

ボタン自体をさりげなく駆動させる情報提示手法の提案

田原 和真* 塚田 浩二*

概要. 押しボタンは日常の様々な場所で用いられている一般的な入力デバイスである。押しボタンには、ほたるスイッチや照光式ボタンなどの情報提示機能を備えた機種もあるが、ボタン自体を発光させるため、必要以上に気を取られる可能性がある。そこで、本研究では押しボタンを物理的に駆動することで、機器の動作状態等をさりげなく表現可能な情報提示手法を提案する。筆者が過去に取り組んできた「押下圧」「クリック感」を動的に変更できるデバイスを改良し、「ストローク」も変更できるボタン型デバイスを用いて、情報提示手法の検討を行う。このデバイスを用いることで、非押下時にボタンの表面を上下させて注意を引いたり、ボタンをフラットにして押せなくしたり、ボタンを振動させ操作を促す等の動作ができる。さらに、これらの動作を活用した応用例を示す。

1 はじめに

押しボタンは日常の様々な場所で用いられている一般的な入力デバイスである。押しボタンの主要な機能はもちろん入力であるが、情報提示機能を備えた機種もある。例えば、ほたるスイッチや照光式ボタン等はLED等の照明を内蔵している。ほたるスイッチは現在の機器の電源状態を提示し、照光式ボタンはLEDをマイコン等に接続して、任意のタイミングで点灯制御できる。さらに、高価な有機ELディスプレイを内蔵したボタン[7]や、キーボード[12]なども存在しており、これらを用いれば用途に応じてキートップの表示を細かくカスタマイズすることができる。

これらの情報提示手法では、ボタン自体を発光させるため、暗所での操作などに便利な面もある一方で、ボタンの存在感が強くなり、必要以上に気を取られる可能性がある。本研究では、押しボタンを物理的に駆動することで、機器の動作状態等をさりげなく表現可能な情報提示手法を提案する(図1)。本稿では、2章で関連研究を紹介し、3章にて我々自身の先行研究である「動的に押し心地が変化する押しボタン」の概要を紹介する。さらに、4章以降で本研究のコンセプト、実装、応用例を紹介した後、課題と展望について議論する。

2 関連研究

2.1 ボタンを用いた情報提示手法

物理的なボタンに振動アクチュエータを組み込み、押下中に振動を与えることで、多様なクリック感を与える手法がある。小川ら[15]は、物理的なボタン



図 1. 本研究のコンセプト。ボタン型デバイスを物理的に動かして情報提示を行う。左：ボタンが上下する 中：ボタンをフラットに 右：ボタンを振動

に振動子を取り付け、ボタンの押下に合わせて振動子に減衰正弦波を与え振動させることにより、多様なクリック感を提示する手法を示した。Chaeyong Parkら[9][8]は、同様の手法を用いて、与える振動の種類によって知覚される印象の違いを定量的に評価した。また、その結果を元に、一度の振動で2.6ビットの情報提示能力があることを報告している。本研究では、クリック感に加えて押下圧やストロークも情報提示要素として活用できる点が異なる。

電気浸透ポンプを用いて、物理ボタンのような触覚を生み出す手法がある。Flat Panel Haptics[11]は、電気浸透ポンプを用いた形状変化ディスプレイである。平面上にボタン状の突起を作り出すことで、ストロークを生み出している。これをさらに発展させたDynaButtons[10]では、圧力センサによるセンシングに合わせて、リアルタイムに形状変化を行い、触覚フィードバックの表現幅を広げている。これらの事例は、本研究で行う表現と共通する点もあるが、一般的なボタンとは大きく異なる形状をしている。本研究では、一般的に使用されているボタンと同じ形状になるように設計を行い、ユーザにとって違和感の少ないデバイスを目指す。

エンターテインメント分野では、特別感を出すために、特定の場面でのみボタンを浮き上がらせる演

出が存在する。例えば、ぱちんこ遊技機のCRぱちんこ必殺仕事人IV[4]では、演出に応じてボタンが飛び出してくる。アーケードゲームのボンバーガール[3]では、勝利条件が整った時のみ、相手にとどめを刺すためのボタンが飛び出して押せるようになる。これらの事例は、本研究で行うストロークの制御と共通する点もあるが、派手で存在感のある演出を指向しており、本研究とは目的が異なる。また、独自規格のボタンとして設計されており、汎用性に乏しい。本研究では、一般的に使用されている制御用スイッチと置き換えて使用できるよう設計を行い、汎用性を高める。

2.2 ボタンの押し心地を変える事例

アクチュエータを用いて、ボタンの押し心地を変更する事例がある。

Doerrerら[2]は、ムービングコイル方式のアクチュエータとリニアポジションセンサを用いて、任意のフォースカーブ（押し込み距離と重さの関係）の特性をシミュレートできる手法を開発している。Yi-Chi Liaoら[6][5]はリニアフォースアクチュエータやボイスコイルなどを、ボタンの押し込み距離や速度に応じて制御することで、フォースカーブに加えて、振動や、速度に依存した特性を再現する手法を開発している。

しかし、これらの手法は押しボタンのシミュレータとして開発されたものである。一方で本研究では、押しボタンを情報提示手段として活用することを第一に考えており、設計方針が大きく異なる。

2.3 入出力が一体化したタンジブルインタフェース

入出力が一体化したタンジブルインタフェースを紹介する。

inTouch[1]は、触覚を用いて遠く離れた人とコミュニケーションを可能にするデバイスである。3本のローラーを搭載したデバイスが2つあり、一方を回転させるともう一方が同じように回転する。このようなフォースフィードバックにより、同一の物体を触っているような感覚を生み出すことができる。IODisk[13]は、回転するディスクを用いて様々な操作を行うデバイスである。ディスクに一体化された低速モータによりディスクの回転速度を制御、ロータリセンサによりディスクの回転角度を検出する。「ディスクを回すと自動的に回り続ける」「回転するディスクに触れて速度を落とす」等の直感的な操作を実現している。

本研究では、触覚や動きを用いた情報提示手法を扱うが、工業規格で規定された押しボタンを対象とした設計を行うことで、汎用的に利用可能な情報提示手法を目指す。

3 先行研究: 動的に押し心地が変化する押しボタン

これまでに筆者は、押し心地が動的に変化する押しボタンの提案[16]を行ってきた。先行研究は情報処理学会論文誌にも投稿中であるため、ここではその概要を説明し、本研究との差分について整理する。先行研究では、「押下圧（ボタンを押すのに必要な力）」と「クリック感（接点が切り替わった際のフィードバック）」を場面に応じて動的に変化できるボタン型デバイスを提案した。

この2つの要素は、ボタンの押し心地に関わる要素から選択した。多くの要素を考慮するのは現実的に困難であるため、操作者から見て大きな影響を与える要素に絞って実装を行った。具体的な要素として、押下圧、クリック感、ストローク（最大までボタンを押し込んだ時の深さ）に注目した。これは、メカニカルキーボード用のキースイッチの選定の際に用いられる要素[14]を参考に、筆者が整理したものである。先行研究では「押下圧」と「クリック感」のみを実装の対象とした。

押下圧は永久磁石の反発力を用いて、クリック感はリニア振動アクチュエータを用いて提示し、ボタン押下中のフィードバックを動的に変更できる。具体的には、押下圧ではボタンの重さ（図2上）、クリック感では種類・大きさ・高さ（図2下）等があり、押下動作中の情報提示に利用する。

また、サイズについては、一般的に流通している制御用スイッチの規格（NECA C 4521）で定義される最大サイズ（直径30mm）に収めることを設計要件とした。これにより、制御用スイッチとの置き換えが容易になり、汎用性を高めるよう配慮した。

本研究では、この先行研究のデバイスをベースに「ストローク」を変化させる機能を追加し、非押下時の情報提示手段として活用する。以降の章では、主にこうした差分について記述する。

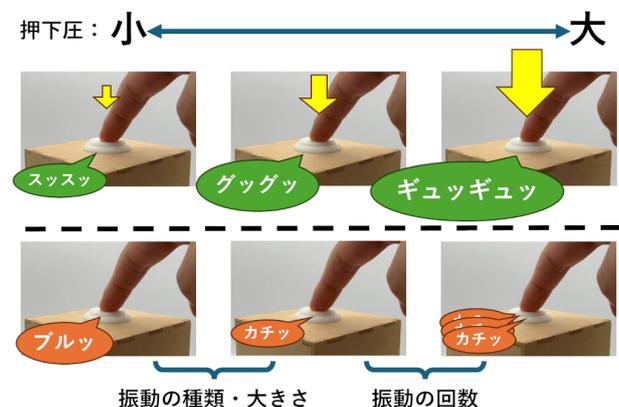


図 2. 先行研究 [16] での押下中のフィードバックの例

4 提案

4.1 コンセプト

本研究では、押しボタンを物理的に駆動することで、機器の動作状態等をさりげなく表現可能な情報提示手法を提案する。特に、非押下中の情報提示に着目する。例えば、ボタンの表面を上下させて注意を引いたり（図1左）、ボタンをフラットにして押せなくしたり（図1中）、ボタンを振動させて操作を促す（図1右）等の表現を行う。

4.2 ストローク変更

3章で紹介した先行研究からの大きな改良点として、ストローク変更機能の追加がある。

従来の押しボタンでのストロークは、ボタンによって長いもの・短いものがあり、ボタンごとに固有である。また、動作方式によっても挙動が異なる。モーメンタリ式スイッチでは、ストロークは一定となる。オルタネイト式スイッチでは、ON時とOFF時でストロークが異なり、押下のたびに切り替わる。このように、ボタンごとに決められたストロークがあり、柔軟に変更することは難しい。本研究では、押下時／非押下時を問わず、ボタンのストロークをモータ制御で変更することができる。

また、ストローク変更機能を追加するために、押下圧に関する機構を一部変更し改良を行っている。

5 実装

5.1 概要

本研究のボタン型デバイスの外観を図3に、内部構造を図4に示す。ボタン型デバイスは、主に「1. ボタン部（押しボタンの指で押し込む部分）」、「2. ストローク部（主にストローク変更機構がある部分）」、「3. 押下圧部（主に押下圧変更機構がある部分）」、「4. 駆動部（主にモータがある部分）」に分かれている。これらの筐体や機構は、Autodesk Fusionで設計し、3Dプリンタで出力している。小さなギヤなどの精度を必要とするパーツは光造形方式（Form3+：ホワイトレジン）、それ以外のパーツは熱溶解積層方式（Zortrax M200：Z-ABS）を使用している。

5.2 押下圧とクリック感

押下圧とクリック感の機構は先行研究[16]とほぼ同様であるため、概略を説明する。押下圧の変更には、永久磁石同士の反発力を利用する。ネオジウム磁石（株式会社マグファイン¹製）をボタン部と押下圧部の内部に、2つの磁石の着磁方向を向かい合わせて同軸に配置した。固定磁石はボタン部に固定した。可動磁石はネジ機構を用いて上下に移動できるように設計しており、駆動部から回転させることで

¹ <https://www.magfine.com/>



図3. ボタン型デバイスの外観。1. ボタン部 2. ストローク部 3. 押下圧部 4. 駆動部

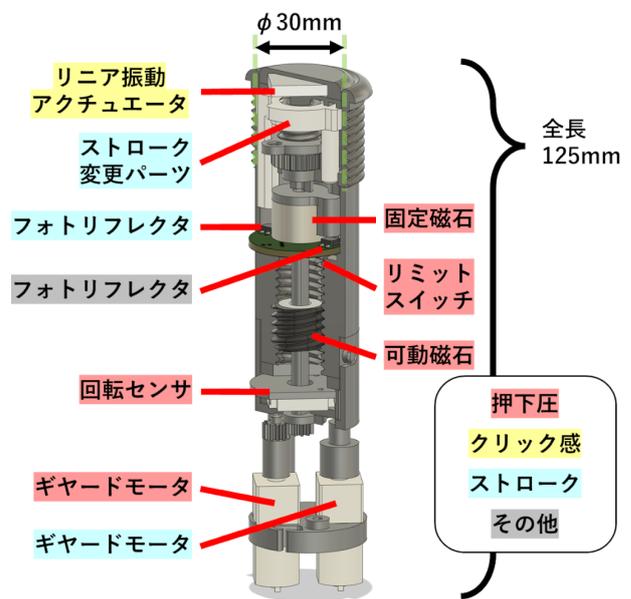


図4. ボタン型デバイスの内部構造。主な用途ごとに色分けしている。

可動磁石の位置・固定磁石との距離を変更し、押下圧の最大値を変更することができる。

クリック感の生成には、リニア振動アクチュエータを利用した。リニア振動アクチュエータは、従来の偏心モータ型に比べて、精度や立ち上がり性能が良く、より多彩な表現ができるアクチュエータである。リニア振動アクチュエータは、ニデックコンポネンツ株式会社のLD14-002を使用した。ボタン部の指で触れる部分の裏側にアクチュエータをはめ込んでいる。

また、4.2節で紹介したように、先行研究からストローク変更の機能を追加している。その影響で、既存の設計も一部見直している。具体的には、押下圧に関する機構を下方向に移動し、空いたスペースにストローク変更機構を入れた。加えて、ストローク変更用のモータの追加に伴い、可動磁石の回転軸直

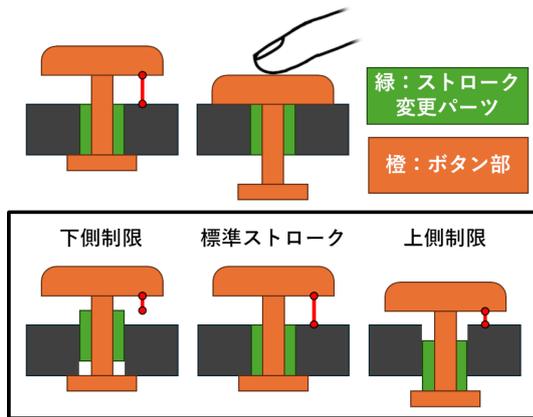


図 5. ストローク変更機構の模式図。赤線がストロークを示す。ストローク変更パーツを動かすことで、ストロークを短くすることができる。

下にモータを置けなくなったため、ギヤを使って軸をずらしている。その他にも改良点として、リミットスイッチを追加し、可動磁石の原点位置を安定して取得できるようにした。

5.3 ストローク

ストロークの変更は、上部にあるストローク変更パーツを利用して、操作部の動きを物理的に制限する。原理を模式図(図5)を用いて説明する。橙色はボタン部を、緑色はストローク変更パーツを、赤色の線はストロークを示す。標準ストロークは3mmのストロークがある状態で、これを基準とする。ストローク変更パーツを上を動かすことで、ストロークの下側に制限がかかり、ボタンを底まで押した時の高さが高くなる。反対に、ストローク変更パーツを下を動かすことで、ストロークの上側に制限がかかり、ボタンの表面が下がっていく。本論文では、主に上側の制限を利用して情報提示を行う。

ストロークの変更は駆動部のギヤードモータ(押下圧変更で使用したものと同様)から行う。内部構造の内、ストローク変更に関わるパーツのみを表示したものを、図6に示す。ギヤードモータと歯車Aは、ミニ四駆用のステンレスシャフトを加工して接続しており、ギヤードモータを回すことで、歯車A・歯車Bが回転する。歯車Bとストローク変更パーツにはネジが切られており、歯車Bの回転に合わせてストローク変更パーツが上下する。また、フォトフレクタ(TPR-105F)を用いてストローク変更パーツの現在位置(高さ)を取得することで、フィードバック制御を行う。変更速度を計測したところ、約1秒でストロークが最大(3mm)と最小(0mm)の状態を切り替えられる速度であった。

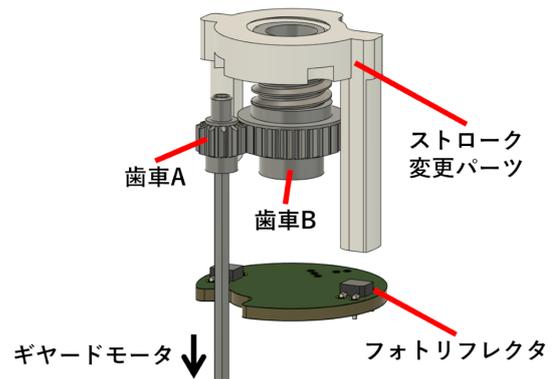


図 6. ストローク変更に関わるパーツ

5.4 プログラム

押下圧とリニア振動アクチュエータの制御は先行研究[16]に準ずるため、ここではストロークの制御に絞って説明する。

ストローク変更パーツの位置を取得するためのフォトフレクタと、ストローク変更のためのギヤードモータを回転させる処理を紹介する。なお、各種センサの出力は分解能12bitのAD変換値を1ms周期で取得している。

ストローク変更パーツの位置を取得するために、フォトフレクタを使用している。フォトフレクタの値は、AD変換値から入力変換テーブルを用いて、16段階のストロークを識別できるように変換する。ここで16段階とした理由は、精細度と制御の容易さのバランスを取ったためである。16段階の場合、高さ方向に0.4mm程度の分解能となる。外部から制御を行う際に4bitで表現することができ、通信の簡素化も図れる。

続いて、ストローク変更パーツの位置を判定する入力変換テーブルの作成方法を説明する。まず、ストローク変更パーツの高さを均等に覚えていった時の、フォトフレクタの出力値をプロットする。次に、そのデータの近似曲線(2次)を求め、ストローク変更パーツの可動範囲を均等に16段階に区切った際の閾値を計算して入力変換テーブルとする。

ストローク変更パーツの移動には、出力変換テーブルを用いる。出力変換テーブルは、ストローク変更パーツの可動範囲を、均等に16分割するように作成する。16段階とした理由は、フォトフレクタと同様に、精細度と制御の容易さのバランスを取ったためである。作成したテーブルを用いて、ストロークの目標位置を取得し、モータ制御に使用する。

モータ制御は、正転・逆転・ブレーキ²の切り替えのみで行っている。フォトフレクタによって求めた現在位置と、出力変換テーブルを用いて取得した

² モータドライバのブレーキ機能。モータの端子間を短絡させることで、急減速を行う機能。

目標位置をもとにフィードバック制御を行い、出力はモータドライバを介してギヤードモータに出力している。

6 基本動作

本デバイスを用いた情報提示の基本動作を紹介する。情報提示には、クリック感とストロークを用いる。ここでは、ストローク変更を利用した例を3つ、クリック感の発生を利用した例を1つ紹介する。

ストロークを用いた1つ目は、ボタンの表面を物理的に上下させる動作である(図1左)。これは、さりげないボタンの動きによって、ユーザの注意を引くことができる。次に押すボタンの提示や、押し忘れを防ぐために目立たせる等の表現が可能になる。

ストロークを用いた2つ目は、ボタンをフラットにする動作である(図1中)。これは、ボタンが押せない状態であることを伝えることができる。GUIにおける仮想的なボタンでは、押せない時にグレー表示する表現がある。本デバイスを用いると、このような動作を物理的なボタンでも実現できる。視覚的に押しにくくなるだけでなく、実際にボタンを押せなくなるため、確実に入力を防げる点が特徴である

ストロークを用いた3つ目は、オルタネイト動作である(図7)。押すたびにON-OFFが切り替わり、ONのときに押し込まれた状態で止まるようなスイッチの挙動を、本デバイスを用いて再現する。例えば、操作対象の機器の状況を提示する際に有用である。本デバイスでは、ストロークを3mmの範囲で自由に変更することができるため、通常のオルタネイト動作のスイッチより複雑な表現も可能となる。例えば、一つの機器を2つのスイッチで操作する三路スイッチでのオルタネイト動作や、三状態(例えば、状態A→B→C→Aのような動作)でのオルタネイト動作を可能とする。

クリック感を用いた例は、ボタンを振動させる動作である(図1右)。これは、ゲームのプレイ中のように、ボタンの表面に手を置いているユーザに対して、押下を促したり、タイミングの提示をすることができる。



図 7. オルタネイト動作の表現

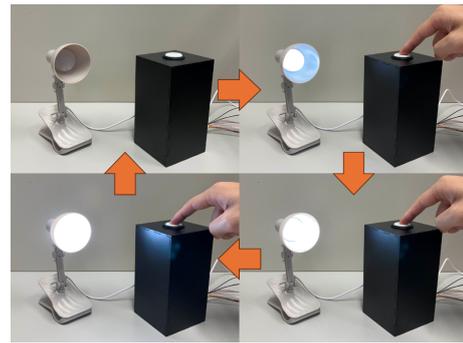


図 8. 3段階の明るさがある照明スイッチ。明るさに応じてストロークが変化する。

明るさ	消灯	1	2	3
押下圧	小	小	小	大
クリック感	無し	無し	無し	有り
ストローク	短	短	中	長

短 中 長
ストローク

図 9. 明るさの段階ごとのパラメータの設定(上)と、ストローク変更の変更イメージ(下)

7 応用例

ボタン型デバイスを用いた情報提示手法の応用例を3つ紹介する。

7.1 照明スイッチ

1つ目は照明スイッチである(図8)。明るさに複数の段階があり、ボタンを押すたびに照度が上がる(消灯→1→2→3→消灯)照明を想定する。図9に各段階ごとのパラメータの設定を示す。初期状態(消灯)はストロークが短く、段階が上がるにつれボタンが浮き上がり、ストロークが長くなる。ストロークが変わることにより、見た目と押したときの感触が変わっていく。加えて、照度が最大の時だけ押下圧とクリック感を変化させることで、最大状態であることをユーザに知らせる。

他にも、部屋が明るいときはボタンをフラットにして押せないようにして節電を促す動作や、電気をつけたまま離席するとボタンが上下に動いて消させようとする動作等も考えられる。

7.2 モグラたたきゲーム

2つ目はモグラたたきゲームである(図10)。本デバイスの様々な情報提示を用いることで、ゲームをより楽しくすることができる。初期状態ではストロークを短くし、モグラが出てくるときだけ

ストロークを長くすることで、モグラが頭を出すような表現が可能になる。また、ペナルティアイテムを間違えて叩いてしまった場合、一定時間ボタンを押せなくして、物理的にペナルティを感じられるようにできる。他にも、モグラを叩いた時だけクリック感を付けることで、触覚的にスコアの獲得を表現することも可能である。



図 10. モグラたたきのイメージ

7.3 振動によるタイミング提示

3つ目はボタンを振動させることで、適切な入力タイミングを提示する例である。音楽ゲームに対する練習として、リズムやタイミングを覚える場面を想定する。本デバイスを用いることで、視覚・聴覚的な提示に加えて、触覚を用いた提示が可能となる。ユーザは常にボタンの上に指を置いており、システムからリズムに合わせたタイミングで振動を提示することで、適切な入力タイミングを伝えることができる。また、振動を徐々に弱めていき、最終的にはシステムの支援なしで使えるようにする等、離脱のサポートもできる可能性がある。

8 議論

ストローク変化の有効性

ボタンを上下させる情報提示は、現在の実装ではボタンのストローク (3mm) のみの動作となっている。これはさりげなく気を引く動作としては適するが、ユーザに強く注意を促す動作としては不適である。本研究の元々の狙いは、ボタンを用いてさりげない情報提示を行うことにあるが、より大きなストロークを持たせたり、ボタン表面の質感等 (例: ミラーボールのように光を反射させて小さな動きを目立たせる) を調整することで、強く注意を引くような表現と使い分けられる可能性がある。

ストロークの変更速度

現在のストロークの変更速度 (最大・最小間で約 1 秒) は、ユーザの操作速度に追いついていないとは到底言えない速度である。例えば第 6 章で紹介した

オルタネイト動作の場合、ボタンから手が離れた後もボタンの表面が沈み (浮き上がり) 続けるようになっている。この問題を解決するためには、モータのギヤ比変更や、ネジのピッチ・条数の見直しが必要である。しかし、ストローク変更速度とストローク変更の力はトレードオフの関係にあるため、動作に影響を及ぼす可能性がある。特にボタンの表面を沈める動作の場合、押下圧を上回る力が必要であるため、変更速度を上げるとストロークが変更できなくなる恐れがある。今後は測定や検証を行い、動作に影響のない範囲でストローク変更速度を上げて、自然な動作を目指していく。

コストとサイズ

本研究のデバイスの今後の展開として、デバイスの仕様や基板図、筐体のモデル等をオープンソースハードウェアとすることで、多くのユーザが本デバイスを利用できるようにしていきたい。現在の部品代はボタン一つ辺り 6200 円程度と比較的安価ではあるが、一般的なボタンの価格帯を考えると、3000 円程度に収まるようにコストの削減を検討したい。サイズに関しても、直径は制約条件とした 30mm に収まっているものの、高さは 125mm あり、既存の押しボタンに比べて大きい。高さに制限がある場所では本デバイスを利用できないため、今後は縦方向の小型化も検討していく。

9 まとめ

本研究では、ボタン型デバイスを用いた情報提示手法とその活用例を紹介した。筆者が過去に取り組んできた、「押下圧」「クリック感」を動的に変更できるデバイスを改良し、「ストローク」も変更できるボタン型デバイスを製作した。このデバイスを用いて、ボタンの非押下時に様々な情報提示を行う手法を示した。さらに、これらの手法を組み合わせた 3 つの応用例も提示した。今後は前述した課題を解決するとともに、様々な場面における応用例を実装していきたい。

謝辞

本研究の一部は、経済産業省 AKATSUKI プロジェクト北海道 IT クリエータ発掘・育成事業 (新雪プログラム) の支援を受けた。

参考文献

- [1] S. Brave and A. Dahley. inTouch: a medium for haptic interpersonal communication. In *CHI '97 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '97, p. 363–364, New York, NY, USA, 1997.
- [2] C. Doerrer and R. Werthschützky. Simulating push-buttons using a haptic display:

- requirements on force resolution and force-displacement curve. In *Proceedings of the EuroHaptics*, p. 41–46, 2002.
- [3] KONAMI. ボンバーガール. <https://p.eagate.573.jp/game/bombergirl/bg/p/index.html>. (2024-10-28 確認).
- [4] KYORAKU. KYORAKU オフィシャルサイト — ぱちんこ 必殺仕事人 IV. <https://www.kyoraku.co.jp/lineup/2011/hissatsu4/>. (2024-10-28 確認).
- [5] Y.-C. Liao, S. Kim, B. Lee, and A. Oulasvirta. Button Simulation and Design via FDVV Models. In *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '20, p. 1–14. Association for Computing Machinery, 2020.
- [6] Y.-C. Liao, S. Kim, and A. Oulasvirta. One Button to Rule Them All: Rendering Arbitrary Force-Displacement Curves. In *Adjunct Proceedings of the 31st Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '18 Adjunct, p. 111–113. Association for Computing Machinery, 2018.
- [7] NKK スイッチズ株式会社. 多機能押ボタンスイッチ IS シリーズ. https://www.nkkswitches.co.jp/product/series/intelligent_IS.html. (2024-10-28 確認).
- [8] C. Park, J. Kim, D.-G. Kim, S. Oh, and S. Choi. Vibration-Augmented Buttons: Information Transmission Capacity and Application to Interaction Design. In *Proceedings of the 2022 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1–13. Association for Computing Machinery, 2022.
- [9] C. Park, J. Yoon, S. Oh, and S. Choi. Augmenting Physical Buttons with Vibrotactile Feedback for Programmable Feels. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, pp. 924–937. Association for Computing Machinery, 2020.
- [10] T. Rae-Grant, C. Harrison, and C. Shultz. DynaButtons: Fast Interactive Soft Buttons with Analog Control. In *2024 IEEE Haptics Symposium (HAPTICS)*, pp. 366–371, 2024.
- [11] C. Shultz and C. Harrison. Flat Panel Haptics: Embedded Electroosmotic Pumps for Scalable Shape Displays. In *Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '23. Association for Computing Machinery, 2023.
- [12] A. L. Studio. Optimus Maximus keyboard. <https://www.artlebedev.com/optimus/maximus/>. (2024-10-28 確認).
- [13] K. Tsukada and K. Kambara. IODisk: disk-type i/o interface for browsing digital contents. In *Adjunct Proceedings of the 23rd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '10, p. 403–404, New York, NY, USA, 2010.
- [14] ダイヤテック株式会社. CHERRY MX スイッチとは. <https://www.diatec.co.jp/products/CHERRY/>. (2024-10-28 確認).
- [15] 小川 大地, 蜂須 拓, 梶本 裕之. 2A1-B01 物理的なボタンへの触振動付与による多感触ボタンの設計. ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, 2015: 2A1-B01.1–2A1-B01.3, 2015.
- [16] 田原 和真, 塚田 浩二. 動的に押し心地が変化する押しボタンの提案. WISS2023 予稿集, 2023.