

## マイクロコントローラを用いた障がい者用 入力補助デバイスの試作

宮崎英一・坂井 聡\*・佐野将大\*\*・谷口公彦\*\*・野田知良\*\*\*・近藤 創\*\*\*\*  
大野香織\*\*\*\*\*・篠原智代\*\*\*\*\*

〒760-8522 高松市幸町1-1 香川大学教育学部  
\*\*〒761-8057 高松市田村町1098 香川県立高松養護学校  
\*\*\*〒761-8074 高松市太田上町513-1 香川県立聾学校  
\*\*\*\*〒765-0004 善通寺市善通寺町2615 善通寺養護学校  
\*\*\*\*\*〒761-8057 高松市田村町1114番地 かがわ総合リハビリテーションセンター

## The trial production of the disabled person input auxiliary device for microcontrollers

Eiichi MIYAZAKI, Satoshi SAKAI, Syoudai SANO, Kimihiko TANIGUCHI,  
Tomoyoshi NODA, Hajime KONDO, Kaori OONO and Tomoyo SHINOHARA

*Faculty of Education, Kagawa University, 1-1, Saiwai-cho, Takamatsu 760-8522*  
*Kagawa Prefectural Takamatsu Special education School, 1098 Tamura-cho, Takamatsu 761-8057*  
*Kagawa Prefectural School for the Deaf, 513-1 Otakami-machi, Takamatsu 761-8074*  
*Zentsuji Special education School, 2615 Zentsuji-cho, Zentsuji 765-0004*  
*Kagawa General Rehabilitation Center, 1114 Tamura-cho, Takamatsu 761-8057*

**要旨** 本研究ではマイクロコントローラを利用してコンピュータに入力を行うタッチセンサ型障害者支援デバイスを作成した。ここでは従来のコントローラ（PIC）の代わりにArduinoを用いる事で、学校や病院といった実際の現場において支援者がユーザの要求に合わせて、簡単に機器の特性を変更する事が可能になった。センサ部分を導電性が有された粘土で作成する事で、ユーザのインタフェースに関する意見をより反映しやすくなった。その結果、ユーザ本人だけでなく支援者も含めて、質の高い支援を行う事が可能になった。

キーワード 障がい者支援, Arduino, マイクロコントローラ, ユーザインタフェース

## 1. はじめに

現在、ICTを利用した様々な障害者支援デバイス<sup>1, 2, 3</sup>が開発されている。これらは機械的なスイッチのように単独で動作するもの、スマートフォン等と組み合わせてインタフェースとして動作するものというように様々な環境下でユーザの使用目的に合わせて使用されている。

これらのインタフェース用デバイスは主としてマイクロコントローラやスマートフォンのICT機能を利用して作成されている。その結果、従来の機械的なシステムでは実現不可能だった事でも、デバイスに制御プログラムを組み込むことで、ユーザからの使用状況をフィードバックさせながら動的に対応させる事で実現可能となった。よってこれらのデバイスを利用する事で、学校における教育面のみならず、家庭における日常生活における質的向上(QOL)が期待できるようになってきた。

本研究グループでも、障害者支援の観点から、これらのマイクロコントローラを用いた幾つかの障害者支援デバイスを開発<sup>4, 5</sup>してきた。これらの試作したデバイスのコアとなるマイクロコントローラにはPICを使用しており、この内部プログラムを新しく開発する事で障害者の支援ニーズに対応したデバイスを開発してきた。今回の研究では従来からのPICに代わり、新しいマイクロコントローラ・システムとしてAVRマイコンをシステムのコアとし、開発環境も含めた状態で提供されるArduinoを利用して障害者支援デバイスを試作した。

この結果、従来のPICを用いた支援システムでは実現が困難であったユーザの学校や病院等に直接出向いて、その場でユーザの要求に応じたプログラムのカスタマイズが可能と

なった。そのため、より細かいレベルでユーザの要求にこたえられるため、ユーザの利便性が向上するだけでなく、ユーザを支援する側の負担の減少に迅速に答える事が可能となった。

## 2. 従来の支援デバイス

本研究グループや先行研究では、障害者支援用のデバイスを試作した場合、PICを利用する事が多かった。PICとは、ワンチップマイコンとも呼ばれ、マイクロチップ・テクノロジー社(Microchip Technology Inc.)が製造しているマイクロコントローラ(制御用IC)の名称である。本来は、コンピュータの周辺機器接続の制御用として1980年代にゼネラル・インストルメント(General Instruments Corporation)社によって開発された。PICにはCPU、メモリ(RAM, ROM)、I/Oなどが1チップに収められており、ROMに書き込まれたプログラムにより制御される。特徴としては、回路構成が簡単であり、安価なので組み込み機器の制御に利用される事が多い。また使用ターゲットとしては、家庭電化製品(TV, ビデオ, 洗濯機, エアコン等)、事務用品(コピー, ファクシミリ等)、産業用製品(産業用ロボット, 各種製造機器, 検査機器)、その他(自動車, 携帯電話, カメラ等)に使用されるなど、我々の日常生活にまで広く普及しているものである。

そのため、多機能、小型、安価といった支援デバイスの作成に必要なファクターを満たしており、インタフェース用デバイスのコントロールに適している。しかしその反面、使用環境の構築にはいくつかの手順が必要であり、これらのシステム構成に有る程度のスキルが要求されるので、誰でもが何処でも開発できるとは言い難かった。

これに対して本研究で採用したのが、Atmel AVRをマイクロコントローラのコアとし、Arduino<sup>6</sup>と呼ばれるシステムで開発を行うものである。このシステムは開発環境の構築も含めてその手軽さからエンジニアだけではなく、芸術家のような従来の分野では考えもつかなかったような分野で広く用いられている。この大きな原因は開発環境も含めたシステム構成のし易さであり、情報や電子工学の専門的な知識が無い人でも簡単に自分の思った事を実現できる、所謂プロトタイピング(Prototyping)に適したシステムとなっている。

表1に従来からのPICと、Arduinoを比較した結果を示している。同表に示すように、ハードウェア的には両者に大きな差は無い。しかし、これらを比較した場合、開発環境も含めてArduinoが非常に簡単なシステムで構成されている事がわかる。

PICを用いたシステムで開発環境を作成す

表1 コントローラの比較

項目	PIC	Arduino
マイクロ コントローラ	PIC24F PIC10F 8~40ピン	90Sシリーズ Megaシリーズ 8~40ピン
言語	アセンブラC, BASIC	アセンブラC, Arduino
コンパイラ	CCompiler (mplab)	Arduino
統合開発環境	MPLAB <sup>®</sup> X IDE等	
ライター* (書き込み器)	PICkit3	
デバッガ	PICkit3, MPLAB ICD3 インサーキット ・デバッガ	

\*：ブートローダを使用した場合、書き込み用のライターは不要になる。

る場合、「統合開発環境のインストール」→「コンパイラのインストール」→「ライターのデバイス・ドライバーのインストール」といった手順を行う必要がある。またコンパイラをインストールする場合でも、使用するPICの種類(ビット数)に合わせて該当するコンパイラを準備<sup>7</sup>する必要がある。更に問題になるのが、PICのプログラムを書き込むライター(書き込み器)であり、このハードウェアを事前に準備する必要がある。

そのため、最近ではブートローダ<sup>8</sup>の利用という手法が開発され、これを利用することで、ライター無しでもプログラムが書き込める環境が開発されはじめている。しかし、このブートローダは全ての種類のPICには対応しておらず、事前に自分が使用したいPICがハードウェア的にこれに対応しているかどうかの確認が必要であった。

一方、Arduinoの場合、これらの問題点が解決されており、図1に示すようなArduinoという1つのプログラムをインストールするだけで、統合開発環境・コンパイラまでを揃える事ができるので、初心者にも適した構成

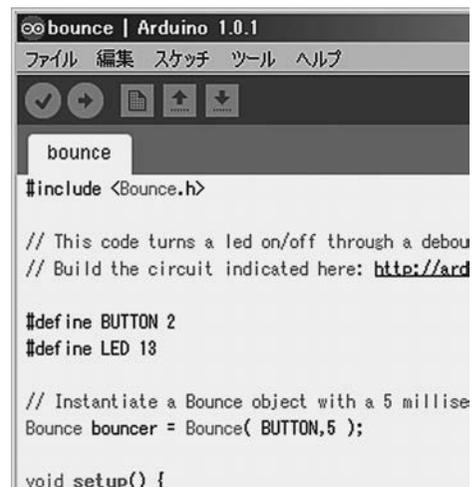


図1 Arduino統合開発環境画面

となっている。更にマイクロコントローラの内部には、PICのブートローダに対応する機能も事前に含んでいるので、ライターの準備やブートローダの対応確認等を行わなくても、すぐに使用できるという利点がある。

このため、このシステムはエンジニアだけに留まらず、異なった分野での利用者の大きな関心を集め、広い分野の利用者からの多数のフィードバックが寄せられるようになった。そして、より完成度が高く、広範囲の目的に簡単に応用できるシステムとなってきている。よって、今後はこのシステムがさらに発展する可能性を秘めていると思われる。

従来の障害者支援デバイス開発研究では一部のエンジニアが中心となり、障害者を支援するグループとチームを組んで、これらの中で情報を共有しながら支援デバイスを開発するという形で行われるのが常であった。そのため、実際に機器を使用しているユーザからのニーズが機器を試作するエンジニアまで細部のニュアンスが伝わりにくく、どうしてもユーザや支援者に対してデバイス細部の要求までが汲み上げられない事があった。

そこで本研究では図2に示すように、この新しいシステムを使用した障害者支援デバイスを作成する事で、支援グループの誰でもが簡単にこれらのデバイスの調整ができ、支援者自身がより多くの環境下でそれぞれの目的に応じたデバイスが利用出来るようになる事を目的とした。

勿論、このシステムの導入により、誰でもが直ちにデバイスを開発できるようになる訳では無い。このため、指導者に対して事前に講習会やワークショップ等を開催し、システムの開発手法やプログラムそのものを学習するための準備が必要となる。ところが、これでは従来の手法と比較して支援者の負担が増

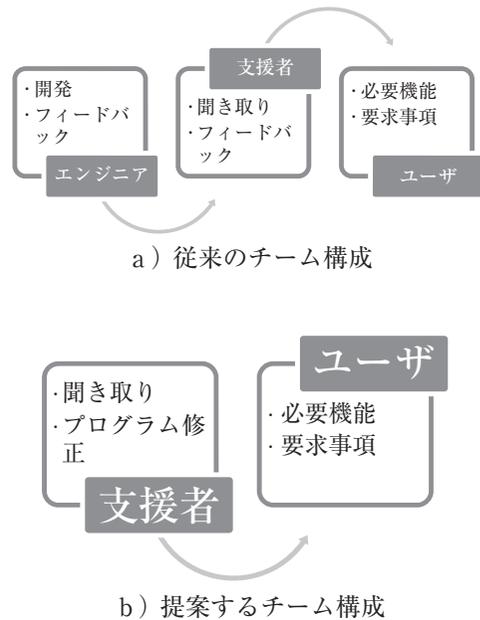


図2 新しいシステム開発関係

える事も確かであり、このままでは現場で受け入れられないシステムとなってしまふ。

そこで本研究ではシステムのベースとなるマイクロコントローラのプログラム部分や回路等の作成はエンジニアが事前に行い、細かいプログラムのパラメータ調整や取りつけは支援者が学校や病院といった現場でリアルタイムに行える事を目指す。このため、支援者の負担は最小で済み、ユーザからの意見をその場で反映できるのでユーザに対して質の高い環境を提供できると期待できる。

### 3. 試作した入力支援デバイス

本研究では上記で説明したArduinoをシステムのコアとして、何らかの原因でマウスやキーボードが操作できない方でも、タッチ操作だけで入力可能なユーザ入力補助デバイスを試作した。これはArduinoを用いてタッチセンサを自作し、USBポートを介してその

出力がコンピュータに入力されるものである。これはタッチセンサを実装しているので、マウスのドラッグやクリック等の操作がタッチだけで可能になる。

### 3.1 Arduinoに関して

ここでは従来のPICに代わりArduinoをマイクロコントローラとして使用した。通常のArduinoでは、Arduino UnoやArduino Leonardoといった所謂純正のコントローラを使用する機会が多い。しかし本研究では図3に示すような、ストロベリー・リナックスの「ダ・ヴィンチ32U with Arduino Bootloader<sup>9</sup>」をコントローラとして採用した。それは純正のコントローラと比較して

1) 価格が安い。

純正だと1個当たり2,520円～2,100円程度で入手できるが、これは1260円と半額程度で入手可能である。

2) ブレッドボードに直接刺して使える。

純正のコントローラではブレッドボードを使用する場合、ボードとコントローラ間をコードで接続して回路を試作する必要がある。しかしこれは図3に示したようにボードが直接ブレッドボードに刺せるので、余分なコードを配線する事無く、回路が作成できる。

3) 小型である

32ピン幅広DIPと同サイズなため、小型である事に加えてUSB端子から給電されるので、純正ボードのように別途電源を準備する必要が無く、電源コード等も不必要なので、デバイスの取り回しも有利である。

4) ピンコンパチで無い

ハードウェア的には純正ボードとほぼコンパチビリティ(互換性)を持つが、ピンの配置は独自形式になっているので、純正ボード

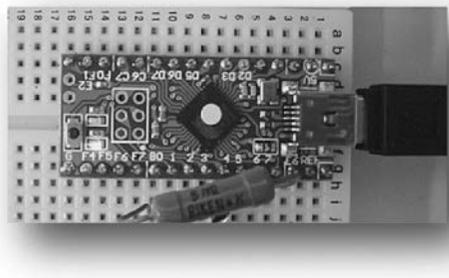


図3 ダ・ヴィンチ32U

用に作成されたプログラムはそのままでは動作しない場合がある。この場合には人間が該当するピン番号に変換してやる事で、プログラムの動作が可能となる。といった特徴がある。

### 3.2 試作したタッチセンサ

ここでは、上記のArduinoを用いてタッチセンサを試作した。これは従来のタッチセンサよりも遥かに簡素化された簡易型システムであり、構成する部品点数も外付けの抵抗1個だけで済むため、回路も簡単に作成する事ができる。一般的なタッチセンサ<sup>10</sup>としてはCTMU (Charge Time Measurement Unit): 電圧の変化を測定する, CSM (Capacitive Sensing Module): 周波数変化を測定, Comparator: コンパレータとTimerを利用して周波数変化を測定, CVD (Capacitive Voltage Divider): A/Dコンバーターで電圧変化測定等の手法が報告されている。本研究で提案するタッチセンサはCTMUを簡略化したもので、専用のモジュールを持たなくても、デジタル入出力さえあれば実現できる。このため全てのマイクロコントローラで使用出来るので、極めて汎用性が高いと思われる。本研究で試作した回路を図4に、またタッチ測定プログラム部分<sup>11</sup>を図5に示す。タッチセンサの測定原

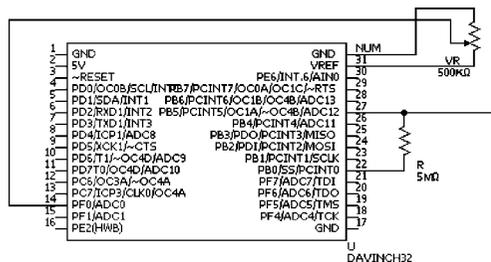


図4 タッチセンサ回路図

理は非常に簡単で、最初に静電容量変化量の変数を準備する。その後、22番ピンをHIGHで出力する。図4に示すように、この22番ピンは5MΩの抵抗を介して26番ピンに接続されている。このため、タッチ操作が行われていない時には非常に短い時間で26番ピンがHIGHになる。一方、26番ピンに人間の指のような、ある容量を持った誘電体が接触した場合、こちらの方にも電荷が電氣的に平衡状態になるまで移動する。この移動時間の増加により、26番ピンがHIGHになる時間的な遅れが発生する。この時間的な遅れを検出してやれば、センサ部分に接触があったか、なかったかを調べる事ができる。このように非常に簡単な原理でタッチセンサを構成する事が可能となった。勿論、実際には、これ以外にもチャタリングの影響等外乱を除去するためにソフトウェア上でフィルタリング操作を行い、タッチ精度を高めている。このため、通常の使用においては誤動作の発生は、ほぼ見受けられなかった。

### 3.3 センサ部分

タッチセンサの回路部分は上記で説明したが、ここで問題になるのが、ユーザにより直接タッチが行われるセンサ部分の構造である。タッチセンサは誘電量の変化を測定するものなので、その材料が電荷の移動が可能な

物質に限られる。通常のタッチでは使用時にある程度の力で押される事から剛性の問題も含めて金属体等を利用して作成される事が多い。しかしこれは位置的に固定されており、ユーザの手の大きさや可動範囲によってその位置が対応出来ない場合が発生する。更に、実際の現場や病院等でテストをしてもらった結果、同一ユーザにおいても、その日の体調や使用時間によってセンサの位置調整を行うフィッティングが必要になる場合が多く見受けられた。

そこでこれらの問題を解決するためには、従来の固定されたセンサの代わりにソフトなタッチセンサが必要になると考えた。いろいろな材質をテストした結果、本研究では図6に示すように、このタッチセンサのセンサ部分を小麦粘土で作成する事にした。センサは市販の小麦粘土で作成されているが、元来児童の工作用に使用されるものあり、材料的にも長時間皮膚に接触していても比較的安全性が高いと考える。またセンサ本体を粘土で作成するので、同図に示したように、ユーザの意見を聞きながら任意の大きさや形状

```
void loop() {
    //静電容量変化量の変数を用意
    int a=0;
    //22番ピンをHIGHで出力
    digitalWrite (22, HIGH);
    //指が触れたとき26番ピンが
        HIGHになるまでをカウント
    while (digitalRead (26) !=HIGH) {
        //カウントする
        a++;
    }
}
```

図5 タッチ測定判定プログラム

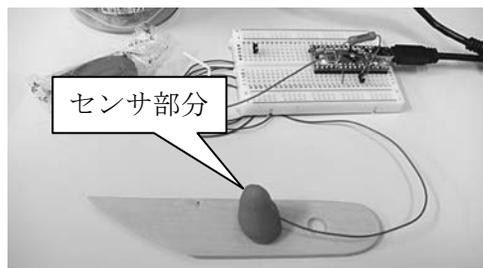


図6 粘土を利用したタッチセンサ

で現場において簡単に作成する事が可能となった。このため、従来のセンサと比較して、フィッティングの作業に要する時間が大幅に向上し、ユーザだけでなく、支援者に対しても利便性の向上が見込まれる結果となった。ただし、粘土を使用しているためセンサ作成後数日経過すると、水分の蒸発に伴い硬くなってしまうのでタッチした感覚が変化してしまうという問題点がある。長期に渡る実用的な運用を目指す場合には、今後この問題点を解決する必要がある。

#### 4. 本システムの応用例

上記で試作したシステムをベースとしてここでは学校（高松養護学校）で実際にタッチセンサを用いたスイッチ動作における学習支援システムを試作した。これは試作したデバイスと動画再生用のパーソナルコンピュータを接続し、USBポートを介してタッチ操作で動画の再生・停止を行うものである。パーソナルコンピュータからデバイスは仮想的なキーボードとして認識されているので、タッチ操作によって通常のキーボード操作と同様の動作が実行可能である。このシステムの外観を図7に示す。

学習の狙いとしては、ユーザがセンサをタッチする事（原因）がビデオの再生（結果）に繋がり、これを何回も繰り返す事で、自分

の行動を動画の再生結果を通して学習し、これらの関係を理解しようとするものである。ここでは表示例として、WEBページで提供されている動画配信サイトを素材として取り上げた。これはユーザの興味にある動画が数多く提供されているので、学習を楽しみながら行う事ができ、結果としてユーザに対して学習の負担が少ないと考えられるからである。

このシステムの流れを図8に示す。ここではユーザがタッチセンサに接触すると、これがトリガーとなりビデオ再生信号がデバイスからコンピュータ側に送信される。この信号により、動画の再生が開始される。しかし本デバイスにはタッチされた時を開始点とし、既定の時間が経過すると自動的に動画再生の停止信号を送信するようになっている。この

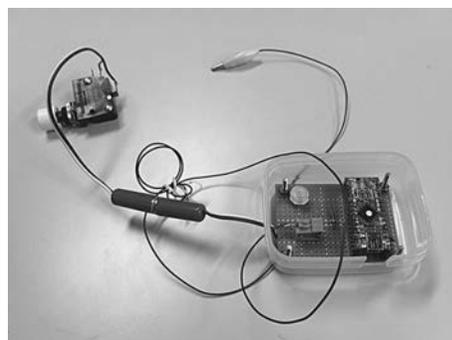


図7 学習支援デバイス



図8 学習の流れ

規定の再生時間はデバイスに接続されたポテンショメータで指導者が自由に（1～60秒）に設定できる。このためユーザが動画を連続して視聴したい場合には、繰り返してタッチ操作を行う事が自動的に要求される。本デバイスが開発されるまでは、指導の先生が人間の手入力で動画の停止信号を送信していたので、これに多くの労力を割かれていた。しかし、本デバイスではユーザ1人でも、この学習が行えるので、指導の先生も余裕を持って学習目的本来の対応が行えるようになった。

## 5. おわりに

本研究では、今後の発展が期待できるマイクロコントローラ（Arduino）を利用して、障害者支援用デバイスを作成した。これは従来のシステムと比較して、専門的な知識が無くても使用できるので、誰でも簡単に特性パラメータの調整が可能となった。また、これを応用する事で単純に機械的なスイッチに置き換えるだけでなく、新しい学習効果を期待できる機器としても展開できる可能性が示された。

しかし今後、このようなデバイスが一般化して広く使用できるようになるためには、勉強会やチュートリアル・ショップを開催し、学校のような教育現場だけでなく、広く作業所や病院等においても装置だけでなく、具体的な応用例までも含めて説明を行う必要がある。今後はデバイス単体の開発だけでなく、このような運営システムも考えていく必要があると思われる。

## 6. 謝辞

本研究は、平成24年度科学研究費補助金（基盤研究（C））「運動機能及び発達障害をサポートする生活・学習支援ワンデバイスシステム

に関する研究」（課題番号24500648）の一部として行われたことを記して謝意を示す。

## 7. 参考文献

<sup>1</sup> 視覚障害者用GUI操作デバイスCATの開発と評価, 海老名毅, その他, 情報処理学会研究報告, HI, ヒューマンインタフェース研究会報告 97 (24), 63-70, 1997-03-06

<sup>2</sup> 重度身体障害者のためのピエゾフィルムセンサを用いた呼気入力デバイスの開発, 葛目幸一, その他, 弓削商船高等専門学校紀要 32, 95-102, 2010-02-26

<sup>3</sup> ポインティングデバイスを利用した音声生成方式: 発話障害者のための支援機器として, 藪 謙一郎, 日本保健科学学会誌 12 (1), 49-57, 2009-06-25

<sup>4</sup> PICを用いた障害者支援用仮想HIDの開発, 宮崎英一, 坂井聡, 日本産業技術教育学会誌 52 (2), 129-136, 2010

<sup>5</sup> PICを用いた障がい者用IT機器入力補助デバイスの試作, 宮崎英一, 谷口公彦, 野田知良, 高原淳一, 坂井聡, 香川大学教育実践総合研究 16, 25-33, 2008

<sup>6</sup> Arduinoで計る, 測る, 量る, 神崎康宏, CQ出版, 2012

<sup>7</sup> [http://www.microchip.com/pagehandler/en\\_us/devtools/mplabxc/](http://www.microchip.com/pagehandler/en_us/devtools/mplabxc/)

<sup>8</sup> PICで楽しむUSB機器自作のすすめ, 後閑哲也, 技術評論社, 2006

<sup>9</sup> <http://strawberry-linux.com/catalog/items?code=25005>

<sup>10</sup> 堅牢なタッチセンシングの設計手法, [http://ww1.microchip.com/downloads/jp/AppNotes/01334A\\_JP.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/jp/AppNotes/01334A_JP.pdf)

<sup>11</sup> 建築農業工作ゼミ2008

<http://kousaku-kousaku.blogspot.jp/2008/10/arduino.html>