

紙媒体の高速姿勢制御技術

High-Speed Positioning Control Technology for Paper Media

成岡 良彦

浅利 幸生

等々力 徹

■ NARUOKA Yoshihiko

■ ASARI Yukio

■ TODORIKI Toru

郵便処理機の市場では、多種多様な郵便書状をより高速に処理できる装置が求められている。一方、紙幣処理機の市場でも、多種類の紙幣を同時に混合処理できる装置が求められている。これらの装置を実現するには、重なった状態から1枚ずつ高速で分離され取り出された郵便書状や紙幣の位置ずれと傾き（スキュー）を、搬送中に補正することができる“高速姿勢制御技術”が必要になる。

東芝は、高速で搬送中の紙媒体の位置や姿勢を、非ホロノミック制御を用いて補正する技術を開発し、実験によりその有効性を確認した。

Mail sorting machines are required to provide faster processing of diverse types of mail, while banknote processing machines must be capable of batch processing a wide variety of banknotes. To meet these requirements, a high-speed positioning control technology is necessary that can effectively handle thin objects conveyed at high speed after being picked up separately from a bulk lot.

Toshiba has developed a high-speed positioning control technology for paper being conveyed at high speed, using nonholonomic control. The effectiveness of this method was confirmed by an evaluation test.

1 まえがき

紙媒体の高速姿勢制御技術とは、郵便書状や紙幣など紙媒体を高速に処理する装置で、高速で搬送中の紙媒体をあらかじめ決められた姿勢に補正する技術のことである。

市中から回収された郵便書状は、以下の処理が行われ、配達される。

- (1) 定形外の書状を排除後、切手に押印
- (2) 配達区域ごとに区分
- (3) 配達順に並べ替え処理

(1)で示す処理を行う自動選別取揃（とりそろえ）押印機を図1に示す。このような郵便処理機では、近年、単位時間当たりの処理能力を上げることが要求されている。

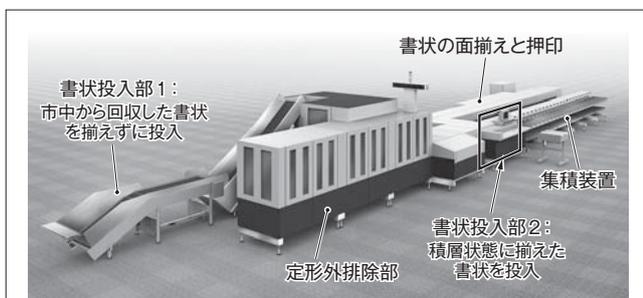


図1. 自動選別取揃押印機 — 投入された郵便書状を選別し、面を揃えて押印した後、所定ルールに従い区分・集積する。

Automatic culling, facing, and canceling machine

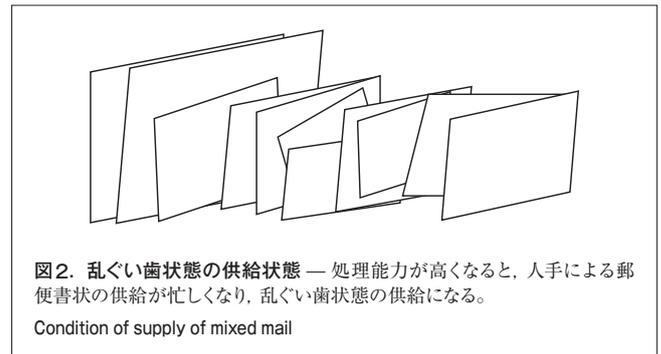


図2. 乱ぐい歯状態の供給状態 — 処理能力が高くなると、人手による郵便書状の供給が忙しくなり、乱ぐい歯状態の供給になる。

Condition of supply of mixed mail

そのために、高い処理能力の郵便処理機では、オペレータが郵便書状を積層状にきれいに整えて機械へ投入する作業が間に合わなくなり、図2に示すように、浮いた（位置ずれした）状態や傾いた（スキュー）状態で供給する頻度が高くなる。このようにして供給されると、書状の位置ずれやスキューがそのままの状態を取り出され、下流に搬送されてしまう。その結果、切手などの料額印や住所などの情報が読み取れないために正常な処理ができなくなるだけでなく、正常に集積することも困難となり、紙詰まり（ジャム）が発生して装置の稼働が停止してしまう場合がある。

一方、銀行券自動鑑査機（図3）は、紙幣の真偽などを判別して所定のルールに従い区分・集積する装置で、中央銀行やその業務委託を受けた市中銀行に納入されている。この装置に用いる共通の機械技術としては、供給・取出し技術や、分離技術、搬送技術、媒体姿勢補正技術、分岐技術、集積技術な



図3. 銀行券自動鑑査機 — 取出し装置に供給された紙幣を1枚ずつ分離して取り出し、真偽などを鑑査した後把束して排出する。

Banknote processing machine

どがあり、それぞれ制御技術との結び付きが強く、郵便処理機同様にメカトロニクスの集積体となっている。

銀行券自動鑑査機の海外市場では、紙幣リサイクル化の進展に伴い、多種混合状態での高速紙幣処理が可能なマルチソータの需要が生じている。マルチソータでは、大きさが異なる種類の紙幣が混合投入されるため、取り出される小型紙幣の搬送位置ずれやスキューの発生が避けられない。紙幣の搬送位置ずれやスキューがある限度を超えると、鑑査精度に影響するほか搬送や集積などが困難となり、処理能力の低下やジャム発生による稼働率の低下などを引き起こす頻度が高くなる。

以上のように、高処理能力の郵便処理機やマルチソータを実現するには、取り出されて搬送されている郵便書状や紙幣の位置ずれやスキューを、搬送中に補正する技術の確立が必須となる。

ここでは、高速で搬送中の紙媒体の位置や姿勢を制御するため、非ホロミック制御を用いて開発した技術について述べる。

2 高速姿勢制御技術の特長

2.1 要求仕様の概要

高処理能力の郵便処理機やマルチソータで共通するのは、紙媒体が高速度かつ高頻度で搬送処理される点である。例えば、そのような郵便処理機では郵便物が4 m/s以上で搬送され、12枚/s以上の速度で読取りと区分処理が行われる。また、マルチソータでは紙幣が5 m/s以上で搬送され、20枚/s以上の速度で鑑査処理が行われる。積層された状態から取り出された後で、このように高速処理される紙媒体の位置ずれやスキューを、搬送中に1枚ごとに補正するには、高い応答性と精度で位置ずれとスキューを補正できる制御性能と同時に、シンプルで頑強な機構が装置に必要とされる。

2.2 機構系

ここで紹介する装置は図4に示すように、独立して回転を制御される2対の挟持ローラで構成される。この挟持ローラの速度を適切に制御することで、紙媒体の位置ずれとスキューを同時に補正できるようにしている。装置の構成は非常に簡単であるが、ローラに把持した紙媒体の位置と姿勢を自在に制御するには、機構及び制御面での工夫が必要となる。

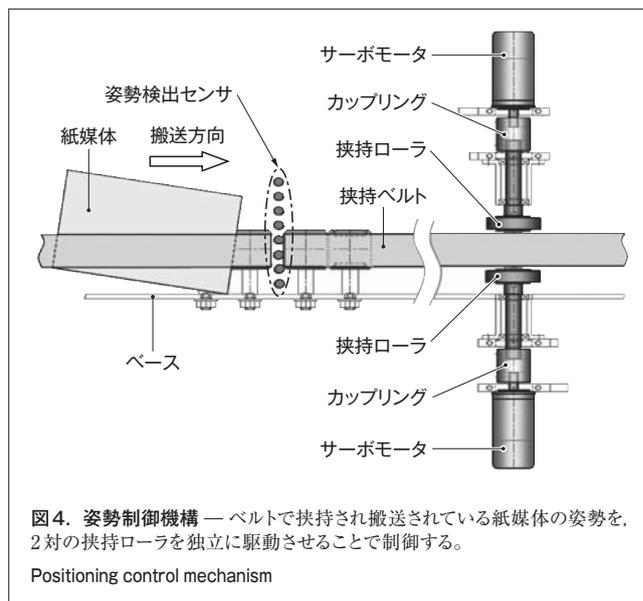


図4. 姿勢制御機構 — ベルトで挟持され搬送されている紙媒体の姿勢を、2対の挟持ローラを独立に駆動させることで制御する。

Positioning control mechanism

ベルトで挟持され搬送されている紙媒体の位置やスキューなどを2対の挟持ローラで制御するには、ベルト挟持により紙媒体の位置や姿勢を拘束することと、2対の挟持ローラにより紙媒体の位置や姿勢に自由度を与えるという、二律背反の関係を成り立たせる必要がある。この一見矛盾する状態を対象の紙媒体に対して実現する機構を図5に示す。

紙媒体の位置・姿勢を検出する搬送路と制御した後の搬送路ではそれらを変化させない必要があるため、強い挟持力で紙媒体を把持するようにプリー間距離とベルトの巻付け角を設

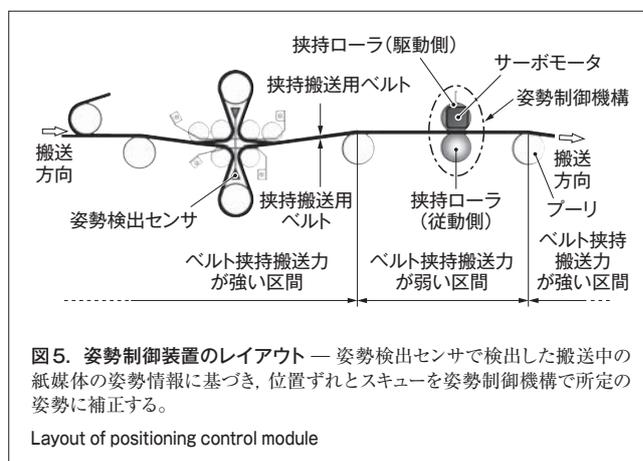


図5. 姿勢制御装置のレイアウト — 姿勢検出センサで検出した搬送中の紙媒体の姿勢情報に基づき、位置ずれとスキューを姿勢制御機構で所定の姿勢に補正する。

Layout of positioning control module

定している。一方、位置・姿勢を制御する部分の搬送路では、強い挟持力で紙媒体が把持されていると紙媒体に汚れや損傷が生じるうえに、所定の位置・姿勢に補正できなくなる。そこで、姿勢制御機構の前後の搬送路では、搬送されている紙媒体の位置・姿勢が変化しない程度の弱いベルト挟持力となるように、プーリの配置と巻付け角を設定している。

2.3 制御系

2対のローラで把持した紙媒体の位置・姿勢を、同時に、高速で、かつ簡単な機構で実現するための制御方法として、非ホロノミック制御を採用した。

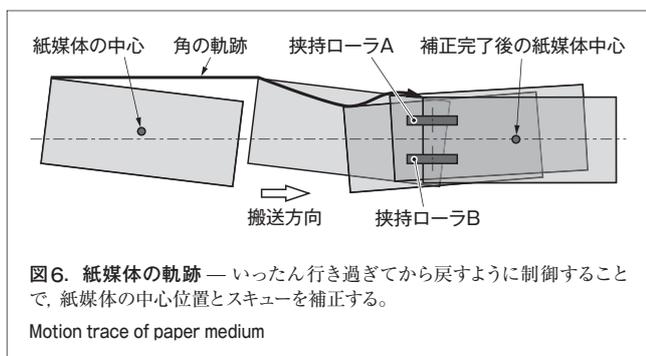
非ホロノミックとは、力学系の拘束条件が可積分^(注1)でないことである。例えば、車を真横に走らせたり、その場で回転させて位置や向きを変えることはできないが、“切返し”を行うことで、結果的にどのような位置や向きにでも移動させることができる。これを非ホロノミックという。

非ホロノミック制御は、目的の状態(今回の場合は、位置ずれとスキューの補正)を実現するための解が無限にあり、その中から要求仕様に適合する最適解を見いだすことが難しいために、採用を見送られる場合がある。しかし、自動車の駐車などに代表されるように実用上非常に有益な制御であり、今回の高速かつ高精度という要求仕様を実現するためにこの制御方法を採用した。

今回開発した機構と制御方法により、搬送中の郵便書状や紙幣などの紙媒体は、図6に示すような軌跡を描きながら、搬送位置とスキューが補正される。この制御技術の概要を以下に述べる。

搬送途中の紙媒体を操作する場合、媒体間の間隔(ギャップ)を維持するため、その前後の紙媒体との相対位置関係を維持しなければならない。また、それを製品組込用の比較的簡単な制御系で実現することが求められる。

図4及び図5に示す装置構成で紙媒体の位置・姿勢を補正するには、2対の挟持ローラを非ホロノミックに制御しながら、同時に紙媒体全体の搬送速度も制御できる方法を見いだすことが必要であった。これらの条件を満たす方法として、2対の

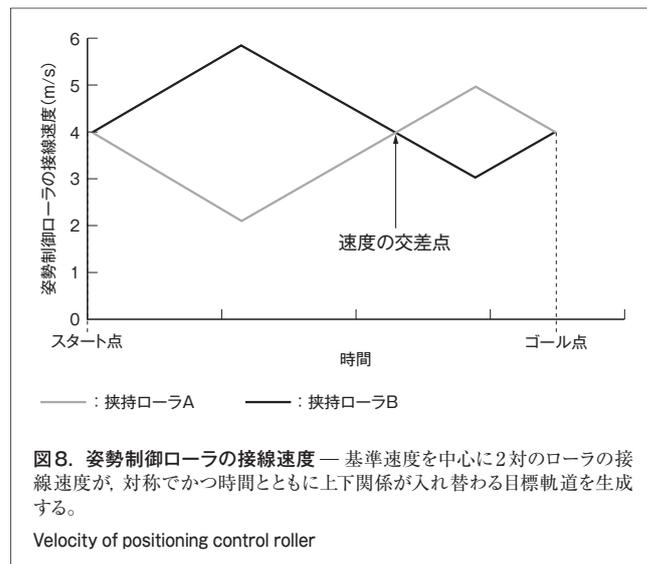
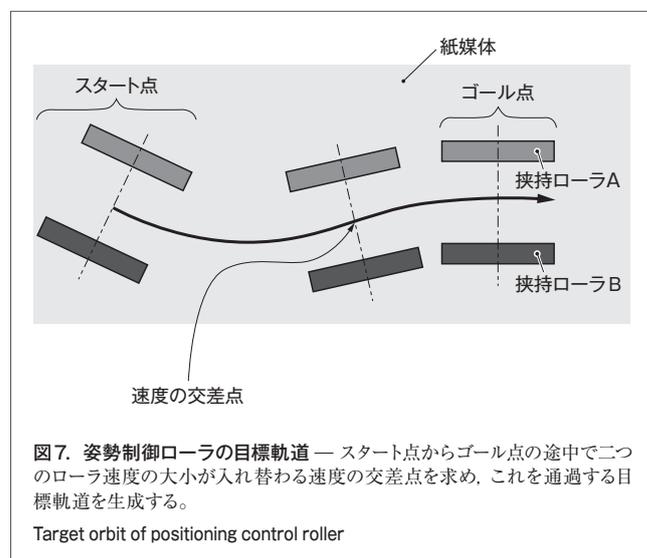


(注1) 可積分とは、系のふるまいが時間の関数の形で書き下せること。

挟持ローラの目標速度生成手法を開発した。

姿勢を制御される紙媒体側を固定してみたときの挟持ローラのふるまいは、図7に示すように途中で二つのローラ速度の大小が入れ替わるような速度の交差点を経由し、スタート点からゴール点に至る目標軌道をたどる。この際の2対の挟持ローラ速度パターンは図8に示すように、基準速度(今回の場合は、搬送速度)を中心に、挟持ローラの接線速度が対称でかつ時間とともに上下関係が入れ替わる制御パターンとしている。図8の目標速度パターンでは、2対の挟持ローラ速度が基準速度から変化し再び基準速度に戻り交差するまでが、図7のスタート点から速度の交差点までの軌道に対応している。その後、ローラ速度が入れ替わり、変化して基準速度に戻るまでが、図7の中継点からゴール点までの軌道に対応している。

この速度パターンに従って2対の挟持ローラが駆動された



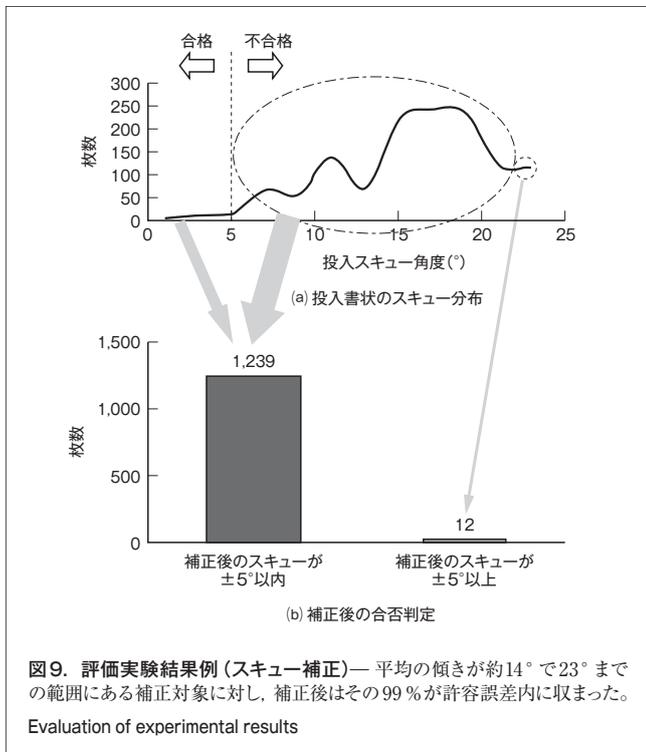
結果として、実際の紙媒体はあたかも自動車で縦列駐車をするときのような動き(図6)となり、その位置と姿勢を同時に制御することで、初期の状態から目標の状態への補正が実現される。

この手法では、初期の位置・姿勢から目標となる位置・姿勢への補正を実現する目標軌道を、速度パターンの形で事前に導出することができる。これにより、位置・姿勢の補正量に応じた目標速度パターンテーブルをあらかじめ作成し、それを参照する形を取れば、市販のサーボモータ制御系でも容易に実現できる。

3 実験結果

郵便書状を対象とし、4 m/sで搬送されているそれらの位置誤差を10 mm以内に、スキューを $\pm 5^\circ$ 以内に補正することを制御目標として実験した結果を図9に示す。

実験では、意図的にスキューさせた郵便物を装置にランダム投入したときの補正能力を評価した。この実験例では、傾きが平均約 14° で最大 23° までの範囲にある補正対象に対して、補正後は99%が許容誤差内に収まった。位置の補正に関しても同様の結果を確認しており、郵便書状の位置・姿勢の補正に対して、この姿勢制御技術の有効性が確認できた。



4 あとがき

高速で搬送されている紙媒体の位置やスキューなどの姿勢を、非ホロノミック制御を用いて補正する技術を開発した。今回、有効性を検証したのは、4 m/sの搬送速度に対応した郵便処理機用の姿勢制御技術である。今後は、この技術を更に高速の搬送に対応させることで、処理能力がより高いマルチソータにまで適用範囲を拡大していくことを予定している。

マルチソータでは、対象となる紙幣の疲弊度が新券から流通券まで幅広く、紙の腰やしわ、破れなど不確定要素が多い。また、機械処理した際に発生する紙幣の汚れや折れ、破れについて許容される仕様が厳しいことから、紙幣の取扱いは郵便処理機よりも困難となる。郵便書状とは異なるこれらの媒体や仕様に対して、いかに対応していくかが今後の課題である。



成岡 良彦 NARUOKA Yoshihiko

電力システム社 電力・社会システム技術開発センター セキュリティ・オートメーション開発部主査。産業用機器のメカトロ技術開発に従事。

Power and Industrial Systems Research and Development Center



浅利 幸生 ASARI Yukio

電力システム社 電力・社会システム技術開発センター セキュリティ・オートメーション開発部主査。産業用機器の要素技術開発に従事。

Power and Industrial Systems Research and Development Center



等々力 徹 TODORIKI Toru

電力システム社 電力・社会システム技術開発センター セキュリティ・オートメーション開発部主査。産業用機器の機構技術開発に従事。

Power and Industrial Systems Research and Development Center