

自律式ミニロボットによる磨き・バリ取りシステム

東京農工大学 工学部 機械システム工学科

助手 葛 東方

(平成7年度奨励研究助成 AF-95038)

1. 緒 論

プレス加工や粉末金属の射出成形加工などの型加工は、大量生産に適しているが、転写加工であるため多くの場合金型表面を鏡面にすることが要求されており、そのためには機械加工後の金型表面を磨くことが必要不可欠である。ところが、金型を磨く熟練工が少なくなり、一方ではロボットなどの数値制御が発達してきたため、磨きを自動的に行う方法が開発されてきた。

金型表面の自動磨きとしては、ロボットを用いる方法がすでに研究され、予め幾つかの磨きパターンを用意してプログラムを与える方式(ダイキン工業⁽¹⁾)、ダイレクトティーチング方式(昭和精機工業⁽²⁾)、回転式磨き工具の軸を磨き面の法線方向へ向けて油圧により磨き力を一定に保ちエンコーダで制御しながら自動誘導微いを行わせる方式(クラタ産業⁽³⁾)などが実用化され、さらに6軸力センサーにより磨き面の法線方向検出とフuzzy制御を用いた青山らの磨き工具運動制御方式⁽⁴⁾、CAD

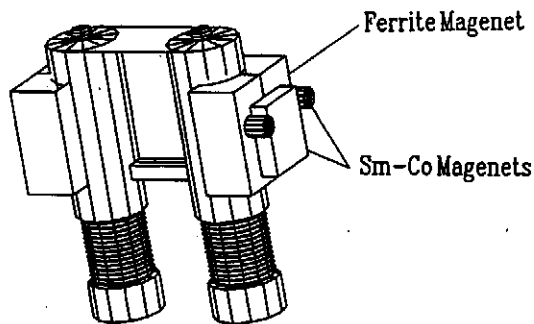
／CAMデータを利用して工具干渉を回避して磨き工具を移動させる岸浪ら⁽⁵⁾や葛ら⁽⁶⁾⁻⁽⁸⁾の方式が研究されてきた。

しかしながら何れの磨き方式でも、2台以上の磨き機械を同時に用いることができないことや、磨かれる形状や磨き経路を予め知った上でないと十分な磨きが行えない等の問題があった。さらにロボットを用いるとその腕や磨き工具が磨き面に干渉して、磨けない場合がしばしば生じた。

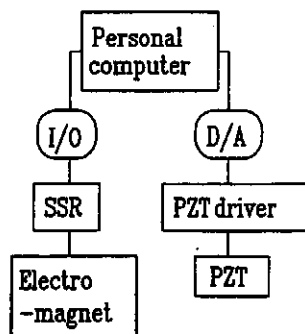
そこで本研究では、金型磨き加工の場合、前加工の機械加工や放電加工で創生された面を基準にして磨いているので、自律式ミニロボットを磨かれる面の上に置き、自走させて金型磨きを行わせる方法について検討を行った。なお、自律式自走、さらに本自律式自走ミニロボットを応用したバリ取りシステムの可能性についても考察した。

2. 自律式ミニロボットの概要

本研究で試作した自律式自走ミニロボットとその電気制御システムの概略を図1に示す。また、実際に試作した自律式自走ミニロボットの写真を図2に示す。自走ミニロボットの2本の足(S45C、直径10mm、長さ40mm)を被磨き面へ吸着させるため、足の側面部分にフェライト永久磁石(20x13x6mm)とソマリウムコバルト永久磁石を貼り付けた。2本の足の吸着力は、 $\phi 0.2\text{mm}$ のエナメル線を3層で120回巻いた電磁石へ負荷する電流により変化させた。2本の足の反対側には、板バネ(30x10x0.1mm)がボルトで取り付け、足の先から22mmの位置には積層圧電アクチュエータ(トーキン製、 $6.1\ \mu\text{m}/100\text{V}$ 、5x5x10mm)を取り付けて、そのアクチュエータへ電圧を印加することにより足の間隔を変動させた。2本の足のそれぞれ



(a) ミニロボット



(b) 駆動回路

図1 自律式自走ミニロボットの概略

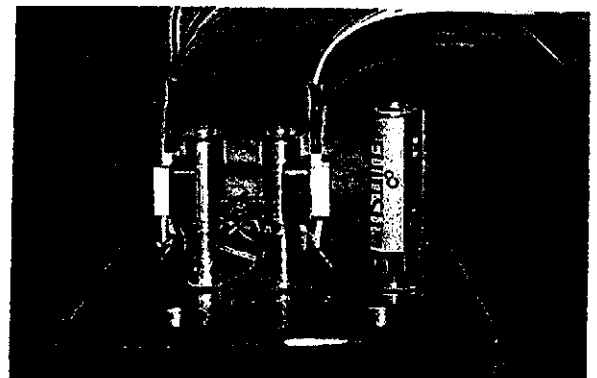


図2 試作したミニロボット

の吸着力及び圧電アクチュエータの伸び量は、パーソナルコンピュータ、DAボード、アンプ、SSR (Solid State Relay, オムロン社製 G3SDZ01P-PD, 動作時間 1ms 以下), ショットキバリダイオードを用いて制御した。

2本の足からなる磨きロボットの足の裏(被磨き面へ接触する部分)には、サンドペーパー(#80,#180,#320,#600,#1000,#1500)やダイヤモンドペースト(#600, 砥粒径 $30\ \mu\text{m}$)を付けてた。磨きは、自律式自走ミニロボットが被磨き面を走り回ることにより行う方法である。上述のような駆動を行うと、ミニロボットはインチワーム運動をするが、2本足では主に直線運動しか行わないことになる。しかし、図3に示すように3本足にすれば方向を自動的に変更できる。すなわち、三輪車のように後ろの2足と前1足との間を前述のような制御をそれぞれ独立に行うと、走行方向を変えることが出来る。また、アクチュエータへ印加する電圧パターンを同じにしても、後輪に相当する2足の一方で磨きが不十分の場合、その足の見掛けの摩擦係数が高くなり、インチワーム運動が小さくなって、磨きが不十分な面の方へ自走ミニロボットが移動していくことになる。その意味で、本研究のミニロボットは自律式自走ミニロボットといえる。

3. 自律式ミニロボットの性能

自走ミニロボット自身の重さは100gであるが、本研究の場合、磁力により被磨き面へのサンドペーパーを押しつけているので、その力は自重以上の値となる。そこで、電磁石へ供給する電流値を変化させたときの磁力による吸着力を測定した。その結果を図4に示す。永久磁石による吸着力は電磁石へ電気を流さなかった0(A)のときで、その内でも2本の足の裏にサンドペーパーを貼り付けない場合が約5Nとなり最も大きな吸着力を示す。しかし、サンドペーパーの番号が小さくなるに従い砥粒径が大きくなり、足裏面と被磨き面間の距離が大きくなって吸着力が低下するものと考えられる。なお、吸着力をさらに増加させるには、足の裏にダイヤモンド砥粒を

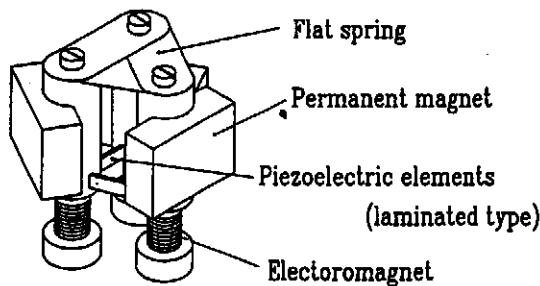


図3 3本足のミニロボット

電着させる方法も考えられる。また、フェライト永久磁石の代わりにソマリウム・コバルト永久磁石を用いれば、大幅に吸着力を大きくできるが、その際には電磁石の巻き数を増加すればさらに強い吸着力がさらに大きくなる。また、電磁石により吸着力を弱めた方の足が磨き面上を滑り、磨く作用を生じることになる。従って、供給する変動電流は小さくし、直流成分の電流を増加させれば良いことが判る。すなわち、供給する電流を0.5~1.0(A)の間で変動させれば、磨き面上を滑るときの押しつけ力が大きくなる。逆に-0.5~-1.0(A)の間で変動させれば、磨き面上を滑るときの押しつけ力が小さくなり1回の磨き量が小さくなり、多少鏡面的な磨き加工を行わせることが出来る。

実際に、#1,500のサンドペーパーやダイヤモンドペーストを足に付けて、被磨き面上を5往復10回ミニロボットを自走させた場合、表面粗さ R_a, R_y が表1に示すように低下した。なお、ミニロボットの足が被磨き面上を滑った状態で被磨き表面を1回通過するときの磨き量が小さいほど、その磨き能率が悪くなるが、逆に鏡面加工にすることが出来る。また磨き効率を改善するには、磨きミニロボットを多数同時に被磨き面上に置けば良いと考えられる。

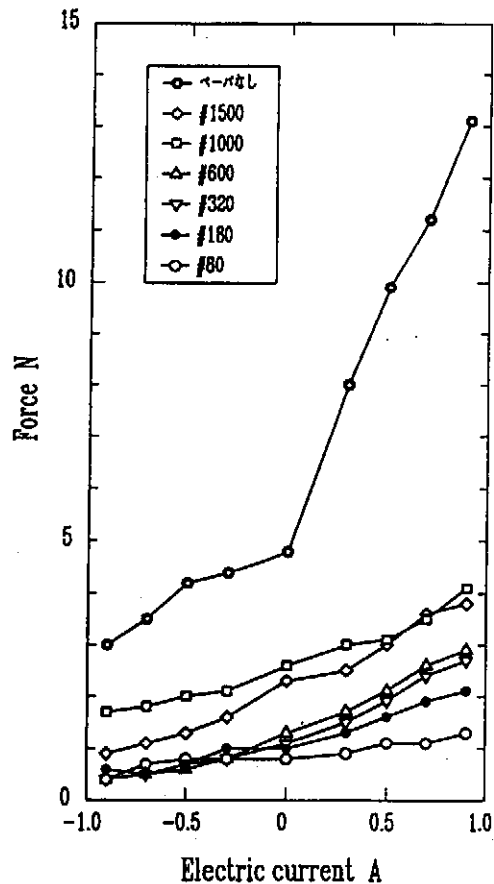


図4 電磁石の電流と吸着力の関係

表1 ミニロボットによる磨き効果

	Ra (μm)	Ry (μm)
Sand paper #1500	0.51 → 0.32	8.82 → 2.96
Diamond paste	0.19 → 0.03	1.58 → 0.51

ミニロボットの移動速度は、積層圧電アクチュエータの伸縮させる周波数と供給電圧及び両足をつないでいる板バネの剛性により変化すると考えられるので、実際に供給電圧を100(V)としてその他のパラメータを変化させて移動速度を測定した。その結果を図5に示す。同図よりアクチュエータの駆動周波数が共振周波数になるまでは移動速度が単調増加するが、100Hz以上になると、アクチュエータの駆動周波数を増加させても移動速度が増加しないことが明らかとなった。なおアクチュエータの振幅が12 μm /100V出ているれば理論上は72mm/minとなるはずであるが、積層アクチュエータに作用する力により逆電力が発生するため、十分な振幅が得られなかったものと考えられる。従って、より高速に移動させるには、共振周波数を上げると同時にアクチュエータの振幅を増やす様な電気回路の工夫が必要であることが必要と思われる。

現状では自走ミニロボットにインチワーム運動を行わせることが出来、かつ磨くことが出来たので、バリのようなエッジ部を磨く場合は、エッジを感知するセンサーをつけて行う必要があるが、本方式を用いれば磨きの場合と同様に同時に多数の箇所でもバリ取り加工を行うことが出来るため、今後の研究に

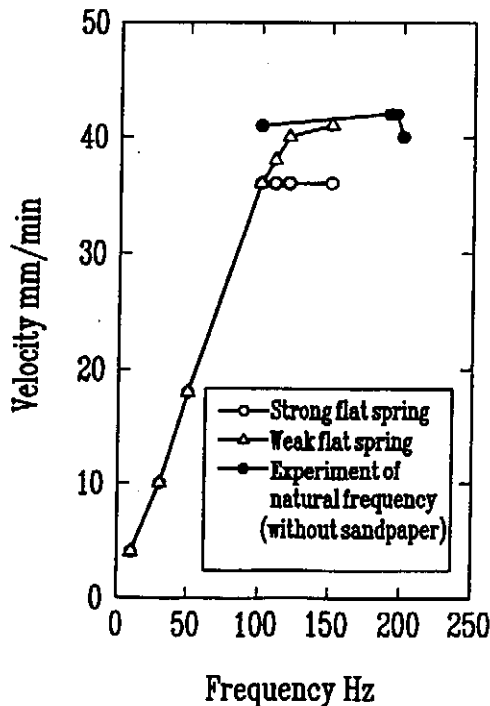
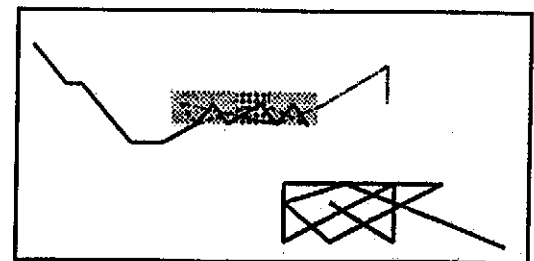


図5 周波数と移動速度の関係

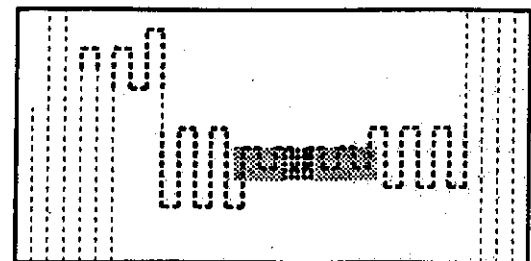
よりバリ取り加工も可能になると考えられる。

4. 自律式ミニロボットの走行パターン

被磨き面を研磨するときには、表面粗さのあらい部分を先に十分研磨し、全体のあらさがほぼ均一になった後はランダムな方向に磨くのが良いとされている。そこで本研究では、ミニロボットの走行パターンについて検討した。図6(a)に示すようにランダム走行させ、被磨き面のあらさが粗くアクチュエータによる足の変位量が減ったときに、すなわちアクチュエータから逆電圧の発生が大きくなったときに、表面あらさが変化したとし、さらにミニロボットを走行させて、逆に表面あらさが小さくなった時点で再び表面あらさが大きくなるまで方向変換を行い、再び表面あらさが小さくなるまで走行させて、表面あらさが粗い部分を集中的に磨く方式が考えられる。しかし、この方法ではランダムに走行させるため、必ずしも表面あらさが粗い部分を効率的に磨くことが出来ない場合もある。そこで、図6(b)に示すようにほぼ規則的にミニロボットを走行させ、表面あらさが大きくなったところで集中的にかつ規則的に磨きく方法が考えられる。すなわち、この方法では、予め前面を走行し、あらさが粗い部分を検出し、あらさが基準以上にあらいと思われる部分だけを同図に示すように磨くことにより、効率的に磨くことが可能となる。なお、細い点線で示したところは、基準あらさ以上であるが、比較的あらさが粗



(a) In random mode



(b) In scheduled mode

図6 自律式ミニロボットの走行パターン

くないところで、磨いていく内にその部分のあらさが小さくなれば、その部分の磨きは省略して、より粗いところだけ磨く方法である。

以上のように本方式では、多数ミニロボットを使用する場合は、ランダム方式を用いれば効率的に磨け、単独で使用する時には一度表面状態を検査の上集中的に粗い部分のみを磨けば良いと思われる。

5. 結 論

本研究では、自律式自走ミニロボットを用いた磨き加工について研究するため、実際にミニロボットを試作した。その結果、ミニロボットの足にサンドペーパーを付け、磁力によりサンドペーパーを被磨き面へ押し付けて、積層圧電アクチュエータでミニロボットを自走させることができた。その結果、被磨き面を磨くことが出来ることも明らかとなった。ただし、本研究で開発した装置が最も良いかについては研究の必要があり、今後の研究によりさらに磨き効率の向上が計れると考えられる。

最後に、貴財団の奨励研究費を頂くことが出来、誠に有り難うございました。本研究の一部は、参考文献(9)に示すような論文として発表させて頂きました。

参考文献

- (1) 沢田祐造, 山下正憲: 中・大物の3次元自由曲面磨き加工, 型技術, Vol.6, No.9,(1991)pp.29.
- (2) 橋本敏男: ロボットによる金型みがき, 型技術, Vol.3, No.7,(1988)pp.198.
- (3) 加藤茂雄: 金型自由曲面自動みがき機, 型技術, Vol.3, No.7,(1988)pp.200.
- (4) 亀崎俊一, 青山藤調郎, 稲崎一郎: 金型自動研磨ロボットシステムの開発(ファジー理論を適用した研磨力の制御), 日本機械学会論文集(C編), Vol.58, No.545, (1991)pp.289.
- (5) 岡崎信一郎, 三好隆志, 他3名: 金型磨き作業自動化に関する研究 - 一定圧制御研磨装置を用いた2次曲面の磨き特性 -, 精密工学会1991年度北海道支部学術講演会論文集, (1991),23.
- (6) 竹内芳美, 浅川直紀, 葛 東方: ロボットによる磨き作業の自動化(第1報、磨きロボットシステムの構成)、日本機械学会論文集(C編)、第58巻545号、P.289-294、1992年
- (7) 葛 東方, 竹内芳美, 浅川直紀: ロボットによる磨き作業の自動化(第2報、干渉回避した磨き経路の自動生成)、日本機械学会論文集(C編)、第59巻561号 P.244-250、1993年
- (8) 葛 東方, 竹内芳美, 浅川直紀: ロボットによる磨き作業の自動化(第3報、L型回転工具による6軸制御磨き)、日本機械学会論文集(C編)、

第60巻571号、P.356-361、1994年

- (8) Ge, D.-F., Takeuchi, Y. and Asakawa, N., 1995, "Dexterous Polishing of Overhanging Sculptured Surfaces with a 6-Axis Control Robot," Proc. IEEE Int. Conf. On Robotics & Automation, pp.2090-2095, May 1995, Nagoya, Japan
- (9) Dongfang GE, Masaomi TSUTSUMI, Masakatu MAJIMA: A new polishing system by multiple mini-robots, 2nd Int. ABTEC. Taiwan,(1995-10)