



振動子, ソレノイドおよびバイプロトランスデューサによる振動刺激がキーボードの打鍵感に与える影響の調査

Investigation of the haptic effect of vibrators, solenoids, and vibro-transducers on keyboard press feeling

小松真也¹⁾, 嵯峨智²⁾

Shinya KOMATSU and Satoshi SAGA

1) 熊本大学 大学院自然科学教育部 (〒 860-8555 熊本県熊本市中央区黒髪 2 丁目 39 番 1 号, komatsu@saga-lab.org)

2) 熊本大学 大学院先端科学研究部 (〒 860-8555 熊本県熊本市中央区黒髪 2 丁目 39 番 1 号, saga@saga-lab.org)

概要: キートップに一定の力が加わるとキーから受ける反力は急激に低下する。その力の変化がクリック感として知覚される。我々はキータッチにおける自由なデザインの実現を目指し、キータッチがソフトなキーボードに触覚情報を付与することで触感がどのように変化するか、実験を行い検証する。本研究ではキーボードの打鍵動作時に、振動子、ソレノイドおよびバイプロトランスデューサによる振動刺激を用いて打鍵感の変化を調査する。

キーワード: キーボード, 打鍵感, 振動子, ソレノイド

1. はじめに

情報化が進むなかでキーボードに触れることも一般的となっている。そのような中で日々触れるキーボードの押し心地に不満を感じることも少なくないだろう。そこで我々は、キータッチにおいてユーザが自由に触感をデザインできるようにしたいと考えた。これまでクリック感を生成する機構に関する研究は数多く、Zhaoyuan ら [1] はフラットなキーボードのキー下にピエゾ素子を埋め込み、キーを打鍵した際に高電圧信号を送る方法、福本ら [2] はタッチパネルの裏側にアクチュエータを取り付けディスプレイをタップした際に短いパルス信号を印加し振動を提示することでクリック感を生成していた。上述したこれらの研究では、タッチパネルやキーボード内から振動刺激を与えて触感を提示することに成功したものの、キーボードの打鍵感覚はキーボードの形状によって異なる上、キーボード操作において重要な要素となる感覚フィードバックに焦点を当てて振動刺激が及ぼす影響を調査する必要がある。そこで本稿では、キータッチにおける自由なデザインの実現に向けた一部として、キータッチがソフトな一般的なキーボードに触覚情報を付与することで触感がどのように変化するか、ユーザのフィードバックに焦点をあてて実験を行い検証する。触覚情報は、振動子やソレノイド、バイプロトランスデューサを用いて振動刺激として提示する。

2. 提案手法

本章では、本研究に関する提案手法を述べる。本研究では、キー下に取り付けられたフォトリフレクタによってキーの打鍵を判定した後、振動刺激を提示し、キーボードの打鍵感を変化させた。その手法について説明する。

2.1 システム構成

本研究では、キー打鍵時の触感が小さいキーボード (SKB-KG2BKN2, SANWA SUPPLY INC.(メンブレン方式)) (以下触感なしキーと称する) のキー下に取り付けたフォトリフレクタ (TPR - 105F) によって打鍵を判定し、打鍵が確認された後に振動刺激を提示する。なお実験で使用する振動刺激は Arduino Mega で制御された振動子 (Tachammer Carlton Variant, Nanoport Technology Inc.)、バイプロトランスデューサ (Vibro-Transducer Vt708, Acouve Laboratory Inc.) およびソレノイド (ZHO - 0420S - 05A4.5 (5V)) である。振動子とバイプロトランスデューサにはコンデンサマイク (高感度マイクアンプキット AE-MICAMP, 秋月電子通商) で録音したメカニカル式キーボードの青軸 (Max Keyboard All in One Mechanical Keyswitch Tester メカニカル方式 Cherry Rgb Blue, Cherry Europe GmbH) の波形をマイコンのフラッシュメモリに格納し、Arduino の PWM 信号で出力後、アンプ (TA-21 Mini Bluetooth 5.0 DSP デジタルアンプ, Nobsound) を介して取り込んだ。図 1 にシステム構成を示す。

またソレノイドは Hoffmann[3] らの研究ではキー入力の抵抗感を生成するために使われていた。この手法からソレノイドのピンの動きが打鍵感に影響を与えると考え、本研究ではソレノイドのピンの動きを振動刺激として使用する。また刺激は、安藤らの研究 [4] で触覚受容器が指の腹側に集中しており、指の爪に振動刺激を与えた時に指の腹側で強い振動感覚が得られることが検証されたため、利き手人差し指の爪に与えることとした。図 2 にソレノイドおよび振動子の装着例を示す。

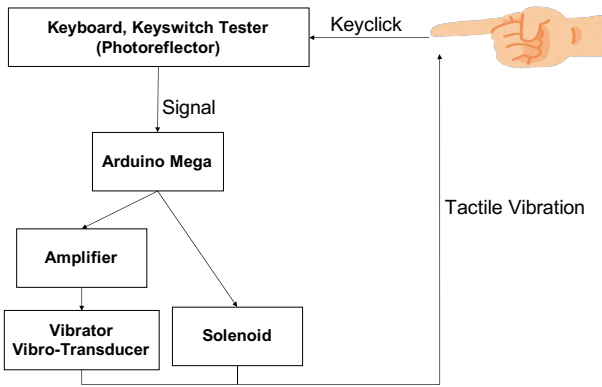
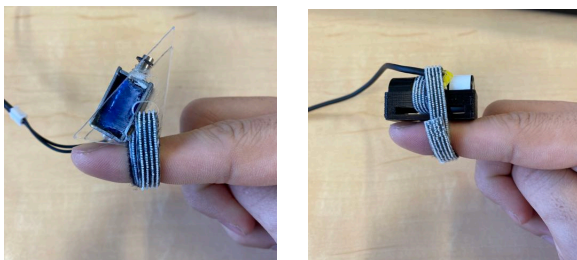


図 1: システム構成



(a) ソレノイド (b) 振動子

図 2: ソレノイドおよび振動子の装着例

3. 実験

本章ではソレノイド、振動子およびバイプロトランスデューサによる振動刺激が打鍵感に与える影響について調査する実験 1，振動刺激を使用して触感なしキーを打鍵したときと振動刺激を用いずに触感の大きなキー (Max Keyboard All in One Mechanical Keyswitch Tester メカニカル方式 Cherry Rgb Blue, Cherry Europe GmbH) (以下触感ありキーと称する) を打鍵した時の類似性を調査した実験 2 について述べる。なお音による影響を排除するため、実験協力者にはヘッドフォンをしてもらいピンクノイズを流して実験を行った。実験協力者は 21 歳から 26 歳の男性 8 名である。

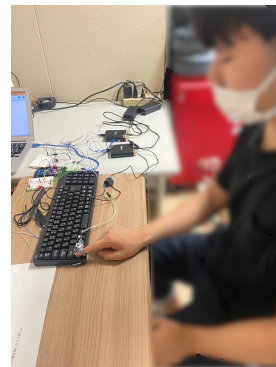
3.1 実験 1 手法

実験 1 では振動刺激を用いずに触感なしキーを打鍵した時を基準刺激として、振動刺激を加えたとき打鍵感がどのくらい変化したか評価してもらった。使用した条件を表 1 に示す。ここで基準刺激は条件 A，比較刺激は条件 B～G の 6 パターンである。なお条件 A～F では触感なしキーボードを打鍵し、条件 G では触感ありキーボードを打鍵する。またバイプロトランスデューサは机の裏に設置し、キーボードおよび机を介して指先や前腕に振動を提示した。実験の様子とバイプロトランスデューサの振動刺激提示装置を図 3 に示す。

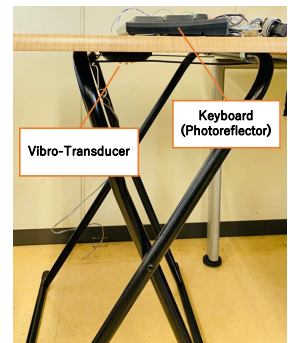
また実験 1 での打鍵感の変化を調査するために 5 つの評価項目を用意した。これらの項目は富田ら [5] のキーボードの感性評価から抽出された 4 つの因子 (滑らかさ (キーを押し切るまでの動作の滑らかさ)，クリック感 (キーを押

表 1: 実験 1 条件

条件	振動刺激
A (Non-Haptic)	なし
B (Solenoid)	ソレノイド
C (Vibrator)	振動子
D (Vibro-Transducer)	バイプロトランスデューサ
E (Solenoid + Vibro-Transducer)	ソレノイド + バイプロトランスデューサ
F (Vibrator + Vibro-Transducer)	振動子 + バイプロトランスデューサ
G (Haptic)	なし



(a) 実験の様子



(b) バイプロトランスデューサによる触覚提示装置

図 3: 実験風景および実験装置の概観

した時に感じる手応え)，ストローク感 (キーの押し込みの深さ)，弾力感 (キーの打鍵時における反発感) に加え打鍵体験の主観的变化を調査するため楽しさ (キーの打鍵体験における楽しさ) という項目を追加した。評価方法は基準刺激における感覚強度を 100 としたマグニチュード推定法を用いた。

次に実験手順について以下に記す。

1. キーを押す姿勢や実験の流れおよび実験で用いる評価項目を説明する。
2. 実験中に装置の音やキーの打鍵音が聞こえないようにノイズの音量を調節する。
3. 装置の付け替えの時間を減らすため、予め装置と指を固定するマジックバンドを被験者の指に合わせる。
4. ヘッドフォンを装着してもらいノイズを流す。
5. 基準となる条件 A でキーを 5 回打鍵してもらう。
6. 比較対象 (条件 B～G の中の 1 つ) の条件でキーを 5 回打鍵してもらう。
7. ヘッドフォンを外し、5 つの評価項目について比較対象から得た感覚を回答してもらう。

* 残った比較対象の 5 条件も同様に行う。

比較対象の条件 B～G については、各条件の順序による知覚への影響をなくすためランダムとした。

3.2 実験 1 結果および考察

表 1 の各条件における各評価項目の回答結果を図 4～図 8 に示す。図中の三角形は平均値、黒線は中央値を表す。なお、マグニチュード推定法で回答していただいたデータは、被験者ごとに正規化した。Shapiro-Wilk 検定と Bartlett 検定を行った結果、すべての評価項目でパラメトリックであることが確認できた。そこで評価項目ごとに一元配置反復測定分散分析を行ったところクリック感、ストローク感、弾力感、楽しさの 4 項目で有意水準 5% で有意差が確認された。有意差が確認できた項目では Wilcoxon の符号順位検定で分析し、Holm 法で補正を行った。図 5 より、クリック感では触感なしキーを打鍵する条件 A に対しバイプロトランスデューサを単独で使用した条件と触感ありキーを打鍵した条件以外（条件 B, C, E, F）で有意差が確認できた。またバイプロトランスデューサと振動子を両方使用した時とバイプロトランスデューサのみを使用した時、振動子刺激は用いずに触感ありキーを打鍵した時（条件 D, G）で有意差が確認できた。振動刺激を使用しないパターンと比較して指先に振動刺激を与えた時はクリック感が強く知覚される傾向が見られた。その中でも振動子による振動刺激がクリック感を生成していたと考えられる。また机の下からの振動と組み合わせることでより強いクリック感が与えられていたと考えられる。

ストローク感については図 6 より、触感なしキーを打鍵した時と振動子、バイプロトランスデューサを使用した時において有意差が確認された。振動子のみを使用した条件でもストローク感の平均値は大きい傾向があることから、振動子による刺激がキーの押し込みの深さを変化させていることが考えられる。

さらに弾力感に関しては図 7 より、指先の振動子のみを使用した条件と振動刺激を用いなかった 2 条件で有意差が確認された。また振動子とバイプロトランスデューサを両方使用した時と振動刺激を用いなかった 2 条件、ソレノイドのみを使用した時、バイプロトランスデューサのみを使用した時のそれぞれで有意差が確認された。振動子を使用した時の弾力感の平均値が他の条件よりも大きいことから振動子による刺激が弾力感を高めた可能性が考えられる。

楽しさの項目では、図 8 より、触感なしキーを打鍵した条件と振動子およびバイプロトランスデューサを使用した条件との間で有意差が得られた。また図 9 では、バイプロトランスデューサの有無による楽しさの変化を振動刺激を用いなかった時、ソレノイド、振動子の各パターンの平均値と比較した。図 9 からソレノイドとバイプロトランスデューサを組み合わせる時、打鍵体験の楽しさは向上したものの振動子と比較すると変化の度合いが小さかった。これはソレノイドとバイプロトランスデューサで提示した刺激が異なる種類であることが原因の 1 つとして推察される。

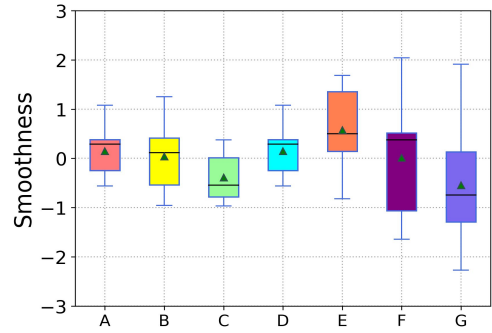


図 4: 滑らかさ (キーを押し切るまでの動作の滑らかさ)

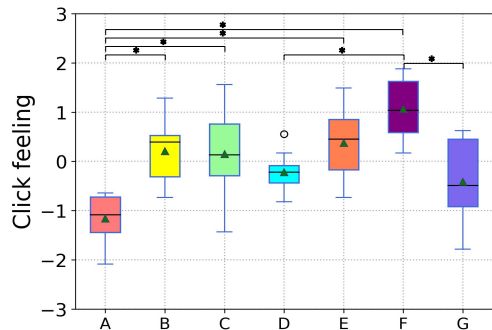


図 5: クリック感 (キーを押した時に感じる手応え)

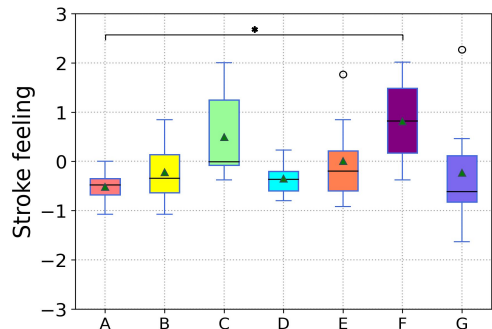


図 6: ストローク感 (キーの押し込みの深さ)

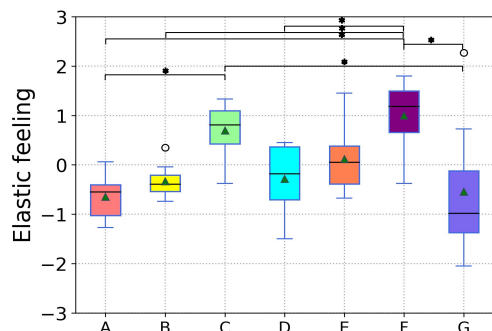


図 7: 弾力感 (キーの打鍵時における反発感)

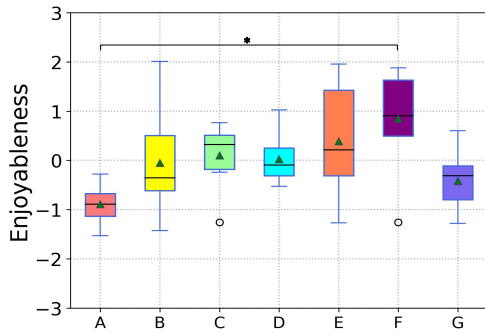


図 8: 楽しさ (キーの打鍵体験における楽しさ)

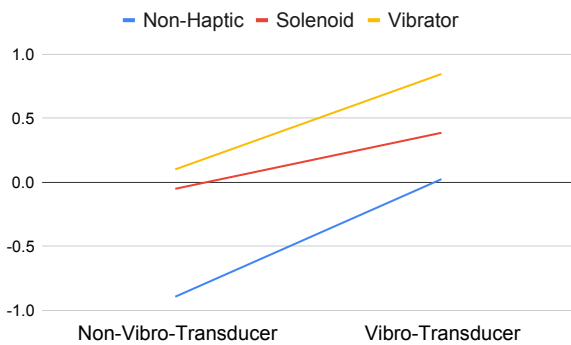


図 9: 評価項目「楽しさ」におけるバイプロトランスデューサが与える影響

3.3 実験 2 手法

次に振動刺激を用いた時の打鍵感と振動刺激を用いずに触感ありキーを押した時との類似性を調査する。表 1 で示した条件 G を基準とした時の条件 B ~ F の打鍵感が似ているかリッカート尺度 5 段階で回答してもらった。実験手順は実験 1 と同様である。

3.4 実験 2 結果および考察

回答していただいた平均値を図 10 に示す。エラーバーは標準誤差を示す。

図 10 より、全体的に評価は低かった。しかしながら「ソレノイドでは、打鍵時に軸を感じた。」「ソレノイドは似ていた。」といった被験者のコメントが得られたことから、ソレノイドによる振動刺激がメカニカル式キーから得られるようなリッチな感覚に近い可能性も見受けられた。

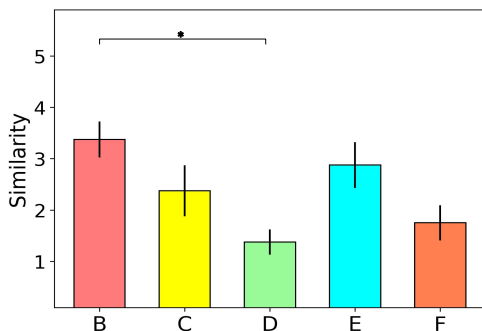


図 10: 実験 2 の結果

4. 結論

本研究では、キーボードの打鍵動作時に振動刺激を提示することで打鍵感がどのように変化するか感性評価項目を用いて調査を行った。実験の結果、振動刺激は使用せずに触感が小さなキーを打鍵する時と比較してソレノイドおよび振動子による振動刺激がクリック感を強めていることがわかった。その中でも振動子とバイプロトランスデューサを使用した時は、他の刺激パターンと比較しても顕著な傾向を示していた。またストローク感、弾力感、楽しさの項目においても振動子とバイプロトランスデューサの組み合わせの評価が高かった。しかしながら弾力感の項目において、ソレノイドだけを用いた条件下では評価は低い上、図 9 と図 10 および実験協力者のコメントより、振動子とソレノイドの刺激が異なる感覚であったことも推察された。被験者のコメントで「振動子とソレノイドで刺激範囲が異なる感じがした」が得られたことも踏まえ、今後は実験協力者を増やしてより正確な傾向を掴みつつ、振動子の固定方法や取り込む波形の変更を考えたい。さらに、類似の振動刺激であれば刺激箇所が異なる場合であっても単一の振動源によるものと知覚されるのかも含めて調査していきたい。

参考文献

- [1] Zhaoyuan Ma, Darren Edge, Leah Findlater, and Hong Z Tan. Haptic keyclick feedback improves typing speed and reduces typing errors on a flat keyboard. In *2015 IEEE World Haptics Conference (WHC)*, pp. 220–227. IEEE, 2015.
- [2] Masaaki Fukumoto and Toshiaki Sugimura. Active click: tactile feedback for touch panels. In *CHI'01 extended abstracts on Human factors in computing systems*, pp. 121–122, 2001.
- [3] Alexander Hoffmann, Daniel Spelmezan, and Jan Borchers. Typeright: a keyboard with tactile error prevention. In *Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems*, pp. 2265–2268, 2009.
- [4] Hideyuki Ando, Junji Watanabe, Masahiko Inami, Maki Sugimoto, and Taro Maeda. A fingernail-mounted tactile display for augmented reality systems. *Electronics and Communications in Japan (Part II: Electronics)*, Vol. 90, No. 4, pp. 56–65, 2007.
- [5] 富田新, 大原貴弘. Pc キーボードのケーススイッチの操作性評価に関する研究. *Japanese Journal of Applied Psychology*, Vol. 41, No. 1, pp. 87–97, 2015.