

# オープンソースCAMによるリニアモータを用いた鍛金加工の自動化

著者	田中 秀岳, 浅川 直紀
著者別表示	Tanaka Hidetake, Asakawa Naoki
雑誌名	精密工学会学術講演会講演論文集
巻	2014 Autumn
号	M38
ページ	667-668
URL	<a href="http://doi.org/10.24517/00052907">http://doi.org/10.24517/00052907</a>

doi: 10.11522/pscjspe.2014A.0\_667



# オープンソース CAM によるリニアモータを用いた 鍛金加工の自動化

長岡技術科学大学 ○田中秀岳, 金沢大学 浅川直紀

Automation of metal hammering working by use of linear motor on the basis of open-source CAM

Nagaoka University of Technology Hidetake Tanaka, Kanazawa University Naoki Asakawa

The study deals with the automation of the metal hammering process by use of a linear motor on the basis of CAD data. Metal hammering is one of the traditional handcrafts and only skilled technician may form objective shape from a blank sheet metal without die or mold. It shall be regarded as a type of rapid prototyping process that can be applied to make small amount of sheet metal part. Our linear servo hammering system, which developed in-house, is adopted as a good mimic of human hammering operation. In contrast with other studies that use static force to form sheet metal, our system deforms it by kinetic energy of hammer. In the study, we improved the hammering system to measure shape of workpiece in hammering process. The CAM system, which suitable for the automated metal hammering working was developed and improved with shape feedback process and hammering speed control.

**Key words:** Metal hammering, Linear motor, CAD/CAM, In-process shape measurement, hammering speed control

## 1. 緒 言

伝統工芸である鍛金は、金型を用いずに作業者の手作業により金属材料を任意の形状に成形するものであり、現在は工芸品や新幹線の先頭形状など、単品や意匠形状を持つ製品を生産する手法として知られている。しかし、その技術の習得には長い年月が必要とされている。さらに、成形には多くの時間を必要とし、作業も重労働であるため、完成品のほとんどが高価である。鍛金と同様に、単純な形状の工具により板金を成形する逐次成形技術が近年盛んに研究されている。

筆者らのこれまでの研究において、熟練工のハンマの動作を自動化するためのハンマリングシステムが開発され、成形品の形状に影響を与えるパラメータの影響や成形品の評価手法が提案されている。本システムは、リニアモータを速度制御し、ハンマの動力源とするもので、打撃により材料を成形する点が特徴である。これは、逐次成形法の中でも熟練工の動作に近いものである。しかし、変形に起因する板厚変化や加工硬化のため、加工時における打撃による変形を予測することが困難であるという問題点が存在する。ハンマリング速度や工具経路の生成方法などのパラメータを生成できる鍛金加工専用の CAM システムを構築し、成形する形状ごとに実験により最適化した。しかし、単品生産の自動化を目標とするシステムにおいて、成形品形状は毎回異なり、それぞれに対して複数回の成形実験を行うことは、逐次成形法の利点を損なうものである。そこで、本研究では、熟練工の作業に近い動作を行うようシステムを改良し、より少ない試行回数で良好な成形品を得るために、成形途中のワーク形状を測定し、それに合わせて成形を行うシステムを考案し、先行研究で開発された CAM システムに適用した。

## 2. リニアモータを用いた鍛金の自動化

### 2.1 システム構成

熟練工の鍛金を自動化することを目標にしたものであり、リニアモータを動力とした打撃による塑性加工型ラピッドプロト

タイピングを行うシステムとして捉え、ハンマの運動エネルギーを打撃により板材に与え、変形させることで板材の加工を行うものである。開発したハンマリング装置の外観を図 1 に示す。ワークに打撃を与えるハンマリングユニットと、ハンマリングユニットを X-Y 平面上で移動させる X-Y ロボットで構成される。ワークは 110×150mm の板材を用い、クランプにより外縁の 4 辺を固定した状態で加工する。ワーク下部は空隙になっており、そこへ塑性体のサポート材を追加して加工を行うことも可能である。この装置の特徴は、ハンマリングユニットの動力源としてリニアシャフトサーボモータを使用している点であり、加工途中であってもハンマリング速度を容易に変更可能である。

### 2.2 鍛金加工用 CAM

CAD データに基づいて鍛金加工の自動化を行うには工具包絡面の軌跡が工作物に転写される前提が適用できないため専用の CAM が不可欠である。特にリニアモータを用いる場合は工作物のスプリングバックやハンマ速度といった市販の切削加工を前提とした CAM では考慮できないパラメータが重要である。また、鍛金加工はハンマに与えた運動エネルギーによって材料を変形させるため、材料変形の予想が難しく、必ずしも想定したとおりに変形するとは限らない。よって、鍛金用 CAM システ

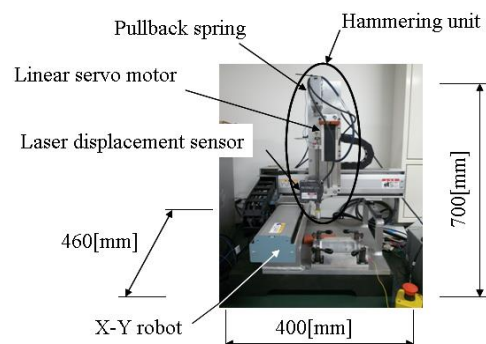


Fig.1 Whole view of the system

ムでは単純に工具経路を出力するだけではなく、より目標形状

に近い加工を行うために、成形品形状に影響する可能性のあるパラメータを考え、ユーザが必要に応じて設定する必要がある。本研究ではオープンソースCAMカーネルであるkodatunoを用いて鍛金加工に特化した工具経路を生成するCAMを開発した。

### 2.3 加工プログラム

リニアモータを用いることによって、加工力に相当するハンマリング速度の制御が可能である。ハンマリング速度は加工点座標それぞれについて設定される。また、ハンマの加工動作とX-Yロボットの動作がプログラムによって同期されているため、X-Yロボットの移動速度が成形形状に与える影響は極めて小さいと考えられるが、ユーザが把握している必要があるため、ハンマ速度と同様にそれぞれの加工点座標について設定される。鍛金用CAMシステムによる工具経路の生成においては様々な方式が考えられる<sup>9)</sup>が、本研究では平行ステップと呼ばれる仮想平面と定義形状の交線上に加工点を生成する方法を利用した。最終的には鍛金用CAMシステムの入力パラメータには次に挙げるものが必要となる。

- ・交線算出用仮想平面の高さ方向(Z方向)シフトにおけるZ軸の最大値
- ・交線算出用仮想平面のZ方向シフトにおけるZ軸の最小値
- ・交線算出用仮想平面のZ方向シフト1回におけるシフト量
- ・加工点間距離
- ・ハンマリング速度
- ・X-Yロボット速度

また、上記のパラメータ以外にも、工具経路の種類(モード)を必要に応じて使い分ける機能が備えられている。

### 2.4 インプロセス形状測定

閉じた工具経路で加工を行うと、工具経路内側の領域がその外側に比べて全体的に押し込まれる。このことから、過度に加工されることを防ぐため、定義形状の外側から内側へ向かって図4に示すような順序でワークの形状を随時定義形状と比較しながら加工を行うインプロセス形状測定をCAMシステムに実装した。図2に加工プログラム生成に至るまでのフローチャートを示す。

### 2.5 速度制御

ハンマリング速度が高過ぎることがなければ、適切な変形量まで加工を行うことが可能と考えられる。

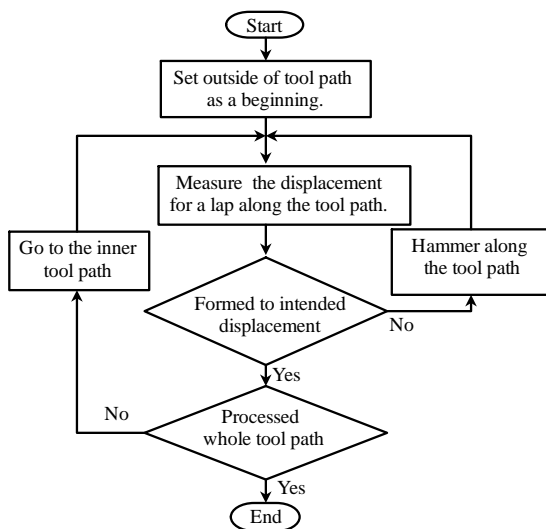


Fig.2 Flow of forming with shape feedback

そこで、定義形状周辺部の形状偏差が大きく、過度に加工されていることから、ハンマリング速度を変化させて加工を行うこととした。ハンマリング速度を変化させることで、加工時間の短縮や、過度の加工を防ぐことを目指す。また、低いハンマリング速度から加工を開始し、徐々にハンマリング速度を増加させる方向で調節することで、加工の進み具合により変化するとと思われる最適ハンマリング速度に収束すると考えられる。複数回の打撃を与えるという加工の原理上、また板厚変化や加工硬化のため、最適ハンマリング速度を事前に導出することは困難である。そこで、ハンマリング速度の決定は、目標とする変形量に満たない程度まで加工を一度行い、その変形量および目標とする変形量までの差から計算することで実現する。

### 3. 検証実験

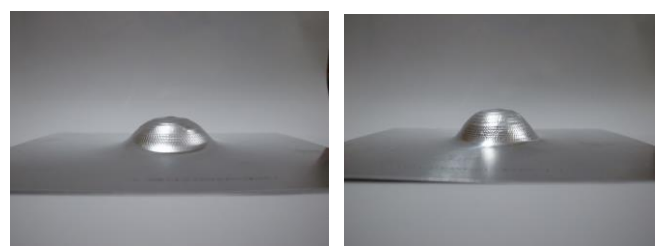
インプロセス形状測定及び速度制御を適用したシステムにより加工実験を行った。目標経常は底面が半径20mmで、高さが15[mm]である部分球とした。成形品の外観を図3、定義形状と成形品間の偏差をXY平面上に表したものを図4に示す。偏差分布を見ると、定義形状の外縁部において偏差が大きくなっている。定義形状内部では、偏差が2mmを下回っており、良好な成形性を有していることが確認できる。

### 6. 結 言

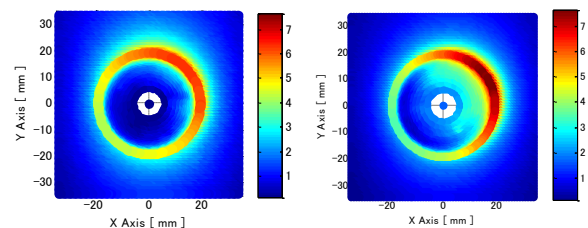
本研究では鍛金加工の自動化に特化したCAMシステムを開発し、工具経路やハンマ速度等の加工条件入力だけでなく、インプロセスでの形状計測や加工速度制御にも対応した加工プログラムに対応させた。検証実験の結果、開発したCAMシステムを用いることにより、目標形状に近い成形品を得ることができ、CAMシステムの汎用性とカスタマイズの有用性を確認した。

### 参 考 文 献

- 1) 高杉敬吾, 浅川直紀, 田中秀岳, 岡田将人: 薄板のインクリメンタルハンマリング張出し成形に関する研究(加工経路の分類とひずみ分布の実験的考察), 日本機械学会論文集C編, Vol. 78 (2012) No. 795 p. 3759-3767.



(b) With feedback (b) Without feedback  
Fig.3 Appearance of hammered workpieces



(a) With feedback (a) Without feedback  
Fig.4 Deviation distribution of hammered workpiece