

デジタルデンティストリーにおけるマテリアル選択

伴 清治

Material selection in digital dentistry

Seiji Ban, D. Dent., D. Eng.

抄 録

クラウンブリッジにおけるデジタルデンティストリーの活用のためには、歯科用 CAD/CAM システムにおけるマテリアル選択が必須である。しかし、歯科用 CAD/CAM システムは材料と加工法の組み合わせによりきわめて多種多様なシステムが活用されており、さらにシステムは年々多様化し、使用可能な材料が増える傾向にある。したがって、マテリアル選択には各方法・材料の基本的知識を、最新情報を元に把握しておく必要がある。本報では、歯科用 CAD/CAM システムで使用される材料の特性について、最適材料の選択に役立つように、セラミックス系材料、金属系材料、レジン系材料の3つの素材に大別して、解説する。

キーワード

デジタルデンティストリー, CAD/CAM, 材料, 選択

ABSTRACT

Material selection in dental CAD/CAM system is indispensable for utilization of digital dentistry in crown bridge. However, in a dental CAD/CAM system, a very wide variety of systems are employed by a combination of materials and processing methods, and these systems tend to diversify year after year and, the number of usable materials increases. Therefore, it is necessary to grasp the basic knowledge of each method and material based on the latest information for material selection. In this review, materials used in dental CAD/CAM systems are roughly classified into three types, a ceramic type material, a metal type material, and a resin type material, and their characteristics are described in order to assist optimal material selection. Furthermore, a ceramic type material is divided into two types, glass ceramics and zirconia. Especially, dental zirconia increases to 10 kinds and quickly expands to Japanese dental restoration. CoCr alloy is most frequently used as a metal type material for dental CAD/CAM system. Because this alloy can be formed by not only machining but also SLM and a machining/sintering system. A resin type material is divided into eight types, acrylic resin, polyamide resin, polyacetal resin, glass fiber reinforced resin, composite resin, wax, polyurethane, and super engineering plastic, namely PEEK and PEKK. Especially, composite resin, so-called hybrid resin, is rapidly applied due to the health insurance approval.

Key words:

Digital dentistry, CAD/CAM, Materials, Selection

I. はじめに

歯科用 CAD/CAM システムは材料と加工法の組み合わせで多様なシステムが活用されている。適用可能な材料は各方法により限定される。例えば、光造形法は光重合型レジンだけが利用可能である。一方、切削法は組成的な制約はなく、各社の切削法 CAD/CAM システムでは多様な材料が選択可能となっている。さらに、システムは年々多様化し、使用可能な材料が増える傾向にある¹⁻⁵⁾。しかし、既に市場から消えたものもあり、この分野の変化はきわめて激しい。したがって、材料選択に当たっては最新情報をつねに把握しておく必要があり、以下、歯科用 CAD/CAM システムで使用する材料の現状について説明する。

II. CAD/CAM マテリアルの種類

CAD/CAM システムに適用するためには、切削法に限れば以下のような条件がある。例えば、①CAM 装置に固定可能である、②切削・研削可能である、③切削・研削工具の消耗が少ない、④切削・研削時間が短い、⑤切削・研削によりチッピングしない、⑥切削・研削後の形態修正が可能である、⑦材料全体の切削・研削の性質が均一である、⑧切削・研削後の簡単な処理により目的の寸法、性質に変化できる、などの項目があげられる⁴⁾。しかし、組成的な制約はなく、以下、セラミックス系材料、金属系材料、レジン系材料の 3 つの素材に大別して説明する。

1. セラミックス系 CAD/CAM マテリアル

ガラスセラミックスと高密度焼結系であるジルコニアの 2 種類に大別される。

1) ガラスセラミックス

ガラスは基本的に引張り応力に弱く、切削によりチッピングが生じやすいので、ガラス単体では実用可能な切削加工は困難である。そこで、ガラス中に結晶粒子を分散させ、その複合効果で強度向上を図り、切削性も付与されたのがガラスセラミックスである。いわゆる分散強化である。ガラス中に雲母（マイカ）結晶を分散させ、マシナブルセラミックスと呼ばれた最初の歯科用 CAD/CAM 材料が Dicor MGC である。しかし、強度的には不十分であり、現在は用いられていない。長石系 (Vitablocs)、リューサイト系 (Everest G-Blank, IPS Empress CAD, Initial LFR Block)、二ケイ酸リチウム系 (IPS e.max CAD)、メタケイ酸

リチウム系 (Celtra Duo, Suprinity) が現在流通している。基本はインレーおよび単冠、大きくても 3 本ブリッジまでの適用であるためブロックの形態で提供されている。

2) ジルコニア

ジルコニア (ZrO_2) 粉末を静水加圧 (CIP) により、高密度にプレスした状態で半焼成することにより製作された半焼体が用いられる。半焼結体はブロックやディスク状で提供されている。切削加工後に最終焼成し、補綴修復物が完成する。焼成により空隙が消失するため 18-20% 収縮し、結晶粒が成長する。この大きな寸法変化を補償するために、ブロックやディスク毎に指示されている拡大係数を CAD/CAM 装置に入力して、3 次元的に拡大したサイズに設計し、切削される。この補償方法は焼結が等方的に進行することが前提である。

純粋なジルコニアは、単斜晶、正方晶、立方晶の 3 つの結晶系があり、温度により変態する。ジルコニアにイットリウム (Y) など、ジルコニウム (Zr) よりも大きなイオン半径を持つイオンを固溶させると正方晶や立方晶が室温でも安定に存在できるようになる。正方晶と立方晶が混在しているものは、部分安定化ジルコニア (PSZ: Partially Stabilized Zirconia) と呼ばれる。さらに Y_2O_3 含有量が約 3 mol% のとき、室温で正方晶をほぼ 100% にすることができ、正方晶多結晶 (TZP: Tetragonal Zirconia Polycrystal) あるいは高韌化ジルコニアと呼ばれている。PSZ 及び TZP は、きわめて特異的な現象を示す。応力が負荷されクラックが生じると、クラック先端付近で正方晶から単斜晶へ相変態し転移域が形成される。正方晶から単斜晶に変態すると約 4% と大きな体積変化を伴う。この際の体積増加に伴うひずみエネルギーの蓄積により、クラック先端部の応力を低下させ、クラックの進展を防止するとされている。この現象は応力誘起相転移と呼ばれ、ジルコニアがセラミックスにもかかわらずきわめて高い強度を示す理由である。

最初に歯科応用されたのは、3 mol% の Y_2O_3 で安定化し、アルミナを約 0.25 wt% 添加した従来型ジルコニアと呼ばれる TZP (3Y-HA) である。強度は高いが、透光性は不十分であるため陶材を前装するためのコアとして用いられた。光散乱因子であるアルミナ含有量を 0.05 wt% と少なくし、透光性を改良したのが高透光性 TZP (3Y) である。このジルコニアを利用することにより、白歯部には前装陶材なしでジルコニアだけで最終形態にまで成形し、内部ステインおよび表面ステインだけで色を調整するというフルジ



図1 フルジルコニア白歯冠の外観写真 (左から 3Y-HA, 3Y, 5Y)

従来型 TZP (3Y+HA)	• Cercon base, Lava Frame, InCoris ZL, KZR-CAD Zr T, Aadvia ST, Ceramill zt, DDCubz, IPS e.max ZirCAD MO, Nacera Shell, カタナジルコニア, ヘルツァホワイト	単一組成積層 型高透光性 TZP (M3Y)	• Cooran Monolith Symphony, Z-CAD HTL Multi, Aicite Multilayer, Imagine Multilayer Zirconia, Nacera Pearl Multi-Shade
高透光性 TZP (3Y)	• Cercon ht, Lava Plus, InCoris TZL, KZR-CAD Zr HT, Aadvia EL, Ceramill zolid, DDCubz, IPS e.max ZirCAD LT, Z-CAD HTL, Nacera Pearl, ヘルツァTL, 松風ディスクZR-SSカード	単一組成積層 型高強度PSZ (M4Y)	• Cooran Supreme Symphony, IPS e.max ZirCAD MT Multi, Aicite Multilayer Hollywood, カタナML, DDCube One Multi
高強度 PSZ (4Y)	• Cooran Supreme, Ceramill ht, DDCube One, IPS e.max ZirCAD MT, Z-CAD One4All, カタナHT	単一組成積層 型高透光性 PSZ (M5Y)	• Cooran Smile Symphony, DDCube Multi, Z-CAD Smile Multi, Nacera Zr-UTML, カタナSTML, 松風ディスクZRルーセントFA
高透光性 PSZ (5Y)	• KZR-CAD Zr SHt, Aadvia NT, Prettau Anterior, Cooran Smile, Ceramill zolid fx, DDCubeC, Z-CAD Smile, ヘルツァHT	単一組成積層 型高透光性 PSZ (M6Y)	• Nacera Pearl Q ³ Multi-Shade, カタナUTML
高透光性 PSZ (6Y)	• Nacera Pearl Q ³	混合組成積層 型TZP-PSZ (M3Y-5Y)	• ATDマルチタイプ, Aicite Multilayer 3D, ルーセントスマイルマルチHT

図3 歯科用ジルコニアの10分類



図2 CAD/CAM用ジルコニアのパフレット (左上より Dentsply Sirona 社製 InCoris TZI, Ivoclar Vivadent 社製 IPS e.max ZirCAD, Dental Direkt 社製 DDCube ONE, Metoxit 社製 Z-CAD One4All, Amman Girrbach 社製 ceramill zolid ht+, 松風ディスク ZRルーセント FA, クラレノリタケデンタル社製カタナジルコニアブロック, Duceram 社製 Nacera Pearl Q³ Multi-Shade)

ルコニア冠が可能となった。さらに、Y含有量を増やし、光学的等方体である立方晶を混在させた高透光性PSZ (5Y) が提供された。透光性がさらに改善されたため、前歯も陶材前装の必要はなく、フルジルコニア前歯冠が可能となった。このように歯科用ジルコニアの透光性は画期的に改善されてきた(図1)。ただし、それに反して強さは低下しているため、修復物の設計に当たっては、メーカー指示の最小厚みに注意する必要がある。

また、プリシェードの半焼結体が提供され、色調調整が容易になった。さらに、プリシェードを数層積層したマルチレイヤー型が発売され、最小限の作業で審美的なフルジルコニア冠が製作可能である^{6,7)}。一方、色彩的な積層だけでなく、組成及び特性の異なるTZPとPSZの積層型である混合組成積層型も提供されている²⁾。2017年3月のIDS³⁾から2018年始めにかけて、さらに多くの歯科用ジルコニアが市販され(図2)、現在、10種のタイプに分類される(図3)^{4,5)}。

2. 金属系 CAD/CAM マテリアル

貴金属系合金は歯科精密鑄造法が確立されており、CAD/CAM法を用いて歯科補綴物を製作することはない。CAD/CAM法は切削屑が多く、材料単価の高い貴金属系合金の場合はコストパフォーマンスが劣る。コバルトクロムおよびチタンの場合、材料単価は

安い。両金属とも酸化しやすく、高温溶融であるため、高価な高温鑄造装置が必要である。さらに、寸法精度不良や鑄巣などの鑄造欠陥が生じやすく、鑄造操作に時間と熟練が必要である。一方、CAD/CAM法は、これらの非貴金属系合金にとってはメリットがある。とくにコバルトクロム合金は切削法だけでなく、粉体を用いたレーザ溶融法 (SLM: Selective Laser Melting)、さらに切削と焼結を組合せたシステム⁸⁾も歯科修復物の製作に応用され、金属系 CAD/CAM マテリアルとして繁用されている。

3. レジン系 CAD/CAM マテリアル

レジン系材料は重合、熱軟化、切削操作により成型することが可能であるため、光造形法、材料噴射法、材料押出法、切削法など多くの3次元造形法が適用できる⁴⁾。しかし、寸法精度、耐久性、経済性を考慮すると、歯科補綴修復物の製作に適するのは切削法であり、最も汎用されている。レジン系材料は軟らかく切削が容易で、切削加工時の発熱は小さいため、一般に空冷で加工されている。素材としては、アクリルレジン、ポリアミドレジン、ポリアセタールレジン、ガラス繊維強化レジン、コンポジットレジン、ワックス、ポリウレタン、スーパーエンブラ (PEEK および PEKK) が用いられている。このうちコンポジットレジン的一种であるCAD/CAMハイブリッドレジン

表 1 日本歯科材料工業協同組合 団体規格「CAD/CAM 冠用歯科切削加工用レジン材料」
JDMAS245:2017. タイプ別要求性能

種類	主な用途	硬さ (HV0.2)	曲げ強さ (MPa) (水中 1 週間浸漬後)	吸水量 ($\mu\text{g}/\text{mm}^3$)	溶解量 ($\mu\text{g}/\text{mm}^3$)
タイプ 1	小白歯	55 以上	100 以上	40 以下	7.5 以下
タイプ 2	小白歯および大白歯	55 以上	240 以上	32 以下	5.0 以下

表 2 厚生労働省 特定保険医療材料の定義 別表 V 058

機能区分	主な用途	フィラー含有量 (wt%)	硬さ (HV0.2)	曲げ強さ (MPa) (水中 1 週間浸漬後)	吸水量 ($\mu\text{g}/\text{mm}^3$)
CAD/CAM 冠用材料 (I)	小白歯	60 以上			
CAD/CAM 冠用材料 (II)	下顎第一大臼歯	70 以上	75 以上	240 以上	20 以下



図 4 健保適用臼歯冠用 CAD/CAM ハイブリッドレジンブロックの外観写真

冠はレジンブロックから切削により修復物を直接製作し、2014年4月より健保適用となったため、急速に普及した⁹⁾。当初小白歯にだけの適用であったが、2017年12月には限定的な条件はつくが臼歯部への適用が認められた。厚生労働省の機能区分に先んじて、日本材料協同組合は団体規格を2017年3月に新設し、具体的な要求性能を公表し、差別化を図っている(表1, 2)。それに合格した新製品が2017年末から2018年始めにかけ、現在4種発売されている(図4)。スーパーエンブラのPEKKは2018年2月にクラス2で薬事承認され、今後補綴修復物への応用が期待される(PEEKも現在申請中である)。

III. CAD/CAM マテリアルの選択

目的に適合する材料を選択するために考慮する性質として、力学的性質(比重, 強度, 剛性, じん性, 比強度, 摩擦特性など), 熱的性質(耐熱性, 熱伝導性, 体積膨張性, 変態点など), 電気的性質(電気伝導性,

帯電性, 絶縁性, 磁性など), 光学的性質(反射率, 透過性, 色など), 化学的性質(耐食性, 一般耐食性, 耐薬品性, 電食性, 応力腐食, 膨潤, 耐紫外線など), 加工/表面処理性(切削性, 鋳造性, 鍛造性, 溶接性, 表面処理性など), コスト/流通性(入手しやすさ, 値段, 品質安定性, 材料のサイズなど)など多くの項目を一般的に考慮しなければならない¹⁰⁾。材料を選定する際、これら多数のキーワードの中から必要なものをピックアップし、それらに優先順位をつけることが重要になる。歯科修復材料の場合、修復部位, 対合歯, 隣接歯, 口腔内環境, さらに患者の経済状態など多様な条件によりの優先順位の付け方は変わってくる。今回は, CAD/CAM マテリアルを選択するために, 注意すべき特性について説明する。

1. 物理的性質

レジン系材料の熱膨張係数は大きく, 例えば PMMA で $70\text{--}77 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$, PEEK で $47 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ とされている。ガラスセラミックスの熱膨張係数はレジン系よりは小さいが, $8.8\text{--}17.5 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ と範囲が広い。金属系材料であるコバルトクロム合金は $14.5 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ と比較的大きく, チタンは $9.5\text{--}10.5 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ と比較的小さく, ジルコニアの熱膨張係数に近似している。

透光性はレジン系材料が高い。ガラスセラミックスの場合は, 分散されている結晶粒子により光散乱が生じ, ガラスと結晶の光屈折率の差が大きいくほど散乱が大きくなる。リューサイトの屈折率はマトリックスの長石系ガラスに近似しており, リューサイト系材料である Vintage MP や IPS Empress CAD は透光性が良好である。二ケイ酸リチウムの屈折率は少し大きく, IPS e.max CAD は, リューサイト系より少し透光性

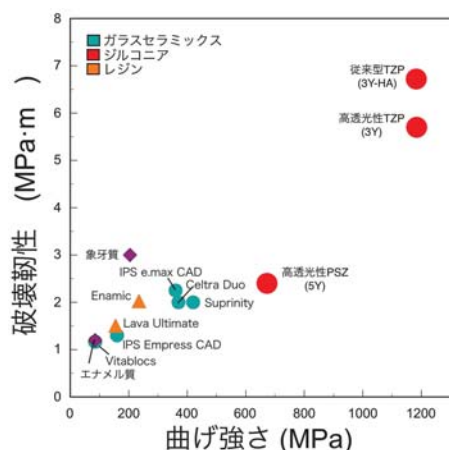


図5 各種 CAD/CAM 材料の破壊靱性と曲げ強さとの関係 (文献 11 より引用・改変)

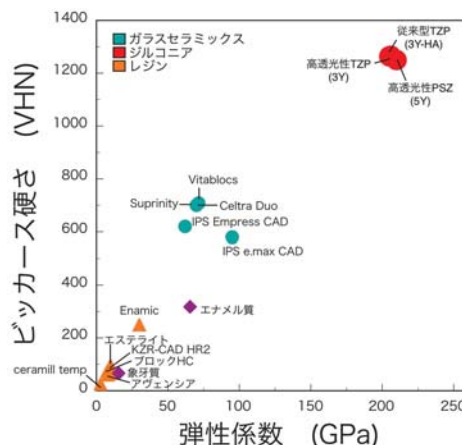


図6 各種 CAD/CAM 材料のビッカース硬さと弾性係数との関係 (文献 11 より引用・改変)



図7 ジルコニア (1 種), ガラスセラミックス (2 種) および CAD/CAM ハイブリッドレジン (10 種) を 37°C の 0.1% ローダミン B 溶液 (上段) および赤ワイン (下段) に 14 日間浸漬後の外観写真. 中段は浸漬前

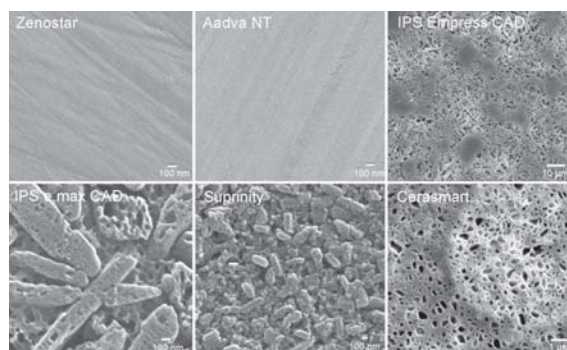


図8 ジルコニア (2 種), ガラスセラミックス (3 種) および CAD/CAM ハイブリッドレジン (1 種) を 60°C の 4% 乳酸溶液中に 30 日間浸漬後の材料表面の走査型電子顕微鏡写真

が劣る。一方、ジルコニアは多結晶体であり、構成する各結晶粒の結晶格子配列は結晶粒ごとで異なるため、光入射方向に対しそれぞれの結晶の屈折率が異なり結晶粒界で散乱が起ることになる。さらに、結晶相が光学的異方性である正方晶の TZP 系ジルコニアの場合、複屈折を生じ、散乱は大きくなる。PSZ 系ジルコニアは光学的等方性の立方晶を半分程度含んでおり、透光性は高くなる²⁾。しかし、ガラスセラミックス系に比べ、ジルコニアの透光性は劣っている。

2. 機械的性質

曲げ強さと破壊靱性の相関から見ると、Vitablocs は曲げ強さ、破壊靱性とも、ガラスセラミックスの中では最も低い (図 5)¹¹⁾。Empress CAD も Vitablocs より、少し向上しているのにすぎない。これに対し、IPS e.max CAD は曲げ強さ、破壊靱性とも大幅に改善されている。TZP 系ジルコニア (3Y-HA および

3Y) は、これらのガラスセラミックスより曲げ強さ、破壊靱性とも、極めて優れている。ジルコニアはガラス相を含まず、すべて結晶で構成されており、TZP 系のように正方晶を多く含む場合は応力誘起相転移するため高い強度を示す。一方、立方晶を多く含む PSZ 系 (5Y) は曲げ強さ、破壊靱性とも TZP 系の半分程度であるが、ガラスセラミックスよりは大きい。

硬さは弾性係数との関係が深い (図 6)¹¹⁾。3 種ジルコニアの硬さと弾性係数はともに極めて大きい。ガラスセラミックスはジルコニアの半分程度の値である。レジン系材料の硬さと弾性係数はエナメル質の値より小さい。

3. 化学的性質

口腔内に装着される修復物の場合、唾液や飲食物に対する化学的耐久性が要求される。金属は腐食により金属イオンとして溶解し、場合によっては変色を伴う。

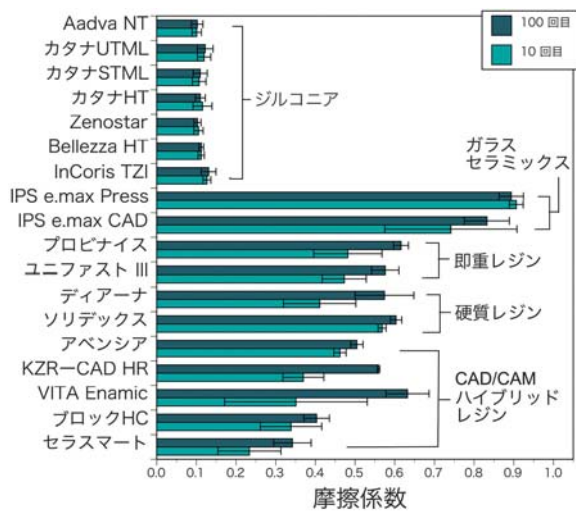


図9 CAD/CAM 材料の摩擦係数 (ステアタイト球に対して水中で往復滑走)

レジン系材料は必然的に吸水性があり、変色が生じやすい。これにはレジンマトリックスの重合度との関係が強く、光重合の硬質レジンに変色が大きく、加熱重合で重合度の高いCAD/CAM用ハイブリッドレジンに変色が小さい^{12,13)}。しかし、ローダミン溶液や赤ワインのような酸性赤色溶液ではCAD/CAM用ハイブリッドレジンにおいて著名な変色、ガラスセラミックスにおいても肉眼で識別できるほどの変色が生じる。これに対し、ジルコニアに変色は生じなかった(図7)。

セラミックスは化学的に安定であり、長期にわたり良好な審美性を維持でき、口腔内で酸化物のセラミックスが腐食するというのは考えにくいとされていた。しかし、過酷な環境下では化学的に劣化する。著者らは酸性溶液(4%乳酸, 60°C)およびアルカリ性溶液(0.1N KOH, 60°C)で30日間、浸漬後のジルコニア、ガラスセラミックス、及びCAD/CAM用ハイブリッドレジンの表面状態を比較した¹⁴⁾。ガラスセラミックスは、マトリックスガラスおよび分散結晶の化学的性質の違いが明確に現れ、各微細構造により特徴的な表面を呈してくる(図8)¹⁵⁾。3YのZenostar及び5YのAadva NTのジルコニア表面の変化は全く認められなかった。しかし、リューサイト系のIPS Empress CADは分散されているリューサイト結晶が選択的に溶解している。一方、IPS e.max CADはマトリックスガラスがより選択的に溶解し、分散されている針状の二ケイ酸リチウムが浮きでてきている。また、CAD/CAM用ハイブリッドレジンのCerasmartはガラスフィラーが溶解している¹⁵⁾。

ジルコニアには低温劣化という現象がある。しかし、

口腔内環境で影響するような劣化はないと判断されている⁵⁾。また、上述したように、同じ条件で劣化試験を行うと他のレジン系やガラスセラミックス系の方がきわめて劣化が激しい。以上のことより、CAD/CAM材料の中で、ジルコニアは最も化学的耐久性が高いと判断できる。

4. 摩耗特性

歯冠修復物による対合歯の摩耗はきわめて重要で興味深い問題である。著者らは、各種CAD/CAM材料のエナメル質に相当する硬さを有する人工鉍物ステアタイトに対する摩擦係数の変化を比較した。鏡面研磨したジルコニアは、安定して小さい摩擦係数を示した⁴⁾。CAD/CAM用ハイブリッドレジンに摩擦回数に応じ0.60~0.63にまで摩擦係数が増大した。さらに、ガラスセラミックスは摩擦回数に応じ、摩擦係数は0.83あるいは0.89と著しく増大した(図9)。摩擦係数の増大した材料の表面は凹凸が生じ滑沢ではなくなっていることが観察された。一方、ジルコニアの滑沢な表面は変化がなかった⁵⁾。また、接触子が硬いジルコニア球、軟らかい銀合金球でも同様な結果であった¹⁶⁾。したがって、鏡面研磨したジルコニアはCAD/CAM材料の中で最も対合歯の摩耗が少ないと判断している。

IV. おわりに

CAD/CAMシステムに活用されている材料には多くの選択肢があり、目的により材料の選択が可能である。しかし、CAD/CAM材料は次々と新しいものが導入されており、選択に苦慮する場面がある。各材料の特徴を理解し、それぞれに応じた修復物への適用が望まれる。そのためには材料を含むCAD/CAMシステムの最新情報を常に把握しておく必要がある。この総説が、その一助になれば幸いである。

利益相反

本発表に関して、開示すべき利益相反はない。

文 献

- 1) 伴 清治. CAD/CAMテクノロジーにおける材料トピックス. 日歯技工誌 2017; 38: 11-18.
- 2) 伴 清治. 高透光性ジルコニアの最新事情. QDT 2017; 42: 796-805.
- 3) 伴 清治. IDS2017 現地総力取材 これからの歯科医療を担う最新器材レポート Part2 CAD/CAM材料の最新事情. 補綴臨床 2017; 50: 483-494.

- 4) 伴 清治. 第4章 歯科用 CAD/CAM システムで使用する材料. 末瀬一彦, 宮崎 隆編, 基礎から学ぶ AD/CAM テクノロジー, 東京: 医歯薬出版; 2017, 72-90.
- 5) 伴 清治編著. CAD/CAM マテリアル完全ガイドブック, 東京: 医歯薬出版; 2017, 1-96.
- 6) 伴 清治. 歯科用ジルコニアの進化と新しい高透光性マルチレイヤータイプの特徴. デンタルダイヤ 2016; 41: 140-151.
- 7) 伴 清治. 歯科用ジルコニアの新展開. 日歯理工会誌 2016; 35: 257-260.
- 8) 伴 清治. コバルトクロムの革新的成形法 理論編 Ceramill Sintron の材料学的検証. 補綴臨床 2015; 48: 194-202.
- 9) 新谷明一, 三浦賞子, 小泉寛恭, 疋田一洋, 峯 篤史. CAD/CAM 冠の現状と将来展望. 日補綴会誌 2017; 9: 1-15.
- 10) 技術計算研究所. 材料選定の基本. <http://gijyutsukeisan.com/mech/engineer/material/basic/basic_1.php>;2009 [accessed 2018.4.25.]
- 11) 伴 清治. 臨床家のための CAD/CAM マテリアルの基礎知識 下編 セラミックス系 CAD/CAM マテリアルの基礎知識. 補綴臨床 2016; 49: 324-347.
- 12) 安藤彰浩, 岡田良太, 竹市卓郎, 中村好徳, 河合達志, 田中貴信, 伴 清治. CAD/CAM 冠用歯科切削加工用レジン材料の色調安定性について. 愛院大歯誌 2014; 52: 519.
- 13) 岡田良太, 安藤彰浩, 竹市卓郎, 中村好徳, 田中貴信, 河合達志, 伴 清治. CAD/CAM 冠用歯科切削加工用レジン材料の加速劣化試験. 日歯理工会誌 2015; 34: 133.
- 14) 岩田純士, 植松康明, 富野雅史, 鶴田昌三, 林 達秀, 河合達志, 伴 清治. CAD/CAM 用歯科材料の化学的耐久性評価. 日歯理工会誌 2015; 34: 315.
- 15) 伴 清治, 岩田純士, 岡田良太, 朝倉正紀, 河合達志. 歯科用ガラスセラミックスの化学的耐久性評価. 日歯理工会誌 2016; 35: 122.
- 16) Ban S, Iwata J, Okada R, Sakakibara T, Mieki A, Kataoka H, Kurita S, Kawai T. Wear performance of dental zirconia in comparison to lithium disilicate. Final Program and Abstract Book of 38th Asia Pacific Dental Congress; 2016 June 18, Hong Kong, p.88.

著者連絡先: 伴 清治

〒 464-8650 名古屋市千種区楠元町 1-100

Tel: 052-751-2561 (内 1326)

Fax: 052-752-5988

E-mail: sban@g.agu.ac.jp