

## 接触式・非接触式表面粗さ測定と比較検証

宮 内 宏 哉\*<sup>1</sup>上 原 忍\*<sup>2</sup>北 垣 寛\*<sup>3</sup>中 西 望\*<sup>4</sup>後 藤 卓 三\*<sup>5</sup>

### 【要 旨】

近年、プラスチック材料や光学部品など多様な材料・部品が利用されるようになり、非接触式での表面粗さ測定のニーズが高まっている。そこで機械加工、光学部品金型及び標準試料の表面粗さを接触式・非接触式で測定し比較検証した。光学部品金型及び標準試料では相関性が確認できたが、機械加工により作成した試料の場合、切削痕の入り方により接触式と非接触式での数値のずれが見られる場合があった。この原因を検証し、非接触測定の場合には、測定方向と試料の凸形状との位置関係が表面粗さ測定結果に影響することを確認した。

### 1 はじめに

機械部品の表面粗さは、部品の外観に加えて、摺動性、耐摩耗性、接合性などの機械特性や光学特性などに大きく影響する重要なパラメータの一つである。そのため、機械部品の表面粗さ測定法についてはJISにより規格化されており、先端ダイヤモンドのスタイラス（針）を測定表面に接触させたまま走査させて測定する<sup>1,2)</sup>。

しかし近年、プラスチック材料等の多様な材料が広く利用され、また光学部品など接触式測定による微細な傷が許容されない部品も増えてきている。そのため、非接触式での形状測定のニーズが高まっており、表面粗さ測定についても非接触式での測定を必要とする場合が増えてきている。

しかしながら、非接触式での表面粗さ測定法については未だJIS等による規格化は行われていない。また、非接触式での表面粗さ測定の方が試料形状によるノイズを受けやすいとの報告<sup>3)</sup>があるものの、どのような試料形状の場合にノイズを受けやすく接触式と非接触式での表面粗さ測定結果が一致しない場合があるのか、未だ明らかになっていない。

そこで、当センターが所有する接触式測定機2機種と非接触式測定機2機種を用いて表面形状の異なる試料の表面粗さ測定を行い、接触式と非接触式での相関を確認し、また接触式と非接触式での表面粗さ測定結果に差異が生じる理由について検証した。

\* 1 基盤技術課 主任

\* 2 中丹技術支援室 主任研究員

\* 3 応用技術課 主任研究員

\* 4 基盤技術課 副主査（現 織物機械金属振興センター）

\* 5 基盤技術課 主任研究員

### 2 実験方法

#### 2. 1. 測定に用いた機器

当センターが所有する接触式測定機として、テーラーホブソン製 フォームタリサーフ PGI Plus 【以下「タリサーフ」とする】とミットヨ製 SV-C4000CNC 【以下「SV-C」とする】、非接触式測

定機として、三鷹光器製 NH-3SP【以下「NH-3SP」とする、ステージ走査型レーザプローブ式】とオリンパス製 LEXT OLS3100【以下「LEXT」とする、レーザ顕微鏡】を用いて表面粗さ測定を行い測定データの比較検証を行った。

表1に機器の概要を示す。4機種とも、測定条件を変えて表面粗さ・輪郭形状のいずれも測定可能だが、表1では表面粗さ測定時の値を示している。LEXTは測定長レンジが狭いため、表面粗さ測定時には、複数の測定データを結合させたデータを作成し解析を行う必要がある。

表1 表面粗さ測定機器の概要

機器名	タリサーフ	SV-C	NH-3SP	LEXT
方式	接触式	接触式	非接触式	非接触式
	接針式 スタイラス 走査法	接針式 スタイラス 走査法	ポイント フォーカス	共焦点 顕微鏡法
プローブ	ダイヤモンド スタイラス R=2μm	ダイヤモンド スタイラス R=2μm	レーザ (635nm) 2R=1μm	レーザ (408nm)
対物レンズ	—	—	100倍	50倍又は 100倍
高さ レンジ	10mm	0.008 ~ 0.8mm	10mm	10mm
高さ 分解能	0.8nm	0.1 ~ 10nm	1nm ~	10nm ~
測定長 レンジ	120mm	200mm	150mm	0.013 ~ 0.025mm

比較検証には、粗さパラメータとして算術平均粗さ Ra を用いた。

## 2.2. 測定条件及びデータ処理

LEXT 以外は JIS<sup>2)</sup> に準拠した解析を行うとともに、条件を合わせた比較検証を行うため、各測定機で得られた解析前の CSV データを同じソフトウェア (Talymap V3.1.0) を用いて解析した結果も併せて比較検証を行った。LEXT については、対物レンズ 50 倍又は 100 倍での測定結果を必要枚数つなぎ合わせて作成したデータを元に表面粗さ解析

を行った。

表2にタリサーフ、SV-C、NH-3SPの測定条件および解析条件を示す。

なお、LEXTにおける測定・解析については、他の測定機器との条件(測定長、カットオフ値)の統一が困難なため、参考データとすることとした。

表2 測定条件・解析条件

機器名	Ra (μm)	測定 ピッチ	測定 速度	カット オフ 値λc	カット オフ 値λs
タリサーフ	0.02 < Ra ≤ 0.1	0.25 μm	0.5 mm/s	0.25 mm	2.5 μm
	0.1 < Ra ≤ 2	0.25 μm	0.5 mm/s	0.8 mm	2.5 μm
	2 < Ra ≤ 10	0.25 μm	0.5 mm/s	2.5 mm	8 μm
SV-C	0.02 < Ra ≤ 0.1	0.2 μm	0.2 mm/s	0.25 mm	2.5 μm
	0.1 < Ra ≤ 2	0.2 μm	0.2 mm/s	0.8 mm	2.5 μm
	2 < Ra ≤ 10	0.2 μm	0.2 mm/s	2.5 mm	8 μm
NH-3SP	0.02 < Ra ≤ 0.1	0.2 μm	—	0.25 mm	—
	0.1 < Ra ≤ 2	0.2 μm	—	0.8 mm	—
	2 < Ra ≤ 10	0.2 μm	—	2.5 mm	—

## 2.3. 測定試料

### 2.3.1. 粗さ標準片

(Ra=0.4 μm、2.91 μm)

表面粗さ Ra の値付けがされた標準試料 (Ra=0.4 μm 及び Ra=2.91 μm の粗さ標準片) を用いて測定を行った。図1に粗さ標準片の実測形状を示す。

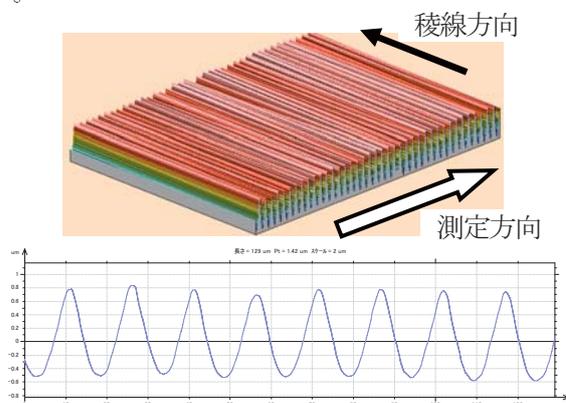


図1 粗さ標準片 (Ra=0.4 μm) の実測形状

標準片の表面には、多数の波型の凸形状が規則正しく形成されている。なお、標準片の測定方向は、試料の凸部の頂点を結んだ稜線方向と直交している。

2. 3. 2. 機械加工を行った試料

2. 3. 2. 1. 光学部品金型試料

光学部品金型試料の一例として、シェーパ加工を行った深さ・ピッチ等が異なる超精密V溝加工品を測定した。

その切削痕概念図を図2に、実測形状を図3に示す。

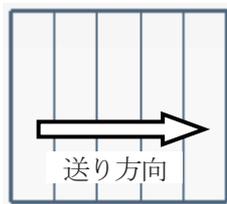


図2 光学部品金型試料の切削痕概念図

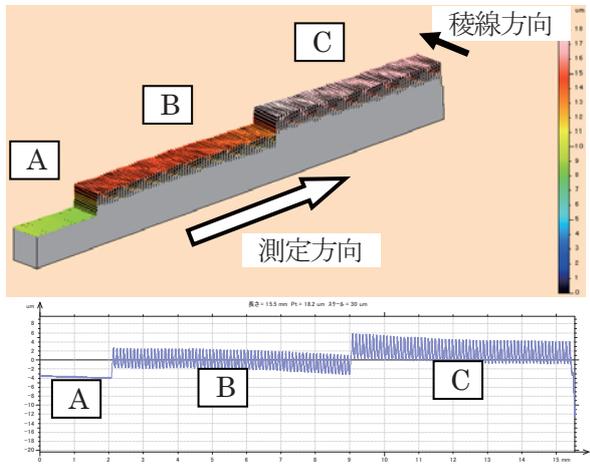


図3 光学部品金型試料の実測形状

光学部品金型試料においても、多数の波型の凸形状が規則正しく形成されており、測定方向は、試料の凸部の頂点を結んだ稜線方向と直交している。

2. 3. 2. 2. フライス加工を行った試料

一般的な機械加工部品を想定し、汎用フライス

盤を用いて試料を作成した。この際、刃物の走らせ方を変更することにより図4に示す2種類 (ST及びCR) の切削痕を形成した。また、表3に示す切削条件によりRaの値を各々3段階とし、合計6種類の試料を作成した。フライス加工試料 (ST、CR) の実測形状を図5、図6に示す。

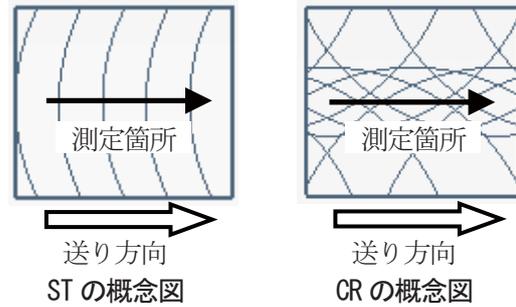


図4 フライス加工試料の切削痕概念図

表3 フライス加工試料の切削条件

試料 No.	切削速度 (m/min)	テーブル送り (mm/min)	切り込み (mm)	刃物
ST-1	220	110	0.5	正面フライス
ST-2	150	110	0.5	正面フライス
ST-3	20	100	0.5	エンドミル
CR-1	220	110	0.5	正面フライス
CR-2	150	110	0.5	正面フライス
CR-3	20	100	0.5	エンドミル

※ 正面フライス：φ100mm 5枚刃 コーティングチップ  
 ※ エンドミル：φ25mm 2枚刃 ハイス

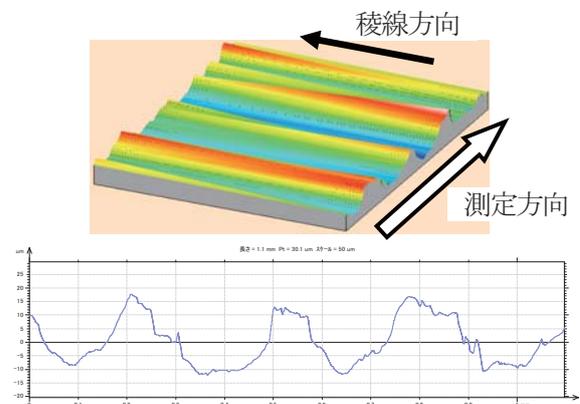


図5 フライス加工試料 (ST) の実測形状

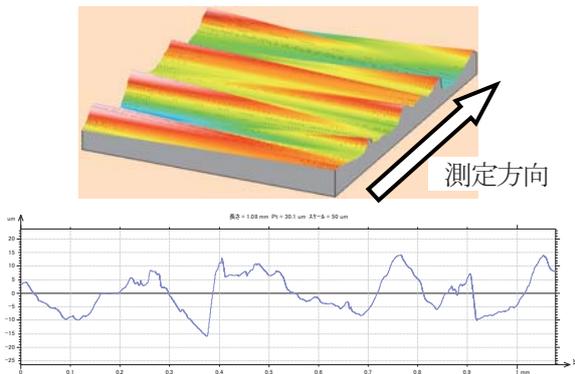


図6 フライス加工試料 (CR) の実測形状

フライス加工試料 (ST) では、凸形状が多少崩れているが、多数の波型が一定周期で形成されており、測定方向は、試料の凸部の頂点を結んだ稜線方向と直交している。

一方、フライス加工試料 (CR) では、斜め2方向から切削され、凸形状が重なり合い、周期的な形状になっていない。そのため、表面粗さ測定では、試料の凸部をランダムな方向に測定することとなる。

### 3 実験結果及び考察

#### 3. 1 粗さ標準片の測定

粗さ標準片 ( $Ra=0.4\mu m$ ,  $Ra=2.91\mu m$ ) を測定し、その測定結果並びに Talymap を用いて解析した結果を表4に示す。

表4 粗さ標準片【通常測定】の測定結果

試料		機器			
		タリサフ	SV-C	NH-3SP	LEXT
Ra=0.40 $\mu m$	装置での解析	0.39 $\mu m$	0.39 $\mu m$	0.37 $\mu m$	0.39 $\mu m$
	Talymap解析	0.38 $\mu m$	0.39 $\mu m$	0.36 $\mu m$	0.38 $\mu m$
Ra=2.91 $\mu m$	装置での解析	2.91 $\mu m$	2.89 $\mu m$	2.91 $\mu m$	2.94 $\mu m$
	Talymap解析	2.90 $\mu m$	2.90 $\mu m$	2.90 $\mu m$	—

粗さ標準片を測定した結果では、装置間で有意

な差異は認められなかった。

また、解析方法を統一しても有意な差異は認められなかった。

### 3. 2 機械加工を行った試料の測定

#### 3. 2. 1 光学部品金型試料

光学部品金型試料を測定した測定結果を表5に示す。

表5 光学部品金型試料の測定結果

機器 試料	タリサフ	SV-C	NH-3SP	LEXT
A	0.05 $\mu m$	0.05 $\mu m$	0.05 $\mu m$	0.05 $\mu m$
B	1.35 $\mu m$	1.34 $\mu m$	1.34 $\mu m$	1.30 $\mu m$
C	1.58 $\mu m$	1.56 $\mu m$	1.57 $\mu m$	1.55 $\mu m$

光学部品金型試料を測定した結果では、装置間で有意な差異は認められなかった。

#### 3. 2. 2 フライス加工を行った試料

フライス加工を行った試料を測定した測定結果を表6に示す。

表6 フライス加工試料の測定結果

機器 試料	タリサフ	SV-C	NH-3SP	LEXT
ST-1	0.18 $\mu m$	0.17 $\mu m$	0.18 $\mu m$	0.21 $\mu m$
ST-2	0.64 $\mu m$	0.66 $\mu m$	0.65 $\mu m$	0.63 $\mu m$
ST-3	7.86 $\mu m$	7.83 $\mu m$	7.87 $\mu m$	7.86 $\mu m$
CR-1	0.08 $\mu m$	0.07 $\mu m$	0.11 $\mu m$	0.09 $\mu m$
CR-2	0.56 $\mu m$	0.59 $\mu m$	0.59 $\mu m$	0.57 $\mu m$
CR-3	8.80 $\mu m$	8.16 $\mu m$	7.73 $\mu m$	7.01 $\mu m$

フライス加工試料のうち、ST-1、ST-2、ST-3を測定した結果では、装置間で有意な差異は認められなかった。一方、CR-1及びCR-3では、接触式測定と非接触式測定とで多少測定結果に違いが生じていた。

NH-3SPの測定データを検証すると、CR-1とCR-3の測定においてオートフォーカスエラーが何点か発生していた。

### 3. 2. 3 試料をZ軸回りに15°、30°、45°回転させた測定

NH-3SPを用いた測定においては、通常、レーザーの照射・受光を行なう方向と凸形状が平行になるよう試料をセッティングして、レーザーの照射・受光を行う方向と直交する向きに測定を行う。この測定条件では、標準片、光学部品金型及びフライス加工試料(ST)など周期的な凸形状を有する試料では、レーザーの照射・受光方向と試料の凸形状の稜線方向が常に平行となっており、試料形状によるレーザーへの影響が最も小さくなると考えられる。実際に測定した結果でも、他の測定機との差異は見られず、またデータエラーも発生しなかった。

一方、フライス加工試料(CR)では、レーザーの照射・受光方向と試料の凸形状の稜線方向がランダムなため、一部の形状でレーザーの反射・受光が上手く測定面を捉えきれず、データエラーを生じたと考えられる。

そこで、このデータエラーの発生の原因として、レーザーの照射・受光方向と試料の凸形状の稜線方向の影響を検証するために、粗さ標準片をZ軸回りに15°、30°、45°回転させた測定を行った。その測定概念図を図7に、測定結果を表7に示す。

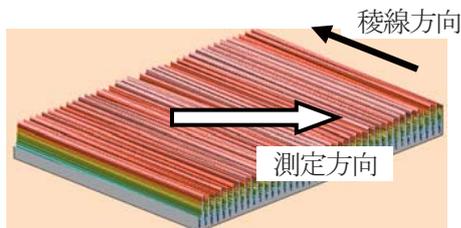


図7 粗さ標準片をZ軸回りに45°回転させて測定した測定概念図

表7 粗さ標準片をZ軸回りに15°、30°、45°回転させて測定した測定結果

試料		機器			
		タリサ-フ	SV-C	NH-3SP	LEXT
Ra=0.40 μm	通常	0.39 μm	0.39 μm	0.37 μm	0.39 μm
	15°	0.39 μm	0.41 μm	0.38 μm	0.34 μm
	30°	0.40 μm	0.40 μm	0.39 μm	0.33 μm
	45°	0.40 μm	0.39 μm	0.39 μm	0.34 μm
Ra=2.91 μm	通常	2.91 μm	2.89 μm	2.91 μm	2.94 μm
	15°	2.91 μm	2.90 μm	2.91 μm	2.92 μm
	30°	2.91 μm	2.90 μm	2.92 μm	2.92 μm
	45°	2.91 μm	2.91 μm	2.92 μm	2.94 μm

NH-3SPを用い、Ra=0.40 μmの試料をZ軸回りに回転させた場合は、いずれもデータエラー無く測定できた。しかし、Ra=2.91 μmの試料をZ軸回りに30°、45°回転させて測定した時、一部でオートフォーカスエラーによるデータエラーが発生した。

LEXTでは、いずれもデータエラー無く測定できたが、測定視野が狭いため複数の測定データを貼り合わせる必要があり、貼り合わせ部がずれてしまい、うまく貼り合わせない不具合が生じていた。

なお、接触式2機種では、試料をZ軸回りに15°、30°、45°と回転させて測定した場合のいずれも、データエラーが生じることはなく、測定を行うことができた。

## 4 まとめ

表面粗さRaの値付けがされた標準試料を用いて測定をおこなった場合には今回使用した4機種とも大きな違いが見られなかった。しかし、フライス加工により作成した試料の場合、切削痕の入り方により接触式と非接触式での数値のずれが見られる場合があった。そこで、標準試料をZ軸回りに回転させて測定した場合、接触式2機種では回転の影響が見られなかったのに対し、ポイント

オートフォーカス法の非接触式 (NH-3SP) では測定データにエラーデータの発生頻度があがることがわかった。ただし、表面粗さが小さな測定の場合にはエラーデータの発生無く測定できており、測定可能な傾斜角度や段差に方向性の影響があると考えられる。また、共焦点顕微鏡法の非接触式 (LEXT) では、測定範囲が狭いため複数の測定データを貼り合わせる必要があり課題があることが確認された。

測定対象物の性状を考慮した測定機の実験が必要であることがわかった。

### (謝 辞)

本研究を行うにあたり、試料を御提供いただき

た京都大学大学院工学研究科教授 松原厚氏、助教 河野大輔氏、技官 山路伊和夫氏に深く感謝します。

### (参考文献)

- 1) JIS B 0651 : 2001 製品の幾何特性仕様(GPS) —表面性状：輪郭曲線方式—触針式表面粗さ測定機の実験。
- 2) JIS B 0601 : 2001 製品の幾何特性仕様(GPS) —表面性状：輪郭曲線方式—用語、定義及び表面性状パラメータ。
- 3) 関根、宇野、島崎、信本：埼玉県産業技術総合センター研究報告, No. 6 (2008)。