

CAD/CAM 技術を応用した全部床義歯

金澤 学^a, 岩城麻衣子^b, 荒木田俊夫^a, 水口俊介^a

Fabrication of the complete denture applying CAD/CAM systems

Manabu Kanazawa, DDS, PhD^a, Maiko Iwaki, DDS, PhD^b, Toshio Arakida, DDS^a
and Shunsuke Minakuchi, DDS, PhD^a

抄 録

CAD/CAM 技術を応用して全部床義歯を製作することにより、光学印象、CAD ソフト上での義歯デザイン、切削加工による義歯製作が可能となった。これにより、従来型の複雑な治療・技工工程を簡略化することが可能となり、また、デジタル化によってこれまで術者の勘に頼っていた部分をより客観的に解釈し、数値的に設計支援を行うことが可能になる。今後は、直接最終義歯の印象採得が可能な口腔内スキャナーや三次元造形可能な新規材料の開発により、全部床義歯製作の真のデジタル化が実現できるだろう。

キーワード

CAD/CAM, 全部床義歯, デジタル化

I. 全部床義歯 CAD/CAM 化の意義

全部床義歯の歴史は古く、現在行われているロストワックス法による義歯製作法は現在に至るまで約 70 年間変わらずに続いてきた¹⁾。この全部床義歯の製作方法には 3 つの問題点が上げられる。

1. 複雑な治療と技工工程
2. テクニックセンシティブ
3. 義歯床用材料の精度と物性

従来型の全部床義歯製作では、臨床ステップと技工操作が複雑に絡み合っており²⁾、完成までには平均 4～5 回以上の来院回数を必要とする^{1,3)}。そのため患者にとっては通院の負担が大きいことが問題である。術者にとっても熟練を要し、完成した義歯の品質は術者や技工士の習熟度に左右される可能性がある。義歯床用レジンとの重合においては、填入時の人工歯の移動や気泡の巻き込み、重合収縮や変形などが問題となっている。また、アクリルレジンにはデンチャープラー

クが付着しやすく耐汚染性に優れた材料とは言えず、破折することもあり、さらなる強度が求められる。

これらの問題を解決する手法として、CAD/CAM 技術の応用が有効であると考えられる。近年ますます盛んになってきた歯科医療への CAD/CAM 技術の導入は、歯科補綴物の形状を数値化し、データの情報伝達・蓄積に利用できることが大きなメリットの一つとなっている。全部床義歯製作においても、CAD/CAM 技術を導入することより、技工操作の単純化と義歯製作の標準化が可能となり^{4,5)}、上記の問題が解決されると考えられる。

II. CAD/CAM 技術を応用した全部床義歯製作法

表 1 に従来法と CAD/CAM 技術を応用した全部床義歯製作法の流れを示す。本稿では、CAD/CAM 技術を応用した全部床義歯製作法について、われわれが行っている手法を紹介し今後の展望について述べる。

^a 東京医科歯科大学大学院医歯学総合研究科高齢者歯科学分野

^b 東京医科歯科大学大学院医歯学総合研究科総合診療歯科学分野

^a Graduate School of Medical and Dental Sciences, Tokyo Medical and Dental University (TMDU)

^b General Dentistry, Graduate School of Medical and Dental Sciences, Tokyo Medical and Dental University (TMDU)

表 I The list of the process of fabricating the complete dentures by conventional and CAD/CAD technique

従来法と CAD/CAM 法による全部床義歯製作法の工程表

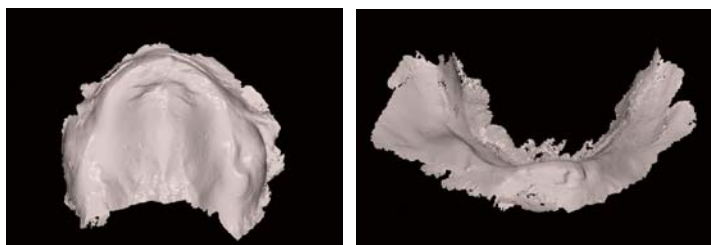
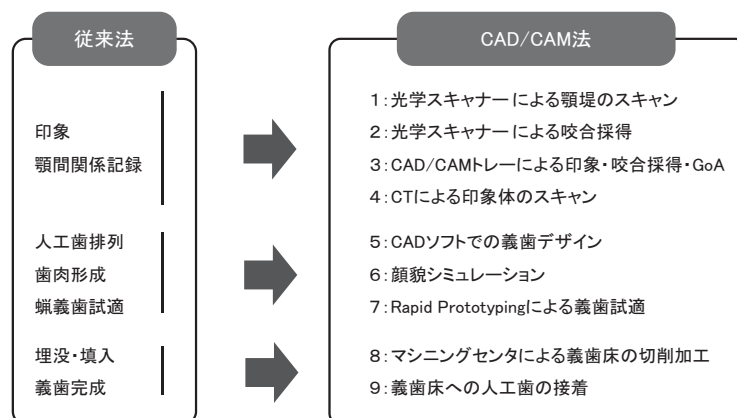


図 1 The edentulous maxilla and mandible scanned with an intraoral scanner

口腔内スキャナーによりスキャンされた上下無歯顎顎堤



図 2 Jaw registration with the intraoral scanner

口腔内スキャナーを用いた咬合採得

1. 口腔内スキャナーによる顎堤のスキャン

無歯顎顎堤を口腔内スキャナー (True Definition Scanner, 3M) にてスキャンする。口腔内スキャナーは顎堤粘膜を認識しにくいいため、顎堤上に幾何学的なランドマークを置いたり、パウダーレスのスキャナーであれば、粘膜に皮膚鉛筆にてマーキングをするなど、よりスキャンしやすい環境を作る必要がある (図 1)。

2. 口腔内スキャナーによる咬合採得

最初に解剖学的決定法や生理学的決定法によりおよその顎間距離の数値を決定しておく。前歯部顎堤にパテタイプのシリコン印象材 (フュージョンIIパテタイプ, ジーシー) を挿入し、決定した顎間距離を目指して下顎を誘導しながら閉口させ、上下の顎間距離を保ったまま顎堤間でシリコン印象材を硬化させる。これを咬合採得用のジグとする。製作したシリコンジグを用いて上下の顎間関係を固定させた状態で、

上下顎堤とシリコンジグを同時に口腔内スキャナーでスキャンする (図 2)。スキャンしたデータは STL データとして保存する。

3. CAD/CAM トレーによる咬合採得・GoA

以上の過程で得られた上顎顎堤、下顎顎堤、咬合採得ジグの STL データを CAD ソフトウェア (Freeform, Geomagic) 上にインポートする。インポートした上下顎堤データと咬合採得ジグデータを CAD ソフトウェア上で重ね合わせを行うことにより、上下顎間関係を CAD ソフト上に再現することが可能となる (図 3)。さらに、対向関係が調整された顎モデル上にて CAD/CAM トレーの設計を行う。この上顎トレーにはゴシックアーチ (GoA) 用の描記板が、下顎トレーには着脱可能な GoA 用の描記針が備えられ、印象採得に続いて GoA を用いた顎間関係記録が可能となっている (図 4)。

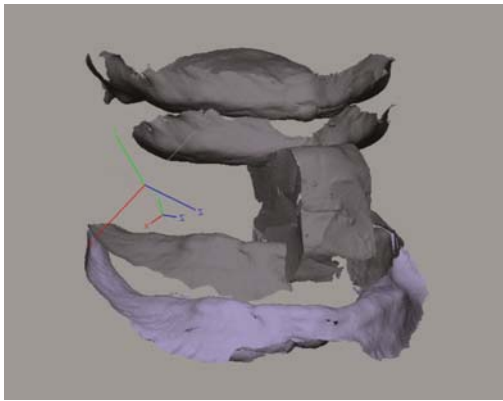


図3 Maxillary and mandibular jaws on the CAD software using the data of the jig to make a jaw relation record.
CADソフト上で再現された上下顎間関係

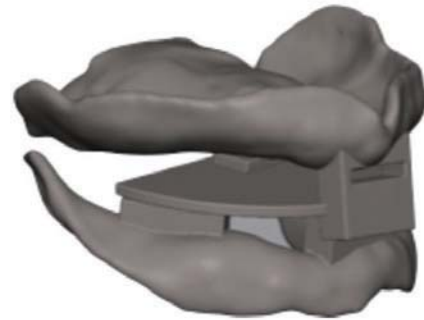


図4 Images of custom trays (CAD/CAM trays) created with CAD software.
GoAの記録が可能なCAD/CAMトレーのデザイン

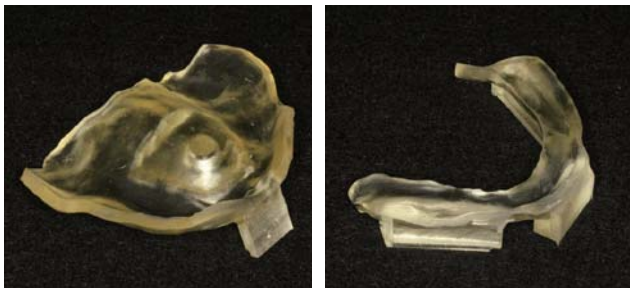


図5 The maxilla and mandibular CAD/CAM trays fabricated with a 3D printer
3Dプリンターで製作した上下CAD/CAMトレー

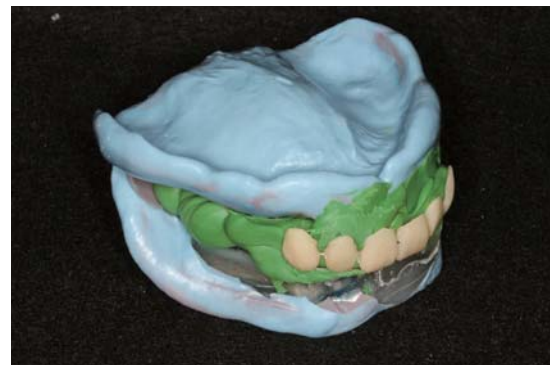


図6 Jaw relation record with CAD-CAM trays and tooth mold template.
中心位が記録され人工歯排列のガイドを付与した印象体

デザインされたトレーのデータを基に、3Dプリンター (Objet Eden250, Stratasys) を用いて紫外線硬化性樹脂からなるCAD/CAMトレーを造形する。CAD/CAMトレーを用いて上顎、下顎の精密印象採得を行う。トレーは口腔内で試適し、必要であれば辺縁を調整しておく。最初にヘビーボディタイプの印象材 (エグザデンチャー ボーダータイプ, ジーシー) を用いて筋形成を行い、ライトボディタイプの印象材 (エグザデンチャー, ジーシー) を用いてウォッシュインプレッションを行う。トレーの外形が適切である場合、筋形成は省略できる (図5)。

精密印象採得後に、下顎のCAD/CAMトレーにGoA用描記針を装着する。上顎はトレーの柄を削除し、通法通りGoAを行う。中心位の確認後、顎間関係をシリコンバイト材 (エグザバイト III, ジーシー) にて記録する。GoA用描記針はスクリューになっており、咬合高径の微調整も可能である。前歯部の排列

位置の参考となるガイドを装着して、切縁の位置を決定する (図6)。

4. CTによる印象体のスキャン

歯科用CT (Cone Beam CT, Finecube) を用いて顎間関係が保たれた状態の印象体をスキャンし、STLデータとして保存する。ここまでの操作により、従来法での印象・咬合採得から作業模型をおこして咬合器装着された状態がPC上で再現されたことになる。

5. CADソフトでの義歯デザイン

新義歯のデザインはCADソフトウェア (FreeForm, Geomagic) 上にて人工歯排列、歯肉形成を行い決定する。

6. 顔貌シミュレーション

義歯形状は顔貌の審美に大きく影響する。そこで、



図7 The CAD/CAM complete dentures
完成した CAD/CAM 全部床義歯

顔貌シミュレーションを行うことで、義歯デザイン後の顔貌を PC 上で確認することが可能である。まず光学スキャナー (Danae200sp, NEC) を用いて顔貌をスキャンし、顔貌の三次元データを取得する。この装置は顔専用の光学式スキャナーで、二方向から撮影された写真を合成することで顔面の三次元画像を構築している。顔貌データと義歯データを統合し、顎顔面外科領域におけるシミュレーションソフト (Mimics, Materialise) を応用して、リップサポート変更時や咬合高径変更時の顔貌シミュレーションを行う。このシミュレーションを見ながら、患者とともにリップサポートや咬合高径を決定することも可能である。ここで用いるシミュレーションソフトは外科手術用であるため、シミュレーション精度がやや悪かったが、当分野でソフトの利用法を義歯用に修正した結果、良好な精度でのシミュレーションが可能となった⁶⁾。

7. Rapid Prototyping による試適用義歯製作

義歯製作の際には試適を行い、顎間関係と審美性の確認を行うことがある。その際には 3D プリンターを用いて、試適用義歯を製作する⁷⁾。

8. マシニングセンターによる義歯床の切削加工

完成した義歯データから人工歯の部分削除した義歯床のみのデータを作成し、マシニングセンター (GM-1000, GC) にてレジンプロックから義歯床のみを切削加工する。

9. 義歯床への人工歯の接着

切削加工しブロックとの間のサポートを除去した義歯床に、常温重合レジンを用いて人工歯を接着し、

CAD/CAM 義歯の完成となる (図 7)。

この方法で製作した義歯の加工精度の検証を行ったところ、研磨面、粘膜面での加工精度は非常に高く、咬合面ではやや大きな偏差が認められた⁸⁾が、現在では義歯床の人工歯ソケット部の大きさを調整することにより、より高精度な義歯製作が可能である^{9,10)}。また、この方法により製作した義歯を患者の口腔内に装着したところ、完成後の人工歯の削合ができないため、従来法と比較し咬合調整量が若干多く必要ではあったが、良好な適合と咬合関係が得られた。

III. 考察と将来展望

1. 口腔内スキャナーを利用した印象・咬合採得

口腔内スキャナーを用いた光学印象は操作が簡便であり、適切なトレーニングを行えば従来法と比較して容易に技能は修得できることが報告されている¹¹⁾。しかし、現在の口腔内スキャナーは歯をスキャンする目的で開発されてきた経緯から顎堤粘膜を認識しにくいという問題点があり、無歯顎顎堤の印象採得は容易ではない。さまざまな口腔内スキャナーを試用したが、現行の口腔内スキャナーでは可動粘膜、特に下顎舌側の再現が困難である。そこで、光学印象データから咬合採得とゴシックアーチトレーシングが可能で個人トレー (CAD/CAM トレー) を 3D プリンターで製作すれば、概形印象が簡略化できる。さらに、シリコンパテによるジグを利用し、上下顎堤とジグを同時に光学印象する方法により、咬合採得の簡略化が可能である。このように、概形印象、簡易咬合採得に CAD/CAM 技術を導入することにより、トレーデザインのセンター化が行えるため、熟練したオペレーターが一人いれば適切な義歯およびトレー外形線を決定することが可能となる。また、将来的に多くのデータを蓄積することにより、顎堤データから適切な義歯外形線を割り出すことも可能となる。このトレーのクオリティ向上がその後の精密印象採得のクオリティ向上につながると思われる。

2. PC 上で義歯デザインの作成について

PC 上での義歯デザインの作成では、人工歯排列においてデータベースの利用が可能であり、従来法での複雑な排列操作が単純化できる。使用予定の既製人工歯はあらかじめ CT でスキャンしておき、CAD ソフト上で人工歯を排列する。この手法を用いることにより、どのような既製人工歯の三次元データでも使用可能である。また、使用頻度の高い人工歯はあらかじめ

臼歯と前歯に分けて理想的な咬合関係にある状態のセットを組んでおけば、CADソフト状での排列時間は大幅に短縮される。現行では既製人工歯を使用しているが、実用化されればCAD/CAM用人工歯の開発も進むと考えられる。

3. 義歯試適について

義歯製作の際には試適を行い、顎間関係と審美性の確認を行うことがある。その際には三次元造形技術を用いて、試適用義歯を製作する。試適用義歯の材料については、現在は使用できる材料が限られているため光硬化性樹脂を用いているが、従来法と同様に、チェアサイドでの排列修正が可能なワックスによる義歯製作も報告されており、より有効に義歯試適のステップを取り入れることが可能になる。

4. 最終義歯製作について

ここで用いる義歯床用アクリルレジンプロックは、水分を排除した理想的環境下で成形されるため、従来法におけるPMMAの重合を改善し、未重合モノマーや内部気泡を減らし、より高い物性を得ることが可能である。また、削り出された義歯床表面では従来法で重合したものと比較して細菌付着の抑制効果が期待できる可能性も示唆されている。さらに、この方法は成形材料の制約を受けないため、将来的にはPMMAより理想的な床用材料の応用も可能である。現状では、粘膜面・研磨面ともに同様の滑沢な表面性状になるよう仕上げているが、形状や加工面などを自由にコントロールすることができる点もCAD/CAM法における切削加工の利点の一つと言える。

5. 将来展望

CAD/CAM技術によって、質や物性の安定した全部床義歯の供給が可能である。製作過程において従来のような埋没・填入という技工行程にしばられないため、もはや材料がアクリルである必要はなく、材料応用の可能性が広がる。抗菌作用を付与することや、部位による色調変化をもたせるなどの特異性を付与した複合材料の応用も考えられる。また、積層造形装置は年々進化しさまざまな種類のもので出されているが、従来法で用いているアクリル(PMMA)を超える物性の材料が使用できる装置はまだない。よって、積層造形による長期使用可能な義歯の製作は不可能である。しかし、短期使用を目的とした義歯の製作であれば積層造形による義歯製作も実用可能であると考えられる。例えば熱溶解法(FDM)により床と人工歯

を一塊に積層造形した義歯の研磨面を常温重合レジンやコンポジットレジンでキャラクタライズすれば低コストで“Disposable Denture”の製作ができ、災害や紛失対策となるだろう。

一方、全部床義歯のデンチャースペースを把握する上で印象・咬合採得のステップには従来法同様の課題が残る。今後、無歯顎顎堤の精密印象採得が可能な口腔内スキャナーを開発するためのアルゴリズムの解明が進めば、CAD/CAMトレーでなく光学印象から直接最終義歯を製作することが可能となる。このとき、全部床義歯製作の真のデジタル化が実現できるだろう。

文 献

- 1) Jacob RF. The traditional therapeutic paradigm: complete denture therapy. *J Prosthet Dent* 1998; 79: 6-13.
- 2) Zarb GA, Bolender CL, Carlsson GE, Boucher CO. Boucher's prosthodontic treatment for edentulous patients. 11th ed. St Louis: Mosby/Elsevier; 1997. p. 415-442.
- 3) Gaspar MG, Dos Santos MB, Dos Santos JF, Marchini L. Correlation of previous experience, patient expectations and the number of post-delivery adjustments of complete dentures with patient satisfaction in a Brazilian population. *J Oral Rehabil* 2013; 40: 590-594.
- 4) Saponaro PC, Yilmaz B, Heshmati RH, Mcglumphy EA. Clinical performance of CAD/CAM-fabricated complete dentures: A cross-sectional study. *J Prosthet Dent* 2016; 116: 431-435.
- 5) Wimmer T, Gallus K, Eichberger M, Stawarczyk B. Complete denture fabrication supported by CAD/CAM. *J Prosthet Dent* 2016; 115: 541-546.
- 6) Katase H, Kanazawa M, Inokoshi M, Minakuchi S. Face simulation system for complete dentures by rapid prototyping. *J Prosthet Dent* 2013; 109: 353-360.
- 7) Inokoshi M, Kanazawa M, Minakuchi S. Evaluation of a complete denture trial method applying rapid prototyping. *Dent Mater J* 2012; 31: 40-46.
- 8) Kanazawa M, Inokoshi M, Minakuchi S, Ohbayashi N. Trial of a CAD/CAM system for fabricating complete dentures. *Dent Mater J* 2011; 30: 93-96.
- 9) Yamamoto S, Kanazawa M, Iwaki M, Jokanovic A, Minakuchi S. Effects of offset values for artificial teeth positions in CAD/CAM complete denture. *Computers in Biology and Medicine* 2014; 7: 1-7.
- 10) Yamamoto S, Kanazawa M, Hirayama D, Nakamura T, Arakida T, Minakuchi S. In vitro evaluation of basal shapes and offset values of artificial teeth for

- CAD/CAM complete dentures. Computers in Biology and Medicine 2016; 68: 84-89.
- 11) Park HR, Park JM, Chun YS, Lee KN, Kim M. Changes in views on digitalintraoral scanners among dental hygienists after training in digital impression taking. BMC Oral Health 2015; 15: 151.

著者連絡先：金澤 学

〒113-8510 東京都文京区湯島 1-5-45
東京医科歯科大学大学院医歯学総合研究科
高齢者歯科学分野
Tel: 03-5803-5563
Fax: 03-5803-5586
E-mail: m.kanazawa.gerd@tmd.ac.jp