

## 塑性変形型ラピッドプロトタイピングの開発 - 鍛金加工の自動化 -

金沢大学 田中秀岳, 浅川直紀, 平尾政利

Development of a Forging Type Rapid Prototyping System  
-Automation of a Metal Hammering Working-

Kanazawa university Hidetake TANAKA, Naoki ASAKAWA and Masatoshi HIRAO

This study deal with a development the forging type rapid prototyping system on the basis of the CAD data. Today, almost products are designed and developed with CAD/CAM system and the rapid prototyping systems are also used to model for design-preview or for mockup in these scenes. On the other hand, in the free forging and plastic working field, there is few method of process automation. In order to automate those working, the numerical controlled free forging and the metal hammering working system are developed in the study to be adopt as a new modeling method of the rapid prototyping. From the experimental result, the system is found to have a possibility to be a new method of 3-D modeling as the rapid prototyping.

### 1. はじめに

今日、工業製品のほとんどがCAD/CAMシステムによって設計され、生産されているが、一部には熟練工による手作業で行えない加工が残っていることも事実である。塑性加工である自由鍛造や鍛金加工は、工業的には金型を用いて大量生産が行われる。しかし単品や試作品の場合、コスト、時間的に金型を用いるのは得策ではないため、多くの場合、熟練工による手作業に頼っているのが現状である。現在、この自由鍛造、鍛金加工分野において、金型レスで加工を行ういくつかの加工法が考案され、研究<sup>1)2)</sup>あるいは使用されている例<sup>3)</sup>もある。自由鍛造とは図1に示されるような手作業による鍛金作業や、図2<sup>3)</sup>に示されるような機械式ハンマによる作業がある。どちらも作業者が母材となる金属塊を手作業により任意の形状に形づくるもので、熟練工による職人技であり、その技術の習得には長い年月が必要とされる典型的な3K作業である。

本報では、鍛金ハンマの動作を自動化するサーボハンマリングユニットと鍛金加工に対応したCAMシステムの開発を行い、自由鍛造である鍛金加工をCAD/CAMシステムを用いて数値制御化を行った。また、ラピッドプロトタイピングの新たな3次元造形法として塑性変形型造形法を提案し、開発したシステムの適用を試みたので報告する。

### 2. 塑性変形型造形法

本研究ではこの数値制御自由鍛造をラピッドプロトタイピングに結びつけることに着目した。ラピッドプロトタイピングは3次元データに基づいて迅速に3次元の立体を造形する技術であるが、既存の造形原理は表1に示される積層造形法と切削造形法の2種が一般的である。本研究では、新造形法として数値制御自由鍛造を用いた塑性変形型造形法を提案する。図3に示すように、既存の造形法と同様にCADにより工作物を定義し、

3次元データに基づいて、材料に塑性変形を与え任意の形状に加工する。材料には比較的変形容易なインダストリアルクレイや熱可塑性樹脂等を用いる事により、ラピッドプロトタイピングとしての使用が可能である。本造形法の特長として造形時間が短い、使用可能材料の幅が広いといった長所がある一方で、造形精度が低い、積層造形法に比べて造形の自由度が低いといった短所も存在する。

### 3. システム構成

本研究のシステム構成を図4に示す。加工装置は3軸のマシニングセンタ(株)松浦機械製作所 FX-1)を用いて位置決めを行い、主軸に取り付けられたサーボハンマリングユニットにより塑性加工を行うシステムである。ワークステーション(サン・マイクロシステムズ(株) Ultra 30(UltraSPARC-II 296MHz))上のCADシステム((株)リコー DESIGNBASE)により工作物の形状定義を行い、同カーネル付属のライブラリ関数を用いて開発したCAMにより加工順序、経路を生成する。工具経路はG-codeに変換されPCよりマシニングセンタのCNCへ転送されDNC運転を行う。

### 4. サーボハンマリングユニット

本研究では図4に示すようなサーボハンマリングユニットを

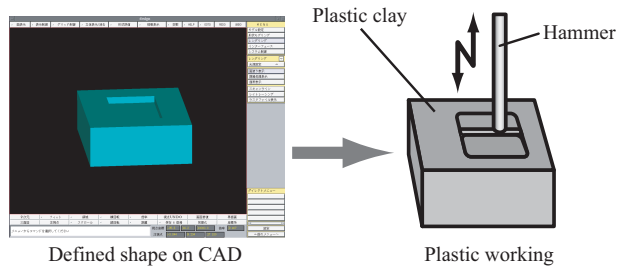


Fig.3 3D-modeling with plastic working

Table.1 Conventional 3D-modeling methods

既存の造形法	特長	代表的な造形法の例
積層造形法	<ul style="list-style-type: none"> <li>造形の自由度が高い</li> <li>使用できる材料が限られる</li> <li>造形時間が長い</li> </ul>	光造形法, 粉末焼結法, 熱溶融法, シート積層法, インクジェット法
切削造形法	<ul style="list-style-type: none"> <li>高精細加工が可能</li> <li>使用可能材料の幅が広い</li> <li>造形時間が長い</li> </ul>	机上切削加工機, 高速MC



Fig.1 Metal hammering



Fig.2 Free forging<sup>3)</sup>

開発し、マシニングセンタの主軸に装着した。これは熟練工の手作業において使用される鎚とタガネに似た役割を行う装置である。DCモータによるカム駆動により連続的にハンマの打撃を行う機構により、熟練工の行うハンマリング作業と同様に加工対象物に打撃による局部的塑性変形を施す機構である。ハンマの終端加速度は手作業でハンマを振り下ろす時にかかる加速度とほぼ同等である約1000Gとし、打撃数は毎秒約5回である。

5. CAM

マシニングセンタに用いる既存のCAMの工具経路は除去加工である切削を対象としているため、工具軌跡が除去されることを前提としている。しかし変形操作である塑性加工を行う場合、必ずしも工具軌跡と工作物の変形は一致しない。また、工具経路の取り方、すなわち図6に示すように、長方形の変形を与える場合、切削加工では(a) (b) (c)の3つの工具経路は同じ形状を得ることができるが、塑性加工の場合、3つの工具経路ではそれぞれ異なった変形を行うこととなるため、ハンマを動かす順序や方向も加工対象物によっても確実に決めなければならない。本報では、3軸マシニングセンタで加工可能な比較的単純な形状に対して基礎実験を行い、その結果に基づいてCAMの工具経路生成の決定要素とした。

6. 実験

以上のシステムにより実験を行った。加工対象形状は単純な形状である平面に5mm窪みのある形状とした。工作物1として0.5mm厚の純アルミ板、工作物2として熱間自由鍛造を想定して塑性粘土を用いた。ハンマとして使用した工具は直径6mmの円柱形状で材質は高速度鋼を用いた。

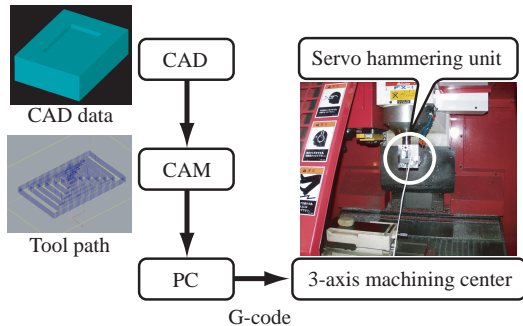


Fig.4 Configuration of the system

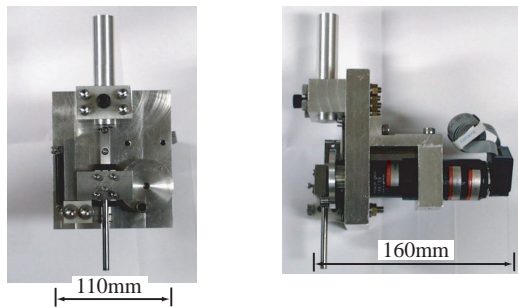


Fig.5 Servo hammering unit

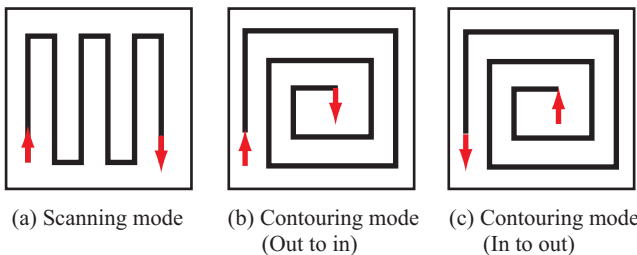


Fig.6 Modes of tool paths

(1) 純アルミ板

鍛金加工の1つである平板から打ち出しによって板を任意の形状に変形させる加工が本システムで可能かを検証するため、純アルミ板に図7(a)に示すような縦46mm横46mm深さ5mmの窪みのある形状を加工する実験を行った。工具経路は図6の(c)のモードとし、ピクフィードは1mm、一回につき押し込み量は0.5mmとした。図7(b)に加工後の工作物1の外観と寸法測定結果を示す。表面にハンマの打痕が見られるが、ほぼCAD上で定義した通りの形状に加工することができた。しかし寸法は図7(b)に示すように1.2mm程度の誤差が生じた。また、深さも外側は約5mmであるが、内側に向かうに従って浅くなる傾向であった。これらの誤差は塑性加工で起こりうる工作物の盛り上がりやスプリングバックの影響と考えられる。

(2) 塑性粘土

自由鍛造を模したのものとして、母材塊から任意の形状に塑性変形が可能であるかを検証するため、塑性粘土を用いて図8(a)に示すような縦26mm横48mm深さ5mmの窪みのある形状を加工する実験を行った。工具経路は図6の(a)のモードとし、ピクフィードは2mm、一回につき押し込み量は1mmとした。図8(b)に加工後の工作物2の外観と寸法測定結果を示す。こちらも表面にハンマの打痕が見られる。外観形状はほぼ定義した形状であるが、寸法では図8(b)の横の稜線部分、すなわち工具経路の折り返し部分で大きく誤差が生じた。これはハンマにより盛り上がり移動しながら堆積し、折り返し部分に集積したと考えられる。

実験より、自由鍛造を行うには盛り上がりや材料の変形を考慮し工具経路を生成し、また、形状測定結果をフィードバックして修正加工を行うことが必要であると考えられる。

7. おわりに

塑性変形型造形法をもちいた数値制御鍛金システムを開発し、実験を行い以下の結論を得た。

- 1) 新たな3次元造形法として、塑性変形型造形法を提案した。
- 2) 鍛金、自由鍛造加工をCAD/CAMに基づいて数値制御で行えるシステムを開発し、本造形法の可能性を示した。

参考文献

1) 中島尚正：塑性と加工，20-223(1979)，696  
 2) 松原茂夫：塑性と加工，35-406(1994)，1258  
 3) 林祥次 (株)川上鉄工所：http://www.okayama-syokunou.or.jp/meister/hayasi.html

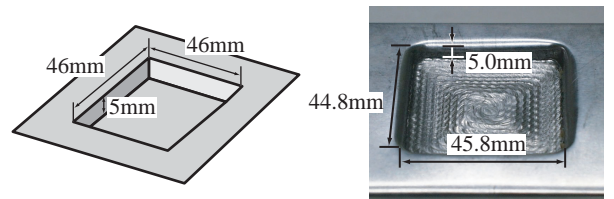


Fig.7 Workpiece#1; aluminum plane

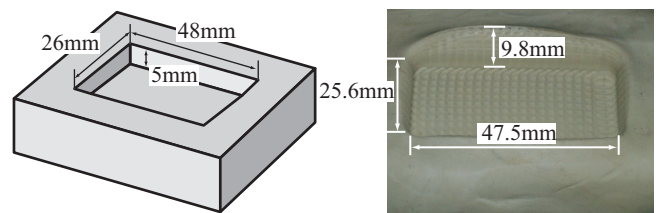


Fig.8 Workpiece#2; plastic clay