



ボタンスイッチ押下時の振動刺激の有無が 指の押下軌道に及ぼす影響

水野統太¹⁾, 木村瑞生²⁾, 久米祐一郎²⁾

1) 電気通信大学 大学院情報理工学研究科 工学系研究科 (〒 182-0006 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1, miuzno@uec.ac.jp)

2) 東京工芸大学 工学部 (〒 243-0297 神奈川県 厚木市飯山 1583, kimura@gen.t-kougei.ac.jp, kume@mega.t-kougei.ac.jp)

概要: 我々は、振動刺激を指先に提示すると指先に力が加わるような力覚様感覚について研究してきた。この現象をボタンスイッチ等に利用すれば、押下動作時に振動刺激の強度やタイミングを変化させることによりクリック感や操作感の制御が可能になると考えられる。そこで、振動子と空気圧分ピンシリンダを組み合わせたアイソトニック（等張性）ボタンおよび振動子とロードセルを組み合わせたアイソメトリック（等尺性）ボタンを試作し、押下時の指の運動を評価した。結果として振動の提示に対応して押下運動軌跡の変化が観察された。

キーワード: 力覚様感覚, 振動刺激, 押下, クリック感

1. はじめに

我々は、振動刺激を指先に提示すると指先に力が加わるような力覚様感覚について、知覚する力の大きさや機序について検討してきた [1, 2]。この現象を用いれば、小型軽量の振動子のみを装着することによる、力情報を提示する新しいインタフェース実現の可能性がある。

ボタンスイッチ等の押下動作によるインタフェースの場合、反力変化によるクリック感の提示は重要であり、バネ等が工夫される一方、押下と振動を組み合わせたボタン型インタフェースなども提案されている [3]。また、押下動作できないタッチパネルの操作時に、押下を代替する振動提示の研究開発が行われている。

力覚様感覚を用いて押下時の反力変化の提示を考える場合、動作の時間変化等の物理的な変化も調べる必要がある。また、力覚様感覚は、同じ振動強度・周波数であっても指の屈曲状態や運動により変化することが分かっている [1]。

そこで本研究では、実験装置として反力を PC により制御でき、指先で押す部分に振動子を備えた押下動作可能なアイソトニック（等張性）ボタンと押下動作ができないアイソメトリック（等尺性）ボタンを製作した。

本稿では、反力と振動刺激によって引き起こされる指先の押下運動の時間変化について製作装置により実験し、等張性と等尺性における関節や筋の長さ変化の影響を調べた。

2. 実験装置

図 1 に振動子と空気圧分ピンシリンダを組み合わせたアイソトニック（等張性）ボタンスイッチを示す。押下変位量に依存せず反力を提示するためにストロークが 20mm の空

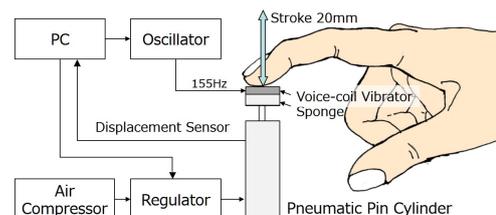


図 1: アイソトニック（等張性）ボタンスイッチ

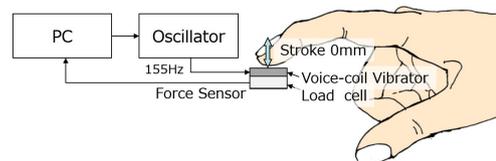


図 2: アイソメトリック（等尺性）ボタンスイッチ

気圧ピンシリンダ (SMC CJPD6-20) を用いた。PC から電空式レギュレータを介してコンプレッサーからの空気圧を制御し、押下量によらず一定の力を提示できる。本装置で提示できる力は 0.5~2.0N であり、この大きさは心理的に測定した力覚様感覚の大きさに近い [1]。またピンシリンダに接続した変位センサにより、押下変位を PC により測定した。押下部の上部にはボイスコイル型の振動子（日本電産コパル LD14-002, 共振周波数 155Hz）を振動絶縁用のスポンジを介して取り付けした。振動子の応答速度は 20ms, 無負荷時の最大振動強度は 2G である。

次に、振動子とロードセルを組み合わせたアイソメトリック（等尺性）ボタンスイッチを図 2 に示す。ロードセル (TE Connectivity FS20) により押下力を計測し、指定した押下力の範囲内で振動を付加する。振動子はアイソトニックボタンと同じものを用い、ロードセルにマジックテープで取り付けした。

3. 実験方法

作成した2つのボタンスイッチを用い、押下時の振動提示が押下運動に与える影響を調べた。

3.1 アイソトニックボタン実験

アイソトニックボタンのストローク (20 mm) の1/3～2/3の間で振動提示を行った。示指で水平面のボタンを押す押下圧は0.12-63.97 N (0.0122-6.538 kgf)[5]であり、一般的なキーボードの押下圧30-60 gである。そこでボタンの反力を0.6 N一定とし、20/3 mm 押下したとき振動子を最大強度で駆動し、40/3 mm 押下したときに振動を停止した。そのときの押下運動の軌跡を計測し、振動提示の影響を評価した。被験者9人で実験を行った。

3.2 アイソメトリックボタン実験

アイソメトリックボタンはストロークがないため、押下力により振動子を制御した。示指の押下運動により発生した力をロードセルにより計測し、2/3 N～4/3 Nで振動子を最大強度で駆動した。押下力の時間変化を計測することで振動提示の影響を評価した。被験者6人で実験を行った。

4. 実験結果

4.1 アイソトニックボタン実験結果

図3にアイソトニックボタン実験の結果を示す。凡例の数値は押下を開始から終了までの時間 (ms) である。被験者Aにおいて押下運動時間が短いときは振動が提示されてもほぼ一定の速さで押下しており過去の知見 [4] とも一致しているが、押下時間が200ms以上になると振動を提示した区間で押下運動軌跡が明らかに緩徐となった。このことから振動が押下変位に影響を及ぼしたことが見受けられた。一方、被験者Bにおいては振動の影響が見受けられなかった。振動が押下変位に明らかに影響を及ぼしたと見受けられたのは被験者9人中3人で、残りの6人は図3の被験者Bのように振動の影響が見受けられなかった。このように、指の等張性運動時の振動の影響には個人差が認められた。

4.2 アイソメトリックボタン実験結果

図4にアイソメトリックボタン実験の結果を示す。被験者Cにおいて、押下運動時間が短いときは振動を提示してもほぼ一定の速さで押下しているが、押下時間が300ms以上になると振動を提示した区間で押下運動軌跡が明らかに緩徐となり、押下力が2Nに達する時間が300msec以上で押下力曲線に停滞区間が見られた。このことから振動が押下力に影響を及ぼしたことが示唆された。しかし、振動が押下力に影響を及ぼしたと見受けられたのは被験者6名中3人のみで、残りの3人は図4の被験者Dのように振動の影響が見受けられなかった。このように、指の等尺性運動時の振動の影響においても個人差が認められた。

5. 考察およびまとめ

等張性押下においても等尺性押下においても、振動提示が押下運動軌跡に変化を生じさせる可能性がある。この現象を用いれば押下の感覚を振動制御で提示できる。振動提示による押下変位および押下力の軌跡の変化の原因は、振

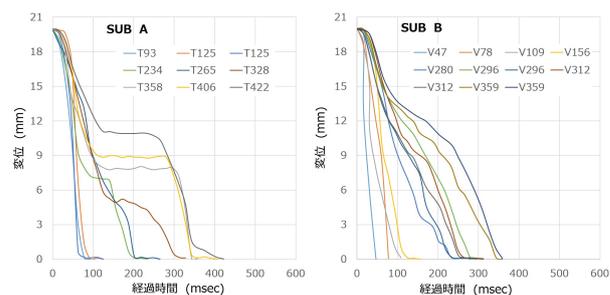


図3: アイソトニックボタン実験における押下運動の軌跡

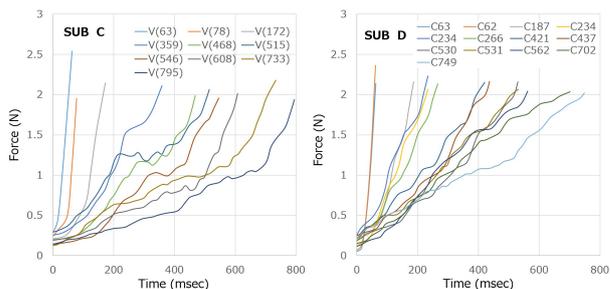


図4: アイソメトリックボタン実験における押下運動の軌跡

動提示が皮膚、関節、筋などの感覚受容器を刺激し、それらの求心性の情報が総和され何らかの影響を与える可能性がある。したがって、これらの複数の感覚情報の複雑さが本実験結果の個人差として表れたのかもしれない今回実験を行った全被験者は、振動提示により「何か引っかかるような感覚がある」という感想であった。

このような感覚が、本実験の押下軌道の結果では個人差として示された。つまり、本実験で用いた振動子は被験者の感覚系にあたる影響としては十分であるが、運動系(押下軌道)に影響を及ぼすには不十分であると推測される。今後は、すべての被験者の押下軌跡に影響を与えることが可能な振動子の特性(振幅、周波数、形状など)について明らかにしたい。

謝辞 本研究はJSPS 科研費 15K00288 により遂行した。

参考文献

- [1] 桐ヶ谷大輔 他: 指先への振動刺激によって誘発される力覚様感覚の大きさ, 第16回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, pp. 486-489, 2011.
- [2] 水野統太 他: 指先振動刺激による脊髄運動刺激細胞の興奮性変化, 第21回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 31A-05, 2016.
- [3] 小川大地 他: 物理的なボタンへの触振動付与による多感覚ボタンの設計, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会論文集, 2A1-B01, 2015.
- [4] J.E. Desmedt, E. Godaux: Voluntary motor command in human ballistic movements, Ann. Neurol., vol. 5, pp. 415-421, 1979
- [5] 独立行政法人 製品評価技術基盤機構 (NITE) の人間特性計測データベースシステム: <http://www.tech.nite.go.jp/human/Application/search/Result.php>