

感光体クリーニングブレードの摩擦・摩耗特性の解析

Analysis of Friction and Wear Characteristics of Cleaning Blade for Photoreceptor

柏倉 邦章* 中根 良樹* 出水 一郎*
Kuniaki KASHIWAKURA Yoshiki NAKANE Ichiro DEMIZU

要旨

電子写真プロセスに使用されるクリーニングブレードは、エッジ部が摩耗することでクリーニング不良が発生して寿命となる。このブレード摩耗は、トナーや外添剤などの介在粒子が影響する複雑な摩擦現象である。われわれはこの複雑な摩擦現象を解明するとともに、ブレード摩耗の状態から摩耗機構との関係を整理した。さらに実機に頼らないブレード摩耗評価装置を作製し、実機で起こっている摩耗状態を再現させた。この装置により短時間で再現性の高いクリーニングブレードの摩耗評価ができるようになった。

Abstract

Lifetime of a cleaning blade which is applied to an electrophotographic process is limited by an edge wear causing a cleaning failure. The blade edge wear includes complex friction phenomena affected by interposed particles such as toner, additive and so on. We have clarified these friction phenomena and organized a correlation between shape of blade edge and its wear mechanism. Additionally, we designed a blade wear simulator which replicates any kinds of wear condition similar to a real machine. The simulator has enabled blade wear evaluation in a short time with good reproducibility.

1 はじめに

近年の環境意識の高まりから、電子写真プリンターの消費電力削減に向け、活発に研究・開発されている。電子写真プロセスにおいても消耗品の長寿命化による廃棄物の削減が必須となる。

電子写真クリーニングプロセスの主流はFig. 1に示すブレードクリーニングである。これは感光体にクリーニングブレードと呼ばれるゴムブレードのエッジ部を当接して摺動することにより、感光体上の残留トナーを掻き取るシステムである。それゆえクリーニングブレードはエッジ部が摩耗し、摩耗が大きくなるとクリーニング不良が発生して寿命となる。このブレード摩耗は感光体との摺動だけでなく、トナーや外添剤などの介在粒子の影響で複雑な摩擦現象を伴うが、これまで摩擦現象とブレード摩耗との関係を整理した報告¹⁾は少ない。

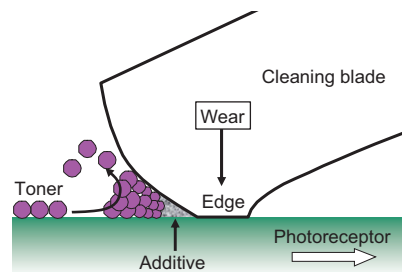


Fig. 1 Schematic diagram of a blade cleaning system and behavior of toner removed.

本報では、ブレードクリーニングの長寿命化には欠かせない摩擦・摩耗特性を解析した結果を報告する。実機で起こっている複雑な摩擦現象を整理するとともに、ブレード摩耗の状態から摩耗機構との関係を整理した。更にはブレード摩耗評価装置を作製し、実機で起こっている摩耗状態を再現させることが可能となり、実機評価よりも短時間かつ再現性の高いクリーニングブレードの摩耗評価ができるようになった。この摩耗評価法の取り組みについても併せて報告する。

2 摩擦現象の整理

2.1 感光体の表面状態とブレード摩耗

一般的にゴムの摩耗量 S は摺動時の摩擦力 F と摺動距離 L に比例し、ゴム強度 M に反比例する特性である。




* コニカミノルタビジネステクノロジーズ(株)
開発本部 要素技術開発センター 作像技術開発部

$$S \propto F \times L \times M^{-1} \quad (1)$$

実機耐久評価時の摩擦力とブレード摩耗の状態を Table 1 に示す。感光体は、CG層とCT層を積層した従来タイプの有機感光体と、最表層にOC層を積層したタイプの2種類を使用した。クリーニングシステムは、クリーニングブレード単体システムとクリーニングブレードの上流でステアリン酸亜鉛からなる潤滑剤をブラシで供給する潤滑剤塗布システムの2種類を用いた。クリーニングブレードとトナーは同種品を使用した結果である。摩擦力はほぼ同じ値であるが、ブレード摩耗の状態や摩耗量が大きく異なることを確認した。

3条件の特徴は、感光体の表面状態(表面粗さ、摩擦係数)の違いにある。表中の各数値は条件②に対する比率で示した。この違いがブレード摩耗に影響したと考える。これら表面状態に対するブレード摩耗との関係を考察するに当たり、摩擦力との関係について整理した。

Table 1 Examples of blade wear after various condition of endurance test.

	Condition ①	Condition ②	Condition ③
Photoreceptor	Overcoat	Normal	Overcoat
Cleaning system	Lubricant coating	Blade only	Blade only
Relative value of frictional force	0.9	1	0.8
Relative value of surface roughness	2	1	2.4
Relative value of frictional coefficient	0.5	1	1.5
Wear situation			

2.2 表面粗さとブレード摩擦力の関係

表面粗さに対するブレード摩擦力について確認した結果を Fig. 2 に示す。ブレード摩擦力の測定は、クリーニングユニットおよび現像器がセットされた状態で、感光体を駆動した時の駆動トルクを測定できる評価機を使用し、駆動トルクからブレード摩擦力に変換した。表面粗さが小さくなるとブレード摩擦力が上昇する結果となった。

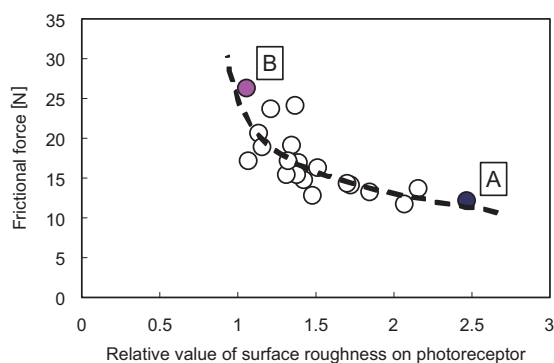


Fig. 2 Relation of frictional force by blade cleaning to surface roughness on photoreceptor.

表面粗さが大きくブレード摩擦力の小さい状態(A)と、表面粗さが小さくブレード摩擦力の大きい状態(B)の、ブレード摩擦力の推移を Fig. 3 に示す。(A)は比較的安定しているのに対して、(B)は大きく振動している。これはブレードのエッジ部が振動する「スティックスリップ振動」が起こっていると考えられる。

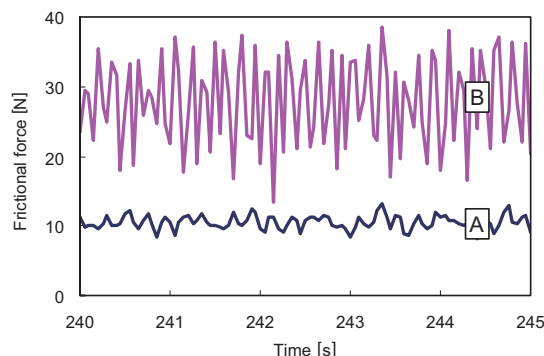


Fig. 3 Comparison of frictional force profile to different surface roughness; (A) rougher, (B) smoother.

2.3 摩擦係数とブレード摩擦力の関係

次に、潤滑剤塗布ユニットを使用して感光体の摩擦係数を制御したときのブレード摩擦力との関係を確認した。摩擦係数の測定は、JIS K 7125 (プラスチックフィルムおよびシート摩擦係数試験方法)を参考に、市販の静摩擦測定器の測定プローブに植毛布を貼り付けて測定した結果であり、感光体と植毛布との間の最大静摩擦係数を表わしている。摩擦係数に対するブレード摩擦力の関係を Fig. 4 に示す。ブレード摩擦力は摩擦係数比1付近を最小値とする2次曲線的な傾向になることが分かった。

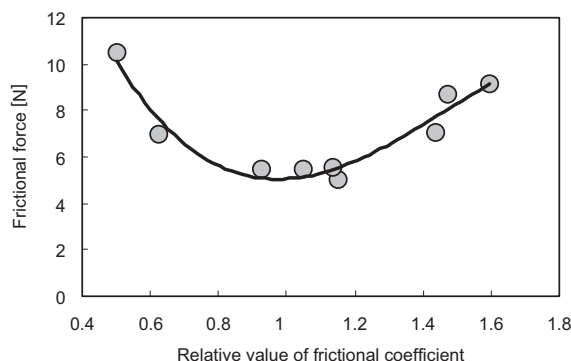


Fig. 4 Relation of frictional force by blade cleaning to relative value of frictional coefficient of photoreceptor measured with a flannel test piece.

2.4 摩擦係数に対するクリーニング特性

Fig. 4 に示すブレード摩擦力の挙動を説明するため、摩擦係数に対するクリーニング特性について確認した。摩擦係数が大きい領域でのトナーのクリーニング特性を測定した結果を Fig. 5 に示す。感光体上の所定付着量のトナーをすべて制止することができる当接力の最小値をプロットした。摩擦係数が大きくなると、クリーニング

できる下限の当接力が上昇し、クリーニング能力が低下する結果となった。

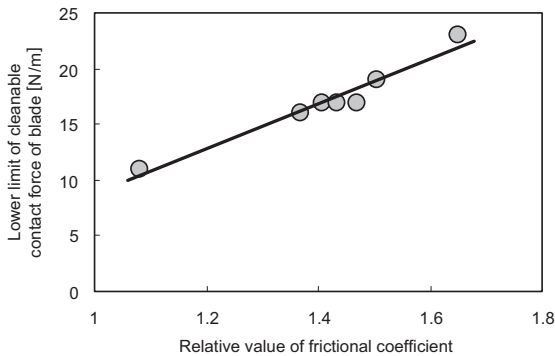


Fig. 5 Cleaning ability in higher frictional coefficient area.

次に摩擦係数が小さい領域でのクリーニング特性について確認した。CT層を塗布したガラス管を感光体に見立ててクリーニングブレードを当接させ、トナーをクリーニングする状態をガラス管内部からCCDカメラで観察する装置²⁾を使用した。

Fig. 6 に、クリーニング中の状態を撮影した静止画を示す。静止画中のスケールから、ガラス管を駆動する前のエッジ部の位置を起点として動作中のエッジ部の変位量を計測することができる。摩擦係数比1の状態はエッジ部を外添剤がすり抜けており、エッジ位置はほとんど変位していない。これに対して摩擦係数比0.5の状態では外添剤のすり抜けがなく、エッジ位置が100 μ m程度変位している様子が観察された。

このことから摩擦係数は、外添剤やトナーのクリーニング能力と強く関係しており、摩擦係数が大きくなると外添剤あるいはトナーのすり抜けが多くなるものと考えられる。

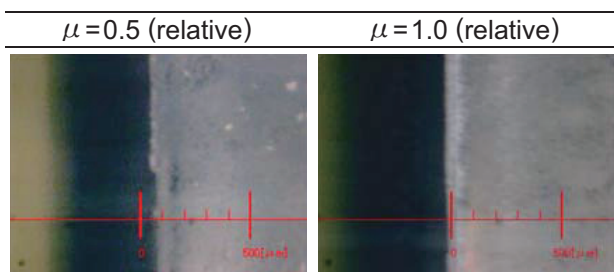


Fig. 6 Observation of blade nip and its circumference in lower frictional coefficient area.

2.5 摩擦理論式と摩擦挙動との対応

Fig. 4 の摩擦係数に対するブレード摩擦力の挙動を、ゴムの摩擦理論式と対比させて説明する。一般的にゴムの摩擦力 F は、凝着による摩擦力 F_a と、ヒステリシスによる摩擦力 F_h の合力³⁾⁴⁾として表わされる。 F_a は接触面とのせん断で発生する摩擦力であり、 F_h はゴムの圧縮変形で発生する摩擦力である。

$$F = F_a + F_h \quad (2)$$

ブレードニップ部は外添剤あるいはトナーがすり抜けてFig. 7の状態になると考える。 F_a は感光体とブレードが直接接触している部分で発生し、 F_h は粒子がすり抜けてブレードを圧縮変形させることで発生する。

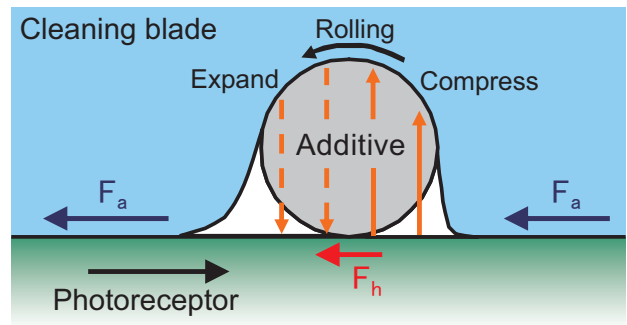


Fig. 7 Schematic diagram of blade nip with interposed particles to explain a mechanism to generate frictional force.

また F_a はせん断力 τ と接触面積 A に比例し、 F_h はゴムの正接損失 $\tan \delta$ に比例する特性であり、すり抜けている粒子個数 n に比例する。

$$F_a \propto \tau \cdot A \quad (3)$$

$$F_h \propto n \cdot \tan \delta \quad (4)$$

Fig. 8 に示すように、摩擦係数が小さい場合は外添剤のすり抜けが少なく、感光体とブレードの接触面積が増え F_a が支配的になる。また摩擦係数が大きくなると外添剤やトナーのすり抜けが多くなり感光体とブレードの接触面積も減少し、 F_h が支配的になる。摩擦力 F はある摩擦係数で最小値を取る2次曲線的なカーブとなり、Fig. 4の挙動と一致する。

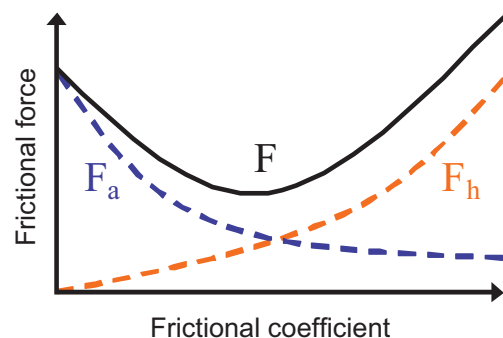


Fig. 8 Schematic model to explain frictional force as a resultant force of F_a and F_h .

3 摩耗現象の整理

次に、ブレード摩耗について考察する。トライボロジーの分野では、摩耗機構の基本パターンは次の4つに分類される³⁾⁴⁾としている。

①引掻き摩耗 (アブレシブ摩耗)

硬い突起物や粒子が軟らかい摩擦面を削る摩耗

②凝着摩耗（すべり摩耗）

滑らかな相手面と摩擦するときに生じる摩耗

③疲労摩耗（疲れ摩耗）

繰返し荷重による疲労によって生じる摩耗




④腐食摩耗（化学摩耗）

摩擦熱による酸化反応で脆性破壊を生じる摩耗

この特徴からブレード摩耗面の状態は、引掻き摩耗は筋状、凝着摩耗は鏡面状、疲労摩耗は凹凸状になると考える。

Table 1 の表面粗さや摩擦係数から推定されるニップ部の状態とブレード摩耗面の状態から、これらの摩耗機構を当てはめ、Table 2 に示す。

Table 2 Correspondence of wear mechanism to each endurance condition.

	Condition ①	Condition ②	Condition ③
Wear situation			
Situation of nip	A few of particles	Stick-slip vibration	A lot of particles
Shape of wear surface	Smooth surface	Rough surface	Stringy surface
Wear mechanism	Adhesive wear	Fatigue wear	Abrasive wear

条件①は摩擦係数が小さく、ニップ部の介在粒子は少ないと予想され、摩耗面が鏡面状となっていることから凝着摩耗に対応すると考える。条件②は感光体の表面粗さが小さく、ニップ部はスティックスリップ振動を起こしやすく、摩耗面が凹凸状になっていることから疲労摩耗に対応する。条件③は摩擦係数が大きく、ニップ部の介在粒子が多く、摩耗面が筋状になっていることから引掻き摩耗に対応する。

感光体の表面状態に対する摩耗機構との関係を整理すると Fig. 9 のようになる。また表面粗さが大きくなり過ぎると紙やすり（突起物）のような状態となり、引掻き摩耗になると考える。

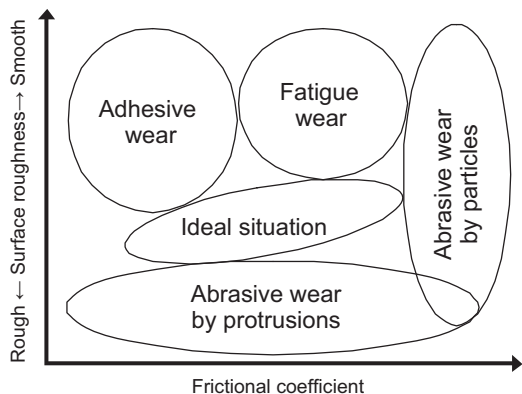


Fig. 9 Correspondence of wear mechanism to surface condition of photoceptor.

4 クリーニングブレードの摩耗評価法


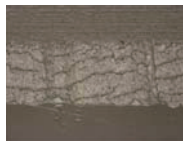
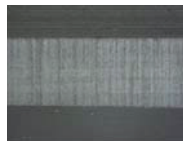
4.1 ブレード摩耗評価装置の概要

これまで得られた知見に基づいて、ブレード摩耗評価装置を作製した。評価装置は市販のテーバー摩耗試験機を改造し、通常は摩耗輪が設置されている部分にクリーニングブレードを当接条件が変更できるようにして設置し、回転円板部分には市販の研磨シートを取り付けた。研磨シートは研磨粒子の粒子径を調整し、表面にステアリン酸亜鉛の粉末を塗布することで表面状態を制御した。

4.2 評価条件の最適化

田口メソッドを活用して評価条件を最適化した。凝着摩耗は研磨シートの粒子径が小さく表面にステアリン酸亜鉛を塗布した条件、疲労摩耗は研磨シートの粒子径が小さくかつクリーニングブレードの当接角度を大きくした条件、引掻き摩耗は研磨シートの粒子径が大きい条件、としたことで実機との相関が得られる評価条件となった。これらの条件で評価したブレード摩耗の状態を Table 3 に示す。各摩耗機構の摩耗面の特徴が再現できていることが分かる。また、どの条件も短時間で実機の耐久末期に相当する摩耗レベルまで摩耗させることができ、効率の良い評価装置を作製することができた。

Table 3 Situation of blade wear in each evaluation condition.

Adhesive wear	Fatigue wear	Abrasive wear
		

4.3 実機耐久との対応

物性の異なるクリーニングブレード材を実機耐久した結果と、同じブレード材をブレード摩耗評価装置で評価した結果の対応を確認した。

Fig. 10 の実機耐久条件は外添剤が非常に多くトナー帯電量が高い条件となっており、引掻き摩耗が支配的であると考える。引掻き摩耗条件の評価結果と高い相関があることが分かる。

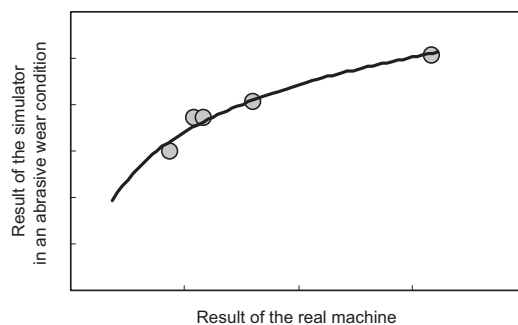


Fig. 10 Comparison of results of blade wear test between the simulator in an abrasive wear condition and the real machine with additive-rich toner.

また、Fig. 11 の実機耐久条件はトナー帯電量が比較的
低く、鏡面状態の感光体を使用した条件となっており、
疲労摩耗が支配的であるとする。こちらも疲労摩耗条
件の評価結果と相関のある結果が得られた。

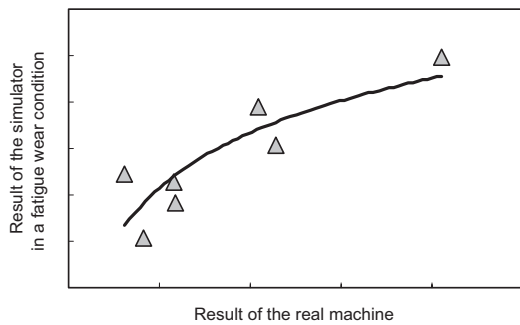


Fig. 11 Comparison of results of blade wear test between the simulator in a fatigue wear condition and the real machine with a smooth photoreceptor.

5 まとめ

実機で起こっているクリーニングブレードの複雑な摩擦・摩耗特性について、感光体の表面状態との関係で整理し、3つの摩耗機構に分類した。これらの摩耗機構を再現し、実機での耐久結果と相関が高いブレード摩耗評価装置を開発した。

●参考文献

- 1) 情野國城, 弓削静雄, 上村正雄: “クリーニングブレードの摩耗特性とクリーニング能力”, 日本画像学会誌, Vol. 40, No. 4, pp.320-329 (2001).
- 2) Mitsunobu Honda, Hiroshi Murasaki: “Analysis of Blade Cleaning Mechanism”, 電子写真学会誌, 34, 419 (1995)
- 3) 上村正雄: “トライボロジー入門 (I) ~ (IV)”, 溶射, 第32巻・第1号~第3号, 第33巻・第1号 (1995)
- 4) 内山吉隆: “ゴムの摩擦・摩耗のメカニズム”, ゴム技術シンポジウムテキスト, 27th, 12-22 (1992)

●出典

本稿は日本画像学会 “Imaging Conference JAPAN 2011” 論文集からの転載である。本稿の著作権は日本画像学会が有する。