

令和 5 年 4 月 25 日現在

機関番号：32667

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K18620

研究課題名(和文) PEEK樹脂と3Dプリンターで製作する介護医療に適応した総義歯の開発

研究課題名(英文) Development of a complete denture suitable for long-term care medicine produced with PEEK resin and a 3D printer.

研究代表者

三浦 大輔 (MIURA, DAISUKE)

日本歯科大学・生命歯学部・助教

研究者番号：40804125

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)：本研究ではPEEK樹脂を医療分野への応用が進んでいる3Dプリンターを使用した熱溶解積層法造形と組み合わせることにより、大型補綴装置である義歯床の製作を目的としている。1年目の研究では3D造形PEEK樹脂の成形法に関する検討を行い、積層方向が3D造形PEEK樹脂の機械的性質に影響を及ぼすことを明らかにした。2年目の研究では、造形したPEEK樹脂の加速劣化後の基礎的性質を明らかにした。その結果、加速劣化処置を行った熱溶解積層法造形PEEK樹脂は劣化前の物性とほぼ変化がなかった。造形PEEK樹脂は要介護・要支援患者の口腔内に適応できることが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在、わが国において要介護者は増加の一途を辿り、歯科医療界でも大きな問題となっている。要介護者が使用する義歯には「生体親和性」「高靱性」「義歯製作時間の短縮」の三つの要素が求められる。PEEK樹脂は靱性に富み、耐疲労性が高く生体親和性が良好なことから金属の代替材料として、様々な歯科補綴物への応用が検討されており、歯科界において極めて有望な材料であるが、この樹脂の歯科での用途は比較的小さな補綴物に限定されている。今回の研究では3Dプリンターで製作したPEEK樹脂は加速劣化後も優れた機械的性質を有していることがわかった。その結果、歯科補綴物にも応用が可能であることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：In the first year of the study, the moulding method of 3D moulded PEEK resin was investigated and it was found that the direction of layering affected the mechanical properties of the 3D moulded PEEK resin. In the second year, the fundamental properties of the moulded PEEK resin after accelerated degradation were determined. The results showed that the properties of the PEEK resin produced by thermal-melting after accelerated degradation were almost unchanged from the properties before degradation. The moulded PEEK resin was found to be adaptable to the oral cavity of patients requiring care and support.

研究分野：有機材料

キーワード：PEEK樹脂 3Dプリンター 積層造形

様式 C - 19 , F - 19 - 1 , Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

現在、わが国において要介護者は増加の一途を辿り、歯科医療界でも大きな問題となっている。要介護者が使用する義歯には「生体親和性」「高靱性」「義歯製作時間の短縮」の三つの要素が求められる。スーパーエンジニアプラスチックの代表格であるポリエーテルエーテルケトン樹脂（以下、PEEK 樹脂）は靱性に富み、耐疲労性が高く生体親和性が良好なことから金属の代替材料として、様々な歯科補綴物への応用が検討されており、歯科界において極めて有望な材料であるが、この樹脂の歯科での用途は比較的小さな補綴物に限定されている。医療分野への応用が進んでいる 3D プリンターを使用した付加造形法と PEEK 樹脂を組み合わせることにより、大型補綴装置である義歯床の製作が容易になると考える。本研究の目的は 3D プリンターで造形したときの PEEK 樹脂の基礎的性質としての物性変化を明らかにし、大型の歯科補綴物として応用が可能か否かを検討することである。

2. 研究の目的

本研究の目的は、3D プリンターで製作した PEEK 造形物を歯科補綴物へ応用することを目的とした。そのため、成形法について検討し、この成形法により作製した試料について基礎的な物性を明らかにした。

3. 研究の方法

【材料】

FDM 造形フィラメント (PEEK フィラメント, INTAMSYS, 上海, 中国, PF) とコントロールとして CAD/CAM 用ディスク PEEK 樹脂 (PEEK Biosolution, Merz Pharma GmbH & Co. KGaA, Frankfurt am Main, Deutschland, PD) を使用した。試験片の製作には、FDM 方式 3D プリンター (FUNMAT HT, INTAMSYS, 上海, 中国) を用いた。試料造形条件は、積層ピッチ 0.1mm, プリントスピード 60mm/s, ノズル系 0.4mm, ノズル温度 410 , 庫内温度 90 とした。

【3点曲げ試験】

3D 造形ソフト (3D Builder, Microsoft, Washington, America) を用いて直方体データ (200 x 200 x 250 mm) を製作した。その後、3D スライスソフト (INTAM-SUITE, INTAMSYS, 上海, 中国) を用いて造形ステージに対する角度が 0°, 45°, 90° になるようにデータを配置した (0° PF, 45° PF, 90° PF)。そして、3D プリンターを用いて直方体試料を FDM 造形し、送風定温恒温器 (DKN602, ヤマト化学株式会社, 東京, 日本) を用いてメーカー指定の温度にてアニール処理を行った。

3点曲げ試験用棒状試料は ISO-10477 に準じて先ほどの直方体試料から切り出しを行い製作した。FDM 造形した直方体 PEEK 試料を精密切断機 (Isomet 1000 Precision Saw, BUEHLER, イリノイ州, アメリカ) にて幅 2 mm x 厚さ 2 mm x 長さ 25 mm の棒状に切り出した。次いで、1 μm のアルミナを用いて研磨後、37 ± 2 の水中に 50 ± 2 時間保管した。

また、高加速寿命処理は棒状試料を高加速寿命試験装置 (PC-242HS-A, 平山, 埼玉, 日本) を使用し、湿度 100%, 温度 132 , 1.2 気圧の条件下にて 5 時間行った。

その後、高加速寿命処理前と高加速寿命処理後の FDM 造形 PEEK に対して 3点曲げ試験を万能試験機 (AGS-X, 島津, 京都, 日本) にて行った。(クロスヘッドスピード 1mm/min, 荷重負荷部の曲率半径 1.0mm, 支持ローラーの直径 2mm, 支点間距離 20mm)。

3点曲げ試験は繰り返し数を各 10 (n=10) とし、得られた曲げ強さと曲げ弾性係数の各値について一元配置分散分析と Tukey の対比較を行った。

【吸水量及び溶解量試験】

3D 造形ソフトを用いて円柱データ (直径 150 x 高さ 200) を製作した。その後、3D スライスソフトを用いて造形ステージに対する角度が 0°, 45°, 90° になるようにデータを配置した (0° PF, 45° PF, 90° PF)。そして、3D プリンターを用いて円柱体試料を FDM 造形し、送風定温恒温器を用いてメーカー指定の温度にてアニール処理を行った。吸水試験は ISO-10477 に準じて円盤試料を先ほどの円柱試料から切り出しを行い製作した。FDM 造形した円柱体 PEEK 試料を精密切断機にて直径 1.5 mm x 厚さ 1 mm の円盤状に切り出した。次いで、1 μm のアルミナを用いて研磨した。その後、試験片を 37 ± 1 の水中に保存し、22 時間後に試験片を取り出した。その後、23 ± 2 に保った別のデシケータに 2 時間保存する。その後、0.1mm 単位でひょう量をし、試験片の質量減が 24 時間以内に 0.1mg より小さくなった時を最終質量 (m1) とした。

その後、37 ± 1 に設定した 20mL の水中に 7 日間保存し、取り出した質量を m2 とした。ひょう量後、再び乾燥した試験片の最終質量を m3 とした。

各試験片の吸水量および溶解量は次の式により求めた。

Pws (吸水量, $\mu\text{g}/\text{mm}^3$) = m_2 (7日水中保存後の試験片の質量, μg) - m_3 (水中保存後再び乾燥した試験片の質量, μg) / V (試験体の体積, mm^3)

PsI (溶解量, $\mu\text{g}/\text{mm}^3$) = m_1 (水中保存前の感想試験片の質量, μg) - m_3 (水中保存後再び乾燥した試験片の質量, μg) / V (試験体の体積, mm^3)

吸水量及び溶解量試験は繰り返し数を各5 ($n=5$) とし, 得られた吸水量及び溶解量の各値について一元配置分散分析と Tukey の対比較を行った。

4. 研究成果

PEEK 樹脂は韌性に富み, 耐疲労性が高く生体親和性が良好なことから金属の代替材料として, 様々な歯科補綴物への応用が検討されており, 歯科界において極めて有望な材料であるが, この樹脂の歯科での用途は極めて重要である。

本研究の目的は, 前述の疑問に対しての解答を見出すために, 溶融積層法による3Dプリンターを用いて PEEK 樹脂により義歯床を作製するための基礎的な物性となる工学的な諸性質を明らかにし, 3Dプリンターでの補綴装置の成形法を検討することである。

曲げ試験では造形ステージに対して 0° で積層した PEEK 造形物は破断することなく最大試験荷重値が測定された。また, 高加速寿命処理後における積層方向間の比較では, 高加速寿命処理前と同様に造形ステージに対して 0° で積層した造形物が最も大きな値を示し(85.4Mpa), 次いで造形ステージに対して 45° (35.2Mpa), 造形ステージに対して 90° (31.2)の順となった。

吸水量は全ての造形方向の比較では有意な差は認められなかった。また, 溶解量も同様に全ての造形方法間に有意な差は認められなかった。

以上より, 今回の研究では3Dプリンターで製作した PEEK 樹脂は造形ステージに対して 0° で積層することにより, 破断することなく高強度な物性を得られた。また, 加速劣化後も優れた機械的性質を有していることがわかった。よって, 歯科補綴物として求められる「生体親和性」「機械的高韌性」が3Dプリンターで製作した PEEK 補綴部に備わっていることが示唆され, その結果, 大型の歯科補綴物への応用が可能であることがわかった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Miura, Daisuke, Yoshiki Ishida, and Akikazu Shinya	4. 巻 15
2. 論文標題 The Effects of Different Molding Orientations, Highly Accelerated Aging, and Water Absorption on the Flexural Strength of Polyether Ether Ketone (PEEK) Fabricated by Fused Deposition Modeling	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Polymers	6. 最初と最後の頁 1602
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/polym15071602	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3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 三浦大輔
2. 発表標題 加速劣化したFDM用PEEK樹脂の積層方向が3点曲げ強度に与える影響
3. 学会等名 第79回日本歯科理工学会学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 三浦大輔
2. 発表標題 FDM造形したPEEKの積層方向と被着面処理がせん断接着強さに及ぼす影響
3. 学会等名 第40回日本接着歯学会学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 三浦大輔
2. 発表標題 積層方向の違いがFDM造形したPEEK樹脂の3点曲げ強さに及ぼす影響
3. 学会等名 第77回日本歯科理工学会学術講演会
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
--	---------------------------	-----------------------	----

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