

ロボットと道具の協調による衣類の折り畳みシステム*

大澤 文明** 関 啓 明*** 神 谷 好 承***

Folding System for the Clothes by a Robot and Tools

Fumiaki OSAWA, Hiroaki SEKI and Yoshitsugu KAMIYA

The works of a home robot has the laundering. The purpose of this study is to find a means of folding of the clothes and store the clothes in a drawer by a home robot. Because the shape of cloth tends to change in various ways depending on the situation, it is difficult for robot hands to fold the clothes. In this paper, we propose a realistic folding system for the clothes by a robot and tools. The function of a tool is folding the clothes in half by inserting the clothes using two plates. This system can fold the clothes in a target position by a robot positions the clothes on the tool's table. A robot is not required complicated manipulation and it is possible that reliable fold various kinds of clothes. Then the clothes folded by this system has a thin fold, and don't has wrinkles. We studied the velocity of the rotating plate of a tool for folding in a target position. The effectiveness of the propose system is shown through experimental results.

Key words: home robot, folding system, clothes, a robot using tools, manipulation, positioning

1. 緒 言

少子高齢社会の進展にともない、深刻な介護者不足による介護者の多大な労働負担や要介護高齢者の一人暮らしが問題とされている。たとえば、高齢者を介護している家庭では、家族の一人が介護作業を任せられ、加えて炊事や洗濯、掃除などの家事作業もしなければならぬ場合が多い。また、一人暮らしの高齢者にとって家事作業は大きな負担であり、ましてや、介助を必要とする場合には、ホームヘルパーの手助けなくして生活できない。このような背景から、介護者および一人暮らしの高齢者の労働負担を軽減するための家庭用ロボットや福祉ロボットの開発が強く望まれている。

福祉ロボットとしては、食事支援ロボットや車椅子搭載型の汎用マニピュレータなどが市販されているが、安全性や操作性などで問題も多く、広く普及するに至っていない^{1)~3)}。また、歩行支援ロボットや抱き上げ支援ロボット等の研究も行われているが、技術面や安全面において困難な点が多い。家庭用ロボットとしては、自立移動型の掃除ロボットが市販されているが、狭い所や段差のある場所での掃除や文具・本などを片付けながら掃除することができないなど課題もある。配膳や食事の後片付け作業および洗濯物の後片付け作業などの自動化も研究されているが、実用化の段階には至っていない。

本研究では、家庭内作業のうち、衣類の後片付けに着目し、衣類を折り畳み収納するシステムの構築を目指している。図1にその作業を示す。このような作業を行うための要素研究には、以下のようなものがある。たとえば、布地を把持するためのロボットハンドは、これまでにいくつか報告されている⁴⁾。また、特殊ハンドを用いてテーブル上に平たく置かれている布地を持ち上げる研究^{5)~7)}や折れ曲がった布地の平面展開作業を目指した布地の折れ重なり箇所の検出・展開法などの研究が行われている⁸⁾。濱島らは、洗濯物の後片付け作業を目指して山積み洗濯物から一枚分離作業を実現した¹⁰⁾。さらに、吊り下げた洗濯

物の形状から衣類の種類（長袖シャツ、長ズボン、浴用タオル）を判別した¹¹⁾。

一方、衣類の折り畳みについては、これまでに、ロボットのみを用いた作業計画に関する提案はあるが現実的なシステムを実現した研究はない。また、産業用としては、半袖シャツなどの特定の衣類にのみ対応した折り畳み専用機は存在する。しかしながら、家庭内の衣類を扱うには、1台でさまざまな種類の衣類に対応し、かつ折り畳む位置や手順なども柔軟に変更できることが望まれる。さらに、これまでの折り畳み専用機では、人間が衣類を装置にセットしなければならない。

そこで、本論文では、ロボットと道具が協調して各種衣類を自動で折り畳む現実的なシステムを提案する。本システムは、人が道具を使い作業を容易かつ効率よく行うことにヒントを得たものであり、ロボットだけでは、困難な作業も道具を使うことにより簡単に実現可能になることを利用している¹²⁾。ロボットが使用する道具は、板で衣類を折り曲げて二つ折りにする機能を有する。ロボットは、その道具の上で衣類を位置決め操作するだけで衣類を目標の位置で確実に折り畳むことができる。

2. ロボットアームによる衣類の折り畳みの問題点

折り畳み作業の要求精度は、折り畳んだときの衣類の端が揃っていることが重要であり、折り目位置のずれが10mm以内である必要がある。

そのため、ロボットアームだけで衣類の折り畳み作業を実現することを考えると、いくつかの技術的な課題が挙げられる。

たとえば、図2に示すように布地を二つ折りにした後にさらに

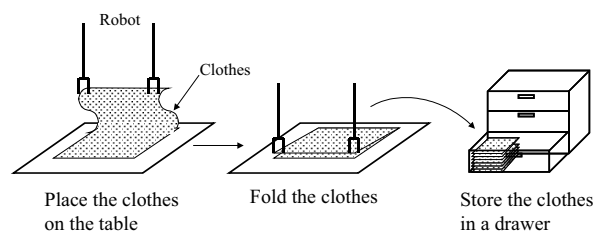


Fig.1 The process of folding the clothes by a home robot

* 原稿受付 平成 15 年 11 月 25 日

** 学生会員 金沢大学大学院 (金沢市小立野 2-40-20)

*** 正 会 員 金沢大学工学部 (金沢市小立野 2-40-20)

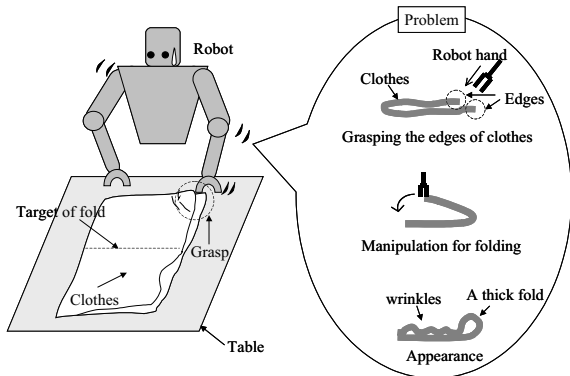


Fig.2 Problem of the folding the clothes by a robot

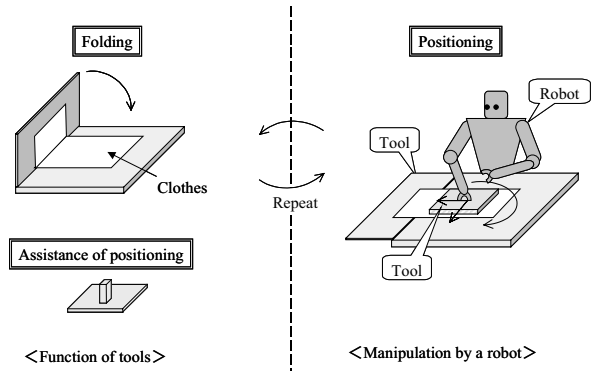


Fig.3 The concept of folding system

二つ折りする場合を想定する。このとき、ロボットハンドを用いて二枚以上の重なり合った衣類の端を同時に掴み上げる操作が必要になるが容易ではない。衣類の端がずれて重なる場合は、さらに困難である。また、衣類を二つに折るために、ロボットハンドで衣類の端を2箇所把持し折り曲げていくと、布地が弛んでしわが生じたり、布地がテーブルの上を滑ったり、折り目が膨らむなどして目標の位置で綺麗に折り畳むのは難しい。ましてや、布地の特性（柔らかさ、摩擦）や状態（しわ癖、縫い目）などの影響を考慮すると、折り畳みのための操作はさらに複雑になる。折り畳みのための把持位置の検出、生じたしわを認識してしわを除去する操作も困難である。

以上の点からロボットアームだけで直接衣類を操作して折り畳むのは、現在のロボット技術では、現実的ではない。

3. ロボットと道具の協調による折り畳みシステム

3.1 衣類の折り畳みシステムの基本概念

提案する衣類の折り畳みシステムをFig. 3に示す。ロボットと道具が協調動作することにより衣類を折り畳む。道具の機能は、2枚の板の片側が水平な位置から回転することによりその場で衣類を折り曲げて二つ折りにするものである。ロボットが行う作業は、道具の板の上にある衣類を並進・回転移動させて折り畳みたい位置に折り目を位置決めするだけである。この移動の途中で、衣類にしわや変形が生じるのを抑えなければならない。そこで、位置決め操作を補助する平らな板（以下、位置決め板と称す）を衣類の上のせて移動させる方法をとる。こうすることで、布地が拘束されるため、位置決めが容易になる。以上の位置決め操作と折り畳み動作を繰り返すことで衣類を折り畳んでいく。なお、これらの作業の全てを専用の折り畳み機で行おうとすると衣類の位置決め機構が複雑になるため、ロボットで位置決め操作を行う方が得策である。

3.2 折り畳みシステムの構成

折り畳みシステムの概観をFig. 4に示す。2台の5自由度ロボットマニピュレータ（三菱電機製、MOVEMASTER RV-M1）と道具および位置決め板で構成される。道具の上にある板の大きさは550mm×450mmであり、固定され動かない板（以下、固定台と称す）と回転する板（以下、回転板と称す）からなる。回転板は、ステッピングモータ（0.1°/STEP, 最大トルク 3.0N・m, 最大角速度 19rad/sec）により水平な位置から180°まで回転させることができる。なお、回転板が水平な位置にあるときは、固定台と回転板の境界には、段差や隙間はない。固定台と回転板は、衣類がその上で滑りやすいように、それぞれ厚さ10mmのポリアセタール樹脂板（POM-SL, 日本ポリペンコ社）と厚さ

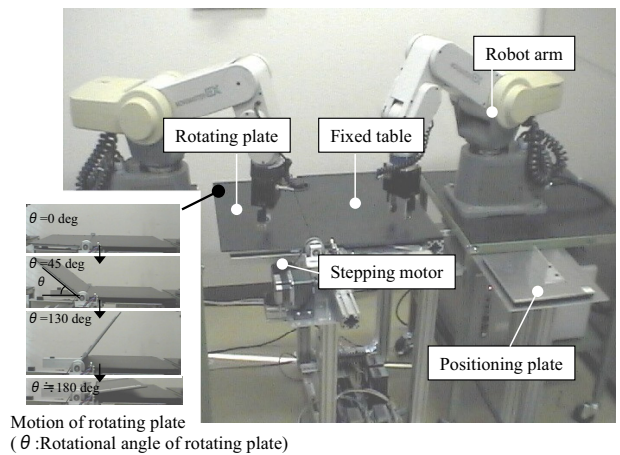


Fig.4 Folding system

3mmの低発泡塩ビ板とした。回転板は、固定台とのあいだで衣類を挟んだときに布厚に応じて曲げ歪を生ずる。これにより、ステッピングモータの脱調を抑える。位置決め板の大きさは、縦横 200mm×200mm、重さ 780gとし、板の裏面には、衣類とのあいだで滑り難くするために厚さ10mmのスポンジが取り付けられている。

3.3 本システムの利点

本システムの利点を以下に述べる。

ロボット側で衣類を位置決めすることにより折り目の位置や折り畳みの手順を自由に設定できるため汎用性が高い。そのため、特定の衣類にのみ対応した従来の折り畳み専用機と異なり、家庭内のさまざまな衣類を折り畳むことができる。また、本システムの2台のマニピュレータは、ヒューマノイドロボットの両腕と考えることができるため、システムの省スペース化が期待できる。

ロボットが行う作業は、従来からロボットが得意とする位置決め作業が中心であるため、ロボットの複雑なマニピュレーションが不要である。また、道具により二つ折りされた衣類は、しわがでにくく折り目も薄く綺麗である。これらのことから、ロボットのみのシステムに比べて信頼性や実用性が高い。

4. 折り畳み作業計画

4.1 ロボットと道具の協調動作手順

ロボットと道具の協調による衣類の折り畳み手順をFig. 5に示す。ここでは、あらかじめ2本のロボットアームで衣類の端を把持し広げて吊り下げていると仮定する。

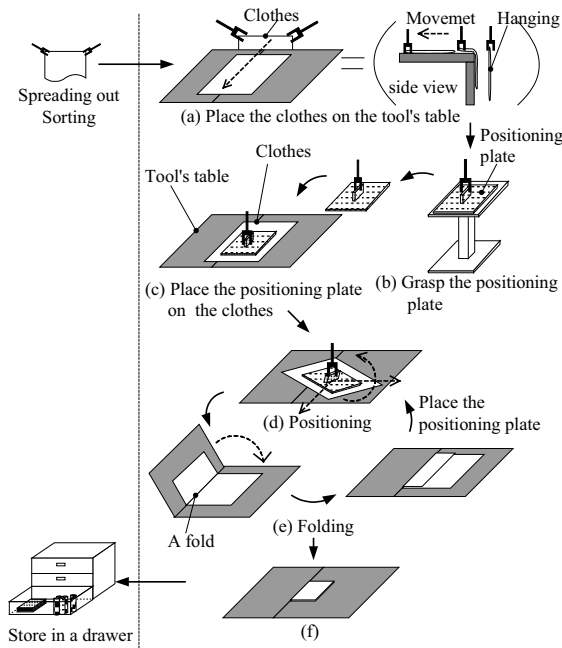


Fig.5 Flow of folding the clothes

- (a) はじめに、道具の板の上に衣類を拡げて配置する。この操作には、衣類の端を掴んでシーツを拡げるように振り上げて下ろす方法や衣類を吊り下げた状態からアームの位置・姿勢を変えながら作業台に下ろす方法などが考えられる。しかしながら、いずれの操作も衣類の特性・状態などの影響を受けるためマニピュレーションが複雑になり信頼性が低い。そこで、本システムでは、吊り下げた衣類を道具の横から道具の板の面に沿って移動させ道具の板の上で衣類を滑らせることにより配置する。こうすることで、衣類は、道具の板との摩擦によりしわの発生を抑えられ、かつ複雑なマニピュレーションも不要である。
- (b) ロボットハンドで位置決め板を把持する。
- (c) 位置決め板を衣類の上に置く。
- (d) 位置決め板を衣類の上ののせたまま並進・回転移動し、衣類の折り目の目標位置を道具の折り畳む位置へ移動させる。
- (e) 道具の回転板を水平な位置から 180° 回転することによりその場で衣類を二つ折りにする。回転板を 180° 回転すると折り目が薄くなるため見栄がよい。

ロボットの位置決め操作(図 5(d))と道具の折り畳み動作(図 5(e))を繰り返し行い、目標の折り畳み形状(図 5(f))になった時点で作業を終了する。

4.2 折り目の位置決め操作

衣類の位置決め操作を図 6(a)に示す。位置決め板を衣類の上ののせて並進・回転移動することにより道具の折る位置(線分 AB)に衣類の折り目の目標(線分 ab)を重ね合わせる。半袖シャツの袖を折る場合などのように衣類を対称の位置で折り畳みたい場合がある。このようなときには、図 6(b)に示すように片側を二つ折りにした後に衣類の中心 O 点を回転軸として 180° 回転することにより位置決めを行う。なお、並進移動によっても対称な位置への位置決めが可能であるが、回転板の上のせる衣類の面積の割合が高くなるため、折り目の位置ずれや形崩れが生じやすくなる。さらに、最終的に折り畳まれた衣類は、折り畳まれた側(Tシャツの場合は袖)が表にでるため、収納などのその後の取り扱いで形が崩れやすい。

4.3 位置決め板による衣類の移動

衣類の上に位置決め板をのせて衣類ごと道具の板の上で移動させるには、位置決め板と衣類とのあいだで滑りが生じてはならない。つまり、道具の板と衣類のあいだでのみ滑りが生じる必要がある。位置決め板をタオルなどの平面状の布地の上に置き移動させるときのようすを図 7(a)に示す。位置決め板と布地とのあいだで滑りが生ずることなく移動させるには、位置決め板と布地との最大静止摩擦係数 μ_p が布地と道具の板との最大静止摩擦係数 μ より大きくなければならない。ただし、位置決め板の重さ M は、布地の重さ m より十分に大きいとする。図 7(b)に示すように折り畳まれた状態で布地を移動させるには、図 7(a)の条件に加えて、折り畳まれた布地のあいだの最大静止摩擦係数 μ_c が μ より大きくなければならない。これは、シャツなどの筒状の衣類の場合も同じである。

表 1 に代表的な衣類の生地について上記の最大静止摩擦係数を整理した。道具の回転板と衣類との最大静止摩擦係数を μ_r 、道具の固定台と衣類との最大静止摩擦係数を μ_t とする。これらの摩擦係数は、それぞれの布地断片(100mm×100mm)を板の上に置き、板を徐々に傾けたときの最大静止摩擦角より求めた。また、 μ_p は、固定された布地(350mm×350mm)の上に位置決め板(200mm×200mm, 780g)を置いてばね測りで横に引っ張り、滑りはじめるときの力より求めた。 μ_c は、固定された布地(350mm×350mm)の上に同じ布地を置き、その上から位置決め板を置いて同様にはね測りで引っ張り、2枚の布地間で滑りはじめるときの力より求めた。

本システムは、表 1 より、位置決め板でこれらの布地の移動ができる摩擦係数の条件を満たしている。

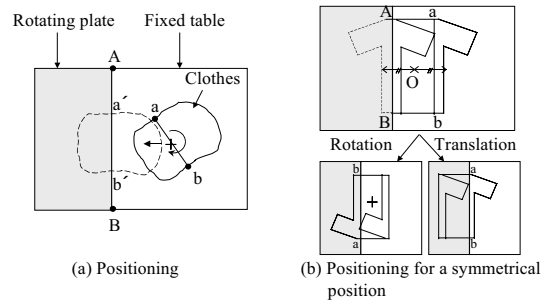


Fig.6 Positioning manipulation for a fold

Table 1 Coefficient of static friction

| Cloth | Quality | Weight [g] 350*350mm | Thickness [mm] | μ | | μ_p | μ_c |
|---------|---------------|-------------------------|-------------------|---------|---------|---------|---------|
| | | | | μ_r | μ_t | | |
| Towel | Cotton 100% | 52 | 1.82 | 0.69 | 0.63 | 1.36 | 1.24 |
| T-shirt | Cotton 75% | 20 | 0.51 | 0.88 | 0.81 | 1.69 | 1.54 |
| | Polyester 25% | | | | | | |
| Y-shirt | Cotton 100% | 14 | 0.22 | 0.70 | 0.64 | 1.43 | 1.02 |
| Denim | Cotton 100% | 33 | 0.72 | 0.57 | 0.53 | 1.27 | 1.13 |

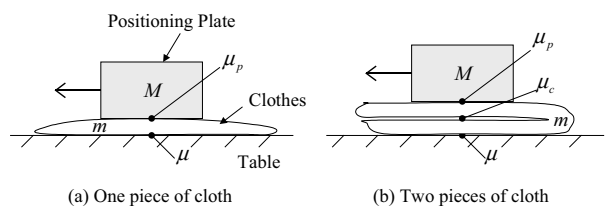


Fig.7 Movement of the clothes by a positioning plate

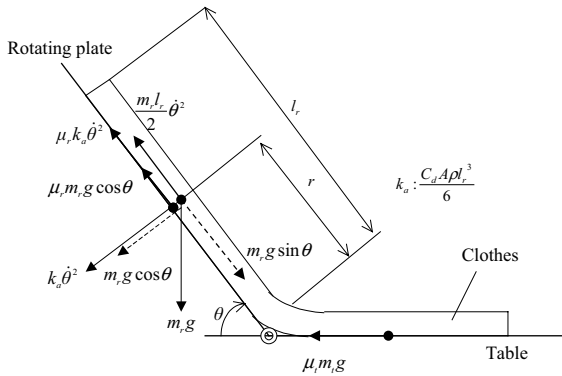


Fig.8 Simulation model for folding the clothes

5. 折り畳み時における回転板の回転速度の決定

5.1 折り畳みモデル

回転板の回転速度が適切な範囲にない場合には、折り目が目標の位置からずれてしまう。そこで、折り目が位置ずれしないための回転板の回転速度（回転板を駆動するステッピングモータの角速度）について調べる。

長方形の布地を二つ折りするときの力学モデルを図8のように考えた。ここでは、布地の伸縮や座曲などを考慮していない。回転板を回すとその上の布地には、遠心力と空気抵抗が作用する。布地と回転板および固定台との間には垂直抗力に比例した摩擦力がかかる。また、回転板の上の布地が下に滑り落ちようとする力は、布地の折れ曲がり部において、剛体のように水平・垂直方向に分散することなく固定台上の布地に直接伝わるものとする。ここで、回転板の上にある布地の重さを m_r 、固定台の上にある布地の重さを m_f 、回転板の上にある布地の長さを l_r 、回転板と上にある布地との最大静止摩擦係数を μ_r 、固定台と上にある布地との最大静止摩擦係数を μ_f とする。回転板の上にある布地に作用する空気抵抗 f_{air} は、空気抵抗係数を C_d 、空気密度を ρ 、前面投影面積を A 、固定台と回転板との角度を θ とすると次式に求まる。

$$f_{air} = \int_0^{l_r} C_d A \rho \frac{(r\dot{\theta})^2}{2} dr = K_a \dot{\theta}^2 \quad \left(K_a = \frac{1}{6} C_d A \rho l_r^3 \right) \quad (1)$$

回転板を一定の速度で回転したときに布地が上下方向に滑らない条件を次式に示す。

$$\left| m_r g \sin\theta - \frac{m_r l_r}{2} \dot{\theta}^2 \right| < \mu_r (m_r g \cos\theta + K_a \dot{\theta}^2) + \mu_f m_f g \quad (2)$$

それぞれの項は、回転板の上にある布地が重力により滑り落ちようとする力と遠心力、重力と空気抵抗により作用する摩擦力と固定台の布地に作用する摩擦力をあらわす。回転板を回転していったときに布地が最も下に滑りやすくなるのは、 $\theta=90^\circ$ のときである。また、遠心力で最も上に滑りやすくなるのは、 $\theta=0^\circ$ のときである。

そこで、折り畳み時において布地が滑らないための回転板の速度範囲は、次式に求まる。

$$\sqrt{\frac{m_r g - \mu_f m_f g}{m_r l_r + \mu_r K_a}} < \dot{\theta} < \sqrt{\frac{\mu_r m_r g + \mu_f m_f g}{\frac{m_r l_r}{2} - \mu_r K_a}} \quad (3)$$

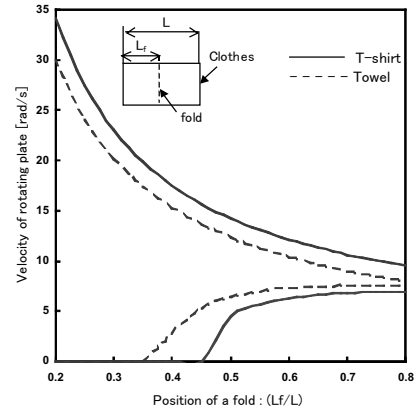


Fig.9 Simulation results of velocity of the rotating plate using folding model ($C_d=1, \rho=1.2\text{kg/m}^3, \text{Towel}; \mu_r=0.69, \mu_f=0.63, \text{T-shirt}; \mu_r=0.88, \mu_f=0.81$)

5.2 シミュレーション結果

折り目が位置ずれしないための回転板の速度について式(3)よりシミュレーションを行った。なお、空気抵抗係数 $C_d=1$ 、空気密度 $\rho=1.2\text{kg/m}^3$ とした。表1に示す半袖シャツの生地とタオル生地について折り目が位置ずれしないための回転板の上限と下限の速度を図9に示す。横軸は、折り目の位置（布地の辺の長さ L に対する回転板上の布地の長さ L_f の割合 L_f/L ）である。シミュレーション結果より、回転板および固定台との摩擦係数が高い布地ほど速度の範囲が広くなり滑り難いことが分かる。また、回転板にのせる布地の割合が布地全体に比べて高いほど速度範囲が狭くなり滑りやすいことが分かる。

5.3 実機による位置ずれしない回転速度の実験

実機により折り目が位置ずれしない回転速度を調べ、シミュレーションの結果と比較した。実験に用いる布地は、あらかじめアイロンをかけて、しわや折り目の癖を取り除いてある。また、目標の折り目に対して位置ずれが4mm以内の場合には、誤差の範囲内として位置ずれがないと判定した。折り畳み後の布地にしわが生じた場合には、位置ずれがあると判定した。

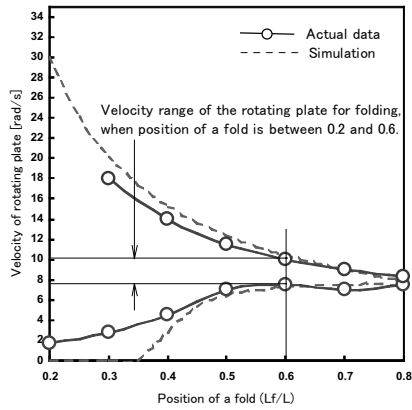
表1に示す半袖シャツの生地とタオル生地の実験結果を図10に示す。回転板の上にある布地の割合が全体に比べて高いほど位置ずれしない速度範囲は狭くなり、シミュレーションの結果と同じであった。ただし、折り畳み位置が0.2~0.4の間においては、半袖シャツの生地およびタオル生地ともに速度範囲の下限値がシミュレーションの結果と異なった。これは、回転板をゆっくり回転していくと、回転角度が 90° 付近において回転板の上にある布地が座曲するためである。また、最大静止摩擦係数が高い半袖シャツの生地は、タオル生地より速度範囲が広くなるなど、布地によって速度範囲が異なることが確認された。

そこで、表1の全ての生地に対して位置ずれしないための共通の速度範囲を検討した。実際の衣類の折り畳みでは、折り目の位置はおおよそ0.2~0.6程度になる。折り目の位置がこの範囲にある場合には、回転板の速度を8rad/secから9rad/sec程度にすることで折り目が位置ずれしないという結果が得られた。

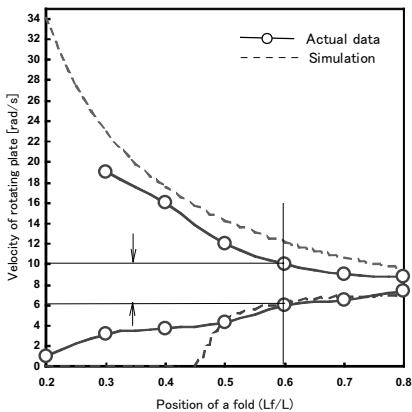
6. 折り畳み作業の実験

6.1 位置決め板の大きさの評価

位置決め板が小さいと布地を移動させたときに布地が変形してしまう。そこで、位置決め板の適切な大きさを評価する。



(a) Towel



(b) T-shirt

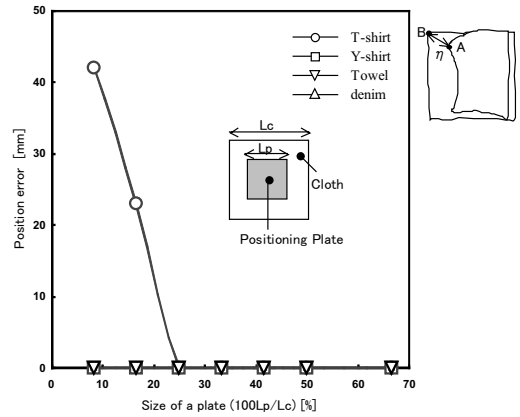
Fig.10 Experimental results of velocity of the rotating plate for folding in a target position by proposed system

大きさの異なる7種類の位置決め板（一辺の長さが25mmから200mmまでの正方形）により道具の板（ポリアセタール樹脂板）の上で布地を並進・回転移動し、布地の変形の大きさを調べる。実験に用いる布地の大きさは300mm×300mmとし、表1に示す4種類の生地とする。

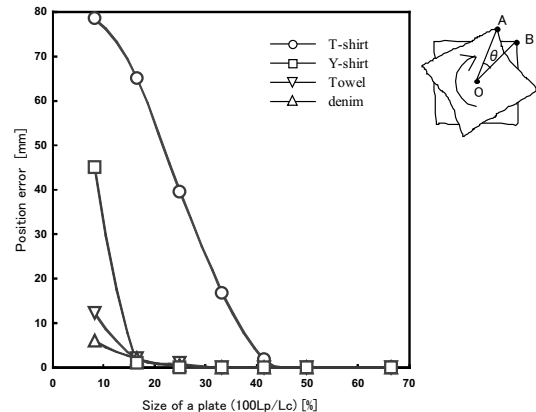
位置決め板を布地の中心かつ位置決め板の辺が布地の辺と平行になるように置いて80mm並進移動する。このときの位置決め板の大きさ（布地の一辺の長さ L_c に対する位置決め板の一辺の長さ L_p の割合）と布地の変形の大きさの関係を図11(a)に示す。変形の大きさは、布地の四隅の位置をA点、目標位置をB点とし、A点とB点のずれた距離の平均とする。この結果、位置決め板が小さい場合において、半袖シャツの生地が変形した。これは、半袖シャツの生地が他の生地に比べて柔らかく、かつ作業台との摩擦係数が高いことが原因であると思われる。

つぎに、布地の中心O点を90°だけ回転移動させたときの結果を図11(b)に示す。変形の大きさは、位置決め後の布地の四隅をA点、目標位置をB点とし、 $\angle AOB$ の四隅の平均とする。この結果、位置決め板が大きくなるにつれ布地の変形が小さくなるのが分かる。また、布地の種類によっても変形の大きさが異なる。特に、摩擦係数が高い半袖シャツは、最も変形が大きい。

以上より、本実験で扱った布地と道具の板との組み合わせでは、位置決め板の大きさを布地の少なくとも50%以上にすることが必要である。



(a) Movement by translation



(b) Movement by rotation

Fig.11 The relation between the size of positioning plate and position error

6.2 折り畳み実験

本システムの有用性を確認するために、実機により実際の衣類を対象とした一連の折り畳み作業を行った。回転板を駆動するステッピングモータの角速度は、9rad/sに設定した。これは、前節で得られた折り目が位置ずれしないための速度範囲である。位置決め操作における移動方向と移動量は、あらかじめロボット側に教示されている。また、位置決め板の大きさは200mm×200mmである。位置決め板を衣類の上に置いた後、ハンドを一旦開いて掴み直してから位置決めを行う。つまり、布地には、位置決め板の重さ780gのみかかった状態であり、ロボットアームで位置決め板の押し付け力は制御していない。

半袖シャツ（幼児用90cm、綿100%、重さ60g）を対象とした一連の折り畳み実験の様子を図12に示す。なお、ここでは、半袖シャツの両袖の端をロボットハンドで把持して吊り下げた状態から作業を開始している。実験の結果、位置決め操作では、衣類を変形させることなく目標の位置に移動させることができた。また、折り畳み動作では、目標の折り目の位置で正確に折り畳むことができた。最終的に折り畳まれた衣類を図12(o)に示す。折り目が2枚の板に挟まれるため、薄く綺麗に仕上がっている。なお、本実験で要した作業時間は、80secであった。さらに、ハンカチ（350mm×350mm、重さ22g）、トランクス（大人用Mサイズ、重さ84g）、長ズボン（幼児用90cm、綿100%、重さ141g）についても同様に折り畳むことができた。これより、本システムの有用性を確認できた。

7. 結 言

本論文では、各種衣類の後片付け作業を目的とし、ロボットと道具が協調して衣類を自動で折り畳むシステムを提案した。

そして、これを実現するために、折り畳むときに布地が位置ずれしないための回転板の速度範囲を求めた。さらに、実機により一連の折り畳み作業を行い、本システムの有用性を確認した。

道具の特長は、2枚の板で衣類を二つ折りするものであり、衣類にしわができ難くかつ折り目も薄く仕上がる。ロボットは、道具の板の上で衣類を位置決めするだけで衣類の折り目位置を自由に調整し、さまざまな種類の衣類を折り畳むことができる。

本システムでは、折り目位置の自動決定や位置決めと折り目の確認作業および折り畳みの評価（しわの有無）をロボット側で行っていない。今後の展望としては、視覚情報を用いてこれらの作業を自動化することを考えている。また、作業台と位置決め板が大きければ、大人用の衣類でも十分に折り畳むことができるが、長袖シャツの袖など突出部がある衣類は、位置決めや折り畳みにおいて変形しやすいなど問題が残る。さらに、縫い目やしわの癖がある衣類の場合には、目標位置で二つ折りできないことがある。このようなさまざまな形状・状態の衣類について、実機による折り畳みの汎用性を検証することも検討したい。そして、衣類を道具へ配置する前の衣類の展開や折り畳んだ衣類のタンスへの収納・整理についても行うことを考えている。

参 考 文 献

- 1) 斎藤之男：福祉ロボット，日本ロボット学会誌，**21**，4(2003) 340.
- 2) 特集 高齢化社会における医療福祉と精密工学，精密工学会誌 **65**，4(1999).
- 3) 石井純夫：食事支援ロボット「マイスプーン」，日本ロボット学会誌，**21**，4(2003)，278.
- 4) 小野栄一：布のマニピュレーション，日本ロボット学会誌，**16**，2(1998) 149.
- 5) E.Torgerson and F.W.Paul：Vision Guided Robotic Manipulation for Apparel Manufacturing，Proc. 1987 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation.，2，(1987) 1196.
- 6) K.Paraschidis, et al.：A Robotic System for Handling Textile Materials，Proc. 1995 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation .，3，(1995) 1769.
- 7) 蒲谷崇・柿倉正義：布地物体のハンドリングに関する研究，日本機械学会論文集C編，**64**，620，C (1998) 240.
- 8) 大澤文明・柿倉正義：各種布地混在洗濯物の把握用指の試作と把握実験評価，日本ロボット学会誌，**19**，6 (2001) 735.
- 9) 小野栄一・喜多伸之・坂根茂幸：視覚を用いた輪郭情報に基づく折れ重なった布生地での展開，日本ロボット学会誌，**15**，2 (1997) 275.
- 10) 濱島京子・柿倉正義：布地物体展開手順のプランニング（塊状洗濯物の分離），日本機械学会論文集C編，**63**，607，C (1997) 333.
- 11) 濱島京子・柿倉正義：布地物体展開手順のプランニング（布地物体の種類判別），日本機械学会論文集C編，**65**，636，C (1999) 228.
- 12) 高野政晴，他：RECS コンセプトに基づく屋内移動ロボットシステムの開発，精密工学会誌，**62**，6 (1996) 815.

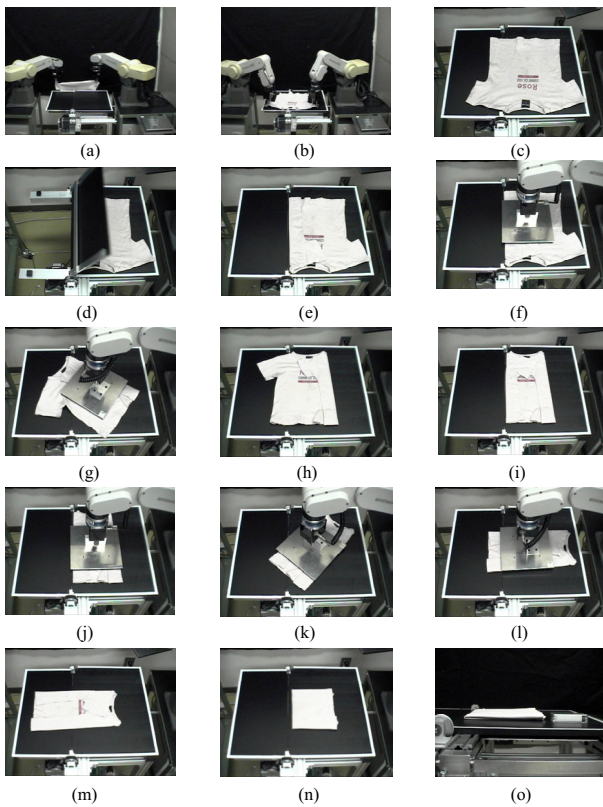


Fig.12 Experimental results of serial folding by proposed system

なお、衣類の折り畳み方については、理想的な衣類の形状を分類してあらかじめ教示しておけばよいと、人間の作業負担は少ない。また、実際の衣類に対しては、形状を自動的に識別し、大きさ等から折り目位置を調整する。

ただし、いくつかの問題点も挙げられる。たとえば、半袖シャツを道具の板の上に配置したときに、襟周辺にしわや折れが生じることがある。これは、最初の配置操作において把持点（袖）より襟が突出しているため、吊り下げたときに折れ曲がるのが原因である。最初に把持する位置の検討や折れ曲がりが生じたのを検出して修正する作業の検討が必要である。折り畳みの回数が増すと二つ折りするときに固定台の上を布地が若干滑ることがあった。これは、布厚が増すことにより布地を曲げたときに生ずる反発力が大きくなったことが原因と思われる。また、回転板の回転角度を 180° としたが、折り畳む布地が厚い場合には、ステッピングモータが脱調する可能性がある。そのため、布厚に応じてステッピングモータの回転角度を調整する必要がある。