

サーボプレスの開発状況と加工技術

コマツ産機鮪熊谷久男

1. はじめに

製造業の空洞化が叫ばれるなか、加工の変革、素材の変革、機械加工に迫る高精度を塑性加工で実現する事を求められている。

このような状況の中、従来のプレス機械の発想を変えたサーボ(デジタル)プレスの開発が行なわれ、従来では制御が難しかったスライド下死点精度の向上、加工途中でのスライド停止、モーション形状の任意設定などができるようになった。

サーボプレスの歴史は比較的浅く、わが社では1994年に油圧式サーボプレスを市場導入し成形品の高精度化への挑戦を開始した。その後、電動式のサーボ駆動プレスの開発が行なわれ1998年には直動式のサーボプレス、2001年にはサーボ駆動プレスの大型化をにらんだリンク機構併用のハイブリッドサーボプレスの開発、2002年には小型汎用プレスへのサーボプレス化を進めるなど、サーボプレスの市場導入が急速に進んでいる。

サーボプレスはモーションを任意に変えることにより高生産性・高精度化・フレキシブル性が向上し、低騒音・省エネなどの環境にも優しいプレス機械を実現したのをはじめ、従来のクランクプレスやリンクプレスで実現できなかった工程数の削減や油圧機構等を組み込んだ複合成形などを容易におこなうことができるようになった。

従来のプレスでは難しいとされていたスライドの下死点精度は通常の管理状態でも $\pm 10\mu$ 以内に抑えて製品の厚み方向精度は勿論のこと、製品全体の精度、金型寿命を飛躍的に向上することができた。さらにプレス室の温度を一定にして、スライドの下死点精度を \pm 数 μ のオーダーに維持することを可能にしたシステムの開発も行なわれた。

ここでは現在生産されている各種のサーボプレスの開発の紹介と製品精度・加工法案にどのような影響を与えるかについて紹介する。

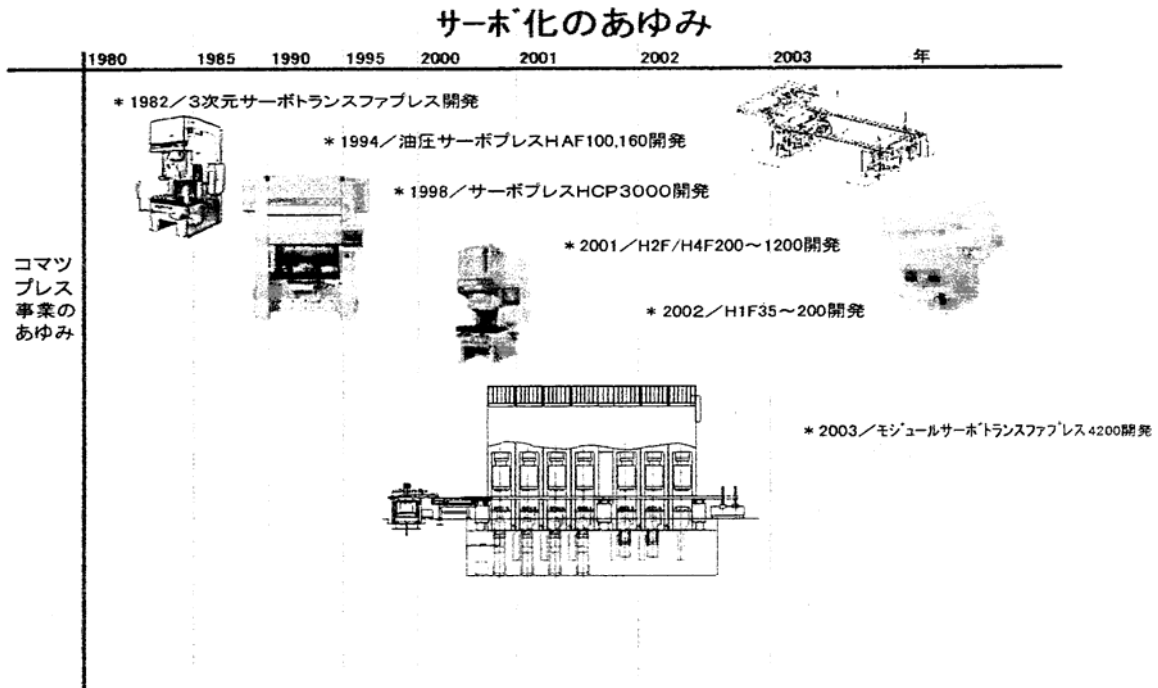


図1、プレスのサーボ化のあゆみ

2. サーボ(デジタル)プレスの特性と構造

2・1 サーボプレスの位置付け

サーボプレスは図2に示すように油圧プレスの成形性向上と機械プレスの生産性向上を実現させるために開発された新しいタイプのプレス機械である。

サーボプレスは従来のプレス機械の駆動部にあるクラッチやフライホイールを無くして直接モータで駆動して加工をおこなおうとするものである。

サーボモータ駆動プレスにはモータの動きをボールスクリューを介して直接スライドを上下させる直動タイプと、リンクなどを組み合わせたハイブリッドタイプがある。

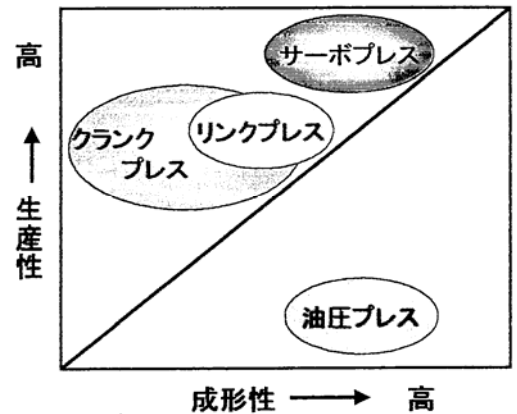


図2 サーボプレスの位置付け

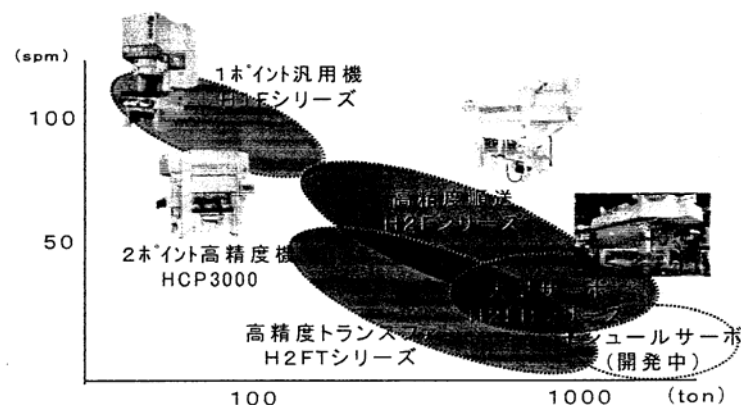
従来のプレス機械に対しサーボプレスがどのような特性を持っているかを比較すると、表1の様にサーボ駆動プレスがいかに多くの利点をもっていることがわかる。

表1 プレス機械の特性比較

	従来のプレス機械	直動式サーボプレス	リンク式サーボプレス
生産性	プレス能力によって固定	製品形状によって変更可能	製品形状によって変更可能
加圧能力	大型プレスへの対応が容易	大型プレスへの対応難しい	大型プレスへの対応可能
騒音・振動	打抜き加工などで大きい	モーション変更で低減可能	モーション変更で低減可能
駆動部の構造	部品点数多く複雑な構造	部品点数少なく簡単な構造	部品点数多く複雑な構造
スライド線図	固定のモーション	モーションは任意に設定	モーションは任意に設定
偏心荷重	偏心荷重でスライド傾く	スライド傾きは自動補正	スライド傾きは自動補正
下死点精度	40~50μm	±10μm	±10μm
型寿命	普通	衝撃力低減で寿命延長可能	衝撃力低減で寿命延長可能
省エネ	普通	電力回生で消費電力低減	電力回生で消費電力低減
加工の多様化	固定のモーションで対応	モーション変更で多様対応	モーション変更で多様対応

現在生産されているサーボプレスについて、加圧能力と生産性を比較したものである。(図3) 加圧能力35ton(350KN)の1ポイント汎用サーボプレスから1600ton(16000KN)の大型サーボトランスファプレスまで製造されている。

図3 サーボプレスのラインナップ



3. サーボプレス of 構造

3・1 直動式サーボプレス

サーボモータの回転運動をタイミングベルトによってボールスクリューに伝え、ボールスクリューの往復運動を利用してスライドを上下させる駆動方法をとっている。

図 5 は直動式サーボプレスの駆動機構である。

直動式のサーボプレスは油圧プレスと同様にスライドストロークのどこからでもプレスの最大加圧能力を発生することができる特徴を持っている。

下死点の制御は左右に設けられたリニアセンサによって加工中のスライド位置を検出しながら逐次下死点の位置を検出・補正制御して加工をおこなうためスライドの下死点精度は図 6 に示すように $\pm 10 \mu\text{m}$ 以内に保持されている。

またこのサーボプレスは多工程成で偏心荷重が作用した場合に発生するスライドの傾きに対してもリニアセンサによる検出と補正を行っており、スライド左右方向での傾きも $\pm 10 \mu\text{m}$ に抑えることができる。

このような下死点精度の管理によって部品の高精度化、寸法不良の減少、検査・調整工数の削減、金型寿命の向上など従来のプレス機械では考えられないような多くの優れた特徴を示している。

更に製品に高精度が要求される場合には恒温室での生産とプレス機械の改造を行なうことによってスライド下死点の精度を $\pm 3 \mu\text{m}$ にまで向上させた実績を得ることができた。

直動式のサーボプレスの欠点はボールスクリューの強度の問題で大型化が難しいこともあり、その欠点を補う形でリンク機構併用のサーボプレスが開発されている。

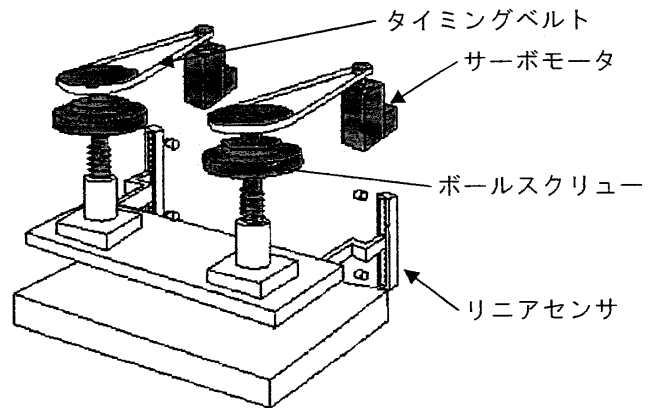


図 5 直動式サーボプレスの駆動機構

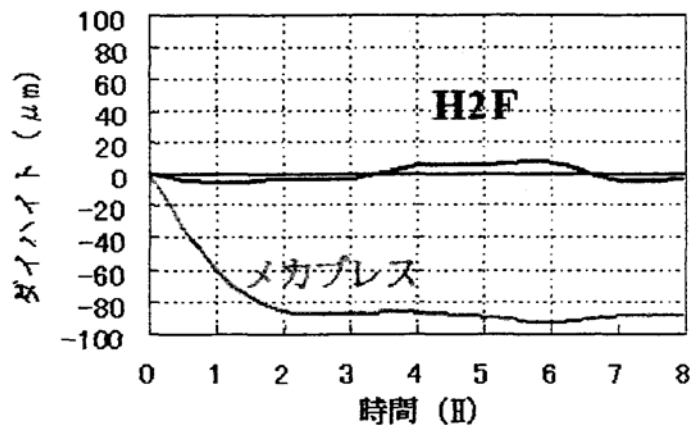


図 6 稼動中のダイハイト変化

3. 2 リンク式サーボプレス

リンク式サーボプレスにはボールスクリュウを利用したタイプとエキセンシャフトを利用した2種類のタイプがある。

図8はボールスクリュウを使用したリンク式サーボプレスの駆動機構である。ボールスクリュウの往復運動でリンク機構を揺動させることによりスライドを上下運動させている。

リンク機構を組み合わせることによって直動式のサーボプレスに比べより大きな加圧能力が得られるプレス機械となっている。

さらに大きな加圧能力が必要な場合にはエキセンシャフトを利用したリンク式サーボプレスが採用されており、現在では16,000KNクラスのプレスが開発されている。

エキセンシャフトを利用する場合にはストローク長さを変えるのが難しいため、従来のプレスのようにフルストロークで使用し、加工中のスライドモーションを任意に設定する使い方がされている。

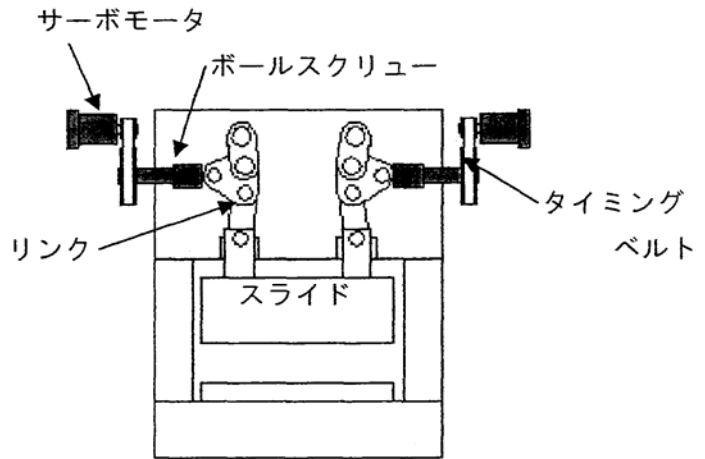


図8 ボールスクリュウ方式の駆動機構

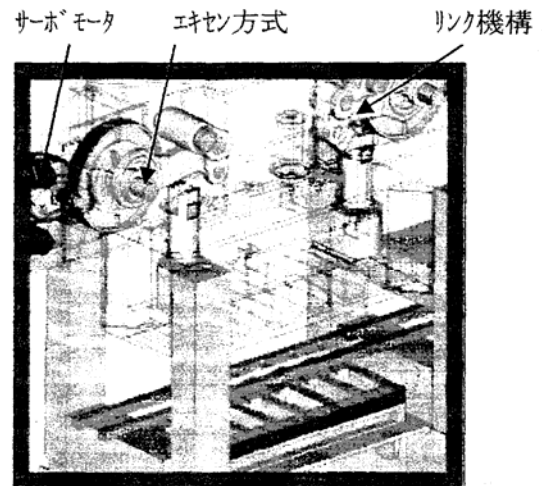


図10 エキセン方式の駆動機構

3・3 小型サーボプレス

小型のH1F45リンク式サーボプレスは加圧能力が350KN~2000KNまで生産されている。

図12はH1Fの駆動機構でエキセンシャフトを利用したリンク式サーボプレスである。

H1Fリンク式サーボプレスの場合にはエキセンシャフトを回転運動で使用する場合と、下死点付近でスライドを停止させて往復運動で使用する場合がある。その使い方のちがいについて表2に示す。

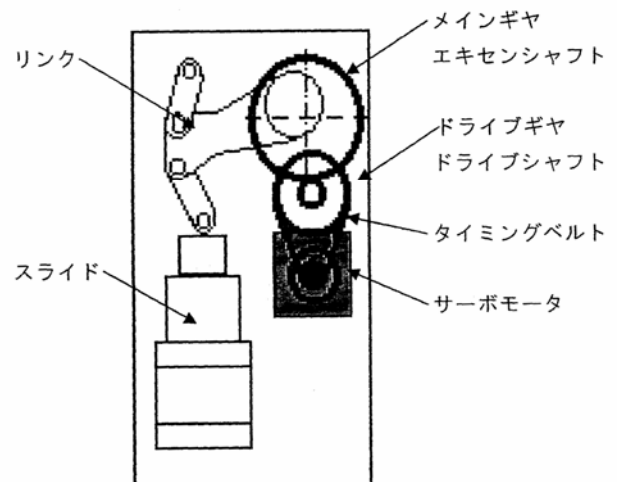


図12 小型リンクサーボプレスの駆動機構

表 2 回転運動と往復運動の比較

	回転運動	往復運動
使用状況	・エキセンシャフトを回転状態で使用。	・エキセンシャフトを往復運動させ使用。
生産性	・回転での仕様のため生産性は高い 6	・往復運動のためストローク長さが長い
ストローク長さ	・ストローク長さは一定。	場合生産性は低くなる。
モーションの設定	・任意に設定可能。	・ストローク長さを任意に設定可能。
ダイハイトの測定	・上死点付近で測定。	・任意に設定可能。
ダイハイトの調整	・上死点付近で調整。	一下死点で成形中に測定。
下死点精度	・ $\pm 20\mu$	・成形中に調整可能。

2つの使われ方の最も大きな違いは成形中のダイハイト調整が行なえるか否かである。回転運動においても図 6 に示すように時系列で発生するダイハイト変化にたいして修正をおこなうため従来のプレスに比べ変化は少なく $\pm 20\mu$ での成形が可能である。

往復運動では加工中の荷重変動によるダイハイト変化も補正することができるため製品の厚み精度をさらに向上することが期待できる。

4. サーボプレスの特性と加工メリット

4.1 ダイハイト変化量の削減

図 13 は HCP3000 直動式サーボプレスを使い、通常の使用環境と熱対策を実施したときのダイハイト変化を時間の経過に沿って比較したものである。3 時間ほどでダイハイトの変化はほぼ安定しており、熱対策を実施したサーボプレスでは 3μ 皿程度の変化にとどまっていることがわかる。

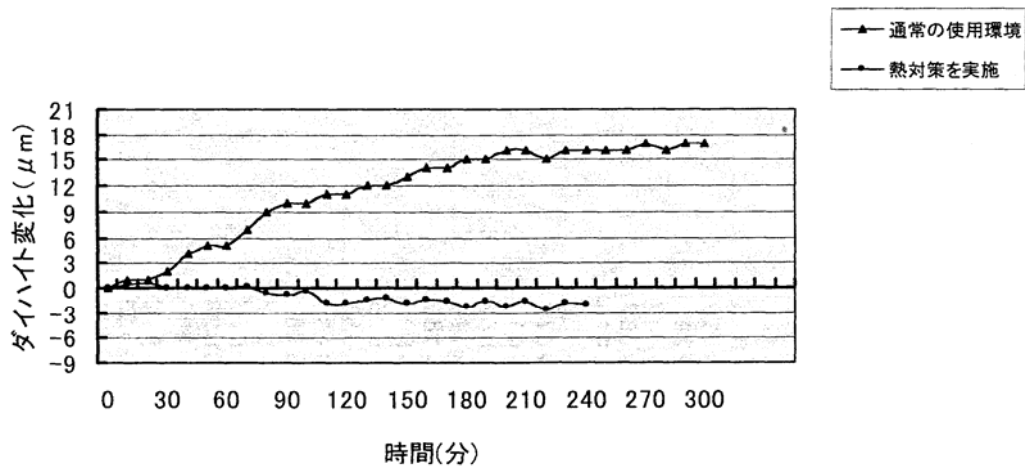


図 13 プレスの稼働環境とダイハイト変化量

直動式のサーボプレスは精度的には最も優れたサーボプレスであるが、ボールスクリュウの強度の問題で大型化が難しいことである。その弱点を補う形でリンク機構併用のハイブリッドタイプのサーボが開発されている。

通常の機械プレスに対してサーボプレスの最も大きな特徴は図 6 に示すようにダイハイト変化量が非常に少ないことである。

直動式サーボプレスでは特殊な仕様を採用することによって表 3 に示すようにダイハイトの変化量を $\pm 3\mu m$ まで制御することができるため、従来は機械加工されていた高精度の精密部品や電気部品がプレス加工されるようになった。

表 3 プレスのダイハイト変化量

	通常のプレス	サーボ駆動プレス	サーボ駆動プレス (直動式の特特殊仕様)
下死点精度	50 μ m	$\pm 10\mu$ m	$\pm 3\mu$ m
備考	加工の経過に伴うダイハイトの変化の量	通常の下死点制御を行った場合の変化の量	通常の制御に対し更に高精度化の対応を行った場合

従来のプレスでは加工中に発生する偏心荷重によって発生するスライドの傾きによって製品精度の低下や金型寿命の低下が避けられないが、HCP タイプや H2F タイプの多工程成形用サーボプレスでは時間の経過によるダイハイト変化への対応のほかに、プレスの左右に設けられた 2 式のリニアセンサによってスライドの位置を検出し補正することによってスライド左右方向の傾きを $\pm 10\mu$ m 以内に抑えることができる特徴を持っている。

このような下死点精度の管理によって部品の高精度化、寸法不良の減少、検査・調整工数の削減、金型寿命の向上など従来のプレス機械では考えられないようなメリットが考えられる。

4・2 スライドモーションの選択

サーボプレスの二つ目の特徴としてスライドモーションを任意に設定できることが挙げられる。

図 14 に設定できるモーションの例を示す。

打ち抜き加工ではせん断から破断に移る瞬間からスライド下降速度を遅くすることによってブレークスルーによる騒音と振動を低減し、順送加工では加工中の速度低減と搬送のための停止、板鍛造加工では下死点での荷重保持、絞り加工では下降中の絞り速度の低減、トランスファ加工で安定したクランプのための上昇速度の低減など色々な対応が可能である。

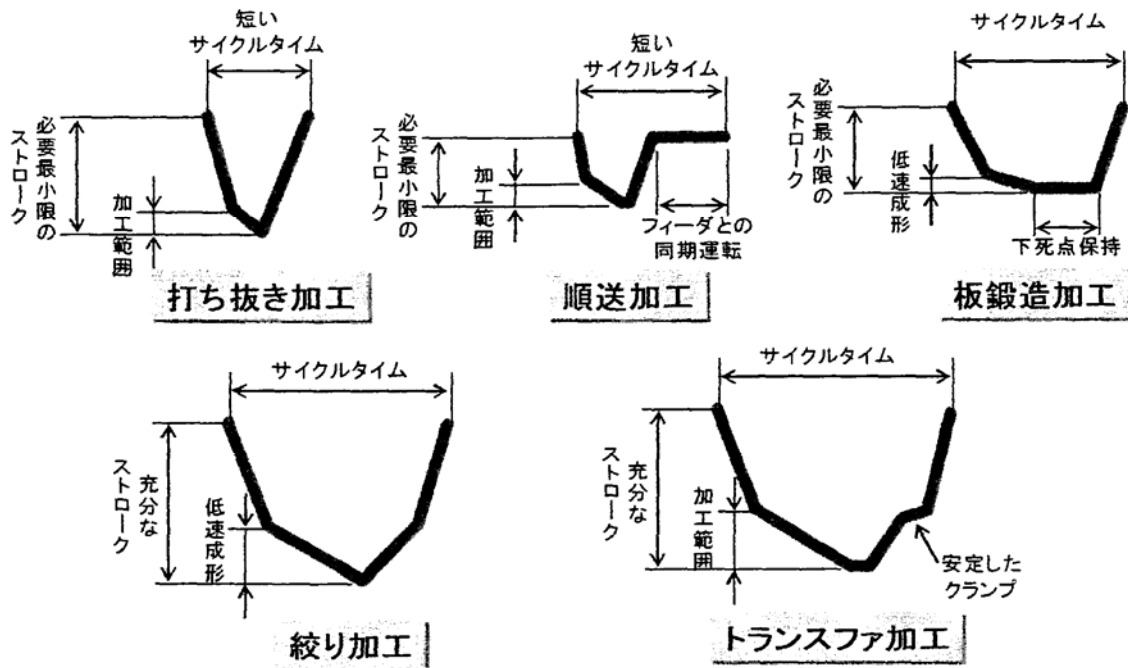


図 14 フレキシブルなスライドモーション

4.3 加圧速度と下死点での保持

図15は曲率を持った純銅の自動車部品である。従来のプレス加工では中心高さのバラツキが規格値の $30\mu\text{m}$ に対して $50\sim 100\mu\text{m}$ と大きくバラツキが発生したが、サーボプレスを使うことにより下死点での保持時間と加圧速度を変えたとき図16、17に示すようなバラツキの結果を得ることが出来た。

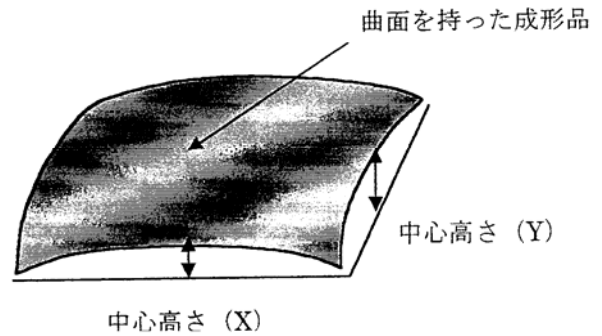


図15 楕円球面加工品

下死点での保持時間延長では10%程度の精度向上が見られた。さらに加圧速度を 30mm/sec から 5mm/sec と遅くすることによって、製品の中心高さバラツキを $50\mu\text{m}$ から $30\mu\text{m}$ に向上するなど下死点付近の加圧速度や下死点での保持時間が製品精度に大きく影響していることがわかった。

このような傾向はハイテンなどのスプリングバックの大きな材料の加工精度向上にも大きな効果があることが報告されている。

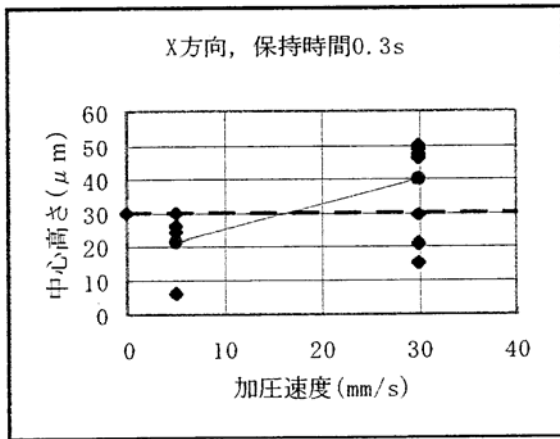


図16 加圧速度と中心高さバラツキ

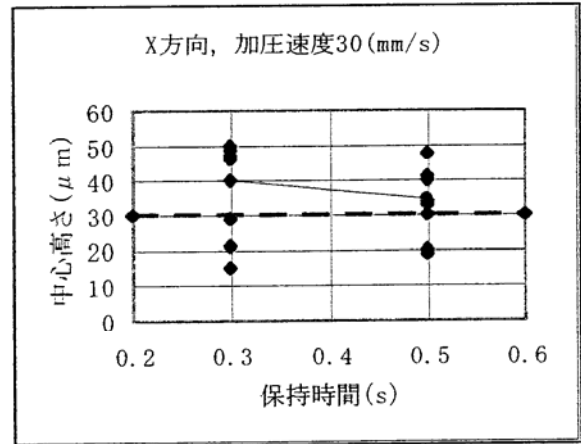


図17 下死点保持時間と中心高さバラツキ

4.4 加圧速度と破断面の割合

メカプレスで加工すると破断面が大きくなると同時にせん断面が荒れ、金型に焼き付きが発生する。そこで低速領域の加工でせん断面が増加することがわかった。金型、製品の温度も常温と変わらないので型寿命も大幅に向上した。



板厚: 13mm
材質: SS材 (軟鋼)
図18 エアコン用部品

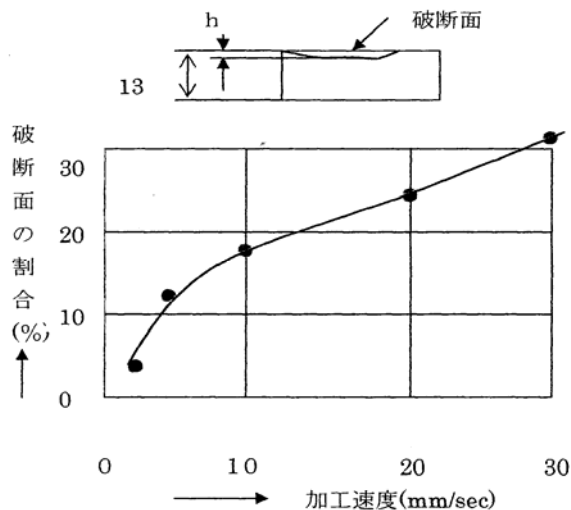


図19 加工速度と破断面の割合

4.5 純銅の成形

図 20 は純銅(板材)の押し出し成形加工をおこなったものである。図 21 が立ち上がった壁部の材料の鍛流線を見る為にカットして比較したものである。

サーボプレスの場合材料が素直に上に流れているが、メカプレスは角に亀裂が入っている。

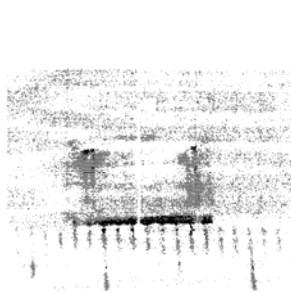


図 20 純銅の成形

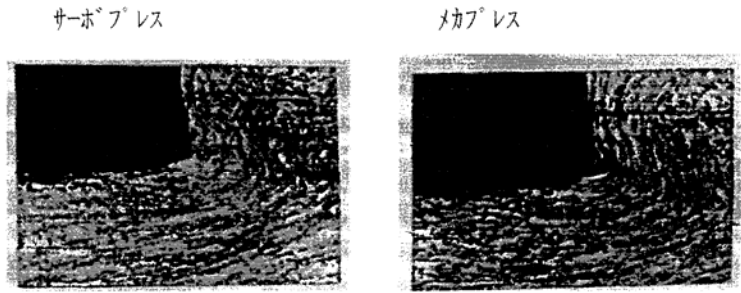


図 21 材料の流れの比較

4.6 加工時の騒音と振動

サーボプレスの特性を利用してせん断加工時の低騒音・低振動に効果を上げることができる。せん断加工では材料に金型がタッチした瞬間の衝撃、材料が破断したときに起こるブレークスルーの衝撃などをおさえるためにスライド下降速度を遅くして低騒音・低振動を実現しようとするものである。

図 22 は HCP でおこなった打ち抜き加工の条件で、通常の 1 段抜きと低騒音・低振動の確認のため 2 段抜きをおこなった。

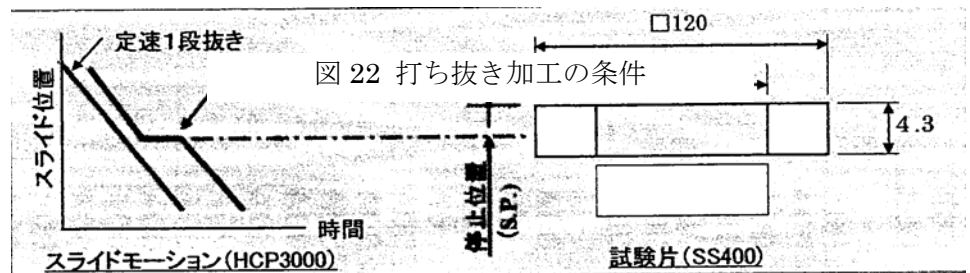


図 22 打ち抜き加工の条件

図 23 は 1 段抜きと 2 段抜きの停止位置を色々変化させたときの荷重と騒音レベルの測定結果である。

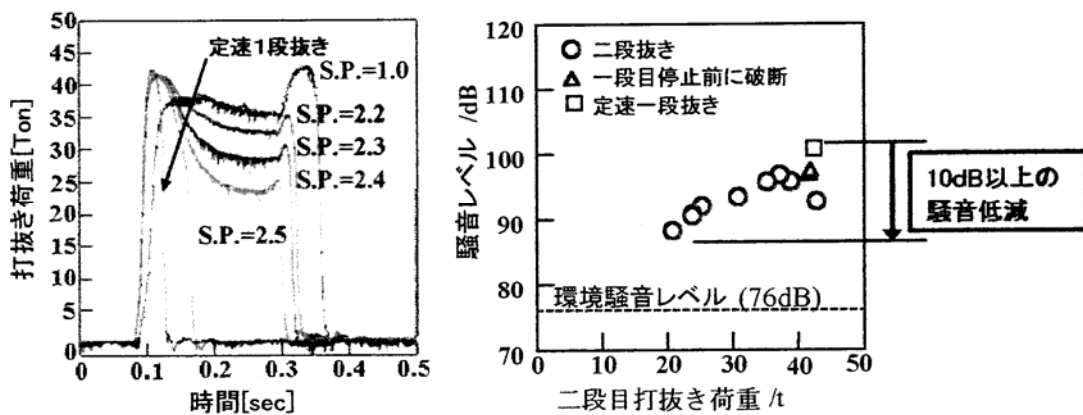


図 23 打ち抜き荷重と騒音レベル

2 段抜きによる騒音の低減効果は荷重ストローク線図の 2 回目のピーク値をいかに小さくするかであり、停止位置(S.P)が大きくなるにつれ騒音レベルが低下しており、2 段抜きで最も騒音レベルが小さいものは 1 段抜きに比べ 10dB 以上の低減が可能であった。

打ち抜き騒音の低減は打ち抜き時に発生するパンチとダイの干渉防止にも大きな効果があり、型寿命の延長に大きく寄与していることが報告されている。

4. おわりに

1998 年に直動式サーボプレスが開発されてから 4 年が経過し、現在では 16000KN クラスのサーボプレスが開発されるなど、今後もサーボプレスの大型化は急速に進んでゆくことが考えられる。

従来のプレスでは考えられなかった下死点精度の向上・モーションの任意設定が可能などサーボプレスの特徴を生かした使われ方が研究されており、応用範囲の拡大が期待されている。

鍛造プレスのように大きなトルクが必要なサーボプレスの開発には解決しなければならない問題が残っているが、複雑な形状の鍛造品を容易に複合成形できるため開発が期待されている。

*1)山形知絵子・大津雅亮・小坂田宏造:平 14 塑加春講論,(2002),161-162