

振動付与による柔軟物体の硬度変化の検討

Preliminary study on stiffness perception change by adding vibration on flexible material

下川 和俊¹⁾, 南澤孝太¹⁾

Kazutoshi Shimokawa, and Kouta Minamizawa

1) 慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科 (〒 223-8526 神奈川県横浜市港北区日吉 4-1-1 kshimon@keio.jp)

概要: 柔軟物体に対して振動を付加した際の硬度の知覚変化についての検証を行った。実験では硬度が非常に低い柔軟物体を対象として行った。柔軟物体によって挟まれた振動子に様々な条件の波を与えることによって錯覚的に硬度変化が起こる生起条件について調査した結果を報告する。

キーワード: Soft material, Haptics, Softness, Vibration, Stiffness change

1. はじめに

触覚は体に接触する物の形状や温度を皮膚の変形量に応じて物体情報として獲得することができる。触覚情報の中で、硬い柔らかいの知覚に関しては Srimnivasan ら [1] が皮膚感覚と深度感覚の情報の統合によって作り出されていると明らかにしている。対象物体を把持する際、物体が指に埋没することによって物体との接触面積が増大する。その時、固有感覚受容器から得られる変位情報と発火受容器数の増加によって得られる接触面積の情報の組み合わせによって人間は柔らかさの知覚を行う。その中で柔らかさの知覚は物体を把持した際の接触面の法線方向の応力と変位量の比とみなすことができ、変位を検出し、それに応じた力覚提示を行う手法 [4] などが考えられている。他にも指腹部の変位量に応じた、反力を提示する手法が考えられる [2][3]。または触覚受容器を刺激して発火受容器数を増大させる錯覚的に柔らかさを提示する方法がある。鈴木らは物体に対して効果的に柔らかさを提示するために振動の生成方法とそれに伴う影響について述べている [5]。しかしこの研究では硬度が高いものでしか実証されていない。

本稿では把持型触覚提示デバイスを用いて硬度の低い柔軟物を把持した際の硬度の知覚変化について検討する。

2. 提案手法

柔軟物体に振動子を包み込み、柔軟物体に対して振動を与える。振動とによって、柔軟物体と指先の接触面積を物体側から調整することができ、擬似的に物体の硬さの変化が起こっていることを調査する。

3. 知覚の変化による硬度変化の評価

3.1 実験概要

実験では柔軟物体を把持した際に振動を提示することによって、素材本来の硬度とは異なる硬さの知覚が生起できるか検証を行った。

3.2 実験装置

使用した実験装置の外観を図 1 に示す。振動モジュールにはフォースリアクタ (アルプス社製) を使用した。入力用信号は PC のイヤホンジャックから行い、アンプで信号を増幅させたのちにフォースリアクタに入力した。また、圧力センサと振動モジュールをシリコンパフの中に装着した。

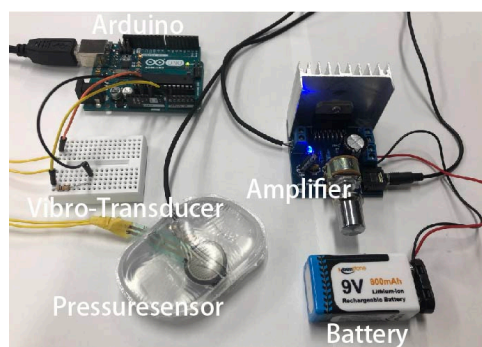


図 1: システム構成

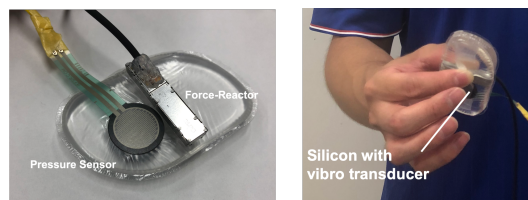


図 2: 振動子をシリコンに装着した状態と把持状態

3.3 実験方法

被験者は図 2 のように拇指と示指によって振動子が挿入された硬度 3.5HA のシリコンパフをつまむ。シリコンパフの硬度はゴムの規格で JISK6523 を参考にしている。被験者

には利き手（全員右利き）で物体を把持させ、その状態の時に振動を提示する。実験の手順は、元々の素材の硬さを記憶してもらい、一度物体を手放す。その後、振動を提示した状態の物体を把持する。元の状態と振動提示状態の硬さを比較し、元の状態の硬さを 0,1 はわずかに硬い,2 は少し硬い,3 はかなり硬い,4 は別の物体と感ずるほど硬いの全 5 段階評価で振動提示状態の硬さレベルを回答させる。振動を提示した状態の物体を把持した後に元々の状態の物体を改めて把持することを繰り返した。

実験では入力信号の条件ごとに柔らかさの知覚に関する検証を行った。実験 1 ではサイン波の周波数を 40[Hz] から 300[Hz] まで 20[Hz] ずつ増加させる 14 種類を用意した。その時の振幅レベルは 1 とした。実験 2 では振幅のみを変える実験を行った。その際の周波数は 120[Hz] で固定する。印加電圧が 0.0[V] 振幅を 1 とし比例尺度により,1 から 4 まで振幅を 0.5 ずつ大きくする 7 種類の信号を用意した。それぞれの実験を 1 セットとして 5 セット行った。

被験者 5 名（男性 5 名,22~25 歳）に対して行った。被験者には、視聴覚情報を遮断するために 2 のようにアイマスクとイヤーマフを着用させた。1 セット終わるごとに被験者を楽な姿勢で 1 分間休憩させた。

3.4 結果・考察

実験結果を図 3 に示す。それぞれの実験で回答してもらった硬さレベルの平均値を出して評価を行った。実験 1 からは,120[Hz],240[Hz] の周波数帯域で知覚変化が起こる結果となった。これは、今回利用したフォースリアクタの共振周波数に関係していると考えられる。被験者のコメントで低周波を付加した時に物体が硬くなっているというよりも、掴み辛くなっているという指摘を得た。これは人間が物体を把持していると認識プロセスにおいて物体と指の接触面積を一定になるまで指の力を加え続けるということに関係している。把持できているという状況は物体と指先の接触面積がこれ以上変化しない点を指している。つまり掴みづらいという状況は、指先の接触面積が変化していることを指す。結果的に低い周波数帯を付加した際に皮膚の接触面積に対して影響を与えていると言える。

実験 2 からは振幅の大きさに伴い硬さのレベルが上がっていくという結果を得た。これも単位時間あたりの接触面積が低い振幅の際よりも段々と小さくなっていることが起因していると考えられる。

また振動刺激によってのマスキング効果がより大きく現れ、弾性感を知覚しやすくなったと考えられる。結果的に弾性感の変化はあらかじめ提示していた振動刺激の強度や素材の柔軟性に強く影響すると考えられる。

4. まとめと課題

本論文では把持型触覚提示デバイスを用いて硬度の低い柔軟物体を把持した際の影響について検証を行なった。実験ではシリコン素材の柔らかさをあらかじめ触ってもらい、周波数や振幅の異なる波をシリコンに埋め込まれた振動子に

提示し硬さレベルについて回答してもらった。結果は振動子の共振周波数帯の振動を付加した際に本来の素材よりも硬く感じるという結果がでた。よって振動提示によって柔軟物体の硬さの知覚を錯覚的に変化させることが可能であると確認された。

今後の課題として、指定した硬さの知覚を選択的に知覚させることはできていない。その課題を解決しつつ、硬さの変容ということを利用したインターフェースの開発に取り組みたいと考える。

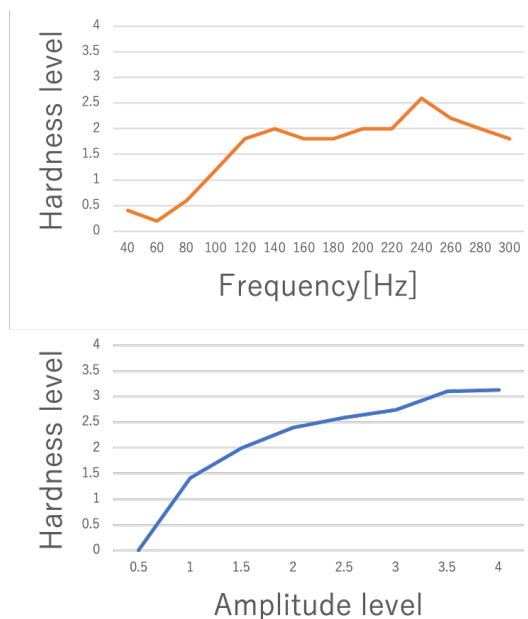


図 3: Experiment result

謝辞 本研究は JST ACCEL Embodied Media Project(JP MJAC1404) の一環として実施された

参考文献

- [1] Antonio Bicchi, Enzo Pasquale Scilingo, and Danilo De Rossi. Haptic discrimination of softness in tele-operation: the role of the contact area spread rate. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, Vol. 16, No. 5, pp. 496–504, 2000.
- [2] 岩田. 仮想立体の硬さを表現するためのフォースディスプレイ. ヒューマンインタフェースシンポジウム, pp. 55–58, 1991.
- [3] 高瀬翔, 土井幸輝, 藤本浩志. 対象物の硬さに応じた指腹自体の変形の違いが硬さ感覚特性に及ぼす影響. 日本感性工学会論文誌, Vol. 8, No. 4, pp. 1105–1111, 2009.
- [4] 池田義明, 藤田欣也. 指先の接触面積と反力の同時制御による柔軟弾性物体の提示. 日本 VR 学会論文誌, Vol. 9, No. 2, pp. 187–194, 2004.
- [5] 鈴木隆裕, 池田篤俊, 高松淳, 小笠原司. 把持型触覚提示デバイスを用いた振動による柔らかさ提示. 日本ロボット学会誌, Vol. 30, No. 7, pp. 718–726, 2012.