

# 塑性変形型ラピッドプロトタイピングの開発研究 - レンジファインダを用いたフィードバックCAM -

金沢大学 高杉敬吾, 浅川直紀, 田中秀岳, 平尾政利

Development of a Forging Type Rapid Prototyping System

-Feedback CAM by using of the Range Finder-

Kanazawa university Keigo TAKASUGI, Naoki ASAKAWA, Hidetake TANAKA and Masatoshi HIRAO

The study deals with development of a forging type rapid prototyping system. The forging type rapid prototyping means not only numerical automation of free forging and metal hammering workings on the basis of CAD data but also creating 3-D models by use of plastic deformation of the material. However the processing method has fatal problems in dimensional accuracy of the processed workpiece. In order to improve the dimensional accuracy, a feedback CAM system which collects path considering the 3-D dimensional error measured by a range finder comparing with defined shape is developed. From the experimental result, the system is found effective to have enough ability to improve the accuracy of the process .

## 1. はじめに

現在, 自由鍛造や鍛金加工を必要とする単品や試作品の場合, 多くを熟練工の手作業に依存しており, 高精度は望めず, またコスト的, 時間的にも決して効率は良くない. 自由鍛造には, 図1に示されるような手作業による鍛金加工や, 機械式ハンマによる作業があり, とちらも熟練工による職人技を必要とし, その技術の習得に多大な時間を要するため典型的3K作業である.

本研究では, これまでCAD/CAMシステムを用いた鍛金加工の自動化を研究しており, 熟練工の手作業に依存しない, 数値制御自由鍛造を用いた塑性変形型造型法を提案, 開発してきた<sup>1)</sup>. 本造型法の特徴として, 造型時間が短い, 使用可能材料の幅が広いといった長所があるが, 一方で自由鍛造であるために造型精度が低いといった短所が存在する. そこで本報では, レンジファインダを用い, 造型物を三次元測定し, CADにより定義された形状との誤差を算出し, 再加工することにより加工誤差を低減させるシステムを開発し, その有用性を確認したので報告する.

## 2. 塑性変形型造型法による加工誤差

本研究では, 図2(a)に示すような手法を用いて鍛造加工を行っている. 金属板の下にサポート材として塑性粘土を用いることによりフレキシブルな当て金の役割を果たしている. しかしその結果として 図2(b)に示すような盛り上がりが発生してしまい, 加工誤差の増大につながっている.

## 3. システム構成

本研究のシステム構成を図3に示す. ワークステーション(サン・マイクロシステムズ(株)Ultra 30(UltraSPARC-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, 経路を生成し, NCプログラムに変換した後, 縦型3軸マシニングセンタ((株)

松浦機械製作所FX-1)を用いて, 主軸に取り付けられたハンマリングユニットにより塑性加工を行う. 得られた形状に対し三次元測定を行い, CADにより定義された形状との誤差を算出し, 再加工を行う.

## 4. ハンマリングユニット

本研究では図4に示すようなハンマリングユニットを開発し, マシニングセンタの主軸に装着した. 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. 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10回である.

## 5. レンジファインダ

本研究において用いられるレンジファインダは, 上記ユニットの駆動系の制限より,  $\pm 0.4\text{mm}$ 程度の測定精度を目標として開発した. マシニングセンタの主軸への装着性と, CAMとの互換性の点から図5に示すような光学系より構成される. 非接触式三次元測定法の中でも比較的高精度とされている三角測量法を用いた光切断法を採用し, サブピクセル法<sup>2)</sup>を適用することにより, 精度は約 $\pm 0.25\text{mm}$ となっている. レ

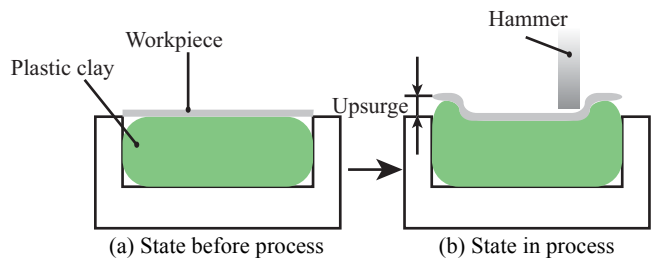


Fig.2 Process of metal hammering working

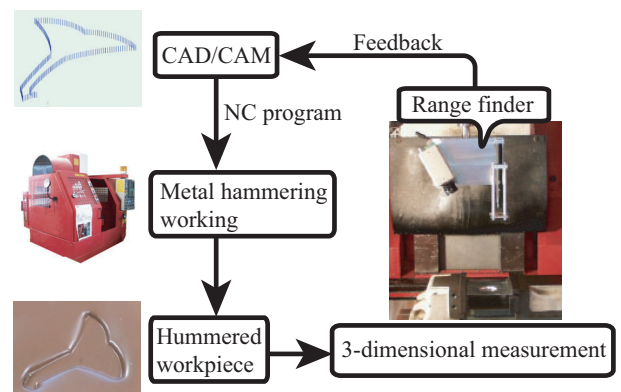


Fig.3 Configuration of the system



Fig.1 Metal hammering

レンジファインダはマシニングセンタの送り機構を利用して走査され、工作物を撮影する。また、オクルージョンの発生を避けるため、工作物を両方向から測定し、PC上で2視点データをICPアルゴリズム<sup>3)</sup>を用いて統合する。

#### 6. フィードバックCAM

本加工法では、ハンマによる1回の押し込み量を1mmとしており、図6(a)に示すように、CADにより定義した形状の深さを $Z$  mmとした場合、 $Z$ 個の層に分割し層毎に加工する。前述の通り、鍛造加工を行うと盛り上がりが発生してしまうため、加工誤差を考慮せず最終層まで加工した場合、相対的にCADで定義した深さ $Z$  mmを大きく超えてしまう。そこで、図6(b)に示すように、途中の層である、深さ $Z_T$  mmとなるべき層まで鍛造加工を行った後、三次元測定を行うことにより実際の加工深さを得る。これによって得られた深さを図6(c)に示す値 $Z_M$  mmとした場合、 $Z_M > Z_T$ となるため、次層の加工深さは $Z_M$  mmからとし、NCプログラムを補正する。再加工後、再度三次元測定を行い、CADデータと測定データの位置合わせを行った後、形状比較を行うことにより最終的誤差を確認する。なお本報では、手法の原理を確認するため、深さ方向の補正のみを対象とする。

#### 7. 実験

以上のシステムを用いて実験を行った。図7に示すような直径46mm、深さ10mmの円筒形状をCADにより定義し、厚さ1mmのアルミニウム合金板からの張出し成型を行った。図8は三次元測定によるフィードバックを行わずに加工したものである。深さは約15.1mmまで達しており、約5.1mmの誤差が確認された。図9は深さ5mmに達した時点で三次元測定を行ったときに得られた測定結果である。円筒底面に向かって滑らかに歪曲しており、円筒の直径は正確に得ることができない。深さ

方向は平均深さが約7.5mmとなっており、約3.5mmの誤差が生じている。この値を元に再加工を行い、得られた形状が図10である。平均の深さは約10.5mmとなっており、目標の精度には及ばないものの、三次元測定を行わない場合に比べ大幅に誤差が改善されていることが分かる。また、図11はCADにより定義された形状と加工終了後に三次元測定を行い得られた測定形状との位置合わせを行い得られた断面図である。上述のように深さ方向はほぼ一致しているが、隅部や角部に大きく誤差が生じていることが分かる。これは当て板として塑性粘土を用いているために、隅部や角部では定義通りの塑性変形ができないためであり、今後、経路生成アルゴリズムの改善が必要であると考えられる。

#### 8. おわりに

塑性変形型造型法による加工誤差を軽減する手法として、レンジファインダを用いたフィードバックCAMシステムを開発し、実験を行った。その結果以下の結論を得た。

- 1) 塑性変形型造型法に対し、三次元測定を用い、測定結果をフィードバックすることにより加工誤差を軽減する手法を提案した。
- 2) 三次元測定データとCADデータから誤差を算出するCAMを開発し、その有用性を示した。

#### 参考文献

- 1) Hidetake Tanaka: Development of a Forging Type Rapid Prototyping System, Proc. of ICAM '04, 2004-10
- 2) 野村由司彦, 相良道弘, 成瀬央, 井手敦志: エッジ位置測定のサブピクセル化と誤差解析, 電子情報通信学会論文, Vol. J73-D-, No. 9(1990)
- 3) P.J. Besl and N.D. McKay: a Method for Registration of 3-D Shapes, IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell, Vol. 14, No. 2 1992

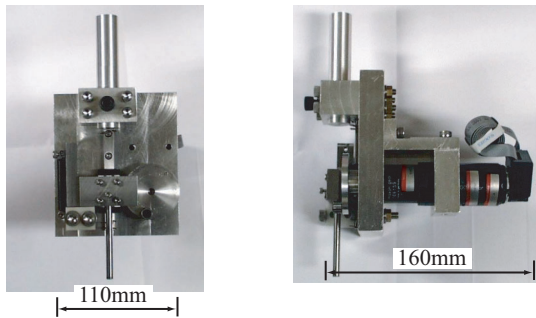


Fig.4 Hammering unit

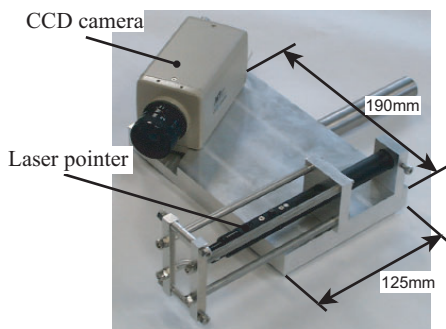


Fig.5 Range finder

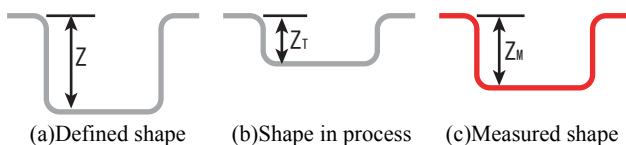


Fig.6 Method of re-processing path generation

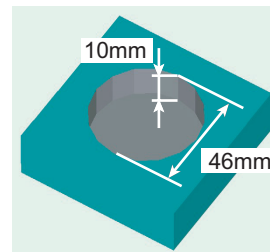


Fig.7 Defined shape

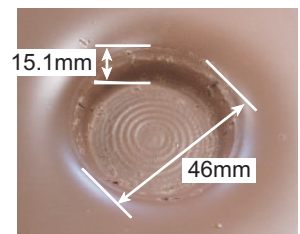


Fig.8 Shape after hammering without measurement

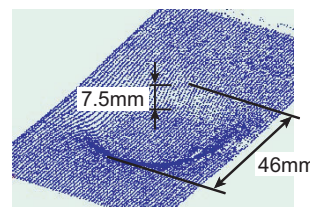


Fig.9 Result of measurement

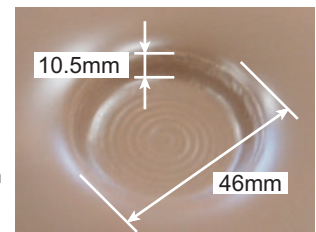


Fig.10 Result of hammering

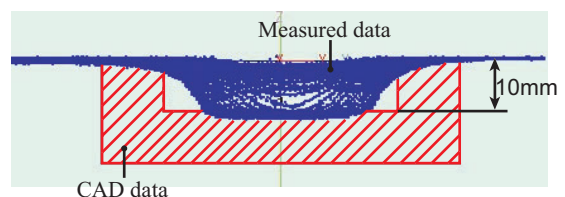


Fig.11 Comparison between defined and measured shape