

令和 4 年 6 月 10 日現在

機関番号：13301

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2021

課題番号：20K14623

研究課題名(和文) 湿式バレル研磨における加工面での砥粒挙動に基づく理論構築

研究課題名(英文) Fundamental research of wet mass finishing focused on abrasive media behavior

研究代表者

橋本 洋平 (Hashimoto, Yohei)

金沢大学・機械工学系・助教

研究者番号：30456686

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：研磨加工は、優れた摩擦摩耗特性や美しい外観などを創成できるため、ものづくりに
おいて重要な加工技術である。本研究では、金型や装飾品といった複雑形状に対する研磨技術として期待される
ジャイロバレル研磨の理論構築に取り組んだ。
本研究では、加工面での研磨メディア(小形砥石)挙動の評価技術を開発した。また、加工面でのメディア挙動
に基づき、湿式条件では研磨メディアの目詰まりを抑制できるため、乾式条件と比べ大幅に研磨特性を向上でき
ることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

バレル研磨は、研磨メディアによる加工物の材料除去の繰り返しにより進展する。このため、本研究成果の一つ
である加工面での研磨メディア挙動の評価技術を活用することで、バレル研磨の理論構築が大きく進展すると考
えられるため、本研究成果は高い学術的意義をもつといえる。
また、理論構築の進展により、優れた特徴をもつバレル研磨の産業利用を妨げる主要因である試行錯誤からの脱
却も期待できる。このため、職人による手磨きの置換えを進めることが可能であるため、本研究成果は高い社会
的意義をもつといえる。

研究成果の概要(英文)：Finishing is an important processing technology in manufacturing because it
can create excellent friction and wear characteristics and a beautiful appearance. In this study, we
have developed a theory of gyro finishing, which is expected to be used as a finishing technology
for complex shapes such as molds and ornaments.
We developed an evaluation technique for the behavior of the abrasive media on the workpiece
surface. Additionally, we clarified that the finishing characteristics under wet conditions
drastically are improved owing to preventing the abrasive media clogging.

研究分野：生産加工

キーワード：バレル研磨 ジャイロフィニッシング ストリームフィニッシング 湿式条件 コンパウンド 研磨挙動

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

多数の遊離砥粒による材料除去により表面粗さを向上する研磨加工は、優れた摩擦摩耗特性や美しい外観などを創成できるため、ものづくりにおいて重要な加工技術である。バレル研磨は、金型や装飾品といった複雑形状に対する職人による手磨きの置換えとして期待される研磨技術である。図1に本研究で対象とするジャイロバレル研磨を示す。研磨メディア（小形砥石）と水・コンパウンド（薬液）を充填したバレル（槽）を回転させ、加工物に沿って砥粒を運動させることで、複雑形状であっても比較的容易かつ短時間で表面粗さ向上できる。しかし、現状では加工条件の検討などには少なくない試行錯誤が必要であり、その活用は十分に進んでいない。

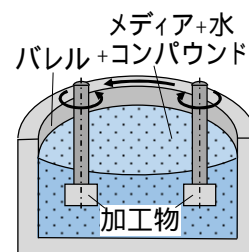


図1 ジャイロバレル研磨
(対象とするバレル研磨)

2. 研究の目的

優れた特徴をもつバレル研磨の産業利用を加速させるために、試行錯誤を必要とするプロセスからの脱却が重要であるといえる。このため、バレル研磨の理論構築は生産工学における重要な課題となっている。研究代表者は、2018年度若手研究(18K13668)で、水とコンパウンドを用いない乾式条件において、加工物-メディア間の接触力に基づくジャイロバレル研磨の理論構築に取り組んでいる。しかし、乾式条件ではメディアの目詰まりや研磨屑の飛散などが問題であり、水とコンパウンドを用いる湿式条件が産業界では一般的である。このため、本研究(2020年度若手研究20K14623)では、湿式条件における理論構築を目指し、加工面でのメディア挙動に基づき、水とコンパウンドが研磨特性に及ぼす役割の解明を目指す。

3. 研究の方法

研磨加工における材料除去量は Preston の経験則として、「加工物-メディア間の接触力」と「加工物上でのメディア速度」の積によって表されることが知られている。また、その比例係数はメディア性状や摩擦係数などに起因するパラメータである。このため、まず加工物-メディア間の相対運動(接触応力とメディア速度)の評価技術を開発する。その後、水とコンパウンドの有無条件において、研磨量と相対運動を評価することで、水とコンパウンドが研磨特性に及ぼす役割を検討する。

4. 研究成果

(1) 加工物-メディア間の相対運動評価技術の開発

接触応力分布の評価手法

バレル研磨における接触力は、加工物全体に加わる力の総和により一般的に評価される。この評価手法では、加工物面内の接触力の偏りを評価できないだけでなく、不均一な条件では接触力を正確に評価できない。この課題を解決するために、圧力計測シートを用いた新しい計測手法を開発した。図2に開発手法を用いた円柱ワークに生じる研磨圧力分布計測の結果を示す。本検討により、バレル中心側よりも壁面側の接触力が大きいこと、加工物上側よりも下側の接触力が大きいことが分かった。この接触力の偏りは、加工物面内で研磨速度が異なるというバレル研磨の一大課題の要因である。このため、開発評価手法を活用し、今後この課題を解決する技術も検討していく予定である。

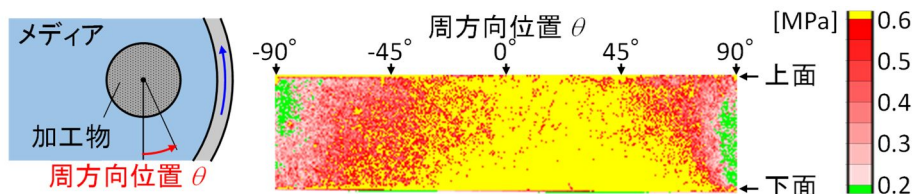


図2 開発した接触応力分布の評価手法

加工面のメディア挙動観察手法

一般的に加工面はメディアで覆われているため、研磨挙動を理解するうえで重要な加工面のメディア挙動を観察することはできない。本研究では、このメディア挙動観察を実現するために、図3に示す透明材料を加工物として用い、後方から無線小型カメラで観察する手法を開発した。図4に円柱ワーク上のワーク挙動の観察結果を示す。図に示すように、ジャイロバレル研磨では研磨メディアは加工物前方では上側に向かって移動することが分かった。これは、先行研究で明らかにした加工物上方のメディア量が接触力に直結することを説明できる結果であり、本開発手法はバレル研磨の理論構築を進展させる重要技術になるといえる。

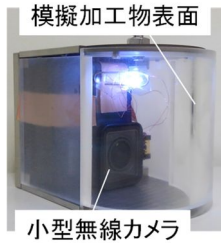


図3 開発した加工面のメディア挙動観察装置

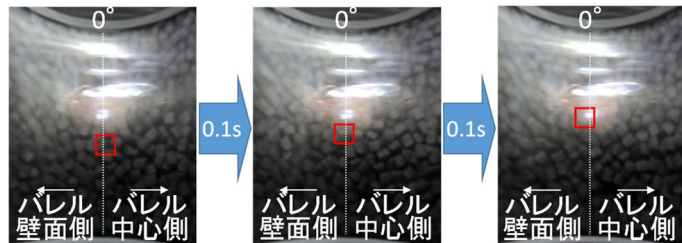


図4 研磨メディア観察結果の一例

(2) 水とコンパウンドが研磨特性に及ぼす役割の検討

最初に「乾式条件」、「湿式条件（水のみ）」、「湿式条件（コンパウンドあり）」の各条件における研磨特性の違いについて記す。なお、本検討では加工物はステンレス鋼 SUS303 の平板、使用メディアは 4 の球形セラミックメディアとする。図5に各条件における研磨量および加工後の表面粗さを示す。図に示すように、乾式条件と比べ湿式条件（水のみ）では、研磨量は3倍程度大きく、加工後の表面粗さは小さい。このため、コンパウンドを供給しなくても湿式条件とすることで、乾式条件から大幅に研磨特性を向上できることを確認した。また、湿式条件（水のみ）と比べ湿式条件（コンパウンドあり）では、研磨量は1割程度大きく、加工後の表面粗さは小さい。このため、コンパウンドも研磨特性を向上させる役割を有していることを確認した。なお、本実験で使用したコンパウンドは防錆作用に主眼においてのものであり、異なる性質のコンパウンドを用いることで研磨特性をより向上できる可能性もある。なお、後述するように、各条件の接触力分布および相対速度には研磨量ほどの違いはなかった。このため、研磨特性の向上は、湿式条件ではメディアへの研磨屑の付着を抑制でき、図6に示すようにメディアの目詰まりを抑制できたことが主要因であるといえる。

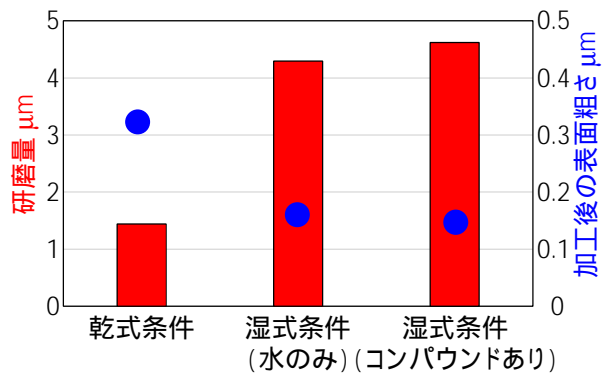
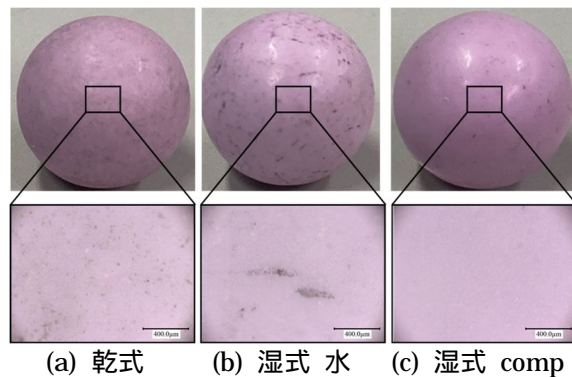
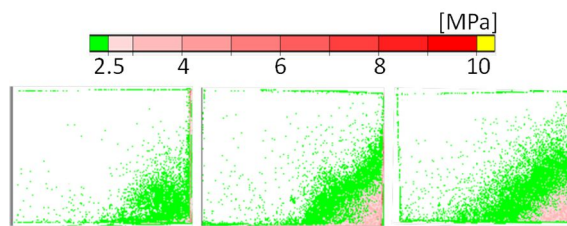


図5 乾式条件と湿式条件の研磨特性



(a) 乾式 (b) 湿式 水 (c) 湿式 comp

図6 加工後の研磨メディア (10のセラミックメディア)



(a) 乾式 (b) 湿式 水 (c) 湿式 comp

図7 乾式条件と湿式条件の接触応力分布

表1 乾式条件と湿式条件のメディア速度

乾式条件	57.1 mm/s
湿式条件（水のみ）	56.5 mm/s
湿式条件（コンパウンドあり）	53.0 mm/s

次に、接触力分布を図7に示す。図に示すように、乾式条件と比べ湿式条件の接触力は僅かに増加する。これはメディア間に液体が浸入することによる液架橋による効果である。しかし、上記のようにその効果はメディアの目詰まり防止効果よりは小さいといえる。また、加工面のメディア挙動観察によって得られたメディア速度を表1に示す。表に示すように乾式条件と湿式条件（水のみ）はほとんど異ならない一方、コンパウンドを供給した湿式条件ではメディア速度が低下する。これは、コンパウンドの化学的特性によるものであると考えられるが、本研究内では特定に至らなかった。

上記検討により、湿式条件では加工物 - メディア間の相対運動は大きく異ならず、メディアの目詰まり抑制効果によって研磨特性(研磨量・表面粗さ)が大きく向上することを明らかにした。また、コンパウンドも加えることで防錆効果だけでなく研磨特性が向上することも確認した。なお、コンパウンドは緩衝効果や潤滑効果も有するとされており、各効果の研磨特性への影響については今後も引き続き検討していく予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Hashimoto Yohei, Ito Takuma, Nakayama Yugo, Furumoto Tatsuaki, Hosokawa Akira	4. 巻 67
2. 論文標題 Fundamental investigation of gyro finishing experimental investigation of contact force between cylindrical workpiece and abrasive media under dry condition	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Precision Engineering	6. 最初と最後の頁 123 ~ 136
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.precisioneng.2020.09.009	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 Furumoto Tatsuaki, Hashimoto Yohei, Ogi Hisashi, Kawabe Tomoya, Yamaguchi Mitsugu, Koyano Tomohiro, Hosokawa Akira	4. 巻 289
2. 論文標題 CO2 laser cleavage of chemically strengthened glass	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Materials Processing Technology	6. 最初と最後の頁 116961 ~ 116961
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmatprotec.2020.116961	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shimanuki Koji, Hosokawa Akira, Koyano Tomohiro, Furumoto Tatsuaki, Hashimoto Yohei	4. 巻 66
2. 論文標題 Studies on high-efficiency and high-precision orthogonal turn-milling-The effects of relative cutting speed and tool axis offset on tool flank temperature	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Precision Engineering	6. 最初と最後の頁 180 ~ 187
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.precisioneng.2020.06.013	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 Yugo Nakayama, Yohei Hashimoto, Takuma Ito, Tatsuaki Furumoto, Tomohiro Koyano, Akira Hosokawa
2. 発表標題 Improvement of Processing Time by Utilizing Cover Plate in Gyro Barrel Finishing
3. 学会等名 18th International Conference on Precision Engineering
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ryo Ozaki, Yohei Hashimoto, Hinako Hashimoto, Tatsuaki Furumoto, Tomohiro Koyano, Akira Hosokawa
2. 発表標題 Experimental Investigation of Torques Acting on Upper and Lower Platens in Double-sided Lapping
3. 学会等名 18th International Conference on Precision Engineering
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中山 友吾, 橋本 洋平, 古本 達明, 山口 貢, 阿部 諭, 小谷野 智広, 細川 晃
2. 発表標題 ジャイロパレル研磨における拘束板による性能向上効果の調査
3. 学会等名 2020年度精密工学会北陸信越支部学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 尾崎 稜, 橋本 洋平, 古本 達明, 山口 貢, 阿部 諭, 小谷野 智広, 細川 晃
2. 発表標題 両面研磨における定盤トルク測定手法の開発
3. 学会等名 2020年度精密工学会北陸信越支部学術講演会
4. 発表年 2020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
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------