

令和 3 年 6 月 4 日現在

機関番号：32650

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K11784

研究課題名(和文) 三次元造形技術で加工した歯科用金属による新たな歯科医療技術の構築

研究課題名(英文) Construction of newly dental technology using dental metal processed by 3D modeling technology

研究代表者

服部 雅之 (HATTORI, Masayuki)

東京歯科大学・歯学部・教授

研究者番号：10307390

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：積層造形技術による金属粉末の三次元造形法が産業界では普及しているが、歯科医療への応用においては、金属材料の選別、造形物の物性や寸法精度など検討すべき課題が多い。本研究は、新たな歯科医療技術に適合した金属材料による加工技術を構築することを目的としている。2種金属(コバルトクロム合金、チタン合金)について諸物性の評価、歯冠形状を模した造形試験および造形条件の最適化を試みた。いずれの合金においても、従来の鋳造法により製作したものと積層造形で製作したものでは機械的強度は異なる傾向を示した。また積層造形法では5条件の造形条件を試み、機械的性質を変化させることなく、寸法精度を制御することが可能となった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

歯科領域における種々材料の成形加工法は、近年のCAD/CAM技術の発展によって劇的に変化しつつあるが、金属材料は未だその域に到達していない。積層造形技術による金属粉末の三次元造形法が産業界では普及しているが、歯科医療への応用においては、金属材料の選別、造形物の物性、寸法精度など検討すべき問題点も多く、それらを改善することが課題とされている。これらの成果はクラウン形状の歯冠補綴装置製作の将来に前向きな示唆を与えるものであり、社会的意義は極めて大きい。

研究成果の概要(英文)：Although the three-dimensional modeling method of metal powder by the laminated modeling technology is widespread in the industrial world, there are many issues to be examined such as selection of metal materials, physical characteristics and dimensional accuracy of the modeled object in application to dentistry. The purpose of this research is to build a processing technology using metal materials that is suitable for new technologies. We tried to evaluate various physical properties of cobalt-chromium alloy and titanium alloy, perform a modeling test that imitated the crown shape, and optimize the modeling conditions. In any of the alloys, the mechanical strengths tended to be different between those manufactured by the conventional casting method and those manufactured by laminated molding. In addition, in the additive manufacturing method, five modeling conditions were tried, and it became possible to control the dimensional accuracy without changing the mechanical properties.

研究分野：歯学

キーワード：歯科医療技術 歯科用金属 チタン コバルトクロム合金 適合精度

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

金属 3D プリンターを利用して、補綴装置や修復物を製作する付加製造技術が紹介され、従来の歯科鑄造法や切削法による歯科用 CAD/CAM の欠点を補完する方法として注目されている。レーザーや電子ビーム焼結による金属粉末のメタルフレーム製作システムが金属 3D プリンターとして実用化されているものの、歯科補綴装置に要求される表面性状や加工精度の課題など、金属 3D プリンターには材料粉末をはじめとして克服すべき課題も多い。金属義歯床では、チタンやコバルトクロム合金が応用され主に歯科鑄造法で製作されるが、口腔粘膜との適合性の基準はクラウンやブリッジに比較して適正範囲が広い。他方、クラウンやブリッジでは補綴装置と歯との適合精度は 30~80 μm 程度と、求められる適合精度が高いことが知られている。歯科鑄造法による補綴装置製作に関する基礎研究は、ほぼ確立したといっても過言ではないが、金属 3D プリンターは局所的に熔融焼結した材料が立体的に積層される方法であり、金属粉末の粒径が積層造形物の表面性状や適合性に影響することや、造形条件により機械的性質が大きく異なることなど、歯科鑄造法とは異なり制御すべき問題点もある。

金属 3D プリンターは装置内に敷き詰めた金属粉末を、熱源となるレーザーや電子ビームで造形部分を熔融・凝固を繰り返すことで造形する。この造形技術により、個々の患者に合わせた複雑な形状の修復物や補綴装置が高精度で迅速に作製でき、既にコバルトクロム合金粉末による積層造形製品が歯科分野で普及しつつあるものの、生体親和性の高いチタン合金ではレーザー照射条件、造形用雰囲気などの克服すべき課題が残されている。

2. 研究の目的

歯科領域における歯科用金属の成形加工は、歯科精密鑄造法によって確立されてきた。近年の CAD/CAM 技術の発展によって、セラミックスやレジン系材料の加工法が劇的に変化しつつあるが、金属材料は未だその域に到達していないのが現状である。金属 3D プリンターの発展により、金属粉末による造形法が紹介され産業界では今後の普及が期待されているが、歯科医療への応用においては、金属材料の選別、寸法精度、造形物の物性など検討すべき問題点も多く、それらを改善することが課題とされている。本研究は、金属粉末レーザー積層造形技術により、歯科医療への応用の可能性を模索することで、新たな歯科医療技術に適合した金属材料による製作・加工技術を構築することを目的としている。

3. 研究の方法

(1) 3D プリンターの造形条件設定

研究対象とする金属粉末は、チタン合金粉末(TAB6400, JIS 相当品)とコバルトクロム合金粉末(T7402, JIS 相当品)とした。金属光造形複合加工機(LUMEX Advance-25)における造形条件の設定は、過去のデータに基づき下記 5 条件(スポット径:0.3mm, 積層厚さ:0.05mm)とした(表 1)。造形加工のイメージ図を示す(図 1)。

表 1 加工機の造形条件

条件	走査速度 (mm/s)	レーザー 出力(W)	ハッチ間隔 (mm)
1	200	120	0.15
2	250	120	0.15
3	300	120	0.15
4	200	150	0.15
5	250	150	0.15

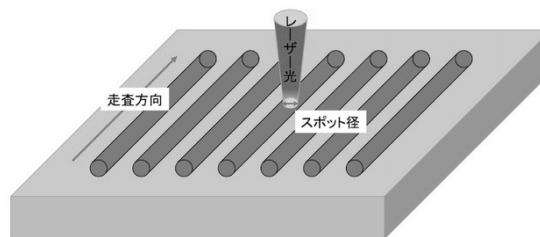


図 1 造形加工のイメージ

(2) 歯科鑄造法による比較試料の作製

比較対照試料として、チタン合金(Ti-6Al-4V)とコバルトクロム合金(Wirobond SG)を選択し、チタン合金は歯科用アーク式チタン鑄造機(サイクラーク II, モリタ製作所)、コバルトクロム合金は高周波式鑄造機(キャスコム S, デンケン)にて各試料を鑄造加工した。試料作製に関しては、通報にしたがいロストワックス法で行った。

(3) 機械的性質評価

ダンベル形状の引張試験片を表 1 の造形条件で作製した。引張試験は、万能材料試験機(オートグラフ AG-I, 島津製作所)に定位置くさび方式のつかみ具を取り付け、標点間距離 15mm のストレインゲージ式伸び計を用い、クロスヘッドスピード 0.5mm/min の条件で行い、得られたチャートから 0.2%耐力、引張強さおよび伸びを算出した。また、硬さ試験機(HMV-G, 島津製作所)によりピッカース硬さ(Hv)を測定した。繰り返し数は、各試験 5 とした。

(4) FC 金型による適合性評価

フルクラウン(FC)型金属製マスターモデルをベースに得られた三次元データより、表1の条件でフルクラウンを製作した。鋳造での試料作製に関しては、通報にしたがいロストワックス法で製作した(n=8)。図2に示すFC型金型を使用し、フルクラウンとマスターモデルとの適合性(図3)を評価した。適合性試験において一部、付加型シリコーンゴム印象材を併用しての評価とした。収縮の場合は浮き上がり量を、膨張の場合は金型を一部分割し、浮き沈み量とした。



図2 FC型金型と模式図



図3 FC型金型とフルクラウンの適合性評価

4. 研究成果

(1) 機械的性質

金属光造形複合加工機で造形した試験片と鋳造で作製した試験片の引張試験の結果を図4、5に示す。チタン合金、コバルトクロム合金ともに、積層造形法(条件1~5)による試験片は、鋳造で作製した試験片と比較して有意に高い引張強さ、耐力を示した。

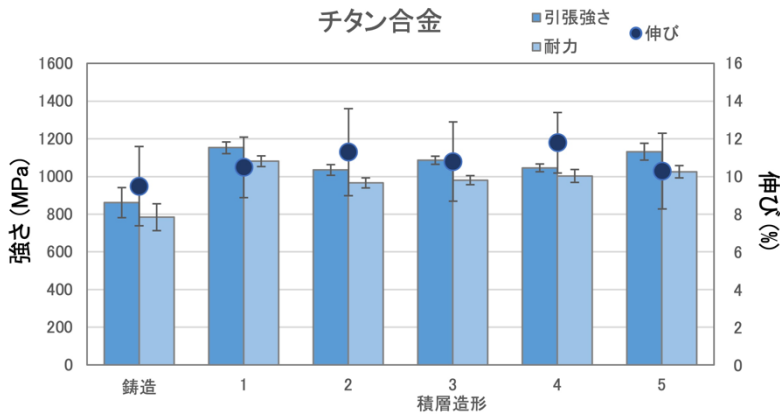


図4 チタン合金の引張試験結果

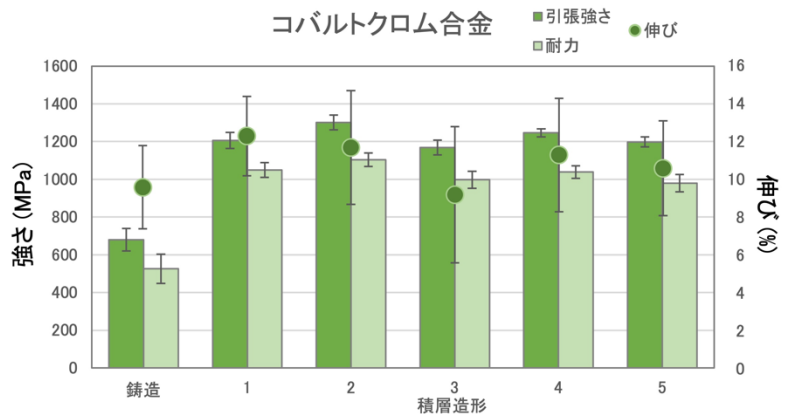
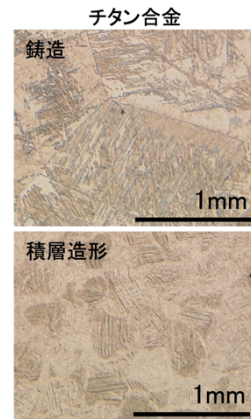


図5 コバルトクロム合金の引張試験結果

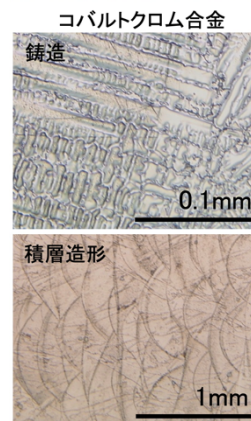


図6 各金属の微細組織

表2 硬さ試験結果

硬さ試験の結果を表2に示す。硬さについては、チタン合金とコバルトクロム合金では異なる挙動を示した。これは、チタン合金では鋳造により合金表面に生成されるαケース(酸化膜)が影響したためと考えられる。積層造形法ではαケースの存在は認めなかった。これらの機械的性質の差異は、各製法による金属の微細構造(図6)の違いが大きく影響していると考えられる。

硬さ (4.9N, Hv)	チタン合金	コバルトクロム合金	
	鋳造	472 (23)	330 (35)
積層造形	1	522 (28)	380 (31)
	2	538 (22)	362 (22)
	3	499 (36)	377 (19)
	4	502 (26)	358 (30)
	5	522 (24)	394 (25)

(2) FC 金型における適合性(適合精度)

各条件下におけるフルクラウンと辺縁部の間隙量および適合状態(収縮・膨張)の割合を表3と表4に示す。同一の条件下においても、製作したフルクラウンの適合は収縮と膨張が混在した。

鋳造法で製作した試料では、チタン合金、コバルトクロム合金ともに基準金型辺縁部での適合状態は膨張を示す割合が高く、辺縁部間隙量はともに50 μ m前後であった。積層造形法では加工条件を計5通りの組合せで検討した。チタン合金の試料では収縮と膨張の割合はほぼ50%であり、辺縁部間隙量は70~84 μ mの範囲であった。コバルトクロム合金ではやや膨張傾向を示すものが多く、辺縁部間隙量は58~92 μ mの範囲であった。

表3 チタン合金の適合性評価

チタン合金	辺縁部 間隙(μ m)	適合状態		
		収縮	膨張	
鋳造	55(18)	2	6	
積層造形	1	70(11)	4	4
	2	78(15)	4	4
	3	84(20)	3	5
	4	77(24)	4	4
	5	72(16)	5	3

表4 コバルトクロム合金の適合性評価

コバルトクロム 合金	辺縁部 間隙(μ m)	適合状態		
		収縮	膨張	
鋳造	48(21)	1	7	
積層造形	1	92(12)	3	5
	2	88(8)	3	5
	3	80(10)	3	5
	4	58(10)	2	6
	5	63(12)	3	5

以上の結果より、積層造形法における今回設定した造形条件下においては、従来の鋳造法と比較して、機械的性質を低下させることなく、フルクラウン補綴装置の臨床応用を検討する上で許容範囲であることが明らかとなった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 NIHEI Tomotaro, OHASHI Katsura, HATTORI Masayuki, IMAZATO Satoshi	4. 巻 39
2. 論文標題 A surveillance study of the demand of titanium and titanium alloys in Japan	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Dental Materials Journal	6. 最初と最後の頁 9~11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4012/dmj.2019-095	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Takemoto Shinji, Sasaki Kaori, Sugawara Shiho, Saitoh Setsuo, Sawada Tomofumi, Taira Masayuki, Tanabe Koji, Yoshinari Masao, Hattori Masayuki, Jansen John A., Leeuwenburgh Sander G.G.	4. 巻 782
2. 論文標題 Loading of Fluvastatin onto Gelatin-Coated Titanium Implants	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Key Engineering Materials	6. 最初と最後の頁 233 ~ 237
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4028/www.scientific.net/KEM.782.233	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 染屋 智子、武本 真治、笠原 正彰、京極 啓、服部 雅之	4. 巻 38
2. 論文標題 水酸化カルシウム製剤で処理した根部象牙質での接着性レジンセメントの接着強さ	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本歯科理工学会誌	6. 最初と最後の頁 52 ~ 58
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18939/jsdmd.38.1_52	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 1件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 笠原正彰, 染屋智子, 服部雅之, 他6名
2. 発表標題 ヒト筋突起腱-骨付着部の構造特性解明
3. 学会等名 第74回日本歯科理工学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 染屋智子, 笠原正彰, 京極啓, 武本真治, 服部雅之
2. 発表標題 網目状構造ファイバーポストと支台築造用レジンとの維持力 サーマルサイクルの影響
3. 学会等名 第308回東京歯科大学学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 染屋智子, 笠原正彰, 京極啓, 服部雅之, 高橋英和
2. 発表標題 網目状構造を有するファイバーポストと支台築造用レジンとの維持力に及ぼすサーマルサイクルの影響
3. 学会等名 第73回日本歯科理工学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Takemoto, K. Sasaki, S. Sugawara, S. Saitoh, T. Sawada, M. Taira, K. Tanabe, M. Yoshinari, M. Hattori, J. A. Jansen, S.G.G. Leeuwenburgh
2. 発表標題 Loading of fluvastatin onto gelatin-coated titanium implants
3. 学会等名 Bioceramics 30 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 笠原正彰, 染屋智子, 服部雅之, 他7名
2. 発表標題 微小領域エックス線回折法によるヒト筋突起のBAp結晶配向性解析
3. 学会等名 第71回日本歯科理工学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 染屋智子、笠原正彰、服部雅之、他4名
2. 発表標題 網目構造を有するファイバーポストと支台築造用レジンとの維持力
3. 学会等名 第72回日本歯科理工学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 笠原正彰、染屋智子、五十嵐俊男、愛知徹也、市川弘道、吉成正雄、服部雅之
2. 発表標題 微小領域X線回折法を用いたヒト上顎皮質骨のBAp結晶配向性の解明
3. 学会等名 第70回日本歯科理工学会学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 服部雅之
2. 発表標題 生体にやさしいチタン合金開発と加工技術の最前線
3. 学会等名 平成29年度日本補綴歯科学会東京支部学術講演会（招待講演）
4. 発表年 2017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
研究分担者	染屋 智子 (SOMEYA Tomoko) (60801470)	東京歯科大学・歯学部・講師 (32650)	

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
---------	---------