

## チタン鑄造時の鑄型空洞の圧力挙動

—二室加圧型鑄造機の場合—

大川 成剛 金谷 貢 渡辺 孝一  
中野 周二 宮川 修Pressure Behavior in Mold Cavity during Titanium Casting  
—Differential Pressure Casting Unit with Two Chambers—Seigo OKAWA, Mitsugu KANATANI, Kouichi WATANABE,  
Syuji NAKANO and Osamu MIYAKAWA**Keywords** : Casting mold, Permeability, Casting condition, Titanium, Casting pressure, Pressure casting

Since the mold cavity is exposed to the melting chamber in a two-chamber casting unit, the cavity is filled with Ar gas till casting of molten titanium. Thus, the gas evacuation rate immediately after melt casting must influence the castability and generation of internal defects. In this study, the cavity pressure was measured using a mold simulating a two-chamber casting process at room temperature and the results were converted into the casting pressure. Mold permeability and preset pressures in the melting and casting chambers were considered as factors influencing the quality of casting. The higher the mold permeability and the higher the difference between the preset pressures, the higher level the casting pressure rapidly reached.

The results suggested that the choice of investment material should be made from the perspective of mold permeability suitable to the casting mechanism.

**キーワード** : 鑄型, 通気度, 鑄込み条件, チタン, 鑄造圧, 加圧鑄造

二室加圧型鑄造機ではその構造上, 鑄型空洞は鑄込み直前までアルゴンガスで満たされ, 溶解室と同じ圧力である。したがって, 鑄込み直後の鑄型空洞のガスの排出挙動が鑄造体の鑄込み不足や内部欠陥の生成に影響する。そこで, 二室加圧型鑄造機の鑄込み過程を模した室温鑄型について, 鑄型空洞の圧力変化を計測しこれを鑄造圧に換算し, 溶解室と鑄造室の設定圧力および鑄型の通気度が鑄造圧におよぼす影響を検討した。その結果, 鑄型の通気度が大きいほど, また, 溶解室と鑄造室の圧力差が大きいほど, 鑄込み初期の鑄造圧の立ち上がりが速く, 高い鑄造圧が得られた。これらから鑄造機構に適した通気度をもつ鑄型を選択することの重要性が示唆された。

## 緒 言

生体親和性に優れるチタンの鑄造方法が開発され、多くの歯科補綴物の製作に応用されている。この間、チタン鑄造は各メーカーが推奨するシステムに従って行われてきた<sup>1)</sup>。それぞれのシステムで使用される埋没材は、チタン溶湯との反応に関心が払われてきたが<sup>2-6)</sup>、チタン鑄造の成否に関わる鑄型の通気度にはあまり関心がもたれなかったように思われる。そうした中で、加圧型鑄造法では鑄込みの駆動力である鑄造圧が鑄型の通気度に大きく左右されることが定量的に明らかにされた<sup>7)</sup>。たとえば、一室加圧型鑄造法では、鑄込み直前まで鑄型空洞は減圧されているものの、鑄込み時には導入された高圧のアルゴンガスが鑄型を通して鑄型空洞に侵入するので、ガスの鑄型空洞への侵入挙動がチタンの鑄造性や内部欠陥の発生に関係すると考えられる。したがって、高い鑄造圧を短時間で作用させるには、通気度の小さい鑄型を用いることが必須条件である。一方、同じ加圧型鑄造である二室加圧型鑄造法では、上室の溶解室と下室の鑄造室が貫通筒で通じているため溶湯が落下して鑄型のスプルー入り口が密閉されるまで、鑄型空洞の圧力は溶解室のそれと等しい。溶湯が落下してスプルー入り口が密閉されると鑄造室は減圧されているので、鑄型空洞のアルゴンガスが鑄型を通して排気される。このため鑄型空洞のガスの排気挙動がチタンの鑄造性や内部欠陥の発生に関係すると考えられる。

Watanabe ら<sup>8)</sup>は同じ二室加圧型鑄造機について、コーン状に加工した金属箔を鑄型クルシブルに密着させることにより鑄型空洞を溶解室からシールドして鑄造したところ、メッシュや薄板鑄造体の鑄込み率が標準的な鑄造方法の場合と比べて格段に向上することを示した。ただし、厚い板状の鑄造体では内部欠陥が生じやすいことも報告している。金属箔でシールドしない標準的な鑄造方法に比べて、この方法では鑄込み時に瞬時に高い鑄造圧が得られるためと推論した。

そこで本研究は、二室加圧型鑄造法の鑄込み過程を模した室温鑄型について鑄型空洞の圧力変化を計測し、鑄型の通気度、および溶解室と鑄造室の設定圧力が鑄造圧におよぼす影響を検討した。

## 材料および方法

### 1. 試 料

直径 9.3 mm の球状ワックスパターンに直径 2 mm、長さ 13 mm のレディーキャストリングワックス (R 20, ジーシー) を付着し、これを円錐台 (JM 34, モリタ) に植立した。外径 34 mm、高さ 45 mm の鑄造リング (キャストリングリング 3445, モリタ) を用い、これに厚さ 2 mm のセラミックスリボ

ン (セラミックライナー, モリタ) を 1 枚裏装した。ワックスパターンの体積は 1 歯欠損のブリッジのそれと同程度で<sup>9)</sup>、これと鑄造リングの底部およびセラミックスリボン壁との距離はそれぞれ約 10 mm と 8 mm とした。

鑄型空洞の圧力を圧力センサーに導く管として、外径 2 mm、長さ 20 mm の金属製中空スプルー線 (特大, 大栄歯科産業) を用いた。これを圧力導管と称す。鑄造リングの下端から約 10 mm の位置にあらかじめあけてある直径 2 mm の穴に圧力導管を通し、鑄型空洞となるワックスパターンに付着した。圧力導管の体積はパターンの約 14/100 であった。

つぎに、チタン専用埋没材チタベスト CB (モリタ, 以下 CB と称する) を用い、混液比 0.15 で真空練和しワックスパターンを埋没した。室温に 2 h 放置した後、900°C まで加熱して 50 min 係留し (メーカー指示)、室温まで炉冷した。なお、比較のために、CB の約 24 倍大きい通気度<sup>10)</sup>をもつチタニウムベスト II (オハラ, 以下 V 2 と称する) についても、室温の鑄型を準備した。この場合も、練和および鑄型の加熱条件はメーカーのマニュアルに従った。

### 2. 圧力の測定

鑄型空洞の圧力測定装置の概略を Fig. 1 に示す。実験には二室加圧鑄造機 (サイクラーク CS-1, モリタ) を用いた。鑄造機のスタートボタンを押してから 10 s 後に、溶解室の銅製ルツボ A が傾斜してマイクロスイッチ E が作動すると、貫通筒 B の内部に設けた電磁石 F に保持されているスチールボール G が落下し、鑄型のスプルー入り口が封鎖される。なお、この封鎖を確実にするため、シリコン製のスチールボール受け H を付けてある。C は鑄造室と鑄型をシールドするガasket、D は鑄造リングに裏装したセラミックスリボンを示す。

鑄型空洞の圧力を測定する圧力センサー K (KH 15, 長野計器) はこの実験のために改造した鑄造室扉 J に取り付けてある。準備した鑄型を鑄造室に置き、圧力導管 I と圧力センサーをシリコンゴム製の Oリングを介して接続した。

圧力センサーの出力をオシロスコープ (VP-5730 A 50, ナショナル) に入力し、スチールボール落下後からの鑄型空洞の圧力に相当する電圧の変化をオシロスコープに記録した。記録された電圧-時間曲線から、オシロスコープ画面にデジタル表示される電圧を一定の時間間隔で読みとり、圧力センサーの電圧-圧力曲線から鑄型空洞の圧力を求めた。

実験として、前述のように通気度の異なる 2 種類の鑄型に加え、溶解室の圧力を 2 段階に、鑄造室の圧力を 3 または 4 段階に選んだ。まず、溶解室の圧力は、鑄造機に付属の圧力ゲージを使って 1.4 と 0.4 kgf/

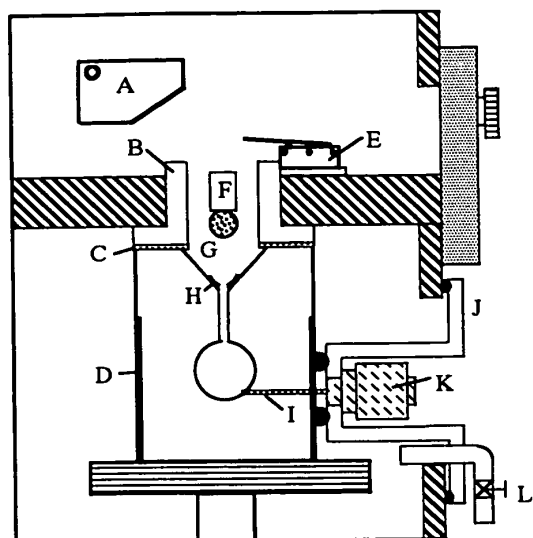


Fig. 1 Experimental setup used in this study

A : melting pot, B : passage, C : ceramic gasket, D : ceramic liner, E : switch, F : electromagnet, G : steel ball, H : steel ball socket, I : gas guide pipe, J : experimental casting-chamber door, K : pressure sensor and L : argon gas inlet.

cm<sup>2</sup> に設定した。一方、鑄造室は、通常の減圧状態の他に外部 L からアルゴンガスを導入して鑄造機付属の圧力ゲージにて -20 と -40 cmHg の 3 段階か、またはこれに大気圧の場合を加えた 4 段階に設定した。鑄造室を大気圧にすると内部欠陥が少ない鑄造体が得られるとの報告<sup>11)</sup>があり、また実際の鑄造では、鑄型と貫通筒との間の不完全なシールや、溶解室のアルゴンガスが溶解室に面した鑄型を透過して鑄造室に漏れるなど、鑄造室が十分に減圧されない場合もあるからである。なお、実験は各条件につき 3 回測定し、測定ごとに新しい鑄型を用意した。

### 結果および考察

鑄造機に付属の圧力ゲージは、大気圧を境に、それ以上の場合には相対圧力 (kgf/cm<sup>2</sup>)、それ以下の場合には絶対圧力 (cmHg) で表示しているが、ここでは圧力を絶対圧力に換算して kgf/cm<sup>2</sup> で表記する。

実験の前に、鑄造機の貫通筒の下部に圧力センサーを設置し、アルゴンガスを溶解室に導入して圧力ゲージを校正した。これによれば、圧力ゲージを使って設定した溶解室の圧力 0.4 と 1.4 kgf/cm<sup>2</sup> はそれぞれ、圧力センサーでの絶対圧力で 1.55 と 2.65 kgf/cm<sup>2</sup> であった。また、鑄造室の設定圧力 -20 と -40 cmHg はそれぞれ 0.83 と 0.54 kgf/cm<sup>2</sup> で、通常の減圧状態は 0.16 kgf/cm<sup>2</sup> であった。大気圧の場合は

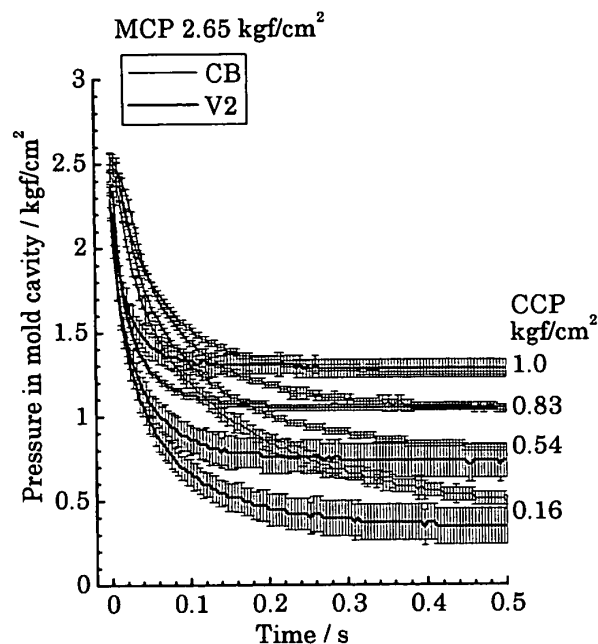


Fig. 2 Changes in mold cavity pressures under a preset melting-chamber pressure of 2.65 kgf/cm<sup>2</sup>

Thin and thick lines represent CB and V 2 molds, respectively. Vertical lines represent SD. MCP : melting-chamber pressure and CCP : casting-chamber pressure.

1 kgf/cm<sup>2</sup> とした。

#### 1. 鑄型空洞の圧力挙動

チタン溶湯が鑄型空洞を満たす時間は、大川ら<sup>12)</sup>や鶴田ら<sup>13)</sup>のデータから推測すると 0.05~0.3 s にある。チタン溶湯の凝固時間については報告されていないが、本研究では鑄込み開始から 0.5 s 間の変化に注目した。

##### 1) 溶解室の設定圧力が 2.65 kgf/cm<sup>2</sup> の場合

溶解室の圧力を 2.65 kgf/cm<sup>2</sup> に設定した場合の鑄型空洞の圧力変化を Fig. 2 に示す。V 2 鑄型で鑄造室の設定圧力が低い場合は他の場合と比べてやや大きいばらつきが認められた。

スプルー入り口が密閉される直前の鑄型空洞の圧力は、CB 鑄型で  $2.50 \pm 0.04$  kgf/cm<sup>2</sup>、V 2 鑄型で  $2.29 \pm 0.04$  kgf/cm<sup>2</sup> で、いずれも溶解室の設定圧力より低かった。これは、スプルーから鑄型空洞、そして鑄型空洞から鑄型を経てアルゴンガスが鑄造室に引かれるためと考えられる。通気度が大きい V 2 鑄型の場合の圧力降下が大きいこともこれによって説明できる。

CB 鑄型と V 2 鑄型とも、スプルー入り口が密閉された瞬間に鑄型空洞は急速に減圧されたが、時間とともに減圧速度が低下していき、その圧力は鑄造室の設定圧力より高いそれぞれの到達圧力に近づいた。到達

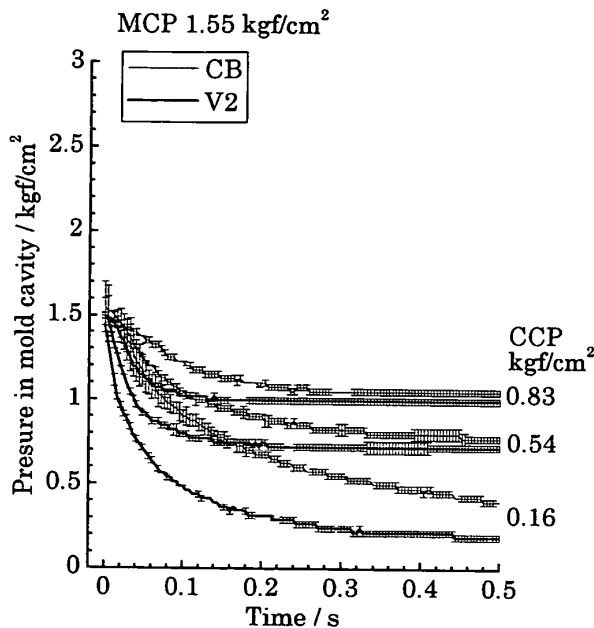


Fig. 3 Changes in mold cavity pressure under a preset melting-chamber pressure of 1.55 kgf/cm<sup>2</sup>

Thin and thick lines represent CB and V 2 molds, respectively. Vertical lines represent SD. MCP : melting-chamber pressure and CCP : casting-chamber pressure.

圧力が鑄造室の設定圧より高い理由は、スプルー入り口が密閉されても、溶解室に露出している鑄型クルシプルの壁面をアルゴンガスが透過して鑄型空洞に供給され続けるためと考えられる。

鑄型空洞の圧力の減少はCB鑄型よりV2鑄型の方が速かった。これは鑄型空洞のガスの排気速度に関係し、鑄型の通気度の差を反映している。通気度がCB鑄型より大きいV2鑄型では、アルゴンガスの移動が速いので、早期に到達圧力に近づく。一方、通気度が小さいCB鑄型では、鑄造室の設定圧力が低い場合に、スプルー入り口を密閉してから0.5s後でも、到達圧力に向かってゆっくりとした減圧が続いていた。

## 2) 溶解室の設定圧力が1.55 kgf/cm<sup>2</sup>の場合

同様に、溶解室の圧力を1.55 kgf/cm<sup>2</sup>に設定した場合の鑄型空洞の圧力挙動をFig. 3に示す。スプルー入り口を密閉する直前の圧力は、CB鑄型で1.53±0.02 kgf/cm<sup>2</sup>と設定値に近く、V2鑄型はそれよりやや小さい1.48±0.03 kgf/cm<sup>2</sup>であった。つまり、設定圧2.65 kgf/cm<sup>2</sup>の場合に比べると、溶解室と鑄造室の圧力差が小さいので、鑄型を通して鑄造室に引かれるアルゴンガスが少ないことが示唆される。

鑄型空洞の圧力変化は、溶解室の設定圧力が2.65 kgf/cm<sup>2</sup>の場合のFig. 2と似ていた。ただし、溶解室と鑄造室の圧力差が小さいので、それぞれの減圧速度はFig. 2に比べて小さかった。

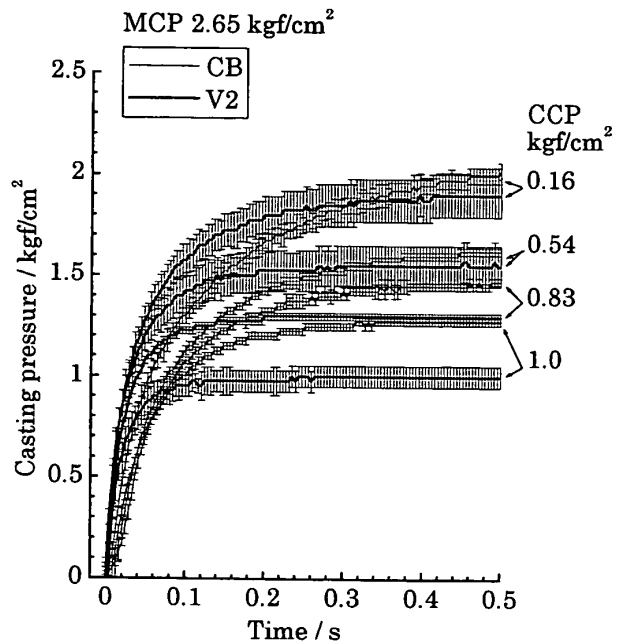


Fig. 4 Changes in casting pressure under a preset melting-chamber pressure of 2.65 kgf/cm<sup>2</sup>

Thin and thick lines represent CB and V 2 molds, respectively. Vertical lines represent SD. MCP : melting-chamber pressure and CCP : casting-chamber pressure.

## 2. 溶湯に作用する鑄造圧

二室加圧型鑄造の場合、溶解室と鑄型空洞の圧力差が鑄造圧として溶湯に作用し、これが鑄込みの駆動力になる。そこで、測定した鑄型空洞の圧力変化を示すFig. 2とFig. 3から、鑄造圧の時間的変化を求めた。Fig. 4は、一例として、溶解室の圧力を2.65 kgf/cm<sup>2</sup>に設定した場合の鑄造圧の変化を示す。

つぎに、鑄造圧の変化におよぼす因子を系統的かつ定量的に検討することを目的として、関数解析ソフト(Origin 6.0, Microcal Software)のBoxLucas型の関数

$$P = A (1 - \exp(-t/T)) \quad (1)$$

による曲線フィットをすべての時間—鑄造圧曲線について行った。(1)式は粘弾性体のフォークト模型による遅延弾性変形を示す関数と等価であるが<sup>14)</sup>、ここでは、Pは鑄造圧、tは時間、定数AとTはそれぞれ、到達圧力とその63.2%に到達する時間である。

つぎに、(1)式を時間tで微分して曲線の勾配を求めると

$$dP/dt = (A/T) \exp(-t/T) \quad (2)$$

となる。ここでt=0とすると

$$(dP/dt)_{t=0} = A/T \quad (3)$$

となり、これは鑄込み時直後の鑄造圧の立ち上がり速度(kgf/cm<sup>2</sup>/s)を与える。

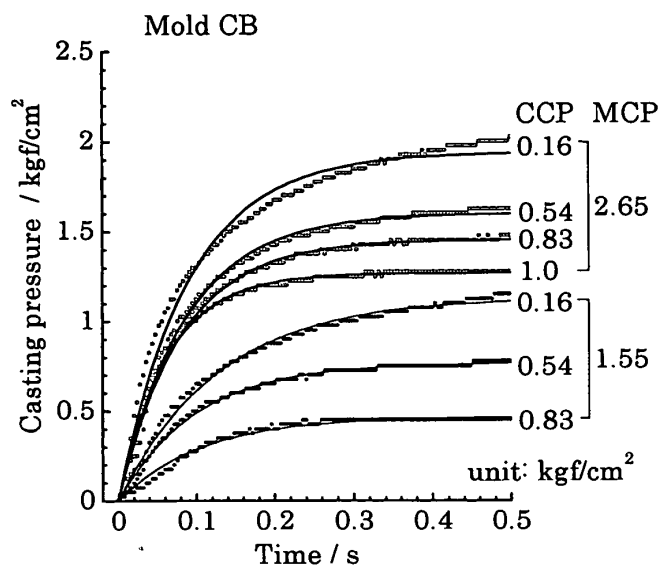


Fig. 5 Representative measured and fitted curves of casting pressure for CB mold

○ and ● represent measured values for preset melting-chamber pressure of 2.65 and 1.55 kgf/cm<sup>2</sup>, respectively. Solid lines represent fitting curves. MCP : melting-chamber pressure and CCP : casting-chamber pressure.

Fig. 5 と Fig. 6 はそれぞれ CB 鑄型と V 2 鑄型について、フィット曲線の典型的な例をそれぞれの測定値とあわせて示す。全体としてはかなりよいフィットが得られた。ただし、溶解室と鑄造室の設定圧力の差が大きい場合に、鑄造圧の立ち上がり速度および到達圧力はともに小さく評価されることがわかる。一方、溶解室と鑄造室の設定圧力の差が小さい場合は、用いたフィット曲線は鑄込み直後に起きる鑄造圧の立ち上がりの遅れ現象を忠実に再現しないので、鑄造圧の立ち上がり速度は大きく評価されることになる。したがって、(1)式のような簡単な近似では時間-鑄造圧曲線は完全に再現されないが、本研究の目的には満足する結果と考える。

### 3. 鑄造圧の立ち上がり速度と到達圧力

Figs.4~6 に示されるように、溶湯に作用する鑄造圧は鑄込み直後に急上昇し、その後は徐々に上昇速度が低下する。鑄造圧の上昇速度は時間とともに変化するが、チタン鑄造の鑄込み時間は前述のように短時間であるから、ここでは鑄込み直後の鑄造圧の立ち上がり速度、すなわち (3) 式の A/T に注目した。そこで、鑄造圧の立ち上がり速度と鑄造室の設定圧力との関係を、溶解室の設定圧力と鑄型の種類をパラメーターとして、Fig. 7 に示した。

前に述べたように、溶解室と鑄造室の設定圧力の差が大きい場合では、この近似は鑄造圧の立ち上がり速度を小さく評価し、一方、この設定圧力の差が小さい

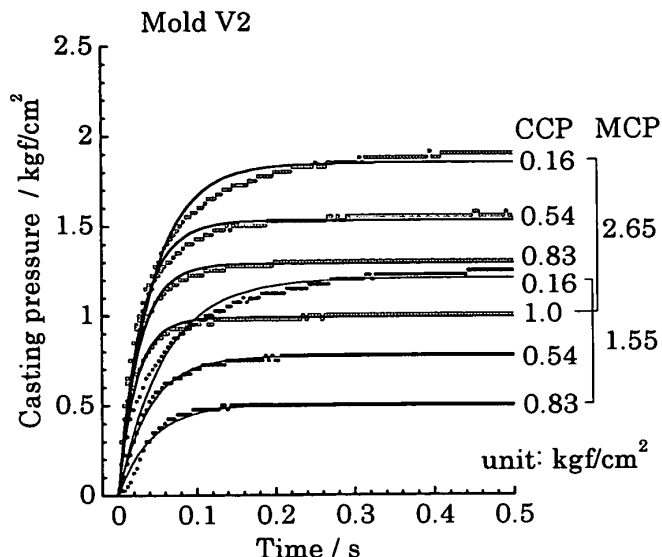


Fig. 6 Representative measured and fitted curves of casting pressure for V 2 mold

○ and ● represent measured values for preset melting-chamber pressure of 2.65 and 1.55 kgf/cm<sup>2</sup>, respectively. Solid lines represent fitting curves. MCP : melting-chamber pressure and CCP : casting-chamber pressure.

場合は立ち上がり速度を大きく評価する傾向にあった。これらのことを考慮すると、同じ鑄型の場合、鑄造圧の立ち上がり速度は鑄造室の設定圧力にあまり影響されないことが推測できる。これに対して、溶解室の設定圧力と鑄型の種類、つまり通気度に影響されることは明らかである。

溶解室の設定圧力の大小に関わらず、同じ設定圧力の下では、V 2 鑄型の鑄造圧の立ち上がり速度は CB 鑄型のそれの約 2 倍大きかった。また、溶解室の圧力 2.65 kgf/cm<sup>2</sup> での CB 鑄型の圧力の立ち上がり速度は、同じく 1.55 kgf/cm<sup>2</sup> の V 2 鑄型の圧力の立ち上がり速度のそれとほぼ同じであった。このことから、V 2 鑄型のように通気度が大きい鑄型では、溶解室が低圧であっても鑄造圧の立ち上がりが比較的速く、ある程度の初期鑄造圧が得られることがわかる。実際、市販されている二室加圧型鑄造システムのうちのひとつは、溶解室圧力として絶対圧力で 1.2~1.4 kgf/cm<sup>2</sup> を採用しているが、この鑄造システムが推奨する鑄型はその通気度が CB 鑄型の約 14 倍<sup>10)</sup> である。そのため、溶解室がこのように低圧であっても鑄込みが可能と考えられる。

通気度が大きい鑄型を用いて鑄造圧の立ち上がりを速くすることは、凝固時間が短いチタンの鑄造には有利と考えられる。事実、遠藤<sup>15)</sup>らは本実験と同型の鑄造機を用いて鑄込み率を検討し、通気度が大きい鑄型ほど鑄込み率が向上したと述べている。十分な圧力差

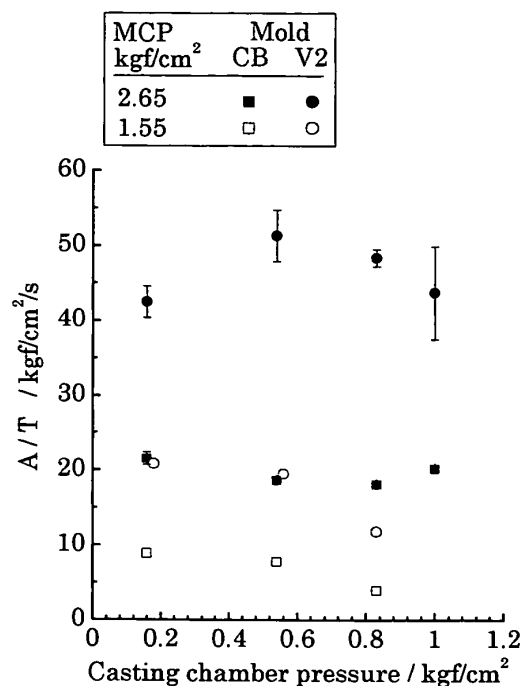


Fig. 7 Influence of mold, melting-chamber pressure, and casting-chamber pressure on initial rate of casting pressure

MCP : melting-chamber pressure.

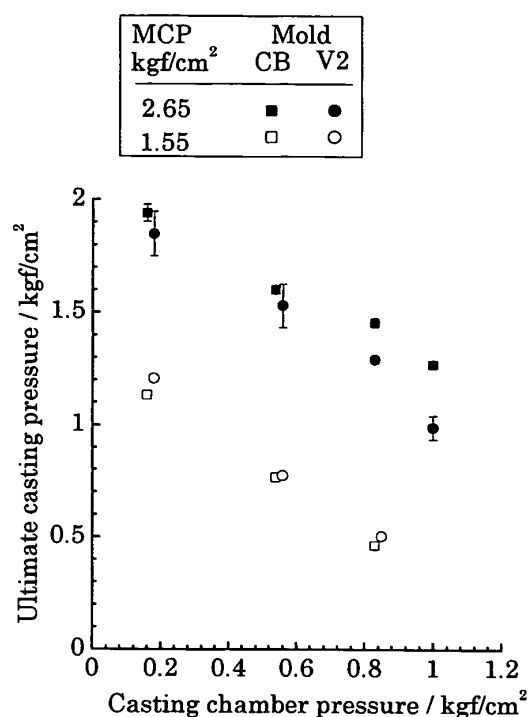


Fig. 8 Influence of mold, melting-chamber pressure, and casting-chamber pressure on ultimate casting pressure

MCP : melting-chamber pressure.

が得られないと、つまり溶解室の圧力が低いと、鑄造室が十分に減圧されない場合は、鑄造圧の立ち上がりが遅く、鑄込み時間内に十分な鑄造圧に達しないかもしれない。このような条件では、メッシュなどの複雑なパターンや薄板の鑄造に際して鑄込み不良などの鑄造欠陥を生じるおそれがある。

鑄造室の圧力とフィット曲線から求めた定数Aすなわち到達圧力との関係を、溶解室の設定圧力と鑄型の種類をパラメーターとして Fig. 8 に示した。

同じ鑄造室の圧力で比較すると、溶解室の設定圧力が高い方が低い場合より、到達圧力は0.7~0.8 kgf/cm<sup>2</sup> 高かった。また、鑄造室の圧力が低いほど到達圧力は高くなることわかる。一方、CB 鑄型とV2 鑄型を比較すると、鑄造室の圧力が大気圧に近いほど、前者の到達圧力は後者のそれより高い結果となった。ただ、ここで採用したBoxLucasの近似では、先に述べたように、鑄造室の圧力が低いほど、溶解室の圧力が高い場合は特に、到達圧力は小さく評価されることを考慮する必要がある。また、この条件ではデータのばらつきも大きかった。これらを考慮すると、V2 鑄型の方が到達圧力はやや低いと考えてもよい。つまり、通気度が大きい鑄型ほど多量のアルゴンガスが鑄型を通して鑄造室に引かれるからである。しかしながら、溶解室や鑄造室の設定圧力に比べれば、鑄型の通気度は到達圧力にそれほど影響をおよぼさないと考え

れる。

#### 4. 鑄造機構と鑄型の通気度

一室加圧型鑄造機では、アルゴンガス圧を7 kgf/cm<sup>2</sup> (相対圧力) に設定した場合、鑄造圧が1 kgf/cm<sup>2</sup> に達する時間はCB 鑄型が約0.07 sであるのに対して、通気度がCB 鑄型の約5倍<sup>10)</sup>であるT-インベストの鑄型では約0.18 sと長い時間を要した<sup>7)</sup>。このデータからは、通気度がCB 鑄型の約24倍のV2 鑄型ではさらに長い時間がかかると推測される。

これに対して、二室加圧型鑄造機では、溶解室の圧力を2.65 kgf/cm<sup>2</sup> に設定し、鑄造室を通常の減圧状態にした場合、鑄造圧が1 kgf/cm<sup>2</sup> に達する時間はCB 鑄型で約0.06 s、V2 鑄型で約0.03 sであった。前報<sup>7)</sup>で報告した一室加圧型と今回の二室加圧型の場合とでは、アルゴンガス圧、鑄型の厚さ、および鑄型空洞の体積が異なるので、両者間の数値を直接比較することは必ずしも妥当でない。しかしながら、一室加圧型と二室加圧型の鑄造機構の違いを考慮すると、鑄造圧の立ち上がり速度に対する鑄型の通気度の影響が全く相反することは、チタンの鑄造性の改善や外部および内部欠陥の防止と関連し、極めて重要である。

つまり、一室加圧型では、外部のアルゴンガスが鑄型を通して鑄型空洞に侵入する。鑄型の通気度が大きければ大きいほど、多量のガスが短時間で鑄型空洞に流入するので、鑄造圧の立ち上がり速度は小さくな

る。これが鑄込み不良の原因になると同時に、ガスの巻き込みといった内部欠陥の発生にもつながる。したがって、一室加圧型鑄造では、通気度の小さい鑄型を使用することが必須である。これに対して、二室加圧型では、鑄型空洞のガスが鑄型を通して排出されることによって有効な鑄造圧が生じる。したがって、鑄型の通気度が大きいほど、鑄造圧の立ち上がり速度が大きいことになる。このように、鑄造性の観点からすると、二室加圧型鑄造においては、通気度が大きい鑄型を用いることと、溶解室と鑄造室の圧力差を大きくして鑄造圧を大きくすることが重要である。ただし、鑄型の通気度が大きい場合に、溶解室と鑄造室の圧力差が大きいほど、溶解室に露出した鑄型クルシブル壁を通して鑄型内へ流入するガス量も増加することが本実験によって示唆された。当然のことながら、その一部は鑄型空洞へも到達するはずで、これが内部欠陥の生成に関与するかもしれない。鑄造室を大気圧にすると、内部欠陥が少ない鑄造体が得られる<sup>11)</sup>ことはこのような機構の関与を示唆するかもしれない。

以上のように、二室加圧型鑄造機では溶解室と同じ高い圧力下にある鑄型空洞をいかにして早く排気するかが重要であり、鑄型の通気度が決定的な因子である。この制約から逃れるひとつの方法として、コーン状に加工したチタン箔でクルシブルのスプルー入り口を完全に遮蔽し、鑄込み前から鑄型空洞を減圧しておくことが提案された<sup>9)</sup>。この方法では、鑄込み前に鑄型空洞が鑄造室と同程度に減圧されているので、高い鑄造圧を瞬間的に溶湯に与えることが可能である。しかも、この場合、チタン箔で溶解室と鑄型空洞が遮蔽されているので溶解室に露出した鑄型クルシブル壁を通してガスが鑄型空洞に流入することがなく、しかも溶湯の鑄込みと鑄型空洞の減圧が同時に進行する鑄造機構とは異なるので、鑄型の通気度の大小をそれほど問題にしなくてもよいかもしれない。

これまでのチタン鑄造では、チタン溶湯と埋没材の反応つまり表層の反応層に多くの関心が払われてきた。これに比べると、鑄型の通気度はあまり考慮されてこなかったように思われる。しかし、鑄造方法すなわち鑄造機によって溶湯に作用する鑄造圧の発生機構が異なる。同じ加圧型鑄造でも、一室型と二室型では鑄型の通気度が鑄造圧におよぼす影響は全く異なる。したがって、それぞれの鑄造方法に適した通気度をもつ埋没材を選択する必要がある。チタン鑄造システムを提供している各メーカーは、それぞれの鑄造方法に適した通気度をもつ埋没材を提供することが期待される。

今回は室温鑄型における実験結果について報告した。溶湯による鑄型空洞のアルゴンガスの熱膨張の影響は考慮しなかった。また、実際の鑄造では高温鑄型

に鑄込む場合が多い。高温ではアルゴンガスの粘性係数が大きい<sup>16)</sup>ため、アルゴンガスが鑄型内を拡散しにくくなるので<sup>17)</sup>、鑄型の通気度は室温の場合より小さくなる<sup>17)</sup>ことが推測される。そこで、これが鑄型空洞の圧力挙動、つまり鑄造圧におよぼす影響についての検討が必要である。

## 結 論

二室加圧型鑄造の鑄込み過程を模して、室温の鑄型空洞の鑄造時の圧力変化を計測し、これを溶湯に作用する鑄造圧に換算し、鑄型の通気度および溶解室と鑄造室の設定圧力が鑄造圧におよぼす影響を検討し、以下の結論を得た。

- 1) 鑄型の通気度が大きいほど、溶解室圧力は設定圧力より低下した。
- 2) 鑄造圧は最初に急激に上昇した後ゆるやかにそれぞれの到達圧力に近づいた。到達圧力は鑄造室の設定圧力より高かった。
- 3) 鑄型の通気度が大きいほど鑄造圧の立ち上がり速度は大きかった。
- 4) 溶解室と鑄造室の圧力差が大きいほど、鑄造圧の立ち上がり速度が大きく、高い鑄造圧が得られた。
- 5) 鑄造性の観点からは、二室加圧型鑄造には通気度が大きい鑄型が適する。

## 謝 辞

実験の遂行にご協力いただきました(株)モリタ製作所西村巳貴則氏に御礼申し上げます。また、データや文献等の整理にご協力いただいた本間ヒロ技官に御礼申し上げます。

## 文 献

- 1) 浜中人士. 第III章 チタンの歯科鑄造技術 4. チタン用鑄造機. 井田一夫, 三浦維四. チタンの歯科利用. 初版: クインテッセンス; 1988. p.43-109.
- 2) Miyakawa O, Watanabe K, Okawa S, Nakano S, Kobayashi M. Layered structure of cast titanium surface. Dent Mater J 1989; 8: 175-185.
- 3) 大川成剛, 渡辺孝一, 宮川 修, 中野周二, 本間ヒロ, 塩川延洋ほか. チタン鑄造において新しくわかったこと一特に市販埋没材とチタン鑄造体表面の反応層について. 歯科技工 1993; 21: 673-686.
- 4) 大川成剛, 渡辺孝一, 中野周二, 本間ヒロ, 宮川 修. チタン鑄造用埋没材をテストする一床用埋没材について. DE 1994; 111: 21-32.
- 5) 渡辺孝一, 大川成剛, 金谷 貢, 宮川 修. チタン歯科鑄造の現状一鑄造機の特徴と利用技術一. 新潟歯学誌 2001; 31: 129-139.
- 6) 渡辺孝一. 別冊チタンの歯科技工 Part 2 歯科チタン鑄造の現状と問題点. :クインテッセンス; 2002. p. 38-50.
- 7) 大川成剛, 渡辺孝一, 金谷 貢, 中野周二, 宮川 修. 鑄造時の鑄型空洞の圧力挙動一室加圧型鑄造機の場合一. 歯材器 2000; 19: 108-114.
- 8) Watanabe K, Okawa S, Kanatani M, Nakano S, Miya-

- kawa O, Kobayashi M. New partition technique for two-chamber casting unit of titanium. *Dent Mater J* 2000; 19: 307-316.
- 9) 井田一夫. 歯科鑄造の話. 第1版: クインテッセンス; 1987. p.195-200.
- 10) 都賀谷紀宏, 堤 定美, 谷 嘉明, 藪上雅彦, 広島 開, 岩城重次ほか. 市販チタン用鑄型材の通気性. 第7回歯科チタン研究会講演抄録集 1994. 11-12.
- 11) 都賀谷紀宏, 後藤秀明, 鈴木政司, 井田一夫, 藪上雅彦. チタン鑄造体の鑄造欠陥に関する研究. *歯材器* 1987; 6(特9): 123.
- 12) 大川成剛, 渡辺孝一, 金谷 貢, 中野周二, 宮川 修, 小林正義. チタンの鑄込み時間の測定—一室加圧型鑄造機の場合—. *歯材器* 1995; 14(特25): 136-137.
- 13) 鶴田昌三, 松波一郎, 小山憲一, 紀藤政司, 金 明媛, 長谷川二郎ほか. 高融点合金鑄造時の湯流れの直接観察. *歯材器* 1992; 11(特19): 110-111.
- 14) 井本立也. 概説レオロジー (上). 第1版: 東京化学同人; 1963. p.76-78.
- 15) 遠藤泰生, 堀口英子, 黒岩昭弘. 各種ガス圧鑄造機における鑄型温度がチタンの鑄込み率におよぼす影響. *歯材器* 1997; 16: 206-217.
- 16) 日本化学会編. 化学便覧基礎編II改訂3版: 丸善; 1984. p. II-38.
- 17) 窯業協会編. 窯業工学ハンドブック. 新版: 技報堂; 1966. p. 409.