

二層構成を有する高信頼クリーニングブレードの開発

(採用機種：DocuCentre-IV/ApeosPort-IVシリーズ、Color 1000 Press シリーズ)

小島 紀章、重崎 聡

富士ゼロックス株式会社 デバイス開発本部 次世代マーケティングプラットフォーム開発部

1. はじめに

電子写真の感光体クリーニングプロセスの機能は、転写後の感光体表面に残留したトナー、感光体表面に付着した放電生成物や紙粉等のクリーニング対象物を除去することである。クリーニングプロセスの主流はポリウレタンゴム製のブレードであり、感光体表面に当接して擦動することにより、残留したトナー等のクリーニング対象物を掻き取ることが出来る。

クリーニングブレードの故障モードは、トナー等のクリーニング対象物がクリーニング不良（すり抜け）となり、画像欠陥が生じることである。原因としては、感光体表面と当接しているブレードエッジの摩耗や局所的な欠け、ブレードゴムが永久変形することで初期に設定したブレード当接力が保てなくなることが挙げられる。クリーニング不良により帯電器（特に接触帯電器）の汚染や露光阻害など次工程のプロセスにも影響を及ぼし、色筋や白筋の一因となる為、ブレードの早期劣化や突発故障を抑制することが課題となる。

また、感光体摩耗ライフがドラムカートリッジライフを決めることになる為、長寿命化には感光体の摩耗量低減が課題となる。

さらに、ブレードのゴム硬度や寸法、取り付けのばらつきによるブレード当接力のばらつきは、クリーニング性や感光体摩耗などクリーニングに係わる諸特性のばらつきを生み、信頼性が損なわれてしまう。

クリーニングブレードの早期劣化や突発故障を抑制し、ドラムカートリッジライフの長寿命化を達成する為、ブレードエッジの摩耗と局所的な欠けを両立して改善し、同時に永久変形も抑制する二層構成を有する高信頼なクリーニングブレードを開発したので報告する。

2. 二層構成を有する高信頼クリーニングブレード

2.1 従来知見の整理

クリーニングの信頼性に係わる主な要求特性とブレードゴム物性の相関について、従来知見を整理したものを Table 1 に示す。

Table 1 Relationship between required properties and physical properties of rubber used on blade.

Physical properties		Hardness (Young's modulus)		Rebound		Breaking elongation		Tension set	
		Low	High	Low	High	Low	High	Low	High
Blade edge wear	Good		▲						
	Bad	▲							
Blade edge chip	Good		▲						
	Bad	▲							
Permanent deformation	Good		▲						
	Bad	▲							

これまで当社が採用していた単層ブレードのゴム物性は、比較的低硬度・高反発弾性であり、ブレードエッジ摩耗が悪く欠けが良い特性であった。ブレードエッジ摩耗を改善する為には高硬度化すれば良いが、相反して欠けが悪化していた。

また、高硬度化するとゴムの永久伸びが大きくなることで永久変形が悪化し、初期に設定したブレード当接力が保てなくなり、経時でのクリーニング性が悪化していた。

2.2 クリーニング層ゴム物性の設計指針と検証

ブレードエッジの磨耗を改善する為、感光体表面との摩擦力低減やブレードゴムの機械的強度（モジュラス）を高めることを狙い、高硬度化することにした。

高硬度化する為には、添加している架橋剤を増量し

て架橋密度を高めるのが一般的であるが、架橋点間距離が短くなり変形し難くなる為、ブレードエッジ欠けが発生し易くなる。そこで、欠けの原因となる異物がブレードエッジに衝突した際でも、局所的に変形して（伸びて）、異物の衝突による歪応力を分散させることを考えた。つまり、「硬くて伸びる」というコンセプトを立案し、「高硬度（高モジュラス）・高破断伸び」物性を設計指針とした。具体的にはFig.1に示すS-Sカーブの様に、高硬度化することでモジュラスを高めると同時に破断伸びも高めた。

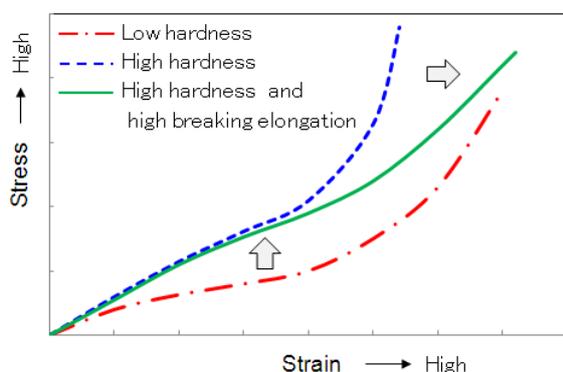


Fig.1 Stress-Strain curve.

ブレードエッジ欠けの原因は、感光体表面とブレードとの摩擦力が増大した際にブレードエッジが引き千切られたり、現像器から排出された現像剤のキャリアの進入や、現像器内の微粉キャリア成分が転写ニップで感光体表面に突き刺さった状態で、感光体表面の移動とともにブレードエッジに進入してくる等が考えられる。特に感光体表面の微粉キャリア成分の突き刺さり是最もストレスな条件と考えており、ブレードエッジの同一箇所を何度も通過する事で早期に欠けに至る。

ゴム物性の効果検証をしていくに当たり、テストピースで評価を行った。欠けについては、テストピースの軌道上に微粉キャリア成分の突き刺さりを模擬した突起を設け、テストピースのエッジに繰り返し衝突させることで欠けに至る回数を定量評価した。

エッジ摩耗については、市販の研磨シートを貼り付けた板上にテストピースを所定の圧力で当接させて、

所定の時間擦動させた後のエッジ摩耗量を計測した。実機に即したエッジ摩耗形態や摩耗量になる様、研磨シートの研磨粒子の材質（硬さ）や粒径を選択した。

従来材料系と新規である高硬度・高破断伸び材料系のエッジ摩耗と欠けについて、テストピースで比較評価した結果をFig.2に示す。高硬度・高破断伸び化することで耐欠け性が向上し、一方で耐摩耗性は悪化することなくほぼ同等であり、エッジ摩耗と欠けを両立して改善できることを検証した。また、実機に搭載してもドラムカートリッジライフに渡りエッジ摩耗と欠けが問題ないことを検証した。

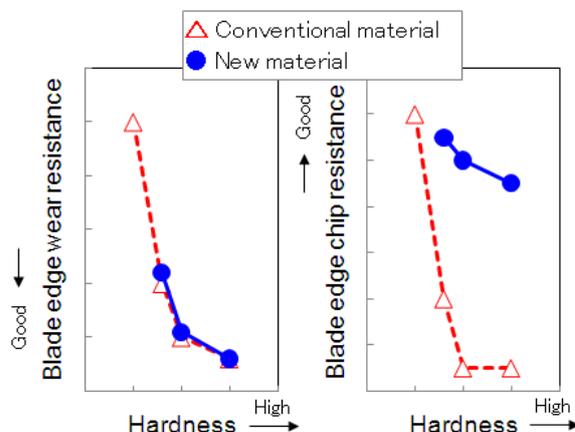


Fig.2 Evaluation results of wear and chip resistances of blade edge.

2.3 二層ゴム構成の設計指針と検証

前記の高硬度化したゴムを使用する場合、永久伸びが大きいため永久変形が悪化する。従って、クリーニングブレードが単層であると、初期に設定したブレード当接力が保てなくなり経時でのクリーニング性が悪化してしまう。

高硬度化で永久変形が悪化するのは、ゴム成分（ソフトセグメント）が減少し、樹脂成分（ハードセグメント）が多くなることで、樹脂成分の特性が大きく現れているためと考えられる。

高硬度化したゴムを使用した場合でも永久変形を抑制する為に、Fig.3に示すようなクリーニング層（高硬度化したゴム）と背面層とを機能分離した「二層構成」とし、背面層の永久伸びを最小化することを設計

指針とした。

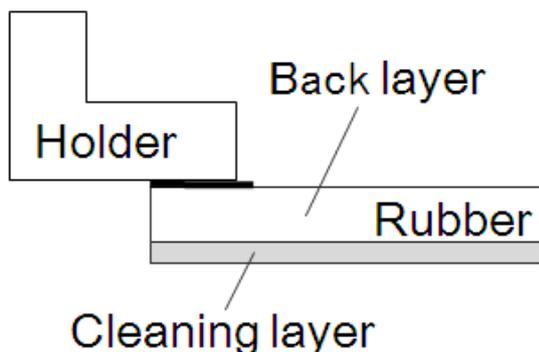


Fig.3 Two-layer cleaning blade.

Fig.4 にゴムの永久伸びと永久変形の関係を示す。従来製品である単層ブレードA及びBは、他の特性とのバランスを考慮しなければならず比較的永久変形も大きかったが、二層構成とすることで永久伸びの最小化に特化した背面層を選択することができ、永久変形を抑制した。

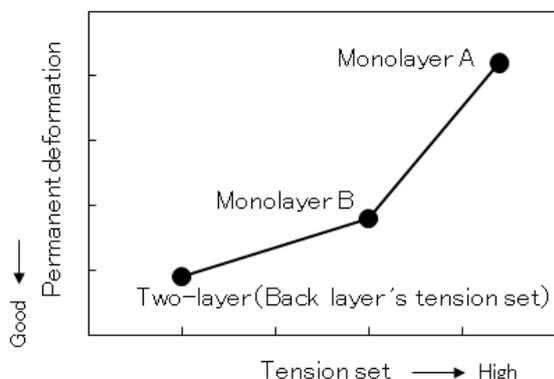


Fig.4 Relationship between permanent deformation and tension set.

また、クリーニングブレードが単層の場合は、ゴムの反発弾性が大きい程ブレード先端のスティック・スリップ挙動の振幅が大きくなり、ブレード鳴きが発生し易くなる。²⁾

二層構成の場合での、ブレード鳴きに対するクリーニング層と背面層の寄与をシミュレーションにより求めた。具体的には、有限要素解析プログラムであるAbaqusを用い、クリーニング層と背面層の反発弾性を

変化させた時の組合せで、振動を表す特性値であるDynamic-Normal Force (動的当接力)の標準偏差を求めた。Dynamic-Normal Forceはブレードが感光体に当接した際の垂直抗力であり、ブレードエッジがスティック(引き込まれ)した状態ではDynamic-Normal Forceが大きくなり、スリップ(反発力により復元)した状態ではDynamic-Normal Forceが小さくなる。所定時間範囲におけるDynamic-Normal Forceの標準偏差(σ)が大きい程スティック・スリップ挙動の振幅が大きいかを表しており、ブレード鳴きが発生し易くなる。

Fig.5に示すシミュレーション結果から、Dynamic-Normal Forceの標準偏差、即ちスティック・スリップ挙動は背面層の反発弾性が支配的で、背面層の反発弾性が大きい程Dynamic-Normal Forceの標準偏差が大きくなることが分かり、ブレード鳴きに対しては背面層の反発弾性の寄与が明確となった。

これらを踏まえ二層構成の背面層は、永久伸びを最小化し、かつ反発弾性を小さめに最適化することでブレードの永久変形と鳴きを抑制した。

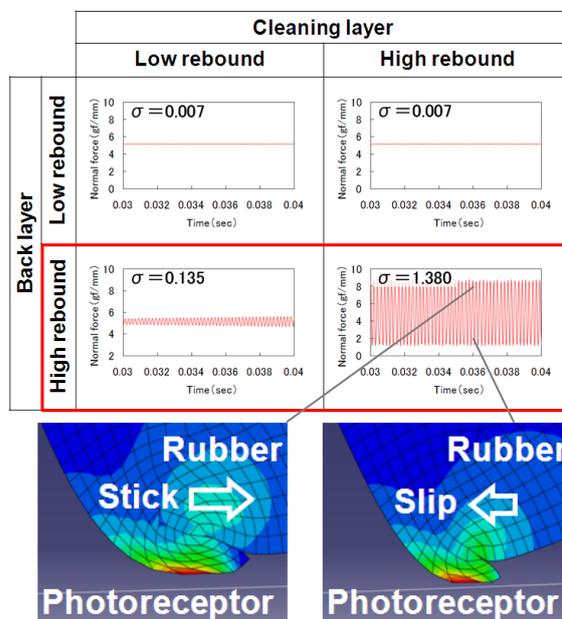


Fig.5 Relationship between rebound and blade vibration.

3. ブレード当接力のばらつき抑制

ブレードのゴム硬度や寸法、取り付けのばらつきに

よるブレード当接力のばらつきは、クリーニング性や感光体摩耗などクリーニングに係わる諸特性のばらつきを生み、信頼性が損なわれてしまう。従って、極力ブレード当接力のばらつきを抑制したい。

ブレード当接力のばらつきを抑制するには、当接力をばらつかせている要因とその寄与度を把握しなければならない。

要因は Fig. 6 に示す様に、ブレード寸法や物性に係わる (1) 硬度、(2) 厚さ、(3) 自由長、(4) 倒れ量、(5) 接着剤はみ出し量 (実自由長に影響)、ハウジング側のブレード取り付け精度に係わる (6) ブレード位置、(7) 座面角度、の7つである。

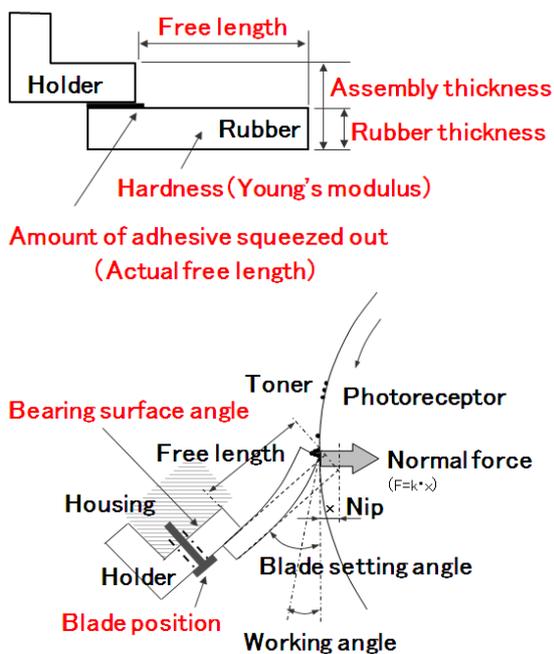


Fig. 6 Causes of dispersion of normal force and working angle.

それらの量産時の工程能力を考慮して累積した時のブレード当接力のばらつきを予測する為に、乱数を用いたシミュレーションを何度も行うことにより近似解を求める計算手法である「モンテカルロシミュレーション法」の適用を検討した。

ばらつく7つの要因の公差幅と頻度 (σ) を考慮して、仮想的に生成した一万通りのブレード条件毎に求めた「当接力 (Normal force)」と「当接角 (Working

angle)」をプロットすることで、Fig. 7 に示す様にブレード設定パラメータのばらつき範囲を可視化し予測した。

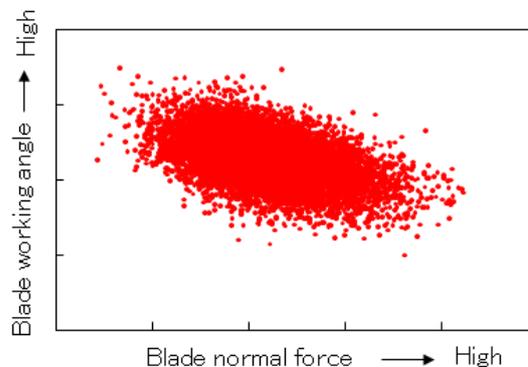
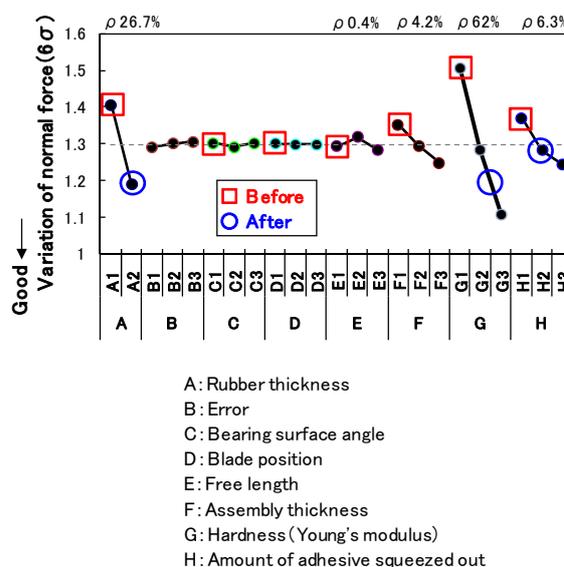


Fig. 7 Prediction of range of dispersion obtained through Monte Carlo simulation.

続いて、「モンテカルロシミュレーション法」を活用した L18 計算実験により、当接力のばらつき抑制の主効果を求めた結果、Fig. 8 に示す様にゴム硬度、ゴム厚さ、接着剤はみ出し量を抽出した。

そして、それらのばらつきを改善した結果、Fig. 9 に示す様に当接力のばらつきを改善することができた。



- A: Rubber thickness
- B: Error
- C: Bearing surface angle
- D: Blade position
- E: Free length
- F: Assembly thickness
- G: Hardness (Young's modulus)
- H: Amount of adhesive squeezed out

Fig. 8 Factorial effects of dispersion of normal force.

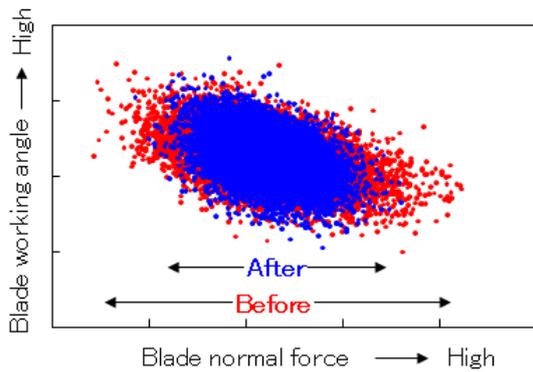


Fig. 9 Effect on dispersion of normal force after the improvement.

4. まとめ

従来のブレード材料では困難であった異物進入時の信頼性とクリーニング性維持との両立の為に、クリーニング層と背面層とに機能分離した二層構成とし、各層の要求特性に特化したゴム物性を選択することで、高信頼なクリーニングブレードを開発した。

クリーニング層は、ブレードエッジ摩耗と局所的な欠けを両立して改善する為に、異物の衝突による歪応力を分散させることを狙い「高硬度（高モジュラス）・高破断伸び」物性とした。背面層は、永久変形を抑制する為に永久伸びを最小化し、かつブレード鳴きを抑制する為に反発弾性を小さめに最適化した。

また、「モンテカルロシミュレーション法」を適用して、部品のばらつきによるブレード設定パラメータ（当接力、当接角）のばらつき範囲を予測した。ブレード設定パラメータのばらつき抑制に対する主効果を抽出して改善することで、クリーニング性や感光体摩耗などクリーニングに係わる諸特性のばらつきを抑制することができ、信頼性を画期的に向上することができた。

参考文献

- 1) K. SEINO, S. YUGE, and M. UEMURA: “Wear Characteristics and Cleaning Ability of Cleaning Blades”, Journal of the Imaging Society of Japan, Vol. 40 No. 4, 320-329, (2001) [in Japanese].
- 2) 林 幸男, 鶴岡亮一(富士ゼロックス), 特許第 3303567 号 [in Japanese].

尚、本稿は日本画像学会“Imaging Conference JAPAN 2012” 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。

禁 無 断 転 載

2012年度「ビジネス機器関連技術調査報告書」“IV—3”部

発行 2013年4月

一般社団法人 ビジネス機械・情報システム産業協会 (JBMIA)

技術委員会 技術調査小委員会

〒105-0003 東京都港区西新橋三丁目 25 番 33 号 NP 御成門ビル

電話 03-5472-1101(代表) / FAX 03-5472-2511