

タオル生地への触り心地測定方法に関する調査
ー触り心地の数値化ー

久保那菜子

Survey on methods of measuring texture of toweling fabrics
- Quantification of touch and feel -

KUBO Nanako

タオル生地への触り心地を数値化するため、多機能型静動摩擦測定器による生地への圧縮・摩擦特性の測定結果と官能評価による結果の比較を行った。

その結果、柔らかさについては、圧縮時の圧力と圧縮から解放する際の圧力を比較した圧縮回復率が最も官能評価に一致した。また、滑らかさについては、動摩擦係数の平均偏差と、摩擦力についてFFT変換を行った際の40～60Hzにおける振幅の合計が官能評価によく一致した。

キーワード：タオル、圧縮力、摩擦力、FFT

はじめに

タオルの最も必要な特性は吸水性と言われているが、今治タオルはさらに柔らかさも追求した商品が数多く販売され、これらは今治タオル製品群の大きな特徴となっている。しかし、タオルの柔らかさを数値として表し、比較する方法は未だ確立されていない。そこで、生地への圧縮力や摩擦力を測定することができる装置を用いて、タオルの圧縮、摩擦特性から得られる物理的数値がタオル生地への触り心地を表す指標として利用可能か検討した。

実験方法

1. 試料

柔らかさ、滑らかさの傾向を調べるために、手触り感の大きく異なるタオル（試作品A～F、市販品G、H）について調査した。タオルの製織条件を表1、それぞれのタオルに用いているパイル糸の種類を表2に示す。

表1 製織条件

織機	小幅シャトル織機
糸素材	地たて糸：綿糸 40/2 ^S
	パイル糸：右のとおり
	よこ糸：綿糸 20/1 ^S
よこ糸密度	48（本/2.54 cm）
たて糸密度	#54（本/3.79 cm）
箆引き込み	G P
ルーズビック距離	10 mm

表2 パイル糸の素材

呼称	パイル糸	撚り数 （回/2.54 cm）
A	紙 30/1	-
B	麻 30/1	12
C	綿 TS20/1	29
D	綿 TS20/1	20
E	綿 TS20/1	17
F	綿（ウルトラリアルソフト 30/1）	11
G	綿（中空糸スピンエアー）	13
H	綿（無撚糸）	-

この研究は、「研究開発プロジェクト予備調査事業」の予算で実施した。

2. タオルの官能評価

8人で官能評価を行った。官能評価はSD法とし、1～5の5段階尺度とした。試験方法は、4つ折りにしたタオルを上からなでる、押さえるといった方法とし、評価項目は硬いー柔らかい、ざらざらしたー滑らかなの2項目の形容詞対でタオルの触り心地に関連する触感を5段階で評価することとした。

3. 柔らかさの数値化

圧縮力の測定には、多機能型静動摩擦測定器（楨トリニティラボ製 TL201Tt）及び付属のタック性測定ユニットと円板圧縮子を用いた。圧縮力を求める際に用いる荷重は人がタオルを押さえる力を考慮して50 gf(1634 Pa)とし、測定速度は0.2 mm/sとした。

圧縮試験において得られるデータを図1に示す。圧縮力の比較指標は傾きと圧縮回復率とした。なお、傾きの始点は1.5 gfとした。

$$\text{傾き (gf/mm)} : \frac{\text{重さの増加量(gf)}}{\text{距離の増加量(mm)}}$$

$$\text{圧縮回復率(\%)} : \frac{\text{圧縮解放時の圧力(Pa)}}{\text{圧縮時の圧力(Pa)}} \times 100$$

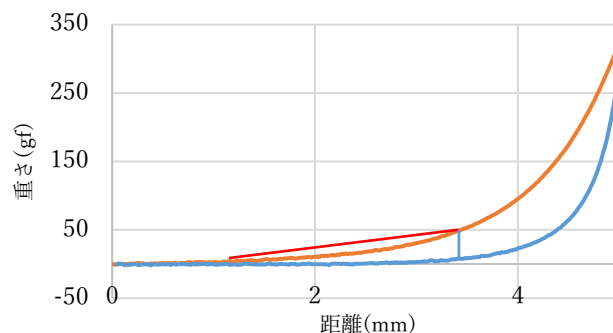


図1 圧縮試験データ

4. 滑らかさの数値化

(1) 動摩擦係数の平均(MIU)と動摩擦係数の平均偏差(MMD)

摩擦力の測定には、多機能型静動摩擦測定器及び付属の触覚接触子：指モデルを用いた。測定条件として、摩擦子にかかる荷重を20 gf、測定速度を5 mm/s、測定距離を50 mmとし、データ収集間隔は1 msとした。なお、タオルのパイルは製織によって形成されているがこの際特定方向に倒れるため、この方向を順目とし、測定は順目、逆目方向にて行った。

測定値は、時間ごとの摩擦力である（図2）。そのため、動摩擦力の安定した2000～5000 msについてMIU及びMMDを求めた。

$$\text{動摩擦係数の平均} : \text{MIU}(\bar{\mu}) = \frac{1}{L_{\max}} \int_0^{L_{\max}} \mu dL$$

$$\text{動摩擦係数の平均偏差 (gf)} : \text{MMD} = \frac{1}{L_{\max}} \int_0^{L_{\max}} |\mu - \bar{\mu}| dL$$

（ μ = 摩擦力／試料を圧する力 $L_{\max}$: 最大移動距離 L : 移動距離）

(2) 高速フーリエ変換（FFT）

摩擦力の振動データを解析するためにFFTを行った。指先の主要な感覚器官には、マイスナー小体とパチニ小体があり、正弦波閾値、つまり振動を知覚できる最小の刺激強度がマイスナー小体では低周波数帯で低く、パチニ小体では高周波数帯で低い（図3）。先行研究¹⁾によると、これらの感覚器官において刺激量の閾値が低く高感度である周波数で振幅が大きいと、ざらざらして感じると示されている。よって、低周波数帯（40～60Hz）、高周波数帯（200～400Hz）の振幅をそれぞれ合計して官能評価との相関を調べた。

また、低周波側と高周波側それぞれの方向から振幅を足していき、ちょうど同じになる周波数を周波数の中央値として求めた。範囲は振動を検知するマイスナー小体とパチニ小体の感度帯を鑑みた10～500Hz、ミクロな粗さの知覚に寄与するパチニ小体の感度帯を鑑みた100～500Hzが手触り感と関係する可能性がある²⁾ため、これらの周波数の中央値についても官能評価との相関を調べた。

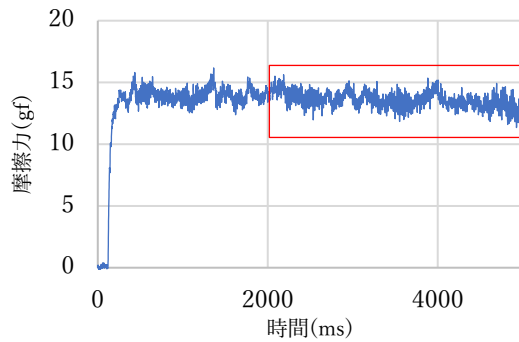


図2 摩擦試験データ

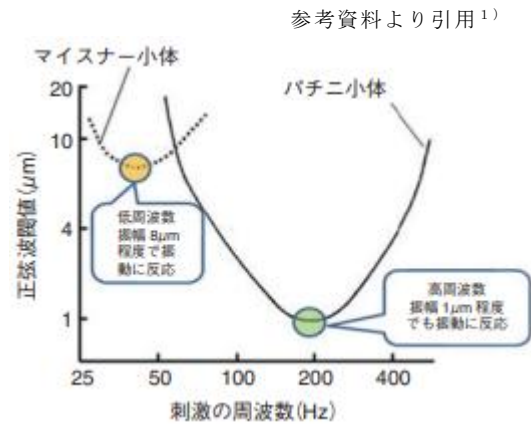


図3 指先の感覚器官

結果と考察

1. タオルの官能評価

官能評価を行った結果、滑らかさ、柔らかさともに、無撚糸(H)が最も良い評価であり、次いでソフト(F)、中空糸(G)、綿TS(E)、強撚糸2(D)、麻(B)、強撚糸1(C)、紙糸(A)の順であった(図4)。

このことから、パイルの素材が触り心地に大きく関係しており、柔らかさと滑らかさには同様の傾向があることが分かった。また、同素材のパイルであっても撚り数が触り心地に大きく影響を与えることが分かった。

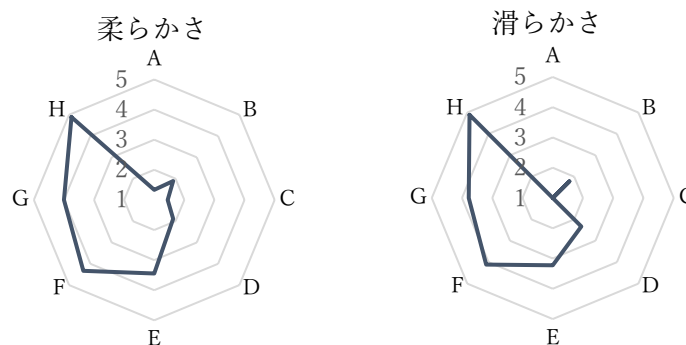


図4 官能評価の結果

2. 柔らかさの数値化

圧縮力における傾きと圧縮回復率(%)について柔らかさの官能評価との関係をそれぞれ図5、図6に示す。

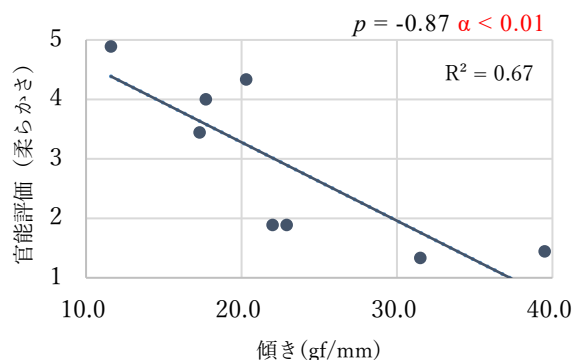


図5 傾きと官能評価(柔らかさ)の関係

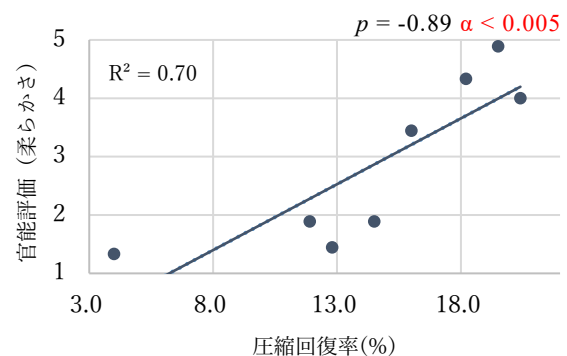


図6 圧縮回復率と官能評価(柔らかさ)の関係

傾きと圧縮回復率(%)について柔らかさの官能評価と比較したところ、傾き、圧縮回復率ともに官能評価と強い相関があった。傾きと柔らかさに相関があるのは、同じ力で圧縮させたときに押し返す力が小さいタオルほど柔らかく感じるためであると考えられる。また、圧縮回復率と柔らかさに相関が

あるのは柔らかいタオルほど圧縮から解放した時に戻る力が大きく、ふわふわ感を感じるためであると考えられる。

したがって、傾きが小さいほど柔らかいタオルであり、圧縮回復率が大きいほど柔らかいタオルであるとして、ともに柔らかさの数値化に利用できることが分かった。

3. 滑らかさの数値化

(1) 動摩擦係数の平均(MIU)と動摩擦係数の平均偏差(MMD)

MIU と MMD について官能評価との相関を取った結果を図 7 に示す。

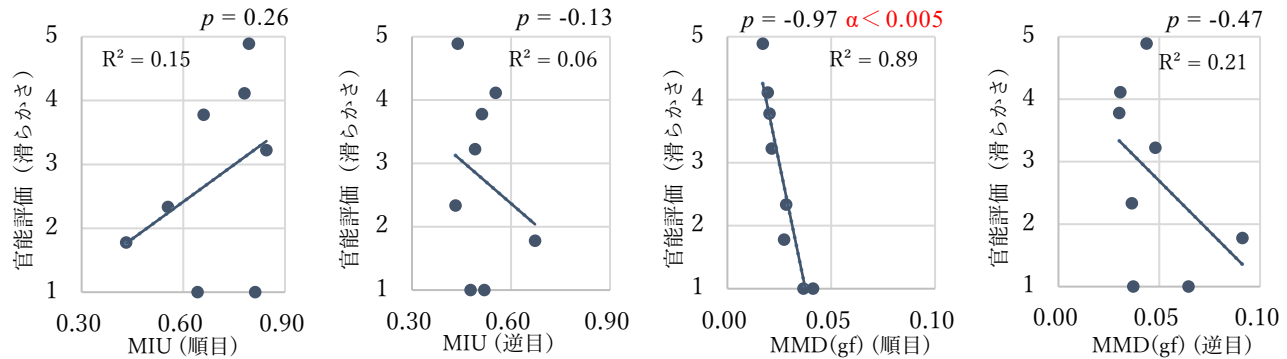


図 7 MIU 及び MMD と滑らかさの官能評価の相関

MIU については順目方向、逆目方向ともに相関は見られなかった。これは MIU が接触子とタオルの接触面積に大きく影響を受けているためであると考えられる。無撚糸やソフトは糸が柔らかいことから、同じ重さの接触子を用いても接触面積が大きくなり、逆に硬い素材である紙糸や強撚糸などは接触面積が小さくなったことから、接触面積が摩擦力に影響を与えたことで、官能評価と逆の傾向がみられたと考えられる。また、順目方向と逆目方向の MIU を比較したところ逆目方向で有意に小さくなった。これは、逆目方向の場合、接触子がパイルを立てる方向に動くため、パイルとの接触面積が小さくなったことに起因すると考えられる（写真 1、2）。よってパイルのあるタオルでは MIU を滑らかさの指標にすることは難しいと考えられる。

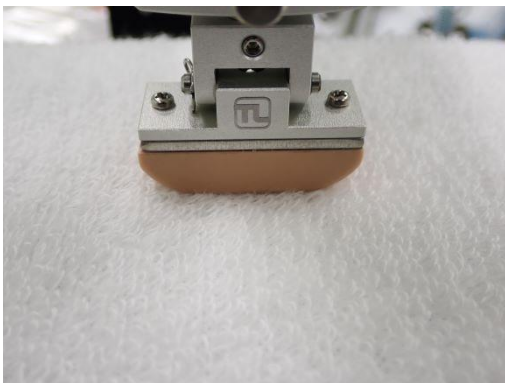


写真 1 順目方向測定時



写真 2 逆目方向測定時

MMD については順目方向において強い相関が得られた。MMD は動摩擦係数のばらつきを示していることから、パイルが硬いタオルほどパイルを乗り越える際に動摩擦係数が大きく変化し、MMD が大きくなったのではないかと推察される。

よって、滑らかさの官能評価が高いほど、MMD が小さいことが分かるため、数値化を行う際の指標にできると考えられる。

(2) 高速フーリエ変換 (FFT)

周波数を分析した結果、いくつかのピークが見られたが、機械由来のピークが全タオルに出現していたため、これらのピークは滑らかさの分析からは除外することとした。図 8 に補正後の FFT 解析結果を示す。補正後の FFT 解析を見ると、40～60Hz においてタオル間で優位に異なるピークがみられることが分かる。

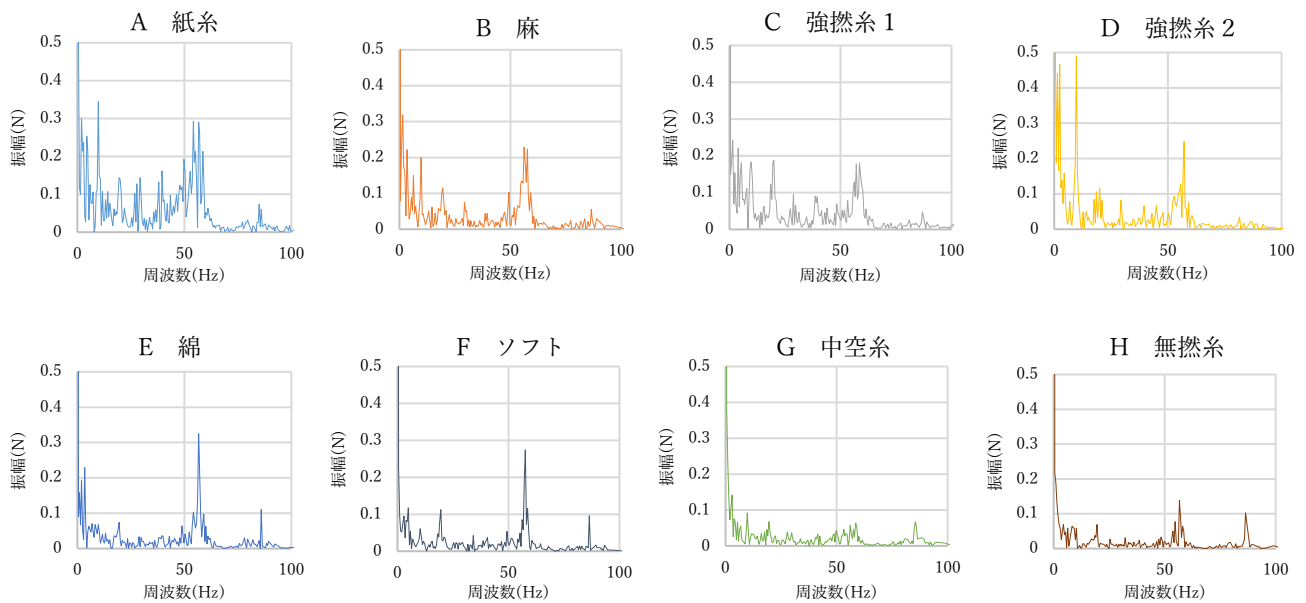


図 8 多種類タオルの補正した FFT 解析

これらの違いを数値として表すため、40～60Hz の周波数での振幅を合計し、滑らかさの官能評価との相関を調べた。その結果、図 9 に示すとおり、40～60 Hz の振幅と滑らかさの官能評価において強い相関があった。これは振幅の合計が小さいほど滑らかなタオルであることを示しており、タオルにおいてもマイスナー小体が高感度である周波数における振幅が触り心地に大きく影響していることが分かる。なお、200～400Hz においては全てのタオルで振幅が小さかったため、差が出にくく、相関がみられなかった（図 10）。

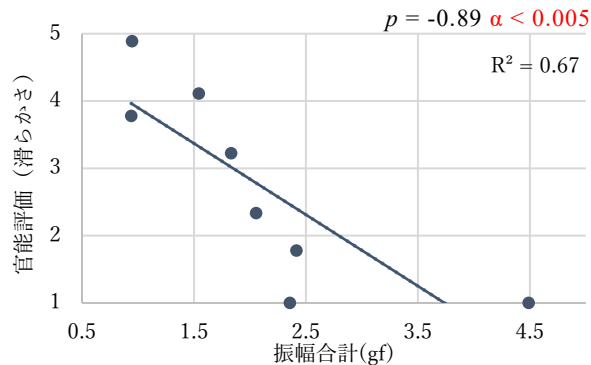


図 9 40～60Hz における振幅合計

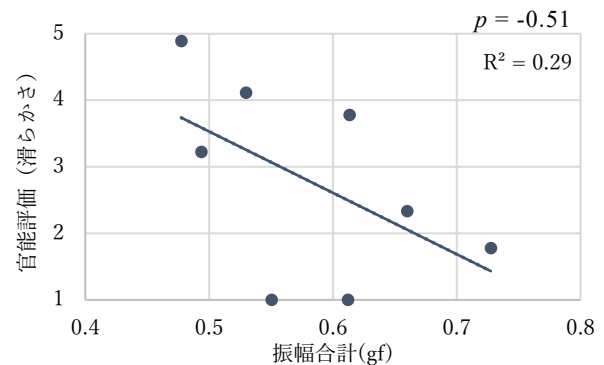


図 10 200～400Hz における振幅の合計

次に 10～500Hz 及び 100～500Hz における周波数の中央値と滑らかさの官能評価の相関を図 11、12 に示す。10～500Hz の周波数の中央値において、強い相関があった。しかし、タオル間での差が小さく、～8 Hz の差しか見られなかった。これは、タオルの周波数における振幅が 60Hz 付近でかなり高くなっていることから周波数の中央値が全てのタオルでその中に納まってしまっていることが原因であると考えられる。100～500Hz においては相関がみられたものの、100Hz 以上は全てのタオルにおいて振幅が小さかったため、差があまり見られずばらつきが大きくなった。

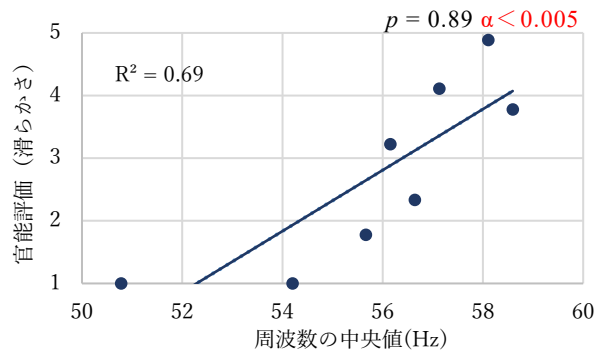


図 11 10～500Hz における周波数の中央値

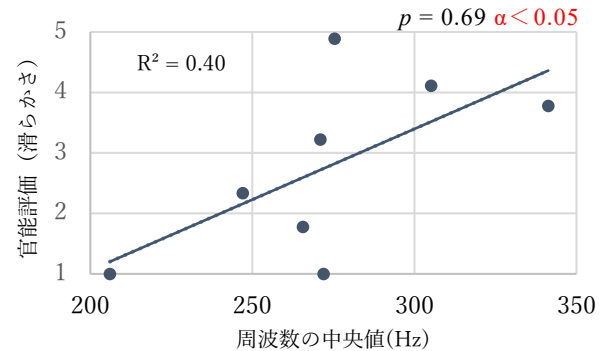


図 12 100～500Hz における周波数の中央値

これらのことから指先の感覚器官として特に低周波数において高感度を示すマイスナー小体の感度体を鑑みた 40～60Hz の振幅の合計と 10～500Hz における周波数の中央値がより官能評価と関係しているが、10～500Hz の周波数の中央値はタオル間での差が見えにくいことから、40～60Hz における振幅の合計が滑らかさを数値化する際の指標として最も適していると考えられる。

ま と め

タオルの触り心地を数値化するため、多機能型静動摩擦測定器を用いて、タオルの圧縮試験及び摩擦試験を行った結果、以下のことが分かった。

1. 圧縮試験では、傾きと圧縮回復性が柔らかさの官能評価との間に有意な相関があった。
2. 摩擦試験では、動摩擦係数の平均偏差が滑らかさの官能評価との間に有意な相関があった。
3. 摩擦力を FFT 解析した際の 40～60Hz の振幅の合計と滑らかさの官能評価の間に有意な相関があった。

文 献

- 1) 田中真美：触覚・触感のメカニズムの解明とセンサシステムの開発に関する研究，精密工学会誌，**82-1**，20-25(2016)．
- 2) 伊豆南緒美、田中由浩、佐藤真理子：皮膚振動・摩擦と衣素材の触感に関する研究，Journal of Fiber Science and Technology (JFST)，**77-9**，239-249(2021)．