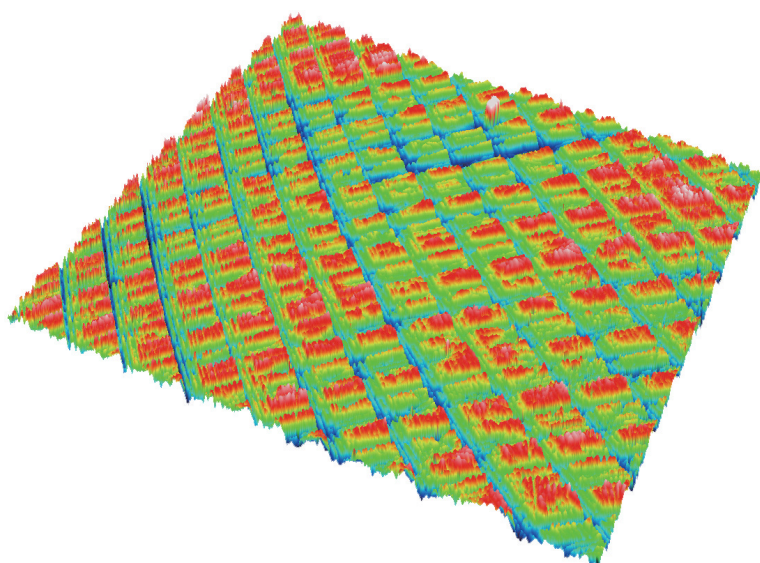


表面粗さ測定入門書

Guidebook of surface roughness measurement



Contents

非接触粗さ測定の世界

～レーザー顕微鏡が粗さ測定の可能性を広げる～	1
表面粗さについて	3
レーザー顕微鏡での表面粗さ評価のポイント	10
粗さパラメータの選び方	13
輪郭曲線方式(線粗さ)のパラメータ	21
三次元方式(面粗さ)のパラメータ	28
レーザー顕微鏡のソリューション	37
OLS5000が表面粗さ測定に選ばれる理由	41

非接触粗さ測定の世界

～レーザー顕微鏡が粗さ測定の可能性を広げる～

光学式センサーの普及について

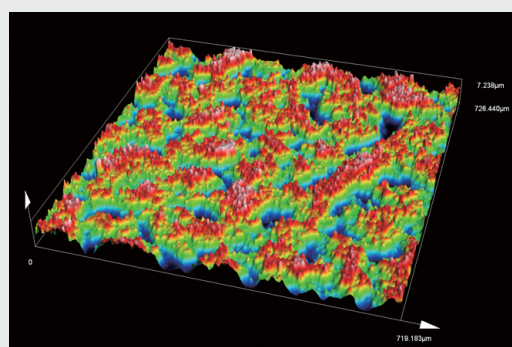
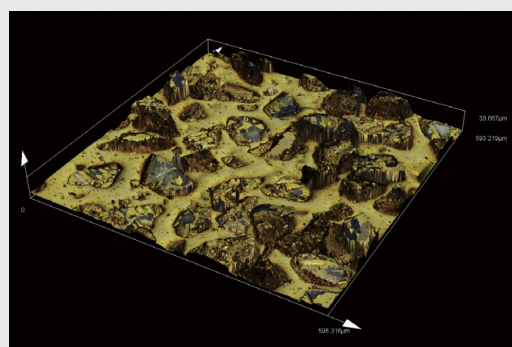
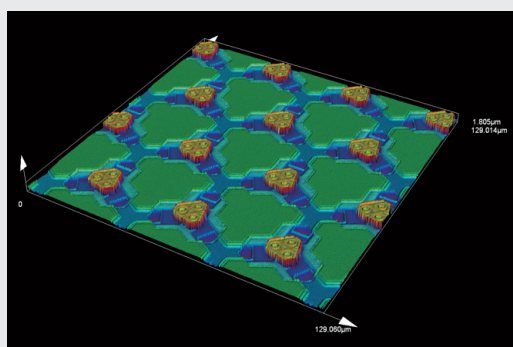
従来の触針式測定機では測定対象物へのアクセスが困難であったり、触針が追従できないような微細な形状を持つ表面が増えている。これに伴い、光学式センサーを用いた高度な非接触表面計測への転換はますます重要性を増している。

多様な工学的な表面、あるいは人類学、考古学、バイオテクノロジーといった工学以外の様々な分野で扱われる表面においても光学的な測定手法が求められるようになってきている。高圧バルブ用座金、バッテリー電極、歯科用インプラント、積層造形部品等が一例として挙げられる。また、MEMSデバイスや、昨今のIT技術を支えるような電子デバイスについても同様の状況である。

以前は触針式測定機を光学式測定機に置換えることは難しいとされていた。しかしながら現在では、光学式センサー技術は高度に進化し、無くてはならない選択肢の一つとなっている。実際に、一部の最先端の研究機関だけでなく、小規模な企業においてさえも光学式センサーの利用実態は増えている。こうした利用実態の拡大に伴って、光学式センサーの応用の裾野はさらに広がりつつある。

表面測定と表面解析のトレンド

表面メトロロジーは表面機能 (surface functionality) と表面形状 (surface topography) の相関に関する知見を獲得するためのものである。こうした知見の獲得にとって、微細な凹凸形状のトレース能力、水平/垂直分解能、ダイナミックレンジの広さといった測定機の基本性能の高さは非常に重要である。また、測定機のデータ取得能力だけでなく、データ解析方法も極めて重要である。三次元表面性状パラメーターは凹凸形状を様々な側面から解析する方法であるため、これを用いた解析



によって、新発見に繋がるような優れた結果をもたらす可能性がある。RaやRzといった旧来の表面粗さパラメーターだけに依存することなく、質の高い測定機で取得したデータを先進的な方法で解析することが、近年の表面メトロロジーのトレンドである。

オリンパスのレーザー顕微鏡を採用する利点

優れた光学系を採用するオリンパスのレーザー顕微鏡では、測定視野が広く、かつ解像力の高い測定が可能である。その結果、得られる測定データは、マクロからマイクロ領域までの情報が含まれるため、ダイナミックレンジの広さが要求されるマルチスケール解析（フラクタル解析）で特に威力を発揮する。

オリンパスのレーザー顕微鏡のもたらす質の高いデータは、傾斜面や曲面の近似計算で生じる誤差の問題を回避し、さらにデータをフィルター処理する必要も低減できる。一般に、光学式測定機にしばしばみられるスパイクノイズなどの異常値は、平滑化処理などのフィルター処理により除去するが多い。このようなフィルター処理は、スパイクノイズを除去するだけでなく、正しく測定されたデータも抹消してしまうため優れた方法ではない。オリンパスのレーザー顕微鏡では、データの細部を損なうことなくスパイクノイズなどの異常値だけが排除されるため、特別なフィルター処理は不要である。こうしたデータ処理能力の高さも大きな利点である。

このように、オリンパスのレーザー顕微鏡は広域、精細かつ低ノイズという特性を持つため、優れた測定結果をもたらすことが可能であり、表面性状解析のための強力なツールとなるであろう。



Prof. Christopher A. Brown

Surface Metrology Lab
Mechanical Engineering Department
Worcester Polytechnic Institute

Christopher Brown

2017年10月

表面粗さについて

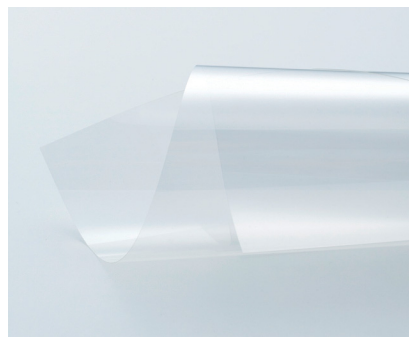
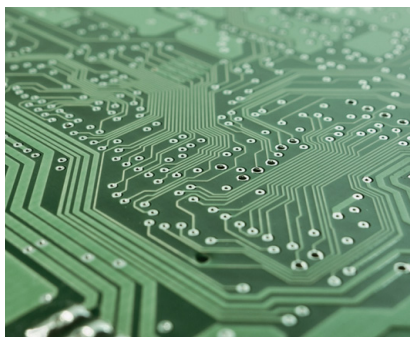
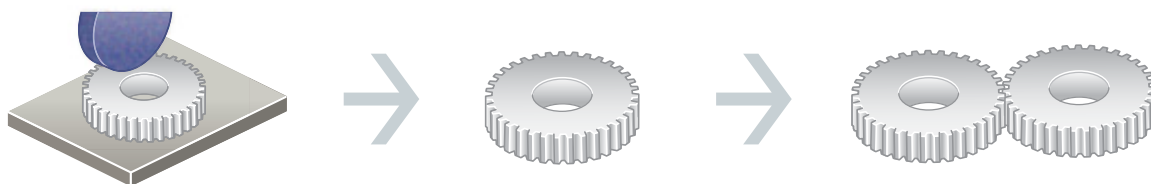
■ 表面粗さとは…

表面粗さは、加工された表面の状態を示します。

例えば、部品の表面を表すとき、眼で見たり指でこすったりして、ピカピカして綺麗なもの、艶がなくザラザラしているもの、いぶし銀のようなもの、鏡のようなものなどといった表現を使います。この違いは、部品表面にある凹凸によるものです。

表面には、このような凹凸、つまり粗さがあります。目視や触診ではなく、ピカピカやザラザラの度合いを明確に数値化したものを表面粗さといいます。表面粗さは、表面の性質を定める重要な役割を担っています。

部品や素材の表面の凹凸は、加工して意図的に作り出すこともあれば、加工中のモーター振動による刃物のゆれ、刃物の切れ味、加工材料の性質など、さまざまな要因によってできることもあります。凹凸の形や大きさが異なり、幾重にも重なりあっているため、凹凸の違いにより表面の品質や機能に影響を及ぼし、摩擦、耐久性、作動音、機密性といった最終製品の性能を左右します。たとえば、組み立て品の場合は、組み立て後の最終製品の摩擦、耐久性、作動音、消費エネルギー、機密性などの製品特性に影響を及ぼし、印刷用紙や外板材の場合は、塗料、インクののり、光沢など品質に影響します。



オリンパスは、2011年より国際標準化機構の技術委員会（ISO/TC213）に参画し、三次元表面性状計測の標準化を推進すると同時に、産業界に対し三次元表面性状計測の普及活動にも取り組んでいます。

今後もオリンパスは、国際標準に適合した三次元表面性状計測のソリューションを提供し続け、ものづくりの発展に貢献していきます。

■ 表面粗さを、なぜ測定するのか

加工した表面の凹凸の形や大きさが、加工表面の品質や機能、さらには最終製品の性能に大きな影響を与えているため、表面の微細な凹凸を数値化し、管理する、つまり表面粗さを測定することで最終製品の高い性能を維持する必要があります。

表面の凹凸を数値化するには、凹凸の高さや深さ、間隔によって分類し、凹凸を評価します。そして、あらかじめ決められた手法で解析し、工業量（※）で算出します。

表面粗さが良い働きをするか悪い働きをするかは、表面の凹凸の形や大きさ、最終製品の使われ方によって異なります。塗装面では塗料がつきやすく、駆動面では回転しやすく摩耗しにくいなどの、品質や性能において、その部品に適した表面粗さを管理することが重要です。

表面粗さの測定評価は古くから行われており、表面粗さを表すパラメーターも数多く定義されています。加工技術の進歩に伴い、高い品質が求められる今日では、測定機の性能も向上し、多様な表面粗さの評価が可能になりました。

※工業量とは、質量や長さといった物理的な量ではなく、測定方法によって定義される量（粗さや硬さなど）のことを指します。

■ 表面粗さ測定トレンド

日々進化し続けるナノテクノロジー、電子機器の高機能化・小型化に伴い、工業製品を構成する部品の形状や材料の表面状態を正しく測定し、それらの品質を管理することの重要性は年々高まっています。従来、表面の高さや形状、表面状態を測定する装置としては触針式粗さ計をはじめとした、測定対象物との機械的な接触により高さ情報を得る測定機が広く使われていました。しかし、フィルムなどの柔らかいサンプルや、触針径よりも微細な凹凸を持ったサンプルなど触針式粗さ計では測定が難しいサンプルの増加に伴い、測定技術に求められるトレンドは、接触方式から非接触方式へ、線計測から面計測へといった非破壊、精密測定方向への発展が求められています。このような要求に応えるべく、非接触かつ大気中で簡単に、かつ正確にサンプルの表面形状を三次元計測できる測定機として、レーザー顕微鏡が注目されています。



表面粗さについて

■ 表面性状パラメーターの種類と国際規格

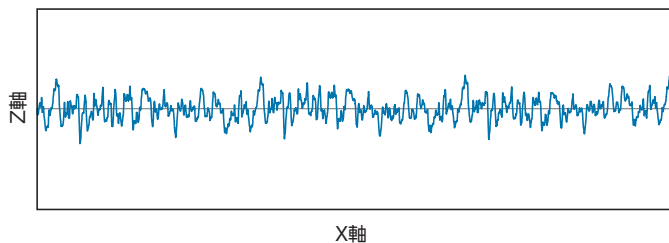
表面の凹凸（粗さ、うねり）や、傷、筋目といった表面の形状的な特性を総称して「表面性状」と呼びます。これらの表面の特性を何らかの定量化手法を用いて数値化したものが「表面性状パラメーター」です。表面性状パラメーターはおおきく分けて、輪郭曲線方式と三次元方式の二種類の方法があります。

輪郭曲線方式（線粗さ）

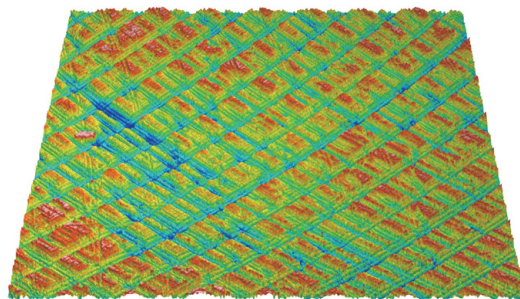
表面性状パラメーターは長年にわたり輪郭曲線（表面の切断面に現れる曲線）から定義してきました。この方式の正式名称は輪郭曲線方式ですが、慣習的には「線粗さ」と呼ぶこともあります。輪郭曲線方式では多くの場合において触針式測定機を利用することを前提としています。また、ISOなどの国際的な工業規格群も完備しています。

三次元方式（面粗さ）

近年では、表面性状パラメーターを輪郭曲線方式のような二次元的な曲線から求めるのではなく、より情報量の豊富な面方向に広がりを持った三次元的な表面形状データから求めるケースが増えています。この方式は三次元方式と呼ばれ、慣習的には前述の「線粗さ」と対応して「面粗さ」とも呼ばれます。三次元方式ではほとんどの場合、光学的な手法を使った非接触測定機が用いられます。



輪郭曲線方式による測定例



三次元方式による測定例

輪郭曲線方式と三次元方式の比較

輪郭曲線方式は、機械的な接触で表面をトレースする方式のため、測定データの信頼性が高いというメリットがあります。これまでの利用実績も豊富であり今後も広く利用され続ける方式であると言えます。その反面、機械的な接触を伴った測定であるが故に、測定対象物の表面に傷を付けたり、柔らかいものは測定できないといったデメリットもあります。また、表面の1つの断面の形状情報だけから表面を評価するため、必ずしも表面全体の凹凸の特徴を捉えられるとは限りません。

一方、三次元方式は、多くの測定機は非接触で測定するため表面に傷を付けることもなく、柔らかいものも測定可能です。また、1つの断面だけでなく、三次元的に広がりを持った凹凸データから表面の特徴を捉えるため、筋目の方向や傷といった輪郭曲線方式では特徴付けが難しい特徴も取り扱いが可能です。三次元方式は情報量が豊富なため、例えば、耐摩耗性、固体間の密着性、潤滑油の保持能力といった表面に求める機能と表面性状パラメーターとを関連付ける事にも効果的な方法と言えます。

国際規格の動向

三次元方式に対応した様々な測定原理の測定機が広く市販されるようになり、利用される機会は年々増加しています。近年、この利用実態の後を追う形で、国際標準化機構ISO（International Organization for Standardization）では規格制定を推進し、ここ数年で主要な規格が揃ってきました。下表に輪郭曲線方式と三次元方式の主要規格の一覧を示します。輪郭曲線方式では触針式測定機の利用だけを想定していたため、統一された測定条件（例えば、評価長さ、カットオフ、触針先端半径など）が規格の中で明記されていました。一方、三次元方式では様々な種類、原理の測定機（主に光学式測定機）が利用されるため、統一された測定条件は存在せず、評価の目的に応じて利用者が測定条件を決定する必要があります。測定条件の選定のポイントについては本書の「レーザー顕微鏡での表面粗さの評価のポイント」で解説します。

	輪郭曲線方式	三次元方式
表面性状 パラメーター	ISO 4287:1997 (JIS B0601:2013) ISO 13565:1996 (JIS B0671:2002) ISO 12085:1996 (JIS B0631:2000)	ISO 25178-2:2012 JIS B0681-2:2018
測定条件	ISO 4288:1996 (JIS B0633:2001) ISO 3274:1996 (JIS B0651:2001)	ISO 25178-3:2012 (JIS化予定)
フィルター	ISO 11562:1996 (JIS B0632:2001)	ISO 16610シリーズ JIS B0635:2018
測定機の種類	—	ISO 25178-6:2010 (JIS B0681-6:2014)
測定機の種類	ISO 3274:1996 (JIS B0651:2001)	ISO 25178-602 ~ 607
測定機の校正	ISO 12179:2000 (JIS B0670:2002)	準備中
校正用標準片	ISO 5436-1:2000 (JIS B0659-1:2002)	ISO 25178-70:2013
図示法	ISO 1302:2002 (JIS B0031:2003)	ISO 25178-1:2016

輪郭曲線方式と三次元方式の主要規格

表面粗さについて

■ 表面粗さを測定できる様々な測定機

表面粗さを測る測定機として、接触式と非接触式とに分類できます。

それぞれメリット、デメリットがあるので測定対象物に応じて、測定機を選択することがポイントです。

方式	測定機	メリット	デメリット
接触式	触針式表面粗さ測定機	<ul style="list-style-type: none"> ● 物理的な接触によりサンプル表面をトレースするため、信頼性の高い測定ができる ● 永年に渡る利用実績が豊富である 	<ul style="list-style-type: none"> ● 基本的には1つの断面のみの測定であり、情報量が少ない ● 粘着性のあるものや、柔らかいサンプルは測定できない ● 微小な位置決めは困難 ● 触針径よりも微細な形状は測定できない
	白色干渉計	<ul style="list-style-type: none"> ● 測定時間が速い ● 低倍率でもサブnmの平滑面の測定が可能 	<ul style="list-style-type: none"> ● 粗面の測定が苦手である ● 輝度差の大きな標本が苦手である ● コントラストが低いため、測定場所を探すのが難しい ● 平面分解能が低い
非接触式	レーザー顕微鏡	<ul style="list-style-type: none"> ● 角度検出感度が高く、急斜面の形状も捉えられる ● 平面分解能が高く、コントラストが高い鮮明な拡大画像が得られる 	<ul style="list-style-type: none"> ● ナノレベルの測定はできない ● 低倍率での高さ検出能力が劣る
	デジタルマイクロスコープ	<ul style="list-style-type: none"> ● 多彩な観察と簡易的な測定が可能 	<ul style="list-style-type: none"> ● 粗さ成分は測定できない（うねり計測向きである） ● サブμmレベルの凹凸は測定できない ● 平面分解能が低い
	走査型プローブ顕微鏡（SPM）	<ul style="list-style-type: none"> ● サブnmの測定が可能 ● アスペクト比が比較的高いサンプルも測定可能 	<ul style="list-style-type: none"> ● 微小な位置決めは困難 ● 測定に時間がかかる ● μmレベルの凹凸の測定には不向き

技術用語の解説

輪郭曲線方式の用語

断面曲線 (Primary profile)

測定断面曲線にカットオフ値 λ_s の低域フィルターを適用して得られる曲線。断面曲線から求めた表面性状パラメータを断面曲線パラメータ (Pパラメータ) と呼ぶ。

粗さ曲線 (Roughness profile)

カットオフ値 λ_c の高域フィルターによって、断面曲線から長波長成分を遮断して得た輪郭曲線。粗さ曲線から求めた表面性状パラメータを粗さ曲線パラメータ (Rパラメータ) と呼ぶ。

うねり曲線 (Waviness profile)

断面曲線にカットオフ値 λ_f および λ_c の輪郭曲線フィルターを順次適用することによって得られる輪郭曲線。 λ_f によって長波長成分を遮断し、 λ_c によって短波長成分を遮断する。うねり曲線から求めた表面性状パラメータをうねり曲線パラメータ (Wパラメータ) と呼ぶ。

輪郭曲線フィルター (Profile filter)

輪郭曲線の波長成分を長波長成分と短波長成分とに分離するフィルター。次の3種がある。

λ_s フィルター：粗さ成分とそれより短い波長成分との境界を定義するフィルター

λ_c フィルター：粗さ成分とうねり成分との境界を定義するフィルター

λ_f フィルター：うねり成分とそれより長い波長成分との境界を定義するフィルター

カットオフ値 (cut-off wavelength)

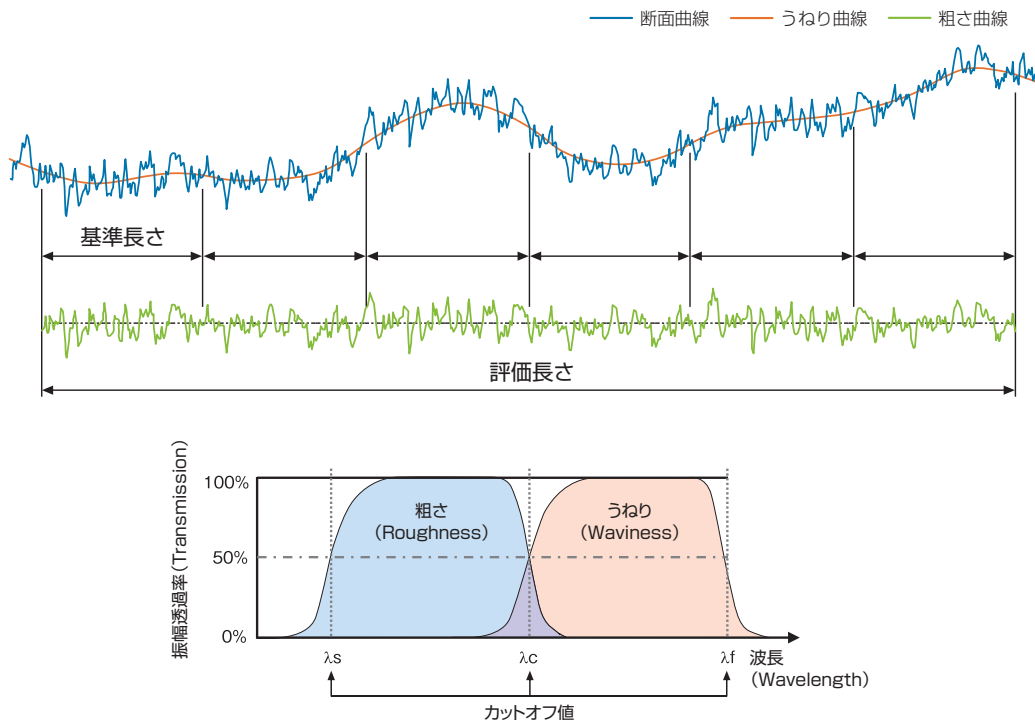
輪郭曲線フィルターにおける境界波長。振幅の透過率が50%になる波長。

基準長さ (Sampling length)

輪郭曲線の特性を求めるために用いる輪郭曲線のX軸方向の長さ。

評価長さ (Evaluation length)

輪郭曲線のX軸方向の長さ。



輪郭曲線方式の概念図

表面粗さについて

技術用語の解説

三次元方式の用語

表面性状曲面 (Scale limited surface)

三次元表面性状パラメータを求めるための基礎となる曲面データ。S-F曲面又はS-L曲面。輪郭曲面と呼ぶ場合もある。

輪郭曲面フィルター (Areal filter)

輪郭曲面の波長成分を長波長成分と短波長成分とに分離するフィルター。作用に応じて次の3種がある。

Sフィルター (S filter) : 輪郭曲面から小さい波長成分を除去するフィルター

Lフィルター (L filter) : 輪郭曲面から大きい波長成分を除去するフィルター

F演算 (F operation) : 形状成分 (球や円筒など) を除去するための当てはめ演算又はフィルター

注) 標準的にはSフィルター、Lフィルターとしてガウシアンフィルター、F演算として最小二乗法による当てはめ演算が用いられる。

ガウシアンフィルター

輪郭曲面フィルターの一つであり三次元方式で標準的に用いるフィルター。ガウス関数で与えられる重み関数との畳みこみ演算によりフィルターを実現する。振幅の等価特性はネスティングインデックスの値で50%に減衰する特性を持つ。

スプラインフィルター

輪郭曲面フィルターの一つでありガウシアンフィルターに比べデータ端部での歪みが少ないとされる。

ネスティングインデックス (Nesting index)

輪郭曲面フィルターにおける境界波長を表すための指標。ガウシアン輪郭曲面フィルターを用いる場合のネスティングインデックスは長さの単位で指定され、この場合は輪郭曲線方式におけるカットオフ値と等価な意味合いとなる。

S-F曲面 (S-F surface)

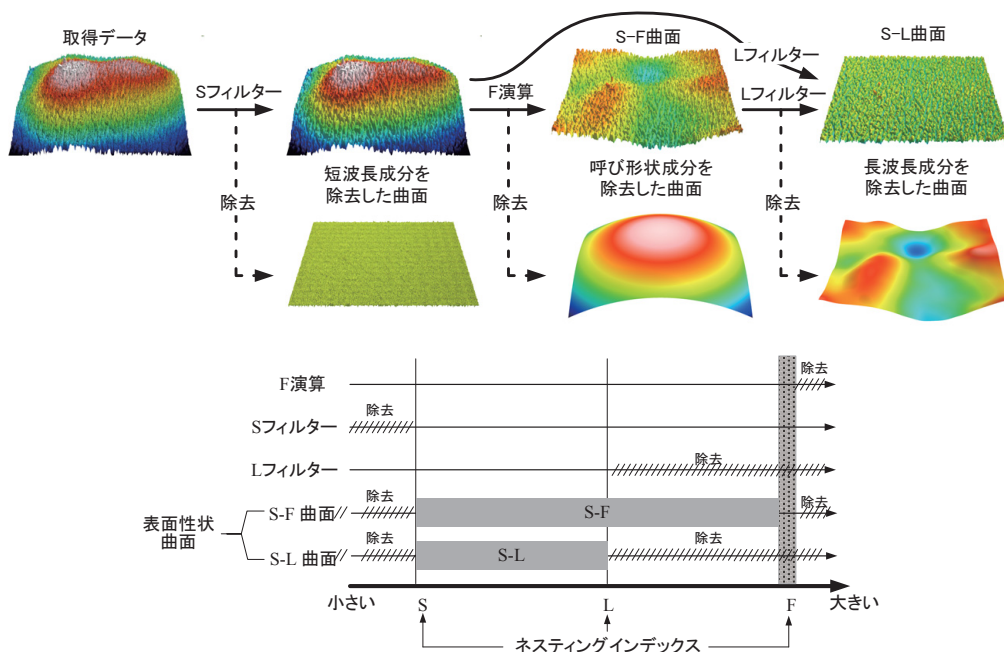
Sフィルターによって小さい波長成分を除去した曲面から、F演算によって形状成分を除去した曲面。

S-L曲面 (S-L surface)

Sフィルターによって小さい波長成分を除去した曲面から、Lフィルターによって大きな波長成分を除去した曲面。

評価領域 (Evaluation area)

特性評価を行うために規定した表面性状曲面の一部。指定が無い限り評価領域は正方形である。



三次元方式の概念図

レーザー顕微鏡での表面粗さ評価のポイント

ポイント1 対物レンズ選定の目安

- 1) 下表から測定したい項目（粗さ、うねり、段差）に適した対物レンズ（◎, ○）の中で、作動距離W.D.の値が標本と対物レンズの接近可能な距離以上である対物レンズの候補を選択します。
- 2) 候補に挙げた対物レンズを使って測定対象物を観察した時に、主要な形状成分（表面の特性を決定と思われる最も支配的な形状成分）が観察視野内に十分な数（X,Y各方向に主要形状成分の5倍以上を推奨）が含まれる対物レンズを本採用します。

一条件を満たす対物レンズが複数ある場合には、なるべく開口数N.A.の大きいものを選択します。

一条件を満たす対物レンズが存在しない場合、△印の対物レンズも含め再選定するか、貼り合わせ機能を使って測定領域を拡大することを検討します。

対物レンズ	仕様				測定項目		
	開口数 (N.A.)	作動距離 (W.D.) (単位:mm)	集光スポット径* (単位:μm)	測定領域** (単位:μm)	粗さ	うねり	段差 (Z)
MPLFLN2.5x	0.08	10.7	6.2	5120×5120	X	X	X
MPLFLN5x	0.15	20	3.3	2560×2560	X	X	X
MPLFLN10xLEXT	0.3	10.4	1.6	1280×1280	X	○	△
MPLAPON20xLEXT	0.6	1	0.82	640×640	△	○	○
MPLAPON50xLEXT	0.95	0.35	0.52	256×256	◎	○	◎
MPLAPON100xLEXT	0.95	0.35	0.52	128×128	◎	○	◎
LMPLFLN20xLEXT	0.45	6.5	1.1	640×640	△	○	○
LMPLFLN50xLEXT	0.6	5	0.82	256×256	△	○	○
LMPLFLN100xLEXT	0.8	3.4	0.62	128×128	○	○	◎
SLMPLN20x	0.25	25	2	640×640	X	○	△
SLMPLN50x	0.35	18	1.4	256×256	X	○	△
SLMPLN100x	0.6	7.6	0.82	128×128	△	○	○
LCPLFLN20xLCD	0.45	7.4-8.3	1.1	640×640	△	○	○
LCPLFLN50xLCD	0.7	3.0-2.2	0.71	256×256	○	○	○
LCPLFLN100xLCD	0.85	1.0-0.9	0.58	128×128	○	○	◎

*：理論値です。

**：OLS5000を用いた場合の標準的な値です。

◎：最も適しています。

○：適しています。

△：条件によっては使用できます。

×：適していません。

レーザー顕微鏡での表面粗さ評価のポイント

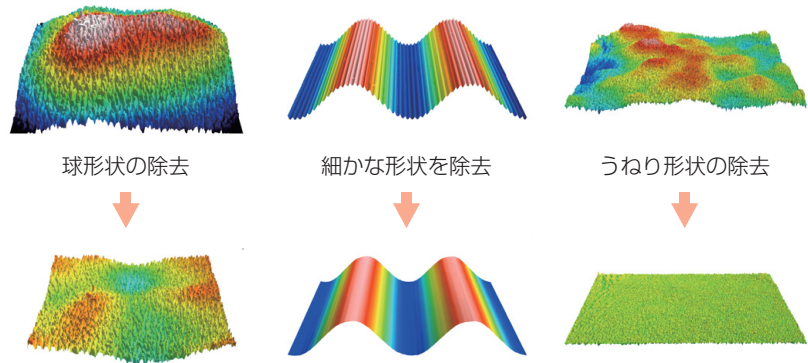
ポイント2 フィルターの使い方

表面性状の解析で使うフィルターの機能、フィルターの組合せ、フィルターサイズについて説明します。これらフィルターは解析の目的に応じて、条件設定を行います。

F演算 (形状除去)	Sフィルター (Short-cut filter)	Lフィルター (Long-Pass filter)
球、円筒、曲面などの標本の呼び形状成分を除去します。	測定ノイズや細かな形状成分を除去します。	うねり形状成分を除去します。

フィルターの機能

表面性状パラメータの解析を行う場合、目的に応じて取得した表面形状データに対して3つのフィルター (F演算、Sフィルター、Lフィルター) の適用を検討します。



フィルターの組合せ

3つのフィルター (F演算、Sフィルター、Lフィルター) の組合せは全部で8通りあります。下表の用途欄を参考に、適用するフィルターの組合せを選択します。

— : 適用しない ○ : 適用する

用途	取得したデータをそのまま解析したい場合	うねり成分を除去したい場合	球や曲面などの形状成分を除去したい場合	球や曲面などの形状成分を除去した上で、さらにうねり成分も除去したい場合	細かな凹凸成分やノイズを除去したい場合	細かな凹凸成分やノイズ、うねり成分を除去したい場合	球や曲面などの形状成分と、細かな凹凸成分やノイズを除去したい場合	細かな凹凸成分やノイズ、および球や曲面などの形状成分を除去した上で、さらにうねり成分を除去したい場合
F演算	—	—	○	○	—	—	○	○
Sフィルター	—	—	—	—	○	○	○	○
Lフィルター	—	○	—	○	—	○	—	○

フィルターのサイズ（ネスティングインデックス）

- フィルターの強さ（形状の分離能力）をネスティングインデックスと呼びます。（Lフィルターは慣習的にカットオフと呼ぶ場合があります。）
 - －Sフィルターはネスティングインデックスが大きいほど、細かな形状成分が強く除去されます。
 - －Lフィルターはネスティングインデックスが小さいほど、うねり形状成分が強く除去されます。
- ネスティングインデックスは、…、0.5, 0.8, 1, 2, 2.5, 5, 8, 10, 20, …の数値系列の値を用いることが推奨されますが、次のような制約もあります。
 - －Sフィルターのネスティングインデックスは光学的な分解能（≒集光スポット径）以上、かつデータのサンプリング間隔の3倍以上の値を設定する必要があります。
 - －Lフィルターのネスティングインデックスは測定領域の大きさ（矩形の短辺の長さ）よりも小さな値に設定する必要があります。

ポイント3 粗さパラメーターの選び方

評価の目的によって、次のパラメーターによる解析が効果的と考えられます。

目的例	パラメーター又は解析手法	ページ
(1) 凹凸の大きさを評価したい	Sq, Sa, Sz, Sp, Sv	P.13
(2) 高さの分布を評価したい	Ssk, Sku, ヒストグラム	P.14
(3) 目の細かさを評価したい	Sal, Sdq, Sdr	P.15
(4) 方向性を評価したい	Std, Str, 方向プロット	P.16
(5) 周期性を評価したい	PSD	P.17
(6) 支配的な形状成分を評価したい	PSD	P.18
(7) 突起の数やその先端形状を評価したい	Spd, Spc	P.19
(8) 摩耗前後の変化量を評価したい	Sk, Spk, Svk	P.20

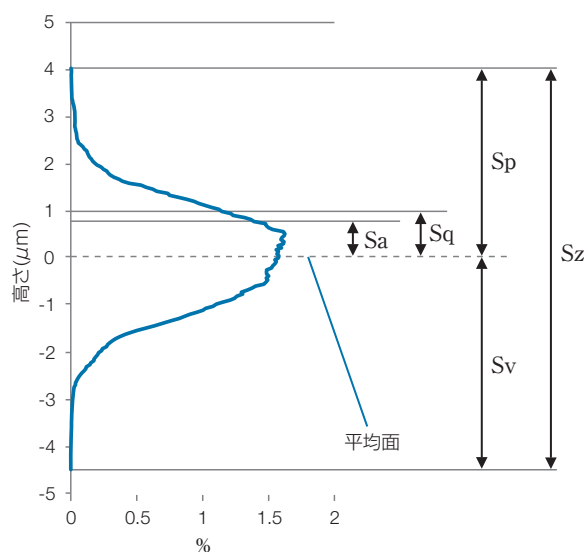
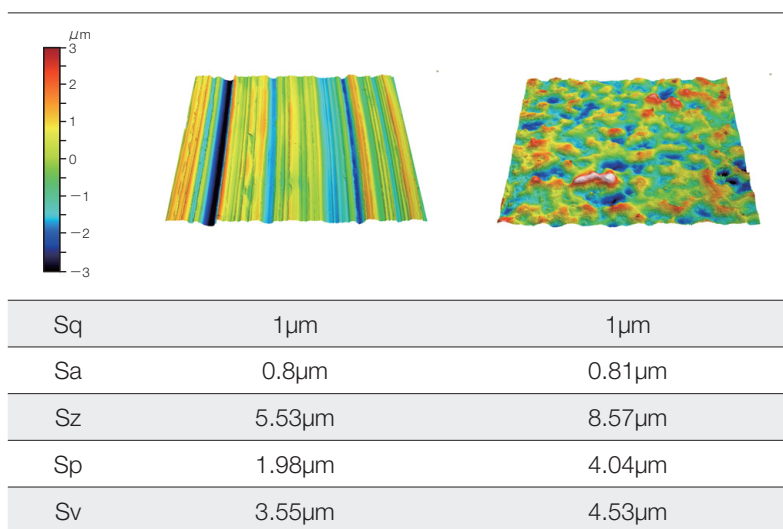
次項ではこれら (1) ~ (8) について具体的な評価事例を用いてもう少し詳しく説明します。

粗さパラメータの選び方

凹凸の大きさを評価したい (Sq, Sa, Sz, Sp, Sv)

凹凸の大きさを評価するには高さパラメータ (Sq, Sa, Sz, Sp, Sv) を用います。高さパラメータはヒストグラム上で下図のような関係になります。

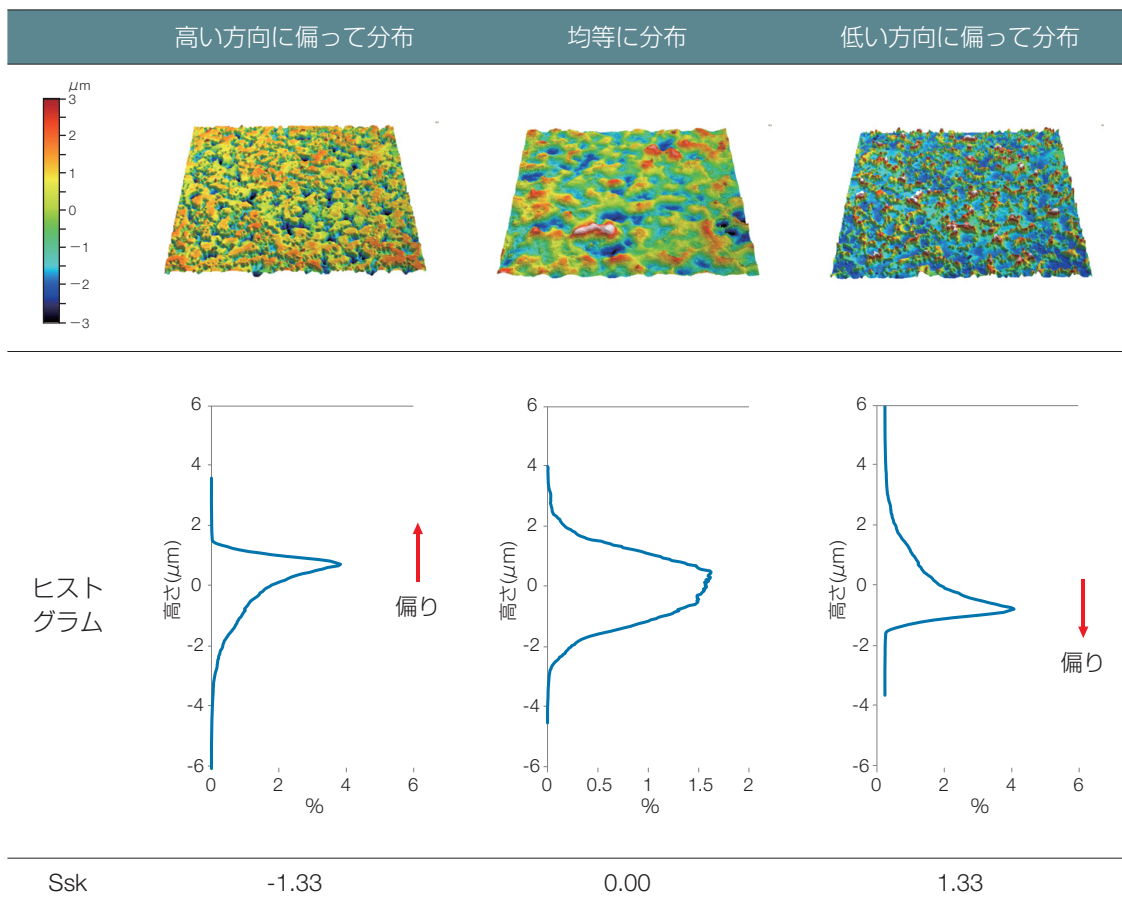
Sq (二乗平均高さ) は高さ分布の標準偏差と同義であり、統計的に取扱い易いパラメータとして知られています。Sa (算術平均高さ) は平均面からの高低差の平均値です。高さ分布が正規分布の場合、 $Sa \approx 0.8 * Sq$ となる関係があります。Sz、Sq、Svは高さの最大値や最小値を利用するため、測定ノイズ等により結果が不安定になる場合があります。高さパラメータは高さの分布情報のみを利用するパラメータです。従って、水平方向の形状的な特徴はパラメータ値に反映されないことには注意が必要です。



高さの分布を評価したい (S_{sk} , S_{ku} , ヒストグラム)

高さの分布の評価にはヒストグラムの曲線形状を評価するのが一般的です。ヒストグラムの曲線形状（分布）の偏りを評価する指標として S_{sk} パラメーターがあります。

$S_{sk}=0$ で高低差が均等に分布している状態、マイナス符号で高い方向に偏って分布している状態です。摺動摩耗によって高い部分の形状が削られた標本では、 S_{sk} はマイナス符号をとる傾向があります。この性質を利用して摩耗度合いの評価指標として利用されることもあります。

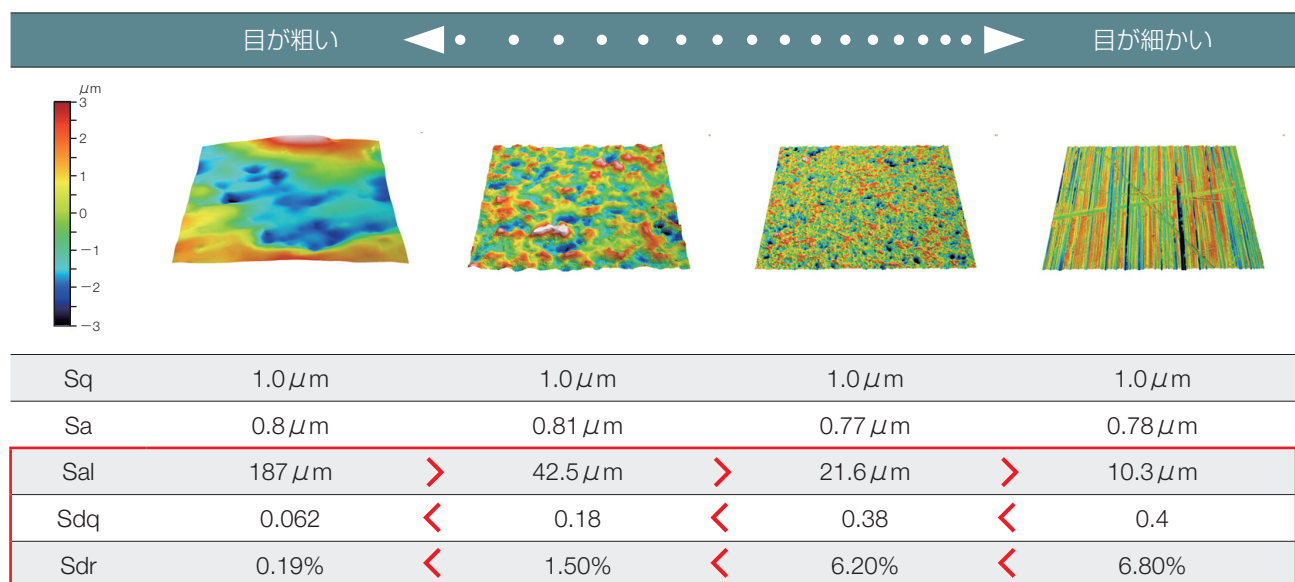


粗さパラメータの選び方

目の細かさを評価したい (Sa, Sdq, Sdr)

Saパラメータは同じような凹凸形状の密集度合いを長さの単位で数値化します。値が小さいほど目が細かいといえます。

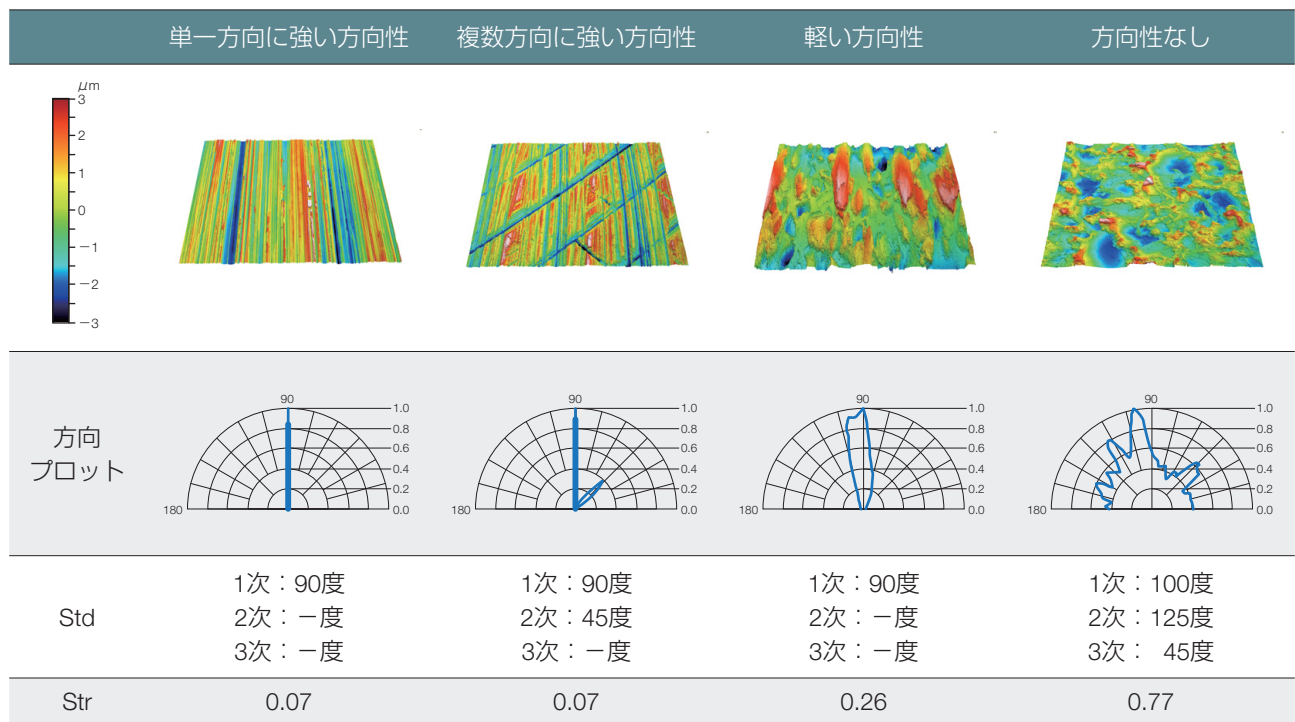
また、目の細かさを表現する間接的な評価指標として局所的な勾配と表面積が挙げられます。Sdqパラメータは表面の局所的な勾配の平均値、Sdrパラメータは表面積の増加率を表しています。SaやSqなどの高さパラメータが同程度の場合、Sdq（勾配）やSdr（表面積）の値が大きいほど目が細かいといえます。



方向性を評価したい (Std, Str, 方向プロット)

方向性プロットは、表面の方向性を角度チャートで表現したものです。方向性が強いほどピークが鋭くなります。また、最も強いピークが最外周の円に接するように方向性の強さを正規化しています。Stdパラメーターは方向プロットでピークの大きい順番にその角度を示します。

Strパラメーターは方向性の強さを数値で表します。Str<0.3で異方性（方向性）表面、Str>0.5で等方性表面です。

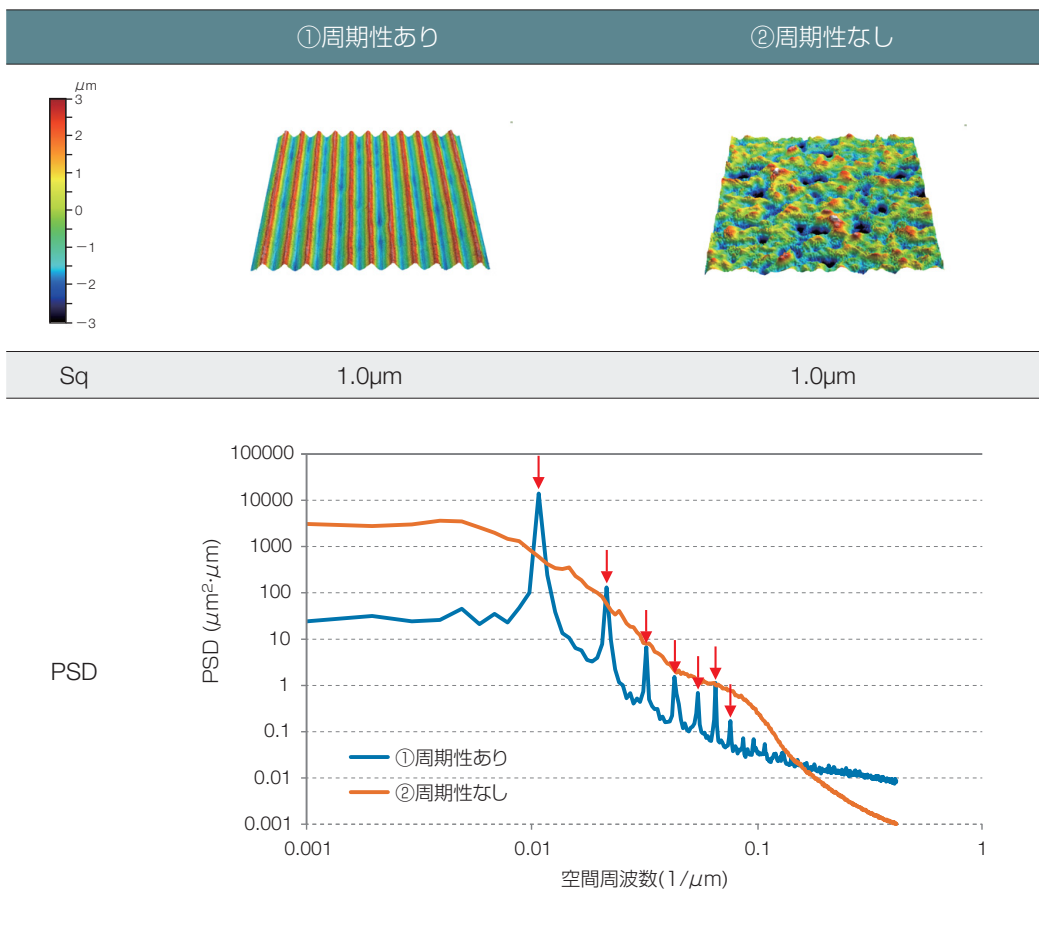


粗さパラメータの選び方

周期性を評価したい (PSD)

PSD（パワースペクトル密度）は表面の波長成分ごとの凹凸の大きさを表しています。周期性のある標本ではPSDのグラフにピーク（矢印）が立ちます。ピークの横軸を読みとることとで、周期性の周波数（周期の逆数）を知ることができます。

周期性が無い場合はおおよそ右下がりのグラフになります。



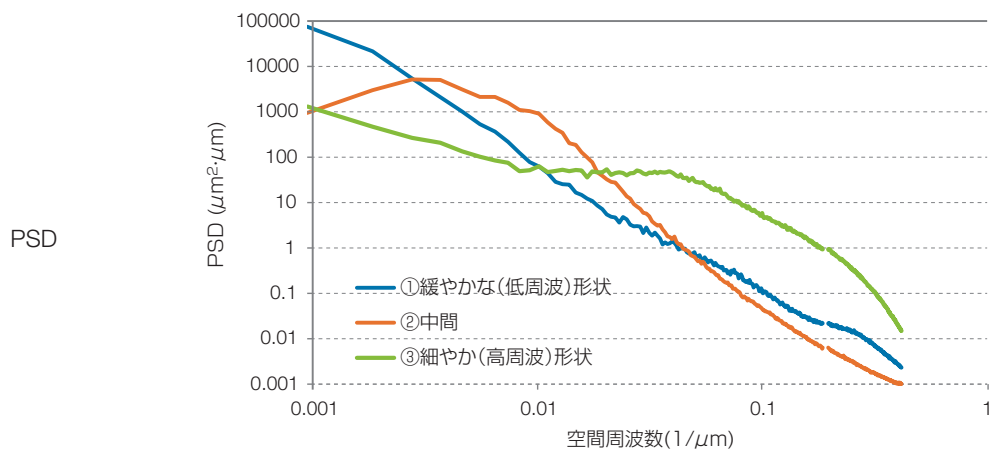
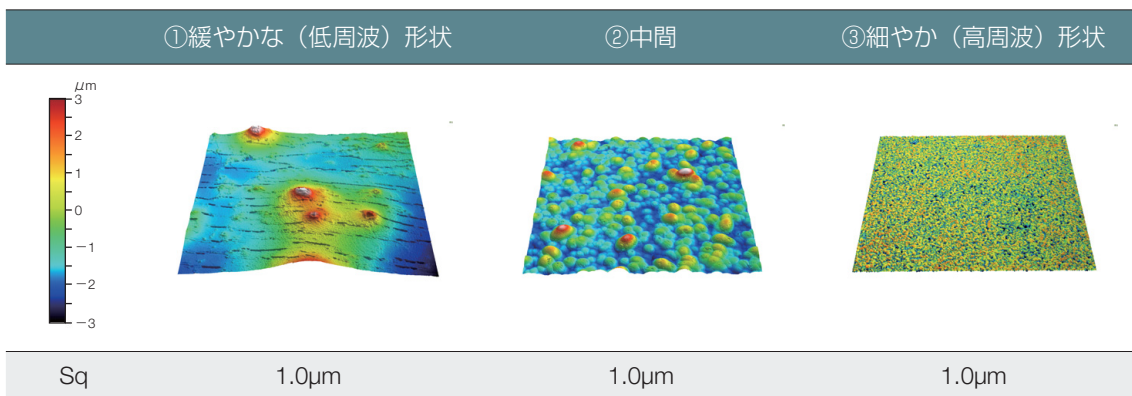
支配的な形状成分を評価したい (PSD)

PSD（パワースペクトル密度）は表面の波長成分ごとの凹凸の大きさを表しています。

“緩やか”、“細やか”といった形状的な特徴はPSDのグラフにも現れます。

緩やかな形状では低周波側（グラフ左側）の値が大きくなります。

細やかな形状では高周波側（グラフ右側）の値が大きくなります。



粗さパラメータの選び方

突起の数やその先端形状を評価したい (Spd, Spc)

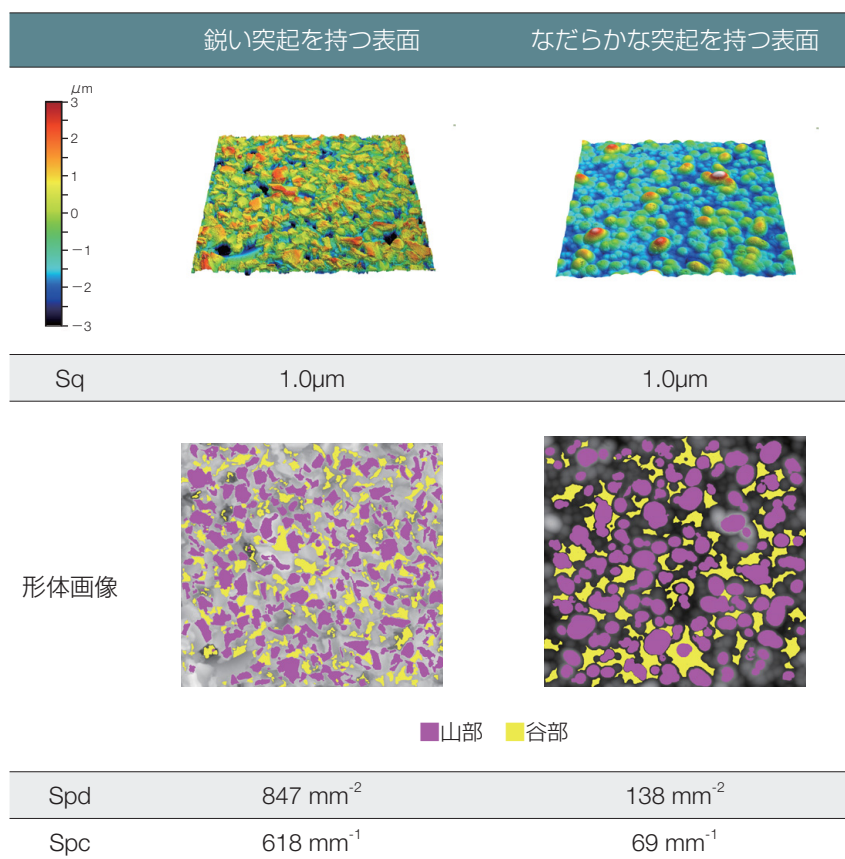
表面の突起部は物体間の接触や摩擦・摩耗といった現象に関連します。

形体画像 (Feature image) では表面の地形的な特徴 (山、谷、尾根線、水路線) を分類して表示します。

Spdパラメータは形体画像で山と分類された箇所 (ピンク色部) の密度 (単位面積あたりの個数) を表します。

Spcパラメータは形体画像で山と分類された箇所のピークの曲率半径の平均値を表します。

Spcの値が大きいほど突起部の曲率は小さく (鋭く)、値が小さいほど曲率は大きく (鈍く) なります。

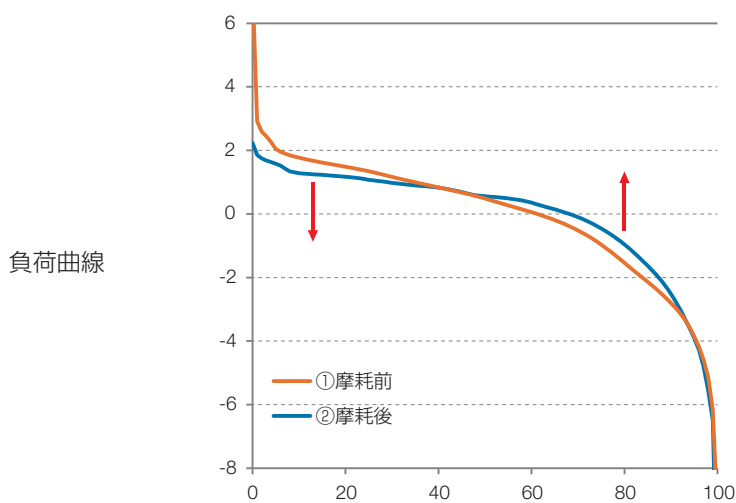
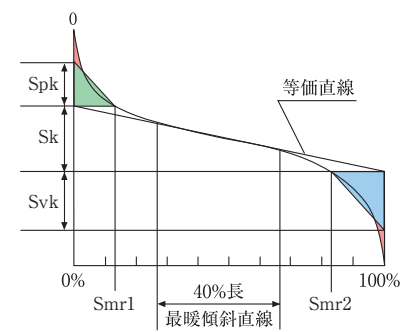
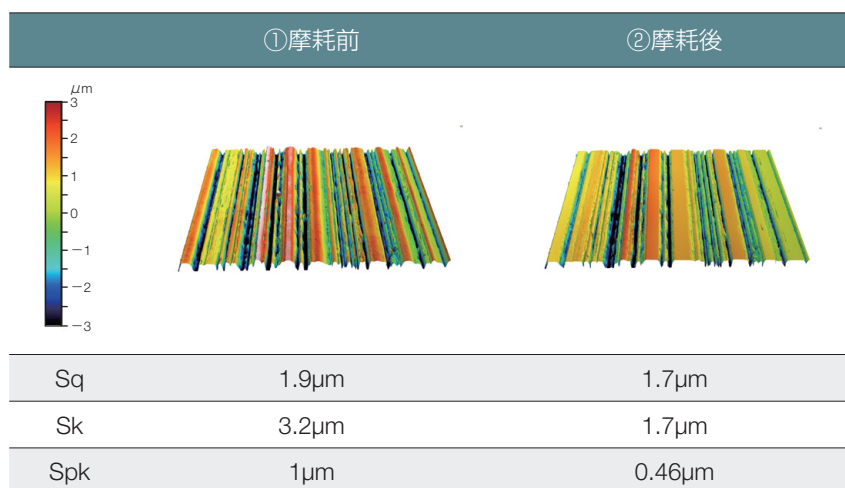


摩耗前後の変化量を評価したい (S_k , S_{pk} , S_{vk})

通常、表面の高い位置から摩耗は進行します。従って摩耗合いを評価するには高さの分布に基づいたパラメーターの利用が効果的です。

摩耗によって負荷曲線の高さの高い部分の曲線は下側に、低い部分の曲線は上側に移動します。

摩耗に伴うこのような変化によって S_k と S_{pk} は小さくなります。



輪郭曲線方式（線粗さ）のパラメーター

山及び谷の高さパラメーター (JIS B0601:2013)	記号	対応する 三次元パラメーター	ページ
最大高さ	Pz, Rz, Wz	Sz	P.22
最大山高さ	Pp, Rp, Wp	Sp	P.22
最大谷深さ	Pv, Rv, Wv	Sv	P.22
平均高さ	Pc, Rc, Wc	-	P.23
最大断面高さ	Pt, Rt, Wt	-	P.23
十点平均粗さ	Rzjis	-	P.23
高さ方向のパラメーター (JIS B0601:2013)			
算術平均高さ	Pa, Ra, Wa	Sa	P.24
二乗平均平方根高さ	Pq, Rq, Wq	Sq	P.24
スキューネス	Psk, Rsk, Wsk	Ssk	P.24
クルトシス	Pku, Rku, Wku	Sku	P.25
横方向のパラメーター (JIS B0601:2013)			
平均長さ	PSm, RSm, WSm	-	P.25
複合パラメーター (JIS B0601:2013)			
二乗平均平方根傾斜	Pdq, Rdq, Wdq	Sdq	P.25
負荷曲線及び確率密度関数並びにそれらに関連するパラメーター (JIS B0601:2013)			
負荷長さ率	Pmr (c) , Rmr (c) , Wmr (c)	Smr (c)	P.26
切断レベル差	Pdc, Rdc, Wdc	Sxp 注1)	P.26
相対負荷長さ率	Pmr, Rmr, Wmr	-	P.26
プラトー構造表面パラメーター (JIS B0671-2:2002)			
コア部のレベル差	Rk	Sk	P.27
突出山部高さ	Rpk	Spk	P.27
突出谷部深さ	Rvk	Svk	P.27
コア部の負荷長さ率（山部）	Mr1	Smr1	P.27
コア部の負荷長さ率（谷部）	Mr2	Smr2	P.27
モチーフパラメーター (JIS B0631:2000)			
粗さモチーフの平均長さ	AR	-	P.27
粗さモチーフの平均深さ	R	-	P.27
粗さモチーフの最大深さ	Rx	-	P.27
うねりモチーフの平均長さ	AW	-	P.27
うねりモチーフの平均深さ	W	-	P.27
うねりモチーフの最大深さ	Wx	-	P.27

注1) 輪郭曲線方式と三次元方式では算出条件が異なる場合があります。

山及び谷の高さパラメーター

最大高さ（Rz）

基準長さにおいて、輪郭曲線の山高さ Z_p の最大値と谷深さ Z_v の最大値の和を表します。

*JIS' 94ではRy

*山 (Profile peak) : 輪郭曲線の平均線 (X軸) より上側 (物体側から空間側の方向) の部分

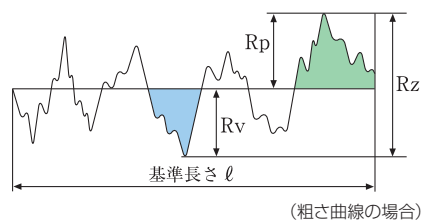
*谷 (Profile valley) : 輪郭曲線の平均線 (X軸) より下側 (周囲の空間から物体側に向かう方向) の部分

- Pz 断面曲線の最大高さ
- Wz 最大高さうねり

POINT

広く利用されるパラメーターですが、ピーク値を利用するため、キズやゴミ、測定ノイズの影響を受けやすいことに注意が必要です。

$$Rz = Rp + Rv$$

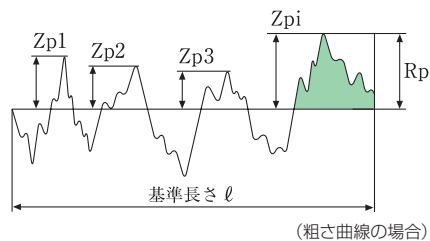


最大山高さ（Rp）

基準長さにおいて、輪郭曲線の山高さ Z_p の最大値を表します。

- Pp 断面曲線の最大山高さ
- Wp うねり曲線の最大山高さ

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

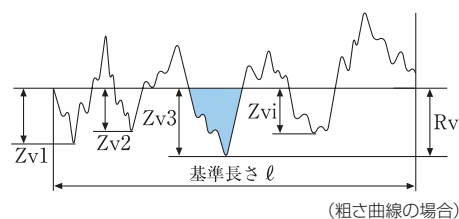


最大谷深さ（Rv）

基準長さにおいて、輪郭曲線の谷深さ Z_v の最大値を表します。

- Pv 断面曲線の最大谷深さ
- Wv うねり曲線の最大谷深さ

$$Rv = \min (Z(x))$$



輪郭曲線方式（線粗さ）のパラメーター

山及び谷の高さパラメーター

平均高さ（Rc）

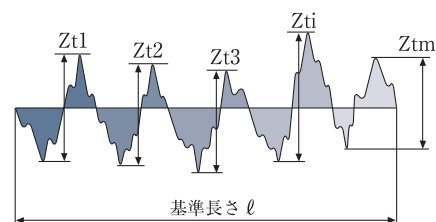
基準長さにおいて、輪郭曲線要素の高さZtの平均を表します。

- * 輪郭曲線要素：一組の隣り合う山と谷
- * 山（谷）と識別する最小高さと最小長さ

最小高さの識別：Rzの10%
最小長さの識別：基準長さの1%

- Pc 断面曲線要素の平均高さ
- Wc うねり曲線要素の平均高さ

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



（粗さ曲線の場合）

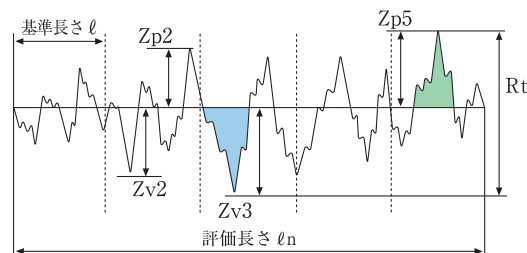
最大断面高さ（Rt）

基準長さではなく、評価長さにおいて、輪郭曲線の山高さZpの最大値と谷深さZvの最大値の和を表します。

- * $R_t \geq R_z$ の関係がすべての輪郭曲線で成り立つ。

- Pt 断面曲線の最大断面高さ（JIS'82でRmax）
- Wt うねり曲線の最大断面高さ

$$R_t = \max(Z_{pi}) + \max(Z_{vi})$$



（粗さ曲線の場合）

POINT

評価長さに対して測定するため、Rzより厳しい規格となります。
ピーク値を利用するため、キズやゴミ、測定ノイズの影響を受けやすいことに注意が必要です。

十点平均粗さ（Rzjis）

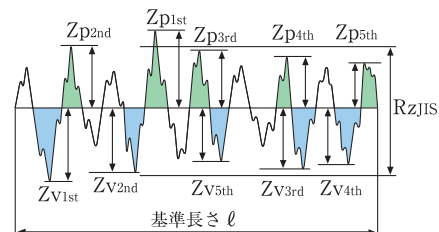
基準長さにおいて、輪郭曲線の最大の山高さから5番目までの平均と、最深の谷深さから5番目までの平均との和を表します。

- * JIS'94ではRz

POINT

Rzjisは旧規格JIS B0601:1994におけるRzと等価です。十点平均粗さはISO規格からは削除されましたが、日本国内では広く普及していたため、JIS規格でのみRzjisとして存続しています。

$$R_{zjis} = \frac{1}{5} \sum_{j=1}^5 (Z_{pj} + Z_{vj})$$



（粗さ曲線の場合）

■ 高さ方向のパラメーター

算術平均高さ (Ra)

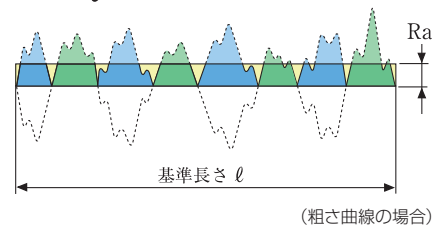
基準長さにおいて、Z(x)の絶対値の平均を表します。

- Pa 断面曲線の算術平均高さ
- Wa 算術平均うねり

POINT

最も広く利用されるパラメーターの1つです。平均面からの平均的な高低差の平均値です。キズ、ゴミ、ノイズなどの外乱の影響を受けにくいいため、安定した結果を得ることができます。

$$Ra = \frac{1}{\ell} \int_0^{\ell} |Z(x)| dx$$



二乗平均平方根高さ (Rq)

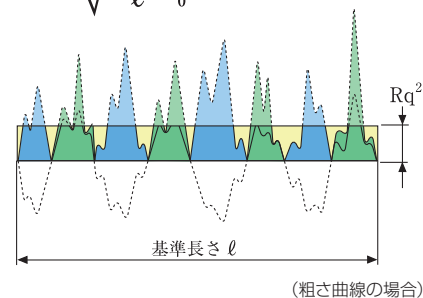
基準長さにおいて、Z(x)の二乗平均平方根を表します。

- Pq 断面曲線の二乗平均平方根高さ
- Wq 二乗平均平方根うねり

POINT

最も広く利用されるパラメーターの1つです。RMS値と呼ばれることもあります。Rqは高さ分布の標準偏差に相当します。統計的な取り扱いが容易でかつ、ゴミ、キズ、ノイズなどの外乱の影響を受けにくいいため、安定した結果を得ることができます。

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{\ell} \int_0^{\ell} Z^2(x) dx}$$



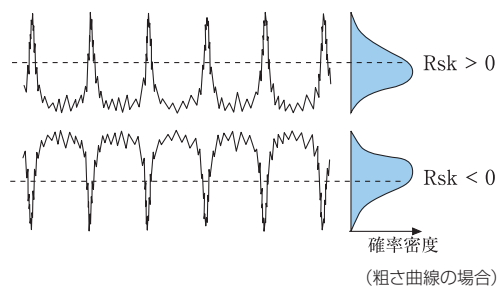
スキューネス (Rsk)

二乗平均平方根高さRqの三乗によって無次元化した基準長さにおいて、Z(x)の三乗平均を表します。歪度(わいど)を意味し、平均線を中心としたときの山部と谷部の対称性を表します。

- Rsk=0 : 平均線に対して対称(正規分布)
- Rsk>0 : 平均線に対して下側に偏っている
- Rsk<0 : 平均線に対して上側に偏っている

- Psk 断面曲線のスキューネス
- Wsk うねり曲線のスキューネス

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



POINT

高さの分布に関するパラメーターです。滑り面の摩耗や潤滑用の油溜まりの評価に適しています。

輪郭曲線方式（線粗さ）のパラメーター

高さ方向のパラメーター

クルトシス (Rku)

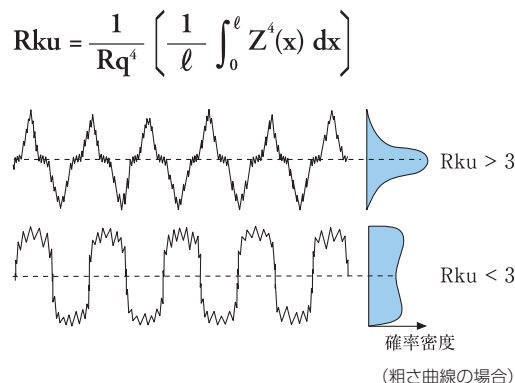
二乗平均平方根高さRqの四乗によって無次元化した基準長さにおいて、Z(x)の四乗平均を表します。

表面の鋭さの尺度である尖度（せんど）を意味し、高さ分布のとり（鋭さ）を表します。

- Rku=3：正規分布
- Rku>3：高さ分布が尖っている
- Rku<3：表面凹凸の高さ分布がつぶれているような形状になる

- Pku 断面曲線のクルトシス
- Wku うねり曲線のクルトシス

POINT 山部や谷部の先端形状に関するパラメーターです。二物体の接触状態の解析に適しています。



横方向のパラメーター

平均長さ (RSm)

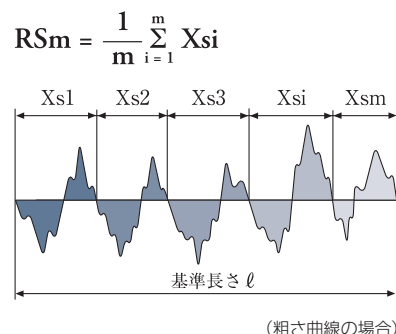
基準長さにおいて、輪郭曲線要素の長さXsの平均を表します。

- *JIS'94ではSm
- *山（谷）と識別する最小高さと最小長さ

- 最小高さの識別：Rzの10%
- 最小長さの識別：基準長さの1%

- PSm 断面曲線要素の平均長さ
- WSm うねり曲線要素の平均長さ

POINT 表面の凹凸の高さではなく、スジ目や粒子の横方向の大きさを評価するパラメーターです。



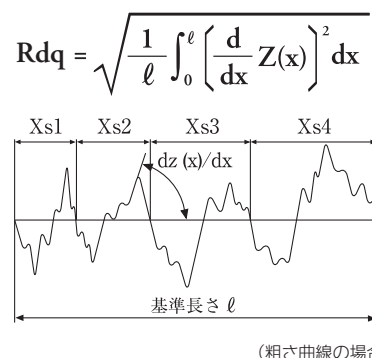
複合パラメーター

二乗平均平方根傾斜 (Rdq)

基準長さにおいて、局部傾斜dz/dxの二乗平均平方根を表します。

- Pdq 断面曲線の二乗平均平方根傾斜
- Wdq うねり曲線の二乗平均平方根傾斜

POINT 局所的な傾斜角の大きさを評価するため、表面の凹凸の険しさを数値化できます。

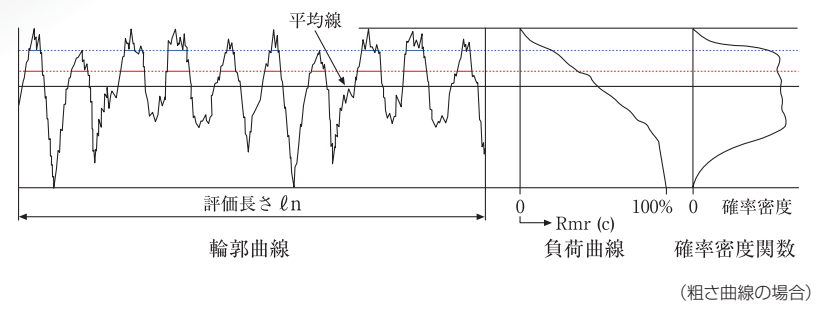


負荷曲線及び確率密度関数並びにそれらに関連するパラメーター

負荷曲線、確率密度関数とは

負荷曲線は標本をある高さcで切断したときに現れる実体部の割合をcの関数として表わした曲線です。ベアリング曲線（BAC）やアボット曲線とも呼ばれます。

確率密度関数は高さZxの確率を表わします。高さ分布のヒストグラムと等価です。

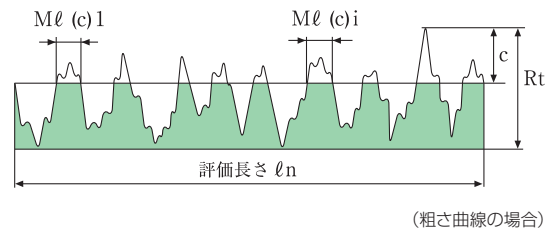


負荷長さ率 (Rmr (c))

切断レベルc (%またはμm)において、輪郭曲線要素の負荷長さMI (c) の評価長さに対する比率を表します。

- Pmr (c) 断面曲線の負荷長さ率 (旧tp)
- Wmr (c) うねり曲線の負荷長さ率

$$Rmr (c) = \frac{1}{\ell n} \sum_{i=1}^m Ml (c) i$$

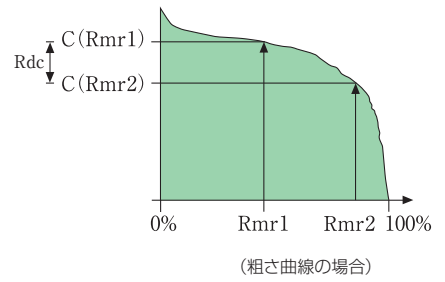


切断レベル差 (Rdc)

Rdcは二つの負荷長さ率に一致する高さ方向の切断レベルcの差を表します。

- Pdc 断面曲線の切断レベル差
- Wdc うねり曲線の切断レベル差

$$Rdc = c (Rmr1) - c (Rmr2) : Rmr1 < Rmr2$$



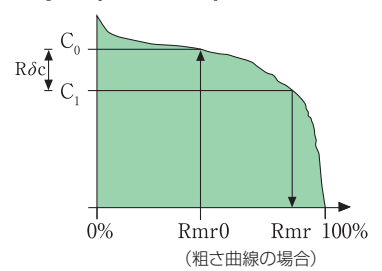
相対負荷長さ率 (Rmr)

Rmrは基準とする切断レベルCoと輪郭曲線の切断レベル差Rδcによって決まる負荷長さ率を表します。

- Pmr 断面曲線の相対負荷長さ率
- Wmr うねり曲線の相対負荷長さ率

$$Rmr = Rmr(c_1)$$

ここに $C_1 = C_0 - R\delta c$, $C_0 = C(Rmr0)$

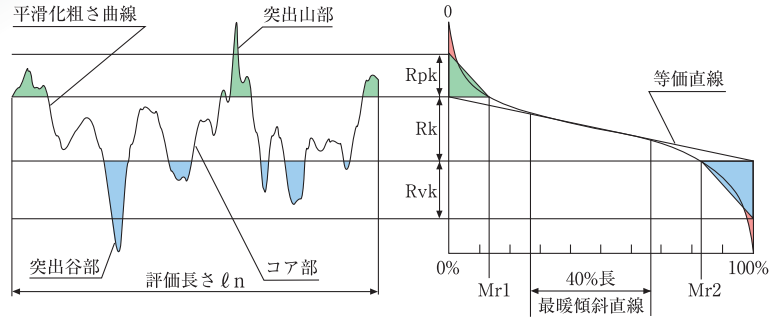


輪郭曲線方式（線粗さ）のパラメーター

■ プラトー構造表面パラメーター

負荷曲線の40%に相当する区間の傾きが最も小さくなる直線（等価直線）から R_k 、 Mr_1 、 Mr_2 を求めます。

R_k の幅で分断された負荷曲線の突出部分の面積と等しくなるような三角形を考え、この三角形から R_{pk} 、 R_{vk} を求めます。



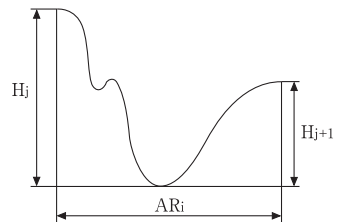
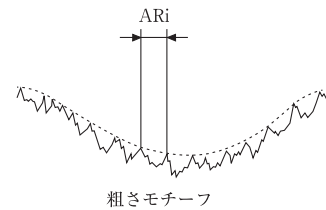
- R_k コア部のレベル差
- R_{pk} 突出山部高さ
- R_{vk} 突出谷部深さ
- Mr_1, Mr_2 コア部の負荷長さ率

POINT 摺動や摩耗に関する評価に適しています。
エンジンのシリンダ表面の潤滑性の評価にも使われます。

■ モチーフパラメーター

モチーフパラメーターは、サンプル表面の包絡形状をもとに、表面の接触状態を評価するためのパラメーターです。

- AR 粗さモチーフの平均長さ：評価長さで求めた粗さモチーフ長さ AR_i の算術平均値
- R 粗さモチーフの平均深さ：評価長さで求めた粗さモチーフ深さ H_j の算術平均値
- R_x 粗さモチーフの最大深さ：評価長さで求めた H_j の最大値
- AW うねりモチーフの平均長さ：評価長さで求めたうねりモチーフ長さ AW_i の算術平均値
- W うねりモチーフの平均深さ：評価長さで求めたうねりモチーフ深さ HW_j の算術平均値
- W_x うねりモチーフの最大深さ：評価長さにわたって求めた HW_j の最大値



POINT 潤滑機構の滑り評価やガスケット等の接触表面の評価に適しています。

三次元方式（面粗さ）のパラメーター

高さ方向のパラメーター (ISO25178-2 : 2012)	記号	単位 (デフォルト)	ページ
最大高さ	Sz	μm	P.29
山頂の最大山高さ	Sp	μm	P.29
谷底の最大谷深さ	Sv	μm	P.29
算術平均高さ	Sa	μm	P.30
二乗平均平方根高さ	Sq	μm	P.30
スキューネス	Ssk	(単位なし)	P.31
クルトシス	Sku	(単位なし)	P.31
空間パラメーター (ISO25178-2 : 2012)			
自己相関長さ	Sal	μm	P.32
テクスチャのアスペクト比	Str	(単位なし)	P.32
複合パラメーター (ISO25178-2 : 2012)			
二乗平均平方根勾配	Sdq	(単位なし)	P.32
展開界面面積率	Sdr	%	P.32
機能と関連するパラメーター (ISO25178-2 : 2012)			
コア部のレベル差	Sk	μm	P.33
突出山部高さ	Spk	μm	P.33
突出谷部高さ	SVk	μm	P.33
コア部の負荷面積率	Smr1	%	P.33
コア部の負荷面積率	Smr2	%	P.33
切断レベル差	Sxp	μm	P.34
突出谷部空間体積	Vvw	$\text{ml}/\text{m}^2 (= \mu\text{m}^3/\mu\text{m}^2)$	P.34
コア部空間体積	Vvc	$\text{ml}/\text{m}^2 (= \mu\text{m}^3/\mu\text{m}^2)$	P.34
突出山部実体体積	Vmp	$\text{ml}/\text{m}^2 (= \mu\text{m}^3/\mu\text{m}^2)$	P.34
コア部実体体積	Vmc	$\text{ml}/\text{m}^2 (= \mu\text{m}^3/\mu\text{m}^2)$	P.34
その他のパラメーター (ISO25178-2 : 2012)			
テクスチャの方向	Std	degrees	P.35
形体パラメーター (ISO25178-2 : 2012)			
山頂密度	Spd	mm^{-2}	P.35
山頂の算術平均曲率	Spc	mm^{-1}	P.35
10点平均高さ	S10z	μm	P.36
山頂の5点平均高さ	S5p	μm	P.36
谷底の5点平均深さ	S5v	μm	P.36

三次元方式（面粗さ）のパラメーター

■ 高さ方向のパラメーター

最大高さ（Sz）

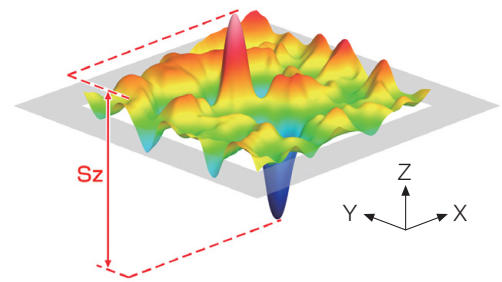
輪郭曲線（線粗さ）パラメーターのRzを三次元に拡張したパラメーターです。

最大高さSzは最大山高さSpと最大谷深さSvの和と等しくなります。

POINT

広く利用されるパラメーターですが、ピーク値を利用するため、キズやゴミ、測定ノイズの影響を受けやすいことに注意が必要です。

$$S_z = S_p + S_v$$

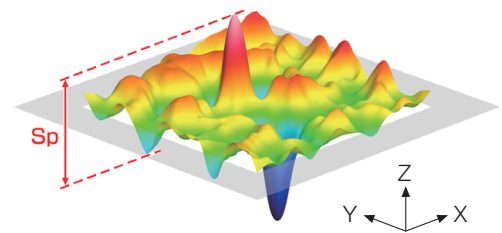


最大山高さ（Sp）

輪郭曲線（線粗さ）パラメーターのRpを三次元に拡張したパラメーターです。

山頂の高さの最大値です。

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

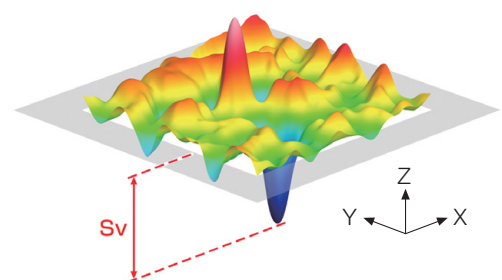


最大谷深さ（Sv）

輪郭曲線（線粗さ）パラメーターのRvを三次元に拡張したパラメーターです。

谷底の深さの最大値です。

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



算術平均高さ（Sa）

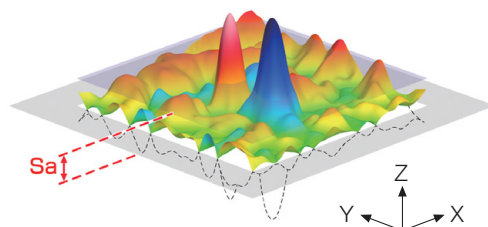
輪郭曲線（線粗さ）パラメーターのRaを三次元に拡張したパラメーターです。

測定対象領域において、 $Z(x,y)$ の絶対値（平均面からの高低差）の平均を表します。

POINT

最も広く利用されるパラメーターの一つです。平均面からの平均的な高低差の平均値です。キズ、ゴミ、ノイズなどの外乱の影響を受けにくいので、安定した結果を得ることができます。

$$S_a = \frac{1}{A} \iint_A |Z(x,y)| dx dy$$



二乗平均平方根高さ（Sq）

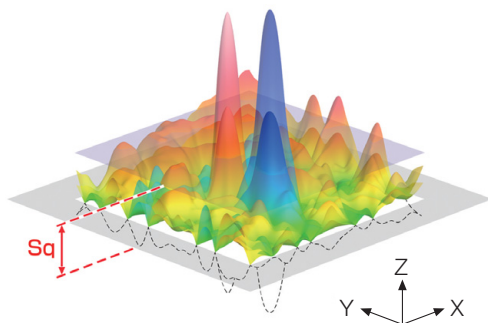
輪郭曲線（線粗さ）パラメーターのRqを三次元に拡張したパラメーターです。

測定対象領域において、 $Z(x,y)$ の二乗平均平方根を表します。

POINT

最も広く利用されるパラメーターの一つです。RMS値と呼ばれることもあります。Sqは高さ分布の標準偏差に相当します。統計的な取り扱いが容易でかつ、ゴミ、キズ、ノイズなどの外乱の影響を受けにくいので、安定した結果を得ることができます。

$$S_q = \sqrt{\frac{1}{A} \iint_A Z^2(x,y) dx dy}$$



三次元方式（面粗さ）のパラメーター

■ 高さ方向のパラメーター

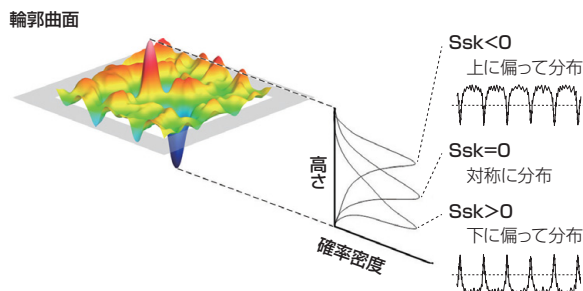
スキューネス（Ssk）

輪郭曲線（線粗さ）パラメーターのRskを三次元に拡張したパラメーターであり、Rsk同様に高さ分布のistogramの偏り具合（歪度：わいど）を評価するパラメーターです。

- Ssk=0：平均線に対して対称
- Ssk>0：平均線に対して下側に偏っている
- Ssk<0：平均線に対して上側に偏っている

POINT 高さの分布に関するパラメーターです。滑り面の摩耗や潤滑用の油溜まりの評価に適しています。

$$Ssk = \frac{1}{Sq^3} \left[\frac{1}{A} \iint_A Z^3(x,y) dx dy \right]$$



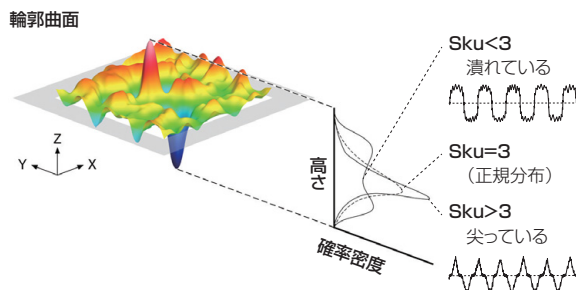
クルトシス（Sku）

輪郭曲線（線粗さ）パラメーターのRkuを三次元に拡張したパラメーターであり、Rku同様に高さ分布のistogramのとがり具合（尖度：せんど）を評価するパラメーターです。

- Sku=3：正規分布
- Sku>3：高さ分布が尖っている
- Sku<3：表面凹凸の高さ分布がつぶれているような形状になる

POINT 山部や谷部の先端形状に関するパラメーターです。二物体の接触状態の解析に適しています。

$$Sku = \frac{1}{Sq^4} \left[\frac{1}{A} \iint_A Z^4(x,y) dx dy \right]$$



空間パラメーター

自己相関長さ (Sal)

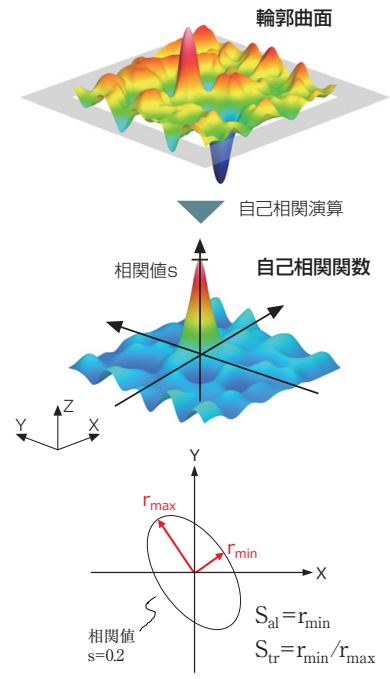
表面の自己相関が相関値 s ($0 \leq s < 1$) に減衰する最も近い横方向の距離として定義されています。特に記述のない場合は $=0.2$ です。

テクスチャのアスペクト比 (Str)

表面の自己相関が相関値 s ($0 \leq s < 1$) に減衰する最も遠い横方向の距離とSalの比として定義され、表面の異方性、等方性の強さを示します。

Strは0~1の範囲をとり、通常 $Str > 0.5$ で強い等方性を示し、反対に $Str < 0.3$ で強い異方性を示します。

POINT Salは表面の凹凸の高さではなく、スジ目や粒子の横方向の大きさや複雑さを評価するパラメーターです。



複合パラメーター

二乗平均平方根勾配 (Sdq)

輪郭曲線（線粗さ）パラメーターのRdqを三次元に拡張したパラメーターです。

表面の凹凸形状の局所的な勾配（傾斜）の平均的な大きさを表します。

Sdqの値が大きいほど急峻な表面となります。

POINT 局所的な傾斜角の大きさを評価するため、表面の凹凸の険しさを数値化できます。

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



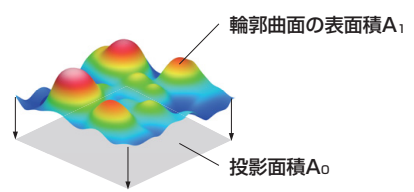
展開界面面積率 (Sdr)

表面積の増加割合を表わします。

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ます。

POINT 表面の形状が緻密で起伏が激しいほど、Sdrは大きくなります。

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



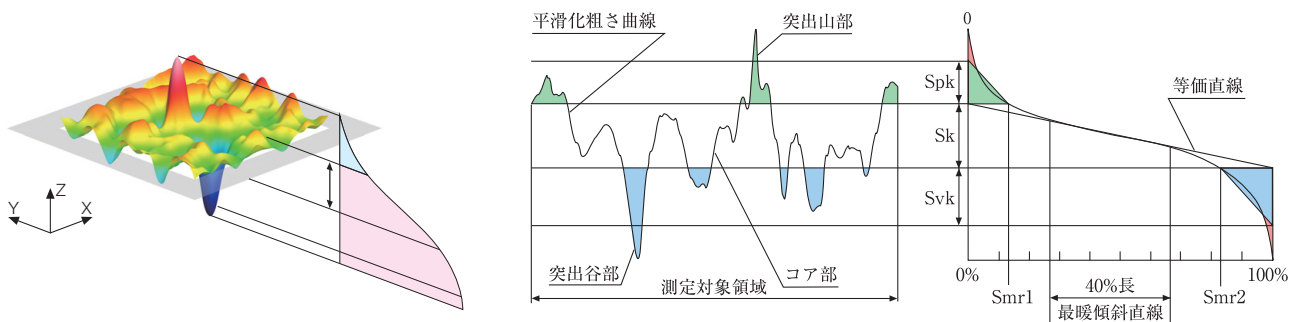
$$Sdr = (A_1/A_0 - 1) \times 100(\%)$$

三次元方式（面粗さ）のパラメーター

機能と関連するパラメーター

輪郭曲線（線粗さ）パラメーターのプラトール構造表面パラメーター（ R_k , R_{pk} , R_{vk} , Mr_1 , Mr_2 ）を三次元に拡張したパラメーターです。負荷曲線上でのパラメーター算出方法は輪郭曲線方式と同様です。

- S_k コア部のレベル差：コア部の上限レベルと下限レベルの差
- 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
- Smr_1 突出山部とコア部を分離する負荷面積率。
パーセントで表示する。
- Smr_2 突出谷部とコア部を分離する負荷面積率。
パーセントで表示する。

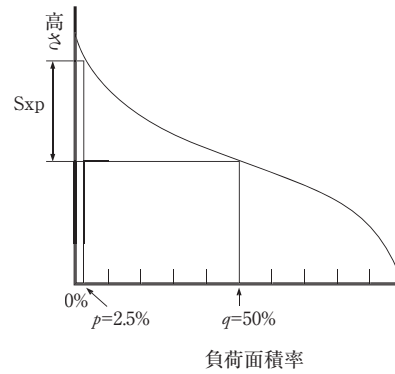
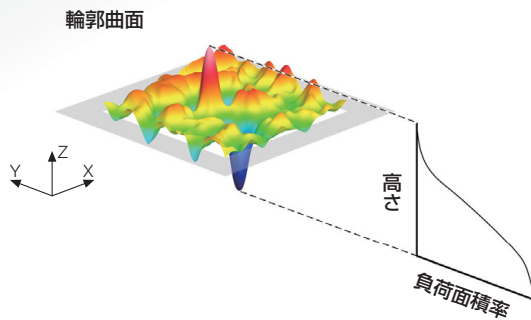


POINT

摺動や摩耗に関する評価に適しています。
エンジンのシリンダ表面の潤滑性の評価にも使われます。

切断レベル差（ S_{xp} ）

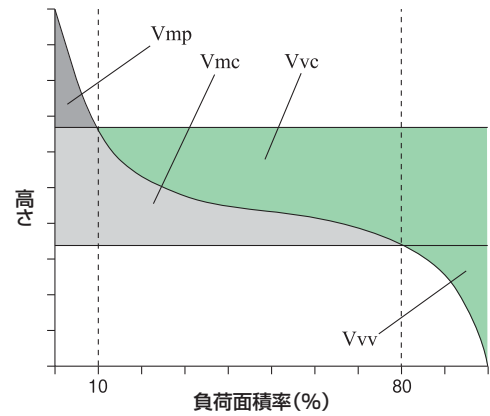
負荷面積率 p と q に一致する高さ方向の切断レベルの差。
特別な指示が無い場合は $p=2.5\%$ $q=50\%$ の値を用います。



負荷曲線上で実体部と空間部に相当する体積を図のように求めます。負荷面積率が10%と80%の位置を境界として、谷部、コア部、山部に分けられます。

- 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

POINT 摩耗評価、潤滑油保持の評価等によく使われます。



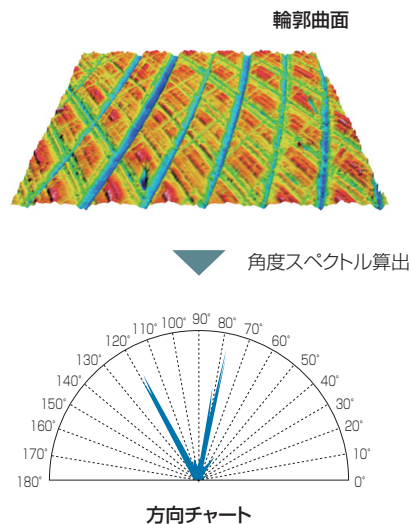
三次元方式（面粗さ）のパラメーター

その他のパラメーター

テクスチャの方向 (Std)

表面凹凸の方向性（筋目の向き等）を角度で表します。
二次元フーリエ変換画像の角度スペクトルが最大となる角度から求めます。

POINT Stdは最も方向性の強い角度を表わしますが、方向チャートでは、2番目、3番目に強い角度も読みとることができます。



形体パラメーター

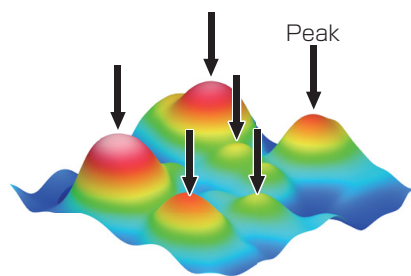
山頂密度 (Spd)

単位面積あたりの山頂の数です。ここでは所定サイズよりも大きな山頂だけをカウントします。
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%の高さに設定されます。
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ます。

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）を表わします。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します。
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%の高さに設定されます。
基準領域に含まれる山頂の曲率の算術平均値から求めます。

POINT 二物体の接触状態の解析に適しています。



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。

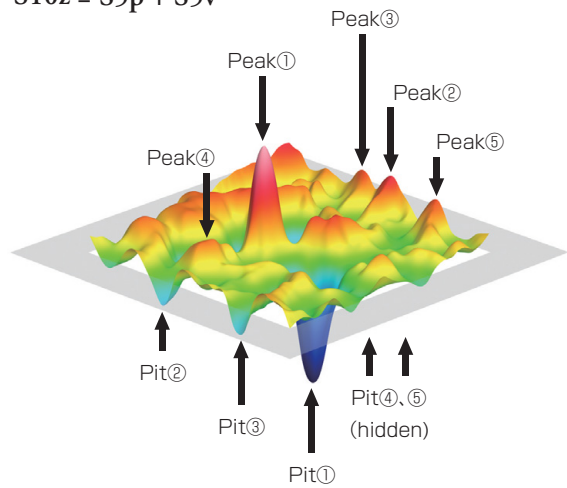
山頂の5点平均高さ（S5p）

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です。

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）の平均値です。

$$S10z = S5p + S5v$$



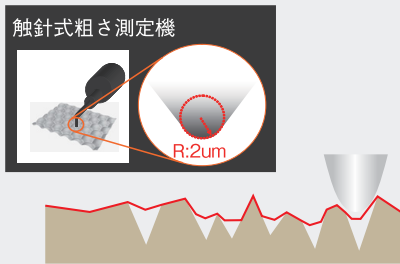
レーザー顕微鏡のソリューション

■ 触針式表面粗さ測定機をお使いのお客様へ

より微細な粗さ測定

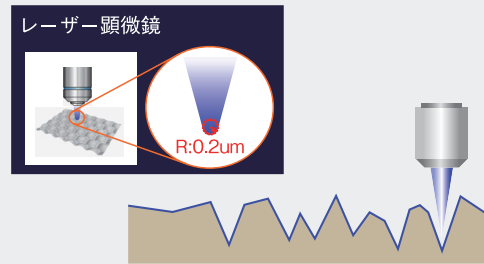
課題

一般的な触針式の探針の先端半径は2 ~ 10 μm のため、微細な凹凸形状を捉えることが困難です。



ソリューション

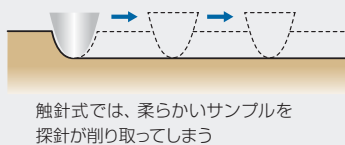
レーザー顕微鏡のレーザースポットの先端半径は0.2 μm と微小なため、触針式の探針では入ることができなかった微細な凹凸の表面粗さまで測定することができます。



非接触粗さ測定

課題

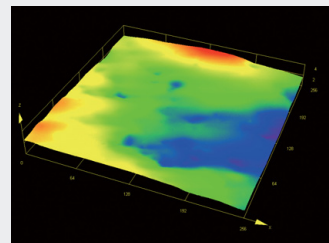
触針式では、探針がサンプル表面に直接接触するため、柔らかいサンプルの表面を削り取ったり、粘着性のあるサンプルが引っ張られたりするため、正確な値を得ることは困難です。



触針式では、柔らかいサンプルを
探針が削り取ってしまう

ソリューション

非接触であるレーザー顕微鏡は、表面状態に左右されず、正確な粗さ測定が可能です。

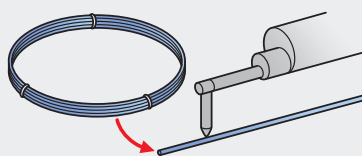


粘着性テープ 256×256 μm

局所領域の粗さ測定

課題

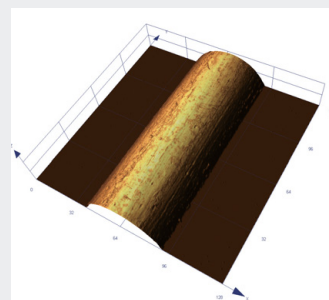
触針式では、細いワイヤなど狭いエリアを測定することは困難です。



数十ミクロンのワイヤ表面に探針を下ろす
ことは非常に困難

ソリューション

面で測定できるレーザー顕微鏡は、画像を見ながら正確に位置決めができるため、狙った微小エリアの粗さ測定を簡単に行うことができます。



極細ワイヤ $\phi 50\mu\text{m}$ (128×128 μm)

■ 白色干渉計をお使いのお客様へ

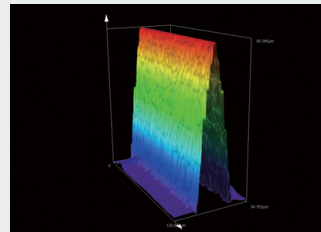
高い斜面検出性能

課題

白色干渉計は、平滑面においてはサブナノレベルの検出感度を持っている反面、急斜面（粗面）では干渉縞が密集してしまうため、正しい測定ができません。

ソリューション

レーザー顕微鏡は、高NA専用対物レンズと405nmレーザーの搭載により、今まで測ることのできなかった急峻な角度のサンプルでも、確実に測定することが可能です。



カミソリ (128×128μm)

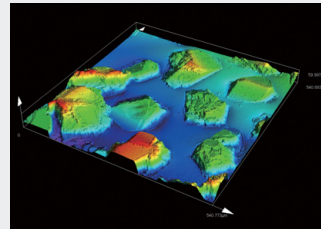
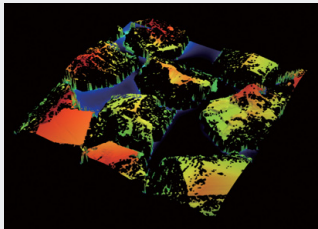
低反射サンプルも測定できる

課題

白色干渉計は、光検出器にCCDなどのイメージャーを採用しているため、サンプルの表面状態によっては、微弱な信号を捉えられず、測定が難しい場合があります。

ソリューション

レーザー顕微鏡は、高感度光検出器（光電子増倍管）を採用しているため、S/Nが非常に高く反射率の低いサンプルでも表面形状を正確に測定することが可能です。



ダイヤモンドバイト (512×512μm)

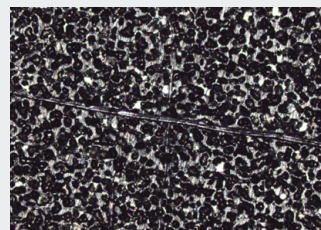
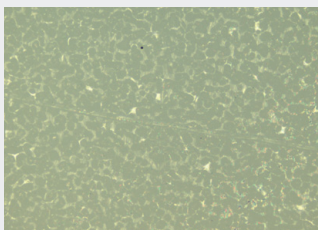
高い平面分解能

課題

白色干渉計に搭載されている干渉対物レンズのNAは、光学顕微鏡のレンズよりも小さいため、水平分解能が低いです。また、光学顕微鏡のようなクリアなライブ観察も困難です。

ソリューション

レーザー顕微鏡は、カラー光学系とレーザーコンフォーカル光学系の両方を搭載しているため、非常にクリアで高分解能な画像が得られるため、微細な傷の観察や、微小領域の位置決めも容易です。



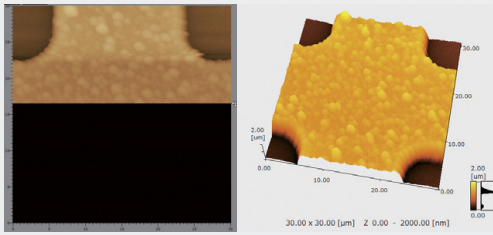
レーザー顕微鏡のソリューション

■ 走査型プローブ顕微鏡 (SPM) をお使いのお客様へ

スピーディーな微細3D測定

課題

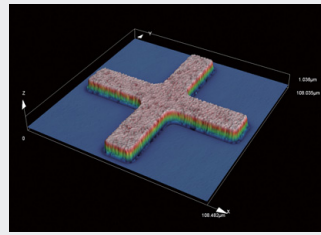
SPMは、サブナノレベルの形状測定ができる反面、カンチレバーでサンプル表面を精密にスキャンするため、データ取得に時間がかかります。



約850秒

ソリューション

レーザー顕微鏡は、レーザー光を平面方向に高速にスキャンするため、サブミクロンレベルの微細形状が数十秒で取得可能です。

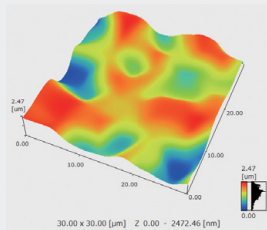


約15秒

広視野測定

課題

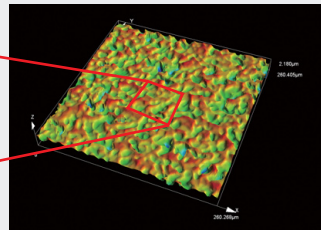
SPMのスキャンエリアは100 μ m程度の微小領域なので、大きな形状や低倍率での測定には不向きです。



走査型プローブ顕微鏡

ソリューション

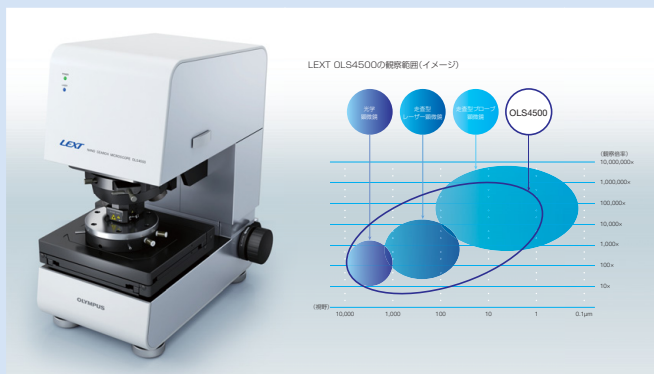
レーザー顕微鏡は、サブミクロンレベルの凹凸を、SPMよりも広い視野で測定可能です。取得データを平面方向に繋ぎ合わせることでさらに広い視野での解析も可能となっています。



レーザー顕微鏡

ナノサーチ顕微鏡 LEXT OLS4500

ミリからナノをシームレスに測定。
レーザー顕微鏡とプローブ顕微鏡の複合機。
製品の詳細については、当社のHPをご覧ください。
<http://www.olympus-ims.com/ja>

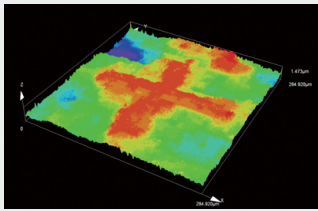


デジタルマイクロスコープをお使いのお客様へ

正確な微細3D測定

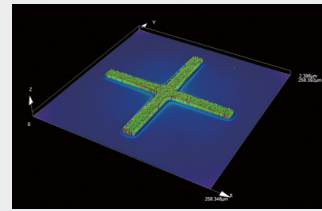
課題

デジタルマイクロスコープでは、サブミクロンレベルの微細な凹凸を捉えることは困難です。



ソリューション

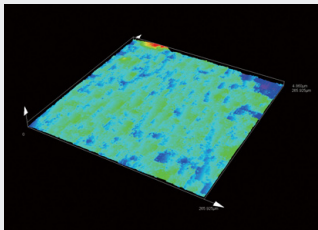
レーザー顕微鏡は、レーザー光でサンプル表面をスキャンすることにより、微細な凹凸でも正確に捉えることが可能です。



サンプルを選ばず測定可能

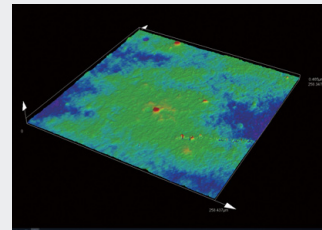
課題

デジタルマイクロスコープは、サンプル表面のコントラスト情報を使って、形状データを構築するので、コントラストが低い研磨面やフィルム等の平滑面の測定は困難です。



ソリューション

レーザー顕微鏡は、コンフォーカル光学系により、サンプルの表面状態に左右せず正確な形状を捉えることが可能です。



ブルーフィルム (MPLAPON50XLEXT)

OLS5000が表面粗さ測定に選ばれる理由

OLS5000の特長

特長1 非接触・非破壊・スピーディー

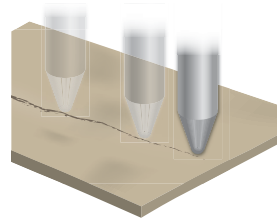
前準備不要、ステージに置くだけで測定可能



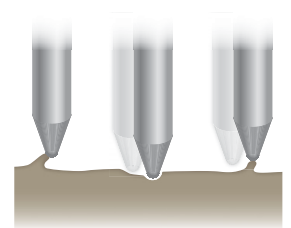
粗さ計は…



サンプルに傷がつく

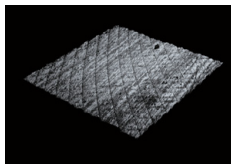


粘着性のあるサンプルは測れない



特長2 圧倒的な情報量

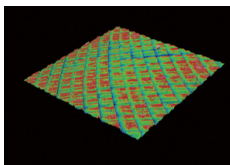
3つの情報が一度に得られる



レーザー画像

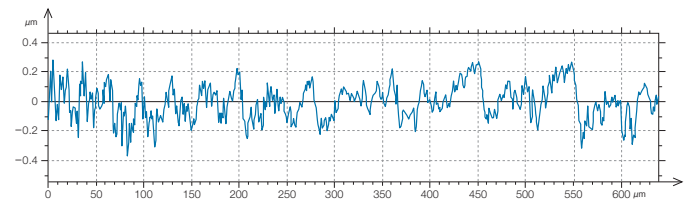


カラー画像



3D形状データ

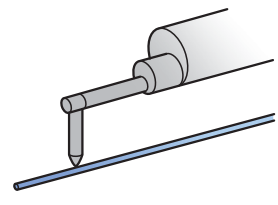
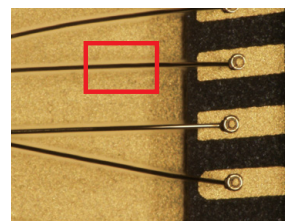
1ラインの断面しか得られない



粗さ計は…

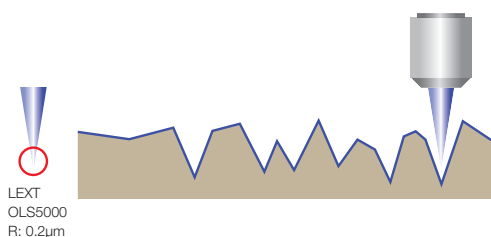


微小な位置決めは困難



特長3 微細な凹凸を逃がさない

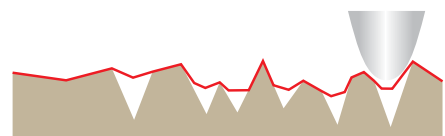
405nm / 直径0.4 μmのレーザー光がありのままの微細形状を捉える



粗さ計は…



スタイラスの先端径より微細な凹凸は測れない



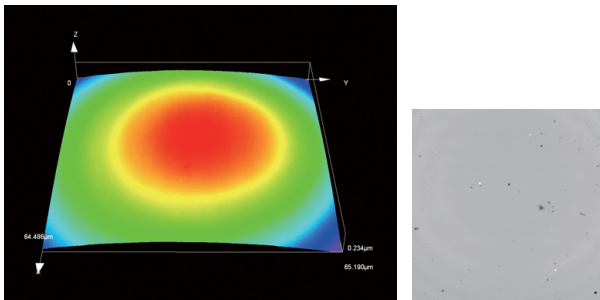
バニシング加工は、金属表面に半球状のバニシング工具（ダイヤモンドバイト）を押し当てながら移動させることで、鏡面のような滑らかな面を得る加工法です。

加工が進むにつれ、バニシング工具先端の摩耗が進み、加工材料の表面の滑らかさの度合いに影響を及ぼすため、工具先端の傷や表面粗さなどの管理が重要です。



新・旧ダイヤモンドチップ先端の粗さの比較評価

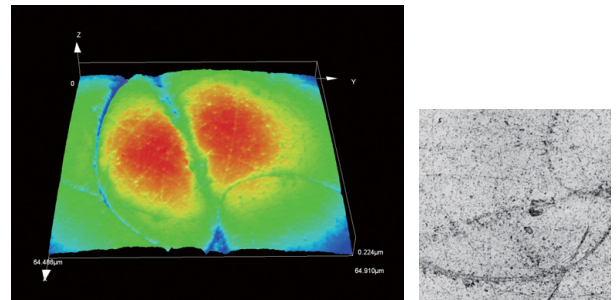
使用前



面粗さ（使用前）

Sq	0.019 [μm]	Ssk	0.883
Sku	5.473	Sp	0.110 [μm]
Sv	0.047 [μm]	Sz	0.157 [μm]
Sa	0.014 [μm]		

使用后

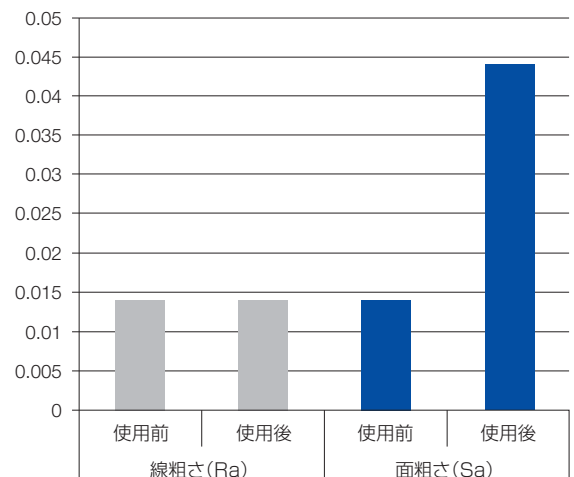


面粗さ（使用后）

Sq	0.065 [μm]	Ssk	-1.753
Sku	6.976	Sp	0.153 [μm]
Sv	0.386 [μm]	Sz	0.539 [μm]
Sa	0.044 [μm]		

従来の粗さ計では、 $\phi 3\text{mm}$ 程度のバニシング工具に、触針を落とすのは難しく、バニシング工具先端の傷を見つけることもできません。さらに、バニシング工具の使用前と使用後の表面粗さを、線粗さパラメーター Raを用いて比較すると、測定ラインによっては明確な差が出ず、摩耗状態の判断を見誤る可能性があります。

一方、OLS5000では、より広範囲の微細な凹凸形状を面粗さパラメーター Saにより数値化できるため、使用前後の差が明確となり、より正確な判断が可能です。



OLS5000のソリューション

広い領域の高精細拡大画像を確認しながら、狙った領域の表面粗さを簡単に測定可能

OLS5000が表面粗さ測定に選ばれる理由

OLS5000
測定事例

2

ボールペン先端のボールの受け座の粗さ評価

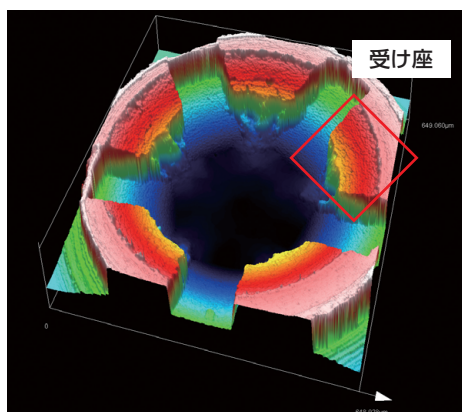
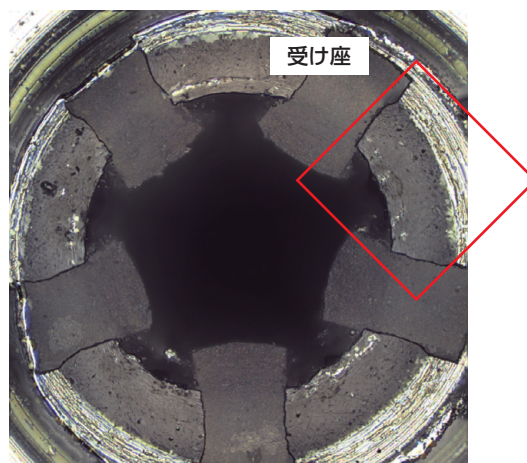
日常生活で広く利用されているボールペンの書き味は、筆記時のボールの滑り具合や、手に持った時の感触、操作性など総合的な観点から決まります。ペン先のボールが回転する際に擦れ合うボールの受け座の表面粗さは、摩擦力（筆記抵抗）に直結するため、書き味を左右する重要な要素です。



ボールの受け座の粗さ評価

従来の粗さ計では、受け座の形状が非常に小さく複雑な形状であるため、触針を落とすことが難しいだけでなく、トレースすることも困難でした。

一方、OLS5000は、非接触で測定できるので、奥まった部分の微細形状も簡単に取得できます。また、1ラインの粗さを評価する粗さ計と比べて、圧倒的に情報量が多い広範囲なデータが得られるので、形状が複雑な部品でも測定対象領域の指定により、局所的な領域の粗さ測定が可能です。さらに、測定対象領域は、複数箇所指定できるので、各領域の表面粗さや、平均値なども簡単に数値化できます。



受け座の面粗さ

Sq	6.698 [μm]	Sv	23.792 [μm]
Sku	3.316	Sz	45.475 [μm]
Ssk	-0.408	Sa	5.087 [μm]
Sp	21.683 [μm]		



OLS5000のソリューション

非接触なので、粗さ計では測定が難しいサンプルの奥まった局所領域の表面粗さ測定が可能

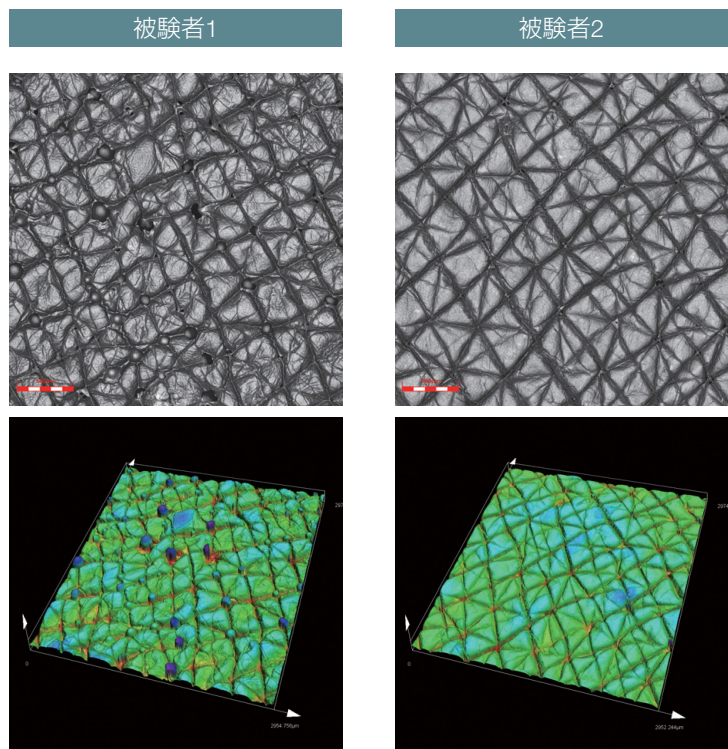
工業製品の商品価値を高める1つとして、自動車の内装部品や建材など、高級感や本物感といった質感を向上させる取り組みが行われています。近年、人の肌を美しく見せる化粧品分野においても、官能的な評価ではなく、化粧品塗布前後の肌表面の凹凸やキメの状態などを数値化し、質感との相関を解析する研究が行われています。

キメの凹凸を定量化

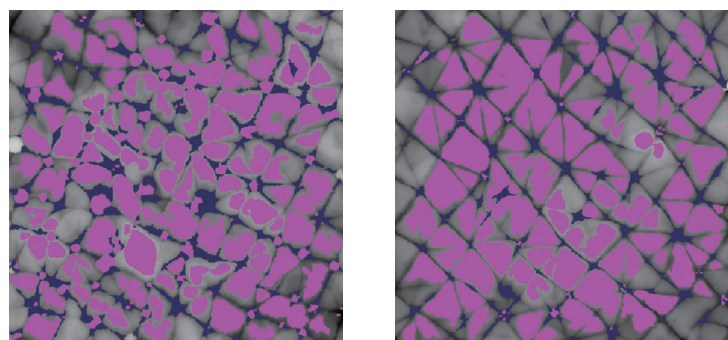
人それぞれ異なる肌のキメは、官能評価だけでは判定者によるばらつきが生じるため、肌表面の凹凸を定量に評価することが大切です。

従来の粗さ計では、特定の1ラインの凹凸状態の評価となるため、肌表面全体の状態を把握することは困難でした。また、触針によりレプリカサンプルに傷がつくこともあり、正確な測定ができません。

一方、OLS5000では、Spc、Spdといった面粗さパラメーター（ISO25178-2）を使えば、単位面積あたりの皮丘の数や平均的な皮丘の高さ（または皮溝の深さ）、皮丘山頂部の曲率など、肌表面の地形的な特徴を数値化できます。さらに、非接触で測定できるため、サンプルへのダメージを心配する必要はありません。



▼ キメの凹凸を定量化 ▼



山の密度 (Spd) 32 (1/mm²)
山の曲率 (Spc) 1315 (1/mm)

山の密度 (Spd) 25 (1/mm²)
山の曲率 (Spc) 1121 (1/mm)

■皮丘 (山) ■皮溝 (谷)

※観察サンプルはレプリカで反転しています。
※文化学園大学服装学部機能デザイン学研究室提供



OLS5000のソリューション

非接触なので、サンプルを選ばず表面粗さ測定が可能

OLS5000が表面粗さ測定に選ばれる理由



4 クリアコーティング下の塗装面の粗さ測定

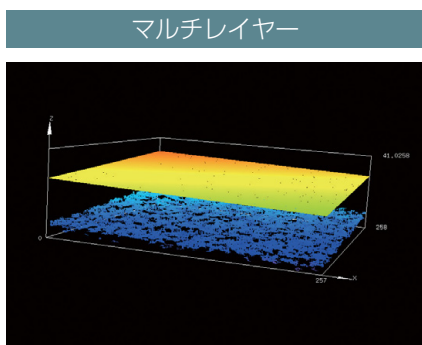
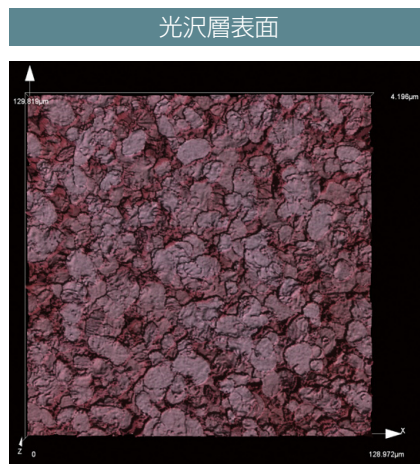
スマートフォンや自動車をはじめとする身近な電子機器やその他工業製品は、様々な色や光沢を持っています。これらの多くは表面にクリアコーティングが施されており、このクリアコーティングの下層にある光沢層の表面状態は、製品の質感を左右します。



透明膜下の形状測定

従来の粗さ計では、クリアコーティングの表面しか測定できませんでした。また、クリアコーティングは柔らかいため、触針によりコーティング面に傷がついてしまうこともありました。

一方、OLS5000では、レーザー光がクリアコーティング層を透過するため、破壊・分解することなく、光沢層表面の凹凸を捉えることができます。またマルチレイヤー機能を使えば、表面粗さだけでなくクリアコーティング層の膜厚を測定することも可能です。もちろんサンプルへのダメージを心配する必要はありません。



塗装面の面粗さ

Sq	1.159 [μm]	Sv	5.535 [μm]
Sku	4.337	Sz	11.052 [μm]
Ssk	-0.559	Sa	0.881 [μm]
Sp	5.516 [μm]		



OLS5000のソリューション

非接触なので、従来の粗さ計では測れないクリアコーティング下の表面粗さを測定可能

- 当社は環境マネジメントシステムISO14001の認証取得企業です。
- 当社は品質マネジメントシステムISO9001の認証取得企業です。

- このカタログに記載の社名、商品名などは各社の商標または登録商標です。
- モニター画像ははめ込み合成です。
- 仕様・外觀については、予告なしに変更する場合があります。あらかじめご了承ください。

www.olympus-ims.com

オリンパス株式会社

〒163-0914 東京都新宿区西新宿2-3-1 新宿モノリス



TEL 03(6901)4250

(ご来場の際はあらかじめご連絡ください。)



Olympus Customer Information Center

お客様相談センター

0120-58-0414 FAX 03(6901)4251

※携帯・PHSからもご利用になれます。

受付時間 平日8:45~17:30

お問い合わせ : www.olympus-ims.com/ja/contact-us

OLYMPUS[®]

取扱販売店名