

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 4月18日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2011

課題番号：20560108

研究課題名（和文） 精密研磨用ゼラチン砥石の開発

研究課題名（英文） Development of Gelatin Whetstone for Fine Polishing

研究代表者

坂本 智（SAKAMOTO SATOSHI）

横浜国立大学・教育人間科学部・准教授

研究者番号：90294339

研究成果の概要（和文）：固定砥粒と遊離砥粒の中間に位置する精密研磨用ゼラチン砥石の開発を行った。開発したゼラチン砥石は、快削黄銅、純アルミニウム、Fe-Al 系金属間化合物、硼珪酸ガラス、各種セラミックス等の様々な被削材を精密研磨するのに有効である。また、ゼラチン砥石による凸面ガラスの研磨では、形状精度を維持しつつも研磨面粗さは向上可能である。さらに、使用済みゼラチン砥石を 600-650℃程度に加熱することで、砥粒は回収可能である。

研究成果の概要（英文）：The gelatin whetstone for precision processing to be located midway of fixed abrasives and loose abrasives was developed. The developed gelatin whetstone is effective to polish various work materials such as free-cutting brass, pure aluminum, Fe-Al intermetallic compounds, borosilicate glass and ceramics precisely. Additionally, the polishing of a convex surface glass with a gelatin whetstone can improve its surface roughness while maintaining profile accuracy. Moreover, the abrasive grains can be recovered by incinerating a used gelatin stone at 600-650 degrees Celsius.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2009年度	800,000	240,000	1,040,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・生産工学・加工学

キーワード：精密研磨，ゼラチン，弾性砥石，環境対応

1. 研究開始当初の背景

近年の電子・光学機器には、高精細画像を得るために非球面レンズを搭載するケースが多くなってきている。非球面レンズでは収差を生じないため、これまで複数枚の球面レンズを使用していたところを1枚の非球面レンズに置き換えることが可能となる。そのため、製品の小型・軽量化が可能となる。しかし、非球面レンズはその形状が複雑なため研

磨加工が難しく、多くの非球面レンズはガラスモールド等により製造（未研磨）される場合が多い。一部の高級非球面レンズのみ、精度向上のため研磨加工が施されているのが現状である。また、非球面レンズの研磨加工では、レンズ形状が複雑なことに加えて、レンズの仕様（寸法・形状等）が変わる度に研磨工具の設計変更や再設計の必要が生じる。そのため、非球面形状の創成が容易な形状造

形性に富む研磨工具の開発が望まれている。電子部品用シリコンウェハ等も高集積化を進めるため、超精密研磨加工が施されており、様々な製造分野で画期的な精密研磨用工具の出現が期待されている。

2. 研究の目的

本研究では、ゼラチン等を結合剤とした精密研磨用弾性砥石の開発および加工性能の解明を試みる。ゼラチンは濃度、冷却方法・時間および添加物などで容易に硬度や融点をコントロールすることが可能である。そのため、多様性に富む弾性砥石の作製が期待できる。本研究で提案する砥石は、被削材と砥石の界面に発生する摩擦熱および加工時の圧力によって砥石表面の結合剤が極少量ずつ溶解し、スラリー状となり、精密研磨を可能とする全く新しいタイプの砥石である。本研究では、砥石の組成および加工条件について詳細な実験を行い、提案する砥石の加工性能を明らかにする。また、リサイクル性についても検討する。

3. 研究の方法

これまで行ってきた予備実験の結果より、ゼラチンのみで砥石を作製した場合、室温で軟化が始まることが明らかとなっている。そこで本研究では、ゼラチンにいくつかの添加剤を加えてゼラチン砥石の開発を試みた。具体的には、砥石の感温性を低下させるため、比較的融点の高い寒天やカラギーナンを添加した砥石の作製を行った。いずれも食用として使用される材料であり、人体にも悪影響をおよぼさない。また、ゼラチン濃度、寒天およびカラギーナン等の添加量を変化させ、精密研磨に適したゼラチン砥石の組成を明らかにした。各種ゼラチン砥石を製作することで、適する加熱方法、冷却方法等の砥石作製方法を確立した。砥粒径、砥粒集中度（砥粒濃度）を変化させたゼラチン砥石も作製し、研磨性能におよぼす砥粒の影響について検討した。さらに、加工圧、砥石回転速度（もしくは、被削材回転速度）等の最適加工条件についても明らかにした。環境対応の観点から、スラリー化したゼラチン砥石（使用済み）から砥粒のみを分離し、再利用する方法についても検討を行った。

4. 研究成果

(1) ゼラチン砥石の試作と基礎的な性能

ゼラチン砥石の表面近傍には、攪拌時に気泡を生じやすく、研磨性能に大きな影響を与えることが懸念されたが、加工最初期に気泡層は剥離するため、研磨性能に顕著な影響は与えないことが明らかとなった。また、図1に示すように、試作したゼラチン砥石で各種材料を研磨可能であることが明らかとなっ

た。

図2は研磨時間が研磨面粗さにおよぼす影響の一例を示す。研磨時間の経過とともに、研磨面粗さは向上することがわかる。また、相対速度と研磨面粗さとの関係を図3に示す。図より、相対速度が速いほど、研磨面粗さは向上する傾向にあることがわかる。

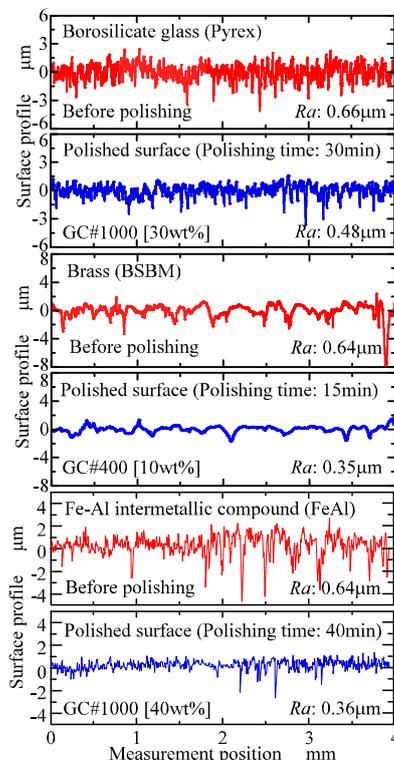


図1 加工前後の表面プロファイル

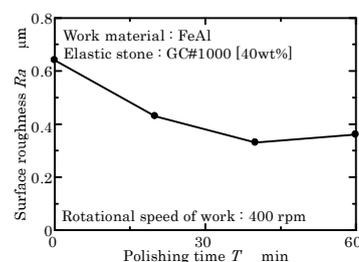


図2 研磨時間の影響

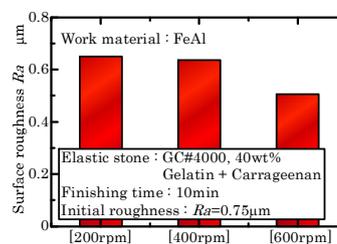


図3 被削材回転速度（相対速度）の影響

(2) 凸面ガラスの研磨実験

非球面レンズの研磨を想定して、凸面ガラスを被削材として研磨実験を行った。図4に

使用砥粒の影響を示す。被削材の初期粗さ (10nmRa) が良好であったため、#1000 (平均粒径 11.5 μ m) を用いた加工では、逆に研磨面粗さが劣化する結果となった。

図5に研磨前後の形状変化を示す。図より、研磨前後で形状精度に顕著な変化がないことがわかる。しかし、相対速度を速くすると、研磨効率は向上するものの、被削材周辺部で形状精度の低下が確認された。

図6に研磨後の凸面ガラスの外観を示す。研磨後も磨りガラス状にはなっておらず、ゼラチン砥石はレンズ研磨用としても十分可能性があることが確認された。

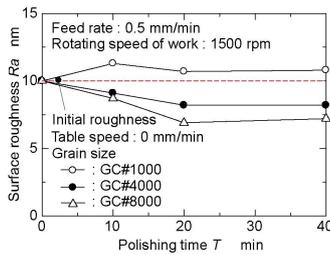


図4 使用砥粒の影響

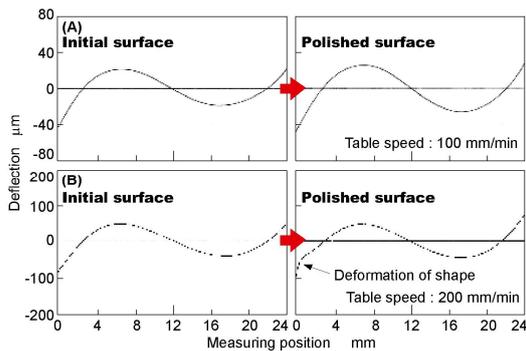


図5 研磨前後の形状プロファイル

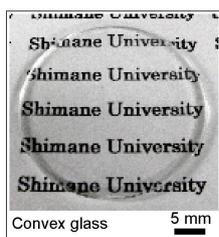


図6 研磨後の凸面ガラス

(3) 軟質軽金属材料の研磨

これまで得られた知見を活かし、ゼラチン砥石のゼラチン濃度を高めたグミ砥石を作製し、研磨実験を行った。被削材には反射性が高く、真空特性に優れるため、工業製品だけではなく、医療機器や半導体機器にも多用される純アルミニウム (A1050) を用いた。

図7にグミ砥石に適するゼラチン濃度を調べた結果を示す。低濃度では研磨効率が悪いが、過度に高濃度になると表面にスクラッ

チを残し、研磨面粗さが劣化することがわかった。また図8に研磨前後の被削材表面を示す。図からもわかるように、グミ砥石で研磨することで研磨面粗さは向上するものの、鏡面を得るには至らなかった。これは砥粒の転動により、研磨面が梨地状となったためと推測される。

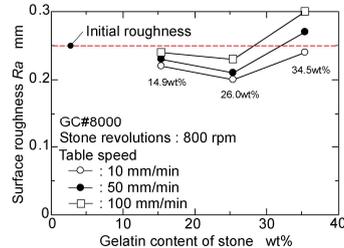


図7 ゼラチン濃度の影響 (グミ砥石)

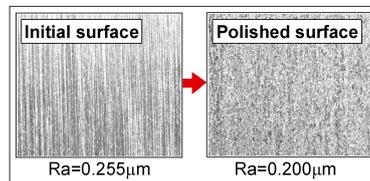


図8 研磨後の純アルミ板

(4) 使用済みゼラチン砥石から砥粒の回収

使用済みゼラチン砥石から、砥粒のみを回収するため、焼却実験を行った。図9にゼラチン砥石の示差熱 - 熱重量同時測定 (DTA - TG) の結果を示す。図より、領域Aでは、DTA, TG 共に大きく減少する傾向にあることがわかる。また、TGの減少が35%付近から緩やかになったことから、領域Aではゼラチン砥石に含まれる水分がほとんど蒸発したものと考えられる。領域Bでは、DTAはほぼ一定だが、TGは減少する傾向にあることがわかる。これは、ゼラチンの主成分であるアミノ酸の融点が約200~230 $^{\circ}$ Cであることより、領域Bの温度間では各アミノ酸の熱分解が進行しているものと考えられる。領域Cでは、DTAは増加、TGは減少する傾向にあることがわかる。各アミノ酸の熱分解後の残留物が、温度上昇により気化したことが要因の一つではないかと考えられる。領域Dでは、

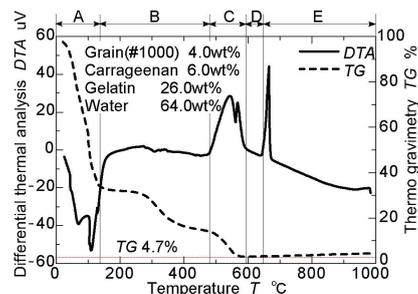


図9 焼却実験結果

DTA, TG 共にほとんど一定であることがわかる。これは、ゼラチン砥石から、砥粒以外の成分が焼失したためだと考えられる。また領域Eでは、TGはほぼ一定だが、DTAは急激に増加し、その後減少する傾向にあることがわかる。GC砥粒の主成分であるSiCは粒状の場合、700℃以上で酸化が始まり、その酸化物(SiO₂)がSiCの表面を覆い、酸化が抑制されることが知られている。すなわち、領域Eでみられる急激なDTAの増加時にはSiO₂が発生し、酸化が抑制され、DTAの変化が緩やかになったことが推測される。これらの結果より、領域Dの温度域(600~650℃)で焼却を行うことにより、砥粒のみを回収できる可能性があることが明らかとなった。

これらの知見から、新しい精密研磨用弾性砥石としてのゼラチン砥石の可能性が明らかとなった。継続的な研究により、新しい展開が期待でき、今後も検討を進めていきたい。

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3件)

- ① Mitsugu YAMAGUCHI, Satoshi SAKAMOTO, Yasuo KONDO, Hiroshi USUKI, Kenji YAMAGUCHI : Fundamental Performance of a Gelatin-Based Stone for Fine Polishing, Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, Vol. 5, No. 4 (2011) 395-402, 査読有り http://www.jstage.jst.go.jp/article/jamdsm/5/4/395/_pdf/-char/ja/
- ② 坂本 智, 近藤康雄, 臼杵 年, 山口顕司, 勝田広基, 安東弘樹: ゼラチン砥石の基礎的な研磨性能—Fe-Al系金属間化合物の研磨面粗さ—, 先端加工, 28, 1(2010)73-78, 査読有り
- ③ Satoshi Sakamoto, Hiroshi Usuki, Yasuo Kondo, Kenji Yamaguchi, Hiroki Katta and Hiroki Ando : Study on Precision Polishing Using Gelatin Stone, Key Engineering Materials, 407-408, (2009) 53-56, 査読有り <http://www.scientific.net/KEM.407-408.49>

[学会発表] (計8件)

- ① Mitsugu YAMAGUCHI, Satoshi SAKAMOTO, Yasuo KONDO, Hiroshi USUKI, Kenji YAMAGUCHI : Fundamental Performance of Gelatin Based Stone for Fine Polishing, The 4th KSME-JSME Joint International

Conference on Manufacturing, Machine Design and Tribology (ICMDT2011), (2011年4月25日) Gamagori (Japan)

- ② Satoshi SAKAMOTO, Hiroshi USUKI, Yasuo KONDO, Kenji YAMAGUCHI, Hiroki KATTA and Hiroki ANDO : Study on Precision Polishing Using Gelatin Stone, The 9th International Conference on Progress of Machining Technology (ICPMT2009), (2009年4月27日) Kunming (China) (雑誌論文③と同内容)
- ③ 山口 貢, 坂本 智, 臼杵 年, 近藤康雄, 山口顕司: ゼラチン砥石の研磨性能および再生に関する基礎的研究, 2011年度精密工学会春季大会学術講演会, (2011年3月15日(震災により講演会自体は開催中止, 講演論文集CD-ROMのみ配布)) 東洋大学
- ④ 山口 貢, 坂本 智, 臼杵 年, 近藤康雄, 山口顕司, 多尾田有宇: 精密研磨用ゼラチン砥石の基礎的な研磨性能, 2010年度精密工学会中四国支部徳島地方学術講演会, (2010年11月12日) 徳島大学
- ⑤ 山口 貢, 坂本 智, 臼杵 年, 近藤康雄, 山口顕司, 多尾田有宇: 精密研磨用ゼラチン砥石の開発—凸面ガラスおよび純アルミニウムの精密研磨—, 日本産業技術教育学会第53回全国大会, (2010年8月29日) 岐阜大学
- ⑥ 安東弘樹, 坂本 智, 臼杵 年, 近藤康雄, 山口顕司, 勝田広基: ゼラチン砥石の基礎的な研磨性能—FeAl系金属間化合物の研磨加工—, 2009年度砥粒加工学会学術講演会 (ABTE2009), (2009年9月4日) ものづくり大学
- ⑦ 勝田広基, 安東弘樹, 坂本 智, 近藤康雄, 臼杵 年, 山口顕司: ゼラチン砥石の試作とその基礎的な研磨特性, 2008年度精密工学会秋季大会学術講演会, (2008年9月17日) 東北大学
- ⑧ 勝田広基, 坂本 智, 臼杵 年, 近藤康雄, 山口顕司: 弾性砥石によるFe-Al系金属間化合物の基礎的な研磨特性, 日本機械学会2008年度年次大会, (2008年8月4日) 横浜国立大学

[その他]

- ① ポスター展示「溶ける砥石」, 難加工技術展2008, (2008年5月14~17日) ポートメッセなごや

6. 研究組織

(1) 研究代表者

坂本 智 (SAKAMOTO SATOSHI)
横浜国立大学・教育人間科学部・准教授,
研究者番号: 90294339

(2) 研究分担者 なし

(3) 連携研究者 なし