

平成 22 年 6 月 18 日現在

研究種目：基盤研究 (C)	
研究期間：2007 ~ 2009	
課題番号：19560125	
研究課題名 (和文)	順送金型成形法による生検鉗子の自由度の高度化及び高機能化に関する研究
研究課題名 (英文)	Research on advanced progressive die forming for small batch production of medical forceps and their functional progresses
研究代表者	
青木 勇 (AOKI ISAMU)	
神奈川大学 工学 教授	

## 研究成果の概要 (和文)：

本研究では医用鉗子の金型成形技術について検討した。鉗子のなかで把持部品を例とし、順送金型方式で成形する場合、多種少量生産への対応、金型の小型化、成形精度を支配するパイロットピンの変形について調べた。その結果、繰り返し順送方式で型の小型化と製品の多様化に対応できること、さらに、加工中のパイロットピンの振る舞いが明らかになった。

## 研究成果の概要 (英文)：

Die-mould technique for forming medical forceps is studied. Press forming technology, focusing a small batch production, miniaturization of die-mould and pilot pin system lead to high preciseness of the products, is investigated through experiments and analysis. In the study, a pair of gripper is part targeted as a typical component of the forceps. As the results, repetitive progressive die forming developed is applicable for the small batch production and miniaturization of die mould. Furthermore, behavior on pilot pin during forming is also clarified.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2008 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2009 年度	500,000	150,000	650,000
総計	2,900,000	870,000	3,770,000

## 研究分野：

科研費の分科・細目：5002

キーワード：順送金型成形、繰り返し順送、パイロットピン、医用鉗子

## 1. 研究開始当初の背景

最近の医療技術の高度化は目を見張るものがある。特に人体へのダメージを低く抑える低侵襲医療技術の高度化は重要な位置付けにある。このような分野に関して生産工学に携わる研究者が貢献可能なこととして医療機器の開発がある。

本研究で取り上げる生検鉗子は内視鏡手術・検査に用いられる医用処置具の一つであり、軟性内視鏡、硬性内視鏡援用に各種医療処置において頻繁に使用されている。図 1 に把持鉗子の例を示す。

鉗子は、現状、主に切削部品から構成され

るため概して高価である。種類の多さもコストを高める一因である。こうした現状から、鉗子部品の金型製作の検討は意義あると考えられる。特に多種少量用の工法開発と、それらの精度向上を図ることが必要である。

## 2. 研究の目的

1 章の現状を踏まえ、本研究では以下の項目を検討し、主に 1、2 について報告する。

(1) 多種少量生産、型の小型化を可能とする順送金型成形法の開発

(2) 順送成形金型成形に不可欠なパイロットピン方式位置決め精度の検討



図1 把持鉗子

(3)鉗子の機能向上のため、鉗子形状と鉗子機能に関する基礎的研究

### 3. 研究の方法

著者らは、すでに鉗子の金型成形の可能性を確認しており<sup>1,2)</sup>、これらの成果を元に以下のような手法で研究を進めた。

(1)成形対象(鉗子とグリップパー部品)の選定 汎用的技術の検討目的から把持鉗子を、また成形が難しいグリップパー部品を成形対象とした

(2)金型の開発 これまでの研究成果を元に、4工程からなる鉗子成形システムを製作し、成形自由度等を検討した。

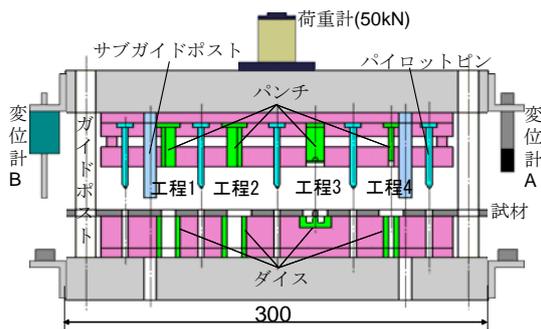
(3)パイロットピン精度の検討 これは順送金型成形のかなめである。加工中の精度維持についてモデル実験とFEM解析で検討した。

(4)関連技術の検討 鉗子形状の設計指針、さらに工具寿命の向上対策などを検討した。

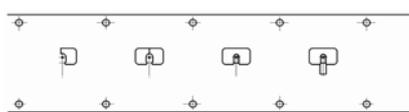
### 4. 研究成果

#### (1)金型の開発

①金型 金型全体の模式図、並びにスケルトン(成形順序を示す板材)を図2に示す。また、成形品形状を図3に示す。成形はスケルトンよりわかるように、外径切り欠き①、外径切り欠き②、絞り成形③、抜き落とし④の順になる。なお、実験の都合上、パイロットピン抜き金型と成形用金型は別の型とした。



(a)金型全体図(鉗子成形用)



外形 外形  
切り欠き① 切り欠き② 絞り成形 抜き落とし

(b)スケルトン

図2 金型全体図と成形スケルトン

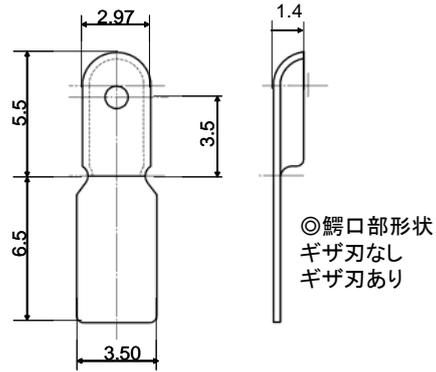


図3 鉗子用グリップパー部品

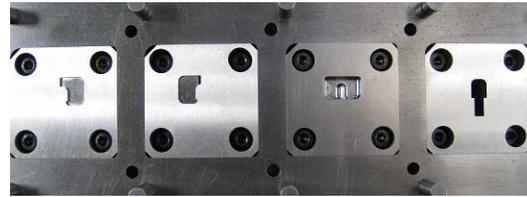


図4 用いた金型工具例(4駒分)

図4に金型工具の一例を示す。各工具はすべて基準金型に交換可能な構造とした。

#### ②成形実験と検証

この方式で工具(駒)交換のみにより、図5に示す複数のグリップパーができること、さらにそれらの寸法精度は概ね $\pm 0.05\text{mm}$ 程度に収まっており、実用上特に大きな問題がないことが明らかになった。この場合の駒交換は切り落とし①、②であり、駒の標準化と加工基準に設定で、問題なく製品形状変更に対応できた。

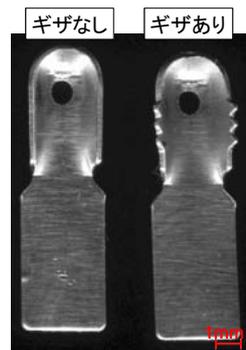


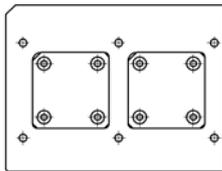
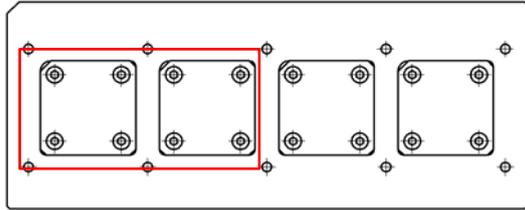
図5 駒交換による形状変更

#### (2)金型の小型化を目指す繰返し順送方式の提案

本事例では比較的少ない工程で加工を可能としているが、さらに多くの工程を要する場合、金型全体が大きくなり、本来の成形力からすれば過大なプレスが必要となる。そこで、以下の繰返し順送方式を提案・検証した。

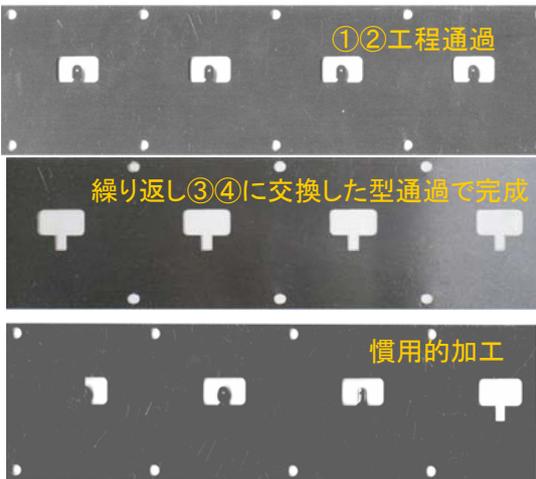
この方式はまず図6(a)のように2工程(①、

②)のみで必要製品数を加工し(例えば1000個分)、その後、別の2工程(③、④)に交換し、再度この型を通過させ成形する。同図(b)のような成形実験の結果、本法は慣用的加工と遜色なく、精度も概ね $\pm 0.05\text{mm}$ 程度に収まっており問題はなかった。



2工程金型  
と考える

(a) 繰り返し順送成形の考え方



(b) 成形実験例

図6 繰り返し順送成形方式と成形例

### (3) 金型のモニタリング技術

4.1 で述べたように複雑形状製品のプレス成形では順送金型成形法が一般的である。最終製品に不良が生じたとき、何らかの方法で不良箇所と原因を特定しなければならない。医用鉗子の成形では安全性の観点から、問題の生じない成形を考える必要がある。

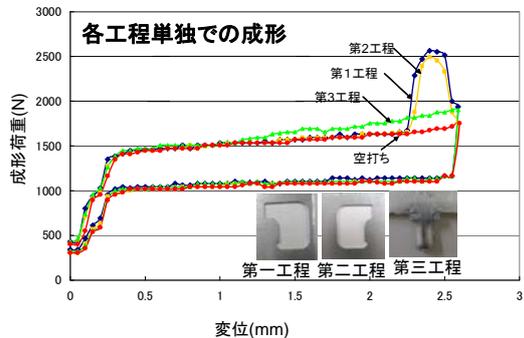
一般的なプレス加工は、絞り、曲げ、せん断、さらに板鍛造であるが、これらの加工状況や加工特性の調査・研究では、成形力線図を用いることが多い。単型ではこの作業は容易であり状況把握に大いに役立つ。しかし、複数成形が同時に行われる順送金型成形においては、同様の作業は容易でなく、成形製品や成形工程順を示す「スケルトン」から成形状況を検討せざるを得ない。もちろん、各工

程毎の検査で状況把握は可能であるが、成形力線図からしか発見できない微妙な問題も少なくないと考えられる。そこで、本研究では工程毎の個別工程成形力線図と全工程同時成形における全工程成形力線図から成形の状況を検討することとした。

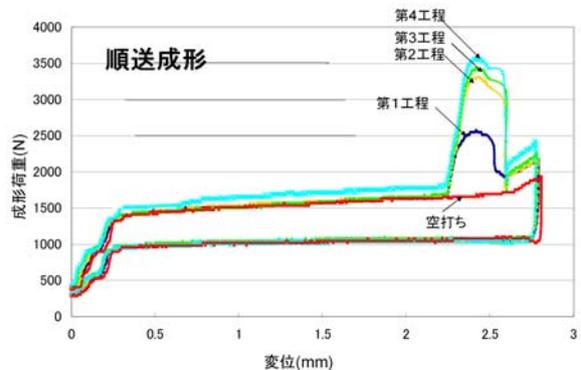
①実験装置と方法 用いた金型構造図は4.1で述べた図2の鉗子成形用金型である。金型上部のロードセルと金型上下間の変位を計測できる変位計で成形力線図を描く。工程は、外形切り欠き1①、外形切り欠き2②、絞り成形③、切り落としせん断④の4工程からなる。成形素材は0.2mm厚A11000-P、SUS304等である。

②結果と考察 図7は各工程毎の成形線図(a)と順送成形時の成形線図(b)を示す。①~③の成形の状況が明確に示されており、この和がほぼ全体成形力線図となっている。この事例では、①の工程で荷重が大きく、これは工具間クリアランスが小さく、かすづまりが生じているためであることと、さらに負荷時と除荷時で摩擦の状況(主にサブガイド部)が異なることなどが明らかになった。

このように、各工程で独立した成形線図をとりこの線図の分析や、順送成形時の成形線図から工程間の差を求めることなどで、当該工程の成形状況を把握でき、不良や問題発見が可能なが確認できた。



(a) 工程毎の成形力線図



(b) 順送成形時の成形力線図

図6 成形力線図例(0.2mm厚軟質アルミニウム)

(4)パイロットピンの精度

順送金型成形における工程間の位置決め精度は製品精度を確保するために重要である。多くの場合、位置決めは予め高精度に穴あけされたパイロット穴にパイロットピン（以降ピン）を挿入することで行われる。しかし、材料の高効率利用などの理由で図7のようにパイロット穴近傍を加工する場合はパイロット穴の移動・変形が生じ、ピンによる位置決め精度の低下が危惧される。しかし、この問題については、十分調べられていない。

本節では加工進行に伴うピンのたわみについて検討を行い、次工程への影響を小さくする条件を見出すこととする。このため、ピンと材料変形を実験及び有限要素解析で調べた。

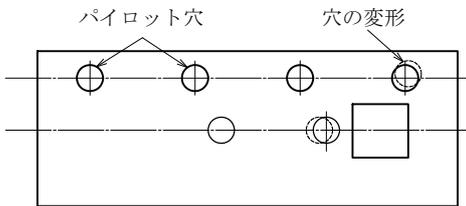


図7 パイロット穴近傍の加工

①研究方法 実際の加工に近い状況を模擬した帯板打抜き実験と円板打抜き実験でピンの変形を調べた。ピンの変形はせん断に伴う刃先近傍材料の流動により生じるため、円板打抜きにおける材料変形を有限要素解析で調べた。

(a) 帯板打抜き実験 図8のように予めパイロット穴のあけられた帯板を打抜き、パンチが板から完全に離れた状態まで引き抜き、ピンに貼ったひずみゲージでせん断荷重とピンたわみを計測する。パンチ直径は10mm、ピン直径は4.00mm、パイロット穴径も4.00mmである。被加工材は軟質アルミニウム(A1100P-0)、板厚 $t$ は1, 2mm、幅20mm、長さ140mmである。パンチとピン間距離 $x$ は、1mm厚材では3, 5, 10mm、2mm厚材では3, 10, 14mmとした。実験はクリアランス $c$ を5, 10%とし、無潤滑で行った。

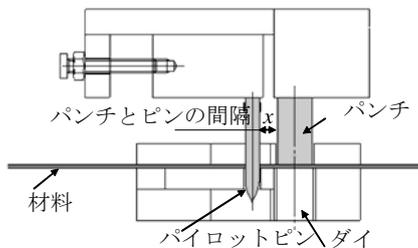


図8 帯板打抜き実験装置主要部

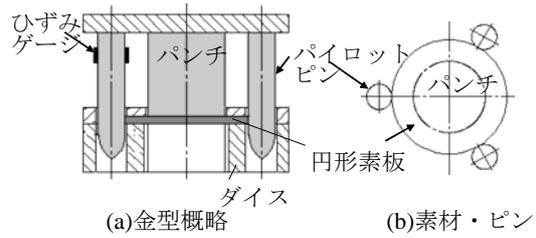


図9 円板打抜き実験

(b) 円板打抜き実験 図9のように円板を3本のピンで心出した後、中心を打ち抜き、パンチが試料から完全に離れるまで引き抜く。図8と同様、せん断荷重とピンたわみを計測する。パンチ直径は10mm、ピン直径は3.5mm、円板材質は1, 2mm厚の軟質アルミニウム(A1100P-0)で、円板外径は16mm一定とした。実験はクリアランス $c$ を5, 10%とし、無潤滑で行った。ここでは、(a)帯板打抜き実験で得られる結果の傍証となり得ることを期待した。

②有限要素解析 (b)の事例を通常の慣用円板打抜きとして解析ソフト Marc2008r1 を用いて有限要素解析を行った。パンチ・ダイ・板押さえは剛体とし、刃先には半径 $20\mu\text{m}$ の丸みをつけた。被加工材は弾塑性体とし、四角形4節点要素で分割を行った。また、計算途中では要素の再分割を行う。

③結果及び考察

(a) 帯板打抜きの結果 図10は $x=3\text{mm}$ の場合について、パンチ食い込み量に対するせん断荷重とピンたわみの推移を示す。同図において、パンチ食い込みと共にピンたわみも増加し、その後減少するものの、加工完了後もピンたわみが残留している。ピンに近接する打抜きは問題ありと解釈できる。

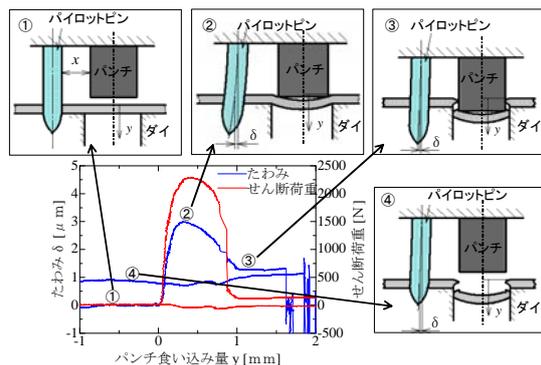


図10 パンチ食い込みに伴うピンのたわみ

(b) パンチーピン間距離 $x$ の影響 クリアランス5%、板厚1mm一定の場合について図11(a)に示す。 $x$ はせん断荷重にほとんど影響しないが、ピンたわみは $x$ の増加につれて減少している。 $x=3\text{mm}$ の場合はパンチが板から抜け

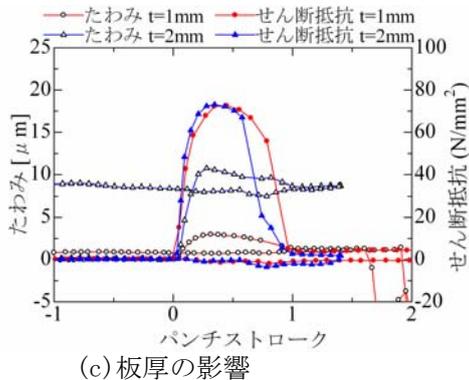
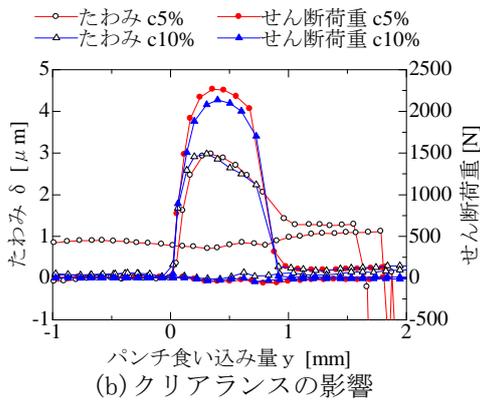
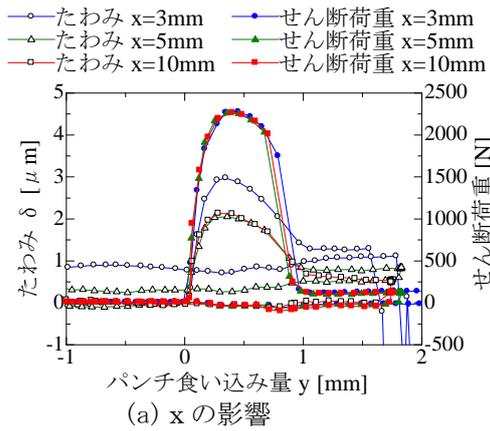


図11 ピンたわみに及ぼす加工条件の影響

た後もピンたわみは残留しており、パイロット穴が元位置に復元していないことがわかる。 $x$  が 5、10mm と大きくなるとほぼ元位置に復元している。

(c) クリアランスの影響 板厚 1mm、パンチーピン間距離  $x=3$ mm 一定の場合を図 11(b)に示す。加工途中のピン変位はクリアランスの影響を大きく受けない。しかし、破断後、クリアランス 10%の場合は 5%に比べ変位の減少が大きい。パンチを板から引き抜いた後、クリアランス 5%ではピン変位が残留しているが

10%では残留せず、パイロット穴は元位置に復元していることが分かる。

(d) 板厚の影響 パンチーピン間距離  $x=3$ mm、クリアランス 5%一定の場合を調べた。板厚が厚い方がピンたわみも大きく、パンチ引き抜き後もたわみが残ることがわかった。

(e) 円板打ち抜きの結果 図 12 に円板打ち抜きの結果の一例を示す。クリアランス 5%、板厚 1mm の場合である。解析による円板最外縁の半径方向広がりには板上下面の平均値(差は  $1\mu\text{m}$ 以下)を示す。ピンたわみの変化傾向はほぼ円板広がりと同じである。この結果から、ピンたわみは被加工材の材料流動によって発生したものであることがわかる。

図 13 は材料流動を示す解析結果である。パンチ刃先近傍材料は、最初外向きに流動している。その後、途中から逆方向に流動する状況が理解できる。この場合、全体としては、外向きの流動が残留し、この付近にある材料は外向きに移動することを示している。

以上のことから、ピン穴近傍の抜き加工はピン穴を移動させ、精度維持に影響することがわかった

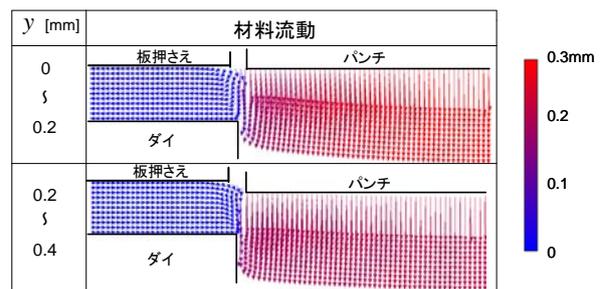
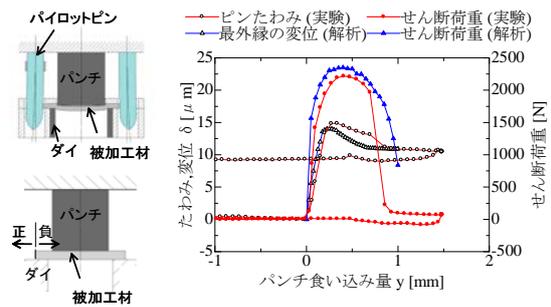


図13 材料流動

### (5) 研究成果のまとめ

医用鉗子を順送金型成形法で製造する場合の問題について検討した。成果は以下のようにまとめられる。

- ① 順送金型成形法で鉗子を製造することは問題ない。多種少量生産については、新

たに提案した、繰返し順送成形法が適しており、本法によれば、金型全体の寸法を小さくでき、工具（駒）の交換で多様な形状成形が可能である。なお、この場合、駒の標準化は必要である。

- ② 複雑形状で多様な金型においては、加工の状況把握、あるいは金型調整が必要である。このため、1台の荷重計で採取できる成形線図の分析で異常検出や問題点抽出が可能になった。
- ③ 順送金型成形ではパイロットピンとパイロット穴による工程間位置決めが重要である。この問題について、実験と解析より、ピン穴部近傍を加工すると、この影響でピン穴位置がずれ、位置決め精度を低下させる可能性があることを指摘した。
- ④ そのほか本研究は、プレスによる板成形技術をその中心においており、これを円滑に進めるためにはさらに高度化を図るべき多くの関連技術の開発が必要である。本報告では割愛しているが、鉗子機能の観点から、形状と機能に関する基礎的検討を行っており、形状設計時に留意すべきことを検討している。また、成形工具の寿命向上の観点からはマイクロオイルプールの効果について基礎的検討を行っている。
- ⑤ 研究の将来 順送金型成形法による鉗子成形技術の問題点の幾つかは克服された。これは鉗子に留まらず、同様の問題を抱える分野において適用できると考えられる。今後、成果を実生産に適用し、成果を広く還元する努力を継続したいと考えている。

#### 参考文献

- 1) I. Aoki, M. Sasada, and T. Fuchiwaki, Die Forming of Medical Forceps, Key Engineering Materials, Vol.344, 2007, 411-417
- 2) 青木勇、笹田昌弘、小松誠、三池神也、内視鏡用微細鉗子の金型成形、精密工学会誌 71 巻 12 号、2005、1618-1621

#### 謝辞

本研究は医療の高度に係わる生産技術分野の貢献を目的とし、著者のこれまでの研究成果の活用を図るべく実施したものである。研究の遂行においては、本科学研究費補助金・基盤研究 C (研究番号 19560125) の補助によるところが大きく深甚の謝意を表す。

また、本研究の遂行に関しては、金型関係の研究者、技術者、および医療従事者の有益な助言を頂いており、関係各位に御礼を申し上げる。さらに、実験と解析に熱心に協力頂いた神奈川大学学生、院生の諸君に併せて謝意を表す。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① 青木勇、笹田昌弘、中村高志、せん断加工特性に及ぼす材料特性の影響、日本機械学会論文集 C 編、査読有、76 巻 767 号、2010 掲載決定
- ② 青木勇、順送金型成形に関する基礎的検討 (成形力線図から読み取る金型の状況)、プレス技術、査読無、48 巻 7 号、2010、68-71

[学会発表] (計 5 件)

- ① 青木勇、笹田昌弘、船津政規、吉岡直紀、順送金型成形におけるパイロットピンの変形に関する研究、日本機械学会東海支部第 59 期総会講演論文集 No.103-1、査読無、2010、319-320
- ② 佐藤不思議、笹田昌弘、青木勇、せん断加工における材料流動に関する研究、第 60 回塑性加工連合講演会講演論文集、査読無、2009、315-316
- ③ 笹田昌弘、青木勇、品村一輝、鈴木悠介、順送金型を用いたプレス成形に関する基礎的研究 (第 1 報)、日本機械学会講演論文集 NO.094-1 (関西支部第 84 期定時総会講演会、査読無、2009、(3) 22
- ④ 笹田昌弘、別府宗明、青木勇、順送型におけるパイロットピンの変形に及ぼすせん断条件の影響 (第 1 報)、平成 20 年度塑性加工春期講演会講演論文集、査読無、2008、245-246
- ⑤ 佐藤不思議、笹田昌弘、青木勇、せん断加工特性に及ぼす予加工穴の影響、第 59 回塑性加工連合講演会講演論文集、査読無、2008、295-296

[その他]

講演

- ① 青木勇、順送金型成形加工のモニタリングと繰返し順送成形、第 80 回金属プレス加工技術研究会、(社) 日本金属プレス工業協会 (東京)、2010
- ② 青木勇、医療用マイクロ処置具の成形について、(社) 首都圏産業活性化協会・医療デバイス研究会 (八王子)、2009

## 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

(2) 研究分担者

笹田 昌弘 (SASADA MASAHIRO)  
神奈川大学 工学部、准教授  
研究者番号：80333157