

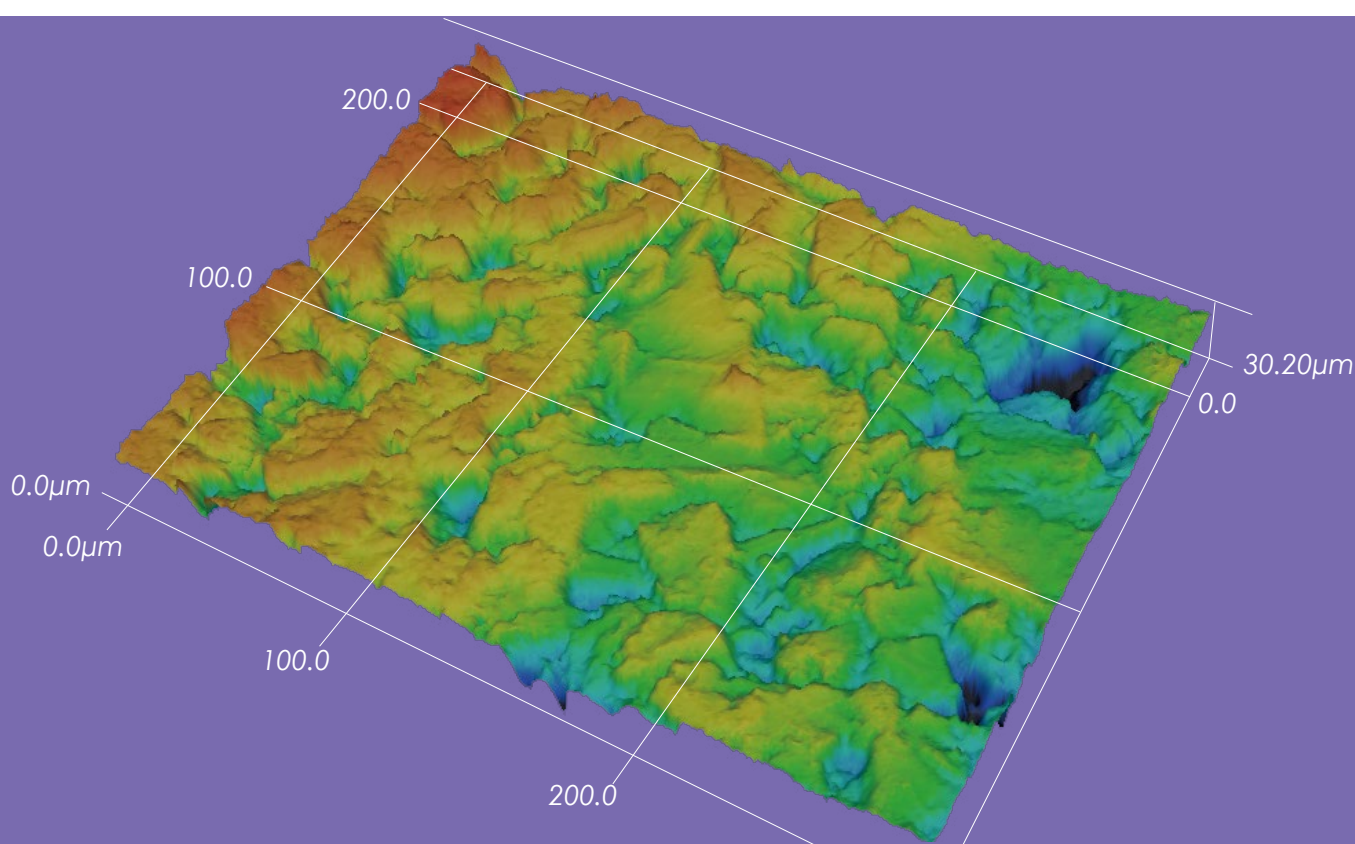
表面粗さ 測定入門

面粗さ編

この度は「表面粗さ測定入門(面粗さ編)」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、新たに規格化された ISO 25178 表面性状の定義とパラメータに関する技術情報をまとめたものです。本書の内容につきましては一部弊社の商品仕様に則した説明になっています。

また、ISO 25178 にて規格化されていない情報については割愛しております。ご一読いただき、本書がお客様の懸案解決の一助になりましたら幸いです。



INDEX

1 表面粗さについて

1-1 表面粗さとは	2
1-2 ISO 25178 表面性状(面粗さ測定)とは	2

2 表面粗さの基礎知識

2-1 表面粗さの用語	3
2-2 評価方法の流れ	5
2-3 フィルター処理について	5
2-4 S-フィルター、L-フィルターの設定	6
2-5 ISO 25178 表面性状のパラメーター解説	7
2-6 ISO 25178 と JIS B 0601-2001 の違い	18

3 表面粗さを測定する機器

3-1 接触式表面粗さ・形状測定機	20
3-2 原子間力顕微鏡 (AFM)	21
3-3 白色干渉計	22
3-4 形状解析レーザ顕微鏡	24

1-1

表面粗さとは

加工部品等の表面には、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表面のでこぼこを表面粗さと言います。

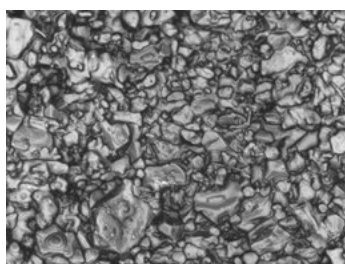
商品の外装カバーや車のダッシュボード、パネルなどの加工部品の表面が、「光って見える」、「ザラザラして光沢がない」などの外観の違いは、この表面の粗さの違いによるものと言えます。

また、手に持った時に、指や手のひらに感じる手触りの違いも表面の凹凸による違いと言えます。

外観、手触りが、その商品の付加価値（高級感、顧客満足度）を左右することも少なくありません。

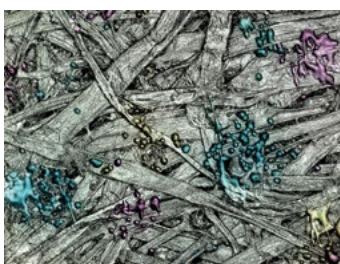
部品が何かと接触するときは、その磨耗量や気密性に表面粗さが影響します。また、部品の表面に塗装を施すときは、その塗料のぬれ性や厚みなどに影響します。

これらの理由から、近年では表面の微小な凹凸を数値管理することが求められています。



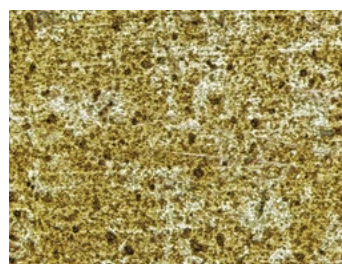
セラミックス表面

6000×



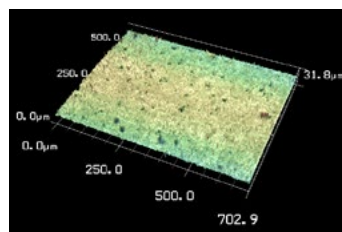
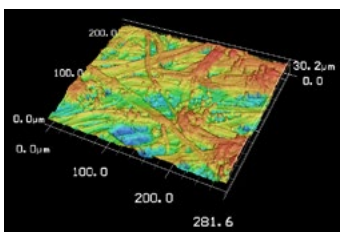
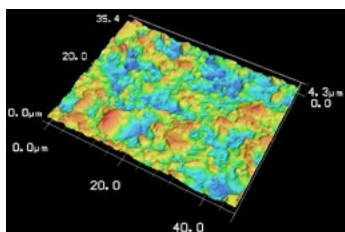
紙繊維

1000×



金メッキ表面

400×



1-2

ISO 25178
表面性状
(面粗さ測定)
とは

ISO 25178 表面性状（面粗さ測定）は、表面粗さの評価方法を定めた国際規格です。

JIS B 0671-1 / ISO 13565-1（線粗さ測定）が触針式粗さ計での評価を前提とした規格であったのに対して、ISO 25178 表面性状は、「接触式（触針式）」、「非接触式（光プローブ）」の2つの評価方法に対応した規格です。

線粗さ測定で問題となっていた「測定箇所による結果のバラツキ」、「走査方向に依存する結果のバラツキ」が生じない評価方法と言えます。

2-1

表面粗さの用語

ISO 25178 表面性状（面粗さ測定）で使われている用語について説明します。

原表面

測定装置を用いて測定した XY 平面方向の計測データにより構成される表面を表します。主に、高さデータが処理対象になります。

基礎表面 (primary surface)

原表面に対して S- フィルターを適用して得られる表面を表します。

表面フィルター (surface filter)

表面に対して適用するフィルター処理を表します。

S- フィルター (S-filter)

小さいスケールの成分を取り除くフィルター（ローパスフィルター）を表します。JIS B 0601-2001 のカットオフ値 λ_s に相当するフィルターです。触針式表面粗さ計の場合は、先端形状に依存するノイズを除去します。

L- フィルター (L-filter)

大きいスケールの成分を取り除くフィルター（ハイパスフィルター）を表します。うねりなどを除去して粗さ成分だけを抽出するフィルターです。JIS B 0633-2001 のカットオフ値 λ_c に相当するフィルターです。

F- オペレーション (F-operation)

基礎表面から形状を除去するための処理を表します。傾き補正に相当する形状除去のためのフィルターです。

S-F 表面 (S-F surface)

基礎表面に、F- オペレーションを適用した表面を表します。

S-L 表面 (S-L surface)

S-F 表面にさらに L- フィルターを適用した表面を表します。

計測表面 (scale-limited surface)

S-F 表面または S-L 表面を表します。線粗さ計測での粗さ曲線、うねり曲線に相当します。

基準表面 (reference surface)

計測表面に対応する基準となる表面で、ISO 25178 表面性状機能では評価領域の平均高さの平面を表します。

評価領域 (evaluation area)

計測表面のうち、評価対象とする部分を表します。

定義領域 (definition area)

評価領域のうち、パラメーター定義に使われる部分を表します。

高さ (height)

計測表面における各点の基準表面からの距離を表します。基準面より低い点は負の値となります。

自己相関関数

表面粗さの平面方向の周期性を評価するのに用いられます。

角スペクトル (グラフ)

表面のどの方向に筋目（金属の場合はヘアラインという）があるか判断するためのグラフを指します。

2-2
評価方法の 流れ

ISO 25178 表面性状（面粗さ測定）の各パラメーターは、次の手順で求めます。

原表面に対して表面フィルター (S フィルター) 処理を行い、
基礎表面を求めます。



評価内容に応じて、更に表面フィルター (F- オペレーター
や L- フィルター) 処理を行い、計測表面を求めます。



計測表面に対して、評価領域を指定します。



計測表面に対応する基準表面を求め、各パラメータを演算
します。

2-3

フィルター 処理について

フィルター処理に関する規格については、現在も ISO で検討が続けられています。ここでは S-フィルター、L-フィルターの処理方法として検討されているフィルター処理を紹介します。

ガウシアンフィルター

ガウシアンフィルターは、ガウス関数を利用してノイズを除去する平滑化フィルターの一つです。表面粗さ測定においては、JIS B 0632:2001 (ISO 11562:1996)および ISO 16610-21:2011 で規定されているガウシアンフィルターを面拡張したものが採用されています。

スプラインフィルター

スプラインフィルターはスプライン関数を利用して隣り合う有効な点に挟まれた各区間を補間して滑らかな曲線を求めるフィルターの一つです。表面粗さ測定において ISO/TS 16610-22:2006 で規定されているスプラインフィルターを面拡張したものが採用されています。

2-4

S-フィルター、 L-フィルター の設定

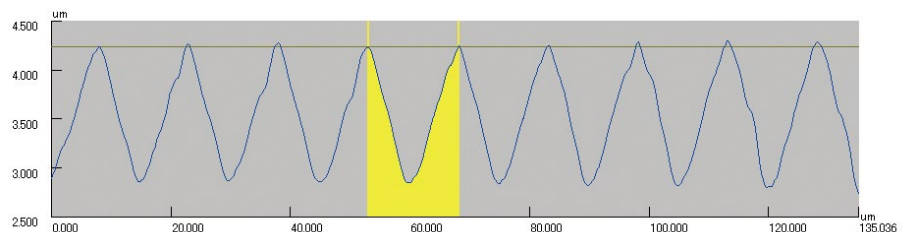
S-フィルターで指定するカットオフ波長

XY 平面（水平）上の測定分解能の 3 倍以上の数値に設定します。なお、設定した数値では効果が小さいときは、「計測表面」のノイズが除去されるまで設定値に大きくします。事前に、別のフィルター処理を行っている場合は、使用しない場合もあります。

L-フィルターで指定するカットオフ波長

レンズ倍率やスタイラスの先端径などで一律に選ぶことは難しいので、原表面によって調整する必要があります。うねりとして除去したい形状の XY 方向長さ(周期長さ)の 5 倍を設定します。

例)



プロファイル 1	水平距離
区分 1	14.678μm

上図のような場合は、カットオフ値は、0.1mmになります。

$$14.678 \times 5 = 73.39 \div 0.1\text{mm}$$

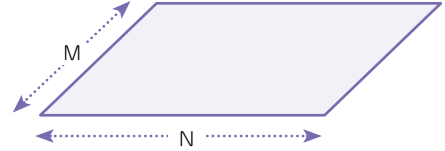
2-5

ISO 25178 表面性状の パラメーター解説

ISO 25178 表面性状の各パラメーターは、次のような考えを元に算出されます。

基準表面

高さ画面で指定された計測領域（縦 M ピクセル、横 N ピクセル）の基準表面（平均面）を求め、その基準表面の高さを 0 とした時の高さのバラツキを計算します。



ISO 25178 表面性状のパラメーター

ISO 25178 表面性状では、各パラメーターを 6 つのカテゴリーに分類しています。

1. 高さパラメーター
2. 空間パラメーター
3. 複合パラメーター
4. 機能パラメーター
5. 機能（体積）パラメーター
6. 形態パラメーター

ISO 25178 表面性状の各カテゴリーには、次のような評価パラメーターが定義されています。

カテゴリー	パラメーター	名称
高さパラメーター Height parameters	Sq	二乗平均平方根高さ
	Ssk	スキューネス（偏り度）
	Sku	クルトシス（尖り度）
	Sp	最大山高さ
	Sv	最大谷深さ
	Sz	最大高さ
	Sa	算術平均高さ
空間パラメーター Spatial parameters	Sal	最小自己相関長さ
	Str	表面性状のアスペクト比
	Std [*]	表面性状の方向
複合パラメーター Hybrid parameters	Sdq	二乗平均平方根傾斜
	Sdr	界面の展開面積比

※表面性状の方向Stdは、表面性状パラメーター(ISO 25178-2; 2012)では、その他のパラメーター(Miscellaneous parameters)に分類されます。

機能パラメーター Functional parameters	Smr(c)	負荷面積率
	Smc(mr)	逆負荷面積率
	Sk	コア部のレベル差
	Spk	突出山部高さ
	Svk	突出谷部高さ
	Smr1	突出山部とコア部を分離する負荷面積率
	Smr2	突出谷部とコア部を分離する負荷面積率
	Svq	谷領域に当てはめられた回帰直線の傾斜
	Spq	プラトー領域に当てはめられた回帰直線の傾斜
	Smq	プラトー領域に当てはめた回帰直線と谷領域に当てはめた回帰直線との交点における負荷面積率
機能（体積）パラメーター Functional volume parameters	Sxp	極点高さ
	Vvv	谷部の空隙容積
	Vvc	コア部の空隙容積
	Vmp	山部の実体体積
形態パラメーター Feature parameters	Vmc	コア部の実体体積
	Spd	山の頂点密度
	Spc	山頂点の算術平均曲
	S10z	10 点領域高さ
	S5p	5 点山領域高さ
	S5v	5 点谷領域深さ
	Sda(c)	平均谷領域面積
	Sha(c)	平均山領域面積
	Sdv(c)	平均谷領域容積
	Shv(c)	平均山領域体積

1 高さパラメーター

高さパラメーターは、評価領域の高さ（変位）に着目したパラメーターで、ISO 4287/JIS B0601 を面に拡張したものです。

カテゴリー	パラメーター	名称	説明
高さパラメーター Height parameters	Sq	二乗平均平方根高さ	平均面からの距離の標準偏差に相当するパラメーターです。高さの標準偏差に相当します。
	Ssk	スキューネス（偏り度）	高さ分布の対称性を表します。
	Sku	クルトシス（尖り度）	高さ分布の鋭さを表します。
	Sp	最大山高さ	表面の平均面からの高さの最大値を表します。
	Sv	最大谷深さ	表面の平均面からの高さの最小値の絶対値です。
	Sz	最大高さ	表面の最も高い点から最も低い点までの距離を表します。
	Sa	算術平均高さ	表面の平均面からの高さの絶対値の算術平均です。

補 足 解 説

二乗平均平方根高さ（root mean square height） Sq

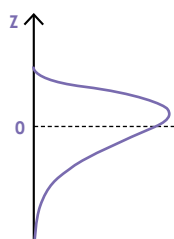
定義領域中の各点の高さの二乗平均平方根です。高さの標準偏差に相当します。

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

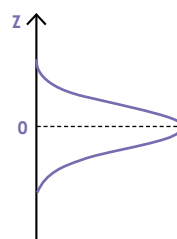
スキューネス（偏り度） Ssk

Ssk の数値から粗さ形状（凹凸）の傾向を判断する事ができるパラメーターです。

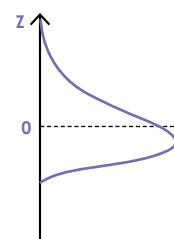
$$Ssk = \frac{1}{Sq^3} \left[\frac{1}{A} \iint_A Z^3(x,y) dx dy \right]$$



Ssk<0



Ssk=0



Ssk>0

Ssk<0 …… 高さ分布が平均面に対して上側（山）に偏っている。

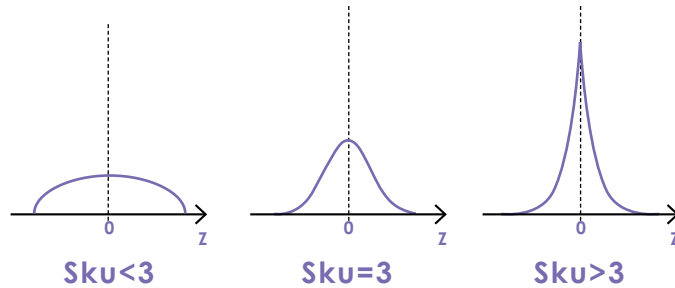
Ssk=0 …… 高さ分布（山と谷）が平均面に対して対称的に存在している。

Ssk>0 …… 高さ分布が平均面に対して下側（谷）に偏っている。

クルトシス（尖り度） Sku

Sku の数値から粗さ形状の尖り度を判断する事ができるパラメーターです。

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



Sku < 0 高さ分布が平均面に対して上側（山）に偏っている。

Sku = 0 高さ分布が正規分布になっている。（尖っている部位と潰れている部位が混在する。）

Sku > 0 高さ分布が針状に尖っている

最大山高さ（maximum peak height） Sp

定義領域中で最も高い点の高さです。

$$Sp = \max_A z(x,y)$$

最大谷深さ（maximum pit height） Sv

定義領域中で最も低い点の高さの絶対値です。

$$Sv = | \min_A z(x,y) |$$

最大高さ（maximum height） Sz

定義領域中の最大山高さと最大谷深さの和です。

$$Sz = Sp + Sv$$

算術平均高さ（arithmetical mean height） Sa

定義領域中の各点の高さの絶対値の平均値です。

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

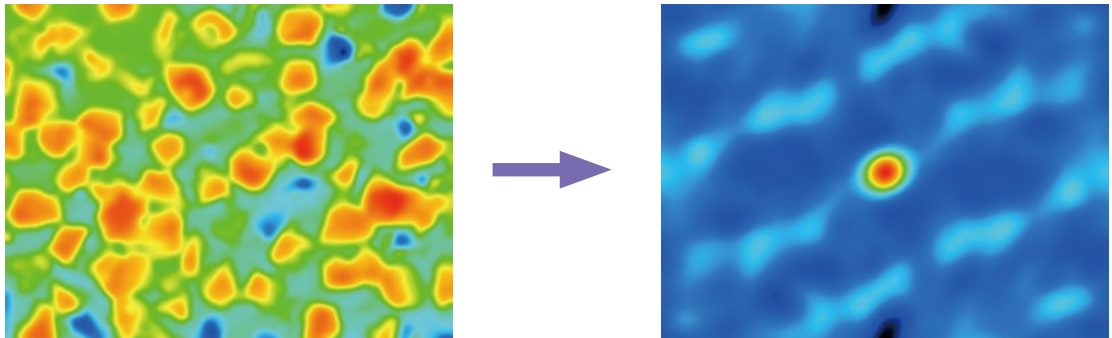
2 空間パラメーター

空間パラメーターは平面方向（波長方向）に着目したパラメーターです。

カテゴリー	パラメーター	名称	説明
空間パラメーター Spatial parameters	Sal	最小自己相関長さ	自己相関関数が最も速く特定の値 s （デフォルトでは 0.2）へ減衰する方向の水平距離を表します。
	Str	表面性状のアスペクト比	表面性状の均一性を表す尺度で、自己相関関数が最も速く特定の値 s （デフォルトでは 0.2）へ減衰する方向の水平距離（Sal に相当）を、最も遅く s へ減衰する方向の水平距離で割ったものです。
	Std*	表面性状の方向	角スペクトルが最大となる角度 s の値で、表面性状の筋目の方向を表します。

※表面性状の方向Stdは、表面性状パラメーター(ISO 25178-2 ; 2012)では、その他のパラメーター(Miscellaneous parameters)に分類されます。

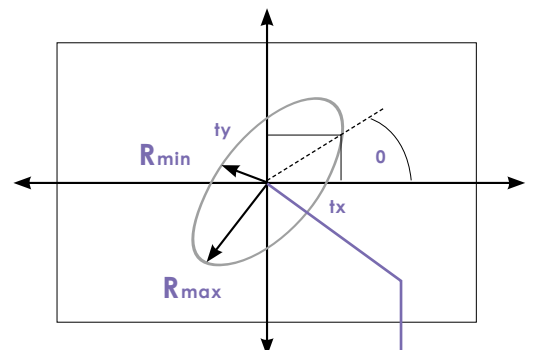
Sal、Str の算出に使う自己相関関数は、見た目で表面の特性を判断できるという特長があります。



自己相関関数は表面の方向ごとの周期性を評価することができます。

画面中心が 1 で最も高い点であり、中心から離れるに従って減衰していきます。短波長成分が支配的な方向では減衰の仕方が急激になり、長波長成分が支配的な方向では減衰の仕方が緩やかになります。

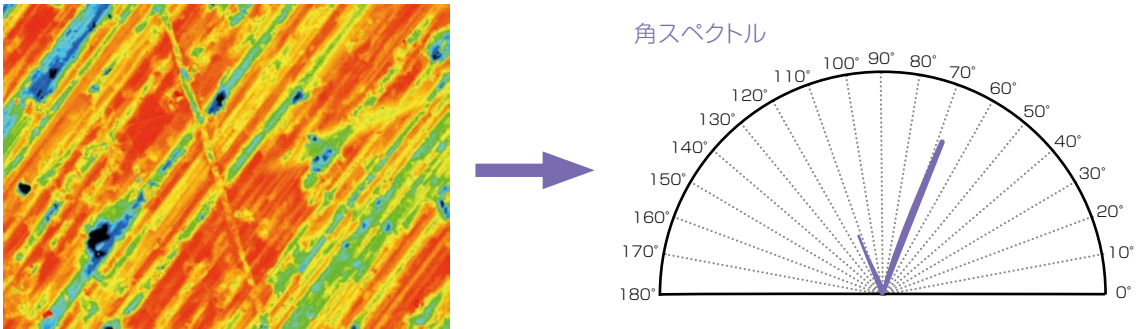
そのため、方向性を持った表面（異方性表面）では筋目の方向の減衰の仕方が緩やかになり、筋目に垂直な方向では急峻になります。



画面の中心を0として、波形の凹凸の波長の違いによる分布を表します。

- ・長い周期凹凸が多い時は、画面中心にデータ集中
- ・細かな凹凸が多い時は、データが分散

Std の算出に使う、角スペクトルのグラフを表示できます。角スペクトルグラフは、どの方向に筋目（ヘアライン）があるか一目で判断できるという特長があります。



試料表面にある斜めの筋目の角度に応じて、角スペクトルグラフに表示されます。

- ・画面の筋目の角度とグラフのピークの角度が同じ。
- ・筋目の強度に応じて、ピークの大きさが変わる。

3 複合パラメーター

複合パラメーターは高さ方向と平面方向（波長方向）の両方に着目したパラメーターです。

カテゴリー	パラメーター	名称	説明
複合パラメーター Hybrid parameters	Sdq	二乗平均平方根傾斜	定義領域のすべての点における傾斜の二乗平均平方根により算出されるパラメーターです。
	Sdr	界面の展開面積比	定義領域の展開面積（表面積）が、定義領域の面積に対してどれだけ増大しているかを表します。

4 機能パラメーター

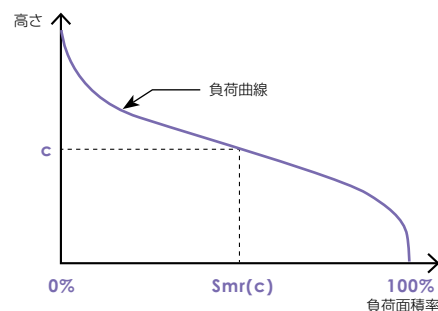
機能パラメーターは負荷曲線を用いて算出するパラメーターです。機械的に強く接触した表面の挙動を評価するために用いられます。

負荷面積率

ある高さ c における負荷面積（高さが c 以上の領域の面積）の割合を負荷面積率 $S_{mr}(c)$ といいます。

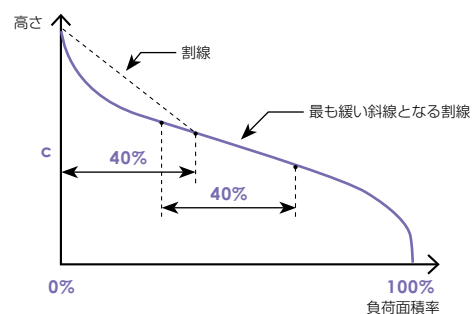
負荷曲線

負荷面積率が 0% から 100% となる高さを表した曲線を負荷曲線といいます。



等価直線

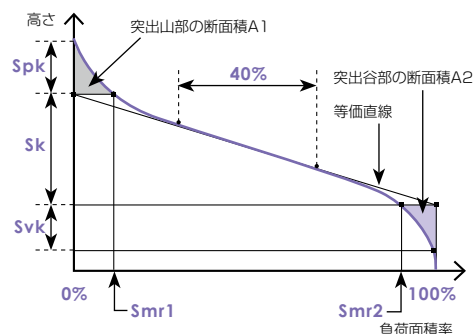
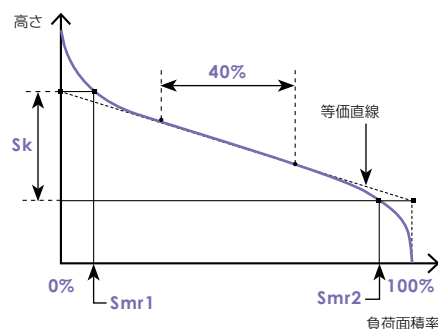
負荷面積率が 0% から負荷曲線に沿って負荷面積率の差を 40% にして引いた負荷曲線の割線を、負荷面積率 0% から移動させていき、割線の傾斜が最も緩くなる位置を負荷曲線の中央部分といいます。この中央部分に対して、縦軸方向の偏差の二乗和が最小になる直線を等価直線といいます。



コア部 (core surface)

計測表面の定義領域から、等価直線の負荷面積率 0% から 100% の高さの範囲に含まれない領域を取り除いた表面のことをコア部といいます。

また、コア部から上に突出した部分を突出山部といい、下にくぼんだ部分を突出谷部といいます。



カテゴリー	パラメーター	名称	説明
機能パラメーター	Sk	コア部のレベル差	コア部の最大高さから最小高さを引いた値で、等価直線の負荷面積率 0%と 100%の高さの差により算出されます。
	Spk	突出山部高さ	Spk は突出山部の平均高さを表します。
	Svk	突出谷部高さ	Svk は突出谷部の平均深さを表します。
	Smr1	突出山部とコア部を分離する負荷面積率	Smr1 および Smr2 は、それぞれコア部の上部の高さと負荷曲線の交点における負荷面積率、コア部の下部の高さと負荷曲線の交点における負荷面積率を表します。
	Smr2	突出谷部とコア部を分離する負荷面積率	
	Sxp	極点高さ	負荷面積率 p%と負荷面積率 q%の高さの差分です。

6 機能（体積）パラメーター

機能（体積）パラメーターは負荷曲線を用いて算出する体積、容積に関するパラメーターです。
機械的に強く接触した表面の挙動を評価するために用いられます。

逆負荷面積率

逆負荷面積率 $S_{mc}(p)$ は、負荷面積率 p%を満たす高さ c を表します。

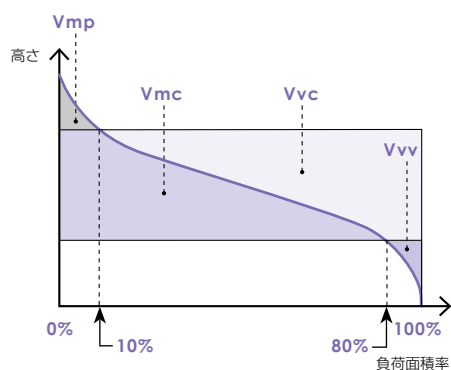
空隙容積

空隙容積 $V_v(p)$ は、負荷面積率 p%から 100%までの負荷曲線から算出される単位面積当たりの空間部分の容積を表します。

実体体積

実体体積 $V_m(p)$ は、負荷面積率 0%から p%までの負荷曲線から算出される単位面積当たりの実体部分の体積を表します。

カテゴリー	パラメーター	名称	説明
機能（体積）パラメーター	Vvv	谷部の空隙容積	負荷面積率 p%における谷部の空隙容積を表します。
	Vvc	コア部の空隙容積	負荷面積率 p%における空隙容積と負荷面積率 q%における空隙容積との差分を表します。
	Vmp	山部の実体体積	負荷面積率 p%における実体体積を表します。
	Vmc	コア部の実体体積	負荷面積率 q%における実体体積と負荷面積率 p%における実体体積の差分を表します。



7 形態パラメーター (feature parameters)

形態パラメーターは計測表面から山領域と谷領域をそれぞれ分割した結果から算出するパラメーターです。

山頂点 (peak)

表面の中で、周囲の隣接する点よりも高さの高い点のことを表します。

山 (hill)

最大登り傾斜の経路が頂点へと繋がる、頂点周囲の領域を表します。

谷底線 (合水線・凹線) (course line)

隣接する山同士を分割する曲線を表します。

谷底点 (pit)

表面の中で、周囲の隣接する点よりも高さの低い点のことを表します。

谷 (dale)

最大下り傾斜の経路が谷底点へと繋がる、谷底点周囲の領域を表します。

稜線 (分水線・凸線) (ridge line)

隣接する谷同士を分割する曲線を表します。

鞍点 (saddle point)

稜線と谷底線が一点で交差する点を表します。

山領域高さ (local peak height)

山頂点と、その山頂点と稜線で繋がる鞍点のうち最も高さが近い点との高さの差です。

谷領域深さ (local pit height)

谷底点と、その谷底線と谷底線で繋がる鞍点のうち最も高さが近い点との高さの差です。

領域分割 (segmentation)

◆ watershed アルゴリズム (watershed algorithm)

形態パラメーターの算出に用いる領域を分割するために、watershed アルゴリズムを用います。

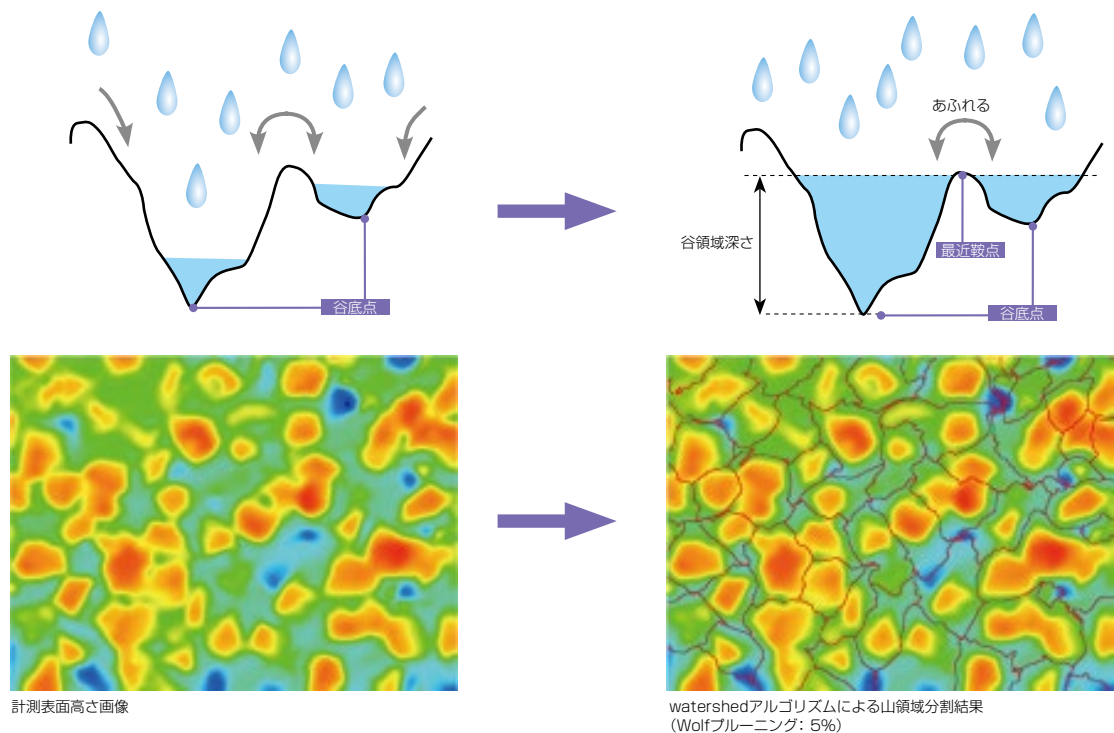
表面に対して水を降らせると、水は表面の形状に沿って谷底点に到達します。その後も継続して水を降らせ続けると、異なる谷底点から溜まっていった水面が接する点が見えます。この点の集合が谷領域を分割する稜線となります。山領域の場合も天地を入れ替えて考えることにより同様に分割することができます。

◆ Wolf プルーニング (Wolf pruning)

山頂点や谷底点は隣接する領域よりわずかでも高いあるいは低い点であればよいので、微細な凹凸のある表面には膨大な山頂点、谷底点が存在することになります。こうした表面に対して watershed アルゴリズムを適用すると、非常に細かい山領域と谷領域に分割されてしまいます。

この過剰分割 (over-segmentation) を抑制するために、山領域高さ、もしくは谷領域深さが、ある閾値以下の領域を取り除く処理が Wolf プルーニングです。

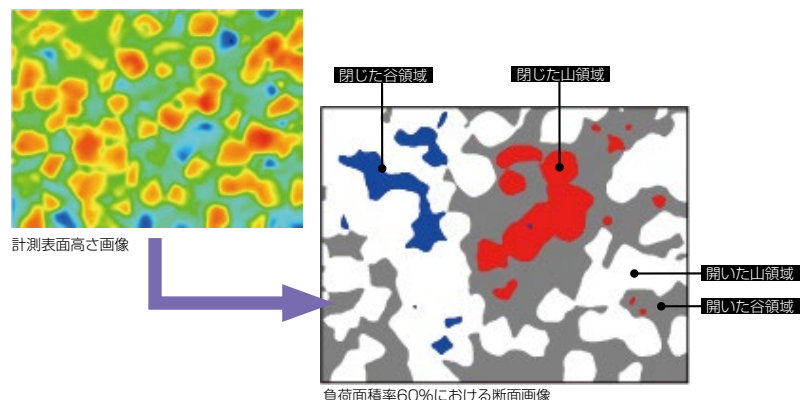
閾値は表面の最大高さ (S_z) に対する割合で与えられ、デフォルトの値は 5% です。



閉じた領域 (closed area)

開いた領域 (open area)

形ある高さ c において定義領域の境界に接していない領域を閉じた領域といい、接している領域を開いた領域といいます。高さ c は負荷面積率で与え、デフォルトの値は 50% です。



Sda 平均谷領域面積 (mean dale area)

各谷領域の高さ **c** における閉じた領域または開いた領域の投影面積の平均を表します。

Sha 平均山領域面積 (mean hill area)

各山領域の高さ **c** における閉じた領域または開いた領域の投影面積の平均を表します。

Sdv 平均谷領域容積 (mean dale volume)

各谷領域の高さ **c** における閉じた領域または開いた領域の空隙容積の平均を表します。

Shv 平均山領域体積 (mean hill volume)

各山領域の高さ **c** における閉じた領域または開いた領域の実体体積の平均を表します。

Spd 山頂点密度 (density of peaks)

単位面積あたりの山頂点の数を表します。

Spc 山頂点の算術平均曲率 (arithmetic mean peak curvature)

定義領域中における山頂点の主曲率の算術平均を表します。

$$Spc = -\frac{1}{2} \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \left(\frac{\partial^2 Z(x,y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 Z(x,y)}{\partial y^2} \right)$$

S10z 十点領域高さ (ten-point height)

五点山領域高さと五点谷領域深さの和を表します。

$$S10z = S5p + S5v$$

S5p 五点山領域高さ (five-point peak height)

定義領域中で最高の山頂点から高い順に 5 番目までの山領域高さの平均を表します。

S5v 五点谷領域深さ (five-point pit height)

定義領域中で最深の谷底点から深い順に 5 番目までの谷領域高さの平均を表します。

2-6

ISO 25178 と JIS B 0601-2001 の違い

ISO 25178 と JIS B 0601-2001、JIS B 0671-2002 との違いをまとめてみました。

項目		規格	ISO 25178	JIS B 0601-2001 (ISO 13565-1)
使用機器			接触式・ 非接触式形状測定器	接触式 (触針式粗さ計のみ)
断面	評価対象		S-F 平面	断面曲線
	フィルター		S- フィルター	λs フィルター
粗さ	評価対象		S-L 平面	粗さ曲線
	フィルター		S- フィルター、 L- フィルター	λs 、 λc フィルター
	高さ パラメーター	最大山高さ	Sp	Rp
		最大谷深さ	Sv	Rv
		最大高さ	Sz	Rz
		算術平均高さ	Sa	Ra
		二乗平均平方根高さ	Sq	Rq
		スキューネス (偏り度)	Ssk	Rsk
		クルトシス (尖り度)	Sku	Rku
	空間パラメーター		Sal、Str、Std	
	複合パラメーター		Sdq、Sdr	R Δ q

項目		規格	ISO 25178	JIS B 0671-2002 (ISO 13565-1998)
粗さ	機能 パラメーター	コア部の レベル差	Sk	Rk
		突出山部高さ	Spk	Rpk
		突出谷部高さ	Svk	Rvk
		山部とコア部の負荷 面積（長さ）率	Smr1	Mr1
		谷部とコア部の負荷 面積（長さ）率	Smr2	Mr2

注 意 表面性状パラメーター (ISO 25178-2 : 2012) の定義をもとに記載しています。2012年4月以降の規格改訂により内容が変更される可能性がありますのでご了承ください。

表面粗さ・形状を測定、解析する評価機器として、様々な原理の測定機器が市販されています。

ここでは、接触式測定器の代表として表面粗さ計と原子間力顕微鏡（AFM）、非接触式測定器の代表として白色干渉計とレーザ顕微鏡の原理と特長を紹介します。

方式	接触式		非接触式	
測定器	接触式粗さ計	原子間力顕微鏡（AFM）	白色干渉計	レーザ顕微鏡
測定分解能	1nm	< 0.01nm	< 0.1nm	0.1nm
高さ測定レンジ	～1mm	< 10 μ m	< 数mm	< 7mm
測定領域	数mm	1～200 μ m	40 μ m～15mm	15 μ m～2.7mm
角度特性	—	×	△	○
データ解像度	—	VGA 相当	VGA 相当	SXGA 相当
測定箇所の位置決め	—	オプション	光学カメラ内蔵	光学カメラ内蔵
サンプルへのダメージ	接触	接触	非接触	非接触

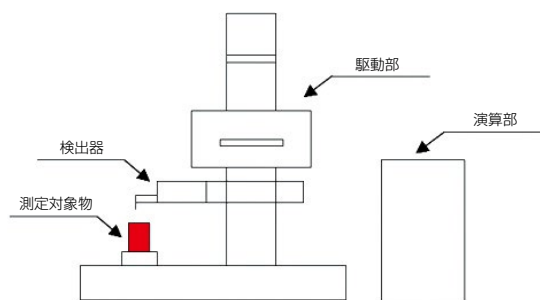
3-1

接触式 表面粗さ・ 形状測定機

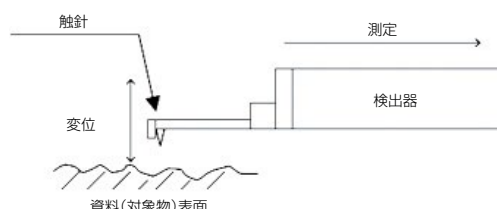
触針の先端が試料の表面に直接触れる方式です。

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

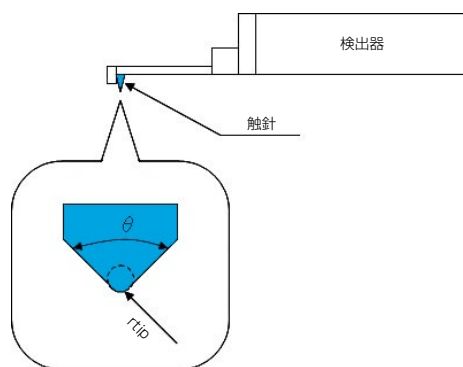
接触式表面粗さ計で微細な形状や粗さを精度良く測定するためには、触針の先端 R がなるべく小さいことや接触圧が少ないことが求められます。

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° 、 90°

※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°



触針先端形状

〈〈〈 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 〉〉〉

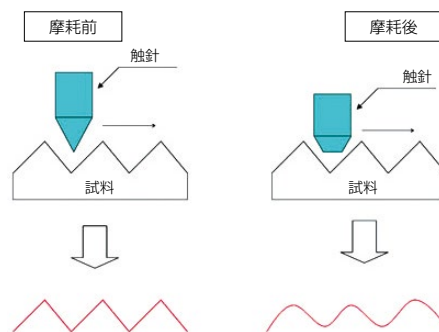
- 触針が磨耗する
- 測定力により試料の表面に傷を残す
- 粘着性のある試料は測定できない
- 触針の先端 R より小さい溝は測定できない
- 測定時間が長い
- 微小な測定ポイントの位置決め、確認が困難
- 検出器でトレースできるように試料の切断・加工が必要

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。

触針の磨耗

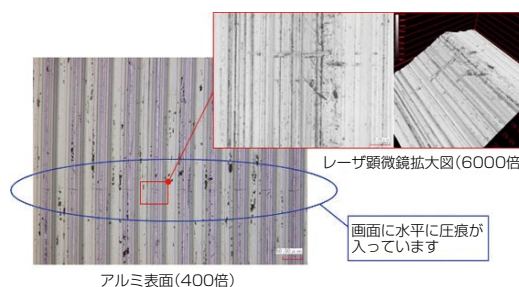
触針は磨耗するため研磨が必要になります。測定対象物の材質・形状によってフラットになったり楕円になったり磨耗の形態も一様ではありません。触針の形状が異なる場合は当然得られる形状波形は異なってきます。磨耗の有無を判定する方法としては、市販の磨耗検定の標準片を使用する方法があります。磨耗前に標準片を測定したときのデータと使用後のデータの形状（溝の幅など）を比較測定し磨耗の有無を判定します。



触針の磨耗による測定結果の違い

測定力による試料への圧痕

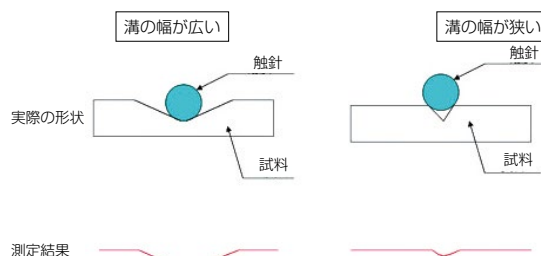
触針は材質としてサファイヤやダイヤモンドが使われているということは既に述べましたが硬い材質を使用している分、対象物の表面には傷が付いてしまう場合があります。特に並行調整を繰り返し行った場合や、触針を高速送りにすると試料に傷を付けやすくなります。



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

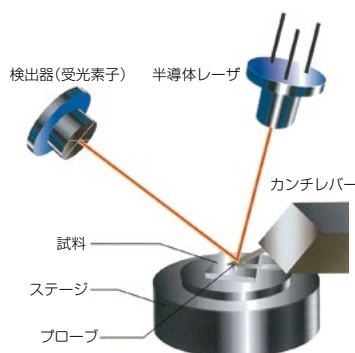
触針の先端は球状になっています。触針の先端 R に対して幅が狭い溝（傷など）は正しく形状を取ることができません。



触針の先端 R と試料の溝の幅

3-2

原子間力顕微鏡 (AFM)



原子間力顕微鏡は、微小なバネ板の先端に鋭い探針を取り付けたカンチレバーを、試料表面より数 nm の距離にまで近づけて、探針先端の原子と試料の原子の間に働く原子間力によって試料の凹凸を測定します。原子間力顕微鏡は、原子間力が一定になるよう（カンチレバーのたわみが一定になるよう）ピエゾスキャナにフィードバックをかけながら走査をおこないます。

ピエゾスキャナにフィードバックされた変位量を測定することによりZ軸の変位、すなわち表面構造を取得します。

ピエゾスキャナの変位量を測定する方法としては、カンチレバーの背面にレーザー光を照射し、その反射光を4分割（または2分割）フォトダイオードで検出する光この方式を採用したものが一般的です。

〈〈長所〉〉

- 分解能（2点を見分ける最小距離）が高い。
- 超高倍率の3次元測定が可能。データの後加工もできる。
- 大気中での観察が可能で、試料への前処理が不要。
- 物性（電気物性、磁気物性、摩擦・粘弾性など）解析ができる。

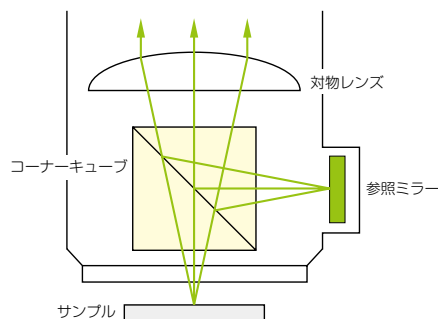
〈〈短所〉〉

- 低倍率（広領域）や大きな凹凸（数 μm 以上の高低差）の試料は測定不可。
- 場所探しが困難。広視野から狭小領域へ視野を絞り込んでいくため
1 サンプルあたりの解析時間がかかる。
- 大きな試料は測定できない。（前処理・加工が必要）
- 比較的操作が難しく、カンチレバー交換などに熟練が必要。

測定領域が狭小

AFMは、極微小な領域の3次元形状を測定することができる拡大観察機器です。SEMとは異なり、高さデータを数値で取り込むことができるため、試料の定量化やデータに後加工を施すことができます。また、通常雰囲気中で手軽に測定ができるため、試料への前処理や導電性などの制限がありません。しかし、高分解能であるため、逆に測定レンジ（XYZにおいて）が狭いという制限を受けます。また、測定箇所に探針を正しく位置決めするのが困難ということやカンチレバーを所定の位置にセットする必要があるなどの操作性に熟練を要する部分があります。

3-3 白色干渉計

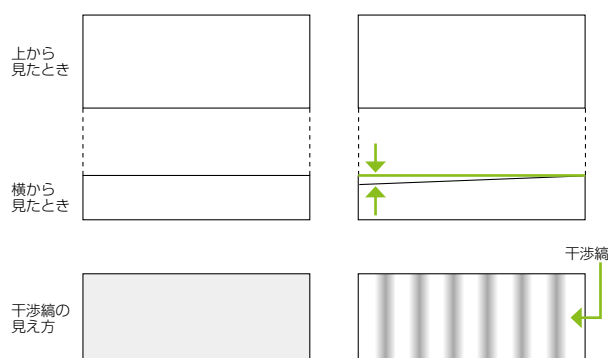


光の干渉とは、対象物表面からある点までの光の距離（光路）に差が生じると発生する現象です。この現象を利用して、対象物表面の凹凸を計測しているのが、光干渉計になります。左図は干渉歪計の構造図です。光源（半導体レーザーなど）からでた光は、ハーフミラーによって一方は透過して参照面に、他方は反射されて試料表面に導

かれます。透過した光は、参照面で反射して受光素子である CCD 素子で結像します。他方の反射された光は、対象物表面で反射されてハーフミラーを透過し、同じく受光素子である CCD 素子で結像します。



予め、CCD 素子から参照面までの光学的な距離（光路）と CCD 素子が試料表面までの光学的な距離が同じ距離になるように設計することで、CCD 素子に結像される映像に、試料表面の凹凸によって生じた光路差で発生した干渉縞が映し出されます。その干渉縞の本数をカウントすることで、試料表面の凹凸（高さ）を読み取ることができます。



〈〈〈 長所 〉〉〉

- 広視野（数角）を、測定可能。
広視野（数角）を、サブナノメートルの高さ分解能（0.1nm）で測定可能。
- 測定時間が早い。

〈〈〈 短所 〉〉〉

- 角度特性が低い。
- 使える対象物が限られる。
光干渉計はよく反射する面でないとい測定が難しいため、様々な対象物への対応が効きません。参照面からの反射光と測定面からの反射光に極端な差があると測定できない事もあります。（鏡面は得意だが、凹凸の激しい試料や反射率の少ない試料は難しい）
- 傾き補正が必要。
測定前に、ゴニオ（傾斜）ステージによる試料の傾き補正が必要。試料が傾いていると干渉縞が密集してしまうため、正しい測定ができません。なお、一部の光干渉式形状測定システムには、自動で試料の傾きを補正するチルト機構を持っている商品もあります。
- X Y 計測の分解能が低い。
サンプリングデータ数が少ない（約 30 万）ため、XY 計測の分解能が低い。一部の光干渉式形状測定システムは、オプションで約 98 万データまで拡張可能です。
- 振動に弱い。
振動に極めて敏感であるため除振台の設置はもちろん、設置場所も限定されます。

3-4

形状解析 レーザー顕微鏡



- ① レーザ光源から照射されたレーザー光はXYスキャン光学系を通り試料表面を面 走査します。
- ② 共焦点光学系によりピントが合った位置のみの反射光量情報をレーザー用受光素子で検出します。
- ③ 合焦点位置の情報をZ軸方向に積み重ねることにより“全焦点画像”を作ります。
- ④ 同時に合焦点位置の対物レンズ位置をメモリーすることにより表面の3次元形状を測定します。

〈〈〈 長所 〉〉〉

- 焦点深度が深くしかもカラーで対象物を観察できる。
 - 3次元形状を取得でき、カラー3D像を表示することができる。
- また、レジストなどの透明体の膜厚測定も可能。
- 大気中での解析が可能で、試料への前処理が不要。
 - 試料の大きさや材質に制限がなく操作が簡易であるため汎用性に優れる。

〈〈〈 短所 〉〉〉

- 超高解像度な観察、1 nm 以下の高精度な測定ができない。
- レーザ光が照射されない試料の側面（壁面）などの情報は取得できない。
- レーザ光源の波長を吸収する材質は測定できない。

形状解析レーザー顕微鏡は焦点深度が深い観察と3次元計測が同時に行える観察・測定機器です。試料に対する大きさや材質の制限がなく、常温環境下で観察ができ、操作が容易で光学顕微鏡感覚で使える機器になっています。試料への前処理が不要であり、カラー観察もできるため、対象物の状態を忠実に解析することができます。また、透明体の膜表面、膜の内部・裏面の観察、膜形状の厚み測定も行えます。SEMやAFMと比べると使い勝手がよい分、観察倍率や測定分解能では劣ります。また、アスペクト比の高い底部や角度の大きな斜面は、レーザーの反射が返ってこないため観察・測定ができません。

「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。

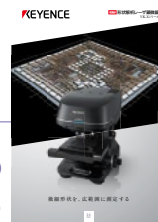
商品に関するお問い合わせや
技術的な内容はこちらまで



0120-739-007

商品カタログの
ご請求はこちらから

www.keymsp.jp



【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って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。

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.

1068-2 151165