-搬送性能の定量評価と予測-

足立 幸志** 加藤 康司** 肥塚 洋輔***

Evaluation of Handling Property of the Rubber Roller for Flexible Media Handling (2nd report)

- Quantitative Evaluation and Prediction of Handling Property -

Koshi ADACHI, Koji KATO and Yosuke KOIZUKA

In order to evaluate handling performance of rubber roller for flexible media handling system quantitatively, the parameter, which describes permissible range of the normal load for well handling of flexible media, is introduced. By comparison with friction coefficient, which is the conventional evaluation parameter for handling property, the usefulness of this parameter is proven with the experimental results observed in handling system with rubber roller and paper.

Further, theoretical equation is introduced for prediction of friction property with micro-slip during handling of flexible media, and it agrees well with observed values.

Key words: tribology, flexible media handling system, rubber, paper, friction, micro-slip

1. 結 言

プリンタ、コピー機に代表される柔軟媒体の搬送システムにおいては、「媒体の高精度な搬送」が高機能化のための必須命題である。さらにその搬送システムの高信頼性のために「媒体搬送の信頼性と耐久性」が強く求められている。柔軟媒体の搬送には、ゴムの摩擦力を利用したものが多く、柔軟媒体と搬送用ゴムローラとの接点における摩擦制御技術が、高性能な柔軟媒体搬送システムの鍵を握る。

ゴムローラは、媒体搬送性能に直結する重要な要素であるにもかかわらず、その選択や設計のための客観的かつ定量的な指標が存在せず、試行錯誤をともなう経験により最適なゴムローラが選択されているのが現状である¹⁾⁻³⁾。

これに対し、第1報において、積層紙葉繰り出し用ゴムローラの客観的な搬送性能評価を可能にする「柔軟媒体搬送用ゴムローラ最適使用条件マップ」を提案した⁴⁾。

本報では、この「マップ」をもとに積層紙葉繰り出し用ゴムローラの搬送性能の定量評価のための指標を提案し、従来、搬送性能の評価指標とされている摩擦係数との比較において、その有効性を実証する。さらに、搬送性能を支配する媒体搬送時の微小すべり量の予測式を提案する。

2. 実験方法

図1に実験装置(オムロン㈱製)の概略図を示す。ゴムローラは、クラッチを介したモータにより直接駆動される。ロードセルと一体となったスライダを上下させることによりゴムローラと紙の間に押し付け荷重が負荷され、ゴムローラの回転により紙が搬送される。実機において紙が受ける搬送抵抗力は、紙の上におもりのをせることにより模擬し(Tangential load F)、本実験では、1.8N、3.65Nの2種

類に変化させた。紙の移動量はレーザーフィードセンサーで測定され、ゴムローラの回転角度との比較により紙の搬送中のゴムローラと紙との間のすべり率に換算した。

積層紙最上部の1枚目の紙を搬送する間に2枚目の紙に与えられる搬送力は図1の丸部分をロードセルに変更することにより直接測定される。ゴムローラと紙間の摩擦係数はゴムローラを固定し紙を所定の速度で引く力より換算した。3種類の硬さを有する試験片に対し表面の研削方向により2種類の異方性表面を有する計6本のゴムローラを実験に供した。試験片の仕様を表1に示す。試験片B、Fにおいては幅を4種類に変化させて実験を行った。

Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus.

Table 1 Properties of rubber rollers.

	A	B	C	D	E	F
Material	Poly-urethane					
Hardness (JIS K 6253 Duro A)	29		43		45	
Diameter, mm	20					
Width, mm	40	40, 30, 20, 10	40			40, 30, 20, 10
Grinding direction ↑ : Forward, ↓ : Backward	↑	↓	↑	↓	↑	↓

* 原稿受付 平成 14 年 7 月 29 日

** 正 会 員 東北大学大学院 (仙台市青葉区荒巻字青葉 01)

*** 東北大学大学院

Fig. 2 Two types of poor condition in flexible media handling system; no-feed (a) and double feed (b).

3. 積層紙葉繰り出し用ゴムローラの搬送性能

3.1 搬送性能評価の概念

積層紙から1枚のみを搬送することを目的とするピックアップゴムローラにおいては、1枚のみを確実に搬送するゴムローラが優れた性能を有するといえる。故に避けるべき主たる不具合現象は積層紙に与える搬送力が小さく、搬送用ゴムローラが回転しているにもかかわらず、搬送すべき最上部の紙が搬送されない「空送(図2(a))」と積層紙に対するゴムローラの押し付け荷重が大きすぎるために、最上部の紙が搬送される際に下部の紙も同時に搬送される「重送(図2(b))」である。

そこで本研究では、搬送状態を直接反映するゴムローラの起動加速領域下における紙との間のすべり率を空送制御に対する評価パラメータとして導入する。図3にゴムローラAによるコピー紙の搬送において発生したすべり率に及ぼす押し付け荷重と搬送速度の影響を示す。押し付け荷重の減少に伴いすべり率が増加しており、空送の発生を防ぐためには、ある程度以上の押し付け荷重が必要であるといえる。一般に転がりすべり接触域においては、接線力の増加に伴い徐々にすべり率が増加し、ある値以上の接線力が負荷されるとすべり率は急増し完全すべり摩擦となる^{5), 6)}。即ち、空送することなく確実に媒体を搬送するためには、搬送力の変化に対しすべり率が急増する臨界搬送力を与えるすべり率以下の搬送が要求される。そこで多くの経験値に基づき、臨界すべり率を30%と定義し、すべり率が30%となる臨界荷重以上の押し付け荷重が1枚のみを搬送するための必要条件となる。

一方、積層紙最上部の1枚目を搬送する間に2枚目に与えられる搬送力が大きい場合、重送が発生しやすくなる。そこで、この搬送力を、重送制御に対する評価パラメータとして導入する。図4にゴムローラAによるコピー紙の搬送において1枚目を搬送する間に2枚目に与えられる搬送力に及ぼす押し付け荷重と搬送速度の影響を示す。押し付け荷重の増加に伴い2枚目に与えられる搬送力も増加しており、重送の発生を防ぐためには低い押し付け荷重が望ましいことがわかる。2枚目の紙に与えられる搬送力がゲートローラなどの搬送抵抗力以下の場合、重送は発生しないため2枚目の紙に与えられる搬送力が搬送抵抗力(本実験では1.8Nまたは3.65Nと仮定した)となる臨界荷重以下の荷重が1枚のみを搬送するための必要条件となる。

種々の搬送速度においてこれら2つの臨界荷重を定義することにより、ゴムローラAを用いた場合の積層紙から空送及び重送することなく1枚のみを搬送するための必要条件を「柔軟媒体搬送用ゴムローラの最適使用条件マップ」⁽⁴⁾(図5)として明示するこ

Fig. 3 Effect of normal load on slip ratio observed under five different rotational velocities.

Fig. 4 Effect of normal load on friction force applied to the second sheet during handling of the first sheet.

Fig. 5 Evaluating map, which describes operating condition for well handling of the paper.

とができる。図中において2つの線に挟まれた領域が、正常な搬送を実現するための必要条件を表している。

3.2 搬送性能評価パラメータ「最適荷重領域 ΔW 」

図5に示す「柔軟媒体搬送用ゴムローラの最適使用条件マップ」において実機の搬送速度における最適使用条件となる荷重領域は空送および重送を制御するための設定荷重の許容範囲を意味する

(a)

(b)

Fig. 6 Evaluating map for handling properties of rubber roller A, C, E (a) and rubber roller B, D, F (b), which describe operating condition for well handling of the paper.

(a)

(b)

Fig. 7 Evaluating map for handling properties of rubber roller B with four different width (a) and rubber roller F with four different width (b), which describe operating condition for well handling of the paper.

ものである。この荷重領域が広いゴムローラほど1枚の紙を確実に搬送するための機器設計が容易であり、かつ摩擦変動を与える外乱因子に対しても対応可能な優れたゴムローラであるそこで、この荷重領域を搬送性能を定量的に評価するパラメータ「最適荷重領域 ΔW 」と定義する。

4. 実験結果

4.1 柔軟媒体搬送用ゴムローラの最適使用条件マップ

4.1.1 ゴムローラ表面の研磨方向の影響

図6(a), (b)にゴムローラ表面の研磨方向が搬送方向と同方向の3種類のゴムローラ(A, C, E)を用いた場合(a)と逆方向の3種類のゴムローラ(B, D, F)を用いた場合(b)の「柔軟媒体搬送用ゴムローラの最適使用条件マップ」を示す。これらの図より、ゴムローラ表面の研磨方向が搬送方向と同一の場合、空送及び重送を起こさずに正常な搬送を行う為の最適な使用条件がゴムの種類により大きく異なるのに対し、研磨方向が搬送方向と反対の場合、ゴムの種類により搬送性能に大きな違いがないことがわかる。また、研磨方向が搬送方向と反対のゴムローラを用いた場合、正常な搬送を行う為の最適な使用条件領域が広く機械設計のしやす

Fig. 8 Optimum load range of used rubber roller for well handling of the copy paper.

い搬送性能の優れたゴムローラであることがわかる。

一方、いかなるゴムローラであっても、最適使用条件に基づき機器を設計(押し付け荷重を設定)することにより正常な搬送が可能であるといえる。

Fig. 9 Effect of roller width on optimum load range of rubber roller B and F for well handling of the copy paper.

Fig. 11 Friction coefficient between rubber roller A-F and copy paper.

Fig. 10 Evaluating map, which describes an operating condition for well handling of the copy paper and rough writing paper.

Fig. 12 Relationship between friction coefficient and optimum load range for well handling of the copy paper.

4.1.2 ゴムローラの幅の影響

図7(a),(b)にゴムローラB,Fにおける4種類のゴムローラ幅での「柔軟媒体搬送用ゴムローラの最適使用条件マップ」を示す。いずれのゴムローラにおいても接触幅の増加に伴い正常な搬送を行うための最適な使用条件領域が拡大しており、幅の広いゴムローラほど、搬送性能に優れていると評価できる。

4.2 搬送性能評価パラメータ「最適荷重領域ΔW」

4.2.1 ゴムローラ表面の研磨方向及び硬度の影響

図8にATMを想定した搬送速度での、6種類のゴムローラの正常搬送のための「最適荷重領域ΔW」を示す。

3.2節に示すように、大きなΔWを与えるゴムローラほど1枚の紙を確実に搬送するための性能が優れたゴムとすることができる。図8により、各ゴムローラの搬送性能の優劣を定量的に比較することが可能となる。本結果に基づけば、硬度の低下に伴い搬送性能が優れ、表面の研磨方向が搬送方向に対し逆方向のゴムローラの方が明らかに搬送性能が優れていることがわかる。

4.2.2 ゴムローラの幅の影響

図9にATMを想定した搬送速度でのゴムローラB,Fを用いた場合の正常搬送のための「最適荷重領域ΔW」に及ぼすゴムローラ幅の影響を示す。ゴムローラ幅の増加に伴い搬送性能が向上することが定量的に明らかである。

4.3 異なる媒体を搬送する場合の柔軟媒体搬送機器設計

ゴムローラDを用いた時のコピー紙とわら半紙の搬送のための「最適使用条件マップ」を図10に示す。コピー紙と比較しわら半紙を搬送するための最適使用条件が高荷重側にシフトしていることがわかる。これは、わら半紙を正常に搬送するためには、コピー紙の搬送と比較し、高荷重に設定すれば良いことを意味している。また「最適荷重領域ΔW」を比較しても大きな差は認められず、ゴムローラDは、いずれの紙の搬送に対しても同等の搬送性能を有していると評価できる。

一方、同一の柔軟媒体搬送機器において異なる媒体を搬送する場合、すべての媒体を搬送するための最適使用条件を満たす押し付け荷重条件に設定することが機器設計の基本概念となる。

5. 考 察

5.1 柔軟媒体搬送性能評価パラメータとしての摩擦係数と「最適荷重領域ΔW」の比較

従来、柔軟媒体搬送用ゴムローラの搬送性能評価指針として用いられている摩擦係数と本研究で提案するパラメータ「最適荷重領域ΔW」との比較を行う。

ローラ幅40mmの6種類のゴムローラ及びローラ幅10mmの2種類のゴムローラとコピー紙間の摩擦係数を図11に示す。摩擦係数は、荷重により大きく変化することがわ

Fig. 13 Relationship between tangential coefficient and slip ratio during paper handling by rubber roller B and F.

かる。また摩擦係数に基づくゴムローラの性能評価を行なう場合、荷重により評価が異なることになる。

図11の荷重1Nにおける摩擦係数と図8,図9で得られた「最適荷重領域 ΔW 」の関係を図12に示す。一般に搬送性能に優れていると評価される「媒体との間に高い摩擦係数を与えるゴムローラ」であっても、決して搬送性能が優れているとはいえないことがわかる。

図13にゴムローラB, Fにおける、すべり率と接線力係数 F/W の関係を示す。すべり率が100%となるときの接線力係数が一般にいわれる摩擦係数である。この2本のゴムローラを比較すると、摩擦係数の大きなゴムローラであっても実際に媒体が搬送される低すべり率領域においては、摩擦係数の小さなゴムローラよりすべりやすくなっていることがわかる。これは、摩擦係数の値のみで柔軟媒体搬送用ゴムローラとしての搬送性能を評価できないことを明確に表している。

本研究で提案する評価パラメータは、極めて特異な場合の評価パラメータであるが、従来の摩擦係数では評価できない搬送性能を客観的かつ定量的に評価できるといえる。

5.2 柔軟媒体搬送時のすべり率の予測式

搬送性能を予測するためゴムローラと紙の摩擦特性について考察する。柔軟媒体(紙)の搬送システムでは、ゴムローラが紙に与える摩擦力が、ゲートローラによる抵抗や紙と紙の間の摩擦により決定される搬送抵抗力(搬送に必要な力)に達する時、紙の搬送が可能となる。一般にすべり接触における摩擦力は、押し付け荷重と摩擦係数の積により定義されるため摩擦係数の大きいものが優れた搬送性能を有すると評価される。しかし紙の搬送は、このようなすべり接触状態で行なわれるものではなく、接触面内にわずかな微小すべりが存在する転がりすべり状態で実現される^{5), 6)}。そこで、穂坂らにより提案されている次式⁷⁾で表される転がりすべり接触時の摩擦係数とすべり率の観点より考察する。

$$\frac{E}{4\mu P_{\max}} \frac{S}{100} = 1 - \sqrt{1 - \frac{F}{\mu W}} \quad (1)$$

Fig. 14 Apparent Young's modulus calculated by Hertzian theory with load per unit length.

Fig. 15 Comparison between experimental data and calculated value by equation (1).

ここで、 E はゴムローラのヤング率、 μ は摩擦係数、 $P_{\max}$ は最大ヘルツ接触圧力、 S はすべり率、 F は接線力(搬送抵抗力)、 W は押し付け荷重である。

本実験では、ゴムローラとフリーローラ間に紙を挟んだ接触状態を弾性接触と仮定し、種々の荷重条件での接触幅をヘルツの接触理論に導入することによりゴムローラの見かけのヤング率 E_a を求めた。荷重変化に伴うゴムローラの見かけのヤング率 E_a を図14に示す。

図14に示される見かけのヤング率を(1)式のヤング率として求めた理論式と本実験結果との比較を図15に示す。

実際に媒体が搬送される低すべり率領域では、実線で示される理論式と実験値は非常によく一致しており、柔軟媒体搬送時の摩擦特性が(1)式により説明され得ることがわかる。

即ち、ゴムローラの形状及び接触に伴う変形を考慮したみかけのヤング率と摩擦係数の荷重依存性が既知であれば(1)式により柔軟媒体搬送時の微小すべり量を予測することが可能である。

6. 結 言

- (1) 積層紙から空送及び重送することなく1枚のみを搬送するゴムローラの搬送性能を定量的に評価する新しいパラメータとして「最適荷重領域 ΔW 」を導入し、従来の搬送性能評価指針である摩擦係数との比較において、その有効性を実証した。
- (2) ゴムローラの形状及び接触に伴う変形を考慮したみかけのヤング率と摩擦係数の荷重依存性が既知であれば、次式により柔軟媒体搬送時における微小すべり量の予測が可能であることを実証した。

$$\frac{E_a}{4\mu P_{\max}} \frac{S}{100} = 1 - \sqrt{1 - \frac{F}{\mu W}}$$

E_a ：ゴムローラの接触面における見かけのヤング率

S ：すべり率

μ ：ゴムローラと紙の摩擦係数

$P_{\max}$ ：最大ヘルツ接触圧力

F ：接線力(搬送抵抗力)

W ：押し付け荷重

謝 辞

本研究は、社団法人精密工学会産学協議会協同研究会「柔軟媒体搬送技術と学理に関する研究会」によって行なわれたことを付記し関係各位に謝意を表します。また試験片を提供して頂きましたオムロン㈱、バンドー化学㈱、日立電線㈱に謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 鈴木雅博：ゴムの摩擦力を利用したOA機器用ゴムローラの改善，月刊トライボロジ，7（1995）22-24.
- 2) 服部俊介：紙学のすすめ-柔軟媒体ハンドリング機構とそのシミュレーション，トライボロジスト，42，5（1997）339-344.
- 3) 小俣順昭：紙幣繰り出しゴムローラのトライボロジー，月刊トライボロジ，7（1995）26-27.
- 4) 足立幸志，加藤康司，渋谷裕行：柔軟媒体搬送システム用ゴムローラの評価法（第1報）積層紙葉繰り出し用ゴムローラの最適使用条件，精密工学会誌，69，3（2003）448-452.
- 5) 加藤康司，ゴムの摩擦駆動におけるマイクロスリップ，トライボロジスト，42，5（1997）369-374.
- 6) 足立幸志，加藤康司：運動・動力伝達報，精密工学会誌，60，10（1994）1410-1415.
- 7) 穂坂衛：転がり接触について（第1報），日本機械学会論文集，17，61（1951）161-167.

編 集 後 記

計算機援用設計（CAD）の研究開発は盛んになったり、廃れたりという波が10年周期である、と聞いたことがあります。その真偽は定かではありませんが、現在はどうも波の頂点ではないようです。CADはもはや研究対象ではなく、どう利用するかという段階である、という意見も聞きますが、まだまだ研究すべきことは多くあると考えています。

今回の特集は、計算機能力の飛躍的な向上がもたらした、大量の離散情報を活用する技術を中心に次世代のデジタルエンジニアリング技術を概観することを狙った特集です。これらの技術は、例えば生産における試作品を計測し、改善点を製品設計や生産設計にフィードバックすることなど、広範囲の活用が想定されています。従来の形状処理技術は、計算機内部のアルゴリズム研究が中心でしたが、本特集の技術は、計測技術、高速計算技術などと関連した、広がりのある分野です。また、これらの成果が従来のCAD技術に影響を与えて新しい分野として発展して行く

可能性が十分にあると考えています。

形状関連の解説はどうしても数式が多くなり、敬遠しがちですが、諦めずに一読をお願いします。多忙な時期に、ご執筆いただいた鈴木教授をはじめ執筆者の皆様には、感謝しております。

グラビアとインタビューは、日本科学未来館にあるGeo-Cosmosという世界初の球形ディスプレイの作成過程のお話です。このプロジェクトに関わられた（株）ビノアズールの町田社長のお話はとても興味深いものでした。また、日本科学未来館の広報普及グループの伊藤様も取材にご協力いただきありがとうございました（巨大トラックボールの写真の手は伊藤様です）。

本巻が出版されるころには、杉花粉の飛散も落ち着いて、桜前線が順調に北上していると思います。新しい年度を迎え、世界の平和と、環境の保全と産業技術が矛盾なく発展することを願っています。

（松木則夫）