

皮膚上塗布物のトライボロジ特性と触感の関係

神川康久^{*1}, 野々村美宗^{*2}, 前野隆司^{*3}

Relationship between Tribological Characteristics and Perceived Texture when Humans touch Artificial Skin with/without Lubricants

Yasuhisa KAMIKAWA, Yoshimune NONOMURA, Takashi MAENO

There has been a remarkable increase in demand to quantitatively measure and evaluate texture especially in the process of product design for cosmetics, apparel, and household products. The purpose of this study is to analyze the relationship between texture perception of geometry and artificial skin and effect of lubricants. Solid lubricant and fluid lubricant on artificial skin are selected as samples. Next texture of samples is evaluated by semantic differential method and texture scores is calculated. Then, suppress strength, dynamic friction, and tracing speed of a finger are measured while an examinee evaluated the texture of samples. From these results tribological characteristic of samples are calculated. Finally the relationship between tribological characteristics and texture score are analyzed using the multiple regression analysis method. In conclusion relationship between texture and tribological characteristics are clarified. Now it is able to evaluate the difference in textures which were considered difficult to distinguish.

Key Words : Artificial skin, texture, tribology, friction, tactile sensor system

1. はじめに

化粧品, 日用品, ヒューマンマシンインタフェースなど, 使用時にヒトが手で直接触れる模擬物を開発する際には, 力や速度などの物理的な性能のみならず, 模擬物に触れた際の触感情報をも考慮して, 操作感や使用感の良い模擬物を設計することが求められている。ここで, 触感とは, 「さらさら」「つるつる」のように, 表面状態の触覚情報に関する定性的な認識結果のこととする。例えば, 肌に塗布されることによってその機能を発揮する化粧品の触感, は, 心地よいのみならず, 安らぎをも得られるものであることが望ましい。このため, 塗布した際に心地よい触感が得られる化粧品ほど高い評価を受けることが知られている⁽¹⁾。ヒトが化粧品を使用した際に受ける触感を定量的に評価することが可能であれば, ヒトが心地よいと感じる状態をあらかじめ予測し, 製品設計を行うことが可能とな

る。

従来, ヒトの触感を定量化する手法として, 官能検査を用いた数理的手法が用いられてきた。しかし, この手法は, 完全な客観性を持たせることができないこと, 現象の解明を直接行うことができないこと, および多大な労力が必要であることなどの問題点を有する。このため, 官能検査だけでは, 触感の物理的意味を定量的に評価することは困難である。一方, 官能検査により評価できる触感と, 触対象の表面粗さや摩擦係数等といった物理特性の関係を解析し, ヒトの触感を定量化しようとする試みが行われてきた⁽²⁾。しかし, 皮膚が触れ合う際の「さらさら」「つるつる」のような触感の微妙な違いの定量化は行われていない。

このため, 本研究では, ヒトの肌の触感を模した模擬皮膚に潤滑剤を塗布することによって, 触対象の条件を一定に保ちつつ, 化粧品の塗布された肌をヒトが触運動する状態を再現する。また, 模擬皮膚に潤滑剤を塗布した際のトライボロジ特性と, 官能検査により得られた触感の関係解析を行うことによって, 両者の関係を明らかにする。なお, トライボロジ特性とは, 物体間に生じる境界潤滑および流体潤滑状態の総称として本研究で用いる呼称である。

*原稿受付 2006年10月26日..

^{*1}慶應義塾大学大学院

^{*2}花王(株)スキンケア研究所 [現:山形大学]

^{*3}正員, 慶應義塾大学理工学部 (〒223-8522 横浜市港北区日吉 3-14-1)

e-mail: maeno@mech.keio.ac.jp

2 トライボロジ特性と触感の関係解析の仮説と解析法

2.1 皮膚のトライボロジ特性に関する仮説 トライボロジとは、相対運動をしながら、互いに作用しあう面に生じる摩擦や摩擦といった現象に関する科学である⁽⁴⁾。固体潤滑剤が塗布されていない皮膚および塗布された皮膚をヒトがなぞった際の摩擦特性は、近似的にアモントン＝クーロンの法則に従うと考えられる⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾。一方、皮膚表面に流体潤滑剤を塗布した際には、流体潤滑膜の一部が破断し、固体接触が生じる場合がある。このため、皮膚表面には境界潤滑状態と流体潤滑状態が混在した混合潤滑状態が生じると考えられる。粗さを有する2面が接触する際には、凸部の先端どうしが接触する部分では、固体接触による摩擦が生じる。また、凹部に流体が介在する部分では、流体潤滑部分のせん断抵抗が生じる。これより、混合潤滑状態における摩擦力は、境界潤滑と流体潤滑における摩擦力の和として表せると考えられる。以上より、皮膚表面に流体潤滑剤を塗布した際の摩擦特性は、近似的に、

$$F = \mu aW + \eta bU \quad (1)$$

と表せると考えられる。ここで、 F は摩擦力、 μ は境界潤滑部における動摩擦係数、 a は法線力が個体潤滑部に寄与する割合、 W は法線力、 η は粘度、 b は流体の接触面積および流体の厚さに依存する係数、 U は物体表面間の相対速度である。法線力 W および相対速度 U の変化による流体の接触面積と厚さの変化を無視できると考えると、式(1)は、

$$\frac{F}{W} = \mu^* + \eta^* \frac{U}{W} \quad (2)$$

のように変形できる。ここで、 μ^* を境界潤滑特性値、 η^* を流体潤滑特性値と定義する。両者は、摩擦係数および粘度に対し、境界潤滑および流体潤滑の寄与率をそれぞれ考慮した量であるということが出来る。式(2)より、流体潤滑特性値 η^* は法線力 W および相対速度 U に依存しない定数となる事がわかる。

2.2 トライボロジ特性と触感の関係の解析手順 図1に示すように、ヒトは、触感評価を行う際、能動的触運動を行うことによって触対象のトライボロジ特性を認識し、触対象の触感評価を行っていると考えられる。このため、本研究では、触運動速度、法線力、接線力といった能動的触運動に関する量および、模擬皮膚の粗さ、塗布物の特性といった表面状態の測定を行うことにより、ヒトが認識している皮膚上塗布物のト

ライボロジ特性の解析を行う。また、皮膚上塗布物のトライボロジ特性と、官能評価により得られる触対象の触感との関係解析を行い、触感の微小な違いをトライボロジ特性によって評価する。

3 トライボロジ特性の測定と触感の官能評価

3.1 模擬皮膚の製作および触対象の選定 ヒトが皮膚をなぞった際の触感を再現するためには、ヒト皮膚と類似した触感を呈する模擬皮膚を製作する必要がある。このため、ヒト皮膚の構造を模倣した模擬皮膚を製作した。ヒトの皮膚は、非常に薄く弾性の小さい角質細胞層の内部に弾性の大きい真皮や皮下組織が配置されている。また、ヒト皮膚の表面には多角形状の溝が存在する。このため、これらの特徴を模した模擬皮膚を製作した。すなわち、模擬皮膚は2層構造とし、表面の紋様形状を全て正六角形とした⁽⁷⁾⁽⁸⁾。製作した模擬皮膚の模式図を図2に示す。表層は厚さ0.2mm、縦弾性係数4MPaのウレタンゴム、深層は厚さ10mm、縦弾性係数0.04MPaのシリコンゴムである。

ヒト皮膚表面の凸部幅および溝幅の大きさは個人差がある上、季節によっても変化する⁽⁹⁾。ヒト皮膚の表面形状の変化を模倣し、表面形状の凸部幅と溝幅の異なる模擬皮膚を3種類製作した(表1)。

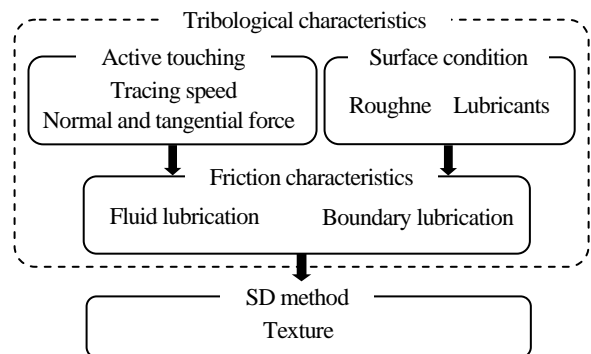


Fig.1 Relationship between tribological characteristic and texture

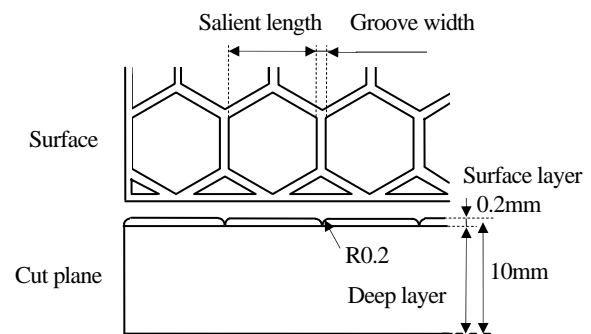


Fig. 2 Designed Pseudo skin⁽⁵⁾

次に、ヒトが模擬皮膚に対し触運動を行う際の触感を変化させるために、油状および粉状の潤滑剤を模擬皮膚に塗布した。表 2 に油状潤滑剤であるワセリンと IPM の質量混合比および表 3 に粉状潤滑剤であるタルクと酸化チタンの質量混合比を示す。予備実験により、表 2 に示した W_{50} は W_{100} と W_0 のほぼ中間の触感を、表 3 に示した T_{25} は T_{100} と T_0 のほぼ中間の触感を、それぞれ呈することを確認した。

本解析では、化粧品を評価する際に用いられる形容詞によって触感の評価を行う。被験者が触運動を行う触対象としては、潤滑剤を塗布していない模擬皮膚と、潤滑剤を塗布した模擬皮膚を用いることとする。潤滑剤は、約 0.3ml を計量した後にハケを用いて模擬皮膚に均一に塗布した。なお、潤滑剤を塗布した模擬皮膚には、3 つの模擬皮膚のうち、最もヒト皮膚と類似した触感を呈すると評価された模擬皮膚を用いた。すなわち、模擬皮膚の表面形状が異なる触対象 W_{100} 、 W_{50} 、 W_0 、模擬皮膚の表面形状が同じで油状潤滑剤を塗布した触対象 T_{100} 、 T_{25} 、 T_0 、以上あわせて 9 個の触対象を用いた。

3.2 表面粗さの測定 ヒトが触対象をなぞり、「つるつる」「ざらざら」等の評価を行う際には、触対象の凹凸形状の知覚が重要な役割を担っていると考えられる。そこで、キーエンス社製デジタルマイクロスコープ VHX-200 を用いて触対象の表面形状を測定した。なお、測定範囲を $3538 \mu\text{m} \times 2668 \mu\text{m}$ 、解像度を $1600 \text{ppi} \times 1200 \text{ppi}$ とした。ここで、測定範囲における $3538 \mu\text{m}$ の辺に水平な方向を x 方向、 $2668 \mu\text{m}$ の辺に水平な方向を y 方向とした。測定した画像より、 $2.21 \mu\text{m}$ 間隔で試料表面の高さデータを計測した。 x 方向の算術平均粗さを計算し、触対象の粗さ特性値とした。なお、流体潤滑剤を塗布した模擬皮膚表面の算術平均粗さは流体潤滑剤の状態により大きく変動する。このため、流体潤滑剤を塗布した模擬皮膚の算術平均粗さとしては潤滑剤を塗布していない模擬皮膚の算術平均粗さの値を用いた。

3.3 触運動の測定

3.3.1 実験装置 触運動速度、法線力および接線力を測定するためには、ヒトが能動的触察を行った際の指先の移動速度を測定するとともに、指先力を接線方向と法線方向に分離して測定する必要がある。このため、触運動に関する量の測定装置を製作した。装置を図 3,4,5 に示す。図 4 に示すように、2 枚の板ばねより成る平行移動機構に貼付したひずみゲージにより接線方向・法線方向の指先力の測定を行った。図 5 に示すように、ワイヤを

ロータリーエンコーダに接続したウォームギア巻きつけた機構により指先の移動速度の測定を行った。

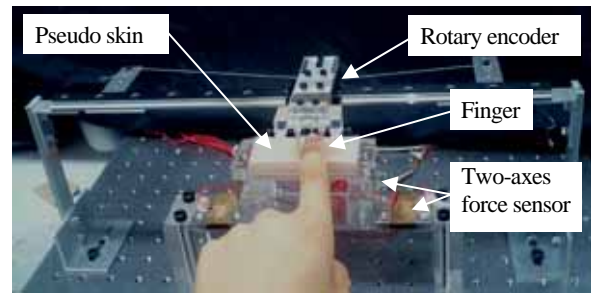


Fig. 3 Measurement system for active tracing movement

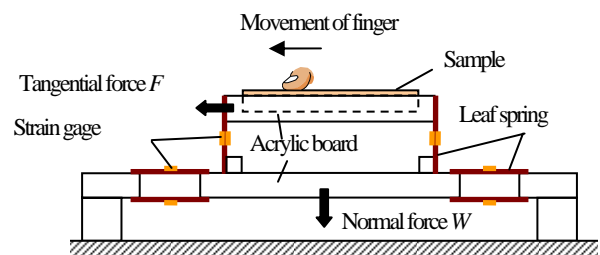


Fig. 4 Measurement device for friction and normal force

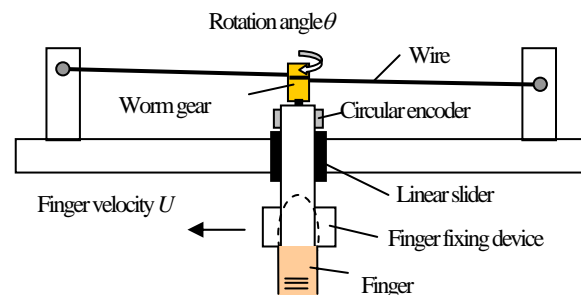


Fig. 5 Measurement device for finger velocity

Table 1 Size of surface structure of pseudo skin

Surface	Salient length (mm)	Groove width (mm)
	0.4	0.12
	0.6	0.17
	0.9	0.25

Table 2 Specification of oil lubricant

Lubricant	Petrolatum (%)	IPM (%)
W_{100}	100	0
W_{50}	50	50
W_0	0	100

Table 3 Specification of powder lubricant

Lubricant	Talc (%)	Titanic oxide (%)
T_{100}	100	0
T_{25}	25	75
T_0	0	100

3.3.2 測定方法 被験者には、図 3 に示した触運動速度計測器に右手の示指を挿入させ、左右方向に自由になぞった際の触感評価を行わせた。この際の触運動速度、法線力および接線力の測定を行った。触運動の測定を行った時間は、被験者が触運動を開始してから 15 秒間とした。被験者は女性 20 人とした。

3.3.3 結果および考察 測定結果の一例を図 6 に示す。図 6 に示した速度が周期的に変動していることから、ヒトが触運動を行う際には、ある一定周期で指を左右に動かしていることがわかる。このため、図 6 の区間 A に示したように、指の速度が 0 mm/s から増加した後に減少して再び 0 mm/s となるまでの区間を 1 区間と定義した。1 区間に着目すると、速度の絶対値が一定値以上となる範囲において接線力がほぼ一定となった。このため、区間内における速度が最大速度の 90% 以上である区間を定常期間と定義した。また、定常期間における速度の絶対値の平均値を触運動速度、法線力の絶対値の平均値を押圧力、接線力の絶対値の平均値を動摩擦力と定義して今後の記述に用いる。各被験者、各触対象ごとに 5 区間分の押圧力、動摩擦力、触運動速度といった能動的触運動に関する量を算出し、後の解析に用いることとした。

3.4 トライボロジ特性解析

3.4.1 固体潤滑剤を塗布しない/した模擬皮膚の摩擦特性 固体潤滑剤を塗布しない模擬皮膚および塗布した模擬皮膚の摩擦特性がアモンソン=クーロンの法則に従うことを確認するために、各被験者の動摩擦力および押圧力の測定値より、触対象をなぞった際の動摩擦力と押圧力の関係を解析した。解析結果の 1 例を図 7 に示す。図 7 の最小二乗近似曲線が原点を通ることが示すように、潤滑剤を塗布しない模擬皮膚、固体潤滑剤を塗布した模擬皮膚および粘度の小さい流体潤滑剤 W_0 を塗布した模擬皮膚において、近似的にアモンソン=クーロンの法則が成り立った。なお、式(2)において η^* を 0 と置けば明らかなように、グラフの近似直線の傾きが、境界潤滑特性値 μ^* に相当する。

3.4.2 流体潤滑剤を塗布した皮膚の摩擦特性 流体潤滑剤を塗布した模擬皮膚の摩擦特性が、2.1 節で述べた混合潤滑状態における摩擦特性の仮説に従うことを確認するために、各被験者の触運動速度、動摩擦力および押圧力の測定値より、模擬皮膚に流体潤滑剤を塗布した触対象をなぞった際の動摩擦力/押圧力と触運動速度/押圧力の関係を解析した。解析結果の 1 例として、触対象 $-W_{100}$ の解析結果を図 8 に示す。流体潤滑剤 W_{100} および W_{30} を塗布した模擬皮膚の近似直線の切片が境界潤滑特性値 μ^* 、傾きが流体潤滑特性

値 η^* である。図 8 に示すように、 W_{100} および W_{30} のような粘度の大きい流体潤滑剤を塗布した模擬皮膚の摩擦特性は、近似的に式(2)に従うことを確認することができた。なお、潤滑剤を塗布していない模擬皮膚、固体潤滑剤を塗布した模擬皮膚および流体潤滑剤 W_0 を塗布した模擬皮膚の流体潤滑特性値 η^* は 0 である。

3.5 触感の官能評価 本節では、ヒトが触対象をなぞった際に感じる触感を官能評価により定量化する。

官能評価には、化粧品を評価する際によく用いられる Semantic Differential Method (SD 法) 用いた⁽¹⁰⁾。本研究の対象は主に女性である上、女性の方が男性よりも触感を鋭敏に評価することができるといわれているため、実験パネルは女性に限定した。実験パネルは 20 歳から 40 歳の女性 20 人、触対象は 3.1 節に示した 9 種類である。評価項目は、べたべた、ぬるぬる、しっとり、さらさら、つるつる、すべすべ、ざらざらの 8 種類とし、評価の段階は 7 段階とした。評価項目は、一般に化粧品を評価する際に用いられる項目の中から選定した。なお、パネルの人数は、母集団と同じ標準偏差になる大標本とみなすのに十分な 20 人としたため、実験結果は一般性、再現性を有すると考えられる。視覚効果を防ぐために、触対象を目に触れさせないようにして官能評価を行った。触感評価時における触運動に関する量を測定するために、被験者には触対象をなぞらせながら評価シートに触感評価を記入させた。触対象の呈示順はランダムとした。

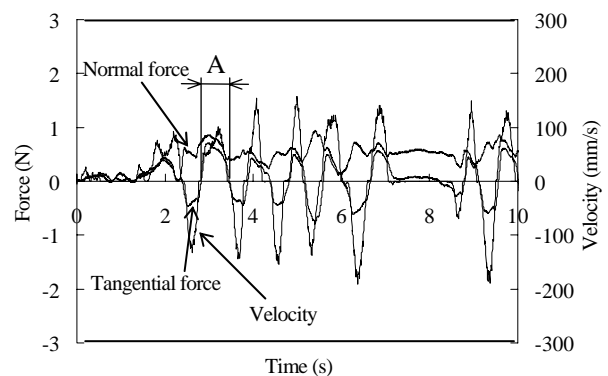


Fig. 6 Example of tracing measurement

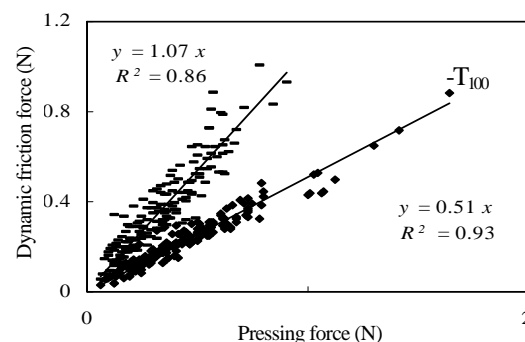


Fig. 7 Example of boundary lubrication characteristics

Table 4 Correlation between texture and tribological characteristics

	<i>beta-beta</i>	<i>shittori</i>	<i>nuru-nuru</i>	<i>sara-sara</i>	<i>sube-sube</i>	<i>tsuru-tsuru</i>	<i>zara-zara</i>
Roughness Score	0.47	0.26	0.29	-0.70*	-0.75*	-0.81**	0.86**
Solid lubricant Score	0.34	0.29	0.09	-0.73*	-0.80**	-0.39	0.48
Fluid lubricant Score	0.89**	0.86**	0.97**	-0.60	-0.50	-0.24	-0.38

(*): 95% confidence interval, (**): 99% confidence interval

Table 5 Result of multiple regression analysis between texture and tribological characteristics

	<i>beta-beta</i> **	<i>shittori</i> *	<i>nuru-nuru</i> **	<i>sara-sara</i> **	<i>sube-sube</i> **	<i>tsuru-tsuru</i> *	<i>zara-zara</i> **
Determination Coefficient	0.98	0.85	0.98	0.98	0.99	0.70	0.96
Roughness Score	0.20	-0.02	0.17	-0.24	-0.25	-0.47	0.66
Solid lubricant Score	0.18	0.16	0.01	-0.48	-0.50	0.09	-0.12
Fluid lubricant Score	0.69	0.38	0.80	-0.50	-0.40	-0.08	-0.31

(*): 90% confidence interval, (**): 99% confidence interval

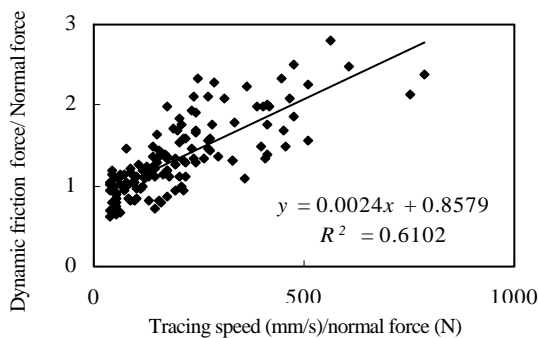


Fig. 8 Example of fluid lubrication characteristics

また、ヒトが触感を認識する際の触感の評価基準には個人差があるため、被験者間の官能評価の重みを等しくする必要がある。このため、各個人の評価値が標準正規分布に従うとみなして正規化した。ある被験者の評価値 E が、平均値 μ 、標準偏差 σ の正規分布に従うとすると、正規化された被験者間の基準が一定である値 E' は、

$$E' = \frac{E - \mu}{\sigma} \quad (3)$$

と表される。式(3)の操作は、各被験者の官能評価の結果の重みを等しくしたことに相当する。SD 法の結果として、正規化した評価値の平均値を触感得点として解析に用いた。

4. トライボロジ特性と触感の関係解析

4.1 トライボロジ特性と触感との相関関係 トライボロジ特性と触感の相関関係を定量的に評価するために、3.2 節および 3.4 節で求めたトライボロジ特性と、3.5 節において求めた触対象の触感得点との相関係数を算出した。結果を表 4 に示す。

表 4 に示すように、トライボロジ特性は、それぞれ

いずれかの触感との相関が大きかった。まず、「べたべた」「しっとり」「ぬるぬる」は流体潤滑特性値と高い相関があり、算術平均粗さ、境界潤滑特性値との相関が低い。また、「さらさら」「すべすべ」は境界潤滑特性と高い相関があり、流体潤滑特性値との相関がやや低い。「つるつる」「ざらざら」は算術平均粗さと高い相関があり、他のトライボロジ特性との相関が低い。以上のように、各トライボロジ特性と触感の相関関係が明らかになった。

4.2 重回帰分析による解析 ヒトは複数の因子の作用の組み合わせによって触感を感じていると考えられる。したがって、触感の微小な違いを評価する際に、複数の物理特性を組み合わせる必要があると考えられる。このため、重回帰分析によりトライボロジ特性と触感の関係解析を行った。すなわち、触感を目的変数、粗さ特性値、境界潤滑特性値および流体潤滑特性値の 3 変数を説明変数として、重回帰分析を行った。

重回帰分析より得られた、7 種の触感に関する決定係数および標準偏回帰係数を表 5 に示す。表 5 の関係を図 9 に視覚的に示す。すなわち、各トライボロジ特性と各触感の標準偏回帰係数が 0.3 以上のものは実線で、0.3 未満、0.1 以上のものを破線で結んだ。

表 5 に示すように、「べたべた」「ぬるぬる」「さらさら」「すべすべ」「ざらざら」は、「しっとり」「つるつる」に比べ決定係数が大きい。粗さ特性値、境界潤滑特性値および流体潤滑特性値により触感を類推した際の誤差が小さかった。

次に、「べたべた」「しっとり」「ぬるぬる」は流体潤滑特性値、「さらさら」「すべすべ」は流体潤滑特性値と境界潤滑特性値、「つるつる」「ざらざら」は粗さ特性値が、触感を評価する際に大きく

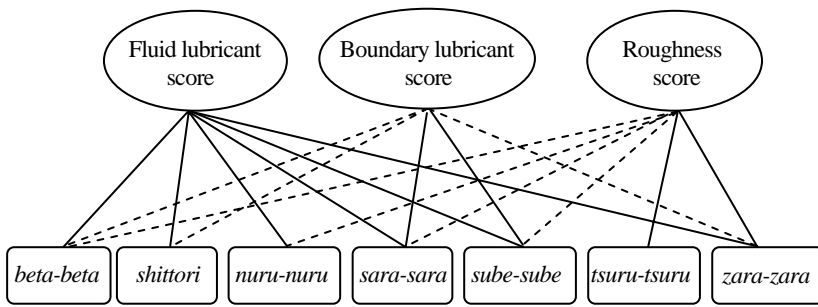


Fig. 9 Model of relationship between texture and tribological characteristics

作用することがわかった。また、「べたべた」「しっとり」「ぬるぬる」の中でも、「べたべた」は境界潤滑特性値と粗さ特性値、「しっとり」は粗さ特性値、「ぬるぬる」は境界潤滑特性値の作用が小さいという違いがあることがわかった。さらに、「つるつる」「ざらざら」を比較すると、「つるつる」の方が流体潤滑特性値の作用が小さいことがわかった。

これらより、本研究によれば、触感の微妙な違いを評価可能であることが明らかになった。たとえば、上に述べた「すべすべ」と「つるつる」のように、一見類似した触感の場合、一般的な方法で単に官能検査を行っただけでは、その違いの物理的意味を理解することは困難であった。これに対し、本研究では、トライボロジ特性の解析と官能検査を同時に行っているため、類似した触感の物理的意味を定量的に理解できる点が特徴であるといえる。たとえば、「すべすべ」と「つるつる」の場合、前述のように、前者には流体潤滑特性値と境界潤滑特性値が、後者には粗さ特性値が寄与しており、両者の認知メカニズムは大きく異なることが明らかである。

4.3 触感とトライボロジ特性の非線形関係の解析

「しっとり」という触感評価は流体潤滑特性値と高い相関がある。しかし、触対象 $-W_{50}$ の流体特性値は触対象 $-W_0$ と触対象 $-W_{100}$ との中間的値となっていた。このため、「しっとり」という触感の評価は、流体特性値がある値の際に極大値をとると考えられる。これより、触対象 および流体潤滑剤を塗布した模擬皮膚の4つの触対象に関して、流体潤滑特性値と高い相関がある「べたべた」「ぬるぬる」「しっとり」の触感得点と流体潤滑特性値の関係を図10に示した。図10に示すように、「べたべた」「ぬるぬる」は流体潤滑特性値が大きくなるにしたがって触感得点も大きくなり、極大値をとらなかった。しかし、「しっとり」は流体潤滑特性値が0.015付近のときに触感得点が最大となった。ただし、本研究では、流体潤滑剤を塗布

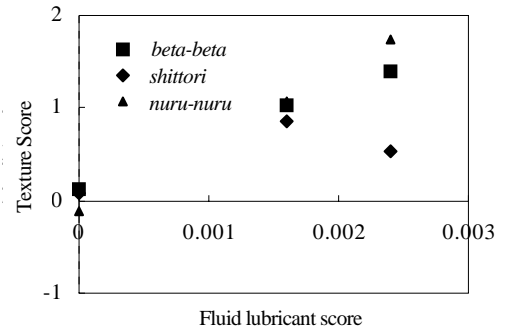


Fig. 10 Relationship between fluid lubricant score and texture score

た触対象が少ないため、正確な極大値を求めるには至っていない。

以上より、ヒトが「べたべた」「ぬるぬる」を認識する機構と「しっとり」を認識する機構は大きく異なると考えられる。すなわち、「しっとり」は流体潤滑特性値に対して非線形な特性を呈することを考慮して評価する必要があると考えられる。

5. おわりに

本研究では、ヒトが触感評価を行う際には皮膚上塗布物のトライボロジ特性と触感の関係により触感の微小な違いを評価しているという仮説を立てた。次に、模擬皮膚の表面形状を変えた場合および模擬皮膚に粉状・油状潤滑剤を塗布した場合において、能動的触運動特性および触対象の表面状態の測定および官能評価実験を行った。これらの結果より、模擬皮膚上塗布物のトライボロジ特性を、粗さ特性値、境界潤滑特性値および流体潤滑特性値として算出できることを明らかにした。また、トライボロジ特性と触感との関係解析を行った結果、従来定量的把握が困難であった触感の微妙な違いをトライボロジ特性によって定量化できることを明らかにした。

参考文献

- (1) Kaoru Suganuma, Evaluation method of Cosmetic Texture, Fragrance Journal, No.2, (1995), pp. 42- 54
- (2) Hirokazu Shirado and Takashi Maeno, Modeling of Texture Perception Mechanism for Tactile Display and Sensor, TVRSJ, vol.9, No.3 (2004), pp. 235-240
- (3) Halling, Toribology, Kindaikagakusha, frist edition (1984) pp. 1-89
- (4) Sasada and Arakawa, Friction characteristic of human skin 3rd edition, technical university of Chiba edition, No.47, pp.53-61, (2000)
- (5) Sasada and Ide, Friction characteristic of human skin 4th edition, technical university of Chiba edition, No.49 pp.43-47, (2002)

- (6) Sasada and Nakabayashi, action of the real contact area to the friction, No.47, pp.63-70, (2000)
- (7) Takashi Maeno, Kazumi Kobayashi and Nobutoshi Yamazaki, Relationship between the Structure of Human Finger Tissue and the Location of Tactile Receptors, Bulletin of JSME International Journal, Vol. 41, No. 1, C (1998) pp. 94-100
- (8) Hirokazu Shirado, Yoshimune Nonomura and Takashi Maeno, Development of Artificial Skin Having Human Skin-like Texture (Realization and Evaluation of Human Skin-like Texture by Emulating Surface Shape Pattern and Elastic Structure), Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series C, (submitted)
- (9) Tetsu Sato, Change of Stretch property and Contractile property of skin during increasing age, Journal of Japan Medical congress of old age , vol.19, No.4, (1982), pp. 376-380
- (10) Masuyama, Kobayashi, 'Sensory evaluation'- Road to sensory evaluation, Kakiuchi Shuppan Kabushikigaisha, 3rd edition, pp.7-49, 209-216, (1993)