

## タッチパネルのマルチモーダル化の効果について

### Evaluation of Touch Panel with Multimodal Interaction

研究代表者 工学部機械工学科 准教授 樹野 淳也  
Junya Tatsuno  
共同研究者 鳴門教育大学大学院 修士課程 西澤 貴史  
Takashi Nishizawa  
次世代基盤技術研究所 博士研究員 米原 牧子  
Makiko Yonehara  
工学部知能機械工学科 講師 中村 一美  
Hitomi Nakamura  
工学部知能機械工学科 教授 竹原 伸  
Shin Takehara  
株式会社 石井表記 藤井 隆志  
Takashi Fujii

The touch panel is widely used in many applications; ATM, FA instrument, car navigation system, cell phone and so on. Although the advantage of the touch panel is that change and update work are easy compared to mechanical switches, the touch panel has a serious problem that it gives no click feeling to operators. Therefore, as a result of researches on touch panel with tactile feedback, some items have been available commercially. However, there are few researches to evaluate the touch panel with tactile feedback. Then we carry out experiments where subjects enter sixteen telephone numbers to touch panel. So, we discuss the affects of differences in sensory feedback on task duration of subject.

#### 1. はじめに

タッチパネルは、金融機関の現金自動預払機(ATM)や駅券売機のような公共利用のものから、FA 機器などの産業用、さらにはカーナビゲーション、携帯電話、ゲーム機のような民生用の機器まで幅広く普及している。

タッチパネルの利点は、ソフトウェア上で表示内容や画面をデザインするため、改変や更新作業が容易であることが挙げられる。一方、タッチパネルの入力方法には、指で直接触れて操作するものとペンタブレットのように専用の機器を用いるものがあるが、どちらの入力方式においても、タッチパネル上のボタンを操作した際、押下感がないことから操作の安心感や実行性に問題があると言われている。その対策として、接触後に音を発生させている例が多く見られ、視覚情報だけでなく聴覚情報をフィードバックすることにより操作支援が行われている。

他方、タッチパネルと人間との信号授受に触覚情報を加える試みが行われている。特に、視覚障害者

向けのインタフェースとしての開発研究の報告例がある<sup>(1)(2)</sup>。また、近年、抵抗感圧方式のフォースフィードバック (FFB) タッチパネルが開発され<sup>(3)</sup>、商品化されている<sup>(4)</sup>。この市販化された製品は、擬似的なクリック感を提示させるために piezo 素子によりパネルを振動させているが、力覚のインピーダンス特性を再現できるものでない。そこで、この力覚特性を呈示するためのいくつかの興味深い研究が実施されている<sup>(5)(6)</sup>。

このように、タッチパネルデバイスに触覚情報を組み込もうとする取り組みが盛んに実施されているが、その効果について客観的に評価した研究報告はほとんどない。そこで、本研究では、タッチパネルの操作時に聴覚や触覚のフィードバックが操作性に与える影響について議論する。具体的には、被験者にタッチパネル上で複数件の電話番号を入力させ、ボタンをタッチした際に音情報・振動情報の有無が番号入力にかかる時間に与える影響について検討する。

## 2. 材料および方法

### 2.1 実験環境

図1および図2は、それぞれ実験環境の設定と実験の様子を示している。

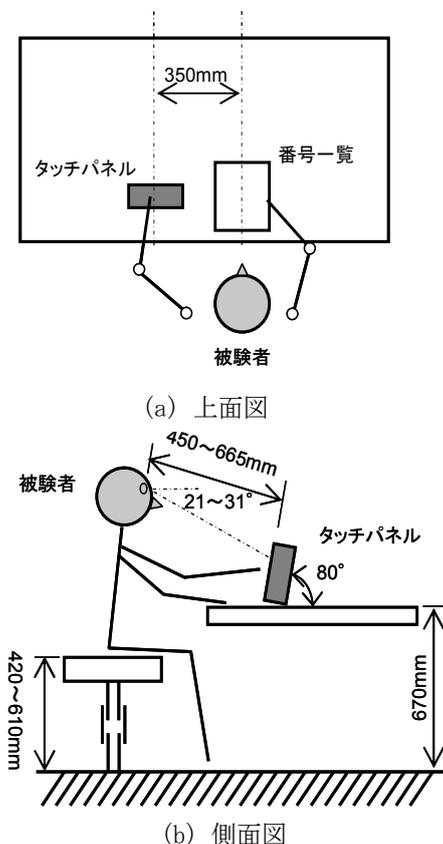


図1. 実験環境の設定



図2. 実験の様子

図のように、椅子に着座した被験者の左前方にタッチパネルを配置し、正面に番号一覧を置いた状態で実験を行う。つまり、被験者は左手でタッチパネルを操作することとなる。これは、自動車の車内環

境においても同様に、左手でカーナビゲーション画面を触ることを考慮したほか、利き手の右手には作業ツールを把持した状態で、左手でタッチパネルを操作するといったその他のアプリケーション例が考えられたためである。なお、タッチパネルと被験者の横方向の中心間距離は350mmとした。机の高さは床面から670mmとし、被験者の着座位置の前後および上下方向は、被験者が操作しやすいように自身で調整可能とした。タッチパネルは台座に固定し、約80°の傾斜角、0°の方位角で被験者へ向けた。実験後に各被験者の姿勢を測定したところ、眉間とタッチパネル中心の距離はおおよそ450mmから665mmで、見下ろし角度が約21°から31°であった。

### 2.2 実験方法

実験の手順は次のとおりである。

- 1) まず、被験者を実験用の椅子に着座させ、タッチパネルの操作のしやすいように、シート椅子の位置と高さを調節してもらう。
- 2) タッチパネルを起動するとともに、電話番号一覧が書かれた用紙を所定の場所に裏返して配置する。
- 3) タッチパネルの操作説明を行い、4件の電話番号を入力する練習操作を行わせる。
- 4) 練習終了後、試験に移り16件分の電話番号入力を実施させる。
- 5) なお、16件の電話番号入力の際には、4件ごとにランダムに被験者へのフィードバック設定が切り替わるとともに、4件の電話入力に掛かる時間が自動的にタッチパネルに記録される。

### 2.3 使用機器

供試するタッチパネルには、(株)石井表記社製のGraphic Operation Panel (GOP) 4000シリーズのGOP-4084VTB<sup>(4)</sup>を使用する。この機種は、640×480ピクセルの解像度、RGB各5ビットの32768色表示の8.4インチのTFT液晶パネルが装着されている。また、このタッチパネルには、操作者が振動により擬似的に押下感を感じられるような機能が組み込まれている。くわえて、圧電ブザーとスピーカを備えており、サウンドを出力することができる。これにより、視覚(画面表示)・聴覚(音)・触覚(振動)の三つの感覚を使って、操作者とインタラクションすることができる。

## 2.4 実験条件

タッチパネルのフィードバック設定は以下の4条件とした。

表1. フィードバック設定

	視覚	触覚	聴覚
設定1	有	無	無
設定2	有	有	無
設定3	有	無	有
設定4	有	有	有

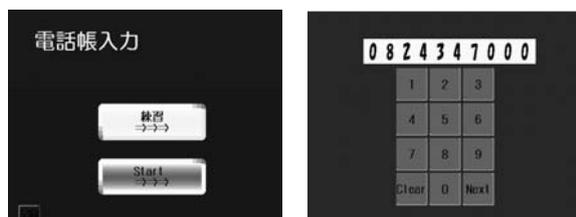
視覚フィードバックはすべて同様に被験者がタッチした番号が画面内に表示される設定とし、聴覚(サウンド)と触覚(振動)の条件を変更している。

設定1では、無音かつ振動無の条件とし、設定2では、振動のみを付加した。設定3では、サウンドのみを呈示し、設定4は、サウンドと振動ともに与えるものである。なお、振動は画面設計ソフトで設定可能な標準のものとし、サウンドは電子音のwavファイルを用意した。

順序効果を回避するために、被験者によって、これら4種類の設定が4件ごとランダムに切り替わるように設定した。

## 2.5 タッチパネル・デザイン

タッチパネル上の表示画面は、専用画面設計ソフト(TP-Designer, 石井表記)を用いてデザインした。図3および図4は、それぞれタッチパネルの画面と本実験で使用したプログラムの状態遷移図である。初期画面の「練習」ボタンをクリックすると、練習モードに遷移し、被験者に4つの電話番号の入力を行わせた後、初期画面に戻る。また、初期画面で「Start」ボタンをクリックすると、実験モードに遷移し、予め設定されたフィードバック条件ごとに4件



(a) 初期画面 (b) 入力画面

図3. タッチパネル画面

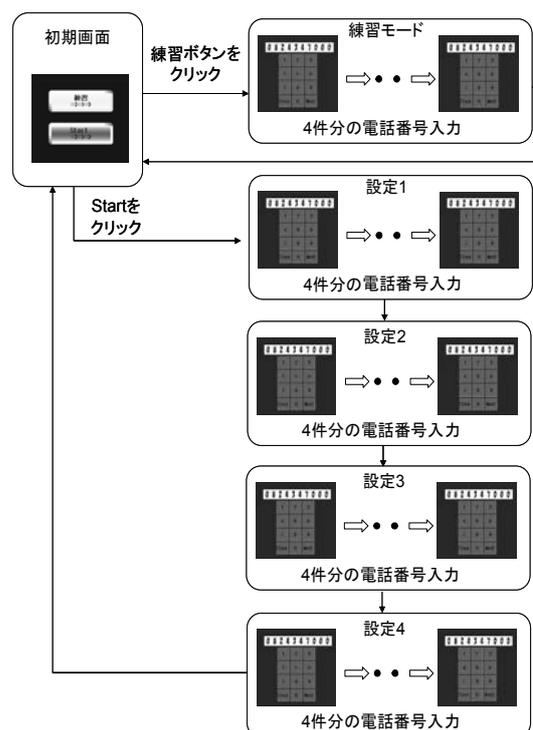


図4. 状態遷移図

の電話番号を入力し、計16件の入力後に初期画面へと戻る。

## 2.6 タスク

本実験で被験者が遂行するタスクは、16件(4件×4条件)の電話番号の入力である。入力する電話番号は、被験者が適当に思考するのではなく、リストを提供した。リストの決定方法は以下の通りである。

表2. 電話番号設定

	市外局番	市内局番	番号
1	○○	○○○○	○○○○
2	△△△	△△△	△△△△
3	□□□	□□□	□□□□
4	◇◇◇◇	◇◇	◇◇◇◇

電話番号は、インターネット上で検索し、実在する番号を採用した。1つのフィードバック条件では、4件の電話番号を入力させるが、4つのフィードバック条件における数字入力回数を同様とするために、市外局番が2桁を1件、3桁を2件、4桁を1件とした(表2)。この4パターンを組み合わせ16件分の電話番号リストを作成した。また、できるだ

け1, 2, 3や4, 5, 6のように、押下しやすい番号列とならないよう配慮を加えた。

### 2.7 被験者

被験者は、21 から 22 歳の大学生 24 名とした。いずれも、右利きの男性である。順序効果を回避できるようなフィードバック条件と電話番号のリストを 24 名に呈示した。

それぞれを A・B・C・E・F・G・H・I・J・K・L・M・N・O・P・Q・R・S・T・U・V・W・X とラベリングしてデータをまとめる。

### 3. 結果および考察

それぞれの被験者が、各フィードバック条件で 4 件の電話番号入力に要した時間の結果を表 3 および図 5 にまとめた。

図 5 から、設定 1 (触覚フィードバック無・聴覚フィードバック無) が最も時間が掛かっており、次いで、設定 2 (触覚フィードバック有・聴覚フィードバック無)、設定 3 (触覚フィードバック無・聴覚フィードバック有)、設定 4 (触覚フィードバック有・聴覚フィードバック有) の順になっている傾向

表 3. 被験者毎の所要時間

被験者	設定1	設定2	設定3	設定4
	触覚無 聴覚無	触覚有 聴覚無	触覚無 聴覚有	触覚有 聴覚有
A	40.482	36.904	40.695	35.738
B	48.123	46.957	41.726	42.640
C	37.623	41.299	34.862	33.599
D	48.609	38.227	40.307	39.179
E	48.784	43.982	36.418	37.059
F	43.087	44.526	30.235	37.079
G	41.998	34.198	48.823	39.996
H	46.684	43.884	38.460	40.716
I	46.976	35.796	38.012	34.921
J	50.961	43.068	37.468	39.199
K	46.646	41.920	43.981	44.643
L	48.085	49.873	45.348	42.270
M	43.826	41.547	39.417	38.129
N	40.599	40.151	37.721	34.940
O	43.457	31.558	31.148	31.693
P	52.206	46.140	43.029	42.923
Q	45.731	39.762	42.135	38.441
R	56.153	56.329	52.867	48.357
S	46.335	33.132	39.704	34.027
T	36.612	34.629	37.585	40.735
U	47.346	37.663	40.170	39.451
V	39.997	39.996	38.673	36.905
W	30.565	31.596	33.580	30.857
X	37.584	40.521	39.412	41.785

unit (s)

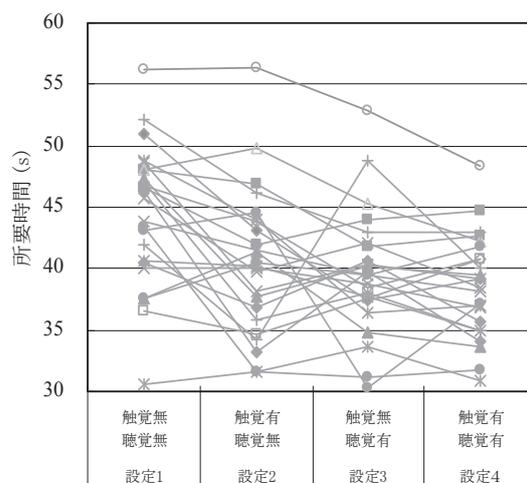


図 5. 被験者毎の所要時間

が見受けられる。分散分析を行った結果、フィードバック条件間で 1%水準の有意差が認められた ( $F(3,95)=14.44$ )。また、被験者間因子においても、1%水準の有意差が認められた ( $F(23,95)=6.77$ )。

次に、各条件設定における全被験者の所要時間の平均および標準偏差を算出し表 4 にまとめた。この結果より、設定 1, 設定 2, 設定 3, 設定 4 の順で所要時間の平均値が短くなっていることがわかる。

表 4. 平均所要時間

	設定1	設定2	設定3	設定4
	触覚無 聴覚無	触覚有 聴覚無	触覚無 聴覚有	触覚有 聴覚有
mean	44.520	40.569	39.657	38.553
S.D.	5.551	5.769	4.928	4.078

unit (s)

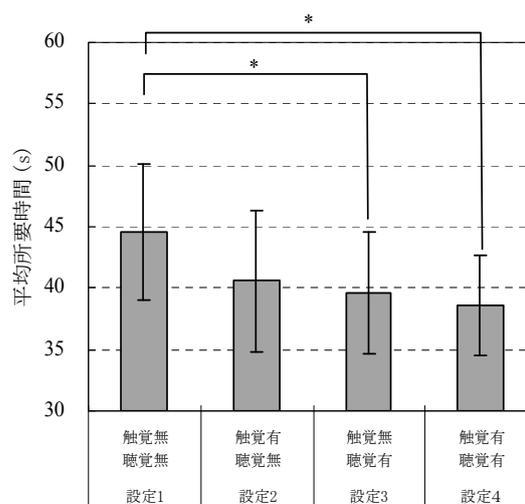


図 6. 平均所要時間

さらに、フィードバック条件が電話番号入力時間に及ぼす影響を分析するために Tukey 法を用いて多重比較を行った。

その結果、設定 1 (触覚フィードバック無・聴覚フィードバック無) に対する設定 3 (触覚フィードバック無・聴覚フィードバック有) および設定 4 (触覚フィードバック有・聴覚フィードバック有) は、それぞれ 5%水準の有意差が認められた。

これらの結果から、フィードバック設定が操作者の操作時間に何らかの影響を与えていると判断できるが、以下のような問題がある。

本実験で用いた音は単一周波数 (約 1786 Hz) の電子音であった。これは、いくつかの電子音のなかから、主観的に不快でないものを選択した結果である。音の心地よさに関する研究は古くから多く報告されており<sup>(7)</sup>、さらには電子音の評価<sup>(8)</sup>やスイッチの押下感を向上させる効果音<sup>(9)</sup>、ビープ音の評価に関する研究<sup>(10)</sup>などが報告されている。本研究の目指すところは人間の能力活性化であり、心地よさといった評価基準で選択された音が直接利用できるか不明であるが、人間の能力活性化と音のデザインについては今後の大きな課題であろう。

一方、振動については、タッチパネルが抵抗感圧式であることを十分に考慮する必要がある。抵抗感圧式はその性質上、比較的強く押し込む必要があり、どちらかと言えば、指の腹で押すよりは爪先で押すほうが、直感的に反応が良く感じる。本研究では、被験者が本実験に入る前に練習を設けて、タッチパネルの操作に慣れて貰うよう努めたものの、実験中にうまくタッチできない試行もあった。他方、実験で用いた振動は、タッチパネル設計ソフトに予め登録されている振動を選択していたが、これも検討の余地があると考えられる。例えば、ヒトの指先の力学的解析に関する研究は多く<sup>(11)</sup>、爪をうまく利用することにより、爪根元近傍にあり圧刺激に反応するメルケル細胞を刺激できるとの報告もある<sup>(12)</sup>。つまり、指先に伝わる振動を人間がうまく感知できる振動のデザインも大きな課題として考えられる。

さらに、本実験の結果では、聴覚と触覚をフィードバックした条件が、最も電話番号入力のタスクにおいて入力速さに寄与することが確認された。しかし、なぜこの結果になったのかのメカニズムは明らかになっていない。このことを様々な生体情報を測定することにより明らかにすることも今後の課題

であろう。

#### 4. おわりに

本研究では、タッチパネルのマルチモーダル化が操作者に与える操作性を検討するために、電話番号を入力する被験者試験を行い、次の結果を得た。

- ・実験の結果、フィードバック条件による入力時間の相違が見られ、統計分析した結果、音と振動を両方フィードバックしない条件に対して、音や振動をフィードバックする条件では、有意差が認められた。
- ・今後は、人間の能力を活性化させる音や振動についての検討のほか、電話番号の速度入力が速くなったメカニズムを明らかにするための取り組みが必要と認識された。

#### 参考文献

- (1) 半田拓也, 坂井忠裕, 御園 政光, 森田寿哉, 伊藤崇之, ”タッチパネル搭載型触覚ディスプレイを用いたインタラクティブな提示方式”, 電子情報通信学会技術研究報告, 福祉情報工学 107(368), pp.83-86, 2007
- (2) 渡辺将充, 竹内義則, 松本哲也, 工藤博章, 大西昇, ”タッチパネル操作における視覚障害者の指の誘導法”, 電子情報通信学会技術研究報告, 福祉情報工学, 108(435), pp.53-58, 2009
- (3) [http://www.smk.co.jp/p\\_file/TP\\_20080919.pdf](http://www.smk.co.jp/p_file/TP_20080919.pdf)
- (4) [http://www.ishiihyoki.co.jp/DEPT/D/img/cat\\_gop4000.pdf](http://www.ishiihyoki.co.jp/DEPT/D/img/cat_gop4000.pdf)
- (5) 新井史人, 岩田直也, 福田 敏男, ”タッチパネル入力機器のためのクリック感を有する透明スイッチ機構”, 日本機械学会論文集 C 編, 71(706), pp. 1983-1989, 2005
- (6) 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, 8(4), pp. 591-598, 2006
- (7) 吉田倫幸, ”脳波のゆらぎ計測と快適評価”, 日本音響学会誌, 46(11), pp.914-919, 1990
- (8) 小坂洋明, 重松剛史, 渡辺嘉二郎, ”電子音の感性評価”, 計測自動制御学会論文集, 33(12), pp.1164-1170, 1997
- (9) 木村朝子, 大町英之, 柴田史久, 田村秀行, ”効果音によるタッチセンサへの押下感提示の研究

- 究”, 情報処理学会研究報告 HCI, 2007(68), pp. 9-16, 2007
- (10) 國分志郎, 植野彰規, 内川義則, ”ビープ音刺激の音圧が覚醒効果に及ぼす影響: サッカードと脳波の解析に基づく定量評価”, 計測自動制御学会論文集, 44(11), pp. 871-877, 2008
- (11) 前野隆司, 小林一三, 山崎 信寿, ”ヒト指腹部構造と触覚受容器位置の力学的関係”, 日本機械学会論文集 C 編, 63(207), pp.881-888, 1997
- (12) 佐野明人, ”身近な触覚デバイスのヒント”, 日本機械学会触覚技術の基礎と応用講習会, pp.35-38, 2009