

# 表面粗さの測定方法による比較評価（第2報）

小松利安・石黒輝雄・有泉直子・深津拓也

## Comparative Evaluation by the Method for Measuring Surface Roughness (2nd Report)

Toshiyasu KOMATSU, Teruo ISHIGURO, Naoko ARIIZUMI and Hiroya FUKATSU

### 要 約

表面粗さの測定は、従来から接触（触針）式表面粗さ測定機での測定が主流であるが、近年では、接触式では表面に傷を付けるため、非接触式の測定方法を用いる場合も多くなっている。しかしながら、接触式と比較して、非接触式では異常値が測定結果に生じる場合があり、その原因については明確になっていない。

そこで、本研究では、山梨県工業技術センター所有の非接触式表面粗さ測定機である共焦点顕微鏡を用いて、どのような状況で異常値が発生するか実験を行った。その結果、測定表面の変位に対する反射光の出力波形が著しく変形した場合に、触針式表面粗さ測定機では現われない異常値が発生することが分かった。そこで、出力波形が変形したデータに対して演算を行い、波形のピーク位置を補正することで、異常値を抑制することができた。

### 1. 緒 言

表面粗さの測定は、従来からダイヤモンド触針を接触させて測定する接触（触針）式表面粗さ測定機が主流となっている。しかし、本方法には、鏡面加工された表面や軟質材料の表面、皮膜表面等を測定する場合、ダイヤモンド触針で表面に傷を付けてしまう欠点がある。また、近年では、Oリングの溝底等、ダイヤモンド触針では接触できない部分の測定も求められている。そのため、非接触式の表面粗さ測定機を用いる場合が増加している。しかし、接触式と比較して、非接触式では明らかな異常値が測定結果に生じる場合がある。その関連性について、いくつかの研究はなされているが<sup>1),2)</sup>、不明確な部分も多いのが現状である。

前報では、山梨県工業技術センター所有の測定装置を用いて、切削加工面や研削加工面等、測定試料の表面粗さや形状による接触式と非接触式の比較測定を行った<sup>3)</sup>。

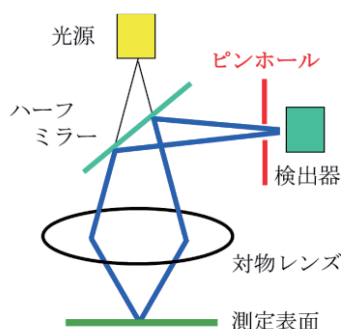


図1 共焦点顕微鏡の原理図

その中で、異常値が発生している変位に対する反射光の出力波形（以降、出力波形と記載）を調査したところ、出力波形が変形しており、測定表面の正確な位置が求められない場合があることが分かった。そこで、本研究では、出力波形がどのように変形しているかを調査すると同時に、出力波形を演算・補正して異常値の抑制を試みた。

### 2. 実験方法

#### 2-1 測定装置と測定原理

山梨県工業技術センターで所有する非接触式表面粗さ測定機の一つである、共焦点顕微鏡の測定原理を図1に示す。検出器の前にピンホールを設け、測定表面に対物レンズの焦点が合った場合にのみ光がピンホールを通過し、測定表面に焦点が合っていない場合の反射光は、ピンホールを通過する光量は減少するように設計されている。測定表面に対して対物レンズを垂直方向（Z軸方向）に走査し、段差のある測定表面のすべての高さ位置に焦点のあった画像を取り込むことが可能である。

測定表面に焦点が合うと、検出器からの出力波形は、図2に示すような変位に対して正規分布に近い波形になる。この出力波形のピークが現れるZ軸の位置が、測定表面の位置であり、反射光のピーク位置を順次記録することで、測定表面の高低差を認識している。図2では縦書きで表示している出力波形を、以降は横書きで表示す

る。ピーク位置が左側にあるほど測定表面の位置は高いことを示している。

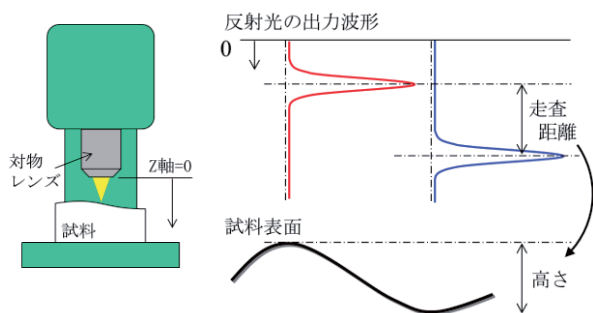


図2 出力波形の概念図

### 2-2 測定試料と測定条件

最初に、出力波形の補正方法の有効性を確認するため、出力波形の変形状態が特徴的な、次の3種類の測定試料を準備した。

- ・表面粗さ測定機校正用段差標準片
- ・放電加工面
- ・光学系校正用標準片（鏡面）

また、接触式では測定困難な測定例として、次の測定試料を準備した。

- ・ゴム材料
- ・銅の切削加工面
- ・3Dプリントされた樹脂の積層面

前報で、対物レンズの開口数（NA 値）が大きいほど、精度の高い測定が可能であることを確認している<sup>3)</sup>。しかし、NA 値が大きい対物レンズは、表1に示すように、測定範囲が非常に狭く、作動距離が短い欠点がある。特に、Oリングの溝底等、高低差のある表面を測定する場合、作動距離の長い対物レンズが必要となる。そこで、本研究では、表1の太文字で示した、NA が0.46の対物レンズを用いて実験を行った。

表1 共焦点顕微鏡の対物レンズの仕様

倍率	開口数 (NA 値)	測定範囲 (mm)	作動距離 (mm)
5	0.13	3.6×3.6	22.5
10	0.3	1.8×1.8	16.5
<b>20</b>	<b>0.46</b>	<b>0.9×0.9</b>	<b>3.1</b>
50	0.8	0.36×0.36	0.54
100	0.95	0.18×0.18	0.3

## 3. 結果

### 3-1 異常値の測定例

最初に、表面粗さ測定機校正用段差標準片の測定例を

図3に示す。共焦点顕微鏡では、図中矢印で示すように、段差端部で大きいスパイク状の波形が多くみられる。しかし、接触式表面粗さ測定機等では、このような波形は全く確認できなかった。このスパイク状の波形が異常値の典型例である。

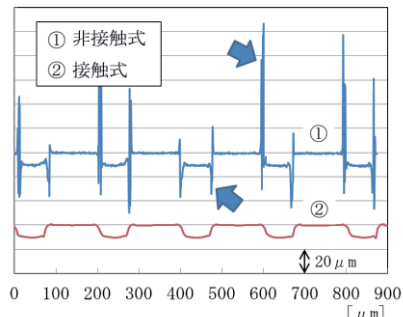


図3 表面粗さ測定機校正用段差標準片の測定例

次に、放電加工面の測定例を図4に示す。このようにNA 値が中程度以下の対物レンズを使用した場合、実際の表面粗さよりも大きな高低差を示すことが多い。この波形も異常値が多発している状態である。

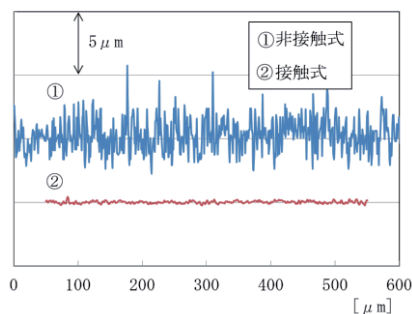


図4 放電加工面の測定例

### 3-2 出力波形の変形状態

最初に、図3の表面粗さ測定機校正用段差標準片の測定例で示した、スパイク状波形の出力について調査した。その結果を図5に示す。図中②に示すように、段差端部でピーク値が小さい反射光を検出していた。この出力波形のピーク位置が、実際の測定表面とは関係なく生成するため、異常値が発生することが分かった。

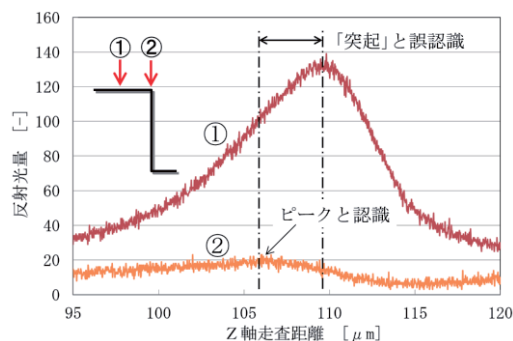


図5 突起や溝形状の出力波形

次に、図 4 の放電加工面の測定例で示した異常値の出力波形について調査した。その結果、図 6 に示すように、波形が途中で崩れるように、出力波形が変形していることが分かった。この出力波形も、図中矢印で示すように実際の測定表面とは異なる位置にピークが生成するために、異常値の原因となることが分かった。

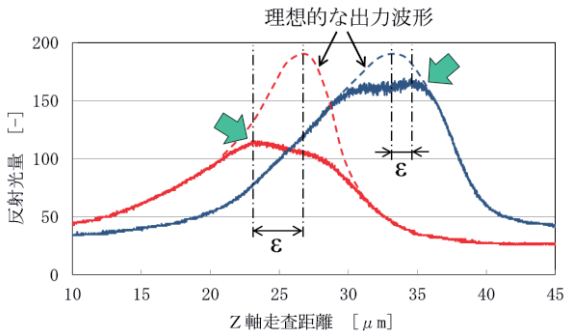


図 6 放電加工面の出力波形

最後に、正常な出力波形を確認するため、鏡面状態の光学系校正用標準片を測定した。その結果を図 7 に示す。使用する対物レンズの NA 値が小さくなるほど、出力波形の半値幅が広く、拡大図に示すように、ピーク位置を誤認識しやすい波形になることが分かった。このような出力波形も異常値の原因となる。

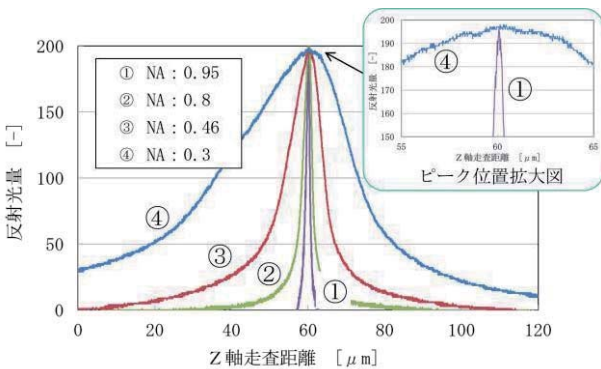


図 7 光学系校正用標準片の出力波形

### 3-3 出力波形の演算方法

前章で判明した、異常値の発生原因に対する各種演算方法について検討した。

ピーク値が非常に小さい出力波形と、波形が途中で崩れるように変形した出力波形は、正常な測定結果ではないため、除去した方が良く考える。ピーク値については、任意に設定したしきい値より小さい出力波形を、測定結果から除去する方法を用いた。また、出力波形の変形状態については、図 8 に示すように、評価高さにおける、ピークまでの高さ (H) と幅 ( $b_1$ ,  $b_2$ ) の比 (以降、縦横比と記載) を計算し、評価することとした。出力波

形に変形が生じていると、図 8 に示す  $H/b_1 \cdot H/b_2$  のどちらか一方が、正常な場合より低い値になると考えられる。そこで、両方を比較して、しきい値以下の出力波形は除去することとした。本研究では、ピーク値に対して 90% の位置を評価高さとした。なお、NA 値が 0.46 の対物レンズを用いて、鏡面状態の光学系校正用標準片を測定した場合、縦横比は  $H/b_1 \cdot H/b_2 = 12.5 [1/\mu\text{m}]$  程度である。

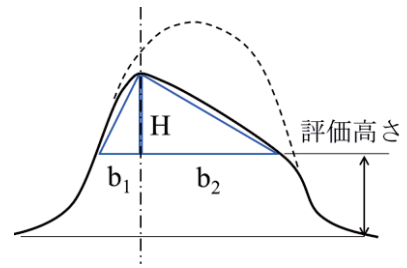
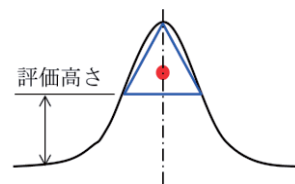


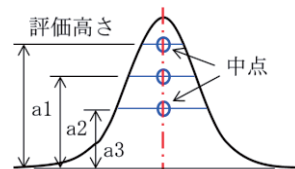
図 8 出力波形の変形状態の評価方法

前述したように、多少の出力波形のひずみでもピーク位置を誤認識する可能性があるため、本研究では、以下に示す 3 種類のピーク位置の補正方法を検討した。

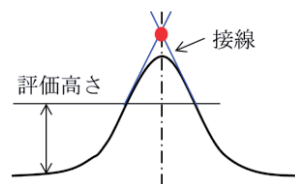
- 三角形重心法 : 出力波形の頂点付近で生成した三角形の重心をピーク位置とする (図 9 (a)) .
- 中線法 : 複数の評価高さにおける中点の平均値をピーク位置とする (図 9 (b)) .
- 接線交差法 : 出力波形の頂点付近で生成した接線の交点をピーク位置とする (図 9 (c)) .



(a) 三角形重心法



(b) 中線法



(c) 接線交差法

図 9 ピーク位置の補正方法

### 3-4 本研究で検討した演算方法を用いた測定例

測定した出力波形は、移動平均法（移動範囲：9）で処理した後、各種演算を行った。しきい値や評価高さ等の演算条件は、出力波形の形状が測定試料によって異なるため、それぞれの状態に合わせて設定した。中線法ではピーク値に対して 95%、90%、85%、80%、75%、の位置で中心を求めて、平均値を算出した。

表面粗さ測定機校正用段差標準片の演算結果を図 10 に示す。演算前と比較すると、異常値が抑制されていることが分かった。また、段差標準片の平面部分の平坦さについては、中線法が最も良い結果が得られた。そこで、以降のピーク位置の補正方法は、中線法を用いることとした。

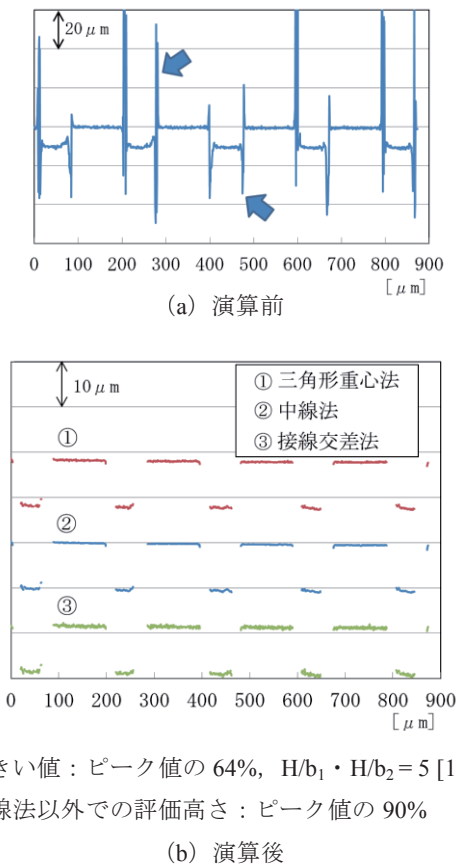
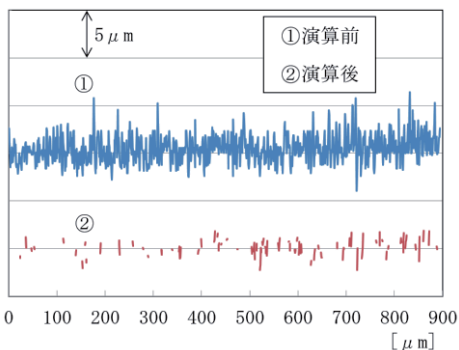


図 10 表面粗さ測定機校正用段差標準片の解析結果

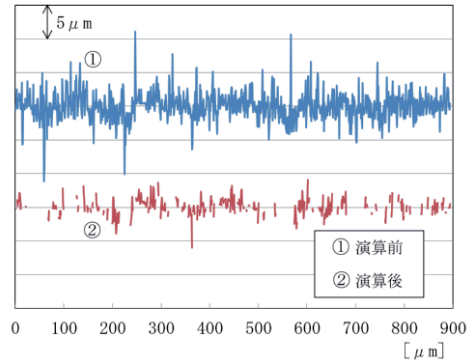


しきい値：ピーク値の 41%,  $H/b_1 \cdot H/b_2 = 7 [1/\mu\text{m}]$

図 11 放電加工面の演算結果

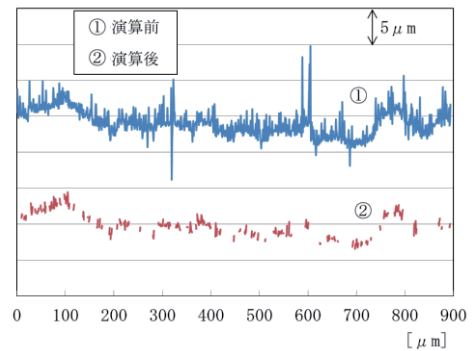
放電加工面の演算結果を図 11 に示す。やはり、異常値をよく抑制できることが分かった。本研究では、測定データを除去した部分は、補完せず空白のまま表示することとした。

最後に、接触式では測定困難な測定試料の演算結果を図 12 に示す。異常値は抑制されており、本研究で検討した演算方法が有効であることが分かった。



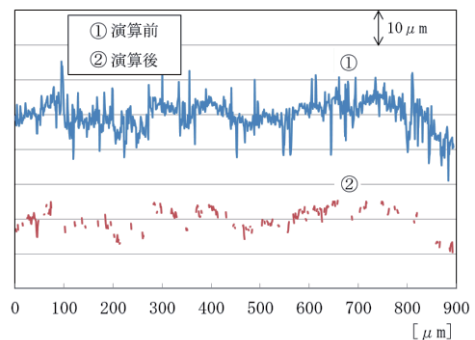
しきい値：ピーク値の 30%,  $H/b_1 \cdot H/b_2 = 5 [1/\mu\text{m}]$

(a) ゴム材料



しきい値：ピーク値の 36%,  $H/b_1 \cdot H/b_2 = 5 [1/\mu\text{m}]$

(b) 銅の切削加工面



しきい値：ピーク値の 35%,  $H/b_1 \cdot H/b_2 = 5 [1/\mu\text{m}]$

(c) 3D プリントされた樹脂の積層面

図 12 各測定試料の演算結果

## 4. 考察

共焦点顕微鏡で測定する場合、出力波形の変形が多く発生していることが分かった。特に、図 6 に示す出

力波形の変形は、測定時に照射するスポット光の範囲内（直径約 1  $\mu\text{m}$ ）に存在する測定試料表面の微細形状によって、反射光が乱される<sup>4)</sup>ことが原因と考えられる。ただし、粗さパラメータの数値が重要な場合や、測定範囲が狭くても良い場合は、異常値の発生が少ない NA 値の大きな対物レンズを使用した方が良い、と考えられる。

山梨県工業技術センター所有の別方式の非接触表面粗さ測定機、垂直走査型低コヒーレンス干渉計は、出力波形が出力できないため、詳細な検討ができなかった。しかし、測定条件によっては、共焦点顕微鏡と同様な異常値が発生していると想定される場合もある。測定例として、図 13 に表面粗さ測定機校正用段差標準片の測定結果を示す。共焦点顕微鏡と同様に、段差端部で突起形状の異常値が見られた。段差端部で出力波形の変形・誤認識が発生していると考えられる。

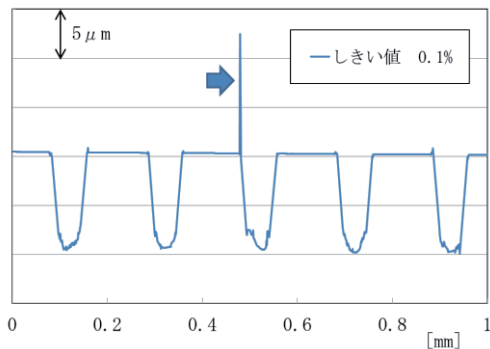


図 13 垂直走査型低コヒーレンス干渉計による測定例  
(NA : 0.3 の対物レンズを使用)

## 5. 結 言

非接触式表面粗さ測定機である共焦点顕微鏡を用いて、出力波形がどのように変形しているか実験し、異常値を抑制する演算・補正方法について検討した結果、以下の知見が得られた。

- (1) 表面粗さの異常値の原因は、次のような出力波形にあることが分かった。
  - ・ピーク値が小さい出力波形
  - ・波形が途中で崩れるように変形した出力波形
  - ・ピーク付近の波形がピーク位置を誤認識しやすい出力波形
- (2) 次の演算・補正方法を用いることで、異常値の抑制が可能となった。
  - ・ピーク値がしきい値以下の出力波形を、測定結果から除去する。
  - ・波形が途中で変形した出力波形は、ピーク位置で縦横比を計算し、しきい値以下の測定結果を除去する。
  - ・中線法を用いてピーク位置の補正を行う。

## 参考文献

- 1) 関根俊彰, 宇野彰一, 島崎景正, 信本康男: 接触式・非接触式粗さ測定結果の相関性について, 埼玉県産業技術総合センター研究報告, **6**, pp.158-16 (2008)
- 2) 緑川祐二, 菅原康則: 表面粗さ測定における非接触式と接触式の相関について, 福島県ハイテクプラザ試験研究報告, **1996**, pp.223-228 (1997)
- 3) 小松利安, 八代浩二, 有泉直子, 深津拓也: 表面粗さの測定方法による比較評価, 山梨県工業技術センター研究報告書, Vol.30, pp.93-96 (2016)
- 4) 深津拓也: 光学式輪郭測定技術を用いた工業表面のトポグラフィ測定, 精密工学会誌, Vol.76, No.9, pp.995-998 (2010)