

人工大理石透過型LEDタッチディスプレイの ハードウェア改良 - センシング基板の設計と表面実装

浦 千尋^{1,a)} 蚊野 浩^{1,b)} 平井 重行^{1,c)}

概要: 樹脂製の人工大理石が光を透過する性質を利用し、その背面にLEDマトリクスディスプレイを配置することで、人工大理石表面に図形などを描画することのできるディスプレイシステムを構築する。またマトリクスディスプレイと同様に赤外線LEDとフォトトランジスタを背面に配置することで大理石表面の物体検出を行う機能を付加している。このような描画機能と物体検出機能を活用することで、人工大理石が利用されやすいキッチンカウンターや洗面台において埋め込み型のタッチパネルディスプレイとして活用することができる。

1. はじめに

スマートキッチンに関する数々の研究がある[1][2][3][4][5][6]。その中で、多田らの研究[7]では、キッチンや洗面化粧台で用いる人工大理石製天板の裏側にLEDマトリクスとフォトディテクタを配置することで、天板表面をタッチディスプレイ化する機能を実現し、その基本動作を確認した。このディスプレイは、人工大理石が光を透過する特性を利用するもので、天板内部で光が拡散することから滲んだ表示となる。そして、LEDマトリクスの素子について、赤外線LEDとフォトダイオードまばらに配置することで、天板表面をタッチもしくは物体を置いた際の赤外反射光を検出し、タッチ位置や物体の範囲などを計測する機能を持たせている。ただし、多田らの試作機は、砲弾型LEDを用いていたほか、ディスプレイ面積が比較的小さなものであった。

本研究は、そのLEDタッチディスプレイのデバイスについて、その面積と画素数を大きくし、PCB基板化かつセンサ素子やICを表面実装した試作機を開発することで、より実用的なディスプレイ装置として実現することを目指している。そして、今回は、LEDマトリクスと赤外線センシングの回路とをいったん分け、センシング機能についてのみ回路を多層基板として設計し、表面実装を行う形でハードウェア改良を行った。本稿は、そのセンシング基板のPCB基板化と表面実装について述べ、試作した基板の

動作および性能について述べる。

2. 関連研究および先行研究

2.1 スマートキッチンの視覚ディスプレイ

キッチンを含め、既にある住宅設備を視覚ディスプレイ化する場合、プロジェクタを用いて画像を投影することが多い。例えば、Leonardoら[1]、Oliverら[3]、Suzukiら[5]、塚田ら[6]の研究では、キッチンの調理支援を行うシステムとして、キッチンのワークトップや壁、調理の具材などにプロジェクタによる投影を行っている。これらプロジェクタによる投影は、像が明るく鮮明な利点があり、平面でない場所や複雑な形状のものへも投影可能である。実際に、前述のキッチンの調理支援の例では、この特徴を活かして調理する魚や野菜などの具材への投影を行っている。しかし、投影位置を厳密に合わせる必要があり、事前にキャリブレーションが必要となる。その簡略化については、RobertらによるWorldKit[11]やBrettらによるRoomAlive[12]で、深度カメラとプロジェクタを組み合わせる方法が提案されており、深度カメラを用いてタッチセンシングなども可能となっている。ただ、キッチンにおけるプロジェクタ設置場所は、コンロ近くだと油污れなどの観点から注意が必要となる。本研究のデバイスは、キッチンの天板裏側からLEDマトリクスで天板そのものを視覚ディスプレイ化すると共に、赤外光でのタッチ・物体検出を行うものであり、キッチンの上部空間に機器を設置するものではない。キッチンに内蔵することで、キッチン天板表面の掃除などには支障がないうえ、IHコンロや浄水器のために元々電源ラインが引かれていることが多く、機器設置や配線の点でも比較的有效な手段と言える。

¹ 京都産業大学 情報理工学部

^{a)} ura@3ccd.jp

^{b)} kano@cc.kyoto-su.ac.jp

^{c)} hirai@cc.kyoto-su.ac.jp

2.2 光学式タッチインターフェース

赤外線を用いたタッチパネルデバイスは複数の方式で実用化されている。主なものに、赤外線カメラ方式、赤外線遮断方式、PSD(Planar Scatter Detection)方式、PIT(Projected Infrared Technology)方式がある[8]。いずれも液晶ディスプレイなどの表面にデバイスを構成するものであり、2点以上のタッチ操作が可能となっている。また Matsushita らによる HoloWall[9] と、Han による FTIR (Frustrated Total Internal Refraction) 方式[10] は、ガラスやアクリル面のそれぞれ裏側と横側から赤外線を入光させ、タッチ部分の反射光を IR カメラと画像処理によって解析するシステムである。どちらの方式もタッチパネルの大型化が可能であるが、ガラス背面に IR カメラを設置する空間が必要であり、本研究での設置を想定しているキッチンの天板裏などではそれら方式は利用できない。

3. システム概要

樹脂製の人工大理石が光を透過する性質を利用し、LED マトリクスディスプレイを人工大理石背面に配置することでディスプレイシステムを構築する。先行研究では、表示のための LED と光センシング部品を 16×16 のマトリクス状に、一枚の基板に実装していた。本研究では、より実用的な物に近づけるために、 32×64 の LED タッチディスプレイシステムに改良する。これを一枚の基板に実装すると、部品点数と配線が増加し、多層基板としての回路設計が複雑になるため、まずは LED マトリクスディスプレイについては既製品を使用することとした。そして、設計するプリント基板にはセンシングに必要な回路のみ構成し、表面実装用の IC およびチップパーツのみを片面のみに実装する形とした。これにより、現状の試作ディスプレイは LED マトリクスディスプレイとセンシング基板が分離した形となり、図 1 のように、センシング基板を LED マトリクスディスプレイの上に重ねて配置し、さらにその上に人工大理石を配置する。ここではセンシング基板には LED マトリクスディスプレイの対応した位置にドリル穴を開けておき、LED 光がセンシング基板を透過して人工大理石に入光できるようにした(図 2 参照)。実際に LED マトリクスディスプレイの LED を表示させた様子を図 3 に示す。センシング基板上に構成するタッチインターフェースは図 4 のような仕組みで動作する。赤外線 LED の光が人工大理石を透過し、大理石表面の障害物へ反射し再度人工大理石を通過してフォトディテクタに入力される。この入力の強弱によって物体の検出を行う。

4. ハードウェアの試作と動作確認

4.1 ハードウェア構成

今回試作したハードウェアでは、表示用 LED マトリクスディスプレイには 4mm ピッチで画素数 64×32 、フル

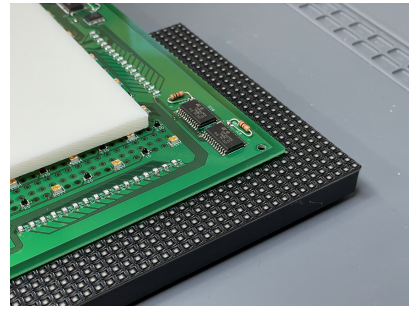


図 1 LED マトリクス、センシング基板、人工大理石を重ねた様子

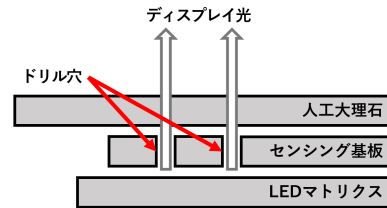


図 2 タッチパネルシステムの構成

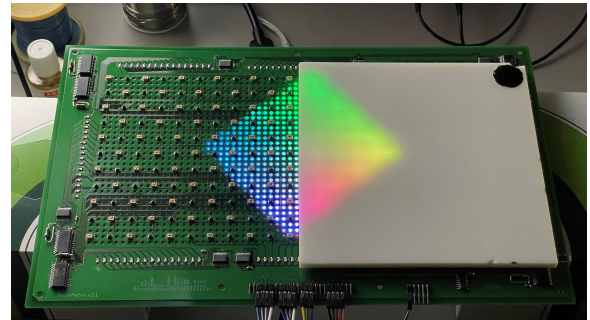


図 3 センシング基板と人工大理石を重ねて基板背面の LED マトリクスを発光させた様子

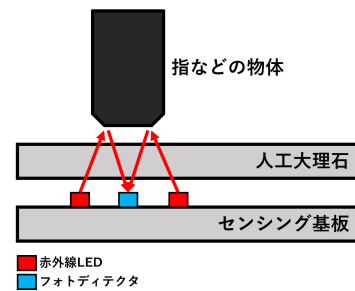


図 4 赤外線タッチパネル動作のイメージ

カラー表示の既製品を使用した。ディスプレイの画素密度は、センシング基板に配置する赤外線 LED や受光素子のサイズを考慮して決めた。基板に開けられたドリル穴の径は 1.5mm で、マトリクスディスプレイに合わせて 4mm ピッチで配置している。センシング基板は、ドリル穴がマトリクスディスプレイの発光部分(LED)の直上になるように位置調整し、マトリクスディスプレイの上に密着させて重ねて配置する。

センシング基板には、図 5 のように赤外線 LED または

フォトディテクタを交互に 12mm ピッチで並べる。この配置は、多田らの先行研究 [7] を踏襲したものであり、LED マトリックスの素子の 3 つおきの位置に赤外線 LED またはフォトディテクタを配置する形となる。この際、今回使用した赤外線 LED とフォトディテクタのサイズの都合から、LED マトリックスディスプレイは 4mm ピッチのものを選択している。これにより、センシング基板上に表面実装された素子の位置の LED マトリックスの素子の光は一部遮断される。だが、人工大理石の光学特性のため拡散して滲んだ表示となることから、部分的に発光していない LED があっても表示機能は保持できる（図 3 参照）。センシング基板の赤外線 LED とフォトディテクタは、以上のような配置を行うことで今回の基板上ではそれぞれ 121 個ずつ実装した。

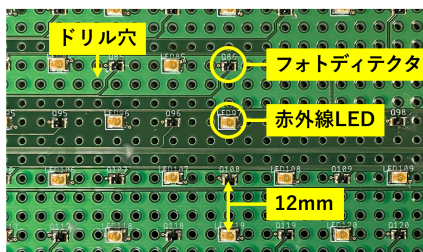


図 5 センシング基板上の各素子の配置

4.2 センシング基板の回路設計と実装

今回、赤外線 LED とフォトディテクタを実装するセンシング基板は、プリント基板として新たに設計した。素子の高密度化を行うため、実装部品は外部接続用のピンヘッダを除き、表面実装部品を使用した。基板は外層に信号配線、内層に電源とグランドのプレーンを配置した 4 層基板とした。使用した赤外線 LED とフォトディテクタはそれぞれ、図 5 のように配置してあるが、それらのセンシング基板内での接続の概要を図 6 に示す。赤外線 LED 制御用の LED ドライバは 16 チャンネル出力シンクドライブのものを 8 つ使用し、これにより赤外線 LED を定電流駆動した。センシングのための 121 個のフォトディテクタについては、16ch アナログマルチプレクサを 8 個用いて、ch を切り替えながら各位置の値を選択的にセンシングする。そして、マルチプレクサで選択したフォトディテクタのアナログ出力を、分解能 16bit、100kHz サンプリグの AD コンバータでデジタル値に変換し、制御用マイコンに伝送する。今回の試作機では、制御用マイコンに Raspberry Pi 2 を使用している。

5. センシングの性能評価

実装したセンシング基板の動作確認を行うため、図 7 のように基板の上に左手を直接かざした状態と、基板の上に

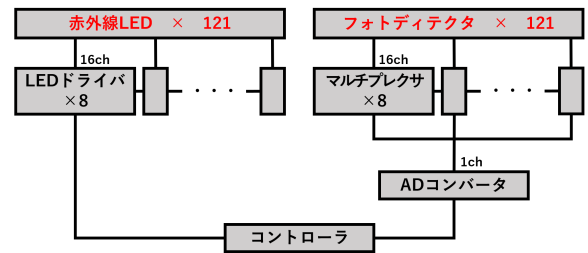


図 6 センシング基板内の接続の概要

人工大理石を置き、その上から左手を置いた状態、それぞれのセンサの値を確認した。それらの状態について、各センサの値を画像として表したものを図 8、9 に示す。

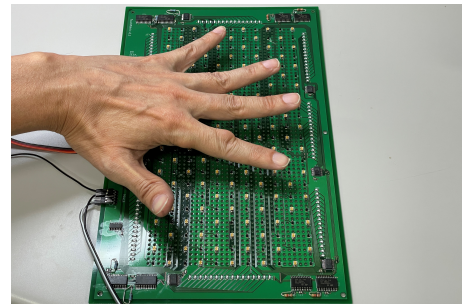


図 7 基板の上に手をかざした様子

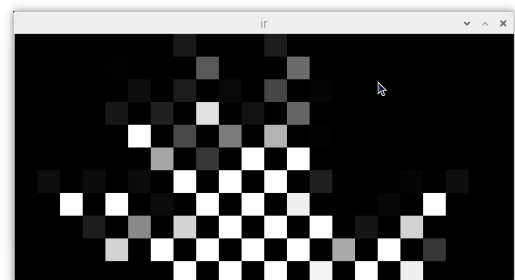


図 8 基板の上に手をかざした際のセンサの値

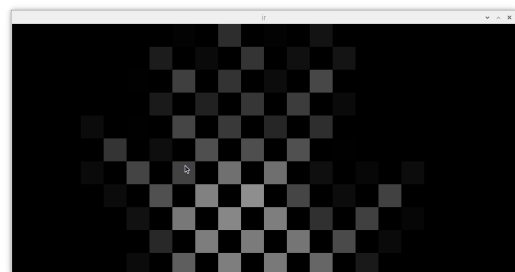


図 9 基板の上に人工大理石を置いて手をかざした際のセンサの値

これらから、手による赤外反射光が強い場所が明るく表示されている。図 9 では、人工大理石を上にした状態では大理石からの反射の影響で、センサの値が全体に大きくなるため、輝度のレンジを調整した画像となっている。図

8, 9 のいずれにおいても手をかざした位置と対応した位置でセンサの出力が大きくなっていることがわかる。また大理石を上にした状態であっても小指と親指が確認でき、正しくセンサの値が取得できていることがわかる。

なお、現状のセンシング基板上のフォトディテクタ全体でのスキャンレートは 4Hz 程度と低い。これは、Raspberry Pi 2 上で Python3 のプログラムで制御しており、赤外線 LED の点灯パターンを LED ドライバへ送出する時間がかかっていることに原因がある。制御プログラムを Python3 から C++ や Rust で書き直すことにより数十 Hz 程度には改善できる見込みである。

ここで、センシング基板の性能を評価するため、フォトディテクタの周囲に配置された赤外線 LED を点滅させ、フォトディテクタの出力の時間変化を計測した。ここではセンシング基板の中心付近にあるフォトディテクタを対象に計測を行った。計測開始から 1 秒後に LED を点灯させ、2 秒後に LED を消灯させる。計測開始時からの時間とセンサの値をプロットしたものを図 10 に示す。

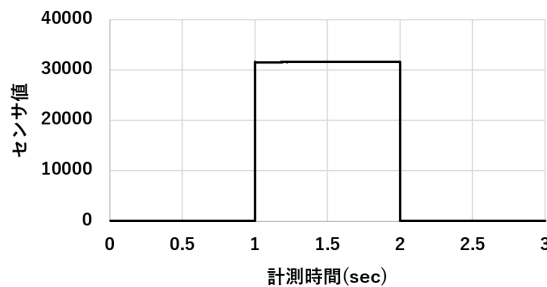


図 10 フォトディテクタに赤外線を入力した時の出力の時間変化

この計測結果から、フォトディテクタの値を AD 変換し、RaspberryPi に入力されるまで 2ms 以下で行えることが確認できた。また、赤外線 LED を消灯させた際についても同様に 2ms 以下で出力が得られることが確認できた。

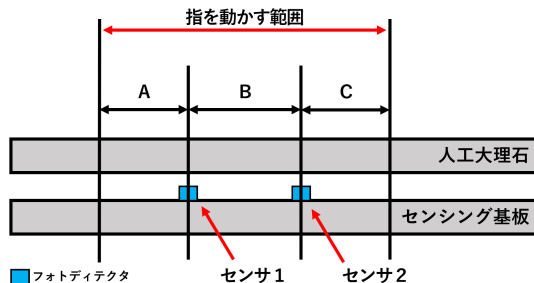


図 11 二つのセンサ出力の時間変化を計測

次に、フォトディテクタの直上ではない箇所において、人工大理石上でのタッチ位置を推定できることを確認するため、図 11 のように二つのセンサの間で指を動かし、双方のセンサ出力の時間変化を計測した。指を動かす速度は

一往復で 2 秒程度である。その結果を図 12 に示す。なお、ここでは使用した二つのセンサの出力信号レベルが異なったため、上限と下限が合うよう各センサで縦軸のレンジを調整している。また、図 11 に示した A・B・C の区間と図 12 の A・B・C の区間は対応している。

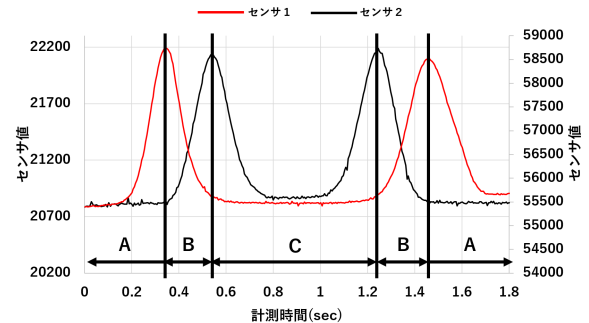


図 12 二つのセンサの間で指を動かした時の出力の時間変化
(左側縦軸はセンサ 1, 右側縦軸はセンサ 2)

この図から、区間 B は 2 つのフォトディテクタの間を示しているが、指が中間位置にあるときそれぞれのフォトディテクタから出力を得られていることが確認できた。これにより、物体がフォトディテクタの直上になくとも複数のフォトディテクタの値からタッチ位置を推定できると考えられる。そして、前述の通り、フォトディテクタの出力信号レベルが異なるため、レベル調整のためのキャリブレーション処理が必要となることもわかった。

6. おわりに

本研究は、人工大理石透過型 LED タッチディスプレイについて、そのハードウェアをより実用的なものへ近づけるため、ディスプレイデバイスの大型化とカラー表示化について取り組んだ。今回の試作では、LED マトリクスディスプレイと赤外線センシングの回路とを一旦切り離し、後者についてはセンシング基板として多層プリント基板化およびチップパーツによる表面実装を行った。センシング基板には LED マトリクスの素子の光が透過させる穴を開け、基板背面に既存製品の LED マトリクスを配置する形とすることでフルカラー化を行った。そして、試作したセンシング基板の評価として、基板上面に人工大理石の板を置き、その表面上の物体やタッチの検出が行えることを確認した。今後は、センシング基板について人工大理石上に置かれた物体の領域検出の精度確認や、2 次元でのタッチ位置推定処理の実装と確認、C++ などによる処理の高速化など、センシング性能や機能に関する更なる評価や改良を行っていく。そして、LED マトリクスディスプレイとセンシング基板とを合わせたシステム全体での動作確認や評価を行う予定である。さらには、LED マトリクスの機能も合わせた多層基板として設計、実装を重ね、より薄型なデ

バイスとして実際のキッチンワークトップなどの背面に設置できる形にしてゆき、実利用を想定した評価も行っていきたい。さらに、並行して進めているアプリケーション開発用ライブラリ [13] への対応も進め、より具体的なアプリケーションの表示・操作や、実践的な適用についても進めていきたい。

参考文献

- [1] Bonanni, L., C.-H. Lee, and T. Selker, Attention-based design of augmented reality interfaces. In CHI'05 extended abstracts, pp. 1228–1231 (2005)
- [2] 杉野 碧, 塚田 浩二, 椎尾 一郎, 家事を楽しむ「歌うキッチン」, 情報処理学会第 69 回全国大会講演論文集, pp. 283–284 (2007)
- [3] Olivier, P., Xu, G., Monk, A. and Hoey, J., Ambient kitchen: designing situated services using a high fidelity prototyping environment, Proc. of the 2nd International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive environments, pp.1-7 (2009)
- [4] 武田嵩太郎, 鈴木優, 島村祐介, 朴春子, 大和田創, 三末和男, 田中二郎, キッチンにおける調理者の状況に適したインタフェース —まな板への情報提示とそのタッチ操作手法の開発—, 情報処理学会第 72 回全国大会講演論文集, pp. 183-184 (2010)
- [5] Suzuki, Y., Morioka, S. and Ueda, H., Cooking support with information projection onto ingredient, In Proc. of the 10th asia pacific conference on Computer human interaction, pp. 193–198, (2012)
- [6] 塚田義典, 細越一希, 距離画像センサと小型プロジェクトを用いたスマートキッチンの実現に関する研究, 日本知能情報ファジィ学会 ファジィシステムシンポジウム 講演論文集 第 34 回ファジィシステムシンポジウム. 日本知能情報ファジィ学会, 2018.
- [7] Tada, T., and Hirai, S., Transmissive LED Touch Display for Engineered Marble., ACM UIST 2020 (Adjunct Volume), pp.145-147 (2020)
- [8] 西川武士, 光学式タッチインタフェース, 映像情報メディア学会誌 Vol. 68, No. 12, pp. 907–914 (2014)
- [9] Matsushita, N. and Rekimoto, J., HoloWall: designing a finger, hand, body, and object sensitive wall. In Proceedings of the 10th annual ACM symposium on User interface software and technology. pp. 209–210 (1997)
- [10] HAN, J. Y., Low-cost multi-touch sensing through frustrated total internal reflection, Proc. of the 18th annual ACM symposium on User interface software and technology, pp. 115-118. (2005)
- [11] Xiao, R., Harrison, C., and Hudson, S. E., WorldKit: Rapid and Easy Creation of Ad-hoc Interactive Applications on Everyday Surfaces, Proc. of the 31st Annual SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp. 879-888 (2013)
- [12] Jones, B., et al., RoomAlive: magical experiences enabled by scalable, adaptive projector-camera units, Proc. of User interface software and technology, pp. 637–644 (2014)
- [13] 中植義斗, 平井重行, 人工大理石透過型 LED タッチディスプレイのソフトウェアライブラリ開発, 情報処理学会インタラクショナル 2022 論文集, インタラクティブ発表 (2022)