



# 短い繊維突出によるチクチク感提示における 荷重と繊維座屈挙動の関係

田中将也<sup>1)</sup>, 柳田康幸<sup>1)</sup>

Masaya TANAKA, and Yasuyuki YANAGIDA

1) 名城大学大学院 理工学研究科 (〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口一丁目 501 番地)

**概要:** 衣類の質感においてチクチク感は代表的な不快感であり, チクチク感の強さと関係する繊維の座屈荷重には繊維長が影響している. 先行研究では, 衣料繊維突出長制御によりチクチク感の強さを変化させることに成功したが, 特に短い繊維長に限り突出長から計算される座屈荷重とチクチク感の強さが対応しない現象が報告された. この原因を探るため, 本研究では人肌ゲルを利用して擬似的に肌接触時の繊維の様子を観察した. その結果, 短い繊維長では繊維が肌へ食い込むとともに機構植毛部の基板が肌に接触し, 繊維には想定通りの荷重がかかっていないことが原因と判明した.

**キーワード:** 触覚, チクチク感, 織物繊維, 座屈荷重

## 1. はじめに

コロナ禍の影響もあり, 買い物の在り方が変化している現代では, ネットショッピングの需要が高まっている. しかし, ネットショップにおける商品についての情報は, 言語情報および画像や動画などの視覚情報が主体であり, 実際の商品の質感を正確に購入者に伝えることが困難な場合がある. 特に, 衣類品に関しては手触りや質感等の触覚情報が重要な要素であり, 購入者のイメージと実物の質感との齟齬によるクレームが発生する可能性が考えられる. このような問題を解決するために, 我々は布の質感を伝送するシステムの構築を目指している. このシステムが構築されれば, ネットショッピングでのクレーム発生の防止だけでなく, 正確な商品情報の伝達によって商品の購買意欲の向上につながると考えられる. そこで我々は, 先行研究において衣類品に関する不快感の一例としてマフラーのチクチク感に着目し, チクチク感を制御する機器の製作を行った[1].

繊維によるチクチク感には繊維の直径や材質, 座屈荷重などが要因として報告されている. 堀江ら[2] は, 肌を刺激する繊維の直径やその密度がチクチク感の有無に関係することを報告している. また, 松平ら[3] による, チクチク感が特定の繊維の材質や直径に依存しているという報告もある. 大塚ら[4] により, 座屈荷重と繊維のチクチク感の関係は密接な関係にある事も報告されている. 他にも, 河合らによって, 繊維密度の変化がチクチク感の変化に影響することが報告されている[5].

我々は先行研究において, チクチク感を発生させる要因のうち座屈荷重に関する繊維長に注目し, 突出する繊維長を制御する衣料繊維長制御機構を製作した. この機構により, 衣料繊維突出長によりチクチク感の強さを変化させることに成功した. しかし, 特に短い繊維長に限り, 突出長から理論的に計算される座屈荷重の変化と被験者が感じるチクチク感の強さの変化が対応しない現象が報告された[1].

本研究では, 短い繊維長における課題の原因を探るために, 透明な人肌ゲルを利用することで繊維が肌に接触する状況を疑似的に再現し, 肌接触時の繊維の様子を観察する. 衣料繊維長制御機構によるチクチク感の提示では, 座屈荷重に基づいているため, 人肌への接触時に繊維が座屈していることが前提となる. しかし, 人肌は柔らかさやハリと呼ばれる皮膚粘弾性という性質を持つ. そのため, 提示する繊維は人肌に食い込むことにより短い繊維長では繊維のみでなく土台である基板と接触していることや, 前提としている座屈そのものが起きていない可能性が考えられる. これらの仮説に対して, 実際の繊維の様子を観察することで先行研究における問題点の検討を行う.

## 2. 関連研究

### 2.1 チクチク感と座屈荷重

大塚ら[4]が行った研究では, 物性を支配する微視的構造と触感の相関性を明らかにすることにより, 快適繊維の設計を行うことを目標としている. 3種の布において広げた

状態で前腕内側に乗せた場合と、筒状にし断面を押し当てた場合での官能検査と、布と皮膚との摩擦係数の測定及び、光学顕微鏡による観察から快適繊維の設計指針の確立を試みている。

この実験の結果、不快感は平均摩擦係数には依存しないが、平均摩擦係数の変動には関係する傾向を示した。また、繊維束の断面が皮膚に接触した場合、繊維束の側面が接触した場合に比べチクチク感が大きいという実験結果を基にモデルを考える。皮膚に垂直に繊維が接触する状況において、繊維が皮膚を最も刺激する応力レベルはオイラーの式で推測される。この式は一樣な断面の柱の座屈する荷重、すなわち座屈荷重を与える式であり、これが皮膚を最も刺激する応力になると考えられる。

また、オイラーの式から推測された突出繊維の座屈力について、繊維を長柱として考えると繊維1本当たりの座屈荷重は以下の式(1)で求められることが松平らによって報告されている[3]。

$$P_E = \frac{\pi^2 EI}{4L^2} \quad (1)$$

ただし、 $E$  は物質の弾性定数、 $I$  は断面二次モーメント(直径  $d$  の円形棒の場合、 $I = \pi d^4/64$ )、 $L$  は突出繊維の長さである。

ここで、座屈荷重を柱の断面積で割ることで座屈現象における応力を表すが、繊維の太さは通常  $10 \mu\text{m}$  であり人の皮膚感覚では大小の判別ができないと考えられる。そのため、チクチク感に与える影響に関して応力と座屈荷重は等価であると考えられる。他にも、綿布よりも麻布でチクチク感を感じることや、静的な場合は動的な場合よりチクチク感が強くなることから、チクチク感は繊維の座屈荷重と密接に関係していると考えられると報告されている。

## 2.2 繊維が肌を刺激する力

2.1 節で述べた通り、チクチク感と座屈荷重は密接な関係があると考えられる。座屈荷重にはいくつかの条件を考える必要があり、式(1)で示したチクチク感に関する繊維の座屈荷重は片側固定された長柱のオイラーの式に当たる。図1の左側のモデルはこの条件における荷重のかかり方を表している。

また、繊維が布表面から常に垂直に突出しているとは限らない。上記の座屈荷重の式では、垂直に当たる際の応力は計算できるが、繊維側面が肌に当たり刺激する際の力は計算できない。繊維の側面方向から力が加わり繊維先端に変異  $x$  が生じる際の力  $P_c$  は以下の式(2)で求めることができる(図1右側)。これは、繊維が片持ち梁と同様に曲げられ、その反作用によって応力を返すからだ松平らによって報告されている[3]。

$$P_c = \frac{3EI}{L^3} x \quad (2)$$

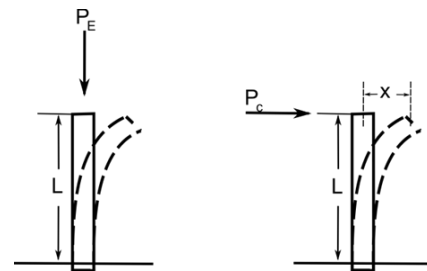


図1:座屈荷重(左)と側面からの力(右)のかかり方を表したモデル。

## 2.3 衣料繊維長制御機構によるチクチク感提示

本研究で使用する衣料繊維長制御機構は、繊維の座屈荷重に関する繊維長を制御するための機構である。この機構では、布表面からの突出繊維を表現するために、ある程度の長さを持つ繊維の途中で固定を行い、その固定端を突出繊維における根元と見立てている。この固定端において、固定する繊維の長さが調整できる固定手法が特に重要となる。先行研究では、河合らによってメッシュによる固定手法が提案され、繊維を固定するために最適なメッシュのサイズを検討している。その結果、1つのメッシュで固定する場合、短い繊維長で押し戻しが発生し十分な固定は得られなかった。そのため、メッシュを重ねて3層で繊維を挟み込むという構造にすることで、繊維に対して強い固定を実現することが可能になることを報告している。しかし、挟み込むことで繊維への負荷が大きくなり、繊維が折れ曲がり破損してしまう問題が発生した[6]。

我々は、これらの問題点を踏まえてスポンジによる繊維固定手法を提案し、この固定手法による衣料繊維長制御機構を製作した(図2参照)。また、この衣料繊維長制御機構を用いて、制御した繊維長に対するチクチク感の官能検査を行った。その結果を図3に示す。提示した繊維長が短いほど強いチクチク感を感じており、繊維長が長い場合に弱いチクチク感を感じている。座屈荷重は式(1)の通り、繊維長の2乗に反比例しており、繊維長が長いほど座屈荷

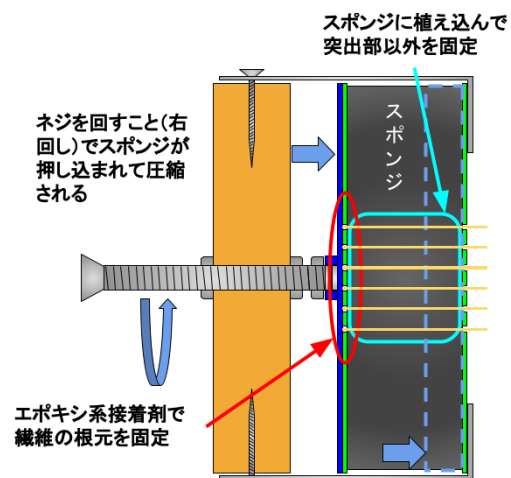


図2:座屈荷重(左)と側面からの力(右)のかかり方を表したモデル。

## 官能評価

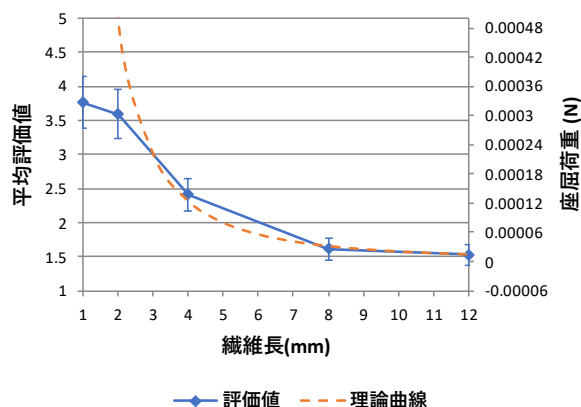


図 3: 各繊維長での平均評価値 (実線) と理論曲線 (破線) のグラフ。

重は小さくなる。すなわち、座屈荷重に基づいて考えると、繊維長が長いほどチクチク感が弱くなる。そのため、この結果から衣料繊維長制御機構によってチクチク感の強度を変化させることに成功していると考えられる。しかし、座屈荷重に基づいて考える場合、繊維長が 1 mm と 2 mm の間の座屈荷重の差は最も大きくなるはずであるが、この結果では有意差が確認できていない。先行研究では、肌への押し当てが手動で行われることによって繊維の当たり方が不安定になる点や、チクチク感に対する弁別閾がウェーバー・フェヒナーの法則に当てはまる場合、座屈荷重の変化が大きいても、チクチク感の違いを知覚できるまでの変化に至っていない可能性がある点が、この問題の原因にあるのではないかと考察した[1]。

### 3. 実験器具

#### 3.1 人肌ゲル

本実験では、擬似的に繊維が肌へ接触している状況を作るためにエクシールより販売されている、人肌のゲル (透明タイプ) の硬度 0 を使用している。硬度 0 はエクシールにて柔らかさの目安が人の頬程度だと紹介されている。

#### 3.2 衣料繊維長制御機構

本実験で使用する衣料繊維長制御機構では、繊維の当たり方を安定させるために、手動であった刺激提示を機械化する改善を施した。本実験における衣料繊維長制御機構の構成を図 4 に示す。繊維長の制御及び、肌への押し当て動作を、ステッピングモータを用いたリニアステージを利用することで精密に制御している。繊維長制御用リニアステージでは、リニアステージを移動させることで、ステージに固定したスポンジ圧縮用の枠が移動し、リニアステージのヘッド部分によって繊維を植え込んだスポンジが圧縮される。また、この繊維長制御用リニアステージを刺激提示位置制御用リニアステージの上に乗せ、移動させることで刺激提示部位への押し当てが行われる。

#### 3.3 繊維

本実験では、先行研究にて使用した多用途用ナイロン刷

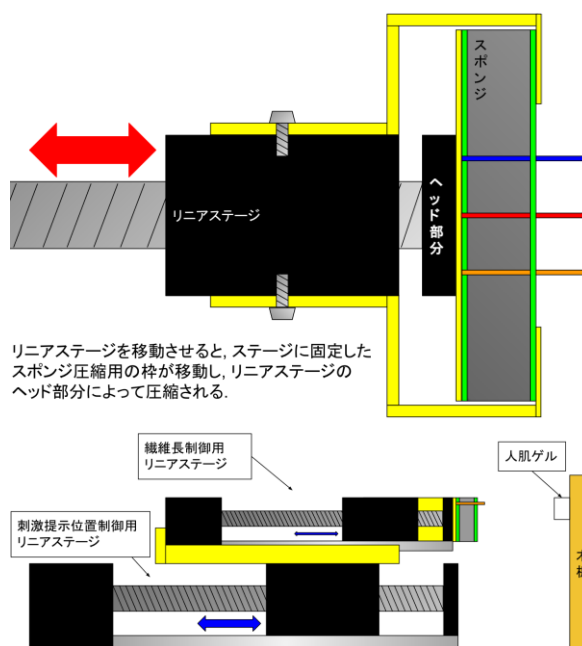


図 4: 繊維長制御部分 (上) と機構全体の構成 (下)。

毛 30 mm の繊維と、アズワンのナイロンフルイ目詰除去ブラシの品番 No.2, No.3 を使用している。これらの繊維直径は順に約 0.16 mm, 0.2 mm, 0.3 mm である。多用途用ナイロン刷毛の繊維直径は、形状の関係上、根元と先端で異なるが繊維をスポンジに植え込んだ後、切りそろえる工程において肌に接触する繊維断面の直径とした。ナイロンフルイ目詰除去ブラシは繊維直径が根元から先端まで同じ形状となっている。

直径の大きな 2 つの繊維は、衣料繊維長制御機構における繊維の耐久性を高めるにあたって繊維直径の違いが繊維の挙動に与える影響を検証するために使用した。

また、使用する繊維の直径を確認するために、スリーパーソリューション株式会社の有線顕微鏡 USB タイプ 3R-MSUSB601 を使用した。

### 4. 実験内容

#### 4.1 実験方法

第 3.2 節において紹介した衣料繊維長制御機構を用いて、3 種の繊維を人肌ゲルに押し当て、その際の繊維の状況を観察した。3 種の繊維において突出繊維長を 1 mm, 2 mm, 4 mm, 8 mm, 12 mm と順に変化させていき、観察を行った。座屈状況の確認には目視及び、デジタルカメラによる撮影によって行った。押し当てる深さに関しては、繊維先端から 3mm で行った。図 4 にて押し当てを行う際の配置も示している。

#### 4.2 実験結果

実験の結果、確認できた繊維の挙動は人肌ゲルの基板への接触有無、繊維の座屈有無を組み合わせた 4 通りである。これら 4 つの繊維の挙動を挙動 a~d とし、挙動の様子を図 5 に示す。表 1 には、それぞれの繊維直径での各繊維長において確認できた繊維の挙動をまとめる。



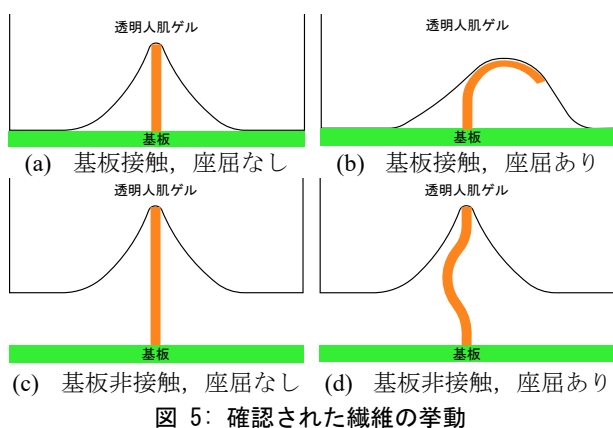


図 5: 確認された繊維の挙動

表 1: それぞれの繊維の各繊維長における挙動

繊維直径 \ 繊維長	1 mm	2 mm	4 mm	8 mm	12 mm
0.16mm	a	b	d	d	d
0.2mm	a	a	a	d	d
0.3mm	a	a	a	c	c

## 5. 考察

まず、先行研究で使用した直径 0.16mm の繊維が突出繊維長 1 mm において座屈を確認できなかったことから、先行研究での繊維長 1 mm における刺激は座屈荷重に基づいた応力を肌へ伝えられていなかったと考えられる。繊維長 2 mm において、座屈挙動が確認できた事からも繊維長 1 mm と 2 mm では肌を刺激する応力の差が小さくなり、図 3 のグラフのような理論値との差異が発生したと考えられる。すなわち、先行研究における短い繊維長の間で座屈荷重に基づいたチクチク感の強度の変化が提示できなかった原因は、肌への食い込みにより座屈挙動が起きないことによる応力の減少が原因だと考えられる。特に、座屈が発生するかしないかの境目となる繊維長の間では、応力の差が小さくなり、チクチク感の変化が小さくなると考えられる。

先行研究においてチクチク感の強度の変化を再現できたと考えられる繊維長 4~12 mm の範囲では、人肌ゲルと基板の接触がなく、繊維の座屈も確認できた。このことから、人肌と基板が接触せずに繊維が座屈する挙動が衣料繊維長制御機構によるチクチク感の提示に適していると考えられ、これを満たす繊維長の範囲で突出繊維長を制御する必要があると考えられる。また、より太い直径 0.2 mm の繊維では繊維を長くすることで座屈が観察されたことから、太い繊維を使う際には長い繊維長を確保することが必要と考えられる。

また、表において衣料繊維長制御機構によるチクチク感提示に適していると考えられる挙動 d での、繊維が人肌ゲルに食い込んだ際の繊維先端の状態について考察する。これまでの先行研究にて、繊維が肌を最も刺激する応力の

式として考えていた式 (1) は、繊維の先端側が自由端だと想定した式である。しかし、繊維先端が人肌ゲルにまっすぐ食い込む場合、繊維先端の動きは制限されるため、その繊維における座屈条件は式 (1) における片側固定で片側が自由端であるという条件と異なると考えられる。そのため、繊維が肌を刺激する最も大きい応力のモデルは、繊維先端の状態に応じた座屈条件を考慮して再検討する必要があると考えられる。また、式 (1) は繊維に初期たわみが無く、垂直に生えている場合に成り立つが、衣料繊維長制御機構においてこの状態を常に保つことはできない。そのため、座屈条件の他に繊維の傾きや初期たわみの大きさというパラメーターを考慮して、繊維が肌を刺激する最も大きい応力のモデルを検討する必要があると考えられる。

## 6. 結論

先行研究では、衣料繊維長制御機構によるチクチク感の提示において、短い繊維長ではチクチク感の強度の変化が座屈荷重に基づかない現象が報告された。本研究では、その原因を調査するために人肌ゲルを用いて疑似的に肌と繊維が接触する様子を再現し、観察を行った。その結果、短い繊維長では繊維先端に加えて基板が肌と接触しており、前提としていた座屈挙動が発生していないことが確認された。これが先行研究における短い繊維長に関して座屈荷重とチクチク感の強度変化が対応しなかった原因と考えられる。今回の観察により、肌への食い込みによって繊維先端が固定されている可能性が示唆された。今後の課題として、繊維毎の座屈条件や傾き、初期たわみを考慮した応力モデルの精密化が必要であると考えられる。

## 参考文献

- [1] 田中将也, 中野拓哉, 柳田康幸: チクチク感提示を目的とした衣料繊維長制御機構の改善, 2022 年 3 月 9 日-2022 年 3 月 10 日知覚情報研究会, pp. 69-74, 2022.
- [2] 堀江暁, 大泉幸乃, 山本真理子: 「布地の表面が皮膚に及ぼすチクチク感用評価試料の作製」, 東京都立産業技術研究所研究報告, No. 5, pp. 123-124, 2002.
- [3] 松平光男, Watt Jack D, Carnaby Garth A: 「布表面の“ちくちく性”に関する客観的評価法」, 金沢大学教育学部紀要 自然科学編, Vol.39, pp. 87-95, 1990.
- [4] 大塚廉太郎, 秋山庸子, 武田真, 西嶋茂宏: 「皮膚と布の相互作用と触感 (医用生体謝測)」, 福祉工学シンポジウム講演論文集, Vol. 2004, pp. 135-138, 2004.
- [5] 河合秀樹, 柳田康幸: 衣料繊維におけるチクチク感と突出繊維密度の関係, 平成 29 年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会, B1-4, 2017.
- [6] 河合秀樹, 池口淳弥, 柳田康幸: 「衣料繊維突出機構を用いたチクチク感制御機構の設計—繊維固定手法の検討—」, 第 23 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 31A-1, 2018.