

人工筋肉アクチュエータを用いた モバイル用触力覚提示タッチパネル

則枝 真^{†1†2}

佐藤 誠^{†3}

近年、スマートフォンやタブレット端末にて、フリック操作やスクロール操作など、スライド操作が一般的になってきている。しかし、タッチパネルの操作では、触力覚フィードバックがないことから、適切な操作の確認が難しい。そこで、我々はタッチパネル面を水平方向に移動させる触力覚タッチパネルを開発している。しかし、モバイル用の触力覚タッチパネル開発ではアクチュエータの小型化が難しく、小さいアクチュエータでは十分な提示力と変位速度を満たせない課題がある。我々は、提示力は大きい変位速度の遅い人工筋肉アクチュエータを用いた機器を構成する。その上で、力覚提示に振動を付加する提示手法を提案・実験評価することにより、変位速度の遅いアクチュエータを用いた場合でも、ユーザの力覚提示の遅れ時間知覚を 0.2[s]程度改善させることに成功し、モバイル用の力覚提示タッチパネルを実現した。

A New Haptic Touch Panel Display for Mobile Devices by Artificial Muscle Actuator

SHIN NORIEDA^{†1†2} MAKOTO SATO^{†3}

Recently, flick and scroll operations are commonly used in smart phones and tablets. But, it is difficult to operate the touch panel display system without haptic force feedback on slide operation. Therefore we've developed a new touch panel system with 2 dimensional force feedbacks to the finger. This system is composed of a wire based haptic system and a moving transparent plate on the display. We call this the "Haptic Touch Panel Display". Our goal is to build a haptic system for mobile devices. This will require a small haptic system. So we've configured the system by using the artificial muscle actuator. The tough part is how to improve the response time delay in a small haptic system. So we propose a new control method by adding vibration feedback to the delayed haptic force feedback. As a result of subjective evaluation ratings, it was found that the human feels approximately 0.2 seconds shorter than it actually is. We've realized the construction of the haptic system on mobile devices.

1. はじめに

近年、スマートフォンやタブレット端末の操作では、フリック操作やスクロール操作など、タッチパネル上で指をスライドする操作が一般的になってきている。しかし、タッチパネルの操作では、タッチしている画面のコンテンツが指で隠されてしまい、更には操作による触覚フィードバックがないことから、指の下で何が起きているのかが分かりづらく、適切な操作の確認が難しい。また、適切な触力覚フィードバックがあれば、よりインタラクティブ性の高いコンテンツを生み出すことも可能になる。

一般的に、タッチパネル上のボタンを選択する操作では、振動により疑似的なクリック感覚を発生させることで触覚フィードバックを提示している^{[1][2]}。しかし、単純な振動だけでは、連続的な力覚の提示が難しく、様々な触力覚の表現力はできない。特に、想定しているタッチパネル上で指をスライドする操作のフィードバックには適していない。

そこで我々は、タッチパネルの表面を水平方向に動かすことにより、ユーザへ力覚を提示するシステムの開発を行っている^[3]。この触力覚提示システムにより、操作フィードバックだけでなく、力覚による方向のナビゲーションの様にシステムからの能動的な情報提示も可能になる。

しかし、モバイル向けの端末では、触力覚提示のために搭載可能な構成部にはサイズや重量に制限がある。単に小さく・軽いアクチュエータを利用するだけでは、触力覚提示のための提示力や変位速度が小さくなり、ユーザへ十分



図1 モバイル用触力覚タッチパネル
Fig.1 Haptic Touch Panel Display for mobile.

†1 日本電気株式会社 情報・メディアプロセッシング研究所
Information and Media Processing Laboratories, NEC Corporation

†2 東京工業大学大学院 総合理工学研究科
Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering,
Tokyo Institute of Technology

†3 東京工業大学 精密工学研究所
Precision and Intelligence Laboratory, Tokyo Institute of Technology

な力覚表現をすることが難しい。更に、提示力と変位速度はトレードオフの関係にあり、変速機によるレバレッジは可能なものの、両方を同時に満たすことは難しい。

本研究の目的は、モバイル用の触力覚提示タッチパネルを実現することである。基本的な構成は、ディスプレイの表示面上に透明なパネルである提示部を設置し、この提示部を4本のワイヤで水平方向に引張することで力覚を発生させる。ワイヤ駆動の力覚提示装置は、機構部が簡素であり、ワイヤの伝達方向と長さを変えることによる設計自由度が高く、アクチュエータとその他の構成部品が干渉しないような部品レイアウトを構成できる利点がある。

しかし、先に述べた様に触力覚提示装置を構成する上でサイズ・重量に最も影響するのはアクチュエータである。そこで本システムでは、形状記憶合金タイプの人工筋肉アクチュエータを用い、まずは小さく・軽いアクチュエータにて、高い提示力を確保する。しかし、使用する人工筋肉アクチュエータは、提示力が高い反面、変位速度が遅い。このままではユーザは力覚提示が行われていることに気づくまでの時間が増加し、力覚提示装置の応答の時間遅れを敏感に感じてしまう。そこで、力覚提示が行なわれるまでの間、応答速度の高い振動を付加する制御を行なう。

本論文では、タッチパネルの表面を水平方向に動かす触力覚タッチパネルを人工筋肉アクチュエータにて構成した上で、力覚提示に時間遅れがあるシステムにて振動を加えることによるユーザの感じ方の変化を実験評価する。この評価を基にモバイル端末にも搭載可能な触力覚提示タッチパネルについて検討する。

2. 関連研究

従来研究として、タッチパネル操作における振動による触覚フィードバックの研究が複数ある。Active Click^[1]では振動周波数を可変させクリック感を表現している。また、TactilePanel^[2]では振幅を制御しパネルを前後に振動させ押下感を表現している。振動によりクリック感や押下感を発生させる触覚フィードバックは、ボタンを選択する操作において有効であるが、単純な振動では、連続的な力や力の向きをユーザに提示することができない。

また、昆陽ら^[4]は物体との接触の際に生じる Stick-Slip 運動を高周波振動により再現し皮膚感覚のみで摩擦感を表現し、皮膚に及ぼす変形の大きさとタイミングを、振動刺激で模擬することにより質量や粘性を表現する研究を行なっている。本研究で対象としているユーザのスライド操作に対するフィードバック表現として有効であるが、ユーザへ能動的に情報を提示することができない。

タッチパネルにおける力覚提示装置の従来研究として、TactileDriver^[5]がある。タッチパネルとディスプレイ全体をモータで駆動し、力覚フィードバックを実現しているが、押し込み方向の提示であることから、本想定のような画面上

での移動に伴うフィードバックではない。また、タッチパネルとディスプレイ全体を動かすため、装置が大きくなる。

ディスプレイ前面の提示部を水平方向に動作させ力覚提示を行なう研究を嵯峨ら^[6]が行っている。なぞり動作に対応させた凹凸感を表現するのに、提示部を水平方向に動作させ剪断力を提示している。彼らの動作システムは SPIDAR-mouse^[7]を利用しており、ディスプレイの表示面上に提示部があり、提示部をワイヤで引張することで力覚提示を行なう。ディスプレイ前面の提示部を水平方向に動作させる構成は同じである。ただ、提示部のサイズは小さく指一本が収まる程度しかないので、コンテンツを操作する際に、必ず最初に提示部を触りに行く必要があり、テンキー入力のようにタッチパネル上の任意の位置へダイレクトに触るといった操作ができない。提示部を指に装着することも考えられるが、装着自体がユーザの負担になる。また、提示部を引張するワイヤがむき出しであり、実用上のシステムとして利用するにはワイヤに指が引っかかるなどの課題がある。また、アクチュエータにモータを使用しているため、これ以上の小型化は難しい。

力覚提示装置に振動を融合させることにより複合的な感覚を提示するための研究が複数行われている。池井ら^[8]はピン振動刺激により硬さ感覚の一部を分担表現できる可能性を検证实験により示している。また、長谷川ら^[9]は物体に触れたときに生じる固有振動を提示することにより、材質感を知覚させる研究を行なっている。しかし、これらの研究は、本研究にて示そうとしている、振動を加えることによる力覚提示の遅れ時間の感じ方の評価とは異なる。

3. モバイル用触力覚提示タッチパネル

本研究で提案するモバイル用力覚提示タッチパネルでは、ユーザがディスプレイに表示した画像コンテンツにタッチすると、指位置と画像コンテンツとが連動し、ユーザへ水平方向の力覚が提示される。本システムを、タッチパネル型の力覚提示装置であるハードウェアと、力覚を提示させるため触力覚提示制御を中心とするソフトウェアとに分けて説明する。

3.1 ハードウェア構成

本装置の基本動作は、ディスプレイ表示画面の前面に透明なパネルである触力覚提示部を4本のワイヤで水平方向に引張ることにより、画面上の水平方向への移動操作に伴った力覚を発生させる。3層のハードウェア構成により説明でき、タッチ位置検出部、触力覚提示部、画面表示部で構成する。端末筐体サイズは144×104×17[mm]である。また、制御部については別途設けている。

タッチ位置検出部にて、ユーザが指で触れた位置を感圧式のタッチスクリーンで検出する。タッチスクリーンはワイヤで引張する透明なパネルである触力覚提示部と一体になって動作し、サイズは4.3[int]のワイド型である。

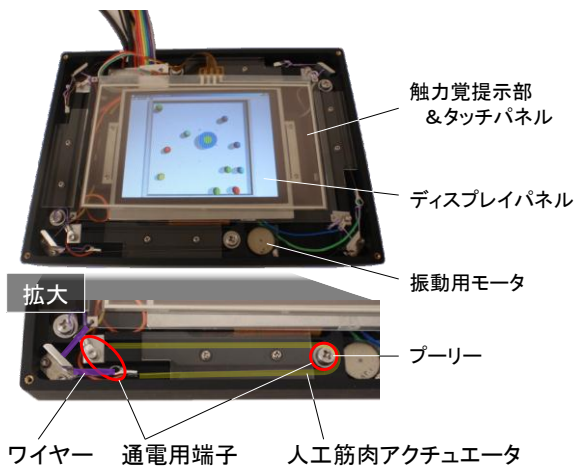


図2 機器構成

Fig.2 Composition of Haptic Touch Panel Display

触力覚提示部は、ユーザが直接タッチする部分であり、水平方向に動作し力を発生させる力覚提示と筐体全体が振動する触覚提示とをユーザの指へ提示する。

力覚提示として、触力覚提示部を引張るアクチュエータには、人工筋肉アクチュエータであるトキ・コーポレーション社製のバイオメタル^[10]BMX150を用いる。形状はコイル状に巻いたワイヤ形状であり、図に示す様に、プーリーにて引張方向を折り返し、自然長 120[mm]で使用する。バイオメタルの端部と中間地点のプーリー部に通電用の端子が設置してあり、自然長約 60[mm]のバイオメタル 2 本を並列で通電する形になっている。バイオメタルは通電により加熱することで引張力を発生し、ワイヤを介し、触力覚提示部を筐体の四隅方向に引張る構成になっている。触力覚提示部の稼働範囲は長手・短手方向に 10[mm]であり、稼働領域内で最大に動いた時でも触力覚提示部はフロントベゼルの裏に隠れる構成になっている。

モバイル用の触力覚提示タッチパネルを実現するためには、小さく・軽いアクチュエータにて、高い提示力を確保する必要がある。人工筋肉アクチュエータは変位速度が遅いものの、高出力である点で合致しており、本システムの構成がワイヤで引張るという点でも形状が適している。

触覚提示として、触力覚提示部の加振には小型の円盤型の振動モータを使用し、振動周波数は 150~200[Hz]である。

画像表示部では、液晶パネルにて画像表示を行なう。パネル上を触力覚提示部がスライドすることで力覚を発生させる構成になっており、パネルサイズは 3.5 [int]である。

触力覚の制御部には、小型アクチュエータコントローラ AGB65-SAC を用い、電圧 5[V]の PWM 制御にて駆動する。

3.2 ソフトウェア構成

本ソフトウェアでは、指の位置を検出する検出処理と、タッチした指と情報コンテンツとの連動させるコンテンツ連動、ワイヤ張力による力覚提示制御と振動提示制御の 4 つで構成する。

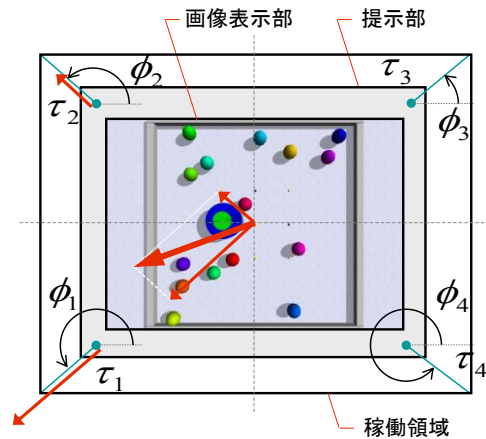


図3 画面情報と張力条件

Fig.3 Display information and tensional force

本論文ではコンテンツとして、エアホッケーの様にユーザが画面内のマレットと呼ばれる仮想オブジェクトに触り、ボールを跳ね返すことで触力覚フィードバックを得るアプリケーションを構成する。

検出処理では、ユーザの指位置をタッチスクリーンで検出し、コンテンツ連動では、タッチした指の位置にマレットを動かす、複数のボールを打ち返す。これらのコンテンツの動作は、三次元の物理シミュレータである ODE(Open Dynamics Engine)で構成し、ボールや外壁に接触した際にマレットにかかる力を提示力として算出する。

力覚提示制御では、PWM 制御によりバイオメタルを引張り、4 本の引張力のバランスにて力覚提示を行なう。本システムでは、触力覚提示部の位置を計測していないため、疑似的に触力覚提示部は必ず中心にあると仮定し、力覚提示力と方向に近い 2 つで引張る制御を行なう。

$$F = \tau_{min1} \Phi_{min1} + \tau_{min2} \Phi_{min2} \quad (1)$$

また、各ワイヤが引張る力の計測をしていないため、引張力はオープンループで制御する。以下に PWM の割合と引張力との関係を計測した実験結果を示す。実験条件は、自然長 60[mm]のバイオメタル 1 本に対し 1.0[s]間通電した。線形関係であることを確認し、本近似直線を制御に用いる。

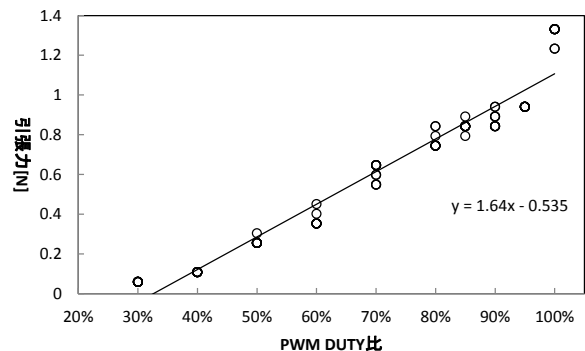


図4 PWM 割合と引張力との関係

Fig.4 Relationship between PWM and Tensional force

振動制御では、ユーザが力覚提示を感じるまでの間に振動提示を行なう。バイOMETALは変位速度が遅いため、ユーザは力覚提示装置の応答の時間遅れを顕著に感じてしまうことが懸念される。そこで、振動を加えることによりユーザの力覚提示の遅れ時間の感じ方が変わるのではないかという仮説に基づき本システムを構成する。本仮説の実証実験については次節にて説明する。

4. 実験検証及び考察

モバイル端末への搭載を目的とし、提示力が大きく変位速度の遅いアクチュエータにて力覚提示を行なう場合、ユーザは力覚提示装置の応答の時間遅れを顕著に感じてしまうことが懸念される。そこで、本実験では、振動を加えることによりユーザの力覚提示の遅れ時間の感じ方が変わるのではないかという仮説に基づき検証実験を行なう。

実験装置として、3章で説明したモバイル用触力覚タッチパネルでは、提示力や変位速度に十分な変化をつけることができないため、十分なスペックを持つ大きめの装置^[3]を用いて実験する。基本的な構成は、本システムと同様であるが、端末筐体サイズが320×256×48[mm]と大きく、力覚提示のためのアクチュエータにDCコアレスモータを用いており十分な提示力と変位速度を提示可能である。また、振動提示として、PROTEC製の圧電セラミックスピーカM-PZT-03を用い、任意の振動波形を音響信号から生成し触力覚提示部を振動させることが可能である。

4.1 実験条件

実験の概要について説明する。被験者は図5に示す仮想立方体の上に指を置き、仮想球が右側から仮想立方体に衝突する様子が表示される。衝突した際、触力覚提示部であるアクリル板に対して、ワイヤ引張による力覚提示及び振動素子による振動提示が行なわれる。モバイル用途で使用されるアクチュエータは変位速度が遅いため、衝突が起こってから力覚提示が行なわれたと感じるまでに時間差がある。この力覚の遅れ時間を T_D とする。実験構成上の力学表現としては、提示力も変位速度も十分にあり、力覚の遅れ時間 T_D を疑似的に発生させることで実験を行なう。

本実験では、力覚の遅れ時間である T_D を変化させた場合、振動がある場合と振動がない場合とで被験者の遅れ時

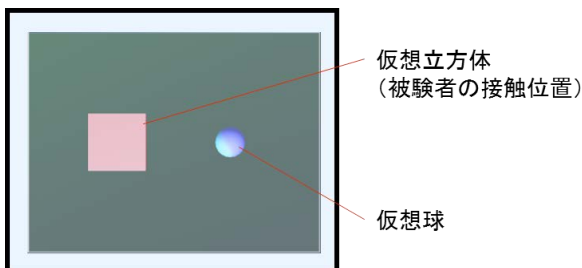


図5 実験時の表示条件
Fig.5 Display screen image in the experiment.

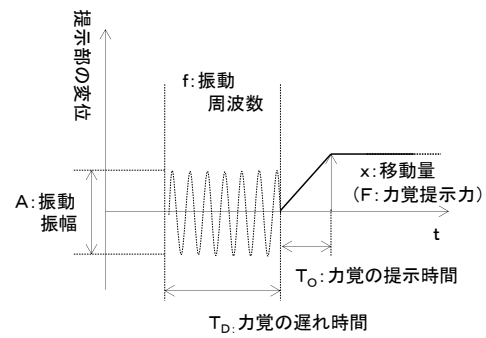


図6 触力覚提示条件
Fig.6 Condition in the haptic/vibration experimentation.

間に対する感じ方の違いを比較することで検証する。

ディスプレイに表示される実験条件について詳細に述べる。ユーザが指を置く仮想立方体は1辺が44[mm]であり、仮想球は直径23[mm]である。仮想球は110[mm]離れた位置から380[mm/s]で仮想立方体に衝突し、衝突後38[mm/s]で跳ね返される表示が行なわれる。

表示以外にも、力覚表現及び振動表現の実験条件として制御可能なパラメータが複数ある。図6は仮想球衝突時の横軸を時間とした場合の触力覚提示部の変位を表している。図6の様に、力覚表現として制御可能なパラメータには力覚提示力 F 、力覚の提示時間 T_0 とそれに伴う移動量 x があり、振動表現として制御可能なパラメータには振動周波数 f 、振動振幅 A が考えられる。

しかし、力覚及び振動表現のためのパラメータを複数同時に変化させると、結果に最も影響した主要因が何かを特定することが難しくなるため、本実験装置が提示可能な条件から、パラメータの一部を固定して考える。

まず、力覚表現のための力覚提示力 F を5[N]に固定する。この値は実験装置の実験条件下にて、常に正確な力が出せることが保証されている提示力である。そして、力覚の提示時間 T_0 を250[ms]とする。移動量 x については、本力覚提示装置の制御方法が力制御であることから実験条件として設定すること難しいため、実験で計測された移動量を結果として示す。また、振動表現のための振動周波数 f を150[Hz]に固定する。振動振幅 A に関しては100%で出力した場合、ユーザが指を置く位置において0.80[mm]であった。APHTEC社製レーザードップラーAT0042/AT3600を用いて触力覚提示部を10点計測した平均値である。

4.2 実験方法

5名の被験者に対し、椅子に座った状態で、机の上に置かれた触力覚提示装置の触力覚提示部上、図5における仮想立方体の中央に左手人差し指で軽く触れる様に指示し、評定による評価実験を行なった。

本実験では、力覚の遅れ時間である T_D と振動振幅 A を変化させた際、振動がある場合と振動がない場合とで被験者の遅れ時間に対する感じ方の違いを比較する。疑似的に発生させる力覚の遅れ時間 T_D の設定値は、0.0[s],0.25[s],

0.5[s],0.75[s],1[s]の5種類である。また、振動のパターンとして、先に示した振動振幅 A の最大値を基準として 0[%], 12.5[%],25 [%],50[%],100[%]の5種類の提示する。振動振幅 A が 0[%]であることが「振動がない」という条件に相当する。また、力覚の遅れ時間 T_D の設定値が 0.0[s]の場合は振動が設定できないため、必ず振動振幅 A は 0[%]である。被験者には、これらの組み合わせ 21 通りの提示パターンを 1 試行とし、各 10 試行、計 210 試行がランダムな順番で提示される。

各試行にて被験者は2つの評価項目について回答する。評価1:衝突からの力覚提示までの時間遅れがないと感じる。評価2:衝突による振動の大きさは力覚提示に対して適切だと感じる。であり、それぞれ 5:非常に感じる。4:少し感じる。3:どちらともいえない。2:あまり感じない。1:全く感じない。の5段階で評価を行なう。被験者に対して、特に評価1の時間遅れの評価に関しては、衝突が行なわれてから振動が発生するまでの時間ではなく、力覚提示が行なわれるまでの時間について評価する様に指示した。

被験者は右手でマウスを操作し、スタートボタンのクリックにより試行を開始する。1回の試行ごとに2つの評価項目について評価値をラジオボタンで選択する。また、振動を音として聞こえないように、被験者にはホワイトノイズを流したヘッドフォンを装着している。

4.3 実験結果と考察

評価1について、振動がある場合と振動がない場合に分け、横軸を力覚の遅れ時間 T_D 、縦軸を評価値とした結果を図7に示す。また、振動がある場合に、横軸を振動振幅 A、縦軸を評価値とした結果を図8(左)に示す。

評価1に対して、力覚の遅れ時間 T_D と振動振幅 A による二要因分散分析を行なった結果、力覚の遅れ時間 T_D の主効果($F(4,180)=57.6, p<0.01$)には有意な差が見られ、力覚の遅れ時間 T_D が小さいほど高い評価値を示した。一方、振動振幅 A の主効果($F(3,180)=0.179, ns.$)には差がなく、力覚の遅れ時間 T_D と振動振幅 A の交互作用($F(12, 180)=1.760, ns.$)についても有意な差が見られないことから、振動振幅 A による影響は小さいと考えられる。

図7に示した、振動がある場合と振動がない場合で、評価値へ影響があるのかを各力覚の遅れ時間 T_D 別に比較する。t検定を行なった結果、力覚の遅れ時間 T_D 別で振動がある場合と振動がない場合との間に有意水準 1%の両側検定において有意差が認められ、全てにおいて「振動がある」場合の方が高い評価値を示した。 $T_D=0.25[s]$:($t=5.08, df=62, p<0.01$), $T_D=0.50[s]$:($t=7.46, df=103, p<0.01$), $T_D=0.75[s]$:($t=4.59, df=128, p<0.01$), $T_D=1.00[s]$:($t=4.99, df=148, p<0.01$)

この結果より、振動を加えることによりユーザの力覚提示の遅れ時間の感じ方が変わり、遅れ時間を短く感じる事が分かった。図8(右)は図7の振動がある場合と振動

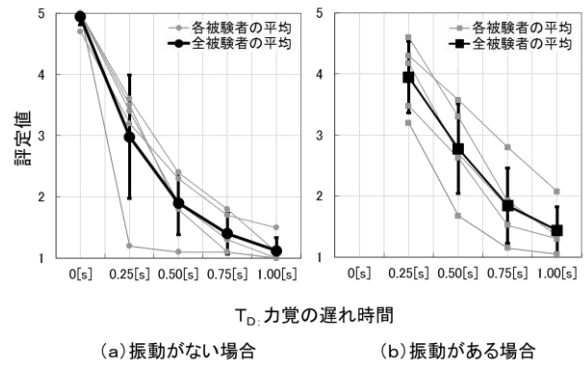


図7 評価1: 力覚の遅れ時間に対する評価
Fig.7 Evaluation 1 by the haptic time delay.

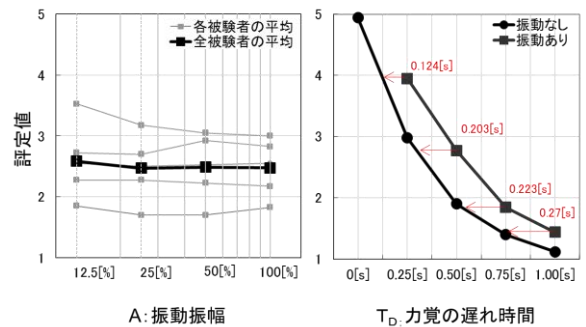


図8 評価1: 振動振幅に対する評価と評価値の比較
Fig.8 Evaluation 1 by the vibration amplitude.

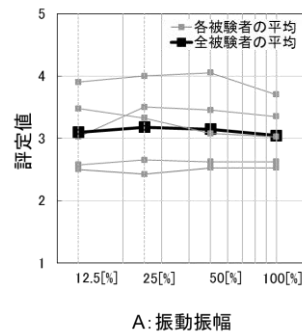


図9 評価2: 振動振幅に対する評価
Fig.9 Evaluation 2 by the vibration amplitude.

がない場合の全被験者の平均値を同一のグラフにしたものである。振動がある場合の評価値を、振動がない場合において同じ評価値になる力覚の遅れ時間 T_D を算出すると、被験者は振動がある場合、振動がない場合と比較して約 0.2[s]遅れ時間を短く感じている。

評価2について、提示した振動の振動振幅 A が力覚提示に対して適切であるかを評価する。図9は評価2について、図8(左)と同様、振動がある場合に、横軸を振動振幅 A、縦軸を評価値とした結果である。

評価2に対して振動振幅 A の違いにより評価値に差があるのかを一要因分散分析を行なった結果、各振動振幅 A で評価値の平均が有意な差がない($F(3,796)=2.61, p<0.05$)ことが示された。評価1において、振動振幅 A による影響が小

さいとの結果が得られたことから、本実験装置で生成する振動の振動振幅 A の差分では、評定に大きな影響を与えることができなかつたと考えられる。

最後に、本実験で計測された力覚提示の移動量 x は平均 10.7[mm]、標準偏差 0.36[mm]であり、各試行でほぼ同等の移動量 x が提示されている。

これらの結果より、本論文で検討している人工筋肉アクチュエータの様に、力覚提示装置の応答に時間遅れのあるシステムでは、振動を加える提示することが有効な手段であると考えられる。

5. おわりに

モバイル用の触力覚提示タッチパネルを実現することを目的に、小さく・軽い人工筋肉アクチュエータを用いたシステムを構築した。その際、力覚提示として課題となる、大きい提示力と速い変位速度を両立させるための方法として、振動を付加することにより、ユーザ力覚提示の応答の時間遅れを感じ難くする提示手法を仮説・提案した。そして、振動を付加することで、しない場合と比較して力覚の遅れ時間を約 0.2[s]短く感じさせることを評価実験により確認した。また、本手法を用いたモバイル用の触力覚提示タッチパネルを実現している。

本稿では、最終的なモバイル用の触力覚提示タッチパネルを簡易的に構成したため、その有用性の確認ができていない。今後はモバイル環境下において、実行的な機器構成の再検討とその評価実験に取り組む予定である。

6. 参考文献

- [1] 福本雅朗,杉村利明: タッチパネルにクリック感を付加できる ActiveClick, 情報処理学会シンポジウム論文集, Vol.2001, No.5, pp215-216, (2001).
- [2] 赤羽歩,村山淳,山口武彦,寺西望,佐藤誠: 触感提示機能を持つタッチパネルのための押下感生成信号の検討, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.8, No.4, pp.591-598, (2006).
- [3] 則枝真,佐藤誠: パネル駆動型力覚提示タッチパネルとその力覚制御手法の提案, 情報処理学会インタラクシオン 2012, (2012).
- [4] 昆陽雅司,岡本正吾: 振動刺激を用いた疑似力覚の呈示, 日本バーチャルリアリティ学会, 第 15 回大会論文集, (2010).
- [5] 星野剛史,塚田有人,峯元長: Tactile Driver: 触感を忠実に再現するタッチパネルシステム, 日本ソフトウェア科学会, (WISS2002), (2002).
- [6] 嵯峨智,出口光一郎: タッチパネルインタフェースにおける剪断力による 2.5 次元触覚提示についての検討, 日本バーチャルリアリティ学会研究, 第 5 回研究会, (2010).
- [7] 五十嵐達郎,一色正晴,林理平,劉宇,赤羽克仁,佐藤誠: “Spidar-mouse” の提案, 日本バーチャルリアリティ学会, 第 15 回大会論文集, (2010).
- [8] 宇高正憲,池井寧: 触覚力覚の提示手法と感覚融合に関する基礎的研究, 情報処理学会 H C I 研究会報告 2008, pp.3-6, (2008).
- [9] 池田有冬,長谷川晶一: 材質感提示のための振動を用いた力覚インタラクシオン環境の提案, 電子情報通信学会技術研究報告, pp.51-56, (2008).
- [10] 本間大: 機能異方性形状記憶合金の開発と応用, 精密工学会誌, Vol.75, No.6, pp.690-694, (2009).