

二重シェル構造による手づたえ教示方式

Development of Hand-Guiding Instruction Using Robot with Dual-Shell Structure

札幌 勇大*
Yudai Fudaba

津坂 優子*
Yuko Tsusaka

微小な手ごたえを感じながら簡単に人の動作や技能の教示が可能な手づたえ教示方式を開発した。人の把持部とロボットアームを分離した二重シェル構造による手づたえ教示により、従来は人が行っていた複雑で多彩な作業を専門的な知識がなくてもロボットに移植することができるようになる。

Hand-Guiding Instruction has good operability which enables operators to operate robots while feeling the reactive force by their hands. As a result, the complicated and variegated work which people have been doing conventionally can be transplanted to a robot, even without special knowledge.

1. ロボットの教示方式

現在稼動している産業用ロボットは、ロボット向けに整備された環境で動作しているため、人が行っている複雑で多彩な作業をロボットに教示して動作させることが難しい。そこで、ロボットの専門知識がなくてもロボットの動作を教示可能な教示方式の確立が必要である。

直感的な操作により教示可能な方式として、直接教示方式が提案されている[1]。この方式は、人がロボットを直接把持して操作するため、ロボットの知識がなくても人が動かしたい通りにロボットを移動させることで簡単に教示ができる。しかし、ロボットが重いと操作性が悪く、さらに、部品の組立作業のように部品が接触する時の微小な反力を人が感じて操作することが難しい。直感的な操作ができて、現実的には、部品の組立作業の教示を行うことができない。

以上の課題を解決するために、人が反力を感じながら操作可能な直接教示方式により、複雑で多彩な職人技を教示する方式を「手づたえ教示」と名付け、本稿では手づたえ教示の操作性を改善するための二重シェル構造について説明する。

2. 二重シェル構造の原理

二重シェル構造は人の把持部とロボットアームとが分離した構造であり、人は把持部のみを持って操作することで、ロボットアームの重さに関係なく、軽く操作ができる。さらに人の把持部の動きに追従してロボットア

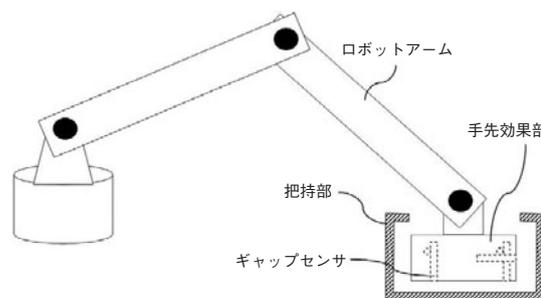
ームが移動する追従制御により、ロボットアームの可動範囲内の操作ができ、手づたえ教示が可能となる。

2.1節に二重シェル構造の構成について、2.2節に追従制御について説明する。

2.1 構成

二重シェル構造の構成を、第1図に示す。二重シェル構造は手先効果部と把持部から構成される。手先効果部はロボットアームの手先に取り付けられ、6本のギャップセンサが内蔵される。また、把持部は手先効果部を覆うように構成される。手先効果部と把持部の間は、バネなどでつながっている構成ではなく、把持部を人の手で支えることで、第1図に示すように、把持部が手先効果部に対して接触しないよう浮かんでいる状態で操作する。次に、二重シェル構造の詳細な構成について、第2図を用いて説明する。なお、第1図の二重シェル構造は、第2図(B)と同じである。

第2図(A)は二重シェル構造を上から見た平面図、第2図(B)は第2図(A)中のA'の方向から見たA-A線

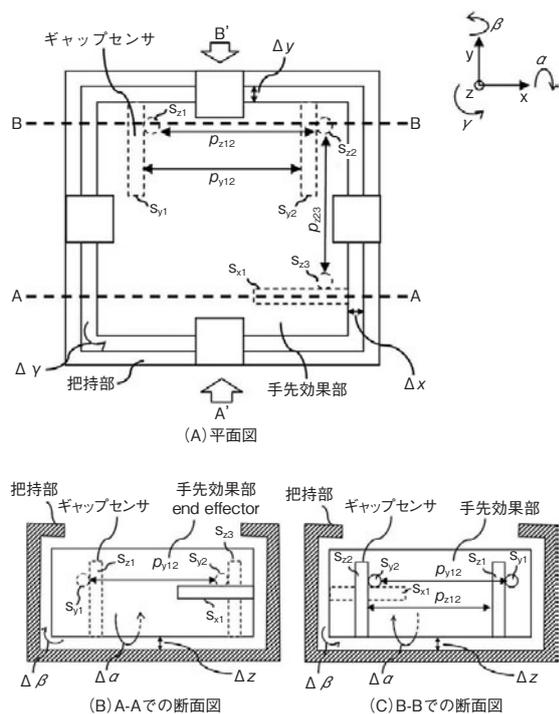


第1図 ロボット二重シェル構造の構成

Fig. 1 Robot dual shell structure

* R&D本部 先端技術研究所

Advanced Technology Research Labs., R&D Div.



第2図 二重シェルの詳細な構造
Fig. 2 Plan and cross-section view of robot dual shell

の断面図，第2図 (C) は第2図 (A) 中のB'の方向から見たB-B線の断面図である。平面が正方形の直方体状の手先効果部と，四角形の箱体状の把持部と，ギャップセンサから構成され，第2図 (A) の表面にロボットアームの手先が連結される。各軸 (x ~ γ) は，第2図 (A) の右上に示すように定義する。また，各空間 (幅Δx ~ Δγ) について，第2図 (A) ~ (C) に示すように，手先効果部と把持部間の空間を定義する。α, β, γはそれぞれx軸, y軸, z軸周りの回転を表す。6本のギャップセンサは，手先効果部に対する把持部の相対位置Δrを検出するセンサである。6本のギャップセンサs_{x1}, s_{y1}, s_{y2}, s_{z1}, s_{z2}, s_{z3}は，第2図 (A) ~ (C) に示すように配置し，x, y, zのそれぞれの軸の手先効果部と把持部との相対位置を測定する。ギャップセンサs_{x1}, s_{y1}, s_{y2}, s_{z1}, s_{z2}, s_{z3}のそれぞれの計測値をx₁, y₁, y₂, z₁, z₂, z₃とすると，手先効果部に対する把持部の相対位置Δrは(1)式で表わされる。ただし，p_{y12}はギャップセンサs_{y1}-s_{y2}間，p_{z12}はs_{z1}-s_{z2}間，p_{z23}はs_{z2}-s_{z3}間の間隔を示す。

ロボットアームと把持部が分離した構造とし，人がロボットアームを操作する際は，軽量の把持部のみを操作するため，ロボットアームの慣性の影響を排除することができ，操作性が向上する。

$$\Delta r = \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \\ \Delta \alpha \\ \Delta \beta \\ \Delta \gamma \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/2 & 1/2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/3 & 1/3 & 1/3 \\ 0 & 0 & 0 & 1/2 p_{z23} & 1/2 p_{z23} & -1/p_{z23} \\ 0 & 0 & 0 & 1/p_{z12} & -1/2 p_{z12} & -1/2 p_{z12} \\ 0 & 1/p_{y12} & -1/p_{y12} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ y_2 \\ z_1 \\ z_2 \\ z_3 \end{bmatrix} \quad (1)$$

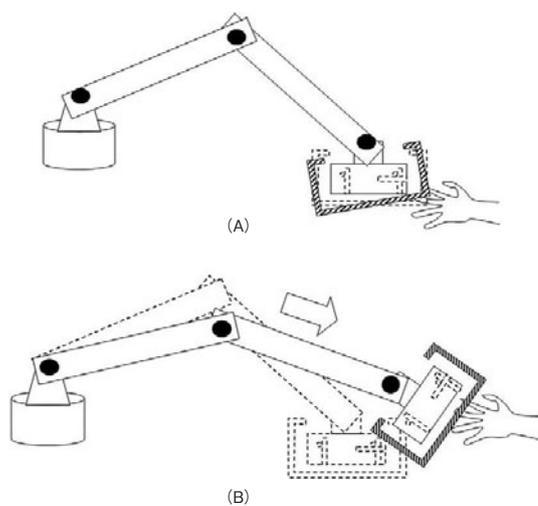
2.2 追従制御

人の操作に応じてロボットアームが追従する制御方式について，第3図を用いて説明する。第3図 (A) は，人が把持部を把持しており，手先効果部に対して把持部を中立状態 (Δr=0) から移動させた時点を示す。ロボットアームの位置，姿勢に関する現在値をr₀とすると，ロボットアームの位置，姿勢に関する目標値r₁は次式で表わされる。

$$r_1 = r_0 + \Delta r \quad \dots \dots \dots (2)$$

つまり，手先効果部に対する把持部の相対位置Δrだけロボットアームが移動し，中立状態 (Δrが0の状態) を保持するように移動する。第3図 (B) は，導出した目標値に対してロボットアームが移動している状態であり，人の手が把持部を動かす動きに追従している。ロボットアームは手先効果部を中立状態に移動させるように動くことによって，追従制御を実現している。

以上により，人が操作する把持部の動きに追従してロボットアームが移動するので，ロボットアームが本来有する可動範囲内で把持部を操作することができる。

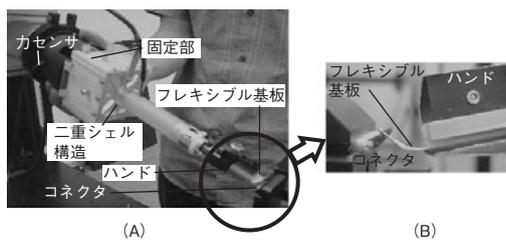


第3図 ロボットアームの追従制御
Fig. 3 Tracking control of robot arm

3. 実作業への適応

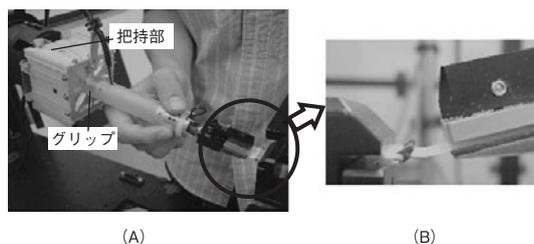
本章では、柔軟微細な作業として家電機器で多く使用されているフレキシブル基板挿入作業を例に二重シェル構造の有効性を検証する。第4図(A)に示すようにロボットの手に力センサと二重シェル構造を配置した。従来法の場合は、第4図(A)に示すように、力センサ部分を人が把持して人が加えた力によりロボットを動作させるダンピング制御を用いた直接教示法により教示する。その際には、二重シェル構造の把持部と手先効果部は固定部で固定しておく。提案手法では、第5図(A)に示すように、把持部の先に配置したグリップを把持して教示を行う。各方式によるフレキシブル基板の挿入作業の教示結果を第4図(B)、第5図(B)、第6図に示す。従来法では、スムーズに操作ができないために、第4図(B)に示すようにフレキシブル基板の先端がコネクタと接触し折れ曲がってうまく教示ができない。提案手法では、フレキシブル基板がコネクタに接触する力を感じながら軽く操作ができるため、第5図(B)に示すように、フレキシブル基板をコネクタに挿入することができた。

さらに、第6図(A)(B)は、従来法および提案手法で教示した際のフレキシブル基盤挿入方向のロボットアームの手先位置と力の時系列データを示す。従来法ではロボットアームの慣性の影響でスムーズに操作ができず、さらに基板がコネクタに接触する際の力を感じることができないため、第6図の点線で囲んだa、b箇所に示



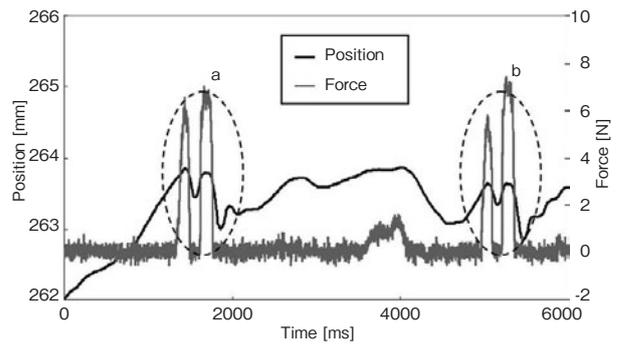
第4図 従来法での教示作業

Fig. 4 Teaching task using conventional method

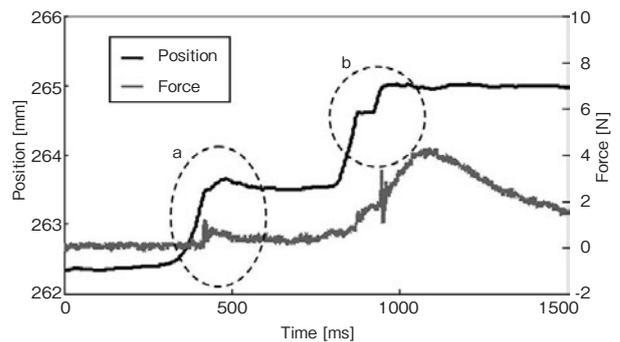


第5図 提案手法での教示作業

Fig. 5 Teaching task using proposed method



(A) 従来法



(B) 提案手法

第6図 教示データ

Fig. 6 Teaching data

すように、力と位置が大きく変動する。提案手法では、第6図(B)のa、b箇所に示すよう、徐々に力が加わりながら位置が移動していることがわかる。

以上により、ロボットアームと把持部が分離した二重シェル構造により、フレキシブル基板がコネクタに接触する力を感じながら、従来法では教示が難しい作業について、簡単に教示可能な手づたえ教示を実現できた。

4. 今後の展望

本稿では、二重シェル構造を用いた操作性の良い手づたえ教示方式について説明した。今後は、教示データとして取得した力情報と位置情報の関係性から、人の技能の状態分類および各状態の制御則を自動生成するような職人技の自動習得の方式検討、さらに、フレキシブル基板の挿入作業などの生産現場への適用に加え、リハビリ、手術などの福祉・医療分野への適応も検討していく予定である。

参考文献

- [1] 酒井勝, “ロボットの直接教示,” 日本ロボット学会誌, vol.13, no.5, pp.627-628, 1995.