

# 操作実感の得られる触刺激の振動特性と生理的特性

## Vibrotactile Characteristic of Haptic Feedback for Realism of Clicking Button

キーワード: 触覚, 定常状態体性感覚誘発電位, 振動刺激, ボタン

人間生活工学研究室 12TM1149 黄 勝園

■Abstract: Recently, there are many devices with touch screen using vibrotactile feedback, most are difficult to feel realistic haptic feeling (HF). This study has 3 goals. Determine the haptic recognition mechanism; figure out the vibrotactile feedback feels realistic as a HF; and physiological evaluation of HF. 9 subjects participated in experiment 1, and HF was estimated from 32 composite components and 4 buttons. For the results, correlation between increasing amplitude of high-frequency component of composite components and subjective evaluation items shows significant difference. Compare to subjective evaluation of the composite components and the button, the most similar grade has fairly similar amplitude of high-frequency and low-frequency components. In the experiment 2, steady-state somatosensory evoked potential was used to confirm possibility of physiological evaluation for HF. In the results, the possibility was suggested.

### ■背景

最近、タッチスクリーンは携帯電話から自動車まで幅広く使われている。タッチスクリーン最も優れた点は2つである。一つ、ディスプレイと操作装置を一体化し、物理的に小型化できる。二つ、画面上のターゲットと操作側の指先が一致するため、画面上で直接操作が可能なので、初心者でも操作し易い。しかし、タッチスクリーンの最も大きい短所は触覚的なフィードバックが足りないことだ。

現在の触覚アクチュエータは主に低周波数(100 Hz 以下)を用いた振動刺激が多い。しかし、先行研究によると、現在の触覚アクチュエータから与えられる振動刺激は実際、物を触る時に発生する振動(100 Hz 以上の高周波数)とあまり類似ではないと報告している。

### ■目的

本研究の目的はクリック感が生じるメカニズムを解明し、振動刺激によって本物のボタンを押しているような感覚が生ずる振動刺激を見出すことと(実験 1)、その生理的評価方法を検討する(実験 2)ことであった。

### ■実験 1 の方法

クリック感が生じるメカニズムを解明するため、ボタンの物理的特性を調べた。運動方程式を  $Kg$ (重さ),  $a$ (加速度),  $m$ (距離)の式で変換した(式.1)。ボタンを押すと、スイッチのバネが圧縮され、抗力が発生する。圧縮が限界点まで達するとバネの圧縮変位は解放され、発生した運動エネルギーのほとんどが指に伝わる。

$$K(t) = \frac{1}{2}MV^2 = \frac{1}{2}kg \cdot (m/s)^2 = \frac{1}{2}N \cdot m = \frac{1}{2}kg \cdot a \cdot m \quad \dots (1)$$

指の重さ(Kg)は不変であり、スイッチのバネの変位量(m)は 0.数 mm がダンピングによるものなので、無視できる。従って、加速度を測ることで代替指標とすることができる。

測定した加速度からボタンの触感の種類(固い触感と柔らかな触感)による違いが見られた。両方、時間による違いはほとんど無かったが、急激な強度の変化(以下、高周波数成分)と比較的滑らかな変化(以下、低周波数成分)が見られた。固い触感のボタンは高周波数成分の振幅が高く、低周波数成分の振幅が小さい。柔らかな触感のボタンは固

い触感のボタンと比べ高周波数成分の振幅が低く、低周波数成分の振幅が大きい。

サンプリングされたボタンの加速度データを基に合成波形を制作した。4段階の低周波数成分(100 Hz, 正弦波)の振幅と8段階の高周波数成分(200 Hz, 正弦波)の振幅を平均し、32 個の合成波形を制作した。

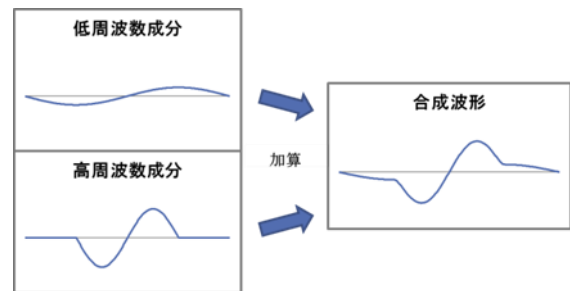


図 1 合成波形の作り方

市販している振動アクチュエータでは押すタイミングに合わせて刺激を送ることが難しいので、専用の実験機器を製作することにした。一番下にロードセル(共和電業, LMA-A 20N)を配置し、その上に振動アクチュエータとしてボイスコイルモータ(テクノハンズ Voice Coil Motor, AVM12-6.4)を設置した。さらに、プラスチックの蓋で閉め、被験者ごとの押し方の違いが実験に影響を与えないよう製作した。Labview 2011 を制御ソフトとして用いてロードセルからのデータをトリガとして振動アクチュエータを駆動するようにした。

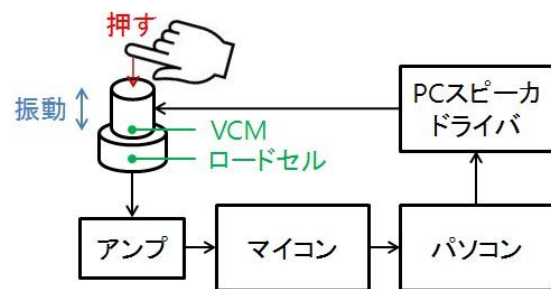


図 2 製作した実験機器の概要図

先行研究を参考に、5 つの主観評価項目(滑らかさ、クリック間、硬さ、粘性、すっきり感)を測定した。9 人の被験者が実験に参加し、32 個の合成波形と実物のボタン 4 種類の評価を行った。

### ■実験 1 の結果および考察

合成波形の高周波数成分の振幅は‘クリック感’( $r=0.69$ )、‘すっきり感’( $r=0.58$ )と相関が見られた(表 1)。低周波数成分の振幅は一部の条件で‘粘性’と弱い正の相関( $r=0.31$ )、‘堅さ’に負の相関( $r=-0.31$ )が見られた。

表 1 高周波成分の振幅と主観評価の相関係数

低周波 振幅	滑らか	クリック感	堅さ	粘性	すっきり感
無い	0.18	0.69**	-0.19	-0.03	0.58**
低	0.19	0.63**	0.09	0.03	0.61**
中	0.09	0.60**	0.08	0.17	0.30**
高	0.07	0.50**	0.14	0.00	0.51**

\*\* : p<0.01

実物の固い触感のボタンは‘クリック感’と‘すっきり感’で高い評価を得られた。固い触感のボタンは柔らかな触感のボタンと比べ‘粘性’で評価が低かった。全体的に滑らかの評価は 65 点以上だった。柔らかな触感のボタンは固い触感のボタンと比べ‘粘性’で高い評価を得て、‘クリック感’と‘すっきり感’では比較的に低い評価を得られた。仮設では‘堅さ’と負の関係性を期待したが、実物のボタンのデータでも関係性が見られなかった。

実物のボタンと合成波形の主観評価を比較した結果、実物のボタンの特性を表す主観評価項目(固い触感のボタンはクリック感とすっきり感、柔らかな触感のボタンは硬さと粘性)の中央値と最も近似した条件は低周波数成分と高周波数成分の振幅が実物のボタンと類似した条件だった。

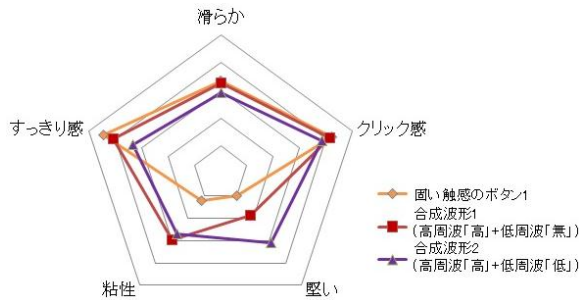


図 3 Sharp feeling ボタンと合成波形 1, 2 の主観評価(中央値)

触覚受容器の中で加速度を検出するパチニ小体は 200Hz 前後の周波数領域で最も反応が高い。今回の実験で用いた高周波数成分の周波数が約 200Hz であったのでパチニ小体が‘クリック感’と‘すっきり感’にポジティブな影響を与えていると考えられる。また、実験で用いた低周波数成分(100Hz)はメルケル触盤が受容し、‘粘性’にポジティブ影響を与えていると推定できる。

他の触覚受容器は皮膚深部にあるため(K. Johnson, 2002), 振動が到達できなかったと思われる。しかし、深部にあるパチニ小体は加速度を検出する特性を持っているので反応したと推定している。

■実験 2 の方法

振動刺激を用いた定常状態性感覚誘発電位(Steady-State Somatosensory Evoked Potential; SSSEP)の研究は多様な種類の周波数を使って種々の触覚受容器を評価できる長所がある。

波形 a は先行研究(Shozo, 1999)で使用された波形であり、200 Hz の正弦波を 21 Hz の正弦波で振幅変調した波形である。この波形を使用した理由は主に 2 つある。1 つは、先行研究の検証を行うこと。もう 1 つはコントロール条件として使用することだった。波形 b は波形 a 正負に分けて振幅変調した波形で、波形 c は 2000 Hz の正弦波を 21 Hz の正弦波で振幅変調した波形である。波形 d は実物のスイッチ押下における加速度波形を模した包絡線波形であり、波形 e は 2k Hz の正弦波を d で振幅変調した波形である。

7 人の被験者が実験に参加した。5 種類の振動刺激が任意のタイミングで被験者の左示指の指腹に 20 秒間提示された。Cz, C3, C4 の 3 部位について Fz を基準電極として脳波を単極導出した。サンプリング周波数は 1k Hz で、1-450 Hz の band pass filter を使用した。

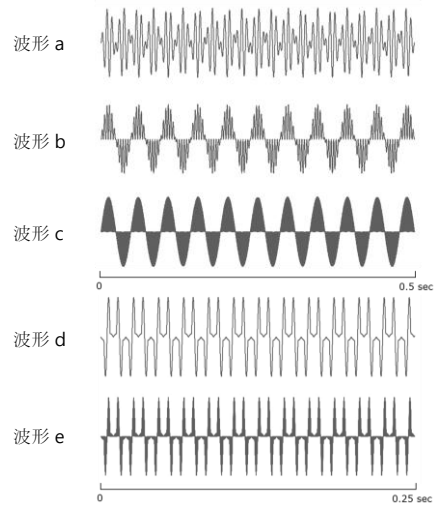


図 4 実験に用いた振動刺激

■実験 2 の結果および考察

先行研究と同じ 200 Hz の正弦波を 21 Hz の正弦波で振幅変調した波形 a では、21 Hz 付近にスペクトルのピークが見られた。実物のスイッチ押下における加速度波形を模した包絡線波形 d と 2k Hz の正弦波を d で振幅変調した波形 e では十分な反応が見られなかった。その原因として、他の感覚受容器の影響などが考えられる。

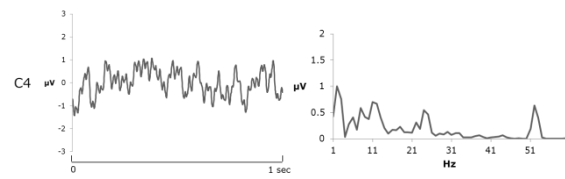


図 5 振動刺激 a による誘発電位(左)とその周波数スペクトル(右)

■まとめ

本研究の実験 1 を通じて振動刺激が触覚に与える影響を検討し以下のことが明らかとなった。一つ、合成波形の高周波数成分の振幅が主観評価項目‘クリック感’、‘すっきり感’ポジティブな影響を与え、低周波数成分の振幅はネガティブな影響を与えることが示された。二つ、合成波形の有効性を検証するために実スイッチの主観評価を類似する合成波形の主観評価と比較した結果、同等の値が得られた。

実験 2 では、定常状態性感覚誘発電位を測定した。その結果、有意な差は見られなかったが、生理的評価の可能性が示唆された。

■参考文献

- 1) Hiroaki Kosaka, Kazumasa Serizawa and Kajiro Watanabe : A Universal Keyboard Switch for a Feeling Test, IEEE International Workshop on Robot and Human Communication, pp. 225-230, 1993
- 2) A. B. Vallbo and R.S. Johnsson : Properties of cutaneous mechanoreceptors in the human hand related to touch sensation, Human Neurobiology, 3, pp. 3-14, 1984.
- 3) Katherine J. Kuchenbecker, J.P. Fiene, and G. Niemeyer : Improving Contact Realism through Event-Based Haptic Feedback, IEEE Trans. Visualization and Computer Graphics, 12, 2, pp. 219-230, 2006.
- 4) Shozo Tobimatsu, You Min Zhang, Motohiro Kato : Steady-state vibration somatosensory evoked potentials physiological characteristics and tuning function, Clinical Neurophysiology, 110, pp. 1953-1958, 1999.