

令和 6 年 6 月 6 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K10018

研究課題名（和文）高強度・高靱性を有する歯科CAD/CAM用ガラスファイバー強化型レジンの開発

研究課題名（英文）Development of glass fiber-reinforced plastic with high strength and toughness for dental CAD/CAM system

研究代表者

谷本 安浩（TANIMOTO, Yasuhiro）

日本大学・松戸歯学部・教授

研究者番号：40312045

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、歯工連携によって高強度CAD/CAM用ガラス繊維強化型レジン（GFRP）材料を開発することであった。本研究において、ガラスクロスとアクリル樹脂から構成されるCAD/CAM用GFRP材料をハンドレイアップと加熱加圧法により作製した。また、作製したGFRP材料の機械的性質や化学的性質について調査した。結論として、本研究において開発したCAD/CAM用GFRP材料は、良好な機械的性質や切削加工性を有しており、CAD/CAM冠への臨床応用が可能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

現在、保険適用のCAD/CAM冠用コンポジットレジン（CR）ブロックは幅広く使用されている。一方、CAD/CAM冠は臨床エビデンスにおいて脱離しやすいことが挙げられる。これはCAD/CAM冠の機械的性質の低さに起因する支台歯形態などが原因と考えられる。本研究で開発したGFRP材料はCRに比べて曲げ強さが約1.5～2倍ほど大きいため、支台歯高径や支台歯表面積を確保でき、CAD/CAM冠の維持力の向上が期待できる。そのため、高強度のGFRP材料でCAD/CAM冠を製作することで、CAD/CAM冠の脱離防止に大きく寄与でき、ひいては歯科臨床のさらなる発展に貢献できるものと考えられる。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study was to develop a high-strength glass fiber-reinforced plastic (GFRP) material for dental CAD/CAM system through dental-engineering collaboration. In this study, a GFRP block composed of glass-fiber woven cloth and acrylic resin was fabricated by the hand lay-up and hot press method, for use in dental CAD/CAM system. Moreover, the mechanical and chemical properties of the fabricated GFRPs were investigated. In conclusion, it was indicated that the fabricated GFRPs for CAD/CAM have good mechanical properties and machinability, and may be clinically adaptable to CAD/CAM crowns.

研究分野：歯科生体材料学

キーワード：歯科材料 CAD/CAM ガラス繊維強化型レジン

## 様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

近年、歯科領域において CAD/CAM (Computer aided design/ Computer aided manufacturing) やネットワーク技術が発展する中、CAD/CAM 冠が健康保険に適用されるなど、CAD/CAM 冠用コンポジットレジン (Composite resin、CR) ブロックの臨床における有用性が期待されている。CAD/CAM 冠用 CR ブロックは、シリカフィラーと熱硬化性ジメタクリレート樹脂から構成される粒子分散型複合材料である。一方、CAD/CAM 用ガラス繊維強化型レジン (Glass fiber-reinforced plastic、GFRP) ブロックは、ガラス繊維で樹脂を強化した繊維強化型複合材料であり、CR ブロックにくらべて機械的性質が大きい。そこで、高強度を有する新規な CAD/CAM 用 GFRP 材料に関する研究開発の着想に至った。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、機械的性質に優れた新規な CAD/CAM 用 GFRP 材料を開発することであった。すなわち、歯工連携によって CAD/CAM 用 GFRP 材料を試作し、そのキャラクター化を実施し、歯科臨床における有用性について評価・検討した。

### 3. 研究の方法

#### (1) CAD/CAM 用 GFRP ブロックの作製

本研究では、マトリックスにアクリル系熱可塑性樹脂を用い、強化繊維にはガラスクロスシートを用いた。また、強化繊維には目付の異なる 2 種類のガラスクロス ( $215 \text{ g/m}^2$  と  $47 \text{ g/m}^2$ ) を用いた。成形方法は、アクリル樹脂をガラスクロスにハンドレイアップで含浸させ、加熱・加圧成形により GFRP 積層板 (板厚 2 mm) を作製した。作製した GFRP 積層板表面をサンドペーパーにより粗造化して、その粗造面にアクリル樹脂モノマーを塗布し、GFRP 積層板を 6 枚重ねた状態で加熱・加圧成形することで GFRP ブロック体 (板厚 12 mm) を作製した。以後、目付が大きい GFRP 材料 ( $215 \text{ g/m}^2$ ) を GF-1 とし、目付の小さい GFRP 材料 ( $47 \text{ g/m}^2$ ) を GF-2 とする。また、繊維強化の効果を確認するため、ガラス繊維で強化していないアクリル樹脂単体の供試体 (以後 AC) も準備した。さらに比較対照として、マトリックスがエポキシ樹脂である市販 CAD/CAM 用 GFRP ブロック材料 2 種類 (以後 CP-1、CP-2) を用いた。以上の材料について、ガラス繊維含有率、曲げ特性、吸水・溶解性および色調安定性などの特性評価を行った。

#### (2) ガラス繊維含有率の測定

GFRP 供試体 (長さ 20 mm×幅 3.5 mm×厚さ 2.0 mm) の質量を秤量精度 0.1 mg の高精度電子天秤を用いて秤量後、卓上型高速昇温炉にて  $550^\circ\text{C}$  で焼成してマトリックス樹脂のみを焼却した。その後、残留したガラス繊維の質量を秤量し、それらの値からガラス繊維含有率 (mass%) を算出した。試料数は各 9 個とした。

#### (3) 曲げ強さおよび曲げ弾性係数の測定

GFRP 供試体 (長さ 25 mm×幅 2.0 mm×厚さ 2.0 mm) を三点曲げ試験治具 (支点間距離 20 mm) に設置し、万能試験機を用いて負荷速度 1 mm/min で荷重することで三点曲げ試験を実施した。得られた応力 - ひずみ曲線図における最大応力値を曲げ強さとし、曲げ弾性係数は初期直線部 (比例限) の傾きから算出した。試料数は各 8 個とした。

#### (4) 吸水率および溶解率の測定

GFRP 供試体 (長さ 10 mm×幅 7.0 mm×厚さ 1.5 mm) の質量 ( $m_1$ ) を電子天秤にて測定した。試料を蒸留水中に浸漬し、37 の恒温槽の中で 28 日間保管した。浸漬後、ペーパータオルで試料表面の水分のみを除去した質量 ( $m_2$ ) を測定した。次に、試料を真空検体乾燥器に保管し、試料中の水分が蒸発し乾燥した状態の質量 ( $m_3$ ) を測定した。これらの質量から、吸水率 (%) =  $(m_2 - m_3) / m_1 \times 100$  および溶解率 (%) =  $(m_1 - m_3) / m_1 \times 100$  を算出した。試料数は各 6 個とした。

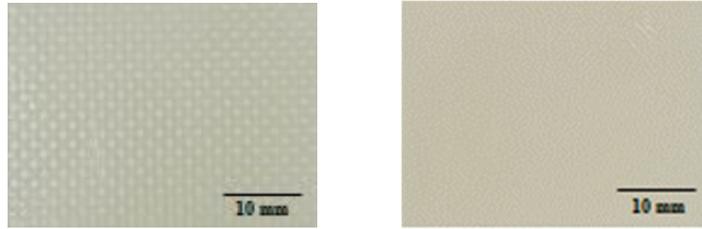
#### (5) 色調安定性の評価

GFRP 供試体 (長さ 10 mm×幅 7.0 mm×厚さ 1.5 mm) をコーヒー液に浸漬した。浸漬前の試料と浸漬 24 時間、7 日、14 日、21 日、28 日後の試料を蒸留水で洗浄し、ペーパータオルにより試料表面の水分を除去後、分光測色計を用いて、 $L^*a^*b^*$  表色系により白色背景にて測色した。得られた値から、色差  $\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$  を算出した。試料数は各 6 個とした。

### 4. 研究成果

#### (1) 試作 GFRP ブロックの表面性状

試作した GFRP ブロック表面の外観を図 1 に示す。GF-1 はブロック表面にガラス繊維の形態を目視で確認できた。一方、GF-2 はブロック表面にガラス繊維を確認できず、滑らかな表面性状を示し、緑みがあった GF-1 と比較して歯冠色に近い色合いであった。



GF-1

GF-2

図1 試作 CAD/CAM 用 GFRP ブロックの表面性状

(2) ガラス繊維含有率

図2に各GFRP供試体のガラス繊維含有率を示す。GFRP供試体のガラス繊維含有率は51.6~67.9 mass%であり、CP-2が最も大きな値であった。

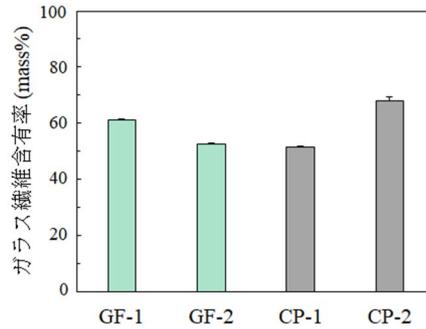


図2 ガラス繊維含有率

(3) 曲げ強さおよび曲げ弾性係数

図3および図4に各GFRP供試体の曲げ強さおよび曲げ弾性係数をそれぞれ示す。GFRP供試体の曲げ強さは323.7~479.9 MPaであり、GF-2が最も高い値を示した。また、曲げ弾性係数は13.8~20.4 GPaであり、CP-2が最も高い値を示した。一方、繊維強化されていないACの曲げ強さと曲げ弾性係数はそれぞれ114.1 MPaと2.83 GPaであった。

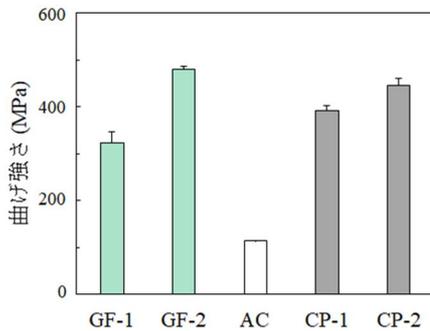


図3 曲げ強さ

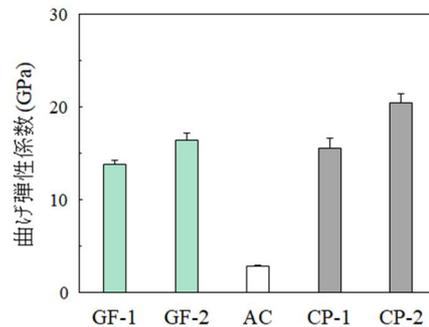


図4 曲げ弾性係数

(4) 吸水率および溶解率

図5および図6に各GFRP供試体の吸水率および溶解率をそれぞれ示す。GFRP供試体の吸水率は0.87~1.01%であった。また、溶解率は0.27~0.46%であった。一方、ACの吸水率と溶解率はそれぞれ1.73%と0.64%であり、GFRP供試体に比べて高い吸水・溶解性を示した。

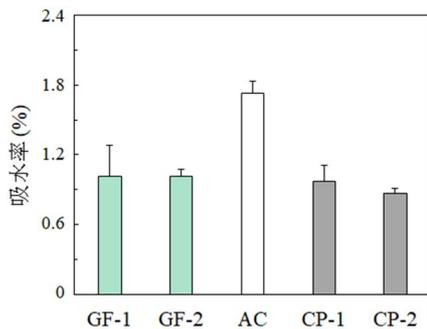


図5 吸水率

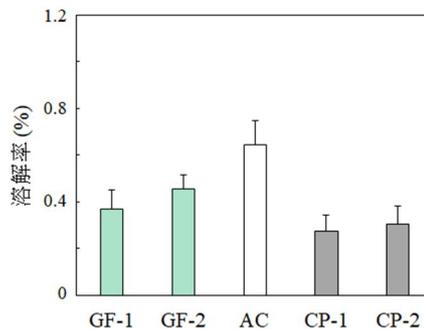


図6 溶解率

(5) 浸漬試験前後の色調変化

各浸漬期間後のGFRP供試体の観察結果から、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。図7にGFRP供試体のコーヒー液浸漬における経時的な色差( $\Delta E^*$ )の結果を示す。先行研究に準じて、本研究では $\Delta E^*$ が3.3未満の場合を臨床的に許容できる色調変化であると判定した。その結果、28日の浸漬期間においてすべてのGFRP供試体の $\Delta E^*$ は3.3未満であり、著しい色調変化は認められなかった。

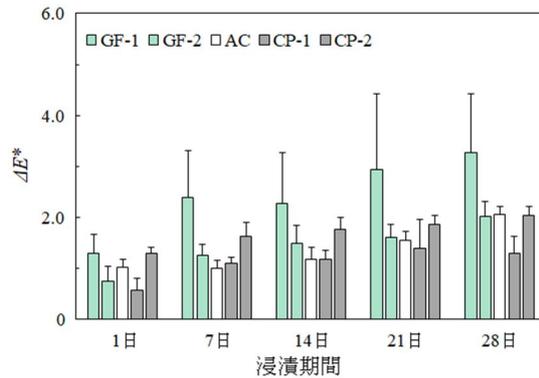


図7 コーヒー液浸漬による各浸漬期間における色差

以上、本研究の結果から、強化材であるガラスクロスに熱可塑性アクリル樹脂をハンドレイアップで含浸させ、ホットプレスにより加圧・加熱成形することで、成形性の高いCAD/CAM用GFRP材料を作製することができた。また、試作GFRP材料の機械的・化学的性質の結果から、歯科臨床で使用するCAD/CAM用材料として十分な性質を有していることが示された。さらに、本研究で開発したCAD/CAM用GFRP材料の切削加工性を確認するため、本GFRPブロック体を用いて歯科用CAD/CAMシステムによる切削加工を行い、CAD/CAM冠を製作した(図8)。目付の小さいGF-2は、目付の大きいGF-1に比べて滑沢な表面性状を示し、切削加工性に優れていた。また、有限要素解析(Finite element analysis, FEA)による数値シミュレーションの結果、CAD/CAM冠の素材を試作のGFRP材料とした場合、従来のCAD/CAM冠用CR材料に比べて支台歯に発生した応力値が小さく、十分な繊維補強の効果を確認することができた(図9)。

結論として、GF-2はGF-1に比べて機械的・化学的性質や切削加工性に優れているため、よりCAD/CAM用GFRP材料として有用であることが明らかとなった。今後、本研究で開発したCAD/CAM用GFRP材料に対する耐久性や接着性に関する適正化を実施することによって、CAD/CAM冠の脱離率の減少および長期安定性(生存率)の向上が可能であると考えられる。



図8 製作したGFRP製CAD/CAM冠(上顎左側小白歯部を想定)

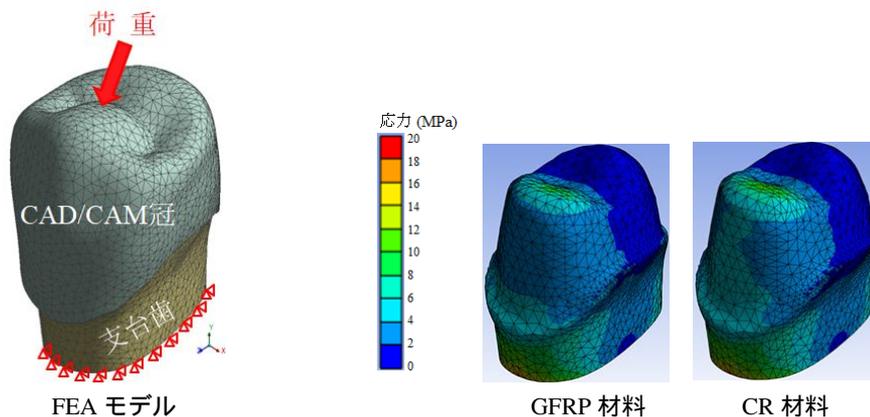


図9 FEAにより得られたCAD/CAM冠(GFRPおよびCR材料)下の支台歯に発生した応力分布図

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 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 谷本安浩、永田俊介、加藤由佳子	4. 巻 15
2. 論文標題 補綴歯科領域におけるCAD/CAM用デンタルマテリアルの現状と展望	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 日本補綴歯科学会誌	6. 最初と最後の頁 458-466
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 永田俊介、岩崎太郎、高橋治好、北川剛至、平山紀夫、谷本安浩	4. 巻 48
2. 論文標題 CAD/CAM用ガラス繊維強化型レジン材料の表面硬さおよび摩耗特性	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日大口腔科学	6. 最初と最後の頁 8-17
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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8件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Shunsuke Nagata, Yukako Kato, Norio Hirayama, Yasuhiro Tanimoto
2. 発表標題 Development of a laboratory GFRP block for dental CAD/CAM system
3. 学会等名 Asian Network of Dental Materials Societies (ANDeMS) Kickoff Meeting (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 永田俊介、加藤由佳子、吉田浩輝、谷本安浩
2. 発表標題 新規CAD/CAM用GFRPマテリアルの色調安定性
3. 学会等名 第23回日本大学口腔科学会学術大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 永田俊介、加藤由佳子、平山紀夫、谷本安浩
2. 発表標題 CAD/CAM用GFRPに関する研究（第2報）
3. 学会等名 第81回日本歯科理工学会学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 谷本安浩
2. 発表標題 アナログからデジタルへ デンタルマテリアルの現状と展望
3. 学会等名 令和4年度日本補綴歯科学会東関東支部学術大会 生涯学習公開セミナー（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Shunsuke Nagata, Taro Iwasaki, Norio Hirayama, Yasuhiro Tanimoto
2. 発表標題 Flexural properties of glass fiber-reinforced plastic blocks for dental CAD/CAM system
3. 学会等名 International Dental Materials Congress 2022（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 谷本安浩
2. 発表標題 歯工連携による材料開発と数値シミュレーション
3. 学会等名 第78回日本歯科理工学会学術講演会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 永田俊介、岩崎太郎、北川剛至、谷本安浩
2. 発表標題 CAD/CAM用ガラス繊維強化型レジン材料の表面特性
3. 学会等名 第21回日本大学口腔科学会学術大会
4. 発表年 2021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	平山 紀夫  (HIRAYAMA Norio)  (70582518)	日本大学・生産工学部・教授   (32665)	
研究分担者	北川 剛至  (KITAGAWA Tsuyoshi)  (20419766)	日本大学・松戸歯学部・講師   (32665)	

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