

令和 3 年 6 月 15 日現在

機関番号：25503

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K03912

研究課題名（和文）静電吸着力を用いた紙媒体の新分離（繰出し）技術の開発

研究課題名（英文）Development of sheet medium separation technology using electrostatic adhesion force

研究代表者

吉田 和司 (Yoshida, Kazushi)

山陽小野田市立山口東京理科大学・工学部・教授

研究者番号：20816342

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,300,000円

研究成果の概要（和文）：紙媒体の繰出し機構におけるゴム部材の経時的な劣化による繰出し性能低下を防ぐことを目的として、ゴムの摩擦力でなく静電抵抗力（吸着力）を利用した紙媒体の繰出し機構を考案し、実用化への可能性を検討した。静電抵抗力を発生する静電パッドは母材の表面に銅箔の電極を所定の間隔で櫛歯状に配置したものであり、電極の上面は耐摩耗性に優れたポリイミドシートで被覆されている。この静電パッドを用いた紙媒体の繰出し機構の性能評価では、適切な静電抵抗力が発生する電圧を印加することで紙媒体を1枚ずつ正確に繰出すことを確認した。以上の結果から、静電パッドを用いた紙媒体の繰出し機構を実現できる可能性があることがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

静電吸着力を抵抗力として利用して紙媒体を一枚ずつに分離する技術の検討はこれまでにはなく、紙媒体の取扱い分野が静電吸着力を活用できる可能性のある分野の一つであることを示すことができた。また今回の研究で、櫛歯状の静電パッドに印加する電圧を交番電圧とした場合では直流電圧を印加した場合よりも大きな静電吸着力が発生することがわかった。今後、静電パッドの電極の寸法や配置と印加電圧の周波数との関係を検討することで、より大きな静電吸着力を発生する静電パッドの実現も期待できる。

研究成果の概要（英文）：A new paper sheet feeding mechanism using a friction force owing to electrostatic adhesion is proposed to realize long-term reliability and reduction in maintenance work. In this mechanism, friction force owing to electrostatic adhesion acts as a resistance force to produce separate paper sheets successively instead of a friction force of rubber parts used in the conventional feeding mechanism. An electrostatic pad with comb-type electrodes and whose upper surface is coated with an insulator with high wear resistance generates the resistance force. The performance of the feeding mechanism using the electrostatic pad is measured while changing the value of the voltage applied to the electrostatic pad. Consequently, it was noted that the paper sheets could be accurately fed successively by adjusting the applied voltage to an appropriate value. Based on the above results, we can expect a paper medium feeding mechanism using an electrostatic pad can be realized.

研究分野：機械工学

キーワード：静電吸着力 静電パッド 櫛歯状電極 紙媒体繰出し機構

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

複写機、プリンタ、ATM などの紙媒体を取り扱う装置では、紙媒体を一枚ずつ繰り出す紙媒体の分離機構が設けられている。従来の紙媒体の分離機構は図 1 に示すようにゴムローラやゴムベルトなどのゴム部材と紙媒体との間で作用する摩擦力を利用して紙媒体を一枚ずつに分離しているが、(1)摩耗によるゴム部材の形状変化や摩擦係数低下、加水分解などの経時的な変化による分離性能の低下、(2)紙媒体の材質、寸法、厚さ、剛性などにより分離性能を保証する適正範囲が異なる、などの問題がある。このため、ゴム部材を利用した従来の紙媒体の分離機構の性能は限界に近く、更なる機構の小型化や簡素化、長期の性能確保、多種の紙媒体への対応が困難であり、多様な紙媒体を正確に分離して繰り出すことのできる分離機構を実現するブレイクスルー技術が要求されていた。

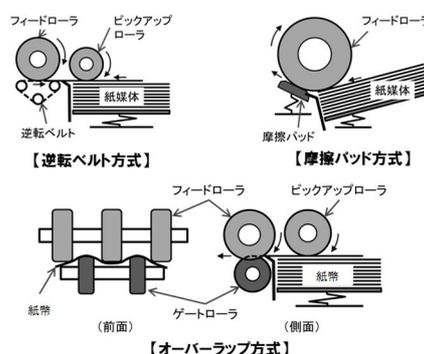


図 1 従来の紙媒体分離機構

2. 研究の目的

本研究の目的は、上述した問題点のブレイクスルー技術として、図 2 に示すように、重なった紙媒体を搬送方向にずらして一枚ずつに分離する搬送抵抗力を発生させるために使用されていたゴム部材を静電吸着力が発生する静電パッドに置き換えた紙媒体の分離技術を構築することである。静電吸着力を発生する静電パッドは母材の上面に櫛歯状の電極が設けられ、その表面は絶縁体で被覆される。繰り出される紙媒体はこの被覆面上を接触しながら搬送されるが、絶縁体は耐摩耗性に優れた樹脂やガラスなどの材料であるため、繰り出される紙媒体との接触で生じる摩耗や摩擦係数の低下などによる経時的な性能劣化を低減することが可能となる。

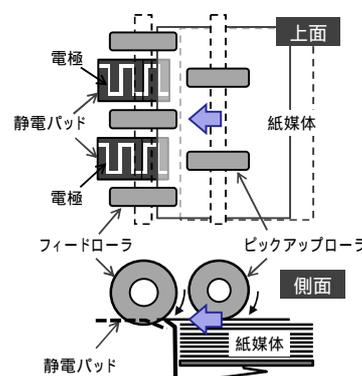


図 2 静電パッドを用いた紙媒体分離機構

3. 研究の方法

(1) 静電パッドと印加電圧の適正化の検討

紙媒体の分離機構に搭載する静電パッドには、可能な限り低い電圧で大きな静電吸着による抵抗力（以下、静電抵抗力と称する。）を発生することが要求される。このため、静電パッドの電極形状、電極寸法、印加電圧などの適正化が必要である。本研究では、紙媒体分離機構に搭載する静電パッドとして櫛歯状の電極を持つ静電パッドを用いることにし、電極の幅、隣合う電極間の間隔（以下、電極間隔と称する。）印加電圧などと静電抵抗力の関係を評価用の静電パッドを用いて検討し、その結果に基づき最適な静電パッドや印加電圧の仕様を決定した。

(2) 静電パッドを用いた紙媒体分離機構の可能性検討

適正化した静電パッドを搭載した紙媒体分離機構を用いて紙媒体の分離試験を行い、本研究の目的である、静電抵抗力を用いた紙媒体の分離動作が可能であるかを検討した。紙媒体分離機構を用いた評価では、紙媒体に作用する搬送力、静電抵抗力、重なった紙媒体間で作用する吸着力などを測定するとともに、静電パッドへの印加電圧と紙媒体の分離性能（正常、重送、滞留）との関係を評価した。

4. 研究成果

(1) 静電パッドと印加電圧の適正化

静電抵抗力の測定方法

静電パッドの電極の幅や電極間隔、および印加電圧と静電抵抗力の関係を調べるため、図 3 に示すような、縦と横の寸法が 100 mm、厚さ 3 mm のポリカーボネート板の上面に厚さ 0.1 mm の銅箔の電極を櫛歯状に設け、その表面を 0.053 mm のポリイミドフィルムで被覆した静電パッドを用いて静電抵抗力を測定した。また図 4 は静電抵抗力の測定システムを示したものである。静電パッドの正電極に電圧増幅器によって昇圧された電圧を印加し、印加する電圧の値はオシログラフを介して接続されたパルスジェネレータで設定する。静電抵抗力は静電パッドの上面にタコ

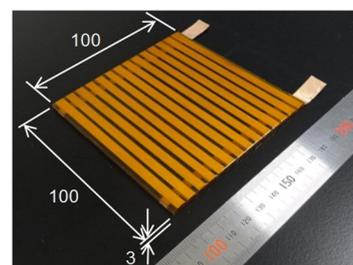


図 3 静電抵抗力評価用パッド

糸でフォースゲージに接続された A4 サイズのコピー用紙を載せ、電圧を印加した状態でフォースゲージを手で静かに水平方向に引っ張って測定する。今回の測定では、電極の幅が 5 mm で電極間隔が 1 mm、2 mm、3 mm の静電パッドと、電極間隔が 1 mm で電極幅が 3 mm と 4 mm の静電パッドの計 5 種類の静電パッドを用いて静電抵抗力を測定した。また印加する電圧として直流電圧に加え、周波数が 0.1 Hz, 1 Hz, 10 Hz の矩形波の交番電圧とした場合の静電抵抗力も測定した。なお今回の測定において電極間隔が 1 mm の場合では印加電圧が 2 kV、電極間隔が 2 mm の場合では印加電圧が 2.5 kV の場合から絶縁破壊が生じた。

ところで、今回の実験で印加した電圧の周波数によって静電抵抗力の波形には図 5 に示すような特徴があることがわかった。今回の研究の目的は紙媒体の繰出し機構で用いる静電抵抗力であるため、図 5 の図中に矢印で示すように、静電抵抗力に大きな変動を生じる前のピーク値を測定値とした。

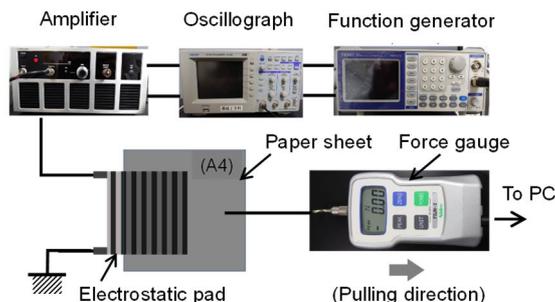


図 4 静電抵抗力の測定システム

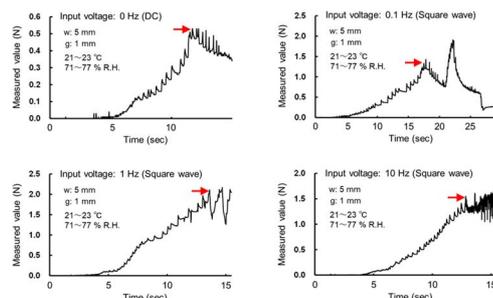


図 5 静電抵抗力の測定波形と測定値

静電抵抗力と電極間隔の関係

図 6 は、電極の幅を 5 mm とし、電極間隔を 1 mm、2 mm、および 3 mm とした静電パッドに 1.5 kV の電圧を印加した場合の静電抵抗力の測定値と電極間隔の関係を示したものである。ただし図 6(a)は静電パッド全体での測定値であり、図中のマークは測定結果の平均値、エラーバーは測定結果の最大値と最小値を示す。また、図 6(b)は図 6(a)に示される平均値の結果から計算した電極一組当たりの静電抵抗力の結果である。図 6 に示されるように、静電抵抗力と電極間隔の関係は印加される電圧の周波数によって異なる。この要因の一つに前述した静電抵抗力の測定値が周波数により異なることもあるが、印加電圧の周波数が同じ場合では読み取り方法の相違による影響は考えられず、静電抵抗力は印加電圧の周波数と電極間隔に関係する何らかの要因の影響を受けていると考えられる。

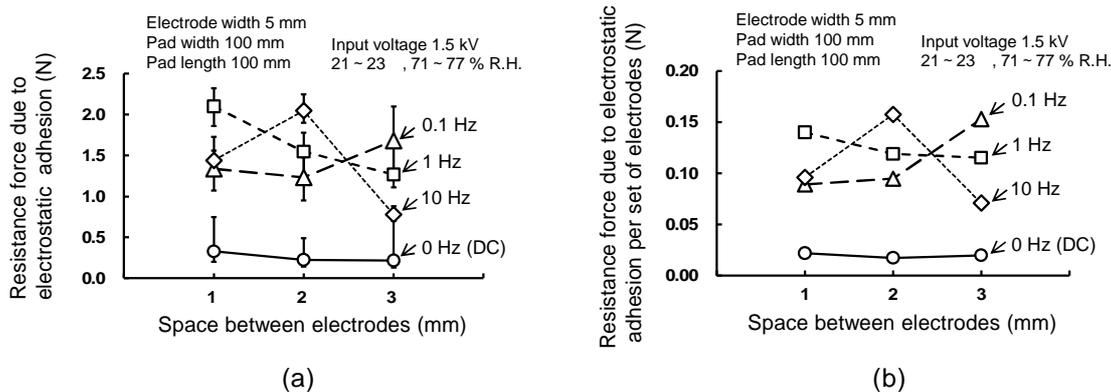


図 6 静電抵抗力と電極間隔の関係

静電抵抗力と電極幅の関係

図 7 は、電極間隔を 1 mm とし、電極の幅を 3 mm、4 mm、および 5 mm とした静電パッドに 1.5 kV の電圧を印加した場合の静電抵抗力の測定値と電極間隔の関係を示したものである。ただし図 7(a)は静電パッド全体での測定値であり、図中のマークは測定結果の平均値、エラーバーは測定結果の最大値と最小値を示す。また、図 7(b)は図 7(a)に示される平均値の結果から計算した電極一組当たりの静電抵抗力の結果である。図 7 からわかるように、この場合でも静電抵抗力と電極の幅との関係は印加される電圧の周波数によって異なる。この場合も読み取り方法の違いによる影響は考えられず、静電抵抗力は印加電圧の周波数と電極幅に関係する何らかの要因の影響を受けていると考えられる。

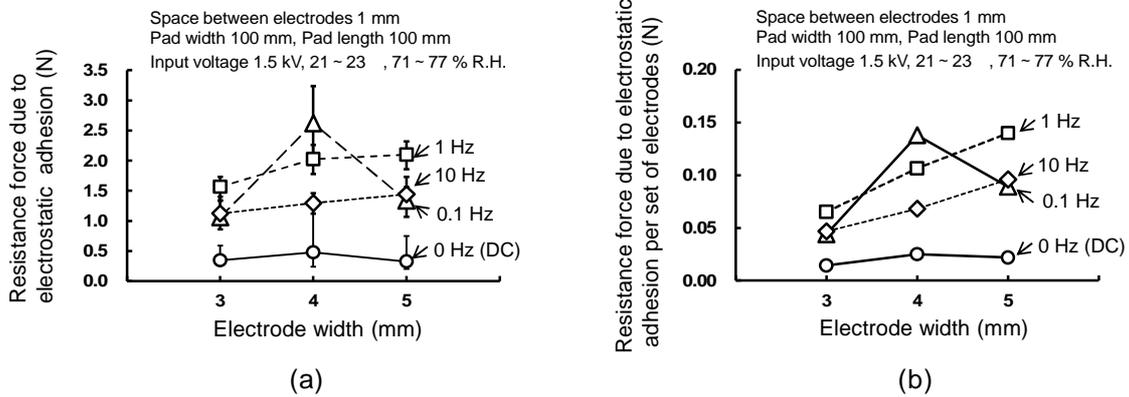


図7 静電抵抗力と電極幅の関係

静電パッドと静電抵抗力の適正化

電極間隔は絶縁破壊を考慮すると可能な限り広いほうが好ましいが、大きな静電抵抗力を得るためには理論的には狭いほうが良い。しかし今回の実験では、電極間隔を 1 mm とした場合では印加電圧が 2 kV で絶縁破壊が発生したことから電極間隔は 2 mm とする。また静電パッドの電極幅は、印加電圧の周波数が 10 Hz の場合では図 7 に示される結果から電極幅が 5 mm の場合で大きな静電抵抗力が得られる。しかし紙媒体繰出し機構に用いる静電パッドは、後述するように搬送方向の長さが 30 mm であり、この制約条件を考慮すると、紙媒体繰出し機構の静電パッドの電極間隔が上述したように 2 mm であることから電極幅が 5 mm の場合では静電抵抗力を発生する有効な電極の組は 3 組となる。一方、電極幅を 4 mm とした場合では有効な電極の組は 4 組であり、この組数と図 7 に示される電極一組当たりの静電抵抗力の結果を考慮すると電極幅が 4 mm と 5 mm の場合では静電抵抗力の値はほぼ同じとなる。そこで今回の紙媒体の繰出し機構に用いる静電パッドの電極の幅は、電極の配置範囲が静電パッドの搬送方向の長さ 30 mm と一致する 4 mm とする。また印加電圧は、図 5 に示した静電抵抗力の測定波形から、変動量が 0.1 Hz や 1 Hz の周波数の場合より少なく、かつ低下時間も短い周波数が 10 Hz の矩形波の電圧とする。

(2) 静電パッドを用いた紙媒体分離機構の評価 紙媒体繰出し機構の構成と動作

図 8 は、今回開発した紙媒体に静電抵抗力を付与する静電パッドを用いた紙媒体の繰出し機構の外観である。紙媒体繰出し機構のシステムは、この紙媒体繰出し機構に加え、静電パッドに電圧を印加する電圧増幅器、静電パッドに印加する電圧波形と電圧、および周波数を設定するパルスジェネレータ、パルスジェネレータや電圧増幅器から出力される電圧波形と電圧の値を確認するためのオシログラフ、ステッピングモータを駆動するコントローラやドライバなどから構成されている。図 9 は、今回の紙媒体繰出し機構で用いた静電パッドである。今回の静電パッドは幅 24 mm、搬送方向の長さ 30 mm、厚さ 7 mm の寸法であり、静電パッドには適正化の結果に基づき幅 4 mm の電極が間隔 2 mm で配置されている。また電極上面を被覆するポリイミドシートの厚さは 0.053 mm である。静電パッドに電圧を印加して被覆面上で紙媒体に静電抵抗力を作用させ、これが繰り出される紙媒体に作用する搬送抵抗力となる。これによって紙媒体が二枚重なっている場合にはフィードローラに接触する一枚目の紙媒体と静電パッドに接触する二枚目の紙媒体を搬送方向にずらし、フィードローラに接触した一枚目の紙媒体のみを分離して繰り出す。

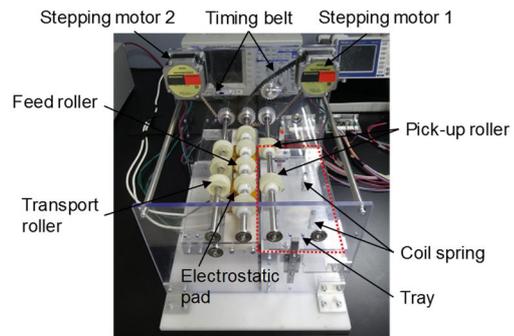


図8 静電パッドを用いた紙媒体繰出し機構

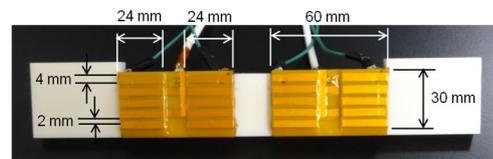


図9 紙媒体繰出し機構に用いた静電パッド

紙媒体に作用する静電抵抗力の測定

図 10 はフィードローラと静電パッドの間に一枚の A5 サイズのコピー用紙を挿入した場合の静電抵抗力の測定結果であり、横軸は印加電圧、縦軸は静電抵抗力である。グラフ中のマークは測定値の平均値であり、エラーバーは測定値の最大値、最小値を示す。図 10 からわかるように、印加電圧が増加するとともに静電抵抗力は増加する。静電吸着力は印加電圧の二乗で増加する

とされているため静電抵抗力も電圧の二乗で増加すると予想していたが、今回の測定では静電抵抗力は印加電圧にほぼ比例するように増加する傾向が見られた。また図 11 は、フィードローラと静電パッドの間にコピー用紙を一枚挿入した場合と二枚重ねて挿入した場合における静電抵抗力の値を示したものである。棒グラフの値は測定値の平均値であり、エラーバーは測定値の最大値、最小値を示す。この図からわかるように、コピー用紙が一枚の場合と二枚重ねた場合の静電抵抗力の値に大きな違いは見られない。このことから、静電パッドによって紙媒体に作用する静電抵抗力の値はフィードローラと静電パッド間にある紙媒体の枚数にほとんど影響されず、その値は一枚の紙媒体に作用する静電抵抗力の値と同じと考えてよいことがわかる。さらに、図 12 は用紙間の静電吸着力の影響を調べるため、フィードローラと静電パッドの間に二枚のコピー用紙を挿入し、フィードローラに接触したコピー用紙のみを引き抜いた場合の結果を示したものである。棒グラフの値は測定結果の平均値であり、エラーバーは測定結果の最大値と最小値を示す。この図からわかるように、コピー用紙が一枚の場合と二枚の場合における引き抜き力の値に大きな違いは見られない。このことから、静電パッドに電圧を印加することで生じるコピー用紙間の静電吸着力は弱く、紙媒体の分離性能には影響しないといえることができる。

紙媒体の繰出し性能の評価

()評価方法

静電パッドを用いた紙媒体の繰出し機構の

性能を評価するため、トレイに A5 サイズのコピー用紙を積載し、その最初の二枚を重ねてコピー用紙の先端部がフィードローラと静電パッドの間に進入した状態になるようにしてセットする。そしてステッピングモータでピックアップローラとフィードローラを間欠的に駆動させて紙媒体を二枚繰り出す動作を 50 回行い、フィードローラと静電パッドの間に重ねてセットした二枚のコピー用紙が正常に一枚ずつに分離されて繰り出された回数、二枚が重なって繰り出される重送の回数、およびコピー用紙が繰り出されない不送や静電パッドに付着して不安定な状態で搬送される回数を測定した。なお静電パッドに印加する電圧は周波数が 10 Hz の矩形波の電圧であり、印加する電圧を 0 V から 2.5 kV の間で 0.5 kV ずつ変化させて評価を行った。

()評価結果

図 13 に上述した評価方法で紙媒体の繰出し機構の性能評価を行った場合の結果を示す。この結果からわかるように、静電パッドに印加する電圧を 1.5 kV と 2.0 kV とした場合に正常にコピー用紙を繰り出すことができた。印加電圧が 0.5 kV と 1.0 kV の場合では全て重送が発生し、印加電圧が 2.5 kV の場合ではコピー用紙が静電パッドに吸着されるような不安定な搬送が 40%以上観察された。なお印加電圧が 2.5 kV の場合で重送が 1 件発生したが、これは 2.5 kV の電圧を印加させた場合では絶縁破壊が生じており、この重送が発生した際には絶縁破壊の状態が激しい状態であった。このことから絶縁破壊によって静電抵抗力が低下し重送が発生したものと考えられる。以上の結果から、重なった紙媒体を一枚ずつに分離して繰り出すために必要な搬送抵抗力を発生させる手段として、今回考案したような静電パッドを用い、静電パッドに印加する電圧を適正な値に設定することで集積された紙媒体を一枚ずつ繰り出すことができることがわかった。このことから静電吸着力を使用した紙媒体繰出し機構を実現できる可能性があら

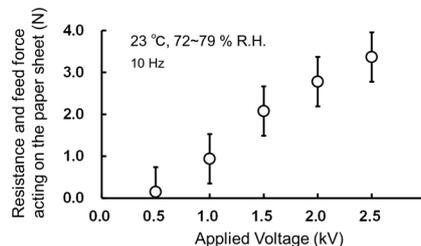


図 10 紙媒体に作用する静電抵抗力

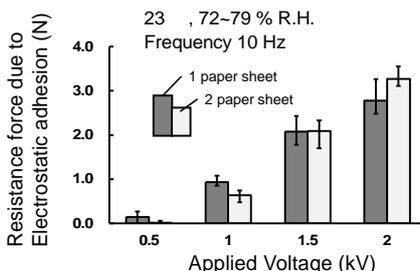


図 11 静電抵抗力と紙媒体の枚数の関係

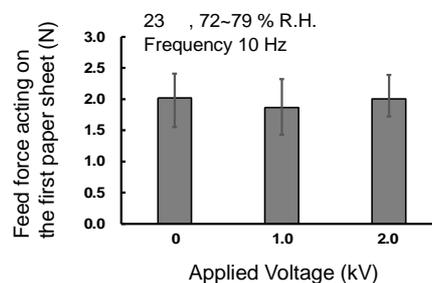


図 12 用紙の引き抜き力と印加電圧の関係

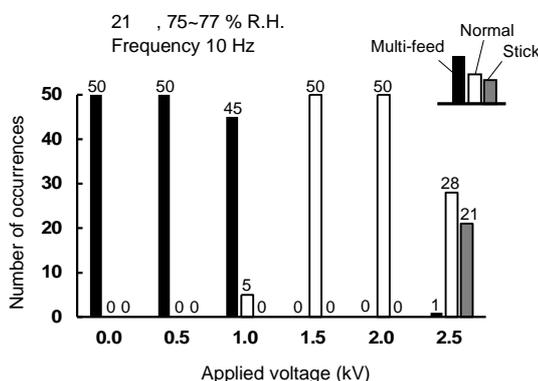


図 13 紙媒体の分離機構の繰出し性能と静電パッドへの印加電圧の関係

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 吉田和司、久富裕次郎
2. 発表標題 静電吸着力を用いた紙媒体繰出し機構の基礎検討
3. 学会等名 日本機械学会2020年度年次大会講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 久富裕次郎、吉田和司
2. 発表標題 紙媒体繰出し機構における静電吸着パッドの電極形状の適正化
3. 学会等名 日本機械学会2020年度年次大会講演会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 紙葉類分離装置	発明者 吉田和司	権利者 山口東京理科大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-035301	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------