摩擦パッドをもつ給紙機構のFEMシミュレーション*

矢鍋重夫^{*1}, 藤井和成^{*2}, 大浜靖士^{*2}

FEM Analysis of Paper Feed Mechanism with Friction Pad

Shigeo YANABE^{*3}, Kazunari FUJII and Seiji OHAMA^{*3} Department of Mechanical Engineering, Nagaoka University of Technology,
1603-1 Kamitomiokamachi, Nagaoka-shi, Niigata, 940-2188 Japan

Separation and feed process of stuck papers under a friction pad type feed system are simulated by FEM software MARC. The system composed of a feed roller, friction pad and tray is widely used in printers and copiers. In the simulation, a modified Coulomb friction model is used, where the friction force is a function of slipping velocity as well as vertical load and coefficient of friction. The results show that the normal feed, double feed and non-feed processes in the paper feed system are successfully simulated. The friction forces acting between papers and system elements are almost the same in magnitude in the initial feed stage, even though the friction coefficients are different. The simple equations, which predict the paper velocities and friction force, are presented.

Key Words: Information Processing Device, Finite Element Method, Contact Problem, Coulomb Friction, Paper Feed, Friction Pad, Paper Velocity

1. 結 論

近年, プリンターや複写機の需要が急増し, 製品の開発サイクルも短くなってきている. こうした機器では, 文字や画像などの転写プロセスと同様, 積載した紙を確実に一枚ずつ分離して送り出す給紙機構も重要な基盤技術である. 現在, 給紙機構には摩擦パッド方式, 分離ローラ方式などがあり, 紙や機構要素(フィードローラ, トレイ, 摩擦パッド, 分離ローラ)間に働く摩擦を利用して紙を分離し搬送する^①. しかし, 紙の種類や厚さ, 湿度, 摩擦係数の経時変化などにより, 複数枚の紙が同時に送られる重送, 一枚も紙が送られない不送りが発生することがある.

摩擦パッド方式については, これまで簡単な力学的考察から, 二枚重なった紙を分離し搬送するために三つの動摩擦係数(フィードローラと紙, 紙と紙, 紙と摩擦パッド間)が満足すべき基本不等式が示されている. 高橋^②は, この不等式に紙が摩擦パッドに進入する際のパッド押し付け力に起因する抵抗力を導入し,

より実際に近い不送り, 重送の条件式を提示し, 実験結果と比較している. また, 鈴木ら^③は, ゴムと紙および紙と紙の摩擦特性を考察し, 大きな摩擦係数を持つゴムローラを小さな力で押し付けたほうが, ローラ回転時に紙はよく分離するとしている. これまで, 給紙機構の解析では, ①動摩擦力の大きさは, 押し付け力と動摩擦係数の積に等しく, すべり速度に無関係である, ②紙に働く動摩擦力の合力の向きに紙が移動する, としている場合が多い. 岡本ら^④は, 二枚の紙の分離については扱っていないが, ゴムローラ・剛体ローラで挟持搬送される一枚の紙の移動速度について, 従来の解析モデルを概観した後, 回転するローラと紙の接触部(ニップ部)の固着長さをFEM解析で求め, これを非荷重下の長さで割った値が, 紙の移動速度をローラ周速で割った値に等しいことを示した.

こうした研究にもかかわらず, 給紙機構における紙の分離搬送過程には紙の移動速度などまだ不明な点があり, その開発には設計者の経験や勘にたよる部分が多い. また, 給紙機構の信頼性試験には相当量の実験が必要で, 全体として膨大な時間と経費を必要としている. 開発時のパラメータの検討や開発の期間短縮・経費削減のため, コンピュータによる給紙機構のシミ

* 原稿受付 2002年3月22日.

^{*1} 正員, 長岡技術科学大学工学部(〒940-2188 長岡市上富岡町1603-1).^{*2} 長岡技術科学大学大学院.

E-mail: yanabe@mech.nagaokaut.ac.jp

ュレーション法の確立と紙の分離搬送過程の解明が強く望まれている。

本研究では、汎用有限要素法解析ソフト MARC を用いて、摩擦パッド式給紙機構による二枚の紙の分離搬送過程をシミュレーションする方法を構築するとともに、紙や機構要素間の動摩擦係数、摩擦パッド押し付け力などが紙の分離挙動に及ぼす影響を調べる。ここでは、従来の摩擦モデルにすべり速度の影響を付加した修正クーロン摩擦モデルを用いている。さらにシミュレーション結果を検討して、各接触部に働く動摩擦力の大きさとすべり速度の関連を明らかにし、分離搬送過程における紙の移動速度や摩擦力を計算する簡単な式を提示している。なお、筆者らの一人は、これまでに偏角をもつ 2 円筒ローラ間を走行するベルトのスキューを MARC を用いてシミュレーションしてきている⁶⁾。

2. FEM モデルおよびシミュレーション方法

2.1 FEM モデル 本研究では、汎用 FEM 解析ソフト MARC およびプリポストプロセッサ MENTAT を用いてシミュレーションを行った。図 1 に本研究で扱う摩擦パッド式給紙機構の 2 次元 FEM シミュレーションモデルおよび座標系を示す。モデルは円筒円筒のまわりに厚さ 0.5 mm のゴム層を持つ直径 20 mm のフィードローラ、x 方向にのみ動くように拘束してばね支持した摩擦パッド（傾斜角 $\alpha = 30^\circ$ ）、左端 Ot 点をピン支持、先端付近をばね支持したトレイ、厚さ 0.1 mm、長さ 15 mm の二枚の紙から成っている。上の紙を紙 1、下の紙を紙 2 と呼ぶ。各要素は弾性体とし、四辺形平面要素で分割した。なお、実機のフィードローラは円周の一部が直線状になっていて、この部分がトレイと対向している間はフィードローラの力が紙に働かない。このことを考慮して本モデルでは、フィードローラの弧 AB 部分（約 46° ）の摩擦係数をゼロとしている（ローラのゼロ摩擦領域）。各構成要素の寸法、物性値を表 1 に示す。以下の説明において混乱が生じない場合は、簡単のためにフィードローラをローラ、摩擦パッドをパッドと呼ぶことにする。

2.2 接触判定と摩擦モデル 以下の説明では、摩擦力（摩擦係数）は動摩擦力（動摩擦係数）の意味で用いる。本シミュレーションでは、モデルの各構成要素間の接触、すべり、摩擦力の計算が重要である。このため、MARC の contact 機能を用いて、各要素間の代表的な摩擦係数の組み合わせを表 2 のように指定した。ここで、 μ_1 、 μ_2 、 μ_3 はフィードローラと紙、紙と紙、紙と摩擦パッドの間の摩擦係数を表す。

Fig.1 FEM model

Table1 Main parameters of FEM model

	Size [mm]	E [Mpa]	ν
Feed Roller	D = 20, t = 0.5	100	0.49
Friction Pad	L = 15, t = 0.25	50000	0.3
Paper	L = 15, t = 0.1	1500	0.3
Tray	L = 15.3, t = 1.0	50000	0.3

Table2 Combination of friction coefficients

Case	μ_1	μ_2	μ_3
A	1.0	0.1	0.5
B	1.0	0.3	0.1
C	0.1	0.3	0.5
D	1.0	0.3	0.5

紙とトレイの間の摩擦係数は紙が積載されているとして紙と紙の間の摩擦係数と同じ値とした。表 2 の Case A, D は $\mu_2 < \mu_3 < \mu_1$ の関係を満足している。この不等式はこれまで分離搬送の基本式と考えられてきたものである。Case B, C は重送（ $\mu_3 < \mu_2 < \mu_1$ ）、不送り（ $\mu_1 < \mu_2 < \mu_3$ ）の条件式をそれぞれ満足する代表例である。摩擦係数と同様、大切な量に接触のしきい値がある。ある節点と他要素の境界面との距離が接触のしきい値より小さいと、両者は接触していると判定される。この値を紙とパッド間で 0.02 mm、それ以外の部分では 0.01 mm に指定した。

MARC では接触している節点に働く摩擦力のモデルをいくつか用意しているが、ここでは、すべりを考慮した式(1)を選択した（修正クーロン摩擦モデルと呼ぶ）。

Fig.2 Modified Coulomb Friction Model

$$F = -\mu P \cdot \frac{2}{\pi} \cdot \tan^{-1}\left(\frac{v_r}{C}\right) \quad (1)$$

ここで、 F : 摩擦力, μ : 摩擦係数, P : 押付け力, v_r : すべり速度, C : 基準すべり速度である。

式(1)を無次元化してグラフに示すと図 2 のようになる。修正クーロン摩擦モデルの特徴は、 $v_r=0$ で $F=0$ 、 v_r が増加するにつれて F の絶対値も大きくなり μP へ漸近する点である。こうした $F-v_r$ 曲線はゴムローラによる紙搬送系では比較的良好に見受けられるものである。 C の値が小さいほど基本のクーロン摩擦モデル ($F=-\mu P$) に近づくが、計算の収束性が悪くなる (計算途中でエラーが発生し計算が止まってしまう) ため、ここでは $C=0.25$ としている (MARC でのデフォルト値は $C=1$ である)。

2.3 シミュレーション法 まず、MENTAT 画面で各構成要素を初期位置に配置する (図 3(a)参照)。その後、トレイが水平になるまでフィードローラを押下し、ローラ・紙・トレイ間に押し付け力 $P (=4.7 \text{ N})$ 、紙二枚挿入時、 $k_t=10 \text{ N/mm}$ を加える。次に、摩擦パッドがフィードローラに接触するまで左方へ移動させる。このときパッドとローラの押し付け力 Q はほぼゼロであるが、ニップに紙が二枚入ると $Q=2.5 \text{ N}$ となる ($k_p=5 \text{ N/mm}$)。この状態で二枚の紙の先端はローラ中心直下より右方向へ 0.6 mm 出ている (図 3(b)参照)。このあと、フィードローラの剛体部分に強制回転変位 0.005 rad/step 、 $\omega=0.1 \text{ rad/s}$ を連続的に与え (600-700 ステップ)、各ステップにおける二枚の紙を含む各構成要素の変位や変形、各部に働く摩擦力を計算し、これらを連ねて二枚の紙の分離・搬送シミュレーションとしている。なお、トレイ・ローラ間、パッド・ローラ間に紙が一枚だけ挟まった場合、 $P=3.6 \text{ N}$ 、 $Q=1.07 \text{ N}$ となる。

3. シミュレーション結果および考察

3.1 代表的な給紙過程 表 2 に示した Case A,B,C について給紙過程のシミュレーションを行い、結果の一部を図 4,5,6 にそれぞれ示す。図 4 (Case A) は正常送り、図 5 (Case B) は重送、図 6 (Case C) は不送りの場合である。図 4 では、紙 1 が摩擦パッドとフィードローラの接触中心 S を通過し終わるまで、紙 2 の先端は S 点を越えない、いわゆる二枚の紙の完全分離状態を示している (図 4(d) 参照)。図 5 では、二枚の紙は先端がある程度ずれて S 点を同時に通過していく、いわゆる重送状態にあることがわかる (図 5(d) 参照)。図 6 では、フィードローラは回転し続けているにもかかわらず、紙 1 の先端がパッドとローラのニップ入口につかえて進まない状態、いわゆる不送り状態にあることがわかる。

Fig.3 Preparation for calculation

Fig.4 Normal-feed process CaseA ($\mu_2 < \mu_3 < \mu_1$)

Fig.5 Double-feed process CaseB ($\mu_3 < \mu_2 < \mu_1$) Fig.6 Non-feed process CaseB ($\mu_1 < \mu_2 < \mu_3$)

3.2 二枚の紙の移動量および摩擦力の変化 図4に示したシミュレーション結果について、フィードローラの回転角 θ に対する紙1,2の移動量および紙1,2の上下面に働く摩擦力の大きさの変化を詳細に調べて、図示したのが図7(a),(b)である。ここで、紙の移動量とは進行方向に沿って測った紙先端の移動距離、摩擦力とは紙1,2の上下面が他の要素と接触している領域内のすべての節点に作用する摩擦力の総和を意味する。なお、図7(a),(b)中の θ_i ($i=1-6$)は以下の時点を示している。 θ_1 ($=0.26$ rad) : 紙1がパッドに到達、 θ_2 ($=0.48$ rad) : 紙1がパッドニップに進入 (紙2がパッドに到達)、 θ_3 ($=0.73$ rad) : 紙2がパッドニップに進入、 θ_4 ($=1.53$ rad) : ローラのゼロ摩擦領域開始点Aがトレイニップ中央に到達、 θ_5 ($=2.05$ rad) : 紙1がパッドニップから排出、 θ_6 ($=2.4$ rad) : ローラのゼロ摩擦領域終了点Bが

トレイニップ中央に到達 これらの θ_i で区切られた θ の区間を領域I, II, ..., VIIと名づける。

3.2.1 紙の移動量の変化 図7(a)には、紙1,2の移動量を示す曲線のほか、ローラの回転とともにすべりなく紙1が進んだ場合の移動量を示す直線 (No slipping, $L=D\theta/2$) も描かれている。図より、紙1は全領域にわたってほぼ一定の傾きで (ローラに対してほぼ一定のすべりをもって) 移動するが、紙2は領域I-III, IV, Vで微妙に傾きを減少させながら進み、領域VIIでは紙1とほぼ同じ大きな傾きで移動することがわかる。任意の θ における紙1,2の移動量の差が分離量 δ で、 $\theta=\theta_5$ のとき $\delta=15.02$ mmとなり、紙の全長15.00 mmを越える。このことは、二枚の紙が完全に分離して (0.02 mm 離れて) 搬送されていることを意味する。

3.2.2 摩擦力の変化 図7(b)に示した4個の摩擦力 (紙1,2の上下面に働く摩擦力を F_{1U} , F_{1L} , F_{2U} , F_{2L} で表す) の変化で特徴的なことは、領域IVなどで摩擦力に大きな変動がある場合を除くと、全体的には F_{1U} と F_{1L} , F_{2U} と F_{2L} はほぼ同じ値を保って変化すること、特に領域I, Vではこれらの4力の大きさがほぼ等し

(a) Paper moving distance

(b) Friction force

Fig.7 Paper moving distance and friction force

いことである。このことは、紙 1,2 の接触面間に働く摩擦力は作用・反作用で等しく ($F_{1L}=F_{2U}$)、紙 1,2 それぞれの上下面に働く摩擦力の総和はゼロ ($F_{1U}=F_{1L}$, $F_{2U}=F_{2L}$) で力のつりあいが保たれているという、力学的に当然の結果を意味している。しかしながら、従来のクーロン摩擦モデル ($F=\mu P$) では、各接触部の摩擦係数 μ の値が異なれば、そこに働く摩擦力の大きさも異なるので、紙の上下面に働く摩擦力は一般には等しくない。このことは、給紙機構のメカニズムを考える上で極めて重要である。なお、領域 I は給紙の初期段階で、二枚の紙がトレイから押し出される過程、領域 V はローラのゼロ摩擦領域がトレイ上にあり、二枚の紙がローラ・パッド間で分離される過程、領域 VII は紙 1 がパッドニップから排出された後、紙 2 がトレイニップとパッドニップの摩擦力で搬送される過程に対応している。4 章では、領域 I, VII における紙の移動速度および摩擦力について考察する。

3.3 各 Case における二枚の紙の移動量 シミュレーション結果から、Case A, B, C における二枚の紙の移動量の変化をひとつの図にまとめて示したのが図 8 である。Case A (+印) の結果は図 7(a) と同じで、この場合、正常送りとなっていることは 3.2.1 で述べた。図 8 より、Case C (□印) では、フィードローラの摩擦係数が小さいため、 θ が大きくなっても紙 1,2 の移動量おほとんど増加しない不送り状態になっていることがわかる。Case B (○印) では、パッドの摩擦係数が小さいため紙 2 の進行を抑えることができない。このため紙 1,2 の分離量 δ は $\theta=2.15$ rad (Case B の θ_5 の値) で約 10 mm で、重送状態にあることがわかる。その後、ローラゼロ摩擦領域がトレイ上を過ぎると、紙 2 の移動量は急増する。

Fig.8 Moving distance of two papers in Case A,B and C

3.4 摩擦パッド押し付け力 Q の影響 表 2 の Case D ($P=4.7$ N, $Q=2.5$ N) について、トレイ押し付け力 P をそのままとし、摩擦パッド押し付け力 Q を 0.5 N (紙 2 枚挿入時) にした場合をシミュレーションし、両者の場合の紙の移動量を図 9 に示す。図より領域 IV, V, VI では、 Q の値が大きいか紙 2 の移動量が小さいことがわかる。このことは、 Q の値が大きいと、紙 2 がパッドのニップ部を進む際 ($\theta_3 < \theta$) 抵抗力を受ける結果と考えられる。 $\theta = \theta_6$ で $Q=0.5, 2.5$ N の移動量がいったん同じ値になっているが、理由は不明である。

3.5 摩擦パッド傾斜角 α の影響 表 2 の Case D ($\alpha = 30^\circ$) を基準に α の値を 45° にした場合をシミュレーションし、両者の結果を比較したのが図 10 である。図より、本シミュレーションの範囲では、 α が紙の移動量に及ぼす影響おほとんど認められなかった。

Fig.9 Effects of pad load on paper moving distance

Fig.10 Effects of pad angle α on paper moving Distance

4. 紙の移動速度と摩擦力

4.1 修正クーロン摩擦モデルによる給紙過程の解析

4.1.1 二枚の紙の分離過程 3.2 節 図 7(b) で説明したように、修正クーロン摩擦モデルを用いた給紙機構のシミュレーション結果では、紙 1, 2 がトレイ上または摩擦パッド上のみにある場合 (図 7 の領域 I および V)，紙 1, 2 の上下面に作用する摩擦力はほぼ等しい。この結果をもとに給紙機構における紙の移動速度や摩擦力を図 11 のモデルを用いて考察する。モデルは給紙の初期段階で紙 1, 2 がトレイ上にあるものとしている。一般性をもたせるため、トレイと紙 2 の摩擦係数は、紙間のそれとは異なる値 μ_3 とした。フィードローラの押し付け力および角速度を、 P , $r\omega$ 、紙 1, 2 の移動速度を v_{p1}, v_{p2} 、ローラと紙 1、紙 1 と紙 2、紙 2 とトレイ間の摩擦係数、そこに作用する摩擦力の大きさおよびすべり速度の大きさを $\mu_1, \mu_2, \mu_3, F_1, F_2, F_3, v_{r1}, v_{r2}, v_{r3}$ とする。

修正クーロン摩擦モデルを仮定しているので、

$$F_i = \mu_i P \cdot \frac{2}{\pi} \cdot \tan^{-1} \left(\frac{v_{ri}}{C} \right) \quad (i=1,2,3) \quad (2)$$

シミュレーション結果より

$$F_1 = F_2 = F_3 = F \quad (3)$$

すべり速度について

$$\begin{aligned} v_{r1} &= r\omega - v_{p1} \\ v_{r2} &= v_{p1} - v_{p2} \\ v_{r3} &= v_{p2} \end{aligned} \quad (4)$$

式(2)を式(3)に代入し、無次元摩擦力 $a (= F \pi / (2P))$ を導入すると、

$$a = \mu_i \tan^{-1} \left(\frac{v_{ri}}{C} \right) \quad (i=1,2,3) \quad (5)$$

式(5)より、

$$\frac{v_{ri}}{C} = \tan \left(\frac{a}{\mu_i} \right) \quad (i=1,2,3) \quad (6)$$

一方、式(4)より、

$$v_{r1} + v_{r2} + v_{r3} = r\omega \quad (7)$$

式(6)を式(7)に代入すると、

$$\tan \frac{a}{\mu_1} + \tan \frac{a}{\mu_2} + \tan \frac{a}{\mu_3} = \frac{r\omega}{C} \quad (8)$$

$\mu_i (i=1, 2, 3)$, $r\omega$, C は既知なので、式(8)から a を求めることができる。 a を式(6)に代入して $v_{ri} (i=1, 2, 3)$ を求め、これらを式(4)に代入すれば、紙 1, 2 のすべり速度および移動速度が次のように得られる。

Fig.11 Calculation model of paper velocities and friction forces (separation model)

$$v_{r2} = v_{p1} - v_{p2} = C \tan \left(\frac{a}{\mu_2} \right) \quad (9)$$

$$v_{p2} = v_{r3} = C \tan \left(\frac{a}{\mu_3} \right) \quad (10)$$

$$v_{p1} = v_{r2} + v_{p2} = C \left\{ \tan \left(\frac{a}{\mu_2} \right) + \tan \left(\frac{a}{\mu_3} \right) \right\} \quad (11)$$

これらを式(2)に代入すると摩擦力が得られる。

4.1.2 一枚の紙の搬送過程

図 7 の領域 VII では、紙 1 はすでに排出され、紙 2 が図 12 に示すようにトレイとパッドの両方に接触しながらフィードローラによって搬送されている。この

Fig.12 Calculation model of paper velocity and friction forces (transfer model)

Table3 Notations used in Fig.12 model

	tray side		pad side	
	roller	tray	pad	roller
F_i	F_1	F_2	F_3	F_4
μ_i	μ_1	μ_2	μ_3	$\mu_4 = \mu_1$
v_{ri}	$r\omega - v_p$	v_p	v_p	$r\omega - v_p$

ときの紙の速度と各部の摩擦力について、4.1.1 と同様な考察を行う。なお、ここではトレイ上およびパッド上における紙と各要素間に働く摩擦力 F_i 、摩擦係数 μ_i 、すべり速度 v_{ri} 、押し付け力 P_i は表 3 に示す通りとする。

修正クーロン摩擦モデルを仮定しているので、

$$F_i = \mu_i P_i \left(\frac{2}{\pi} \right) \tan^{-1} \left(\frac{v_{ri}}{C} \right) \quad (i=1-4) \quad (12)$$

紙の上下面に働く摩擦力はつりあっているので、

$$F_1 + F_4 = F_2 + F_3 \quad (13)$$

式(12)を式(13)に代入して表 3 の表記を用いると、

$$\begin{aligned} \mu_1(P+Q) \tan^{-1} \left(\frac{r\omega - v_p}{C} \right) \\ = (\mu_2 P + \mu_3 Q) \tan^{-1} \left(\frac{v_p}{C} \right) \\ \therefore \frac{\tan^{-1} \left(\frac{r\omega - v_p}{C} \right)}{\tan^{-1} \left(\frac{v_p}{C} \right)} = \frac{\mu_2 P + \mu_3 Q}{\mu_1(P+Q)} \end{aligned} \quad (14)$$

上式を満足するように紙の速度 v_p が定まる。これをもとに、表 3、式(12)より F_i ($i=1-4$) が得られる。

各部のすべり速度が十分小さい場合は式(14)を近似して、紙速度は次のように得られる。

$$\frac{v_p}{r\omega} = \frac{\mu_1(P+Q)}{\mu_1(P+Q) + \mu_2 P + \mu_3 Q} \quad (15)$$

4.2 数値例

4.2.1 二枚の紙の分離過程 図 7 領域 I の紙移動速度および摩擦力について、MARC によるシミュレーション結果と 4.1 節に示した式から計算した結果を比較する。ここで、 $P=4.7$ N, $r\omega=1.0$ mm/s, $C=0.25$, $\mu_1=1$, $\mu_2=0.1$, $\mu_3=0.1$ である。これらを式(8),(9),(10),(11)に代入すれば、 $a=0.11$, $v_{p1}=0.98$ mm/s, $v_{p2}=0.49$ mm/s, $F=0.33$ N。一方、シミュレーション結果からこれらの値を求め比較したのが図 13 である。図より、両者はかなりよく一致していることがわかる。

4.2.2 一枚の紙の搬送過程 図 7 の領域 VII における紙の移動速度および摩擦力について、シミュレーション結果と 4.1.2 に示した式による結果を比較する。ここで、 $P=3.6$ N, $Q=1.07$ N, $\mu_1=\mu_4=1$, $\mu_2=0.1$, $\mu_3=0.5$, $r\omega=1$ mm/s, $C=0.25$ である。これらを式(14)に代入すると、 $v_p=0.935$ mm/s, シミュレーションの結果は図 7(a)より、 $v_p=0.89$ mm/s で、推定値が若干大きい。また、式(12)より各部の摩擦力は、 $F_1=0.58$, $F_2=0.30$, $F_3=0.45$, $F_4=0.17$ N となり、

Fig.13 Comparison of predicted values and simulated results of paper velocities and friction forces

$F_1 + F_4 = F_2 + F_3 = 0.75$ N. 図 7(b) のシミュレーション結果ではこの値は約 0.79 N で、推定値はシミュレーションの値にほぼ近いといえる。

以上のように、4.1 節で提案した式を用いれば、修正クーロン摩擦モデルを用いた給紙機構の基本的な分離搬送特性（紙の移動速度および摩擦力）を推定できる。紙のパッドニップ部進入時については、摩擦力などシミュレーションの結果がばらついていて、どのような状態を仮定すべきか、現状では不明である。今後の検討課題である。

5. 結 論

汎用有限要素法解析ソフト MARC により、修正クーロン摩擦モデルを用いて、摩擦パッド式給紙機構における二枚の紙の分離・搬送過程のシミュレーションを行い、以下の結論を得た。

- (1) 汎用 FEM 解析ソフトを用いて、紙や機構要素間の摩擦係数の組み合わせにより、正常送り、重送、不送りの過程をおおむねシミュレーションすることができた。
- (2) 給紙過程の初期で二枚の紙がともにトレイ上にあるとき、二枚の紙の上下面に働く 4 個の摩擦力は、摩擦係数が異なるにもかかわらずほぼ等しい。これは、それぞれの紙に働く摩擦力（外力）がつりあっていること、また、力の作用・反作用の法則の結果である。
- (3) 正常送りの条件 ($\mu_2 < \mu_3 < \mu_1$) 下では、摩擦パッド押し付け力が大きいほど二枚の紙は分離しや

すくなる。これは、二枚目の紙がパッドニップ部
進入時に抵抗力を受けるためである。

- (4) 摩擦パッドの傾斜角は、本シミュレーションの範
囲では給紙過程にほとんど影響を及ぼさなかつ
た。
- (5) 修正クーロン摩擦モデルを仮定して、パッド式給
紙機構の基本的な分離搬送特性（紙の移動速度お
よび摩擦力）を計算する簡単な式を提案した。

文献

- (1) 門屋卓・中村孝一, 情報記録紙における紙送り特性
トリケップス, 1989, pp. 34-38.
- (2) 高橋靖弘, Ricoh Technical Report, No. 9,
(1983-5), pp. 29-36.
- (3) 鈴木雅博, トライボロジスト, 42-5(1997),
pp. 327-332.
- (4) 岡本紀明他 3 名, 機論, 67-654, C(2001-2),
pp. 475-482.
- (5) 矢鍋重夫他 2 名, 機論, 67-658, C(2001-6),
pp. 1749-1755.