逐次張出し成形機と成形法に関する研究

宮下　孝洋*　坂井　修*　相田　収平*　石川　淳*

A Study on Incremental Forming Machine and Forming Process

MIYASHITA Takahiro*, SAKAI Osamu* , AIDA Shuhei * and ISHIKAWA Atsushi *

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、本研究の最終年度であり、これまで開発してきた成形技術や応用技術について、企業で展開・活用を図ることを主な目的として活動を行った。その結果、いくつかの企業化支援の事例を通じて、実用化への道すじをつけることができた他、今後の課題等も明らかとなった。

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)]。

本研究では平成 14 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きた。今年度は、研究の最終年度でもあり、これまでに開発してきた基本的な成形技術、および周辺技術を実際の企業において展開・活用を図ることを主な目的として活動を行ってきた。以下に、これまでに得られた成果、および企業化支援事例について報告する。

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。

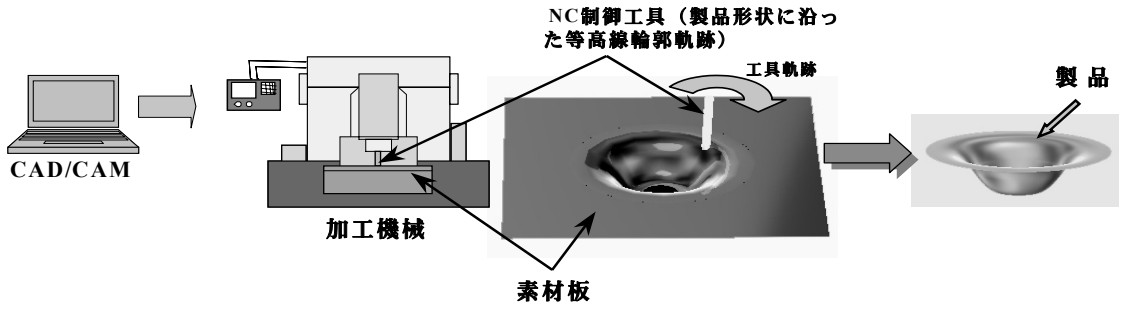


図 1　逐次張出し成形の概略

*　研究開発センター

3. 研究開発の成果

3.1 NC フライス盤を活用した成形機

逐次張出し成形の専用機としては、数年前に開発が行われ市販されているが、逐次成形専用機であり、かつ高価なために十分な普及には至っていない。そこで、本研究では汎用的な加工機である NC フライス盤を利用した成形機の提案を行ってきた。NC フライス盤およびマシニングセンタは広く普及しており、既設備として保有している企業も多く、これらを活用することは、本成形技術の実用化に極めて有効な手段と考えられる。

これらを活用する利点としては、回転主軸による切削加工機能を有していることより、成形機上で型枠やマンドレル加工と張出し成形の両方を同一成形機上で実現できるため、工程の点からも効率的である。なお、本研究で開発した成形機・ジグにおける最大成形寸法は 700×450×200(mm)であるが、これらの値は加工機各軸の可動ストローク、および成形ジグの大きさに依存する。

図 2　逐次張出し成形機およびジグ

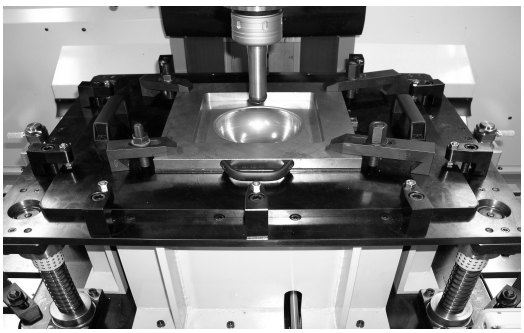


図 3　棒状工具と成形用ジグ

3.2 垂直壁を有する形状の逐次張出し成形

逐次張出し成形における局部的板厚 t と加工前の板厚 t_0 と半頂角 θ との間には、ほぼ

$$t=t_0 \sin\theta \qquad (1)$$

の関係が成り立つ[1)]ことから、成形後の板厚がその形状の傾き角に依存するために、垂直壁を有する形状の成形が難しく、これを実現する成形方法の提案がこれまでにもなされている[4),5)]。本研究においても、逐次張出し成形の実用化にはずみをつけることを目的として、従来の成形方法では加工が困難である垂直壁を持つ形状の加工方法について検討を行ってきた。一例として、形状の一部に垂直壁を持つ半球殻についての成形例を示す。

半球殻は、形状の一部に垂直壁を有するために 1 工程での成形が困難であり、従来の成形方法では、成形途中で破断に至った。

そこで、半頂角 θ が小さくなることによる板厚減少を抑え、なるべく形状全体について均一な板厚とすべく、複数の工程に分割することによる成形を試みた。まず第 1 工程では、フランジ部から頂部（底部）に向かって張出し加工を行う。第 2 工程以降は逆に頂部からフランジ部に向かって張出し加工を行うことで、加工に伴う板厚減少を極力抑え、均一に張出すことで、最終的に垂直壁の成形を行う方法である。本成形法による成形実験の結果、冷間圧延鋼板 SPCC、ステンレス鋼板 SUS304 等において半球殻の張出し成形が可能であった。加工に要した工程数は 14、加工時間は約 50 分であった（図 4）。

また、さらに長い直線部の垂直壁を有する形状である円形皿（図 5）、および正方形皿（図 6）においても成形が可能であり、本研究で開発した、複数の工程を組み合わせる方法による成形が垂直壁を持つ形状の成形に有効であることを確認した。

3.3 逐次成形用 CAM の開発

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

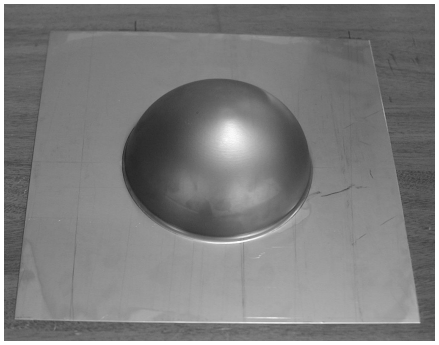


図 4　半球殻の成形例（SUS304）

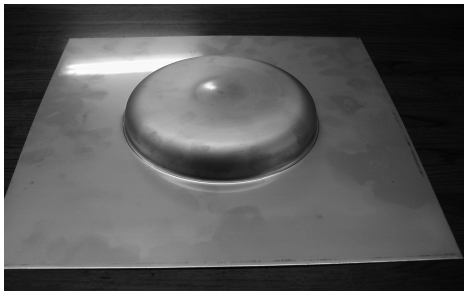


図 5　円形皿の成形例（SUS304）

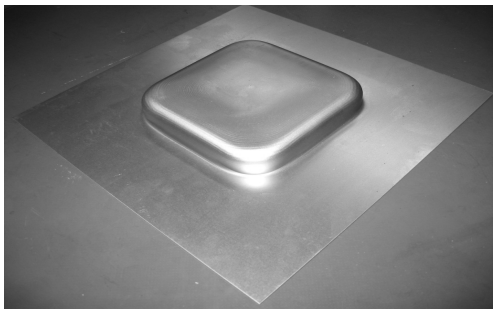


図 6　正方形皿の成形例（SPCC）

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 の開発を進めてきた。これまでに、各種成形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、および 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 Windows に対応した CAM を開発した（図 7）。これにより、垂直壁形状の成形に対応した工程分割法のツールパスを容易に作成することが可能となり、逐次張出し成形の実用化にはずみをつけることができた。

今後の課題としては、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、

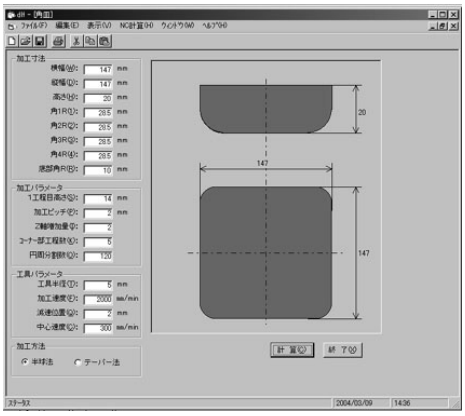


図 7　逐次張出し専用 CAM

さらに実用性を高めたシステムとして開発を進めていくことも必要である。

3.4　高温逐次成形技術の開発

マグネシウム合金は、実用金属としては最も軽い材料であり、リサイクル性にも富んだ金属として注目を集めている。成形性については、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すことが明らかとなっている[6)]。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を評価し、試作品等への適用可能性を探ることを目的として、基礎的な成形性試験を行った。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。

表 1 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、673K～773K の範囲で成形を試みたが、いずれも最終工程で破断を生じ、成形できなかった。

表 1　AZ31 Mg 合金　成形性試験結果

成形温度 T K（℃）

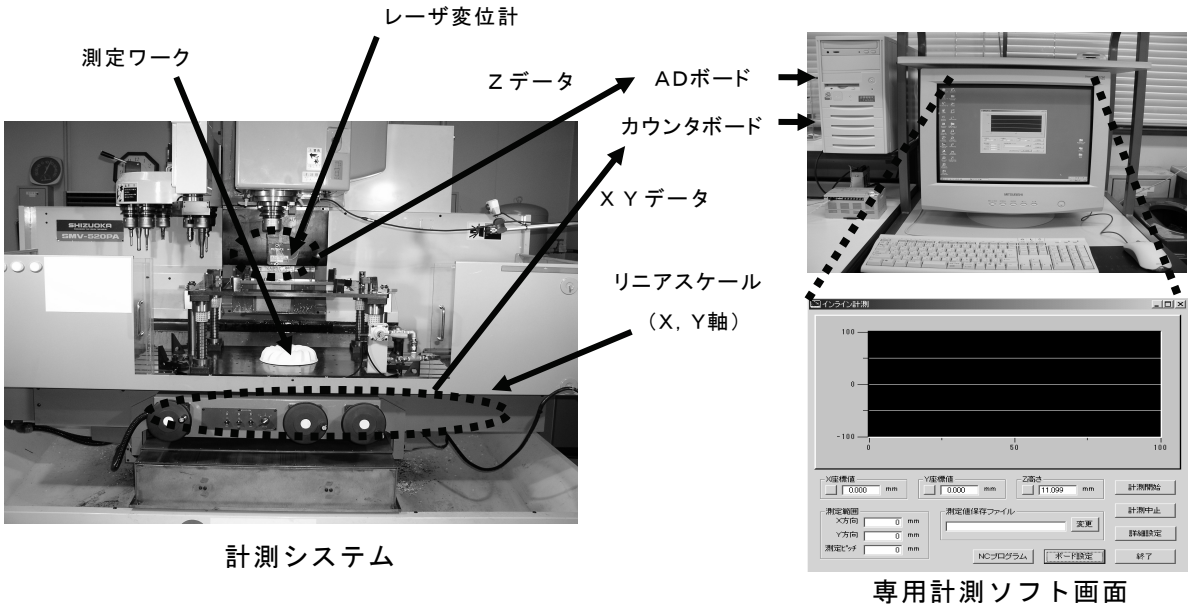
半頂角α	473 (200)	523 (250)	573 (300)	623 (350)	648 (375)	673 (400)	698 (425)	723 (450)	748 (475)	773 (500)
47	×	○								
46										
45		○								
44		×	○							
43		×								
42			○							
41			×			成形可能範囲				
40				○						
39				○						
38				○						
37				○		○				
36				○	○					
35				○	×	○				
34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

以上の結果より、マグネシウム合金の張出し性は、成形温度や形状といった点において、絞り性ほど良好ではないと考えられる。しかしながら、今後、マグネシウム合金プレス成形の実用化が進んでいった場合には、加熱を必要とする型構造のため、室温で加工できる他の金属とは異なり、簡易型などによる試作成形が容易ではない。このため、試作工程における逐次張出し成形への要求が高まってくるものと考えられる。今後は、複雑な形状についても逐次張出し成形を可能とするための加熱方法などについても検討を進めていく必要がある。

3.5　機上計測システムの開発

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、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。

前述したように、逐次張出し成形には NC プログラムが必要である。あらかじめ三次元 CAD で設計されたものであれば比較的容易



計測システム　　専用計測ソフト画面

図 8　機上計測システムの構成

に NC プログラムを作成することが可能であるが、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、まずこれらの形状データを三次元 CAD に取り込む必要がある。現状では三次元測定機やデジタイザのような測定機器を使用することで形状データの取り込みが可能であるが、高価で取り扱いが容易でない、さらには測定や 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といった問題もある。これらを解決し、機上で簡単にワークの形状測定ができる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ことで、ワーク表面形状の三次元データを数値として取り込む構成になっている。

4.　実用化支援事例の紹介

4.1　はじめに

これまでに県内外の企業から、相談や提案があったものの中から、逐次張出し成形適用の事例を紹介する。

4.2　浄水器カバーの試作

図 9 に製作工程および製作品を示す。板厚 t=1.0mm、SUS304 製で製作個数は 10 個であり、量産型を製作する前の形状検討として必要であった。通常では、簡易型を製作してプレス成形で製作するところであるが、納期が 1 週間程度と短いこと、および今後もデザイン変更が生じる可能性が高いために、より柔軟に対応できる成形方法として、逐次張出し成形により製作を行った。

カバー頭部をその水平断面に対応した型枠（SS400 t=4.5mm）を用いて逐次成形を行った。形状的には、最終部分でほぼ垂直壁になるため、本研究で開発した工程を分割するツールパスを専用 CAM によって作成して成形を行った。その後、焼鈍→トリム→溶接→研磨を経て製作を行った。

生産性における簡易型による従来方法との比較について、まずコストでは、頭部成形用簡易型の製作費が約 6 万円に対し、逐次張出し成形費用（頭部 10 個製作）が約 2 万円と見積もられる。一方、時間については、簡易型製作に約 3 日を要するのに対し、逐次張出

図 9　浄水器カバーの製作工程

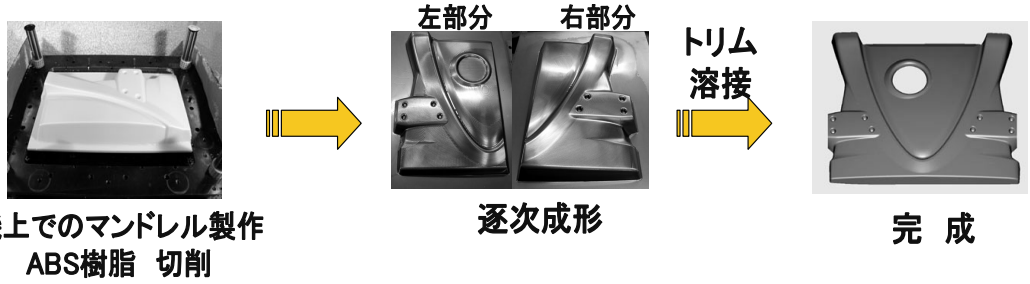


図 10　スポーツカー用エンジンカバーの製作工程と製作品

し成形では、約 6 時間で製作できた。また今回は、製作途中で楕円形状から図に示すようなトラック状のデザインに変更が生じたにも拘わらず、型枠を取り替え、新たにツールパスを作成することで柔軟に対応できたことも付け加えておきたい。

4.3　スポーツカー用エンジンカバーの試作

図 10 にスポーツカー用エンジンカバーの製作工程および製作品を示す。板厚 t=1.0mm、SPCC 製で製作個数は 3 個であった。製作の意図としては、前述の事例と同様に量産型を製作する前の形状検討である。本研究で開発した成形機での加工範囲を超える大きさ、および自由曲面を持つ複雑な形状のために、形状を左右 2 分割し、それぞれについて機上にて ABS 樹脂を切削加工することでマンドレルを製作して、分割成形後に三次元レーザ加工機によるトリム、その後溶接により接合して製作した。従来は、やはり簡易型によるプレス成形に加え、成形が難しい部分では熟練技能者による手加工を加えて製作する。これに対して、逐次張出し成形では NC データによる成形であり、熟練を必要としないばかりではなく、量産型を製作する場合に CAD データを活用できるといったメリットもある。

生産性における比較についても、簡易型による方法が約 30 日程度要するのに対し、逐次張出し成形では、約 2 週間程度で可能な点を考えても、逐次成形による効果があったと考えられる。

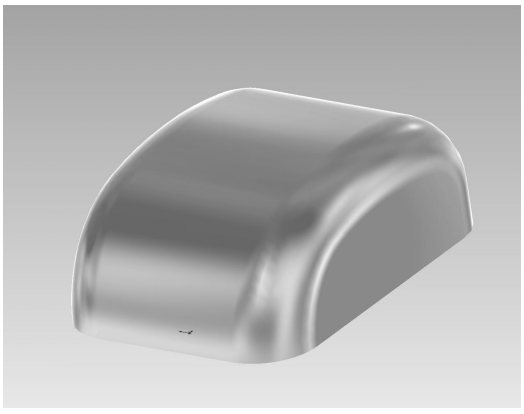


図 11　除雪ロボット筐体の製作

4.4　除雪ロボット筐体カバーの試作

「愛・地球博」で運用デモンストレーションを行うロボットの開発に対する（独）新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）『21 世紀ロボットチャレンジプログラム』に（財）にいがた産業創造機構と連携して応募し、採択された、除雪ロボットの筐体について逐次張出し成形により、製作を試みた。

図 11 に示すような形状の筐体に対し、左右各 3 箇所について逐次成形を適用し、上面部、側面部と接合して製作を行った。デモ用の試作ロボットのために成形用の型を製作することなく、筐体を製作することができた。

5. 結　　言

（1） NC フライス盤を活用したフォーミングセンタを提案し、工具軌跡、中間形状、工程分割等の工夫を行うことで、垂直壁を有する各種形状の逐次張出し成形を可能とした。

（2） 逐次張出し成形用 CAM システムの開発を行い、逐次成形の実用化にはずみをつけた。

（3） マグネシウム合金の逐次張出し成形を試み、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。

（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） 各種の企業化、実用化案件の成形試験を行うことで、本技術の普及、支援を行った。

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.