

研究報告

●老年歯科医学総合研究所

平成26年度研究助成金 研究報告

寝たきり高齢者を対象とした口腔内光印象法と3Dプリンターを用いた義歯製作法の開発

河野正司, 植木一範
明倫短期大学 歯科技工士学科

Verification of an Oral Photo Impression Using
Pattern Projective Technique and 3D Printer for
Bedridden Elderly Patients

Shoji Kohno, Kazunori Ueki
Department of Dental Technology, Meirin College

キーワード：光学印象, CAD/CAM, 3Dプリンター,
訪問歯科診療

1. 緒言

口腔内の印象採得に危険性の伴う寝たきり高齢者に対して、訪問歯科診療時に印象材を使用せずに、デジタル方式で口腔内形状を低侵襲かつ高速に印象採得できれば、患者の負担を大幅に軽減できる。さらに、印象採得したデジタルデータを歯科技工室に送信し、治療内容に応じてデータから口腔内模型や義歯、義歯床などを迅速に製作すれば、工程を短縮し、寝たきり患者を長時間待たせることなく治療を進めることが可能となる。従来、治療方法が限定的であった難しい症例も治療の可能性の拡大が予測されることから、今後さらなる超高齢社会が進み、在宅診療も増加する日本社会において画期的な治療システムとなると考えている。

歯科技工士学科と歯科衛生士学科および訪問歯科診療も行う附属歯科診療所を併設する明倫短期大学では、歯科医療チームとして訪問先での光学印象からのデジタルデータによる義歯製作システムの開発に取り組んでいる。

一方、近年の三次元関連技術は急速な発展、普及

を遂げており、新しい形状計測技術やソフトウェアも開発されている。本研究では、そうした新しい技術を用いた歯科臨床の可能性を探り、光学式スキャナーと3Dプリンターを応用した義歯製作法の開発を進めている。

2. 口腔内光印象法の開発

従来の歯科用CAD/CAMシステムにおける光学式3次元計測では、レーザーを用いた方法が多く採用されてきた。レーザーによる計測は、計測域に制限のない石膏模型に対しては有効であっても、焦点距離をほとんど取ることでできない口腔内において計測するには原理上難しく、特に歯周組織はその表面状態からも計測は困難であった。既に市販されている口腔内スキャナーについても、歯質を対象とした歯冠修復を目的としたものがほとんどであり、歯肉や粘膜面を隈なく計測できる商品は見当たらない。そこで、本研究ではレーザー方式を用いず、焦点距離や対象の表面状態の自由度も高い、パターン投影法を採用し、特に粘膜面を対象に口腔内光印象に適用可能か否か検証を行った。

2.1 光学印象における計測方式の策定

部分歯列欠損症例の石膏模型に対して、光学式3Dスキャナー（カリダスジャパン社製 DAVID SLS-2）を用い、デジタル印象データをコンピューター内に構築し、計測データの検証を行った。検証では元模型と3Dプリンターによる再構築模型、それぞれの計測データを重ね合わせて、再構築による劣化を含めた誤差分布をみた。

図1に示すように、光学式3Dスキャナーのスキャン方式は、ストラクチャライト方式（パターン投影）を採用しており、プロジェクターで映すパターンをカメラで読み取るといった、シンプルでソフトウェア寄りの方式である。従って、特殊な機器は必要なく、今後、小型化する上でも機器の選択肢は広く、最適化をすることによって、目的に応じたシステムをオリジナルで構築できるという利点がある。プロジェクターとカメラの関係性は、座標パターンボードを撮影することでキャリブレーションが可能である。今回は、60mm（計測範囲が約60×60×60mm³）という座標指標を用いて計測空間を構築

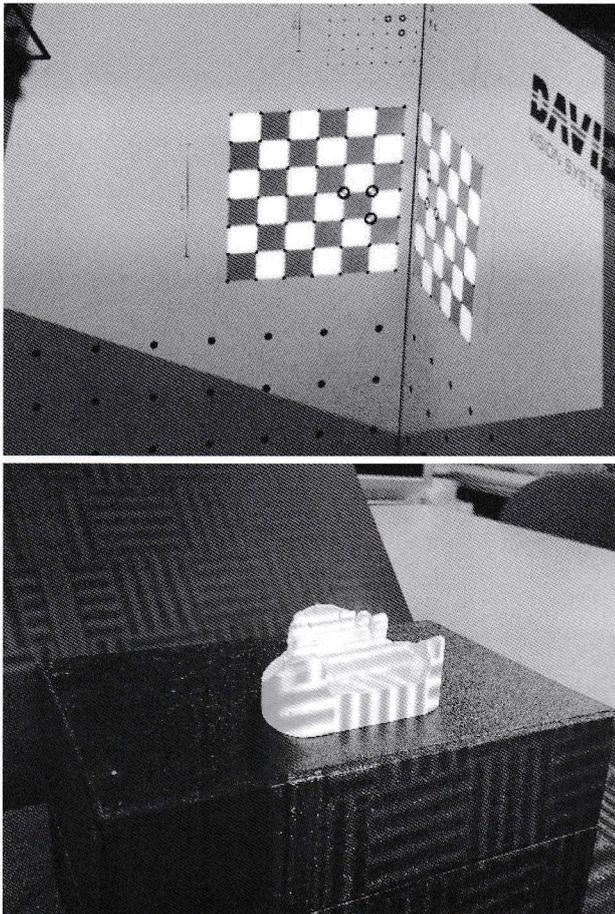


図1 ストラクチャライト方式によるキャリブレーション(上)と模型計測(下)の様子

した。全顎歯列模型については、全周囲8方向から計測後、複数のショットの合成を形状編集ソフトウェア(INUS社製Rapidform 2004)を用いて、位置や形状を半自動の合成機能を利用しモデリングを行った。

2.2 マネキンにおける口腔内印象採得

今回は寝たきり患者を想定したマネキン(ニッシン社製シンプルマネキンⅢ)を用いて、実験的に口腔内計測を行った。患者の状況を考慮し、口腔内模型は、上述の部分歯列欠損症例のデジタル印象データから製作した赤色のPLA樹脂を用いた複製模型に歯牙の色付けをして症例を模式的に再現した。頬粘膜や開口角度については、今後、口腔内印象採得システムの小型化を進めるとともに、寝たきり患者の状況を踏まえて付与していく予定である。

2.3 結果および考察

図3に計測データの検証結果を示す。誤差分布の数値は、一致を示す0mmから最大で0.3mm～

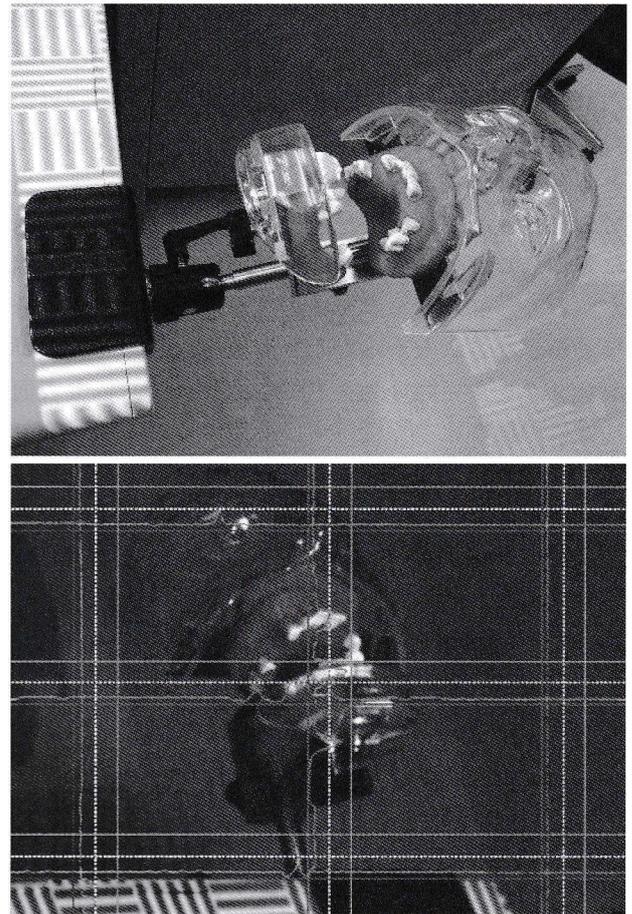


図2 (上) マネキンにおける実験的な口腔内印象採得(下)画像内の波長(赤線)がレンジ内(青線)にあり正弦波であれば計測可能

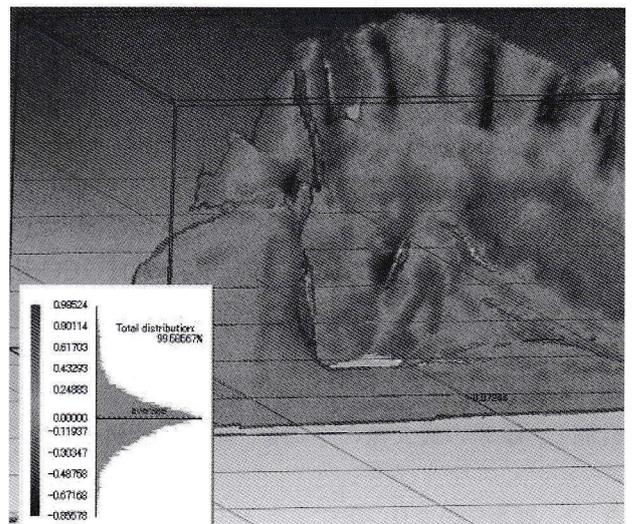


図3 元模型と再構築後の計測誤差分布

0.8mmまで分布した。再構築に係る形状の劣化もこの数値に含まれ、誤差が大きい箇所は光の届きにくい歯間部にみられることから、光が十分に当たる粘膜面などの計測精度は義歯の製作に十分であるといえる。

小型化されていない現状のシステムでは、口腔内を直接計測することは難しく、今回の実験的な口腔内計測では、マネキンに装着した顎模型を口腔外から光を当てて計測することとなり、頬側の計測はほとんど不可能であったが、口蓋部と歯牙の、光を当てられた個所については計測できた。着色し模式的に製作した部分歯列欠損症例について、計測の周囲が明るく、プロジェクターの光が弱い状態では十分な計測がなされなかったが、周囲を薄暗くし、プロジェクターから強い光を当てさえすれば、色や表面状態に影響を大きく受けずに計測することが可能であった。本研究が対象とする寝たきりの高齢者の口腔内は乾燥している傾向が強いので、湿潤で滑沢な面よりは計測しやすいことも予想される。従って、プロジェクターの光量やカメラの解像度を保ったまま、マクロ撮影ができるように小型化がなされれば、現システムの方法とソフトウェアにて直接計測が十分可能であると考えられる。

3. 3Dプリンターによる義歯製作法の開発

3.1 部分歯列欠損症例のプリント再現

プリントモデルは、3Dプリンター（MUTOH社製 3D MagiX MF-1000）に、前項で計測したデジタル印象データを出力し作成した。本装置では、PLA（ポリ乳酸樹脂）またはABS樹脂フィラメントに対して熱融解方式にて最小解像度0.1mmにて積層造形を行ことが可能であったが、実際の患者における粘膜の流動性を考慮して今回はPLA樹脂において0.3mmを採用した。

形状の評価では、プリントモデル上にて作成したレジン義歯床を元模型に適用し、適合状態を調べた。評価法は、義歯床内面にシリコーン印象材（GC社製バイトチェッカー）を築盛し、模型に戻し、得られた印象材の厚さにて評価した。厚みはシクネスゲージを用いて4カ所の臨床的特徴点で10回ずつ計測し、厚みの最大値の平均を、適合評価値とした。

3.2 義歯床のプリント

実際の臨床では、口腔内印象がデジタルデータで十分再現できれば、顎模型を必要としない場合も考えられる。従って、デジタル印象データから直接義歯床や義歯の出力ができれば、臨床における工程を大幅に削減し、効率の良い治療システムとなり得ると考える。

ここでは、部分歯列欠損症例のデジタル印象デー

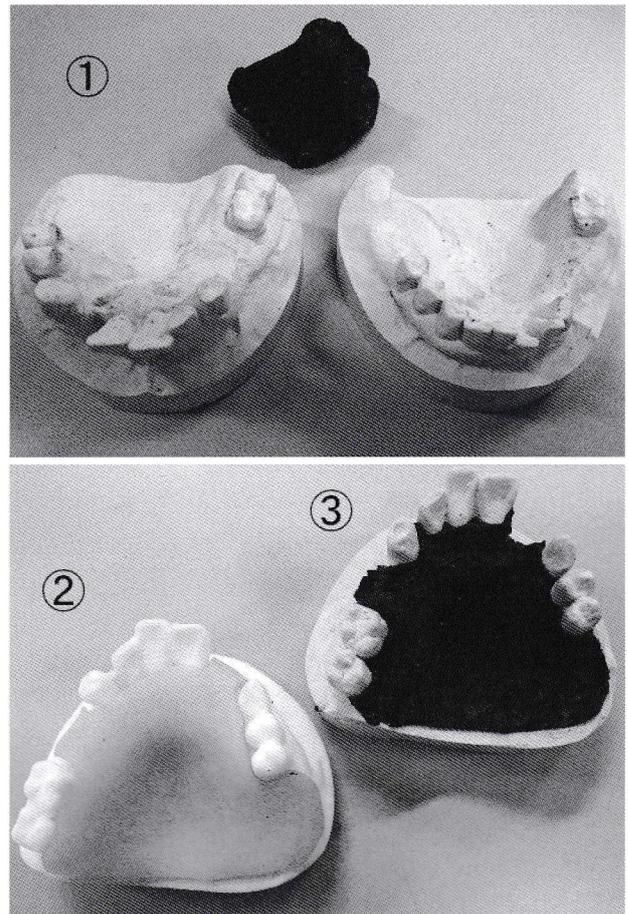


図4 ①元模型とバイトチェック, ②3Dプリントモデルとレジン義歯床, ③シリコーン印象材による適合チェック

タより、3D-CAD（Rhino 4）上にて床に当たる部位を選択して切り取り義歯床の概形とし、データを反転し、ソリッド化オフセットを行い、義歯床に厚みを持たせている。今回は、0.5mm、1.0mm、1.5mm厚のサンプルを製作し、同一データを用いた部分歯列欠損症例のプリントモデルに適用し、形状チェックを行った。また、プリント出力の際、拡大率を99%、100%と101%にて行い、フィットに多少の緩さがあっても調整しやすい拡大率を考察した。

3.3 結果および考察

1) 部分歯列欠損症例プリントモデルの形状評価

図4②③に示すように、プリントモデル上にて作成したレジン義歯床を元模型に適用し、適合を評価したところ、評価に用いたシリコーン印象材の厚みの最大値は、口蓋隆起付近で平均 $1.15 \pm 0.27\text{mm}$ と最大となり、硬口蓋付近で平均 $0.55 \pm 0.11\text{mm}$ と最小となった。適合評価に用いたレジン義歯床の収縮

や軟組織の流動性を考慮しても、プリントモデルは、形状的に隆起や曲率の大きな箇所再現性は低く、平面的やゆるやかな曲面形状に関してはある程度の再現性が得られたといえる。今回は、プリントモデルの積層ピッチを0.3mmとしたことや、CAD上で計測モデルの穴埋め等の修正処理による形状差の改善を考えれば、さらに高い適合を得ることも可能である。しかし、臨床応用時には、義歯床をリライニングした後に咬合採得等に適用する計画であるので、プリントモデルは実際の口腔内よりすこし大きめに緩く当たるように作成された方が好ましいと言える。

2) 義歯床のプリントチェック

図5にデジタル印象データを用いてCAD上で設計した義歯床の出力および形状チェックの様子を示す。3Dプリンターにおいて、サポート材を利用することで薄板状の義歯床も設計通りに出力可能であった。一方、厚みを変更して出力したところ、0.5mm、1.0mm厚の義歯床ではフィラメントの充

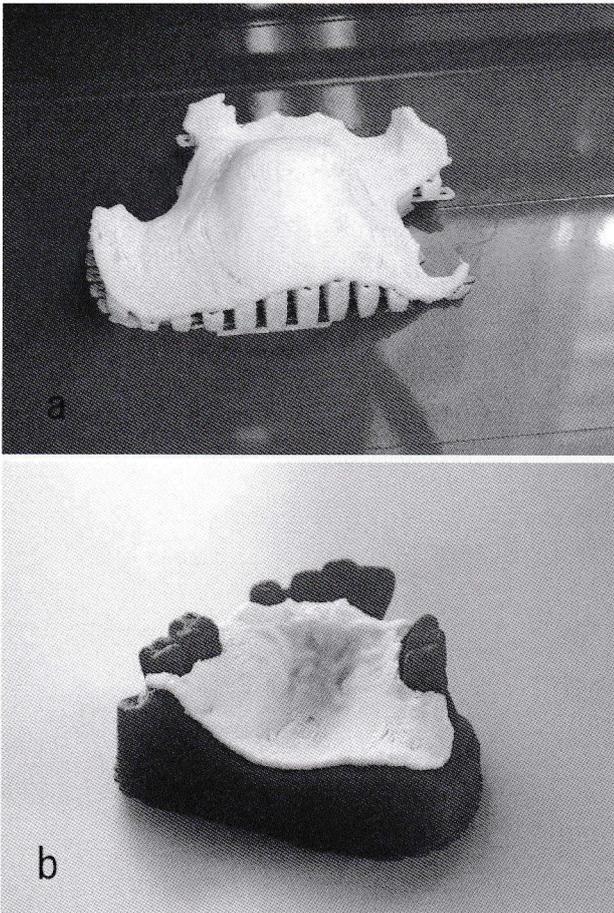


図5a サポート材を利用した薄板状の義歯床の出力
図5b 3Dプリントモデルとプリント義歯床の適合チェック

填密度が足りず、すだれ状の隙間が一部に生じた。1.5mm厚の義歯床は出力も良好であり、調整もある程度可能なので現実的であった。

部分歯列欠損症例のプリントモデルに対して、拡大率を変更し出力した3種の義歯床をフィッティングし、適合をみたところ、口蓋隆起付近での当たりが影響していたので、101%に拡大した義歯床は適合しにくいという結果になった。99%に縮小した義歯床においても、口蓋隆起付近での当りは少ないが、鉤歯の周辺で適合しにくいという結果となった。従って、義歯床の場合は、一律の拡大縮小出力では調整しづらく、部分的な形状変更が必要であるといえる。

また、これらの部分歯列欠損症例の模型および義歯床の形状について、従来のCAD/CAMシステムでの製作では再現し難かったアンダーカット部まで出力サポートの付与などで製作可能であることが確認された。3Dプリンターによって、これまでのCAD/CAMシステムで対応できなかった複雑な症例等についても、デジタルデータによる義歯製作が可能になることが示唆された。

4. まとめ

寝たきり高齢者を対象とした全顎歯列にわたる口腔内光印象法と3Dプリンターを用いた義歯製作法の開発を進め、現在、以下の知見を得た。

- 1) ストラクチャライト方式による光学式3Dスキャナーを用いて、臨床的顎模型とマネキンに対して、実験的に計測を行い、対象面の状況によるデータ構築や計測データの再現性を検証したところ、口蓋等の粘膜面の計測でも良好な結果を示した。
- 2) 本方式で良好な計測結果を得られたので、今後は、寝たきり高齢者の臨床に適應するために、カメラとプロジェクターの小型化を行う必要がある。
- 3) 計測データを用いて、CAD上で設計した義歯床を3Dプリンターにて出力したところ、1.5mm厚で製作した義歯床は良好な形状を出力できた。しかし、口蓋隆起付近での当たりがフィッティングに影響したため、計測データに対してCAD上において一部の形状変更をする必要があるといえる。

参考文献

- 1) 金澤 学, 山本信太, 岩城麻衣子, 水口俊介:
コンピューター支援・製造における全部床義歯.
日歯理工学誌, 33 (6), 519~522, 2014.
- 2) 金澤 学, 山本信太, 中村敏成, 水口俊介:
CAD/CAM総義歯の潮流. QDT CAD/CAM
YEAR BOOK 2013, 10~21, 2013.
- 3) 前田芳信, 十河基文, 石井和雄, 村本睦司, 堤
定美: 有床義歯へのCAD/CAMの応用.
Quintessence of Dental Technology, 25, 1526
~1531, 2000.
- 4) 石田祥己ほか: 3Dプリンタを用いた修復物の
製作 第1報 光造形3Dプリンタによる製作
報の寸法精度, 32 (5), 348, 2013.
- 5) 植木一範, 河野正司: 全顎部分歯列欠損症例に
おける3Dプリントモデルの形状評価. 明倫紀
要, 18 (1), 39, 2014.