直交格子状離散点の表面凹凸形状データに基づく 面領域特徴パラメータに関する研究*

—第2報：特徴パラメータとその算出条件—

長谷川 真之**

柳 和 久***

A Study on Areal Surface Texture Parameters Based on Grid Type Discrete Surface Topography Data
- 2nd Report: Feature Parameters and Their Calculation Conditions -

Masayuki HASEGAWA and Kazuhisa YANAGI

Feature parameters of surface texture parameters based on critical points and local geometric features can be utilized to evaluate the subtle relationship between surface function and surface topography data of functional engineering surfaces. This paper describes the parameterizing process of significant surface features derived from the topological theorems for triangulated surface topography data. A reasonable method of determining the threshold value for the significant surface features is presented with prerequisite calculation conditions.

Key words: surface topography, surface function, surface feature, feature parameter, volume parameter

1. 緒 言

近年の工業製品の高機能、高品質に伴い、構成要素の寸法精度や形状誤差だけでなく、表面機能はその性能や品質を支配する事例が多く見られるようになってきた。表面機能には表面仕上げ精度を始めとして摩擦・摩耗・潤滑などのトライボロジー特性、材料強度や接触面の電気・熱抵抗、さらに光学・磁気特性などがあり、その挙動には表面性状(surface texture)の幾何学的性質が深く関与している。表面性状の幾何学的性質を考慮した表面機能に関する研究は、機械加工面の接触問題などを対象として以前より行われているが¹⁾、輪郭曲線方式に基づいた解析がほとんどであった。しかし現実の表面は三次元的広がりをもっているため、表面性状と表面機能との関連性を的確に説明するためには面領域の凹凸形状測定を行い、その幾何学的性質を定量化することが必要となってきた。

本研究の第1報²⁾で提案した三角形分割に基づく地形学的表面特徴の同定と統合処理の手法(マルチスケールリング)は、表面凹凸上に存在する代表的な山や谷などの表面特徴を抽出することが出来る。このような表面特徴の情報は、表面性状と表面機能との関連性を説明するに当たって効果的と考えられる。特にトライボロジー機能が関わる分野において、抽出された山や谷は構成要素部品の品質や性能に影響を与える重要な因子となる。例えば、ラッピングフィルムによるディスク基板の加工においては、フィルム上に存在する砥粒分布やクーラントの性質が加工性能に大きく影響する³⁾。このような2表面の接触に対する解析では、表面上部に存在して物理的接触に関与する山の抽出とその空間分布や山の先端形状に関する幾何学的情報が重要である。他に表面の潤滑、シール、塗装性に関する解析では、谷

の分布や容積情報が重要となる。自動車部品の摺動材等に対する工学的問題においては、三次元のモチーフ法(3D モチーフ法)による傾斜と摩擦に関する解析的研究⁴⁾や、実用的なパラメータの提案⁵⁻⁷⁾が為されてきた。3D モチーフ法におけるパラメータ化の対象は殆ど凹部に限定されている。

現在公表されている面領域の表面性状パラメータ(3D パラメータ)において、表面特徴を定量化するパラメータ(特徴パラメータ)の数は少ない。また計算方法が公表されているパラメータにも様々な問題が含まれており、実用的とはいえない。本研究ではこのような背景から、直交格子状離散点の表面凹凸形状データより得られた地形学的表面特徴を定量化する面領域特徴パラメータを提案する。パラメータは3D モチーフのパラメータと、慣習的に用いられている3D パラメータのうちの場のパラメータを補足する。特徴パラメータは、特に前述のようなトライボロジーの分野における工学的問題を解析するうえで有用となる。

2. 表面特徴のパラメータ化

2.1 公表されている特徴パラメータ

第1報²⁾では点、線、面及び形体に分類される地形学的表面特徴を定義して、表面凹凸の幾何学的性質を決定付ける代表的な表面特徴の抽出方法を示した。特徴パラメータはこのような表面特徴の性質をパラメータ化したものである。計算方法が公表されている特徴パラメータとしては、頂上個数の面密度 S_{ds} 、突起頂上の算術平均曲率 S_{sc} 、10 点平均高さ SS_z などがある⁸⁾。いずれのパラメータも、最大凹凸高さ S_z の5%以下の山を対象としたマルチスケールリングを適用することが推奨されている。しかしながら、閾値の設定が凹凸データの振幅に依存しているため、水平方向の情報を加味した統合的な評価を行うことは出来ない。 S_{sc} は図1に示す頂点(頂上点及び窪底点)とデータ点に対して最小二乗法による二次曲面の当てはめを行い、曲率の平

*原稿受付 平成17年12月8日

**正 会 員 長岡技術科学大学大学院
(新潟県長岡市上富岡町1603-1)

***正 会 員 長岡技術科学大学工学部機械系(同上)

Fig.1 Least squares polynomial surface $z(i,j)$ Fig.2 Surface features:
(a) critical points; (b) areal features and local geometrical features

Table 1 Proposed feature parameters

Feature class	Feature attributes	Attribute statistic	Symbol
Point feature (Peak & Pit)	Peak/Pit height	Mean	Sph
		RMS	$Sph(RMS)$
	Distribution	Density	Sdp
Local geometrical feature (Mountain & Valley)	Mountain height/ Valley depth	Mean	Sfh
		RMS	$Sfh(RMS)$
	Direction of Mountain/Valley	Mean	Sfd
	Area of reference plane	Mean	Sfa
	Volume of Mountain/Valley	Mean	Sfv
		RMS	$Sfv(RMS)$
	Volume ratio of Mountain/Valley	Mean	$Sfvr$
	Summit curvature	Mean	Ssc

均を計算することで得られるが、評価領域が離散点基準で確定されているためサンプリング間隔の違いによる解析結果への影響が非常に大きくなる。 $S5z$ は二次元で定義されている十点平均粗さ Rz_{10s} ⁹⁾と同じ計算手法で得られるが、三次元の凹凸データに対する統計量として10点で十分であるとは言い難い。

2.2 提案する特徴パラメータの構成

本研究では、表面機能に大きな影響を与えと考えられる表面特徴として図2(a)に示す臨界点の頂上点と窪底点及び図2(b)の実線で示される局所形体(山と谷)に注目し、これらを定量化する方法を検討した。

表1に本報で取上げる特徴パラメータを示す。パラメータは2.1で述べた公表されている特徴パラメータを補足する内容と構成となっている。頂点に関するパラメータとして、頂点の高さと個数密度のパラメータを定義する。パラメータ表記の際、頂上点は peak, 窪底点は pit を付記する。局所形体に関するパラメータとしては、基準面(山の底面及び谷の水面)からの高さ

と深さ、基準面の面積、局所形体の体積、体積率及び方向性を示すパラメータを定義する。これらに関しても、山の場合は mountain, 谷の場合は valley を付記する。

2.3 頂点に関するパラメータ

頂点のパラメータは表面凹凸が表面機能に及ぼす影響を解析する上で基本的な指標となる。ここでは、高さと面密度に関するパラメータを示す。

頂点の平均高さ Sph は次式で表される。

$$Sph = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n ph_k \quad (1)$$

ここで、 n は頂点の数、 ph は平均面を0としたときの頂点の高さ値を表す。また、頂点の高さの標準偏差 $Sph(RMS)$ は次式となる。

$$Sph(RMS) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (ph_k - Sph)^2} \quad (2)$$

これらのパラメータは2.1で示した $S5z$ に代わるものである。頂上点と窪底点がそれぞれ5個ずつ残るようにマルチスケリングを適用し、 Sph を計算することで $S5z$ と同義のパラメータが得られる。このとき、窪底点は絶対値をとって計算する。

頂点個数の面密度 Sdp は次式で表される。

$$Sdp = \frac{n}{\sum_{k=1}^n ap_k} \quad (3)$$

ここで、 ap は分割領域の平面積を表す。2.1で示した Sds は頂上(summit)の面密度と定義されているが、頂上は頂点を含む近傍領域と考えられることから、シンボルは点(point)の面密度 Sdp とする。

2.4 局所形体に関するパラメータ

三次元的な広がりを持つ表面特徴の定量化方法として用いられてきた3Dモチーフ法のパラメータ⁴⁾⁻⁷⁾は、輪郭曲線方式のモチーフパラメータ¹⁰⁾¹¹⁾を面領域に拡張したものであり、分割領域の凹部を対象としたパラメータで構成されている。しかし、分割領域である凹部は凹凸データの全面に渡って存在しているため、凹部には表面上部の情報が多く含まれる。これに対して、局所形体の山と谷はお互い重なり合うことが無いため全く別個の情報を保持している。従って、局所的な突起や窪みの評価には広域的な性質を持つモチーフパラメータではなく、局所形体を定量化するパラメータが効果的である。

山の高さ、谷の深さの平均 Sfh は次式で表される。

$$Sfh = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m fh_k \quad (4)$$

fh は山の高さ及び谷の深さ、 m は山の数及び谷の数を表す。なお、山の高さ及び谷の深さはそれぞれの基準面からの距離である。また、山の高さ、谷の深さの標準偏差 $Sfh(RMS)$ は次式となる。

$$Sfh(RMS) = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{k=1}^m (fh_k - Sfh)^2} \quad (5)$$

山の高さと谷深さに関するパラメータは、 Sa や Sq などの場のパラメータだけでなく、輪郭曲線方式のモチーフの高さに関するパラメータを補足するものである。これらのパラメータは

Fig.3 Direction of a local geometrical feature

Fig.4 Triangulated Mountain

摩耗，摩擦問題の解析に有効と考えられる。

3D モチーフにおけるモチーフの方向性に相当するパラメータとして，局所形体の方向性 Sfd は次式で表される。

$$Sfd = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m f\theta_k \quad (6)$$

ここで， $f\theta$ は局所形体の方向性を表す。

局所形体の方向性は，図 3 に示すように x 軸方向に対する各局所形体の長手方向の角度を求めることによって得られる。長手方向の導出は，局所形体領域内の離散点において，2 点間の水平方向の距離を計算して逐次比較することによって行う。

三角形分割された凹凸データから局所形体の体積と基準面の面積を計算し，パラメータ化を行う。局所形体の基準面面積と体積に関するパラメータは，潤滑に関わる問題の解析に有効と考えられる。流体保持などの解析では従来ベアリングエリアカーブが良く用いられていたが，局所的な部分に注目した解析は不可能である。マルチスケリング後の局所形体画像と合わせてこれらの特徴パラメータを示すことで，より精細な解析を行うことが期待出来る。体積と面積計算は個々の三角形面素について行う。体積と面積を算出する計算式は，三角形頂点(vertex)が局所形体の領域内に何点含まれているかによって異なる。図 4 に示す山において，(a)は三つ，(b)は一つ，(c)は二つの三角形頂点が基準面に含まれている面素であり，図 5 はそれぞれの面素を抜き出したものである。

対象が山の場合は，各面素における三角形頂点の高さ値 z_1, z_2, z_3 を $z_1 < z_2 < z_3$ に，谷の場合は $z_1 > z_2 > z_3$ となるようにする。 z_0 の高さ値を持つ基準面と三角形頂点の差を $a = z_1 - z_0$, $b = z_2 - z_0$, $c = z_3 - z_0$ と置いた場合，局所的な平面積 La と体積 Lv は以下に示す計算式で求められる。

三つの三角形頂点が基準面領域に含まれている場合(図 5(a))，

$$La = \frac{1}{2} \Delta x \Delta y \quad (7)$$

Fig.5 Three types of triangles:

- (a) Three vertices are included in a local geometrical feature;
- (b) One vertex is included in a local geometrical feature;
- (c) Two vertices are included in a local geometrical feature

$$Lv = \frac{1}{6} (a + b + c) \Delta x \Delta y \quad (8)$$

一つの三角形頂点が基準面領域に含まれている場合(図 5(b))，

$$La = \frac{c^2 \Delta x \Delta y}{2(a + c)(b + c)} \quad (9)$$

$$Lv = \frac{c^3 \Delta x \Delta y}{6(a + c)(b + c)} \quad (10)$$

二つの三角形頂点が基準面領域に含まれている場合(図 5(c))，

$$La = \frac{\Delta x \Delta y}{2} \left\{ 1 - \frac{a^2}{(a + b)(a + c)} \right\} \quad (11)$$

$$Lv = \frac{\Delta x \Delta y}{6} \left\{ b + c - a + \frac{a^3}{(a + b)(a + c)} \right\} \quad (12)$$

以上の計算式によって得られた局所的な体積と面積を加算し，個々の局所形体の体積及び基準面の面積とする。

従って，基準面の平均面積 Sfa は次式で表される。

$$Sfa = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m fa_k \quad (13)$$

ここで， fa は基準面の平面積を表す。

局所形体の平均体積 Sfv は次式となる。

$$Sfv = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m fv_k \quad (14)$$

ここで， fv は局所形体の体積を表す。

また，局所形体の体積の標準偏差 $Sfv(RMS)$ は次式となる。

$$Sfv(RMS) = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{k=1}^m (fv_k - Sfv)^2} \quad (15)$$

さらに，局所形体の平均体積率 $Sfvr$ を次式で定義する。

$$Sfvr = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m fvr_k \quad (16)$$

ここで，局所形体の体積率 fvr_k は $fv_k / (fa_k \cdot fh_k)$ である。

局所形体の頂点近傍領域の形状は，摩擦，摩耗問題において重要な情報であり，トライボロジーの分野では砥粒先端半径と砥粒の形状効果を関連させた報告¹²⁾がある。ここでは局所形体の頂点近傍領域の曲率を計算する。対象の凹凸データが非等方性表面である場合を考慮し，頂上部のデータ点に対して xy 面内

の回転を考慮した次式で表される直交楕円放物面を当てはめる。

$$z' = \alpha x'^2 + \beta y'^2 + \gamma \quad (\beta > \alpha) \quad (17)$$

頂上部の曲率は次式で導出される。

$$C_x = 2\alpha, \quad C_y = 2\beta \quad (18)$$

C_x は長軸方向(x' 方向)の曲率, C_y は短軸方向(y' 方向)の曲率を表す。等方性表面として計算する場合は $C_x = C_y$ となる。

対象の凹凸データを等方性表面とした場合の頂上部曲率の平均 S_{sc} を次式で定義する。

$$S_{sc} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m C_{x_k} \quad (19)$$

なお対象凹凸データが非等方性の場合、長軸方向の曲率は S_{scx} , 短軸方向は S_{scy} とする。

S_{sc} 算出時は離散点データに対する放物面の当てはめ領域(評価領域)の大きさによって値が大きく変化する。しかし、代表的な局所形体の波長帯域が先見情報として与えられることは殆ど無く、2.1 で述べたようにサンプリング間隔が評価値に与える影響も無視出来ない。よって本研究では、妥当な評価領域を設定する方法として、坂口らによって示された二次元自己相関関数(AACF: Areal Auto-Correlation Function)によって得られる平均表面波長を頂上部の評価領域幅とする手法¹³⁾を導入する。連続表面の関数 $z(x, y)$ の自己共分散関数 $R(\tau_x, \tau_y)$ は次式で表される。

$$R(\tau_x, \tau_y) = \lim_{L \rightarrow \infty} \frac{1}{L^2} \int_0^L \int_0^L z(x, y) z(x + \tau_x, y + \tau_y) dx dy \quad (20)$$

L は水平方向の距離を表す。

この手法では、直交する振幅 A の単純な正弦波関数 $z(x, y) = A \sin \omega x \cdot \sin \omega y$ で表されるモデルを仮定する。これによって $R(\tau_x, \tau_y)$ は次式で表される。

$$R(\tau_x, \tau_y) = \frac{A^2}{4} \cos \omega \tau_x \cdot \cos \omega \tau_y \quad (21)$$

自己相関関数は $R(\tau_x, \tau_y)$ を S_q (二乗平均平方根偏差)で正規化したものである。 $z(x, y)$ の S_q は次式で与えられる。

$$S_q = \frac{2\omega}{\pi} \sqrt{\int_0^{\frac{\pi}{2\omega}} \int_0^{\frac{\pi}{2\omega}} (A \sin \omega x \cdot \sin \omega y)^2 dx dy} = \frac{A}{2} \quad (22)$$

従って自己相関関数 $\rho(\tau_x, 0)$ は次式で表すことが出来る。

$$\rho(\tau_x, \tau_y) = \cos \omega \tau_x \cdot \cos \omega \tau_y = \cos \frac{2\pi}{\lambda} \tau_x \cdot \cos \frac{2\pi}{\lambda} \tau_y \quad (23)$$

ここで、 y 方向遅れ距離 $\tau_y = 0$ の断面曲線を抜き出すと、

$$\rho(\tau_x, 0) = \cos \omega \tau_x = \cos \frac{2\pi}{\lambda} \tau_x \quad (24)$$

となる。

表面凹凸波形を波長 λ の二次元の正弦波関数とみなし、極大点の近傍に最小二乗法で放物線をあてはめた場合の誤差を算出することによって、評価領域幅 W を設定する。その結果 W/λ が 0.2 以下であれば、誤差が十分に小さくなることが示されている。従って、表面波長 λ の 1/5 程度に評価領域幅を設定することは妥当であると考えられ、 $W = 0.2\lambda$ としている。評価領域幅の片側 $W/2$ は式(23)を用いて自己相関関数のある減衰値までの遅れ距離として表すと、次式が得られる。

$$\rho(0.1\lambda) = \cos(2\pi \cdot 0.1) = 0.809 \approx 0.8 \quad (25)$$

従って、自己相関関数が 0.8 に減衰するまでの遅れ距離 $\tau_{0.8}$ を用いることによって、評価領域幅 W は $W = 2\tau_{0.8}$ と表すことが

Fig.6 Fitting of paraboloidal surface to a mountain on grid lines

出来る。実際には $2\tau_{0.8}$ に最も近いサンプリング間隔の整数倍を評価領域幅として用いる。表面凹凸が等方性の場合はこの結果を面領域に拡張すれば、正方形の評価領域に放物面を当てはめることに相当する。以上の手法を用いることによって、評価値に与えるサンプリング間隔の影響を低減し、合理的な評価領域幅を得られることが示されている。

しかしながら、実際の頂上部は様々な波長を持った不規則な形状であることから、微小な局所形体が対象の場合は評価領域が広過ぎとなり、他所の表面特徴の一部も参照してしまうことで曲率の計算結果に影響を与えることが考えられる。また、対象が非等方性表面である場合も、短軸方向において同様のことが考えられる。従って、本研究ではより合理的な計算を行うために対象の局所形体の領域内に限定して放物面の当てはめを行い、曲率の計算を行う。図6における黒点は、当てはめ領域が5点×5点の場合の山に対する当てはめ対象点を示している。

3. マルチスケーリングの閾値設定法

表面機能に大きな影響を及ぼす表面特徴の規模が先見情報として与えられていない場合、有用な情報を得るためにはマルチスケーリングを適用する際の閾値の設定が重要となる。現在、局所形体の高さを基準としたマルチスケーリングにおいて、閾値を S_z の 5% とする手法⁸⁾が推奨されている。しかしながら局所形体は三次元的な形状を表しているの、マルチスケーリングは高さ基準よりも体積基準がより合理的と言える。本報では、局所形体の体積を基準としたマルチスケーリングにおける閾値の設定方法を提案する。本手法は、場のパラメータを用いることによって閾値を定式化し、特徴パラメータに対するサンプリング間隔の影響を低減化することが出来る。

凹凸データの負荷面積曲線から得られる実体体積と空隙容積に関するパラメータ⁸⁾を閾値設定パラメータとして用いる。負荷面積曲線は輪郭曲線方式における負荷曲線¹⁴⁾を面領域に拡張した手法で計算される。負荷面積曲線は、凹凸データの負荷面積率を設定した刻み幅で最小値から最大値まで計算し、累積確率密度とすることで得られる。

負荷面積の計算手法として、ある高さレベルにおける実体部の画素が占める割合を求める方法が広く用いられていたが、この手法ではサンプリング間隔が大きくなると誤差が大きくなる問題があった。図7は図4の山の負荷面積を画素基準によって計算する場合の概念図である。これに対して本手法では、図4に示したように三角形分割された表面凹凸から負荷面積を計算

Fig.7 Calculation of material ratio by previous algorithm

Fig.8 Material ratio curve and volume parameters

することで、サンプリング間隔の影響を低減する。

得られた負荷面積曲線において、JIS B0671-2 の定義に従って図 8 のように等価直線を導出してパラメータを計算する。

本手法では、等価直線によって得られた $Smr1$ と $Smr2$ を用いて図 8(c) に示す $Vm(Smr1)$ を突出山部の単位面積あたりの実体体積 Vmp 、 $Vv(Smr2)$ を突出谷部の単位面積あたりの空隙容積 Vvv として用いる。この二つのパラメータは、表面機能に影響を与える代表的な山と谷の単位面積あたりの体積及び容積を示すと考えることが出来る。

2.2 で示した自己相関関数によって得られる評価領域幅¹³⁾は、代表的な山と谷の領域の大きさを表していると言える。そこで本研究では評価領域幅の二乗 $W^2 = 4(\tau_{0.8})^2$ を評価対象となる局所形体の基準の面積とする。

これらのパラメータによって、山を対象としたマルチスケーリングの閾値 Mvt と谷を対象とした閾値 Mvt を次式で定義する。

$$Mvt = Vmp \cdot 4(\tau_{0.8})^2 \quad (26)$$

$$Mvt = Vvv \cdot 4(\tau_{0.8})^2 \quad (27)$$

4. 特徴パラメータによる表面凹凸の定量化

特徴パラメータを用い、実際に加工に用いた工具表面の摩擦摩耗特性の定量化を試みる。白色光の共焦点型顕微鏡(レーザーテック株式会社: HD100D)によってダイヤモンド砥粒(#200)電

Fig.9 3D topography plots of the reamer surface (576 $\mu m \times 432 \mu m$, 640 pixels $\times$ 480 pixels, $Sq=29.54 \mu m$)

Fig.10 3D topography plots of the worn reamer surface (576 $\mu m \times 432 \mu m$, 640 pixels $\times$ 480 pixels, $Sq=9.37 \mu m$)

Table 2 Decay autocorrelation length and evaluation area for mountains

Samples	$\tau_{0.8}$ (μm)	W^2 (μm^2)	Fitting area (points $\times$ points)
New reamer	2.61	27.34	7 $\times$ 7
Used reamer	4.28	73.26	11 $\times$ 11

Table 3 Volume parameters and threshold value

Samples	$Smr1$ (%)	Vmp ($\mu m^3 / \mu m^2$)	Mvt (μm^3)
New reamer	22.67	4.76	130.06
Used reamer	8.36	0.44	32.60

着リーマの表面凹凸測定を行い、山に関する特徴パラメータを算出する。測定対象のダイヤモンド電着リーマは、図 9 に示す使用前の初期状態のものと、図 10 に示す長時間使用後に砥粒が摩耗あるいは脱落して加工不可能となったものを用意した。

表 2 に自己相関関数が 0.8 となる最短の方向の遅れ距離、評価領域面積及び放物面を当てはめる点数を示す。使用後のリーマは砥粒が脱落して凹凸がなだらかになったため、遅れ距離は大きな値を示している。この結果、使用後の頂上部に対する評価領域面積 W^2 が相対的に大きいものとなった。

表 3 に負荷面積曲線から得られるパラメータと、マルチスケーリングの閾値を示す。使用後のリーマは突出した部分が摩耗したため、表面凹凸の実体部を突出山部とコア部に分ける $Smr1$ が相対的に小さい値を示した。その結果、閾値も使用前のリーマに対して小さい値を示す結果となった。

表 3 の Mvt の値を用いてマルチスケーリングを適用した結果の山の分布図を図 11 と図 12 に、また二つの凹凸データより算出された特徴パラメータから、特に摩耗に影響が大きいと思われるものを表 4 に示す。

使用前の山の分布図では砥粒の突出した部分が大きな山として抽出されているのに対して、使用後は砥粒が脱落したと思われる穴の周囲の盛り上がり小さな山として抽出されている。

Sph の値は使用前の頂上点が相対的に高い値を持つことを示

Fig.11 Significant mountains of new reamer surface
(The number of mountains = 323)

Fig.12 Significant mountains of worn reamer surface
(The number of mountains = 667)

Table 4 Feature parameters of sample surfaces

Samples	Peak	Mountain			
	S_{ph}	S_{fh}	S_{fv}	S_{scx}	S_{scy}
New reamer	48.5 μm	34.7 μm	1443.7 μm^3	2.47	7.22
Used reamer	16.0 μm	10.5 μm	173.5 μm^3	1.04	2.88

しているが、二つの凹凸データの平均面に差があるので、これだけで山が高いと判断することは出来ない。しかしこれに対して個別の基準面を持つ山の高さを示す S_{fh} も、同様に使用前のリーマの山が高いことを示している。 S_{fv} の値は両者の違いが顕著に表れており、リーマの摩耗の度合いを評価するパラメータとして適していると言える。また、 S_{scx} と S_{scy} の値は、使用前の曲率は大きく、使用後の曲率は小さいことを示していることから、リーマの仕上げ機能を評価するパラメータとして有効であると言える。

以上の例で、加工面だけでなく、工具表面に対する表面凹凸の評価によって工具寿命や機能の評価が出来る可能性を示した。また本手法では、個々の表面特徴の情報も記述することが可能

であるため、加工面に存在する微細なキズや表面形状欠陥の定量化等、種々の応用が考えられる。ただし、各種の工学的問題に適した特徴パラメータの選択方法をどのように体系付けるかが今後の課題となる。

5. 結 言

- (1)直交格子状離散点の表面凹凸データにおいて抽出された表面特徴を面領域特徴パラメータとして定量化する方法を示した。パラメータの構成は表面機能に影響を与える頂点と局所形体に注目した内容とした。面積や体積の計算では三角形分割された凹凸データに基づく手法を検討した。
- (2) 自己相関関数と負荷面積曲線から得られるパラメータを用いたマルチスケーリングの閾値設定法を検討した。場のパラメータと特徴パラメータを相互に関連付けながら、表面凹凸に対する解析を行うことが可能となった。
- (3)使用前のリーマと、長時間使用したリーマの表面凹凸データに対して特徴パラメータによる表面凹凸の幾何学的性質の定量化を行った。局所形体に関するパラメータが摩耗問題に対する有効な指標と成り得ることを示した。

参 考 文 献

- 1) 塚田忠夫, 阿武芳朗: 表面おうとつを考慮した球面と平面の接触変形 (第1報), 精密機械, **45**, 4 (1979) 473.
- 2) 長谷川真之, 柳 和久: 直交格子状離散点の表面凹凸形状データに基づく面領域特徴パラメータに関する研一第1報: 地形学的表面特徴の同定と統合一, 精密工学会誌, **72**, 8 (2006) 1048.
- 3) 小林直規, 柳 和久, 河合周智: 精密テクスチャリングテープの砥粒空間分布と被加工物表面への転写性 (第1報), 1994 年度砥粒加工学会学術講演会講演論文集 (1994) 27.
- 4) H. Zahouani, M. Assoul, R. Vargioulou and T. Mathia: The morphological tree transform of surface motifs. Incidence in tribology, Int. J. Mach. Tools Manufact, **41**, (2001) 1961.
- 5) C-C A. Chen, W-C Liu and N. A. Duffie: A surface topography model for automated surface finishing, Int. J. Mach. Tools Manufact, **38**, (1998) 543.
- 6) Frédérique Barré and Jacques Lopez: Watershed lines and catchment basins: a new 3D-motif method, Int. J. Mach. Tools Manufact, **40**, (2000) 1171.
- 7) B. Fellenberg, U. Lunze and H. Koutta: Evaluation of surfaces with network structures and 3D-Motif concepts, X. International Colloquium on Surfaces, Chemnitz, Shaker Verlag Aachen, (2000) 390.
- 8) Liam Blunt and Xiangqian Jiang: Advanced Techniques for Assessment Surface Topography: development of a basis for 3D texture standards "surfstand", Kogan Page Science, (2003) ISBN 1-903996-11-2.
- 9) JIS B0601, 製品の幾何特性仕様(GPS)一表面性状: 輪郭曲線方式一用語, 定義及び表面性状パラメータ.
- 10) ISO 12085 (1996): GPS-Surface texture: Profile method-Motif parameters.
- 11) JIS B 0631, 製品の幾何特性仕様(GPS)一表面性状: 輪郭曲線方式一モチーフパラメータ.
- 12) 久門輝正, 須田 博, 倉田 実: アプレシブ摩耗における砥粒先端半径の影響, トライボロジスト, **36**, 7 (1991) 565.
- 13) 坂口智洋, 柳 和久, 原精一郎: 三次元表面凹凸データの横方向間隔パラメータに関する研究, 精密工学会誌, **65**, 9 (1999) 1306.
- 14) JIS B 0671-2, 製品の幾何特性仕様(GPS)一表面性状: 輪郭曲線方式; プラト一構造表面の特性評価一第2部: 線形表現の負荷曲線による高さの特性評価.