

令和 6 年 6 月 7 日現在

機関番号：32667

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K17014

研究課題名（和文）純チタン粉末と付加造形法での補綴装置の製作 機械的性質、耐蝕性、造形精度の検討

研究課題名（英文）Application of additive manufacturing with CP titanium to fabricate dental prosthesis

研究代表者

石田 祥己（Ishida, Yoshiki）

日本歯科大学・生命歯学部・講師

研究者番号：50779923

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：付加製造で製作したチタンの試験片は鋳造で製作したものと比較して優れた機械的性質を示した。付加製造による造形精度は、造形方向によって大きく影響されることが明らかになった。このことから、補綴装置の製作の際は造形方向を意識して造形するデータの配置が必要であることが示唆された。腐食挙動においては、付加製造により製作した試験片と鋳造により製作したものと間には大きな差は認められなかった。以上の結果から、付加製造により製作した加工物は鋳造により製作したものと比較して、同等またはそれより優れた性質を有することが明らかになった。付加製造が鋳造法の代替方法として極めて有用であることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

純チタンを用いた補綴装置の製作には鋳造法や切削加工が主に用いられてきたが、補綴装置を製作する術者の技能が大きく影響することや、材料の無駄が多いなど、様々な問題点がある。それらを解決できる加工方法として、付加製造が挙げられる。しかし、純チタンの付加製造の歯科応用は始まったばかりであり、明らかにすべき性質が極めて多い。本研究の結果より、従来の方法と比較して付加製造は同等もしくはそれ以上の性質を持つ加工物の製作が可能であることが明らかになった。このことから、付加製造は安心して歯科応用することができる技術であることが明らかとなった。

研究成果の概要（英文）：Compared to casted samples, the additive-manufactured CP titanium samples showed superior mechanical properties. The dimensional accuracy of the additive-manufactured samples was affected by the building direction. Therefore, setting the data when fabricating dental prostheses might be important for better accuracy. In the results of corrosion tests, there was no significant difference between the samples of the additive manufactured and the cast. Consequently, the additive-manufactured CP titanium samples might have the same or greater properties, and the additive manufacturing process would be a good alternative to the casting method in fabricating CP titanium dental prostheses.

研究分野：歯科理工学

キーワード：歯科 CAD/CAM 付加製造 チタン

1. 研究開始当初の背景

デジタル技術の著しい進歩により、多くの補綴装置の製作に CAD/CAM が応用されている。その結果、製作者の技術に左右されることなく、安定した品質の補綴装置が供給されるようになった。CAD/CAM における補綴装置の製作には、切削加工が広く用いられている。しかし、切削加工では複雑な形状は製作することは難しく、一度に多くの補綴装置を製作することも困難である。その一方、付加造形では複雑な咬合面形態の付与が容易であり、一度に複数の補綴装置を製作できる。付加造形の歯科応用はすでに始まっているが、その多くはコバルトクロム合金などの生体親和性に乏しい材料であるため、全ての国民に対し、安心して使用できるとは言えない。

近年では、純チタン粉末を用いた付加造形法が考案され、純チタンを用いた精密な補綴装置の製作が可能となりつつある。しかしながら、付加造形によって製作された純チタンの性質は不明なところが多く、臨床での使用には不安が生じている。

2020年6月、鑄造チタンクラウンが保険に導入され、これから純チタンを用いた補綴装置の需要が著しく増加することは、昨今のパラジウムの高騰からも容易に予想できる。これらの事実から、純チタンを用いた付加造形についての研究は極めて急務であり、付加造形法によって製作された純チタンと鑄造から製作されたチタンとの諸性質を比較し、純チタンを用いた付加造形の歯科での有用性について明確にする必要があった。

2. 研究の目的

このような状況に鑑み、純チタン粉末を用いた付加造形の歯科応用における有用性を明らかにすることを目的に、従来行われている鑄造法で製作した純チタンの試験片と機械的性質や耐食性を評価した。さらに、付加製造で製作した加工物の寸法精度を明らかにし、造形方向がそれらに及ぼす影響について検討した。

3. 研究の方法

(1) 引張試験とビッカース硬さ試験

引張試験用にダンベル型試験片、硬さ試験用に板状試験片の STL データを 3D CAD ソフト (Creo Element/Direct、PTC) を用いて製作し、純チタン粉末 (TILOP-45、大阪チタニウムテクノロジー) を用いて、Selective laser melting 方式の付加造形機 (EOS M280、EOS) による純チタン試験片 (SLM) を製作した。造形の際、造形方向が性質に及ぼす影響を明らかにすることを目的に、造形方向に対して、垂直 (0°)、斜め (45°)、平行 (90°) にデータを配置し、試験片を造形した (図1)。

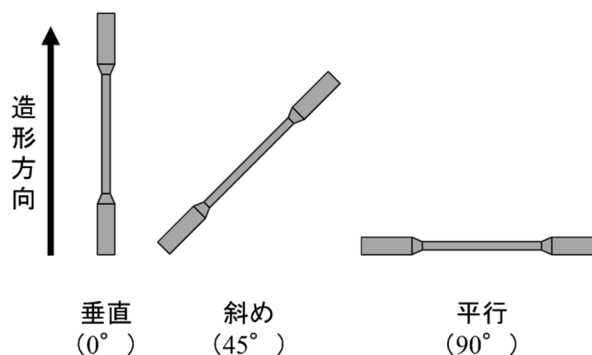


図1 試験片の造形方向

比較対象として、純チタンを用いた鑄造法により試験片 (Cast) も製作した。鑄造用パターンは金属の付加造形と同様のデータを用い、光造形式付加造形機 (PartPro 100xP、XYZ Printing) により鑄造用レジンパターンを製作し、チタン専用埋没材 (スピードチタンインベストメント、松風) で埋没した。チタン専用鑄造器 (Ti Cascom、デンケン) を用いて鑄造し、純チタン試験片を製作した。

ダンベル状試験片では、万能試験機 (オートグラフ DCS-10T、島津) を用いて引張試験を行い、引張強さと伸びを算出した。板状試験片では、硬さ試験機 (AVK-15、明石) を用いてビッカース硬さを測定した。

(2) 腐食試験

積層造形および鑄造にて製作した純チタンの板状試験片を乳酸溶液に7日間浸漬し、色彩色差計 (CR-221、コニカミノルタ) を用いて浸漬前後の測色を行い、色差を算出した。精密デジタル天秤 (MC210S、ザルトリウス) を用いて浸漬前後の重量を測定して差を算出することで、浸漬試験による重量減少量とした。

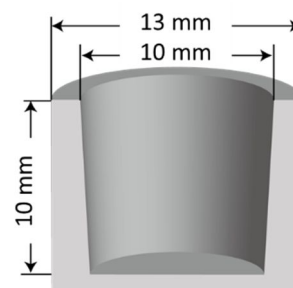


図2 試験片の寸法

(3) 造形精度の評価

全部金属冠を模した円柱状の STL データを 3D CAD ソフトを用いて設計し、その形状について、純チタンを用いて付加造形機によ

り試験片を製作した(図2)。その試験片の外径、内径および深さについて、三次元形状測定機(VR-6000、キーエンス)を用いて測定した。また、外径、内径についてはその真円度についても求めた。造形方向がこれら寸法に及ぼす影響を検討するために、垂直(0°)、斜め(45°)、平行(90°)にデータを配置して造形した試験片についても測定した(図3)。

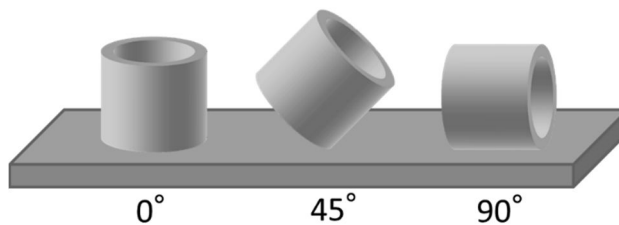


図3 クラウンの造形方向

4. 研究成果

(1) 引張試験とビッカース硬さ試験

引張強さでは、積層造形した試験片は鋳造で製作したものより同等もしくはそれより大きい結果を示した。特に90°で造形した試験片は最も大きい強さを示した(図4)。伸びでは、全ての造形方向および鋳造法との間に有意差は認められなかった(図5)。ビッカース硬さでは、積層造形と鋳造法の間には有意差は認められなかった。

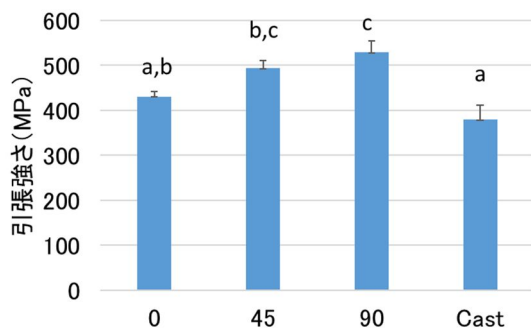


図4 引張強さ

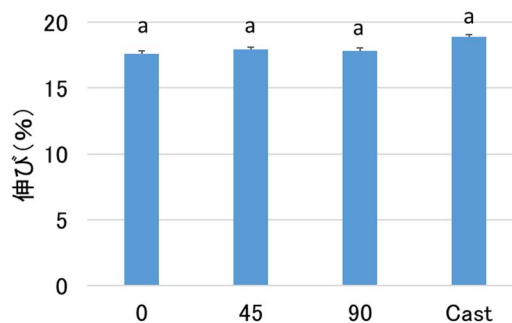


図5 伸び

(2) 腐食試験

腐食試験前後の重量減少および色差では、付加造形と鋳造の間に有意差は認められなかった(図6・7)。

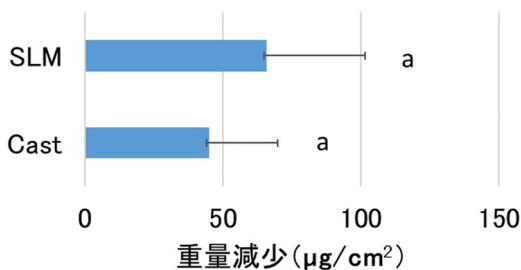


図6 重量減少

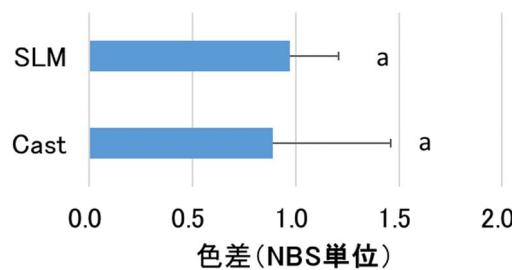


図7 色差

(3) 造形精度の評価

付加造形した試験片の深さについては、データの配置角度が及ぼす影響は小さいことが明らかとなった。しかしながら、外径や内径、真円度は、造形ステージに平行となるようにデータを配置したもの(90度)では、設計値との誤差が大きく生じ、真円度も大きくなってしまふことが明らかとなった(図8・9)。

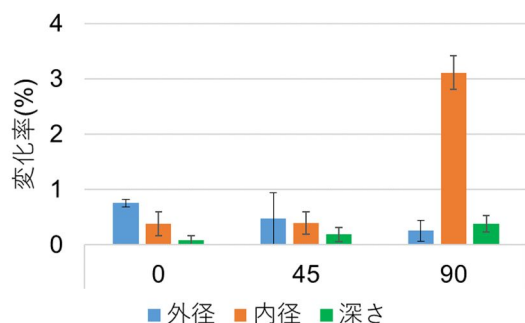


図8 寸法変化率

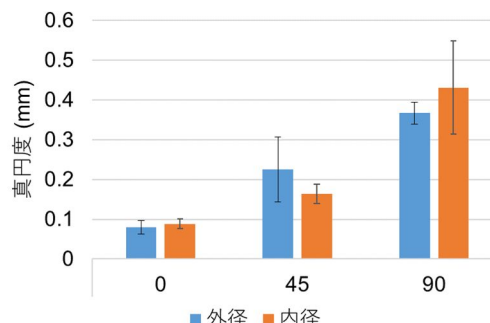


図9 真円度

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 2件）

| |
|--|
| 1. 発表者名 石田祥己, 渡邊 慧, 三浦大輔, 中島健太郎, 新谷明一 |
| 2. 発表標題 造形方向がチタンを用いたEBMの精度に及ぼす影響 |
| 3. 学会等名 公益社団法人日本補綴歯科学会東京支部学術大会 |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Yoshiki Ishida, Akikazu Shinya, Daisuke Miura, Kentaro Nakajima |
| 2. 発表標題 Application of electron beam melting technology in fabricating titanium prostheses |
| 3. 学会等名 Asian Network of Dental Materials Societies Kickoff Meeting (国際学会) |
| 4. 発表年 2024年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Yoshiki Ishida, Satoru Watanabe, Daisuke Miura, Kentaro Nakajima, Akikazu Shinya |
| 2. 発表標題 Dimensional Accuracy of Titanium Crown Fabricated By EBM And SLM |
| 3. 学会等名 2024 IADR/AADOCR/CADR General Session & Exhibition (国際学会) |
| 4. 発表年 2024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 |
|---------------------------|-----------------------|----|
|---------------------------|-----------------------|----|

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|
|---------|---------|