

令和 2 年 5 月 25 日現在

機関番号：16101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K11783

研究課題名（和文）補綴歯科用研磨バーの折損を防止する切りくず自己洗浄型工具の開発

研究課題名（英文）Development of chip self-cleaning tool for prevent tool failure of prosthetic dental polishing bar

研究代表者

溝渕 啓 (MIZOBUCHI, Akira)

徳島大学・大学院社会産業理工学研究部（理工学域）・講師

研究者番号：70314838

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）：本研究では、電気泳動現象を利用して補綴歯科用の円柱形状の研磨工具を簡便に作製した。この工具は酸化チタンの光触媒反応を利用している。加工中の切り屑が自己洗浄効果で工具への付着を抑制される。工具を構成する含有物の配合と電気泳動条件を調べるために、試行錯誤の実験を行った。作製した研磨バーで本焼結体のジルコニア板を研磨し、研磨性能を調査した。切り屑の付着は抑制され、工作物の表面粗さは小さくなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、補綴歯科用材料への加工を対象とし、長工具寿命の新規工具の開発を目的とする。歯科分野における歯科治療は高度化し、材料には高付加価値材料が用いられている。これらの材料への加工は難しく、加工コスト、加工精度および加工能率は低いままと察する。また、高齢者の増加、新興国の所得向上が進むなか、ヘルスケア意識の高まりを考えれば、この分野の今後の市場拡大は確実である。本研究の成果は、国内外の関連分野の研究に貴重な資料になると考える。

研究成果の概要（英文）：In this research, a cylindrical polishing tool for prosthetic dentistry was easily manufactured by an electrophoretic phenomenon. The tool utilizes the photocatalytic reaction of titanium oxide. Chip during machining are prevented from adhering to the tool by the self-cleaning effect. Trial-and-error experiments were conducted to examine the ingredient composition of the tool and the electrophoresis conditions. The produced tool polished the zirconia plate of sintered body and investigated the polishing performance. In results, the adhesion of chip was suppressed, and the surface roughness of the workpiece was reduced.

研究分野：機械加工学（切削加工，研削・研磨加工）

キーワード：切りくず 自己洗浄 酸化チタン 光触媒反応 電気泳動現象 歯科用材料 表面粗さ

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

補綴歯科用工具(研磨バー)は小径で工具折損を生じやすい。小径で細長い形状が折損原因の一つではあるが、材料に対する加工条件の設定が合っていないことや加工領域が材料で囲まれた閉じた空間内であれば、切り屑の排出が行われにくく、切り屑が加工領域近傍に残留しやすいことなども挙げられる。また、行き場を失った切り屑の堆積によって、切り屑の付着した工具の切れ味は損なわれ、この状況が持続すれば、工具は折損し、工作物も損壊する。さらに、加工抵抗の増大や加工熱の上昇などを招き、加工精度も劣る。切り屑の未排出によって生ずる課題は、切り屑の残留・堆積を防ぎ、工具表面へ付着しやすい雰囲気を回避すれば防止できるといえる。工業分野における機械加工時の切り屑の処理は超音波装置や工具の動作等で行われているが、歯科分野における加工空間の小さい歯科用加工機への活用には適用が難しく、簡便な方法が必要となる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、加工領域近傍から切り屑を効率よく排出する方法や工具への切り屑の付着を阻止する方法、すなわち、工具折損を回避する方法を見出すため、自己洗浄型工具の新規開発を行うとともに、新規研磨バーの研磨加工のデータ収集を行うことである。

本研究では、補綴歯科用工具(砥石)の簡易的な作製方法と切り屑の付着を阻止する新しい試みとして、

- (1) 電気泳動現象を利用した簡易的な砥石の作製方法の考案
- (2) 砥粒を接着する結合剤の調査
- (3) 上記2つの項目に関する諸条件の検討
- (4) 酸化チタンの光触媒反応を利用した防汚効果と切り屑の非付着機能の検討
- (5) 作製した砥石の研磨性能の調査を行った。

3. 研究の方法

(1) 基本的な砥石の作製方法

図1は電気泳動現象を利用した砥石作製装置の概略図を示す。研磨バーの砥石を作製する際に使用した混合液の構成は、蒸留水(35.7wt%)、砥粒としてダイヤモンドスラリー(多結晶、粒径 $0.25\mu\text{m}$, 35.7wt%)、結合剤としてアルギン酸ナトリウム(1.8wt%)である。コロイダルシリカ(結晶質、粒径 $0.03\mu\text{m}$, 26.8wt%)は砥石の成長を促進するために添加した。ビーカーに混合液を作製し、この液体に銅製の丸棒と超硬合金製の丸棒が約10mm浸かるように設置した。直流安定化電源の陰極および陽極にそれぞれ銅製の丸棒および超硬合金製の丸棒を接続した。10Vの電圧を20分間通電させ、混合液内で電気泳動現象が生じ、陽極に砥石は堆積する。研磨バー作製中の室温は約 25°C 、混合液の水温は約 25°C になるように加熱ヒーターを用いて温度制御を行った。20分間の通電後、砥石を乾燥するため、液中から取出し、室温約 25°C の室内で24時間以上かけて自然乾燥を行った。乾燥後、砥石の円筒面を整えた(ツルイーグを行った)。

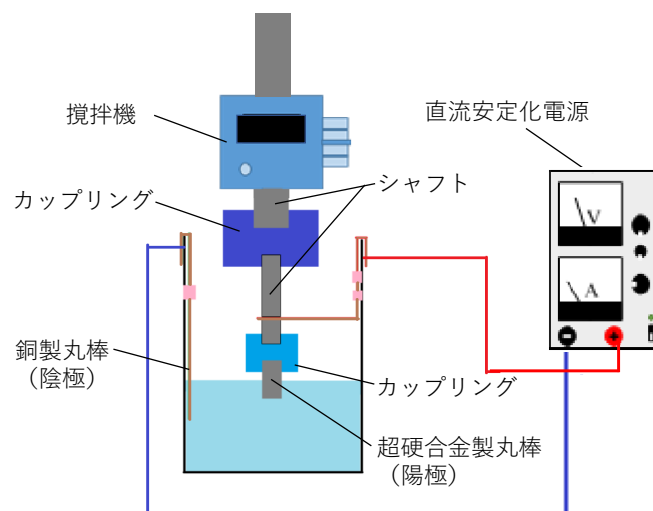


図1 砥石作製装置

(2) 研磨性能の調査方法(酸化チタンを含有しない砥石)

工作物のジルコニア板は本焼結されているものを使用した。仮焼結体の加工は本焼結体に比べ容易であるが、再焼結時に材料が収縮するため、収縮率を考慮しなければならない。しかし、本実験では本焼結体の加工を目指しており、収縮率は考えなくてよい。ジルコニア板の研磨部分は、砥石での研磨加工実験前にダイヤモンドペーパーを用いて、板の端面部の表面粗さを整えた。ジルコニア板の加工前および加工後の表面粗さはレーザ顕微鏡を用いて計測した。工作機械は卓上フライス盤を用いた。研磨加工の条件は研削速度を約 $36\text{m}/\text{min}$ (主軸回転数 1200rpm)、工具送り速度を $200\text{mm}/\text{min}$ 、半径方向切込み量を $0.05\text{mm}/\text{path}$ および加工パス数を10回とした。

(3) 研磨性能の調査方法(酸化チタンを含有する砥石)

砥石作製方法は前述の(1)と同様である。同じ配合の混合液に酸化チタン($0.6\text{wt}\%$)を加えて電気泳動により砥石を作製し、自然乾燥を行った。研磨実験では、研磨加工前にブラックライトを用い、波長 256nm の紫外線を砥石に1.5時間照射し、研磨加工中も照射を続けた。研磨条件は前述の(2)と同じである。研磨加工後、砥石の表面はマイクロシリンジを用いて少量の水道水で

洗い流した。

4. 研究成果

(1) コロイダルシリカの濃度と砥石の直径

図2は混合液中のコロイダルシリカの濃度を変えて、砥石の成長率（直径の変化）を調べた結果を示す。条件aにおいては、砥石は白色で直径10mm以上に成長した。一方、条件eにおいては、砥石は成長せず、少量のダイヤモンドが堆積しただけであった。この結果より、砥石の成長にコロイダルシリカは欠かせないことがわかった。

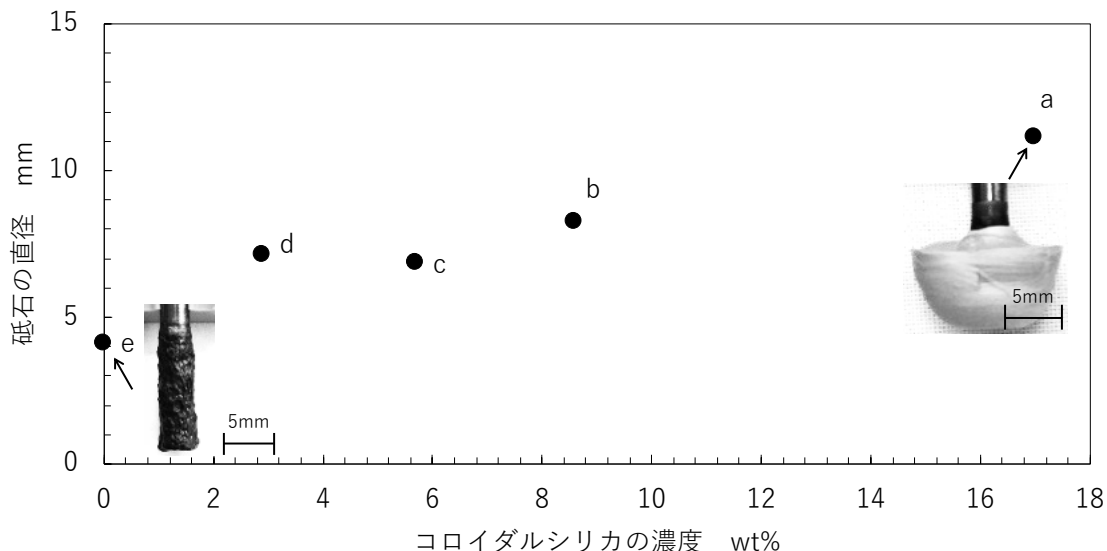


図2 コロイダルシリカの濃度と砥石直径の関係

(2) 結合剤の選定

結合剤のアルギン酸ナトリウムは、天然海藻から抽出・精製され、食品の増粘剤、ゲル化剤および安定剤として利用されている添加物である。水に触れるとダマを作りやすく、溶解すると高い粘性を帯び、注意深く溶かさなければならない。アルギン酸ナトリウムの粘度を非常に小さくして作製した場合、砥石は乾燥中に割れ、形状を成さなかった。1.8wt%のアルギン酸ナトリウム単体の粘度は約150mPa·sであり、混合液の粘度(229mPa·s)の約65.5%を占め、非常に粘いが、乾燥後に形状は崩れなかった。本研究でのアルギン酸ナトリウムの濃度は1.8wt%を採用した。

(3) 砥石作製時の主軸回転数の影響

主軸の回転が研磨バーの作製時に与える影響を調査するため、主軸回転数を50rpmおよび0rpmで研磨バーの作製を行った。砥石A1は攪拌機で主軸を50rpmで回転させ、一方、砥石A2は回転させずに0rpmで作製した。

図3(a)および(b)はそれぞれ自然乾燥後のA1およびA2で作製した砥石の外観を示す。それぞれの直径はほぼ同じで、約11mmであった。全体的に両方の砥石とも形状はいびつであった。A1の円筒面に最大1.2mmの凹凸が生じた。一方、A2の円筒面の凹凸は最大0.7mmであった。砥石円筒面の凹凸はA1で深かった。粘度の高い混合液が気泡を巻き込んで、超硬合金製の丸棒に巻付くように堆積したと考えられる。

A2の円筒面の凹凸は小さいが、砥石の成長に偏りが生じた。図3(b)において、シャフトの左側が右側に比べ、若干大きくなっていった。陽極が無回転の場合、陰極に近い左側と遠い右側で陽極と陰極間の電位差の大きさに違いが生じ、シャフトの左側に砥粒や結合剤が多く引きつけられたと考えられる。

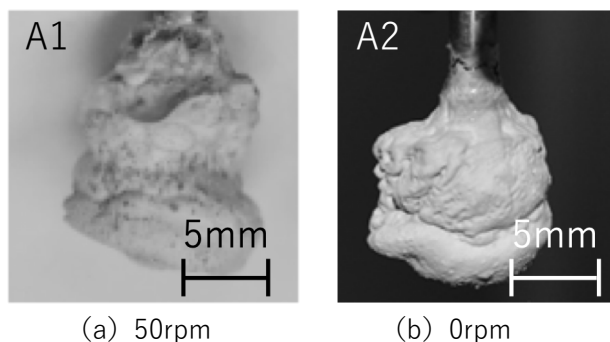
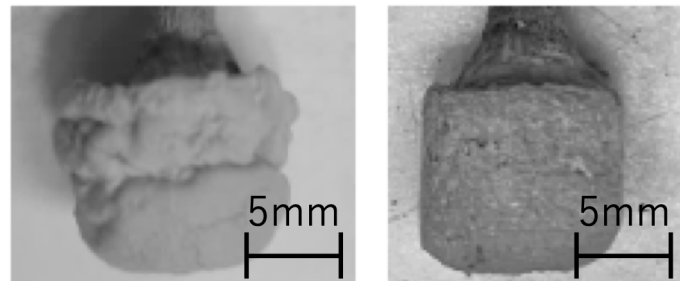


図3 棒電極で作製した砥石

(4) 砥石作製時の陰極電極の形状による影響

陽極と陰極間の電位差を等しくするために、陰極の形状を棒形状から円形状に変更して実験を行なった。円形状の電極は、直径2mmの銅製ワイヤーを直径70mmのビーカーに巻付けて円形状に成形した。砥石作製装置の設定は主軸回転数のみを0rpmと変更し、混合液の配合は変えていない。図4(a)は自然乾燥後の砥石(A3)の外観を示す。A3の円筒面の凹凸は最大0.7mmとなり、円筒面の成長の偏りはほとんど見られなかった。円形状電極で作製した砥石の形状は、今回作製した砥石の中で最も円柱に近かった。図4(b)は乾燥後にツルーイングを行って、砥石の円筒面を整えたものを示す。



(a) ツルーイング前 (b) ツルーイング後

図4 円形電極で作製した砥石(A3)

(5) 酸化チタンを含有しない砥石の研磨実験

図5は、酸化チタンを含有した砥石の光触媒反応の発現を調べるために、砥石の欠片をメチレンブルー水溶液に入れ、紫外線照射した時間と光透過率の関係を示す。時間の経過に伴い、光透過率の値は大きくなった。メチレンブルー水溶液は青色から透明に変化していた。

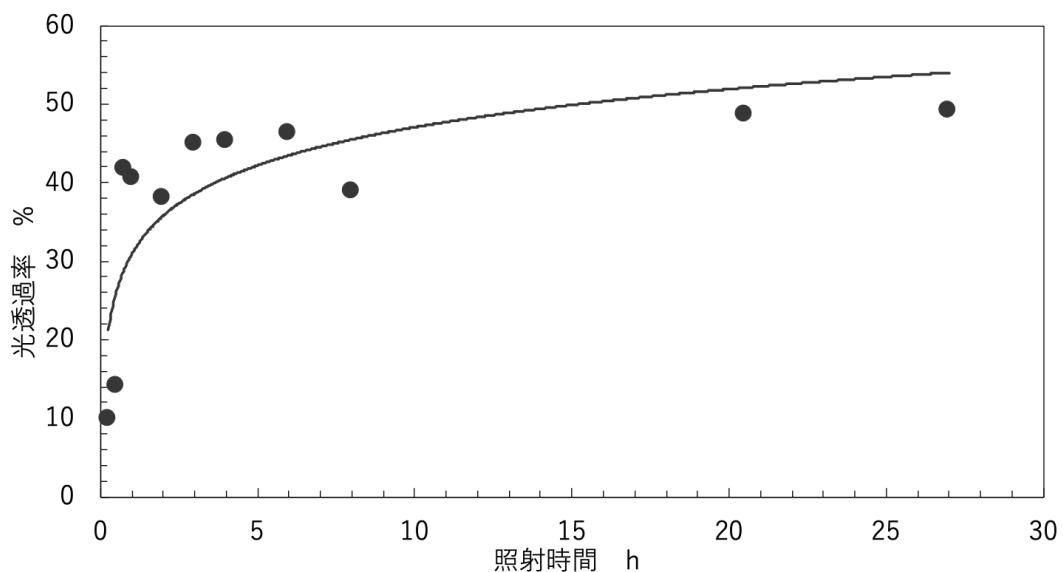
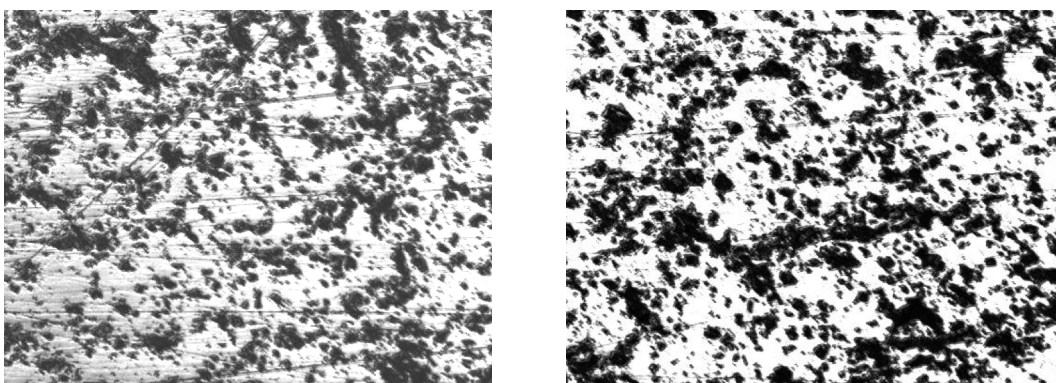


図5 酸化チタンの光触媒反応による光透過率の変化



(a) 研磨前

(b) 研磨後

図6 研磨前後のジルコニア板の表面の様子

図 6 は研磨前後のジルコニア板の表面をレーザー顕微鏡で観察した様子を示す。研磨前の表面には横方向の筋目模様が見られるが、研磨後の表面に筋目模様はほとんど見られない。ジルコニア板の研磨加工前の算術平均粗さは $0.730\mu\text{m}$ 、研磨加工後の算術平均粗さは $0.521\mu\text{m}$ であった。研磨加工前に比べ、研磨加工後の表面粗さは小さくなった。また、研磨加工時の加工抵抗を測定したところ、数 N の僅かな変動が見られた。作製した砥石で研磨が行われていたといえる。研磨加工後の A3 の円筒面には淡褐色の切りくずが工具表面に付着していた。水道水による洗浄を行なったが、切りくずは除去できなかった。そこで、A3 作製時に用いた混合液に酸化チタンを添加し、同様の方法で砥石 A4 を作製した。A4 での研磨は、酸化チタンへの紫外線照射により発現する親水化作用を利用した切りくずの洗浄を試みた。

(6) 酸化チタン含有砥石の研磨実験

図 7(a) および (b) は洗浄前後の砥石の外観を示す。洗浄に用いた水道水の量は極少量である。洗浄前の工具表面には淡褐色の切りくずが多量に付着しているが、洗浄後の工具表面に切りくずはほとんど見られなかった。洗浄前後の両者の工具表面のそれぞれに見られる白色の大小の集合体は、酸化チタンの凝集体である。

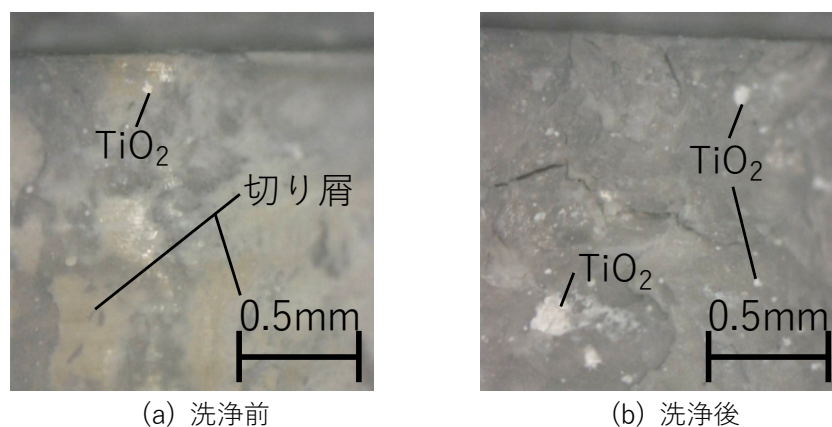


図 7 洗浄前後の砥石表面の様子

本研究の知見をまとめると、

- ①電気泳動現象を利用した研磨バーの作製は可能である。
- ②電気泳動現象による砥石作製工程において、主軸回転数 0rpm で作製した研磨バーは、50rpm で作製した研磨バーと比べて研磨バー円筒面の凹凸が小さくなった。
- ③電気泳動装置の陰極に棒状の電極を用い、0rpm で研磨バー製作をすると、陽極電極付近で電位差の不均一状態が生じ、作製される研磨バーの成長に偏りが生じた。
- ④作製した研磨バーでのジルコニア板の研磨は可能であった。表面粗さは小さくなったが、切りくず付着が生じた。
- ⑤酸化チタン含有の研磨バーにおいて、表面粗さは小さく、切りくずは酸化チタンの親水化作用により水で洗い流せた。切り屑の自己洗浄が可能であった。

以上、本研究で得られた結果の一部を示した。これからの社会情勢を見れば、ますます高齢者が増加するなか、歯科分野における歯科治療は高度化すると予想される。補綴歯科材料には高付加価値材料が用いられるが、これらの材料への加工は難しく、加工コスト、加工精度および加工能率は低いままであり、新規工具の開発は急務を要すると考える。本研究の成果は、補綴理工学の研磨加工に関して、新たな可能性を示唆する。また、当該分野において簡易的な砥石開発の報告例は少ないため、国内外を問わずに貴重な資料となると考えられる。本手法での砥石の作製方法が確立できれば、大変有用なものになる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 溝渕 啓, 石田 徹, 高田太一
2. 発表標題 切りくず付着低減研磨バーの試作
3. 学会等名 平成30年度日本設計工学会四国支部研究発表講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 稲坂 竜二, 溝渕 啓, 石田 徹
2. 発表標題 電気泳動現象を用いた補綴歯科用研磨バーの開発
3. 学会等名 日本機械学会中国四国支部（第56期総会・講演会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 溝渕 啓, 石田 徹, 山本 悟史
2. 発表標題 電気泳動現象を用いた補綴歯科用研磨バー作製時の諸条件の影響
3. 学会等名 日本設計工学会四国支部 2019 年度研究発表講演会
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
---------------------------	-----------------------	----