

チタンの鋳造における鋳込み時間の測定

大川 成剛 渡辺 孝一 宮川 修 中野 周二
本間 ヒロ 塩川 延洋 小林 正義*

新潟大学歯学部歯科理工学教室

(主任: 塩川 延洋 教授)

*新潟大学分析センターEMX室

(室長: 塩川 延洋 教授)

Measurement of the casting time of titanium
by the centrifugal system and pressure system

Seigo OKAWA, Kouichi WATANABE, Osamu MIYAKAWA,
Syuji NAKANO, Hiro HONMA, Nobuhiro SHIOKAWA
and Masayoshi KOBAYASHI*

Dental Materials and Technology, School of Dentistry, Niigata University
(chief: Prof. Nobuhiro SHIOKAWA)

**EMX Laboratory, Niigata University*
(Chief: Nobuhiro SHIOKAWA)

Key Words : Dental titanium casting, Centrifugal casting unit
Pressure—differential casting unit, Casting time,

Abstract

The aim of this study was to measure the casting time of titanium casting into the coil pattern by means of thermocouple method using either the centrifugal casting unit or pressure—differential casting unit. The following results were obtained.

(1) With centrifugal casting unit, the more the spring prewinds, the shorter was the casting time. In the case of coil pattern of 4 mm in diameter and at room temperature mold, for example, the casting time was 0.03 sec at 35 spring prewinds.

(2) With pressure—differential casting unit, the casting time was scattered from 0.05 to 0.09 sec under the casting pressure of 1.4kg/cm², for example, when pattern diameter was 4 mm and the mold temperature was about 500 to 700°C. On the contrary, in the case of 2 mm diameter coil pattern and 500 to 700°C mold, the higher the pressure the shorter was the casting time.

In conclusion, the casting time by the centrifugal casting unit is half as short as that of the pressure—differential casting unit under the manufacture's instruction.

要 旨

チタン鑄造用遠心鑄造機および差圧鑄造機で純チタンを鑄造した場合の鑄込み時間を熱電対法により測定し、次の結果が得られた。

(1) チタン用遠心鑄造機(チタニウマー、オハラ)では、バネ巻回数が多いほど鑄込み時間は短くなった。バネ巻回数35、室温鑄型、4φのコイル状パターン(全長200mm)では鑄込み時間は0.03 secであった。

(2) チタン用差圧鑄造機(サイクラーク、モリタ)では、高温鑄型、4φのコイル状パターンでは鑄込み時間は0.05~0.09 secであった。また、高温鑄型、2φのコイル状パターンでは鑄造圧が高くなると鑄込み時間はそれにもとない短くなった。

以上の結果から、それぞれメーカー指定の鑄造条件で比較すると、鑄込み時間は遠心鑄造の方が短かった。しかし、チタンを鑄造するさいの鑄造条件や鑄造原理が異なっているので、鑄込み時間の優劣からただちに鑄造機、鑄造条件の優劣を決定することは適当でないと考える。また、鑄造体の品質評価、つまり鑄造欠陥や寸法適合性などについてもさらに検討する必要がある。

1. 緒 言

チタンは生体との親和性に優れることから、補綴物として利用することが検討され、臨床の評価も行われている¹⁾。この場合、補綴物はほとんど鑄造により作製されるが、現在、チタンを鑄造する主な方法は遠心鑄造と差圧鑄造である²⁾。チタンは融点が1668℃と高いため³⁾、他の歯科用合金と比べ凝固時間がかかなり短いことが予想されるので、鑄込み時間を短くする必要がある。鑄込み時間についてはかなり以前から多数報告されており、キモグラフ⁴⁾、高速カメラ⁵⁾、電気接点法⁶⁾、シンクロスコープによる方法⁷⁾等により鑄込み完了時間(鑄型全体を溶湯が満たす時間)が測定され、結果は一般に加圧式鑄造のほうが遠心鑄造より鑄込み完了時間が短いとされている⁷⁾。しかし、実験条件や測定方法がそれぞれ異なっているので、実験結果をそのまま比較することは問題があろう。

また、チタン用遠心鑄造機の回転特性は従来の遠心鑄造機とはかなり異なっており⁸⁾、従来の鑄造機と鑄込み能力を単純に比較することはできないと思われる。そこで改めてチタン鑄造用の遠心鑄造機と加圧式鑄造機(ここでは差圧式を用いているので、以下差圧鑄造機と呼ぶ)により、チタンをコイル状のパターンに鑄造した時の鑄込み時間を測定し、比較検討することにした。

2. 測定方法

2.1 鑄込み時間測定用パターンの形状と埋没条件 2φ mm または 4φ mm のレディーキャスト

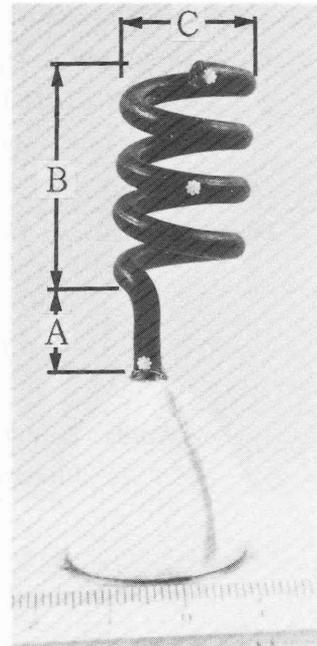


Fig.1 Coil pattern for measuring the casting time
* : Position of the thermocouple attached

Diameter	A	B	C
2 φ	10	25	15
4 φ	10	32	19

(mm)

Table 1 Dimension of A, B and C showed in Fig. 1

Investment	Titanium Vest*	Titavest PS [§]
Direct Vent	1 ϕ mm	—
Distance from the wax pattern to the upper edge of the ring	5-10 mm	5-8 mm
Curucible	Hole sprue	Sprue base JM60
Mold temperature in casting	Room temperature	High temperature [#] (500 - 700 °C) Room temperature ^{&}
Casting unit	Titaniumer*	Cyclarc [§]

*:OHARA

§:MORITA

#:The manufacture's instruction is 600 °C .

&:Not manufacture's instruction

Table 2 Conditions of the mold

ングワックス（ジーシー：全長200 mm）を用いて、Fig. 1 に示すように長さ10 mm のスプルー部とコイル部からなるワックスパターンを作製した。コイル部の寸法を Table 1 に示した。また、埋没材、埋没後の処理および加熱条件等はメーカーの指定に従い、その他の条件も含めて Table 2 に示した。鑄造時の鑄型の重さは、遠心鑄造の場合約200 g であった。

2.2 鑄込み時間の測定

鑄込み時間の測定には熱電対を用いた。すなわち溶湯の到達時間を知るために、コイル状パターンの両端（全部）と中間点（一部）に熱電対の接点を埋め込んだ。熱電対は直径0.65 mm、長さ50 mm の K 熱電対を用い、鑄造時に熱起電力の立ち上がり部を記録（渡辺測器：マルチコーダ MC 6735、記録速度120 mm/min）して、入口接点から末端接点に到達するまでの時間を鑄込み時間とした。また、100%鑄込まれない場合は、入口接点から中間接点に到達するまでの時間を求めた。使用した熱電対は、鑄型の加熱温度には耐えるがチタン溶湯には一部分溶かされる。しかし、到達時間は温度が急上昇する時間が分ればよく、温度そのものの測定ではない。

測定は3回行い平均値を求めたが、ばらつきの大きかった一部については測定値そのままを示した。

2.3 鑄造機の改良

熱起電力を計測するために鑄造機の一部を改良した。遠心鑄造機チタニウマー（オハラ：OAC-500-T25）の場合は Fig. 2 に示すように回転軸にブラシ式の接触端子を取り付け、差圧鑄造機サイクラーク（モリタ：CS-C1）の場合は Fig. 3 に示すように鑄込み室の外蓋を改良してそれぞれ熱電対からの導線を外部に取り出して熱起電力を記録できるようにした。

2.4 溶解および鑄造条件

遠心鑄造機の場合、クルシブルにつけた印が真上になるように鑄型をセットした。次にアルゴンガス流量を15 l/min とし、10秒間アルゴンガスを流した後、170~180 A の溶解電流で40 g の純チタンインゴットを溶解した。溶解開始から50~60秒後に鑄造した。差圧鑄造機は190 A の溶解電流で31 g の純チタンインゴットを溶解した。溶解開始から60秒後に鑄造した。

鑄造時の鑄型の温度は遠心鑄造の場合、室温とし、差圧鑄造の場合は500~700°C（メーカー指定温度は600°C）および室温（メーカー指定外）とした。また、遠心鑄造の場合はバネの巻回数を変えることにより遠心力の大きさを変えたが、差圧鑄造機の場合はアルゴンボンベの圧力を調節するか、鑄型を貫通筒にセットする程度（鑄型と貫通筒の密着性を変える）を変えるかにより鑄造圧を変えた。

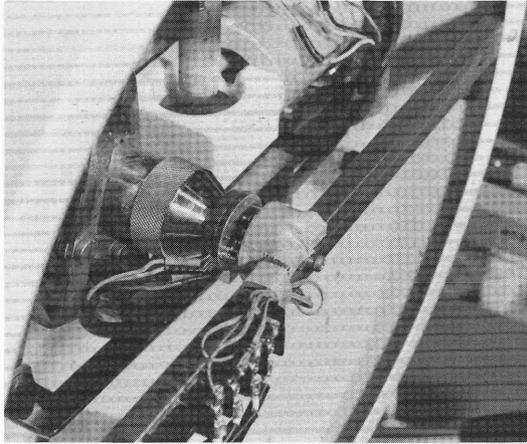


Fig. 2 The rotational axis contact the brush and the lead wires (centrifugal casting unit)

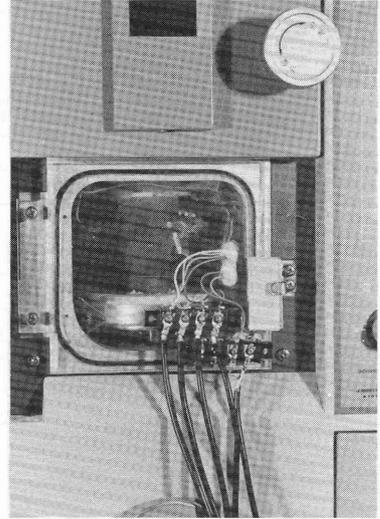


Fig. 3 The lead wires from the casting room (pressure-differential casting unit)

3. 測定結果

3.1 鑄込み率

まず、パターンのどこまでチタン溶湯が到達しているかを鑄込み率として求めた。遠心鑄造の場合、4φのコイル状パターンはバネ巻回数15以上で、2φのコイル状パターンではバネ巻回数30以上でそれぞれ100%鑄込まれた。差圧鑄造においては、高温鑄型への鑄造では2φ、4φのコイル状パターンとも鑄造圧力1.2、1.3および1.4kg/cm²で100%鑄込まれたが、室温鑄型の場合は4φのコイル状パターンでは1.0と1.2kg/cm²で100%鑄込まれたが、2φのコイル状パターンでは鑄造圧1.3kg/cm²で75~95%の鑄込み率であった。

3.2 遠心鑄造機の場合の鑄込み時間

遠心鑄造機の場合のバネ巻回数と鑄込み時間の関係を Fig. 4 に示す。4φのコイル状パターンに鑄造した場合、バネ巻回数15の時の鑄込み時間は0.15 sec で、バネ巻回数38では0.035 sec であった。鑄込み時間を Y、バネ巻回数を X とすると、 $15 \leq X \leq 35$ では $Y = 0.24 - 0.006 X$ 、 $r = -0.99$ なる関係が求められた。

2φのコイル状パターンを使用した場合は、バ

ネ巻回数30で鑄込み時間は0.65 sec、バネ巻回数35では0.025 sec であった。遠心鑄造の場合には高温鑄型での実験は行なっていない。なぜならば、鑄型温度が高くなるとチタン溶湯と鑄型材との反応により形成される反応層が厚くなるという宮川ら⁹⁾の報告があるからである。しかし、鑄型を高温にすれば鑄込み時間はさらに短くなると予想できる。

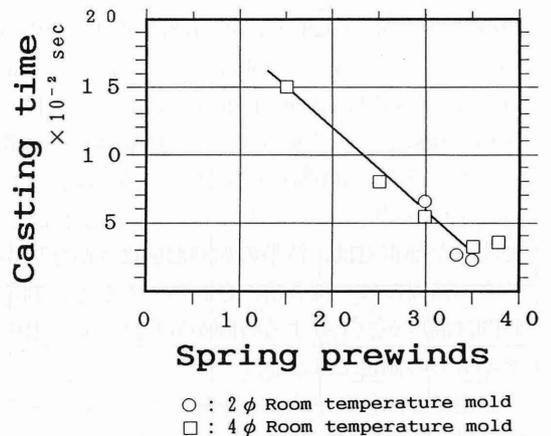


Fig. 4 Relation between the casting time and spring prewinds (centrifugal casting unit)

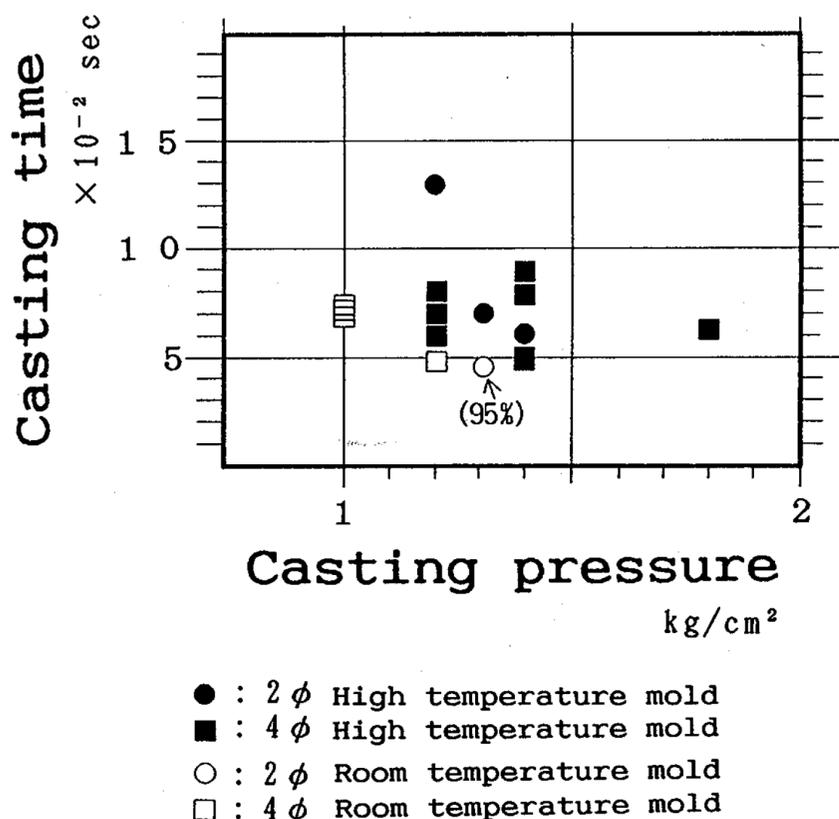


Fig. 5 Relation between the casting time and casting pressure (pressure-differential casting unit)

3.3 差圧鋳造機の場合の鋳込み時間

差圧鋳造機の場合の結果を Fig. 5 に示す。高温鋳型に鋳造した場合、2φのコイル状パターンでの鋳込み時間は、鋳造圧1.2kg/cm²では0.13 sec、1.3kg/cm²では0.07 sec、1.4kg/cm²では0.06 secであった。鋳造圧が大きくなると鋳込み時間は短くなっている。4φのコイル状パターンの場合、鋳込み時間のばらつきが大きく、鋳造圧1.2kg/cm²では0.06~0.08 sec、1.4kg/cm²では0.05~0.09 secで図には測定値をそのまま示した。なお、鋳造圧1.8kg/cm²での鋳込み時間は追加実験により得られたものである。

差圧鋳造機による室温鋳型への鋳造実験はメーカー指定外であるが遠心鋳造機との比較のために行った。結果は4φのコイル状パターンの場合、鋳造圧1.0kg/cm²では約0.065 secで、1.2kg/cm²では0.05 secであった。また、2φのコイル状パターンの場合鋳造圧1.3kg/cm²では前述のように100%鋳込むことはできなかったが、中間点までの鋳込み時間は0.045 secであった。

4. 考察

4.1 鋳込み時間の測定について

熱電対法による鋳込み時間の測定は、電気接点

法⁶⁾と類似している。しかし、チタンの場合溶湯温度が約1800~1900℃と推定されるので、電気接点法では導線がチタン溶湯により溶断されるため測定できなくなるおそれがある。そこで、熱電対により熱起電力を検出し、溶湯の到達時間から鋳込み時間を求めた。ただし、溶湯が連続的にとぎれることなく流入し、完全にパターンを満たしているかどうかは不明であるから、厳密には鋳込み完了時間とは言えないが、それほど差はないであろう。この熱電対による鋳込み時間の測定法は簡便であり測定点を自由に選べる特徴がある。

差圧鋳造機では熱電対の導線を機外に引出すことは比較的簡単である。しかし、遠心鋳造機の場合には回転体から信号を取り出す必要があり、ブラシの接触によるノイズの発生等の問題もあるが、温度の測定ではなく、熱起電力の立ち上がり時間を正確に記録できさえすればよいので、特に困難はない。

4.2 使用したコイルパターンについて

鋳込み時間の測定には臨床でのパターンと同様な体積、表面積をもったパターンで測定することが望ましい。しかし、一般には実験しやすいパターンにより鋳込み時間を求めている¹⁰⁾。コイル状パターンを採用した理由は鋳込み率を同時に求めうることと、チタンの湯流れを一方向に規制できるためである。しかし、溶湯はコイル内を回転しながら進むことになり、これは傾斜のあるパイプ内を流れる流体と同じで、遠心鋳造の場合流れ方向に働く力は遠心力の分力の一部で、大部分はパイプの壁に垂直な分力であるのに対し、差圧鋳造の場合の圧力は全部流れ方向に働くことになるので、湯の流れ方に大きな差があると考えられる。事実、渡辺ら¹¹⁾はチタンの湯流れの研究から、コイル状パターンではないが、遠心鋳造では湯の流れが乱流になり易く、差圧鋳造では層流になり易いことを明らかにしている。このように湯の流れ方の本質的な相違は鋳込み時間にも大きく影響するので、遠心鋳造の場合、遠心力が作用する方向に溶湯が流れるようにスプルーやパターンの形状・方向・位置などを選定することにより、層流が得られるようにしないと、差圧鋳造との厳密な比較

はできないともいえる。

4.3 遠心鑄造機と差圧鑄造機の鑄込み時間の違いについて

遠心鑄造機の場合、バネ巻回数が多くなれば回転数、したがって遠心力が大きくなるので鑄込み時間は短くなっている。しかし、4 ϕ のコイル状パターンの場合にはバネ巻回数38で鑄込み時間が35巻回数とほとんど変わっていないこと、また、2 ϕ のコイル状パターンの場合にはバネ巻回数30のときは4 ϕ のコイル状パターンに比べて鑄込み時間が多少長い、バネ巻回数33と35とでは逆に4 ϕ のコイル状パターンより短くなっていることなど、すっきり説明できない点もある。

差圧鑄造機による高温鑄型の場合、2 ϕ のコイル状パターンでは鑄造圧が大きくなると鑄込み時間は短くなっており、黒田ら⁷⁾の測定結果と一致している。しかし、4 ϕ のコイル状パターンでは1.2kg/cm²でも1.4kg/cm²でも鑄込み時間のばらつきが見られ、鑄造圧が高くなっても鑄込み時間は短くなっていない。これについては、鑄型の通気度により鑄込み時間が影響されるという報告¹²⁾があるので、通気度がまちまちであったことも一因と考えられる。なお、遠心鑄造の場合は貫通したベントをパターンに付与してあるので、背圧や通気度は問題にならない。

メーカー指定の条件で遠心鑄造機（室温鑄型）と差圧鑄造機（高温鑄型）の鑄込み時間を比較すると、遠心鑄造機の方が差圧鑄造機の約1/2になっている。これは黒田ら⁷⁾の従来の歯科鑄造における測定結果とは逆である。ここで用いたチタン鑄造用に開発された差圧鑄造機の場合、鑄造圧は1.2~1.5kg/cm²であり従来の同方式の鑄造機とほぼ同じである。しかし、鑄造圧をかなり大きくした別の加圧式のチタン鑄造機の開発も研究されている。¹³⁾ 差圧鑄造では鑄造圧ばかりではなく、鑄型の通気度も重要で、これが毎回異なるようでは安定した結果は期待できない。通気度はパターンの大きさや形状、埋没する位置、鑄型の大きさや鑄型材の種類と混液比等により変わるため、それを一定にすることは難しい。このことは鑄込み時間にばらつきを生じさせる因子でもある。チタン

鑄造では最初に鑄型に接して凝固した溶湯が殻を作ってしまうので、通気度はそれほど重要ではないということも考えられるが、鑄型の通気度と鑄込み時間の関係については、ことに差圧鑄造の場合は検討する必要がある。一方、遠心鑄造機はバネ巻回数を多くし、大きい遠心力を鑄込み時に作用させるように設計されており、従来の遠心鑄造機による湯流れと異なることも明らかになってきているので、単に鑄込み時間だけでなく流体力学的な検討も合わせて考える必要がある。

4.4 鑄込み時間の評価

熱電対による到達時間の測定は厳密には鑄込み完了時間を測定したことにはならないが、溶湯の到達時間が早いと鑄込み完了時間も早くなるので本報で測定した値が指針となる。パターンの体積が非常に小さい場合ほぼ鑄込み完了時間に等しいとみなせる。

チタン用に開発された遠心鑄造機は、従来の遠心鑄造機とは立ち上がり時間等においてその特性が異なっているので、従来の遠心鑄造機概念を当てはめることはできないと考える。また、チタンを鑄造するさいの鑄造方法や鑄造機構がそれぞれ異なっているので、本報の結果からただちに鑄造機、鑄造方法の優劣を決定することは好ましくないと考える。さらにこれらの鑄造方法で鑄造した場合の鑄造欠陥についての詳細な検討を含めて総合的に判断する必要がある。

5. 結 論

チタン用遠心鑄造機および差圧鑄造機におけるチタンの鑄込み時間を熱電対法により測定し、次の結果を得た。

- (1) チタン用遠心鑄造機では、バネ巻回数が多いほど鑄込み時間は短くなる。バネ巻回数35、室温鑄型、全長200 mm、4 ϕ のコイル状パターンの場合鑄込み時間は0.03 secであった。
- (2) チタン用差圧鑄造機の場合、高温鑄型、全長200 mm、2 ϕ のコイル状パターンでは鑄造圧が高くなると鑄込み時間はそれにもとない短くなっていたが、4 ϕ のコイル状パターンの場合はばらつきが見られ、鑄造圧が高くなっ

ても鑄込み時間はほとんど変わらず、鑄造圧 1.4kg/cm^2 での鑄込み時間は $0.05\sim 0.09\text{ sec}$ であった。

- (3) 遠心鑄造機と差圧鑄造機による鑄込み時間を、メーカー指定の鑄造条件で比較すると、遠心鑄造は差圧鑄造の約 $1/2$ であった。

付 記

本論文の要旨は平成2年度新潟歯学会第2回例会(平成2年11月17日、新潟市)、第4回歯科チタン研究会(平成3年1月18日、東京)において発表した。

謝 辞

本研究中いろいろとご助言を賜った京都大学名誉教授井田一夫先生に厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) 三浦維四, 井田一夫編: チタンの歯科利用. 第V章 チタンの補綴物としての利用. 161-212, クインテッセンス出版, 東京, 1988
- 2) 三浦維四, 井田一夫編: チタンの歯科利用. 第III章 チタンの歯科鑄造技術. 43-109, クインテッセンス出版, 東京, 1988
- 3) 日本化学会編, 化学便覧基礎編I: I-26, 丸善, 東京, 1984
- 4) Myers, R. E.: Time required to cast gold by centrifugal force. J. A. D. A. **28**, 2001-2017, 1941
- 5) 中村健吾, 渡辺誠司: 高速カメラによる歯科精密鑄造の湯流れの観察. 歯理工誌, **34**, 41-50, 1962
- 6) 関田健三: 歯科精密鑄造における鑄込み時間に関する研究(第2報)鑄造圧力, エアベントの距離, 混水比の影響について(電気接点法による測定). 歯理工誌, **10**(19), 177-185, 1969
- 7) 黒田拓治, 井田一夫: 各種鑄造法における鑄込み時間について. 歯理工誌, **11**(21)134-139, 1969
- 8) 大川成剛, 渡辺孝一, 宮川 修, 中野周二, 本間ヒロ, 塩川延洋, 小林正義: チタン用遠心鑄造機の回転特性について. 新潟歯学会誌, **22**(1), 21-26, 1992
- 9) O. MIYAKAWA, K. WATANABE, S. OKAWA, S. NAKANO, M. KOBAYASHI and N. SHIOKAWA: Layered Structure of Cast Titanium Surface, Dent. Mater. J. **8**(2), 175-185, 1989
- 10) 井田一夫: グラフによる鑄造条件の求め方第1報: 鑄造欠損を生じないための条件. 歯材器誌, **20**, October, 36-42, 1969
- 11) 渡辺孝一, 大川成剛, 宮川 修, 中野周二, 塩川延洋, 小林正義: 歯科精密鑄造における「標識元素溶解法」を用いたチタンの湯流れの研究 2. 板状鑄型における湯流れと欠陥の関係, 歯材器, **10**(1), 77-96, 1991
- 12) 井田一夫, 黒田拓治, 山賀礼一, 代田基朔, 東節男: ガス圧鑄造に関する研究 第6報: 鑄込み時間について. 歯材器誌, **19**, 5-17, 1969
- 13) 佐藤秀樹, 奥田礼一: アーク融解・加圧吸引鑄造機の試作 3. 純チタン鑄造体の表面アラサ, 寸法精度および変形. 日歯保誌, **31**(5), 1330-1341, 1988