

氏名	康 世 玖
学位の種類	博士 (医工学)
学位記番号	医工博 第88号
学位授与年月日	令和2年9月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科、専攻	東北大学大学院医工学研究科 (博士課程) 医工学専攻
学位論文題目	表面粗さの変化により生じる硬軟感の錯覚に関する研究
論文審査委員	(主査) 東北大学教授 田中 真美 東北大学教授 出江 紳一 東北大学教授 厨川 常元 東北大学准教授 奥山 武志

論文内容の要旨

第1章 序論

触感とは、ヒトの体表面と対象物との接触により得られる感覚であり、ヒトは撫でる、押すなどの触動作を通じて様々な触感を得ている。触感は大まかに分けて「粗さ感」「硬軟感」「乾湿感」「温冷感」の4つの潜在的因子に集約され、ヒトはこれらの因子の情報を複合させて様々な材質を認識しており、日常生活において重要な感覚である。

ヒトとの接触が生じる様々な製品においては、実用的な機能だけでなく、触り心地などの感性的な機能も重要な要素であり、高付加価値な製品を開発するため、触り心地を向上させる技術の開発として、シボ加工やブラスト加工、樹脂印刷などの様々な表面処理技術が期待されている。これらの触り心地を向上させる技術は、精密な表面加工を行うことで心地よい触感を付与する技術だけでなく、表面に微細なパターンを表出することで、本来素材が有していた触感を大きく変化させる技術も開発されている。例えば、ソフトフィールシボは、硬質プラスチックに微小な凹凸パターンを付与することで「やわらかい」「しっとり」などの触り心地が得られることが報告されている。このような材質の物理特性を変えずに、触感を変化させるための重要な現象が錯触である。錯触は触感における錯覚現象であり、上記のソフトフィールシボもその一例である。その他にもベルベット錯触やフィッシュボーン錯触などがある。前者は格子状のワイヤーを両手で挟んで擦ると、ワイヤーの凹凸感ではなく、滑らかで柔らかいベルベットが間にあるように感じる現象であり、後者は魚の骨のような凸パターンの背骨にあたる部分を指でなぞると、平らな凸パターンが凹んでいるように感じる現象である。これらの錯触を利用することで、構造的な機能と感性的な機能を組み合わせた新たな製品設計が可能となる。しかしながら、錯触を利用して触感を設計するためには、触感の知覚メカニズムとともに、錯触現象の機序を解明する必要がある。

これまで、著者らのグループでは、ソフトフィールシボやベルベット錯触のような硬軟感に生じる錯触に着目し、表面の凹凸が硬軟感の錯覚を生じるのかを検証する実験を行い、押し付け動作では硬軟感の錯覚現象は見られないが、表面を撫でる動作では錯覚現象が生じることを確認している。しかしながら、表面粗さと硬軟感の錯触の関係を解析すると、個人差が見られ、錯触の機序を解明するた

めには、個人差の要因の解明が求められている。

以上に鑑み、本研究では、表面形状の変化による硬軟感の錯覚に着目し、表面粗さの変化による硬軟感の錯覚現象を解明することを目的とし、表面粗さおよびヤング率の異なる触サンプルに対して硬軟感についての官能評価実験と触サンプルの機械的特性計測、被験者の指先特性計測を行い、これらの結果を比較し、表面粗さの変化により生じる硬軟感の錯覚現象に関わる触サンプルの機械的特性および指先特性を確認する。まず、表面粗さの変化によるヒトの硬軟感の変化がどのような触動作で生じるのかを確認するため、同じ剛性の表面粗さを異なる触サンプル 5 種類を用いて、2 種類の触動作について官能評価実験を行うと同時に、被験者の指先軌跡と接触力の計測も行う。硬軟感評価値および触動作計測の結果を比較し、触動作が表面粗さの変化による硬軟感の錯覚にどのように関与しているかを考察する。次に、表面粗さの変化による硬軟感の錯覚において触サンプルの機械的特性がどのように関与しているかを確認するため、2 種類の剛性と 3 種類の表面粗さの計 6 種類の触サンプルを用いて、官能評価実験を行う。また、触サンプルの弾性率や摩擦剛性、摩擦係数の計測も行うとともに、触サンプルの機械的特性の計測値と官能評価値を比較し、表面粗さの変化による硬軟感の錯覚と触サンプルの機械的特性の関係を考察する。さらに、表面粗さの変化による硬軟感の錯覚と被験者の指先の特性の関係を確かめるため、2 種類の剛性と 5 種類の表面粗さを有する計 10 種類の触サンプルを用いて、官能評価実験を行うとともに、被験者の指の硬さと摩擦係数の計測も行う。指先の特性計測値と官能評価結果値を比較し、表面粗さの変化による硬軟感の錯覚とヒトの指先特性との関係を考察する。

第2章 触動作条件によるヒトの硬軟感の錯覚

「自由に触る」と「表面粗さを感じながら触る」の 2 種類の触動作条件で官能評価を行い、表面粗さの変化により硬軟感の錯覚現象が生じるかまたその傾向について調査した。さらに、触動作の解析も行った。自由に触る触動作条件では、表面粗さの変化による硬軟感の変化が一定ではなく、表面粗さを感じながら硬軟感の評価をする触動作条件では、図 1(a)~(c)に示すように表面粗さの変化による硬軟感の変化が確認できた。それは、グループ 1 は、表面粗さが粗くなるほど柔らかく感じる被験者、グループ 2 は、表面粗さが粗くなるほど硬く感じる被験者、グループ 3 は、表面粗さが粗くなるほど柔らかく感じるが最も粗いサンプルでは硬軟感が急変し、硬く感じる被験者、3 つのグループに分類されて確認できた。表面粗さを感じながら触る触動作条件には、指先から手前方向に擦る触動作がほとんどあり、この触動作で表面粗さの変化により硬軟感の錯覚が生じることが示された。

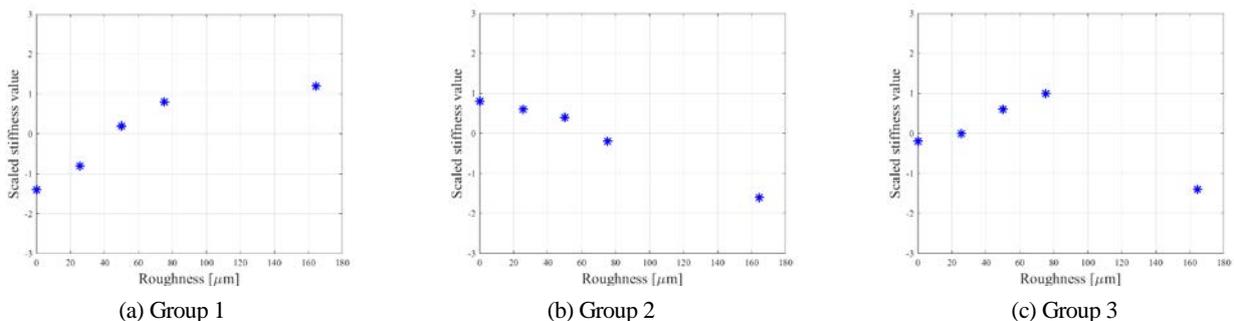


Fig. 1. Scaled evaluation score of stiffness (motion with feeling the surface roughness)

第3章 硬軟感の錯覚と対象物の機械特性との関係調査

表面粗さを感じながら触る際に、表面粗さの変化による硬軟感の錯覚が生じる要因を明らかにするために、Bio-tribometer を用いて触サンプルの弾性率、摩擦係数、および摩擦剛性を計測し、官能評価結果との比較考察を行い、その要因を調査した。触サンプルの測定結果、図 2(a)~(c)に示すように、表面粗さの変化に伴い弾性率、摩擦係数、摩擦剛性の値が微小に変化することが確認できた。また、図 3(a)~(d)に示すように、官能評価の結果は第2章と類似した結果であった。これらの結果の比較すると、表面粗さの変化による硬軟感の変化の傾向が類似していることから、摩擦が硬軟感の錯覚現象の要因であることが示唆された。

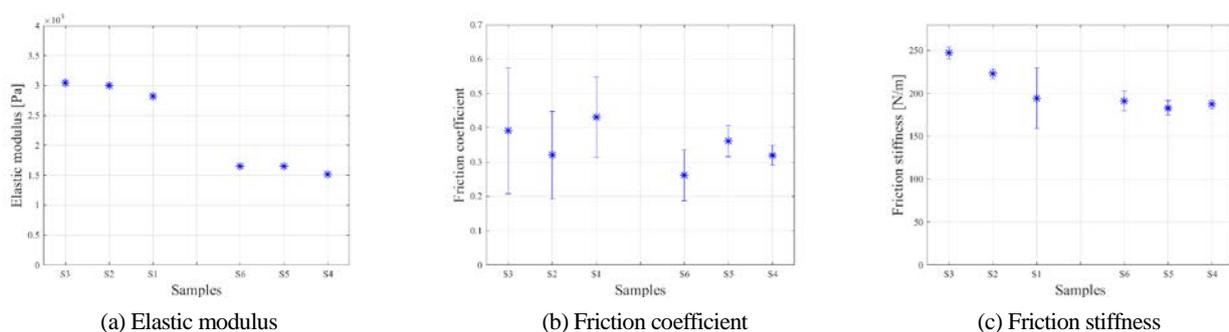


Fig. 2. Mechanical properties of the samples

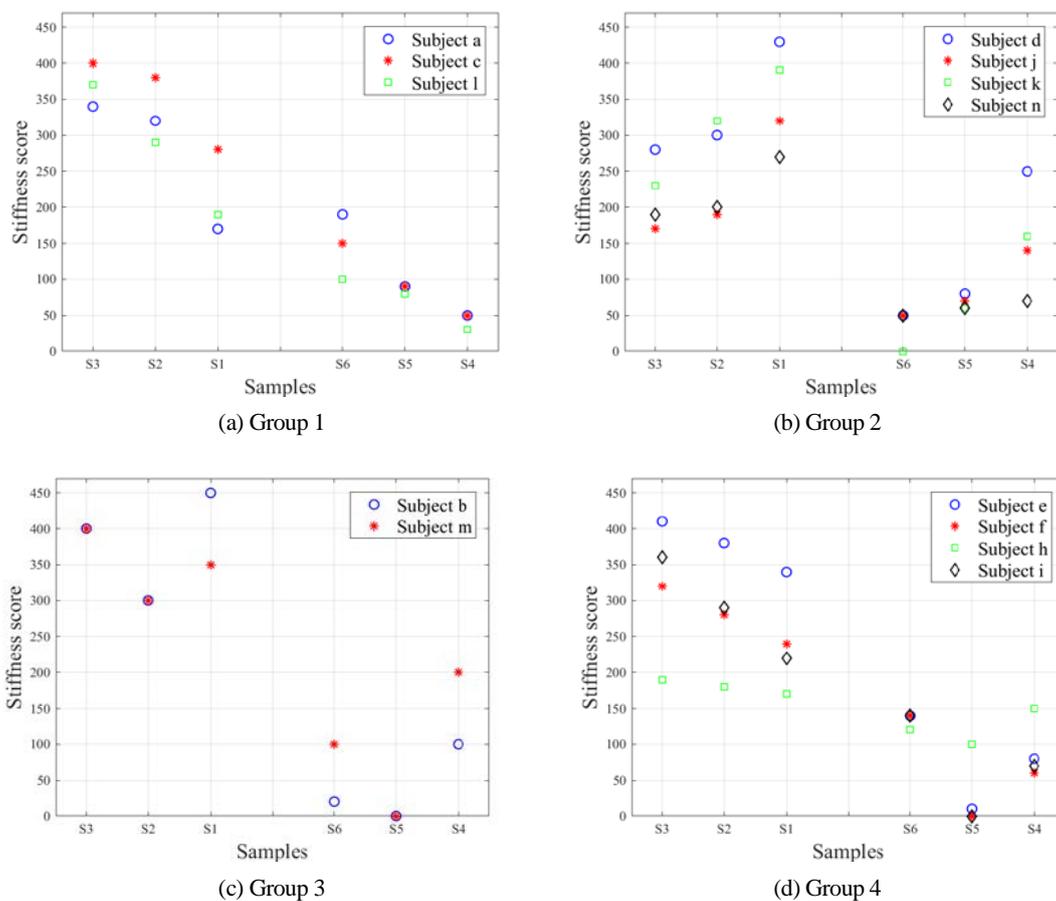


Fig. 3. Scaled evaluation score of stiffness

第4章 硬軟感の錯覚と指先特性との関係調査

表面粗さの変化による硬軟感の錯覚が生じる要因を明らかにするために、指先から手前方向に擦る動作で表面粗さの異なる触サンプルに対し官能評価を行い、表面粗さの変化による硬軟感の錯覚の出現の傾向を調査すると同時に触動作の計測解析、さらにヒトの指先の摩擦係数および指腹部の剛性を計測し、官能評価との比較考察を行い、硬軟感の錯覚現象の要因を調査した。官能評価の結果から、図4(a)~(c)に示すように、表面粗さの変化による硬軟感の錯覚が生じる被験者（グループ1、グループ2）と錯覚が生じない被験者（グループ3）が確認できた。グループ1は、表面粗さが粗くなると硬く感じる被験者、グループ2は、柔らかく感じる被験者である。グループごとに指先の摩擦、指腹部の剛性、触る時間を考察すると、硬軟感の錯覚現象の出現には指腹部の剛性や指先と触サンプルとの接触時間が関与し、硬軟感の錯覚現象の傾向には摩擦時の押し込み力および接触面積が関与していることが示唆された。

第5章 結論

本論文で得られた結果を総括し、結論を述べた。

本論文では、硬軟感の官能評価、ヒトの触動作の解析、触サンプルの機械特性、ならびにヒトの指先特性の計測を行い、これらの結果について比較検討を行うことで、同一の硬さのサンプルにおいても表面粗さの変化により生じる硬軟感の錯覚現象の要因を明らかにするものである。また、その結果は触覚の錯覚を利用した触感呈示装置や機器の設計や開発に応用が期待される。

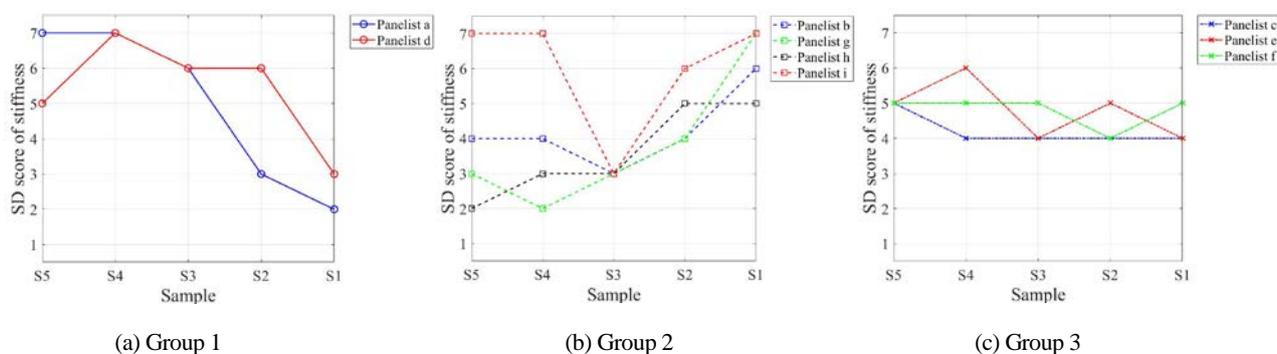


Fig. 4. Classification of panelists based on sensory evaluation score for stiffness feeling.

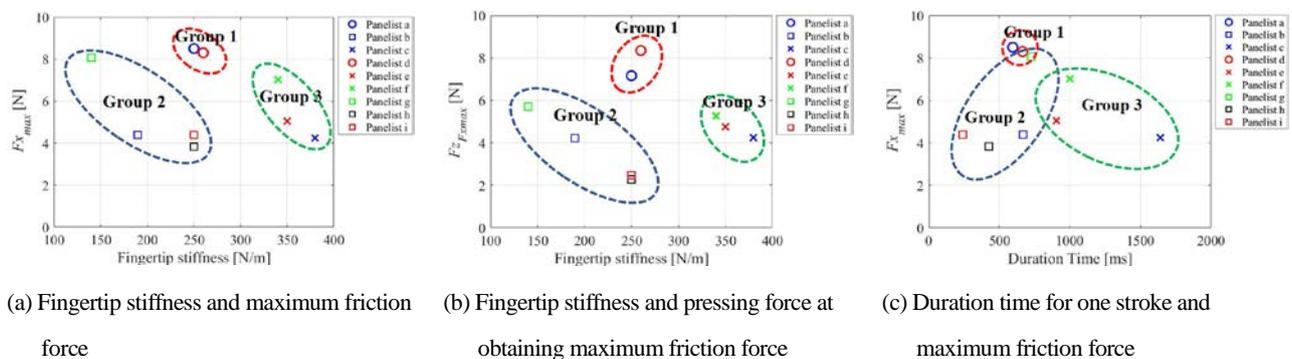


Fig. 5. Relationship between fingertip stiffness and finger motion

論文審査結果の要旨及びその担当者

論文提出者氏名	康 世玫
論文題目	表面粗さの変化により生じる硬軟感の錯覚に関する研究
論文審査担当者	(主査) 教授 田中 真美 教授 出江 紳一 教授 厨川 常元 准教授 奥山 武志 (工学研究科)
論文審査結果の要旨	
<p>触感は、ヒトの体表面と対象物との接触により得られる感覚であり、ヒトは撫でる、押すなどの触動作を通じて様々な触感を得ている。触感は大きく分けて「粗さ感」、「硬軟感」、「乾湿感」、「温冷感」の4つの潜在的因子に集約され、ヒトとの接触が生じる様々な製品においては、実用的な機能だけでなく、触り心地などの感性的な機能も重要な要素である。また近年、バーチャルリアリティ技術の発達により、触感デザインへの期待が高まっており、触覚の錯覚を利用して触感を作り出すことも着目されている。触覚の錯覚では呈示された触覚の刺激を本来の物理的特性とは異なる触感として感じるものであり、これを利用すると更なる触感の設計が可能である。中でも、対象物の表面に凹凸を付与することで同一の硬さのものでも硬軟感が変化する錯覚があるが、錯覚が生じる原因については未だ十分に明らかになっていない。本論文は、表面粗さの変化により生じる硬軟感の錯覚現象の要因を明らかにするものであり、全編5章からなる。</p> <p>第1章は序論であり、本研究の背景、目的及び構成を述べている。</p> <p>第2章では、「自由に触る」と「表面粗さを感じながら触る」の2種類の触動作条件で官能評価を行い、表面粗さの変化により硬軟感の錯覚現象が生じるかまたその傾向について調査している。また触動作の解析も行っている。表面粗さを感じながら硬軟感の評価をする触動作条件には、指先から手前方向に擦る触動作があり、この触動作で表面粗さの変化により硬軟感の錯覚が生じることが示されている。これは表面粗さの変化により硬軟感の錯覚が生じる触動作を明らかにした有用な成果である。</p> <p>第3章では、触サンプルの弾性率、摩擦係数、および摩擦剛性を計測し、官能評価結果との比較考察を行い、表面粗さの変化により生じる硬軟感の錯覚現象の要因を調査している。測定結果より、表面粗さの変化に伴い触サンプルの摩擦係数と摩擦剛性に微小な変化があることが確認され、これらが官能評価結果と関係があることを明らかにしている。これは摩擦が硬軟感の錯覚現象の要因であることを示唆するものであり、非常に重要な知見である。</p> <p>第4章では、指先から手前方向に擦る動作で表面粗さの異なる触サンプルに対し官能評価を行い、硬軟感の錯覚の出現の傾向を調査すると同時に触動作の計測解析、さらにヒトの指先の摩擦係数および指腹部の剛性を計測し、官能評価との比較考察を行い、硬軟感の錯覚現象の要因を調査している。硬軟感の錯覚現象の出現には指腹部の剛性や指先と触サンプルとの接触時間が関与し、硬軟感の錯覚現象の傾向には摩擦時の押し込み力および接触面積が関与していることを示唆している。これは硬軟感の錯覚現象の要因として非常に重要な知見である。</p> <p>第5章は結論である。</p> <p>以上要するに本論文は、硬軟感の官能評価、ヒトの触動作の解析、触サンプルの機械特性、ならびにヒトの指先特性の計測を行い、これらの結果について比較検討を行うことで、同一の硬さのサンプルにおいても表面粗さの変化により生じる硬軟感の錯覚現象の要因を明らかにするものである。また、その結果は触覚の錯覚を利用した触感呈示装置や機器の設計や開発に応用が期待されることから、医工学および医療福祉工学の発展に寄与するところが少なくない。</p> <p>よって、本論文は博士(医工学)の学位論文として合格と認める。</p>	