

# 多波長の赤外光を用いたインタラクティブ・サーフェスのための 情報貼付方式に関する研究

## Information Attaching Method for Interactive Surface with Multiple IR Lights

濱村 康司<sup>†</sup>Yasushi Hamamura<sup>†</sup>田中 琢磨<sup>†</sup>Takuma Tanaka<sup>†</sup>松下 光範<sup>††</sup>Mitsunori Matsushita<sup>††</sup>

### 1 序論

インタラクティブ・サーフェスは、実世界に存在する机や壁といった“面”(surface)を用いて、ユーザに対して映像を提示したり、面そのものに触れたりすることで入力を行ったりできるようにしたインタフェースである。協調作業の支援やエンタテインメントなどの様々な目的でインタラクティブ・サーフェスの利用が進んでいる。特に近年では、タブレットやスレートPCといった携帯型のインタラクティブ・サーフェスの普及が進み、その有用性や利便性が高く認知されるようになってきている。

我々の身の回りにある“面”は、古くから情報掲示媒体として活用されている。デジタル技術が進歩した現在もなお、壁面にポスター等の紙媒体を貼付することで情報の周知や共有などが行われている。ただし、壁面に紙媒体を貼付する場合、無造作に貼付された紙媒体で壁面が雑然としてしまい、貼付されている情報の鮮度や可読性が低下してしまうといった問題が生じるため、一概に効率的な情報伝達媒体とは言い難い。

本研究では、これらの問題の解消を目指して、掲示板のような情報共有型サーフェスを計算機で拡張する。提案するサーフェスは、従来の紙媒体の情報と電子情報とを混在させられる点に特徴がある。ユーザは実物体であるマグネットをサーフェスに貼り付けることで電子情報を掲示することができ、取り外すことで情報を取り除くことができる。また、ユーザの操作に応じて、掲示されている情報の数を制限することもできる。本稿ではこれらの機能を持ったサーフェスを実現するために行ったシステム構成素材の選定実験と、その結果に基づいたプロトタイプシステムの試作について述べる。

### 2 関連研究

現在まで、様々なサーフェスを活用したインタラクティブシステムの提案がされている。本章では、イン

タラクティブ・サーフェスを用いた情報提示の具体例についてまとめる。

インタラクティブ・サーフェスは情報が提示される面を出力面としてだけでなく、入力面としても利用することでシームレスな操作の実現に寄与している。本節ではスマートフォンやタブレット端末といった携帯型のサーフェスではなく、比較的大きな提示面を活用するサーフェスについて触れる。

Lumisight Table [1] は、天地問題を解決するための多人数対応の方向依存ディスプレイシステムである。天地問題とは通常の水平ディスプレイの場合、ディスプレイに正対するユーザにしか適切な提示状態が提供されない。例えば文字などの向きを持った提示情報の場合、ディスプレイに正対するユーザに対して相対するユーザの可読性が低下するといった問題がある。Lumisight Table はユーザが見る方向それぞれに正対する映像を提示することで、天地問題を解決している。また、このシステムではテーブル上に議論の手がかりとなる模型などの実物体を配置することで、違う立場の参加者間の共同作業を支援するものになっている。

i-wall [2] は、実世界における「壁」を拡張したインタラクティブ・ディスプレイである。i-wall ではユーザが壁面に近づいた時に、そのユーザのために情報を提示するウインドウが開く。壁面に相対するユーザは靴底に付けられた RFID タグによってその位置を特定され、ユーザが携帯電話を操作することでシステムが存在する空間で起こった記録を閲覧することや、ユーザに対して開かれたウインドウの位置やサイズをコントロールすることができる。

### 3 提案手法

#### 3.1 提案システムのコンセプト

本研究では、壁面型インタラクティブ・サーフェスに実物体を用いて情報を掲示するアプローチを提案する。我々は Pro-Cam システムの形態を取るインタラクティブ・サーフェスでの実物体を用いた情報提示について、議論やシステムの提案を行ってきた [3]。本研究もまたこれらの研究の流れを組み、実物体を用いて

<sup>†</sup> 関西大学大学院総合情報学研究科  
Graduate School of Informatics, Kansai University

<sup>††</sup> 関西大学総合情報学部  
Faculty of Informatics, Kansai University

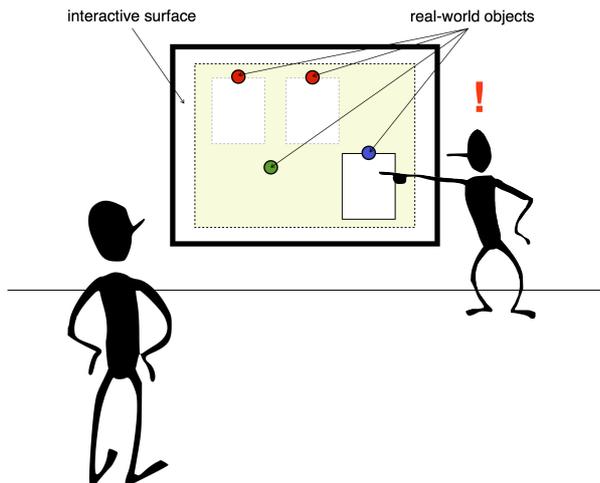


図 1: 提案システムのコンセプト

Pro-Cam システムの形態を取るインタラクティブ・サーフェスを拡張するアプローチを取る。

提案システムのコンセプトを図 1 に示す。提案システムでは、壁面に固定可能な実物体 (以下、固定具と記す) を用いて情報を提示する。本研究では、壁面型のインタラクティブ・サーフェスに固定具を取り付けると情報が掲示され、取り外すと情報が除去されるといったような実世界の行為と現象を紐付けた情報提示方式を与える。これによって情報掲示に対する操作に一貫性を与え、サーフェスとユーザが自然にインタラクションできる環境の構築を目指す。

### 3.2 提案システムの設計

提案システムの構成を図 2 に示す。提案システムは、共用空間に配置するような壁面型インタラクティブ・サーフェスである。ユーザとサーフェスとのインタラクションに固定具を用いることで、固定具がもつアフォーダンスを利用することを試みる。提案システムではリアプロジェクション形式を取ることで、オクルージョンの発生を回避する。情報を掲示する固定具には、マグネットを用いる。マグネットは、IR フィルタを付与することで複数の種類を用意することができるようになる。スクリーン素材には磁性ステンレス金網を用いる。磁性ステンレス金網を用いることで、リアプロジェクション形式による映像情報の提示と、サーフェスに貼り付けられたマグネットの赤外反射光の検出の両方を担保する。また、サーフェスに照射する赤外光の切り替えには、機構を簡便化するためにプッシュスイッチを用いる。

ユーザはサーフェス面にマグネットを貼り付けることで、あらかじめ登録しておいた情報をサーフェス上に掲示することができる。ユーザがマグネットを外すことにより、掲示されていた情報はサーフェス上から除去される。ユーザはプッシュスイッチを押すことで、

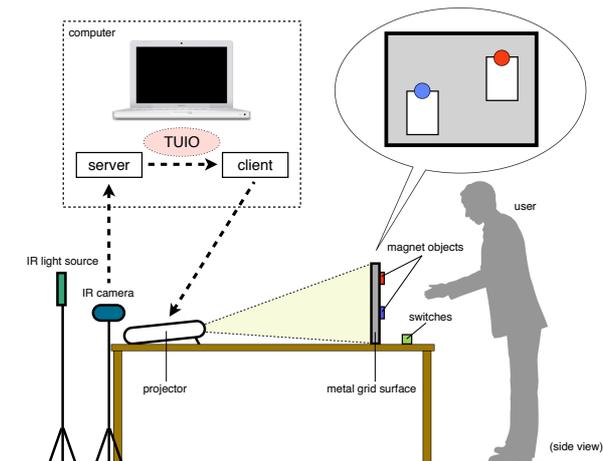


図 2: 提案システムの構成

固定具を取り外すことなく、提示映像を一時的に不可視にすることができる。このことでユーザは、必要とする情報に選択的にアクセスすることができる。

### 3.3 実験で選定するシステム構成素材

前節で述べた提案システムを実装するためには、それらを構成する素材の選定を行う必要がある。次章の実験で特性を確かめる素材について以下に示す。

#### 1. 照射する赤外光と IR フィルタ

本提案システムの貼付情報の制御は、サーフェスに照射する赤外光を変化させることで行う。サーフェスに照射する赤外光と固定具であるマグネットに付与する IR フィルタとの赤外光の透過関係を検証し、プロトタイプシステムで使用する赤外線 LED と IR フィルタそれぞれの種類を決定する必要がある。

#### 2. 映像を提示するスクリーン面

本提案で映像を提示するスクリーン面には磁性ステンレス金網を用いる。磁性ステンレス金網に投影した映像情報がどのように見えるかを検証する必要がある。また、サーフェスに情報掲示を行うにはマグネットを用いる。したがって、サーフェスにマグネットを固定できるかについても検証する必要がある。

これら各種素材の選定実験を行い、プロトタイプシステムで実装するハードウェアの構成を決定する。

## 4 システム構成素材の選定実験

### 4.1 赤外光源の選定に関する実験

先行研究では、AR マーカを用いてそのパターン部分を複数種類の IR フィルタで構成し異なる波長を持った赤外光を照射することでマーカパターンを変化させ、マーカを貼付したオブジェクトが持つ情報を変化させていた [4]。

本提案においても、この技法を応用することで特定の赤外光線のみに対応するマグネットオブジェクトを作成することができる。そのためには、サーフェスに照射する赤外光を決定した上で、各赤外光照射時の IR フィルタの赤外透過具合を検証する必要がある。

赤外線 LED と IR フィルタ共に複数の種類が存在するため、それらを組み合わせて IR フィルタに対する赤外光の透過検証を行った。本実験では波長の異なる赤外線 LED 6 種類 (700 nm、770 nm、810 nm、850 nm、870 nm、940 nm) と、能力が 20 nm 毎に異なる IR フィルタ 12 種類 (SC74 ~ IR96) を用意し、再帰性反射材の上に固定した上で壁面に貼り付けた。壁面に固定した IR フィルタ集合に向けてそれぞれの赤外線 LED による赤外光を照射し赤外カメラを用いて実験を行った。

実験の結果から、本実装で使用する赤外光源を決定した。画像認識における精度を高めるため、赤外光源には光量の差があまり見受けられないピーク発光波長がそれぞれ 770 nm、810 nm、870 nm の 3 種類の赤外線 LED を用いることとした。実装時に用いる IR フィルタはマグネットオブジェクトに接着されるので、システム側はサーフェス面を挟んだ上でマグネットの赤外反射光を取得できる必要がある。そのため、実験条件としても実装時と同様のマグネットオブジェクトと赤外カメラとの間にサーフェス面を挟んだ条件を設定しなければならない。したがって、実装で用いる IR フィルタはサーフェス面を決定した後に選定することとした。

#### 4.2 スクリーン面に用いる金網の選定に関する実験

マグネットオブジェクトをサーフェス上に貼付可能にするため、スクリーン面の素材として磁性ステンレス金網を用いる。金網は線の太さ (線径) や線と線の間の空間の長さ (開き目) によって光の透過度が変化する。例えば、線径が細く開き目が大きい網であれば光を多く通すことができるし、逆に線径が太く開き目が小さい網であれば光をあまり通さない。そこで本実験において、磁性ステンレス金網を数種類準備し、どの金網を用いるかを決定することとする。

本実験で用いた磁性ステンレス金網 (以下、金網と

表 1: 用意した磁性ステンレス金網

No.	線径	開き目 (mm)	メッシュ数	開口率
(1)	0.50	1.09	16	47.00
(2)	0.29	1.12	18	63.10
(3)	0.35	0.92	20	52.48

記す) を表 1 に示す。金網を治具にスクリーン状に仮固定 (65cm × 45cm) し、背面からプロジェクタを用いて SMPTE カラーバーを解像度 800 × 600 pixels で投影し、デジタルカメラを用いてスクリーンの正面 100 cm から撮影を行った。

また、金網単独投影条件では投影画像が不鮮明だったため、金網全体に水性ウレタンアクリル塗料を塗布したもの (以下、塗料付き金網投影条件と記す) と金網全体に半透過のスクリーン素材 (トレーシングペーパー) を間に挟んだもの (以下、紙付き金網投影条件と記す) を用意しそれぞれ比較を行った。

デジタルカメラで撮影した画像を、図 3、4 に示す。(1) から (3) のいずれの金網においても、金網とトレーシングペーパーを重ね合わせることで鮮明な画像を得ることができることが判明した。金網にスクリーン素材を重ねることで、ユーザに対する提示面にスクリーン素材のレイヤが現れることとなり、映像が鮮明に映るほかにも、ユーザから金網部分を秘匿することが可能になるという利点がある。その一方、レイヤが増加することでオブジェクト認識に使用する赤外反射光が弱くなる、マグネットの粘着力が弱まるといった欠点も予期される。赤外反射光が弱まる問題には赤外光源の光量を増加させ、認識プログラムのパラメータを調節することである程度解決が可能であると考えられる。マグネットの粘着力が弱まる問題は、マグネットに磁力が強力なネオジム磁石を用いた上で、サーフェスに磁石が付着しやすい金網を使用することで解決可能であると考えられる。

図 3、4 に示されるように (1) の金網は、金網を構成する線径が他の物に比べ太いため投影した映像がやや荒くなる欠点が見受けられる。したがって (1) は本実装においては除外することとする。線径が細く開口率が高い (2) の金網は、マグネットを貼付したところうまく付着せず、マグネットが重力で滑り落ちてしまう。本実装ではマグネットが付着しやすい金網を使用することが望ましいため、(2) についても除外することとする。(3) の金網は、スクリーン素材と併用することで投影映像は鮮明なものとなった。したがって本実装では、(3) の金網を用いる。

以上の結果と考察から、本実装では (3) の 20 メッシュの金網にトレーシングペーパーなどの半透過のスクリーン素材を重ねあわせたものをスクリーン面として用いることとする。

また、スクリーン背面である金網素材は、金網単独の状態であると表面反射が発生する。これは、マグネットオブジェクトの赤外反射光を取得する際に妨げとなり、オブジェクトの認識が困難になる可能性がある。

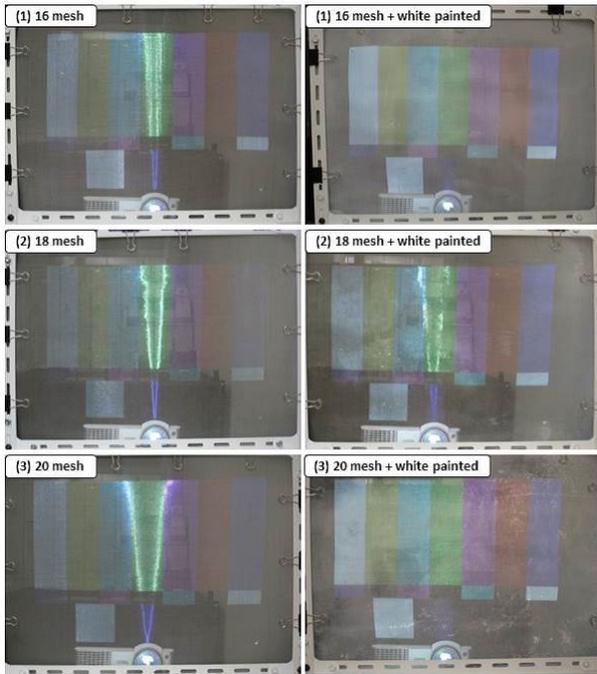


図 3: 金網単独投影条件と塗料付き金網投影条件

図 3 より、塗料を塗布することでプロジェクタの表面反射が抑制されることが確認されているため、マグネットによる反射光が特に鮮明に取得できるグレーのつや消し塗料を、金網に均一に塗布することとした。

#### 4.3 マグネットオブジェクトに用いる IR フィルタの選定に関する実験

本実装では複数波長の赤外光源を利用するため、複数波長の赤外光照射時でもマグネットの赤外反射光を確認できるかどうか、赤外反射光をいずれの IR フィルタを用いることで遮断できるかどうかについて確かめる必要がある。

本実験では、マグネットと金網スクリーン面との間に IR フィルタを挟み込むことで、本実装で使用する IR フィルタを選別し決定する。マグネットを照射するための赤外光源には 770 nm、810 nm、870 nm の赤外線 LED を使い、金網スクリーン面には、20 メッシュの磁性ステンレス金網にトレーシングペーパーを重ねあわせたものを用いた。

実験の結果、ピーク波長 770 nm の赤外光照射時は IR-76 ~ IR-78 フィルタが、ピーク波長 810 nm の赤外光照射時は IR-76 ~ IR-80 フィルタが、ピーク波長 870 nm の赤外光照射時は IR-76 ~ IR-84 フィルタが赤外反射光を透過していることを確認することができた。この条件では、認識画像において反射光点の誤検出は発生しておらずマグネットによる赤外反射光のみを検出できている。

そのため、本提案では赤外カメラ側には SC-74 フィルタを、マグネットオブジェクトに接着する IR フィ

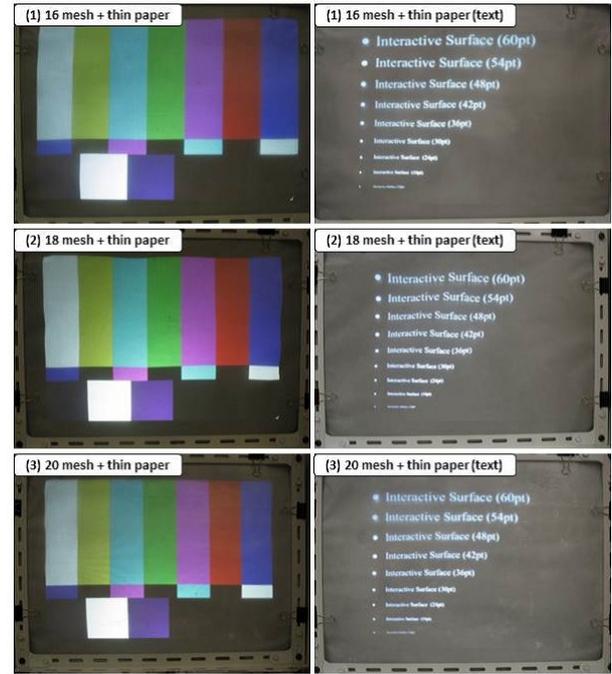


図 4: 紙付き金網投影条件

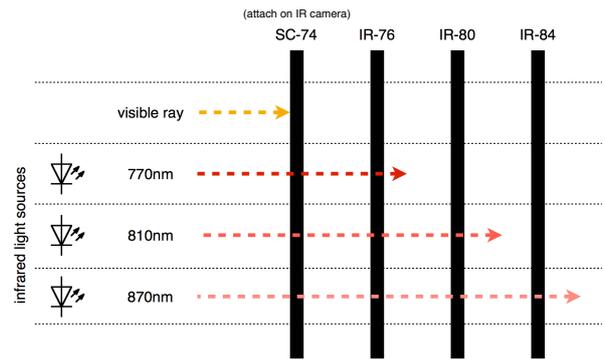


図 5: 赤外光と IR フィルタとの透過関係

ルタには、IR-76、IR-80、IR-84 フィルタを用いることとする。マグネットオブジェクトに照射する赤外光と IR フィルタとの透過関係を図 5 に示す。

## 5 プロトタイプシステムの実装

### 5.1 ハードウェア構成

プロトタイプシステムは、磁性ステンレス金網を用いたサーフェス、マグネットオブジェクト、映像を投影するためのプロジェクタ、赤外光を照射するための赤外線投光機、オブジェクトの位置を取得するための赤外カメラ、映像投影やオブジェクトの位置を制御するための計算機で構成される。プロトタイプシステム動作時の、外観を図 6 に示す。

#### 5.1.1 マグリッドサーフェス

プロトタイプシステムでは、マットグレーの塗料を均一に塗布した 20 メッシュの磁性ステンレス金網を用いる。これに、トレーシングペーパーを重ねあわせ

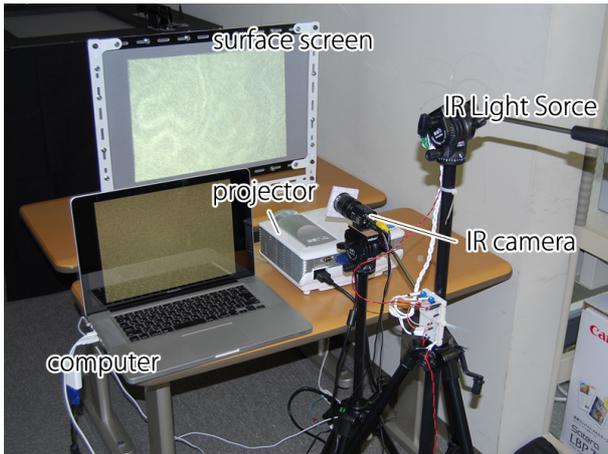


図 6: プロトタイプシステムの外観

アングル材に固定したものを、マグネットオブジェクトを貼付し映像を投影するサーフェス (以下、マグリッドサーフェスと記す) として用いた。

### 5.1.2 マグネットオブジェクト

マグリッドサーフェスは、金網とトレーシングペーパーの各レイヤから構成される。金網は網状であるため磁石の接地面積が小さく、さらにマグネットオブジェクトには磁石の上を覆うように再帰性反射材や IR フィルタを接着するため、マグリッドサーフェスに貼り付けるためには強力な磁力が要求される。

そこで、市販の一般的なマグネットを分解し内部に強力なネオジム磁石を埋め込み、固定に必要な磁力を確保することにした。ネオジム磁石を固定できるようにエポキシパテを用いて穴となる部分を埋め、磁石側に再帰性反射材と IR フィルタを取り付けた。IR フィルタは、IR-76、IR-80、IR-84 フィルタをそれぞれ用いた。マグネットオブジェクトの構造を図 7 に示す。

### 5.1.3 赤外線投光器

サーフェスに照射する赤外光の波長を切り替えられるように、3つの異なるピーク発光波長を持った赤外線投光器を作成した。投光器にはピーク発光波長が 770 nm、810 nm、870 nm の赤外線 LED をそれぞれ 10 個ずつ使い、放射状になるようプリント基板上に配置した。赤外光の照射範囲や強度は赤外線 LED の種類によって異なるため、それらを均一に揃えるために半固定抵抗を用いることで照射する赤外光量の調節ができるようにした。

また、実装したプロトタイプシステムでは、赤外線それぞれの照射波長の切り替えは、ユーザが任意のタイミングで物理的なプッシュスイッチを押すことで行えるようにした。

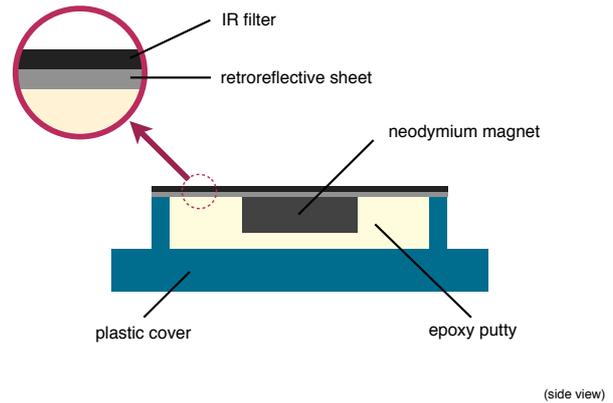


図 7: マグネットオブジェクトの構造

### 5.1.4 赤外カメラ

赤外カメラには、高感度の CCD カメラ (Watec: WAT-902-H-ULTIMATE) に赤外領域が撮影できるレンズ (TAMRON: 12VM412ASIR) を取り付け、レンズ先端に SC-74 フィルタを覆い被せたものを用いた。CCD カメラの標準モードでは取得できる画像が暗くなりすぎたため、ガンマ補正モードを Low にした状態で撮影を行い、USB キャプチャデバイス (mathey: MVCP-02MAC) を用いて 640 × 480pixels の解像度でキャプチャを行った。

### 5.2 ソフトウェア構成

ソフトウェア側で必要となる処理は 2 種類ある。赤外カメラで撮影したマグネットオブジェクトの位置を特定することと、取得したマグネットオブジェクトの位置に映像を提示できるように描画画面を制御することである。実装したプロトタイプシステムでは画像を取得するカメラ側をサーバ側アプリケーション、また提示する映像を制御するクライアント側アプリケーションと切り分け、アプリケーション間の通信は OSC (Open Sound Control) を拡張した TUIO プロトコル [5] で行うこととした。

実装したプロトタイプシステムでは、赤外カメラで取得した画像を元にマグネットオブジェクトの位置を特定し、クライアント側アプリケーションに送信するサーバ側アプリケーションとして、NUI Group が提供しているマルチタッチ認識アプリケーションである Community Core Vision (version 1.4)<sup>†</sup> (以下、CCV と記す) を用いた。CCV はネットワーク内の指定したポートに TUIO プロトコルによる制御コードを送信する役割がある。また、CCV はカメラのレンズの歪みを補正するためのキャリブレーション機能が実装されている。本実装で用いた赤外カメラもレンズの歪みが大きいため、当該機能を用いて補正処理を行った。

<sup>†</sup> Community Core Vision – <http://ccv.nuigroup.com/> (2013/07/18 確認)

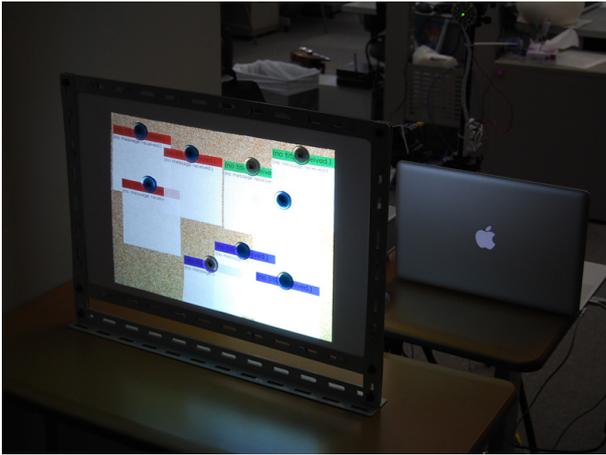


図 8: アプリケーションの動作風景

クライアント側アプリケーションは、サーバ側アプリケーションである CCV から送信された TUIO プロトコルによる位置座標を元に、提示する映像を決定する。実際のアプリケーションの動作風景を図 8 に示す。

## 6 結論

### 6.1 プロトタイプシステムで実現した情報提示

実装したプロトタイプでは、実物体である固定具を用いて、リアプロジェクション形式を取る壁面型インタラクティブ・サーフェスに情報を提示することが可能になった。また、複数の波長を持った赤外光と IR フィルタとを組み合わせることでマグネットを高度化し、サーフェス側で複数種のマグネットの認識を行うことが可能になった。

これによって、サーフェスに提示された情報に選択的にアクセスできる環境の構築を行った。

### 6.2 プロトタイプシステムの課題点

本実装においてスクリーン面を照らす赤外光源には赤外線 LED を複数組み合わせたものを用い、それらを使いスクリーン面に直接照射する Diffuse Illumination 方式をとった。本実装で用いたスクリーン面の面積が小さかったこともあり、プロトタイプシステムにおいては実物体の検出を行うことができたが、スクリーン面が大きくなると単独の投光器では実物体の検出が困難になることが予想される。この問題を解決する手法の一つとして、赤外光を物体に間接的に照射する方法が挙げられる。

また、本実装でスクリーン素材として用いた磁性ステンレス金網は、20 メッシュのものを用いたため比較的柔らかく一律の張力を与えてスクリーン面にすることがやや困難であった。そのため金網の部分によっては、たるみが生じてしまい表面に貼り合わせたトレーシングペーパーと乖離し、投影された映像が二重

になって見える部分が見受けられた。スクリーン面がたわまないよう、張力を与えることができるように金網を巻取ることができる治具を用意することでこの問題に対する一定の解決ができると考えられる。

### 6.3 今後の展望

プロトタイプではマグネットを貼り付けた位置に、ユーザが予め登録した情報が掲示されるといった単純なアプリケーションの実装を行った。今後は、これら情報提示部分のアプリケーションを高度化する必要があると考えている。例えば、提案システムは実物体であるマグネットを用いるので、実在する紙媒体をサーフェスに貼付することができる利点がある。また、サーフェスに投影する映像情報と実物体の紙媒体とを連携させることや、音声情報などの映像情報以外のものと組み合わせることでよりインタラクティブ性に富んだシステムの実現が可能になると考えられる。これらを実現する場合は、プロジェクション方式や物体の認識手法などのシステム構成について再考する必要がある。

### 謝辞

本研究は、科研費基盤研究 C (課題番号: 24500160) の助成を受けたものである。記して謝意を表す。

### 参考文献

- [1] Matsushita, M., Iida, M., Ohguro, T., Shirai, Y., Kakehi, Y. and Naemura, T.: Lumisight Table: A Face-to-face Collaboration Support System that Optimizes Direction of Projected Information to Each Stakeholder, In *Proc. of the 2004 ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work*, ACM, pp. 274–283 (2004).
- [2] 田中悠, 牛田啓太, 杉田馨, 苗村健, 原島博, 島田義弘: 壁とパーソナル空間の交わりを情報環境にするシステム i-wall, 映像情報メディア学会誌, Vol. 56, No. 9, pp. 1500–1505 (2002).
- [3] 大森裕香, 田中琢磨, 松下光範: 多重赤外波長を利用した情報投影手法の提案, インタラクシオン 2011 論文集, 情報処理学会, pp. 807–808 (2011).
- [4] 田中琢磨, 阪口紗季, 松下光範: 複数波長の赤外光源を用いた物体認識手法, 情報処理学会第 74 回全国大会講演論文集, No. 4, pp. 365–366 (2012).
- [5] Kaltensbrunner, M., Bovermann, T., Bencina, R. and Costanza, E.: TUIO: A Protocol for Table-Top Tangible User Interfaces, In *Proc. of the 6th International Workshop on Gesture in Human-Computer Interaction and Simulation* (2005).