



T. Ishikawa

サーボプレスの特徴とその利用技術

石川 孝司 *

1. まえがき

サーボプレスは、1990年代に日本発の技術として登場し、サーボモータにより直接ラムを駆動するためスライドモーションが自由に設定できることから、CNC化された機械プレスとして期待が広がっている。図1はスライドモーションの例で、パルスモーション、プログラムモーション、振り子モーション、コイニングモーションなど従来の機械プレスでは実現できないモーション設定が可能である。また、その制御性の良さからダイクッション、背圧付加装置などの外部装置との同期も容易である。そのため各方面で導入が進みその効果についての報告も増加している^{1)~6)}。サーボプレス利用の効果は、1)成形限界・成形性向上、2)高精度化、3)工程削減、4)荷重低減、5)金型寿命向上、6)材料流動制御、7)割れ・欠陥回避、8)緩和現象の利用、9)熱間加工におけるプロセス制御、10)騒音、振動削減、11)外部装置との同期などが考えられる。ここではこれらサーボプレスの利用技術について紹介する。

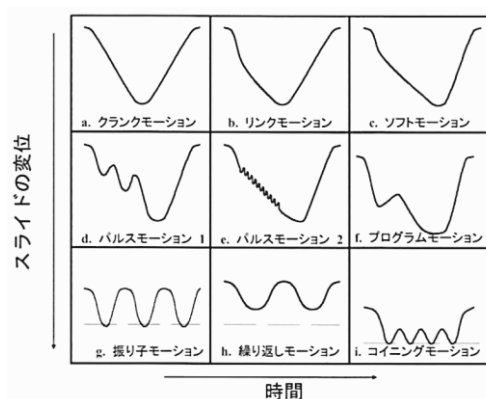


図1 スライドモーションの例 ((株) アマダ)

2. 成形性向上

成形性の悪い高張力鋼板やステンレス鋼板、アルミニウム合金板のプレス成形に成功した例がいくつか報告されている。SUS304 ステンレス鋼板ではプレス速度が遅いほど、また、逆にアルミニウム合金板では成形性が向上することが報告されている⁵⁾。図2はSUS304L ステンレス鋼板

の成形品で、従来の機械プレスではワレが生じるが、図中のスライドモーションでプレスすることでワレのない良品を得ることができる。予備成形で頭部を張出し成形し、その後の深絞り加工で胴体部を成形、下死点近傍で逐次成形による頭部の段差形状を成形している。

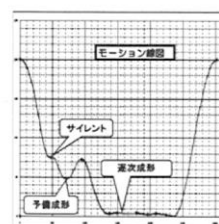
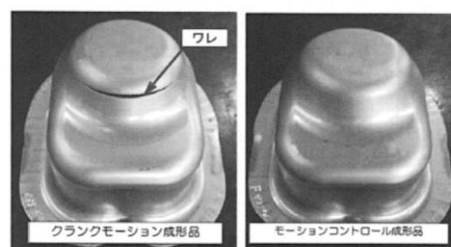


図2 ステンレス鋼板の異形状深絞り
(アイダエンジニアリング (株))

3. スプリングバック抑制

高張力鋼板は高降伏応力のためスプリングバックが大きくその抑制が技術課題となっている。図3に示すハット曲げチャンネル部品の成形では、最初の曲げ絞りのみでは形状凍結できないので(写真右)、その後の2回のリストライク加工によりスプリングバックを抑制している。サーボプレスならではのスライドの動きを適用している。

4. 高精度化

一般のメカニカルプレスによる冷間鍛造では、加工発熱や環境温度の影響で生産時間とともにダイハイトが変動して寸法精度が確保できず、途中でプレスを停止してアジャスト調整の段取りが必要となる。サーボプレスの下死点を監視して自動的に補正する機能を使用することで、長時

* 中部大学 機械工学科 教授 (名古屋大学名誉教授)

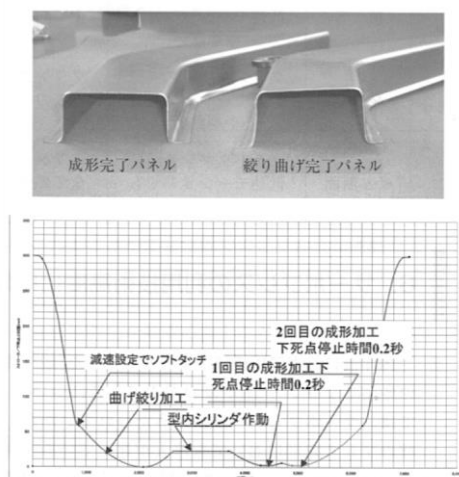


図3 高張力鋼板のハット型絞り曲げ部品
(アイダエンジニアリング (株))

間安定した精度を確保して高精度な製品を製造することが可能である。図4の部品例では、ピン高さのバラツキを54%減少でき、段取替時間の削減と高精度化の両立に貢献している⁷⁾。



図4 押出しピンの高精度化 ((株) 坂口製作所)

冷間型鍛造製品の精度は、加工中の金型の弾性変形、材料の弾塑性変形、塑性発熱の冷却時の熱収縮などが影響する。著者らは後方押しカップ成形で、製品の内外径の高さ方向分布精度に振動モーション（パルスモーション）が有効であることを報告している⁸⁾。さらに、内スプライン鍛造における内径と歯すじ誤差に及ぼすスライドモーションの影響を調査している⁹⁾。図5に評価対象とした後方押し鍛造内スプライン成形品とパンチ形状を示す。供試材はアルミニウム A6061、低炭素鋼 S10C であり、それぞれ固体潤滑であるアルボンデ処理、ボンデ処理を施した。スライドモーションは機械プレス本来の動きであるクランクモーション（50spm）、パルスモーション、パルスモーションとプロセスタイムが同じ下死点静止（1.8s）とした（図6）。図7は内径（小径）の高さ方向分布であり、パルスモーションが他と比較して均一であり、アルミニウム合金の鍛造でその効果が大きいことがわかる。図8の歯

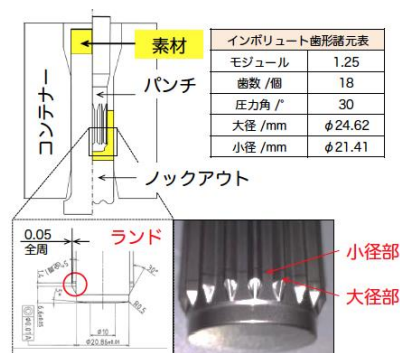


図5 内スプラインギアの工具形状

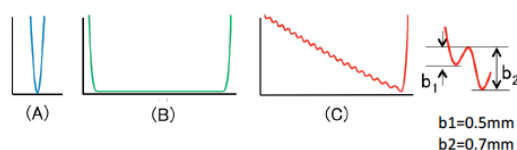


図6 設定したスライドモーション

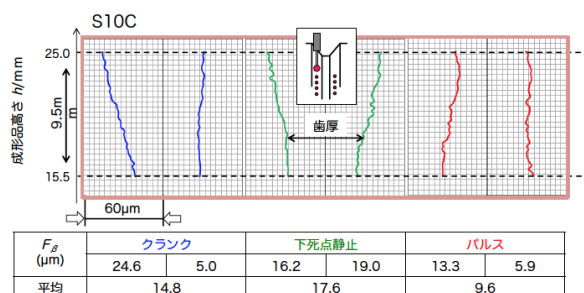


図7 内径（小径）の高さ方向分布

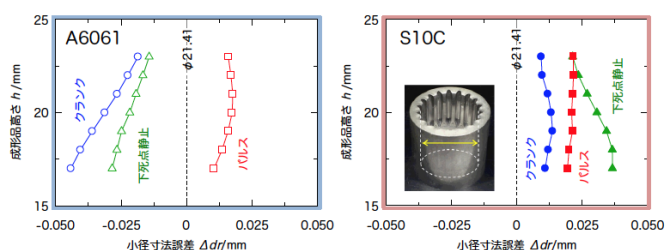


図8 歯すじ誤差

すじ誤差もパルスモーションで小さく、熱変形の精度に及ぼす影響が大きいことが解析結果から説明されている。

5. 荷重低減

前野ら¹⁰⁾は、振動モーションによる再潤滑について報告している。図9に示すように、すえ込み加工時にスライドを振動させることで除荷時に工具と材料間に隙間がで

き、そこに自動的に潤滑剤が導入されることで潤滑剤切れを防ぎながら加工が進行するため加工荷重が低減する。これを自動再潤滑と呼び、焼付き、金型破損の防止、寸法精度、平坦性、表面性状の向上が実現できる。

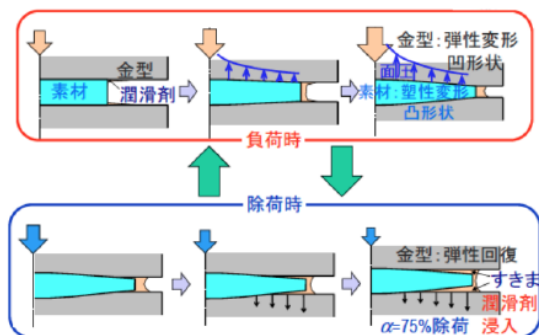


図9 自動再潤滑のメカニズム



図10 加工油を用いた鍛造事例 ((株) アマダ)

坂口ら¹¹⁾は、冷間鍛造のボンデフリー化の試みとして、サーボプレスによるパルス鍛造により摩擦抵抗を低減して内スプライン加工を行った。スプラインパンチへの凝着を抑えるため放電加工ではなく旋削加工とプロファイルグラインダーによる研削を行い表面粗さは $0.27\mu\text{m}$ に仕上げた。表面処理として微粒子ピーニング処理後に FUPC コーティングした。加工油は硫黄系潤滑油を使用しパルスモーションによりスライドを上下運動させることで界面に潤滑油が滞留し凝着が抑制され図10のような鍛造品の製造を可能にした。

6. 材料流動制御

ギヤを据込み形式で鍛造する場合には、刃先部分に材料充填されないままに密閉状態に近づくため荷重が急増し金型が破損する。複動のサーボプレスにより分流法を用いてその欠肉部を充填させる方法が試みられている¹²⁾。金ら¹³⁾のサーボプレスは上パンチ（メインスライド）と上スリーブ（上ダイクッション）、下パンチ（メインダイクッション）と下スリーブ（サブダイクッション）の4軸がそれぞれ独立に動くプレスである。図11に示すように第1段階は上下のパンチとスリーブによる据込み加工であ

る。第2段階では、上パンチと下パンチが後退しそこに空隙を作ることで分流を生じさせ上下スリーブのみによる歯形部の据込み時の材料充填を容易にしている。同様なプロセスでヘリカルギアの鍛造も試みられている。

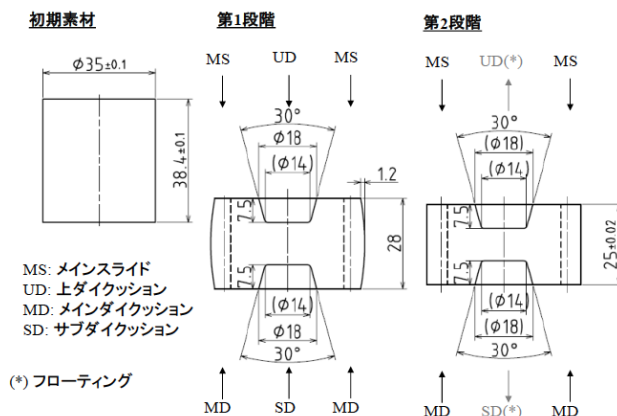


図11 分流鍛造法を利用したギアの冷間鍛造
((株) ヤマナカゴーキン)

7. 割れ・欠陥回避

有馬ら¹⁴⁾は、従来の鍛造工程では割れが発生した部品をサーボプレスとサーボダイクッションを用いて1工程で加工した（図12）。ここではサーボプレスのスライドの加工速度を加工中に可変し、サーボダイクッションの動作モーションと連動させてサーボダイクッション圧を用いて静水圧を付与して押し出し軸とフランジ部のつなぎに発生する割れを防ぎながら材料流動を制御した。従来の多工程で生じる大きな加工硬化のための中間焼鈍やボンデ処理を省き、多工程の加圧によるプレスの大型化を抑えると共に金型費の大幅な削減につながった。

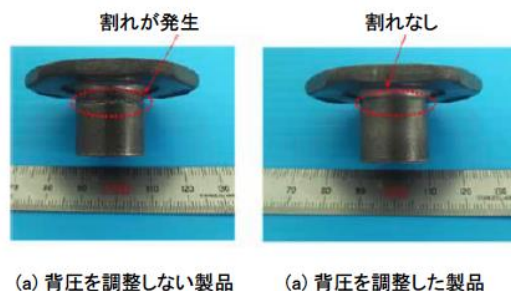


図12 背圧を利用したハブの鍛造 (上板塑性(株))

8. 金型寿命向上

図13の部品を従来はナックルリンクプレスで鍛造していたが、パンチやダイの磨耗がひどく、3,000～4,000ショットでメンテナンスが必要であった。サーボプレスにより

成形時の速度を大幅に下げることによって工具磨耗を低減でき、20,000 ショットまで金型の寿命を向上できた¹⁵⁾。



図 13 鍛造品 ((株) 坂口製作所)

9. 工程削減

図 14 のような長物部品は従来、押出し軸中間部の精度を確保するため、ヘッダープレスで端面調整と上面の押出し加工を行った後、冷間鍛造プレスで下面の押出しをするという 3 工程で成形 (図 15(a)) していた。工程数が多い分だけ金型費や金型メンテナンス費が必要となる。さらに対象製品形状では、製品をロックアウトするときの摩擦抵

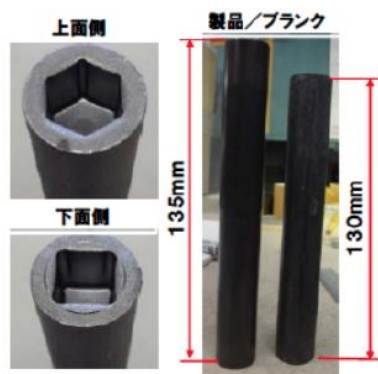


図 14 軸物鍛造 (KOMASTU)

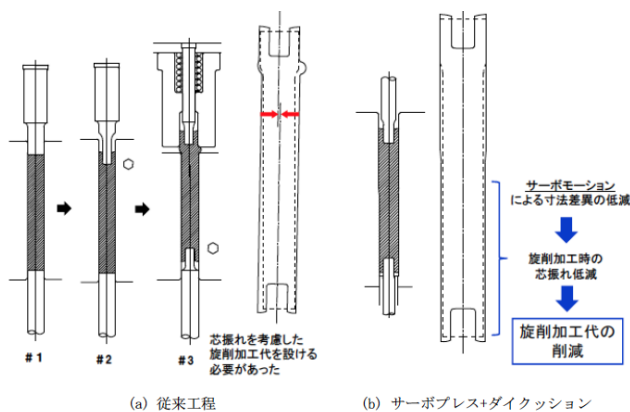


図 15 工程の改善 (KOMASTU)

抗が大きく金型の早期破損が発生していた。これをサーボプレスとサーボロックアウトを使用して 1 工程 (図 15(b)) で絞りと押出しを実現した¹⁶⁾。上型パンチが素材上端に接触する時点から下死点の間のみ低速にするモーションにすることで加工発熱による温度上昇を抑え、上下端部の外径バラツキが 1/2 以下に減少した。さらにプレス工程の短縮により、プレス台数の削減とサイクルタイムの短縮が達成されコストダウンにつながった。

10. 外部装置との同期・連動

サーボプレスはスライドモーションを自由に設定できると同時に外部装置との同期が容易である。アームロボットとの同期逐次鍛造を試みた¹⁷⁾。逐次鍛造は、高価な金型を省略できるとともに従来の手法では不可能な成形を可能とするフレキシブルな加工技術として注目されている。サーボプレスと多軸ロボットを連動させた逐次鍛造システムを開発し、材料歩留まりの悪いコネクティングロッドの荒地成形に適用した。FEM 解析を用いて材料の圧縮位置、圧縮量を変化させながら、最終形状から最適な加工プロセスを逆算し、その成形経路を元に全自動成形を図った。システム概念図を図 16 に示す。パソコン上でロボットプログラムを作成した後、それをロボットコントローラへ移し、ロボットとプレスを連動させ鍛造を行った。図 17 は鍛造

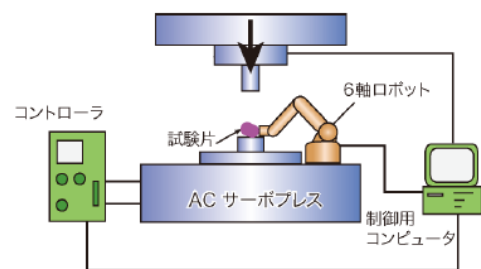


図 16 サーボプレスとロボットによる逐次鍛造

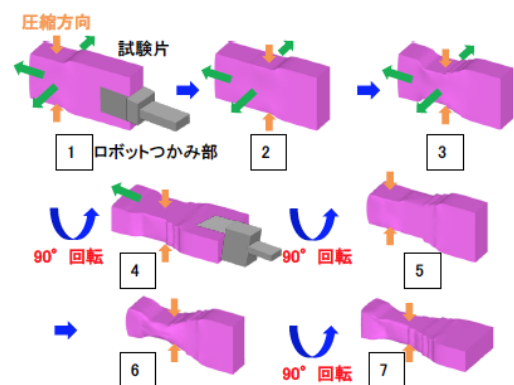


図 17 鍛造工程の例

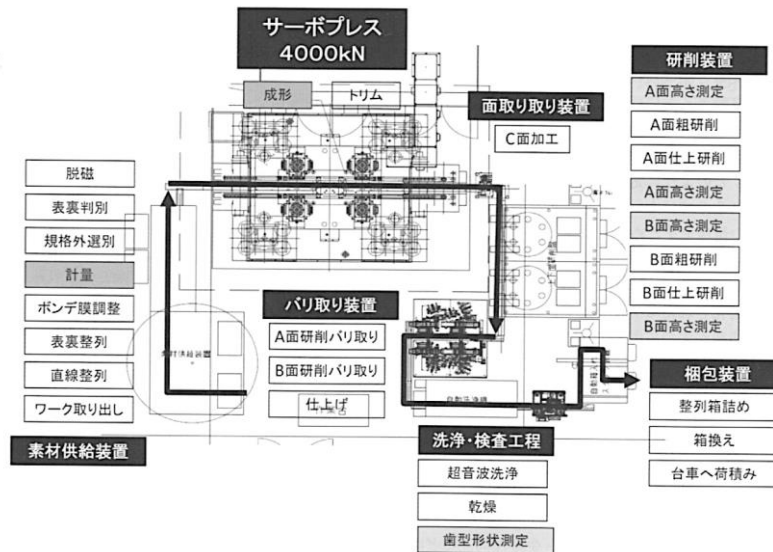


図 18 自動化プレスライン工程図 ((株) 放電精密加工研究所)

工程の一例であり、サーボプレスの制御性の良さを利用する一つの技術として期待できる。

プレス加工の IT 化にサーボプレスが最大のツールとなると期待されている。図 18 は、二段サイクロイドの鍛造全自動ラインである⁶⁾。工法が半密閉冷間鍛造であることから素材の重量管理が重要であり、加工前に全数素材の重量を測定し、重量に応じプレス側にデータを送るしくみになっている。鍛造工程では変形速度に伴う被加工物の温度上昇を防ぐために加工速度コントロールを行い、スライドの平行制御、下死点制御などで高精度な製品を鍛造している。その後は研削、バリ取り、洗浄、計測・検査、梱包と進んでいく。全ての項目がデジタル化された情報となっており、それをどう生かすかが重要である。

11. まとめ

日本のオリジナル技術であるサーボプレスは、今後の IT 化や AI 化に対してデータ処理、情報処理の点からいろいろな可能性を持っており、これを新しい製品開発に活用し、付加価値の高い製品を生み出すための武器として活用したい。産官学の益々の連携を期待する。

参考文献

- 1) 小特集号：サーボ技術の拡大と実用化：塑性と加工，45-526，(2004)。
- 2) 小特集号：サーボプレスの動向：塑性と加工，49-565，(2008)。
- 3) サーボプレスの現状と展望：第 282 回塑性加工シンポジウムテキスト，日本塑性加工学会，(2010)。
- 4) Osakada, K., Mori, K., Altan, T., Groche, P.: CIRP Annals, 60-2(2011), 651-756.
- 5) 特集号：サーボプレスによる金型・成形技術の最前線，型技術，27-10(2012)。
- 6) 特集号：最新サーボプレスの理論と実際，素形材，57-6(2016)。
- 7) 西真弘：型技術，27-10(2012)，44-50。
- 8) Ishikawa, T., Ishiguro, T., Yukawa, N., Goto, T.: CIRP Annals, 63-1(2014)，289-292。
- 9) 阿部英嗣，後藤貴充，湯川伸樹，石川孝司：第 66 回塑性加工連合講演会講演論文集，(2015)，516。
- 10) 前野智美，小坂田宏造，森謙一郎：塑性と加工，50-585，(2009)，951-955。
- 11) 阪口稔：METAL FORM，51(2014)，7-8。
- 12) 安藤弘行：第 35 回鍛造実務講座テキスト，(2008)，47-52。
- 13) 金秀英：第 308 回塑性加工シンポジウムテキスト(2014)，13-20。
- 14) 有馬達男：素形材，55-1(2014)，21。
- 15) 坂口製作所資料
- 16) 2014-2015MF 技術大賞資料：https://www.j-fma.or.jp/2jig/mf-g2014-2015/mf_g-seihingaiyou.pdf。
- 17) 山岡良祐，湯川伸樹，石川孝司，山田幸浩，野田拓也，三吉宏治：平成 23 年度塑性加工春季講演会講演論文集，(2011)，418。