

## 真空練和機の練和条件と鑄造体の適合精度に関する研究

竹内 賢

大学院歯学独立研究科 硬組織疾患制御再建学講座  
(主指導教員：伊藤 充雄 教授)

松本歯科大学大学院歯学独立研究科博士（歯学）学位申請論文

Study of the mixing condition on a vacuum investing  
machine for the best fitting accuracy of dental casts

KEN TAKEUCHI

*Department of Hard Tissue Research, Graduate School of Oral Medicine,  
Matsumoto Dental University  
(Chief Academic Advisor : Professor Michio Ito)*

The thesis submitted to the Graduate School of Oral Medicine,  
Matsumoto Dental University, for the degree Ph.D. (in Dentistry)

### 要 旨

インプラントと骨との結合性は重要な問題であり、盛んに議論されている。しかしながら、インプラントの成否は上部構造物の適合状態によっても大きく影響される。上部構造物とインプラント体とのわずかな不適合による歪は、スクリューやコンポーネントの破折の原因となり、またインプラント支持骨に対して破壊的な力を及ぼす危険性が高いと考えられ、完璧な適合が必要である。高精度に機械加工されるインプラント体に対し、上部構造物は鑄造によって作製され、その適合精度は埋没操作により大きな影響を受けることが知られている。

近年、回転数、回転方向、バキューム値、を変えられることのできる新しい真空埋没器が出現した。

本研究は、この新しい真空埋没機を用いて、埋没材の練和条件と鑄造体の適合精度との関係について検討するものである。検討に用いる埋没材には、従来型ならびに急速加熱型石膏系クリストバライトと急速加熱型のリン酸塩系埋没材の3種類を選択した。練和条件は、埋没機メーカーの推奨する練和条件を中心に、練和の回転数、回転時間を変化させ、石膏系埋没材には4種類の類練和条件、リン酸塩系埋没材には6種類の練和条件を設定した。さらに、季節による温度変化を考慮して、室温条件を16℃、23℃、30℃に変えて、鑄造体の適合精度に最も影響を与えるとされる、埋没材の硬化膨張、加熱膨張を測定し、同一条件において作成した鑄造体の適合精度とを比較検討した。

その結果以下の点が明らかになった。

1. 真空埋没器の練和条件は、石膏系埋没材を用

いた鋳造体の適合精度には大きな影響を与えず、埋没材個々の加熱膨張のみに依存した。したがって、急速加熱型埋没材は従来型のクリストバライト埋没材に比べ加熱膨張が少ないため適合精度が悪くなる。

2. リン酸塩系埋没材の硬化膨張は攪拌回数に影響された。
3. 急速加熱型リン酸塩系埋没材を用いた場合、真空埋没器の総攪拌回数が300回を超えると適合精度は一定になった。

## 緒 言

インプラント体と骨との結合性は重要な問題であり、盛んに議論されている<sup>1),2),3)</sup>。しかしながら、インプラント体のオステオインテグレーションは上部構造物の適合精度によって大きく影響される。天然歯は、顎骨を介して歯根膜で繋がり、生理的な動揺もある。それに対して歯科用インプラント体は、顎骨と骨結合をするためにフィクスチャーに連結される補綴物にも精度の高さが要求される<sup>4)</sup>。上部構造物の適合精度に関しては、骨結合したインプラントフィクスチャーに対しての過大なストレス集中を防ぐために、上部構造体とアバットメントの間の“passive fit”（完璧な適合）が推奨されている<sup>5)</sup>。これは「力を加えない状態での適合」を意味し、「補綴物の形状にひずみや張力をまったく生じることなくスクリューを締め付けて、補綴物を正しく位置させることが可能である状態をさす」とされている<sup>5)</sup>。しかしながら現実的には、そのような適合は不可能であり、限りなくそれに近い適合が臨床家としての目標である。上部構造のわずかな不適合による歪みはスクリューやコンポーネントの破折の原因となり<sup>6)</sup>、またインプラント支持骨に対して破壊的な力を及ぼす危険性が高いと考えられている<sup>7),8)</sup>。したがって、上部構造物には高い適合性が要求される。上部構造物のミスフィットが生み出す問題点については、上部構造物のゴールドスクリューの緩みや辺縁骨の変化、インプラント体の喪失、前荷重およびストレスの発生など、多くの実験的検討がなされているが、ミスフィットの臨床的許容量について結論つけることは困難であるとされている<sup>5)</sup>。鋳造によって上部構造物を作製する場合、その適合精度は埋没操作により大きな影

響を受けることが報告されている<sup>9-11)</sup>。近年、回転数、回転方向、バキューム値、を変えることが出来る新しい真空埋没機が出現した。この埋没機を用いて、3種類の埋没材（従来型と急速加熱型のクリストバライト埋没材と急速加熱型のリン酸塩系埋没材）について、練和時間を変化させ、室温条件（16℃、23℃、30℃）を変えて、埋没材の硬化膨張、加熱膨張、鋳造体の適合精度、埋没材中の結合材の結晶状態を観察し、適合精度の良い鋳造体を作製するための最適な練和条件について検討した。

## 実験材料及び方法

### 1. 材料

埋没材は、従来型（クリストバライト P、松風）と、急速加熱型（クリストバライト PF、松風）の2種類の石膏系埋没材（以下 P、PF と記述）と、急速加熱型のリン酸塩系埋没材（ベルベティ スーパークイック、松風）を選択した（以下 SQ と記述）。

埋没材の練和には、図1に示す、回転数、回転方向、バキューム値、を変えることが出来る真空埋没機（マルチバックコンパクト、Degussa）を使用した。

鋳造用合金は、クリストバライト埋没材用に金銀パラジウム合金（S12、石福）、リン酸塩系埋没材用に陶材焼付用セミプレシヤス合金（ゼオメタル53、山本金属）を選択した。

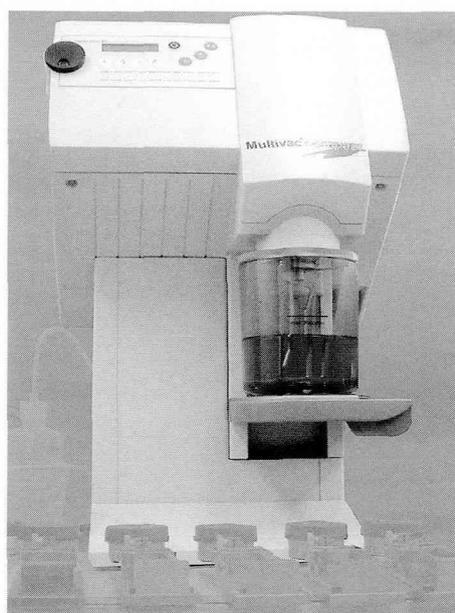


図1：真空埋没機

表1：真空埋没機の練和条件

練和条件略号	P 1	P 2	P 3	BASIC	P 4	P 5
真空度(%)	95	95	95	100	95	95
回転方向・速度(RPM)	左・130-10 s	左・130-10 s	左・130-10 s	右・360-60 s	左・100-3 s	左・100-3 s
継続時間(秒)	右・100-10 s	右・100-10 s	右・100-10 s		右・100-3 s	右・100-3 s
	左・180-10 s	左・180-10 s	左・180-10 s		左・100-3 s	左・100-3 s
	右・150-10 s	右・150-10 s	右・150-10 s		右・100-3 s	右・100-3 s
	左・200-0 s	左・200-10 s	左・200-10 s		左・100-3 s	左・100-3 s
真空度(%)	100	100	100		100	100
回転方向・速度(RPM)	右・250-10 s	右・350-10 s	右・450-10 s		右・100-3 s	右・100-3 s
継続時間(秒)					左・300-10 s	左・300-10 s
					右・600-40 s	右・600-60 s
総攪拌回数(回)	168	185	202	360	480	680

## 2. 埋没材の練和

### 1) 練和プログラムの設定

真空埋没機の練和条件は、表1に示すように、練和機メーカーの推奨する条件(P2;石膏系埋没材, P4;リン酸塩系埋没材)を中心に攪拌速度を変化させたプログラムを設定し、石膏系埋没材P, PFはP1, P2, P3と従来の連続攪拌に対応するBASICの4条件とし、リン酸塩系埋没材はP1, P2, P3, BASIC, P4, P5の6条件とした。

### 2) その他の練和条件

練和は、所定温度 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 、湿度60%の恒温恒湿室(TRH-Z, ヤマト科学)内において、クリストバライト埋没材では年間の温度変化を想定して、室温を $16^{\circ}\text{C}$ ,  $23^{\circ}\text{C}$ ,  $30^{\circ}\text{C}$ とし、リン酸塩系埋没材では $23^{\circ}\text{C}$ として行った。

埋没材PとPFは、恒温恒湿室内に保存した水道水を用いてメーカー指定の混水比(W/P=0.33, 0.35)にて練和し、SQは陶材焼付用プレシヤス、セミプレシヤス合金における混液比(付属液;コロイダルシリカ水溶液 1:水1, L/P=0.22)にて練和した。

## 3. 硬化膨張の測定

埋没材の硬化膨張の測定は、上記恒温恒湿室内において、JIS規格、硬化膨張計を使用して、埋没材練和後1分から240分後まで、各練和条件につき5回行った。

## 4. 加熱膨張の測定

埋没材の加熱膨張は、熱膨張計(TMA 5, 島

津)を用いて、クリストバライト埋没材では、練和開始後30分から $700^{\circ}\text{C}$ までの加熱膨張を、昇温速度 $70^{\circ}\text{C}/\text{分}$ 、測定圧 $10\text{g}$ にて、室温 $16^{\circ}\text{C}$ ,  $23^{\circ}\text{C}$ ,  $30^{\circ}\text{C}$ の3条件と、2種類(P2, P3)の操作方法を用いて、各条件3回測定した。

なお、加熱開始時間ならびに昇温速度は、現在一般的に行われている急速加熱を想定して、練和開始後30分と熱膨張計の最大速度を採用した。

リン酸塩系埋没材では、練和開始後30分から $800^{\circ}\text{C}$ までの加熱膨張を、昇温速度 $70^{\circ}\text{C}/\text{分}$ 、測定圧 $10\text{g}$ にて、室温 $23^{\circ}\text{C}$ 、6種類(P1, P2, P3, BASIC, P4, P5)の操作方法を用いて、各条件3回測定を行った。

## 5. 鑄造体の適合精度

鑄造は、フルクラウンの金型を用いて作製したワックスパターン(ブルーインレーワックス, 松風)を、加熱膨張の測定と同一の埋没材練和泥を用いて、緩衝材(セラミックリボン, ノリタケ)を内張りしたリング(内径 $28\text{mm}$ , 高さ $50\text{mm}$ , ハヤシ)に埋没し、金銀パラジウム合金は遠心鑄造機(Kerr), 陶材焼付用セミプレシヤス合金は高周波遠心鑄造機(Thermotrol II, Jelenko)を用いて行った。鑄造体の適合精度は、各鑄造体の埋没材を除去し、超音波洗浄を行ない、内面の気泡を除去した後、金型に鑄造体を適合させ、万能投影機(PJ 311, Mitutoyo)を用いて、金型と鑄造体マージン部分の浮き上がりにより測定した。なお、金銀パラジウム合金は、4種類の練和方法と、3種類の室温( $16^{\circ}\text{C}$ ,  $23^{\circ}\text{C}$ ,  $30^{\circ}\text{C}$ )にお

いて各3回、セミプレシャス合金では、室温23℃、6種類の練和方法において各5回鑄造を行った。

6. 埋没材中の結晶状態の観察

加熱膨張後の埋没材の結晶状態の観察は、レーザー顕微鏡 (LEXT OLS 3000, オリンパス) を用いて行った

結 果

1. 硬化膨張

1) クリストバライト埋没材

埋没材 P, PF の室温23℃, 練和条件 BASIC における硬化膨張の測定結果の1例を図2, 3に示す。なお以下の図とも、白丸は5回の測定値の平均を、棒は標準偏差を示している。従来型の P は15分頃から膨張が始まり、急速加熱型の PF は10分頃から膨張が始まっていたが、何れの埋没材も110分頃から膨張が緩やかになり、240分後では P が $0.76 \pm 0.04\%$ 、PF が $0.74 \pm 0.04\%$ と、ほぼ同一の値となった。

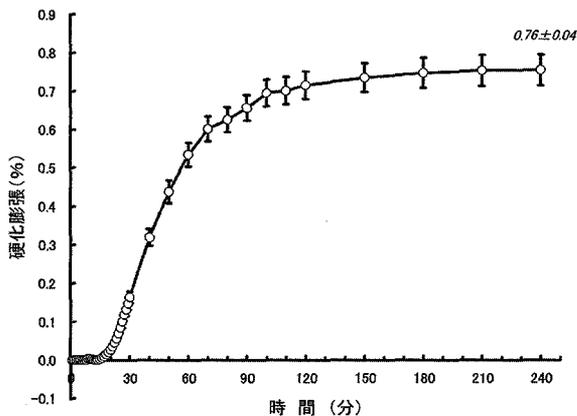


図2：埋没材 P, 練和条件 BASIC, 室温23℃の硬化膨張曲線

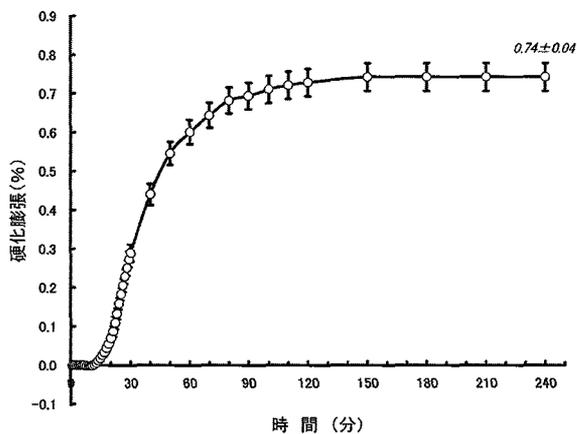


図3：埋没材 PF, 練和条件 BASIC, 室温23℃の硬化膨張

図4, 5に、埋没材 P と PF の練和開始30分後の硬化膨張に対する練和プログラムと室温の影響を示す。室温が高くなることと、練和機の回転速度が上昇するに従い、埋没材 PF の30分後の硬化膨張は P よりも大きくなった。室温、練和プログラム、埋没材の種類との3元配置分散分析の結果、練和プログラムと埋没材との交互作用を除き全ての要因において有意な差 ( $P < 0.01$ ) が認められた。

図6, 7に、埋没材 P と PF の練和開始240分後の硬化膨張に対する練和プログラムと室温の影響を示す。30分後の結果と比べ、何れの要因においても影響は少なくなった。しかし、室温、練和プログラム、埋没材の種類との3元配置分散分析の結果、練和プログラム、埋没材の種類と室温の交互作用において  $p < 0.01$  で有意な差が認められた。

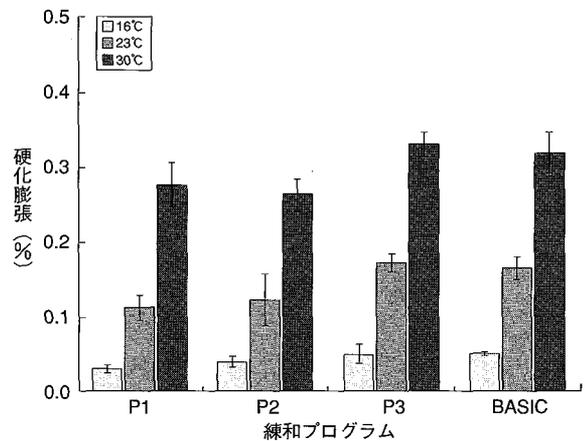


図4：埋没材 P の硬化膨張に対する練和プログラムと室温の影響 (練和30分後)

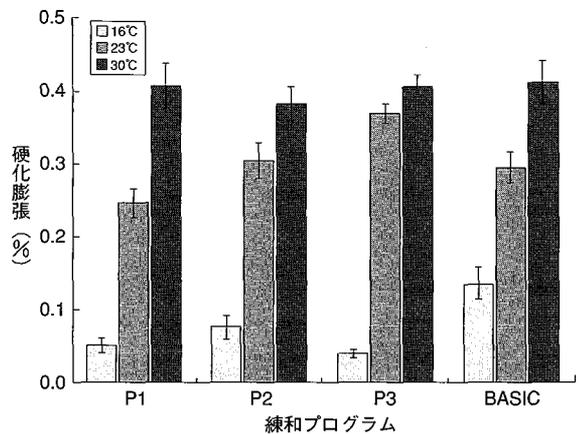


図5：埋没材 PF の硬化膨張に対する練和プログラムと室温の影響 (練和30分後)

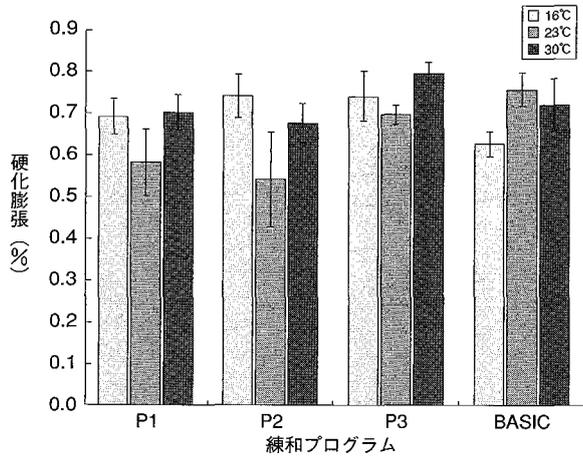


図6：埋没材 P の硬化膨張に対する練和プログラムと室温の影響（練和240分後）

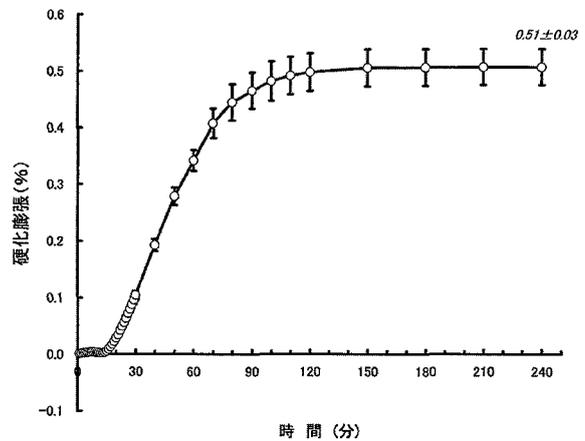


図8：埋没材 SQ, 練和条件 BASIC, 室温23°Cの硬化膨張曲線

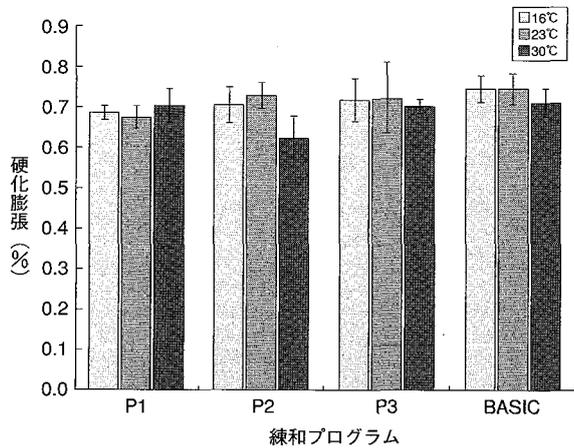


図7：埋没材 PF の硬化膨張に対する練和プログラムと室温の影響（練和240分後）

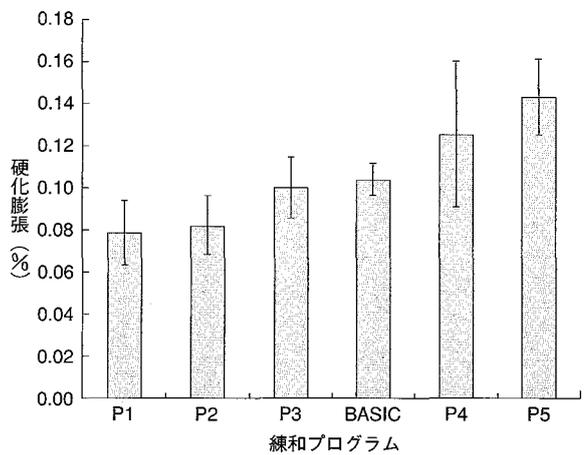


図9：埋没材 SQ の硬化膨張に対する練和プログラムの影響（室温23°C, 練和30分後）

## 2) リン酸塩系埋没材

リン酸塩系埋没材 SQ の室温23°C, 練和条件 BASIC における測定結果の1例を図8に示す。同埋没材は「練和後20分で炉に入れることができる」と記載されているが、20分後の硬化膨張は  $0.028 \pm 0.004\%$  と極めて少なく、強度にもばらつきがあったため、P, PF と同様に、練和30分後に電気炉に投入する事とした。

図9, 10に、埋没材 SQ の室温23°Cにおける、練和開始後30分, 240分の硬化膨張に対する練和プログラムの影響を示す。

埋没材 SQ では、練和開始後30分における硬化膨張は0.1%程度と、同一練和条件の P, PF (図4, 5) よりも少なかった。30分後, 240分後, とともに、総攪拌回数が増大するに従い、硬化時膨張は大きな値を示し、リン酸塩系埋没材用の練和条件では、石膏系埋没材用の練和条件の2倍程度の

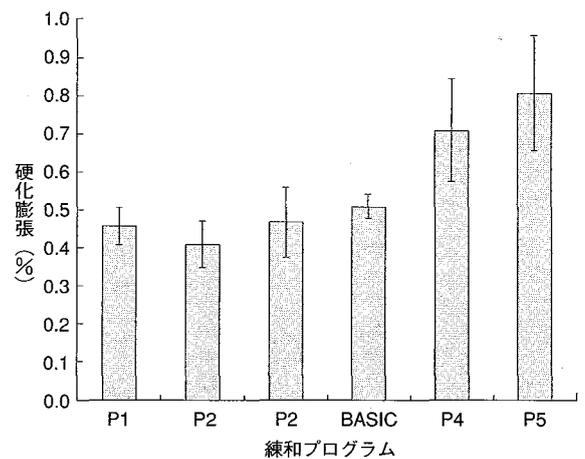


図10：埋没材 SQ の硬化膨張に対する練和プログラムの影響（室温23°C, 練和240分後）

膨張量となった。また回転速度の速い P4, P5 では標準偏差が大きかった。1元配置分散分析の結果、練和プログラムにおいて有意な差 ( $P < 0.01$ ) が認められた。

2. 加熱膨張

1) クリストバライト埋没材

埋没材 P, PF の室温23℃, 練和条件 P3 における測定結果の1例を図11, 12に示す. なお, 以下の図とも実線は3回の測定値の平均を, 破線は標準偏差を表している. 埋没材 P は, 300℃付近

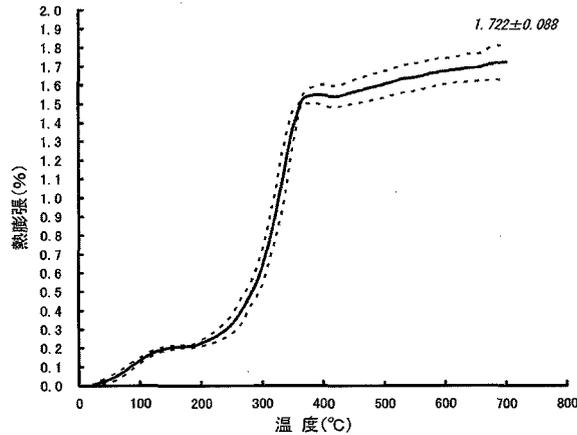


図11：埋没材 P, 練和条件 P3, 室温23℃の熱膨張曲線

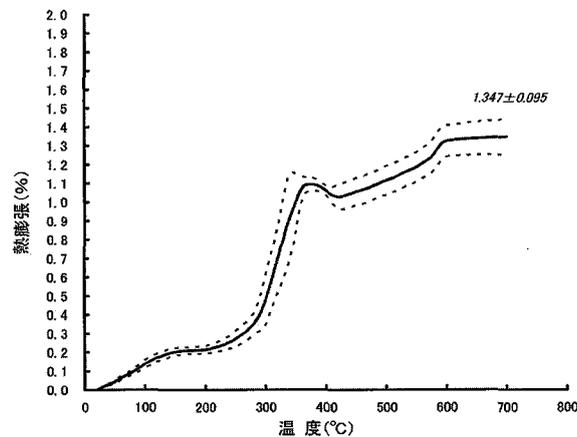


図12：埋没材 PF, 練和条件 P3, 室温23℃の熱膨張曲線

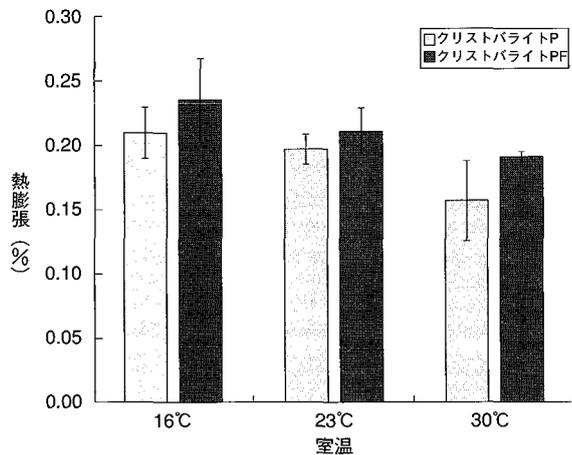


図13：石膏系埋没材の150℃における熱膨張に及ぼす練和時の室温の影響

に変態点を持つクリストバライト耐火材の曲線を示したが, PF は600℃付近にも変態点があり, 耐火材としてクリストバライトと石英の混合物が使われている.

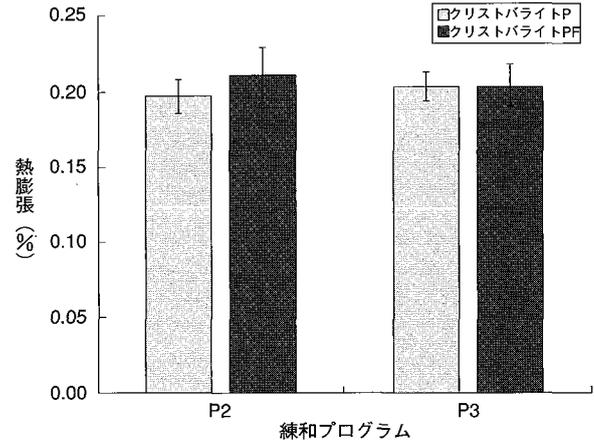


図14：石膏系埋没材の150℃における熱膨張に及ぼす練和条件の影響

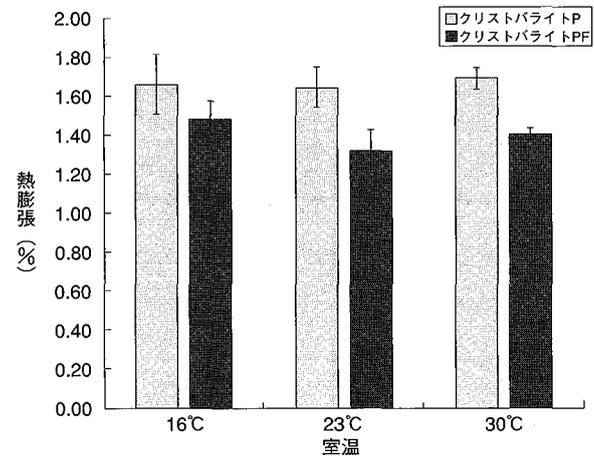


図15：石膏系埋没材の700℃における熱膨張に及ぼす練和時の室温の影響

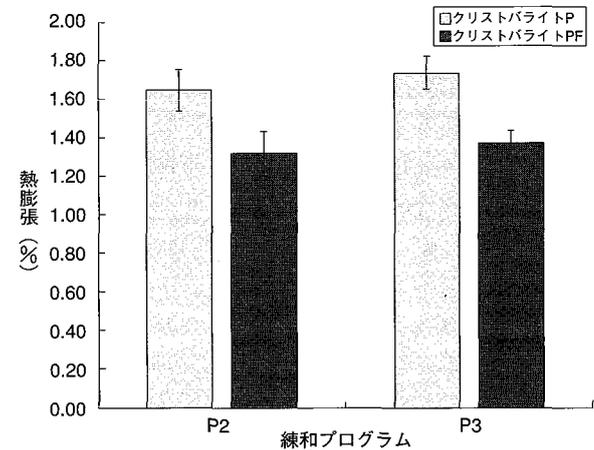


図16：石膏系埋没材の700℃における熱膨張に及ぼす練和条件の影響

図13, 14に150℃における加熱膨張に対する室温の影響と練和条件の影響を示す。2元配置分散分析の結果, 室温 ( $P < 0.01$ ) と埋没材間 ( $P < 0.05$ ) において有意な差が認められ, PFの方が大きな熱膨張量を示し, 高い室温において練和した方が少ない加熱膨張量を示した。

図15, 16に700℃における加熱膨張に対する室温の影響と練和条件の影響を示す。150℃の場合と異なり, 2元配置分散分析の結果, 埋没材間のみ有意な差 ( $P < 0.01$ ) が認められ, 埋没材Pの方が大きな熱膨張量であった。

2) リン酸塩系埋没材

埋没材SQの室温23℃, 練和条件P3における測定結果の1例を図17に示す。埋没材P, PFと異なり, 120℃までの膨張と600℃付近の熱膨張が大きくなり, 300℃付近の熱膨張はわずかであった。また, 300℃~400℃における偏差が増大しており, この温度区間において埋没材が不安定になっていた。さらに高温用埋没材にもかかわらず,

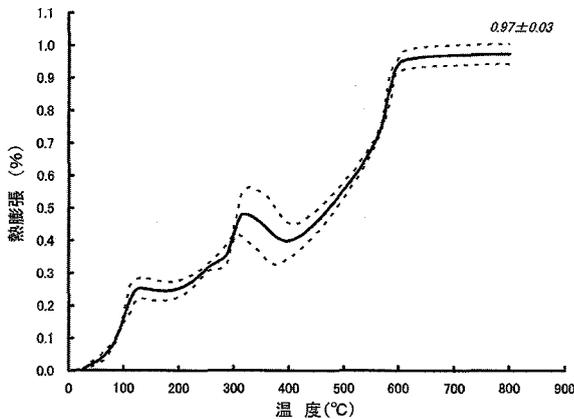


図17: 埋没材SQ, 練和条件P3, 室温23℃の熱膨張曲線

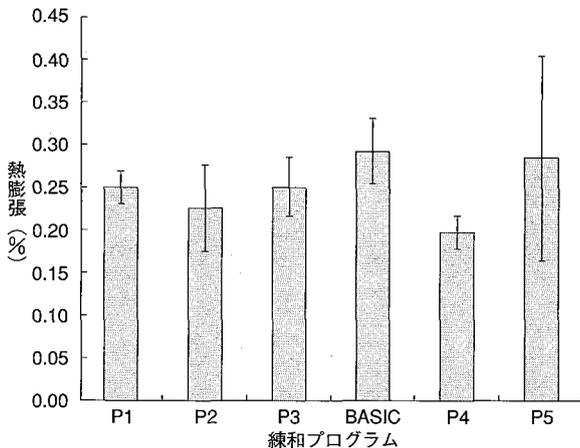


図18: 埋没材SQの150℃における熱膨張に及ぼす練和条件の影響

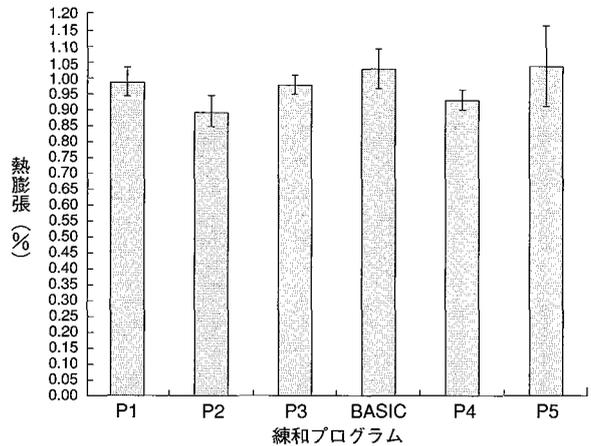


図19: 埋没材SQの800℃における熱膨張に及ぼす練和条件の影響

800℃においてもP, PFに及ばない熱膨張量となった。

図18に150℃, 図19に800℃における加熱膨張に対する練和条件の影響を示す。練和プログラムによる一定の傾向も見られず, 分散分析の結果からも有意な差は認められなかった。また, 400℃から800℃間の熱膨張は, どの練和条件においても  $0.597 \pm 0.014\%$  と極めて安定していた。

3. 鋳造体の適合精度

1) クリストバライト埋没材

図20, 21に, 埋没材P, PFを使用した, 金銀パラジウム合金鋳造体の適合精度に及ぼす埋没材練和条件の影響と室温の影響とを示す。埋没材PとPF間の適合精度には大きな差が存在するものの, 練和方法, 練和時の温度による大きな影響は見られなかった。埋没材Pを使用した場合とPFを使用した場合とを比較すると, PFの方が適合は悪かった。2元配置分散分析の結果埋没材間に

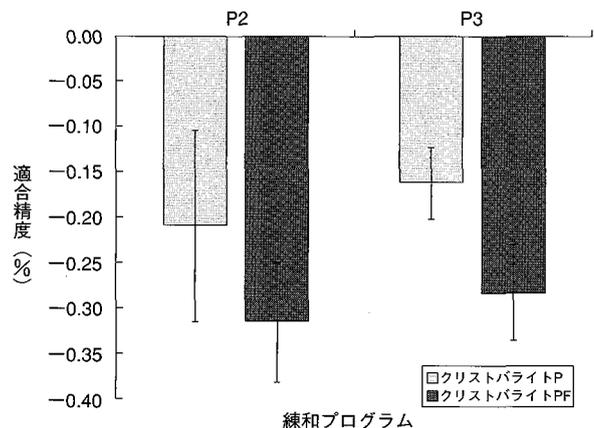


図20: 金銀パラジウム合金鋳造体の適合精度に及ぼす埋没材の練和条件の影響

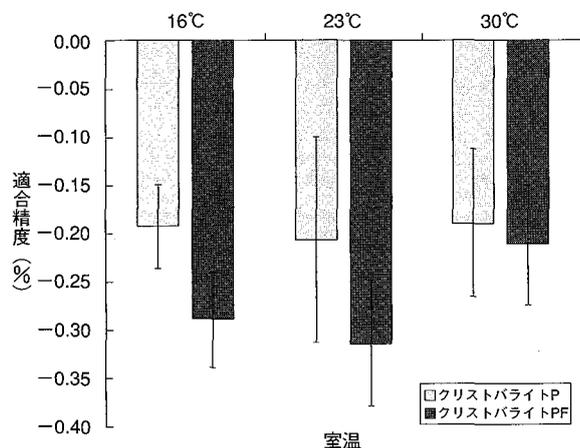


図21：金銀パラジウム合金鑄造体の適合精度に及ぼす埋没材の練和時の室温の影響。

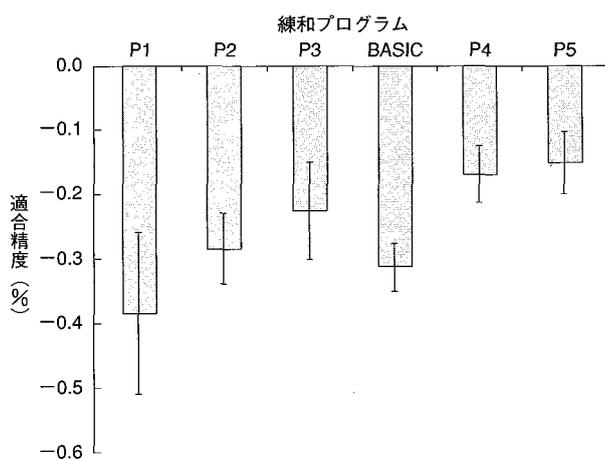


図22：陶材焼付用セミプレシャス合金鑄造体の適合精度に及ぼす埋没材の練和条件の影響

おいてのみ有意な差 ( $P < 0.05$ ) が認められた。

## 2) リン酸塩系埋没材

図22に、埋没材 SQ を使用した陶材焼付用セミプレシャス合金鑄造体の適合精度に及ぼす埋没材練和条件の影響を示す。練和条件 BASIC を除いて、総攪拌回数が増大するに従い適合精度は向上する傾向が見られた。また、適合精度は練和条件により大きく影響された。

1 元配置分散分析の結果、練和条件において有意な差 ( $P < 0.01$ ) が認められた。

## 4. 埋没材の結晶状態

埋没材中の石膏ならびにリン酸アンモニウム結晶状態を、レーザー顕微鏡を用いて観察したが、練和条件、室温共に明確な違いは確認できなかった。

## 考 察

鑄造体の適合性は、埋没材の硬化膨張、加熱膨張、強度、発熱、ワックスの熱的、機械的性質、リングの大きさや肉厚、緩衝材の性状、鑄造体の肉厚や形状、表面性状等により影響を受けることが知られている<sup>9)</sup>。この内、緩衝材が適切に裏装されたリング内において、最も大きな影響を及ぼすのが加熱膨張であり、次に大きな影響を及ぼすのは硬化膨張である<sup>12)</sup>。そこで、この2点に注目して、適合精度の良い鑄造体を作成するための最適な練和条件について考察を加えることとする。

### 1. 硬化膨張

30分後の硬化膨張を示す図4、図5、図9を見ると、総攪拌回数が少ない場合 (P1) には、室温の影響が大きく、総攪拌回数が多い場合 (P3) には、室温の影響は小さくなっている。これは、石膏系埋没材もリン酸塩系埋没材も化学反応によって硬化することを考えると、練和時の室温の上昇と、総攪拌回数の増加に伴って硬化膨張が大きくなることは当然の結果といえる。また、従来型の埋没材 P (図2) よりも急速加熱型の PF (図3) の方が急速に硬化膨張は進展するが、急速加熱型でもリン酸塩系埋没材の SQ では石膏系よりも遅れて膨張が生じる (図8)。これは、リン酸塩系埋没材では、硬化を早めた場合急激に流動性が無くなり、作業時間が取れないことによるものと思われる。

しかしながら、240分後の硬化膨張に対する練和条件の影響は石膏系とリン酸塩系では異なっている。石膏系埋没材では30分後と異なり、練和条件によらずほぼ一定の値を示すのに対し、リン酸塩系埋没材では依然として総攪拌回数の増加に伴って硬化膨張が大きくなっている。この現象は、石膏系埋没材の硬化膨張が石膏の化学反応に単純に影響されるのに対し、リン酸塩系埋没材では第1リン酸アンモニウムが、コロイダルシリカ水溶液に溶け MgO と化学反応が進行した後、コロイドの吸水により膨張が生じるため、第1リン酸アンモニウムの溶ける量に膨張が依存しているためと考えられる<sup>13)</sup>。

### 2. 加熱膨張

急速加熱時のように、硬化反応が完全に終了していない状態で加熱を開始した場合、加熱膨張に

硬化膨張が重なって測定される。したがって、硬化膨張が重複される部分とされない部分とを分けて考える必要がある。そこで、石膏の脱水する温度（130℃）を考慮して150℃における練和条件の影響を比較したのが、図13, 14, 18である。まず石膏系埋没材であるが、結果の項で述べた如く、練和時の室温が上昇すると150℃における熱膨張は減少している。しかし、室温による熱膨張の差は最大でも0.05%程度とわずかであり、30分後の硬化膨張の室温による差（最大で4%程度；図4, 5）の1/8程度である。したがって、硬化膨張の差が最大でも0.5%程度しかない練和条件による影響は加熱膨張には現れて来ない（図14）。また、耐火材の構成が異なっていると思われるPとPFにおいても、この時点での熱膨張は0.025%程度の違いでしかない（図13）。一方、リン酸塩系埋没材SQの熱膨張では、練和条件による一定の傾向も見られずその差も有意なものではない（図18）。リン酸塩系埋没材の硬化反応の上限温度は判然としないが、水が関与する反応であることを考慮すると150℃では終了していると考えられる。しかし、練和後30分における硬化膨張の練和条件による差は0.08%であり（図9）、この差が150℃において現れる可能性は低いものと考えられる。炉内温度の700℃, 800℃では、石膏系埋没材のP,PFはもちろん、リン酸塩系埋没材のSQにおいても練和条件による有意な差は現れておらず、熱膨張に対する室温、練和条件の影響は極めて少ないものと思われる（図15, 16, 19）。

3. 鑄造体の適合精度

埋没材の硬化膨張は練和条件に依存し、熱膨張は練和条件に依存しないことは既に示した。しかしながら、鑄造体の適合精度は硬化膨張と加熱膨張の両者に強く影響されるものとされている<sup>12)</sup>。本研究の結果では、石膏系埋没材使用時は埋没材の種類にのみ依存し、リン酸塩系使用時には練和条件に強く依存していた。

図23は、石膏系埋没材使用時の鑄造体適合精度と埋没材の熱膨張量との相関を見たものである。回帰分析を行った結果、 $R^2=0.7173$ と高度な相関が認められた。したがって石膏系埋没材使用時には、鑄造体の適合に関しては従来型のクリストバライト埋没材の方が明らかに有利であると言える。

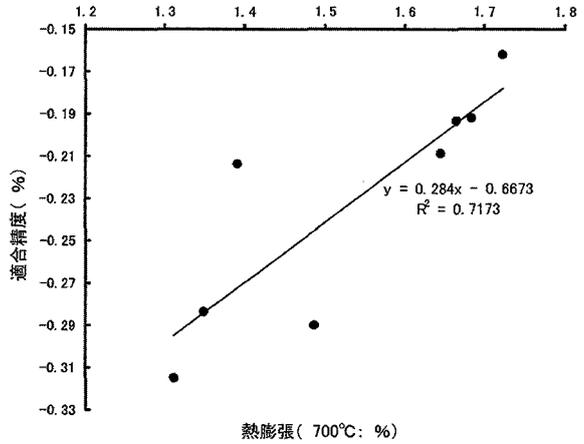


図23：石膏系埋没材の熱膨張量（700℃）と金銀パラジウム合金鑄造体の適合精度との関係

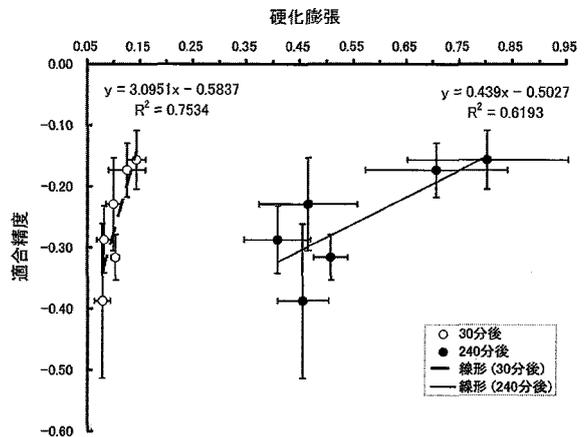


図24：埋没材SQの硬化膨張と陶材焼付用セミプレシヤス合金鑄造体の適合精度との関係

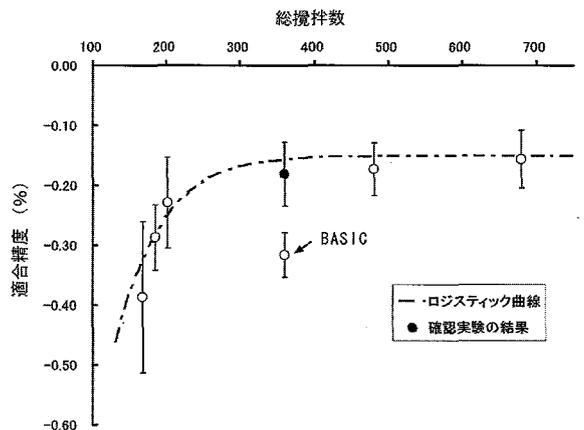


図25：埋没材SQの練和時総攪拌数と陶材焼付用セミプレシヤス合金鑄造体の適合精度との関係

図24は、リン酸塩系埋没材使用時の鑄造体適合精度と硬化膨張との相関を見たものである。30分後、240分後の硬化膨張ともに $R^2=0.7534$ ,  $R^2=0.6193$ と高度な相関が認められた。30分後の硬化

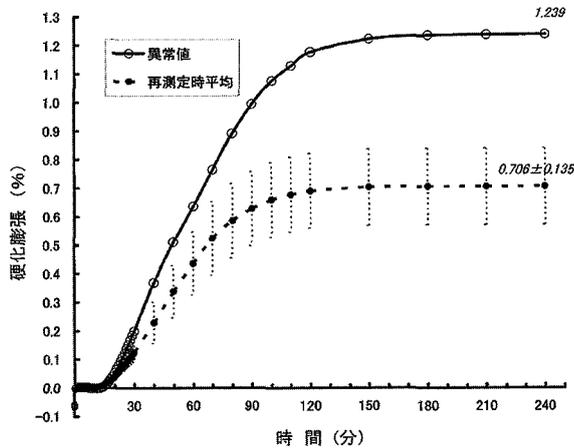


図26：埋没材SQに生じた異常な硬化膨張の1例（練和条件：P5）

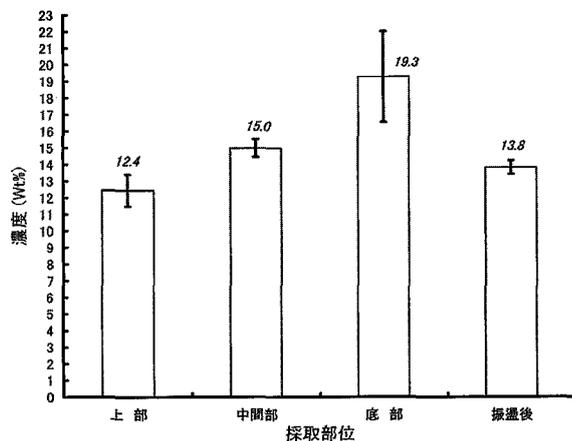


図27：練和溶液の濃度不均一性（200 CC，7日間静置後）

膨張と鑄造体の適合精度の比例係数は3.0951と1.0よりも大きくなっていることからリング内における埋没材の硬化が本研究における測定条件よりも早くなることが推測される。

図25は、リン酸塩系埋没材使用時の鑄造体適合精度と総攪拌回数との関係を検討した結果である。図中一点差線はロジスティック曲線を表している。適合精度は、一方向のみに回転するBASICを除いて総攪拌回数のロジスティック曲線に良く一致している。このことから、従来型の一方向回転のみの練和条件においては、埋没材にムラができ、硬化膨張の部分的な違いにより鑄造体に変形が生じ、適合精度が悪くなったものと思われる。さらに、総攪拌回数300回以上では、鑄造体の適合精度はほぼ一定の値になるものと考えられた。そこで、P4（表1）の最終攪拌時間を10秒短縮し総攪拌回数を360回とBASICと同一にし、交互回転による練和を行い、確認実験を行って

た。その結果は図中の黒丸で示したように、適合精度が総攪拌回数のロジスティック曲線に良く乗るものとなった。したがって、リン酸塩系埋没材を使用して鑄造した場合、練和条件は硬化膨張に大きな影響を及ぼし、鑄造体の適合精度は硬化膨張に依存すると考えられた。なお、リン酸塩系埋没材を使用して鑄造体を作製した場合、その適合精度は埋没材の硬化膨張に依存することは先に述べたが、硬化膨張測定中に異常に大きな膨張を認めず場合があった。図26は、異常に大きな膨張を示した1例である。再測定した平均値の2倍近くの膨張であり実験誤差の範囲を超えている。リン酸塩系埋没材の硬化膨張は溶液中のコロイダルシリカによることが知られているので、希釈溶液の容器内濃度の測定を行った。図27にその結果を示す。1週間静置した、容器の底部のコロイダルシリカ濃度は振盪して均一にした容器内の濃度より40%も高く、底部より汲み上げるように採取された溶液を用いたことが、異常に大きな硬化膨張をもたらしたものと考えられる。コロイダルシリカの濃度が高いと硬化膨張が大きくなることは良く知られており<sup>10</sup>、同様の現象であると考えられる。この異常な硬化膨張は、鑄造体の適合精度に0.2%程度の変化を及ぼすと考えられ、従来から指摘されていた、リン酸塩系埋没材を用いた鑄造体の適合精度のバラつきは、容器内におけるコロイダルシリカ濃度の不均一性に起因している可能性が大きいことが明らかとなった。

## 結 論

インプラントの上部構造である鑄造体の適合を改善するために、練和条件を種々に変えることが出来る真空埋没機を使用して、最適な練和条件について検討した結果、以下の結論に達した。

1. 真空埋没機の練和条件は、石膏系埋没材を用いた鑄造体の適合精度には大きな影響を与えず、埋没材個々の加熱膨張のみに依存する。したがって、加熱膨張の少ない急速加熱型埋没材は従来型のクリストバライト埋没材に比べ適合精度が悪くなる傾向であった。
2. 真空埋没機の練和条件は、リン酸塩系埋没材を用いた鑄造体の適合精度に大きな影響を及ぼす。その原因は、リン酸塩系埋没材の硬化膨張が室温、コロイダルシリカの濃度、練和

条件, 攪拌回数に大きく影響されることによる。

3. 急速加熱型リン酸塩系埋没材を用いた場合, 真空埋没機の総攪拌回数が300回を超えると適合精度は一定になる。

以上, 真空練和機の練和条件と鑄造体の適合精度について検討した結果, 攪拌回数, 方向を調整できることにより精度の高い鑄造体の作製が可能であることが示唆された。

#### 謝 辞

本研究に際し, 終始御指導, 御鞭撻を賜りました松本歯科大学大学院歯学独立研究科・硬組織疾患制御再建学講座・生体材料学主任, 伊藤充雄教授に深甚なる感謝の意を表します。

本研究に多大なる御指導と御校閲を戴きました松本歯科大学大学院歯学独立研究科, 加藤一誠教授, 黒岩昭弘教授, 永沢 栄准教授, ならびに吉田貴光講師に深謝致します。

#### 参考文献

- 1) Colnot C, Romero DM, Huang S, Rahman J, Currey J A, Nanci A, Brunski JB and Helms JA (2007) Molecular analysis of healing at a bone-implant interface. *J Dent Res* **86** : 862-7.
- 2) Chang WJ, Lee S Y, Wu CC, Lin CT, Abiko Y, Yamamichi N and Huang HM (2007) A newly designed resonance frequency analysis device for dental implant stability detection. *Dent Mater J* **26** : 665-71.
- 3) Makihira S, Mine Y, Kosaka E and Nikawa H (2007) Titanium surface roughness accelerates RANKL-dependent differentiation in the osteoclast precursor cell line, RAW 264.7. *Dent Mater J* **26** : 739-45.
- 4) 杉山和孝, 玉置幸道, 宮崎 隆 (2003) チタン精密鑄造によるインプラント上部構造製作の検討 -市販埋没材から得られる鑄造体の適合性-. *日口腔インプラント誌* **16** : 232-7.
- 5) 岡本光信, 柿川 博 (1999) インプラント上部構造作成方法と適合精度. *九州歯会誌* **53** : 332-42.
- 6) Kallus T and Bessin C (1994) Loose gold screws frequently occur in full-arch fixed prostheses supported by osteointegrated implant after 5 years. *Int J Oral Maxillofac Implants* **9** : 169-78.
- 7) Jemt T and Lekholm U (1998) Measurements of bone and frame-work deformations induced by misfit of implant superstructures. *Clin Oral Impl Res* **9** : 272-80.
- 8) Jemt T and Book K (1996) Prosthesis misfit and marginal bone loss in edentulous implant patients. *Int J Oral Maxillofac Implants* **11** : 620-5.
- 9) 伊藤充雄 (2006) 歯科用埋没材と鑄造, 改訂版, 125, MDU 出版会, 塩尻.
- 10) 伊藤充雄, 石井和生, 永沢 栄, 高橋重雄 (1985) リン酸塩系埋没材について (その4) 作業室内温度と硬化時膨張との関係. *松本歯学* **11** : 201-7.
- 11) 永沢 栄, 伊藤充雄, 中西哲生, 桜井義忠, 高橋重雄 (1979) 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.
- 12) 西山 寛, 根元君也, 長山克也 (監2005) スタンダード歯科理工学, 第3版, 143, 学建書院, 東京.
- 13) 歯科理工学会 (1982) 歯科理工学, 第2版, 202, 医歯薬出版, 東京.
- 14) Anusavice KJ (1996) *Phillips' Science of Dental Materials*, 10 th ed, 487, WB Saunders Co., Philadelphia.