

精密鑄鋼品製造法の開発

Developement of Precision Casting Process for Steel

島田 要 吾* 清水 貞 一*
Yôgo Shimada Teiichi Shimizu

要 旨

比較的形状の大きい精密鑄造品の製造を目的に研究を行ない、消耗性模型として使用する発泡(ぼう)ポリスチレン模型の成形技術の開発および鑄造方法を確立した。また分割焼成鑄型による精密鑄造法としてセラミック鑄型の造型鑄造技術を開発した。

本報は上記技術の概要およびそれぞれの鑄造法で製作した精密鑄造品の適用例について述べる。

1. 結 言

近代工業の発達に伴い、種々の部品に精密鑄造品の要求が増大してきた。これら精密鑄造の分野では、第二次大戦前すでに寸法精度が高く、鑄はだの平滑な鑄造品を作るインベストメント法(ロストワックス法)⁽¹⁾がある。その後シェルモールド法⁽²⁾、ショープロセス⁽³⁾などが続々現われ、鑄造品の生産方式を改革するに至った。

精密鑄造法で一般に優秀な品質の得られる方法としてロストワックス法である。この方法は小形の場合には適しているが、素材重量10~50kgの精密鑄造品たとえば、ディーゼル機関車に積載する流体変速機部品、石油化学工業の製造過程に使用するポンプ用部品、または高温高圧下で使用するボイラ給水ポンプ用部品や原子炉内部に装入する精密鑄鋼品などは、ロストワックス鑄造品の鑄造可能限界をはるかに越えている。またシェルモールド法は製作個数が数百個以上でないと生産に応用するのが困難であるという制約がある。

ショープロセスは、形状の大きな精鑄品に適した鑄造方法であるが、鑄型が流し込み成形のため鑄造品の形状により製作困難な場合が生ずる。

筆者らは、上記精密鑄造技術を検討し、比較的形状の大きい精密鑄造品に適した精密鑄造法を開発した。

以下、これら精密鑄造技術についてその概要を述べる。

2. 消耗性模型による精密鑄造法

ロストワックス法とは、ワックスで作った模型の周囲を耐火物で被覆し、耐火物が硬化したのちワックスを除去して精密な鑄型を作る方法である。この模型材料に要求される基本的性質は次のとおりである。

- (1) 寸法精度が良く、平滑な型はだの模型が簡単に速くできること。
- (2) 造型上、必要な強さを有すること。
- (3) 造型後、模型が簡単に除去できること。

現在、一般に使用されているワックス材料は、上記性質を満足するよう厳選して製造されているが、ワックスの収縮は一般に大きく、また模型形状によって収縮特性が異なるので寸法精度の良い模型を作るには金型の修正を再三行なう必要がある。さらに模型製作の際、確実な温度管理を実施しなくてはならない。また容積1l以上の形状の大きなワックス模型を射出成形すると、変形、き裂などの欠陥が発生し、精度の良い模型を作ることは、ほとんど不可能である。このほかワックス模型の組立ては双方の接着面を加熱して溶融接合する以外なく、この接合部分の精度が著しく害される欠点がある。

以上のような欠陥は、ワックス材料の本質的な性質に起因するも

* 日立製作所亀有工場

表1 模型材料に使われる合成樹脂の性質

種 類	性 質	模型材としての適 否
ポリスチレン	熔融状態での流れが良いので成形容易 溶接や有機溶剤による接着容易 耐 用 温 度 (65~95℃) 変 形 温 度 (71~99℃) 成形時の収縮が少ない、ほとんどひけを起こさない。 吸湿性が少なく、可燃性である。	良 良 可 良 良 良
ポリエチレン	ぜい化温度が低く、低温にてたわみ性がある。 衝撃強度が大きい。 化 学 的 に 安 定 耐 用 温 度 (100℃) 変 形 温 度 (40~49℃) 接 着 困 難 成形時の収縮が大きい。(肉厚の成形困難)	否 良 可 可 否 否 否
塩ビ 化 ニ ル	機 械 的 強 度 大 変 形 温 度 (60~77℃) 自 然 消 火 性 加 工 性 に 富 む	良 可 可 良
ナイロン	高温における機械的性質が良好 吸 湿 が 大 き い。 吸湿による寸法変化がある。	良 否 否

のでワックスを模型材に使用するかぎり、宿命的な欠点と考える。

これらワックスの代用として、熱可塑性樹脂を使用するため研究を進め、おおむね目的に合った材料を見いだすことができた。

表1は一般の熱可塑性樹脂の性質の比較である。

物性上から見ると、ワックス材料に比較して接着が容易で、変形温度が割合高く可燃性であるなどの利点があるポリスチレン(特に発泡材)が適している。

発泡ポリスチレンの成形法は、一般にポリスチレンに発泡剤、低沸点有機溶剤を均一に分散あるいは吸収させたのち、発泡剤の分解温度あるいは低沸点有機溶剤の沸点以上に加熱し発泡させる。

この方法で成形された発泡ポリスチレン材の物性は次のとおりである。

比重0.016~0.07の発泡ポリスチレンの線膨張係数は0.00007mm/mmで、模型用ワックスの線膨張係数(0.0005~0.001 mm/mm)の約1/10の値である。

一般に建築材料方面では発泡ポリスチレン材の最大の欠点として易燃性があげられている。そのため難燃性にするために多くの研究が行なわれている。しかし精密鑄造模型としては易燃性は模型を鑄型から除去する際重要な望むべき性質で、大なる利点としてあげることができる。

2.1 発泡ポリスチレン模型の性質

発泡ポリスチレン模型の成形実験は種々の要因について行なわれ、模型の形状に応じて金型の材質、肉厚、充てんする発泡ポリスチレン原粒の粒度構成を考慮し、さらに適切な加熱条件を与えることにより、平滑な型はだの模型が得られることを知った。

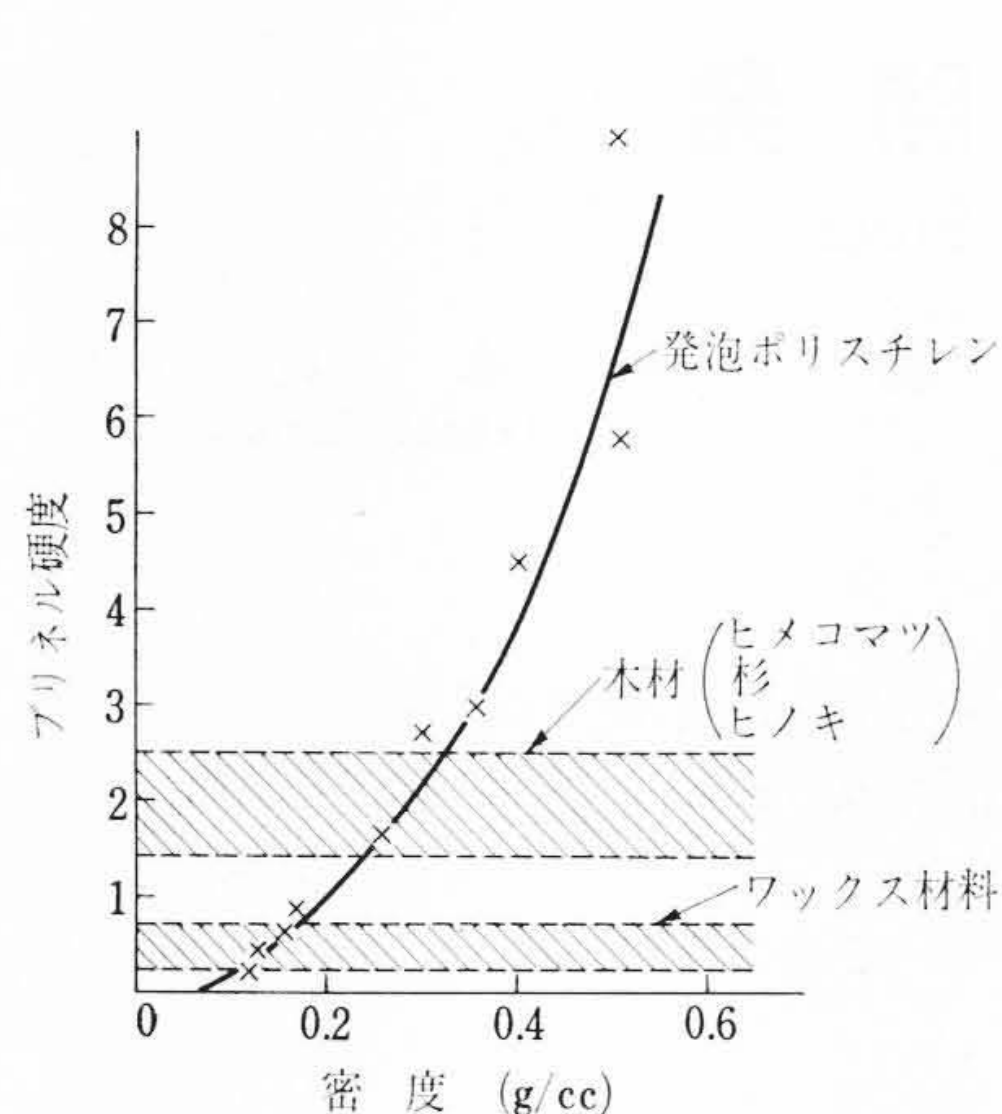


図1 模型材の密度とブリネル硬度の関係

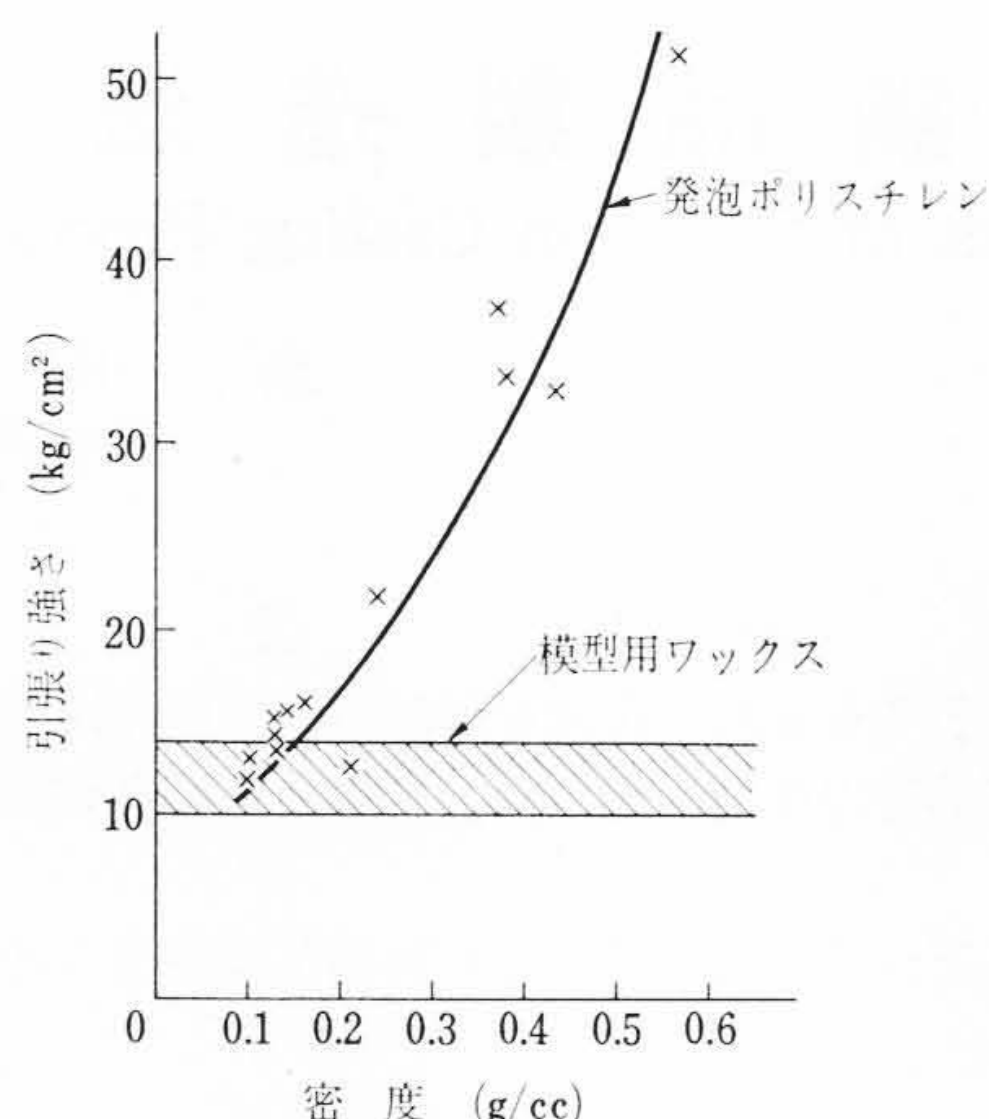


図2 模型材の密度と引張り強さの関係

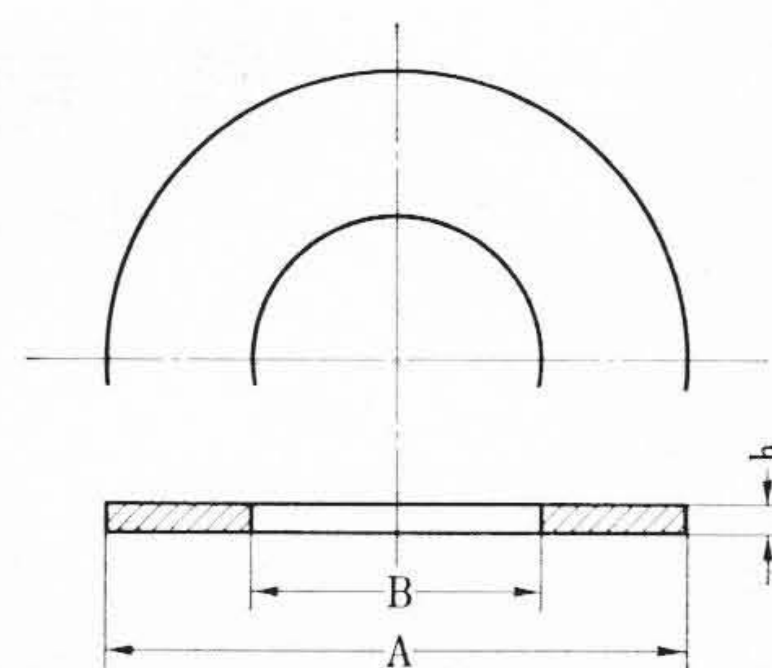


図3 リング試験片の寸法測定位置

表2 リング試験片の寸法精度
(20個について測定)

	A	B	h
横型寸法 $\bar{x}$ (mm)	199.51	99.76	9.77
収縮量 $\bar{x}$ (mm)	0.51	0.22	0.03
収縮率 (%)	0.25	0.21	0.31
信頼度95%における 収縮量(mm)の信頼限界	± 0.10	± 0.06	± 0.04

以上の方法で成形した発泡ポリスチレン模型の機械的性質を検討した。

2.1.1 表面かたさ

一定の条件で成形した試験片 (50φ×50) の表面かたさを測定した。端面について、鋼球 10 mmφ 荷重 5 kg 負荷時間 30 秒の条件で測定し、その圧痕(こん)からブリネル硬度を求めた。図1は試験片の密度とブリネル硬度の関係である。図中に模型用ワックスの硬度を記入したが、試験片の密度 0.1 付近のものが模型用ワックスと同程度の硬度を有している。

2.1.2 引張り強さ

JIS K 6871-1961 (スチロール樹脂成形材料試験方法) により引張り強さを測定した結果は図2に示すとおりである。

発泡ポリスチレン材は密度 0.1 付近で 10 kg/cm² の値を示している。以下密度が高くなるにしたがい逐次引張り強さは増加する。

一般に模型用ワックスの引張り強さは最高 14 kg/cm² と言われている。しかし実際に形状の大きい肉厚品を射出成形すると、ワックス模型は中央に引け巣やき裂などが発生し、公称強度より低い応力で破損し以下の作業が困難となる。発泡ポリスチレン模型は内部からの均一発泡成形なので、模型の大きさに比例して強さが増加し肉厚品の一体模型を容易に精度良く製作することができる。

2.1.3 模型の寸法精度

寸法精度としてはリング状試験片について測定した結果を示した。

図3はリング状試験片の寸法測定位置である。

表2はリング状模型の寸法測定結果で、20個の模型について測定した値である。

収縮量とは金型寸法と模型寸法の差で、収縮率とは上記収縮量を模型寸法で除した値である。また寸法精度の尺度として収縮量の標準偏差を求め、この値より信頼度 95% におけるばらつきの信頼限界を記入した。

模型用ワックスの収縮は一般に 3% 程度である。発泡ポリスチレン模型の収縮率は 0.2~0.3% と非常に小さいので、肉厚変動の多い形状の大きい模型を容易に作ることができる。

次に発泡ポリスチレン材の密度の違いによる収縮率の変化を検討した。

図4はリング状試験片の密度を変化させた場合の収縮率を示したものである。結果は密度が大になるに従い収縮率は小さくなり、密度が小になるほど収縮率は大きくなる。すなわち模型とし

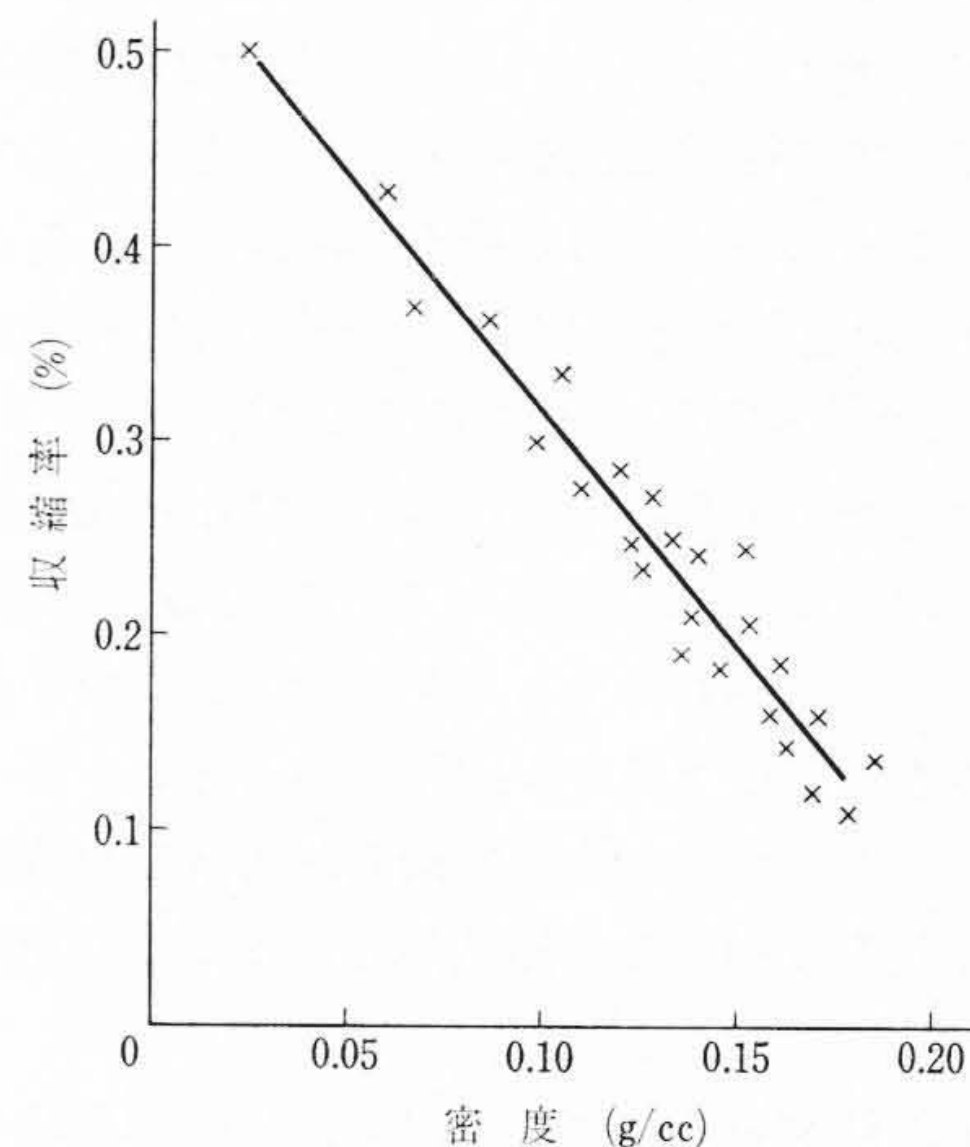


図4 発泡ポリスチレン模型材の密度と収縮率の関係

て許容される範囲で発泡ポリスチレン模型の密度を大にすれば精度は向上するものである。

次に成形上の利点として、ワックスで成形した平板状の模型は、中央部が外引け現象で凹(おう)状になる傾向がある。しかし、発泡ポリスチレン模型は発泡成形のため、金型形状を忠実に再現しこのような欠陥は皆無である。ただし発泡ポリスチレン模型には粒状の材料を充てんして模型とするため、肉厚 1~2 mm の薄板模型を作るのは困難である。この場合は従来のワックス模型の使用が有利である。

2.2 鋳込結果

成形した模型材の表面をアルコールで洗浄し、一般ロストワックス法で使用している被覆材を塗布し耐火物粒でサンディングした。被覆材はジルコンサンドパウダーにエチルシリケートの加水分解液を加え泥状としたもので、サンディング材にはジルコンサンドおよびジルコンサンド焼結材を使用した。これらの操作を数層実施し、常温で乾燥完全に硬化させた。

硬化後の鋳型はトリクロールエチレン蒸気で鋳型内部の模型材を溶解除去した。このセラミックシェル鋳型を 1,000℃ の温度で焼成し同温度で 3 時間保持し可燃物質を完全に燃焼させた。注湯は鋳型が高温の状態で行なわれた。

図5は組立て後の模型、図6は砂落とし後の鋳込品である。鋳はただは精密鋳物面あらさ標準片による比較判定では 18~25 S であっ

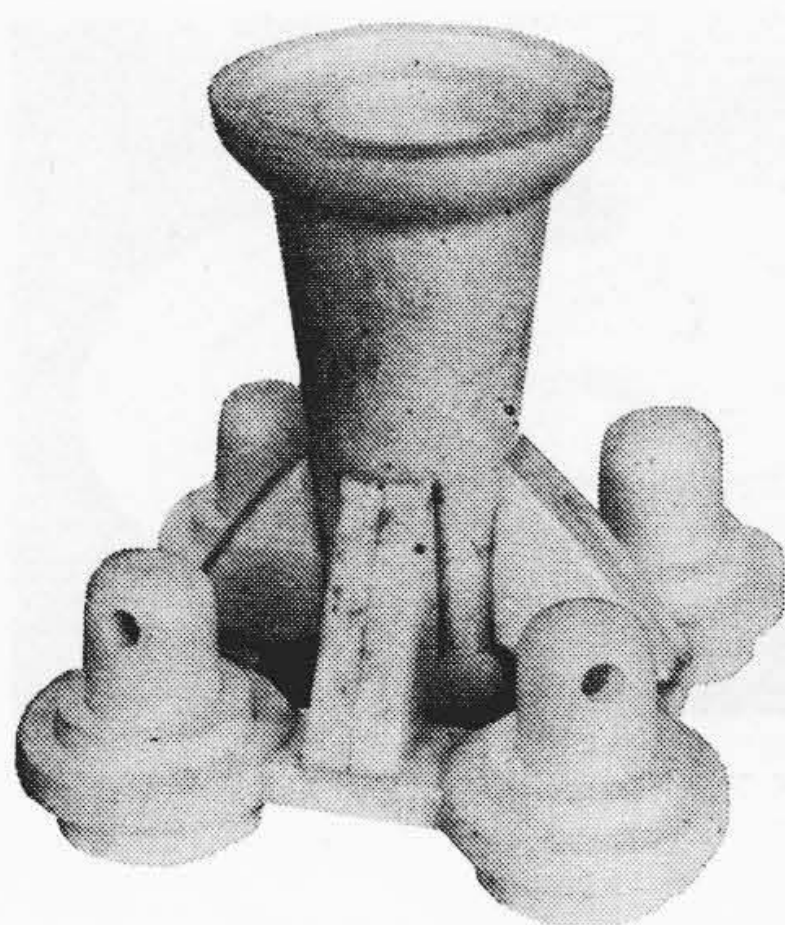
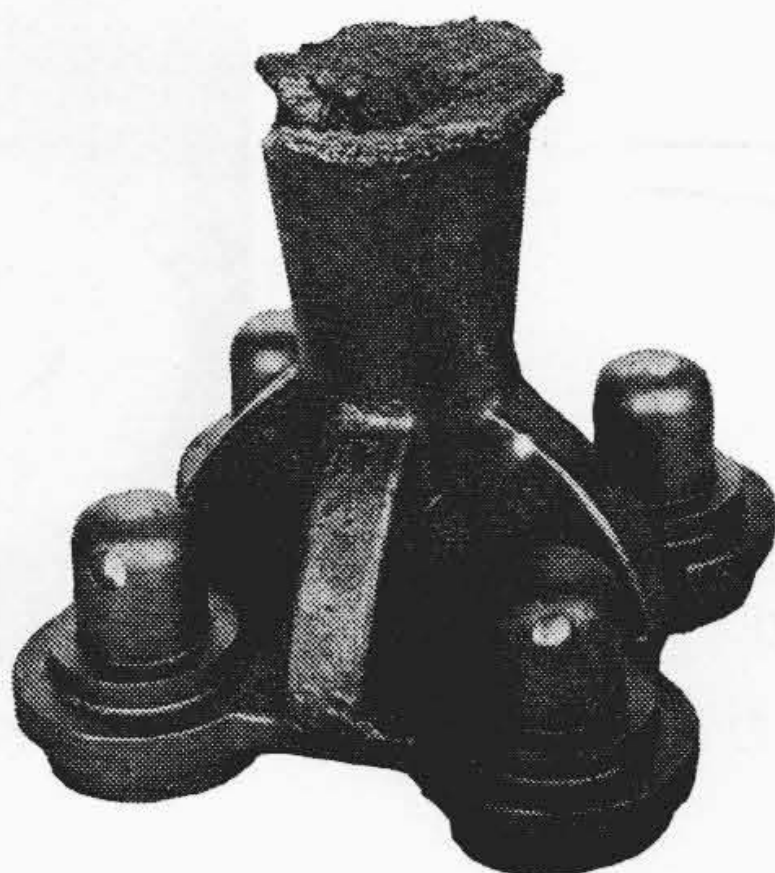
図5 組立て後の発泡ポリスチレン
模型

図6 鋳放し鋳造品

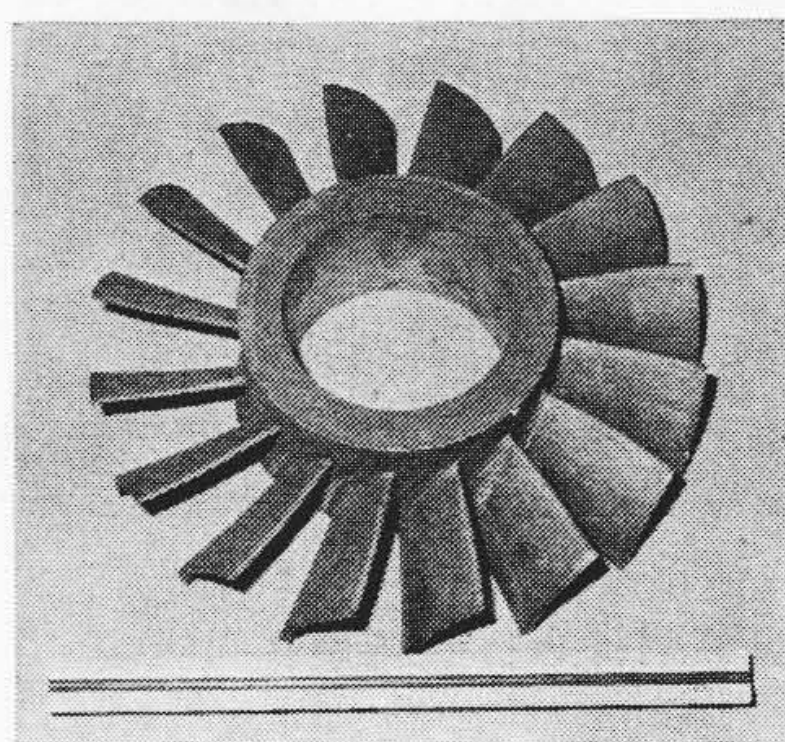


図8 発泡ポリスチレン模型を使用した精密鋳造品 (例2)

品 名	送風機用インジェーサ
材 質	SCS12
素材重量	7 kg
形 状	外径 290φ 羽根長さ 70mm

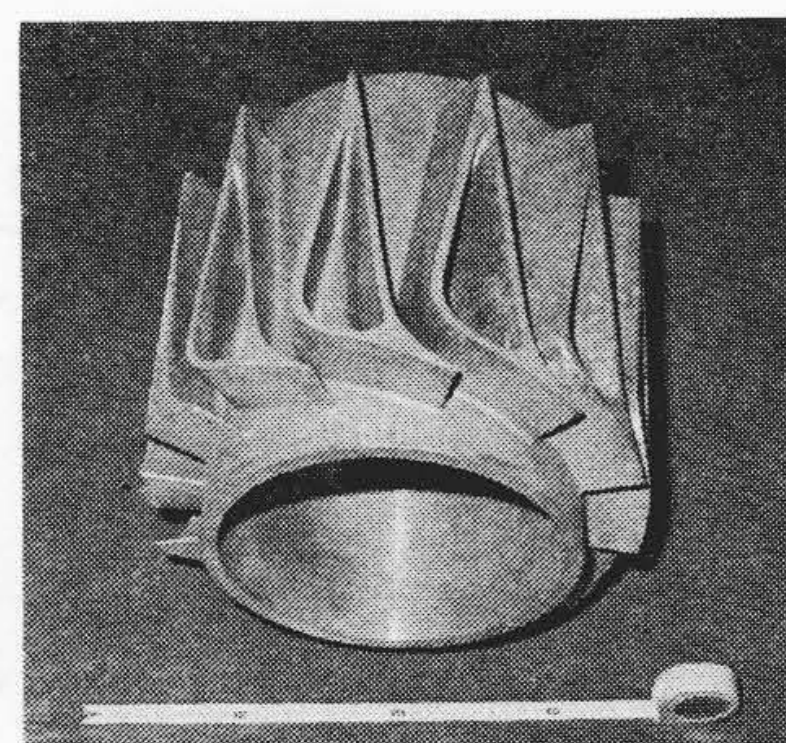


図7 発泡ポリスチレン模型を使用した精密鋳造品 (例1)

品 名	原子炉用ディフューザ
材 質	SCS13
素材重量	21 kg
形 状	外径 300φ 高さ 280 mm

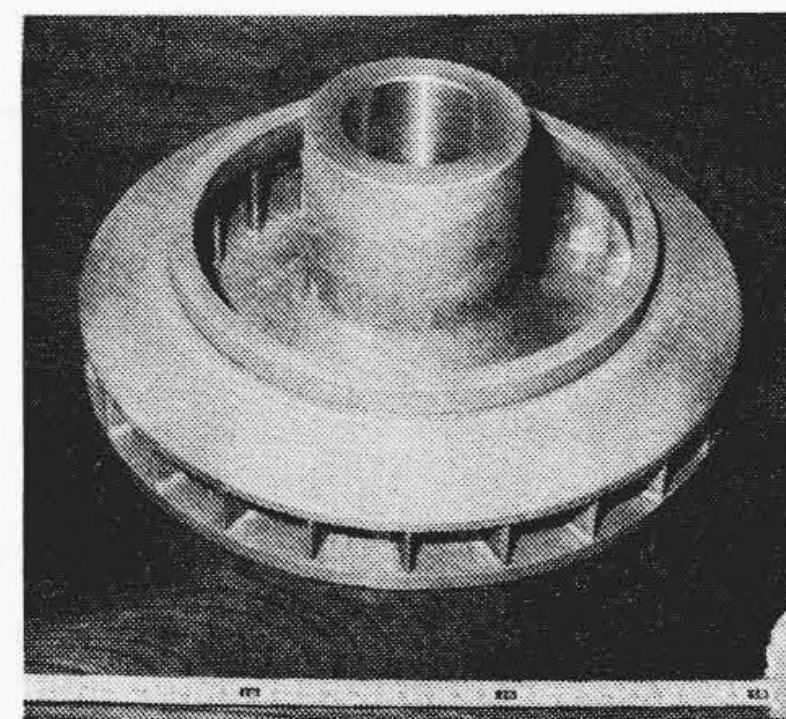


図9 発泡ポリスチレン模型を使用した精密鋳造品 (例3)

品 名	流体変速機用インペラ
材 質	SC46
素材重量	14 kg
形 状	外径 300φ×高さ 120 mm

た。すなわち従来のワックス模型の場合とほとんど同様である。

本模型の使用により従来のワックス模型より次の点ですぐれている。

- (1) 容積の大きい模型を容易に一体成形することができる。
- (2) 模型重量が非常に軽いので、容積が大きくても取り扱いが容易で、被覆作業の際破損するようなことがない。
- (3) 模型に対し、被覆材の付着性が良いので、被覆材のハク離が少ない。
- (4) 模型の除去が簡単でかつ除去の際の膨張がきわめて少ないため、ワックス模型除去の際に発生する鋳型のき裂破損などの欠陥が少ない。

2.3 消耗性模型を使用した精密鋳造品

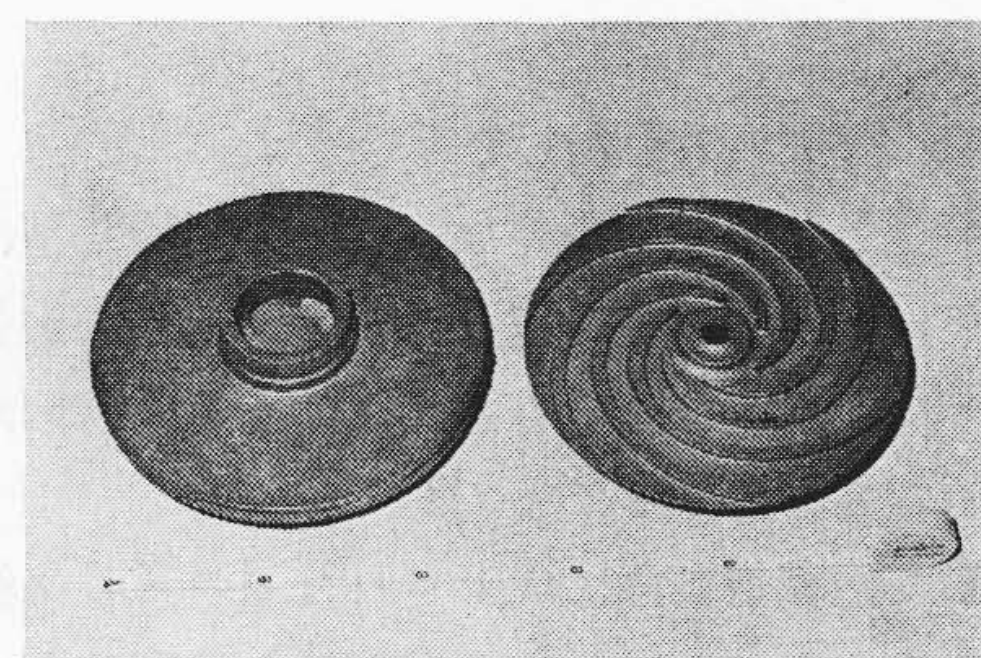
発泡ポリスチレン模型を使用した精密鋳造品の代表例を図7、図8、図9に示した。

3. セラミック鋳型を使用する精密鋳造法

ロストワックス法は消耗性の模型を使用して、一体鋳型を形成して、注湯する方法である。しかし鋳造品には、必ずしも一体鋳型より分割鋳型が有利な場合がある。

一例をあげると図10に示すポンプインペラのような鋳造品(流路内部を示すため上壁を削り取ってある)は流路部分が狭く長くそしてわん曲しているので現物と同形状の模型を一体模型で作ることは非常に困難である。また流路内面に耐火物を均一に被覆することがほとんど不可能である。このような場合、あらかじめ精密なセラミックコアを作って置き、これを組み込んで一体模型を形成し以下同様な操作で造型焼成し注湯するのが得策である。

このほか、金型素材のように一方向のみ精度が重要な製品は消耗性模型を使用する必要がなく、ショープロセスのように成形後模型を引き抜いて鋳型を作る方法が有利である。ショープロセスにもブロック型、シェル型、メタルバック型など多くの方法が開発されているが、鋳型材が流動状であるため、5~8mmの薄板状の鋳型を表裏



(左は鋳放し品、右は流路内を示すため上壁を削り取って示す)

図10 ポンプ用インペラ

平滑に造型することは、ほとんど不可能である。

筆者らは、これら薄板状のセラミックコアを作ること为目标に研究を進めた。

このセラミックコアに要求される条件は

- (1) 1,000℃以上の焼成作業にじゅうぶん耐えるだけの高温強度を有すること。
- (2) 溶湯に接した際発生ガスが出ないこと。
- (3) 溶湯に接した際変形がなく溶湯との反応がないこと。
- (4) 成形、乾燥、焼成を経て注湯後まで寸法変化の少ないこと。
- (5) 良好な造型性を有すること。
- (6) 造型後の取り扱いが容易であること。

上記条件を満足する鋳型材とするため、各種耐火物の物性を調査し、新しいセラミック鋳型製作法を開発した。

セラミック鋳型の素材として、マグネシア、ジルコンサンド、シヤモットサンド、クロマイトサンド、溶融シリカなどの耐火物を鋳型形状に応じて適切な粒度構成とする。この目的は造型および焼成後の寸法の安定、平滑な型はだおよび乾燥後のき裂の防止が主である。この素材に粉末の無機粘結材を加え、さらに焼成後、無機耐火物となる液状のバインダを加え混合可塑状態とする。この材料を模型表面に所定の厚さ成形する。模型を除去したのち鋳型を常温で放置乾燥し硬化させる。引き続き高温焼成し注湯する方法である。

以下、セラミック鋳型の諸性質を述べる。

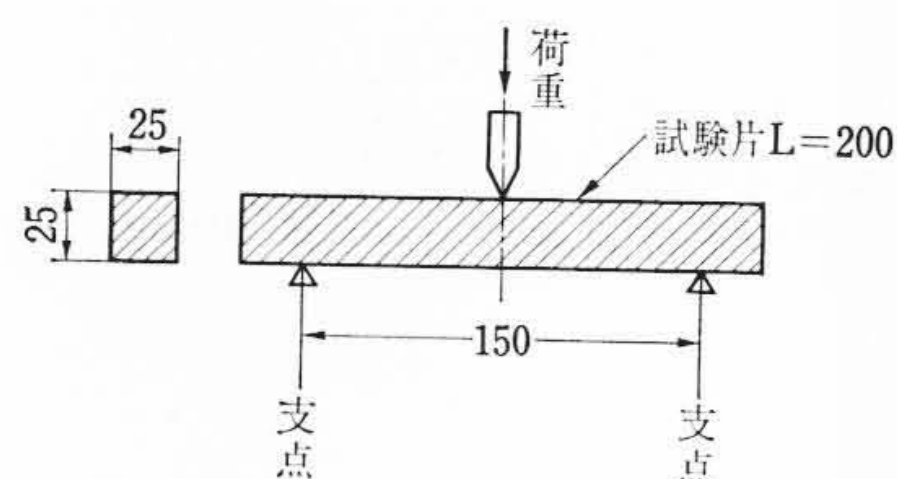


図11 抗折試験片の形状と試験方法

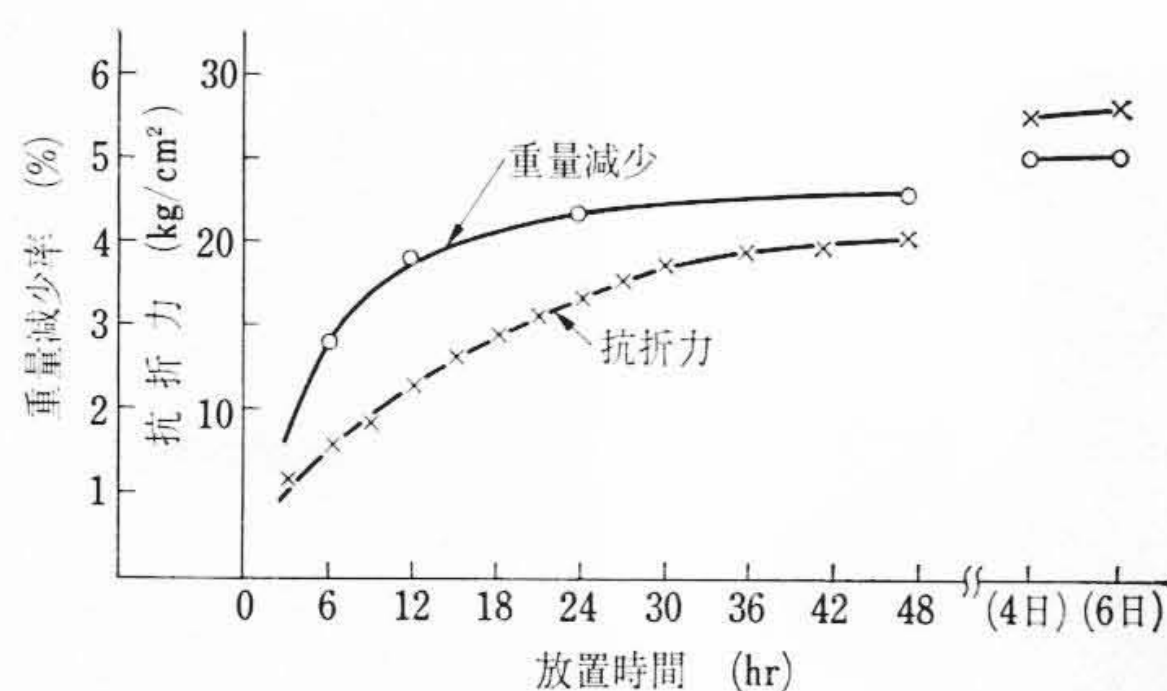


図12 セラミックコアの抗折力と重量減少率

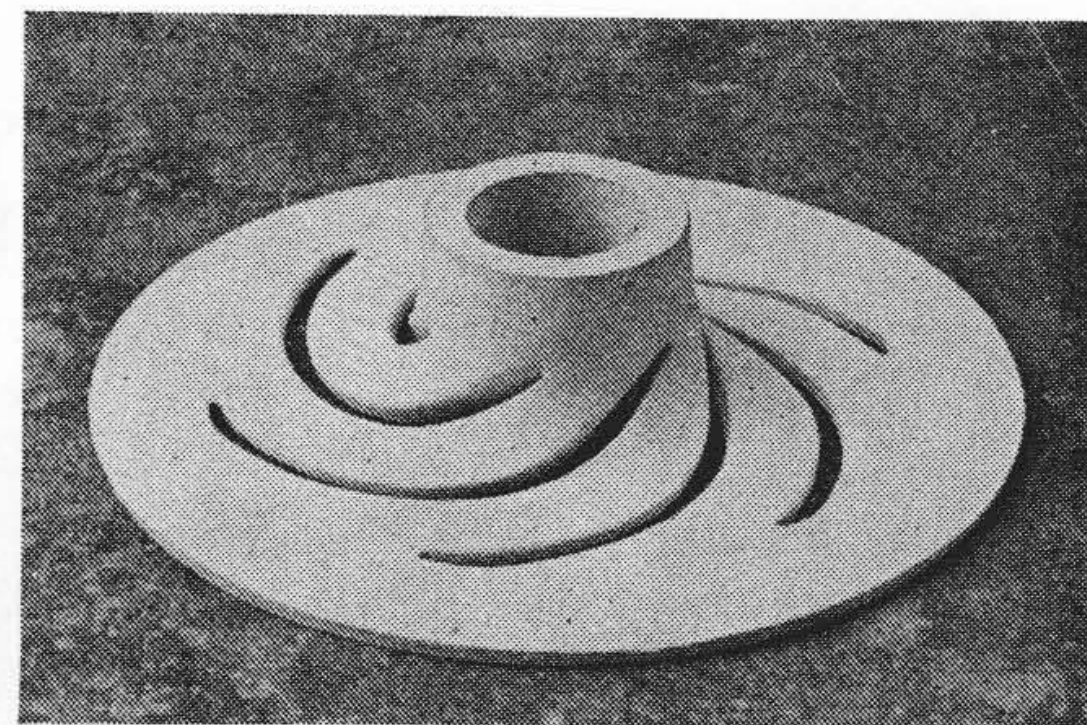


図13 ポンプインペラ用セラミックコア

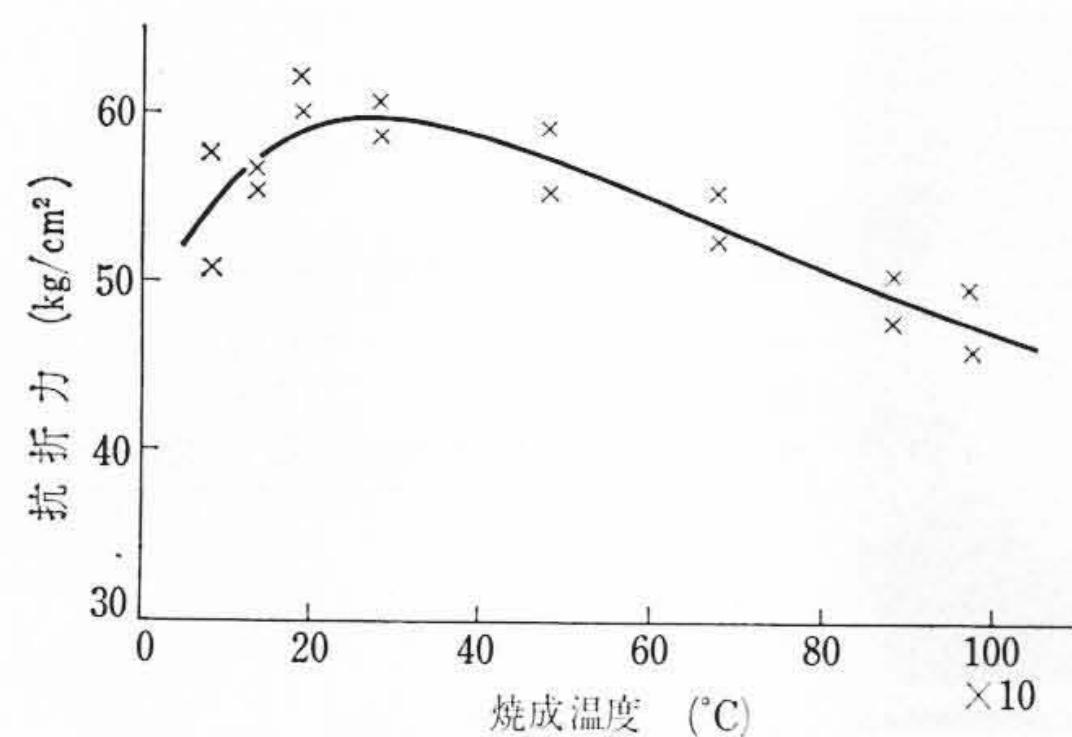


図14 セラミック鑄型の焼成温度と抗折力の関係

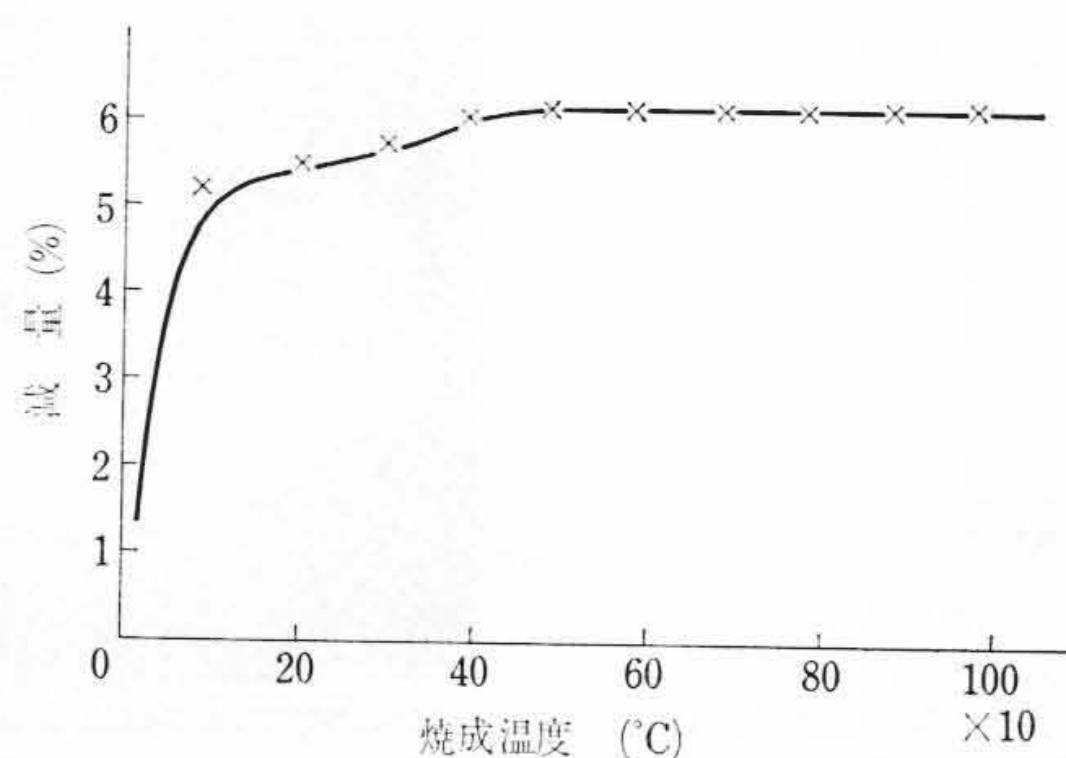


図15 セラミック鑄型の焼成温度と焼成減量の関係

図16 造型後のセラミック鑄型
(ポンプ用インペラ鑄型)

3.1 セラミック鑄型の湿態性質

セラミック鑄型として最も必要なことは、平滑な型はだはもちろんであるが、シェル鑄型として取り扱い中破損しない強度を有することである。すなわち湿態時でも適当な強さがあり、かつ焼成後においても所要の強さを有することである。

湿態性質として、模型表面に成形されたセラミック鑄型は模型を直ちに除去できることである。この湿態時の鑄型強さを測定したのである。

セラミック鑄型の抗折力の測定は図11に示す形状で行なわれた。すなわち中央集中荷重により一定速度で荷重を加え破断し、この破断荷重から抗折力(kg/cm^2)を求めたものである。

図12は成形後室温放置による抗折力の変化、および重量減少率を示したものである。

結果を比較すると放置時間とともに抗折力は向上し、一夜放置で抗折力が約 $15 \text{ kg}/\text{cm}^2$ に向上する。図13はポンプランナ用のセラミックコアである。コアの厚さは 6.4 mm であるが、一夜放置でじゅうぶん手に取って取り扱うことができる強さとなる。

3.2 セラミック鑄型の高湿性質

成形したセラミック鑄型は一夜放置し硬化させたのち、焼成炉に入れ、炉温上昇速度 $10^\circ\text{C}/\text{min}$ で加熱した。焼成温度は $1,000^\circ\text{C}$ で同温度で3時間保持し冷却後抗折力を測定した。

図14に測定結果を示した。200~300°C 付近の焼成温度が最高の抗折力を示している。

図15は焼成温度と焼成減量の関係である。本セラミック鑄型を溶湯に鑄包まれるセラミックコアとして使用する場合は、注湯の際発生ガスの皆無が必須条件である。すなわち鑄型通気度が無に等しいので鑄型材中の可燃物質の存在は吹れ欠陥となって現われる。図の減量(%)は造型時の重量に対する比で求めたもので、この結果恒量となる温度は約 500°C である。このセラミック鑄型からの発生ガスを皆無にする加熱温度の最低条件が 500°C であることを示している。現在、実際作業には鑄型の形状、大きさにより焼成温度を高くするか、焼成時間を長くして実施している。また溶湯に鑄包まらない外型として使用する場合は前記焼成温度は必ずしも必要でな

表3 ポンプインペラ鑄造条件

作	業	内	容
鑄	型	上, 下型, 中子とも 焼成温度 注湯時, 鑄型温度	セラミック鑄型 $900^\circ\text{C} \times 3 \text{ h}$ 約 800°C
鑄	込	材 質 溶 解 出 湯 温 度 注 湯	SCS13 500 kg 高周波電気炉 $1,600 \sim 1,620^\circ\text{C}$ 50 kg 連台トリベ 湯口部ハツネン散布

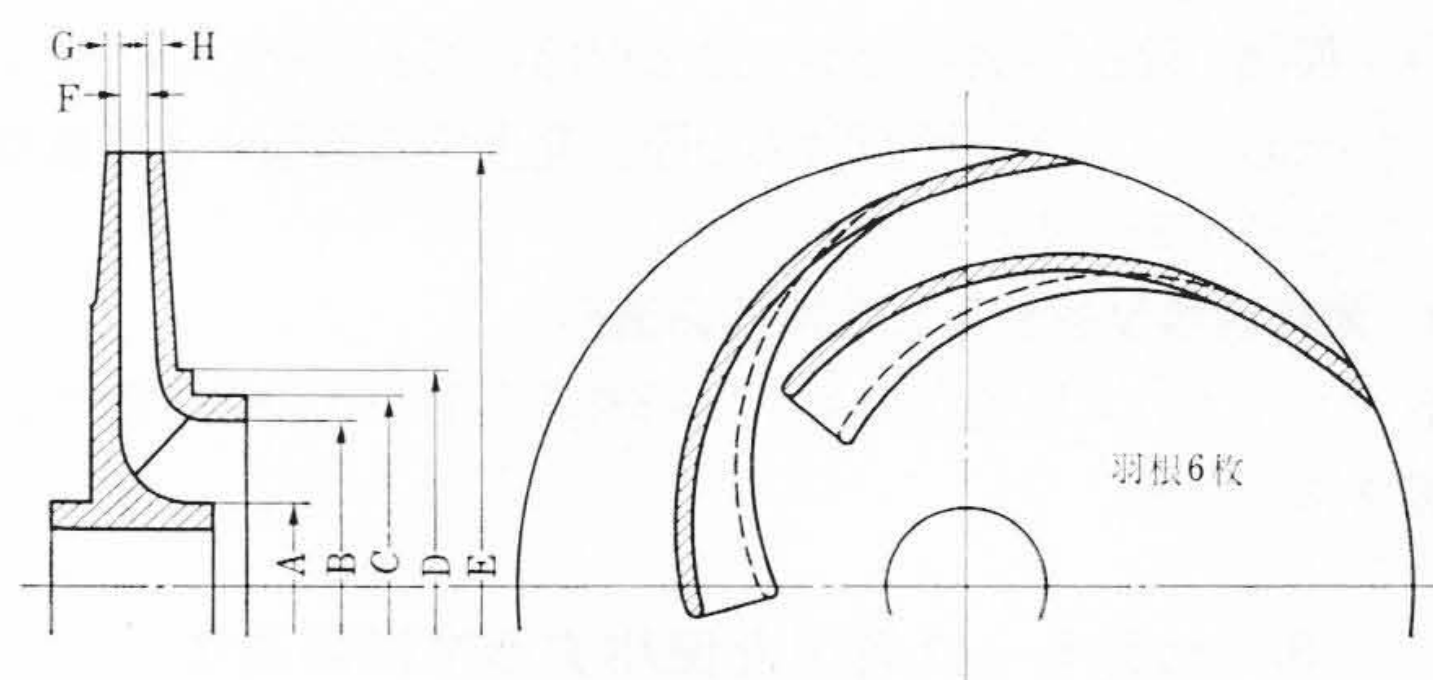


図17 セラミック鑄型で鑄造したポンプインペラの寸法測定位置

く、最高の抗折力を示す200~300°Cに加熱した鑄型に注湯している。

図16はポンプインペラの造型後の鑄型を示したものである。流路部分を形成するセラミックコアを下型に接着した鑄型と、湯口を上型に接着した鑄型である。この両者を接合して一体鑄型として注湯する。このように鑄型強度が特に高いので15~30 mmの鑄型厚さで作業することができる。

3.3 鑄造品の寸法精度

寸法精度はポンプインペラの測定結果について述べる。表3は鑄造条件を、図17はポンプインペラの各測定位置を示したものである。鑄造品4個の実測値を示したのが表4である。各測定面のばらつき範囲は $\pm 0.3 \text{ mm}$ 以下である。分割鑄型であるためロストワックス法に比べて若干精度の低下が見られる。本結果は、木製の模型

表 4 ポンプインペラの寸法測定結果 (単位 mm)

測定位置	鋳 造 品 No.					ばらつき範囲
	1	2	3	4	平 均	
A	56.7	56.1	56.5	56.1	56.4	±0.3
B	74.5	74.3	74.1	73.9	74.2	±0.3
C	89.3	89.1	89.4	89.2	89.3	±0.2
D	97.0	97.0	97.5	97.4	97.2	±0.3
E	199.0	198.7	199.0	199.3	199.0	±0.3
F(1)	6.5	6.5	6.7	6.5	6.49	±0.25
(2)	6.4	6.5	6.5	6.4		
(3)	6.3	6.5	6.5	6.4		
(4)	6.6	6.4	6.6	6.3		
(5)	6.5	6.5	6.7	6.3		
(6)	6.4	6.4	6.8	6.5		
G(1)	6.7	6.7	6.7	7.1	6.77	±0.3
(2)	6.8	6.8	6.7	6.9		
(3)	6.6	6.5	7.0	6.8		
(4)	6.7	6.6	6.8	6.9		
(5)	6.7	6.9	6.7	7.0		
(6)	6.6	6.5	6.8	6.9		
H(1)	9.9	9.4	9.8	9.5	9.65	±0.25
(2)	9.8	9.6	9.6	9.7		
(3)	9.9	9.7	9.6	9.5		
(4)	9.6	9.7	9.8	9.8		
(5)	9.6	9.5	9.8	9.7		
(6)	9.5	9.8	9.6	9.5		

を使用しているのも木型表面の凹凸(おうとつ)の影響および使用中の模型の吸湿乾燥による変形が含まれていると考えられる。鋳造品の精度を左右するのは模型の精度品質によるところが多い。本ばらつき値も金型模型を使用すれば当然精度は向上する。

3.4 セラミック鋳型を使用した精密鋳造品

セラミック鋳型を使用して鋳造した精密鋳造品の代表例を示したのが図 18、図 19、図 20 である。

4. 結 言

ここ数年来、需要の増大してきた形状の大きな精密鋳鋼品(10～50 kg 程度)の鋳造技術を確認することを目的に研究を重ね、ほぼ所期の目的を達することができた。その内容を要約すると

- (1) 発泡ポリスチレン樹脂による一体模型で製作する精密鋳造技術を開発し、ロストワックス法で鋳造可能の範囲を拡大した。
- (2) 高強度のセラミック鋳型を作る技術を開発し、薄板状のセラミックコアの製作を容易にした。
- (3) 比較的形状の大きい鋳造品で補強型を使用せず、15～30 mm のセラミック鋳型だけで鋳造を可能とした。

以上、比較的形状の大きい精密鋳造品を対象とした新鋳造技術の概略を述べた。今後の問題点として、発泡ポリスチレン模型の連続自動成形技術の開発、セラミック鋳型造型機械化による生産能率の

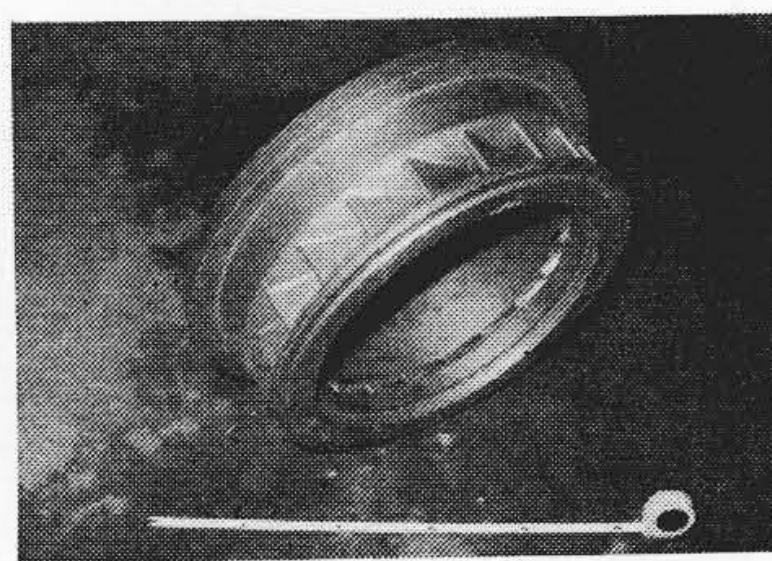


図 18 セラミック鋳型で鋳造した精密鋳造品 (例 1)

品 名	水車用ガイドベーン
材 質	SC46
素 材 重 量	130 kg
形 状	外径 480φ×高さ 170 mm

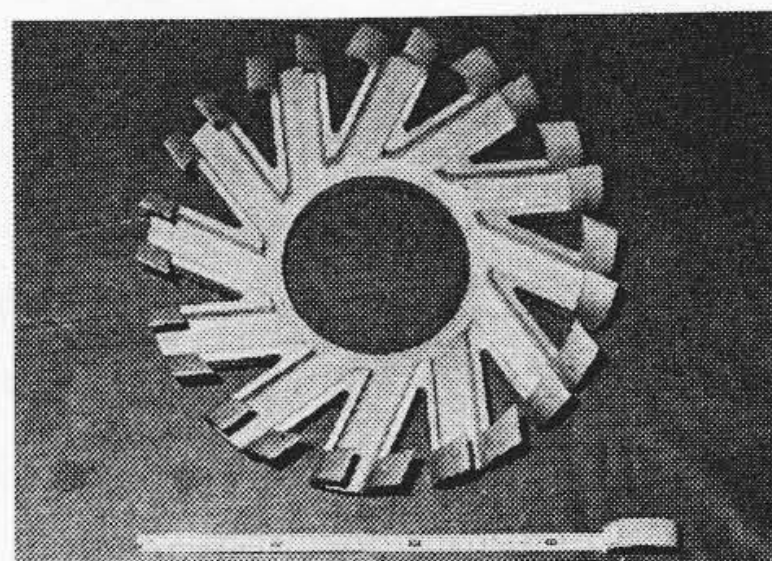
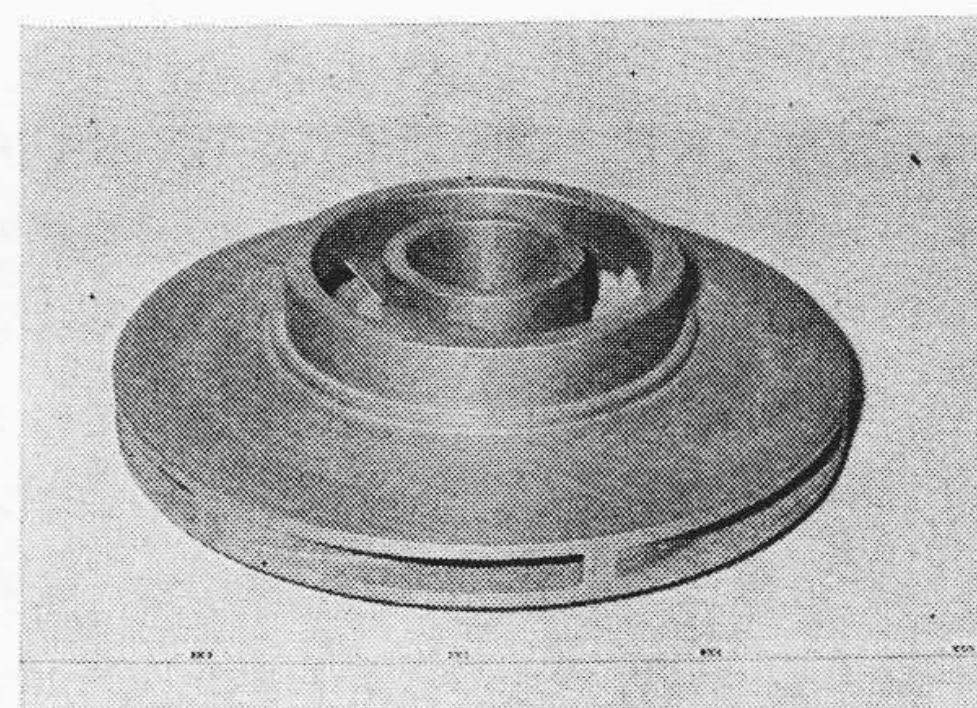


図 19 セラミック鋳型で鋳造した精密鋳造品 (例 2)

品 名	原子炉用セパレータガイド
材 質	SCS13
素 材 重 量	4.6 kg
形 状	外径 334φ×羽根長さ 48 mm



品 名	ポンプ用インペラ
材 質	SCS13
素 材 重 量	22 kg
形 状	外径 332φ×高さ 80 mm

図 20 セラミック鋳型で鋳造した精密鋳造品 (例 3)

向上、および鋳込後の整浄作業の合理化など残された大きな問題がある。今後ますます精密鋳造品は大型化し、さらに精度の高いものが要求される傾向にあるので、前記問題点を含めてさらに開発を進める考えである。

終わりに臨み終始、ご指導をいただいた日立製作所生産技術改善推進センター割石技師長、日立製作所機械研究所 西山技師長に深甚の謝意を表す。また実験にご協力をいただいた亀有工場、機械研究所の関係各位に深く感謝する。

参 考 文 献

- (1) 前田： ジェルモールドニュース 132 号 (昭 42-11)
- (2) 三島，小林： 近代鋳型の造り方 p.169 新日本鋳鍛造協会 (昭 41-5)
- (3) 坂口，岡見： 特殊鋳型 p.295 日刊工業新聞社 (昭 43-6)

訂 正

本誌 Vol.52 No.1「昭和 44 年度における日立技術の成果」の 47 頁目の、図 56 防滴形汎用モートル (a) (b) の写真は、上が N シリーズモートル (新形)、下が M シリーズモートル (旧形) となりますので訂正いたします。