

# ブレードクリーニングにおける先端挙動シミュレーション

Simulation of Edge Behavior in Blade Cleaning

浜田 健史\*  
Takeshi HAMADA

柏倉 邦章\*\*  
Kuniaki KASHIWAKURA

山本 雅典\*  
Masanori YAMAMOTO

## 要旨

近年、環境を配慮して製品の長寿命化に対する要求が高まっている。ブレードクリーニング装置の開発において、ゴムブレード先端の接触状態変化に起因するクリーニング不良の発生が寿命を決める上での課題となっている。

機能の長寿命化を達成するためには、粘弾性によるクリープの影響や摩耗を考慮した先端の動的挙動といった非線形現象を評価できるシミュレーション技術が有効になる。

本稿では、これらの非線形シミュレーションモデル用のアプリケーション開発および、関連してシミュレーションに使用されるゴム材料の物性値の測定手法について報告する。

## Abstract

Recently, requirement for longer life of products becomes important because of the environmental consideration. In a blade cleaning device development, its bottleneck of life is determined by an occurrence of cleaning error caused by change in contacting situation of the rubber blade edge.

To achieve lengthening the life of cleaning property, a computer simulating method is effective to evaluate non-linear phenomena such as viscoelastic influence in creep or dynamic behavior of the edge with abrasion.

In this paper, development of applications for non-linear model simulation and relating measurement methods for elastic properties used in the simulation are reported.

## 1 はじめに

近年、オフィスのみならず家庭においても複写機・複合機の普及が進み、より魅力ある製品を他社に先んじて顧客に届けるために、新製品の開発期間短縮に加えて信頼性向上と画質の安定性に対する要求が高まっている。更に、製品を取り巻く環境を配慮して、廃棄物を減らすために交換部品の長寿命化への要求も高まっている。電子写真プロセスのうち、ゴム片の接触によりクリーニング性を確保するブレードクリーニングは、長期間の使用によってゴムの接触状態が変化することによりトナーがすり抜けるクリーニング不良の発生が課題となっている。ゴム材料をブレードとして長期間使用する技術を短期間で開発するためには、粘弾性によるクリープや摩擦・摩耗を考慮した先端位置の変動といった非線形現象を評価できるシミュレーション技術が有効になる。

今回、ブレードクリーニングの長寿命化を達成するために、ゴム材料の初期の非線形の特性値を用いて長期間の使用を評価できるシミュレーション技術を開発した。本シミュレーション評価技術について実験機を用いた検証を含めて報告する。

## 2 ブレードクリーニングの開発

### 2.1 クリーニング機能

ブレードクリーニングとは、ウレタンゴム製のブレードの先端を感光体や中間転写ベルトに接触させてトナーを拭き取る機能である。Fig.1 に主な設計パラメータを示す。

クリーニング機能を代用する設計値（以下、代用特性値）として、感光体停止状態において当接力と実効当接

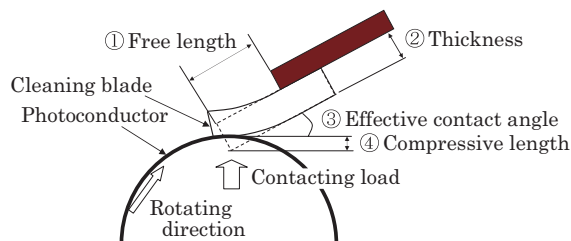


Fig.1 Designing parameters of blade cleaning

\* コニカミノルタビジネステクノロジーズ(株)  
開発本部 開発イノベーションセンター CAE推進部  
\*\* 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

角（当接状態でのブレード先端とドラム接線のなす角）を測り、この2つの設計パラメータを用いて、クリーニング機能を満足する範囲つまり機能窓を求める評価により設計値が決定される。

## 2.2 設計課題

クリーニング機能の主な設計課題には、以下の2つがある。

- 1) 当接力や実効当接角の設定が小さい場合、ブレードと感光体間の接触圧力のピーク値（以下、ピーク圧）が低くなり、圧力不足によるクリーニング不良が発生する。
- 2) 当接力や実効当接角の設定が大きい場合、ピーク圧が高くなり、スティックスリップ振動に起因する圧力変動によるクリーニング不良、更に振動が継続すると先端部の摩耗（Fig.2）増加に起因する圧力不足によるクリーニング不良が発生する。

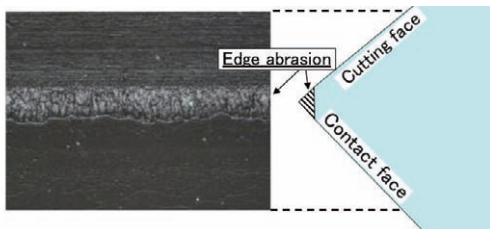


Fig.2 Microscopic photograph of edge abrasion after endurance test

## 2.3 機能窓評価の課題

ブレードクリーニングの代用特性値は、次のような要因により変化するために、その変化量を予測して設計値を決めなければならない。

### 2.3.1 クリープによる代用特性値の変化

ブレードを圧接するとゴムの粘弾性によるクリープの影響を受け、代用特性値である当接力・実効当接角が経時変化する。この影響を考慮するためには、実際にクリープさせたブレードを用いて機能窓を求めるか、またはクリープによる代用特性値の変化量を測定しなければならない。いずれの方法とも検討に時間を要する。

### 2.3.2 感光体摺動による代用特性値の変化

クリーニング機能の代用特性値は感光体摺動状態の測定が困難であるため停止状態にて測定しており、摺動すると先端位置の変動により値が変化する。この変化量はブレードと感光体間の摩擦、ブレード先端の摩耗、トナー、環境などに依存する摺動特性の影響を受ける。感光体、ブレード、トナーのいずれかを変更する場合は、その都度機能窓を求めなければならない。検討に時間を要する。

これらの代用特性値の変化を考慮し、更に短時間にて

クリーニング性の評価を可能とするために、クリープによる変化量と感光体摺動に伴う先端挙動による変化量を予測できるシミュレーション評価技術を開発した。以下に、これらの評価手順を説明する。

## 3 シミュレーション評価技術

### 3.1 ゴムの材料特性値の測定

シミュレーションを使って、ブレードクリーニングの評価を行うのに必要なウレタンゴムの非線形材料特性値を測定した。

ウレタンゴムは、引張りと圧縮方向あるいは歪みの大きさにより剛性の変化率が変わる非線形の特徴を持つ。この特性は、周囲温度あるいは材料の種類により変わる。材料毎にダンベル試験片を作成し、引張り圧縮試験機により周囲の温度を変えて応力歪み特性を測定した。また、ゴム材料は荷重を受けた状態にて放置されると粘弾性の影響を受け、弾性率が時間とともに緩和する。この粘弾性の影響をシミュレーションにより考慮するために、クリープ試験機により温度・応力を変更して時間-弾性率の緩和特性を測定した。更に、長期間使用に伴うブレード先端部の摩耗の影響を考慮するために、使用時間に対する先端部の摩耗増加を測定した。摩耗増加を短期間の測定にて予測するために、実機をベースとした通紙しないテスターを複数台用いて耐久評価を行った。

### 3.2 クリープのシミュレーション評価

#### 3.2.1 クリープシミュレーションの手順

シミュレーション評価の手順を示す。

①クリープ現象をシミュレーションするに際して、ゴム材料の剛性の非線形性を考慮するために、応力歪み特性を使用した。更に粘弾性によるクリープ現象を考慮するために、時間-緩和弾性率の特性を使用した。長期間使用されることを想定した評価を行うためには、本来ゴム材料の特性を長期間測定しなければならない。長期間の特性を短期間の材料測定により推定するために、高温の緩和弾性率を用いて時間加速するWLF則を用いた。製品評価用の温度を $T_1$ 、加速用の高温を $T_2$ 、材料のガラス転移温度を $T_g$ とすると、WLF則に基づく式(1)より測定時間 $t_0$ を加速する推定時間 $t_s$ を得る。

$$\log_{10} t_s = \log_{10} t_0 + \frac{-C_2(T_1 - T_g)}{C_1 + T_1 - T_g} - \frac{-C_2(T_2 - T_g)}{C_1 + T_2 - T_g} \quad (1)$$

式(1)を用いて推定した例を示す。クリープ試験機により30°C、60°Cと80°C環境にて1日間の緩和弾性率の変化を測定した。測定結果をFig.3 (a)に示す。このうち80°C環境における測定結果と式(1)を用いて、30°C環境における長期間の緩和弾性率を推定する。 $T_g = -6.74^\circ\text{C}$ 、 $C_1 = 51.6$ 、 $C_2 = 17.44$ としたとき $T_1 = 30$ 、 $T_2 = 80$ を代入す

ると約4800時間に相当する。測定結果を全て30°C環境に換算して得られた特性をFig.3 (b)に示す。この例では、一日の材料測定により、10年以上の緩和弾性率を推定することができた。

②前述の①の手順により推定した緩和弾性率を用いて、当接力などの代用特性値の経時変化量をシミュレーションにより予測した。

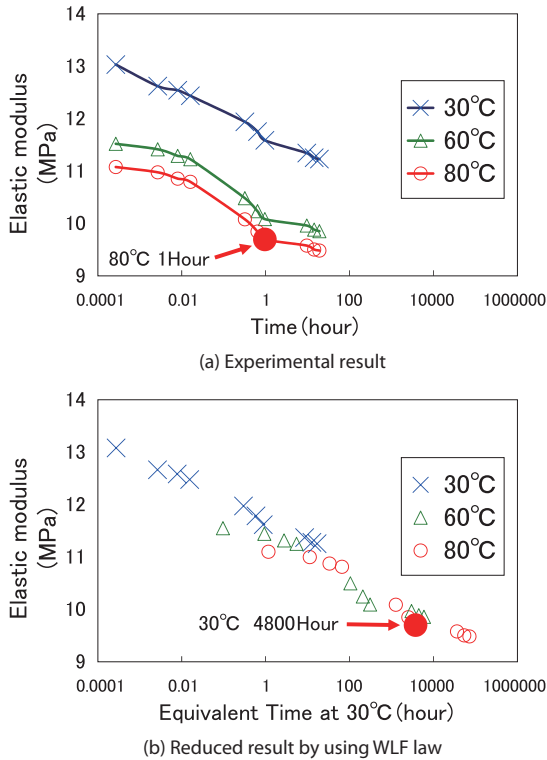


Fig.3 Example of temporal acceleration using WLF law applied to relaxation property of elastic modulus

### 3.2.2 クリープシミュレーションの検証

シミュレーションの検証用に一軸ステージの位置調整によりブレードと感光体間の食い込み量を変更できる実験機 (Fig.4) を設計した。この実験機では、ACサーボモータにより感光体を回転させて、感光体両端に設けたロードセルにより当接力の変化量を測定することができる。

この実験機により食い込み量を1.4mm, 2.1mmの2水準振り、感光体を停止させた状態にて変化が大きい当接初期から2週間の当接力を測定した。

一方、温度を30°C, 60°C, 80°C環境にて弾性率の緩和を一日間測定し、更にWLF則を用いて長期間の緩和弾性率を推定した。この緩和弾性率を用いて実験と同じ食い込み量を条件としたシミュレーションにより当接力の経時的な変化量を求めた。これらの比較検証や更にブレード材料を変えて行った検証を含めて、当接力の経時変化量の誤差が±5%以内に収まることを確認した。以上から、WLF則を用いたシミュレーション評価の信頼性が高く、製品開発に適用可能であると判断した。

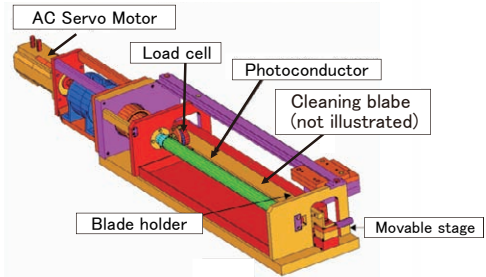


Fig.4 The testing prototype for verification

### 3.3 「感光体摺動状態」の先端挙動シミュレーション評価

#### 3.3.1 先端挙動シミュレーションの手順

ブレードと感光体間の摩擦と、更に耐久によるブレード先端の摩耗形状とを考慮して、感光体摺動状態の代用特性値の変化量を予測できるシミュレーション評価技術を開発した。本シミュレーション評価の手順を説明する。

①ブレードの先端挙動をシミュレーションする場合、剛性を考慮するために応力歪み特性を用いた。また、ブレード内部の減衰を考慮するために減衰係数を用いた。減衰係数を効率良く求めるために、材料の反発弾性係数を利用した。リュブケ式の反発弾性試験と同じ内容を落下衝撃シミュレーション上で再現して跳ね返り高さを求め、減衰係数の入力値を調整して反発弾性係数から求めた高さとも一致させ、調整後の値をブレード材の減衰係数とした。更に、摩擦係数について専用の実験機により感光体摺動状態のトルクと当接力を実測し、両者の比から求めた。また摩耗の影響を考慮するために、評価する使用時間に応じた摩耗を考慮してブレード先端の形状モデルを作成した。

②前述の①により測定した材料特性値及び解析モデルを使って、ブレードを感光体に圧接し、摺動させた状態の当接力、圧力分布などをシミュレーションにより求めた。結果の一例として接触部圧力を縦軸とし、ブレードの当接面に沿ってエッジを原点とし、エッジからの距離を横軸としたグラフをFig.5に示す。このグラフから感光体が摺動するとブレードの接触幅が狭くなり、ピーク圧が大きくなることからわかる。更に、各グラフの面積が当接力に相当し、感光体の摺動時には大きくなることを示している。

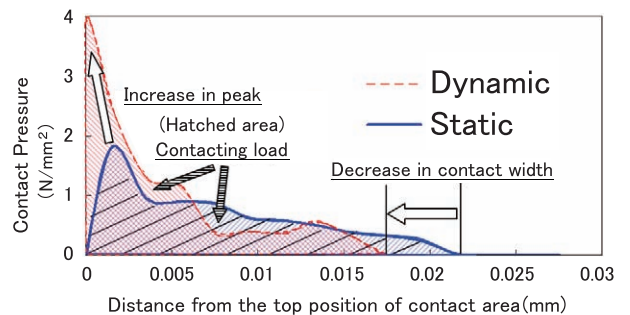


Fig.5 Change in profile of contact pressure from static state to the driving state by calculation

### 3.3.2 先端挙動シミュレーションの検証

当接力や実効当接角が大きい条件にてシミュレーションを行うと、ブレード先端位置が変動するスティックスリップ振動を発生し、当接力が増加する結果となる。この条件にて製品を設計した場合の先端挙動を観察するため、透明なガラス管を感光体に見立てて内側にCCDカメラを配置した装置を使用した。この装置によりガラス管を回転させた状態でのブレード先端を観察すると、シミュレーションと同様に先端位置が大きく変動し、更にスティックスリップ振動を発生する様子を確認することができた。Fig.6 に先端のある瞬間を撮影した静止画を示す。

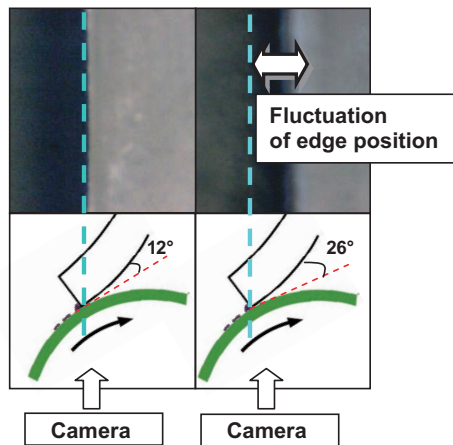


Fig.6 Comparison of edge behavior observed from inside of a transparent drum by CCD camera between static state (left) and driving state (right)

更に、Fig.4の実験機により食い込み量を0.5mm, 0.7mm, 1.0mmの3水準振り、感光体停止状態・摺動状態の当接力を測定した。実験と同じ食い込み量を条件としたシミュレーションにより当接力を求め、得られた値と測定値を対比させてFig.7に示す。Fig.7は感光体摺動により当接力が数10%増加する実現象をシミュレーションが再現していることを示している。更に、本稿以外に耐久後のブレードを使用した検証を含めて当接力が10%程度の誤差に収まることを確認し、製品開発に適用可能であると判断した。

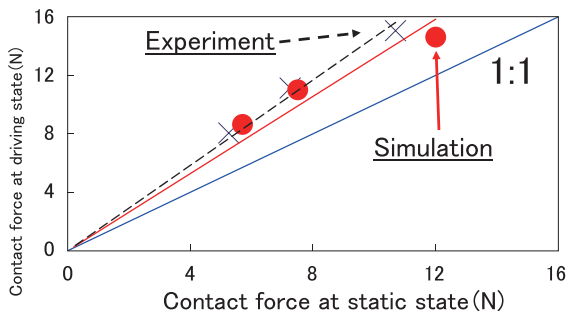


Fig.7 Comparison between experiment and simulation of contact force increment at driving state

このシミュレーション評価技術により、当接力と実効当接角をパラメータとしてピーク圧を求め、更にクリーニング良好と不良を判断するピーク圧の閾値を決めて機能窓範囲を求めた。この結果の妥当性を確認するために、製品の新しい状態と長期間使用した耐久後の状態について機能窓を測定した。両者を対比させてFig.8に示す。この比較から当接力及び実効当接角に対するクリーニング良好の範囲を概ね再現できており、シミュレーションによるクリーニング機能窓評価を製品開発に適用できることを確認した。

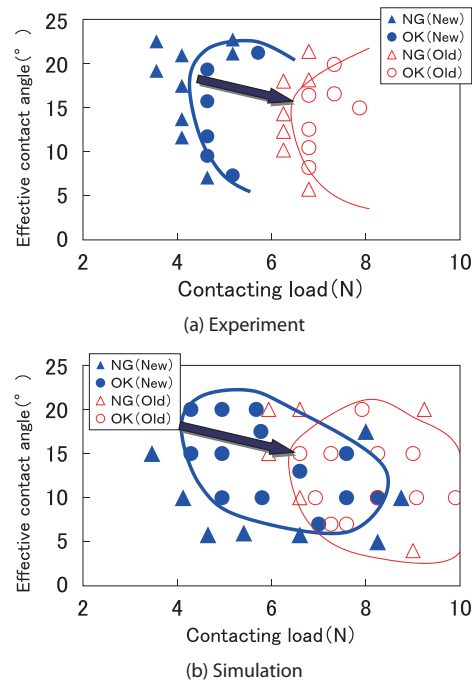


Fig.8 Functional window for cleaning evaluated by (a) experiment and (b) simulation

## 4 まとめ

ゴムのクリープと感光体摺動による代用特性値の変化量を予測して、クリーニングの長期間使用を評価できるシミュレーション技術を開発した。現在は本技術を全製品開発に展開し、試作前の設計上流段階にてピーク圧による機能窓評価を行う、あるいは設計パラメータを直交表に割り付けてTM（品質工学）評価により安定性を高める検討を行い、より高い要求レベルに応える設計立案を行っている。

### ●参考文献

- 1) H. Murasaki. Analysis of Blade Cleaning Mechanism. 電子写真学会年次大会（通算74回）P.43-46.
- 2) 藤原良則. クリーナーブレード. 電子写真学会誌第33巻 第1号（1994）P.50-56.

### ●出典

本稿は日本画像学会"Imaging Conference JAPAN 2009"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。