

# つまみ滑り動作による布地の展開における縁の影響

太田 剛士, 柴田 瑞穂, 平井 慎一 (立命館大学)

## Influence of Fabric's Hem during Dynamic Unfolding by Pinching Slip Motion

Tsuyoshi OTA, Mizuho SHIBATA, and Shinichi HIRAI (Ritsumeikan Univ.)

**Abstract:** The paper presents dynamic unfolding of fabrics by pinching slip motion. By keeping the textile in contact with robot fingertips, the dynamic unfolding is done successfully in horizontal direction. The success rate depends on fingertips shape. Here, we propose the new method of pinching slip motion, it does not give the influence of the fabric's obverse/reverse. In addition, we measured contact areas between fingertips and the fabric during pinching slip motion.

### 1 緒言

布地ハンドリングの多くはヒトに頼らざるを得ず、自動化されていない現状にある。これは従来のロボットが主に剛体を対象にしており、布地のような大変形を伴う柔軟物ハンドリングを想定していないからである。薄い柔軟物として、布地は変形に対する力の応答が非線形であり、ヒステリシスを示し、異方性を有する。これらの特性が、布地ハンドリングの困難さを引き起こしており、布地製品そのものをハンドリングする技術は確立されていない。

本研究では、ロボットアームとグリップ型のロボットハンドにより、布地の基本的な動作である把持、展開、定置動作を実現した。把持動作について、把持するために布地の特性である残留変位を利用することで把持部を作成した [1]。ここでは座屈荷重の理論より、力のつりあいのために必要な接触部の長さを算出し実験により検討した。この方策により、単腕ロボットによる布地の把持動作を実現した。また展開動作について、ヒトの展開動作を模倣したつまみ滑り動作を実装した [2]。把持力を適切に設定することにより展開動作が安定に行えること、指先形状において成功率に差異が生じることを実験的に示した。定置動作について、布地の定置時における振る舞いを状態遷移グラフを用いることで表現し、定置において適切な手先速度と軌道を実験的に求めた [3]。状態遷移については高速カメラによる評価を行った。この手法により、布地の初期形状によらず安定に定置することができる。これらの布地の基本動作技術を統合することで、一連の流れとして布地を把持、展開、定置する機械システムを実現した [4]。単腕 2 指 2 自由度ハンドを有する機械システムにより、布地の整列動作を実現した。さらに、布地を微分幾何標記によって表現された柔軟な線状物体と置くことで、布地のハンドリングタスクを定義した。つまみ滑り動作では、木綿のハンカチを Fig.1 に示すように、布縁に対してヘム加工が施されている布地を使用する。ヘム加工とは、糸のほつれを防止するために、布端を折り込んだ後、縫いつける加工である。ハンカチ、タオル、衣類など布地製品の端加工として一般的なものである。このヘムを利用して展開動作を行う。指先にかかる圧力分布を推定するために、布地とロボットハンドの指先の関係を、二次元流体と障害物との関係と見なすことでシミュレーションを行った [5]。

本報告ではさらにつまみ滑りにおける布地のヘムと指先の接触について実験的に評価する。把持面を垂直方向にすることで、布地の表裏の影響を無くし、柔軟物ハンドリングにおいてなぜ指先形状が展開動作に影響を与えるのかを説明することを試みる。

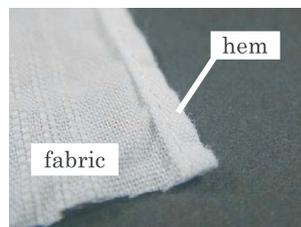


Fig.1 Fabric hem

### 2 布地の展開実験

#### 2.1 布地の表裏によらない展開動作

Fig.2 に、つまみ滑りによる布地の展開方法を示す。Fig.2-(a) は X 軸方向から、Fig.2-(b) は Y 軸上向きから、Fig.2-(c) は斜め方向から見た図であり、座標系も図に準じる。つまみ滑り動作とは、布地の縁を利用した展開動作であり、布地を落とさず、指先を滑らせる動作である [2]。指先と布地が接触しながら相対的に運動する動作を、動的な動作と定義する。ハンドによって布地を把持し、指先幅を固定した状態で、指先を水平方向に滑らせる。このとき、布地は重力の影響を受け、Fig.2-(a) のように固定部を中心に回転し、Z 軸方向に滑る。すると、指先はおのずと縁方向に移動し、布地から抜けるように動作してしまう。これは指先を支点に布地の自重が回転力として働くためである。しかしながら、適切な速度、把持力と指先形状であれば、指先が縁を越えることなく、指先が縁に沿うことで、布地を落下させずに展開することができる。従来は Fig.3 に示すようにハンドによって布地を面で把持し、その把持面を床面と平行に設定していた。そのため布地の表裏を場合分けする必要がある。そしてこの方策では布地の表裏によって、展開動作に差異が生じるため、本報告では把持面を床面と垂直に設定する。これにより布地の表裏によらずに展開動作ができる。

#### 2.2 実験条件

つまみ滑りによる展開作業において、(1) ロボットハンドの指先形状、(2) ロボットアームの手先速度、(3) ロボットハンドの把持力が実験条件として挙げられる。指先形状については、Fig.4 に示すアクリルの指先を使用する。布地と接触する形状は、(a) 半径 15 mm の円形と (b) 半径 15 mm の半円と 15 mm × 30 mm の四角を組み合わせた形状である。2 種類の指先をハンドの進行方向に対して固定することで、縁との接触状態を決定している。ロボットアームの手先速度は  $V = 9.947$  mm/s とした。また把持力につい

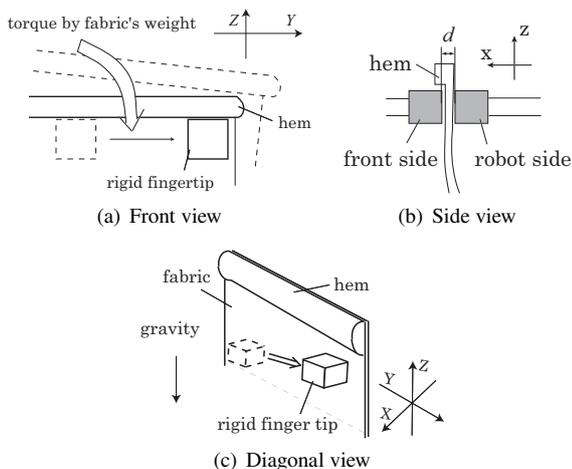


Fig.2 New method of pinching slip motion

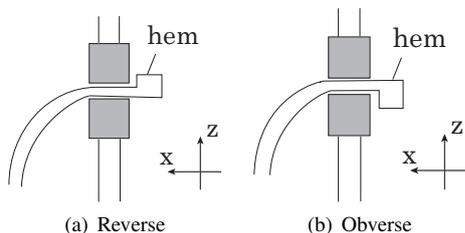


Fig.3 Earlier methods from side view

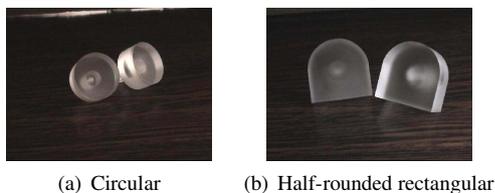


Fig.4 Robot fingertips

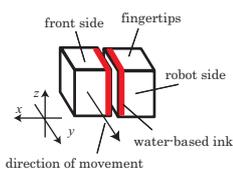


Fig.5 Fingertip with water-soluble ink

では, Fig.2-(b) に示すように, 指先の幅を  $d = 0.45 \text{ mm}$  から  $0.70 \text{ mm}$  に  $0.05 \text{ mm}$  刻みに変化させることで検討する.

布地とロボットハンドの接触長さを考察するために Fig.5 に示すように, ロボットハンドの指先に水溶性のインクを塗布した状態でつまみ滑り動作による展開を行う. このとき, 布地と指先の接触力によってインクが擦れ落ちた部分から接触面の位置と幅を推定するが, この方策の場合, ある程度接触力がなければインクが擦れ落ちないということが考えられる. つまり, つまみ滑り動作による展開時に, 指先と布地の接触に支配的な力を知ることができる.

本実験で使用した木綿のハンカチを Fig.1 に示す. Table 1 において, 布地の物理特性を示す. 測定方法は Kawabata's

Table 1 Physical properties of cotton

Size [mm]	450x430
Weight [g]	19.49
Friction coefficient *	0.22
Flexural rigidity [gf-cm] *	0.043
Thickness [mm] *	0.61
Thickness of hem [mm]	0.91

\* measured by KES

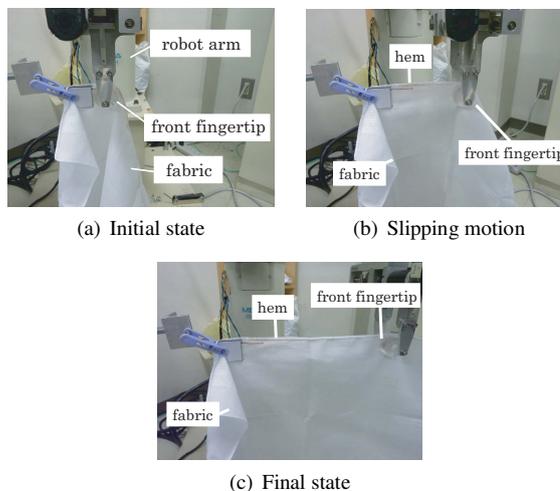


Fig.6 Experimental motion

Table 2 Experimental results of pinching slip motion

$d$ [mm]			
0.45	○	○	○
0.50	○	○	○
0.55	○	○	○
0.60	○	○	○
0.65	○	○	△
0.70	○	○	△

Evaluation System for fabric (KES) [6] を用いた. 展開動作時にセンサを用いて, 指先の幅  $d$  や, 布地形状を測定することはしない. 展開動作の成否は, ハンドを移動させたときに, 布地を把持しているか, また縁と把持点との距離がゼロになる, つまり指先が布地の縁に沿う位置に移動できているかで判定する.

### 2.3 実験結果

前節の実験条件より, 布地の展開実験を行った. 実験の状況を Fig.6 に, 成否を Table 2 に示す. 第一列目の図は, 指先形状と, 指先の進む方向に対して接触する縁を表している. 指先形状の横の線は, 布地の縁であり, 指先の上付近で接触することを表している. 実験はそれぞれ 5 回ずつ行い, すべて成功した場合に ○, すべて失敗した場合は ×,

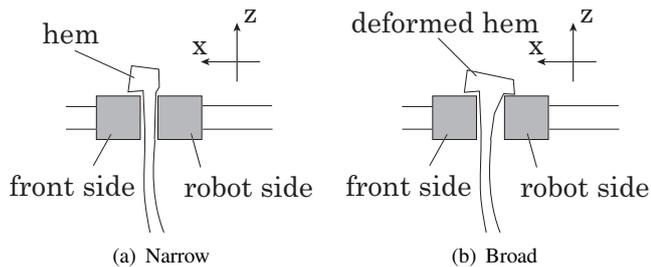


Fig.7 Contact between fingertips and hem

両方起こった場合は としている。実験の結果、円形状、円弧形状の指先の場合、指先幅  $d$  を幅広く設定しても展開動作は成功することがわかる。文献 [2] と比較しても、成功率は上昇している。ロボット側のハンドは指先幅  $d$  を幅広く設定するにしたがって、接触長さが長くなることがわかった。指先幅にかかわらず、手前側の指先に関しては、接触長さがロボット側の指先のの接触長さに比べて一定であった。Fig.7-(a) は指先幅が狭く、布地の縁が変形していない状態を、Fig.7-(b) は指先幅が広く、布地の縁が変形した状態を示す。指先幅にかかわらず手前側の指先は強く織り込まれた縁に接触するのに対して、ロボット側の指先は、把持力の変化によって引き起こされる縁の変形により、指先幅が狭くなるにしたがって接触長さが短くなることが示唆される。また、 $d = 0.45 \text{ mm}$  のように把持力を大きくすることができれば、どのような指先でも概ね成功するという結果が得られた。Table 2 の結果より、展開作業を行う場合、適切な指先形状、把持力を選択できれば、センサレスで、布地のばらつきによらず、展開することが可能であることが示唆される。

### 3 結言

本報告では布地を扱う動作の一つである、展開動作において、つまみ滑りという方策を実装し、布地の表裏を考慮しないで、ロボットの指先形状、把持力について実験を行った。その結果、指先形状によって成功率に差異があること、把持力の大きさによって、布地のばらつきを抑えつつ、展開作業ができるという結果が得られた。さらに布地と指先の接触長さを知るために、指先に水溶性のインクを塗布した状態で、つまみ滑り動作を行った。擦れ落ちた部分から、布地と指先の接触長さを計測した。実験結果が改善されたことにより、布地の縁との接触が成否に影響を及ぼし、本報告での方策の方がよりつまみ滑り動作においては有効であることがわかった。実験の応用として、物理特性や形状の異なる布地を展開することなどが挙げられる。

### 参考文献

- [1] 柴田, 太田, 遠藤, 平井: "単腕ロボットによる残留変形を利用した布地の把持動作", 第 8 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会論文集, 2007.
- [2] 太田, 柴田, 遠藤, 平井: "つまみ滑り動作による縁あり布地の動的な展開", 第 20 回ロボティクス・メカトロニクス講演会論文集, 2008.
- [3] 柴田, 太田, 遠藤, 平井: "布地の動的な定置動作における状態遷移グラフ", 第 25 回日本ロボット学会講演集, 2007.

- [4] 柴田, 太田, 遠藤, 平井: "布地の把持・展開・定置を実現する機械システム", 第 20 回ロボティクス・メカトロニクス講演会論文集, 2008.
- [5] 太田, 柴田, 平井: "動的な布地の展開における指先にかかる圧力分布の推定", 第 9 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会論文集, 2008.
- [6] 川端季雄: "風合い評価の標準化と解析 第 2 版", 日本繊維機械学会, 1980.