

依 頼 論 文

歯冠修復物作製に利用されるキャドキャムシステムの現状と将来

堀田 康弘, 宮崎 隆

Current Status and Future Perspectives of Dental CAD/CAM Systems Available for the Fabrication of Crown-bridge Restorations

Yasuhiro Hotta, DDS, PhD and Takashi Miyazaki, DDS, PhD

抄 録

現在の歯冠修復物の作製は、鑄造用金合の開発とロストワックス精密鑄造法の応用により確立した。歯冠色の必要な症例に対してはポーセレンやコンポジットレジンの前装が日常的に利用される。これらは手作業中心の技工作業である。一方、コンピュータを利用した成形加工法であるキャドキャムを歯冠修復物作製に応用する試みは、1980年代から世界中の歯科大学や歯科企業で行われてきた。2000年代に入り、高密度焼結体セラミックスの利用とりわけジルコニアの利用が、ネットワークを利用したセンター方式のキャドキャム成形加工法により実用化され、普及が期待されている。歯冠修復物へのキャドキャムの利用は、新素材の適用、技工作業の省力化、経済性、品質管理の観点から長所が大きい。今後の普及に向けて、臨床家が材料とキャドキャム成形法の利点と限界をよく認識し、支台歯形成から合着までの臨床術式を遵守することと、これまで以上に歯科技工士との協働が必要になる。

和文キーワード

キャドキャム, ネットワーク, ジルコニア, 品質管理, 歯科技工

I. はじめに

近年のコンピュータやITの進歩は著しいものがある。すなわち、いわゆるデジタル技術がわれわれの社会生活を激変しつつある。歯科医療の現場でも、患者とのコミュニケーション、検査、診断、治療計画、手術支援、診療録の作成、術後の管理などを含めて、デジタル技術が活用されている。

歯科医療では一般医療に比べて、材料を活用してきた歴史がある。歯科医療では口腔機能の回復や維持のために、歯冠形状の再現や、歯列の連続性と咬合の回復が重要である。そこで、歯科界では、歯冠修復物や義歯などを、患者個別の症例に応じてオーダーメイドで提供してきた。歯科の歴史を振り返ると、新しい材料や成形加工法の導入・普及により、治療術式が変わってきた。そして、20世紀を通じて歯科医療は材料と技術の両面から著しい進歩をとげた。歯科技工の専門化に伴い、支台歯への適合性の良好な歯冠修復物を間接法で日常的に提供

できるようになった。特に鑄造用金合金の整備とロストワックス精密鑄造法の確立はその後の歯冠修復に大きく貢献した。さらに、欠損歯列に対して、インプラントが実用化され、上部構造としての歯冠修復物の重要性がますます高まっている。

一方、20世紀の後半には、世界中で材料の安全性や審美に対する要求が一段と高まり、チタンやファイナセラミックスなどの新素材が登場してきたが、従来の成形方法では対応が難しく、新しい成形方法が模索されてきた。

一般産業界では、過去30年の間に、消費者の嗜好の変化やコスト削減、あるいは品質向上のために、製品の製造ラインにコンピュータを利用した設計やシミュレーション、あるいはコンピュータ制御の成形加工機を導入し、製作方法が一変した。コンピュータを利用した製品の設計と加工のシステムをキャドキャム (CAD/CAM: Computer-Aided Design and Computer-Aided Manufacturing) と呼ぶ。

歯冠修復物や義歯などの歯科用装置の作製へキャドキ

ヤムの手法を応用する試みは 1970 年代に、フランスの Duret により提案された。その後、1980 年代を通じてわが国を含めて、世界中で先駆的な研究開発が繰り広げられた¹⁻⁷⁾。

当初、キャドキャムを利用した歯科用装置の設計や加工は工業製品と比べて簡単だと思われがちであったが、以下の理由で実は難易度が高かった。1) 歯冠修復物は支台歯に適合させる必要があるため、設計の前提として支台歯や隣在歯、対合歯など、生体側の形態計測をする必要がある。しかも、口腔という視野が限られた空間で、歯のアンダーカットや支台歯のマージンの認識などの形態計測が難しい。2) 天然歯の歯冠形状は数学的に表現するには複雑である。3) 歯冠修復物には多様な材料が使用される。修復物は小型で肉薄で、鋭利な隅角部や辺縁部を有し、加工が難しい。4) 従来オーダーメイドで比較的安価に歯冠修復物を提供していたので、キャドキャムの導入でコストや作業性を含めて大幅なメリットが必要になる。

これらを解決するために、歯科用キャドキャムの応用は、ハード（計測装置、コンピュータ、加工装置）とソフト（計測精度の向上、歯冠形状の再現と設計）の両面から開発が進められた。わが国では 1980 年代の後半から神奈川歯科大学、大阪大学、京都大学、北海道大学、昭和大学、鹿児島大学等で、コンピュータを利用した計測、設計、加工方法などの研究開発が始められた⁸⁻¹²⁾。そして、国産の歯科技工用キャドキャム装置が比較的早期に市販された。しかし、わが国では歯冠修復用に、健康保険の適用材料として金銀パラジウム合金の使用頻度が高く、自費診療対象の金属焼付けポーセレン冠との棲み分けが明確である。そこでキャドキャムによる修復物の需要が少なく、実用化が海外に比べて遅れていた。また、歯科業界では、一般産業界の産業革命以来と言われるデジタル技術を利用した省力化や高度化の変革に比較して、伝統的な労働集約的な体質が残ったままである。しかし、近年、歯科技工士不足が表面化し、今後技工環境の変革を進めなければ、わが国の良質な歯科医療の提供に影響が出ると懸念されている^{13, 14)}。

国際的には、インターネットの普及で知識や情報に国境がなくなり、歯科医療においてもインプラントや審美歯科領域にキャドキャムの手法が急速に応用され、歯科技工のあり方が変革しつつある¹⁵⁾。この波は、数年前から日本にも押し寄せて、現在では欧米の主要なキャドキャムシステムや、加工センターが日本にも導入され、インプラント上部構造や審美修復にオールセラミックスの普及が期待されている。

本稿では歯冠修復物の製作へのキャドキャムの応用へ

絞って、これまでの歴史と現状を解説し、将来への展望を述べたい。

II. 第 1 世代の歯科用キャドキャム

Duret は、当初から咬合面形状を有するクラウンの作製を目指し、SOPHA system を開発し、その後の世界中のキャドキャムシステムの開発に影響を与えた^{1, 3)}。彼は、支台歯形成後、印象採得して模型を作製し、そのうえでワックスアップをして鑄造という間接法による従来の金属修復物作製の流れをすべてコンピュータ支援で行うことを提唱した（図 1）。すなわち、口腔内で支台歯をカメラで直接計測し、そのデジタルデータから歯冠修復物の設計をして、それを数値制御の加工機を用いて切削により修復物を削り出す。しかし、口腔内の直接計測の精度が十分でないことや、当時のコンピュータの能力やソフト、ハードの限界があり、臨床での普及には至らなかった。

一方、CEREC system の開発者である Mörmann は、チェアサイドでの新技術の応用を試みた⁴⁾。口腔内のインレー窩洞を小型のカメラで直接口腔内撮影し、装置の画面上で窩洞の外形を認識し、インレーやアンレーを比較的簡単な方法で設計する。そして、ただちにセラミックブロックから修復物を削りだして作製する。従来の間接法による修復物に比べて適合性は劣り、咬合面形状の再現は術者にゆだねられたが、レジンセメントの併用により実用上は成功し、即日修復を可能にした。このシステムは世界に紹介され、キャドキャムという用語が歯科界に普及した。欧州ではコンポジットレジンよりはセラミックスに対する信頼性が圧倒的に高い。このシステムは技工士の手を介さずにセラミックインレーを簡便に、即日で患者に装着できるという点が革新的であり、世界中で普及した。

III. 第 2 世代の歯科用キャドキャム

口腔内のクラウン・ブリッジの支台歯を直接カメラ等で計測するのは、隣在歯、歯肉、唾液の存在や、計測装置の挿入方向など計測環境が制限され難しかった。現在では、精密印象材と硬質石膏により口腔内の歯の状態を精度よく再現した模型がルーティンに作製できる。石膏模型をキャドキャムの出発点にして、模型を計測することによりデータを収集し、その後のクラウン・ブリッジの設計、加工にキャドキャムを利用するシステムが主流になった。すなわち、キャドキャムが技工工程の一部に利用されている（図 2）。

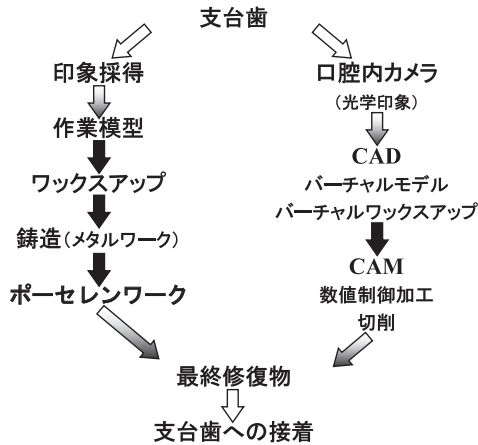


図1 The dental CAD/CAM system of the first generation
第1世代の歯科用キャドキャムシステム

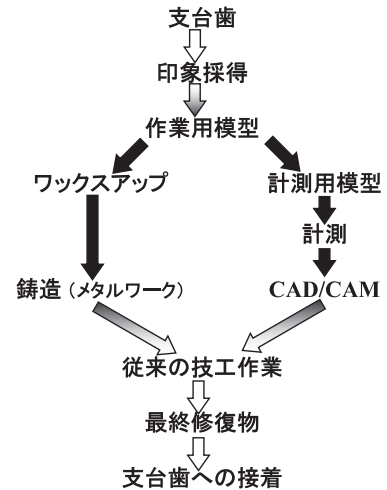
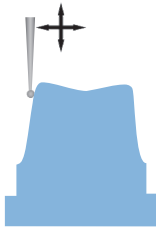


図2 The dental CAD/CAM system of the second generation
第2世代のキャドキャムシステム

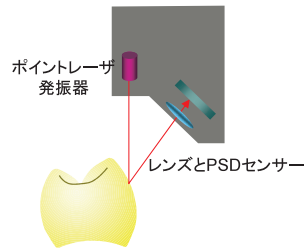
接触式プローブ

- ・計測に時間がかかる。



レーザ計測

- ・レーザ光の乱反射を拾ってしまう。
- ・急峻な隅角部が精密に取れない。



CCD

- ・カメラの解像度で精度が変わる。

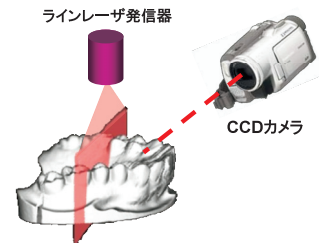


図3 Various digitizers available for the dental CAD/CAM system
各種歯科用計測装置

各種の計測装置で模型表面を計測してデータを入力する。このような計測装置をデジタイザーやスキャナーと呼ぶ。いろいろな方法が開発されたが、実用化されているのは、接触式プローブを利用する方法、レーザ変位計を利用する方法、ラインレーザや光を CCD カメラで計測する方法である（図3）。接触式プローブは先端の細いプローブを利用すると精度が高いが、模型全面を走査するのに時間がかかる。レーザ変位計は価格が安く、接触式に比べて計測時間が短い。しかし、レーザのスポットを当てて反射光を PSD センサーで認識するので、乱反射の影響で精度が低下する。また、隅角部の精度が難しい。ラインレーザを利用すると走査時間が非常に短縮するが、CCD カメラの解像度が精度に影響する。いずれの方式でもアンダーカットの計測はできないので、多軸制御が必要になる。また、クラウン・ブリッジでは支台歯のマーシンの認識が生命線になるため、歯科医師が

認識精度が上がるマーシンの形態に形成することと、各システムで認識精度を上げるソフト上の工夫が必要になる¹⁶⁻²¹⁾。

キャドについては、1980年代は大型のワークステーションが必要であった。現在では小型のパーソナルコンピュータで、当時のワークステーション以上の性能で、歯冠形状の自動設計とグラフィック処理、さらにはきめ細かい形状の修正が可能になっている。

技工の一部にキャドキャムを導入することにより、新素材、たとえばチタンのクラウン・ブリッジやマシナブルセラミックス、ガラス（ポーセレン）のクラウンの作製が可能になった。特に、ガラス（ポーセレン）クラウンは、従来の粉末築成・焼成による形態再現に比べて、キャドキャム装置でブロックから削り出す方法は非常に効率が良い。ブロックは粉末築成・焼成体と比べると内部欠陥を含まず、適合性も安定する。しかも従来のポー

表 1 Typical dental CAD/CAM systems available for the world market
世界の代表的な歯科用キャドキャムシステム

CAD/CAM system (Manufacture)	Digitizing Method	Restoration type				Material						Central Machining center
		In	Veneer	Cr	Br	Resin	Titanium	Gold	Ceramic	Alumina	Zirconia	
Etikon (Etikon AG)	PSD/ Laser			○	○	○	○	○	○		○	○
Everest (KaVo electrotechnical work GmbH)	CCD/ White light	○	○	○	○		○		○		○	Available
Lava (3M ESPE Dental AG)	CCD/ White light			○	○		○		○		○	Available
Pro 50, WaxPro (SYNOVAD)	CCD/ Color light			○	○		○	○	○		○	○
Procera (Nobel Biocare Germany GmbH)	Touch Probe		○	○	○		○		○	○	○	○
Hint ELs DentaCAD systeme (Hint-ELs GmbH)	CCD/ White light			○	○	○	○				○	Available
KATANA system (Noritake dental supply co., LTD)	CCD/ Laser			○	○						○	Available
Cercon smart ceramics (DeguDent GmbH)	CCD/ Laser			○	○						○	Available
CEREC3/inLab (Sirona Dental of system GmbH)	CCD/ Laser	○	○	○	○				○		○	Available
DCS Dental (DSC Dental AG)	PSD/ Laser	○	○	○	○	○	○		○		○	Available
ZENO [®] Tec System (Wieland Dental & Technik GmbH)	CCD/ Laser			○	○	○	○			○	○	Available

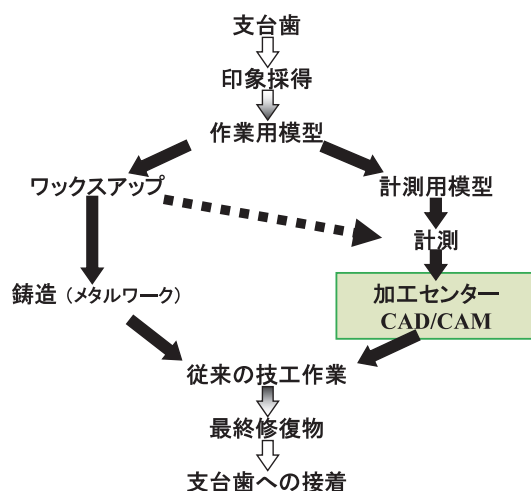


図 4 The dental CAD/CAM system of the third generation
第 3 世代のキャドキャム

セレンに使用するアドオンやステイニングが併用できるので、歯科技工士が簡単に修正や仕上げをすることができ、さらに臨床家が接着処理と接着性レジンセメントを利用して合着すると、臼歯部単冠に十分な耐久性を有する。したがって、キャドキャムのガラス（ポーセレン）クラウンはきわめて実用性が高く、今後の臨床普及が期待される²²⁻²⁵⁾。

IV. 第 3 世代の歯科用キャドキャム

PROCERA system の開発者である Andersson も歯科用キャドキャムの歴史に功績が大きい^{5, 21, 26)}。1980 年代に入り、度重なるオイルショックで金価格が高騰し、金合金の代用としてニッケルクロム合金の使用が進められた。しかし、北欧を中心に金属アレルギーが問題になり、チタンへの転換が図られた。チタンは鋳造が難しいので、Andersson は放電加工でフレームの作製を試み、その工程の一部にキャドキャムを利用した。技工の分業化とその一部にキャドキャムの利用である。このシステムは、その後オールセラミックスのフレーム作製に、ネットワークとキャドキャムを利用している（図 4）。

セラミックスの焼結体は高圧・高温で高密度焼結体を作製するのが産業界の常識である。しかし、歯科技工の現場では設備が限られるので高密度焼結体の利用ができなかった。PROCERA system では、専用の加工センターに大型の設備を導入してアルミナ高密度焼結体の歯科応用を始めた。オールセラミックスのコピーング作製のために、デジタイザーを導入した歯科技工所で石膏模型をデジタイザーで計測し、データを加工センターに転送して、耐火模型を作製し、そのうえで高密度焼結体のコピーングを作製した。完成したコピーングは歯科技工所に送られ、ポーセレンを従来法で築成・焼成して修復

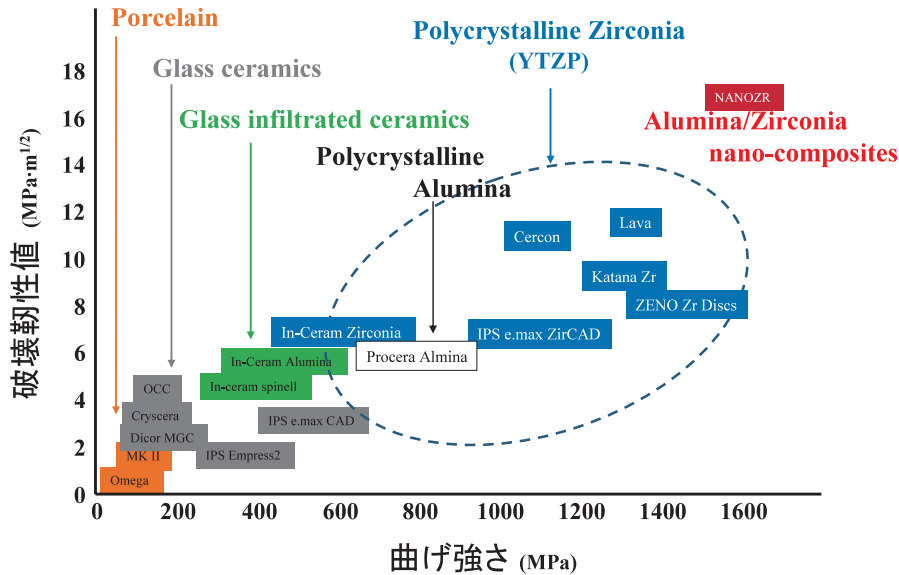


図5 Bending strength and fracture toughness of typical dental ceramics
代表的な歯科用セラミックスの曲げ強さと破壊靱性値

物を完成する。この方法は、歯科技工工程の一部を加工センターにアウトソーシングすることと、工程にキャドカムを導入した点が画期的であった。その後、アルミナよりも強度の大きいジルコニアが利用されるようになり、この方式が世界中で導入されている（表1）。

V. キャドカムを利用したジルコニアフレームの作製

図5に代表的な歯科用セラミックスの曲げ強さと破壊靱性値を示す。従来のポーセレンは曲げ強さが100 MPa、破壊靱性値が $1 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 前後であるが、分散強化、ガラス浸透強化、高密度焼結体化により、新素材の曲げ強さと破壊靱性値が向上したことがわかる。特にジルコニア系材料の強度が非常に大きい^{27, 28)}。

一般的にジルコニアという名称が使われるが、正式にはイットリアを添加したジルコニアと、セリアを添加したジルコニアとアルミナの複合材料が利用されている。ジルコニアは結晶が温度で変わる、いわゆる変態する。室温では単斜晶が安定であるが、ジルコニアにイットリアやセリアなどを少量固溶させると、本来高温で安定相の正方晶が室温でも安定相として存在するようになる。この状態のセラミックス表面から亀裂が進展すると、亀裂先端で正方晶が本来の安定な単斜晶に戻り、この際に体積膨張して亀裂がさらに進展するのを防ぐ。これにより、破壊に対する抵抗性が増大し、高い破壊靱性値を示す²⁹⁾。

イットリアを固溶して正方晶に安定化したジルコニアの高密度焼結体（イットリア安定化正方晶ジルコニア）が、現在世界中で、ブリッジやインプラントのアバットメントならびにインプラント上部構造体のフレームとして応用されている。この素材は日本の企業が世界的なシェアを持っている。一方、セリアを固溶して正方晶に安定化したジルコニアとアルミナの複合材料でジルコニアとアルミナ結晶内にナノサイズのアミナとジルコニアを配合して強化した材料がわが国で開発され、臨床応用が始まった。この材料は現在利用できる歯科用セラミックスのなかでもっとも強度の大きい材料である³⁰⁻³⁴⁾。

セラミックスの高密度焼結体は宝石のようなもので硬さが大きいので、削りだしは容易ではない。ポーセレンや結晶分散ガラスは最終的なブロックからの削りだしを行ったが、ジルコニア高密度焼結体では、実用的には未焼結体や半焼結体のブロックを削りだし成形後、二次的に1500℃程度の高温で焼成して最終的な高密度焼結体のフレームを完成する。この際に大きく体積は収縮する。しかし、収縮後のフレームは模型に適合しなくてはならない。そこで、フレームの設計時にあらかじめ収縮分を補償して大きめに設計しておく。これがキャドカム利用のメリットである^{35, 36)}。歯科界が確立したロストワックス精密鋳造法では、金属の鋳造収縮を補償するために、鋳型内の空洞をあらかじめ大きくしておく方法がとられた。これはワックス原型を均等に膨張させるのは、手作業では難しかったからである。キャドでは、自由に原型の大きさを変えることができる。

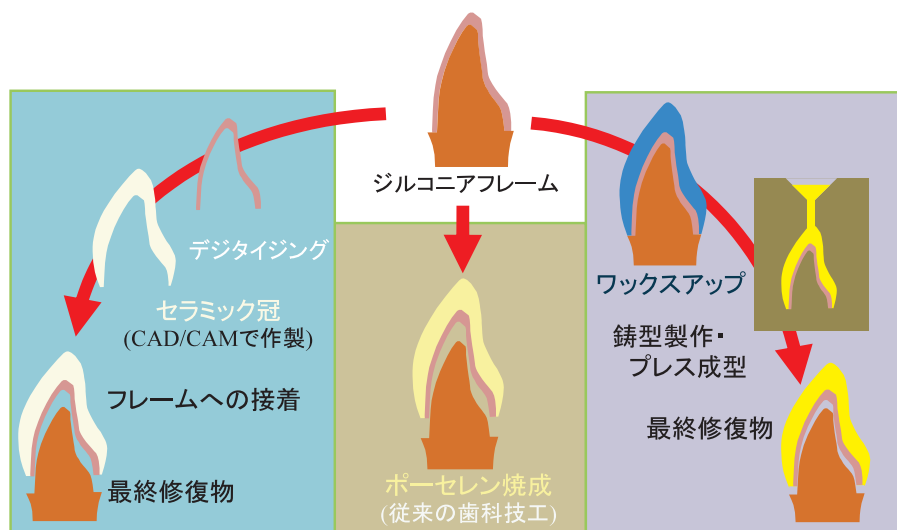


図6 Various fabrication methods of all ceramic restorations using zirconia frameworks
ジルコニアフレームを用いたオールセラミック修復物の製法

適合性試験の結果によると、単冠のフレームではほぼパーフェクトの適合を示し、ブリッジフレームではポンティックの数が増大すると収縮によりポンティック側のマージンの適合が低下はするが、臨床的には問題ないレベルである³⁷⁻⁴⁰⁾。

インプラント上部構造の適合性は、天然支台のクラウン・ブリッジに比べるとシビアである。金属フレームの場合は、口腔内試適で問題があれば、分割と鑲付けで対応できたが、ジルコニアは鑲付けができない。そこで現場では、ワックスや金属鑄造体でテンポラリー修復物をあらかじめ作製し、口腔内での適合は咬合状態が担保されてから、改めてテンポラリーをデジタイザーで計測してジルコニアフレームを作製することも行われる。

ジルコニアはエナメルに比べて硬さが大きすぎ、また単独では歯冠色の再現ができない。そこで最終的な修復物を完成するためには、ジルコニアフレームに、ガラス（ポーセレン）を前装する。そのために、3つの方法が利用される（図6）。

最も一般的なのが、従来の金属焼付けポーセレンのように、ポーセレン粉末を築成・焼成して前装する方法である。多くのメーカーからジルコニア対応のポーセレン粉末が市販されている⁴¹⁾。ジルコニアの熱膨張係数はアルミナより大きく、従来のポーセレン焼付け金属より小さい⁴²⁾。そこで各メーカーは熱膨張係数を調整したポーセレンを提供しているが、臨床経過報告によると、ポーセレンのチッピングやフレームからの剥離が認められている。ジルコニア試料の表面に研削やサンドブラストを施すと、表層が単斜晶に戻るため、再加熱処理をし

て正方晶に戻ることが推奨されている⁴³⁻⁴⁶⁾。しかし、実際には表面処理よりも、ジルコニアとポーセレンの相性のほうが重要である⁴⁷⁻⁵¹⁾。各システムの使用マニュアルの遵守が必要になる。

ジルコニアの強度が向上しても、従来のポーセレン築成・焼成の工程を経て作製したポーセレン修復物は内部に欠陥を含有し、強度的には限界がある。そこで二番目の方法は、結晶分散ガラスブロックを加熱後可塑状態にして鋳型内にプレスすることによりジルコニア表面に接合させる。ガラスの冷却により生じる圧縮応力でフレームに保持される⁵²⁻⁵⁷⁾。

しかし、大きなブリッジやインプラント上部構造の場合に、部分的なチッピングや剥離が生じた場合に修理が大変になる。そこで、われわれは第三の方法として、ジルコニアフレーム上にさらにキャドカムで作製したポーセレン（結晶分散ガラス）前装体を各支台歯やポンティック上に接着材を用いてあらかじめ接着させて完成する方法を提案している⁵⁸⁻⁶⁰⁾。この方法はジルコニアフレームを利用したオールセラミック修復の弱点であるポーセレンをキャドカムで作製できるので、データを利用して修理が容易であり、接着材の進歩によりセラミックスが補強されるメリットもある。

現在、わが国ではキャドカムを用いたジルコニアフレームが臨床応用されて5年しか経過していない。したがって、今後注意深く臨床経過を観察する必要がある。今後の普及のためには、臨床家がジルコニアの物性とキャドカム成形法の利点を限界をよく理解し、支台歯形成から印象採得までの工程および、試適と合着までの臨

床術式を正確に行うことが重要になる。さらに、これまで以上に歯科技工士との協働が必要になる。

VI. 第4世代の歯科用キャドカム

近年の技術革新は、コンピュータ、キャドソフト、加工機、ネットワーク技術だけでなく、カメラ（光学技術）にも及んでいる。かねての夢であった口腔内カメラが開発され、欧米ではキャドカムのデジタイザーとして利用されるようになった^{61, 62)}。情報がまだホームページに限定されており、客観的な性能は不明の点も多いが、日本市場でも紹介されはじめており、少なくとも近い将来に、実用化が期待される。したがって、歯科医院での直接形態情報の収集がスタートになって、院内のキャドカムとネットワークのキャドカムが、さらに効率よく利用できる時代が来る。これが第4世代である。

VII. キャドカム適用の利点

歯冠修復物の作製にキャドカムを適用する利点は、新素材の適用、省力化、経済性、品質管理の4点にまとめることができる。

材料と技術は密接な関係があり、チタンや高強度セラミックスなど、従来の歯科技工技術で適用が難しい材料がキャドカムを利用すると、加工センターで一般産業の大型設備を利用して加工できる。歯冠修復物は支台歯への適合が要求されるため、加工や後処理に伴う寸法変化の補償にキャドカムの手法は有用である。

従来の歯科技工は、手作業が多く労働集約的であったが、キャドカムの適用は省力化をもたらす。第2世代の歯科技工用キャドカム装置の前で拘束される時間はわずか5分程度であるので、大幅な省力化になる。技工の一部をアウトソーシングする方法では、さらに省力化が可能になる。歯科技工士がキャドカムで作製された修復物を調整する場合にも、全工程を考えると作業効率が良い。臨床症例によっては、キャドで設計するよりも、歯科技工士が従来のようにワックスアップするほうが形態再現性が良好で、その後にキャドカムを利用する場合もある。したがって、キャドカムにより、技工工程の選択肢が増えたともいえる。

わが国では価格の変動する貴金属を大量に含む金銀パラジウム合金を保険採用してきた。これは貴金属合金では歯科精密鑄造の適用が容易であり、用途が確立したタイプ別金合金の代用合金として十分な強度を有していたことによる。しかし、貴金属は資源が限られ、戦略物質として、また世界の経済状態により価格が変動し、歯科

の現場でパラジウムの高騰に悩まされたのは記憶に新しい。さらに、価格が安定したとしても、一般工業品と異なり、使用量（流通量）が増えれば価格が下がるという経済原則が通用しない。したがって、高価な貴金属を医療用使用するのには限界がある。キャドカムの利用は、従来の成形加工法では使用できなかった工業製品の使用が可能になり、歯科材料の価格に流通化による価格競争の恩恵をもたらすことが可能になる。したがって、医療費の高騰が問題になり、しかも歯科医療費では貴金属代の占める割合が非常に多いことを勘案すると、キャドカムの導入により、貴金属からの脱却を図り、医療費の削減が可能になる。

従来のポーセレンワークは色調再現だけでなく形態付与の点からも熟練度が必要であり、生産性に限界があるので、価格も高価にならざるを得なかった。キャドカムでは安価なポーセレンブロックから研削加工でクラウンを作製し、従来法でステインを付与するだけで完成するので、省力化だけでなく、経済的にも有利になる。従来の粉末築成と無圧焼成の方法では、内部に欠陥をなくすることは不可能であった。しかし、工場で作製したブロックをキャドカム成形すると内部に欠陥のないクラウンが作製できる。

さらに、脱金属として、ジルコニアフレームを利用したオールセラミックの多数歯ブリッジや、インプラント上部構造体の作製が可能になり、高付加価値の自費診療が提供できる。

キャドカムでは、設計時に、材料特性から最適形状の設計をすること、加工の履歴による残留歪み等の劣化を防止すること、再現性のある加工が得られることなど製品の品質管理ができる。さらに、加工データを保存して、機能期間中に追跡調査をすることができる。これらは今までの製作システムでは不可能であった。今後の高齢社会では、医療用装置の品質管理がこれまで以上に重要になる。

VIII. 今後の展望

歯科医療は過去半世紀に、治療技術と材料が革新的に進歩し、現在成熟期を迎えたという見方がある。今後は、材料を使用した修復治療よりも、予防やケア、あるいは組織再生などの比重が高まるという予測もある。しかし、患者の利便性や生活の質の回復が重要になり、高齢社会の健康維持が目標になるならば、これからの歯科医療において、歯冠修復物や義歯の重要性はますます高まる。

患者の求める口腔内装置は、快適さ、審美性の回復、安全性の担保、経済性、早期の機能回復、長期の機能期

間などである。従来は、患者の希望よりも、われわれ医療提供側からの都合で、耐久性や成形加工性を優先して材料を使用してきた歴史がある。今後は患者の立場にたった新素材とそれを使いこなす先端技術の活用が不可欠である。広義のキャドキャムは、この観点から広く健康長寿に貢献すると期待される。今後の展望をまとめると以下ようになる。

患者の利便性からは、治療期間の短縮と早期の機能回復が望まれる。したがって、診療室で利用できるキャドキャムシステムでは、口腔内で使用できる簡便で高精度の計測システムの開発と、加工性の良好な歯冠色材料のさらなる開発が望まれる。

歯冠修復物や義歯などの歯科用装置は生体に適用するので、一般の産業製品よりも厳しい安全性と品質保証が望まれる。そのためには専用の加工センターでの一次製品(キャドキャムを活用)と歯科技工所での二次製品(歯科技工士の専門技術の活用)の分業化と連携が一層重要になる。臨床家は、材料とキャドキャム成形法の流れをよく理解し、使いこなすための支台歯形成から始まる臨床術式を遵守する必要がある。そして、歯科技工士とこれまで以上に協働が必要になる。キャドキャムはブラックボックスではなく、最終的には臨床家の役割が重要である。

歯科医療の高度化に対応して、患者とのコミュニケーション、検査、診断、治療計画(シミュレーション)、手術支援、患者管理等を含めて、一連のデジタル技術の応用が進められる。修復物においても単に形態や色調の再現だけではなく、機能回復にもキャドキャムが応用される。キャドキャムをはじめとするデジタル技術の導入のためには、歯学部教育だけでなく、継続学習のプログラムの整備も必要になる。

今後、データ管理をすることにより、歯科材料や修復物の世界標準化が進められ、エビデンスに基づいた歯科医療の展開に貢献する。

文 献

- 1) Duret F. Toward a new symbolism in the fabrication of prosthetic design. *Cah Prothese* 1985; 13: 65-71.
- 2) Rekow D. Computer-aided design and manufacturing in dentistry: a review of the state of the art. *J Prosthet Dent* 1987; 58: 512-516.
- 3) Duret F, Blouin JL, Duret B. CAD/CAM in dentistry. *J Am Dent Assoc* 1988; 117: 715-717.
- 4) Mörmann WH, Brandestini M, Lutz F, Barbakow F. Chair side computer-aided direct ceramic inlays. *Quintessence Int* 1989; 20: 329-339.
- 5) Andersson M, Odén A. A new all-ceramic crown: a dense-sintered, high purity alumina coping with porcelain. *Acta Odontol Scand* 1993; 51: 59-64.
- 6) 青木英夫, 藤田忠寛, 仁科匡生. CAD システム及び NC 加工による歯科技工のオートメーション化—コンピュータ歯科技工の世界—. *歯科技工* 1986; 14: 1491-1498.
- 7) Tsutsumi S, Fukuda S, Tani Y. 3-D image measurements of teeth and alveolar ridge. *J Dent Res* 1989; 68(Sp.): 924.
- 8) 木村 博, 莊村泰治, 渡辺隆司. 歯形状の三次元計測 (第 1 報) 高精度レーザー変位計による計測. *歯材器* 1988; 7: 552-557.
- 9) 疋田一洋, 内山洋一. 歯冠形態の三次元計測と復元(CAD/CAM)に関する研究. *補綴歯* 1989; 33(S82): 142.
- 10) 川中正雄. 歯科用 CAD/CAM システムの開発に関する研究. *阪大歯学誌* 1990; 35: 206-239.
- 11) 川畑直嗣. 有床義歯における CAD/CAM の利用—臼歯部人工歯排列と咬合面の複製—. *日本歯科人工知能研究会雑誌* 1991; 1: 16-19.
- 12) 宮崎 隆, 堀田康弘, 鈴木 暎, 宮治俊幸, 高橋英和, 古屋良一, 川和忠治. 放電加工を利用した CAD/CAM システムの開発に関する基礎的研究 (第 1 報) 歯冠形状の計測とコンピュータグラフィックス及び CAD 操作について. *昭歯誌* 1991; 11: 65-69.
- 13) 末瀬一彦. 歯科技工士養成機関における入卒者数および就職状況に関する調査研究. *日歯医療管理誌* 2010; 44: 184-189.
- 14) 恒石美登里, 平田創一郎, 山本龍生, 石井拓男. 日本歯科医師会の歯科医業経営実態調査についての検討 平成 8 年から平成 18 年までの経年的分析. *日歯医療管理誌* 2008; 43: 175-183.
- 15) 疋田一洋, 舞田健夫, 川上智史, 池田和博, 齊藤正人, 田村 誠ほか. CAD/CAM 用ハイブリッドレジンブロックにより製作したクラウンの臨床評価. *日補綴会誌* 2009; 1: 64-70.
- 16) Persson M, Andersson M, Bergman B. The accuracy of a high-precision digitizer for CAD/CAM of crowns. *J Prosthet Dent* 1995; 74: 223-229.
- 17) 小林幸隆, 宮崎 隆, 堀田康弘, 李 元植. 非接触レーザ微いミリング法によるインレーの新しい製作法の開発. *昭歯誌* 1996; 16: 235-239.
- 18) 堀田康弘, 宮崎 隆, 李 元植, 小林幸隆. 試作 CAD/CAM 装置で製作したセラミック製クラウンの適合精度. *昭歯誌* 1996; 16: 230-234.
- 19) Nakamura T, Dei N, Kojima T, Wakabayashi K. Marginal and internal fit of Cerec 3 CAD/CAM all-ceramic crowns. *Int J Prosthodont* 2003; 16: 244-248.
- 20) Effrosyni A, Tsitrou E, Northeast S, van Noort R. Evaluation of the marginal fit of three margin designs of resin composite crowns using CAD/

- CAM. J Dent 2007; 35: 68-73.
- 21) Andersson M, Carlsson L, Persson M, Bergman B. Accuracy of machine milling and spark erosion with a CAD/CAM system. J Prosthet Dent 1996; 76: 187-193.
- 22) 出井庸喜, 中村隆志, 高梨智宏. デンタル CAD/CAM システム「DECSY」の臨床応用. 歯科評論 2003; 724: 63-72.
- 23) 田中敏之. DECSY with ProCAD システムの全貌—機械と人のコラボレーションから生まれた「エンジェルクラウン」—. QDT 2005; 30: 88-99.
- 24) Miyazaki T, Hotta Y, Kunii J, Tamaki Y. A review of dental CAD/CAM: current status and future perspectives from 20 years of experience. DMJ 2009; 28: 44-56.
- 25) Tamaki Y, Hotta Y, Kunii J, Kuriyama S, Higuchi D, Miyazaki T. CAD/CAM all ceramic dental restorations on implants: A panacea or a challenge? Dent Med Res 2010; 30: 42-49.
- 26) Oden A, Andersson M, Krystek-Ondracek I, Magnusson D. Five-year clinical evaluation of Procera AllCeram crowns. J Prosthet Dent 1998; 80: 450-456.
- 27) 堤 定美, 関野雅人. 歯科用セラミックスの理工学的性質. 補綴誌 1999; 43: 194-202.
- 28) 伴 清治. オールセラミックスの歯科材料学. オールセラミックレストレーション. 歯科技工別冊 2005; 32-43.
- 29) オールセラミックスの可能性を開くジルコニア理工学的特徴. 最新 CAD/CAM レストレーション. 補綴臨床別冊 2008; 26-34.
- 30) 伴 清治. オールセラミックレストレーションを実現するためのジルコニアの材料特性. 歯科学報 2007; 107: 670-684.
- 31) Piconi C, Maccauro G. Zirconia as a ceramic biomaterials. Biomaterials 1999; 20: 1-25.
- 32) 名和正弘, 中本彰一, 山崎圭一, 関野 徹, 新原皓一. CeO₂ 安定化正方晶ジルコニア/Al₂O₃ ナノ複合材料の作製と機械的特性. 粉体および粉末冶金 1996; 43: 415-420.
- 33) Tanaka K, Tamura J, Kawanabe K, Nawa M, Oka M, Uchida M et al. Ce-TZP/Al₂O₃ nano-composite as a bearing material in total joint replacement. J Biomed Mater Res 2002; 63: 262-270.
- 34) Heather JC, Wook-jin S, Igor JP. Current ceramic materials and systems with clinical recommendations: A systematic review. J Prosthet Dent 2007; 98: 389-404.
- 35) 浅野正司. SCIENCE OF CAD/CAM ALL CERAMICS. 臨床家のためのアルミナ & ジルコニアクラウン製作法. オールセラミックスの物性や強度に関する事項. 歯科補綴物製作用 CAD/CAM システム総覧. 歯科技工 2009; 36: 1052-1072.
- 36) 三浦宏之, 宮崎 隆 編. 最新 CAD/CAM レストレーションクラウン・ブリッジ&インプラントの臨床. 補綴臨床別冊 2008; 52-73.
- 37) Kunii J, Hotta Y, Tamaki Y, Ozawa A, Kobayashi Y, Fujishima A, Miyazaki T, Fujiwara T. Effect of sintering on the marginal and internal fit of CAD/CAM fabricated zirconia frameworks. DMJ 2007; 26: 820-826.
- 38) Tinschert J, Natt G, Mautsch W, Spiekermann H, Anusavice KJ. Marginal fit of alumina- and zirconia-based fixed partial dentures produced by a CAD/CAM system. Oper Dent 2001; 26: 367-374.
- 39) Reich S, Wichmann M, Nkenke E, Proeschel P. Clinical fit of all-ceramic three-unit fixed partial dentures, generated with three different CAD/CAM systems. Eur J Oral Sci 2005; 113: 174-179.
- 40) Hertlein G, Franke R, Wastian C, Watzek K. Marginal fit of zirconia restorations with three/four abutment teeth. IADR 2005, Baltimore, Abstract 1764.
- 41) 宮崎 隆, 玉置幸道, 堀田康弘, 栗山壮一. CAD/CAM 時代のオールセラミック修復とは. 日本歯科評論 2010; 70: 41-50.
- 42) Ashkanani HM, Raigrodski AJ, Flinn BD, Heindl H, Mancl LA. Flexural and shear strengths of ZrO₂ and a high-noble alloy bonded to their corresponding porcelains. J Prosthet Dent 2008; 100: 274-284.
- 43) Fischer J, Grohman P, Stawarczyk B. Effect of zirconia surface treatments on the shear strength of zirconia/veneering ceramic composites. Dent Mater J 2008; 27: 448-454.
- 44) Curtis AR, Wright AJ, Fleming GJP. The influence of surface modification techniques on the performance of a Y-TZP dental ceramic. J Dent 2006; 34: 195-206.
- 45) Sundh A, Sjogren G. Fracture resistance of all-ceramic zirconia bridges with differing phase stabilizers and quality of sintering. Dent Mater 2006; 22: 778-784.
- 46) Karakoca S, Yilmaz H. Influence of surface treatments on surface roughness, phase transformation, and biaxial flexural strength of Y-TZP ceramics. J Biomed Mater Res Part B: Appl Biomater 2009; 91B: 930-937.
- 47) Fischer J, Stawarczyk B, Trottmann A, Hämmerle CHF. Impact of thermal misfit on shear strength of veneering ceramic/zirconia composites. Dent Mater 2009; 25: 419-423.
- 48) 照井優一, 鳴海裕子, 栗山壮一, 国井 淳, 堀田康弘,

- 後藤大介, 宮崎 隆. ナノジルコニアに対する技工操作陶材前装方法の検討. 歯材器 2009; 28: 345.
- 49) 国井 淳, 栗山壮一, 堀田康弘, Goldammer C, 玉置幸道, 藤島昭宏, 藤原稔久, 樋口大輔, 宮崎 隆. ジルコニアへの表面処理が陶材焼付強さに及ぼす影響. 歯材器 2008; 27: 449.
- 50) Guessa PC, Kulis A, Witkowski S, Wolkewitz M, Zhang Y, Strub J. Shear bond strengths between different zirconia cores and veneering ceramics and their susceptibility to thermocycling. Dent Mater 2008; 24: 1556-1567.
- 51) Fischer J, Stawarczyk B, Tomic M, Strub JR, Hämmerle CH. Effect of thermal misfit between different veneering ceramics and zirconia frameworks on in vitro fracture load of single crowns. Dent Mater J 2007; 26: 766-772.
- 52) 斉藤 勇. MASTERPIECE. ジルコニアフルブリッジにおける強度と審美性の両立. プレスセラミックスと築盛用陶材を併用して. QDT 2008; 33: 459-466.
- 53) 羽田詩子, 上原芳樹, 桜井保幸, 若松宣一, 山村 理, 藤原 周, 土井 豊. レイヤリングテクニックとプレスオンテクニックにより製作したジルコニアクラウン. 歯材器 2009; 28: 313.
- 54) Beuera F, Schweigera J, Eichbergera M, Kappertb HF, Gerneta W, Edelhoffa D. High strength CAD/CAM fabricated veneering material sintered to zirconia copings—A new fabrication mode for all-ceramic restorations. Dent Mater 2009; 25: 121-128.
- 55) Guess PC, Zhang Y, Thompson VP. Effect of veneering techniques on damage and reliability of Y-TZP trilayers. Eur J Esthet Dent 2009; 4: 262-276.
- 56) Beuer F, Edelhoff D, Gernet W, Sorensen JA. Three-year clinical prospective evaluation of zirconia-based posterior fixed dental prostheses (FDPs). Clin Oral Investig 2009; 13: 445-451.
- 57) Aboushelib MN, Kleverlaan CJ, Feilzer AJ. Microtensile bond strength of different components of core veneered all-ceramic restorations. Part II: Zirconia veneering ceramics. Dent Mater 2006; 22: 857-863.
- 58) Tanaka R, Fujishima A, Shibata Y, Manabe A, Miyazaki T. Cooperation of phosphate monomer and silica modification on zirconia. J Dent Res 2008; 87: 666-670.
- 59) 栗山壮一, 国井 淳, Goldammer C, 高梨知宏, 真鍋厚史, 堀田康弘. セラミックス接着ジルコニアブリッジの開発. 接着強さと焼付け強さによる評価. 歯材器 2008; 27: 352.
- 60) 栗山壮一, 国井 淳, 樋口大輔, 後藤大介, 津田 一, 堀田康弘, 真鍋厚史, 宮崎 隆. セラミック接着ジルコニアブリッジの開発. 臨床形態における強度の評価. 歯材器 2009; 28: 280.
- 61) <http://www.cadentinc.com/> (iTero™, Cadent Homepage, May 2010)
- 62) http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/en_US/LavaCOS/3MESPE-LavaCOS/ (LAVA COS™, 3MESPE Homepage, May 2010)

著者連絡先: 堀田 康弘

〒142-8555 東京都品川区旗の台 1-5-8

TEL: 03-3784-8178

FAX: 03-3784-8179

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

Current Status and Future Perspectives of Dental CAD/CAM Systems Available for the Fabrication of Crown-bridge Restorations

Yasuhiro Hotta, DDS, PhD and Takashi Miyazaki, DDS, PhD

Department of Oral Biomaterials and Technology, Showa University School of Dentistry

Ann Jpn Prosthodont Soc 3 : 1-11, 2011

ABSTRACT

Modern crown-bridge restorations have been achieved by the introduction of casting gold alloys and the lost wax precision casting technique. When esthetic restorations are needed, porcelain and composites are used as veneering materials. These techniques are conventional manual processes in dental technology. On the other hand, application of CAD/CAM (computer-aided design and computer-aided manufacturing) for the fabrication of crown-bridge restorations has been developed in dental schools and companies worldwide since the 1980s. With the introduction of zirconia and networked centre-driven CAD/CAM technology, dental CAD/CAM has become very popular in dentistry. Application of CAD/CAM has several merits such as the application of new materials, improvement of working circumstances, economics and quality control of restorations. We suggest that general practitioners need to understand the advantages and limits of CAD/CAM processing, adhere to clinical protocols, and collaborate with dental technicians to make dental CAD/CAM more popular in dentistry.

Key words

CAD/CAM, network, zirconia, quality control, dental technology