Advance Publication by J-STAGE

日本機械学会論文集

Transactions of the JSME (in Japanese)

DOI:10.1299/transjsme.20-00423

Received date : 24 November, 2020

Accepted date : 2 September, 2021

J-STAGE Advance Publication date : 16 September, 2021

ローラーハンド機構を用いた重ねられた布の1枚分離手法 及び分離成功判別手法

真鍋 圭佑^{*1}, 童 欣^{*2}, 相山 康道^{*3}

Single sheet separation method from piled fabrics by roller hand mechanism and separation success judgement method

Keisuke MANABE^{*1}, Xin TONG^{*2} and Yasumichi AIYAMA^{*3}

^{*1, *2} Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba
1-1-1 Tennodai, Tsukuba-shi, Ibaraki 305-8573, Japan

^{*3} Faculty of Engineering Information and Systems, University of Tsukuba
1-1-1 Tennodai, Tsukuba-shi, Ibaraki 305-8573, Japan

Abstract

Automation is currently delayed in garment factory. In order to automate the work in a garment factory, a method of single sheet separation from piled fabric is required. In this study, we developed a method of single sheet separation from piled fabrics by a roller hand mechanism with a rotating mechanism added to the tip of a robot hand. We designed a rigid body dynamics model for separating a sheet of fabric by this mechanism, and conducted experiments on the separation of a sheet of fabric. As a result, we succeeded in separating only single sheet of fabrics with a high probability. It is necessary to eliminate failures for practical use. However, it is difficult to eliminate failure completely due to the characteristics of fabrics. First, in order to improve the reliability of the separation process, we devised a method to determine the success of separation by the thickness of fabrics, created a mechanism and actually verified. We have succeeded in improving the reliability of single sheet separation process from piled fabrics. However, there was a failure pattern that cannot be addressed by this method. Therefore, we devised a method to determine the success of separation by the weight of fabrics, created a mechanism and actually verified. As a result, the reliability was further improved.

Keywords : Robot hand, Roller, Mechanism, Grasp, Fabric, Separation

1. 緒 言

近年、工場では自動化が進み多くの産業用ロボットが使用されている。しかし、布は剛体と比較して形の可変性が高く再現性が低いため、ロボットによる操作が困難である(小野, 2008)。そのため布を扱う縫製工場の自動化は遅れている現状にある。人件費削減や人手不足の解消、生産性向上のために縫製工場の生産ラインの完全自動化の実現が求められている。縫製工場での布の扱い動作は、前動作、主動作、後動作という3つの動作に分類される。前動作とは、材料を取り上げてミシンやプレス機等の縫製機器へ布を仕掛ける動作である。主動作とは布の縫製作業やプレス掛けアイロン掛け等の動作である。後動作とは縫製作業後の布の取り出しや積み重ね、束ねる動作である(河内, 1974)。

そのうち主動作に関しては研究開発が比較的進んでいる。JUKI株式会社では、ポケットの縫製作業やほつれ防止のための縁かがり縫いを施す作業の自動機、特殊な針板と押さえをミシンに装着しアクリル板の溝に沿って自動縫製が可能であるパターンシーマーを利用した自動機が開発され実用化されている(JUKI株式会社, 2020)。また、あらかじめ3次元形状の支持体にセットされた被縫製物をマニピュレータの手先に装着した小型ミシンを

空間的に移動させることにより縫製を行うシステム (中村他, 1988) や 2 台のマニピュレータの協調作業により一般ミシンでの自動縫製を可能にするシステム (Kudo et al., 2000), 画像フィードバックを用いたリクライニングチェア用の革製カバーの縫製の自動化システム (Schrimpf et al., 2012) 等様々な研究が行われている。しかし、いずれも縫製機器への布のセット作業は人の手によるものであり完全な自動化の実現はできていない。また主動作は縫製作業全体の作業時間の 15%~25%程度 (河内, 1974) であり作業全体の割合としては少ないものである。

一方、前動作は作業時間が比較的多く、さらに自動化は遅れている現状にある。前述した自動化された縫製機器が利用されていてもそれら機器への布のセット作業は人に頼っているものがほとんどである (小野, 1998)。このことから私たちは縫製作業の前動作に着目した。前動作の大まかな流れは、裁断機でまとめて裁断されて重ねられた布から布を 1 枚ずつピックアップし、その布を移送、布を置く位置決め、布同士の重ね合わせ作業そして、縫製機器へのセット作業という流れとなる (河内, 1974)。本研究では、前動作の最初の作業に当たる重ねられた布から布を 1 枚ずつ分離してピックアップするという作業の自動化を実現することにした。

重ねられた布を 1 枚に分離する手法は様々なものが存在する。まず布に針を刺して布を把持する針刺しタイプ (Schulz, 1991), 粘着性の手先を使用する接着タイプ (Czarnecki, 1995), 布との接触部分の水分を凍らせて接着し布を把持する凍結解凍タイプ (Seliger et al., 2000) 等がある。これらは確実な布の 1 枚分離は可能だが、布に傷や皺の痕が残るやすい。機構のメンテナンスも比較的多く必要である。また、空気の圧力差を利用し布を吸引して把持するバキュームタイプ (Jarvis et al., 1991) (Kolluru et al., 2000) は単一の布の把持に対しては有効である。しかし重ねられた布の分離には不向きである。その原因は布の空気を通しやすいという性質にある。バキュームタイプは布に対して上側からアプローチする。重ねられた布の 1 番上の布をバキュームにより把持した際、布は空気を通すため把持した布の下の方にもバキュームの影響が働き、複数の布を把持することになるため 1 枚分離は困難である。

布 1 枚分離手法として人間の手を模した多指ハンドを使用した手法が多く存在する。小野が提案した 2 本指ロボットハンド機構 (小野, 2008) は形の違う 2 本指で構成され、薄い指を重ねられた布生地の際間に挿入し太い指が布生地の際近くを押さえることで、重ねられた布から一枚のみを把持することが可能である。さらに、歪ゲージを利用したセンサを薄い指に装着することにより、指の変形量から把持した布の枚数を測定することが可能である。この手法では、把持した布枚数をリアルタイムでフィードバックすることにより、指を挿入する位置を自動調節し、最小約 0.2 mm までの厚みの布を取り上げることが可能とした。しかし、厚さの薄い綿生地は曲げ剛性が小さく柔らかいため、積層した際、生地端にしわが生じる傾向が見られ、そのために生地の上表面が平面上になりにくいとのことである。そのため生地の分離が困難となり、厚み 0.3 mm 以下の綿生地に対する一枚分離成功率はとても低いと示されている。このような多自由度のハンドは多機能性を有するが、多自由度のため力学的制御的に複雑であり、成功率が機構の精度に大きく左右される、また分離作業の動作戦略が複雑となるという課題がある。阿部らが開発した巻取り式エンドエフェクタ (阿部, 2020) は、ローラーの表面にマジックブラシを用いて厚さが 0.6 mm の重ねられた綿布の 1 枚分離作業を実現した。しかし確実な分離が困難であり、また把持枚数の測定が出来ていないため、分離作業の信頼性が高くない。Demura らが開発した重ねられたタオルの 1 枚分離手法 (Demura et al., 2018) では、画像処理を用いてタオルのエッジを検出し把持位置を決定することで 1 枚のみのピックアップに 86.7%の確立で成功した。タオルの向きが一樣でなくても画像処理により適切な把持位置にハンドを移動させることができるためピックアップが可能である。しかし画像処理のためにタオルの数や種類によって強化学習が必要であるため導入までに時間がかかるという点がある。

この他にも様々な機構の開発が行われている。勝山による保護用紙除去装置 (勝山, 1997) は、布ではなく紙を対象としているが、積載された板の上に敷かれた保護用紙をローラーを機構を用いて除去する機構を有している。積載された紙にローラーを下ろして接触させ、回転させることでめくりあげ、掴めるようにしている。蓑輪による布端把持装置 (蓑輪, 1978) では、片端を布地押えのブロックで固定し、ゴムを巻いた 1 つの円管により最上層の布をめくりあげ、挟み込んで持ち上げる機構を提案している。また、後藤によるシート状材料供給装置 (後藤, 1975) では、ローラーを用いるがめくり上げるためではなく最上層の布をスライドさせるために用いる。布の上にはばねの力によって押さえつけられた薄板があり、一度ローラーによってスライドして薄板の下から外された最上層の布を再度逆方向にスライドすることで薄板の上に乗せ、次工程へ移送させていく機構となっている。久保らによるシート材の枚葉供給方法および装置 (久保, 1995) では、不織布のような空気透過性のある小サイ

ズのシート材を、同様にローラーで最上層のシートだけめくりあげ、できた隙間に取り出し板を差し込むことで分離して持ち上げる機構を提案している。

また、対象が重ねられた布ではなく単一の布に対して有効な把持手法として、ローラーの表面に高摩擦の素材を使用した回転ローラーを使用する手法が多く存在する。蒲谷らが開発した回転ハンド機構 (蒲谷, 柿倉, 1998) は、開閉型 2 指ハンドの先端に回転ローラーを加えた機構である。布の把持手法として、ハンドの開閉動作を利用した開閉型把持法とローラーの回転動作により布を捲り上げる巻き込み型把持法を提案した。そして、両手法とも最小厚み 0.4 mm までの台上に置かれた単一の布地に対する把持は成功となった。また Yuan らが開発した指先に配置された多関節で能動的に駆動するローラーによって物体を操作する能力を持つ、新しい非人間型ロボットハンド (Yuan et al., 2020) は、指先が能動的に回転することで様々な物体の把持と操作を実現した。ローラーを回転させながら把持することで単一の布地のような柔軟な物体をその変形能力を利用して把持することに成功した。Kakogawa らが開発したベルトによる引き込み機構を指に備えた 3 本指ロボットハンド (Kakogawa et al., 2016) も、物体を把持するだけではなくベルトの回転により引き込むことにより様々な物体の把持と把持方法を可能にした。ベルトを回転させることで、単一のふきんの把持に成功した。また、Morino らは指の屈折と指先のベルトの駆動により様々な物体の把持を可能にした 2 本指ロボットハンド (Morino et al., 2020) を開発した。ベルトは開閉動作に合わせて受動的に駆動し、指先に把持力が加わるとベルトが巻き上がることで把持物体を引き寄せることが可能である。ベルトのピックアップや薄くて柔軟性のあるもののピックアップに有効である。そして重ねられたティッシュペーパーの 1 枚分離に成功している。この他にも、人の動作を模した方法として、Shibata らは 2 本の指を布面に押し当て、その間隔を狭めることで布地を浮き上がらせ、その間に指を差し込むことでつかみ上げる手法 (Shibata et al. 2008) を提案している。

以上のように様々な機構や手法が研究、開発されている。しかしこれらの多くは幾何学的な動作のみに注目して構造や動きが決められており、力学的な条件を考慮したものはほとんどないのが現状である。布は非常に軽いので、十分な量を持ち上げて挟み込む、もしくは指などをさし込むための幾何的な条件が動作解析の主たる要素となっており、その前提となる一枚だけめくりあげるための条件についてはあまり検討されていないのが原因と考えられる。しかし本論文の 2・3 節で示すように、力学モデル的には押さえつける力ではできるだけ小さい (対象となる布の重さが非常に軽いため) ことが求められるが、微小な力の制御、調整が困難な機構も多く、一枚分離の成功率が低く実用には適さない機構も多いものと思われる。

このような中、ローラータイプの機構は、布 1 枚の厚さの位置精度で指をさし込むなどの必要がなく、動作も複雑ではなくセンサ等も必要としないため分離速度の向上が期待できる。よって本研究ではローラーハンドを利用した上で、力学的な条件を考慮した布の 1 枚分離機構を開発することとした。さらにこれまでに示した布の分離手法では、分離作業の失敗を完全に失くすという事はできていないが、実際の生産ラインにおいて分離に失敗した布をそのまま次の工程に移送することは、作業効率の低下及び機器の故障につながる大きな問題である。これは単に力学的な考慮がなされていない、というだけではなく、布の繊維の持つ毛羽による絡まり等の原因により分離の失敗が発生すると考えられている。

そのため本研究では、実用的なスピードと安定性の追求のため、ローラーハンドを基に新しい布の 1 枚分離手法を開発するとともに、分離作業失敗を完全に失くし分離作業の信頼度を向上させることを目指す。重ねられた布の上からローラーを押し付け、ローラーを回転させることで 1 番上の布のみを捲り上げ布を分離する。その際の押し付ける力の大きさが分離をするにあたり非常に重要であることから、押し付け力の調整を容易にするために、ローラーを押し付けるための関節を新たに設けてモータにより押し付け力を操作する。また分離失敗を無くすために、布を把持した際のモータの角度から成功判定を行う手法を開発し誤移送を防ぐ。

本研究では、ロボットハンドの先端に回転機構を付加したローラーハンド機構による厚さ約 0.18 mm の綿製の薄布を重ねた山からの布の安定した 1 枚分離作業を実現した。2 章でプロトタイプの布分離機構を開発し、剛体シートモデルにより分離成功条件を導出し、分離実験を行ったが失敗原因を一意に定めることは困難であり分離失敗を完全に失くすことはできなかった。そのため 3 章で、実際の工場において必要不可欠である分離作業の信頼度の確保のために、分離失敗を無くすのではなく分離に失敗したものを作業工程から省くことを可能にすることを目指し、分離作業の成否を判別する手法を開発し、分離に失敗した布の誤った移送を完全に防止することを

可能にした。また布の分離のみではなく、その後の移送等の自動化も考慮し分離機構はマニピュレータに装着して使用する。

2. 重ねられた布の1枚分離手法の検討

重ねられた布の1枚分離手法の検討を行う。ローラーハンドを用いたプロトタイプ機構を開発し、剛体シートモデルより分離成功条件を導き出し、それを基に実験を行い、手法の評価及び問題点の抽出を行う。

2・1 プロトタイプ機構

ローラーハンドを用いた機構を提案する。図1に示すように、開閉機構であるエアチャック、関節駆動用のサーボモータ、ローラー回転用のサーボモータ、2本のローラー指で構成される。使用するサーボモータはFUTABA社のRS304MRである。ローラーが布に与える押し付け力はマニピュレータではなく、指の根本の関節（関節駆動用サーボモータ）でコントロールすることでより小さい押し付け力を与えることが可能である。このローラーハンド機構はマニピュレータのエンドエフェクタに装着し使用する。使用するマニピュレータは安川電機の本MOTOMAN-HP3Jである。

Fig. 1 Roller hand mechanism that can separate single sheet from piled fabrics. This mechanism consists of an air chuck which is an opening and closing mechanism, a servo motor for joint drive, a servo motor for roller rotation, and two rollers. This mechanism is attached to the end-effector of the manipulator (MOTOMAN-HP3J).

2・2 布の1枚分離手法

図2に重ねられた布からの布の1枚のみの分離手順を示す。まずマニピュレータにより機構を重ねられた布の真上の位置に移送する。

- ① 関節駆動用サーボモータによりモータ駆動関節を回転させ、ローラーを布に押し付ける。実験による知見より、布がつぶれないようにモータトルクを最小に設定してローラーを布に接触させる。
- ② ローラーを布に押し付けたまま、ローラー回転用サーボモータでローラーを回転させ、布を捲る。
- ③ エアチャックを閉じることで、左右のローラーにより捲れた布を挟む。
- ④ マニピュレータにより、挟んだ布を持ち上げ布をピックアップする。

Fig. 2 Single sheet separation procedure of fabric using roller hand mechanism. This mechanism separates the fabric by rolling up the roller and rolling up only the topmost fabric.

2・3 1枚分離作業の剛体シートモデル

上記の機構により、重ねられた布からの布の1枚分離を実現するための条件を導出するため、1枚分離作業の力学モデルを考案する。ただし布は柔軟物であり、力学モデルは複雑である。そのため本研究では簡易的に布を剛体シートと想定し、摩擦の影響のみを考慮する剛体シートモデルを提案する。シンプルなモデルとして重力方向は押し付け力、重力、反力のみ考える。重力方向と垂直な方向はローラーの駆動力と各接触面の摩擦力のみを考える。

重ねられた N 枚のシートに対して垂直方向の力はローラーからの押し付け力を P_r 、 N 枚のシートの重力を $Nm_f g$ とする。シート1枚の質量は m_f である。また、台面からの反力があり、上から i 枚目のシートの上表面が受ける垂直方向の力は $F_{(i-1)i}$ 、 i 枚目のシートの下表面が受ける垂直方向の力は $F_{(i+1)i}$ として、式 (1) と (2) に示す。

$$F_{(i-1)i} = P_r + (i-1)m_f g \quad (1)$$

$$F_{(i+1)i} = P_r + i m_f g \quad (2)$$

水平方向はローラーからの推力 F_r と摩擦力がある。シートとローラー間の摩擦係数を μ_1 、シート間の摩擦係数を μ_2 、シートと台面間の摩擦係数を μ_3 と表す。また、 i 枚目のシートに対して上表面の最大静止摩擦力を $f_{(i-1)i}$ 、下表面の最大静止摩擦力を $f_{(i+1)i}$ として、式 (3) と (4) に示す。

$$f_{(i-1)i} = \begin{cases} \mu_1 F_{(i-1)i} & (i=1) \\ \mu_2 F_{(i-1)i} & (2 \leq i \leq N) \end{cases} \quad (3)$$

$$f_{(i+1)i} = \begin{cases} \mu_2 F_{(i+1)i} & (1 \leq i \leq N-1) \\ \mu_3 F_{(i+1)i} & (i=N) \end{cases} \quad (4)$$

上から2枚目から $N-1$ 枚目までのシートは下表面の最大静止摩擦力が上表面より僅かに大きいこととなる。そのためローラーからの推力 F_r を十分に強いと想定すると、分離されるシートの枚数は0枚か1枚が残っている N 枚全ての3パターンに限られる。

そして上記より導出した各摩擦係数の大きさの関係ごとの、分離される枚数に対するローラーの押し付け力 P_r の大きさの必要条件を表1に示す。 $\mu_2 \geq \mu_3 \geq \mu_1$ あるいは $\mu_3 \geq \mu_2 \geq \mu_1$ の場合、分離される枚数は必ず0枚となることが分かる。また $\mu_2 \geq \mu_1 > \mu_3$ の場合、1枚分離することは不可能となり、0枚かもしくは N 枚全て分離される。 $\mu_3 \geq \mu_1 > \mu_2$ あるいは $\mu_1 > \mu_3 \geq \mu_2$ の場合、0枚もしくは1枚になる。さらに $\mu_1 \geq \mu_2 \geq \mu_3$ かつ残りのシートの枚数 N が一定値より大きい場合、押し付け力により0枚、1枚、 N 枚全て分離されるパターンが可能となる。しかし残りシートの枚数が一定値より小さい場合、1枚のみ分離することは不可能であることが判明した。

μ_2 が最も小さい場合は、分離される布の枚数が0枚か1枚となり、ローラーによる押し付け力の大きさを調節することで1枚分離が可能となることから、この条件が最もふさわしいと考えた。 μ_1 と μ_3 を大きくし、ローラーによる押し付け力を調整することで布1枚分離作業の実現を目指す。

2・4 プロトタイプによる布1枚分離実験

作成した実機を用いて布分離実験を行った。実験対象は厚さ約 0.18 mm の綿製の Y シャツ生地で、サイズは 297 mm×210 mm, 260 mm×90 mm, 375 mm×50 mm の3種類を用意した。図3に実験環境を示す。ローラーと布間の摩擦係数 μ_1 を大きくするために、ローラーの表面に摩擦力の高いゴム製の素材を張り付けている。また台と布間の摩擦係数 μ_3 を大きくするために、台面の上にゴムシートを貼っている。その上に重ねられた布を置き分離実験を行う。 μ_1 は約 0.71, μ_3 は約 0.55 である。布間の摩擦係数 μ_2 は布同士が張り付くため測定不可能である。

Table 1 Separation condition of each friction coefficient magnitude relation. It shows the change in the pressing force required for each sheet of fabric to be separated.

Number of Flickered Sheet	$\mu_2 \geq \mu_3 \geq \mu_1$ or $\mu_3 > \mu_2 \geq \mu_1$	$\mu_2 \geq \mu_1 > \mu_3$	$\mu_3 \geq \mu_1 > \mu_2$ or $\mu_1 > \mu_3 \geq \mu_2$	$\mu_1 \geq \mu_2 \geq \mu_3$ $N > \frac{\mu_2(\mu_1 - \mu_3)}{\mu_3(\mu_1 - \mu_2)}$	$\mu_1 \geq \mu_2 \geq \mu_3$ $N \leq \frac{\mu_2(\mu_1 - \mu_3)}{\mu_3(\mu_1 - \mu_2)}$
0	No condition	$P_r \leq \frac{N\mu_3}{\mu_1 - \mu_3} m_f g$	$P_r \leq \frac{\mu_2}{\mu_1 - \mu_2} m_f g$	$P_r \leq \frac{\mu_2}{\mu_1 - \mu_2} m_f g$	$P_r \leq \frac{N\mu_3}{\mu_1 - \mu_3} m_f g$
1	Impossible	Impossible	$P_r > \frac{\mu_2}{\mu_1 - \mu_2} m_f g$	$\frac{\mu_2}{\mu_1 - \mu_2} m_f g < P_r < \frac{N\mu_3 - \mu_2}{\mu_2 - \mu_3} m_f g$	Impossible
all	Impossible	$P_r > \frac{N\mu_3}{\mu_1 - \mu_3} m_f g$	Impossible	$P_r > \frac{N\mu_3 - \mu_2}{\mu_2 - \mu_3} m_f g$	$P_r > \frac{N\mu_3}{\mu_1 - \mu_3} m_f g$

実験手順として、まず重ねられた布 20 枚を台座上のゴムシートの上に置く．そして、機構のローラーの開閉方向と布の長辺方向は平行になるようにして布をピックアップし、最後の一枚の布がピックアップされるまで連続でピックアップを行う．各サイズの布に対して各 3 回繰り返す．

Fig. 3 Experimental environment. A rubber sheet is inserted between the fabric and the table to increase the coefficient of friction.

2・5 プロトタイプによる実験結果と問題点の抽出

表 2 にサイズごとの、布の残り枚数に対して、布を分離してピックアップした枚数の結果を示す．○は 1 枚、赤×は 1 枚以外をピックアップした場合であり失敗に当たる．実験結果として、0 枚ピックアップすることはなく、ある程度の残り布枚数の場合 1 枚分離することは可能であった．しかし、1 枚分離は確実ではなく複数枚分離するパターンがあった．またサイズが 297 mm×210 mm の布地に対しては残り枚数が 4 枚か 5 枚、サイズが 260 mm×90 mm の布地に対しては残り 8 枚か 9 枚、サイズが 375 mm×50 mm の布地に対しては残り 11 枚となった時、残りの布全てがピックアップされた．

導出した剛体シートモデルによる関係式より分離失敗原因を考察する．失敗は 2 パターン存在した．1 つ目は、残り枚数が少なくなると残りの布全てが分離される現象である．この現象は剛体シートモデルによる摩擦係数の関係が $\mu_1 \geq \mu_2 \geq \mu_3$ の場合と類似している．実際の摩擦係数は $\mu_1 > \mu_3$ であることを証明しており、かつ μ_2 が最も小さくなるようにしている．しかし、実際には布同士の摩擦力にはばらつきがあり、分離失敗時に $\mu_1 \geq \mu_2 \geq \mu_3$ の関係となっている可能性が考えられる．そのため剛体シートモデルによりこの現象を説明できるが、この現象の問題を解決することはできない．失敗をなくすためには、残りの布全てを分離する時の布の残り枚数を事前に確認し、その枚数に達する前に布を追加することが考えられるが根本的な解決方法ではない．また、残りの布全てが分離される時の布の残り枚数は摩擦係数のみによって決定され、布の質量や形状には左右されないはずであり現象を説明できない点もある．2 つ目は残りの布の枚数がある程度ある場合、全部の布ではない複数枚の布を分離する現象である．剛体シートモデルによりローラーにより分離される布の枚数は 0 枚か 1 枚が残っている全ての布に限定されると想定したが、実際の実験では複数枚分離されるパターンが存在した．この現象は剛体シートモデルにより説明することができない．原因は、布表面の綿毛がくっつくことにより発生する布同士が張り付く力によるものだと考えられる．

以上より、実際の布の力学モデルは複雑であり剛体シートモデルでは全ての現象の説明は困難であること、実験より失敗を完全になくすることができないことが分かった。これらのことから、失敗をなくすのではなく、分離作業の成否を判別可能な手法を開発して、失敗時の作業を作業ラインから除くことで分離作業の信頼度の向上を目指すことにした。

Table 2 Experimental results of separation experiment. We recorded the number of fabrics that were actually separated when we worked on the single sheet separation from the remaining fabrics. This mechanism succeeded in separating the fabric with a high probability. However, this mechanism separates the all the remaining fabrics when the number of stacked fabrics is low.

Number of remaining fabrics	Fabric size : 297×210[mm]			Fabric size : 260×90[mm]			Fabric size : 375×50[mm]		
	Take1	Take2	Take3	Take1	Take2	Take3	Take1	Take2	Take3
20	○	○	○	○	○	×/2	○	○	○
19	○	○	○	○	○	△	○	×/2	○
18	○	○	○	○	○	○	○	△	○
17	○	○	○	×/2	○	○	×/3	○	○
16	○	×/2	○	△	○	○	△	○	○
15	○	△	×/3	○	×/2	○	△	○	○
14	○	○	△	○	△	○	○	○	×/3
13	○	○	△	○	○	○	○	○	△
12	○	○	○	○	○	○	○	○	△
11	○	○	○	○	○	×/2	×/11(all)	×/11(all)	×/11(all)
10	○	○	○	×/2	○	△			
9	○	○	×/2	△	×/9(all)	○			
8	○	○	△	×/8(all)	△	×/8(all)			
7	×/2	○	○						
6	△	○	○						
5	○	×/5(all)	×/5(all)						
4	×/4(all)	△	△						

Simplified chart of results	
Number of grasps (Ng)	Result
0	×
1	○
2~	×/Ng

3. 分離成功判別可能な重ねられた布の1枚分離手法の開発

分離作業の信頼度向上のため分離作業の成否を判別する手法を提案する。成功判別手法を検討し、それに応じて機構の改良と新たな分離手法の提案を行う。分離作業の成否の判別は布の厚さと質量を用いて行う。改良機構を用いて布1枚分離実験を実施し手法及び機構の検証を行う。

3・1 分離成功判別手法の検討

分離作業の信頼度向上のための分離成功判別手法として、布の厚さから成否を判別する手法を検討する。布を分離して把持した布の厚さを測定し、事前に測定した布の厚さと比較することで成功判別を行う。厚さの測定方法としては、布を把持する方法をエアチャックの開閉により把持する方法から、関節を回転させて把持する方法に変更しその回転角度を取得することで厚さを導出する方法を提案する。この厚さによる成功判別手法を実現させるためには機構の改良と新たな分離手法が必要となる。分離成功と判別した場合のみ、次の作業工程に移送する。失敗と判別した場合は、把持した布をその場で離し、布を捲り上げた方向とは逆向きにローラーを回転させて、把持した布を平らに広げ直し、再度分離作業を行うことができると考えている。布をその場で広げ直し分離作業を再度やり直すことが可能であれば、作業効率が上がると考える。しかし、現在は布を平らに広げ直す作業の成功率は低く、また上手く平らに広げ直せた場合も再分離作業が成功する確率も非常に低い。そのため本研究では布を広げ直し分離作業をやり直す工程を省いている。また、詳しくは3・3・1・3項で説明するが、厚さによる分離成功判別が適応不可能の場合が存在する。

そのため、更なる信頼度の向上のため、質量による分離成功判別手法を検討する。布を分離して把持した布の質量を測定し、事前に測定した布の質量と比較することで成功判別を行う。質量の測定方法としては、ロードセルを用いる。この質量による成功判別手法を実現させるためには機構の改良が必要となる。ロードセルにより布の質量を測定するためには、把持した布を完全に上空に持ち上げる必要がある。そのため、失敗判別の場合に布を広げ直し再度分離作業を行うことは不可能である。

3・2 機構の改良と新たな分離手法

3・2・1 改良機構

表4に分離成功判別を可能に改良した布1枚分離機構を示す。図5に機構図を示す。同様にマニピュレータの手先に接続して使用する。分離機構はローラーとローラー回転用サーボモータ、これらのローラーとモータをまとめて回転させる関節駆動用サーボモータで構成する。さらに把持した布の質量を測定するためのロードセルがある。ロードセルの固定側はマニピュレータと接続している上部の亚克力板に固定し、負荷側に分離機構を固定している亚克力板を接続する。使用するサーボモータはFUTABA社のRS304MDである。ローラーの半径 R は20.35 mm, 関節軸-ローラーの円周間の最大長さ L は25.35 mm, 関節駆動軸間の距離 W は47.8 mmである。ローラーの回転軸に対してモータ駆動関節軸を $L-R$ 分ずらした設計としている。

Fig. 4 Single sheet separation mechanism with success judgement mechanism of separation. This mechanism is attached to the end-effector of the manipulator (MOTOMAN-HP3J). Loadcells are used to measure the weight of the fabric. The fixed side of the load cell is fixed to the acrylic plate connected to the manipulator, and the load side is fixed to the acrylic plate connected to the separation mechanism.

Fig. 5 Mechanism as single sheet separation mechanism with success judgement mechanism of separation by the thickness. The joint driving shaft is displaced $L-R$ from the roller shaft.

3・2・2 新1枚分離手法

図6に改良機構により重ねられた布を1枚に分離し把持する手順を示す。

- ① 布の真上に機構を移動させ、関節駆動用モータを駆動させてローラーを布に押し付ける。モータトルクは同様に極力弱く設定する。ローラーを布に押し付けた時の関節駆動用モータの回転角度を θ_{Lp} 、 θ_{Rp} 、ローラー中心間の距離を W_{LR} とする。
- ② 右側のローラーを φ 度回転させ、1番上の布のみを捲ることで布を分離させる。摩擦力により、接触しているローラーと布同士が滑らないと仮定すると、回転により動かされる布の長さ l_t は、式(5)となる。

$$l_t = 2\pi R \times \frac{\varphi}{360} \quad (5)$$

さらにローラーが回転することにより布が捲り上げられ、分離対象の布の下の布にローラーが接触すると1枚分離が不可能となるため、ローラーが布と最初に接触した位置から布の端までの長さは l_t 以上必要となる。

- ③ 同様に左側のローラーを φ 度回転させ一番上の布のみをさらに捲る。
- ④ 関節駆動用モータを手順①とは逆向きに動作させ、捲れた布をローラー同士で挟みこみ、布を把持する。
- ⑤ 布の1枚分離と把持作業完了。

Fig. 6 Single sheet separation procedure of fabric using single sheet separation mechanism with success judgement mechanism of separation. The rollers are rotated and the fabric is separated. The servo motors for joint drive is operated and separated fabric is clamped and grasped between the rollers.

図7に手順②でローラーを布に押し付けた時と手順④で布を把持する時の機構図を示す。手順④で、布がローラー中心の水平高さまで捲り上がっていれば把持可能とする。ローラー中心の水平高さまで到達させるために必要な布の長さ l_g (緑点線 (四角)) は、左右のローラーの真真間の長さで考えると、ローラー間の水平最小距離とローラーの円周の1/4の長さ2つ分となり、式(6)に示す。

$$l_g = (W_{LR} - 2R) + 2 \times \frac{1}{2} \pi R \quad (6)$$

ローラーの回転により捲り上げられる布の長さ l_r (赤点線 (丸)) は、同様に考えると、ローラー中心間距離と左右のローラーの回転により動かされる布の長さとなり、式(7)に示す。

$$l_r = W_{LR} + 2 \times l_t \quad (7)$$

把持可能となるためには、 l_r が l_g 以上である必要がある。

この条件から、布を把持するために必要な l_t の最小長さが決定され、必要なローラーの最小回転量はローラーの半径に関係なく決まり 32.70° と導出できる。以上のことから、ローラーの回転量 φ は余裕を持たせて 45° と決定する。ローラーの回転量を 45° とすると、回転により動かされる布の長さ l_t は 15.98 mm となり、ローラーと布の初期接触点から布の端までに必要な最小長さが判明する。さらに $\theta_{Lp} = \theta_{Rp} = 30^\circ$ とすると、提案機構により把持可能である布の最小長さは 74.96 mm と判明する。

Fig. 7 Diagram of the mechanism when the roller is pressed the fabric and when the fabric is grasped. The green dotted line shows the length of fabric required to reach the horizontal height of the roller center (l_g). The red dotted line shows the length of fabric wound up by the rollers (l_r). If l_r is bigger than l_g , it can be grasped. The required amount of roller rotation ϕ is 32.07° . The minimum length of the graspable fabric is 74.96 mm.

3・3 分離成功判別手法

3・3・1 布の厚さによる分離成功判別手法

3・3・1・1 厚さ測定手法

分離作業の成否を判別する手法として、布の厚さを用いた手法を提案する。布の実測の厚さと把持した布の測定値を比較して成功判別を行う。図8に布を把持した時の機構図を示す。この図から、把持している布の厚さを測定する手法を説明する。 W は関節駆動軸間の距離(既知)、 $L-R$ は駆動軸とローラー回転軸の偏心距離(既知)、 θ_{Lg} 、 θ_{Rg} は布把持時の関節駆動用サーボモータの回転角度、 D_g は布把持時の左右のローラー回転軸間距離(未知)、 d は布の厚さである。

まず、布把持時の θ_{Lg} 、 θ_{Rg} を読みとり、 D_g のx成分と D_g のy成分を導出することで、 D_g を導出する。

$$D_{gx} = W - \{(L - R) \sin \theta_{Lg} + (L - R) \sin \theta_{Rg}\} \quad (8)$$

$$D_{gy} = |(L - R) \cos \theta_{Lg} - (L - R) \cos \theta_{Rg}| \quad (9)$$

図8より、ローラー回転軸間距離 D_g は把持している布2枚分の厚さとローラーの半径2つ分を足し合わせたものなので、布の厚さ d が導出できる。

$$d = \frac{D_g - 2 \times R}{2} \quad (10)$$

一方、布の厚さは微小のため精度の良い計測が必要となる。ローラー間で布を把持していない時と把持している時の θ_L 、 θ_R の角度差が大きい程、高精度な測定が可能である。そしてリンクの長さ L が小さい程、より大きな角度差が得られるため高精度な測定が可能となる。しかし L を小さくすることには機構的な限界がある。そこで、今回の手法のように機構の手先にローラーのような丸い手先を利用し、関節駆動軸とローラーの回転軸を微小長さ $L-R$ 偏心させて取り付けた。これにより実際のリンク長は短くならないが、 $L-R$ は L より小さいので実質的に L の項を小さくすることができ、小さな厚みを大きな角度変位に変換することができる。そのため精度の高い測定が可能となる(趙, 相山, 2010)。 $L-R$ の長さは小さい程高精度な測定が可能となるが、小さい程機構的な制限が大きくなる。 $L-R$ が0 mmの場合は、関節駆動用モータを駆動させたとしてもローラーにより布を挟むことができないため厚み測定は不可能である。そのため今回は高精度測定と制御のしやすさを考慮して、 $L-R$ を5 mmとした。

Fig. 8 Diagram of the mechanism of single sheet separation mechanism with success judgement mechanism of separation by the thickness when the mechanism is grasping the fabric. By using a roller at the end of the mechanism, the joint driving shaft and roller shaft are shifted. Thus, a small thickness of fabric can be converted into a large angular displacement when calculating the thickness of fabric. Therefore, it is possible to measure with high accuracy.

3・3・1・2 厚さ測定精度検証

厚さ測定手法と機構の測定精度を検証するために、作成した機構により布の厚さ測定実験を実施した。二つのローラーの間に測定対象物を挿入し、先に左側の関節駆動用モータを動作させて θ_{Lg} を 50° に設定した後、右側の関節駆動用モータを動作させて測定対象物を把持、そして両方の関節駆動用モータの回転角度を読み取り把持物の厚さを導出する。測定対象の布は厚さ 0.18 mm の綿製のYシャツ生地である。しかし、布は可変性が高く、ローラーで把持した時につぶれてしまい厚さにばらつきが生じるため正確な精度検証が困難である。そのため、比較的厚みのばらつきが少ないステンレス薄板の厚さも同様に測定することで正確な精度検証を行う。測定するステンレス薄板の厚さは 0.1 mm 、 0.2 mm 、 0.3 mm である。

図9に実際の厚さ測定結果と手法の理論計算結果を示す。理論計算結果とステンレス薄板の厚み測定結果を比較すると、正確な厚さの測定に成功していることが読み取れる。このことから作成した機構及び手法の精度が十分なものであることが分かる。一方、布の厚みは予想通りつぶれており、結果には多少のばらつきが生じた。しかし布1枚と2枚の厚み測定結果には十分差があることから、閾値を設定することでこの提案機構により1枚分離作業の成否判別は可能であると考ええる。

Fig. 9 Results of thickness measurement and theoretical calculation of the method. The thickness of a stainless sheet could be accurately measured. The measurement accuracy is sufficient. The results of the fabric thickness measurements are varied. However, the measurements were roughly accurate.

3・3・1・3 適応不可の場合

布の厚さによる分離成功判別手法が適応できない場合が存在する。この状況を図10に示す。1枚分離作業自体には成功し、ローラーにより把持している布は1枚のみのため、厚さによる分離成功判別は成功判定となる。しかし分離した布に下の布が張り付いているため、実際には複数の布を成功位置に移送する。このパターンの対応は現状不可能であり、新たな分離成功判別手法による対応が必要であると考ええる。

Fig. 10 Pattern for which the success judgement method by thickness is not applicable. The mechanism succeeded in separating the fabric, and grasped only one fabric. Since there is only one fabric grasped, it is judged as a success. However, the lower fabrics are attached to the separated fabric. Therefore, the mechanism actually transfers several fabrics to the successful position.

3・3・2 布の質量による分離成功判別手法

3・3・2・1 質量測定手法

更なる信頼度の向上のために分離作業の成否を判別する手法として、布の質量を用いた手法を提案する。分離して把持した布の質量をロードセルによって測定し、事前にデジタルスケールで測定した対象の布の質量と比較し、実際に把持している布の枚数を判定することで分離の成否を判別する。使用するロードセルの最大定格荷重は 200 g, 測定精度は ± 0.1 g ($\pm 0.05\%$ FS)である。把持した布の質量を測定するためには、布を完全に空中に持ち上げ静止させる必要がある。

厚さによる分離成功判別手法が適応不可の場合への対応が可能であり、かつ二つの判別手法によるダブルチェックにより信頼度向上が見込める。

3・4 分離成功判別を追加した布 1 枚分離実験

3・4・1 厚さによる分離成功判別のみを実施する場合

厚さによる分離成功判別のみを追加して、重ねられた布 10 枚の 1 枚分離実験を実施した。分離対象の布は同様の厚さ 0.18 mm の綿製の Y シャツ生地でサイズは 41 mm×140 mm と 88 mm×258mm の 2 種類、それぞれ 3 回ずつ実験を行った。図 11 に実験環境の図を示す。図 12 に実験のフローチャートを示す。分離して把持した布の厚さを測定し、厚さによる分離成功判別を行い、分離成功と判定した場合成功時の指定位置に、失敗判定の場合失敗時の指定位置に移送する。分離成功と判定する布の厚さの範囲は、厚さ測定実験より 0.1 mm～0.18 mm とした。

Fig. 11 Top view of the experimental environment. The left side of the manipulator is the transfer position for successful separation and the right side is the transfer position for failure.

Fig. 12 Flowchart of separation experiments by single sheet separation mechanism with success judgement mechanism of separation by the thickness. In the case of success, the fabric is transferred to the position in case of separation success, and in the case of failure, the fabric is transferred to the position in case of separation failure.

3・4・2 厚さと質量による分離成功判別を実施する場合

厚さと質量による分離成功判別を追加して、重ねられた布 10 枚の 1 枚分離実験を実施した。分離対象は 3.4.1 節の実験と同様で、それぞれ 3 回ずつ実験を行った。図 13 に実験のフローチャートを示す。布の厚さによる分離成功判別により分離成功と判別した時のみ、機構を真上に持ち上げ布の質量を測定する。そして質量による分離成功判別を行い、両方の判別手法により成功と判別した時のみ布を成功位置に移送する。

Fig. 13 Flowchart of separation experiments by single sheet separation mechanism with success judgement mechanism of separation by the weight. The mechanism transfers the fabric to the successful position when the mechanism judged successful separation by both the thickness and weight.

3・5 分離成功判別を追加した布1枚分離実験結果と考察

3・5・1 厚さによる分離成功判別のみを実施した場合の実験結果と考察

表3に厚さによる分離成功判別のみを実施した場合の実験結果の早見表を示す。表の列は機構が実際に把持した布の枚数を示し、行は布の厚さによる分離成功判別機構により測定し推定した把持している布の枚数を示す。○は、1枚のみの布の分離に成功し、分離判別により分離作業成功と判別した場合である。△は、分離作業に失敗し、分離して把持した枚数と分離判別による判定枚数が同一の場合である。この場合正確な厚さ測定に成功しているのに、分離失敗時の布の誤った移送を防ぐことが可能である。▲は、分離して把持した枚数と分離判別による推定枚数が異なる場合である。つまり厚さ測定に失敗している場合である。赤×は、分離作業に失敗しているが、分離成功判別で分離成功と判別した場合である。1枚以外の枚数の布を成功指定位置に移送することになり、生産ラインにおいて不都合が生じる。また記号が重複しているため、実際に把持した枚数 N_g もそれぞれ併記する。

表4に実験結果を示す。結果として、両方のサイズの布において、布の1枚分離には概ね成功した(○)。さらに布の厚さによる分離成功判別手法により、把持している布の正確な厚さ測定ができ誤った枚数の布の移送を防ぐことが可能となった(△)。また、厚さによる分離判定により実際の把持枚数と異なる枚数を判定する場合はなかった。一方、把持している布が1枚ではないが、分離成功と判定してしまう場合が存在した(赤×)。この現象は、厚さの測定に失敗しているわけではなく、実際には3・3・1・3項で説明した状況にある。このパターンの対応は現状不可能であり、質量による分離成功判別手法により対応する。

Table 3 Simplified chart of experimental results of separation experiment. The table columns show the number of fabrics that the mechanism grasped separately. The table low shows the number of grasped fabrics estimated by success judgement mechanism of separation by the thickness. Number of fabrics that the mechanism grasped (N_g) is also presented. The circle mark indicates the separation success and the success judgement of the thickness measurement. The triangle mark indicates the separation failure, but it is the failure judgment and prevents incorrect transfer. The black triangle mark is when the judgement is incorrect. The red cross mark is the substantial failure, because this judge the separation failure as a success.

Number of grasps(N_g)	Number of judgments by thickness			
	0	1	2~ ※	2~
0	△/ N_g	×/ N_g	▲/ N_g	▲/ N_g
1	▲/ N_g	○	▲/ N_g	▲/ N_g
2~	▲/ N_g	×/ N_g	△/ N_g	▲/ N_g

※ The number of judgements and grasps are the same

Table 4 Experimental results of separation experiment by single sheet separation mechanism with success judgement mechanism of separation by the thickness. This mechanism was mostly successful in separating a sheet of fabric. This mechanism prevented the transfer of the wrong number of fabrics with success judgement mechanism of separation by the thickness. However, there were cases where the mechanism transferred the wrong number of fabrics.

Number of remaining cloths	Fabric size : 88×258[mm]			Number of remaining cloths	Fabric size : 41×140 [mm]		
	Take1	Take2	Take3		Take1	Take2	Take3
10	○	○	○	10	○	○	×/2
9	○	○	○	9	○	○	○
8	○	○	△/2	8	○	○	○
7	○	○	▲	7	○	○	○
6	○	○	○	6	○	○	○
5	○	○	○	5	○	△/2	○
4	○	○	○	4	○	▲	○
3	○	○	○	3	○	○	×/3
2	○	○	○	2	○	×/2	▲
1	○	○	○	1	○	▲	▲

3・5・2 厚さと質量による分離成功判別を実施した場合の実験結果と考察

表 5 に厚さと質量による分離成功判別を実施した場合の実験結果の早見表を示す。見方は表 3 と同様である。分離に失敗しているが、厚さと質量の両方の分離成功判別手法により分離成功と判定し成功位置に誤って移送する場合（赤×）のみが実質的な失敗となる。

表 6 に実験結果を示す。結果として、両方の布において 1 枚分離には概ね成功し、布の厚さと質量による分離成功判別手法により誤った移送を防ぐことができた。実際に把持している布の枚数と、質量測定により判定した把持枚数が一致していた。2.24 g の布の測定結果の平均値は 2.22 g、0.60 g の布の測定結果の平均値は 0.619 g であった。一方質量が 0.60 g の布では 3・3・1・3 項で説明したパターンが表れた。しかし、この厚さによる分離成功判別により把持している布が 1 枚ではないのにも関わらず誤って分離成功と判別してしまうパターンも、質量による分離成功判別も併せて行うことで正確な把持枚数を測定でき、誤った移送を完全に防ぐことが可能となった。その結果、布の 1 枚分離実験において 1 枚以外の布を成功位置に移送することが完全になくなり、実質的な失敗をなくすことができた。

Table 5 Simplified chart of successful separation results by thickness and weight. Only the red cross mark is the substantial failure. This case in which the separation failed but was judged to be successful by weight measurement.

Number of grasps(Ng)	Number of judgments by thickness				Number of judgments by weight			
	0	1	2~ ※	2~	0	1	2~ ※	2~
0	△/Ng	×/Ng	△/Ng	▲/Ng	△/Ng	×/Ng	△/Ng	▲/Ng
1	▲/Ng	○	△/Ng	▲/Ng	▲/Ng	○	△/Ng	▲/Ng
2~	▲/Ng	×/Ng	△/Ng	▲/Ng	▲/Ng	×/Ng	△/Ng	▲/Ng

※ The number of judgements and grasps are the same

Table 6 Experimental results of separation experiment by single sheet separation mechanism with success judgement mechanism of separation by the weight. This mechanism was mostly successful in separating a sheet of fabric. This succeeded to measure the weight accurately. In all failure patterns, this mechanism was able to prevent incorrect transfers.

Number of remaining fabrics	Fabric size : 88×258 [mm] Fabric weight : 2.24 [g]					
	Take1		Take2		Take3	
	Thickness judge	Weight judge	Thickness judge	Weight judge	Thickness judge	Weight judge
10	○	○	○	○	○	○
9	○	○	○	○	○	○
8	○	○	○	○	○	○
7	○	○	○	○	○	○
6	○	○	○	○	○	○
5	○	○	○	○	○	○
4	○	○	○	○	○	○
3	○	○	○	○	○	○
2	○	○	○	○	○	○
1	○	○	○	○	○	○

Number of remaining fabrics	Fabric size : 41×140 [mm] Fabric weight : 0.60 [g]					
	Take1		Take2		Take3	
	Thickness judge	Weight judge	Thickness judge	Weight judge	Thickness judge	Weight judge
10	○	○	○	○	○	○
9	○	○	○	○	○	○
8	○	○	○	○	○	○
7	○	○	○	○	○	○
6	△/2	○	○	○	○	○
5	○	○	○	○	○	○
4	×/4	△/4	○	○	○	○
3	○	○	×/3	△/3	×/3	△/3
2	○	○	○	○	○	○
1	○	○	○	○	○	○

3・6 今後の展望

今回は分離成功判別手法を二つ使用することで布の誤送を完全に防ぐことに成功した．一方，質量測定には全て成功したため，質量による分離成功判別手法のみでも布の誤送を完全に防ぐことが可能である．しかし 3・3・1 項で述べたように厚さによる分離成功判別手法を用いる利点も存在する．布を完全に持ち上げることなく厚さを測定できるため，分離に失敗し失敗と判別した場合，把持した布を平らに広げ直し再度分離作業を行うことができると考えている．現在は失敗判別の場合，失敗時の指定位置に布を移送しているため，その分の移送時間が作業効率を低下させる．またその布を回収する必要もあるため余計な仕事が増加する．布をその場で広げ直し分離作業を再度やり直すことが可能であれば，作業効率が上がると考える．現在はその工程を省いているが，今後実装を目指す．分離失敗後，再分離作業を実施する際のフローチャートを図 14 に示す．分離に成功するまで再分離作業を繰り返し，全ての重ねられた布を次の工程に移送することを目指す．

Fig. 14 Flowchart of the re-separation process. If the mechanism judges failure, it releases the fabric and spread flat again. Then, it performs the separation process again.

4. 結 言

今回，ローラーハンド機構を用いた重ねられた布の 1 枚分離手法を開発し，布分離実験により性能を評価した．布の 1 枚分離に高い確率で成功したが，失敗をなくすることができず失敗の原因についても剛体シートモデルでは説明できないものも存在した．これらのことから，ローラーハンド機構を用いた重ねられた布の 1 枚分離機構に，分離成功判別機構を付加することにより布分離作業の信頼性の向上を目指した．布の厚さによる分離成功判別手法を考案，実機を作成し，実機実験により手法及び機構の検証を行った．結果として布の 1 枚分離作業に概ね成功した．さらに把持している布の正確な厚さ測定に成功し，誤った枚数の布の移送を防ぐことが可能となった．しかし，この手法では分離成功判別が正確に行えない失敗パターンが存在した．そのため，さらに布の質量による分離成功判別手法を考案，実機を作成し，実機実験により手法及び機構の検証を行った．結果として，この手法により全ての分離失敗パターンに対応することが可能となり，誤った枚数の布の移送を防ぐことが完全に可能となった．今後は，分離失敗後の再分離作業の成功率を向上させることや 1 枚分離作業に失敗することの根本的解決方法の検討や，分離した布を要求された位置に平らに置く作業，布同士を重ね合わせる作業等の自動化の実現を目指す．

文 献

阿部泰樹，川崎雄一，山崎公俊，縫製機への綿布供給作業に向けた巻取り式エンドエフェクタ，ロボティクス・メカトロニクス講演会 2020，講演番号 1P1-B12 (2020)．

- Czarnecki, C., Automated stripping: a robotic handling cell for garment manufacture, IEEE Robotics & Automation Magazine, Vol.2, Issue 2 (1995), pp.4-8.
- Demura, S., Sano, K., Nakajima, W., Nagahama, K., Takeshita, K. and Yamazaki, K., Picking up one of the folded and stacked towels by a single arm robot, 2018 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, (2018).
- 後藤勝弘, シート状材料供給装置, 公開実用昭和 50-53153, (1975).
- Jarvis, S. D. H., Wilcox, K., Chen, X. Q., McCarthy, R. and Sarhadi, M., Design of a handling device for composite ply lay-up automation, Fifth International Conference on Advanced Robotics 'Robots in Unstructured Environments, Vol.1 (1991), pp.790-795.
- JUKI 株式会社, 自動機 | JUKI 工業用ミシン, JUKI 工業用ミシン, 入手先, available from <https://www.juki.co.jp/industrial_j/products_j/apparel_j/automatic/>, (参照日 2020 年 10 月 27 日).
- 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, Vol.64, No.620 (1998), pp.1356-1361.
- Kakogawa, A., Nishimura, H. and Ma, S., Underactuated modular finger with pull-in mechanism for a robotic gripper, Proceedings of the 2016 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, (2016), pp.556-561.
- 勝山大輔, 保護用紙除去装置, 特開平 9-142679, (1997).
- 河内保二, 縫製におけるマテリアルハンドリングの自動化システム技術の現状と将来, 繊維機械学会誌, Vol.27, No.11 (1974), pp.662-670.
- Kolluru, R., Valavanis, K. P., Smith, S. A. and Tsourveloudis, N., Design and analysis of a reconfigurable robotic gripper for limp material handling, Proceedings 2000 ICRA. Millennium Conference. IEEE International Conference on Robotics and Automation. Symposia Proceedings, Vol.2 (2000), pp.1988-1993.
- 久保公平, 江田邦臣, シート材の枚葉供給方法および装置, 特開平 7-109038, (1995).
- Kudo, M., Nasu, Y., Mitobe, K. and Borovac, B., Multi-arm robot control system for manipulation of flexible materials in sewing operation, Mechatronics, Vol.10, No.3 (2000), pp.371-402.
- 蓑輪達雄, 布端把握装置, 公開実用昭和 54-134486, (1979).
- Morino, K., Kikuchi, S., Chikagawa, S., Izumi, M. and Watanabe, T., Sheet-based gripper featuring passive pull-in functionality for bin picking and for picking up thin flexible objects, Vol.5, No.2 (2020), pp.2007-2014.
- 中村達也, 新井健生, 大地虎男, マニピュレータによる 3 次元縫製技術, 計測と制御, Vol.27, No.9 (1988), pp.793-800.
- 小野栄一, 布のマニピュレーション, 日本ロボット学会誌, Vol.16, No.2 (1998), pp.149-153.
- 小野栄一, ロボットハンドによる布状柔軟物ハンドリングの研究, 電気通信大学博士学位申請論文, (2008).
- Schrimpf, J., Wetterwald, L. E. and Lind, M., Real-time system integration in a multi-robot sewing cell, 2012 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, (2012), pp.2724-2729.
- Schulz, G., Grippers for flexible textiles, Fifth International Conference on Advanced Robotics 'Robots in Unstructured Environments, Vol.1 (1991), pp.759-764.
- Seliger, G., Stephan, J. and Lange, S., Hydroadhesive gripper by using the peltier effect, Proceedings of the ASME Manufacturing Engineering Division 2000, Vol.11 (2000), pp.3-8.
- Shibata, M., Ota, T., Endo, Y. and Hirai, H., Handling of hemmed fabrics by a single-armed robot, Proceedings of 4th IEEE Conference on Automation Science and Engineering, (2008), pp.882-887.
- Yuan, S., Epps, A. D., Nowak, J. B. and Salisbury, J. K., Design of a roller-based dexterous hand for object grasping and within-hand manipulation, 2020 IEEE International Conference on Robotics and Automation, (2020), pp.8870-8876.
- 趙賛, 相山康道, 丸い手先を利用するマニピュレータによる微小な厚みの計測, 日本機械学会関東支部総会講演会講演論文集, Vol.16 (2010), pp.75-76.

References

- Abe, T., Kawasaki, Y. and Yamazaki, K., Winding-based end-effector for feeding cotton cloth to sewing machine, 2020 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, Lecture number 1P1-B12 (2020) (in Japanese).
- Czarnecki, C., Automated stripping: a robotic handling cell for garment manufacture, IEEE Robotics & Automation Magazine, Vol.2, Issue 2 (1995), pp.4-8.
- Demura, S., Sano, K., Nakajima, W., Nagahama, K., Takeshita, K. and Yamazaki, K., Picking up one of the folded and stacked towels by a single arm robot, 2018 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, (2018).

- Goto, K., Sheet material supply device, Japanese utility model disclosure S50-53153 (1975).
- Jarvis, S. D. H., Wilcox, K., Chen, X. Q., McCarthy, R. and Sarhadi, M., Design of a handling device for composite ply lay-up automation, Fifth International Conference on Advanced Robotics 'Robots in Unstructured Environments, Vol.1 (1991), pp.790-795.
- JUKI CORPORATION, Automatic Machine | JUKI Industrial Sewing Machine, JUKI Industrial Sewing Machine , available from <https://www.juki.co.jp/industrial_j/products_j/apparel_j/automatic/>, (accessed on 27 October, 2020).
- Kabaya, T. and Kakikura, M., Research on a service robot for housekeeping -handling of clothes-, Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series C, Vol.64, No.620 (1998), pp.1356-1361 (in Japanese).
- Kakogawa, A., Nishimura, H. and Ma, S., Underactuated modular finger with pull-in mechanism for a robotic gripper, Proceedings of the 2016 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, (2016), pp.556-561.
- Katsuyama, D., Protection paper removal device, Japanese patent disclosure H09-142679 (1997).
- Kawauchi, Y., On the technology of system for material handling in garment manufacturing, it's present and future, Journal of the Textile Machinery Society of Japan, Vol.27, No.11 (1974), pp.662-670 (in Japanese).
- Kolluru, R., Valavanis, K. P., Smith, S. A. and Tsourveloudis, N., Design and analysis of a reconfigurable robotic gripper for limp material handling, Proceedings 2000 ICRA. Millennium Conference. IEEE International Conference on Robotics and Automation. Symposia Proceedings, Vol.2 (2000), pp.1988-1993.
- Kubo, K. and Eda, K., Sheet material feeding method and device, Japanese patent disclosure H07-109038 (1995).
- Kudo, M., Nasu, Y., Mitobe, K. and Borovac, B., Multi-arm robot control system for manipulation of flexible materials in sewing operation, Mechatronics, Vol.10, No.3 (2000), pp.371-402.
- Minowa, T., Fabric end grasp device, Japanese utility model disclosure S54-134486 (1979).
- Morino, K., Kikuchi, S., Chikagawa, S., Izumi, M. and Watanabe, T., Sheet-based gripper featuring passive pull-in functionality for bin picking and for picking up thin flexible objects, Vol.5, No.2 (2020), pp.2007-2014.
- Nakamura, T., Arai, T. and Oochi, T., Manipyure-taniyoru3jigenhouseigijyutsu, Journal of the Society of Instrument and Control Engineers, Vol.27, No.9 (1988), pp.793-800 (in Japanese).
- Ono, E., Fabric manipulation, Journal of the Robotics Society of Japan, Vol.16, No.2 (1998), pp.149-153 (in Japanese).
- Ono, E., Studies on limp materials handling with robot hand, Doctoral Degree Thesis by The University of Electro-Communications, (2008) (in Japanese).
- Schrimpf, J., Wetterwald, L. E. and Lind, M., Real-time system integration in a multi-robot sewing cell, 2012 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, (2012), pp.2724-2729.
- Schulz, G., Grippers for flexible textiles, Fifth International Conference on Advanced Robotics 'Robots in Unstructured Environments, Vol.1 (1991), pp.759-764.
- Seliger, G., Stephan, J. and Lange, S., Hydroadhesive gripper by using the peltier effect, Proceedings of the ASME Manufacturing Engineering Division 2000, Vol.11 (2000), pp.3-8.
- Shibata, M., Ota, T., Endo, Y. and Hirai, H., Handling of hemmed fabrics by a single-armed robot, Proceedings of 4th IEEE Conference on Automation Science and Engineering, (2008), pp.882-887.
- Yuan, S., Epps, A. D., Nowak, J. B. and Salisbury, J. K., Design of a roller-based dexterous hand for object grasping and within-hand manipulation, 2020 IEEE International Conference on Robotics and Automation, (2020), pp.8870-8876.
- Zhao, Y. and Aiyama, Y., Measurement of small thickness with spherical tip on manipulator, Annual Conference of Kanto Branch, The Japan Society of Mechanical Engineers, Vol.16 (2010), pp.75-76 (in Japanese).