

2023 年度 若手・女性研究者奨励金 レポート

研究課題	超音波ハプティクスによる振動感覚量の定量化 ーレーザー変位計による皮膚変位の非接触直接計測ー
キーワード	①ハプティクス、②超音波、③感覚工学

研究者の所属・氏名等

フリガナ 氏 名	ミズシマ ダイスケ 水嶋 大輔
配付時の所属先・職位等 (令和5年4月1日現在)	愛知工業大学 工学部 電気学科 講師
現在の所属先・職位等	愛知工業大学 工学部 電気学科 講師
プロフィール	大学卒業後に高校教員として働くが、技術を教えるうちに自分自身の専門性をより深めたいと考え、大学院へ入学して研究者の道へ進む。現在でも「専門性を深堀する」よりも「広く教える」ことを楽しみに研究に取り組む。

1. 研究の概要

ハプティクスは触覚に関する技術領域であり、視覚・聴覚に続く五感に関する技術として開発が進められている。ハプティクスによって触感を伝送することができ、遠隔地にあるものを触っているかのように感じることができる。この技術の課題は触刺激強度に比例すると考えられる皮膚の変位量を直接測定できないことである。これによってハプティクスアクチュエータの開発においては、どの程度の力・加速度・音圧が発生すれば適切に触覚を刺激できるかという設計要求値が全く分からないという問題が生じている。

本研究はハプティクスアクチュエータが人間の触覚に与える刺激を定量化しアクチュエータに必要とされる要件を明確化することである。これまでハプティクスアクチュエータの研究分野においては、官能試験による触刺激の評価や、発生加速度や音圧の強度による間接的測定がアクチュエータの性能を測る一般的な手法であった。この方法では触刺激の強度に比例すると考えられる皮膚の変位量が測定できず、アクチュエータによって触覚に与える影響が明らかに出来なかった。この課題に対して、非接触で触感を伝達できる空中超音波アクチュエータと、非接触で変位を測定できるレーザー変位計を用いて、触感提示時の皮膚変位を直接測定することで発生する音圧と皮膚変位量の関連を明らかにし、これによりハプティクスアクチュエータに必要とされる発生音圧を明らかにすることが本研究の目的である。

今回の研究により触感提示・変位同時測定が可能になる計測技術を確立した。機械モデル的に皮膚に近い粘弾性を持った材料を使用して模擬皮膚構造の提案を行った。その結果として官能検査によらずとも触感の強度を見積もることが可能になった。

2. 研究の動機、目的

ハプティクスは触覚に関する技術領域であり、視覚・聴覚に続く五感に関する技術として開発が進められている。ハプティクスに関する研究は、(1)人間の触覚の特性に関する生理学、(2)触覚に伝わる物理量を測定するセンサ、(3)触覚に与えられる刺激を再現するアクチュエータ、の 3 方面から研究が進められている。この中でも生理学面では人間の触覚が触刺激を感じる受容器や、検出している物理量、そのしきい値も判明している。アクチュエータ面では、

モータによる振動を利用するもの、エラストマに電気信号を与えて振動させるもの、収束超音波による空気振動を利用するものが提案されている。その中でも収束超音波を利用する超音波アクチュエータは、皮膚と非接触で触感伝達が可能であり、振動と触圧を別個に制御し得るという点から他のアクチュエータよりも優れている。しかし、これらのデバイスに関する研究は発生力を加速度や音圧の大きさに評価するものであり、実際に触刺激の大きさを捉えるものではない。これは触刺激強度に比例すると考えられる皮膚の変位量を直接測定できないことが主な原因である。これによってハプティクスアクチュエータの開発においては、どの程度の力・加速度・音圧が発生すれば適切に触覚を刺激できるかという設計要求値が全く分からないという問題が生じている。

本研究の目的はハプティクスアクチュエータが人間の触覚に与える刺激を定量化し、アクチュエータに必要とされる要件を明確化することである。これまでハプティクスアクチュエータの研究分野においては、官能試験による触刺激の評価や、発生加速度や音圧の強度による間接的測定がアクチュエータの性能を測る一般的な手法であった。この方法では被験者の指の大きさや厚み、硬さなどの違いによるばらつきが問題になる。また、触刺激の強度に比例すると考えられる皮膚の変位量が測定できず、アクチュエータによって触覚に与える影響が明らかに出来なかった。

本研究では皮膚の変位量を直接測定し触刺激の定量化を試みる。その背景には人間が触刺激を十分感じるには、どの程度の皮膚変位が必要か、という本質的な問いがある。収束超音波を利用する超音波アクチュエータの皮膚と非接触で触感伝達が可能であるという利点を応用し、レーザー変位計によって触感が生じている際の皮膚の変位量をリアルタイムに測定することにより、発生する音圧と皮膚変位量の関連を明らかにし、これによりハプティクスアクチュエータに必要とされる発生音圧を明らかにすることが本研究の目的である。

3. 研究の結果

触感提示・変位同時測定装置を図 1 に示す。この装置は 6 個のスピーカを持つ空中超音波アクチュエータを使用し、その間にレーザー変位計を挟み込んだ構造をしている。空中超音波アクチュエータによって強い音圧が生じる焦点はレーザー変位計の測定基準距離と一致するようにして、その点に手指や模擬皮膚材料を設置して変位計測を行う。

模擬皮膚材料の粘弾性試験結果を図 2(a)-(c) に示す。これは動的粘弾性試験装置によって模擬皮膚材料である人肌のゲル(硬度 0, 7, 15)の弾性と粘性の周波数特性を示しており、この値を既存の機械モデルに当てはめて変位を見積もることが出来る。模擬皮膚材料による変位の周波数特性を図 3 に示す。最大で 170 μm 程度の変位が発生しており、これは同種の先行研究の約 40 倍の大きな変位である。図中の点線は機械モデルによる変位の見積もり値、各種マークが示しているのは実測値である。この結果から、機械モデル通りの正しい変位が測定できており、触感提示・変位同時測定装置によって精度良く変位が測定されていることが確認できる。図 4 は機械モデルに皮膚の粘弾性の文献値を当てはめた曲線と人肌のゲル(硬度 15)の比較である。図中の実線が平均値、二重線が弾性、粘性の標準偏差から見積もった変位の上限と下限である。この図から、理論値と実測値は同程度であり、この模擬皮膚材料によって人の手指の変位が模擬的に測定できることが分かった。

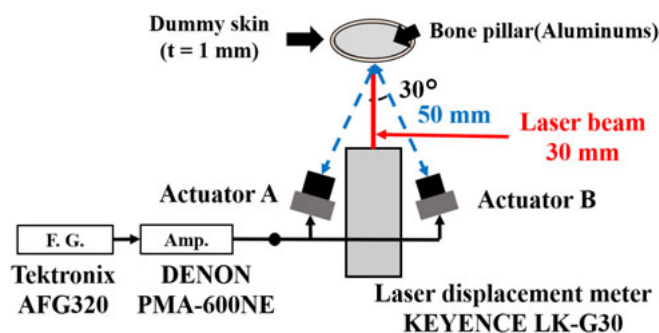
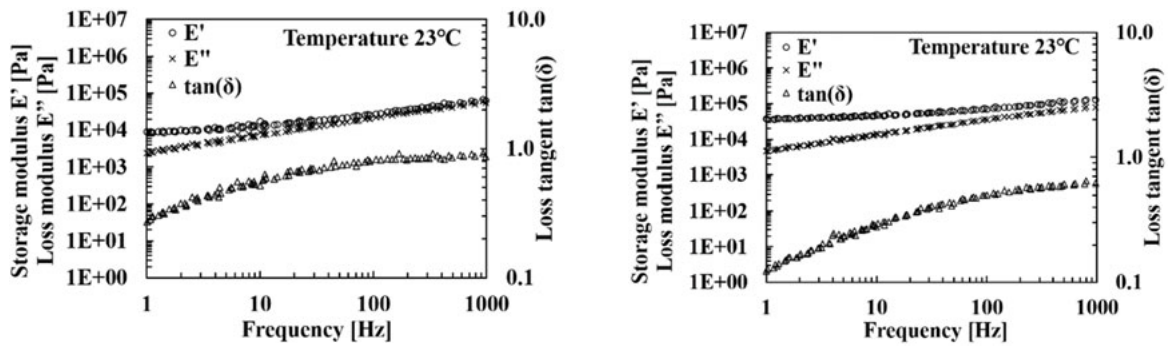
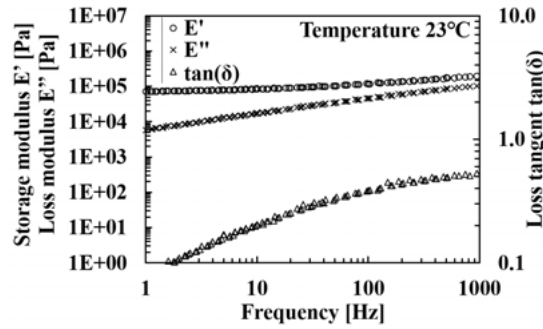


図 1: 触感提示・変位同時測定装置の概要図



(a) 硬度0

(b) 硬度7



(c) 硬度15

図2: 模擬皮膚材料「人肌のゲル」の動的粘弾性測定結果

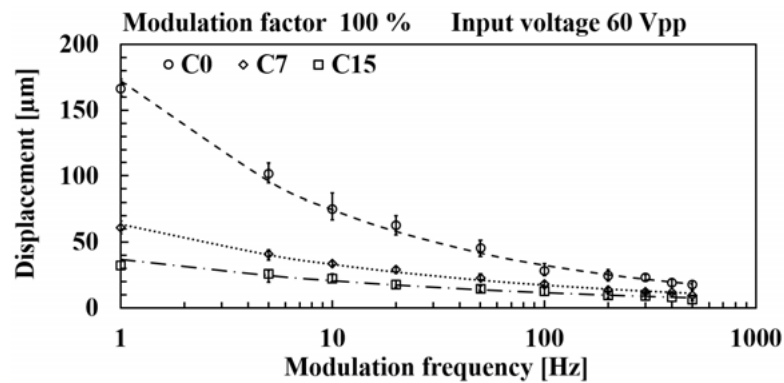


図3: 模擬皮膚材料による変位の周波数特性

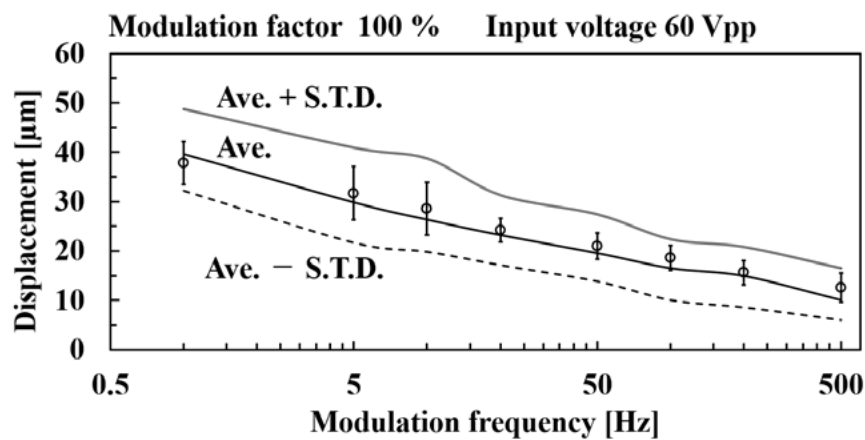


図4: 模擬皮膚材料と指部皮膚の変位見積もりとの比較

4. 研究者としてのこれからの展望

ハプティクスの研究はまだまだ発展途上であり、応用のような派手な研究を志す方々も多く、特に設計理論に関しては十分に発展していきません。今後も「先端技術を万人が使えるように」という観点の下、ハプティクスなどの、普及の半歩手前の技術を突き詰める研究を続けていきたいと考えています。

5. 支援者（寄付企業等や社会一般）等へのメッセージ

この度は、本研究課題に対してご支援いただき、誠にありがとうございました。今回の研究によって、超音波アクチュエータにおける皮膚の変位を測定技術が確立し、これまで不可能だった触感提示・変位同時測定が可能になりました。また、皮膚モデルを模擬しうる材料を見つけることができ、官能検査によらずとも触感の強度を見積もることが可能になりました。結果は学術論文として現在、投稿しております。研究者にとって、研究成果を論文化することは社会貢献の機会を得るだけでなく、自身の業績として今後のステップアップのために非常に重要なポイントとなります。今回のご支援によって研究成果の論文化につなげることが出来たことを大変ありがたく思っております。今後とも研究に邁進し、さらに多くの研究成果を世の中に発表できるように精進していきます。

