

## 視覚的探索タスクにおける触力覚効果の検証 A Validation of Haptic Effect in Visual Search Task

小俣 昌樹†  
Masaki Omata

菊井 則和‡  
Norikazu Kikui

郷 健太郎†  
Kentaro Go

今宮 淳美†  
Atsumi Imamiya

### 1. はじめに

本研究では、コンピュータ操作において、視覚的フィードバックでの確認が困難な状況での触力覚フィードバックの効果を検証する。

現在、デスクトップ・コンピュータに代表されるようなコンピュータを使用するうえで、ユーザは、コンピュータから視覚的および聴覚的フィードバックを受け取ることが多い。たとえば、マウスポインタやウィンドウのアニメーション、およびエラー警告音や疑似的なクリック音などが挙げられる。

一方、触力覚フィードバックについて考えると、ユーザは、マウスやキーボードを操作しているときにデバイスへ触れているという単純なフィードバックしか受けていない。たしかに、人間の五感における知覚の割合の多くは視覚と聴覚が占めているので[1]、それ以外の感覚については無くても操作への影響は少ないと考えられる。しかしながら、視覚的および聴覚的フィードバックを受け取ることが困難な場合、それ以外の感覚が有用であることも十分に考えられる。たとえば、複数のウィンドウにわたる作業で、そのなかのひとつを見ながら操作しているとき、それ以外のウィンドウの様子を知ることは難しい。また、数十ページにわたる文書ファイルを高速にスクロールさせているとき、その中の一文字一文字を読むことは難しい。このようなとき、触力覚フィードバックがあれば、視覚的注意を払わなくても対象の状態や状況を知ることができる[2]。

このように、コンピュータの操作へ触力覚フィードバックを適用するさまざまなシステムが研究されている[2, 3, 4, 5, 6, 7, 8]。これらの研究では、主に、触力覚フィードバックを、従来操作を置き換えるために使用したり、モードを切り替えるために使用したり、付加的情報を提示するために使用したりしている。すなわち、補助的なモダリティとして利用していると考えられ、主たるモダリティである視覚的効果や聴覚的効果との交互作用や、これらのモダリティでのフィードバックが困難な状況での有用性の検証については、まだ不十分である。

本研究では、先行研究における触力覚フィードバックの補助的な利用とは異なり、視覚的フィードバックでの確認が困難な状況での操作効率を向上させるための触力覚フィードバックのデザインを提案する。具体的には、文書やWeb ページの閲覧および作成において、全体を眺めたりスクロールさせたりするときに、従来手法ではキーワード間をジャンプするためにどこを閲覧しているのかわからなくなる問題や、高速にスクロールすると詳細を目で追うことが難しくなる問題を触力覚効果で解決する方法を提案する。

本稿では、本提案に関連する研究を紹介し、本提案の視覚的効果を詳説する。そして、視覚的なキーワード探索タ

スクへ触力覚フィードバックを付加した場合の有用性を検証する実験について述べる。

### 2. 関連研究

本節では、触力覚フィードバックを利用するシステムに関する研究および触力覚フィードバックの有用性の評価に関する研究を紹介する。

Smyth らは、視覚的フィードバックを伴うマウス操作の一部を、視覚的フィードバックのない触力覚フィードバックだけで実行できる Pokespace というツールを開発した[2]。このツールにおいて、ユーザは、利き手にマウスを持ち、非利き手に触力覚デバイスを持つ。この使い分けとして、視覚的フィードバックを伴う主要な操作を利き手で行い、触力覚フィードバックだけの補助的な操作を非利き手で行う。触力覚フィードバックの付加による有用性を評価した結果、作業効率を向上させることはなかったが、わずかな視覚的注意で非利き手の操作を実行できることを示した。

福中らは、マウスの移動やホイールの回転にあわせて力覚フィードバックを提示するパッシブ型力覚マウスを試作した[3]。このマウスは、マウス本体の移動やマウスホイールの回転にあわせて、ユーザの手に停止感・タッチ感・重み感・刻み感・抵抗感を提示する。たとえば、デスクトップの淵にマウスポインタが移動すると、ユーザの手のマウスに停止感を提示する。評価実験の結果、ユーザがアクションを起こしたときにだけ力覚を提示するというパッシブ型の性質が、仮想環境を直感的に知覚する上で有効であることを示した。

椎尾らは、PDA で文字を書くときに手のひらが触れている場合とそうでない場合とを感知して、書き込むモードとスクロールさせるモードとを自動的に切り替える文鎮メタファを提案した[4]。これは、文字を書くときにペンを持つ手の手のひらで紙を押さえながら書くという現実世界の触力覚を取り入れている。

Chan らは、遠隔協調作業におけるユーザ間でのターンテイキングをマウスの振動で促す Haptic Icon を提案した[5]。これは、ネットワークでつながる遠隔地の複数のユーザが共有アプリケーションを使って作業するときに、アプリケーションの制御権の状況を把握したり、制御権を要求したりするためのノンバーバルコミュニケーションツールである。具体的には、共有アプリケーションの操作のためのマウスが振動して、制御権の変化、制御状態、および待ち状態を提示する。

McGookin らは、触力覚デバイスを使って、視覚障害者が棒グラフを作成できる Graph Builder を開発した[6]。これを使うことによって、ユーザは、触力覚を頼りに棒グラフを選んで、ペンの操作でその高さを上げたり下げたりできる。また、操作するペンへの垂直方向の重さ感によって、棒グラフの方向を感じ取ることができる。

Forlines らは、触力覚フィードバックのあるペン入力において、視覚的フィードバックのためのディスプレイ上で

†山梨大学大学院医学工学総合研究部, Univ. of Yamanashi

‡山梨大学工学部, Univ. of Yamanashi

入力する直接入力と、スタイラスへの入力と視覚的フィードバックのディスプレイとが別れている間接入力とを比較した[7]. この結果から、2つの線分を順にペンで横切るタスクでは、直接入力のほうが間接入力よりも有意に早く実行できることを示した. また、2つの矩形の中を順にペンでポインティングするタスクでは、両者に有意な差はないことを示した.

Lindemanらは、コンピュータ画面上で特定のアルファベットを探す視覚的探索において、被験者の背中に3種類の振動を与えたことによる探索パフォーマンスへの影響を調査した[8]. この結果、振動が視覚的探索へ有意に影響することはないこと、また、振動の種類による違いもないことを示した.

これらの研究では、主に、補助的な第三のモダリティとして触力覚フィードバックを利用している. 具体的には、従来の触力覚フィードバックのない操作をフィードバックのある操作に置き換えたり、視覚情報を触力覚情報へ置き換えたり、操作モードや機能を切り替えたり、付加情報を提示したりするために利用している. したがって、視覚的フィードバックへの触力覚フィードバックの影響や、視覚的フィードバックと触力覚フィードバックとの交互作用については、まだ十分に設計・評価されていない.

一方、本研究では、視覚フィードバックが困難な状況での触力覚フィードバックのデザインを提案する. また、このような状況における視覚的効果と触力覚効果との交互作用について検証する.

### 3. 文書探索への触力覚フィードバックの適用

本研究では、視覚的フィードバックだけでは確認が困難な状況として、文書ファイルを高速にスクロールして閲覧しながら、文書中の意図する箇所を見つける状況を前提とする. これは、特定のキーワードを探索するというだけではなく、文書の特徴的な部分を見つけるという状況も想定している. たとえば、挿し絵や図の含まれている文書において、以前に読んで「何となく」覚えている絵のページを見つけたいという場合、キーワードでは探索できない. そこで、たとえば、文書の行の文字の量に合わせてスクロールバーの触力覚を変化させたり、あるいは、挿し絵のある行に対応するスクロールバーの箇所触力覚効果を適用したりすることで、スクロールさせて文書全体を眺めながら絵の書いてあるページを探しやすくなると考える. また、文書の重要な箇所に触力覚効果による見えないマーキングを付加しておけば、文書をスクロールして流し読みをしながらその重要箇所に気付くことができると考える.

一般に、文書作成ツールや文書閲覧ツールでは、マウスホイールの回転やスクロールバーのスライダの上下で文書のページを進めたり戻したりする. このとき、ページの上下に合わせて文字や図表も移動するので、動かしている間、読みにくくなることもある. 特に、スクロール速度が速ければ速いほど、読みにくさは増す. 反対に、スクロール速度が遅いと、目的の箇所までに到達する時間が増えてしま

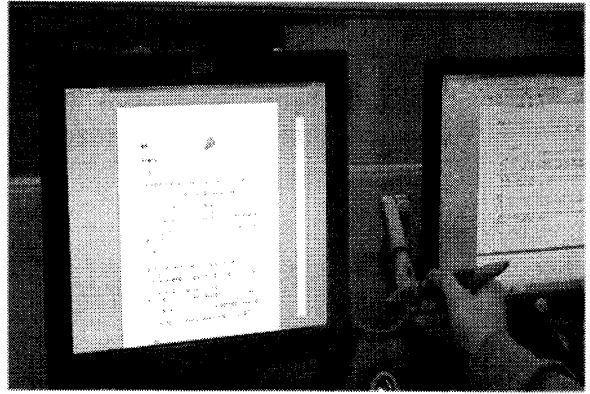


図1 実装環境

う. このように文書を連続的に動かす場合、ジャンプでの移動とは異なり、全体の構成を確認しながら特定の箇所も確認できる利点があるので、必要な機能であると考え.

このような状況を触力覚フィードバックで改善するために、本研究では、文書を上下にスクロールさせるスクロールバーの目的の行に対応する箇所に触力覚効果を設定するデザインを提案する. これは、Microsoft Office Word®やAdobe Reader®に代表されるような文書閲覧/編集ソフトウェアにおいて、閲覧者がスクロールバーのスライダを操作して文書をスクロールしたとき、指定したキーワードのある行や、特徴のある行にスライダが移動すると、ユーザーの手指に触力覚が提示されるフィードバックシステムである. 文書の特徴としては、図表の多い部分や文字の密集している部分、および指定されたキーワードなどが考えられる.

このようなスクロールバーへの触力覚効果の付加を視覚的効果の付加に置き換えて考えると、ユーザには、視覚的効果を付加したスクロールバーと文書の両方を見る必要が生じてしまう. たとえば、触力覚効果の代わりに、スクロールバーの強調部分の色を変えて明示する方法などが考えられる. しかし、この方法では、スクロールバーを見ていないと強調箇所を通り過ぎてしまったり、詳細は読めないまでも文書の内容を追いつながらスクロールすることができなかつたりすると考える. 一方、本提案のように、触力覚効果を提示すれば、同じく詳細は読めないまでも文書の内容を「なんとなく」確認しながら、触力覚効果で強調された箇所でスクロールを止めることができると考える.

今回の評価実験のための触力覚フィードバックシステムとして、文書中の指定したキーワードに対応するスクロールバーの位置に他より硬い剛性を設定する文書閲覧ソフトウェアを開発した(図1参照). 図1のように、コンピュータ画面には文書とスクロールバーと操作のためのポインタを表示する. このポインタを操作するためおよび触力覚を提示するために、SensAble Technologies社のPHANToM Omni®(以降PHANToMとよぶ)を使用する.

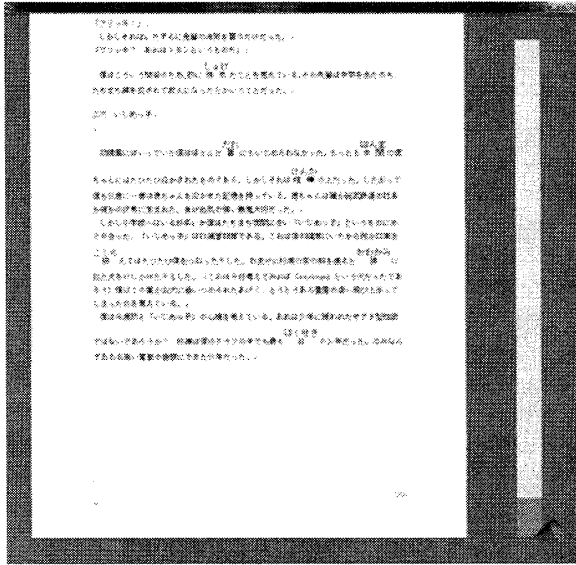


図2 視覚的效果の実装画面

使い方は、操作デバイスが PHANToM に代わっただけで、通常のマウス操作と同様である。PHANToM のペンを動かしてポインタをスクロールバー上へ移動し、ペンのボタンを押しながらスライダを移動することで文書をスクロールする。スライダを画面垂直方向下側へ移動するとともに文書が上側へ移動していき、文書の下側が表示されるようになる。なお、スクロールバーの全長は、文書の全長と相対的に対応している。PHANToM は本来 3 次元入力が可能であるが、本実験では 2 次元平面上の文書スクロールを対象とするため、スクロールバーには触力覚的な平面オブジェクトを割り当てる。

目的個所の触力覚フィードバックとして、PHANToM の「剛性」を適用する。したがって、スライダがキーワードのある行へ差し掛かると、それ以外の面よりも硬い感触のフィードバックが提示される。そもそもこの PHANToM は、「剛性」のほかに、「摩擦」と「引力」の触力覚効果も提示できる。この 3 種類の触力覚効果を本ソフトウェアに適用して開発者間で使用・検討した結果、剛性が最も知覚しやすいという結論に至ったため、剛性を適用した。

このスクロールバー上の剛性によって、閲覧者は、文書を注意深く見ていなくても、また、文字を読むことが難しいスクロール速度であっても、キーワードの行が表示されたことに気付きやすくなるを考える。

なお、本システムでは、スクロールバーへの剛性の特徴付けのほかに、実験での比較対象とするため、視覚的フィードバックとして、白い背景に黒い文字の文章内でキーワード部分の背景を黄色に塗りつぶす効果も適用する(図 2 参照)。この効果を選んだ理由は、文書閲覧ツールや Web ブラウザなどで最も一般的な視覚的強調方法であるからである。

#### 4. 触力覚フィードバックの有用性の評価

本実験の目的は、従来からの視覚的效果によるキーワードへの特徴付けの有用性とあわせて、本提案の触力覚効果によるキーワードへの特徴付けの有用性を検証することで

ある。このために、文書中の各ページに 1 箇所ずつキーワードがある場合と文書全体の中で 1 箇所にキーワードがある場合において、視覚的效果の有無および触力覚効果の有無を要因とするキーワード探索実験を実施する。以降、それぞれの実験について詳説する。

##### 4.1 実験 1: ページごとのキーワード探索実験

この実験では、文字だけで構成される 10 ページの文書中の各ページに 1 箇所ずつあるキーワードを、1 ページ目から 10 ページ目まで順に 10 個全て探索するのに要する時間を計測する。各ページ行数は 22 行または 23 行で、1 行の文字数は 40 文字程度である。また、フォントは 10.5 ポイントの MS 明朝である。

###### 4.1.1 要因および実験手続き

要因および水準は、視覚的效果要因における「効果を適用する/しない」の 2 水準、および触力覚効果要因における「効果を適用する/しない」の 2 水準である。前述の通り、視覚的效果は、キーワードの背景を黄色で強調する方法である。また、触力覚効果は、スクロールバー上のキーワードのある行に他より硬い剛性を付加することである。これらの水準を組み合わせる 4 条件を実験条件とする。

実験タスクは、文書を 1 ページ目からスクロールさせながらキーワードを探索しては、その都度口頭でそのキーワードを答えることである。このために、被験者は、タスク開始前にキーワードとなる 1 組の似て非なる単語対(たとえば、河口湖と山中湖)を覚えて、探索中、各ページにそのどちらの単語が書かれているのかを探して口頭で答える。キーワードは、いずれも漢字 3 文字である。被験者は、口頭で答えたあと、すぐにつぎのキーワードを探す作業に移る。タスク開始時、被験者は、PHANToM のペンを操作して、スクロールバーの最上部へポインタを移動させる。その後、キーボードの Enter キーを押すことで時間計測が始まるので、探索を開始する。10 ページ目のキーワードまで答え終えたら、キーボードのスペースバーを押すことで時間計測が終了する。この開始から終了までの時間をタスク完遂時間として、従属変数とする。なお、各ページのキーワードは、被験者ごとに異なるよう無作為に配置する。

このタスクを 1 試行として、前述の 4 条件で 1 試行ずつ実行することを 1 ブロックとし、全ての被験者に 8 ブロックずつ実行してもらった。被験者ごとの各ブロック内の 4 条件の実行順序はラテン方格法によって割り当てた。

実験開始前、被験者には、ディスプレイ、キーボードおよび PHANToM を使いやすい位置に配置して良いことを許可した。また、実験タスクを開始する前に、被験者本人が本システムに慣れたと感じるまでシステムを十分に使用してもらった。そして、すべての試行を終了したあと、被験者には、表 1 に示す質問紙に回答してもらった。表 1 のいずれの質問に対しても、「とてもそう思う・ややそう思う・どちらともいえない・あまりそう思わない・まったくそう思わない」の 5 段階で回答してもらった。

###### 4.1.2 実験結果

この実験に参加した被験者は、情報系の大学生および大学院生 6 名で、どの被験者も実験前は PHANToM に不慣れであった。

図 3 に、条件ごとのタスク完遂時間の箱ひげ図を示す。この結果を 2 要因の分散分析で検定したところ、視覚的效果要因に有意差があり、触覚効果要因にも有意差があった

表1 実験1での質問紙調査の質問

①	本システムの操作に慣れることができた。
②	触力覚効果がある場合とない場合の違いに気づくことができた。
③	視覚的效果がない場合、触力覚効果は探索に役立った。
④	視覚的效果と触力覚効果の両方がある場合、触力覚効果は探索に役立った。

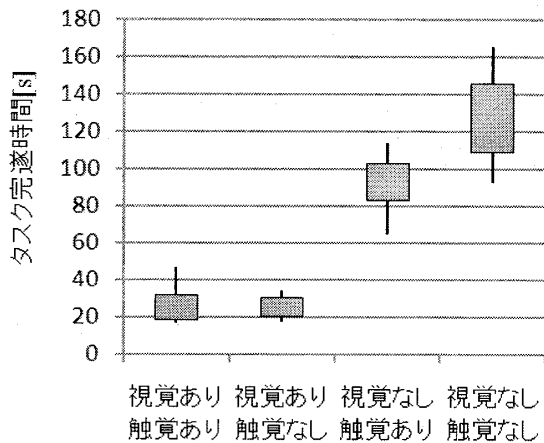


図3 実験1のタスク完遂時間(箱ひげ図)

( $p < 0.05$ )。また、交互作用も有意であった ( $p < 0.05$ )。したがって、実験結果と単純主効果分析から、視覚的效果があることによって、有意にタスク完遂時間が短縮されることがわかった。また、視覚的效果がない場合、触力覚効果があることによって、有意にタスク完遂時間が短縮されることがわかった。

質問紙調査の結果、質問①、②、③については、被験者全員が、「とても思う」または「やや思う」と回答した。質問④については、3人の被験者が「とても思う」および「やや思う」と回答した一方、2人の被験者が「どちらでもない」と回答し、1人の被験者が「あまり思わない」と回答した。このことから、被験者は、手元の感覚として触力覚効果を感じ取っていて慣れることができたけれども、キーワード探索タスクにおいて、視覚的效果のある場合に触力覚効果が有用であることを意識的には感じ取らないことがわかった。これは、実験後の被験者インタビューでの、「視覚的效果がないとき触力覚効果が役立った。」という回答や、「視覚的效果がある場合は触力覚効果よりも視覚的效果を優先して探索した。」という回答からも伺える。

#### 4.1.3 考察

実験結果から、キーワード間の距離が平均で1ページ程度と連続的なスクロールが比較的少ない探索タスクでは、触力覚効果よりも視覚的效果が有意に影響して効果的であることがわかった。この理由として、1ページ程度のスクロールであれば、おおよそのスクロール量を予測できるため、触力覚フィードバックに頼るよりも、視覚的フィード

バックに頼るからであると考えられる。また、1ページ程度であれば、時間的にもまた空間的にも、視覚的注意を保つことの負荷が少ないからであると考えられる。

一方、視覚的效果のない条件において、触力覚を適用した条件は、適用しない条件よりも、有意に効果的であることから、触力覚効果は、視覚中心の探索作業においても、効果的であることがわかる。したがって、本提案の通り、触力覚効果が視覚的作業の向上に効果的であるといえる。

この実験でのスクロール探索タスクは、被験者にとって文書中の情報を視覚的に確認しにくいようなタスクとは言えない。つまり、視覚的情報を中心にタスクを実行できるため、触力覚効果の影響は少ないと考えられる。したがって、つぎの実験では、この実験よりも文書中の情報を視覚的に確認しにくいタスクを設定する。

#### 4.2 実験2: 文書中1個のキーワードの探索実験

この実験では、文字だけで構成される10ページの文書の3ページ目から8ページ目までのいずれかに1箇所だけあるキーワードを探索するのに要する時間を計測する。

##### 4.2.1 要因および実験手続き

触力覚効果を要因とし、「効果を適用する/しない」の2水準を割り当てる。触力覚効果は、実験1と同様、スクロールバーのキーワードの行に対応する個所への他より硬い剛性の付加である。なお、この実験においては視覚的效果を要因とせず、触力覚効果の両条件ともに、キーワードの背景を黄色く強調する視覚的效果を適用する。

実験タスクは、実験1と同様、文書を1ページ目からスクロールさせながら、文書中の単語対の中の1個のキーワードを探索して口頭で答えることである。このとき、キーボードのEnterキーを押してタスクを開始し、キーボードのスペースバーを押してタスクを終了する。この間の時間をタスク完遂時間として、従属変数とする。

もうひとつの従属変数として、タスク終了時のPHANTOMのペンのオーバーシュートも記録する。ここでのオーバーシュートとは、図4に示すように、スクロールバーの上側からなぞっているペン先がキーワード行に対応する位置よりも下側に通り返ることである。この通り過ぎた差分の距離を記録する。なお、オーバーシュートを記録する理由は、触力覚効果がある場合、キーワード行での剛性の変化を頼りにスクロールバーを操作することが予想されるからである。すなわち、被験者が剛性の変化を頼り

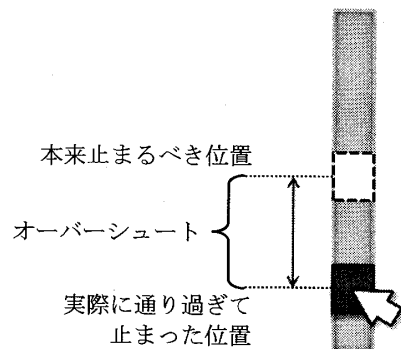


図4 オーバーシュート

表2 実験2での質問紙調査の質問

①	本システムの操作に慣れることができた。
②	触力覚効果がある場合とない場合の違いに気づくことができた。
③	触力覚効果は探索に役立った。
④	キーワードのページ番号によって、触力覚効果の影響が異なった。

にしてすばやくスライダを移動させて剛性の変化を感じ取ってからキーワードを探すという操作を行うことが予想されるからである。

文書中から1つのキーワードを探索して回答するタスクを1試行とし、文書中の3ページから8ページまでのいずれかにキーワードが埋め込まれている条件の6試行を1ブロックとする。この1ブロックを触力覚効果ありの条件となしの条件とで実行してもらい、全ての被験者にこれを5回繰り返してもらおう。なお、被験者にはどのページにキーワードが埋め込まれているのかを事前に知らせず、かつ、埋め込まれているページの順序はラテン方格法で割り当てる。また、条件のあり/なしの順序効果が生じないように、半数の被験者にはありの条件から先に、もう半数の被験者にはなしの条件から先に実行してもらおう。

実験1同様、被験者には、十分にシステムに慣れてもらってからタスクを開始してもらった。また、すべての試行を終了したあと、表2の質問紙に回答してもらった。この質問へも、実験1と同じく、「とてもそう思う・ややそう思う・どちらともいえない・あまりそう思わない・まったくそう思わない」の5段階で回答してもらった。

#### 4.2.2 実験結果

この実験の被験者は、実験1に参加した6名である。

図5に、キーワードを埋め込んだページ番号ごとのそれぞれの条件での平均タスク完遂時間の推移を示す。このグラフから、全体の傾向として、条件にかかわらず、キーワードページが後半になるほど時間が掛かっていることがわかる。また、触力覚効果がある条件では、時間の増え方が単調増加している一方で、触力覚効果がない条件では、後半のページで増加の変化量が増えていることがわかる。この完遂時間について、ページ番号と触力覚効果の有無の2要因分散分析で検定したところ、触力覚効果の有無の間に有意差は見られなかった ( $p < 0.05$ )。

図6に、キーワードを埋め込んだページ番号ごとのそれぞれの条件での平均オーバーシュート距離比を示す。縦軸は、スクロールバー全体の長さを1としたオーバーシュートの距離の比率である。このグラフから、全体の傾向として、条件にかかわらず、キーワードページの後半になるほど、オーバーシュートの距離が短くなっていることがわかる。また、触力覚効果がない条件よりも、触力覚効果がある条件のほうが、オーバーシュート距離が長いように見てとれる。この結果について、ページ番号と触力覚効果の有無の2要因分散分析で検定したところ、キーワードが6ページおよび7ページにあるとき、触力覚効果がある条件のほうが無い条件よりも有意にオーバーシュート距離が長くなることわかった ( $p < 0.01$ )。

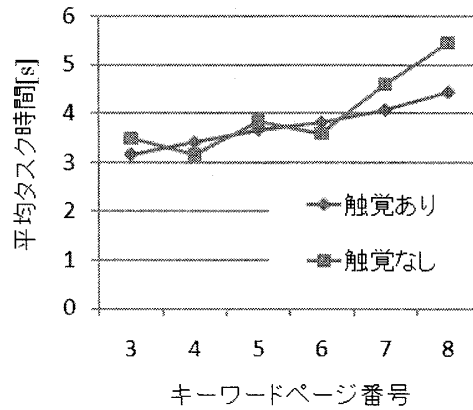


図5 実験2の平均タスク完遂時間

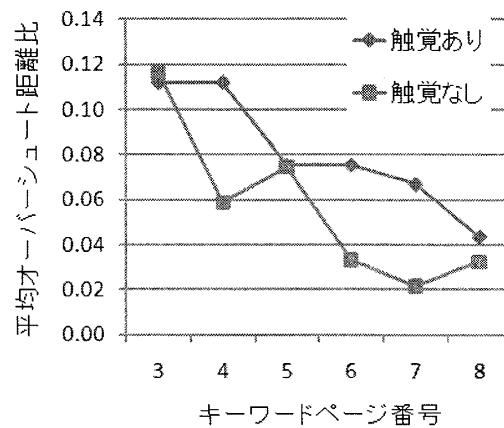


図6 実験2のオーバーシュート距離比 (スクロールバーの全長を1とする)

質問紙調査の結果、質問①、②、③については、全ての被験者が、「とても思う」または「やや思う」と回答した。また、質問④については、4人の被験者が「やや思う」と回答した一方、2人の被験者が「あまり思わない」と回答した。このことから、実験1の各ページでの探索に比べて、実験2での全体の中の1箇所の探索のほうが、触力覚効果が有用であることがわかる。また、文書全体の中のキーワードの位置と触力覚効果との関連性は見られないことがわかる。このことは、実験後の被験者インタビューでの、「触覚効果がある場合、キーワードを見落としにくい気がする。」という回答や、「視覚効果だけであると、ずっとスクロールしている画面を見続けていなければならず疲れてしまうが、触覚効果があれば、ずっと画面を見続けなくても良いので探索が楽であった。」という回答からも伺える。

#### 4.2.3 考察

実験2の結果から、実験2のタスクにおいては、触力覚効果はタスク完遂時間にあまり影響しないと考えられる。しかし、図5のタスク完遂時間のグラフのキーワードペー

ジ7および8において、触力覚効果がある条件とない条件との間のタスク完遂時間の差がしだいに開いていることがわかる。したがって、今回の実験よりもページ数の多い文書の中に1つのキーワードがある場合、触力覚効果が有意に完遂時間を短縮することが推測される。今後、ページ数を増やした場合での実験を実施する。

一方、キーワードが6ページまたは7ページにある場合において、オーバーシュート距離が有意に長くなった理由として、被験者が触力覚効果のある条件で勢いよく画面をスクロールさせていたことが考えられる。すなわち、触力覚効果のある条件では、被験者が異なる剛性の感覚を頼ってスクロールしてその感覚を感じてからキーワードを探したため、オーバーシュートが生じたと考えられる。このことは、オーバーシュートの回数が、触力覚ありの条件では全180回中29回であったのに対して、触力覚なしの条件では全180回中8回しかなかったことから確認できる。

以上の考察から、触力覚効果ありの条件では、オーバーシュートが生じて全体のペンの移動距離が増えたにもかかわらず、タスク完遂時間が増えることがなかったと言える。したがって、被験者が触力覚効果を頼って探索タスクを実行したことの効果が見られたと考えられる。

## 5. おわりに

本研究では、視覚的探索タスクにおける触力覚効果の有用性を検証した。実験タスクは、文書をスクロールさせてキーワードを探索することである。適用した触力覚効果は、スクロールバーの当該箇所への「剛性」である。これによって、ユーザは、スクロールバー上のスライダを動かして当該箇所を通り過ぎるときに、それ以外のスクロールバーの部分よりも硬い感覚を感じ取って、当該部分であることを知覚できる。

検証実験の条件として、10ページの文書を用意し、その中の各ページにキーワードがある場合と、全体の中で1箇所にキーワードがある場合を設定した。この実験の結果、各ページにキーワードがある場合、スクロールの間隔もせまく、視覚的注意を行いにいくことが少ないため、触力覚効果よりも背景強調による視覚的効果のほうが有意に探しやすいことがわかった。また、視覚的効果がない場合には触力覚効果が有用であることもわかった。一方、全体の中で1箇所のキーワードの場合、視覚的効果とともに触力覚効果を頼りに探索することがわかった。また、ページ数の増加に伴って、触力覚効果が気づきやすさへ有用に影響することが推測された。

今後の課題として、文書のページ数の増加に伴う触力覚効果の有用性およびさまざまな視覚的効果とさまざまな触力覚効果との交互作用を検証する。また、触力覚効果のパラメータの変化量と文書探索の見つけやすさとの関係を検証する。具体的には、特定箇所とそれ以外の箇所との剛性の強さの差分と気づきやすさの違いについて検証する。さらに、キーワード探索への適用だけでなく、文書中のコンテンツの特徴に合わせて触力覚効果に変化する文書閲覧インタフェースを設計する。たとえば、図表のある個所で触力覚の種類を変えたり、文書中の文字の密集度に合わせて凹凸の周波数を変えたりすることを考えている。

## 参考文献

- [1] 教育機器編集委員会：産業教育機器システム便覧，pp. 4-5, (1972).
- [2] Smyth, T. N. and Kirkpatrick A. E.: A New Approach to Haptic Augmentation of the GUI, Proc. of the 8th International Conference on Multimodal Interfaces, pp. 372-379, ACM (2006).
- [3] 福中謙一, 木村朝子, 佐藤宏, 井口征士: 力覚フィードバックを与えるパッシブ型力覚マウスの試作と性能評価, ヒューマンインタフェース学会論文誌 Vol.6, No.2, pp. 75-81, (2004).
- [4] Siio I. and Tsujita H.: Mobile Interaction using Paperweight Metaphor, Proc. of the 19th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, pp. 111-114, ACM (2006).
- [5] Chan, A., MacLean, K., Joanna M.: Designing Haptic Icons to Support Collaborative Turn-Taking, International Journal of Human-Computer Studies, pp. 333-355, Academic Press, Inc. (2008).
- [6] McGookin, D. K. and Brewster, S. A.: Graph Builder: Constructing Non-Visual Visualizations. Proc. of BCS-HCI 2006, pp. 263-278, Springer (2006).
- [7] Forlines, C.; Balakrishnan, R.: Evaluating Tactile Feedback and Direct vs. Indirect Stylus Input in Pointing and Crossing Selection Tasks, Proc. of the twenty-sixth annual SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems, pp. 1563-1572, ACM (2008).
- [8] Lindeman, R. W., Yanagida, Y., Sibert, J. L. and Lavine, R.: Effective Vibrotactile Cueing in a Visual Search Task, Proc. of INTERACT 2003, pp. 89-96, (2003).