



歯科におけるCAD/CAMの応用

莊村 泰治*, 高橋 純造**

Application of CAD/CAM in dentistry

Key Words : Dentistry, CAD/CAM, Dental Restorations, Three Dimensional Measurement, Computer

1. はじめに

歯科においても最近コンピュータ技術に応用した新しい診療, 治療そして研究が活発に展開されている. 本稿ではそのうち, 歯科独特の技術開発が行われている歯科修復物のCAD/CAM法による製作と, 診断用の顔面と歯列三次元形状計測のコンピュータシステムについて紹介したい.

2. 歯科修復物のCAD/CAM製法

一般的な治療では, 歯のう蝕部を除去して形態を整える支台歯形成をした後に, 技工操作で製作された修復物で欠損部を補う. 図1に歯が抜けてしまった場合に両隣の歯を支柱にして補うブリッジによる修復の例を示したが, この他よく行われる修復としては, 1本の歯に冠をかぶせるクラウン, 穴があい

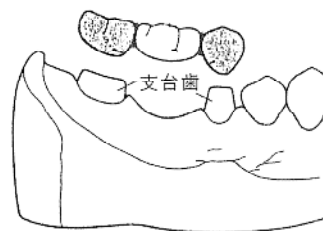


図1 歯科修復の一例, ブリッジによる修復を示す.

たところを埋めるインレーなどがある. これらの歯科修復物は患者ごとに全て形状が異なり, かつ一個しか必要としないため, 現状ではほとんどが手作業で製作されている. しかし, その製作には熟練技術を要し, 現在コンピュータ化による生産方式が常識になっている一般産業界とは大きくかけ離れている.

ところが, 最近国内外でこのような歯科修復物のCAD/CAMによる製作システムの開発が急速に進み, すでに世界で数千台の販売実績をもつシステムも登場するようになった. これらのシステムは基本的には, ①支台形成歯と隣接歯, およびそれらと咬み合う対合歯の三次元形状の計測, ②欠損部修復用のCAD, ③金属またはセラミックス修復物製作用CAMの3つの装置からなる. 計測では複雑な三次元自由曲面で構成される歯の形状を数十 μ mの精度で正確かつ高速で計測することが必要である.

また, 歯の欠損部の修復設計は市販のEngineering CADソフトでは対処できず, 独自に開発する必要がある. CAMにおいてもマージンと呼んでいる残存歯と修復物の境界部は数十 μ mの加工精度が要求されるなど多くの難問がある. 本稿ではまず, このシステムに関する国内外の開発現状につき紹介する.

2.1 国外のシステム

歯科でこの研究にいち早く取り組んだのは,



* Taiji SOHMURA
1946年10月15日生
1975年大阪大学大学院基礎工学研究科・物性学専攻修了
現在, 大阪大学・歯学部・歯学科・歯科理工学講座, 助教授, 工学博士, 歯科理工学
TEL 06-6879-2920
FAX 06-6879-2916
E-Mail sohmurat@dent.osaka-u.ac.jp



** Junzo TAKAHASHI
1942年2月14日生
1967年大阪大学大学院工学研究科・冶金学専攻修了
現在, 大阪大学・歯学部・歯学科・歯科理工学講座, 教授, 工学博士, 歯科理工学
TEL 06-6879-2915
FAX 06-6879-2916
E-Mail j-takaha@dent.osaka-u.ac.jp

Duret(南カリフォルニア大)とMörmann(チューリッヒ大)で、1971年には修復物の製作にCAD/CAM製作システムを導入した。現在、主にヨーロッパ系の大学と企業によって積極的に開発が進められている。その内商品化されている代表的なものを紹介する。

a) CEREC (SIRONA社・ドイツ)

1988年商品化し、すでに世界で2000台以上が販売され日本にも導入されている¹⁾。

開発者：Mörmann(チューリッヒ大・スイス)、
Brandestini(チューリッヒ工科大)

対象修復物：インレー、ベニア(前歯部を一層削ってそこにセラミックスを張り付ける修復法)、クラウンなど

計測：縞投影法により口腔内より0.2秒で直接計測する。

CAD：マニュアルで歯の切削溝の底の輪郭、咬合面の辺縁、隣接面外形などをマークする。咬合面と隣接面側のマージンはコンピュータが自動検出する。

CAM：本体と一体型になっているミリング部で行う。図2に示した最近発売された改良版のCEREC IIでは、工具はダイヤモンド・ホイールとミリングバーを使用する。被削材はマシナブルセラミックスで、クラウンの切削は30分程度で完了し、完成した補綴物の精度は60 μm以上といわれている。

b) PROCERA (Nobel Biocare社・スウェーデン)

一般に歯科修復物製作用のCAD/CAMシステムは、価格が高いことが問題で普及の障害になっている。しかし、このシステムではエンドユーザーは計測とCADの端末だけを持ち、支台歯の計測と修復物の設計を行い、そのデータをinternet回線で

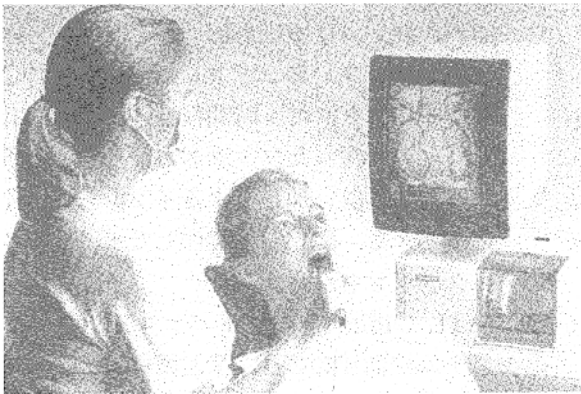


図2 CEREC II システム

Nobel Biocare社に送る、そうすると、数日後に修復物が製作され返送されてくる。このように、現在の情報ネットワークをうまく利用したこの方式は将来発展しそうである。

対象修復物：セラミックス修復用のベースに使用するフレーム

計測：接触式の自動計測で支台歯のみ計測する。

CAD：計測した支台歯データをもとに設計パラメータを入力すると自動的にフレームの設計が行える。

CAM：エンドユーザーでは行わず、Nobel Biocare社が行う。

c) CELAY (MIKRONA TECHNOLOGIE

AG社・Münchenドイツ)

これは図3に示した手作業による削り加工機で、厳密にはコンピュータを用いていないのでCAD/CAMシステムとはいえないが、セラミックスの修復物を精度高く製作できるユニークな装置である。

開発者：Eindenbents(チューリッヒ大・スイス)

対象修復物：インレー

計測とCADはなく、口腔内または模型上で光重合レジンで原型を製作し、これと同じものを接触式スキャナーと連動した8軸ミリングマシンで切削する。インレーの製作時間は3～4分である。被削材は切削性セラミックスを用いる。

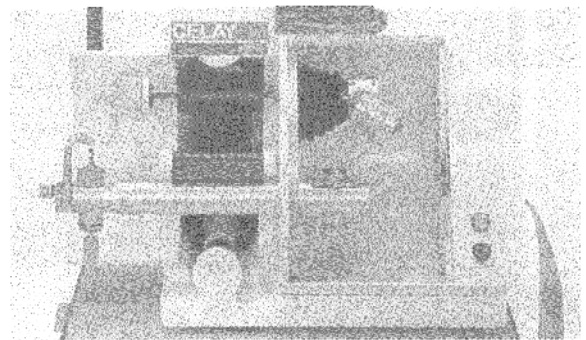


図3 CELAY システム

2.2 国内のシステム

現在商品化の段階に達している国内で開発されたシステムには、北海道大学歯学部の内山名誉教授と、ニコン、GC、日立精工のグループの開発したGN-1²⁾と、昭和大学の宮崎教授と日産デジタルプロセスのグループが開発したDecsy³⁾、およびアドバンスの開発したDENTAL Cadim⁴⁾がある。これらのシステムの概略を紹介する。

a) GN-I ((株)ジーシー)

システムを図4a)に示した。

対象修復物：クラウンとブリッジ

計測：模型を水平面内で回転させて単眼のレーザ変位計で周回計測し、さらに変位計を垂直面内で数度刻みで移動させ全体を計測する。支台歯、隣接歯、バイト(対合歯の型)を測るが支台歯1本を3分くらいで処理できる。

CAD：描画されたCGによってまず支台歯のマーヅンをマニュアル修正した後、標準歯冠を適合させ、図4b)に示したように、そこにバイトデータを取り込み対合歯との干渉チェックを行う。対合歯との咬合調整は現在は対合歯の歯形を印記させたバイトのみを用い、運動の軌跡の型であるFGPは用いていない。操作は対話型でオペレータの考えに従った設計ができる。

CAM：5軸NC加工機(X, Y, Z平行移動軸とA軸(360°), B軸(-90~+20°))を採用している。工具はエンドミルとダイヤモンド工具を使用している。被削物はプリフォーム成形したTi, セラミックス, コンポジットで、加工時間はTiで1時間程度を要する。

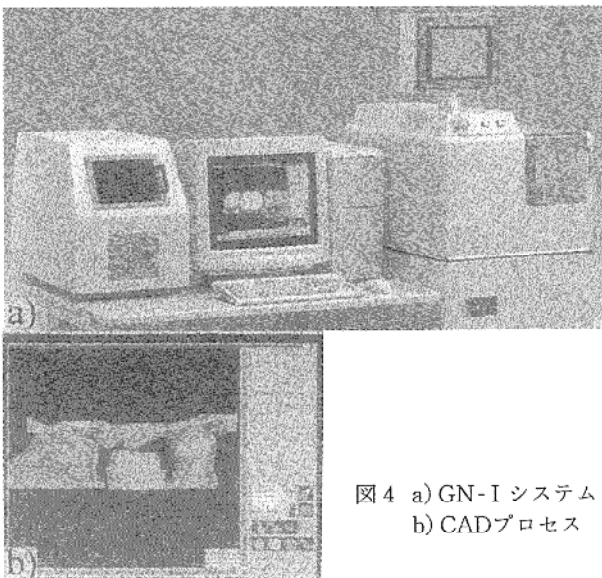


図4 a) GN-I システム
b) CADプロセス

b) Decsy (日産デジタルプロセス(株))

計測からCAD, CAMまで殆ど自動で行えるシステムで、図5a)に示した極めてコンパクトな一体化装置であるが、計測と切削は独立していないので同時には行えない。

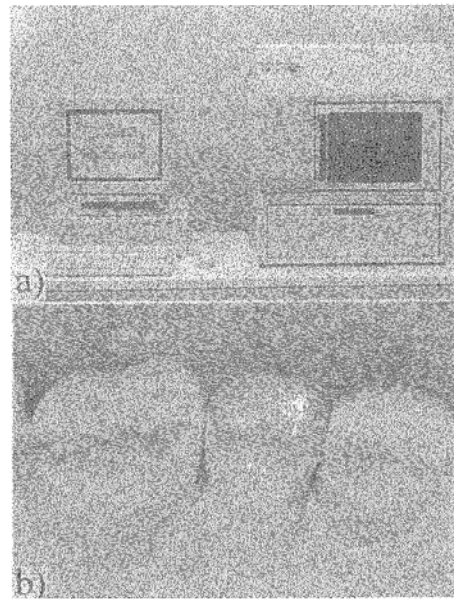


図5 a) Ardentシステム b) 製作されたクラウン

対象修復物：クラウン, インレーなど

計測：対向する2つのセンサを持つ複眼式レーザ変位計を用いている。支台歯と隣接歯および咬合調整用のFGPの計測が約20分で終わるが、最も重要な支台歯のマーヅン付近は重点的に走査する。

CAD：マーヅンの認識は自動で行い、オペレータによる修正プロセスはない。CADは標準歯冠を使い変形する方式である。対合歯との咬合調整はFGPのみを使っているが、対合歯と最もよくかみ合う中心咬合位の場合が不明瞭になる可能性がある。

CAM：切削装置は4軸NC(X, Y, Z軸と被削物回転用A軸)である。切削も修復物を支台歯に接着するセメント層の厚みと被削材料の指定などをするだけで自動で行う。被削材はTi, Au-Ag-Pd合金, マシナブルセラミックス, コンポジットレジジンなど。加工時間はクラウンで1時間程度、クラウン以外にも予め作ったワックスパターンを計測し切削する倣い加工によるインレーなども製作できる。図5b)に製作したセラミックスクラウンを示す。

c) DENATL Cadim ((株)アドバンス)

このシステムは前述のCERAYと同様に、予めレジジンなどで製作したパターンを倣い加工する方式である、計測と切削は独立していないが自動化されて

いる。

対象修復物：クラウン，ブリッジ，金属床など

計測：サファイアのプロブによる接触式で，予めレジンなどで製作した修復物を自動計測する。

CAM：切削装置は3軸NC(X, Y, Z軸)で，計測データから工具パスを自動計算し切削する。工具の交換と被削物の反転はマニュアルである。被削材はTi，マシナブルセラミックス，コンポジットレジンなど，計測と加工の精度は高いが，時間がかかる。

3. 顔面と歯列三次元形状計測のコンピュータシステム

最近歯科では顎変形症や顎関節症などに関連して，歯列と顔面の形状と咬合の関わりが重要となってきた。そこで，我々は図6に示したズーム機能に

より歯列模型と顔面の両方を計測できるラインレーザスキャン方式の超高速三次元形状計測装置(VIVID 700(株)ミノルタ製)を利用して，顔面および歯列模型の三次元形状の計測を行い，両者のデータの統合を試みているので，そのプロセスを紹介する⁵⁾。

3.1 歯列の計測と上下顎咬合状態の再現

歯列全体の三次元形状を直接口腔内から計測することは，現在は不可能である。そこで，歯列の型を取りそれに石こうを流した歯列模型を計測するのが通法であるが，歯列の形状はかなり複雑でアンダーカットも多いので，複数方向から分割計測したデータを合成して全体形状を得なければならない。

図7の左と中央が上下顎模型をマーカーを取り付けたゴニオメータの上に置いている状態である。上顎模型には上下咬合状態を再現するためのマーカーをつけたバックプレートが取り付けられている。この上下模型を，ゴニオメータ上で傾斜回転させ4方向から計測し，互いのマーカーを対応させて専用ソフトウェアで合成する。上顎の合成結果を図8に示した。アンダーカット部も再現できている。下顎も同様に合成を行う。

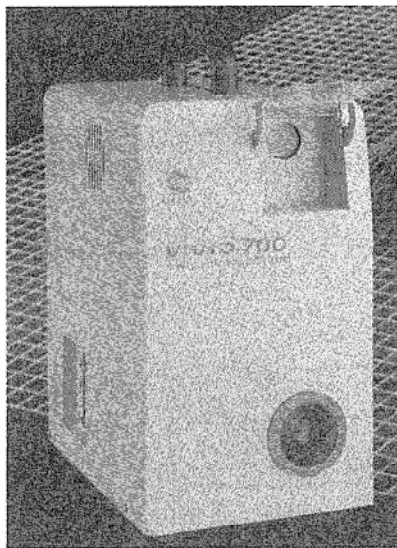


図6 VIVID 700計測装置

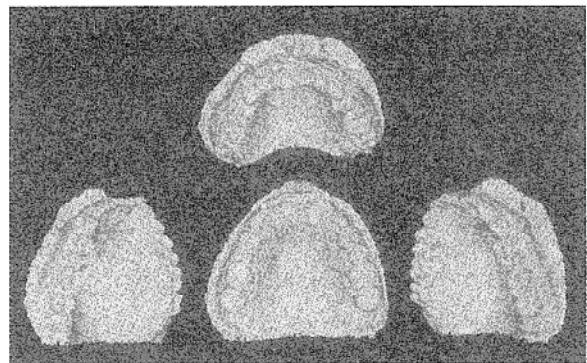


図8 合成した上顎

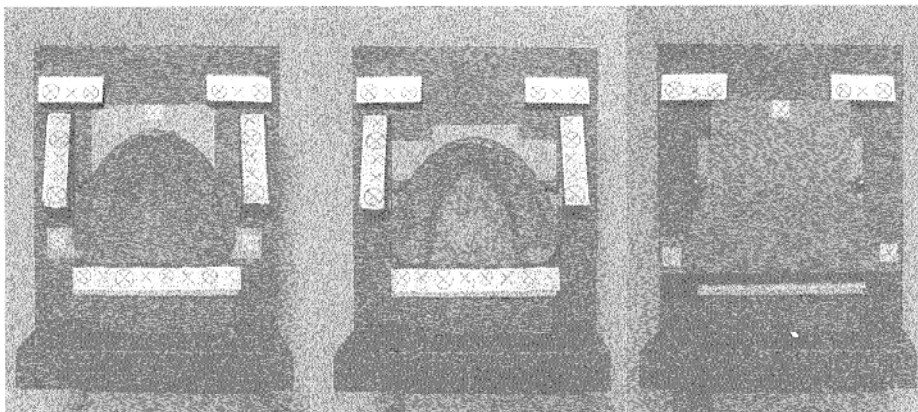


図7 分割計測用ゴニオメータ上に置いた歯列模型

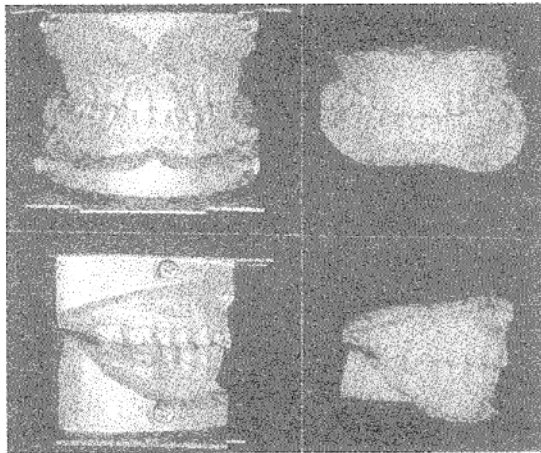


図9 上下顎の咬合状態の再現

次に、上顎模型を反転させ図7の右のように下顎模型に乗せ、咬合状態とし、裏向きになったバックプレートを計測する。バックプレートの裏には表と同じ位置にマーカが取り付けられている。合成ソフトウェアを用いて上顎の表のマーカを、下顎と咬合状態にある上顎の裏のマーカと関連づけることで、上顎のデータが下顎模型のデータ座標上にトランスファーされ、上下顎の咬合状態が再現できる。その結果が図9である。左が模型の咬合状態の正中と右側からの写真であり、右がそれらの咬合状態を再現したCGであるが、両者は良く対応していると考えられる。

3.2 顔面と歯列形状データの統合

次に、このマーカによるデータトランスフェの方法を拡張して、この被験者の、顔面と歯列形状データの統合を試みた。

つまり、予め被験者の顔面を計測し、次に図10の左図のようにパラフィンWAXを用いたバイトの先端を口腔外に延長し、そこに3個のマーカを取り付け計測する。一方、上下歯列模型にこのバイトを装着し、右図のように上顎模型のバックプレートの



図10 顔面と歯列三次元形状データの統合

マーカも含めて計測する。合成ソフトウェアを用いて顔面のマーカを模型上のバイトのマーカにトランスファーすることで顔面データを取り込み、さらにすでに咬合させた上下顎の上顎模型のマーカをこの上顎模型のバックプレートのマーカにトランスファーすることで、上下顎のデータを取り込むことができる。このようにしてバイトのマーカを媒介にして顔面と歯列の三次元形状データの統合が行える。その結果のCGを図11に示した。図11の左は統合した顔面と上顎、下顎の三組のデータの正面観である。顔面データは歯列データが見えるように半透明に描画している。右は側貌観である。統合がどの程度の正確さで行えたかをこの被験者のX線規格写真との比較により検証したところ、誤差は最大でも数mm程度と考えられた。

このように、上下顎およびバイトに取り付けたマーカによってデータ変換することで、歯列の咬合状態の構築と顔面と歯列三次元データの統合が可能となり、術前術後の顔面と歯列の位置関係や咬合状態がCG上で確認および診断できるようになった。



図11 統合された顔面と歯列 a)正面観 b)側面観

4. おわりに

以上のべたように歯科へのCAD/CAM法の応用によって、修復物の製作、診断、治療のあらゆる分野で革新的な手法が開発され、歯科界に新たな可能性を提供している。修復物製作法のCAD/CAMシステムの場合、問題は採算性である。価格が1千万円程度するシステムを用い1個ずつ形が違う修復物をそのたびごとに計測、CAD、CAMしなければならないので、手作業とくらべ効率化がはかれるかは厳しいところである。しかし、手作業に頼っている限り熟練技師の不足は深刻な問題となり、それに対処できるのはコンピュータ化しかないことも論

待たない。いかにシステムおよびランニングコストの低減をはかるかが今後の重要課題である。

参 考 文 献

- 1) Möрман W. H, Brandestini M., Lutz F. and Barbakow F. : "Chairside computer-aided direct ceramic inlays", *Quint. Int.*, 20 (5), 329-339, 1989.
- 2) 内山洋一 : "CAD/CAMによるクラウンの作製について", *Quintessence*, 10(12), 111-117, 1991.
- 3) 堀田康弘, 宮崎 隆ほか : "ここまで到達したCAD/CAMによる修復物製作の現状", *QDT*, 23(3), 17 - 25, 1998.
- 4) 仁科匡生ほか : "歯科技工におけるコンピュータNC機械加工 QDT", 22(10), 22-38, 1997.
- 5) 荘村泰治, 高橋純造 : "歯列模型および顔面の高速計測(第3報)歯列を含む顔面形状データの臨床応用への試み" *歯科材料・器械*, 18 Special Issue33, 89, 1999.

