

# User Generated Haptic Device, SPIDAR-mouse の開発

一色 正晴<sup>†</sup>      林 理平<sup>†</sup>      赤羽 克仁<sup>†</sup>      佐藤 誠<sup>†</sup>

## SPIDAR-mouse: A Development of User Generated Haptic Device

MASAHARU ISSHIKI<sup>†</sup>      LIPING LIN<sup>†</sup>      KATSUHITO AKAHANE<sup>†</sup>      MAKOTO SATO<sup>†</sup>

### 1. はじめに

近年、Flash コンテンツ等、視覚・聴覚効果を用いたインタラクティブ性の高いコンテンツが作成されている。このようなコンテンツに、五感の一つである触覚・力覚を加えることで、よりインタラクティブなコンテンツが作成できる。触覚・力覚を提示可能なデバイスとして、PHANToM[1]やFalcon[2]等のデバイスが市販されているものの、十分に消費者に受け入れられているとはいえない。

一方、ハードウェア技術の進歩により、PIC や AVR 等、安価で高性能なマイクロコントローラが開発されている。さらに、これらのコントローラと PC 間のインタフェースとして USB を用いることで、容易に接続や制御が可能となっている。このようなコントローラを用いた汎用性の高いオープンソースハードウェアとして、Gainer[3]やArduino[4]等の製品が販売されている。これらの製品は、ハードウェアとソフトウェアの両方を含めた開発環境を提供することで、ハードウェア開発からコンテンツ開発まで、統合的に行うことが可能となっている。

このような背景から、近年では一般ユーザが自由にデバイスを製作する UGD (User Generated Device)[5] の概念が生まれてきている。さらに、ブログや動画投稿サイトである YouTube やニコニコ動画など、消費者が情報やコンテンツを作成・発信する CGM (Consumer Generated Media)が隆盛しており、作成したデバイスを公開する場も整ってきている。

ハプティックデバイスに関しても、一般ユーザがデバイスを自作しハプティック環境を構築でき、コンテンツを作成できる環境が整えば普及につながるのではないだろうか。

そこで本研究では、一般ユーザが自作可能なハプテ

ックデバイス(User Generated Haptic Device)として SPIDAR-mouse を提案する。SPIDAR-mouse は、力覚の提示に糸とモータを用いた SPIDAR[6]の機構を採用したハプティックデバイスである。ハードウェア構成や設計、制御ソフトウェアやコンテンツ開発環境を公開することにより、力覚提示装置の普及や、力覚を有効に活用した新たなコンテンツ開発の可能性が生まれる。

### 2. SPIDAR-mouse の仕様

SPIDAR-mouse の要求仕様として、以下の 5 つを挙げる。

1. 必要十分な力覚提示能力
2. 製作容易性
3. 接続容易性
4. コンテンツ制作容易性
5. 安価性

本研究では、コストパフォーマンスを重視するとともに、物体に当たった時の感覚を十分に提示できる必要十分な力覚提示能力を持つデバイスの開発を目的とする。

製作容易性とは、一般ユーザが容易にハードウェアを自作できることである。本研究では、中高生等が特別な工具なしで作成できること、および中高生が理解しやすいように必要最低限の構成でわかりやすい制御回路を検討する。

接続容易性とは、デバイスを容易に接続・使用することができることであり、PC 間との接続に USB を用いるデバイスとして設計する。同様に、特殊なデバイスドライバを必要としない HID (Human Interface Device)として認識されるファームウェアを設計する。

コンテンツ制作容易性とは、プログラミングの初心者でも利用できること、及び、既存のコンテンツの一部を改変するのみで、ハプティックインタラクショ

<sup>†</sup> 東京工業大学精密工学研究所  
Tokyo Institute of Technology

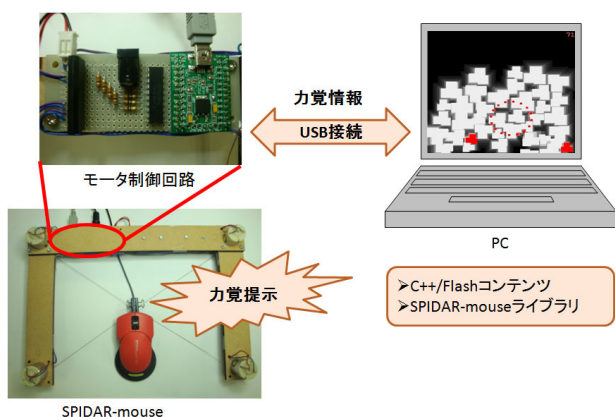


図1 SPIDAR-mouse のシステム構成

ンが可能なコンテンツに改変できることである。既存コンテンツを容易に改変できる環境を検討する。

安価性については、誰でも気軽にデバイスを自作できるように、各ハードウェア部品の十分なコストパフォーマンスを検討する。

### 3. SPIDAR-mouse のシステム構成

SPIDAR-mouse のシステム構成を図 1 に示す。図に示すように、SPIDAR-mouse は、PIC コントローラとマウスを用いたハードウェア部分と、デバイスをコントロールするための API やコンテンツ開発を行うためのライブラリ等のソフトウェア部分から構成される。

#### 3.1 ハードウェア

ハードウェア構成としては、PC、一般的なマウス、プーリ、モータ、糸、PIC コントローラを用いた制御回路から構成される。力覚提示方法としては、糸の張力を用いるストリングベースの機構であり、モータで糸の張力を制御することにより、2次元平面上の任意の方向へ力覚を提示する。

力覚制御コントローラとしては、4つのモータの制御性とPCとの接続性から、複数のPWM機能を有し、USBコントローラを内蔵しているPIC24USBを採用した。

#### 3.2 力覚制御方法

提示する力覚からモータを制御するアルゴリズムについて述べる。図2に示すように、マウスの位置座標は常にキャリブレーションを行った中心点にあると仮定して計算を行う。中心位置から各モータへ向かう単位ベクトルを $\phi_1, \phi_2, \phi_3, \phi_4$ 、各糸に提示する張力の大きさを $\tau_i$ とおくと、提示する力の大きさ $F$ は(1)式で表わされる。

$$F = \sum_{i=1}^4 \tau_i \phi_i, \tau_i = \tau_{\min} + \tau_{Ai} \quad (1)$$

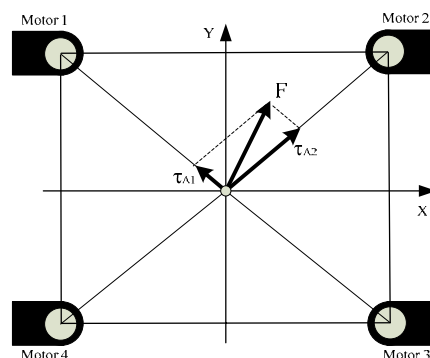


図2 SPIDAR-mouse の提示力計算方法

ここで、 $\tau_{\min}$ は糸を張るための最小提示張力を表し、デバイスを使用する際には常に提示する張力である。本デバイスでは、最小提示張力を $\tau_{\min} = 0.2N$ とした。また、 $\tau_{Ai}$ は図2に示すように、提示する力ベクトル $F$ を、2つのモータに分配した各糸に出力する力のベクトルである。2つのモータは、提示する力ベクトルが糸で区切られた4つの作業領域のどの領域にあるのかを判定して決定する。

最大提示張力に関しては、モータの出力に依存するため、十分なコストパフォーマンスを持つモータを選定した。その結果として、本研究ではマブチ製モータRE-280を採用し、デバイスとして最大2.2Nの力を提示することが可能となった。モータの制御には、duty比の異なるPWMをPICコントローラで生成することにより行う。duty比と提示力の関係は以下の式で表わされる。

$$\text{提示力} = 2.08 \times \text{duty比} - 0.28 \quad (2)$$

式(2)は、duty比を設定し、力センサを用いて計測した提示力から実験的に導出した。式(2)の計算はPIC内部で行っており、最小張力の提示などの更新周波数は800Hzで動作する。また、PCとのUSBによる通信周波数は約250Hzであり、物体に衝突した際に力を提示するイベント駆動型の使用方法であれば十分な力覚提示能力を有している。

#### 3.3 ソフトウェア

APIの設計方針として、必要最低限の関数で制御できることを目的とした。検討結果より、下記の3つの関数のみを持つAPIとした。

1. 初期化関数：OpenSpidarMouse();
2. 製作容易性：SetForceSpidarMouse();
3. 接続容易性：CloseSpidarMouse();

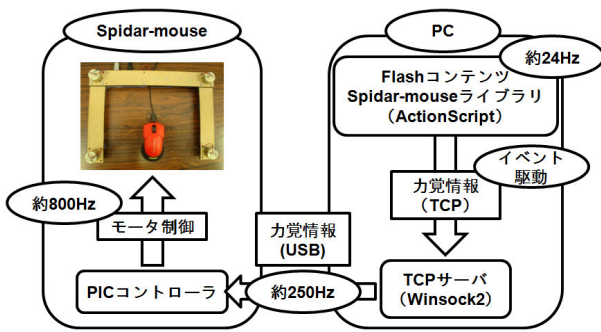


図3 Flash コンテンツにおけるシステム構成

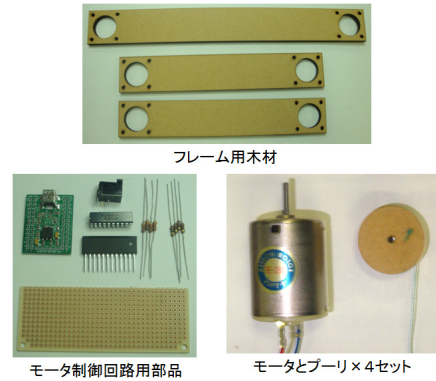


図4 SPIDAR-mouse 製作に必要な材料

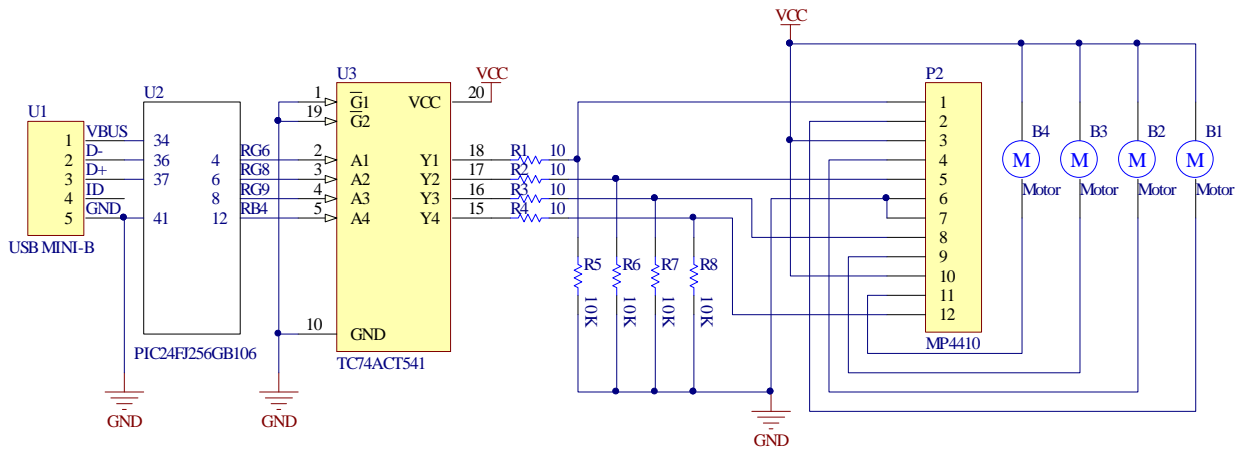


図5 モータ制御回路図

初期化関数では、SPIDAR-mouse の初期化、PIC による最小張力提示、およびキャリブレーションを行い、Spidar-mouse を使用できる状態とする。力覚提示関数では、引数として提示する力のベクトル (fx, fy) を与えることにより、その情報から PIC 内でモータを制御する PWM を生成し力覚を提示する。最後に終了関数で SPIDAR-mouse の制御を終了する。

このように、単純な API のみを提供することにより、容易にデバイスの制御が可能となる。

コンテンツ制作容易性を実現するために、本研究では、C++/Java ライブラリに加えて、Flash のスクリプト言語である ActionScript 3.0 用のライブラリを提供する。

Flash と SPIDAR-mouse の接続を行う場合のシステム構成を図 3 に示す。Flash ではセキュリティの面からローカルのデバイスに直接アクセスすることは許可されていないため、TCP サーバを経由することによって接続を可能とした。コンテンツ制作者は、このライブラリを使用することで、既存の Flash コンテンツのコードを一部カスタマイズするのみで、SPIDAR-mouse に対応することができる。コンテンツを体験す

るユーザは、サーバプログラムを実行する必要があるものの、それ以外は既存のコンテンツと同様に Web ブラウザからハプティックインタラクションが可能なコンテンツを体験することができる。

## 4. SPIDAR-mouse の製作と実用例

### 4.1 SPIDAR-mouse の製作方法

SPIDAR-mouse の製作方法を紹介する。製作容易性を考慮し、必要最低限で十分なコストパフォーマンスを持つ材料の選定を行った。材料としては、下記のもの挙げられる(図 4)。括弧内は参考価格であるが、約 4,000 円で本デバイスを製作することが可能である。

1. DC モータ (マブチ製 RE-280) × 4 (各 200 円)
2. USB マイクロコントローラ基板(PIC24USB) × 1 (1,980 円)
3. 4ch モータ駆動用 MOSFET(MP4410) × 1 (385 円)
4. 汎用ドライバ IC(74AC541AP) × 1 (160 円)
5. 10 抵抗 × 4, 10k 抵抗 × 4 (各 10 円)
6. 電池ケース × 2 (各 60 円)
7. フレーム用木材 × 3 (自作)

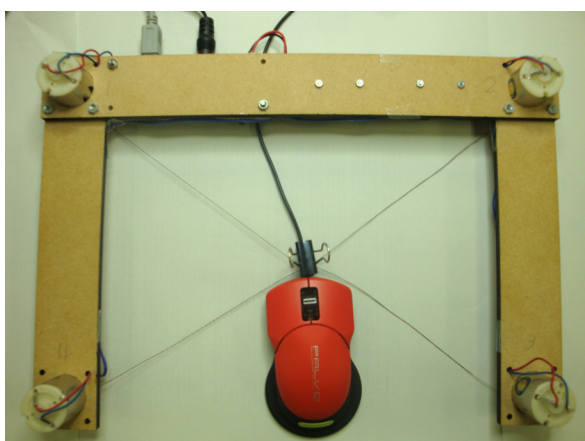


図6 SPIDAR-mouse の完成図

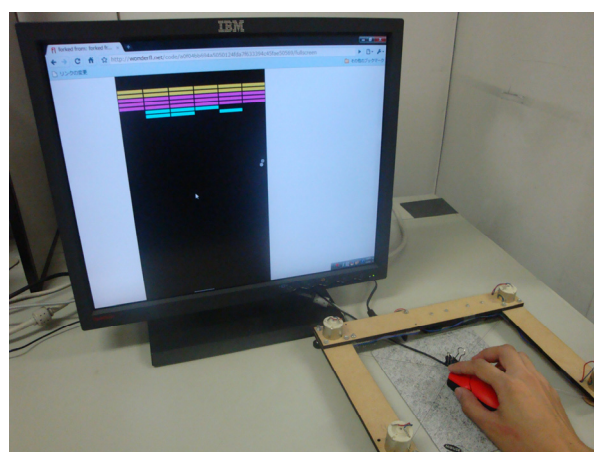


図7 既存 Flash コンテンツ (ブロック崩し[7]) への対応

- 8. プーリ×4 (自作)
- 9. USB ケーブル, ねじ, ゴム足等

製作方法は, 各材料を準備し, 下記の手順で作成を行う。

1. 3本の木材からフレームを作成
2. フレームの穴にプーリとモータを組み合わせた部品を圧着
3. 回路図を参考に電子回路のはんだ付け
4. 電池ケースや基板をフレームに取り付ける
5. 糸をマウスにクリップで固定

回路図及び制御回路を図5に示す。制御回路についても, 製作容易性やコストパフォーマンスを重視し設計を行った。完成図を図6に示す。

#### 4.2 SPIDAR-mouse の実用例

SPIDAR-mouse の実用例として, 制作したコンテンツを紹介する。

図7に示す Flash コンテンツは, 既存の古典的なブロック崩しゲーム[7]を改変し, SPIDAR-mouse で力覚を提示可能にしたコンテンツである。バーとボールが衝突した際に力覚の提示を行っている。参考公開されている ActionScript ソースコードの初期化関数および衝突判定関数の改変のみで, 既存のコンテンツをハプティックインタラクション可能なコンテンツへとカスタマイズ可能となっている。

#### 5. おわりに

ハプティック技術の普及を目的とし, 一般的なユ

ーザが自作可能なハプティックデバイスとして, SPIDAR-mouse を提案した。提案デバイスは, 製作容易性と十分なコストパフォーマンスを考慮し設計を行い, User Generated Haptic Device として, 制御回路や製作方法, 制御ソフトウェアやコンテンツ開発環境に関してもオープン化を行う。提案システムにより, 容易にハプティックデバイスが自作できれば, 中高生を含めて万人の方とハプティックインタラクションの楽しさを共有できるのではないかと考えている。

今後の課題としては, ハードウェア構成の再検討, マニュアルの整備や他の言語への対応, 提案システムの評価等が挙げられる。また, 本提案の SPIDAR-mouse は, インタフェースデバイスの基本要素を全て含んでいるため, インタフェース工学教育教材としての可能性も検討していきたい。

#### 参考文献

- 1) SensAble: <http://www.sensable.com/>
- 2) Novint: <http://home.novint.com/>
- 3) Gainer: <http://gainer.cc/>
- 4) Arduino: <http://www.arduino.cc/>
- 5) 高橋史忠, 狩集浩志, 清水直茂, Phil Keys: 誰でもメーカー, 日経エレクトロニクス, no.1000, pp.53-79, (2009)
- 6) 佐藤誠, 平田幸広, 河原田弘: 空間インタフェース装置 SPIDAR の提案, 信学論(D), Vol.J74-D2, No.7, pp.887-894, (1991)
- 7) Block コンテンツ:  
[http://wonderfl.net/code/a0f04bb694a5050124fd\\_a7f633394c45fae50569](http://wonderfl.net/code/a0f04bb694a5050124fd_a7f633394c45fae50569)