原 著 論 文

CAD/CAM システムの加工精度に関する研究

—一切削法が表面性状に及ぼす影響—

佐藤 吉則 秋山 逸馬 大山 哲生 瀧本 博至 中臺 一介
中島伸一郎 太田 彰人 永井 栄一 大木 一三 西山 實*

A Study on Processing Accuracy of a Dental CAD/CAM System

—Influence of Milling Method on Surface Texture of Prostheses—

Yoshinori Satoh, Itsuma Akiyama, Tetsuo Ohyama, Hiroshi Takimoto, Kazusuke Nakadai,
Shinichiro Nakajima, Akito Ohta, Eiichi Nagai, Katsuzo Ohki and Minoru Nishiyama*

Abstract : In this study, a dental CAD/CAM system using titanium in the dental clinic was investigated. This system consisted of a CAD to perform prostheses visualizing and CAM to perform the procedure. There are many reports on this system and studies on the CAD system. However, the fitness of prostheses in the dental clinic is important, and the accuracy of manufacturing by CAM must be investigated in detail.

High bio-compatibility titanium was very useful as the material for prostheses. Due to its characteristics, the casting method was difficult, and the CAD/CAM system using the cutting method as the manufacturing method was considered to be effective. In this study special attention was paid to the CAM system, and influence of milling methods on titanium surface was investigated. The results were as follows :

1. The difference in the milling method affected the external shape of the product.
2. The relationship of the cutting tool and shape of the titanium product and the difference in condition of milling affected the surface texture.
3. The configuration milling method necessary for high accuracy of manufacturing of the periphery was radial milling.

Key words : CAD/CAM system, titanium, metal, surface texture, milling method

I. 緒 言

高齢化社会を迎えた今日、高質な歯科医療を提供するためには、現行医療の機能的および技術的な評価¹⁾が大切である。すなわち、高質な歯科医療を提供するには、機能的には歯科医療システムの標準化と技術的には補綴装置の高

品位化を考える必要がある。

補綴装置の高品位化には、材料学的に生体適合性が高く、かつ均質であること、および装置の調製技術が高度化・標準化されることが必要である。また、補綴装置の高品位化としては、寸法精度および適合精度の向上が重要である。そこで、補綴装置の調製では、生体親和性が高く、耐食性の良好なチタンの応用が検討²⁻⁶⁾されている。しかし、チタンの加工技術として従来からの鍛造加工法（ロストワックス法）では、鍛造性や支台歯の作業模型に対する適合性の高いチタン鍛造体を得るのは困難であり^{7,8)}、チタンによる補綴装置の普及は十分とはいえない。

近年、補綴装置の調製法として、ロストワックス法のほかに、CAD/CAM (Computer Aided Design/Computer

日本大学歯学部補綴学教室局部床義歯学講座

*日本大学歯学部歯科理工学教室

Department of Removable Partial Denture Prosthodontics,
Nihon University School of Dentistry

*Department of Dental Materials, Nihon University School of
Dentistry

平成 11 年 4 月 1 日受付

Aided Manufacturing) システムすなわちコンピュータ支援設計・製作システムの研究・開発⁹⁻¹¹⁾が行われている。歯科用 CAD/CAM システムは、コンピュータにより数値情報を用いて支台歯または暫間的な補綴装置の三次元計測と装置の設計とその可視化を行う CAD システムと、NC (Numerical Control) 加工などの加工を行う CAM システムにより補綴装置の調製を行う一連のシステムである。このシステムでは、局部床義歯の支台装置および連結装置の設計、さらに高い精度を必要とするアタッチメントの設計・調製にも応用が可能で、調製過程の省力化と装置の均質化とが図れると考えられる。しかし、CAD/CAM システムについては補綴装置のデザインの自由性と精密な加工技術を要することが重要で、ロストワックス法における印象材や埋没材などに関する詳細な研究と同様に、各調製過程における加工精度を明らかにし、補綴装置の適合性の向上を図ることが必要であると考えられる。

現在、研究・開発されている CAD/CAM システムにより調製された装置の適合精度に関する報告は散見される¹²⁻¹⁵⁾が、各システムにおける製作過程での精度、特に、CAM システムの加工精度に関しての詳細な報告はみられない。

本研究は、歯科用 CAD/CAM システムによるチタンの歯科臨床応用を目的として、金属製支台金型を三次元計測して得た形状データによって、チタンを 3 種の切削法で加工して支台金型を複製し、各仕上げ切削加工法がチタンの表面性状に及ぼす影響を検討した。

II. 材料および方法

1. 材料

本研究に用いた材料は、20×20×25 mm のブロック状の純チタン 2 種金属 (KS-50, 神戸製鋼社) である。

2. 方法

1) 支台原型

形状データ取得の原型には、金属製支台金型 (東京技研社、以後支台原型と略す) を用いた。この支台原型は、支台部 (軸壁テーパ片側 3 度、高さ 5.0 mm、上面 ϕ 8.0 mm) および円柱部 (高さ 4.5 mm、 ϕ 10.0 mm) と、切削および計測原点としての刻印 (以後、原点と略す) を有する台座部 (高さ 5.0 mm、 ϕ 18.0 mm) とから構成されている (図 1)。

2) 歯科用 CAD/CAM システム

CAD/CAM システムは、接触式の形状計測装置および切削加工装置 (デンタル Cadim®, アドバンス社) を用いた (図 2)。このシステムは、パーソナルコンピュータ (DELL Dimension XPS M 200 S, デルコンピュータ社) によって制御され、形状計測および切削制御用ソフトウエ

図 1 Metal abutment model
金属製支台金型

図 2 Dental CAD/CAM system
歯科用 CAD/CAM システム

表 1 Measuring methods of model appearance
形状の計測方法

計測条件	
プローブ	Ruby Ball Stylus (ϕ 1.0 mm)
計測速度	200 mm/min
計測ピッチ	0.05 mm
押し込み圧	70 g
ステップオーバー	0.1 mm
計測方向	双方向
計測法	放射線

アとして Tracecut Ver. 20 (Renishaw 社) を用いている。形状計測用接触プローブ径は、1.0 mm を用い、切削用エンドミル (以後、切削工具と略す) としてフラットエンドな直径 ϕ 3 mm の超硬ミラルクル (VC-2 MS, 神戸製鋼社) を用いた。

3) 試料の製作

ブロック状のチタンの切削には、まず、CAD/CAM システムの接触式形状計測装置を用いて、表 1 に示した計測条件により支台原型の形状データを取得した。次いで、この形状データを用いて、ブロック状チタンの粗加工を行ったのち、3 種の仕上げ加工によって支台原型の複製物を製作した。加工条件および仕上げ加工の加工法は、表 2 および図 3 に示した。粗加工での切削方向は、図 3 に示した粗加工開始位置から矢印の方向で切削し、また、仕上げ加工

表 2 Condition of manufacturing
加工条件

	粗加工	仕上げ加工
工具回転数	2,000 rpm	2,000 rpm
工具送り速度	424 mm/min	318 mm/min
切削ピッチ	0.5 mm	0.1 mm
表面オフセット	0.2 mm	0.0 mm
切り込み深さ	0.3 mm	0.0 mm
加工法	単方向加工	放射加工 螺旋加工 単方向加工

図 3 Milling methods
切削法

における単方向加工の加工方向は、仕上げ加工開始位置から切削したため、両者の切削開始位置および切削方向は異なる。仕上げ加工の切削法は、放射加工、螺旋加工および単方向加工の3種の方法によって、それぞれ5個ずつ、計15個の試料を製作した。

放射加工による切削法は、形状データの上面を18等分して中心角 20° のパイセグメントとし¹⁶⁾、各セグメントの中心角の二等分線に平行に、図3に示した台座部の切削開始点から円柱部、支台部、上面の中心へ向かって外下方から行い、切削加工した複製物を試料として、5個製作した。

螺旋加工による切削法は、放射加工と同様に、切削開始から側面に沿って上面に向かって螺旋状に切削加工し、これを試料として5個製作した。

単方向加工による切削法は、図3に示した仕上げ加工の切削開始位置および方向により切削加工し、これを試料として5個製作した。

切削工具は、一試料の切削ごとに新品を使用した。また、各切削法で一試料を調製するのに要した平均的な時間は、放射加工で3時間0分、螺旋加工で2時間18分、単方向加工で2時間38分であった。

4) 試料の観察および測定法

試料の観察および測定では、支台原型および試料の測定

図 4 Regulation of measuring points
測定部位の設定 図 5 Areas and directions of observation
観察範囲および測定方向

部位を決めるために、これらの原点を 0° とし、円形の外周面における測定部位の角度（以後、測定角と略す）を設定し（図4）、その部位について測定を行った。すなわち、観察および測定は、支台原型台座部の原点および各試料台座部の原点を 0° として、反時計回りに 45° 、 90° 、 135° 、 180° 、 225° 、 270° および 315° の部位について行った。

表面性状の観察には、走査型レーザー顕微鏡（1 LM 21 W、レーザーテック社）を、表面粗さ測定には表面粗さ形状測定機（Surfcom 1400 A、東京精密社）を用いた。

表面性状の観察は、まず外形の観察を肉眼により行ったのち、レーザー顕微鏡^{17,18)}を用いて行った。表面性状の観察領域は、各測定角における支台部中央の $1,100 \times 700$ (μm)の範囲（図5）とした。観察領域の形状は、曲面であるため、焦点深度を深く、かつ、可及的に広い視野を確保するために、10倍の対物レンズを用いた。

表面粗さは、外形および表面性状の観察を行ったのちに、支台部および円柱部の各測定角について、台座部から上面に向かう測定方向で測定した¹⁸⁾（図5）。

測定は、JIS規格1994年度版に準じ、カットオフ種別ガウシアンフィルタ、カットオフ波長 0.8 mm 、基準長さ 0.8 mm 、評価長さ 4.0 mm 、測定速度 0.3 mm/sec とし

た。また、表面粗さのパラメータは、中心線平均粗さ (Ra) および十点平均粗さ (Rz) を用いた^{19,20)}。

各測定角における表面粗さは、3種類の切削法による5試料ごとに算出した各測定角の測定値を用いて、平均値および標準偏差を算出した。支台原型は1個であるため、各測定角について5回測定を行い、平均値および標準偏差を算出した。統計解析はSPSS (Version 3.0) を用い、支台部と円柱部との成績は、各測定角間の一元配置分散分析を行った。支台原型は1個であるため、統計学的解析より除外した。

III. 結 果

1. 外形の観察

支台原型および各切削法による試料外形の観察は、図6に示した。

放射加工の支台部は、支台原型に比べると微細な凹凸と思われる光の反射が認められるが、他の2種の切削法よりも各測定角において変化が認められず、比較的滑沢であった。円柱部においても、支台部と同様の傾向であった。

螺旋加工の支台部は、全周にわたり約100 μm のステップの形成が認められた。円柱部においては、放射加工と同様に、試料の各測定角において変化が認められず、比較的滑沢であった。

単方向加工の支台部は、測定角0°および180°でモアレ状の模様が認められた。測定角0°および180°は、単方向加工による切削工具の切削経路が、試料の中心軸を通る切削経路から最も離れた位置にある測定角である。円柱部に

おいては、測定角0°および180°でそれぞれの測定角を中心として、試料の長軸に平行な縦縞が観察された。

2. 表面性状の観察

支台原型および各切削法による支台部のレーザー顕微鏡像は、図7および8に示した。これらの図に示した各観察像の縦軸は、支台原型および各試料の長軸と平行である。

支台原型、放射加工および螺旋加工の試料では、各測定角における観察像が同様であるため、典型的な像として測定角0°における観察像を示した (図7)。単方向加工での切削法では、測定角における観察像が異なるので、各測定角についての観察像を示した (図8)。

支台原型の観察像では、長軸に対して直交し、連続的に走行する線状痕が主として認められた (図7)。

放射加工では、支台原型と同様の長軸に直交し、連続的な線状痕が認められた。また、長軸に平行して走行し、周期的な間隔を持つ階層状の縞が観察された (図7)。

螺旋加工では、長軸に直交し、連続的な線状痕が認められた。また、周期的な間隔を持って長軸に対して斜めに走行する階層状の縞が認められた (図7)。

単方向加工では、測定角ごとに特徴的な像を示した (図8)。測定角0°においては、長軸に直交し、連続的な線状痕が認められた。また、ここでは、外形の観察でみられたモアレ状の模様に類似し、周期的な間隔を持つ階層状の縞が認められた。測定角45°、90°および135°においては、長軸に直交する線状痕が認められた。この線状痕は測定角の増加に伴い、その連続性が失われ点状痕が増加した。また、長軸に平行して走行し、周期的な間隔を持つ階層状の

図6 Observations of external

a : abutment model, b : radial method, c : spiral method, d : one direction method

外形の観察

a : 支台原型, b : 放射加工, c : 螺旋加工, d : 単方向加工

図 7 Observations of surface texture

a : abutment model, b : radial method, c : spiral method

表面性状の観察

a : 支台原型, b : 放射加工, c : 螺旋加工

図 8 Observations of surface texture on one direction method

a : 0°, b : 45°, c : 90°, d : 135°, e : 180°, f : 225°, g : 270°, h : 315°

単方向加工での表面性状の観察

図 9 Graphic charts of surface roughness
a: abutment model, b: radial method, c: spiral method, d: one direction method
表面粗さ曲線
a: 支台原型, b: 放射加工, c: 螺旋加工, d: 単方向加工

図 10 Arithmetic average surface roughness on abutment part
支台部の中心線平均表面粗さ (Ra)

図 11 Ten point height of irregularities surface roughness on abutment part
支台部の十点平均表面粗さ (Rz)

縞が観察された。

測定角 45° および 135° では、ほぼ同程度の縞の間隔であるのに対し、測定角 90° では、45° および 135° でみられた階層状の縞の間隔が、より短い像として観察された。測定角 180° においては、長軸に直交する線条痕が認められるものの、筆れ痕が顕著に認められた。測定角 225°、270° および 315° においては、長軸に直交し、連続的な線条痕が認められた。測定角 225° では、わずかに筆れ痕が存在した。また、長軸に平行して走行し、周期的な階層状の縞が観察された。この縞の間隔は、測定角 225° が最も長く、次いで測定角 315°、270° の順に短くなった。

3. 表面粗さの測定

外形の観察では、螺旋加工の支台部および単方向加工の測定角 0° と 180° とでは明らかな形状変化が存在し、表面粗さ測定に必要な評価長さが取れないため、これらの部位については表面粗さ測定から除外した。

支台原型および各切削法による表面粗さ曲線は、図 9 に

示した。この表面粗さ曲線は、支台原型および各試料の典型例と考えられる円柱部の測定角 45° の成績を用いた。

支台原型の表面粗さ曲線では、比較的均一で細かい凹凸を持ち、水平的に大きなうねりは認められなかった。

放射加工では、水平的に周期の短いうねりが存在し、その上に細かい凹凸が認められた。

螺旋加工では、放射加工よりも比較的長い周期をもつうねりのうえに、細かい凹凸と局所的なピークが混在した。

単方向加工では、水平的に放射加工よりも振幅の小さなうねりの上に細かい凹凸が認められた。

支台部の表面粗さの成績は、図 10 および 11 に示し、円柱部の表面粗さの成績は、図 12 および 13 に示した。

支台部および円柱部における表面粗さは、各加工法におけるすべての測定角について、支台原型より表面粗さが有意に増加した。

放射加工および螺旋加工による表面粗さは、全周にわたり同程度の値を示した。

単方向加工による表面粗さでは、測定角による相違が認

図 12 Arithmetic average surface roughness on column part
円柱部の中心線平均表面粗さ (Ra)

図 13 Ten point height of irregularities surface roughness on column part
円柱部の十点平均表面粗さ (Rz)

表 3 Significant differences on one direction method
単方向加工における有意差検定結果

支台部の Ra							
	315°	270°	225°	135°	90°	45°	
45°				*			45°
90°				*			90°
135°	*	*	*		*		135°
225°				*	*	*	225°
270°				*	*	*	270°
315°				*	*	*	315°
	315°	270°	225°	135°	90°	45°	

* : $p < 0.05$

円柱部の Ra

支台部の Rz							
	315°	270°	225°	135°	90°	45°	
45°	*	*	*	*			45°
90°		*		*			90°
135°	*	*	*				135°
225°						*	225°
270°				*	*	*	270°
315°				*		*	315°
	315°	270°	225°	135°	90°	45°	

* : $p < 0.05$

円柱部の Rz

められた。すなわち、測定角 270° の値が小さく、225° および 315° とで若干増加し、また、測定角 90° を中心として 45° および 135° で増加するという、2つの傾向がみられた。

一元配置分散分析の結果は、放射加工および螺旋加工における測定角間では、有意な差がみられなかった。単方向加工においては、表 3 に示す測定角間において有意な差がみられた。

IV. 考 察

1. CAD/CAM システムによる切削加工

本研究は、CAD/CAM システムによるチタンの歯科臨床応用を目的とした。チタンはその材料学的な特徴²¹⁾のため、支台歯と補綴装置との適合性を重視した歯科精密製造法²²⁾での加工が困難と考えられる。そこで、著者らは、チタンの加工方法として CAD/CAM システムを用いた。

CAD/CAM システムを用いた補綴装置の加工法としては、陶材の自動築盛などの試み²³⁾も行われているが、多くの場合、CAM システムにエネルギー伝達媒体として切削工具を用いた除去加工法である切削加工が用いられてい

る。これは、切削加工では加工精度に関して不確定要因の入り込む余地が他の加工法に比べて少ないことに起因する²⁴⁾。しかし、歯科用 CAD/CAM システムは、修復および補綴装置を調製する加工技術であるため、精密製造と同様に、可及的に精密な加工精度や合わせ面精度、すなわち適合精度が要求され、切削による機械加工を詳細に検討することが必要となる。

2. 切削工具について

切削工具として用いたエンドミルの切削を考慮した場合、基本的には底刃による正面切削、外周刃による側面切削およびそれらを複合化した切削を行うことになる。切削加工法は、これらの切削と実際の加工物形状と合わせて、輪郭削り、曲面削り、穴加工および倣い加工などと呼ばれ、加工物の形状に合った加工方法を選択する。

調製する補綴装置の形態は、複雑な自由曲面から構成されるため²⁵⁾、切削工具には切削加工が比較的自由に選択できるエンドミルを用いた倣い加工が適している^{26,27)}と考えられる。

本研究に用いた装置は、試料の製作を倣い加工によって行うため、工具と加工物形状に応じた切削状況を考慮する

図 14 Contents of milling on one direction method
単方向加工での切削状況

必要がある。図 14 には、単方向加工での切削状況を示したが、A および D では外周刃のみで接し、B では外周刃の底刃に近い範囲で接する。さらに、C においては、底刃全面での切削を行い、D では底刃の外周刃に近い範囲で切削を行っている。以上のことから、上面、支台部および円柱部では、切削工具の切削部に相違がある²⁸⁾。

底刃と外周刃との切削効率を比較すると、底刃のほうが良好であるといわれ^{27,28)}、単方向加工の場合では、支台部における B および D では切削工具の切削部に相違があるので、底刃と外周刃との切削効率が異なることが考えられる。放射加工および螺旋加工での切削状況は、それぞれ図 14 の A から C の途中までの切削状況に相当する。すなわち、加工精度は、切削工具の底刃と外周刃との切削に影響されると考えられる。

しかし、切削効率の高い底刃の切削機構は、上向き切削と下向き切削との両者による切削であり^{27,29)}、そのメカニズムは複雑である。そこで上面については、触針式表面粗さ測定を行うのは適切でないと考え²⁹⁾、本研究では支台部と円柱部とについて検討を行った。

3. 加工物形状について

切削加工における形状創成は、切削工具刃先の点または線の要素によって行われ、切削工具と加工物との相対運動は、X、Y および Z 軸方向の直線運動と、A、B および C 軸のまわりの回転運動などの単独または同時組合せとによって行われている。このため、切削加工による形状創成は、試料と切削工具との形状の相対関係や切削条件が重要となる²⁴⁾といわれている。

支台原型の形状は、各軸ごとの成分に分けると、上面は Z 軸が固定された X-Y 平面の円であり、円柱部は X-Y 平面における同一の大きさの円が Z 軸上で積層された曲面である。しかし、支台部ではテーパが付与されているため、Z 軸が変化するのに伴い、半径が異なる X-Y 平面の円が積層された曲面である。

本研究で用いた切削工具は、フラットエンドミルであるため、支台部では点状の接触、また、円柱部では線状の接

図 15 Milling conditions of each point on one direction method
単方向加工における加工

触で、両者は異なっている。また、3 種の切削法の相違は、切削工具の移動に伴って切削状況が変化することを考慮して、以下のことが推察される。

4. 外形および表面性状について

外形の観察における形状の相違は、切削工具と試料との形状および各切削法によって影響された。

螺旋加工の円柱部では、比較的滑らかな外形を示し、切削痕もみられない。しかし、支台部では、切削ピッチ (0.1 mm) に相当したステップが形成されていた。すなわち、螺旋加工による切削では、切削工具自体の回転による点素の影響が強くてたと考えられた。

単方向加工でのモアレ状の模様は、測定角 0° および 180° の部位では加工物の形状に応じて、連続する切削経路間で高さ (Z 軸方向) と固定軸方向とに顕著な変化が生じる。この切削経路に従い、機械的に切削していくため、削り残し (Under Cut Milling) または削り過ぎ (Over Cut Milling) が生じ、モアレ状の模様が形成されたと考えられた。すなわち、単方向加工による切削では、切削工具の平行移動による線素の影響が強くてたものと考えられた。

表面性状の観察像における支台原型および試料の長軸に直交する連続的な線条痕は、切削工具の回転運動による点素であり、各試料に認められた周期的な階層状の縞は、切削工具の平行移動による線素と考えられた。

表面性状は、切削に伴う切削状況の変化および図 15 に示した切削の変化に影響を受ける。すなわち、放射加工および螺旋加工では、常に外方から中心に向かって切削したため、切削状況は変化せず、切削工具の外周刃によって切削が行われた。切削工具の回転方向と移動方向 (送り) とを考慮すると、全周にわたり外周刃による上向き切削 (Up Cut Milling) が、常に行われたものと考えられた³⁰⁾。

単方向加工においては、測定角 0° から 90° においては

外周刃による上向き切削, 測定角 90° から 180° においては外周刃による下向き切削 (Under Cut Milling), 測定角 180° から 270° においては底刃による下向き切削, 測定角 270° から 0° においては底刃による上向き切削が行われた。

一般的に機械加工においては, 加工時に切削油を用いた場合, その表面精度は下向き切削よりも上向き切削のほうが良好であり^{28,29)}, 切削工具であるエンドミル加工では, 外周刃よりも底刃のほうが良好な切削能を示すことを考慮すると, 測定角 90° から 180° においてまれ痕のような切削が不十分な加工面が多く出現することは妥当であると考えられた。

5. 表面粗さについて

支台原型の製作は, 旋盤加工が行われているが, 旋盤加工は被切削体の回転運動と切削工具の平行移動とによって形状創成を行うため, 切削における線素の影響をあまり受けない。さらに, 研磨も行われていることを考慮すると, 支台原型の表面粗さ曲線に示された細かな凹凸は, 切削工具の刃 (点素: カッターマーク) によるものと考えられた。

各試料は, 切削工具での倣い加工により製作されている。この加工方法では, 加工物は固定され, 切削工具の回転と移動とによる形状創成を行うため, 切削工具の回転運動と平行移動とに伴う影響 (線素: 回転マーク) を受ける。そのため, 各試料の表面粗さ曲線は, 周期の長い波長の上に細かな凹凸が認められたと考えられた。

これらカッターマークが発現した因子としては, 1 刃ごとのアンバランスや切れ味の差があげられ, 回転マークの発現因子としてはフライスの偏心や切削工具主軸の振れなどがある³¹⁾。螺旋加工での局所的なピークは, 切削工具の平行移動に伴い, 工具主軸のたわみや振れによる因子が強く影響したと考えられた。すなわち, 放射加工および単方向加工では, 切削工具が加工物に接してから高さ方向の動きのみで水平面における動きが少ないのに対して, 螺旋加工では加工物側面に沿って水平的に切削工具が移動するため, 切削工具と加工物の接する面で振動や逃げが他の切削法よりも生じやすく, 周期性を持たないピークが形成されたものと考えられた。

放射加工および螺旋加工による表面粗さは, 全周にわたり同程度であったことは, 各切削法とも, 全周にわたり切削工具の回転方向, 移動方向 (送り), 切削ピッチおよび切削状況が変化しないためと考えられた。

単方向加工における測定角 45° から 135° および 225° から 315° の表面粗さの変化は, 切削状況が測定角 180° または 0° を境として外周刃から底刃での切削に変化することによるものと考えられた。また, 支台部および円柱部における測定角 45° と 135° および 225° と 315° での表面粗さのわずかな相違は, それぞれ測定角 90° と 270° とを境とし

て, 上向き切削から下向き切削へ変化することに起因しているものと考えられた。

以上のことから, これら加工精度の 1 つである表面粗さについては, 切削工具と加工物の形状との相対関係および切削方法に起因する切削状況が影響することが明らかになった。

補綴装置は, 多種多様の平面および曲面により構成される自由曲面であるため, その形状に適した切削条件を選定する必要がある。また, 装置の全周にわたり均質かつ均一な表面性状を得るためには, 可及的に切削条件を一定に保つことが必要であることが示唆された。

V. 結 論

本研究は, CAD/CAM システムによるチタンの歯科臨床応用を目的として, 支台原型の形状データによってチタンを切削加工した場合, 3 種の切削法の相違が最終加工物の形状および表面性状に及ぼす影響を検討し, 以下の結論を得た。

1. 外形の観察

外形の観察では, 切削法の相違によって異なる形状を示した。比較的単純な形状をした円柱部では, 顕著な相違は認められなかったが, 軸壁テーパを有す支台部においては, 螺旋加工および単方向加工で切削ピッチによる特徴的な形状の相違が認められた。

放射加工では, 全体的に均一で滑沢な面が製作された。螺旋加工では, 全周にわたり支台部にステップの形成が認められ, 単方向加工では, 試料の中心軸を通る切削経路から最も離れた位置にある測定部に, モアレ状の紋様の形成が認められた。

2. 表面性状の観察

表面性状の観察では, 各切削法ともに長軸に対して直交する線状痕および各切削法に特徴的な階層状の縞がみられた。

この階層状の縞は, 放射加工では周期的に長軸に平行して走行し, 螺旋加工では長軸に斜行した。単方向加工では, 各測定部において, 階層状の縞の間隔は変化し, また切削の変化に伴うまれ痕も認められた。

3. 表面粗さの計測

表面粗さは, 支台原型と比較して, 各切削法とも支台部および円柱部の表面粗さが増加した。

放射加工の支台部および円柱部と螺旋加工の円柱部の表面粗さは, 全周にわたり同程度の値を示す傾向であった。単方向加工の支台部および円柱部の表面粗さは, ともに各測定部により異なった。

以上により、全周にわたり高い加工精度を必要とする支台歯金型などの形状を有す加工物の加工方法としては、放射加工が適しており、また、切削法は、切削加工物の外形および表面性状に影響を及ぼすことが明らかになった。

稿を終えるにあたり、試料の製作に多大なるご援助を頂きました(株)アドバンス山崎 豊様、太田 学様、また、測定に貴重なご協力とご意見を頂きました東京精密(株)大曾根信一郎様、長東礼子様およびレーザーテック(株)小堀めぐみ様に深く感謝申し上げます。

なお、本研究の要旨は、第1回日本補綴歯科学会東京支部大会(1998年2月21日、東京)および第4回国際歯科チタンシンポジウム(1998年9月、Geneva)にて発表した。本研究の一部は、日本大学歯学部佐藤研究奨学金によって行われた。

文 献

- 植木清直. 高品位な医療サービスの標準化. 日歯医療管理誌 32: 178-184, 1998.
- 三浦維四, 井田一夫編. チタンの歯科利用 45-50, 東京: クインテッセンス出版, 1988.
- 三浦維四. 床用材料としてのチタンについて. 東京都歯科医師会雑誌 36: 465-471, 1988.
- 浜中人士, 米山隆之. 医用材料の研究課題と展望. 日本金属学会誌 30: 481-489, 1991.
- 末瀬一彦, 岩井啓三, 角田 淳ほか. 純チタン・クラウンの補綴学的考察. 補綴誌 28: 860-867, 1994.
- 川添堯彬, 末瀬一彦. クラウン・ブリッジ領域へのチタンの応用. 補綴誌 42: 559-566, 1998.
- 井田一夫. ここまで来たチタンの歯科鑄造. QDT 11: 645-657, 1986.
- 小田 豊, 沈 斌, 住井俊夫. チタン鑄造体の適合性に関する研究. 歯科学報 94: 641-646, 1994.
- Rekow D. Computer-aided design and manufacturing in dentistry. J Prosthet Dent 58: 512-516, 1987.
- 堀田康弘. CAD/CAM を利用したチタン製コーピングの新しい製作法の開発. 歯材器 11: 169-178, 1992.
- 疋田一洋. 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.
- Inokosi S, Meerbeek BV, Willems G et al. Marginal accuracy of CAD/CAM inlays made with the original and the updated software. J Dent 20: 171-177, 1992.
- 勝部直人, 山田敏元, 北迫勇一ほか. 歯科修復用ポーセレンミリングシステム“セレイ”の操作性と適合精度について. 日歯保存誌 37: 826-832, 1994.
- 堀田康弘, 宮崎 隆, 李 元植ほか. 試作CAD/CAM装置で製作したセラミック製クラウンの適合精度. 昭歯誌 16: 230-234, 1996.
- 高橋純造. 歯科修復物作製用CAD/CAMの現状. 阪大歯学誌 41: 1-6, 1996.
- Reninshaw 社編. ユーザーマニュアル“Trace Cut”. Reninshaw plc: H-2000-5175-19, 1996.
- 藤波 剛. 表面粗さに関する研究—水成コロイド印象材の印象サイト工面の検討. 歯材器 12: 662-669, 1993.
- 佐藤吉則, 阿崎正之, 大山哲生ほか. 消毒剤がポリサルファイドラバー印象材の表面再現精度に及ぼす影響について. 日歯医療管理誌 29: 15-20, 1994.
- 深瀬康公, 斉藤仁弘, 掛谷昌宏ほか. 表面アラサの表記方法に関する一考察. 日大歯学 63: 379-387, 1989.
- 奈良治郎. 表面アラサの測定・評価法, テクノコンパクトシリーズ 63-147, 東京: 総合技術センター, 1993.
- 日本チタン協会編. チタンの加工技術 9-18, 東京: 日刊工業新聞社, 1996.
- 大橋正敬, 中井宏之, 橋本弘一編. 最新歯科理工学 83-87, 東京: 学建書院, 1990.
- 菊池聖史, 奥野 攻. 自動築盛による新しい歯科用CAMの開発. 歯産学誌 12(別冊): 51, 1998.
- 竹山秀彦. 1, 除去加工総論. 精密工学会編, 精密工作便覧 2-4, 東京: コロナ社, 1992.
- 川中正雄. 歯科CAD/CAMシステムの開発に関する研究. 阪大歯学誌 35: 206-239, 1990.
- ツールエンジニア編集部編. エンドミルのすべて 5-15, 東京: 大河出版, 1998.
- 斎藤勝政. 2, 切削加工. 精密工学会編, 精密工作便覧 192-203, 東京: コロナ社, 1992.
- ツールエンジニア編集部編. エンドミルのすべて 92-115, 東京: 大河出版, 1998.
- ツールエンジニア編集部編. エンドミルのすべて 42-55, 東京: 大河出版, 1998.
- 藤井義也. 2, 切削加工. 精密工学会編, 精密工作便覧 165-172, 東京: コロナ社, 1992.
- 機械・仕上げの総合研究編集委員会編. 機械・仕上げの総合研究(下) 98-104, 東京: 技術評論社, 1997.

著者連絡先: 佐藤 吉則

〒101-8310 東京都千代田区神田駿河台
1-8-13

TEL 03-3219-8144

FAX 03-3219-8350