

迅速鑄造用石膏系埋没材の膨張特性と 加熱開始時間が鑄造精度に及ぼす影響

石田喜紀

Effect of the Expansive Behaviors and Heating Start Time Following Initial Mixing of Gypsum-bonded Investments for Quick Heating on Casting Accuracy of Crowns

Yoshinori ISHIDA

The purpose of this study was to investigate the effects of the expansive behaviors and the heating start time following initial mixing of gypsum-bonded investments for quick heating on casting accuracy of crowns using a three-dimensional coordinate measurement system.

For the experiments, four types of quick heating type investment (Cristoquick II : QII, Cristobalite New F-1 : F1, Cristobalite Q : CQ, Cristobalite PF : PF) and one type of conventional gypsum-bonded investment (Cristobalite Micro : CM) were used. In the experiments, the setting expansion and thermal expansion of the investments were measured, and for the quick heating types, the thermal expansion by changing the heating start time to 30 minutes, 45 minutes, and 60 minutes after initial mixing of the investments was also measured. The wax patterns were made using crown-type dies, and the outside and inside shapes of the patterns were measured using the three-dimensional coordinate measurement system. The origin of coordinates during measurement was set so that it would be at the center of the sprue erected vertically at the center of the engaged surface of the wax patterns. The casting accuracy of the castings was measured using the measurement result of the die as the design value. The casting accuracy of the castings obtained using the conventional investment was used as the control.

The following results were obtained.

1. The setting expansion of all the quick heating types was larger than that of the conventional type. On the other hand, their heating expansion was smaller than that of the conventional type, and no significant difference was recognized even when the heating start time after initial mixing of investment was changed.
2. The dimensional change of the castings tends to expand both inside and outside, with the tendency stronger inside, and the dimensional change of the castings in the die top was smaller than that in the die bottom.

3. The dimensional change of the height of the castings tends to expand in comparison with the wax pattern, and the tendency was stronger in comparison with the dimensional change of the side. The tendency was stronger for the quick heating types than for the conventional type.
4. The casting accuracy obtained using the conventional type was 0.41 to 0.59%, and that of the quick heating types was 0.36 to 0.52% for QII, and 0.16 to 0.29% for PF when the heating after 30 minutes from initial mixing, 0.41 to 0.75% for QII, and 0.15 to 0.40% for PF after 45 minutes, and 0.42 to 0.76% for QII, and 0.20 to 0.51% for PF after 60 minutes.

Key words : quick heating investment, casting accuracy, three-dimensional coordinate measuring system, expansive behavior

緒 言

歯科精密鑄造はろう原型を埋没材で包埋し、それを焼却して鑄型空洞を作り、熔融合金を鑄込む、いわゆるロストワックス法を用いる¹⁾。この操作過程で合金の鑄造収縮を埋没材の膨張で補償し²⁾、完成した鑄造体は以後の装着時のセメント層を考慮して、フルキャストクラウンの場合50 μ m程度の精度で支台歯に適合することが理想とされる³⁻⁵⁾。

通常、貴金属系合金の鑄造体作製には石膏系埋没材が主に用いられる^{6,7)}。これらの埋没材は鑄型の亀裂や破損を防止するために練和開始後2~3時間経過し、十分に硬化、乾燥した後加熱を開始し、さらに徐々に加熱することが適切な操作法とされてきた⁶⁻¹⁰⁾。

しかし近年、埋没から鑄造までを短時間で行うことが可能な迅速鑄造用石膏系埋没材（以後、迅速型とする）が開発され、普及してきた。これらの埋没材を使用した鑄型は埋没後20~30分で700℃に設定した炉に入れ、30分係留することで鑄造が可能であるとされており、練和開始から1時間程度で鑄造が可能で、700℃に加熱した電気炉が一つあれば連続して鑄造が可能になる。

これまでに迅速鑄造用石膏系埋没材について、いくつかの特性が報告されているが¹¹⁻²⁴⁾、硬化膨張や加熱膨張に関する膨張特性の違いについて詳細な報告は見受けられない。さらに、鑄造収縮の補償の点から考えると総膨張量は加熱開始時間に

よって変化することが考えられ鑄造精度に関しても疑問が残る。しかし、加熱開始時間の違いが鑄造体の寸法精度に及ぼす影響についての詳細な報告はきわめて少ない。

そこで、本研究では数種の迅速型について硬化膨張量、加熱膨張量および組成について従来型と比較検討し、さらに金型に対する鑄造体の寸法精度を埋没材の加熱開始時間を変えて三次元座標測定システムを用いて測定し、迅速型の加熱開始時間の違いとその膨張特性が三次元的鑄造精度に及ぼす影響について検討した。

材料および方法

1. 実験材料

表1に実験に使用した埋没材を示す。以後、埋没材は表に示すコードにて表記する。

2. 実験方法

それぞれの埋没材の練和は、製造業者が指定する条件に従い操作を行った。

1) 硬化膨張量の測定

硬化膨張量は、JIS-T6604で規定された金型を

表1 実験に使用した埋没材

商品名	発売元	Code	混水比	Lot No.
迅速型				
Cristoquick II	GC	Q II	0.33	2601y7
Cristobalite New F-1	Tokuyama	F1	0.35	081281
Cristobalite Q	Sankin	CQ	0.33	980209180
Cristobalite PF	Shofu	PF	0.35	129702
従来型				
Cristobalite Micro	GC	CM	0.33	9906161

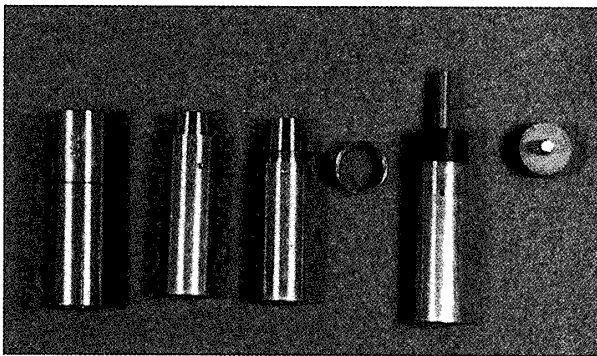


図1 ワックスパターン作製用リング、金型、ワックスパターンおよび鑄造体

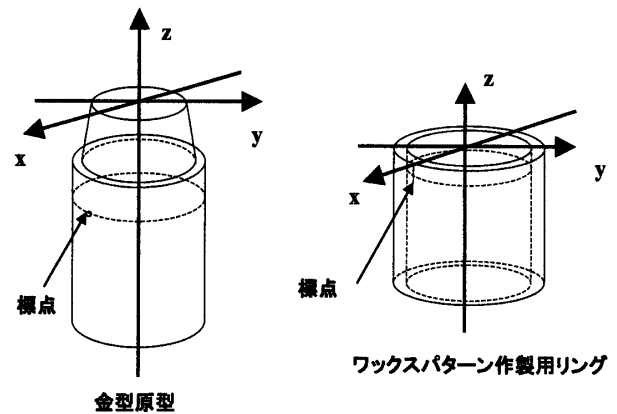


図2 金型およびワックスパターン作製用リングの座標系

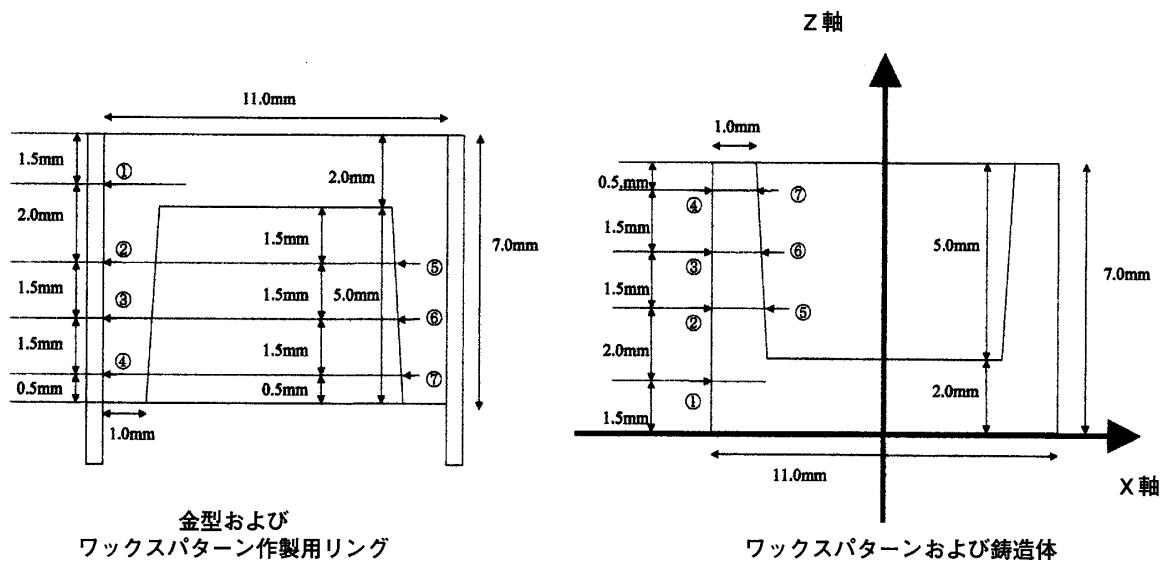


図3 金型、ワックスパターンおよび鑄造体における寸法および測定点

用いて、20℃室温中で練和開始から120分まで測定を行った。

2) 加熱膨張量の測定

加熱膨張量の測定は、直径6mm・高さ12mmの円柱状試料を用い、熱機械分析装置（TMA4000S, マック・サイエンス）にて試料設置加重10gで測定を行った。加熱スケジュールは、迅速型では練和開始30分後、45分後、60分後および120分後から昇温速度20℃/min.で、従来型では練和開始60分後から昇温速度6℃/min.で最終温度を700℃に設定した。

3) 組成分析

組成分析はX線回折装置（RINT2500-VHF/PC, 理学電機）および波長分散型X線分析装置（PW 2400, フィリップス社）を用いて行った。

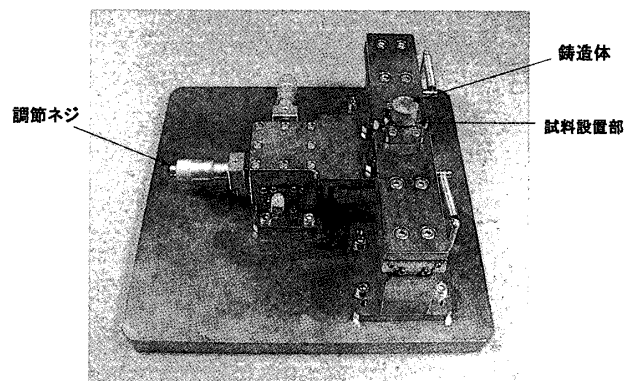


図4 試料設置台座

4) 原型の寸法測定

原型には図1に示すようなクラウンタイプで、外径11.0mm、基底部の直径9.0mm、高さ5.0mm、片側テーパ4°、マージン形態がショルダータ

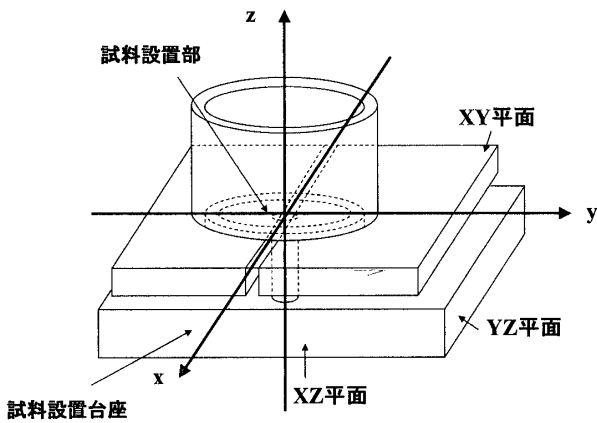


図5 ワックスパターンおよび鑄造体の座標系

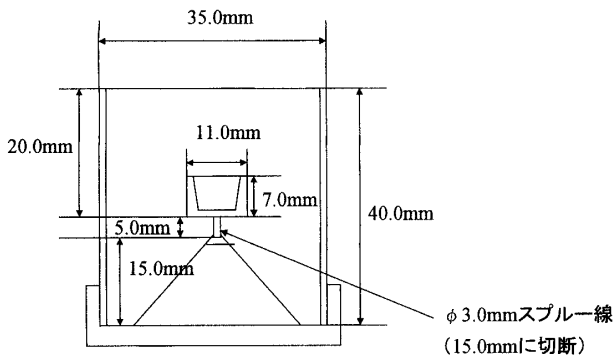


図6 ワックスパターンの埋没位置

イプのステンレス鋼製の円柱状金型（FC-R3，東京技研）を使用した。この金型はショルダー部が撤去可能な構造になっている。金型およびワックスパターン作製用リングは三次元座標測定システム（RVA600F，東京精密）を用いて測定した。金型およびワックスパターン作製用リングの測定座標は，図2のように設定した。円柱の中心でリング上面を原点とし，原点を通る金型長軸方向への直線をZ軸，金型の原点と標点を結ぶ直線をX軸とした。リングの測定点は原点からZ軸負方向に1.5mm，3.5mm，5.0mm，6.5mmのXY平面による断面を0.5mmピッチで測定した（図3左，①～④）。金型の測定点は同様に3.5mm，5.0mm，6.5mmの面を測定した（図3左，⑤～⑦）。これら測定した金型およびワックスパターン作製用リングのデータを反転，移動させた後設計値化し，ワックスパターンの精度評価に用いた。ワックスパターンは支台歯金型にワックスパターン作製用リングを装着し，約45℃で軟化したインレーワックス（ブルー

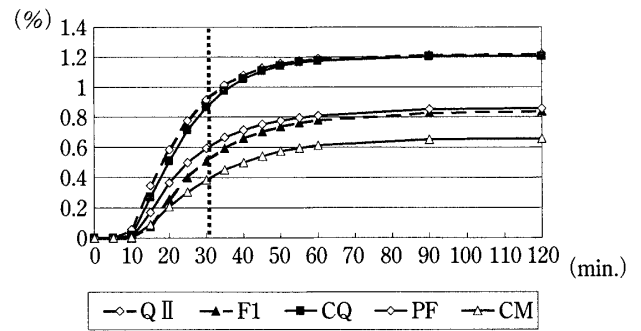


図7 迅速型および従来型の硬化膨張量

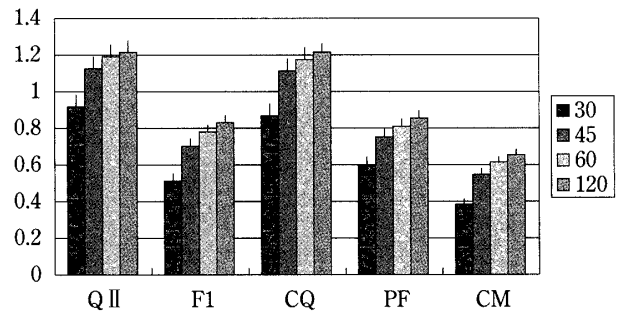


図8 30分，45分，60分および120分での硬化膨張量

インレーワックス，松風）を用いて加圧法で5kgfを10分間加圧して作製した。ワックスパターンを座標軸の中心でXY平面に垂直に設置するために，専用の治具を作製し，それにより直径3mm，長さ15mmのスプルーを植立した。植立後，原型上に24時間20℃室温で静置させた。

5) ワックスパターンの寸法測定

ワックスパターンを固定し，座標系を決定するために三次元座標測定システムに試料設置台座（アサカ精機）を設計・特注し（図4），装着した。ワックスパターンおよび試料設置台座の設置状態を図5に示す。ワックスパターンの設置は，調節ネジにより均一に左右に開閉する試料設置部にスプルーを固定することにより，常に同一部位に中心がくるように行った。試料設置台座の座標系は同図に示すように設定した。座標系の設定方法は試料設置台座の上部平面を測定し，この平面をXY平面，この平面に垂直な軸をZ軸と設定した。また，試料設置台座の基底部側面をそれぞれXZ平面，YZ平面と設定した。原点は，直径3.000±0.001mmのステンレス鋼製円柱状ゲージを試料設置部に固定し，XY平面上における円柱の

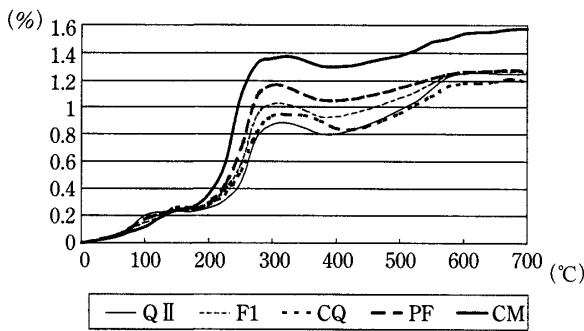


図9 迅速型および従来型の加熱膨張量

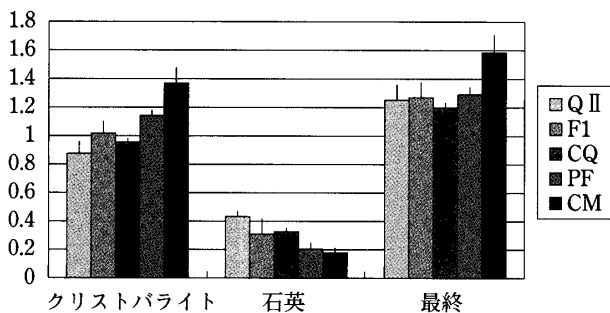


図10 各基材における変態温度付近の膨張ピークの加熱膨張量（加熱開始時間30分）

中心とした。また、ワックスパターンとスプルーの接合部がフレア状であるため、ワックスパターンと試料設置台との間に内径7.0mm，外形9.0mm，高さ1.0mmのリングを挟み、ワックスパターンを設置した。ワックスパターン外側の測定は、ワックスパターン作製用リングの測定データを設計値として、内側の測定は金型支台歯の測定データを設計値として、ワックスパターン上の同一ポイントを自動測定し、得られたデータを設計値と比較して精度の評価をした。さらに、これら測定したワックスパターンのデータを設計値化し、後に鑄造体の精度評価に用いた。また、ワックスパターンのZ軸方向の寸法変化として、ワックスパターン内側基底面からマージン部までの距離を測定した。ワックスパターンは測定後、速やかに埋没を行った。

6) 鑄造体の作製

測定したワックスパターンは図6に示すように35mmφ×40mmの鑄造リングの中央部に植立した。セラミックライナー（New Casting Liner No.1F, GC）を乾ライナー法で2枚裏装し、迅速型は練

和開始30分後、45分後、60分後から700°Cの電気炉に30分間係留、従来型は練和開始60分後から6°C/min.の昇温速度で700°Cまで昇温し、鑄造した。鑄造は12%金銀パラジウム合金（キンパラS12, イシフク）を使用し、スプリング式横型遠心鑄造機（遠心鑄造機FD-III, ヨシダ）により行った。鑄造後は室温まで自然冷却した後、鑄型から鑄造体を掘り出し、超音波洗浄器（ULTRASONIC CLEANER SUC-35, 松風）を用いて清掃液（金パラジウム清掃剤, サンキン）にて超音波洗浄を行った。得られた鑄造体に小突起物がないことを確認し、低速ダイヤモンドカッター（ISOMET, BUEHLER LTD.）でスプルー部を切断した。

7) 鑄造体の寸法測定

鑄造体はワックスパターンと同様の方法で三次元座標測定システムの試料設置台座に固定し、座標系を設定した。測定は、ワックスパターン測定で得られた設計値データを用いて鑄造体上の同一ポイントを自動測定し、得られたデータを設計値と比較して精度の評価をした。また、鑄造体のZ軸方向の寸法変化として、鑄造体内側基底面からマージン部までの距離を測定し、ワックスパターンと比較した。

さらに、金型に対するワックスパターンの寸法変化、およびワックスパターンに対する鑄造体の寸法変化から、金型に対する鑄造体の寸法変化を算出した。

試料は埋没材の各条件ごとに5つずつ行った。各測定値は一元配置分散分析を行い、Tukey's HSD testにて統計学的検定を行った。

実験結果

1. 硬化膨張量

硬化膨張量を測定した結果を図7, 8に示す。同一の埋没材で練和開始から30分と45分, 45分と60分, 60分と120分を比較したところ、時間の経過とともに硬化膨張量は大きくなり、30分と45分では全ての埋没材で有意差があった (p<0.01) が、45分と60分ではCM, CQで有意差が認められ (p<0.05), 60分と120分では全ての埋没材で有意差は認められなかった。また、練和開始30分

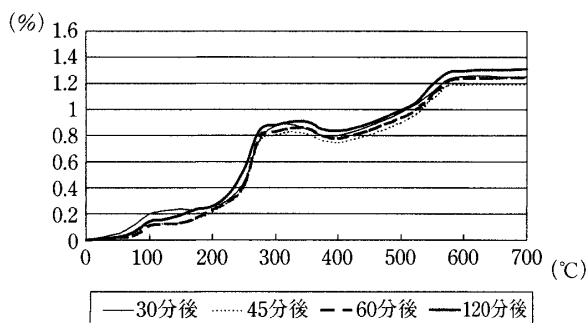


図11 迅速型の加熱開始時間による加熱膨張量の影響(Q II)

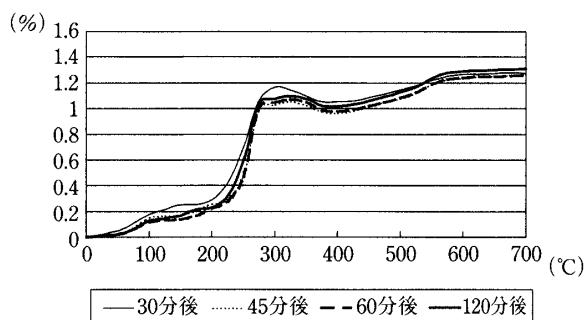


図14 迅速型の加熱開始時間による加熱膨張量の影響(PF)

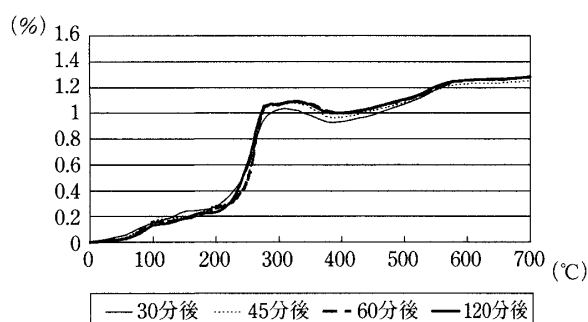


図12 迅速型の加熱開始時間による加熱膨張量の影響(F1)

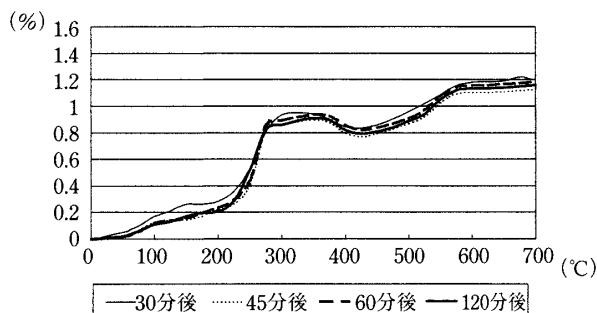


図13 迅速型の加熱開始時間による加熱膨張量の影響(CQ)

後における迅速型の硬化膨張量はCMより有意に大きな値を示した ($p < 0.01$)。練和開始60分後のCMと練和開始30分後における迅速型を比較すると、Q IIおよびCQの硬化膨張量は有意に大きな値 ($p < 0.01$) を示し、F1は有意に小さな値 ($p < 0.05$) を示し、PFはやや小さな値を示したが有意差が認められなかった。練和開始30分後における迅速型相互を比較すると、Q IIとCQの間には有意差が無く、F1とPF、F1とQ II、CQの間には有意差が見られた ($p < 0.05$)。練和開始45分以降では、Q IIとCQの間およびF1とPFの間には有

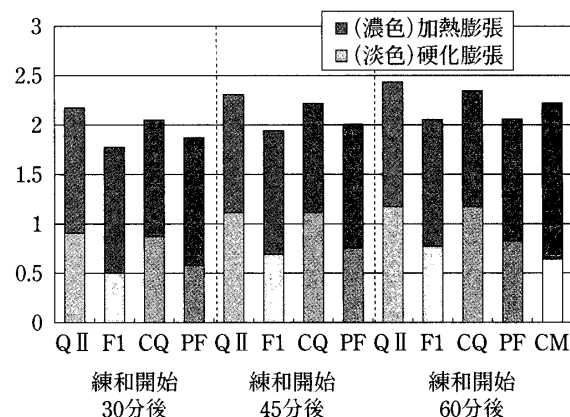


図15 迅速型および従来型の加熱開始時間による総膨張量 (30分、45分および60分)

意差が無く、Q II、CQとF1、PFの間には有意差が認められた ($p < 0.01$)。

2. 加熱膨張量

練和開始30分後における迅速型および練和開始60分後における従来型の加熱膨張量を測定した結果を図9に示す。従来型は250~300℃付近で大きな膨張を示すのに対し、迅速型では250~300℃でやや大きな、550~600℃付近で緩やかな膨張を示した。また、これらの膨張特性を比較するために、クリストバライトの変態に基づく250~300℃付近の膨張量、石英の変態に基づく550~600℃付近の膨張量、および最終加熱温度での総膨張量を図10に示す。クリストバライト変態温度付近における全ての迅速型の膨張は、従来型と比較して有意に小さな値を示した ($p < 0.01$)。また、迅速型相互を比較すると、Q IIとPF、CQとPFとの間に有意差が認められた ($p < 0.01$)。石英変態点付近における迅速型の膨張を迅速型相互で比較すると、Q IIとCQ、Q IIとPFおよびCQとPFとの間に有意

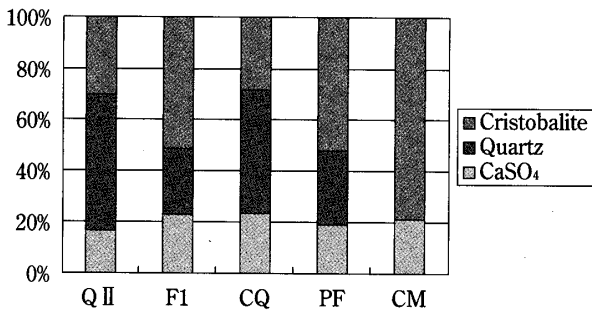


図16 X線分析から得た組成割合

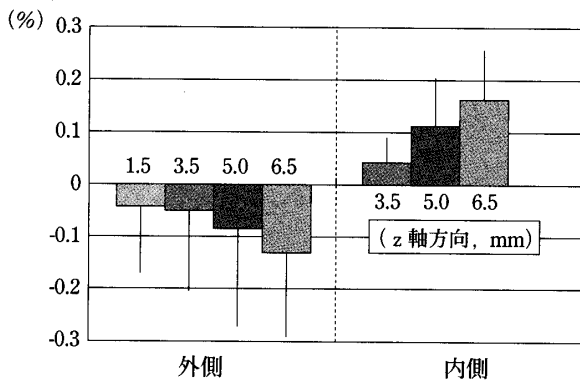


図17 原型に対するワックスパターンの寸法変化

差が認められた ($p < 0.01$) が、それ以外では有意差は認められなかった。最終加熱温度における全ての迅速型の膨張は、従来型と比較して有意に小さな値を示した ($p < 0.05$)。また、迅速型相互を比較すると、CQとPFとの間に有意差が認められた ($p < 0.01$) が、それ以外では有意差は認められなかった。

各迅速型における加熱開始時間を30分、45分、60分および120分としたときの加熱膨張量を図11~14に示した。これらの結果を各埋没材ごとに比較したところ、クリストバライト変態温度、石英変態温度および最終加熱温度のいずれの温度においても加熱開始時間の違いによる有意差は認められなかった。

また、各埋没材における加熱開始時間30分、45分および60分での総膨張量を硬化膨張と加熱膨張から算出し、図15に示す。従来型の加熱開始60分での総膨張量は2.19%となり、迅速型全ての練和開始30分後の加熱開始による総膨張量 (1.78~2.17%) より大きな値を示した。練和開始45分後以降の加熱開始における総膨張量と比較した場合、

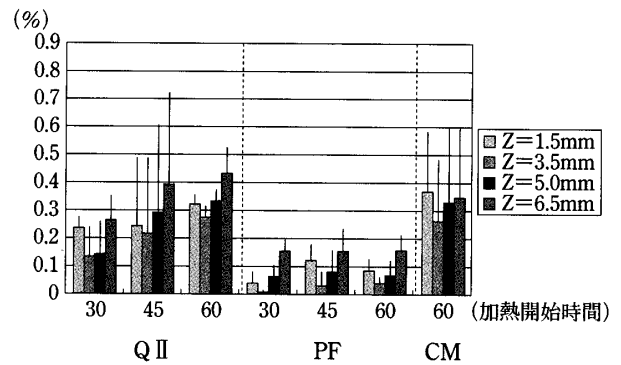


図18 ワックスパターンに対する鑄造体の寸法変化(外側)

表2 定量分析結果

	Q II	F1	CQ	PF	CM
SiO ₂	82.72	75.48	75.65	79.51	77.80
SO ₃	9.85	14.56	14.21	11.83	13.07
CaO	6.65	8.83	8.61	7.65	7.97
Al ₂ O ₃	0.68	1.08	0.78	0.97	0.86
P ₂ O ₅	0.038	0.015	0.61	0.011	0.23
Na ₂ O	0.005	0	0.096	0	0.004

(Wt%)

Q II (2.33~2.44%) およびCQ (2.24~2.37%) は従来型より大きな値を示したが、F1 (1.95~2.06%) およびPF (2.02~2.07%) は小さな値を示した。

3. 組成分析の結果

波長分散型X線分析装置による組成分析の結果、使用した埋没材にはSiO₂、SO₃、CaO、Al₂O₃、Na₂O、P₂O₅が認められた (表2)。また、X線回折の結果も加え、石膏、クリストバライトおよび石英の配合比を計算した結果を図16に示した。

4. 原型に対するワックスパターンの寸法変化
金型原型に対するワックスパターンの寸法変化を図17に示す。ワックスパターン外側では収縮が、内側では膨張が見られた。

5. ワックスパターンに対する鑄造体の寸法変化

ワックスパターンに対する鑄造体の寸法変化を図18~21に示す。鑄造体における外側および内側の全ての測定断面でワックスパターンに対して膨張を示した。また、Z=3.5, 5.0, 6.5mmのそれぞれの断面で内側と外側を比較してみると (図18, 20), CMの5.0mmを除いた全ての条件において内

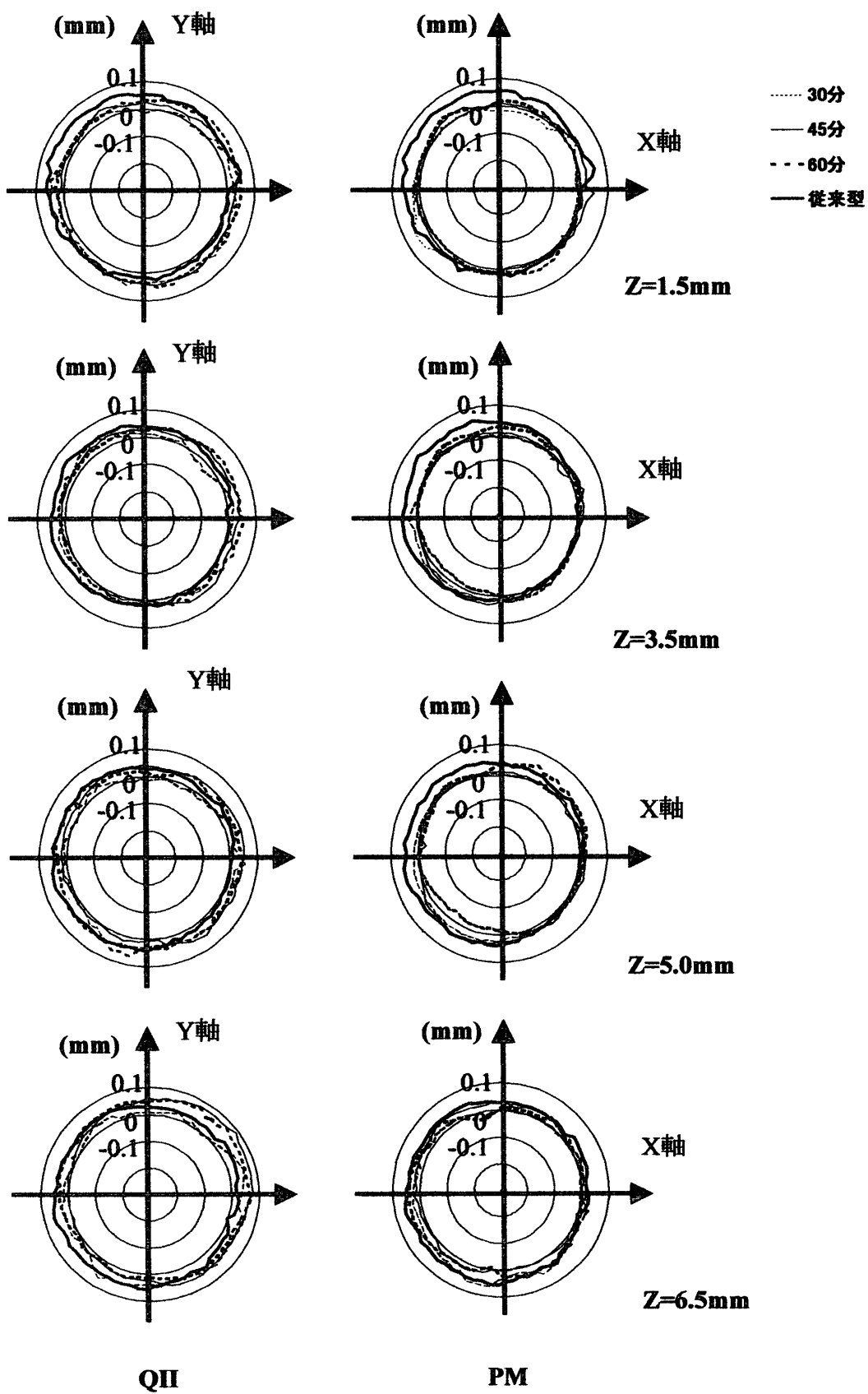


図19 ワックスパターンに対する鑄造体の寸法変化(外側)

側で大きな膨張が見られた。しかし、加熱開始30分後におけるPFのZ=3.5mmの値は内側で有意に大きな値 ($p < 0.05$) を示したが、それ以外では有意差は認められなかった。さらに、同一の埋没材における支台歯上部 (Z=3.5mm)、支台歯中央部 (Z=5.0mm) および支台歯下部 (Z=6.5mm) を互いに比較すると、支台歯上部から下部へ向かうに従って膨張が大きくなる傾向が見られたが、支台歯上部と下部の間に有意差のあったものはQ IIでは加熱開始時間45分の外側、60分の内側および外側、PFでは加熱開始時間30分の内側、45分の外側、60分の内側のみ ($p < 0.05$) であり、それ以外の条件では有意差は認められなかった。

また、図22にワックスパターンに対する鑄造体のZ軸方向の寸法変化を示す。全ての条件でZ軸十方向の寸法変化が見られた。寸法変化量はQ IIが最も大きく、次いでPF、CMの順に有意に小さくなる傾向を示した ($p < 0.05$)。しかし、それぞれの埋没材において、加熱開始時間による有意差は認められなかった。

6. 原型に対する鑄造体の寸法変化

4, 5の結果から、原型に対する鑄造体内側の寸法変化を算出した。その結果を図23~25に示す。従来型の寸法変化は0.41 (支台歯上部) ~0.59% (支台歯下部) となったが、迅速型は練和開始30分後の加熱ではQ IIは0.36~0.52%, PFは0.16~0.29%, 45分後ではQ IIは0.41~0.75%, PFは0.15~0.40%, 60分後ではQ IIは0.42~0.76%, PFは0.20~0.51%となり、すべての鑄造体は支台歯上部から支台歯下部方向に向かうに従って寸法変化が大きくなる傾向にあった。PFは従来型CMと比較するとすべての条件において小さな値を示した。また、Q IIにおいては練和開始30分後のものはCMより小さく、45分後以降のものはCMより大きい値を示した。

考 察

迅速鑄造用石膏系埋没材は、鑄造時間の大幅な短縮を目的に開発され、1991年に国内で市販されたが、この埋没材を使用したときの鑄造精度を明確にすることが適合性に優れた鑄造体を作製するうえで最も重要である。歯科精密鑄造における鑄

造精度に最も大きな影響を及ぼすのは、合金の鑄造収縮を補償するための埋没材の硬化時および加熱時の膨張である⁷⁾。そこで本研究では迅速型埋没材の硬化時、加熱時における膨張特性について従来型埋没材と比較検討し、さらに埋没材の加熱開始時間が鑄造体の寸法変化に及ぼす影響について実験を行った。

1. 迅速鑄造用石膏系埋没材の膨張特性

硬化膨張は、これまでの報告^{15, 18, 21)}と同じく、全ての埋没材で練和開始から120分まで膨張が見られた。また、従来型と比較して迅速型の膨張量は練和開始からの経過時間が同じであれば全て有意に大きな値を示し、これまでの報告^{15~17)}と同様の傾向を示した。

また、従来型が練和開始60分までやや直線的な膨張が続いているのに比べて、迅速型は練和開始から30分程までに急激な膨張が起こっている。迅速型の練和開始30分での膨張量は、120分での値と比較して、Q II、CQは75%程度、PF、F1は63~70%程度であった。また、従来型の加熱開始時間が60分とされているが、その膨張量と迅速型のメーカー指定の加熱開始時間である30分での値とを比較した結果は、従来型より大きなものと、同程度のものに分けられる。これらのことから迅速型は従来型に比較して早期に大きな膨張が発現しているが、その傾向が急激なものと緩やかなものがあり、また膨張量にも差異があることが明らかになった。したがって、迅速型は練和開始から30分では硬化膨張の途上にあり、鑄型の加熱開始時間の違いが鑄造精度に大きな影響を与えることが予測される。また、硬化膨張の大きな迅速型では従来型に比べ異方膨張によるワックスパターンの変形に起因する鑄造体の適合性への影響²⁵⁾も懸念される。さらに、硬化膨張の量と発現のスピードに関して、早期に大きな膨張が発現するQ IIとCQのタイプと、緩やかに、あまり大きくない膨張が発現するF1とPFのタイプに分類できるのではないかと予想された。

石膏系埋没材の硬化膨張は結合材である石膏の硬化膨張に起因するものである。本実験に使用した各埋没材の定量分析の結果から、CaO+SO₃の量を石膏の含有量とすると、Q IIには約16.5%

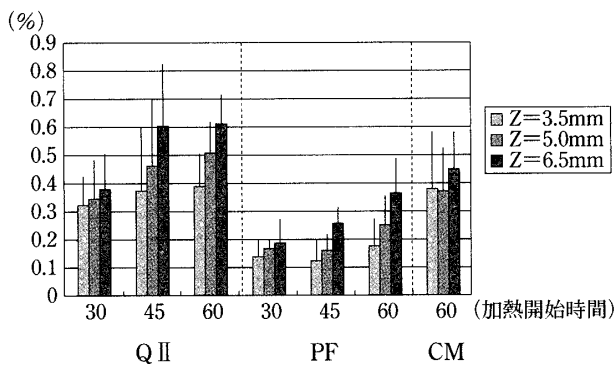


図20 ワックスパターンに対する鑄造体の寸法変化(内側)

F1には約23.4%、CQには約22.8%、PFには約19.5%の石膏を含有していることになる。これらの値をCM(約21.1%)と比較すると、石膏の含有量がCMより多いのはF1とCQ、少ないのはQ IIとPFであり、迅速型の硬化膨張量と石膏の含有量との間には関連がないことが示唆された。また、練和時の混水比(表1)との関連性も考えにくい。したがって迅速型が2つのタイプに分類されるのは添加剤の影響によるものと推察される。

加熱膨張において、迅速型および従来型でみら

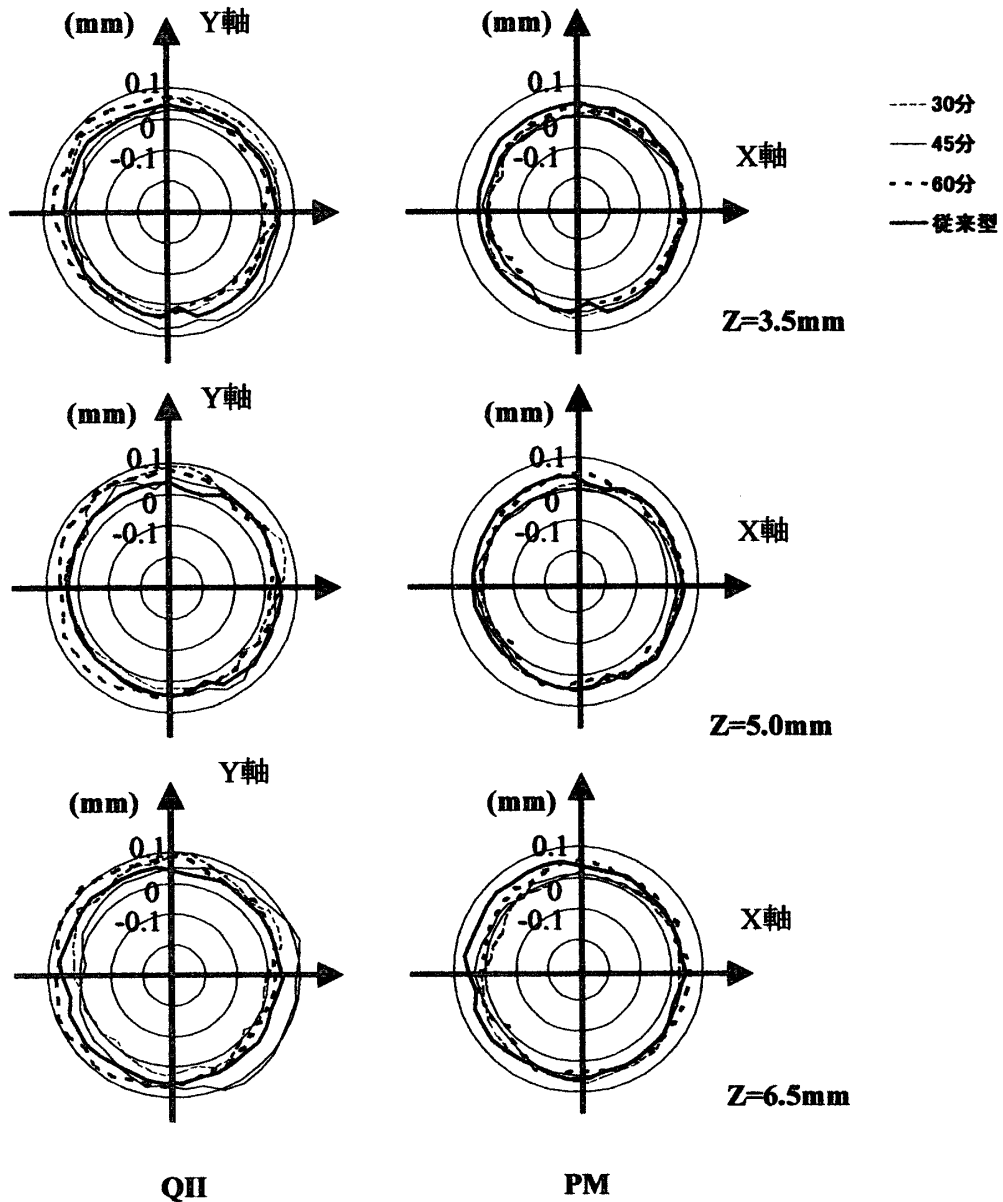


図21 ワックスパターンに対する鑄造体の寸法変化(内側)

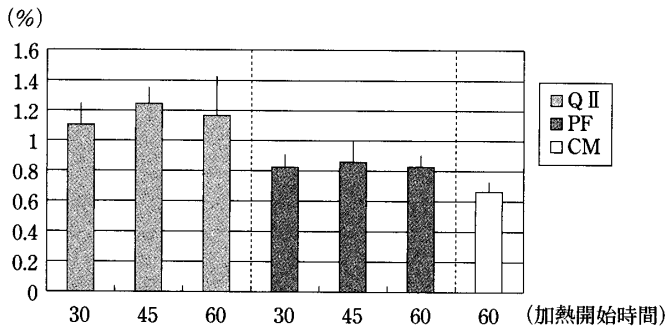


図22 ワックスパターンに対する鑄造体の寸法変化 (内側基底面からマージン部までの距離)

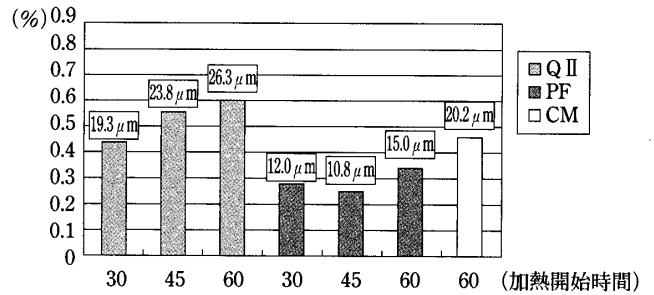


図24 原型に対する鑄造体の寸法変化 (内側 Z=5.0mm：支台歯中央部)

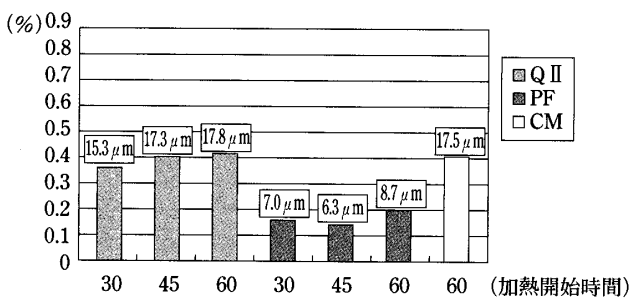


図23 原型に対する鑄造体の寸法変化 (内側 Z=3.5mm：支台歯上部)

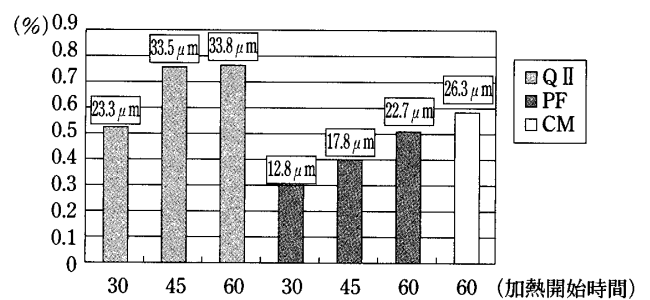


図25 原型に対する鑄造体の寸法変化 (内側 Z=6.5mm：支台歯下部)

れた250~300℃付近の膨張はクリストバライトの変態によるもの、迅速型でみられた550~600℃付近の膨張は石英の変態によるものとされている^{15,21)}。そこで迅速型の特徴を知るために、クリストバライトの膨張と石英の膨張をそれぞれ比較したところ、クリストバライトの変態に基づく膨張が大きく、石英の変態に基づく膨張の小さいタイプと、その逆の傾向を示すタイプに分類することができる(図9)。これは組成分析の結果図16とも一致したものであり、クリストバライトと石英の配合量によって膨張特性に差異が生じているものと考察される。その結果、クリストバライトの膨張が大きいもの(F1, PF)、石英の膨張が大きいもの(Q II, CQ)に分類することができる。また、加熱開始時間の違いによる加熱膨張量を比較したところ、同じ埋没材であれば有意差は認められなかった(図11~14)が、100℃付近までに見られる膨張は練和開始から30分後のもので僅かに大きな値がみられた。これは、二水石膏は約130℃で引き起こされる脱水により半水石膏化し²⁶⁾、硬化膨張が停止することが知られているが、

練和開始から30分のもものは脱水の起こる温度に達するまでの僅かな時間の間にも膨張が続いているため、このような結果になったと推察される^{16,27)}。

以上のことから迅速型は2つのタイプに分類することができ、同じタイプの埋没材は近似した膨張傾向を示すものとして、以降の実験にはクリストバライトの変態に起因する膨張に多くを求めているものからPFを、石英に多くを求めているものからQ IIを使用することにした。

2. 原型に対する鑄造体の鑄造精度について

原型に対する鑄造体の寸法変化は、金型に対するワックスパターンの寸法変化およびワックスパターンに対する鑄造体の寸法変化から検討した。

原型に対するワックスパターンの寸法変化は、外側で0.04~0.13%の収縮が、内側で0.05~0.17%の膨張が見られた。インレーワックスの熱膨張係数は $350\sim450 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ とされている⁷⁾。本実験ではワックスパターン作製時に45℃でワックスを軟化し、室温20℃まで冷却を行った。その差は25℃となり、ワックスの熱膨張係数から、計算上0.875~1.125%の線収縮が引き起こされる。測定

値と理論値には当然差がみられるが、これは原型上で静置したために内側に向かう収縮は原型によって抑制され、ワックスパターンの軸壁部と咬合面部を中心とした収縮が起こり、見かけ上内側では膨張が、外側では収縮が起こったとも考えられるが、実際にはワックスの収縮などによる変形と考えるのが妥当であると考察する。

一方、埋没材の総膨張量は、加熱開始時間の違いによりQⅡが2.21~2.44%、PFが1.89~2.07%、CMが2.23% (図15)である。この値は鑄造に使用した金属である12%金銀パラジウム合金の鑄造収縮率1.63%²⁸⁾よりも大きい。本実験においては、金型外側とワックスパターンおよび鑄造体の内面との計測を行っているため、原型に対してはワックスの収縮による間隙、ワックスパターンに対しては埋没材の膨張量と鑄造収縮率との差によって金型外側より大きな鑄造体になったものと考えられる。さらに加熱開始時間の違いにより埋没材の膨張量も異なり、加熱開始時間が長くなる程埋没材の膨張量も大きくなるため、ワックスパターンに対する鑄造体の寸法変化が大きくなった (図20) のものと考えられる。また、すべての条件において、クラウンマージン方向に対して膨張が大きくなる傾向が見られた。このような変形について、Symd²⁹⁾、Mumford et al.³⁰⁾、吉田³⁾、大塚³¹⁾らも同様の報告をしている。これは、リング上面の開放方向に近づくことにより、埋没材の膨張はリング方向への膨張の抑制を受けずにより自由に膨張することができるためであると考えられる。

このようにXY平面では、内側、外側共にワックスパターンおよび鑄造体は膨張傾向を示したが、Z軸方向について考察してみると、こちらもワックスパターンに対する鑄造体の寸法は膨張傾向を示して (図22) おり、XY平面上での膨張より大きな膨張が認められた。吉田³⁾、橋本³²⁾、上條³³⁾、金竹ら³⁴⁾も同様にリング長軸方向に大きな膨張が見られるとしているが、吉田³⁾、橋本³²⁾、金竹ら³⁴⁾はXY平面方向では逆に収縮すると報告しており、本実験の結果とは異なっている。これは使用したキャストライナーの違いに起因しているのではないかと考えられる。塩田らの報告^{35,36)}によ

ると、アスベトリボンと比較してセラミックファイバー系のキャストライナーは通常時、加熱時の空隙率および被圧縮率が大きく、また空隙率と被圧縮率は正の相関を示していると述べている。また、塚本³⁷⁾はセラミックファイバーを使用した鑄造体は大きな膨張が得られ、アスベトリボンを用いた場合には十分な緩衝能が働かないのではないかと報告している。したがって、今回の実験はセラミックファイバー系のライナーを使用していることから、膨張をより多く緩衝したため、収縮ではなく膨張が見られたのではないかと推察される。また、従来型と比較して迅速型はZ軸方向により大きな膨張を示した。硬化膨張量の大きな埋没材はワックスパターンの変形を惹起する恐れがあるといわれている^{6,7,33,38)}が、硬化膨張量を比較した場合、QⅡはCMより全ての加熱開始時間において硬化膨張量が有意に大きく、PFはCMと比較して加熱開始時間が30分では有意差は無いが、加熱開始時間が45分以降では有意に大きい (図8)。したがって、従来型CMもZ軸方向への異方膨張を起こすが、その程度は硬化膨張の大きい迅速型により大きく発現したのものと考えられる。

原型に対する鑄造体の寸法変化を測定した結果、ワックスパターンに対する鑄造体の寸法変化に比較して内面は膨張がより大きな値を示したが、これは原型を用いてワックスパターンを作製する場合、前述したようにすでにパターン内面にワックスの収縮による間隙が見られるためであると考えられる。しかし、原型に対する鑄造体の寸法変化の傾向はワックスパターンに対する鑄造体の寸法変化の傾向に類似していた。

さらに、Z軸の各部位における寸法変化をZ軸3.5mm (支台歯上部)、5.0mm (支台歯中央部)、6.5mm (支台歯下部) での測定値から換算した (図23~25) とところ、支台歯上部と比較して支台歯下部に向かうにつれ、鑄造精度は悪くなる傾向を示した。これは、これまで述べた通り埋没材の異方膨張に起因したのものと考えられる。

また、これらの寸法変化から判断して鑄造精度は従来型やQⅡよりPFが良好であると考えられる。しかし、臨床におけるセメント合着を考えた場合、CMはほぼJIS規格 (T6602, T6606, T

6607) に適応しており、これを基準にした場合、それ以下の鑄造精度のものは鑄造体の浮き上がりが懸念され、鑄造精度は優れていても口腔内での適合性が悪くなる可能性が大きい。Q II は加熱開始時間45分以上のものでは十分な膨張を示していることが推測されるが、PFはメーカー指定の加熱開始時間はもとより、加熱開始時間を長くしても十分な総膨張量は得られない。したがって、Q II を加熱開始時間30分で鑄造したものはやや膨張量が少なく、外側性の鑄造体を作製する場合には加熱開始時間の調節が必要である。また、PFにおいては加熱開始時間を変化させても十分な膨張量が得られないことが示唆されたことから、十分な総膨張量が発現するための組成成分の配合比率の改善が必要ではないかと考える。

結 論

迅速鑄造型石膏系埋没材の特性および加熱開始時間が鑄造体の適合精度に及ぼす影響を明らかにし、迅速鑄造型石膏系埋没材を使用する際の適正な条件を明確にすることを目的に、埋没材の硬化膨張量、加熱膨張量および金銀パラジウム合金を用いたクラウン鑄造体を加熱開始時間を変更して作製し、三次元的に計測を行い、従来型石膏系クリストバライト埋没材と比較検討した結果、以下の結論が得られた。

1. 迅速型の硬化膨張量は全て従来型より大きな値を示し、すべての迅速型は練和開始30分では硬化の途上にあり、45分でも硬化途上のものもあった。

2. 加熱膨張量は全て従来型より小さな値を示し、迅速型は250℃付近の膨張量が従来型より小さく、550℃付近の膨張量は従来型より大きな値を示した。また、加熱開始時間を変えても加熱膨張量に有意差は見られなかった。

3. 加熱開始時間30分後における迅速型の総膨張量は従来型と比較してすべて小さな値を示した。また、45分後では従来型より大きな総膨張量を示したものもあった。

4. 鑄造体の寸法変化は内側、外側ともに膨張傾向にあり、内側でその傾向が強く現れ、支台歯下部の寸法変化は支台歯上部より大きかった。

5. 鑄造体高径の寸法変化はパターンと比較して膨張傾向にあり、その傾向は側方の寸法変化に比較して大きな値を示した。その傾向は従来型よりも迅速型に特に大きく現れた。

6. 迅速型PFはいずれの加熱開始時間においても支台歯上、中央、下部で原型に対する寸法変化は従来型より小さな値を示した。一方、Q II は加熱開始時間30分では従来型より小さく、45分以上で従来型と同等もしくは大きな値を示した。

謝 辞

稿を終えるにあたり、本研究に終始御懇篤なる御指導と御校閲を賜りました奥羽大学歯学部歯科理工学講座主任長山克也教授に深甚の謝意を申し上げます。さらに、御協力いただきました歯科理工学講座教室員各位に感謝いたします。

本論文の要旨は、第34回奥羽大学歯学会（平成14年11月9日 郡山）において発表した。

文 献

- 1) Taggart, W. H. : A new and accurate method of making gold inlay. *Dent Cosmos* **49** ; 1117-1121 1907.
- 2) Coleman, R. L. : Physical properties of dental materials (III) Progress report of research on the dental casting process. *Dent Cosmos* **68** ; 743-764 1926.
- 3) 吉田恵夫：歯科鑄造法の実用的精度について。補綴誌 **2** ; 55-82 1958.
- 4) 吉田恵夫、井上昌幸、国島康夫：全部鑄造冠及び3/4冠の適合状態について。補綴誌 **3** ; 259-264 1959.
- 5) 大澤純子、小西 潔、新谷明幸、小島由紀子ほか：口腔内における全部鑄造冠の適合について。補綴誌 **37** ; 1265-1271 1993.
- 6) Phillips, R. W. : *Skinner's science of dental materials*, 9th ed. ; 392-412 W. B. Saunders Co. Philadelphia 1991.
- 7) 西山 實、菊地久二、廣瀬英晴：鑄造用材料。スタンダード歯科理工学（西山 實、根本君也、長山克也）。改訂版；103-153 学建書院 東京 2002.
- 8) 総山孝雄：鑄造。鑄造修復 第一版；301-314 末永書店 京都 1968.
- 9) 長谷川二郎：加熱。歯科鑄造学 第一版；74-79 医歯薬出版 東京 1976.
- 10) 金竹哲也：埋没材。歯科理工学通論 第一版；168-180 末永書店 京都 1978.
- 11) 末永和弘、西村速水、北島博志：ヒートショック法の問題点とその対策。歯科技工 **20** ; 362-

- 366 1992.
- 12) 坂口賢司, 宮川 崇, 谷内秀寿, 甘利光治: 吸水・急加熱による短時間鑄造法—急速加熱型クリストバライト系埋没材の物性およびクリストバライト系模型用埋没材の応用について—, 歯科技工 **20**; 350-361 1992.
 - 13) 坂 清子: 急速加熱型クリストバライト系埋没材の特性ならびに使用方法—ノリタケクリストバライトF. Fについて—, 歯科技工 **20**; 374-385 1992.
 - 14) 吉田隆一, 岡村弘行, 宮坂 平, 長谷川二郎ほか: せっこう系埋没材をテストする, DE **101**; 17-28 1992.
 - 15) 高橋英和, 中村英雄, 岩崎直彦, 土生夏史ほか: 急速加熱型石膏系埋没材の特性, 歯材器 **12**; 714-723 1993.
 - 16) 高橋英和, 中村英雄, 岩崎直彦, 森田直久ほか: 急速加熱型石膏系埋没材による鑄造冠の精度に及ぼす鑄造条件の因子について, 口病誌 **61**; 242-249 1994.
 - 17) 陳 昭清: 急速加熱型石膏系埋没材に関する研究—加熱開始時期の違いによる内側性鑄造物の寸法変化について—, 日歯保誌 **38**; 1327-1332 1995.
 - 18) 池田 毅, 渋谷昌史, 大澤雅博, 松元 仁: 急速加熱型石膏系埋没材に関する研究—加熱開始時間および係留時間の影響—, 日歯保誌 **38**; 1397-1407 1995.
 - 19) 陳 昭清, 本田 薫: 急速加熱型石膏系埋没材に関する研究—加熱開始時期の違いによる総膨張率の変化と表面粗さについて—, 日歯保誌 **38**; 854-859 1995.
 - 20) 吉成正雄, 大山貴司, 水田 茂: フルクラウン鑄造体による急速加熱型埋没材の特性評価, 歯科学報 **95**; 1175-1183 1995.
 - 21) 渋谷昌史, 大澤雅博, 松元 仁, 久恒邦博ほか: 急速加熱型石膏系埋没材の膨張量に及ぼす加熱開始時期および加熱速度の影響, 歯材器 **14**; 193-197 1995.
 - 22) 高橋英和, 中村英雄, 岩崎直彦, 本村一朗ほか: 急速加熱型石膏系埋没材で作製した鑄造体について, 歯材器 **15**; 202-209 1996.
 - 23) 小林尚樹, 新谷明幸, 川和忠治: 急速加熱型石膏系埋没材使用時の全部鑄造冠の適合精度 第1報 金属原型による評価, 昭歯誌 **16**; 71-76 1996.
 - 24) 小林尚樹, 新谷明幸, 川和忠治: 急速加熱型石膏系埋没材使用時の全部鑄造冠の適合精度 第2報 セメント層による評価, 昭歯誌 **16**; 77-81 1996.
 - 25) Davis, D. R.: Limiting wax pattern deformation caused by setting expansion. J Prosthetic Dent **58**; 229-234 1987.
 - 26) 石膏石灰学会編: か焼せっこう. 石膏石灰ハンドブック 第一版; 104-118 技報堂 東京 1972.
 - 27) 細田裕康, 三森紀夫: 埋没材の加熱開始時期と加熱膨張量との関係, 歯材器誌 **4**; 117-119 1959.
 - 28) 野口八九重: 鑄造. 要説歯科理工学 第一版; 145-202 書林 東京 1991.
 - 29) Symd, E. S.: Factors which influence casting accuracy: A universal casting technic. J Am Dent Assoc **36**; 160-172 1948.
 - 30) Mumford, G. and Phillips, R. W.: Dimensional change in wax patterns during setting of gypsum investments. J Dent Res. **37**; 351-358 1958.
 - 31) 大塚 仁: MODインレーの変形に関する基礎的研究, 歯学 **72**; 144-162 1984.
 - 32) 橋本 収: 鑄造冠の支台歯形態に関する実験的研究—軸面傾斜度ならびに歯頸部辺縁形態について—, 補綴誌 **16**; 268-288 1972.
 - 33) 上條智生: 鑄造体の変形に関する研究, 歯理工誌 **13**; 56-88 1972.
 - 34) 金竹哲也, 中村健吾, 真坂信夫, 高橋重雄: 鑄造体の適合精度について(上), DE **36**; 1-13 1976.
 - 35) 塩田陽二, 廣瀬英晴, 林 純子, 榊原茂弘ほか: ノンアスベスト鑄造用リングライナーに関する研究Ⅱ—ライナーのテクスチュア, 空隙率および吸水性について—, 歯材器 **14**; 541-553 1995.
 - 36) 塩田陽二: ノンアスベスト鑄造用リングライナーに関する研究Ⅴ—加熱時の空隙率と被圧縮率について—, 歯材器 **17**; 211-224 1998.
 - 37) 塚本信隆: 鑄造リングによる鑄型材膨張抑制の緩衝法に関する研究, 愛院大歯誌 **29**; 697-716 1991.
 - 38) Phillips, R. W., Swartz M. L. and Norman R. D. (訳: 川原春幸): 硬化膨脹, 臨床家のための歯科材料学 第1版; 166-167 医歯薬出版 東京 1971.
- 著者への連絡先: 石田喜紀, (〒963-8611) 郡山市富田町字三角堂31-1 奥羽大学歯科理工学講座
Reprint requests: Yoshinori ISHIDA, Department of Dental Materials Science, Ohu University School of Dentistry
31-1 Misumido, Tomita, Koriyama, 963-8611, Japan