原 著 論 文

マイカ系キャストブル・セラミックス (OCC) ・ クラウンの寸法精度に関する研究

飯島 浩 畑 好昭

Dimensional Accuracy of Mica Crystal Castable Ceramic (OCC) Crown

Hiroshi Iijima and Yoshiaki Hata

Abstract : This article discussed the dimensional accuracy of Olympus Castable Ceramics (OCC) crowns at the stage of as-cast and crystallization. The master die technique and three coordinate measuring method were used for their measurement. Moreover, the surface roughness of inner crowns were measured and following results were obtained.

1. OCC crowns, heat-treated at 850°C were rather expanded than at 900°C or 950°C in the master die technique. But the differences between at 900°C and 950°C were not significant.
2. In the master die technique, each crown fabricated with special investment liquid, which was diluted with 25%, 50% and 75% distilled water showed expansional ratios of 0.35%, -0.23% and -0.86%, respectively.
3. In the master die technique, buffering factors, ringless, one fold of liner and two folds of liner did not affect the expansional ratio.
4. In three-coordinate measuring, each diameter of as-cast crowns expanded equally in the range of 1.0~7.0 mm from occlusal plane. But, 9.0 mm near the cervical portion expanded less than the others.
5. In three-coordinate measuring, about 0.70~0.81% shrinkage were founded at the inner diameter of crystallized crowns.
6. In measuring for surface roughness of inner crowns, crystallized crowns were roughened more than as-cast ones in both of Ra and Rmax.

Key words : castable ceramics, glass ceramics, mica crystal, crystallization, dimensional accuracy

材料へ応用する検討が盛んに行われている。結晶化ガラスを用いて鑄造成形により歯冠修復物を製作するキャストブル・セラミックスの研究開発もその1つであり、一部はすでに臨床に供与されている。

キャストブル・セラミックス・クラウンはロストワックス法を用いて成形されるが、ガラスの鑄造、そして結晶化熱処理という過程を経るため、その寸法精度は金属鑄造冠の理論をそのまま当てはめることはできない。また、キャストブル・セラミックスの寸法精度に関する研究は種々みられるが、用いるガラスの種類により析出結晶や材質の性質が異なることから、寸法精度の挙動もまた異なってくることが予想される。そこで、マイカ結晶とリチウム・アルミナ・シリケート系の β -スポジウム結晶を析出する¹⁾オリンパス・キャストブル・セラミックス (OCC) の製作過程における鑄造と結晶化熱処理時の寸法精度の挙動をマスターダイ法と3次元座標測定法を用いて検討を加えた。さらに、OCC クラウン内面の表面粗さを測定した。

II. 実験方法

1. マスターダイ法による OCC ク라운の寸法精度

1) 因子と水準 (表1)

因子A：結晶化熱処理条件として図1に示す結晶化

図1 OCCの結晶化熱処理スケジュールと各熱処理条件

熱処理スケジュールのdまで行ったもの (以下 850°C 熱処理と呼ぶ)、同じく e までのもの (以下 900°C 熱処理と呼ぶ) および f までのもの (以下 950°C 熱処理と呼ぶ) の3水準とした。

因子B：埋没材専用液の希釈率では、リン酸塩系埋没材 (徳山曹達 ブルーベスト) の専用液と濃度調整のための蒸留水の混合割合を体積比で 3:1, 1:1, 1:3 (以下それぞれ希釈率 25%, 50%, 75% と呼ぶ) の3水準とした。

因子C：埋没材の緩衝法はパラフィンワックスを用いて製作した内径 30 mm、高さ 60 mm のワックスリング (以下リングレスと呼ぶ)、同寸法のステンレス製鑄造リングの内面に厚さ 1 mm で幅が 50 mm のリングライナーを2枚巻いたもの (以下緩衝材2枚と呼ぶ)、同じく1枚巻いたもの (以下緩衝材1枚と呼ぶ) の3水準を設定した。以上を三元配置くり返し2回の要因配置実験法にて検討した。

2) 試料の製作

(1) ワックスパターン

試料製作および測定に使用したアンバー製支台原型金型の寸法および各部の名称を図2に示す。支台原型金型にワックスマトリックスを組み立て、軟化圧接法によりショルダー部、軸面部および咬合面部の厚さが

図2 支台原型金型寸法図

表1 マスターダイ法による OCC ク라운の寸法精度の因子と水準

因 子	水 準		
	1	2	3
A：結晶化熱処理条件	850°C	900°C	950°C
B：埋没材専用液の希釈率	25%	50%	75%
C：埋没材の緩衝法	リングレス	緩衝材2枚	緩衝材1枚

表 2 使用材料

材 料 名	製 品 名	製 造 元	ロット No.
キャストابل・セラミックス	オリンパス・キャストابل・セラミックス (OCC)	オリンパス光学工業	91-014
インレー・ワックス	ブルー・インレー・ワックス	ジーシー	301001
埋没材	ブルーベスト	徳山曹達	粉：0210805 液：0710755
緩衝材	KAOLIN CASTING RING LINER	Dentsply	M10401

表 3 3次元座標測定による OCC クラウンの寸法精度および OCC クラウンの表面粗さの因子と水準

因 子	水 準		
	1	2	3
A：結晶化熱処理条件	アズキャスト	900°C	
B：埋没材専用液の希釈率	25%	50%	75%

それぞれ 1.5 mm のワックスパターンを製作した。咬合面中央部に直径 3.2 mm、長さ 10 mm のスプルーワックスを付与し、金型上で室温に 3 時間以上放置した。

(2) ワックスパターンの埋没

ワックスパターンを撤去し、クルーシブルフォーマーに植立した。ブルーベストの粉 100 g に対し希釈した専用液 17 cc を計量し、真空練和、大気埋没を行った。

(3) ワックス焼却

埋没後室温で 2 時間以上静置したのちにマイコンファーンネスに鑄型を入れ、室温より 350°C まで 1 時間で昇温、30 分係留、800°C まで 30 分で昇温、1 時間係留、600°C まで降温し、1 時間係留した。

(4) 鑄 造

鑄造には OCC 専用鑄造機 (オリンパス光学工業 CM-101) を使用した。OCC は色調別に 4 種類のガラスがあるが、今回はそのうち H-12 を選択した。OCC ガラスロッドを専用のアルミナルツボに入れ、CM-101 にセットし、メーカー指示に従い鑄造した。以上、使用した材料を表 2 に示した。

(5) 結晶化熱処理

室温まで徐冷した鑄型から、OCC クラウンを注意深く掘り出し、埋没材を除去してスプルー部を切断した。OCC クラウンをアルミナ製均熱箱にいれ、電気炉 (モトヤマ スーパー-S) にて各実験条件の結晶化熱処理を施した。その後、試料より 15 cm の距離から粒径 50 μm 、3 気圧で 30 秒間アルミナサンドブラ

スト処理して埋没材を完全に除去し、10 分間超音波洗浄して試料を完成した。

3) 測定方法

歯頸部ショルダーリングと頭部キャップを取り外した支台原型金型に試料を静かに挿入し、200 g の荷重を 1 分間加えた。万能投影機を用いて OCC クラウンの下縁と支台原型金型のショルダー部の間隙を 1 試料につき 90 度間隔に μm 単位まで 4 か所測定し、その平均値からショルダーリング幅を差し引いて測定値 (T) とした。これらの測定値 (T) から膨縮率を次式によって求めた。

$$\text{膨縮率 (\%)} = T \times \frac{a}{b \times 1,000} \times 100$$

ただし、T：測定値

a：支台原型金型のテーパー (1/10)

b：支台原型金型の基底部直径 (10 mm)

本実験では OCC クラウンの下縁と支台原型金型のショルダー部の間隙量が減少した場合は膨縮率は正の値で、逆にショルダー部の間隙が増加した場合には負の値で示した。

2. 3次元座標測定法による OCC クラウンの寸法精度

1) 因子と水準 (表 3)

因子 A として結晶化熱処理条件を採り、結晶化熱処理を施す前のガラス鑄造体 (以下アズキャストと呼ぶ) と 900°C 熱処理の 2 水準を、因子 B として埋没材専用液の希釈率を採り、希釈率 25, 50, 75% の 3 水

図 3 OCC ク라운の直径の測定部位と測定法

準とし、各条件くり返し 3 回、計 18 個の試料を完全ランダム化して製作し、二元配置による要因配置実験を行った。

2) 試料の製作

マスターダイ法による OCC ク라운の寸法精度の実験に用いた金型を使用し、同じ行程で試料を製作した。

アズキャストの OCC ク라운は埋没材から掘り出した時点で埋没材をサンドブラスターにより完全に除去し、10 分間超音波洗浄して測定用試料とした。

3) 測定方法

(1) 測定装置および基準設定

3次元座標測定機（カルツァイス UMM-500）を用い、直径 1 mm のプローブで荷重 9.8 gf にて測定した。データの各種演算処理には形状計算プログラム（KUM）を使用した。

試料台に OCC ク라운のマージン部を上に向けて固定し、クラウン内面の咬合面から 1 mm 離れた内壁周囲に等間隔に 12 点の座標を測定し、コンピュータ処理により円の中心を求め、この点を通る円の垂線とクラウン内面咬合面部との交点を咬合面部の仮の中心点とした。この中心点から半径 3.5 mm の円周上の座標を 8 点測定し、8 点間の Z 座標の差が最も小さい平面を算出し、この面を XY 平面の基準面とした。同様に支台原型金型では、咬合面平面部を基準面とした。

(2) 測定

OCC ク라운の場合ではクラウン内面咬合面から、また、支台原型金型では、その咬合面から Z 軸上で 1, 3, 5, 7, 9 mm 離れた部位の測定試料表面の座標を 12 点測定し、最小二乗法により求めた平均円周よりその部位の直径を算出した（図 3）。

図 4 OCC ク라운の高さの測定法

高さの測定は、OCC ク라운の場合ではクラウンショルダーマージン部の外周から内側に 1 mm の点の座標を、支台原型金型ではショルダーリングの上面の外周部から 1 mm の点の座標を 1 試料につき 4 点測定した。その点の XY 平面からの Z 軸距離を求め、平均値をその試料の高さとした（図 4）。

各条件における OCC ク라운の膨縮率は、OCC ク라운の各測定値からそれに対応する支台原型金型の寸法を減じ、その増減量を支台原型金型の寸法と比較し、百分率で算出した。

3. OCC ク라운の表面粗さ

1) 因子と水準

測定試料には 3 次元座標測定法による OCC ク라운の寸法精度の実験に用いた試料を使用し、同様に因子と水準を定め（表 3）、二元配置分散分析を行った。

2) 測定方法

日本工業規格の表面粗さの定義と表示（JIS B 0601）に準拠し、万能表面形状測定機（小坂製作所 SE-3 A）にて OCC ク라운内面の歯軸方向に測定した。1 個の試料につき任意の 4 カ所測定し、その平均値をその試料の中心線平均粗さ（Ra）あるいは最大高さ（Rmax）のデータとした。

III. 結 果

1. マスターダイ法による OCC ク라운の寸法精度

三元配置分散分析を行った結果、因子 A（結晶化熱処理条件）と因子 B（埋没材専用液の希釈率）が高度に有意となったが、因子 C（埋没材の緩衝法）および交互作用効果は有意とならなかった。因子 A の各水準の膨縮率の平均値および 95% 信頼区間を図 5 に示す。

図5 マスターダイ法における結晶化熱処理条件がOCCクラウンの寸法精度に及ぼす影響

図6 マスターダイ法における埋没材専用液の希釈率がOCCクラウンの寸法精度に及ぼす影響

850°C 熱処理で-0.10%, 900°C 熱処理で-0.34%, 950°C 熱処理で-0.30% となった。各水準間の平均値の差の q 検定を行ったところ、850°C 熱処理と 900°C 熱処理間および 850°C 熱処理と 950°C 熱処理間に危険率 1% で有意差が認められたが、900°C 熱処理と 950°C 熱処理の間には有意差は認められなかった。因子 B の埋没材専用液の希釈率の各水準の平均値と 95% 信頼区間を図 6 に示した。希釈率 25% で

図7 アズキャストの場合の各測定部位における直径の膨縮率

図8 900°C 熱処理の場合の各測定部位における直径の膨縮率

0.35%, 50% で-0.23%, 75% で-0.86% であり、平均値の差の検定により、各水準間に危険率 1% で有意差が認められた。

2. 3次元座標測定法による OCC クラウンの寸法精度

OCC クラウンの各測定部位における直径の膨縮率測定値の平均と標準偏差を条件別に示したのが図 7 および図 8 である。アズキャストで希釈率 25% の場合では、測定部位 1.0 mm で 1.63% であり、3.0~7.0 mm 間では 1.0 mm より若干膨張傾向を示した。また、9.0 mm では、1.53% と膨縮率は他の部位に比較して減少する傾向を示した。900°C 熱処理、希釈率 25% の場合では、3.0 mm で膨縮率が最大 1.14% となり 5.0, 7.0, 9.0 mm と順次減少する傾向にあった。他の各条件においては 1.0~7.0 mm での膨縮率はほぼ一定であり、9.0 mm で減少する傾向が認められた。

図 9 OCC クラウンの直径の膨縮率に及ぼす結晶化熱処理の影響

図 10 OCC クラウンの直径の膨縮率に及ぼす埋没材専用液の希釈率の影響

各測定部位および高さについて二元配置分散分析を行った結果、すべての測定部位の OCC クラウン直径の膨縮率および高さの膨縮率において因子 A (結晶化熱処理条件) および因子 B (埋没材専用液の希釈率) ともに高度に有意となり、交互作用効果 $A \times B$ は有意とならなかった。

結晶化熱処理条件および埋没材専用液の希釈率が膨縮率に及ぼす影響を検索するため、因子 A および因子 B の各水準における平均値と 95% 信頼区間を求め、図 9 と図 10 にグラフで示した。図 9 のアズキャストでは 1.0~7.0 mm 間において 1.20~1.28% の範囲でほぼ等しい膨縮率が認められ、9.0 mm で 1.07% と若干収縮傾向を示した。900°C 熱処理では 3.0 mm で 0.57% と他の部位に比較してやや大きな値を示し、9.0 mm で膨縮率は漸減する傾向を示した。

図 10 では、希釈率 25% の測定部位 3.0 mm で他の測定部位よりやや大きな値を認めたが、他の 1.0~

図 11 OCC クラウンの高さの膨縮率に及ぼす結晶化熱処理の影響

図 12 OCC クラウンの高さの膨縮率に及ぼす埋没材専用液の希釈率の影響

7.0 mm の範囲の平均値は、各希釈率においてほぼ一定であり、9.0 mm で減少する傾向も一致していた。

OCC クラウンの高さの膨縮率に及ぼす因子 A (結晶化熱処理条件) の影響のグラフを図 11 に、因子 B (埋没材専用液の希釈率) の影響のグラフを図 12 に示した。アズキャストでは 1.34%、900°C 熱処理では 0.67% であり、平均値の差の検定で、危険率 1% で有意差が認められた。因子 B に関しては希釈率 25、50、75% の平均値はそれぞれ 1.48、0.94、0.60% であり、各水準間は危険率 1% で有意差が認められた。

3. OCC クラウンの表面粗さ

中心線平均粗さ (Ra) および最大高さ (Rmax) に関して二元配置分散分析を行った結果、因子 A (結晶化熱処理条件) のみが、中心線平均粗さ (Ra) では危険率 5% で、最大高さ (Rmax) では危険率 1% で有意となった。q 検定による平均値の差の検定では、

図 13 OCC クラウン内面の中心線平均粗さ (Ra) に及ぼす結晶化熱処理の影響

図 14 OCC クラウン内面の最大高さ (Rmax) に及ぼす結晶化熱処理の影響

中心線平均粗さ (Ra) においてアズキャストと 900°C 熱処理間に危険率 5% で、最大高さ (Rmax) においては危険率 1% で有意差が認められた。図 13 に中心線平均粗さ (Ra) の、図 14 に最大高さ (Rmax) の平均値と 95% 信頼区間を示した。900°C 熱処理の OCC クラウンの中心線平均粗さ (Ra) および最大高さ (Rmax) の平均値はそれぞれ 2.15、26 μm を示した。

IV. 考 察

キャストابل・セラミックスの寸法精度の検討は、マスターダイ法²⁻⁴⁾、支台歯に合着あるいは固定して標点間の変化量や切断面の間隙量を求める方法^{3,5-7)}、あるいは 3 次元座標測定機を用いて計測する方法^{8,9)}が行われている。

マスターダイ法は、測定法が比較的簡便であり、クラウン全体の寸法変化を得ることができるが、単純な円錐台形の鋳造体を用いるため、クラウンあるいは支台歯の形状の変化による影響は捉えにくい。また、測定点がクラウン外面になるため、内面の形状変化については検討が困難である。支台歯に合着、固定する方法は臨床に近い状態で検討できるが、支台歯に戻す際の浮き上がりや変位の影響が避けられない。3 次元座標測定法による検討では、内面の形状の変化を求めることが可能であるが、測定部位数はある程度限定され、測定法もマスターダイ法に比較して繁雑である。

このようなことから、目的に応じた測定法を選択することが肝要と考えられる。したがって、鋳造時および結晶化熱処理時の OCC クラウンの寸法変化の有無とその変化量をマスターダイ法で、また、それらの影響がクラウンの内面や高さに及ぼす変化を 3 次元座標測定機を用いて検索した。

1. マスターダイ法による OCC クラウンの寸法精度

1) 実験条件

ブルーベストをメーカー指示に従って使用し、製作された OCC クラウンはむしろ膨張傾向が大きいことが臨床に指摘されたため¹⁰⁾、よく用いられる鋳造時の寸法調整法である埋没材専用液の希釈と埋没材の緩衝法を因子として選択した。

また、OCC の結晶化熱処理温度は基本的には 900°C¹¹⁾ であるが、今後おもにその色調再現法の関係から使用される可能性のある、熱処理温度 850~950°C の範囲での影響についても併せて検討した。

2) 結晶化熱処理による影響

ガラスは本来無機物質の熔融体を結晶化することなく、固い状態に冷却したものと定義されている¹¹⁾。しかし、キャストابل・セラミックスは熱処理により最初に結晶核が形成され、さらにこの核を起点として結晶が成長する性質をもった結晶化ガラス (Crystallized glass) である¹²⁾。原子排列が不規則な非晶質ガラス状態から再排列して規則的な空間格子をもった結晶へと転移する際に収縮が伴うとされている¹³⁾。

測定法は異なるが、OCC 以外のキャストابل・セラミックスの結晶化収縮率は Dicor では、0.45%²⁾ あるいは 0.5~0.9%⁶⁾ と述べられており、CPCC では 0.08%¹⁴⁾、BIORAM-C では 0.02%³⁾ とされている。結晶化熱処理時の収縮が大きい程寸法精度に影響を与えてしまう。

OCC の熱処理条件の違いによる結晶化収縮の動態を観察するため、次のような実験を行った。8.0×8.0×8.0 mm の立方体の OCC ガラスブロックを鋳造により製作し、各面を耐水研磨紙で #1500 まで研磨した。ライナーゲージセンサーを用いてガラスブロック

図 15 OCC の結晶化熱処理条件と収縮率の関係

の厚径を 3 方向、各方向につき 3 点計 9 点測定した。その後、各熱処理条件に従って結晶化を行い、同様に厚径を測定し、ガラスブロック体との寸法変化量を求め、結晶化収縮率を算出した。結晶化熱処理条件は図 1 の結晶化熱処理スケジュールの a～f の 6 条件 (750°C、750°C 2 h、800°C、850°C、900°C、950°C 熱処理) とし、各条件につき 3 試料測定した。その結果の平均値と標準偏差を図 15 に示した。800°C 熱処理、850°C 熱処理、900°C 熱処理間で大きな収縮が認められ、900°C 熱処理と 950°C 熱処理とではほぼ同じ収縮率となる。900°C 熱処理での収縮率の平均値は 0.86% であり、Dicor よりやや大きく、CPCC の約 10 倍の収縮量である。また、850°C 熱処理と 900°C 熱処理および 950°C 熱処理との差は約 0.3% であり、マスターダイ法での結晶化熱処理条件の収縮率差の結果とほぼ一致する。OCC は 750°C でマイカ結晶と微量のリチウム・アルミ・シリケート系の β -スポジウム結晶が析出し、熱処理温度が 750°C より高温になると β -スポジウム結晶の析出量が增大するとされている¹⁾。この β -スポジウム結晶の析出が結晶化収縮に大きく影響していると推察される。

3) 埋没材専用液の希釈による影響

本実験に用いた希釈条件がブルーベットの膨張にどのように影響するか、硬化膨張と熱膨張を測定した。

硬化膨張率はマスターダイ法の埋没材硬化状態に近づけるため、鑄造リング内で硬化させ、ライナーゲージセンサーおよびデジタルアナログアウトゲージを用いて練和開始 2 時間後のリング高さ方向の膨張量を測定して算出した。マスターダイ法の結果より、緩衝法の影響は認められなかったため、リングに緩衝材 1 枚内張りしたものを使用した。専用液を希釈せず原液のまま使用したもの、および各希釈率につき 3 試料測定した。

熱膨張率は直径 5.0 mm、高さ 20.0 mm の埋没材ブロックを Thermal Analysis Station TAS 8140、

Thermoflex TMA 100 (理化学電気) を用いて昇温速度 10°C/min で室温から 800°C まで昇温し、30 分係留したのち、10°C/min にて 600°C まで降温して 30 分係留したときの膨張量から算出した。硬化膨張率の測定と同様に専用液原液と各希釈率について 3 回測定した。

測定の結果、硬化膨張率の平均値と標準偏差は専用液原液のもので $0.83 \pm 0.01\%$ 、希釈率 25% で $0.62 \pm 0.04\%$ 、希釈率 50% で $0.32 \pm 0.03\%$ 、希釈率 75% で $0.15 \pm 0.02\%$ となり、熱膨張率は順に 1.20 ± 0.04 、 1.22 ± 0.02 、 1.14 ± 0.03 、 $1.06 \pm 0.03\%$ となった。硬化膨張率において特に希釈の効果が顕著に認められた。マスターダイ法による希釈率の効果も寄与率が 87.21% と最も大きく認められており、OCC ク라운において有効な寸法調整法であるといえる。

4) 埋没材の緩衝法による影響

使用したセラミックファイバー系のリングライナーはシリカ・アルミナの繊維からなり、ガラス様繊維が積み重なり、アスベスト製に比較して多くの空隙が認められ¹⁵⁾、乾アスベストに比較して約 5 倍の緩衝作用を有しており¹⁶⁾、その変形可能量は元の厚さの 50% に及ぶといわれている¹⁷⁾。今回の結果で緩衝法の違いによる OCC ク라운の寸法変化は認められなかったのは、セラミックファイバーリングライナー 1 枚の厚さ (1.0 mm) で、リング壁方向への埋没材の膨張をほとんど緩衝しているためと思われる。埋没材膨張に対して緩衝能の小さな緩衝法を用いるとリング壁面方向への膨張を抑制し、埋没材内の膨張の異方性をきたすことはよく知られており、得られる鑄造体の変形防止のためにもセラミックファイバー製リングライナーの使用には妥当性がある。

2. 3 次元座標測定法による OCC ク라운の寸法精度

1) 実験条件

マスターダイ法により、結晶化熱処理および、埋没材専用液の希釈率が寸法精度に影響を及ぼすことが判明したため、これらの影響がマスターダイ法では解析困難なク라운内面の形状と高さにどのように関与しているかについて 3 次元座標測定機を用いて解析した。また、鑄造後のガラス体 OCC ク라운の形態および結晶化による変化を検索するため、結晶化熱処理条件は基本的な 900°C 熱処理と、結晶化を行う前のアズキャストに設定した。マスターダイ法の結果から緩

衝法の影響は認められなかったため、緩衝法は緩衝材 1 枚に固定した。

2) アズキャスト状態について

マスターダイ法で認められた埋没材の専用液の希釈の効果と同様の傾向が、3 次元座標測定により測定されたすべての部位において現れた。

一方、専用液の希釈が OCC ク라운の膨縮率低下へ及ぼす効果は、今回測定したブルーベスト埋没材自体の希釈による総膨張量の低下量より大きく現れている。今回、採用したリングライナーによる緩衝法は、鋳造リング上下 5 mm の部分を除いてライニングしており、このようなライニング方法は、リング内全面をライニングした方法に比較してライニングされていない部分のリングの抑制により、膨張量が減少すると報告されている¹⁸⁾。リング上下への伸びにより硬化膨張量を求めた今回のブルーベスト専用液原液での硬化膨張量は 0.83% であり、吉田ら¹⁹⁾の水銀浴法による硬化膨張量 1.0% より、若干小さめに出ているのは、この影響が関与しているものと思われる。このため、ブルーベストの総膨張率にはリングの抑制の影響が含まれており、一方ワックスパターン周辺の埋没材は、緩衝効果の大きいセラミックファイバー製リングライナーによりリングの抑制の影響が小さい状態で膨張する。これらの理由により、希釈率の違いによるブルーベストの総膨張率の変化と OCC ク라운の膨縮率変化の対応に差が認められたと思われる。

アズキャスト時の OCC ク라운の軸壁内面形状については、希釈率の違いによる OCC ク라운内面形状の変化傾向は認められなかった。アズキャストの OCC ク라운では測定部位 1.0~7.0 mm の範囲ではほぼ等膨張を示したが、歯頸部に最も近い測定部位である 9.0 mm で他の部位に比較して膨張率の減少傾向が認められた。小西ら²⁰⁾、羽田ら²¹⁾、矢木ら⁸⁾のいういわゆる先細り現象が歯頸部付近に認められた。小西はこの現象をおもに埋没材の加熱膨張時の動向により説明している。すなわち、ク라운内面の咬合面部の埋没材は、自由に膨張できるが、歯頸部の埋没材は他の残りの埋没材と同調して膨張するため、制限を受けることになり、結果として先細り現象が起こるとしている。また、永沢ら²²⁾は有限要素法を用いて鋳型の熱変形について検討を行い、緩衝能の大きなセラミックファイバー製リングライナーを用いた場合に鋳型は、咬合面から歯頸部にかけて変形なく直線的に等膨張するが、緩衝能の小さなアスベスト緩衝材を用いると、

膨張の抑制を受け、咬合面部から歯頸部に近づくに従って、膨張量は減少すると述べている。これらのことより今回の実験における埋没材の膨張の動態を推察すると、OCC ク라운内面 1.0~7.0 mm の範囲では、埋没材の膨張がセラミックリングライナーの緩衝作用によりほとんど抑制されず、あるいはたとえ何らかの抑制がク라운外周の埋没材に存在しても、この部分のク라운内面の埋没材はワックス焼却された空洞に面しているため、周りの埋没材の膨張抑制の影響を受けずにほぼ等膨張しているものと考えられる。一方、先に述べたリングライナーによる裏打ちが存在しないリング上端 5 mm の埋没材の膨張抑制が、上端により近い部分である歯頸部付近の埋没材膨張の抑制に関与し、その影響が歯頸部付近のク라운内面の埋没材の膨張量の減少につながったものと考えられる。

3) 結晶化熱処理による影響

キャストブル・セラミックスの結晶化熱処理は一般に鋳造体を包埋あるいは、鋳型中に保持した状態で行われている。これらの操作は結晶化時の変形あるいは、電気炉熱源の輻射熱の影響を避けるためであるとされている。一方、OCC は鋳造体を埋没材から掘り出し、包埋することなく、アルミナ製の均熱箱に静置した状態で結晶化を行うため、結晶化時の収縮を抑制、制御する材料が全く存在しない。この方法は、臨床技工操作上簡便であるが、結晶化時の変形が懸念された。しかし、結晶化熱処理の影響を示す図 9 では、各測定部位の熱処理による収縮率は 0.70~0.81% の範囲であり、測定部位による大きな変化は認められなかった。また、結晶化熱処理後の OCC ク라운内壁の形状は歯頸部寄りの部分に膨縮量の減少が認められるアズキャストと同様の傾向を示しており、結晶化収縮に伴う変形は認められなかった。ガラスのような過冷却液体が結晶化するためにはまず結晶核が生成し(核形成 Nucleation)、次いでその核が結晶に成長する(結晶成長 Crystal growth)という過程をたどる²³⁾。OCC のようなマイカ系の結晶化ガラスは結晶核を中心にガラスの表面および内部にもほぼ同時に体積全体に渡って結晶が析出するいわゆるランダム結晶化を示すとされている¹⁴⁾。このため、OCC においてはガラス鋳造体内の部分的な結晶化の開始や結晶化進行の違いによる収縮量の差異が現れにくく、変形が生じにくくなっているものと推察される。

4) マスターダイ法との比較

本実験のマスターダイ法と 3 次元座標測定機の測定

で、共通する条件の組合せである 900°C 熱処理時の希釈率 25%, 希釈率 50%, 希釈率 75% の 3 条件の両測定法による平均値を比較する。3 次元座標測定機によるデータは測定部位 9.0 mm のものである。各条件で、0.58, 0.64, 0.80% それぞれ 3 次元座標測定機による平均値の方が大きな値を示した。3 次元座標測定機においては、測定部位の 12 点の座標から、最小二乗法で平均円形を算出し、その直径を求めているため、示されている膨縮率は試料のある限局された測定部位における平均的な膨縮率を示している。一方、マスターダイ法により示される膨縮率は、その試料内面全体で最も小さい内径を示すことになり、その差が先のデータ値の違いとなって現れてきたものと思われる。これに大きく影響される因子としては試料内面の表面性状、すなわち表面粗さが影響するものと推察する。

3. OCC ク라운の表面粗さ

鑄造冠の表面粗さは寸法精度に重要な因子であるといわれている。キャストابل・セラミックスに関しては、CPCC において中心線平均粗さ (Ra) で約 2.5 μm であったと報告されている⁸⁾。OCC の場合は、900°C 熱処理後で、中心線平均粗さ (Ra) は平均 2.15 μm を示していた。最大高さ (Rmax) は平均 26 μm に達していた。

キャストابل・セラミックスの表面粗さに影響を及ぼす因子として、熔融ガラスと埋没材との焼着現象が指摘されている²⁴⁾。岩井²⁵⁾は EPMA 分析により、リン酸カルシウム系キャストابل・セラミックスのガラス界面より 30 μm 内面まで、埋没材の Si 元素が侵入していることを確認し、埋没材の焼着現象は鑄型温度が高いほど発生率が高くなると述べている。一方、OCC は焼着現象を避けるため、鑄型温度を 500~600°C の範囲に定めている²⁶⁾が、山本²⁷⁾は数種のリン酸塩系埋没材を用いて、混液比を変えて鑄造した OCC の結晶化熱処理後の表面性状について検討し、ブルーベストでは中心線平均粗さ (Ra) で、3.18~4.84 μm を示し、埋没材中の SiO₂ 成分の OCC への差し込みや焼着が表面荒れの原因であると推測している。

今後、OCC と埋没材の焼着現象の解明と OCC と反応性の少ない埋没材の開発、および確実な埋没材の除去方法の確立などが必要であろう。

4. OCC ク라운の臨牀的な寸法精度条件

キャストابل・セラミックスは金属のような塑性変

形能が存在しないため、ク라운内面に支台歯と強く接触する部位が存在すると、試適時やセメント合着時、あるいは合着後でも咬合時の応力集中による破損、破折の危険性がある。そのため、表面の粗さも考慮したセメント層の確保が必要となる。

OCC では接着性のデュアルキュアタイプレジメンメントの使用をメーカーが指示している。ここで、直径 10 mm の OCC ク라운を想定し、基本的な結晶化熱処理温度 900°C で製作した場合、埋没材専用液の希釈率 25% の条件では、3 次元座標測定機による膨縮率から算定して平均約 40~50 μm の厚さのセメント層が確保でき、表面粗さの最大高さ (Rmax) の値 26 μm に適合性が影響される恐れもない。この条件のマスターダイ法の膨縮率は 0.35% であり、最も膨縮率が小さく現れた部分でも約 17 μm のセメント層が確保されている。一方希釈率 50% では平均的なセメント層の厚さは約 20~30 μm であり、表面の荒れの影響に適合性が左右される恐れがあり、事実、マスターダイ法では浮き上がりが認められた。

本実験条件では希釈率 25% で OCC ク라운にとって最も適切なセメント層 40~50 μm が得られると考えられる。

V. 結 論

マイカ系オリンパス・キャストابل・セラミックス (OCC) ・ク라운の寸法精度をマスターダイ法と 3 次元座標測定機を用いて検討した。さらに、ク라운内面の表面粗さを測定し、次の結果を得た。

1. 結晶化熱処理条件 850°C では 900°C および 950°C 熱処理の場合に比較して膨張傾向が認められたが、900°C 熱処理と 950°C 熱処理間には差が認められなかった。

2. 体積比で 25, 50, 75% 蒸留水を混和させて濃度調整した埋没材の専用液を使用した結果、OCC ク라운の膨縮率の平均値はそれぞれ 0.35, -0.23, -0.86% を示し、各条件間に有意差が認められた。

3. 埋没材の緩衝方法の違いの条件として選択したリングレス法、セラミックス製ライナー 2 枚、同じく 1 枚の 3 条件による影響は認められなかった。

4. 結晶化前の OCC ク라운内面各部の直径はほぼ等膨張していたが、歯頸部は他の部位よりやや収縮傾向にあった。

5. OCC ク라운の結晶化時にク라운内面の直

径において約 0.70~0.81% の収縮が認められたが、測定部位の違いによる結晶化収縮率の大きな変化は認められなかった。

6. 結晶化熱処理を行った OCC クラウン内面の表面粗さは中心線平均粗さ (Ra), 最大高さ (Rmax) とも、アズキャストに比較して大きくなった。また、その最大高さ (Rmax) は平均約 26 μm であった。

7. 900°C 熱処理の場合、希釈率 25% で OCC クラウンにとって最も適切なセメント層 40~50 μm が得られる。

稿を終えるにあたり、本実験に際し終始ご協力下さいましたオリンパス光学工業(株)袴塚康治、渡辺一博両氏に厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) 畑 好昭, 鈴木 基, 飯島 浩ほか: キャスタブル・セラミックス (O.C.C.) の材料合成と物性, 補綴誌, 32: 52~61, 1988.
- 2) 丸山剛郎: キャスタブル・ガラス・セラミックス "DICOR" の日本における研究, QDT 別冊—デンタル・ファイン・セラミックスの現況を探る—: 151~156, 1986.
- 3) 高 永和, 今西 仰, 日野年澄ほか: キャスタブル・ガラスセラミックス BIORAM-C の臨床応用への検討 適合性と破折強度, Quintessence, 8: 617~626, 1989.
- 4) 芝 煒彦, 日高良衛, 万代倫嗣ほか: 新しいキャストブル・セラミックス "キャスミック" の歯冠修復への応用, QDT, 14: 1375~1381, 1989.
- 5) Davis, D.R.: Comparison of fit of two types of all-ceramic crowns, J Prosthet Dent, 59: 12~16, 1988.
- 6) 宮内修平, 高 永和, 日野年澄: マイカ・クリスタル系ガラス・セラミックスクラウンに関する研究—適合性について—, 補綴誌, 34: 492~500, 1990.
- 7) 小林 司, 相沢一郎, 庄司 力ほか: ダイコア・ラミネート・システムに関する研究 第 1 報 ラミネート・ベニアの適合性とダイコア L.A. セメント層の観察, 日大歯学, 64: 563~570, 1990.
- 8) 矢木富士雄, 新谷明喜, 横塚繁雄: リン酸カルシウム系結晶化ガラス (CPCC) を用いたキャストブルセラミックスクラウンの寸法精度, 歯学, 75: 189~222, 1987.
- 9) Ishida, H., Nahara, Y. and Hamada, T.: Dimensional accuracy of castable apatite ceramic crowns: The influence of heat treatment on dimensional changes and distortion of crowns, J Prosthet Dent, 68: 279~283, 1992.
- 10) 瓜生佳弘, 鈴木 基, 飯島 浩ほか: キャスタブル・セラミックス (OCC) の臨床応用, 歯学, 77: 1485~1495, 1989.
- 11) 土橋正二: ガラスの化学, 9~16, 講談社, 東京, 1972.
- 12) 渡辺 明, 木原誠治, 阿部良弘ほか: 生体材料としての人工歯冠の展望 2. 新しい歯冠材料としてのガラスと結晶化ガラス, Quintessence, 3: 1829~1840, 1984.
- 13) 渡辺 明, 木原誠治, 阿部良弘ほか: 生体材料としての人工歯冠の展望 3. リン酸カルシウム系結晶化ガラス歯冠の物理的・化学的性質, Quintessence, 4: 253~268, 1985.
- 14) 横塚繁雄, 新谷明喜: キャスタブルセラミックスクラウン, 歯科ジャーナル, 27: 541~550, 1988.
- 15) Priest, G. and Horner, J.A.: Fibrous ceramic aluminum silicate as an alternative to asbestos liners, J Prosthet Dent, 44: 51~56, 1980.
- 16) 永沢 栄, 伊藤充雄, 中西哲生ほか: 精密鑄造に関する研究 (その 9) ワックスパターンに対する埋没材の硬化膨張の影響について, 松本歯学, 5: 27~34, 1979.
- 17) 高橋重雄: 鑄造リングの緩衝材—アスベストリボンに変わる新しい緩衝材カオウール (ceramic fiber) ペーパー, DE, 48: 28~31, 1979.
- 18) 上新和彦, 藤井孝一, 有川裕之ほか: 埋没材の膨張と鑄造体の寸法との関連性 第 1 報 埋没材の膨張と測定方法, 歯材器, 4: 334~338, 1985.
- 19) 井田一夫, 都賀谷紀宏, 吉田龍一ほか: 高温鑄造用埋没材をテストする, DE, 67: 18~33, 1983.
- 20) 小西正裕, 渡辺嘉一, 横塚繁雄: せっこう系埋没材を用いた鑄造冠内面の形状変化, 補綴誌, 29: 874~890, 1985.
- 21) 羽田皓而, 新谷明喜, 横塚繁雄: 高温埋没材を用いた鑄造冠内面の形状変化, 補綴誌, 32: 358~373, 1988.
- 22) 永沢 栄, 伊藤充雄, 中西哲生ほか: 精密鑄造に関する研究 (その 8) 有限要素法による鑄型の熱変形の解析, 松本歯学, 4: 138~149, 1978.
- 23) 功刀雅長編: ガラスの結晶化, 無機材料科学, 137~145, 誠文堂新光社, 東京, 1972.
- 24) 山本昌雄, 若狭邦男, 平 雅之ほか: バイオラミックスの展望 6 2. Bioramics の場における生体機能ガラスセラミックスの開発研究 V. ガラスセラミックスの鑄造およびその埋没材に関する研究, Quintessence, 7: 1316~1326, 1988.
- 25) 岩井啓三: リン酸カルシウム系結晶化ガラス鑄造冠の焼着および失透に関する研究, 補綴誌, 31: 955~970, 1987.
- 26) 飯島 浩, 鈴木 基, 瓜生佳弘ほか: キャスタブル・ガラス・セラミックス (O.C.C.) の臨床応用, Dental Diamond, 13: 48~51, 1988.
- 27) 山本雄嗣: キャスタブルガラスセラミックスの内側性窩洞への適合性に関する研究 第 1 報 表面粗さについて, 日歯保誌, 35: 657~667, 1991.