

## 新しく開発した歯冠修復用 3D-CAD/CAMシステムにより製作したクラウンの臨床応用

市川 伸彦<sup>1)</sup>, 根岸 政明<sup>2)</sup>, 神田 俊昭<sup>2)</sup>, 佐野 裕子<sup>3)</sup>, 新井 俊二<sup>1)</sup>, 下河辺 宏功<sup>4)</sup>

明倫短期大学 附属歯科診療所<sup>1)</sup> 財団法人歯友会 歯友歯学会附属医療機材研究所<sup>2)</sup>

明倫短期大学 歯科技工士学科<sup>3)</sup> 明倫短期大学 歯科衛生士学科<sup>4)</sup> (指導: 下河辺宏功 教授)

### Tooth Crowns Manufactured by A New 3D-CAD/CAM System in Clinical Application

Nobuhiko Ichikawa<sup>1)</sup>, Masaaki Negishi<sup>2)</sup>, Toshiaki Kanda<sup>2)</sup>,  
Yuuko Sano<sup>3)</sup>, Shunji Arai<sup>1)</sup>, Hirokata Shimokobe<sup>4)</sup>,

*Dental Hospital, Meirin College<sup>1)</sup>*

*The Sisyuukai Foundation, The Medical Machinery and Materials*

*Laboratory attached to Shiyuu Academic Dental Circles<sup>2)</sup>*

*Department of Dental Technology, Meirin College<sup>3)</sup>*

*Department of Dental Hygiene and Welfare, Meirin College<sup>4)</sup>*

*(Chair: Prof. Hirokata Shimokobe)*

根岸らは工業用3次元測定機と3次元設計システム及び3次元加工機を歯科用に改造し独自のシステムを開発した。また、このシステムを使って石膏模型上でチタンクラウンを製作しその成果について前々報で報告した。本研究は、本システムの臨床への有用性を検討することを目的とする。2名の患者の下顎右側第1大臼歯に本システムで製作したクラウンの修復がなされ、その結果、以下の知見が得られた。

1) クラウンの設計に当たって、適切な形態を付与するためには根分岐部の形態を含めた多様な歯冠形態のデータをデータベースに登録しておく必要があった。

2) 支台歯のマージンラインがナイフエッジになる場合、測定が不明瞭にならないよう歯頸部辺縁を明確に仕上げるのが望まれた。

3) 使用する切削工具先端のRが咬合面隅角部やシャンファ部の精度に影響するため、支台歯ではそのRと同等あるいはそれ以上に形成する必要があった。

4) セメントクリアランスを本システムの測定誤差および加工精度をもとに50 μmとすることによって適合性の優れたクラウンを得ることができた。

5) 咬合関係はFGPテクニックを導入することによって最小限の咬合調整にとどめることができた。また、接触点はコンピュータ上で50 μmの研磨代を与えることで回復できた。

6) 支台歯の測定からクラウンの加工までに要する時間の短縮が今後の課題として残った。

キーワード: CAD/CAM, クラウン, 機械加工, 適合性, 臨床応用

Negishi and the others designed a new 3D-CAD/CAM system for the tooth crown restoration technique by improving the industrial 3D-measurement and CAD-design system and 3D-milling machine for dental use. They successfully used this new system to fabricate titanium crowns for the abutment of a stone model. The purpose of this study is to examine the practicality of this system in clinical application. The lower right first molars of two patients were restored with the crown fabricated using the system.

The results obtained were as follows:

1) It was necessary to register the data of various crown forms including the furcation area on the data base in designing a suitable crown form;

2) The marginal form of abutments should be clearly prepared to finishing edge, since the measuring

area becomes indistinct in the case of a knife edge type;

3) The chamfer type margin and line angle of abutments should be cut to the same size of the R of the milling tool used, or larger, since the size of the R influences their reproducibility;

4) The crowns with superior adaptability were milled by setting the cement clearance to  $50\mu\text{m}$  based on the mechanical precision and digitizing error;

5) By introducing the FGP technique, the occlusal adjustment was reduced to a minimum, and the contact points were recovered by adding  $50\mu\text{m}$  of polishing thickness in a simulation;

6) Further study will be necessary for shortening the time required for the process from desitizing to milling.

Key words : CAD/CAM, Crown, Machining, Cavity adaptation, Clinical application

## 緒 言

近年、歯科技工操作の省力化、効率化あるいは精度の向上を目指してCAD/CAMシステムの研究開発が進み既に応用の段階に達している<sup>1) 2)</sup>。特に国内ではこの2年ほどでC a d i m (株式会社アドバンス)<sup>3)</sup>、GN-I (株式会社ジーシー)<sup>4)</sup>、DECSY (メディア株式会社)<sup>5)</sup> 3機種<sup>6)</sup>の市販が開始された。しかし、これらによる臨床報告はまだ少なく、今後の装置の使い込みによる熟成が待たれる。

我々も平成7年から歯科用CAD/CAMに関する研究を開始し、工業用3次元測定機と3次元加工機を歯科用に改造、また市販CAD/CAMソフトを選定して、明倫短期大学独自のシステムを完成した。材料として生体親和性に優れたチタン材を用いてクラウンを製作する手法を検討し、歯冠形態の3次元測定法およびCADによる設計法<sup>6)</sup>、チタン材の3次元機械加工法<sup>7)</sup>まで一連のCAD/CAMシステムによる手法を確立した。本システムを利用して顎模型上でチタン材からクラウンやブリッジの製作を試み臨床応用の可能性が示唆された。そこで本システムの有用性について検討するために、2例の臨床応用を試みたので報告する。

## 材料と方法

### 1. 石膏模型の3次元測定

支台歯の石膏分割模型を製作し、支台歯および両隣接歯隣接面を点間ピッチ0.2mm、線間ピッチ0.1mmで測定した。隣接面を測定する際は、隣接歯がレーザ光を遮らぬように石膏模型の両隣接歯を外した。また上顎対合歯がある場合はFGP (Functionally Generated Path) ワックスレコード<sup>8,9)</sup>から石膏レコードを製作し、これを同条件で測定した。なお測定方法については前々報<sup>6)</sup>で既に発表している。

### 2. ク라운の設計

3次元測定により得られたデータから3次元CAD (Delcam製 DUCT) によってクラウンの設計をおこなった。手順は支台歯データ上へデータベースに登録済みの人工歯 (東伸洋行製 PBM 32) の歯冠データを配置し、サイズ合わせ、隣接歯とのコンタクトポイントの設定、辺縁隆線高さの調整、マージンラインと最大豊隆線との相対バランス、隣接歯との位置関係によって最適な位置と角度およびサイズを決定した。

また、対合歯との咬合関係についてFGPデータを用いて重複部を修正し調整をおこない、3次元クラウンモデルを作成した。

### 3. 機械加工装置と被削材

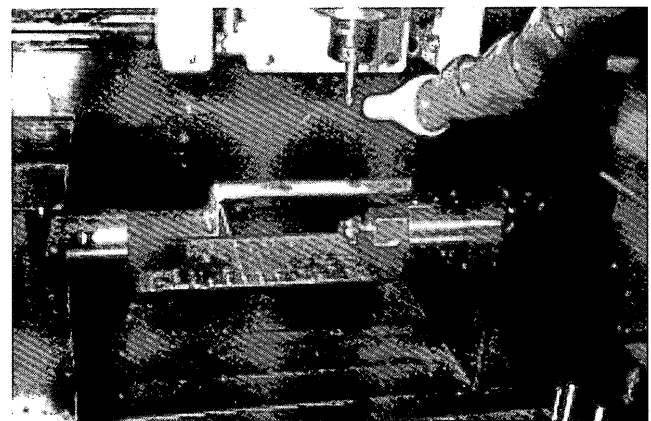


図1. 3次元加工機

機械加工に使用した図1の3次元加工機 (ミマキ製 特注機) は右に位置する固定治具に素材ブロックを取り付け片持ち支持で切削加工をおこなった。

なお、固定治具は $180^\circ$ 回転位置決めができ、咬合面部および支台歯凹部の2方向から加工ができる構造としている。切削工具は超硬ボールエンドミル (OSG製) の直径 $\phi 6$ ,  $\phi 4$ ,  $\phi 3$ ,  $\phi 2$ ,  $\phi 1\text{mm}$

の5本を使用し、またチタン材料の加工硬化現象を避けるため、加工中は水溶性クーラント剤（ジュラロン製）による冷却をおこなった。被削材は鋳造法に用いられる純チタン（千葉金属製 JIS2種）で幅15×高さ14×長さ30mmの素材ブロックを使用した。

#### 4. 対象及びインフォームドコンセント

本学附属歯科診療所に来院した72歳と42歳の女性2名を対象とした。初診時に本研究の主旨を説明の上、同意を得た。対象歯はいずれも下顎右側6番で、72歳の患者は対合歯は欠損しており、42歳患者の対合歯は健全であった。

## 結 果

### 1. 症例1

患者：72歳，女性

初診：1999年2月11日

主訴： $\bar{6}$ の違和感

口腔ならびに全身状態：図2に $\bar{6}$ の初診時の状態およびX線写真を示す。 $\bar{6}$ の遠心歯肉に軽度の歯肉炎があり、同部のクラウン辺縁部にステップを認め探針が侵入した。 $\bar{6}$ の2次う蝕と診断した。対合歯

はなく $\bar{876}$ が欠損し、他に隣接歯 $\bar{7}$ をはじめ、う蝕歯が多数認められた。全身状態に特記事項はなく、口腔清掃状態は良好であった。

治療方針：最初に $\bar{6}$ のクラウンを撤去し根管治療をおこなう。次いで隣接歯 $\bar{7}$ のう蝕治療を施し、 $\bar{6}$ のクラウン製作と他のう蝕治療を併行しておこなう。最後に欠損部の義歯を製作する。

クラウンの製作：

#### 1) 支台歯形成

図3に示すように支台歯に築造体を装着しクラウンの形成をおこなった。支台歯形態の辺縁はシャンファタイプとし、咬合面隅角は図4のとおりR1以上で面取り処理を施した。面の仕上げは超微粒子ダイヤモンドバーで切削傷を可及的に除去し、ポリシングペーパーパディスクで研磨した。

#### 2) 印象および石膏模型の製作

本症例は対合歯がないため $\bar{6}$ の局部印象とし、局部トレーを用い通法に従ってシリコンラバー（エグザファイン）による2回法でおこない、石膏分割模型を製作した。



図2. 症例1の右下6番初診時の状態  
(左：クラウン除去前 中：クラウン除去後 右：除去前のX線写真)

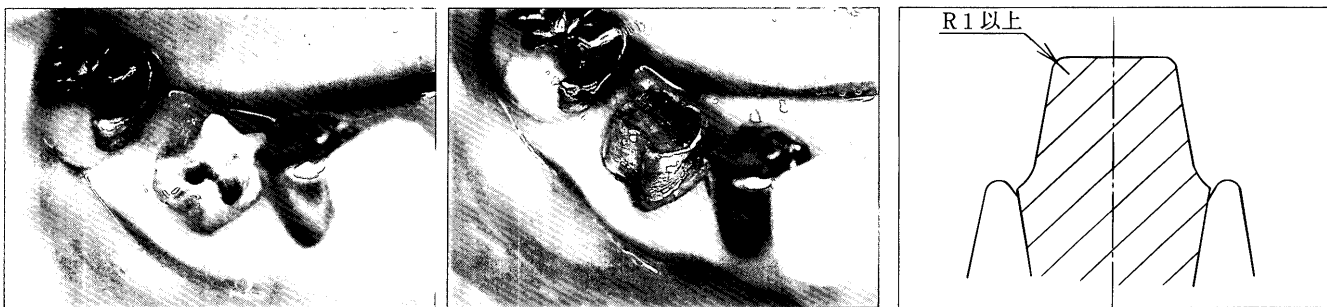


図3. 症例1ののクラウンの形成  
(左：コア形成後 右：築造体装着後クラウンの形成)

図4. 咬合面隅角の面取り処理

### 3) 石膏模型の測定

3次元測定によって⑥の支台歯は9,500ポイント、⑤の遠心隣接面は2,300ポイント、⑦の近心隣接面は2,100ポイントをそれぞれ12分10秒、2分40秒、3分、合計17分50秒で入力した。

### 4) クラウンの設計

両隣接歯とのコンタクトポイントはCAD上で接触設定とし、歯冠形態も手研磨時の仕上げ代は見込まず、3次元モデルどおりの加工データとした。また加工時に素材ブロックから削り出すクラウン部を加工機の固定治具に支持させるためφ5mmの円柱棒状のサポートを頬側面に配置した。セメント層クリアランス目標値は30～50μmであるが、本3次元システムの測定精度±25μmと加工精度±20μm<sup>10)</sup>を考慮して、支台歯データに対して50μmと80μmの2種類を設定した。なおマージンラインから約1mmの間はクリアランスは0μmとした。結果として、支台歯は3,400ポイント、クラウン歯冠部は3,900ポイント、最大豊隆線からマージンラインへ向かう滑らかな曲面は5面からなる図5のクラウン3次元モデルを得た。

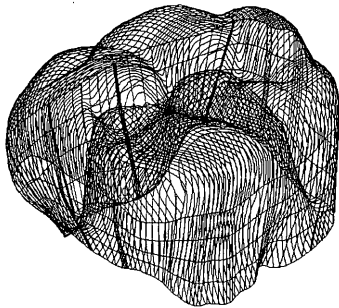


図5. CADで設計した症例1のクラウン

### 5) 加工

機械加工時間はφ6ボールエンドミルによる荒加工99分、φ4中仕上げ加工26分、φ3、φ2、φ1仕上げ加工106分、合計231分であった。

### 6) 研磨仕上げ

研磨仕上げは次の工程を経た。

- ① ビッグポリシングポイント（東洋）で咬合面以外の全面を研磨する。
- ② ホワイトポイント（松風）で咬合面を中仕上げする。
- ③ カーバイトバー（エメスコ）で溝部を調整する。
- ④ シリコンポイント（松風）で全体を仕上げる。

⑤ 研磨材ポリホワイト（東伸洋行）でブラッシングによる艶出しをおこなう。

⑥ バフ仕上げをおこなう。

図6に研磨仕上げ後のクラウンを示す。石膏模型上ではセメント層クリアランスは50μmが良好な適合性を示した。

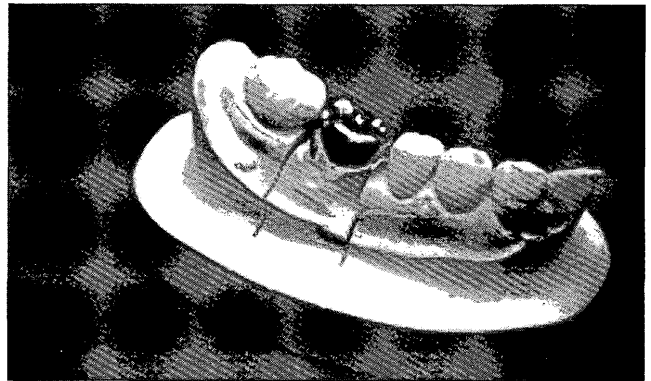


図6. 完成した症例1のクラウン

### 7) 口腔内試適装着

図7のように、チタンクラウンの支台歯への適合を確認した。接触点の診査はコンタクトゲージでおこない、50μm（緑）は通過して110μm（黄）はきつかったが臨床的に容認できた。合着はガラスアイオノマーセメント（フジリユート）を使用した。

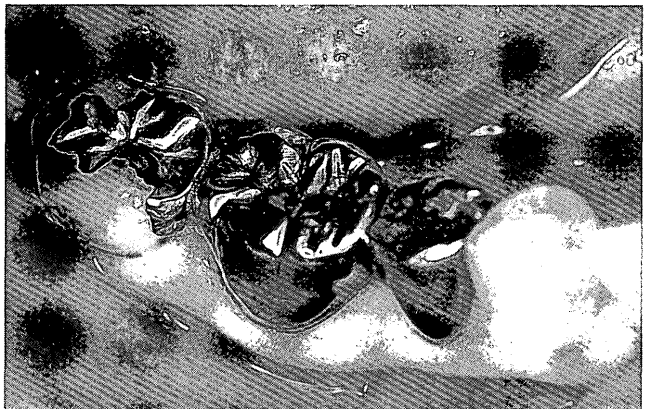


図7. 症例1の口腔内試適装着

### 8) 予後

歯肉炎は消退し、症状もなく5か月間経過している。

## 2. 症例 2

患者：42歳，女性

初診：1999年6月11日

主訴：6の違和感

口腔ならびに全身状態：図8に6の初診時の状態および図9にパノラマX線写真を示す。6の頬側歯肉に軽度の歯肉炎があり，クラウンの全周にわたって辺縁部にステップを認め探針が侵入した。クラウ



図8. 症例2の右下6番初診時の状態

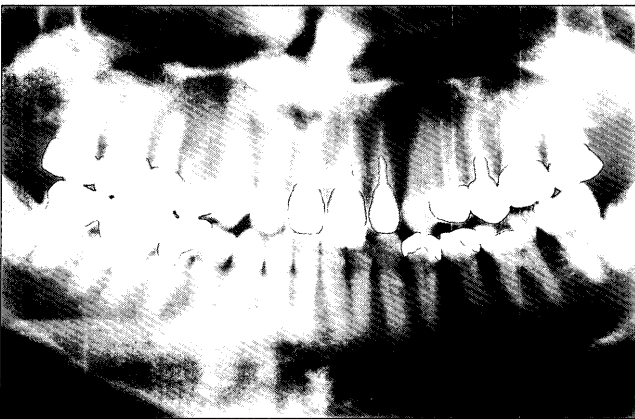


図9. 症例2の初診時のパノラマX線写真

ンの不適合と判定した。対合歯はクラウンであり，他にう蝕歯が多数認められた。全身状態に特記事項はなく，口腔清掃状態は良好であった。

治療方針：最初に6のクラウンを撤去し，う蝕患歯質を削去して，コア用レジン（DCコア）を充填する。6のクラウンの製作と他のう蝕治療を併行しておこなう。

クラウンの製作：

### 1) 支台歯の形成

本症例は支台歯が有髄歯であり，辺縁はシャンファタイプを原則としたが，露髄を避けるため舌側が一部ナイフエッジ状になった。図10に6の支台歯形成後の状態を示す。



図10. 症例2の支台歯形成  
(上：咬合面観 下：咬合状態)

### 2) 印象および石膏模型の製作

シリコンラバー（エグザファイン）で上下顎印象をとり，石膏分割模型を製作し，咬合器（デンタルホビー）に装着した。

### 3) 咬合関係の印記

今回は石膏模型上で咬合関係の印記をおこなった。下顎石膏模型6の上にワックス塊を置き，咬合器上で上顎対合歯を前方および側方に滑走運動をさせてF G Pワックスレコードを作成した。図11はワックスレコードを石膏レコードに置き換えたところである。



図11. 症例2のFGP石膏レコード

#### 4) 石膏模型の測定

3次元測定によって 6)の支台歯は 12,900 ポイント, 5)の遠心隣接面は 2,700 ポイント, 7)の近心隣接面は 3,300 ポイント, FGPレコードモデルは 8,300 ポイントをそれぞれ 17分 20秒, 3分 20秒, 4分 10秒, 8分 40秒, 合計 33分 30秒で入力した。図 12は支台歯を測定しているところである。



図12. 症例2の支台歯石膏模型の3次元測定

#### 5) クラウンの設計

症例1で研磨代が必要であることが判明したため, 本症例では両隣接歯とのコンタクトポイントは  $50\ \mu\text{m}$  オーバーラップする形状とし, 歯冠形態も手研磨時の仕上げ代を  $50\ \mu\text{m}$  見込んで加工データを作成した。またクラウン部を加工機の固定治具に支持させるため  $\phi 5.5\text{mm}$  の円柱棒状のサポートを頬側面に配置した。セメント層クリアランスは症例1の結果から支台歯に対して  $50\ \mu\text{m}$  の設定とした。さらに本症例は対合歯があるため, FGPデータをCAD上に同一座標で配置し, 咬合面データのFGPへの重複部

にマイナス修正をおこなった。結果として, 支台歯は 5,400 ポイント, クラウン歯冠部は 3,900 ポイント, 最大豊隆線からマージンラインへ向かう滑らかな曲面は 4面からなる図 13のクラウンの3次元モデルを得た。

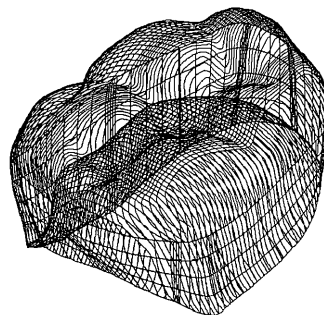


図13. CADで設計した症例2クラウン

#### 6) 加工

機械加工時間は  $\phi 6$  ボールエンドミルによる荒加工 103分,  $\phi 4$  中仕上げ加工 86分,  $\phi 3$ ,  $\phi 2$ ,  $\phi 1$  仕上げ加工 127分, 合計 316分であった。

#### 7) 研磨仕上げ

本症例は隣接歯とのコンタクト部に研磨代を設定していたため, 最初にビッグポリシングポイント(東洋)で隣接面コンタクトを合わせたのち, 症例1と同様の研磨仕上げ工程によって, 図 14のクラウンが得られた。歯冠形態の外観全体に研磨仕上げ代  $50\ \mu\text{m}$  を設けることによって, 特にマージン部は良好な研磨作業性を示した。また, 石膏模型上での試適では隣接歯とのコンタクト部もマイナス傾向は見られず, 接触点を有することを確認できた。

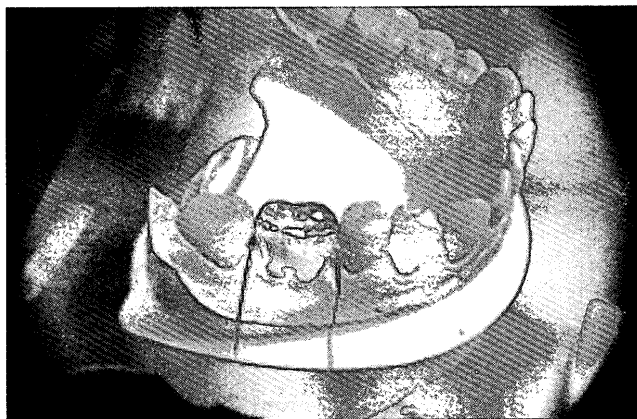


図14. 完成した症例2のクラウン

## 8) 口腔内試適装着

チタンクラウンの支台歯への適合を確認し、コンタクトポイントの調整、咬合調整、豊隆の調整をおこなった後、合着用ガラスアイオノマーセメント(ビトレマールーティング)にて合着、図15にその様子を示す。なお、接触点の診査はコンタクトゲージでおこない50  $\mu\text{m}$  (緑)は通過したが110  $\mu\text{m}$  (黄)は通過しなかった。

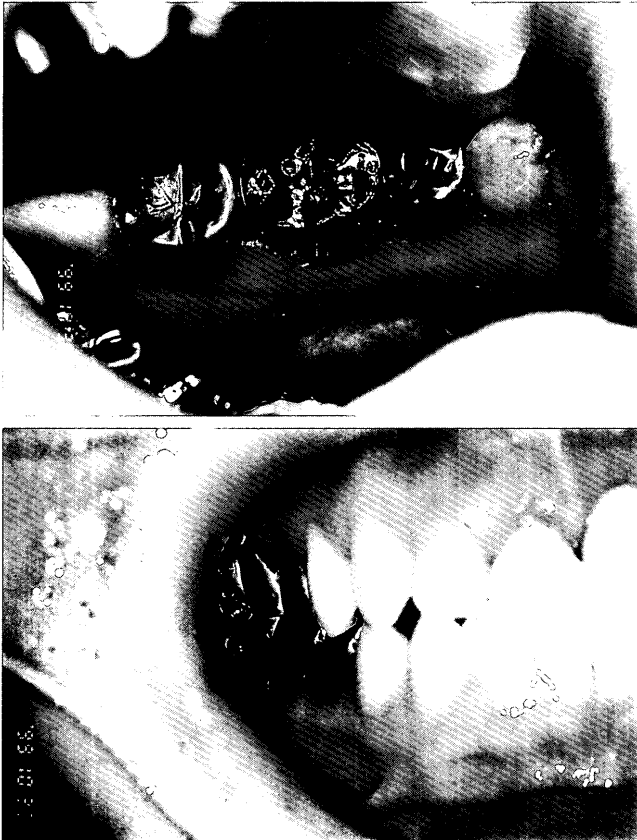


図15. 症例2の口腔内試適装着

## 9) 予後

初診時の歯肉炎や違和感は消失し、1か月経過して健全に機能を回復している。

## 考 察

### 1. 支台歯の形成

非接触式(光方式)の3次元測定法、3次元CADでのデータ編集作業、および3次元機械加工をおこなうために、支台歯の形成については次の点に留意する必要があると考えられた。

① 症例2では一部ナイフエッジ状の部位があり、3次元測定時にマージン部が明瞭でないため辺縁部の

判断に苦慮した。マージン部の形成はシャンフータイプに努め、ナイフエッジの場合は辺縁部を明確に設定する必要がある。

② 症例1で、舌側にテーパが垂直に近い部位があり、クラウン製作時にマージン部が肉薄の原因となったため、周囲の側面(歯軸)は通常のクラウン成形に準じ均等なテーパとする。

③ 形成面は微細な凹凸形状を残さず、可及的に滑らかな面に仕上げる。

④ 仕上げ加工用工具にはボールエンドミル $\phi 3$ 、 $\phi 2$ 、 $\phi 1$ の3種を使用した。最小径 $\phi 1$ は最終的な仕上げに低負荷で用いられるものであり、切削加工をおこなうためには負荷の掛けられる $\phi 2$ を使用した。したがってクラウン製作時の凹部である咬合面と周囲の側面の成す隅角は、機械加工時の工具 $\phi 2$ の半径R1以上に面取り処理を確実に施す必要がある。

以上の内容を満たす支台歯形成によって3次元システム上での作業が円滑となり、また臨床適用可能な症例の割合が向上すると考える。

### 2. 機械加工時間

チタン材の機械加工時間は症例1で231分、症例2では316分であった。これは今回使用したチタン素材ブロックが各種補綴物を想定し、 $14 \times 15 \times 30 \text{ mm}$ と大き目に設定したので荒加工時間が長かったためである。クラウン専用の各サイズに適した円柱ブロックを用意することによって時間短縮の対応ができる。また仕上げ加工も長時間を要したことから、加工条件の高速加工化への見直しを今後の課題としたい。

### 3. セメント層クリアランス

セメント層クリアランスは30~50  $\mu\text{m}$ を狙い値としたが、本3次元システムの精度を考慮して症例1では50  $\mu\text{m}$ と80  $\mu\text{m}$ の2種類を設定した結果、50  $\mu\text{m}$ で十分装着可能な適合性が得られた。また症例2でも50  $\mu\text{m}$ の設定で良好な適合を示したことから、本システムは目標値どおりの臨床応用に耐えうる高精度を有していると考えられた。

### 4. 研磨代の設定

隣接歯とのコンタクトポイント部は、症例1では研磨代を見込まずに設計をおこない研磨仕上げ後マイナス傾向となったため、鑄造法による製作時と同様に研磨代を見込む必要があると思われる。したがって症例2では50  $\mu\text{m}$ の研磨代を設定することによって良好なコンタクトが得られた。またマージン部を含む歯冠形態全体についても症例1では研磨代を

見込まず、マージン部のマイナス傾向が認められたため、症例2では50  $\mu$ m見込むことによって研磨作業性も改善された。

#### 5. 研磨仕上げ

鑄造によるチタンクラウンの研磨仕上げと比較すると、カーボランダムポイントによる全体の荒研磨が不要であった。これはチタン材の機械加工では表面の硬度が低いことと、傷が浅く均一であるためと思われた。

#### 6. データベースの充実

クラウン設計時に咬合面部はデータベースに登録してある歯冠形態を使用するが、今回は事前登録は1モデルだけであったため、2症例ともにこのモデルを用いた。CAD上では大幅に歯冠形態を修正することが不可能であるため、症例1では支台歯の根分岐部による頬舌側面の凹み、症例2では舌側面のふくらみ不足が生じた。これに対応するためには、データベースに各種形態に即したモデルを複数事前登録しておく必要があった。

### 結 論

今回の試行で、我々が確立してきた3次元CAD/CAMシステムによるクラウンの製作手法が、臨床上でも応用が可能であることが確認できた。そして加工精度の影響を受ける適合性については、支台歯に対するセメント層クリアランス、隣接歯とのコンタクトポイント、マージンラインすべてにおいて狙い値どおりの結果が得られた。さらにCAD上で数十 $\mu$ m台の微調整が可能であることが判明した。

CAD/CAMシステムによって優れたクラウンを製作するためには、支台歯の形成にあたってマージンの形態と、支台歯表面の滑沢性および隅角形成において十分配慮されなければならない。これは明倫システムだけでなく機械加工を用いるすべての歯科用CAD/CAMシステムに共通していると思われる。

今後の明倫システムの改善点としては、各作業工程における効率化を検討して、総合処理時間の短縮を図ることと、各種歯冠形態を登録しデータベースを充実することによって、各症例に即した形態を選択できるよう整備を進め、臨床へより近いシステムに熟成していきたいと考える。

### 参 考 文 献

- 1) 下河辺宏功：保存領域における審美修復—CAD/CAMシステムによるセラミック修復、Cerecを中心に—。北海道歯学雑誌、16：2-11, 1995
- 2) Hossain M, Sasaki T, Uno S, Kawakami S, Shimokobe H：Effect of gap dimensions on wear of prototype glass ionomer luting cement in margins of ceramic restorations：in vivo, *Hokkaido J Dent Sci* 16：212-224, 1995
- 3) 仁科匡生，町田宏夫，原田宏造，白田雅彦，太田 学，勝田真弘：歯科技工におけるコンピュータNC機械加工—省力化と高品質均一化による新しき技工—。QDT, 22(10)：22-38, 1997
- 4) 河合正治，馬場真佐美：歯科補綴物製作支援システムの開発（第2報）—クラウン設計システムの開発—。精密工誌，65(2)：255-259, 1999
- 5) 宮崎 隆，堀田康弘，李 元植，小林幸隆，藤原稔久，小泉英治郎，福永秀樹，川和忠治：CAD/CAMを利用した歯冠修復物へのアプローチ。QDT, 20(11)：15-28, 1995
- 6) 根岸政明，神田俊昭，古沢康仁，佐野裕子，下河辺宏功，内田安信：3次元システムによるクラウンの測定法ならびに設計法。明倫歯誌，1(1)：14-22, 1998
- 7) 根岸政明，竹部 茂，神田俊昭，古沢康仁，五十嵐雅子，佐野裕子，下河辺宏功，内田安信：鑄造および機械加工法によるチタン材料の性状について。明倫歯誌，2(1)：22-27, 1999
- 8) 田端恒雄：咬合面の作り方—FGPテクニックの理論と臨床（1）—。日本歯科評論，385：17-29, 1974
- 9) 田端恒雄：咬合面の作り方—FGPテクニックの理論と臨床（2）—。日本歯科評論，386：17-26, 1974
- 10) 古沢康仁，神田俊昭，根岸政明，佐野裕子，下河辺宏功，内田安信：CAD/CAMシステムにより製作したチタンクラウンの適合性。日本歯科技工誌，抄録集：37, 1999