

# 表面粗さ 測定入門

## 線粗さ編

この度は「形状測定入門(線粗さ編)」を  
ご覧いただきましてありがとうございます。  
この資料は、表面粗さや形状測定に関する基本、  
測定に関する留意点をまとめたものです。  
ご一読いただき、本書の内容が少しでも、  
お客様の懸案解決の一助になりましたら幸いです。

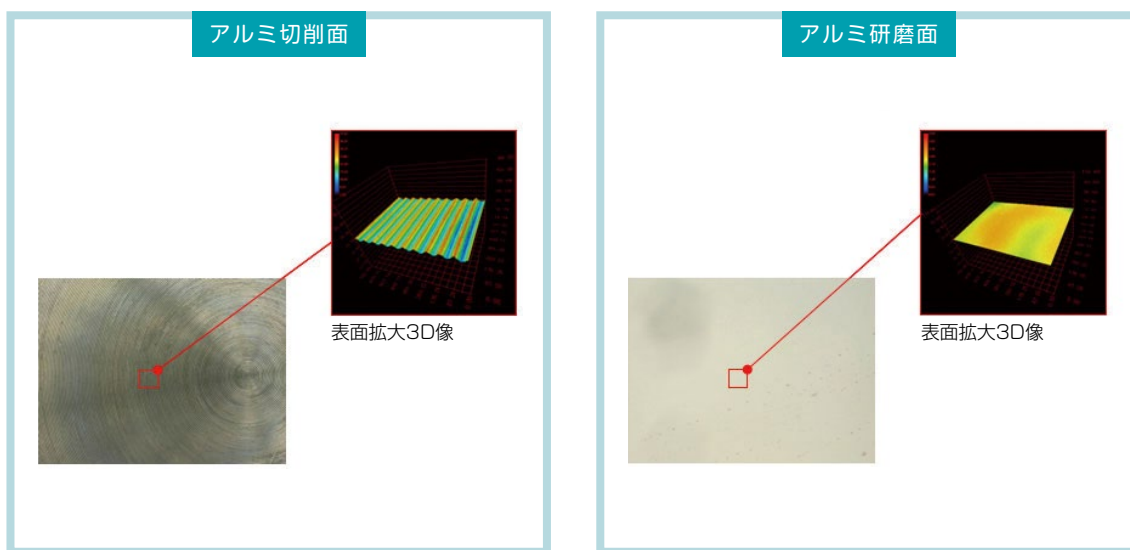
## INDEX

<b>1</b>	<b>表面粗さの基礎</b>	
1-1	表面粗さとは	2
1-2	表面粗さの用語	3
<b>2</b>	<b>表面粗さのパラメータ</b>	
2-1	表面粗さのパラメータ (JIS B 0601-2001)	5
2-2	JIS B 0601-1994 と JIS B 0601-2001 の違い	10
<b>3</b>	<b>表面粗さ・形状を測定する機器</b>	
3-1	接触式	11
3-2	接触式表面粗さ・形状測定機の特長	11
	触針の摩耗	12
	測定力による試料への圧痕	12
	触針の先端 R より小さい溝は測定できない	12
3-3	非接触式	
	形状解析レーザ顕微鏡の測定原理	13
	形状解析レーザ顕微鏡の測定精度	13
	レーザの XY 方向分解能	14
3-4	非接触式表面粗さ・形状測定機の特長	
	測定時間	14
	観察画像と形状の同時比較 & 高解像度・全焦点画像取得	15
	大型対象物への対応	15

## 1-1

## 表面粗さとは

身の回りにある加工された部品の表面は、ツルツルして光っているものやザラザラして光沢のないものなど様々なものがあります。これらの外観の違いはその部品の表面の粗さにより変わってきます。加工品の表面には、高さ、深さ、間隔の異なる山、谷が連続する複雑な形状が存在し、これら深さに比べて比較的小さい間隔で現れる実表面のでこぼこを表面粗さと言います。表面粗さには、部品の表面の微小な凹凸が大きく作用します。



表面状態の違いと凸凹の関係（弊社形状解析レーザ顕微鏡にて撮影）

表面粗さの違いにより、見た目はもちろんですが、部品が何かと接触するときはその摩耗量や気密性、また部品の表面に塗装を施すときはその塗料のぬれ性や厚みなどに影響がでます。

そこで表面粗さ、つまり表面の微小な凹凸を数値管理する必要がでてきます。

微小な凹凸を数値管理すると言っても様々な方法が考えられます。例えば、1mm四方の範囲の中で一番高いポイントと一番低いポイントの高低差で管理するという方法、また、2mmの直線の中で高いポイント5点の平均と低いポイント5点の平均の差を管理する、など無限の方法が考えられます。しかし、このように独自に規格を定めてしまうと実際の社会では混乱が発生してしまいます。A社の部品とB社の部品を組み合わせで最終製品を組み立てるときに同じ表面粗さでなければ気密性が落ちてしまうというときにA社とB社が独自の規格で表面粗さを管理しては大変です。そこで日本では、日本規格協会が規格を規定し表面粗さを定めています。（JIS B 0601、JIS B 0651 など）

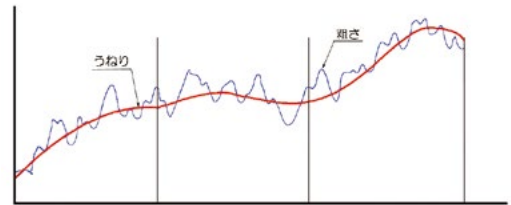
※本資料では JIS 規格に準じた定量的解析も含めて表面粗さと呼んでいます。

## 1-2

### 表面粗さの用語

#### 粗さ（表面粗さ）

「粗さ（表面粗さ）」は、高さ、深さ、間隔の異なる山、谷が連続する複雑な形状をしており、その中でも比較的周期 性の短い、深さに比べて比較的小さい間隔で現れる起伏が続く表面状態を粗さ（表面粗さ）と呼んでいます。



#### 粗うねり

「うねり」は、粗さより大きな間隔で起こる表面の周期的 な起伏のことで、深さに比べて相当大きな間隔で繰り返 される理想面からの偏差と定義付けることができます。

#### 実表面の断面曲線

「実表面の断面曲線」とは、試料の実表面上を指定された垂直平面で切断したとき、その切り口に現れる曲線のことです。JIS B 0601-1994 では、「断面曲線」と定義されていました。

#### 測定曲線

「測定曲線」とは、触針（スタイラス）が試料の実表面上を走査したとき、円すい型をした先端部（先端球中心）の軌跡がつくる曲線のことです。

#### 測定断面曲線

「測定断面曲線」とは、測定曲線を縦軸及び横軸からなる座標（連続的に変化するグラフ）として、一定間隔でサンプリング（デジタル化）した曲線のことです。

#### 輪郭曲線

「輪郭曲線」とは、測定断面曲線、断面曲線、粗さ曲線、うねり曲線などの曲線の総称のことです。

#### 断面曲線

「断面曲線」とは、測定断面曲線にカットオフ値  $\lambda s$  の位相補償形低域フィルタを適用した曲線のことです。

#### 粗さ曲線

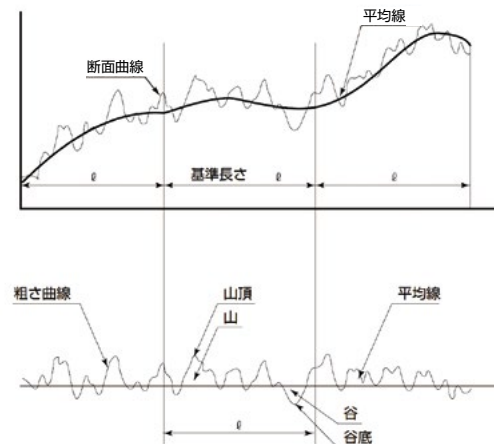
「粗さ曲線」は、位相補償形高域フィルタ（カットオフ値  $\lambda c$ ）を通して、断面曲線の高い周波数成分だけを記録した曲線のことです。

#### うねり曲線

「うねり曲線」とは、断面曲線にカットオフ値  $\lambda f$  と  $\lambda c$  の位相補償形フィルタを適用した曲線のことです。

#### 平均線

「平均線」には、「粗さ曲線のための平均線」、「うねり曲線のための平均線」、「断面曲線のための平均線」の 3 つの平均線があり、これらは全て曲線になります。なお、JIS B0601-1994 で平均線は、粗さ曲線のための平均線（ろ波うねり曲線）を最小二乗法により直線におきかえた線と定義付けられていました。



### 粗さ曲線のための平均線

「粗さ曲線のための平均線」とは、位相補償形高域フィルタ $\lambda_c$ （ハイパスフィルタ）によってカットされた低い周波数成分を記録した曲線の事です。なお、JIS B 0601-1994 では、ろ波うねり曲線と呼んでいました。

### うねり曲線のための平均線

「うねり曲線のための平均線」とは、位相補償形低域フィルタ $\lambda_f$ （ローパスフィルタ）によってカットされた低い周波数成分を記録した曲線の事です。

### 基準長さ

算術平均粗さなどの粗さパラメータは、輪郭曲線から一定の長さを抜き取った部分から求めます。この抜き取る長さを基準長さと言い、粗さ曲線、うねり曲線の基準長さはそれぞれの曲線のカットオフ値である $\lambda_c$  や $\lambda_f$  と同じ長さになります。なお、断面曲線の基準長さは、評価長さと等しくなります。

### 断面曲線のための平均線

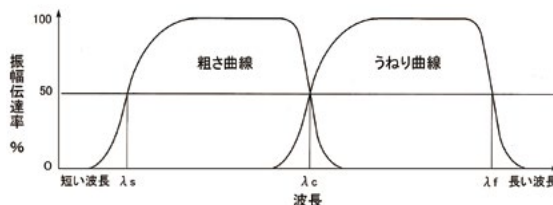
「断面曲線のための平均線」とは、最小二乗法によって断面曲線にあてはめた呼び形状を表す曲線の事です。

### 評価長さ

「評価長さ」とは、算術平均粗さなどの粗さパラメータを求めるために輪郭曲線から、ある一定の長さを抜き取った部分のことをいいます。評価長さは、一つ以上の基準長さを含むことを条件としており、標準的には評価長さは基準長さの 5 倍になります。なお、うねりのパラメータのための標準的な評価長さの規定はありません。

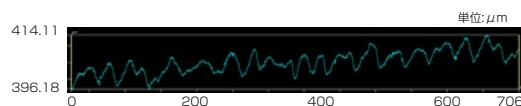
### カットオフ（カットオフ値）

カットオフとは、断面曲線から除去される所定の波長のことを言います。断面曲線から長い波長の成分を除去して粗さ曲線を、逆に、短い波長の成分を除去してうねり曲線を作ります。接触式表面粗さ測定機が、コンデンサと抵抗器で構成されていた電気回路で処理していたアナログ機器であった頃は 2CR フィルタが主流でしたが、最近ではデジタル化が進み、位相補償形デジタルフィルタ（ガウシアンフィルタ）が多く採用されています。JIS B 0601-1994 からは、このデジタルフィルタが JIS 規格にも反映されています。

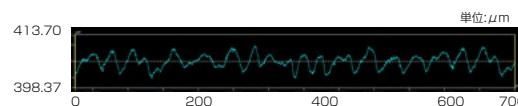


### 断面曲線と粗さ曲線(カットオフ値)

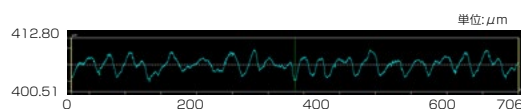
測定断面曲線



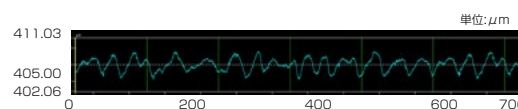
粗さ曲線(カットオフ値 8.0mm)



粗さ曲線(カットオフ値 2.5mm)



粗さ曲線(カットオフ値 0.8mm)



## 2-1

表面粗さの  
パラメータ

JIS 規格の表面粗さでは、表面粗さの強弱（ツルツルなのかザラザラなのか）を表すパラメータが多数存在します。また、国際規格 ISO においても新しい表面粗さパラメータが導入されてきたことから、JIS 規格も国際的な整合性を図る必要性が生じてきました。2001 年に交付された表面粗さに関する JIS 規格の多くは、ISO 規格を翻訳し、技術的内容及び規格票の様式を変更することなく作製されています。2001 年に交付された新しい JIS 規格 JIS B 0601:2001 の主なパラメータについて説明します。各パラメータはそれぞれ断面曲線（P）、粗さ曲線（R）、うねり曲線（W）の区分にわかれ、曲線ごとに評価、管理されるようになっています。（表面粗さ成分は、うねりや断面形状成分の波長と比較した場合、比較的に短い波長の凹凸成分となります。）

## 高さ方向の山・谷のパラメータ

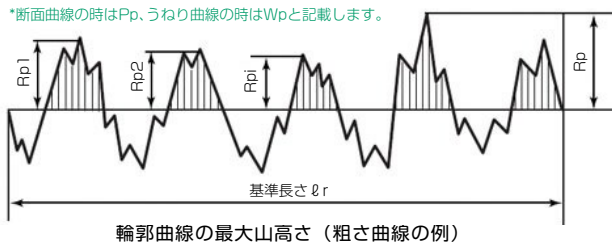
最大山高さ（ $R_p$ 、 $P_p$ 、 $W_p$ ）

最大山高さは、基準長さにおける輪郭曲線の中で、もっとも高い山の高さを表したものです。

- ※山とは、平均線より上にある部分を指します。
- ※ $Z(x)$  は粗さ曲線（P の時は断面曲線、W の時はうねり曲線）の平均線の高さを 0 とした時の  $i$  点目の計測線の高さを表します。

$$R_p = \max(Z(x))$$

\*断面曲線の時は $P_p$ 、うねり曲線の時は $W_p$ と記載します。

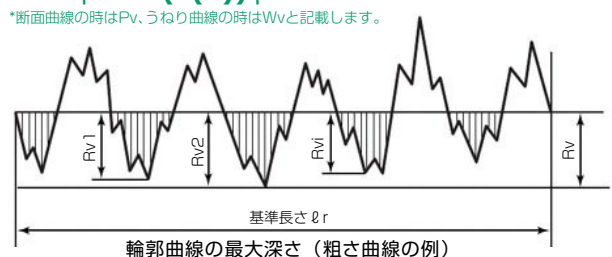
最大谷深さ（ $R_v$ 、 $P_v$ 、 $W_v$ ）

最大谷深さは、基準長さにおける輪郭曲線の中で、もっとも深い谷の深さを表したものです。

- ※谷とは、平均線より下にある部分を指します。
- ※ $Z(x)$  は粗さ曲線（P の時は断面曲線、W の時はうねり曲線）の平均線の高さを 0 とした時の  $i$  点目の計測線の深さを表します。

$$R_v = |\min(Z(x))|$$

\*断面曲線の時は $P_v$ 、うねり曲線の時は $W_v$ と記載します。

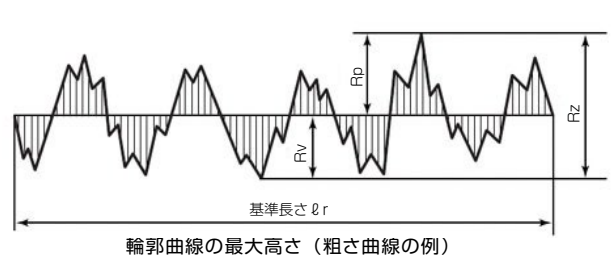
最大高さ（ $R_z$ 、 $P_z$ 、 $W_z$ ）

最大高さは、基準長さにおける輪郭曲線の中で、もっとも高い山の高さともっとも深い谷の深さの和を求め、表したものです。

輪郭曲線が粗さ曲線の場合は、 $R_z$  を「最大高さ粗さ」と呼び、輪郭曲線がうねり曲線の場合は、 $W_z$  を「最大高さうねり」と呼びます。

$$R_z = R_p + R_v$$

\*断面曲線の時は $P_z$ 、うねり曲線の時は $W_z$ と記載します。



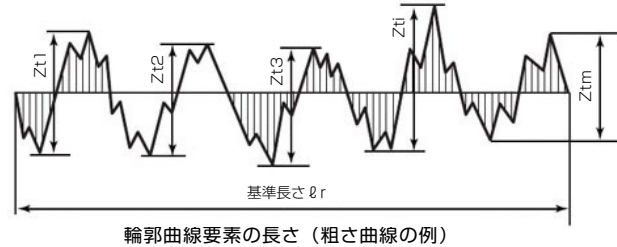
### 輪郭曲線要素の平均高さ

#### (Rc、Pc、Wc)

輪郭曲線要素の平均高さは、基準長さにおける輪郭曲線要素の高さの平均値を表したものです。

輪郭要素とは隣り合う山と谷を一組としたものです。この場合の輪郭要素を構成する山（谷）には、最低高さと最低長さの規定があり、高さ（深さ）が最大高さの 10% 以下、もしくは長さが計算区間の長さの 1% 以下であるものはノイズとみなされて、前後に続く谷（山）の一部と認識します。

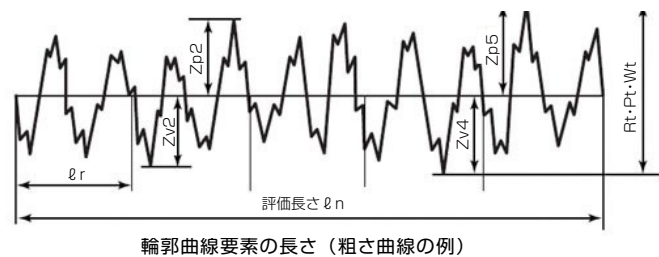
$$R_c, P_c, W_c = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Z_{ti}$$



### 最大断面高さ (Rt、Pt、Wt)

最大断面高さは、評価長さにおける輪郭曲線の山高さの最大値と谷深さの最大値との和を求め、表したものです。

$$R_t, P_t, W_t = \max(R_{pi}) + \max(R_{vi})$$

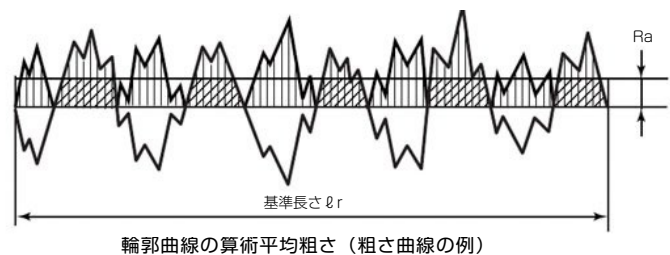


### 算術平均粗さ (Ra、Pa、Wa)

算術平均粗さは、基準長さにおける Z(x) 絶対値の平均を表したものです。

輪郭曲線が粗さ曲線の場合は、Ra を従来からの用語である「算術平均粗さ」と呼び、輪郭曲線がうねり曲線の場合は、Wa を「算術平均うねり」と呼びます。

$$R_a, P_a, W_a = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \left| \frac{1}{\ell_r} \int_0^{\ell_r} |Z(x)| dx \right|$$



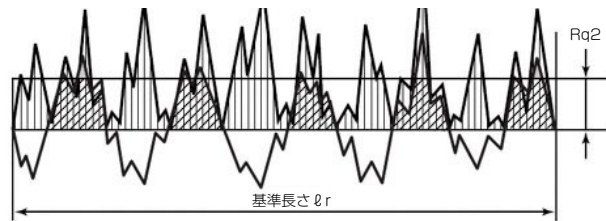


## 高さ方向の振幅平均パラメータ

### 二乗平均平方根高さ (Rq, Pq, Wq)

二乗平均平方根高さは、基準長さにおける二乗平均平方根を表したものです。表面粗さの標準偏差を意味します。輪郭曲線が粗さ曲線の場合は、Rqを「二乗平均平方根粗さ」と呼び、輪郭曲線がうねり曲線の場合は、Wqを「二乗平均平方根うねり」と呼びます。

$$Rq, Pq, Wq = \sqrt{\frac{1}{\ell_r} \int_0^{\ell_r} Z^2(x) dx}$$



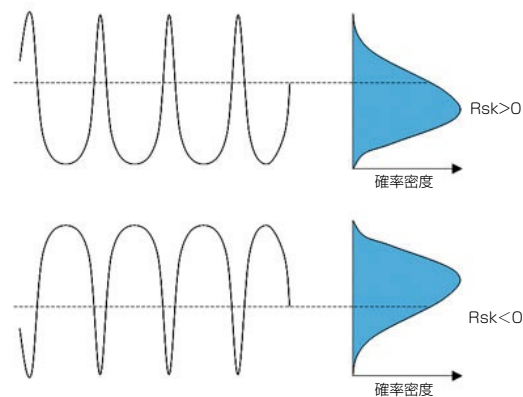
輪郭曲線の二乗平均平方根高さ (粗さ曲線の例)

## 高さ方向の特長平均パラメータ

### スキューネス (Rsk, Psk, Wsk)

スキューネスは、二乗平均平方根高さの三乗によって無次元化した基準長さにおける  $Z(x)$  の三乗平均を表したものです。スキューネスはトライボロジー（摩擦）と関係が深いパラメータです。ひずみ度を表しており、山と谷の対称性をみます。正規分布なら0、摩耗面ならマイナスになります。

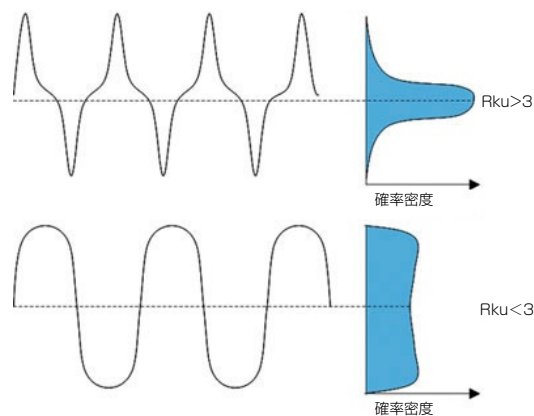
$$Rsk = \frac{1}{Rq^3} \left[ \frac{1}{\ell_r} \int_0^{\ell_r} Z^3(x) dx \right]$$



### クルトシス (Rku, Pku, Wku)

クルトシスは、二乗平均平方根高さの四乗によって無次元化した基準長さにおける  $Z(x)$  の四乗平均を表したものです。クルトシスもトライボロジー（摩擦）と関係が深いパラメータです。とがり度を表しており、正規分布なら3になります。

$$Rku = \frac{1}{Rq^4} \left[ \frac{1}{\ell_r} \int_0^{\ell_r} Z^4(x) dx \right]$$

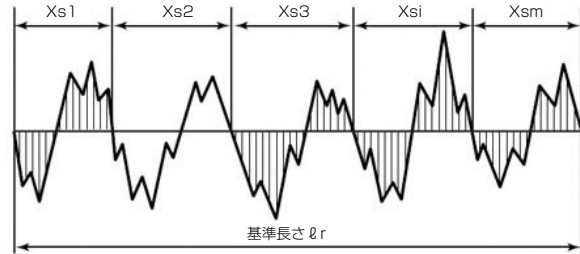


## 横方向のパラメータ

### 輪郭曲線要素の平均長さ ( $RSm$ 、 $PSm$ 、 $WSm$ )

輪郭曲線要素の平均長さは、基準長さに輪郭曲線要素の長さの平均を表したものです。 $X_{si}$  は、一つの輪郭曲線要素に対応する長さです。この場合の輪郭要素を構成する山（谷）には、最低高さ（深さ）と最低長さの規定があり、高さ（深さ）が最大高さの 10% 以下、もしくは長さが計算区間の長さの 1% 以下であるものはノイズとみなされて、前後に続く谷（山）の一部と認識します。

$$RSm, PSm, WSm = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_{si}$$



輪郭曲線要素の長さ（粗さ曲線の例）

## 複合パラメータ

### 二乗平均平方根傾斜 ( $R\Delta q$ 、 $P\Delta q$ 、 $W\Delta q$ )

二乗平均平方根傾斜は、基準長さにおける局所傾斜  $dZ/dX$  の二乗平均平方根を表したものです。

$$R\Delta q, P\Delta q, W\Delta q = \sqrt{\frac{1}{\ell r} \int_0^{\ell r} \left( \frac{dZ(x)}{dX} \right)^2 dx}$$

ここで言う局所傾斜は、 $Z(x)$  を微分したものです。微分は、基本的に以下の 7 点公式を用います。（線の両端から 3 点以内ではデータが足りないため、3 点公式、5 点公式を用います。）

$$\frac{dZ_i}{dX_i} = \frac{(Z_{i+3} - 9Z_{i+2} + 45Z_{i+1} - 45Z_{i-1} + 9Z_{i-2} - Z_{i-3})}{60x}$$

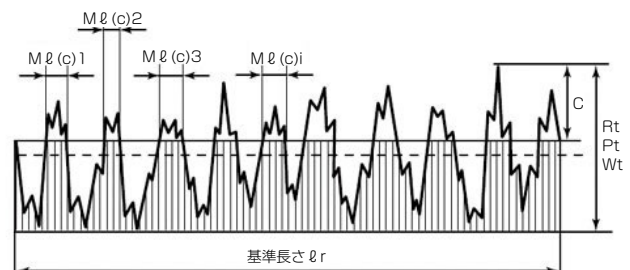
## 負荷曲線・確率密度関数のパラメータ

### 負荷長さ率 ( $Rmr(c)$ 、 $Pmr(c)$ 、 $Wmr(c)$ )

負荷長さ率 ( $Zmr(c)$ ) は、切断レベル  $c$ （高さ % または  $\mu m$ ）における輪郭曲線要素の負荷長さ  $Mr(c)$  の評価長さに対する比率を表したものです。切断レベル  $c$ （高さ % または  $\mu m$ ）を指定する必要があります。

$$Zmr(c) = \frac{100}{\ell n} \sum_{i=1}^m M\ell(c)i(\%)$$

\* $Zmr(c)$ とは、 $Rmr(c) \cdot Pmr(c) \cdot Wmr(c)$ のことです。



切断レベル  $c$ （高さ % または  $\mu m$ ）を指定する必要があります。



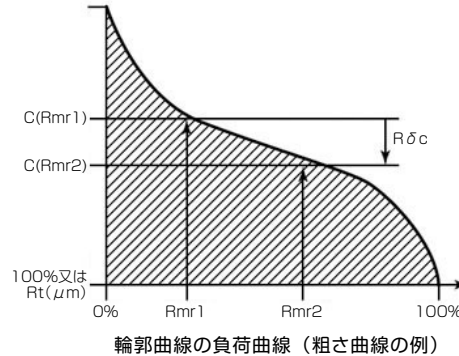
### 輪郭曲線の切断レベル差 ( $R\sigma c$ 、 $P\sigma c$ 、 $W\sigma c$ )

輪郭曲線の切断レベル差 ( $Z\sigma c$ ) は、与えられた二つの負荷長さ率に一致する高さ方向の切断レベル  $c$  の差を表したものです。

2 点の負荷長さ率  $Zmr1$ 、 $Zmr2$  (負荷 %) を、指定する必要があります。

$$Z\delta c = c(Zmr1) - c(Zmr2); Zmr1 < Zmr2$$

\*  $Z\delta c$  とは、 $R\delta c \cdot P\delta c \cdot W\delta c$  のことです。 $Zmr$  とは、 $Rmr \cdot Pmr \cdot Wmr$  のことです。



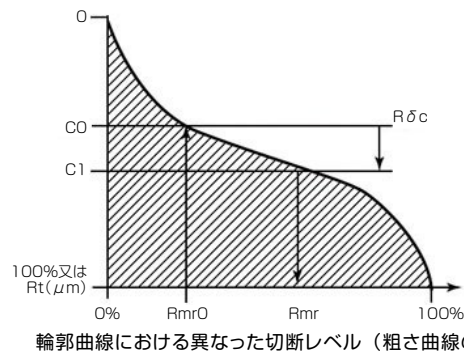
### 相対負荷長さ率 ( $Rmr$ 、 $Pmr$ 、 $Wmr$ )

相対負荷長さ率 ( $Zmr$ ) は、基準とする負荷長さ率 ( $Zmr0$ ) と、それに対応する切断レベルからの切断レベル差 ( $Z\sigma c$ ) によって決まる負荷長さ率を表したものです。

基準負荷長さ率  $Zmr0$  (負荷 %) と、切断レベル差  $Z\Delta c$  (高さ % または  $\mu m$ ) を指定する必要があります。

$$Zmr = Zmr(c1) \quad c1 = c0 - Z\delta c, \quad c0 = c(Zmr0)$$

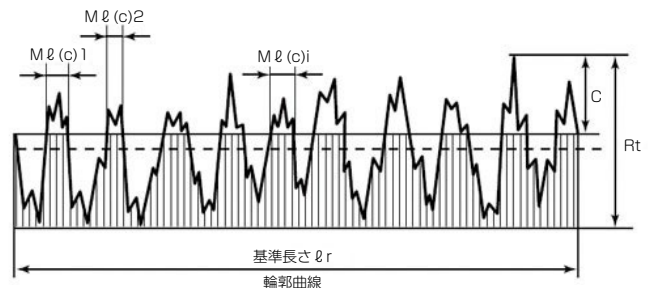
\*  $Z\delta c$  とは、 $R\delta c \cdot P\delta c \cdot W\delta c$  のことです。  
 $Zmr0$  とは、 $Rmr0 \cdot Pmr0 \cdot Wmr0$  のことです。



### 負荷曲線 (BAC)

負荷曲線は、切断レベル  $c$  の関数として表された負荷長さ率の曲線を表したものです。負荷長さ率は、曲線データが切断レベル以上になる部分 ( $M\ell(c)$ ) の長さを合計した値を、全体の長さ ( $\ell n$ ) で割った割合 (%) です。

$$* M\ell(c) = M\ell(c)1 + M\ell(c)2 + \dots + M\ell(c)i$$



データ点数  $N$  は、(最大高さ ÷  $Z$  キャリブレーション) と 4096 のうち、小さい方の値を採用しています。最大高さを ( $N-1$ ) で割ったピッチで切断レベルを刻み、それぞれの高さで負荷長さ率を  $BAC(n)$  とします。 $n=N$  が最低高さとなります。 $BAC(N) = 100.0$  ですが、 $BAC(0) = 0.0$  とはなりません。横軸を負荷長さ率 (%)、縦軸を切断高さ ( $\mu m$ ) として表示します。(切断高さは輪郭曲線グラフと同じレンジになります。)

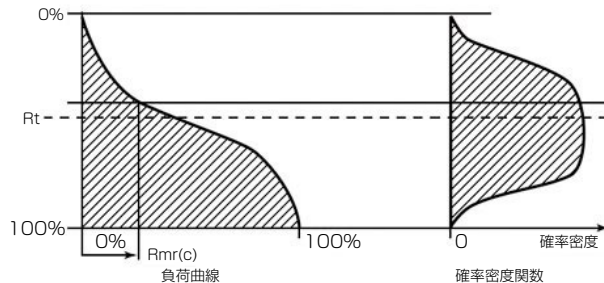
### 確率密度関数（ADF）

確率密度関数は、評価長さにわたって得られる高さ  $Z(x)$  の確率を表したものです。BAC データを微分して求められます。

微分は次に示す 3 点法を用います。

$n = 0, N$  のとき、 $BAC(-1) = 0.0$ 、 $BAC(N+1) = 100.0$  であるものとして計算を行います。縦軸のレンジは BAC と同じため、同じグラフに表示しますが、横軸のレンジは最大値が 80% の位置に来るように自動調整されます。

$$ADF(n) = \frac{BAC(n+1) - BAC(n-1)}{2}$$



## 2-2

JIS B 0601-1994と  
JIS B 0601-2001の  
違い

ISO（国際標準化機構：International Organization for Standardization）によって新しい表面粗さパラメータが国際規格として導入されてきたことから、JIS 規格も国際規格との整合性を図るため、2001 年に JIS B 0601 を含む表面粗さに関する JIS 規格の改正が行われました。

### 主な変更点

- ① JIS B 0601-1994 の最大高さ  $R_y$  が、最大高さ  $R_z$  に変更されました。
- ② 十点平均粗さ  $R_z$  は規格から削除されました。また、最大高さ  $R_z$  と区別するため、十点平均粗さを  $R_{zjs}$  に変更されました。
- ③ 輪郭曲線から断面曲線、粗さ曲線、うねり曲線に分けて、それぞれの曲線ごとに断面曲線パラメータ、粗さ曲線パラメータ、うねり曲線パラメータを規定しています。
- ④ 表面粗さ測定機のメーカー間の誤差をなくすため、触針から位相補償形フィルタまで規格を規定しています。

規格番号		JIS B0601-1994	JIS B0601-2001 ISO 4287-1997
断面曲線		フィルタ無 / デジタル信号	$\lambda_s$ フィルタ / デジタル信号
	評価する範囲	—	形体の長さ
	最大高さ	—	Pt
	評価する範囲	—	—
粗さ曲線		位相補償形 / 短波長 $\lambda_c$	位相補償形 / 帯域 $\lambda_s - \lambda_c$
	評価する範囲	基準長さ $\lambda_c$ 毎、 $\ell_n$ で平均	基準長さ $\lambda_c$ 毎、個々に
	最大高さ	最大高さ $R_y$	最大高さ $R_z$
	十点平均粗さ	$R_z$	$R_{zjs}$
	中心線平均粗さ	$Ra_{75}$	$Ra_{75}$
	算術平均粗さ	算術平均粗さ $Ra$	算術平均粗さ $Ra$
	山谷平均間隔	凹凸の平均間隔 $S_m$	粗さ曲線要素の平均長さ $RS_m$
	局部山頂間隔	局部山頂平均間隔 $S$	—
	負荷長さ率	負荷長さ率 $tp$ （基準長さ毎）	負荷長さ率 $R_m$ （ $r$ 評価長さ全体）
	他の高さパラメータ	—	$R_p, R_v, R_t, R_c, R_q$
	高さ特長パラメータ	—	$R_{sk}, R_{ku}$
	複合パラメータ他	—	$R_{\Delta q}, R_{\delta c}, R_{mr}$

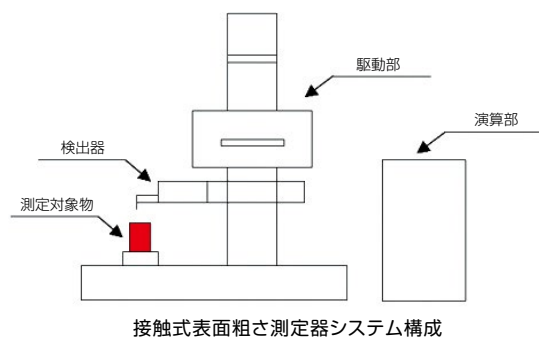
## 3-1

## 接触式

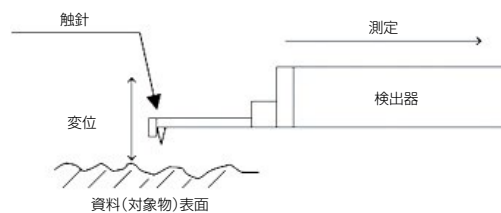
触針の先端が試料の表面に直接触れる方式です。

検出器の先端には触針がついていて、この触針で試料の表面をなぞり、触針の上下運動を電氣的に検出します。

その電気信号を増幅、デジタル化などの処理を行い記録します。



接触式表面粗さ測定器システム構成



表面粗さ情報の取得

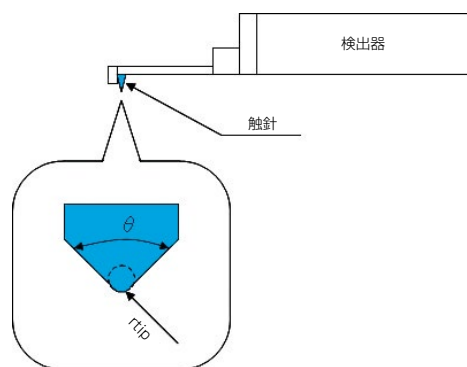
接触式表面粗さ計で微細な形状や粗さを精度良く測定するためには、触針の先端 R がなるべく小さいことや接触圧が少ないことが求められます。

触針の材質はサファイヤまたはダイヤモンドが使われていて、触針の先端半径は通常約  $10\mu\text{m}$  以下です。理想的な触針の形状は球状先端をもつ円錐になります。

先端半径： $r_{\text{tip}} = 2\mu\text{m}$ 、 $5\mu\text{m}$ 、 $10\mu\text{m}$

円錐のテーパ角度： $60^\circ$ 、 $90^\circ$

※理想的な測定機では、特別な指示がない限り円錐のテーパ角度は  $60^\circ$



触針先端形状

## 3-2

接触式  
表面粗さ・  
形状測定機  
の特長

## 〈〈〈 長所 〉〉〉

- 明瞭な形状波形が得られる
- 長い距離の測定が可能

## 〈〈〈 短所 〉〉〉

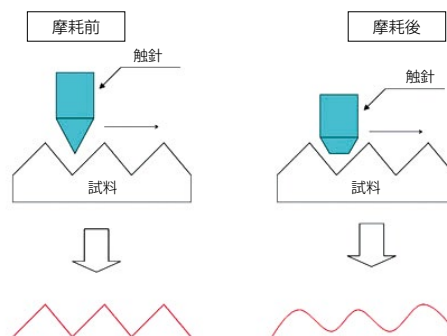
- 触針が摩耗する
- 測定力により試料の表面に傷を残す
- 粘着性のある試料は測定できない
- 触針の先端 R より小さい溝は測定できない
- 測定時間が長い
- 微小な測定ポイントの位置決め、確認が困難
- 検出器でトレースできるよう  
試料の切断・加工が必要

接触式表面粗さ計は、試料に直接触れるため、測定に置ける信頼性は高くなります。しかし、直接触れることが同時に上記のような短所も生み出します。

特に注意が必要なポイントについて説明します。

### 触針の摩耗

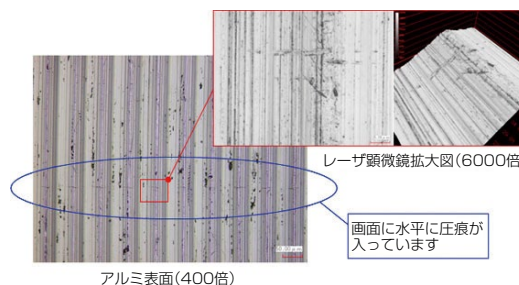
触針は摩耗するため研磨が必要になります。測定対象物の材質・形状によってフラットになったり楕円になったり摩耗の形態も一様ではありません。触針の形状が異なる場合は当然得られる形状波形は異なってきます。摩耗の有無を判定する方法としては、市販の摩耗検定の標準片を使用する方法があります。摩耗前に標準片を測定したときのデータと使用後のデータの形状（溝の幅など）を比較測定し摩耗の有無を判定します。



触針の摩耗による測定結果の違い

### 測定力による試料への圧痕

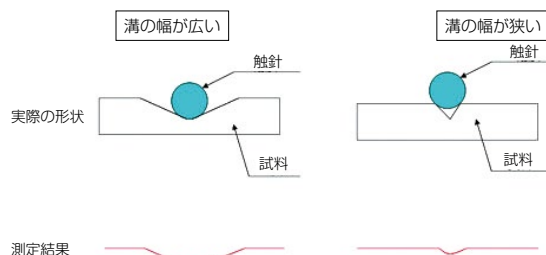
触針は材質としてサファイヤやダイヤモンドが使われているということは既に述べましたが硬い材質を使用している分、対象物の表面には傷が付いてしまう場合があります。特に並行調整を繰り返し行った場合や、触針を高速送りにすると試料に傷を付けやすくなります。



触針の測定力による圧痕

### 触針の先端 R より小さい溝は測定できない

触針の先端は球状になっています。触針の先端 R に対して幅が狭い溝（傷など）は正しく形状を取ることができません。



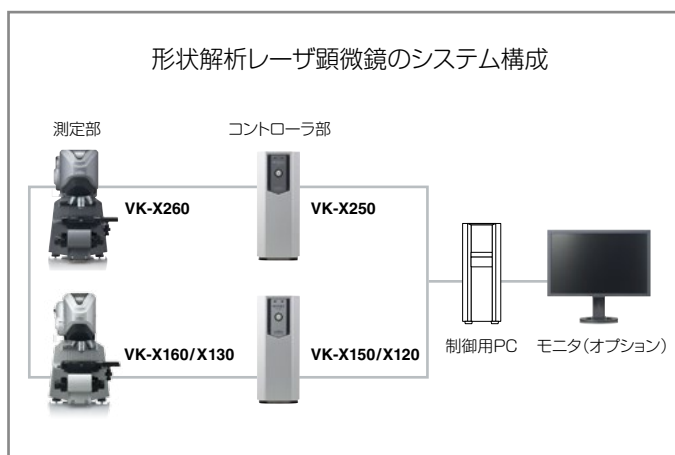
触針の先端 R と試料の溝の幅

## 3-3

### 非接触式

非接触式は、接触式の触針の代わりに光を用いたものです。共焦点方式や白色干渉方式など、原理の違いにより複数の方式があります。また、接触式の検出器が光センサになっただけのタイプや顕微鏡タイプのものなど形態も様々です。ここでは弊社の形状解析レーザ顕微鏡 VK-X シリーズを例に共焦点方式について説明します。

形状解析レーザ顕微鏡は、共焦点原理を利用し対象物表面の凹凸測定を行う顕微鏡です。光源としてはレーザを用います。右図のようなシステム構成となっており、測定部の XY ステージに対象物をセットし測定を行います。



弊社の形状解析レーザ顕微鏡 VK-X シリーズでは、測定部の内部に XY スキャナが組み込まれており、光源であるレーザを対象物の表面で X 方向 Y 方向に走査し面の凹凸データを取得します。以下に原理を述べます。

### 形状解析レーザ顕微鏡の測定原理

① レーザ光源から出たレーザが対象物表面をスキャンします。

② 対象物表面から反射したレーザ光はハーフミラーを通り、受光素子に入光します。このとき、入光した反射の光量とレンズの高さ位置をメモリーします。レーザ顕微鏡が取得するデータ数は X 方向 1024 データ、Y 方向 768 データとなっており、 $1024 \times 768 = 786432$  ポイントの全てのポイントの反射光量とレンズの高さ位置がメモリーされます。

③ 一つの面のスキャンが終了すると、対物レンズが Z 方向に指定したピッチで移動します。

④ 移動した面で同じように面スキャンを行い、 $1024 \times 768$  のポイントでレーザの反射光量をチェックします。それぞれのピクセルの反射光量を  $v$  でメモリーした反射光量と比較し、上回っている場合は、反射光量のデータとレンズの高さ位置のデータを書き換えます。

⑤ ②から④の動作を指定した Z ディスタンス分繰り返します。

⑥ 最終的に  $1024 \times 768$  の各ピクセルには、それぞれのピクセルにおいて一番レーザの反射が強く返ってきたときの、反射光量とレンズの高さ位置がメモリーされています。

⑦ 光学式顕微鏡においては対象物にピントが合うときの WD（ワーキングディスタンス：対物レンズと対象物の間の距離）は一定になります。反射光量が最大になったときにピント（焦点）が合っているとみなすと、ピント（焦点）があったとき、すなわち反射光量が最大になったときのレンズの高さ位置をつなぎ合わせることで、顕微鏡の観察領域（ $1024 \times 768$  ピクセル）における 3 次元データを取得することができます。

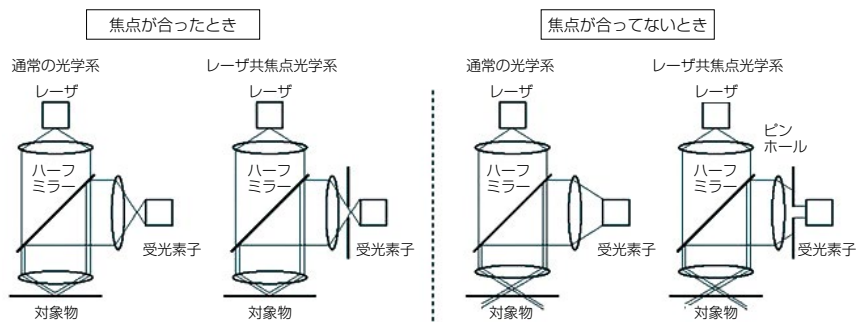


### 形状解析レーザ顕微鏡の測定精度

「ピント（焦点）が合ったときに反射光量が最大となる」という共焦点原理を利用した顕微鏡の測定精度には、反射光量のピーク値を正確に読み取る能力が大きな影響を及ぼします。共焦点光学系を構成する方式は複数あります。以下は弊社の形状解析レーザ顕微鏡が採用している「ピンホール共焦点方式」についてです。

ピンホール共焦点方式は、受光素子の前にピンホールが設けられています。ピンホールの直径はわずか数  $10 \mu m$  で、焦点が合っていないときの反射光を遮断する役目を持っています。

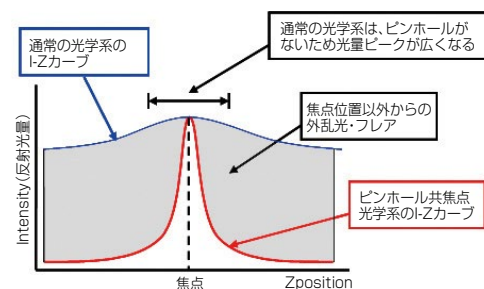
下図で「焦点が合ったとき」では、通常の光学系もレーザ共焦点光学系も受光素子に反射光が入光しています。「焦点が合っていないとき」を見てみると、通常の光学系では受光素子に反射光（ピンボケ光）が入光していますが、レーザ共焦点光学系ではピンホールにより反射光（ピンボケ光）が遮断されています。すなわち、焦点が合ったときのみに受光素子に反射光が入光する構造になっており、これにより共焦点光学系を構成します。



ピンホール共焦点光学系と通常の光学系の受光素子への入光イメージ



実際に入光する反射光量を共焦点光学系と通常の光学系でシミュレーションすると右図のようになります。共焦点光学系では焦点位置で反射光量がピークを描いているのに対し、通常の光学系ではなだらかなカーブを描きます。焦点位置付近でピークがたたないため焦点位置を検出することは困難になります。



ピンホール共焦点光学系と通常の光学系の焦点位置検出

### レーザのXY方向分解能

非接触式では接触式の触針にあたるのが光のスポットになります。非接触式では、接触式と異なり対象物に直接触れないため、触針が摩耗するとか、対象物が傷つくというデメリットは発生しません。しかしながら、対象物の形状を正確に測定するためにはスポット径の大きさが重要になります。スポット径が大きければ実際の形状より滑らかなデータしか取得できません。

レーザ顕微鏡の場合では、光源にレーザを用いているため非常に微小なスポットを作ることができます。×150 (N.A. = 0.95) の対物レンズを使用したときは、レーザ光源にバイオレットレーザを用いた VK-X250 では平面空間分解能としては  $0.13 \mu\text{m}$  の解像度を実現しています。接触式では測定できないような狭小な幅の凹凸もレーザ顕微鏡であれば測定が可能です。

## 3-4

### 非接触式 表面粗さ・ 形状測定機 の特長

既に説明しているポイントも含めて、非接触式の特長をまとめると以下のようになります。

#### 〈〈長所〉〉

- 試料の表面を傷つけない
- 接触式と比較して微小な凹凸を測定できる
- 測定時間が短い
- 観察画像と同時に形状を比較することができる (顕微鏡タイプ)
- SEM に匹敵する高解像度・超深度画像を取得できる (カラー 3D レーザ顕微鏡)

### 測定時間

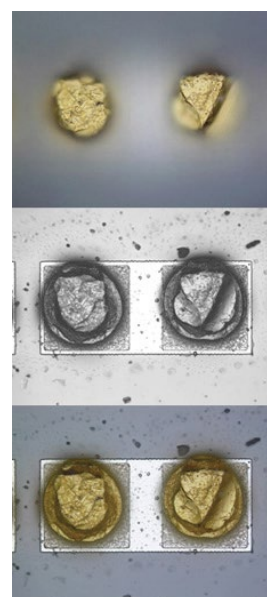
形状解析レーザ顕微鏡の場合では、 $1024 \times 768$  の一画面をスキャンする時間は約 0.1 秒です。Z 方向に 100 ステップのデータを持つ 3 次元データを取得するために要する時間は約 10 秒です。横一本のラインということになると、約 1.5 秒で 1000 ステップのデータを取得することができます。



## 観察画像と形状の同時比較 &

### 高解像度・超深度画像取得

形状解析レーザ顕微鏡は、測定中にレーザ反射光量情報を取得します。（レーザ顕微鏡測定原理参照）このレーザ反射光量情報を利用して対象物の表面状態をレーザ画像で取得できます。また、VK-X シリーズではレーザ用の受光素子とは別にカラー CCD カメラが内蔵されており、これにより対象物の色情報を取得することができます。レーザ画像は非常に解像度が高く、また、焦点があった部分を積み重ねて画像を作製するため、電子顕微鏡（SEM）に匹敵する観察画像を得ることができます。また、この高解像度のレーザ画像にカラー CCD からの色情報を重ねることによりカラーで画面の全てに焦点のあった画像で観察ができます。（カラー超深度画像）これは SEM には真似のできない画像になります。



【通常の光学顕微鏡画像】  
凹凸のある対象物では一部にしか焦点が合わない。

【レーザによる超深度画像】  
画面全てにピントが合い、且つ高解像度で観察可能。

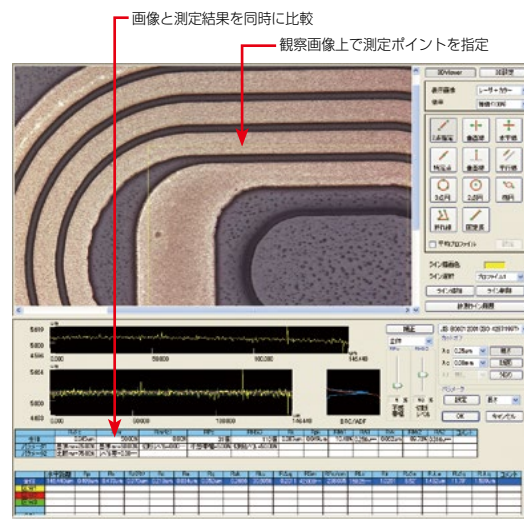
【カラーレーザ超深度画像】  
高解像度・超深度・カラーでの観察が可能。

形状解析レーザ顕微鏡の観察画像  
(半導体パンプ×100)

粗さや形状を測定する際には観察画面上でポイントを指定するだけで形状測定ができるため以下のようなメリットが発生します。

- 測定ポイントを正確に指定することができる
- 形状と画像を同時に確認できるため構造の確認が容易

右図は実際の形状解析レーザ顕微鏡 VK-X シリーズの粗さ測定画面の一例です。接触式では基板上パターン上部に触針を設置することは困難ですが、レーザ顕微鏡の場合は画面上で確認できるため容易に行えます。



形状解析レーザ顕微鏡の粗さ測定画面

## 大型対象物への対応

通常、顕微鏡タイプの場合では XY ステージ乗るような対象物以外は測定できません。形状解析レーザ顕微鏡 VK-X シリーズでは顕微鏡を測定ヘッド部と土台部の二つに分けることができる構造となっています。大型対象物専用の治具により対象物に対する制限はありません。右図は FPD パネル用大型ステージと組み合わせた例です。



大型対象物対応ステージと形状解析レーザ顕微鏡の  
組み合わせ例

「形状測定入門（表面粗さ編）」をご覧くださいまして有難うございました。  
詳細な商品カタログやお見積りなどご希望がございましたら、  
下記連絡先までお気軽にご連絡ください。

商品に関するお問い合わせや  
技術的な内容はこちらまで



0120-739-007

一部の IP 電話からはご利用いただけません。



商品カタログご請求はこちらから

[www.keyence.co.jp/microscope/special/vkx/](http://www.keyence.co.jp/microscope/special/vkx/)

【下記の無料サービスをお気軽にご請求ください】

## FAXコミュニケーションシート

### ☐ 出張デモンストレーション

お客様のところへ実機をお持ちし、お客様の対象物を  
その場で拡大観察・形状解析などを行ないます。

### ☐ 最新商品カタログ

商品の詳しい紹介を載せたレーザー顕微鏡の  
最新カタログを送付させていただきます。

### ☐ リース・割賦での導入のご提案

最新レーザー顕微鏡が月々わずかな費用で導入可能。  
ご予算計画に応じたリースのご提案をいたします。

### ☐ 概算見積り

ご希望のシステムがどれくらいの価格になるか、  
お気軽にお問い合わせください。

### ☐ テストデータ取り

お客様の観察対象物をお預かりできましたら、  
どの様に拡大観察・形状解析ができるのかを  
サンプルとしてデータ取りさせていただきます。

ご希望のサービスがありましたら、  
上記の内容にご記入いただき  
コピーを取って、FAXをお願いします

**FAX**  
**06-6379-1333**

0発信の場合は、0をお忘れなく

**0-06-6379-1333**

※名刺貼付でも可。セロハンテープなどで、はがれないようにしっかりと貼り付けてください。

(〒                      )	
勤務先所在地	
勤務先	
所属部署名	
ふりがな	
ご氏名	電話
E-mail	

当社は個人情報保護に関する法令などを遵守し、お客様の住所・部署・氏名等の個人情報は、生産や研究開発における効率化や改善提案等の情報のご案内に限り使用させていただいております。

株式会社 キーエンス

本社・研究所／マイクロ스코プ事業部

〒533-8555 大阪市東淀川区東中島1-3-14 Tel 06-6379-1141 Fax 06-6379-1140

お客様相談窓口

フリーダイヤル

0120-739-007

一部のIP電話からはご利用いただけません。

マイクログ-1017

[www.keymsp.jp](http://www.keymsp.jp)

記載内容は、発売時点での当社調べであり、予告なく変更する場合があります。記載されている会社名、製品名等は、それぞれ各社の商標または登録商標です。

Copyright© 2017 KEYENCE CORPORATION. All rights reserved.

1068-3 151177