

超音波フェーズドアレイを利用した金属プレス成形における 焼付き現象の評価

都城工業高等専門学校 機械工学科

准教授 瀬川 裕二

(2018年度 奨励研究助成 (若手研究者) AF-2018040-C2)

キーワード：プレス成形，焼き付き，超音波

1. 研究の目的と背景

金属板の成形において、金属の摩耗や潤滑油量のばらつき等により工具と板の間に大きな摩擦が生じると、互いに傷や焼き付きが生じ、加工荷重の増大や金型の損傷、工具寿命の劣化などの深刻な問題を引き起こす。摩擦トライボ状態を評価する試みとして、加工後の工具表面の評価¹⁾、ガラス工具を用いた工具と板の接触面のその場観察²⁾等が行われている。加工状態を常時監視する方法としてセンサーを活用した方法が盛んに検討されており、工具と被加工材の接触状態の監視方法として、超音波を利用した金属プレス成形の欠陥評価方法が有効であることが分かっている³⁾。さらに、検査結果が2次元画像で表示される超音波フェーズドアレイにおいても有効であることを確認している⁴⁾。

本研究では、金属プレス成形における工具と被加工材の摩擦トライボ状態を超音波フェーズドアレイにより評価するために摺動装置を製作し、摺動面を可視化する手法について検証した内容を報告する。

2. 摺動面の計測原理⁵⁾

図1に金属プレス加工中の工具と被加工材の摺動面を超音波フェーズドアレイにより可視化する原理図を示す。圧下荷重を作用させて被加工材となる板を上型と下型で挟み込み、引抜き荷重を作用させることで被加工材が摺動する。上型は一部がガラスに置き換えられており、カメラ

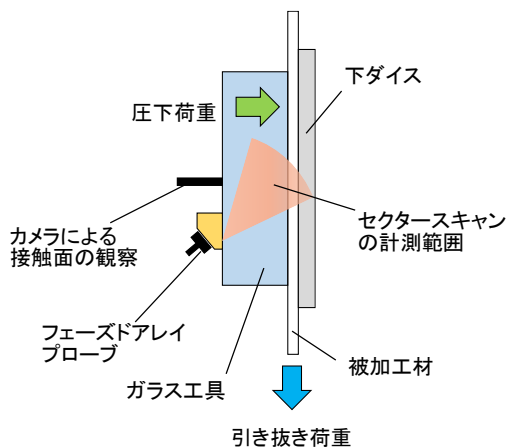


図1 超音波フェーズドアレイを利用した摺動面の計測原理

を当てることで被加工材とガラスの接触面の様子を観察する。観察する接触面に向けて超音波フェーズドアレイを照射し、摺動中の接触面の変化を評価する。このとき、超音波フェーズドアレイはセクターキャンで計測を行う。

図2に摺動面可視化装置の構想を示す。油圧ハンドプレスおよびプレスフレームは製作する固定治具により横向きで金型に取り付けて、圧下荷重を作用させて被加工材を挟み込む。圧下荷重はロードセルを用いて計測する。装置は万能試験機に固定し、引抜き荷重を作用させて板を摺動させる。接触面の観察にはファイバースコープ、超音波計測には超音波フェーズドアレイ探傷器を使用した。探傷器には計測結果を映像で残す機能がないため、探傷器の前にビデオカメラを設置し、摺動中の超音波計測結果を記録する。ファイバースコープで記録された摺動面の観察動画と比較することで、超音波フェーズドアレイによる摺動面の評価の検証を行う。以上の構成をもとに、実験装置の製作を行った。装置の詳細は次項で述べる。

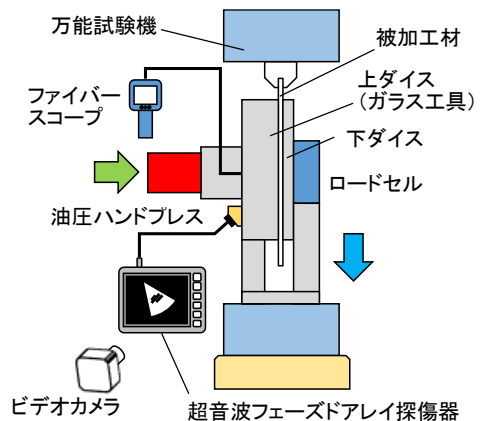


図2 摺動面可視化装置および接続する計測機器の構成

3. 摺動面可視化装置の製作⁵⁾

図3に製作したプレスフレーム固定治具を設置した実験装置および計測機器の概要を示す。表1には計測機器等の仕様を示す。プレスフレーム固定治具は図4に示すように、シリンダ固定部、プレスフレーム固定部、万能試験機接続部の3つの部品で構成されている。シリンダ固定部とプレスフレーム固定部は分割面で上下2部品構成となっており、ボルト締めで上下締結することにより、シリンダ

とプレスフレームを挟んで固定する。なお、下ダイスは S50C、その他の部材は SUS303 で製作した。

図 5 はガラス工具を示す。ガラス工具は石英ガラス製の工具 (70mm×50mm×20mm) で、ファイバースコープのカメラを接触させる面および被加工材と接触する面に鏡面仕上げを施し、工具と被加工材の接触面の観察ができるようにした。

図 6 はプレスフレームに組み付けられたガラス工具固定治具を示す。ガラス工具の周囲は別の部材 (上ダイス) で囲っているが、金属製の部材で囲むとファイバースコープで摺動面を観察した際に明るさが足りず、十分に観察できない。そこで、アクリル製のブロックでガラス工具を囲むと、ガラス工具の周辺から十分に光を取り込むことができ、ファイバースコープで摺動面を観察することができる。フェーズドアレイプローブを固定する他の部材はボルト締結でガラス工具を囲っている上ダイスと接続される。実験では、油圧ハンドプレスによりガラス工具で挟まれた被加工材を万能試験機に取り付けて引き抜き方向に負荷をかけることで摺動が開始される。圧下荷重が過度に大きいと被加工材がガラス工具の位置で固定され、摺動せずに破断してしまうため、実験を行う前に圧下荷重を調整する必要がある。

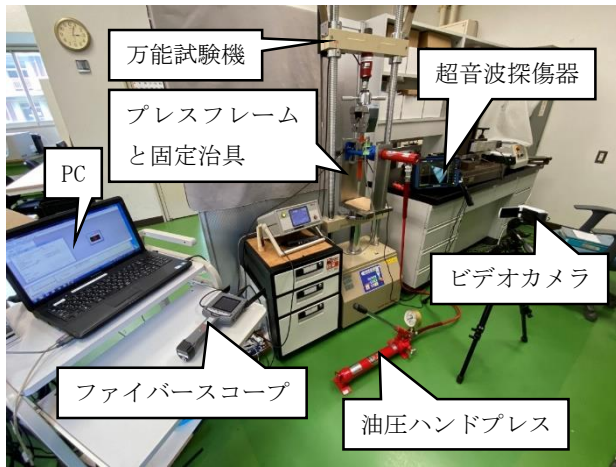


図 3 製作した実験装置および計測機器の外観

表 1 計測機器等の仕様

万能試験機	アイコーエンジニアリング製 MODEL-1325VR
プレスフレーム	理研機器製 CDM-5M
油圧ハンドプレス	理研機器製 MS05-150
ロードセル	エー・アンド・デイ製 9E01-L18-20kN
超音波探傷器	OLYMPUS 製 OmniScan X3
ファイバースコープ	イチネン TASC0 製 TA418MA-1M

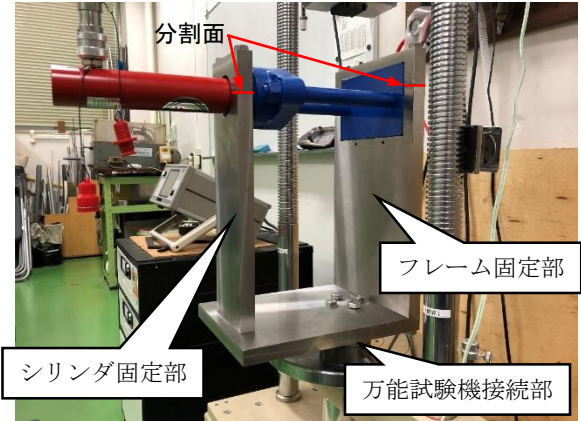


図 4 万能試験機に組み付けられたプレスフレーム固定治具

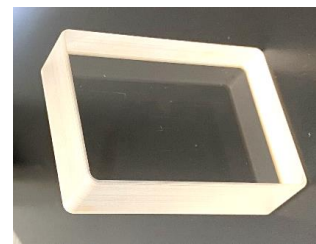


図 5 ガラス工具の外観

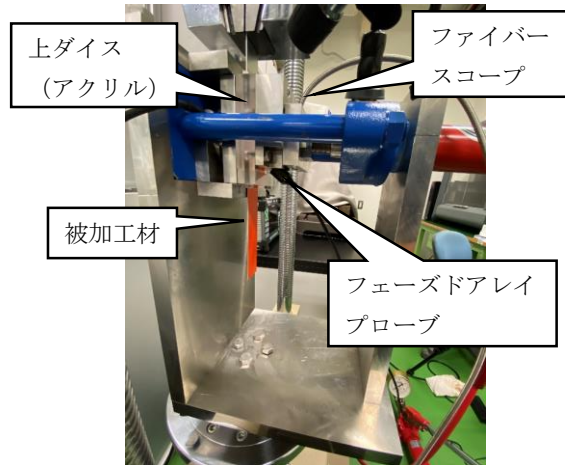


図 6 プレスフレームと板を挟んだガラス工具固定治具

4. 潤滑剤の視認性

実際の加工で使用される潤滑剤として非塩素型プレス加工油剤 (褐色) の使用を想定して、ファイバースコープでの視認性の確認を行った。図 7 はガラス工具と被加工材の間に非塩素型プレス加工油剤を塗布して摺動させたときにファイバースコープで撮影された摺動面を示す。写真中央に写っている穴はファイバースコープを通す穴が被加工材表面で反射して映ったものである。ガラス工具と板で圧力が生じることにより褐色のプレス加工油剤の膜が薄くなってしまい、摺動中のプレス加工油剤の流れが確認できないことがわかる。そこで、プレス加工油剤に着色す

ることを目的として、当たり面検査塗料として使用されるレッドペーストH（朱色）を5%混ぜて塗布したが、図8に示すように潤滑剤の流れを確認できるほどの着色は得られなかった。

プレス加工油剤にレッドペーストHを塗布しても十分な着色は得られないので、レッドペーストHを直接塗布したところ、図9に示すように摺動開始直後は摺動面全体に広がっていたレッドペーストが摺動完了直前では一部枯渇しており、摺動による潤滑剤の流れや減少を確認することができた。したがって、本実験では、ガラス工具（上



図7 非塩素型プレス加工油剤を塗布したときの摺動面



図8 プレス加工油剤にレッドペーストHを5%混ぜたときの摺動面



(a) 摺動開始直後



(b) 摺動完了直前

図9 レッドペーストHを直接塗布したときの摺動面

ダイス）と板の接触面にはプレス加工油剤の代わりにレッドペーストHを潤滑剤として使用することとした。ただし、板と下ダイスの接触面はプレス加工油剤を塗布してもファイバースコープの視認性に影響しないため、そのまま使用した。

5. 摺動面と超音波フェーズドアレイ計測の比較

図3の実験装置を用いて、圧下荷重を変えながら被加工材を摺動させ、摺動面の観察と超音波フェーズドアレイ計測結果の比較を行う。被加工材には板厚1mmの純アルミニウム製の板（A1050P）を使用した。摺動距離は100mm、摺動速度は40mm/minとした。

図10は、摺動中に引き抜き荷重がほとんど変化しなかった場合の引き抜き荷重と摺動距離の関係を示す。摺動開始直後は慣性により引き抜き荷重が高い値を示した後、摺動が進行していく。図11、12は摺動開始直後と100mm摺動後の摺動面と超音波フェーズドアレイ計測結果を示す。摺動が進んでも摺動面のレッドペーストHは概ね残っており、摺動面の潤滑は良好である。超音波計測では、赤の線で囲んだ範囲が摺動面付近の反応を示すが、摺動開始直後から大きな変化が見られなかった。

図13は摺動の途中で引き抜き荷重が増加した場合の引き抜き荷重と摺動距離の関係を示す。圧下荷重は図10の1.68kNから2.73kNへ増加しているため、定常時の引

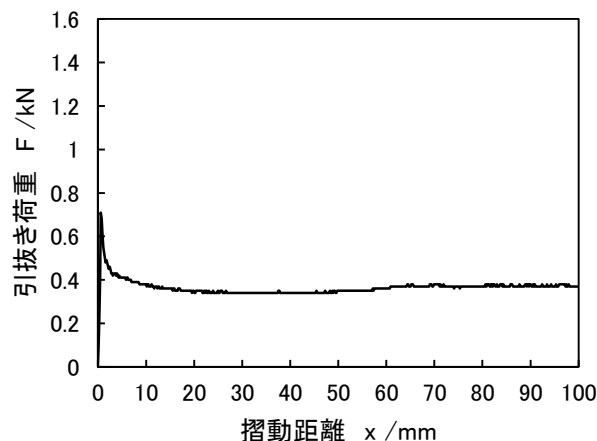
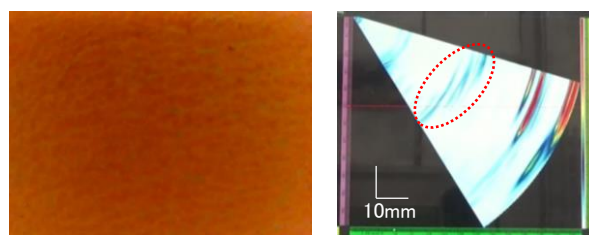


図10 圧下荷重1.68kNにおける引き抜き荷重の推移

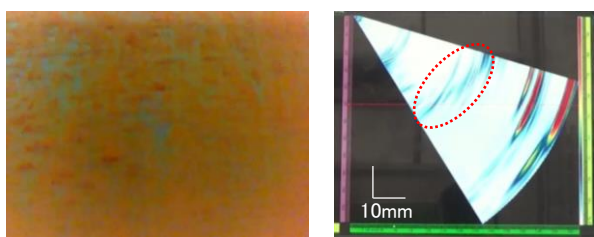


(a) 摺動面

(b) 超音波計測結果

図11 圧下荷重1.68kNで摺動を開始した直後の摺動面と超音波フェーズドアレイ計測結果

引き抜き荷重も 0.4kN から 0.6kN へ増加している。摺動距離が 80mm を過ぎたあたりから引き抜き荷重の増加がみられた。これについては、図 1 4、1 5 に示す摺動面と超音波フェーズドアレイ計測結果を摺動開始直後と 100mm 摺動後で比較して考察する。図 1 5 (a) では、摺動面に塗布されたレッドペースト H に図 1 4 (b) の摺動開始直後より明らかな減少が確認できることから工具と板のトライボ状態が厳しくなり、図 1 3 での引き抜き荷重の増大を引き起こした原因となったと考えられる。また、超音波フェーズドアレイ計測結果においても、図 1 5 (b) は図 1 4 (b) よりも明らかに反応が強い領域が現れており、トライボ状態が変化していることがわかる。したがって、超音波フェーズドアレイは摺動面の可視化に有効であると言える。



(a) 摺動面 (b) 超音波計測結果

図 1 2 圧下荷重 1.68kN で 100mm 摺動したときの摺動面と超音波フェーズドアレイ計測結果

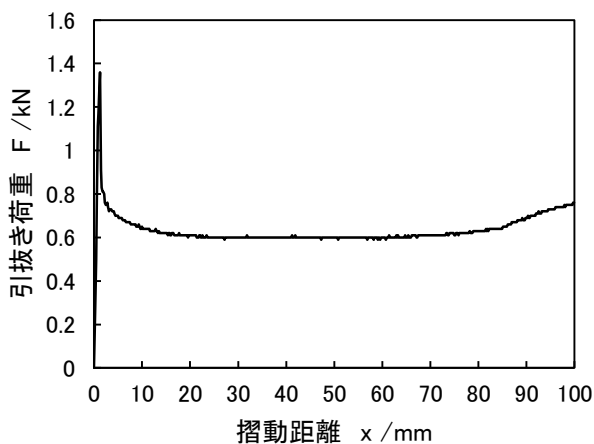
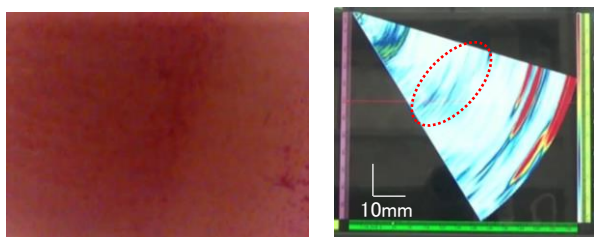
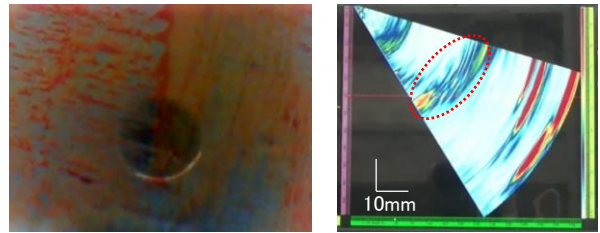


図 1 3 圧下荷重 2.73kN における引き抜き荷重の推移



(a) 摺動面 (b) 超音波計測結果

図 1 4 圧下荷重 2.73kN で摺動を開始した直後の摺動面と超音波フェーズドアレイ計測結果



(a) 摺動面 (b) 超音波計測結果

図 1 5 圧下荷重 2.73kN で 100mm 摺動したときの摺動面と超音波フェーズドアレイ計測結果

6. まとめ

摺動面の観察と超音波フェーズドアレイ計測を同時に行うことができる摺動装置を製作し、実験した結果、以下のことがわかった。

- (1) レッドペースト H は潤滑剤の流れを確認するのに有効だが、プレス加工油剤に混ぜた場合、潤滑剤の流れを確認できるほどの着色はできなかった。
- (2) 潤滑剤が摺動面から枯渇すると引き抜き荷重は増大し、その影響は超音波フェーズドアレイにも変化が生じることから、超音波フェーズドアレイは摺動面の潤滑状態の変化を捉えることができる。

謝 辞

本研究は、公益財団法人天田財団奨励研究助成（若手研究者）(AF-2018040-C2) の助成を受けて実施することができました。計測原理や実験装置の構想を検討する際は、熊本大学の丸茂康男教授より多大なご助言をいただきました。また、実験装置の製作や実験の遂行においては、都城工業高等専門学校機械工学科卒業生の岩永純平君、坂本百花君、代田智教君、高野瀬將太君、村社仁君の協力により進めることができました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 井上 薫・鈴木優大・西野創一郎・友田 陽・大屋邦雄：塑性と加工，52-609（2011），1073.
- 2) 神谷美帆・土屋能成・王 志剛：第 69 回塑性加工連合講演会講演論文集，（2018），315.
- 3) 柿木亮太・瀬川裕二・丸茂康男・今村康博・野中智博・坂田 豊：塑性と加工 58-676（2017），393.
- 4) 杉尾真吾・小野朋弥・瀬川裕二・小西修史・丸茂康男・野中智博・坂田 豊：日本機械学会九州支部第 51 回学生員卒業研究発表講演会，208-2（2020），616.
- 5) 瀬川裕二・村社仁・丸茂康男：第 72 回塑性加工連合講演会講演論文集，（2021），189.