

人工皮膚の開発と皮膚上塗布物の触感の解明

Development of artificial skin and Ascertain of texture of skin with cosmetics

○神川 康久（慶応大） 白土 寛和（慶応大）
正 前野隆司（慶応大）

Yasuhisa KAMIKAWA, Keio University
Hirokazu SHIRADO, Keio University
Takashi MAENO, Keio Univerishity

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. We selected solid lubricant and fluid lubricant on artificial skin as samples. Next we evaluated texture of samples by the Semantic Differential Method and calculated texture scores. Then we measured suppress strength, dynamic friction, and tracing speed of a finger while an examinee evaluated the texture of samples. From these results we calculated tribologic characteristic of samples. Finally we analyzed the relationship between tribologic characteristics and texture score using the multiple regression analysis method. In conclusion we were able to quantify texture from tribologic characteristics, thus becoming able to evaluate the difference in textures which were considered difficult to distinguish.

Key Words : artificial skin, texture, tribology

1. 緒 論

近年、化粧品・洗剤などのヒトが直接触れるモノにおいて、触感を考慮して研究・開発を行う需要が高まっている。触感は、ヒトがモノを扱う際の使用感や操作感に大きな影響を与える[1]。触感を定量的に評価することが可能になれば、触感を設計変数として扱う製品設計が可能となる。ところが、皮膚が触れ合うときの「つるつる」「すべすべ」といった触感の微小な違いは解明されていなかった。例えば、ヒトが化粧品を塗布した肌の触感を知覚する際、ヒトは能動的触運動を行うことにより、触感の微小な違いを知覚すると考えられる[2]。この際、指と皮膚の間に固体潤滑および流体潤滑が生じる。これらをトライボロジ特性と呼ぶこととする。触対象の条件を一定に保つことが可能な人工皮膚に潤滑剤を塗布した触対象を用いることによって、ヒトが化粧品を塗布した肌を触運動する状態を再現できると考えられる。これより、本研究では、人工皮膚に潤滑剤を塗布した際のトライボロジ特性を解析し、皮膚上の塗布物におけるトライボロジ特性と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ことを目的とする。

2. トライボロジ特性と触感の関係解析の仮説

2.1 皮膚のトライボロジ特性の仮説

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磨耗といった現象に関する科学である。ヒトが皮膚および固体潤滑剤を塗布した皮膚をなぞった際の摩擦特性は、近似的にアモンソン＝クーロンの法則に従うと考えられる。しかし、皮膚表面に流体潤滑剤を塗布した際、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、皮膚表面には固体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。粗さを考慮した2面の接触は複雑なため、粗さを考慮した表面と凹凸が全くない平面との接触について考える。凸部の先端と平面が接触する部分では、固体接触による摩擦が生じる。また、凹部と平面の隙間に流体が介在し、流体潤滑による摩擦が生じる。これより、混合潤滑状態における摩擦力は、固体潤滑と流体潤滑における摩擦力の和として表すことができると考えられる。以上から、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

$$\frac{F}{W} = \alpha\mu + \eta \sum_{i=1}^N \frac{A_i}{h_i} \frac{U}{W} = \mu^* + \eta^* \frac{U}{W} \quad (1)$$

と表すことができると考えられる。ここで、 F は摩擦力、 μ は固体潤滑における動摩擦係数、 α は固体接触に関する押圧力の寄与

率, W は押圧力, η は粘度, N は凸部と平面の隙間の総数, A は流体の接触面積, h は流体の厚み, U は物体表面間の相対速度である. また, μ^* は固体潤滑特性値, η^* は流体潤滑特性値と定義する. 法線力 W および相対速度 U の変化による接触面積 A_t と厚み h_t の変化を無視できると考えると, 流体潤滑特性値 η^* は法線力 W および相対速度 U によらず一定となる.

2.2 トライボロジ特性と触感の関係の仮説

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, 触運動速度, 押圧力, 摩擦力といった能動的触運動に関する量および人工皮膚の粗さ, 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ができると考えられる. さらに, 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うことにより, 触感の微小な違いをトライボロジ特性によって評価できると考えられる.

3. トライボロジ特性の測定と触感の官能評価

2.2 節で述べた皮膚上塗布物のトライボロジ特性と触感の関係解析を行うため, 能動的触運動と触対象の表面状態を測定した. 触対象の表面形状を顕微鏡で測定し, 表面粗さを測定した. この結果より触対象の算術平均粗さを算出し, 粗さ特性値とした. 触運動を測定できる装置とヒト皮膚の表面形状および弾性を模倣した人工皮膚を製作し, 触感が類似していることを確認した. ヒトの触感評価時における押圧力, 動摩擦力および触運動速度の測定および関係解析を行った. この結果より, 皮膚表面および皮膚上固体塗布物において, 近似的にアモンソン=クーロンの法則が成り立つことを確認した. また, 人工皮膚に流体潤滑剤を塗布した際, 摩擦力は固体潤滑と流体潤滑の摩擦力の和として近似的に表

せることを確認した. 以上より, μ^* を固体潤滑特性値, η^* を流体潤滑特性値として算出した. また, 触運動時における官能評価を行った. 官能評価では, Semantic Differential Method (SD 法) を用いて, 化粧品を評価する際に用いられる項目を評価させた. SD 法により得られた結果を標準正規分布に従い正規化し, 正規化した結果より各触対象の触感得点を算出した.

4. トライボロジ特性と触感の関係解析

トライボロジ特性と触感の関係をモデル化するため, 3 章で算出した触感得点を目的変数, 粗さ特性値, 固体潤滑特性値および流体潤滑特性値を説明変数とし, 重回帰分析を行った. 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 1 に示す. 99% 信頼区間で有意判定された触感を灰色で, 90% 信頼区間で重回帰式が有意判定された触感を無色で示す. また, 表 1 の概念図を図 2 に示す. 図 2 において, 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. 図 2 において, 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. 図 2 より, 「べたべた」は流体潤滑特性値が, 「さらさら」は固体潤滑特性値および流体潤滑特性値が, 「ざらざら」は粗さ特性値および流体潤滑特性値が触感を評価する際に大きく作用することがわかった. さらに, 「べたべた」は固体潤滑特性値が作用するが, 「ぬるぬる」は作用しないことがわかった. 以上から, トライボロジ特性により触感の微小な違いを評価できることが明らかになった.

また, 触運動速度は流体潤滑特性との間に負の相関, 押圧力は流体潤滑特性との間に正の相関があることがわかった. これより, 触対象のトライボロジ特性によってヒトの触運動速度および押圧力が変化傾向を呈することが明らかになった.

Table.1 Analysis of relationship between tribologic characteristic and texture by the multiple regression analysis method

	べたべた	しっとり	ぬるぬる	さらさら	つつる	すべすべ	ざらざら
決定係数	0.98	0.85	0.98	0.98	0.70	0.99	0.96
粗さ特性値	0.20	-0.02	0.17	-0.24	-0.47	-0.25	0.66
固体潤滑特性値	0.18	0.16	0.01	-0.48	0.09	-0.50	-0.12
流体潤滑特性値	0.69	0.38	0.80	-0.50	-0.08	-0.40	-0.31

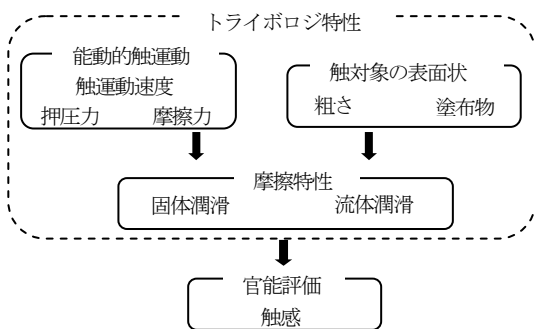


Fig.1 Relationship between tribologic characteristic and texture

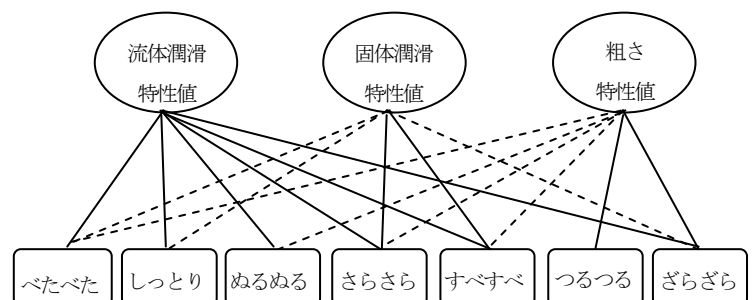


Fig2. Modeling of relationship between characteristic of tribology and texture

5. 結論

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より、触感の微小な違いを評価できるといふ仮説を立てた。これより、能動的触運動および触対象の表面状態の測定と官能評価を行った。これらの結果より、皮膚上塗布物のトライボロジ特性を粗さ特性値、固体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、トライボロジ特性と触感の微小な違いの関係を明らかにした。

参考文献

- [1] 白土, 前野: 触感呈示・検出のための材質認識機構のモデル化, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, vol9, No.3, pp.235-240, (2004)
- [2] 前田, 長野: 材質判別時における受動的触運動と能動的触運動の関係, 計測自動制御学会中部支部信州地区計測制御研究委員会講演論文集 Vol.12, pp.9-12, (1998.12)