

金型研磨ロボットシステムによる良い研磨

九州工業大学 工学部 設計生産工学科

助教授 水垣善夫

(平成3年度奨励研究助成 AF-91027)

1. はじめに

自動車用鋼板のプレス金型やプラスチック製品用射出成形金型など、金型は大量生産に適した製造方法として広く用いられている。近年、消費者の嗜好の多様化、製品寿命の短期化に伴い金型製作時間の大幅な短縮が望まれているが、さまざまな工程で自動化の問題を抱えている。特に、労働集約的要素が強く自動化が一番遅れていた分野に、金型製作時間の30%以上を占めるといわれている最終工程の磨き作業がある。

磨き作業における問題点として、金型形状の数値データ化、またそれに基づく(ロボットを含む)研磨機械の開発や(ノウハウを含む)研磨知識による加工条件の制御等が考えられる。現在機械製造業全般に形状データを主としたCAD/CAMデータの利用が一般化しつつあり、金型形状が

既にデータ化されている場合も多い。また一部で研磨ロボットや専用機械の開発も行われているがCAD/CAMデータ利用や研磨加圧力制御は未だ行われていない。これらの状況を考慮して本研究室ではCAD/CAMデータと産業用ロボットを用いた加圧力制御可能な良い研磨システムの開発を行なっている。以下、加圧力制御可能な研磨ロボットシステム¹⁾及び磁力センサを用いた良い機能²⁾の開発について報告する。

2. システム構成

ハードウェアシステムは、研磨装置であるend-effectorとロボット本体から成っており、ソフトウェアシステムは、CAD/CAMデータに基づく軌道生成部と研磨力制御部から成っている。Fig. 1にシステム構成を示す。

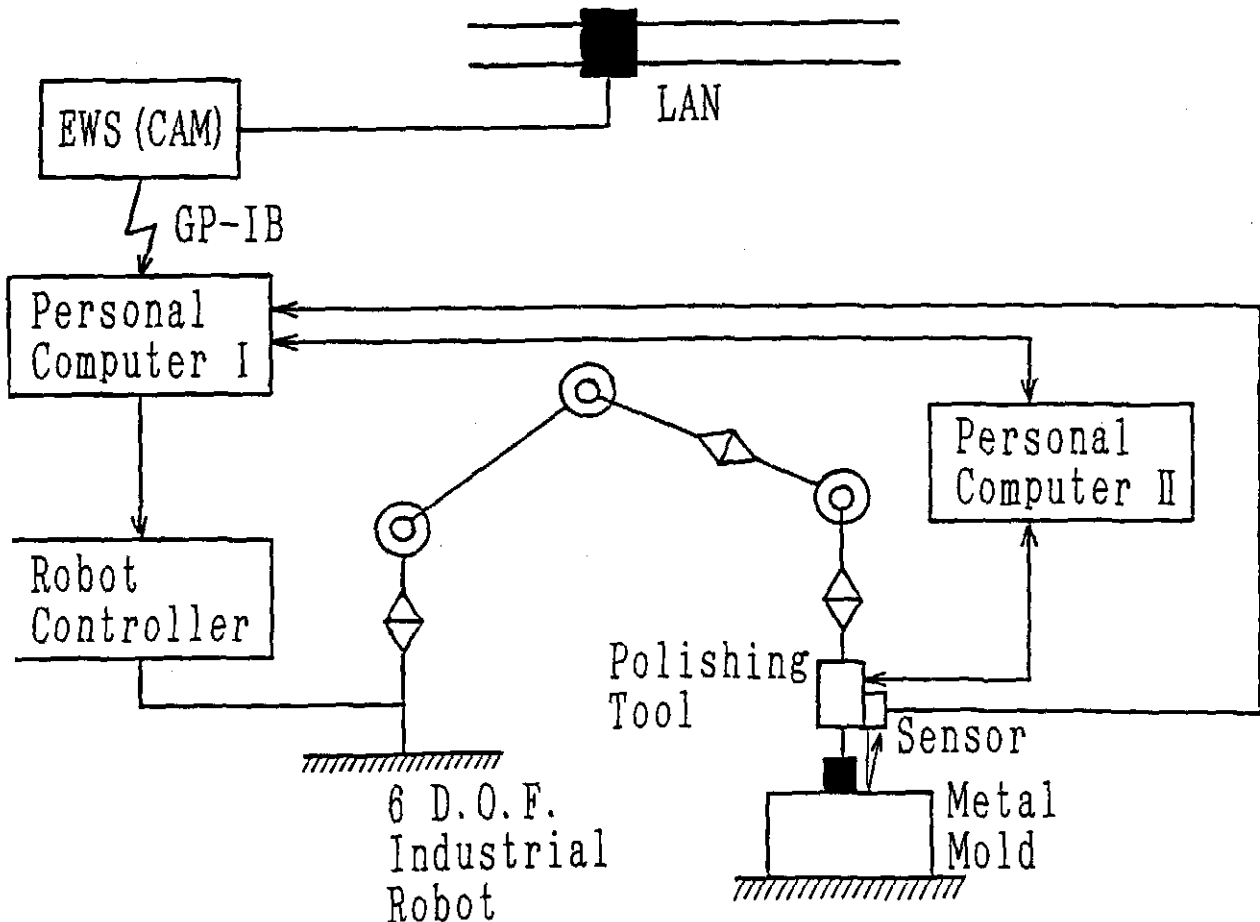


Fig. 1 System configuration.

ロボット本体は6自由度垂直多関節型で、可搬質量30kg、位置決め繰り返し精度0.2mmである。End-effectorは、軸付き砥石を装着したエアスピンドルモータ及び加圧力制御のためのバネとステッピングモータ、バネ長さを検出する電気マイクロメータ更に金型の位置検出用のレーザ変位計から成り立っている。End-effectorの質量は3kg弱である。エアスピンドルモータの回転数は空気圧2kgf/cm²で4000rpm、軸付き砥石は直径13mm、レジノイド砥石からゴム砥石またフェルトバフ等を研磨の進行に合わせて用いている。実際の研磨では油に混入したホワイトアラウンド砥粒(最高#4000程度まで)を滴下しており、遊離砥粒加工を行っている。ステッピングモータの駆動によりバネの長さは調節され、約10Nの加圧力まで可能となっている。

3. 軌道生成と研磨力制御

金型形状のCAC/CAMモデルは、2.5次元の格子空間モデル(以後Z-mapと呼ぶ)を用いている。Z-mapはサーフェスモデルの一種とも考えられ、XY平面の格子点に対応

する曲面上の点のZ座標値を2次元配列により表現している。

ロボットの軌道生成は金型曲面上の研磨経路の生成と金型座標系-ロボット座標系のアライメントに分けられる。研磨経路は金型形状や加工条件等を考慮して設計されなければならない。現在XあるいはY方向に平行な往復モードによる経路生成が行なわれているが、一般的には等方向性を考慮した研磨経路生成が必要と考えられる。そこでXY平面にペアノ曲線を発生させ、それに対応した金型曲面上の研磨経路を生成する手法を開発し実験を行なっている。ペアノ曲線は平面充てん曲線の一種であり、構成要素のXY線分比率が等方向性を有するフラクタル曲線となっている。また構成要素の線分長を任意に変えることができるため、使用する砥石形状に合わせた構成要素の規模を設定することができる。Z-mapでは定義域であるXY平面にペアノ曲線を発生し、その折れ点の格子に対応するZ座標値を結ぶ経路が金型曲面上の研磨経路となる。Fig. 2は、紡錘形の自由曲面上に四角形を構成要素としたフラクタル研磨経路

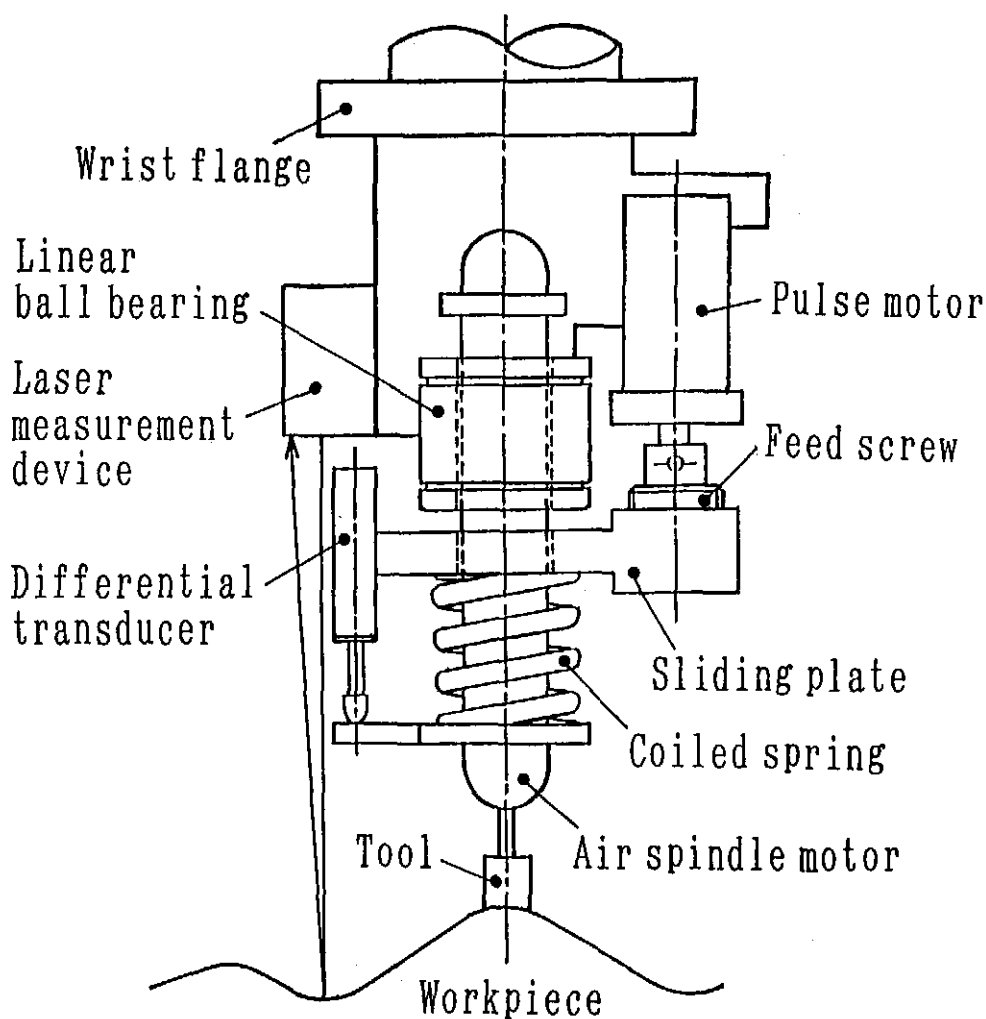


Fig. 2 Apparatus of the polishing end-effector.

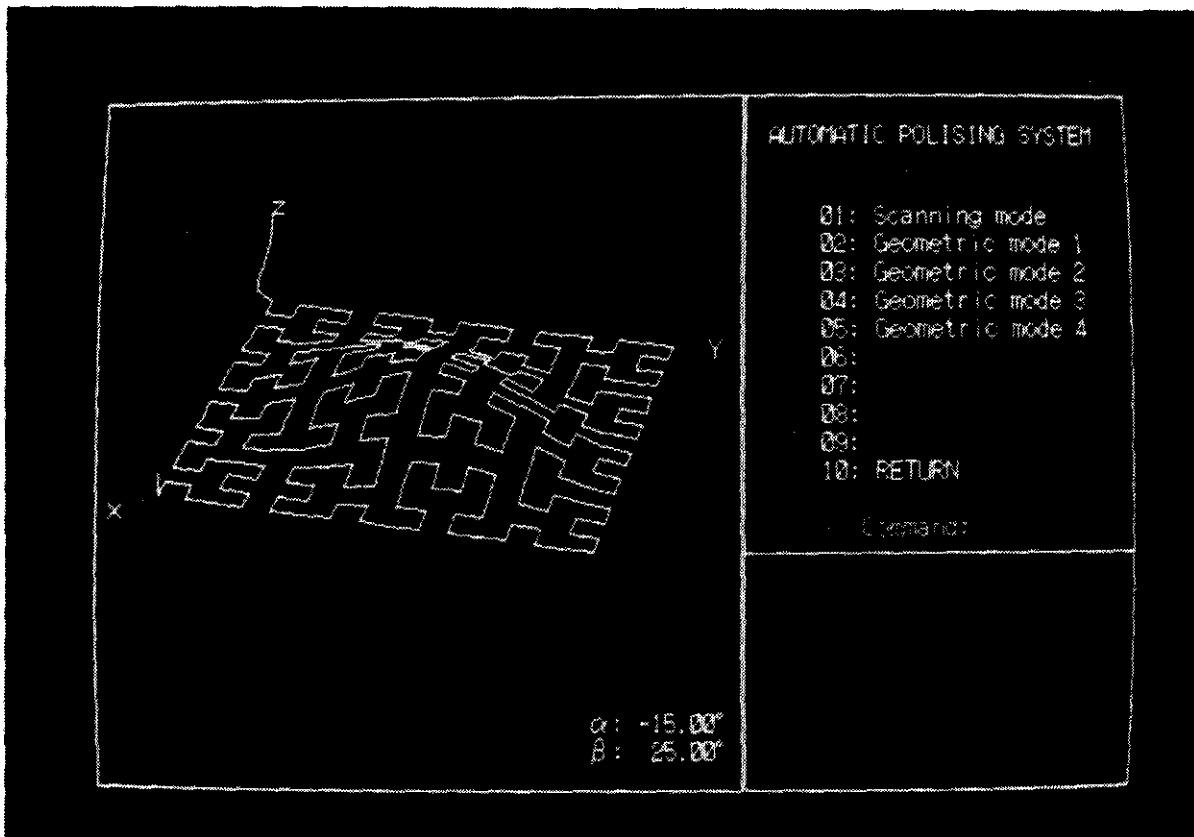


Fig. 3 Fractal path on a free form surface.

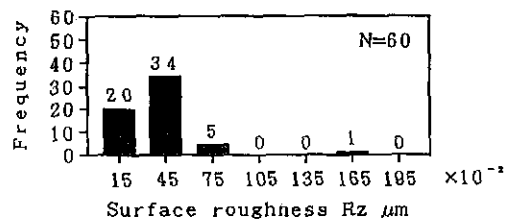
を生成した例である。

金型座標系-ロボット座標系のアライメントではEnd-effectorに装着のレーザ変位計を用いて金型外周の輪郭線方向を検出している。2方向の輪郭線を検出し、その交点を金型座標系の原点とすることにより金型座標系-ロボット座標系の対応付けを行なっている。

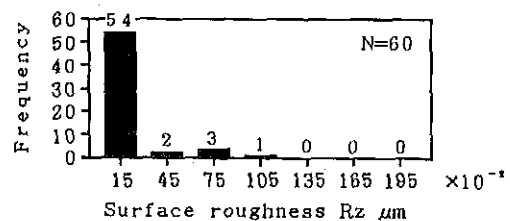
研磨の加圧力制御では、ステッピングモータを固定することにより金型形状の凹凸に合わせて受動的に加圧力が変化し、凸部分では加圧力(押し付け力)が大きくなるようになっている。また測定したバネ長さに応じて加圧力一定制御や加圧力可変制御するようにステッピングモータを駆動することもできる。

4. 研磨実験³⁾

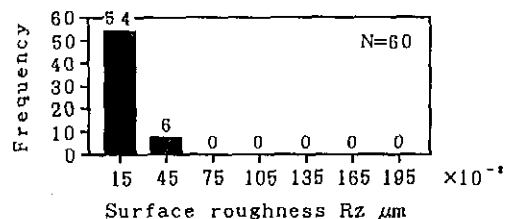
往復モード経路と2種類のフラクタル経路(四角形と×形構成要素)による平面の研磨を行ない、表面粗さの比較を行ったものがFig. 3である。それぞれ経路別に測定位置における表面粗さの度数分布を示しており、往復モードよりもフラクタルの方が均質で滑らかな面が得られていることがうかがえる。これらの経路のXY方向における線分数比較を示したものがFig. 4である。当初の予想の通りフラクタルの方がXY方向の等方向性が高く、平面の研磨に適していることが確認できた。また2種類の構成要素ではXの方が滑らかな部分を得やすいことが確認できたが、こ



(a) S-figure scanning pattern



(b) Peano pattern [Square]



(c) Peano pattern [Cross]

Fig. 4 Frequency distribution of surface roughness.

れは経路の交差部分で2度の研磨が行なわれているためと考えられる。

5. 磁力センサを用いた倣い機能

本研究で開発した磁力センサは、L字形鋼板の底部に永久磁石、垂直部にひずみゲージを張り付けたもので、金型と磁力の吸引力に基づく鋼板のひずみを検出してその距離を測定するものである。(Fig. 5 参照) 3対のL字形鋼板は同心円周上に等間隔で配置されており、各L字形鋼板と金型

の距離の3つのベクトルから、金型表面の法線方向も測定できる。

Fig. 6は磁力センサの出力特性で、3次関数により近似した。この出力検定を数回行い、磁石と金型のクリアランスを6.5mmに設定したときのセンサ出力の平均値と標準偏差の値は距離にして6.528mm、0.096mmであり、ロボットの繰返し位置決め誤差以下となった。

自己倣い実験として、平面、凸水平円筒面(半径150mm、300mm、600mm)、凸球面(曲率半径100mm)を対象に、ロ

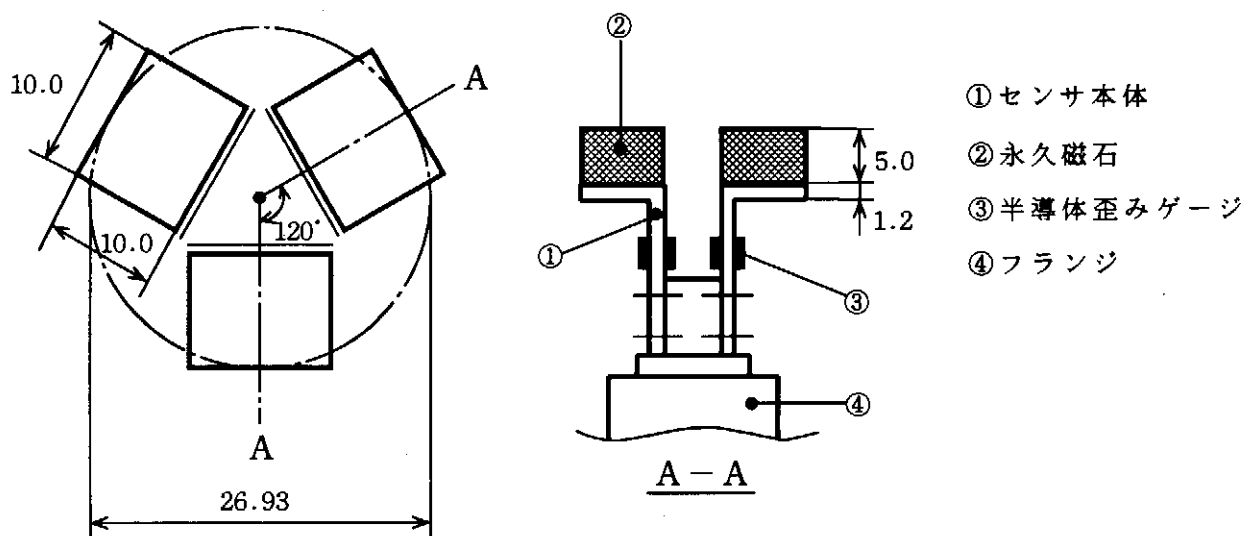


Fig. 5 Apparatus of the range sensor.

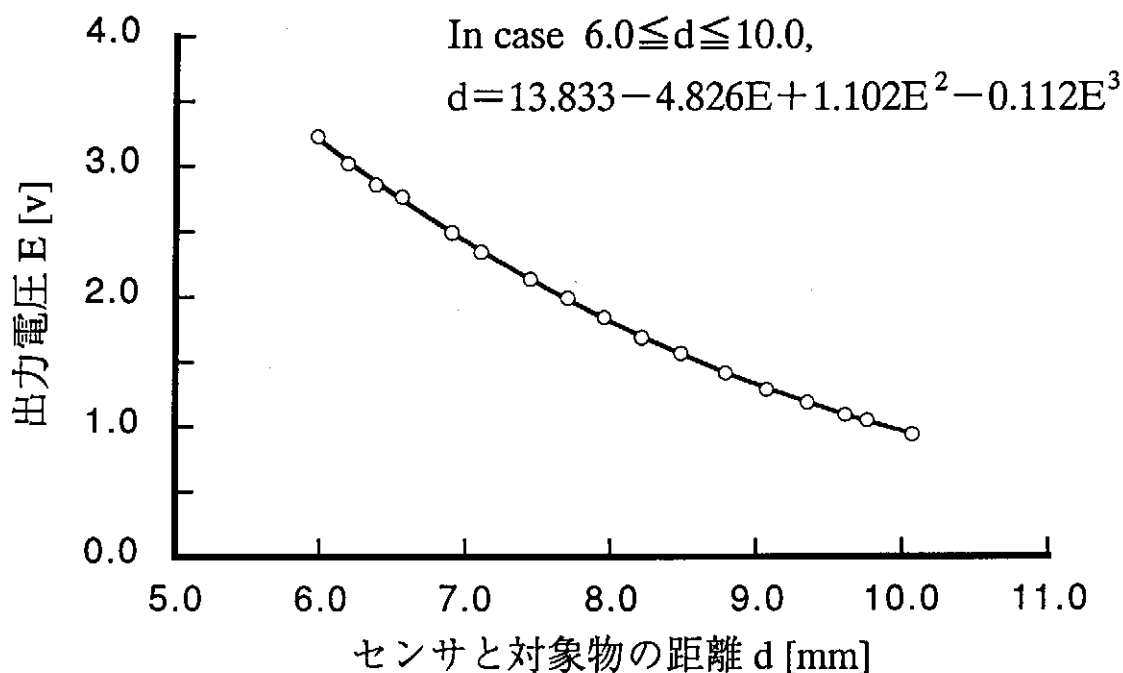


Fig. 6 Characteristics of the range sensor.

Table 1 Results of tracking experiments.

	凸球面	円筒凹面		
A. 設計値 [mm]	100.0	150.0	300.0	600.0
B. 測定値 [mm] (三次元座標測定機)	100.1	150.3	297.5	597.2
C. 実験値 [mm] (法線指向距離センサ)	93.5	155.1	301.2	612.2
(C-B) / B × 100 [%]	-6.59	+3.19	+1.24	+2.51

ボットの追従実験を行なった。センサの取付け誤差などを補正し、設計値と測定値を比較したものがTable 1である。実験から形状端部での測定誤差が大きいことが観察され、センサ姿勢が誤差要因として認められた。これらの実験を通して、姿勢や透磁率変化に対するセンサ出力特性の補正など、幾つかの主要課題を検討した。

6. 終わりに

金型研磨の自動化と知能化を目指して、CAD/CAMデータと産業用ロボットを用いた加圧力制御可能な倣い研磨システムの開発を行なっている。知能化を伴う自動化のためには、研磨状態や表面性状の認識またそれに応じた加工状態の制御など今後の研究課題と考えられる。

謝 辞

本研究は、財団法人天田金属加工機械技術振興財団からの奨励研究により行なわれたものであり、記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 上條恵石、水垣善夫、坂本正史：金型の自動磨きに関する研究（第2報、加圧力制御機能を持つ研磨装置の開発）、1991、日本機械学会論文集C編 Vol.57, No.535, P.1019-1023.
- 2) 宮崎竜二：実時間ロボット軌道補正システムの研究－磁力センサによる3次元自己ならい機能の開発－、九州工業大学卒業論文、平成3年3月.
- 3) 豊崎智弘、湊本雅紀：定圧砥粒研磨による平面磨きの研究、九州工業大学卒業論文、平成3年3月.