

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 30 日現在

機関番号：32702  
 研究種目：基盤研究（C）  
 研究期間：2010 ～ 2012  
 課題番号：22560121  
 研究課題名（和文）順送金型方式高度微細成形における基本成形の要素技術開発と体系化の研究  
 研究課題名（英文）Development of elemental techniques and their systematization in progressive die forming for providing high precision fine products  
 研究代表者  
 青木 勇（AOKI ISAMU）  
 神奈川大学・工学部・教授  
 研究者番号：30011159

### 研究成果の概要（和文）：

プレス加工技術（せん断、曲げ、絞り、板鍛造）を複合化した複雑形状創成技術の一般化を目的とする工法、「要素技術」の技術開発を行った。事例研究として「真直なかえりなし穴の創成」を重要事例研究として取り上げ、原理の具現化を試みた。実験と解析より良好な結果を得た。さらにこれらの基本技術であるシェービングとかえりなしせん断についてそれらの技術の高度化を図った。

### 研究成果の概要（英文）：

The Fundamental pressing techniques and their systematization in progressive die forming for providing high precision fine products were developed. Main subject of “Punching holes of smooth surface without any burr and any droop” is studied as an important case study. Good results are obtained through the experiments and theoretical study. Moreover, a shaving and burr-free technique, basic technique of the subject, are also advanced.

### 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
22 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
23 年度	800,000	240,000	1,040,000
24 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	2,600,000	780,000	3,380,000

### 研究分野：生産工学

科研費の分科・細目：機械工学，生産工学，加工学

キーワード：生産工学，塑性加工，プレス加工，順送金型成形，要素技術，せん断加工，シェービング

### 1. 研究開始当初の背景

プレス成形の基本は金型を用いる塑性加工技術である。具体的には、せん断加工、曲げ加工、絞り加工、および板鍛造が基本となる。

プレス加工部品は、近年の製品の高機能化、低コスト化・微細化・軽量化等の流れを受け、

複雑な形状創成を必要としている。しかし、新たな形状部品に対しては新たな金型が必要であり、工程設計・金型設計を行う必要がある。順送金型による成形の場合、それまでの技術の蓄積と、CAD・CAE 技術は重要であるが、新たな工程の模索・探索はかなりの煩雑さを

伴う。

ところで、部品形状が複雑であっても、これらを成形する工法の多くは幾つかの基本的成形技術の集積である。そこでこれらの基本的な成形技術を、プレス成形における「要素技術」と考え、この要素技術を提案・開発し、さらにそこで考慮すべき「加工パラメータ」を明らかにしておけば、広範な形状のプレス成形に貢献できると考えられる。例えば図1のように円板中央に面取り部を設ける加工は、基本的に「穴抜き」と「圧縮加工」であるが、面取り深さによって、必要な工程は異なる。

現在から将来を見据え、プレス加工の活性化とその普及を図るとき、この要素技術の発展とその体系化が欠かせないと考えられる。

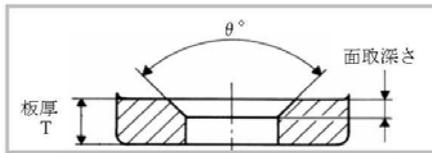


図1 板の面取り

## 2. 研究の目的

以上の背景に基づき、本研究では事例研究をとおして、「要素技術」のありかた、そこで定め研究すべき「加工パラメータ」、さらに必要とされるCAE技術の組込み等について研究を進める。

なお、研究の性質上、事例研究をとおした要素技術のありかたについては、一つの事例研究のみに留めているが、さらに要素技術を構成する各基礎技術の高度化のあり方等を図っており、全体を通してみれば、広範な体系化のあり方の俯瞰が可能と考えている。

## 3. 研究の方法

### 3.1 事例研究

対象形状として、本報ではきわめて重要度が高いと考えられる「だれ、バリのない真直な穴あけ加工」を取り上げる。理想は図2に示す形状であるが、通常の穴あけでは、

1)破断面の発生、2)だれの発生、3)かえりの発生が問題となる。この問題を克服できると考えられる工程を図3に、また、加工パラメータを表1に示す。すなわち、①極力、だれ・かえり・破断面の少ない形状の穴抜き、②穴近傍の圧縮でだれを潰す、3)シェーピングで形状と寸法の調整を図ることである

### 3.2 実験条件及び方法

ここでは板厚より小さな小穴抜きとして2mm厚材料に1mmの穴をあけることとした。用いた材料はアルミニウム軟質材（JIS：A1100P-0）である

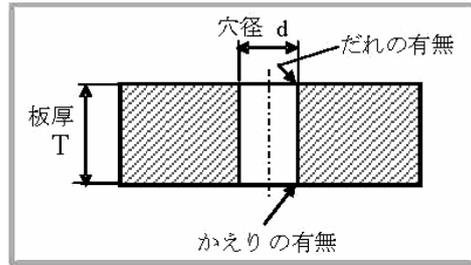


図2 穴あけの問題

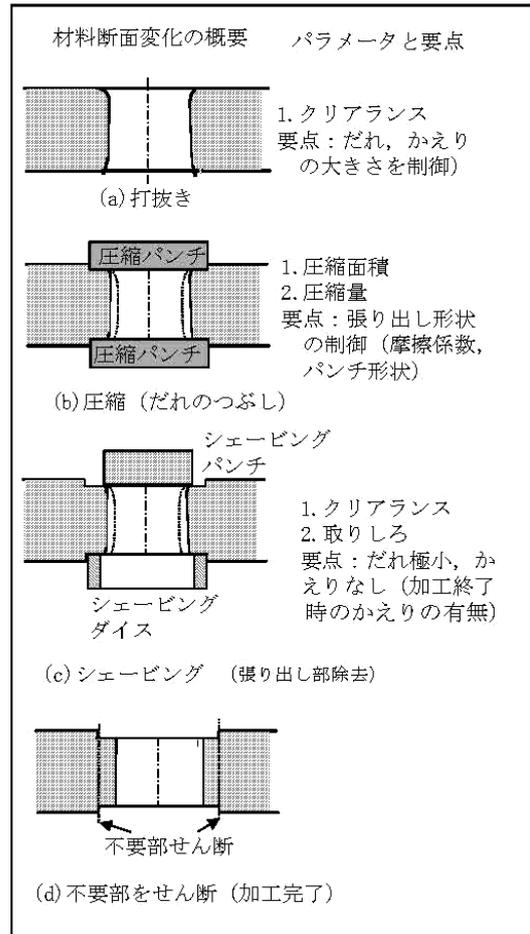


図3 理想小穴の加工手順

表1 工程と加工パラメータ

No.	工程	加工パラメータ、及び前工程との関係	検討事項
1	穴抜き工程 (FEM解析)	1. クリアランス 2. アスペクト比: $r$ ( $r = \text{板厚} / \text{パンチ直径}$ )	1. だれ寸法 2. かえり高さ 3. 破断面傾斜部
2	圧縮工程 (FEM解析)	1. 位置合わせ精度 2. 圧縮量 3. 圧縮面積	1. 張り出し量 2. だれの減少量 3. かえり高さの減少 4. 破断面傾斜部の減少
3	シェーピング工程	1. 位置合わせ精度 2. クリアランス 3. 取り代 (変化あり)	1. だれの有無 2. かえりの有無 3. 破断面傾斜部有無
4	せん断工程 (切り落とし)		

用いた金型の構造を図4に示す。同心型金型で中心を合わせやすく、パンチ・ダイスの交換のみで、穴抜き・圧縮・シェーピングの各加工が可能である。

工程間の心合わせは先端にテーパ部を持つ心合わせピンを用いた。加工の工程手順を図5に示す。本来は順送金型で実施すべきであるが、上記の手順によれば一つの型を用いた模擬順送加工が可能となり、問題点の把握も容易となる。実験条件を表2に示す。

## 4. 研究成果

### 4.1 要素技術の開発

(1) 事例研究を通して明らかになったことがらと問題点

図6に穴抜きからシェーピングに至る工程全体の製品断面写真を示す。各工程の内容を以下に述べる。

(a) 穴抜き工程 この工程は板厚よりも抜き直径の小さい、いわゆる「小穴抜き」であり、クリアランスが多少大ききでも破断面割合は小さいが、だれを除去する観点からは図7のように小クリアランスが推奨される。図8は小穴抜きにおけるアスペクト比の影響を0.33と2について見たもので、小穴抜きではだれが極めて小さくなり、理想小穴を実現しやすいことがわかる。また、こうした解析も工程設計に有効であることがわかる。

(b) 圧縮工程 ここは、だれとかえり、特にだれを低減する工程である。図6(b)のようにだれは相当量減少し、かえりは脱落、または押し潰されたと見られる。キーポイントは圧縮面積と圧縮量である。圧縮により穴内部へ材料が張り出し、さらに摩擦の影響で板厚中央部の張り出し量が大きくなる。これは、図9に見られるように摩擦の影響が大きく、これに関する解析は有効である。また、圧縮の結果、板厚が減少するのでこれを見込んだ工程設計が必要となる。さらに、張り出し量が板厚方向に一定とならないことは、次工程のシェーピング条件の設定に配慮が必要なることを意味する。

(c) シェーピング工程 シェーピングは張り出した部分を削り取る工程であり、ポイントはクリアランスと取り代である。前節で述べたように取り代は一定とならない。

図6(c)、(d)の例では、加工初期は概ね切削的と見られるが、後半は通常のシェーピングと異なる。すなわち、半径方向に生じた切り屑が中央部で互いに干渉するようになる。

(干渉の有無はアスペクト比で異なる) このため、加工の後半はせん断加工に近い形態と

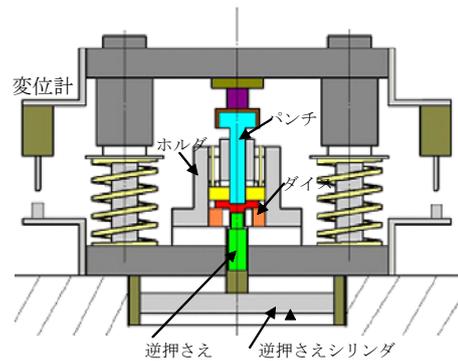


図4 実験用金型の構造

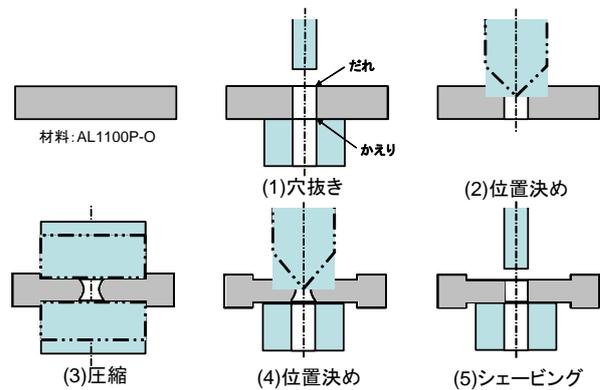


図5 工程手順

表2 実験条件

材料:	2mm厚アルミニウム A1100P-O
穴径	1mm (アスペクト比2)
加工工程と加工パラメータ例	
工程	加工パラメータ
第1工程	①クリアランス: パンチ 1.00, ダイス 1.04~1.2mm
第2工程	①圧縮径 $\phi 3 \sim \phi 5$ ②圧縮量 0.15~0.7mm
第3工程	①クリアランス: パンチ 1.00, ダイス 1.04mm ②取り代は第2工程により変わる
第4工程	不要部の抜き落とし

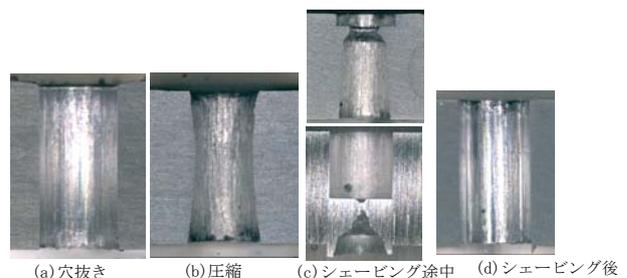


図6 加工中の製品断面

見られる。また、図10のように加工力線図も一般のシェービング線図に比べ、かなり異なっている。また、加工硬化の影響が大きいことも同図から読み取れる。これらの現象は、当然であるが、圧縮工程で生じた材料変形に依存する。

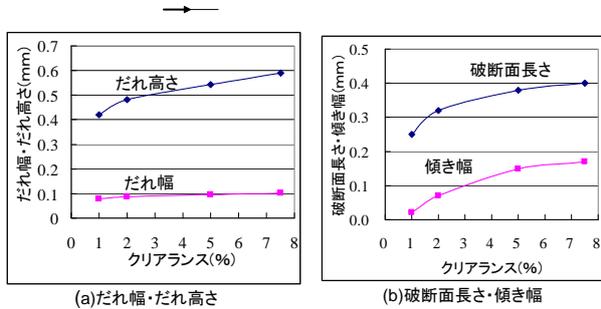


図7 製品性状に及ぼすクリアランスの影響

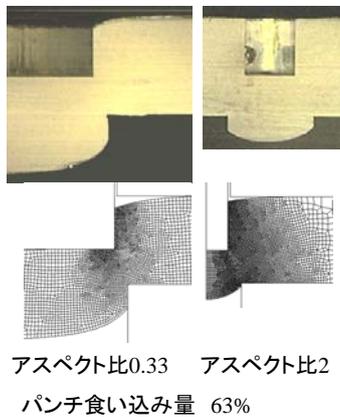


図8 だれ成形に及ぼすアスペクト比の影響 (上図は実験, 下図はFEM解析結果)

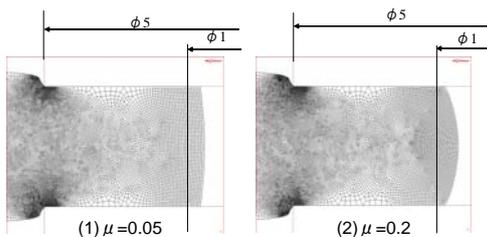


図9 圧縮形状に及ぼす摩擦の影響 (FEM) (圧縮量: 0.6mm)

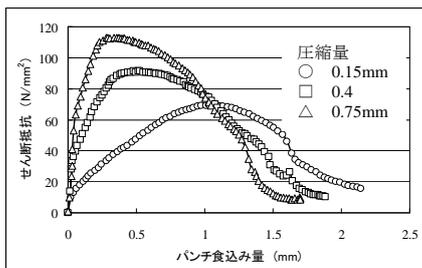


図10 シェービング工程の加工力線図

## 4.2 シェービング加工の高度化

### (1) 工具形状の検討

以上のように本加工ではシェービングが重要であることがわかった。これまでも知られているように第一工程クリアランスを小さくすることでシェービング取り代も小さくできるが、厚板に対しては加工が難しくなる。そこでシェービングが本来切削であることに注目し、すくい角や逃げ角を付すことで取り代条件を緩やかにできる可能性に注目し、検討を試みた。

図11にパンチ刃先形状を記す。刃先につけるランド部(0.1mm)の影響も検討した。ここでは、板厚2mmのアルミニウム軟質材(A1100P-0)を用いた。穴径は10mm、第一工程、第二工程ともにクリアランスは4.5%とした。

図12,13にすくい角,逃げ角の影響を記す。取り代は5%である。同図のように僅かな角度を付すことでだれが大きく低減し、圧下高さ(だれ+せん断断面)も大きくなるのがわかり、実務上有効な結果といえる。なお、ランド部は刃先強度維持のためには効果的であるが小さく抑えた方が良いことがわかる。

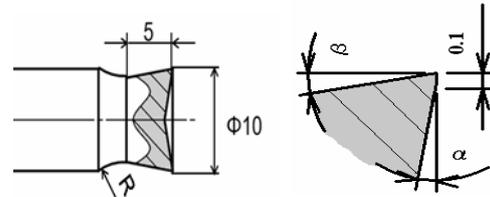


図11 パンチ形状

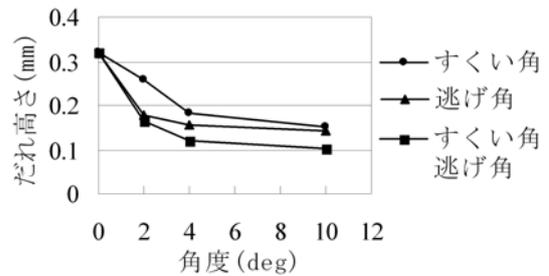


図12 だれ高さに及ぼす角度の影響

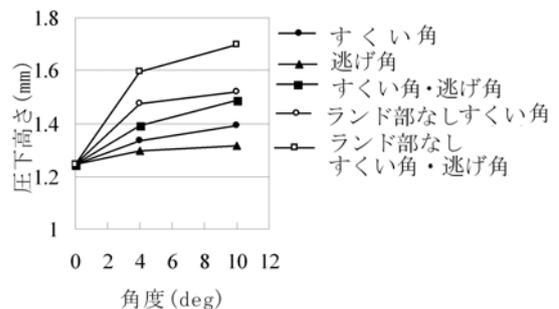


図13 圧下高さに及ぼす角度の影響

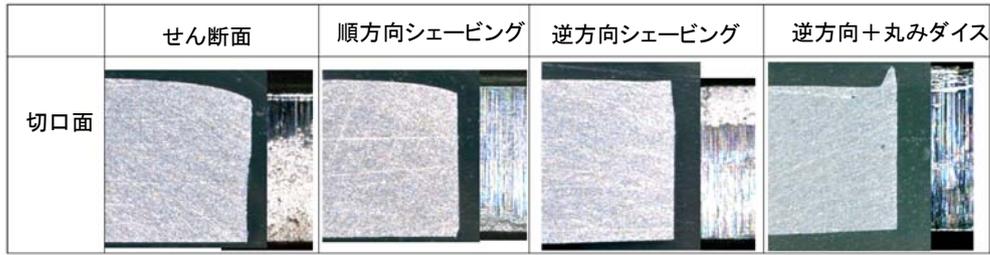


図 14 切口面性状に及ぼすシェービング方向の影響

(2) 逆方向シェービングによるだれの低減  
 シェービングには、第一工程と同方向の順方向シェービングと、逆向きの逆方向シェービングがある。ここで逆方向シェービングについてだれの抑制効果を検討した。

図 14 のように順方向シェービングではだれが除去しきれず、逆方向では破断面が生じる。そこで逆方向シェービングで丸味付きダイス（丸み半径  $40\mu\text{m}$ ）を用いると破断面とだれをほぼ完全に防止できることが明らかになった。但し、バリの発生があるので必要な場合は除去作業が必要である。

#### 4.3 かえりなしせん断の高度化

これまで検討してきた真直な穴あけにおいてはかえりについて検討されていない。この問題はすでに提案されている幾つかのかえりなしせん断法を工程内に組み込めば良いと考えている。この問題について、研究代表者はすでに平押し法<sup>1)</sup>について研究を進めてきている<sup>2)</sup>が、寸法精度に関しては言及が不足であり、以下に検討を試みた。

平押し法は、負クリアランスで半せん断した試験片を平押し工具で押し戻し分離させる加工法である。本法の第二工程は仮想せん断として考えることができる。すなわち、半せん断試験片断面を示す図 15(a)において、試験片板厚を  $T$ 、第一工程後の残留板厚を  $t$ 、パンチ、ダイスに食い込んだ試験片部分をそれぞれ仮想ダイス、仮想パンチとすれば、第 2 工程は図 15(b)のように仮想工具で残留板厚  $t$  をせん断する「仮想せん断」と考えられる。したがって、平押し法を慣用せん断と類似させるには第一工程を適切な負のクリアランスとする必要がある。

切り口面の良さはクリアランスと食い込み量であり、それぞれ-4%程度、70%程度が良好

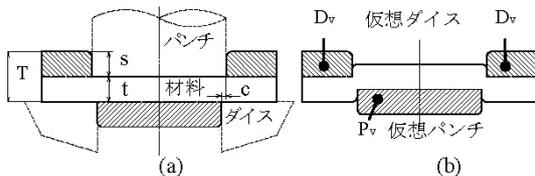


図 15 平押し法の原理・分離機構

であるが本条件では寸法精度は良くない。つまり分離しやすさと製品品質が両立しない。

以上の先行研究に基づき、寸法精度とだれに及ぼす材料拘束の影響（板押さえ力、逆押さえ力）を調べた。寸法精度とだれの定義は図 16 を参照し、製品寸法  $d_{pmax}$ ,  $d_{pmin}$ , およびかす寸法  $d_{smax}$ ,  $d_{smin}$ , とパンチ外径  $D_p$  またはダイス内径  $D_d$  との寸法誤差  $\Delta 1 \sim \Delta 4$  を以下のように定義する。

$$\Delta 1 = d_{pmax} - D_p \quad \Delta 2 = d_{pmin} - D_d$$

$$\Delta 3 = d_{smax} - D_p \quad \Delta 4 = d_{smin} - D_d$$

拘束条件を表 3 に示す。

#### (1) 寸法誤差

図 17 より試験片①と試験片③～⑥を比べると板押さえと逆押さえの両方を用いた③～⑥が寸法誤差は小さいことがわかる。また、板押さえを強くするとかすの誤差も小さくなる。これらから、強力な板押さえと逆押さえを用いると、寸法精度は向上することがわかる。理由として、第一工程のわん曲とかす側材料の変形が抑えられ、さらに第二工程がほぼ理想的な仮想せん断になるためと考えられる。

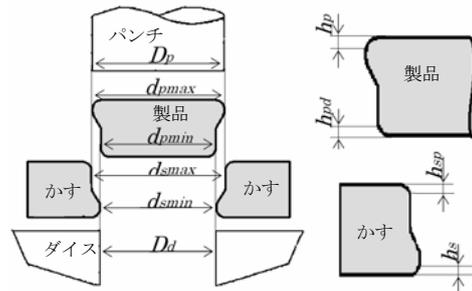


図 16 製品寸法及びだれの定義

表 3 材料の拘束条件

試料番号	板押さえ力 $f(\text{N})$	逆押さえ力 $f'(\text{N})$
①	—	—
②	100	3000
③	100	
④	6500	
⑤	15000	
⑥	30000	

図 18 で試験片①と試験片③～⑥を比べると板押さえと逆押さえの両方を用いた③～⑥がだれ高さは小さくなるのがわかる。また、板押力を強くするほどだれ高さは小さくなる。つまり、強力な板押さえと逆押さえを用いると、第一工程でできただれは小さく抑えられ、その後第二工程における変化は小さい。結果としてこのだれは小さくなる。また、第二工程でできるだれも概して小さい。これらの理由は総合的に見て、第二工程が理想的な仮想せん断に近づくためと考えられる。

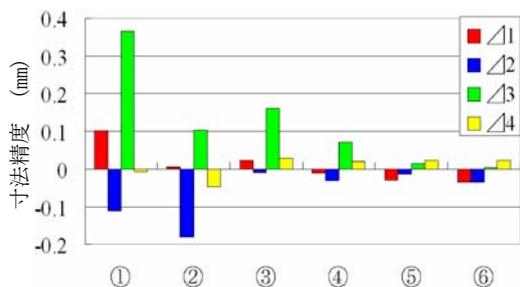


図 17 寸法精度に及ぼす材料拘束の効果

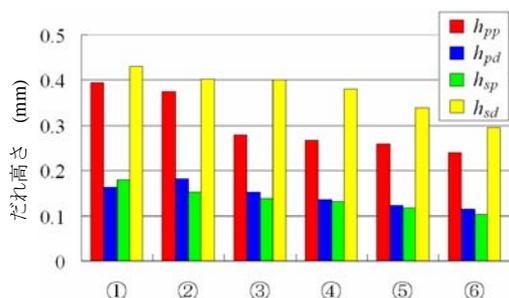


図 18 だれ高さに及ぼす材料拘束の効果

#### 4.4 まとめ

順送プレス加工における「要素技術」の必要性を提案し、事例研究として真直な小穴抜きを検討した。そして必要な加工パラメータを上げ、それらに関する研究の必要性を指摘した。また、個々の基礎技術の高度化の必要性を述べ、ここではシェービング技術とかえりなしせん断技術の高度化を図った。

なお、数多くの事例を体系化する点については今後も引き続き検討する必要がある。

#### 参考文献

- 1) 牧野郁雄: プレス技術, 25-13(1987), 73-78
- 2) 青木勇: 塑性と加工, 44-13(2006), 18-21.

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

- ① 笹田昌弘, 佐藤不思議, 青木勇, せん断加工における被加工材料の変形に関する研究,

日本機械学会論文集(C編), 査読有, 78巻783号, (2012), 3768-3775.

〔学会発表〕(計8件)

- ① 青木勇 医用鉗子のプレス成形, 日本機械学会 No. 11-134 講習会「先端医療へのものづくり技術のコントリビューション」, 機械振興会館(東京), 2013年1月16日.
- ② 青木勇, 微細・精密プレス加工の研究開発事例および手法, 長野県テクノ財団主催, 広域産学官交流ネットワーク2012, テクノプラザおかや(岡谷), 2012年12月6日.
- ③ 丸木隆司, 齋藤彬, 青木勇 平押し法によるかえりなしせん断製品の寸法精度に関する研究, 日本機械学会第20回機械材料・材料加工講演会, 大阪工業大学(大阪市), 2012年12月1日.
- ④ 横山光, 青木勇, シェービング加工特性に及ぼす工具切刃角の影響および切刃面改善の検討, 第63回塑性加工連合講演会, 北九州国際会議場(北九州市), 2012年11月5日.
- ⑤ 青木勇, 微細・精密プレス加工の現状と展望, 長野県精密加工技術研究会講習会, 長野県工業技術センター(長野県岡谷市), 2011年11月24日.
- ⑥ 青木勇, 笹田昌弘, 土井拓二, 葛城翔太, 鈴木淳, プレス成形における要素技術の検討, 一穴抜き加工における事例研究, 平成23年度塑性加工学会春期講演会, 早稲田大学(東京都), 2011年5月28日.
- ⑦ 青木勇, 笹田昌弘, 内藤侑貴, 松井亮, 平押し法によるかえりなし製品の寸法精度, 日本機械学会東海支部第60期総会講演会, 豊橋技術科学大学(豊橋市), 2011年3月15日.
- ⑧ 青木勇, 葛城翔太, 鈴木淳, プレス成形における要素技術の開発とその体系化に関する研究, 日本機械学会東海支部第60期総会講演会, 豊橋技術科学大学(豊橋市), 2011年3月15日.

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

青木 勇 (AOKI ISAMU)  
 神奈川大学・工学部・教授  
 研究者番号: 30011159