

双安定ソレノイドを用いたキーの状態制御が可能なキーボード

尾崎 夢弥* 加藤 邦拓* 太田 高志*

概要. 本研究ではプログラム制御でキーを動的に降下・固定可能な物理キーボードデバイスを提案する. 各キーに搭載した2つのソレノイドをマイクロコントローラで個別に制御することで, 物理的な状態変化を実現する. この機構はキーボードの役割を入力に限定せず, 次の操作キーを隆起させてガイドしたり, キーの動きで通知を物理的に提示したりするなど, 多様なインタラクションを可能にする. 本稿では, この機構を実装したプロトタイプデバイスの開発について報告する. さらに, ショートカット操作支援や物理通知機能など, 本デバイスを用いた具体的な応用例を提案し, キーボードを通じた新たなインタラクションの可能性について報告する.

1 はじめに

物理キーボードは, コンピュータ操作に欠かせない入力装置として一般普及している. 物理キーボードの拡張に関する研究としてこれまでに, ソレノイドを用いてキーを物理的に制御する手法が提案されてきた. 例えば, タイプミスを防ぐシステム [2] や, ホットキー操作をガイドするためにキーを隆起・固定させる研究 [1] が報告されている. しかし, これらの先行研究は, 主に誤入力防止といった入力支援や, Metamorphe[1] ではキーを「隆起」させることに主眼が置かれていた.

本研究では, これらのアプローチをさらに発展させ, 個々のキーが「降下」および物理的にキーを固定する「ロック」状態を, 双安定ソレノイドを用いて実現し, 情報提示を含むより広範なインタラクションに応用することを提案する. 具体的には, ショートカット操作の物理的ガイド, 新着メールの受信をキーの動きで知らせる物理通知など, キーボードを入力装置としてだけでなく, ユーザと協調する動的な入出力媒体へと進化させる. 指先への直接的な触覚フィードバックを通じて, より直感的で豊かなインタラクション体験の実現を目指す.

2 提案手法

提案手法では, キーをユーザが自由に押し下げて入力できる「通常入力状態」, キーが上位置で物理的に固定される「ロック状態」, 沈み込んだ状態を維持する「下降状態」という 3 つの状態を動的に遷移できる. これらの状態を組み合わせることで, 多様なインタラクションを実現する. 各キーの状態制御は, 1 つのキーに対して単安定ソレノイド, 双

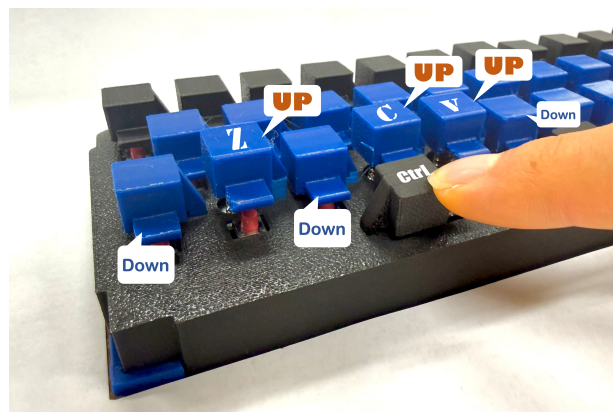


図 1. システム外観.

安定ソレノイド, タクトスイッチで構成される (図 1). 上部に設置された単安定ソレノイドは, 通常時 (非通電時) に軸がバネで上がっている状態 (Up 状態) となり, 通電時に軸が下がる (Down 状態). また, 下部に設置された双安定ソレノイドは通電時に軸の Up/Down 状態を切り替えることができ, 非通電時にはいずれかの状態を保持することができる (図 2). キーの 3 つの状態の制御について以下に示す.

- **通常入力状態:** 通常のキー入力ができる状態. 上部の単安定ソレノイドを Up 状態, 下部の双安定ソレノイドを Down 状態にする. 単安定ソレノイドの軸は, バネの力で Up 状態となっているため, 一般的なキーボードのような押しボタンとして使用できる.
- **ロック状態:** キーが物理的に固定され, 入力を受け付けない状態. 下部の双安定ソレノイドを Up 状態にすることで, 上部のソレノイドが押し込められないようにする.
- **降下状態:** キーを自動で下降させた状態. 2 つのソレノイドを Down 状態にすることでキーを下

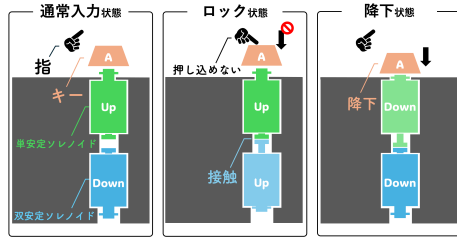


図 2. 制御可能なキーの状態.

降させたまま固定させる。

3 ソフトウェア・ハードウェア

制御には、キーボードとして認識可能な HID 機能を持つ Arduino Micro を採用した。ソフトウェアとしては、Arduino IDE でソレノイド制御とキー入力検知を行うファームウェアを開発し、PC 側では Processing を用いてキーボードの動作モードを切り替えるアプリケーションを作成した。

ハードウェアは、Arduino Micro を中心に構成されている。筐体は 3D プリンタを用いて製作し、その内部には 1 つのキーにつき、上部に単安定ソレノイド、下部に双安定ソレノイドが上下に対向して配置されている。ソレノイドの制御には、Arduino の限られたピンで多数の素子を扱うためのシフトレジスタや、大電流を制御するトランジスタなどを用いた。

4 応用例

本キーボードの動的な機構は、PC 操作における多様な場面でユーザーを支援する新たなインタラクションを実現する。主な応用例を以下に示す。

● ショートカットキー操作の支援:

ショートカットキーは操作を効率化するが、記憶が負担となることがある。本応用例では、ユーザーが Ctrl キーを押した状態で指を保持すると、コマンドとして使用可能なキー（「C (Copy)」や「V (Paste)」など）だけを残し、それ以外を下降させることで操作を物理的にガイドする。これにより、ユーザーはコマンドを記憶していなくても直感的に操作でき、学習コストの低減や操作の高速化が期待できる。なお、ショートカットキーはアプ

リケーションや、使用頻度に応じてユーザーが自由に設定することも可能とした。

● タイプミス防止:

TypeRight[2] のように、文章入力時に予測変換と連携させ次に入力されにくいキーをロックし入力段階から、タイプミスを防止する。これにより、意図しないキーの押下を未然に防ぐことができる。

● 物理通知機能:

ユーザーへの通知の新しい試みとして本応用例では、新着メールの受信時に「M」「A」「I」「L」のキーが動いたり、特定のキーが波打ったりするなどキーを使ったアニメーション表現によって、視覚的・触覚的に情報を伝達する。

●ゲーミング支援:

ゲームプレイ中は特定のキーのみを集中的に使うが、熱中すると意図しないキー（Windows キーなど）を誤って押してしまうことがある。この応用では、ゲームで使うキー（「W」、「A」、「S」、「D」など）だけを残し、それ以外のキーをロックする。これにより、致命的な操作ミスを防ぎ、ゲームへの没入感を高める。

● アンビエント表示と表現:

本キーボードは、入力支援や通知だけでなく、キーの動的な動きそのものを表現の手段として活用するアンビエントな応用も想定している。例えば、音楽ビジュアライザとしての利用が挙げられる。PC で再生されている音楽のリズムや周波数と同期して各キーが上下動することで、ユーザーは聴覚情報に加えて視覚的・触覚的なフィードバックを得られ、これまでにない音楽鑑賞体験を創出する。また、PC がアイドル状態の際には、キー全体が波打つような動きや、特定のパターンを描くスクリーンセーバーとしても機能する。

参考文献

- [1] G. Bailly, T. Pietrzak, J. Deber, and D. J. Wigdor. Métamorphe: Augmenting Hotkey Usage with Actuated Keys. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '13, pp. 563–572, New York, NY, USA, 2013. Association for Computing Machinery.
- [2] A. Hoffmann, D. Spelmezan, and J. Borchers. TypeRight: A Keyboard with Tactile Error Prevention. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '09, pp. 703–712, New York, NY, USA, 2009. Association for Computing Machinery.