

令和元年6月10日現在

機関番号：32667

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K11638

研究課題名(和文) 3Dプリンターによるブリッジパターンの製作と寸法精度に関する研究

研究課題名(英文) Study on manufacturing and dimensional accuracy of bridge patterns made by 3D printers

研究代表者

宮坂 平 (Miyasaka, Taira)

日本歯科大学・生命歯学部・教授

研究者番号：40147773

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)：最近の歯科におけるCAD/CAMの重要性に鑑み、ブリッジへの応用に対する基礎研究を目的として、模型スキャン時の寸法精度および3Dプリンターによる製作物の精度を検討することを目的として、1歯、2歯欠損のブリッジについて研究を行った。この結果、据え置き型や口腔内スキャナーと比べて、比較的安価な民生用のスキャナーでも歯科応用可能であることが明らかとなった。また、得られたSTLデータをもとに、様々な形式の3Dプリンターでパターンを作製し、模型への適合性を調べた結果、熱溶融式でも良好な適合性を示し、セメントスペースを調整することによりさらに適合性が良くなることが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ブリッジワークのCAD/CAMは、スキャンの精度が最も重要であり、現在市販されているスキャナーの精度をブリッジを考慮して検討したことは、臨床応用に資するところが大きい。また、切削加工によるCAD/CAMではなく、3Dプリンターによる成形の精度をブリッジに対して検討したことにより、3Dプリンターの製作精度が明らかになったことにより、今後の3Dプリンターの歯科応用に対する知見が得られたことにより、今後の3Dの歯科応用が進むものと期待される。

研究成果の概要(英文)：In view point of the importance of CAD / CAM in recent dentistry, the basic research on application to bridge were performed. The dimensional accuracy of the model scanning and the reproducibility by 3D printer of were investigated on the bridge of 1 or 2 teeth defects. As a result, it has become clear that even a relatively inexpensive consumer scanner could be applied to dentistry as compared with a stationary or intraoral scanner. In addition, based on the obtained STL data, resin patterns were prepared with various types of 3D printers, and their suitability to a model was examined. The fused deposition modeling type 3D printer also showed good compatibility, and it became clear that adjusting the cement space further improves the compatibility.

研究分野：歯科理工学

キーワード：3Dプリンター CAD/CAM ブリッジパターン 寸法精度 3Dスキャナー 適合性

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

CAD/CAM が歯科に導入されてから現状への速度には驚くべきものがある。ワックスを切削し、鋳造パターンとして用いる方法やジルコニアの半焼成ブロックからインレー、クラウン、ブリッジを削り出した後に焼成して完成する方法などが取り入れられつつあった。しかし、当時のCAM の部分は、切削加工による成形法のみが実用化されていたが、その後さらに発展が予測される3Dプリンターを歯科に用いた研究は極めて限定的であった。特に、インレーや単冠については、レーザーを用いた光造形法やインクジェットによるレジンパターンの作製については、一部に実用化されつつあったが、それらの寸法精度についての基礎研究は、ほとんど認められず、ブリッジに至っては全く基礎研究がなされていない状態であった。

2. 研究の目的

このような状況に鑑み、我々は、3Dプリンターで製作したクラウンの鋳造用パターン作製への応用について研究を行い有用な知見を得た経験から、さらに大きな補綴物のパターンへの応用についての研究が必要であると考えた。そこで本研究では、より寸法精度の再現性という点で厳しいと考えられるブリッジについて3Dプリンターを用いて作製したパターンとこれを用いて鋳造を行った時の寸法精度や表面性状を初めとする諸性質について検討し、適合性の優れた補綴物の作製を明らかとすることを目的とする。また、もう一回り大きな補綴物として多数歯欠損のブリッジについても同様の検討を行い、3Dプリンターの歯科応用の可能性を明らかとする。

3. 研究の方法

被写体として第二小臼歯1歯欠損を想定したブリッジ支台金型(以下、金型)を用意した。各寸法を図1に示す。金型では投影したパターンが反射し、正確なスキャンできないため、工業用シリコン(KE-1603-A/B、信越シリコン)を用いてブリッジ支台金型を印象採得し、レジン系模型材(primopoly、primotec)を注入してブリッジ支台模型(以下、模型)を製作した(図2)。

民生用3Dスキャナー(DAVID SLS3、HP、以下、DA)を用いて模型のスキャンを行った。スキャン設定は最も精度の高いものとし、模型に対してはパウダー等の塗布は行わずにスキャンした。スキャンしたデータはSTL(Standard Triangulated Language)データに変換し、各寸法の測定を行った。測定部位は各支台の直径、高さ、テーパ、ショルダーおよびマージン部のR、支台間距離とした。測定には三次元データ検査ソフトウェア(GOM Inspect 2016、GOM)を用いた。作成したSTLデータを三次元データ検査ソフトウェアに読み込み、各支台のマージン部の円筒、支台の円錐部分、咬合面および土台部分の平面、ショルダーおよびマージン部分の曲線をソフトに認識させ、各測定を行った。

歯科用3Dスキャナーとして口腔内用3Dスキャナーおよび技工用3Dスキャナーでもスキャンを行い、STLを作成して同様に測定を行った。コントロールとして接触式三次元座標測定機(XM-1200、キーエンス)および画像寸法測定器(IM-6120、キーエンス)を用いて測定した値を用いた。用いたスキャナーを表1に示す。

模型製作から測定までを5回繰り返し($n=5$)、各測定部位についてTukeyの対比較を行った。

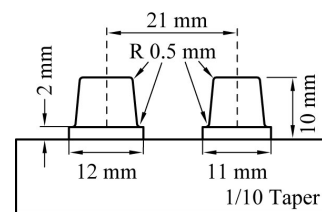


図1 金型の寸法

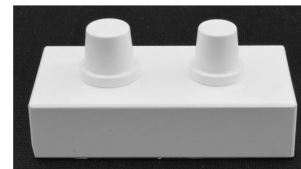


図2 スキャンした模型

表1 研究に用いたスキャナー

機器名	製造会社	用途	略号
XM-1200	キーエンス(日本)	接触式三次元座標測定機	XM
IM-6120	キーエンス(日本)	画像寸法測定器	IM
ATOS Capsule M320	GOM(ドイツ)	工業用3Dスキャナー	AT
ScanXmate-D100SS270	コムスキャンテクノ(日本)	マイクロCT	SX
D2000	3Shape(デンマーク)	技工用3Dスキャナー	D2
Trophy 3DI Pro	Trophy(フランス)	口腔内用3Dスキャナー	TP
Trios 3	3Shape(デンマーク)	口腔内用3Dスキャナー	TO
Aadva IOS(試作機)	ジーシー(日本)	口腔内用3Dスキャナー	AA

また、図1に示した小白歯と大白歯を支台とした1歯欠損を想定したブリッジ支台金型のスキャンデータを用いて、この金型に適合するようにブリッジ型レジンパターンのSTLデータを3D CADソフト(Creo Elements/Direct Modeling Express 4.0, PTC)を用いて作成した。なお、セメントスペースとして0、50、100、150 μmの空隙をクラウン内面に付与した。本研究ではフィラメントを熱で溶融し、一層ずつ積み上げていく熱溶融積層式3Dプリンター(MAESTRO、ALTデザイン、台湾、以下MA)およびUVレーザーをガルバノ方式で照射して造形を行う光造形式3Dプリンター(ノーベル1.0、XYZプリンティング、台湾、以下NB)の2つの造形方式の小型3Dプリンターを用いた。比較対象としてUV硬化レジンを噴射して一層ずつ硬化させるマルチジェット式3Dプリンター(ProJet HD3500MAX、3D Systems、以下PJ)および半導体励起固体レーザーを用いてモノマーを一層ずつ硬化させる光造形式3Dプリンター(ACCULAS BA-45S、ディーメック、以下、AC)の2つの造形方式の大型3Dプリンターを用いた。

表2 研究に用いた3Dプリンター

機器名	製造会社	造形方式	積層ピッチ	略号
MASTRO	ALT design (台湾)	熱溶融積層	50 μm	MA
Nobel 1.0	XYZ printing (台湾)	SLA	25 μm	NB
ProJet HD3500 MAX	3D Systems (米国)	インクジェット	29 μm	PJ
ACCULAS BA-45S	ディーメック (日本)	SLA	50 μm	AC

造形設定は各プリンターの最も解像度が高いものとし、マージン部の造形を可及的に精密に行う為に咬合面側が造形テーブル側となるようにデータを配置して造形した。造形後の処理は各メーカー指示に従って行った。造形したパターンは金型に適合させ、その上に100gの錘を乗せて金型ショルダー部とパターンのマージン部の間隙をデジタル顕微鏡(VHX-2000、キーエンス)で測定した。金型への適合は小白歯および大白歯の両支台に適合させた時の間隙、支台の片側のみを適合させた時のそれぞれの間隙を測定した。両支台に適合させた時の測定値から片側のみ適合させた時の測定値の差を求め、両支台に適合させた時のパターンの浮き上がりの変化量を算出した。

パターンの作製から測定までを繰り返し5回行った。この測定結果を分散分析し、有意差の認められたものについてはTukeyの方法を用いた多重比較を行った。

同様に、これらの操作を2歯欠損の金型(図3)についても行った。

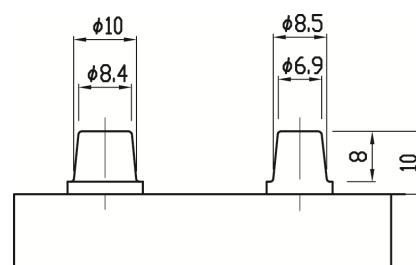


図3 2歯欠損金型

4. 研究成果

スキャンの結果を4番および6番それぞれについての外径と高さ、および4番と6番の支台間距離について図4~8に示す。

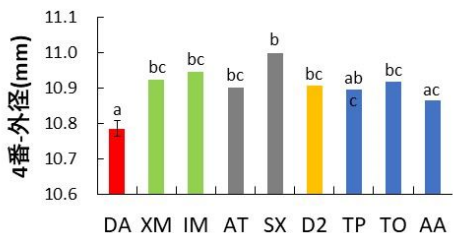


図4 4番の外径の測定値

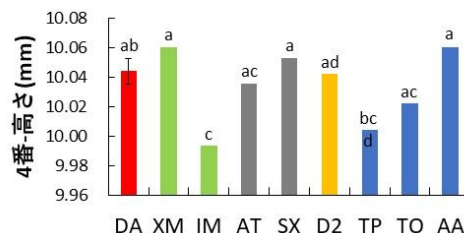


図5 4番の高さの測定値

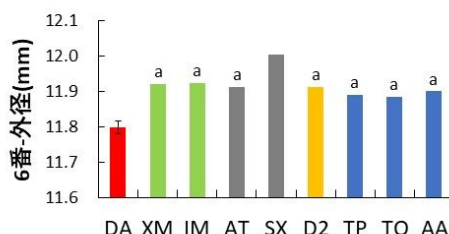


図6 6番の外径の測定値

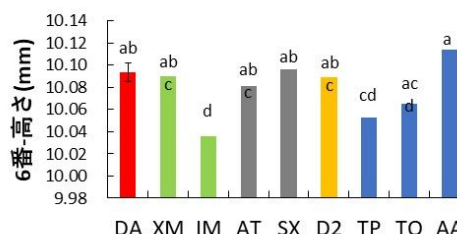


図7 6番の高さの測定値

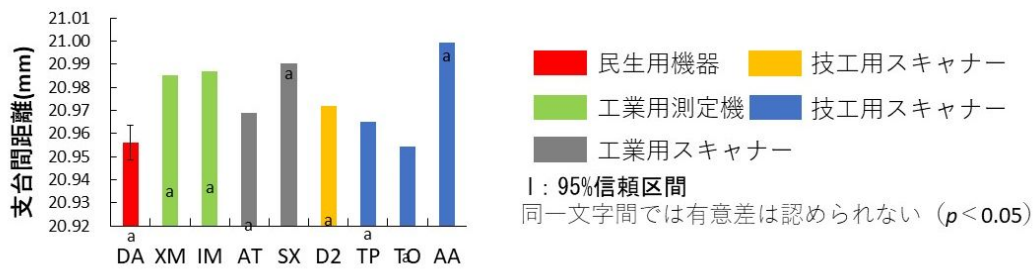


図8 支台間距離の測定値

この結果、外径ではDAが他の機器と比較して小さい値を示すことが判った。また、テーパおよび高さでは他の機器と同程度の値となり、マージンおよびショルダー部のR、支台間距離では有意差は認められなかった。したがって、民生機器であるDAは歯科用スキャナーとして用いることができる可能性が示された。しかし、さらなる精度向上のためには撮影環境の検討やパターン投影用プロジェクターやCCDカメラの精度向上が必要だと考えられる。

次に、3Dプリンターで作製したブリッジ模型の寸法精度について、支台に適合させたときと片方の支台のみ適合させたときの測定値を3元配置分散分析した結果を図9に示す。「両」は測定値（両支台に適合させた状態の測定値）を「片」は測定値（片方のみの支台に適合させた状態の測定値）を示す。

これらの結果から、測定値の差において、NBを除いて歯種による影響は小さいことが判った。また、MA、NBおよびACではセメントスペースを大きくしても測定値の差に大きな変化は見られなかった。しかし、PJではセメントスペースを大きくすることで差も小さくなった。各条件の測定値では全ての条件で測定値より測定値の方が小さくなった。ブリッジ型パターンではクラウン型に比べて大型であることから、造形時の歪みや重合収縮などが大きく影響していると考えられる。

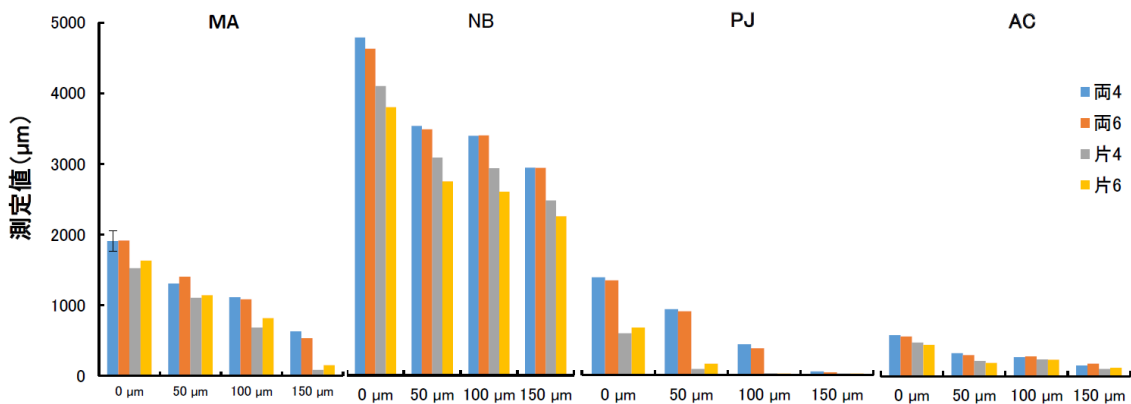


図9 セメントスペースを変えて両支台および支台片方に適合させたときのブリッジの適合性

2歯欠損の場合も1歯欠損の場合と類似の傾向を示した。

以上より、造形方式によってはセメントスペースの付与により十分な適合精度でブリッジ型レジンパターンの造形ができることが示唆された。しかし、さらなる精度向上のためには支台への適合状態の詳細な検討が必要である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0件)

〔学会発表〕(計 2件)

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕
出願状況(計 0件)

名称：
発明者：
権利者：

種類：
番号：
出願年：
国内外の別：

取得状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等：特になし

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：青木 春美
ローマ字氏名：Harumi Aoki
所属研究機関名：日本歯科大学
部局名：生命歯学部
職名：准教授
研究者番号（8桁）：50150925

研究分担者氏名：青柳 有佑
ローマ字氏名：Yusuke Aoyagi
所属研究機関名：日本歯科大学
部局名：生命歯学部
職名：助教
研究者番号（8桁）：10609449

研究分担者氏名：石田 祥己
ローマ字氏名：Yoshiki Ishida
所属研究機関名：日本歯科大学
部局名：生命歯学部
職名：助教
研究者番号（8桁）：50779923

(2)研究協力者

研究協力者氏名：なし
ローマ字氏名：

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、研究者個人に帰属されます。