

平成 30 年 5 月 22 日現在

機関番号：57301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K05744

研究課題名(和文)非可視光線を用いた画像処理によるダイヤモンド砥石の砥粒分散の解析に関する研究

研究課題名(英文)Study on analysis of abrasive grain dispersion of diamond wheel by image processing using non-visible ray

研究代表者

川下 智幸 (Kawashita, Tomoyuki)

佐世保工業高等専門学校・電子制御工学科・教授

研究者番号：00270380

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：砥石作業面の砥粒切れ刃の形状や分布は、加工仕上げ面の良否を左右する大きな要因であることから、画像処理により抽出した砥粒切れ刃の分散状態等の解析を行ってきた。しかし、砥石作業面のダイヤモンド砥粒と他の領域との間に色相・彩度・明度の差がない場合、砥粒のみを正確に抽出することが困難である。したがって、従来のような可視光線域で得られた画像のみを用いる手法では、計測できる砥石は極めて限定的であった。本研究では、ダイヤモンド砥粒の光学的な特性に注目し、2波長域の画像(可視光線域と紫外線域)を用いて画像処理を試みたところ、計測できなかった砥石についてもダイヤモンド砥粒の抽出・解析が実現できることがわかった。

研究成果の概要(英文)：Shape and distribution of abrasive grain cutting edges on working surface of grinding wheel is a major factor affecting the quality of the finished surface. From this, features such as distribution of abrasive grain cutting edge extracted by image processing has been analyzed. However, it is difficult to extract only abrasive grains when there is no difference in hue, saturation, and lightness between diamond abrasive grains and other regions on the working surface of grinding wheel. Therefore, in the previous method using only image obtained with visible light, the grinding wheel that can be measured was extremely limited. In this research, we focused on the physical properties of diamond abrasive grains to solve the previous problem. We tested image processing using images obtained with visible light and with ultraviolet light. The results indicated found that abrasive grains can be analyzed for various grinding wheels

研究分野：工学

キーワード：2波長域画像 可視光域画像 紫外光域画像 ダイヤモンド抽出 画像処理 研削砥石 砥粒分散 ダイヤモンド砥粒

1. 研究開始当初の背景

砥石作業面の砥粒切れ刃の形状や分布は、加工仕上げ面の良否を左右する大きな要因であることから、著者らは、画像処理により抽出した砥粒切れ刃の分布等の解析を行うとともにその有用性について研究を行ってきた。また、砥粒切れ刃の分散状態を示す新しい指数として、ポロノイ図による解析を提案し、砥粒切れ刃の分布や突き出し量の高低域を表す指数として活用できることを明らかにしている。しかし、計測できる砥石は、ダイヤモンド砥粒と他の領域間で色相・彩度・明度に差があることが、砥粒抽出精度を左右する要因になり、例えば、図1に示すように、結合剤(メタルボンド)に添加材としてフィラー(カーボン)などを含む砥石構造の場合は、画像の中で砥粒と色相・彩度・明度の差がない領域があり、原画像をグレースケール化した画像から砥粒を抽出するための適切なしきい値設定が困難で、計測できる砥石は限定的であった。

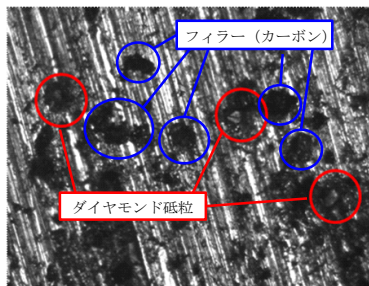


図1 砥粒抽出が困難な砥石構造の一例 (可視光線域画像)

2. 研究の目的

ダイヤモンド砥粒の紫外線域における光学的な特性に注目し、その特徴を活用することで、可視光線域と非可視光線域(紫外線域)の2波長域での画像を用いた画像処理によりダイヤモンド砥粒の正確な抽出・解析が実現できると考え研究を行った。

3. 研究の方法

3.1 砥粒抽出法

図2に、ダイヤモンド砥粒、結合剤に用いられるメタルボンド、レジンボンド、添加剤としてフィラー(カーボン)の分光特性を示す。図のように、可視光線域(525nm)と紫外線域(365nm)では、ダイヤモンド砥粒においては反射率に約17%の違いがみられる。一方、結合剤およびフィラー(カーボン)は、両波長領域においては、ダイヤモンドほど差はみられない。したがって、この反射率の違う2波長域での画像を用い、その特性を活用し画像処理を行うことで、ダイヤモンド砥粒のみを抽出する。なお、今回、計測したダイヤモンド砥粒は、メタルボンド系の砥石に用いられる破砕特性が高いブロッキータイプである。

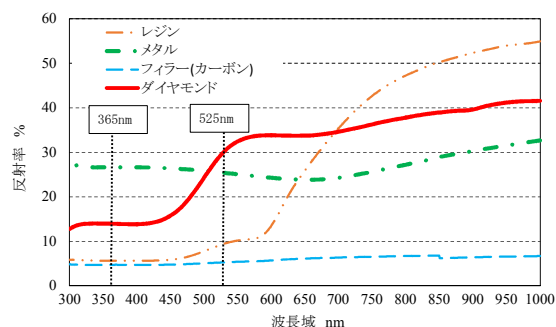


図2 砥石を構成する素材の分光特性

3.2 実験方法

図3に、開発した計測装置の外観を示す。画像取得用のエリアカメラおよびレンズは、可視光線域から紫外線域まで対応できるものを用いている。取得画像は、白黒グレースケールの12ビットの濃度階調をもつ画像で、画像センサーの1画素当たりのサイズは $3.63\mu\text{m}$ であることから、レンズの倍率 $\times 2$ より、 $1.815\mu\text{m}$ /画素となる。なお、取得画像の物理サイズは、センサー数が 1920×1440 個、配置されており $3484.8 \times 2613.6\mu\text{m}$ である。また、カメラの測定対象物に対する距離は、パーソナルコンピュータ(以下、パソコンと記す)を指令装置とし

て、サーボモータを駆動源としたボールネジ機構を有するテーブル機構により $1\mu\text{m}$ 単位で制御・管理している。

図4に、開発した照明装置の概要を示す。照明は、図のようにドーム型を形成しており、波長 365nm と 525nm の LED を配置し、それぞれの LED を、計測目的に合わせて切り替えて照射する。LED の配置・方向等から、計測対象物に対して、均一に照射する場合は、図の B 領域にある LED を用い、垂直落射（疑似）照明の場合は、A 領域の LED を用いる。

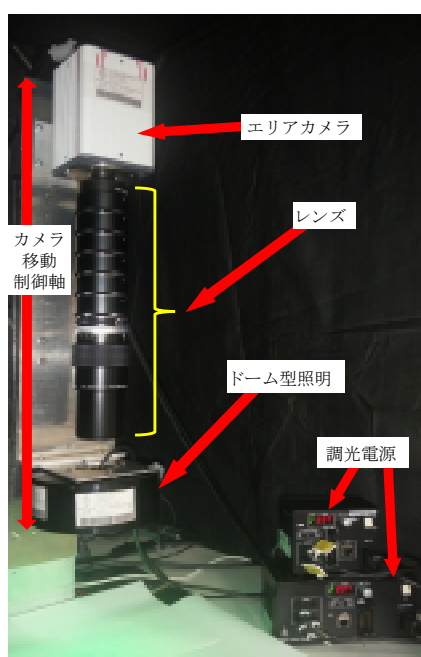


図 3 実験装置の外観

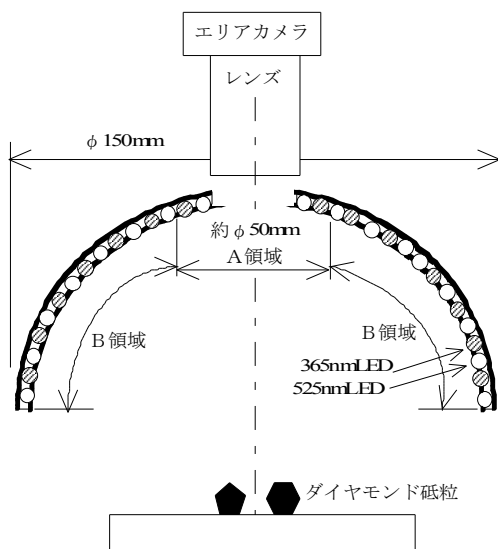


図 4 照明装置の概要

4. 研究成果

4. 1 画像処理プログラム

図5および図6に、開発した画像処理プログラムのフローチャートおよび解析過程の画像の一例を示す。画像処理は以下の過程で行う。なお、図6は、結合剤と同じ素材で形成されたメタルボンド板上にダイヤモンド砥粒とフィラー（カーボン）を散布し、取得した画像を用いている。

- ①可視光線域（ 525nm ）と紫外線域（ 365nm ）の画像を取得する。
- ②両画像から差分画像を生成する。
- ③グレースケール化した画像において、ダイヤモンド砥粒が抽出可能となる適切なしきい値を設定し2値画像に変換する。
- ④ラベリング処理を行い、しきい値より面積の小さいノイズ画素を除去する。
- ⑤膨張・収縮処理により、隙間補間を行う。再びラベリング処理を行い、各ラベルに対して以下の処理を行う。
 - a) ラベル領域（白画像部分）の全座標を求める。
 - b) 2波長域の原画像において、ラベル領域と対応する座標の輝度値の平均値を算出する。
 - c) b)で求めた2種類の平均値から、輝度値の平均値の比（可視光線／紫外線）を算出する。
- ⑥⑤で求めた各ラベルの特徴量（面積、円形度、輝度値の平均値の比）を、適切なしきい値でフィルターにかけることで、砥粒領域のみを抽出する。
- ⑦抽出した砥粒の代表点（重心）となる座標および特徴量を、表1に示すように、csvファイルで管理、出力する。

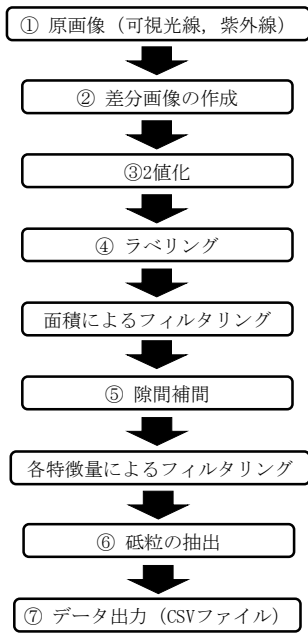


図5 画像処理のフローチャート

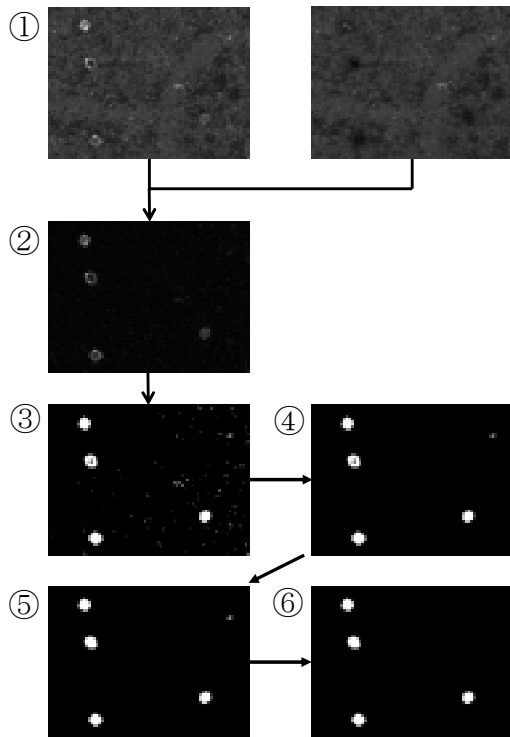


図6 画像処理の解析例

表1 解析結果の表示例 (csv ファイル形式)

x (位置)	y (位置)	面積pixel	円形度	(可)平均pixel値	(紫)平均pixel値	平均値の比(可/紫)
1	964	776	0.794003	128.927	46.2588	2.78708
2	993	958	0.827646	87.5926	25.9036	3.38149
3	1541	1223	0.810807	73.7726	24.7833	2.97671
4	1011	1326	0.728179	88.4347	22.8046	3.87793

4.2 砥石を用いた砥粒の抽出

測定対象とした砥石は、図1で示した砥石と同じで、ダイヤモンド砥粒とメタルボンドにフィラーとしてカーボンが含まれている結合剤で構成されている。ダイヤモンド砥粒径は、約 $30\mu\text{m}$ で、図2の分光特性解析で用いたものと同じブロッキータイプを用いている。

図7に、砥石作業面における砥粒の固着状態の模式図を示す。実験では、目直し直後の砥石作業面にあるダイヤモンド砥粒の抽出（以下、砥粒抽出）と初期研削後（捨て研削後）の研削に関する砥粒の抽出（以下、砥粒切れ刃抽出）を行っているが、それぞれの場合で、照射方法を変えている。

目直し後の砥石作業面に固着されている砥粒は、結合剤面から突き出ており、任意方向に砥粒面が向いている。図4で示したドーム照明の中で、B領域のLEDを用いることで、砥粒面に多方向から光を均一に照射させる。一方、砥粒切れ刃抽出においては、図7に示しているように研削過程では、砥石最外周面に平坦な砥粒切れ刃逃げ面が形成されるので、この面を特徴量として抽出することが必要になる。この面の抽出には、図4のA領域にあるLEDを用いることで、砥粒切れ刃逃げ面に対して垂直方向から照射（疑似落射照明）することにより、正反射光として他の領域と比べ、特徴量として現れる画像が取得可能になる。

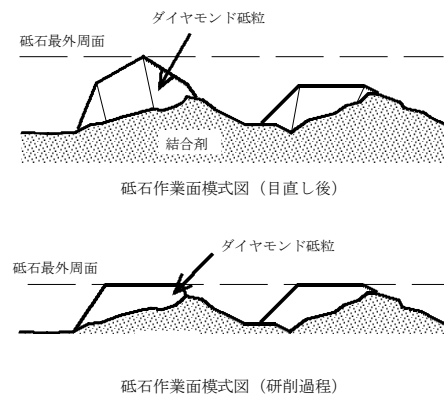


図7 砥粒の砥石作業面における固着状態

図8は、目直し後の砥石作業面において、可視光線域画像（525nm）を用いてグレースケール化し、図5③の処理と同工程として、砥粒が抽出可能となる輝度値に、しきい値を設定した場合の2値化後の解析結果の一例である。なお、下図は上図の枠領域を拡大して示している。丸領域がダイヤモンド砥粒で、それ以外の抽出領域（抽出ノイズ）の実面積は、砥粒抽出実面積より大きく、その形状は砥粒抽出形状に類似しており、この後の画像処理により抽出ノイズを除去することは容易でなく、正確な砥粒抽出は困難である。

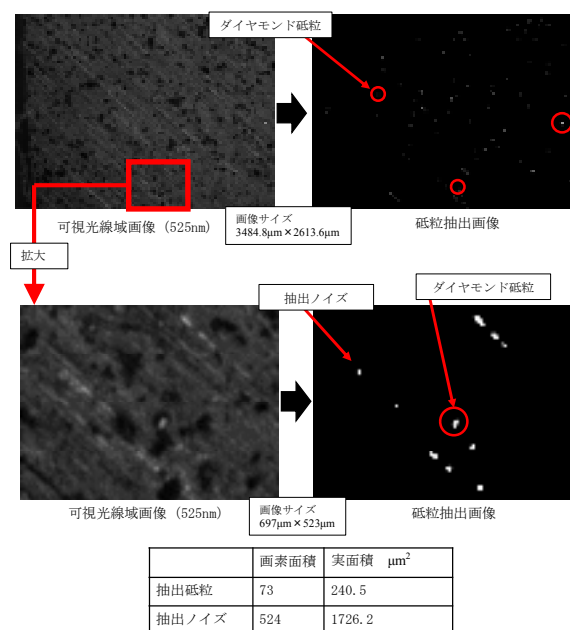


図8 砥石作業面における砥粒抽出（可視光線域画像使用）

図9に、図8と同じ砥石作業面領域における、2波長域（可視光線域（525nm）、紫外線域（365nm））を用いて、図5で示した画像処理のフローチャートに従って、砥粒抽出を行った解析結果例を示す。図のように、ダイヤモンド砥粒のみが抽出できていることがわかる。なお、目視より、抽出された砥粒約320個を確認したところ、再現率 $(a/(a+b)) = 85.8\%$ 、適合率 $(a/(a+c)) = 98.9\%$ であった。ここで、 a = 抽出成功数、 b = 未抽出数、 c = 過抽出数である。なお、未抽出は、図10

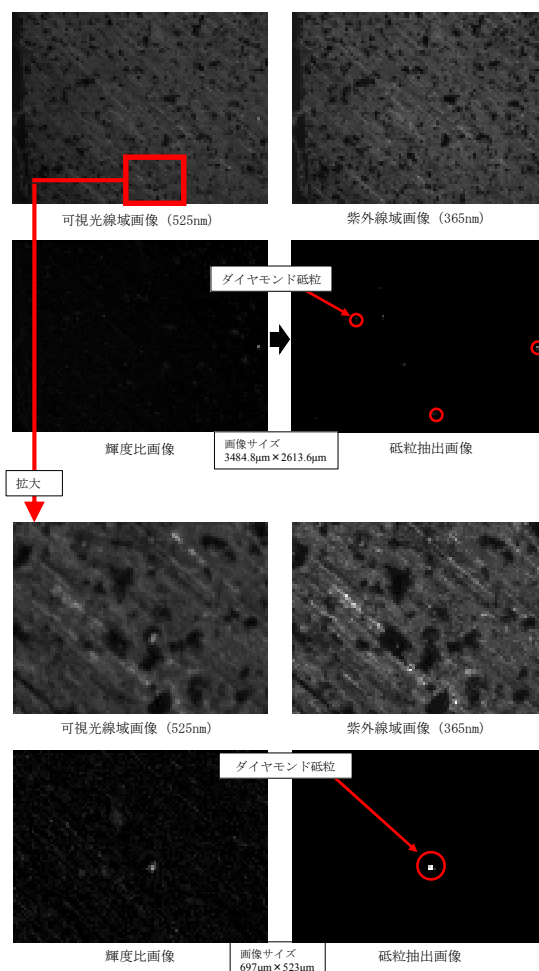


図9 砥石作業面における砥粒抽出（2波長域画像使用）

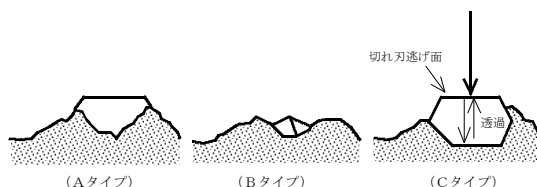


図10 抽出困難な砥粒固着状態

に示すように、砥粒が最外周面に対して広い平行面を形成されて突き出ているもの（Aタイプ）であった。これは、図4で示したB領域の照明では、A領域からの照射がなく、平行面に対して上部方向成分の照射光量が不足していることが原因であることがわかった。また、砥粒の突き出し量が少ない（Bタイプ）は、図5④工程で、砥粒として認定する画素数を30画素以上（約 $100 \mu\text{m}^2$ 以上）としているが、同程度の面積の砥粒は、反射光量も弱いものがあり、輝度値がしきい値と

境界域になり未抽出につながっていることがわかった。なお、画素数 30 画素以上（約 $100 \mu\text{m}^2$ 以上）は、用いられている砥粒平均径 $30 \mu\text{m}$ を直径とする円の面積の 14%程度である。また、過抽出は 1%程度であるが、結合剤のメタルボンドが、ダイヤモンドと同等レベルの鏡面のような光沢面を示す領域があり、誤検出になっている。

図 11 に、2 波長域画像を用いることで、砥粒切れ刃抽出を行った解析例を示す。図のように、砥粒切れ刃抽出が実現できており、目視より、抽出された砥粒切れ刃約 1000 個を確認したところ、再現率 $(a/(a+b)) = 58.3\%$ 、適合率 $(a/(a+c)) = 90.4\%$ で、前述した砥粒抽出より高くないが、ダイヤモンドは、高い屈折率を示すことから、垂直落射光に変え、砥粒切れ刃平行面に対して任意の一定角度から平行光を照射し、画像取得用カメラを、その反射角度に設置し画像を取得するなど改善できる。

このように、2 波長域の画像を用いて画像処理を行うことで、可視光線域のみを用いた場合は困難であった砥粒抽出および砥粒切れ刃抽出が可能になり、表 1 に示したように抽出した全砥粒を定量的に把握できることから、様々な視点からの解析が可能になる。

今後は、CBN 砥粒や他の結合剤、各種ファイラーで構成されている砥石においても、構成素材の分光特性を把握することにより、本手法による解析の有効性を検討していく。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

- ①川下智幸, 坂口彰浩, 太田航平, 前田純也, 松尾修二, 中島昭二, 峠直樹, 古野大樹, 下村義昭, 三木伸一; 画像処理による砥石作業面トポグラフィの 3 次元計測に関する研究 - 第 5 報: 2 波長域画像を用いたダイヤモンド砥粒抽出-, 砥粒加工学会誌, 第 61 巻, No. 10, 2017. pp. 551~556. (DOI) <https://doi.org/10.11420/jsat.61.551>

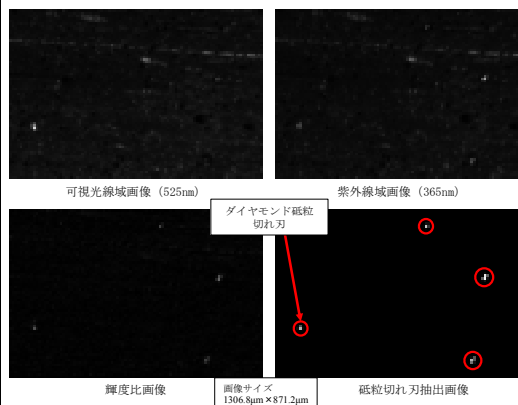


図 11 砥石作業面における砥粒切れ刃抽出 (2 波長域画像使用)

[学会発表] (計 3 件)

- ①松本光生, 内田和志, 坂口彰浩, 川下智幸, 松尾修二, 中島昭二, 峠直樹, 古野大樹: 画像処理による砥石作業面の 3 次元解析 - 第 10 報, 2017 年度砥粒加工学会学術講演会論文集, pp. 143~144.
- ②太田航平, 前田純弥, 坂口彰浩, 川下智幸, 松尾修二, 峠直樹, 中島昭二: 紫外線光域画像を用いたダイヤモンド砥粒分布の解析, 2016 年度砥粒加工学会学術講演会論文集, pp. 120~121.
- ③太田航平, 坂口彰浩, 川下智幸, 永島康詞, 松尾修二: 非可視光域画像を用いたダイヤモンド砥粒分布の解析, 2016 年度精密工学会北九州地方講演会論文集, pp. 71~72.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称: ダイヤモンド微細砥粒画像の抽出装置
 発明者: 川下智幸, 坂口彰浩, 松尾修二, 峠直樹, 古野大樹, 中島昭二, 下村義昭, 三木伸一, 池田真二
 権利者: 菱計装 (株), (株) ノリタケカンパニーリミテド, (独) 国立高等専門学校機構, 長崎県

種類: 特許

番号: 特願 2017-43281

出願年月日: 29 年 2 月 16 日

国内外の別: 国内

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

6. 研究組織

(1) 研究代表者

川下 智幸 (KAWASHITA, Tomoyuki)
 佐世保工業高等専門学校・電子制御工学科・教授
 研究者番号: 00270380

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者

坂口彰浩 (SAKAGUCHI, Akihiro)
 佐世保工業高等専門学校・電子制御工学科・准教授
 研究者番号: 00332099