

## 原 著

## 真空技術を取り入れた義歯床製作のための石膏型内射出成形法の研究

石川 俊一\*, 藤口 武, 木暮 ミカ, 佐野 裕子, 佐藤 温重

財団法人歯友会 歯友歯学会附属医療機材研究所\*

明倫短期大学 歯科技工士学科

Studies on Vacuum Technique of Injection Molding  
in Gypsum Mold for Producing of Denture Base

Syunichi Ishikawa\*, Takeshi Fujiguchi, Mika Kogure, Yuko Sano, Atsushige Sato

*The Shiyuukai Foundation, The Medical Machinery and Materials Laboratory attached to Shiyuu Academic Dental Circles,\*  
Department of Dental Technology, Meirin College*

本研究は、ポリカーボネート床義歯の品質を向上することを目的とし射出成形法に真空技術を取り入れ成形を行った。フラスコに内蔵された石膏型内の空気を排出させるためのエアベント孔に真空装置を取り付け、強制的に空気ならびに熔融樹脂から発生するガスを排除しながら射出成形し得られた成形品について機械的性質として曲げ強度、密度、成形歪、クリープ特性をオートグラフを使用して測定、疲労特性は定応力両振り曲げ疲労試験装置を用いて測定した。又、微細気泡については空洞率を算出、SEM 像の観察を行い従来法と比較した。

その結果、考察された真空技術は成形品の成形歪を従来法より 58%低減、微細気泡を 89%の高率で減少させることができた。又、機械的性質の曲げ強度、密度、クリープ特性、耐疲労特性は従来法より優れていることがわかった。真空技術を取り入れた新しい石膏型内射出成形法は成形品の長期の使用による品質安定に寄与することが明らかになった。

キーワード：強化ポリカーボネート床義歯、真空技術、石膏型射出成形、機械的性質、微細気泡

To improve the quality of reinforced polycarbonate denture base resin, a new injection molding system in gypsum mold was developed. In this system, vacuum apparatus was installed in an airvent to eliminate air and gas generated from melting resin from the gypsum mold. Mechanical properties such as flexural strength, density, molding strain, flexural creep, and the fatigue of specimens prepared by this system were investigated using autograph and constant stress swinging flexural instruments. Microscopic cell formatin was also analyzed by void content and SEM images, comparing with those of specimens prepared by a conventional injection molding without a vacuum apparatus.

The results showed that this technique reduced the molding strain by 58 percent and decreased microscopic cells by 89 percent, and improved mechanical properties such as flexural strength, density, flexural creep, and fatigue of the molding as compared with the control group. It was concluded that the vacuum technique in injection molding in gypsum contributes to stabilization of the quality of the molding even for long-lasting use.

Key words : Reinforced polycarbonate denture base resin, Vacuum technique, Injection molding system in gypsum mold, Mechanical property, Microscopic cell

## 緒 言

射出成形法は高分子材料の歯科補綴物の製作方法と

して 1978 年に歯科に導入されてから数々の改良がなされている<sup>1)</sup>。われわれはこれまでにフィラーの充填<sup>2,3)</sup>、スプルー・エアベントの改良による寸法精度の

向上について報告してきた<sup>4)</sup>。本研究では、これまで以上に精度良く品質の安定した成形品を得るために、真空技術導入について検討した。

射出成形法では熔融樹脂が高速で注入されるため、より良い成形品を得るためには速やかに石膏型内空間の空気を排出する技術が要求されている。この排出が速やかに行われないと樹脂の注入がスムーズに行われず、転写性が悪くなったり、気泡の巻き込み、成形品の銀条、成形による歪の発生などの現象がみられることになる。これにより成形品の機械的強度の低下やバラツキ、耐薬品性、クリープ特性の低下を招くもので成形品の品質に密接に関わっていることが既に知られている。

そこで射出成形フラスコの排出口に本研究のために開発した真空ユニットを接続し、成形する際に石膏型内空間部を真空排気することを試み、ポリカーボネートの熔融樹脂をスムーズに負荷なく射出注入する方法を開発した。この方法で試験片を成形し、真空の効果を曲げ強度、密度、空洞率測定、耐薬品性試験、曲げクリープ試験、耐疲労性試験、成形歪（残留応力）について測定を行った。これらの結果から真空技術を取り入れた射出成形法はポリカーボネート樹脂の成形品の品質向上効果に有効であることが明かとなった。

## 材料および方法

### 1. 材料

実験に使用した材料及び機器の製品名、製造会社、製造番号を表1に示す。

### 2. 試験片の製作方法及び成形条件

図1に射出成形時、フラスコ内空間部への義歯床用ポリカーボネート樹脂(以下PCとする)の流入経路を示す。成形は、超硬歯科樹脂射出成形機(レイニングVI型)を用い、真空成形ユニットを用いることにより真空射出成形を行った。

本研究は義歯床製作のための基礎研究であり製作の際のPC樹脂の流動性を考慮した上義歯床を想定し試験片A, Bとした。真空ユニットによりφ4 mmからφ1.5 mmのエアレントを通して、試験片A及びB空間部を強制排気、真空にする。真空とほぼ同時に可塑性熔融したPCがφ7 mmスプルーからφ6 mmランナーへ入り試験片A及びBへと充填される。試験片A, Bに充填したPCは、十分に冷却させるため室温で一昼夜静置後、石膏型から取り出し切断し#800番のエメリーペーパーで表面を仕上げ試験片とした。なお、比較対照のため従来法による通常射出成形試験片を同様の仕上げ方法で製作した。

成形条件は通常の義歯製作の射出成形圧力220 kg/cm<sup>2</sup>を用い、1トールの真空技術による機械力(射出力)を45 kg/cm<sup>2</sup>と計算し、これを差し引いた175 kg/cm<sup>2</sup>を真空成形の設定圧力とした。なお残留応力を測定する際は射出圧力を任意に設定した。

### 3. 試験片の形状と寸法

図2に実験に用いた試験片の形状を示した。材質はPCである。その試験片10枚のSDを測定したところ、その寸法精度は縦70±0.05, 横10±0.05, 厚さ3±0.03 mmで、#800番のエメリーペーパーで表面の仕上げを施した。アクリルレジンはメーカー指定通り加熱重合と成形を行い、同様のエメリーペーパーで仕上げを行った。

### 4. 試験片の力学的性質の評価方法

1) 曲げ強度: JIS K 7203<sup>5)</sup>に従い小型試験片用3点曲げ試験装置をセットしたオートグラフ(島津 AGS-D)を用いクロスヘッドスピードを2 mm/minで曲げ強度を測定した。

2) 密度: JIS K 7112<sup>6)</sup>に従い水中置換法による測定を行った。試験片の表面は水中に浸漬した時、気泡が付着しないよう脱脂洗浄してから使用した。

3) 成形歪(残留応力): 化学薬品に対する抵抗性を

表1. 実験に用いた材料及び機器

器 材	製 品 名	製造会社	製造番号
試験片成形材料	義歯床用強化ポリカーボネート樹脂 (グレード SR-320 #1)	東伸洋行㈱	QJN19T
	義歯床用アクリルレジン アクロン (グレード No. 3)	㈱ GC	P No. 12005 L No. 12051
石膏	耐圧石膏	東伸洋行㈱	QJA10T
	耐圧硬石膏	東伸洋行㈱	QFE01T
射出成形機	超硬歯科樹脂射出成形機 レイニングVI型	東伸洋行㈱	M-6
真空成形ユニット	真空成形ユニットVI型用	東伸洋行㈱	M-1

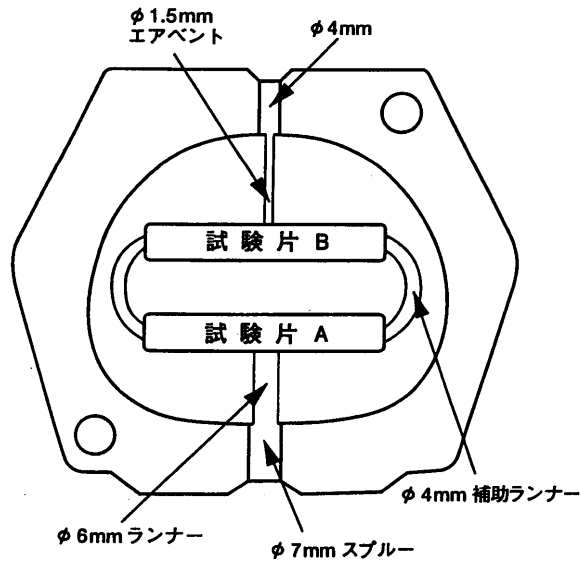


図1. 試験片射出成形フロー図

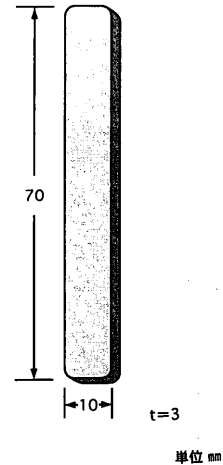


図2. 試験片形状

JIS K 7114<sup>7)</sup> に準じて行った。残留応力の測定は、PC の応力腐食性を逆に利用することによって残留応力（成形歪）の検出を行った。この方法は溶剤浸漬法で  $\text{CCl}_4$ -n-butanol 混合液を用い、その濃度勾配を作り PC のクラック発生限界応力を調べそれを残留応力値とした。

4) 空洞率測定：JIS K 7053<sup>8)</sup> に従い PC 試料の密度、PC 標準品の密度、複合化材の含有率、密度の測定値から次式を用いて算出した。

$$V = 100 - \rho \left( \frac{R}{\rho_r} + \frac{W_f}{\rho_f} \right)$$

V：空洞率（%）

$\rho$ ：試料の密度（ $\text{g}/\text{cm}^3$ ）

$\rho_f$ ：ガラス繊維の密度（ $\text{g}/\text{cm}^3$ ）

$\rho_r$ ：樹脂の密度（ $\text{g}/\text{cm}^3$ ）

R：樹脂質量含有率（%）

$W_f$ ：ガラス繊維質量含有量（%）

5) 曲げクリープ試験：JIS K 7116<sup>9)</sup> による一般的な3点曲げクリープ試験方法により行い、曲げクリープ歪を測定し評価した。また、曲げ試験荷重を除いた後任意の時間が経過したときの歪を測定し、クリープ回復率を算出し評価を行った。

6) 疲労試験：JIS K 7118<sup>10)</sup> による平面曲げ疲れ試験方法により、平板状試験片の面に直交し、かつ試験片の軸を通る面内で曲げモーメントを繰返し与えることにより疲労性質を測定した。試験片の支点間距離は30 mm、設定荷重は400, 300, 200, 100  $\text{kg}/\text{cm}^2$  で行った。

なお、全ての測定は室温  $23 \pm 1^\circ\text{C}$ 、相対湿度  $50 \pm 5\%$  の環境下にて行った<sup>11)</sup>。

## 5. 統計処理

各試験とも5個の試験片を用いた。測定値の統計処理は分散分析を用いて行ない平均値を求め Student の t-分布<sup>12,13)</sup>より有意水準の比較を行ない真空成形と対照である通常成形の差を計算した。

## 結果及び考察

### 1. 曲げ強度

結果を図3～4に示した。図3は射出圧力220  $\text{kg}/\text{cm}^2$  の条件における各種射出温度で作成した真空成形、通常成形の試験片Aの曲げ強度測定データである。真空成形試験片Aで射出温度290 $^\circ\text{C}$ の曲げ強度（平均値 $\pm$ 標準偏差）は1,157.50 $\pm$ 17.85  $\text{kg}/\text{cm}^2$ 、300 $^\circ\text{C}$ 、1,185.00 $\pm$ 18.37  $\text{kg}/\text{cm}^2$ 、320 $^\circ\text{C}$ 、1,225.00 $\pm$ 36.40  $\text{kg}/\text{cm}^2$  に対し、対照である同条件の通常成形試験片Aは、290 $^\circ\text{C}$ の曲げ強度1,137.50 $\pm$ 28.39  $\text{kg}/\text{cm}^2$ 、300 $^\circ\text{C}$ 、1,145.00 $\pm$ 47.04  $\text{kg}/\text{cm}^2$ 、320 $^\circ\text{C}$ 、1,182.50 $\pm$ 46.03  $\text{kg}/\text{cm}^2$  であった。この平均値 $\pm$ 標準偏差を標準偏差の幅として表わしたのが図3である。X軸に射出温度、Y軸に曲げ強度を示し、上部幅が真空成形試験片A、下部幅が通常成形試験片Aである。真空成形の偏差幅はせまく安定したデータを示しているのに対し通常成形のそれは幅が一定せず太くくさび型をなし、用いたいずれの射出温度でも真空成形の方が曲げ強度60～70  $\text{kg}/\text{cm}^2$  高値を示している。真空試料Aは対照試料Aと比較し有意に ( $P < 0.05$ ) 曲げ強度が高いことがわかった。試験片Bについて同様に分析を行った結果を図4に示す。真空成形では射出温度290 $^\circ\text{C}$ で1,146.25 $\pm$ 33.04  $\text{kg}/\text{cm}^2$ 、300 $^\circ\text{C}$ 、1,170.00 $\pm$ 23.72  $\text{kg}/\text{cm}^2$ 、320 $^\circ\text{C}$ 、1,185.00 $\pm$ 13.69  $\text{kg}/\text{cm}^2$ 、対照であ

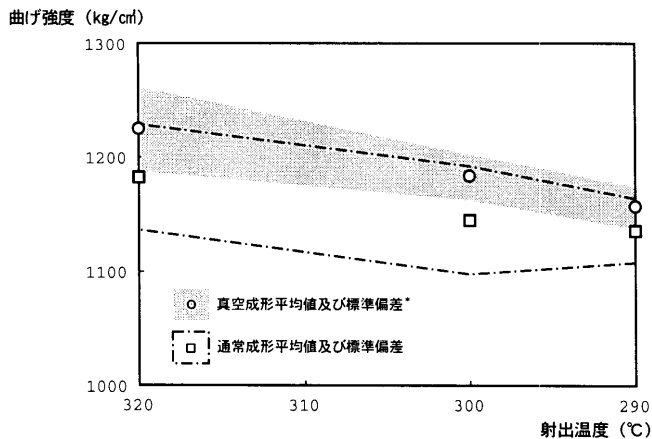


図3. 射出圧力 220 kg/cm<sup>2</sup> で各射出温度条件で真空成形, 通常成形した試験片 A の曲げ強度 (平均値および標準偏差幅)

\* 通常成形試料に対して有意 (P<0.05)

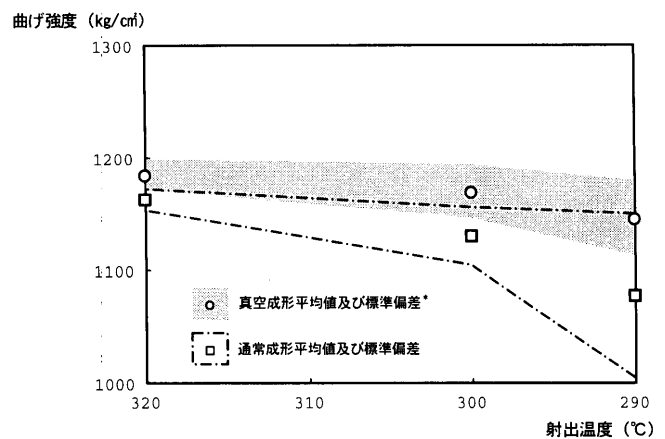


図4. 射出圧力 220 kg/cm<sup>2</sup> で各射出温度条件で真空成形, 通常成形した試験片 B の曲げ強度 (平均値および標準偏差幅)

\* 通常成形試料に対して有意 (P<0.05)

る通常成形では, 290°C, 1,078.75±72.49 kg/cm<sup>2</sup>, 300°C, 1,131.25±25.59 kg/cm<sup>2</sup>, 320°C, 1,163.75±9.60 kg/cm<sup>2</sup> であった。曲げ強度の偏差幅で射出温度 290°C 時, 真空成形の幅はせまく安定しているが通常成形は真空成形より 2.19 倍幅が広くデータが不安定であることがわかった。又, 全体に真空成形の幅が一定しているのに対し, 通常成形の幅は射出温度が低い方から高い方への三角形を成して不安定であることがわかった。真空成形の方が曲げ強度 70 kg/cm<sup>2</sup> 比較対照の通常成形より高値を示し, 試験片 B は A よりもさらに曲げ強度が有意に大きい (P<0.05) ことがわかった。

図5～6に示した結果は, 射出圧力 175kg/cm<sup>2</sup> の条

件で各種射出温度における真空成形, 通常成形試験片 A, B の曲げ強度測定データである。図5は試験片 A の曲げ強度で真空成形の場合, 射出温度 290°C, 1,176.25±29.45 kg/cm<sup>2</sup>, 300°C, 1,167.50±23.85 kg/cm<sup>2</sup>, 320°C, 1,227.50±39.61 kg/cm<sup>2</sup> の曲げ強度に対し, 比較対照である通常成形は, 射出温度 290°C, 957.50±12.99 kg/cm<sup>2</sup>, 300°C, 1,037.5±16.39 kg/cm<sup>2</sup>, 320°C, 1,132.5±41.46 kg/cm<sup>2</sup> であった。射出圧力 175 kg/cm<sup>2</sup> における試験片 A の真空成形と通常成形を比較すると真空成形の曲げ強度が 95～220 kg/cm<sup>2</sup> 高値を示しており, 通常成形より曲げ強度が有意に向上し約 23%増加することがわかった。

射出圧力 175 kg/cm<sup>2</sup> で各種射出温度における試験

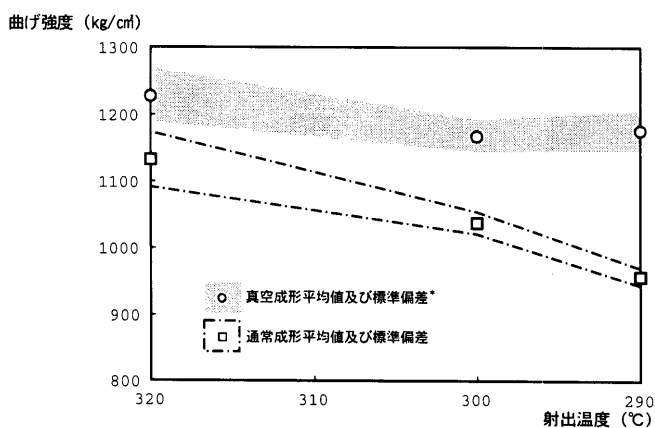


図5. 射出圧力 175 kg/cm<sup>2</sup> で各射出温度条件で真空成形, 通常成形した試験片 A の曲げ強度 (平均値および標準偏差幅)

\* 通常成形試料に対して有意 (P<0.05)

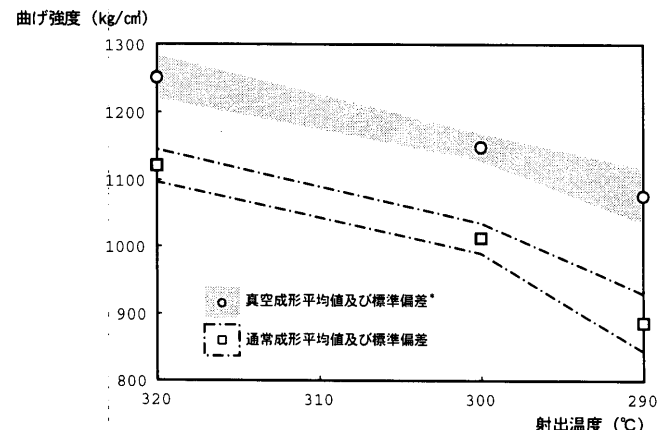


図6. 射出圧力 175 kg/cm<sup>2</sup> で各射出温度条件で真空成形, 通常成形した試験片 B の曲げ強度 (平均値および標準偏差幅)

\* 通常成形試料に対して有意 (P<0.05)

片 B の曲げ強度試験の結果を図 6 に示す。真空成形の場合、射出温度 290℃、 $1,076.25 \pm 41.14 \text{ kg/cm}^2$ 、300℃、 $1,148.75 \pm 19.49 \text{ kg/cm}^2$ 、320℃、 $1,251.25 \pm 31.70 \text{ kg/cm}^2$  の曲げ強度に対して通常成形は射出温度 290℃ から  $887.50 \pm 42.65$ 、 $1,012.50 \pm 22.78$ 、 $1,121.25 \pm 24.08 \text{ kg/cm}^2$  であった。両者を比較すると真空成形の曲げ強度が 130～190  $\text{kg/cm}^2$  対照の通常成形より高値を示し、通常成形より 21.3% 向上していることがわかった。

曲げ強度試験結果では、真空技術を取り入れた射出成形の試験片の方が比較対照である通常の成形品より 23.0% 強度が向上し、偏差幅もせまく有意に有効であり強度の安定した成形品を得られることが判明した。又、真空技術を用いることにより最適射出温度を対照である通常成形より 30℃ 以上低値に設定できることがわかった。

## 2. 密度

結果を表 2、図 7 に示した。表 2 は射出圧力 220、175

$\text{kg/cm}^2$  での全試料の密度測定データである。真空成形試験片 A、B の密度は共に通常成形試料 A、B に比較して有意に ( $P < 0.05$ ) 向上した結果となった。特に射出圧力 175  $\text{kg/cm}^2$  の密度の測定データでは、試験片 A で真空成形の密度 1.272 に対し通常成形の密度 1.256 で真空成形が 0.016 高い値を示した。変動係数のバラッキでは真空成形が 0.03% 低く安定したデータが示された。

試験片 B でも同じ傾向が測定結果としてでているが真空成形の方が密度で 0.019 高値を示し、変動係数では 0.03% 低く真空効果が試験片 A よりも大きいことがわかった。図 7 は特に有意差の大きい射出圧力 175  $\text{kg/cm}^2$  の真空成形、通常成形の密度測定データを表わしたものである。X 軸に射出温度、Y 軸に密度を示し、上部が真空成形の試験片 A、B で下部が通常の試験片 A、B である。真空成形の密度平均値 1.272 に対し、対照である通常成形の密度は 1.256 であり真空成形の効果が有意に表われており、射出温度が低いほ

表 2. 射出圧力 220、175  $\text{kg/cm}^2$  で各射出温度条件で真空成形、通常成形した試料 A、B の密度

成形法	射出圧力 ( $\text{kg/cm}^2$ )	平均値	試験片 A 標準偏差	変動係数 (%)	平均値	試験片 B 標準偏差	変動係数 (%)
真空成形	175	1.272	0.004	0.03	1.271	0.005	0.04
通常成形		1.256	0.007	0.06	1.252	0.008	0.07
真空成形	220	1.272	0.004	0.03	1.271	0.005	0.04
通常成形		1.269	0.004	0.03	1.269	0.005	0.04

## 密度

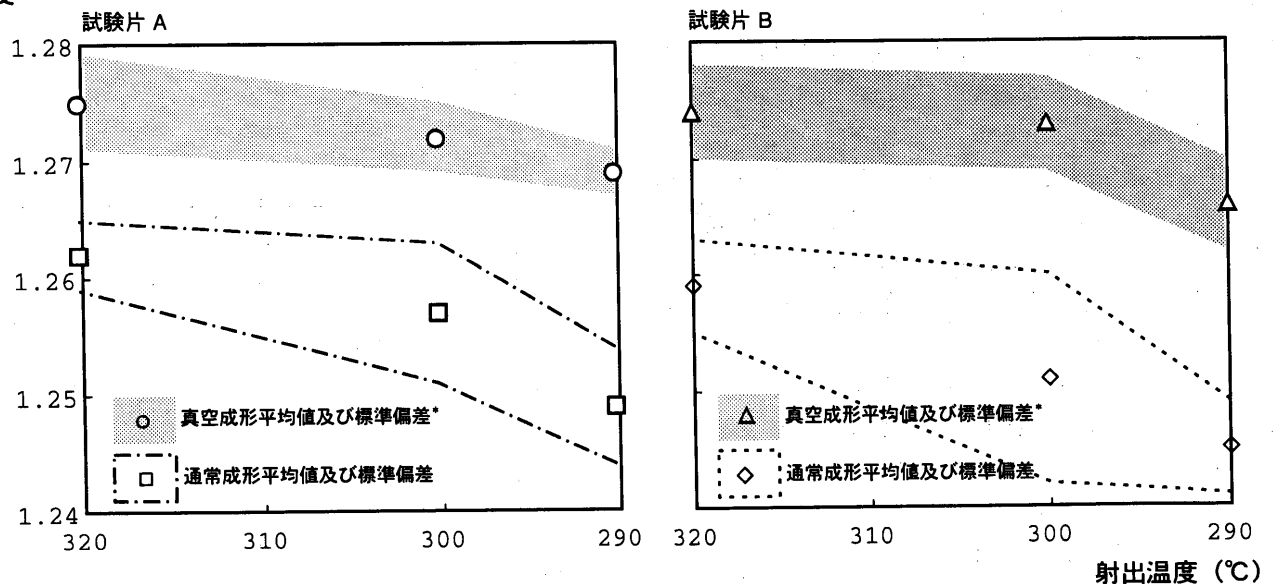


図 7. 射出圧力 175  $\text{kg/cm}^2$  で各射出温度条件で真空成形、通常成形の密度 (平均値および標準偏差幅)

\* 通常成形に対して有意 ( $P < 0.05$ )

ど真空効果が大きいことがわかった。

真空成形法における射出圧力と密度の相関をとるため成形品の残留応力低減を目的に成形条件の射出圧力を段階的に減少させ、おおよその成形条件で試験片 A, B を成形しその密度を測定した。その測定結果を図 8 に示した。測定されたデータから、おおよそ試験片 A, B ともに射出圧力  $100 \text{ kg/cm}^2$  をしきい値として密度の低下がみられることがわかった。真空技術を取り入れた場合射出圧力を  $100 \text{ kg/cm}^2$  以下にすることが出来、それに伴って残留応力の低減もはかれることがわかった。

### 3. 成形歪（残留応力）の測定

PC の応力腐食性を利用し  $\text{CCl}_4$ -n-butanol 濃度勾配液を用いて成形歪の測定を行った結果を図 9 に示した。通常成形では密度  $1.269$  で残留応力  $130 \text{ kg/cm}^2$ 、この残留応力を  $100 \text{ kg/cm}^2$  に低下させると成形品の密度も  $1.254$  と低下する。これに対して真空成形では密度  $1.272$  で残留応力  $120 \text{ kg/cm}^2$  になり、この残留応力を  $85 \text{ kg/cm}^2$ 、 $55 \text{ kg/cm}^2$  と低下させても成形品の密度はほぼ一定であることがわかった。真空技術を用いれば射出圧力を低くすることが出来、これに伴って成形品の残留応力を有意に低減することが可能で、本研究では  $58\%$  低減することができた。

### 4. 空洞率試験

図 10, 11 に射出圧力  $220 \text{ kg/cm}^2$  と  $175 \text{ kg/cm}^2$  の真空成形と通常成形の空洞率試験結果のグラフを示す。図 10 は射出圧力  $220 \text{ kg/cm}^2$  における真空成形と通常成形の密度と空洞率の関係を示しており、成形温度  $290, 300, 320^\circ\text{C}$  すべての条件で真空成形の方が空洞率を対照である通常成形を  $100\%$  とした場合  $18.9\%$  まで低下させることができた。このことは成形品の品質低下の原因となる微細気泡を  $1/5$  以上の高効率で低減する効果があることがわかった。図 11 は射出圧力  $175 \text{ kg/cm}^2$  の真空成形と通常成形の密度と空洞率の関係を示している。真空成形を用いることにより成形品の空洞率を対照である通常成形を  $100\%$  とした場合の  $11.1\%$  まで低下させ成形品内の微細気泡が  $1/8$  減少していることがわかった。

真空成形及び通常成形の SEM 像の観察を行ったところ、SEM 像観察結果においても真空成形法による成形品の微細気泡減少効果が顕著に観察された。

### 5. 曲げクリープ試験

曲げクリープ試験結果及びクリープ回復率測定データを図 12, 13 に示す。曲げ設定荷重を真空成形の場合  $7.2, 8.8, 12.1 \text{ kg/mm}^2$  とし、対象として真空を用い

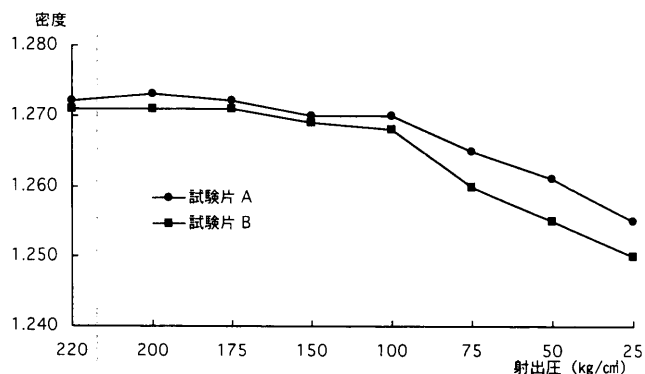


図 8. 真空射出成形における射出圧と密度の関係

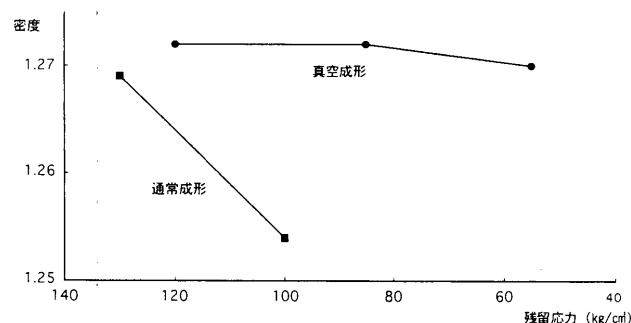


図 9. 真空成形および通常成形試料の密度と残留歪の関係

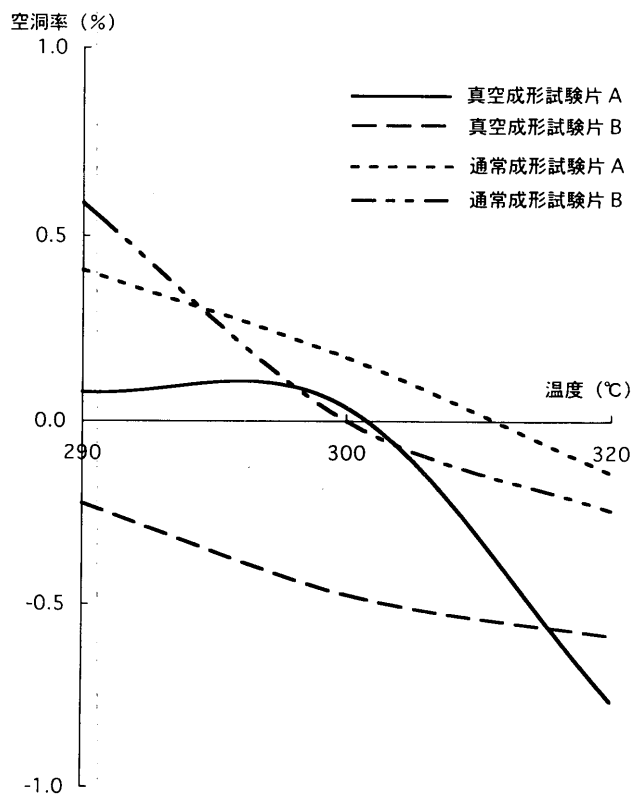


図 10. 真空成形と通常成形試料の空洞率の比較  
射出圧力:  $220 \text{ kg/cm}^2$

ない通常の成形品についても同一条件で試験を行わなければならないが少ない荷重で変形を開始するため、歪量を同レベルにする目的から荷重を4.6, 6.8, 10.2 kg/mm<sup>2</sup>と少なくし曲げクリープ試験を行った。

両者共に応力の増加に伴い応力除去後、24~120時間後の歪の値は大きくなっている。曲げクリープ試験を行う為の最小応力が真空成形では7.2 kg/mm<sup>2</sup>、通常の成形品では4.6 kg/mm<sup>2</sup>で共に義歯床用として口腔内に使用する力学的強度としては全く問題無いが、材料が変形し始める潜在的限界強度として両者は7.2, 4.6 kg/mm<sup>2</sup>と明確な差が観察された。

一方歪量を見てみると、両者の応力をほぼ一定で比較を行うと真空成形は7.2 kg/mm<sup>2</sup>で $2.8 \times 10^3$ 、通常の成形品は6.8 kg/mm<sup>2</sup>と小さいが歪量は $130 \times 10^3$ で46.4倍大きな値となった。すなわち、材料の変形の観点から前者が後者と比較し、曲げクリープに関する耐性が大きいことがわかった。全ての応力レベルで真空成形の歪量が小さいことがわかった。

次に曲げ荷重に対する歪の回復率の結果を示す。真空成形が回復率の高いことがわかった。真空成形は応力7.2 kg/mm<sup>2</sup>で24時間後57%回復するのに対し、通常の成形品では18%の回復率であった。前者が3.2倍回復率が高い結果で、他の荷重でも真空成形のクリープ回復率が高かった。これらの結果は真空成形が微細気泡が少なく高密度で残留応力の少ない状態に成形されているため、クリープ歪とその回復率が良好な測定データになったものと思われる。

## 6. 疲労試験

真空成形（射出圧力175 kg/cm<sup>2</sup>、射出温度300℃）、通常成形PCおよびアクリルレジン試料片の疲労試験結果のS-N線図を図14に示す。表の縦列に設定荷重を、横列に試料の両振り曲げ応力による破壊までの繰返し数(N)を表す。真空成形法によるPCと通常成形法によるPCを比較すると応力100 kg/cm<sup>2</sup>の場合前者が4,777,880回に対し、後者は3,840,940回で936,940回真空成形の方が向上し、対照である通常成形法と比べ真空成形法の繰返し数の増加回数は応力200 kg/cm<sup>2</sup>で583,740回、応力300 kg/cm<sup>2</sup>で178,240回、応力400 kg/cm<sup>2</sup>で31,620回増加し、全ての条件で真空成形法が疲労特性を向上させることが

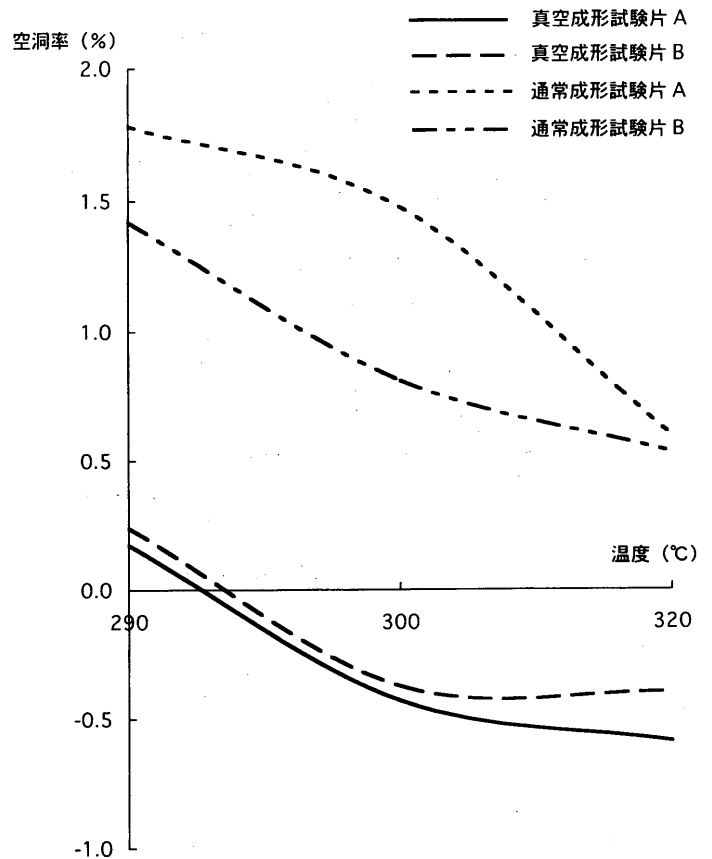


図11. 真空成形と通常成形試料の空洞率の比較  
射出圧力：175 kg/cm<sup>2</sup>

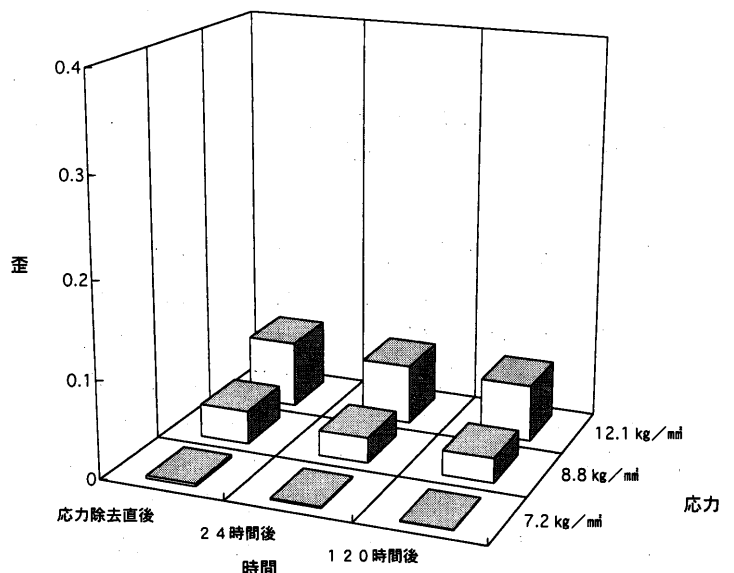


図12. 真空成形試料のクリープ特性

わかった。又、各々のデータのバラツキも真空成形法の方が通常成形法より少なく、安定した試験結果であった。さらに、加熱重合法によるアクリルレジン疲労試験結果について応力100 kg/cm<sup>2</sup>の場合、真空成形法によるPCと比較を行うとアクリルレジンの耐疲労特性が30.3%と低いことがわかった。又、アクリルレ

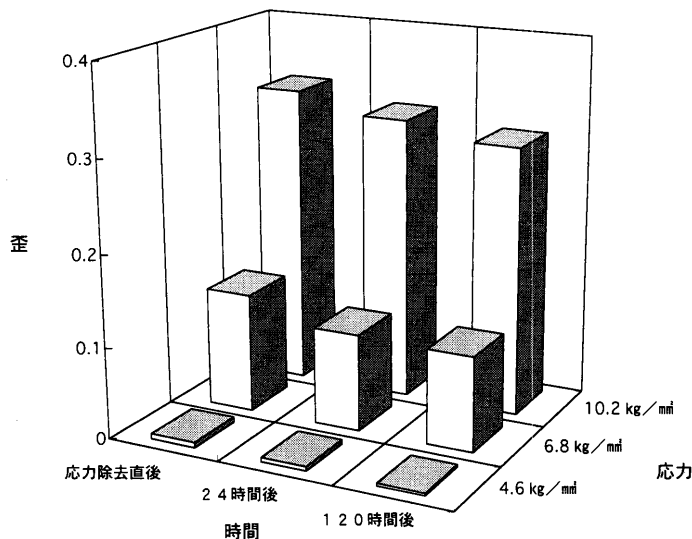


図 13. 通常成形試料のクリープ特性

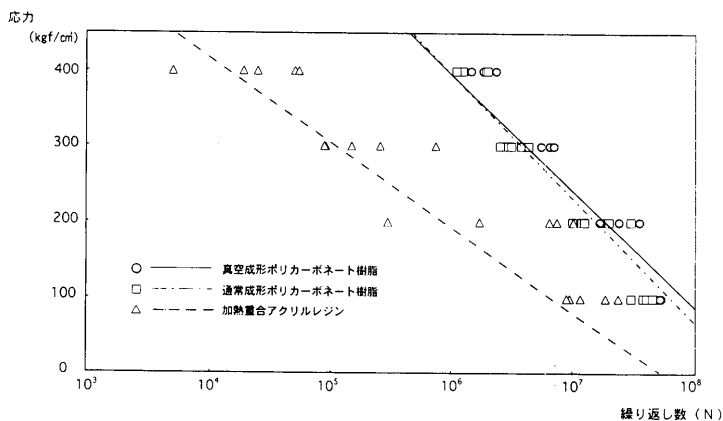


図 14. 真空成形および通常成形のポリカーボネート樹脂とアクリル樹脂の疲労試験 S-N 線図

ジンの重合反応の不均一性に起因すると思われるデータのバラツキが顕著に現われていた。これは PC が真空技術を取り入れた成形法で作られているため微細気泡が少なく、十分に均質な状態であるのに対し、アクリル樹脂は樹脂をプレスし、加熱重合法により重合するため成形物が不均質になったり気泡などの欠陥を伴いやすいため、材料の弱い部分に応力の集中が起り破壊を促進し PC を比較し疲労特性の低下が著しく、またデータのバラツキが大きくなったものと考えられる。

本研究では真空度は低真空状態の 10 トールであったが、空気の粘性抵抗を減らし高分子材料の酸化や窒化現象を防ぎ、スムーズに成形が行え PC の力学的強度を向上させることができたと考えられる。

## 結 論

歯科補綴物製作の際に加えられる外力と等しい応力

が補綴物内に発生し、このうちの何%かは残留応力として補綴物内に蓄積される。これにより成形歪を生ずることになる。従って、成形時の成形外力を可能な限り最小とすることは補綴物はもとより成形品の安定性、品質の向上に欠かすことのできない要因である。我々はこの点に着眼し成形時外力を最小とするため、真空成形技術を取り入れた真空成形法を導入し、この真空成形技術が成形品の力学的性質におよぼす効果について検証を行った。

曲げ強度では、真空射出成形 PC 試験片の方が通常成形 PC 試験片より 23% 強度が向上し、偏差幅もせまかった。密度では、真空射出成形 PC 試験片の密度は  $1.272 \pm 0.004$  で通常射出成形 PC 試験片の  $1.256 \pm 0.007$  よりも良い値だった。成形歪(残留応力)では、真空射出成形 PC 試験片は密度 1.272 で残留応力 120 kg/cm<sup>2</sup> あったものが残留応力 55 kg/cm<sup>2</sup> に低下させても密度はほぼ一定であった。空洞率では、通常射出成形 PC 試験片と比較し真空射出成形 PC 試験片 18.9% 低下させることができた。曲げクリープ試験では、真空射出成形 PC 試験片の方が通常射出成形 PC 試験片より約 46 倍曲げクリープに関する耐性が大きかった。又、曲げクリープ回復率では真空射出成形 PC 試験片が通常射出成形 PC 試験片の約 3 倍高かった。疲労試験では、真空射出成形 PC 試験片の応力 100-400 kg/cm<sup>2</sup> における繰返し数が通常射出成形 PC 試験片より著しく増加することができた。又、加熱重合アクリル樹脂の疲労特性の約 3 倍となった。

これらのデータから射出圧力、射出温度の最適条件は真空度 10 トールで 175 kg/cm<sup>2</sup>、290℃ であった。

以上の研究結果から射出成形品の機械的強度及び密度が向上し、成形歪(残留応力)が減少することが判明した。さらに微細気泡が減少し曲げクリープ特性、耐疲労特性が改善されることが明らかになった。真空成形法は成形品の長期の使用による品質の安定に深く寄与することがわかった。

本稿の要旨は第 16 回日本歯科技工学会(平成 6 年度東京)、第 17 回日本歯科技工学会(平成 7 年度)、第 18 回日本歯科技工学会(平成 8 年広島)、第 19 回日本歯科技工学会(平成 9 年大阪)に於て口演発表を行った。

## 文 献

- 1) 小林緑朗：レイニング工法とその臨床応用（その1）。日本歯科評論，462：141-152，1981.
- 2) 田之口克規，酒井明敏，小野鉦治郎，佐野裕子：歯科用ポリサルホン樹脂のフィラー充填効果について（第1報）。日歯技工誌，5(1)：52-56，1984.
- 3) 酒井明敏，田之口克規，和田健一，菅原浩，佐野裕子：歯科用ポリサルホン樹脂のフィラー充填効果について（第2報）。日歯技工誌，5(1)：57-61，1984.
- 4) 佐野裕子：高分子の流れ挙動について。日歯技工誌，3(1)：11，1982.
- 5) 日本規格協会：硬質プラスチックの曲げ試験方法。JIS ハンドブック，プラスチック 11，1版，226-230頁，東京，1991.
- 6) 日本規格協会：プラスチックの密度と比重の測定方法。JIS ハンドブック，プラスチック 11，1版，321-325頁，東京，1991.
- 7) 日本規格協会：プラスチックの耐薬品性試験方法。JIS ハンドブック，プラスチック 11，1版，326-328頁，東京，1991.
- 8) 日本規格協会：ガラス繊維強化プラスチックの空洞率測定方法。JIS ハンドブック，プラスチック 11，1版，432-433頁，東京，1991.
- 9) 日本規格協会：プラスチックの曲げクリープ試験方法。JIS ハンドブック，プラスチック 11，1版，209-214頁，東京，1991.
- 10) 日本規格協会：硬質プラスチック材料の疲れ試験方法通則。JIS ハンドブック，プラスチック 11，1版，215-218頁，東京，1991.
- 11) 日本規格協会：プラスチックの状態調節及び試験場所の標準状態。JIS ハンドブック，プラスチック 11，1版，143頁，東京，1991.
- 12) 日本規格協会：数値の丸め方。JIS ハンドブック，プラスチック 11，1版，161-162頁，東京，1991.
- 13) 高橋磐郎，出居茂，小柳芳雄，小林龍一：統計・数値解析，培風館，57-58頁，東京，1969.