アクリル板を利用した入出力インタフェースの提案と実装

理学専攻 情報科学コース　三久保 莉也　(指導教員：椎尾 一郎)

1　はじめに

アクリル板はガラスをしのぐ透明度があり，光を透過させることで美しく魅せることができる．また近年普及しつつあるレーザカッターによる加工が容易である．そこで本研究では，アクリルの特性を活かし，アクリル板と光を組み合わせた入出力一体型インタフェースを 2 種類提案し実装した．第 1 のシステムとして，棚板上の物体を検出／情報提示する棚板型インタラクティブサーフェスを実装した．提案棚板は，LED をマトリクス上に配列した基板とその上部にはめ込むアクリル板を中心に構成されている．物体検出の場合は光センサとして，情報提示の場合は照明として LED を利用する．さらに本デバイスを冷蔵庫の棚板に応用し，長時間置かれ続けた物の場所を LED の点滅で通知するシステムを実装した．第 2 のシステムとして，アクリルを切断したり表面に彫刻加工して作られた作品，アクリル彫刻に着目し，アクリル彫刻と組み合わせて利用することで，インタラクティブな入出力を実現できるシステム，AcrySense を実装した．本稿では，このうち 2 つ目のシステム AcrySense の提案／実装について述べ，さらにプロトタイプを用いて行った評価について述べる．

2　AcrySense

近年，個人が自由にものづくりをする，パーソナル・ファブリケーションが注目されており，3D プリンタやレーザー加工機などの工作機械を備え，一般市民に利用機会を提供する実験工房 FabLab[1]が各地に設立されている．特に，レーザー加工機は，コンピュータデータからアクリル／木材などを切断／彫刻加工することができ，その手軽さから FabLab 等でも幅広く活用されている．本稿では，レーザーカッターを用いて手軽に製作できるアクリル彫刻に着目する．アクリル彫刻は単体でも美観に優れるが，液晶バックライトで使われる導光板のように側面から光を照射することで，彫刻から光が漏れ出し，魅力的な表現ができる．我々は，照明の隣に簡易なセンサを配置した基板を取り付けるだけで自作のアクリル彫刻を入出力装置にできるシステムとして AcrySense を提案する（図 1）．

2.1　入力

我々は，彫刻部からの光の漏れに着目し，彫刻部を指で触れることでアクリル板内の光量が変化することを確認した．この光量変化の原因として以下が考えられる．すなわち，図 2 左上のように，アクリル彫刻の側面から LED を照射すると，彫刻部の断面から光が漏れ出し，彫刻部で乱反射して，明るく見える．ここで，図 2 左下のように彫刻部を指などで押さえると，彫刻部から漏れた光が指によって反射し，入射した方向に戻る光路ができ、光量が変化する．

この現象を利用して，光源への戻り光量変化を元に指が接触した彫刻部を推定する機構を考案した．これに

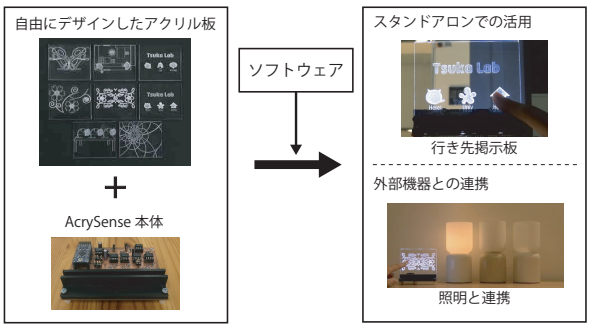

図 1: AcrySense のコンセプト．自由にデザインしたアクリル彫刻をソフトウェアに応じて様々な用途に活用する

より AcrySense を入力装置とすることができる．シンプルかつ安価な構成とするため，アクリル板下に LED とフォトダイオード（以下，PD）を設置し，PD を利用して戻り光量のセンシングを行った．

戻り光量変化は彫刻の深さにも依存する．すなわち，図 2 右に示すように，彫刻が浅い場合，深い場合と比べ入射方向に帰還する光量が大幅に減少する．この特性を利用し，彫刻の深さを調整することで，彫刻の一部分のみを入力部とすることができる．以上のようにして、通常のアクリル彫刻に入力機能を追加することで，インタラクティブなアクリル彫刻を実現できる．

2.2　出力

アクリル彫刻をユーザが触ることに対して，2 種類のフィードバックを返す仕組みを実装した．その 1 つは，アクリル彫刻照明用 LED の点滅や色を変化させる基本的なフィードバックである．2 つ目は，AcrySense に接続した PC を介して，照明，音楽プレイヤー，エアコンなどの外部機器をコントロールする方式である．後者では，PC に接続した X10[2]／ Hue[3]／ iRemocon[4]等を利用することで，様々な家電製品のコントロールを実現する．

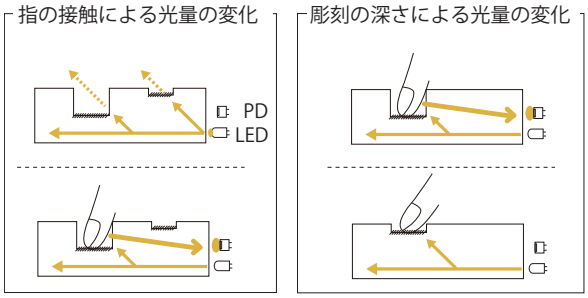

図 2: PD に入射する光量の変化（アクリル板断面図）

[1]http://fablabjapan.org/

[2]電灯線通信で照明器具や家電機器の電源（on/off や電圧）を制御するための規格

[3]http://www.meethue.com/ja-US thue.com/ja-US

[4]http://i-remocon.com/

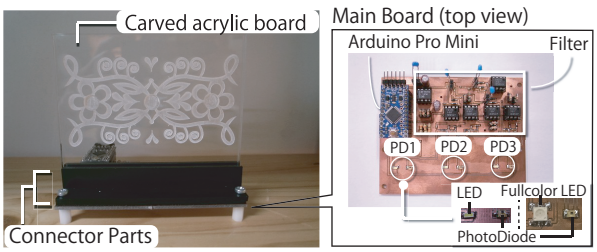

図 3: プロトタイプの外観と構成

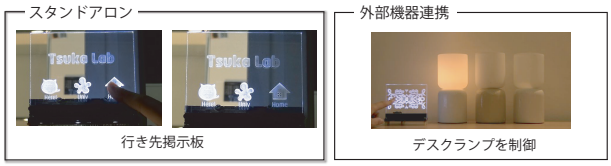

図 4: 応用例．触れた個所が点滅する行き先掲示板（左）や，X10 を介して外部の照明を制御（右）

3　実装

実際に実装した AcrySense を図 3 に示す．

メイン基板は 80mm × 100mm で，アクリル板の下部に設置する．基板には LED と PD をペアで 3 セット配置している．LED と PD の制御はマイクロプロセッサである Arduino ProMini で行う．PD は光源へ回帰する光量をセンシングするため，LED の隣に設置する．また，LED の光量を検出する際に，周囲の蛍光灯によるノイズを軽減するために，検出部に汎用オペアンプ等を用いて，バンドパスフィルタと増幅／整流／平滑回路を組み込んだ．アクリル彫刻には，大きさ 85mm × 100mm，厚さ 5mm の透明アクリル板を利用した． アクリル板の彫刻部分は，入力部は深さ 2.5mm 程度，模様部分は 0.3mm 程度に彫刻している．基板とアクリル板はコネクタパーツで固定している．これは，ネジで基板と固定されている 2 つの L 字型板で，これを両側から締め付けることでアクリル板を垂直に固定している．

4　応用例

本章では，AcrySense の応用例について述べる．我々は，応用システムとして，AcrySense 単体（スタンドアロン）で動作するものと，外部機器と連動して動作するものを構築した．スタンドアロンシステムとして，研究室の前などに設置する行き先掲示板を実装した（図 4 左）．ここでは，在室／学内／帰宅の 3 つのアイコンをアクリルに彫刻した．ユーザがアイコンに触れると，その下部の LED が点滅をはじめ，在室状態を表現する．外部機器連動の応用としては，入力部をスイッチに見立て，デスクランプを制御するシステムを実装した（図 4 右）．いずれも基板部分は共通であり，アクリル彫刻のデザインとソフトウェアを変更することで，手軽に幅広く応用することができる．

5　評価

5.1　目的

入力部のデザインに関する制約を把握するために，入力部の配置の自由度と検出精度について，プロトタイプを用いて調査した．本稿では，水平方向と垂直方向における入力部の「数」に応じた検出精度の変化について報告する．

5.2　手法

実験では，人差し指で入力部を順番に 1 つずつ触れる動作を 10 回繰り返した上で，入力部接触時と非接触時の各 PD の出力値[5]の差分（変化量）を調査した．実験で利用したアクリル板を図 5 に示す．水平方向の入力部数の実験にアクリル板 a を，垂直方向の入力部数の実験にアクリル板 b を利用した．アクリル板 a では，入力部 a-1, 3, 5 は各 PD の真上，a-2, 4 はその中間に配置し，検出部から入力部までの距離は全て 50mm である．アクリル板 b では，全ての入力部を各 PD の真上に，入力部 b-1, 2, 3 は検出部から入力部までの距離 50mm，b-4, 5, 6 は距離 75mm の位置に配置した．

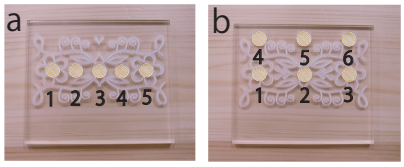

図 5: 実験で利用したアクリル板

5.3　結果と考察

水平方向の入力部数についての実験結果を図 6 に示す[6]．グラフには，各入力部ごとに，主に反応を返す PD の結果を表示している．つまり，入力部 a-1, 3, 5 は真下に位置する PD のみ，入力部 a-2, 4 はそれぞれ隣接している PD の変化量を表示している．結果より，各入力部において特定の PD が一定の変化量を示しているため，PD3 つに対して水平方向に 5 つの入力部までは検出可能であると考える．垂直方向の実験では，下段の b-1, 2, 3 の変化量については，図 6 の a-1, 3, 5 接触時とさほど変わらない結果を得たが，上段の d-4, 5, 6 については，1 以下の変化量しかなく，全く検出ができなかった．しかし，事前の実験より，入力部 b-4, 5, 6 のみのアクリル板では各入力部の接触を検出できたため，検出できない原因は検出部から入力部までの距離ではなく，同一 PD 上に複数の入力部が配置されていることだと考えられる．よって，今後は上段と下段の入力部の深さを変えるといった工夫をし，さらに検証を行っていきたい．

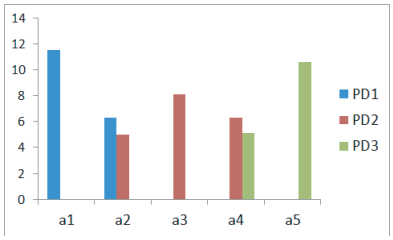

図 6: 水平方向に入力部を増やした場合の，入力操作時の PD 出力値の変化量の平均

[5]この値は，10bit の A/D 変換を通して 0-1023 にデジタル化した値である

[6]各 PD の番号付けは，図 3 を参照