



「キャビティ直バルブの開発と実用化」

株式会社テクニカ
株式会社ダイレクト 21

谷内田 真弘・〇丸山 諒
岩本 典裕・長澤 理

Development and utilization of “Cavity-Direct Valve System”

TECHNICA Co.,Ltd. Masahiro Yachida 〇Ryo Maruyama
Direct21 Corporation Norihiro Iwamoto Osamu Nagasawa

Why does die-casting have high rejection percentage and produce sudden defects?

We developed various sensors to detect information inside the die and conducted monitoring during casting. As a result, we found out that gas was barely escaping during low-speed shots and that overflows, chill vents and vacuum runners create secondary-filling phenomena, which cause delays in pressure buildup, and concluded that these two phenomena were the major factors for defects. Then we have developed “Cavity-Direct Valve System” to eliminate these two factors.

Since we have managed to put the system into practice, we introduce it as a new die-casting process.

1. 緒言

昨今の自動車業界は環境性能が特に強く要求されている。有害物質の発生を極力抑えたエンジンの設計だけでなく、自動車の軽量化も環境にとって重要なことで、軽量化により燃費が向上されると二酸化炭素排出量が削減出来るのである。そこでアルミダイカスト製品の比重は鉄の約 1/3 であることや、高い生産性、意匠性等の理由により大きく注目されている。これから益々自動車の軽量化が求められていく中で、よりアルミダイカスト製品の需要は増えていくと考えられる。

一方で部品メーカーはダイカスト特有の内部欠陥の多さや、その突発性のある不良発生率の低減、安定に一層努めなくてはならない。内部欠陥の代表的なものは鑄巣であり、巻込み巣やヒケ巣等がある。それらは保安部品や T6 等の熱処理を行う部品には強度不足や膨れの原因となったり、加工後、加工面に露出シユーズの鑄巣規格に適合しなかったり、リーク検査により鑄巣に起因する気密漏れで不良となる。

鑄巣の低減に対しては鑄巣の種類や発生メカニズムに応じて様々な手法が開発、実用化されてきた。巻込み巣については PF 法や真空法、真空法の応用である GF 法。ヒケ巣については局部加圧法等である。しかし、これらの手法には金型の大掛かりな改造や設備の導入が必要で、量産中で明らかになった鑄巣不具合に対し更新型の製作のタイミングでない限りこれらの手法を

用いるのは困難である。また、部品メーカーの中には多品種 少ロットで生産を行うメーカーもあり、少ロットの製品に対し大きな設備投資は償却が困難である。

この 2 種類の鑄巣の低減には共通する対策があることがわかってきた。それは、充填時間の短縮である。いかに短時間で充填し、溶湯が熱いうちに圧力をかけ、鑄巣を潰す（微細化する）かである。

我々は短時間充填という手法で、鑄巣不良を低減するために金型の大掛かりな改造が不要で設備投資も最小限で済み、少ロットの製品にも適用することが出来る。「キャビティ直バルブ」に着目した。本研究ではキャビティ直バルブを用いて短時間で充填を行い、鑄巣の低減に効果があるのかを検証した結果を紹介する。

2. 現状把握

ダイカストの不良率及び突発的な不良の原因は何なのだろうか。ダイカストマシンの情報は制御盤のディスプレイ上で射出波形、鑄造圧力波形等を確認することが出来る。私たちはこれらの情報を管理し、運用して生産を行ってきた。しかし、これらはいくまでダイカストマシンの情報であり、製品を産み出している金型内の情報では無いことに気が付いた。

そこで、金型内の情報を得るためダイレクト 21 社が自社製の金型内情報センサー（図 1）の一部を用いて計測を行った。その結果、以下の 2 つが不良率の高いこと及び突発的な不良の要因である可能性がわかつ

てきた。

1. 充填時間＝製品充填時間＋二次充填時間
2. ガスの排出＝金型から出るガス流量⇒ガス圧管理

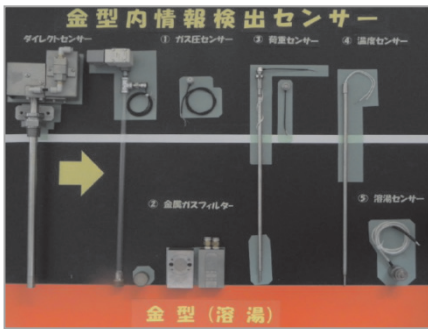
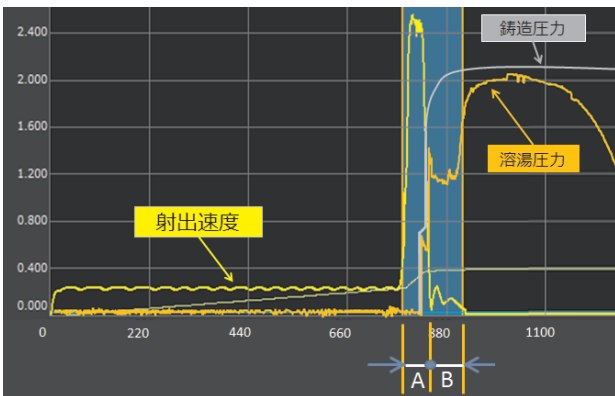


図1 金型内情報センサー

2. 1. 充填時間と二次充填が鋳巣に及ぼす影響

図1中のセンサーには溶湯にかかる圧力を計測できる溶湯圧力センサーがある。そのセンサーで計測するとグラフ1¹⁾のような結果が得られた。

グラフ1は横軸に時間を取り、黄色の波形は射出速度、橙色の波形が溶湯に実際にかかっている溶湯圧力そして白色の波形は鋳造圧力である。



グラフ1 実鋳造における溶湯圧力

これまで鋳造現場においては「充填時間」と呼ばれる、「溶湯がゲートを通りしてから充填完了までの時間」を短くするように鋳造条件設定や鋳造方案の検討を行ってきた。このグラフ中ではAで示される時間のことをいうが、充填時間とはこの時間だけではなかったのである。

充填時間について述べる上で無視できないのがグラフ1中におけるBの部分。これを二次充填と呼ぶ。二次充填とは充填完了後、未充填部分に溶湯が供給される為にプランジャーチップが再前進する現象のことである。グラフ1の射出速度の波形を見ると、充填完了後0m/s付近であった射出速度が再び上昇している。これは主に、狭窄されたゲートが要因になることが多く、オーバーフローやチルベントランナーが未充填の状態ですらゲートが先に凝固し、その為一時的に充填完了となり射出速度が落ち、昇圧が開始される。その際、凝固

していたゲートが破れ、未充填であったオーバーフロー等に溶湯が供給されることで発生する。この二次充填は鋳巣に対し大きな影響を与える。

次にグラフ1の鋳造圧力と溶湯圧力に着目すると、鋳造圧力は充填完了とともに圧力が上昇する。これまではこの鋳造圧力を溶湯にかかる圧力とみなして鋳造条件の設定や管理を行ってきた。しかし実際は鋳造圧力の立ち上がりと溶湯圧力の立ち上がりには加圧タイムラグがあることが分かる。このタイムラグは二次充填により引き起こされるものであり、溶湯の加圧が遅れると遅れた分だけ溶湯の凝固が進み、圧力が製品全体にうまく伝播せず、鋳巣を潰す事や微細化が出来ないのである。

図2²⁾に短時間充填により鋳巣の低減に成功した事例を示す。

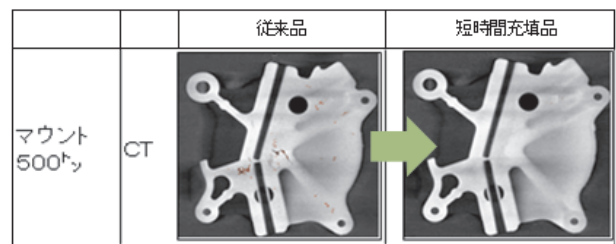
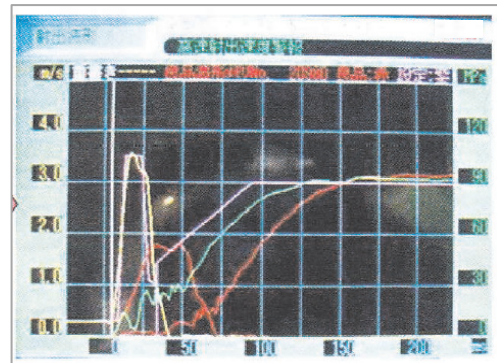


図2 短時間充填による鋳巣微細化

この事例は充填時間を70msec→30msecまで短縮した事例である。X線画像で左の従来品と右の対策品を比べると鋳巣の大きさに明らかな違いがあることがわかる。

グラフ2²⁾にはこの時の射出波形を示す。



グラフ2 鋳巣微細化事例の射出波形

充填時間30msecの時の射出波形が黄色の波形、緑色の波形が鋳造圧力を示し、赤色の波形は充填時間70msecの時の射出波形と鋳造圧力波形を示す。この射出波形をみると二次充填がない波形であることがわかる。従って、溶湯は短時間で充填され加圧タイムラグが無く製品全体に圧力が伝播した為、鋳巣が微細化されたと推測する。

この事例からもわかるように二次充填を無くし短時間充填を行うと鋳巣の低減に効果が望めると考える。

2.2. キャビティ内ガス圧と低速中のガス排出

次に紹介するのは充填時間を短縮してもあまり改善効果が見られなかった事例である。

前項では短時間充填が鑄巣低減に効果が望めるということを述べた。しかし、図3¹⁾に紹介するバルブケースという製品は充填時間を短縮したにも関わらず、鑄巣の低減に対しあまり効果がなかった。

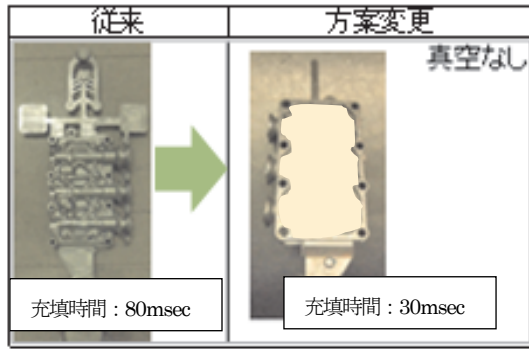
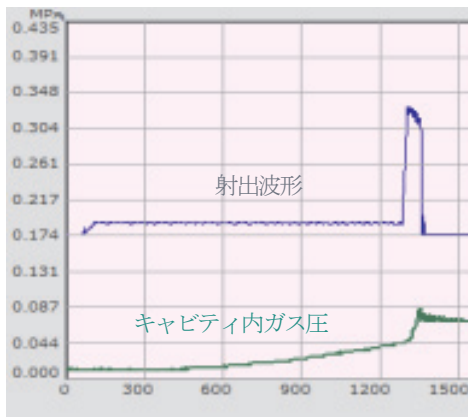


図3 バルブケースの改善事例

図3のように、充填時間の短縮を図る為に二次充填を作る要因となるオーバーフローや、真空ランナーを廃止し、大気開放のエアメントのみのガス抜き方案になっている。充填時間は従来で80msecだったのを30msecまで短縮している。充填時間を大幅に短縮することが出来ているのに、効果があまりなかったのには他に何か原因があるのだろうか。

1頁の図1中に、キャビティ内のガス圧を計測することが出来る金属ガスフィルターとガス圧センサーがある。それらを用いて射出中のキャビティ内のガス圧を計測したところ、グラフ3¹⁾のような結果が得られた。なお、金属ガスフィルターとはキャビティ内のガスは通すが、溶湯は通さないフィルターである。青色の波形が射出速度、緑色がキャビティ内ガス圧である。

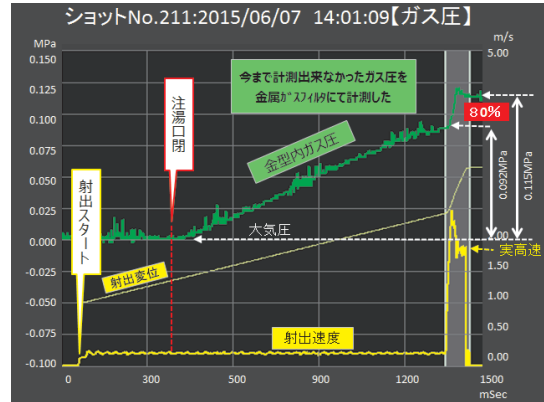


グラフ3 バルブケースの射出とガス圧波形

これまでのダイカストの常識の1つとして捉えられていた事で、「低速射出中にガスはチルベントやエアメントから排出されている。」³⁾ というのがある。しかし、グラフ3を見ると低速中からキャビティ内のガス圧は上昇を続けていることがわかる。もし、低速射出中に十分なガスの排出が行われているのであれば、ガ

ス圧は発生しないはずである。つまり、この結果からスリーブ及び、キャビティ内のガスは十分な排出が行われていないと言える。

図3のバルブケースについて、ガスの排出が充分でない為に、短時間充填だけでは改善効果がなかったと判断できる。

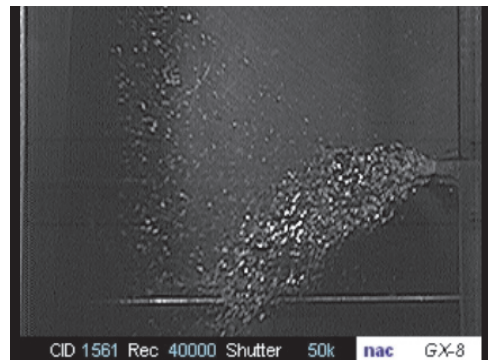


グラフ4 キャビティ内ガス圧測定結果

グラフ4³⁾中の黄色の波形が射出速度、緑色の波形がキャビティ内のガス圧を示す。グラフ4は別の金型でキャビティ内ガス圧を計測した結果で図3のバルブケースのキャビティ内ガス圧と同じ傾向が見られた。この事から、低速射出中にガス排出が充分に行われていないことはバルブケースをエアメントのみのガス抜き方案にした事が原因では無く、大気開放の場合一般的に言えることだとわかる。

プランジャーチップが前進し、射出スリーブの給湯口が閉じるまでガスは給湯口から排出される為、ガス圧は発生しない。給湯口が閉じた瞬間からキャビティ内及びスリーブ内のガスは圧縮され始め、その後もガス圧は上昇を続ける。低速射出中に最大ガス圧の80%を発生させ、高速射出に切替わってからは残りの20%のガス圧が発生する。

ここで、高速射出に切替わってからの金型内の溶湯の挙動に注目したい。



射出速度 3.0m/s
ゲート速度 41.3m/s

図4 キャビティ内の溶湯の挙動

図4⁴⁾は相田らの報告内容の一部である。この研究で

は溶湯の挙動を直接観察したものであり、この報告内容から高速射出でゲートを通じた溶湯は噴霧流になっていることがわかる。この噴霧流は不規則な流れをもち、予測が困難でさらにはキャビティの壁面と接触した噴霧流の粒はチル層を形成する。その噴霧流の粒は時としてオーバーフローやチルベントのゲートを充填途中で塞ぐと考えられる。ゲートを塞いだり、塞がなかったりの不安定さが突発的な不良が起る原因の一つであると推測する。

それでは低速射出中のガス排出は不安定なのだろうか。溶湯がゲートに到達していない為、溶湯は層流である。つまり、ガス排出が一番安定して行える工程であるといえる。更に、低速射出中には最大ガス圧の80%が発生する。大断面積のガス抜きから十分なガス排出を行い、低速射出中のキャビティ内ガス圧が発生しなければ、この80%に値するガスを排出出来たといえる。

そこで、φ10相当のガス抜き断面積を持ち、ランナーを必要としない「キャビティ直バルブ」(以下 CDV)を用いる事で、低速射出中の80%分のガスをCDVから排出し、残り的高速射出中に発生する20%分のガスをエアイベントから排出する。これにより、二次充填を作る要素を持たず、安定したガス排出が行える。鋳巣の低減、突発的な不良を無くす事に効果が見込めると考え、効果確認の為のテスト鋳造を行った。

3. CDV の概要



図5 キャビティ直バルブ外観

CDV (図5) とは、ランナーをもたないガス抜きバルブで、金型に風穴を開けキャビティに直接バルブを挿入する。φ10 (約 80mm²) 相当の断面積からガスの排出を行い、高速射出切替え前に強制的にバルブを閉じる。その為、オーバーフローやチルベントのような狭窄されたゲート等を必要とせず、管路抵抗がほとんどない。また、ランナー及びゲートをもたないので二次充填を作らない安定したガス抜き工法といえる。低速中のキャビティ内ガスを安定して排出することを目的としており、CDV をオーバーフローやチルベントの代わりに用いる事で安定したガス排出と、二次充填を作らず充填時間の短縮を可能にする。キャビティに直

接挿入できない場合はCDV用のオーバーフローを設けて、そのオーバーフローにCDVを挿入する。その際、オーバーフローゲートは二次充填を作らないように注意しなくてはならず、ゲート厚は3mm以上確保する。

基本動作は図6の通りである。

型を閉めてからバルブを開き、射出が開始される。高速射出に切替わる前にバルブを閉じる。その後型を開き、製品を取り出してからCDVの機能を保つためにエアパージを行う。

CDVのバルブを閉じるタイミングについては溶湯がバルブ内に飛び込むのを防ぐ為、高速射出に切り替わる前に閉じなければならない。ダイカストマシンの条件設定画面内でプランジャーチップが何mmの位置でCDVを閉じるのかを設定する。

4. テスト鋳造

テスト鋳造は表1の項目について計測を行った。

| 計測項目 | 目的 |
|-----------|---------------|
| 射出波形 | 二次充填に対する効果の確認 |
| キャビティ内ガス圧 | CDVのガス排出能力の確認 |

表1 計測項目とその目的

上記項目に対して、

1. 従来方案 (図7.1)
2. CDVのみ (図7.2)
3. CDV+エアイベント (以下CDV+A/V)

の3つのガス抜き条件で計測を行った。CDVを閉じるタイミングは高速切替えとほぼ同時である。なお、CDV+A/Vとは、図7.2においてキャビティの左右に設けられているエアイベントの溶接止め部を開放した状態である。エアイベントが二次充填を作るのかの確認の為に「CDVのみ」と「CDV+A/V」の2パターンにわけて鋳造を行った。

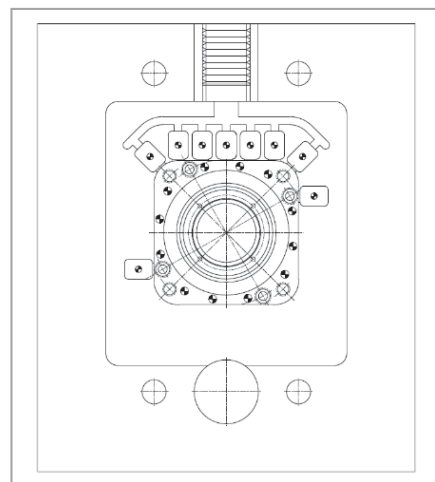


図7.1 従来方案

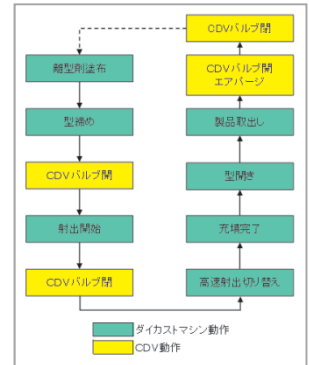


図6 基本動作

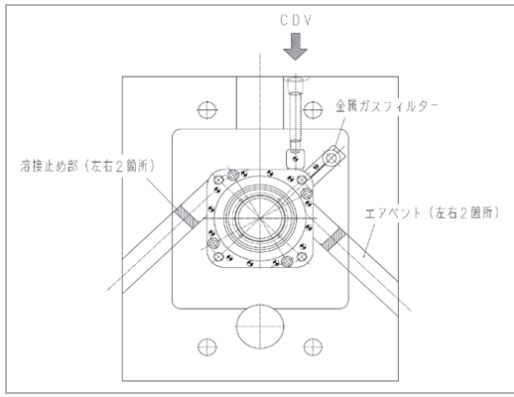
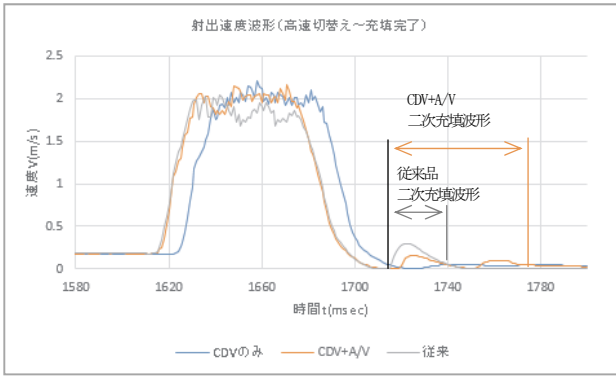


図 7.2 CDV 取付改修後

5. テスト鑄造結果及び考察

5.1. 二次充填について

次に示すグラフ 5 は前述の 3 つの条件についての高速射出切替えからの射出波形を示す。



グラフ 5 各状態の射出波形

縦軸に射出速度，横軸に時間をとったグラフである。CDV のみでガス抜きを行った条件だけ二次充填の無い射出波形になっており，オーバーフローやチルベントランナーが二次充填の要因の 1 つであることがわかった。その結果を表 2 にまとめる。

| ガス抜き条件 | 二次充填の有無 | 充填時間(msec) |
|---------|---------|------------|
| 従来方案 | 有 (1 山) | 120 |
| CDV のみ | 無 | 100 |
| CDV+A/V | 有 (2 山) | 160 |

表 2 射出速度計測結果

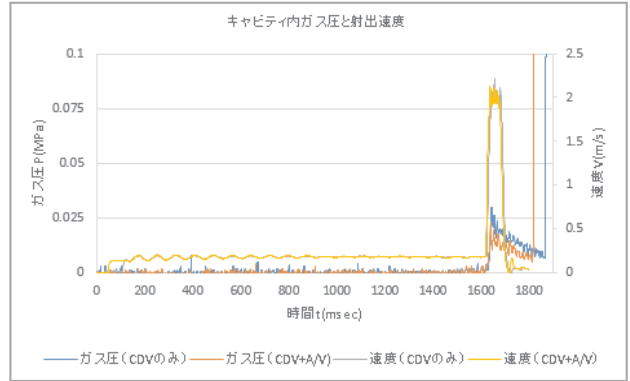
従来方案と，CDV+A/V 条件には二次充填がみられる。更には，従来品の二次充填波形が 1 山であったのに対し，CDV+A/V の二次充填波形は 2 山になっている。つまり，エアベントもオーバーフローやチルベントランナーと同様に二次充填の要因になることがわかる。

この射出波形の結果から，オーバーフローやチルベントを無くし，CDV のみでガス抜きを行うことにより二次充填が無くなり，充填時間を 20msec 短縮することが出来た。

5.2. キャビティ内ガス圧について

前項の射出波形から，CDV のみでガスの排出を行え

ば，二次充填を作らずに鑄造できることがわかった。では，CDV のガス排出能力はオーバーフローやチルベントと比べてどうであろうか。2.2 項のグラフ 4 では一般的な大気開放のダイカストのキャビティ内ガス圧は，ガスの排出が射出速度に追従出来ずに圧縮されキャビティ内ガス圧は上昇を続けることを紹介した。ここで CDV を用いて鑄造した時のキャビティ内ガス圧をグラフ 6 に示す。

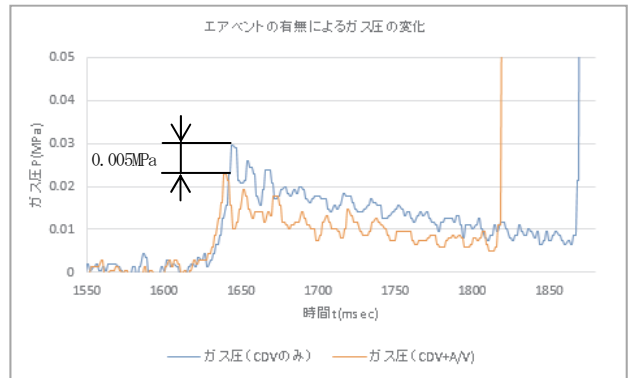


グラフ 6 キャビティ内ガス圧と射出速度の関係

縦軸にキャビティ内ガス圧と射出速度，横軸に時間をとったグラフであり，縦軸のガス圧は大気圧を基準としたゲージ圧である。また，ガス圧波形においてショットエンドでの波形の立ち上がりは金属ガスフィルターの清掃を目的としたエアパージによるものである為，無視する。

このグラフをみると高速射出に切替わるポイント，つまり CDV が閉じるまではキャビティ内のガス圧は上昇しないことから，CDV は射出速度に追従し，十分なガスの排出を行えていることがわかる。また，高速射出に切替わってから上昇した圧力も約 0.025～0.03MPa と低く，CDV によるガス排出は良好であり，オーバーフローやチルベントの代わりになると思われる。

グラフ 7 はグラフ 6 のガス圧波形を高速射出に切り替わってからを抜粋したもので高速射出中のエアベントによるガス排出効果を示す。



グラフ 7 CDV とエアベント併用の効果

縦軸にキャビティ内ガス圧，横軸は時間である。CDV のみの時と CDV+A/V の時の最大ガス圧の差は約 0.005MPa と微小であり，高速射出に切替わってからエ

アベントでのガスの排出は期待できない。

CDV+A/V の時は、キャビティ内ガス圧が CDV のみの時より 0.005MPa 低くなるが、その代償としてエアベントによる二次充填で CDV のみの時と比べ、充填時間は 60msec 長くなる。短時間充填という手法で鑄巣を低減する為にはエアベントは不要であると考える。

5. 3. CDV の閉じるタイミングについて

前項でのテストは CDV を閉じるタイミングを高速射出切り替えとほぼ同時としてきた。しかし、テストをしていく中で CDV を閉じるタイミングによって鑄巣に対し、影響があることがわかった。

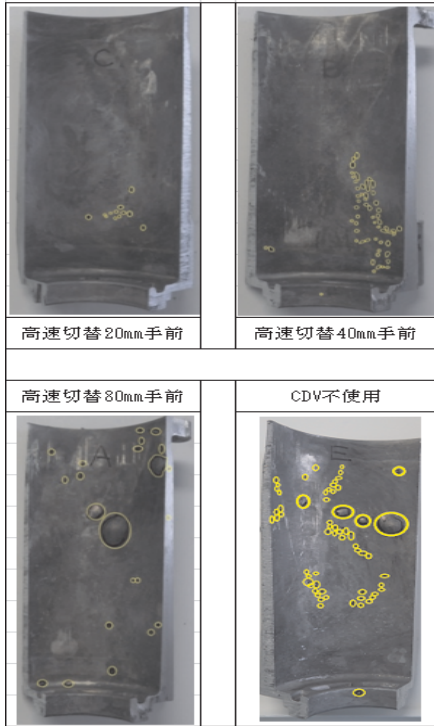
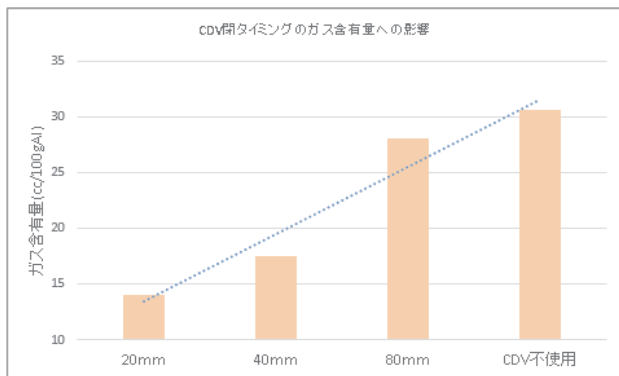


図8 CDV 閉タイミング別のブリスター検査結果

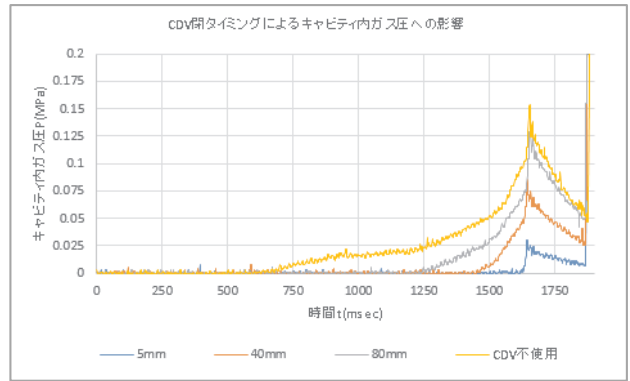


グラフ8 CDV 閉タイミング別製品ガス含有量

図8はCDVを高速切替位置から80, 40, 20mm手前、CDV不使用の4パターンにおけるブリスター検査の結果でありグラフ8はその時の製品のガス含有量を示す。

この結果から、CDVを閉じるタイミングがショットエンドに近い方が巻込み巣が低減される傾向にあるこ

とがわかる。また、ガス圧との相関性もみられる。



グラフ9 CDV 閉タイミング別キャビティ内ガス圧

グラフ9はCDVの閉タイミング別のキャビティ内ガス圧を示すグラフである。

CDV 閉のタイミングがショットエンドに近いほうが低速中のガス圧が発生しない、つまりガスが抵抗無く排出されていることがわかる。最大ガス圧も低くなる傾向がみられる。

図8, グラフ8及び9からCDVを閉じるタイミングがショットエンドに近づく程鑄巣に対し効果があることがわかった。

6. 結言

- ① 金型に風穴を開け、低速射出中に CDV からガスを安定して排出させる事が出来た。
- ② CDV を閉じるタイミングがショットエンドに近づく程、より多くのガスを排出させる事ができ、鑄巣に対し効果がある事がわかったので、バルブ閉タイミングの補正制御等にも取り組む。
- ③ 一連のテスト結果から、オーバーフローやチルベント、エアベント及びランナーが二次充填の要因（溶湯加圧タイムラグ）の一つであることがわかった。
- ④ CDV は二次充填を作らないガス抜き工法として期待が出来る。

【謝辞】

本研究を行うにあたり御協力を頂きました、神奈川ダイカスト工業株式会社様、東洋電産株式会社様に対し、厚く御礼を申し上げます。

(参考文献)

- 1) 岩本 典裕 半田 孝助 加藤 俊 山口 雅裕, (2012). アルミダイカスト製品の JIS の機械強度表示を目指すスーパーダイカスト法の開発と実用例(JD12-25).
- 2) 岩本 相田. (2008). P-Q2 線図による短時間充填・昇圧法の理論と事例. 第19回 JSCAST ユーザー会.
- 3) 社団法人 日本ダイカスト協会. (2012). ダイカスト技能者 ハンドブック.
- 4) 相田 悟, 久保木 勲, 林 勇人, 藤本 将輝, 富岡 智, 中田 光栄. (2012). ゲート方案・鑄造条件による溶湯射出状況の影響 (JD12-18).