

# オープン CNC を用いた板材の 数値制御逐次成形法に関する研究

職業能力開発総合大学校東京校 飯塚 真次  
職業能力開発総合大学校 松原 茂夫

CNC Incremental Forming of Sheet Metal by Using Open CNC

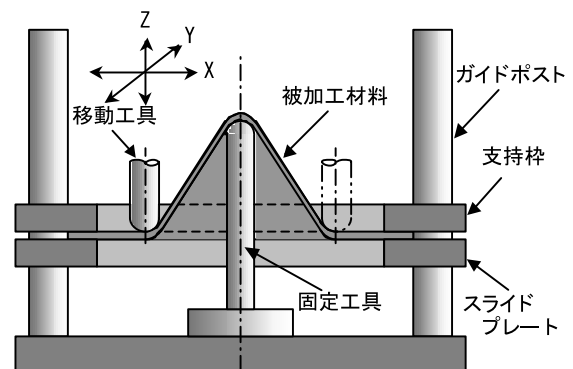
Shinji IIZUKA, Shigeo MATSUBARA

**要約** 近年、熟練技能者の高齢化、少数化等によって、後継者の能力開発、技能の伝承が難しい状況にある。また一方では、製品の多様化と製品ライフサイクルの短縮化等に対応するため、開発期間短縮の要求が高まり、多品種少量生産に適した加工法の開発が望まれている。板金分野において、フレキシブルな加工技術の開発を目指そうというアプローチの一つとして、板材の逐次成形法についての研究が進められている。本稿では、その中の逐次逆張出し成形法における、固定工具を移動工具と同期を取りながら駆動制御することにより、より汎用性を持たせた成形システムを構築したことについて報告する。

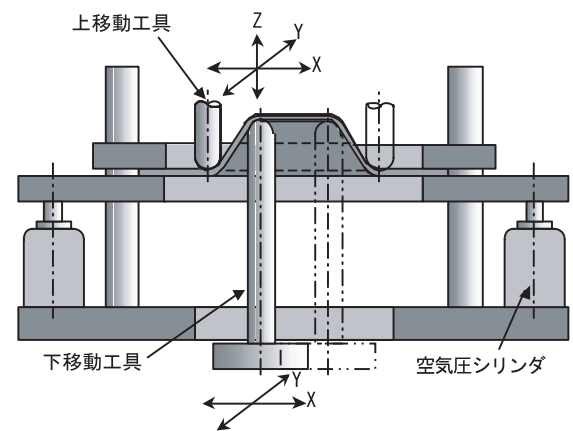
## はじめに

近年、打出し板金技能者の減少や技能修得の難しさ等から、後継者の能力開発が難しい問題に直面している。そのため、これらの技能を機械化、標準化し、また板材の多品種少量生産に対応するためにも、数値制御逐次成形法が注目されている。本成形技術においては、いくつかの成形方式における研究結果が既に報告されている<sup>(1)(2)(3)</sup>。本研究では、その中の逐次逆張出し成形法<sup>(1)</sup>における、固定工具を移動工具と同期を取りながら駆動制御することにより、より汎用性を持たせた成形システムを構築した。その結果、従来の方式に比べて、汎用的な成形工具のみを用いより広い範囲の形状を得ることができた。

本研究では、オープン CNC 技術を利用し、専用工具を用いないで多種の形状の加工が可能な成形システムの開発を目的とする。本研究で開発した成形システムは、オープン CNC 技術を活用し、成形品の形状をインラインで測定することができるなどの特徴がある。



(A)従来方式



(B)上下2系統移動方式

図1 成形原理

## 成形原理

これまでの逆張出し成形方式と、本成形方式の成形原理を比較したものを図1に示す。これまでの逆張出し成形方式では、下側の固定工具は固定されていた。本成形方式では、上側の工具はこれまでと同様に3軸制御され、更に下側の工具も上側の工具の動きと同期させながら制御することが可能となっている。これまでの方式では、下側の工具の先端形状が製品形状に依存していた。本方式では汎用的な形状の工具を用い、その運動経路を変化させることにより、様々な形状の成形に対応可能となる。また、これまでの方式では、通常上に凸の形状のみの成形が可能であった。本方式では、1回の段取りで凹凸を組み合わせた形状の成形も可能である。

本方式で、例えば円すい台形状の製品を成形しようとする場合、上下の工具の位置関係から、図2のような2通りの成形パターンが考えられる。図において濃くハッチングしてある工具が成形側で、薄い方が周回側の工具を表している。パターンAでは上側の工具により円すい台の頂部から成形され、パターンBでは下側の工具により底部から成形がすすめられる。ここで、成形後の成形品の表面性状は、成形工具が接触した側の方がよく、そちら側を一般に製品の表側にするのがよい。したがって、成形の途中に工具を交換し、複雑な処理をするには、この構造の装置の場合、上側の工具の方が自動交換が容易である。また、成形側の工具が上側の方が、成形状況の観察が比較的容易である等の利点がある。

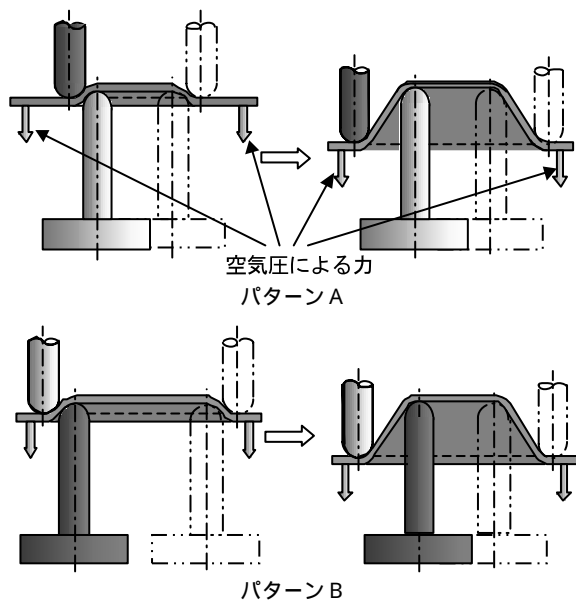


図2 成形パターン

## 成形システムの構成

### 1 ハードウェア

成形システム全体の構成を図3に示す。システム全体を制御するのは1台のパーソナルコンピュータ(以後PCと略す。)である。上側の工具はマシニングセンタの主軸に取り付けられ3軸制御される。PCとマシニングセンタは、いわゆるオープンCNC技術を用いた構成で接続されており、NC装置の各種内部情報を、PC側から確認したり操作したりすることが可能である。下側の工具は、マシニングセンタのテーブル上にX-Y移動テーブルを取り付け、その上に配置してある。X-Y移動テーブルは、パソコンNC技術を利用して制御している。なお、マシニングセンタの駆動は通常のNCプログラムで行う。このようなハードウェア構成で、PC上で開発したソフトウェアにより、上下2系統の同期を取りながら成形加工を行う。

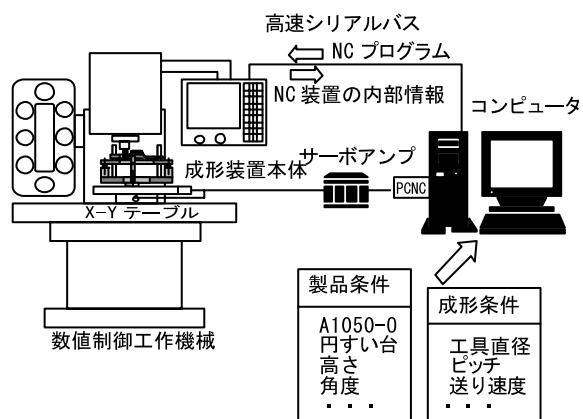


図3 成形システムの構成

### 2 形状寸法の測定方法

本システムには計測機能を持たせており、成形加工後直ちに製品の形状の計測を行うことが可能である。数値制御工作機械で工作物の自動計測を行う場合は、主軸等に計測用のプローブを取り付け、数値制御装置のスキップ機能を利用して計測を行うのが一般的である。スキップ機能は、工具が指定された位置まで移動する際に、スキップ信号がオンすると、ただちにその指令の実行をやめ、次の指令の実行に移ることを可能にするものである。これを計測に利用するには、成形品に工具が確実に接触するような移動指令の後に、安全な位置に待避する移動指令を組にして与えればよい。本研究のような薄板材の成形加工の場合では、通常、計測用プローブ側が持つべき緩衝機能を工作物側がある程度持っているため、プローブ側が剛体でも計

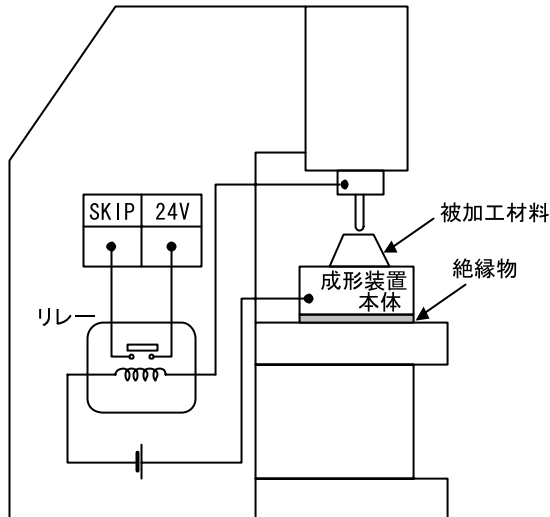


図4 スキップ信号入力回路の概要

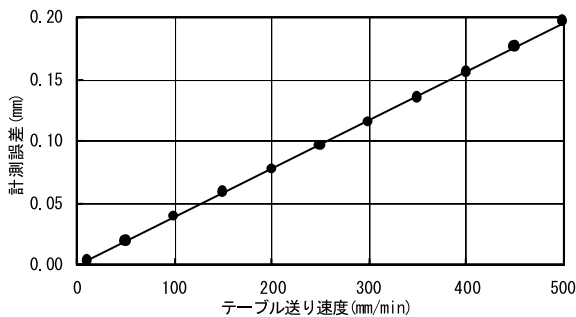


図5 計測誤差

測時の接触速度がある大きさ以下であれば、プローブや工作物を損傷することなく計測が可能である。よって、本システムにおいては、特別な計測用プローブを用いることはせず、成形に用いた工具をそのまま計測用プローブとして利用している。そのため、通常の計測におけるプローブの先端形状による計測値の補正等をする必要がなく、指令値と計測値を直接比較することが可能となり、計測結果が非常に扱いやすいという利点がある。

図4に本システムでのスキップ信号の入力回路の概略を示す。成形装置本体を、数値制御工作機械から絶縁した状態でテーブル上にセッティングする。上側の成形工具と、成形装置本体上の被加工材料とが、スキップ機能を用いた動きで接触し、導通することによりリレーのコイルを励磁させる。リレーの接点が入力端子に信号が入る。そこでオープン CNC 機能を用いて、スキップ信号が入ったときの座標値を得ることにより計測が完了する。この場合、リレーの動作時間や数値制御装置の処理時間等による遅れを考慮する必要

がある。本システムで、実際にこの遅れによる誤差を求めた結果を図5に示す。

本研究における成形実験は、誤差が0.04mmとなる毎分100mmの速度を選んだ。この速度で計測を行った場合、被加工材料に傷をつけることはなかった。

## 成形実験および結果

### 1 実験方法

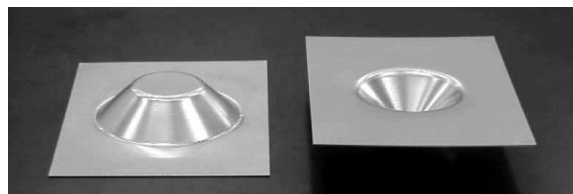
被加工材料は、厚さ0.5mm、0.6mm、0.8mm、1.0mmの工業用純アルミニウム板材（A1100 O、A1050 H24）を幅110mm、長さ150mmにせん断して用いた。加工用工具はSKD11（焼入れ・焼戻し約60 HRC）で作られ、下側の工具は直径20mmで先端が平坦で角部がR5mm、上側の工具は先端が半球状で、半径が4mm、3mm、2mmのものを用いた。潤滑剤としてプレス工作油を用い、工具先端およびこれに接する板材両面に塗布した。

### 2 実験結果および考察

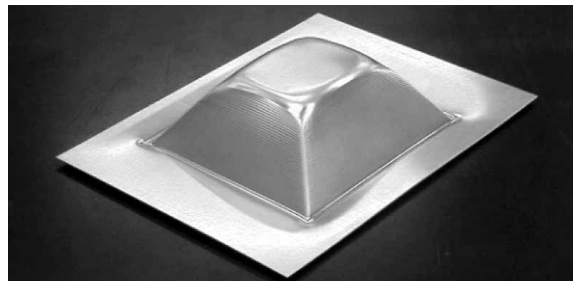
図6に成形品の例を示す。従来の方式でこれらの形状を成形するには、それぞれの形状に対応した固定工具を用意しなければならなかった。本システムを用いることにより、どの成形品も専用の金型や工具を使用することなく、汎用の成形工具のみを用いて製作することができた。

今回の実験では、上下どちらかの工具を同一経路で周回させておき、他方の工具で成形品の形状を作り出すような方法を取った。実験の結果、前者の経路が後者の内側に含まれる成形パターン（パターンA）では、被加工材料の材質や成形工具の形状によっては、工具接触部の材料が局部的に伸びてしまい、期待した形状を成形することができない場合があることが確認された。図7はこの不具合が起きた製品の例を示す。(A)の場合は、空気圧シリンダによるスライドプレートを引き下げる力が強すぎたため、内側を周回する工具の接触部の材料が、局部的に伸びてしまったものと考えられる。(B)の場合は、逆に空気圧による下方向への力を作用させないと、上工具のZ方向の降下量だけ板周辺部が下降しないため、成形品と未加工部の境界付近で、リング状の溝が形成されたものである。この不具合は、すべての板厚で生じた。

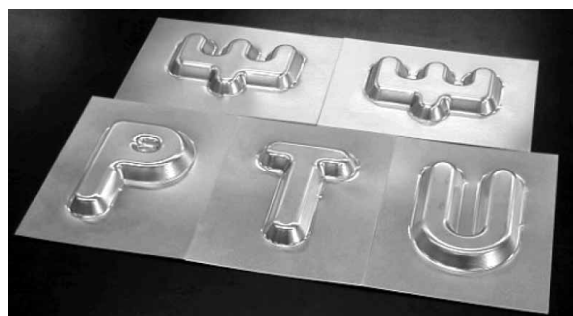
図8は本システムの計測機能を用いて成形品を測定した結果と、三次元測定器で測定した結果を比較したものの一例である。前者は成形装置上での測定に対



被加工材料：A1050 H24、板厚：0.6mm、高さ：20mm

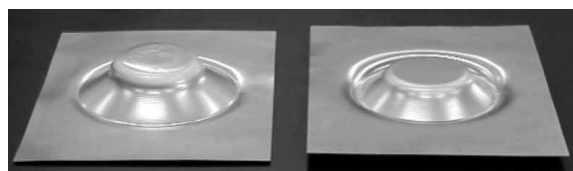


被加工材料：A1050 H24、板厚：0.8mm、高さ：35mm



被加工材料：A1050 H24、板厚：0.6mm、高さ：10mm

図6 成形品例

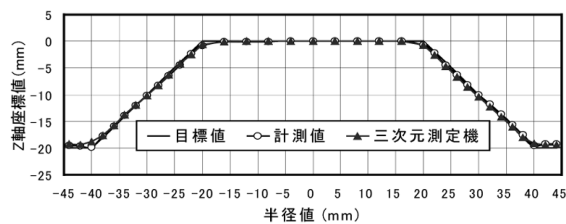


被加工材料：A1100 O、板厚：0.6mm、  
上工具半径：2mm

図7 材料の局所的な伸びすぎによる不具合

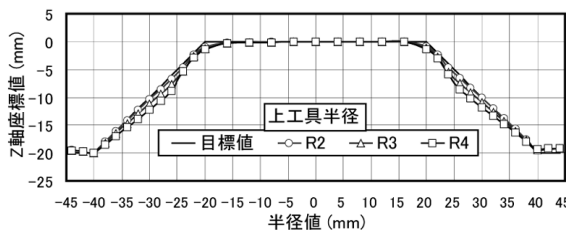
し、後者は成形品を装置から取り外してから測定しているの、後者は弾性回復量を含んでいる可能性があるが、局所的なところを除けば約0.2mm以内の違いしか見られず、本システムの計測機能の信頼性を示している。

図9は上側に凸の円すい台形を、上側の工具の先端半径が2mm、3mm、4mmのもので成形した場合の形状を計測した結果を示したものである。上側の工具の先端半径が小さいほど、成形精度がよいことが分かる。しかし、上側の工具の先端半径が板厚に対して小さすぎると、工具の先端が被加工材料に食い込んでしまうことも確認した。よって、成形品の成形精度を



成形条件 被加工材料：A1050-H24、板厚：0.6mm、上工具半径：2mm  
円すい角：90°

図8 三次元測定機による計測結果との比較



成形条件 被加工材料：A1050-H24、板厚：0.6mm、円すい角：90°

図9 上側工具の先端半径と成形形状

確保するには、これらの現象を考慮した上で、工具の先端形状を適切に選択する必要がある。

### 計測機能を利用した成形精度向上

#### 1 実験方法

被加工材料、成形用工具および潤滑条件等は前の実験と同様のもとし、成形形状は上に凸の円すい台形（円すい角90度）とした。

まず、与えられた幾何学形状からNCプログラムを作成し成形加工を行い、その形状を計測する。計測箇所は成形時に指令したZ軸座標の各高さにおける成形品の直径を計測するような箇所とし、計測方法は一つの直径上を水平方向に工具が接近する方向とした。なお、加工後、測定に際して潤滑剤は除去しなかった。この計測結果と元の工具経路データとを比較しその差を求める。その差に係数（修正係数と呼ぶことにする。）を乗じた値を修正量とし、元の工具経路データに加え、新たに修正された工具経路データを作成する。その修正された工具経路データから、再度NCプログラムを作成し、新たな被加工材料を用いて加工を行う。ここで、一定周回運動を繰り返す工具のZ軸座標の経路は変更しなかった。この行程を繰り返し、工具経路データに徐々に修正量を加え合わせていくことにより、成形精度が向上するNCプログラムの作成を目指す。

## 2 実験結果

幾何データを元にして、工具位置をオフセットすることにより NC プログラムを作成し、それにより成形した形状を計測した結果の一例を図10に示す。次に計測結果と元の工具経路データとの差をそのまま修正量とし、すなわち、修正係数を1.0としたデータから NC プログラムを作成し、改めて加工を行った結果の一例を図11に示す。はじめの形状と逆の傾向の誤差を持った成形品になってしまっているのが確認できる。これは、工具が直接被加工材料に接触している状態での変形だけでなく、徐々に加工が進んでいく間に、すでに加工が終わっている箇所でも少しずつ伸びなどの変形によって、成形品の形状が変化するためによるものではないかと考えられる。

なお、1枚の被加工材料に対して、はじめから大きなプラスの修正量を与えたデータで加工し、徐々に修正量を変化させながら修正工程を繰り返し、目標の形状に近づけていく試みも行って見たが、円すい台の底

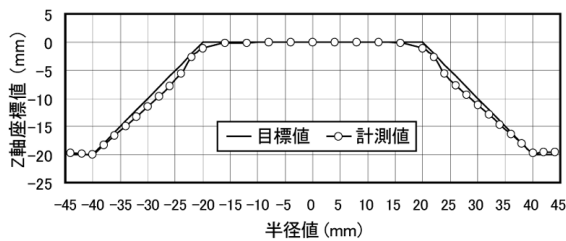


図10 修正前の成形形状計測結果

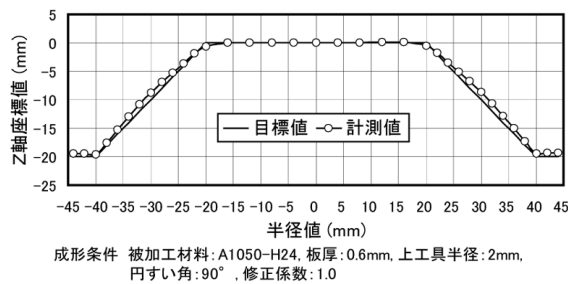


図11 修正係数1.0の場合

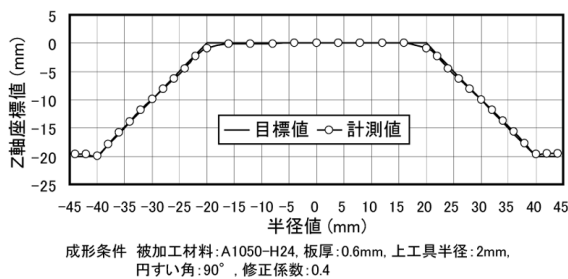


図12 修正後の成形形状計測結果

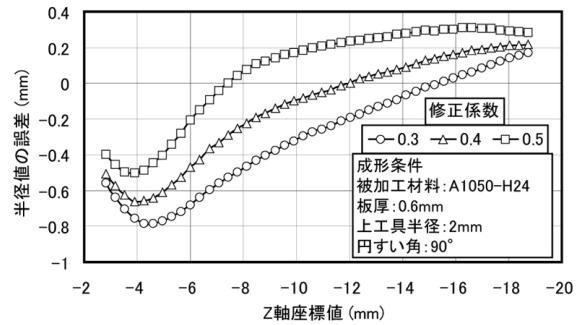


図13 修正係数と半径値の誤差

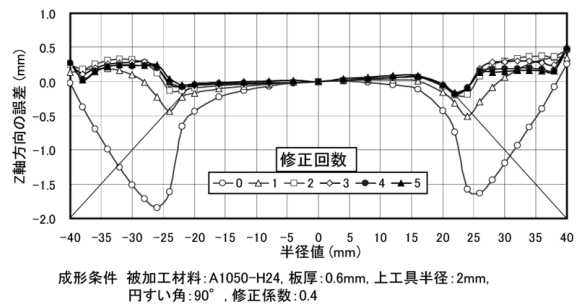


図14 修正回数と成形精度

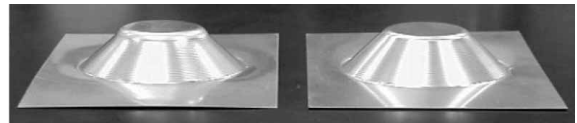


図15 修正前と修正後の形状

付近の部分が他の部分よりも先に目標値を下回ってしまい、うまく修正することができなかった。

次に修正係数を0.4とした修正量を加えた工具経路データから NC プログラムを作成し、新たに加工した形状を計測した結果の一例を図12に示す。修正前の計測結果に比べて、Z軸方向の計測値が約2mmほど目標値に近づいているのが確認できる。

図13は3種類の修正係数を用いて成形した場合のそれぞれの半径値の誤差を示している。これらの中では、修正係数0.4の場合が比較的形状精度がよい結果となっている。しかし、1回の修正工程では修正係数を適当に選択しても、ある程度以上の精度を上げることは困難であることが分かる。

図14は修正回数と成形精度の関係の一例で、修正係数を0.4とし、修正工程を5回行った場合のZ軸方向の形状の誤差を計測した結果である。図中の斜めの直線は円すい台形を表している。修正工程を重ねるごとに誤差が小さくなっており、5回の修正工程で、端の部分を除けば、約0.25mm以下まで小さくなっていることが確認できる。図15は実際に成形したもので、左

側は修正前、右側が修正後の形状である。

## おわりに

オープン CNC を利用した板材の数値制御逐次成形システムを構築して、実験によりこの成形システムの特徴と有用性を示した。以下にその内容をまとめる。

- (1) 数値制御による上下 5 軸制御の成形方式を採用することにより、従来の方式に比べ、汎用工具だけでより広い範囲の形状を得ることができる。
- (2) 計測機能を活用した成形精度の向上を提案し、その有効性を示した。

## 参考文献

- (1) 松原茂夫：塑性と加工、35 406 (1994)、1331 .
- (2) 井関日出男・久門 統：塑性と加工、35 406 (1994)、1336 .
- (3) 北澤君義・若林昭彦・村田和也・清野次郎：塑性と加工、35 406 (1994)、1348 .