

QD T Quintessence of Dental Technology

Journal for
Dental Technicians
& Prosthodontists

掲載論文 別刷

補綴臨床家・歯科技工士
のための国際誌

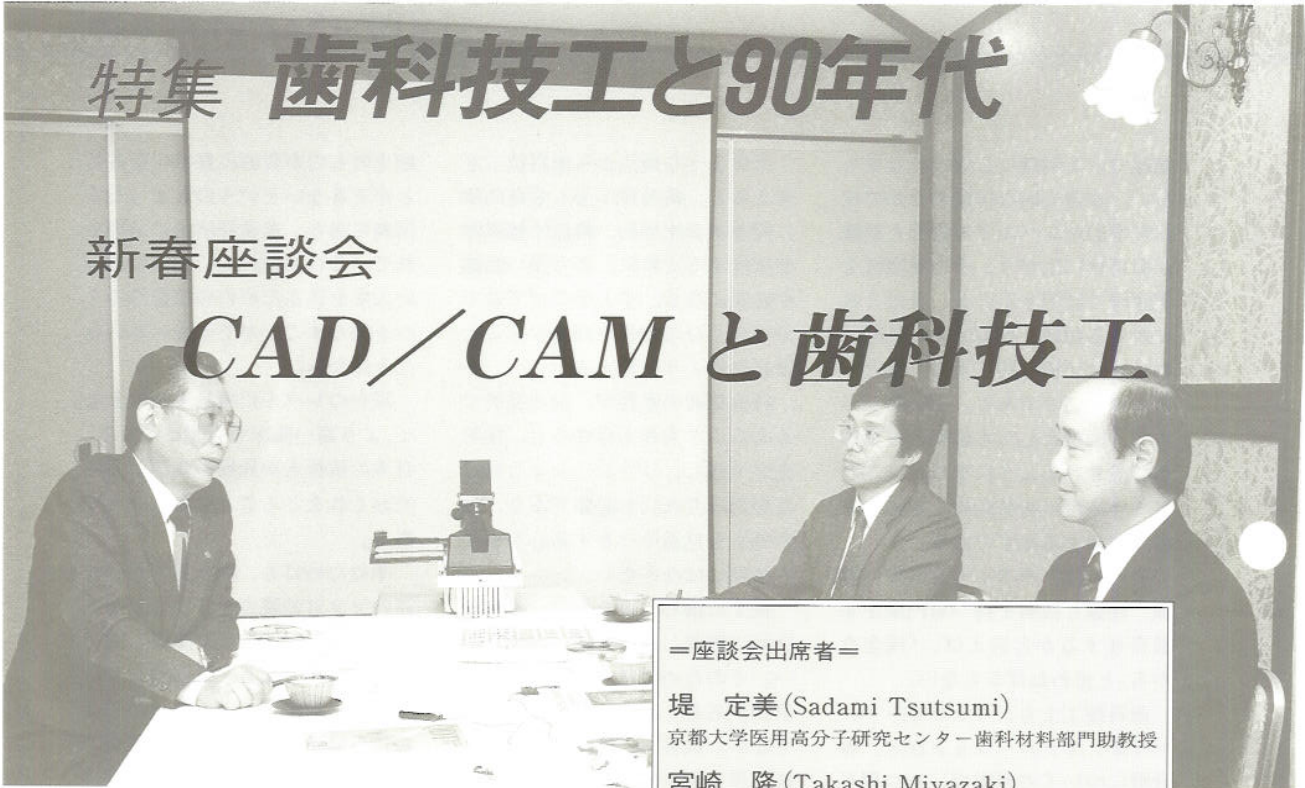
1

January 1990
Volume 15 No. 1

特集 歯科技工と90年代

新春座談会

CAD/CAM と歯科技工



＝座談会出席者＝

堤 定美 (Sadami Tsutsumi)

京都大学医用高分子研究センター歯科材料部門助教授

宮崎 隆 (Takashi Miyazaki)

昭和大学歯学部歯科理工学教室助教授

佐藤 敏明 (Toshiharu Sato)

日本歯科技工士会学術担当常務理事

1. CAD/CAM をどう捉えるか

編集部：近年コンピュータが補綴物をつくるという意味合いで、CAD/CAM という言葉がよく使われるようになってきました。そこで、まず、このCAD/CAM という言葉の意味からお聞きしたいと思います。



宮崎：CAD/CAM の概念には、いろいろな考え方がありますが、基本的には産業界のニーズから生まれたものだと思います。ひとつは従来は少品種、大量生産で十分であったのに、消費者から

種々のニーズが出てきて多品種、少量生産に移行せざるを得なくなった。それに対応するのに、いかに納期とコストを下げるかという動きから生まれたものです。これは部品を生産するための金型の加工に見られます。

もう1つは、非常に高価なものを開発するの

に、いちいち最終の製品と同じ材料で何種類もの試作品をつくってはい時間もコストもかかるので、コンピュータを使ってデザインし、簡単に成形できる材料で試作品をつくってみようという動きから生まれたものです。

ただ歯科の場合で考えると、今までほとんどオーダーメイド、ハンドメイドに近いものでやっていたのが、もう少しハンドメイドではないような方向はできないかということで、このCAD/CAM が検討されています。これはある意味では大量生産からオーダーメイドに近い少量生産を志向しつつある産業界とは逆行するような形になっているのではないかと思います。

ですから最近、情報化社会や新素材の開発ということで、CAD/CAM が一種の流行のような形で歯科の概念のなかに入ってきていますが、歯科でのCAD/CAM の位置づけをよく考

えていかないと、現状の技工システムのなかには、うまく入り込めないのではないかという気がしています。

ここで重要なのは、最終的な目標をどこに置くかということです。今やっている、たとえば手づくりの技工を単にCAD/CAMで置きかえてすべての補綴物をCAD/CAMでつくろうとするのか、あるいは従来の技工物のつくり方に問題があるので、それを解決するためにCAD/CAMシステムを導入していくのか、それはつくるべき補綴物の目標をどこにおくかだと思うのです。

私は、今まで手づくりでやってきましたし、これからも生体に使うものは患者ごとにかなり高度なものをつくっていかないといけないと思います。

つまり、限りなくオーダーメイドに近いような感覚のものをつくりたいのですけれども、今後の高齢化社会を考えると、今ある補綴物よりももっと患者によく、快適にものを食べて、社会生活をするのにいいような補綴物をつくっていかねばいけない。そのためには、現在の製作システムでは限界があるので、やはりコンピュータの力を借りた新しいシステムというのは必要ではないかと思っています。

今までの製作システムでも、名人の先生がみて、名人の先生が削ったり型をとったり、そして名人の歯科技工士がつくった場合にはいい補綴物ができます。ただ医療として考えた場合には、これをすべからくみんなに供給しなくてはいけないと思います。医療費の問題もあるが、経済的なことは別にしても、医療の信頼性を考えてくると、やはりバラツキをなくして、だれがやっても最高の診断ができて、そして製作も最高の方法でできることが望ましいわけです。そういうところに、歯科のCAD/CAMがあっほしいと思います。今までの歯科界の英知が集約されたCAD/CAMで、なおかつもう一歩いい補綴物をつくるためのCAD/CAMを、と思うのです。

編集部：歯科的な特殊性のなかでのCAD/CAMの生かし方という問題になりますと、具体的にはどういうことを考えられていますか。

宮崎：産業界では、寸法を規定してやって、そのとおりに製品を加工することが多いので、もちろん形状の複雑さや素材の多様性があるってそれなりに加工するのは難しいわけですが、数値で指示してやることは容易です。

しかし、歯科では、たとえばクラウンをとってみても、内面はプレパレーションされた支台歯に適合しなくてはならない。そして外面は、対合歯、隣在歯、粘膜に調和し、咬合時には機能するような形態になっていなくてはならない。内面のプレパレーションされた面は術者により千差万別ですし、外面の形状は天然歯をみてわかるように複雑な三次元的曲面を呈しています。したがって、これを数値で表現することが非常に難しいわけです。

このような状況下で、現在のワックスで原型を作製する方法は簡便でいろいろな利点もっています。内面への適合はワックスで簡単に転写できます。現在は模型へのコーティングでセメント層の確保を行なっていることが多いですが、将来はセメントの被膜厚さや流動性を計算して、最適のセメント分のスペースを考慮した内面の加工がCAD/CAMで可能になれば、適合性はさらに向上すると考えられます。

一方、現在クラウンの外面形状は、歯科技工士が経験的に、視覚的にワックスでつくりあげています。これがワックス・アップと呼ばれている作業ですが、ワックス・アップの操作にはいろいろと情報が入っています。おそらく歯科技工士のキャリアの長い人は、教科書に書いてある以上のいろいろなテクニックを無意識のうちに駆使してすばらしい形状を構築しているわけです。したがって表現法や形態、それをうまく分類して、本当に必要なカントゥアや咬合面形態がコンピュータで設定できれば、CAD/CAMを用いて、だれでもキャリアの長い名人がワックス・アップしたクラウンと同等のクラ

ウンを製作できます。

また、現在のロストワックス法による製作では、咬合面が高くなるので、装着時に調整が必要です。これは、患者の感覚にも頼るので不十分になることが多く、二次的に顎関節症を引き起こすことがあります。したがって、対合歯とのスペースを精度よく測定できれば、CAD/CAMで現在よりもっと咬合面の浮き上がりの小さい、クラウンの製作が可能になると期待されます。また、顎関節の機能などを入れたCADをつくろうと思うと、本当に難しいと思いますが、これが達成されれば、口腔内で装着後すぐ調整なしに機能できるクラウンができるかもしれません。

いずれにしても、生体に使用できる材料というのは限られていますから、口腔内に調和した補綴物を製作するためには、CADはもちろんのこと、どの材料を選択するかと、いかに精度の高い加工ができるかということが重要であると思います。

2. CADのCAMへの優位性



堤：私は力学屋として、設計の方面から入ってきたものですから、形態と機能とのあり方というようなことを中心に研究してきました。したがって、CAD/CAMとのかかわり方もどうしてもその領域

ということになりがちです。

また、そのかかわり方のなかでここ数年前からは人工知能(AI: Artificial Intelligence)にも関心をもってきました。この人工知能を実際に診断の領域に応用し、CAMと合わせて診断と設計・治療というところを考えています。結局そういうところに歯科でのコンピュータの使い道に重みがあるのではないかと考えています。

今のCAD/CAMは、ものをつくるということに焦点があって、人手を省いてなるべくい

Dental CAD/CAM システムとは

宮崎記

複雑な補綴物製作システムのなかにコンピュータを取り入れる試みが注目されている。これは将来は広範な領域に応用されると思われるが、現在は主としてインレーやクラウンなどの補綴物の製作を目標に研究開発が進められている。

このシステムは簡単に言うと、① 支台形成歯の三次元表面情報の収集、② 補綴物の設計(CAD)、③ 補綴物の製作(CAM)の3つのステップからなっている。

表面情報の収集には種々の計測法が考えられる。これについ

ては、堤先生が本誌で紹介しているので参照されたい*1。

表面情報の収集は、引き続きコンピュータで設計したり、加工のための指令を出すために、三次元の形状を数値で再現するために行なう。

欧米のシステムでは、光学的な計測法を用いて、直接口腔内を非接触に計測して表面情報を収集する方法が検討されている。彼らは従来の補綴物製作システムのなかで、印象採得-模型作製という間接法のステップを省略することに意義を認めており、口腔内の情報収集を光学

印象と呼んでいる。

また、一度通法に従って印象採得して模型に口腔内の情報を転写してから、模型の表面を新たに種々の計測法を用いて計測してコンピュータのための情報を収集することも可能である。わが国の研究者の多くは、質の高い情報を収集するためには、直接口腔内で計測するよりも模型を計測したほうが有効だと考えている。

収集された表面情報は数値化され、コンピュータで三次元形状がディスプレイ上に再構築される。いわば、画面上で口腔内

いものを早くつくろうという方向にばかり目が向けられているように思います。しかし、コンピュータを武器として、あるいは道具としてもっと基礎的に歯科医療の診断を的確にして、そして治療方針を決めていくという、そのための便利な道具として CAD/CAM に取り組むべきであるし、そうなるであろうと思っています。

宮崎先生が、信頼性のある治療が、歯科医療の患者に対する責務であると言われましたが、CAD/CAM システムで最高のものをという理想までは、なかなか難しいと思います。最低必要なものをなるべく機械化して、だれでもがある水準まではいけるというのが当面の目標だと思います。そして、やはり最高のものは人間がつくる、しかし最低のレベルを、今バラツキがあるのを、ある水準にまで、押し上げてやるところに意義があるのではないかと、思います。

編集部：CAD/CAM の歯科への応用のなかで CAD のほうが CAM をかなり左右する立場にある、ということでしょうか。



堤：そのとおりだと思います。たとえば今までには、 casting でとしか方法がなかったということです。となると、患者さんにとってもっとよい材料がほかにあるのに、それは casting ではでき

ないということから、あきらめざるを得なかった場合もあるわけです。そのようなことから CAD/CAM の場合も、CAM にうまくのらないからこういう設計 (CAD) はやめようというのは、おかしいのではないかなと思います。

編集部：そのように優位に立つ CAD の現状といますか、診査・診断の部分ではどの程度研究が進んでいるのかを、おうかがいしたいのですが。

堤：このような意味での CAD による診断と設計をできるかぎり自動化できるようにと徹底して研究しているのが、欧米の方々です。私ども

の状況 (窩洞、支台歯、隣在歯 etc.) を模型を見る感覚で観察することができる。

従来の方法では、模型の上でワックスを用いて将来作製する補綴物と同じ寸法、形状の原形を作製する。この作業は歯科技工士が、模型の情報を読み取り、自らの経験を付与して補綴物の設計をする作業であるといえる。このワックス・アップに相当する作業を、新しいシステムではディスプレイ上で行なう。これがコンピュータ支援設計 (CAD) である。CAD で補綴物の設計をするためには、支台歯、対合歯、隣在歯などの情報のほかに歯冠形状のデータベース、そして、これらの情報を処理す

るためのソフトウェアが必要となる。

要するに質の高い設計をするためには、膨大な情報と、高度のソフトウェア、そして高能力のコンピュータが必要になる。

CAD が終わると、設計された補綴物の形状を数値化し、加工機に指令を出すための NC (数値制御) プログラムが作製され、このプログラムの指令により NC 加工機を用いて、コンピュータで制御された補綴物の製作 (CAM) が行なわれる。製作法 (加工法) としては、通常ミリングマシンの用いた切削法が検討されている。切削法で補綴物に要求される高い精度を出すためには、工具がぶれないよう

に剛性の高い加工機、そして、工具の消耗に対する補正が必要である。また機械加工性 (マシナビリティ) の良好な材料を用いることが望ましいが、このような材料は強度に劣ることが欠点である。

現在の欧米のシステムでは、機械加工性がよく、しかも色調が優れているという点で、結晶化ガラス・セラミックスが用いられている。加工法とともに材料も今後の検討課題である。

*1 堤定美：立体計測視覚システムの開発——補綴物製作用 CAD/CAM システムを目指して——, QDT, 13(6), 3-8, 1988.



図1 1989年2月に米国シカゴで行なわれたCAD/CAM シンポジウムで、パネルディスカッションに出席したDr. リコー(右から2人目)。



図2 1989年夏にフランスから米国南カリフォルニア大学歯学部歯科イメージ学講座教授として赴任したDr. デュレー(中央)と同教授のDr. プレストン(左)、および堤先生(右)。

は、どちらかという、もう少し人間が干渉できるように、人間の頭を入れたほうが良いと考えているのです。これに対し、米国のDr. リコーやフランスのDr. デュレーなどは、完全自動化をしないと意味がないということを強調しています(図1、2)。

しかしそうなると、実際使っているほうとしては使われているだけ、ボタンを押しているだけということ、おもしろくないでしょうし、仕事上での満足感がなくなるということは当然考えられますし、また、現実にはそういうシステムをつくり上げるのは難しいことだと思います。たとえば、数年前に日本でも補綴物製作のCAD/CAMの研究発表をしたDr. リコーのシステム完成は、ずいぶん日程が遅れているのではないかと考えています。

そういう意味で、とにかく商品化を早くした、実際にも現場で使われだしたスイスのセレック・システムの成果は非常に偉大だと思います。あれが成功した大きな原因は、最終的に扱う人の、術者の腕前によって決まる、人間が最後の咬合面の作製などを自分の判断でする、というようにかなり人間に任せるところだと思います。

編集部：現実的にはまだCADの部分が非常に弱いということですね。

堤：コンピュータが判断するには、まだ複雑すぎると思います。

私どもも、AIの応用であるエキスパート・システムというもので専門家の意見などを入れたプログラムをつかって、それで判断させようとするのですが、やはり入れるべき情報の自動化がなかなかできません。ですから、人間がある程度データ入力のためにキーボードのボタンを打たなければならないというのが大きなネックですね。

このスイスのシステムでは、どこが辺縁か、基底面かを、人間が指示するわけです。本来なら、コンピュータで、どこが辺縁で、どこが基底面ですよということを自動化したいのです。ある程度の計算のアルゴリズムはできますが、現実にはそれをコンピュータに任せようとすると、なかなかやっかいで、いろいろ誤差の要因が入ってくるわけです。

一方、もうひとつ、システム化されたものにDr. デュレーの研究があります。こちらは、ある程度辺縁や基底面の情報をコンピュータで指示できるのですが、その前にデータをたくさん手入力でプロットしないと行けないのです。

宮崎：修復物では、歯を削って支台歯形態をつくるわけです。その削った面は、術者の力量にもよりますが、本当に粗い面ですし、クラウン

などはマージンのラインが実際は波うったものになっているわけです。これを再現しようと思うと膨大なデータをとらなければなりません。したがって現在と同じシステムのものをCAD/CAMに置きかえようとするといろいろ無理があります。たとえば完全に自動化しようと思うのなら、オペレーションというか、今度は削るところから考えてこないとだめだと思います。ただそこまでやっても、やはり最終的には人間がどこかで関与して製作したほうが、使いやすいということになりますね。



佐藤：歯科技工士の立場から申し上げますと、われわれの作業のなかにもどのような形にせよ、コンピュータがいずれ入ってくるだろうということは、みなわかっていると思います。

そういうときに、数年前にDr. リコーが来日され、発表されたのですが、この発表を聞いて、クラウンを切削する精度が400 μ mということコンピュータによる作業は、まだ何とも情けない状態だという感じを受けたわけです。

とはいえ、いまお聞きしますと、すでに製品となっているものが1社あるということですから、たいへん興味がありますね。しかし、CAD/CAMに関して、2つの大きな疑問を抱いています。

第1点は、これまでの歯科技工の技術で培ってきた、またそうでなければならぬ精密度という点です。われわれは10~50 μ mの世界をつくっているわけです。一般的には、コンピュータは、データ入力さえ間違わなければこれくらいの精密加工は可能なはずですが。しかし、歯科の世界が要求するものは、舌触り、あるいはコンタクトエリアの再現など、単なる三次元加工では追求できない部分があって、「機械がはたして」という考えがどうも拭い去れません。

第2点目は、経済的な点です。歯科医療費お

よそ2兆円のなかで、80%が保険診療だということ。これにどう対応していくかという疑問もあります。

3. 技工の現状への応用は……

佐藤：われわれがCAD/CAMを使おうとするとき、たとえば今の歯科技工の作業として長年やってきたロスト・ワックス法に代わり、よりよい素材を生かすという目的で切削法が開発されるというのならわかります。しかしコンピュータを使うから、切削法でないと、ということはいく理解できません。新しいシステムにとって、なぜロスト・ワックス法ではいけないのか、それも現在の作業に代わってなぜ切削法なのか、そのへんがわからない。ですから、CAD/CAMの現状にはまだ何となくなじんでいけないというところです。

しかし、まだはじまったばかりで、製品化したことに意義があると思います。レベルが向上ということをうかがうと、むしろ、これらの研究が現実の技工にとってすぐ役立つCAD/CAMの応用はないのかな、と思う次第です。

このようなことから、コンピュータを技工作業のなかへどう取り入れるかを考えるならば、たとえば、模型には現れない口腔内情報を指示、伝達できないか、という素朴な疑問がまず生まれます。

補綴物の製作過程では、口腔内情報、たとえば顎堤の状態とか、デンチャーの場合に軟組織残存歯の情報を裏打ちのうえ、模型を技工室にお送りいただきたいわけです。また、それらを解析する装置も開発していただいて、それを技法に生かしていく——このようなことも、また技工に生かしていくということになると、今までの指示書よりもずっとすばらしい、われわれの情報伝達の手段として使えるのではないかというような気もするのです。

私はある先生にビデオカメラで患者さんの口のなかを、角度を変えて撮っていただいています。製作担当者は、それを見るだけで、顔の容

佐藤：それから、現状の歯科医療では補綴物の25%ぐらいは、十分な咀嚼機能回復どころか口元の容貌も回復できていない状況だといわれています。そういうものをなくすためにも、コンピュータの利用によって何かそういうものに生かす方法があるのではないかという気がするわけです。

何かロボットのなものとかが……、読み取り装置も、コンピュータ・グラフィックもたいへん高度になり、シミュレーションも豊富になりました。そうなると、人工歯排列をやらせるとか、何かできると思うのです。そうすると、患者の直接の口腔内の情報ももっていますから、石膏模型の上でロボットにさせる、ということになるでしょう。それにはたいへん難しいデータのインプットが必要になると思いますが、そういう形で研究開発をやっていただいたほうが有益だと思います。



宮崎：たしかに今の現状の技工の操作のなかには、歯科技工士がやらなくてもいい作業がいっぱいあるわけですが、かえってそういうのに時間をとられている実情がありますね。研磨もその1

つですし、掘り出しなどもそうです。だから、そういうところを機械なりロボットにやらせて、できるだけ自動化していくということですね。これは技工の省力化の1つで大事だと思うのですが、わりと簡単にできると思います。

ただ、それだけではなくて、鋳造クラウンでも義歯でもそうですが、いま、たとえば合金が使われているからブリッジはこういう設計だとか、金属床の厚みはこうだとか、クラスプはこういう形にしなければならないというような話になるのです。そして、そういう設計にあわせて口のなかでプレパレーションをしなければいけないわけです。本当はもっと歯は削らないほうがいいのかもしれないし、だれにも見えない

ところにクラスプをかけるべきかもしれない。しかし現在の材料を使って、現在のロスト・ワックスの加工システムではどうしても補綴物の設計にも限界があって発展が望めない。

ところが、いい材料があって、いい加工法があれば、その設計も変わってくるわけです。いずれにしても私は、CADとCAMはあくまでも一緒のものであると考えています。

佐藤：いわれるように、本当に設計が変わって、新材料と新加工法の研究が進んでいるのでしょうか。

宮崎：理工学では「精密鋳造法」ということで、できたものは(±)0などということをやまだに言っている人もいますが、実際にはセメントのスペースが必要ですし、適合精度自体の限界もあるのでノーマルな方法でつくると、口腔内に入れたときに150 μ mぐらい浮くと言われていいます。このように現実には理工学と臨床にはギャップがあるわけですが、どういうものが実際の臨床の現場で必要かをいろいろアイデアとして出していただければ、それにふさわしいような材料とか加工方法、あるいは設計などが出てくると思うのです。

佐藤：それらの開発も含めてCAD/CAMということですね。

宮崎：そうです。CAD/CAMというのは、ただ現在ある製作システムと同じものをコンピュータを使ってやるというだけではあまりにももったいなくて、私はもうちょっと工夫して使いたいと考えています。私は技工というのは、歯科技工士がもっと自分の能力を発揮できる場所に時間をさくべきだと思うのです。仮に設計のほうでも歯科技工士が必要であれば、設計のほうでどんどん活躍していただきたいし、形態や色調で審美的なものを追求し、スペシャリストとしての歯科技工士であってほしいと思いますね。

たとえば、金属焼付ポーセレンなどの場合、将来はフレームになるものだけをCAD/CAMでサッとつくり、あとの本当の審美のところは



図7 セレック・システムのユニット。

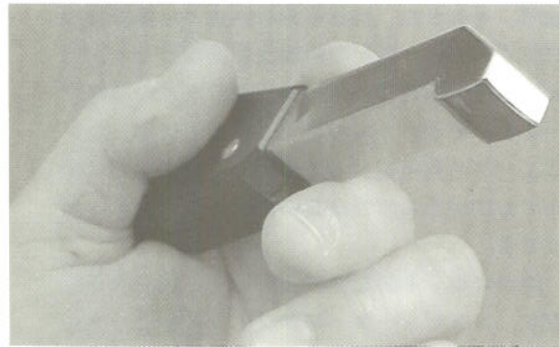


図8 セレック・システムのカメラ(スキャン・ヘッド)。

技工士が一生懸命やるとか、そういうスペシャリストが入るような道が残りますと思います。堤：私も CAD/CAM は、技工の省力化を助けるものだと思います。もちろんコンピュータの機能を生かす、コンピュータに考えさせるものをわれわれは目指していますが、まずはそういう省力化のための便利なものに仕上げていかないといけないと思うのです。そしてその到来は早いのではないかと考えています。

佐藤：いま先生のお話を聞いて、これも私の安易な発想かもしれませんが、たとえばコーヌスの内冠などの製作では、製作途中でトランスファーを何回も行ないますが、多数歯の場合にはよく誤差が出ます。そこで、それを CAD/CAM で管理してもらえないかと思えます。たとえばプレパレーションされた歯牙があってそれに内冠をつくるわけですが、歯冠長やクリアランスの状態などを全部コンピュータに読み取らせて、切削することはできないか、と考えるわけですが……。

宮崎：なかなか難しい注文ですね(笑)。ただテレスコープ義歯のように高度の適合性が要求されるものは、意外に CAD/CAM を応用しやすい分野だと思います。

堤：現実には、まだ難しいことですが、しかし、近い将来必ずそういったことができる時代にな

ると考えています。

4. セレック・システム

編集部：そこで、現在開発されている各国のシステムとはどんなものか、少しご紹介いただけますか。



堤：まず、私が実際に試用してきたスイスのチューリッヒ大学で開発された CAD/CAM による修復物製作システム、“セレック・システム”を紹介しましょう。

このシステムは、三次元ビデオカメラと画像処理装置、画像記憶装置、コンピュータ、小型三次元切削機で成り立ち、従来の印象から加工までの一連の工程を、すべて1つのシステムでやってしまうというものです。

これらのシステムは、図7のような箱型のユニットに組み込まれています。

このユニットにあるスキャン・ヘッド(図8)を用い、インレー用にプレパレーションされた支台歯を口腔内で撮影します。撮影の前に、支台歯には、酸化チタンと思われる白粉をふりかけます(図9)。そうしないと天然歯のエナメル



図9 支台歯にスプレーで白粉をコーティングしたところ。



図10 モニターに写し出されたインレー窩洞。

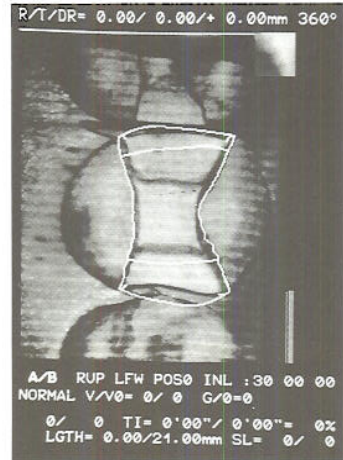


図11 画面上で設計されたインレーの外形線。

質などの半透明のところうまく反射してきません。十分反射しないと画像処理ができるほどの画面が得られないのです。

こうして、インレーの窩洞をモニターが写し出すこととなります(図10)。ここでピントを合わせ、撮影を行ないます。このときのシャッター・スピードは1/4秒くらいです。1回の撮影ですが、実は4カットの像が連続して撮られています。この4カットの画像をもとに窩洞の立体像が構築され、インレーの設計を行ないます。この設計は、われわれがパソコンなどでよく用いるマウスに似たトラックボールで行なうこととなります。

ここでの設計は窩洞輪郭と窩洞底の深さを決定することです。豊隆や隣接面形態なども術者が考えて入力しますが、歯頸部辺縁は自動的に決定されます(図11)。ただし、ベベルのついた辺縁や窩洞底へ向って曲面のついた窩壁は自動計算できないようです。

佐藤：スキャン・ヘッドというカメラレンズでの撮影は、支台歯とどのくらい離して行なうのですか。

堤：5mmくらいです。解像度のいいカメラを使っていますね。

それから、スイッチはフット・スイッチです。つまり手でスキャン・ヘッドを持ち、足でスイッチを作動し、目でモニターを見ながら操作をすることになります。

佐藤：窩洞だけを見るわけですか。

堤：いえ、断面形態も見るができます。ここがポイントなのです。

宮崎：測定法はパターン投影法ですね。

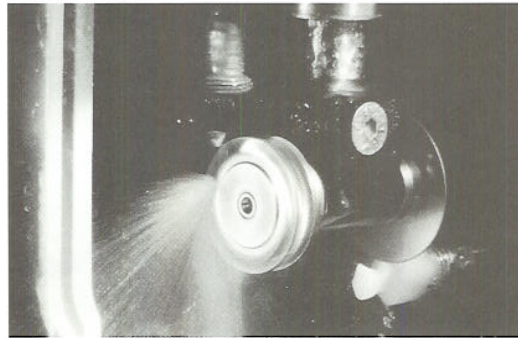
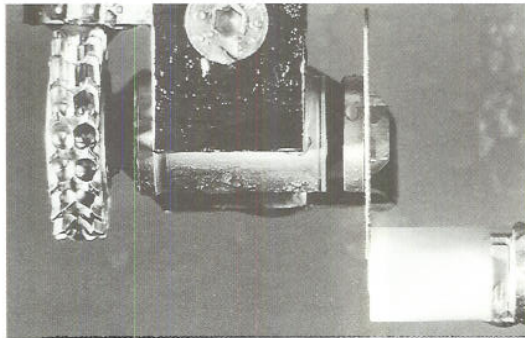
堤：画像に示された縞模様で精度が決まってくるわけです。簡単でいてなかなか凝ったシステムで、見かけ上はそこに粗い縞模様が見えていますが、それよりも実は4倍精度が上がっています。

佐藤：切削していくのはミリング・システムですね。

堤：そうです。材料ブロックがホルダーに固定され(図12)、これをダイヤモンド・ディスクが削っていくわけです。このとき、図13のようにブロックの回転軸が修復物の近心軸となってミリングされていきます。

佐藤：材料ブロックの素材は何ですか。

堤：当初はコンポジット・レジンだったようですが、システム化されてからはVITA社のセラミックス・ブロックと聞いています(図14)。



12|13
14|

図12 ホルダーに固定された材料ブロックと、切削工具のダイヤモンド・ディスク。

図13 注水下で加工を行なっているところ。

図14 セレック・システム用のセラミックス材料ブロック。

セレック・システム

宮崎記

セレック・システムの“Cerec”は“Ceramic reconstruction”の略称であり、従来の臼歯部の審美修復のためのポーセレン・インレー（アンレー）の製作を、CAD/CAM を用いて1回の来院でチェアサイドで製作するシステムである*2。スイスのチューリッヒ大学のDr. モーマンらにより開発され、ドイツのシーメンスが商品化している。いわば世界で唯一の商品化されたCAD/CAM システムで歯科界に大きなインパクトを与えている。

形成された窩洞を小型のカメラを用いて光学印象し、ディス

プレー上に窩洞を再現する。このディスプレイ上で、術者が窩洞の外形線等をマークすることにより、インレー（アンレー）の形状を決定する（CAD）。この形状がNC化され、この指令に従って加工装置が自動的に切削を行ない修復物を製作する（CAM）。工具は直径30mm、厚さ0.5mmのダイヤモンド・ディスクであり、装置全体は小型であるが試料のつかみもしっかりしており、剛性も十分である。素材は当初はポーセレンと言われていたが、現在ではマシンابل・セラミックスであり、通常インレーをわずか4～5分で

削り出すことができる。

しかし、このシステムは、咬合面の形状はCAD/CAMで形成されず、口腔内で歯科医師が手仕上げで形成しなくてはならない。また、修復物の精度も十分とは言えないが、歯質とセラミックス修復物の間隙を接着性コンポジット・レジンで充填する方式を行なっている。

* 2 Mörmann, W.H., Brandestini, M. and Lutz, F.: 1回の来院で修復が完了する Cerec システム——コンピュータ制御によるポーセレンの自動制作, The Quintessence, 6 (9), 1347～1360, 1987.

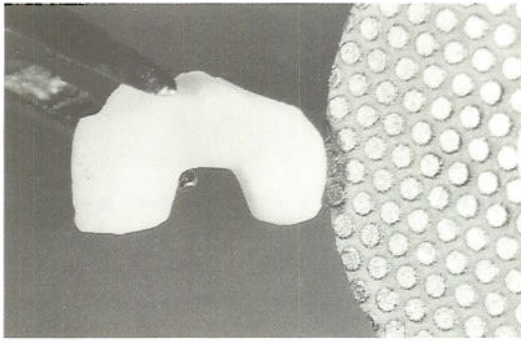


図15 完成したセラミックス・インレー。

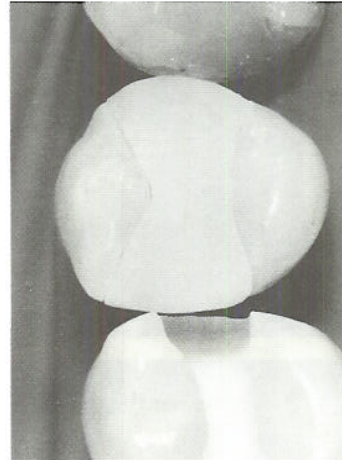


図16 インレーを窩洞に試適したところ。

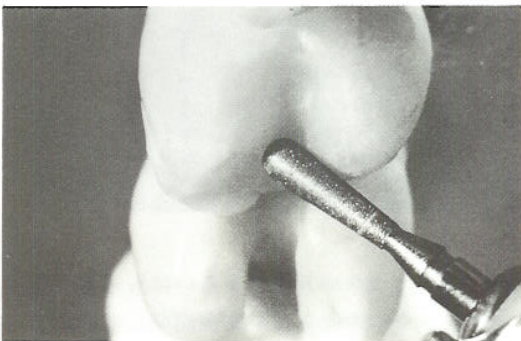


図17 セラミックス・インレーは、接着性レジン材料で着着され、咬合面形態は口腔内で術者により形成される。

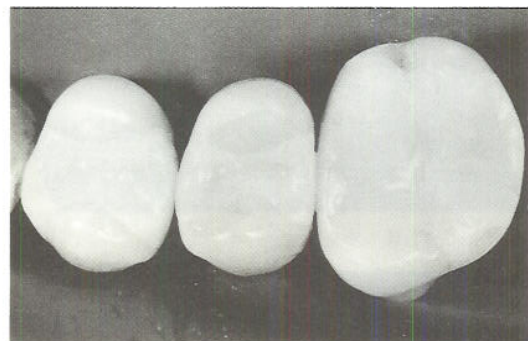


図18 口腔内で研磨され完成したセラミックス・インレー。

このブロックは四角柱で、その下に金属体がついていて、これを固定します。このブロックに切削水を打ちかけながら、削るわけです。

形態が決まると切削に要する時間の推定値が出て、切削中はいま何パーセント削れたというデータが表示されます。かなり隣接部までまたがったMODのインレーのようなものでも4分以内で完了します。

佐藤：MODのような難しい形態のものでも4分で製作できるというのには、驚きますね。微妙な形状もきちんと再現して切削加工するのですか。

堤：そうはいきません。先ほど画像処理の段階で形態に制約があるといっていたのは、実はこ

の切削時に大きな限界があるからなのです。切削工程の限界から、結局、窩洞の形態が限られてしまうわけです。たとえば、シャープにエッジが立たないベベルのついたもの、また窩洞形成を90度にできないものは削れないわけです。それからクラウンのような内側を削る修復物はできないという限界もあります(図15~18)。

宮崎：そしてなおかつ適合がもう一つ甘いということが最大のネックですね。

堤：ただそれは、歯科技工士が現在の材料、道具をどう使いこなすかと同じで、機械になれてどこまでそのマージンをきちんと選んで、きちんとコンピュータに指示してやれるかだという気もします。

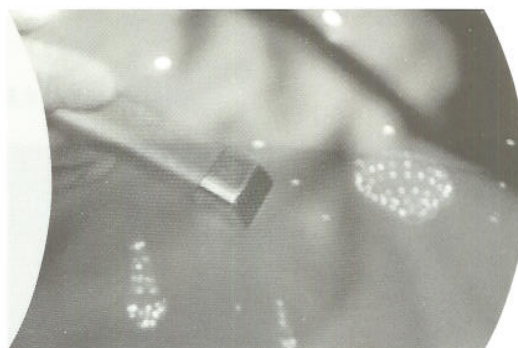


19|
20|21

図19 1989年のシカゴ・ミッドウィンター・ミーティングでTV デモンストレーションを行なっている Dr. デュレー。奥に見えるのがミリングマシン。

図20 Dr. デュレーの計測カメラの本体。

図21 カメラの先端部。



宮崎：私もセレック・システムのデモンストレーションを見学し、また開発者の Dr. モーマンともお話ししたのですが、このシステムは要するにコンポジット・インレーなどの発想の延長で、技工

物を歯科技工士のほうへ出さないで、院内でなるべく製作しよう、という発想から出てきたものです。そういう意味では精度が甘くても接着性レジンでくっつけてしまえば、という落とし穴もあるように思えますが。

堤：まだ CAD/CAM の第一段階ということでしょうね。

5. Dr. デュレーと Dr. リコーのシステム

宮崎：このシステムは、とにかくそういう形で1つの商品としての形を見たわけですが、もう2つ、ほぼ同時に Dr. リコーと Dr. デュレーが

同じようなシステムを、あるいはもっと発展させたシステムをねらって研究開発しています。



堤：Dr. リコーの研究は、やはり写真を用いたステレオ写真法だったのですが、どうも最近入力方法をかえ、レーザービーム法を採用したようです。オランダと共同研究しているようです。

Dr. デュレーの研究のほうは、図19～21のようなセレック・システムより少し大きいカメラを用いたパターン投影法のように見えます。Dr. デュレー自身は自分の画像処理法をモアレ法と言っていますが……。

宮崎：Dr. デュレーのは、セレック・システムと比べ何ヵ所も撮ります。

堤：おそらく11画面撮っています(図22)。絵の解像度そのものを見た感じでは、Dr. デュレーのものはきれいでした。しっかりと撮れている

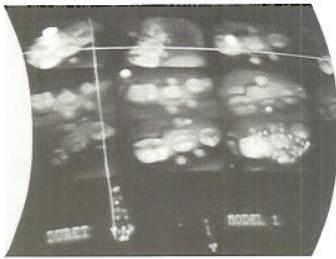


図22 支台歯の写真は、11枚撮影する。

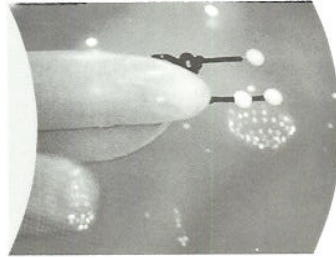


図23 基準点となる3つの球をつけたクランプ。



図24 基準点となる3つの球をつけたクランプを隣接歯に装着したところ。

ように思いました。

Dr. デュレーの方法はクランプに3つの球をつけて、これを基準点としていろんな方向から撮った写真を合わせるのです(図23,24)。

佐藤：対合歯との関係はどうなりますか？

堤：これはシリコンラバーでチェック・バイトを採り、それを撮影するわけです(図25)。もっとも嵌合位は読み取れないのではないかと思います。Dr. デュレーのシステムではコンピュータは3台あって、1台はデータ入力専用で、2



図25 対合歯の情報をとるために採られたシリコンラバーのチェックバイト。

ミネソタ・システム

ミネソタ大学のDr. リコーが開発しているシステムである。Dr. リコーは精力的にCAD/CAMの講演を行っており、1987年来日して、わが国にも話題を提供している*3。

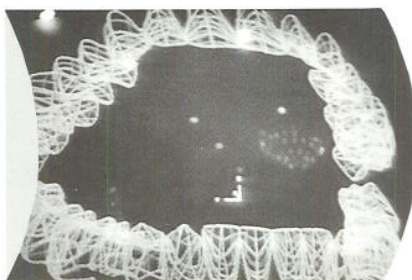
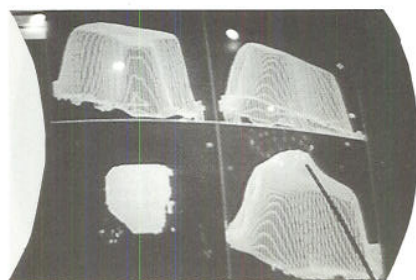
Dr. リコーはクラウンを目標にしているが、光学印象から補綴物完成まで完全な自動化を目指している。ミネソタ・システムでは、まずステレオ写真法という方法で口腔内の情報を収集する(これについては座談会中に堤先生より最近別の方法に変えたとの話があった)。この際、形成

歯のみならず隣在歯、対合歯、それも顎運動を行ない中心位、中心咬合位、作業側、平衡側、前方滑走時の位置などすべてを記録する。そしてこれらの情報をもとにCADのソフトウェアで、理想的な咬合面形態を有するクラウンの設計を行なう。

CAMは他のシステム同様にマシナブル・セラミックスを用いた切削を検討している。昨年2月に、米国で行なわれたAcademy of Dental MaterialsのCAD/CAMシンポジウム*5では、CAMの実態については明

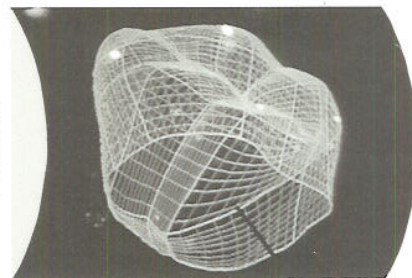
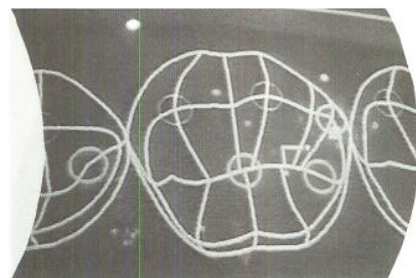
らかにされなかった。しかし、高度のCADを目標にしているのと同様、高精度のCAMを目指していることは間違いない。Dr. リコーは今年2月のシカゴ・ミッドウィンター・ミーティングで、ミネソタ・システムの講演とテーブル・クリニックをすることになっているので、どの程度まで開発が進んでいるのか興味深いものがある。

*3 Rekow, E.D., 堤定美：補綴物製作の自動化はどこまで進むか、歯科技工, 16(1), 78-84, 1988.



26|27

図26 グラフィック化された支台歯。
図27 データベースから引き出した歯冠形態。



28|29

図28 CADで咬合面形状を修正しているところ。
図29 CADで設計されたクラウン。

台目がCAD専用、3台目はCAM専用です。補綴物製作の流れでは、まず支台歯を11枚撮ります。

ついで、クラウンの形態をどうつくるかの標準の歯冠形態のサイズのデータを与えます。その後画面上で修正を行ないます(図26~29)。

佐藤：その修正操作はどのくらいの誤差というか、どのくらいの範囲でできるわけですか。

堤：いったん取り込んでしまった絵を修正するのはかなりの精度でできると思いますが、それはあくまで画像という、虚構のなかでのことです。したがって、最初のデータ取り込み時に、もし仮に100 μ mの誤差を含んでいたら……。

佐藤：このシステムのCAM、つまり加工のほうの流れはどうなっているのですか。やはり切削ですか。

Dr. デュレーのシステム

宮崎記

フランスのDr. デュレーは、世界で最も早くから Dental CAD/CAM システムの研究に着手してきた。これまでも世界中のマスコミに登場し、歯科以外の分野でも非常に注目を浴びてきた。日本においても数年前に、某商社が市場への参画を目指して、ビデオや資料の紹介を行なった。

しかし、実体についてはなか

なか明らかにされず、概念だけが先走りしていた観があった*4。やっと実用化の目途がついたのか、Dr. デュレーは ADA (米国歯科医師会) 雑誌に投稿し*5、さらに昨年のシカゴ・ミッドウィンター・ミーティングの目玉としてTV デモンストレーションを行ない、システムの概要を紹介した*6。

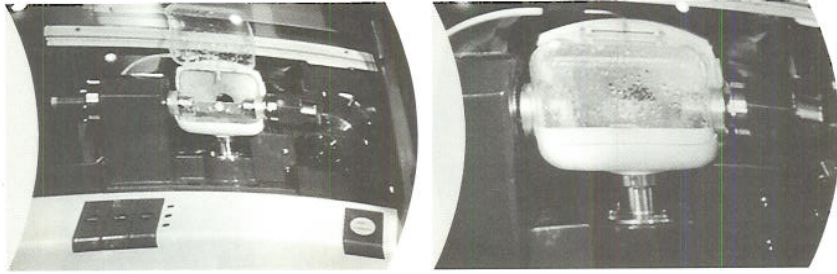
Dr. デュレーはクラウンだけ

でなく、義歯なども含めてすべての補綴物を CAD/CAM で製作しようとしている。

クラウンでは、まずカメラを用いて支台歯の光学印象 (Dr. デュレーはモアレ法であると説明している) を採るのはセレック・システムと同じである。もちろんクラウンであるので情報の収集量は多くならざるをえない。ディスプレイ上に支台歯を構築

30|31

図30 Dr.デュレーのNC
切削加工機。
図31 注水下で加工する
ため実際の加工中にはフ
タをして削る。



32|33

図32 内面の加工が終了してブロック
を回転させて外面を削る。奥の穴から
工具がつぎつぎにでてくる。
図33 外面の加工も終了して、保持部
だけが残った状態。手作業で切り落
し、修整研磨して完成する。



堤：そうです。切削の装置は、図30のようなもので図31は切削の装置が加工しているところですが、まずクラウンの素材であるコンポジット・レジ材料のブロックに穴というか、クラウンの内面となる部分が削られていきます。これはマイクロモーターのハンドピースの先のような形をしています。そして内面を削り終わるとブロックが180度回転して、今度は外側のク

ラウン形態の切削になります(図32)。この際、保持部がないと被切削材を固定できませんから。そして表の切削が終わったら、保持部を切り取ります(図33)。

宮崎：つまり、まったく無垢の状態のものを内面を削っておいて、外を削りながら切っていくというような感じです。このあとステインをつけて……。

し、ここでクラウンの設計(CAD)を行なう。クラウンの形状はデータベースから引き出し、咬合面の形態はバイトで得られた対合歯の情報をもとに決定される。

CAMはセレック・システムと同様に、マシナブル・セラミックスを用いて切削法で行なわれる。この加工機はかなり大きく、工具が交換できる機構になっている。

また、クラウンを製作するには、内面と外面の両方を削らな

ければならないが、材料のつかみに工夫を凝らしており、片面加工後、材料を回転させて残りの加工を行ない、最後につかみ部のカットをしてクラウンが完成される。

クラウンの咬合面は溝も明瞭に形成され、ショルダーに形成されたマージン部も良好に加工される。表面の研磨、そしてステイン塗布等の後処理を含めて、光学印象から完成まで2時間の作業である。

Dr.デュレーは昨年、米国の

南カリフォルニア大学に教授として迎えられ、商品化を目指して開発を進めている。

- * 4 Duret, F., Blouin, J.L. and Duret, B.: CAD/CAM in Dentistry, J. Amer. Dent. Assoc., 117 (6), 715-720, 1988.
- * 5 宮崎隆：第124回 Chicago Mid-winter Meeting レポート——世界の Dental CAD/CAM システムの動向——, 歯科技工, 17 (5), 621-628, 1989.
- * 6 小島静二：CAD/CAM システムを用いた Dr. Duret のシステムについて, QDT, 12 (11), 98-102, 1987.



図34 Dr. デュレーの光学印象されたクラウンの
マージン。Dr. デュレーのシステムでは、写真を合
成してショルダーマージンの形状を決定していく。

佐藤：1本のクラウンを製作する時間はどのく
らいですか。

堤：切削に最低30分から1時間かかるというこ
とです。

佐藤：こちらは素材は？

宮崎：レジンであったり、マシナブル・セラ
ミックスであったりしています。

堤：このマシナブル・セラミックスは、Dicor で
す。

宮崎：私はシカゴで Dr. デュレーのシステムの
デモンストレーションを見て、感動して帰って
きました。やはり、ほかのものに比べて群を抜
いて進んでいたような感じでした。

堤：ただかなり入力に手間がかかります。



佐藤：いまお話いただい
た3つのシステムを、日
本の現状の歯科医療の流
れにあてはめてみると、
どういう流れになるで
しょうか。たとえば、現
在は、支台歯形成をした
あと、印象をとって、歯

科技工所に送る。歯科技工所のほうはそこから
模型を起こすという流れで補綴物をつくってい
ます。この新しいシステムのうち、もし現状の
歯科医療のシステムに導入された場合、歯科医
師ができる範囲、歯科技工士ができる範囲、あ
るいは歯科医院でそれをこなしていくために
は、どういう流れ方が考えられますか。

宮崎：欧米のシステムでは、現在の印象材を
使って印象採得をして模型に情報を転写する
という方法ではなく、直接、光学印象で情報を入
手しようとしています。しかし、実際の口腔内
での支台歯の位置、形成の多様性、マージンの
不明瞭さなどを考えると、また堤先生もご存知
のように Dr. デュレーの電話の受話器のような
大きなカメラで実際に口腔内で理想的な光学印
象をとるのは非常に難しいと思います(図34)。
私は口腔内で支台歯を直接計測していくより

その他の Dental CAD/CAM システム

宮崎記

CAD/CAM の分野は、ベン
チャービジネスとも結びつきや
すいシステムなので、前述の3
つのシステムのほかにも、いろ
いろなところで開発が進められ
ていると考えられる。したがっ
て、ある日突然すばらしいシス
テムが世に出てくるということ
もありうる話である。

国内で Dental CAD/CAM の

概念を最初に提唱したのは、神
奈川歯科大学第三補綴学教室の
青木教授らの研究グループであ
る。同教室では、歯科用三次元
自動計測切削装置を開発し、テ
レスコープ義歯の内冠の製作に
CAD/CAM の適用を試みた*7。
この研究は対象を絞っている
が、非常に実用性の高い優れた
研究である。同教室では、現在

引き続き外冠の製作への応用を
検討している。

大阪大学の歯科理工学教室で
は、クラウン製作を目標に、歯冠
形状の三次元計測、データベ
ース化など、一連の CAD/CAM
の研究を行ない、咬合面形態の
構築と石膏ブロックへの加工が
可能になっている。

また、つい最近北海道大学の

も、いったん通法に従って模型を作製してから模型の支台歯を計測していくほうが、多少時間がかかるとはせよ、やりやすいと思います。

佐藤：そうすると、模型の硬化膨張とかそういうもので加減しながら、これに対する誤差もある程度修正できるかもしれませんね。

堤：それと、口腔内から直接では、でき上がったもののチェックが実際の患者さんでしかできないというのが、非常に危険きわまりない。目標がないですよ。それに模型のもつ情報というのは非常にたくさんあると思います。

宮崎：ただ口腔内で計測をして、そのまますぐモニターに映しだせると、患者に設計しながらいろいろと説明できるというメリットはありますね。

堤：しかし現状では、技工の域を出ていません。そういう意味では私は、CAD/CAM のシステムを使うのはやはり歯科技工士だと思います。

それから、もう1つおもしろいシステムが研究されているといわれています。クラウンなどを複層構造でつくるシステムが特許に出ているんですね。CAD/CAM で支台歯の形態を計測し、埋没材に使われているマグネシアの焼結体からCAM で削り出すわけです。その上に歯科用の焼付用金属を溶射するのです。その溶射方法も

いわゆるプラズマ溶射、レーザー照射による焼結あるいは、フレーム溶射とかいろいろなのが特許に出ています。とにかく吹きつけて、焼き付けて、ある厚みを確保したのちに、CAD/CAM で削り整えるのです。その上にボディ・ポーセレンを焼き付け、また削り、さらに、ポーセレンを焼く。つまり、メタルセラミックスの4層構造をCAD/CAM でやるわけです。

佐藤：それは、基本的には、何かインプットしないかぎり形態はできないわけですね。

堤：そこは別個の特許になっています。これは先ほどのコーヌスのクラウンの厚みを制御するという発想と似ていますね。形態をとにかくコンピュータが抑えているというか、それぞれの層の厚みをコントロールしながら製作できるのです。

6. 支台歯の形状の測定の将来

宮崎：CAD/CAM を用いた補綴物製法では、支台歯の形態、形状を何らかの方法で測定し、認識するのが出発点となるわけですが、いままで紹介されたものは、写真による測定とビームなどによる光線の測定法でした。これらに対して、神奈川歯科大学で行なわれている触針法はどうでしょうか。

第二補綴学教室で、鑄造冠の外表面形状を入力し、これを数値化してNCプログラムを作成し、真ちゅうブロックをマシニングセンターで切削加工(CAM)することによりクラウン外面の精密な加工に成功した(今月号の「歯とびくす」欄参照)。この研究は、現在の産業界の技術を駆使すれば、複雑な歯冠形状の再構築と加工が可能であることを証明したもので興味深いですが、これらはまだ内面の加工がなさ

れていないし、実用化には今後解決しなければならない問題が多い。

このほか、京都大学医用高分子研究センター歯科材料応用研究部門で、三次元計測システム、CAD、AI(人工知能)などの広範な研究が行なわれている。

昭和大学歯科理工学教室では、ワイヤー放電加工を用いたCAM で、テレスコープ義歯の内冠と外冠の製作を検討している。高精度のNC加工をするこ

とにより、これまで術者の経験に頼っていた維持力の調整を数値化することが目標である。また同教室では、単純な形状の電極を用いて、NC放電加工でクラウンを作成する研究も行なっている。

*7 青木英夫, 藤田忠寛, 仁科匡生: CADシステムおよび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, 14(12), 1491~1498, 1986.

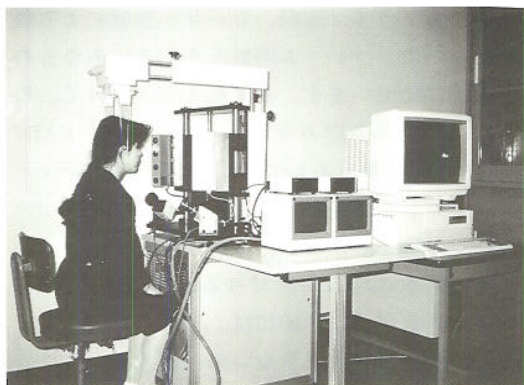


図35 京大医用高分子研究センターが共同開発した、顎顔面表面立体計測システム。顔の前方の左右にそれぞれ、4本のレーザービーム光源と1台のビデオカメラが対となって、構成されている。

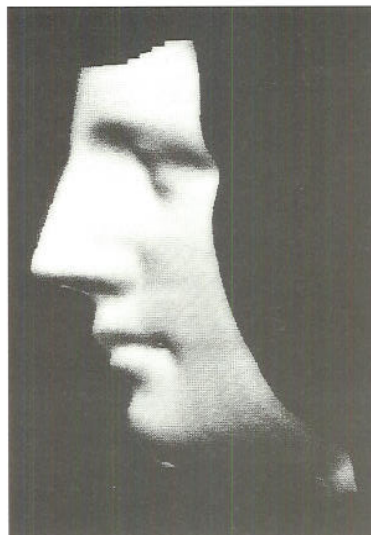


図36 石膏像を計測した結果を表示した例。

堤：触針法は、実際にタッチして距離を測定するわけですから、その分、确实だと思えますが、測定時間がかかりますね。

宮崎：いわゆる触針法は、技工という面からみたら有効だと思います。いままで述べてきた光学印象は口のなかの印象を前提にしていますから、できるだけ時間も短く、1回の操作で多くの情報をとろうとしています。しかし、模型がつくってあれば、精度が要求されるころには針で測定するのがいいと思えますね。

堤：しかし、針が届かないところもありますから。

宮崎：そうですね。あと素材的には、針だと傷がつくというようなこともありますね。



佐藤：せっかくカメラやビームを使って、三次元的なものを空間的に拾い出す方法から触針法というのは、素人目に考えますと、何か逆戻りしてきたようにも感じられますけれども、そんなことは

はないですか。

宮崎：補綴物は独特の形状ですから。マージンなども現実の波打っているものを再現しようと

いうのであれば、針で細かく測定しておいたほうがいいわけです。将来、ブレパレーションの方法が改良されたり、あるいは、すぐれたセメントが開発されれば、もちろんこういう問題は解決されると思います。

佐藤：レーザービームはどうですか。



堤：これは非常に有望だと思います。しかし、これも時間がかかります。レーザービームは、北大や阪大で研究が進められています。レーザービームをポイントごとにあて、距離をはかるのです。

問題は、点計測ですから、全面を測るのに時間がかかることと、斜めの面の誤差をどうするかということですね。

レーザービームに関しては、私は光切断法の光源として用い、京大の口腔外科学講座と神戸製鋼所が共同で開発した顔面立体計測システム(図35、36)の測定に用いています。CAD/CAMシステムの入力装置として、われわれはやはり、光切断法の一つである、コード化パターン投影

法を採用しています。パターン投影法の長所は、高速計測が可能で、先に述べた顔面の計測では、約6秒、歯の計測では約3秒で済みます(QDT 88年6月号)。

宮崎：これからは精度や時間だけでなく、コストの問題も考えないといけませんね。

7. 加工法の将来

佐藤：加工法および材料の将来についてはいかがでしょう。



宮崎：CAM用の材料としては機械加工で工具で削り出しのできる素材としてマシナブル・セラミックスが欧米で注目されています。しかし金属よりはましだとしても、色は白っぽすぎたり、天然歯とは似ても似つかぬものです。また、顕微鏡をのぞくと結晶間に隙間があいていて、仮に研磨したとしてもその面だけで果たして口腔内の環境に耐えうるかという問題があります。ですから、いまのDicorをはじめキャストブル・セラミックスなどでも、仕上げにポーセレン・パウダリー・ステインを用いていますが、これと同じような仕上げ材が必要だということになります。さらに素材としての強さが金属に比べてだいぶ劣りますから、クラウンはいいでしょうが、ブリッジとか大きいものにはちょっと使えないと思います。もちろん、将来は色調がよく、金属のようにタフでしかも加工性のよいセラミックス材料の開発が期待されます。

金属を切削でやろうとすると、たとえばわれわれが使っているような金属のなかでは銀合金なんかは削れてもコバルト・クロム合金、ニッケル・クロム合金、それから最近のチタンなどですと、小さい切削用の工具ではちょっと削れないのです。そして小さなクラウンを作製するのに、大きくて剛性のある加工機が必要になってきます。

金属を切削でやろうとすると、たとえばわれわれが使っているような金属のなかでは銀合金なんかは削れてもコバルト・クロム合金、ニッケル・クロム合金、それから最近のチタンなどですと、小さい切削用の工具ではちょっと削れないのです。そして小さなクラウンを作製するのに、大きくて剛性のある加工機が必要になってきます。

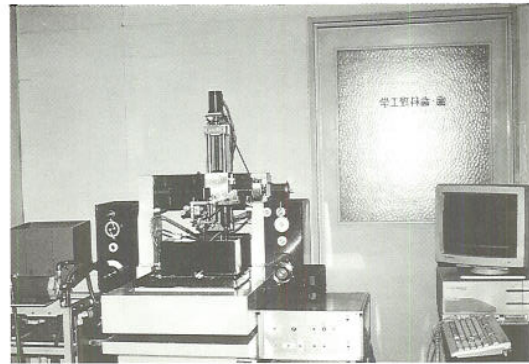


図37 昭和大学歯科理工学教室で試作したNC放電加工機。単純な棒状形状の電極を切削工具のように用いて、三次元のNC加工ができる。

ここでははっきりと言っておきたいのですが、歯科で長年培ってきた精密鑄造法は材料として貴金属合金を用いた場合は非常に高い精度の加工ができるわけです。これは歯科が一般産業界に誇れる技術です。今、コンピュータを使った新しい加工法が注目されているわけですが、少なくとも従来の精密鑄造以上の加工精度がなければ臨床に還元できないと思います。

そういう意味で、もしクロム系合金やチタンなどのいわゆる加工性の悪い材料、そして融点が高いので鑄造も難しい材料が、生体にはいいので今後どんどん歯科で使っていこうというのであれば、われわれがやっている放電加工も少し出番が出てくるわけです。ただ、放電加工は、逆に言うと導電性がないとできませんから、金属はいいけれどもプラスチックとか普通のセラミックスはだめです。セラミックスに関しては最近、導電性のセラミックスがありますから、一部は加工できます。

放電加工では、これまでドイツなどでも形彫放電加工で電極の形状を転写してクラウン・ブリッジの製作が行なわれています。しかし、これは方法的にはロストワックス法と同様の転写加工法ですので、現在われわれは、ワイヤー電極や単純な形状の棒状の電極を用いてNC加工する方法を研究しています(図37)。いわゆる

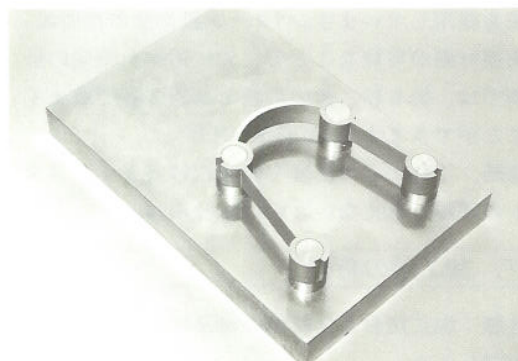
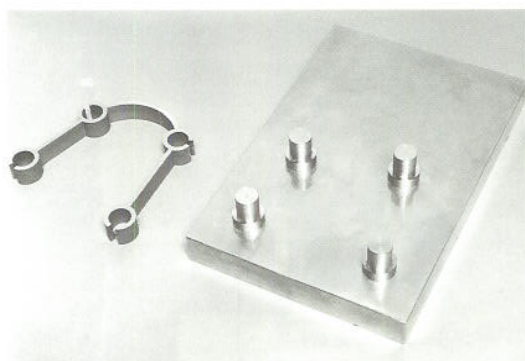


図38、39 ワイヤ放電加工を用いたCAMで製作されたテレスコープ義歯。内冠と外冠の適合性はきわめて良好である。

38|39

CAMです。放電加工では少なくともいまわれわれがやっているような精密鑄造に匹敵するようなものをやろうと思うと、精度が出るのですが、今度は時間がかかる、という問題が生じてきます。したがってわれわれも放電加工がすべてだとは考えていません。だから最初に戻りますけれども、どういう材料を使って、どういう補綴物をつくるかというところへ返って、それにふさわしい加工法を技工にもってくるしかないのではないかと私は思っています。

それで、われわれがCAD/CAMをいま技工に応用するのは、補綴物をすべてCAD/CAMでつくろうとするのではなく、使いやすいところに使おうということになります。無理をして口腔内であまり精度のよくない光学印象をとって、あまり精度のよくない補綴物をつくってやるシステムよりは、技工の操作のなかで一部にせよ、大事なところを計測に多少時間がかかっても、きっちり計測して、ちゃんとした精度の出るような加工法を採用する。なおかつ、その製作方法が、歯科技工士にとっていままで非常

に労力と経験を使っていたものが、コンピュータや機械の力を使うことによって省力化でき、しかも高品質のものができるのであれば、CAD/CAMは技工界にも貢献すると思います(図38、39)。

もう少し新しい加工法をもってくると、補綴物の設計もいろいろなものが考えられると思います。たとえばクラウンなどでもこれまではずいぶん深く、歯肉縁まで被覆していますが、これは昔はたしかに不潔域の問題とかありましたけれども、もう1つの理由としては、ある程度深いところまでかぶっていないと把持力がでなかったわけです。ところがもし機械的性質のすぐれた材料を用いて、精度のいい加工が可能であれば、もっとずっと上のところでとめても、薄くしてもできるわけです。そういう意味で、補綴物の設計全体も、素材・加工法とともに変えていかなければいけない。その設計のほうにCADが入ってくれば、技工の省力化、効率化に役立つのではないかと思います。