研削の進行に伴う砥石作業面状態変化の評価法*

—作業面状態変化が複合して生じる場合の評価法—

坂本 治久** 清水 伸二**

Evaluation Method of Condition Change on Working Surface with Grinding
— Evaluation Method for Combined Generation of Condition Changes on Wheel Working Surface —

Haruhisa SAKAMOTO and Shinji SHIMIZU

On the working surface of grinding wheel, dulling, loading and shedding occur in complicated way with progress of grinding. In this paper, we propose the novel evaluation method to separate those complex changes into the typical changes such as shedding, depositing and welding types of loading, and dulling definitely. Furthermore, in order to examine the validity of the method, the grinding experiments is carried out, and then following results are obtained: The relative frequency distribution derived from the peak height of the working surface profile generates peculiar changes as follows with same sensitivity to the typical changes respectively. The two types of loading decrease the relative frequency of the distribution at inside of the wheel and increase it at periphery. Contrary to this, the shedding and dulling increase the frequency at inside and decrease it at periphery. In addition, the dulling and welding type loading only vary the distribution at narrow region of the wheel periphery. On the other hand, the shedding and deposition type loading vary the frequency almost whole region of the wheel. From above mentioned results, it can be said that the complex changes of the working surface condition can be separated into the typical changes based on the width and central position of changing region and order of increase and decrease within the region in the peak distribution.

Key words: grinding wheel, working surface condition, complex change, peak distribution, relative frequency distribution, shedding, loading, dulling.

1. 緒 言

研削加工は、他の方法では実現し得ない精度や機能を実現する重要な仕上げ加工法である。同時に、加工条件の決定や加工プロセスの管理・制御が難しい高度な加工技術でもある。この要因は、加工特性が設定する研削条件だけでなく、砥石作業面状態に大きく依存することにある。このため、砥石作業面状態の評価・監視技術の開発とその向上が求められている。

これに応えるため、従来から実用的な作業面状態評価を指向した研究が行われてきた。たとえば光電管を用いた目つぶれの評価法¹⁾、渦電流計を用いた目つぶりの評価法²⁾、ワイヤを接触させることによる切れ刃分布状態の測定法³⁾などが挙げられる。ただし、このような従来の検討は、いずれも評価対象とする作業面状態変化を目つぶれあるいは目つぶりに限定することにより実用的な評価を可能にしたものであったと言える。

しかしながら、実際の研削プロセスにおいて作業面状態は、複合的に変化し、また研削の進行に伴って変化挙動が異なっていくものである。例えば、初期摩耗による目こぼれから目づまりへと推移し、さらにその後目つぶれが生じて砥石寿命に到るなどと言うように、1回のドレスインターバルの間に複合的に作業面状態が変化することは珍しくない。これを考慮すると、各種の作業面状態変化を同一の評価手法および装置を用いて統一的に評価できなければならないと言える。

このような背景のもと、筆者らはレーザ変位計を用いた作業面プロファイルのオンマシン測定システムを開発⁴⁾し、研削に伴う各種の作業面状態変化に対応したプロファイル変化を捉えられることを確認した⁵⁾⁶⁾。特に研削に伴う目づまりの発生と

進行に着目し、作業面プロファイルの凹凸高さの相対度数分布に基づいて目づまりの進行状態を評価できることを明らかにした。それらの結果より、作業面プロファイルの相対度数分布を用いれば、目こぼれ、堆積形目づまり、溶着形目づまりおよび目つぶれの発生を定性的に捉えられることが明らかになった。

そこで本研究ではこれらの成果をさらに発展させ、研削に伴って作業面状態が複合的に変化する場合に、その変化を典型的な作業面状態変化すなわち目こぼれ、目つぶれ、堆積および溶着形目づまりに分離して評価する方法を提案し、その妥当性を研削実験に基づいて明らかにする。

2. 実験方法および装置

2.1 作業面プロファイルの測定法

作業面プロファイルは、レーザ変位計をコラムフィード形のCNC平面研削盤の砥石頭に直接取り付け測定した。レーザ変位計の位置は、研削中を通じて作業面プロファイルの全ての凹凸が測定レンジ内に収まるように定めた位置に固定し、研削中は不変とした。これにより、研削の進行に伴う作業面プロファイルの高さの変化を測定できるようにした。

表1は作業面プロファイルの測定条件を示している。サンプリング間隔 δ は砥石の平均砥粒径 $d_0=250[\mu\text{m}]$ の1/6とし、AD変換ユニットのサンプリング周波数をその上限値 $F_s=128[\text{kHz}]$ に定めた。これに伴い、測定時の砥石周速 V_m は、 F_s に δ を乗じた値に設定した。また研削液については、研削中には供給し続けたが、測定精度への影響を除くために、プロファイル測定前に停止し20分以上の空転を行った。

2.2 研削実験の方法および条件

アルミナ砥石 WA60J7V を用い、軟鋼 S15C および合金焼入鋼

* 原稿受付 平成16年4月27日

** 正 会 員 上智大学(東京都千代田区紀尾井町7-1)

Table 1 Measuring Condition of Working Surface Profile

Item	Value
Wheel	WA60J7V ($d_0 = 250 [\mu\text{m}]$)
Sampling interval δ	$42 \mu\text{m} (\approx d_0/6)$
Sampling frequency F_s	128 kHz
Wheel speed for measuring V_m	5.38 m/s

Table 2 Grinding Condition

	Condition #1 (For loading)	Condition #2 (For shedding)	Condition #3 (For dulling)
Wheel	WA60J7V (Average grain diameter: $d_0 = 250 [\mu\text{m}]$)		
Workpiece	S15C	S15C	SCM440 (HRC > 55)
Dressing conditions			
Dresser type	Single point diamond		
Wheel speed V_d	30 m/s		
Dressing lead v_d	$125 \mu\text{m/rev}$ ($= d_0/2$)	$250 \mu\text{m/rev}$ ($= d_0$)	$125 \mu\text{m/rev}$ ($= d_0/2$)
Depth of cut t_d	$5 \mu\text{m/pass}$ + Spark out	$10 \mu\text{m/pass}$	$5 \mu\text{m/pass}$ + Spark out
Grinding conditions			
Grinding type	Wet plunge grinding		
Wheel speed V_g	30 m/s		
Table feed rate v	0.3 m/s		
Depth of cut t	$2 \mu\text{m/pass}$	$20 \mu\text{m/pass}$	$1 \mu\text{m/pass}$

SCM440 を工作物として湿式プランジ研削を行った。ドレッシングは単石ダイヤモンドを用いて行った。

表 2 は研削条件を示している。条件 #1 は、目づまりを生じやすくするため、ドレッシングリード v_d および切込み t_d を小さくして切れ刃密度を増すとともに研削時の切込み t を小さくし、砥粒切込み深さを小さくした。さらに、工作物は硬度の低い軟鋼とし、目こぼれおよび目つぶれが起こりにくくした。

これに対して条件 #2 では、 v_d および t_d を大きくして切れ刃密度を粗くし、さらに t を大きくすることにより、砥粒切込み深さが大きくなるようにした。これにより、個々の砥粒切れ刃に作用する研削抵抗が増し、砥粒が脱落しやすくなり、目こぼれが起こりやすくなることを意図している。

一方、条件 #3 では、 v_d および t_d を条件 #1 と同様に小さくし、かつ t はさらに小さくした。これにより砥粒切込み深さをより小さくし、加えて工作物を高硬度の焼入鋼とすることにより砥粒摩耗が早まり、目つぶれが生じやすくなるようにした。

3. 従来の作業面状態の評価法とその課題点

これまでは、プロファイルの全サンプリング点の高さ H に基づいて相対度数分布を定め、それを用いて作業面状態を評価する方法について検討してきた⁵⁾⁶⁾。この相対度数分布は、レーザ変位計の測定レンジ $\pm 200 \mu\text{m}$ をクラス幅 $1 \mu\text{m}$ の 401 個のクラスに分け、全サンプリング点の高さ H に関する度数分布を求め、その後、それぞれのクラスの度数をサンプリング点の総数で除して求めた。こうして求める全サンプリング点に対する相対度数分布を全点分布と称することにする。

この全点分布は、研削に伴う作業面状態変化に対応して変化する。その変化挙動は、研削前後での相対度数分布の変化を H に対してプロットすることにより表すことができる。この研削後の各クラスの相対度数から研削前のそれを差し引いて求めた分布を増減分布と称することにする。

Fig.1 Change in relative frequency distribution with All Points (In case of grinding condition #1)

Fig.2 Micrographs of Working Surface after Grinding (In case of grinding condition #1)

図 1 は、表 2 の条件 #1 で研削した場合の作業面状態変化をプロファイルの全点分布とその増減分布により示している。横軸は測定レンジの中心を基準とした高さ H を表しており、縦軸は相対度数 P およびその増減を表している。ここで横軸における $H=0$ は、作業面プロファイルの凹凸全てがレーザ変位計の測定レンジに収まるように定めた際のプロファイル高さの中心を表しており、初期の分布における最頻値である。

同図 (a) の全点分布において、研削後 (研削量 $V=800 [\text{mm}^3/\text{mm}]$) の分布が全体的に外周側にシフトしていることがわかる。また、同 (b) の増減分布によると、 P が内部側 (領域①) で減少し、外周側 (領域②～④) で増加している。これらは、研削の進行に伴いプロファイル上において H が増加する変化が生じたことを表しており、目づまりが生じたことと対応している。

一方、図 2 は研削後の作業面の観察結果を示している。同図 (a) に示すようにチップポケット部に大量の切りくずが堆積するとともに、同図 (b) に示すように切れ刃付近に切りくずが溶着している。これらの研削特性への影響を考慮すると、チップポケットに堆積している切りくずは仕上げ面に直接接しないのに対して、切れ刃上に溶着した切りくずは明らかに仕上げ面と擦れ合い、仕上げ面性状や研削抵抗に悪い影響を及ぼすと考えられる。したがって作業面状態を評価するためには、これら二つの作業面状態変化を区別して評価する必要がある。

この観点から前述の図 1 (b) を改めて見てみると、相対度数が減少している領域①に続いて、まず②において増加のピーク

Fig.3 Simulation of Change in relative frequency distribution with All points (In case of loading)

を形成している。その外周側の③では ΔP が徐々に減少していくが、最外周の④においては ΔP が $H=135[\mu m]$ 付近において小さな増加のピークを形成している。このように、相対度数の増加領域は②および④の二領域においてピークを形成する複合的な増減分布となっている。この外周部の相対度数の増加領域(②~④)は、堆積形目づまりと溶着形目づまりの両方の影響を受けていると考えられる。このように全点分布の増減により二つの目づまり形態が複合的に生じたことが定性的に判断できる。しかしながら、この増減分布から二つの目づまりの影響を分離して評価することは難しい。

そこで、このような複合的な増減分布の形成要因について、プロファイルの変化に基づいて検討する。堆積形および溶着形目づまりが生じると、プロファイルの高さ H は増加するため、砥石の内部側の相対度数が減少する一方で、外周側の相対度数が増加することになる。よって目づまりに対応する増減分布は、砥石内部側が負、外周側が正の分布となる。ただし、堆積形目づまりは様々な深さのチップポケットにおいて生じるため全高さ範囲に及ぶ幅広い変化となる一方、溶着形目づまりは切れ刃付近のみで生じるため砥石最外周の狭い範囲のみで増減が生じることになる。

図3は、これに基づいて目づまりに伴う相対度数増減分布を模式的に形成した結果を示している⁷⁾。同図(a)は堆積形目づまりに伴う増減を、同図(b)は溶着形目づまりに伴うそれを示している。同図(a)に示すように、堆積形目づまりの場合にはプロファイル変化がチップポケット内部まで及ぶため、増減の分布幅が広く、 $-110 < H[\mu m] < 160$ となっている。一方、同図(b)に示すように、溶着形目づまりに対応する増減は砥石外周側のみで生じるため、増減分布は $40 < H[\mu m] < 170$ に生じている。

同図(c)は、これらの増減分布を加算した結果を示している。相対度数の増加領域(②~④)において、②では明らかに、また④では③に比べると、 ΔP がピークを生じており、前述の図1(b)の分布とよく対応している。このことから、同図は堆積形目づまりと溶着形目づまりによる複合的な増減分布を表していると言える。しかしながら、同図(a)および(b)に示すように堆積形目づまりに比べて溶着形目づまりの増減振幅が小さいため、それを加算した増減分布において、溶着形目づまりによる

Fig.4 Schematic Model of Profile Change Corresponding to Working Surface Condition

変化は堆積形目づまりによる変化に埋もれてしまっている。そこで以下の章において、これらの要因とその対策について検討する。

4. 作業面状態変化が相対度数分布に及ぼす影響

4.1 作業面状態変化に伴うプロファイルの変化

図4は、各種作業面状態変化を模式的に示している。同図(a)~(d)は、それぞれ堆積形目づまり、溶着形目づまり、目こぼれおよび目つぶれを示している。同図中の○、●、①および②はプロファイルのサンプリング点を表している。これらのうち○および①は変化前の、●および②は変化後のサンプリング点をそれぞれ表している。また、①および②は高さが増加する前後のピーク点を表している。ここではピーク点は「左右のサンプリング点よりも高い点」と定義し、チップポケット内であってもこの条件を満たせばピークと見なしている。

同図(a)に示すように、堆積形目づまりが生じると○および①の高さが増加し、●および②へと変化する。これらの変化はチップポケット内で生じ、一ヶ所当たり10~30点の高さが増加することになる。またチップポケットはさまざまな深さのものがあるので、高さの増加は全高さ領域に及ぶことになる。

一方、同図(b)に示す溶着形目づまりの場合には、変化が切れ刃付近のみで生じるため、変化する点(○および①)は一つの切れ刃当たり2、3点に過ぎず、その数は堆積形目づまりに比べてとても少ない。また、その高さの変化領域は最外周部の小さな範囲に限定される。

同図(c)に示す目こぼれの場合には、○および①の高さが減少し、●および②へと変化する。この変化は、砥粒およびその周辺の結合剤の脱落に伴うため、10点ほどの高さが減少することになる。その際の変化は砥粒径と同程度がそれ以上に及ぶため、プロファイルの全高さ領域に及ぶことになる。

また同図(d)に示す目つぶれは、溶着形目づまりと同様に切れ刃付近で生じる。このため、変化点数は一ヶ所当たり2、3点に過ぎず、堆積形目づまりや目こぼれに比べて顕著に少ない。また変化領域は切れ刃近傍の狭い範囲のみとなる。

以上のように、堆積形目づまりおよび目こぼれに伴って変化する点数は1ヶ所当たり10~30点に及び、溶着形目づまりおよび目つぶれの2~3点に対して3~15倍も多い。これに伴って、前2者による全点分布の増減は、後2者のそれに比べて大

Fig.5 Example of Profile and Its Relative Frequency Distribution with Peak Points

きなものとなる。前述の図3において、堆積形目づまりに対応する同図(a)の増減振幅が溶着形目づまりに対応する同図(b)に比べて大きくなった原因は、この点にあると考えられる。

4.2 ピーク高さに対する相対度数分布の定義

図5は、ピーク高さの相対度数分布の算出例を示している。同図(a)はプロファイルの一部を示しており、横軸は砥石円周方向の測定位置 X_p [mm] を、縦軸は凹凸高さ H [μ m] を表している。○および●はサンプリング点を表しており、そのうち左右の点より高い点をピーク点として●で示している。

一方、同図(b)は、このプロファイルからピーク点のみを抽出し、 H に関する相対度数分布を求めた結果を示している。同図において、横軸は H を、縦軸は相対度数 P [%] を表している。算出においては、全点分布と同様に H を401個のクラスに分け、ピーク点の H に関する度数分布を求め、ピーク総点数で除して相対化している。以後、これをピーク分布と称す。

4.3 作業面状態変化に伴うピーク高さおよびその分布の変化

まず、目づまりに伴うピーク高さの変化について前述の図4に基づいて検討する。同図(a)に示す堆積形目づまりの場合には、ポケット内部の砥粒頂部に対応するピーク①が切りくずに覆われて高さを増し、新たなピーク②となる。一方、同図(b)の溶着形目づまりの場合には、切れ刃に隣接したピーク①に切れくずに溶着することにより②まで高くなる。砥粒上で測定されるピーク点数は平均1~2個であり、いずれの目づまりにおいても一ヶ所当たりのピーク点数はほぼ同じと考えられる。

先の4.1節でも述べたように、変化するサンプリング点の一ヶ所当たりの点数は堆積形目づまりでは溶着形目づまりよりも3~15倍も多くなる。これに対して、変化するピーク点数では両者間に大きな差が無いので、ピーク分布を用いた方が溶着形目づまりを感度良く捉えられと考えられる。

一方、高さ方向の変化領域については、堆積形目づまりでは砥石内部にまで及ぶのに対して、溶着形目づまりでは砥石最外周部のみである。このため2種類の目づまりをピーク高さの変化領域に基づいて判別可能と考えられる。

図6は、5.1節に示す実験結果(図7(b))を参考に目づまりに

Fig.6 Simulation of Change in relative frequency distribution with Peak points (In case of loading)

伴うピーク相対度数の増減分布を模式的に形成した結果を示している。堆積形目づまりに対応する同図(a)は前述の図3(a)とほぼ同じ分布になったが、溶着形目づまりに対応する同図(b)は前述の図3(b)に比べて増減振幅が大きくなった。これは、前述したようにピーク分布を用いると溶着形目づまりをより感度良く捉えられることを示している。同図(c)に示すピーク増減分布において、内部側(①および②)における増減と外周側(③および④)における増減が明確に分離されていることがわかる。

次に、目こぼれおよび目つぶれについても前述の図4に基づいて検討する。同図(c)に示した目こぼれの場合には、研削前に砥粒切れ刃であったピーク①が、研削後は新たに露出した砥粒のピーク点②に置き換わることになる。また、同図(d)の目つぶれの場合には、切れ刃であったピーク点①が摩耗して高さを減ずることになる。これら場合にも、研削に伴って変化するピーク点数は一ヶ所当たり1~2点でほぼ等しい。また、変化領域が目こぼれでは砥石内部に及ぶのに対して、目つぶれでは砥石最外周のみに留まるので、両者の判別は可能である。

このように、切れ刃付近で生じる作業面状態変化すなわち溶着形目づまりおよび目つぶれに伴うピーク分布の増減は、全点分布における増減に比べて振幅がより大きくなるため、それらの検出感度が向上すると考えられる。一方、ピーク高さの変化領域に基づいて、堆積形目づまりおよび目こぼれに対して溶着形目づまりおよび目つぶれを分離して評価可能と考えられる。

5. 砥石作業面状態評価法の提案

5.1 目づまりを伴う作業面状態の評価

図7は、前述の表2の条件#1で研削した際の研削前および研削量 $V=800$ [mm^3/mm] におけるピーク分布とその変化を示している。同図(a)はピーク分布を、(b)は研削前後でのピーク分布に対する増減分布を示している。

同図(a)のピーク分布においては、砥石内部に相当する $-50 < H [\mu\text{m}] < 25$ において P が減少し、そのすぐ外周側の $25 < H [\mu\text{m}] < 125$ においてやや増加する傾向を示している。 P が砥石内部で減少、外周側で増加しており、変化が砥石内部に及んで

(a) Change in relative frequency distribution with peak points

(b) Change of peak points

Fig.7 Change in relative frequency distribution with Peak Points
(In case of grinding condition #1)

いることから、この変化はチップポケットにおける堆積形目づまりに対応すると考えられる。一方、さらに外周側の $125 < H [\mu m] < 175$ において顕著なPの増加が生じている。これは、最外周領域のピークが増加したことを表しており、すなわち切れ刃への切りくずの溶着を表していると考えられる。

これに対応して同図(b)に示すピーク増減分布においては、まず領域①において ΔP が負の値を示し、②においては主に正の値を示している。その外側の③においては増減がやや負に偏った状態を示し、最外周の④において明確な正のピークを形成している。この分布パターンは、図1(c)と比較すると、堆積形目づまりと溶着形目づまりが複合化したことをより明確に示している。

以上より、ピーク分布を用いると、堆積形目づまりと溶着形目づまりを、高さ領域の異なる増減分布パターンとして明確に分離して評価できることが確かめられた。

5.2 目こぼれを伴う作業面状態の評価

表2の条件#2で研削した後に作業面状態を顕微鏡により観察した結果、切れ刃密度がドレッシング直後に比べて低下していることがわかった。また、切りくずに混じって多くの砥粒くずを観察することができた。これらのことから、この研削時には主に目こぼれが生じていたことが確認できた。

図8は、この研削時における研削前および $V=500 [\text{mm}^3/\text{mm}]$ におけるピーク分布とその変化を示している。同図(a)の研削後のピーク分布は、研削前に対してPが外周側($H > 10 [\mu m]$)で減少し、砥石内部側でPが増加している。これは、砥粒が脱落することにより、外周領域に存在していたピークが減少し、代わりに砥石内部に隠れていたピークが新たに現れたことを表しており、目こぼれの発生を示している。

一方、同図(b)はピーク増減分布を示している。 ΔP は外周部の領域①において負となり、代わりに砥石内部の②において正となっている。このように目こぼれは、ピーク増減分布における外周側での減少と砥石内部側での増加が対になった分布パターンに基づいて評価できると考えられる。

5.3 目つぶれを伴う作業面状態の評価

図9は、表2の条件#3で研削した際の $V=1200 [\text{mm}^3/\text{mm}]$ にお

(a) Change in relative frequency distribution with peak points

(b) Change of peak points

Fig.8 Change in relative frequency distribution with Peak Points
(In case of grinding condition #2)

Volume of metal removed : 1200mm³/mm

Fig.9 Micrograph of Working Surface after Grinding
(In case of grinding condition #3)

る作業面状態を示している。研削後の最外周の砥粒は摩耗して平坦化し、砥石回転方向に沿った筋状の条痕を生じている。すなわちこの時、目つぶれが生じていたことがわかる。

これに対して図10は、研削前および $V=1200 [\text{mm}^3/\text{mm}]$ におけるピーク分布とその変化を示している。同図(a)のピーク分布によると、Pは外周部($65 < H [\mu m] < 80$)で急増して鋭く立ち上がったパターンを生じ、さらにその外周側で減少している。このような最外周付近でのピーク分布の変化は、目つぶれの発生により切れ刃高さが低下して砥石半径が減耗するとともに、目つぶれにより切れ刃高さが揃ったことを表している。

同図(b)は、これに対応するピーク増減分布を示している。これによると、砥石内部側の領域①および②と最外周部の③および④のそれぞれにおいて増減を生じていることがわかる。このうち、最外周部の領域④において ΔP が負となり、そのすぐ内側の③に鋭く高い正のピークを生じているのは、最外周部付近における作業面状態変化、すなわち目つぶれの発生を表していると考えられる。一方、砥石内部の①および②における増減は、その範囲において外周側の②で ΔP が負となり、内周側の①で正となっていることから、前述の図8(b)に示したピーク増減分布と特徴が一致している。したがって、①および②における増減分布は、目こぼれの発生に伴うものと考えることができる。このことは、この研削時には目つぶれと目こぼれが複合

(a) Change in relative frequency distribution with peak points

(b) Change of peak points
Fig.10 Change in relative frequency distribution with Peak Point
(In case of grinding condition #3)

的に発生したことを表しており、そのような複合的な作業面状態変化が生じてピーク増減分布により両者をそれぞれの増減パターンに基づいて評価できることを示している。

5.4 複合的变化状態に対する評価法の検討

前節までの検討結果より、ピーク増減分布は各種の作業面状態変化に応じて特徴的なパターンを生じることがわかった。これらの増減分布は、いずれの作業面状態変化に対しても増加領域と減少領域が対になって連なったパターンを含むことが共通している。しかし、そのパターンの幅、中心位置および増減の順序は、作業面状態の変化形態に応じてそれぞれ異なっている。したがって、ピーク増減分布のパターンの相違点を整理することにより、各種の作業面状態変化を判別して評価するための指針が得られるものと思われる。

表3は、各種の作業面状態変化に対応するピーク分布の増減パターンの特徴を示している。まず、高さHに対する増減の順序に関して、目こぼれおよび目つぶれのようにプロファイルの高さが減少する変化が生じると、内部側において増加、外周側において減少の順となる。これに対して堆積形および溶着形の目づまりでは、逆に内部側で減少、外周側で増加の順となる。この ΔP の増減の順序に基づいて、プロファイル高さを増加させる変化、すなわち二つの目づまりと、高さを減少させる変化、すなわち目こぼれおよび目つぶれを判別できる。

次に、増減領域の幅およびその中心位置に着目すると、目こぼれおよび堆積形目づまりに対応する変化のパターン幅は、ピーク分布全体の幅と同程度に広く、またその中心位置はピーク分布のほぼ中央付近である点において共通している。これに対して、目つぶれおよび溶着形目づまりに対応する変化パターンは、その中心が砥石の外周に近い領域に限定されており、鋭いピークを形成する。このように、パターンの幅および中心位置に基づいて、砥石外周付近のみで生じる変化すなわち目つぶれおよび溶着形目づまりと、砥石内部まで影響が及ぶ目こぼ

Table 3 Change in RFD with Working Surface Condition

Condition	Order of change ^(*) (inside→periphery)	Central position	Width
Shedding	inc. → dec.	Average of the surface height	Same as the surface height
Depositing	dec. → inc.		
Welding	dec. → inc.	Near periphery	Very narrow
Dulling	inc. → dec.		

(*) "inc." and "dec." mean "increase" and "decrease" respectively

れおよび堆積形目づまりを判別できる。

これらの結果より、ピーク増減分布のパターンを分析することにより、どのような作業面状態変化が生じているかを明確に判別できると言える。このことは、評価指標としてピーク増減分布を用いると、研削の進行に伴って複合的かつ複雑に変化する作業面状態をそれぞれ分離して評価できることを意味している。

6. 結 言

従来の全点分布による作業面状態評価の課題点を検討し、複合的な作業面状態変化を典型的な作業面状態変化すなわち目こぼれ、堆積形目づまり、溶着形目づまりおよび目つぶれに分けて評価するための新たな相対度数分布を提案した。さらにその分布に基づく作業面状態評価法の有効性を研削実験に基づいて検討し、以下の結果を得た。

- (1) ピーク分布は、各種の作業面状態変化に対してほぼ等しい感度で増減を生じる。このため、この分布に基づいて複合的な状態変化を典型的变化に分けて評価が可能になる。
- (2) 目づまりに対してピーク分布は、内部側で相対度数が減少し、外周側で増加する。この増減の砥石内部での発生は堆積形目づまりを、最外周付近での発生は溶着形目づまりをそれぞれ表す。
- (3) 目こぼれに対して、ピーク分布は全体的に変化し、外周側の相対度数が減少し、内部側で増加する。
- (4) 目つぶれに対してピーク分布は、最外周付近において増減を生じる。最外周で相対度数が減少し、そのすぐ内側に鋭く高い増加のピークを形成する。
- (5) ピーク分布の増減パターンの幅、中心位置および増減の順序により、各種作業面状態変化をそれぞれ分離して統一的に評価できる。

参 考 文 献

- 1) 須藤徹也, 和井田徹, 佐田登志夫: 研削加工における砥石作業面のインプロセス測定, 精密機械, **36**, 10 (1970) 676.
- 2) 小尾誠, 辰巳洋二, 佐田登志夫: 研削加工における砥石目づまりのインプロセス測定, 精密機械, **39**, 10 (1973) 1062.
- 3) 和泉真澄, 李和樹, 井上茂: 砥石作業面形状を構成する砥粒切れ刃分布測定装置の開発, 砥粒加工学会誌, **46**, 4 (2002) 189.
- 4) 坂本治久, 清水伸二: 砥石作業面トポグラフィのオンマシン測定システムの試作とその評価, 砥粒加工学会誌, **43**, 4 (1999) 172.
- 5) S. Shimizu and H. Sakamoto: On-machine Monitoring of the Wheel Working-surface Condition with the Relative Frequency Distribution of its Profile, Key Engineering Materials, **196** (2001) 111.
- 6) 坂本治久, 清水伸二, 加藤大二郎: 砥石作業面トポグラフィに基づく目づまり挙動の評価, 精密工学会誌, **64**, 9 (1998) 1320.
- 7) 坂本治久, 清水伸二: 研削砥石作業面変化の定量的評価手法の検討 - 第2報: 相対度数増減分布の定量化 -, 2001年度砥粒加工学会学術講演会講演論文集, C22 (2001) 253.