

# FuwaFuwa : 反射型光センサによる柔軟物体への接触位置および圧力の計測手法の提案とその応用

杉浦 裕太<sup>\*1\*4</sup> 笥 豪太<sup>\*2</sup> リー カリスタ<sup>\*1</sup> ウィタナ アヌーシャ<sup>\*1</sup>  
坂本 大介<sup>\*3\*4</sup> 杉本 麻樹<sup>\*1\*4</sup> 稲見 昌彦<sup>\*1\*4</sup> 五十嵐 健夫<sup>\*3\*4</sup>

## FuwaFuwa: Detecting Touch Position and Pressure Changes on Soft Objects Using Directional Photoreflective Sensor and Its Applications

Yuta Sugiura<sup>\*1\*4</sup> Gota Kakehi<sup>\*2</sup> Calista Lee<sup>\*1</sup> Anusha Withana<sup>\*1</sup>  
Daisuke Sakamoto<sup>\*3\*4</sup> Maki Sugimoto<sup>\*1\*4</sup> Masahiko Inami<sup>\*1\*4</sup> and Takeo Igarashi<sup>\*3\*4</sup>

**Abstract** — これまでに我々は、反射型光センサを用いてクッションなどの綿が充填された柔軟物体にかかる圧力の計測手法の提案を行ってきた。一方で、単一のセンサモジュールでは接触された位置の情報の取得が困難なため、検出できるインタラクションの種類が限定された。その結果、本手法を用いて制作できるアプリケーションに限界があった。そこで、センサを複数個柔軟物体に投入しこれらを協調させることで柔軟物体に対する接触位置を計測可能なシステムを提案する。またこれを応用したアプリケーションを制作し、本提案の利点や限界点を議論する。

**Keywords** : Soft User Interface, Computing to Daily Object, Density Measurement, Photoreflectivity, Tangible User Interface, Multiple Sensors

### 1. はじめに

家庭内にはクッションやぬいぐるみ、枕や布団といった綿が内包された柔らかいもの(柔軟物体)であふれている。人はこれらと意識下または無意識下で様々なインタラクションを行っている。例えば、クッションに対しては抱擁をしたり、ぬいぐるみに対しては撫でたりする。このように硬い入力装置では起こりえなかったインタラクションスタイルを情報家電やゲームの操作に取り入れることや、行為の中から人の感情を抽出し、それに適したサービスを提供するような仕組みがヒューマン・コンピュータ・インタラクション(HCI)の分野で盛んに研究されている[2][3]。一方で、従来の方式[8]では1)センサを組み込むことで柔軟物体がもつ本来の柔らかさを失ってしまうといった問題や、2)取り付ける際に柔軟物体自体に大掛かりな加工が必要であることや、3)組み込む手順が複雑といった課題があった。

我々はこれまでに、既に家庭にある柔軟物体に容易に組み込むことができ、かつ柔軟物体がも



図1 反射型光センサによる柔軟物体の接触位置とその圧力の認識

Fig.1 Detecting touch position and pressure changes on soft objects using directional photoreflective sensor

つ本来の柔らかさを損なわずに物体にかかる圧力を計測することができるセンサモジュールを開発してきた[12]。綿の密度変化を計測する手法として、反射型光センサ(フォトリフレクタ)を用いることにより、柔軟物体の表面に機械的に接触するセンサを取り付けることなく、綿にかかる圧力変化を計測することができる。これまでの実装によって、綿の密度変化を計測することができ、柔軟物体に対する「押しつぶす」「たたく」イン

<sup>\*1</sup>: 慶應義塾大学, y-sugiura@kmd.keio.ac.jp

<sup>\*2</sup>: チームラボ株式会社, kakehigouta@team-lab.com

<sup>\*3</sup>: 東京大学, takeo@acm.org

<sup>\*4</sup>: JST ERATO 五十嵐デザインインタフェースプロジェクト, sakamoto@designinterface.jp

<sup>\*1</sup>: Keio University

<sup>\*2</sup>: Team Lab Inc.

<sup>\*3</sup>: The University of Tokyo

<sup>\*4</sup>: JST ERATO IGARASHI Design Interface Project

タラクションが検出できるようになった。

一方で、単体のセンサモジュールでは、接触された位置の情報の取得が困難なため、検出できるインタラクションの種類が限定された。その結果、本手法を用いて制作できるアプリケーションに限界があった。そこで本稿では、センサモジュールを複数個柔軟物体に投入しこれらを協調させることで柔軟物体に対する接触位置を計測可能なマルチセンサシステムを提案する。また、本システムを用いてアプリケーションを制作し、本手法の利点と限界点を示す。

## 2. 関連研究

これまでに柔軟物体に対するインタラクションの計測手法が提案されている。Hiramatsuらは、エアバックに空気圧センサを取り付けたユニットを放射状に複数配置することで、ボール状の物体に対する変形位置及び圧力の計測が可能な手法を提案している[1]。これは柔軟物体の表面に対してセンサを機械的に接触させる必要があるため、柔軟物体がもつ本来の柔らかさを損なってしまう恐れが考えられる。Yonezawaらは、ぬいぐるみの内側に7種類のセンサを取り付けることで、ユーザとのインタラクションの頻度や強度に応じて楽曲が生成されるアプリケーションを実装した[10]。一方でこの手法は、センサを取り付けるために柔軟物体への大掛かりな加工が必要となってしまう、既に家の中に存在する柔軟物体に対して組み込むことは困難である。本研究ではセンサの固定や結線作業などの複雑な手続きを必要とせず容易に柔軟物体に組み込むことが可能なモジュールを開発する。

綿が充填されたものに限らず、柔軟物体に対するインタラクションの計測手法が提案されている。弾性体のもつ柔らかさを利用した研究としてSatoらは、テーブルトップ上の環境において透明弾性体と天井に配置したカメラを用いて透明弾性体のどの部位に力が加かったかどうか検出するシステムを開発した[4]。Smithらは、導電性の布と導電性のウレタンフォームを放射状に配置した柔らかい3D入力デバイスを提案している[6]。Yasumotoらは、空気を含んだバランスボールインタフェースに圧力センサを貼付けることによって、ユーザが着席した状態での重心を計測する手法を提案している[9]。本研究では綿が充填されている柔軟物体(クッションなど)に対するインタラクションを計測する手法を提案する。

## 3. 接触位置の認識手法

センサモジュールには無線通信機器が取り付

けられており、複数のモジュール同士でデータをやり取りすることが可能である。これを用いて柔軟体にかかる二次元平面上における圧力と重心を算出する。接触位置は質点系の重心の計算式を応用して算出される。 $n$ はセンサモジュールの数、 $p_i$ は*i*番目のモジュールにおけるフォトリフレクタの合計値、 $x_i$ と $y_i$ は*i*番目のモジュールにおける座標値、 $M$ は全てのモジュールのセンサの合計値を足し合わせたものである。また $M$ の値は圧力としても用いる。

$$x = 1/M \sum_{i=1}^n p_i x_i \quad \dots (1)$$

$$y = 1/M \sum_{i=1}^n p_i y_i \quad \dots (2)$$

## 4. 実装

### 4.1 センサモジュール

既存の柔軟物体に容易に投入することができるセンサモジュールを実装した。前章で示したフォトリフレクタを放射状に6つ配置し、無線通信機器(ZigBee)、計算処理を行うためのマイクロ



図2 センサモジュールの外観

Fig.2 Photograph of FuwaFuwa sensor module (3 of 6 photoreflectors are visible)

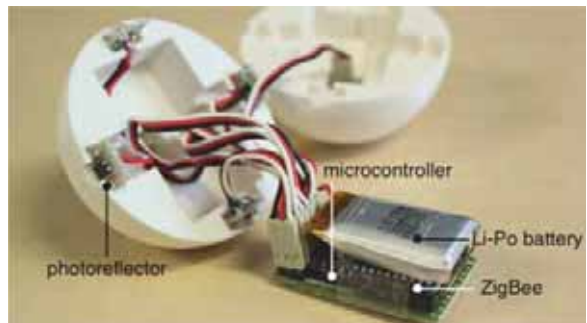


図3 センサモジュールの構成

Fig.3 Main components of FuwaFuwa sensor module

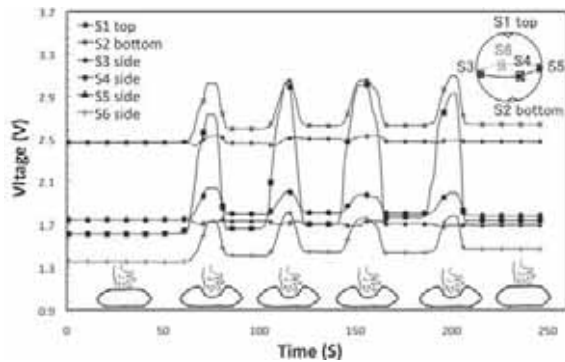


図 4 各々のフォトリフレクタの値

Fig.4 Each sensor value of the module

コントローラ、バッテリーをパッケージ化することによって単独で動作するセンサモジュールを開発した(図2, 図3). 本モジュールは直径 64mm と掌に収まる大きさで、一回の充電で約 3 時間使用することができる。

図 4 はセンサモジュールを綿の内部に入れて圧力をかけたときの各々のフォトリフレクタの値である。モジュールの S1 の方向から力を加えたため、このセンサと反対側に取り付けられているセンサの値が他のセンサと比較し大きく変化していることがわかる。

#### 4.2 マルチセンサシステムの実装

柔軟物体に投入された複数のセンサモジュールは ZigBee によってセンサ値をサーバー (MacBook Pro) に送る。サーバーから各アプリケーションには、TCP/IP 経由で通信を行いクライアントは、各々の目的でデータを処理し、その結果を表示する (図 5)。

**キャリブレーション:** フォトリフレクタから放出されている赤外光が綿や布を透過する特徴を活かし、赤外線透過カメラを用いてセンサの位置を初期化する (図 6)。

**接触位置と圧力の可視化:** 上述の式で算出された接触位置を可視化するためのソフトウェアを開発した (図 7)。色と形状は接触位置と圧力によって変化する。

### 5. 応用アプリケーション

上述のシステムを応用して、複数のアプリケーションを制作した。

#### 5.1 柔らかいロボットトイ

ロボットが柔らかい外観を保持することで、人とロボットの間の身体的な障壁を軽減すること

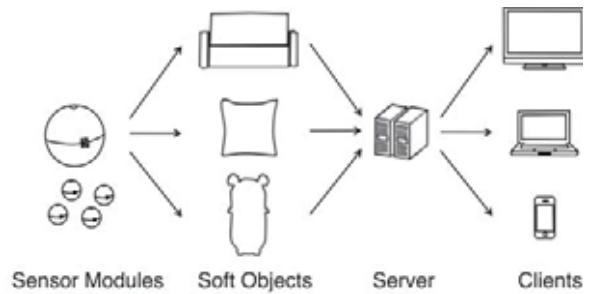


図 5 システムの概要

Fig.5 System overview



図 6 センサ位置の認識

Fig.6 Detecting locations of FuwaFuwa sensor modules: image with normal camera (left) and IR camera (right)

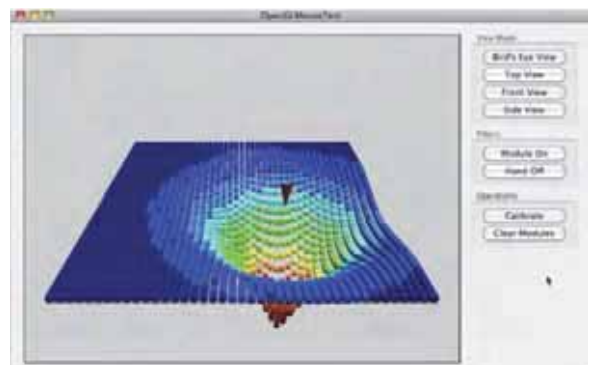


図 7 センサデータの可視化

Fig.7 Visualized sensor data

ができるため、セラピーやエンタテインメント目的で数多くのやわらかいロボットが提案されている[5][7][11]. 本センサシステムを利用することで、同様に柔らかいインタラクティブなロボットを制作した。このロボットはサーボモータによって目が回転し、あたかも呼吸をしているかのように胴体が動くロボットを簡単に実装することができるようになった。本ロボットでは、図9のようにユーザが触れた方向に目を向け、押しつぶす加減によって鳴き声の強弱が変化するようにインタラクションを設計した (図 8)。



図 8 加える圧力によってロボットの鳴き声の高さが変化する

Fig.8 Voice changes with change in touch pressure



図 9 触った方向に目を向ける

Fig.9 Eyes move toward touch position



図 10 クッション型メディアコントローラ

Fig.10 Media controller

## 5.2 ホームメディアのためのクッション型リモコン

クッションに 4 つのセンサモジュールを組み込むことによって家庭内のメディアを操作するインタフェースを開発した (図 10). 操作メニューはプロジェクタによってクッションに照射されており、ユーザはいくつかの区画になった場所を叩くことでそれを選択し、撫でたりすることで動画の早送りのコマンドを入力することが可能となる。

## 5.3 柔らかい楽器

枕にセンサモジュールを組み込むことで楽器を作成した (図 11). 具体的には、押す強さによって音のボリュームが変化し、触った場所によって異なる音程の音を鳴らすことができる。また、複数の枕にセンサモジュールを投入することで、複数人で操作を楽しむことができたり、枕の種類



図 11 柔らかい楽器

Fig.11 Music instrument

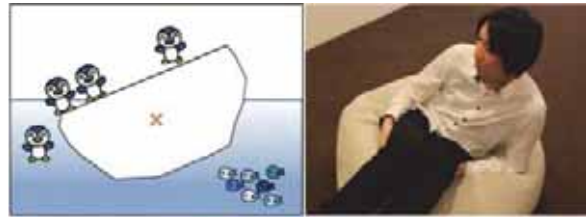


図 12 ゲームコントローラ

Fig.12 Balancing game display (left); beanbag chair as game controller (right)



図 13 エンタテインメント綿飴

Fig.13 Stick for holding candy floss

によって音色を変化させたりするような実装を行った。

## 5.4 ソファを利用したバランスゲーム

ソファにセンサモジュールを投入することで、人が座っているときの重心を計測することが可能であり、これを利用したバランスゲームを開発した。具体的には、時間内にできる限り冰山を重心で制御しながら上から落ちてくるペンギンを保つというものである (図 12)。任天堂の WiiFit のように体を動かすことを第一の目的としたゲームが登場しているが[9]、柔軟物体に対しては、硬いハードウェアでは起こりえなかった身体的なインタラクションが起こりうるため、このような目的にも本研究を応用することが可能である。

## 5.5 インタラクティブ綿飴

同様の原理を用いて綿飴の密度を計測することができる。ここでは、ユーザが綿飴を食べる際



図 14 SIGGRAPH 2011 の Emerging Technologies 部門における展示の様子  
Fig.14 Exhibition on SIGGRAPH 2011 Emerging Technologies

に生じる綿飴の密度変化を取得し、効果音のピッチを変化させるシステムである。綿飴を支える棒の先端にはフォトフレクタが取り付けられており、柄にはマイクロコントローラと無線機器、バッテリーが取り付けられている（図 13）。

## 6. 公開デモンストレーション

本稿で提案するシステムおよびこれを用いたアプリケーションをコンピュータグラフィックスとインタラクションに関する国際会議 SIGGRAPH 2011 の技術展示部門 Emerging Technologies において公開デモンストレーションを行った。今回のデモンストレーションにおいては 5 日間で合計約 2000 名近くの参加者が本システムを体験した（図 14）。簡単な観察から体験者は、本センサモジュールの仕組みを理解し、その単純な仕組みに驚いているようだった。また、展示者が説明する前から柔らかいデバイスに触れ、自分で操作方法を発見する体験者も多く観察された。体験者からは「これを車のシートに投入することで運転手の状態を認識することができないか」「マッサージのトレーニングデバイスとして役に立ちそう」「この技術を用いてお年寄りや子供が安全に遊べるおもちゃを開発したい」など今後の展望につながる有効なフィードバックを得ることができた。一方で、デモンストレーション中にセンサの位置が変わってしまう課題やセンサに綿が詰まってしまううまく動作しない場面も見受けられた。

## 7. 議論

### 7.1 本手法の特徴

本手法の利点として、柔軟物体の表面とセンサ

モジュールが機械的に接触する必要がないため柔軟物体が持つ本来の柔らかさを損なうことなく入力装置として利用することができる。また、柔軟物体にかかる広い範囲での圧力変化を連続的に計測することができる。さらに、フォトフレクタ、無線機器、バッテリーがモジュール化されており、小型であるため既に日常に存在する柔軟物体を大きく加工することなく、容易にセンサを組み込むことができる。センサモジュールを複数個柔軟体に組み込むことで、二次元平面上における接触位置や圧力を認識することが可能であり、その結果、任意の大きさ・形状に対する柔軟物体にセンサモジュールを投入し、タッチ入力デバイスとして扱うことが可能となる。

### 7.2 既存の日常用品にコンピュータを埋め込むことの意義

コンピュータが埋め込まれた日用品や環境が連携して最適なサービスを提供するような取り組みがユビキタスコンピューティングの文脈において盛んに行われている。一方で、現在の研究の多くは、コンピュータを新たに埋め込むことを想定して、対象物の日用品や環境が設計されていることが多い。この場合、新規に専用の日用品を購入する必要があるため、コストがかかってしまうという課題や、導入によって部屋の外観を変更する必要がある恐れがあり、敷居が高い。この理由で、既に家庭にある物体にコンピュータを埋め込む技術が今後重要になると考える。我々が提案するセンサモジュールは、それ専用で作られた日用品を購入することなく、一般的に市販されているものに組み込むことができるという特徴がある。また、その日用品の本質的な機能（今回は柔軟物体であるため、その触感など）を失わずにコンピュータを埋め込むということも必要な要件であろう。

### 7.3 システムの限界と今後の課題

今回は本稿で提案したコンセプトの検証(Proof of Concept)のための試作であり、このため試作したセンサモジュールのハードウェアの問題として、バッテリーの持続性に課題がある。現在使用しているバッテリーでは 3 時間程度しか動作させることができないため、ユーザはその都度センサを取り出してバッテリー交換・充電作業を行わないといけない。これは特にソファなど深い位置にセンサモジュールを配置したときに大変な作業となる。また、現状のモジュールのサイズは 64mm であり、例えば衣服やラグ、小さなぬいぐ

るみのような柔軟物体に組み込むことはできない。バッテリーの持続性とセンサモジュールのサイズはトレードオフな問題であり、これらは使用用途に合わせて選択できるようにするべきであると考えている。また、例えばソファのような一度センサを入れたらその後動かすことの無いようなものに対しては有線で供給できるような仕組みを提供する必要がある。また、クッションのように無線給電が有効に機能すると考えるものに対しては、外部から給電できるような仕組みを検討したい。その他にも、ユーザが利用していないときには複数あるフォトフレクタのうちのいくつかの電源を切ることで省電力化が期待できる。現在は、一般的に市販されているマイクロコントローラや ZigBee モジュールを用いているため、これを本モジュール専用のものを作成することで、モジュールのサイズを小さくすることができるだろうと考えている。

現状の実装では、センサモジュールの位置のキャリブレーションとして、モジュールから放出された赤外光を赤外線透過カメラで認識しているが、センサモジュールが柔軟物体の深い位置に配置されてしまったときにこの放出される光をとらえることができない。また、キャリブレーションのために毎回特別なカメラを用いるのは、ユーザにとってフレンドリなシステムとは言い難い。今後は、センサモジュールを投入後、ユーザが数回柔軟物体に触れることでキャリブレーションできる仕組みを構築していく。

## 8. おわりに

本稿では、一般に市販されている柔軟物体をタッチデバイス化するためのセンサ技術を提案した。具体的には、センサモジュールを柔軟物体に複数組み込み、それらを連動させることで二次元平面上の接触位置や圧力を計測することが可能なマルチセンサシステムを構築した。本システムを利用したアプリケーションを複数制作し、それらを SIGGRAPH2011 の Emerging Technologies 部門においてデモンストレーション発表した。参加者が体験している様子の観察や体験者からのフィードバックを受け、本システムの利点や限界点の議論を行った。

本論文においては、エンタテインメントのためのアプリケーションを数種類提案したが、センサモジュールを小型化することで、ダウンジャケットや布団などの薄い素材にも入れることが可能であり、ウェアラブルコンピューティングや家庭内の人の行動を認識するためのセンサプラットフォームとしての応用が期待できる。

## 参考文献

- [1] Hiramatsu, R. Puyo-con. In ACM SIGGRAPH ASIA 2009 Art Gallery & Emerging Technologies, ACM (2009), pp. 81–81.
- [2] Johnson, M. P., Wilson, A., Blumberg, B., Kline, C. and Bobick, A. Sympathetic interfaces: using a plush toy to direct synthetic characters. In Proc. CHI '99, ACM (1999), pp. 152–158.
- [3] Marti, S. and Schmandt, C. Physical embodiments for mobile communication agents. In Proc. UIST '05, ACM (2005), pp. 231–240.
- [4] Sato, T., Mamiya, H., Koike, H. and Fukuchi, K. Photoelastictouch: transparent rubbery tangible interface using an lcd and photoelasticity. In Proc. UIST '09, ACM (2009), pp. 43–50.
- [5] Sekiguchi, D., Inami, M. and Tachi, S. RobotPHONE: RUI for Interpersonal Communication. In Ext. Abst. CHI '01, ACM (2001), pp. 277–278.
- [6] Smith, R. T., Thomas, B. H. and Piekarski, W. Digital foam interaction techniques for 3D modeling. In Proc. VRST '08, ACM (2008), pp. 61–68.
- [7] Wada, K. and Shibata, T. Social effects of robot therapy in a care house - change of social network of the residents for two months. In Proc. ICRA '07, IEEE (2007), pp. 1250–1255.
- [8] Weinberg, G. Orth, M. and Russo, P. The embroidered musical ball: a squeezable instrument for expressive performance. In Ext. Abst. CHI '00, ACM (2000), pp. 283–284.
- [9] Yasumoto, M. Balance ball interface. In ACM SIGGRAPH ASIA 2008 artgallery & emerging technologies, ACM (2008), pp. 41–41.
- [10] Yonezawa, T., Clarkson, B., Yasumura, M. and Mase, K. Context-aware sensor-doll as a music expression device. In Ext. Abst. CHI '01, ACM (2001), pp. 307–308.
- [11] 石川 達也, 長谷川 晶一: 柔らかいぬいぐるみロボットの動作制御, 第 20 回エンタテインメントコンピューティング研究発表会, セッション EC19-13, 2011.
- [12] 寛豪太, 杉浦裕太, 杉本麻樹, 稲見昌彦, 綿を内包した柔物体を用いた日常生活に溶け込むインタフェース, 第 18 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ (WISS2010), 2010 年 12 月.