The Japan Society of Mechanical Engineers

ロボットによる力制御のための能動作業台—バフ仕上げ作業への応用—

An active worktable for force control of robot manipulators —Application to buff finishing—

正　中嶋 新一（新潟工科大），　○正　白川 正志（㈱白川製作所），　飯塚 勝可（マルイ機工）
Shin-ichi NAKAJIMA, Niigata Institute of Technology, Kashiwazaki, Niigata
Masashi SHIRAKAWA, Shirakawa Seisakusho Co.Ltd.
Katsuyoshi IIZUKA, Marui Kikou

Key Words: Active worktable, Force control, Stiffness control, Parallel links mechanism, Buff finishing

1．まえがき

現状のバフ研磨は，大半が人手による熟練を要する重労働作業であり，しかも粉塵を伴う悪環境の危険な作業でもある。近年，熟練作業者の高齢化が進み，若者の定着も難しく年々人手不足となってきている。さらに人手作業のために，精度および品質のバラツキもある。これらの背景から，今後バフ仕上げ作業ロボットの実用化が必要になると思われる。

バフ研磨のような拘束を受けるロボット作業においては，ロボットを柔軟に動かすことが必要とされ，このための力制御手法が数多く提案されている。しかし，いずれの手法とも必ずしも実用化は進んでいない。この理由として，多くの産業用ロボットが位置制御用に設計されており，力制御を適用するためにはコントローラ改造などの困難を伴うことが挙げられる。

この問題を解決する方法として，筆者らはロボットの動きに順応して対象物の位置を調整する能動作業台を提案している。[1・2]

本研究では，開発した能動作業台と市販のロボットとを組み合わせて，力制御によるバフ仕上げ作業の実験を試みた。

2．能動作業台

能動作業台はFig.1に示すように，ロボットの手先位置，方向に応じて剛性を変える。[1]

開発した能動作業台は，二つのDDモータ（NSK製SSB030）の回転を平行リンク機構によりテーブルの水平，垂直運動に変換する。このDDモータは摩擦が極めて小さいため，剛性制御のみでも精度のよい力制御が可能となる。

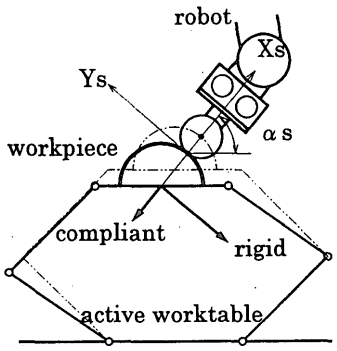


Fig.1 Concept of an active worktable

バフ研磨作業では，バフを一定の力で押し付けながら面に沿って動かす必要がある。この時，接線方向の剛性は十分に大きくし，法線方向には十分な柔軟性を持たせる。その上で，対象物内に目標軌道を設定すれば，押し付け力を必要な値に保ちつつ面に沿って確実に動かすことができる。また，面法線方向の剛性を低くすることで対象物の据え付け誤差を吸収できる。ここでは，能動作業台の柔方向・剛方向を任意に設定できる剛性制御法[3]を適用した。

対象面法線方向をXs，接線方向をYsとする直交座標系を考え，この座標系での剛性をKs=diag(Ksx,Ksy)とする。ダンピングDs=disg(Dsx,Dsy)を加えたスティフネス

$$F^s = K_s X_e^s + D_s \dot{X}_e^s \quad \cdots\cdots\cdots (1)$$

を実現するためには，二つのモータトルクを以下のように与えればよい。

$$T = J^T (RK_s R^T X_e + RD_s R^T \dot{X}_e) \cdots\cdots\cdots (2)$$

$$R = \begin{bmatrix} \cos\alpha s & -\sin\alpha s \\ \sin\alpha s & \cos\alpha s \end{bmatrix} \cdots\cdots\cdots (3)$$

ここで，Jはリンク機構のヤコビ行列である。X_eは基準座標系でのテーブル位置偏差，Rは面法線方向角αsにより決まる回転変換行列である。本システムではこの角度はロボット手先に取付けた姿勢センサにより得ている。これにより，曲面対象物でも，手先が面法線方向を向くように教示しておけば，自動的に柔方向をバフの押しつけ方向に保つことができる。

3．実験装置および実験

Fig.2に実験装置を示す。

作業用のロボットとしては6軸ロボットアーム（MOTOMAN K3）を用いた。ロボットの手先には6軸力覚センサと姿勢センサが取付けられている。

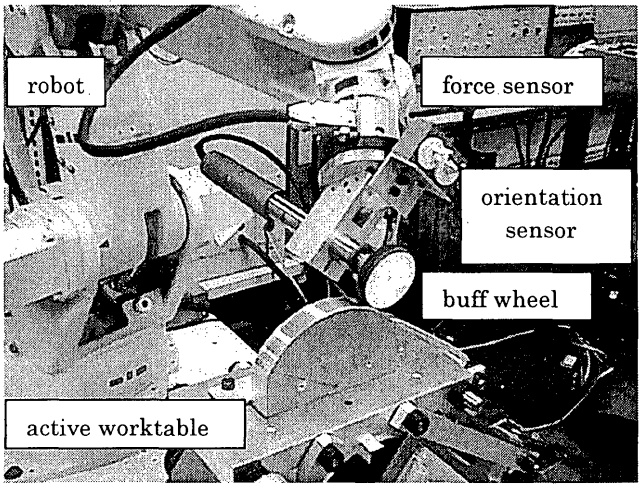


Fig.2 Experimental setup

NII-Electronic Library Service

バフには不織布表面処理材（３M製スコッチブライトユニホイール，形状：φ70X19，砥粒：シリコンカーバイド）を用いて，アルミ板（A5052）平面のバフ研磨実験を行った。

バフの初期押し付け力は10N，周速は1100m/minとし，送り速度2.5mm/sのダウンカットとしている。

Fig.3に押し付け力の時間変化を示した。(a)が押し付け方向の剛性を高くした場合，(b)が押し付け方向に十分な柔軟性を与えた場合の結果である。これを比較すると，ともに工具の偏心による振動が見られるが，面法線方向の剛性を低くすることで変動は緩和されている。また，対象物の据え付け誤差による押しつけ力の変化も小さくなっている。

荒い紙ヤスリで磨いた面に対してバフ研磨仕上げを行った場合の面粗さの測定結果をFig.4に示す。測定距離4mmにおけるRa（中心線平均粗さ）は，バフ研磨前では1.7μm，バフ研磨後では0.22μmとなっており，良好な仕上げ面が得られている。

4．まとめ

以上，市販のロボットと能動作業台を組み合わせて力制御作業を行う方法を示した。また，実際にバフ研磨作業実験を行い，提案する方式が実作業に十分適用可能なことを示した。

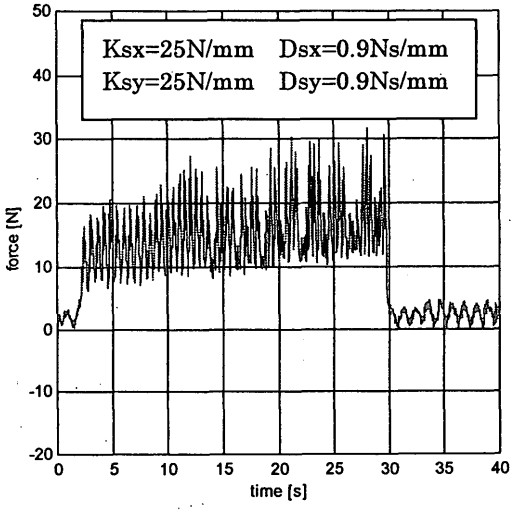
本システムは，市販のロボットを改造することなく用いることが特長であり，バフ仕上げ等の力制御作業をロボット化するうえで有効な方法である。

文献

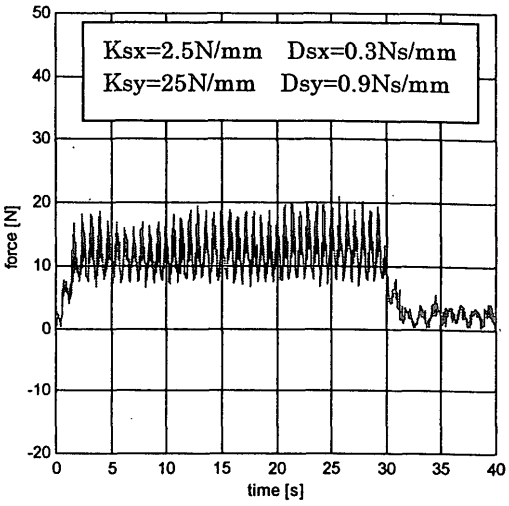
1) S. Nakajima : Development of an Active Worktable for Force Control of Robot Manipulators, Proc. of the 2nd ICRAM, pp430-434（1999）

2) 中嶋新一，白川正志，飯塚勝可：能動作業台を用いたロボットマニピュレータの力制御，第17回日本ロボット学会学術講演会予稿集，2，pp567-568（1999）

3) J. K. Salisbury : Active Stiffness Control of Manipulator in Cartesian Coordinates, Proc. of the 19th IEEE Conference on Decision and Control, pp95-100（1980）

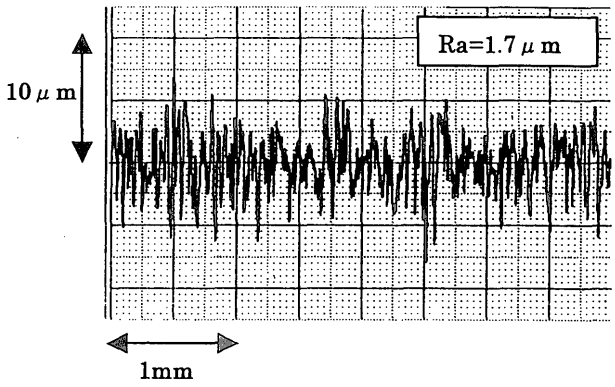


(a) rigid

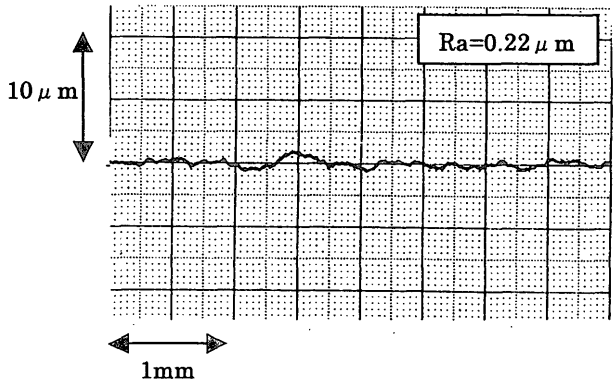


(b) compliant

Fig.3 Contact force during the buff finishing



(a) before buff finishing



(b) after buff finishing

Fig.4 Roughness of finished surface

NII-Electronic Library Service