

# 電力重畳通信を用いた空間配置自由度の高いキーボードシステム

坂本隼<sup>†1</sup> 秋田純一<sup>†1</sup>

**概要:** キーボードはコンピュータの入力機器として最も使用されるデバイスの 1 つである。一方で一般的なキーボードは長時間の無理な姿勢によって頸肩腕に疲労がかかる。自身で打ちやすいキーボードを作る「自作キーボード」も流行っているが、立体的なキーボードのプロトタイプ作成に技術的なハードルが存在する。そこで本研究では立体キーボードの試作が簡単にできるデバイスを提案する。スイッチの位置に関係なく打鍵を検知するよう、各スイッチにマイコンを搭載し、電力供給と通信を配線 1 本で同時に行う電力重畳通信方式を用いる。スイッチの配線に導電布を使用することで柔軟性が生まれ、土台の上に置くことで立体性を持たせる。以上のシステムをもとにデバイスを作成したので、今後キーボード作成のサポートができるか評価を行う。

## 1. 研究背景

キーボードはコンピュータの入力機器として最も使用されるデバイスの 1 つである。その一方で現在一般的に市販、使用されているキーボードのキー配列は機械式タイプライタが使われた時代から大きく変わっておらず、体をキーボードに合わせるために上肢に負担がかかった姿勢で打ち続けている。したがって長時間の打鍵によって頸肩腕が固定されることで、疲労や障害を起こす原因となることが懸念される。[3][4]

個人ごとに身体的特徴が異なることから、打鍵しやすいキーボードを自ら作成する「自作キーボード」も流行している。レイアウトやキースイッチ自体を好みに設定することで打鍵しやすいキーボードが作成できる。また、より打鍵しやすいキーボードを作成したいとき、指の可動域を考慮するとキースイッチを平面だけでなく空間的に配置することでさらに減らすことが可能とされる。力を抜いたときの手の形などからキーボードを山状や谷状にしたものや、親指の向きを考慮して親指で打鍵するキースイッチの角度を変えたものが考えられる。しかし立体的なキーボードは配線設計や筐体設計といった技術的なハードルが存在することやモックアップで打鍵しやすいレイアウトを模索しても実際に使用できないこと、微妙な調整に時間が手間と時間がかかることが欠点としてあげられる。平面であればプリント基板を作成し、キースイッチなど部品を取り付けるだけだが、立体では配線すべてをプリント基板で作成することが難しく、空中配線や場合によっては 3DCAD 技術が求められるので難易度が上がり、時間がかかると考えられる。



図 1 自作キーボードの例

## 2. 研究目的

立体キーボードの試作をサポートや実際にキーボードとして使用できる、キースイッチを立体的に自由にレイアウトできるデバイスを提案する。キーボードを試作する際に重要なこととして、レイアウトの変更が簡単であること、レイアウトを組んで実際に使用できることであると考えた。変更が簡単であることについて、変更に手間がかかると組み立ててしまったほうが早いになってしまう。実際に使用できることについて、レイアウトに納得してもいざ使用した際により打鍵しやすいポジションを発見しさらに時間と手間がかかる。先行事例として、市販されているキーボードの中に、深圳超酷科技有限公司が販売している DUMANG というキースイッチを自由にレイアウトすることができるキーボードがある。こちらはキースイッチにマイコンが搭載されており、配線が施されたベースボード上であればどこに配置しても打鍵を検知できる。そのためユーザーがレイアウトを自由に変更し、かつそのレイアウトで打鍵することができるデバイスである。このデバイスでユーザーの打ちやすいレイアウトを何度でも手軽に試すことができるが、ベースボードが平らであるためレイアウトが平面状でしか行えない。



図2 平面上にキースイッチを自由にレイアウトできる  
DUMANG キーボード

### 3. システムの作成

立体的な自由度を上げるために、新たなキーボードを作成したいと考えた。まず DUMANG を参考にキースイッチにマイコンを搭載しどこに配置しても打鍵を検知できるように、配線が施されたベースボード上にキースイッチを配置するだけで配線される方式を用いた。また配線に導電布を使用することで柔軟性を持たせることで、ベースボード下に段ボールや粘土などで作成した立体的な土台を置き、キースイッチを空間的にレイアウトすることができる考えた。[1]また打鍵情報を認識するために、打鍵を検知するとそれぞれのキースイッチに割り振られた ID を送信する。これによりどのキースイッチが打鍵されたかを識別する。

#### (1) 通信方式

ここでマイコンを使用すると電源、通信、接地の3本の配線が必要となる。このままだとキースイッチを配置できる範囲が狭まることや、配線が複雑になることから自由度が下がるためデバイスの作成が難しくなる。そのため、1-Wire と呼ばれる電源線に信号を重畳する規格を参考に配線を2本にまとめる。[2]これによって配線が単純化しレイアウトを簡単に行うことができる。またベースボードは、絶縁布の両面に導電布と呼ばれる導電性の布を張り付け、片面を電源線、もう一方を接地線とした。キースイッチにマイコンを搭載したものを以後キーユニットと呼ぶ。図3に電力重畳通信を用いたときの配線概略図を示す。

電力重畳通信の仕組みとして、定常時は電力重畳通信線（以降  $V_{bus}$  と呼ぶ）を電源線としてマイコンに電力を供給する。信号送信時は  $V_{bus}$  を短絡させることで電圧を上下させ、電圧が下がったタイミングを“0”，上昇したタイミングを“1”として信号を送信する。

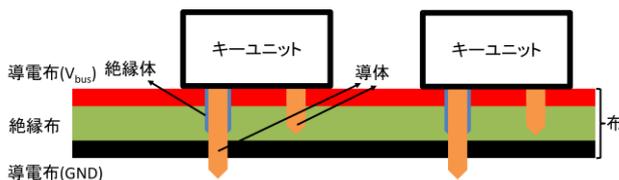


図3 電力重畳通信の配線概略図

#### (2) ハードウェア

キースイッチは Cherry MX 互換品を想定した。図4にキーユニット内部の回路図、図5に作成したキーユニット基板の写真を示す。キースイッチなどを搭載した基板の大きさは縦横 19[mm]で、これはキーキャップの大きさと同じである。キースイッチによる違いを簡単に検証できるようにソケットを搭載してホットスワップ対応とした。マイコンは安価で小パッケージの WCH 社の CH552E を使用する。マイコンへ電力供給を安定して行うために、コンデンサを用いて電圧の平滑化とダイオードを用いて通信時に  $V_{bus}$  への逆流防止を行った。そこから得られた電圧を 5V 電圧レギュレータに通してマイコンに安定した電圧をかかるとした。キーユニットからベースボードに刺すための針が2本配線用に出ており、電源線と接地線にそれぞれ接続される。さらにどちらの針が電源線であっても動作するようにブリッジダイオードを用いた整流器を搭載した。  $V_{bus}$  の短絡には小電圧で動作する n-ch MOSFET を使用した。

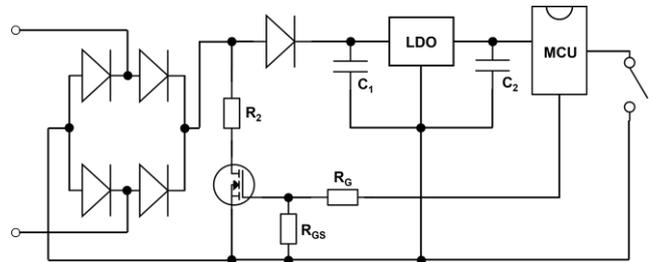


図4 キーユニット内部の詳細な回路図

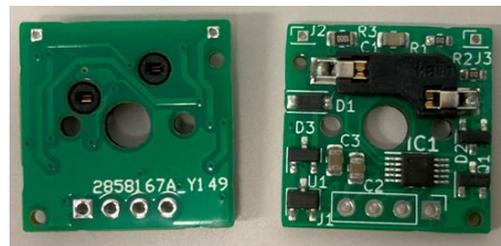


図5 作成したキーユニット基板

本キーボードシステムの簡単な回路図を図6に示す。キーユニットからの信号を受信しコンピュータに送信するホストマイコンは、HID 機能を簡単に使用できる Arduino Leonardo を使用した。  $V_{bus}$  からの信号はコンパレータを使用して 5[V]または 0[V]になるよう変圧し Arduino のシリアル通信の読み取りピン(RX)に接続した。通信方式は UART を使い、ボーレートは 9600[bps]とした。これは  $V_{bus}$  が RC 回路となることから波形が鈍るため、十分に通信が行える通信速度に設定した。

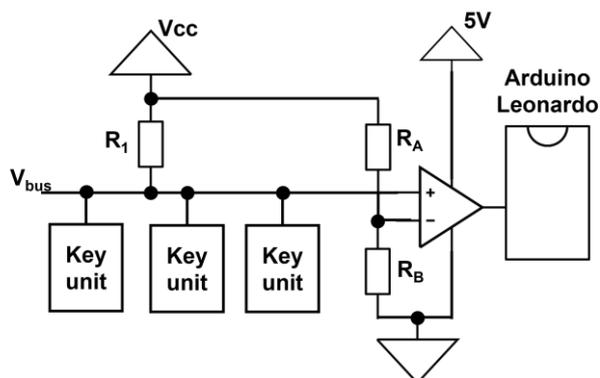


図6 本キーボードシステムの回路図

ベースボードの下に置く土台には、おゆまるを使用した。選定した理由は熱可塑性の粘土であるので、熱を加えて形を変えることができる点と硬化するとゴムのような触感となり、キーボードを支える硬さを持ちながら針を刺すことができる点が有効であると考えたからである。

### (3) ソフトウェア

キーユニット内のプログラムはキースイッチの状態を読み取り、押下されたタイミングと解放されたタイミングに各キーユニットに設定された ID を送信する。押下時と解放時で送信する ID は異なっており、これによって Arduino がどちらのタイミングであるか、長押しされているかを感知できる。起動後やキースイッチ解放後はスリープモードになり、キーユニット全体の消費電流を 70[ $\mu$ A] 程度まで減らす。

ボード側のホストマイコンにはコマンドやマクロをあらかじめ設定しており、キーユニットの ID ごとに打鍵時の動作を紐づけさせ、ID を受信すると ID に合わせたキーコードを PC に送信する。また、マクロなど長押ししても単押しと同じ動作を行う機能を持たせている。

## 4. キーボードシステムの動作確認

先の章で提示したキーボードシステムが安定して動かせるキーユニットを接続できる数と Vcc 電圧の大きさを求めた。先行研究により安定した通信ができ、消費電力が少ないキーユニット側の素子の値と Vbus のプルアップ抵抗の値を求めた。本研究でも同じ値を使用して確認を行った。値はそれぞれ  $R_1 : 200[\Omega]$ ,  $R_2 : 100[\Omega]$ ,  $R_{load} : 1[k\Omega]$ ,  $R_G : 1[k\Omega]$ ,  $R_{GS} : 5[k\Omega]$ ,  $C_1 : 10[\mu F]$ ,  $C_2 : 10[\mu F]$ とした。図6に以上の素子を実装したキーユニットの基板を示す。こちらのキーユニットを使用してベースボードに配置し、動作確認した。キーユニットを10個接続したとき、Vccに必要な電圧は15[V]となった。これ以上キースイッチを接続するとマイコンの立ち上がり動作やそれに伴う複数キーの認識が不安定となることが懸念される。また、サブキーボードとして10キー程度あれば運用できると考えた。

以上を用いて簡単な土台を用意し、資料作成や図表作

成といった動作確認を行った。図7にキーボードシステムを用いて作成したキーボードの写真を示す。キースイッチの長押しを含めた打鍵、設定したマクロでの操作、キーユニットの位置変更の動作ができ、サブキーボードとして実際に使用できるものであると考えた。今後は簡単にかつ思うようにレイアウトできるか、立体的な自由度があるか、これを用いて立体キーボードづくりをサポートできるかについて評価を行いたい。

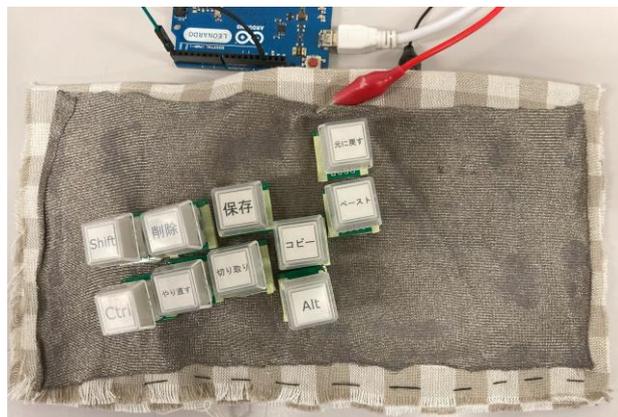


図7 作成した本キーボードシステム

## 5. おわりに

本稿では、キースイッチを空間的に自由にレイアウトできるキーボードを提案し、導電布と電力重畳通信を用いて作成した。また動作確認を行い、キーボードとして使用できると考えた。今後の予定として、本システムをサブキーボードとして実際に使用し、立体キーボードづくりをサポートできるか評価を行う。

## 参考文献

- [1] 秋田純一, 新村達, 村上知倫, 戸田真志: 空間配置自由度が高いウェアラブルコンピュータ向けネットワークシステム, 情報処理学会論文誌, Vol.47, No.12, pp.3402-3413(2006).
- [2] Kristof Van Laerhoven, Albrecht Schmidt and Hans-Werner Gellersen: Pin&Play: Networking Objects through Pins, UbiComp 2002: Ubiquitous Computing, 4th International Conference, Göteborg, Sweden(2002).
- [3] David Rempel, Dan Nathan-Roberts, Bing Yune Chen & Dan Odell, The effects of split keyboard geometry on upper body postures, 2009, Ergonomics, 52:1, 104-111.
- [4] 中迫勝. キーボードの人間工学的設計. 人間工学 = The Japanese journal of ergonomics 22 (2), 1986-04, p53-61.