

# タッチパネルのマルチモーダル化が操作性へ与える影響

## Usability Validation of Multi-modal Touch Panel

研究代表者 工学部機械工学科\*1 准教授 樹野 淳也  
Junya Tatsuno  
共同研究者 次世代基盤技術研究所\*2 博士研究員 米原 牧子  
Makiko Yonehara  
工学部情報学科\*2 講師 中村 一美  
Hitomi Nakamura  
工学部ロボティクス学科\*2 教授 竹原 伸  
Shin Takehara  
株式会社 石井表記\*3 藤井 隆志  
Takashi Fujii

The objectives of this paper are to investigate the effects of auditory feedback and tactile feedback on usability of touch panel and to find out the improving mechanism of touch panel usability. Four kinds of stimulus conditions are prepared with the absence or presence of auditory feedback and vibration feedback. In experiments, subjects are given phone number task under the stimulus conditions. In order to evaluate the usability, task duration is measured by using timer counter function in the touch panels, and eye-fixation duration is measured with an eye tracking system. From the experimental results of 24 subjects, it was found that not only the task duration but also the fixation duration on the touch panel are influenced by the stimulus conditions. Accordingly, the reason why the task duration under the condition with auditory feedback or vibration feedback becomes shorter seems to depend on the fixation duration on the touch panel. Since it is well known that auditory reaction time and tactile reaction time are faster than visual reaction time, it was guessed that subjects could more quickly judge the completion of phone number input by using auditory and tactile senses.

Keywords: resistance film type touch panel, tactile sense, auditory sense, usability, response time

### 1. はじめに

従来のタッチパネルデバイスには押下感がないことから、操作の安心感や実行性が低いことが指摘され、その対策として触覚情報を組み込もうとする取り組みが実施されてきた<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ピエゾ素子によりパネルを振動させているが、これらの製品は、力覚のインピーダンス特性を再現できるものでないことから、力覚特性を表現するための研究が実施されている<sup>(4),(5)</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は盛んであるが、それら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、我々はタッチパネル操作時に聴覚や触覚のフィードバックが、タッチパネル操作に与える影響について研究してきた<sup>(6)</sup>。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、番号入力にかかる時間を測定した結果、聴覚や触覚をフィードバックすると操作が速くなるという結果を得ている。しかし、この先行研究では、操作時間が短くなるメカニズムを明らかにすることができなかった。今後の新たな商品開発や販路の拡大を考慮すると、タッチパネル操作が速くなる現象のメカニズムの解明は大きな意義を持つと考え、本報では、先行研究の実験内容を見直し、改めて実施した被験者実験の結果について報告する。

### 2. 材料及び方法

#### 2.1 実験環境

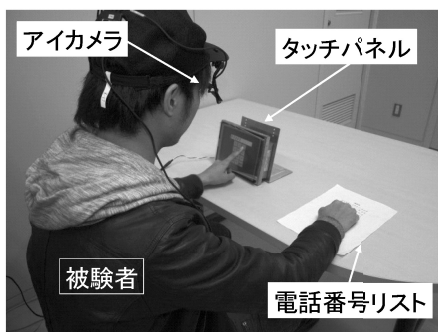
図1は、被験者実験の実験環境を示している。図のように、着座した被験者の左前方にタッチパネルを設置した。表1に供試したタッチパネル(石井表記, GOP-4084VTB)の仕様をまとめた。このタッチパネル

\*原稿受付 2014年2月26日

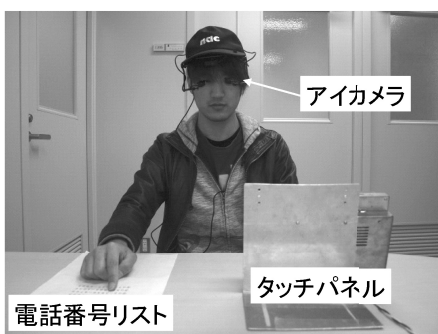
\*1 〒739-2116 東広島市高屋うめの辺1番  
E-Mail tatsuno@hiro.kindai.ac.jp

\*2 〒739-2116 東広島市高屋うめの辺1番

\*3 〒720-2113 福山市神辺町旭丘5番



(a) 後方



(b) 前方

図 1. 実験環境

表 1. 供試したタッチパネルの仕様

表示デバイス	TFT カラーLCD
画面サイズ・解像度	8.4 インチ, 640 × 480
表示色数	32,768 色
振動機能	BURU タッチシステム
サウンド	スピーカ内蔵 外部出力ポート有り
電源電圧	DC24V, 35W 以下
製品単体重量	約 1.3kg

は、抵抗感圧方式のフォースフィードバック(FFB)デバイスを有している。また、サウンドファイルを再生可能であることから、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。

タッチパネルは高さ 730 mm の机の上に置き、タッチパネルと被験者の横方向の中心間距離は 350 mm とした。着座高さおよび前後位置は、操作しやすいように被験者に実験前に調整させた。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。

本実験では、被験者は左手でタッチパネルを操作することとなるが、自動車の車内環境において、左手でカーナビゲーション画面を操作することを考慮したほか、利

き手の右手で作業ツールを把持し、左手でタッチパネルを操作するといった作業を想定したためである。

## 2.2 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。

1 つの刺激条件では、4 件の電話番号を入力させるが、4 種類の刺激条件における実験条件が同様となるように、まず、市外局番 2 桁が 1 件、3 桁が 2 件、4 桁が 1 件とした。次に、このルールでランダムに番号を設定した上で、インターネットで検索をかけ実在する番号を候補とした。さらに、この候補から、1, 2, 3 や 6, 5, 4 のように押しやすい連続した数字が並んだリストを排除し、最終的なリストとした。



(a) 初期画面

(b) 入力画面

図 2. タッチパネル画面

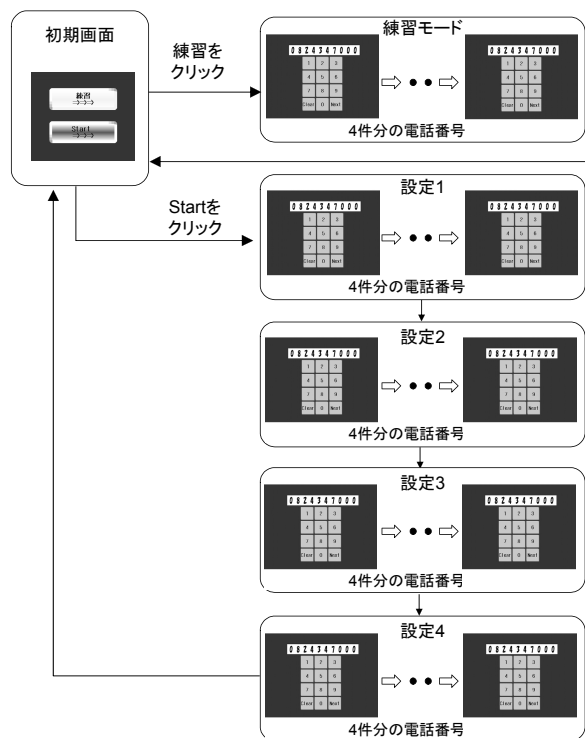


図 3. 実験用ソフトウェアの状態遷移図

タッチパネルの画面は、画面設計ソフト (TP-Designer, 石井表記) を用いてデザインした。図 2 および 図 3 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、予め設定された刺激条件ごとに 4 つ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。それぞれの刺激条件下において、4 件分の電話番号入力に要した時間は、タッチパネルのカウンタ機能を用いて計数、記録できるようにした。

### 2.3 刺激

表 2 のように、聴覚フィードバックおよび触覚フィードバックの有無により 4 種類の刺激を用意した。刺激 1 では、聴覚フィードバックと触覚フィードバックをともに与えるものとし、刺激 2 および刺激 3 は、それぞれ、聴覚フィードバック、触覚フィードバックのみを呈示する設定で、刺激 4 は、聴覚フィードバック、触覚フィードバックをともに呈示しない設定である。これら刺激の設定において、触覚フィードバックとしての振動は、予めソフトウェアで設定可能な標準設定を使用した。また、聴覚フィードバックとしてのサウンド設定は、主観的に不快でない判断した電子音 (単一周波数: 約 1786 Hz) を選択した。なお、被験者がタッチした番号が画面内に表示されるため、視覚フィードバックは常に呈示される設定であった。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プログラムした。

表 2. フィードバック条件

	音	振動
刺激 1	有	有
刺激 2	有	無
刺激 3	無	有
刺激 4	無	無

### 2.4 評価

先行研究<sup>7)</sup>では、タッチパネル操作時の聴覚や触覚のフィードバックが、入力操作に与える影響を検討するため、入力に掛かる時間のみを計数し議論した。刺激条件により、入力時間に有意な差が生じることは示唆されたが、操作時間が短くなるメカニズムを明らかにすることができなかった。そこで、本実験は、そのメカニズムの解明を目的としている。

さて、被験者の 1 件の電話番号入力における視線と作業の流れは次のようになると思われる。

- 電話番号リストに視線を移し、1 件分の 1/2 もしくは 1/3 程度の数字を記憶する。
- 視線をタッチパネルに移して、記憶していた番号まで入力を行う。
- 再度、電話番号リストに視線を移し、残りの番号を記憶する。
- 再び視線をタッチパネルに移し、記憶していた番号の入力を行う。
- 2 件目に移り、上記のプロセスを繰り返す。

このプロセスにおいて、刺激条件の関与が考えられるのは、a) や c) のような番号を記憶するプロセスでなく、b) や d) のように、タッチパネルを視認しながらの作業であると推測される。そこで、本実験では、タスク全体の遂行時間において、タッチパネルを注視している時間の抽出を試みた。具体的には、被験者の視線方向を検出するアイカメラ (ナックイメージテクノロジー, EMR-9) を実験時に被験者へ装着させた。アイカメラの映像は 240 Hz のサンプリングレートで撮影し、実験後に、撮影された動画を解析し、タッチパネル領域に視線が停留していた時間を計数した。図 4 は、実験時に撮影されたアイカメラ映像の一例で、

(a) がタッチパネルに視線が停留している際の映像で、



(a) タッチパネルを注視



(b) 電話番号リストを注視

図 4. 実験環境

表 3. 被験者毎の入力時間, 注視時間, 非注視時間

	刺激1 音有・振動有			刺激2 音有			刺激3 振動有			刺激4 なし		
	入力 時間 $T_{a1}(s)$	注視 時間 $T_{g1}(s)$	非注視 時間 $T_{n1}(s)$	入力 時間 $T_{a2}(s)$	注視 時間 $T_{g2}(s)$	非注視 時間 $T_{n2}(s)$	入力 時間 $T_{a3}(s)$	注視 時間 $T_{g3}(s)$	非注視 時間 $T_{n3}(s)$	入力 時間 $T_{a4}(s)$	注視 時間 $T_{g4}(s)$	非注視 時間 $T_{n4}(s)$
S01	43.204	27.883	15.321	40.191	19.632	20.559	45.926	30.055	15.871	46.393	33.892	12.501
S02	44.429	29.155	15.274	39.101	24.074	15.027	48.201	32.093	16.108	50.534	33.481	17.053
S03	38.111	19.814	18.297	37.254	24.793	12.461	40.921	22.699	18.222	38.476	22.878	15.598
S04	39.707	28.814	10.893	35.634	19.955	15.679	42.627	28.989	13.638	42.384	23.732	18.652
S05	47.272	30.397	16.875	39.677	23.511	16.166	45.162	31.364	13.798	48.505	32.273	16.232
S06	38.417	24.881	13.536	34.445	23.021	11.424	38.114	23.372	14.742	44.375	31.336	13.039
S07	48.201	29.734	18.467	39.976	24.984	14.992	44.762	26.031	18.731	47.773	31.364	16.409
S08	40.226	26.371	13.855	39.641	22.595	17.046	44.072	27.116	16.956	44.376	31.914	12.462
S09	34.491	18.459	16.032	35.891	20.441	15.450	33.172	19.778	13.394	33.886	20.554	13.332
S10	43.562	29.612	13.950	37.876	28.842	9.034	38.304	27.443	10.861	48.571	35.659	12.912
S11	33.988	20.567	13.421	38.926	23.778	15.148	31.285	19.191	12.094	34.765	24.143	10.622
S12	34.512	21.965	12.547	32.957	24.413	8.544	33.209	21.477	11.732	36.943	24.379	12.564
S13	38.265	21.227	17.038	33.443	19.745	13.698	43.768	21.315	22.453	49.621	25.325	24.296
S14	34.375	20.524	13.851	36.221	25.220	11.001	39.955	26.296	13.659	39.018	27.794	11.224
S15	43.611	28.635	14.976	41.366	23.851	17.515	44.317	27.025	17.292	45.243	29.118	16.125
S16	42.757	30.511	12.246	48.901	26.764	22.137	48.531	33.176	15.355	55.668	36.381	19.287
S17	34.542	19.425	15.117	37.618	21.454	16.164	39.501	24.821	14.680	35.995	18.979	17.016
S18	36.496	22.614	13.882	35.312	18.573	16.739	33.948	23.193	10.755	39.665	25.049	14.616
S19	35.818	20.137	15.681	39.917	20.878	19.039	39.917	24.535	15.382	40.551	28.062	12.489
S20	47.708	31.593	16.115	45.321	24.662	20.659	43.621	22.644	20.977	46.812	33.394	13.418
S21	43.299	21.833	21.466	40.875	21.045	19.830	40.018	20.534	19.484	49.625	33.889	15.736
S22	45.292	23.581	21.711	36.518	25.472	11.046	44.326	29.849	14.477	44.992	30.119	14.873
S23	36.590	20.528	16.062	37.024	21.439	15.585	40.972	27.659	13.313	42.135	28.275	13.860
S24	48.388	30.396	17.992	40.431	26.017	14.414	48.783	32.399	16.384	53.151	39.253	13.898

(b)は、電話番号リストを見ている際の映像である。

以上をまとめると、本実験では、以下の3種類の時間を計数し、考察を行うことになる。

入力時間( $T_a$ ) : 4件の電話番号入力に要した時間

注視時間( $T_g$ ) : タッチパネル上に視線が停留していた時間

非注視時間( $T_n$ ) : タッチパネル以外に視線が停留していた時間. 入力時間( $T_a$ )と注視時間( $T_g$ )との差分で算出

## 2.5 被験者

被験者は、右利きの男子学生24人(21.1±1.2歳)とした。なお、倫理的配慮として、実験の着手にあたり、近畿大学工学部生命倫理委員会の承認をうけたほか、被験者に予め実験計画・内容についての説明を口頭および文書で行い、インフォームドコンセントを得た上で、実験を実施した。

## 3. 結果および考察

それぞれの刺激条件ごとに各被験者の入力時間, 注視時間, 非注視時間を、表3にまとめた。

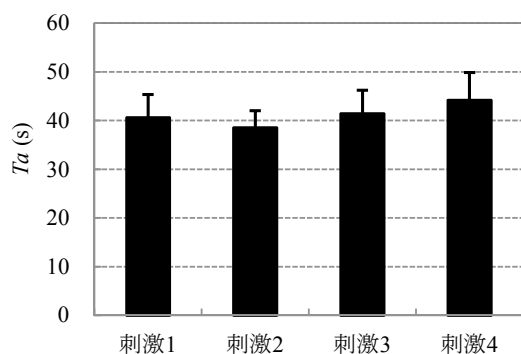
さらに、各刺激条件における全被験者の所要時間の平均および標準偏差を算出し、表4にまとめ、図5にグラフを示した。図5の(a), (b), (c)は、それぞれ入力時間, 注視時間, 非注視時間の平均値および標準偏差を示している。

図5の結果を見ると、刺激条件によって4件の電話番号入力に要した入力時間に差があることが分かる。具体的には、刺激2(音有, 振動無)の入力時間が最も短く、フィードバックのない刺激4(音無, 振動無)が最も長くなっている。この入力時間と同様の傾向が、タッチパネル上に視線が停留した注視時間にも見ることができる。一方、タッチパネル以外に視線があった非注視時間は、刺激により平均値に差がないように見受けられる。

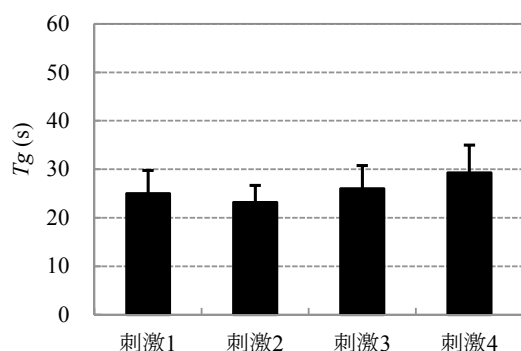
次に、それぞれの平均値の分散分析(1要因, 4水準)を行った。その結果、入力時間では刺激要因に有意差が確認された( $F(3,69)=16.18, p<0.01$ )。また、注視時間においても有意差がみられ( $F(3,69)=19.08, p<0.01$ )だが、非注視時間では有意差が確認できなかった( $F(3,69)=0.293, n.s.$ )。

表 4. 入力時間, 注視時間, 非注視時間の平均値と標準偏差

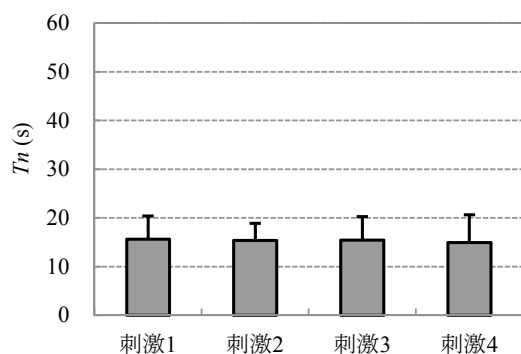
	刺激1 音有・振動有		刺激2 音有		刺激3 振動有		刺激4 なし	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
入力時間 $T_a$ (s)	40.553	4.802	38.522	3.503	41.392	4.818	44.144	5.740
注視時間 $T_g$ (s)	24.944	4.360	23.132	2.528	25.961	4.101	29.218	5.146
非注視時間 $T_n$ (s)	15.608	2.595	15.390	3.520	15.432	2.956	14.926	2.933



(a) 入力時間



(b) 注視時間



(c) 非注視時間

図 5. 刺激ごとの平均値と標準偏差

さらに、分散分析にて有意差の認められた入力時間と注視時間について、水準毎の差の検定を行うため Shaffer の多重比較を行い、その結果を表 5 と表 6 にまとめた。その結果、4 件の電話番号入力に要した入力時間においては、フィードバックのない刺激 4 と聴覚と触覚のいずれかのフィードバックがあったその他の刺激 1, 2, 3 とに 5% の有意差が認められ、さらに、聴覚フィードバックのみの刺激 2 と振動フィードバックのみの刺激 3 との間でも、5% の有意差が認められた。注視時間の多重比較結果も入力時間の結果と同様の傾向を示し、フィードバックのない刺激 4 と聴覚と触覚のいずれかのフィードバックがあった刺激 1, 2, 3 とに 5% の有意差が認められ、聴覚フィードバックのみの刺激 2 と振動刺激のみの刺激 3 との間にも 5% の有意差が認められた。

これらの結果から、聴覚や触覚のいずれかのフィードバックがある場合とそれらのフィードバックがともにならない場合とでは、タッチパネルの入力速度に差が生じた。原因は、タッチパネル上に視線が停留していた時間の差によるものと判断できる。タッチパネル上に視線が停留していた時間が短くなった原因は次のように考えられる。タッチパネル上に視線が停留していた時間とは、被験者が電話番号を記憶した後に、番号を入力するために視線をタッチパネルに移し、その記憶した番号の入力終了後に、再度番号を確認・記憶するために、電話番号リストへ視線を移すまでの時間である。聴覚と触覚のフィードバックがない場合は、番号入力の完了を視覚のみで確認する必要があるが、フィードバックがある場合は、聴覚や触覚により番号入力完了の情報が人間へ伝わる。一般的に、人間の感覚の反応時間は、

視覚 0:188 ~ 0:206 (s)

触覚 0:155 ~ 0:200 (s)

聴覚 0:155 ~ 0:182 (s)

と、知られている<sup>6)</sup>ように、視覚の反応時間は、聴覚や触覚の反応時間より長い。従って、タッチパネル操作において、聴覚や触覚のフィードバックが加わると操作時間が短くなるメカニズムは、聴覚や触覚のフィードバックを加えた場合は、視覚のみの場合と比較し、それらの感覚により入力の完了を速く判断することができ、次の番号を確認・記憶するための視線移動のタイミングが速ま

表 5. 入力時間の多重比較結果

	刺激1 音有・振動有 40.553±4.802 (s)	刺激2 音有 38.522±3.503 (s)	刺激3 振動有 41.392±4.818 (s)	刺激4 なし 44.144±5.740 (s)
刺激1	—	ns ( diff =2.03,p=0.027)	ns ( diff =0.83,p=0.252)	* ( diff =3.59,p=0.000)
刺激2		—	* ( diff =2.87,p=0.003)	* ( diff =5.62,p=0.000)
刺激3			—	* ( diff =2.75,p=0.001)
刺激4				—

\*: p<0.05

表 6. 注視時間の多重比較結果

	刺激1 音有・振動有 24.944±4.360 (s)	刺激2 音有 23.132±2.528 (s)	刺激3 振動有 25.961±4.101 (s)	刺激4 なし 29.218±5.146 (s)
刺激1	—	ns ( diff =1.81,p=0.040)	ns ( diff =1.02,p=0.175)	* ( diff =4.27,p=0.000)
刺激2		—	* ( diff =3.88,p=0.003)	* ( diff =6.09,p=0.000)
刺激3			—	* ( diff =3.26,p=0.001)
刺激4				—

\*: p<0.05

ったものと推測できる。

本実験は、静寂な環境で若年者の被験者にて行ったものであり、振動機能を具備したタッチパネルの真の有効性を考慮すると、さらなる議論が必要であると認識している。本報で示したように、音情報は操作性を高めるために非常に有効であるが、使用する環境や使用者の属性によっては、音情報を認識できないことも十分に考えられる。たとえば、タッチパネルは工場内の産業機器に多く用いられているほか、高齢者向けの機器へのニーズも検討されている。つまり、今後の研究の課題として、騒音のある環境下や加齢により身体能力の低下した高齢者を利用者として仮定したタッチパネルの情報伝達も議論すべきと考えられる。

一方、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、主観的に不快な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>9)</sup>、さらには電子音の評価<sup>10)</sup>やスイッチの押下感を向上させ

る効果音<sup>11)</sup>、ピープ音の評価に関する研究<sup>12)</sup>などが報告されている。騒音環境下において、心地よさといった評価基準で選択された音が操作性に対して有効であるかは定かでないと思われる。そのような騒音環境下での信号音の設定に関しての研究報告<sup>13)</sup>もあり、また、ISO 7731<sup>14)</sup>においても騒音環境下での信号音の設定方法が規定されている。他方、高齢者の身体能力を考慮し、報知音のあり方に関する研究<sup>15)</sup>も多くあるほか、2010年には、高齢者および障害者に配慮した消費生活製品の報知音の設計指針が ISO 24500<sup>16)</sup>として制定されている。これらに基づいた音を使用した実験の実施も検討すべきである。

他方、振動機能付のタッチパネルの応用分野として、医療機器が検討されている。医療の現場では、多くの場合、素手でなく手袋を装着してのタッチパネル操作となるであろう。従って、本実験のような素手での操作だけでなく、手袋を装着した場合の操作性の検討も必要であろう。

抵抗感圧式のタッチパネルはその性質上、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。本実験では、タッチパネルの特性に慣れるために試行を設けたものの、実験中にうまく入力できないケースが見受けられた。おそらく手袋の装着は入力操作に対して妨げになると思われるが、何らかの工夫を施すことにより、操作性が維持・向上できるものと思われる。例えば、ヒトの指先の力学的解析に関する研究は多く<sup>(17)</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>(18)</sup>ことから、これらを参考にしたタッチパネル操作性の向上に関する取り組みの検討も必要であろう。

#### 4. まとめ

本研究では、タッチパネル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の調査と、そのメカニズムの解明を目的とし、被験者実験を行った結果、以下の知見を得た。

- 1) 被験者に電話番号入力タスクを与え、入力に要する時間を計数した結果、音や振動をフィードバックすると、視角フィードバックがない条件よりも入力時間が短くなった。
- 2) 被験者にアイカメラを装着し、タスク実行中における視線の停留領域とその時間を計数した結果、音や振動をフィードバックした条件では、それらのフィードバックがない条件よりもタッチパネルを注視している時間が短くなった一方、タッチパネル以外に視線がある時間については、刺激条件で有意な差が認められなかった。
- 3) これらのことから、音や振動をフィードバックした時に番号入力の時間が短くなるのは、タッチパネルを視認している時間が短くなっていると判断でき、これは、感覚の反応時間の違いによるものと推測できた。
- 4) 今後は、振動機能付きタッチパネルの実際的な観点から、騒音環境下での利用、高齢者による利用を考慮したインタフェースデザインやその評価に取り組むべきと認識した。

本実験の実施には、本学学生渚陽祐君（現ドリームベッド（株））、土居舜矢君（現（株）福屋）の努力による場所が多く、謝意を表します。なお、本研究の一部は、文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業「地域連携による次世代自動車技術の研究」にて行われたことを付記する。

#### 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, Vol.107, No.368, (2007), pp.83-86
- (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, Vol.108, No.435, (2009), pp.53-58
- (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, Vol.71, No.706, (2005), pp.1983-1989
- (6) 赤羽歩, 村山淳, 山口武彦, 寺西望, 佐藤誠, “触覚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, (2006), pp.591-598
- (7) 樹野淳也, 西澤貴史, 米原牧子, 中村一美, 竹原伸, 藤井隆志, “タッチパネルのマルチモーダル化の効果について”, 近畿大学次世代基盤技術研究所報告, Vol.2, (2011), pp.83-88
- (8) 伊藤講治, 桑野園子, 小松原明哲, “人間工学ハンドブック”, 朝倉書店, (2003), pp.364
- (9) 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), (1990), pp.914-919
- (10) 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), (1997), pp.1164-1170
- (11) 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”, 情報処理学会研究報告 HCI, 2007(68), (2007), pp.9-16
- (12) 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), (2008), pp.871-877
- (13) 江川義之, “工場内騒音環境下における警告信号音の設定法に関する研究”, 日本経営工学会誌, Vol.41, No.1, (1990), pp.43-50
- (14) ISO 7731, “Ergonomics - Danger signals for public and work areas - Auditory danger signals”, (2003)
- (15) 川田章弘, 中川真一, 福本一朗, “反応時間を指標とした高齢者が聞き取りやすい報知音の検討”, 電

子情報通信学会技術研究報告,99(331), (1999),  
pp.9-16

- (16) ISO 24500, “Ergonomics-Accessible design  
-Auditory signals for consumer products”,(2010)
- (17) 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), (1997), pp.881-888
- (18) 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, (2009) ,  
pp.35-38