「推しボタンマトリクス」の提案と試作

田原 和真[1,a)]　塚田 浩二[1]

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り，広く使われている．これまで我々はユーザの好みに応じて，ボタンの重さやクリック感等の押し心地を調整できるデバイスを提案してきたが，単一のボタンを用いた事例に留まっており，活用場面が限定されていた．そこで本研究では，押し心地を変更できるボタン（推しボタン）をマトリクス状に配置した「推しボタンマトリクス」を提案する．各ボタンは，「押下圧」「クリック感」「ストローク」といった押し心地を調整できる．加えて，本デバイスを用いた応用例として「ドラムパッド」「ゲームキャラクターとボタン動作の連動」等を提案する．また，推しボタンの性能評価も行い，その結果から本デバイスの有用性と課題を議論する．

Proposal and Prototyping of a Pushbutton Matrix

1. はじめに

押しボタンは，多様な家電や情報機器等で用いられている一般的な入力デバイスである．「押す」という動作のわかりやすさ・シンプルさや，省スペースで制御が容易という設計上の扱いやすさ等により，広く使われている．押しボタンの中にも多様な種類があり，押した時の感触（押し心地）が異なっている．例えば，パソコン用のメカニカルキーボードだけを見ても，押し心地の異なる様々な種類の押しボタンが存在する．人気が高い CHERRY MX シリーズ[*1]では，クリック感が特徴的な青軸，なめらかで軽い押し心地な赤軸，赤軸よりも重い押し心地の黒軸等，10 種類以上の押しボタンが販売されており，ユーザの好みに応じて使い分けられている．

一方，こうしたボタン毎に異なる押し心地の変化を単一のデバイスで表現するために，我々は本研究の前身として，押し心地が動的に変化する押しボタンの開発 [1] を行ってきた．ここでは，「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試作・検証した．さらに，このデバイスを拡張して，「ストローク（ボタンを最大まで押した時の深さ）」を変更可能な装置を提案した [2]．一方で，これまでは単一のボタンのみを対象としており，活用範囲が大幅に限定されていた．

そこで本研究では，押し心地を変更できる押しボタン（推しボタン）をマトリクス状に配置した「推しボタンマトリクス」を提案し，幅広い応用例を実装することで，その可能性を議論する（図 1）．なお，本稿は WISS2025 のデモ発表 [3] の内容を拡張したものである．

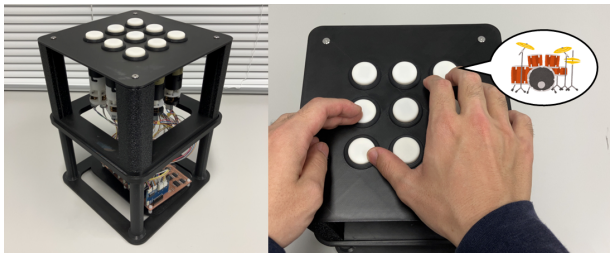

図 1　推しボタンマトリクスの外観とドラムパッドの利用例．楽器によって押し心地が変化する．

2. 関連研究

2.1 ボタンの押し心地を変える事例

1 章で述べた我々の試み以外にも，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 [4] 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 [5] [6] はリニアフォースアクチュエータや振動モータ等を，ボタンの

1　公立はこだて未来大学
Future University Hakodate
a)　tahakazu182622@gmail.com
*1　https://www.cherry.de/en-gb/products/switches

© 1959 Information Processing Society of Japan

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．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ため，押し心地の再現性が重視されているが，我々の試みは実環境に近い場面での活用に焦点を当てており，設計方針が大きく異なる．

PlayStation 5 の専用コントローラ DualSense に含まれるアダプティブトリガー [7] は，左右側面に 1 つずつあるトリガーボタンの重さが，ゲーム内の場面に応じて変化する．主に 1 つのトリガーボタンに着目して，銃の種類によるトリガーの重さやプレイヤーの疲労度等が表現されている．本研究では多数のボタンの押し心地を動的に変化させることで，新たな活用場面を探求する．

2.2 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 [8] は，物理的なボタン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．Park らは，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 [9]．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 [10]．本研究では，クリック感に加えて押下圧やストロークもインタラクション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 [12] 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，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 [13] では，筐体中央にあるサプライズボタンが，演出に応じて飛び出してくる．この事例は，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．更に本研究では，一つのボタンだけでなく，複数のボタンを用いたインタラクションに焦点を当てている．

2.3 マトリクス状に並んだインタフェース

小型のデバイスをマトリクス状に並べたインタフェースを紹介する．

inFORM [14] は，大量の小型ピンディスプレイをマトリクス状に並べることで，3D の形状表示ディスプレイを実現している．さらに，inFORCE [15] では，電流センシング付きのリニアアクチュエータを用いることで，各ピンで力の提示も実現している．これらのデバイスは，高密度にアクチュエータを配置しており，可動範囲も広い特徴があり，主に情報提示を想定している．本研究では，押し心地を変更できるボタンをマトリクス状に配置することで，主に入力を中心としたインタラクションに焦点を当て，有効な活用場面を探っていく．

TENORI-ON [16] は，小型の LED 付きボタンが 16×16 のマトリクス状に並んだ電子楽器である．各ボタンを用いてシーケンサーのように演奏を行うことができる．全てのボタンに LED を内蔵しており，視覚的なフィードバックを行える．本研究では，ボタンの押し心地を変化させることで，触覚・力覚フィードバックを中心とした応用例に注目している．例えば，楽器の種類によってボタンの押し心地を変えることで，ユーザの演奏体験を向上できる可能性がある．

3. 提案

本研究では，押し心地を変更可能なボタン（推しボタン）を用いて，様々なインタラクションが可能な推しボタンマトリクスを提案する．

3.1 押し心地要素の基本動作とその効果

本研究で変更可能とする押し心地の要素は，前身の研究 [1] において選定した「押下圧」「クリック感」「ストローク」である．ここでは，これらの要素の基本動作とその効果について述べる．

押下圧

押下圧を変更することで，押しやすさを変更することができる．押す頻度が高いボタンでは軽くすることで，操作性を向上させたり，不用意に押さないようにするボタンでは重くすることで，誤操作を防ぐことができる．

クリック感

クリック感の発生する位置や種類（小さい／大きい，短い／長い）を変更することで，操作者に与える印象を変更することができる．また，非押下時にも振動させることができるため，押下を促すような表現ができる．

ストローク

ストロークを変更することで，浅い／深いボタンに変更することができる．それだけでなく，ボタンを上下させる（＝ボタンの表面を動かす）ことで操作者の気を引いたり，ストロークが最小のフラットな状態にす

ることでボタンを物理的に押せなくすることができる．

3.2 マトリクス状にする意義

従来の我々の研究 [1] では，ボタンの押し心地の制御は実現できたものの，同時に一つのボタンしか扱えず，活用場面が限定されていた．ボタンは複数同時に配置されることが一般的であるため，ボタンをマトリクス状に配置して，押し心地を個別／動的に制御することで，新たな活用場面を切り開ける可能性があると考えた．例えば，役割の違うボタンごとに異なる押し心地を設定したり，入力に応じて複数のボタンを連動させることで，操作体験を向上できる可能性がある．詳細については，5 章の応用例にて述べる．

4. 実装

4.1 推しボタン

推しボタンマトリクスに使用する各ボタンの外観と内部構造を図 2 に示す．筐体や機構は光造形方式や熱溶解積層方式の 3D プリンターで出力している．なお，押下圧とクリック感の実装は，先行研究 [1] と共通するため，詳細は割愛する

押下圧の変更は，永久磁石同士の反発力を利用し，二つの永久磁石の距離をモーターで変化させることで実現した．クリック感の生成は，リニア振動アクチュエータを利用した．ストロークの変更は，ストローク変更パーツを利用して，ボタン部の動きを物理的に制限した．ストローク変更パーツの位置は，ギヤードモータとフォトリフレクタを使いフィードバック制御を行っている．ストロークは制限をしていない状態で 3mm あり，最小で 0mm（ボタンが常に最大まで押されている状態）になる．

これらの要素は，マイコン（PIC18F27Q43）を搭載した制御基板（図 3）により制御する．制御基板は，ストローク機能の追加に合わせて新規作成した．外部通信機能（SPI）を持たせることで，他のマイコン等から押下状態の取得，各押し心地要素の変更ができるようになっている．

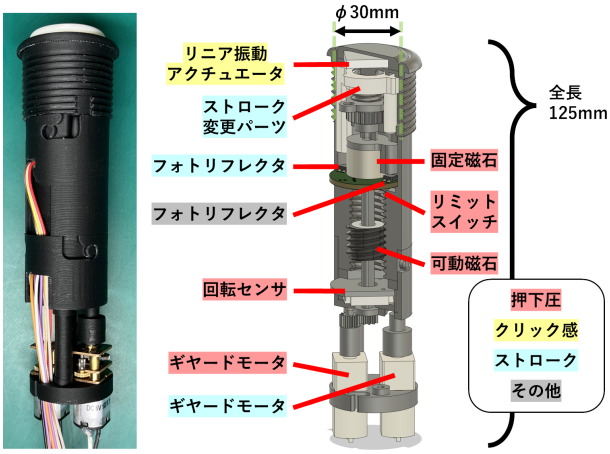

図 2 推しボタンの外観と内部構造

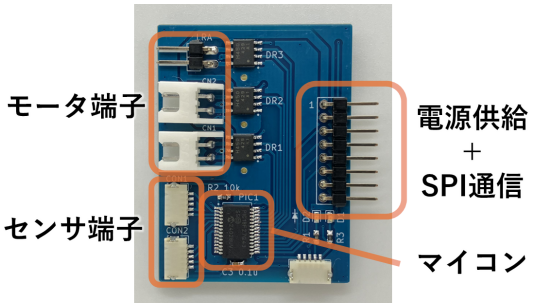

図 3 制御基板の外観

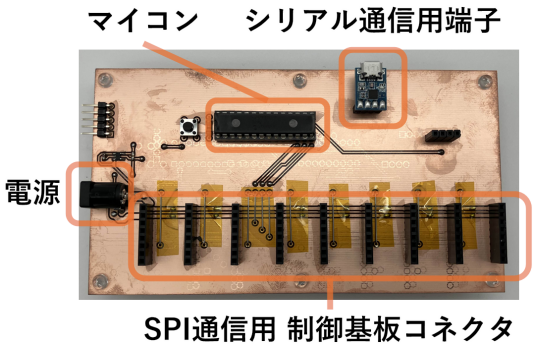

図 4 ホスト基板の外観

4.2 推しボタンマトリクス

4.2.1 筐体

先述した押し心地を変更できる推しボタンを 9 個使い，3×3 のマトリクス状に並べた筐体を製作した（図 1 左）．筐体の大きさは，幅 212mm× 奥行 212mm× 高さ 273mm となっている．ボタン同士の間隔は 40mm で，片手でも少し指を開くことで 1 列に並んだボタンを 3 つ同時に押せる程度の幅に設計した．ボタンは天板に開けた直径 30mm の穴にねじ止めする形で固定しており，容易に取り換えることができるように設計した．

4.2.2 ホスト基板

9 つのボタンの制御を一括に行えるよう，電源供給と各種通信を一括管理するホスト基板を作成した（図 4）．推しボタンに使われている各種モータ・制御基板を駆動するための 5V 電源は，ホスト基板を介して供給を行う．ホスト基板のマイコンとして，制御基板と同様に PIC18F27Q43 を利用している．制御基板に対しては SPI 通信を，外部の PC 等に対しては USB シリアル通信を利用する．これにより外部 PC から，ホスト基板／制御基板を経由して，ボタンの押下状態を取得したり，押し心地要素を変更できる（図 5）．また，制御基板は 8 ピンコネクタでホスト基板と接続されるため，容易に取り外しできる（図 6）．

5. 応用例

推しボタンマトリクスを使った応用例として，「ドラムパッド」「ゲームキャラクターとボタン動作の連動」の 2 つを紹介する．いずれの応用例も，PC 上の自作アプリケー

© 1959 Information Processing Society of Japan

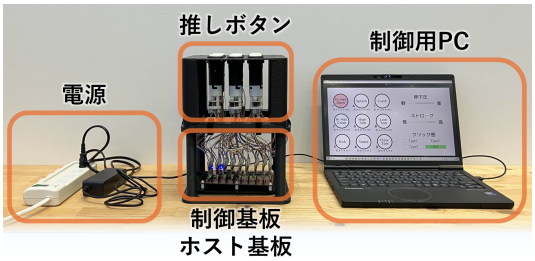

図 5　システム全体の構成

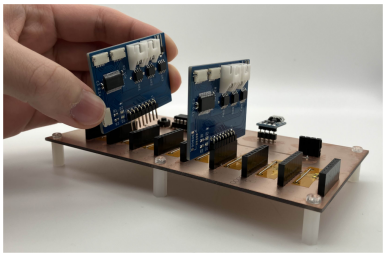

図 6　ホスト基板に制御基板を接続する様子

ションからホスト基板に通信を行うことで実装している．

5.1　ドラムパッド

推しボタンマトリクスを用いた電子楽器について紹介する．推しボタンマトリクスをドラムパッドや MIDI パッドに見立て，ボタンを押すと特定の音が鳴るシステムを作成した．この時，鳴る音に合わせてボタンの押し心地を変更することで，演奏感や楽しさの向上が期待される．例えばドラムセットを例として，音のパラメータとボタンの押し心地の割り当て例を以下に説明する（図 7，表 1）．

音の大きさ

音の大きさと押下圧を対応付ける．ハイハット（クローズ）やタムのような音が小さい楽器では押下圧は小さめに，スネアやクラッシュシンバルのような音の大きい楽器では押下圧を大きめとする．

動きの大きさ

楽器を演奏する際の動きの大きさとストロークの大きさを対応付ける．ハイハット（クローズ）やタムのような動きが少ない楽器ではストロークは小さめに，シンバルやバスドラム（キックペダルの動き）のように動きが大きい楽器ではストロークは大きめとする．

残響の長さ

残響の長さとクリック感の長さを対応付ける．ハイハット（クローズ）のようにすぐ音が消える楽器ではクリック感は短めに，クラッシュシンバルのような残響が大きく残る楽器ではクリック感を長めとする．

この他にも，シーケンサーとしての利用も考えられる．記録時はボタンを押すことでリアルタイムに記録し，再生時にはその場所のボタンが自動的に押されて再生する．このようにすることで，視覚的にも触覚的にも再生の様子を感じることができ，演奏の楽しさの向上を目指せると考えている．

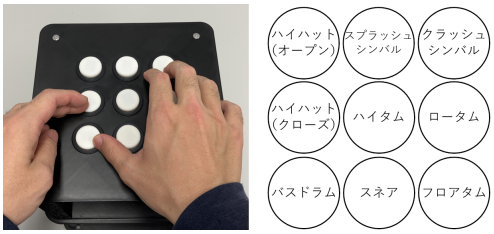

図 7　演奏の様子（左）と割り当て例（右）

表 1　ドラムパッドにおける押し心地の割り当て例

音	押下圧	ストローク	クリック感
バスドラム	中	大	中
スネア	大	中	中
タム	小	小	中
ハイハット	小	小	短
シンバル	大	大	長

5.2　ゲームキャラクターとボタン動作の連動

複数のボタンを連動させたフィードバック手法について紹介する．複数の攻撃方法があるゲームを想定する．いずれかのボタンを押すことで，そのボタンに対応した攻撃が出る．それと同時に，攻撃アニメーション（図 8 上）に合わせて他のボタンを使ってフィードバックを行うことで，攻撃の種類や強さを視覚的に感じることができ，楽しさの向上が期待される．例えば「突き攻撃」では，押したボタンの前方 1 列が同時に押される．「払い攻撃」では，押したボタンの左側にあるボタンが順番に押される．ボタン長押しで発動する強力な「回転攻撃」では，離したボタンの周りが円状に順番に押される．このように，それぞれの攻撃をモチーフにしたボタンの動きを行う（図 8 下）．

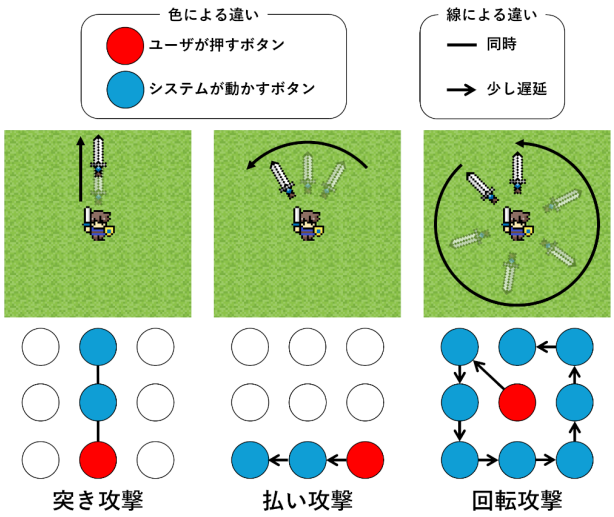

図 8　各攻撃におけるボタンの動き方の違い

6.　性能評価

推しボタンで変化させることができる押し心地要素に関

する性能と，推しボタンの消費電流を測定する．今回は，推しボタンマトリクスの特定の 1 ボタンを対象として測定した．ボタン間の個体差の詳細な調査については，今後の課題とする．

6.1 押下圧の変化範囲

押下圧の変化範囲を，フォースゲージを用いて測定した．推しボタンは，押下圧を 16 段階に調節できるように設定している．以降，各段階の押下圧のことを，押下圧レベル n（$n = 1 \sim 16$）と呼ぶ．押下圧レベル 1 から 16 のそれぞれにおいて，フォースゲージでボタンを押すように固定した状態で，押下圧レベルを変更することで測定した．ボタンの押下圧を安定して計測するために，ボタンの底まで押した状態から 0.1mm 上昇させた位置で測定する．押下圧レベルごとに 10 試行測定し，その平均を折れ線グラフにまとめたものを図 9 に示す．

磁気に関するクーロンの法則により，磁石の反発力は磁石間の距離の 2 乗に反比例して大きくなる．実験結果からも，その理想的な変化に近い相関を示すことが確認できた．具体的には，最小で約 0.25N，最大で約 3.93N となっており，幅広い範囲で押下圧を調整できることが確認できた．また，各試行における測定値のブレは，おおむね平均 ±3% に収まっており，制御が十分に安定していると判断した．

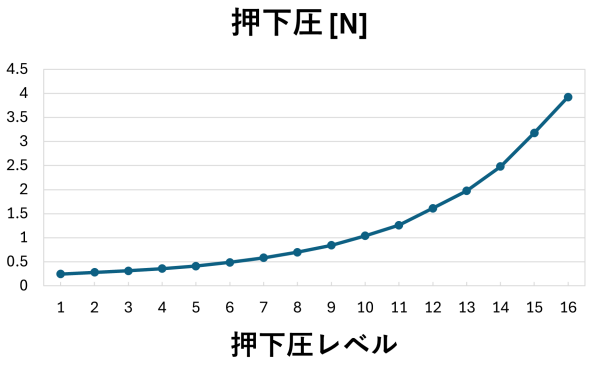

図 9 押下圧レベルごとの押下圧の実測値

6.2 押下圧の変化速度

押下圧の変化速度を，制御プログラムに時間計測機能を追加して測定した．押下圧を増加させるときは，磁力の反発の影響で必要なトルクが増加し，変更速度が遅くなることが予想される．そのため，押下圧を増加させる方向／減少させる方向を分けて計測した．押下圧レベル 1 と押下圧レベル 5 ／ 10 ／ 16 間の変更時間について，それぞれ 30 試行行った結果を箱ひげ図にまとめたものを図 10 に示す．

変化速度は平均で，増加方向で約 330ms〜800ms 程度，減少方向で約 330ms〜870ms 程度となった．増加方向／減少方向の違いに関しては，予想に反して 1-5 間ではおおむ

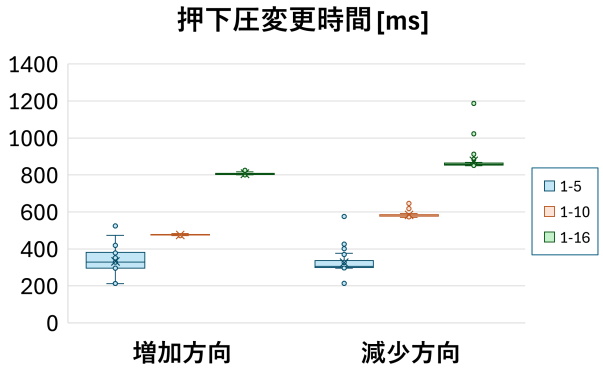

図 10 押下圧の変更にかかる時間

ね同様，1-10 ／ 1-16 間では減少方向のほうが時間が長い結果となった．1-5 間は，磁石同士の距離が離れており反発力が小さいため，ほぼ磁力の影響を受けなかったと予想される．1-10 ／ 1-16 間では減少方向への移動時に，フィードバック制御の際のオーバーシュート[*2]がわずかに発生しており，増加方向に比べて安定するまでに時間がかかっていた．一方増加方向では，常に押し戻される向きに磁石の反発力がかかっているため，モータの空転が少なく，安定までの時間が早くなったのではないかと考えられる．減少方向の方が時間がかかる問題は，フィードバック制御におけるデッドバンド[*3]を調整したり，現在の ON/OFF 制御の代わりに PID 制御を導入することで解消できる見込みである．さらに，磁力の影響を強く受ける増加方向の 1-10 ／ 1-16 以外においては，変更時間のブレが大きい結果となったが，同様の手法で解消できるのではないかと予想している．

6.3 ストロークの変化速度

ストロークの変化速度を，押下圧と同様に制御プログラムに測定機能を追加して測定した．ストロークを減少させる動作は，ボタンを押す動作と同じであり，押下圧が大きいほどストローク変更に必要なトルクが増加し，変更速度が遅くなることが予想される．そこで，押下圧レベル 5 ／ 10 ／ 16 のそれぞれにおいて，ストロークを増加させる方向（0mm から 3mm）／減少させる方向（3mm から 0mm）を分けて測定した．それぞれ 30 試行行った結果を，箱ひげ図にまとめたものを図 11 に示す．

変化速度は平均で，増加方向で約 380ms〜430ms 程度，減少方向で約 420ms〜430ms 程度となった．増加方向／減少方向の違いは，予想通り減少方向の方が速度が遅い傾向にあった．また，押下圧レベルが大きくなるほど速度が遅い傾向となった．一方で，増加方向では速度のブレが大きく，極端に遅い試行がいくつかあった．この原因として，押下圧の変化速度と同様に，オーバーシュートの発生が考

*2 目標値へ向かう際に，目標値を超えてしまう現象
*3 目標値付近でモータへの出力を行わない範囲

© 1959 Information Processing Society of Japan

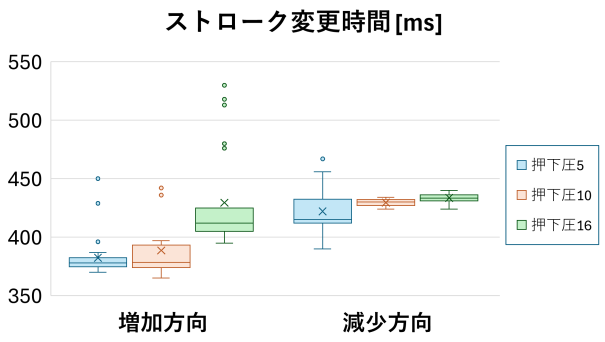

図 11 各押下圧ごとのストロークの変更にかかる時間

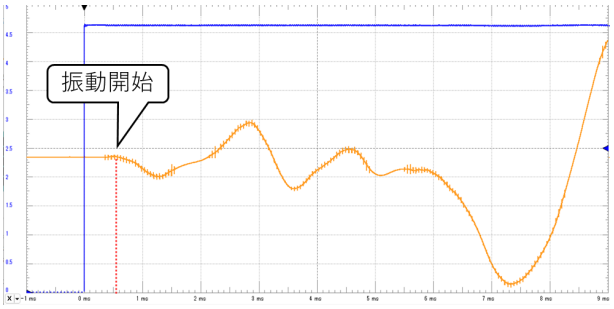

図 12 加速度センサで計測したクリック感発生時のボタン表面の振動．横軸のメモリは 1ms を示す．

えられる．その為，同様に制御方法を改善することで，解消できる見込みである．

6.4 クリック感の応答速度

クリック感の応答速度を，ボタン表面に加速度センサを取り付けて測定した．制御基板に対してクリック感を発生させる信号の送信タイミングと，加速度センサの出力値をオシロスコープ（Analog Discovery 3）で同時に観察し，応答速度を測定した．オシロスコープの出力を図 12 に示す．

青い線は，クリック感を発生させる信号を送信開始するタイミングを，オレンジの線は加速度センサの出力値を表している．この結果から，信号の送信開始から 0.6ms 以内で振動を開始していることが確認できた．

6.5 消費電流

推しボタンの消費電流を測定した．理論上の最大消費電流は，ギヤードモータが 800mA（ストール電流）×2 つ，リニア振動アクチュエータが 200mA となっており，最大で 1.8A 程度となる．実際の消費電流を把握するために，テスターを用いて計測を行った．平均電流は，テスターの平均電流測定機能を用いて 3 回計測した値の平均値としている．最大電流（モータの突入電流を含めた瞬時的な最大電流値）は，テスターの最大電流測定機能を用いて 3 回計測した値の最大値としている．結果を表 2 に示す．

押下圧・ストローク・クリック感をすべて同時に制御した場合でも，最大消費電流は 369mA であり，ボタン一個当たりの電源は 400mA 程度の容量があれば充分であることが判明した．

表 2 各状態における消費電流

状態		電流 (mA)
アイドル時	平均	38
押下圧変更	平均	123
	最大	226
ストローク変更（押下圧最大時）	平均	152
	最大	224
クリック感発生	最大	125
全部同時	最大	369

7. 議論

7.1 押し心地の 3 要素を変更できる意義

本研究の推しボタンは，押し心地の 3 要素（「押下圧」「クリック感」「ストローク」）を変更できる．3 要素を対象とするメリットとして，複数の方式のフィードバックができることが挙げられる．例えば，第 5 章で紹介したドラムパッドの応用例のように，3 つの押し心地要素をそれぞれ異なるパラメータに割り当てることで複雑なフィードバック設計が可能になる．

7.2 ボタン配置の可能性

推しボタンマトリクスは，天板を交換することで様々な形のボタン配置に変更することができる．例えば，ジグザグに 9 つのボタンを横に並べて，音楽ゲーム用のコントローラーとすることができる（図 13 左）．この際，音楽ゲームにおける正しいタイミングを，ボタンを振動させることによって教示することができ，手を使ってリズムを学習することができる．他にも，アーケードコントローラーのように配置することで，格闘ゲーム用のコントローラーとすることができる（図 13 右）．押し心地を変更することで，弱攻撃では軽く，強攻撃では重くするといったように，攻撃の強さによって重さを変更することができる．このような演出を行うことで，楽しさの向上が期待できる．このように，天板を交換することで，様々な入力装置における操作体験を向上させることが可能である．

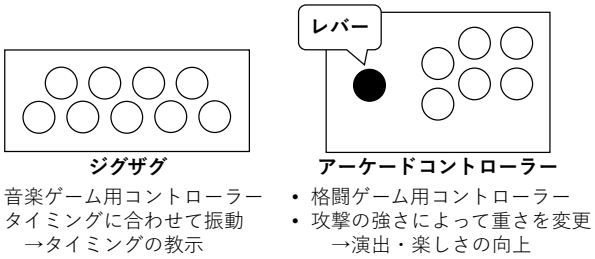

図 13 ボタン配置の例

7.3 サイズ

本研究の推しボタンは高さが 125mm あり，一般的な押しボタンに比べて長いため，縦方向の空間に余裕がない場面では設置することができない．このようなサイズになっている原因として，押下圧とストロークの機構が挙げられる．各要素を実現する機構が，どれくらいの高さを占めているかを図 14 に示す．この図からわかるように，クリック感に比べて，押下圧とストロークが占める高さの割合が大きい．一方で，応用例によっては 3 要素全てを使わないものもある．その為，サイズを削減するために「クリック感＋押下圧」もしくは「クリック感＋ストローク」のみを変更できるボタンも検討する．これにより，30-50mm 程度の削減ができる見込みである．

また，モータの変更も視野に入れている．例えばブラシレスモータに置き換えることで，オープンループ制御が可能になり，センシング用の部品が不要となるため，スペースの削減につながる．他にも，モータを横向きに取り付ければ，高さを 20mm 程度削ることができると考える．ただしこの場合，横方向にサイズが大きくなり，既存のボタンとの完全な置き換えが困難になる制約がある．

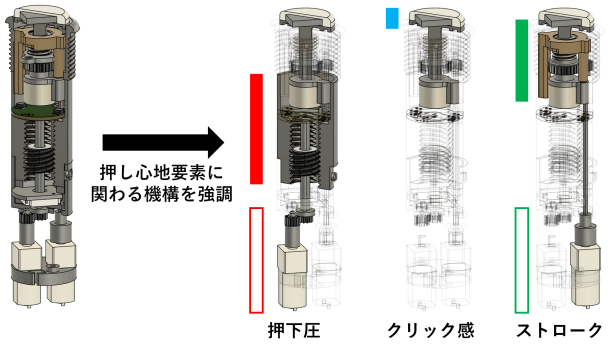

図 14 各要素を構成する機構ごとに強調表示をしたもの．色付きのバーは，その機構が占有している高さの目安．

8. まとめ

本研究では，押し心地が変化する推しボタンを用いた推しボタンマトリクスとその応用例を紹介した．各ボタンは「押下圧」「クリック感」「ストローク」といった押し心地を変更できる．我々の従来の研究では，単一のボタンを用いた事例にとどまっていたが，本研究ではマトリクス状にボタンを配置することで，「ドラムパッド」「ゲームキャラクターとボタン動作の連動」等の多様な応用例を提案した．加えて，デバイスの性能評価を実施し，表現できる押下圧の範囲や，各押し心地要素の応答性能，デバイスの消費電流を明らかにした．今後は，本デバイスの有用性を把握するためにユーザ評価を行う．また，先述した制御の不安定さやサイズに関する課題を解決したり，推しボタンマトリクス独自の活用法をさらに探っていきたい．

参考文献

[1] 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試作と評価，情報処理学会論文誌， Vol. 66, pp. 354–365 (2025).

[2] 田原和真，塚田浩二：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，WISS2024 予稿集 (2024). デモ発表 3-A09.

[3] 田原和真，塚田浩二：「推しボタンマトリクス」の提案とその応用，WISS2025 予稿集 (2025). デモ発表 1-A03.

[4] Doerrer, C. and Werthschützky, R.: Simulating push-buttons using a haptic display: requirements on force resolution and force-displacement curve, *Proceedings of the EuroHaptics*, p. 41–46 (2002).

[5] Liao, Y.-C., Kim, S. and Oulasvirta, A.: One Button to Rule Them All: Rendering Arbitrary Force-Displacement Curves, *Adjunct Proceedings of the 31st Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '18 Adjunct, Association for Computing Machinery, p. 111–113 (2018).

[6] Liao, Y.-C., Kim, S., Lee, B. and Oulasvirta, A.: Button Simulation and Design via FDVV Models, *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '20, Association for Computing Machinery, p. 1–14 (2020).

[7] Sony: DualSense ワイヤレスコントローラー，`https://www.playstation.com/ja-jp/accessories/dualsense-wireless-controller/`.（2026-2-6 確認）.

[8] 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， Vol. 2015, pp. _2A1–B01_1–_2A1–B01_3 (2015).

[9] Park, C., Yoon, J., Oh, S. and Choi, S.: Augmenting Physical Buttons with Vibrotactile Feedback for Programmable Feels, *Proceedings of the 33rd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, Association for Computing Machinery, pp. 924–937 (2020).

[10] Park, C., Kim, J., Kim, D.-G., Oh, S. and Choi, S.: Vibration-Augmented Buttons: Information Transmission Capacity and Application to Interaction Design, *Proceedings of the 2022 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, Association for Computing Machinery, pp. 1–13 (2022).

[11] Shultz, C. and Harrison, C.: Flat Panel Haptics: Embedded Electroosmotic Pumps for Scalable Shape Displays, *Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '23, Association for Computing Machinery (2023).

[12] Rae-Grant, T., Harrison, C. and Shultz, C.: DynaButtons: Fast Interactive Soft Buttons with Analog Control, *2024 IEEE Haptics Symposium (HAPTICS)*, pp. 366–371 (2024).

[13] KYORAKU: KYORAKU オフィシャルサイト — ぽちんこ 必殺仕事人 IV，`https://www.kyoraku.co.jp/lineup/2011/hissatsu4/`.（2026-2-6 確認）.

[14] Follmer, S., Leithinger, D., Olwal, A., Hogge, A. and Ishii, H.: inFORM: dynamic physical affordances and constraints through shape and object actuation, *Proceedings of the 26th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '13, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 417–426 (online), DOI: 10.1145/2501988.2502032 (2013).

[15] Nakagaki, K., Fitzgerald, D., Ma, Z. J., Vink, L., Levine, D. and Ishii, H.: inFORCE: Bi-directional 'Force' Shape Display for Haptic Interaction, *Proceedings of the Thir-*

© 1959 Information Processing Society of Japan

teenth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction, TEI '19, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 615–623 (online), DOI: 10.1145/3294109.3295621 (2019).

[16] YAMAHA: TENORI-ON, `https://www.yamaha.com/ja/tech-design/design/synapses/id_005`.（2026-2-6 確認）.

© 1959 Information Processing Society of Japan