

バイオセラミックスの精密研削における材料除去機構に関する研究

藤本正和¹, 呉勇波²¹ 元 秋田県立大学システム科学技術学部機械知能システム学科 (～2015.3) 現 青山学院大学理工学部機械創造工学科² 秋田県立大学システム科学技術学部機械知能システム学科

本研究は、生体適合性に優れた、いわゆるバイオセラミックスの精密研削に関する基礎的な加工機構を明らかにするものである。近年、社会の少子高齢化に伴い、高齢者に対して半永久的に使用可能な人工関節の開発による生活的自立、あるいは生産年齢の延長による経済的自立による「健康寿命の延伸」「高齢者の自立」が必要不可欠である。これらの促進のため、耐摩耗性や耐食性だけでなく、生体適合性にも優れたバイオセラミックスがよく使用されはじめているが、形状および表面品質に高い精度が要求されるだけでなく、硬脆材料であるため加工能率と加工精度の両立について課題を残している。本報では、一般に加工能率と加工精度を両立できる加工法として研削加工に着目し、そのバイオセラミックスに対する加工特性を検討した。特に、研削過程におけるダイヤモンド砥石の摩耗が研削抵抗等の研削特性値に及ぼす影響について明らかにし、高能率・高精度加工に向けた新たな知見を得たので報告する。

キーワード：バイオセラミックス, 精密研削, ダイヤモンド砥石, 研削抵抗

近年、社会は少子高齢化の一途をたどり、生産年齢人口（15～64歳）は2010年の63.8%から減少を続ける一方で、高齢人口（65歳以上）は2010年の23.0%から2013年には25.1%で既に4人に1人を上回っている（総務省, 2013）。今後、生産年齢人口の減少を踏まえた上で経済成長を促すためには、高齢者に対して半永久的に使用可能な人工関節の開発による生活的自立、あるいはそれに基づく生産年齢の延長による経済的自立による「健康寿命の延伸」「高齢者の自立」が必要不可欠である。これらの促進のため、耐摩耗性や耐食性だけでなく、生体適合性にも優れたセラミックス、いわゆるバイオセラミックスがよく使用されはじめている（土井, 2002）。これらの材料を製品として加工する際には、その用途のため形状および表面品質に対する高い精度に加え、高齢人口の増加に対応するために大量生産が不可欠

であり、加工能率に対する要求も高まっている（Brinksmeier et. al., 2009）。一般に、加工能率と加工精度を両立しやすい加工法として研削加工が知られている。しかし、バイオセラミックスは硬脆材料で加工しにくい新素材であり、精度・能率のいずれも社会的ニーズを満たすことは困難である。これまで、加工方法の提案（Muller et. al., 2015）や力学特性の解明（近藤, 2006）が進められているのに対して、加工機構そのものに関する研究事例や知見は少ない。

本研究では、バイオセラミックスの精密研削の加工機構を明らかにすることを試みた。生体適合性に優れ、人工関節だけでなく医療用ガラスなどバイオセラミックスとして広く使用されているサファイアについて、ダイヤモンド砥石による研削加工実験を行い、その砥石摩耗特性が研削抵抗等の研削特性値に及ぼす影響について検討した。特に、著者らが提

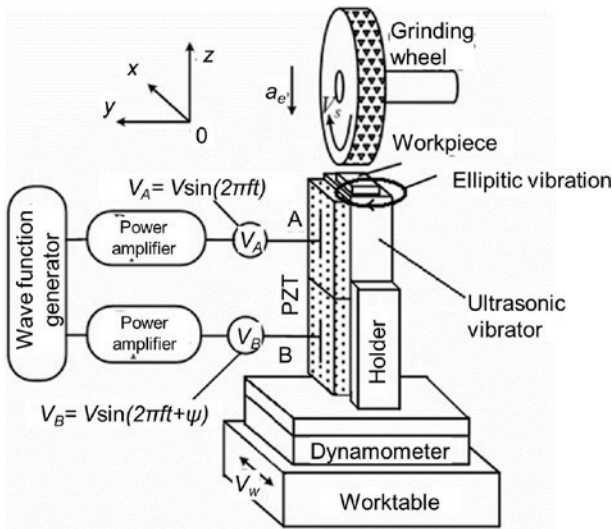


図1 実験装置概略図

案し、研究を進めてきた「スパイラル超音波援用研削 (Spiral ultrasonic assisted grinding = SUAG)」(三浦ら, 2015)を適用し、慣用型研削 (Conventional grinding = CG) と比較してその有効性とともな基礎的な加工機構に関する知見を得たので報告する。

加工原理と実験方法

図1に実験装置の概略図を示す。工作物送り1往復あたり一定の切込みを連続して与えて(下向き研削時のみ)加工する平面プランジ研削を、工作物を製作した超音波楕円振動子に固定して行った。この振動子は2極に分極されたPZTを金属(SUS304)弾性体上に接着させ、形状と寸法を縦1次(L1)と屈曲2次(B2)の振動数 f_{L1} , f_{B2} が同じになるように決めたものである。PZTに位相差が ψ で f_{L1} , f_{B2} の近傍にある周波数 f となる電圧 V_{p-p} を印加すると、振動子端面がy-z平面内で楕円振動する。このとき、x方向に工作物の送りを与えると砥粒が工作物に対して空間的にスパイラル運動をするため、SUAGが実現される。製作した超音波楕円振動子はCNC平面研削盤(株式会社ナガセインテグレックス, SGT-315RPA)のワークテーブル上に三分力圧電型動力計(日本キスラー株式会社, 9256C1)を介して設置した。また、本研究で使用したダイヤモンド砥石は、図2に示すように外周の一部を着脱可能な構造としている。したがって、連続研削の任意のパス数

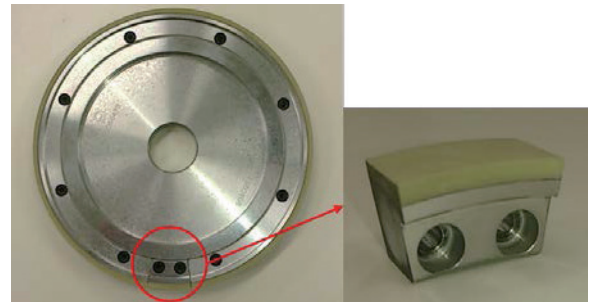


図2 供試ダイヤモンド砥石

表1 研削実験条件

Ultrasonic vibration	Frequency f	22.15 kHz
	Applied voltage V_{p-p}	50 V
	Phase ψ	90°
Grinding method	Surface plunge grinding (Down cut)	
Grinding wheel	SD800S150V Dimensions: $\phi 180 \times t15$ mm	
Wheel rotational speed V_s	15 m/s	
Work speed V_w	0.375 m/min	
Wheel depth of cut a_e	2.0 μ m/pass	
Workpiece	Monocrystal sapphire (c-plane) Dimensions: $t12 \times w10 \times t0.5$ mm	
Coolant	Dry	

における砥石作用面性状や砥粒切れ刃挙動について、3D-SEM(株式会社エリオニクス, ERA-8900)とレーザ変位計(株式会社キーエンス, LE-4000)を用いて直接測定し、評価することができる。実験条件を表1に示す。工作物として、 $t12 \times w15 \times t0.5$ mmに切り出した単結晶サファイアウエハ(c面)の薄片を接着した。超音波を援用したSUAGと、超音波を援用しないCGで研削特性を比較しながら研削実験を行った。

実験結果と考察

研削特性値

研削特性値の測定結果として、図3に研削過程における接戦研削抵抗 F'_t 、法線研削抵抗 F'_n の変化をそれぞれ示す。SUAGおよびCGのいずれの研削過程においても、研削抵抗二分力は研削の進行に伴い増大する。このとき、SUAGの研削抵抗はCGと比較して最大で F'_t が約38%、 F'_n が約51%の減少が見られた。ここで、砥石幅方向にレーザ変位計により砥石半径方向の砥石凝着 D_a を測定し、各研削パスにおいて測定した結果を図4に示す。いずれの研削過程においても、砥石凝着 D_a は増大しており、これは

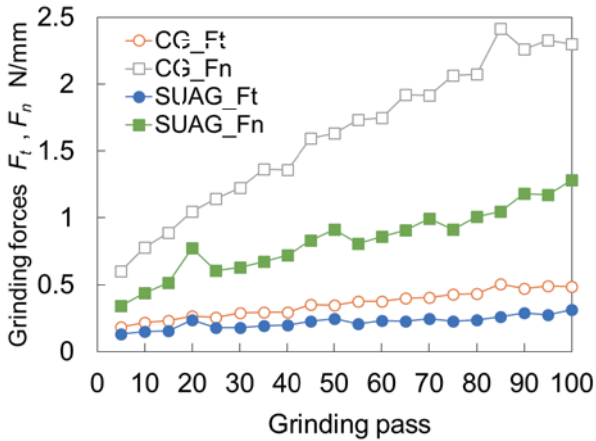


図3 研削過程における研削抵抗の変化

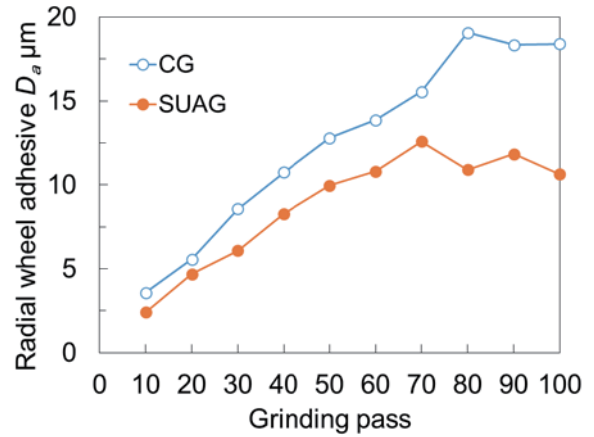


図4 研削過程における砥石凝着の変化

研削抵抗増大の一因と考えられる。一方で、SUAGの D_a は増大率、数値ともにCGのそれより低く、具体的には最大で約35%減少している。

砥石摩耗特性

上述の研削過程における加工機構解明の一環として、砥石摩耗特性について検討した。研削過程における砥石作業面性状を3D-SEMを用いて測定した例として、図5にCGの、図6にSUAGの結果をそれぞれ示す。図5(a)では、主に画像中心部に見られるような砥粒切れ刃先端に切りくずの付着が多く発生していることが確認される。さらに、研削80パスまで進行した同図(b)では、先端部だけでなく、画像右下部のように砥石気孔部にも切りくずの堆積が確認され、いわゆる目づまりが発生していることがわかる。それに対して、図6(a)では、砥石作業面

性状に大きな変化は見られない。また、同図(c)において、画像右下部にやや切りくずの付着がみられるが、その傾向は顕著ではない。

さらに、詳細な加工機構の検討として、砥石最外周付近に存在する砥粒の摩耗挙動を明らかにすることを試みた。代表例を図7、8にそれぞれ示す。図7(a)では、砥粒切れ刃先端部に平坦部が形成されていることが確認される。これにより、砥粒切れ刃先端にかかる負荷は大きくなり、同図(b)の砥粒下部に見られるような破碎へと繋がる。したがって、研削の進行に伴い同図(c)に見られるような破碎が進行していく。一方で、図8(a)に見られるように、SUAG研削過程では切れ刃先端の摩滅摩耗はほとんど見られない。このような傾向は研削パス80に到達した同図(b)においても確認され、研削過程において鋭利な砥粒切れ刃が常に維持されていることがわ

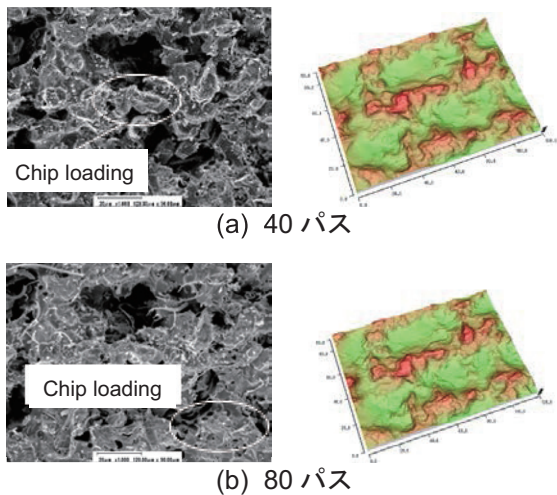


図5 CG過程における砥石作業面の変遷

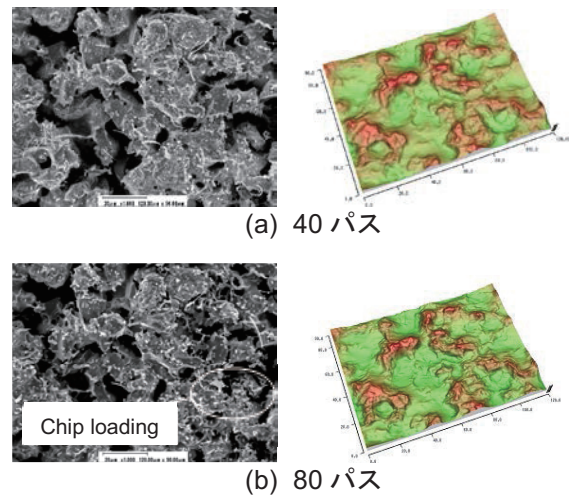
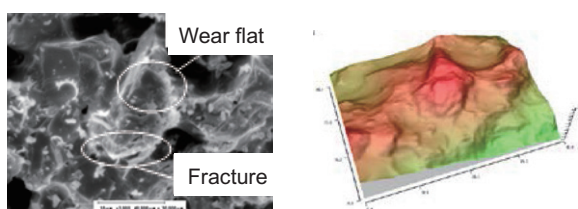
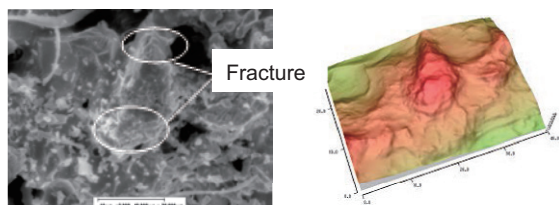


図6 SUAG過程における砥石作業面の変遷

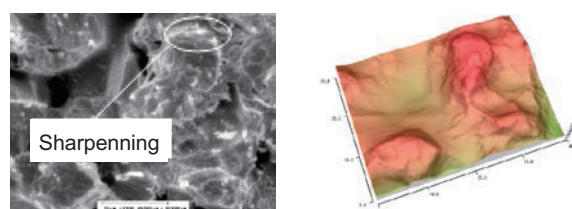


(a) 40 パス

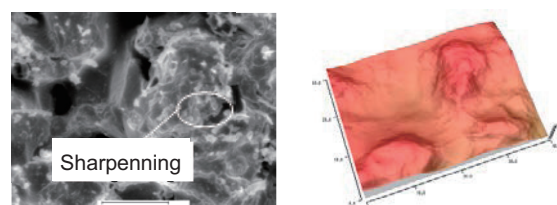


(b) 80 パス

図7 CG 過程における砥粒切れ刃摩耗形態



(a) 40 パス



(b) 80 パス

図8 SUAG 過程における砥粒切れ刃摩耗形態

かる。すなわち、SUAG における研削抵抗の減少等の効果は、このような砥粒切れ刃の生成機構によりもたらされることが伺える。

以上の結果から、砥石作業面および砥粒切れ刃の摩耗挙動に起因するバイオセラミックスサファイアの加工機構の一部を明らかにすることができた。

まとめ

本研究で得られた結論を以下に示す。

- (1) 研削の進行に伴い、研削抵抗や砥石凝着が増大するが、超音波を援用するとそれらの値・増大率ともに減少する。
- (2) 超音波を援用すると、目づまりが抑制されるだけでなく、砥粒切れ刃が常に鋭利な形状となり、研削抵抗を抑制できる。
- (3) 上記(2)のような砥石作業面および砥粒切れ刃形態を維持することにより、バイオセラミックスの高エネルギー加工を実現できる。

謝辞

本研究は、平成 26 年度秋田県立大学学長プロジェクト若手・スタートアップ奨励研究の助成を得て実施したものであり、ここに深甚なる謝意を表します。また、実験実務は秋田県立大学システム科学技術学部機械知能システム学科 4 年生(平成 26 年度当時)・三浦拓也氏の多大な協力を得て遂行されたことを記

し、深く感謝申し上げます。

文献

- 総務省 (2013). 『平成 24 年度情報通信白書』.
- 土井豊 (2002). 「バイオセラミックス」『岐阜歯科学会雑誌』 28 (3), 281-290.
- Brinksmeier, E., Heinzl, C., & Bleil, N. (2009). Superfinishing and grind-strengthening with elastic bonding system. *Journal of Materials Processing Technology*, 209 (20), 6117-6123.
- Muller, A., & Denkena, B. (2015). Fine Grinding of Bioceramics for Knee Implants with Elastically Bonded Abrasives: Process Modeling and Validation. *Journal of Ceramic Science and Technology*, 6 (1), 31-40.
- 近藤和夫 (2006). 「生体用セラミックスの開発 2」『セラミックス基盤工学研究センター年報』 6, 40-45.
- 三浦拓也, 藤本正和, 呉勇波, 野村光由, 梁志強 (2015). 「サファイアのスパイラル超音波援用研削の研究」『日本機械学会東北学生会第 45 回学生員卒業研究発表講演会』 147-148.

〔平成 27 年 6 月 30 日受付〕
〔平成 27 年 7 月 31 日受理〕

Investigation of Material Removal Mechanism in Precision Grinding for Bioceramics

Masakazu Fujimoto¹, Yongbo Wu²

¹ Former Department of Machine Intelligence and Systems Engineering, Faculty of Systems Science and Technology, Akita Prefectural University (-2015.3), Current Department of Mechanical Engineers, College of Science and Engineering, Aoyama Gakuin University

² Department of Machine Intelligence and Systems Engineering, Faculty of Systems Science and Technology, Akita Prefectural University

With an aging population, the development of artificial joints that can be used to semipermanently elongate the productive age range, independence, and self-reliance of elderly people has become increasingly important. As an advancement in this field, new materials referred to as “bioceramics” are being used as construction materials of artificial joints. Bioceramics exhibit not only high wear resistance and corrosion resistance but also biological compatibility; however, these materials are hard and brittle. Moreover, manufacturing artificial joints requires high accuracy, a high-quality surface, and high-efficiency machining. Generally, grinding provides sufficient efficiency and accuracy as a machining process. In this study, we propose a fundamental material removal mechanism for the precision grinding of bioceramics. In particular, the topographical features of a diamond grinding wheel working surface and the wear characteristics of the grain cutting edge in the grinding process are investigated. The results demonstrate that the grinding wheel surface is closely related to the efficiency of a grinding process based on small grinding forces.

Keywords: bioceramics, precision grinding, diamond grinding wheel, grinding force