

# 金型および鑄造条件が鑄造品のガス巻込みや健全性に及ぼす影響

宇部興産機械株式会社 ○佐々木 寛人 石橋 直樹

## 1. 緒言

自動車軽量化の取組み、製造コストダウンが活発化するなか、ダイカスト品も大型化一体化するなどより複雑形状へ移行する傾向が強まり、高速射出による短時間充填が必須要件となる部材が増えている。高速射出では、短時間でキャビティ充填が完了することから、溶湯の温度低下が軽減され、流動長の大きい製品や薄肉部を有する製品の湯廻りを容易にすることができる。ただし、その一方でキャビティ内にエアを巻込む傾向が強くなるため、鑄造品に鑄巣が生じ易くなる。その結果、一見健全に見える鑄造品であっても、強度や気密性、耐圧性の低下やブリストアの発生、溶接部材ではビード部に気泡が生じるなどの不具合をおこすことがある。筆者らは、高速射出によって生じるエア巻込みを抑制し健全な鑄造素材を得るための要件を明らかにすることを目的とし、キャビティ形状を含む種々の因子とエア巻込み巣との関係を単純な平板金型を用いて系統的に調べた。具体的には肉厚やゲート厚さを変更することが可能な金型にて、射出速度、鑄造圧力、キャビティ減圧の有無が鑄造品内部に導入されるエア巻込み巣の量、形態、分布や周囲の組織に及ぼす影響について検討した。

## 2. 実験方法

### 2.1 試験金型及び鑄造機

図1に、本実験で使用した金型の概略を示す。平板キャビティ部は入れ子の交換にて 20mm、4mm、2mm の3種類、ゲートについては厚さ 2.0mm、3.5mm の2種類の組換えが可能である。また、天側の入れ子の交換にてエアバント付きの大気開放条件とGF法<sup>1)</sup>による真空条件の選択を可能とした。図2に、実験で用いた鑄造装置とキャビティ減圧に使用したGFバルブユニットを搭載した平板金型の外観を示す。鑄造には型締力、射出力がそれぞれ 650ton、56ton で、

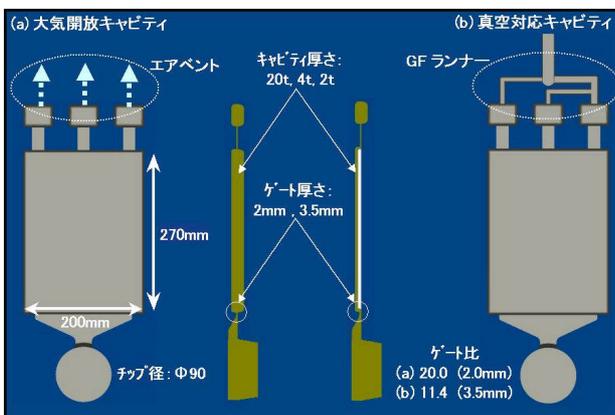


図1 試験金型形状 3)

空打ち時の射出速度が10m/sの横型の高速ダイキャストマシンを使用した。



図2 ダイカスト装置(上図)および金型(下図)

### 2.2 鑄造条件

表1に、射出パターンおよびキャビティ真空引き条件を示す。3種類の肉厚のキャビティそれぞれに大気開放および真空条件を設け、表に示すゲートの組み合わせにて鑄造を行った。射出速度設定は、1速目の低速域は 0.2m/s の一定とし、2速目の高速域を 1.0m/s から 6.0m/s の範囲で変更した。鑄造圧力は 55MPa を基準とし、一部の条件にて型締め限界に近い 85MPa を試した。各平板キャビティにおける射出、真空引きパターンの代表例として、4mm 平板の設定を図3に示す。高速切換えタイミングは、4mm および 20mm 平板の大気開放条件では、溶湯先端がゲートを通過する直後のストロークとし、真空条件では、予めGFユニット付帯の圧力センサーが 5kPa の真空度に達するように減圧を開始し、溶湯がゲートに到達する手前で高速に切換える設定とした。なお、2mm 平板の場合は、キャビティ区間充填ストロークが短いため、大気開放条件での高速切換え位置を真空条件同

表1 鑄造条件

平板キャビティ 厚さ (mm)	鑄込み 重量 (kg)	キャビティ 減圧	ゲート 厚さ (mm)	射出速度【設定】		鑄造圧力 【設定】 (MPa)
				低速域 (m/s)	高速域 (m/s)	
2	23	大気開放	2.0	0.2	1.0~6.0	55
		真空				55
4	26	大気開放	2.0			55, 85
		真空	2.0			
		大気開放	3.5			
		真空	3.5			
20	47	大気開放	3.5	55, 85		
		真空			55	

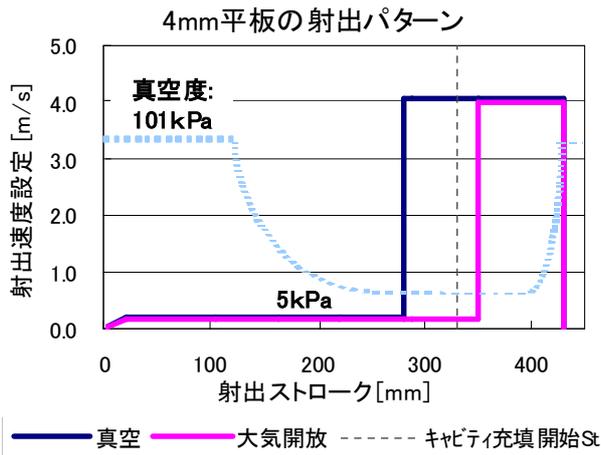


図3 射出およびキャビティ真空パターン<sup>3)</sup>

様、溶湯先端がゲートに到達する手前のストロークとした。

### 2.3 ガス量及び密度測定

平板鋳造サンプルのガス量測定には(有)綾瀬技研社製の簡易ガス量分析装置を用い、平板部全体に含まれるガス量を測定し条件毎の比較を行った。密度は平板部全体をアルキメデス法にて測定した。

### 2.4 試験合金及びその他条件

実験には表2に示す組成のADC12合金を使用し、溶湯保持温度を660℃とした。金型離型剤はユシロ化学工業㈱社製のAZ9001Wを希釈率30倍にて用い、金型温度は150℃～200℃の範囲となるよう適宜捨打ちや型冷却を実施しながら鋳造サンプル、データを採取した。

表2 ADC12合金組成

Cu	Si	Mg	Zn	Fe	Mn	Ni	Sn	Al
3.05	11.4	0.23	0.76	1.18	0.28	0.10	0.03	Bal

## 3. 結果および考察

### 3.1 平板サンプルのガス巻き込み量及び密度

図4に、4mm平板を2.0mm厚さゲートで鋳造したサンプルの含有ガス量と密度測定結果を示す。ガス量は平板部全体の含有量を100gアルミ当りに換算したものを、密度は平板部全体をアルキメデス法で求めた測定値を射出速度の実測値に対してプロットした。ガス量は大気開放条件では射出速度の増大にほぼ比例して増加し、射出速度3.0m/s以上では20ccを超える値を示している。一方、真空条件では、ガス量はいずれの射出速度においても4cc以下の低い値であり、速度増加に伴うガス量の増加はごく僅かである。密度は大気開放条件、真空条件いずれも低速域で高い値を示し射出速度の増加とともに減少する傾向を示しているが、真空条件では速度増加に対する密度減少は僅かである。これに対し、大気開放条件では低速の1.0m/s付近の密度が2.742g/cm<sup>3</sup>と真空条

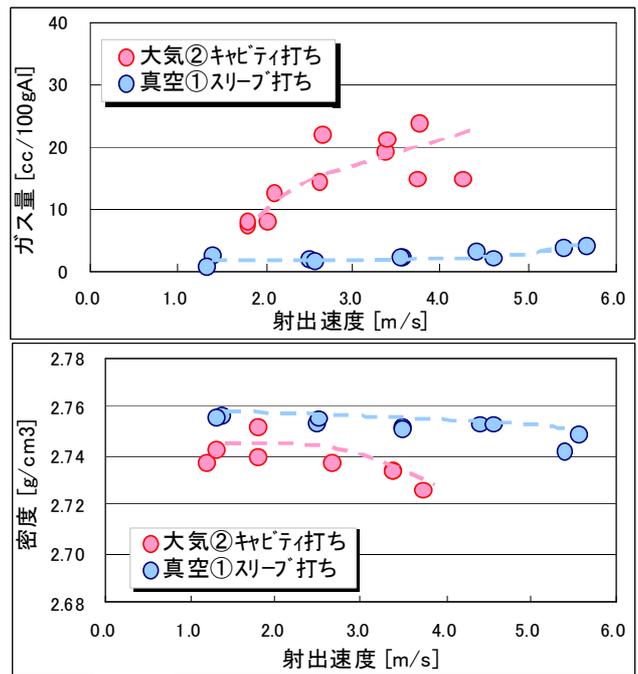


図4 4mm平板のガス量及び密度<sup>3)</sup>  
2.0mmゲート/ガス量(上図), 密度(下図)

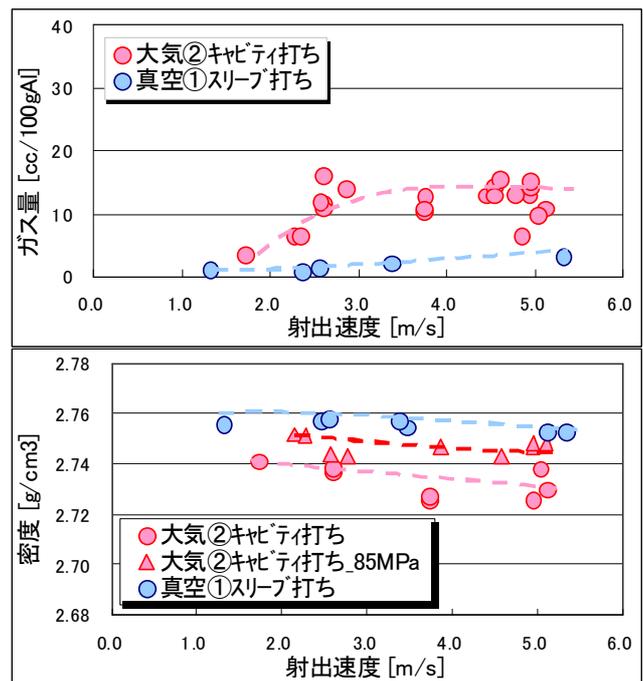


図5 4mm平板のガス量及び密度<sup>3)</sup>  
3.5mmゲート/ガス量(上図), 密度(下図)

件の2.758g/cm<sup>3</sup>に比べてかなり低い値を示し、速度増大に対する密度減少も著しい。これらの結果から、大気開放条件では射出速度1.0m/sの低速から溶湯がキャビティに充填される際にエア巻き込みが生じ、一方の真空条件ではキャビティ減圧効果により、5.0m/s以上の高速射出域においても充填中のエア巻き込みが抑制されることが判る。図5に4mm平板を3.5mm厚さゲートで鋳造したサンプルのガス量と密度を示す。大気開放条件のガス量は、前述の2mm厚さゲートの

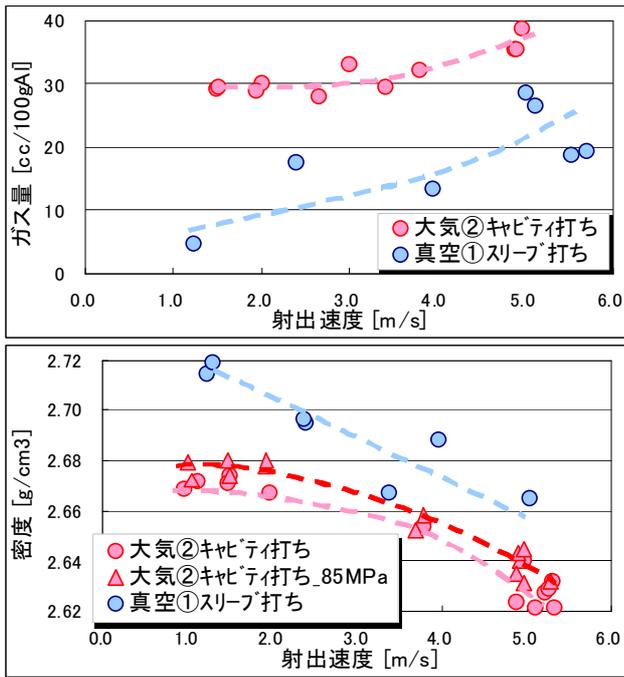


図6 20mm 平板のガス量及び密度<sup>3)</sup>  
3.5mm ゲートガス量(上図), 密度(下図)

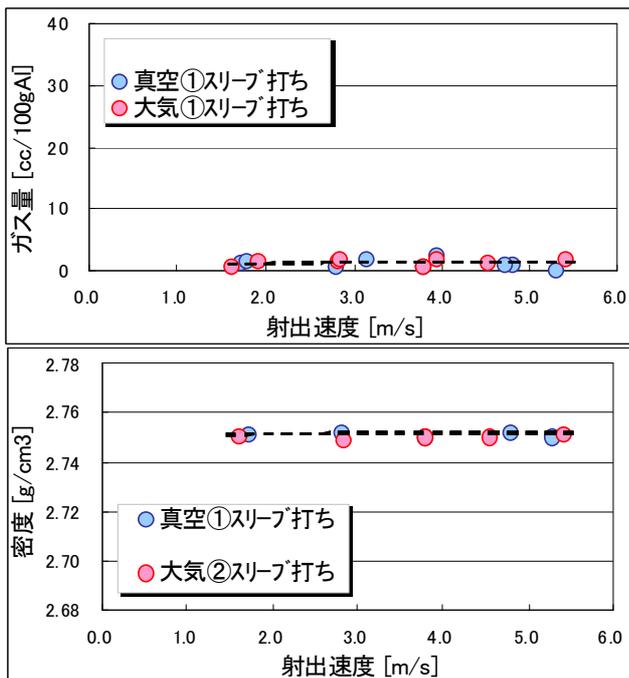


図7 2mm 平板のガス量及び密度<sup>3)</sup>

2.0mm ゲート/ガス量(上図), 密度(下図)

結果同様、射出速度増加に対して増加する傾向を示しているが、射出速度が3.0m/s以上における速度域でのガス量増加が小さく、射出速度が5.0m/s付近におけるガス量は16cc以下となっている。なお、真空条件のガス量については、前述の2mmゲートの結果と同様5.0m/s以上の速度域においても4cc以下を示している。密度については、大気開放、真空条件ともに前述の2.0mmゲートで得られる結果と同様の傾向を示し、低速域において大気開放と真空条件の間に明瞭な差異が生じ、速度増加とともにその差が拡

大している。なお、大気開放条件において、鑄造圧力を標準(55MPa)より大きい85MPaとした条件では密度が向上していることが判る。これは、キャビティに巻込まれたエアが鑄造圧力の作用で圧縮された結果と推察される。

図6に20mm平板を3.5mm厚さゲートで鑄造したサンプルのガス量と密度を示す。大気開放条件のガス量は、低速域の1.0m/s付近において前述の4mm平板を大きく上回る30cc前後を示し、速度増加とともにガス量はさらに増え、5.0m/s付近の速度では39ccに達している。一方の真空条件では射出速度が1.0m/s付近のガス量は4.7ccと大気開放条件に比べてかなり少ない値となっているが、速度の増加に伴い急激に増加し、5.0m/s付近では29ccを示している。大気開放条件の密度は、ガス量の大幅な増加のためか前述の4mm平板と比べて値が低下しており、速度1.0m/sの低速域においても約2.67g/cm<sup>3</sup>と4mm平板の大気開放条件よりもさらに低い値を示す。一方、真空条件の密度は、大気開放条件よりも高い値を示しているが、速度増大とともに密度は急激に低下し、高速域では大気開放条件との差が小さくなっている。これは上述の高速域でのガス量の急激な増加を反映しているものと見られる。なお、真空条件の速度1.0m/s付近のガス量は5cc以下と低目であるにもかかわらず、密度は前述の4mm平板と比べてかなり低い。これは、20mm平板ではガス巻込み巣以外に引け巣による影響も含まれるためと考えられる。20mm平板サンプルのガス量が4mm平板に対して急激に増加したのは、キャビティ体積増大により、充填中にエアイベントから排出されずに残存するエアの量が増えたものと考えられる。ただし、真空条件においてもガス量が期待どおり低減できていないことから、キャビティ内の湯流れやエアの排気に関し4mm平板とは異なる現象が生じていることが推測される。

図7に2mm平板を2.0mm厚さゲートで鑄造したサンプルのガス量と密度測定結果を示す。ガス量は大気開放、真空条件によらず同等でいずれも2.3cc以下の低い値を示し、射出速度に対する変化も認められない。密度もガス量同様、キャビティ減圧有無や射出速度に左右されず、いずれも2.75g/cm<sup>3</sup>付近の高い値で安定している。射出速度によらずガス量が少ないのは、2mm平板と2.0mm厚さゲートの組合せでは、エア巻込みが起り難い湯流れとなっていることが考えられる。これについては、後述の湯流れ解析において、20mm平板の解析結果とともに考察する。

上述のガス量や密度測定サンプルにおける実際のエア巻込み巣の状況を確認するため、同一鑄造条件で得られたサンプルのX線検査、マクロおよびミクロ組織観察を行った。以下にその結果を記述する。

### 3.2 平板サンプルのX線検査

図8に4mm 平板を3.5mm 厚さゲートで大気開放条件にて鑄造した平板サンプル全体のX線検査結果を示す。X線検査で確認される鑄巣は、射出速度によりサイズや分布状態が異なり、低速から高速になるにしたがい発生位置が天側からゲート側の中央部に推移し、発生領域も狭まる。密度は射出速度とともに減少しているにもかかわらず、目視で確認される鑄巣は減少していることから、健全性は向上しているように見える。図9に20mm 平板を3.5mm 厚さゲートで大気開放条件にて鑄造したサンプルのX線検査結果を示す。射出速度 1.0m/s では、サンプルの全域に大小様々なサイズの粒状の鑄巣が分散しているが、射出速度が 3.7m/s では微細な鑄巣が天側に集まり、それより速度が大きい 4.9m/s のサンプルでは鑄巣はほとんど認められなくなる。ただし、それよりもさらに射出速度が大きい 5.3m/s のサンプルでは、天側の一部に粗大な鑄巣が生じている。図10に、同じく 20mm 平板の3.5mm 厚さゲートで、真空条件にて鑄造したサンプルの結果を示す。低速の 2.2m/s ではところどころに粒状の鑄巣が存在しているが、高速の 5.0m/s のサンプルでは目視で確認できる鑄巣は天側の数箇所のみとなり、上述の大気開放条件に認められた粗大巣は発生していない。以上の結果から、20mm 平板についても 4mm 平板と同様、射出速度の増加に伴い密度は低下していくにもかかわらず、目視で確認される鑄巣は量、サイズともに減少し、より健全な状態に見える傾向がある。これは、射出速度増大にてキャビティ内に巻込まれるエア量は増えるが、ゲートから噴出する溶湯の乱流作用により、巻込まれたエアがキャビティで微細に分散するためと推察される。ただし、巻込まれるエアがある量を超えると微細分散が困難になり、局部的に大きな巣を生じると考えられる。なお、2mm 平板のX線検査結果は、ここには示さないが、いずれの射出速度においても目視で確認される鑄巣は皆無となっており、前項のガス量や密度測定結果と一致している。

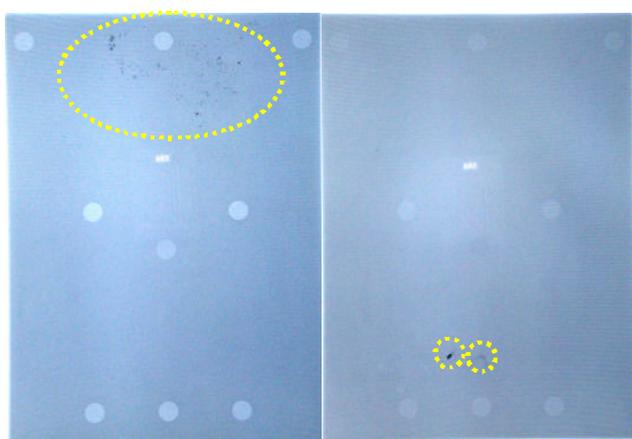


図8 4mm 平板の X線検査結果／大気開放<sup>3)</sup>  
射出速度：2.2m/s(左図)，5.0m/s(右図)

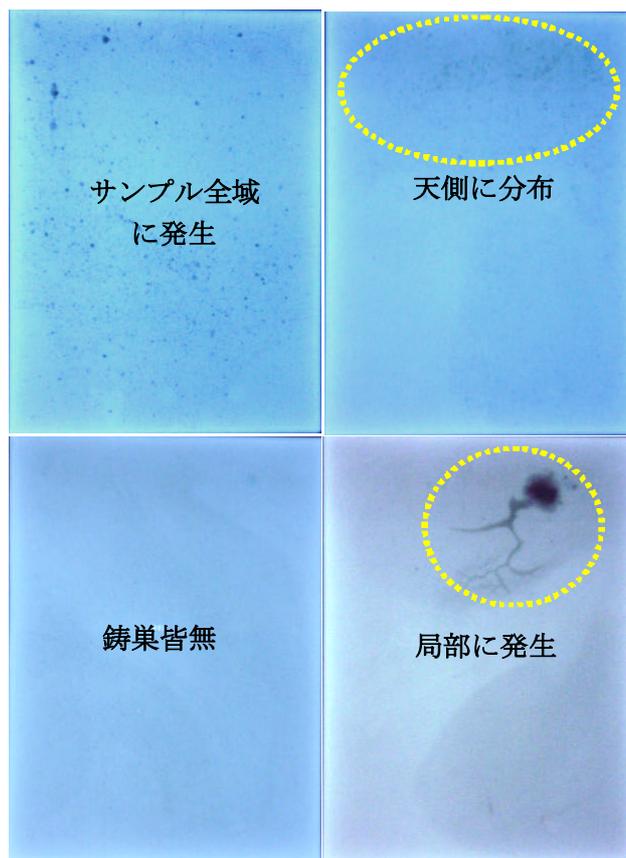


図9 20mm 平板の X線検査結果／大気開放  
射出速度：1.0m/s(上段，左図)，3.7m/s(上段，右図)  
射出速度：4.9m/s(下段，左図)，5.3m/s(上段，右図)

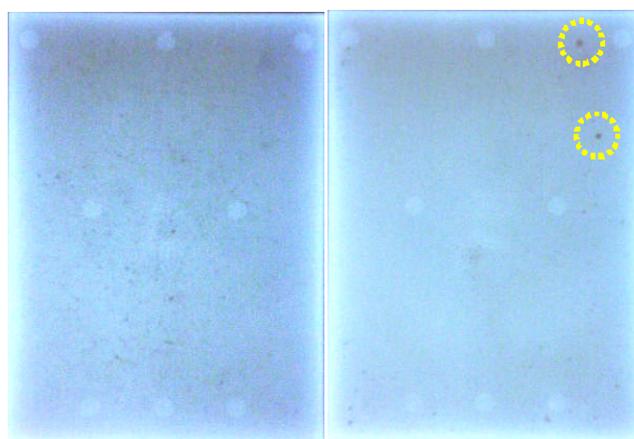


図10 4mm 平板の X線検査結果／真空条件<sup>3)</sup>  
射出速度：2.2m/s(左図)，5.0m/s(右図)

### 3.3 平板サンプルの欠陥部の組織

図11に、20mm 平板のX線検査サンプルにおいて、にて多量の鑄巣が認められた天側領域とその周辺のマクロ組織を示す。観察サンプルは天側の鑄巣発生領域を含むように1/4サイズに切断した後、表層から肉厚中央付近までフライス盤で1mm ピッチで平面研削し、苛性ソーダにてマクロエッチング処理を施した。各サンプルともに表層部には目視で確認される巣はほとんど発生していないが、研削するにしたがい、巣の量が増え、結果的に中央断面が巣の量、サイズと



フライスによる平面研削

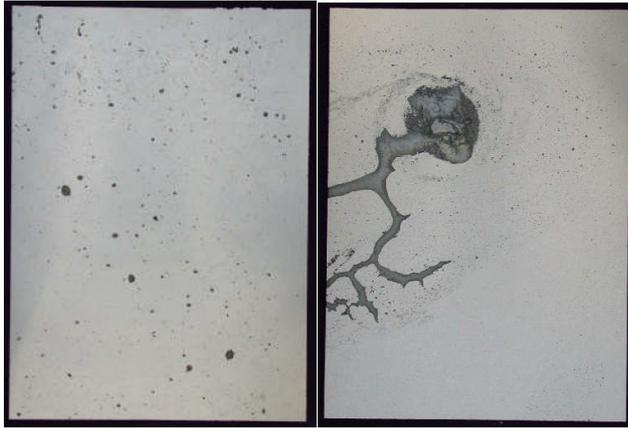


図 11 20mm 平板のマクロ組織  
射出速度:1.0m/s(左図) 射出速度:5.3m/s(右図)

もに顕著であることが判った。射出速度 1.0m/s のサンプルに生じている鑄巣は、大小含めた粒状の巣(最大のもので約 2mm)がまばらに点在した状態となっている。これらの鑄巣は形状が球形かつ巣内部の表面が滑らかであることから、エア巻き巣と判断される。1.0m/s のサンプルには上記以外にも天側端部に微細な鑄巣が集合した領域が認められている。一方、射出速度 5.3m/s のに認められる粗大巣は、上述のサンプルに見られる鑄巣とは全く形態が異なるが、内面が平滑であること、エッチング処理前は銀白色の金属光沢を呈していたことからエア巻きによるものと考えられる。この粗大なエア巻き巣は、キャビティ充填中に溶湯に捕捉されたエア溜まりが、充填が進むにつれてキャビティ内の局部に追いやられて形成されたものと推察した。溶湯噴流による巻き込みエアの微細分散がなされず、エア溜まりが生じる機構は不明だが、射出速度がある限度を超えるとこのような現象に到る可能性を示唆している。なお、この粗大巣周辺には小さな鑄巣が多数発生しているが、周辺の鑄巣を除く他の部位には、マクロ組織上確認される鑄巣はほとんど無く、この粗大エア巻き巣とその周辺部以外は概ね健全な状態となっている。図12に上述の20mm 平板サンプルのマクロ組織に認められる鑄巣のマイクロ組織を示す。射出速度 1.0m/s に認められる微小巣は不定形を呈し、群れをなしていることから、エア巻き込みによる影響も幾分はあるとみられるが、概ね凝

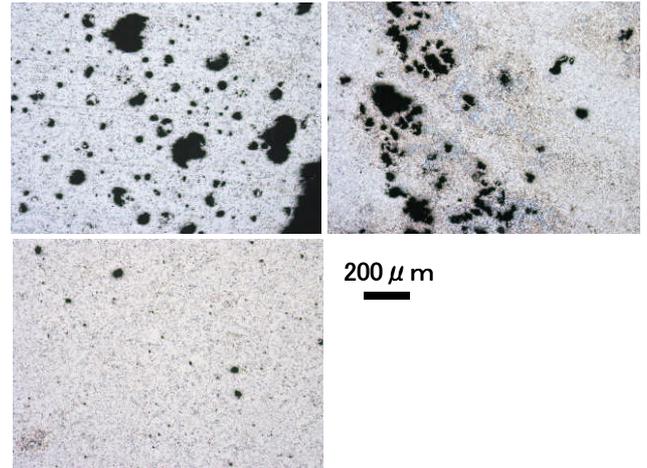


図 12 20mm 平板のマイクロ組織  
射出速度:5.3m/s  
(粗大欠陥近傍:左上とそれ以外の領域:左下)  
射出速度:1.0m/s 微小巣発生領域(右図)

固時の液相の枯渇によって生じたマイクロシュリンケージと判断される。一方、射出速度 5.3m/s の粗大欠陥近傍の鑄巣は、形状が球形のものが多くことからエア巻き巣と判断される。なお、粗大欠陥から離れたマクロ組織上健全に見える領域にも微細な巣が認められている。これらはいずれも球状で均一に分散していることから、エア巻き巣と判断される。以上の組織観察結果から、20mm 平板において射出速度が小さい場合、エア巻き巣以外に引け巣も発生すること、射出速度が大きい場合はエア巻き巣が大勢をしめ、引け巣が発生する可能性は低くなることが推察される。

### 3.4 平板サンプルの流動解析結果

図13に平板キャビティ内の湯流れ状況を推測するために ADSTEFAN にて湯流れ解析を行った結果を示す。これは 20mm 平板を射出速度 5.0m/s で铸造する条件を解析した結果で(ゲート厚さ 3.5mm)、表示した図はキャビティに突入した溶湯が天側に達し、オーバーフローゲートを閉塞したタイミングを表している。また、同じタイミングにおける中央断面の湯流れ状況も合わせて表示した(A-A断面)。一連の解析結果から、ゲートから入った溶湯は、製品肉厚の中央部を天側に向かって噴出し天側領域を満たした後、そこで折り返してゲートに向かって充填が進行する。一方、ゲートから入った溶湯は扇状に平板の両サイドにも広がり、溶湯が側壁に衝突した後は、逆方向の中央に向かって充填が進むことが判る。天側のオーバーフローゲートが閉塞されるタイミングでは、キャビティには相当量のエアが残留していることが推測され、しかもこのオーバーフローゲート閉塞は射出速度が大きいほど早期に生じるものと考えられる。これらのことから、20mm 平板における射出速度増加に伴うガス量増大は、このオーバーフローゲート早期閉塞が主因として

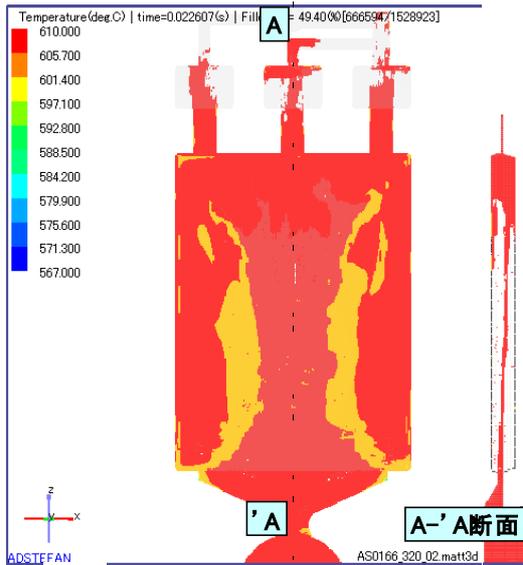


図 13 20mm 平板の湯流れ解析結果 3)  
3.5mm ゲート, 射出速度: 5.0m/s 設定

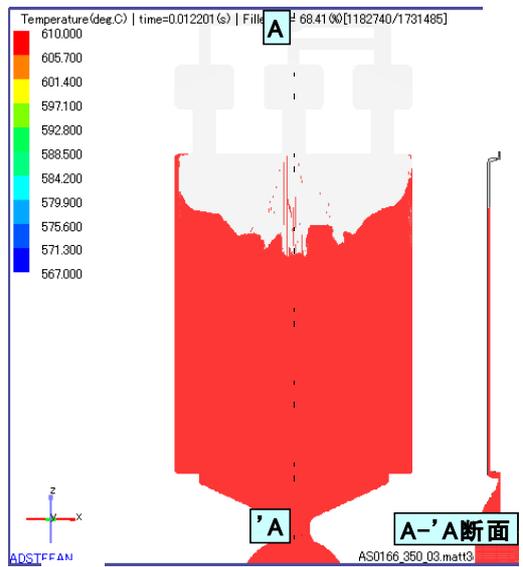


図 14 2mm 平板の湯流れ解析結果 3)  
2.0mm ゲート, 射出速度: 5.0m/s 設定

考えられる。なお、このオーバーフローゲートの閉塞は真空条件においても同様に生じると推察され、真空条件においてガス量が期待通りに低減されなかったのは、この理由によると考えられる。図14は2mm 平板を射出速度 5.0m/s で铸造する条件を解析した結果で(ゲート厚さ 2.0mm)、ここには上述の 20mm 平板断面に見られるような溶湯の乱れ、エアの巻き込みは認められず、溶湯はほぼキャビティ断面を常に充満したかたちでゲート側から順次充填されていることが判る、解析結果においてエア巻き込みがほとんど生じていないのは、キャビティ部の肉厚が薄く、かつキャビティ部とゲート部の厚さのギャップが無いことが理由として考えられる。即ち、溶湯がキャビティに突入する際、キャビティ断面は溶湯で充満された状態となることからエア巻き込みは発生せず、キャビティ内のエアは溶湯

の前方に追いやられ、最終的にほとんどのエアが天側のエアイベントから排気されるものと考えられる<sup>2)</sup>。なお、ダイカストの流動解析の場合、壁面の抵抗を考慮しない Slip 条件で解析するのが一般的とされるが、実際は板厚が小さくなるほど、壁面との摩擦の影響を受け易くなると考えられる。そこで 2mm 平板については Non-Slip 条件で解析を行っている。2mm 平板のガス量分析結果においてガス量がかかなり低かったことから、実際の湯流れもここに示す状況に近いものと予想される。

#### 4.まとめ

単純平板形状の金型を用いて、キャビティ厚さを始めとする諸条件がエア巻き込み巣の状態に及ぼす影響を調査した。得られた知見をまとめると以下のとおりである。

- (1) 高速射出で铸造することにより、キャビティ内に巻き込まれるエアは増加するが、エア巻き込み巣はある程度のエア巻き込み量までは微細に分散させることが可能である。
- (2) ただし、巻き込みエアを微細に分散させることができる射出速度には限界があり、ある一定以上の射出速度では粗大なエア巻き込み巣が生じる。
- (3) 一方、キャビティを減圧することで、粗大なエア巻き込み巣の発生を抑えることができるため、大気開放条件よりも射出速度を大きくすることができる。
- (4) 肉厚が大きい铸造品では、エア巻き込みを生じながら引け巣も混在することがあるため、ガス巻き込み量のみからは健全性が判断できない場合がある。
- (5) 铸造品の肉厚とゲート厚さが近いほど、エア巻き込みが低減される。また、薄肉ほど壁面の摩擦抵抗によってエア巻き込みの少ない均一な湯流れとなる可能性がある。

#### 参考文献

- 1) 石橋直樹、重村隆、江本充孝、内田正志:  
2006 日本ダイカスト会議論文集(2006)、125-130
- 2) 菅野友信、植原寅蔵:ダイカスト技術入門(日刊工業新聞)(1990)、111-118
- 3) 佐々木寛人、石橋直樹、佐藤智:  
2008 日本ダイカスト会議論文集(2006)、99-107