

# サーボプレスを用いたファインブランキング加工技術の加工特性

鶴谷 知洋, 飯田 憲一, 畑沢 賢一, 三戸 正道

## The Characteristics of Fine Blanking Technique using Servo Press Machine

Tomohiro TSURUYA, Kenichi IIDA, Kenichi HATAZAWA, Masamichi MITO

### 抄 録

ファインブランキング (FB) 加工は専用機を用いて行うのが一般的である。しかし、専用設備が高額で高度な熟練が必要なことなどから、汎用機による加工例も見られる。汎用機は高い加工精度が求められていない場合や生産量が少ない場合に使用されるが、加工条件と加工品質の関係など加工特性についての情報は少ない。そこで本研究では、汎用機であるサーボプレスと高機能金型を用いたFB加工において、加工条件と加工品質の関係、金型の負荷などについて実験により明らかにした。

**キーワード**：サーボプレス, ファインブランキング, せん断, Vリング, 静水圧

### Abstract

Fine Blanking process (FB process) is commonly processed using specialized machine. However, general-purpose machine is also used for FB process, because specialized machine is expensive and requires highly-trained skill. General-purpose machine is used in the case that quantity of production is small, or high processing accuracy is not required. However, there is little information available about FB process using general-purpose machine, such as the information about the relationship between processing conditions and processing qualities. In this study, using servo press machine as a general-purpose machine and advanced die, it is experimentally-verified that the relationship between processing conditions and processing qualities, and load conditions of die.

**KEY-WORDS** : Servo press machine, Fine Blanking, Shear V-ring, Static pressure

## 1. はじめに

自動車や産業機械は、海外での現地生産が急速に進んでいるものの、生産拠点の主力が国内生産である場合や重要部品の生産が国内である場合が多い。重要部品の国内生産を維持し、グローバルな競争力を持ち世界市場で戦うためには、必要な時に必要な量の製品を投入できなければならない。部品においても短納期化が求められている。また、為替市場の動向や国外メーカーとの競争激化など減益要因への対応として、部品加工の低コスト化が求められている。

プレス加工は加工速度が速く、生産数量が多くなるほど生産コストが抑えられることから、低コスト化・短納期化に対

応する加工方法として自動車部品の50%以上で採用されている。また、プレス加工の新たな技術として、板金成形と鍛造の複合成形である板鍛造<sup>1)</sup>や後工程が不要な高精度冷間鍛造<sup>2)</sup>などが開発されており、他の加工方法からプレス加工への工法転換が増えている。工法転換のためのプレス加工技術としては、古くからあるファインブランキング (FB) などの精密せん断加工も有効であり、高い加工精度が求められていない場合や、生産量が少ない場合などに汎用機によるFB加工が検討されているが、加工特性についての報告はあまり見られない。

そこで本研究では、汎用機であるサーボプレスを用いたFB加工技術において、厚板 (板厚3.0mm以上) を対象に加工

事業名：重点研究

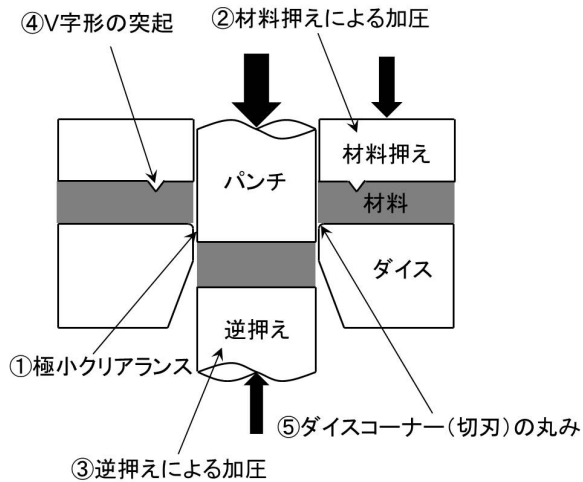
課題名：高度な金型設計技術とサーボプレスの動作制御技術を組み合わせた高精度プレス加工技術(平成23～平成24年度)

条件と加工品質の関係、モーションと金型負荷の関係、耐久性等について実験により明らかにしたので報告する。

## 2. サーボプレスによるFB加工技術

### 2.1 FB加工の原理<sup>3)</sup>

FB加工は塑性せん断によってき裂の発生を抑制し、平滑なせん断面を得る方法である。FB加工技術はスイスが発祥と言われており、1960年頃に専用機が開発された。特徴は、工具切刃寄りのき裂発生を抑制するため、切刃付近の材料を圧縮応力状態とする積極的手段をとっている点である。き裂発生は延性材料が分離する過程で起こる現象であり、き裂が開く方向に対して圧縮力が加わっていれば、材料分離が起きないとの考えに基づいている。FB加工は圧縮応力下での打抜き加工を行うため、図1に示す手段が施されている。



- ①パンチとダイスのクリアランスをできるだけ小さくし、零クリアランスに近い極小クリアランスとする。
- ②材料押えにより材料を加圧して打抜きを行う。
- ③逆押えにより材料を加圧して打抜きを行う。
- ④材料押えにV字形の突起をつけて材料に押し込むことにより、圧縮力が周辺に逃げるのを効果的に防ぐとともに圧縮力を高める。
- ⑤き裂発生点であるダイス切刃に多少の丸みをつけ、圧縮力を高める。

図1 FB加工の概要

## 2.2 実験装置

### 2.2.1 金型

実験に使用した金型の構造を図2に示す。FB加工を行うには打抜き力、材料押さえ力、逆押え力の3つの力が必要である。専用設備であればプレス機が3つの力を与えるが、汎用機では困難である。そこで本研究では専用機の機能を代替する高機能金型を考案し、打抜き力、材料押さえ力、逆押え力をそれぞれサーボプレスのスライド、ガススプリング、エアダイクッションにより与える機構とした。

### 2.2.2 サーボプレス

実験に使用したサーボプレスを図3に示す。構造はC型フレームでエアダイクッションおよび荷重計が搭載されており、加圧能力が異なる2機種（最大加圧能力800kNおよび1500kN）を用いた。

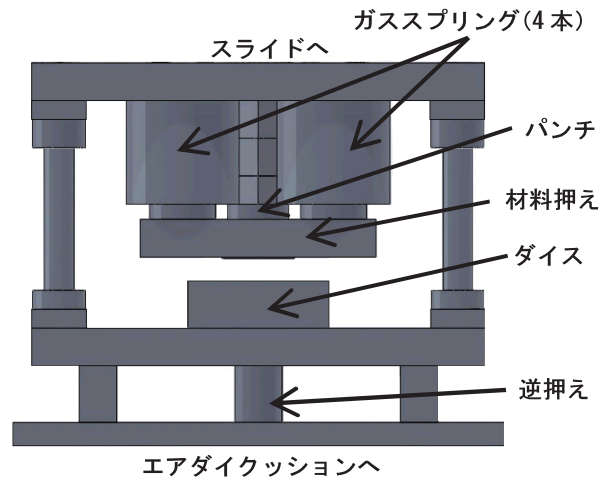
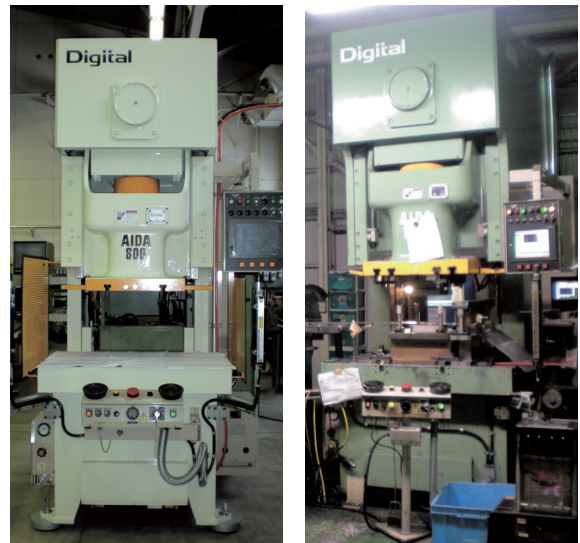


図2 金型の構造



最大加圧能力800kN

最大加圧能力1500kN

図3 使用したサーボプレス（アイダエンジニアリング製）

## 3. 加工特性の検証実験および結果

本研究では、加工品質の指標としてダレ量、バリ高さ、加工面性状を用いる（図4）。ダレとはパンチとダイの移動により材料が引っ張り込まれることで発生する丸みであり、バリとはパンチとダイスの隙間に材料が流れ込み発生する突起のことである。加工面性状は材料の分離時にき裂が発生することによる荒れた面（破断面）と、き裂の発生なく分離された場合の平滑な面（せん断面）がある。

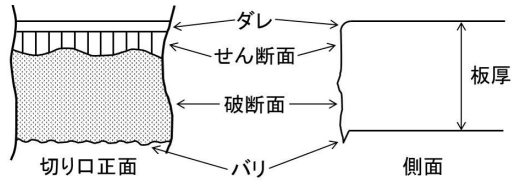


図4 ダレ、バリ、加工面性状の模式図

3.1 金型設計値と加工品質の検証

3.1.1 実験条件と実験方法

金型設計値と加工品質の関係について明らかにするため、円形状と四角形状の打抜き実験を行った。材料はSPHC（熱間圧延鋼板）の板厚4.5mm、加工油は揮発性打抜き油（出光興産㈱製 ダフニーニューパンチオイル）を用いた。実験条件を表1に、使用した金型を図5に示す。

表1 実験条件

抜き形状	円形状（外径φ60mm）、 四角形状（□60mm）
クリアランス（円形状のみ）	0.5%、0.75% （板厚に対する割合）
ダイスコナーR（円形状のみ）	0.1、0.5
芯ずれ（円形状のみ）	あり（0.01mm）、無し
製品コーナーR（四角形状のみ）	0.1、0.2、0.3、0.4

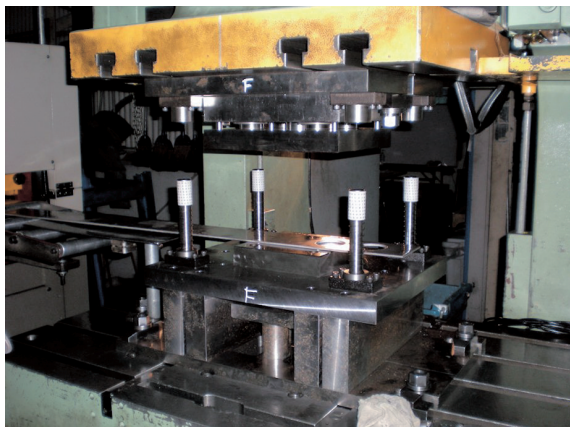


図5 使用した金型

ガススプリングによる材料押え力は70.4kN、サーボプレス下部に設置されているエアダイクッションによる逆押え力は12.5kN、サーボプレスのスライド速度は35SPM（分あたりのshot数）として実験を行った。

円形状は表1に示した項目のうちクリアランス、ダイスコナーR、芯ずれの水準を組み合わせ、四角形状は加工品の四隅のコーナーR（製品コーナーR）をすべて異なる値として、それぞれ実験を行った。なお、芯ずれとは金型の組立精度の影響を確認するため、プレス機の左右方向にパンチとダイス

の中心をずらしたものである。

加工品のダレ量・バリ高さの測定、サーボプレスに搭載された荷重計による加工時の最大荷重の測定、加工面性状の観察により、金型設計値と加工品質の関係を明らかにした。ダレ量は加工面を撮影した画像から測定し、バリ高さはバリの頂点とバリ付近の平坦部をマイクロメータで測定した差分とした。最大荷重は5 shotの平均値、ダレ量、バリ高さは5回測定した平均値を用いた。

また、C型フレームのプレスは最も普及している構造であるが、大きな荷重がかかると口開き（図6）が発生しやすいため、円形状の加工品についてはプレス機の手前側、奥側に相当する加工品の2か所について評価を行った（図7）。

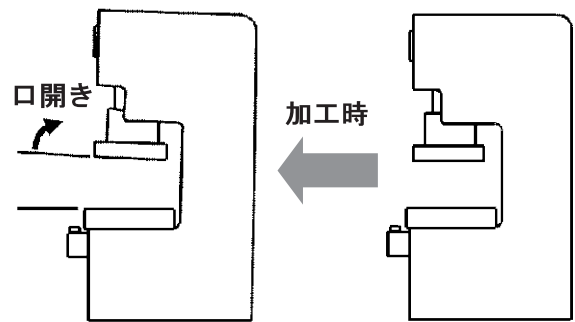


図6 プレス機側面から見た口開きの様子

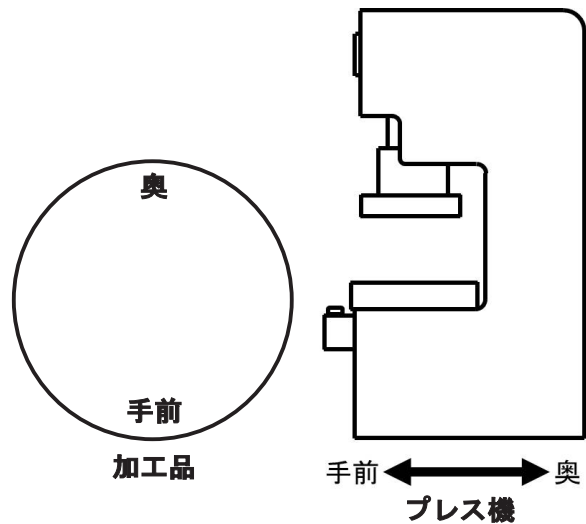


図7 加工品の測定位置とプレス機との位置関係

3.1.2 実験結果と考察

実験により得られた加工品を図8に、ダレ量、バリ高さの測定結果を図9に、加工時の最大荷重の測定結果を図10に、加工面性状の観察結果を図11に示す。

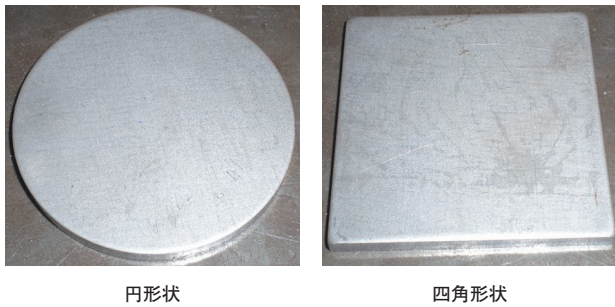


図8 得られた加工品

(1) 円形状

円形状においては、クリアランスとダイスコーナーRが大きくなるほどダレ量が大きくなるが、芯ずれの影響はほとんどなかった。この傾向は一般的な打抜き加工と同じであり、パンチとダイスの間の空間体積が増加して材料の移動可能領域が増加すること、ダイスコーナーRが大きくなると材料が引き込まれやすくなるのが原因と考えられる。手前側のバリ高さは、クリアランスが小さいほどバリ高さが大きくなった。また、クリアランスが小さい場合にダイスコーナーRが大きいくほどバリ高さが小さくなった。一方で奥側のバリ高さは、クリアランスとダイスコーナーRが大きくなるほど大きくなっており、一般的な打抜き加工と同じ傾向である。これらの原因は、プレス機本体の口開きの影響で手前側のクリアランスが非常に小さくなり、材料の圧縮力が大きくなった結果、延性が増したためと推察される。その他、手前側、奥側ともに芯ずれによりバリ高さが変化しており、金型の組立精度の影響がバリ高さに現れることがわかった。

(2) 四角形状

四角形状においては、製品コーナーRが大きくなるほどダレ量およびバリ高さが小さくなる傾向であった。これは、製品コーナーRが大きくなるほどパンチおよびダイスに接触する材料の面積が小さくなることで、材料を引き込む力や隙間に押し込む力が弱くなるためと考えられる。

加工時の最大荷重を測定した結果、クリアランスとダイスコーナーRが大きくなるほど荷重が大きくなる傾向であった。また、芯ずれによる荷重の変化も認められた。クリアランスが大きいほど金型に接触していない材料の面積が大きいため圧縮力を受ける面積が小さく、塑性せん断に移行しにくいこと、ダイスコーナーRが大きくなるほどダイス切刃と材料の接触面積が増えるため必要な力が増えることが原因と考えられる。芯ずれの場合は、局所的にクリアランスが変わることにより同様の現象が発生していると考えられる。

円形状の加工面性状については、クリアランス0.5%ーダイスコーナーR 0.1の奥側およびクリアランス0.75%ーダイスコーナーR 0.1の手前側でのみ破断が発生した。その他の条件では、クリアランス0.75%ーダイスコーナーR 0.1の奥側のように、せん断面が得られた。円などの単純形状では、

クリアランス0.5%~0.75%、ダイスコーナーR0.1~0.5の条件でせん断面が得られることを確認した。しかし、ダイスコーナーがR0.1程度に小さい場合は、材料の圧縮が不十分であり、塑性せん断の前にき裂が発生する可能性があるとして推察される。

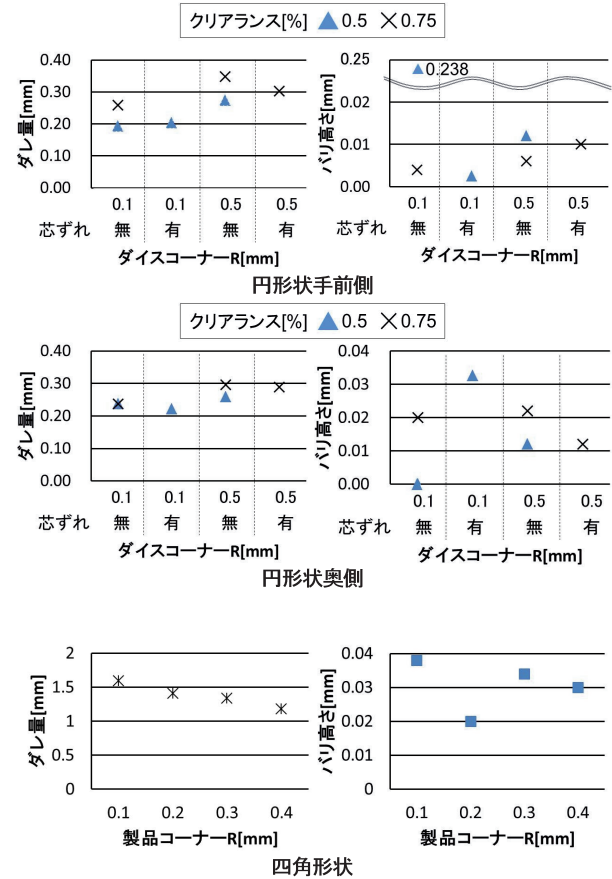


図9 ダレ量・バリ高さの測定結果

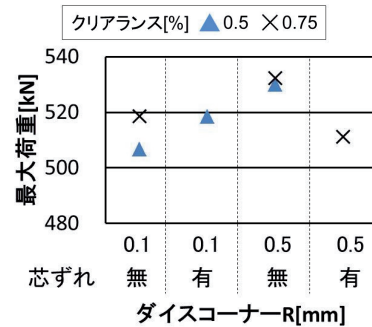


図10 最大荷重の測定結果 (円形状)

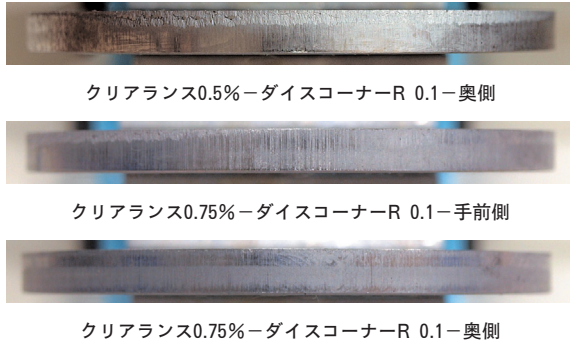


図11 加工面の観察結果（円形状）

### 3.2 加工油の検証

FB加工は材料に大きな圧縮力を与えて打抜くため、パンチなど金型の工具部分への負担が大きい。そこで、加工油の違いによるパンチ表面への影響について検証した。

#### 3.2.1 実験条件および方法

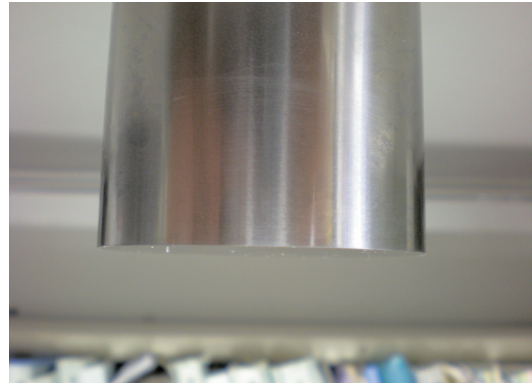
材料はSPHCの板厚4.5mmを用いた。クリアランスは0.5%、サーボプレスのSPMは35、加工形状は外径φ60mmの円、パンチはSKD11で製作し熱処理を行った。加工油は汎用の揮発性打抜き油（出光興産㈱製 ダフニーニューパンチオイル）とFB加工専用油（ユシロ化学工業㈱製 ユシロンフォーマーFE155）の2種類を用い、加工後のパンチ表面の状態を観察した。

#### 3.2.2 結果と考察

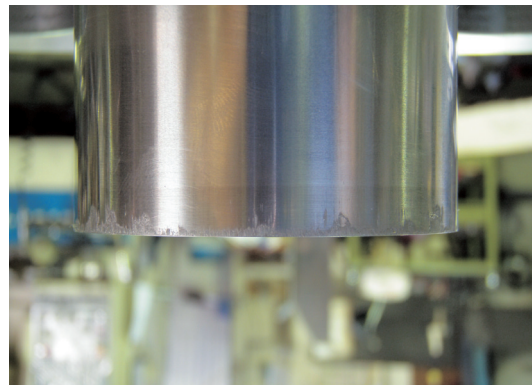
加工後のパンチ表面の観察結果を図12に示す。汎用加工油では3shotでパンチ表面に材料が溶着したが、FB加工油では30shotでも溶着が起らなかった。今回使用した汎用加工油は後処理で加工油の洗浄が不要になるよう高い揮発性が付与されており、FB加工時の高圧力で十分な潤滑性能を発揮できないためと考えられる。FB加工油は、極圧添加剤と呼ばれる高圧下での潤滑性能を高める成分が添加されていることから、溶着が発生しなかったと推察される。以上から、汎用プレス機においてもFB加工を行う場合は、高圧下で十分な潤滑性能を発揮できる加工油を選択することが重要であることがわかった。

### 3.3 サーボプレスのモーションによる負荷軽減と耐久性の検証

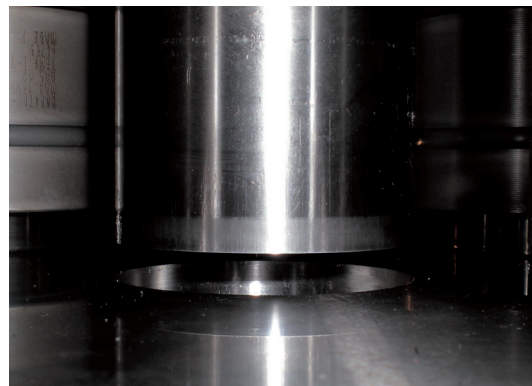
FB加工は打抜き力以外に材料押え力や逆押え力が与えられており、一般的な抜き加工と比較して金型負荷が大きい。量産加工を行うには長い金型寿命が求められるため、金型の負荷を減らすことが重要となる。そこで、金型負荷が小さく、量産に適したモーションを導出するため、モーションが金型に与える負荷と、負荷が小さいモーションによる加工を行った場合の耐久性について明らかにした。



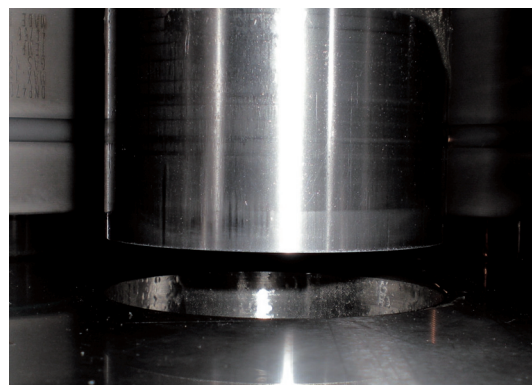
加工前



汎用加工油3shot後



FB加工油3shot後



FB加工油30shot後

図12 パンチの観察結果

### 3.3.1 実験条件および方法

加工時の金型負荷は加工音で推定できると考えられることから、音圧測定を行った。加工速度が遅くなれば金型の負荷が小さいことが予想されるが、速度変化量と金型負荷の変化量について明らかにするため、加工速度を変えた4種類のモーションについてそれぞれ加工時の音圧を測定した。

#### (1) 使用したモーション

モーションは、一般的なプレスと同じ動作のクランクモーション（定速）で1サイクル35SPMのもの、金型が材料に接触してから材料が分離されるまでの間のみ速度をクランクモーションの10%に減速するモーション（サーボプレス機の減速の限界）で1サイクル19SPMのもの、これら2つのモーションの間である50%に減速するモーションで1サイクル31SPMのもの、30%に減速するモーションで1サイクル28SPMの4種類を使用した。

#### (2) 音圧測定

音圧測定の様子を図13に、使用したモーションを図14に示す。マイクロフォン（UC-52 リオン(株)製）で得られたデータは、アンプ（NH-22 リオン(株)製）を介してデータロガー（DA-20 リオン(株)製）に記録した。マイクロフォンの位置はサーボプレスの騒音測定例<sup>4)</sup>を参考に、床からの高さ1.5m、加工点から水平方向1.5mとした。サーボプレスは最大加圧能力800kNの機種を用いた。板押え力は加工開始時点で200kN、逆押え力は40kN、被加工材はSPHCの板厚4.5mm、クリアランスは0.5%とした。

#### (3) 連続加工実験

次に、負荷が小さいと推察されるモーションによる連続加工を行い、加工品の面粗度、バリ高さ、加工面性状の観察から耐久性を検証した。

材料はSPHC板厚4.5mmのコイル材、サーボプレスは最大加圧能力1500kNの機種を用いた。ガススプリングによる材料押え力200kN、サーボプレスの下部に設置されているエアダイクッションによる逆押え力40kN、サーボプレスのスライド速度は35SPMとした。加工形状は外径φ60mmの円、パンチはSKD11で製作し表面にTiN処理を行った。加工油はFB専用加工油（ユシロ化学工業(株)製 ユシロンフォーマーFE155）を使用した。アンコイラとNCレベラーフィーダによりコイル材の連続供給を行い、量産加工を想定した連続加工を実施した（図15）。

### 3.3.2 音圧の測定結果

4種類のモーションによる音圧の測定結果を図16に示す。音圧は5点の移動平均処理を施し、絶対値で表示している。波形のピーク値は、クランクモーションが2.9、50%減速が2.8、30%減速が1.1、10%減速が0.6であり、10%減速モーションが最も小さく、最も大きかったクランクモーションの約1/5の値であった。



図13 音圧測定の様子

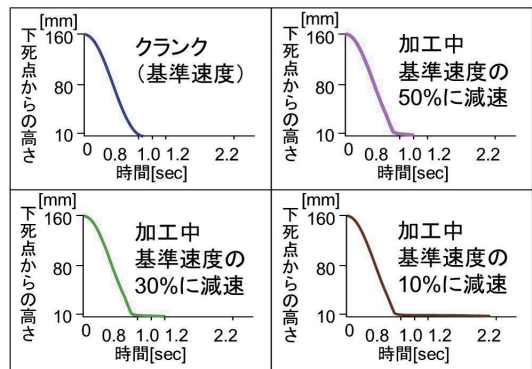
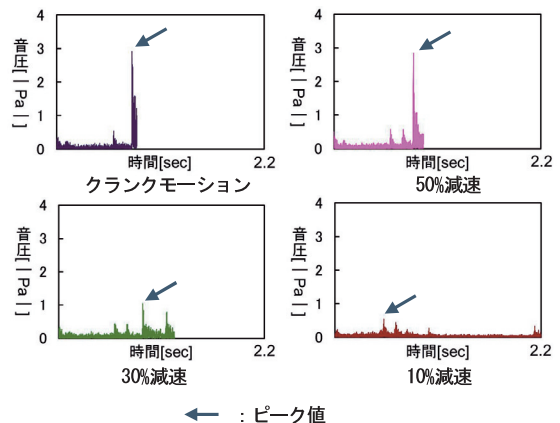


図14 使用したモーション



図15 連続加工実験の様子



← : ピーク値

図16 音圧の測定結果

### 3.3.3 連続加工実験の結果

前節の4種類のモーションの中で、最も負荷が小さいと思われる10%減速モーションにより連続加工した加工サンプルの面粗度を図17に、バリ高さの測定結果を図18に、加工面性状の観察結果を図19に示す。面粗度、バリ高さ、加工面性状において、ばらつきはあるものの大きな変化は認められなかった。

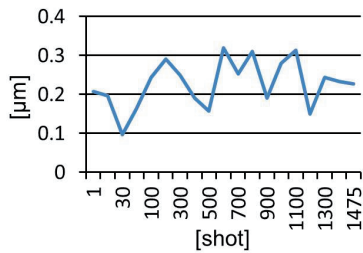


図17 面粗度の測定結果

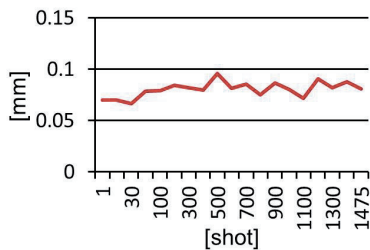


図18 バリ高さの測定結果

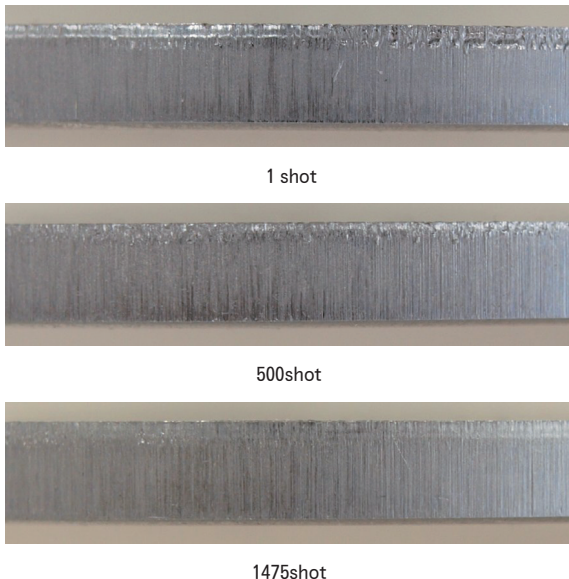


図19 加工面性状の観察結果

### 3.3.4 考察

加工開始時に金型に与えられる負荷は主に金型の運動エネルギーである。運動エネルギーは音のエネルギーと熱エネルギー等に分解され、その中で音エネルギーが最も大きいと推

定される。運動エネルギーは速度の二乗に比例し、音エネルギーは音圧 (Pa) の二乗に比例する。10%減速モーションはクランクモーションと比較して最高速度が1/10、音圧のピークが約1/5であったことから、加工前に金型が保有する運動エネルギーは1/100に減少したが、音のエネルギーは1/25にしか減少していないと考えられる。よって、金型負荷は減速量ほど減少しないと推察される。

また、10%減速モーションによる耐久試験を行った結果、面粗度、バリ高さ、加工面性状に大きな変化はなかったことから、10%減速モーションの適用により汎用機による量産加工が可能になったことが示唆された。しかし、10%減速モーションのサイクルSPMは19、クランクモーションのサイクルSPMは35であることから生産性は約54%に減少する。

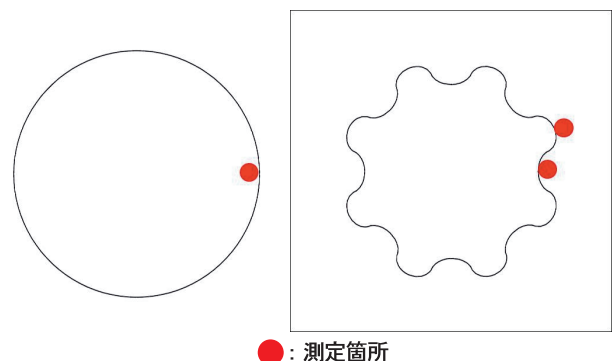
### 3.4 サーボプレス加工条件と加工品質の検証

サーボプレスの加工条件と加工品質の関係について検証するため、サーボプレスのスライド速度、逆押え力を変えた加工実験を行った。

#### 3.4.1 実験条件および方法

材料はSS材の板厚6.0mm、加工油はFB専用加工油（ユシロ化学工業㈱製 ユシロンフォーマーFE155）を用いた。クリアランスは0.5%、板押え力は加工開始点で471kNである。抜き形状は、外周の形状に相当する外径φ64mmの円形状と、内周の形状に相当する最大幅58mmのギア形状の2種類とした。

実験条件として、サーボプレスのスライド速度は20SPM、30SPM、40SPMの3種類、逆押え力は40kN、80kN、110kNの3種類で行った。ダレ量、バリ高さの測定箇所は口開きの影響が少ないと思われる、オペレーターから見た製品の右側とし、ギア形状においては凹部と凸部の2か所について測定した。測定値は5回測定した平均値とした。測定箇所を図20に示す。



●: 測定箇所

図20 ダレ・バリ測定箇所

### 3.4.2 結果と考察

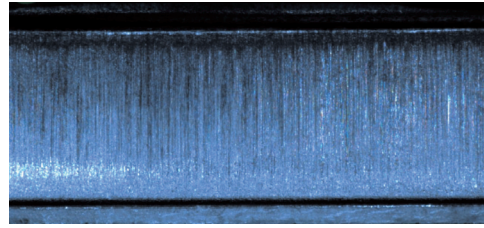
円形状の結果を図21に、ギア形状の結果を図22に、加工面性状の観察結果を図23に示す。

円形状のダレ量は、ばらつきがあるもののSPM、逆押え力の変化との相関は認められなかった。円形状のバリ高さは逆押え力が大きくなるほど小さく、SPMが小さいほど大きくなる傾向が認められた。

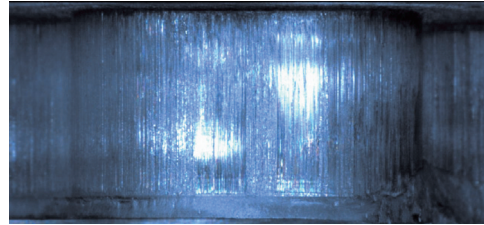
ギア形状のダレ量は、凹部ではSPMによる違いは小さく逆押え力が大きくなるほど大きくなる傾向が認められたが、凸部ではSPM、逆押え力ともに違いが見られなかった。バリ高さは、凹部、凸部ともに逆押え力が大きくなるほど大きくなる傾向であり、ばらつきがあるもののSPMとの相関は認められなかった。

加工面は、円形状ではすべての条件でせん断面が得られたが、ギア形状では凸部と凹部の境界付近で破断面が認められた。

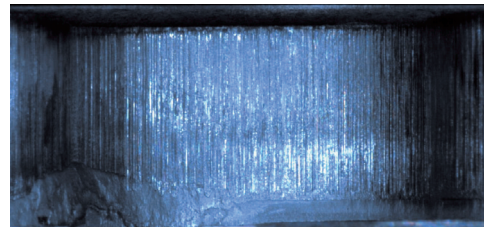
円形状とギア形状の加工品質の相違は、円形状は単純な形状であるため、金型の組立精度やプレスの口開き等の影響を受けにくい、ギア形状は複雑であるため影響を受けやすい事に起因していると推察される。



円形状



ギア形状凸部



ギア形状凹部

図23 加工面性状の観察結果

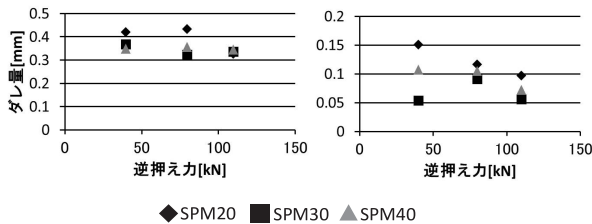


図21 円形状のダレ量・バリ高さ測定結果

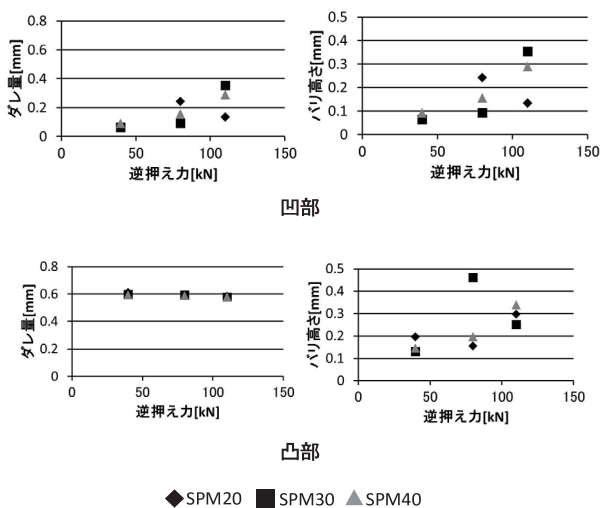


図22 ギア形状のダレ量・バリ高さ測定結果

## 4. まとめ

サーボプレスと高機能金型を用いたFB加工技術において、厚板を対象に加工条件と加工品質の関係、モーションと金型負荷の関係、耐久性等について検証し、次の結果を得た。

- (1) 円と四角の抜き形状について金型設計値と加工品質の関係を調べた結果、一般的な抜き加工と同様にクリアランスとダイスコナーRが大きくなるとダレ量、バリ高さが大きくなる傾向が確認されたが、プレス機の口開きが加工品質に大きく影響することが明らかになった。
- (2) FB加工に揮発性の高い加工油を使用すると数shotでパンチ表面に材料の溶着が発生することから、汎用プレス機においてもFB加工で行う場合、FB加工専用油を選択することが重要であることがわかった。
- (3) 加工中の速度を減速すると金型負荷は小さくなるが、減速量ほど負荷が減少しないことが明らかになった。また、金型が材料に接触してから打抜きが完了するまでの工程において、速度を基準速度の10%に減速することで量産加工に対応可能なことが明らかとなった。
- (4) 実部品を目標とした加工実験を行い、本研究で用いたサーボプレスおよび金型で板厚6.0mmのSS材のFB加工を行い、加工条件と加工品質について確認した結果、円形状では平滑なせん断面が得られ、実用上問題ないことを確認した。



今後は、実部品を対象にした適用実験と耐久実験を行い、技術の信頼性を高めることで道内企業への普及を図る。

## 引用文献

- 1) 中野隆志・芦原和男・石永信行・井村隆昭・外山泰治：厚板のFCF（板鍛造）工法開発，塑性と加工，日本塑性加工学会，Vol.47 No.551，pp.8-12，(2006)
- 2) 佐藤日出之・今井敏博・宇都宮誠治：冷間鍛造による高精度化，デンソーテクニカルレビュー，Vol.6 No.29 pp.20-29，(2001)
- 3) 中川威雄：ファインブランキング精密打抜きの理論と実際，日刊工業新聞社，162PP.，(1998)
- 4) クランチャートジュンラベン・水落健・古閑伸裕：塑性と加工，日本塑性加工学会，Vol.51 No.591，pp.83-87，(2010)