

〔原著〕 松本歯学 5 : 27~34, 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

永沢 栄, 伊藤充雄, 中西哲生, 桜井善忠, 高橋重雄

松本歯科大学 歯科理工学教室 (主任 高橋重雄 教授)

Studies on the Accuracy of the Castings

Part 9. Effects of the expansion caused by setting investment to deformation of the wax pattern

SAKAE NAGASAWA, MICHIO ITO, AKIO NAKANISHI, YOSHITADA SAKURAI
and SHIGEO TAKAHASHI

Department of Dental Technology, Matsumoto Dental College
(Chief : Prof. S. Takahashi)

Summary

In this report, the deformations of full crown type wax pattern invested with cristobalite investment were described. They were measured by means of wire strain gauges, which fixed to various positions of the pattern. They were invested in casting rings, sized 40 mm in diameter and length, lined with a sheet of dry Kaowool (a sheet of alumina-silica fibers) or wet asbestos ribbon.

Results were follows ;

- 1) The deformations caused by setting expansion of the investment come from not only the expansions but also the shrinkage pressing stresses, which were affected by the capacity of the cushion material.
- 2) The deformations were unsymmetrical, when the wax pattern was invested aside from the center of the ring. In this condition, a part of the wax pattern, even when it was situated on the center of the ring, was influenced by the deformation.
- 3) The dimensional change of the wax pattern was 4 microns in diameter, when the investment was mixed with standard water-powder ratio.

結 言

歯科精密鑄造における, 基本的な課題は, 金属の鑄造収縮を補償すること, および, その過程に

(1979年5月7日受理)

生ずる鑄造体の変形を小さくすることである。前者については, 加熱膨張法, 硬化膨張法, 加水膨張法, アスベストライニング法等が考案され, 現在利用されている。しかしながら, これら各方法をもってしても, 鑄造体の変形を制御し変形のな

い完全な適合精度を持った鑄造体を作製することは困難である。

この変形に対する制御の困難性は、それぞれの鑄造収縮補正方法における解析が不完全であることに起因している。現在までの解析は、鑄造体適合度を測定することにより^{1) 2) 3) 4)}、あるいは埋没材の線膨張^{5) 6) 7)}、埋没材空洞の体積変化を直接測定することにより^{8) 9) 10)}、主に行なれてきた。これらの方法によると、以下に示すような問題が生ずる。まず鑄造体適合度の測定は、結果に影響をおよぼす要因が非常に多く、かつ、それらが複雑に関係している。したがって、適合度に影響をおよぼす要因の分離は困難であるとともに、適合度の測定方法にも問題がある¹¹⁾。棒状の形態で測定したり、ゴム球を埋没したり、あるいは、分割リングによる鑄型の測定は、現実の埋没条件と測定条件とが大きく異なるため、推論の域を脱しない。

解析を完全なものとするためには、適合精度に影響をおよぼす要因を完全に分離し、かつ現実の埋没条件と同条件下における測定を行なわなくてはならない。そこで、まずワックスパターンの変形に対して、解析を加える。

ワックスパターンの埋没材中における変形は、すでに Mahler, D. B.^{12) 13)} らによって定量的に行なわれている。しかしながら、この測定は、埋没材硬化後、ワックスパターンを取り出して行って

いるため、取り出す過程の変形をも、同時に測定している可能性が考えられる。本報は、ワックスパターンの各部にヒズミゲージを貼付して埋没し、埋没材の硬化時および、ワックス軟化温度までの加熱時変化を定量的に測定した結果、2, 3の知見を得たので報告する。

実験方法ならびに実験材料

実験に使用した材料は一般に使用され、かつ、多くの測定結果が報告されている製品を選択した。

ワックスパターンは、ブルーインレーワックス（而至社製）をフルクラウン型の金型に軟化圧接して調製した。これは $24^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ の室内において、16時間放置し、ひずみを除いた後に、FAE-03J-12-0S、ひずみゲージ（東洋ボールドウィン社製）を接着した。このゲージは、自己温度補償型ゲージで、予備実験の結果、1gの引張り力において、0.4%の伸びを生じ、その温度変化は $8 \times 10^{-5} \% / ^{\circ}\text{C}$ 、また圧力による変化は、 $6.3 \times 10^{-4} \% / \text{kg/cm}^2$ であった。

ゲージの接着位置およびワックスパターンの埋没位置は、図1に示す。図1、A B E F Gはフルクラウンの側面、歯頸部、中央部、咬合面に水平方向に、ゲージを貼付した。図1、C、Dはフルクラウン側面中央部に、垂直方向に、また咬合面内面に水平方向に貼付した。

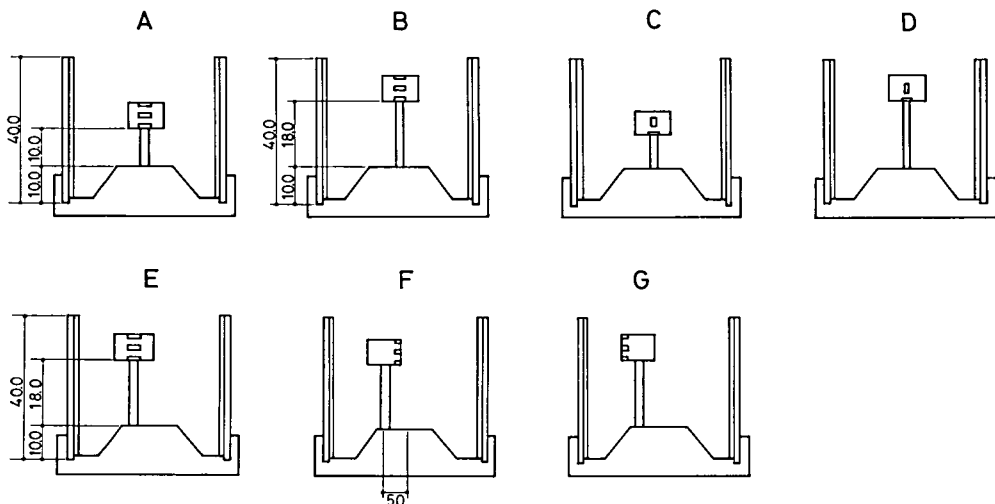


図1：ワックスパターン埋没位置とゲージの接着位置。

パターンの埋没位置は、リング中心部に、スプルーの長さ 10 mm, 18 mm, または中心より 5 mm 側方においてスプルーの長さ 18 mm の 3 種類とした。

鑄造リングは、内径、高さ共に 40 mm のステンレス製リングに、厚さ 1 mm の緩衝材、乾カオウル (DK) と湿アスベスト (WA) を内張りして使用した。埋没は、クリストバライト埋没材(而至社製)を使用して、標準混水比の 0.32 とその 10% 減の 0.29 で行った。なお、練和は室温水道水を使用し、真空練和 (30 秒間) を行い、振動を与えながら埋没した。

ひずみの測定は、動ひずみ計 (共和電業社製) で行った。ゲージの変化量は電圧の変化として、打点記録計 (横河電気社製) 上に埋没開始時より記録した。ワックスパターンの変化は硬化終了後 (開始より約 2 時間後)、円錐台をはずし、電気炉中において、ワックスの軟化温度まで測定を行った。測定は同一条件で 3 回繰り返し行ない、測定値の分散分析によって、検定し、各条件の寄与率を算出した。

図 2 は、使用した実験装置を示す。左より動

ひずみ計、打点記録計、電気炉、パイプレーター、リングである。

実験結果

図 3 は測定結果の 1 例である。ワックスパターンの各部は、埋没と同時に室温と水温の違いによる収縮が現われ (A 点)、その後膨張が生ずる (B 点は動ひずみ計のレンジの切り替えにより生じたものである.)。さらに、これは硬化終了後、加熱すると温度の上昇と共に直線的に膨張し、D 点で

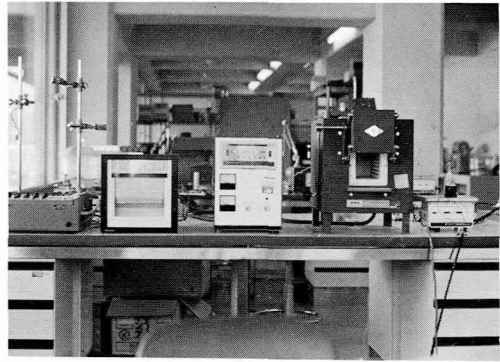


図 2 : 測定位置および器具。

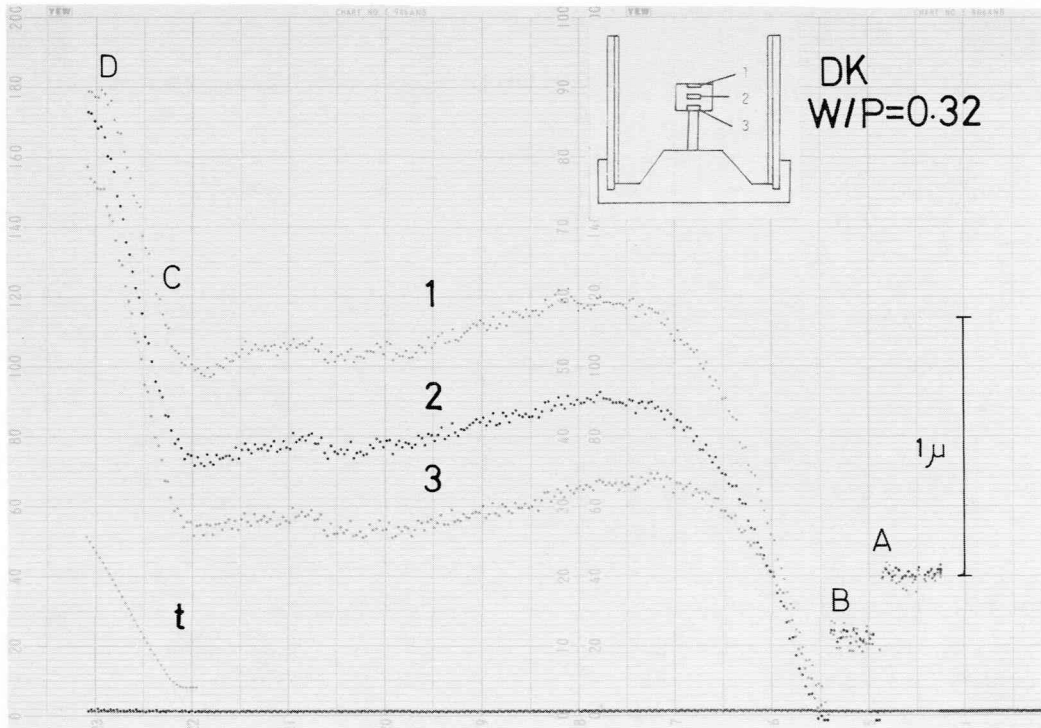


図 3 : 測定結果の 1 例。

表1：ワックスパターン水平方向の、硬化時および加熱時寸法変化率(%)
—スプルー長、ゲージ位置、緩衝材の影響—

ゲージ位置		歯 頸 部	中 央 部	咬 合 部
スプルーの長さ	緩 衝 材	硬化時 (加熱時)	硬化時 (加熱時)	硬化時 (加熱時)
10 mm	湿 アスベスト	0.016 (0.044)	-0.043 (0.074)	0.029 (0.048)
		0.035 (0.038)	-0.008 (0.034)	0.000 (0.060)
		0.000 (0.042)	0.184 (0.050)	-0.023 (0.064)
	乾 カオウール	0.093 (0.060)	0.035 (0.060)	0.026 (0.062)
		0.075 (0.064)	0.068 (0.064)	0.073 (0.064)
		0.081 (0.046)	0.059 (0.060)	0.004 (0.096)
18 mm	湿 アスベスト	-0.005 (0.030)	0.011 (0.030)	0.006 (0.044)
		0.014 (0.034)	0.081 (0.042)	0.000 (0.056)
		0.078 (0.034)	0.080 (0.028)	0.040 (0.048)
	乾 カオウール	0.103 (0.052)	0.058 (0.062)	0.025 (0.064)
		0.056 (0.042)	0.028 (0.070)	-0.025 (0.042)
		0.000 (0.046)	0.015 (0.066)	-0.041 (0.054)

硬化時：%
加熱時：%/20℃

表2：ワックスパターン水平方向の硬化時および
加熱時寸法変化率の分散分析。—スプルー
長、ゲージ位置、緩衝材の影響—
分散分析結果（寄与率%，有意性）

要 因	硬化時	加熱時
A：スプルーの長さ	—	11.8**
B：ゲージ位置	8.8	5.8**
C：緩 衝 材	—	25.3**
A×B	—	—
A×C	6.2	—
B×C	0.5	—
A×B×C	—	3.8*
e	84.5	53.3

**99%で有意

*95% "

ワックスは軟化している。これらの結果からワックスパターンの温度による変形は、20℃ 当りの変化率（%/20℃）を基準として解析した。

以上のような記録紙より、硬化時変化率（%）、24℃ からワックス軟化温度までの加熱時の変化率（%/20℃）を求め、各条件についての結果を表1、3、4、5、6に示す。これらの結果に基づ

表3：ワックスパターン水平方向の硬化時変化率
（%）—混水比、ゲージ位置の影響—

ゲージ位置 混水比	歯頸部	中央部	咬合部
0.32	0.093	0.035	0.026
	0.075	0.068	0.073
	0.081	0.059	0.004
0.29	0.191	0.056	0.081
	0.178	0.143	0.073
	0.185	0.100	0.077

き、二元あるいは三元配置分散分析を行った。

表1は、混水比0.32で練和した場合のワックスパターン水平方向の硬化時変化および加熱時変化を、スプルーの長さ、ワックスパターン上のゲージ位置、すなわち図1、A、Bについて、緩衝材の種類を変えて測定した結果である。

表2は、その分散分析の結果で、硬化時変化は、全ての要因に対して有意差が認められなかった。これに対し、加熱時変化については、表2に示すように、各因子について、99%、三交互作用について、95%で有意となった。

表3は、図1、Aの埋没位置、およびゲージ部位において、水平方向の硬化時変化を、緩衝材カオウル、スプルーの長さ10mmと言う条件下、混水比、ワックスパターン上のゲージ位置を変えて測定したものである。分散分析の結果は、混水比（寄与率、36.3%）、ゲージ位置（寄与率、38.3%）について99%で有意となった。

表4は、スプルーの長さ10mmという条件下で、すなわち図1、Cの硬化時寸法変化、および加熱時寸法変化について、混水比を変え、ワックスパターン上のゲージ位置を、咬合面内側と垂直方向とに変えた場合の測定結果である。硬化時変化については、平均値において、咬合面部内側

で、-0.030%、垂直方向で、0.075%とゲージ位置により大きな違いが見られ、分散分析の結果は、寄与率62.1%、と99%有意となった。これに対して混水比の影響は、有意差も認められず、寄与率も2%と小さくなっている。すなわち、ワックスパターンの垂直方向および咬合面部内側の硬化時変化は、水平方向の硬化時変化と異なり、混水比には影響されにくい結果となっている。加熱時の寸法変化については、分散分析の結果、有意差は95%以下ではあるが、混水比の寄与率が14.6%と大きくなっている。

表5は、スプルー植立位置をリング中心より5mmずらしたものについて、すなわち、図1のE、

表4：ワックスパターンの硬化時および加熱時寸法変化。
—混水比、ゲージ位置(方向)の影響—

ゲージ位置	垂	直	咬合面内側
混水比	硬化時	(加熱時)	硬化時 (加熱時)
0.32	0.071	(0.052)	-0.044 (0.048)
	0.093	(0.048)	-0.053 (0.070)
	0.023	(0.052)	-0.015 (0.078)
0.29	0.251	(0.048)	-0.019 (0.058)
	0.181	(0.040)	-0.061 (0.046)
	0.055	(0.068)	-0.078 (0.108)

硬化時：%
加熱時：%/20°C

表5：非対称な埋没位置における、ワックスパターン水平方向の硬化時変化率。
—ゲージ位置、緩衝材、埋没位置非対称性の影響—

緩衝材		湿 ア ス ベ ス ト			乾 カ オ ウ ー ル		
パターン位置		E	F	G	E	F	G
ゲ ー ジ 位 置	歯 頸 部	-0.073	-0.055	0.036	0.006	0.081	0.093
		-0.035	-0.033	-0.028	0.153	0.025	0.188
		0.030	-0.071	-0.031	0.080	0.123	0.129
	中 央 部	0.020	0.101	0.006	0.043	0.060	0.015
		0.003	-0.043	0.015	0.099	0.025	0.030
		0.149	-0.031	0.088	0.035	0.061	0.048
	咬 合 部	0.000	-0.011	-0.063	0.033	0.000	0.060
		-0.003	-0.003	0.011	0.019	0.040	0.021
		-0.023	-0.056	-0.028	-0.014	-0.031	0.031

F, Gについて水平方向の硬化時変化率を, ワックスパターン上のゲージ位置, 緩衝材, ワックスパターンが中心よりずれていることから来る, ゲージ位置を変えて, 測定した結果である. 分散分析の結果, ワックスパターン上のゲージ位置(寄与率, 8.4%), 緩衝材の種類(寄与率 24.3%)および二者の交互作用(寄与率, 16.3%)について, 99%で有意となった. これは, ワックスパターンの植立位置からリング壁方向にずれているため硬化時の寸法変化が大きくなり, 上記二要因において有意となったものと思われる.

表6は, 加熱時の水平方向の寸法変化を, 緩衝材にカオウル使用の条件下で, 表5と同様な効果について見たものである. 分散分析の結果, 有意差は認められなかったが, ワックスパターン上のゲージ位置, ワックスパターンが中心からずれていることから生ずる, パターンの非対称性とも, 12.4%と大きな寄与率があった.

図4は, 以上の測定結果および分散分析の結果をまとめて, ワックスパターンの硬化時における寸法変化を示した. 変化量は, ワックスパターン寸法の250倍に拡大してある.

図4, Aは混水比0.32, 緩衝材カオウル使用の条件下で, 図1, A, Cの結果を合成したものである. 歯頸部方向に開きが大きくなっている. しかしながらその量は極めて少ない. A'は混水比0.32, 緩衝材湿アスベストの条件下で, 図1, A,

表6：加熱時のワックスパターン水平方向寸法変化.

—ゲージ位置, 埋没位置非対称性の影響—

パターン位置 ゲージ位置	パターン位置		
	E	F	G
歯 頸 部	0.032	0.040	0.034
	0.036	0.050	0.048
	0.044	0.024	0.076
中 央 部	0.036	0.040	0.054
	0.034	0.034	0.030
	0.038	0.034	0.052
咬 合 部	0.050	0.060	0.054
	0.046	0.046	0.056
	0.042	0.048	0.052

Cの結果を合成したものである. カオウル緩衝材使用においては, 直線的に開いていたが, 湿アスベスト緩衝材使用においては, 中間部でふくらみ, 歯頸部では抑制されている. Bは, 混水比0.32, 緩衝材カオウル使用の条件下で, 図1, B, Dの結果を合成したものである. Aと比べ, 埋没位置がリング端に近くなっているため少しではあるが, 開きが少なくなっている. 咬合面部内側ではむしろ圧縮されている. B'は, 混水比0.32, 緩衝材アスベスト使用の条件下で, 図1, B, Dの結果を合成したものである. Bと同様, 中間部でふくらんでいる. しかし, 縦方向の膨張は見られない. Cは, 混水比0.32, 緩衝材カオウル使用の条件下で, 図1, E, F, Gの結果を合成したものである. 埋没位置が中心より5mm側方にずれているためワックスパターンは, 非対称に変形しており, 量的にも比較的大きくなっている. またワックスパターン外側の一部は, リング中心と位置的に一致するが, たとえ中心部であっても,

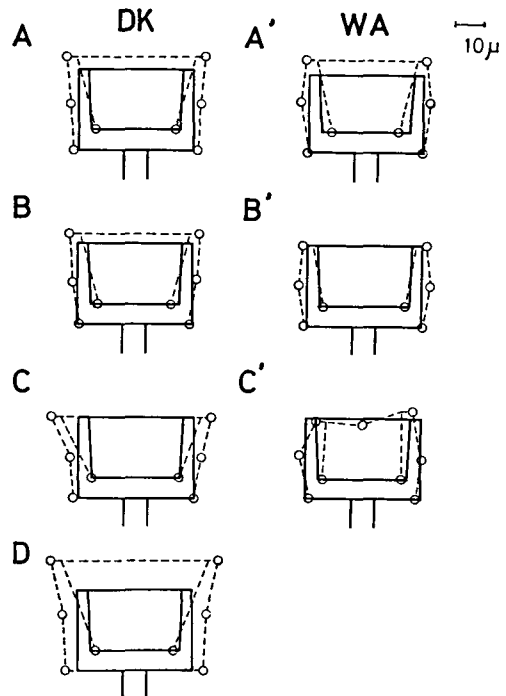


図4：各条件における, ワックスパターンの硬化時変化.

A, A'：パターン位置図1. A, W/P=0.32

B, B'：パターン位置図1. B, W/P=0.32

C, C'：パターン位置図1. E, W/P=0.32

D パターン位置図1. A, W/P=0.29

ワックスパターンが埋没されると、その位置の影響をうけている。C' は、混水比 0.32、緩衝材湿アスベスト使用の条件下で、図 1, E, F, G の結果を合成したものである。中間部で変化がない他は、硬化によって膨張するより、むしろ、圧縮されている。D は、混水比 0.29、緩衝材カオウル使用の条件下で、図 1, A, C の結果を合成したものである。混水比が小さくなっているため、変化は標準混水比 0.32 (A) と比べほぼ 2 倍になっている。しかし咬合面部内側においては、収縮傾向にある。また量的に見るとこの様な混水比においても、 10μ 以下の変化しか現われていない。

考 察

従来、鋳造体の変形の主因は、埋没材硬化時のワックスパターンの変形にあるとされてきた。しかしながら、図 4 に示したごとく、混水比を 10% 減じ硬化膨張を大きくした条件で埋没したワックスパターンは、 10μ 程度の変化しか現われていず、標準混水比においては、わずか 4μ 程度である。これは現在の鋳造体表面あらかさ等を考えると、ほとんど問題にならない量と思われる。しかし、ワックス軟化温度までではあるが、リングを加熱した場合、図 3 に示したごとく、ワックスパターンは大きく変化する。またその変化率も各部位により差が見られる。

この様な結果から、鋳造体変形の主因は、膨張の大きな加熱時変形であることを示唆している。なお、ワックスパターンの埋没材硬化時における変形の傾向は加熱時変形を推察する上で重要と考えられるので、考察を加える。変形に対する顕著な影響は、緩衝材によってワックスパターンの変形傾向が異なることである。実験結果の項で述べたように、カオウル緩衝材使用のワックスパターンは、辺縁部にむかって直線的に開き、湿アスベスト使用のワックスパターンは、中間部がふくらむ様に変形している。この違いは、両緩衝材の緩衝能力の違いに起因していると考えられる。湿アスベスト緩衝材は、埋没材の膨張を緩衝しきれず、内側に向い圧力が加わるためであろう。この傾向は、加熱時変形によりいっそう顕著に現われてくるものと思われ、緩衝材は鋳造体変形をコントロールする上で重要な因子となろう。図 5 は、アスベスト緩衝材と、カオウル緩衝材との緩衝

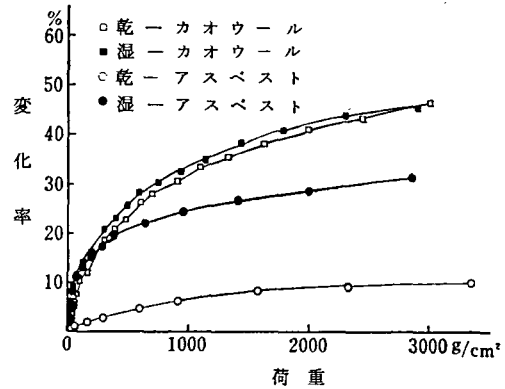


図 5：各種緩衝材の緩衝能力。

能力の比較である。カオウルはアスベストより、約 5 倍の緩衝作用を有する。

次に、ワックスパターンの埋没位置が中心よりずれると、パターンの変形は非対称になり、リングの中心と一致するパターン部分においても、変形がおこる。これは、ワックスパターンの存在により、リング内の状態が非対称になった影響と考えられる。この事は、ワックスパターンの変形はリング内埋没材の非対称性、不均一性も重要な要因であることを示している。

結 論

内径、高さ共に 40 mm のリングに、厚さ 1 mm の緩衝材を内装し、クリストバライト埋没材を使用して埋没した、フルクラウン型ワックスパターンの変形を測定した結果、以下の結論を得た。

1. 埋没材硬化時における、ワックスパターンの変形は、標準混水比においては、 4μ 程度と極めて小さい。
2. ワックスパターンの変形は、緩衝材の緩衝能力により影響を受け、均一でなく、部分的に圧縮変形もおこる。
3. ワックスパターンの埋没位置をリング中心部よりずらすと、その変形は非対称となり、その場合は、たとえリング中心部にあるワックスパターンの部分でも変形をうける。

参 考 文 献

- 1) 塚本勝彦, 小島浩資 (1968) 各種螺型採得法による寸法変化について. 愛院大歯誌, 6: 222-228.
- 2) 塚本勝彦, 大萱博司 (1969) 台釘の鋳造原型採得

- 法とその適合度について. 愛院大歯誌, 7: 250—257.
- 3) Finkbeiner, K. (1966) Der Einfluß unterschiedlicher Behandlung der Einbettmasse auf das Endmaß des Gußstückes. Dtsch. Zahnärztl. Z. 21: 498—500.
- 4) 成田洋之 (1973) 鑄造精度に関する研究 とくにその要因及び対枠条件について. 愛院大歯誌, 11: 56—105.
- 5) 成田洋之, 太田克子, 澤田武仁, 澤田康仁, 長谷川二郎, 上村晋也 (1968) 埋没材の硬化時条件が加熱時膨張に及ぼす影響. 愛院大歯誌, 6: 308—316.
- 6) 成田洋之, 太田克子, 長谷川二郎, 上村晋也 (1969) 埋没材の寸法変化について. 愛院大歯誌, 7: 35—40.
- 7) 太田克子, 成田洋之, 福井寿男, 沢田康仁, 菰田豊, 小南速雄, 長谷川二郎 (1971) 埋没材の寸法変化及び破砕強度が鑄造精度に及ぼす影響. 愛院大歯誌, 9: 32—38.
- 8) 大野弘機, 宮川修, 近藤清一郎, 中野周二, 塩川延洋 (1970) 鑄造リング内における埋没材の硬化膨張, 第1報. 歯理工誌, 11: 29—36.
- 9) 大野弘機, 宮川修, 近藤清一郎, 中野周二, 塩川延洋 (1970) 鑄造リング内における埋没材の硬化膨張, 第2報. 歯理工誌, 11: 186—191.
- 10) 大野弘機, 宮川修, 近藤清一郎, 中野周二, 塩川延洋 (1971) 鑄造リング内における埋没材の硬化膨張, 第3報. 歯理工誌, 12: 225—233.
- 11) 西岡二二夫 (1974) 鑄造時膨張変化の異方性に関する基礎的研究. 九州歯会誌, 28: 355—378.
- 12) Mahler, D. B., Ady, A. B. (1963) The influence of various factors on the effective setting expansion of casting investments. J. Pros. Dent. 13: 365—373.
- 13) Mahler, D. B., Ady, A. B. (1965) The effect of the water bath in hygroscopic casting techniques. J. Pros. Dent. 15: 1115—1121.