

無歯顎患者におけるデジタル・デンティストリー — ボーンアンカードブリッジとインプラント・オーバーデンチャー症例から —

田中晋平, 馬場一美

Benefit of Digital Dentistry on Edentulous Patients — Implant-Supported Fixed Dental Prostheses and Implant Over Denture —

Shinpei Tanaka, DDS, PhD and Kazuyoshi Baba, DDS, PhD

抄 録

電子・情報工学の加速度的な発展は、歯科医療にも大きな影響を及ぼした。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、CAD/CAM や光学印象など従来の補綴治療の根幹を変える技術が出現した。

しかし、インプラント治療では上部構造には長らく陶材焼付冠が用いられてきており、前装陶材の破折は多くの臨床医が経験したマイナートラブルといえよう。著者らは無歯顎患者のインプラント上部構造製作法にデジタル技術を導入し、オールセラミッククラウンをレジンセメントにてフレームに接着するボーンアンカードブリッジの臨床応用を行ってきた。

一方、可撤性有床義歯分野では、高度な顎堤吸収などの下顎無歯顎難症例で、インプラント・オーバーデンチャー (IOD) が、従来の全部床義歯と比較してより高い患者満足度と良好な治療効果が得られることが示された。しかし、義歯の製作法自体はコバルトクロム合金などをフレームワーク材料として用いた間接法が長らく主流であった。著者らはジルコニアをフレームに用いる技術の開発に着手し、現在、全部床義歯や IOD に限って臨床応用を行ってきた。

本稿では、無歯顎患者におけるボーンアンカードブリッジ、および IOD 症例を供覧し、補綴装置製作ワークフローの現状を報告するとともに、デジタル・デンティストリーの今後の可能性について考察する。

キーワード

無歯顎, ボーンアンカードブリッジ, インプラント・オーバーデンチャー, デジタル・デンティストリー

I. はじめに

近年のデジタル制御工学・情報工学の加速度的な発展には目をみはるものがあり、さまざまな面で国民の生活にインパクトを与えてきた。医療の進歩においてもデジタル技術は中核的な役割を担ってきたが、歯科においても例外ではなく、デジタル技術を用いたイノベーション、すなわちデジタル・デンティストリーは、歯科医療技術の向上だけでなく歯科医療のワークフローを根本的に変えつつある¹⁾。

デジタル・デンティストリーが様々な技術革新を経た今日では、精度、製作工程の煩雑さ、コストなどの技術的問題の大半が解決され、CAD/CAM を用いたクラウン・ブリッジ補綴歯科治療が広く普及し、ロストワックス法により貴金属を鋳造して補綴装置を製作する従来型の歯科技工のワークフローに取って代わろうとしている²⁾ (図 1a, b)。

本稿では、無歯顎患者におけるボーンアンカードブリッジ、および IOD 症例を紹介し、補綴装置製作ワークフローの現状を報告するとともに、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報告する。

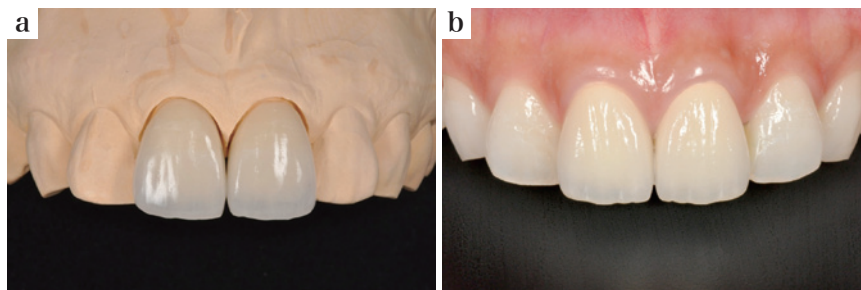


図1 a, b ジルコニアフレームによるオールセラミッククラウン.



図2 陶材焼付によるフルアーチインプラント上部構造.



図3 インプラント上部構造における陶材の破折.

II. ボーンアンカードブリッジにおけるデジタル・デンティストリー

1. 背景

インプラント治療では、起点となるCT検査がデジタルデータであるため、デジタル・デンティストリーと親和性が高く、検査、診断、治療計画、手術支援などにデジタル技術が早くから導入されてきた。現在では、当然のように行われているCT像の三次元構築による手術のプランニングは、比較的早い段階から実用化されていた。このような経緯から、インプラント治療はデジタル・デンティストリーの初期においてその普及の大きな原動力となったことは明らかである。

その一方で、インプラント上部構造の製作においては陶材焼付鑄造による上部構造が近年までゴールドスタンダードとして用いられており、ワックスアップ、鑄造、鑲着などを基盤としたロストワックス法による従来のワークフローが主流であった(図2)。

しかし、ここ10年のジルコニアを用いたメタルレス補綴装置の普及、貴金属価格の高騰などを契機として、今日ではCAD/CAMを用いた補綴歯科治療が広く普及した。特に無歯顎におけるボーンアンカードブリッジに代表される、ロングスパンのフルアーチ上部構造では、CAD/CAMの利点を最大限に活用することができる。ロストワックス法によってフルアーチ上部構造を製作する場合には一塊の鑄造によって臨床的に許容できる寸法精度を得ることが困難であるため、分割して鑄造し

口腔内にて位置関係を記録し鑲着する必要があった。しかし、CAD/CAM技術の進歩により、切削によりほぼ自動でフルアーチのフレームワークを削り出すことが可能となったばかりでなく、ロストワックス法を凌駕する寸法精度を実現できる可能性がもたらされた。

固定性補綴装置の中長期的な予後に目を向けると、前装陶材の破折が天然歯支台、インプラント支台を問わず観察される臨床的なトラブルであることが広く知られており、特に、インプラント支台の補綴装置においてその頻度が高いことが報告されている³⁾(図3)。そもそも、陶材のレイヤリングはテクニカルセンシティブであり、レイヤリング時に生じる構造欠陥を克服することは熟練したセラミストであっても困難である。前装陶材の破折のリスクを可及的に減じるための方策の一つとして、メタルオクルーザルに代表されるような堅牢なメタルフレームワークの設計コンセプトが挙げられるが、これによりメタルフレームの設計が煩雑となるだけでなく、使用金属量が増大し、それに伴い鑄造性の悪化を招き、満足できる品質のフレームワークを製作するためには高度な技工技術が必要であった(図4a-d)。

近年では、CAD/CAMが普及したことにより、フレームワークにジルコニアを用いることが可能となったが、ジルコニアフレームを用いた上部構造特有の問題として、前装陶材の焼付強度が低いことが挙げられる。従って、CAD/CAMを利用してジルコニアフレームを製作するには前装陶材の破折防止のための方策、あるいは破折した場合の対応法の確立が必要である。

以上をふまえ、著者らはジルコニアフレームにオー

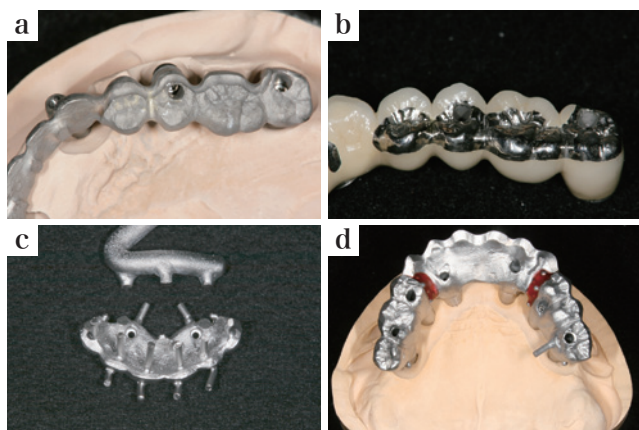


図 4

- a, b メタルオクルーザルおよび陶材サポートを最大限に付与したインプラント上部構造のフレームワーク。
 c 堅牢で体積の大きいフレームワークを確実に鋳造するためには技術を要する。ベントが多数付与されたフレームワーク。
 d 一塊で鋳造が不可能なフレームワークには鑲着が必要である。

ルセラミッククラウンを接着性レジンセメントにて接着するオールセラミックブリッジの臨床応用を報告した⁴⁾。本手法のねらいは、1) フルデジタル化による工程の簡略化と精度の向上、2) モノリシックなインゴットから削り出した歯冠をレイヤリング陶材の代替として用いることによる強度の向上、3) 前装部の破折時に当該部位の歯冠の再製作のみで修理が可能なりトリバビリティの担保、である。本項では、ジルコニアフレームに CAD/CAM で製作したクラウンを接着性レジンセメントにて接着するオールセラミックボーンアンカーブリッジを臨床応用した症例を供覧する。

2. 症例 (図 5a-f)

1) 症例の概要

66 歳の女性。下顎ブリッジの動揺に起因する咀嚼困難により来院した。⑧76⑤4③、③4⑤6⑦に陶材焼付ブリッジ、①①②には陶材焼付冠が装着されており動揺および根尖に及ぶ骨吸収が認められた。4③②①①②③4には陶材焼付ブリッジが装着されており、動揺や炎症を認めず良好な予後を呈していた。また、76⑤⑤67欠損部には部分床義歯が装着されていた。

2) 治療計画

853①①2357は広汎型重度慢性歯周炎により抜歯適応であり、抜歯後にインプラント支持による固定性補綴装置を装着することとした。4③②①①②③4は補綴装置の審美性や歯周組織のアタッチメントレベルが比較的良好であったために保存することとした。

3) 治療経過

下顎無歯顎の 42②24 相当部に All on 4 コンセプトに基づいて 4 本のインプラント (ブローネマルク Mk IV, ノーベルバイオケア) を埋入し、同日にマルチユニットアバットメントおよびプロビジョナルレストレーションを装着し、即時荷重を行った。約 6 カ月後、通法に従って印象採得を行った後、咬合高径の決定と機能運動の印記をクロスマウント法にて行った。技工操作では、カスタムアバットメント上に中間構造となるフレーム構造のワックスアップを行い、ダブルスキャン法にて CAD/CAM システム上に読み込み、ジルコニアフレームを製作した。次に、ジルコニアフレームを模型上でシリコン印象材にて印象採得を行い、作業用模型を製作、模型上でクラウンのワックスアップを行い、ダブルスキャン法にて CAD/CAM システム上に読み込み、オールセラミッククラウンを製作した。ジルコニアフレームとオールセラミッククラウンにサンドブラスト処理、エッチング処理、シランカップリング処理を行った後、接着性レジンセメント (パナビア F2.0, クラレメディカル) にて接着し、最後に、ジルコニアフレームに表面処理を行った後、歯肉部を歯肉色ハイブリッド硬質レジン (GRADIAGUM, GC) にて築盛して上部構造を完成させた。

完成後、通法に従って咬合調整を行った後にカスタムアバットメント上に仮着用カルボキシレートセメントにて装着し、約 1 カ月の予後観察を行ったところ、良好な短期的予後を示したためメンテナンスへ移行した。装着後 6 年経過した時点では上部構造の破折や顎口腔機能の異常、インプラント周囲骨の吸収などの不fast事項は認められず、良好な予後を維持している。

3. 考察

CAD/CAM による補綴装置の製作が広く用いられるようになった現在でも、陶材のレイヤリングは熟練者の手作業に依存しており、この技工ステップは歯科技工のワークフローの中でデジタル化が困難なステップである。本稿に示した製法は、現有のシステムで実施可能な、陶材部製作ステップのデジタル化のための 1 つの方策であり一定の成果が得られた。しかし、現状では手作業でレイヤリングされた陶材の色調のレベルと同等の審美性を実現することは不可能であり、セラミックスブロックの多層化や色調の調整など、改良の余地がある。

Ⅲ. インプラント・オーバーデンチャーにおけるデジタル・デンティストリー

1. 背景

超高齢社会に突入したわが国において、長くなった人生をより幸福に生きたいという国民の願望に答えるために、補綴歯科治療の担う役割は非常に大きく、低侵襲で

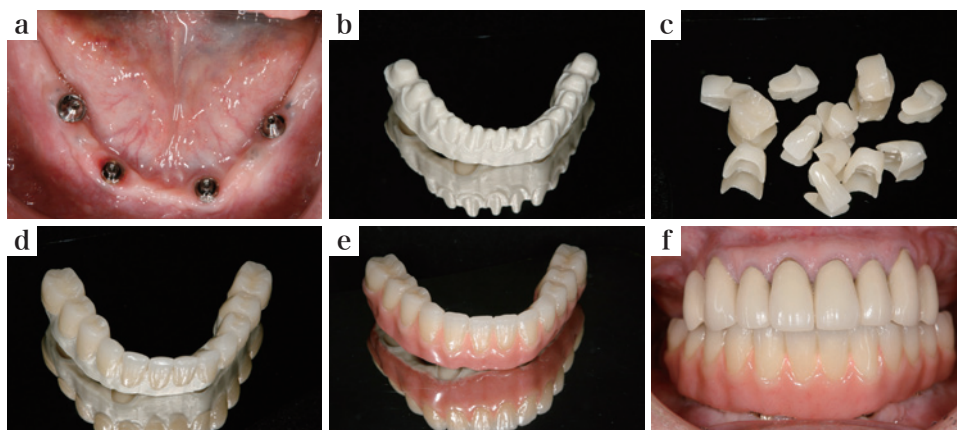


図 5

- a 埋入されたインプラント.
- b ジルコニアによるフレームワーク.
- c フレームワークに接着するオールセラミッククラウン.
- d オールセラミッククラウンをフレームワークにレジンセメントで接着する.
- e ガム色のハイブリッドレジンを築盛する.
- f 口腔内に装着されたインプラント上部構造.



図 6 ジルコニアフレームで試作した部分床義歯.



図 7 ジルコニアフレームで製作された全部床義歯.

患者負担の小さい有床義歯は間違いなく今後も、中心的な役割を担うことが予想される。

欠損補綴治療としてのインプラント補綴は有効なオプションであるが、従来型の固定性補綴装置を主体としたインプラント補綴は治療費と外科的侵襲の問題により、高齢者に広く適応することは難しい。「低侵襲で患者に優しい少数のインプラント」を支台とする IOD ならびにインプラント支持型部分床義歯 (IA-RPD) は新たなインプラントの利用法としてインプラント普及へのブレークスルーとなり、インプラント補綴を通じた国民健康増進の原動力となると考えられる⁵⁾。

有床義歯のフレームワーク材料としては、コバルトクロム合金が長きにわたって使用されてきている。コバルトクロム合金は剛性と弾性を適度に兼ね備えている一方で、高温鑄造に伴う作業の繁雑さや審美性、金属アレルギーの問題などが指摘されている。そこで、CAD/CAM 技術を応用して、しかも非金属を用いたフレームワークが製作できれば、前述のロストワックス法にて製作されるコバルトクロム・フレームワークの問題点がすべて解決するだけでなく、デジタル化に残された感のあつ

た義歯臨床の未来を大きく変えることになる。そこで、著者らはセリア安定型ジルコニア/アルミナ・ナノ複合体によるジルコニアフレームによる有床義歯の開発を目指し、さまざまな基礎的研究を行ってきた⁶⁾ (図 6)。セリア安定型ジルコニア/アルミナ・ナノ複合体は、広く臨床応用されているイットリウム系ジルコニアと比較して高い曲げ強さと破壊靱性値を有し、従来のセラミックス材料とは一線を画す物理的性質をもつ。現在は、基礎的研究の結果を受けて臨床研究を行っており、すでに全部床義歯あるいは IOD のフレームワークとしての製品を上市することとなった (図 7)。本項では、このセリア安定型ジルコニア/アルミナ・ナノ複合体で製作したジルコニアフレームによる IOD の臨床応用例を供覧する。

2. 症例 (図 8a-f)

1) 症例の概要

84 歳の女性。下顎全部床義歯の床下粘膜の疼痛と咀嚼困難により来院した。近医にて全部床義歯を装着し、調整を継続的に繰り返すも改善せず、昭和大学歯科病院

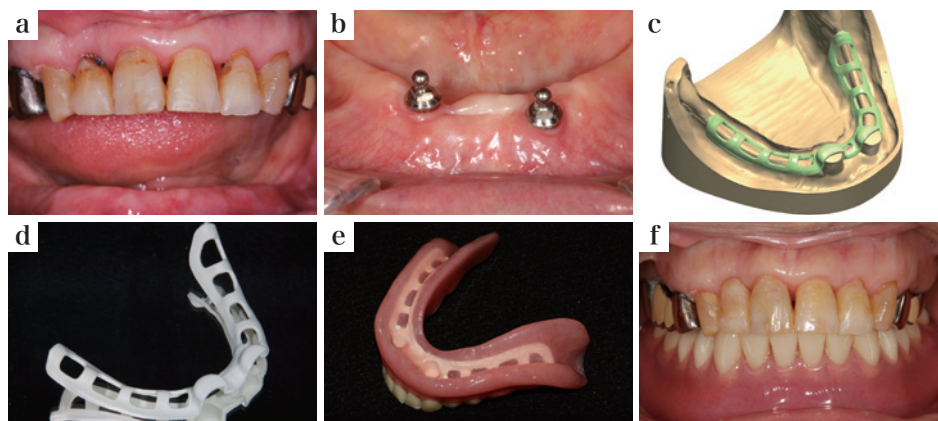


図 8

- a 初診時口腔内写真。上顎は6+6が残存する。
- b ボールアタッチメントが締結されたインプラント。
- c CAD上で設計したフレームワーク。
- d CAMによる削り出しで製作したジルコニアフレーム。
- e 完成した全部床義歯。この後に口腔内でアタッチメントを装着する。
- f 口腔内に装着された全部床義歯。

補綴歯科を受診した。

2) 治療計画

本症例では6+6が天然歯および固定性補綴装置による有歯顎であるため、顕著に吸収した下顎の顎堤のみで全部床義歯を支持することが困難と考え、IODを計画した。具体的には前歯部顎堤に2本のインプラントを埋入し、アタッチメントを装着した全部床義歯を製作することとした。

3) 治療経過

インプラント埋入にあたってはシミュレーションソフトにて埋入位置を決定し、ストローマン・スタンダードプラスインプラント(2|2ともに $\phi 4.1\text{ mm} \times 14\text{ mm}$ Straumann)を静脈内鎮静法下で埋入し、35 Ncmの初期埋入トルクが得られたので、ヒーリングアバットメントを締結し、一回法とした。同日、全部床義歯のインプラント埋入部位に相当する粘膜面を十分にリリースした。術後1週間は術後疼痛とインプラント周囲組織の腫脹とそれに関連した咀嚼障害が認められたが義歯調整を行いながら義歯の継続使用を指示した。術後1週間の時点で疼痛は消失し軟組織の状態も安定したため3カ月程度の待機期間を設定した。術後3カ月目に十分なオッセオインテグレーションが獲得されていることを確認し、ボールアタッチメントを15 Ncmで締結した。

義歯の製作における印象採得と咬合採得は通法通り行い、フレームワークの製作はCAD(Dental System, 3shape)にて設計しセリア安定型ジルコニア/アルミナ・ナノ複合体をCAMにて削り出した。その後、通法と同様に義歯を完成させ、アタッチメントを直接法で義歯に装着した。

その後1カ月間の経過観察を経て、機能的・審美的に十分な満足が得られたことを確認されたため終診とし、メンテナンスに移行した。

3. 考察

本症例に代表されるような下顎のみの無歯顎症例では通法の下顎総義歯では義歯を機能させることは困難である。このような症例をIODとすることで義歯の安定性は格段に向上し、患者満足度は飛躍的に向上する。尚、IODであっても質の高い補綴装置でなければならないことは言うまでもない。IOD、IA-RPDを用いた補綴歯科治療を成功裏に行う上では、インプラント歯科学ならびに歯科補綴学、特に有床義歯学によって培われてきた知識・技能の習得が必須である。これまで蓄積された治療効果、予後に関するエビデンスを総合すると今後、下顎無歯顎患者を対象としたIODが普及することは間違いないであろう。上顎に関しては総義歯と比較してIODが有利であるという明確なエビデンスが未だ示れておらず、現時点ではその利点が下顎ほど明確ではない。

また、CAD/CAMでジルコニアフレームワークを製作することにより、ロストワックス法にて製作されるコバルトクロム合金フレームワークの問題点を解決できるが、現状では、技工操作の一部のステップがデジタル化されたに過ぎず、欠損歯列ならびに欠損部顎堤の光学印象、咬合採得ならびに人工歯排列基準設定のデジタル化、床用レジン部ならびに人工歯部製作におけるCAD/CAMの応用などが今後の課題として挙げられる。

IV. まとめ

デジタル・デンティストリーの導入は、安全性、チェック時間の軽減、精度の向上、経済効果、情報量の増大等、弾性印象材・石膏模型・埋没・鋳造を基盤とした従来法と比較してさまざまな利点を有する。

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補綴装置の設計が可能となる。
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、製造工場でロット管理され、トレーサビリティを有するモノリシックなインゴットにより、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補綴装置の適合性を安定的に再現することが可能になる。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。また、設計データをネットワークで転送できるなど、使用材料や物流コストの抑制、オーダーの速達化が可能になる。
5. 得られたデータを三次元的に可視化することにより、患者へのインフォームド・コンセントや、学生教育における強力なツールとなる。
6. デジタル化によりデータの送信・保存・共有が飛躍的に合理化され、物理的空間の制限を受けず記憶媒体上に保存することができるため、患者データのデータベース化が可能となり、今後、さまざまな利用法が考えられる。

また一方で、現時点においては以下のような技術的課題が挙げられる。

1. 従来の手作業に比較してCAD/CAMは柔軟性に劣る部分が多い。
2. 計測装置や加工装置の精度が最終補綴装置の適合性に影響し、現状では従来の間接法で得られる最高レベルの適合性には到達できていない。
3. 支台歯形成や筋形成など、現状では自動化が困難なテクニックも多く、CAD/CAMは手作業との協働にならざるを得ない。

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補綴装置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

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。

補綴歯科臨床におけるデジタル・デンティストリーは今後、ますます進化し、デジタル・データの効果的な連携・活用が加速することが予想される。例えば、補綴歯科学領域において顎運動や色調をデジタルで測定する技術はすでに完成しており、これらのデータと形態データとの連携は実用化されつつある。患者の顎口腔の形態並びに機能をコンピューター上で可視化し、これらを患者、歯科医師、技工士、衛生士が共有し、規格化された工業技術をフルに活用して診療を進めて行くという補綴歯科診療のワークフローが確立されることもそう遠くはない。

文 献

- 1) Baba K. Paradigm shifts in prosthodontics. J Prosthodont Res 2014; 58: 1-2.
- 2) Tanaka S, Takaba M, Ishiura Y, Kamimura E, Baba K. A 3-year follow-up of ceria-stabilized zirconia/alumina nanocomposite (Ce-TZP/A) frameworks for fixed dental prostheses. J Prosthodont Res 2015; 59: 55-61.
- 3) Pjetursson BE, Bragger U, Lang NP, Zwahlen M. Comparison of survival and complication rates of tooth-supported fixed dental prostheses (FDPs) and implant-supported FDPs and single crowns (SCs). Clin Oral Implants Res 2007; 18: 97-113.
- 4) Takaba M, Tanaka S, Ishiura Y, Baba K. Implant-supported fixed dental prostheses with CAD/CAM-fabricated porcelain crown and zirconia-based framework. J Prosthodont 2013; 22: 402-407.
- 5) Feine JS, Carlsson GE, Awad MA, Chehade A, Duncan WJ, Gizani S et al. The McGill consensus statement on overdentures. Mandibular two-implant overdentures as first choice standard of care for edentulous patients. Montreal, Quebec, May 24-25, 2002. Int J Oral Maxillofac Implants 2002; 17: 601-602.
- 6) Urano S, Hotta Y, Miyazaki T, Baba K. Bending Properties of Ce-TZP/A Nanocomposite Clasps for Removable Partial Dentures. Int J Prosthodont 2015; 28: 191-197.

著者連絡先：田中 晋平

〒145-8515 東京都大田区北千束 2-1-1

昭和大学歯学部歯科補綴学講座

Tel: 03-3787-1151 内線 234

Fax: 03-3784-7603

E-mail: shinpei@dent.showa-u.ac.jp