

ロボットによる力制御のための能動作業台 ～小型部品のバフ研磨作業への応用～

Active Worktable for Force Control of Robot Manipulators ～ Application to buff polishing task of small parts ~

○金田 剛宏（新潟工科大） 植屋 就将（新潟工科大学院） 中嶋 新一（新潟工科大）

Takahiro KANEDA, Narimasa TSUCHIYA, Shin-ichi NAKAJIMA, Niigata Institute of Technology

Key Words: Active worktable, Force control, Stiffness control, Buff finishing

1. はじめに

研磨作業においては作業時の力制御が必要である。しかし、市販の産業用ロボットは位置制御を基本としているため、関節剛性が高く、力制御の適応が難しい。

そこで、市販の位置制御ロボットを用いて磨き作業を行うために、ロボットに順応して動作する能動作業台を開発している^{1) 2)}。具体的には作業台に取り付けた工具とロボット手先に把持した対象物を力制御により協調して動かすことで研磨作業を遂行する。

本研究では、小型部品（スプーン）のバフ研磨作業を想定した実作業実験を行った。この実験では、工具回転数等の作業条件が力制御性能と仕上げ性能に及ぼす影響について調べる。

2. 2自由度能動作業台の構造とその制御

2-1 構造

2自由度能動作業台は、2台のDD（ダイレクトドライブ）モータとパンタグラフ機構を用いて、テーブル並進2軸運動を実現している。Fig.1に試作2自由度能動作業台を示す。Fig.2には、工具接触の状態を示す。

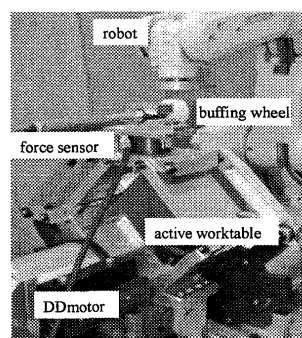


Fig.1 2 D.O.F. active worktable.

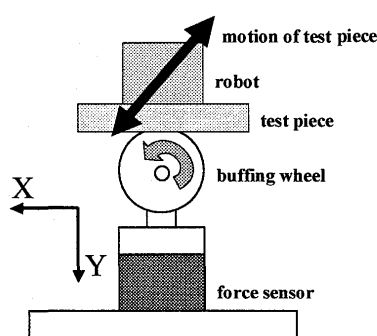


Fig.2 Tool and test piece.

2-2 制御

力制御には、剛性制御と力センサフィードバック制御を適用した。非接触状態から必要な力になるまでは剛性制御を用い、安定な接触状態になったら、Y軸方向のみ力センサフィードバック制御に切り替える。接触時に剛性制御としておくことで、急激な力の変化による不安定な動作を生ずることなく、力センサフィードバック制御に移行できる。

また接触中には、接線方向であるX軸は十分高い剛性にししておくことで、台の動きをY軸方向に拘束することができる。Y軸の力フィードバック制御には、PI（比例積分）制御を適用することで、安定かつ高速な力制御を実現している。

3. バフ研磨作業実験

3-1 実験方法

本研究では、能動作業台を用い、スプーン凸面の研磨仕上げ作業を行うことを目指している。

仕上げ性能は、研磨前後での表面粗さを測定して評価する。研磨前後での粗さの比較を顕著にするために、予め粒度#240の紙ヤスリで磨いておく。この時の表面粗さは、 Ra 約 $0.3 \mu m$ である。また、実際にスプーン凸面の粗さを測定するのは困難である。そのため、ロボットには平板試験片を把持させ、作業台上のバフ研磨工具で磨く。

使用した工具等を以下に示す。

- ・ 試験片：スプーンと同じ材質の SUS304.
- ・ 工具：フェルトバフ（フラップ軸付ホイール・外径 50mm, 幅 25mm）.
- ・ 研磨剤：青棒.

スプーンの研磨作業では、Fig.3のAからBの位置に移動させると、スプーンの曲面による作業台の位置変化が生じる。平板試験片で同様の变化を与えるため、Fig.2のように試験片を斜めに移動させる。

以下、作業条件を変えて、工具押し付け力の変化、力のパワースペクトラム、仕上げ面粗さを測定した。

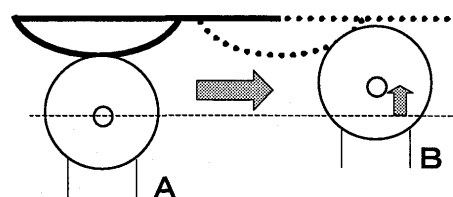


Fig.3 Tool displacement.

3-2 実験結果

(1) 工具回転数の影響

工具回転数は 1000rpm（周速 2.6m/s）～6000rpm（周速 15.7m/s）に変えた。

Fig.4(a)に工具回転数 1000rpm, 押し付け力の目標値 3N, 試験片移動速度 3.0mm/s での実験例を示す。工具偏心に伴う大きな力の変動が生じている。

この力信号を FFT により周波数成分を分析した結果を Fig.5(a)に示す。工具回転による主周波数が突出して見られる。

これに対し、工具回転数を 6000rpm と大きくした時の結果を Fig.4(b)に示す。工具回転に伴う小刻みな力の変動が生じているが変化は小さい。

Fig.5(b)に周波数成分を分析した結果を示す。やはり、

工具回転による主周波数が確認された。

工具回転数を大きくしても、工具偏心に伴う押し付け力の変動は小さくならないと考えられる。しかし実験より得られた結果では、押し付け力の変動は小さくなっている。このことは、バフが柔軟性を持っているので、高速回転時では偏心に伴う変位が吸収されているのではないかと考えられる。

次に、工具回転数と仕上げ面粗さの関係を Fig. 6 にまとめた。図には試験片の移動速度を 5.0mm/s と大きくした場合の結果も示した。研磨前の粗さは、 R_a 約 $0.3\mu\text{m}$ である。工具回転数を大きくした場合には、仕上げ面粗さは小さくなることが確認された。また、試験片の移動速度は大きくしても、ほとんど影響の無いことがわかった。

(2) 接触面積の違いが粗さに与える影響

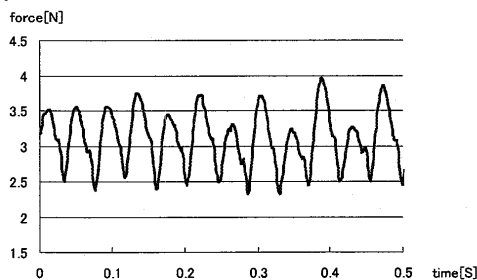
Fig. 7 (a) に示すように、試験片の幅 b を 5, 10, 15, 20mm に変えて実験を行った。工具の変形による接触長さ l_c は 3.5mm である。この実験結果を Fig. 7 (b) に示す。接触面積が大きくなると、仕上げ面粗さも大きくなる。工具回転数は大きい方が、仕上げ面粗さが小さくなる。これは接触面積が大きいのほど顕著に見られる。

4. まとめ

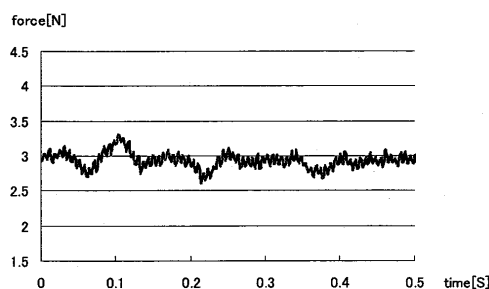
力制御の観点では、作業台が位置変化しても一定の押し付け力となることが望ましい。しかし回転工具による磨き作業に適応した場合、工具回転に起因する力の変動が避けられない。様々に条件を変えて実験を行った結果、このような力の変動があると、仕上げ面粗さも大きくなることが確認された。

参考文献

- 1) S. Nakajima : Development of an Active Worktable and Its Application to Force Control of Robot Manipulators, Journal of Robotics and Mechatronics Vol.12 No.3, pp 249-253, 2000.
- 2) 水野彰, 中嶋新一: ロボットの力制御のための三次元能動作業台～力センサフィードバック制御の適用～, 日本機械学会北信越支部第 4 1 期総会・講演論文集, p p311~312 (2004).

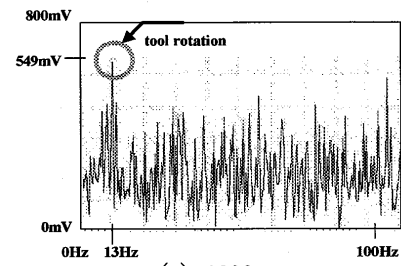


(a) 1000rpm

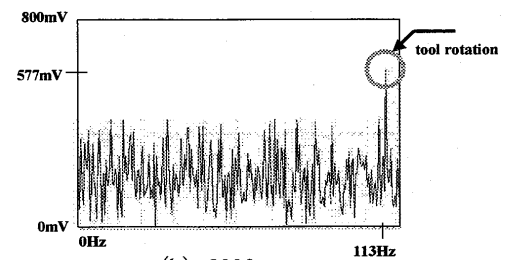


(b) 6000rpm

Fig. 4 Contact force.



(a) 1000rpm



(b) 6000rpm

Fig. 5 Power spectrum.

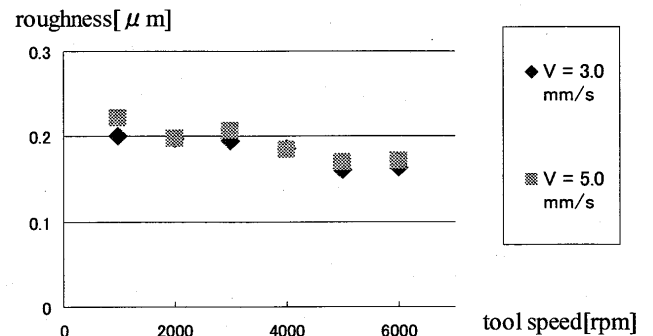
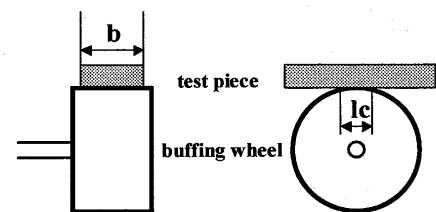
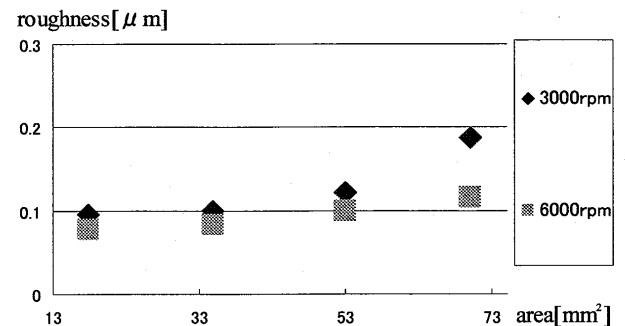


Fig. 6 Influence of the tool speed.



(a) tool contact



(b) roughness

Fig. 7 Influence of the contact area.