

研削砥石摩耗のインライン計測*

飯村 崇**、若槻 正明**、堀田 昌宏**、
和合 健***

研削加工は金型加工を中心とした精密加工には欠かせない加工技術である。しかし実際の加工現場においては作業者の熟練に頼るところが大きい。特に、超精密加工においては加工状態を経験から判断して安定した品質を維持している。そこで、砥石表面の観察から加工状況が予測可能な測定システムの構築を検討した。砥石表面で反射されるレーザーの明るさ情報やレーザー変位計からの凹凸情報により、砥石の目つぶれ・目づまり状況が把握可能であることを確認した。

キーワード：砥石摩耗、摩耗計測、目つぶれ・目こぼれ、レーザー変位計

In-Line Measurment of Grinding Wheel Wear

IIMURA Takashi, WAKATUKI Masaaki, HOTTA Masahiro
and WAGO Takeshi

A grinding is indispensable for a precision machining, such as a die manufacturing and a mold manufacturing. But as a matter of fact, grinding is depend on worker's skill at a site under grinding. Especially, workers judge the condition of grinding by their experience about ultra precision grinding. So we considered measuring system to predict the change of wheel condition, from measuring wheel surface. And we confirmed that the system could judge dulling and shedding of wheels, from the brightness data of reflected light from wheel or the displacement data from LASER displacement meter.

key words: wheel wear, measuring wear, dulling and shedding, LASER displacement meter

1 緒 言

研削加工は金型加工を中心とした精密加工には欠かせない技術であるが、実際の加工現場においては作業者の熟練度に頼るところが大きい。特に鏡面加工など超精密加工においては、工具摩耗の変化を加工音や加工物表面の状態から経験的に判断し、加工状態を安定させているのが現状であり、自動化が困難であることや作業者が限定されること等が問題である。

一方、砥石の表面状態は加工状態と密接に関係しているため、砥石表面を参考にすることで砥石の切れ味を予測することが可能であると考えられるが、観察が困難であるためほとんど応用されていない。

本研究では砥石表面状態を観察し、研削加工状況を予測する測定システムの構築を検討した。

2 実験方法

測定値は、砥石表面で反射されたレーザーの明るさとレ

ーザ干渉式の変位計による凹凸の変化の2つとした。砥石表面の砥粒は、加工経過により、図1に示す3つの状態に変化するが、レーザー光は主に砥石表面の砥粒や砥粒

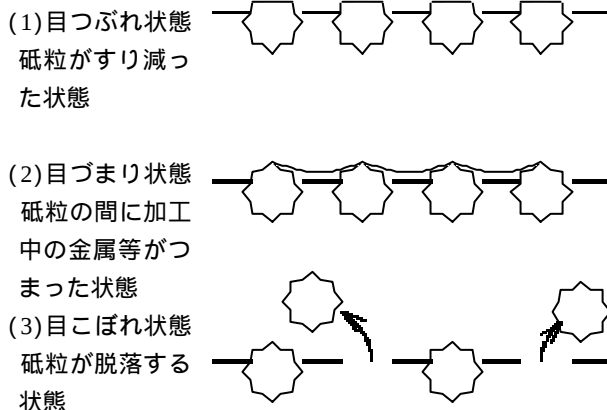


図1．砥石表面状態の加工による変化

* 次世代金型製造プロセスに関する研究開発（ベンチャー企業育成型地域コンソーシアム研究開発）

** 電子機械部

*** 企画情報部

に付着した金属で反射されるため、この変化が反射光の明るさや変位情報として測定でき、砥石表面の砥粒状態が把握できると考えた。

また、本研究で使用了砥石の詳細及び実験時の加工条件・ドレス条件を以下に示す。砥石は砥粒の平均粒径がレーザスポット径(30×20μm)以上の物を使用した。測定の経過は1回目-ドレス後、2~9回目-加工後、10~11回目-再ドレス後となっている(計11回測定)。

1) cBN#230 (平均砥粒径70μm)

CBN 230 P BSD 片桐製作所(株)

砥粒：cBN ボンド：レジンボンド

○ドレス条件1：被削材...SUS304、

砥石周速...26.18m/sec、横送り速度...16m/min、
前後送り速度...40mm/sec、切り込み3μm/pass、
総切り込み量...0.03mm

○加工条件1：被削材...SKH51 (HRC60)

砥石周速...26.18m/sec、横送り速度...16m/min、
前後送り速度...80mm/sec、切り込み10μm/pass、
総切り込み量...0.3mm

2) cBN#400 (平均砥粒径40μm)

BNC 400 P 80 BJ2 (株)東京ダイヤモンド工具製作所

砥粒：cBN ボンド：レジンボンド

○ドレス条件2：被削材...SUS304、

砥石周速...26.18m/sec、横送り速度...12m/min、
前後送り速度...30mm/sec、切り込み3μm/pass、
総切り込み量...0.03mm

○加工条件2：被削材...SKH51 (HRC60)

砥石周速...26.18m/sec、横送り速度...12m/min、
前後送り速度...50mm/sec、切り込み5μm/pass、
総切り込み量...0.15mm

2-1 砥石表面で反射された反射光の明るさの測定

三角測量式レーザ変位計を用い、砥石表面で反射されたレーザの明るさを測定した。

1) 加工機上に三角測量式レーザ変位計を設置する。

2) 加工後1分間2000rpmを保ち水切りをする。

3) 砥石を低速(200rpm)で回転させ、測定を行う。

4) レーザ変位計の測定値をレコーダに取り込み、取り込んだ結果から砥石状態の判定を行う。

1 三角測量式レーザ変位計のスペック

- スポット径：30×20μm
- 分解能：0.02μm
- 応答周波数：20kHz

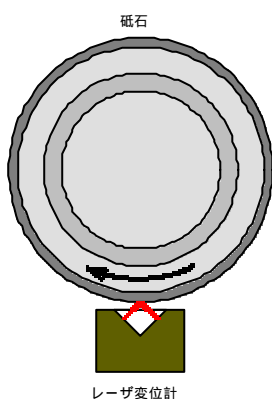


図2．明るさ測定

- 作動距離：30mm±0.5mm

2 データ測定間隔 M

○回転方向

回転数200rpm、砥石径φ250、サンプリング周波数20kHzより、

測定間隔(Mx) =

$$(250 \times \pi \times 200 / 60) / 2000 = 0.13\text{mm}$$

○軸方向

回転数200rpm、前後送り速度32mm/minより、

測定間隔(My) = (32/200) = 0.16mm

以上のことから、測定は図3のような格子の交点で行われる。

この測定間隔で十分かどうかは、今後検討が必要だが、現在使用している測定

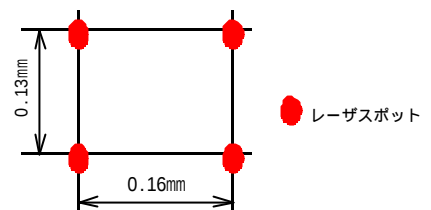


図3．データ間隔

機及び加工機の限界であることから、今回はこの値を使用して測定する。

2-2 砥石表面の凹凸の測定

レーザフォーカス変位計を用い、以下の方法で砥石表面の凹凸状況を確認した。

1) X-Yステージ上に変位計を設置する。

2) 測定箇所を同じ位置に限定するため、治具を用いて砥石を固定する。

3) X-Yステージにより変位計を移動させ測定を行う。

(送り量は、20μm/step、総送り量1mm×1mm)

4) レーザ変位計の出力を、コンピュータに読み込み、データの解析を行う。

3 レーザフォーカス変位計のスペック

- スポット径：7μm
- 分解能：0.2μm
- 応答周波数：1.4kHz
- 作動距離：28mm±1mm

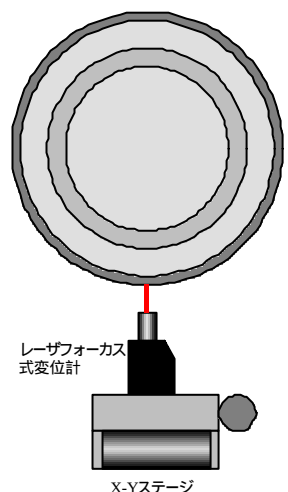


図4．凹凸測定

3 測定結果

3-1 #230cBN砥石に関する測定結果

#230のcBN砥石について測定を行った結果を示す。図5は、反射光の明るさの測定結果である。横軸は時間経過を表しており、縦軸の明るさはレーザ変位計から出力された電圧値(明るいほど高い)をレコーダに取り込み、

研削砥石摩耗のインライン計測

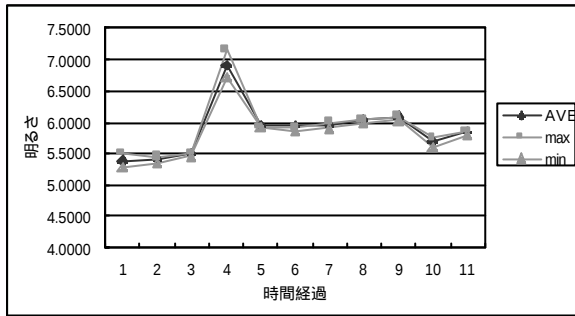
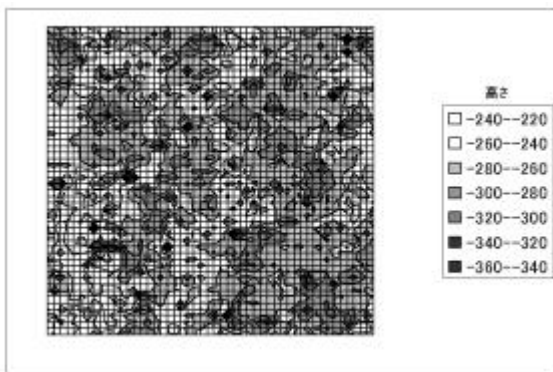
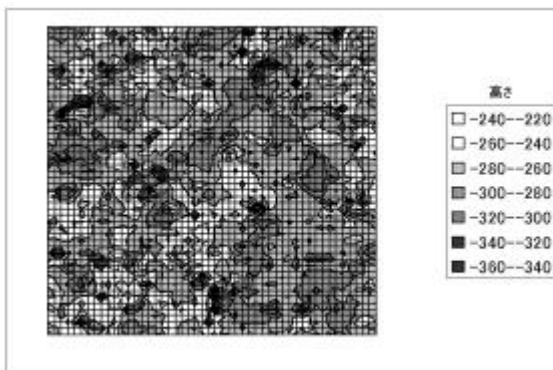


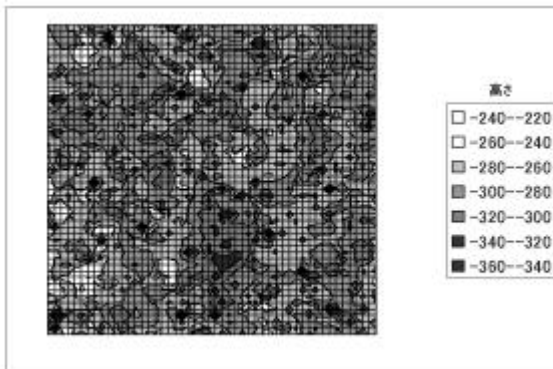
図5 . #230砥石の時間経過に伴う明るさ変化



1)時間経過 1 における凹凸



2)時間経過 5 における凹凸



3)時間経過 11 における凹凸

図6 . 時間経過による#230砥石表面の砥粒高さ変化

そのデータを時間で積分した値を表している。時間経過に伴い、測定値が大きくなる（時間経過 4 ~ 9）。これは、目つぶれもしくは目詰まりが発生し、砥石表面で反射される光量が増えたためと考えられる。（但し、時間

経過 4 で明るさが非常に大きくなっているが、この原因については今のところ不明である。）時間経過 10, 11 ではドレス作業を行うことで、測定値が下がって元の値に近づいている。完全に元の値まで戻らないのは、ドレスが不十分であったか、もしくは砥石性能が同レベルであるが、測定値がばらついたことによる可能性が考えられる。これについては、データを増やし評価方法の検討をする予定である。

図6はレーザフォーカス変位計で凹凸測定をし、2次元表示をした結果である。時間経過 1 から 5 では、測定結果にあまり変化が見られないが、ドレス作業を行った時間経過 11 では大きな変化が現れている。この様に加工中の砥石表面の凹凸状態変化が小さいことから、この砥石に関しては目こぼれ状態ではなく、目つぶれもしくは目づまり状態が起こっているものと推測可能である。

3 - 2 #400cBN 砥石に関する測定結果

図7は反射光の明るさ測定を行った結果である。明るさが低下していることから、脱粒状態が発生しレーザの反射光量が減少したものと考えられる。時間経過 3 以降明るさが変化しなくなるが、これは、脱粒する砥粒の量と、新たにでてくる砥粒の量が釣り合っているためと考えられる。時間経過 10, 11 はドレスを行ったときの値だが、2回のドレスにより明るさが元の値に戻っており、こちらは十分なドレス効果が得られているのではないかと考えられる。ただし、測定ばらつきの影響についてはやはり検討の必要がある。

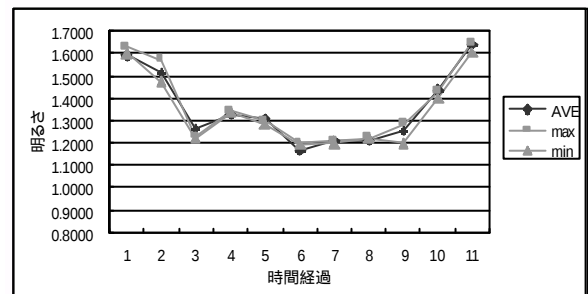
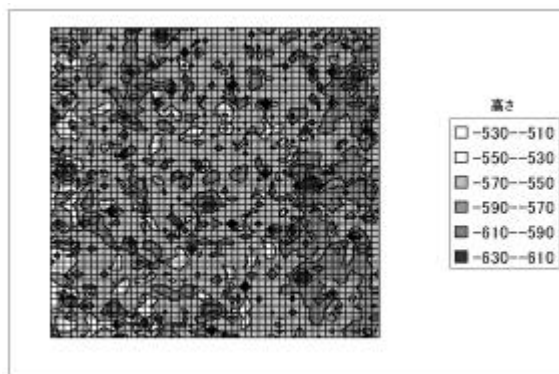


図7 . #400砥石の時間経過に伴う明るさ変化

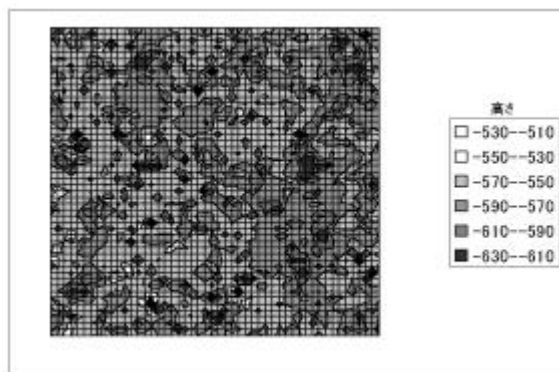
図8は凹凸測定を行った結果である。#400については#230とは異なり、測定値分布が加工の度に変化し、砥石面全体が次第に低くなっている。これは脱粒が発生する目こぼれ状態で、加工の進行と共に砥石面も減っているためだと考えられる。

加工状態の良否を判定するため、図9（#400 の図6のグラフに、表面粗さ及び研削抵抗をプロットしたもの）を示す。加工が進みレーザ変位計による測定値が変化するに伴い、研削抵抗(F_z)が上昇している。また、表面粗さについても悪くなっている。さらに、ドレスを行った後の時間経過 10, 11 では、明るさ測定の結果と同様に、研削抵抗が元の値まで回復している。これらのことから、ドレス直後の加工状態が良く、次第に状態が悪くなり再ドレスによって再び加工状態が良くなることを明る

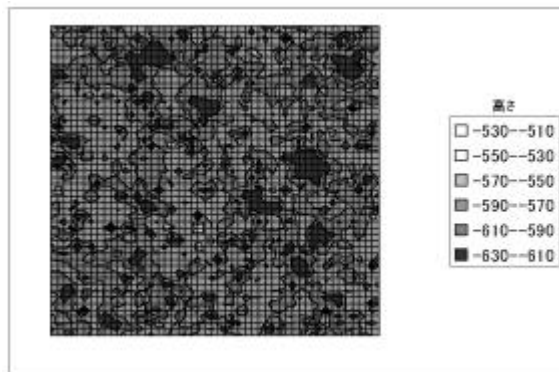
さの測定から確認可能であることを表している。



1)時間経過 1 における凹凸



2)時間経過 5 における凹凸



3)時間経過11における凹凸

図8．時間経過による#400砥石表面の砥粒高さ変化

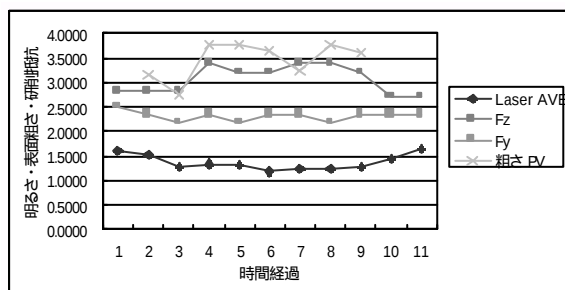


図9．研削抵抗及び加工面粗さと

明るさ測定による測定値の相関

4 考 察

4 - 1 反射光の明るさの測定

1)#230cBN の実験：目つぶれ状態ではレーザー光を反射する砥粒が平坦になり、明るさが増大する。

2)#400cBN の実験：目こぼれ状態では脱粒によりレーザー光を反射する砥粒が減少し、明るさも減少する。

3)ドレス作業：目つぶれ・目こぼれいずれの場合も砥粒が理想状態に近づき、明るさが測定開始時の値に近づく。但し、完全に元の明るさに戻らない場合もある。

以上の 1)～ 3)の結果から、砥石表面で反射される光の明るさ測定により砥石摩耗を検知可能であり、さらに目つぶれ・目こぼれの判別も可能である。ただし、ドレス作業後の測定値が元の値と異なるなど問題点もあることから、測定値の解析方法にまだ改善の余地がある。

4 - 2 砥石表面の凹凸の測定

1)#230cBN の実験：加工の進行に伴う砥石表面高さの変化があまり見られず、脱粒が発生していない。

2)#400cBN の実験：砥石表面高さの変化が顕著に見られることから、脱粒が発生している。

3)ドレス作業：砥石表面高さの変化が大きく、古い砥粒を脱粒させ、新しい砥粒を突き出させている。

いずれの場合にも砥石表面の凹凸状況を2次元表示することが可能である。また、砥石表面高さの分布を比較することで、砥石に脱粒が発生していることが判別可能である。

5 結 言

2種類の測定方法を用いて、研削砥石摩耗の評価を行った。

5 - 1 反射光の明るさ測定

三角測量式のレーザー変位計を用いて砥石表面で反射されるレーザー光の明るさを測定し、砥石の状態の変化が判断可能である。目つぶれが発生すると砥粒上で反射される明るさの値が増加し、目こぼれについては明るさの値が減少する。

5 - 2 砥石表面の凹凸の測定

砥石表面の凹凸情報をレーザーフォーカス変位計で読みとり、グラフ化することが可能である。また高さの分布状況の変化に着目し、脱粒の発生が判別可能である。

どちらの測定法についても、実用化の点でまだ検討の余地があることから、今後も継続して研究を行う。

謝 辞

本研究を実施するにあたり、ご指導・ご助言いただいた東北大学工学研究課 庄司克雄 教授、岩手大学工学部機械工学科 井山俊郎教授、岩淵 明教授に感謝いたします。

文 献

- 1) 井口征士，佐藤宏介：三次元画像計測，(株)昭晃堂
- 2) 谷尻豊寿：パソコンによる最新画像処理入門，技術評論社