

## デジタルワークフローによる訪問歯科診療に向けた義歯製作法の開発

植 木 一 範

明倫短期大学 歯科技工士学科

## Development of the Denture Fabrication Method for Visiting Dental Treatment Using the Digital Workflow

Kazunori Ueki

Department of Dental Technology, Meirin College

寝たきり高齢者を主たる対象とする訪問歯科診療への応用を目的として、安全な口腔内印象法と3Dプリンター等のデジタル機器を用いて、安全かつ短時間でのデジタルワークフローによる義歯製作を行い評価した。光印象法の検討を行ったところ、ストラクチャライト方式は、口蓋部のようなゆるやかな曲面形状を高速かつ高精度に計測することが可能であった。しかし、スキャナーのもつ焦点距離の影響において、小型化と光を当てにくい部位の計測には課題が多い。また、本研究の目的に最適な加工法はまだ選択の余地があるが、3Dプリンターの発展により、デジタル完結の高精度な新しい義歯製作法の可能性は広がりつつあるといえる。デジタルワークフローにおいて、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られるが、寝たきり高齢者への適用には、現在のところ残された課題は多い。

キーワード：光学印象, CAD/CAM, 3Dプリンター, デジタルワークフロー, 訪問歯科診療

Keywords: Optical Impression, CAD/CAM, 3D Printer, Digital Workflow, Visiting Dental Treatment

## I. 緒 言

訪問歯科診療における、寝たきり高齢者の口腔内印象採得は、危険を伴う場合も多い。近年では、口腔内スキャナーの技術向上によって、印象材を使用しないデジタル方式の印象採得法も確立しつつある<sup>1,2)</sup>。この技術のさらなる発展が、治療方法の限定的であった寝たきり高齢者に対して、低侵襲かつ短時間で印象採得可能となれば、治療の選択肢も広がり、QOL向上に貢献できると考えられる。しかし、現在市販されている多くの口腔内スキャナーは、歯科院内においての歯冠修復補綴が主な用途となっている<sup>3)</sup>。

多数歯欠損や無歯顎の患者では、デンチャーの設計のため、緩やかな曲面を有する顎堤粘膜の計測が必要となる。粘膜面にはスキャン時のランドマークとなる形状が少なく、口腔内全体を精度良く印象採

得するには時間とテクニックを要する<sup>4)</sup>。さらには寝たきり高齢者の場合、その多くがスキャンしにくい開口制限や口腔内環境であると想定される。

人生百年時代を迎え、在宅診療も増加する日本社会において、迅速で安全に咀嚼機能の快復を求めることは、国民の健康寿命を延伸するためにも取り組むべき課題といえる。

本研究では、要介護高齢者に安全な口腔内印象法を検討し、3Dプリンター等のデジタル機器を用いた迅速で安全なデジタルワークフロー義歯製作法の開発を行い評価したので報告する。

## II. 粘膜面を主な対象とする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、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有床義歯を対象とした装置は少ないようである<sup>5,7)</sup>。

そこで、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<sup>8,9)</sup>。また、市販の口腔内スキャナーおよびレーザースキャナーによるデータとの比較を行い、評価した。

### 1. 光印象計測方法の検討

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。

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、プロジェクターで投影するパターンをカメラで読み取るシンプルかつ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60×60×60mm<sup>3</sup>）という座標指標を用いて計測空間を構築した。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。

また、市販の口腔内スキャナー（トロフィー・ラジオロジー・ジャパン株式会社製 Trophy 3D System）およびレーザースキャナー（コニカミノルタ社製Vivid 910）により同一の模型を計測し、ストラクチャライト方式にて計測したデータとの比較を行った。

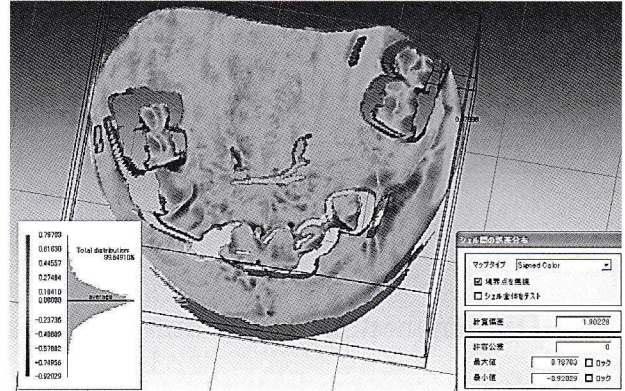


図1 計測法の違いによる計算偏差  
口腔内スキャナー Trophyおよびレーザースキャナー方式Vividとストラクチャライト方式の計測データの比較。左下分布表は寸法差の分布。

### 2. 結果および考察

ストラクチャライト方式においては、投影部と撮影部の距離を自由に設定できること、複数のパターンを投影することによって、自由曲面形状を捉えやすいことなどの利点があるが、パターン投影はプロジェクターを利用する方法が主流であり、焦点距離がそのまま撮影可能域となる。従って、本システムでは、プロジェクターの最短焦点距離120mmが近接計測の限界であった。120mmの近接計測の結果、平面データではパターンの投影痕が多く残り、鋸の歯状に凹凸の入り組んだ状態となった。以降、測定対象の距離を拡大していくと、計測領域に対象が大きく含まれる200mmでは、データ密度の高い良好な形状を示した。次いで、距離を300mmまで延長するとデータ密度が低下し、再びパターン投影痕が生じ始める傾向が認められた。

また、図1に口腔内スキャナー Trophyおよびレーザースキャナー方式Vividとストラクチャライト方式（計測距離200mm）の計測データの比較を示す。これら計測データの寸法差の最大値は0.78や0.92mmと大きい。計測エラーの穴付近にみられるので、同一の評価点間ではない数値の可能性が示唆される。寸法差の標準偏差は0.1～0.2mmとなった。ただし、口蓋付近はTrophyでは模型上においても焦点距離の影響もあり、計測しにくく計測精度は低下し、ストラクチャライト方式やレーザースキャナー方式に比較して計測時間も3～5min程度長く要した。

## Ⅲ. 3Dプリンターによる義歯製作法の開発

### 1. 3Dプリンターの選択

近年、発展の目覚ましい3Dプリンター業界であ

るが、広く普及している熱融解積層方式（FDM法）においては出力可能な材料が拡大しつつあり、光学式3Dプリンター（UV硬化法）についても高精度ながら廉価な機種が市場に登場している。さらには、粉末焼結積層造形法においては、金属の出力も可能となり、歯科材料にも適応されるチタンなどが将来的には臨床に応用される可能性も示唆され始めた状況にある<sup>10)</sup>。

ここでは、光学式3Dプリンター（UV硬化法）と、従来の熱融解積層方式により製作した義歯床モデルを比較し、各法の特徴と義歯製作工程における活用方法を検討した。

## 2. 対象と方法

1) プリントモデル：以下の2種の3Dプリンターで出力した3種の材料による義歯床モデルを比較した。

①光学式3Dプリンター（XYZプリンティングジャパン社製Nobel1.0）を用いて最小積層0.025mmにて出力した。使用材料は、光硬化樹脂（専用UVレジン）とした。

②熱融解積層方式3Dプリンター（MUTOH社製3D MagiX MF-1000）を用いて出力した。使用材料は、PLAフィラメントおよびABSフィラメントを用いて、最小解像度0.1mmにて積層造形を行った。

2) 精度評価：高精度計測が可能である接触式3Dスキャナーにて、元模型と各義歯床モデルを同様に計測し、断面形状の差より、適合度を求め精度評価とした。

## 3. 材料の違いによる義歯床の検証

元模型の計測データと出力した義歯床モデルの再計測データより適合度を各条件（PLA樹脂、ABS樹脂、光硬化積層法）にてそれぞれ求めたところ、図2に示すように、光硬化積層モデルにおいて、誤差の範囲が小さく、最も適合のよい結果が示された。観察によっても表面性状が非常に滑らかであり、熱変形がないことから、元模型の反転形状を高精度に再現している。熱融解方式は過熱および冷却工程による熱変形がみられ、表面性状にも材料フィラメントの（等高線のような）積層面が観察できるため、出力後のある程度の修正が必要である。

しかし、表1に示すように各材料には一長一短があり、本研究の目的に最適な加工法はまだ選択の余

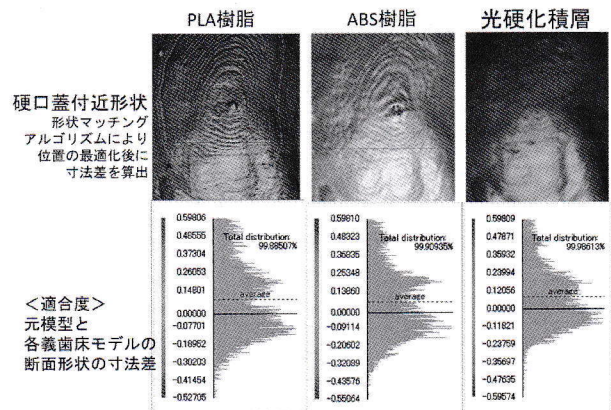


図2 義歯床モデルの精度評価  
元模型の計測データと出力した義歯床モデルの再計測データより寸法差を求め適合度とした。

表1 各義歯床モデルの加工特性

加工法	熱融解積層方式		
	光学式	PLA樹脂	ABS樹脂
材料	UVレジン	あり (小)	あり (大)
熱変形	なし	あり (小)	あり (大)
加工時間	2.3 h	1.5 h	1.5 h
最小積層	0.025mm	0.1mm	0.1mm
後処理修正	困難	困難	容易

地があるが、3Dプリンターの発展により、デジタルワークスロー完結の高精度な新しい義歯製作法の可能性が広がったといえる<sup>11)</sup>。

## 4. 考察と課題

新しい義歯製作法の提案を行い、精度の高い義歯製作の可能性がみえた反面、設計や加工に従来法より多くの時間を費やしているため、まずは時間短縮が大きな課題である<sup>12)</sup>。さらには、在宅診療における義歯修正が容易なシステム構築を進める必要があると考えている。3Dプリンターのさらなる技術革新も望まれるが、何より患者の口腔内情報や顎運動などのデータを集約し、高速に義歯の設計が反映させられる専用のCADソフトウェア開発もこのシステムの進化には不可欠であると感じている。

## IV. デジタルワークフローに向けて

臨床では、口腔内印象がデジタルで再現できれば、作業模型が不要になる工程も考えられる。従って、図3に示すようなデジタルワークフローにおいて、デジタルの光学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。しかし、口腔内スキャナーに残された課題は、スキャナー

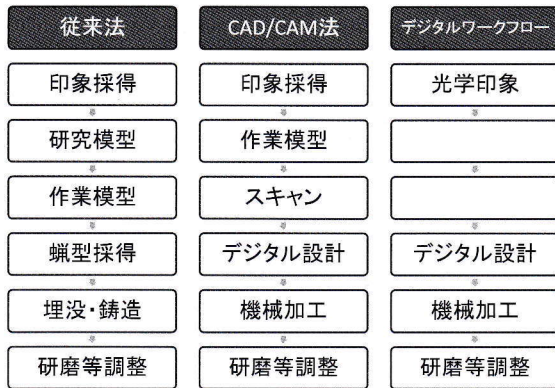


図3 従来法とCAD/CAM法およびデジタル完結ワークフローの比較  
デジタルワークフロー（右）は従来法に比較して整理されている。

の小型化と、どんなに小型化しても光の届かない頬側面や深い溝の様な歯間部の印象採得にあり、現状では従来のアルジネートやシリコン印象に優る手法は存在しないようである。従って、義歯の設計に必要な十分な部位の計測ができるか否かによって、デジタルワークフロー適用の可否が決定する。

前項までの結果、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、デジタルワークフローによって製作された義歯は、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。CAD上での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り、軟組織や粘膜面の変位量を考慮しても、本研究で得られた適合度は、臨床において十分な適用範囲にあると考えられる。

また、3Dプリンターによって製作された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。従って、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。

## V. 結論

要介護高齢者に安全な口腔内印象法を検討し、3Dプリンター等のデジタル機器を用いた迅速で安全なデジタルワークフロー義歯製作法の開発を行い評価し、

以下の知見を得た。

1. 光印象法の検討を行ったところ、ストラクチャライト方式は、口蓋部のようなゆるやかな曲面形状を迅速に計測することが可能であった。しかし、スキャナーのもつ焦点距離の影響において、小型化と光の当たらない影になる部分の計測は困難であることがわかった。
2. 材料および加工法には一長一短があり、本研究の目的に最適な加工法はまだ選択の余地があるが、3Dプリンターの発展により、デジタル完結の高精度な新しい義歯製作法の可能性は広がりとつあるといえる。
3. デジタルワークフローにおいて、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が、寝たきり高齢者への適用には、現在のところ残された課題は多いといえる。

本研究に関連して、開示すべきCOI関係にある企業などはない。

本研究は、一般財団法人老年歯科医学総合研究所による学術研究助成により遂行されたことを付記し、謝意を表す。

## 文献

- 1) 田中晋平, 馬場一美: 無歯顎患者におけるデジタル・デンティストリー. 日補綴会誌Ann Jpn Prosthodont Soc, 8: 414-419, 2016
- 2) 田中晋平, 馬場一美: 補綴歯科治療のデジタル化の現状と未来. 日補綴会誌Ann Jpn Prosthodont Soc, 9: 38-45, 2017
- 3) 下田孝義, 本山直樹, 井上貴史ほか: 各社interoral scannerを比較検証する. Official publication of the Japanese Society of Clinical CAD-CAM Dentistry Volume 5, 2015
- 4) 上窪裕基, 田坂彰規, 三井智治ほか: 上顎無歯顎顎堤粘膜に対する光学印象の精度検証. 歯科学報, 116 (3): 237, 2016
- 5) 金澤学, 山本信太, 岩城麻衣子ほか: コンピュータ支援・製造における全部床義歯. 日歯理工学誌, 33 (6): 519~522, 2014
- 6) 金澤学, 山本信太, 中村敏成ほか: CAD/CAM 総義歯の潮流. QDT CAD/CAM YEAR BOOK

- 2013, 10~21, 2013
- 7) 前田芳信, 十河基文, 石井和雄ほか：有床義歯へのCAD/CAMの応用. *Quintessence of Dental Technology* 25 : 1526~1531, 2000
  - 8) 植木一範, 河野正司：口腔内直接計測を可能とする近接3次元計測法の検討. *明倫紀要*, 19 (1) : 102, 2015
  - 9) 河野正司, 植木一範：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. *明倫紀要*, 18 (2) : 60~64, 2015
  - 10) 石田祥己, 宮坂平, 青木春美ほか：3Dプリンターを用いた修復物の製作 第1報 光造形3Dプリンターによる製作報の寸法精度. *日歯科理工学誌*, 32 (5) : 348, 2013
  - 11) 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
  - 12) 植木一範, 河野正司：光学式3Dプリンターによる高精度な義歯製作法の開発. *明倫紀要*, 20 (1) : 12, 2016