

インプラント用純チタンの高能率・微細加工技術の開発

鈴木 浩文, 岡田 睦, 難波 義治 (中部大学)

藤井 一二 (日進工具㈱)

チタンTiは歯科インプラントに既に使用されている。さらに近年Ti表面に μm レベルの微細パターンを創成すると歯科インプラントの生体細胞融合性が向上することが明らかになり、一部で図1に示すようにTi表面にレーザー加工により微細なテクスチャが創成されている。しかし、表面にデブリなどが付着し、加工能率が悪いなどの問題点がある。一方、機械加工で加工できれば効率は良いと考えられるが、微細なテクスチャを創成するには幾何学的に工具先端を微細にする必要があり、工具摩耗が問題となる。そこで本研究では歯科インプラントの生体細胞融合性の向上を図るため、これまで工具摩耗実験で良好な結果が得られた超硬バイトを用いて、微細パターンの創成を行い、切削によってできた溝の形状やバリ、表面粗さについて調べた。最後に、微細な工具を作製しTi表面に微細溝の試作実験を行い、検証を行った。

1. はじめに

チタンは従来から軽量で強度があり、耐食性が高いという性質を有するため、航空機部品や化学装置、海洋開発などに使用されてきた。さらにチタンの優れた特性はこれだけではなく、生体細胞融合性に優れ、アレルギーが起こらない、弾力性があり、しなやかであるという特性を有している。これらの特性は、歯科インプラントや人工股関節などに最適でありチタンが多く使用されている。歯科インプラントとは、失われた歯根に代えて人口歯根を顎骨に埋め込む歯根のことである。インプラントの構造を図1に示す。近年、インプラント上部に微細パターンを創成することで生体細胞融合性が向上することが明らかとなり⁽¹⁾、更なる需要の増加が予想される。またこれまで筆者らは、単結晶ダイヤモンド、cBN、超硬合金製のバイトを用いてTiを切削し、送りや工具摩耗が表面性状に与える影響について実験的に調べ、cBNと超硬が工具摩耗と表面粗さの点でTiの切削に適していることを示した。そこで本研究では、歯科インプラントの生体細胞融合性の向上を図る⁽²⁾ため、これまで工具摩耗実験で良好な結果が得られた超硬バイトを用いて、微細パターンの創成を行い、切削によってできた溝の形状やバリ、表面粗さについて調査した。

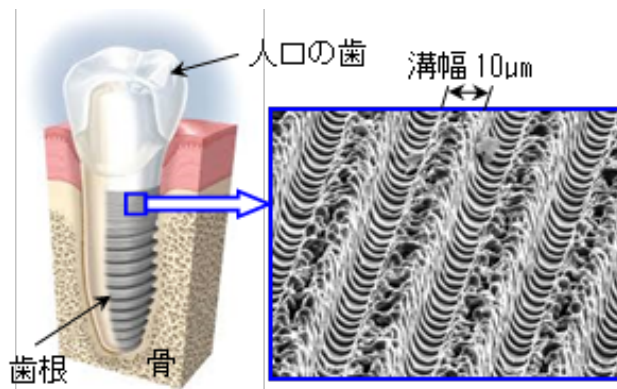


図1 歯科インプラントの構造

2. 実験装置および方法と評価方法

2.1 平面切削実験

本実験では最初に工具摩耗の変化と表面粗さの変化について評価した。単結晶ダイヤモンドバイト、cBNバイト、超硬合金バイトなどを用いて、Ti合金の平面形状のワークに旋削加工を行った。そして、超硬合金およびcBN製の工具を用いて、Tiインプラントとして想定される微細なパターンを試作検証を行った。

切削実験の外観を図2に示す。1mm分解能のリニアモータ駆動の超精密加工機ULG-100D(SH3)を用いた。本実験ではX、Z軸の同時2軸制御で旋削加工を行い、切削特性および切削時のバイト摩耗の評価を行った。X、Y、Z軸の案内面は転がり案内でリニアモータ駆動であり、位置決め分解能は1mmである。ワーク主軸(C軸)は多孔質絞りの空気静圧軸受である。

単結晶ダイヤモンド、cBN、超硬合金、CVD-SiC製のバイトを用いてTi合金を切削し、送りや工具摩耗が表面性状に与える影響について実験的に調べた。加工実験ではΦ20mm×2tのTi合金を切削した。工具摩耗切削条件を表1に示す。

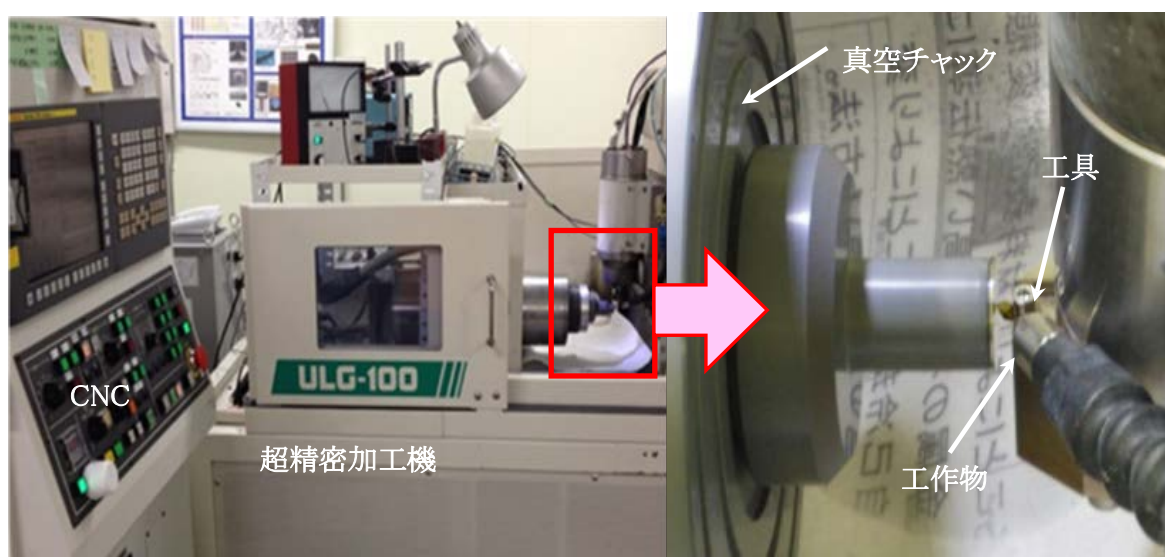


図2 超精密切削（旋削加工）の様子

表1 切削条件

工具	単結晶ダイヤモンド	cBN	超硬	CVD-SiC
刃先アール	1.02 mm	1 mm	1 mm	1 mm
すくい角	-0.33 °	0 °	0.2 °	0.5 °
逃げ角	13.75 °	9.97 °	6.75 °	7.0 °
工作物	Ti (JIS H 4650 Grade 2)			
硬度	HV154.2			
形状	平面			
寸法	Φ20 mm x 2 mm (厚さ)			
回転数	1000 mm ⁻¹			
切込み	2 μm			
送り速度	10, 5, 2, 1, 0.5 mm/min			
切削距離	2.39 km/cut			
切削回数	1-64			
クーラント	白灯油ミスト			

2.2 インプラント実形状の切削実験

本実験では、1nm 分解を持つ東芝機械製の同時 4 軸制御加工装置 ULG-100D (SH_3) に超硬バイトを図 3 に示すように固定し、円筒状のアバットメント構造の純チタンに微細パターンの創成を行った。ワークはジグにねじで固定し切削した。実アパットメント切削実験の概略図を図 4 に示す。ワークテーパ中心からテーパ根元に向かって、 $10\mu\text{m}$ 間隔で深さ $5\mu\text{m}$ の溝を 940 本創成した。また、切削条件を表 1 に示す。超硬バイトはすくい角 0° ，逃げ角 10° ，加工刃先幅 $10\mu\text{m}$ である。

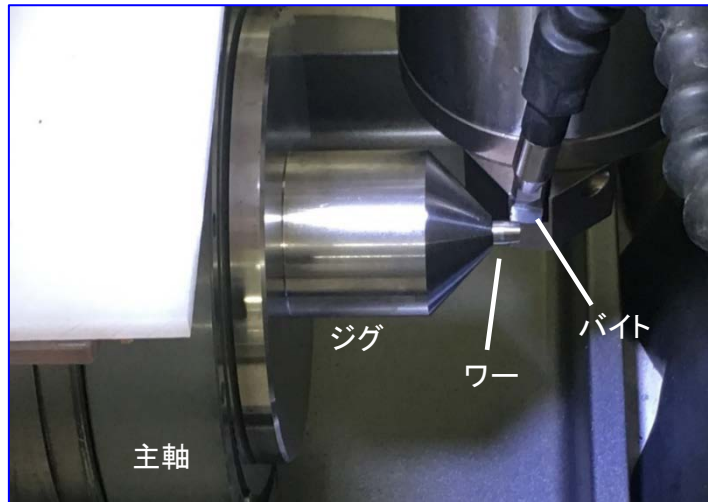


図 3 円筒状のアバットメント構造の純チタンに微細パターンの創成実験

表 2 アパットメントの切削条件

ワーク	工業用純チタン
バイト	超硬
刃先幅	$10\mu\text{m}$
切込み	$0.5, 1.0, 2.0\mu\text{m}$
送り速度	100 mm/min
クーラント	白灯油ミスト

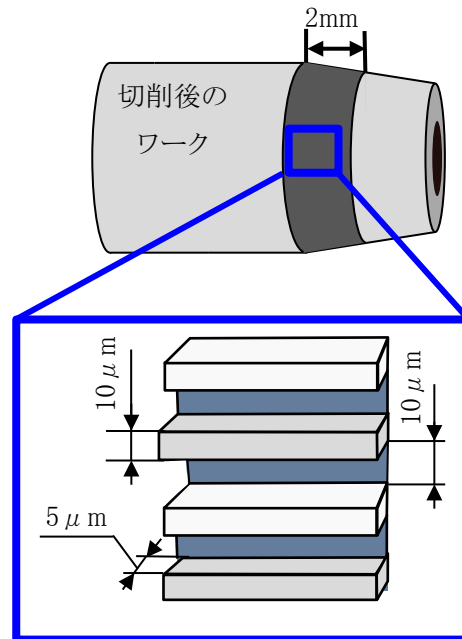


図 4 実アパットメント切削実験の概略図

3. 切削実験結果

3.1 旋削加工による工具摩耗の評価

ここでは Ti ディスクを旋削加工した時の各バイトの摩耗量の変化を示す。各材質のバイトで切削した時のRバイト先端の形状の変化を計測し、この工具刃先の摩耗体積の変化を算出する⁽³⁾。最後に、研削加工における研削比のように、工作物の除去体積 V_w を、研削耗の大きさを無次元化して表示した。

$$rt = V_w / V_t \quad (1)$$

各4種類の工具材質における工具摩耗比の変化を図5に示す。図から、工具摩耗が最も小さいのがcBNであり、続いて超硬合金、単結晶ダイヤモンド、CVD-SiCの順に大きくなっている。

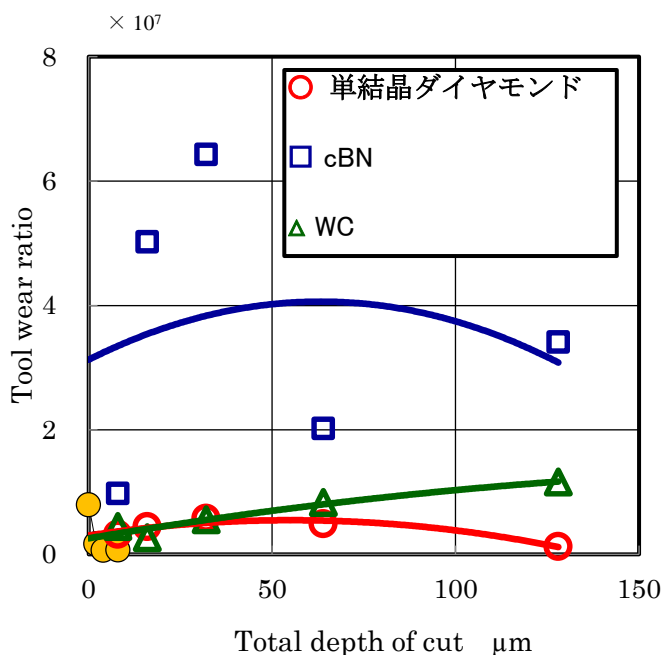


図5 各種工具材料による工具摩耗の変化

3.2 旋削加工における表面粗さ

各バイトにより Ti 合金を切削し、非接触表面粗さ計(New View6200)を用いて測定した表面粗さの変化を図6に示す。横軸は送り速度であり、それぞれの総切込み量において送り速度を0.5~10mm/min(送り $f=0.5\sim10\mu\text{m}/\text{rev}$)と変化させた時の最大表面粗さを示している。赤の一点鎖線が理論表面粗さである。いずれのバイトにおいても、送りが大きいほど、表面粗さが良くなっているのがわかる。これはTiが凝着しやすいため、送り速度が遅いと表面が粗くなっていると考えられる。また、総切込み量が多ければ表面粗さは悪化していることがわかる。cBNバイトは単結晶ダイヤモンドバイトより摩耗量が少なく単結晶ダイヤモンドバイトと同等の表面粗さを得られていることがわかる。

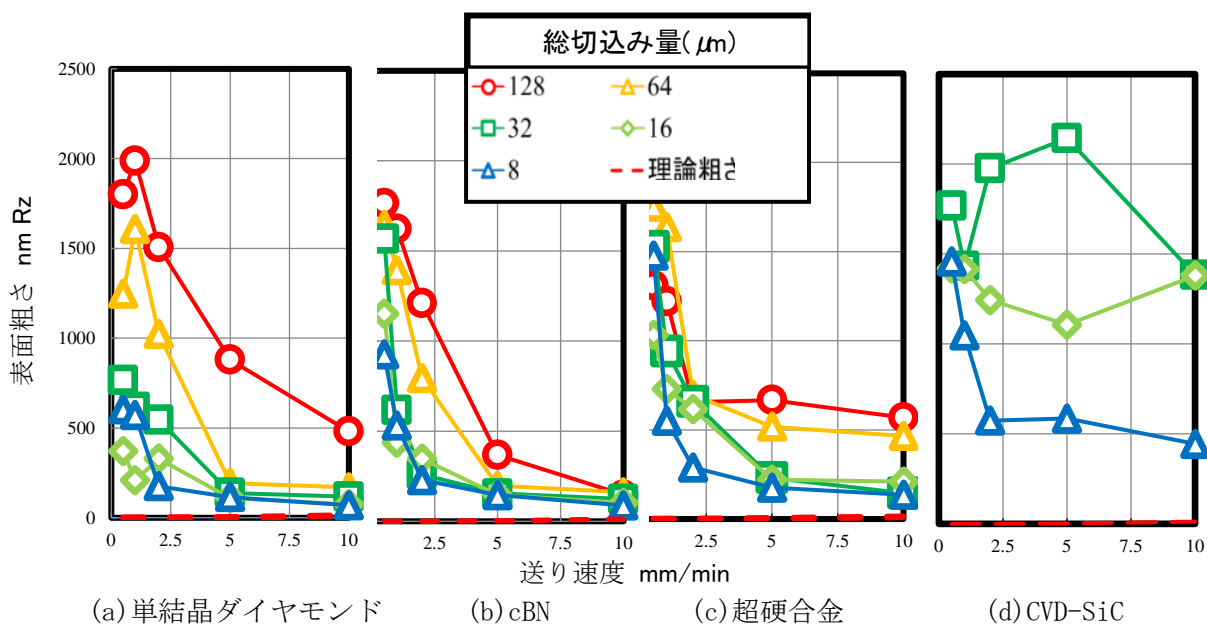


図6 各種工具材料による切削面の表面粗さの変化

3.3 平面形状の Ti に対する微細加工実験

次に Ti 合金に、幅 $20\mu\text{m}$ 、深さ $5\mu\text{m}$ の微細加工を行った。用いた微粒子 cBN 製の微細工具（バイト）の SEM 写真を図 7 に示す。工具と Ti 工作物を固定し、いずれも回転させずにシェーパ加工した。切込み $2\mu\text{m}$ 、送り速度 $300\text{mm}/\text{min}$ とし、山部と谷部を交互に切削した。切削油として白灯油ミストを用いた。切削後の Ti 合金の切削面の SEM 写真を図 8 に示す。若干のバリが見られる。切削後の切りくずの SEM 写真を図 9 に示す。100 本の溝深さを測定した結果を図 10 に示す。設定溝深さ $5\mu\text{m}$ に対して $\pm 1\mu\text{m}$ の誤差があるがこれはバリの生成のためである。

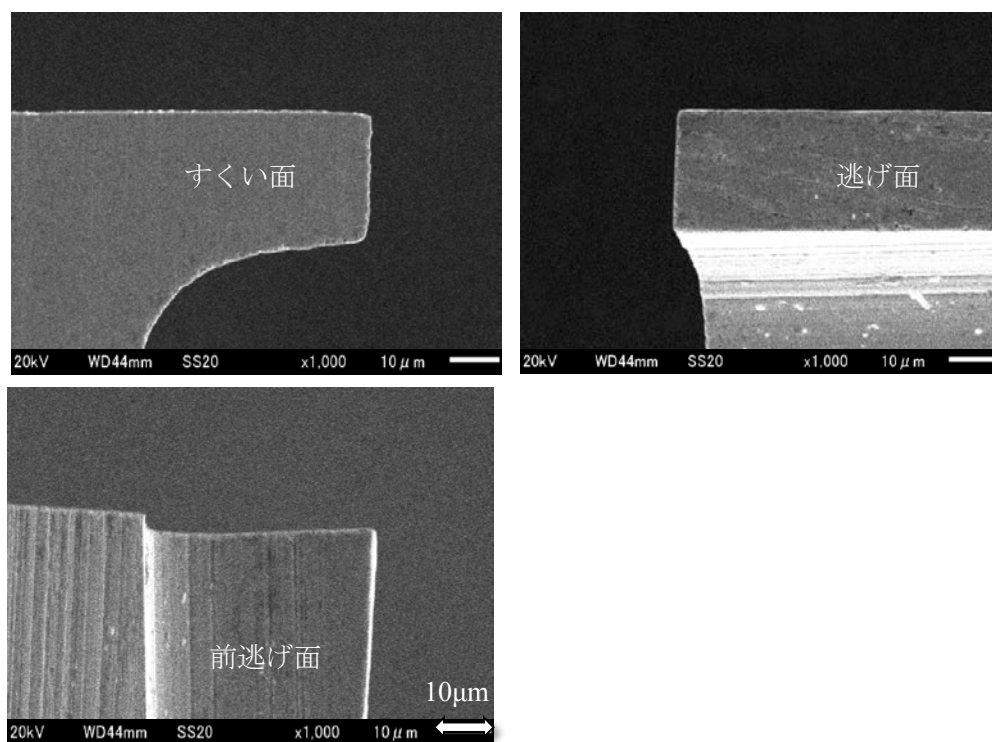


図 7 超硬製バイト

Ti 表面に各切込み条件で溝加工を行った後、溝幅を計測した。その溝幅の計測値を図 8 に示す。図から切込みが小さいほど、工具刃先の幅に近くなっていることがわかる。次に、同様に溝深さの計測値の変化を図 9 に示す。切込みに関係なく、おおむね一定となっている。バリの発生率と高さの変化を図 10 および図 11 に示す。切込みが大きいくほど、バリの発生率も高さも高くなっていることがわかる。溝幅が変化するのは切削条件により切削抵抗が変化し、それに伴ってバリの発生が大きくなるものと考えられる。

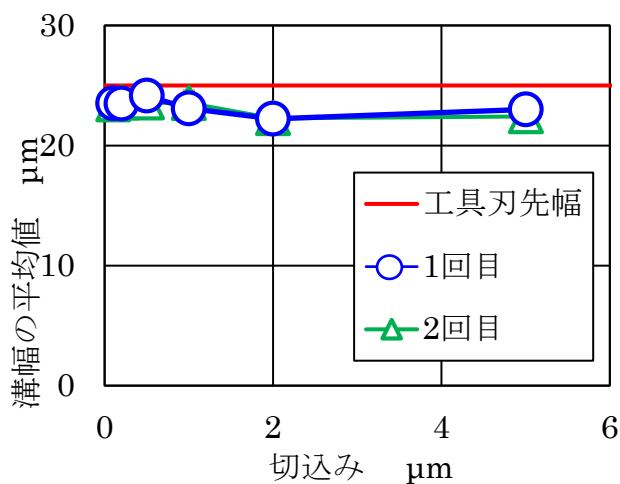


図 8 溝幅の変化

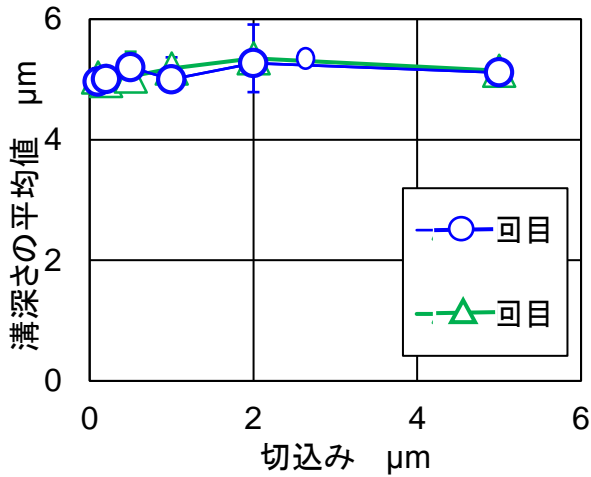


図9 溝深さの変化

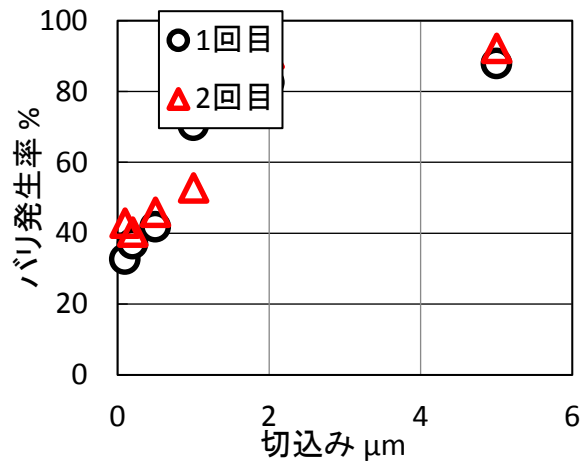


図10 バリ発生率の変化

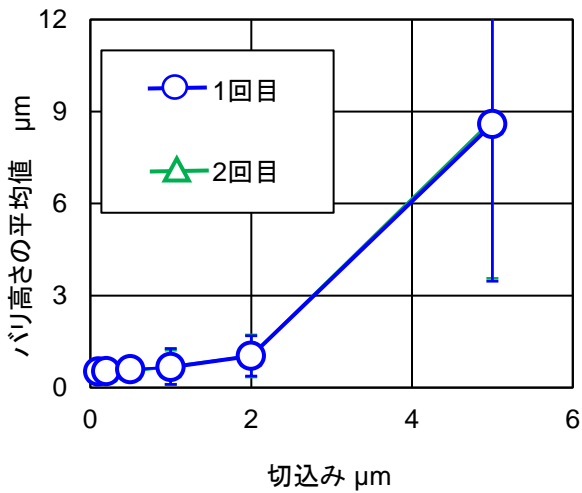


図11 バリ高さの変化

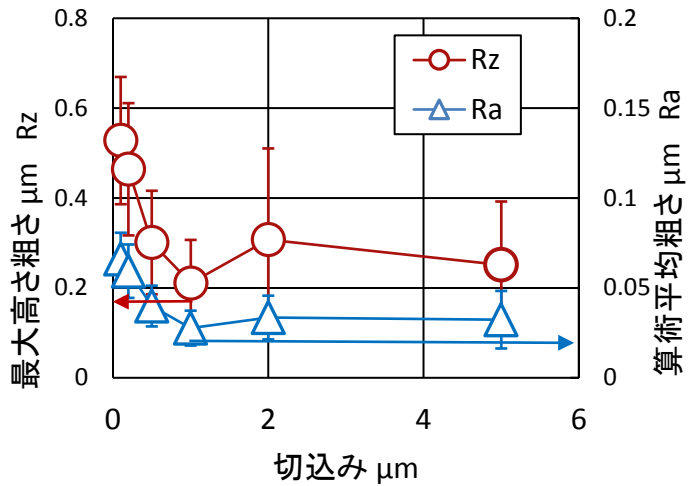


図12 表面粗さの変化

超硬製のバイトにより切削した各切込みによる溝の算術平均粗さ Ra, 最大高さ Rz を測定した結果をまとめて図12に示す. 各表面粗さの値は二個のサンプルの値の平均値をとっている. 切込みが小さくなるにつれて, 表面粗さは悪化している. これは, Ti は硬度が低く, 切込みが小さいと, 工具に Ti 材が凝着するため, 表面粗さが悪くなるためと考えられる. Ti の場合は, 切込みが有る程度大きい方が表面性状も良好であることがわかる.

また, 各切込みの切りくずの SEM 写真を図13に示す. 切込みが大きいほど, 当然ながら切りくず厚さもが厚くなるが, 切込みが小さいと切りくずの形状が安定せず, 3.2の表面粗さの傾向と一致する.

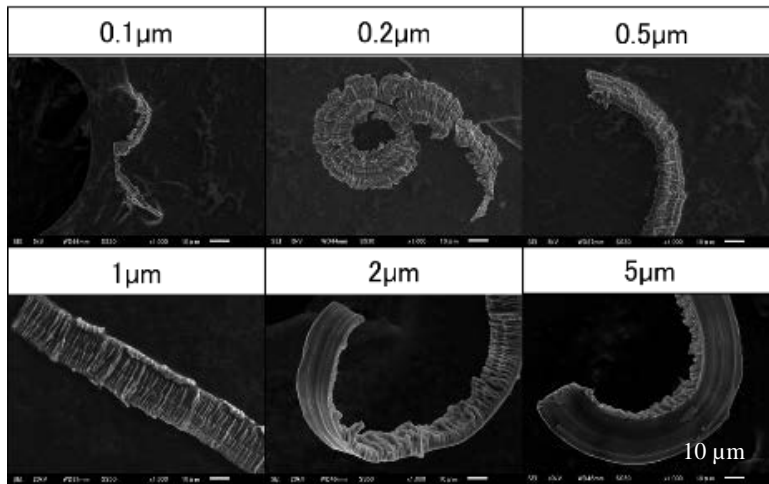


図 13 切りくずの SEM 写真

3.4 インプラント実形状の Ti に対する微細加工実験

インプラント実形状切削実験では図 14 に示すように幅 10 μm のバイトを製作して用いた。

切削によってできたワーク表面の各切込みによる溝幅を図 14 に示す。溝幅は切込みが小さいほうがばらつきは少ない。溝深さの変化を図 15 に示す。均一に溝深さの値がとれている場合、溝深さも切込みに関係なく概ね一定である。

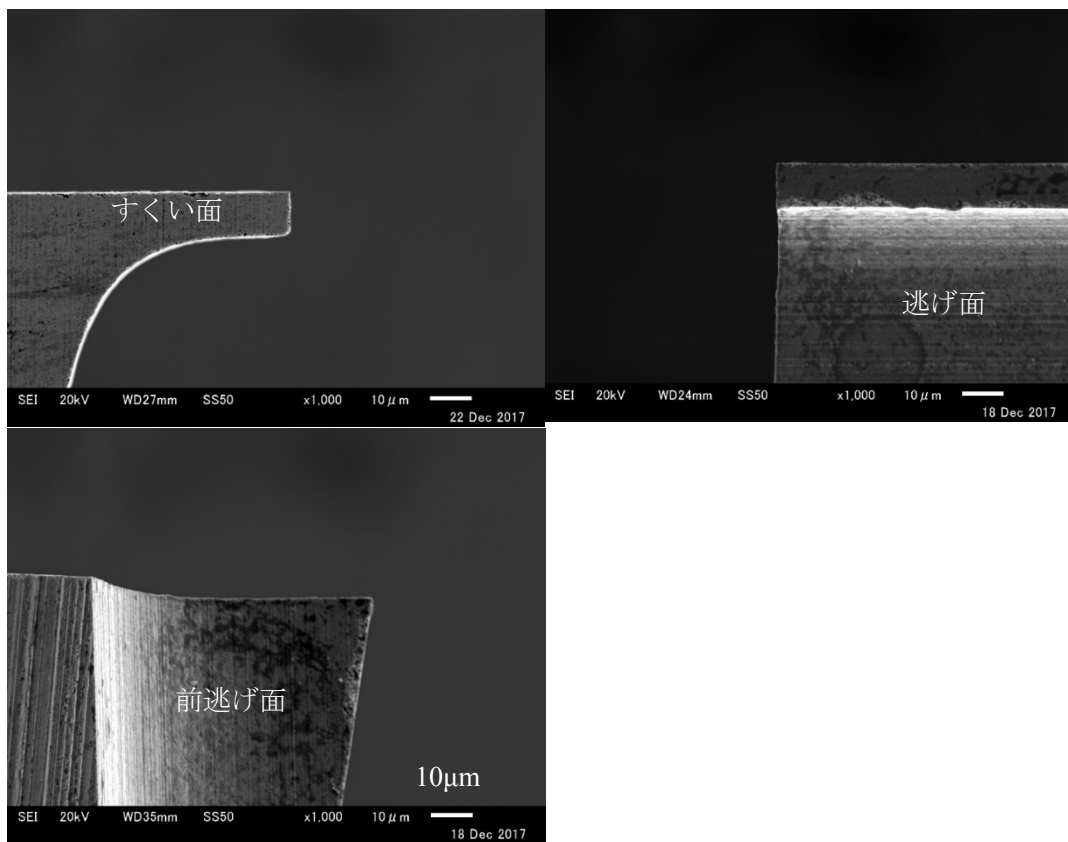


図 14 幅 10 μm の超硬バイト

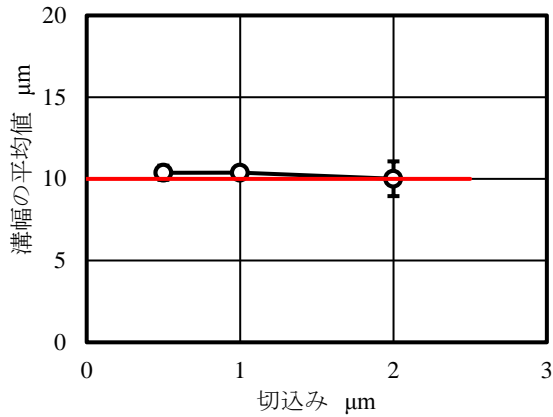


図 15 溝幅の変化

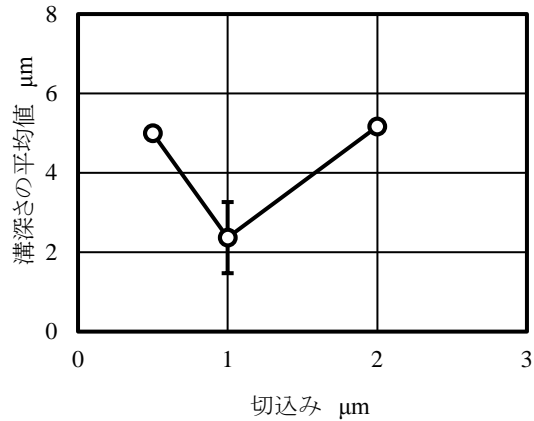


図 16 溝深さの変化

4. 結 言

チタン Ti 製の歯科インプラントと骨肉細胞との生体細胞融合性を向上させるため、本研究では、純 Ti 表面にレーザ加工により微細なテクスチャが創成することを検討した。これまで工具摩耗実験で良好な結果が得られた超硬バイトを用いて、微細パターンの創成を行い、切削によってできた溝の形状やバリ、表面粗さについて実験的に検討した。その結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) 溝幅は、切込みが小さいほど、加工部刃先幅に近い。
- (2) 溝深さは、切込みに関係なく、おおむね一定である。
- (3) バリは、切込みが大きいくほど、発生率も高さも高い。
- (4) 表面粗さは切込みが小さくなるにつれて Ti と工具の凝着のために逆に悪くなる。
- (5) 切りくずは、切込みが大きいほど、厚くなり、小さいほど、薄くなり、破断しやすい。

参考文献

- (1) 上瀧洋明：目で見えるチタンの加工，(2012) pp.2-7.
- (2) (社) 日本チタン協会：現場で生かす金属材料シリーズ チタン，(2007) pp.130-135.
- (3) H. Suzuki, M. Okada, S. Matsui, Y. Yamagata: Development of micro milling tool made of single crystalline diamond for ceramic cutting, Annals of the CIRP, 62, 1, (2013) pp.59-62.