

人の触感を数値化する評価装置の開発

株式会社 トリニティーラボ

代表取締役 野村 修平

国立大学法人 山形大学

学長 玉手 英利

地方独立行政法人 東京都立産業技術研究センター

理事長 黒部 篤

(株)トリニティーラボ 代表取締役

野村 修平

(国大)山形大学 学術研究院 教授

野々村 美宗

(地独)東京都立産業技術研究センター 研究開発本部 機能化学材料技術部 副主任研究員 齋藤 庸賀

はじめに

近年、製品の「触り心地」は消費者の購買行動や満足度に大きな影響を及ぼす要素として、ますます注目を集めています。従来はパネルによる官能評価が主流でしたが、評価者の主観や経験に左右されやすく、標準化や客観的な比較が難しいという課題がありました。さらに、材料や表面処理技術の進化により製品の多様化が進む中、従来の評価手法では対応しきれないケースも増えています。こうした背景から、科学的かつ定量的な触感評価へのニーズが急速に高まっています。本装置は、人の指の動作や皮膚構造を忠実に再現し、実際の触察動作に近い条件下で多様なサンプルの触覚を高精度かつ客観的に評価できる、新しい摩擦試験技術を提供します。

開発のねらい

従来の触覚センサーや評価装置では、皮膚の複雑な力学応答や、実際の触り方によって生じる感覚の違いを十分に再現することができませんでした。こうした課題を解決するため、私たちは皮膚表面で発生する摩擦現象に着目し、ヒト

の指の形状や力学的特性を忠実に模した「指モデル接触子」を開発しました。この接触子を用いることで、人が実際にモノに触れる際の「active touch（能動的な触察）」のプロセスを再現できる評価装置を実現しています。本装置は、ヒトがモノに触れたときの触感を数値として記録できるだけでなく、液体・粉体・固体といった多様なサンプルの触覚データを一律に収集することが可能です。これにより、従来困難だった異種材料間の比較や、製品開発の効率化、新たな技術ソリューションの創出が期待されています。

装置の概要

本装置「人の触感を数値化する評価装置」(図1)は、ヒトがモノに触れた際に感じる触覚を、



図1 触覚評価測定機TL201Sf

現実に近い条件下で定量的かつ高精度に評価することを目的として開発された革新的な評価システムです。触覚は、繊維、化粧品、自動車、ロボット、バーチャルリアリティなど多様な分野で製品価値を左右する重要な感覚であり、その科学的な定量評価へのニーズは年々高まっています。しかし、従来の摩擦試験機を応用した触覚評価やセンサーでは、ヒト皮膚の複雑な力学応答や、実際の触り方による感覚の違いを十分に再現できず、製品開発や品質管理の現場で大きな課題となっていました。

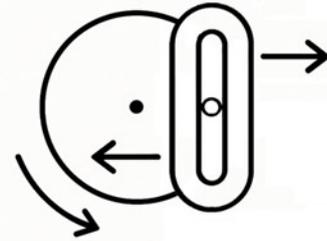
本装置は、こうした課題を克服するため、ヒトの指の形状や表面、力学的特性を忠実に模倣した「指モデル接触子」(図2)を搭載しています。指モデル接触子はウレタンゲルを用い、皮膚と同程度の表面エネルギーや硬さ、さらに深さ0.15mmの指紋パターンまで再現しており、従来の金属やゴム片では得られなかったリアルな触覚評価を可能にしています。



図2 指紋を模した触覚接触子

また、駆動機構にはスコッチ・ヨーク機構(図3)を採用し、回転運動を正弦運動に変換することで、ヒトがモノに触れる際の自然でなめらかな動きを忠実に再現しています。ヒトの触覚動作は一定速度ではなく加速・減速を繰り返す特徴があり、この運動を再現することで、実際の触覚に近い評価が実現しました。正弦運動下での摩擦評価は、従来の一定速度測定では得られなかった摩擦係数の速度依存性や遅れ時間など、触覚に影響する重要な物理パラメータを一度の測定で定量的

スコッチ・ヨーク機構を採用



回転軸に偏心して取付けられたピンが長円形の中を転がる事により正弦運動させる機構

図3 スコッチ・ヨーク機構

に解析できる点が大きな利点です。

さらに、摩擦力を高精度に計測するため、直線摺動機構やロードセル、動ひずみアンプなどの力計測技術を組み合わせています。これにより、触覚動作時に発生する振動成分を含む摩擦抵抗力を、人の手に頼ることなく、的確かつ定量的に測定できます。得られた摩擦パラメータは主成分分析やクラスター分析にかけることで、繊維・化粧品・自動車用樹脂材料などの「しっとり」「さらさら」「なめらか」といった感覚の解析も可能となりました。

本装置は、液体・粉体・固体など多様なサンプルの触覚データを一律に取得できるため、従来手法では困難だった異なる物性間での比較評価も容易です。装置の操作性や拡張性にも優れ、ユーザーの仕様に応じたカスタマイズも可能です。これらの技術的特徴により、化粧品・繊維・塗料分野だけでなく、ロボットやバーチャルリアリティ分野など、今後さらなる応用が期待されています。

技術上の特徴

本装置「人の触感を数値化する評価装置」は、人がモノに触れる際の触覚を、物理的側面と官能的側面の両方から高精度かつ汎用的に評価できる摩擦試験装置です。最大の特徴は、従来の摩擦試験機では困難だった「人の指によるリアルな触覚動作」と「多様な触覚の物理的要因」を、工

学的に忠実に再現・解析できる点にあります。

まず、評価対象と摩擦する接触子には、ウレタンゲルを用いて人の指腹部の形状や指紋パターンを精密に再現した「触覚接触子」を採用しています。人工皮膚を張り付けた接触子と本装置の触覚接触子で摩擦試験を行うと（図4）、摩擦係数に明確な違いが現れ（図5）、実際に人が触った際の感覚ともよく一致します。摩擦現象は摺動材料の物性や形状の影響を強く受けることが知られており、人の指先を模擬した触覚接触子が、実際の指先で生じる摩擦現象を高い精度で再現できることを示しています。さらに、実際の指先で発生する応力集中や材料変形、「キュキュッ」と鳴るスティックスリップ現象まで再現可能となり、個人差や肌状態によるばらつきを排除した再現性の高い評価が実現します。指

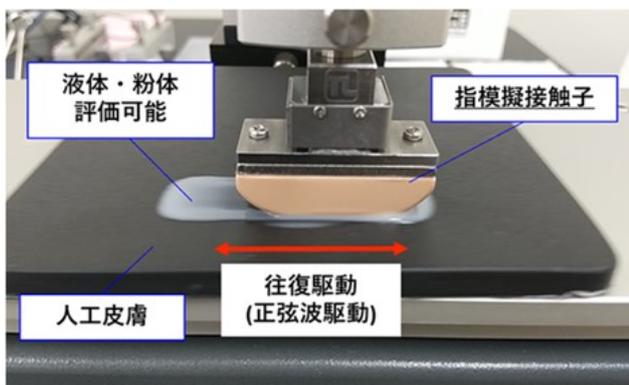


図4 摩擦試験の様子

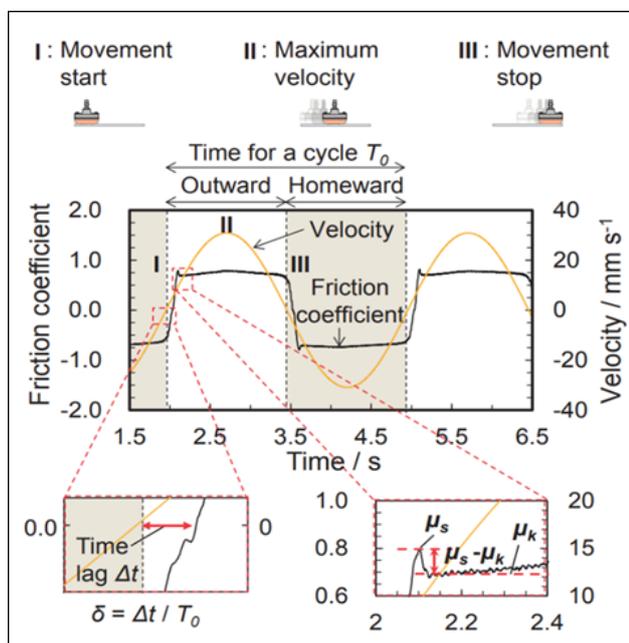


図5 測定結果

紋パターンは摩擦振動の発生源となり、評価対象の表面突起との相互作用を通じて、触認知に寄与する摩擦振動の解析も可能です。また、指紋突起間に存在する水分の働きが摩擦抵抗を増加させることも人工指モデルで明らかにされており、摩擦現象の本質的な理解に貢献しています。

駆動機構にはスコッチ・ヨーク機構を採用し、正弦波的な加減速運動を実現しています。一般的なクランク機構では厳密な正弦波運動の再現が難しいのに対し、本装置はスコッチ・ヨーク機構により忠実な正弦波的な加減速運動を実現しています。これにより、材料応答を素直に記録できるだけでなく、従来見落とされていた摩擦現象や材料の粘弾性応答も評価可能となりました。特に、滑り出し直前の前駆すべりや、加速に伴う液体サンプルの追従性など、動的条件下での摩擦挙動を詳細に解析できる点が大きな特徴です。

測定部には、高感度ロードセルの技術革新が重要な役割を果たしている。従来のロードセルは感度向上のため起歪体を柔らかく設計するが、固有振動数が低下し高周波成分の計測が困難となる課題があった。人の指先が検知できる周波数帯は数 Hz から 500Hz 程度であり、従来のロードセルでは 200Hz 程度が限界だったため、本装置では、起歪体を極力短くし、漢字の「立」の字に似た形状を採用することで高剛性化を実現した。さらに、触覚接触子をロードセルに直接取り付け構造を採用し、接触部で発生する微細な力や振動成分をダイレクトに検出可能とした。加えて、ひずみアンプの開発も進め、触覚受容感度 500Hz の倍となる 1kHz での応答を目標に設定し、試作と検証の結果、従来比で約 10 倍歪みにくく、5 倍の高感度化に成功した。これにより、繊細な触覚情報の取得が可能となり、触覚評価の精度向上に大きく貢献したのである。

実用上の効果

本装置では、静摩擦係数・動摩擦係数・遅れ時間・弾性係数・粘性係数・摩擦振幅など、触覚評

価に有効な複数の摩擦パラメータを一度の試験で取得できます。静摩擦係数や動摩擦係数は「すべり感」や「粘着感」と強い相関を示し、製品の滑りやすさや粘着性の評価に直結します。遅れ時間や弾性係数は、材料の変形能や「柔軟感」「硬質感」の評価に有効であり、遅れ時間が長いほど柔軟感が強く、短いほど硬質感が強い傾向が見られます。摩擦振幅は、指紋パターンに由来する摩擦振動を解析し、「なめらか感」や「粗さ感」との相関を明らかにします。摩擦振動の刺激が小さいほど滑らかに、振幅が大きいほど粗いと感じられる傾向が実験的に示されています。これらのパラメータは、主成分分析やクラスター分析を通じて官能評価との相関性も高く、客観的な触感評価指標として活用できます。さらに、摩擦パラメータの空間周波数解析により、表面テクスチャや微細構造の違いも定量的に評価可能です。

本装置は、固体（本革・合皮・塗膜・樹脂）、繊維（ニット生地）、液体（化粧水・オイル）、粉体など、サンプルの状態や形状を問わず評価が可能です。従来の評価法では困難だった異種材料間の比較や、特殊な表面処理・新素材の評価にも対応できるため、製品開発や品質管理の現場で高い汎用性を発揮します。

摩擦試験の条件設定も柔軟で、荷重・速度・接触面積などを調整することで、目的に応じた評価が可能です。さらに本装置は、触動作時に得られる摩擦情報をもとに、物理特性と官能評価（すべり感、粘着感、湿潤感、乾燥感、柔軟感、硬質感、なめらか感、凹凸感など）との関係性を明確化することに寄与しています。AI技術やデータ解析技術と組み合わせることで、触感認知のメカニズム解明やバーチャルリアリティ分野への応用も期待されています。今後は、取得した摩擦データを活用した触感予測や、個人差を超えた標準化された触覚評価基準の構築にも貢献することが期待されます。

このように本装置は、「人の指のリアルな再現」「人の自然な動作の模倣」「多様な摩擦パラメー

タの取得」「幅広い材料への適用性」「触覚認知理論への貢献」という多面的な技術的特徴を有し、従来の摩擦試験装置では得られなかった高精度かつ汎用的な触覚評価を実現しています。

知的財産権の状況

本開発品の装置に関する特許登録は下記の通りである。

- ① 日本国意匠第1579775号
名称:触覚接触子
概要:ヒトの指の触感を再現したウレタン弾性体で摩擦特性を評価する触覚接触子
- ② 日本国特許第6138092号
名称:触覚評価測定装置
概要:ヒトの指の形状を再現した接触子で触感を定量評価する装置に関する特許
- ③ 日本国特許第7335006号
名称:噛み心地評価測定機
概要:ヒトの咀嚼動作を再現し、食品の噛み心地を定量評価する装置に関する特許

むすび

本装置は、指モデル接触子と正弦波駆動機構を組み合わせることで、従来困難だった多様な材料の触感を科学的に数値化し、製品開発や品質管理の現場に革新をもたらしました。摩擦パラメータと官能評価の相関解析により、触感の標準化や効率化が進み、AIやデジタルツイン技術との連携による新たな触覚体験の創出も期待されています。今後は、サステナビリティやウェルビーイング、バーチャルリアリティ分野など、社会の多様なニーズに応える触感評価技術として、さらなる発展が見込まれます。