

効果音によるタッチセンサへの押下感提示の研究

木村朝子^{*1*2}, 大町英之^{*3}, 柴田史久^{*4}, 田村秀行^{*4}

^{*1} 科学技術振興機構 さきがけ, ^{*2} 立命館大学 総合理工学研究機構,
^{*3} オムロン株式会社, ^{*4} 立命館大学 情報理工学部

概要 近年, 公共設備や家電製品などでタッチセンサやタッチパネルを利用した入力装置をよく見かけるようになった。しかし, 一般のメカニカルなスイッチと比べ押下感がなく, LED や GUI 画面の変更, 簡単な電子音で入力状態を確認するというものがほとんどであり, 正しく操作できたという実感や安心感に欠けるという問題がある。そこで本研究では, タッチセンサの操作時に, メカニカルスイッチの動作音を効果音として再生することで, 利用者に擬似的に押下感を与えることができるかどうか実験を行った。実験の結果, 押しボタン型スイッチの動作音を利用者の入力動作に対してタイミングよく再生することで, 押下感提示が可能であることを確認した。

A Study for Presentation of Tactile Sensation with Sound Feedback to Touch Sensor

Asako Kimura^{*1,*2}, Hideyuki Omachi^{*3}, Fumihisa Shibata^{*4}, Hideyuki Tamura^{*4}

^{*1} JST PRESTO, ^{*2} Research Organization of Science and Engineering, Ritsumeikan University,
^{*3} Omron Corp., ^{*4} College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University

Abstract Recently, a touch sensor and touch panel are often used for public equipments and home appliances, because of their convenience. However, they do not have enough tactile feedback, such as "push touch," to operate comfortably. In this paper, we propose the presentation of "push touch" with an action sound of mechanical switch to the touch sensor, and we report the results of experiments in which whether or not user can recognize the sound as push touch sense.

1. はじめに

近年, 公共設備や家電製品などでタッチセンサやタッチパネルを利用した入力装置をよく見かけるようになった。これらは, 一般のメカニカルなスイッチ (以下スイッチ) と比べ, 可動部の破損や異物侵入の可能性が低く故障が起きにくい, 触れるだけで操作できるため操作者を選ばない, タッチセンサではサイズ, 形状が自由に変更可能

で表面パネルに多種多様な材質が利用できる, タッチパネルでは自由に編集可能な画面表示によりユーザに直感的な操作を提供できる, などの利点がある。

一方で, タッチセンサ, タッチパネルには押下感がないため, LED や GUI 画面の変更, 簡単な電子音などにより入力状態を確認するというものがほとんどであり, 正しく操作できたという実感がなく, 安心感に欠けるといった問題が指摘さ

れている[1].

そこで本研究では、タッチセンサ操作時の効果音を工夫することで、利用者に擬似的な押下感を与えることができるかどうか実験を行った。具体的には、様々なスイッチの動作音を適用し比較するとともに、その提示タイミングの検討も行った。

2. 関連研究

これまでに、タッチセンサやタッチパネルにスイッチの押下感を擬似的に表現し、ユーザに操作したという実感、安心感を与える様々な試みがなされている。

通常、ユーザはスイッチの入力操作時に、以下の3つのフィードバックを得ている。

- (1) 操作前、操作中、操作後のスイッチ形状の視覚的变化
- (2) スwitchの動作機構による押下感
- (3) スwitchの動作音

(1)の視覚フィードバックに関しては、タッチセンサでは入力状態を示すLEDの使用や、タッチパネルではオブジェクトの表示色を変えるなどGUIの変更で対応は可能である。

(2)の力覚フィードバックに関しては、タッチセンサ、タッチパネルとスイッチでは動作機構が根本的に異なるため、押下感の提示が難しいというのが現状である。この問題を解決するために、タッチパネルに力覚・触覚フィードバック機構を新たに付加することでスイッチの押下感を擬似的に表現する様々な試みがなされている。例えば、赤羽らはアナログ抵抗膜式タッチパネルの周囲にコイルを取り付け、タッチパネル自体を振動板とし、振幅制御信号に音声信号を用いてタッチパネルを前後方向に振動させることで押下感を擬似的に表現するTactilePanelを開発した[1]。また、暦本らはタッチパネルの振動素材に電極とピエゾセラミックフィルムを使用した触覚機構

TouchEngineを開発した[2]。星野らは、タッチパネルの後方にモータとリンク機構を付加してタッチパネル全体を上下に動作させることでスイッチの触感を実現するTactile Driverを開発した[3]。また新井らは、タッチパネル用のシリコンゴムによる透明触覚スイッチを提案している[4]。その他にも、力覚・触覚フィードバックを付加する研究は盛んに行われている[5-7]。市販品では、抵抗感圧方式の力覚フィードバック付タッチパネルやそのタッチパネルを用いたカーナビゲーションシステムなどが存在する[10][11]。

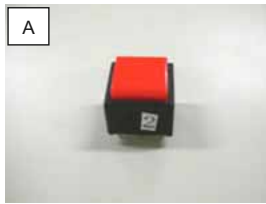


(3)の聴覚フィードバックに関しては、従来のタッチセンサやタッチパネルでは単純な電子音が多く使用されている。この電子音の感性評価を行う研究として、例えば、山内ら[8]や小坂ら[9]は様々な電子音が人に与える印象の違いについての研究を行っている。しかし、これらは一般的な電子音を取り扱ったものでタッチセンサやタッチパネルにおける押下感に注目した研究は行われていない。

3. 押下感の提示

3.1 メカニカルスイッチの種類と動作機構

まず、スイッチの種類とそれぞれの動作機構を説明する。市販されているスイッチは、その形状と動作機構の違いにより表1のように分類することができる。左右切替え型モーメンタリ動作のスイッチはあまり見かけないため、本研究では対象外とする。押しボタン型モーメンタリ動作スイッチは、スイッチを押している間はon、離すとoffになる(図1)。押しボタン型トグル動作スイッチは、スイッチを1度押すとonになり、再度押すとoffになる(図2)。左右切替え型トグル動作スイッチは、スイッチ操作時に垂直方向と水平方向の両方の動作を必要とし、スイッチの片側を押すとonになり、反対側を押すとoffになる(図3)。

表 1 スイッチの分類

		動作機構による分類	
		モーメンタリ動作：指で倒している又は押し込んでいる間のみ on	トグル動作：1度指で倒す又は押し込むと on, 再度倒す又は押し込むと off
形状による分類	押しボタン型：指で押し込むことによって on / off を切替えることができる		
	左右切替え型：指で倒すことによって on / off を切替えることができる		

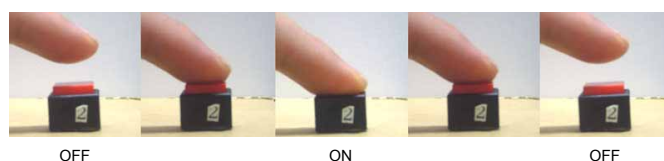


図 1 押しボタン型モーメンタリ動作スイッチの動作機構

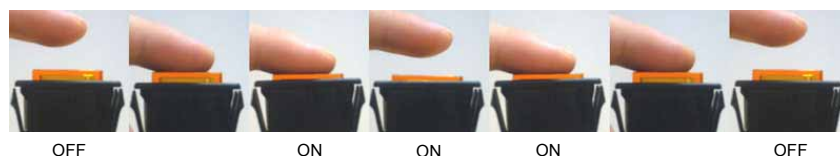


図 2 押しボタン型トグル動作スイッチの動作機構

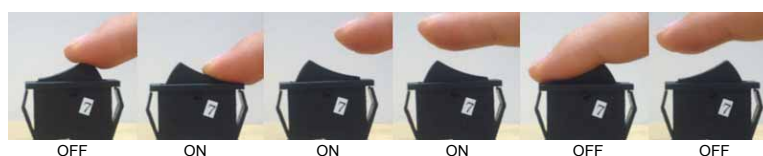


図 3 左右切替え型トグル動作スイッチの動作機構

3.2 効果音の提示

本研究では、最初のステップとして、まず効果音としてスイッチの動作音（以下スイッチ音）を適用した場合について検討する。12種類のスイッチ（図4）の動作音を収録し使用する。スイッチ音に近いロック式ボールペンの動作音も効果音

として利用した。収録は無響室で行った。

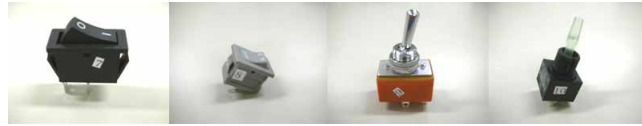
通常、タッチセンサやタッチパネルは、ユーザの指が触れた時点で一連の効果音を再生するよう設計されている（図5）。一方、押しボタン型のスイッチの場合、スイッチの押し始めからスイッチの押し込みが終わるまでの間と指をスイッチ



(a) 押しボタン型モーメンタリ動作



(b) 押しボタン型トグル動作



(c) 左右切替え型トグル動作

図4 効果音として利用した12種類のスイッチ

から離し始めてから離し終わりまでの間にそれぞれ音が発生する(図6)。本稿では、前者の方式を「非連動式」、後者の方式を「連動式」と呼ぶ。

タッチスイッチやタッチパネルでも、ユーザの指が触れた時点でスイッチ音の一部を再生し、さらに指が離れた時点でスイッチ音の残りを再生することで「連動式」の再生方式を擬似的に表現することができる。

また、図7に示すように、メカニカルスイッチでは、スイッチ音が発生するのはスイッチを押し込み始めた時刻ではなく、スイッチを押し込み終わる直前もしくはその直後である。一方、一般にタッチセンサやタッチパネルでは、指がタッチセンサ、タッチパネルに触れた時刻に電子音が再生される。

タッチセンサ、タッチパネルでのスイッチ音の再生タイミングをメカニカルスイッチに近づけるためには、タッチセンサ、タッチパネルに触れてからスイッチ音を再生するまでに遅延時間を設ける方法が考えられる。

3.3 システム構成

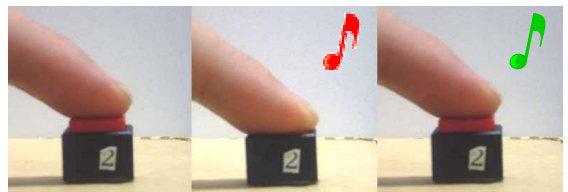
効果音を利用してタッチセンサに押下感を提示するシステムを試作した。オムロン株式会社製36チャンネル静電容量式タッチセンサB6Tシリーズ[12]、音再生処理用PC(IBM製ThinkPad X32)、アンプ、小型スピーカーで構成されている(図8)。

音処理用PCはタッチセンサとシリアル通信を



指が触れた時

図5 非連動式再生方式



押し込んだ時

戻した時

図6 連動式再生方式

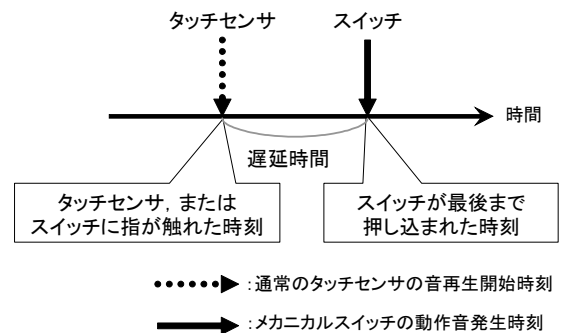


図7 スイッチ音の再生タイミング

行っており、ユーザの指がタッチセンサに触れる、または離れると該当するタッチセンサのIDとそのタッチセンサの状態(指が触れた、離れた)を音処理用PCに送信する。音処理用PCでは、受信したタッチセンサのIDと状態に従い該当する効果音を再生する。

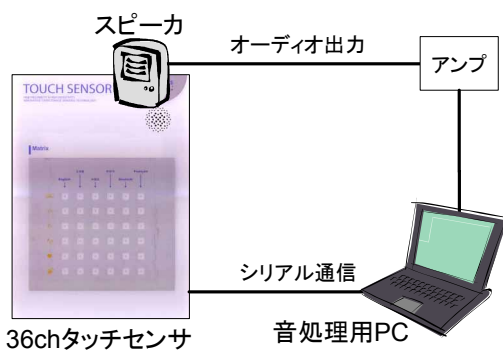


図8 システム構成

4. 実験

4.1 実験1：押下感提示可能性の検証

タッチセンサに触れた時にスイッチ音を再生することで押下感を提示可能か、どちらの再生方式で、どのタイミングに、どのスイッチ音を再生することが効果的かを検証する。

4.1.1 手順

実験1では、21個のタッチセンサに対して、3.2で述べた12種類のスイッチ音を、そのまま、または再生方式、再生タイミングを変更した計21パターンのスイッチ音を割り当てる（表3）。

まず押しボタン型モーメンタリ動作（表1のA）のスイッチ音では、全6種類について連動式、非連動式の両方の再生方式を適用する（計12個）。また、再生タイミングを遅らせた場合の効果を確認するため、押しボタン型モーメンタリ動作の1つのスイッチ音（連続式）に対して、再生タイミングを0.1、0.2、0.3秒それぞれ遅らせたスイッチも用意する（計3個）。

押しボタン型トグル動作（表1のB）と左右切替え型トグル動作（表1のC）のスイッチ音（表1(b)(c)）に関しては、収録した音をそれぞれ連動式、非連動式で再生し、再生タイミングは遅延時間0.0秒とする（計6個）。

被験者は大学生20名、実験手順は以下の通りである。

(1) 各被験者にタッチセンサを触らせる

(2) 各タッチセンサを触る度に「押した感覚があるか？」質問を行い、被験者に「ある」「少しある」「ない」の3択で回答させる

(3) 全タッチスイッチについて(1)(2)を繰り返す。

(4) 気づいたこと感想など自由にコメントさせる

4.1.2 結果と考察

実験結果を表3に示す。まず、表3のNo.2, No.7は、ほとんどの被験者が「押した感覚がある」と回答しており、押下感を表現できるスイッチ音とその再生方法、再生タイミングの組み合わせが存在することがわかる。

次に、スイッチ音の種類別に「ある」「少しある」と回答した割合を平均すると、押しボタン型（No.1～No.17）が86%、左右切替え型（No.18～No.21）が50%と、押しボタン型のスイッチ音の方が押した感覚を誘発するという結果となった。今回用意したスイッチ音の個体差によるところも大きいと思われるが、押しボタン型スイッチとタッチセンサの指の動きが垂直方向であるのに対して、左右切替え型スイッチは水平方向の動きが加わるという違いも要因として考えられる。

また、押しボタン型モーメンタリ動作のスイッチ音について、再生方式別に「ある」「少しある」と回答した割合を平均すると、非連動式（No.1, No.6, No.8, No.10, No.12, No.14）では81%、連動式（No.2, No.7, No.9, No.11, No.13, No.15）では88%と、あまり変わらない結果となった。連動式のスイッチを押下感がないと評価した被験者の多くは、実験中、タッチセンサにじっくり触れるのではなく、少し触れてはすぐに離すというように、かなり速い指の動きでタッチセンサに触れており、連動式と非連動式の違いに気が付いていないと思われる場面が多く見られた。一方、連動式を高く評価した被験者からは「（連動式の方が）音と動作が同期しているから押したと感じる」という意見もあった。このことから、今回の結果から連動式、非連動式で違いがないとはい

表 3 実験 1 の結果

No.	スイッチ種別	スイッチの種類	再生方式	再生タイミング	結果			
					ある	少しある	ない	
1	①	押しボタン型 モーメンタリ動作	非連動式	遅延なし	40%	50%	10%	
2			連動式		90%	10%	0%	
3					0.1秒遅延	55%	35%	10%
4					0.2秒遅延	35%	45%	20%
5					0.3秒遅延	15%	45%	40%
6	非連動式			遅延なし	50%	40%	10%	
7	連動式		75%		20%	5%		
8	非連動式		25%		50%	25%		
9	連動式		15%		70%	15%		
10	非連動式		30%		40%	30%		
11	連動式		30%		50%	20%		
12	非連動式		35%		45%	20%		
13	連動式	50%	30%		20%			
14	非連動式	15%	65%		20%			
15	連動式	55%	30%		15%			
16	⑦	押しボタン型 トグル動作	連動式		35%	35%	30%	
17	⑧				50%	40%	10%	
18	⑨	左右切替え型 トグル動作	非連動式	15%	30%	55%		
19	⑩			25%	25%	50%		
20	⑪			15%	45%	40%		
21	⑫			5%	40%	55%		
22	—	無音	—	—	0%	0%	100%	

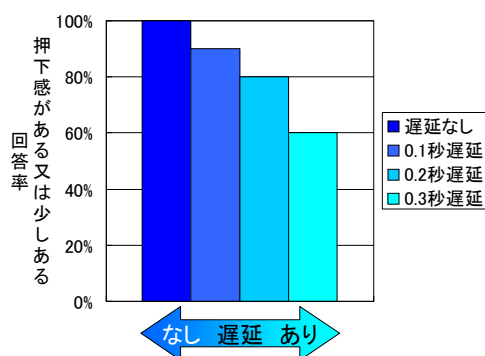


図 9 再生タイミングの影響

切れない。

最後に、スイッチ音の再生タイミング別に「ある」「少しある」と回答した割合を図 9 に示す。図 9 より、タッチセンサに指が触れてからスイッチ音を再生するまでの時間が早ければ早いほど、押したという感覚を誘発することがわかった。実験当初、タッチセンサでスイッチ音が再生される場合は、スイッチを押し込み終わるまでの遅延時間を忠実に再現することで、より押下感が得られるのではと予想していた。しかし、タッチセンサ

の場合、指が触れた瞬間にスイッチ音が再生されたほうが、より押下感があるとの結果になった。

また、被験者からは「タッチセンサとわかっているのに、押した実感がある」「タッチセンサを思わず強く押し込んでしまう」などのコメントがあった。

以上のことから、スイッチ音とその再生方法、再生タイミングをうまく組み合わせることで押下感提示が可能であることが示された。特に、押しボタン型スイッチのスイッチ音を遅延なしで再生するとより効果的であることもわかった。

4.2 実験 2：スイッチ種類識別可能性の検証

次に、タッチセンサから再生されるスイッチ音からスイッチの種類を識別できるかを検証する。

4.2.1 手順

効果音は、実験 1 で用いたスイッチ音の中から「押下感がある」との結果になったものを各動作機構につき上位 2 つ、計 6 つを選択し、6 個のタッチスイッチに割り当てる。但し、押しボタン型モーメンタリ動作のスイッチ音では再生方式が

表 4 実験 2 の結果

No.	スイッチの種類	結果			
		A	B	C	その他
A-1	押しボタン型	80%	20%	0%	0%
A-2	モーメンタリ動作	85%	10%	5%	0%
B-1	押しボタン型	30%	60%	0%	10%
B-2	トグル動作	40%	55%	0%	5%
C-1	左右切替え型	10%	15%	75%	0%
C-2	トグル動作	5%	15%	75%	5%

A: 押しボタン型モーメンタリ動作スイッチ

B: 押しボタン型トグル動作スイッチ

C: 左右切替え型トグル動作スイッチ

その他: A, B, C以外のスイッチ

連動式であるものを採用した。

被験者は大学生 20 名、実験手順は以下の通りである。

- (1) 各被験者にタッチセンサを触らせる
- (2) 各タッチセンサを触る度に表 1 の A, B, C, 3 種類のスイッチの写真を提示し、「どのスイッチを連想するか?」と質問し、被験者に「A」「B」「C」「どれでもない」の 4 択で回答させる
- (3) 全タッチスイッチについて(1)(2)を繰り返す
- (4) 気づいたこと感想など自由にコメントさせる

4.2.2 結果と考察

結果を表 4 に示す。押しボタン型モーメンタリ動作のスイッチ音、左右切替え型のスイッチ音が再生された場合は、80~85%、75%の被験者が同じタイプのスイッチを連想すると回答した。しかし押しボタン型トグル動作のスイッチ音に関しては、多くの被験者が押しボタン型モーメンタリ動作スイッチ音と誤認識した。この原因として、この 2 つのスイッチは形状が似ており、外見上的な違いはスイッチのへこみ方の差しかないため、タッチセンサに適応した場合には判別が難しいという点があげられる。

以上のことから、押しボタン型スイッチと左右切替え型スイッチの識別は、効果音によりある程度可能であると考えられる。

5. むすび

効果音のみでタッチセンサに押下感を与えることが可能か、効果音からスイッチの識別は可能かを検証するための実験を行った。その結果、スイッチ音とその再生方法、再生タイミングをうまく組み合わせることで押下感提示が可能なこと、特に、押しボタン型スイッチのスイッチ音を遅延なしで再生するとより効果的であることがわかった。また、効果音を変更することで、押しボタン型スイッチと左右切替え型スイッチの識別もある程度可能であることがわかった。

今後は、今回評価の高かったスイッチ音から、押下感提示に有効な音の要素を解析するとともに、押下感提示可能な効果音を生成する方法についても検討していきたい。

謝辞

本実験で用いたタッチセンサに関して (株) オムロンスイッチ事業部の藤田裕之氏、木下政宏氏、田部能浩氏に協力を得た。

参考文献

- [1] 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
- [2] I. Poupyrev, S. Maruyama, J. Rekimoto, “Ambient touch: Designing tactile interfaces for handheld devices,” User Interface Software and Technology 2002, pp. 51 - 60, 2002
- [3] HITACHI Human Interaction Lab., “Tactile Driver,” <http://hhil.hitachi.co.jp/products/tactiledriver.html>
- [4] 新井史人, 岩田直也, 福田敏男, “タッチパネル用透明触覚スイッチ”, 日本バーチャルリアリティ学会第 9 回大会論文集, pp. 5 - 6, 2004
- [5] M. Fukumoto, T Sugimura, “Active click: Tactile feedback for touch panels,” Computer Human Interaction 2001, pp. 121 - 122, 2001
- [6] 三輪高仁, 稲田宏治, 岡本あき人, 松本吉弘, 藤田俊弘, “操作表示器における CC スwitch の操作

感の検討”, 第 13 回ヒューマンインタフェースシンポジウム論文集, pp. 293 - 298, 1997

- [7] 川上昌彦, 錦朋範, 辻義孝, 岡本あき人, 藤田俊弘, “タッチスイッチに多彩な操作感を付加した直接操作・表示機器の開発”, 第 13 回ヒューマンインタフェースシンポジウム論文集, pp. 299 - 304, 1997
- [8] 山内勝也, 岩宮真一郎, “周波数変調音の擬音語表現とサイン音としての機能イメージ”, 日本生理人類学会誌, Vol. 10, No. 3, pp. 115 - 122, 2005
- [9] 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, Vol. 33, No. 12, pp. 1164 - 1170, 1997
- [10] SMK Corporation, “Force Feedback Touch Panels,” http://www.smk.co.jp/product_j/pdf/touchpnl/JSF431207.pdf
- [11] アルパイン株式会社, “PulseTouch™コントロール”, http://www.alpine.co.jp/alpine/products/alpine_technology/system.html
- [12] 石川義人, 蒲田秀之, 木下政宏, “非接触型静電容量式タッチセンサ IC と回路常数設計ツールの開発”, OMRON TECHNICS, Vol. 46, No. 1, 2005