

# サーボプレス利用技術の開発研究

(社)日本金属プレス工業協会 サーボプレス利用技術研究部会

理化学研究所 VCAD システム研究プログラム

林 央

(平成 20 年度重点研究開発助成 AF-2008001)

キーワード：サーボプレス，ステップ加工，コイニング効果

## 1. はじめに

薄板のプレス加工は、大量生産に適している、複雑な形状製品が得られ、その形状・寸法精度が良い、材料歩留まりが高いなど多くの利点を有する成熟した加工技術として、自動車・電気・通信機器をはじめ、多くの製品を構成する部品製造に利用されてきている。しかし、環境保全問題、多品種少量生産への対応、成形品の高精度化、難加工材への対応、コストダウン、国際的競争などの多くの問題に直面している。

ものづくり立国を標榜してきた日本として、昨今の経済危機、産業危機に対処するため、生産のグローバル化の中で、日本特有の技術をどのように確立していくか、検討され、2009年にロードマップとして図1のようにまとめられている。下記のような観点から革新的次世代薄板成形技術として具体的な開発課題が提起されている<sup>1)</sup>。

- ①高精度，高付加価値，高機能製品の創出
- ②切削や鍛造など他技術からの工法転換
- ③多品種，中・少量生産，生産量変動への対応
- ④高品質，高付加価値，高精度製品の安定生産と低コスト化

- ⑤軽量化のような環境負荷の少ない製品，生産技術の開発
- ⑥新産業・新技術分野のニーズに応じた技術の開発
- ⑦グローバル生産で生じる量変動に対応した生産設備，移動に強い生産設備の開発
- ⑧シミュレーション技術の高度化

金属プレス加工は、多くの要素技術で構成される総合的な加工法であり、個々の技術の高度化が薄板成形技術開発を促進することになる。特に、素材(被加工材)、金型技術、鍛圧機械は重要な要素技術である。プレス機械に関しては、スライドの動きや速度、下死点位置、加圧力などを任意にかつ高精度に制御できるサーボプレスの登場が、より革新的な成形技術開発のキーとなっている。このような状況を背景に、サーボプレスの特徴を活かした利用技術開発のための基礎的な検討を行う目的で、(社)日本塑性加工学会と(社)日本金属プレス工業協会は共同研究組織として「サーボプレス利用技術研究部会」を発足させた。本稿では、研究部会の活動を述べる。

## 2. サーボプレス利用技術研究部会の活動の経緯

サーボプレス利用技術研究部会は、西村尚東京都立大学名誉教授の提案により、学会と工業会の共同組織として、(社)日本塑性加工学会と(社)日本金属プレス工業協会の共同運営による画期的な研究部会として平成19年7月に活動を始めた。研究部会設立の趣旨は以下の通りである。

### 2-1 目的

日本の鍛圧機械メーカーは日本の独自技術としてサーボプレスを開発し、金属プレス加工分野への使用拡大に力を入れているが、開発目的に応じて仕様も多様である。「サーボプレスは本当に使えるのか、どのような用途に適しているのか」といった疑問や、すでに導入している企業では、成果を上げていているところもあれば、その性能を十分に生かしきれず、利用技術の開発を求めているところも多い。そこで、学会と工業会と共催で部会を発

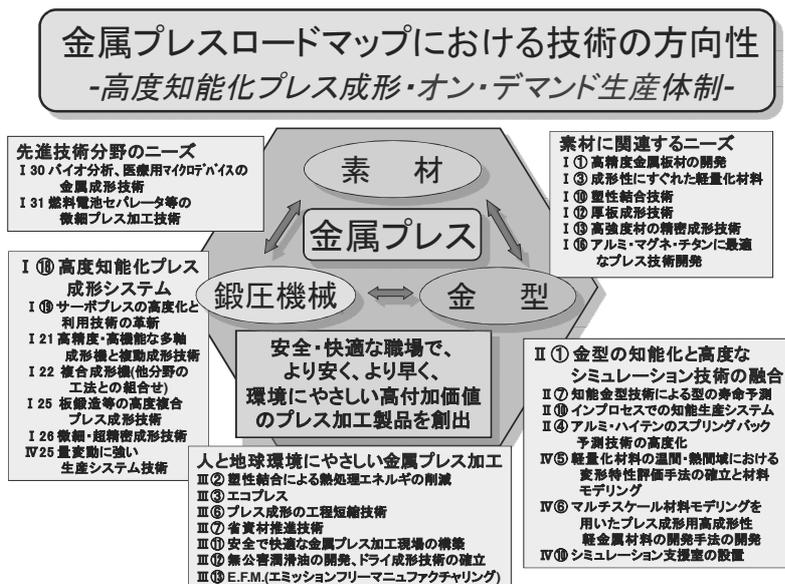


図1 金属プレス技術の方向性<sup>1)</sup>

足させることにより、産学官協同でサーボプレスの利用技術を開拓することを目的とする。

## 2.2 学会と工業会との共同組織のメリット

学会は基礎的な研究を得意としているが、現場の生の声が届きにくい体質にある。工業会は「know how」を有しているが、その技術基盤となる「know why」に弱い体質にある。そこで両者の得意とする分野を融合させ、実用的な基礎研究成果を挙げることを期待する。

研究部会開始時点で企業会員 35 社(日本金属プレス工業協会正会員企業 16 社、日本塑性加工学会賛助会員企業 12 社、鍛圧機械メーカー7 社)と大学・研究所所属の 10 名の会員で構成され、その後企業会員は 38 社まで増えた。2008 年のリーマンショックによる景気後退の影響で企業会員は多少減少したが、予期したほどではなかった。これはサーボプレスに対する関心の高さだけでなく、サーボプレスの利用技術開発がものづくりのかなめとなることが期待されている結果といえる。

## 2.3 参加企業が研究部会に期待する事項

研究部会に参加している企業、大学・研究機関それぞれが期待したことは、

○鍛圧機械メーカー：サーボプレスの生産・販売は拡大してきているがさらなる拡大のために課題、ユーザーニーズの把握と対応の現状、ユーザーから見てサーボプレスにほしい性能(要望事項)を把握する。

○金属プレス加工・鍛造加工企業：サーボプレスに期待する性能はなにか(加工精度、生産性、難加工材対応技術、省エネ、型寿命、潤滑、環境対策など)、どのような導入効果が期待できるのか、どのような加工にサーボプレスを使ってゆくつもりか、などを明確にする。

○材料メーカー：サーボプレスによる加工時の成形性の概念構築、材料ごとの最適スライドモーションの設定、難加工材の成形限界・形状凍結性向上のためのサーボプレス利用指針の作成、などを旨とする。

○大学・研究機関：抜き、曲げ、絞り、圧造など加工種別における基礎的研究。サーボプレスによる加工のシミュレーション技術、潤滑技術の活用などを踏まえて、共同研究の実施母体となる。

と、多岐にわたった。

## 2.4 研究部会の活動概要

研究部会では、サーボプレスの動向・特徴の把握、利用技術の実態、活用に際しての問題点などの調査を行い、これらを踏まえて共同実験を推進することとした。

### (1) 調査活動

事例発表会を開催し、鍛圧メーカーからのサーボプレスの特徴紹介、加工メーカーからのサーボプレスの特徴を生かした加工事例の紹介や有効利用のために抱えている課題、サーボプレスに対する期待などの検討を進めた。さらに、サーボプレスを導入している加工メーカーの見学会を実施した。

### (2) 共同実験

サーボプレスに関する研究・開発課題は多岐にわたる。研究部会では、共同実験として実施するテーマ選定のための課題を洗い出し、利用技術開発のための基礎的な研究テーマとして 3 つの課題を取り上げ、WG 活動を展開した。

WG1 ステップ加工効果 WG・・・多段成形など、サーボプレスのスライドモーションの利点を生かした加工法の開発に向けた基礎的な研究を実施する。

WG2 コイニング圧効果 WG・・・下死点でスライドを停止することができるサーボプレスの特長は、形状性確保、形状転写率の向上を期待できる。そのメカニズムの解明と実際の加工への効果を知るために、下死点における材料、金型の挙動を調べる。

WG3 速度効果 WG・・・サーボプレスに引張試験装置を設置し、プレス加工時の速度、加速度に対応した材料特性を測定し、応力-ひずみ関係など成形シミュレーションに利用できる材料データを取得する。

共同実験を進めるために(財)天田金属加工機械技術振興財団から研究助成金の援助をいただいた。

## 3. サーボプレスの特徴

サーボプレスとは、サーボモータを駆動源として採用したプレス機械であり、様々なタイプの機械がある。サーボモータによってダイレクトに駆動されるメカニカルサーボプレス、サーボモータを駆動源としてボールスクリュー及びリンク機構を組み合わせた構造のメカニカルサーボプレス、サーボバルブを採用した液圧サーボプレス、液圧ポンプをサーボモータで直接駆動する液圧サーボプレスなど、現在メーカーで製造されているサーボプレスは様々な構造のものがある。

サーボプレスは日本が世界に先駆けて開発し、実用化を実現した機械であり、(社)日本鍛圧機械工業会の会員会社の中で 14 社が製造・販売している。サーボプレスの安全に関しても、鍛圧機械工業会の規格をベースとした日本工業規格 JIS B 6410 : 2009 プレス機械-サーボプレスの安全要求事項、が制定されている。

図 2 は機械サーボプレスと液圧サーボプレスのシステム構成例である<sup>2)</sup>。多目的の汎用機械とともに、加工法に応じた専用機械も製造されている。サーボプレスは 10 数年の歴史しかないが、近年その導入は加速しており、様々な加工分野への応用が広がっている。2009 年のリーマンショックで一時的に出荷量が減った鍛圧機械は、今後東日本大震災の影響を受ける恐れはあるが、順調に回復しており、特に機械プレスの 50%超(出荷金額ベース)はサーボプレスとなっており、プレス成形を支える技術としてその重要性は増している。

本来、プレス加工は、金型をプレス機械に装着し、加工素材を金型に設定し、作業者がプレス機械を運転すれば製品ができるという、非常に単純な作業である。機械は、加工速度、加工力などあらかじめ決められており、

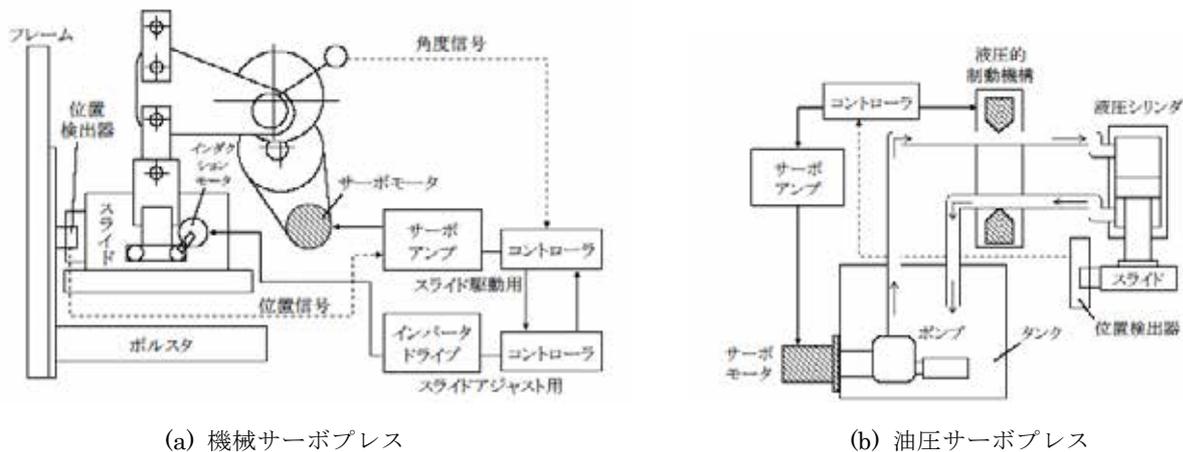


図2 サーボプレスシステムの構成例<sup>2)</sup>

作業者の意志が反映されることはない。これに対して、サーボプレスは、金型と機械で行うプレス加工に作業者の意志を加えることができる新しいプレス機械である<sup>3)</sup>。ソフトウェアによる作業が実現できる知的機械といえる。

サーボプレスは多くの特徴を備えているが、もっとも大きな長所は図3に示すように、スライド動作モーションが自由に制御できることである。

サーボプレスが有する機能は以下のようにまとめられる<sup>4)</sup>。

(1) スライドの反転機能

スライド下降途中でスライドを上昇に転じ、少し上昇した(数ミリ程度)ところで下降する、この運動を繰り返す方式である。下降から上昇に転ずる点では加工力はゼロになるので、スライドの伸び、金型の変形が収まり、製品の加工精度の改善が期待できる。摩擦特性の変化も生じる。一般的に生産速度は遅くなる。

(2) スライド速度可変・加減速機能

スライド速度を変えることができる機能である。上下

型のタッチ速度を遅くし、衝撃を避け、その後スライドを高速にする加速加工が可能になる。一定速度加工もできる。摩擦特性、材料特性の変化が予想され、その解明が望まれる。

(3) スライドの下死点停留機能(コイニング効果)

下死点でスライドを停止することができる。これはサーボプレスの重要な機能である。この機能は液圧プレスでは可能であったが、機械プレスでは不可能な動きで、また、下死点では加工力はゼロである。サーボプレスでは下死点でスライドを数秒停止することでコイニング圧力を加えることができる。これによりスプリングバックを抑制することができる。コイニング圧は何回でも加えることができる。下死点での材料の変形特性、内部構造変化などが期待でき、新しい加工法の開発にもつながる。

(4) NC ダイクッションを組み込んだサーボプレス

可変しわ抑え力機構を組み込んだサーボプレスも開発されている。このNCダイクッションとスライドモーションを組合せて効果が期待できる。最適プロセスの設定など今後の検討が必要であるが、可能性を秘めた加工技術となる。

サーボプレスのスライドモーションの特性を生かした生産ラインでの効果として期待されているのが、生産性向上・省エネルギー、騒音・振動対策である。

(1) 高生産・省エネルギー効果

サーボプレスでは、従来の機械ではできなかったスライドストローク長さの変更が可能となる。サーボモータの正逆回転機能によりバリエアブルストローク機能が付与され、最適化が可能である。順送加工では、ストローク移動範囲を短くすることにより、生産性が向上し、使用する電力も低減でき省エネルギー効果が得られる。

(2) 抜き騒音の減少

スライドモーションを打ち抜き時に低速にすることで、騒音を大幅に低減することができる。ただし、高強度鋼板や高炭素鋼板では破断が早く発生するために、加工速

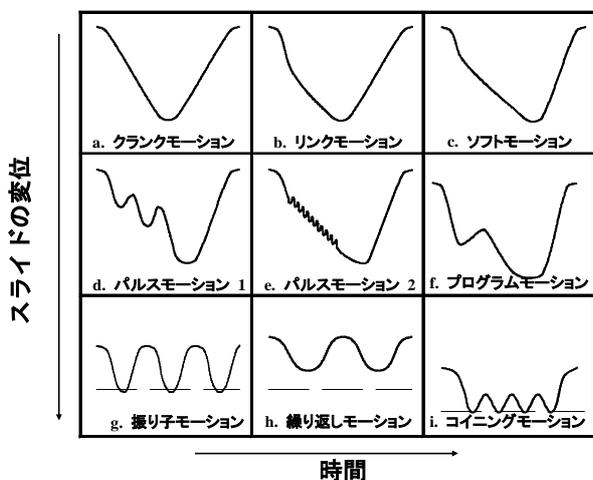


図3 サーボプレスにおけるスライドモーション例 ((株)アマダ提供)

度の制御だけでは対処できず、金型のクリアランス、構造の変更が必要となる。

#### 4. サーボプレス利用技術の動向

サーボプレスの利用技術開発に関して、研究部会は、参加会員に対するアンケート調査などを行い、研究開発課題として期待するもの、サーボプレス利用技術の現状、共同実験として実施すべき課題の検討を進めた。

##### 4.1 サーボプレス利用技術に関する研究・開発課題

サーボプレス利用技術に関する研究・開発課題は多岐にわたる。

##### (1) サーボプレスの特性とその有効利用

スライドモーションの自由な制御がサーボプレスの最大の特長であるが、この特長を正確に把握し、どのような加工に有効であるのかを明らかにすること、様々なスライドモーションを生かせる加工を明らかにすること、などが指摘された。

サーボプレスのスライドモーションを生かす加工法としては、以下のようなものが挙げられる。

##### ・パルスモーション

細かな上下運動を生かした絞り加工、しごき加工への利用が有効であり、打抜き音の低減にも効果が期待される。

##### ・振り子モーション

可変ストロークを使うことにより順送加工での生産性向上を図ることができる。

##### ・繰り返しモーション

下死点位置を任意に変えられる特性を生かした加工への利用、たとえば深絞り製品の天井部分のピアシング(穴開け加工)に利用する。

##### ・コイニングモーション

下死点での停留・加圧を利用したつぶし加工やヘッドイング(頭打ち加工)に最適なスライドモーションである。また、製品の平坦度向上やスプリングバックの抑制効果が期待される。

##### ・プログラムモーション

スライドモーションを適宜に制御することにより、多段成形、複合加工に展開できる。

##### ・ソフトモーション

加工時のパンチと被加工材の接触時のパンチ速度を制御することにより、打抜き音の低減が期待され、また底突き加工に適する。

従来のプレスと比べ、すぐれた特性を有するサーボプレスであるが、開発当初からその欠点も指摘されていた。

①フライホイールを持たないため、電気エネルギーを蓄えるコンデンサを付ける、あるいはリンク機構のようなメカ機構との複合化が必要である。

②クラッチがないため、動力を遮断できない。安全性を確保するために高度の制御機構が必要になる。

③サーボモーターが高いため、機械も高価である。

しかし鍛圧機械メーカーの努力により、さらなる進化

を続け、サーボプレスの欠点を補い、さらなる高度化を目指して新しい技術が展開されて、様々な機能を有する製品が開発されている<sup>5~9</sup>。

①大荷重下での超微速、高トルク、高応答が可能なサーボモータの完成により、大出力のサーボプレスが登場している。

②プレス加工フル加圧時のクローズドループ制御が可能となっている。

③サーボプレスの動きを正確に加圧に反映するプレス機械とスライドガイドの完成。

##### (2) 難加工材へのサーボプレスの利用

難加工材の成形限界向上を図るために、サーボプレスの作動特性を生かした加工法を開発する。高張力鋼板、ステンレス鋼板、アルミニウム合金板、マグネシウム合金板など、成形限界が低く、通常の工法では加工が難しい材料について、成形限界向上のためのスライドモーションの最適化を図る、スプリングバックを抑制する加工法を開発する。

##### (3) スライドモーションに対応した潤滑効果と材料特性効果の評価

潤滑効果(摩擦特性)は速度依存性があり、材料特性の速度効果とともに、サーボプレスのスライドモーションのパターンによるこれらの影響を把握する必要がある。速度依存性と共に、加速度依存性の把握も望まれる。

##### (4) 生産性向上・作業環境の改善のための利用

サーボプレスには、生産性向上、生産コストの削減、省エネルギーや騒音・振動対策など作業環境の改善、金型寿命の向上など、多くの導入効果が期待されている。アンケートにおいても、成形性向上とともに、生産性向上、騒音・振動軽減、金型寿命向上、工法転換、工程短縮、加工費低減を図りたいとの金属プレス加工メーカーの意向が強い。

##### (5) 新加工法・複合化加工法の開発

サーボプレスの特性を活かして、新しい加工法を開発する、あるいは他工法からの転換を図る。

##### (6) 鍛造加工へのサーボプレスの利用

サーボプレスの大容量化が具体化すると共に、鍛造分野へのサーボプレスの導入も進んでいる。工法転換の代表例である板鍛造においてもサーボプレスは重要な役割を果たすようになっている。

##### (7) サーボプレス導入の効果の評価

これまで示してきたようにサーボプレスの使用目的は、金型寿命向上、省エネルギー効果、精度向上、生産性向上、難加工材の成形限界向上、騒音・振動軽減など多岐にわたるが、実際にサーボプレスを導入した場合の効果をどのように評価するのか、その手法を明らかにしたい。

サーボプレスの具体的な利用技術の開発も進められており、生産現場で成果を上げている事例も多い。

##### 4.2 難加工材の成形へのサーボプレスの利用<sup>10)</sup>

サーボプレスの利用目的の一つで、その効果が大きく期待できるのが難加工材の成形である。

#### 自動車用アルミニウム合金の成形<sup>11)</sup>

アルミニウム合金は軽量化材料として期待され、自動車車体への適用も着実に拡大している。しかし、成形性、特に深絞り性が鋼板に比べ劣ることから、比較的成形の簡単な部位、たとえば、フードやトランクリッドなどへの適用に限られている。これに対処するために、深絞り性に優れたアルミニウム合金の開発が進められてきた。自動車軽量化のためのアルミニウム合金高度加工・形成技術の開発がプロジェクトとして実施された。開発された新しい合金は、アルミニウムでは難しいとされた塑性ひずみ比  $r$  値が 1 を超える材料である。円筒成形などシンプルな形状の成形では、その効果が確認でき、限界深絞り比が大幅に向上している。

この材料を、自動車部品の中でも加工が難しいドアインナーパネルへの適用を試みたが、従来の成形法では、割れが発生した。これを解決する方法としてサーボプレスの利用が試みられた。アルミニウム合金は、成形速度を上げると、伸びが増加し、成形性が向上することがわかっており、高速加工を試みた。単に成形速度を上げるだけでは十分な効果は得られなかったが、成形中に速度をあげる加速成形が効果があることがわかった。図 4 はスライドの平均速度を 41mm/s と 103mm/s で加工したときのドアパネルモデル型成形における結果である。平均速度 103mm/s で加工した場合、破断もくびれも発生しない製品が得られている。このときのスライド速度とストロークの関係を図 5 に示す。平均速度 41mm/s では、成形区間では減速しているが、高速では加速していることがわかる。このように加速度が成形性に影響することが明らかである。その理由に関しては、材料特性の速度・加速度依存性、摩擦条件の変化が影響していると考えられる。



図 4 ドアインナーモデルパネル

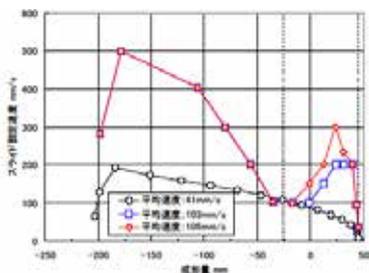


図 5 成形時のストロークモーション

(6000 系 Al-Mg-Si 合金)

この実験では、ダイクッション圧は一定としているが、可変しわ押さえ圧を組み合わせることにより、さらに成形性向上を期待できる。成形初期にしわ押さえ圧を高くし、成形周期にしわ押さえ圧を下げて材料流入を大きく

する。これにより破断危険部位のひずみ量を低くし、応力を下げる効果が期待できる。成形終期にパンチ速度を上げることにより、材料流入効果が一層高まる。

#### 高張力鋼板の成形性向上、形状凍結性向上

自動車軽量化の主演として高張力鋼板の適用は拡大し、その強度レベルも引張強さ TS 980 MPa を超えるまでに上昇している。高張力鋼板は、成形限界が低いことによる破断発生とともに、スプリングバックによる精度不良が大きな問題となる難加工材である。

サーボプレスのスライドモーション特性を利用して、深絞りにおける成形限界を上げる加工法も開発されている<sup>12), 13)</sup>。

高張力鋼板のハット型製品では、断面におけるスプリングバック(角度変化、壁そり)や、長手方向のねじりが大きな問題となる。これを改善するためにサーボプレスを利用した加工法が開発されている<sup>14)</sup>。ハット曲げでは、壁そり、フランジ部のスプリングバックが発生するために、成形が終わった後に、曲げ部に張力を負荷、あるいは曲げ部と直角方向に胴突きをするなどして矯正を図る。図 6 に示すように曲げ角部にリストライクを施し、張力を与える決め押しをすることによって、形状不良をなくす方法である。左右非対称の部品では、縮みフランジ側と伸びフランジ側で、残留応力の形態が異なり、特に縮みフランジの修正量が大きくなる。材料のパウシंगाー効果を利用することにより、良好な製品が得られる。通常、絞り段階では浅く成形し、リストライクでさらに深く成形することにより矯正する。この方法では、絞り時に深く成形し、リストライクでは逆に成形深さを浅くする方法で形状性を確保している。これも、サーボプレスの特性を利用した加工法である。図 7 に成形後のハット型製品を示す。この加工では、金型構造も一工程での成形が可能となるよう設計されている。

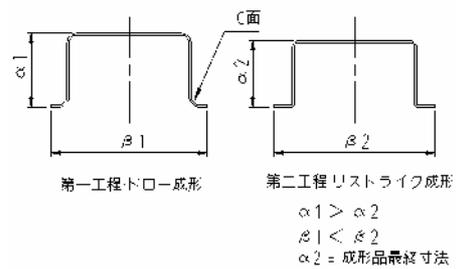


図 6 ハット型絞り曲げの工程

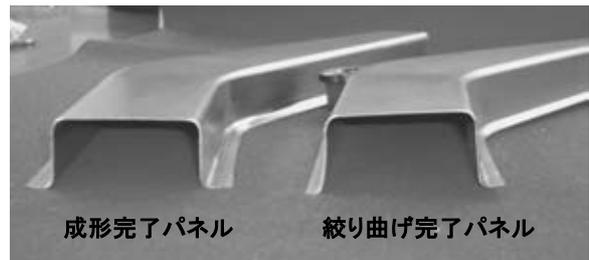


図 7 ハット型絞り曲げ成形品 (TS 590 MPa)

### マグネシウム合金の温間成形の生産性向上<sup>15)</sup>

マグネシウム合金は、常温での成形が難しいため、250～300℃での温間成形が行われる。最も重要なことは素材の温度管理である。加熱炉で加熱し、炉から取り出した素材を成形することは可能であるが、マグネシウムの線膨張係数が鋼板の約 2.5 倍であり、素材の温度分布の存在により寸法のばらつきが大きくなる。薄板では温度下降が大きいために、炉外に出すことによりブランク寸法の変化が非常に大きい。このため、成形品の寸法ばらつきが大きくなり、そりが発生する。型内で加熱し、成形することができればブランクの温度管理も容易であり、成形品の精度も向上する。この管理のためにサーボプレスが利用される。

あらかじめ加熱された金型にマグネシウム板を挟み込み、その位置でスライドを一定時間停止する。素材は薄板であるので、所要温度に達するのは約 3 秒程度である。それからスライドを下降させ、成形を行う。この方法では素材の温度管理が厳密にでき、ブランクの温度分布も小さくなるので、成形品の精度も保証される。常温からのブランク投入により加熱炉のスペースが不要となり、省エネルギー・省スペースが実現した。図 8 は実際の成形ラインを考慮した開発ラインである。コイル材投入、レベラ矯正、ブランピング、加熱、成形、冷却、抜き、

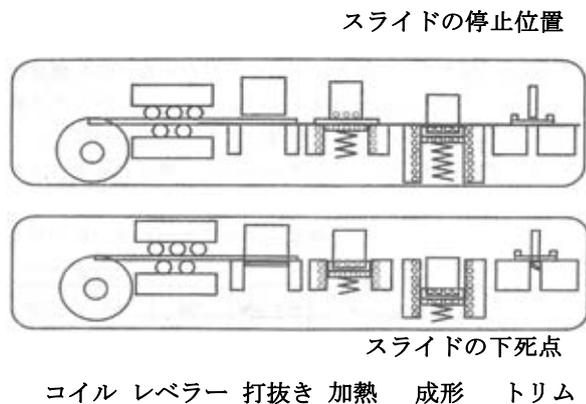


図 8 マグネシウム合金の温間成形プロセス

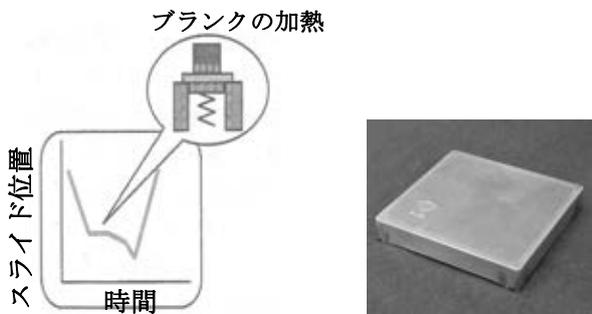


図 9 Mg 合金温間成形におけるスライドモーション

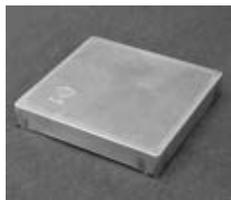


図 10 マグネシウム合金製 PC ケース

トリムと作業が進められる。温間成形では、成形工程におけるスライドモーションを自由に設定できるフリーモードプレスが不可欠である。図 9 はこの加工で使われたスライドモーションである。図 10 はこのプロセスで作られたマグネシウム合金の PC ケースである。

### 4.3 生産性向上・作業環境の改善

生産性、経済性の観点からサーボプレスの特性を活かした活用も進んでいる。

経済性からのサーボプレスの特長は、

#### ①省エネルギー機構

プレス機械の無駄な動作を大幅にカットし、余分なエネルギー消費を抑えた機械である。各所の摩擦損失を従来機械より大幅に低減して、熱発生を抑え、プレス機械の精度も向上している。

#### ②省力化機能

クローズドループによる CNC 運転を行い、高精度なプレス加工を連続して自動運転でき、加工品品質の監視作業も低減される。

#### ③ランニングコストの削減

低振動で高精度のプレス加工を行うことができるため、金型の損傷も低減し、異常摩耗の低減による金型再研磨の低減、金型寿命の長期化が実現する。

このようなサーボプレスの特性を活用した加工が実用化されている。車体パネルのような大物部品の加工にもサーボプレスの導入が進んでいる。

トヨタ自動車は、大型サーボプレスをメーカーと共同開発し、プレスラインに展開している<sup>16)</sup>。導入の効果として、プレス機械の保全作業の低減、省エネルギー、騒音低減、生産性の向上、省スペース、使用油量の低減などの効果が得られている。

本田技研工業はホンダエンジニアリングと共同で高速・高精度サーボプレスと高速搬送装置をプレスラインに導入し、深絞り大物部品の高精度・高速生産を実現している<sup>17)</sup>。

### 4.4 微細加工品の高精度成形・コイニング圧の利用<sup>10)</sup>

図 11 の部品は動圧軸受けで表面に微細で高精度の溝が彫り込まれている。材料は 0.50mm のステンレス鋼である。この溝を成形するために、10mm のパンチ押し込み量を設定し、通常のクランクプレスで加工した。しかし、溝の成形深さは 1mm 少ない 9mm で、またばらつきも大きく、不良品となった。これはスプリングバックの影響と思われる。これを解決するために、サーボプレスの持つ、下死点での停留機構を利用した。下死点で停留時間を変えて、溝の深さ、ばらつきを測定した。その結果、下死点で 1 秒以上停留すれば、



図 11 HD 用動圧軸受け

ばらつきは 0.1mm 以下、溝深さも 9.8~9.9mm を確保できた。このように下死点でパンチにより静的荷重を負荷すると、コインイング圧効果により精度が確保できる。最近では下死点近傍で数回にわたりパンチを上下して、コインイング圧を加えるステップ加工も試みられている。

#### 4.5 個々の加工法でサーボプレスに期待されること

アンケート調査では、個々の加工法におけるサーボプレスへの期待も示されている。共通する事項とともに、それぞれの加工での特に望まれていることもある。

##### 1) せん断加工

加工精度向上、加工スピード向上(生産性向上)、新しい素材の加工、新しい加工法の開発。

##### 2) 曲げ加工

加工精度向上、加工スピード向上(生産性向上)、加工範囲の拡大(曲げ加工限界の向上)、新しい素材の加工。

##### 3) 絞り成形加工

加工精度向上、加工スピード向上(生産性向上)、工程数減少、新しい素材の加工、加工範囲拡大(成形限界の向上)。

##### 4) 圧縮加工

加工精度向上、加工スピード向上(生産性向上)、加工範囲拡大、工程数減少

##### 5) 複合加工

型内タップ加工、つぶし抜き加工、シェービング加工などへの適用。

##### 6) その他の加工

ギア製作のプレス加工化、厚板製品加工、変形による排出不良の低減の展開。  
などが挙げられる。

### 5. サーボプレス利用技術開発のための共同研究

サーボプレス利用技術研究部会の共同研究として、基礎的な知見をえるために、3つのワーキンググループ(WG)を設置し実験を実施した。当初、鍛造に関するWGの設置も検討したが、時間的な制約から断念した。各WGは、目的・実験計画を立案、サーボプレスメーカーの協力をいただいて実験を行った。これらの成果は、詳細な実験データも含めて報告書としてまとめている。ここでは、それぞれのWGの活動の概要を述べる。

#### 5.1 WG1 ステップ加工効果WG

多段成形など、サーボプレスのスライドモーションの利点を生かした加工法の開発に向けた基礎的な研究を実施する。

##### 目的・実験方法

サーボプレスのモーションの一つにステップ加工があり、加工精度や加工限界の向上に効果があるとされているが、系統的な調査は必ずしも十分ではなく、その特性を調べることは重要である。ステップ加工のスライドモーションを図12に示す。スライドが下降中に複数回の上下運動をするのが特徴である。上下運動の回数や、上

下運動を行う位置は設定が可能である。

ステップ加工の効果を見る対象として、厚板(5mm程度)の打抜きを取上げ、加工の結果を比較するために、通常の打抜きにおけるスライドモーション(クランクモーション)の速度を変えた実験も行った。



図12 ステップ加工のスライドモーション

50mm 角形状の打抜き加工を行った。被加工材は、熱延鋼板 SPHC 2種類(黒皮、みがき)、アルミニウム合金 A5083、炭素鋼 S45C、炭素工具鋼 SK45、一般構造用鋼 SS400、ステンレス鋼 2種類 SUS304、SUS430 である。加工速度、ステップ数、パンチタッチ速度、をパラメーターとして実験を行い、荷重-ストローク、加工後の被加工材の温度、クッション圧、加工騒音などを測定した、一部の実験ではクリアランスの影響も調べた。加工後の被加工材のせん断面長さ、破断面長さ、二次せん断面長さ、だれの観察も行った。

##### 実験結果

サーボプレスの多彩なスライドモーションの一つであるステップモーションを打抜きに適用し、その効果を調べる実験を行った。比較のために、通常のプレスのスライドモーションであるクランクモーションで、加工速度を変えた実験も行った。結果は以下のようにまとめられる。

- 1) クランクモーションにおいて、加工速度(SPM)をあげるとせん断面長さは一般に増加するが、増加の割合は材質により異なる。
- 2) クリアランスは小さい方がせん断面長さは一般に増加する。
- 3) クランクモーションにおいて、最大荷重は加工速度が増えたと増える材質と、逆に減る材質がある。
- 4) クランクモーションにおいて加工速度をあげると打抜き騒音は増える。
- 5) 加工後のワーク温度は加工速度をあげると、材質により、やや上昇するもの、変わらないもの、やや減少するものがある。これは材質の熱伝導率などの影響があると考えられる。
- 6) ステップモーションをせん断に適用してもせん断面の増加に対する明確な効果はみられない。この理由としては、各ステップの段階でクラックの発生状況が材料により異なり、また、第2ステップ、第3ステップでのパンチタッチ速度が下がるため、せん断面の増加が期待できないことによる。

7) せん断面長さを増加させるには、金型の角の面取りが有効である。この効果はクリアランスが小さい方が大きい。

## 5・2 WG2 コイニング効果 WG

下死点でスライドを停止することができるサーボプレスの特長は、形状性確保、形状転写率の向上を期待できる。そのメカニズムの解明と実際の加工への効果を知るために、下死点における材料、金型の挙動を調べる。

### 目的・実験方法

サーボプレスでは、下死点でスライドを停止させコイニング圧を加え続けることができる下死点停留モーションや、スライドが下死点を複数回通過することができるタタキモーションでの成形が可能である。このWGでは、4.4で述べた三吉工業(株)のHDD用の動圧流体軸受けのスラストプレートにおけるコイニング加工について、プレス加工モーション及び下死点停留時間による溝深さの安定度を確認するとともに、コイニング加工における高品質の製品を安定に生産できる最適コイニングモーションの検討を目的とした。

### 実験結果

実験では材料に熱延軟鋼(SPHC)、ステンレス鋼(SUS304)、アルミニウム合金(A5052-O)の3種類を用いて、クランクモーションとタタキモーション、下死点停留モーションで実験を行った。スプリングバック率と形状転写率を各材料、各スライドモーションについてまとめた。

- 1) クランクモーションに比べ、タタキモーションや下死点停留モーションによる成形がスプリングバック量、形状転写性ともに良くなる。
- 2) タタキモーション、下死点停留モーションにおいて応力緩和という現象が発生し、この現象はスプリングバック量、形状転写性に関係していると考えられる。
- 3) タタキモーションよりも下死点停留モーションの方が、スプリングバック量・形状転写性ともに良く、さらにバラツキも少なく安定する。
- 4) スプリングバック量、形状転写性ともに下死点停留モーションの成形速度が速いほど良い。
- 5) 生産性の面から見ると、クランクモーションを100%とすると、タタキモーションのタタキ9回では35%、下死点停留モーションでは44~53%(応力緩和収束時間で設定)となり、下死点停留モーションの方が良い。さらに下死点停留モーションにおいて、応力緩和量を80%として成形すると、生産性は69~76%になる。

## 5・3 WG3 速度効果 WG

サーボプレスの特長である、フリーなスライドモーションとスライドの速度可変を成形にどう活かすか追求するためには、材料特性の速度依存性、摩擦特性の速度依存性を明らかにすることが重要である。サーボプレスの速度域は数100mm/secであり、加工中の速度も刻時変化している。通常の引張試験機の最高速度は10~20mm/sec前後であり、サーボプレスの速度域での材料特性は十分

に把握されていない。サーボプレスを用いて材料特性に及ぼす引張速度、速度履歴の影響について実験により明らかにする。

サーボプレスによる加工における成形性の概念の確立、材料や加工方法に対応した最適スライドモーションのデータベース化なども念頭においていたが、これらは今後の課題としている。また、摩擦特性の速度依存性に関しては、新たに試験装置を作成する必要があり、今回の実験の対象外とした。

### 目的・実験方法

サーボプレスに図12のような引張試験装置を設置し、プレス加工時の速度、加速度に対応した材料特性を測定し、応力-ひずみ関係など成形シミュレーションに利用できる材料データを取得する。

対象とした材料は、アルミニウム・アルミニウム合金3種類(純アルミニウム A1100P, Al-Mg 合金 A5182P, Al-Mg-Si 合金 A6022P)、ステンレス鋼2種類(SUS430, SUS304)、鋼板(軟鋼, 高張力鋼3種類, TS 590 MPa 級, 780MPa 級, 980MPa 級)である。



図12 引張試験治具の外観

試験速度は、通常の引張試験では実施できない5mm/sec, 50mm/sec, 100mm/sec, 500mm/secの高速で実施した。引張力はロードセルで計測し、材料の変形は高速度カメラで撮影し、両者をシンクロナイズしたデータから、引張力-ひずみ関係を求め、応力-ひずみ曲線を求めた。通常の引張試験で求める強度、伸び、加工硬化指数、r値も求めた。ステンレス鋼に関しては、温度測定も行った。

### 実験結果

- 1) 最も大きな成果は、これまで実験的に求められなかったプレス加工における変形速度域の材料特性、応力-ひずみ関係を求めることができたことである。
- 2) 速度上昇とともに、一般的には材料強度は上がり、伸びは低下する。しかし、その変化挙動は材料により異なり、一部の材料は伸びが上昇する現象も認められた。
- 3) 伸びの速度依存性は、変形に伴うひずみの局所化(破断部近傍のひずみ勾配)により説明できる。
- 4) 求められた応力-ひずみ関係は、成形シミュレーション

ンにより、サーボプレスにおける加工条件(スライドモーションの設定, スライドの速度など)の最適化を図る上で貴重なデータとなる。

## 6. おわりに

サーボプレス利用技術研究部会の活動は終了するが、当初の目的を十分に達成できたとはいえない。利用技術の開発はまだまだ多くの課題を抱えており<sup>4)</sup>、ものづくりのキーテクノロジーとしてのサーボプレスの今後の活用を期待する。

## 謝 辞

サーボプレス利用技術研究部会の活動において、(財)天田金属加工機械技術振興財団から研究助成金の交付を受け、活動の中心となった共同研究を進めることができたことに関して、深くお礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) 経済産業省・(財)素形材センター：素形材技術戦略ーものづくり基盤を支える素形材技術の羅針盤ー，(2009).
- 2) (社)日本鍛圧機械工業会規格 TI103:2008 サーボプレスー安全要求事項と方策.
- 3) 中原洋一：素形材，**49-10** (2008), 1.
- 4) 西村 尚：プレス技術，**48-11** (2010), 18.
- 5) 小松 勇：型技術，**24-3** (2009), 18.
- 6) 坂口 稔ほか：プレス技術，**48-11** (2010), 44.
- 7) 村田 力：同上，**48-11** (2010), 47.
- 8) 森 孝信：同上，**48-11** (2010), 50.
- 9) 網野雅章ほか：同上，**48-11** (2010), 55.
- 10) 西村 尚：第 269 回塑性加工シンポジウムテキスト，(2008), 65.
- 11) 上野洋一ほか：軽金属学会 116 回春季大会前刷，(2009), 149.
- 12) 玉井良清ほか：塑性と加工，**51-592** (2010), 68.
- 13) Yamashita, H. et al.: Proc. IDDRG Conf. 2010, (2010), 167.
- 14) 菅沼俊治：塑性と加工，**49-565** (2008), 118.
- 15) 菅沼俊治：プレス技術，**45-12** (2007), 28.
- 16) 上野昌彦：型技術，**24-3** (2009), 50.
- 17) 廻 秀夫：プレス技術，**48-11**(2010), 24.