1992年日本ダイカスト会議論文集

JD92-32

ガスコントロールシステムの開発と実用例

東芝機械株式会社
竹山　幸成
○岩本　典裕
松田　　泰

Development of Gas Control System for Die Casting

Kousei Takeyama
Norihiro Iwamoto
Tai Matuda
TOSHIBA MACHINE CO., LTD.
TOKYO, JAPAN

Abstract:

The basic principle of Die Casting process is, like other casting processes, the replacement of gas in cavity with molten metal, but the difference is the replacing time be very short.

Therefore, in order to maintain and improve the quality of die cast products, it is essential how to control the exhaust of the gas.

For ordinary Die Casting process, we installed a Gas-Flow Sensor on the outside of air vent on die and monitored in conjunction with the injection.

For vacuum Die Casting process, we developed a computer controlled system that converts the vacuum-shutoff-timing of the valve to the position of injection cylinder by checking the end of filling on previous shots.

We present these two systems of gas control for Die Casting with satisfactory results.

1．はじめに

ダイカスト製品の品質や生産性の向上のニーズに応えるべく、我々ダイカストマシンメーカは、射出性能の向上や制御のコンピュータ化を計ってきた。

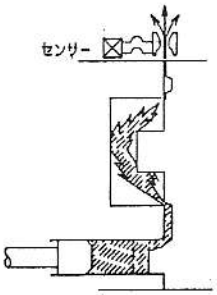
この結果、製品の品質は以前に比べ安定化し、生産性は向上してきている。一方、品質条件の厳しい製品では、品質の向上や定量的管理という面から見た場合、射出の各条件が直接、良品・不良品との因果関係があるか否か判断できないケースが生じている。この主な原因として、キャビティやスリーブ内のガスが射出時排気不良となり、溶湯に巻き込まれることが考えられる。そこで現行の金型方案を変更することなく射出位置とともにガス排気をモニタリングしたり、真空バルブをコントロールして、品質と関連づける方法を開発し、実用化テストをしたので報告する。

2．システムの概要

ガス　コントロール　システム（通称：ガスコン）
Gas　Control　System

ＧＣＳ１　：普通ダイカスト法
（ｶﾞｽｺﾝ 1）

図 1



射出時金型のエアーベントから噴出するガス（通称：ノロシ）の流量を安定して精度良く検出する方法である。

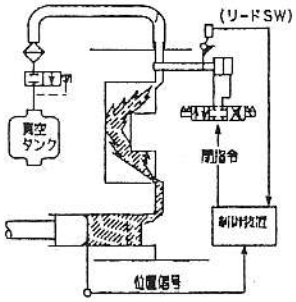
製品の品質管理項目として、射出の速度，圧力と同様、金型からのガス流量がもう１つ重要要素として加わるものと考えた。

排気されるガス流量は射出動作と同期性がある。

そこで本システムでは、両方のデータをパソコンに取込み、「射出速度とガス流量」・「高速切換位置とガス流量の遅れ時間」などの定量管理や良品条件と各ショットでの比較モニターをしようとするものである。

ＧＣＳ２：真空（減圧）ダイカスト法
（ｶﾞｽｺﾝ 2）：大気開放バルブシャット法

図 2



ゲートからキャビティーへ流出する流れは乱流であり、噴出流である。即ち真空ダイカスト法では、溶湯がキャビティーのあらかじめ決められた位置に達した時点でのキャビティ減圧度のバラツキが少ない事や、真空ランナーが極力短い事が高品質の条件となる。

本システムは、真空バルブ閉限の信号が射出ストロークエンド手前で常に毎回一定位置になるようにコンピュータ制御し、バラツキ要因を考慮して少なくし、安定化することにより、強制排気されるガスをコントロールしようとするものである。

尚、本報告ではＧＣＳ１＝普通ダイカスト法を主体に説明を行い、ＧＣＳ２＝真空（減圧）ダイカスト法は原理と実鋳造での評価結果のみを記載する。

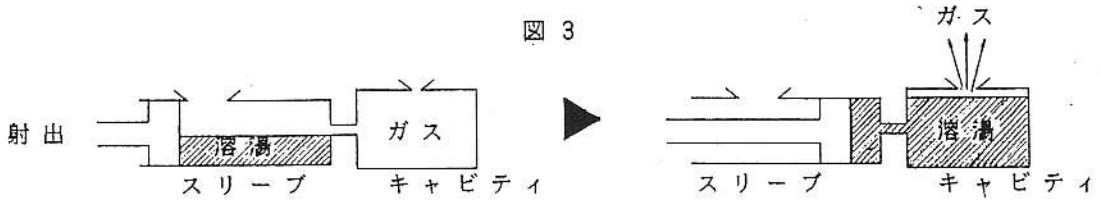
3．ＧＣＳ１の開発経過

弊社では１９８２年コンピュータ制御のダイカストマシン（ＣＣＤ）を開発し、引き続いて１９８４年周辺装置まで含めたトータル制御システム（ＤＡＣＳ）を商品化した。

これにより安定生産するためのダイカストマシン側の条件はほぼ整った。ＤＡＣＳ（後継バージョンＳＥＭＵ）により生産性の向上，作業性の改善，突発不良の低減についてはユーザから高い評価を得られたものの、良品率の向上については湯温、型温による射出条件の最適化まで行ったが、品質条件の厳しい製品によっては不充分な面があった。

鋳造プロセスの原点に帰ってその原因を検討すると、図３となる。

図３



ダイカストでは溶湯とガスとの置換が０．０５秒～０．１５秒と極短時間で行われるため、高速射出時に置換しきれずにガスを巻込むことが不良の原因になるであろう。またこの金型から出るガスを、鋳造のベテランは「ノロシ」と称し、その勢いがあるかどうかで型締力や冷却水，離型剤を調整し、生産していることからも排気の重要性は明らかである。

実鋳造で連続的に金型から排出されるガス流量を定量的に測定した例は殆どない。これは、排気されるガスが空気や蒸気ばかりでなく、離型剤や時として溶湯がフラッシュとして混じることがあり、センサーが安定使用できなかったからであった。

〈第１ステップ〉　間接検知の方法として空力学的にはデュフューザーによるエゼクター効果（霧吹きの原理）を利用することを検討した。

図４　検出原理

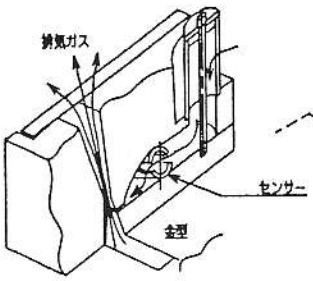


図５　検出構造

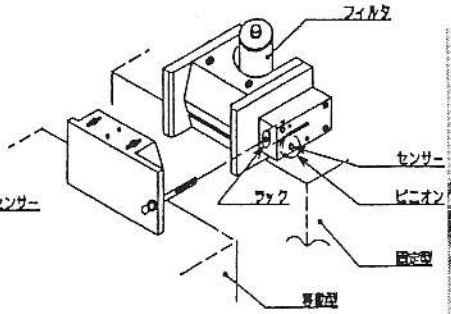
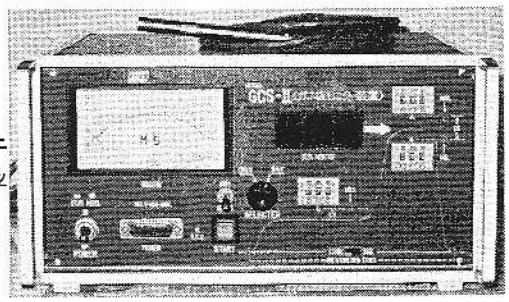


図６　検出装置



検出結果

１）空打ちと実打ちでは出力データが実打ちの場合約２倍大きく、出力も乱れがちであった。これは検出方式が熱線式のため排出ガス熱による影響であった。

２）微風速計のため周囲の風の流れや金型の熱気の影響を受ける欠点があった。

３）ガス流速は射出動作と同期性があることがわかり、同時にデータを取込みモニタリングする必要が生じたが、その機能は図６の装置では限界があった。

〈第２ステップ〉　デュフューザーでの欠点を克服するため検出方案をベンチュリー管方式に変更するとともに、ハードウェア（センサー），ソフトウェア（データ処理）両面より展開を計った。

ハードウェア

ガス抜け量検出センサーの開発

↓

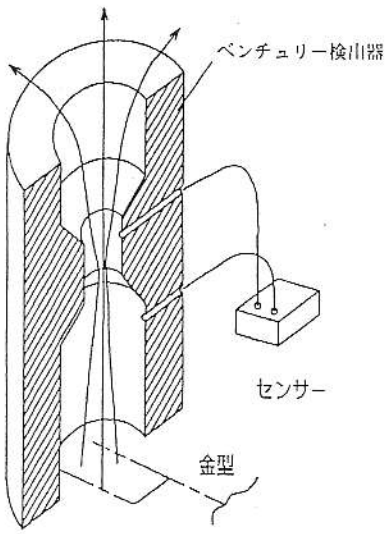
検出精度の確保

↓

耐久性の確保

ベンチュリー管を通過する流量は型締力５００トンクラスで約10ℓ／min
この時の差圧は、実測値では
4mmAq(0.0004kgf/cm², 39.2Pa)と低い。
１９８５年に考案した時点では、静電容量コンデンサー型センサーはNASAでの報告しかなく、民生化はされていなかった。
しかし昨今の半導体製造技術の進歩により汎用、低価格で高精度のセンサーが商品化されてきた。

図７　検出原理



ソフトウェア

アナログデータが読取り可能

↓

データを演算処理し、デジタル化

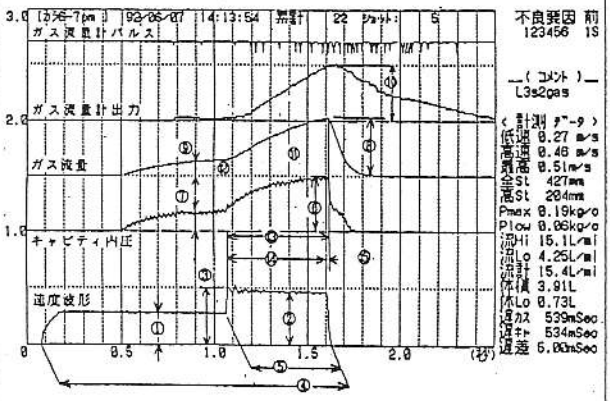
↓

単独に上下限のモニタリング

「射出速度とガス流量」など複数データ間でのモニタリングや波形合成が可能でしかもアナログデータをデジタル化し、演算処理できる計測定義言語（c-flex）を開発した。
これにより、モニタリング値と比較し上下限単独にアラーム出力を出すことが可能となった。

本システム用に開発したパソコンモニター装置を使って図１０で計測したデータを表１に示す。

表１



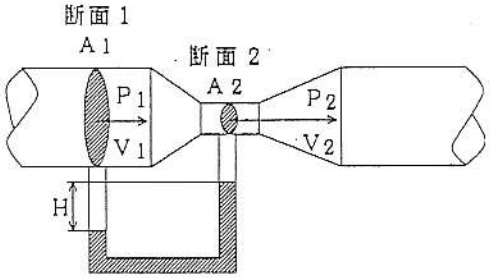
①低　速　：低速速度
②高　速　：高速平均速度
③最　高　：高速ピーク速度
④全Ｓｔ　：射出全ストローク
⑤高Ｓｔ　：高速区間ストローク
⑥Ｐｍａｘ：キャビティ内圧最大値
⑦Ｐｌｏｗ：キャビティ内圧低速域
⑧流Ｈｉ　：ガスピーク流量
⑨流Ｌｏ　：ガス流量低速域
⑩流　計　：流量計ピーク値
⑪体　積　：ガス体積（積分値）
⑫体Ｌｏ　：低速域ガス体積（積分値）
⑬遅カス　：高速立上りからガス流量ピークまでの時間
⑭遅キャ　：高速立上りからピーク圧までの時間
⑮遅　差　：⑬－⑭時間差

4．ＧＣＳ１の原理

ガス流体の流速が本装置のように遅い場合、エネルギー損失なしの非圧縮性流体と考えられるので、流量を測定するのに図８に示すベンチュリー管を用いる。

ベンチュリ管の断面積をＡ，速度をＶ，圧力をＰ，位置ヘッドをＺとし、添字１，２をそれぞれ断面１，２の状態を表すとし、空気密度をρ，重力加速度をｇとすると、ベルヌーイの式より

図８　ベンチュリー管



$$\frac{P_1}{\rho g}+\frac{V_1^2}{2g}+Z_1=\frac{P_2}{\rho g}+\frac{V_2^2}{2g}+Z_2 \cdots\cdots ①$$

位置ヘッドの変化は他の変化に比べ小さいので、

$$Z_1=Z_2 \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots ②$$

また、連続の式より　$V_1=V_2\cdot A_2/A_1 \cdots\cdots ③$

ここで、②，③式を①へ代入すると

$$\frac{P_1}{\rho g}+\frac{V_2^2}{2g}\left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2=\frac{P_2}{\rho g}+\frac{V_2^2}{2g} \longleftrightarrow \frac{V_2^2}{2g}\left\{1-\left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2\right\}=\frac{P_1-P_2}{\rho g}$$

$$\longleftrightarrow V_2=\frac{1}{\sqrt{1-(A_2/A_1)^2}}\sqrt{2g\frac{P_1-P_2}{\rho g}}$$

従って、流量Ｑは

$$Q=A_2\cdot V_2=\frac{A_2}{\sqrt{1-(A_2/A_1)^2}}\sqrt{2\frac{P_1-P_2}{\rho}}$$

$$=\frac{A_2}{\sqrt{1-(A_2/A_1)^2}}\sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}}$$

である。本式より差圧$\Delta P=P_1-P_2$が計測できれば流量Ｑが求められることになる。

上記のベンチュリ管に流量計・差圧計を取り付け、流量を変化させた場合の差圧を測定する装置を図９に示す。

（断面積A_1の直径：29.5〔mm〕　断面積A_2の直径：9.3〔mm〕
ガスの密度：0.123〔kg・S^2/m^4〕（760mmHg，20℃，乾燥空気））

実験の結果を表２に示す。

理論値に対し、実験値は０．５１倍で相関性があることがわかった。

図９　実験装置

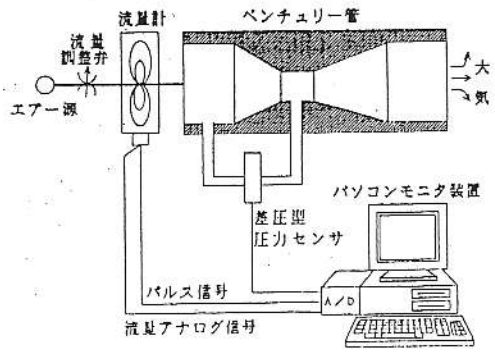
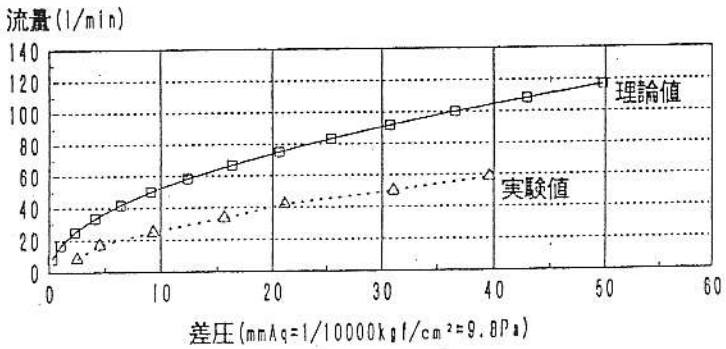


表２　ＧＣＳ１　空テスト



本開発が終了した時 東北大 安斎教授の研究室へ寄付しました。

7

ＧＣＳ１の実験方法

５．１　シミュレータでのテスト方法

図10　シミュレータの概要

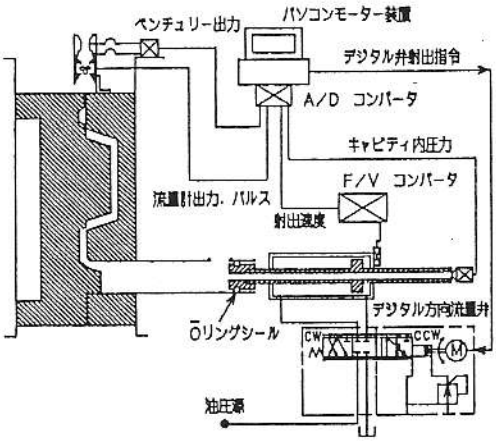
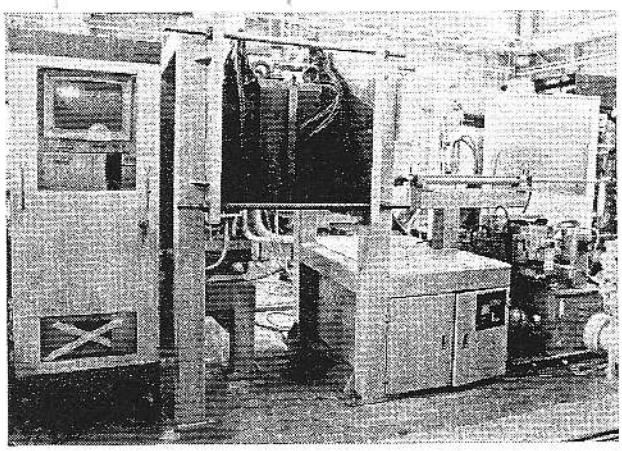


図11　シミュレータの外観



射出動作における金型内のガス排気プロセスは個々に異なる。
そこで実鋳造前に金型固有の詳細データを取るためシミュレータ装置を作った。

本装置はスリーブ，チップ間のエアー洩を防ぐためＯリングを設け、チップ先端圧力を検知できるようにしてあり、型締力８００トンクラスの金型まで取付けらる。

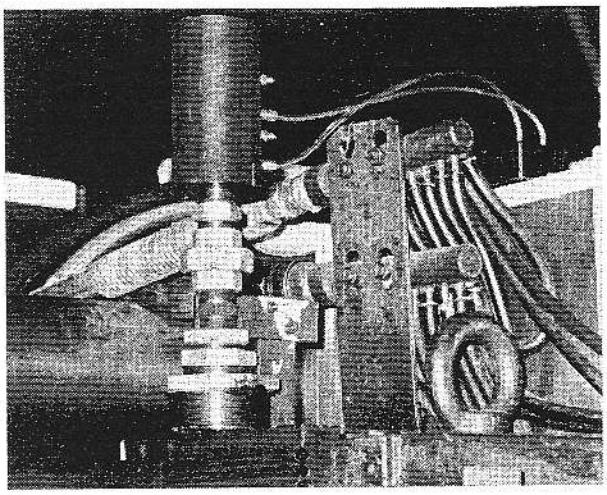
また本装置のパソコンモニター装置は、データを収集するとともに、デジタル弁をコントロールし、任意の射出速度を作り、フィードバック制御も可能である。

５．２　実鋳造でのテスト方法

型締力５００トンダイカストマシンでの実鋳造取付例を図１２に示す。
検出部であるベンチュリー管は固定金型に取付け、センサーは固定ダイ上部に取付けており、ビニールチューブでベンチュリー管と接続する。
金型交換を考慮し、ワンタッチ脱着できる構造も可能である。

計測は速度波形，圧力波形，ガス流量波形とし，社内鋳造テストを行った。

図12　実鋳造での検知方法



6．ＧＣＳ１の実験結果

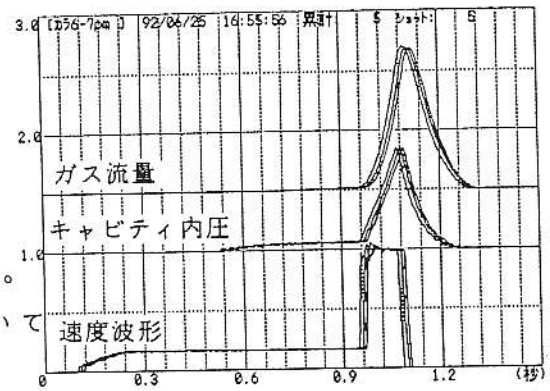
6．1 空打ちでのキャビティー内圧とガス流量の安定性について

実鋳造と同一条件で５ショット連続の重ね合わせたデータを表３に示す。

チップ先端部から検出したキャビティー内圧とガス流量は安定した相似波形となる。

高速立上りとともに両方上昇するが、その最大値はガス流速の方がキャビティー内圧より３０msec遅れて立ち上ることがわかる。

表３　空打波形



6．2 実鋳造でのガス流量測定結果と品質について

表４は実鋳造でガス排気の良好なものとエアーベント部に紙を挟んで排気抵抗を故意につけた場合の重ね合わせ波形である。

従来からの品質管理方法である速度波形と圧力波形では充填量のバラツキの差が多少あるだけでほとんど変化がみられない。

一方、ガス流量波形では大きな差として表れている。

次に品質への影響として、上記条件にて製品内部のガス含有量と比重，ガス流速，ガス体積についての関係を調査した。

尚、ガス体積とはガス流量の積分値である。

この結果、ガス含有量の差としては製品比重への影響は微小であるが、ガス流量，ガス体積の差は大きな変化として相関性があることがわかる。

表４　実鋳造ミクロ波形

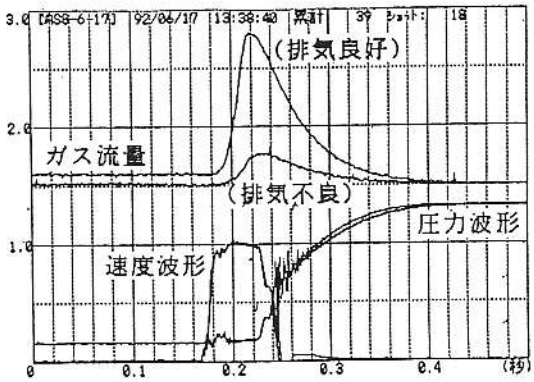


表５　実鋳造マクロ波形

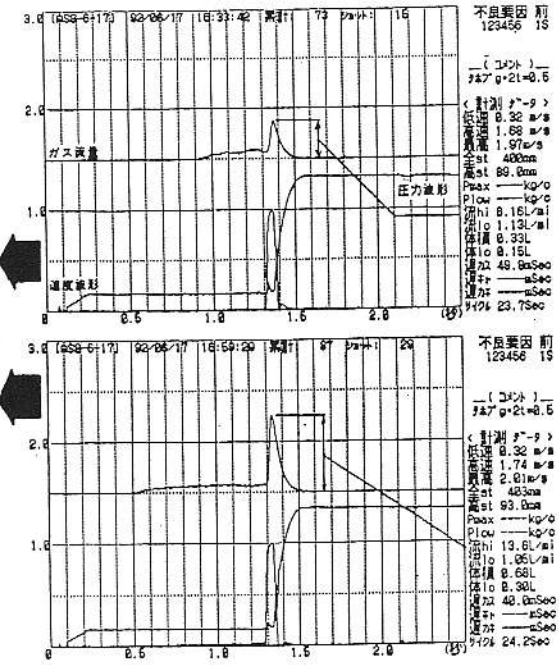
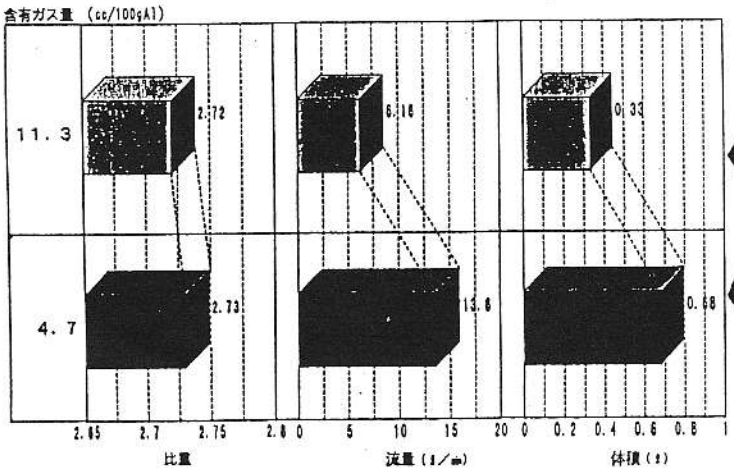


表６



7．ＧＣＳ２真空（減圧）ダイカスト法について

現在、様々な方法で真空（減圧）ダイカスト法が使用されているが、以下の３項目が共通して重要である。

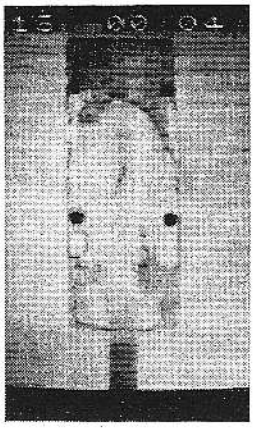
真空（減圧）の３つのポイント

１）溶湯がキャビティへ達する時点でのキャビティ減圧度が安定すること

図１３はゲート速度１４m/sec時の水モデルを高速度ビデオで撮影した社内テスト結果である。ゲート速度が２m/sec以上の時溶湯は非定常流の噴出流となり通常ダイカスト（ゲート速度２５～６０m/sec）では全てこの現象が金型内で生じている。

この結果、高品質な製品を安定生産するためにはこの噴出流がキャビティへさし込む時点もしくは真空バルブに溶湯が達する前の常に一定位置で真空バルブを閉めることが必要である。

図13

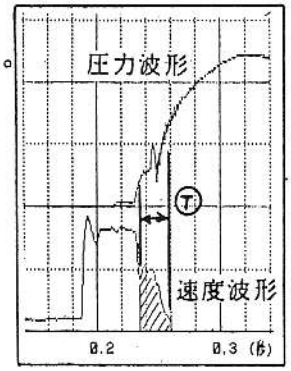


２）真空ランナーは最小限短く、断面積は最大限広くすること

真空バルブの安定動作やチルベントでの溶湯さし込み対策として真空ランナーを長くし、しかも本来バルブ開口面積と同じはずの真空ランナーゲートを絞る傾向がある。

こうした場合、製品歩留が悪くなり、自動化への弊害になるばかりでなく、品質面ではキャビティ内減圧度の確保が難しくなる。また表７のようにキャビティ充填完了後ある圧力に達した時にランナーゲートに溶湯が回る。いわゆる二次充填現象が生じる。これは昇圧タイムラグ表７（Ⓣ）となり、引け巣の原因となる。

表７



３）真空弁が安定作動すること（突発的バルブに詰まりがない）

クィックシャット方式の長所としては構造がシンプルであること、油圧駆動のため動作が確実であることがあげられる。

また、問題点として次の２点が上げられる。

①金型交換毎にシャットオフバルブの設定位置を変更する必要があること。

②充填ストロークや給湯のバラツキの影響を受けること。

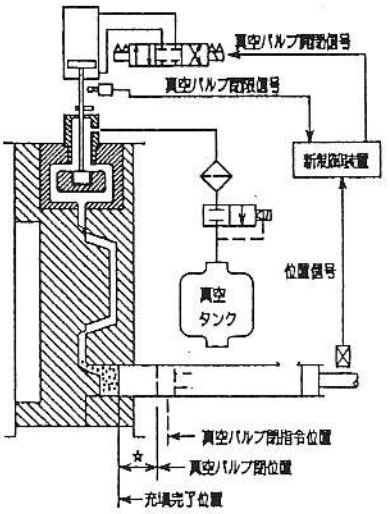
ＧＣＳ２ではこの２つの問題点をコンピュータ制御により克服しようとするものである。

7．1　ＧＣＳ－２の原理（クイックシャット法）

真空（減圧）ダイカスト法において高品質で安定した生産をするためには、真空バルブの閉まったタイミングが射出シリンダのストロークに換算して充填完了位置よりも確実にある一定ストローク（☆印部）だけ手前になることが必要である。（図１４）

しかし、実鋳造状態では金型の熱膨張，バリカミ，潤滑状態の変化及び給湯量のバラツキ等の影響により、実際に制御する上で２つの問題があった。そのため本システムではコンピュータ制御により解決した。

図14



①真空バルブ動作時間のバラツキ	②充填完了位置のバラツキ
ショット内の型締動作完了直後に真空バルブを予行動作させ、動作時間を計測し、真空バルブ閉指令位置を決定	真空バルブ閉位置を、充填完了位置からのストロークでフィードバック制御

↓

安定した真空終了動作を保証

7．2　評価結果

真空バルブ閉位置を充填完了位置より手前 50，100，130，180（mm）にセットし、４通りで実鋳造を行った。

真空バルブ閉位置と不良率の関係を表８に示す。

尚、不良率については鋳造製品加工後の圧洩れ検査結果を使用した。

鋳造製品を図１５に示す。

表８

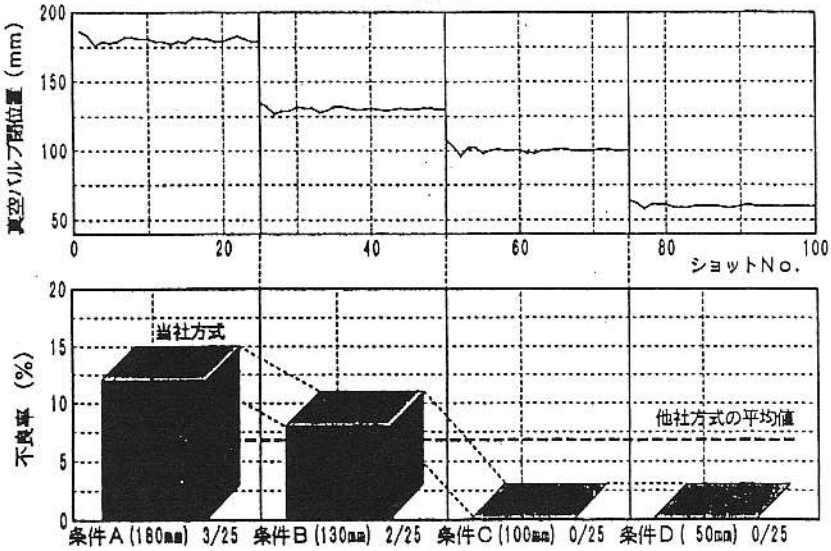
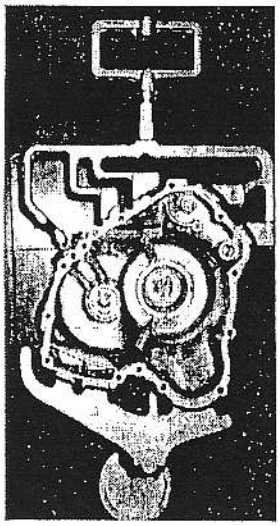


図15



工業所有権の状況

ガス抜きセンサー（ＧＣＳ１）及びガス抜き弁の制御（ＧＣＳ２）に関連した工業所有権の国内出願は、特許１１件、実用新案１件、うち登録４件である。

海外特許　米国　３件，４９３８２７４，５０８６８２４，５０２２４５７
　　韓国　１件，０４４１１８

結　言

射出時にキャビティやスリーブ内にあるガスを大気放出させる普通ダイカスト法と、真空（減圧）ダイカスト法において高品質，安定生産を目的にしたガスコントロールシステムを開発して実用テストを行い、効果を得た。

９．１　普通ダイカスト法：ＧＣＳ１（ガスコン　１）として

１）金型から排気されるガス流量を安定して精度よく検出する事が可能となり、製品内部のガス含有量とガス流量との相関性が確認された。

２）射出動作と、ある１ヶ所のエアーベントのガス流量には同期性があり、主要エアーベント１ヶ所だけの管理でも良品条件との比較管理が可能である。

３）中子の多いダイカスト金型では中子のスキマからガスを排気するケースが多いが、品質の定量管理という面から見た場合、排気を安定させるためのエアーベントを設けるケースが増えている。
そこにガス抜きセンサーを設けることが品質管理上、好ましい。

４）今後の課題として、本システムはダイカスト製品の品質管理の三大要素として、従来の速度特性，圧力特性とともに加わっていくであろう。
また将来はガス流量を基準にエアーベントの断面や射出速度のコントロールを行い、品質の安定自動制御へと発展する可能性がある。

５）本システムが確立したことにより普通ダイカスト法での溶湯の挙動を推測する重要な手がかりとなりコンピュータによる流動解析の解明にも貢献するであろう。

９．２　真空（減圧）ダイカスト法：ＧＣＳ２（ガスコン　２）として

１）ミッションケースでの加工後の圧洩テスト結果では在来方式と比較して良品率が向上した。また充填完了位置から１００㎜以下の条件では安定して不良ゼロが続き、効果が得られた。

２）バルブが最終的に閉った動作（ＬＳがＯＮ）をフィードバック制御の対象にしているので外乱に対する追従性が良く、突発動作不良がほとんどないことが立証された。

３）今後の課題として、現在はバルブ閉位置（ＶＥ　ＬＳ）をキー入力しているが、実鋳造でのデータを積み重ね、制御の高度化を計ることにより、真空制御の全自動設定が可能になるであろう。

10. 参考文献

（１）毛利野，中村，三田村
射出スリーブ内の空気混入の理論と水による実験
１９８８年　日本ダイカスト会議論文集

（２）岡田，吉田，水野，坪井
波板形状ベントを利用したダイカスト部品の薄肉軽量化
鋳物第１１２回全国講演大会講演概要集

（３）中山
流体の力学
養賢堂

（４）機械工学便覧（改定第５版）
日本機械学会