

紙搬送姿勢による転写時トナーチリ現象のメカニズム

Toner Scattering Mechanism by Numerical Simulation of Electric Field near the Transfer nip Considering Paper Behavior

羽山 純子* 竹平 修* 門永 雅史**
HAYAMA,Yuko TAKEHIRA,Osamu KADONAGA,Masashi

要　　旨

電子写真における転写装置において、転写時に起こるトナーの飛び散りの発生(転写チリ)は、紙搬送状態によって左右される。そこで独自に開発した紙搬送シミュレータと、電界解析シミュレータを使用し、紙搬送シミュレーションによる紙の搬送姿勢を考慮しつつ、転写ニップ部周辺領域でのトナーの電界強度を計算した。計算結果を実際の転写チリの観察結果と比較することで、転写チリはトナーが転写する時点で放電がおこっている場合に発生することがわかった。また、転写チリの発生を防止しつつ、感光体へのショックジャーを緩和した搬送ガイドのレイアウトを考え、このガイドによる転写チリの改善状況を実機で確認した。シミュレーションは実験によるチリ抑制の効果を正しく予測することができた。これらの評価は、転写チリ防止設計への指針となる。

ABSTRACT

In order to clarify the mechanism of toner scattering around a toner image, a numerical simulation of electric field in the transfer nip region is carried out together with the paper behavior using paper handling simulation. Toners are scattered when electrical discharge occurs before the toners are transferred. The occurrence of scattering predicted by the simulation agrees well with the experimental results. A new layout of the paper guide between the transfer nip and the registration rollers is designed by the paper handling simulation for preventing toner scattering and reducing the shock to photoreceptor. These approach by the simulation become a navigator for design of paper path to prevent toner scattering.

* 研究開発本部 環境技術研究所

Environmental Technology R&D Center, Research and Development Group

** 画像技術開発本部 ST-PG

ST-PG, Imaging Technology Division

1. 背景と目的

電子写真を利用した、複写機、プリンター、FAX、またその複合機では、感光体上のトナーを紙に静電的に転写させるための方法として、転写ローラが用いられている。転写ローラは小型化、オゾン量低減などの観点からメリットがあるが、問題としてあげられる現象に転写チリがある。転写チリとは、潜像上に形成された良好なトナー像がそのままの形で紙に転写されるのではなく、像の周りにトナーが散ったようになる現象である。

転写チリは転写前の紙の入り口ガイド形状により変化することが知られており、転写ニップ部手前で、感光体に紙の先端が当たるようにレイアウトすることなどが有効である。この入り口ガイドによる転写チリの変化の要因としては、転写ニップ部周辺での紙の姿勢により、トナーにかかる電界が変化し、転写時の画像の状態を変化させているのではと考えられている。しかしながら転写時のチリ発生との関連についてそのメカニズムまで掘り下げる現状把握を行なうまでには致っていなかった。転写前の紙の姿勢は、入り口ガイドの形状と、転写、レジストの各搬送支持角度と、両者の位置関係によって決定されており、また紙の進入に関しては感光体への当接角度が急峻であるとショックジターの原因ともなり、画像に影響が出るとともに、感光体磨耗にも影響が大きいと考えられている。このようなことから、入り口ガイド設計の際には、転写チリ防止と感光体への衝撃力の抑制と両方の品質を達成するために、設計したレイアウトによる紙の搬送姿勢を確認しておく必要があった。

これまで筆者らは紙搬送状態を計算できる紙搬送シミュレーション技術¹⁾と、電荷の動きを計算する電界シミュレーション技術²⁾を開発しており、その有効性を確認している。また転写ローラの転写電界シミュレーションとしては、伊藤らが転写ローラシステムの動作メカニズムを明らかにし性能を予測することを目的とし、準定常一次元電界解析を行なっている³⁾。そこで本論文では、紙搬送シミュレーションにより得られる転写部での紙搬送姿勢を、電界シミュレーションに入力して電界計算を行ない、その結果と実際の転写チリ実験結果と比較することで、入り口ガイド形状により変化する転写チリ発生のメカニズムを考察する。さらに転写チリを抑制する転写前の搬送姿勢を保ち、感光体へのショックジター

も低減する方法を搬送シミュレーションにおいて設計し、その搬送ガイドにおいて実機での転写チリ状況を確認することで、紙搬送姿勢の転写チリ抑制へのアプローチの有効性を確認する。

2. 計算方法

今回計算に使用した紙搬送シミュレーション¹⁾と電界計算シミュレーション²⁾について説明する。

2-1 紙搬送シミュレーション

紙は2次元場での有限要素法を用いて解析する。モデル化された紙は、応力-歪み関係を線形と仮定して、1mm前後に分割されたはり要素と、その両端に位置する節点とにより構成される。計算は要素の全体方程式をNewton - Raphson法により解き、外力との釣り合いを満足するための内部応力を要素に埋め込まれた局所座標系で評価している。シート類の過渡的な挙動の予測にはHoubolt法を用いる。この手法により、次ステップの変位、速度、加速度を求める漸化式が導かれ、これを計算に用いる。計算に必要な紙の特性値は、ヤング率であるが、これは実際の紙を短冊状にし、共振周波数、厚さ、密度を実測して求めた。

紙と接触するガイド類は静止剛体と定義し、それぞれにクローン摩擦則に従った摩擦係数を設定する。接触解析のアルゴリズムはラグランジュの未定乗数法をベースとし、接触境界を接点が突き抜けている距離を加算した添加型ラグランジュ乗数を用いている。搬送ローラは摩擦なしの円ガイドとみなす。ローラにおける紙の送りは、入力した一定の搬送速度と過渡応答解析における時間ステップで算出される値で変位させる。電荷による吸着は未考慮である。計算結果として接点の変位、接点抗力及び摩擦力などが解として求められる。

2-2 電界シミュレーション

電界計算では、Poisson方程式により電位の分布を計算し、オームの法則と物質の移動による電荷の移動を考慮している。さらに空気中の放電による電荷移動が計算される。放電はパッシェンの法則により放電限界と電荷移動を求める。物理モデリングの容易さから、計算手法として差分法を採用した。2次元のPoisson方程式は、 q_v を体積電荷密度、 ϵ を誘電率、

ϕ を電位とおいた場合、式(1)で表される。

$$\operatorname{div}(\epsilon \operatorname{grad} \phi) = -q \quad (1)$$

またローラのオームの法則と感光体の移動を考慮した電化輸送式は、 J を単位断面積当たりの電流、 \mathbf{E} を電界強度、 \mathbf{V} をローラ類の移動速度、 ρ を電気伝導度として式(2)で表される。

$$\frac{\partial qv}{\partial t} = -\operatorname{div} J = -\operatorname{div}(\rho \mathbf{E} + qv\mathbf{V}) \quad (2)$$

これらの式を差分化し、シミュレーションを行なった。放電は放電電荷量として、各層間の空気層での電位差がパッシングの放電開始電圧 V_{pa} を超えると放電が発生し、電荷 ΔQ がローラ、逆電荷 $-\Delta Q$ が紙上に移動すると仮定する。パッシングの放電開始電圧は、式(3)で表される修正パッシング曲線を使用した。

$$\left. \begin{array}{l} V_{pa} = 312 + 6.2 \times 10^6 \cdot G \text{ [V]} \quad G > 8[\mu\text{m}] \\ V_{pa} = 362 \text{ [V]} \quad 8[\mu\text{m}] \geq G \geq 4.8[\mu\text{m}] \\ V_{pa} = 75.4 \times 10^6 \cdot G \text{ [V]} \quad G < 4.8[\mu\text{m}] \end{array} \right\} (3)$$

ここで G は放電ギャップである。

ローラ、紙の形状についてを考慮するため、一般座標系を用いて計算を行なっている。今回は転写ニップ部前の感光体、トナー、空気層、紙、空気層、転写ローラを計算領域としている。求めた電位分布より、トナーにかかる電界と放電状態を算出した。

3. 実験による転写チリ観察結果

実験とシミュレーションとの比較を行なうため、転写前の入り口ガイド形状を替えた実験装置を作成し、転写チリの状況を観察した。作成した入り口ガイドa, b, cの3種をFig.1に示す。感光体は直径30mm、転写ローラは直径16mmのものを用いた。ガイドaとガイドcの下側ガイドとの高さの差が4.55mm、ガイドbとガイドcの下側ガイドとの高さの差は3.00mmである。この3種のガイドを使用し、転写紙を搬送させ、実際に画像を作成して、転写チリの観察を行なった。普通紙上の画像をFig.2、OHPシートでの画像をFig.3に示す。これは紙上に転写され定着された600dpiの4×4ドットの画像

パターンを20倍の拡大鏡で拡大し写真撮影したものである。転写チリの状況は、ガイドaでは、普通紙、OHPシートとも転写チリがほとんどみられない。ガイドbになると、普通紙で転写チリはほとんどみられないが、OHPシートでは転写チリが見られる。ガイドcでは、普通紙とOHPシートとともに転写チリがみられ、特にOHPシートで多くなる。これらの観察結果からガイド形状により転写チリが異なることがわかる。

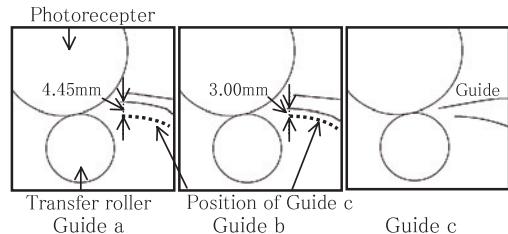


Fig.1 Layout of photoreceptor, transfer roller and paper guide before transfer nip.

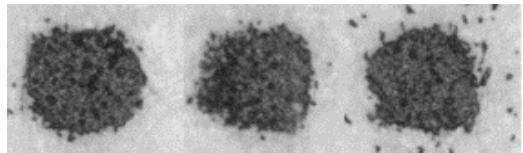


Fig.2 Toner scattering on plain paper.

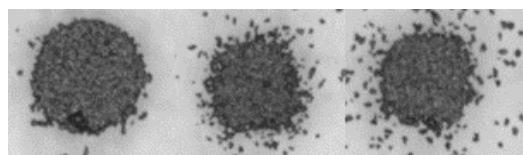


Fig.3 Toner scattering on OHP sheet.

4. 搬送経路計算

チリ観察実験で画像チリの発生状態の違う3種のガイドレイアウトを前述の搬送シミュレーションに入力し、紙の搬送状態を計算した。計算は紙を1mm毎に分割し、計算の時間ステップは1msecで行なった。Fig.4に紙先端が転写ニップ部に到達した時の結果を示す。またFig.5に計算結果によるニップ部前の紙の様子を、Fig.6での実機での観察写真と比較して示した。計算と実際の紙の姿勢はよく一致している。

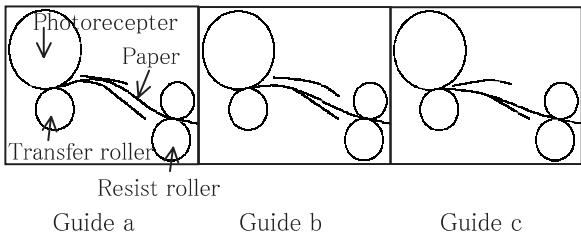


Fig.4 Simulated paper paths for various guides.

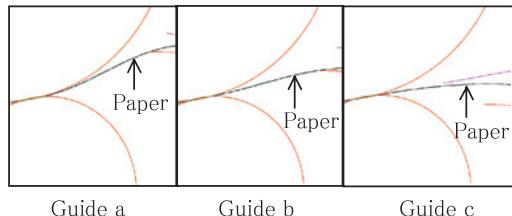


Fig.5 Simulated paper paths near transfer nip for various guides.

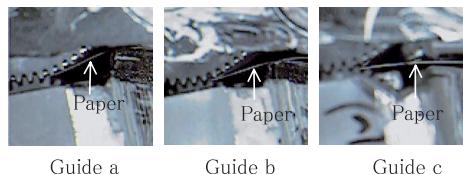


Fig.6 Photographs of paper near transfer nip.

5. 電界計算

5-1 電界計算条件

紙搬送シミュレーションによる計算結果から、紙、感光体、転写ローラ相互の位置関係を出し、その値を電界シミュレーションに用いた。電界計算ではFig.7に示す領域をFig.8に示すような計算メッシュに分割し計算した。感光体には初期の潜像電荷量として $-100 \mu C/m^2$ (-94V相当) を与えた。さらに感光体上に一様にトナーがのっている画像として、その厚みを $20 \mu m$ とした。転写の電圧として普通紙の場合2KV、OHPシートの場合3KVを印加条件とした。感光体、紙、転写ローラともに等速で移動しており、速度は90mm/secとした。他の計算条件を表1に示す。

Table 1 計算条件

普通紙	厚み $89 \mu m$ 抵抗 $10^{10} \Omega \cdot cm$ 比誘電率 $\epsilon = 3$
OHPシート	厚み $100 \mu m$ 抵抗 $10^{15} \Omega \cdot cm$ 比誘電率 $\epsilon = 8$
転写ローラ	厚み $4mm$ 抵抗 $5 \times 10^7 \Omega \cdot cm$

感光体 : 膜厚 $25 \mu m$ 抵抗 $10^{12} \Omega \cdot cm$ 比誘電率 $\epsilon = 3$
 トナー : 層厚 $20 \mu m$ 抵抗 $10^{10} \Omega \cdot cm$ 比誘電率 $\epsilon = 3.5$ $q/m - 20 \mu C/g$

感光体、転写ローラ、紙の速度 : 90mm/sec

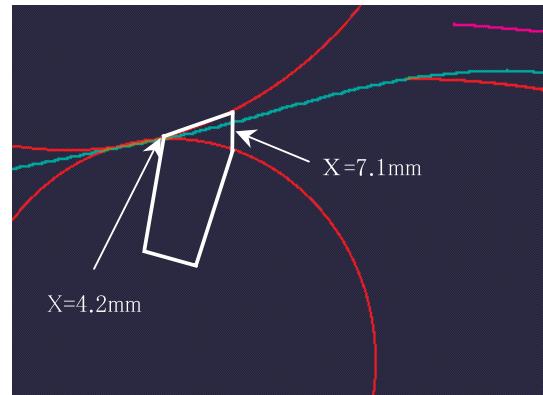


Fig.7 Computational area of electric field simulation.

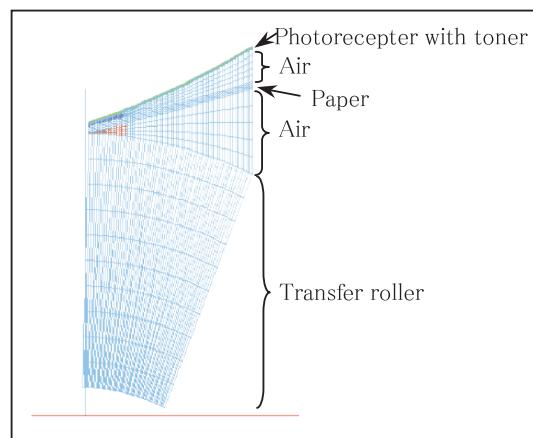


Fig.8 Computational grid for electric field simulation.

5-2 計算結果

5-2-1 普通紙

先に示した条件により、各搬送姿勢でのトナーの最上部での電界強度を計算した。転写ニップ部接触点からの距離と電界強度との関係、および放電開始位置をFig.9に示す。放電開始位置よりニップに近い領域を白抜きのマークで記した。トナー上の電界強度はニップに近づくほど高くなり、特にニップに近い部分ではそれぞれのガイドに搬送される紙の変形状態により電界強度が変化する。ここでトナーの転写開始

電界を 10^7 V/mとする。この値はトナーと感光体間での付着力の測定から、トナーを感光体より引き剥がす力の限界値を電界に換算することにより求められた値である⁴⁾。

計算結果から感光体上トナーと紙との間に発生する放電と転写開始電界強度との関係をみる。ガイドaではニップ前では放電が起きていない。それに対しガイドcの場合、転写が開始するとほぼ同時に紙への放電が起きている。またその中間に位置するガイドbでは、転写し始める電界強度になった時点では放電が始まっておらず、転写開始位置よりニップに近い部分で放電が開始されている。

さらに、転写開始時のトナーと紙との距離を計算結果より見た。放電の起きていないガイドaでは $12\mu\text{m}$ であった。ガイドbで転写開始時のトナーと紙との距離は $50\mu\text{m}$ であるが、放電はこの点よりニップに近いトナーと紙との距離が $34\mu\text{m}$ の位置でおきていた。ガイドcでは、転写開始時のトナーと感光体との距離は $77\mu\text{m}$ で同時に放電が起きていた。

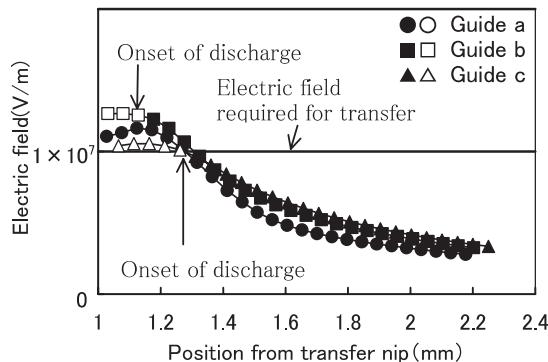


Fig.9 Electric field for the position on the paper from the transfer nip.

このように、計算の結果と転写チリの実験観察結果を比較すると、転写チリが少ないガイドa、ガイドbでは、放電が起きていないか、転写開始よりニップ部に近い部分で放電を起こしているが、転写チリがおきているガイドcでは、転写開始と同時に放電も起きている。このことから転写時に放電を起こしてしまうとチリを起こすのではないかと考えられる。

5-2-2 OHPシート

次に同じような検討をシートの抵抗値が高く、転写時の印加電圧が3KVのOHPシートで行った。OHPシートでの転写ニップ部接触点からの距離と電界シミュレーションによる感光体上のトナー上の電界強度との関係、および放電開始位置をFig.10に示す。同じくトナーが感光体から離れて転写し始

める電界を 10^7 V/mとする。

放電と転写開始電界との関係をみる。ガイドaでは、転写時に放電は開始しておらず、転写開始よりニップに近いところで放電が起きている。ガイドbでは、普通紙のガイドcのように転写が開始する位置とほぼ同時に放電も開始している。ガイドcでは転写開始よりニップから遠く転写が起こる前で放電が開始している。

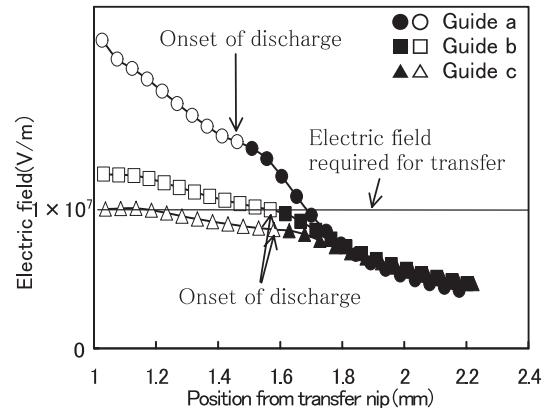


Fig.10 Electric field for the position on the transparencies from the transfer nip.

これらのトナーとOHPシートとの距離を計算結果より得る。ガイドaでは放電開始時に $12\mu\text{m}$ であるが、ガイドbでは $79\mu\text{m}$ 、ガイドcではさらに広く $133\mu\text{m}$ であり、最も距離の広いところで放電している。普通紙と同様に、計算の結果と、転写チリの実験観察結果を比較すると、転写チリが少ないガイドaでは放電の開始点は転写開始よりもニップ部に近い。ガイドbでは、転写開始と同時に放電も起きている。最も転写チリの多いガイドcでは転写より前に放電が起きている。

画像を比較すると、放電時のトナーとOHPシートの距離が大きい方が転写チリの広がり方が大きい。OHPシートでも転写時に放電が起きている場合にチリが発生し、転写開始時の放電の有無で転写チリの発生が左右されるといえる。

このような電界計算の結果と画像状態の比較によって、紙搬送姿勢により変化する転写ニップ部手前での転写開始位置と放電の関係から転写チリの発生を説明できる。

6. 搬送品質と画像チリ品質両立のための検討

6-1 改良ガイドの検討

前章では搬送ガイドによる転写チリ発生状況変化のメカニズムを、紙の搬送形状によって変化する転写開始位置と放電との関係より説明したが、最適な紙の搬送状態を得るために、画像品質に加え、搬送品質も考慮したガイドを検討した。前節で述べたガイド形状のうち最も転写チリが改善されているガイドaでは紙の後端における感光体への密着度の変化が大きい。このため、普通紙においてチリ状況の改善されているガイドbをもとに、改良ガイドを探索した。

ガイドbでの問題として、転写紙搬送中に転写紙の先端が感光体に当たる時に感光体に衝撃力を与えるため、画像の書きこみにジターが発生するという問題が起こる可能性がある。この衝撃力を改善するため、搬送シミュレーションを用い、感光体への紙の衝撃力を弱くし、かつ、当接した後、搬送される転写紙の搬送姿勢をガイドbと同等になるようにシミュレーションを用いて、新しいガイドを考察した。この新ガイドの一つと、ガイドbの搬送シミュレーションによる紙の感光体への当接姿勢をFig.11に示し、転写時の姿勢をFig.12に示す。当接姿勢は異なるが、転写時の姿勢はほぼ同じである。またそれぞれのガイドで紙が感光体に当接してから7msec後までの紙が感光体に与える衝撃力をFig.13に示す。ガイドbでは当接時に強い衝撃力を与えるのに対し、新たなガイドの方はソフトな当接をしていることがわかる。

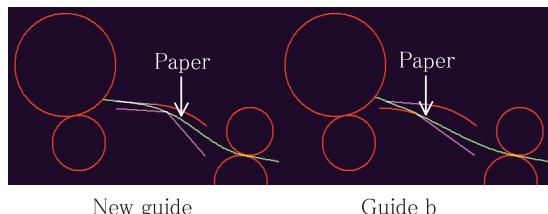


Fig.11 Simulated paper paths for a new guide and guide b when the papers touch to photoreceptor.

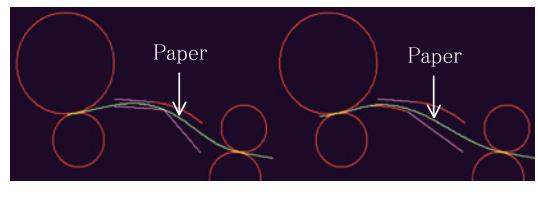


Fig.12 Simulated paper paths for a new guide and guide b when the papers pass through the transfer nip.

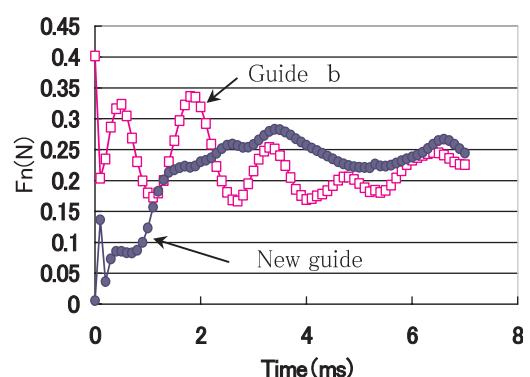


Fig.13 Force of the paper on the photoreceptor due to paper feeding.

6-2 画像チリの確認

以上に述べた計算で検討した転写チリが少なく、かつ感光体への衝撃力が小さな新たなガイドを実際に作り、転写チリの状況を確認した。その画像をFig.14に示す。ラインの縦横クロスの画像で、平均粒径9 μ m、単位質量当たりの電荷量が20~25 μ C/mgのトナーを用いた画像である。感光体への衝撃力を改善した新たなガイドでも、ガイドbと比較して画像チリが同等以下の画像が得られた。これにより搬送姿勢が同じであれば、感光体への衝撃力が違っても転写チリ状態は同等であり、転写チリとは独立に搬送品質も改善されることが確認された。

このように、電界計算から判断して、転写ニップ部前における紙の姿勢を、転写チリが少なくなるような条件を維持しながら、感光体への衝撃力が小さくできるガイドを、シミュレーションにより設計できる。

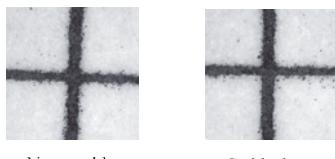


Fig.14 Comparison of toner scattering with the new guide and Guide b.

7. 結論

今回、紙搬送シミュレーションと電界計算シミュレーションを利用し、紙の姿勢の変化による転写ニップ部前の電界強度、および放電を計算して、実際の転写チリとを比較することにより、次の二点が満たされると転写チリは発生しないことがわかった。

1. トナーの転写開始時点で放電が発生していない。
2. 転写する時のギャップがトナーの飛散できるような距離がない。

次に上記から得られる転写チリ抑制条件を満たし、かつ感光体への紙の衝突力を緩和したガイドレイアウトを搬送シミュレーションにより求め、実験により検証した。その結果、上記条件を満たすことにより、転写チリが少なく、かつ衝撃力の小さなガイドが設計できた。

これらの結果から、シミュレーションにおける転写チリの発生メカニズム条件は実験を正しく予測でき、その有効性を確認することができた。

参考文献

- 1) 竹平修：シート類の搬送シミュレーション，RICOH TECHNICAL REPORT, No.25(1999), pp.125-135.
- 2) 門永雅史：電子写真用帶電ローラの2次元シミュレーション，Japan Hard Copy'99 論文集(1999), pp.189 - 192.
- 3) 伊藤朋之,川本広行：電子写真のローラ転写シミュレーション，日本機械学会論文集(C編)65巻637号(1999), pp81-88.
- 4) H. Iimura, H. Kurosu, T. Yamaguchi : The Effects of Surface Treatment on Toner Adhesion Force, IS&T's NIP15 International Conference on Digital Printing Technologies (1999), pp.535-538.