

多機種少量生産対応ダイカストセキ折り装置の開発

Development of a Metal-feeder Folding Device for Die-casting Products of a Small Quantity Production in the Multiple Models

内藤 則之 Noriyuki Naito

● 鑄造事業部 鑄造技術室

1 はじめに

「ダイカストとは精密な金型に溶融金属を圧入し、高精度で鑄肌のすぐれた鑄物を短時間に大量に生産する鑄造方式」^[1]と定義されているように、非常にダイナミックかつ生産性の高い加工方法である。

しかし、近年ダイカスト業界においても多機種少量生産が進み、その結果金型交換などの段取り替え時間が増加することで高い生産性が圧迫され、コスト競争力を低下させているのが現状であった。そこで当社においては、この従来からのコスト競争力を維持していくために、少数の人間で工場を運営していく少人化の推進に加え、多機種少量生産に柔軟に対応できる生産システムの開発が強く求められていた。

鑄造作業の中ではスプレイ作業や製品の取出し作業はロボットによる自動化が進んでいるため、多機種少量生産にも柔軟に対応ができる状態であったが、セキ折り作業はまだ手付かずの状態であり、少人化を行った上で多機種少量生産に対応できるセキ折り装置の開発はこれからの重要課題であった(図1)。

2 「セキ折り」とは？

ダイカストは次のような工程で鑄造が行われる(図2)。

金型から取出された直後の製品には、その製品形状部の周囲に、いろいろな付属物が付いている。まず、溶湯の通路である「ランナー」があり、その大元には溶湯を押し込んだ跡である「ビスケット」と呼ばれる円筒の部分がある。また、「真空ゲート」や「オーバーフロー」と呼ばれるものも付いている。

以後、この取出直後の製品を「ワーク」と呼ぶことにする。また、ランナーは製品形状との境目で溶湯の流入を制御するために狭められており、この部分を「セキ」(「ゲート」とも言う)と呼んでいる。一般的に厚さは2.0～4.0 mmである(図3)。

この製品形状部とランナーを分離する作業を「セキ折り(ゲート切断)」と呼んでいる。

従来はオペレータが木ハンマーでランナーを打撃して、セキにクラックを発生させ分離する方法が取られていた。

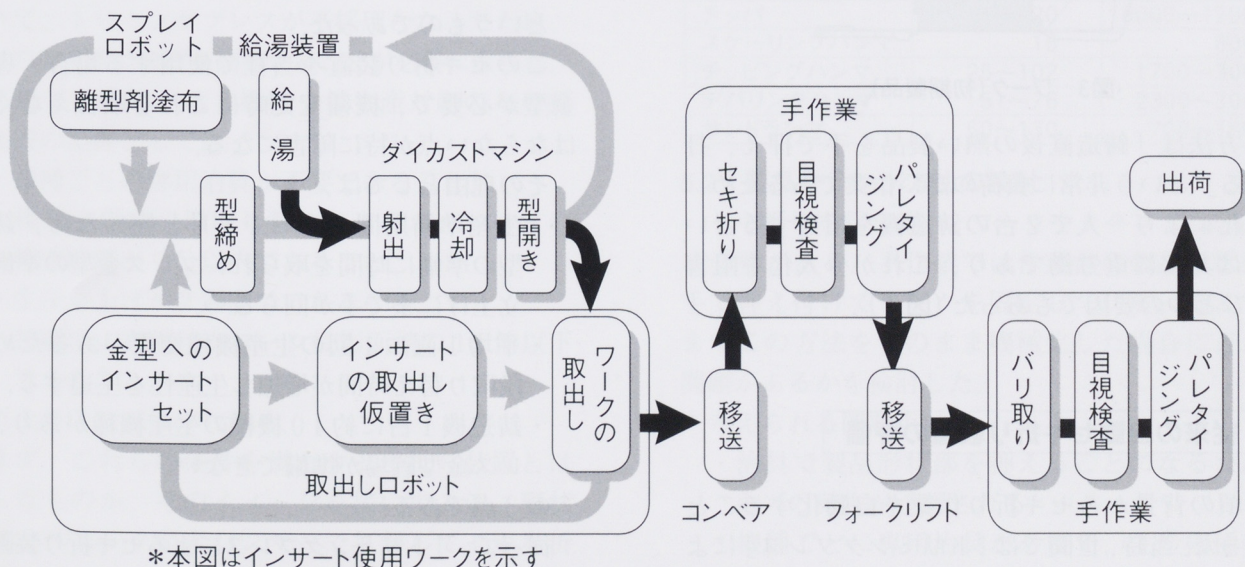


図1 ダイカスト鑄造の作業フロー

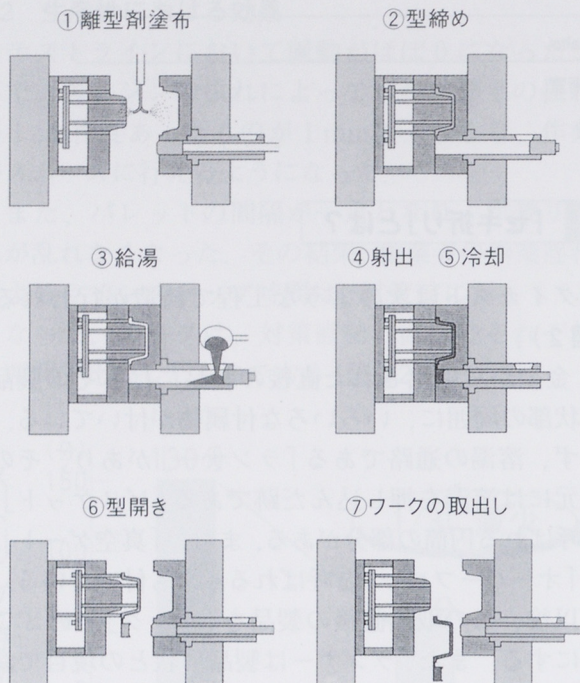


図2 鑄造工程

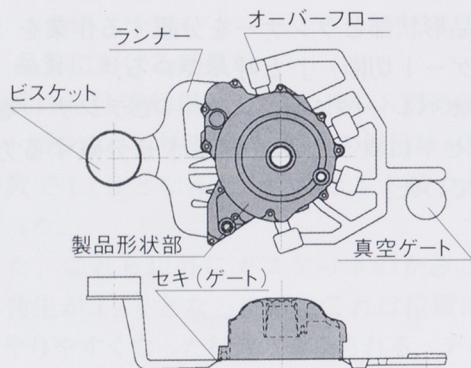


図3 ワーク(初期製品)

この方法は「鑄造直後の熱い製品を手で押え、打撃する」という非常に負荷の高い作業であるため、少人化により一人で2台の鑄造機を担当するというのは非常に重労働であり、これが少人化を阻害するひとつの要因でもあった(図4)。

3 従来の自動セキ折り装置の評価

前項の背景からセキ折り作業を自動化することになった。当時、世間では「トリミングプレス」によるセキ折り装置が一般的であった。技術史によれば、'56年頃から足踏み式のプレス、クランクプレス等



図4 手作業セキ折り

が使用され始め、'73年頃に油圧プレスが使用され始めたとある。^[2]

さて、この装置の利点としては、

- ・セキ折り作業が鑄造機の鑄造工程よりも非常に短時間で済むため、鑄造機の生産サイクルタイムに影響を与えない。
- ・一回の往復で製品形状部とその他の部分が完全に分離できる。

の2点である。

一方、欠点としては、

- ・大掛りな設備が必要であり、占有面積はワーク投影面積の20倍以上である。
- ・機種ごとに専用の金型が必要で、約1型3,500千円程度である。
- ・生産機種変更時にプレス金型を交換するため、1回の段取り替え時間は鑄造型交換に加え、20分程度余計にかかる。

というものであった。

このセキ折り装置を当社で使用する場合、専用金型が必要で、機種変更時にこれを取替えなくてはならない点が特に障害になる。

その理由としては、

- ・生産準備期間が3～4ヶ月と短いため、鑄造型の準備に時間を取られ、プレス金型の準備・立上げにまで手が回らない。
- ・平均1直に1回の生産機種変更があるため、段取り替え時間が増加し生産性を圧迫する。
- ・鑄造機1台に約10機種の生産機種があり、プレス金型置場が準備できない。

の3点である。

従って、「トリミングプレスによるセキ折り装置」は当社において多機種少量生産に適さずという結論になった(図5)。

主要諸元

鑄造機トン数	650t
装置全長	2745mm
装置全高	3058mm
装置全幅	1135mm
加圧力	10t
プレスストローク	600mm
作動油	水グリコール

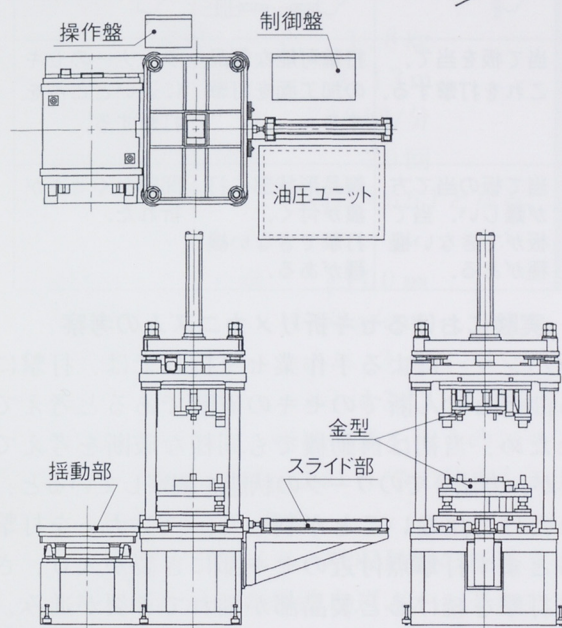
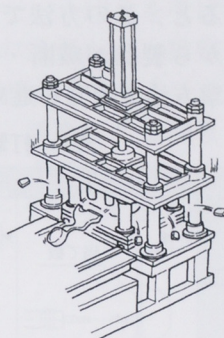


図5 トリミングプレスセキ折り装置

4 多機種少量生産対応セキ折り装置の条件

さて、トリミングプレスが不採用となったため、独自のセキ折り装置を開発することが必要になった。当工場で採用できる多機種少量生産対応のセキ折り装置の条件としては、

- ・機種ごとの専用治具が不要であること。
- ・機種変更時の段取り替えによるオペレータの拘束時間が5分以内であること。
- ・生産立上げが2週間でできること。
- ・装置の占有面積がワーク投影面積の15倍以下であること。

以上のことが挙げられる。

まず、これらの条件を満たすセキ折り装置とはどんなものか、そのイメージを描いてみる。現状ではオペレータが木ハンマーで打撃してセキを折っている。その作業負荷や少人化を考えなければ、これは多機種少量生産にも対応可能である。ならば、

その行為を機械化すれば目的の「少人化を行った上での多機種少量生産対応のセキ折り装置」が出来上がるのではないかと。まず、この発想をもとに開発をスタートすることにした。

5 開発の手順

5.1 ツールの選択

はじめに、木ハンマーによる手作業を装置による機械作業に置換えるために打撃ツールの選択を行った。

条件としては、

- ・構造が単純で使い勝手が良いもの。
 - ・打撃の衝撃に対して耐久性の高いもの。
- の2点であった。

この条件から打撃用として市販されている自動工具の中から、圧縮エアを使用するため構造が単純な「エアハンマー」を選択することにした。エアハンマーには、いろいろなタイプがあるが、その多くがショートストロークで高打撃数のものであり、動作としてはいわゆる「振動」であった。従って、これらは人手による木ハンマー打撃の代用とはならないと判断し、除外した。しかし、「サンドランマ」は「打撃」と呼ぶことのできるストロークと打撃数で、木ハンマーの打撃動作に最も近いと思われたため、これを選択することにした(表1)。

表1 エアハンマーのストロークと打撃数

名 称	ストローク(mm)	打撃数(bpm)
チップ	16~20	8000~12000
スケーリングハンマ	16	8000
チップングハンマ	25~102	1700~3000
デバリングハンマ	51~76	2300~3000
サンドランマ	50~130	700~1800

5.2 製品クランプ方法の検討

セキ折りを行う場合、ワークをクランプ(固定)する必要がある。手作業では作業台に製品形状部を手で押え付けてワークを固定している。そこで、まずこの方法をそのまま機械化した場合にどんな問題があるかを検討した。

考えられる問題点は、

- ・治具で製品形状部を押えることになるため、キズの発生が予想される。
 - ・機種ごとに専用治具が必要で、生産機種変更時に段取り時間がかかる。
- の2点である。

従って、多機種少量生産対応という目的では、専用治具が必要で段取り時間がかかるこの方法は採用できないということになった。

- ここから得られるクランプの条件は、
- ・ どの製品にも存在する共通形状でキズの発生に関係のない部分をクランプする。
- というものである。

このような共通形状を新たに設けるには、全機種を対象にした検討が必要であり、鑄造条件に与える影響と金型の修正費を考えると共通形状の新規設置は現実的ではない。ただ、ダイカストはその鑄造の過程でビスケットという共通形状が無条件で成形される。(図3参照)これは射出装置で溶湯を押し込んだ跡であるため、どの機種にも存在し、形状も共通で一定である。ここをクランプすれば機種ごとの押え治具が不要であり、製品形状部に力がかからないのでキズの問題も起こりにくいと考えられる。よって、この点においては上記のクランプ条件をクリアしている。

ただし、問題は「この方法でセキ折りをを行った実績がない。」という点であった。しかし、現時点で最も現実的なクランプ方法であり、発生する問題点は打撃方法で解決するという方針で開発を進めることにした。

5.3 打撃方法の検討

次にこのクランプ方法で、どの部分をどのようにに打撃するかを検討した。手作業では製品形状部を固定してランナーを打撃し、それらの中間のセキ部を折る方法を取っている。しかし、今回の方法では手作業とは逆にランナー側をクランプするから、打撃も逆に製品形状部にするのかというと打痕など品質の問題から単純にそのようにはできない。

そこで、テスト装置を製作しいろいろな方法で打撃を行い、方法を模索した。

主なテスト方法と結果を次表に示す(表2)。

物を叩いて折る場合、固定する側と叩く側は折りたい位置を挟んで反対に取るのが普通である。そのため、この場合でもセキを挟んでクランプする側の反対側を打撃する方法を主にテストしてきたが、好結果は得られなかった。そこで全く逆の発想で、方法3のようにクランプする部分と同じ側のランナー部を打撃する方法を行ってみた。

すると、この方法で意外なほど簡単にセキのところから製品が破断・分離した。そこで今後、この打撃方法で開発を進めることにした。

表2 打撃方法のテストと結果

	方法1	方法2	方法3
図			
方法	当て板を当て、これを打撃する。	打撃可能な製品の加工面を打撃する。	ランナーのセキに近いところを打撃する。
結果	当て板の当て方が難しい。当て板ができない機種がある。	製品形状部に打痕が付く。打撃できない機種がある。	問題なくセキが折れた。

5.4 実験におけるセキ折りメカニズムの考察

木ハンマーによる手作業セキ折りでは、打撃による曲げとせん断でのセキの破断であると考えていたため、当初は自動機でも同様な破断を考えていたが、方法3でのワークの状態を観察していると、それだけではないことが判った。ランナーを打撃するとまず打撃点付近のセキ部にき裂が入り、さらに打撃を続けると製品部が揺れてき裂が進み、最後に破断に至っている。

この考察に当たって、セキ部は断面が絞られ、切欠き形状になっているのに着目した。部材に切欠きがある場合は、切欠き底付近に局部的応力集中が生じるなどの影響により、平滑な部材に比べ疲れ強さが著しく低下すると言われている。^[3]これは、材料の切欠きじん性を切欠き試験片で評価するシャルピー試験と同じ理屈である。また、その後も打撃を継続することで製品部が揺れ、応力集中に基づくき裂は応力集中のために成長・進展し、断面の面積は非常に小さくなって、残りの部分は荷重下で突然破断に至ると考えられる。^[4]このことは、継続して応力を負荷し続けると、繰返しせん断応力から初期疲労過程であるすべりが起こり、き裂の進展過程として、き裂の発生 → き裂の成長・連結 → き裂の進展 → 疲労破壊と進んでいく^[5]と説明されている。つまりこの装置では、打撃力でセキを破断させているのではなく、初期のき裂発生あとは揺れによってき裂を進展させ、セキを破断していると推測される。

また、「意外と簡単に折れる」という印象を受けたことに関しては、疲労とはその言葉からも推察されたとおり静的破壊強度以下の応力の大きさでも、繰り返し作用することにより、破断に至る現象をいう^[6]との説明で解釈できる。そこで、サンドランマとトリミングプレスのワークに与える仕事(ジュール)を比較してみる。

結果は次のようになった。

＜サンドランマ＞

- ・ピストン重量 1.8 kg
- ・打撃ストローク 0.13 m
- ・往復数 700 回/分
- ・破断までの打撃数 20 回

とすると、仕事(ジュール)は 45.6 J となる。

＜トリミングプレス＞

- ・油圧シリンダー径 $\phi 100$ mm
- ・使用圧力 140 kg/cm²
- ・セキ厚 3 mm

とすると、仕事(ジュール)は 323.6 J となる。

この単純比較では、同じ作業を行うのにサンドランマはトリミングプレスの 1/7 の仕事しか必要としないということになる。

また、き裂はエネルギー吸収最低の経路またはエネルギー供給最大の経路を選ぶか、それとも破壊時間最小の経路を選ぶことができる^[7]とあり、トリミングプレスによる瞬間的な破断に比べ、き裂が時間を掛けて成長するため、き裂はセキに沿って進展しやすいと考えられる。したがって、き裂が製品形状部分にまで入り製品形状部が欠肉してしまう「カケ」や「ミクイ」などの不良発生が少ないという利点もあると推測される。

以上、本方法のメカニズムは、およそこのように説明できる(図6)。

また、各方法の比較を簡単にまとめると次のようになる(図7)。

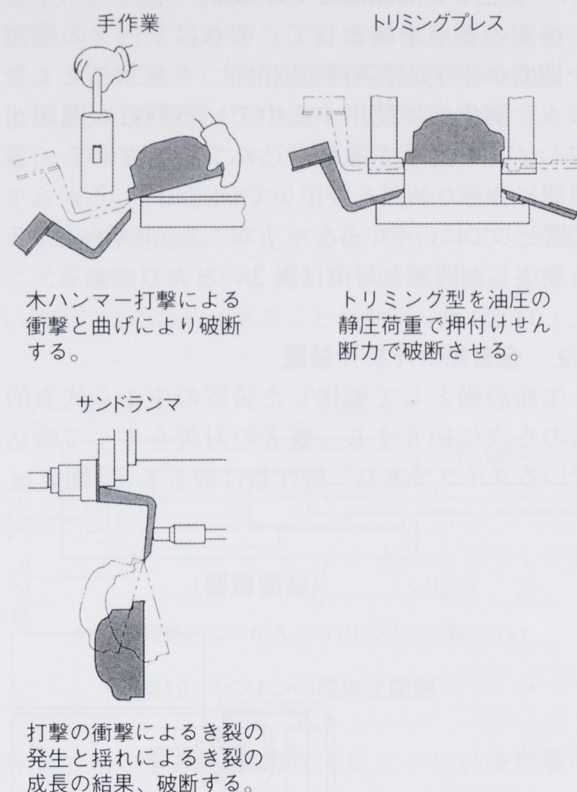


図7 各セキ折り方法の比較

以上の結果から新開発するセキ折り装置の基本は決定した。

この基本の要点は、

- ・サンドランマで打撃する。
- ・ビスケットをクランプする。
- ・ランナーのセキ部付近を打撃する。

以上の3点である。

(特許出願番号 平03-155091)

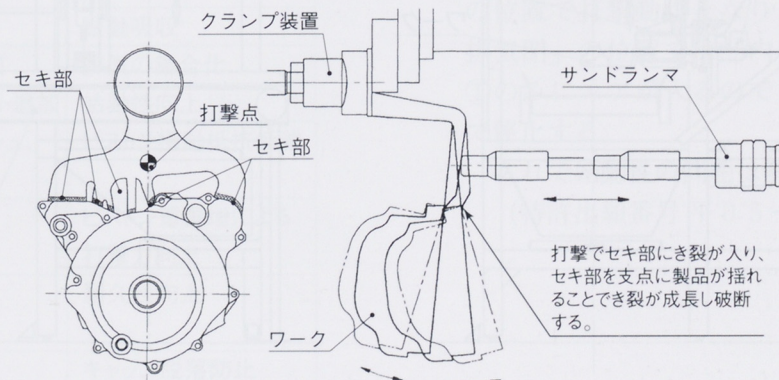


図6 セキ折りのメカニズム

6 セキ折り装置の実際

6.1 発生した問題点とその対策

前記の要点を核として、それにワークの受渡しや排出などの必要機構を取付け、生産装置とした。また、実生産で使用する中でいろいろな問題が発生し、その対策を随時織込んでいながら、各鋳造機に合った装置を製作していった。したがって、装置としてはいろいろなバリエーションが存在する。発生した問題と対策は表3のとおりである。

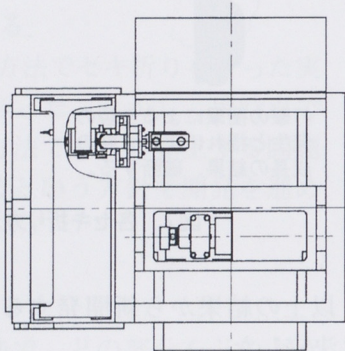
6.2 全自動セキ折り装置

生産設備として製作した装置の中から代表的なものを次に紹介する。表3の対策をすべて織込んでいるタイプであり、製作数は最も多い(図8)。

表3 生産設備での問題点とその対策

問題点	対策
打撃を停止した後、再始動させても動作しない時がある。	停止すると必ずピストンを引戻すエア回路を追加した。
打撃点が固定されているため、効率よくセキ折りできない。	ロボットを使用して機種ごとに任意・複数の打撃点を選択できるようにした。
機種ごとに打撃点を変える場合、段取り時間がかかる。	
オーバーフローや真空ゲートの除去ができない。	
取出口ロボットで把持したまま打撃するとロボットに負荷がかかり、サイクルタイムも伸びる。	専用の単軸ロボットを使用して、取出口ロボットはワークを受け渡すだけにした。
製品をコンベアに落す時、傷がつく場合がある。	サンドランマを縦に取付け、製品は水平にコンベア上に落ちるようにした。

〈装置概要〉



主要諸元

鋳造機トン数	650t	装置全長	1200mm
装置全高	2600mm	装置全幅	1740mm
サンドランマ数	1台	取付姿勢	縦
打撃数	700bpm	打撃ストローク	130mm
エア圧	0.5Mpa	エア消費量	3.5リットル/回
駆動モータ	DCサーボ	電源	AC200V
動作軸数	3軸(打撃1軸、クランプ2軸)		
打撃可能範囲	X330×Y700×Z180+100		
ロボットコントローラ	QRC-43(ヤマハ発動機)		
駆動方式	X,Y軸:ボールネジ Z軸:ジャッキ+エアシリンダ		
位置入力方式	教示盤による位置教示		

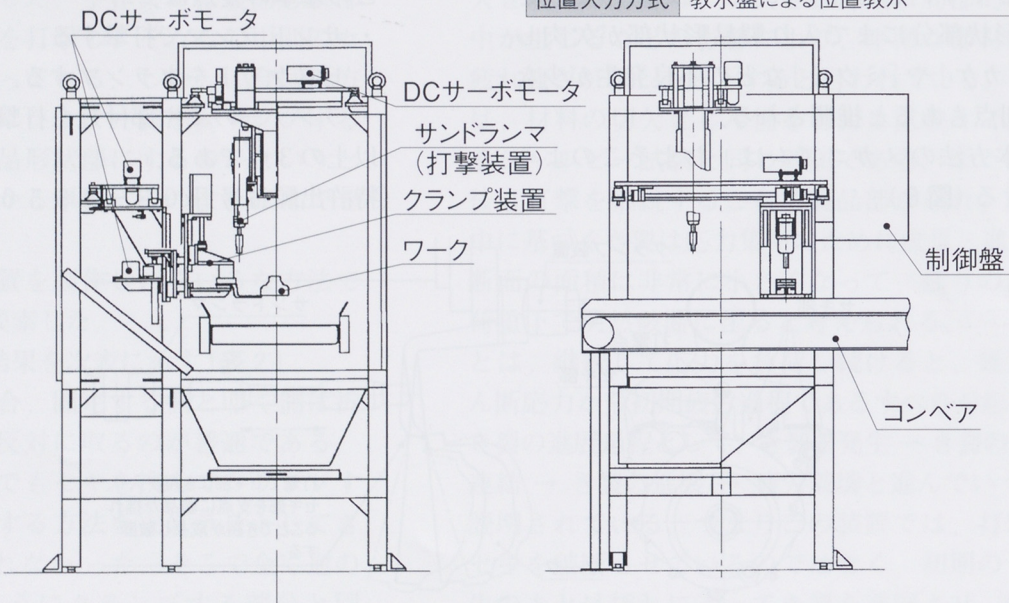


図8 全自動セキ折り装置

＜本装置の特徴＞

クランプ部、サンドランマは単軸ロボットで3軸に移動できるため、最適位置での打撃ができる。また複数の打撃位置も選択できるため、オーバーフローなどの除去も可能である。また、取出口ロボットはワークの受渡しのみを行うため打撃負荷が掛らず、鋳造サイクルタイムが伸びることもない。また、分離したワークはコンベアでオペレータの手元に搬送される。

なお、サンドランマ本体の改造は次のようになっている(図9、表4)。

(特許出願番号 平03-278721)

(特許出願番号 平03-292377)

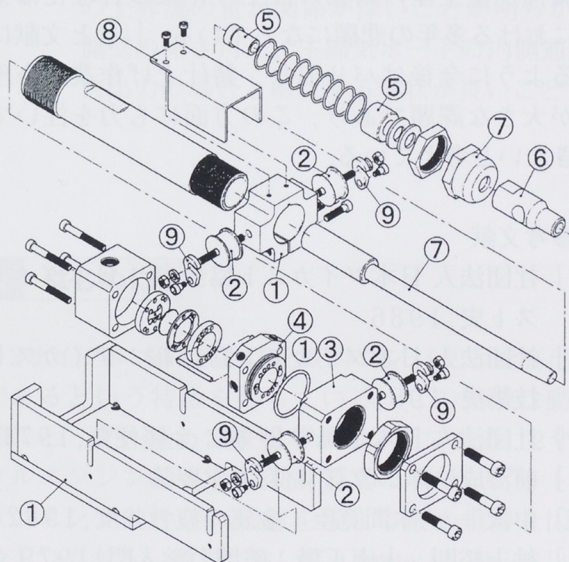


図9 サンドランマ改造詳細

表4 改造の要点

No.	内容	目的
①	ブラケット、サブプレート、サブホルダー追加	装置への装着可
②	防振ゴム取付け	振動吸収
③	サブホルダー追加	排気の集合化
④	エア切替えプレート追加	始動性向上
⑤	バックインからブッシュ、カラーへの変更	ピストン撓動抵抗低減
⑥	タガネ追加	ピストン重量増による打撃力向上
⑦	ピストン、キャップ材質変更	耐久性向上
⑧	回り止め追加	キャップ脱落防止
⑨	カギ座金取付け	装置の脱落防止

6.3 サンドランマ始動性対策

表3の問題点の対策の例として、サンドランマ始動性対策を紹介する。

圧縮エアの入気を切り、打撃動作を停止させるとピストンは徐々に往復運動を弱め任意の位置で停止する。この位置が前進端と後退端の間であった場合、次の駆動時にエアを入れても動作しないことがあった。この原因はサンドランマの構造上、ピストンが中間位置に停止すると押出しエアと引戻しエアが同時に入り、ピストンが前進も後退もできない状態になるためであることが判明した(図10)。

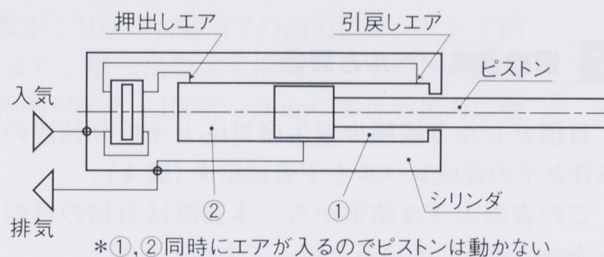


図10 ピストン中間停止図解

今までの経験から始動時にピストンが後退端の位置にあれば、始動性に問題がないのは判っていたので、停止時に自動的にピストンを引き戻す方法を開発することにした。

以下が開発した方法である。

サンドランマのシリンダとメカバルブの間にブロックを追加して、排気と押出エアを外部に導き出し、これを繋いだ3ポート電磁弁を操作してピストンを引き戻す回路を考えた。

入気を入切する2ポート電磁弁を開き、常時シリンダにエアが入っている状態にしておく。この状態で3ポート電磁弁が「押出しエア閉、排気開」の位置で打撃動作となり、また「押出しエア開、排気閉」の位置では②内のエアが大気開放され、①のみにエアが入るのでピストンは引き戻し状態で停止する。

これで始動性の問題は解決した(図11)。

(特許出願番号 平05-089448)

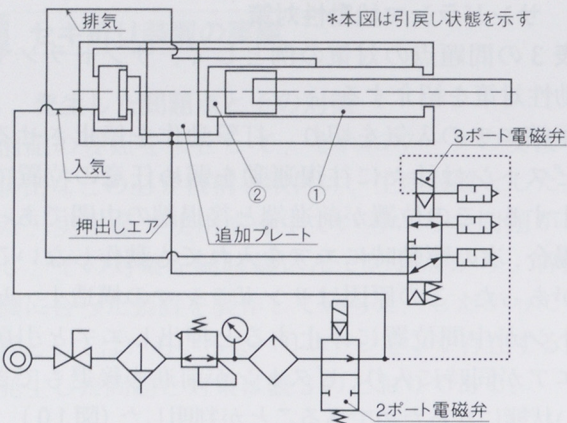


図11 ピストン引戻しエア回路

7 目標達成レベルと評価

目標とした多機種少量生産対応セキ折り装置の条件とその達成レベルを下表に示す(表4)。

この表のような結果から、本装置は当初の目的を十分に達成していると言ってよい。

本装置を使用することで、本来の目的である少人化を推進した上でのダイカストの多機種少量生産システムが実現でき、従来からの高いコスト競争力の維持が可能となった。

また、業界に先駆けた実績をもとに、このセキ折り装置の外販でも大きな成果を上げており、この外販実績は本装置に対する世間一般の評価と見ることができる。

表4 目標と達成レベル

	目 標	達成レベル	評価
1	機種ごとの専用治具が不要であること。	専用治具は不要。	◎
2	機種変更時の段取り替えによるオペレータの拘束時間が5分以内であること。	機種変更はロボットプログラムの選択のみ。拘束時間は1分。	◎
3	生産立上げが2週間できること。	新機種の生産準備はロボットプログラム作成のみ。1日で終了。	◎
4	装置の占有面積がワークの投影面積の15倍以下であること。	占有面積は2~3m ² で、ワークの投影面積の15倍以下である。	○

8 終わりに

本装置は多機種少量生産を目的として、長期に渡り多数の担当者が、その時の要求に合わせて開発を継続し、熟成されてきた技術であり、それが外販されるに及んで一応の完成に至った。しかし、騒音などの環境面への配慮など改善すべき点も多く残されており、今後はこれらいろいろのニーズに合わせた設備へと進化させて行く必要があるだろう。

また、「セキ折り作業を含む鋳仕上げ作業は他の工程に比べ人員比率が大きく、鋳造原価に占める比率を高くし、大きなネックになっている。特に、多機種少量生産の鋳物の仕上げ作業の合理化は業界における多年の悲願になっている。」^[8]と文献にあるように今後はバリ取り、鋳仕上げ作業の合理化が大きな課題であり、この方面にも力を注いでいきたいと考えている。

参考文献

[1] 社団法人 日本ダイカスト協会 編：日本ダイカスト史,1986
[2] 社団法人 日本ダイカスト協会 編：ダイカスト技術史,1995
[3] 社団法人 日本金属学会 編：金属便覧,1971
[4] 前澤成一郎：改訂 材料力学要論
[5] 中沢 一，本間寛臣：金属の疲労強度,1982
[6] 村上裕則，大南正瑛：破壊力学入門,1979
[7] 横堀武夫ら：金属の疲労破壊,1970
[8] バリ取りと仕上げ技術研究会 編：バリの抑制・除去技術,1981

●著者



内藤則之