

鑄鉄の金型鑄造技術の解析

Analysis of the Technique of Permanent Mold Process for
Cast Iron

岡田 千里* 相沢 達志* 谷川 実**
Senri Okada Tatsushi Aizawa Minoru Tanikawa

要 旨

鑄鉄鑄物を生産するための重力金型鑄造技術について展望し、その技術解析を行なった。
技術解析の手法として電子計算機を利用する熱解析を行ない、この方法が金型設計、鑄造条件の設定の参考になしうることを明らかにした。

1. 緒 言

鑄鉄鑄物の製造には鑄物砂を用いて造型された鑄型に鑄造するいわゆる砂型鑄造法が広く採用されてきた。この方法によれば、鑄型は1回ごとの鑄造に用いられるだけで、しかも生産される鑄物の10倍近い重量の鑄物砂を処理することにもなり、能率的なものとはいえない。

これに対し鑄型の耐久化、すなわちパーマネントモールド方式の出現が古くから要望されてきた。昨今のように鑄造業界の近代化をはじめ、環境、公害対策が渴望されているときにはいっそうその必要性が大きい。

軽合金材料の鑄造では、重力金型鑄造、低圧鑄造、あるいはダイカストなど耐久鑄型を用いた鑄造技術を採用し、その近代化を進めている。鑄鉄の場合はそれに比べて材料の融点が高いことが障害になり、軽合金材料と同様の方法での近代化はあまり進んでいない。しかし海外では古くから一部に鑄鉄の金型鑄造をとりあげており、わが国においてもあらためて注目されてきている^{(1)~(3)}。

われわれは耐久鑄型による鑄造法としてまず重力金型鑄造法を取り上げ、欧米での実情を文献で調査し、また、実際に工場を視察して本鑄造技術の展望と問題点の摘出を行なった。さらには多くの実験あるいは試作を繰り返し、本鑄造技術の得失についてあらためて考察を加えてみた。本報では諸外国の実情について簡易に紹介しながら、金型ならびに鑄造条件の設定について電子計算機を用いて行なった検討結果について述べることにする。

2. 展 望

鑄鉄を金型のような耐久鑄型によって鑄造しようとする試みは古くからある。しかしこれが工業生産技術、ことに量産技術として目途がつくようになったのは1950年代にはいつてからといえよう。事実、欧米の一部においては金型鑄造専門工場が能率よく稼動されている。現在本鑄造法による生産は砂型鑄造によるものの数パーセントにすぎないが、ソ連だけで見れば1965年の調査で10%もの高率にあり、70年代には20%以上に増大するといわれている。

現在、各国で生産されている金型鑄造鑄物を製品例でみると表1⁽³⁾に示すようなものとなる。

以下に各国での概況を紹介する。

ソ連：1940年代から研究が開始され、同年代の後半にはすでに工業化に成功したといわれる。現在では機械化、自動化の進んだ専門工場が多く見られるようで、それには回転テーブル式鑄造機

表1 金型鑄造で製造する鑄物の比較分類

国 名	東 ド イ ツ	ソ 連	チ ェ コ ス ロ バ キ ア	ポ ー ラ ン ド	ア メ リ カ	西 ド イ ツ	イ ギ リ ス	フ ラ ン ス	ア イ ル ラ ン ド	イ タ リ ア
鑄物分類										
チルド鑄物、ローラ支持台	○	○		○		○	○			
ローラ製粉機械部品等										
粉碎機部品（粉碎機用ボール、 ボールミル用円筒）	○	○	○	○	○					
ビットカバー	○	○	○							
円筒ロッドおよび中空ロッド	○	○	○	○		○	○			
ラジエータ		○								
水道管部品		○	○	○				○		
電動子部品		○	○	○						
手動バルブ			○	○						
水力機械部品	○	○	○		○	○				
ポンプ部品、コンプレッサのピス トンやカバー	○	○	○	○	○	○	○			
シリンダライナ	○						○			
回 転 板	○						○			
ブレイキドラム	○	○					○			
Vベルトプーリ、スプロケット およびリングギヤ	○	○	○		○					
フライホイール	○	○								
カップリング部品	○	○								
工作機械、一般機械および重機械	○	○	○		○		○			
ボ ン チ									○	
電気モータ鑄物		○	○	○	○					
印刷機械部品										○
はかり、コンクリートまくら木用 締め付け板	○	○	○			○				
家庭用材料、料理用ポット、かま 風呂桶(ふろおけ)など、ボイラ、 ストーブ鑄物		○								
製鋼工場用耐磨耗材料（底板均熱 炉カバー、ボンネット）	○	○								

が多く用いられており、鑄物重量としては1kg以下から100kgを越えるものまで生産されている。

材質も普通鑄鉄はもちろん、球状黒鉛鑄鉄にまで及び、特に後者では大きい効果が得られているという。

表2は代表例として10月革命記念工場（オデッサ）の概要を、図1はそれのレイアウトを示したものである。

チェコスロバキア：金型鑄造は7工場で採用されているというが、この国での技術は特徴あるもので、その水準も高い。

表3に示すものは0.1~12kWのモータ鑄物専門工場の概要であるが、定置式鑄造装置により生産されている。モータハウジング

* 日立製作所機械研究所
** 日立製作所清水工場

表 2 10月革命記念工場（ソ連）の概要

工場概況	おもにトラクタハウジングコラム（重量約30kg）をダクタイル 鋳鉄が鑄造 2交替で12,000t/a生産
設備	溶解炉：2.5t キュボラ×2 金型鑄造機：8連ターンテーブル式、油圧駆動 注湯：遠隔制御の自動注湯装置×2 焼鈍炉：トンネル式重油炉、高温用×2，低温用×2
技術	金型寿命：10,000～15,000 作業者：とりべ運搬2名、鑄物取出し1名、型の清掃1名 すす塗型1名、中子据付1名、計6名 120個/時
効果	(1) 原価低減（年間160M¥の節減） (2) 労力削減，生産性向上（労力砂型鑄造の1/2） (3) 歩留15%向上（対砂型） (4) 作業環境改善 (5) 作業床面積，設備費 減少

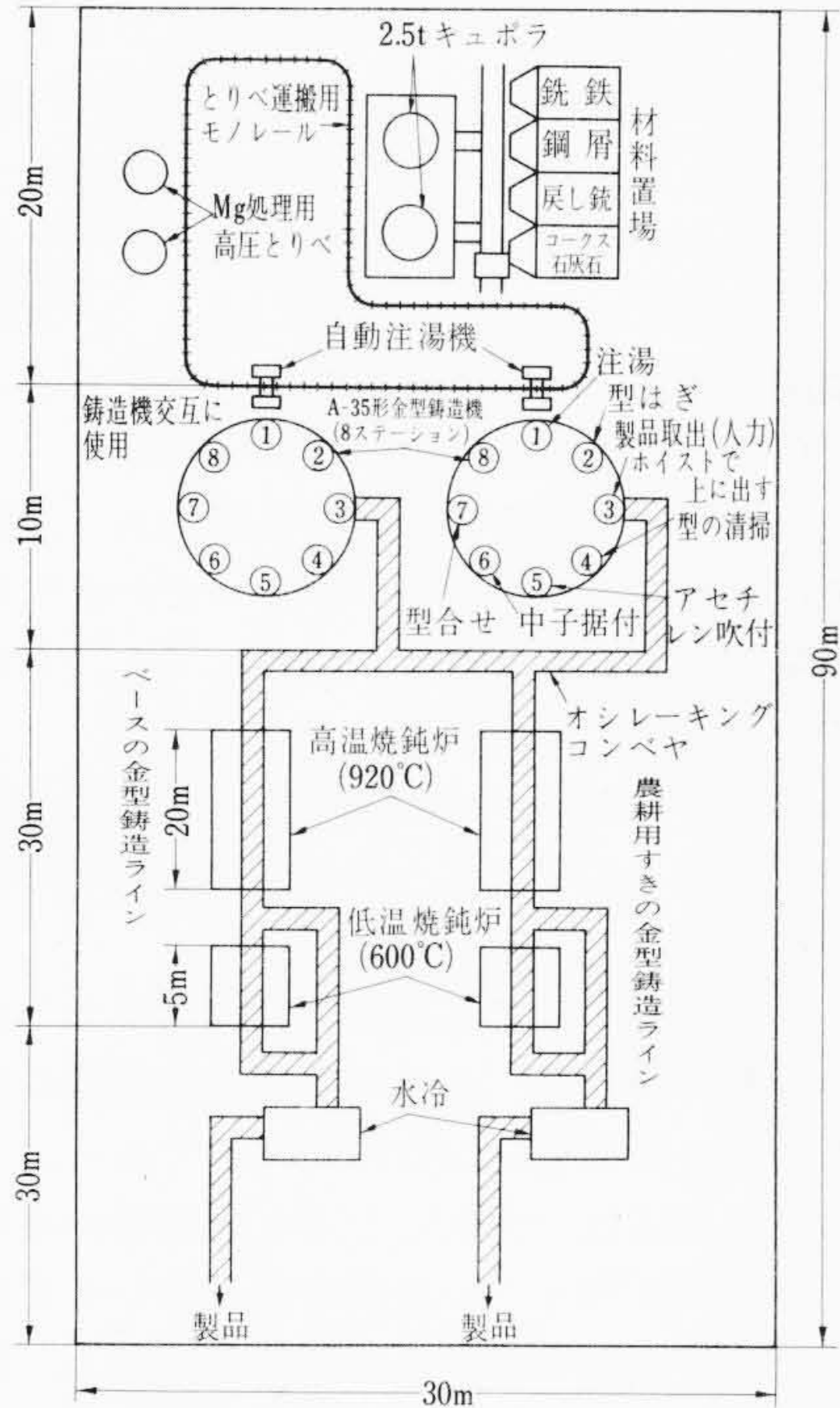


図 1 金型鑄造工場レイアウトの一例

鑄造の場合には金属製中子を用い、40～50個/hの速度で生産している。

小規模の金型鑄造専門工場もあり、作業人員25名、鑄造機18台で 2,400t/a の生産をあげている。ここでの保有金型は90種類にも及ぶといわれ、製造原価は砂型鑄造法による場合と比較して約10%低減したといわれている。

アメリカ：1932年、世界にさきがけてEaton 社が量産用の鑄造機を開発したという⁽⁴⁾。これは空冷式の回転テーブル形鑄造機で、現在もこの形式の鑄造機が主流となっている。

表 4 は一例としてForest City Foundry 社の概況を示したものである。ほかにもEaton, General Motors, Midwest Machine 社などがほぼ同様の規模の設備を有している。

多くは本鑄造法の採用により原価低減の効果をうたっているが、Midwest Machine 社のように原価でみればむしろ高くなるが、鑄物の品質向上の効果を考え本法を採用しているというところもある。

ヨーロッパ：イギリスではQualcost社、西ドイツではボッシュ社、フランスではルノー社など、アメリカの空冷回転テーブル形鑄造機を購入しているところがいくつか見られる。これらの規模

表 3 モヘルニッツ電機工場（チェコスロバキア）の概要

工場概況	汎用モータ（0.1～12kW）の製造工場で自家用鑄物を金型鑄造で鑄造 従業員 260名、2交替制で月産 800t，年間売上 770M¥
設備	溶解炉：6t 低周波炉×3，保持炉：2t 低周波炉×2 1.5t 低周波炉×2 金型鑄造機：定置式、横形×35、立形×12 計47 焼鈍炉：トンネル式重油炉×2 鑄仕上：タンブラ、グラインダ
技術	製品種類60～70、単重 0.1～26kg、平均 2.4kg 立形1ライン（6台）あたり 5名、40～50個/h ハウジング中子も金型であり、技術は高い 金型材質の検討、Alメタリコン塗型など技術向上への意欲強い
効果	(1) 原価低減率 30～40%（対砂型） (2) 歩どまり 8～10%向上 (3) 生産性 3倍に向上

表 4 フォレストシティ鑄造工場（アメリカ）の概要

工場概要	1960年から金型鑄造開始 機械、自動車部品を生産 77名、2交替で 1,100t/月生産
設備	溶解炉：18t キュボラ×2 鑄造機：12連ターンテーブル式×11（金型空冷） 焼鈍炉：トンネル式重油炉×4
技術	金型寿命 約 5,000 鑄造機1台あたり 2名（中子あるときは3名）で作業 1型、1日 約 500kg 鑄造 鑄物のはだは共產圏よりすぐれる。
効果	(1) 原価低減 (2) 不良率低減 (3) 砂型より高強度になるので低廉材の使用可能

はそれぞれアメリカの工場と同程度のものといえる。

国内：本鑄造法に関する研究は1960年代から多くが報告されるようになり、二川⁽⁵⁾、石川⁽⁶⁾あるいは磯谷⁽⁷⁾などが長期間にわたって発表している。

工業化の例は多くを聞かないが、三菱重工業株式会社ではEaton 社の設備が稼動中であり、ほかに株式会社アキタ電気製作所、株式会社椿本チェーンあるいはダイハツ工業株式会社など数社が試作あるいは工業化段階にあるという。

3. 技術上の問題

金型鑄造法は砂型鑄造法に比べればまだ十分に普及していない。この原因としては以下のものが考えられる。

(a) 鑄物形状、数により適用範囲が限定される。

(b) 金型製作が高価であり、工数がかかる。したがって金型修正はむずかしく、確実な鑄造方案の設定が必要になる。

(c) 金型は砂型と比べたとき、通気性がなく、熱伝導度が良い。このため、金型鑄造では独特の鑄造方案、湯口方案が必要になる。

(d) 金型の冷却能が高いので鑄物がチル化しやすく、割れあるいは湯回り不良などが生じやすい。

これらの諸問題を整理すれば、まず第一に要求される鑄物を得るために確実な鑄造方案、鑄造条件を確立することである。第二には、鑄型の耐久性を高め、かつ能率よく鑄造することのできる金型設計、鑄造装置の製作である。このほかに派生する問題として断熱性、耐久性がすぐれる塗型の開発もあげられよう。

現在稼働中の諸外国の工場においては、上記諸問題の解決には長期間にわたる作業に基づいた経験によっている。したがって、それぞれの推奨策はその工場の条件によって全く異なったものになっている。

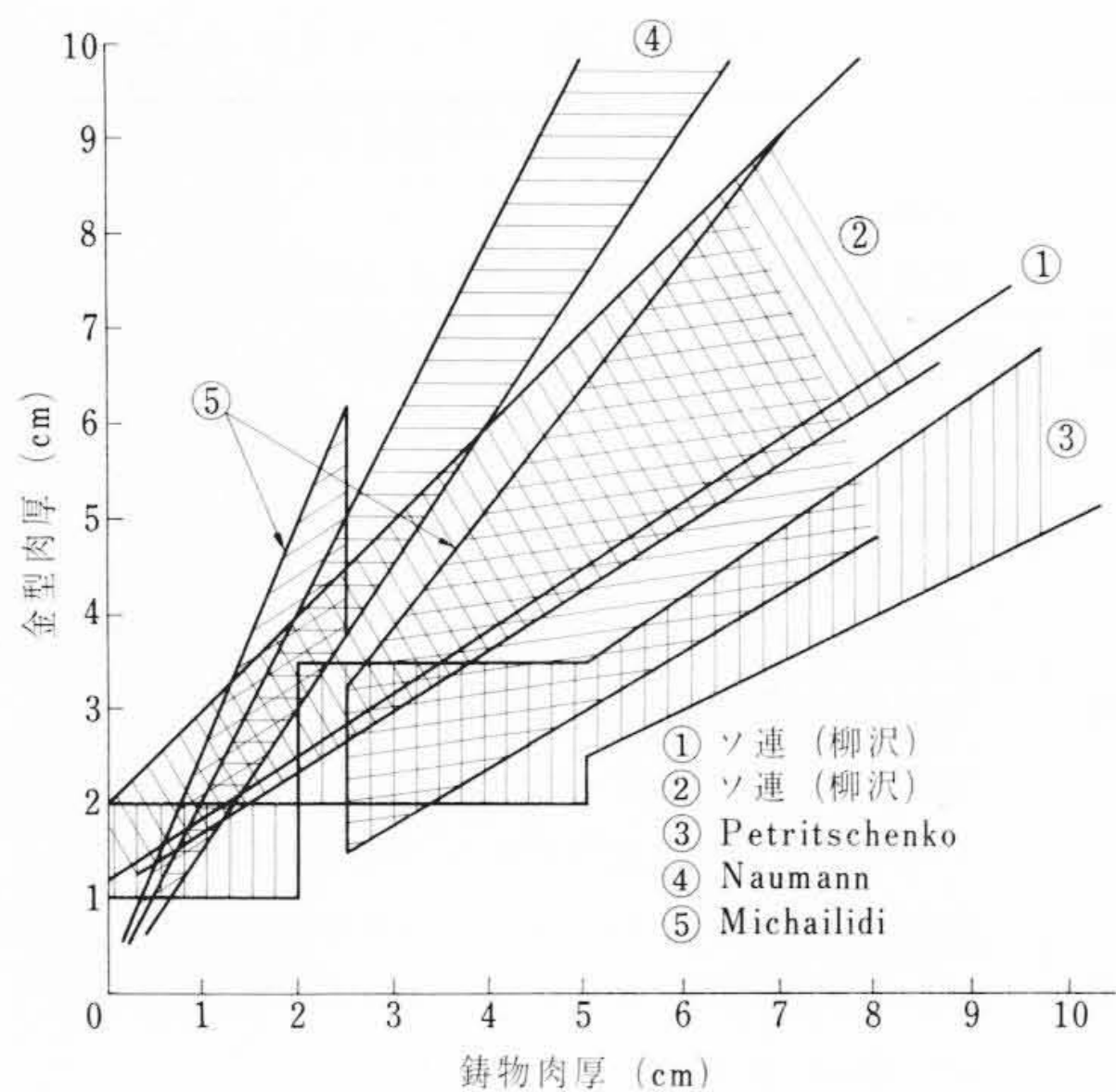


図2 鋳物肉厚と金型肉厚の関係

たとえば、鋳造方案についていえば、鋳込時間だけに関しても下記のように違った算出式が推奨されている。

$$Ts = 0.5 \sim 0.8 \sqrt{2G}$$
$$Ts = 1.2 \sim 1.3 \sqrt{G}$$
$$Ts = A^3 \sqrt{d \cdot G}$$

Schwartz & Junghans⁽⁸⁾

Teillet⁽⁹⁾

ソ連⁽²⁾

ここで、 d = 平均肉厚 (cm)、 G = 鋳込重量 (kg)、 A = 定数、
下注ぎ3.0、上注ぎ3.9、側方注ぎ3.4

また、金型設計のうち、金型肉厚についても図2に示すように、それぞれ異なった値を推奨している。

新たに金型鋳造法を取り上げようとするとき、上述したような諸問題をすべて鋳込試験によって解析、検討するのではあまりにも多くの労力と時間を要することになる。しかし幸いなことに、金型鋳造では鋳型の熱的性質が砂型鋳造の場合に比較してははっきりしている。したがって熱的問題だけは計算である程度解析することができる。鋳造技術の確立には試作に加えて、電子計算機を利用する熱解析の併用が有利な方法と考えられる。

4. 鋳造技術の解析

ここでは鋳造技術のうち金型設計、鋳造条件の選定を取り上げ、金型鋳造での熱的現象をシミュレートした計算によって行なった解析結果について述べる。

金型鋳造法では1台の金型ごとに、注湯→離型→金型冷却の作業工程が繰り返えされる。この場合の金型温度の変化および金型内の鋳物の温度変化を求める電子計算機用プログラムを開発した。

表5 熱解析に用いた物理常数、温度、寸法の標準条件

単 位	鋳 物			金 型
	液 体	固液共存	固 体	
密 度 g/cm ³	6.8	7.0	7.2	7.2
比 熱 cal/g・°C	0.2	0.2	0.17	0.13
熱 伝 導 率 cal/cm・°C・s	0.07	0.07	0.10	0.11
凝固開始温度 °C	1,150			
凝固終了温度 °C	1,149			
凝 固 潜 熱 cal/g	60			
熱 伝 達 係 数 cal/cm ² ・°C・s	鋳物・金型間; 0.02			
	金 型 背 面; 0.002			
注 湯 温 度 °C	1,300			
金型予熱温度 °C	300			
離 型 温 度 °C	1,000			
鋳 物 の 肉 厚 mm	10			
金 型 の 肉 厚 mm	20			

これを使えば、任意の金型寸法、鋳物寸法、冷却方法、塗型条件、注湯条件あるいは離型条件における金型温度の変化ならびに鋳物の温度変化を知ることができる。

熱解析に際して各種の熱、物理常数、熱的条件、寸法の標準としては表5に示すものを用いた。なおここでは、鋳物は平板として扱った。

4.1 金型の設計について

金型は一度製作してしまうと修正することは容易でない。しかもその製作費は高いので確実な設計を行なう必要がある。

金型の肉厚：これは次の要因に影響を及ぼすと考えられる。(イ)鋳物の冷却速度、(ロ)金型温度(金型および塗型寿命)、(ハ)注湯時間間隔、(ニ)金型製作費、(ホ)作業性(金型の取扱い)、このように肉厚は多くのものに影響を及ぼすのでたいせつな因子である。

図3は鋳物の凝固時間、金型の最高温度、1サイクル所要時間と金型肉厚の関係について解析した結果を示したものである。同図中で、金型比とは金型肉厚と鋳物肉厚の比である。

この図から、鋳物のチル化などに関係する凝固時間は金型比1.5以下のとき変化することがわかる。しかし、金型比2.0以下で金型温度が急上昇する。これは金型寿命の低下につながるものであり、この点から金型比は2.0以上が望ましい。この結果に従えば、金型肉厚の調節で鋳物の凝固を調整しようとすることは寿命の点からむずかしいことになる。

なお、実際の場合には鋳物の形状が複雑であり、鋳物の肉厚あるいは金型の肉厚を求めるのはむずかしいが、金型比を肉厚比でなく、鋳物重量に対する金型重量の比にしても、上述の結果とはほぼ一致することを確認している。

金型背面の冷却：金型内に注湯すると金型温度が上昇する。金型をすみやかに冷却してやれば、次の注湯までの時間が短縮されて鋳造効率が向上する。

ここでは、金型背面が接するふんい気の温度を常温とし、金型背面からの熱の奪いかたを、そこでの熱伝達係数の変化におきかえて解析した。この結果を示したのが図4である。

金型背面の熱伝達係数が大きくなると、鋳物の凝固時間はほとんど変化しないが、1サイクル所要時間は著しく短縮されることがわかる。したがって金型背面を強制冷却すると、鋳物のチル化を促進するようなことがなく、鋳造効率を向上しうることが知られる。図4にはあわせて強制空冷および水冷のときの熱伝達係数の範囲を示しておいた。効率よい強制空冷を行なえばその効果は鋳造効率に十分反映しうることがわかる。

空冷効率をあげるため、われわれは図5に示すように金型背面

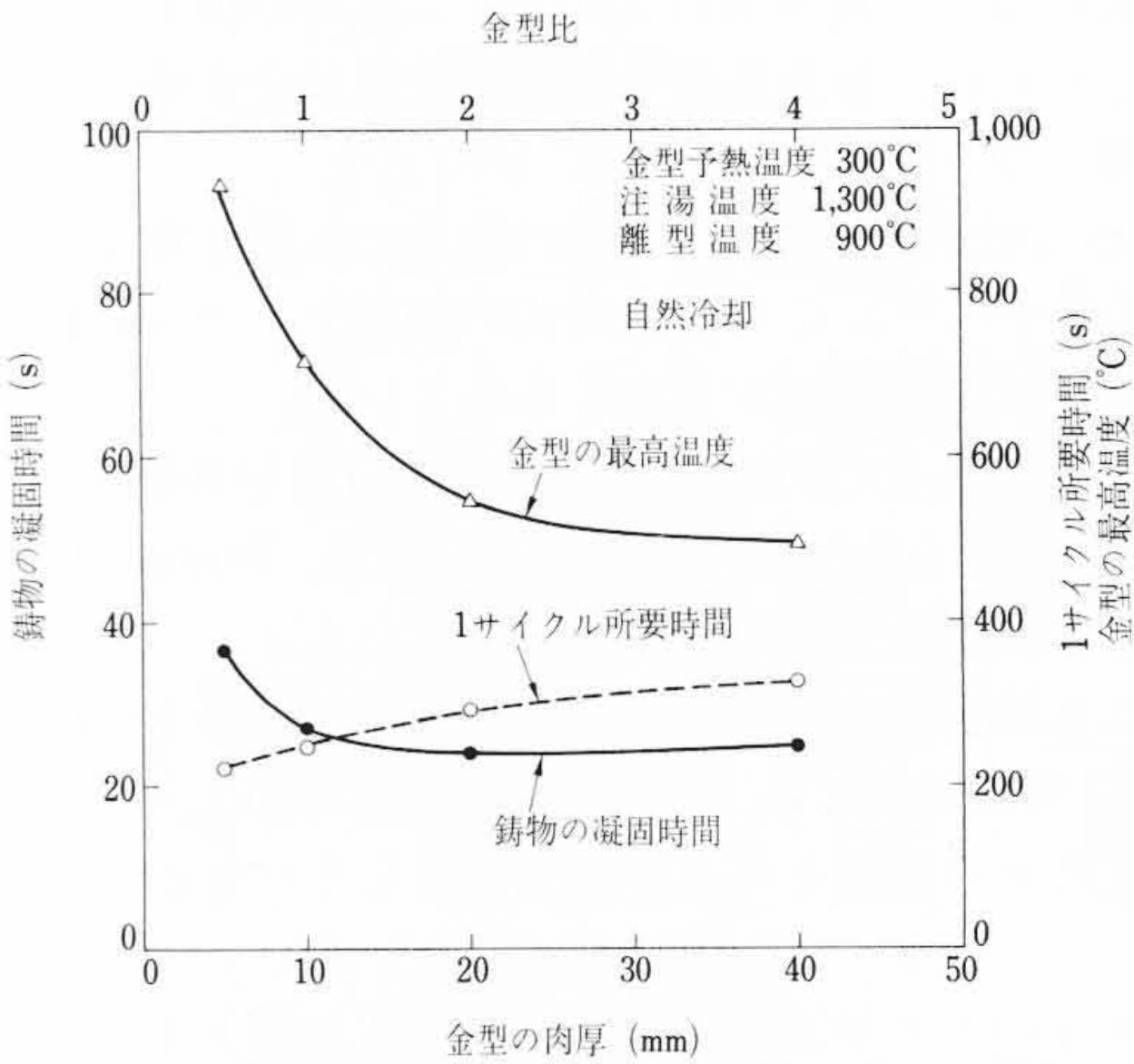


図3 鋳物の凝固時間、金型の最高温度および1サイクル所要時間に及ぼす金型の肉厚(金型比)の影響

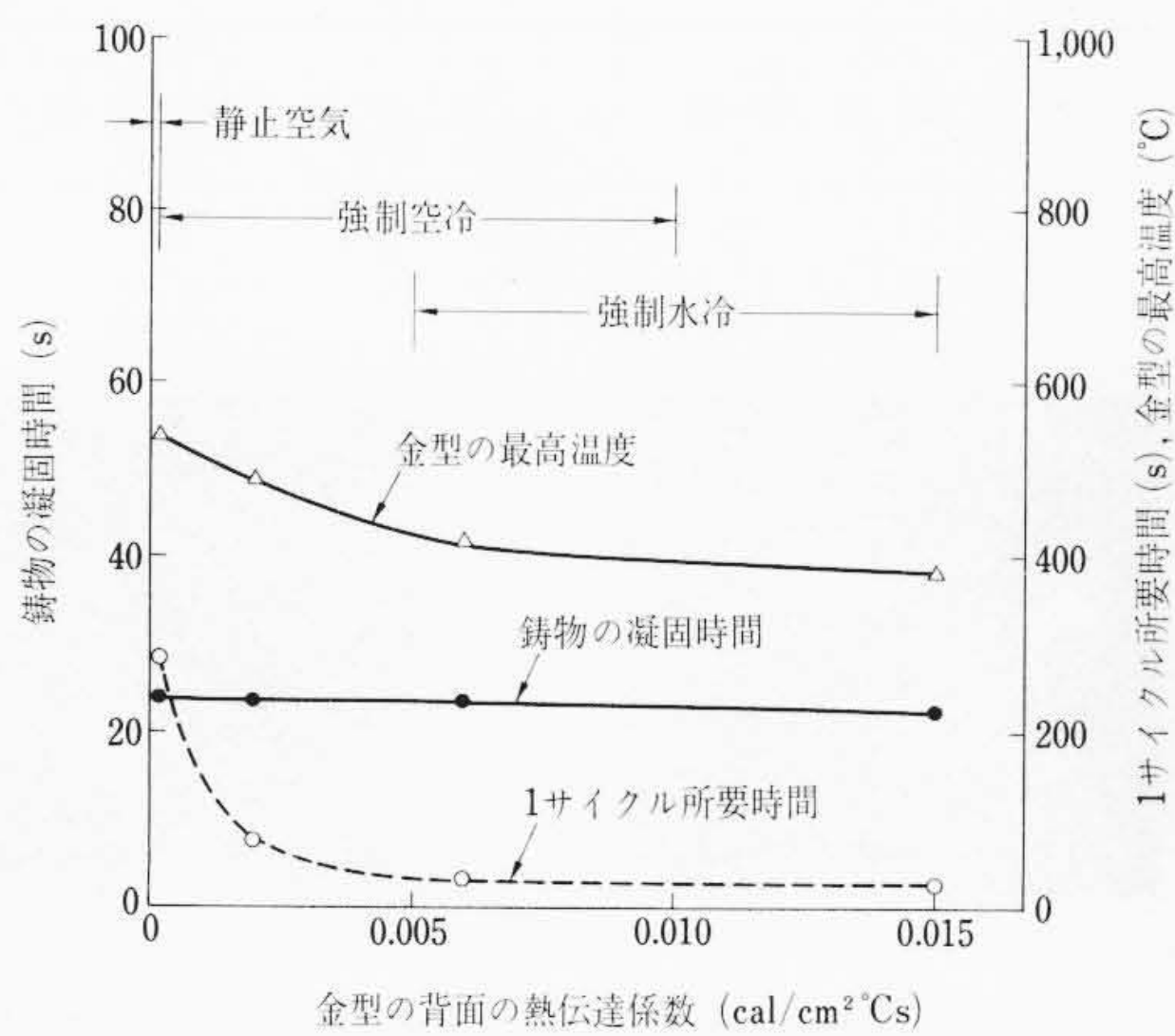


図4 鋳物の凝固時間、金型の最高温度および1サイクル所要時間に及ぼす金型の背面の熱伝達系数(金型の冷却方法)の影響

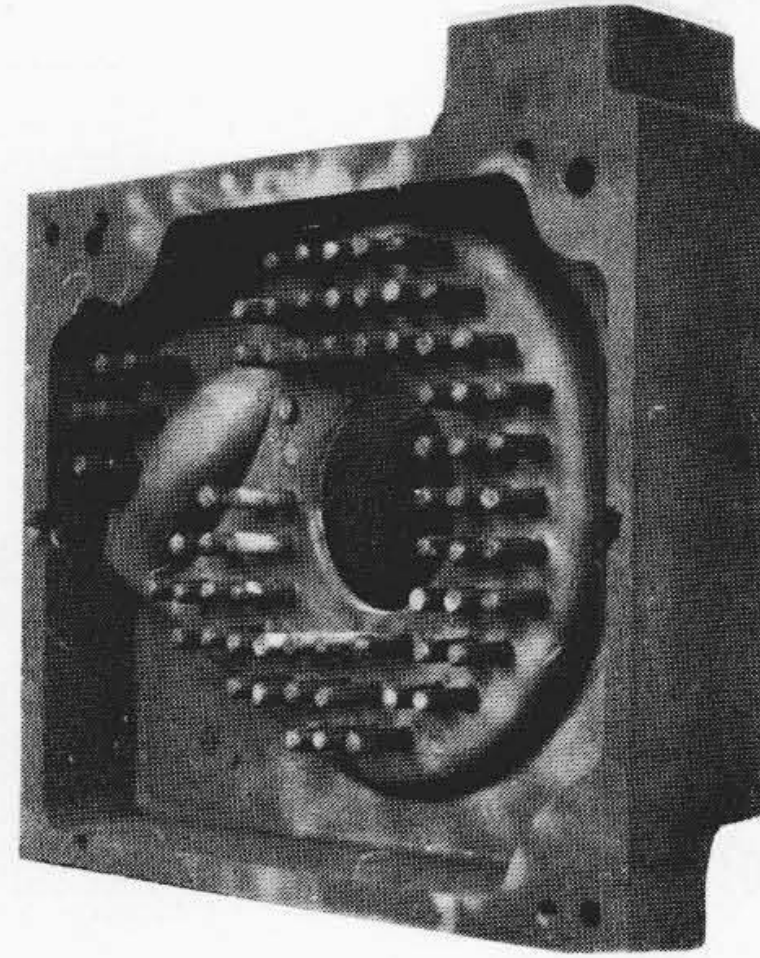


図5 空冷式金型の背面

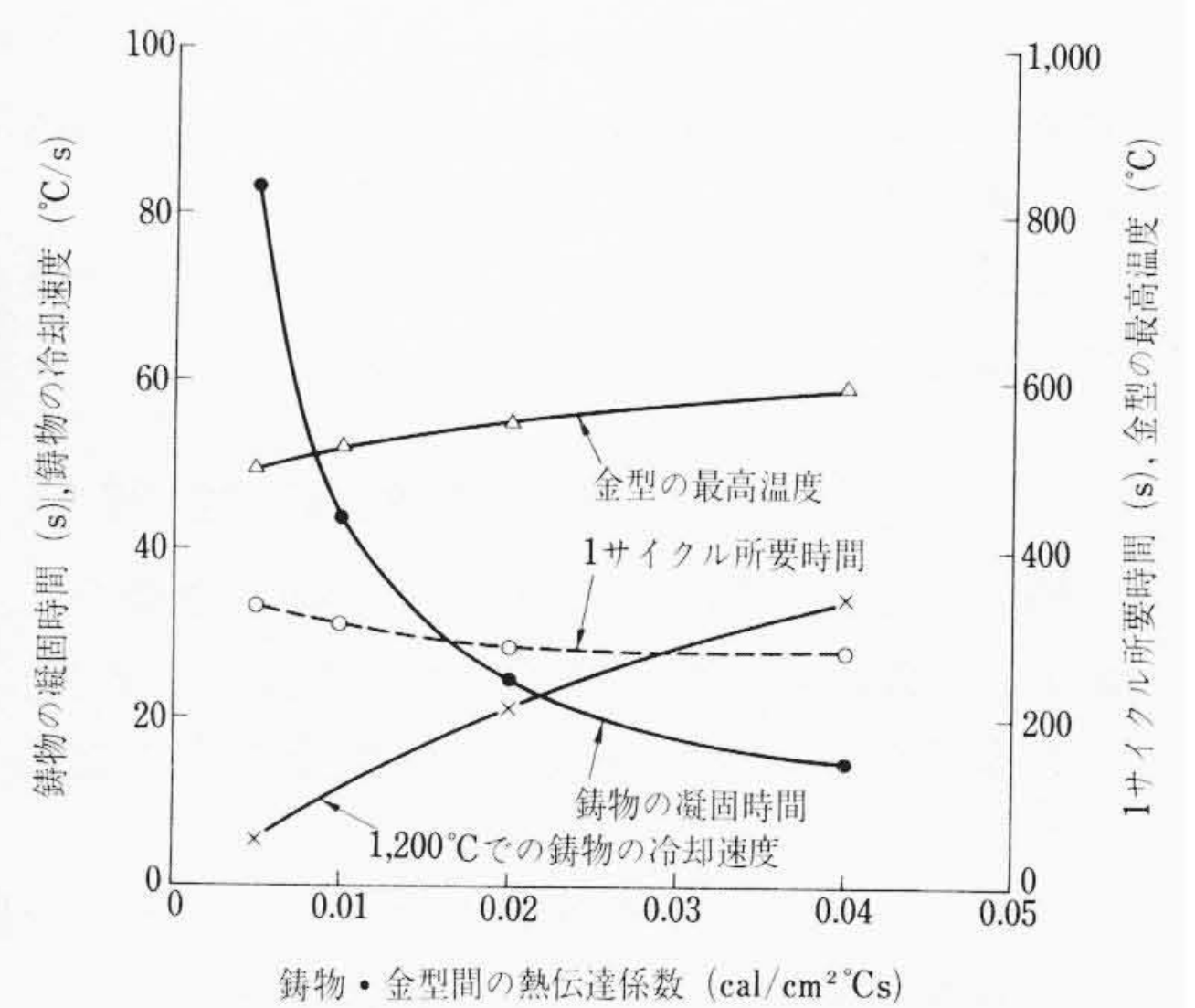


図6 鋳物の凝固時間、金型の最高温度、鋳物の冷却速度および1サイクル所要時間に及ぼす鋳物・金型の熱伝達系数の影響

に冷却ピンを設けることにした。この形状のとき、背面を流れる空気の流れ速(v)と、熱伝達係数(α)の関係を実測によって求めた。この結果、

$$\alpha = 0.003 + 0.0013v^{0.8}$$

の関係が得られ、流速を8m/sにすれば熱伝達係数はほぼ0.01cal/cm²・°C・sの値になる。

塗型：塗型の役割をあげると、(イ)鋳物、金型間の熱伝達を低下させて鋳物のチル化を防ぐ、(ロ)注湯による金型の過熱や熱衝撃を緩和し、金型の焼付きや、き裂発生を阻止して金型寿命の延長を図ることなどである。

塗型の有無、あるいは厚さによって鋳物、金型間の熱伝達係数は変化する。この関係を利用して熱伝達係数と鋳物の冷却速度、金型最高温度、1サイクル所要時間などの関係を解析した。この結果は図6に示すとおりである。この図から鋳物の冷却速度、凝固時間は熱伝達係数によって大きく変わり、1サイクル所要時間、金型最高温度はあまり変わらないことがわかる。この結果に従えば、塗型を厚くすることは、鋳造効率を落とさずに鋳物のチル化を防止するうえで有効な手段であるといえる。

4.2 鋳造条件について

鋳造条件としては金型予熱温度、注湯温度、離型温度などがあげられる。これらの諸要因はいずれも鋳物の性状、鋳造サイクルあるいは金型の耐久性などに影響を及ぼすものと考えられる。よって、これらを計算によって解明した。

金型予熱温度の影響：図7は解析結果を示したもので、この図から、予熱温度が上昇すると、金型最高温度および鋳物の凝固時間が増加し、鋳造サイクルが短縮されることがわかる。したがって予熱温度を高くすることは、鋳物のチル化防止および鋳造効率向上に有効であるが、金型の温度が上昇し、金型あるいは塗型の寿命に悪影響を及ぼすものと推定される。これらを総合的に判断して予熱温度を決める必要があるといえる。

注湯温度の影響：図8は解析結果を示したもので、注湯温度が上昇すると、いずれの特性値もほぼ直線的に上昇する。たとえば、注湯温度が100°C上昇することにより、鋳造サイクルは約13%長くなる。同時に、鋳物のチル化に関係する凝固時間も約10%長くなるが、これだけの変化はチル防止にはさほど強い影響を及ぼさないと推察される。したがって注湯温度は湯流れに問題ない限り低温のほうが望ましいといえる。

離型温度の影響：解析結果は図9に示すとおりである。鋳物の凝固時間は離型温度に関係しないので同図には記載しなかった。これからは、離型温度が200°C違ってても金型の最高温度はわずか40°C程度異なるだけであるが、鋳造サイクルは離型温度に反比例

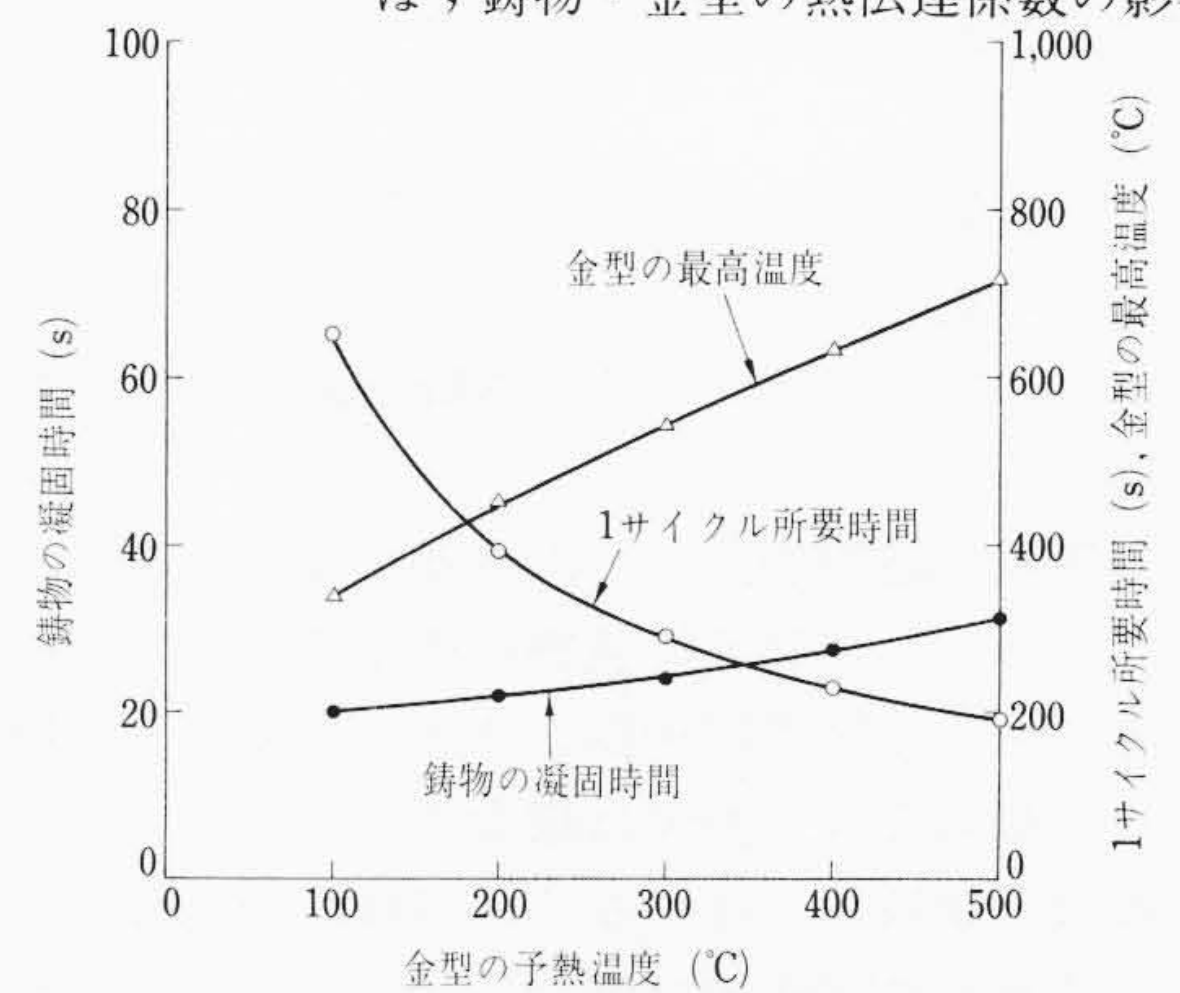


図7 鋳物の凝固時間、金型の最高温度および1サイクル所要時間に及ぼす金型の予熱温度の影響

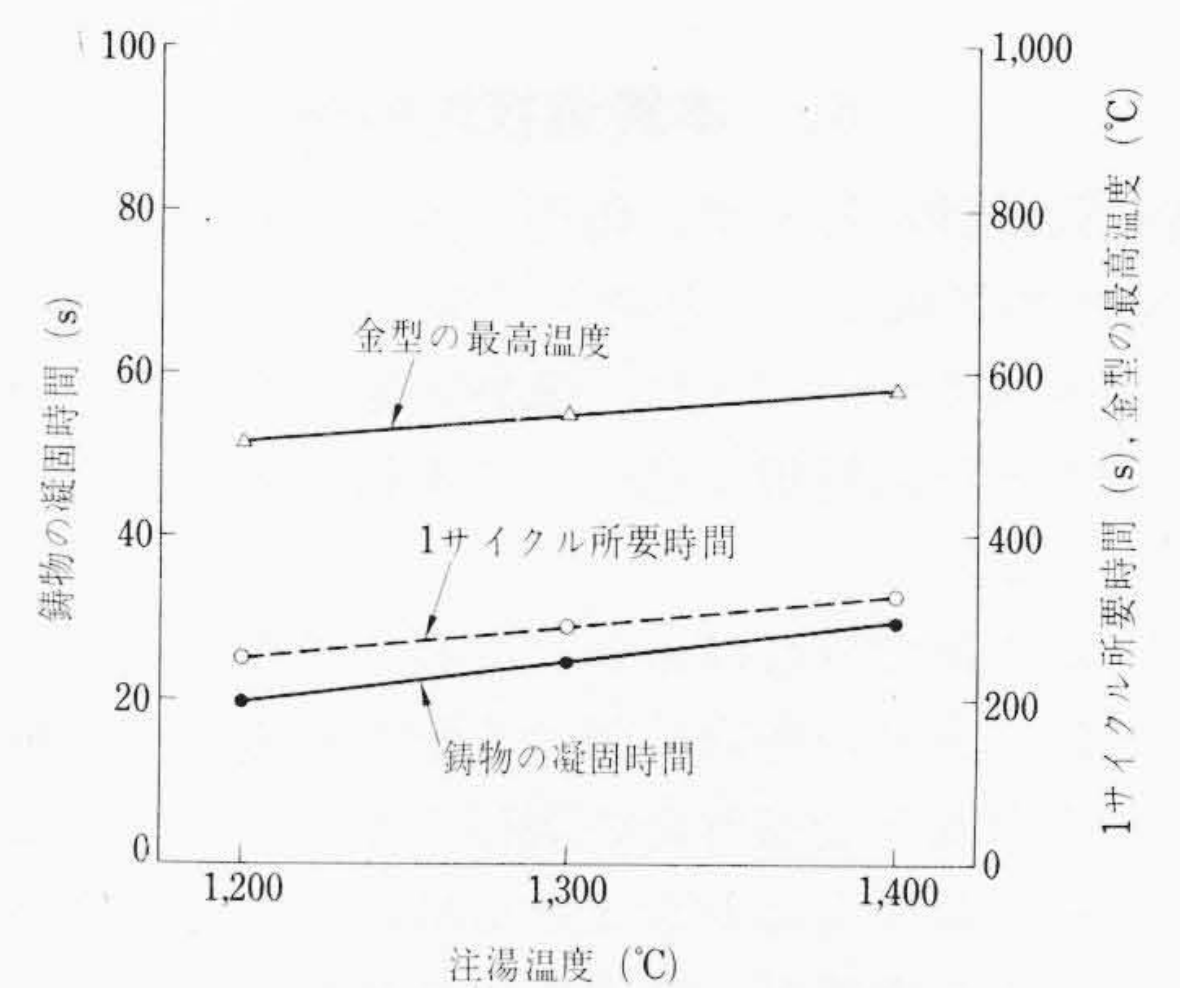


図8 鋳物の凝固時間、金型の最高温度および1サイクル所要時間に及ぼす注湯温度の影響

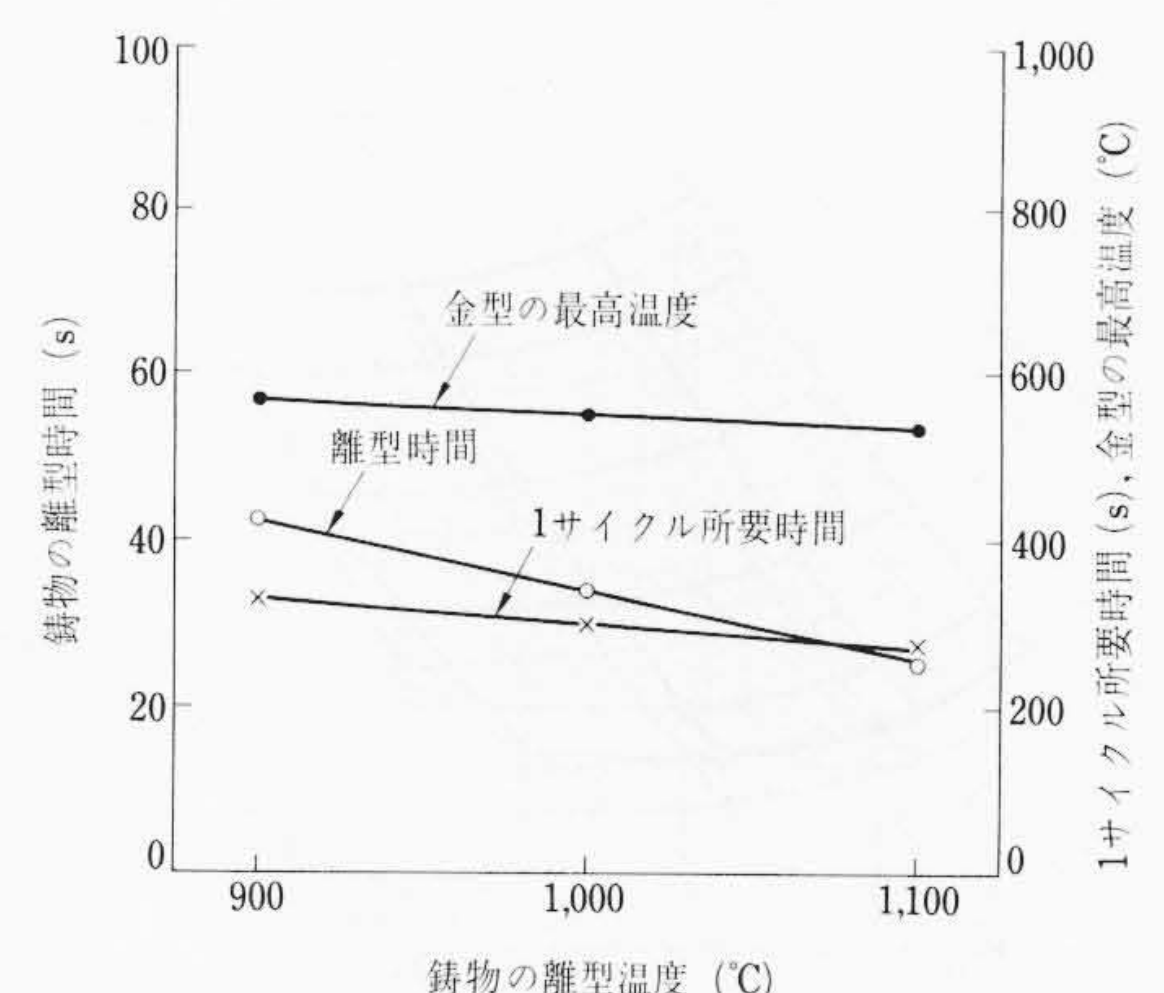


図9 鋳物の離型時間、金型最高温度および1サイクル所要時間に及ぼす離型温度の影響

して長くなることがわかる。このことから、離型温度はおもに casting サイクル上の問題から決定されるべきで、鋳物凝固後なるべく早い時期に離型することが望ましい。

なお、これらの計算による解析結果は、実際の鋳造実験によってほぼ妥当なことを確認している。

5. 鋳物の性質

種々の組成の鋳鉄を金型および砂型で鋳造し、板厚が 5 mm, 10 mm および 20 mm の板状鋳物を得て組織および機械的性質を調査した。

金型設計ならびに鋳造条件は前節の解析結果に基づいて決定された。

試験結果のうち、引張強さについてのものを図10に示す。この図は強さを鋳物肉厚、成分の指数である炭素飽和度 (SC)

$$SC = \frac{C\%}{4.23 - Si\%/3.2}$$

との関連で示したもので、砂型鋳造鋳鉄に関しての結果もあわせて示してある。

一般に金型鋳造した鋳物のほうが引張強さは高く、その差は炭素飽和度の高い成分ほど大きくなる。金型鋳造に適する飽和度は 1 前後であるので、実際には 4 ~ 5 kg/mm² 程度高い強さが得られるといえよう。

また、両鋳鉄の組織例として肉厚 20 mm についてのものは図11に示すとおりである。金型鋳造鋳鉄は急冷されるため組織は微細であり、緻密である。炭素飽和度が 1.1 以上になると砂型鋳造鋳鉄と類似した組織になり、黒鉛は粗大化する。

われわれは、試験片だけでなく、各種の鋳物製品の試作をも繰り返した。それらの代表例は図12に示すようなものである。

これらの鋳物は、寸法精度、鋳はだがすぐれ、またその機械的性質にもすぐれるものであることを確認している。

6. 本鋳造技術の得失

本鋳造技術は砂を使わず、鋳型に耐久性があるので、よく時流に合致するものではないかと考えて本報に採り上げ解析を試みた。

これまで述べてきたように、海外実働工場の視察、計算および鋳造試作による技術解析に基づいて本技術の得失を述べれば以下のとおりである。

まず経済性の面でみれば確かに有利な技術である。本技術による鋳物の価格は金型の寿命に強く支配されるが、一般の砂型鋳造鋳物に対する原価と金型寿命の関係を試算した一例は図13に示すとおりである。金型寿命がおよそ 800 回以下では経済的とはいえないが、適正な金型設計と鋳造条件の選択によっては 70% 以下の価格にすることがわかる。

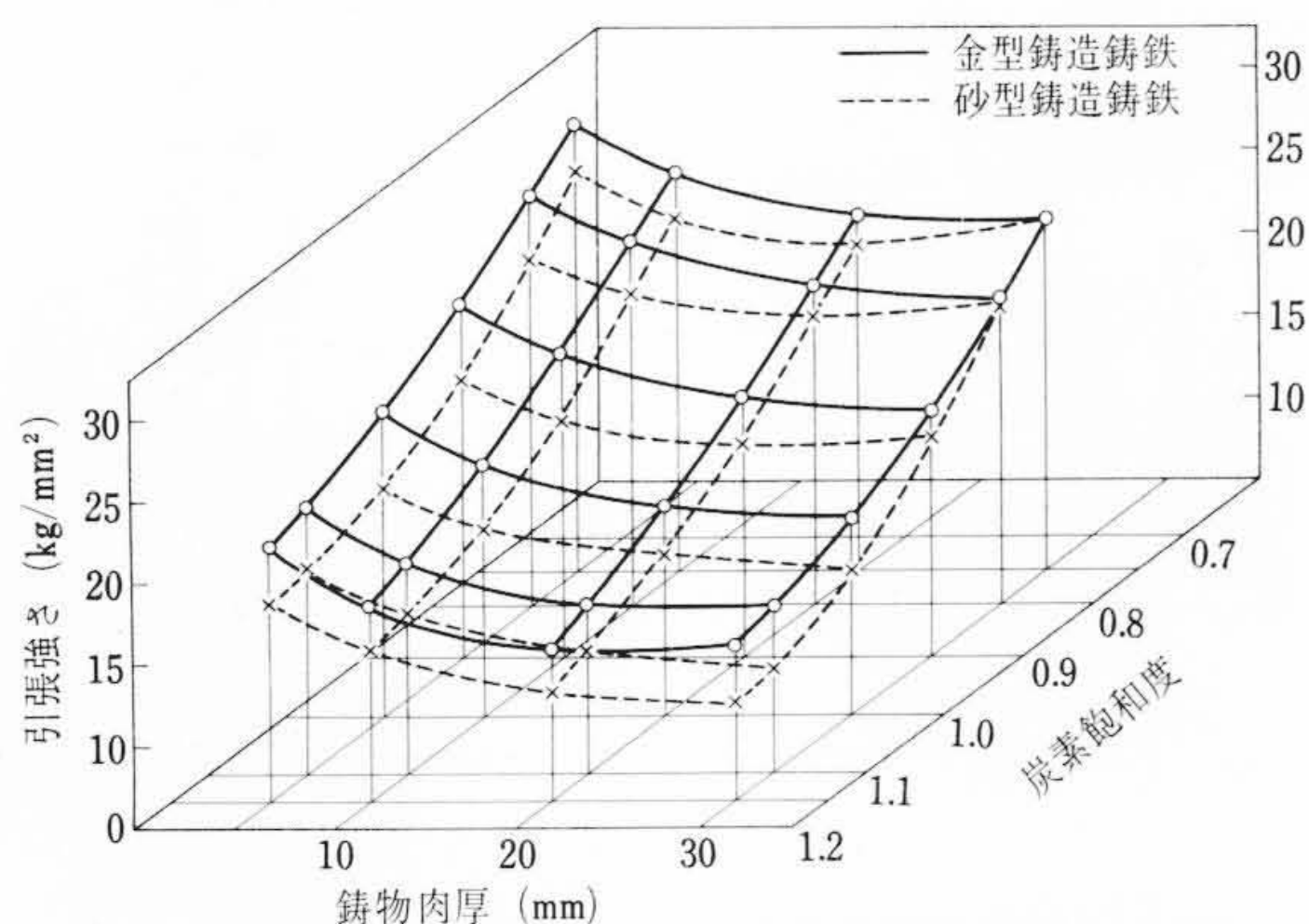


図10 金型鋳造、砂型鋳造鋳鉄の引張強さ

	金型鋳造鋳鉄	砂型鋳造鋳鉄
0.78		
0.96		
1.14		

(肉厚 20 mm) × 100 × 3/4

図11 炭素飽和度を変えたときの組織変化例

また試作装置として設置した半工業的規模の設備をもってしても作業者 1 名あたり月産 20 t の生産をあげることができ、しかも僅少(きんしょう)の床面積で足りることが明らかになった。すなわち、原価低減、省力化に対する効果は大きく、加えて作業環境も改善される技術といえる。

鋳物品質についていえば、寸法精度、鋳はだともに砂型鋳造鋳物と比べてまさるとも劣らない品質が得られ、しかもその強度は強い。

他方、3.でも触れたように、本技術はすべての鋳物に適用できるものではなく、形状、数に制約を受けることも確かである。形状については、砂中子の使用によって若干適用範囲は拡大しうるが、そのときは経済性に対する利点が少なくなる。

近年、砂型鋳造技術においてもディサマティック造型法で代表されるような無わく高圧造型法が量産技術として脚光を浴びつつある。これを金型鋳造技術と対比すれば、前者は各種形状の鋳物に適用しうる高度に機械化を果たした本格的量産技術である。これに対し、金型鋳造技術は、生産しうる鋳物の種類が限定される点

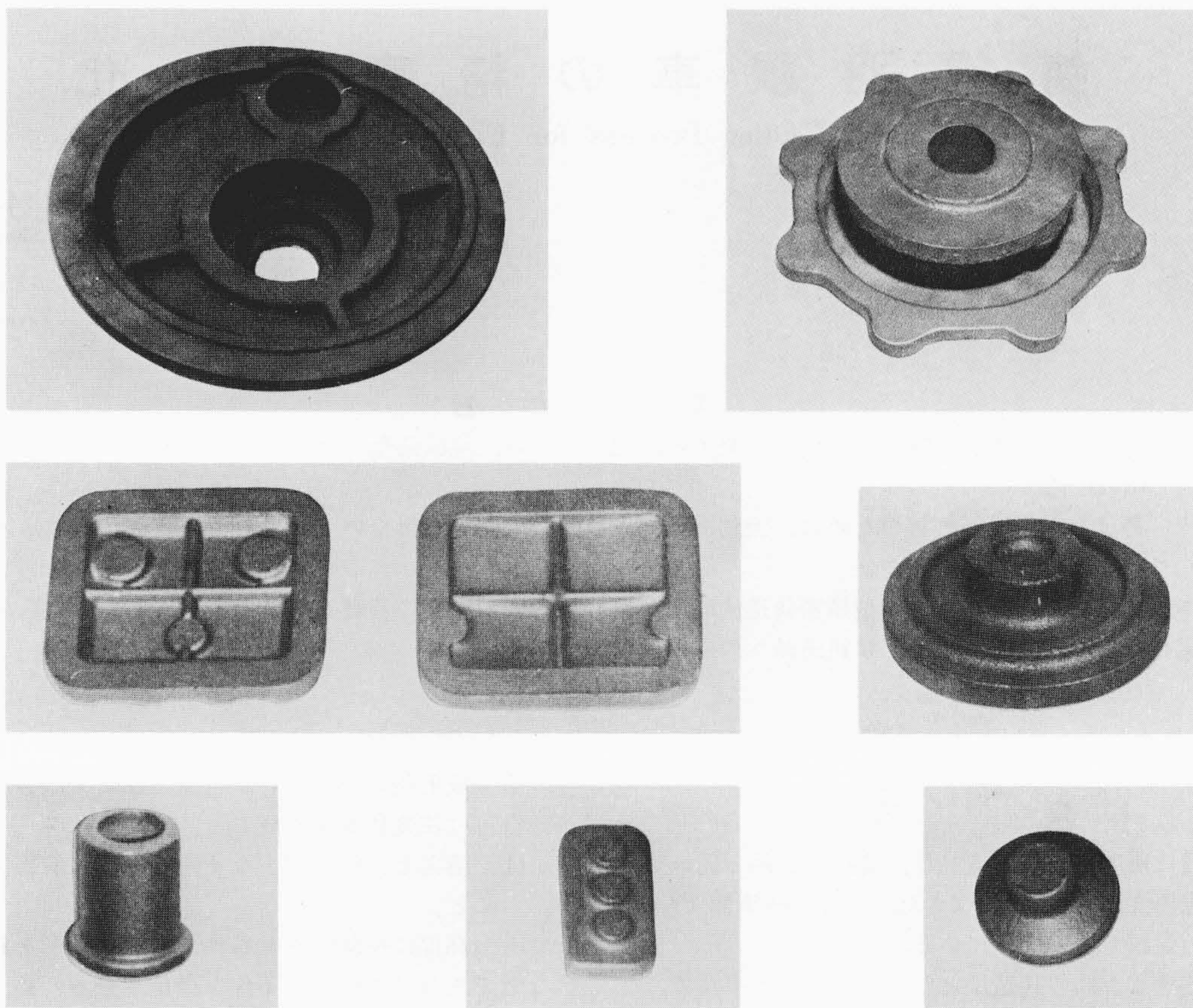


図12 試作した鋳物の外観

に考慮を要するが、その選択をまちがえなければ、比較的小さい床面積しか要しない簡易な量産技術といえる。

また、最近紹介されているマグネティックモールドイングプロセス⁽¹⁰⁾も小さい床面積で済む金型鑄造法の一つであり、これとの組合せによって、適用可能な鋳物の範囲を拡大するであろう。

結論として、本金型鑄造技術は昨今の社会事情によく合致した将来性のある技術と判断することができる。

7. 結 言

鋳鉄鋳物を生産するための重力金型鑄造技術について展望し、その技術解析を試みた。

この結果、本技術は昨今の社会事情によく合致する将来性のある技術であると判断した。また、計算による技術解析を併用すれば実際の鑄造試作だけにたよる方法よりは大幅に早期実用化を果たしうるであろう。

終わりに、本研究に終始ご指導くださった日立製作所上野勝二常務ならびに杉本正雄技術管理部長に深甚(しんじん)の謝意を表す。

参 考 文 献

- (1) 小林：金型鑄造法，日刊工業新聞社（昭43）
- (2) 柳沢：ファンダリーニュース，三菱化成，No. 57, 58, 59（昭43）
- (3) 日本鋳物協会：鋳鉄の金型鑄造法テキスト（昭44-5）
- (4) A.H.Allen; Foundry, (1948) Oct. p.83
- (5) 石川ほか：鋳物，36（1964），9,807，同37（1965），9,791，
- (6) 石川ほか：鋳物，38（1966），3, 140，同40（1968），3, 176，同41（1969），7, 488，同41（1969），8, 680，
- (7) 磯谷ほか：鋳物，39（1967），1, 40，同39（1967），2, 137，
- 同41（1969），2, 102，同41（1969），4, 315，
- (8) Schwartz & Junghans: Gießerei Technik, 6（1960），7，
- (9) M.Teillet: Tr. AFS, 70（1962），257，
- (10) A.Wittmoser: 38th International Foundry Congress Pre-print, (1971)

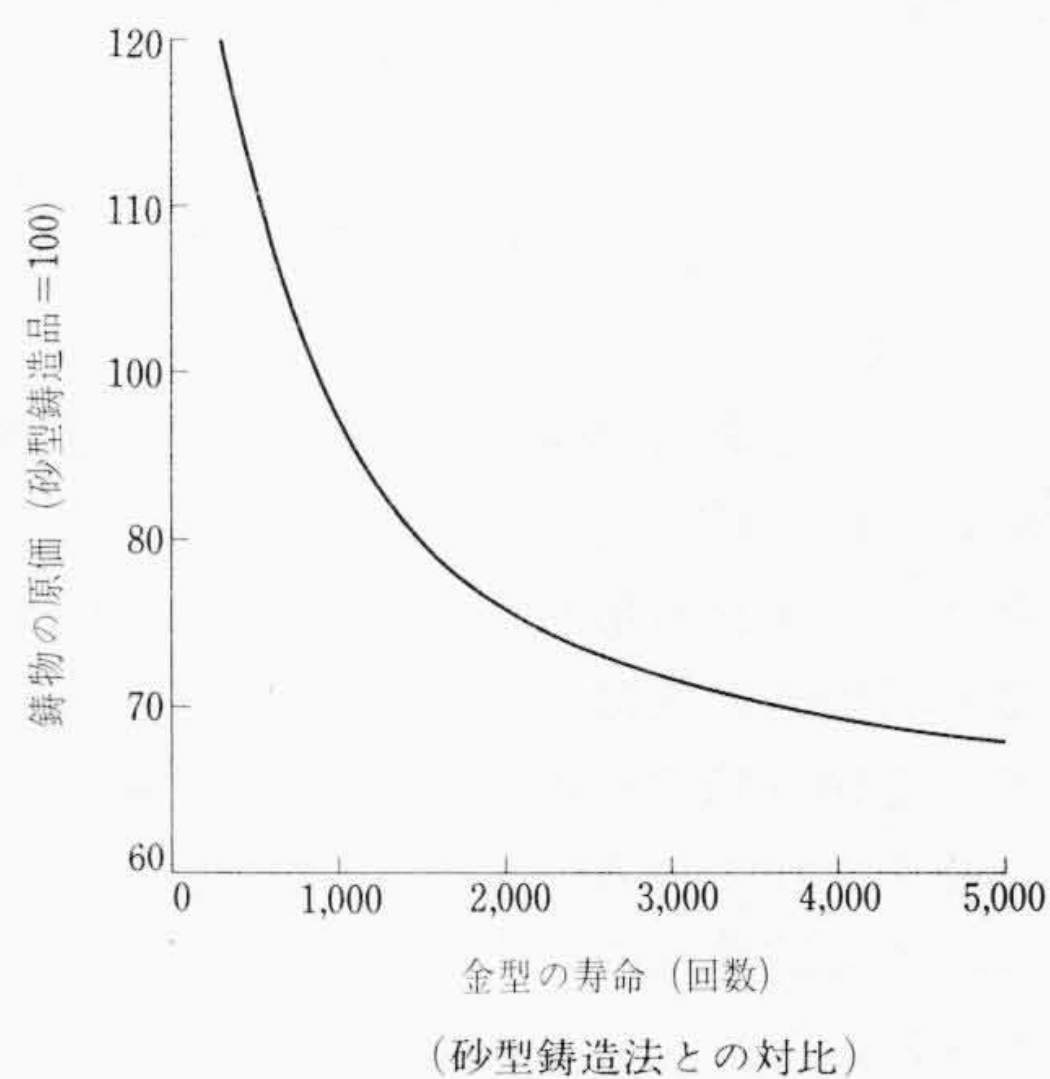


図13 金型鑄造法による鋳物の原価