

令和 2 年 6 月 3 日現在

機関番号：14401

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2018～2019

課題番号：18H05893・19K21070

研究課題名（和文）スモールツール研磨加工における除去能率の超安定化

研究課題名（英文）Stabilization of removal rate in small tool polishing of glass lenses

研究代表者

佐竹 うらら（Satake, Urara）

大阪大学・工学研究科・助教

研究者番号：70828409

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,300,000円

研究成果の概要（和文）：サブナノメートルオーダーの表面形状精度を有する高精度非球面レンズは、加工コストの高さから、コスト要求が厳しい産業用カメラの分野への導入が進んでいない。本研究では、高精度非球面レンズの加工コスト上昇の要因である“スモールツール研磨加工における除去能率の変動”の抑制を目的に、工具表面へのレンズ切りくずの付着が除去能率に及ぼす影響、および工具表面上における加工液の流れがレンズ切りくずの付着に及ぼす影響を検討した。そして、レンズ切りくずの付着を抑制して除去能率の安定性向上を実現する新たな研磨工具ユニットの開発を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、工具表面へのレンズ切りくずの付着が除去能率に及ぼす影響、および工具表面上における加工液の流れがレンズ切りくずの付着に及ぼす影響を明らかにした。研磨加工の最も基本的な要素である“工具”と“加工液”の挙動に加え、これまで挙動の解明がほとんど行われていない“切りくず”の挙動を明らかにした点で学術的意義が高いと言える。また、本研究で開発した工具ユニットは、スモールツール研磨加工の加工コスト低減に寄与することが期待されるものであり、高精度非球面レンズの低価格化を実現する技術として社会的意義も高いと言える。

研究成果の概要（英文）：Polishing process of surface of glass lenses as key components of cameras has serious problems including an unstable removal rate over polishing time. In this study, we investigated the effect of the adhesion of workpiece debris to the polishing pad surface on the removal rate and the relation between the slurry flow on the polishing pad surface and the adhesion of the workpiece debris. On the basis of the findings, we developed new polishing tools which can achieve the stable removal rate.

研究分野：生産加工

キーワード：研磨加工

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

近年、産業用カメラの画像認識精度に対する要求が厳しさを増しており、カメラレンズの高精度化が求められている。しかし、民生用カメラに比べて圧倒的にコスト要求が厳しい産業用カメラの分野では、加工コストが高い高精度非球面レンズの導入は一向に進んでいない。高精度非球面レンズの加工コストが高い最大の要因は、スモールツール研磨加工における除去能率の変動である。スモールツール研磨加工では除去能率の変動が加工精度の悪化に直結するが、工具表面の変化により大きく変動しやすい。そのため所望の精度になるまで補正加工が繰り返し行われ、加工コストを著しく引き上げている。

これに対しこれまでに、除去能率の影響要因である、加工中に工具表面で生じる“摩耗”と“砥粒目づまり”に関して研究を行い、それらを抑制可能な工具を開発してきた。しかし、製造現場において目標とされているレベルの達成には至らず、摩耗や砥粒目づまりの抑制のみでは目標達成は困難であることが明らかになった。

2. 研究の目的

本研究では、除去能率の影響要因として、新たに“工具表面へのレンズ切りくずの付着”に着目することで、スモールツール研磨加工の除去能率を安定化することを目的とした。切りくずの付着には、工具表面の加工液流れが強く影響を及ぼすと考えられることから、工具表面における加工液流れが切りくずの付着に及ぼす影響を検討し、切りくずの付着抑制に有効な工具ユニットを開発することを目指した。

3. 研究の方法

本研究ではまず、一定時間のスモールツール研磨加工を連続して複数回行う実験を行い、除去能率の評価と加工前後の工具表面の観察により、“工具表面へのレンズ切りくずの付着”が除去能率の変動に及ぼす影響を検討した。一連の実験結果から、工具表面へのレンズ切りくずの付着が除去能率の安定性を低下させる要因となっていることが確認されたことから、その付着を抑制する方法、具体的には、工具表面外へのレンズ切りくずの排出を促進する方法を検討した。はじめに、工具表面に構造を付与することを検討し、工具の設計・試作を行った。しかし加工特性を評価したところ、工具表面に付与した構造は、工具表面外へのレンズ切りくずの排出に対してマイナスの影響を及ぼし得ることがわかった。そこで、工具の“動き”によりレンズ切りくずの排出を促進することを考え、工具に振動を付与可能な工具ユニットの開発を行った。

4. 研究成果

合成石英ガラスの平面レンズと、これまでに開発した酸化チタンフィラーを添加した発泡ポリウレタン工具を用いて 10 分間のスモールツール研磨加工を連続して複数回行う実験を行った。その結果、加工回数を重ねて除去能率が安定した後においても、突発的な除去能率の低下が見られることが多く（例えば図 1 の Test3）、それが除去能率の安定性低下の要因となっていることがわかった。そこで、その「加工途中における突発的な除去能率低下」の原因を検討するため、除去能率が突発的に低下した際の加工後の工具表面に対してレーザ顕微鏡による観察を行った。その結果、工具表面に高さ 10 μm 程度の付着物が確認され、EDX 分析の結果、付着物はガラス、すなわちレンズ切りくずであることが確認された。このときの工具の位置を計測したログデータを確認したところ、加工中に工具が 10 μm 程度持ち上げられていたことがわかり、このことから、「加工途中における突発的な除去能率低下」は、工具表面へのレンズ切りくずの付着に起因してレンズ表面と工具表面の間に大きな隙間ができることにより加工が妨げられるために生じていると推測された。

ここで、工具表面へのレンズ切りくずの付着は、レンズ表面と工具表面の間で加工液の流れが滞りやすいために、工具表面外へのレンズ切りくずの排出が不十分であることで生じると考えられる。そこで、レンズ表面と工具表面の間における加工液の流れを促進するため、工具表面に三次元構造を付与することを検討した。しかし、格子状や放射状の溝構造やディンプル構造をもつ工具を試作・評価したところ、いずれの工具を使用した場合も加工途中における突発的な除去

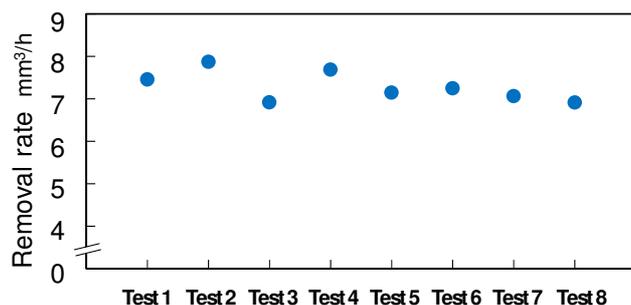


図 1 除去能率の推移

能率低下を防ぐことはできなかった。加工後の工具表面に対してレーザ顕微鏡による観察を行った結果、溝構造の隅部およびディンプル構造の凸部で局所的にレンズ切りくずの付着が確認された。このことから、溝構造の隅部およびディンプル構造の凸部で応力集中が生じ、レンズ切りくずの排出が妨げられたと推測された。ここでこれまでに行った実験において、加工実験開始前に実施するコンディショニングの影響により、工具表面に存在するポア外縁部に多くの「バリ」が生じている場合に、工具表面上のポア周辺で局所的にレンズ切りくずの付着が生じる傾向が確認されている。これは、バリが、工具表面に付与した三次元構造に起因する応力集中と同様に、工具表面外へのレンズ切りくずの排出を妨げる効果をもつためと考えられる。

以上の検討結果より、「加工途中における突発的な除去能率低下」の原因である“工具表面へのレンズ切りくずの付着”を抑制するには、工具表面に、バリや表面構造といった、レンズ切りくずの排出を妨げる作用をもつものを存在させないことが重要であると考えられる。そこで、工具表面外へのレンズ切りくずの排出を促進するために、工具の“動き”を利用すること、具体的には、工具に振動を付与することを考えた。研磨荷重を大きな振幅・高い周波数で周期的に変動させることで、レンズ切りくずの排出が促進されるとともに、バリの除去も促進されると期待される。

実際に、研磨荷重を周期的に変動可能な工具ユニットを試作し、研磨加工実験および工具表面上におけるバリの評価を行った。図2に除去能率の推移を示す。「加工途中における突発的な除去能率低下」が抑制され、研磨荷重を変動させなかった場合（図1）に比べて除去能率の変動を抑制することができた。図3に、研磨荷重を変動させなかった場合と変動させた場合のそれぞれについて、各 Test 前の時点において工具表面上でバリが占める面積の推移を示す。工具表面上でバリが占める面積は、工具表面をレーザ顕微鏡で観察し、工具表面全体の平均高さよりも 15 μm 以上高い領域をバリが生じている領域とみなして評価した。Test1 の前の時点では、研磨荷重を変動させなかった場合（図3(a))と変動させた場合（図3(b))のいずれにおいても、一連の加工の前に行った工具表面のコンディショニングの影響により、工具表面上の大部分がバリで覆われていた。その後、研磨荷重を変動させなかった場合には、Testを重ねてもバリが占める面積は 0.5 mm^2 程度にまでしか減少しなかったが、研磨荷重を変動させた場合には、Test2 が終わった時点で 0.2 mm^2 程度にまで減少していた。研磨荷重の周期的な変動により、工具表面外へのレンズ切りくずの排出を妨げるバリの除去が促進されたと考えられる。以上のように、研磨荷重を周期的に変動可能な工具ユニットにより、工具表面へのレンズ切りくずの付着を抑制し、加工途中における突発的な除去能率低下のない安定した除去能率を得ることができた。

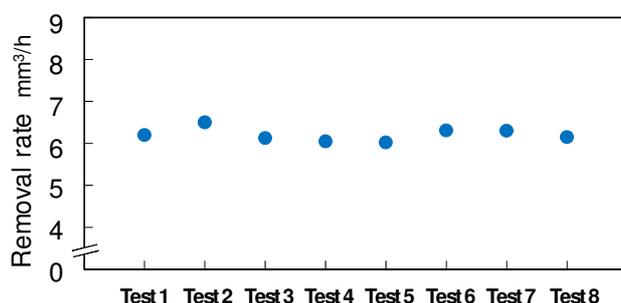
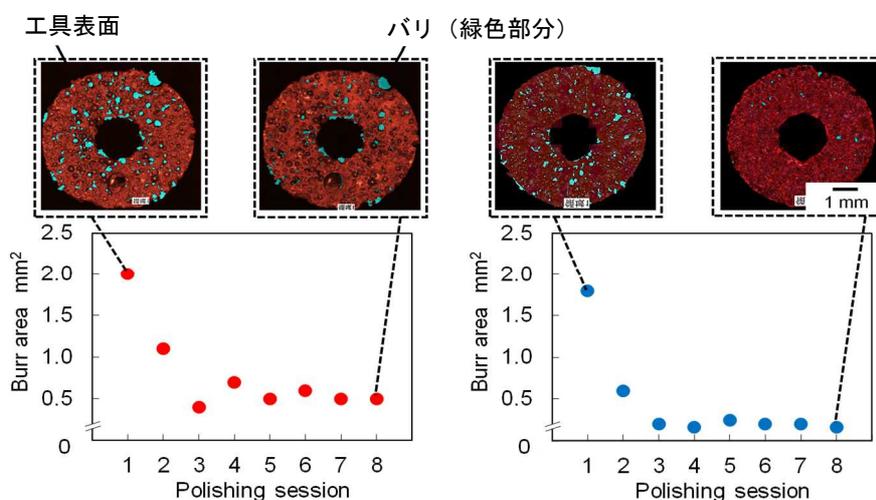


図2 除去能率の推移（開発した工具ユニットを使用した場合）



(a) 研磨荷重を変動させなかった場合 (b) 研磨荷重を変動させた場合

図3 工具表面上でバリが占める面積の推移

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 3件）

| | |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名 Urara Satake, Toshiyuki Enomoto, Teppei Miyagawa, Takuya Ohsumi, Hidenori Nakagawa, Katsuhiro Funabashi | 4. 巻 55 |
| 2. 論文標題 Achieving stable removal rate in polishing with small tools | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Precision Engineering (Journal of the International Societies for Precision Engineering and Nanotechnology) | 6. 最初と最後の頁 248-253 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.precisioneng.2018.09.012 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である） | 国際共著 - |

| | |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名 Urara Satake, Toshiyuki Enomoto, Teppei Miyagawa, Takuya Ohsumi, Hidenori Nakagawa, Katsuhiro Funabashi | 4. 巻 13, 2 |
| 2. 論文標題 Stabilization of Removal Rate in Small Tool Polishing of Glass Lenses | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 International Journal of Automation Technology | 6. 最初と最後の頁 221-229 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20965/ijat.2019.p0221 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である） | 国際共著 - |

| | |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名 Urara Satake, Toshiyuki Enomoto, Teppei Miyagawa, Takuya Ohsumi, Hidenori Nakagawa, Katsuhiro Funabashi | 4. 巻 81 |
| 2. 論文標題 Stabilization of removal rate in small tool polishing of glass lenses | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Procedia CIRP | 6. 最初と最後の頁 210-215 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.procir.2019.03.037 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である） | 国際共著 - |

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件／うち国際学会 1件）

| |
|---|
| 1. 発表者名 Urara SATAKE, Toshiyuki ENOMOTO, Teppei MIYAGAWA, Takuya OHSUMI, Hidenori NAKAGAWA and Katsuhiro FUNABASHI |
| 2. 発表標題 Stabilization of removal rate in small tool polishing of glass lenses |
| 3. 学会等名 52nd CIRP Conference on Manufacturing Systems (CIRP CMS2019) (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 佐竹うらら, 榎本俊之, 宮川鉄平, 大住拓也, 中川英則, 舟橋克紘 |
| 2. 発表標題 スモールツール研磨加工における除去能率の安定性向上 |
| 3. 学会等名 2019年度砥粒加工学会学術講演会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 佐竹うらら, 榎本俊之, 宮川鉄平, 大住拓也, 中川英則, 舟橋克紘 |
| 2. 発表標題 ガラスレンズのスモールツール研磨加工における除去能率の安定性向上 |
| 3. 学会等名 2019年度精密工学会秋季大会学術講演会 |
| 4. 発表年 2019年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

| | 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|--|---------------------------|-----------------------|----|
| | | | |