

〔原著〕 松本歯学 22 : 304~310, 1996

key words : CAD/CAM — 3次元寸法精度 — 補綴物

歯科補綴物の3次元寸法精度に関する研究
—歯科技工士の3次元再現精度について—

永沢 栄, 吉田貴光, 高橋重雄

松本歯科大学 歯科理工学講座 (主任 高橋重雄 教授)

甘利光治

松本歯科大学 歯科補綴学第2講座 (主任 甘利光治 教授)

A Study of Three-Dimensional Accuracy in Dental Prosthesis
—The three-dimensional reproductive accuracy of dental technician on artificial tooth—

SAKAE NAGASAWA, TAKAMITU YOSHIDA and SHIGEO TAKAHASHI

Department of Dental Technology, Matsumoto Dental College

(Chief : Prof. S. Takahashi)

MITSU HARU AMARI

Department of Prosthodontics II, Matsumoto Dental College

(Chief : Prof. M. Amari)

Summary

Even though it is projected that the dental prosthesis will soon be manufactured with CAD/CAM technology, the three-dimensional accuracy of dental prosthesis construction using this technology is not known. We requested each of 5 dental technicians to produce 3 model teeth under each of the following three conditions: the original tooth measurement by visual inspection; the original tooth measurement with calipers; and in the absence of the original tooth, tooth measurement by extrapolation from the existing opposite and adjacent teeth. The reproduced teeth were measured with a laser displacement meter, and the results compared with the original tooth.

It was found that the reproduced teeth constructed based on the visual inspection had error of distance of about 500 μm . The error of distance was not reduced when the measurement was made using calipers. In general, reproduced teeth made by the dental technicians were deformed. When the technicians attempted to reconstructer eliminated tooth, the error of reproduction increased to about 1000 μm .

緒 言

現在、歯科補綴物の多くは、鑄造によって作製されている。しかしながら、熟練歯科技工士の慢性的な不足、鑄造に伴う金属材料の劣化等の問題点を抱えている。一方、近年のコンピューター技術ならびに精密加工技術の進歩にはめざましものがある。このような現状から、歯科補綴物を切削加工により鑄造過程を経ずに直接作製する試みが近年数多くなされている。著者らは、近い将来、歯科補綴物はCAD/CAMによって直接作製されるものと予想している。しかし、現状では、製作コスト、製作時間等、解決すべき問題点が多く存在することも事実である。また、作製に必要な歯科補綴物の3次元寸法精度も、現在まで明らかにされていない。精度は高めれば高いほど良いことは明らかであるが、それによって製作コストが飛躍的に増大する一面もある。著者らは、CAD/CAMにおける製作物の寸法精度を規定すべく、現在作製されている歯科補綴物の3次元寸法精度を測定したところ、極めて大きな変動が存在することが判明したので報告する。

実験条件ならびに方法

1. 歯冠作製条件

歯冠の原型として、ニッソン社製機能的顎模型D17D-500H(図1)を使用し、下顎右側第1大臼歯について、以下の3条件における歯冠の彫刻を、本学歯科技工士科教員3名、付属病院技工部歯科技工士2名に、各条件毎に3歯依頼した。

条件1: 歯冠の原型を目視のみにより、石膏を用いて作製する。この条件は、人間の目の3次元認識精度を求めるものである。

条件2: 歯冠の原型ならびに彫刻歯冠の寸法をノギスを用いて計測しながら石膏を用いて作製する。第2の条件は寸法測定による基準がある場合の精度向上を確認するためのものである。

条件3: 図2に示すごとく支台形成された歯を模型上に戻し、対合歯、隣接歯が存在する状態でワックスにて作製する。3番目の条件は、技工士の頭の中に有る歯冠の概念をも含めた、現実的な寸法精度を見るためのものである。

2. 3次元寸法測定の方法

作製された各歯冠は、図3に示す、キーエンス

社製レーザー変位計LC-2100、中央精機社製PS-20X、Yパルスステージ、パーソナルコンピューターPC-9801sx/Tを用いて、測定精度 $\pm 5 \mu\text{m}$ にて、XY方向各 $50 \mu\text{m}$ 毎に、咬合面方向から高さ、レーザー反射光強度を測定した。各歯冠の3次元寸法は、ビジュアルテクノロジー社製パーソナルコンピューターCOBRA275AXPを用いて、

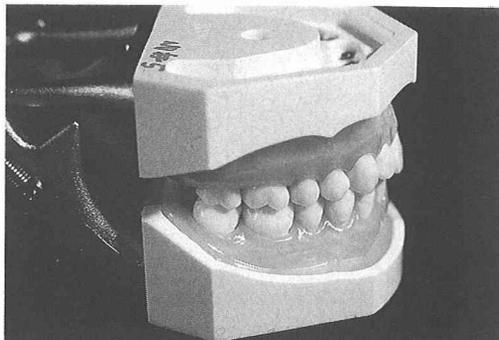


図1: ニッソン社製機能的顎模型D17D-500H



図2: 歯台形成された歯の模型

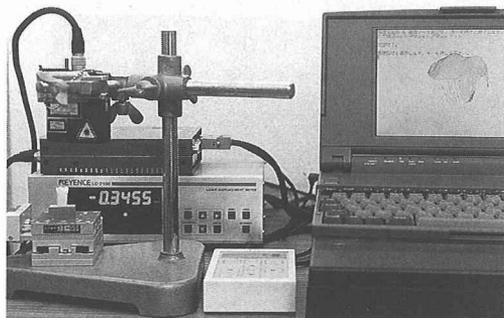


図3: 3次元計測に使用したレーザー変位計、XYステージ、パーソナルコンピューター

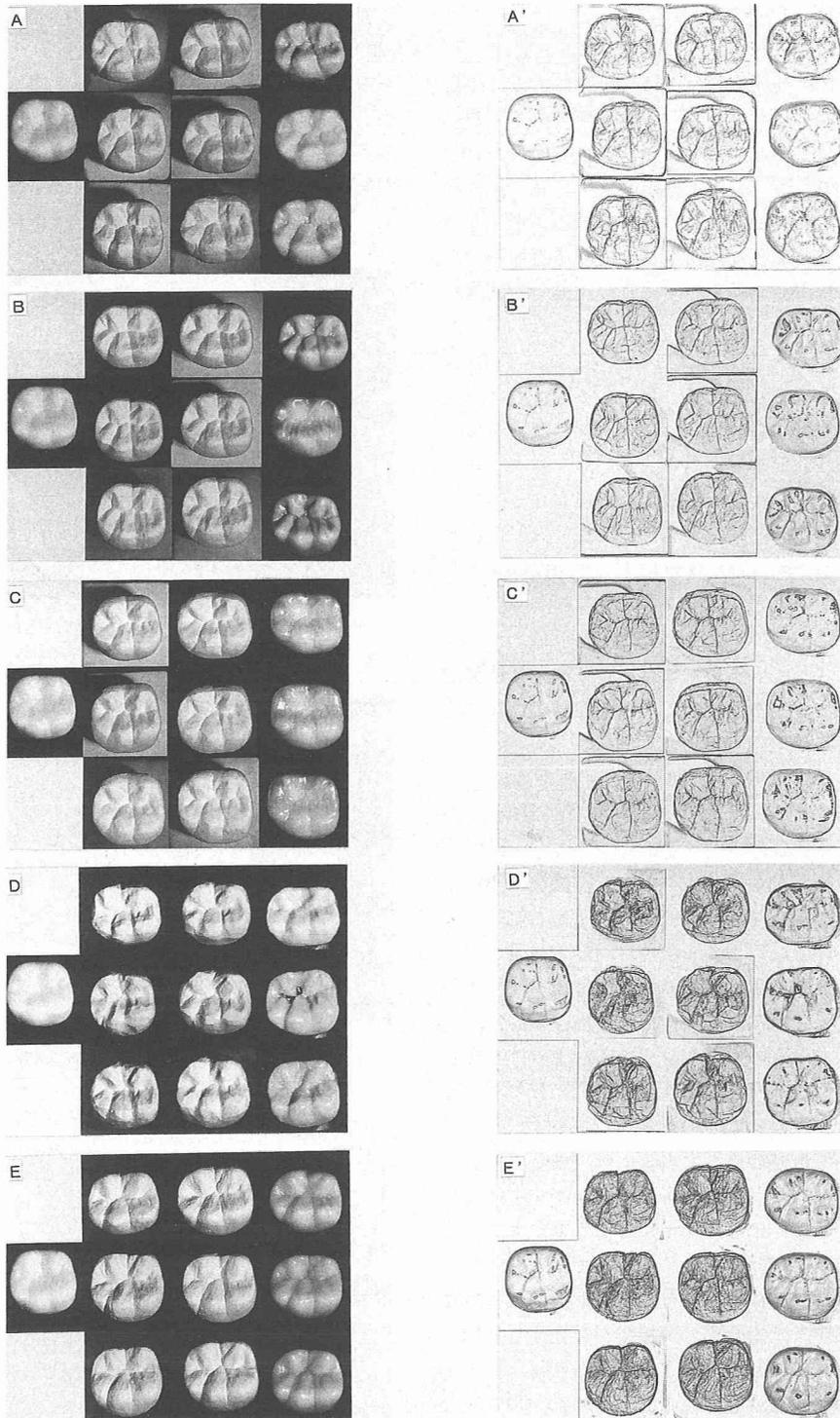


図4：歯科技工士により作製された全歯冠像と輪郭抽出した像(A～Eは製作者を示す)。各図共左から、歯冠原型、目視のみにより彫刻された歯冠、ノギスを併用して彫刻された歯冠、支台形成された後、調整されたワックスパターン。

歯冠の原型の測定値と比較した。測定、比較に用いたプログラムは、CとC++言語を用いて、全て著者らが開発したものである。

結 果

図4-A, B, C, D, Eに、歯冠原型と5名の歯科技工士により作製された全歯冠のレーザー反射光強度の画像を示す。各図とも左から歯冠原型、作製条件1(目視のみにより彫刻)、作製条件2(ノギスを補助手段に用いて彫刻)、作製条件3(形成された歯臼歯模型上にワックスパターンを調整)で作製された歯冠である。各図右(A', B', C', D', E')は、歯冠の特徴が解りやすいよう、左の画像を輪郭抽出したものである。

歯冠原型に忠実に作製することを依頼したにもかかわらず、2次的に見ても、製作された歯冠は、同一製作者、同一条件下においてさえも、異なっていることが認められる。特に、特徴的に図4-Bに見られる如く、歯冠が支台形成された場合(製作条件3)、反対側同一歯冠が存在するにもかかわらず、歯冠原型は勿論、条件1, 2において製作された歯冠と比べても、大きく異なるものが製作されている。輪郭抽出された画像からは、さらにいくつかの特徴が明らかになる。歯冠原型においては、頬側溝と舌側溝とがほぼ直線的に走っているにもかかわらず、製作された歯冠においては、いずれが大きくなっている。また、各窩を結ぶ縦溝は、原歯冠では大きく屈曲しているにもかかわらず、製作された歯冠では遠心小窩、近心中心窩、近心小窩がほぼ一直線上に配置されている。

図5~10は、原歯冠と製作された歯冠を、コンピュータ上で3次的に重ね合わせた像である。2次的に見て、最も近似されていると思われる製作者(図4-E)と、ワックスパターンにおいて特徴的であった製作者(図4-B)の像を代表として示した。

図5-A, B, Cは、図4-Eの条件1で作製した最上部の歯冠と、歯冠原型をコンピュータ上で3次的に重ね合わせた像である。以下の各図共、緑色で示されているのが歯冠原型、茶色で示されているのが作製された歯冠で、視点到近い歯冠が表に出、遠い歯冠は隠されている。図中の大きく飛び出た山は、レーザー変位計が表

面反射の影響などを受けたために生じた、変位計の構造上避けられない測定誤差であり、除外して見ていただきたい。図5-Aは全体像、図5-Bは近遠心的切断像、図5-Cは、水平面における切断像である。各メッシュはXY平面における50 μm の測定点を示し、左上の赤い四角は200 μm を示している。図5-Bより、Z方向(高さ方向)で400~600 μm の違いが存在し、図5-Cより、XY平面上(水平方向)で、最大1,000 μm 程度、少ない部分でも300~400 μm の違いが存在する。

図6-A, B, Cは、図4-E(図5と同一製作者)の条件2で作製した最上部の歯冠と、歯冠原型を3次的に重ね合わせた像である。この場合、図6-Aに示した如く、彫刻された歯冠は原歯冠に比べて全体的に大きくなっている。図6-Bに、近遠心的に縦断した像を、図6-Cに水平方向に切断した像を示す。高さ方向で400 μm 以上、水平方向で、1,000 μm 程度の違いが存在し、ノギスを併用して作製しても違いの減少は認められない。

図7-A, B, Cは、図4-Eの条件3で作製した最上部の歯冠と、歯冠原型を3次的に重ね合わせた像である。この場合、図7-Aに示した如く、作製された歯冠は歯冠原型に比べて頬側咬頭が明らかに高くなっている。図7-Bに、縦方向に切断した像を、図7-Cに水平方向に切断した像を示す。高さ方向で最大1,500 μm 程度、水平方向で1,000 μm 程度の違いが生じており、図5, 6と比べ3倍程度違いが大きくなっている。

図8-A, B, Cは、図4-Bの条件1で作製した最上部の歯冠と、歯冠原型を3次的に重ね合わせた像である。図8-Aは全体像、図8-Bは縦方向に切断した像、図8-Cは水平方向に切断した像である。図4-Bでは、酷似しているように見受けられたが、歯冠原型と重ねると違いが明らかになる。この製作者の場合、透かしてみえる輪郭部の精度は50~100 μm と高いにもかかわらず、そのようなことができない溝の部分では、高さ方向で最大800 μm 、水平方向で最大1,000 μm もの大きな違いが生じている。

図9-A, B, Cは、図4-B(図7と同一製作者)の条件2で作製した最上部の歯冠と、歯冠原型を3次的に重ね合わせた像である。図9-Aは全体像、図9-Bは縦方向に切断した像、

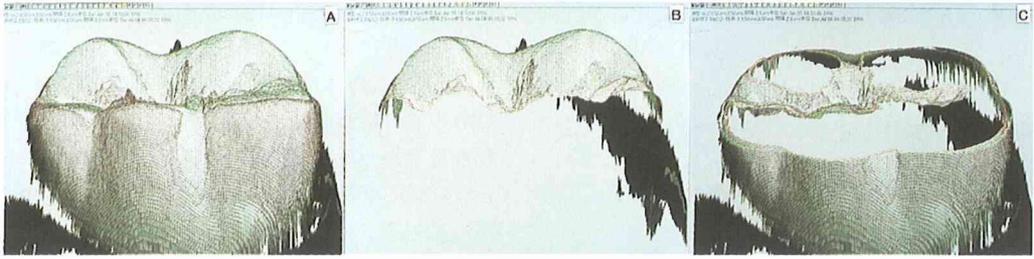


図5：図4-E，目視のみにより彫刻された最上部の歯冠と，歯冠原型をコンピューター上において3次元的に重ね合わせた像（A：全体像 B：縦断面像 C：水平断面像）。

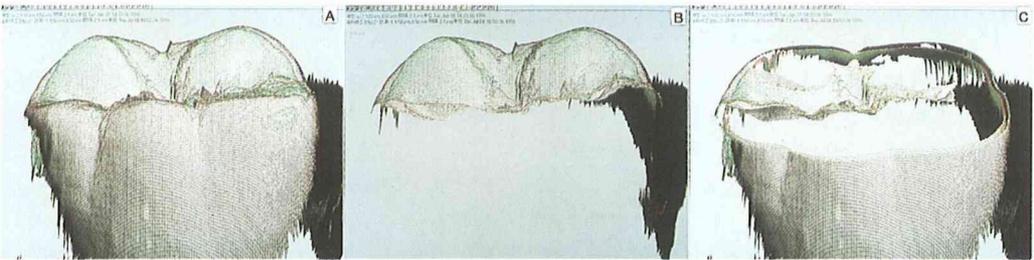


図6：図4-E，ノギスを併用して彫刻された最上部の歯冠と，歯冠原型をコンピューター上において3次元的に重ね合わせた像（A：全体像 B：縦断面像 C：水平断面像）。

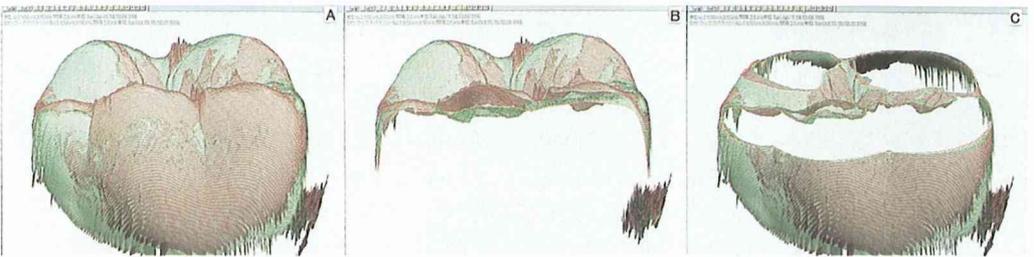


図7：図4-E，支台形成された後，調整された最上部のワックスパターンと，歯冠原型をコンピューター上において3次元的に重ね合わせた像（A：全体像 B：縦断面像 C：水平断面像）。

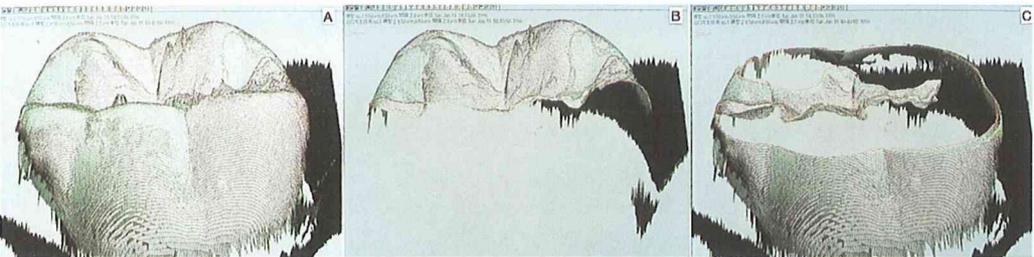


図8：図4-B，目視のみにより彫刻された最上部の歯冠と，歯冠原型をコンピューター上において3次元的に重ね合わせた像（A：全体像 B：縦断面像 C：水平断面像）。

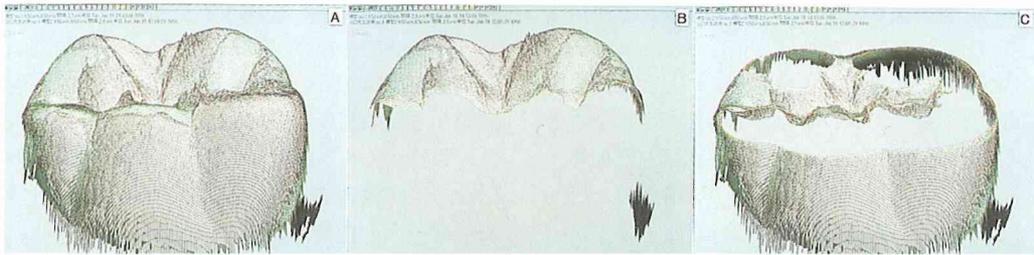


図9：図4-B，ノギスを併用して彫刻された最上部の歯冠と、歯冠原型をコンピューター上において3次元的に重ね合わせた像（A：全体像 B：縦断面像 C：水平断面像）。

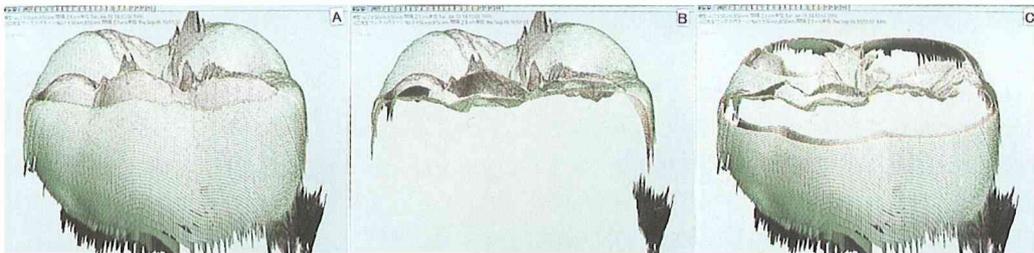


図10：図4-B，支台形成された後，調整された最上部のワックスパターンと，歯冠原型をコンピューター上において3次元的に重ね合わせた像（A：全体像 B：縦断面像 C：水平断面像）。

図9-Cは水平方向に切断した像である。ノギスによる計測を併用しても，外側は良く一致しているにもかかわらず，計れない部分には，いぜんとして400 μm 程度の違いが存在する。

図10-A，B，Cは，図4-Bの条件3で作製した最上部の歯冠と，歯冠原型を3次元的に重ね合わせた像である。図10-Aは全体像，図10-Bは縦方向に切断した像，図10-Cは水平方向に切断した像である。図8，9と同一製作者により作製されたにもかかわらず，様相は大きく異なっている。咬頭の位置が完全にずれている関係上，高さ方向でも，水平方向でも，違いは最大2,000 μm 程度と極めて大きくなっている。

考 察

人が，歯科補綴物のような立体的な物体を作製する場合，製作物に3次元的な誤差の発生する要因は，大きく分けて3つ存在すると考えられる。製作するモデルが存在する場合には，人の目が3次元的にどの程度の違いを認識できるかが第1の要因である。第2の要因は，違いを認識できたとして，人の手がどの程度正確にそれを再現できる

かである。モデルが存在しない場合には，これらに第3の要因，人の記憶に存在する製作物の概念の影響が加わる。

第1の要因に関しては，目の生理学者，眼科学者によって研究されている。報告されている値は，報告者によって大きく異なっているが，一般的な値を採用するならば，平面視力において差異が識別できる限界は，視野50°，深視力の識別できる限界視野は10°程度である。この視野を30 cm 前方にある物体に適応すると，水平方向，深さ方向ともに約100 μm となる。従って，製作者にとって原型と全く見分けがつかない複製物を作製したとしても，2個作製した場合には，2つの製作物間において最大で200 μm の違いが存在することになる。また，その2つの製作物が原型と異なっていることを，第3者が認識することはできない。この約100 μm という数字は，中世における芸術品の加工精度0.1 mm 前後と一致している。

第2の要因について，科学的に検討することは困難と思われる。しかしながら，中世の芸術品の加工精度と，目の識別精度が同程度であることを考えると，高度の訓練と，製作に十分な時間をか

ければ、目の識別限度以内に押さえることが可能と思われる。現在、歯科技工士に与えられている製作時間は、中世の芸術家に与えられていた製作時間と比べ極めて短いものである。このことを考慮するならば、図5, 6, 8, 9に示した如く、一般的な歯科補綴物の3次元寸法精度は、 $\pm 500 \mu\text{m}$ 程度と考えるのが妥当であろう。

第3の要因、に関しては、図7, 10に示した如く、同一製作者において製作条件1, 2（歯冠原型が存在する場合）と、製作条件3（支台形成により削除されてしまい存在しない場合）の歯冠に大きな差異が存在することから、 $\pm 1,000 \mu\text{m}$ （1mm）程度と考えられる。

以上3つの変動の要因について考察を加えたが、現実の歯科補綴物の製作において、モデルとすべき歯冠原型が存在することは有りえない。したがって、現在、実現されている歯科補綴物の外側における3次元寸法精度は、 $\pm 500 \sim 1,000 \mu\text{m}$ と考えられる。

$\pm 500 \sim 1,000 \mu\text{m}$ と言う誤差は、著者らが予想していた値（数十 μm 程度）とは、あまりにもかげ離れた値であり、これをもってCAD/CAMの精度を規定することは妥当とは思えない。CAD/CAMの寸法精度の規定に関しては、臨床家による真摯な検討を待つ以外無いと考えられる。さらに、CAD/CAMが実現されるまでに長い年月が必要なことを考えると、このように大きな変動を縮小するための、製法方法ならびに作製材料の検討が急務である。

結 論

5名の熟練した歯科技工士に、目視のみ、ノギスによる計測を併用、支台形成され歯冠原型が存在しないの3条件下において、下顎右側第1大臼歯の歯冠を各条件毎3個作製してもらい、その3次元寸法を歯冠原型と比較した結果、以下の結論に達した。

1. 目視による歯冠の再現には、 $\pm 500 \mu\text{m}$ 程度の違いが存在する。
2. ノギス等を使い、計測、比較をしながら作製したとしても、彫刻された歯冠には、測定不能な

部分に目視と同等な違いが存在する。

3. 一般的に歯冠の製作者は、歯冠原型が存在していても、製作者の固定概念により歯冠の特徴を強調する傾向が見られた。

4. 歯冠が支台形成された場合、製作者の歯冠に対する固定概念により、作製される歯冠形状には特徴がみられ、歯冠原型との違いは $\pm 1,000 \mu\text{m}$ にもおよぶ事がある。

なお、本研究の一部は、文部省科学研究費07672133の補助を受けて行ったものである。

文 献

- 1) Duret, F., Blouin, J. I. and Duret, B. (1988) CAD-CAM in dentistry. *J. Am. Dent. Assoc.* **117**: 715-720.
- 2) 木村 博 (1992) CAD/CAM システム開発で注目される南カリフォルニア大学の近況. *QE.* **11**: 142-145.
- 3) 堀田康弘 (1992) CAD/CAM を利用したチタン製コーピングの新しい製法法の開発. *歯材器*, **11**: 169-178.
- 4) Kimura, J., Sohmura, T. and Takahashi, J. (1992) Three dimensional shape measurement of teeth (part 11) CAD to produce crown considering occlusion. *Dent. Mater. J.* **11**: 38-44.
- 5) 堤 定美 (1993) CAD/CAM システムの歯科応用. *歯科技工*, **21**: 1044-1051.
- 6) 深瀬 敦 (1993) CAD/CAM によるクラウン製作システムの開発に関する研究. *神奈川歯学*, **27**: 431-446.
- 7) 川畑直詞, 原田 脩, 小野秀樹, 斉藤福一郎, 是枝美行, 永岡英一 (1993) CAD/CAM による臼歯部人工咬合面の複製 第1報 アクリルパターンの作製. *補綴誌*, **37**: 974-982.
- 8) Chen, L., H., Tsutsumi, S., Hyo, Y. and Iizuka T. (1993) A rapid three-dimensional measurement system for facial morphology by laser multi-slits. *Int. J. Prosthodont.* **6**: 573-578.
- 9) 上田泰夫 (1996) 歯科補綴物設計のための CAD システムに関する研究. *補綴誌*, **40**: 993-1003.
- 10) 萩原 朗 (1966) 眼の生理学, 第一版, 404. 医学書院, 東京.
- 11) 小林 昭 (1995) 超精密生産技術体系, 第1巻, 基本技術, 441. フジ・テクノシステム, 東京.