
GELJET BT システム

The Belt Transfer System of the GELJET Printer

井本 晋司* 小暮 成一* 伊藤 喜也*
Shinji IMOTO Seiichi KOGURE Yoshiya ITOH

要 旨

GELJETプリンタでは、高速・高画質を実現するため、ワイドヘッドを搭載している。ワイドヘッドで印字するためには、ヘッド下に広域平面を形成する必要がある、その具現化手段として静電吸着用紙搬送方式を採用した。静電吸着用紙搬送方式では、用紙の吸着力の確保と、インクの噴射特性に悪影響を及ぼす用紙-ヘッド間に発生する電界の低減を両立する技術獲得が課題とされた。そこで、多種多様にわたる使用条件下においても前述の問題を解決するために、帯電制御系に用紙抵抗値をフィードバックさせ、用紙毎に用紙上に誘起される真電荷をコントロールするBTシステムを開発した。

この技術により、ワイドヘッドを用いた高速・高画質IJシステムを実現可能とした。

ABSTRACT

Electrostatic paper feed technique for stable distance between nozzle array and paper surface enables usage of longer array for high speed and high quality printing in inkjet printers. A side effect caused by the electric field derived from the paper feed system with electrostatic adhesion, is its affecting ink-emitting behavior. That appeared as an important issue in front of development of the GELJET printer.

The BT system (Belt Transfer system) developed to prevent the side effect is a system that controls true electric charge induced on each paper by using resistance of individual paper, in order to compensate the affect by electric field.

The BT system allowed a wide area of low-density electric field in electrostatic paper feed system and it actualized a high speed and high image quality printing system.

* GJ事業部 GJ設計センター
GJ Design Center, GJ (GELJET) Business Division

1. はじめに

近年、オフィス文書のカラー化が急速に進み、低コスト・高画質であるインクジェットプリンターがビジネス機としてオフィスに導入されている。オフィスではこれらインクジェットプリンターに対して、従来品質に加え、印刷の両面高速化への要求が高まっている。GELJETプリンターでは、これらオフィスにおける低コスト・両面・高速・高画質といったニーズに応えるため、搬送ベルトを用いた静電吸着用紙搬送方式を採用することでヘッド下に広域平面を確保し、1.27インチ（約32.3mm）のワイドヘッドの搭載を可能とすることにより、印刷速度の高速化を実現している。

静電吸着用紙搬送方式をインクジェットプリンターに採用する上では、用紙吸着力の確保と、インクの着弾特性に悪影響を及ぼす用紙-記録ヘッド間の電界の抑制を両立する必要がある。そこで、帯電制御系に用紙抵抗値をフィードバックさせ、用紙上に誘起される真電荷をコントロールするGELJET BTシステム（Belt Transfer system）を開発したのでここにその技術を紹介する。

2. GELJET BTシステム

2-1 頁めくり機の静電用紙吸着方法と課題

リコーの開発した静電用紙吸着システムの一つに頁めくり装置（Imagio TP108）がある。これはベルト上に帯電ローラにより正負極の交流の電荷を印加し、交番電界を用紙に作用させることで吸着させ、頁をめくりの装置である。構成が比較的シンプルであり、煩雑な制御を必要としないこの静電用紙吸着システムを本インクジェットプリンターでは採用した。

このシステムは、用紙の上から電荷を印加する必要がなく、用紙上の除電を必要としないため、両面印刷時に印刷したインクが帯電ローラや除電器に付着してしまうことによる画像汚れや、インクや紙粉の付着による帯電ローラの帯電特性の変化などをもたらさない。また、表面抵抗率の変化の少ない絶縁層を形成した搬送ベルト上のみ電荷を印加するため、定電流制御より構成がシンプルで低コスト化が図れる定電圧制御にて電荷を印加することが可能となる。

インクジェットプリンターにこの技術を展開するにあた

り、様々な環境下において以下の2つの特性を両立することが課題となった。

- ・用紙-記録ヘッド間に発生する電界の抑制
- ・用紙と搬送ベルト間に働く吸着力の確保

記録ヘッドに設けられたノズルからインク液滴を噴射することで画像を形成するインクジェットプリンターでは、用紙-記録ヘッド間の電界を抑制するよう制御する必要がある。電界が形成されている紙面上にインク液滴を噴射すると、インク液滴が電界の影響を受け、着弾位置ズレの原因となるためである。また、吸着力が小さい場合は、広域平面を確保している搬送ベルトから用紙が浮き、印字品質の低下や、ヘッドコスレ等の不具合の原因となる。

これらの解決がワイドヘッドを搭載可能とする用紙搬送システムを実現する上での課題となった。

2-2 静電吸着用紙搬送方式の概要

GELJETプリンターにおける用紙搬送システムの基本構成をFig.2-1およびFig.2-2に示す。記録開始の操作が行われると、搬送ベルトは搬送ローラが駆動モーターで回転することで時計回りに回転し、同時に帯電ローラによって正負極の方形波が印加されることによって、正負の電荷が搬送方向に対し交互に印加され、搬送ベルト上にFig.2-3に示す円弧を描くような交番電界が形成される。

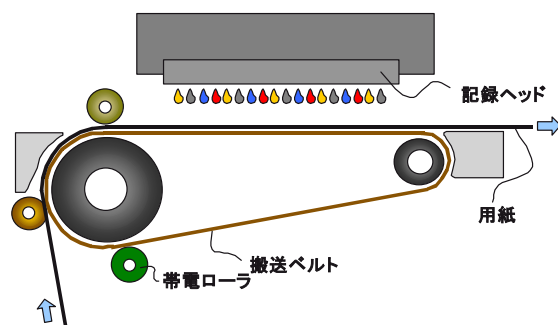


Fig.2-1 GELJET printer.

給紙部によって分離された用紙は、交番電界が形成されている搬送ベルト上へと送り込まれ、搬送ベルトと密着することで電界の向きに沿って瞬時に分極する。すると、用紙の搬送ベルト面側の搬送ベルトと引力をなす電荷は密となり、その反対側の用紙表面に現れる搬送ベルトと斥力をなす電荷は疎となるため、この電荷の差により用紙は搬送ベルトに瞬

時に吸着する。また、用紙は $10^7 \sim 10^{13} \Omega/\square$ という有限な抵抗を持っているので同時に用紙の吸着面およびその反対側に真電荷が誘起され、誘起した真電荷は分極した見かけ上の電荷と徐々に入れかわる。搬送ベルト側に誘起された正負の真電荷は搬送ベルト上に印加された電荷と引き合うことで安定している。このとき、用紙-搬送ベルト間は微小な空気層によって絶縁されているため用紙と搬送ベルト間での電荷の移動は抑制される。一方、その反対側に誘起された正負の真電荷は不安定であるため、時間の経過とともに隣り合う正負極の電荷が引き合い移動することで中和されながら減少していく。

用紙のベルト面側は用紙に誘起された真電荷とベルトの電荷のつりあいにより電界が閉じられていき、また前述したように用紙のヘッド面側の電荷は減少していき、用紙-記録ヘッド間の電界は抑制されていく。

また、搬送ベルトの電荷と斥力をなす用紙ヘッド面側の電荷が減少するため、用紙の吸着力は時間とともに増加していく。すなわち、表面電位の消失時間と吸着力がピークを迎える時間とは同じであり、また、用紙の抵抗と交番電界の1周期の長さ（帯電周期長）と相関がある。詳細は次節以降にて後述していく。

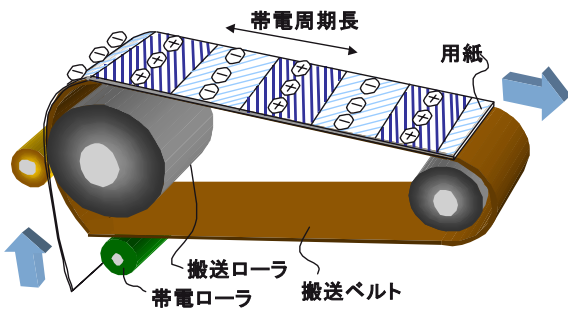


Fig.2-2 Electrostatic paper feed mechanism.

2-3 吸着力と表面電位のメカニズム

用紙と搬送ベルト間に働く吸着力は前述したように、搬送ベルト上に印加された電荷と、用紙上の分極電荷および真電荷の間に働く力によって定まる。この力はマクスウェル応力と呼ばれ、次式で表される。

$$F = \int q_p E dv + \int q E dv$$

$$= \int E \cdot (\epsilon \cdot \text{div} E) dv \dots \dots \dots (2.1)$$

q_p : 分極電荷, q : 真電荷

この式は、Fig.2-3に示すモデルの体積領域において電荷×電界の体積分分をすることで用紙に働く力Fが得られることを意味している。これをガウスの積分定理を用いて変形すると次式となる。

$$\begin{pmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \end{pmatrix} = \int \epsilon_0 \cdot T \cdot n \, ds \dots \dots \dots (2.2)$$

$$T = \begin{bmatrix} (E_x)^2 - E^2/2 & E_x \cdot E_y & E_x \cdot E_z \\ E_y \cdot E_x & (E_y)^2 - E^2/2 & E_y \cdot E_z \\ E_z \cdot E_x & E_z \cdot E_y & (E_z)^2 - E^2/2 \end{bmatrix}$$

$$n = \begin{bmatrix} n_x \\ n_y \\ n_z \end{bmatrix}$$

ϵ_0 : 誘電率, T : マクスウェルの応力テンソル

n : 面(s)に垂直な外向き法線(単位)ベクトル

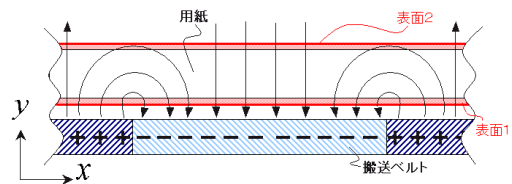


Fig.2-3 Calculation model.

すなわち、用紙に働く力Fはマクスウェルの応力テンソルの表面積分となる。求めたいのは吸着力であるから、表面1および表面2に注目し、 F_y について解けばいい。

①表面1 (搬送ベルト側用紙表面)

$$F_{y1} = \int \{ \epsilon_0 \cdot (E_{1y} \cdot E_{1x}, E_{1y}^2 - E_1^2/2, E_{1y} \cdot E_{1z}) \cdot (0, -1, 0) \} ds$$

$$= \int \epsilon_0 \cdot (-E_{1y}^2 + \frac{1}{2} E_1^2) ds$$

$$= \int \epsilon_0 \cdot (\frac{1}{2} E_{1x}^2 - \frac{1}{2} E_{1y}^2) ds \dots \dots \dots (2.3)$$

②表面2 (記録ヘッド側用紙表面)

$$F_{y2} = \int \{ \epsilon_0 \cdot (E_{2y} \cdot E_{2x}, E_{2y}^2 - E_2^2/2, E_{2y} \cdot E_{2z}) \cdot (0, 1, 0) \} ds$$

$$= \int \epsilon_0 \cdot (E_{2y}^2 - \frac{1}{2} E_2^2) ds$$

$$= \int \epsilon_0 \cdot (-\frac{1}{2} E_{2x}^2 + \frac{1}{2} E_{2y}^2) ds \dots \dots \dots (2.4)$$

用紙の吸着力はこれを合わせたものであるので

$$F_y = \int \epsilon_0 \cdot \left(\frac{1}{2} E_1 x^2 - \frac{1}{2} E_1 y^2 \right) ds$$

$$+ \int \epsilon_0 \cdot \left(-\frac{1}{2} E_2 x^2 + \frac{1}{2} E_2 y^2 \right) ds \dots\dots\dots (2.5)$$

となる。各式における添え字は表面の数字を表す。

したがって、記録ヘッド側に誘起された真電荷は時間とともに中和されて減少するから、(2.5)式において、斥力をなす力が減少し、吸着力は時間の経過とともに増大していく。

2-4 用紙表面の電荷に用紙抵抗が与える影響

さて、用紙表面上の電荷が消失するまでの時間は、用紙の抵抗によって異なることになる。これは、用紙の抵抗が高いほど用紙の記録ヘッド側に誘起された電荷の単位時間当たりの移動量が小さくなるため表面の電荷が中和されるのに時間を要するからである。

$$q(t + \Delta t) = q(t) - \left(\frac{E_y(t)}{\rho_V} + \frac{E_x(t)}{\rho_S \lambda} \right) \Delta t \dots\dots\dots (2.6)$$

q : 用紙表面の電荷, E : 電界, λ : 周期長
 ρ_V : 紙の体積抵抗率, ρ_S : 紙の表面抵抗率

(2.6)式は用紙表面上の単位時間後の電荷量を表している。第二項が小さいほど単位時間後の用紙上の電荷は多くなる。このため、抵抗の高い用紙を搬送ベルトで吸着搬送させようとした場合、抵抗の低い用紙と比較して所定の時間後における用紙上の電荷は多くなることになる。

Fig.2-4は代表的な用紙の表面抵抗率の環境依存性を示したものである。用紙の表面抵抗率は環境依存性があり、紙種間の差異、および温湿度の影響によって $10^7 \sim 10^{13} \Omega/\square$ と大きく分布していることがみてとれる。

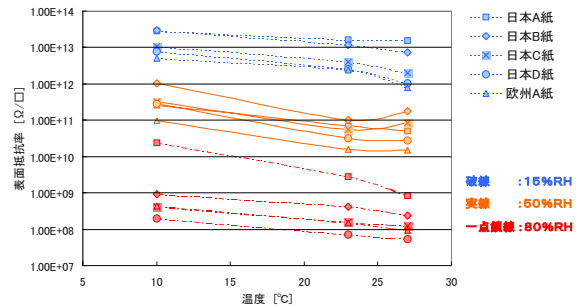


Fig.2-4 Surface resistance of paper.

2-5 用紙抵抗の検出手段

用紙の抵抗測定回路の一例をFig.2-5に示す。用紙の抵抗は、前述の通り高抵抗であることから、微弱電流測定に使用する積分回路を使用し、微弱電流から抵抗値を算出する。測定ローラは、搬送された用紙に一定電圧を印加する電極の役割を持つ。

理論的には、(2.6)式に示すとおり、用紙上に誘起される電荷において、帯電周期長と直接の関係をなしているのは用紙の表面抵抗率である。しかし、Fig.2-6に示すように紙のような同一素材で形成され且つ $100 \mu m$ 程度の薄い物質では、表面抵抗率と体積抵抗率はほぼ同じであり、用紙の体積抵抗率を代用しても問題ない。体積抵抗率計は表面抵抗率計と比較し実抵抗が約二桁小さく、構成がシンプル且つ低コストである。

用紙の抵抗測定回路を構成する場合、オペアンプの入力バイアス電流が用紙を流れる電流よりも十分に小さいこと、帰還コンデンサの絶縁抵抗が、用紙の抵抗値よりも十分に大きいことが重要な要素となり、低コスト化への課題でもある。

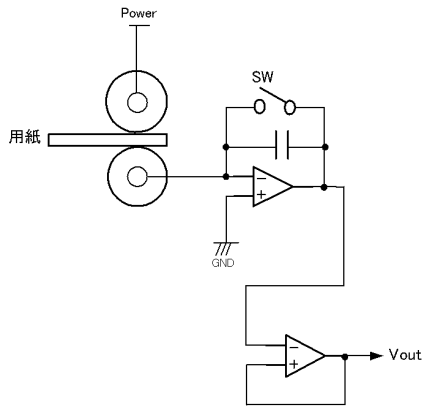


Fig.2-5 Volume Resistivity Measurement Circuit.

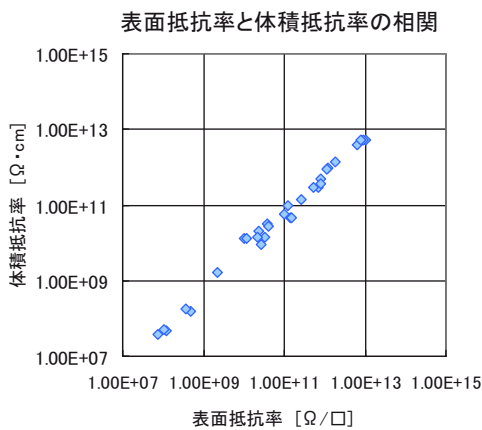


Fig.2-6 Surface resistance and volume resistance of paper.

2-6 帯電系の制御手段

様々な環境下において、インクの着弾特性に悪影響を及ぼす用紙-記録ヘッド間に発生する電界の抑制を行うためには、用紙の抵抗を検出し、検出した抵抗を帯電制御系にフィードバックすることが有効である。帯電制御系を制御する手段としては、

- ・搬送ベルトに電荷を印加する際の印加電圧
- ・正負極の電荷の帯電周期長（正負極の1周期距離）
- ・搬送ベルトに用紙が当接してから印字までの時間の3つが挙げられる。

(1) 印加電圧による制御

搬送ベルトに電荷を印加する際の印加電圧を小さくすると、搬送ベルトに印加される電荷の総量が少なくなるため、表面1におけるY方向の電界 E_{1y} と表面2におけるY方向の電界 E_{2y} は小さくなる。ゆえに、用紙-記録ヘッド間の電界を

抑制することができるが、同時に E_{1y} も小さくなるため吸着力が低下してしまう。（2.5式参照）

(2) 帯電周期長による制御

搬送ベルトに印加する正負極の電荷の帯電周期長を小さくすると、用紙上に誘起された隣り合う正負の電荷間で行われる電荷の中和に要する時間を短くすることができる。これは、帯電周期長が小さいほど誘起された正負極の電荷間が近くなるので電荷が移動する際の実質の抵抗は小さくなり、且つ正負極の電荷間に作用する電位も距離に比例し増加するからである。このため、帯電周期長を小さくすると、用紙上の電荷が所定の電位以下になるまでにかかる時間は短くなり、所定の時間後における用紙-記録ヘッド間の電界を抑制することが可能となる。また、前述したように、電界が抑制されることにより、吸着力はピークを迎える。

(3) 印刷時間による制御

搬送ベルトに用紙が当接してから記録ヘッドによってインクを噴出するまでの時間を長くすると、用紙上に誘起された電荷は時間とともに消失していくから、用紙-記録ヘッド間の電界は小さくなる。しかしながら、用紙の抵抗が高くなると、電荷が消失するまでの時間は対数的に長くなるため、全ての環境下において対応することは困難である。

よって本システムにおいては、様々な環境下において用紙-記録ヘッド間の電界の抑制と吸着力の確保とを両立できる(2)帯電周期長による制御を採用した。

3. 実験

3-1 メカニズムの検証実験（用紙上の電荷）

実機を用い、2-3、2-4節で述べたメカニズムの検証実験を行った。はじめに、様々な環境下における用紙上の電荷量（用紙-記録ヘッド間の電界）と帯電周期長、用紙抵抗および時間との相関の検証を行う。用紙上の電荷量を直接測定することはできないため、代替特性として表面電位の測定結果を用いた。

Fig.3-1は10°C15%RH環境において異なる帯電周期長にて搬送ベルトに正負極の電荷を印加したときの、用紙がベルトと当接してからファーストスキャンまでの時間にあたる0.4

秒後における用紙上の表面電位を示したものである。前述したように用紙抵抗が高いほど用紙表面電位は高く、帯電周期長が大きいほど高くなっていることがみてとれる。

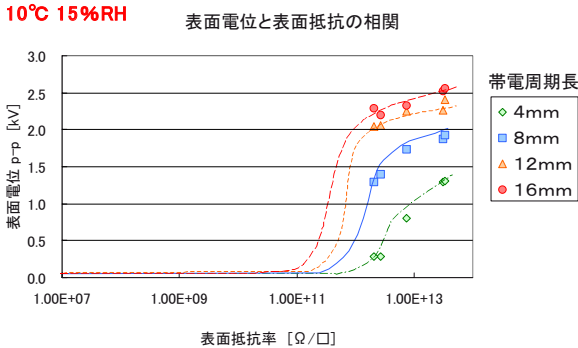


Fig.3-1 Surface electric potential and electric resistance of paper (electrification pitch length)

用紙上の表面電位は時間とともに消失し、その時間は帯電周期長と用紙の抵抗に相関を持つ。これを示したのが Fig.3-2およびFig.3-3である。Fig.3-2は使用する用紙の抵抗を固定し、搬送ベルトに印加する正負極の電荷の帯電周期長を変えたものであり、Fig.3-3は帯電周期長を固定して使用する用紙の抵抗を変えたものである。帯電周期長が大きく、抵抗が高い用紙を用いたときも、時間をかければ用紙上の表面電位を抑制することが可能だということが確認できる。

しかしながら、高速印刷を実現するためには、印字までの待ち時間に数秒を要するというのは現実的ではない。Fig.3-4は用紙がベルトと当接してからファーストスキャンまでの時間にあたる0.4秒後における用紙上の表面電位と帯電周期長の関係を示したものである。用紙抵抗に応じて帯電周期長を変化させることで所定の時間後（0.4秒後）における用紙上の表面電位を制御可能であることがみてとれる。

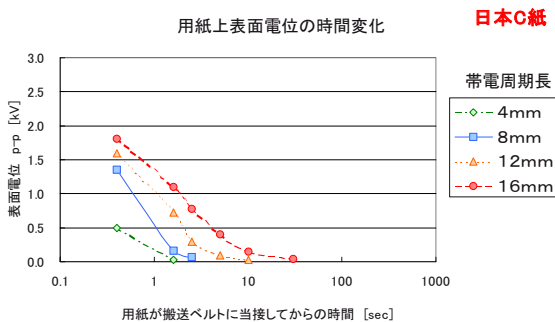


Fig.3-2 Surface electric potential and progress time (electrification pitch length)

用紙上表面電位の時間変化 帯電周期長: 8mm

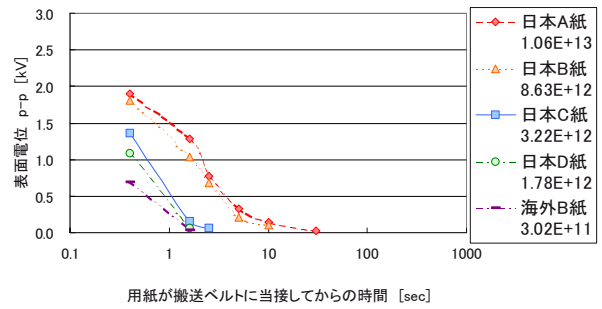


Fig.3-3 Surface electric potential and progress time (various kinds of paper)

帯電周期長と所定の時間後の表面電位 0.4秒後

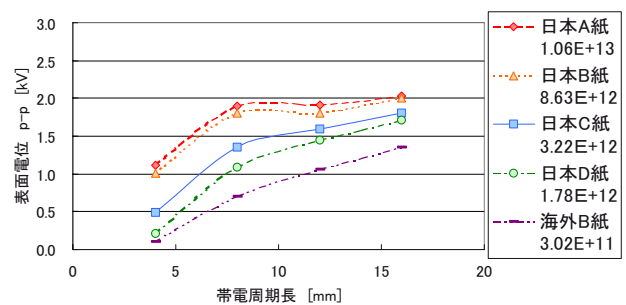


Fig.3-4 Surface electric potential and electrification pitch : After 0.4 second

3-2 メカニズムの検証実験（用紙吸着力）

次に様々な環境下における用紙吸着力と帯電周期長、用紙抵抗および時間との相関の検証を行う。搬送ベルトと用紙は柔軟性があるため、垂直方向の吸着力を直接測定することは困難である。このため、搬送ベルトに吸着した用紙を水平方向に引っ張ることで用紙の引き抜き力を測定し、摩擦係数から吸着力を推定した。

$$P = \frac{F}{\mu \cdot S} \dots\dots\dots (3.1)$$

P : 吸着力, F : 引き抜き力
 μ : 摩擦係数, S : 吸着面積

用紙の吸着力は (2.5) 式から、表面2におけるY方向の電界 E_{2y} すなわち用紙上の表面電位が小さくなれば、大きくなる。用紙上の表面電位は前節で示したように時間の経過とともに減少するから、用紙の吸着力は時間の経過とともに大きくなるはずである。

これを実験的に検証したのが Fig.3-5および Fig.3-6である。Fig.3-5は使用する用紙の抵抗を固定し、帯電周期長を変え

たものである。吸着力は時間とともに増加し、その増加量は帯電周期長の影響を受けていることがみてとれる。帯電周期長が大きくなれば、交番電圧切り替え時の立ち上がり損失や帯電ローラニップ部下流での除電損失の寄与率が小さくなるため、ベルト上に印加される電荷量が多くなり、吸着力は増加していく。しかしながら、吸着力がピークに達するまでの時間は、帯電周期長が小さい場合より、大きい場合の方がより多くかかっている。これは、帯電周期長が大きい場合、誘起された用紙上の真電荷の移動（中和）に時間がかかるためである。Fig.3-6は帯電周期長を固定して使用する用紙を変えたものである。抵抗が大きい用紙の場合、吸着力がピークに達するまでに、より多くの時間を要することがみてとれる。これは、帯電周期長が大きい場合と同様に、用紙の抵抗が高いと、用紙上に誘起された真電荷の移動（中和）に時間がかかるためである。このため、吸着力がピークに達するまでの時間はFig.3-7に示すように帯電周期長および用紙の抵抗によって異なる。また、Fig.3-8に示すように、所定の時間後（1.6秒後；測定可能最短時間）の吸着力がピークを迎える帯電周期長は、用紙抵抗によって異なり、用紙抵抗が高いほど、吸着力がピークを迎える帯電周期長は小さい。

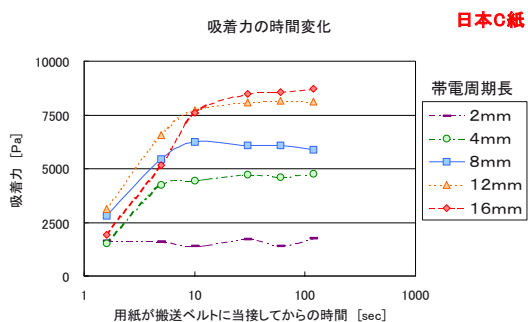


Fig.3-5 Adsorption power and progress time (electrification pitch length)

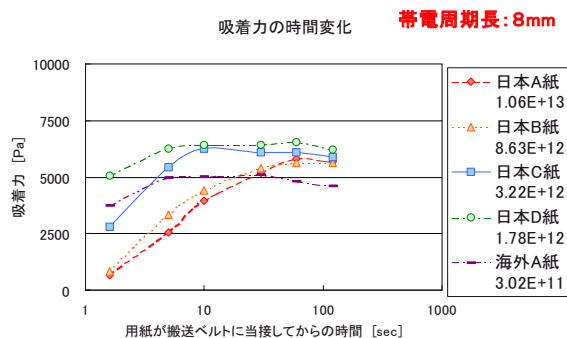


Fig.3-6 Adsorption power and progress time (various kinds of paper)

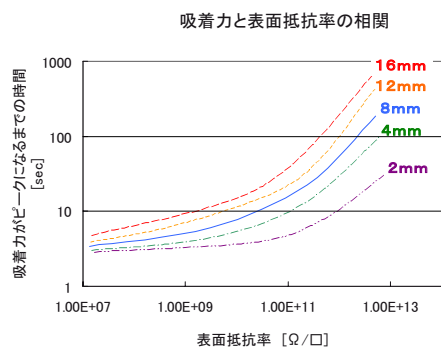


Fig.3-7 Time for peak adsorption power and Resistance of paper.

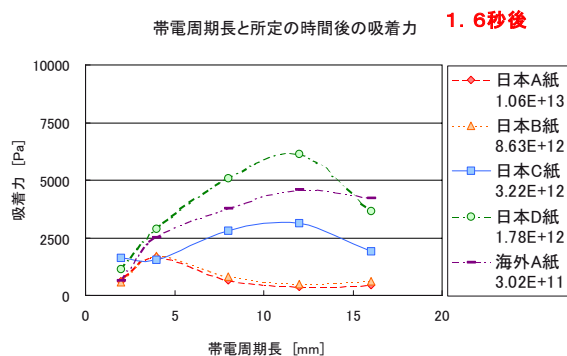


Fig.3-8 Adsorption power and electrification pitch length : After 1.6 second

3-3 用紙抵抗をフィードバックした帯電制御システム

以上検証実験によって、用紙の抵抗に応じて帯電周期長を変えることで、表面電位が制御可能であることを示した。

本システムにおける表面電位の抑制目標値はファーストスキャンにあたる時間0.4秒後（用紙が搬送ベルトに接触してからスキャンまでの時間）においてp-p（peak to peak：正負極の電位のMax-Min）で0.4kVである。これ以下であれば、

インクの着弾特性に用紙-記録ヘッド間の電界が悪影響を及ぼさないレベルとなる。Fig.3-9は横軸に用紙の抵抗をとり、用紙上の表面電位が0.4秒後に0.4kV以下となる帯電周期長を湿度毎に示したものである。

本システムでは定電圧帯電制御を採用しているため、搬送ベルトに印加される電荷量は、帯電ローラの持つ抵抗値の環境依存性の影響をうける。実使用環境では、温度より湿度が帯電ローラ抵抗に対して支配的であるため、湿度毎に示している。尚、抵抗が 10^{10} Ω/□以下の用紙は帯電周期長を20mm以上にしても0.4秒後における用紙上の表面電位が0.4kV以下であるため、図示していない。

吸着力は時間をかければ帯電周期長を大きくすることで増加するが、前節で述べたように、所定の時間後における吸着力がピークを迎える帯電周期長は、用紙抵抗によって異なる。Fig.3-10に、1.6秒後（測定可能最短時間）に吸着力がピークを迎える用紙抵抗と帯電周期長の関係を示す。Fig.3-9に示した用紙の抵抗と帯電周期長の関係と同様の傾向を示していることがみてとれる。

ゆえに、Fig.3-9を元に、用紙の抵抗に応じた最適な帯電周期長をテーブル化しておき、検出した用紙抵抗、および湿度に応じて搬送ベルトに印加する帯電周期長を制御すれば、環境依存性がなく、また、多種多様にわたる用紙においても、用紙-記録ヘッド間の電界の抑制と吸着力とを両立できる、最適な帯電制御が可能となる。

現段階の用紙抵抗値の検出手段は、効果対費用に留意し、温湿度の検知結果よりFig.2-4に示す温湿度と用紙抵抗の相関を用い、用紙抵抗を予測するものである。今後は用紙抵抗計の低コスト化およびダウンサイジングにより用紙抵抗計の製品実装を実現し、制御システムのさらなる高精度化を図る。

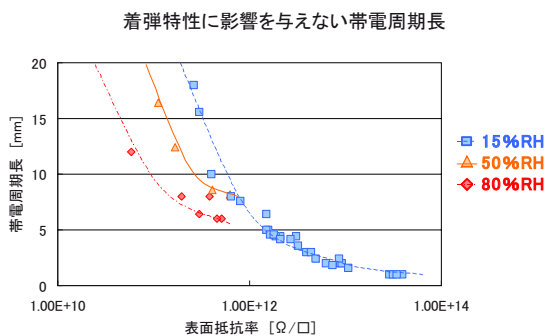


Fig.3-9 Electrification pitch length and Surface Resistance of paper : humidity.

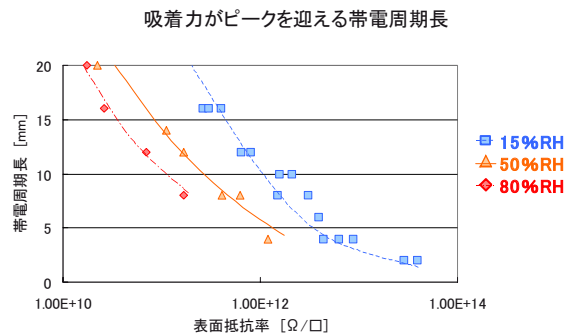


Fig.3-10 Electrification pitch length and Surface Resistance of paper : humidity.

4. 成果

用紙の吸着力および用紙-記録ヘッド間に発生する電界の発生メカニズムの理論検証を行い、吸着力の確保と電界の抑制を様々な環境下において両立する方法を検討し、その効果を確認した。その結果、印刷環境毎に用紙の抵抗を帯電制御系にフィードバックさせることでこれを両立するGELJET BTシステムを構築することができた。この技術により、ヘッド下に広域平面を確保することが可能となり、ワイドヘッドを用いた低コスト・高速・高画質IJシステムを実現可能とした。

謝辞

最後に、GELJET BTシステムの開発にあたり、関連する多くの方々に御指導、御支援を頂きましたことを心より感謝いたします。

参考文献

- 1) Kazunori BANNAL, A Method of automatic page turning system for various types of book originals, Proceeding of the International conference on MIPE '97
- 2) William H.Hayt, Jr. : engineering electromagnetics, McGraw-Hill, pp.168-193 (1974)
- 3) Wolfgang K.H.Panofsky : Classical electricity and magnetism, Addison-Wesley, pp.123-127 (1961)