



内田正志



古屋博幸

## Cold Chamber Die Casting Machine

Masashi Uchida\* and Hiroaki Furuya\*\*

キーワード： 鑄造品質， 高応答・高安定射出機構， 半凝固鑄造法， リモートメンテナンス

### 1. はじめに

複雑な形状の金属部品を一体で造り上げる鑄造は物作りの理想形であり，その中でも軽金属ダイカスト鑄造法は高い寸法精度や優れた生産性を武器とし，近年の軽量化へのニーズを背景に自動車・二輪車の発展と共に様々な部品に展開されている．特に環境問題に端を発した排ガス削減と安全性指向を反映し，更に薄く・軽く，更に強くと鑄造品質を追及したダイカストが要求されている．

一方，中国の経済発展や欧州経済圏の統一における市場の拡大と生産基地のグローバル化により，他の製造業と同じく日本のダイカストを取り巻く環境は劇的に変化している．生産技術の海外移転を進めつつも，従来の常識を覆す技術開発により原単価を下げるなど徹底的なコストダウンを図る必要に迫られているのが現在の状況である．

これらを背景にダイカストマシンはどう発展し，さらに鑄造の将来にどう寄与しようとしているかを紹介する．

### 2. 鑄造方法に対する従来の概念

アルミニウム合金の代表的な鑄造には，低圧鑄造法・グラビティ鑄造法・ダイカスト鑄造法がある．低圧鑄造は型下に配置された炉内にエア圧をかけストークを通じて溶湯を型内に流入させる方法，グラビティ鑄造は重力を利用して型内に流し込む方法で，何れもガスの巻込みを無くし耐圧品や熱処理目的の高品質アルミニウム鑄造品を生産することができる．しかし低い圧力で遅く溶湯を注入するために型温度を400～500と高温に保つ必要があり，鑄造後の凝固に時間がかかることから生産性に劣るという欠点を持つ．また高温で時間をかけ凝固するため，共晶合金内のSi結晶が肥大し伸びが出ないという問題点もある．

これらに対してダイカスト法は，比較的低温の金型に溶湯を高速で注入し固化する一瞬の間に高圧（70～100 MPa）を掛けて成形するもので生産サイクルが非常に早い．しかしながら高速で鑄込むためにガスの巻込みや凝固収縮による巣の存在は不可避と考えられており，多少巣が

あっても良いようなカバー類を中心に採用されていた．

したがって高品質鑄造は低圧鑄造またはグラビティ鑄造，巣があってもよい低品質鑄造にはダイカストというのが従来の基本概念であった．

### 3. ダイカスト鑄造の発展

ところが生産性の高い，即ちコストメリットのあるダイカスト鑄造は前記の概念にも関わらず高品質製品（エアシール品，耐圧品，熱処理品）への適用に向けて改善を重ねられており，それらがダイカスト鑄造の発展の歴史といっても過言ではない．その品質改善の主な目標は下記の3項目である．

- (a) ガス巻込み巣の削除
- (b) 凝固収縮巣の削除
- (c) 湯回り鑄造性の向上

一般的にコールドチャンバ機での鑄造条件は，スリーブ内でのガス巻込みを防止するために射出低速でスリーブ内に溶湯を充てんした後，低温の金型キャビティ内での流動性を確保するために射出高速で鑄込む2段射出となる．金型内に充てん中は速度が必要（出力は最終メタル圧の30～40%）で，充てん完了時は凝固収縮巣の発生防止のために高出力を必要とする．

求められる射出特性は製品の要求品質で変わるが，薄肉大物製品になるほど湯回り性を要求され，射出高速速度が大きくなりメタル圧は低くなる．また耐圧品の場合は巻込み巣を嫌うため，速度は低くなると共にひけ巣防止のため高いメタル圧を必要とする．

ダイカストマシンにはこれらの射出特性をフレキシブルに実現することが要求される．充てん中は速度制御，充てん完了後は出力制御に切り替える方法として様々な射出機構が採用されている．（Fig. 1に例示）

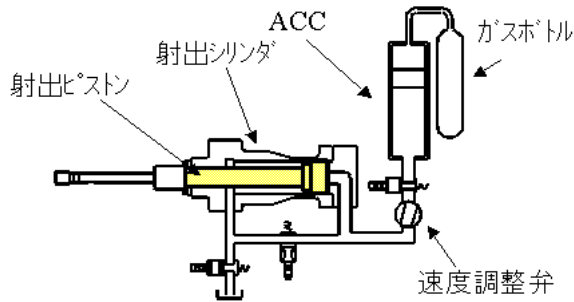
### 4. 高品質を得るための鑄造特性上のポイント

ダイカスト鑄造法にて高品質を得るための方法は大別して次の2種類となる．

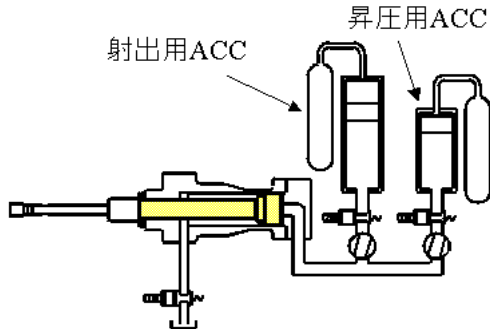
依頼原稿 平成15年2月27日 原稿受理

\* 宇部興産機械(株)技術開発センター Technical Development Center, UBE Machinery Corporation, Ltd.

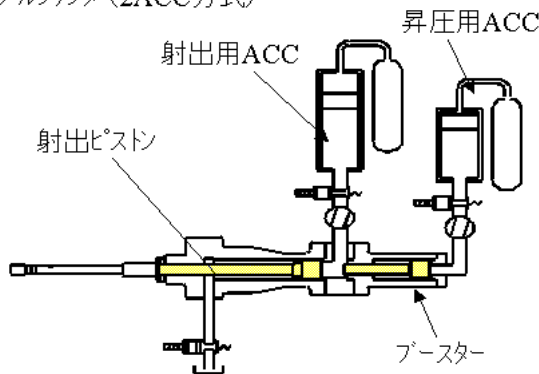
\*\* 宇部興産機械(株)重機設計部 Heavy Machinery Design Dept., UBE Machinery Corporation, Ltd.



a. シングルシリンダ (ランアラウンド方式)



b. シングルシリンダ (2ACC方式)



c. ダブルシリンダ (ブースター方式)

Fig. 1 各種コールドチャンバ・ダイカストマシンの射出装置

- (a) 湯回り性を向上させ、寸法精度を上げ、表面のチル層の範囲で機械加工を止める。
- (b) ガスを追い出し、且つひけを防止し、内部欠陥を少なくする。

これらの方法として次に示す種々の方法が駆使され、高品質 casting に広く用いられる様になった。

- (1) ガス巻き巣の減少
  - ・スリーブ内でのエア巻き込みを防止するために低速射出性能を向上させた射出システム。
  - ・射出高速切替え位置制御と高速立上り能力の向上。
  - ・給湯精度の向上。
  - ・減圧 casting, 真空 casting。
- (2) 凝固収縮巣の減少
  - ・昇圧時間を短縮した射出システムの登場
  - ・高メタル圧 casting (射出最終出力 UP)。
  - ・部分加圧制御。

- ・指向性凝固を可能とする金型冷却設計。
- (3) 薄肉製品 casting に対する湯回り性の向上
  - ・従来機よりも射出速度が出せ、また実 casting 時の速度を確保するために高速射出中の充てん力をアップした射出システム。(最終出力の 40% ~ 50%)
  - ・高速での充てん完了時に発生するサージを防止する速度調整機能。
  - ・金型の温度を高温で安定的に保持する金型温調機。
  - ・給湯された溶湯のスリーブ内での温度低下を緩和するための断熱スリーブやホットスリーブ。
  - ・保温性の優れたスプレー液。
  - ・減圧 casting, 真空 casting。

## 5. 鑄造品質向上の具体的手段の紹介

### 5.1 圧・真空 casting 法

通常のダイカストでは金型キャビティ内部の空気やスプレーから発生するガスは充てんされる溶湯に押出されて一部はパーティング面から排出されるが、高速の溶湯に巻込まれて製品内に残存する割合も多い。(10 ~ 15 cc/100 gAl)

そこで金型キャビティを真空引き等で減圧して元々存在していた空気を少なくしてしまうのがこの減圧・真空 casting 法で、その手段は様々に提案されている。高速で流入した溶湯の慣性でエアバントバルブを閉じる GF 法、空気を酸素と置換した後に射出される溶湯の酸化反応でキャビティ内を真空にする PF 法は既に広く用いられている。

- (a) 充填中に溶湯流れの障害になるガスが極端に少なくなるために湯回りが良くなる。
- (b) 巻き込み巣の基となるガスが少ないことより、大幅な巻き込み巣欠陥の改善ができる。

の特徴を持つ。Fig. 2 に弊社が開発した GF 法の簡単な説明を示す。

最近では更に型内の真空度を上げる (10Torr 以下) ことで薄肉品 casting や T6 熱処理・溶接まで視野に入れた超真空技術が開発され、金型のシールやバントバルブの閉タイミングなどの課題を克服しつつ、一部実用に供される様になってきた。

### 5.2 部分加圧法

この方法は収縮巣の出やすい部分 (Fig. 3 の様な肉厚が厚くなっている部分) に対し金型内に予め加圧用シリンダを付加し、射出充てん後この加圧用シリンダを作動させて収縮分を補充することで巣を無くす方法である。

- (a) 収縮巣を無くすことができる。
- (b) 巻き込み巣も押しつぶすことで見かけ上、無くすことができる。

加圧シリンダの制御方式としては射出充てん完了信号からタイマータイムアウト後にスタートし、一定の圧力で設定時間の間加圧するのが一般的である。更に加圧した後のストロークにより良品判別したり、学習制御にて加圧のスタートタイミングを制御するものもある。より肉厚製品では

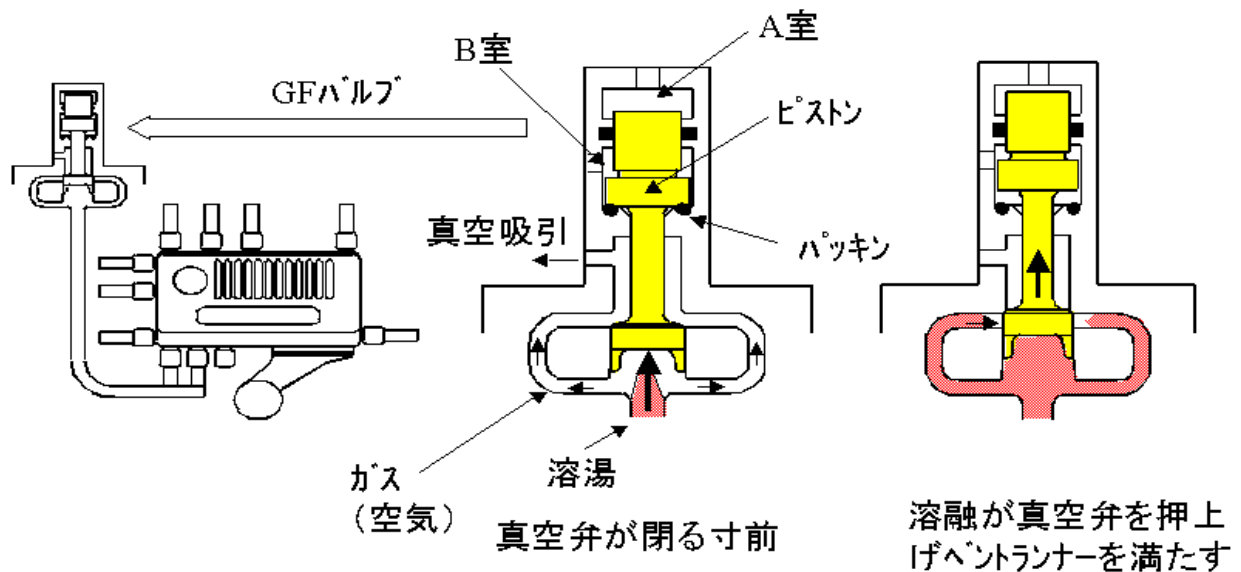


Fig. 2 GF法の説明

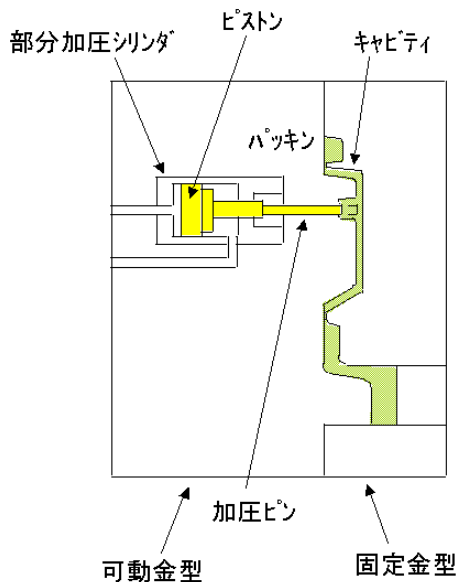


Fig. 3 部分加圧法の説明

時間に対する押込ストロークを設定パターンと比較しリアルタイムにてフィードバック制御しているものもある。

### 5.3 スクイズキャスト

スクイズキャストマシンには Fig. 4 の様なスリーブが傾転ドッキングする方式（弊社方式）と、スリーブが2分割する方式がある。

これらのマシンの特徴は内部にひけ巣や巻込み巣がほとんど無い状態で製品を作ることができることであり、T6熱処理ができるために強度部品として鉄鋳物（FCD）からアルミ合金鋳物への置換の有力な手段となっている。

鋳造手段は射出速度を遅くして鋳造すること（通常のダイカストの射出速度 1~3m/sec に対して 0.05~0.3m/sec）で、溶湯を型内に押込む際に内部のガスを巻込むことなく追い出していく（層流充てん）ことができる。縦型スリーブは充てん率を高くすることができ、保温性に優れるために通常のダイカストマシンに比較して流動性を失わずに生きた湯を充てんすることになる。更に型内で起こる

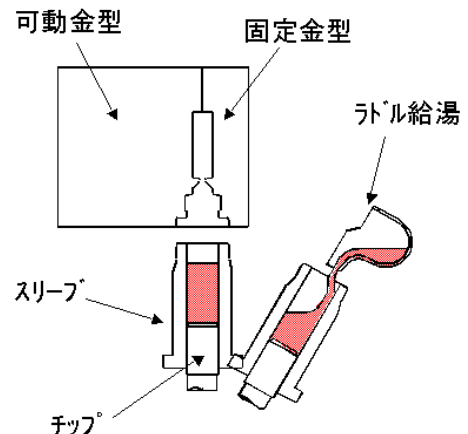


Fig. 4 傾転ドッキング式スクイズマシン

溶湯の温度低下を防止するために保温性の優れたスプレー液を使用している。

### 5.4 超低速射出ダイカストマシン

一般的な横型ダイカストマシンにおいてスリーブ内で溶湯温度が急激に低下する原因は、スリーブが横に細長く溶湯が細く長く保たれ放熱及び伝熱面積が拡大するところにある。この部分を改良したのが Fig. 5 の方式である。ステーションナプラテンを大きくくり抜き、スリーブを極端に短くし、且つホットスリーブとすることで温度低下を少なくしている。

この方法により通常のコールドチャンバ式ダイカストマシンでも低速速度 0.05~0.5m/sec とする層流充てんを可能とし、熱処理品の鋳造が可能になってきた。スクイズキャストマシンと比較すると、充てん後の射出加圧方向が90度変わることやゲート比を小さく出来ないことからメタル圧の伝達効率が悪い等の課題を残している。

### 5.5 超高速射出ダイカストマシン

金型内部で急速に温度低下して流動性を失いやすいMg合金や薄肉製品を鋳造するために、射出高速能力を従来機よりも格段に上げたマシンが登場した。これはゲート通過後のキャビティ充てん時間を極力短くしたいというもので、



一般的には 10m/s 以上の空打ち射出速度を実現する。この種のマシンに必要な機能は単に空打ち高速だけでなく、短い充てん距離内で短時間に加速・減速が可能な高い応答性とゲート抵抗に抗して高速を実現出来る充てん能力が要求される。Fig. 6 に弊社製超高速射出機の写真を示す。

高い応答性を実現するためには射出シリンダのロッド側にメータアウト式でサーボ弁を配置するのが代表的な構成である。(Fig. 7) 射出シリンダヘッド側に ACC 圧を掛け、ロッド側でブーストされた油圧をサーボ弁でタンクに開放する開度を制御する。したがってサーボ弁自体の応答性、制御ユニットの応答性がキーポイントとなる。

## 6. 最新鑄造設備 (新スタンダード機) の紹介

### 6.1 高応答・高安定射出機構

一般的な金型においてはゲートの制約や既存設備との共用性のために超高速で実鑄される例は意外と少ないのが実情である。むしろ溶湯がゲートを通過する際の高速への切替わり、即ち高速立上りの早さが充てん時間を左右している。高速区間が短い中小型機ほどこの傾向が顕著であり、超高速射出機など応答性の高い射出システムのメリットは

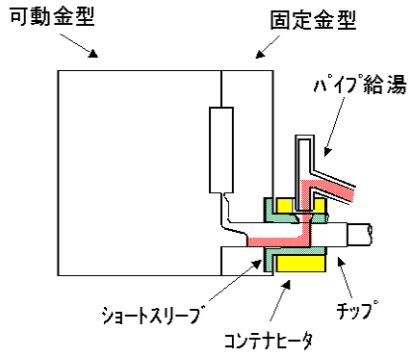


Fig. 5 超低速射出ダイカストマシン

実はここにあるといわれている。

しかしながら 10m/s をベースに設計された超高速射出比較的速度の低い範囲(一般的な 1~3m/s 程度の鑄造域)や急減速の際には、ロッド圧が 20MPa 以上と高くなる。そのためにこの圧縮性が速度のオーバーシュートやアンダーシュートとして現われ易く応答遅れを補償する制御が必須となるが、背反的に立上り応答性を犠牲にすることになる。

そこで弊社では速度安定性に優れた「メータイン&メータアウト」を基本に、応答性を向上させた中型 iS シリーズ機 Fig. 8 を新スタンダードマシンとして市場に投入したので紹介する。

### 6.2 UB-iS シリーズ機のコンセプト

射出機構のブラッシュアップを中心とした iS シリーズ機の基本コンセプトを Fig. 9 に示す。射出高速立上り性



Fig. 6 超高速射出ダイカストマシン

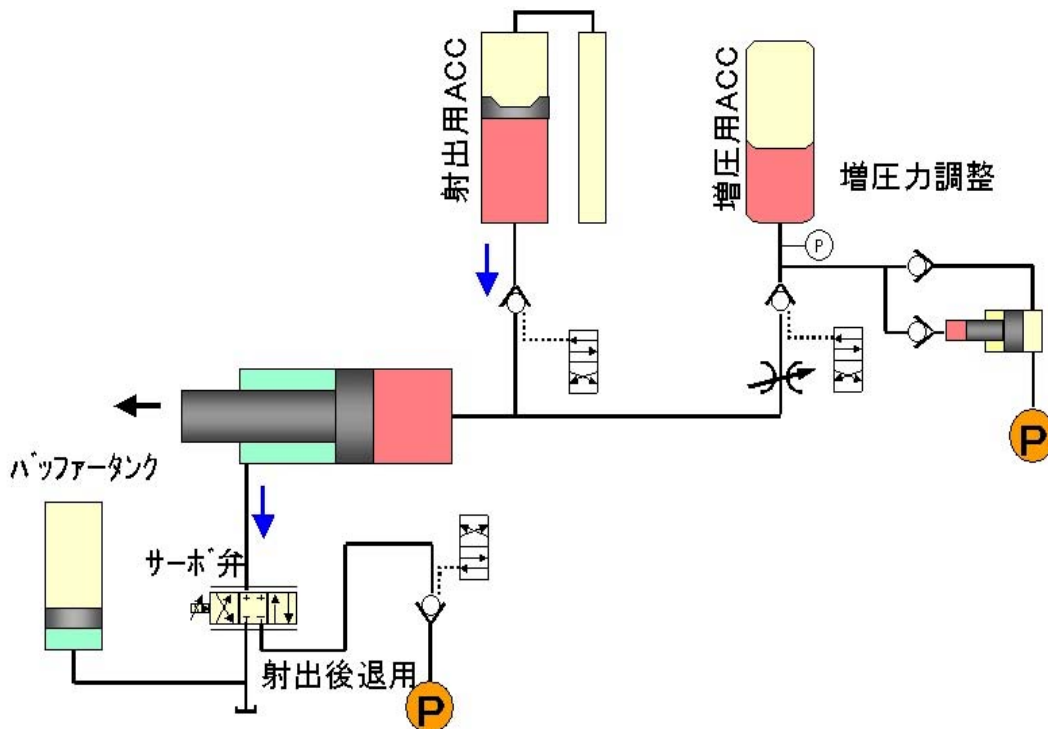


Fig. 7 超高速射出部の油圧回路

能を従来機の倍に、射出高速速度を 20%UP、増圧速度も倍にしている。(何れも当社従来機比)

0.02m/sの超低速から、一般的な鋳造で良く使われている 1~4m/sの高速域で最も性能を発揮する射出機構を採用した。

また射出高性能化を活かすために、高速射出で減速をしなくてもフラッシュのなり難い様に型締部にはより剛性を持たせた構造とした。合せて万国共通マシンを前提に絵文字を多用して操作性を向上し、カラー使いで視認性を改善した操作パネルを標準装備している。

### 6.3 UB-iSシリーズ機の射出油圧回路

UB-iS機はランアラウンド回路を採用した「メータイン&メータアウト」制御であり、射出シリンダのヘッド圧とロッド圧は連動しながら、射出前進に必要な圧力のみが負荷される。(Fig. 10)

射出シリンダへの流入「メータイン」も流出「メータアウト」も2回路を一体で構成されたS-DDV(サーボモータを駆動源に使用した速度制御油弁)を介してリアルタイムでフィードバック制御される。ACC圧に関わらず、

低速で射出抵抗が小さい時は系として低圧、高速立上以降のゲート抵抗が大きくなると系が高圧となる。必要以上の潜在エネルギーを持たないことからオーバシュートやアンダシュートが起こり難く、安定した射出速度制御を実現している。(Fig. 11)

射出増圧への切替えは従来の油圧制御ランアラウンド弁の替わりにメカニカル連動弁を採用した。これにより切替え時のラグタイムが無くなり、増圧時間を短縮することが出来た。(同じく Fig. 11 参照) また増圧ACCを別に持つ(2-ACC)ことでヘッド圧の安定性、即ちメタル圧の安定性を確保している。

### 6.4 低圧鋳造への適用

増圧専用のACCを設けることで射出中のACC消費がメタル圧に及ぼす影響を無視することが出来、より高圧にチャージされたACCからの増圧が可能となる。これにより射出シリンダ径を小さくし、可動部重量の軽量化に貢献した。力強い射出充てん能力と充てん完了時の低サージ化の両立を実現している。近年コスト低減の最右翼として注目されている低圧鋳造(50MPa以下のメタル圧での鋳

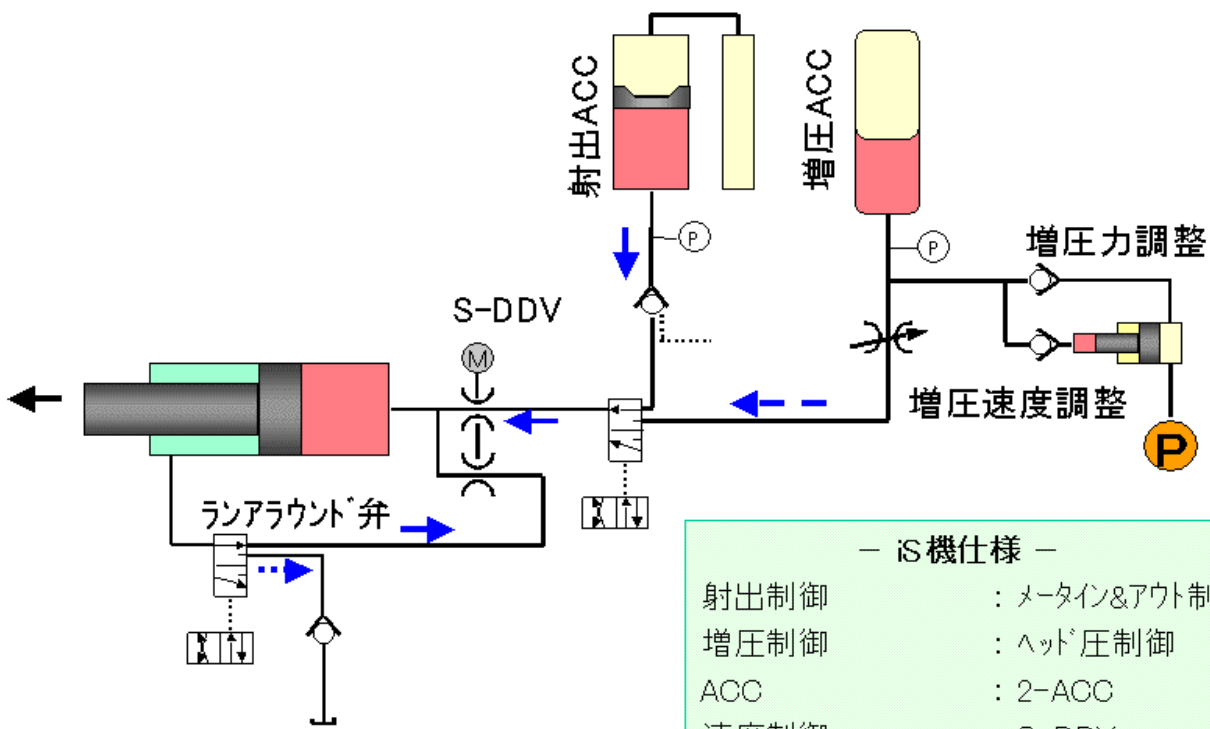


Fig. 8 UB530iS ダイカストマシン

- ・ 型締部**
  - 型締力の5%UP
  - プラテン剛性向上
- ・ 射出部**
  - 高速立上り性能UP  
20ms→10ms(0.5→2.5m/s)
  - 高速速度能力UP  
5m/s→6m/s
  - 増圧能力・制御性UP  
20ms→10ms(最高増圧時間)  
滑らかな増圧カーブ
- ・ 操作性**
  - 絵文字付き操作スイッチ
  - 大型カラータッチパネル

- 型締余裕の増加
- フラッシュレス
- 超高速機並の立上時間
- リアルタイムフィードバック搭載  
スタンダード機の余裕UP
- 鋳造条件巾の増加、  
フラッシュレス
- 視認性、操作性の向上

Fig. 9 UB-iSダイカストマシンの基本コンセプト



- iS機仕様 -
- 射出制御 : メータイン&アウト制御
- 増圧制御 : ヘッド圧制御
- ACC : 2-ACC
- 速度制御 : S-DDV

Fig. 10 UB-iS機射出部の油圧回路



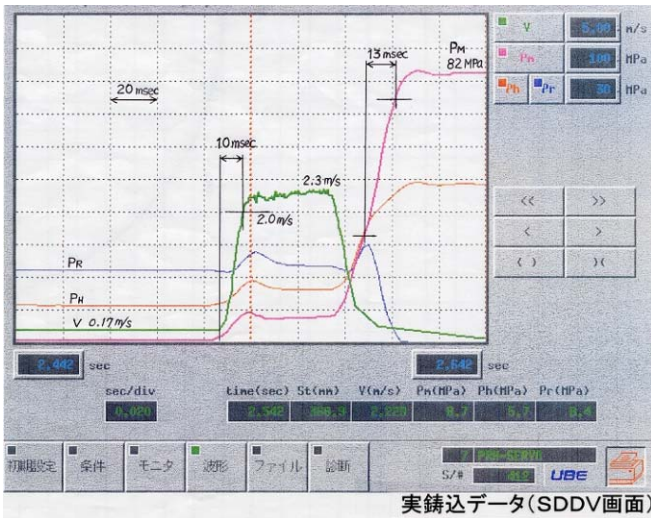


Fig. 11 UB530iS 射出波形の例



Fig. 12 半溶融状態のスラリー

造)への適用も可能である。

また前述の様に「ACC 圧に関わらず、低速で射出抵抗が小さい時は系として低圧、高速立上以降のゲート抵抗が大きくなると系が高圧となる」iS 機の特性は ACC 圧を下げた更なる低圧鑄造への展開を可能とする。

## 7. 近未来の新技术, 半凝固鑄造法 (NRC) の紹介

溶融させたアルミ合金を空気を巻込みながら金型に鑄込むダイカスト鑄造と異なり、半凝固 (半溶融) 状態に処理されたスラリーを空気と置換しながら層流充てんしていく方法である。そのため、Fig. 12 に示す様なナイフで容易に切断できる固液共存状態の金属スラリーを金型内に鑄込む。本プロセスの長所を以下に示す。

- ・液体でないためガスの巻込みが無くなる。
- ・半凝固状態のため凝固収縮が非常に少ない。したがってひけ巣ができにくい。
- ・凝固収縮の過程で出るホットクラックが少なく、高張

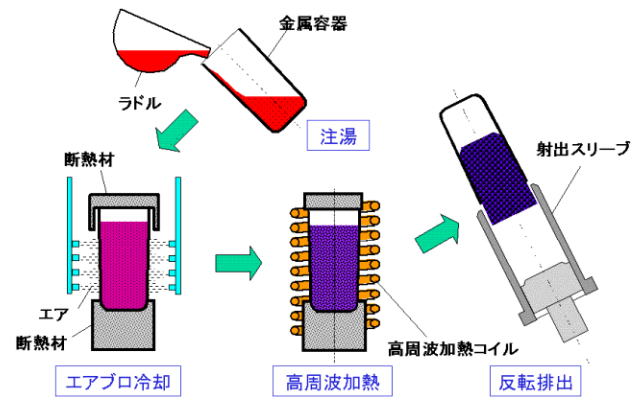


Fig. 13 レオキャストプロセスの概要

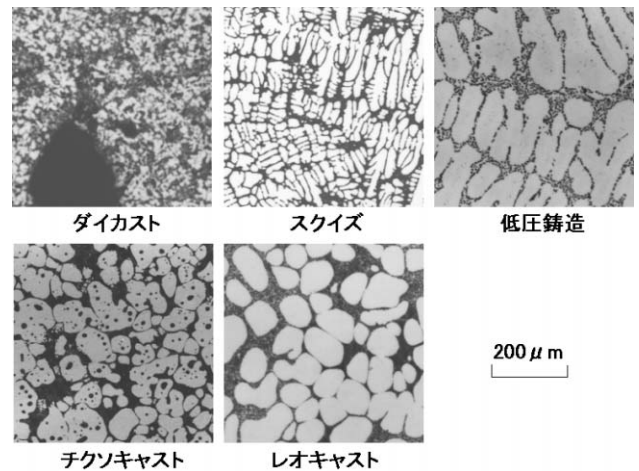


Fig. 14 各種鑄造法の代表組織

カアルミ合金の鑄造が可能となる。

- ・共晶 Si が細かいことから高い伸びを示す。
- ・凝固潜熱の放出が少ないため凝固時間が非常に短くなり鑄造サイクルが短縮できる。

前述の通り優れた特性を有するために従来の鑄造法では得られない製品を実現することができる。しかし先に実用化されたチクソキャストにおいてはコストの課題が大きく、その問題を解決する方法として弊社ではニューレオキャスト法 (NRC) を開発した。そのプロセスの特徴は溶湯から直接半凝固状態の金属スラリーを 1 ショット分ずつ容器内で作ることにある。

具体的には Fig. 13 に示す様に、過熱度が 30 以下の融点直上の溶湯を金属容器に静かに注湯し、目標成形温度まで容器外部よりエアプロにより所定の速度で冷却する。注湯直後の温度が元々低い部位を断熱材で保温しつつ温度が高い部分を積極的に冷却する。この間、容器内面において発生した結晶核を起点として球状結晶が液中に発生し成長する。スラリー温度が目標値に近づいた段階で高周波誘導装置を用いて最終の温度調整を行い均一化をはかる。初晶粒子は球状を呈している (Fig. 14) ので従来のデンドライト組織に比べて低液相率でも極めて高い流動性を持つ。

☆ノートパソコンがそのままモニタ装置になります。  
旧シリーズ(G)およびスクイズ機への対応も計測装置を  
付加することで対応可能です。

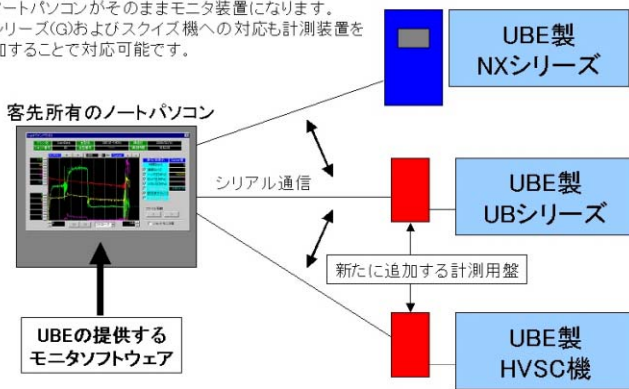


Fig. 15 CastTrendを使用した単体モニタ装置としての事例

この様な特徴を生かして従来のダイカスト鑄造では不可能であった、強度や伸びを要求する重要保安部品（ナックルやローアームなど）や耐圧部品（ABSブロックなど）に展開されようとしている。

## 8. リモートメンテナンス構想

高品質で安価な鑄物を効率良く生産する鑄造設備は日進月歩の開発の成果として実用に供されているが、マシンの生産性確保は生産設備を預かる現場での最大の関心事であろう。しかるに生産拠点がグローバル化する中においては、鑄造技術の伝授もままならないのが実情で、ますます設定自由度が増えた近年のマシンを遠く海外の工場では十分に使いこなせていないと言ってよい。

鑄造パラメータが電子化されコンピュータ管理されている現在のダイカストマシンにおいては、国内でトライしたデータを海外での生産へ反映するのに数値管理が出来るメリットがある。CastTrendはこれらのデータを膨大なショット数において一括管理する当社で開発したソフトであるが、これを一歩進めてマシンのコンピュータをインターネット等を使って遠隔でモニタ可能な機能へと進化させることができる。(Fig. 15, 16)

鑄造不良の問題が発生した場合、熟練技術者は射出波形や鑄造条件を見ることで原因を特定するし、マシンの異常箇所もモニタから推定することも可能である。

## 9. おわりに

弊社は軽合金鑄造システムメーカーとして、これらの様々な技術のほとんどに携わってきた。グローバル化により劇的に変化する環境においても、鑄造技術・金型技術など高

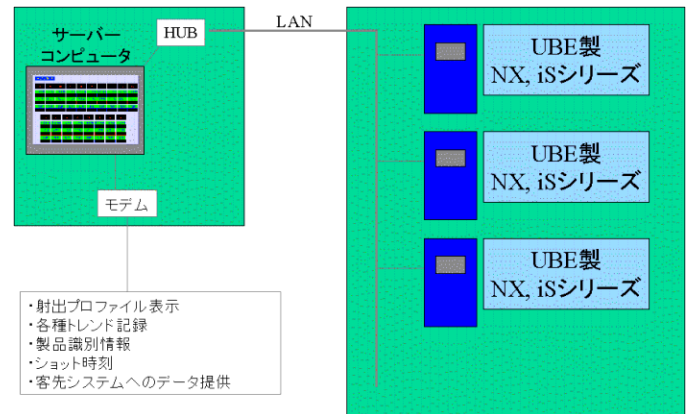


Fig. 16 CastTrendを使用したリモートメンテナンス構想

度な技術力との融合が必要な高品位ダイカスト鑄造では、これらの技術が次なるブレークスルーとなることを確信している。

## 文 献

- 1) 内田正志：鑄造工学便覧（日本鑄造工学会編，丸善株式会社発行）(2002) 204～213
- 2) 浅井宏一：日本ダイカストマシン工業会技術セミナー（2003）11～16
- 3) 河内裕明：日本ダイカストマシン工業会技術セミナー（2002）
- 4) 辻眞：日本油空圧学会誌 31（2000）5，387～390
- 5) 古屋博章：日本マグネシウム協会セミナー（2001）37～41
- 6) 磯員光之：日本ダイカストマシン工業会技術セミナー（2003）1～10
- 7) 安達充，佐藤智，佐々木寛人，原田康則，明本晴生，阪本達雄：98日本ダイカスト会議論文集（1998）123
- 8) 安達充，佐藤智：塑性と加工 41（2000）1191
- 9) 佐々木寛人，原田康則，河島元三，上野恒夫，黒瀬俊夫，河田博之，佐藤智，安達充，前田琢磨：2002日本ダイカスト会議論文集（2002）181
- 10) 安達充，内田正志，佐藤智，佐々木寛人，原田康則，石橋直樹：軽金属 51（2001）568
- 11) 原田寛，反納清貴，平泉一城：2000日本ダイカスト会議論文集（2000）95