

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 28 日現在

機関番号：32644

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K17960

研究課題名（和文）画像認識技術を用いたウェブ搬送時における不具合防止システムの開発

研究課題名（英文）Development of Prevention System for Defects During Web Transportation Using Image Recognition Technique

研究代表者

砂見 雄太 (Sunami, Yuta)

東海大学・工学部・講師

研究者番号：10709702

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究課題では、ウェブ上に生じるトラフを画像認識技術を用いて自動で防止するシステムを構築することを目的としている。そこで本研究では、5本のローラを用いたエンドレス搬送装置を用いてフィルムを搬送し、ローラ間のミスアライメントを調整することが可能な装置を用いて実験を実施した。搬送中のフィルムをカメラにより撮影し、そのデータを補正・二値化してフィルム上に生じているトラフを認識し、自動でそれを防止するシステムを構築した。

研究成果の概要（英文）：In recent years, roll-to-roll-printed-electronics has attracted attention to manufacture flexible devices such as polymer electrolyte fuel cell or lithium-ion secondary battery. The process can mass-produce flexible devices because the process continuously forms electric circuit by dropping conductive ink on film which is transported by many rollers. However, the process has not been put to practical use because there are many problems in this process. As the example of these defects which are occurring in the process, there are trough and wrinkling. If these defects occur in the process, performance of formed circuit significantly decreases. Consequently, we need to prevent defects. Therefore, in this study, we constructed preventing mechanism of these defects by image recognition technique.

研究分野：トライボロジー

キーワード：トライボロジー ウェブハンドリング 画像認識 トラフ 制御 プラスチックフィルム

1. 研究開始当初の背景

近年、プラスチックフィルムのようなフレキシブル素材に印刷技術を用いて半導体、電池、センサなどを創成するプリンティッド・エレクトロニクス技術 (PE技術) と上記製品を大量に製造するためのウェブハンドリング技術 (ロール・ツー・ロール方式とも言う) を融合させたロール・ツー・ロール PE技術の開発が期待されている。しかし、本技術の確立には高精度印刷が要求されるため従来よりも一層高度なフィルムの搬送精度が必要となる。そこで本研究では、画像認識技術を応用して搬送中のフィルムの蛇行運動や折れしわ、スリップなどの不具合を観測し、それらを防止することが可能なシステムの構築について検討した。さらに、インクジェット装置を用いてフィルム上に機能性インクを印字してフレキシブルデバイスを作製することについても検討した。

二値化を用いた画像認識によりフィルム上に生じるトラフの向きを判断し、それを基にローラ間のミスアライメントを自動的に修正するシステムを構築した。本システムを用いることでフィルム上のトラフを即座に解消することが実験的に確認され、さらには折れしわ防止につながることも確認された。また、インクジェット装置を用いたフレキシブルデバイスセンサの開発を実施した。静止状態においては、表面処理をしたフィルム上では配線、保護もきれいに印字することができた。これらの結果は、ウェブハンドリング技術の高度化に寄与するとともにロール・ツー・ロール PE技術の開発にも有効である。

2. 研究の目的

近年、プラスチックフィルムのようなフレキシブル素材に印刷技術を用いて半導体、電池、センサなどを創成する PE 技術とロール・ツー・ロール方式を融合させたロール・ツー・ロール PE 技術 (図 1 参照) の開発が期待されている。しかし、本技術の確立には高精度印刷が要求されるため従来よりも一層高度なフィルムの搬送精度が必要となる。そこで本研究では、画像認識技術を応用して搬送中のフィルムの蛇行運動や折れしわ、スリップなどの不具合を観測し、それらを防止することが可能なシステムの構築を

目指す。

3. 研究の方法

本研究では、トラフが生じたウェブをカメラにより撮影し、画像処理を行うことで、トラフの検知した。その後、トラフの発生が確認された際に速やかにローラ間のミスアライメントを自動で補正し、トラフの発生の抑制を行った。

3. 1 実験装置

図 2 に、本実験に使用した搬送試験機を示す。本試験機は 5 本の鋼ローラを介して PET フィルムをループ状に貼り合わせ、ローラとのトラクション力 (摩擦力) により、フィルムを搬送する。図 3 にローラ駆動部の拡大図を示す。下流側のローラに対してステッピングモータが接続しており、任意のミスアライメント角度を与えることが可能となっている。フィルムの搬送速度は 0.15~5.0 m/s の範囲で設定可能となっている。また、張力はロードセルで検知しており、Web カメラによって搬送時のフィルムの様子を撮影している。

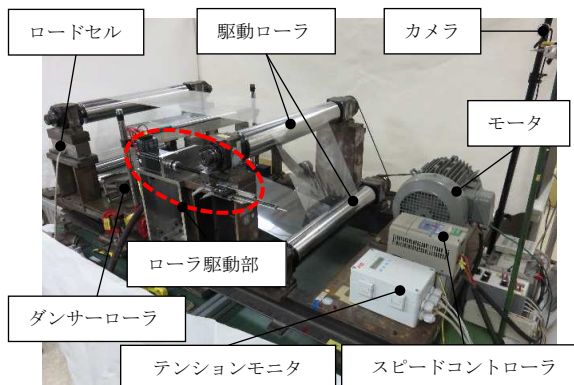


図 2 実験装置の概観

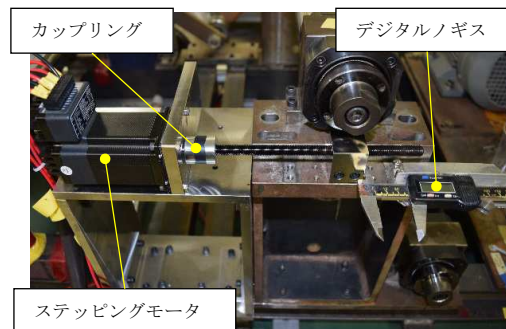


図 3 ローラ駆動部の拡大図

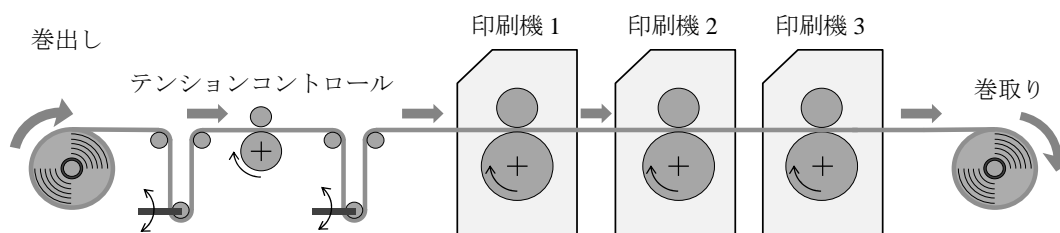


図 1 ロール・ツー・ロール・プリンティッドエレクトロニクス技術の概略

3. 2 画像解析プログラム

本実験ではC言語を基本として、各機能をもったアイコンを繋ぎ合わせることで、比較的容易にプログラムを作成することが可能であるLabVIEWを用いて独自にプログラムの構築を行った。図4に作成したプログラムのフローチャートを示す。同図より、画像処理の手順は、Webカメラで撮影した画像を取り込み、二値化を行った後に最小二乗法を用いて近似線を描き、その傾きからトラフの向きを検出する。トラフを検出した場合は、その向きによってモータを駆動させて修正を開始する。その後トラフが確認できなければプログラムを停止する。図5(a)に撮影画像を示す。同図より、フィルム全体を撮影するために、斜めから撮影を行っている。そのため遠近法による歪み生じており、現実のローラ間の距離を基準として図5(b)に示すように垂直方向から撮影した画像のように校正を行った。その後、画像内の各ピクセルの輝度に基づいて、しきい値以下のものを0(黒)、しきい値以上を1(白)とする二値化法を用いて、画像処理を行う。このとき、画像全体の輝度を用いてしきい値を決定するグローバル二値化ではなく、対象となる周囲の近接ピクセルの輝度のみを用いてしきい値を決定するローカル二値化を用いた。これにより、光源に近いところの輝度が高くなってしまいう影響を少なくすることが可能となった。その画像処理を行った画像の指定した領域内において、水平方向の各検出線上の明と暗の境目(エッジ)に交点を設ける。各交点に対して最小二乗法を用いて近似線を描き、領域内での垂直線とのずれにより、トラフの向きを算

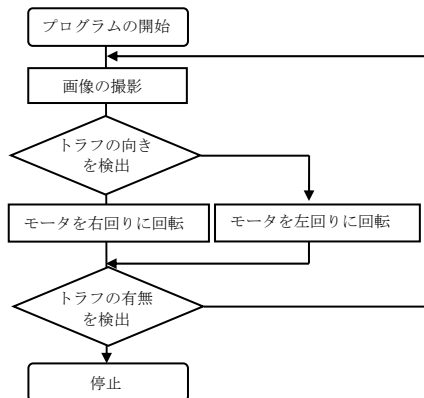


図4 作成したプログラムのフローチャート



(a) 撮影画像(校正前) (b) 校正後

図5 画像の校正

出することが可能である。その後算出した角度の数値の正負によってモータの回転方向を変更し、ローラ位置をミスアライメントが減少する方向へ移動させる。この動作を繰り返すことで少しずつトラフが減衰する方向へローラの傾きを補正することが可能である。なお、プログラムは、最小二乗法を用いて算出した角度が $-1.0 \text{ deg} \sim 1.0 \text{ deg}$ の範囲に収まった際に停止する条件となっている。

3. 3 実験方法

本実験では、始めに搬送装置にPETフィルムをループ状に貼り合わせ、任意の張力を与える。その後、貼り合わせたフィルムの搬送を行い、その搬送中において、下流のローラに対してミスアライメントを与える。任意のミスアライメントを与えた後に作成したプログラムを実行する。なお、表1に、本実験を行った際の条件を示す。

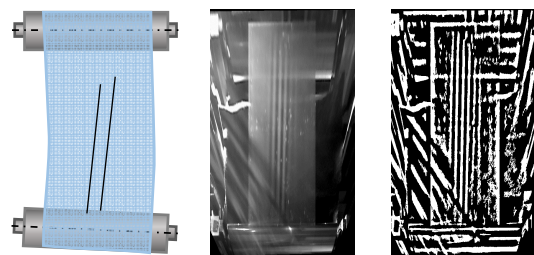
4. 研究成果

4. 1 画像認識によるトラフの検出

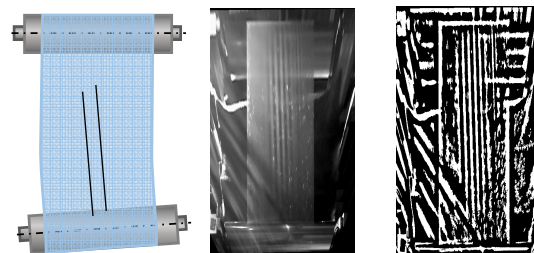
図6に、本実験で撮影した画像およびトラフを検出するために二値化を行った画像をそれぞれ示す。同図(i)(a), (ii)(a)に示すように、ローラを上流側に傾けた際を+方向、下流側に傾けた際を-方向とする。同図(i)(b), (ii)(b)より、フィルム表面上に発生するトラフの存在とローラを+方向、-方向に傾けた際に生じているトラフの方向が

表1 実験条件

| | | |
|-----------|-------------|-------|
| 使用フィルムの材質 | | PET |
| 使用ローラの形状 | | ストレート |
| フィルムの厚さ | t_f [mm] | 12 |
| フィルム幅 | W [mm] | 300 |
| 搬送速度 | U_f [m/s] | 0.15 |
| フィルム張力 | T [N/m] | 300 |



(a) +方向 (b) 撮影画像 (c) 二値化画像
(i) +方向へローラを傾けた場合



(a) -方向 (b) 撮影画像 (c) 二値化画像
(ii) -方向へローラを傾けた場合

図6 ローラの様子および撮影画像、二値化画像

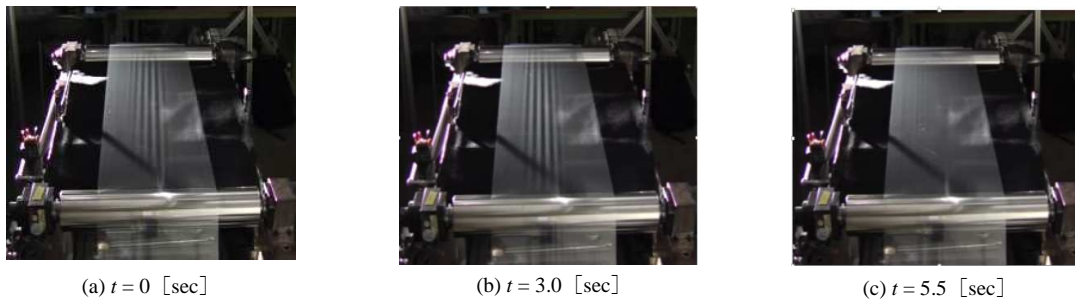


図7 実験結果(+方向)

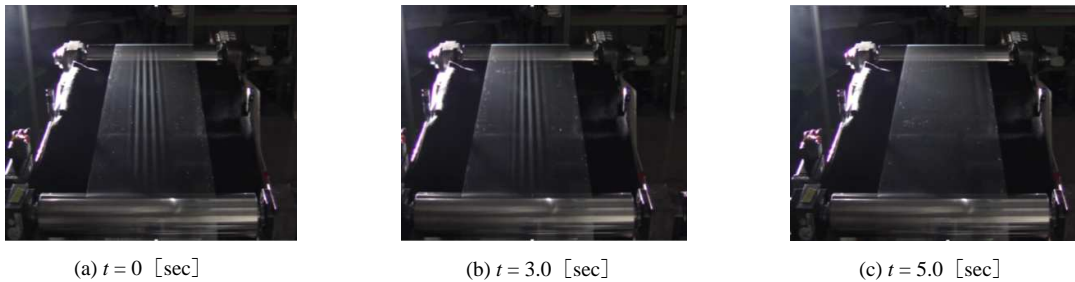


図8 実験結果(-方向)

異なっていることを確認した。しかしながら、撮影した画像を用いてトラフの抽出を行った場合、背景やフィルムに均一に光が照射されないためトラフの検出が困難である。そこで、画像全体の輝度に依存しないローカル二値化を行うことで背景との分離が可能となり、明確にトラフを抽出できた。その結果を図6に示す。また同図より、撮影画像と同様に生じているトラフを抽出することが可能であると確認した。このとき、二値化画像では、トラフ以外の部分も多く抽出されていることから、本実験ではフィルムの中心を検出領域として設定した。そのため、背景やフィルムに入り込む光などがトラフの検出へ与える影響は極めて低いと考えられる。

4. 2ローラ間のミスアライメント修正の自動化

図7, 8に実際にプログラムを実行した際に、画像処理を用いてトラフの向きを判定し、トラフを消滅させた様子を示す。同図は、プログラムの開始時からトラフの消滅までを時間ごとに捉えたものである。この結果から、画像解析によりトラフの向きを判定し、トラフを減衰する方向へとローラ間の傾きを自動的に修正することを確認した。また、ローラ間の傾きが反対になった際も同様にトラフを消滅させることができた。これにより、実際の生産現場に導入することができれば、工場の省人化につながると考えられる。

図9に、図7および図8に示した実験結果のプログラムの時間経過に伴うフィルム面積に対するトラフの割合を示す。横軸にプログラムの経過時間を、縦軸にフィルム表面積におけるトラフの割合を示している。同図より、プログラム開始直後から4.0 secまでトラフの割合が増減している。その後4.0~5.0

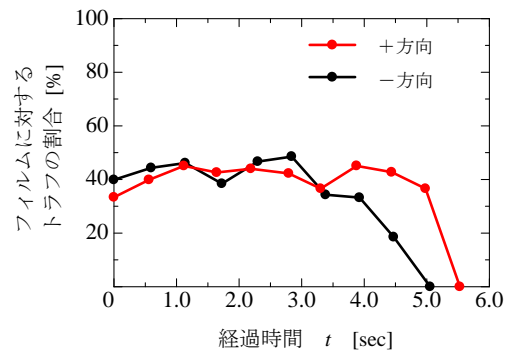


図9 時間経過に伴うフィルム面積に対するトラフ

sec間に急激にトラフが減少している。これにより、トラフの発生には折れしわと同様に微小な臨界角度の存在が考えられる。また、実験結果のトラフが増減するもう一つの要因として、ローラの表面粗さの影響が挙げられる。ローラの円周方向の凹凸により、搬送時にフィルムが振動を起し、プログラム実行直後のトラフの増減が起こったと考えられる。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 5 件)

- ① 砂見雄太, 橋本巨, ロール・ツー・ロールプリンテッドエレクトロニクス技術への期待, シミュレーション, 査読無, 35, 2016, 2.
- ② Yusuke Kotobuki, Yuta Sunami, Hiromu Hashimoto, Preventing Method of Web Defects during Transportation by Image Recognition Technique, Proc. of International Tribology Conference, Tokyo 2015, 査読有, 1, 2015, 940-941.

- ③ Yuta Sunami, Yasushi Fujiwara, Hiromu Hashimoto, Tribological Characteristics between Plastic Film and Steel Roller, Proc. of International Tribology Conference, Tokyo 2015, 査読有, 1, 2015, 870-871.
- ④ Yuta Sunami, Hiromu Hashimoto, Friction Characteristics between Thin Plastic Film and Steel Roller, Proc. of Thirteenth International Conference on Web Handling 2015, 査読無, 1, 2015, 273-285.
- ⑤ Yuta Sunami, Hiromu Hashimoto, Tribological Characteristics between Thin Plastic Film and Steel Roller, Proc. of 2015 JSME-IIP/ASME-ISPS Joint Conference on Micromechatronics for Information and Precision Equipment, 査読有, 1, 2015, 1-2.

[学会発表] (計 6 件)

- ① 池田祐太, 砂見雄太, 落合成行, 橋本巨, 印刷技術を用いたフレキシブルセンサの検討, 日本機械学会関東学生会第 56 階学生員卒業研究発表講演会, 2017 年 3 月 16 日, 東京理科大学 (東京都葛飾区)
- ② 田島伸一, 池田祐太, 橋本巨, 砂見雄太, フレキシブルデバイス作成過程の基板及び印刷面の濡れ性評価, 日本機械学会 IIP2017 情報・知能・精密機器部門講演会, 2017 年 3 月 15 日, 東洋大学 (東京都文京区)
- ③ 田島伸一, 池田祐太, 砂見雄太, 落合成行, 橋本巨, 画像認識技術を用いたウェブ上に生じる不具合防止技術と印刷技術の融合, 東海大学マイクロ・ナノ啓発会【Tune】第 8 回学術講演会, 2017 年 2 月 25 日, 東海大学 (神奈川県平塚市)
- ④ 橋本巨, 砂見雄太, 画像認識技術を用いた折れしわ前兆現象の自動防止システム, 日本機械学会 IIP2016 情報・知能・精密機器部門講演会, 2016 年 3 月 15 日, 東洋大学 (東京都文京区)
- ⑤ 生田目将太, 熊澤祐紀, 壽祐輔, 砂見雄太, 落合成行, 橋本巨, 画像認識を用いた折れしわ前兆現象の検出および発生の抑制, 東海大学マイクロ・ナノ啓発会【Tune】第 5 回学術講演会, 2015 年 8 月 25 日, 東海大学 (神奈川県平塚市)
- ⑥ 壽祐輔, 砂見雄太, 橋本巨, 画像認識によるトラフ抑制機構の開発, 日本トライボロジー学会トライボロジー会議 2015 秋姫路, 2015 年 5 月 28 日, 姫路商工会議所, (兵庫県姫路市)

[その他]

ホームページ等

http://www.mech.u-tokai.ac.jp/~hashimoto_lab/index.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

砂見雄太 (SUNAMI YUTA)

東海大学・工学部・講師

研究者番号 : 10709702