

## 凝固制御技術の活用による新チクソキャスティング装置の開発

材料科 材料スタッフ 岩澤 秀 河部昭雄  
株式会社浅沼技研 上久保佳則 高橋正詞 杉浦泰夫

### Development of New Thixocasting Apparatus Applied to Solidification Control Technique

Shigeru Iwasawa, Akio Kawabe

Yoshinori Kamikubo, Masashi Takahashi and Yasuo Sugiura

In general, most billet for thixocastings are obtained by either the electromagnetic stirring or mechanical stirring of molten alloys during alloy solidification. However, both process are costly and require very large equipment. The purpose of this study is to develop casting technique for low cost billets using thixocasting. The microstructures of billets produced by developed casting technique exhibited granular and homogeneous primary aluminum crystals. Trial products produced by thixocasting using the developed billets showed good mechanical properties, high quality and light weight than conventional casting processes.

#### 1. はじめに

自動車をはじめ多くの輸送機関が石油資源燃料に強く依存している昨今、大気汚染、酸性雨、地球温暖化などの諸問題に対して、様々な規制が強化されてきた。CO<sub>2</sub>ガスの排出量の多い、自動車産業では燃費の向上が大きな命題となっており、それに伴う駆動系、エンジンの性能向上、ハイブリッドシステムの開発などが急務となってきた。しかし、車両の高性能化、高機能化、安全性の向上から車両重量の増加は避けられず、並行して燃費向上の技術革新が要求されるようになってきている。車両重量の軽量化は、燃費を上げる効果が大きいため、様々な工夫がなされている。

このような背景の中で、鋳物製造業界においては、低燃費化に対する方策として部材・部品の軽量化対策が講じられ、高品質鋳物を得るための新しい鋳造技術として、半溶融（チクソキャスティング）法が注目されてきた。チクソキャスティング法は、連続鋳造時に機械的又は電磁攪拌を加えながら凝固させた丸棒形状のビレットを所要なサイズに切断して、これを高周波誘導加熱装置などで半溶融状態まで再

加熱し、得られた半溶融スラリーを射出スリーブに移動させ、加圧成形する方法である。一般の鋳造法では、完全な液相状態の溶融金属を用いるのに対して、低温の半溶融スラリーを使用するチクソキャスティング法の特長を簡単に列挙すると、

- (1) 成形時に層流に近い状態で充てんされるために酸化物やガスを巻き込みにくく熱処理が可能となり強度向上が期待できる。
- (2) 液相が少ないために凝固収縮率が少なくなり収縮孔が減少する。
- (3) 凝固過程における冷却速度が速まり微細な組織が得られ、加えて内部欠陥を低減できることから健全な品質が得られる。
- (4) 固液共存温度領域から成形するため凝固潜熱及び熱容量の減少により金型寿命が延長する。
- (5) 流動性、変形能が比較的高い半溶融スラリーを成形するためにネットシェイプ化が可能となる。

ところで、チクソキャスティング法の最大の課題は、製品コストの改善である。すなわち、チクソキャスティング法に用いる組織調整されたビレットの製造には、特許や技術的ノウハウと共に大掛かりな電

磁攪拌装置等の特殊な装置が必要なためにビレットの製造費が大きく嵩むこと、国内では、ビレットの製造は行われておらず、海外からの輸入に依存しており、ビレットの供給も不安定であること、また、チクソキャスト法成形装置は現在、既存のダイカストマシンを改造しているものが主流であるが、欠点として非常に高価な設備であること、大掛かりな設備のために大きな作業空間が必要となることなどが必然的に製品コストを増加させて、チクソキャスト法の普及が妨げられる要因となっている。したがって、チクソキャスト法の拡大を図るためには、本法の特長を維持しつつ、かつ低コスト化を達成する必要がある。

本研究開発では、電磁攪拌など特別な処理を行わずに低コストで安定したチクソキャスト用ビレットの製造技術及び量産装置開発を行った。

## 2. 凝固制御技術の活用によりビレットの製造技術

亜共晶組成のAl-Si系鋳造用アルミニウム合金は、Siを4～10%程度含んでおり、溶湯状態から金型または砂型鋳造した場合、通常初晶 $\alpha$ 相は図1に示すようなデンドライト状に晶出する。しかし、チクソキャスト法では、固相と液相が共存した半熔融状態の金属材料を成形するため、固相部分である初晶 $\alpha$ 相の形状が鋳造性に大きく影響し、湯流れや充填性を阻害しないように初晶 $\alpha$ 相の形状を制御することが不可欠である。すなわち、図2に示すような初晶 $\alpha$ 相が十分に粒状であることが必要である。これまでチクソキャスト法では、半熔融状態において初晶 $\alpha$ 相を粒状化させる手段としては、主に連続鋳造時に電磁攪拌を付加し、それによって得られた材料を再加熱する方法が提唱されてきた<sup>1)</sup>。

本研究開発では、安価なビレットを製造する目的で基礎試験を行い、アルミ合金溶湯を鉄製容器に注ぐだけで初晶 $\alpha$ 相が粒状化する鋳造条件を見出した。図3に基礎鋳造試験によって得られたビレットのマイクロ組織写真を示す。電磁攪拌したビレットと同様な $\alpha$ 相が粒状となっていることがわかる。

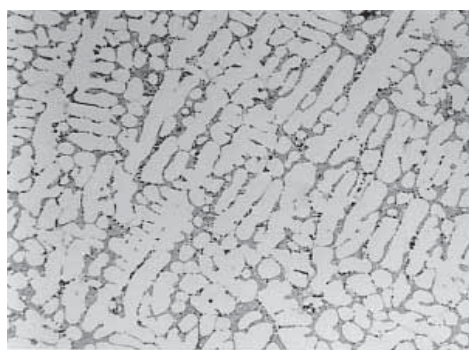
200  $\mu$ m

図1 普通鋳造材のマイクロ組織

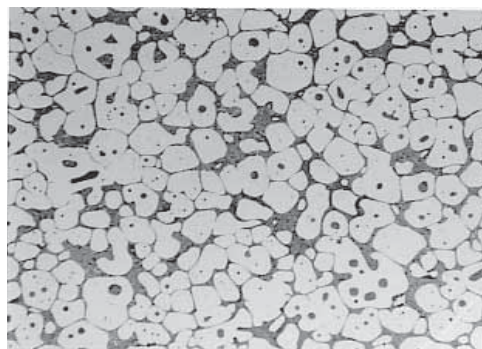
200  $\mu$ m

図2 電磁攪拌ビレットのマイクロ組織

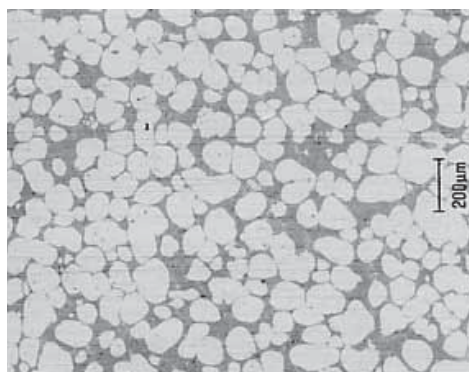
200  $\mu$ m

図3 本開発ビレットのマイクロ組織

## 3. ビレット量産装置開発

基礎試験により粒状 $\alpha$ 相が得られる鋳造諸条件を明らかにすることができた。そこで、ビレットの量産技術を確立するためにビレット量産装置を製作した。図4に製作したビレット量産装置、図5に鋳造工程を示す。装置は、容量300kgのアルミニウム合金を溶解可能なガス溶解炉及びビレット鋳造装置から構成される。①溶解炉にて溶解、成分調整および脱ガスなどの溶湯処理されたアルミ合金溶湯を所定の温度に保持する。②セラミックス製のラドルで溶湯を汲み上げる。ラドルに汲み上げられる溶湯量は一定となるように溶湯検地センサーが取り付けられ

【報告】

ている。③ラドルは搬送機により容器上辺部まで移動し、④鉄製容器に注湯される。⑤注湯された容器は1タクトずつビレット排出位置まで自然冷却されながら移動し、上方に設置された容器取出し装置にて鉄製容器のみが持ち上げられる。⑥固化したビレ

ットは、エアプッシャーにより排出され、上方に持ち上げられた鉄製容器がもとの位置に戻る。これらの工程が連続的に行われる。

今回製作したビレット量産装置では、直径100mmおよび150mmのビレットが製造可能である。

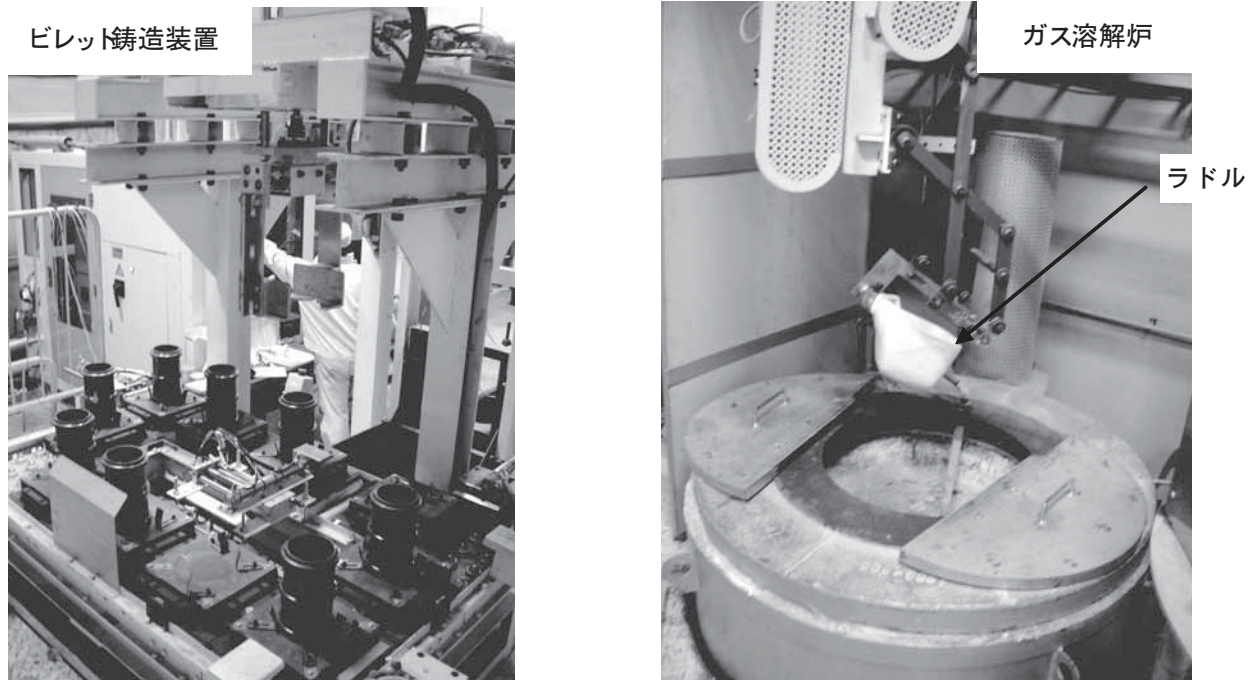


図4 ビレット量産装置の外観

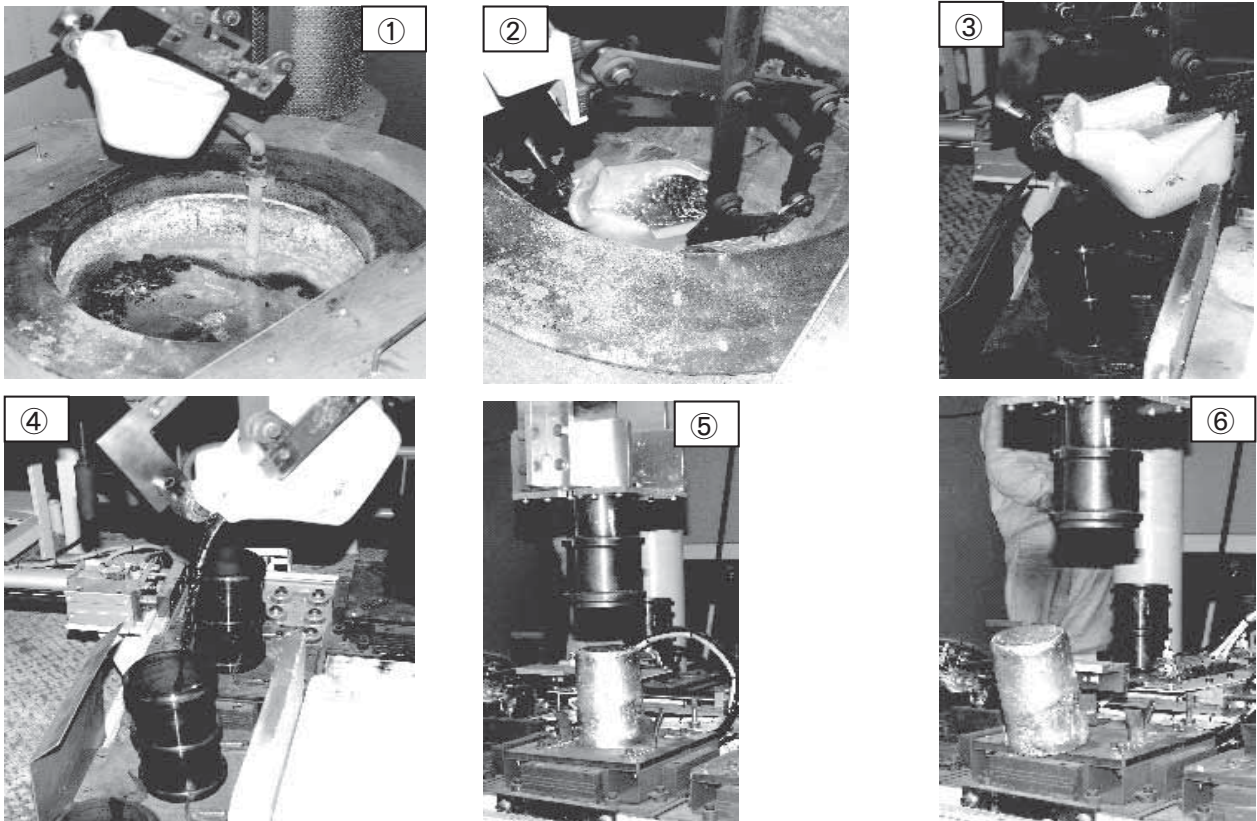


図5 ビレット製造工程

## 【報告】

## 4. 試作

開発したピレットの性能評価を目的として実部品形状の試作を行い、得られた鋳物の組織及び機械的性質を調べた。

## 4.1 エンジンマウントブラケット

図6に試作したエンジンマウントブラケットを示す。試作品のカラーチェック、マクロ組織及びX線写真を調べた結果内部欠陥は認められず、健全な鋳物であった。図7にX線写真を示す。また実体からの切出し試験片による引張試験結果から従来品に比べて高強度・高延性であることも確認できた。

## 4.2 ハウジング

図8に試作品の外観写真を示す。チクソキャスティング品は、その長を活かすために、既存のダイカスト品に比べて極力薄肉形状とした。鋳抜きは抜け勾配は $1^\circ$ 、最少肉厚を3mmとし、ダイカスト品に比べて約30%軽量化した。図9には、X線写真を示す。内部欠陥は無く、健全な鋳物を成形することができた。また、断面マクロ組織を調べたところ、偏析等の欠陥は無かった。断面のマクロ組織を図10に示す。ゲート側、フランジ側（ゲートから最も遠い部位）及びそれらの中間部分においても、均一な粒状 $\alpha$ 相と微細な共晶組織が観察されており、引けやポロシティは認められない。表1には、実体切出し試験片による引張試験結果を示す。チクソキャスティング品のT6材の引張強さ及び伸びはそれぞれ $320\text{N}/\text{mm}^2 \sim 330\text{N}/\text{mm}^2$ 及び $10\% \sim 13\%$ となり、既存のダイカスト品に比べて極めて良好な引張特性を示した。ダイカストに比べて内部品質を含め強度・延性とも良好であり、大幅な薄肉化、軽量化が可能であることがわかった。

## 4.3 18インチホイールディスク

直径150mmピレットを用いて試作品の成形試験を行った。成形は、800トン成形プレスを用いた。

図11には、型締力及び成形圧力を変えて成形した鋳物の写真を示す。成形速度及び金型温度は同じとした。いずれも不廻りなどの外部欠陥は認められなかった。成形力が最も低い40トン（成形圧力 $177\text{kgf}/\text{cm}^2$ ）においても十分成形可能であることが明らかとなった。成形力40トンで成形した鋳物のX線

写真を図12に示す。内部欠陥は認められず、健全な鋳物を成形することができた。図13に成形力50トンで成形したホイールディスクの各部のマクロ組織を示す。各部とも粒状 $\alpha$ 相と微細な共晶領域が観察され、均一な組織であった。異なる成形力で成形したホイールディスクの実体切出し試験ピースによる引張試験結果を表2に示す。引張強さは、 $265\text{N}/\text{mm}^2 \sim 280\text{N}/\text{mm}^2$ 、伸びは $13\% \sim 18\%$ の範囲となり、良好な特性を示した。このことから、成形圧力が $388\text{kgf}/\text{cm}^2 \sim 177\text{kgf}/\text{cm}^2$ においては、成形圧力によらず同等な鋳物が得られたことが明らかとなった。図14に18インチホイールディスクの外観を示す。今回、肉厚を積極的に薄肉化し、リブ構造により剛性を保つ形状とした。そのために、同一の大きさのホイールディスクに比べて約20%の軽量化が達成された。



図6 エンジンマウントブラケットの外観

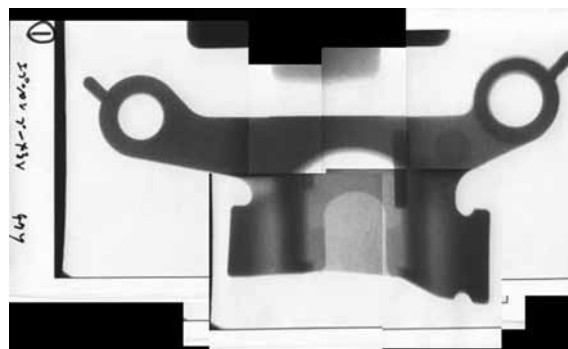


図7 エンジンマウントブラケットのX線写真



図8 ハウジングの外観

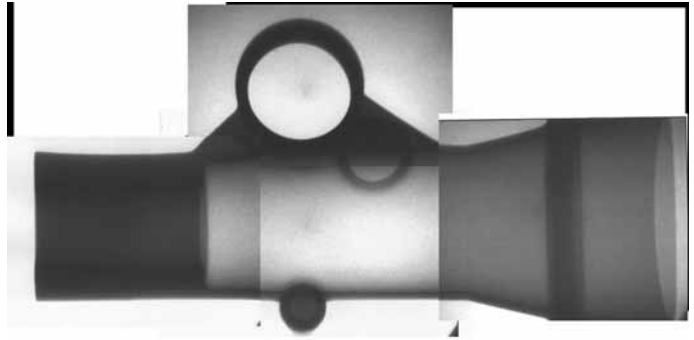


図9 ハウジングのX線写真

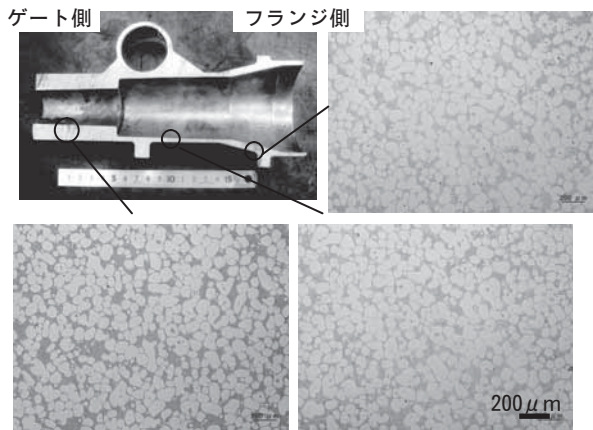


図10 ハウジングのマイクロ組織

表1 ハウジングの引張試験結果

製法-処理	引張強さ (N/mm <sup>2</sup> )	伸び (%)
チクソ 357合金-T6 (開発品)	320~330	10~13
ダイカスト-鑄放し (ADC12) (既存品)	150~270	1~3

型締力：300ton  
成形力：90ton

型締力：200ton  
成形力：60ton

型締力：250ton  
成形力：50ton

型締力：200ton  
成形力：40ton



図11 成形した18インチホイールディスクの外観

表2 18インチホイールディスクの引張試験結果

成形圧力 (成形力)	引張強さ (N/mm <sup>2</sup> )	伸び (%)
258kgf/cm <sup>2</sup> (60ton)	280	15.5
216kgf/cm <sup>2</sup> (50ton)	265	18.1
177kgf/cm <sup>2</sup> (40ton)	273	13.0

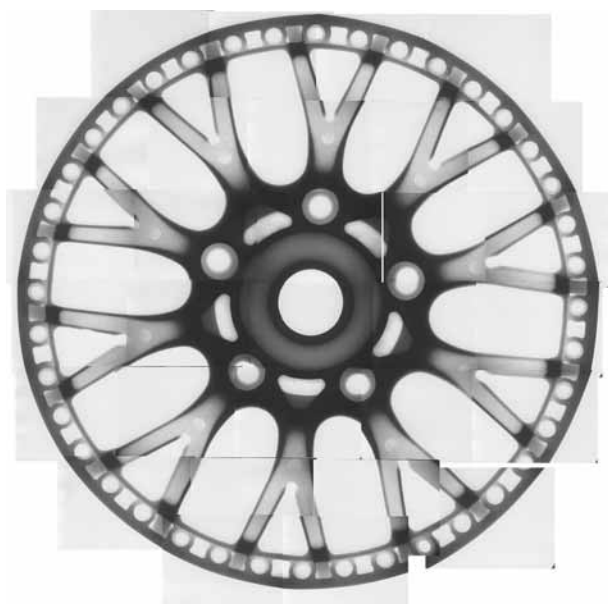


図12 18インチホイールディスクのX線写真

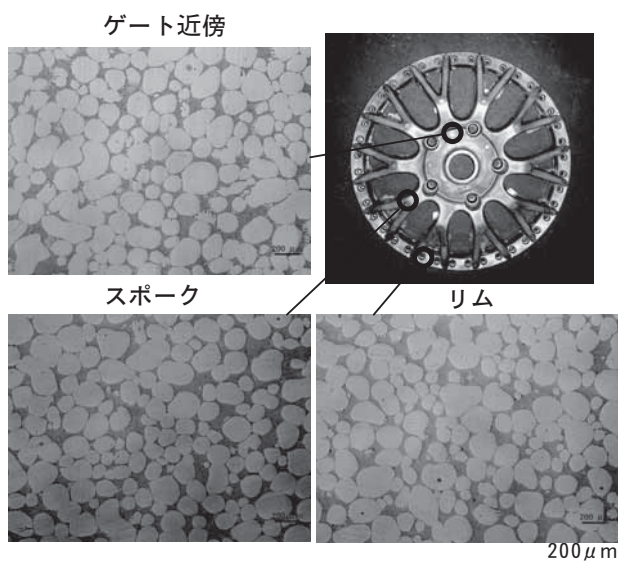


図13 18インチホイールディスクのマイクロ組織

## 5. まとめ

低コストで安定したチクソキャスト用のビレット製造技術開発及び性能評価を行った。結果を要約する。

- (1) 凝固制御技術を活用することで、直径150mmまでのビレットを製造出来た。ビレット量産装置を製作、量産技術を確立することが出来た。
- (2) 試作品の評価を行った結果、既存の製造法に比べて内部品質、機械的性質が向上することが明らかとなり、鋳物部品の高品質化、軽量化に大きく寄与することが示された。



図14 18インチホイールディスクの外観写真

## 6. 参考文献

- 1) (株)日本鋳造工学会：研究報告96 軽量金属セミソリッド加工技術、3-9 (2006)。

本研究は、平成18年度採択経済産業省戦略的基盤技術高度化支援事業により行われた。