

# 赤外線 LED 埋め込みシリコンゴムを用いたタッチパネル

坂本 侑一郎<sup>†</sup> 吉川 拓人<sup>†</sup> 大江 龍人<sup>†</sup>  
堀 竜慈<sup>††</sup> 村田 雄一<sup>††</sup>  
志築 文太郎<sup>††</sup> 田中 二郎<sup>††</sup>

本論文は赤外線 LED を埋め込んだ透明なシリコンゴムを入力面に利用するタッチパネルについて述べる。マルチタッチの検出方法としてアクリル板内の赤外線の全反射を用いた FTIR 方式が用いられる。従来 FTIR 方式によるタッチ検出にはアクリル板が用いられるのに対し、我々の製作したタッチパネルには形成したシリコンゴムを用いた。シリコンゴムを用いた FTIR 方式は、アクリル板を用いた FTIR 方式よりも感度が高い。また、アクリル板を用いたものでは困難であった、スタイラスを介したタッチやパネル上に置かれた固い物体の検出ができる。更に、FTIR 方式に必要である赤外線 LED をシリコンゴムに埋め込むことにより、赤外線 LED モジュールとタッチパネルを一体化することができる。我々はこの方式に基づくタッチパネルを製作し、アプリケーションを作成した。

## A Touch Panel using Silicone Rubber with embedded IR-LEDs

YUICHIRO SAKAMOTO,<sup>†</sup> TAKUTO YOSHIKAWA,<sup>†</sup> TATSUHITO OE,<sup>†</sup>  
RYUJI HORI,<sup>††</sup> YUICHI MURATA,<sup>††</sup> BUNTAROU SHIZUKI<sup>††</sup>  
and JIRO TANAKA<sup>††</sup>

In this paper, we present a novel touch panel using silicone rubber with embedded IR-LEDs. We have used the FTIR-based method for multi-touch sensing. Our novel touch panel is made of silicone, while former touch panels are made of acrylic. FTIR touch panel made of silicone have better sensitivity than one made of acrylic panel. Furthermore, it detects touches by styluses or firm objects which are difficult to detect for one made of acrylic panel. Moreover, it integrates IR-LEDs silicone rubber for multi-touch sensing. We implement a touch panel based on our method and an experimental application.

### 1. はじめに

タッチ入力を用いたインタフェースが注目されている。タッチ入力は、マウスやスタイラスのようなポインティングデバイスを別途必要とすることがなく、画面と操作デバイスを一体化することができる。一体化によってデバイスを小型化できることから携帯型デバイスの入力方式として向く。また、画面に表示されたオブジェクトを直接触れて操作するわかり易いインタフェースを作ることができることから、カジュアルユーザ向けの入力方式として向く。このタッチ入力は、複数の指による同時タッチを検出するマルチタッチと

ともに、様々な製品に導入されつつある。

マルチタッチ入力検知方式の一つとして、Han<sup>1)</sup> による FTIR 方式が利用されている。FTIR 方式はカメラ入力を用いてタッチ位置を検出するため、タッチパネルの大型化が容易である利点がある。また、おおまかな接触面の形状が取れることを用いた圧力の検出ができるという利点もある。Han による FTIR 方式ではアクリル板を用いている。以後、アクリルを用いた FTIR 方式のタッチパネルを、アクリルタッチパネルと呼ぶ。

本稿では、透明なシリコンゴム内における FTIR 現象を用いたマルチタッチ入力デバイス (以後、シリコンタッチパネル) について述べる。シリコンタッチパネルのタッチ検出は、アクリルタッチパネルに比べ、感度が高くより弱い力での接触が検知できる。また、アクリルタッチパネルでは困難であったスタイラスを介したタッチやパネル上に置かれた固い物体の検

<sup>†</sup> 筑波大学情報学群

School of Informatics, University of Tsukuba

<sup>††</sup> 筑波大学大学院システム情報工学研究科

Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba

出ができる特徴がある．

## 2. 関連研究

様々なマルチタッチ入力検知方式が実現されてきている．アレイ状にセンサを並べる方式では，独立したアクティブセンサを接続する方式<sup>2)3)</sup>，パッシブセンサのアレイを用いる方式<sup>4)5)</sup>がある．しかし，これらの方式は解像度が低い．

画像処理を用いたシステムは高い解像度を提供する．代表的な手法として Diffused Illumination(DI) 方式がある<sup>6)7)8)</sup>．DI を用いることにより，マルチタッチを検出できるのみでなく，ピクセル明度または両眼視差を用いて，3次元位置を大まかに検出することができる．また，固い物体の検出も可能である．しかし，正確な接触形状が検出されにくい．画像処理を用いたもうひとつの代表的な手法として FTIR<sup>1)</sup> 方式がある．FTIR 方式を用いることにより，DI 方式よりも正確な接触形状を検出できる．しかし，固い物体の検出はできない．

我々は，シリコンゴム内における FTIR 現象を用いた．タッチパネル面を形成する際に，赤外線 LED を埋め込んだ．シリコンタッチパネルは，接触形状が正確に検出され，指だけでなく固い物体の検出も可能なタッチパネル面を実現した．またシリコンシートは柔らかい素材であるため，シリコンゴムへの押し込み具合を，触覚フィードバックとして得ることができる．David<sup>9)</sup> らは，アクリルを用いた FTIR 方式のタッチパネルを製作し，そのアクリルの上にマーカの無いシリコンシートを設置することにより，我々とほぼ同様の特徴をもつタッチパネルを実現している．しかし，我々の作成したシリコンタッチパネルは，赤外線 LED がシリコンゴムに直接埋め込まれているため，FTIR 方式に必要である赤外線 LED とタッチパネルを一体化できるメリットがある．

## 3. 実装

### 3.1 ハードウェア

#### 3.1.1 シリコンタッチパネルの製作

以下に，シリコンタッチパネルの製作について述べる．シリコンタッチパネルは，シリコン（旭化成ワッカーシリコン株式会社 RTV-2 SLJ 3220），960x720 mm，厚さ 5 mm のアクリル板，赤外線 LED (TLN231(F), 870 nm) 32 個を約 3 cm 間隔で並べた LED モジュールから成る．シリコンゴムを形成するにあたり，まず下地となるアクリルの 4 辺を木枠で隙間なく囲う．そして，アクリル板の長辺に合わせて

LED モジュールをアクリル板の上に配置し，その状態で，図 1 のように，シリコンをアクリル板の上へ流し込む．このことによって，LED モジュールをシリコンゴム内に埋め込むことができる．なお，シリコンが固まるまでに約 1 日を要した．

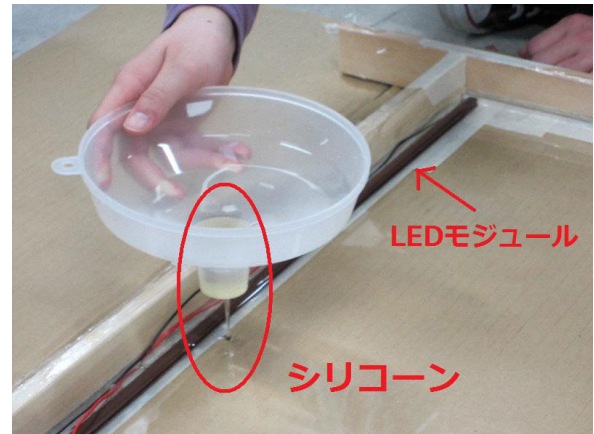


図 1 シリコンタッチパネル製作過程

#### 3.1.2 原理

シリコンゴム内部で発生している屈折の様子を図 2 に示す．

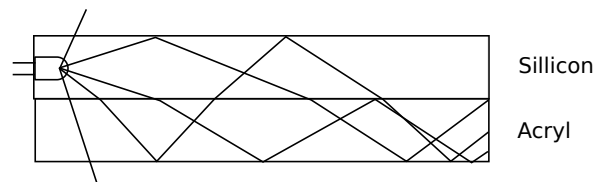


図 2 屈折の様子

屈折率の高い物質から屈折率の低い物質へある角より大きな入射角で光が入射するとき，物質の境界面において光が全反射する．この全反射が発生する入射角を臨界反射角という．ある物質 b から別の物質 a へ光が入射する場合の臨界反射角はスネルの法則（式 1）にて求めることができる． $n_a$  は物質 a の屈折率， $n_b$  は物質 b の屈折率， $\theta_m$  は臨界反射角である．

$$\sin \theta_m = \frac{n_a}{n_b} \quad (1)$$

シリコンゴムとアクリルの一般的な屈折率は，それぞれ 1.4 と 1.49 である．これらの屈折率から光の入射の起こる各物質境界面について求めた臨界反射角を表 1 に示す．

赤外線 LED から発せられた光はシリコンゴムとアクリルの内部で全反射を繰り返す．シリコンゴムから空気に光が入射する場合，アクリルから空気に入

表 1 各物質境界面における臨界反射角

|                 | $n_b$ | $n_a$ | $\theta_m$ |
|-----------------|-------|-------|------------|
| シリコンゴムから空気に入射   | 1.4   | 1     | 45.59      |
| シリコンゴムからアクリルに入射 | 1.4   | 1.49  | —          |
| アクリルから空気に入射     | 1.49  | 1     | 42.16      |
| アクリルからシリコンゴムに入射 | 1.49  | 1.4   | 69.99      |

射する場合の臨界反射角は 45 度と比較的小さい．すなわち，多くの光線が全反射する．シリコンゴムからアクリルに入射した場合全反射はせずに，すべてアクリルに光が抜ける．

今回の実装では，下地となる板にアクリルを用いたため，アクリル内に光が多く含まれている状態になってしまっている．シリコンゴム内の FTIR 現象によってタッチ位置を検出する場合，下地となる板にはシリコンゴムよりも屈折率の低い物質が望ましい．屈折率の低い物質を使うことによって，シリコンゴム内のほうが光を多く含む状態を作ることができるからである．

### 3.1.3 ハードウェア構成

図 3 にハードウェア構成を示す．シリコンタッ

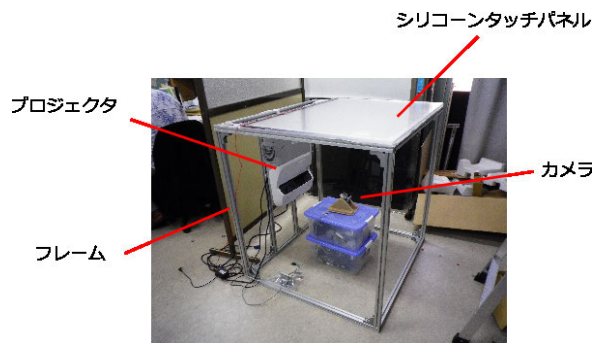


図 3 ハードウェア構成

チパネル全体から生じる拡散反射光が撮影できるように，シリコンタッチパネルの下方に赤外線カメラを設置した．シリコンタッチパネルの下には，拡散材としてトレーシングペーパーが敷いた．この拡散材に短焦点プロジェクタを用いて後方投影することにより，タッチパネル面に映像を映し出している．

### 3.2 ソフトウェア

タッチパネル面に接触する複数の物体の接触領域から拡散する赤外線光を，赤外線カメラで撮影し，画像処理を施すことにより，接触を検出する．まず，検出された領域をラベリングすることにより，個々物体の接触形状を求める．その上で，物体の接触形状より，領域の外周の座標列，重心座標，接触面積，平均輝度値を取得する．これらのデータは，カメラ画像を 1 枚

キャプチャする毎に，ネットワークを経由して，アプリケーションを起動している計算機へ送信される．通信プロトコルには，Open Sound Control を用いた．

## 4. 実験

我々の製作したシリコンタッチパネルと，アクリルタッチパネルにおける違いを調べる実験を行った．様々な物体をタッチパネル面に接触させ，接触領域から拡散反射される赤外線光を，赤外線カメラで撮影した．図 4 に，指を接触させた時の結果を示す．シリコンタッチパネル，アクリルタッチパネル共に，指の接触領域から十分な量の光が得られた．図 5 に，スタイラスを接触させたときの結果を示す．アクリルに接触したスタイラスからの拡散反射はわずかにしか観測されなかったが，シリコンタッチパネルにおいてはより鮮明に観測できた．図 6 に，様々な物体を接触させたときの結果を示す．アクリルとの接触において拡散反射を観測しにくかった物体も，シリコンタッチパネルにおいては観測できた．書籍と携帯電話については，シリコンタッチパネルにおいて鮮明な拡散反射光が確認できた．

Weiss<sup>10)</sup> らの示した SLAP Widget では，シリコン素材のタンジブルオブジェクトにマーカを付ける必要があったが，シリコンタッチパネルは指以外の物体も検出できるため，マーカを必要としない．



図 4 指の接触 左:表面の様子 中:シリコンタッチパネル 右:アクリルタッチパネル

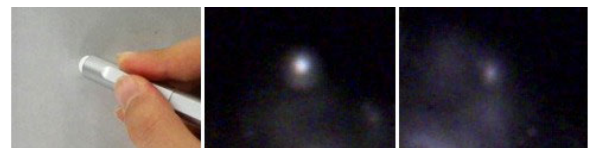


図 5 スタイラスの接触 左:表面の様子 中:シリコンタッチパネル 右:アクリルタッチパネル

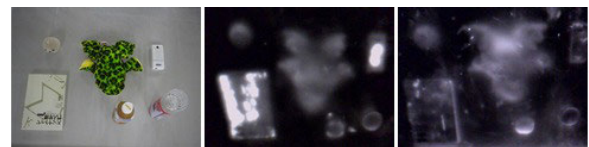


図 6 様々な物体の接触 左:表面の様子（書籍，ペットボトル，スプレー缶，携帯電話，人形，編み物） 中:シリコンタッチパネル 右:アクリルタッチパネル

## 5. アプリケーション

シリコンタッチパネル上における物体によるタッチ検出を活かしたエンターテインメントアプリケーションを実装した．図 7 に動作の様子を示す．このアプリケーションでのプレーヤの目的はすべての的を画面上から消すことである．虫を模した的が画面上をランダムに移動する．プレーヤはハエたたきによつて的を叩くことによって，画面上からの的を消すことができる．的の一つ一つには，耐久度が設定されている．プレーヤは，ハエたたきを用いて的をたたくことにより的の耐久度を減らすことができる．また，ハエたたきを強く衝突させるほど，耐久度をより多く減らすことができる．耐久度が 0 以下になった時，的は消える．

今回の実装では，衝突の強さを，シリコンタッチパネルから得られる接触面積と平均輝度値を用いて認識している．

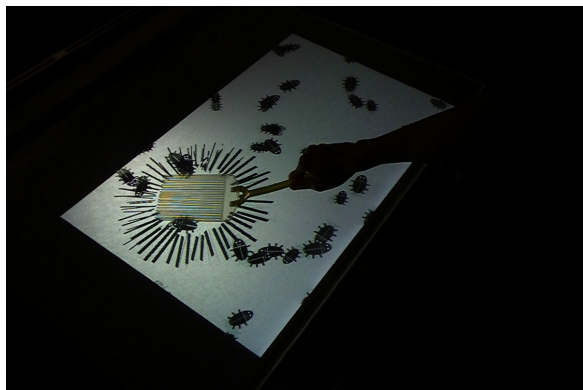


図 7 エンターテインメントアプリケーションが動作している様子

## 6. 今後の展望

今回我々は，FTIR 方式に必要な LED を埋め込み，シリコンゴムの形成を行った．シリコンゴムは必要な装置センサなどを埋め込んで形成をすることができる．今後は各種センサの埋め込みを行って，多様な値を取得することのできるタッチパネルを作成したい．

本論文の実装においては，アクリル板の上にシリコンゴムを形成したが，FTIR 現象を用いてタッチ位置を検出するためにはアクリル板は不要である．すなわち，シリコンゴム単体での検出ができると考えられる．シリコンゴム単体で装置を構成することによって，曲がるタッチパネルを作成することができると考えられるため，試したい．

## 7. 結 論

本論文は，赤外線 LED を埋め込んで形成したシリコンゴムを用いたタッチパネルの実現について述べた．シリコンゴム内で発生する FTIR 現象を用いたタッチ位置検出方法は，従来方式では困難なスタイラスやパネル上に置かれた固い物体の検出ができる．我々はタッチパネルの実装を行い，人間の指によるタッチ，スタイラスによるタッチ，固い物体を含む様々な物体をパネル上に置いたときの検知を試した．また，デモアプリケーションの実装を行った．

謝辞 シリコンタッチパネルの製作にあたっては，本研究室の卒業生である内藤真樹氏，本研究室の君岡銀兵氏，荏澤賢三氏，小林敦友氏のご助力をいただいた．ここに感謝する．

## 参 考 文 献

- 1) Han, J. Y.: Low-cost multi-touch sensing through frustrated total internal reflection, UIST '05, ACM, pp.115–118 (2005).
- 2) Lee, S., Buxton, W. and Smith, K.C.: A multi-touch three dimensional touch-sensitive tablet, CHI '85, ACM, pp.21–25 (1985).
- 3) Westerman, W. and G., J.: US Patent 6,323,846: Method and Apparatus for Integrating Manual Input (2008).
- 4) Rekimoto, J.: SmartSkin: an infrastructure for freehand manipulation on interactive surfaces, CHI '02, pp.113–120 (2002).
- 5) Nicol, K. and Henning, E. M.C.: US Patent 4,134,063: Apparatus for the Time-dependent Measurement of Physical Quantities (1979).
- 6) Matsushita, N. and Rekimoto, J.: HoloWall: designing a finger, hand, body, and object sensitive wall, UIST '97, ACM, pp.209–210 (1997).
- 7) Malik, S. and Laszlo, J.: Visual touchpad: a two-handed gestural input device, ICMI '04, ACM, pp.289–296 (2004).
- 8) Wilson, A.D.: TouchLight: an imaging touch screen and display for gesture-based interaction, ICMI '04, ACM, pp.69–76 (2004).
- 9) Smith, J. D., Graham, T. N., Holman, D. and Borchers, J.: Low-Cost Malleable Surfaces with Multi-Touch Pressure Sensitivity, TABLETOP '07, IEEE Computer Society, pp. 205–208 (2007).
- 10) Weiss, M., Jennings, R., Khoshabeh, R., Borchers, J., Wagner, J., Jansen, Y. and Hollan, J.D.: SLAP widgets: bridging the gap between virtual and physical controls on tabletops, CHI '09, ACM, pp.3229–3234 (2009).