

平成 30 年 5 月 11 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K11202

研究課題名(和文) グラスファイバー強化熱可塑性プラスチックのクラスプへの応用

研究課題名(英文) Application of glass fiber-reinforced thermoplastic to clasps for removable partial dentures

研究代表者

谷本 安浩 (TANIMOTO, Yasuhiro)

日本大学・松戸歯学部・准教授

研究者番号：40312045

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)：本研究の目的は、優れた審美性と機械的性質を有する新規ノンメタルクラスプデンチャー(NMCD)材料を開発することであった。本研究では、NMCDに応用するため、グラスファイバーとポリプロピレン樹脂から構成されるグラスファイバー強化熱可塑性プラスチック(GFRTP)を射出成形によって作製した。また、それらの曲げ特性や色調安定性などの特性が評価された。結果として、ファイバー含有量10～20 mass%で顔料2 mass%添加のGFRTPは、NMCDとして十分な審美性と剛性を併せ持つことが示された。このことから、作製されたGFRTPはNMCDに適した素材となることが期待される。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to develop a novel non-metal clasp denture (NMCD) material with excellent esthetic and mechanical properties. In this study, a glass fiber-reinforced thermoplastic (GFRTP) made from glass fiber and polypropylene was fabricated using an injection molding, for use in NMCDs. Moreover, their properties such as flexural properties and color stability were assessed. As a result, it was indicated that the GFRTPs with fiber contents of 10 or 20 mass%, and with pigment contents of 2 mass% have acceptable esthetic appearance and sufficient rigidity for NMCDs. Therefore, the fabricated GFRTPs are expected to become attractive materials for NMCDs.

研究分野：歯科生体材料学

キーワード：ノンメタルクラスプデンチャー ファイバー強化熱可塑性プラスチック

1. 研究開始当初の背景

現在、メタルクラスプは部分床義歯の維持装置として一般に用いられているが、前歯部や小臼歯部に装着した場合、審美性を著しく阻害するためにメタルクラスプを使用した部分床義歯が敬遠される要因となっている。近年、審美性を重視する症例に対しては、熱可塑性樹脂を用いたノンメタルクラスプデンチャー (Non-metal clasp denture、以後 NMCD) の使用が普及している。しかし、NMCD は、剛性不足により機能時に動揺やたわみを生じやすく、支台歯の移動、欠損部顎堤の異常吸収といった悪影響を及ぼすことが懸念されている。そのような背景において、本研究では、審美性を維持しつつ、優れた機械的性質を有する NMCD 材料を開発するため、熱可塑性樹脂をガラスファイバーで強化した、ガラスファイバー強化熱可塑性プラスチック (Glass fiber-reinforced thermoplastic、以後 GFRTTP) を作製し、これを NMCD 材料として応用することを考案した。

2. 研究の目的

本研究の目的は、優れた審美性と機械的性質を有する NMCD 材料の開発であった。具体的には、GFRTTP を射出成形により作製し、作製した GFRTTP について特性評価を行い、NMCD 材料としての有用性について検討し、その最適化を図ることが目的であった。

3. 研究の方法

(1) GFRTTP の作製

本研究では、図 1 に示す GFRTTP ペレット (ファイバー含有率: 50 mass%、ファイバー直径: 17 μm 、ファイバー長さ: 10 mm) を基材とし、射出成形によって GFRTTP 試験体を作製した。具体的には、GFRTTP のキャラクター化に用いる試験体を作製するため、板状のワックスパターンを成形し、フラスコに埋没した後、ロストワックスすることで、石膏陰型を作製した。GFRTTP ペレットを乾燥後、250 の溶解炉にて加熱・溶融し、NMCD 用成形機にて射出成形を行った。なお、GFRTTP ペレットに希釈用ポリプロピレンペレットを種々の割合で混合することにより、ガラスファイバー含有率を任意に変化させた GFRTTP 試験体を作製することが可能である。また対照群として、市販の NMCD 材料であるポリアミド系樹脂 (以後 VA) およびポリエステル系樹脂 (以後 EB) また市販アクリル系義歯床用材料である常温重合型レジン (以後 PB) および加熱重合型レジン (以後 IC) を用いた。

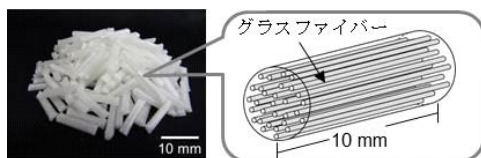


図 1 使用した GFRTTP ペレット

(2) GFRTTP におけるファイバー含有量の検討

GFRTTP におけるガラスファイバー含有量はその機械的性質に及ぼす影響について検討するため、ガラスファイバー含有率を 0、5、10、20、30、40、50 mass% に変化させた GFRTTP 試験体 (以後それぞれを GF0、GF5、GF10、GF20、GF30、GF40、GF50 とする) を作製した。作製した各 GFRTTP 試験体について、密度測定および曲げ試験を行い、ガラスファイバー含有量との関係について検討した。

密度測定

作製した GFRTTP の成形性を評価するため、アルキメデス法による密度測定を行った。秤量精度 0.1 mg の天びんを用いて、空気中および蒸留水中で固体重量を測定し、測定時の蒸留水の密度をもとに各 GFRTTP 試験体の見掛けの密度を測定した ($n = 6$)。また、ガラスファイバーの密度 (2.6 g/cm^3) とポリプロピレンの密度 (0.9 g/cm^3) の値を用いて、各 GFRTTP の理論密度についても算出した。

曲げ試験

作製した GFRTTP の曲げ特性を評価するため、三点曲げ試験を行った。JIS 規格 (JIS T6501) に準じて、試験体形状は長さ 65 mm \times 幅 10 mm \times 厚さ 3 mm とした。試験体を三点曲げ試験治具 (支点間距離 50 mm) に設置し、インストロン万能試験機を用いて、負荷速度 5 mm/min で荷重することにより試験を行った ($n = 6$)。得られた応力 - ひずみ曲線における最大応力値を曲げ強度とし、曲げ弾性係数は初期直線部 (比例限) の傾きから算出した。

(3) GFRTTP における顔料添加量の検討

GFRTTP における顔料添加量はその色調および機械的性質に及ぼす影響について検討するため、無機顔料添加量を 0、1、2、4 mass% に変化させた GFRTTP 試験体をそれぞれ作製し、色調評価および曲げ試験を行った。

色調評価

顔料添加量の影響による GFRTTP の色調変化について肉眼的に観察、評価した。また、色彩色差計を用いて、各 GFRTTP と市販 NMCD 材料 (VA) との色差 (ΔE^*) を計測し、最適な顔料添加量について検討した。測色は測定器の受光部に試験体を垂直に密着させ、任意の 3 点で行い、その平均値を測定値とした ($n = 6$)。計測項目は L^* 値、 a^* 値および b^* 値であり、各 GFRTTP と市販 NMCD 材料の測定値の差の絶対値 (ΔL^* 、 Δa^* および Δb^*) を求め、色差 ΔE^* を算定した。なお、色差 ΔE^* は次式で求められる。

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

曲げ試験

顔料添加量が GFRTTP の機械的性質に及ぼす影響を検討するため、前述の三点曲げ試験と同様の方法で曲げ試験を行い、曲げ強度および曲げ弾性係数を算出した ($n = 6$)。

(4) 色調安定性の評価

作製した GF RTP の口腔内での色調安定性を評価するため、GF RTP の着色試験を行った。試験体形状は長さ 10 mm × 幅 7 mm × 厚さ 3 mm とした。浸漬液としてコーヒー液（ブラック、無糖）を使用した。浸漬期間中は 37 の恒温槽で保管し、1 週間ごとに新しい浸漬液と交換した。コーヒー液浸漬 24 時間、1、2 および 4 週間後の各 GF RTP 試験体を蒸留水で洗浄し、ペーパータオルにより十分に水分を拭き乾燥させた後、白色板上に設置した。次に、色彩色差計を用い、コーヒー液浸漬前と浸漬後の GF RTP 試験体表面の測色をそれぞれ行い、色差 ΔE^* を算定することで、GF RTP の色調安定性について評価した ($n = 6$)。

(5) クラスプ部の構造設計

GF RTP を NMCD におけるクラスプ部に適用した場合の構造設計を行うため、クラスプの維持力を想定した片持ち梁試験および有限要素解析 (Finite element analysis、以後 FEA) を実施し、実験・解析の両面から、GF RTP を用いたクラスプの有用性について検討した。

片持ち梁試験

試験体形状は長さ 32 mm × 幅 5 mm × 厚さ 1 mm とした (図 2)。試験体の片側を長手方向に 20 mm 固定し、他方、梁の先端から長手方向中央部へ 2 mm の位置に、インストロン万能試験機にて 2 mm/min の負荷速度で、たわみ量 0.25、0.50、0.75 mm を与えた際に得られる荷重値をそれぞれ測定した ($n = 10$)。

FEA シミュレーション

片持ち梁試験と同様の試験条件で、三次元 FEA を実施し、GF RTP 試験片厚と、たわみ量および荷重値との関係を検討した。すなわち、GF RTP 試験片厚が 1.00、1.25、1.50 mm の 3 種類の数値モデルを作成し、各モデルにおけるたわみ量 0.25、0.50、0.75 mm を与えた際の荷重値をそれぞれ算出した。なお、FEA には汎用有限要素解析ソフトを使用し、材料定数として、弾性係数：4.0 GPa およびポアソン比：0.47 を用いた。

4. 研究成果

(1) グラスファイバー含有量の最適化

図 3 に各ファイバー含有率における GF RTP の見掛け密度を示す。GF RTP の密度はファイバー含有率の増加に伴い、大きくなることが確認された。また、各ファイバー含有率における GF RTP の密度の実測値は理論値と一致しており、ファイバー含有率を変化させても空隙等の大きな欠陥のない成形性の高い試験体を得ることができた。

図 4 に各ファイバー含有率における GF RTP の曲げ特性を示す。曲げ強度および曲げ弾性係数ともに、ファイバー含有率が大きくなるにしたがい、それらの値は上昇した。また、GF10 および GF20 については、市販アクリル系義歯床用材料と同等の曲げ特性を示すことが明らかとなった。

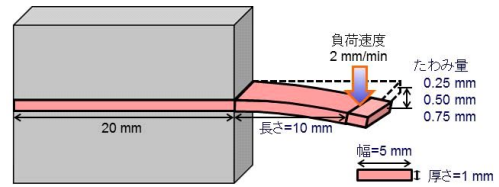


図 2 片持ち梁試験の概要図

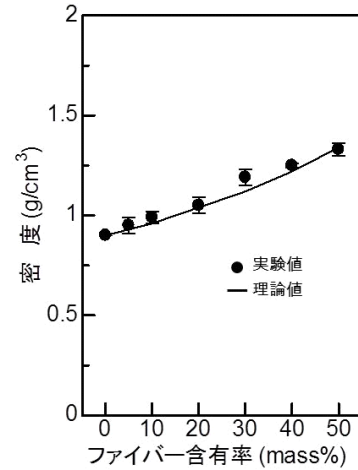
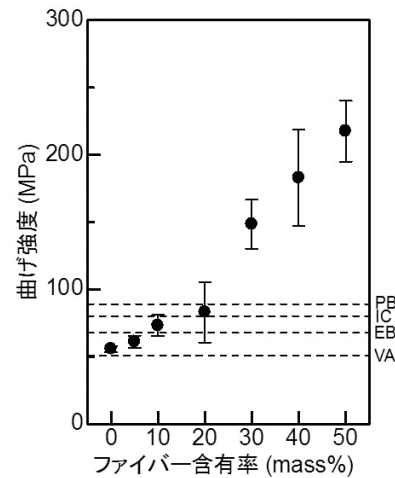
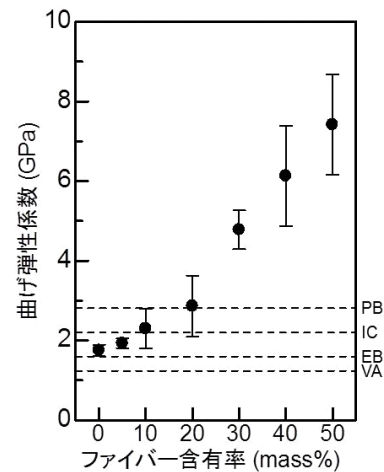


図 3 ファイバー含有率と密度の関係



(a) 曲げ強度



(b) 曲げ弾性係数

図 4 ファイバー含有率と曲げ特性の関係

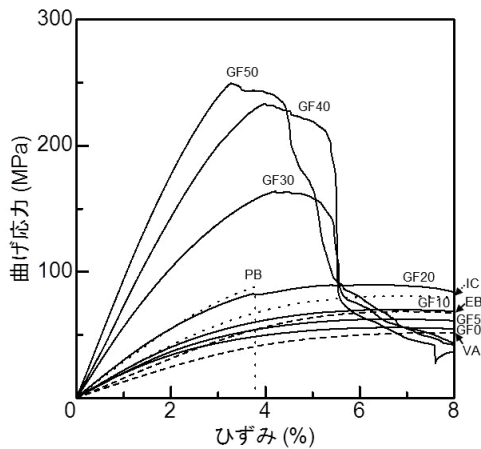


図5 曲げ応力 - ひずみ曲線

図5に各GFRTPおよび対照群の曲げ応力 - ひずみ曲線を示す。GFRTPはファイバー含有率の変化に伴い、異なる曲げ挙動を示した。ガラスファイバー含有率30 mass%以上のGFRTPは応力を加えた初期の段階において線形を呈し、高い剛性を示したが、試験体下部に引張応力による破折を認めた。一方、ガラスファイバー含有率20 mass%以下のGFRTPおよびVA、EB、ICは最大点を超えても破折せず、高い延性を示した。以上の結果から、GFRTPはガラスファイバー含有率を変化させることでその補強効果を大きくコントロールできることが確認された。一般に、GFRTPのNMCDへの臨床応用を考えた場合、維持部が破折不いような高い延性と床が変形しない程度の剛性が必要である。本研究におけるファイバー含有量の最適化の結果、ガラスファイバー含有率20 mass%以下のGFRTPは高い延性を有し、さらにGF10およびGF20は市販アクリル系義歯床用材料と同等の曲げ特性を示したことから、ガラスファイバー含有率10~20 mass%のGFRTP(GF10、GF20)がNMCD材料として最適であると考えられた。そのため、以後、顔料添加量の最適化、色調安定性の評価およびクラスプ部の構造設計においては、GF0、GF10、GF20を研究対象として、評価・検討することとした。

(2) 顔料添加量の最適化

図6にファイバー含有量と顔料添加量を変化させた場合の各GFRTP表面の外観写真を示す。顔料添加量1 mass%のGFRTPは十分な歯肉色を得られず、また顔料添加量4 mass%のGFRTPでは樹脂の赤色濃度が増すことで半透明色のガラスファイバーが目立って観察された。一方、顔料2 mass%のGFRTPは義歯として適した歯肉色を有し、さらに樹脂とファイバーの両者の色彩の調和が得られた。

図7に各GFRTPにおける顔料添加量と色差(ΔE^*)の関係を示す。各GFRTPにおいて、顔料添加量2 mass%が最も低い色差を示し、義歯として適した色調を有することが確認できた。

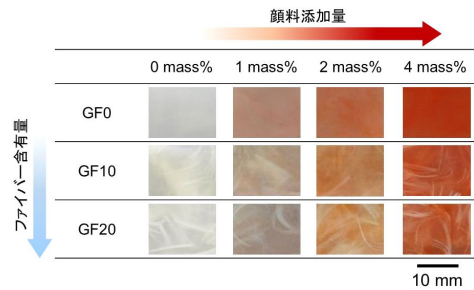


図6 各GFRTP表面の外観写真

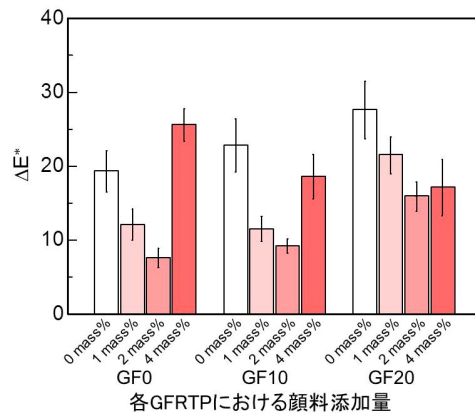
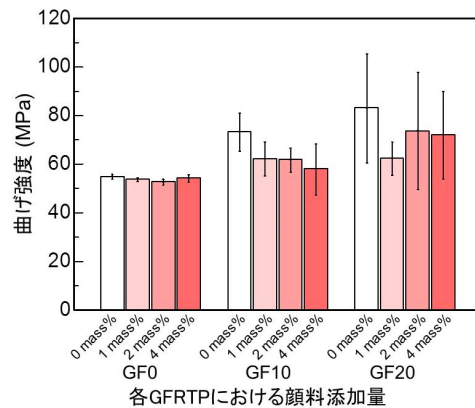
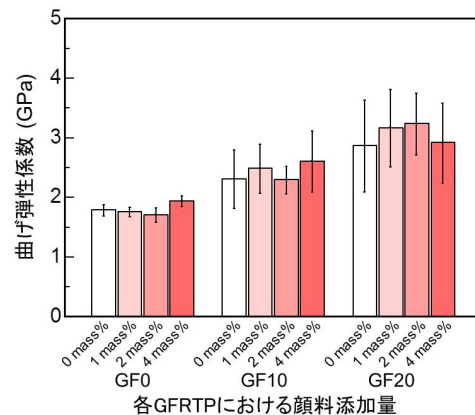


図7 各ファイバー含有量における顔料添加量と色差の関係



(a) 曲げ強度



(b) 曲げ弾性係数

図8 各ファイバー含有量における顔料添加量と曲げ特性の関係

図 8 に各 GF RTP における顔料添加量と曲げ特性の関係を示す。曲げ強度および曲げ弾性係数ともに顔料添加による明らかな変化は認められなかった。また、GF10 および GF20 の曲げ強度および曲げ弾性係数はすべての顔料添加量において常温重合型アクリルレジンの ISO 規格値 (ISO 20795-1、曲げ強度 60 MPa、曲げ弾性係数 1.5 GPa 以上) を満たし、義歯床用材料として十分な機械的性質を有することが示された。以上、本研究における顔料添加量の最適化の結果、グラスファイバーを 10~20 mass% 含有し、顔料を 2 mass% 添加した GF RTP は優れた審美性と機械的性質を有し、新規 NMCD 材料として最適であることが分かった。

(3) 色調安定性の評価

各浸漬期間後の GF RTP 試験体の観察結果から、いずれにおいても肉眼的に著しい変色や着色は認められなかった。一般に、色の識別の基準として色差 ΔE^* を用いるが、本研究では ΔE^* が 1.0 未満の場合を明らかな色調変化はないものとみなし、3.3 以下の場合を臨床的には許容できる色調変化であると判定した。

図 9 に GF RTP をコーヒー液に浸漬した場合の色差 (ΔE^*) の結果を示す。浸漬 4 週間後の VA の色差は 3.3 を超え、肉眼的にも明らかな色調変化を認めた。一方、GF0 と IC については色差が 1.0 未満であり、明らかな色調変化は認められなかった。また、GF10 および GF20 は、GF0 と比べて大きな色差を示した。このことから、GF RTP のマトリックス樹脂であるポリプロピレン (GF0) は優れた色調安定を有していることが分かった。また、GF RTP (GF10、GF20) はグラスファイバー / 樹脂界面からの着色が原因と考えられる色調変化を認めたが、すべての浸漬期間において ΔE^* が 3.3 以下であり、審美性に影響するような着色は生じないと考えられた。

(4) クラスプ部の最適設計

片持ち梁試験の結果、GF20 は各たわみ量において、GF0、GF10、VA および EB に比べて、荷重値が大きかった (図 10)。一般に、クラスプ 1 装置あたり 3 N 以上の維持力が必要とされるが、GF20 はたわみ量 0.75 mm において、3 N を超える荷重値を示した。さらに、FEA の結果、GF20 の荷重値は試験片厚およびたわみ量の増加に伴い大きくなった (図 11)。今回のたわみ量と荷重値を、それぞれクラスプ部のアンダーカット量と維持力と想定した場合、アンダーカット量の設定やクラスプ厚を調整することでクラスプの維持力をコントロールでき、適切な維持力を付与できることが示唆された。

以上、本研究において最適化された GF RTP は、今後、症例に応じて設計できるテーラードタイプの NMCD 材料として期待できるものと考えられる (図 12)。

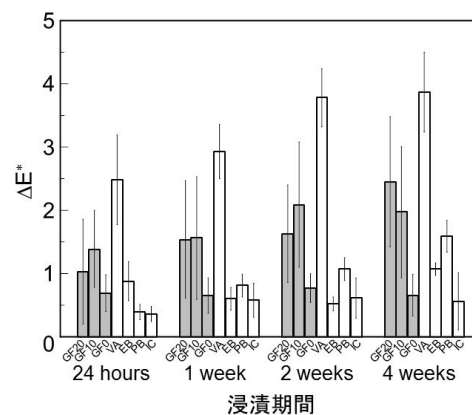


図 9 各浸漬期間における色差

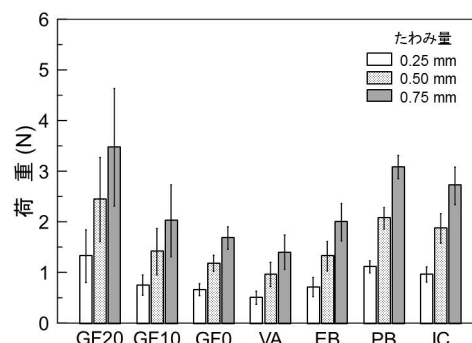


図 10 各たわみ量における荷重値

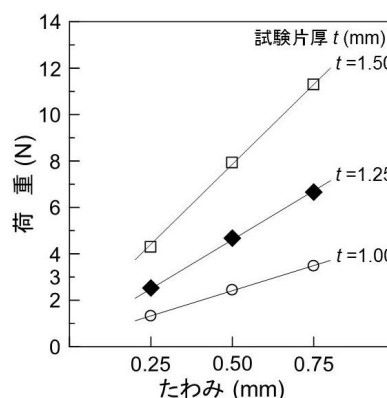


図 11 FEA により得られた荷重値とたわみ量の関係 (GF20 の場合)



図 12 開発した GF RTP 製ノンメタルクラスプデンチャー

5. 主な発表論文等
(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 8 件)

Yasuhiro Tanimoto、Manamu Nagakura、Effects of polishing on surface roughness and hardness of glass-fiber-reinforced polypropylene、Dental Materials Journal、査読有、印刷中

Yasuhiro Tanimoto、Manamu Nagakura、Norihiro Nishiyama、Glass fiber-reinforced thermoplastics for use in metal-free removable partial dentures: Combined effects of fiber loading and pigmentation on color differences and flexural properties、Journal of Prosthodontic Research、査読有、印刷中、DOI : 10.1016/j.jpor.2018.01.002

谷本安浩、永倉愛夢、岩崎太郎、西山典宏、北川剛至、グラスファイバー強化ノンメタルクラスプデンチャー用材料の摩擦摩耗特性、日本歯科理工学会誌、査読有、37 巻、2018、41-48、DOI : 10.18939/jsdmd.37.1_41

Manamu Nagakura、Yasuhiro Tanimoto、Norihiro Nishiyama、Color stability of glass-fiber-reinforced polypropylene for non-metal clasp dentures、Journal of Prosthodontic Research、査読有、62、2018、31-34、DOI : 10.1016/j.jpor.2017.05.007

Manamu Nagakura、Yasuhiro Tanimoto、Norihiro Nishiyama、Fabrication and physical properties of glass-fiber-reinforced thermoplastics for non-metal-clasp dentures、Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials、査読有、105、2017、2254-2260、DOI : 10.1002/jbm.b.33761

Manamu Nagakura、Yasuhiro Tanimoto、Norihiro Nishiyama、Effect of fiber content on flexural properties of glass fiber-reinforced polyamide-6 prepared by injection molding、Dental Materials Journal、査読有、36、2017、415-421、DOI : 10.4012/dmj.2016-252

伊藤誠康、谷本安浩、永倉愛夢、梅木賢人、小出恭代、長谷川淑子、木本統、飯島守雄、西山典宏、河相安彦、ジルコニアフレームワークのレスト厚径の検討、日大口腔科学、査読有、43 巻、2017、93-100

Manamu Nagakura、Yasuhiro Tanimoto、Norihiro Nishiyama、Development of a laboratory glass fiber-reinforced thermoplastic for removable partial dentures、International Journal of Oral-Medical Sciences、査読有、15、2016、1-9、DOI : 10.5466/ijoms.15.1

〔学会発表〕(計 1 2 件)

谷本安浩、永倉愛夢、岩崎太郎、GF RTP 製ノンメタルクラスプデンチャーの in vitro 評価、第 71 回日本歯科理工学会学術講演会、2018 年

永倉愛夢、谷本安浩、西山典宏、GF RTP 製ノンメタルクラスプデンチャーの最適設計、

第 70 回日本歯科理工学会学術講演会、2017 年

谷本安浩、永倉愛夢、西山典宏、伊藤誠康、河相安彦、グラスファイバーで強化したノンメタルクラスプデンチャー用材料の摩擦摩耗特性、日本補綴歯科学会第 126 回学術大会、2017 年

谷本安浩、永倉愛夢、手島正博、西山典宏、グラスファイバー強化型ノンメタルクラスプデンチャー材料の表面特性、第 69 回日本歯科理工学会学術講演会、2017 年

永倉愛夢、谷本安浩、西山典宏、ガラス繊維強化ポリプロピレンのノンメタルクラスプデンチャーへの応用、日本歯科技工学会第 38 回学術大会、2016 年

永倉愛夢、谷本安浩、西山典宏、審美性と機械的特性に優れたパーシャルデンチャーの開発、第 16 回日本大学口腔科学会学術大会、2016 年

永倉愛夢、谷本安浩、西山典宏、グラスファイバーで強化したノンメタルクラスプデンチャー材料の色調安定性、第 67 回日本歯科理工学会学術講演会、2016 年

Yasuhiro Tanimoto、Manamu Nagakura、Norihiro Nishiyama、Yo Shibata、Naomi Minami、Masaru Yamaguchi、Kazutaka Kasai、Influence of thermal cycling on flexural properties of glass fiber-reinforced thermoplastics for orthodontic wires、6th International Conference on the Mechanics of Biomaterials and Tissues、2015 年

Manamu Nagakura、Yasuhiro Tanimoto、Norihiro Nishiyama、Flexural properties of glass fiber-reinforced thermoplastics for removable partial dentures、6th International Conference on the Mechanics of Biomaterials and Tissues、2015 年

永倉愛夢、谷本安浩、西山典宏、ノンメタルクラスプデンチャーに対するファイバー補強効果、第 66 回日本歯科理工学会学術講演会、2015 年

谷本安浩、コンポジットマテリアルの歯科領域への応用、神奈川歯科大学学会研究談話会、2015 年

永倉愛夢、谷本安浩、西山典宏、グラスファイバーで強化したノンメタルクラスプデンチャー材料の開発、第 15 回日本大学口腔科学会学術大会、2015 年

6. 研究組織

(1) 研究代表者

谷本 安浩 (TANIMOTO, Yasuhiro)
日本大学・松戸歯学部・准教授
研究者番号 : 4 0 3 1 2 0 4 5

(2) 研究協力者

永倉 愛夢 (NAGAKURA, Manamu)