# 逐次張出し成形機と成形法に関する研究

丸山　英彰*　坂井　修*　相田　収平*

A Study on Incremental Forming Machine and Forming Process

MARUYAMA Hideaki *, SAKAI Osamu* and AIDA Shuhei *

**抄　　録**

本研究では、汎用 NC フライス盤を活用した逐次成形技術の実用化について検討している。今年度は、昨年度から行ってきた逐次張出し成形の他、逐次絞り成形技術の開発および迅速な加工データを作成するための機上計測技術の開発等を行い、逐次張出し成形の補完や付随する技術の開発に取り組んだ。

## 1．緒　　言

国内の製造業を取り巻く環境は、多品種・少量化と製品サイクルの短期化が急速に進んでいるとともに、試作用成形品や一品注文生産の要求も高い。このため、型を必要としないフレキシブルな板成形技術である逐次張出し成形法は、金型のすべて、または一部が不要となるために注目され、様々な研究が行われている[1)~4)]が、実用化を進めていくために解決すべき問題点もある[5)]。

本研究では昨年度から、これらの問題を解決し逐次成形技術の実用化を図ることを目的として研究を行っている。今年度は、逐次張出し成形の他、これの補完や付随する技術である逐次絞り成形技術の開発や、加工データを迅速に作成するための機上計測技術の開発等を行った。以下にこれらについて報告する。

## 2．逐次張出し成形の概要

図 1 に、逐次張出し成形の概略を示す。逐次張出し成形とは、三次元 CAD/CAM によって成形する形状の設計および成形プログラムを作成し、このプログラムを数値制御により、工作機械の主軸に取り付けた棒状の工具を動かすことによって、金属板を所望の形状に張出しさせる塑性加工法である。

図 2 には、本研究で使用した成形機、および逐次張出し成形用ジグの外観を示す。本成形機は、既存の NC フライス盤を流用することで、新たな設備投資の負担を軽減できるだけでなく、機上で型枠やマンドレルの加工ができるといった利点がある。

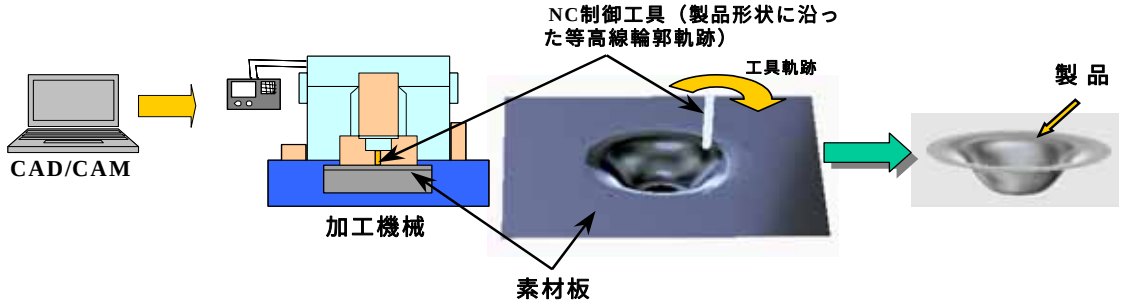



**図 1　逐次張出し成形の概略**

*　研究開発センター

**図 2　逐次張出し成形機およびジグ**

### 3.　基礎成形性試験

#### 3.1　実験方法

逐次張出し成形では、成形限界を評価する方法として、図 3 に示すような、円錐状（フランジ部直径 147mm、高さ 80mm）に成形した場合の半頂角αの値を用いて逐次張出し成形性を評価する方法が一般的に採用されている。本研究では、ステンレス鋼やアルミニウムなど、成形する板材 5 種について、成形に用いる工具先端半径 R と成形時の工具軌跡の加工ピッチ p をパラメータとして、成形実験により成形限界の検討を行った。

#### 3.2　実験結果

表 1 に実験結果を示す。表中の値は各成形条件における限界半頂角αを表し、この値が小さいほど成形性が良好であることを意味する。工具先端半径 R は、成形性に大きく影響を及ぼすパラメータであり、板材種にかかわらず、R が小さくなる程、成形性の向上が認められる。また、加工ピッチ p については、0.2mm、0.5mm、1.0mm と行ったが、p=0.5mm の条件において成形性が良好な傾向が得られた。加工ピッチ p が大きすぎる場合には、板材に破断限界以上の局部伸びが生じることで成形限界が低下し、また p が小さすぎる場合では板材に与える変形が小さく、板材の弾性領域内であったりスプリングバックの影響などで、工具が板材の同一面に頻繁に接触を繰り返すことによって板材の破断が生じることなどが、成形限界低下の一因として考えられる。

一方、板材種の引張強さ$\sigma_B$や加工硬化指数である n 値などは、絞り成形性と相関のある材料特性であるが、今回の逐次張出し成形性試験結果とこれら材料特性との間には、明確な相関は認められなかった。例えば、工業用純アルミニウム A1050-0 材は、$\sigma_B$や n 値などは小さく、絞り成形性は良好ではないが、逐次張出し成形性は良好である。

**図 3　基礎成形性試験の形状**

**表 1　材料別逐次張出し成形限界**

| 工具R | R=15 | | | R=10 | | | R=5 | | | R=3 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 加工ﾋﾟｯﾁ | 0.2mm | 0.5mm | 1mm | 0.2mm | 0.5mm | 1mm | 0.2mm | 0.5mm | 1mm | 0.2mm | 0.5mm | 1mm |
| A1050-O | 28 | 27 | 27 | 23 | 22 | 23 | 18 | 17 | 17 | 15 | 14 | 15 |
| A5052-O | 35 | 33 | 32 | 30 | 27 | 26 | 24 | 21 | 21 | 22 | 19 | 19 |
| C1020 | 31 | 30 | 29 | 28 | 26 | 26 | 23 | 21 | 22 | 19 | 19 | 19 |
| SPCC | 30 | 29 | 29 | 27 | 24 | 23 | 20 | 18 | 18 | 17 | 16 | 17 |
| SUS304 | 29 | 29 | 30 | 26 | 25 | 26 | 22 | 21 | 23 | 18 | 19 | 21 |

## 4. マグネシウム合金の成形性

### 4.1 実験装置および実験方法

マグネシウム合金は、その結晶構造などから常温での絞り成形性は悪いが、温間加工を行うことで良好な成形性を示し[6]、板材のプレス成形による電子機器筐体などへの適用が期待されている。そこで本研究においても、マグネシウム合金の逐次張出し成形性を評価し、試作品等への適用の可能性を探るために、基礎的な成形性試験を行った。

成形実験に供した材料は板厚 t=0.8mm の AZ31B-O 合金を用いた。また、温間加工を行うために、ブランクホルダ内部にヒーターを組み込むことにより材料の加熱を行った（図 4）。温度制御は材料の表面部分に熱電対を取り付け、PID 方式によるフィードバックにより、473K～773K の範囲で制御した。

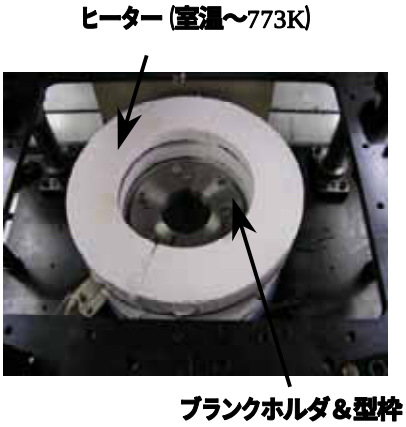



図 4　加熱成形ジグ

なお、成形した形状は、円錐形状（フランジ部直径 84mm、高さ 25mm）、および半球殻（直径 84mm）を取り上げ、実験を行った。

### 4.2 実験結果

表 2 に円錐形状の成形実験結果を示す。表中○印は成形成功、×印は成形途中での破断を表している。逐次張出し成形が可能になる温度は 523K 以上であり、温度を上げていくことにより成形限界半頂角αも小さくなり成形性が向上する。特に 623K 付近でα=35°と顕著な向上が認められるが、それ以上の温度では、成形温度による顕著な成形性の向上は認められず、α=33°とほぼ横ばい状態となった。

また、多工程分割成形による半球殻の成形では[5]、673K～773K の範囲で成形を試みたが、いずれも最終第 7 工程で破断を生じ、成形できなかった（図 5）。

図 5　破断した半球殻形状

表 2　マグネシウム合金の成形性

| 半頂角α ＼ 成形温度 T K (℃) | 473 (200) | 523 (250) | 573 (300) | 623 (350) | 648 (375) | 673 (400) | 698 (425) | 723 (450) | 748 (475) | 773 (500) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 47 | × | ○ | | | | | | | | |
| 46 | | | | | | | | | | |
| 45 | | ○ | | | | | | | | |
| 44 | | × | ○ | | | | | | | |
| 43 | | × | | | | | | | | |
| 42 | | | ○ | | | | | | | |
| 41 | | | × | | | 成形可能範囲 | | | | |
| 40 | | | | ○ | | | | | | |
| 39 | | | | ○ | | | | | | |
| 38 | | | | ○ | | | | | | |
| 37 | | | | ○ | | ○ | | | | |
| 36 | | | | ○ | ○ | | | | | |
| 35 | | | | ○ | × | ○ | | | | |
| 34 | | | | × | × | ○ | ○ | ○ | | |
| 33 | | | | | | × | × | ○ | ○ | ○ |
| 32 | | | | | | × | | × | × | × |

## 5．逐次絞り成形技術の開発

昨年度開発した、「工程を分割して逐次張出しを行う成形法」によって、浅い垂直壁を持つ形状の逐次張出し成形が可能となった[5)]。

しかし、この加工法は張出し成形であるために、深い垂直壁を持つ形状を成形することは原理的に不可能である。そこで、より深い垂直壁を持つ形状を金型を使わずに成形するために、**「3 軸 NC 加工機による多角形スピニング加工法」**（以後、逐次絞り成形と表記）の開発を行った。

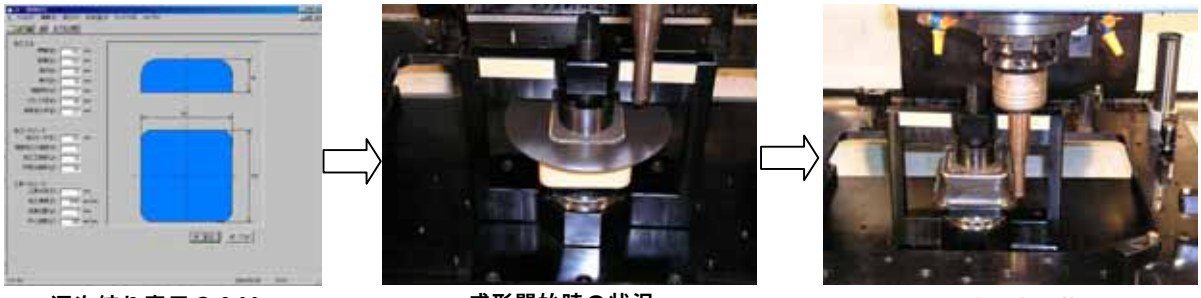
本成形法は、回転体形状のシェル成形に用いられているスピニング加工（へら絞り）を多角形状シェルの成形に応用したもので、一般的な 3 軸 NC 工作機械で成形が可能なよう、ワークを固定する特殊なジグを考案した。図 6 の中図でワークの周囲を囲んでいる□形状のものがジグである。このジグはワークをマンドレルに固定すると共に、ワーク周囲を回転する工具と干渉しないように回転が可能である。また、逐次絞り成形に必要な NC プログラムを作成するために専用の CAM を開発した。この CAM にパラメータを入力することにより、任意の寸法の角筒を製作するためのツールパス生成が可能である。

この逐次絞り成形の工程を図 6 に示す。左図に示す専用 CAM によって NC プログラムを作成し成形を行う。成形する材料は中図に示すように樹脂で作成したマンドレル上に成形ジグを用いて固定し成形を行う。右図には成形中の状況を示す。また、本成形法による成形例を図 7 に示す。この成形例では板厚 1.0mm の SPCC を使用して 102mm×102mm□、高さ 55mm の成形が可能であった。

**図 7　逐次絞り成形例**

## 6．機上計測システムの開発

逐次張出し成形は NC 工作機械を用いた成形加工であるために、NC プログラム（ツールパス）を作成する必要がある。成形する形状が幾何学的な単純形状である場合や、あらかじめ三次元 CAD で設計されているものであれば比較的容易に NC プログラムを作成することが可能である。しかし、例えばデザイナー等が作成した立体モデルや形状見本などから NC プログラムを作成するためには、まず立体モデルや形状見本の形状データを三次元 CAD に取り込む必要がある。現状でも三次元測定機や立体デジタイザのような測定機器を使用することによって形状データの取り込みは可能であるが、このような測定機器は高価であり、企業が容易に導入できるような設備ではない。また、これらの測定機器は取り扱いが難しいだけでなく、測定や CAD にデータを取り込むためのデータ処理などにも時間がかかることから、現状ではあまり利用されていない。



逐次絞り専用ＣＡＭ　　成形開始時の状況　　逐次絞り成形中の状況

**図 6　逐次絞り成形の工程**

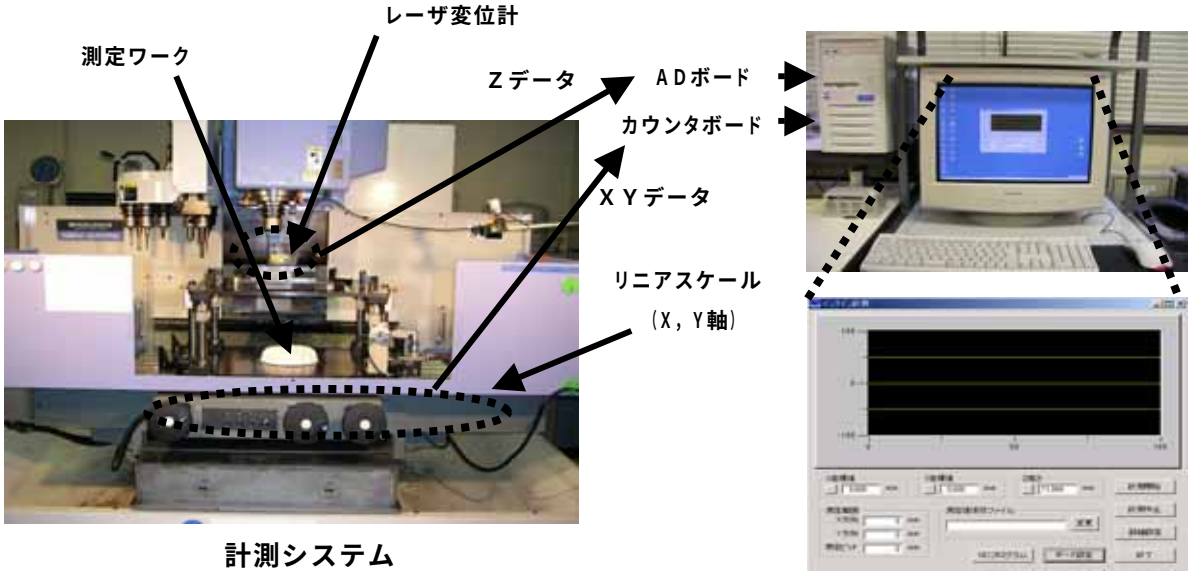



**図 8　機上計測システムの構成**

今後、逐次張出し成形を意匠製品や試作品製作用のツールとして普及するためには、立体モデルや形状見本から容易に形状データを読み取るための手段が必要不可欠との認識から、加工機上で簡単にワークの形状測定ができる「**機上計測システム**」を開発した。

図 8 に、開発した機上計測システムの構成を示す。

このシステムは加工機の XY テーブルの各軸にリニアスケール（最小読み取り 1μm）を取り付け、テーブルの移動量をカウンタを介してパソコンに読み込むと共に、加工機の主軸に取り付けたレーザ変位計（分解能 10μm）で加工機テーブル上に置かれた測定ワークの表面高さをパソコンに読み込む構成になっている。

加工機テーブルを NC により一定速度で動かしながら、一定ピッチで測定を行うことによって、測定ワークの表面形状の三次元データを数値として取り込むことが可能である。

測定したデータは CAD を介して CAM に取り込むことによって、容易に逐次成形用の NC プログラムを作成することが可能となっている。

図 9 に測定例を示す。これはアニメキャラクタの成形品を X、Y 各軸 1mm ピッチで測定した後に、CAD 上に読み込んだものである。

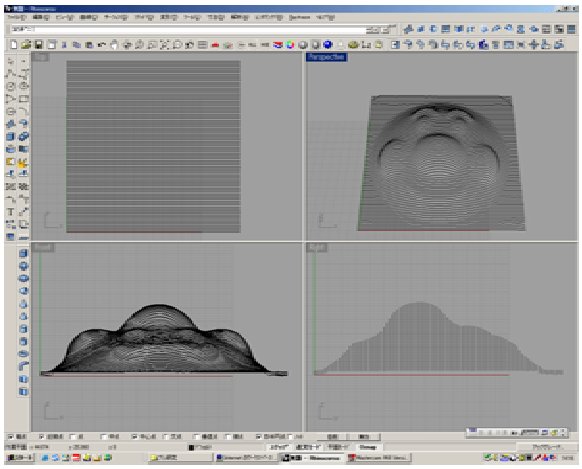


**図 9　機上計測システムによる計測例**

## 7．逐次張出し成形用 CAM の開発

前にも述べたように、逐次張出し成形を行うためには逐次張出し用の NC プログラムが必要である。しかし、現在一般に普及している切削用の CAM では様々な問題があり、逐次張出し成形に適した NC プログラムを作成することが容易ではない。そこで逐次張出し成形に適した NC プログラムが簡単に作成できる専用 CAM の開発を昨年度から進めている。昨年度はパラメータを入力することで丸や角などの定形形状の成形データを容易に作成する機能と、CAD で設計された比較的簡単な自由曲面からツールパスを作成する機能を

有する MS/DOS ベースの CAM を開発した。

今年度はツールパスの生成方法や工程分割方法等に改良を加え、より洗練された NC プログラムの作成が可能となった。また、操作性を向上させるために Windows に対応させると共に逐次絞り成形用の NC プログラム作成機能を付加してある。今後は自由曲面形状への完全対応、加工条件の自動選定機能の付加など、より実用性を高めたシステムを目指して開発を進める予定である。

図 10 に開発中の逐次張出し成形用 CAM システムの画面を、図 11 には本システムにより作成したツールパスの例を示す。

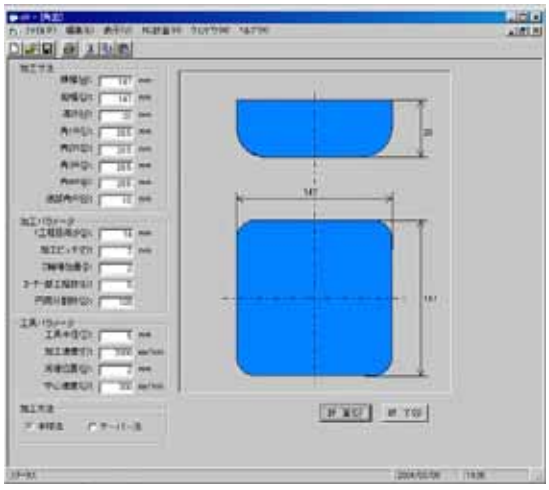


**図 10　逐次張出し専用 CAM**

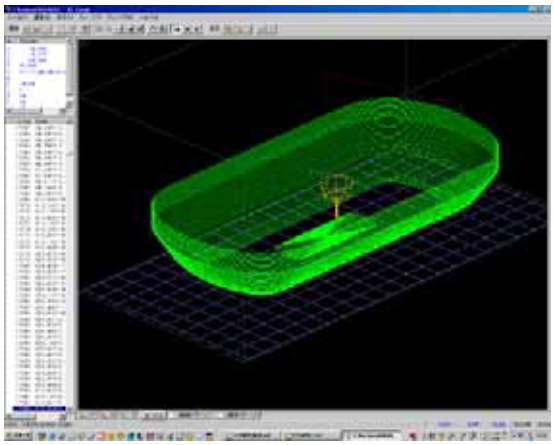


**図 11　作成されたツールパス**

## 8．結　　言

（1） 逐次張出しの基礎成形性試験を行い、成形性と材種、工具径、加工ピッチとの関連について知見を得た。

（2） マグネシウム合金の逐次張出し成形を行い、523K 以上に加熱することにより逐次張出し成形が可能であることを確認した。

（3） 深い垂直壁を有する形状について、金型なしで成形することができる逐次絞り成形法を開発した。

（4） ワーク形状を加工機上で簡単に測定することのできる、機上計測システムを開発した。

（5） 逐次張出し成形用 CAM の改良を行い、より実用化に近づけた。

## 参考文献


1）松原茂夫：平 5 春塑加講論(1993)，611.

2）北澤ほか：軽金属，**46**-5(1996)，219.

3）吉川ほか：平 11 春塑加講論(1999)，305.

4）井関ほか：平 6 春塑加講論(1994)，573.

5）田中ほか：新潟工技総研研究報告書(2002)，22.

6）相田ほか：軽金属，**50**-9(2000)，476.