

〈一般研究課題〉 静電センサと成膜加工を利用したオブジェクティブ・
ディスプレイ・インターフェイスの開発とインタラク
ティブ映像コンテンツの制作研究

助成研究者 愛知県立芸術大学 関口 敦仁



静電センサと成膜加工を利用したオブジェクティブ・ ディスプレイ・インターフェイスの開発とインタラク ティブ映像コンテンツの制作研究

関口 敦仁
(愛知県立芸術大学)

Development of objective display interface using electrostatic sensor and deposition process and Interactive video content Production research.

Atsuhito Sekiguchi
(Aichi University of Arts)

Abstract :

In the media art field, we have given surprises to viewers by creating a work together with the development of new devices through the mobileization of computer environment and generalization of sensing technology. Also, in the exhibition of media art works, there are situations in which artistic properties are hindered by visualizing technological materials such as cables and boards together with works. Therefore, in this research, we tried to develop an interface using the optical lens effect with hints on objective display technology which is one of the VR technologies.

Provide viewers with images recognizable by refraction effects inside transparent object objects. Using the electrostatic sensor type interface technology as a trigger for the image formation, it is possible to produce contents on which images on the screen and objective display interfaces occur interactively. When realizing it on the tablet screen, by placing this transparent interface object on the display screen, the image is displayed in the object. In this way, by actively utilizing the optical process and transparently forming the conductive circuit process, it becomes possible to make the function invisible and to bring out the reaction of the natural viewer. Optical imaging projected in a

transparent object is a content creation research trying to simulate it using the 3DCG production method and so on, reflect it in video content development, and perform clearer and interactive image display.

1. はじめに

メディアアート分野は近年のコンピュータ環境のモバイル化やセンシング技術の一般化によって、新しいデバイス開発とともに作品を作り上げることで、鑑賞者に驚きを与えてきた。一方でケーブルや基板など技術的素材が作品とともに視覚化してしまうことで芸術性を阻害してしまう状況もある。そこで本研究ではVR技術の一つであるオブジェクトィブ・ディスプレイ技術にヒントを得て、光学的なレンズ効果を利用したインターフェイスを開発しようとした。

透明素材のオブジェクト内部の屈折効果によって認識可能な画像を鑑賞者に提供しようとしている。立像のきっかけを静電センサタイプのインターフェイス技術を利用して、画面上の映像とオブジェクトィブ・ディスプレイ・インターフェイスがインタラクティブに発生するコンテンツの制作が可能となる。タブレット画面上で実現する場合は、ディスプレイ画面にこの透明インターフェイス・オブジェを乗せるだけで、オブジェ内に映像が映し出される。このように光学的プロセスを積極的に活用し、導電回路処理を透明成膜化することで、機能を不可視化し、自然な鑑賞者の反応を引き出すことが可能となる。透明オブジェ内に映し出される光学的結像は3DCGの制作手法などを利用してシミュレーションし、映像コンテンツ開発に反映させ、より鮮明でインタラクティブな画像表示を行おうとするコンテンツ制作研究である。

2. オブジェクトィブ・ディスプレイ・インターフェイスの開発

2.1 レンズの機能

オブジェクトィブ・ディスプレイ・インターフェイスとは、アクリルや光学ガラスなど高透明素材をインタラクティブなディスプレー・オブジェとして機能させようするインターフェイスとして命名したものである。透明な立体物はその素材の屈折率によって、背景が歪んで見えることはよく知られている。レンズはこれを利用した技術であるが、カメラのレンズ、メガネのレンズは歪みのない精緻な技術で製作され、一般的に利用されている。レンズでは数学者のガウスの結像原理によって、近軸光線によるレンズの結像が明らかにされている。物体点の位置からレンズの中心までの距離と結像点までの距離、レンズ焦点の距離などによって、物体と像の大きさの関係などが計算可能である。数式としては

$$1/a + 1/b = 1/f \dots (\text{Lens - 1})$$

a : 物体点の位置からレンズ中心までの距離

b : レンズ中心から結像点までの距離

f : レンズ焦点距離

$$M = b/a = l/L \dots (\text{Lens - 2})$$

M : 撮影倍率

l : 像の大きさ

L : 物体の大きさ

この式から

- 1) レンズに平行に入った光は、レンズの焦点距離に向かって屈折する。
- 2) レンズの前焦点距離を通過してきた光は、レンズから平行に進む。
- 3) レンズの中心に入る光はそのまま真っ直ぐに進む。

ということが知られている。

レンズを通して物体の像が結像するためには、レンズ焦点が発生する必要がある。レンズの球面は固定なので、結像するには、一定の距離で見る必要がある。本研究で制作するインターフェイス・オブジェは底面が画面に接しており、鑑賞者が見て結像する位置を想定して、映像が作られる必要がある。

オブジェティブ・ディスプレイ・インターフェイスは、手で操作しながら鑑賞するインターフェイスなので、必ず一定の距離で見ることはせず、タッチディスプレイ上でインタラクションを与える場合には、インターフェイス・オブジェを指で掴んで置いたり、移動したり、目と指先との距離範囲を想定することとなる。意図的に近づいて見ることを求めるコンテンツ映像である場合は、目とインターフェイスとの距離は、100mmから300mm程度であるが、一般的な身長の人が、腕を伸ばした指先と目との距離は400mm-650mmの範囲が想定され、その距離を結像に必要な数値として、コンテンツ映像は作られることとなる。逆手にとって考えれば、この想定距離の違いから、コンテンツの内容を使い分けるきっかけとして利用することも可能であろう。

2.1 インターフェイス・オブジェの作成

アクリル樹脂によるインターフェイス・オブジェの作成を行った。インターフェイスに使用するオブジェクト材料については、レンズ加工に適したものとして、キャスト成形されたアクリル樹脂を利用した。当初は精密レンズに使われているシリコンガラスなども加工候補として挙げていたが、大変高価であることとそれに適した加工機械が必要なこと、カメラのレンズのような精度を要求していない点などにより、アクリル樹脂を利用した。とはいえ厚みを持ったアクリル樹脂も決して安価ではない。

インターフェイス・オブジェの制作には直径40mmから80mmの円柱材や50mm厚のブロック材(図1、図2)から、削り出して加工を行った。レンズ面を作るのと同様に滑らかな面を作り出すためには長時間を用いた。100番から、180番、240番、320番、400番、600番と研磨加工を進め、バフがけをして、1000番相当の仕上げを行った。アクリル樹脂は熱変形開始温度が80℃度ほどであるが、180番程度でも高速研磨を行うと研磨面が溶けてしまうため、



図1. 円柱形アクリル材料

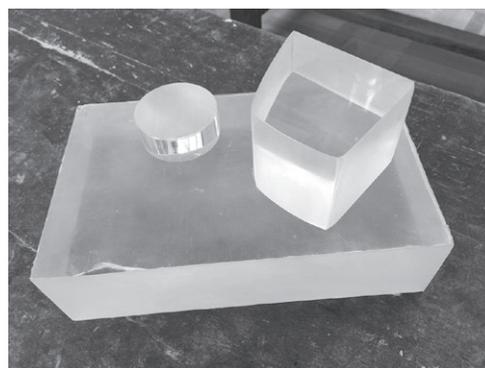


図2. アクリルブロック材料

温度が上がらないように研磨を繰り返していき必要があった。形状は想定した形状を3DCG等でシミュレーションを行い大まかな形を決定し、進めていったが、実際に手に持って背景の歪みを確認し、モニター上のサンプル画像に並べて利用する



図3.研磨加工



図4.バフ掛け加工

と、求めていた形の変更をせざるを得ない状況も多々経験することとなった。小さいものでも一個あたりの研磨では、仕上げまでに丸2日以上時間が掛かり、研磨作業に多くの時間が割かれることとなった。



図5.各種アクリルオブジェ



図6.アクリルオブジェ/静電容量用

削り出したアクリルオブジェは上面を

半球面形状のバリエーションを作り、底面形状は円形と四角形などに仕上げ、様々な形状を用意した。(図5、図6)

2.2 インターフェイス・オブジェの成膜加工

インターフェイス・オブジェの成膜加工にあたり、成膜の形状設計については、かなりの試行錯誤が余儀なくされた。インターフェイス・オブジェの成膜加工にはLCDなどにも使われており、(1)可視光透過性が高く、(2)導電膜の存在がわかりにくく、(3)伝導性が高い、という特徴を持つ透明導電膜にITO(酸化スズ添加酸化インジウム)を使用する。この加工処理は株式会社ジオテックにお願いした。通常はガラス平面などに一定方向からスパッタリングを行う成膜加工であるが、今回のインターフェイス・オブジェは球面を持ち異なる面方向を持つため、一つのインターフェイス・オブジェに対して、方向の異なる数回のスパッタリングが必要になってくる。そして、通常は強化ガラス等に行うため、スパッタリングによる熱の問題には大きく影響しないが、ガラスより耐熱温度が低く熱可塑性樹脂でもあるアクリル樹脂では温度の設定が難しい。当初は加工のしやすいPET樹脂も想定していたが、熱変形開始温度が50℃前後と低く、同じく80℃前後のアクリル樹脂にした。

加工プロセスは、(1)インターフェイス・オブジェ上部にテープでマスキング、(2)底部にITO成膜部を残しマスキング、(3)側面、底部をそれぞれ成膜。透明に仕上がっている。

底面は設置面を確保するためITO成膜を厚めに行った。(図7、図8、図9)

成膜加工過程において、アクリル樹脂は含水率が低くないため、ITO成膜の定着性はそれほど

良くなく、失敗例も多く出てしまった。



図7.上部をマスキング



図8.底部をマスキング



図9.成膜後、反射差有り

2.3 マルチタッチへの対応とオブジェクトの特定

本研究ではタブレットPCやタッチパネル付きディスプレイでの利用を前提として、タッチスクリーンによる、タッチセンシングを利用するよう研究を進めた。そこでタッチセンシングの特性や各種OS(Windows、MacOSX、Android OS、iOSなど)でのタッチの対応について調査した。PC画面へのタッチセンシングで対象となる前提条件は、指での使用である。シングルタッチのみであれば、どこを触ってもある1点の座標を示せばよいわけである。しかしながら、本研究では、タッチによってインターフェイス・オブジェの特定を行う必要がある、マルチタッチに対応したOSであり、かつマルチタッチの特性から、オブジェクトを特定する方法を見つける必要がある。マルチタッチに対応しているOSは、Windows 7以降、AndroidOS2.0以降、iOS2.0以降などで、MacOSXでは画面タッチには対応しておらず、パッドによるマルチタッチジェスチャーにのみ対応している。



図10.画面タッチ前



図11.画面タッチ確認



図12.マルチタッチ例1

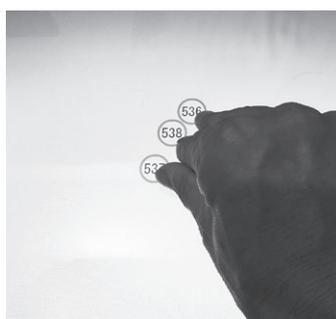


図13.マルチタッチ例2

繰り返すが、タッチセンシングは指によるタッチが前提である。タッチした状況について確認するためタッチ状況を示すアプリを制作し確認を行った。指を一定の距離で画面に接していれば、それぞれの指として認識することが確認できた。指がタッチした面として認識する範囲として約15mm幅の正方形を最大センシング領域として判断がなされ、そのサイズ以上の場合は2ポイント以上のタッチポイントとして動作をしてしまう。そのためインターフェイスに利用する画面への導電設置領域は10mm幅以下の正方形領域としてテストを行った。テスト用にアクリル

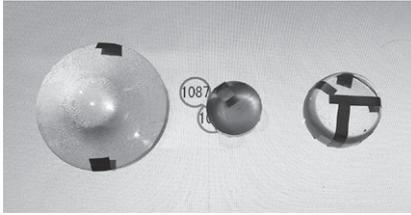


図14, 導電テスト用オブジェ1

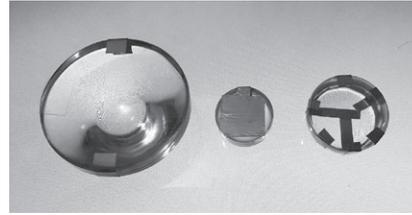


図15, 導電テスト用オブジェ2

オブジェ底面には幅の異なる銅テープを張り分けながら、適切な導電領域判定を行った。(図14、図15)

オブジェクト形状の違いをプログラマ的に対応させるため、オブジェ底面の導電領域の数の違いで形状を判定し、そのポイント座標位置からイメージを表示する領域を特定するように設定した。オブジェクト底面形状が直線形状では2点。円柱などの円形は3点、立方体などの方形では4点、それ以上の多角形も4点とした。一般的なタッチパネルは外付けモニターのタイプも最大が10ポイントまでしか認識しないため、判別する点が多くなりすぎると、利用できるインターフェイス・オブジェの数が制限されてしまう。そのために例えば、円柱インターフェイス2個、立方体インターフェイス1個を画面上に置くと、3点x2個+4点x1個=10ポイントという条件が、判定可能なインターフェイス・オブジェの最大数となる。

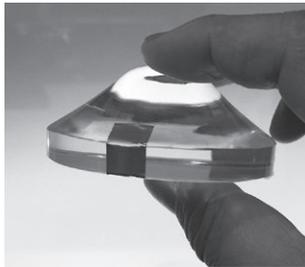


図16, 導電テープ位置1



図17, 導電テープ位置2

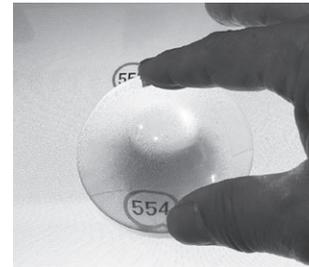


図18, 導電テープによる判定

同じ形状の個体判定はサイズの違いや導電ポイントの配置位置に変化をつけることで、同じサイズの円形であっても、呼び出すコンテンツ画像を差別化することが可能となる。(図18,19,20)

タッチセンシングの使用領域は特に使用上で明記がされているわけではなく、指で利用した場合での正確な判定がUIの前提条件であるため、領域幅を特定するための微妙な特性の判断は難しかった。また、ディスプレイやタブレットなどもメーカー、そして機種の種類画面解像度などによっても判定の分解能や領域幅が微妙に異なるようであった。



図19, ITO成膜状況1



図20, ITO成膜状況2

3. コンテンツの作成

3.1 インタラクションの発生



図21, 形の変化1-1



図22, 形の変化1-2

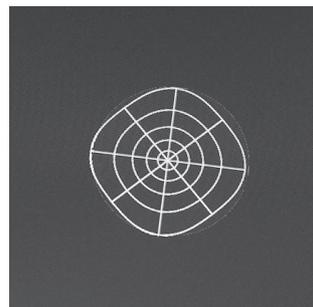


図23, 形の変化1の元画像

コンテンツ作成の開発環境には、今後のコンテンツ開発の発展や様々なプラットフォーム用のアプリ開発可能な点、また、マルチタッチにも対応し、ゲームアプリとしても近年利用が盛んなUnityを使用した。Unityのバージョンは最新の5.6.1で開発はC#を使用した。マイクロソフトサーフェスプロと拡張タッチモニターで動作検証を行った。

インタラクションはインターフェイス・オブジェを何も表示されていない画面の上に置くと、オブジェを持った指の静電がタッチ画面に伝わり、図19、図20のように底面に3箇所の成膜があるものであれば、三箇所のポイントにおいてタッチを判定し、その三点を通る円のサイズに対応した画像やムービーが呼び出されるというインタラクションを発生させる。例えば、図23の画像が表示されていると、上に乗せたオブジェのレンズ効果により、図22のように視認され、それを持ってもう一度画面に置くと次の画像が表示され、図21のような画像に変化していくというような仕組みである。

また、オブジェに触れている間は通電され続けているので、その場合に同じ動きがループ表示される。(図24,25,26) レンズ効果による、画像の変形状態はこのような単純なグリッド形状を変化させながら、コンテンツ画像の動きや変形の状況を把握して制作を進めた。



図24, 形の変化2本画像



図25, 形の変化2-1



図26, 形の変化2-2

3.2 アニメーションコンテンツ

アニメーションコンテンツの開発は静止画像ファイルの呼び出しと同じ仕組みで行う。呼び出すデータがCGアニメーションムービーであるか、実車画像であるかは、制作しようとするコンテンツによって異なるが、プログラミングの方法は同じ手法となる。ここでは動く人のCGアニメーションムービーを制作し、それを呼び出す形で表示するようなコンテンツである。インタラクションは2つのパターンを制作した。一つはオブジェを画面の上に置くとアニメーションが始まり、オ

プロジェクトの中を人が歩き回り、数も増えていき、また一人になって消えていって終わるというものである。もう一度持ち上げて置き直せば同じアニメーションが始まるというインタラクションである。もう一つは、オブジェを置くとアニメーションが始まるが、指を離すと途中でアニメーションが止まる。そしてまた触ると動き始める。アニメーション画像はオブジェクトに追従するので、インターフェイス・オブジェを移動すると、アニメーションがプレイしたまま、一緒に移動していく。(図27,28,29,30,31,32)



図27, アニメーション1



図28, アニメーション2

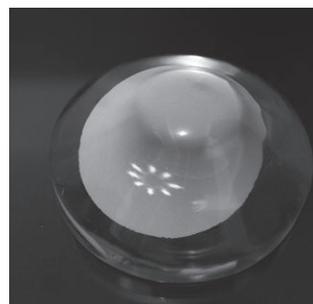


図29, アニメーション3



図30, アニメーション4



図31, アニメーション5



図32, アニメーション6

3.3 オブジェクティブ・ディスプレイ・インターフェイスの静電容量近接センサへの応用

静電容量式近接センサは、指が触れずに、人の手との距離変化させることで動作させることができるセンサである。通常は板状の平面などに回路をプリントするのが一般的であるが、ここでは透明なアクリルオブジェにITO成膜し、それを近接センサとして機能させた。透明であるため、それに動画像などをプロジェクションすることで、動画の操作を直接コントロールすることができるコンテンツを制作することが可能である。しかし、微量な静電量でも拾ってしまうため、インターフェイス・オブジェのようにディスプレイに直接置くことはできないという制限がある。

静電容量近接センサシステムはアルディーノなどの汎用のプロトタイピングツールによって、構成し、PC内で映像がコントロールをできるようにした。PCのUSBポートからアルディーノを介して5V給電し、0-3.0Vの8Bitの分解能でセンシングできるようにセンサコントローラーを制作した。水の流れを加工したムービーを制作し呼び出す形とし、センサに対する手のとの距離の変化の動きに合わせて、水が湧き出して流れ出す動きを制御する映像コンテンツとして示した。(図35、36)

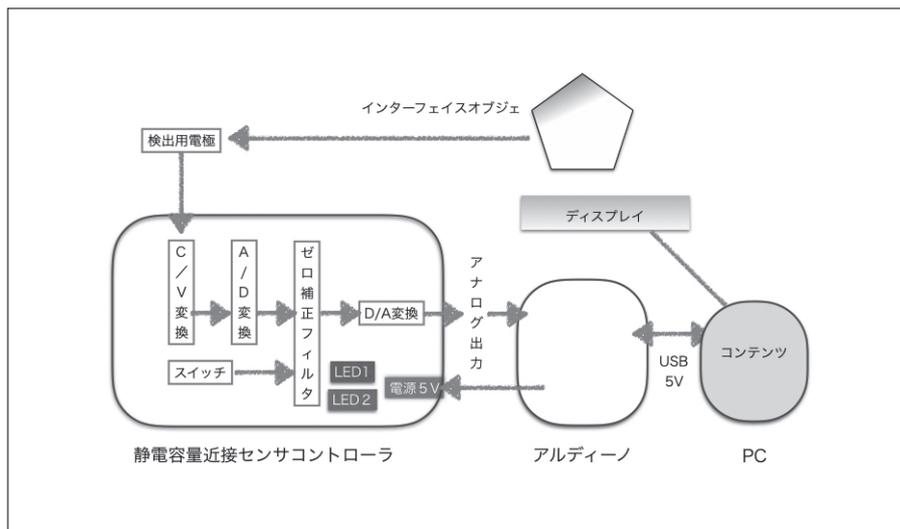


図33, 静電容量近接センサシステム図

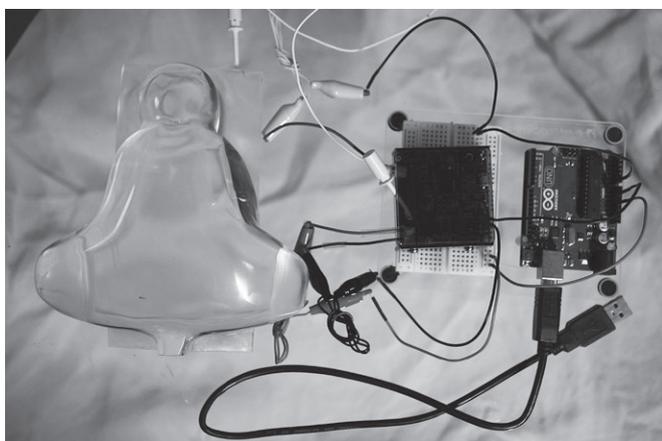


図34, インターフェイス・オブジェと静電容量近接センサシステム



図35, 距離の変化による映像変化1



図36, 距離の変化による映像変化2

4. まとめ

今回はインターフェイス・オブジェクトの材料にアクリル材加工し、コンテンツに対応させた。しかし、アクリル樹脂は含水率が0.3~1.0とあるため、ITO成膜の定着性の歩留まりが、あまり良くなかったとの報告があった。理想的には含水率が0.1の素材が望ましい。他には眼鏡用プラスチックとして古くから一般的に活用されているCR-39(アリルジグリコールカーボネート、ADC)の利用も念頭に置いたほうがいいだろう。CR-39は含水率0.1に近く、高硬度のため傷がつきにくく、ITO成膜の定着性も高い。すでにサングラスでの成膜の実績があるので、期待できるも

のである。また、よりガラスに近い高屈折率のMR-6というプラスチックも開発されており、今後はこれらの素材も活用候補として考えたい。

研究全体としては、当初考えていたオブジェティブ・ディスプレイ・インターフェイスのシステムが成立することが実証できた。コンテンツはまだ制作すべきバリエーションを多く残しているが今回の成果をもとに引き続き発展させていきたいと考えている。今回の報告では、すべてのインターフェイス・オブジェの成果を示していないが、様々な年齢層にも試してそれらの成果にも反映させていく予定である。透明なフィルムシートや発行フィルムシートなども使用した実験等もおこなって、インタラクションのバリエーションの可能性についても検討が行えた。また、インターフェイス・オブジェクトの加工も視差を利用したレンズ加工を行えば、工学的なVR表示の可能性も残っており、まだやるべきことは多いとも考えている。

参考文献

透明導電膜の技術(改定2版)

日本学術振興会透明酸化物・電子材料第166委員会編 オーム社 2006