

## 講演

## デジタルデンティストリーにおける歯科用CAD/CAMシステムの真髄

末瀬一彦

## ●抄録●

CAD/CAMシステムは、スキャナー、CADソフト、CAMソフトおよび加工装置から構成され、近い将来には口腔内スキャナーの普及によりデジタルデータの送受信によって診療所から遠隔地の歯科技工所やプロダクションセンターへ補綴装置や模型などを製作委託し、迅速に患者に提供できる流通機構も実現される。アナログ的な製作工程からデジタル化され、労働集約からの脱却、高精度、高品質な装置の提供が実践されるようになってきたが、これまで経験則によって培われてきた日本の歯科技工技術は世界でも類をみないほど優秀で、人の技能を加味することによって最高級の装置を患者に提供することができる。

さらに、高透光性ジルコニアや超微細フィラー配合のハイブリッド型コンポジットレジンなどの審美修復材料が臨床適用できるようになってきた。医療保険にも導入されるようになったCAD/CAM冠は、これまでの金属修復からの脱却を目指して、多くの国民に新素材、新技術を提供することが期待されている。

キーワード：デジタルデンティストリー、CAD/CAMテクノロジー、口腔内スキャナー、ジルコニア、CAD/CAM冠

## 1. はじめに

近年、超高齢社会に伴う疾病構造の変化や患者の多様なニーズに対応するために、歯科医療機器、新技術の革新や新素材の開発が進み、国民に対して安全、安心な歯科医療を提供できるようになってきた。

補綴治療は、患者の個々の症状に応じたオーダーメイド治療で、とりわけ補綴装置の製作においては歯科医師や歯科技工士の繊細な技能を駆使してハンドメイドで具現化することによって行われてきた。日本の歯科技工における製作技術は、その器用さから元来「匠の技」的な生産を生み、世界を凌ぐ高品質のものであ

る。これは、日本人の有する器用さもさることながら、歯科技工士教育のレベルの高さや行政制度が世界に類を見ないほど充実し、世界でも数少ない国家資格制度に裏付けられている。

一方、一般工業界ではすでに実績があるコンピュータ支援による加工技術が導入され、生産性の向上、価格の低減化、合理的な作業システム化が進み、いわゆる労働集約からの脱却が図られている。歯科医療においても、検査機器、診断機器、治療用機器など多くの面でデジタル化が進み、患者に対して安心、安全、信頼できる治療が行われ、術者側においても、的確な診査・診断、ストレスの少ない治療、患者とのコミュニケーションツールとしても活用されている。特に、個々の患者に適応した補綴装置を製作する歯科技工分野においてはCAD/CAMテクノロジーの進展によって、大きな変革が生じ、人の手による製作工程である「アナログ」から機械化による「デジタル」へシフトされつつある。



※冬期学会講師

(すえせ・かずひこ)  
大阪歯科大学歯科審美学室 教授  
ICDフェロー

## Computer Aided Design(CAD) Computer Aided Manufacture(CAM)

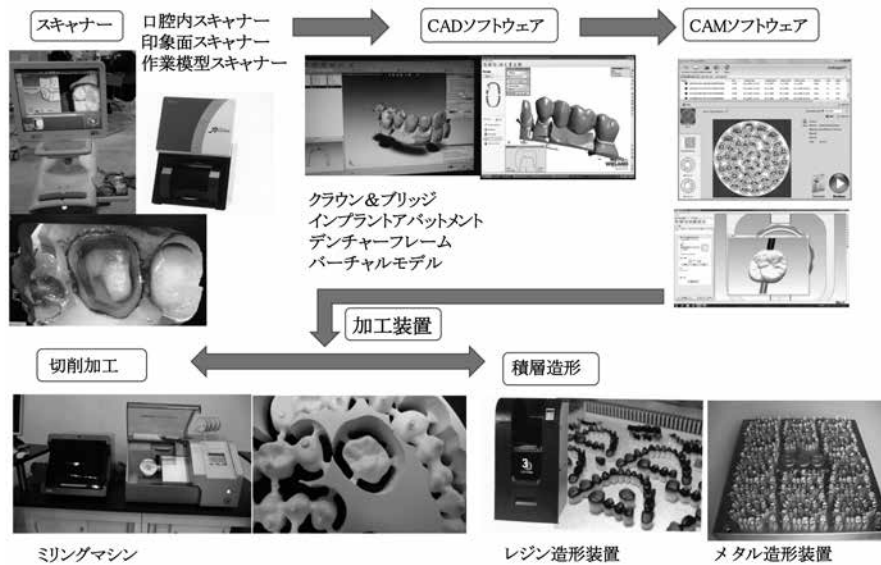


図1 CAD/CAMシステムの構成要素  
fig. 1 Components of CAD/CAM System

## 2. CAD/CAMシステムの歯科への応用

CAD/CAMシステムは工業界、特に自動車産業において構造設計の分析や生産ラインに適用され、大きな効力を発揮してきた。自動車のように一品目多生産のラインには適しているが、歯科領域においては患者一人一人の補綴装置はオーダーメイドであり、さらに極めて高い精度が要求されることがCAD/CAMテクノロジーの導入を遅らせてきた。しかし、欧米において1970年代後半から、日本においても1980年代後半からCAD/CAMシステムを歯科医療領域に応用する研究がすすめられ、スキャナーやCADソフトの開発が行われてきた。CAD/CAMシステムは、通常スキャナー、CADソフト、CAMソフトそしてCAMによって構成されている（図1）。これらを一連のシステムとして連携し、完結するのがクローズドシステムで、使用にあたってCAD/CAMシステムに関する知識はほとんど必要としないが、使用材料はある程度限定される。最近では、材料の開発が進展するとともにそれぞれの構成要素の特徴ある開発が進み、ユーザーは適用に応じて各構成要素を選択し、構築していくシステムとしてオープンシステムが多用されるようになってきた。使用材料としても生体親和性が高いことが示されているものの従来の鋳造法では製作が煩雑、あるいは

- 1 トレーサビリティの確保
- 2 材質の安定性
- 3 多種類の素材に対応
- 4 情報の保存・伝達
- 5 製作期間の短縮化
- 6 製作工程の簡素化
- 7 製作工程の環境改善

図2 CAD/CAMテクノロジーの利点  
fig. 2 Advantages of CAD/CAM System

は不可能なチタンやジルコニアが適用できるようになり、ますます歯科医療における貢献が評価されるようになってきた。今後は、多くの問題点が指摘されるようになってきた金属材料に代わって、CAD/CAMシステムを活かし、セラミックスやコンポジットレジンなどを用いた修復が適用されるようになり、国民に安全な歯科医療を適用できるようになる。

CAD/CAMシステムの利点を図2に示すが、とりわけトレーサビリティの確保ができることは大きなメリットである。平成17年厚生労働省医政局通達によって「歯科技工録」の記載が義務づけられ、補綴装置のトレーサビリティが確立されたが、国民に安全で安心な歯科医療を提供するためには口腔内に装着される補

### 2か所の歯科技工所がCAD/CAM冠製作にかかわる場合

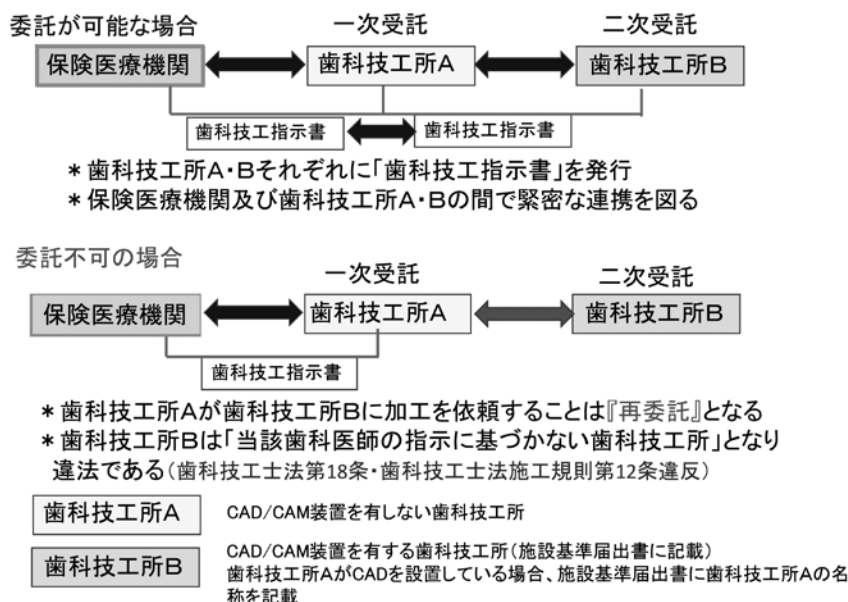


図3 補綴装置製作依頼における再委託について  
fig. 3 Redelegation of prosthetic fabrication

綴装置においても食品の物流と同様に「製作における使用材料やそのプロセス」が明確であり、追跡調査(トレーサビリティ)が可能でなければならない。CAD/CAMシステムは従来から工業界における生産ラインにおいてすべてバーコードなどによって生産管理され、トレーサビリティが確立されてきたものであることから、今後はCAD/CAMシステムの導入によって補綴装置の製造管理が確立されることになる。しかし、一方ではCAD/CAMシステムの製造過程はほとんどがデータの送受信によって行われることから、製作者のライセンスや補綴装置製作における再委託(図3)には行政管理が必要である。次に、CAD/CAMシステムに使用される材料は、製造過程において緻密な管理下で精製されたもので、極めて高品質の素材である。CAMにおいてはこの素材を切削加工するだけであるから、何ら組成的、結晶構造に変化はなく、素材と同様に均質で安定した特性を有するものである。また、コンピュータ制御のもとに製作されることから情報の伝達や保存が可能で、再印象の必要なく同じクラウンを再製作することも可能であり、製作過程における歯科技工所間での情報交換も可能である。これまで歯科技工士によって蠟型採得→埋没→鋳造、あるいは築盛

→重合・焼成などの労働集約的な作業が行われてきたが、CAD/CAMシステムのように機械化されることによって製作期間が短縮され、常に高精度で安定した補綴装置が提供されることになる。しかし、補綴装置は患者固有のオーダーメイドであることから、CAD/CAM装置を操作したり、最終的な色調再現や適合精度などの高度な調整は歯科技工士の技能に委ねられることから、今後はCAD/CAMシステム(機械化)と歯科技工士(技能)のコラボレーションによって高品質高精度の補綴装置が提供されることになる。

### 3. メタルフリー修復とCAD/CAM用材料

日本の歯科医療は、国民皆保険による医療保険制度によって行われ、補綴装置、とりわけ歯冠修復には金属材料が多用されてきた。しかし、最近、金属修復による弊害として審美性の不良、歯質や歯肉の変色、歯根破折、金属アレルギー、貴金属の高騰などが指摘され、歯科治療においても脱金属化(メタルフリー)が進められている。このような背景に相まって、平成26年4月の医療保険の改定においては、メタルフリー修復としてハイブリッド型コンポジットレジンによるCAD/CAM冠の適用が導入された。

		マイカ系
	ガラスセラミック系	長石系
		リューサイト
セラミック系		リチウムニケイ酸
		スピネル多孔質
	ガラス含浸系	アルミナ多孔質
		ジルコニア多孔質
	高密度焼結型	ジルコン
		アルミナ
		ジルコニア
金属系	非貴金属	コバルトクロム合金
		チタン合金
		純チタン
	アクリルレジン	PMMA
有機系	コンポジットレジン	繊維強化型
		マイクロファイバー
	ウレタンレジン	ポリウレタン
	ワックス	合成ワックス

図4 現在使用されている歯科用CAD/CAMシステム材料  
fig. 4 Materials fabricated by CAD/CAM System

CAD/CAMシステムでは、ジルコニアやアルミナを含むセラミックス、チタンなどの金属、アクリルレジンやコンポジットレジン、ワックスなどの有機材料が使用可能で、多様な臨床症例に適切な材料選択が可能である（図4）。

セラミック系材料は、ガラスセラミック系（長石系、リューサイト系、リチウム2ケイ酸ガラス系）、ガラス含浸系（スピネル、アルミナ、ジルコニア多孔質にガラスを含浸）そして高密度結晶系（ジルコン、アルミナ、ジルコニア）の3種類に大別される。とりわけ注目されているジルコニアのほとんどは $Y_2O_3-ZrO_2$ 系（Y-TZP）で部分安定化ジルコニアとして半焼結体として提供され、切削加工を容易にし、その後1,400~1,500℃で最終焼結し、高強度、高靱性のジルコニアとなる。最近では、アルミナの含有量を減らした高透

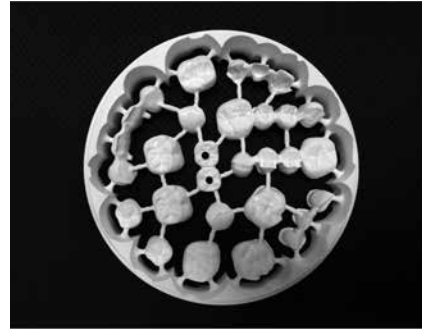


図5 高透光性マルチレイヤージルコニアディスクの切削加工  
fig. 5 High translucent zirconia disc milled by machining

fig. 5 High translucent zirconia disc milled by machining

光性ジルコニアやマルチレイヤーのディスクも開発されている（図5）。金属系材料としてはコバルトクロム合金、チタン合金および純チタンがあり、単価の高い貴金属系合金はコストパフォーマンスに劣るので使用されない。有機系材料としてはアクリルレジン、ガラス繊維強化型レジン、ハイブリッド型コンポジットレジン、ワックス、ポリウレタンなどがある。今後は切削加工が容易な有機系材料の組成や特性の改善が積極的に行われ、臨床適用の増加が予想される。

4. 医療保険適用のCAD/CAM冠使用における留意点

CAD/CAMシステムを用いた補綴装置の製作プロセスは図6に示すとおりで、現在保険適用が認められているハイブリッド型コンポジットレジンには約10種類ある（平成28年4月現在）。価格は1ブロック2,500円~4,700円で幅があるが、色調面ではいずれも多色種で各社特徴があり、フィラー含有量は70%前後、曲げ強さはいずれも200MPa前後である（図7 各社公表値による）。また、各社のハイブリッド型コンポジットレジンの特性や取り付けジグが異なることから使用するCAMの加工パスも異なり、ハイブリッド型コンポジットレジブロックと適用できるCAM装置の対応には注意しなければならない。今後、使用可能なCAMは増加していくと考えられる。

CAD/CAM冠を臨床適用するにあたって特に留意しなければならないことがある。

1) 支台歯形成

支台歯形成においては天然歯の形態を十分に理解し、その相似形態として形成を行う。すなわち上顎小

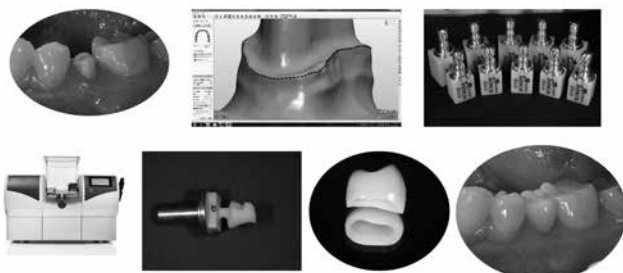


図6 CAD/CAM冠の製作ステップ  
fig. 6 Fabricating step of CAD/CAM crown

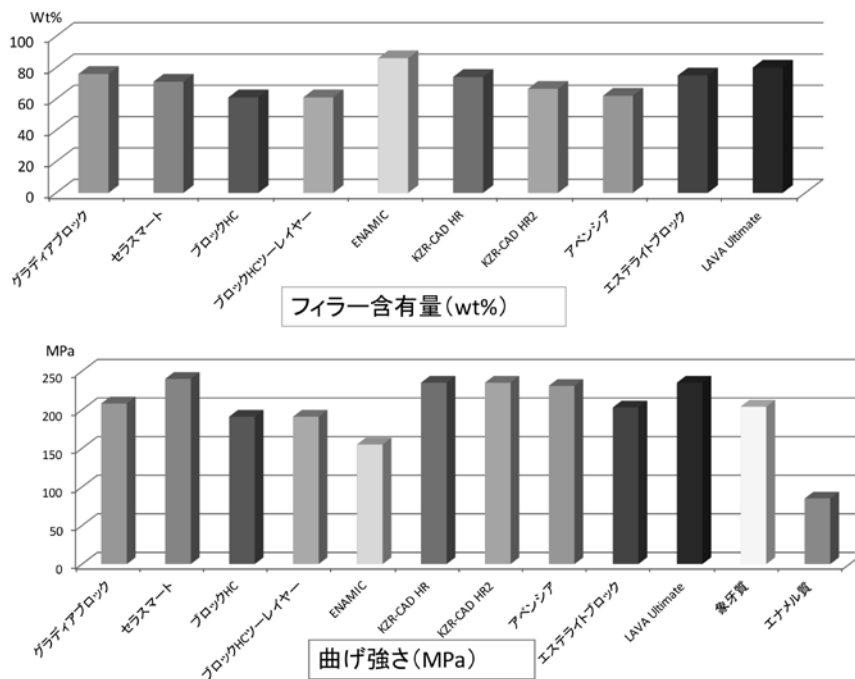
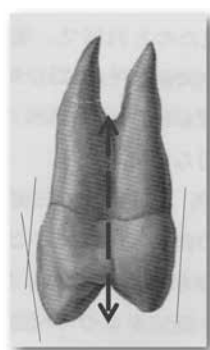
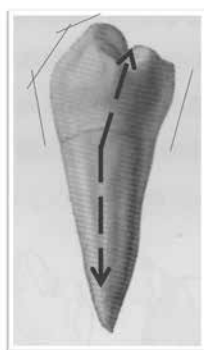


図7 CAD/CAM冠レジブロックのフィラー含有量・曲げ強さの比較

fig. 7 Filler contents and flexural strength of CAD/CAM composite resin blocks



上顎第1小臼歯



下顎第2小臼歯

図8 上下顎小臼歯の形態（歯冠軸・歯根軸の方向）

fig. 8 Shape of maxillary and mandibular premolars

臼歯においては歯根部から歯冠部にかけて比較的直線形態であり、頬側軸面は2面形成を行う。特に第1小臼歯においては近心隣接面歯頸部付近における凹部に留意し、切削を行うことが望ましい。下顎小臼歯は歯根部から歯冠部にかけて多少舌側方向に傾斜していることを考慮するとともに、頬側軸面においては咬合面側に大きく傾斜することから確実な2面形成を行うが、軸面咬合面側では側方運動時に咬合滑走が予想される場合はさらに1面の確保が必要である（図8）。スキャニング時にレーザー光の散乱、拡散が生じないように軸面咬合面隅角部は鋭角面を形成しないような

- 1) シンプルな外形線
- 2) 緩やかな咬合面展開角
- 3) 緩やかなラインアングル
- 4) 明確でスムーズなマージンライン
- 5) 1.5-2.0mmの咬合面クリアランス
- 6) 0.8-1.0mmのマージン部リダクション
- 7) ディープシャンファータイプのマージン

図9 CAD/CAM冠に望ましい支台歯形成

fig. 9 Desirable abutment tooth preparation for CAD/CAM crown

めらかに丸みをもたすことが必要である。咬合面クリアランスは材料の特性を考慮し1.5~2.0mmの間隙を必要とするが、これ以上の削除は支台高径を短くし、クラウンの維持力に影響する。また、クラウン内に引っ張り応力が生じないよう咬合面の展開角は急斜面にしないで可及的に広げておくことが望ましい。マージン部の形態もクラウン材料の特性から幅0.8~1.0mmのラウンドイッドショルダー形態が望ましく、可及的にシンプル、明確なフィニッシングラインとし、印象採得時には明示できるように配慮する。（図9）

2) クラウンの適合性



図10 CAD/CAM冠の適合性調整 (CAD)  
fig. 10 CAD of internal adaptation for CAD/CAM crown

クラウンの適合性は、脱離を防止するためにはきわめて重要な因子である。CAD/CAM冠は、CADにおいて適合性をコントロールできる。すなわち、セメントの厚み、マージンラインへの距離、スムージング距離などを設定することができ(図10)、支台歯形態に応じて調整しなければならない。またクラウンの適合性には、スムーズなマージンライン、ミリングバーのブレや切削力なども影響する。良好な適合性は、歯型に装着したクラウンが逆さを向けても落ちない程度がよい。

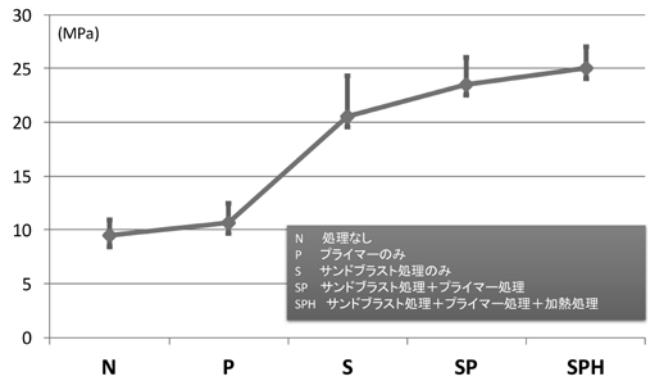
3) 接着操作

接着操作はCAD/CAM冠が口腔内で長期的に機能を発揮できる重要な要素である<sup>4)</sup>。CAD/CAM冠に適用されるハイブリッド型コンポジットレジンプロックは製造過程において、微細な多量のセラミックフィラーを巨大な圧力で完全重合させたもので、極めて緻密な高架橋構造を有することから基本的には接着しにくい材料である。しかし、近年の接着歯学の開発は著しいものがあり、臨床的にも効果的な接着性レジンセメントが使用される(図11)。

被着面となる支台歯表面は、仮着材などの汚染物を機械的に除去するためにPMTCで使用される歯面清掃用ブラシを用いて水洗浄する。あるいは、エアフローなどを使用することも効果的であるが、使用した薬剤は完全に水洗しておく必要がある。その後、接着性レジンセメントを使用する場合は、象牙質、コンポジットレジンコア、メタルコアなどに応じたプライマー処理を行う。セルフアドヒーシブレジンセメントを使用

表面処理	セルフアドヒーシブセメント	接着性レジンセメント
歯質面処理	基本的になし	専用プライマー
メタルコア	基本的になし	メタルプライマー (アロイプライマー)
CRコア	セラミックプライマー (ポーセレンプライマー)	セラミックプライマー
セラミックス (ハイブリッド型CR)	セラミックプライマー (ポーセレンプライマー)	セラミックプライマー
代表的なセメント	クリアフィルSAセメント スマートセム ジーセムリンクエース ビューティーセムSA マックスセムエリート リライエックスユニセム2 ジーセム ジーセムセラスマート	エステティックセメント パナビアV5 スーパーボンド レジセム ブロックHCセム リンクマックス パリオリンクII ビスタイトII リライエックスアルティメット エステセム

図11 CAD/CAM冠に用いる接着システムの分類  
fig. 11 Adhesive systems of CAD/CAM crown



前処理の違いによる接着力  
(アベンシアブロックとパナビアV5の組み合わせ)

図12 CAD/CAM冠接着における前処置の違いによる接着力  
fig. 12 Adhesive strength for different pre-treatments of CAD/CAM crown

する場合は、この必要はない。試適、咬合調整が終わったCAD/CAM冠の内面は汚染されているので、必ず低圧のサンドブラスト処理を行い、接着面の粗造化とともにセラミックフィラーの露出を図る。時に高濃度のリン酸溶液を用いる場合があるが、その後は十分な水洗を行っておく必要がある。サンドブラスト処理後は超音波洗浄したのち、セラミックプライマーでシラン処理を行う。これによって表面に露出した微細なセラミックフィラーの活性化を図る。さらに、熱風で1分程度の加熱処理を行うと効果的である(図12)。次いで、接着性レジンセメントを用いてCAD/CAM冠を支台歯に装着する。直ちに光照射を行い、歯頸部の余剰セメントを仮重合させ、除去する。この際、クラ

ウン内部のセメントは十分に重合硬化していないため、クラウンを保持しながら余剰セメントの除去を素早く行う。さらにクラウン上部から光照射を十分に行い、内部の接着性レジンセメントを重合硬化させる。最終的にマージン部および隣接面コンタクトのチェック、咬合関係の確認を行う。

## 5. おわりに

これまで、補綴装置の製作において金属は鋳造、レジンも築盛・重合、セラミックスは築盛・焼成によって形態再現が行われてきたが、近年CAD/CAMテクノロジーの急速な普及に伴って高品質高精度で均質な素材を、コンピュータ制御のもとに切削加工することによって機能的な形態再現を行うことが可能となってきた。これまでハンドメイドで製作されてきた補綴装置では製作者の技術力によって完成品の性能が異なり、常に安定的に供給されてきたとは限らない。CAD/CAMシステムを適用することによって補綴装置の内部や表面の欠陥が極めて少なく、常に素材的に品質保証された製作物が安定的に供給され、機械的特性においても素材そのものの特性が活かされることになる。まさに、アナログデンティストリーからデジタルデンティストリーに大きな変革がなされようとしているが、デジタル化が進む一方では、専門的知識のもとにコンピュータ上で設計をすること、機械を操作

し、さらに患者固有の色調再現や微細な咬合接触の付与などは人の手によらなければならない。したがって、CAD/CAMシステムと歯科技工士のコラボレーションによってこれまで以上に高品質高精度な補綴装置を国民に安定的に供給することが可能になってくる。

平成26年4月、新たに医療保険にCAD/CAM冠が導入されたことはこれからの補綴装置のあり方を大きく変える歴史的なことであり、将来的に適用拡大されるであろう適応症例を見据えて、CAD/CAM冠を大事に育てていきたいものである。今後さらに、スキャナー、CADソフト、CAM装置の改良、開発が進み、一方では適用素材の開発も急速に進展することが期待される。

## 文 献

- 1) 末瀬一彦, 宮崎 隆 編集: CAD/CAMデンタルテクノロジー, 医歯薬出版株式会社, 東京: 48-55, 2012.
- 2) 伴 清治: メタルフリーレストレーションとCAD/CAM技工, 歯科技工別冊: 32-43, 2007.
- 3) 疋田一洋: CAD/CAMハイブリッドレジックラウンの臨床—保険導入によせて—, Digital Dentistry Year Book 2014: 10-18, 2014.
- 4) 遠山佳之, 小西 尚, 末瀬一彦, 高橋英登: 保険収載されたCAD/CAM用ハイブリッドセラミックブロックを用いた歯冠修復のポイント —CAD/CAM冠をフェードアウトさせないために—, 日本歯科評論: 109-120, 2014.
- 5) 末瀬一彦 他: 今, 知りたい 成功するCAD/CAM —保険診療から自費診療まで—, 永末書店: 2-7, 2016.

## Usefulness of Dental CAD/CAM Systems in Digital Dentistry

Kazuhiko SUESE, D.D.S., Ph.D., F.I.C.D

*Osaka Dental University Department of Esthetic Dentistry*

CAD/CAM systems comprise a scanner, CAD and CAM software, and a processor. With the generalization of oral scanners, it is likely that these systems contribute to the establishment of dental services, in which dental clinics request dental engineering facilities or production centers to manufacture prosthetic devices or models by transmitting digital data obtained using the scanners, which will provide patients with them more rapidly in the near future. The recent shift from analogue to digital manufacturing processes has facilitated the appropriate allocation of manpower and provision of high-precision and -quality devices. As the level of Japan's experience-based dental engineering technology is incomparably high, it may be possible to provide patients with the highest-level devices by combining such technology and individual engineers' skills.

Furthermore, materials for esthetic restorations, such as hybrid composite resins with highly translucent zirconia or ultra-fine fillers, are becoming clinically usable. Having been incorporated into the medical insurance system, CAD/CAM crowns are expected to facilitate the extensive provision of new materials and technologies in Japan as a basis for a shift of dental treatment from metal restorations.

**Key words :** Digital Dentistry, CAD/CAM Technology, Intraoral Scanner, Zirconia, CAD/CAM Crown