

超低速射出の開発から商品化まで

サ（ダ開設）阿部 裕治

論文概要

ダイカスト法は鑄造方法の1つの手法であるが、他の方式に比べ高い生産性優れた寸法精度と美しい鑄肌等で自動車産業の発展と共に急速に実績をのぼしてきた。一方、内部品質上は高速で充填するためガスの巻き込み巣ができたり、急冷するために引け巣が生じたりして、必ずしも品質上で優れた評価が得られていなかった。

今回当社では、普通ダイカスト法とダイカスト製品の内部品質を高める超低速ダイカスト法を1台で切替え使用出来るダイカストマシンを業界でいち早く開発・商品化した。

当社はこのダイカスト業界において、ダイカストマシン国内売上比で55%のシェアを占めていおり時代のニーズにマッチした商品化ができた。

そして現在、中・小型機の約3割の新設機に装着されるようになり、他社との差別化技術として貢献している。

所属長コメント

（ダ開設）岩本

主題の超低速射出の開発については、入社2年目の著者の特許出願OJT教育事例として出願依頼したのがきっかけであった。

情熱をもって開発業務をしていると、しばしばツキを呼ぶことがある。本件の場合、良きユーザーパートナー（商品評価の出来る日本電装殿でしかも日本鑄物協会賞を昨年本件の実施例として受賞された）に恵まれた。

また、技術的には速度安定化を主目的に開発したが、それもさることながら超低速速度領域への速度の降下という副産物を得ることが出来た。

ユーザーに超低速のオプションを選んで頂くことにより、2通りの鑄造方法が可能となった。このことがコンペジターとの差別化として表れ、超低速多段も含め10台以上の受注残が現在ある。

尚、この技術はトータル制御装置TOSCASTで制御することにより更に制御の高度化が計られることから、是非早急に制御仕様をまとめ、完成度向上を目指してほしい。

また、こうした開発型商品を是非とも継続的に出して貰いたい。

はじめに

ダイカスト法はアルミニウム・亜鉛・マグネシウムなどの金属の鑄造方法の1つで、他に低圧鑄造法・重力鑄造法などの方法もあるが、ダイカスト法は生産性・寸法精度などの優位性から、最も一般的に使用されている方法である。

しかしながら、普通ダイカスト法は高速で溶融金属を金型内に鑄込むため、不純なガスを巻き込みやすく、強度部品・耐圧部品には向かないとされ、このような製品は特殊ダイカスト法・低圧鑄造法・重力鑄造法などの方法が主として用いられてきた。

一方、自動車業界では近年、生産コストの低減・部品の軽量化に伴う燃費上昇など、強度部品・耐圧部品への要求が高まってきている。また、ABS（アンチロックブレーキシステム）の標準装備を行い安全性を高めようという動きもある。

このような流れの中で考えられたのが、ダイカストマシンの中で最も一般的で生産性の高いコールドチャンバダイカストマシン（図1）による層流充填という考え方である。これはダイカスト法の生産性を保ちながら製品の品質を高めるものである。

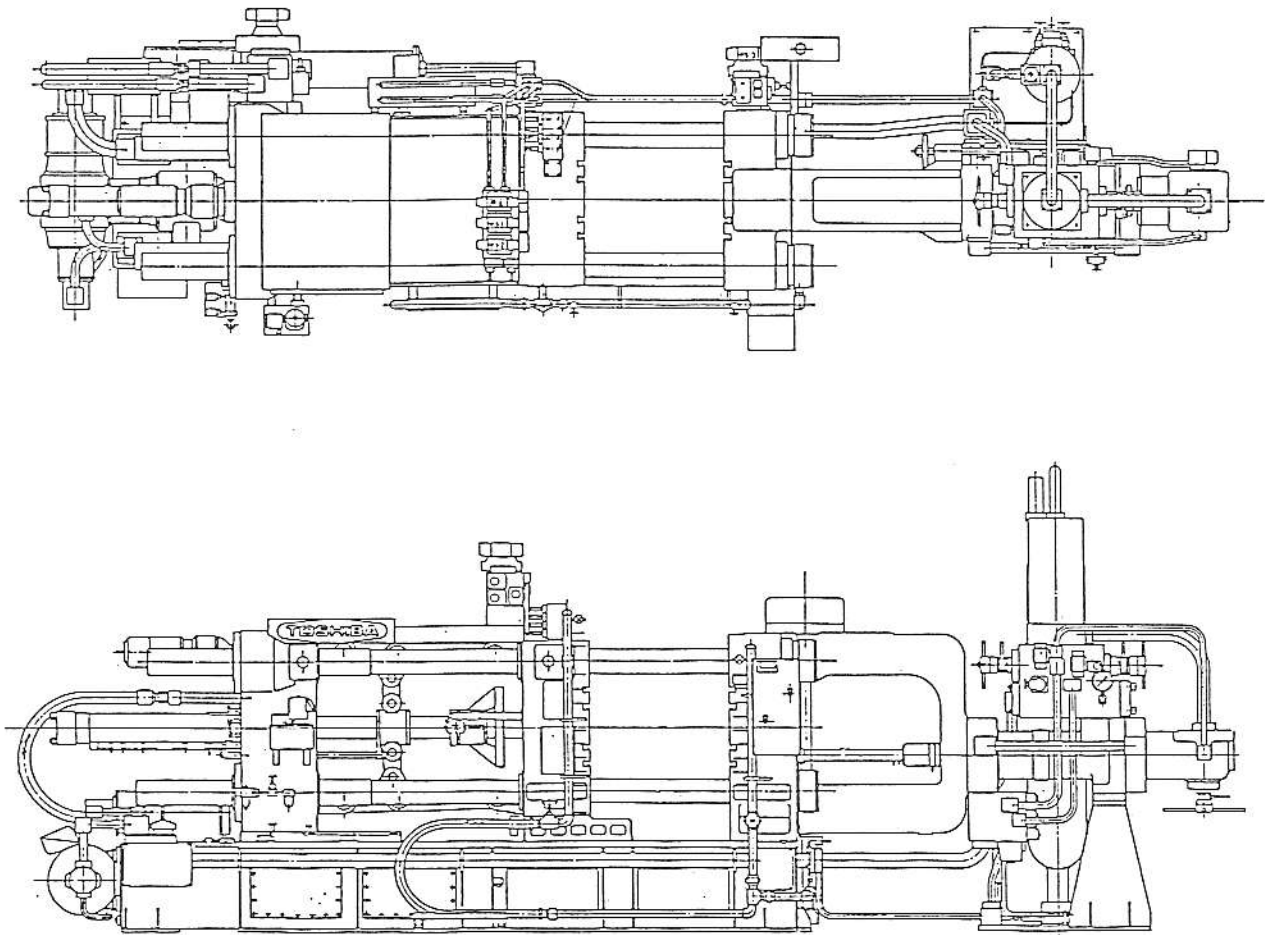


図 1

一般的なダイカスト法

ダイカストマシンの中で最も一般的なのがコールドチャンバダイカストマシンで、これは給湯装置により溶湯を射出スリーブ内に供給し、フロアに対し水平に取り付けられた射出シリンダにより金型内へ高速で鑄込むものである。金型のゲート部までは低速で溶湯を押し込み、溶湯がゲート部を通過したところから高速で鑄込む2段射出方式で、このときの射出シリンダの低速速度は通常、約 0.3 m/s 位で高速速度は約 2.5 m/s 位である。また、金型内に溶湯を噴入させるときに速度は約 60 m/s となる。

このように非常に高速で溶湯を鑄込むため、射出スリーブ内・金型内で溶湯の挙動は安定せず、不純なガスを巻き込んでそのまま凝固するため、強度不足となったり、圧漏れを起こしたりしてしまう。また、強度を上げるための事後対策であるT6処理（溶体化処理後焼き入れし、人工時効硬化処理）を施そうとしても、製品内部にはガス巻き込みによる空洞（ブローホール）が出来ているため、この処理によりフクレがでたりして不良となってしまう。

ブローホールはダイカスト製品の3大欠陥（図2）の1つで、従来から無くす努力はされ続けてきたが、溶湯を高速で充填する必要がある以上解決は難しい。また、現状の当社ダイカストマシンの油圧回路はごく一般的なメータイン回路であり、 0.1 m/s 以下の安定した速度を得るのは不可能であった。

射出部を図3に、油圧系統図を図4に示す。まず、SISO Lが励磁して、C2G11低速速度調整弁の開度により決められた速度で射出を開始する。次に、射出スリーブ内の溶湯が金型内ゲートに到達したところで高速射出LSがONし、HISO Lが励磁する。するとC2G12高速速度調整弁の開度により決められた十分に早い速度で溶湯を金型内に鑄込む。射出シリンダが行き着いたところで射出シリンダのヘッド側の圧力は上昇し、RG15シーケンス弁により設定された圧力に到達すると、増圧シリンダを前進させ増圧をかける。一方、HISO Lが励磁した時点でHRTタイマと呼ばれるタイマがカウントし始めており、このHRTタイマがカウントアップするまで増圧は保持される。HRTタイマの設定は通常約3～5秒程度だが、これは溶湯へ押湯の役割を果たすことになる。

3大欠陥

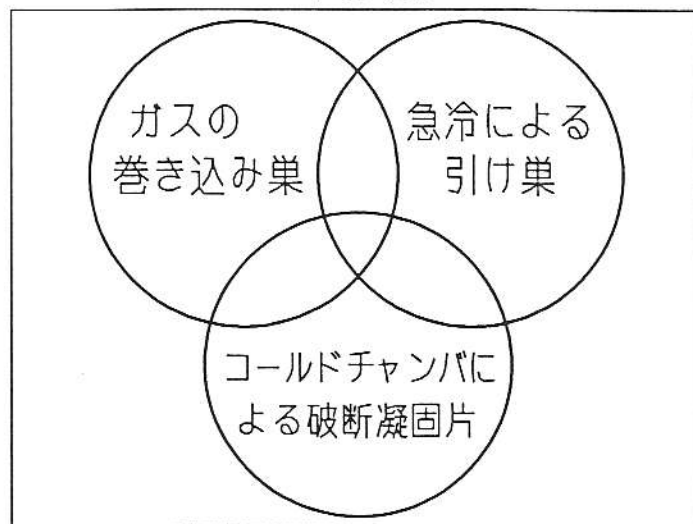


図 2

仕様の決定

超低速射出によって鑄造すれば必ず良品が得られるものではない。速度が遅いということはそれだけ溶湯が凝固しやすいということであり、良品を得るためには以下のような条件も必要となる。

- ・溶湯温度は通常より高め
- ・スリーブの保温
- ・断熱性スリーブ潤滑
- ・断熱離型剤（粉体離型剤など）
- ・金型の温度管理
- ・ガス抜き検討
- ・金型方案（ゲート断面積アップ、湯流れ方案）

以上のようなことも考慮し、ダイカストマシン側としては必要最小限の条件として以下の項目を掲げた。

- ①最低射出速度は 0.02 m/s で、プランジャチップとスリーブのカジリに対し影響されることがなく安定した射出動作であること。
- ②普通ダイカスト法と超低速ダイカスト法の切換えが可能で、超低速は2段とする。
- ③増圧保持時間30秒確保。
- ④既設機に対応できること。
- ⑤既存の制御装置「SEM U」で制御できること。

超低速2段射出システムの商品化

1) 機械系

- ①ダイカスト法の射出行程は「高出力」「高応答（速度）」の2つの厳しい要求があるため、油圧回路が特殊である。即ち、エネルギーをアキュムレータに蓄えて射出高速時に一気に放出させる方法をとっている。しかもその放出時に流れる流量は $10000 \sim 20000 \text{ L/min}$ と他の産業機械では例の無いほどの大流量である。この状況下で速度を安定させるにはどうしたらよいか？ 工作機械で油圧制御をする場合、速度を一定に保つ圧力補償弁を付けられないだろうか。

そこで油圧回路を新たに考慮し、アキュムレータと速度調整弁の間に圧力補償弁を設け、速度調整弁前後の差圧を一定 (6 kgf/cm^2) に保つことにより流量（速度）を安定させるものとした（図5）。

ダイカストマシンのACC回路に圧力補償弁を付けるというアイデアを出願した矢先、日本電装殿からABSの製造設備としての御引合いを頂いた。この御要求は、射出速度を 0.05 m/s で安定化したいというもので、本アイデアをオンマシンに投入した。

'93年に日本電装殿がこれらの条件を突き詰め、これをまとめた論文が日本鑄物協会賞を受賞した。これはABSのマスターシリンダーブロックで車の最重要保安部品である。この製造設備は'91年にDC350CL3のオプションとして納入して以来4台が専用機として稼働しており、トヨタ車に既に100万台の搭載実績を上げている。

この実績がダイカスト業界で大きな反響を呼んだ。

流量（速度）と弁差圧の関係は以下の式で表される。

$$Q = \xi \times \sqrt{\Delta P}$$

ここで、 Q ：流量（速度）
 ξ ：流量係数
 ΔP ：弁差圧

また、圧力補償弁を用いたことによる2次効果として、速度調整弁C2G11・C2G12の分解能が5倍になった。これは普通ダイカストの場合、弁差圧 $\Delta P 1$ は約125kgf/cm²であったが、超低速の場合の弁差圧 $\Delta P 2$ は圧力補償弁の採用により6kgf/cm²となるため、以下のように約1/5の射出速度（流量）制御が実現できた。

$$\sqrt{(\Delta P 2) / (\Delta P 1)} = \text{約} 1 / 5$$

結果として、外乱（チップのカジリ）に対し射出速度の安定化が計れると共に、標準ダイカスト仕様の最低射出速度が、圧力補償弁を付けるだけで0.1m/sが0.02m/sまで下げることが可能となり、一方バルブ分解能が5倍にアップしたことで在来のバルブはそのまま、ダイカスト制御装置（SEMUTOSC AST）での対応が可能となった。

- ② 超低速射出だけしかできない専用機では、従来までの特殊ダイカスト法と同じであり、メリットが少なくなってしまう。このため、流量が絞られる圧力補償弁のラインと並列に、大流量が流れるラインを設け、超低速ダイカスト法と普通ダイカスト法の併用を可能にした。
- ③ 金型からのガスの抜けを良くし、押湯効果を高めるため、増圧を30秒間保持できることを条件とした。普通のダイカストマシンでは、射出シリンダ・増圧シリンダにそれぞれ5本のピストンリングが取り付けられているが（図6）、ピストンリングはメタルシールであるので油のリークが多く、新規製作で条件の良いマシンでも10秒位が限界である。そこで両シリンダのピストンリングのうち、各1本ずつをシール性の良いテフロンシールに変更するものとした。これにより増圧保持時間30秒を達成できた。
- ④ 既設機に対応できるように、標準機に対し追加工事でシステムを実現できることを条件とした。超低速ダイカスト法と普通ダイカスト法を両立させるため、圧力補償弁・ロジック弁など種々の機器が必要となるが、これらを1つのバルブユニットとして、アキュムレータと複合バルブの間に挟み込む方式とした（図7）。

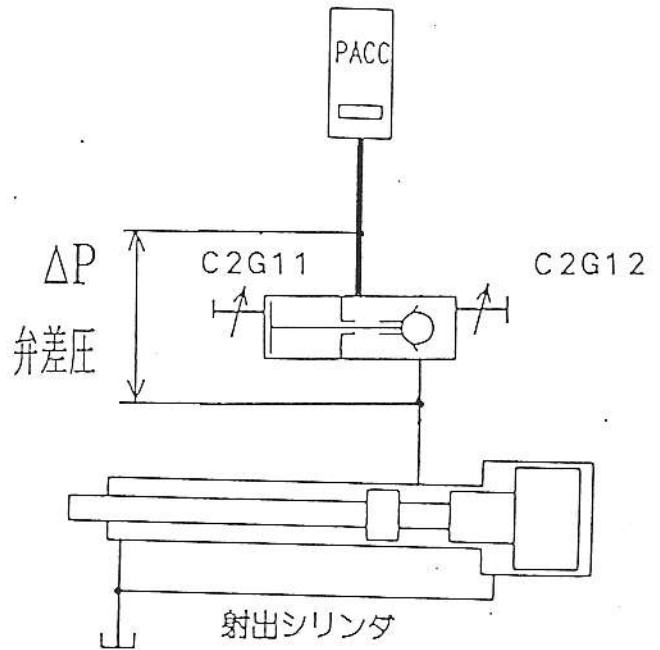


図 5

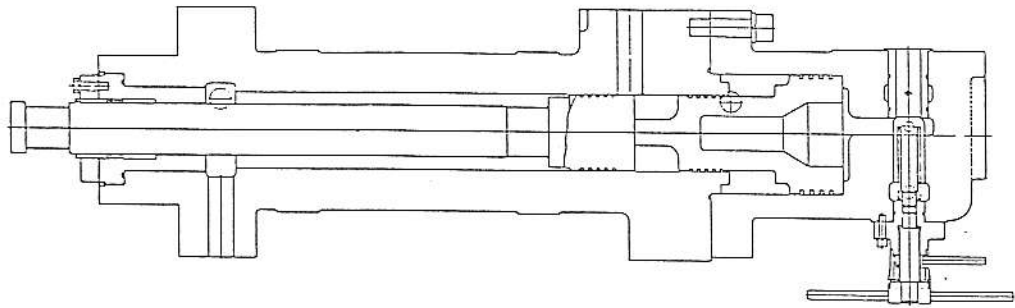


図 6

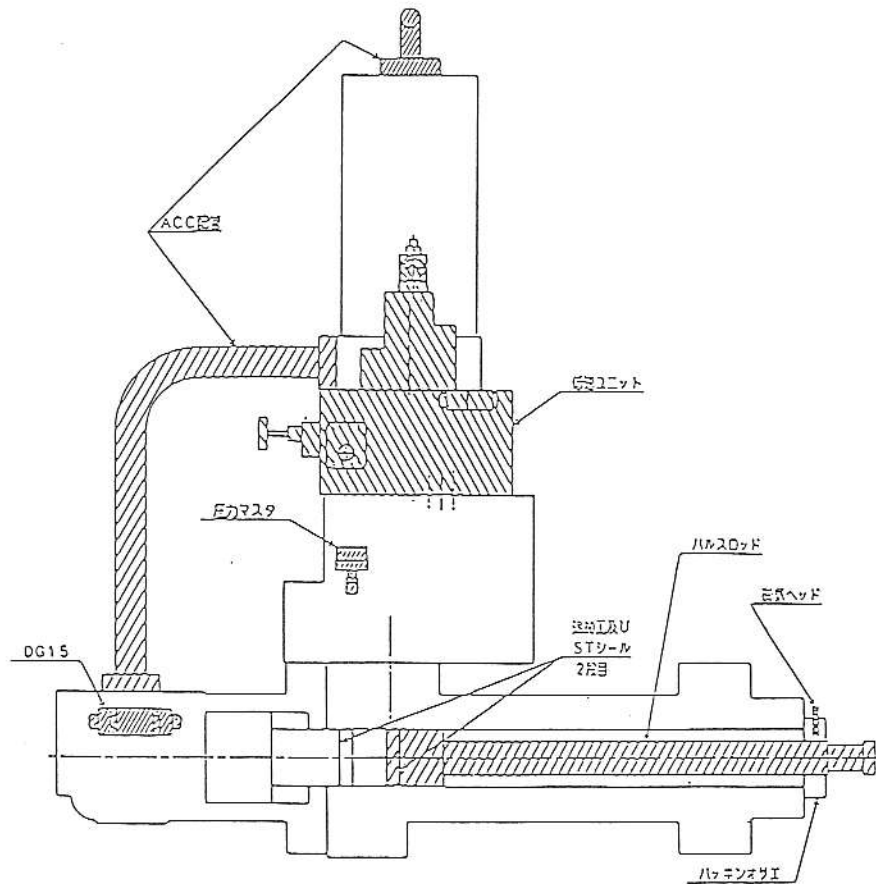


図 7

2) 電気系

射出部の制御装置として現在まで最も広く使用されている「SEM U」があるが、この「SEM U」により制御できるよう、超低速バージョンのソフトを新たに開発した。

ただ、既設機に対応できるとはいえ、「SEM U」を搭載していることが必要条件となる。制御装置を持たないマニュアル機に「SEM U」を追加するのは、機械的にも電気的にも大幅な改造を要するため現実的でない。従ってこの時点で、完全な既設機対応が不可能であることが課題として残った。

超低速多段射出システムの要求

超低速 2 段のダイカストマシンの商品化は達成し、その後順調に出荷を続けている。

ダイカスト製品の形状は非常に複雑であり、十分に遅い速度で射出しても、金型内の形状によっては溶湯の流速は逐次変化する。したがって完全な層流充填を目指しても、2 段ではこれを実現できない可能性もある。そこで、射出速度をある程度金型内断面積に合うよう変化させ、溶湯をなるべく一定の速度で充填できる、超低速多段射出の要求が生まれてきた。

そこで開発に着手するわけだが、超低速 2 段射出システムで課題として残った、既設機の制御装置が限定される問題も一挙解決を図ることとした。

超低速多段射出システムの商品化

1) 機械系

既設ダイカストマシンの射出速度を多段で変化させる要求に対し、デジタル弁を選択した。デジタル弁はヒステリシス（再現性）が良好で、しかも圧力補償により速度をリアルタイムで自己補正するため、動作が安定する。また、現地工事であるため、バルブのイニシャル調整が不要であることも選択の大きな要素である。超低速の速度可変段数はデジタル弁の能力より 5 段としたが、速度調整弁 C 2 G 1 1・C 2 G 1 2 による普通ダイカスト法と組み合わせることにより、全部で最大 7 段変速を可能にした。

最終的に、超低速 2 段仕様と超低速多段仕様の機械的相違点は、超低速バルブユニットに圧力補償弁が付くかデジタル弁が付くかだけである。

2) 電気系

制御装置の無い既設機に対応するため、マイコンによる専用コントローラを開発した。（図 8）このコントローラを接続することにより、マニュアル機でも射出速度の補正が可能となる。また LS 出力機能を備えているため、リミットスイッチが不要となり、より高度な射出制御が可能となった。

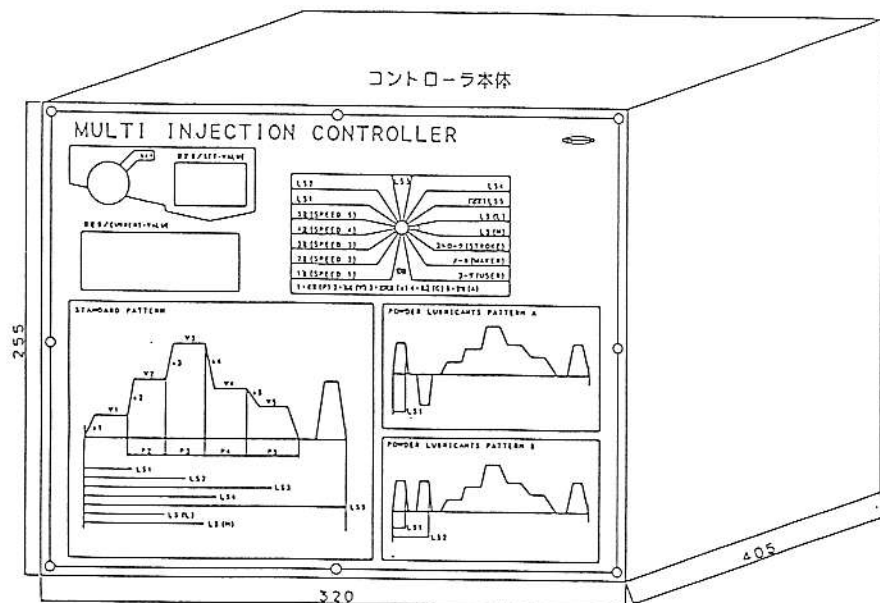


図 8