

# CAD/CAM装置の計測方法の違いがクラウンの 適合精度に及ぼす影響

村尾 宏 文

## Influence of Die Measuring Methods of CAD/CAM System on Fitting Accuracy of Crown

Hirofumi MURAO

Recently CAD/CAM systems have been utilized in dentistry to fabricate ceramic crowns. Accuracy of CAD/CAM systems has rapidly improved as technology advanced. The purpose of this study is to evaluate the influence of different die measuring methods used in CAD/CAM systems on fitting accuracy of crown.

Four CAD/CAM systems which have different die measuring methods were used in this experiment. Measuring types evaluated here were contact probe (Dental Cadim (Advance Co.)), laser (DECSY (Media Co.) and GN-1 (GC Co.)), and CCD camera (CEREC3 (Sirona Co.)). Assuming a prepared abutment tooth for a ceramic crown, experimental conical dies of 10mm in diameter, 6mm in height and two different axial taper angles (4 and 6 degrees) were fabricated. Then gypsum die was prepared by silicone impression. This gypsum die was measured using each CAD/CAM system and then a ceramic coping was processed. Seven ceramic copings were processed by each CAD/CAM system. Fitting accuracy of the ceramic copings to the experimental die was measured by the replica method.

The results were as follows:

1. The marginal fitting accuracy of the ceramic copings processed by any of these four CAD/CAM systems showed less than  $80\mu\text{m}$ . This value was considered to be clinically acceptable.
2. The internal fitting accuracy of the ceramic copings processed by the CAD/CAM system using contact probe measuring was significantly better than that by the other CAD/CAM systems.
3. The ceramic copings processed by the CAD/CAM systems using laser measuring were well fitted in the margin and on the axial surface. However, the internal gap tended to be larger in the chamfer and the corner of the axial surface and the occlusal surface.

Key words : CAD/CAM system, Die measuring method, Ceramic coping, Fitting accuracy

受付：平成21年11月4日，受理：平成22年2月2日  
奥羽大学大学院歯学研究科咬合機能修復学専攻  
(指導：嶋倉道郎教授)

The Department of Occlusal Rehabilitation, Ohu  
University, Graduate School of Dentistry  
(Director : Prof. Michio SHIMAKURA)

## 緒 言

近年工業技術の発達により、歯科領域においても従来のロストワックス法に代わり、CAD/CAM (Computer Aided Designing / Computer Aided Manufacturing) を応用してクラウンを作製する方法が普及し始めている<sup>1-3)</sup>。CAD/CAM 装置でクラウンを作製する方法は、従来の方法に比べると技工操作の省力化が図れるし、作業環境の点でも優れている。最近では、患者の審美性に対する要求が高まっていることから、オールセラミッククラウンのコーピングあるいはクラウン全体を、CAD/CAM 装置で切削加工する方法が臨床に应用されている<sup>4-6)</sup>。

歯科領域における CAD/CAM は最初インレー修復に应用されたが、初期の装置はインレー合着後に咬合面を削合して形成する方式であり、窩洞への適合度にも難点があった。近年はクラウンの作製にも応用されるようになり、歯型を計測する方法にも工夫が凝らされ、適合精度も向上して従来のロストワックス法に匹敵するとまで言われている。

CAD/CAM 装置でクラウンを製作するためには、通常まず支台歯の歯型を計測して、コンピュータにデータを取り込む必要がある。この計測には現在いくつかの方法が応用されているが、いずれの方法においても、計測後取り込んだデータをキャリブレーションし、クラウンの形態をコンピュータで構築した後切削加工を行う。したがって CAD/CAM 装置で適合の良いクラウンを作製するためには、それぞれの計測方法の特徴を把握することが重要と考えられる。

これまでに CAD/CAM を応用して作製されたクラウンの適合精度については、いくつかの研究報告がなされている<sup>7-14)</sup>。しかしながら歯型の計測方法とクラウン内面の適合精度の関連について、詳細に検討した報告は見当たらない。そこで今回 CAD/CAM 装置の計測方法がクラウンの適合精度に及ぼす影響を追究する目的で、計測方法の異なる 4 種類の CAD/CAM 装置を用いて、セラミックブロックを切削加工してコーピングを作製した。そしてコーピングの支台歯金型への適合精度を、

内面の色々な部位で比較することにより、それぞれの計測方法の特徴について検討した。

## 材料と方法

### 1. 使用 CAD/CAM 装置

今回の実験ではコーピングを作製するための CAD/CAM 装置として、歯型の計測方法が異なる 4 種類を用いた。すなわち接触型プローブで走査する方式の DENTAL Cadim (Advance, 以下 CA と略記)、レーザーで計測する方式の DECSY (Media, 以下 DE と略記) および GN-1 (GC, 以下 GN と略記)、CCD カメラを使用して計測する方式の CEREC 3 (Sirona, 以下 CE と略記) の 4 種類である。

### 2. 実験方法

#### 1) 支台歯金型の作製

臼歯部オールセラミッククラウンの支台歯を想定した金型を、特注で 18-8 ステンレス鋼にて作製した。

金型の形態は歯頸部辺縁の直径 10.0mm、高径 6.0mm の円錐台形とし、辺縁形態は曲率半径が 1mm のシャンファータ입に設定して、軸面と咬合面が交わる隅角部にも曲率半径 1mm のラウンドを付与した。また軸面テーパは片側 4° と 6° の 2 種類を作製した (図 1)。

#### 2) 歯型の作製

支台歯金型を付加型シリコーン印象材 (エクザファイン, GC) で印象採得した後、超硬質石膏を注入して歯型を作製した。

歯型は各 CAD/CAM 装置につき 7 回印象採得を行い、各 7 個作製した。

#### 3) 歯型の計測

各 CAD/CAM 装置指定の方法で歯型の計測を行い、得られたデータによりコンピュータ画面上に歯型の三次元モデルを表示した。

#### 4) コーピングの作製

コーピングの設計にあたっては、まず内面形態は歯型の外形データにセメントラインを考慮して、各装置の標準的なキャリブレーション (GN, CE, CA は 50  $\mu$ m 拡大, DE は 55  $\mu$ m 拡大) を行って設定した。さらにコーピングの厚さが全体に 1.0mm となるように、歯型形態を均一に拡大し

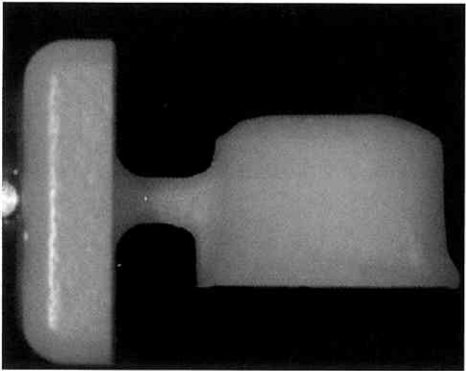
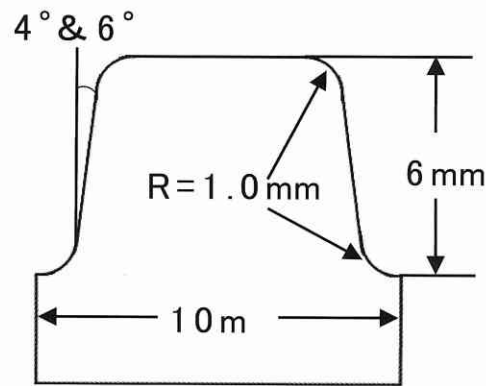
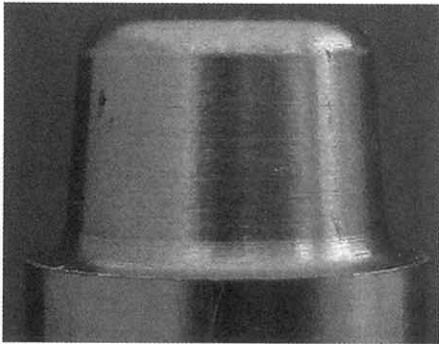


図2 切削加工されたセラミックコーピング

表1 各 CAD/CAM 装置の切削仕様

| 装置           | 回転数<br>(rpm) | 切削工具の形態   |
|--------------|--------------|---|
| Dental Cadim | 20000        | 粗加工：ボールエンド $\phi$ 2.0mm                                   |
|              |              | 仕上げ加工：ボールエンド $\phi$ 1.0mm                                 |
| DECSY        | 12000        | 粗加工：ボールエンド $\phi$ 3.0mm                                   |
|              |              | 仕上げ加工：ボールエンド $\phi$ 1.6mm                                 |
| GN-1         | 50000        | 粗加工：フラットエンド $\phi$ 2.0mm                                  |
|              |              | 仕上げ加工：ボールエンド $\phi$ 1.5mm<br>$\phi$ 1.0mm<br>$\phi$ 0.5mm |
| CEREC 3      | 40000        | ストレートシリンダー $\phi$ 1.6mm, 1.2mm                            |
|              |              | テーパードシリンダー $\phi$ 1.6mm                                   |

図1 実験用支台歯金型

たものを外面形態とした。

切削は各 CAD/CAM 装置専用のセラミックブロックと切削工具を用い、各装置指定の方法で行った。主な切削仕様を表1に示す。切削工具はいずれもダイヤモンド砥粒製のエンドミルで、粗加工用と仕上げ加工用の2種類を使用し、注水下で切削加工してオールセラミッククラウンのコーピングを作製した（図2）。

5）適合度測定試料の作製

完成したコーピングの金型への適合度測定には、Grey ら<sup>15)</sup>のレプリカ法を用いた。レプリカの作製は、まず金型とコーピングに分離剤を塗布した後、ブラックシリコーン（バイトチェッカー、GC）をベースとキャタリストの配合比率4：1で練和し、コーピング内面に填入した後金型にセットした。さらに定荷重加圧機で咬合面から垂直に200Nの荷重を加えそのまま60秒保持した。

ブラックシリコーンが硬化したらコーピングを注意深く取り外し、代わりにホワイトシリコーン（フィットチェッカー、GC）を練和して外側から包埋した。ホワイトシリコーンが硬化したら今度は金型を注意深く取り外し、同じく金型部分をホワイトシリコーンに置き換えた。硬化後、治具とカッターを用いて中央部で垂直に切断し、計測用のレプリカとした（図3）。

6）適合精度の測定

試料断面のブラックシリコーンの厚さをコーピングの適合度とみなし、読み取り顕微鏡（メジャースコープ、ニコン）を用いて厚さを計測した。

計測点は図4に示すように、コーピング辺縁部A、A'、シャンファー中央部B、B'、軸面中央部C、C'、軸面と咬合面の隅角部D、D'、咬合面中央部Eの合計9か所とした。この時、A、A'は垂直方向で、C、C'、Eは各面に対し直角方向で、B、B'、D、D'については各円弧の中央部を円の中

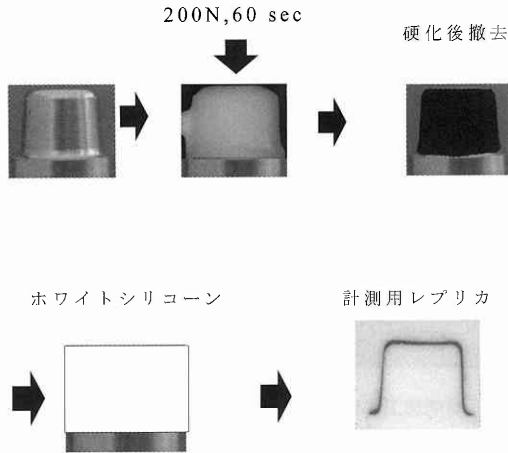


図3 計測用レプリカの作製方法

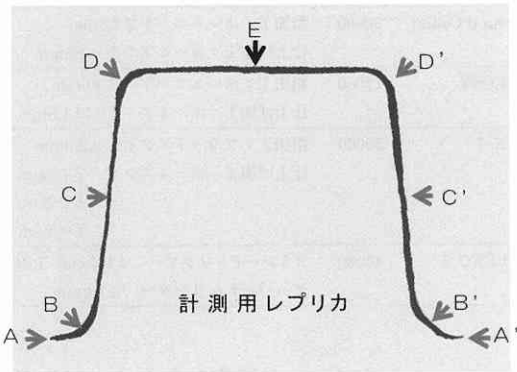


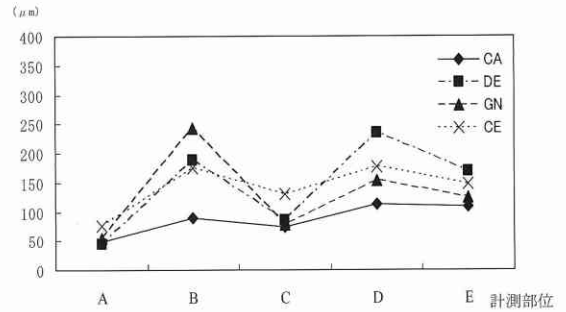
図4 適合度の計測部位

心から伸ばした直線方向で、ブラックシリコンの厚さを計測した。また左右は同一部位とみなして合算し、計5部位についてそれぞれの平均値を求めた。

統計処理は、各計測部位について一元配置分散分析および Tukey の多重比較を用いて各 CAD/CAM 装置間の比較を行い、 $4^\circ$ の金型と $6^\circ$ の金型の比較は Student's t-検定で行った。

## 結 果

テーパー $4^\circ$ の金型を使用した時の、各 CAD/CAM 装置で作製されたコーピングの適合度を図5および表2に、各計測部位における統計処理の結果を表3に示す。

図5 各計測部位におけるコーピングの適合精度 (テーパー $4^\circ$ )表2 各計測部位におけるコーピングの適合度 (テーパー $4^\circ$ )

| (ターバー 4°) |        |        |        |        | (μ m)  |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|
|           | A      | B      | C      | D      | E      |
| C A       | 48.7   | 89.1   | 73.8   | 113.3  | 109.0  |
| (S.D.)    | (9.0)  | (13.1) | (26.3) | (17.6) | (5.8)  |
| D E       | 45.2   | 187.6  | 85.7   | 235.0  | 169.0  |
| (S.D.)    | (9.5)  | (28.6) | (41.7) | (37.7) | (38.4) |
| G N       | 53.9   | 242.2  | 77.1   | 153.2  | 124.8  |
| (S.D.)    | (5.7)  | (25.3) | (21.2) | (21.5) | (20.0) |
| C E       | 74.8   | 174.2  | 129.2  | 176.0  | 148.5  |
| (S.D.)    | (21.6) | (40.3) | (36.9) | (55.2) | (23.3) |

全体的に見ると、辺縁部Aと軸面中央部Cでは間隙が比較的小さな値を示し、各装置間での差も小さかった。一方シャンファー中央部Bと軸面と咬合面の隅角部Dでは、各装置間で値に大きな差が見られた。

CAは辺縁部Aで $48.7 \pm 9.0 \mu\text{m}$ 、シャンファー中央部Bで $89.1 \pm 13.1 \mu\text{m}$ 、軸面中央部Cで $73.8 \pm 26.3 \mu\text{m}$ 、軸面と咬合面の隅角部Dで $113.3 \pm 17.6 \mu\text{m}$ 、咬合面中央部Eで $109.0 \pm 5.8 \mu\text{m}$ 、とすべての計測部位で小さい値を示し、部位の違いによる適合度の差も比較的小さかった。特にシャンファー中央部B、軸面と咬合面の隅角部D、咬合面中央部Eでは、他のGN、CE、DEに対して有意に小さな値を示した。

DEは辺縁部Aと軸面中央部CではCAに近い小さな値となった。しかし計測部位による適合度に大きな差が認められ、シャンファー中央部および軸面と咬合面の隅角部で値が大きくなる傾向を示し、軸面と咬合面の隅角部Dでは $235.0 \pm$

表3－1 適合精度の分析結果（テーパー4°）

辺縁部A

| 要因     | 平方和     | 自由度 | 不偏分散    | 分散比       | 危険率      |
|--------|---------|-----|---------|-----------|----------|
| 因子（装置） | 7404.36 | 3   | 2468.12 | F=14.59** | p<0.0001 |
| 誤差     | 8793.86 | 52  | 169.11  |           |          |
|        |         | C A | D E     | G N       |          |
| D E    |         | —   | —       |           |          |
| G N    |         | —   | —       |           |          |
| C E    |         | **  | **      | **        |          |

—：有意差無し，\*：p<0.05で有意差有り，\*\*：p<0.01で有意差有り

シャンファー中央部B

| 要因     | 平方和       | 自由度 | 不偏分散     | 分散比       | 危険率      |
|--------|-----------|-----|----------|-----------|----------|
| 因子（装置） | 168673.91 | 3   | 56224.64 | F=68.85** | p<0.0001 |
| 誤差     | 42466.64  | 52  | 816.67   |           |          |
|        |           | C A | D E      | G N       |          |
| D E    |           | **  |          |           |          |
| G N    |           | **  | **       |           |          |
| C E    |           | **  | —        | **        |          |

—：有意差無し，\*：p<0.05で有意差有り，\*\*：p<0.01で有意差有り

軸面中央部C

| 要因     | 平方和      | 自由度 | 不偏分散    | 分散比      | 危険率      |
|--------|----------|-----|---------|----------|----------|
| 因子（装置） | 27736.20 | 3   | 9245.40 | F=8.70** | p=0.0001 |
| 誤差     | 55253.79 | 52  | 1062.57 |          |          |
|        |          | C A | D E     | G N      |          |
| D E    |          | —   |         |          |          |
| G N    |          | —   | —       |          |          |
| C E    |          | **  | **      | **       |          |

—：有意差無し，\*：p<0.05で有意差有り，\*\*：p<0.01で有意差有り

表3－2 適合精度の分析結果（テーパー4°）

軸面と咬合面の隅角部D

| 要因     | 平方和       | 自由度 | 不偏分散     | 分散比       | 危険率      |
|--------|-----------|-----|----------|-----------|----------|
| 因子（装置） | 113000.34 | 3   | 37666.78 | F=28.70** | p<0.0001 |
| 誤差     | 68234.64  | 52  | 1312.20  |           |          |
|        |           | C A | D E      | G N       |          |
| D E    |           | **  |          |           |          |
| G N    |           | **  | **       |           |          |
| C E    |           | **  | **       | —         |          |

—：有意差無し，\*：p<0.05で有意差有り，\*\*：p<0.01で有意差有り

咬合面中央部E

| 要因     | 平方和      | 自由度 | 不偏分散    | 分散比       | 危険率      |
|--------|----------|-----|---------|-----------|----------|
| 因子（装置） | 22390.57 | 3   | 7463.52 | F=11.02** | p=0.0001 |
| 誤差     | 16253.43 | 24  | 677.23  |           |          |
|        |          | C A | D E     | G N       |          |
| D E    |          | **  |         |           |          |
| G N    |          | *   | **      |           |          |
| C E    |          | **  | —       | —         |          |

—：有意差無し，\*：p<0.05で有意差有り，\*\*：p<0.01で有意差有り

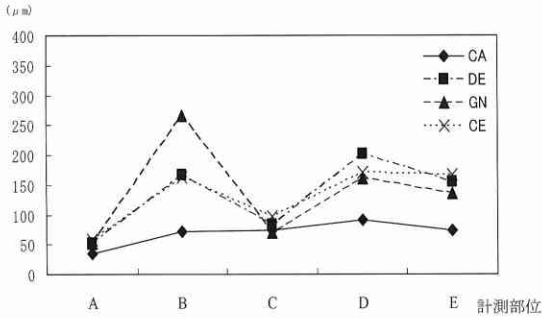


図6 各計測部位におけるコーピングの適合精度  
(テーパー6°)

37.7  $\mu\text{m}$  と、他の CA, GN, CE に対して有意に大きな値となった。

GN も計測部位による適合度の差が大きく、辺縁部 A および軸面中央部 C では CA に近い小さな値となった。しかし DE と同様にシャンファー中央部および軸面と咬合面の隅角部で値が大きくなる傾向が見られ、シャンファー中央部 B では  $242.2 \pm 25.3 \mu\text{m}$  と他の CA, DE, CE に対して有意に大きな値を示した。

CE は DE および GN に比べると計測部位による適合度の差は少なかったが、辺縁部と軸面中央部で他の装置より値が大きくなる傾向を示し、辺縁部 A で  $74.8 \pm 21.6 \mu\text{m}$ 、軸面中央部 C で  $129.2 \pm 36.9 \mu\text{m}$  と、他の CA, DE, GN に対して有意に大きな値を示した。

次にテーパー 6° の金型を使用した時の、各 CAD/CAM 装置で作製されたコーピングの適合度を図 6 および表 4 に、各計測部位における統計処理の結果を表 5 に示す。

全体的にテーパー 4° の場合と類似した傾向が見られたが、CA は辺縁部 A で  $35.5 \pm 6.6 \mu\text{m}$ 、シャンファー中央部 B で  $72.7 \pm 22.6 \mu\text{m}$ 、軸面中央部 C で  $74.5 \pm 23.7 \mu\text{m}$ 、軸面と咬合面の隅角部 D で  $91.2 \pm 25.2 \mu\text{m}$ 、咬合面中央部 E で  $74.1 \pm 29.7 \mu\text{m}$  と全ての部位で  $100 \mu\text{m}$  以下の小さな値となり、かつ計測部位による差も小さかった。また統計処理の結果、軸面中央部 C を除く 4 つの計測部位 A, B, D, E では、他の DE, GN, CE に対して有意に小さな値を示した。

表 4 各計測部位におけるコーピングの適合度  
(テーパー 6°)

|        | ( $\mu\text{m}$ ) |        |        |        |        |
|--------|-------------------|--------|--------|--------|--------|
|        | A                 | B      | C      | D      | E      |
| C A    | 35.5              | 72.7   | 74.5   | 91.2   | 74.1   |
| (S.D.) | (6.6)             | (22.6) | (23.7) | (25.2) | (29.7) |
| D E    | 52.5              | 166.6  | 83.3   | 202.9  | 154.8  |
| (S.D.) | (7.4)             | (50.0) | (23.5) | (46.5) | (29.4) |
| G N    | 51.8              | 266.4  | 70.2   | 161.0  | 135.6  |
| (S.D.) | (5.9)             | (47.5) | (15.5) | (23.7) | (15.7) |
| C E    | 59.2              | 163.8  | 96.6   | 170.7  | 166.4  |
| (S.D.) | (7.2)             | (28.7) | (31.8) | (35.2) | (22.2) |

DE は計測部位による適合度の差がやはり大きく、特に軸面と咬合面の隅角部 D で最大となり、 $202.9 \pm 46.5 \mu\text{m}$  と他の CA, GN, CE に対して有意に大きな値を示した。

GN もテーパー 4° の場合と同様に、計測部位による適合度の差が大きく、特にシャンファー中央部 B で最大となり、 $266.4 \pm 47.5 \mu\text{m}$  と他の CA, DE, CE に対して有意に大きな値を示した。

CE は計測部位による差はそれほど大きくはなかったが、辺縁部 A では  $59.2 \pm 7.2 \mu\text{m}$  と他の CA, DE, GN に対して有意に大きな値を示した。

テーパー 4° の金型と 6° の金型で作製したコーピングを比較してみると、CA では軸面中央部 C 以外の計測部位において、テーパー 6° の金型で作製したコーピングの方が、間隙は有意に小さな値を示した。一方 DE と GN では、テーパー 4° と 6° の金型で作製したコーピングの間に、全ての計測部位で適合度の有意差は認められなかった。また CE では、辺縁部 A と軸面中央部 C において、テーパー 6° の金型で作製したコーピングの方が、間隙は有意に小さな値を示した。

## 考 察

### 1. 実験方法について

CAD/CAM 装置でクラウンを製作する場合には、まず支台歯の形態を三次元データとしてコンピュータに取り込む必要がある。そのための歯型の計測方法として、接触型プローブで直接歯型を走査する方法、レーザー変位計を応用して計測する方法、CCD カメラで計測するいわゆる光学印

表5－1 適合精度の分析結果（テーパー6°）

|  |         |     |         |           |          |
|--|---------|-----|---------|-----------|----------|
| 辺縁部A                                   |         |     |         |           |          |
| 要因                                     | 平方和     | 自由度 | 不偏分散    | 分散比       | 危険率      |
| 因子（装置）                                 | 4283.86 | 3   | 1427.95 | F=30.29** | p<0.0001 |
| 誤差                                     | 2451.57 | 52  | 47.15   |           |          |
|  |         | C A | D E     | G N       |          |
| D E                                    |         | **  |         |           |          |
| G N                                    |         | **  | —       |           |          |
| C E                                    |         | **  | *       | **        |          |
| －：有意差無し，*：p<0.05で有意差有り，**：p<0.01で有意差有り |         |     |         |           |          |

|  |           |     |          |           |          |
|--|-----------|-----|----------|-----------|----------|
| シャンファー中央部B                             |           |     |          |           |          |
| 要因                                     | 平方和       | 自由度 | 不偏分散     | 分散比       | 危険率      |
| 因子（装置）                                 | 262803.00 | 3   | 87601.00 | F=57.36** | p<0.0001 |
| 誤差                                     | 79410.71  | 52  | 1527.13  |           |          |
|  |           | C A | D E      | G N       |          |
| D E                                    |           | **  |          |           |          |
| G N                                    |           | **  | **       |           |          |
| C E                                    |           | **  | —        | **        |          |
| －：有意差無し，*：p<0.05で有意差有り，**：p<0.01で有意差有り |           |     |          |           |          |

|  |          |     |         |         |          |
|--|----------|-----|---------|---------|----------|
| 軸面中央部C                                 |          |     |         |         |          |
| 要因                                     | 平方和      | 自由度 | 不偏分散    | 分散比     | 危険率      |
| 因子（装置）                                 | 5708.62  | 3   | 1902.87 | F=3.21* | p=0.0304 |
| 誤差                                     | 30836.21 | 52  | 593.00  |         |          |
|  |          | C A | D E     | G N     |          |
| D E                                    |          | —   |         |         |          |
| G N                                    |          | —   | —       |         |          |
| C E                                    |          | *   | —       | **      |          |
| －：有意差無し，*：p<0.05で有意差有り，**：p<0.01で有意差有り |          |     |         |         |          |

表5－2 適合精度の分析結果（テーパー6°）

|  |          |     |          |           |          |
|--|----------|-----|----------|-----------|----------|
| 軸面と咬合面の隅角部D                            |          |     |          |           |          |
| 要因                                     | 平方和      | 自由度 | 不偏分散     | 分散比       | 危険率      |
| 因子（装置）                                 | 92990.34 | 3   | 30996.78 | F=26.89** | p<0.0001 |
| 誤差                                     | 59939.64 | 52  | 1152.69  |           |          |
|  |          | C A | D E      | G N       |          |
| D E                                    |          | **  |          |           |          |
| G N                                    |          | **  | **       |           |          |
| C E                                    |          | **  | *        | —         |          |
| －：有意差無し，*：p<0.05で有意差有り，**：p<0.01で有意差有り |          |     |          |           |          |

|  |          |     |          |           |          |
|--|----------|-----|----------|-----------|----------|
| E                                      |          |     |          |           |          |
| 要因                                     | 平方和      | 自由度 | 不偏分散     | 分散比       | 危険率      |
| 因子（装置）                                 | 36001.43 | 3   | 12000.48 | F=19.26** | p<0.0001 |
| 誤差                                     | 14952.00 | 24  | 623.00   |           |          |
|  |          | C A | D E      | G N       |          |
| D E                                    |          | **  |          |           |          |
| G N                                    |          | **  | —        |           |          |
| C E                                    |          | **  | —        | *         |          |
| －：有意差無し，*：p<0.05で有意差有り，**：p<0.01で有意差有り |          |     |          |           |          |

象法の3種類が臨床で使用されている。そこで今回これら3種類の計測方法を採用している4種類のCAD/CAM装置を選択し、セラミックコーピングを切削加工して、内面各部位の適合精度にどのような影響を及ぼしているか詳細に検討した。

一方CAMに相当する切削加工については、今回使用した装置はいずれも、ダイヤモンド砥粒の工具を使用して、粗加工と仕上げ加工の2段階で行っている。また仕上げ加工の工具の形態は、どの装置も直径1.6mm以下で先端が球状のボールエンドミルを使用しているため、内面隅角部の切削も理論上はCADで構築した形態通りに行える。したがって切削時の回転数は異なるものの、装置による加工精度の差は少ないものと考えた。

クラウンの支台歯への適合度を観察する方法には、クラウンを支台歯に合着した後、中央部で縦に切断し断面を観察してセメントの厚さを計測する方法<sup>8,10,11,16)</sup>、クラウンを支台歯に試適して一定荷重を加えた後、辺縁部の浮き上がり量を計測する方法<sup>13,16)</sup>、内面にホワイトシリコンなどの適合試験材を用いてその厚さを計測する方法<sup>9,14,17,18)</sup>、マージンチェッカーなどの計測器を用いて辺縁部のオーバーハング量や不足量を計測する方法<sup>19,20)</sup>などがある。

本実験では各CAD/CAM装置の歯型計測方法の違いが、完成したコーピングの適合精度に及ぼす影響を調べることを目的としており、装置の特徴を詳細に検討するためにはコーピング内面各部位での適合精度を調べる必要がある。したがって辺縁部の浮き上がり量やオーバーハング量だけを計測する方法はこの目的に合致しない。またコーピングを合着して縦に切断する方法は、支台歯を多数準備する必要があるため、天然歯や人工歯を使用する場合には適しているかもしれないが、マスターモデルとしての金型を多数準備するのは費用の点からも非現実的である。そこで今回の実験では、金型を傷つけることなくコーピング内面各部位の適合度を測定することが可能で、再計測も可能なレプリカ法を採用した。

このレプリカ法では、ブラックシリコンのベースとキャタリストの配合比率や、コーピングに加える荷重量によって、シリコンの被膜厚さ

すなわち間隙量が違ってくると予測される。大島ら<sup>17)</sup>はガラス平板を用い、ブラックシリコンのベースとキャタリストの配合比率および荷重量を変えて、シリコンの被膜厚さについて実験を行っている。その報告によれば、ベースとキャタリストの配合比率を4:1とした場合に、荷重の増加と共に被膜厚さは減少するが、荷重15kgを超えると被膜厚さの変化はほとんど認められなかった。そこで今回の実験ではブラックシリコンのベースとキャタリストの配合比率を4:1に設定し、荷重量は余裕を考慮してやや大きめの200Nとした。

適合度の測定部位については、風間ら<sup>12)</sup>のコーピングの適合性の測定部位を参考にして、計測点をコーピングの辺縁部、シャンファー中央部、軸面中央部、軸面と咬合面の隅角部、咬合面中央部に設定した。辺縁部の適合度は、クラウンを合着した際に支台歯を含む周囲組織の予後に与える影響が大きいと考えられる。またシャンファー中央部および軸面と咬合面の隅角部は、支台歯形態の中でも湾曲が強い部位であるため、計測方法の違いによる差が出やすいのではないかと考えた。

## 2. 実験結果について

CAD/CAM装置で作製されたセラミッククラウンの適合度については、これまでにいくつかの報告がなされている。しかしそれぞれ使用するCAD/CAM装置や計測方法あるいは切削する材料などによって、適合度の数値に大きな差がある<sup>21~26)</sup>。

今回の実験結果をみると、CAで作製されたコーピングは、テーパー6°の金型の辺縁部では40 $\mu$ m以下、最大の間隙を示したテーパー4°の金型の軸面と咬合面の隅角部でも113 $\mu$ mと、全ての計測部位において金型との間隙が小さな値を示し、計測部位の違いによる差も小さかった。特にシャンファー中央部、軸面と咬合面の隅角部、咬合面中央部においては他のDE、GN、CEと比較して有意に小さかった。これはCAが歯型の計測に接触型プローベを使用しており、プローベ先端が直接歯型に接触して走査するため、データを取得する際に時間はかかるものの、誤差は少なく正確な外形データが取得できたためと考えられる。



一方 DE で作製されたコーピングは軸面と咬合面の隅角部で金型との間に大きな間隙を示し、GN で製作されたコーピングはシャンファー中央部で大きな間隙を示した。どちらもレーザーで歯型を計測する方式を採用しているが、レーザー変位計の原理は、まず装置から発振されたレーザー光が、対象物に向かいその表面で拡散反射する。その反射光の一部を装置内に組み込まれた受光レンズで集光し、さらに CCD 上に結像させる。したがって対象物が変位すると拡散反射光の集光する角度が変化し、CCD 上の結像位置が移動するので、それをセンサーで検出することによって、対象物の変位量が測定できるわけである。

その機構からして凹凸のある部分ではレーザー光が多重反射しやすいため、計測が不安定になり誤差が生じやすい。また表面性状によってはレーザー光が透過してしまったり、うまく反射しなかったりすることも計測誤差を生む原因となる。そこで計測誤差を少なくするため、DE ではレーザーの光軸は一定に固定し、歯型を設置するステージの角度を水平的に $60^\circ$ 単位で変化させる仕組みになっており、GN ではレーザー光軸の角度を変化させると共に、ステージも水平的に少しずつ回転させることによって歯型全体を走査する仕組みになっている。

この対象物の凹凸のある部分では誤差が生じやすいというレーザー計測の特徴が、DE と GN で作製されたコーピングの内面適合度に現れたのではないかと考えられる。三浦ら<sup>22)</sup>、兼田ら<sup>23)</sup>も、機種は異なるもののレーザー計測を採用した CAD/CAM 装置で作製したジルコニアセラミックコーピングは、軸面部よりもショルダー部や切端部において、内面に大きな間隙が見られたことを報告している。今回の実験でもそれと類似した結果が得られたことから、やはりレーザー計測を採用した CAD/CAM 装置では、歯型の隅角部で計測誤差が生じやすいことが伺われる。

また同じレーザーによる計測でも、DE はシートレーザーと呼ばれるレーザー面で走査することにより、計測時間の短縮に役立っている。一方 GN は通常のラインレーザーで走査するため、計測時間は相対的に長くなる。この走査方式の違い

がコーピング内面の適合度に微妙な影響を及ぼし、DE と GN の計測部位による適合度の違いとなって現れたのではないかと考えられる。

CE は歯型の計測に CCD カメラを利用する光学印象と呼ばれる方法を採用している。この方法は三角測量法の原理に基づいており、まずカメラ内部から歯型に向かって、深度に依存して変化する平行な縞模様を LED 光により投影し、その縞模様を投影方向と若干異なる角度からカメラの CCD センサーが読み取ることで形状を把握する仕組みになっている。この縞模様の変化をコンピュータで三次元情報に変換するわけである。したがって撮影方向に対して平行に近い面ほど計測誤差が生じやすいことが考えられ、もちろんアンダーカットとなる部分は計測できない。この CCD カメラによる計測法の特徴が、テーパー $4^\circ$ の金型において、辺縁部と軸面中央部で CE は他の装置よりも間隙が大きくなった一因ではないかと考えられる。

今回の実験で使用した CAD/CAM 装置はいずれも、コーピングの内面は計測した歯型外形を $50\sim 55\mu\text{m}$ 拡大したデータを基に切削加工している。したがって理論的には均一にやや大きいコーピングが出来上がることが予測され、その場合は辺縁部と咬合面部で金型との間隙が少なくなるはずである。しかしながら実際には辺縁部と軸面部でこの間隙は少なくなり、他の部位では装置間の差が大きく現れた。データをキャリブレーションする段階では、いずれの CAD/CAM 装置も同様の方法で行っており、差が出たとは考えにくい。したがって歯型計測の段階で、その方法の違いにより歯型の外形データが微妙に異なって取り込まれたことが伺われる。

またテーパー $4^\circ$ の金型と $6^\circ$ の金型を比較すると、CA では軸面中央部以外はテーパー $6^\circ$ の方が内面の適合度は向上したのに対し、DE と GN ではほとんど変化がなかった。これはやはり CA は接触型プローブで走査するため、得られたデータはもとの歯型外形に近くなり、これまで言われてきたようにテーパーが大きくなった分だけ全体の適合が良くなったのではないかと考えられる。一方レーザー変位計を応用して計測する方式では、

前述のように隅角部での計測誤差が大きく現れたため、テーパー $2^{\circ}$ の違いが相殺されてしまい、全体としての適合度に影響を与えなかったのではないかと推察される。

CEでは辺縁部と軸面中央部において、テーパー $6^{\circ}$ の金型の方が適合度は向上した。これは前述のようにCCDカメラで計測する時に、投影方向に対し歯型の軸面がわずかでも傾いて角度が増したため、その分計測精度が向上し、軸面から辺縁部にかけての適合精度が良くなった結果、間隙が少なくなったのではないかと考えられる。

以上のように、今回の実験からCAD/CAM装置の歯型計測方法は、完成したクラウンの適合度に影響を及ぼすことが分かった。実際にはどの計測方式でもデータを取り込んだ後、セメントラインなどを考慮してキャリブレーションを行ってからクラウンの形態を構築する。オールセラミッククラウンの最適な支台歯への適合度については、従来の金属鑄造冠と同等に考えてよいかどうか不明な点もあるが、CAD/CAM装置それぞれの計測方式に合わせたキャリブレーションの方法を検討、工夫することにより、より適合精度の優れたクラウンを切削加工することが可能と考えられた。

## 結 論

計測方法の異なる4種類のCAD/CAM装置を用いてセラミックコーピングを切削加工し、レプリカ法で金型への適合度を比較検討した結果、以下の結論を得た。

1. どの計測方法で作製したコーピングも、辺縁部の適合度は $80\mu\text{m}$ 以下を示し、臨床的には十分応用可能と考えられた。

2. 接触型プローブによる計測方法で作製したコーピングは、他の計測方法で作製したコーピングに比較して良好な適合精度を示し、特に支台歯のシャンファー中央部、軸面と咬合面の隅角部、咬合面中央部において顕著であった。

3. レーザーによる計測方法で作製したコーピングは、辺縁部と軸面中央部では良好な適合度を示したが、シャンファー中央部、軸面と咬合面の隅角部において金型との間隙が大きくなる傾向が認められた。

## 謝 辞

稿を終えるに臨み、本研究にあたり終始御懇篤なる御指導と御校閲を賜りました奥羽大学大学院歯学研究科嶋倉道郎教授、ならびに専門の立場から御指導と御協力を賜りました奥羽大学生体材料学講座川島功教授に謹んで感謝の意を表します。最後に、本研究に御協力下さいました生体材料学講座、歯科補綴学講座の諸先生方に厚く御礼申し上げます。

本論文の要旨は、第45回奥羽大学歯学会(平成20年6月 郡山市)において発表した。

## 文 献

- 1) 正田一洋：歯冠形態の三次元計測と復元(CAD/CAM)に関する研究. 補綴誌 41; 804-813 1997.
- 2) 内山洋一：歯科医療にとって必須のCAD/CAMシステム. 補綴誌 45; 381-396 2001.
- 3) Herrguth, M., Wichmann, M. and Reich, S.: The aesthetics of all-ceramic veneered and monolithic CAD/CAM crowns. J Oral Rehabil 32; 747-752 2005.
- 4) 中村隆志, 田中 豊, 小河宏行, 赤尾 剛, 今西仰, 日野年澄, 丸山剛郎：歯科用CAD/CAMシステムCERECに関する臨床的研究. 補綴誌 37; 116-120 1993.
- 5) Bindl, A. and Mörmann, W. H.: An up to 5-year clinical evaluation of posterior in-ceramic CAD/CAM core crowns. Int J Prosthodont 15; 451-456 2002.
- 6) Barnfather, K. D. and Brunton, P. A.: Restoration of the upper dental arch using lava all-ceramic crown and bridgework. Br Dent J 23; 731-735 2007.
- 7) 白井将樹, 新谷明喜, 横塚繁雄：CAD/CAMシステムによるチタンクラウン内面の加工精度. 補綴誌 43; 160-170 1999.
- 8) 正田一洋, 舞田健夫, 小林國彦, 田中 収, 藤井健男, 大野弘機, 内山洋一：CAD/CAMシステムによって製作したコンポジットレジンクラウンの辺縁適合性. 歯材器 21; 294-301 2002.
- 9) 宇野光乗, 古谷昌義, 石神 元, 倉知正和：CAD/CAMシステムによって製作した純チタンクラウンの適合制度. 補綴誌 46; 34-43 2002.
- 10) 渡辺 官, 後藤治彦, 増田美樹子, 若見昌信, 桜田俊彦, 豊嶋朗子：CAD/CAMシステムにおけるセメントスペースの違いによるコーピングの適合精度. 日大口腔科学 29; 142-149 2003.
- 11) 後藤治彦, 渡辺 官, 竹林千賀子, 若見昌信, 増田美樹子, 村守樹理, 會田雅啓：CAD/CAMシ

- システムにおけるテーパー角の違いによるコーピングの適合精度. 日大口腔科学 **31** ; 36-42 2005.
- 12) 風間龍之輔, 福島正義, 坂入正彦, 竹中彰治, 興地隆史, 岩久正明, 笠原悦男, 加藤一誠: CAD/CAMシステムによるオールセラミックコーピングの適合性. 歯科審美 **18** ; 29-35 2005.
- 13) 石田喜紀, 岡田英俊, 野口博志, 福井和徳, 菊井徹哉, 長山克也: CAD/CAMによる歯科修復物の製作. 奥羽大歯学誌 **33** ; 35-40 2006.
- 14) 浅井哲也, 風間龍之輔, 興地隆史, 福島正義: 歯科用CAD/CAMで製作されたオールセラミック修復物の適合性. 歯科審美 **20** ; 10-15 2007.
- 15) Grey, N. J. A., Pidcock, V. and Wilson, M. A. : *In vitro* comparison of conventional crowns and a new all-ceramic system. J Dent **21** ; 47-51 1993.
- 16) 吉田恵夫: 歯科鑄造法の実用的精度について. 補綴誌 **2** ; 55-86 1958.
- 17) 大島志保, 三輪悦子, 滝新典生, 森戸光彦, 宮田孝義, 細井紀雄, 尾花甚一: 鑄造冠の適合試験について. 補綴誌 **26** ; 79-85 1982.
- 18) 中里隆志, 時崎照彦, 住井俊夫: オールセラミックス・クラウンの適合精度. 歯材器 **12** ; 336-345 1993.
- 19) 望月 洋: 歯冠補綴物の辺縁適合状態に対する機械的測定—マージン・チェッカーの開発—. 補綴誌 **27** ; 987-1000 1983.
- 20) 長谷川成男, 望月 洋, 佐藤尚弘, 三浦宏之: マージン・チェッカーにて診査した歯冠補綴物の辺縁適合状態. 補綴誌 **32** ; 1331-1335 1988.
- 21) May, K. B., Russell, M. M., Razzoog, M. E. and Lang, B. R. : Precision of fit : the procera all-ceram crown. J Prosthet Dent **80** ; 394-404 1998.
- 22) 三浦貴子, 稲垣亮一, 今野龍彦, 依田正信, 奥野攻, 木村幸平: 高強度多結晶酸化ジルコニウムに関する基礎的検討—適合精度について—. 歯科審美 **16** ; 52-55 2004.
- 23) 兼田陽介, 三浦貴子, 稲垣亮一, 依田正信, 奥野攻, 木村幸平: 高強度多結晶酸化ジルコニウムに関する基礎的検討—適合精度について—. 歯科審美 **17** ; 30-37 2005.
- 24) Bindl, A. and Mörmann, H. : Marginal and internal fit of all-ceramic CAD/CAM crown-copings on chamfer preparations. J Oral Rehabil **32** ; 441-447 2005.
- 25) Uno, M., Akitsuki, Y. and Matsui, K. : Fitting precision of ceramic crown fabricated by CAD/CAM system. J Gifu Dent **32** ; 74-79 2005.
- 26) Lee, K. B., Park, C. W., Kim, K. H. and Kwon, T. Y. : Marginal and internal fit of all-ceramic crowns fabricated with two different CAD/CAM systems. Dent Mater J **27** ; 422-426 2008.
- 著者への連絡先: 村尾宏文, (〒963-8611)郡山市富田町字三角堂31-1 奥羽大学歯学部歯科補綴学講座  
Reprint requests : Hirohumi MURAO, Department of Prosthetic Dentistry, Ohu University School of Dentistry 31-1 Misumido, Tomita, Koriyama 963-8611, Japan