL	<a href="http://doi.org/10.24517/00052979">http://doi.org/10.24517/00052979</a>

doi: 10.11522/pscjspe.2017S.0\_503



# 波長シフト干渉計を用いる昇温粗面物体の3次元形状計測

金沢大学 理工研究域 安達正明

3D-shape measurement technique of a rough surface in temperature rising  
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 extracted phase distribution of interferogram. In this report we try to measure a 3D shape of electrical soldering iron in temperature rising. After the iron is AC powered, 3D shapes of soldering area including an attached aluminium plate are measured. The temperature at specklegram capturings is ranged from 25 to 380°C. Temperature rising and convective flow by high temperature course 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 wavelengths, and are stitched to obtain a 3D-shape of whole area.

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

## I. 研究目的

カメラ方向から照明光を出す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と改良している。

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。高温になると物体面の熱により空気の流れが激しくなり, 光の経路長も大きく乱される。これまで高温物体に外部から室温空気を吹き付ける形状計測法を試して来た。本研究では空気を吹き付けずそのまま干渉像を撮影し, 像を空間的に分割して高さ計算した後でステッチングした場合にどうなるかについて調べ, 温度変動や高温下での3次元形状計測の有効性を探った。

## II. 3次元形状計測の基礎原理

図1に示す光学系を用いて, PZTミラーで光路差をランダム変動して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む。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(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それに伴う光強度変化から, 最小二乗法で干渉像の位相を求める。

レーザ波長を778.2~780.3nmへと複数種変えて, 各波長で取り込む複数枚の干渉像から位相を計算して, その後に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<sup>6)</sup>。

## III. 昇温下での形状計測の実験

しかし工場等では温度変動下や高い温度の加工品も存在する。ここでは温度変動中の粗面を想定し干渉計近くに100Vで800Wの大型ハンダごてを持ち込み, 交流50Vを印可して昇温する途中で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眼レフレンズの絞りは3.5, 画像は12bitで200×400画素, 7種の波長毎に40枚の計280枚を10枚/秒で取り込みながら, 温度上昇中の形状を連続計測してみた。

## IV. 測定結果

温度計測のための熱電対シートを裏側に挟みこむためにコの字に折り曲げた1mm厚のアルミ板と本体側面の一部, そして側面

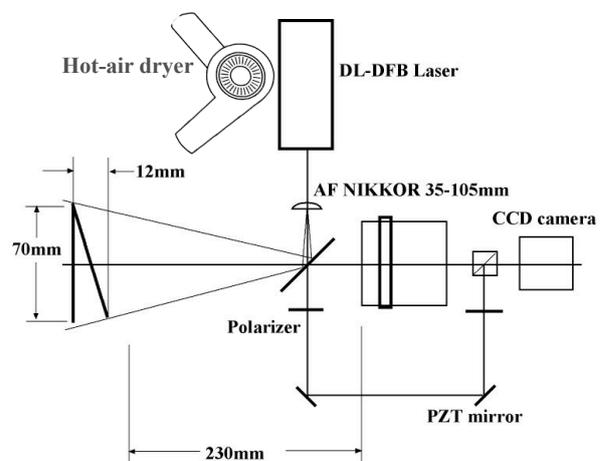


図1 実験に用いたスペックル干渉計。対物レンズは1眼レフ用ズームカメラレンズ, Laserは778~780nmで波長可変, 測定対象はアルミ粗面板や硬貨。干渉像取得中の空気擾乱は, これまでそれを摸す不規則信号をPZTミラーにアナログ出力したり, 室温ドライヤー風を吹き付けて発生させた

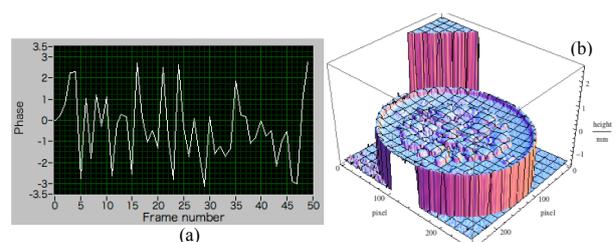


図2 (a)ランダム位相シフト量の抽出結果: 高さの異なる2点の画素を選び, それらの光強度変動の最大値&最小値探索と2回規格化を用いて位相シフト量を抽出した。(b)7種の波長で位相分布を抽出し, 波長変更に伴う位相差変化から高さを計算した百円硬貨と高さ5mmの三角柱の同時測定結果

部からハンダごて先端部に繋がる傾斜部も含む白枠の測定箇所(10mm×5mm)の写真を図3に示す。

形状測定では半導体レーザの温度を7種変え画像撮影を繰り返すが, すぐに波長が変わらないので, 1回の形状測定に1分ほどかかる。そこで, 最初の画像取得開始時の温度を熱電対で計測して, 計測時の温度とした。温度は室温(RT), 56度, 87度, 117度, 146度, 173度, 198度, 220度, 241度, 259度, 278度, 289度, 300度, 310度, 325度, 352度, 380度となった。室温で取得した干渉像から分割無しで計算した3D形状(5×5画素での平均処

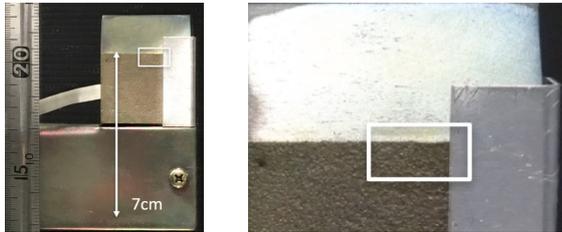


図3 測定対象とした大型ハンダごて表面。温度は裏側に熱電対を貼り付け、アルミ板をまげてこてに挟み込んだ。表側に回り込んだアルミ板の一部を含む白の枠で囲った部分が今回の測定部位で横10mm,縦5mmのサイズ

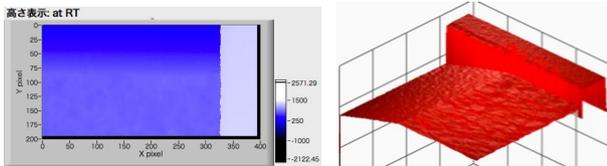


図4 室温で測定した図3の右の白枠部位の3次元形状。左は高さを明るさで示した。右は鳥瞰図で示した

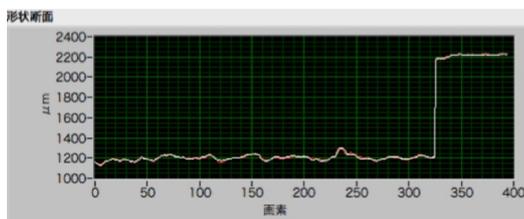


図5 図4左側の図の横方向の断面形状。右にアルミ板の厚み1mmによる段差が確認できる。左は側面部の凹凸でアルミ面より粗い

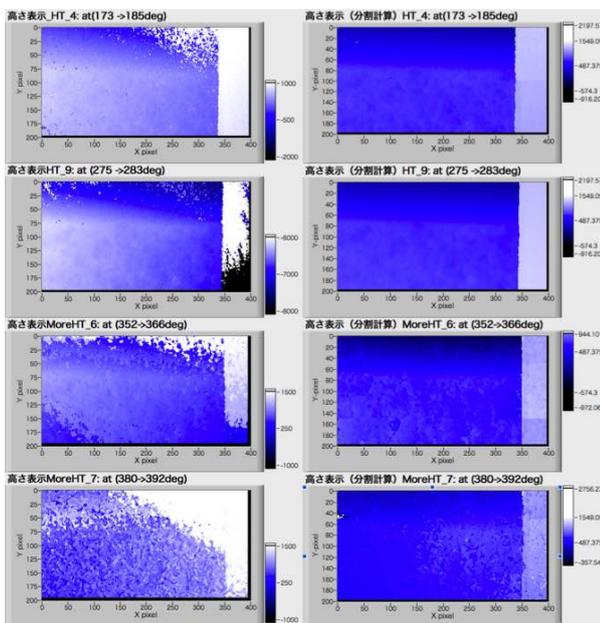


図6 干渉像の撮影開始が温度173, 275, 352, 380度での干渉像から計算した3次元形状。明るさは高さを示す。各温度での撮影中に温度が10度くらい変わっている。左側は測定域の分割をしないで計算した場合。右は分割して形状計算後それらをステッチングしてくっつけて得た形状。図の枠右上に測定温度を示す

理後)の結果を図4に示す。図5の断面形状からアルミ面は滑らかだが、ハンダごて側面部はかなり凹凸の激しい事が分かる。

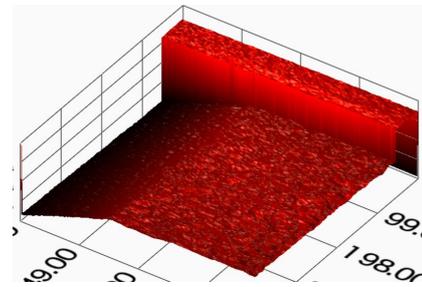


図7 275度で干渉像を撮影し分割後に形状計算してステッチングした結果。分割では縦5mm,横10mmを4と8に分割している

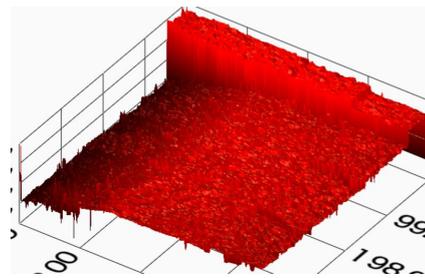


図8 352度で干渉像を撮影し、分割後に形状測定し、ステッチングした結果。275度の測定結果と比較すると大きな誤差を含むが相関は高い

室温以外の温度においては場所により空気の動きが異なり正しい位相シフト量を得るために分割が必要となった。測定域を横方向に10分割、縦方向に5分割して50個の各分割域で計算した高さ形状を最後にステッチングして元の全体サイズに戻した。図6は代表的な温度での計測結果であり、左は分割しなかったとき、右は分割して得た形状である。図7と図8にて275度、352度で分割計算して得た形状の鳥瞰図を示す。

温度が高くなっても分割計算した形状はRTでの形状と高い相関を持っていた。ここで注意すべきなのは温度が330度を越すに従い、計算した凹凸形状が少しづつだれてくる現象である。これは分割を多くして計算域を小さくしてもあまり改善しなかった。等価波長別の位相を詳しく調べると最短等価波長での位相抽出にかなりの精度低下が見られた。すなわち熱と対流による光路差変化幅が最短等価波長での位相抽出に大きく影響していた。

## 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、300度以下であれば粗面の3次元形状を数十 $\mu\text{m}$ の精度で測定できると考える。

## 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) M.Adachi, S.Sunada, Phase-shift extraction from twice-normalized light intensity changes recorded with random phase shifts, Optical Review, 21,522(2014)
- 6) 安達, 佐々木, 光路差がランダムに変動する状況下での波長シフト干渉計を用いた粗面の3次元形状計測, 精密工学会誌 82巻4号, 384~389p (2016)