

# 特集 フレキシブルなプレス加工技術の開発\*

## Development of Flexible Sheet Metal Forming Technology

池田 高夫  
Takao IKEDA

小林 亀  
Hisashi KOBAYASHI

As we support the diversification of users' needs, we are moving ahead with making numerous kinds of products. Heat exchanger parts are also following this trend and the kinds of these parts have exceeded more than 100. This is a flexible processing technology that enables one certain die to match with various kinds of parts. This technology processes minute element length in order to produce stretcher direction and applies a stamping division technology (the high speed intermission technology that controls stamping division patterns by computer) and a random feeding technology (the technology to change material feeding it every shot at high speed and randomly for the minimum number of press machine shots).

**Key words** : Sheet metal forming, Press, Press working, Flexible, One kind of die, Stamping division, Random feeding

### 1. はじめに

21世紀への生き残りをかけた自動車業界の世界的な再編成が進む中、自動車部品業界にも従来以上に強いコスト低減努力が求められている。自動車部品を支える代表的素形材加工であるプレス加工分野においても、従来の生産性や品質の向上にとどまらず、コスト低減に大きく寄与できるような画期的な工法転換が求められている。

プレス加工は、高生産性と安定した品質を武器として広く世の中に普及してきた塑性加工法であるが、金型を利用した転写加工であるため、部品形状の変更に対しては、金型を交換して対応してきたのが実状である。しかし、ユーザ嗜好の多様化による多品種化という世の中の流れの中で、多くの専用型を使用することは、型費の高騰や段取りによる生産性の低下という点でコスト的に大きなネックとなっており、生産性や品質を低下させずに多品種をフレキシブルに加工したいというニーズは非常に高くなっている。

筆者らは、上記プレス加工のニーズに対応し、品質を維持しつつ、生産性を犠牲にすることなく多品種の部品をフレキシブルに加工できる加工技術の開発に取り組み、本稿ではカーエアコン等の主要構成部品である熱交換器プレス部品を例にとり、多品種の部品を段取り時間ゼロでフレキシブルに自動加工できるプレス加工システムの技術開発内容を紹介する。

### 2. 製品概要と従来の加工方法

自動車用熱交換器の宿命は、要求される熱交換性能と許容スペースの制約から、搭載される車種により非常に多くのバリエーションが存在することである。自動車用エアコンの構成部品であるコンデンサのタンク部品は、Fig.1に示すように多くのバリエーションが存在し、従来の部品番号(以下品番と記す。)ごとの専用金型を使用するプレス加工法(トランスファ加工: Fig.2)では、大型のプレス機(3000~6000kNクラス)、多くの金型が必要となり、投資金額の高騰や段取り回数の増加による生産性低下が大きな問題であった。

そこで、従来のプレス加工法の高生産性、高品質といった特徴を犠牲にすることなく、多品種に対応できる新技術の開発コンセプトおよび目標値をTable 1に示すように設定し、開発に取り組んだ。

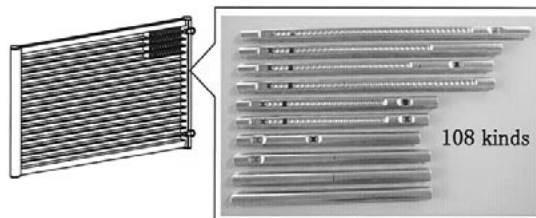


Fig.1 Variation of parts for condenser

\* 2001年8月9日 原稿受理

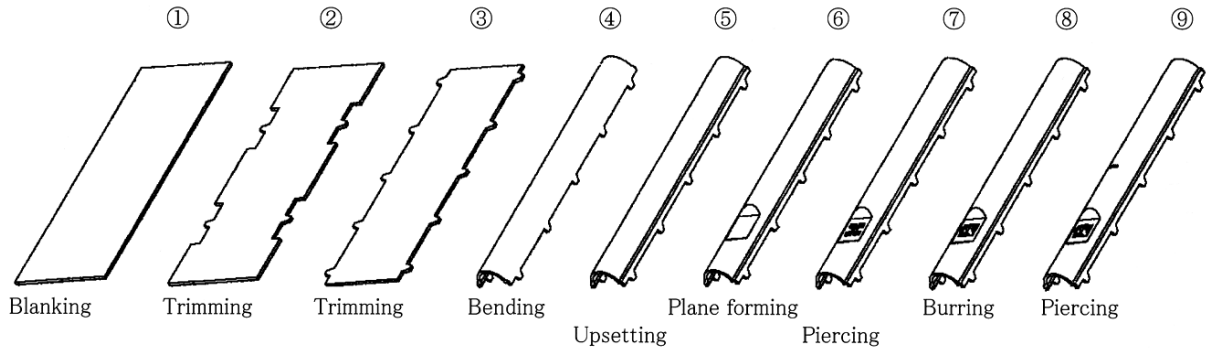


Fig.2 Transfer press working

Table 1 Development target

Concept	Target
Flexibility	•It processes all variations with one kind of die.
High productivity	•Equal to transfer press working Cycle time : 3 second •Set-up time : Zero
High quality	•Equal to transfer press working
Compact	•Area : 1/5

### 3. 新生産システムの考え方

新生産システムは、全バリエーションを1型で加工できるフレキシブル性の実現が最大のポイントである。現状のトランスファ加工の延長線上で考えるのではなく、発想を変えて検討した。チューブ等の長手方向に一樣断面の部品は、ロール成形にて連続成形し、切断長さを変えることで全バリエーションにフレキシブルに対応している。タンクは配管取り付け部やチューブ穴が有り一樣断面ではないが、ロール成形的に長手方向に加工できればフレキシブルなプレス生産システムが実現できる可能性があると考えた。

具体的には、Fig.3に示すように長手方向に対して、ある所定長さを1要素長さと考え、その要素長さ分の材料を長手方向に順次プレス金型内へ送り込み、曲げ加工等を逐次的に繰り返すことにより均一断面：A部を加工する。異なる断面部：B部（例えば、Fig.4 B部：平面部）、穴部：C部（例えば、Fig.4 C部：角穴）の加工、更には部品長さの分断は、所定の位置まで送られた時のみ加工を行う打ち分け加工により対応する。バリエーションごとに打ち分けパターンは異なるため、これらをすべてコンピュータ制御すれば、1型で全バリエーションをフレキシブルに加工でき、生産中に自動的に品番切り替え（段取り時間ゼロ）も可能なシステムが構築できると考えた。

要素長さを逐次的に加工するということは、従来ス

ピードで加工するとサイクルタイムが長くなる問題が生じる。この点については、逐次加工は加工力を大幅に低減することができるというメリットを生かして、コンパクトな小型設備で高速加工を実施することで従来レベルのサイクルタイムを実現できると考えた。

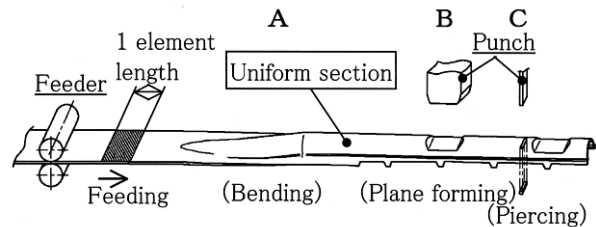


Fig.3 New press working way

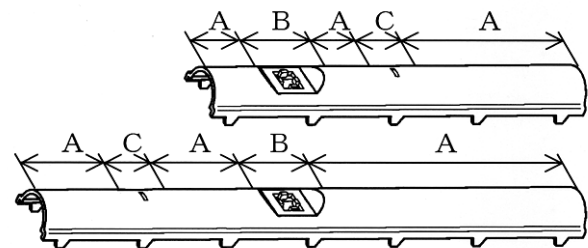


Fig.4 Parts for condenser

### 4. 新生産システムの開発

#### 4.1 多品番打ち分け加工金型の開発

コンデンサ用タンク部品の金型は、Fig.5に示すように、1)一樣な断面を加工し、つづいて、2)別タンク接合部、配管取り出し部の平面成形（異形断面成形）の打ち分け加工を行う。最後に、3)7種類の穴抜き、パーリング、分断の打ち分け加工を行う。ここに示す数字は、打ち分け加工に必要なカム機構のNo.を意味する。この部品の場合、金型内にFig.6に示すようなアクチュエータにより駆動される打ち分け機構（カム機構）を21箇所組み込むことにより、全バリエーションを1型で加工することを可能とした。以下に、21箇所の打ち分け機構の役割について詳細説明する。

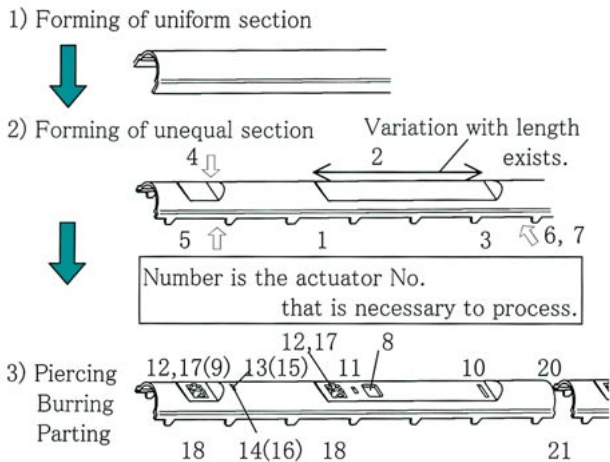


Fig.5 Outline process of new press working

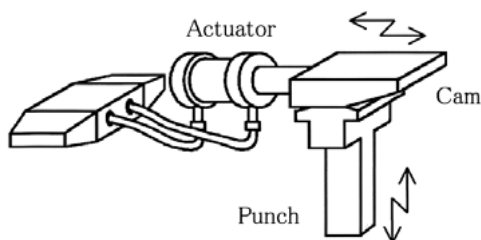


Fig.6 Stamping division system

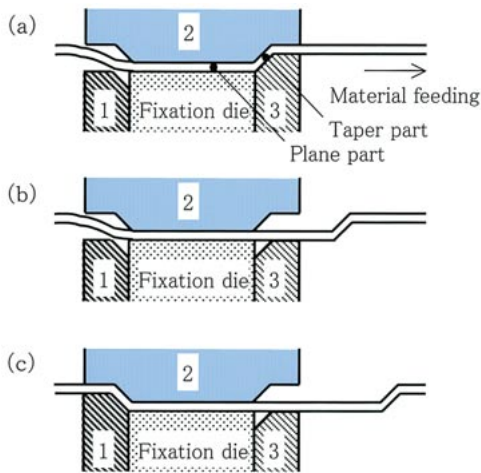


Fig.7 Process of the plane forming (Stamping division way)

別タンク接合部は、長さに変異を有するため、その形状を中央部（平面部）と両端部（テーパ部）に分けて考え、1, 2, 3の3個所の打ち分け機構を用いて加工する。Fig.7に示すように、まず、可動ダイ1を降下した状態にして、可動ダイ3、固定ダイおよび可動パンチ2により、材料送り方向に対し前方側のテーパ部および平面部の一部を加工する(Fig.7(a))。つづいて、可動ダイ3を降下させて、固定ダイおよび可動パンチ2により、別タンク接合部長さに応じて平面部の加工を数回繰り返す(Fig.7(b))。その後、可動ダイ1を上昇させて、可動ダイ1、固定ダイおよび可動パンチ2により、平面部の一部および材料送方向に対し、後方側のテーパ部を加工する(Fig.7(c))。

配管取り出し部は、長さバリエーションがないためFig.5の4, 5により打ち分け加工する。下側の爪部の打ち抜き加工は、6, 7の打ち分け加工を行う。また、7種類の穴抜き、パーリング、分断も各穴形状に対応した打ち分け機構により加工を行う(8~21)。ダイ側(下側)を可動させるのは(14, 16等)、前工程で加工された異形断面部分を変形させないようにダイを下げる(逃がす)ためである。

以上を実際の加工レイアウトにするとFig.8のようになる。要素長さ9.5mm(1回の材料送り長さ)の逐次加工にて全バリエーションに対応可能である。加工レイアウトの側面図の上側に示してある数字は上型に組み込まれた打ち分け機構を、下側に示してある数字は下型に組み込まれた打ち分け機構を意味する。Fig.8の数字はFig.5の数字に対応している。

品番: 001を例に、9.5mmピッチで加工する打ち分け機構の動作パターンをFig.9に示す。ここで、横軸はショットNo.を表す。40ショットが加工の1サイクルであり、40ショットで部品が1個完成することを意味する。縦軸は打ち分け機構No.を表し(Fig.5に対応)、図中の  が打ち分け機構のON(加工する)、

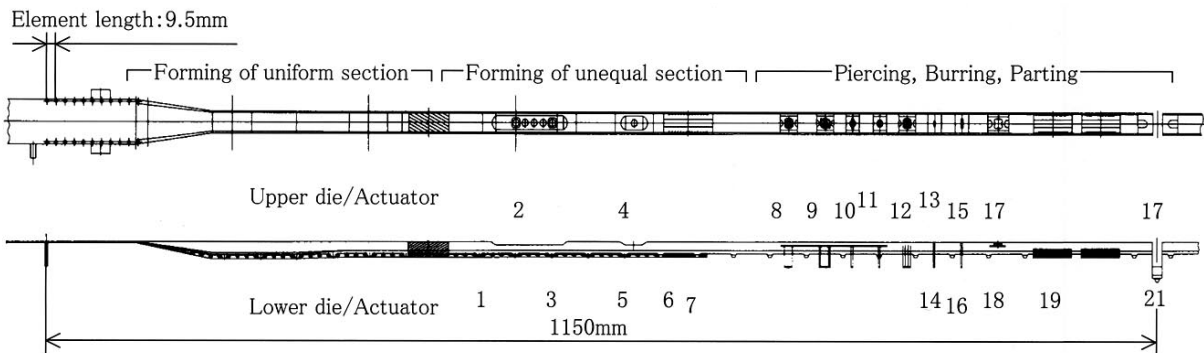


Fig.8 Processing layout

無印がOFF(加工しない)を表す。1ショットごとの間欠機構のON/OFFはコンピュータ制御により行う。

この多品番打ち分け加工型の開発により、大幅な金型サイズの小型化(約1100mm)と加工力の低減が実現でき、従来に比べはるかにコンパクトな1200kNクラスのプレス機で生産することが可能となった。

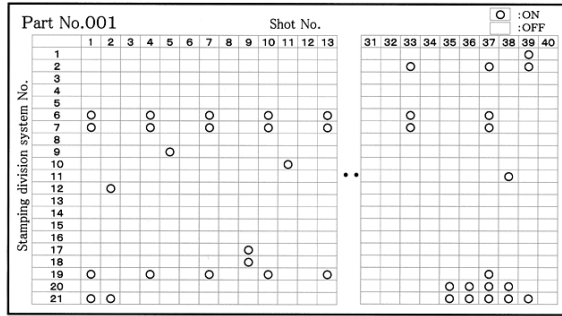


Fig.9 Moving pattern of the actuator at part No.001

4.2 高速加工技術の開発(ランダムフィード技術)

前記多品番打ち分けシステムの開発により、1200kNクラスのコンパクトなプレス機で、コンデンサ用タンク部品の全バリエーションを1型でフレキシブルに加工することが可能となったが、更に従来工法と同等の生産性という目標を達成する必要がある。

コンデンサ用タンク部品の全長は、最長約600mm、平均400mmである。前記要素長さ9.5mmを1ピッチとして加工すると、トランスファ加工と同等のサイクルタイム(3秒)で加工を行うためには、約840SPM(SPM=ショット数/分)の超高速での加工が必要となる。生産性を決定する要因は、プレス機の加工速度と打ち分け機構の速度追従性である。コンデンサ用タンク部品を加工するプレス機としては、曲げ加工を伴うため、少なくともストローク長さ70mm以上が必要である。加圧力1200kNクラスの高速プレス機の加工速度とストローク長さの関係をFig.10に示す。本仕様の

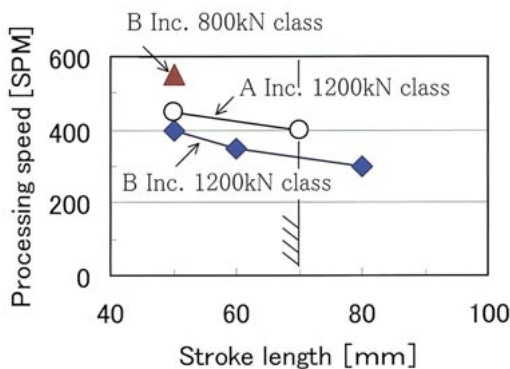


Fig.10 Relation between processing speed and stroke length at press machine

プレス機では、400SPM程度が最高速度であり、目標を満足できない。

また、打ち分け機構は、Fig.6に示したようなカム機構を金型内に21個所組み込み、カムをアクチュエータにより移動させ、パンチの出し入れを行う。加工する場合は、アクチュエータを前進させ、パンチを下降状態にして加工する。加工しない場合は、パンチを上昇状態にして加工すれば上型が降下してもパンチが上昇状態であるため、加工は行われない。このようにして、加工する/しないを打ち分ける。

アクチュエータは、プレス機のクランク角度をモニターし、クランク角度が270°位置で作動させる。このアクチュエータの速度追従性(応答性)が加工速度を決定する。パンチの下降あるいは上昇は、加工と関連しないクランク角度が約270°~90°の180度の範囲内で完了する必要がある(Fig.11)。カム機構の応答性に影響する要因について、系統図にまとめた結果をFig.12に示す。

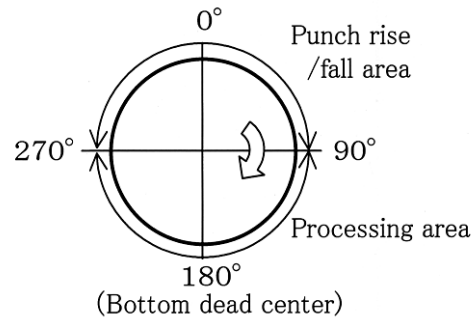


Fig.11 Crank angle of press machine

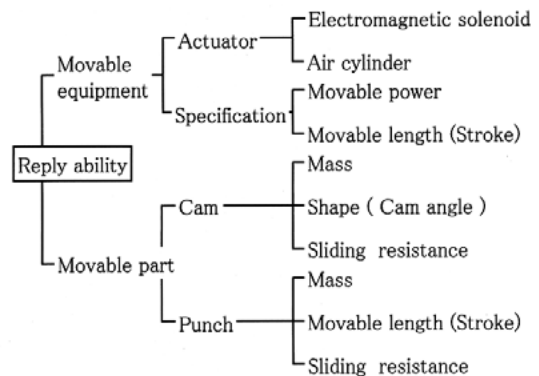


Fig.12 Tree diagram about reply ability

今回、アクチュエータは、大型(質量大)のパンチを出し入れする必要があるため、吸引力および可動ストローク面で優れたエアシリンダを使用することとした。Fig.13にエアシリンダ2の吸引力と応答性の関係を示す。は無負荷状態、は最大限に可動部の軽量化を図った状態での負荷時の応答性である。金型へ組み込むためにはスペース上の制約から300Nクラ

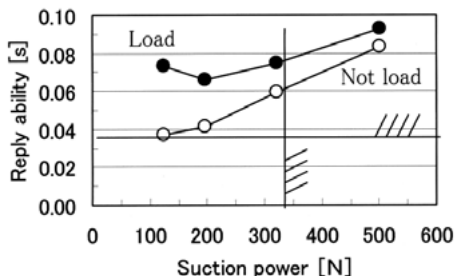


Fig.13 Reply ability of Air cylinder

スのシリンダが限界となる。

Fig.14に、同様に測定した量産金型における全打ち分け加工部21個所の応答性を示す。いずれも応答性は、0.06秒程度であり、プレス機の加工速度に換算すると約400SPMにしか追従できない。以上よりプレス機および打ち分け機構ともに約400SPMが加工速度の限界である。このため9.5mmの1ピッチ送りでは、目標サイクルタイムでの加工ができず、生産性が低下することとなる。

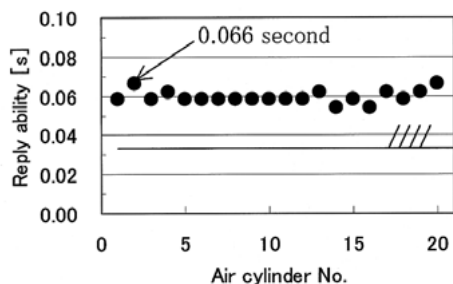


Fig.14 Reply ability of Air cylinder

そこで、1回の材料の送り量(送りピッチ)を長くして、2ピッチ送り(19mm)あるいは3ピッチ送り(28.5mm)とすると、それぞれ約420SPM, 280SPMの加工速度でサイクルタイム3秒を満足できる。しかし、2ピッチまたは3ピッチ送りとした場合は平面成形、穴抜き等の打ち分け加工部において、対応できないバリエーションが発生し、フレキシブル性が極端に低下してしまう。例えば、2ピッチ送りのみで加工した場合、穴抜きを奇数ピッチに行う必要がある部品は加工できなくなり、1/10程度のバリエーションしか対応できなくなる。

生産性とフレキシブル性を両立させる技術として、更に検討を進めた結果、プレス機の各ショットごとに材料の送り量をランダムに変更する高速ランダムフィード技術を開発することで、この大きな課題を解決することができた。

材料の送りは、通常は2~3ピッチで送り、平面成形、穴抜き等の打ち分け加工がそのピッチでは加工できない場合、1ピッチまで送り量を小さくして対応す

る。すなわち、材料送りピッチを1個の部品が加工される中でランダムに変えることにより、平均送りピッチを2ピッチ以上にすれば、プレス機の加工速度を400SPM以下とすることが可能である。この高速ランダムフィードを高精度に制御するため、送り装置としてはNCロールフィードを採用した。

Fig.15にコンピュータ制御する間欠動作パターンおよび材料送りパターンを示す。ランダムフィードは1~3ピッチとし、前記打ち分け機構と同様、プレス機の1ショットごとにコンピュータ制御する。品番:001において、1ピッチの定寸送りの場合、部品1個を加工するのに40ショットのショット数が必要であったが(Fig.9)、ランダムフィードを行うことにより24ショットで加工ができることとなる(Fig.15)。すなわち、品番:001の場合、ランダムフィードを行うことにより約1/2のショット数で(約2倍の加工速度で)加工できることとなる。

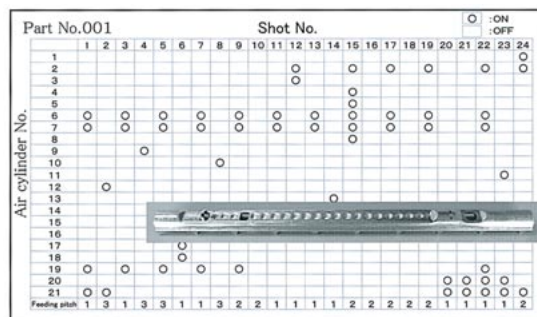


Fig.15 Moving pattern of air cylinder and feeding pitch pattern at part No.001

ここで、実際の設備の動きをFig.15により説明する。プレス機のクランク角度の270度~90度の間で、1ピッチ分の材料送りとエアシリンダの6, 7, 19, 21の前進を完了させる。その状態で、クランクは下死点を通過して、6, 7, 19, 21に対応する加工を行う(1ショット目の加工完了)。再びクランクが270度に来た時点で、今度は3ピッチ分の材料送り、エアシリンダの6, 7, 19の後進, 12の前進を同時に行い、下死点で12, 21に対応する加工を行う(2ショット目の完了)。同様に3ショット目では、6, 7, 19の加工、4ショット目では9の加工が行われる。5ショット目以降も、このような動きを繰り返し、24ショットで品番001の部品が完成する。

実際の加工では、各部品ごとに異なる材料送りパターンおよび間欠動作パターンをコンピュータに記憶しておき、プレス機の1ショットごとにコンピュータから材料送り装置(NCロールフィード)および打ち分

け機構部のエアシリンダに信号を送り制御している。

この制御の基データとなるパターンは、Fig.15に示すように非常に複雑であるが、部品の形状パターンを入力すると（例えば、全長、穴の位置）、材料送りパターン、間欠動作パターンが自動的に作成できるシステムとしている。

以上述べた多品番打ち分け加工システムおよび高速ランダムフィード技術の開発により、従来と同等の生産性で、1型で多品番をフレキシブルに加工できるコンパクトなプレス加工システムが開発できた。

#### 4.3 そり制御技術の開発

逐次加工法は長手方向の拘束が弱く、寸法精度が低下するという問題がある。特に、長手方向のそりや伸びが生じやすい。以下、この長手方向のそりに対する取り組みについて記述する。

Fig.16にコンデンサ用タンク部品の加工レイアウトの概略図を示す。第1工程で略凸型に曲げ加工を行う。タンク部品は、部品機能上、Fig.17に示すように曲げ外R部のRを小さくする必要がある。そこで、第2工程では、Fig.18に示すように第1工程で高く成形した半円部を据込むことで、曲げ外R部へ材料を流動させRの大きさを極小化している。この据込みにより、Fig.19に示すように頂点部では長手方向に伸びが生じ、この結果、そりが発生することとなる。具体的には、全長が408mmのタンク部品で約31mmのそりが生じる。

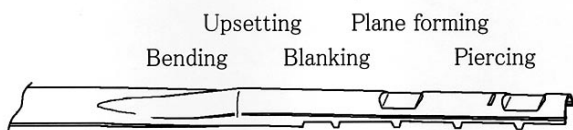


Fig.16 Sketch of layout

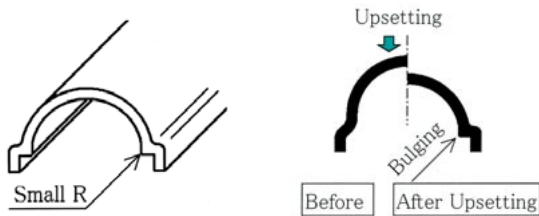


Fig.17 Part for condenser Fig.18 Upsetting process

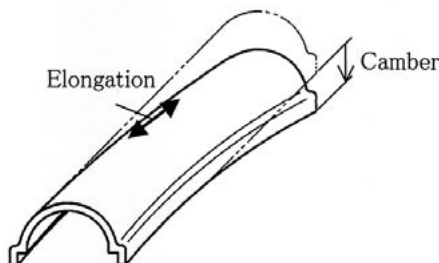


Fig.19 Camber of part for condenser

この「そり」に対し、そりと逆方向への曲げを付加して、そりを矯正することとした。このそり矯正の逆曲げは、Fig.20に示すような3点曲げ（：支点）により行う。ダイの位置を高くすると（3点曲げの支点を変更すると）、逆曲げ量が大きくなり、そり矯正量が大きくなる。

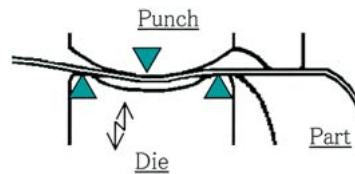


Fig.20 Leveling system

ダイの位置の変更量とそり量の関係をFig.21に示す（タンク部品全長408mmの場合）。Fig.21

に示す破線の場合、ダイの位置を約0.17mm高くすることにより、そりは矯正できる。実際の量産加工では、材料の板厚ばらつき、プレス下死点変動が生じる。これら変動が生じると、すえ込み工程で生じるそり量の変化や矯正工程の逆曲げ量の変動が生じ、「そり」が残存することとなる。

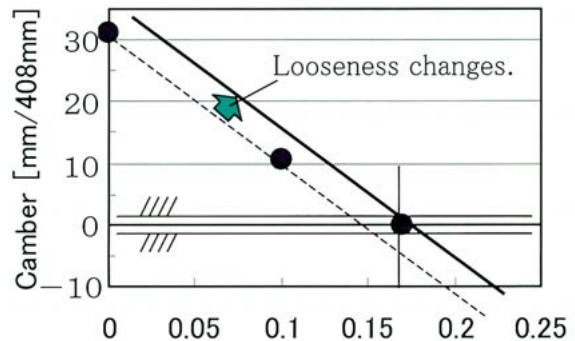


Fig.21 Camber of part for condenser

例えば、材料板厚が増加すると、Fig.21に示す実線のようにそり量が増大する。この場合、ダイの位置を0.17mmに固定しておく、全長が408mmのタンク部品では約6mmのそりが残存する。そこで、ダイ位置を約0.2mmに変更して、そりを矯正する。量産用金型には、材料の板厚ばらつき、プレス下死点変動が生じて、「そり」が矯正できるように調整機構を設けた（Fig.22）。カムを前進、後進させることによりダイの位置（高さ）を変更し、逆曲げ量を補正する。

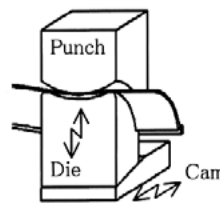


Fig.22 Revision system

実際、生産現場の作業者が品番および生産個数をコンピュータに入力すると（Fig.23：入力画面）、コンピュータは材料送りパターン、間欠動作パターンを呼び出し、そのパ

ターンで加工が開始される。加工された部品は、測定ステージで全長および伸び量を測定し、全長および伸び量が規格値（目標値）を外れた場合、このNG部品は排出される。一方、測定結果は、フィードおよび金型にフィードバックされ、補正される。



Fig.23 Input display

本システムでは、コンピュータに5種類の品番とその生産個数が記憶できる。そのため、品番切り替え時にも人手は要らず、コンピュータ内でつぎの間欠動作パターン等が呼び出され、プレス機が停止することなしに連続的に生産される。すなわち、品番切り替えの段取り時間ゼロを可能にした。

更に、材料段取りにおいても全自動で行えるシステムとしている。両頭式アンコイラを使用しているため、稼働していないアンコイラに新たなコイル材をセットしておくことができる。稼働しているアンコイラの材料がなくなると、プレス機が上死点で停止し、金型内の残っている材料を排出し、新しい材料がセットしてあるアンコイラに入れ替わり、材料がレベラ フィーダへと送られ、再び加工が開始される。この一連の作業がすべて自動で行える。生産現場の作業者は、材料がなくなったアンコイラに材料をセットするだけであり、作業者に優しい生産設備とすることができた。

## 5. 結果

Fig.24に開発したフレキシブル生産システムの金型外觀図を示す。当新生産システムを開発したことによりTable 2に示す効果が得ることができた。

プレス機は、従来4000kNクラスのトランスファプレスであったのに対し、1200kNクラスの高速自動プレスへと、加圧能力が1/3のプレス機に大幅なダウンサイジングができた。工場内のスペースも設備のダ

ウンサイジングおよび金型の削減（置き場スペース削減）により大幅な省スペース化が図れた。また、設備のダウンサイジングによりエネルギーも従来の2/5と大きな省エネルギー効果も得られた。

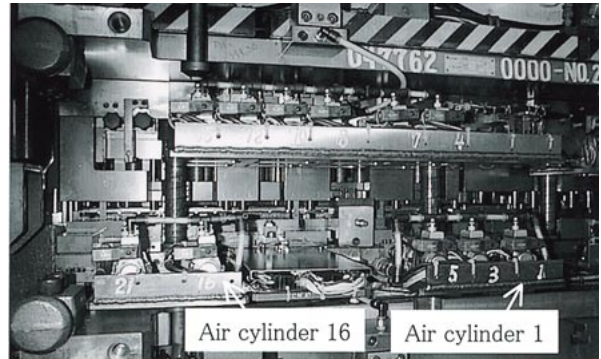


Fig.24 Outward appearance of die

Table 2 Result of the flexible production system

Concept	Target	Result
Flexibility	•It processes all variations with one kind of die.	108 parts /one certain die
High productivity	•Equal to transfer press working Cycle time : 3 second •Set-up time : Zero	3 second Zero
High quality	•Equal to transfer press working	Equal
Compact	•Area : 1/5	1/12

生産現場の作業者の作業としては材料のセットおよび生産計画（品番、生産個数）の入力を行うだけのみに優しい設備・システムにできた。あらかじめ、この生産計画を入力しておけば、システム内のデータが変更されるだけで品番切り替えができ、品番段取り時間ゼロを可能にした。

更に、開発した新生産システムは、将来の品番追加（バリエーション追加）に対しても、柔軟に対応できるフレキシブルな加工システムである。

## 6. おわりに

開発した新加工法は、部品の長手方向に対して要素長さずつ部分加工を繰り返し行う逐次加工である。一様な断面を加工しながら、同時に部品の各バリエーションに応じた断面加工、穴抜き等を追加していく。部品の各バリエーション対応としては、エアシリンダを駆動源としたカム機構を金型内に組み込み、断面加工、穴抜き、分断等をフレキシブルに行う打ち分け加工金型を開発した。

更に、従来加工法と同等の生産性（サイクルタイ

ム：3秒）を確保するため、高速ランダムフィード技術を開発した。打ち分け加工金型およびランダムフィード技術の開発により、コンパクトなプレス機によるフレキシブル加工を実現した。

品質面では、逐次加工方式は長手方向の拘束が弱く、長手方向のそり、伸びが発生しやすい。このそりに対しては、そり矯正装置を金型内に組み込み、伸びに対しては、NCロールフィーダの送り量に補正をかけることにより対応している。この結果、寸法精度（品質）は従来加工法と同等レベルを実現した。

本システムはすべてをコンピュータ制御とすることにより、作業者は生産計画をコンピュータに入力するだけで、品質の良い部品の加工を可能にした。更に、品番切り替えにおいては、コンピュータ内の打ち分けパターン、材料送りパターン（ランダムフィード）のデジタルデータが替わるだけで、段取り時間ゼロを実現した。

更に、本技術開発によりコンパクトな設備（プレス機、送り装置のダウンサイジング）での加工を実現し、従来加工法に比べ60%の省エネルギーを実現した。

本技術開発により、金型を単なる形状転写ツールとして考えるのではなく、プレス機と融合させたインテリジェントシステムとして考えることで、プレス加工に従来では考えられなかったフレキシビリティを付与させることが可能なことを示した。これは、他の加工法との競争が更に激しくなるであろう21世紀のプレス加工の生き残りの可能性を示す一つの指針として大きな意味を持つと考えている。

~~~~~  
< 著 者 >



池田 高夫  
(いけだ たかお)

冷暖房生産開発部  
主に空調用熱交換器の生産技術開発に従事



小林 亀  
(こばやし ひさし)

生産技術開発部  
主に塑性加工CAEの開発、適用に従事