

低融点合金を用いた卓上射出鑄造装置の成形性向上に関する研究

松本 隼人* 田中 裕一** 宮本 憲隆***

The Research for Improving in the Formability of Desktop Die Casting Machine Using a Low Melting Point Alloy

Hayato Matsumoto*, Yuichi Tanaka**, Noritaka Miyamoto***

The purpose of this research is improving in the products by making the desktop die casting machine using a low melting point alloy and observing phenomenon in the transparent mold made of acrylic resin. Desktop die casting machine is minimum structure, which is composed of an injection part, a mold part, an actuator and a chamber for injection molten metal. The molten metal is injected into the mold with the actuator, and its phenomenon in the mold is observed by using a high speed camera. In this study, two causes that decrease the formability are obtained. One is the turbulent flow caused due to high injection speed. The other is the blowout of the metal from the parting and the air ventilation due to excessive injection pressure.

キーワード：ダイカスト，鑄造，射出成形，低融点合金，可視化，3次元 CAD/CAE/CAM

Keywords : Die casting, casting, injection molding, low melting point alloy, visualization, 3D-CAD/CAE/CAM system

1. 緒言

1.1 背景及び目的

モノづくりの分野における最も重要なテーマの一つとして、「加工現象を正確に理解すること」が挙げられる⁽¹⁾。砂型鑄造やダイカスト鑄造などの鑄造分野や、樹脂の射出成形など、型（鑄型）を利用した多くの加工法が存在する一方で、これらの加工法ではほとんどの場合型が不透明であるため、型内での成形（流動及び凝固）がどのように進行しているのかが容易にはわからない。そこで、鑄型内に射出された溶融合金の挙動を把握するために、様々なシミュレーション技術が進歩してきている。しかしながら、実際の現象は複雑であるため、何らかの方法で型内の現象を可視化して直接観察することが重要になってくる⁽²⁾。実際の鑄造現場においても、それぞれの金型により湯流れ現象は大きく変わるので、湯流れ可視化の有用性は高い。

これまで、本研究室では、任意形状の型内における鑄造現象を可視化し、鑄型内を溶湯で充填できる装置（以下、従来型射出鑄造装置と呼ぶ）を製作し、さらにその実験条件を変えることで、型内における鑄造現象がどのように変化するかを観察し、視覚的に捉えることを目指してきたが、

装置には複数の問題点があり、鑄型内現象の観察も目視のみであった⁽³⁾。そこで本研究では製作されていた装置の問題点を改善した装置を製作し、高速度カメラを使って流動現象を詳しく観察することで成形品の成形性を向上することを目的とした。

1.2 従来型射出鑄造装置

従来型射出鑄造装置の写真を図1に示す。一般的に使用されているダイカスト装置や射出成形装置等が設置スペースや大きな稼働エネルギーを要することに対し、過去に本研究室で製作した従来型射出鑄造装置は卓上・小型で、稼働温度が比較的低いいため、取り扱いが容易等の特徴を持っていた。装置の機能としては、①バンドヒータにより、射出部を加熱することで溶湯を保持、②アクチュエータにより、ピストンを押し出すことで溶湯を射出する、といった、

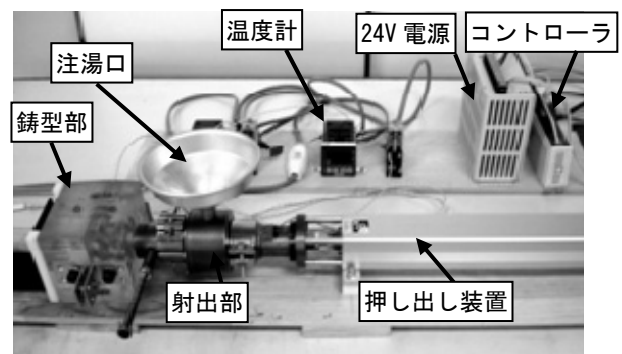


図1 従来型射出鑄造装置（写真）

* 専攻科 生産システム工学専攻（現：九州大学大学院）

** 機械知能システム工学科

*** 技術センター

〒866-8501 熊本県八代市平山新町 2627

Dept. of Mechanical and Intelligent Systems Engineering,

2627 Hirayama, Yatsushiro-shi, Kumamoto, Japan 866-8501

溶湯を鑄型内へ射出するための最低限の構造をもつものであった。その構造は、大きく分けて①押し出し装置、②射出部、③鑄型部から成るもので、型内の様子を観察するために透明なアクリル樹脂製の鑄型（サイズ：100 mm×100 mm×50 mm×2 個）を用いていた。鑄型として使用するアクリル樹脂の融点以下の 100℃前後が融点である低熔点合金を溶融合金として用いることでこの透明鑄型の使用を可能にしている。

1.3 従来型射出鑄造装置の問題点

従来型射出鑄造装置の問題点は、①任意量の射出溶湯量の設定が不可能、②射出部及び鑄型部の密封性が低い、③メンテナンス時の取り扱いの煩雑さ、④鑄型の型締め力が不均一になっている可能性がある、⑤鑄型の透明度が低く、鑄型内流れの観察は目視のみ、といったものであった。まずは、良好な成形性を示す実験条件及び成形品を得るため、これらの問題点を解消する装置の改良を行なった。

2. 低熔点合金

2.1 低熔点合金とは

易融合金、可融合金（fusible alloy）などとも呼ばれている低熔点合金については、融点が何度以下というような明確な定義がなく、あいまいであるが、実際に使用されている場合の利用の仕方などから、ホワイトメタル・活字合金・鉛すずはんだ合金をも含めた範囲の、比較的融点の低い合金類を指すと一般に解釈されている⁽⁴⁾。

2.2 低熔点合金の特性

低熔点合金の機械的性質については、鑄造、冷却の条件、ならびに鑄造後の時間経過による変化に関係が深い。したがって、機械的性質についての数値は、「約」または「傾向」とみるべきである。融点についても発表されている数値と実測値が違う場合があるが、試料の量、冷却速度などの相違に関係するものである⁽⁴⁾。また低熔点合金の中には、ほとんどの金属、合金の場合とは反対に冷却凝固の際に収縮せず、逆に膨張するものがある。凝固時の体積変化に最も大きな影響を与えるのはビスマス（Bi）である。一般的には 55%以上のビスマスを含む場合には膨張し、48%以下の場合には収縮する⁽⁴⁾。

表 1 に今回用いた低熔点合金の組成と融点、及び機械的性質を示す。採用したのは、フジメタル工業（株）の低熔点合金 No.19A（以下、低熔点合金 19A と呼ぶ）である。

表 1 フジメタル工業製低熔点合金 No.19A の組成と融点及び機械的性質⁽⁵⁾

種類	組成[%]			比重 [gf/cm ³]	溶融範囲[°C]		引張強さ [N/mm ²]
	Sn	Bi	Pb		固相線 温度	液相線 温度	
低熔点 合金 No.19 A	20	50	30	9.77	96	100	54

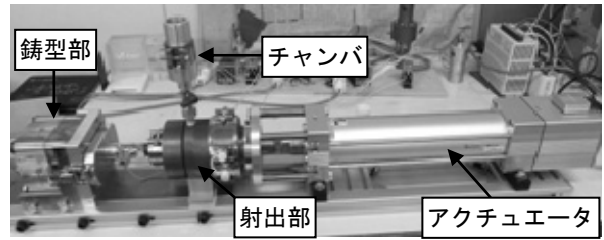


図 2 新型卓上射出鑄造装置

3. 卓上射出鑄造装置

図 2 は従来型射出鑄造装置から改良を行ない、製作した新型卓上射出鑄造装置（以下、新型射出鑄造装置と呼ぶ）の写真である。以下にその改善点を述べる。

3.1 射出部

従来型射出鑄造装置では射出部のシリンダ側部品に射出口側部品を六個のねじによって締め付け、固定していた。それによりメンテナンスの際の分解・組立が煩雑であった。また、実験の度にシリンダ側と射出口側の間と射出通路閉鎖用の弁部から溶湯が漏れ出ていたことから、密封性が低いことが考えられたため、それらの問題点解消のための改良を行なった。図 3 に改良した射出部の写真を示す。

射出部は、シリンダ側、射出口側、ノズル部及びボール弁からなる。シリンダ側と射出口側の取り付け部位をボトルキャップ状にねじを切ることで、一度の締め付けによる固定を可能にし、分解・組立時の煩雑さを解消した。また、シリンダ側のおねじを射出口側のめねじより長くすることで、ねじの締め付けによる密着面をつくることで密封性を高めた。さらに、弁部からの溶湯の漏れに対しては、従来型射出鑄造装置では射出口側と一体となっていたノズル部を別の部品として製作し、射出口側とノズル部の間に管用のボール弁を設けることで密封性を向上させた。加えて、全てのねじ部分にシーリングテープを巻いた。

3.2 鑄型部

従来型射出鑄造装置では図 4 にあるように鑄型自体に L 字鋼を取り付け、対面にした L 字鋼にボルトを通し、締めることで鑄型の型締めを行っていた。しかし、この型締め方式では鑄型の左右の辺縁部に型締め力が集中し、中央部の型締め力が弱まっている可能性があった。

また、型締め時のボルトの締め付け作業が煩雑であり、

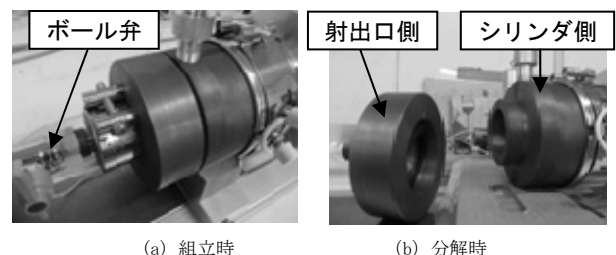


図 3 射出部（改良後）

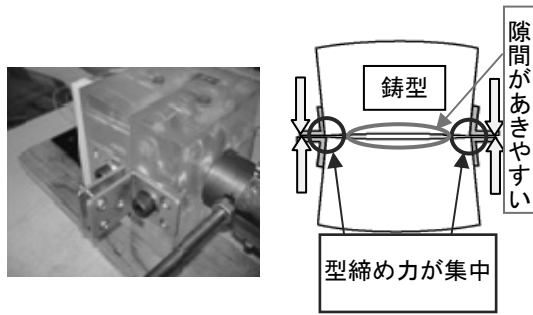


図4 従来型射出鑄造装置の型締め方法与型締め力の偏り (イメージ)

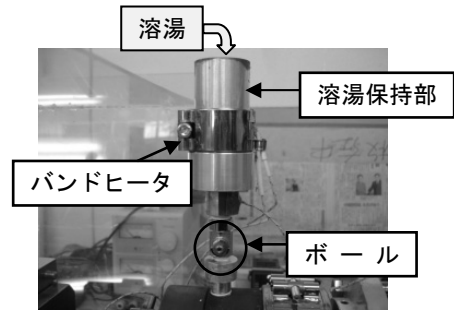
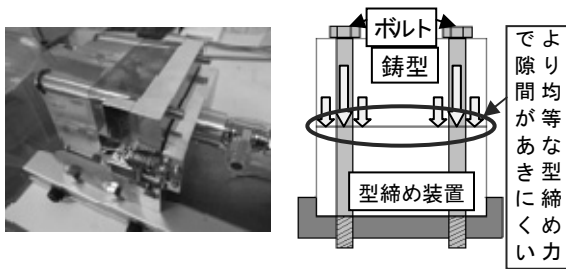


図6 定量溶湯計量装置 (チャンバ)



(a) 右斜め前方からの写真 (b) 型締め力の均一化

図5 鑄型部

射出部のノズルへの押し付けもされていない状態であったため、これらの問題点解決のために型締め装置を製作した。

図5に製作した型締め装置の写真と型締め方式のイメージを示す。鑄型を型締め装置に装着したものを鑄型部と呼ぶ。型締め力を均一化するために、鑄型の四隅に穴を開け、そこに固定用ボルトを通し、型締め装置に直接締め付けるという型締め方式をとった。型締めは4本のボルトの締め付けのみで完了し、型締めの煩雑さを解消している。トルクレンチでボルトの締め付けを行ない、 $0.9 \text{ N}\cdot\text{m}$ のトルク（鑄型が損傷しない程度の限界）で一定の締め付け力とした。また、型締め装置の左右の両側にはスナップ錠を設け、これをノズル部側の押し付け用フックに掛けることで射出部との接続及びノズルへの押し付けを行なった。さらに、鑄型内部の可視範囲が最大限大きくなるように型締め装置の形状を決定した。

また、鑄型の透明度が低く、鑄型内流れの観察が目視のみで行われているという問題点に対しては、鑄型表面をフライスにより研磨し、透明度を向上させ、鑄型内流れの観察には高速度カメラを用いることにより問題点を改善した。

3.3 定量溶湯計量装置 (チャンバ)

従来型射出鑄造装置の溶湯量が一定ではないことや、任意に溶湯量が設定できないことの問題点を解消するために定量溶湯計量装置 (以下、チャンバと呼ぶ) を製作した。図6に製作したチャンバの写真を示す。チャンバは溶湯保持部、バンドヒータ及びボール弁から構成される。従来型射出鑄造装置に使用していたものと同様のバンドヒータを

利用し、溶湯保持部を低融点合金の融点以上に加熱することで溶湯の保持を行なう。溶湯保持部は上端面が開いた円筒状になっており、内側に $30\sim 55 \text{ cm}^3$ まで 5 cm^3 刻みで目盛りを設けており、溶湯量の計量及び任意量の設定が可能となっている。

計量の手順は、①ボール弁を閉じる、②上部から任意量まで溶湯を注ぐ、③ボール弁を開き、射出部へ溶湯を注入する、④ボール弁を閉じる、となる。

3.4 押し出し装置 (アクチュエータ) 及びバンドヒータの選定及び仕様

従来型射出鑄造装置では押し出し装置として、射出速度の可変性、操作の簡便性、価格等から、株式会社アイエイアイ製のアクチュエータを使用していた。そのため、新型射出鑄造装置でも同社製のアクチュエータの中から射出速度の範囲が大きくとれ、射出圧を向上させることができる RCP-RA10C を選定した。仕様はストローク 200 mm 、最大押付け力 3000 N 、最高速度 125 mm/s である (従来型アクチュエータ: 最大押付け力 358 N 、最高速度 87 mm/s)。なお、最高速度とはピストンの押し出し速度を指す。

また、シリンダ及びチャンバ内において、一旦溶融させた低融点合金 No.19A を凝固させずに溶融状態で保持するために、シリンダ内の保温が必要であるため、株式会社ミスミ製バンドヒータ MBHS40 及び MBHD100 を選定した。仕様はともに最高温度 300°C 、電圧 200 V 、電力は MBHS40 が 150 W 、MBHD100 が 250 W である⁶⁾。

4. 鑄型

従来型射出鑄造装置では比較的生産量の多い自動車部品を想定して、自動車用部品のクランクシャフトを簡略化したものを成形品とした鑄型を使用していた。本実験でも同一のものを用いることとした。これについて図7に示す。抜け勾配は鑄型を抜く方向に平行な面全てに 1.5° ついでいる。

4.1 主要部位の名称と位置

この鑄型における湯口の位置は、鑄型内を溶湯が同時に充填できるように、鑄型及び成形品の中心 (図7に湯口の位置を示す) とし、直径 6 mm のダイレクトゲート方式とし

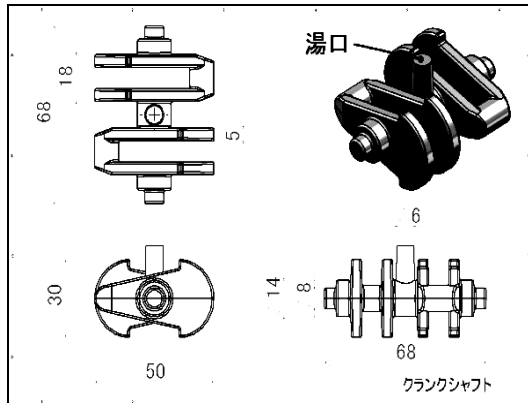


図7 クランクシャフト

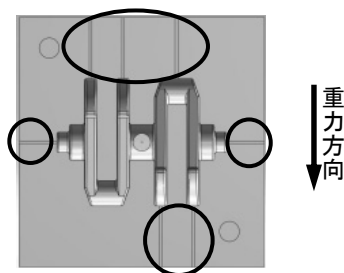
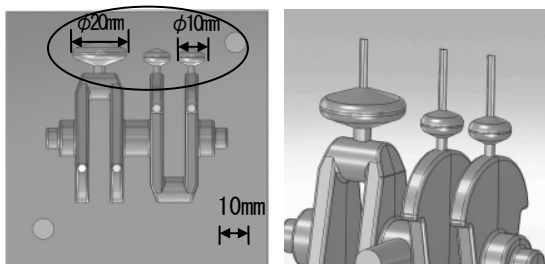
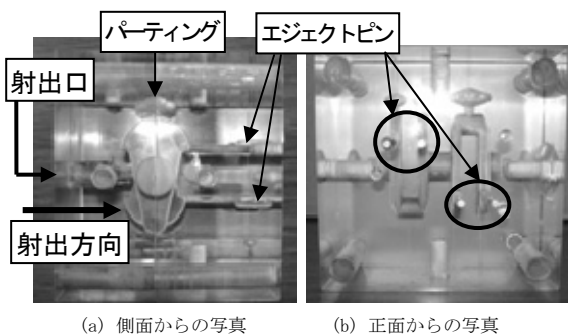


図8 エアベントの位置



(a) 湯だまりの位置 (b) 湯だまりの形状

図9 湯だまり



(a) 側面からの写真 (b) 正面からの写真

図10 アクリル製鋳型

た. 良好な充填を行なうために必要なエアベント及び湯だまりが設けてあり, それらの位置と形状を図8及び図9に示す.

4.2 その他の部分の名称と機能

アクリル製鋳型の写真を図10に示す. なお, 図にはその他に付加した部分の名称を記すとともに, 以下にそれらの機能を説明する.

- ・エジェクトピン: 成形品を鋳型から取り出すためのエジェクトピン.
- ・パーティング: 鋳型分割面. パーティングライン (PL) ともいう.

5. 流動現象観察実験

5.1 過去の実験で得られた結果

鋳造における成形品の評価の項目として, 寸法精度, 鋳肌の状態⁽⁷⁾, 充填率 (鋳型内を溶湯がどれだけ充填 (充填) できているかを表す割合), ひげ巣, 湯まわり不良等に代表される鋳造欠陥等が挙げられる. これらすべての項目を一度に満足することは極めて難しいので, 本研究では充填率に重点をおいて考察することとした. 充填率は鋳型内を溶湯がどれだけ充填 (充填) できているかをその重量比として示し, 次のようにして算出した.

鋳型内の空洞部分 (エアベント, 湯道等は除く), つまり成形品の体積は, SolidWorks の体積計算機能より 21.6 cm^3 であった. また, 今回実験に用いた低融点合金 19A の比重量は 9.77 gf/cm^3 なので⁽⁵⁾, これより 100% 充填時の成形品の (理論) 重量 $W_{\text{theory}} [\text{gf}]$ は式(1)となる.

$$W_{\text{theory}} = 21.6 \times 9.77 = 211 [\text{gf}] \dots\dots\dots (1)$$

実験による成形品の重量を $W_{\text{experiment}} [\text{gf}]$ として, 充填率を式(2)のように定義する.

$$(\text{充填率}) = W_{\text{experiment}} / W_{\text{theory}} \times 100 [\%] \dots\dots\dots (2)$$

過去の実験で得られた, 従来型射出鋳造装置を用いた鋳造実験の結果を図11に示す⁽³⁾. 縦軸は得られた成形品の充填率を, 横軸は実験条件の射出速度を表している.

この実験では, 射出速度が大きくなると (40~80 mm/s の範囲) 充填率が下がるという結果が得られ, これらは, 射出速度が大きいと, 鋳造初期に射出された溶湯が, まず鋳型内の壁にぶつかり, 全体を充填する前にパーティングやエアベントから漏れてしまい, 充填できない場所が出てしまうためだと考えられた. また, この実験では, 鋳型の

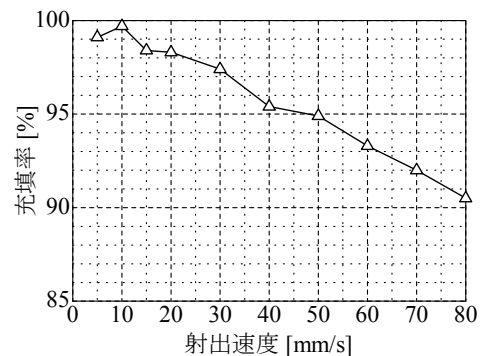


図11 充填率と射出速度の関係

透明度が低く、鑄造現象の観察は目視によってのみ行なわれ、視認出来た溶湯の挙動と実験結果から成形性に寄与する要因を考察していた。

なお、鑄造実験を行なうにあたり、バンドヒータによるシリンダの保温の温度設定は、低融点合金 19A の融点より高い 110°C にした。また、重力による影響もあると考えられるので、鑄型は、湯だまりが重力の方向に対して上部にくるようにセットした。

5.2 実験条件及び手順

前節で述べた実験の結果及び考察を受けて、各射出速度での流動現象が如何なる挙動を示すかを正確に確認するために、高速度カメラによる流動現象観察実験を行なった。

図 1 2 に実験における装置の配置を示す。溶湯の射出方向の後方から鑄型内流れを観察する。

表 2 に実験に使用した高速度カメラの仕様を示す。fps は 1 s 当たりに撮影可能な画像の枚数を表す。実験では、解像度及び撮影範囲の関係から 250 fps で撮影する。

なお、成形性の評価には従来型射出鑄造装置による実験と同じく充填率を用いるが、鑄型の密封性向上のため、パーティング面を研磨し、鑄型内体積が減少、成形品の理論重量が 209 gf 以下となった（研磨量から見積もった値）。したがって、本実験における充填率は $W_{\text{theory}} = 209 \text{ gf}$ として式 (2) により算出している。

次に、実験条件を以下のように定めた。

- ① バンドヒータによる保温設定温度：110°C
- ② ピストン速度（射出速度）：10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 70 及び 80 mm/s
- ③ 射出溶湯量：35 及び 40 cm³

射出速度は従来型射出鑄造装置における実験条件の内、再現可能な条件を設定し、射出溶湯量は鑄型内及び流路内体積のおよそ合計である 35 cm³ と、それより多量の 40 cm³ の二種類を設定した。これは従来型射出鑄造装置では射出溶湯量の増加により成形性が向上する傾向が見られたためである。

実験手順は以下の通りである。まず溶融した低融点合金 19A を、バンドヒータにより加熱されたチャンバに注湯口

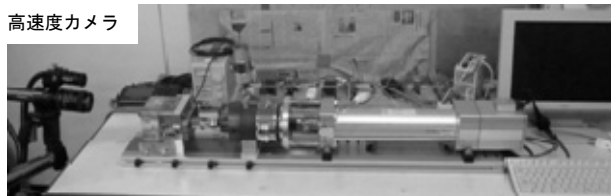


図 1 2 実験装置の配置

表 2 高速度カメラの仕様

製造メーカー	株式会社キーエンス
型番	VW-6000
撮影能力	24000 fps
実験用設定	250 fps

から注ぎ込み、溶湯量を計量後、シリンダ内へ注入し、ピストンを押し出すことによって溶湯を射出する。この射出中の鑄型内の様子を高速度カメラにより撮影する。射出後、逆流を防ぐため、すぐに射出部弁を閉じてから 2 分程度保持したのち、装置から鑄型を取り外し、大気中で約 15 分間冷却後、成形品を取り出す。

5.3 実験結果及び考察

高速度カメラにより観測された溶湯の挙動の内、代表的なものを以下に述べる。

5.3.1 射出速度 10 mm/s における溶湯の挙動

図 1 3 に実験条件中、最も遅い射出速度 10 mm/s、射出溶湯量 35 cm³ における鑄型内の充填の様子を示す。各写真、中央の奥側が射出口であり、そこから溶湯は手前へと流れ込む。溶湯はまず、乱れることなく鑄型内に流入し、重力により下方を満たしていく（図 1 3 (a), (b)）。次に、溶湯の液面が射出口より高くなると、下方から溶湯が供給される形となり、液面は乱れることなく穏やかに上昇していく（図 1 3 (c)）。鑄型の右側では、液面がクランクのロッド部分まで達すると、溶湯は横へ流れ、クランクの最右部に上から注ぎこまれるような形となる（図 1 3 (d)）。充填中、鑄型内に残っていた空気が上昇し、エアイベントの方へ抜けていくのがクランク右側部で確認できる（図 1 3 (e)）。鑄型内が完全に充填されたのち、残る若干量の溶湯の供給により、鑄型内圧力が高まり、パーティングにバリが形成され、充填工程が完了する（図 1 3 (f)）。充填開始から完了まで約 5.5 s を要した。

この条件における挙動では、鑄型内を満たしていく溶湯の液面、湯先が穏やかで平面状であり、空気を巻き込んでいく様子は見られない。これは良好な成形品が得られる半凝固鑄造（Semi-solid metalworking）における湯先の形状である planar flow⁽⁸⁾ に類似する。また、充填中に下部から気泡が上部へ浮き上がっていることから、充填時間が長い場合、鑄型内の空気がエアイベントへ抜けていく時間が十分確保されていることがわかる。

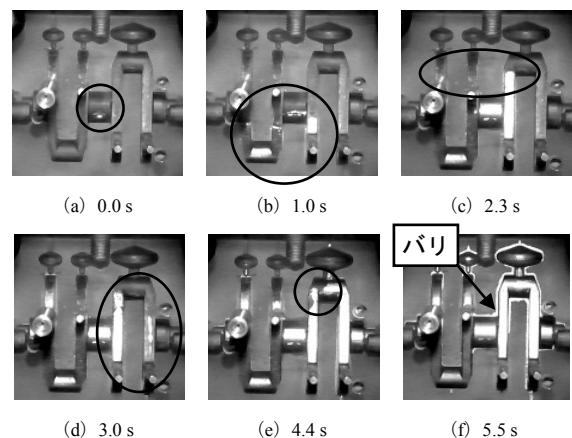


図 1 3 射出速度 10 mm/s、射出溶湯量 35 cm³ における鑄型内流れの様子

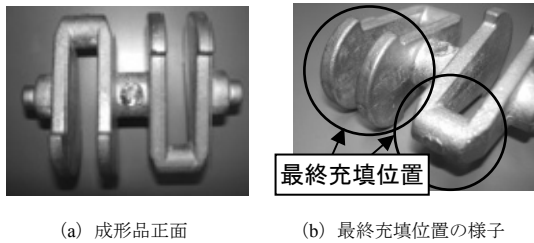


図 1 4 射出速度 10 mm/s, 射出溶湯量 35 cm³における成形品

図 1 4 に図 1 3 の実験条件によって得られた成形品の写真を示す。図 1 4 (a) を見るとほぼ完全な充填が行なわれているのが確認できる。また、通常、欠陥が多くみられる最終充填位置にも未充填箇所は無く、目立った気泡も確認されないことから、良好な成形結果が得られたと言える。成形品の重量は 207.8 gf であり、充填率は 99.3%であった。5.1 節で述べた過去の実験結果⁽³⁾では射出速度 10 mm/s の成形品の平均充填率は 99.7%であるが、二つの結果の誤差率は 0.004 であり、計測時の誤差の範囲と考えられる。また、5.2 節で述べたように本実験の充填率は実際より低い値で算出されている可能性があるため、それも考慮するとほぼ同等の結果が得られたと考えられる。

5.3.2 射出速度 80 mm/s における溶湯の挙動

次に最も速い射出速度 80 mm/s における鋳型内の充填の様子を図 1 5 に示す。なお、図 1 5 は射出溶湯量 40 cm³ による結果であるが、射出速度 80 mm/s において、射出溶湯量の増加による現象の違いが最も顕著に確認されているためにこの結果を示す。

溶湯は射出開始直後、激しく鋳型内に流れ込み、ゲートの対面にある鋳型内壁面に激突する(図 1 5 (a))。その後、両側に溶湯は分かれ、湯先は乱れながら、鋳型の上方、下方をほぼ同時に満たしていく(図 1 5 (b))。溶湯は勢いにより鋳型内の外縁をたどり、大きく鋳型内の空気を巻き込みながら充填していく。この時、鋳型が完全に満たされる

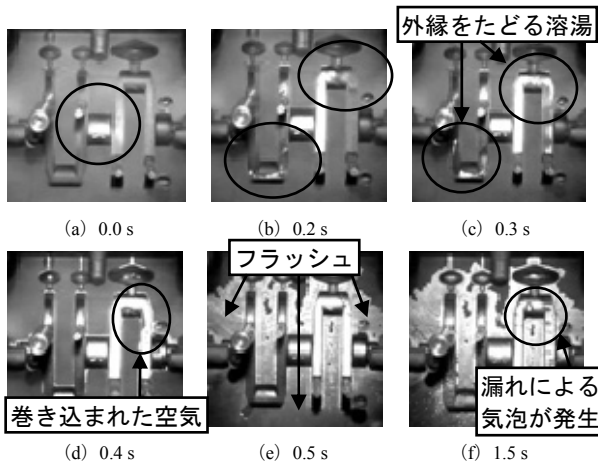


図 1 5 射出速度 80 mm/s, 射出溶湯量 40 cm³における鋳型内流れの様子

以前に、バリが生じ、右側上部のエアイベントに溶湯が達していることが確認できる(図 1 5 (c), (d))。射出溶湯量 35 cm³ の場合も上記と同様の挙動を見せ、この時点で充填が完了した。鋳型内が充填されたのち、さらなる溶湯の供給により、鋳型内圧力が大きく高まり、パーティングに大きなフラッシュが形成され、フラッシュと同時に多量の溶湯が漏れ出し、鋳型内に大きな気泡が形成され充填工程が完了する(図 1 5 (e), (f))。充填開始から溶湯が鋳型内を満たすまで約 0.5 s、パーティングにおける溶湯の漏れが収まるまで 1.5 s を要した。なお、射出溶湯量 35 cm³ ではフラッシュは形成されず、射出溶湯量 40 cm³ では他の射出速度においてもフラッシュの形成が確認された。

図 1 6 に図 1 5 の実験条件によって得られた成形品の写真を示す。図 1 6 (a) を見ると大きなフラッシュが形成され、未充填箇所や大きな気泡が多数存在するのが確認できるうえ、図 1 6 (b) の最終充填位置は完全に充填不足であり、明らかに成形不良である。成形品の重量は 179.3 gf、充填率 85.7%であり、5.1 節で述べた過去の実験結果⁽³⁾では射出速度 80 mm/s の成形品の平均充填率は 90.5%であるため、この結果は著しく成形性が悪いと言える。

この挙動を見ると、鋳型内が充填後、溶湯の供給が止まらないことにより、鋳型内に過度の圧力が負荷され、型締め力が圧力に負け、大きなフラッシュを形成したと考えられる。フラッシュ形成の際にフラッシュとなった以外の溶湯がパーティングから漏れ出しているのが確認でき、加えて、エアイベントを射出口として溶湯が鋳型外へ噴き出していることも確認できた。このことから、射出溶湯量の増加は必ずしも成形性向上に効果があるとは言えず、過度の加圧がなされない適量の溶湯を射出することが成形性を向上させることがわかった。この結果が以前の充填率を下回ったのも溶湯量の過多が原因と考えられる。前述したように、従来型射出鋳造装置では射出溶湯量の増加による成形性の向上が見られていたため、当初は 40 cm³ の方が成形性は向上するのではないかとの予想をしていたが、高速度カメラで詳しく現象を観察することで初めて、射出溶湯量の適量の存在を確認できた。

5.3.3 射出速度 30 mm/s における溶湯の挙動

射出速度 30 mm/s, 射出溶湯量 35 cm³ における鋳型内の充填の様子を述べる。溶湯は 5.3.1 項で述べた射出速度 10 mm/s の場合の挙動に類似した挙動を示すが、鋳型内を満たして

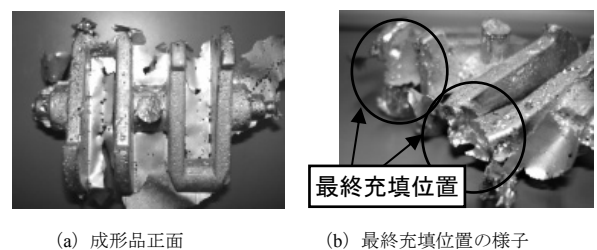


図 1 6 射出速度 80 mm/s, 射出溶湯量 40 cm³における成形品

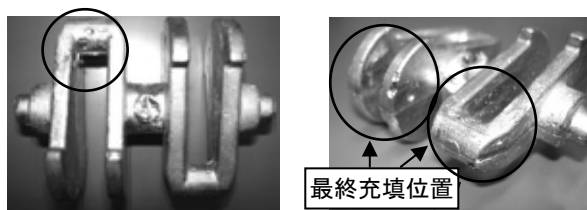
いく溶湯は 10 mm/s の場合に比べると乱れた挙動であった。充填開始から完了まで約 1.8 s を要した。

この実験によって得られた、成形品の写真を図 1 7 に示す。図 1 7 (a) を見ると大まかな成形品の外形は得られているが、大きな気泡の跡が複数存在するのが確認できる。また、図 1 7 (b) からは最終充填位置においては空気が抜けきれず気泡の跡となっていることがわかるが成形品重量 207.3 gf、充填率 99.1% であるため、若干の外見の欠陥はあるが比較的良好な成形結果が得られたと言える。5.1 節で述べた過去の実験結果⁽³⁾では射出速度 30 mm/s の成形品の平均充填率は 97.4% であるため、成形性は向上したと言える。

5.3.4 射出速度 50 mm/s における溶湯の挙動

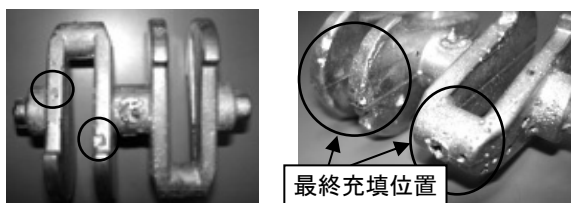
射出速度 50 mm/s、射出溶湯量 35 cm³ における鋳型内の充填の様子を述べる。溶湯は比較的穏やかではあるが、5.3.2 項で述べた射出速度 80 mm/s の場合の挙動に類似した挙動を示した。しかし、射出溶湯量 35 cm³ であったため、過度の加圧は無く、フラッシュの形成及びパーティングにおける溶湯の漏れは生じなかった。充填開始から完了まで約 1.3 s を要した。

この実験によって得られた、成形品の写真を図 1 8 に示す。図 1 8 (a) を見ると大まかな成形品の外形は得られているが、大きな気泡が複数存在するのが確認できる。また、図 1 8 (b) からは最終充填位置においては大きな気泡と内部空洞の未充填箇所が形成されていることがわかる。成形品重量は 201.0 gf で充填率は 96.1% であり、良好な成形結果が得られたとは言えないが、5.1 節で述べた過去の実験結果では射出速度 50 mm/s の成形品の平均充填率は 94.9% である



(a) 成形品正面 (b) 最終充填位置の様子

図 1 7 射出速度 30 mm/s、射出溶湯量 35 cm³ における成形品



(a) 成形品正面 (b) 最終充填位置の様子

図 1 8 射出速度 50 mm/s、射出溶湯量 35 cm³ における成形品

ため、過去の実験⁽³⁾に比べ、成形性は若干良くなったと言える。

5.3.5 湯流れ解析シミュレーションとの比較

図 1 9、図 2 0 は湯流れ解析ソフト JS CAST によって得た、射出速度 10 mm/s 及び 80 mm/s における湯流れ解析シミュレーションの結果である。図 2 0 に見られる溶湯の挙動を先に挙げた図 1 5 の溶湯の挙動と比較すると、ほぼ同時刻において湯先の乱れ方や鋳型何の外縁部をたどる挙動など同様の傾向が確認できる。しかし、パーティング、エアベントにおけるフラッシュの形成および溶湯の噴出は再現されていない。また、図 1 9 と図 1 3 の挙動を比較すると、溶湯の挙動の傾向は同様だが、時刻が一致していない。これは撮影時に射出開始の始点設定がずれてしまっていたためだと考えられる。

5.3.6 包括的な考察

図 2 1 は、今回の新型射出鋳造装置による実験と 5.1 節で述べた従来型射出鋳造装置による実験の結果を比較したものである。三角(△)の印で示されるグラフが先に挙げた図 1 1 の射出溶湯量の設定ができない従来型射出鋳造装置に

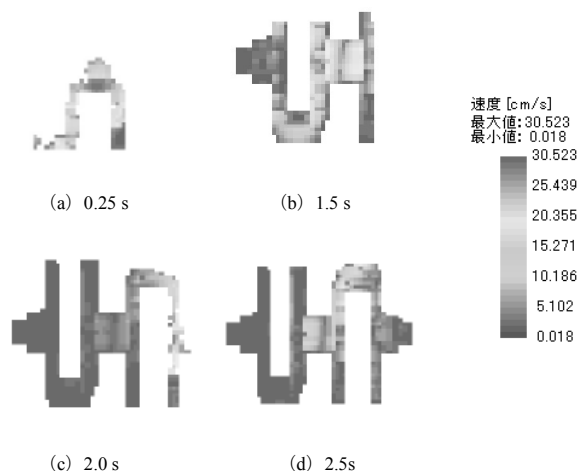


図 1 9 射出速度 10 mm/s における鋳型内流れの解析結果

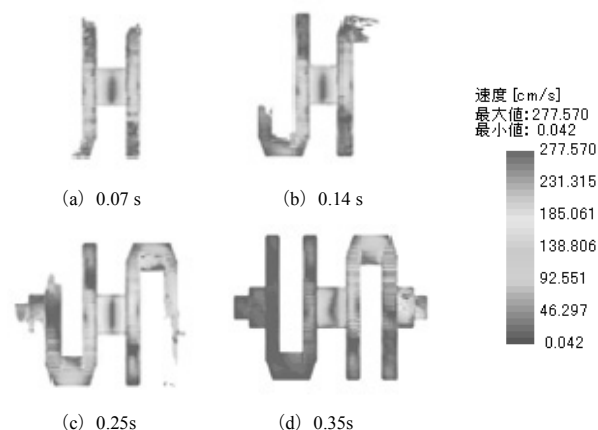


図 2 0 射出速度 80 mm/s における鋳型内流れの解析結果

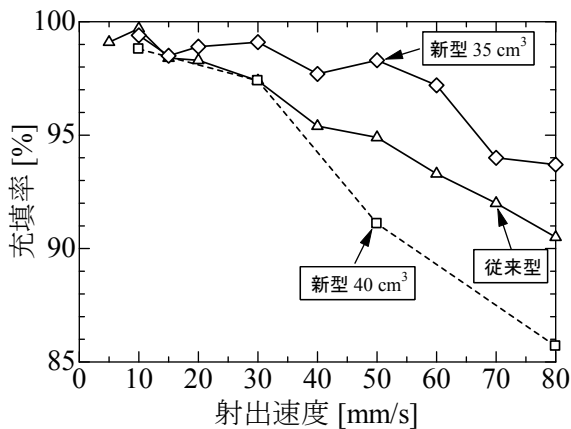


図 2.1 射出速度と充填率の関係 (新型と従来型の結果比較)

よる実験結果のグラフであり、菱形(◇)の印の実線と四角(□)の印の破線がそれぞれ今回の実験における射出溶湯量 35 及び 40 cm³での実験結果を示すグラフである。縦軸が充填率を、横軸が射出速度を示す。

三角の印の従来型射出鋳造装置の結果と菱形の印の新型射出鋳造装置 (35 cm³) の結果を比較すると、菱形のグラフが三角のグラフをほとんど上回っているため、成形性 (充填率) は改良した新型装置で向上したことがわかる。これは改良により、装置及び鋳型の密封性が向上し、パーティング、エアイベント及び装置の各接続部における漏れが無くなり、溶湯の損失が減少したためだと考えられる。また、新型射出鋳造装置 (40 cm³) の結果は従来型射出鋳造装置よりも低下しているが、先に述べたように、射出溶湯量の過多が原因であると考えられる。これは従来型射出鋳造装置では装置本体の密封性が低く、過度の圧力がかかると鋳型より先に装置本体からの溶湯の漏れがあったが、新型射出鋳造装置に溶湯の漏れは無く、装置が生み出す圧力のほとんどが鋳型内にかかったためと考えられる。これは、改良によって、より高い圧力での成形が可能になったという鋳造装置の性能向上を示している。

鋳型内流れの挙動の観察から、射出速度が速くなるにつれ、充填率が減少する大きな要因は鋳型内の溶湯の流れの乱れによる空気の巻き込みであると考えられる。射出速度が速くなるほど、鋳型内を流れる溶湯の乱れは顕著となり、鋳型内の外側から内側へ空気を包み込むように充填され、気泡や未充填箇所がより多く形成されているため、充填率が減少している。また、射出速度 50 mm/s 及び 80 mm/s では鋳型内が溶湯で満たされる前に、湯だまり及びエアイベントまで溶湯が達していることが確認できており、それにより鋳型内の空気が外部へ逃げ切れなくなり、未充填箇所などとして残ることも要因の一つであると考えられる。これらの全てを踏まえ、本実験及び本実験装置における成形性の良好な実験条件を以下に示す。

- ・射出速度：10 mm/s (溶湯の乱れが少なく、空気の巻き込みが少ない。)

- ・射出溶湯量：35 cm³ (適度な圧力がかかり、溶湯の漏れ及び不足が無い。)

また、パーティング、エアイベントにおけるフラッシュの形成および溶湯の噴出は成形性の低下に影響する要因であるが、湯流れ解析では確認できないことから鋳型内の可視化によって確認された要因であるといえる。

6. 結言

種々の問題点があった従来型射出鋳造装置から、問題点を改善した新型射出鋳造装置を製作することができた。また、改善した装置と高速カメラを用い、射出速度及び射出溶湯量の各実験条件における溶湯の鋳型内流れの挙動を詳しく観察した。その結果から、本実験における成形性 (充填率) が低下する大きな要因として、射出速度の増加に伴う溶湯の鋳型内流れの乱れによる空気の巻き込み、射出溶湯量の過多に起因する過度の鋳型内圧力によるパーティング及びエアイベントにおける溶湯の噴出が存在することを確認できた。その要因に基づいた実験条件において、成形品の成形性を向上させることができた。また、速い射出速度における実際の鋳型内流れと湯流れ解析シミュレーションを比較することができた。

今後の課題として、鋳型内圧力が不明であるため、鋳型内圧力の計測機構の検討、高圧での成形を可能とするために型締め力の強化及びエアイベント形状の検討、そして鋳型内における実際の流動現象と湯流れ解析シミュレーションの結果とのさらに詳細な比較・検証が挙げられる。

(平成 24 年 9 月 25 日受付)

(平成 24 年 10 月 25 日受理)

参考文献

- (1) 横井秀俊：「射出成形金型における可視化・計測技術」, 精密工学会誌, Vol.73, No.2, pp. 188-192 (2007).
- (2) 大中逸雄：「型内現象の可視化-鋳造-」, 精密工学会誌, Vol.73, No.2, pp. 171-174 (2007).
- (3) 一森佑也：「3次元 CAD/CAM による卓上低圧鋳造装置の設計・製作及び低融点合金を用いた鋳造実験」, (社)日本機械学会九州学生会第 41 回卒業研究発表講演会論文集-論文番号 116, 日本機械学会九州学生会, pp. 31-32 (2010).
- (4) 日本亜鉛需要研究会：鉛ハンドブック, pp. 252-255 (1975).
- (5) フジメタル工業株式会社：
<http://www.fujimetal-kogyo.co.jp/>
- (6) ミスミ：ヒータ温調関連カタログ, p. 1882 (2008).
- (7) 菅野友信・植原寅藏：ダイカスト技術入門-第 2 版-, pp. 7, 189, 200, 日刊工業新聞社 (2005).
- (8) Edward J. Vinarcik : HIGH INTEGRITY DIE CASTING PROCESSES, pp. 17, 70, 182, 204, John Wiley & Sons, Inc. (2003).