真空埋没の研究 (その 2)

真空埋没の鑄造体の膨縮変化と面アラサへの影響

小 野 勝

東京医科歯科大学, 第一歯科保存学教室 (主任指導: 総山孝雄教授)

(昭和 47 年 7 月 13 日受付)

Study on Vacuum Investing, Part 2.
Influence of Vacuum Investing on the Dimensional
Change and the Surface Roughness of Castings

Masaru Ono

Department of Operative Dentistry, School of Dentistry,
Tokyo Medical and Dental University
(Director: Prof. Takao Fusayama)

要旨: 真空埋没が鑄造修復物の膨縮変化と鑄肌アラサへ及ぼす影響を検討すべく, 真空および常圧下で Type III の金合金および市販銅合金を用いて, 帽冠形鑄造体の原型への適合度を測定した。また板状鑄造体の面アラサを触針法にて測定し, さらに万能拡大投影機にて肌アレの分布状態を観察した。また鑄造体面および鑄型壁の, 加熱前および加熱後の状態を走査型電子顕微鏡を用いて直接観察した。

真空埋没には Vacuum Mina を用い, 埋没材には松風クリストバライト埋没材を使用した。また鑄造に際して, 鑄型の予熱温度は, 金合金は 700°C, 銅合金は 600°C とした。

その結果次のような知見を得た。

- 1) 真空埋没を行うことによる埋没材の凝結膨張量の増加は, 粗面の影響でカバーされる程度のものであって, 鑄造体の適合試験による膨縮変化量に統計学的有意差を生じなかった。
- 2) 真空埋没法によれば, 鑄造体表面に気泡が生じなかったのみならず, より滑沢で面アレ部の少ない鑄造体を得られた。
- 3) 金合金の面アレ部は鑄造体全面に均等に散在していたが, 銅合金では主としてスプルー線の裏側に特に集中する傾向がみられた。
- 4) 埋没材鑄型壁の結晶の配列や形には加熱前後では著しい差が認められたが, 真空埋没と常圧埋没との間には明かな差が認められなかった。
- 5) 実際の臨床で真空埋没を行なう際には, 埋没材を常圧埋没と同様の混水比を用いて差支えなく, これによって表面の滑沢な適合度のよい鑄造修復物が容易に得られるものと考えられる。

緒 論

前回¹⁾の研究では真空埋没機による真空練和が埋没材に及ぼす影響が検討されたが, 真空埋没の

最終目的は鑄造修復物を容易に原窩洞に適合させることにある。そこで今回は, 鑄造修復物適合の二大因子である膨縮変化と鑄肌アラサとに対する真空埋没の影響を検討した。

鑄造修復物の原窩洞に対する膨縮変化量は主として埋没材鑄型の膨張量と金属の鑄造収縮量との相殺に支配される。この両者に影響を及ぼす原因については、これまで多数の報告²⁻¹⁶⁾がなされているが、真空埋没により、埋没材の膨張量がわずかに増大することが前回¹⁾の研究により明らかになった。しかしそれが実際の鑄造体の寸法にどのように影響するかについてはまだ確められていない。

また平滑な面を有する鑄造体を得ることは、鑄造修復物の適合精度を高め、またその露出面では仕上げ研磨に要する労力、時間を減ずるために重要な因子^{2) 3) 4)}である。鑄造体の面アラサに影響を及ぼす因子についても従来多数の報告¹⁷⁻³³⁾があるが、真空埋没による面アラサ改善の数量的な実験報告はまだ見当たらない。

そこで本研究では、真空埋没した鑄造修復物の原窩洞への適合性を常圧機械練和埋没したものと比較し、鑄造体の寸法変化と面アラサに対する影響を検討し、興味ある知見を得たのでここに報告したいと思う。

実験法

試片調整：膨縮変化量の測定のためには、全部鑄造冠を代表する帽冠形の原型（割型）を用いた（図 1，2）。蠟型の調整は、この中に加圧形成法^{2) 3) 4)}によりレッドインレーワックス（松風社製）を圧入して行なった。すなわち原型の表面にドライウェルを極めて薄く塗布し、ガーゼで清拭してから軟化したワックスを圧入し、冷却硬化するまで加圧を続け、基部のバリを切除して帽冠形蠟型を作った。この鑄型の外側はワックスの収縮によって原型からわずかに離れていたため、さらにわずかに原型内に押し進めて密着させた上で、剃刀の刃で原型と鑄型の端面を平坦に削成し、鑄型の膨縮変化の影響を除外した。完成した鑄型は直径 2 mm のスプルー線を付して円錐台に植立した。

面アラサの測定のためには、長方形にくり抜かれたプラスチック板の枠をガラス板に置き、この中に融かしたパラフィンワックスを流し込むこと

により 10×7×1.5 mm の長方形板状の蠟型を作った。ガラス板に接した面を鑄造体の試験面と定め、枠よりとり出した蠟型の裏面の一端に直径 2 mm 長さ 12 mm のスプルー線を斜に植立し（図 3）、その 2 ケを 1 ケの円錐台に植立した。

埋没に際しては総山の改良加熱膨張法^{2) 3) 4) 34)}によった。すなわち中リングを用い、石綿帯（松風社製）4 枚で裏装し、その内面および縁にワゼリンを塗布して吸水を防いだ。混水比は常圧埋没には 0.36、真空埋没には 0.36、0.37 の 2 種とし、松風クリストバライト埋没材（松風社製 Batch No. 947）を純水で練和した。真空埋没には Vacuum Mina（吉田製作所製）に付属した特製小型ミキサーによって約 720 mmHg の陰圧下に 30 秒間機械練和し、常圧に戻し、更に 5 秒間バイブレーターにかけた。常圧埋没のためには真空ポンプに連結しない上記小型ミキサーによる機械練和を 30 秒間行なった。

金属は Type III の金合金（Au 70%，Ag 15%，Cu 10%，Pt 3%，Pd 2%）と市販銅合金（Progold, No. 176B）を用い、鑄型の予熱温度は金合金では 700°C 銅合金では 600°C²⁶⁾とした。鑄造には電気融解遠心鑄造機（Jelenko 社製，Thermotrol Junior）を用い、金合金は 1020°C（融点 1000°C）、銅合金は 900°C（融点 878~890°C）で融解、鑄造に際しては、スプリングの巻数を比重の大きい金合金は 2 巻、比重の小さい銅合金は 3 巻とした。

膨縮変化の測定：膨縮変化量は、鑄造体を原型上に適合せしめ、その端面のずれを $\frac{1}{1,000}$ 読取コムパレーターで各群 10 例ずつ測定し、膨縮率を算出した。この際、各試片の原型への適合および変化量の測定は 2 回行ないその平均値を求めた。

表面アラサの測定：表面アラサは、測定面のうち特別な面アレ部を除いた平均的な面で測定した。測定には大越式アラサ検査機（縦倍率 500，横倍率 50，送り速度 1 mm/分，触針半径 5 μ ，図 4）を用いて、3 mm の範囲にわたって行い、結果はオツシロペーパーに記録し、日本工業規格に従い Hmax 法によって各群 10 例ずつのアラサ数

図 1 膨縮変化測定用金属割型
a. 外枠, b. 内枠, c. 上蓋, d. 結合枠

図 2 帽冠形試片用割型の設計, 寸法 (mm) および膨縮量算出法

値を出した。

鑄造体面の拡大観察：鑄造体の面アレの状態はいずれの試片も、試片全体が均等にアレを呈するのでなく平滑な部分と特に肌アレを生じている部分があったので、その分布状態を観察するために

試片の測定面を万能拡大投影機（日本光学社製）で20倍に拡大し、そこに3mm間隔の方眼紙を当て、ほぼ全面を覆う3520コマ中の肌アレ部のコマ数を数え、全体に対する肌アレ部の面積比を算出した。なお肌アレ部の分類にあたっては、方眼の

図 3 蠟形の寸法 (mm) とスプルー線の付着要領

半分以上を肌アレ部が占めている場合にそれを肌アレ部とみなし、各群とも10例ずつ測定した。

走査型電子顕微鏡による 金合金鑄造体面および埋没材鑄型壁の観察：アラサ検査に用いた 長方形鑄型による金合金試片と、その鑄型に接して硬まった埋没材の加熱前および700°C 加熱後の鑄型壁に金を蒸着した面とを、走査型電子顕微鏡（1000倍）で観察し、写真に記録した。

成 績

鑄造体の膨縮変化量：表1, 2は 金合金および銅合金帽冠形鑄造体の 原型に対する適合試験成績を示したものである。鑄造体面の粗面の影響量は外側および内側適合による 膨縮率の差を2分して算出した。

内側値は金合金、銅合金とも埋没法および混水比の違いによる差を示さなかったが、外側値は金合金、銅合金とも常圧練和したものが小さい平均値を示した。しかしその差は統計学的に有意でなかった。また真空埋没した場合の混水比の違いによる膨縮率の差は見られなかった。

粗面の影響は、金合金、銅合金とも真空練和埋没したものの方が常圧練和埋没したものよりも明らかに小さかった。

鑄造体の表面アラサ：表3, 4は板状試片の表面アラサ 測定成績を示すものである。金合金、銅合金とも常圧練和したものが、真空練和したものよりも面アラサが大きく、その差は統計的に有意であった。真空練和した場合の混水比の違いに

図 4 大越式アラサ検査機

表 1 金合金帽冠形鑄造体の適合試験成績

埋 没 法			原窩洞に対する寸法変化 (%)			粗面の影響	
混水比	練和法	埋没法	外側値	内側値	外内差	%	μ
0.36	機械	常圧	-0.24(± 0.05)	-0.49(± 0.05)	0.25	0.13	6
0.36	機械	真空	-0.29(± 0.06)	-0.48(± 0.06)	0.19	0.10	4
0.37	機械	真空	-0.29(± 0.06)	-0.47(± 0.09)	0.18	0.09	4

表 2 銅合金帽冠形鑄造体の適合試験成績

埋 没 法			原窩洞に対する寸法変化 (%)			粗面の影響	
混水比	練和法	埋没法	外側値	内側値	外内差	%	μ
0.36	機械	常圧	-0.22(± 0.12)	-0.51(± 0.07)	0.29	0.15	7
0.36	機械	真空	-0.29(± 0.06)	-0.51(± 0.06)	0.22	0.11	5
0.37	機械	真空	-0.29(± 0.06)	-0.49(± 0.08)	0.20	0.10	4

表 3 金合金板状試片の面アラサと面アレ部の広さ

埋 没 法			平滑部の面アラサ	面アレ部の広さ (3520コマ中の面アレ部のコマ数)
混水比	練和法	埋没法	(μ)	
0.36	機械	常圧	2.56(± 0.52)	45.8(1.3%)
0.36	機械	真空	1.63(± 0.34)	37.3(1.1%)
0.36	機械	真空	1.99(± 0.54)	35.7(1.0%)

よる面アラサの差はみられなかった。

鑄造体面の面アレ部の広さ：表 3, 4 は鑄造体試片面全体に対する面アレ部面積の割合の比較である。金合金、銅合金とも常圧練和したものが真空練和したものよりも広い面アレ部を示し、その差は統計学的に有意であった。しかし真空練和した場合の混水比の違いによる面アレ部の面積の差は認められなかった。鑄造体試片での面アレ部の分布状態は金合金では試片全体に散在し、特定の部分に集中するという傾向はみられなかったが、銅合金では一般にスプルー付着部裏面に特に集中する傾向がみられた。

走査型電子顕微鏡による観察成績：図 5 は埋没材よりとり出したままの金合金鑄造体表面の走査型電子顕微鏡写真である。写真上にみられる小さな黒い斑点は鑄巣であるが、常圧練和したものにより多く認められた。また表面の状態も常圧練和

表 4 銅合金板状試片の面アラサと面アレ部の広さ

埋 没 法			平滑部の面アラサ	面アレ部の広さ (3520コマ中の面アレ部のコマ数)
混水比	練和法	埋没法	(μ)	
0.36	機械	常圧	2.80(± 0.67)	78.1(2.2%)
0.36	機械	真空	1.86(± 0.59)	63.8(1.8%)
0.37	機械	真空	1.84(± 0.28)	65.6(1.9%)

したものの方が凹凸がやや著しかった。

図 6 は、上段は加熱前の、下段は700°C へ加熱した後の埋没材鑄型壁の走査型電子顕微鏡写真である。加熱前の鑄型壁には石膏と思われる針状結晶による明瞭な網状構造が認められたが、加熱後には結晶がやや太くなって針状が不明確になり互いに融着していた。このように、加熱前のものと加熱後のものの違いは著しかったが、埋没法あるいは混水比の違いによる明らかな相違は認められなかった。

考 察

1. 膨縮変化について

鑄造修復物の適合度に関してこれまで主として論じられてきたのは、埋没材鑄型の膨張量や金属の鑄造収縮量に関連した寸法精度である。しかし実際にはこの他に、鑄造体の粗面の影響を見逃す

図 5 金合金鑄造体表面の走査型電子顕微鏡写真 (×1000)
左. 混水比0.36常圧練和埋没, 中. 混水比0.36真空練和埋没, 右. 混水比0.37真空練和埋没

図 6 埋没材鑄型壁の走査型電子顕微鏡写真 (×1000)
上段. 加熱前, 下段. 加熱後, 左. 混水比0.36常圧練和, 中. 混水比0.36真空練和, 右. 混水比0.37真空練和

ことができない^{2) 3) 4)}。そして鑄型を真空埋没すると平滑な鑄肌を持つ鑄造体が得られると言われてきたが^{22) 23) 24) 29) 30)}, その適合度への影響を数量的に検討した報告は見当らない。本研究においては, 埋没材の練和法を常圧と真空とに変えることにより金合金および銅合金の帽冠形鑄造体の原窩

洞への適合度を測定比較したが(表1, 2), 真空埋没法を行なうことにより粗面による適合度の狂いが減ぜられることが明らかとなった。

すなわち, 本研究では同一の帽冠形鑄造体の内側面と外側面とで適合試験が行なわれ, その浮き沈みより換算して原窩洞に対する膨縮変化量が内

側値および外側値として出されたのであるが、それらの数値においては常圧埋没と真空埋没との差は僅少で統計学的に有意差とはならなかった。前回¹⁾の研究では真空埋没すれば埋没材の膨張量がわずかに増加することが見られたが、本実験の適合度に関しては、各群の平均値の間にもそれと傾向的に一致する差が認められなかった。したがって前回の実験で認められた程度の埋没材膨張量の変化は鑄造体の適合度の上に問題となるほどのものではないことが判った。

ところが内側値と外側値との内外差には金合金鑄造体と銅合金鑄造体とに共通した傾向の差が明らかに認められ、真空埋没のそれは常圧埋没のそれよりも小さかった。これは鑄造体の面アレのために、鑄造体の固有の膨縮変化量に対して外側適合ではそれよりも大きく測られ、内側適合ではそれよりも小さく測られるためであって、真空埋没ではかような面アラサの影響が小さかったものと考えられる。鑄造体の外側値が大きくなり、内側値が小さくなることは修復物の原窩洞への適合を難しくしようとする因子であるから、真空埋没によってこれが小さくなったことは、それによっていっそう適合しやすい鑄造物が得られることを意味する。

2. 面アラサについて

実際に鑄造体の面アラサを測定してみると、埋没材を真空練和することは、単に鑄造体面の気泡発生を防ぐだけでなく、鑄造体の面そのものがより平滑で肌アレの少ないものとなることが知られた(表3, 4)。

鑄造体の面アラサに影響を及ぼす因子について従来種々の報告があり¹⁷⁻³³⁾、特に Joseph²²⁾、O'Brien および Nielsen²³⁾、あるいは樋口³³⁾等は鑄型温が面アラサに及ぼす影響をそれぞれ報告し、奥田²⁶⁾は鑄型温を種々変えた結果の金属の肌アレ、面アラサを観察し、それらが金属の種類によって著しく変ることを報告した。また山根²⁷⁾は、金属の、鑄型壁への浸透現象あるいは焼着現象に起因する面アラサが鑄造の用具、条件によってかなり変わることを報告している。しかし、本研究に

おいては一貫して同一の金属および埋没材を同一の条件下で使用しているので、金属の、埋没材壁への浸透あるいは焼着現象の差があったとは考えられない。従って本研究における真空埋没と常圧埋没との面アラサの差は鑄型壁と金属との関係の差によるものではなく、鑄型壁の面アラサの差がそのまま鑄造体の面アラサの差として現われたものと思われる。これまで多くの人々が埋没材を真空練和すると容易に滑沢な面を持つ鑄造体が得られると報告^{22) 23) 24) 28) 29) 30)}しているが、これらは本研究の結果とよく一致し、その理由も同様のものであると考えられる。

つぎに、金合金と銅合金の面アレ部の分布状態が極めて対照的であったが、これは金属自体の特性²⁶⁾によるものであろう。すなわち、金合金の面アレは鑄造体表面全体に散在していたが、銅合金では主としてスプルー線の裏側に特に集中した。この相違は、先に奥田が説明したように²⁶⁾金合金が銅合金よりも埋没材との接着性に富むことに起因すると思われる。すなわち、鑄型に流入された熔融金属が凝固収縮する際に、埋没材鑄型壁と接着性の強い金合金は鑄型壁に全面的にはりついた状態で固まるので鑄造体全体に均等微細な凹凸が生じ、部分的に大きな陥没を生ずることはない。ところが銅合金では鑄型壁に対する接着性がそれ程強くないのでこの凝固収縮が、比較的凝固の遅いスプルーに近い部分に集中して起こると、その部分で金属の鑄型壁からの部分的剝離が起り、その結果スプルー線裏側での集中した面アレを生じたものと考えられる。なお鑄型壁によって全面的に妨げられた金合金の凝固収縮は subsurface porosity (表面下鑄巣) により補なわれたと奥田²⁶⁾は指摘している。

埋没材鑄型壁の加熱前と加熱後の走査型電子顕微鏡像をみると(図6)、加熱前と後との間には著しい差が見られたが、常圧埋没と真空埋没との間には結晶の形や密度の差は認められず、混水比を減じた時結晶がやや緻密になったのみである。従って真空埋没は埋没材の結晶間隔を縮めて緻密にするほどのものでなく、単に壁面をいっそう滑沢

にする効果をもつものと判断される。

これら鑄造体の膨縮変化および面アレの問題を総合して考えると、前回の研究¹⁾で認められた真空練和による埋没材の凝結膨張量のわずかな増加は、面アラサの減少により充分に補なわれることが明らかになったので、真空埋没であっても常圧のときと同一の混水比を用いてよく、これによって表面の滑沢な適合しやすい鑄造修復物をいっそう容易に作り得ることが明らかとなった。

総括ならびに結論

真空埋没が鑄造修復物の膨縮変化と鑄肌アラサへ及ぼす影響を検討すべく、真空および市販銅合金を用いて、帽冠形鑄造体の原型への適合度を測定した。また板状鑄造体の面アラサを触針法にて測定し、さらに万能拡大投影機にて肌アレの分布状態を観察した。また鑄造体面および鑄型壁の、加熱前および加熱後の状態を走査型電子顕微鏡を用いて直接観察した。

真空埋没には Vacuum Mina を用い、埋没材には松風クリストバライト埋没材を使用した。また鑄造に際して鑄型の予熱温度は、金合金は700°C、銅合金は600°C とした。

その結果次のような知見を得た。

1) 真空埋没を行なうことによる埋没材の凝結膨張量の増加は、粗面の影響でカバーされる程度のものであって、鑄造体の適合試験による膨縮変化量に統計学的有意差を生じなかった。

2) 真空埋没法によれば、鑄造体表面に気泡が生じなかったのみならず、より滑沢で面アレ部の少ない鑄造体が得られた。

3) 金合金の面アレ部は鑄造体全面に均等に散在していたが、銅合金では主としてスプルー線の裏側に特に集中する傾向がみられた。

4) 埋没材鑄型壁の結晶の配列や形には、加熱前後では著しい差が認められたが、真空埋没と常圧埋没の間には明らかな差が認められなかった。

5) 実際の臨床で真空埋没を行なう際には、埋没材を常圧埋没と同様の混水比を用いて差支えな

く、これによって表面の滑沢な適合度のよい鑄造修復物が容易に得られるものと考えられる。

謝 辞

稿を終るにのぞみ、終始御指導御校閲をいただきました総山孝雄教授に謹んで感謝の意を表します。また種々の御助言御協力をいただきました本学第一理工学教室の野本直教授ならびに教室員各位、本学医用器材研究所無機材料部の方々、ならびに本学第一歯科保存学教室の教室員各位に心からお礼申し上げます。

引用文献

- 1) 小野勝：真空埋没に関する研究(その1)、真空埋没による埋没材の物理的性質の変化、口病誌、37: 4, 287-294, 1970.
- 2) 総山孝雄：精密鑄造に関する研究、齒材器誌、7: 34-55, 1962.
- 3) Fusayama, T.: Factor and Technique of Precision Casting, Part I and II, J. Pros. Dent., 9: 468-485, 1959.
- 4) Fusayama, T.: Synthetic Study on Precision Dental Casting, Bull. Tokyo M.D. Univ., 11: 165-205, 1964.
- 5) 井手喜美子：インレー用金属の鑄造収縮について(第2報)、純金および各種金合金の鑄造収縮ならびに軟化点までの加熱膨張との関係について、口病誌、27: 1, 63-71, 1964.
- 6) 総山孝雄、井手喜美子：各種インレー合金の鑄造収縮に関する実験、齒材器誌、4: 113, 1959.
- 7) 井手喜美子：インレーの鑄造収縮について、口病誌、27: 2, 132-139, 1960.
- 8) Fusayama, T. and Ide, K.: Casting Shrinkage of Casting Dental Alloys, Bull. Tokyo M. and D. Univ., 7: 429-438, 1960.
- 9) 河野篤：連結修復物の鑄造収縮について、口病誌、35: 2, 265-274, 1968.
- 10) Price, W. A.: The Laws Determining the Behavior of Gold in Fusing, D. Cosmos, 53: 282, 1911.
- 11) Shell J. S.: Gold Casting with Special Reference to Cast Inlay, J.A.D.A. 10: 182-200, 1923.
- 12) Coleman, R. L.: Physical Properties of Dental Material, D. Cosmos, 68: 743, 1926.
- 13) Hollenback, G. M. and Skinner, E. W.: Shrinkage during Casting of Gold Alloys, J.A.D.A., 33: 1391-1399, 1946.
- 14) 細田裕康、鈴木昭雄：埋没材の冷却再加熱について、齒材器誌、4: 120-122, 1959.
- 15) 細田裕康、三森紀夫：埋没材の加熱時期と加熱膨張量との関係、齒材器誌、4: 117-119, 1959.

- 16) 小堀潔, 河野篤: クリストパライト埋没材の加熱冷却, 再加熱による膨縮変化, 歯材器誌, 16: 40-46, 1967.
- 17) Pomes, C. E., Slack, G. E. and Wise, M. W.: Surface Roughness of Dental Castings, J.A.D.A., 41: 545-556, 1950.
- 18) 巖真教, 桜井貞雄, 宮治俊幸: 遠心鑄造か? 圧迫鑄造か? 各種鑄造法による小型鑄造の成績について, 歯材器誌, 1: 35-37, 1952.
- 19) 稗田豊治, 池田青磁郎, 坂光市, 初山光男: 金属 Inlay 体表面アラサの触針法による定量的観察, 保存学誌, 2: 315-317, 1959.
- 20) 加藤一男, 吉田恵夫: 歯科用埋没材に関する研究(珪砂粒と鑄肌粗さとの関係), 理工学誌, 1: 58-66, 1960.
- 21) 吉田敏宏: 歯科用埋没材の理科学的試験および金属鑄造体の表面粗さ試験, 歯科月報, 34: 301-329, 1960.
- 22) Joseph, J. B., Richard, L. H. and Dickson, G.: Surface Roughness of Gold Castings, Dent. Progress, 1: 78-84, 1961.
- 23) Hollenback, G. M.: Surface Roughness of Dental Casting, J. South California D. A., 30: 309-313, 1962.
- 24) Hollenback, G. M.: Comparative Accuracy of Three Methods of Dental Castings, J. South California D. A., 30: 369, 1962.
- 25) Custer, Frederie, Drimer: Porosities in Dental Gold Castings: ii Effect of Various Casting Apparatus, J. Missouri D. A., 47, 9, 15-20, 1967.
- 26) 奥田礼一: 鑄型温の鑄造体面アラサに及ぼす影響, 口病誌, 35: 3, 465-477, 1968.
- 27) 山根通裕: 各種鑄造機による合金金鑄造体の面アラサ, 歯材器誌, 23: 23-28, 1970.
- 28) Hollenback, G. M.: Simple Technic for Accurate Castings: New and original method of vacuum investing, J.A.D.A., 36: 391-397, 1948.
- 29) Phillips, R. W.: Relative Merits of Vacuum Investing of Small Castings as Compared to Conventional Methods, J. D. Res., 16: 243-352, 1947.
- 30) Lyon, H. W.: Effectiveness of Vacuum Investing in the Elimination of Surface Defects in Gold Castings, J.A.D.A., 46: 197-198, 1953.
- 31) 千々岩健児: 鑄造工学, 東京, 1966, 朝倉書店, pp. 166-203.
- 32) O'Brien, W. J. and Nielsen, P. J.: Decomposition of Gypsum Investment in the Presence of Carbon, J.D.R., 38: 541-547, 1959.
- 33) 樋口達也: 石膏系埋没材の熱分解に関する研究, 第一報, 口病誌, 34: 217-224, 1967. 第二報, 口病誌, 34: 424-432, 1967.
- 34) 河野篤, 岩久正明, 小野勝: 真空埋没法, 歯科臨床技術講座, pp. 613-626, 東京, 医歯薬出版, 1969.