

**OLYMPUS**

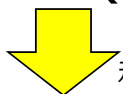


## ISO三次元表面性状パラメータと活用法

オリンパス株式会社 | 産業機器営業 | 牛丸元春 | 2020年11月11日

# “線粗さ”と“面粗さ”について

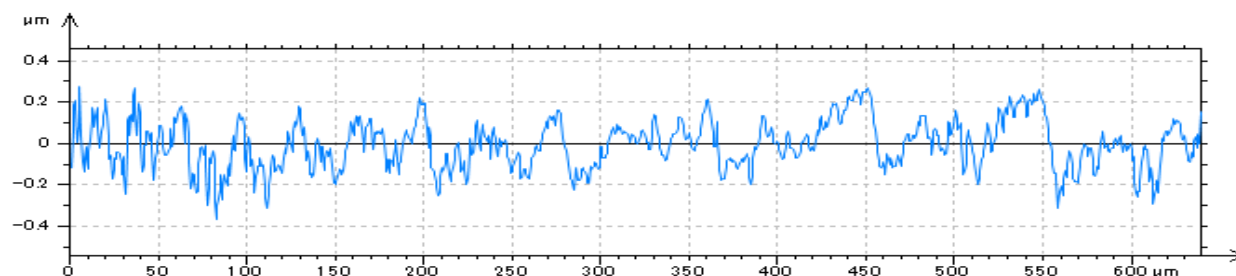
線粗さ(通称)



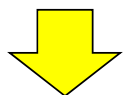
規格上の正式名称は

輪郭曲線方式  
(Line Profile)

メリット：信頼性が高く、商取引上の基準になっている

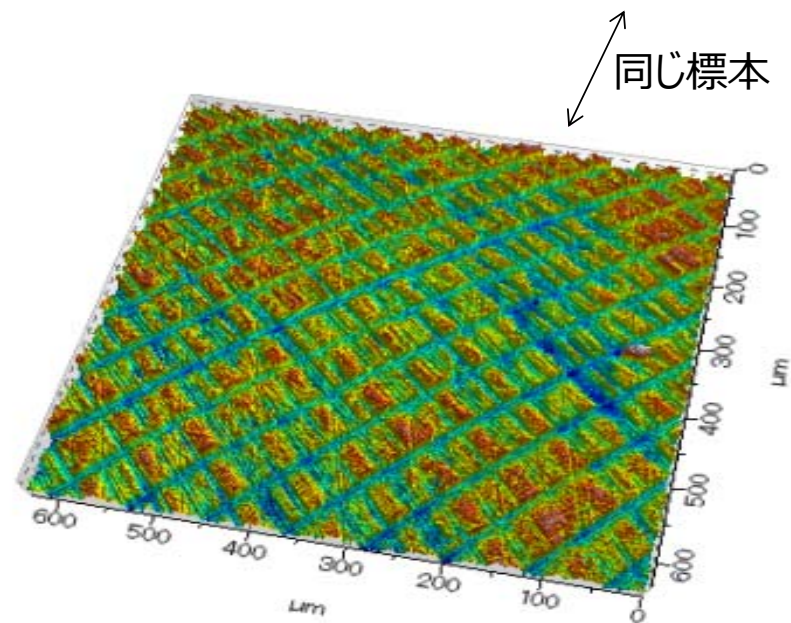


面粗さ (通称)



三次元方式  
(Areal)

メリット：情報量が圧倒的に豊富



## 規格番号の対応関係

	線粗さ（輪郭曲線）方式	面粗さ（三次元）方式
表面性状 パラメータ	JIS B0601:2013 JIS B0671:2002 JIS B0631:2000	JIS B0681-2:2018
測定条件	JIS B0633:2001 JIS B0651:2001	JIS B0681-3:2019
フィルタ	JIS B0632:2001	ISO16610シリーズ (一部のみJIS化 JIS B0635:2018)
測定機の分類	(触針式のみを想定 してるため存在しない)	JIS B0681-6:2014
測定機の特性	JIS B0651:2001	ISO25178-602~607
測定機の校正	JIS B0670:2002	ISO原案作成途中
校正用標準片	JIS B0659-1:2002	ISO25178-70 : 2013
図示法	JIS B0031:2003	ISO25178-1:2016

## “線粗さ”と“面粗さ”の主な相違点

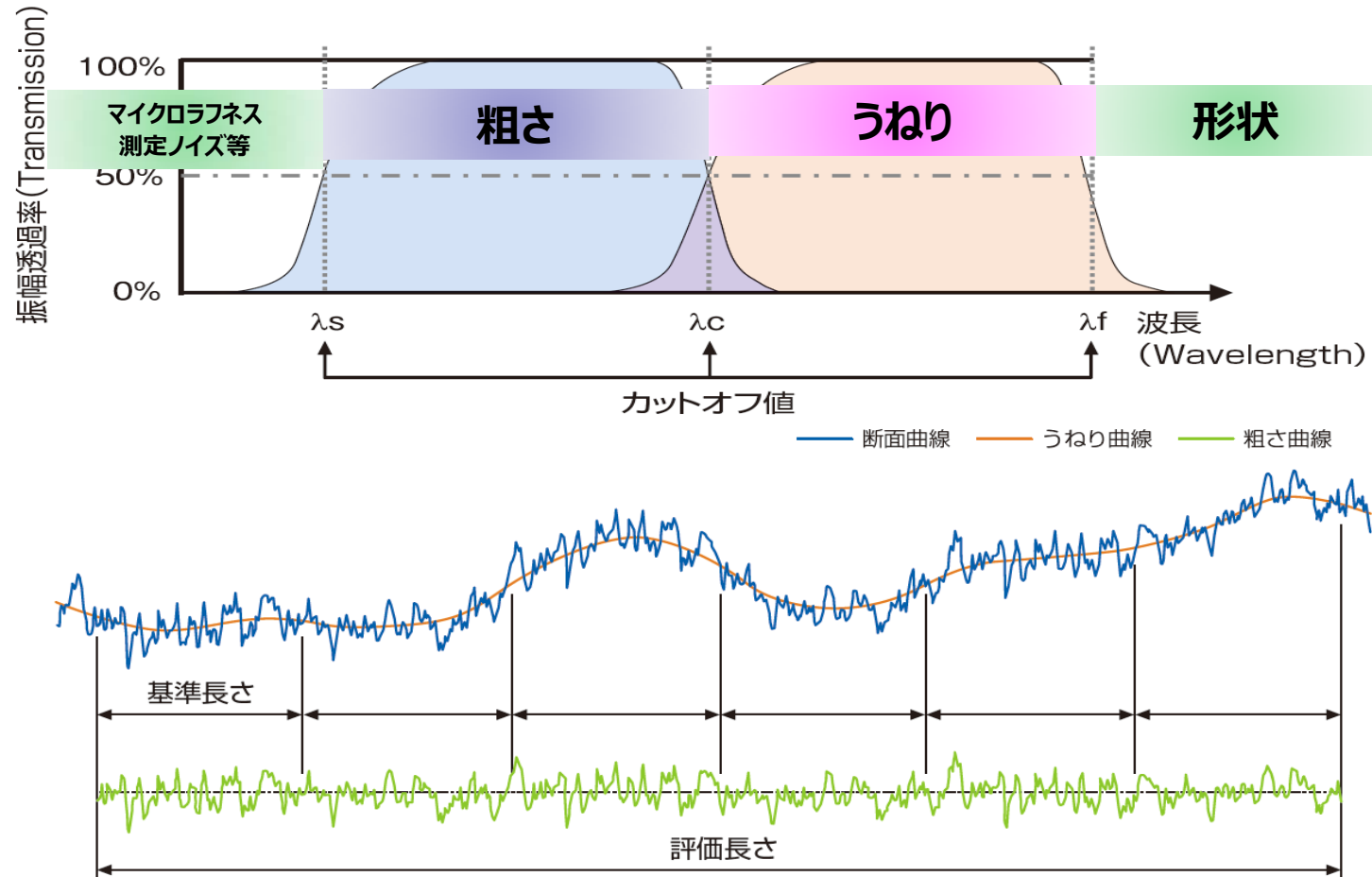
	線粗さ (輪郭曲線方式)	面粗さ (三次元方式)
測定機	・触針式	・触針式 ・非接触式
フィルタ	・カットオフ λ s フィルタ λ c フィルタ λ f フィルタ	・ネスティングインデックス Sフィルタ Lフィルタ F演算
測定条件	・標準測定条件あり	・目的に応じて、利用者が決める (標準条件なし)
表面性状 パラメータ	Ra, Rq, Rz, Rsk, Rku, Rk, …… など	Sa, Sq, Sz, Ssk, Sku, Sk, ……など輪郭曲線方式を 3次元に拡張したパラメータ 3次元方式独自の新規パラメータ

---

# フィルター処理について

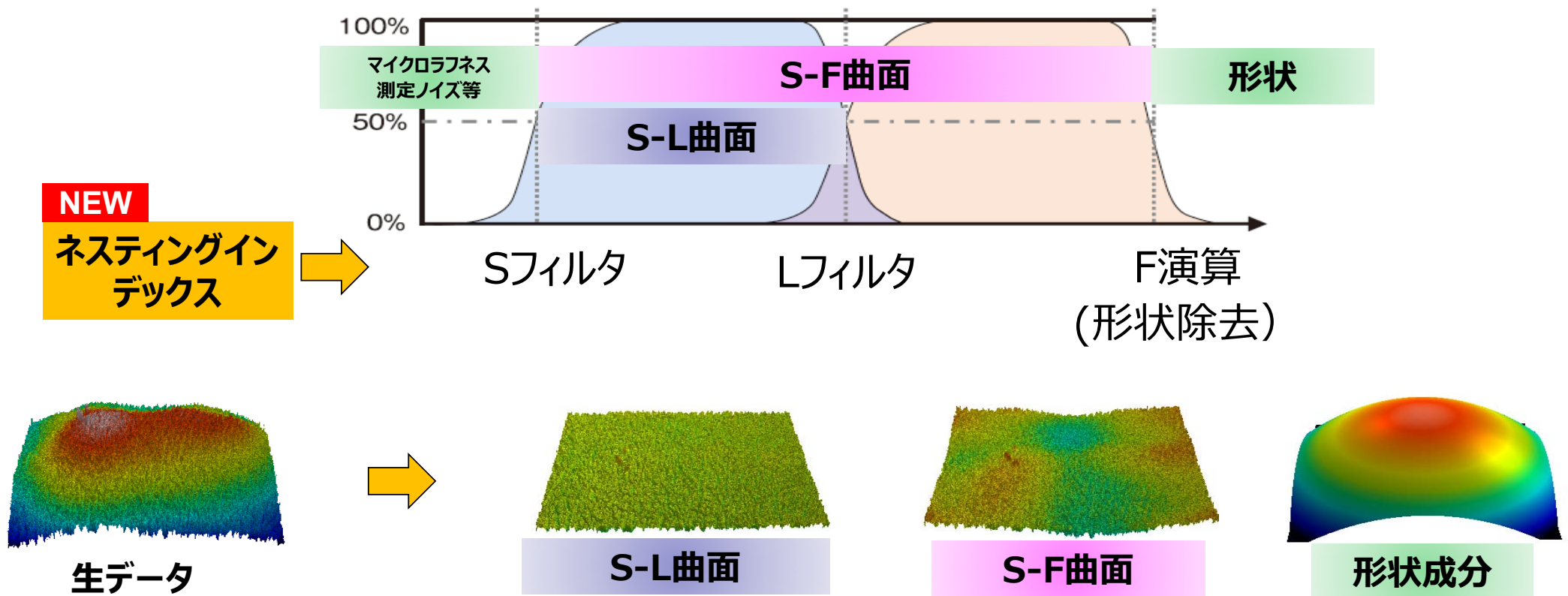
## 線粗さ（輪郭曲線）方式のフィルタの考え方

◆ “粗さ”と“うねり”成分に分離してから解析する。



# 面粗さ（三次元）方式のフィルタの考え方

◆ “S-L曲面”と“S-F曲面”に分離してから解析する。⇒“粗さ”や“うねり”といった表現は使わない！



---

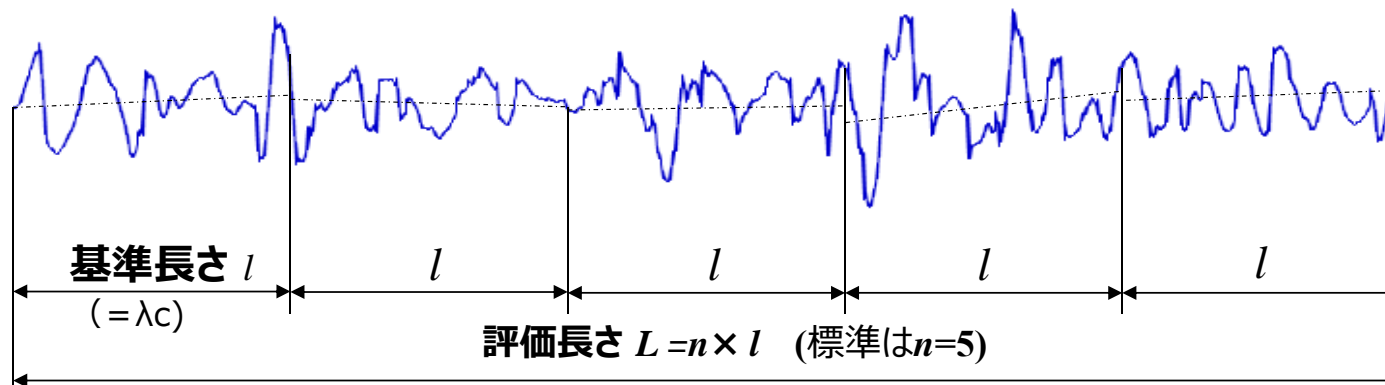
# 測定条件について

# 線粗さ（輪郭曲線）方式の場合

JIS B0633:2001

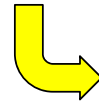
JIS B0651:2001

非周期的(ランダム)波形				周期的波形 及び RSmの評価		測定条件				
Ra, Rq, Rsk, Rku, Rdqの評価		Rz, Rv, Rp, Rc, Rtの評価		RSmの評価		基準長さ $\lambda_c$ (カットオフ) (mm)	評価長さ $5 \times \lambda_c$ (mm)	$\lambda_s$ ( $\mu m$ )	最大の 触針先端 半径 Rtip ( $\mu m$ )	最大 サンプリング 間隔 ( $\mu m$ )
Raの範囲 ( $\mu m$ )		Rzの範囲 ( $\mu m$ )		RSmの範囲 (mm)						
超え	以下	超え	以下	超え	以下					
0.006	0.02	0.025	0.1	0.013	0.04	0.08	0.4	2.5	2	0.5
0.02	0.1	0.1	0.5	0.04	0.13	0.25	1.25			
0.1	2	0.5	10	0.13	0.4	0.8	4		2 (Rz>3なら 5でも可)	
2	10	10	50	0.4	1.3	2.5	12.5	8	5	1.5
10	80	50	200	1.3	4	8	40	25	10	5



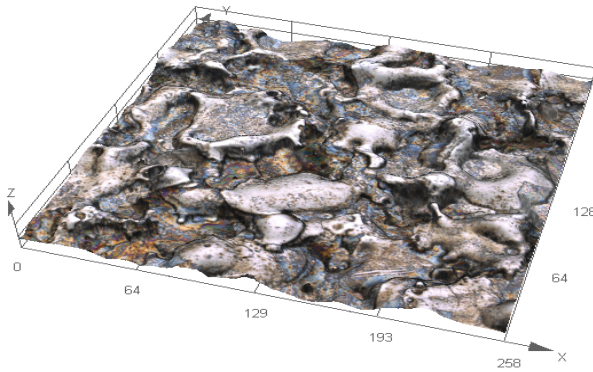
## 面粗さ（三次元）方式の場合

- ◆ 評価の目的に応じて、**設計者あるいは評価者が測定・評価条件を決める。**
  - ⇒加工方法や評価の目的が多様化しているため一律には決められない。
  - ⇒業界団体や取引企業間での取り決めが必要になると思われる。
- ◆ 評価する領域は**注目する形状成分の5倍以上**の大きさの**正方形** (JIS B0681-3:2019に記載)

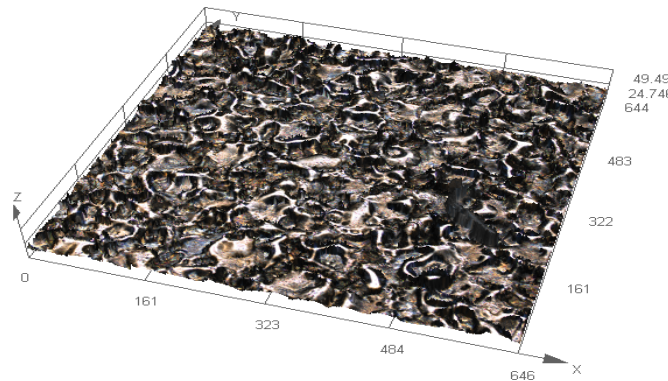


表面機能を最も支配する(と思われる)特徴的な形状成分

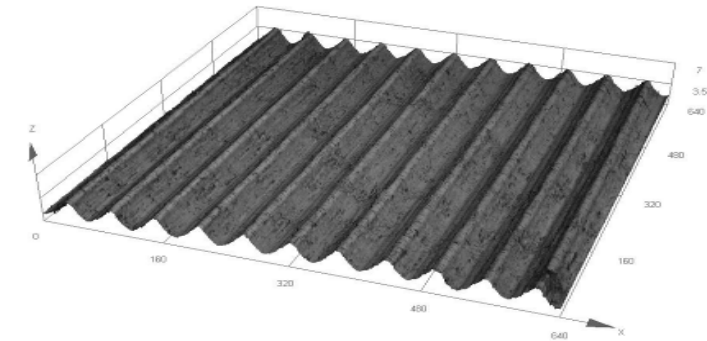
例) 最も大きな形状（構造）に注目したすると、、、



(a)測定領域不足



(b)OK



(c)OK

---

# 表面性状パラメータについて

## 面粗さ（三次元表面性状）パラメータ（ISO25178-2:2012）

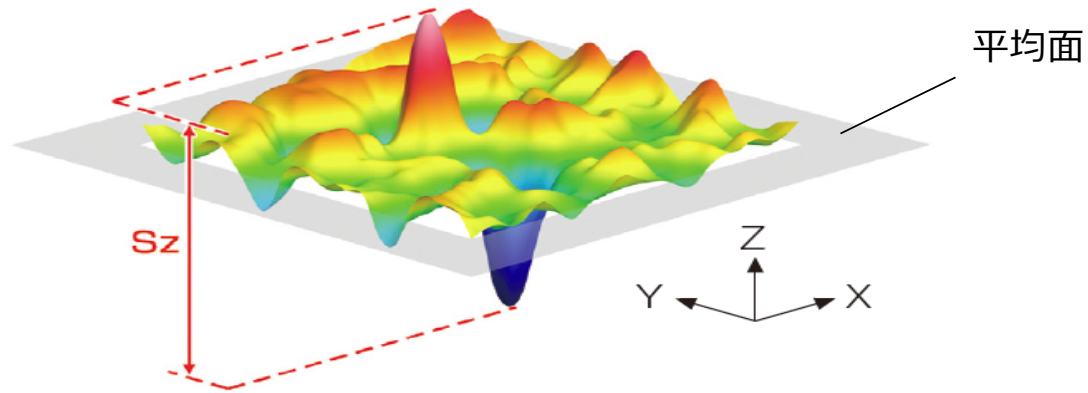
---

- ◆ 「断面（P）」、「粗さ（R）」、「うねり（W）」のように記号で区別はしない。
- ◆ 面粗さは「 $S_{\square}$ 」と表記する。（一部パラメータは「 $V_{\square}$ 」）
- ◆ 主要パラメータの区分け
  - 高さ方向のパラメータ
  - 空間パラメータ
  - 複合パラメータ
  - 機能と関連するパラメータ
  - 形体パラメータ

# 高さ方向のパラメータ（1）・・・ピーク高さを数値化

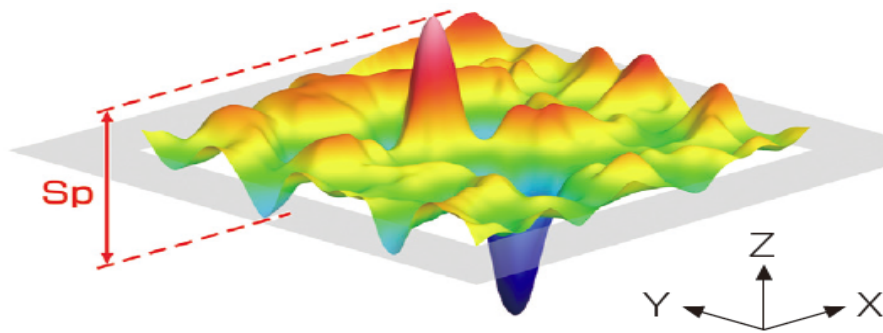
Sz: 最大高さ

$$S_z = S_p + S_v$$



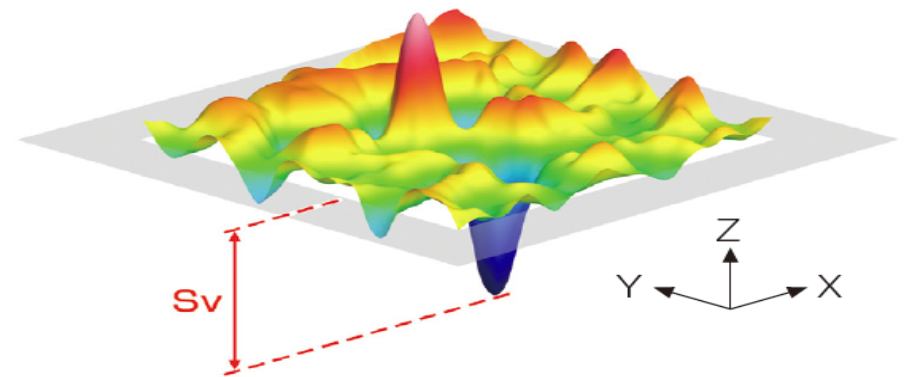
Sp: 最大山高さ

$$S_p = \max (Z(x,y))$$



Sv: 最大谷深さ

$$S_v = \min (Z(x,y))$$



## 高さ方向のパラメータ（２）・・・高さの統計量を数値化

S<sub>a</sub> : 算術平均高さ・・・・・・・・平均面からの高さ(絶対値)の平均値

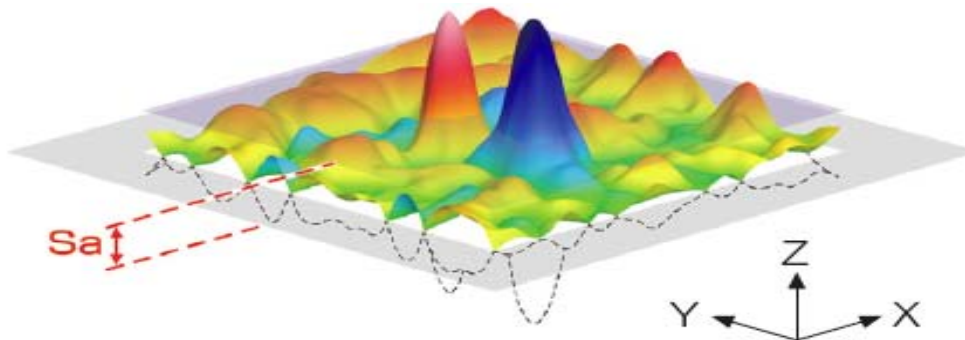
$$S_a = \frac{1}{MN} \sum_{j=1}^N \sum_{i=0}^M |Z(x_i, y_j)|$$

= 平均面からの高低差の平均値

S<sub>q</sub>: 二乗平均平方根高さ・・・・・・・・平均面からの二乗平均の平方根。

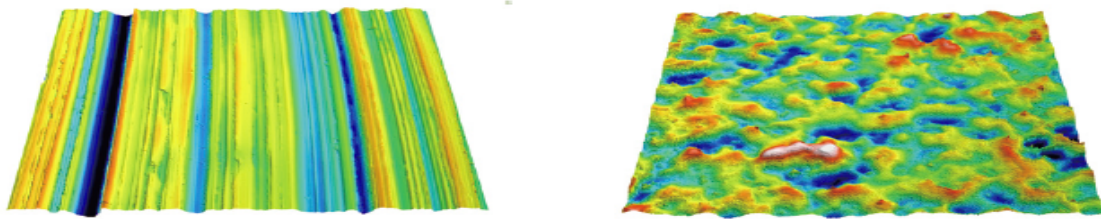
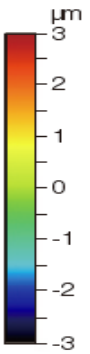
$$S_q = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{j=1}^N \sum_{i=0}^M Z^2(x_i, y_j)}$$

= 標準偏差



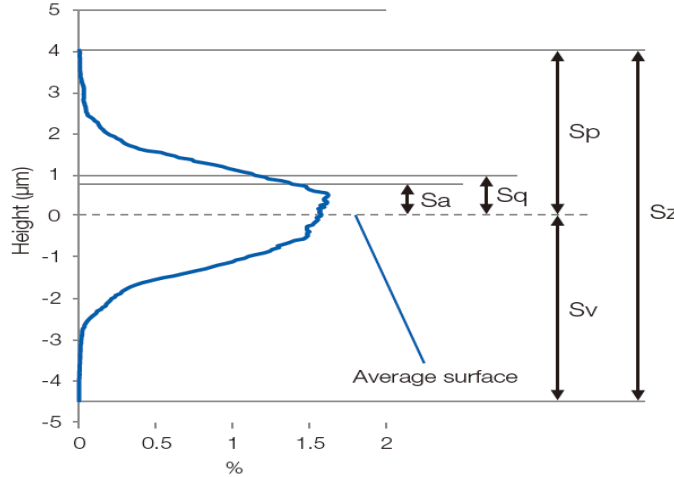
- S<sub>q</sub>は標準偏差と等価なので統計的に取り扱いやすい。
- 正規分布の場合、S<sub>a</sub>≒0.8×S<sub>q</sub>の関係性あり

# 利用例) 凹凸の大きさを評価したい (Sq, Sa, Sz, Sp, Sv)



Sq	1μm	1μm
Sa	0.8μm	0.81μm
Sz	5.53μm	8.57μm
Sp	1.98μm	4.04μm
Sv	3.55μm	4.53μm

高さ分布のヒストグラム



- Sz, Sp, Svはゴミやノイズに敏感なので、利用時は注意が必要
- 高さパラメータは水平方向の情報が含まないことに要注意

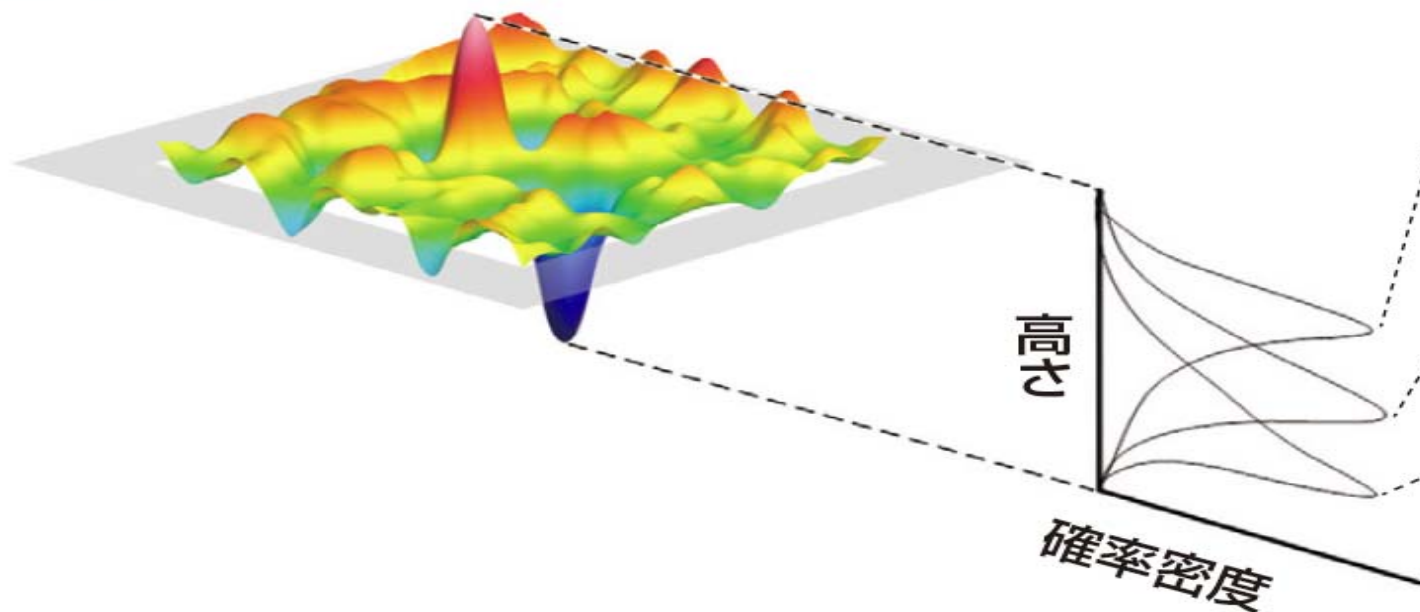
⇒SaやSqが同じ値でも、見た目がまったく違うことがあることに注意

## 高さ方向のパラメータ（3）・・・高さの統計量を数値化

Ssk: スキューネス・・・・・・・・平均面からの高さの**三乗平均**をSq<sup>3</sup>で正規化

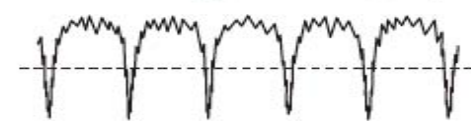
$$S_{sk} = \frac{1}{S_q^3} \cdot \frac{1}{MN} \sum_{j=1}^N \sum_{i=0}^M Z^3(x_i, y_j)$$

輪郭曲面



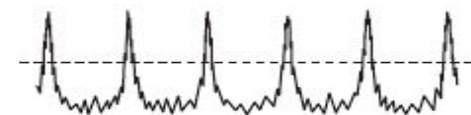
ヒストグラムの偏り度  
合い

Ssk < 0  
上に偏って分布



Ssk = 0  
対称に分布

Ssk > 0  
下に偏って分布

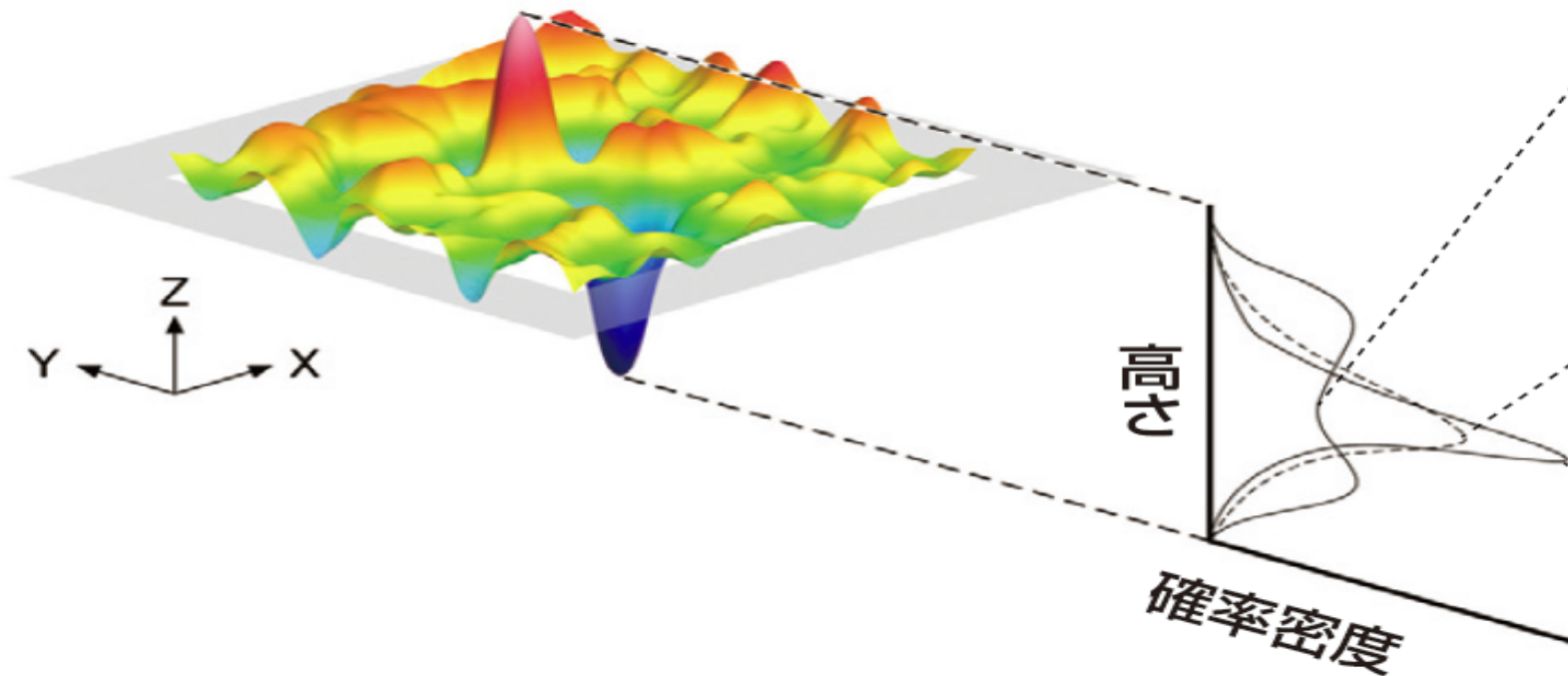


# 高さ方向のパラメータ（４）・・・高さの統計量を数値化

Sk<sub>u</sub>: クルトシス・・・・・・・・平均面からの高さの**四乗平均**をSq<sup>4</sup>で正規化

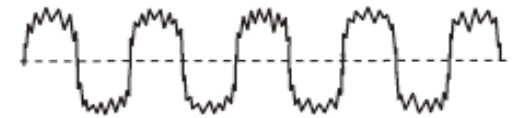
$$S_{ku} = \frac{1}{S_q^4} \cdot \frac{1}{MN} \sum_{j=1}^N \sum_{i=0}^M Z^4(x_i, y_j)$$

輪郭曲面



ヒストグラムの尖がり  
度合い

Sk<sub>u</sub> < 3  
潰れている

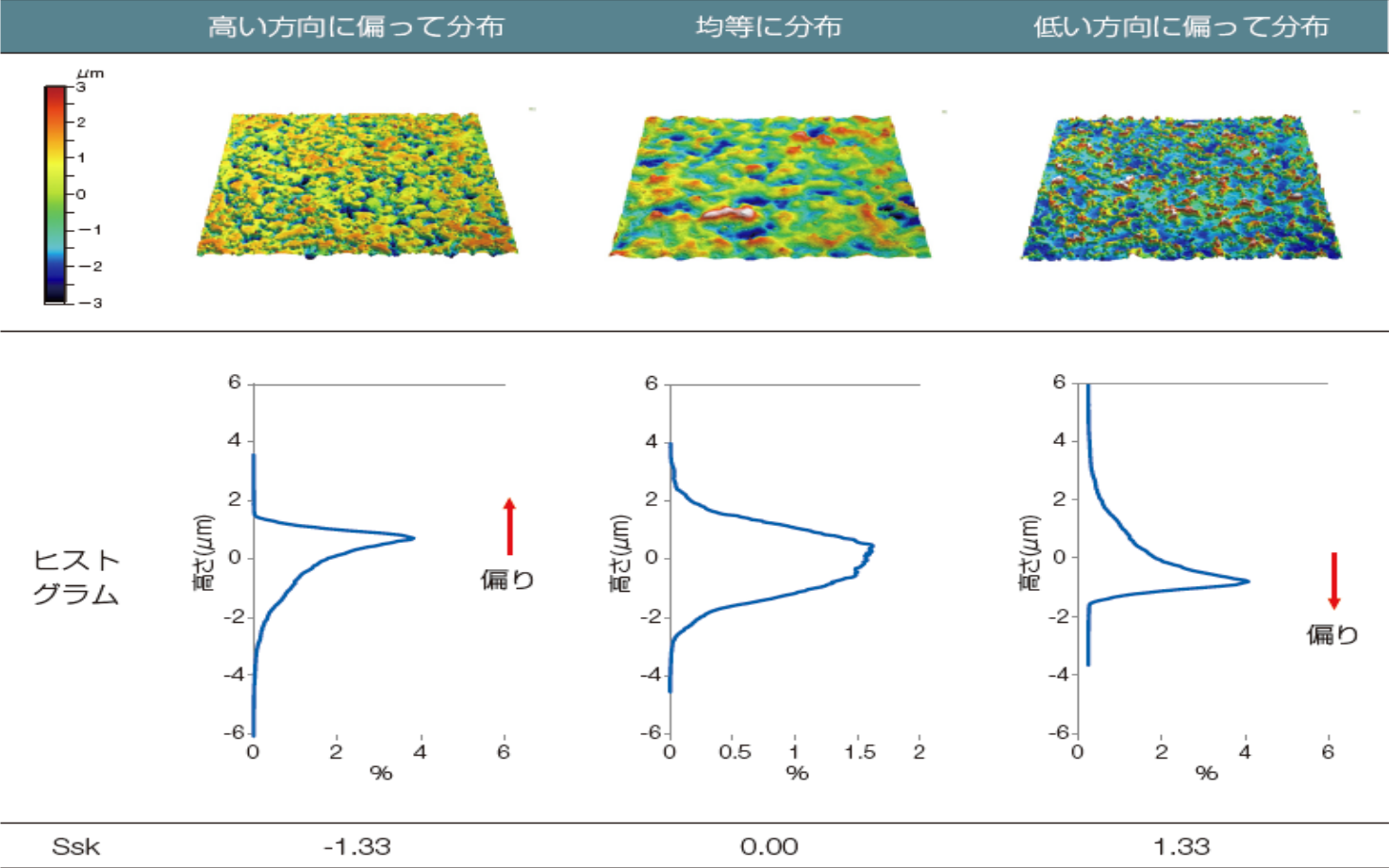


Sk<sub>u</sub> = 3  
(正規分布)

Sk<sub>u</sub> > 3  
尖っている



# 利用例) 高さの分布を評価したい (ヒストグラム、Ssk)



➤ 摺動摩擦等によって突起部の形状が削られるとSskはマイナス符号になる傾向がある。

## 機能と関連するパラメータ（1）

### 負荷曲線を用いたパラメータ $S_k$ , $S_{pk}$ , $S_{vk}$ , $S_{mr1}$ , $S_{mr2}$

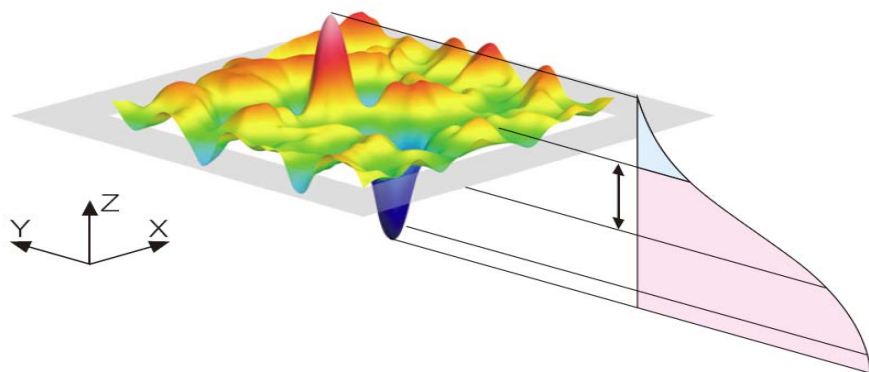
$S_k$  : コア部のレベル差・・・コア部の上限と下限レベルの差

$S_{pk}$  : 突出山部高さ・・・コア部の上にある突出山部の平均高さ

$S_{vk}$  : 突出谷部深さ・・・コア部の下にある突出谷部の平均深さ

$S_{mr1}$  : 突出山部とコア部を分離する負荷面積率

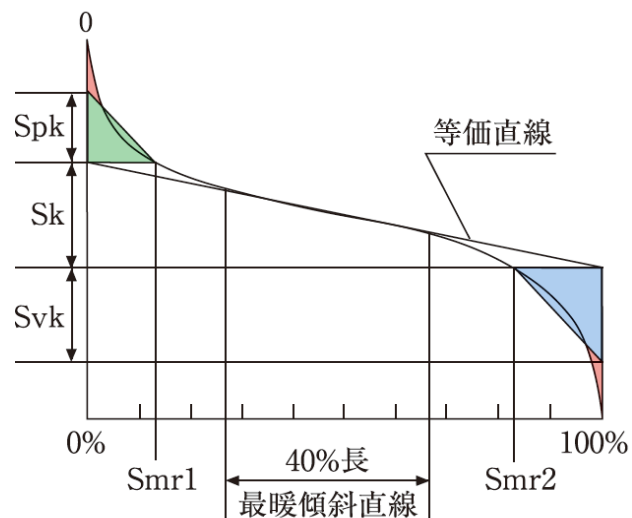
$S_{mr2}$  : 突出谷部とコア部を分離する負荷面積率



突出山部

コア部

突出谷部



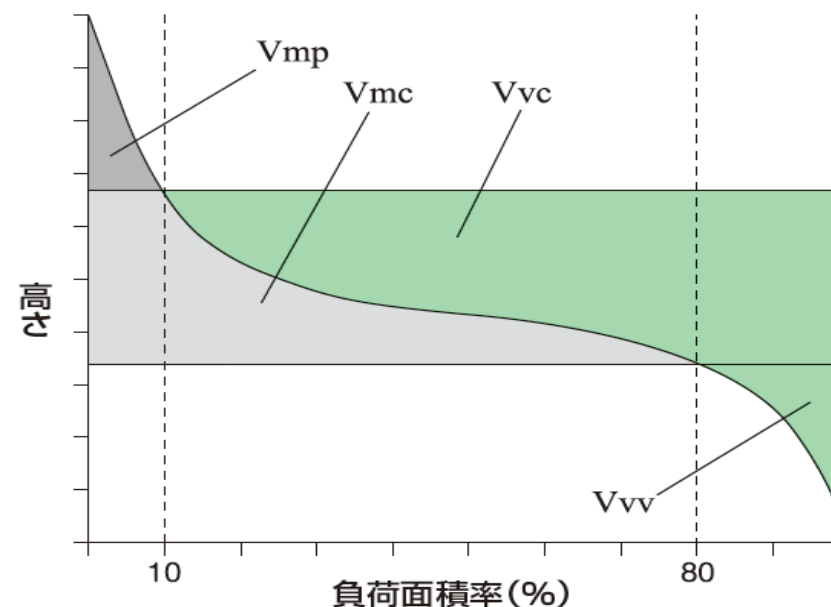
負荷曲線（=累積ヒストグラム）の特徴を数値化 ⇒ 摩擦、摩耗の評価に利用

## 機能と関連するパラメータ（2）

### 体積パラメータ $V_{vv}$ , $V_{vc}$ , $V_{mp}$ , $V_{mc}$

負荷曲線上で実体部（材料部）と空間部（空気部）に相当する体積を図のように求めるパラメータ。負荷面積率が10%と80%の位置を境界として、谷部、コア部、山部に分ける。

- $V_{vv}$  : 突出谷部空間体積
- $V_{vc}$  : コア部空間体積
- $V_{mp}$  : 突出山部実体体積
- $V_{mc}$  : コア部の実体体積

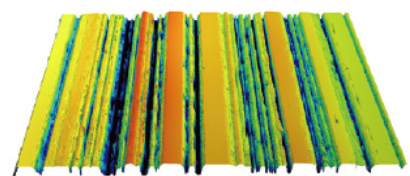
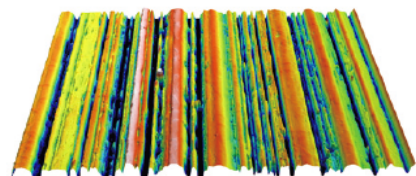
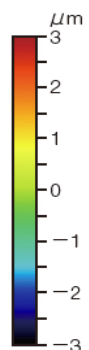


負荷曲線から算出した標本表面の体積を数値化

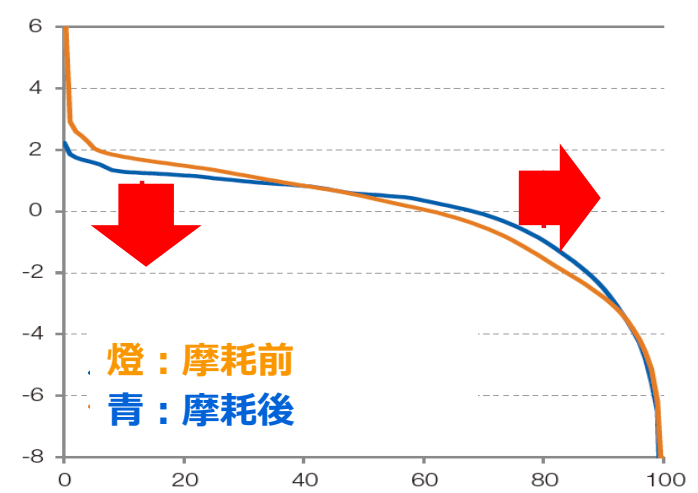
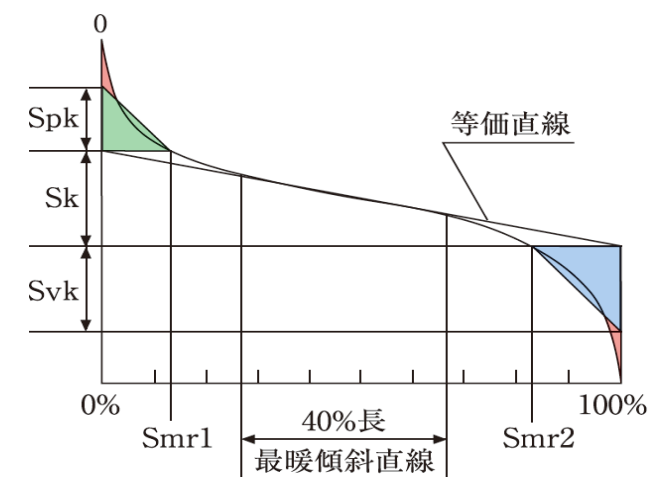
⇒潤滑（油溜まり）の評価に利用される場合が多い

# 利用例) 摩耗を評価したい(Sk、Spk)

① 摩耗前                      ② 摩耗後



Sq	1.9μm	大きくは変わらず	1.7μm
Sk	3.2μm	約50%Down	1.7μm
Spk	1μm	約50%Down	0.46μm



# 空間パラメータ

## 最短の自己相関距離 $S_{al}$

自己相関値が0.2に減衰する横方向の最短距離  $r_{min}$

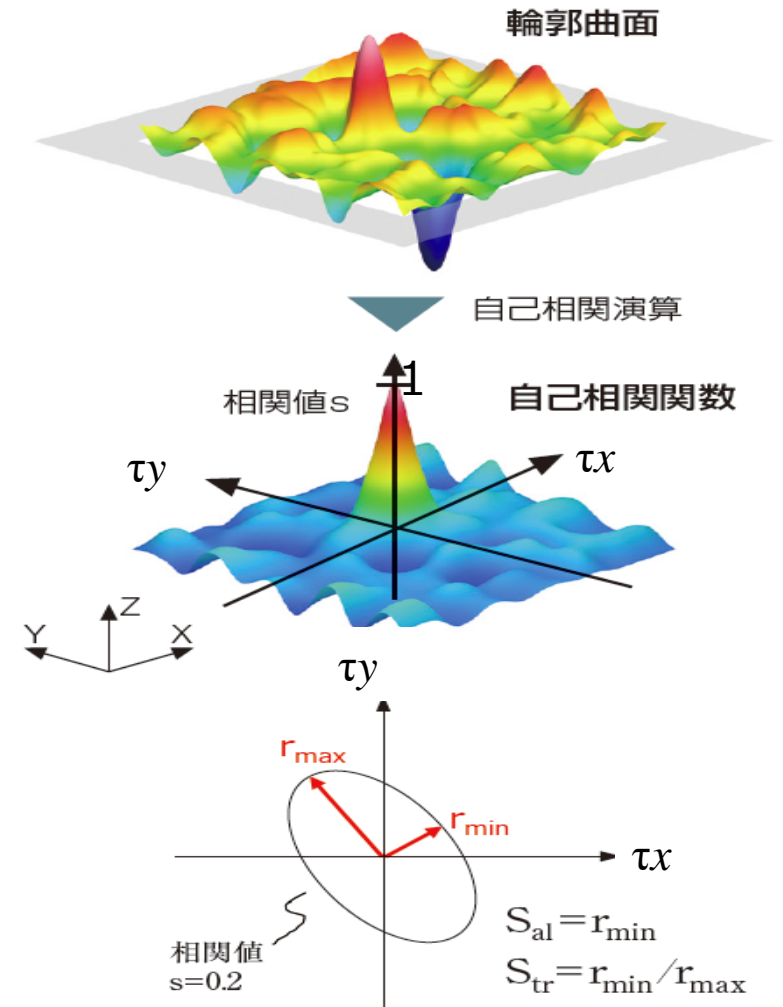
$S_{al}$ が大きい表面は緩やかな凹凸形状が支配的で、 $S_{al}$ が小さい表面は急峻な形状が支配的である。

## 表面性状のアスペクト比 $S_{tr}$

自己相関値が0.2に減衰する横方向の最短距離  $r_{min}$ と最長距離  $r_{max}$ の比。 $S_{tr}$ は0～1の範囲の値となり、表面の異方性の強さを示す。

$S_{tr} > 0.5$ は強い等方性、 $S_{tr} < 0.3$ は強い異方性を持つ表面である。

$S_{al}$ ,  $S_{tr}$ は水平方向の形状情報を扱う数少ないパラメータ。

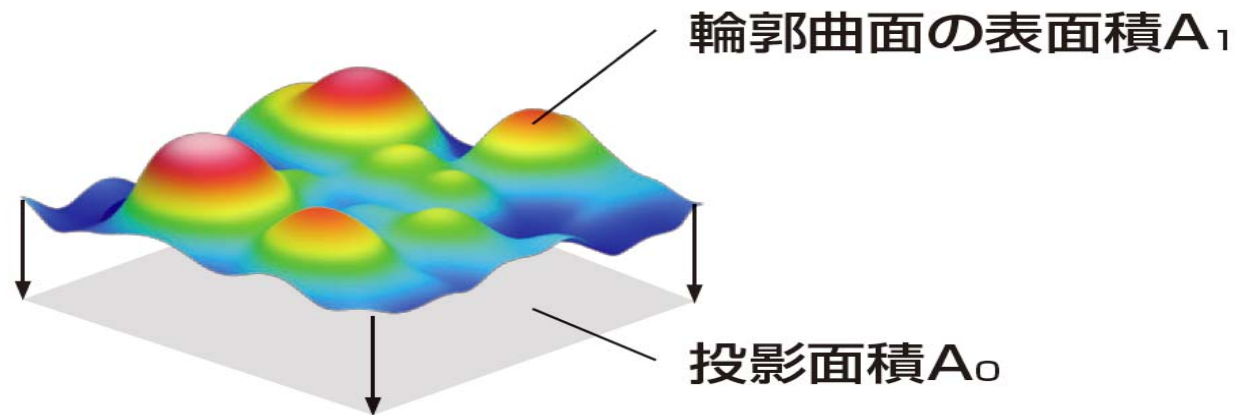


## 複合パラメータ

### 展開界面面積率 Sdr

表面積の増加割合を表わす。

表面積 $A_1$ と、その表面をXY平面に投影した時の面積 $A_0$ から増加割合を求める



$$Sdr = \{(A_1/A_0) - 1\} \times 100 (\%)$$

放熱性、高周波回路の電気特性(Skin effect)の評価等にご利用

## 複合パラメータ

### 二乗平均平方根勾配 Sdq

表面の凹凸形状の局所的な勾配 (=形状の微分) の平均的な大きさを表す。  
Sdqの値が大きいほど急峻な表面となる。



$$Sdq = \sqrt{\frac{1}{A} \iint_A \left[ \left( \frac{\partial z(x,y)}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial z(x,y)}{\partial y} \right)^2 \right] dx dy}$$

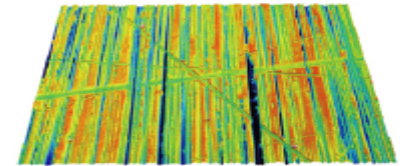
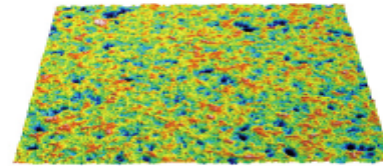
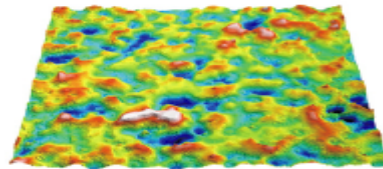
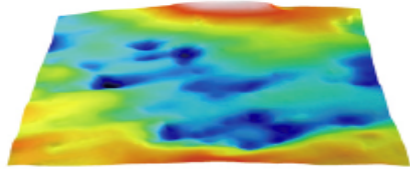
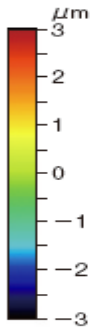
起伏の激しさを数値化したパラメータ。表面の勾配は表面の光沢度合いと関連があるため、外観の品質レベルの指標として用いられることもある。

# 利用例) 目の細かさを評価したい (Sa, Sdq, Sdr)

目が粗い



目が細かい



Sq	1.0 μm		1.0 μm		1.0 μm		1.0 μm
Sa	0.8 μm		0.81 μm		0.77 μm		0.78 μm
Sal 相関距離	187 μm	>	42.5 μm	>	21.6 μm	>	10.3 μm
Sdq 平均勾配	0.062	<	0.18	<	0.38	<	0.4
Sdr 面積増分	0.19%	<	1.50%	<	6.20%	<	6.80%

- 目の細かさは高さパラメータでは評価できないが、Sa、Sdq、Sdrのような空間パラメータ、複合パラメータで評価できる。

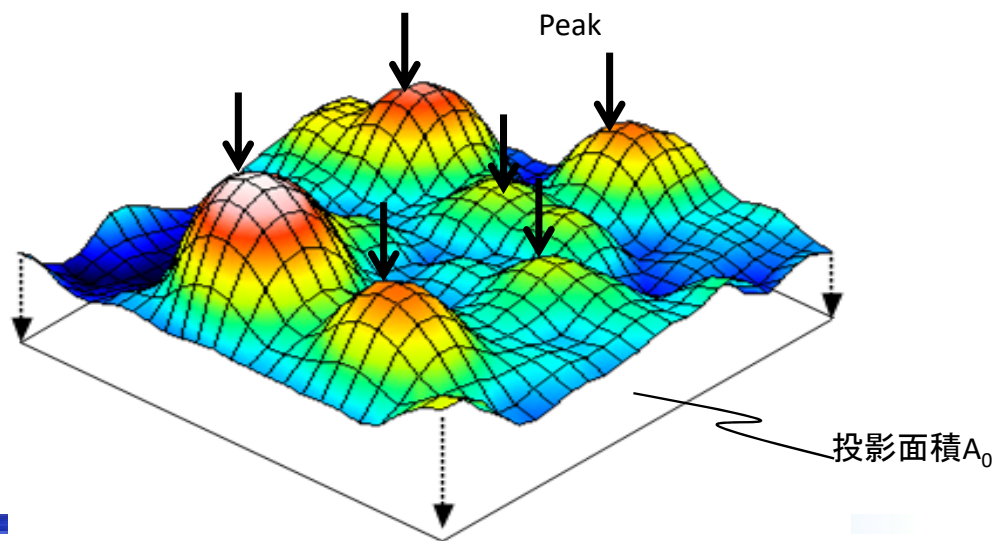
## 凹凸形体パラメータ

### 山頂密度 Spd

単位面積あたりの山頂の数。ここでは所定サイズよりも大きな山頂だけをカウントする。特に指定が無い場合、所定サイズは輪郭曲面の最大振幅の5%の高さに設定される。輪郭曲面に含まれる山頂の数を、輪郭曲面の投影面積 $A_0$ で除算することで求める。

### 山頂の算術平均曲率 Spc

山頂の先端部の平均曲率（平均的な鋭さ）を表わす。ここでは所定サイズよりも大きな山頂の曲率だけを考慮する。特に指定が無い場合、所定サイズは輪郭曲面の最大振幅の5%の高さに設定される。基準領域に含まれる山頂の曲率の算術平均値から求める。



## 凹凸形体パラメータ

山頂の5点平均高さ S5p

基準領域内にある山頂のうち、高いものから5番目までの山頂の高さの平均値。

谷底の5点平均深さ S5v

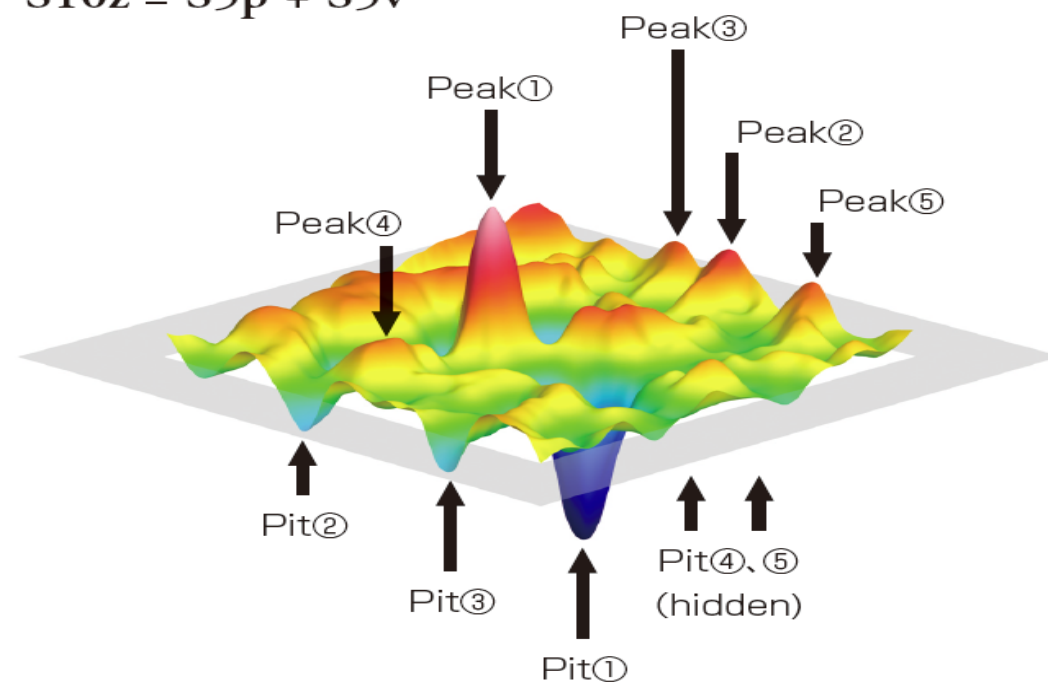
基準領域内にある谷底のうち、深いものから5番目までの谷底の深さ（正の値）の平均値。

10点平均高さ S10z

基準領域内にある山頂及び谷底のうち、高いものから5番目までの山頂の平均高さ、深いものから5番目までの谷底に平均深さ（正の値）の和

$$S10z = S5p + S5v$$

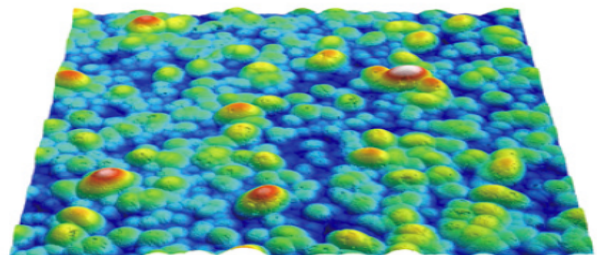
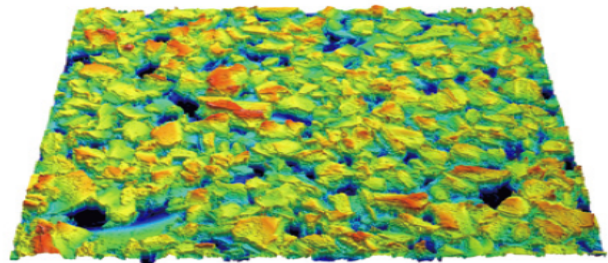
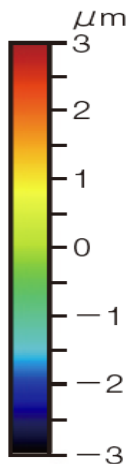
$$S10z = S5p + S5v$$



利用例) 突起の数、突起の曲率を評価したい(Spd, Spc)

鋭い突起を持つ表面

なだらかな突起を持つ表面



Spd	山頂密度	847 mm <sup>-2</sup>	138 mm <sup>-2</sup>
Spc	平均曲率	618 mm <sup>-1</sup>	69 mm <sup>-1</sup>

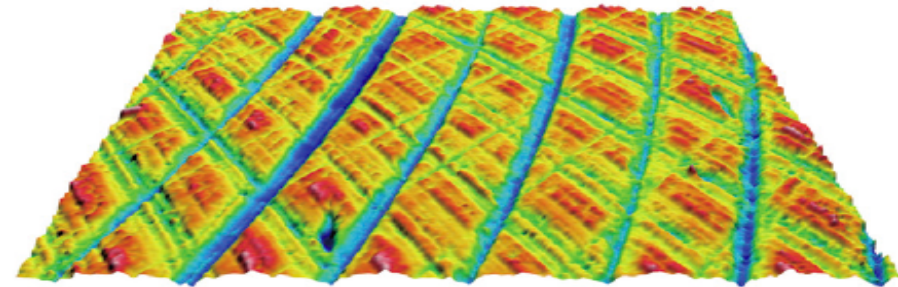
SpdやSpcは物体間の接触に関する評価に効果的

## その他のパラメータ

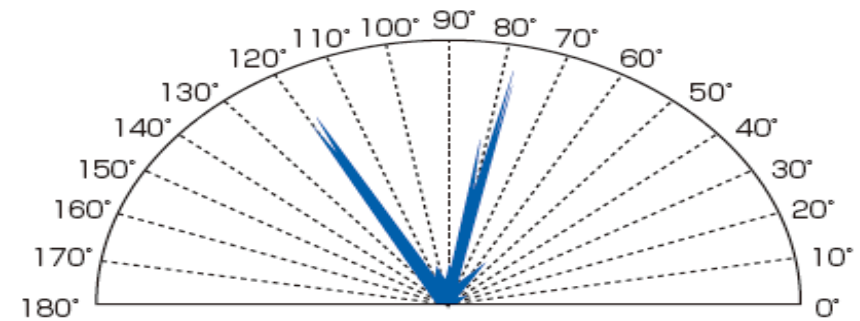
テクスチャの方向 Std

凹凸の方向性（筋目の向き）が最も強い角度

輪郭曲面



角度スペクトル算出



方向チャート

Std = 78°

---

# 触針式と非接触式のデータ相関について

## 異機種間のデータ相関について

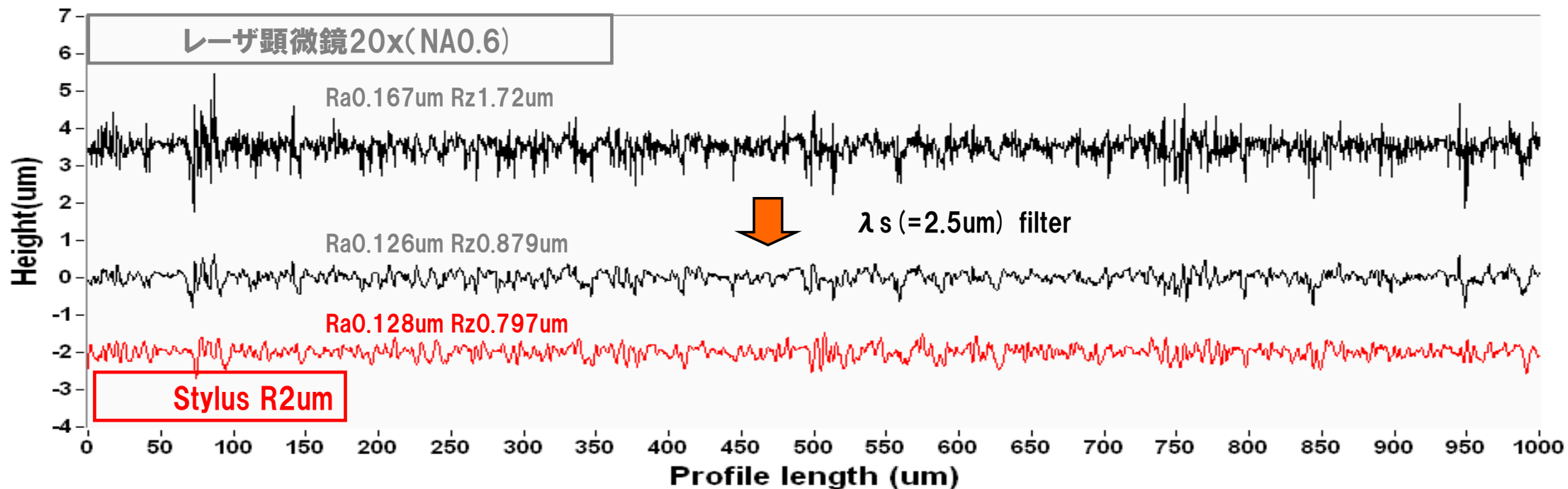
---

- ◆ 測定原理が異なる機種間の測定結果が異なることは、ある程度やむを得ないが、差異を与える大きな原因は次の2点
  - ✓ 解析する波長帯（サンプリング条件、フィルタ条件）の違い
  - ✓ 異常値（スパイクノイズ等）の影響

上記を低減することで、異機種間の測定結果の差異は低減できる。

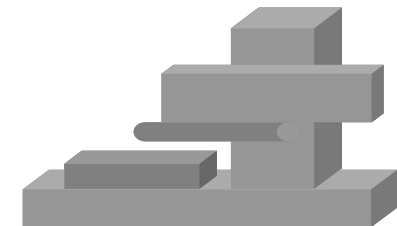
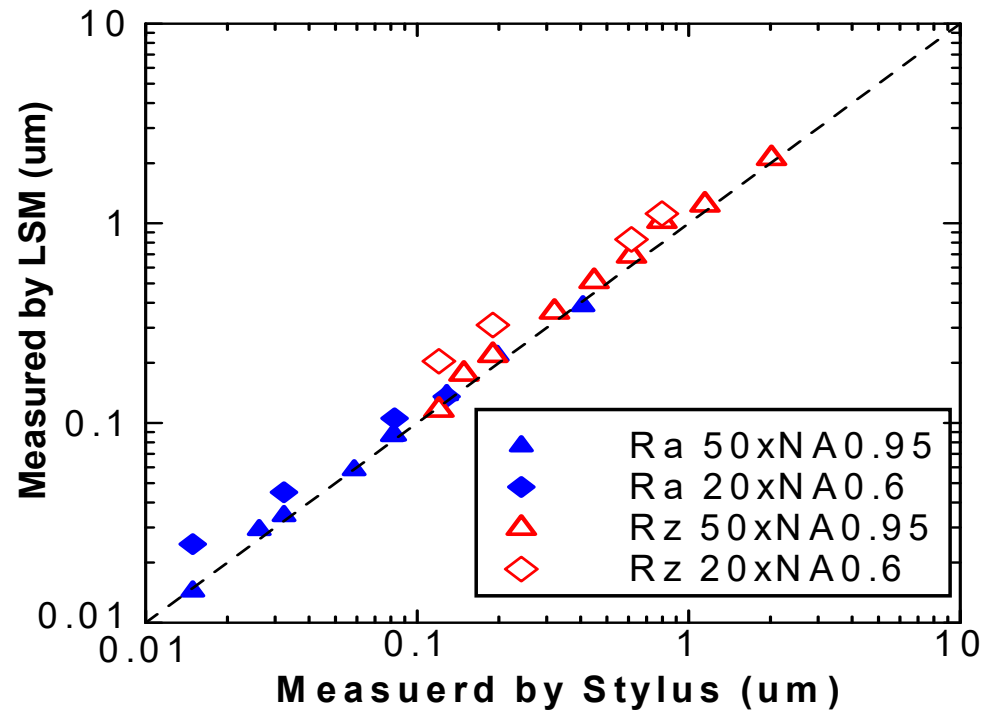
# フィルタ処理による波長帯の統一

Sample:Rubert 504



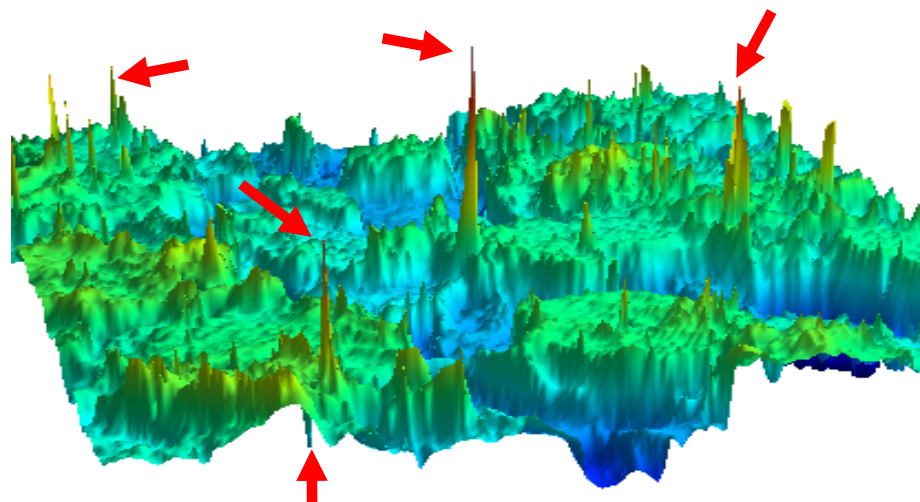
同一の解析波長帯（フィルタ条件）で比較すれば異機種間のデータであっても一致度合いは向上する。

# レーザ顕微鏡と触針式測定機とのデータ相関



## 異常値について

異常値 (Spurious points , outlier)



- ◆ 一般に、異常値は対物レンズの開口数NAが大きいほど少ないとされる。
- ◆ 異常値を正しく除去した上で解析することが重要。
- ◆ 異常値の少ない測定機、測定条件を選定することが最も重要であるが、異常値除去の機能の有無やその除去性能にも注目して機種選定して頂きたい。

---

**OLYMPUS**

The Olympus logo consists of the word "OLYMPUS" in a bold, blue, sans-serif font. A horizontal yellow line is positioned directly beneath the text.