

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 21 日現在

機関番号：12602

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26861627

研究課題名(和文) レーザー積層造形法の歯科補綴装置への応用の評価と実用化

研究課題名(英文) Application of selective laser melting in manufacturing of dental prostheses

研究代表者

高市 敦士 (Takaichi, Atsushi)

東京医科歯科大学・歯学部附属病院・助教

研究者番号：30707047

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：レーザー積層造形(SLM)法で3種の造形方向にて製作したCo-Cr合金の組織評価及び機械的特性(引張試験、疲労試験)の評価を行い、鑄造試料との比較検討を行った。SLM法で製作した試料は引張り試験においていずれの積層方向でも鑄造より有意に高い0.2%耐力と最大引張強さを示したが、疲労試験では顕著な異方性が確認され、造形方向によっては鑄造法より有意に低い疲労強度を示した。異方性の原因としては結晶構造や結晶配向といった組織構造に加えて表面性状や造形時に生じる残留応力が関わっている可能性が示唆された。

研究成果の概要(英文)：The mechanical properties and fatigue strength of Co-Cr alloy specimens prepared by selective laser melting (SLM) using three different build directions were investigated and compared to those of cast specimens. The SLM specimens showed no obvious mechanical anisotropy in tensile tests and exhibited significantly higher yield strength and ultimate tensile strength than the cast specimens under all conditions. In contrast, a high degree of anisotropy in fatigue performance associated with the build orientation was found and, in some building directions, fatigue strength of SLM builds was significantly shorter than that in the cast specimens. This could be due to a number of factors, such as surface roughness, crystal orientation, residual stress, and molten pool boundaries.

研究分野：歯科補綴

キーワード：レーザー積層造形法 異方性 疲労強度

### 1. 研究開始当初の背景

レーザー積層造形法 (SLM) は複雑な 3 次元形状を造形可能な CAD/CAM 技術の一つであり、部分床義歯メタルフレームワークの製作への実用化が期待されている。部分床義歯における臨床的な問題としてメタルフレームの構成要素の一つであるクラスプの維持力の低下や、疲労破壊が頻度の高い問題として報告されている。そのためクラスプにとって疲労強度は特に重要な性質と言えるが、レーザー積層造形法で製作したクラスプの疲労強度は明らかとなっていない。

### 2. 研究の目的

本研究では、レーザー積層造形法を用いて製作した Co-Cr-Mo 合金製クラスプの疲労強度および組織を明らかとし鋳造体と比較検討した。

### 3. 研究の方法

Co-Cr-Mo 合金粉末 (EOS CobaltChrome MP1, EOS) をレーザー積層造形装置 (EOSINT M280, EOS) に供し、クラスプ形状を有する疲労試験片を製作した。試験片はクラスプが造形方向に対して 0° (平行)、45°、90° (垂直) となるような 3 方向で製作した。以下それぞれを FL0、FL45、FL90 と呼称する。また標点間距離 15 mm、直径 3 mm のダンベル型試験片を疲労試験片と同様の造形方向で製作した (図 1)。以下それぞれを TL0、TL45、TL90 と呼称する。

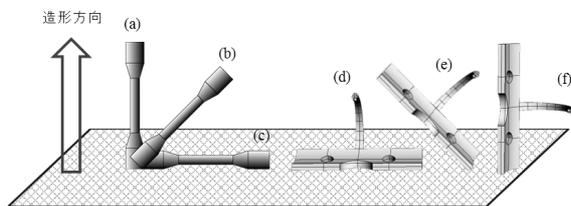


図 1 . 各試験片の造形方向の概略図。  
(a) TL0; (b) TL45; (c) TL90; (d) FL0;  
(e) FL45; (f) FL90

引張試験より本合金の機械的特性 (0.2% 耐力, 引張強さ, 伸び) を求めた。組織解析は光学顕微鏡 (OM)、走査型電子顕微鏡

(SEM)、X 線回折装置 (XRD)、結晶方位解析装置付走査型顕微鏡 (SEM-EBSD) を用いて行った。

疲労試験に先立ちクラスプ表面の粗さ測定を行った。疲労試験はクラスプ先端部に対して 0.25 mm および 0.50 mm の変位を周波数 5Hz で与え、クラスプの変形に要する荷重量が初期荷重量の 15 % 以下に減った場合もしくは  $10^6$  サイクルに達した時点までを行い、荷重量、繰り返し回数、永久変形量を観測した。試験片破断後の破断面とクラスプ内面を SEM にて観察した。

### 4. 研究成果

SLM で製作した試験片では造形方向に対して平行に伸展したセル状デンドライトが観察され (図 2)、結晶構造解析の結果より面心立方構造 (fcc) を有する  $\gamma$  層から構成されていることが明らかとなった (図 3)。

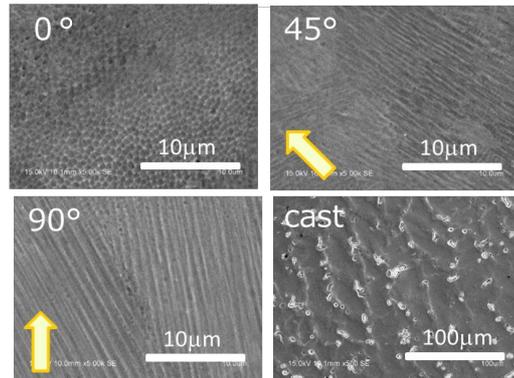


図 2 積層造形体および鋳造体の組織像。

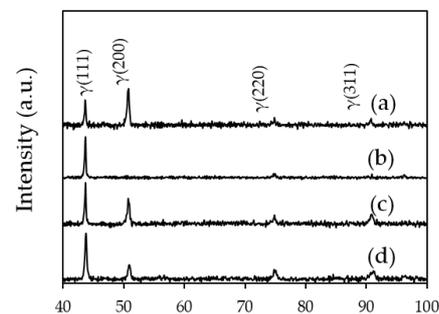


図 3 . 積層造形体およびコバルトクロム粉末の X 線回折結果。

(a) TL0; (b) TL45; (c) TL90; (d) Co-Cr-Mo alloy powder

引張試験の結果では、いずれの試料でも鋳造体と比較して有意に高い 0.2 %耐力と最大引張強さを示した (図 4)。

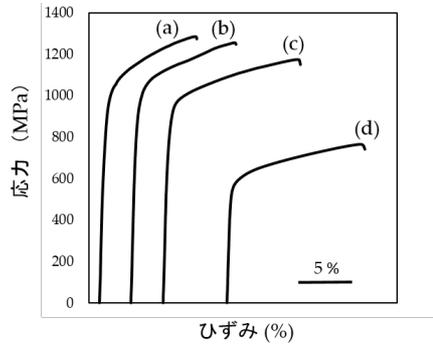


図 4 . 積層造形体および鋳造体の応力ひずみ曲線 . (a)TL45; (b) TL90; (c) TL0; (d) cast.

表面粗さは試料間で有意差を認め(表 1) , SEM 像より FL0 と FL45 ではクラスプ表面に積層造形時に各種層間で生じたと思われる段差が観察された (図 5) .

| Group | Mean ( $\mu\text{m}$ ) | SD   |
|-------|------------------------|------|
| FL0   | 18.17 <sup>a</sup>     | 0.33 |
| FL45  | 13.67 <sup>b</sup>     | 0.40 |
| FL90  | 10.22 <sup>c</sup>     | 0.27 |

表 1 . クラスプ内面の表面粗さ .

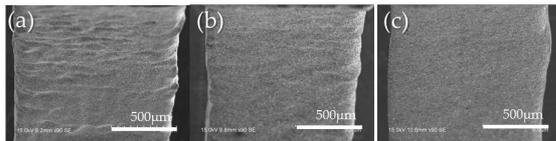


図 5 . クラスプ内面の SEM 像 .

疲労試験の結果 ,FL90 は鋳造体より有意に高い疲労強度を示す一方で FL0 ,FL45 の試料では鋳造体より有意に低い疲労強度を示した (図 6) . 試料破断面の SEM 像から SLM で製作した試料は結晶粒界部に沿って亀裂が伸展している様子が観察された (図 7) .

EBSD の結果より FL0 では<001>に近い面の fcc が配向する傾向が認められ FL45 や FL90 では結晶の配向傾向は認められなかった . 結晶粒の大きさを比較すると FL0 が FL45 や FL90 より小さくそれぞれの平均結晶粒径

はそれぞれ FL0=48.9  $\mu\text{m}$ , FL45=70.5  $\mu\text{m}$ , and FL90=68.1  $\mu\text{m}$ .であった (図 8) .

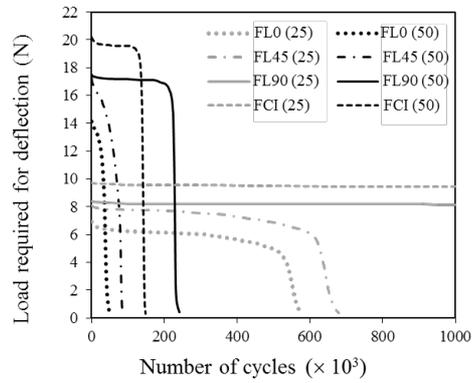


図 6 . 破断までの繰り返し回数

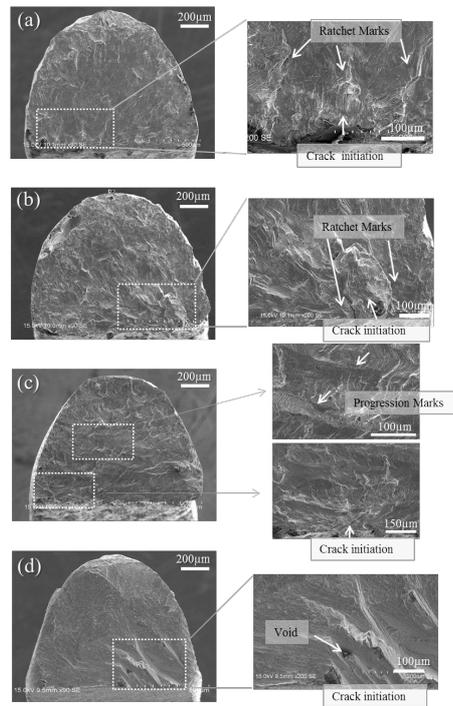


図 7 . クラスプ破断面の SEM 像 .

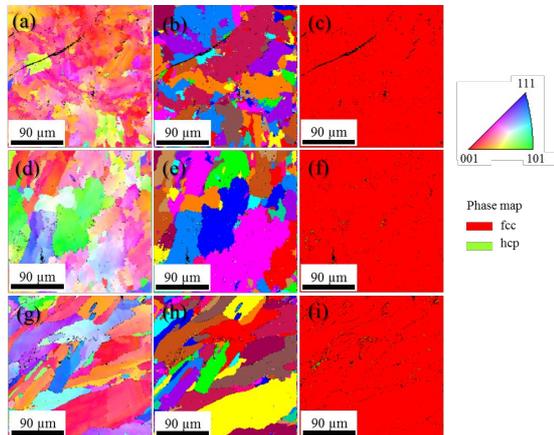


図 8 . EBSD の結果 . IPF maps (a, d, g), grain maps (b, e, h) and phase maps (c, f, i); (a,b,c) FL0; (d, e, f) FL45; (g, h, i) FL90.

以上より SLM で製作したクラスプの疲労強度は異方性を有しており、造形方向によっては既存の歯科鑄造を上回る疲労強度を有していることが明らかとなった一方で低い疲労強度を示す場合もあることが明らかとなった。異方性の原因としては造形方向の違いによる金属組織の違いや表面粗さの違いや造形時に生じる残留応力の影響が考えられる。異方性の存在は様々な方向から応力がかかる歯科補綴装置にとっては好ましくない性質であると考えられるため、実用化においては異方性についての検証が必要と考えられる。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

[査読有]

Kajima Y, Takaichi A, Nakamoto T, Kimura T, Yogo Y, Ashida M, Doi H, Nomura N, Takahashi H, Hanawa T, Wakabayashi N. Fatigue strength of Co-Cr-Mo alloy clasps prepared by selective laser melting. Journal of the mechanical behavior of biomedical materials. 2016.06; 59 446-458.  
doi: 10.1016/j.jmbbm.2016.02.032.

〔学会発表〕(計 5 件)

Takaichi A, Kajima Y, Kittikundecha N, Nakamoto T, Nomura N, Takahashi H, Hanawa T, and Wakabayashi N. Effects of support structure on the fatigue strength of selective laser melted Co-Cr-Mo clasps. International Dental Materials Congress 2016, 2016.11.06 (Bali, Indonesia).

Kajima Y, Takaichi A, Nakamoto T, Kimura T, Ashida M, Doi H, Nomura N, Hanawa T, Takahashi H, Wakabayashi N. . Fatigue resistance of Co-Cr-Mo alloy clasps fabricated by selective laser melting process. 6th International Conference on Mechanics of Biomaterials and Tissues (ICMOBT),

2015.12.07 (waikoloa, Hawaii, USA).

高市敦士. 積層造形法により製作したクラスプの疲労強度の異方性. 金属光造形複合加工医療機器フォーラム第9回シンポジウム, 2015.12.05, 株式会社松浦機械製作所 東京フォーラムセンター (東京都大田区)

加嶋祐佳, 高市敦士, 余語良章, 高橋英和, 若林則幸. レーザー積層造形法で製作したクラスプの疲労特性. 日本補綴歯科学会・東京支部学術大会, 2015.11.29, 東京医科歯科大学(東京都文京区)

高市敦士, 加嶋祐佳, 中本貴之, 蘆田茉希, 土居壽, 野村直之, 埴隆夫, 高橋英和, 若林則幸. レーザー積層造形法で製作した Co-Cr-Mo 合金クラスプの疲労強度. 第 66 回日本歯科理工学会学術講演会, 2015.10.03, タワーホール船堀 (東京都江戸川区).

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

高市 敦士(TAKAICHI ATSUSHI)

東京医科歯科大学・歯学部附属病院・助教  
研究者番号: 30707047

### (2)研究分担者

なし

### (3)連携研究者

加嶋 祐佳 (KAJIMA YUKA)

東京医科歯科大学・歯学部附属病院・医員  
研究者番号: 7070778977