

令和 6 年 5 月 27 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K09991

研究課題名(和文) ジルコニアクラウンへのAM導入による歯科CAD/CAM革命-条件最適化への挑戦-

研究課題名(英文) Dental CAD/CAM revolution by introducing AM technology to make zirconia crown - Challenge to condition optimization -

研究代表者

上田 康夫 (UEDA, YASUO)

北海道大学・歯学研究院・准教授

研究者番号：30241342

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)：ジルコニアとレジンの混合物から3Dプリントで成形物を得て、脱脂・焼結によりクラウンを作る工程の確立を目指した。粒径の異なる2種類のジルコニアの粉末と、2種類のキャストブルレジンをを用いて、その混合物を液槽光重合方式の3Dプリンタで成形し、樹脂の焼却(脱脂)過程をさまざまな条件で調べた。その結果、どちらの場合も、概ね400℃までで脱脂できることが分かったが、昇温速度を20℃/minまで低下させても、試料体に亀裂や剥離などの問題を生じたことから、レジンが軟化・ガス化する辺りの温度で昇温速度をさらに低下させるか、一時的に一定温度で一定時間係留するなどの処置が必要なが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ジルコニアの粉末材料は、日本メーカーが世界に供給して大きなシェアを持っている。価格は1kgあたり1万円台であるが、1本の歯冠に必要とする量は2g程度である。ジルコニアはチタンと同族の元素のジルコニウムの酸化物で、生体親和性がよく、歯科治療においてクラウンやブリッジ(いわゆる「被せ物」)に利用した場合の金属アレルギーの懸念がほぼ無い。一方、3Dプリントは、歯冠のような小さい物では、大量生産による大幅なコストダウンが可能である。

このため、クラウンやブリッジの製作に際し、AM(3Dプリント)技術を活用してジルコニアを加工できれば、安価で高品質で安心・安全な医療を国民に提供できるようになる。

研究成果の概要(英文)：This study aimed to establish a process for producing crowns from a mixture of zirconia and resin by 3D printing, dewaxing, and sintering. Two types of zirconia ceramic powders with different particle sizes and two types of castable resin were used to mold the mixtures using the vat photo-polymerization 3D printers, and the resin incineration (dewaxing) process was investigated under various conditions. As a result, it was found that in both cases, it was generally possible to dewax at temperatures up to 400°C. However, problems such as cracking and peeling were observed even when the temperature increase rate was reduced to 20°C/min, indicating that measures such as further reduction of the temperature increase rate at the temperature around which the resin softens to gasification or temporary suspension at a fixed temperature for a fixed time were necessary.

研究分野：歯科補綴学

キーワード：ジルコニア・クラウン AM 3Dプリント ジルコニア・セラミックス 液槽光重合 vat photo-polymerization

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

Additive Manufacturing (AM / 付加製造, いわゆる 3D プリント) 技術は従来の切削加工とは真逆の, 材料を次々と追加して成形物を得る加工法である. 成形できる素材は, 技術が世に出た当初は樹脂 (レジン) 系材料のみであったが, 技術の進歩とともに, 石膏, 紙, エンジニアリングプラスチック, スーパーエンジニアリングプラスチック, 金属, セラミックスと幅を広げ続け, 現在では, さまざまな材料に対応できるように発展してきた.

一方, 歯科医療の分野では, デジタル技術の導入, DX 化の転換がまさに進行中であり, クラウン・ブリッジなどの歯冠形態の設計は, 石膏模型上にハンドメイドでワックスアップする作業から, PC の 3D-CAD ソフトウェア上でモデリングをするワークフローへと一気に切り替わってきた. デジタルデータとして設計された形態情報は, CAM 装置を使って実体化されるが, 現状では, その殆どを切削加工装置が担っている. 切削加工は, 技術の蓄積が大きく, 日本やドイツが得意とする分野でもあるが, 個々の製品を個別に製作するため, 生産効率を上げてコストダウンを図るのは難しい方法である.

先に述べた AM 技術のうち, 特に積層する各層を短時間に処理できる液相光重合, 粉末床熔融結合, 結合材噴射の 3 方式では, 造形するプラットフォーム上に多数のオブジェクトを配置する事で, 見かけ上の製品 1 個あたりの加工時間を大幅に短縮可能で, 生産効率の向上を図れる余地が大きい.

このような背景から, 本研究では, 液相光重合方式をベースにしたセラミック材料の成形を目指して, その基礎的な研究を進めていくこととした.

2. 研究の目的

中間生成物として, 目的の形状を成形するために, セラミック粉末に対して焼却可能なキャストابلレジンを混合し, それを 3D プリントするための原材料とした. しかし, セラミックの最終焼結までには, そのキャストابلレジンをオブジェクト (クラウン) の形状を損なうことなく取り除く必要がある. これは, ゆっくりと時間をかけて焼却 (脱脂) する事により行われるが, その工程は, 材料の組み合わせによって様々なものがある.

ここでは, 近年, 部材の低価格化により普及と精度向上が著しい LCD を利用した小型の液相光重合式 3D プリンターで成形物を試作し, その焼却 (脱脂) 条件を精査する事で, セラミッククラウンの製作を可能にする条件の割り出し・最適化を探索していくことを目的とした.

3. 研究の方法

3D-CAD ソフト「Blender」上で, 直径 8.0mm × 厚さ 2.0 mm の試料を設計し, 2 種類のキャストابل・レジン (Dongguan Godsaid Technology 社製「C01」, Shenzhen Nova3D Robot Technology 社製「Red Wax Like」) と, 粒径の異なる 2 種類のジルコニア粉末 (東ソー社製「TZ-3YS-E」および「TZ-3Y-E」) で, 液相光重合方式の 3D プリンター (EKEG00 MARS / MARS2Pro / MARS3Pro) を用いて試料の試作と焼却実験を行った.

まず, 様々なプリント条件 (レイヤーの高さ, 初期層の数, 初期層とそれ以降の各々の露光時間, ステージの上昇速度, etc.) で試料の造形を試みた.

次に, 得られた試作体を用いて, 200 から 700 までの昇温・焼却実験を行い, 試作体の挙動を調べた. 昇温速度は, ポーセレン・ファーンエスを用いて, 20 /min から 120 /min まで 10 刻みで変えて, 試料の焼却状態を観察した.

さらに, 焼却 (脱脂) 終了後の試作体をジルコニア焼成用ファーンエスを用いて, 最終焼成温度 (1,500) まで加熱し, 生成物の様子を観察することとした.

4. 研究成果

まず, 3D プリントによる試料体の製作だが, 残念ながら研究期間中には, 十分な歩留まりを達成できる状態には至らなかった. 研究開始当初の予備実験では, (キャストابلではない) ノーマルレジンや, 4 種類のキャストابلレジンで試作を繰り返したが, 最終的には, 最も焼却性の良かった, 「Red Wax Like」レジン + 「TZ-3YS-E」粉末, および「Red Wax Like」レジン + 「TZ-3Y-E」粉末の 2 通りに絞って試作体の製作を進めた. しかし, これらの材料での 3D プリントは, 今のところ 1~2 割の成功率にとどまっている. これに関連する要因には, 硬化用の光の透過深度と, 成形用フィルムの剥離性の 2 つが大きく影響していると考えている. このうち後者については, フィルムには FEP, nFEP, ACF の 3 種類の素材があり, FEP と nFEP の一部まではテストしたものの, ACF については期間中に使用するに至っていない. これからさらに試作を試みていく所存である.

次に, これらの試作体の昇温・焼却 (脱脂) 実験では, 昇温速度を 20 /min から 120 /min まで 10 刻みで変えて, 焼却状態の観察を行った結果, 400 程度までで概ね脱脂 (レジンの焼却) できる事がわかった. この際, 最終温度は 700 としたが, おおむねどの条件でも 1/3 程度の体積収縮を示し, 積層間の部分剥離や亀裂などを示すものが大半を占めた. このため, 形態を損な

わずに焼却（脱脂）を行うためには、レジンが軟化・ガス化する付近の温度管理をさらに細かく制御する必要があることが示唆された。昇温速度をさらに遅くする、あるいは一定時間、一定の温度で係留する、などの方策が必要と考えられた。

焼却（脱脂）工程が終了した資料をジルコニア焼成用ファーネスで最終焼成温度（1,500℃）まで加熱して焼結させるテストについては、現在も実験を継続中であるが、令和5年度中にデータを取りまとめられるところまでには至らなかった。

5. 主な発表論文等

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

1. 著者名 上田康夫	4. 巻 63 (10)
2. 論文標題 歯科医療におけるセラミック材料とデジタル技術の進展	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 素形材	6. 最初と最後の頁 30-38
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 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 -

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 上田康夫, 范 斯佳, 山口泰彦
2. 発表標題 液槽光重合用レジンとジルコニア粉末の混合液の硬化深度特性について
3. 学会等名 日本補綴歯科学会 第131回学術大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 范 斯佳, 石川裕梨奈, 上田康夫, 山口泰彦
2. 発表標題 3Dプリントによるジルコニアクラウン製作への挑戦－脱脂工程について－
3. 学会等名 令和4年度 公益社団法人日本補綴歯科学会 東北・北海道支部学術大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 上田康夫
2. 発表標題 デジタル技術の歴史と将来への夢－これから押さえておくべきデジタル技術のポイントはどこか－
3. 学会等名 第162回北海道歯科技工学術大会研修会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Fan SIJIA, Yasuo UEDA, Taihiko YAMAGUCHI
2. 発表標題 Effect of exposure time on the layer thickness of photo-polymerized zirconia and resin mixture
3. 学会等名 令和3年度 公益社団法人日本補綴歯科学会 東北・北海道支部学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石川裕梨奈, 上田康夫, 山口泰彦
2. 発表標題 鋳造用液槽光重合レジンの硬化厚み特性について
3. 学会等名 日本デジタル歯科学会 第14回学術大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 上田康夫, 范斯佳, 石川裕梨奈, 山口泰彦
2. 発表標題 液槽光重合用レジンとジルコニア粉末混合物の硬化厚み特性について(第2報)
3. 学会等名 日本補綴歯科学会 第132回学術大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 上田 康夫, 范 斯佳, 石川裕梨奈, 山口 泰彦
2. 発表標題 AM技術を用いたジルコニアクラウン製作への挑戦 グリーンパーツの試作
3. 学会等名 令和5年度 公益社団法人日本補綴歯科学会 東北・北海道支部学術大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 FAN SIJIA, Yasuo UEDA, Taihiko YAMAGUCHI
2. 発表標題 Debinding processes for different composite resins produced by additive manufacturing
3. 学会等名 The 20th Biennial Meeting of the International College of Prosthodontists (国際学会)
4. 発表年 2023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	山口 泰彦 (Yamaguchi Taihiko) (90200617)	北海道大学・歯学研究院・教授 (10101)	

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