

アルミダイキャスト部品の高品質・低コスト化を実現する製造技術の開発（第1報）

水谷 予志生、新川 真人*、細野 幸太、小寺 将也

Development of manufacturing technique for aluminum die-casting due to high quality and cost reduction (I)

Yoshiki Mizutani, Makoto Niikawa*, Kota Hosono and Masaya Kodera

非熱処理型の高延性アルミニウムダイキャスト合金の開発のため、ADC6合金をベースにSi量を変化させた場合の铸造性およびマイクロ組織への影響を調査した。ADC6合金140gに対し、Siを3g添加、10g添加、無添加の3種類の合金について、十分に長い平板状のキャビティを有する金型を用いて铸造性の評価を行った。また、徐冷過程の冷却曲線を測定することで、各合金の熱分析も行った。その結果、Siを添加することで初晶晶出温度、共晶反応温度等の凝固の挙動は大きく変わったが、流動性試験の結果にはあまり違いが現れなかった。異なる試験方法の検討と、合金成分のさらなる変化が今後の課題である。

1. はじめに

自動車の燃費規制が年々厳しくなる中、車体の軽量化は自動車メーカーにとって必須の課題である。一般に、100kg軽量化すると約1km/Lの燃費向上に繋がると言われており、部材の高強度化による薄肉化、軽量素材への変更等や、それに関連する研究開発も盛んに行われている。鉄鋼材料では、高強度化（ハイテン化）による薄肉化が非常に進んだが、限界に近いところまできていると言われている。軽量素材への変更という点では、アルミ化あるいは樹脂化が主であり、一部高級車ではオールアルミのものも市販されている。しかし、これらの軽量化対策はコストアップに繋がる場合が多く、実用化には製造コストの低減も重要な課題である。

一方、生産性の高い製造方法で知られるダイキャストは、軽量金属であるアルミニウム合金を低コストで大量に生産できることから、自動車の軽量化対策に有効であると考えられる。これまでは強度の求められるエンジンブロックやシリンダー等に適用されていたが、近年は靱性も必要な大型の車体部品や足回り部品にも適用されるようになってきた¹⁻⁶⁾。それに伴い、従来のアルミニウムダイキャスト用合金はADC12一辺倒であったが、より高延性な素材が求められるようになり、アルミニウム合金への種々の元素の影響が調査され、様々な高延性ダイキャスト合金が開発されている⁷⁻¹⁵⁾。一般にアルミニウム合金には、熱処理で機械的特性が向上する熱処理型と、そうでない非熱処理型とがあり、前者は熱処理工程そのもの、または熱処理により歪んだ形状の矯正工程がコストアップになるため、後者の非熱処理型の合金がより求められている。しかし、現状の非熱処理型合金には、铸造性が悪い、凝固割れが起こりやすい、肉厚感受性が高い、耐

食性が悪い等の問題があり、さらなる改良が求められている。そこで、本研究では、非熱処理型のアルミダイキャスト用合金ADC6をベースに、成分の配合を変えることで铸造性等に及ぼす影響を調査した。

2. 実験方法

一般に、アルミニウム合金の铸造性にはSiが大きな影響を及ぼすことが知られている。本実験では、ADC6合金をベースにSi量を変化させた場合の铸造性について調査することとした。使用したADC6インゴットの成分を表1に示す。分析は発光分光分析装置（株）島津製作所製、PDA-7000）を用いて行ったが、Mgの含有量がJIS規格と比べてやや高い結果となった。このインゴットに純度99.999%（5N）の塊状Siを砕いて、所定量添加することとした。

合金組成が異なれば、液相線温度も変化する。一般に注湯温度は、液相線温度からの過熱度を一定にすることから、この温度の把握が必要である。また、内部組織の晶出過程を理解するにも初晶晶出温度、共晶温度等の把握は重要である。そこで、アルミナ容器中での徐冷過程の冷却曲線を測定し、熱分析を行った。

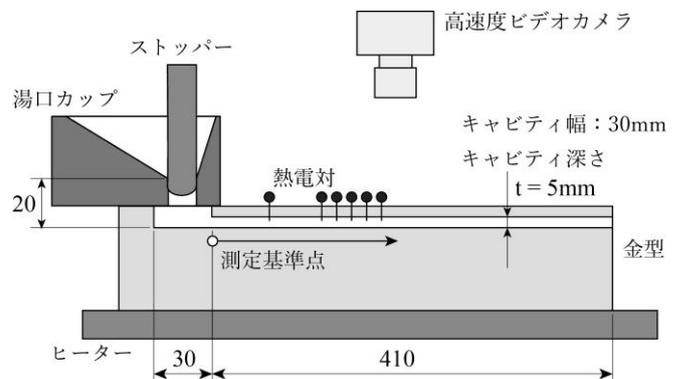


図1 流動性試験模式図

* 岐阜大学工学部 機械工学科

表1 ADC6 インゴットおよび Si 添加試料の成分

	Cu	Si	Mg	Zn	Fe	Mn	Ni	Ti	Pb	Sn	Al
ADC6 インゴット	0.04	0.79	5.1	0.07	0.61	0.5	0.09	0.015	0.007	0.007	Bal.
+3g Si	0.04	2.21	5.03	0.07	0.62	0.49	0.01	0.016	0.01	0.016	Bal.
+10g Si	0.04	7.55	4.47	0.07	0.52	0.44	0.01	0.017	0.009	0.017	Bal.

(wt.%)

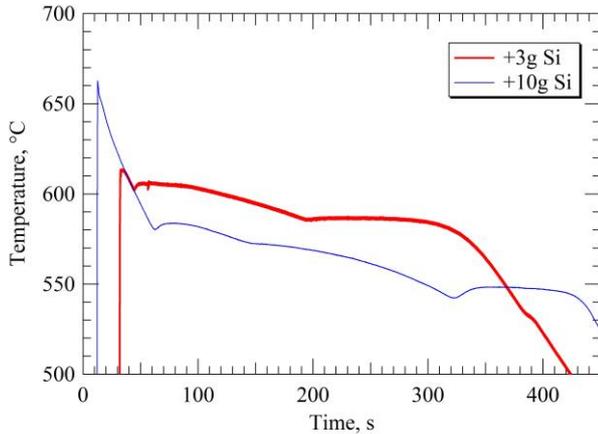


図2 Siを添加したADC6の熱分析曲線

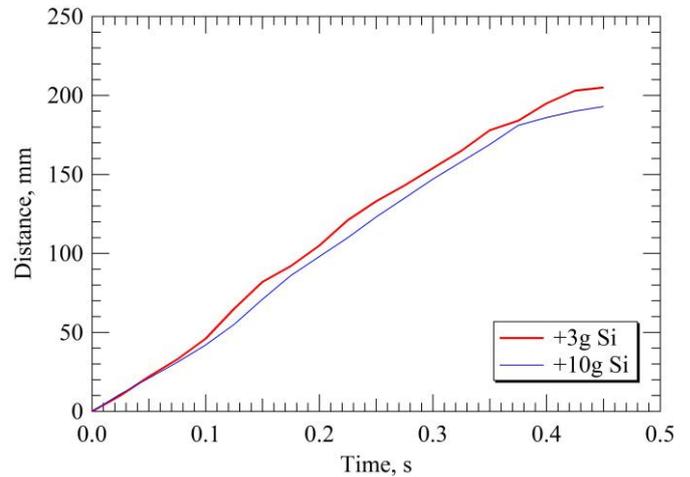


図4 Siを添加したADC6の流動長の比較

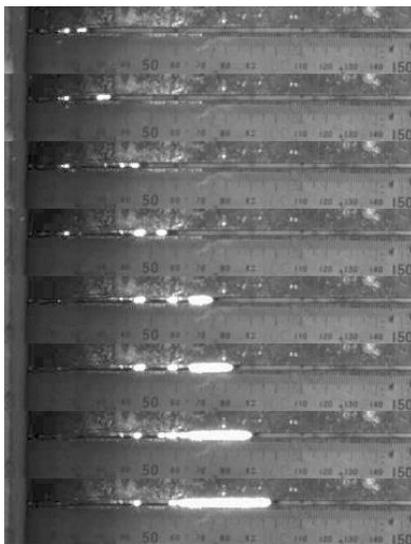


図3 +10g Si合金の流動の様子

铸造性は、図1に示すような 30×410×5mm の平板状のキャビティを有する金型 (S50C 製) を用いて、流動長・流動速度等を調べることで評価することとした。アルミナルツボ中で ADC6 合金を約 140g 溶解し、無添加の試料はそのまま、Si を添加するものは 140g の ADC6 に対し 3g および 10g の Si を添加した。得られた合金の成分を表1に示す。以後、それぞれの試料は +3gSi および +10gSi と表記する。それぞれの合金を約 700°C で溶解し、アルミナ耐火煉瓦で作製したストッパー付き湯口カップに注湯した。その後、所定の温度に到達してからストッパーを外すことで、上記の流動性試験用金型 (塗型付) に溶湯を流入させた。この時、金型は

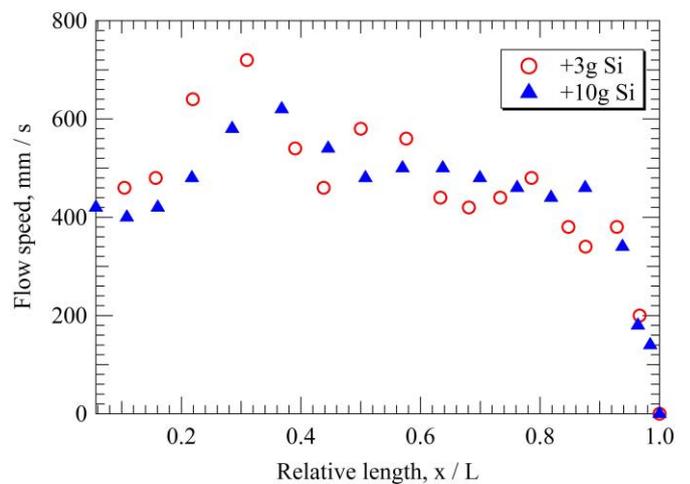


図5 Siを添加したADC6の流速変化

予めホットプレート上にて約 80°C に加熱させた。また、この金型上部にはスリットが設けてあり、上方から高速度ビデオカメラにて流動の様子の撮影と所定の位置に挿入した熱電対にて温度測定を行った。凝固後のアルミ鋳物の成分分析と所定の断面のマイクロ組織観察も行った。

3. 結果及び考察

図2に+3gSi と+10gSi で行った熱分析結果を示す。+3gSi は約 600°C で、+10gSi は約 580°C で初晶晶出による復熱が観察された。その後、+3gSi では緩やかに温度が低下した後、約 590°C で共晶反応と思われるプラトー領域が 120s 間ほど観察された後、530°C 付近にも小さな発熱が観察された。一方、+10gSi では、約 580°C での初

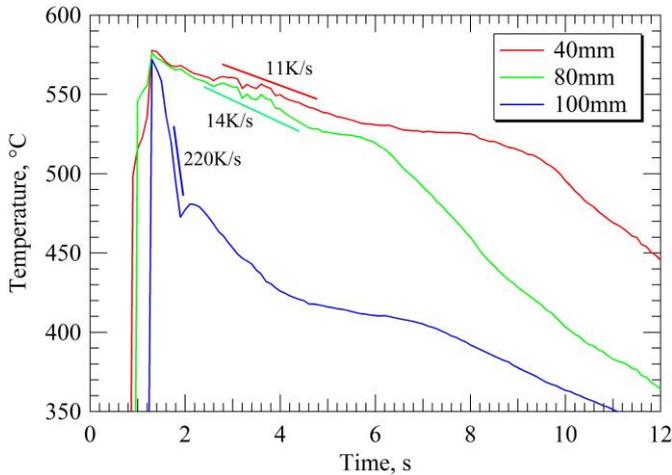


図6 +10g Si 合金の流動性試験での冷却曲線

晶晶出後、約 570°Cでも発熱が起こった。また、共晶反応と思われるプラトー領域の温度が、約 550°Cと大きく低下していた。これは、Si の添加量が増えたことで、晶出する共晶系が変化したか、2 元共晶から 3 元共晶に変化した可能性が考えられる。

図2の結果から、初晶晶出のための過冷度は同程度と仮定し、図1の铸造性試験での注湯温度を+3gSi では640°C、+10gSi では615°Cと設定した。図3に+10gSi の铸造実験による湯流れ過程を、高速度カメラで撮影した画像を示す。フレームレートは200fpsであり、各画像間は3/200sのものを示している。このように時間の経過に伴い、白く光った溶湯が進行していく過程が分かる。これらの画像から各時点での湯先位置を読み取り、図4のような時間と湯先位置の関係を得た。これを見ると、

溶湯が測定開始点を通り過ぎてからほぼ線形的に増加し、流動停止直前 ($t=0.375s$ 付近) で勾配が緩やかになっている。合金組成による違いとしては、+3gSi の方が若干進んでいるものの、あまり大きな差はなく、いずれも0.5s程度で約200mm進行した。また、各フレーム間で進んだ距離から流速を計算し、最終的に流動が停止したときの全体長さを1とした時の相対位置での流速を図5に示した。バラツキはあるものの、いずれの合金でも同じような変化をしており、相対位置0.8~0.9付近で急激に流速が低下した。これは、溶湯の温度低下に伴い固相率が増加し、流動限界固相率に近づいたことで急激に停止したものと考えられる。

図6に+10gSiの流動性実験で、測定基準点から40, 80, 100mmの位置に挿入した熱電対による温度変化を示す。40および80mmの位置では冷却が緩やかであるが、最終長さの中心付近となる100mmの位置では、溶湯到達後急激に温度が低下している。80mmの位置から20mm進んだだけで冷却速度が1桁大きくなっていた。さらに先端側では、冷却速度がより大きくなっていることが容易に予想される。また、図2の熱分析の冷却曲線と比較すると、各点に溶湯が到達した時点で580°Cを下回っているため、壁面ではかなり初晶が晶出していたのではないかと考えられる。その後、40および80mmの位置では540°C付近に共晶反応によるプラトー領域がしっかり観察されたが、100mmの位置ではほとんど観察されず、約470°Cで大きな復熱が観察された。冷却速度が速いため、過冷度が大きくなったのではないかと考えられる。

図7に3種類の試料のマイクロ組織を示す。それぞれ、溶湯が幅30mmのキャビティ全てを埋められなくなる

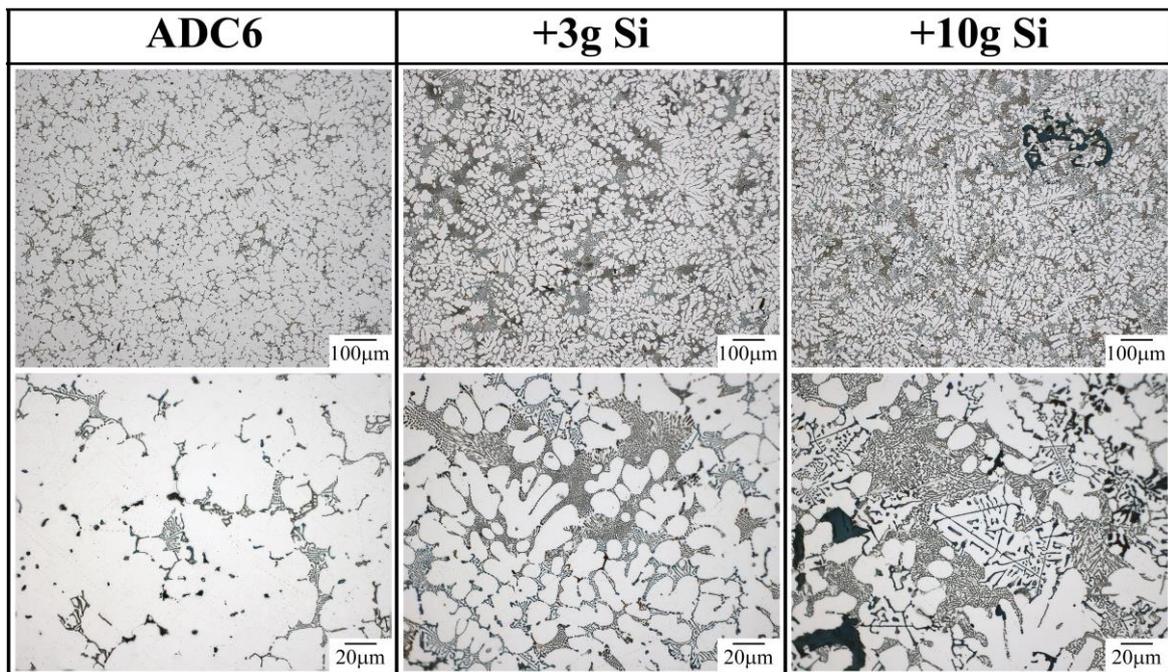


図7 ADC6 および Si を添加した ADC6 合金のマイクロ組織

直前の位置、つまり完全充填できた最終位置付近の断面で観察したものである。基準点からの距離は 160～170mm の位置であり、図 6 より 200K/s 以上の冷却速度が出ていたと考えられる。ADC6 のマイクロ組織には、白い α -デンドライトが大部分を占めており、その間には漢字状共晶組織が確認された。Si をかなり多めに入れた +10gSi では、 α -デンドライトの割合が減り、その間の共晶組織は少なくとも 2 種類の共晶セルが確認できた。また、非常に粗大な介在物（濃い灰色）や、針状の鉄系化合物とみられるもの（淡い灰色）も多数点在していた。このような大きな介在物や針状鉄化合物があり、共晶組織も粗大な板状であることから、機械的特性はあまりよくないのではないかと考えられる。一方、+3gSi ではこのような粗大な化合物がなく、針状鉄化合物も少ないように見られた。また、この試料でも共晶セルは 2 種類存在していたが、一方の共晶組織が非常に微細なロッド状に変化していた。金属組織の観点からは、この+3gSi の組織の方が良いと考えられる。表 1 の合金組成をみると、この+3gSi は独 Rheinfelden 社の Magsimal-59™ に近かったため、このような結果になったと思われる。

4. まとめ

ADC6 相当の合金に Si を添加した場合の铸造性およびマイクロ組織への影響、および熱分析による凝固現象を調査した。その結果、以下のような知見が得られた。

- 1) ADC6 合金 140g に対し、Si を 3g 添加した場合と、10g 添加した場合とで、初晶晶出温度、共晶反応温度等、凝固の挙動が大きく変化した。
- 2) しかし、液相線温度からの過熱度を一定にして流動性試験を行ったところ、Si 量の違いによる流

動性への影響はあまりみられなかった。異なる手法で流動性を調査することも検討する必要があると考えられる。

- 3) 今回調査した+3gSi の合金組成は独 Rheinfelden 社の Magsimal-59™ に近く、このため良好なマイクロ組織が得られていた。成分をより変化させて、さらなる調査をする必要がある。

【謝 辞】

本研究の遂行にあたり、流動性試験の铸造実験に協力していただいた岐阜大学工学部機械工学科の Muhamad Faiz Bin Rezali 君、笹井大地君に深く感謝いたします。

【参考文献】

- 1) 青山, 铸造工学, 76, pp985-990, 2004
- 2) 神戸, 素形材, Vol.50 No.9, pp2-7, 2009
- 3) 浅井ら, 铸造工学, 82, pp819-826, 2010
- 4) 神戸, 素形材, Vol.53 No.3, pp34-38, 2012
- 5) 千葉, 素形材, Vol.56 No.7, pp31-35, 2015
- 6) 神戸, 素形材, Vol.57 No.3, pp2-7, 2016
- 7) 渡邊ら, 铸造工学, 79, pp297-302, 2007
- 8) 渡邊, 素形材, Vol.50 No.9, pp23-29, 2009
- 9) 大城, 素形材, Vol.51 No.9, pp2-5, 2010
- 10) 大城, 素形材, Vol.54 No.8, pp21-25, 2013
- 11) 宮尻, 素形材, Vol.56 No.3, pp23-29, 2015
- 12) 才川ら, 铸造工学, 87, pp39-43, 2015
- 13) 才川ら, 铸造工学, 87, pp561-568, 2015
- 14) 北岡, 素形材, Vol.57 No.3, pp16-24, 2016
- 15) 大城, 素形材, Vol.57 No.3, pp25-31, 2016