

令和 3 年 6 月 14 日現在

機関番号：12602

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K17152

研究課題名（和文）レーザー積層造形法における異方性制御手法の構築

研究課題名（英文）Reduction in anisotropic response of selective laser melting

研究代表者

加嶋 祐佳 (Kajima, Yuka)

東京医科歯科大学・歯学部・非常勤講師

研究者番号：70778977

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：レーザー積層造形体に、サポート構造を付与することで、造形時の冷却速度が増加し、結晶粒の微細化が図れることや、残留応力の発生を低減できることが明らかとなった。これにより、積層造形法により製作した造形体の疲労強度を向上することが可能となり、造形時の造形方向に対する試料角度によって発生する異方性を低減できる可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、造形時の試料の角度の差による異方性が低減され高強度の造形体が得られることから、大型で複雑形状の歯科補綴装置にもSLM法を応用できるようになり、煩雑な従来型歯科技工プロセスの多くをデジタル化することが可能となる。これにより、歯科補綴装置の精度・再現性の向上、質の均一化、医療廃棄物の削減、治療ステップの簡便化・可視化が可能となり、医療費の大幅な削減や患者の健康寿命延伸につながる。

研究成果の概要（英文）：The supported specimens can more effectively dissipate heat during part building, which leads to a higher cooling rate than that of the unsupported specimens. The support structure ensured good mechanical properties for withstanding thermal stresses and helped to prevent micro-cracks led by thermal distortion.

研究分野：歯科補綴

キーワード：レーザー積層造形法

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。

1. 研究開始当初の背景

近年注目を集めている 3D プリンターの一つであるレーザー積層造形 (SLM) 法は、複雑な三次元構造の造形も可能であることから、切削加工法では困難とされる部分床義歯メタルフレームワーク製作への応用が期待されている。しかし SLM 法による造形物の疲労強度は異方性の影響が強く現れ、歯科鑄造法より顕著な強度の低下を示す造形方向が認められることが問題となっている。原因として、造形中の熱応力による残留ひずみや内部き裂の影響が指摘されているが、それに対する対応策は未だ解明されていない。そこで造形体の支えとなるサポート構造を利用することで残留ひずみ発生抑制を図り、造形体の疲労強度の向上が可能ではないかと考えた。

2. 研究の目的

造形体の支えとして設計されるサポート構造を利用して、熱の拡散と残留応力の抑制を図り、疲労強度における異方性の制御を試みる。そして疲労強度と関連付けられた適切なサポート設計原則を確立することで、口腔内で長期的に安全に機能するメタルフレームワークを提供できる新たな積層造形手法を構築することを目的とする。

3. 研究の方法

レーザー積層造形 (SLM) 法を用いて積層方向とサポート設計の異なる Co-Cr-Mo 合金試料を製作し、サポート設計の違いが疲労強度に及ぼす影響の評価およびそのメカニズムを解明する。研究は大きく単純形状試料での評価と臨床応用を想定したクラスプ形状試料での評価に分けられ、以下のように進める。

単純形状試料において、サポート構造の違いが疲労強度に与える影響の評価及びそのメカニズム解明を行い、疲労強度と関連付けられた適切なサポート設計の提案をする。解析方法として以下の手法を用いる。

- 組織評価... 光学顕微鏡 (OM)、走査型電子顕微鏡 (SEM)、電子線後方散乱回析 (EBSD)、X 線回折装置を用いて組織学的分析を行い、サポート設計の違いによる影響を組織学的に評価する。
- 残留応力解析... X 線による応力計測法を用い、3 方向 (X, Y, Z) の残留応力を計測する。
- 三次元有限要素法を用い、サポート形状の違いによる試料の熱勾配の差をモデルから解析し、疲労強度へ影響を及ぼすメカニズムを解明する。

得られた提案に従って臨床応用を想定したクラスプ形状の試料を製作し、より臨床に則した手法による疲労強度の評価を行う。クラスプ試料形状のデザインモデルを図 1 に示す。適切な形状のサポートを付与した試料とサポート形態を付与していない試料を製作し、組織評価、残留応力評価、および疲労試験を行う。



図 1 .クラスプ試料形状

4. 研究成果

図 2 にサポート構造を付与した試料 (サポート構造最適化後) と付与していない試料 (従来型) と、疲労試験結果を示す。サポートを付与した試料はサポートのない試料と比較して、2 倍以上の疲労強度を示した。三次元有限要素法による解析から、サポート構造があることで積層造形時に発生した熱をより迅速に伝えることが可能となり、サポート構造のない試料よりも冷却速度が速くなることが分かった。また、試料切断面の SEM-EBSD 法による解析からは、サポートのある試料ではサポートのない試料より結晶粒径が小さくなることが分かった (図 3)。この結果から、サポート構造のある試料では冷却速度が増加し、結晶粒の微細化に寄与することで、より高い疲労強度を示したと考えられる。本研究により、サポート構造を付与することで、積層造形法により製作した造形体の疲労強度を向上できる可能性が示された。また、疲労強度が向上することで、造形時の試料の角度による疲労強度における異方性も低減でき、SLM 法を用いて製作した造形体の質の均一化にも貢献できる可能性が示唆された。

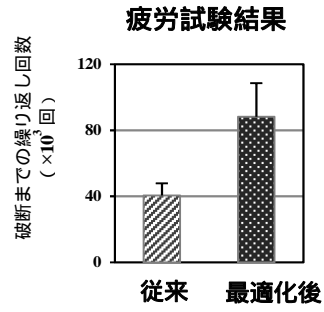
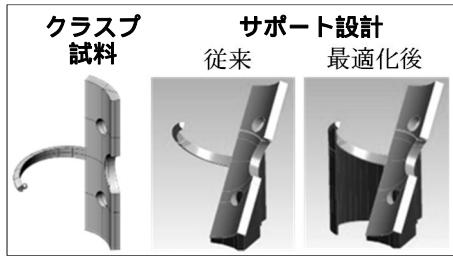


図2. クラspb試料のサポート設計図及び疲労試験結果

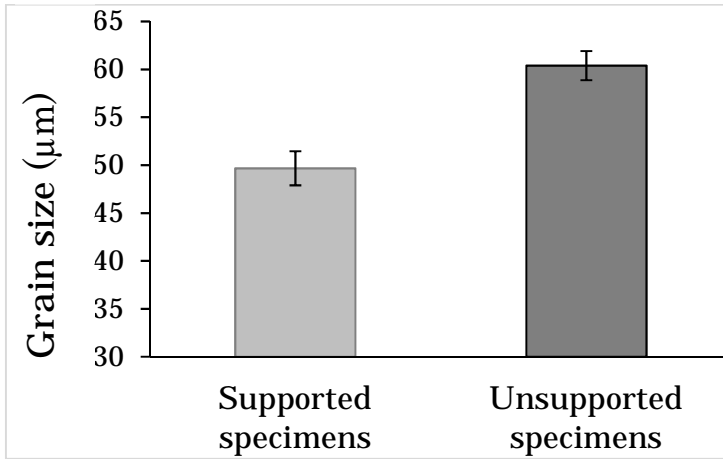


図3. クラspb試料の結晶粒の大きさの比較結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Atsushi Takaichi, Yuka Kajima, Nuttaphon Kittikundecha, Hein Linn Htat, Hla Htoot Wai Cho, Takao Hanawa, Takayuki Yoneyama, Noriyuki Wakabayashi.	4. 巻 102
2. 論文標題 Effect of heat treatment on the anisotropic microstructural and mechanical properties of Co-Cr-Mo alloys produced by selective laser melting.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J Mech Behav Biomed Mater.	6. 最初と最後の頁 in press
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jmbbm.2019.103496	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 Kittikundecha N, Kajima Y, Takaichi A, Wai Cho HH, Htat HL, Doi H, Takahashi H, Hanawa T, Wakabayashi N.	4. 巻 98
2. 論文標題 Fatigue properties of removable partial denture clasps fabricated by selective laser melting followed by heat treatment.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J Mech Behav Biomed Mater.	6. 最初と最後の頁 79-89
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jmbbm.2019.06.010	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 Seki Erina, Kajima Yuka, Takaichi Atsushi, Kittikundecha Nuttaphon, Cho Hla Htoot Wai, Htat Hein Linn, Doi Hisashi, Hanawa Takao, Wakabayashi Noriyuki	4. 巻 245
2. 論文標題 Effect of heat treatment on the microstructure and fatigue strength of CoCrMo alloys fabricated by selective laser melting	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Materials Letters	6. 最初と最後の頁 53～56
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.matlet.2019.02.085	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 -
1. 著者名 Kajima Yuka, Takaichi Atsushi, Kittikundecha Nuttaphon, Nakamoto Takayuki, Kimura Takahiro, Nomura Naoyuki, Kawasaki Akira, Hanawa Takao, Takahashi Hidekazu, Wakabayashi Noriyuki	4. 巻 726
2. 論文標題 Effect of heat-treatment temperature on microstructures and mechanical properties of Co?Cr?Mo alloys fabricated by selective laser melting	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Materials Science and Engineering: A	6. 最初と最後の頁 21～31
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.msea.2018.04.048	査読の有無 無
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 -

1. 著者名 Yuka Kajima, Atsushi Takaichi, Takayuki Nakamoto, Takahiro Kimura, Nuttaphon Kittikundecha, Yusuke Tsutsumi, Naoyuki Nomura, Akira Kawasaki, Hidekazu Takahashi, Takao Hanawa, Noriyuki Wakabayashi.	4. 巻 11
2. 論文標題 Effect of adding support structures for overhanging part on fatigue strength in selective laser melting.	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials.	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmbbm.2017.11.009	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 -

〔学会発表〕 計18件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 Yuka Kajima, Atsushi Takaichi, Nuttaphon Kittikundecha, Hein Linn Htat, Takao Hanawa, Noriyuki Wakabayashi, Takayuki Yoneyama.
2. 発表標題 Effect of various heat treatments on the microstructure, texture and mechanical anisotropy of CoCrMo alloys produced by selective laser melting.
3. 学会等名 8th international conference on mechanics of biomaterials and tissues (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Atsushi Takaichi, Yuka Kajima, Tatsuya Oishi, Nuttaphon Kittikundecha, Hein Linn Htat, Yusuke Tsutsumi, Takao Hanawa, Noriyuki Wakabayashi.
2. 発表標題 Influence of heat treatment on the mechanical and corrosion properties of CoCrMo alloys fabricated by selective laser melting.
3. 学会等名 8th International Conference on Mechanics of Biomaterials and Tissues (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Cho Hla Htoot Wai, Kajima Yuka, Takaichi Atsushi, Nuttaphon Kittikundecha, Htat Hein Linn, Hanawa Takao, Wakabayashi Noriyuki.
2. 発表標題 Effect of cooling conditions after heat treatment on the micro-structure and mechanical properties of cobalt-chromium-molybdenum alloy prepared by selective laser melting.
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 Takaichi A, Kittikundecha N, Kajima Y, Takahashi H, Hanawa T, Wakabayashi N.
2. 発表標題 Enhanced Fatigue Strength of SLMed Co-Cr-Mo clasp by Post-heat Treatment Clasp.
3. 学会等名 97th General Session & Exhibition of the IADR (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kajima Y, Takaichi A, Oishi T, Kittikundecha N, Tsustsumi Y, Hanawa T, Wakabayashi N.
2. 発表標題 Enhanced mechanical properties and corrosion resistance of SLM-processed CoCrMo alloys.
3. 学会等名 97th General Session & Exhibition of the IADR (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 加嶋祐佳, 高市敦士, Nuttaphon Kittikundecha, 蘆田茉希, 野村直之, 埴隆夫, 若林則幸, 川崎亮.
2. 発表標題 レーザー積層造形法における異方性制御を目的とした熱処理条件の検討
3. 学会等名 日本金属学会 2018 年秋期 (第 163 回) 講演大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kittikundecha N, Kajima Y, Takaichi A, Nakamoto T, Doi H, Tsutsumi Y, Nomura N, Kawasaki A, Takahashi H, Hanawa T, Wakabayashi N.
2. 発表標題 Effect of heat treatment on the microstructure and fatigue strength of the Co-Cr-Mo alloy prepared by selective laser melting.
3. 学会等名 第71回日本歯科理工学会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大石達也, 堤祐介, 加嶋祐佳, 高市敦士, 蘆田茉希, 陳鵬, 土居壽, 塙隆夫.
2. 発表標題 選択的レーザー溶融法により作製したCo-Cr-Mo合金の耐食性と熱処理による影響.
3. 学会等名 第40回日本バイオマテリアル学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kajima Y, Takaichi A, Oishi T, Kittikundecha N, Tsutsumi Y, Nomura N, Hanawa T, Wakabayashi N, Kawasaki A. .
2. 発表標題 Surface Characteristics and Corrosion Behavior of CoCrMo Alloys Fabricated by Selective Laser Melting after Various Heat Treatments
3. 学会等名 The AVS Pacific Rim Symposium on Surfaces, Coatings and Interfaces (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kittikundecha Nuttaphon, 加嶋祐佳, 高市敦士, 土居壽, 野村直之, 高橋英和, 塙隆夫, 若林則幸.
2. 発表標題 Relationship between microstructures and fatigue strengths in selective laser melted CoCrMo alloy subjected to heat treatment.
3. 学会等名 第72回日本歯科理工学会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 加嶋祐佳, 高市敦士, Nuttaphon Kittikundecha, 野村直之, 塙隆夫, 若林則幸, 川崎亮.
2. 発表標題 レーザー積層造形法で製作したCoCrMo合金への熱処理条件の検討.
3. 学会等名 日本バイオマテリアル学会東北ブロック講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 15.Kittikundecha Nuttaphon, 加嶋祐佳, 高市敦士, 土居壽, 野村直之, 高橋英和, 塙隆夫, 若林則幸.
2. 発表標題 Effect of heat treatment temperature on microstructures and fatigue strength of Co-Cr-Mo alloy clasps prepared by selective laser melting.
3. 学会等名 日本バイオマテリアル学会東北ブロック講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 加嶋祐佳, 高市敦士, 高橋英和, 若林則幸.
2. 発表標題 レーザー積層造形法で製作した Co-Cr-Mo合金への熱処理の有効性の評価.
3. 学会等名 日本補綴歯科学会 第127回学術大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 加嶋祐佳, 高市敦士, キットクンダシャー ナタボン, 中本貴之, 野村直之, 塙 隆夫, 高橋 英和, 若林 則幸, 川崎 亮.
2. 発表標題 レーザー積層造形法で製作した Co-Cr-Mo 合金への熱処理が組織および機械的性質に与える影響.
3. 学会等名 第71回日本歯科理工学会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 加嶋祐佳, 高市敦士, 中本貴之, ナタボン キットクンダシャー , 野村直之, 高橋英和, 塙隆夫, 若林則幸, 川崎亮.
2. 発表標題 レーザー積層造形法で製作したコバルトクロム合金の異方性制御に有効な熱処理条件の検討.
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 高市敦士, 加嶋祐佳, 中本貴之, 堤祐介, 野村直之, 高橋英和, 埴隆夫, 若林則幸
2. 発表標題 レーザー積層造形法においてオーバーハング部へのサポート構造の付与が疲労強度に与える影響
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 加嶋祐佳, 高市敦士, 高橋英和, 若林則幸.
2. 発表標題 積層造形体の疲労強度に与えるサポート構造の影響.
3. 学会等名 日本補綴歯科学会 第126回学術大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 加嶋祐佳, 高市敦士, ナタボン キットクンダシャー, 野村直之, 高橋英和, 埴隆夫, 若林則幸, 川崎亮.
2. 発表標題 レーザー積層造形法で製作したCo-Cr-Mo合金の異方性緩和を目的とした熱処理条件の検討.
3. 学会等名 金属学会2018年春期講演大会
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
---------------------------	-----------------------	----

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