

臨床講座

デジタル・デンティストリーが補綴臨床を変える

田中 晋平, 舘 慶太, 宮内 知彦, 上村 江美
馬場 一美

Digital Dentistry Changes the Prosthodontics

Shinpei TANAKA, Keita TACHI, Tomohiko MIYAUCHI, Emi KAMIMURA
and Kazuyoshi BABA

Department of Prosthodontics, Showa University School of Dentistry

臨床のポイント

デジタル技術の発展により歯科医療は変革しつつある。例えばインプラント治療では、検査、診断、治療計画、手術支援、補綴装置の製作などにデジタル技術が導入されている。補綴治療全般では従来の間接法に替わり、CAD/CAM や光学印象採得など従来の補綴治療の根幹を変える技術が出現したことから、ジルコニアなどの高密度焼結体の加工が可能となり、メタルフリー補綴の普及を加速させた。一方で矢継ぎ早に提供される新技術への違和感や、従来の技術に対する信頼感が導入に二の足を踏ませていることも否めない。そこで、本稿では、補綴治療におけるデジタル・デンティストリーの現状と今後の可能性について最新情報を提供する。

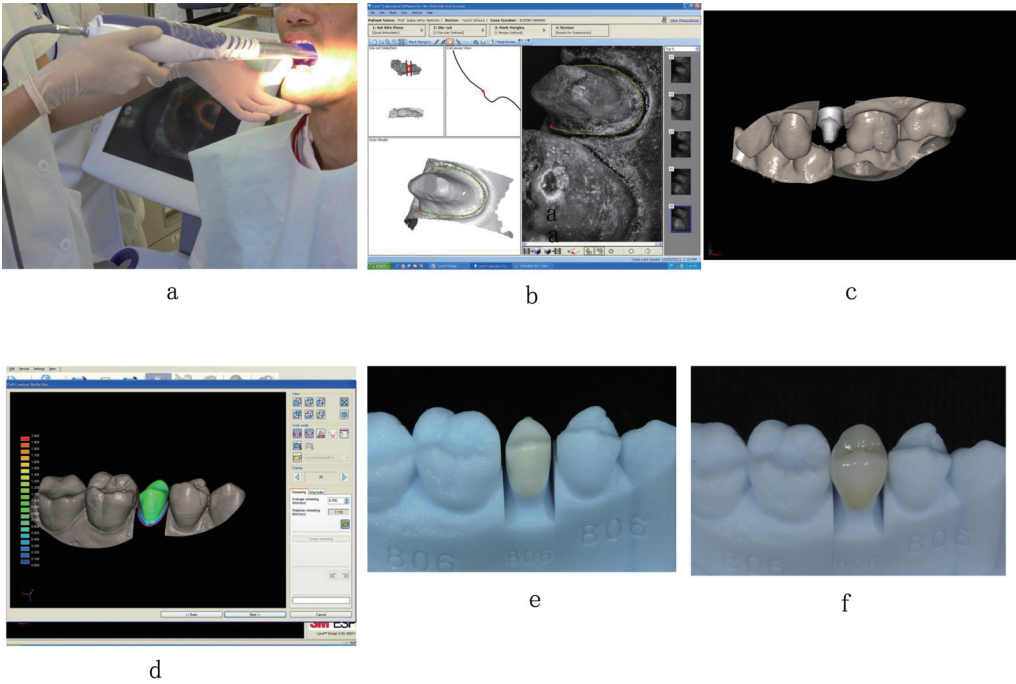


Figure 3

Intraoral scanner	Company	Working principles	Light source	Imaging type	Necessity of coating	In-office milling	Output format
CEREC [®] AC – Bluecam	Sirona Dental System GmbH (DE)	Active triangulation and optical microscopy	Visible blue light	Multiple images	Yes	Yes	Proprietary
iTero	Cadent Inc (IL)	Parallel confocal microscopy	Red laser	Multiple	None	No	Proprietary or selective STL
E4D	D4D Technologies, LLC (US)	Optical coherence tomography and confocal microscopy	Laser	Multiple	Occasionally	Yes	Proprietary
Lava [™] C.O.S.	3M ESPE (US)	Active wavefront sampling	Pulsating visible blue light	Video	Yes	No	Proprietary
IOS FastScan	IOS Technologies, Inc (US)	Active triangulation and Schleimpflug principle	Laser	3 images	Yes	No	STL
MIA3d	Densys Ltd (IL)	Active stereophotogrammetry	Visible light	2 images	Yes	No	ASCII
DPI-3D	Dimensional Photonics International, Inc (US)	Accordion fringe interferometry (AFI)	Wavelength 350–500 nm	Multiple images	None	No	STL
3D Progress	MHT SpA (IT) – MHT Optic Research AG (CH)	Confocal microscopy and Moiré effect	Not disclosed	3 images	Occasionally	No	STL
directScan	Hint-Els GmbH (DE)	Stereoscopic vision	Not disclosed	Multiple images	Not disclosed	No	Not disclosed
Trios	3Shape A/S (DK)	Confocal microscopy	Not disclosed	Multiple images	None	No	Proprietary or STL

Figure 4

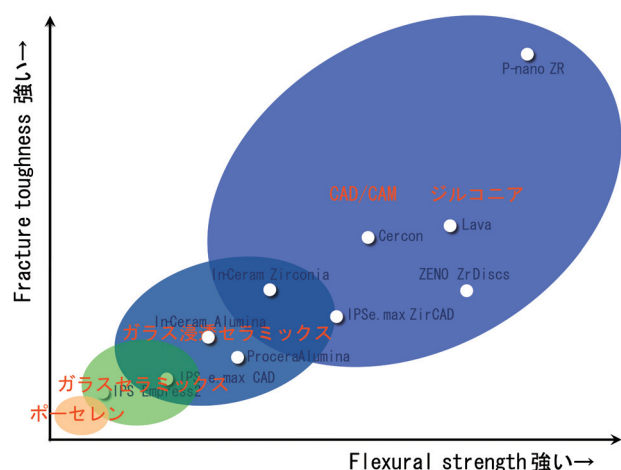


図 5

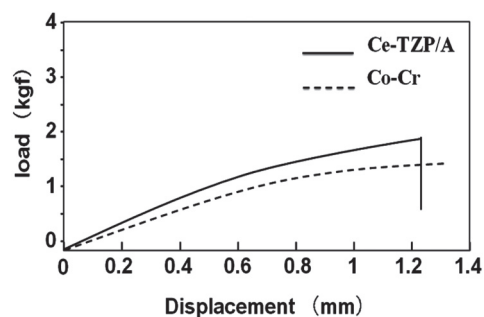


図 6

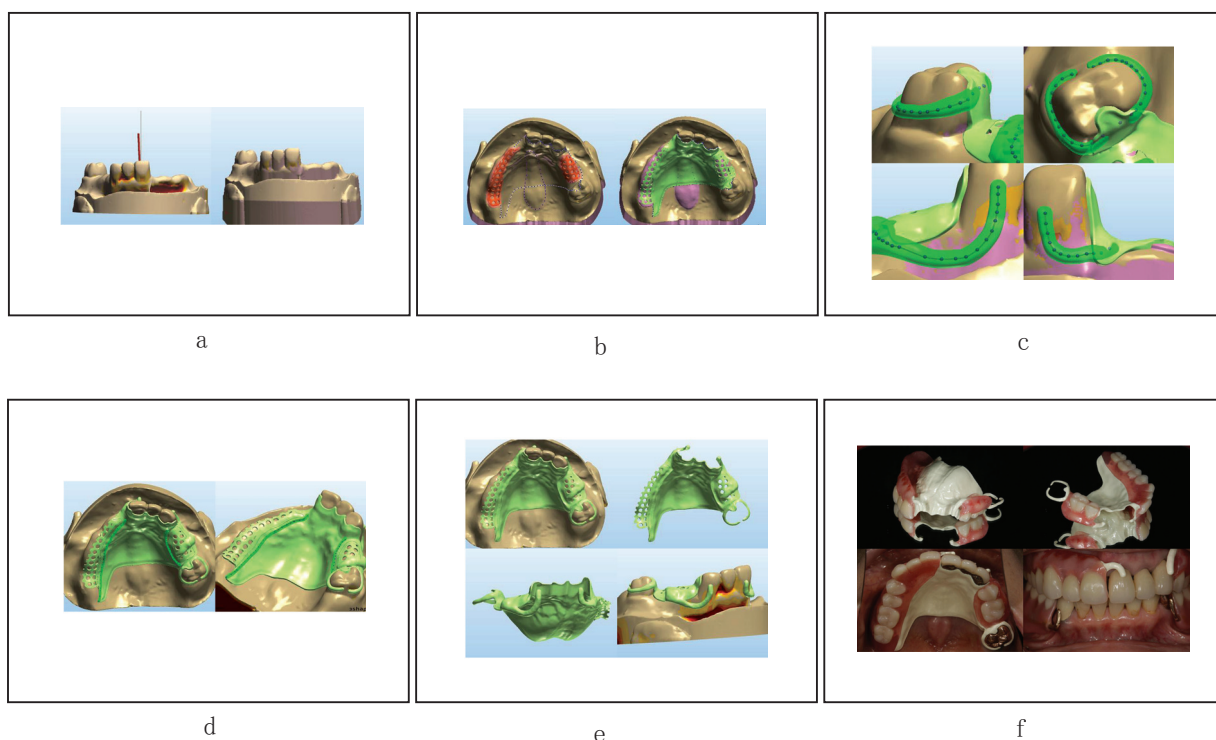


図 7

図 1 光学印象採得に用いられる口腔内スキャナー

図 2 LAVA C. O. S. (3M ヘルスケア社製)

図 3 a: LAVA C.O.S. 口腔内スキャナーによる光学印象採得 b: 光学印象採得した三次元モデルのトリミング c: CAD ソフトウェア上で再現された作業用模型 d: CAD ソフトウェア上でデザインされるジルコニアコーピング e: CAD ソフトウェアを元に製作された SLA モデルとジルコニアコーピング f: 技工士がポーセレンを築盛して完成させたオールセラミッククラウン

図 4 市販されている口腔内スキャナーとその性能 (Scotti R, et al. Clinical fitting of CAD/CAM zirconia single crowns generated from digital intraoral impressions based on active wavefront sampling. J Dent, 2011. より改変, 引用)

図 5 高強度なセラミックスへの移行 曲げ強さと破壊靱性値

図 6 実測値の荷重-変位曲線 (Ce-TZP/A: ナノジルコニア, Co-Cr: コバルトクロム)

図 7 a: 着脱方向の設定とアンダーカットのブロックアウト b: リリーフ部位の設定とメジャーコネクターの設計 c: クラスプの設計 d: フィニッシングラインの設計 e: フレームワークデザイン完成 f: 義歯完成および装着

1. はじめに

近年における電子・情報工学の加速度的な発展は、あらゆる分野にワークフロー革命をもたらしている。そのムーブメントは歯科医療現場においても例外ではなく、近年の歯科医療におけるデジタル技術のバリエーションはまさに百花繚乱のごとくである。デジタル・デンティストリーの歴史を遡ると、1980年代に海外ではすでにCAD/CAMの可能性について模索が行われており、一部の先駆的な臨床家が先陣を切って導入したものの、一般的に広く普及するにはほど遠く、技術的な課題も多かった。

今日までにおける補綴装置の進化の歴史は、とりもなおさず間接法の工程の確立と進化であったといえる。間接法は、口腔内の三次元形態情報を材料の表面で転写して作業用模型を製作することから始まり、各工程における材料の寸法変化を考慮しつつ完成補綴装置の寸法精度を獲得している。しかしながら、工程数が多く、手法が煩雑であるため材料間の誤差の蓄積や修復物の形状によっては適合性に限界があり、技工士や歯科医師の取り扱いや熟練度にその成否が左右される。

しかし、今日では補綴装置の製作において従来の間接法に替わり、設計および製作にCAD/CAMが導入されるようになった。CAD/CAMは従来の歯科医療の根幹を変えるポテンシャルを有しており、技工技術のワークフローをも一新してしまう。また技術革新によって、間接法では困難であったアルミナやジルコニアなどのファインセラミックス高密度焼結体の加工精度が口腔内で満足以機能させることが可能なほどに向上した。そこで本稿では、補綴装置製作ワークフローにおけるデジタル・デンティストリーの導入とその現状、今後の可能性について、最新情報を提供する。

2. 光学印象装置の運用による補綴臨床の新たな展開

1) 光学印象装置の現状

デジタル・デンティストリーでは口腔内スキャナーにより光学印象を採得し、作業用模型や対合歯列との咬合を仮想的に再現し補綴装置の設計(CAD)と加工(CAM)を行う。審美領域におけるオールセラミッククラウンなど、すべてをCAMでまかなうことが難しい補綴装置の場合は従来の歯科技工の工程を併用するが、臼歯部に用いるフルアナトミカルジルコニアクラウンなどの補綴装置ではすべてCAMで製作することが可能である。

光学印象の製品化はCERECの出現から歴史があるが、近年ではコンピューターの処理能力の飛躍的な向上に伴い次々に新方式が提案され、印象精度は著しく向上した。光学印象の導入は、安全性、チェアタイムの軽減、

精度の向上、経済効果、情報量の増大等のメリットを有し、Digital modelは石膏以外の樹脂などの素材が利用できること、情報の保存や再利用、精度の向上などの利点を有する。

2) 光学印象装置 LAVA COS の運用

光学印象装置は世界中で様々な機種が展開されているが(図1)、当講座では、光学印象システムLAVA COS(図2)を選択し導入を推進してきた。光学印象採得における補綴装置製作のワークフローを図3a-fに示す。機種の選考にあたり、従来の印象法に匹敵する、あるいは凌駕する性能を持つことを優先事項とし、従来の印象法をリプレースできるかどうかを検証することとした。LAVA COSに関する精度検定の文献を渉漁したところ、いくつかの基礎的な精度検定の研究が認められた。Syrekらは従来の印象法とLAVA COSでLAVAオールセラミッククラウンを製作したときのマージン精度を計測比較した基礎的研究の中で、LAVA COSはシリコン印象材による印象採得を凌駕する支台歯への適合と隣接面接触点の精度を獲得し、咬合においては同等であったと述べている¹⁾。van der Meerらは、模型全体の寸法精度において、他社のスキャナーとの比較で良好な数値が得られたことを報告した²⁾。

3) 今後の展開

先人たちの多大な努力により、間接法による補綴装置の製作は優れたユーザビリティが提供されており、印象採得から補綴装置の完成まで、歯科医師が症例に応じた材料・システムをそれぞれの利点・欠点を熟知した上で選択することができる柔軟性がある。しかしながら、光学印象採得では各社のビジネス戦略や特許などの事情も相まって図4に示すように、プロプライエタリで囲い込むビジネスモデルが多く、選択肢に柔軟性があるとはいえない。

一方で、光学印象採得は、間接法における材料の寸法精度の誤差をキャンセルし、間接法を凌駕する寸法精度が得られるポテンシャルを秘めており、当講座における試験的な運用においても良好な成績を収めた。

光学印象装置の発展における課題としては今後のデジタルデンティストリーの発展のためにはオープン化によるシステムの選択性・柔軟性の担保は必須である。また、一定割合で従来の印象採得を光学印象採得にリプレースできる信頼性を担保するためには、臨床的な供用に耐えうる精度が必要であることは自明であるが、各社より公開されている仕様や、公正に検証されたデータがあまりにも少ないため、臨床的な精度検定は光学印象装置全般における今後の検討課題といえよう。

3. ナノジルコニアによる部分床義歯臨床の新たな展開

1) 部分床義歯の材料学的背景

コバルトクロム合金は優れた特性により、部分床義歯のフレームワーク材料としての地位は古くから確立されている。しかし、外観不良を呈するなどの審美性の欠点、金属アレルギーの原因となりうる、形態の加工が煩雑で高コストである、鑄造収縮による寸法精度などの欠点があることも指摘されているにも関わらず、長期間にわたって決定的な代替技術は出現していない。

クラウン・ブリッジやインプラントの上部構造などの固定性補綴装置では、メタルフリー修復に対する需要から、イットリア系ジルコニアが広く臨床応用されており、優れた生物学的安定性、機械的特性が証明された。しかしながら、脆性材料で曲げ強さが低いために固定性補綴装置に応用するには十分な物性を有するものの、クラスプに加わる応力や形態的な制限から部分床義歯のフレームワーク材料には適さないと考えられてきた。

2) ナノジルコニアをフレーム材料とした義歯の開発

パナソニックヘルスケア株式会社が開発したジルコニア材料 (P-ナノ ZR, ナノジルコニア) はセリア安定化ジルコニアとアルミナの複合材料であり、現在、歯科において広く応用されているイットリア系ジルコニアに比べ、高い曲げ強さと破壊靱性値を示す (図 5)³⁾。また、イットリア系ジルコニアにみられる「低温劣化」が起これないため、口腔内における長期的な安定性が得られる (図 6 低温劣化: 200~300℃, もしくは高湿潤環境下において正方晶から単斜晶に相転移することにより物性が劣化する現象)⁴⁾。

そこで、当講座では、このナノジルコニアを部分床義歯のフレームワーク材料として用いるジルコニアフレーム義歯の開発をするべく、フレームワークに要求される物理的強度、屈曲特性の獲得の可能性および義歯床用アクリルレジンのとの接着性について解析した。その結果、ナノジルコニアは①最適化された形態を付与することでクラスプに必要な屈曲特性を得ることができる (図 6)、②大連結子に応用可能な性能を期待できる、③ジルコニアの表面処理方法を最適化することにより十分な床用レジンのとの接着が得られる、という示唆を得た。

以上をふまえて臨床プロトコルを設定し、現在第一次臨床研究のプログラムを順調に消化している。補綴装置の製作におけるワークフローと臨床例を図 7a-f に示す。

3) 今後の展開

近年、欠損補綴においてインプラント治療が普及する一方で、超高齢社会が進み、基礎疾患の存在や経済的理由により部分床義歯に対する高い需要は依然として存在

し、今後も増加の一途をたどることが予想される。有床義歯学の歴史は古く、多くの問題が指摘されてきたにもかかわらず決定的な代替技術は出現しておらず、依然としてコバルトクロム合金が多用されている。医療において術後の QOL の向上への取り組みが取り上げられる今日、有床義歯学が停滞せず発展するためには、時代にキャッチアップした新技術の開発は必至である。CAD/CAM システムを用いた義歯の設計・加工は国内外においてすでに取り組まれているが、クラスプにおける審美性と強度を両立させた研究は存在しない。

ナノジルコニアは、加工時の課題は存在するものの、高温、長時間の焼結過程が必要なイットリア系ジルコニアよりも精度の高い歯科補綴物を製作できるため技術の成熟によって審美性・コスト・精度の問題が一挙に解決できる可能性があるだけでなく、近年増加しているインプラント支持型義歯のフレームへの応用も可能である。また、ナノジルコニアはイットリア系ジルコニアの 2 倍以上の破壊靱性値を有し、先に述べたように有床義歯フレームに応用できる強度を得るための形態最適化において良好な成績を得ている。当講座では第一次臨床研究が終了した後に、臨床において抽出された問題点を克服するべく第二次臨床研究を行うこと計画しており、順調に推移すれば実用化への発展が可能であると考えている。

4. 最後に

従来法と比較した補綴臨床へのデジタル・デンティストリーの導入には以下のようなメリットが考えられる⁵⁾。

1) 従来の間接法では不可能であったデータの保存や再利用、画像や構造解析を基にした修復物の設計が可能となる。また、設計データはネットワークを介して転送することによる歯科技工のネットワーク化により物流コストの抑制やオーダーの速達化が可能になる。

2) 従来の間接法では加工が困難であった安全性や強度、審美性に優れた新素材の利用が可能になり、しかも製造工場でロット管理され、トレーサビリティを有するインゴットを出発点にすることにより、内部欠陥のない品質の安定化が可能になる。

3) 術者の経験や勘に頼っていた修復物の適合性を安定的に再現するのが可能になる。特に、介在する工程や材料が省かれることにより、材料の変形による誤差から解放され、間接法を凌駕する寸法精度を得られる可能性がある。

4) 治療や歯科技工の作業工程が省力化され、作業環境の改善が可能になる。

一方で、以下のような技術的課題が現時点においては

挙げられる⁵⁾。

- (1) 従来の手作業に比較して CAD/CAM は融通が利かない。
- (2) 計測装置や加工装置の精度が最終修復物の適合性に影響し、現状では従来の最高レベルには到達できていない。
- (3) 支台歯形成の自動化は現状で難しいので、CAD/CAM は手作業との協働にならざるを得ない。
- (4) 現状では顎口腔の機能時の情報を CAD/CAM に反映するのが困難である。

しかし、材料や技術、装置の進歩は加速度的であり、これらの課題が克服され、デジタル・デンティストリーが益々普及することは時間の問題であるといえよう。

CAD/CAM の導入は、近代歯科医療が確立した間接法による修復物の作製にとって替わるポテンシャルを有し、すべての歯科医師や歯科技工士に有用であるとともに、デジタル技術に親和性の高いと考えられる若い世代の歯科医師や技工士が能力を伸ばす場を提供できるという強みがある。しかしながら、最終的には患者にとって、低侵襲治療、治療期間の短縮、治療効果の向上、適正な

治療コストなどから医療サービスの向上、患者の QOL の向上に貢献できることが、導入を促進するもっとも大きな原動力となるであろう。

文 献

- 1) Syrek A, Reich G, Ranftl D, Klein C, Cerny B, Brodesser J: Clinical evaluation of all-ceramic crowns fabricated from intraoral digital impressions based on the principle of active wavefront sampling. *J Dent. Elsevier Ltd.*, **38**: 553–559, 2011
- 2) van der Meer WJ, Andriessen FS, Wismeijer D, Ren Y: Application of intra-oral dental scanners in the digital workflow of implantology. Glogauer M (eds), *PLoS ONE*. 2012 Aug 22; **7**(8): e43312.
- 3) Nawa M, Nakamoto S, Sekino T, Niihara K: Tough and strong Ce-TZP/Alumina nanocomposites doped with titania. *Ceramics International*, **24**: 497–506, 1998
- 4) Ban S, Nawa M, Suehiro Y, Nakanishi H: Mechanical properties of zirconia/alumina nano-composite after soaking in various water-based conditions. *KEM*, **309–311**: 1219–1222, 2006
- 5) 宮崎 隆: Digital Prosthodontics の変遷と展望. *日補綴会誌*, **4**: 123–131, 2012