

令和 2 年 4 月 16 日現在

機関番号：32650

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2019

課題番号：18K17103

研究課題名(和文) 口腔インプラントを想定したチタン合金の疲労特性

研究課題名(英文) Cyclic fatigue property of titanium alloy as dental implant

研究代表者

高野 智史 (Takano, Tomofumi)

東京歯科大学・歯学部・講師

研究者番号：40615382

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、インプラント材料として用いられているチタン合金の疲労強度とそれに与える表面処理の影響を明らかにすることである。

Ti-6Al-4VおよびTi-6Al-7Nbの静的降伏荷重はそれぞれ $1462 \pm 99\text{N}$ 、 $1405 \pm 78\text{N}$ であり、Ti-6Al-4VとTi-6Al-7Nbとの間に統計学的に有意差は認められなかった。疲労降伏荷重はTi-6Al-4Vが $870 \pm 58\text{N}$ 、Ti-6Al-7Nbが $852 \pm 202\text{N}$ であった。

以上の結果より、Ti-6Al-4VおよびTi-6Al-7Nbの繰り返し荷重における降伏荷重は静的荷重時よりも40%程度減少するものの800N以上を示すことが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

インプラント材料としての純チタンおよびチタン合金の疲労特性については不明な点が多いが、本研究においてチタン合金の疲労特性を明らかにすることで、インプラント材料の選択に際し、顎堤の幅が狭い症例に適した細かいインプラント材料の選択基準に示唆を与え、臨床応用上の1つの指針につながることに意義がある。また、本研究結果は歯科分野にとどまらず、チタンおよびチタン合金の疲労メカニズムの解明という点で研究者にとってもチタンおよびチタン合金の表面処理と疲労強度の関係を考察する一助になると考えられる。

研究成果の概要(英文)：The objective of this study was to investigate the cyclic fatigue properties of titanium alloy (Ti-6Al-4V, Ti-6Al-7Nb).

Yield force under the static loading tests (YS) was measured on five specimens of each alloy using the universal testing machine. Yield force under the cyclic loading test (YC) was measured by the staircase method. YS of Ti-6Al-4V and Ti-6Al-7Nb were  $1463 \pm 93\text{N}$  and  $1405 \pm 79\text{N}$ , respectively. YC of these were  $870 \pm 58\text{N}$  and  $853 \pm 202\text{N}$ , respectively. YC of Ti-6Al-4V decreased to 59.4% of those of YS. YC of Ti-6Al-7Nb decreased to only 60.7% of those of YS. The yield force under cyclic loading of Ti-6Al-4V and Ti-6Al-7Nb was 40% lower than the yield force under the static loading, which was similar to Cp-Ti grade 4. However, while the yield force under cyclic loading of Cp-Ti was less than 700 N, these values of Ti-6Al-4V and Ti-6Al-7Nb are more than 800N, leading to be acceptable for a patient with narrow residual ridge.

研究分野：歯科補綴学

キーワード：チタン チタン合金 インプラント 疲労強度

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

チタンは優れた耐食性、生体適合性、機械的性質を有しており、歯科材料、特に口腔インプラント材料として多く用いられている。しかし、口腔インプラントには咀嚼による繰り返し荷重が加わり、降伏荷重の半分以下の応力で疲労破壊を起こすことがあり、4種純チタンを使用した骨プレートが破折した症例も報告されている。

これまでに我々は、純チタン2種と4種の疲労試験を行い、疲労試験前の強度は2種より4種が大きい、疲労試験後の強度の減少率は4種が大きく、耐久性の観点から4種純チタンは不利であると報告した。

チタン合金に関しては、合金中のアルミニウムやバナジウムに関連した腐食、毒性および生体適合性に関する報告があり、現在では機械的強度と生体適合性を改善したとされる Ti-Zr 合金 (Roxolid) が臨床応用されている。また、疲労破壊に影響を与える因子として、材料の組成、加工ひずみ、残留応力、表面形状が関係すると考えられている。現在市販されているチタン製インプラントは、オッセオインテグレーションの獲得のために様々な表面処理法が用いられている。表面処理はチタンの表面形状や表面性状を変化させるが、それにより強度が低下したとの報告もある。しかし、現在のところインプラント材料として臨床応用を想定した市販の歯科用チタン合金 (Ti-6Al-4V 合金、Ti-6Al-7Nb 合金、Ti-Zr 合金) の疲労強度試験の報告は少なく、どのチタン合金が耐久性 (疲労特性) の点から適しているかは明らかになっていない。

### 2. 研究の目的

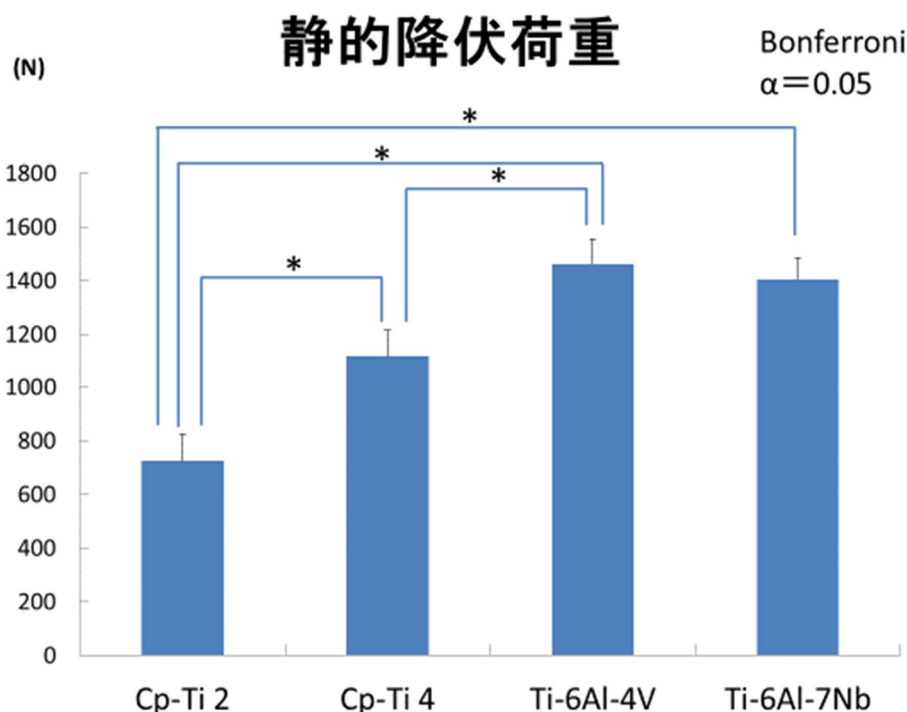
インプラント材料に対する疲労試験の基準である ISO14801 に則り、インプラント材料として用いられているチタン合金 (Ti-6Al-4V 合金、Ti-6Al-7Nb 合金、Ti-Zr 合金) の疲労強度と、それに与える表面処理の影響を明らかにすること。

### 3. 研究の方法

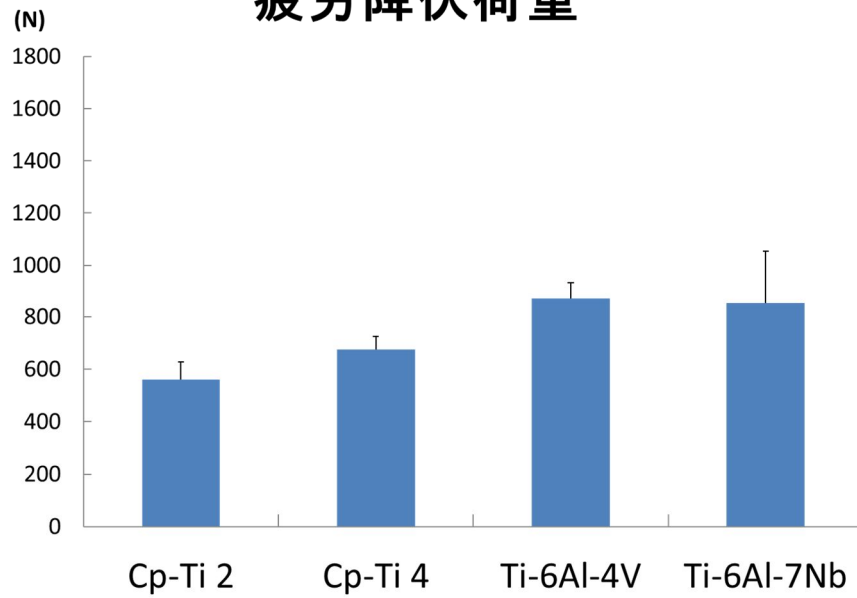
チタン合金丸棒を試料とし、それぞれ機械加工群 (MS) および表面処理群 (SLA) とする。表面処理はアルミナショットブラストと酸エッチングを行う。それらの試料の静的荷重試験における降伏荷重および、繰り返し荷重試験 (疲労試験) における降伏荷重を計測する。静的降伏荷重は万能試験機にて各群 5 本ずつ計測する。また、疲労降伏荷重は各群 20 本の試料を用い、疲労試験機にて 106 サイクル、10Hz の条件でステアケース法により計測する。静的荷重試験および疲労試験を行った試料に対し、検鏡試験およびナノインデンテーション法による硬度測定を行ない、形態および物性の変化について観察する。

### 4. 研究成果

Ti-6Al-4V および Ti-6Al-7Nb の静的荷重における降伏荷重はそれぞれ  $1462 \pm 99\text{N}$ 、 $1405 \pm 78\text{N}$  でいずれも純チタンより大きな値であったが、Ti-6Al-4V と Ti-6Al-7Nb との間に統計学的に有意差は認められなかった。繰り返し荷重における降伏荷重では Ti-6Al-4V が  $870 \pm 58\text{N}$ 、Ti-6Al-7Nb が  $852 \pm 202\text{N}$  であった。YS から YC の減少率をみると、いずれのチタン合金も 40% 程度減少した。

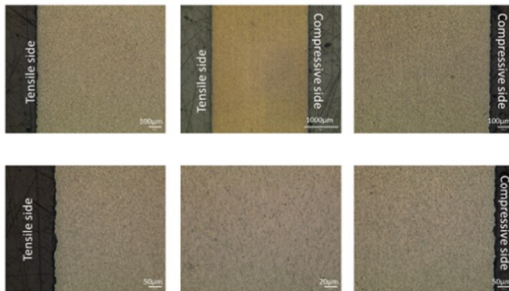


# 疲労降伏荷重

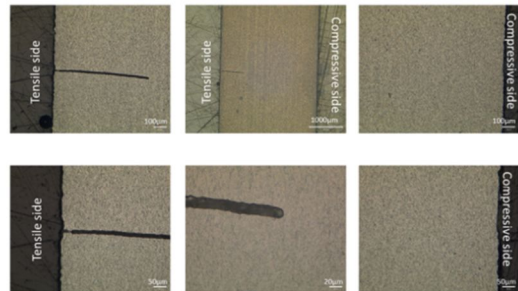


2種純チタン, 4種純チタンおよびチタン合金(Ti-6Al-4V, Ti-6Al-7Nb, Ti-Zr)の組織観察およびビッカース硬さ試験およびを行った。組織観察では、2種純チタン、4種純チタン, Ti-6Al-4V合金, Ti-6Al-7Nb合金において繰り返し荷重試験後の試料で、引張り側に亀裂が見られるものがあつた。

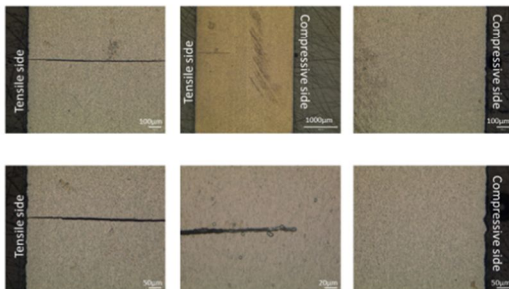
Ti-6Al-4V Run out



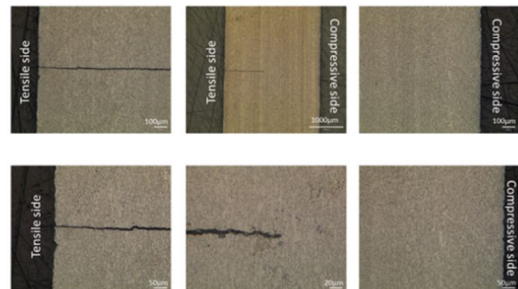
Ti-6Al-4V Failure



Ti-6Al-7Nb Run out



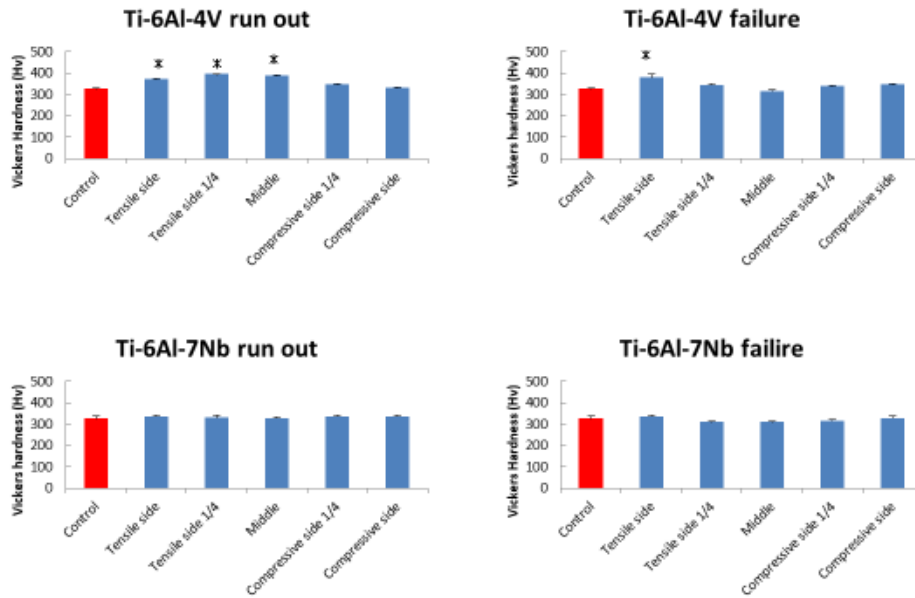
Ti-6Al-7Nb Failure



また、ビッカース硬さは2種純チタン, 4種純チタン, Ti-6Al-4Vの引張り側において、試験前の試料(コントロール)と比較して有意差が認められ、わずかに大きな値を示した。ビッカース硬さ試験の結果は、2種純チタン, 4種純チタン, Ti-6Al-4Vに加工硬化が起こったことを示している。つまり加工硬化したことにより、塑性変形量が低下し、脆性が大きくなり、引張り側に亀裂が発生したと考えられる。

## ビッカース硬さ試験

\*:  $p < 0.05$   
vs Control



以上の結果より、Ti-6Al-4V および Ti-6Al-7Nb の繰り返し荷重における降伏荷重は静的荷重時よりも 40%程度減少するものの 800N 以上を示すことが明らかとなった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Tomofumi Takano
2. 発表標題 Cyclic fatigue property of titanium alloy as dental implant
3. 学会等名 96th General Session & Exhibition of the IADR (国際学会)
4. 発表年 2018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
--	---------------------------	-----------------------	----