

赤外光の波長特性を利用した 光学認証装置に関する研究

総合情報学研究科
知識情報学専攻

インタラクションデザインの理論と実践

13M7115
堤 修平

目 次

1	序論	1
1.1	本研究の背景	1
1.2	本研究の着眼点	3
2	提案手法	5
2.1	提案システム	5
2.2	マーカパタンの作成	5
2.3	外装の設計	10
2.4	システム構成	11
3	プロトタイプシステムの実装	14
3.1	赤外線 LED の選定	14
3.2	プロトタイプシステム	15
4	認証装置の認識に関する実験	20
4.1	赤外光の透過認識の検証	20
4.2	異なる種類の IR フィルタを重ねた場合の検証	23
4.3	同一種類の IR フィルタを重ねた場合の検証	28
4.4	偏光板を用いた実験	28
5	関連研究	30
5.1	赤外光を用いた入力や実物体の認識	30
5.2	マーカ技術	33
5.3	既存研究との比較	37
6	議論	38
6.1	提案システムの問題点	38
6.2	今後の展望	39
7	結論	41
A	付録	43
A.1	3 章で述べた図	43
A.2	4 章で述べた検証結果のスクリーンショット	44

1 序論

本章では、本研究の実施に至った背景を説明し、対象とする課題を明確にする。

1.1 本研究の背景

近年、情報化社会の発展によりさまざまなものが電子化されるようになってきている。手紙は電子メールに置き換わったり、金銭はクレジットカードや Suica¹などの電子マネーにより多くの紙幣や硬貨を持ち歩く必要がなくなり利便性が向上した。それらの電子化された情報を取り出すためには不正アクセスにより情報の盗難や悪用されるのを防止するために情報の所有者である本人が何らかの方法で認証を行い個人を特定することで、それらの情報にアクセスをする必要がある。例えば個人で使用するパソコンやスマートフォンなどの電子端末にログインする場合に個人を特定するために暗証番号やパスワードを求められる場合がある。金銭や個人情報など重要な情報は他人から容易にアクセスすることが不可能にすることが望ましいが、一方で利便性も求められる。例えば、毎回複雑で長い暗証番号やパスワードを入力して認証を行うのはユーザにとっては非常に煩わしいものになってしまう。そこで現在では、ユーザは容易に認証することができるが、他人からは情報にアクセスすることが困難な認証手法がいくつか提案されている。瀬戸らは文献 [31]において認証手法を以下のように分類し、利点欠点などを述べている。

本人の所有物による認証

磁気カード、IC カード、証明書など実物体を用いた認証手法である。例えば ATM などで使用するキャッシュカードや電車に乗る際などに改札で使用する IC カードなどといったものがある（図 1.1）特に IC カードは Suica など自動改札において採用されていたり、最近では住民基本台帳カード、運転免許証、パスポートなどに採用されたりと我々の身の回りに急速に普及してきている。これらのカード状のものなどは携帯性や操作が容易といった利点がある反面、盗難、偽造の危険性がある。

本人がもつ知識による認証

パスワード、電子署名などを用いた認証手法である。主にパーソナルコンピュータや携帯電話、スマートフォンなどにログインする際にパスワードなどを求められる。また ATM などカード認証と併用される場合もある。個人の記憶によるもので実物体などが不要で簡易な手段で実現できるという利点がある反面、本人が忘れる、パスワードを盗まれるといった危険性がある。

本人の身体的特徴（バイオメトリクス）による認証

身体的（指紋、虹彩）、行動的（署名、声紋）特徴などを用いる認証手法である。代表的なものとして指紋認証などがあげられる。他の 2 つの認証方法に比べて確実性は高く、カードなどの物体認証などに比べて偽造しにくい、体の一部なので紛失したり盗難される恐れが少ないという利点が挙げられる。反面、認証のための特別な装置や高度なソフトウェアが必要になる。

¹JR 東日本: Suica, <http://www.jreast.co.jp/suica/> (2015/2/11 確認)



図 1.1: 非接触 IC カード FeliCa(Sony Web サイトより引用)

このように認証手法には様々なものがあるが、その中でも特に近年では IC カードを用いた認証が注目されている。IC カードには無線通信により認証を行うタイプのものがあり、無線 IC タグに書きこまれたデータを読み取るのに直接触れる必要がない。これは、情報を載せた電波または磁界を無線 IC タグが送信し、それをリーダー・ライター側のアンテナで受信することで受信信号に書かれている情報を読み取ることが可能になる。Suica や nanaco² など無線 IC が搭載された電子マネーカードの場合だとカードを機器にかざすだけで瞬時に決済が行われるため、わざわざ財布の中から紙幣や硬貨を探して渡す必要がなく、おつりを受け取る必要もないので手軽に買い物をすることができるという利点がある。また先に挙げた磁気カードや暗証番号、指紋認証などといった他の認証手法と比較しても処理が早く煩わしさがなく、安価でスキミングに対するセキュリティも高い。他にも汚れに強いといった利点が挙げられる。例えばバーコードは、書かれた紙の上に泥がついたり紙がねじれたりすると、正確に読み取ることができなくなる。しかし、無線 IC タグの場合だと電波が通るものであれば、無線 IC タグに泥が付着しても読み取ることが可能である。^[34] そのようなデジタル媒体に記録されたものは紙媒体などの実体物のように劣化することがないという利点が挙げられる。そこで近年では社員証や学生証、運転免許証やパスポートなどにも無線 IC タグが付与され、電子情報としても取り扱われている。IC カードを用いることにより偽造が困難になるためそのものの信頼性が上がるといったことや、紙媒体に詳細な個人情報を記載する必要がなくなるといった利点が挙げられる。非接触の認証装置は大変使い勝手の良いものではあるが、その反面このようなしかし、非接触 IC 技術を用いた ID カードでは非接触のスキミングによりカード情報にアクセスされてしまう恐れもある。現在は暗号技術のおかげで内容の解読が容易でないものの、こうした意図せぬ情報アクセスは好ましくない。そこで本研究では“光”を用いた認証装置を提案する。認証を行うのに光を用いることにより、スキミングされない認証装置を作ることができると考えられる。

²セブン アンド アイ HLDGS : nanaco,- https://www.nanaco-net.jp/index_pc.html (2015/2/11 確認)

1.2 本研究の着眼点

前節で述べたように磁気や IC などのカード型の認証装置の場合はスキミングにより情報を盗まれ、悪用される恐れがある。そこで本研究では、赤外光の光とその性質を用いた認証に着目した。光というものの自体はアナログなものであり人は認識することが可能だが実態がないものである。そのため光を用いることによってスキミングされる恐れのない認証装置を作ることができるのでないかと考えた。

通常、人が目にする光は「可視光」によるものだが、それに対して紫外線、赤外光と呼ばれる「不可視光」という光が存在する。光とは電磁波の一種であり、波長の長さが存在することになる。人が見ることができる波長の範囲は「可視領域」と呼ばれ、およそ 380nm から 800nm 程度である（図 1.2）。また赤外光は IR フィルタという特殊な光学素子を通して見ることにより遮断することができるという特性がある。その IR フィルタなどの光学素子と赤外線 LED を組み合わせて QR コード（図 1.3）[25] のようなマーカパタンを作成し、特定の ID とすることで認証を行うシステムが作ることができるのではないかと考えた。

通常の QR コードの場合は単一の媒体でありマーカパタン自体を途中で書き換えることはできないため、1 つの QR コードが持つ情報量は限られている。しかし、本研究で提案するような複数波長の赤外光を用いることにより、例えば図 1.4 のように QR コードなどの印刷された 2 次元バーコードの場合は異なる 3 種類のマーカが必要となるが、複数の異なる波長の赤外光を用いた可変マーカを使用する場合は 1 つのマーカにより複数の情報を扱うことができるという利点がある。そのため、単一のマーカに比べて情報の高密度化が図られる。また、一般的な、2 次元バーコードの場合はマーカを視認することができるためその複製が比較的容易にできてしまうと考えられるが、提案手法では、赤外光を用いることで直接視認することが不可能になることに加えて複数の異なる種類の波長を利用することで複数の異なるマーカを重畠させるため、複製の難易度がより高まる。

本研究ではこのような複数波長の赤外光と光学素子を用いたスキミングに頑健な認証装置のプロトタイプシステムの実装を行う。

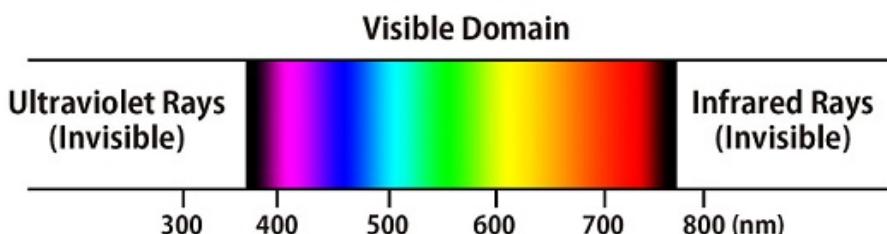


図 1.2: 可視領域と不可視領域 (文献 [18] より改編の上, 引用)



図 1.3: QR コード

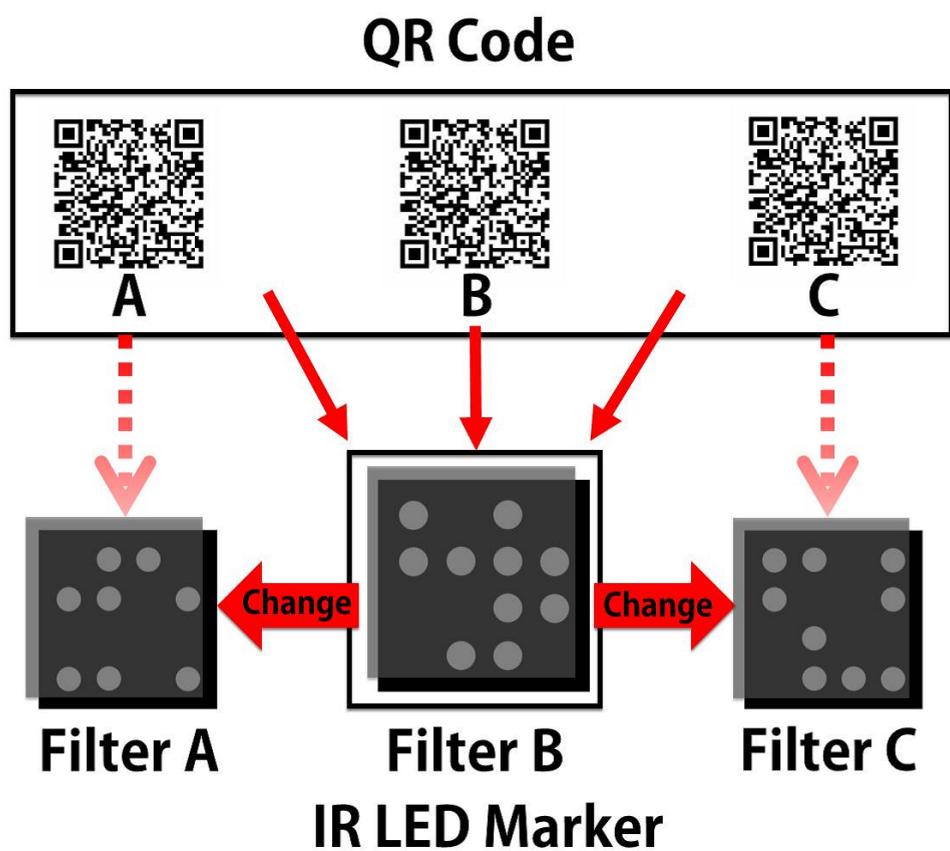


図 1.4: 可変マーカの概念図

2 提案手法

本章では複数波長の赤外光と光学素子を用いた認証装置の提案を行う。また、プロトタイプシステムの設計について明らかにする。

2.1 提案システム

本研究では「赤外光」とその性質に着目する。提案する認証装置では波長の異なる赤外線 LED を使用し、その赤外線 LED の発光パターンで認識マーカを作成する。各 LED に光ファイバを固定し、穴を開けた筐体に光ファイバの先を通す。赤外線 LED をすべて Arduino[3] で制御することで、すべての赤外線 LED を任意のタイミングで発光させることができ。マーカパターン部分は赤外線 LED の発光箇所をマトリクス状に並べており、LED マーカパターンを時間経過で変化させることができる。また波長の異なる赤外線 LED を用いてマーカパターンを作成しているため、特定波長より短い波長をカットする IR フィルタを埋め込んだカードを赤外線 LED と認識用のカメラの間に配置することでマーカパターンを変化させることができる。また、光ファイバを使用することで光の経路を自由に変更することが可能になるため、1つの穴に異なる波長の LED の光を通すことができる。したがって、1つのオブジェクトで複数のマーカパターンを作り出すことが可能になると考えられる。以下の節にて詳しく述べる。

2.2 マーカパターンの作成

本研究で提案する認証装置では、赤外光と光学素子を組み合わせることにより複数のマーカパターンを作り出しそれをカメラで撮影し、画像処理により認証を行う。赤外光には複数の波長の赤外線 LED を使用する。赤外線 LED にはそれぞれピーク波長というものがある。その赤外線 LED と IR フィルタというものを組み合わせてマーカパターンを作成する。IR フィルタとは、赤外光を透過し、可視光を遮断する性質を持つ光学素子である。提案システムでは、FUJIFILM 製の SC フィルタ（紫外線吸収フィルター）¹、IR フィルタ（光吸収・赤外透過フィルター）² を使用する。この IR フィルタにも複数の種類のものが存在し、号数によって特定以下の波長の赤外光を遮断する性質を持つ。それぞれ IR-76、IR-84 といったように番号が付けられており、IR-76 のフィルタは 760nm 未満、IR-84 のフィルタでは 880nm 未満の赤外光を遮断し、それ以上の波長の光はフィルタを透過するという素材になる（図 2.1 参照）。

複数の波長の赤外 LED を同時に発光させておき、認識用のカメラとの間にフィルタを挟むことにより特定以下の波長の赤外光が遮断され、マーカパターンが生成される。例えば 3 種類の異なる波長の赤外線 LED を用いた場合だと少なくとも 3 種類の発光パターンを生成することができる。筆者らは文献 [33] において同じような多重赤外光と IR フィルタを用いたマーカを提案したが、認識パターンは 3 パタンのみしかなかった。そのような少ないパターン数だとすぐに解読されてしまう恐れがあるため認証装置として用いるのであれば望ましくない。認証装置として利用するのであれば認証することが可能なパターン数は多いほうが良いと考えられる。例

¹富士フィルム: SC フィルタ,- <http://fujifilm.jp/personal/filmandcamera/sheetfilter/sc.html> (2014/12/20 確認)

²富士フィルム: IR フィルタ,- <http://fujifilm.jp/personal/filmandcamera/sheetfilter/ir.html> (2014/12/20 確認)

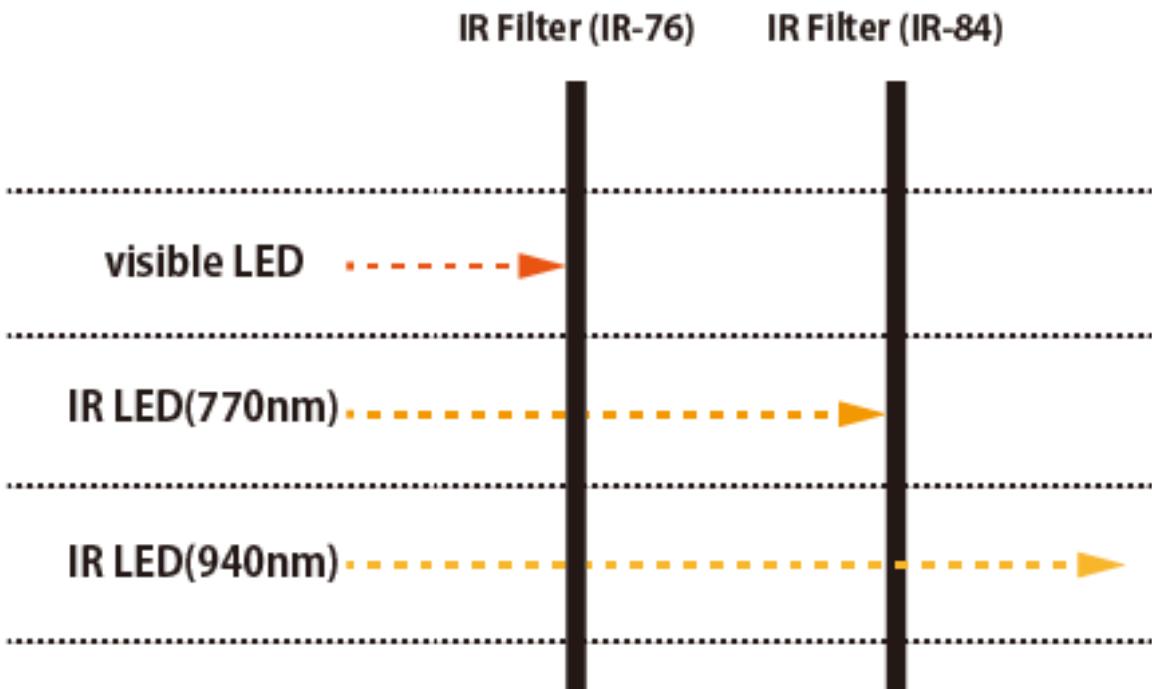


図 2.1: IR フィルタによる赤外光の透過・遮断

えば、スマートフォンのログイン時に使用する 4 ケタの数字を入力し、認証するものでも約 1 万通りの認証パターンが存在する。そこで本研究では以下の 5 点の試みを行うことにより、赤外光と光学素子を用いた認証装置において認識パターンを増加させることを提案する。

- ・認証カードの作成

提案システムのマーカ部分を図 2.2 に示す。このように赤外光の発光箇所ごとに IR フィルタを分けて配置した認証カードを用いることにより多くのマーカパターンを作り出すことが可能になると考えられる。

- ・フィルタの重ね合わせ

1 枚の IR フィルタを重ねることにより遮断することが可能になる。複数枚のフィルタを重ねることにより赤外光の透過、遮断の条件が変化するのでマーカパターンも変化する。

- ・偏光板の利用

2 枚の偏光板を互いに異なる偏光方向に並べることで光を遮断することができる。その仕組みを用いて赤外光源も制御することができる。

- ・光ファイバを用いることによるパターンの増加

多くのマーカパターンを扱うことが可能になるように、光ファイバを用いて同一の場所に異なる種類の赤外線 LED を発光させることができるようにする。

- ・時間経過による発光パターンの変更

すべての赤外線 LED を制御し、発光パターンを変更させ、空間的なマーカパターンの変化だ

けでなく、時系列的にも変化させることが可能にし、さらにマーカパターンを増加させることができる。

時間経過による発光パターンの変更は Arduino[3] すべての LED を制御することで容易に実現することが可能である。本研究ではその中でもフィルタ、偏光板を用いた際にマーカパターンを変更することができ、認識することが可能なのかを明らかにする必要がある。これを明らかにすることにより認証カードを作成することが可能かも明らかになる。

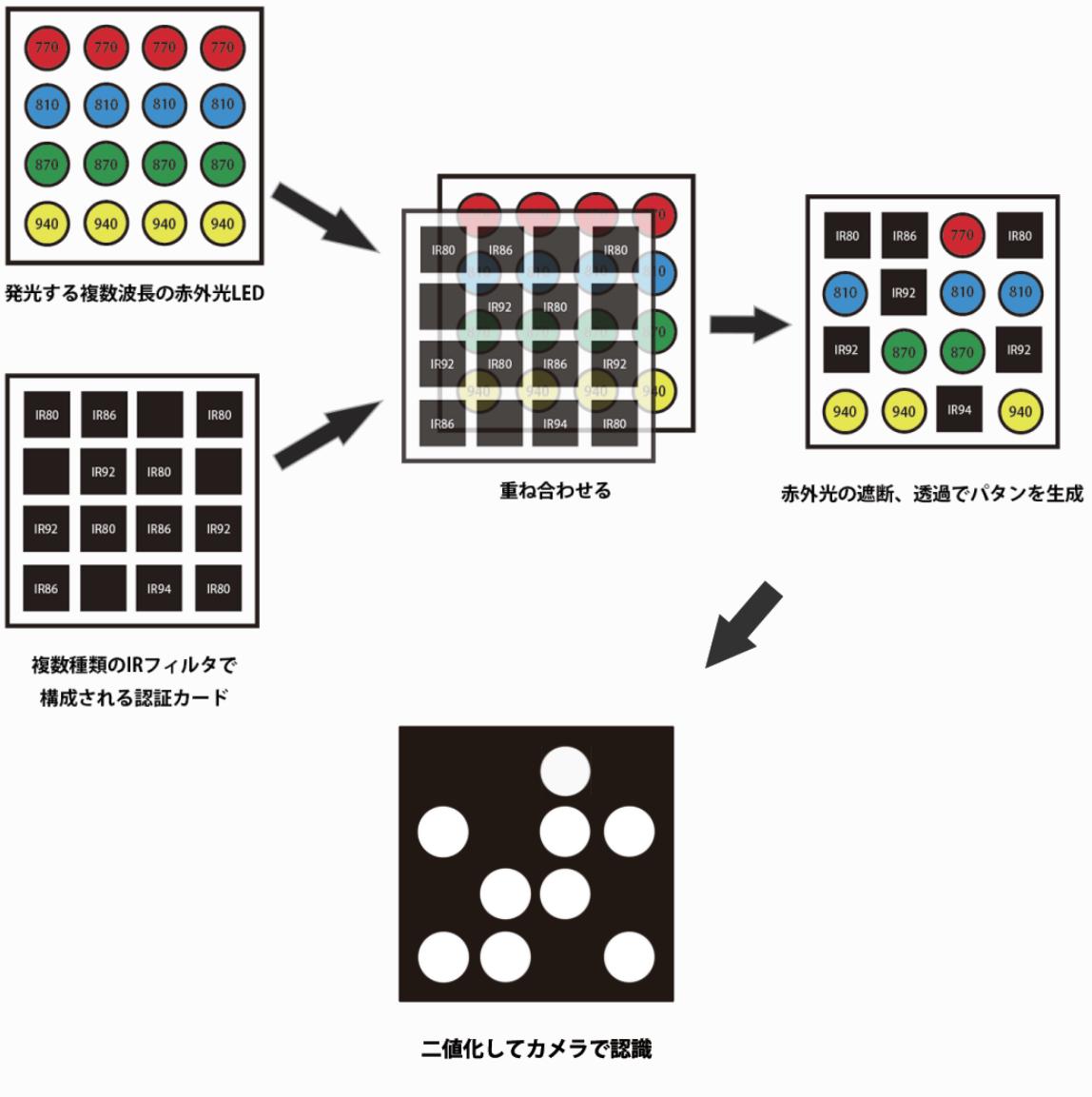


図 2.2: IR フィルタを用いた赤外光によるマーカパターンの生成

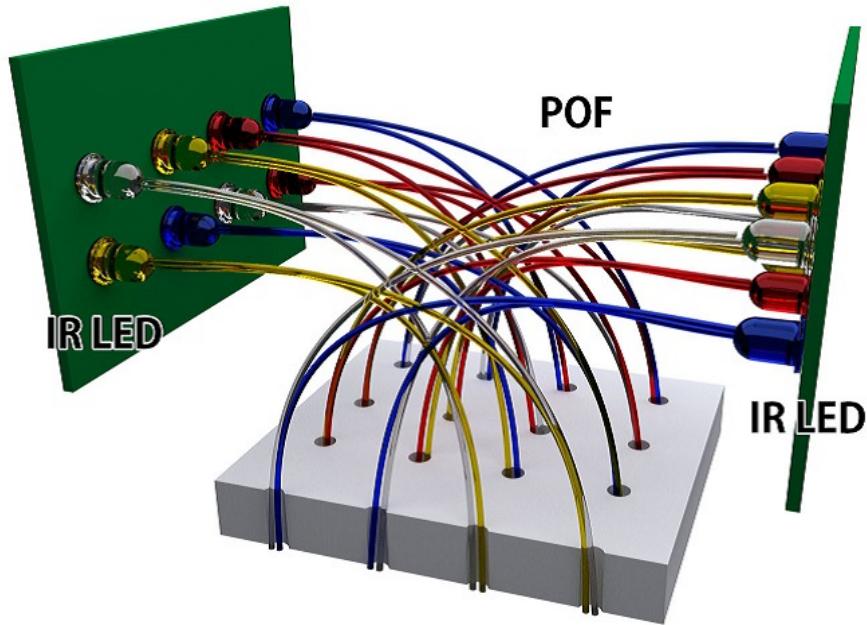


図 2.3: 光ファイバの使用例

2.2.1 光ファイバの利用

前述したように認証装置として利用するのであれば認証可能なマーカパターンの数は多ければ多いほど良いと考えられる。波長の異なる赤外線 LED をそのままマーカとして使用した場合、その LED の種類と個数のパターンしか作ることができない。パターンを増やすためにはその数だけの赤外線 LED を使用しなければならなくなり、灯光器のサイズも大きくなってしまい回路も複雑になり、コストもかかってしまう。

そこでプラスチック製の光ファイバ (以下 POF と記す) を使用する。図 2.3 のように POF を赤外線 LED に接続し、マーカ面に並べ、異なる種類の波長 (図において異なる色のもの) の赤外線 LED を一つの発光箇所に通すことにより、1 か所の赤外光を発する箇所から複数の異なる種類の波長の赤外光を発光させることが可能になる。

2.2.2 赤外 LED の制御

前節で述べたような光ファイバを有効に活用するためには赤外 LED の発光、非発光を切り替えることを可能にする必要がある。それには赤外線 LED を個別に制御する必要があると考えられる。そこで、Arduino[3] を使用してすべての赤外線 LED を制御してプログラムにより時間経過で発光パターンを変化させることができるようとする。Arduino 単体では LED が最大 12 個までしか制御することはできないため、シフトレジスタを用いることによりそれ以上のより多くの LED を制御することが可能となる。この手法を用いることによりハードウェア側で時系列的な情報の変更も可能にする。それによりマーカパターンを増加させることが可能になると考えられる (2.4 参照)。



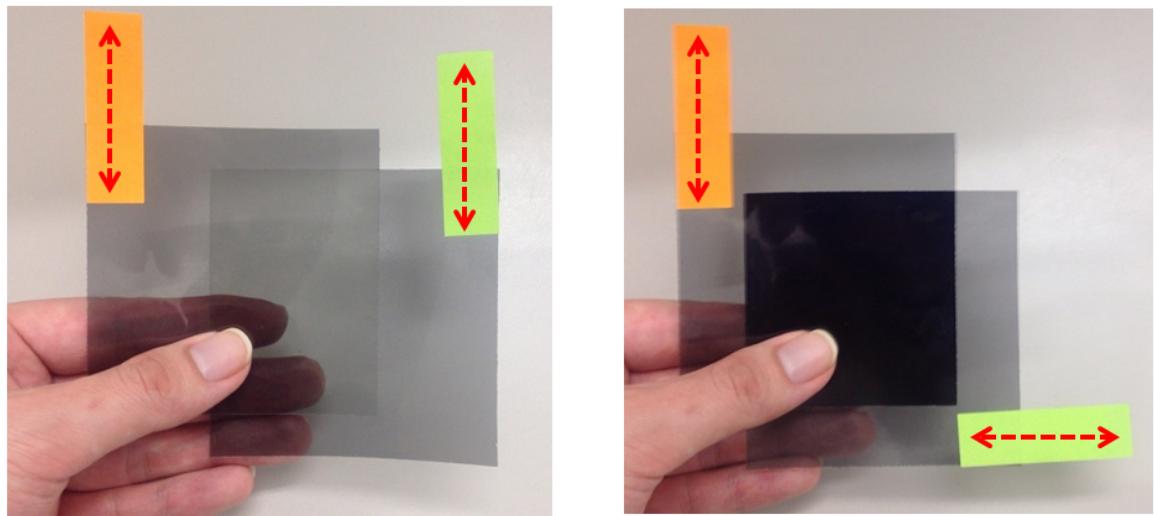
図 2.4: 発光パターンの変化

2.2.3 偏光板の利用

阪口らは Slanting Shadow[15]において、2枚の偏光板を用いて赤外光の透過、遮断をコントロール可能にすることにより情報を切り替えるという手法を用いている。偏光板とは、特定の方向に振動した光（偏光）のみを透過し、それ以外の光を遮断する性質をもつ光学素子である。偏光板には偏光方向があり縦側と横側とで性質が異なる素材になる（図 2.5 参照）。偏光板を光源とカメラの間に置いた場合の光の変更を図 2.6、2.7 に示す。偏光方向を揃えて重ねた場合は図 2.6 のように光が透過し、偏光板の奥にあるものが視認可能になっている。2枚ある偏光板のどちらかの偏光方向を変える（90 度回転させる）と図 2.7 のように光が遮断され偏光板の奥にあるものが視認できなくなる。この仕組みを利用し、灯光器を 90 度ひねることでマークパターンを変更することが可能になるとえた。

2.3 外装の設計

本研究において提案する認証装置では複数の異なる種類の赤外線 LED を使用する必要がある。しかしそれらの異なる波長の赤外光が混じってしまったり、光が漏れてしまい、それを認識してしまう恐れがあるため赤外線 LED を物体で囲う必要があると考えられる。そこで LED の発光面全体を覆うような外装を設計した。外側に LED が収まる大きさの穴を開け、内側は光ファイバが 2 本通すことができる大きさの穴を開けた。光ファイバは断面から光を入射した場合のみ逆側の先端から光が出る素材になる。側面から光をあてた場合はその光をほとんど通すことはないが、可能な限り外部からの影響を受けないようにする必要がある。マークパターンは光学素子で構成されたカードを用いることにより変更することができる。認証に用いるカードの大きさは携帯することも考慮すると小型の方が望ましい。認証装置（赤外光灯光器）も様々な場所で使用することを想定すると小型のものが好ましいと考えられる。そこで装置全体を可能な限り小型なものを製作した。プロトタイプシステムで製作した灯光器は約 80mm 四方の大きさである。また、外装は細かく複雑になってしまったため、CAD で設計を行い、切削 RP マシン (Roland DG: MDX-40A) で切削して製作を行うこととした。図 2.8 のような立方体の形になり上面と側面の 1 箇所は POF の脱着を容易にできるように囲いは取り付けていない。



←→ Polarization direction

図 2.5: 偏光板

今回はプロトタイプシステムとして 2 方向からのみ赤外線 LED を取り付け照射することができるような設計を行った。

2.4 システム構成

本研究での認証装置はテーブル上の使用を想定した。今回の研究での装置はテーブルに固定したものとして扱われる(図 2.9 参照)。テーブルの下に認識用のカメラを配置し、そのカメラで灯光器から発せられる赤外光を撮影する。灯光器のカード差込口に光学素子で構成された認証カードを挿入することでマーカーボタンを変更することができ、それにより認証を行う。

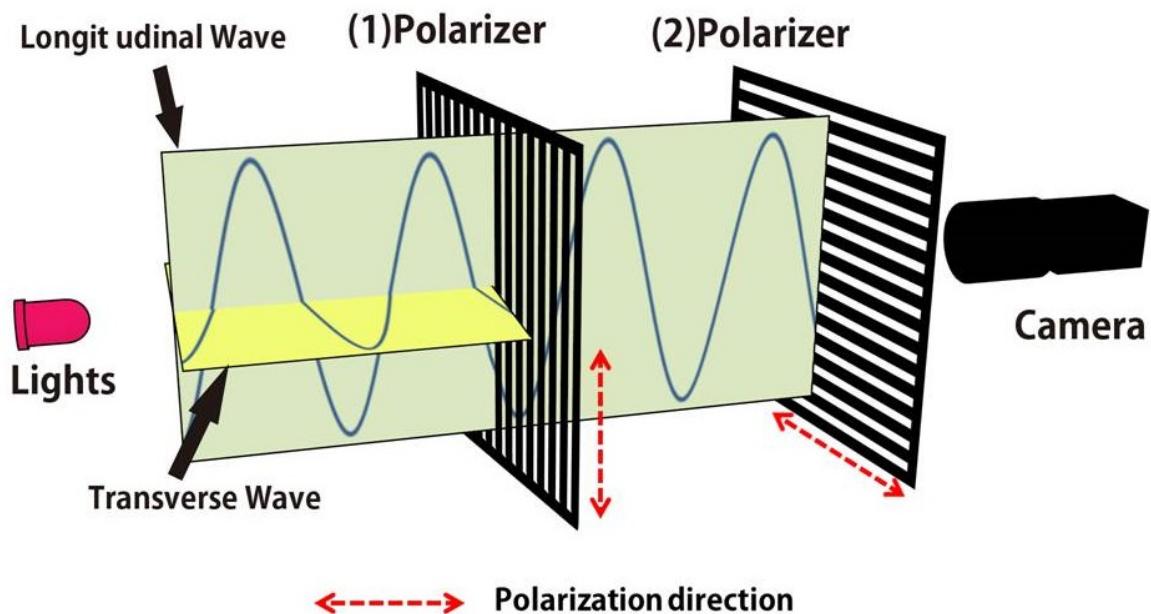


図 2.6: 偏光板の性質 (偏光方向を揃えて重ねた状態)

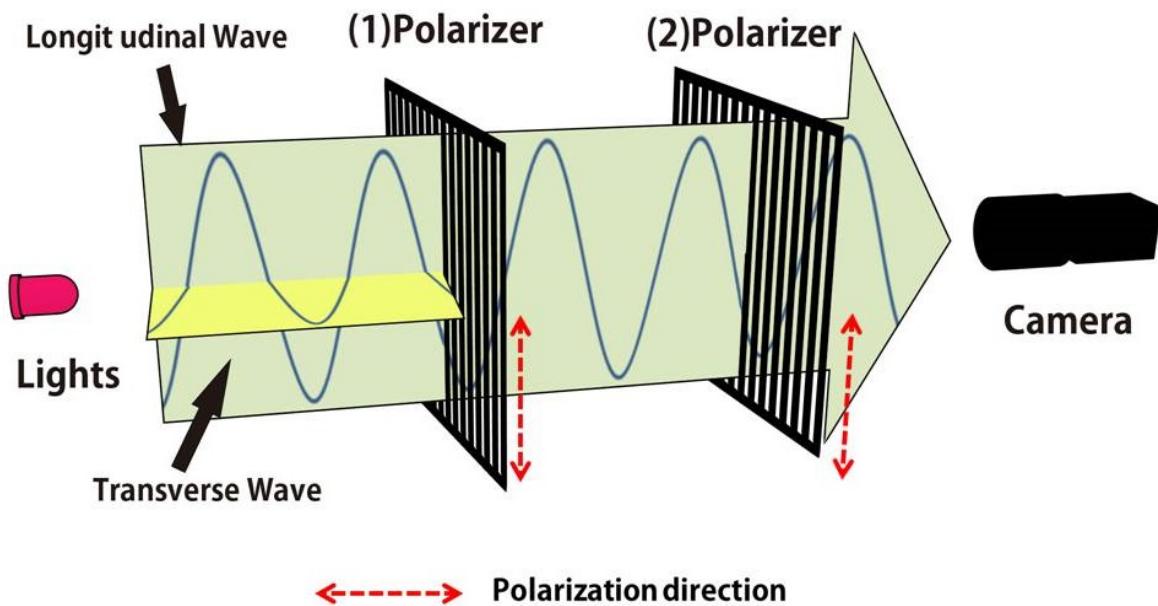


図 2.7: 偏光板の性質 (偏光方向を直行させて重ねた状態)

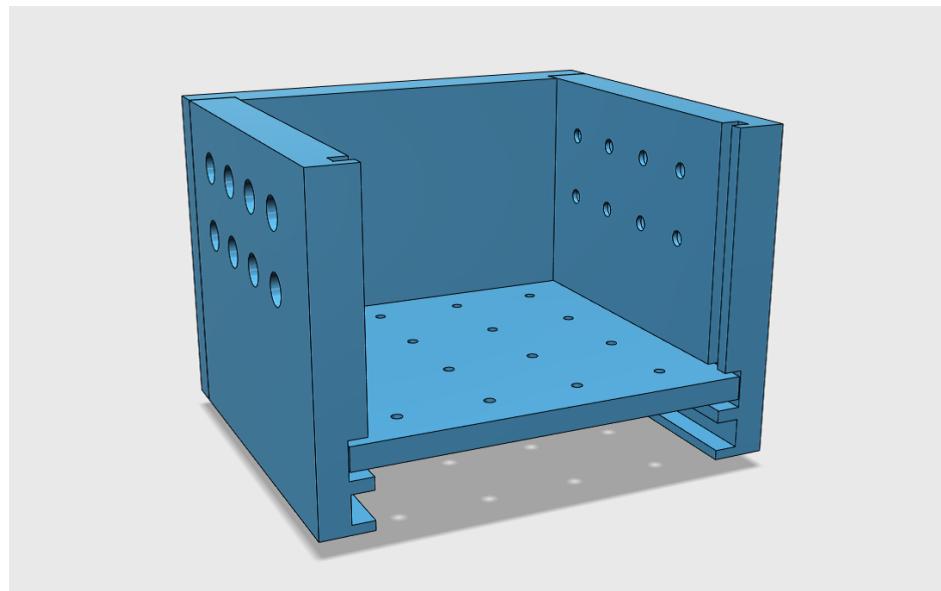


図 2.8: CAD による設計

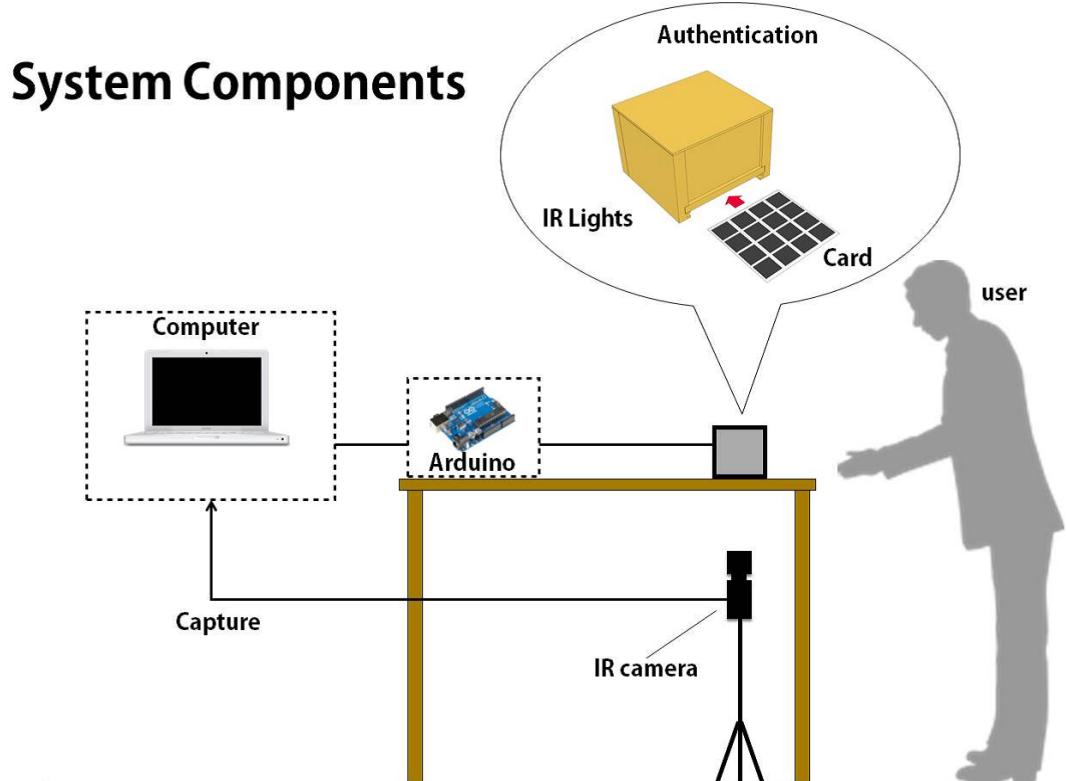


図 2.9: システム使用図

3 プロトタイプシステムの実装

提案する認証装置のプロトタイプシステムの実装を行った。また、プロトタイプを実装するにあたってどの素材を使用するのか決定する必要があったため事前に実験を行った。

3.1 赤外線 LED の選定

本研究では2章でも述べたように赤外光の特性を利用し、IR フィルタと組み合わせて使用することによってマーカパタンを作り、それをカメラで読み取ることで認識を行うシステムを作成する。そこでどの波長の赤外光 LED をシステムに組み込むことが可能なのか検証を行った。

田中らは文献 [5] において赤外線 LED の透過実験を行った。号数が 2 ずつ異なる IR フィルタ 12 種類 (SC-74～IR-96) を用意し、再帰性反射材の上に張り付け壁面に固定した。実験では赤外線 LED は不可視光である表 3.1 の 770nm, 810nm, 850nm, 870nm, 940nm の 5 種類のものを使用した。IR フィルタには FUJIFILM 製の「紫外線吸収フィルター (SC フィルター)」、「光吸収・赤外透過フィルター (IR フィルター)」(以下、両者を合わせて IR フィルタと記す) を用いた。赤外光 LED 1 球のみでは照射光量が不足しているため、光源として使用する赤外光 LED は 8 球をまとめて使用した。また、CRD (定電流ダイオード) を用いて 40mA の電流が流れるようにした。赤外光を撮影する赤外カメラには CCD カメラ (Watec : WAT-902H ULTIMATE) に赤外領域が撮影可能なレンズ (TAMRON : 12VM412ASIR) を使用し、レンズ先端には IR-76 フィルタを蓋状に配置し可視光による影響を低減させ、赤外領域の撮影を容易にした。赤外カメラの映像入力には USB 接続のキャプチャデバイス (princeton PCA-DAVP) を使用した。

実験の結果を図 3.1 に示す。770nm の赤外光を照射した場合、IR-76 以上の号数のフィルタは透過しなかった。810nm の赤外光を照射した場合、IR-78 以上の号数のフィルタには透過しなかった。850nm の赤外光を照射した場合は IR-86 以上のフィルタを透過しなかった。870nm の赤外光を照射した場合、IR-88 未満のフィルタは透過し、それ以上の号数のフィルタは透過しなかった。940nm の赤外光を照射した場合、IR-92 未満のフィルタは透過し、それ以上の号数のフィルタは透過できなかった。全ての赤外線 LED において異なる号数の IR フィルタで遮断、透過されることが判明したため実装するプロトタイプシステムにおいて用いる赤外 LED はこれら 5 種類の異なる波長の赤外線 LED を使用する。

表 3.1: 使用した赤外線 LED

型番	製造者	ピーク発光波長 (nm)
VSF771N1 [1]	Alpha-One	770
LSF811N1 [2]	Alpha-One	810
OSI3CA5111A [12]	OptoSupply	850
TLN233(F) [22]	Toshiba	870
OSIR5113A [11]	OptSupply	940

3.2 プロトタイプシステム

プロトタイプシステムの灯光器は木材で作成した筐体、LEDなどを乗せた基盤、POF 認識用の赤外カメラ赤外光 LED を制御するための Arduino、計算機で構成される。前節において行われた検証により、赤外線 LED は 770nm、810nm、850nm、870nm、940nm の 5 種類のものを使用する。プロトタイプシステムではシフトレジスタ (SN747HC595N[21]) を 2 個使用した時の最大数であり、また 4×4 のマトリクス状にすることが可能な数である 16 個の赤外線 LED を用いた。これらの赤外線 LED の内訳は、770nm を 4 個、810nm を 2 個、850nm を 2 個、870nm を 4 個、940nm を 4 個の計 16 個を使用する。

側面 2 か所にシフトレジスタとそれ 1 個につき制御することが可能な最大値である 8 個の赤外線 LED を配置した基盤を取り付けた（図 3.2 参照）。また図 A.1 に回路図を示す。赤外線 LED の発光を安定させるために各 LED に 10mA の CRD(定電流ダイオード) を使用した。

本研究で実装するプロトタイプシステムでは複数波長の赤外線 LED をすべて同じ回路に組み込み、同時に発光させる必要があるが、赤外光源のすべての LED に同じ値の抵抗値をもつ抵抗を用いて電流を制御した場合、使用した種類の異なるそれぞれの赤外線 LED において赤外光の明るさや照射範囲にばらつきが生じた。これをそのまま実装した場合、前節の選定実験で行った IR フィルタを用いた透過、遮断のコントロールが困難になってしまうため、これらのすべての赤外線 LED の発光を均一にする必要がある。原因としてはそれぞれの赤外線 LED の種類により赤外線出力特性が異なるからだと考えられる。そこで、赤外線 LED の光量を均一にするため各赤外線 LED に対して半固定抵抗を組み込み、赤外線カメラで取得した赤外光の照射画像を目視で確認しながら半固定抵抗により赤外光の光量の調節を行った。プロトタイプシステムにはこれらの CRD や抵抗をはんだ付けし基盤に組み込む必要があるが、この半固定抵抗をそのまま用いる場合、抵抗値が変化してしまう恐れがあったり、カーボン抵抗と比較して面積が大きいため小型化をするには向いていないため、調節した半固定抵抗の値に近いカーボン抵抗を用いてプロトタイプシステムに実装した。プロトタイプシステムの各赤外線 LED に組み込んだカーボン抵抗を表 3.2 に示す。

以上の検証などを考慮しプロトタイプシステムを製作した（図 3.3 参照）。基盤の大きさは縦横 65mm となる。

表 3.2: プロトタイプシステムで用いた赤外線 LED に対する抵抗の値

型番	ピーク発光波長 (nm)	抵抗値
VSF771N1 [1]	770	510 Ω
LSF811N1 [2]	810	1k Ω
OSI3CA5111A [12]	850	1k Ω
TLN233(F) [22]	870	330 Ω
OSIR5113A [11]	940	100 Ω

図 3.3 のように筐体の外側の片側に赤外線 LED が 8 個組み込まれた基盤を取り付けることができるようとした。筐体の外側に LED が収まるサイズの穴（直径 6mm）を開けその穴

に LED を収めることにより赤外光が拡散しないようにした。また POF には直径 1.5mm (三菱レイヨン 光ファイバー エスカ CK- 60E1.5) のものを使用するためその先の内側に面している方には光ファイバを 2 本通すことが可能な直径 3mm の穴を開けた。

マーカ面の大きさは約 80mm × 85mm である。本研究で用いるプロトタイプシステムではマーカ面の板は図 3.4 のように後からマトリクス状の発光箇所を増設することが可能なように脱着可能になっている。検証に用いるプロトタイプシステムでは、赤外線 LED 1 つにつき 1 本の POF を通して使用するため、3mm 厚の木の板に POF を通すことができる直径約 1.6 mm の穴を 4×4 の 16 箇所マトリクス状に開けた。その状態で通すと POF がマーカ面から飛び出てしまい使用することができないため穴が開いた板の下に透明の 2mm 厚のプラスチック板を入れた。POF の長さは投光器の筐体のサイズに合わせて切られており、長さは約 70mm から 100mm である。全ての POF は両端をニッパを用いて切りそろえた。POF は接着剤などにより固定はせず、赤外線 LED とマーカ面の透明プラスチックとで突っ張られることで固定されている。このような固定方法を取ることにより POF は容易に脱着が可能になっている。

このプロトタイプシステムを用いてマーカパターンの認識が可能か検証を行う。

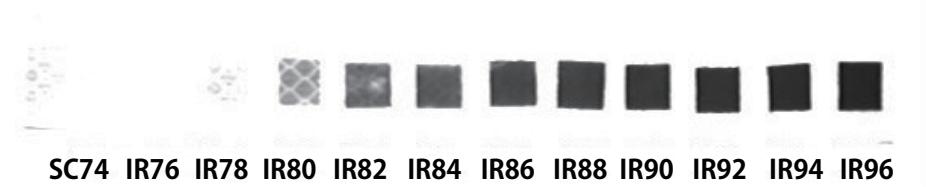
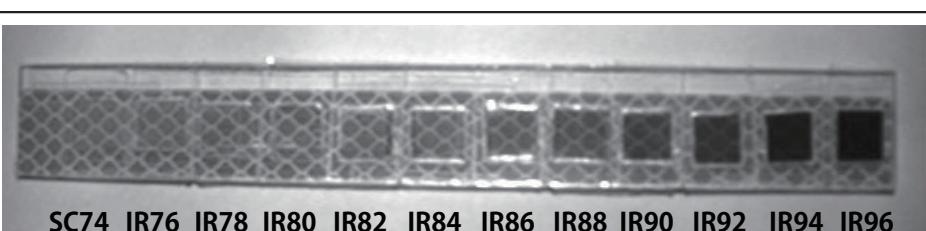
Non Lighting	
770nm	
810nm	
850nm	
870nm	
940nm	

図 3.1: IR フィルタに対する赤外光の透過度 (文献 [5] より改編の上、引用)

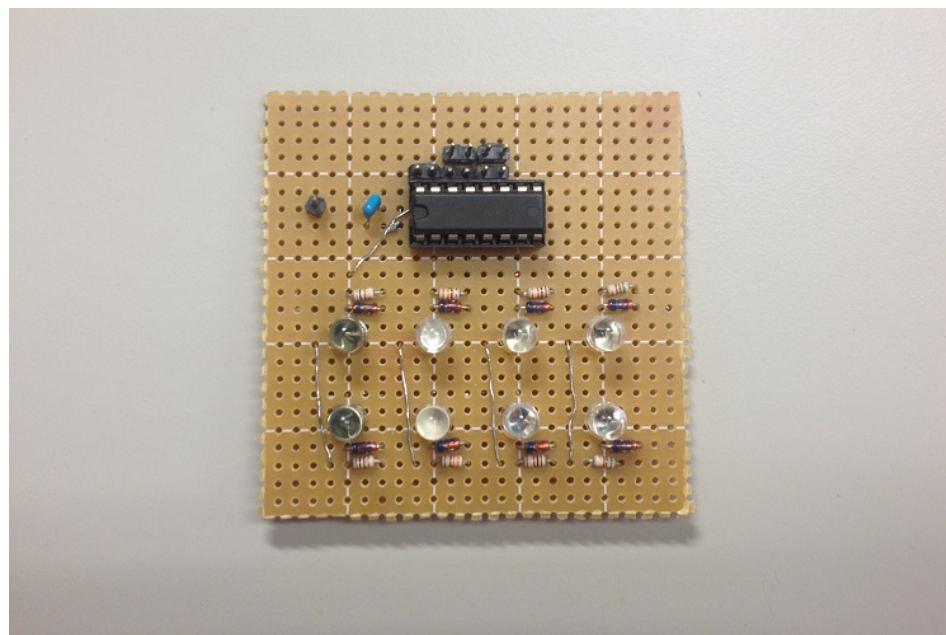


図 3.2: 赤外光 LED 基盤

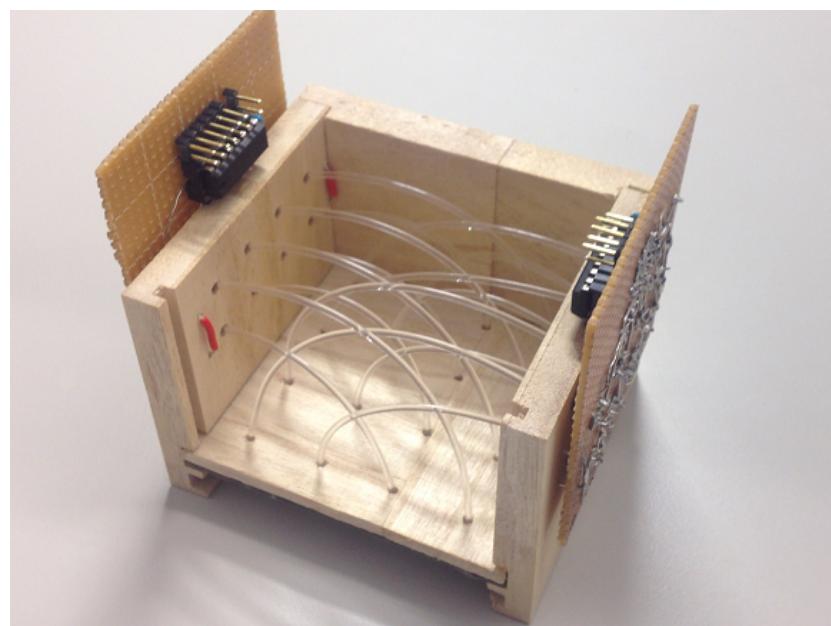


図 3.3: プロトタイプシステム

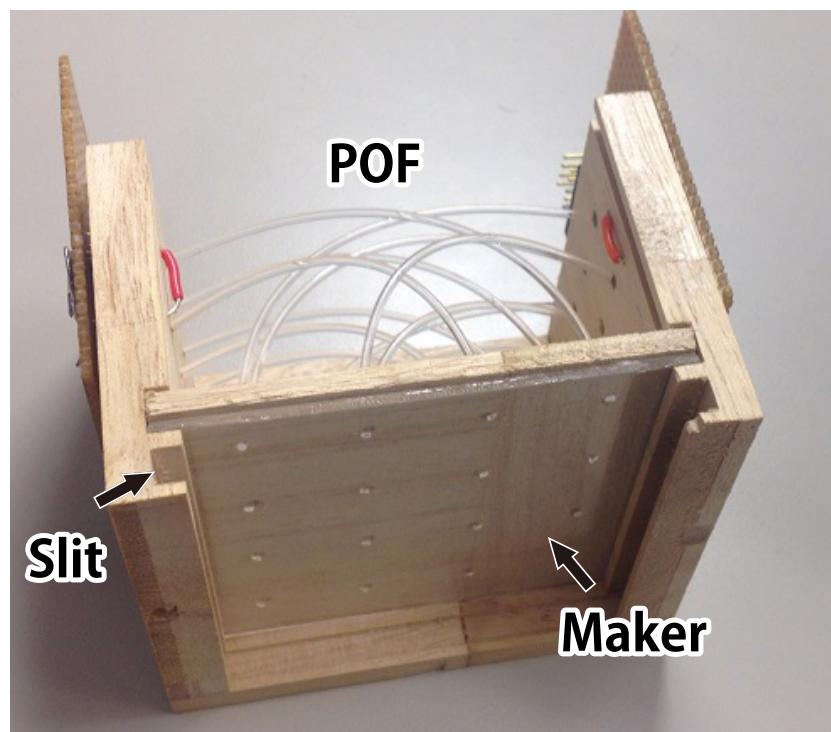


図 3.4: マーカ部分

4 認証装置の認識に関する実験

本章では前章において実装を行ったプロトタイプシステムと IR フィルタ、偏光板を組み合わせてマーカパタンを認識することが可能なのか検証を行った。4.2 節では、IR フィルタを複数枚重ねた場合のマーカ認識に関する検証を行った。

4.1 赤外光の透過認識の検証

先の選定実験では赤外光が IR フィルタを透過、遮断されるかの確認を行った。本節では 3 章において製作したプロトタイプシステムを用いて実際に IR フィルタにより赤外光の発光パターンが変化させることができ、認識することができるのか検証を行った。

4.1.1 検証条件

図 4.1 のような配置で前章において製作したプロトタイプシステムを用いて実験を行った。POF には赤外光を吸収してしまう性質があるため光が減衰して認識できなくなる可能性がある。この認識実験において POF を用いたプロトタイプシステムと IR フィルタとを組み合わせて実際に認識することができるのか検証を行った。

電源には実際にシステムで使用する予定の Arduino の 5V を用いた。赤外光を撮影する赤外カメラには CCD カメラ（Watec : WAT-902H ULTIMATE）に赤外領域が撮影可能なレンズ（TAMRON : 12VM412ASIR）を使用し、レンズ先端には SC-74 フィルタを蓋状に配置し可視光の影響を低減させ、赤外領域の撮影に最適化した。赤外カメラの映像入力には USB 接続のキャプチャデバイス (princeton PCA-DAVP) を使用した。図 4.1 のような明るい室内的環境で実験を行った。赤外光を撮影する CCD カメラは三脚に固定し、真横を向くように設置した。カメラの絞りを全開にし、全ての LED が映るようにした。CCD カメラの先端から約 30cm の位置に赤外線 LED を配置した。

認識の可否には Community Core Vision (version 1.4)¹(以下 CCV と記す) を使用して識別する。このアプリケーションは 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。このアプリケーションを用いることで複数個所の発光する赤外光を認識することができる。ID が割り振られたものを認識したとして判定する(図 4.5 参照)。赤外光が光っている箇所は白くなり、ID が割り振られたところが認識されている箇所となる。また設定により特定以下の大きさの光は認識されないような仕組みになっている。

図 4.2 のように筐体のスリット部分に IR フィルタを差し込むことにより、マーカを変化させる。フィルタはマーカ面のすべての赤外光に影響する。その際の CCV での認識状況をスクリーンショットを撮影し、記録した。

¹Community Core Vision <http://ccv.nuigroup.com/> (2014/12/20 確認)

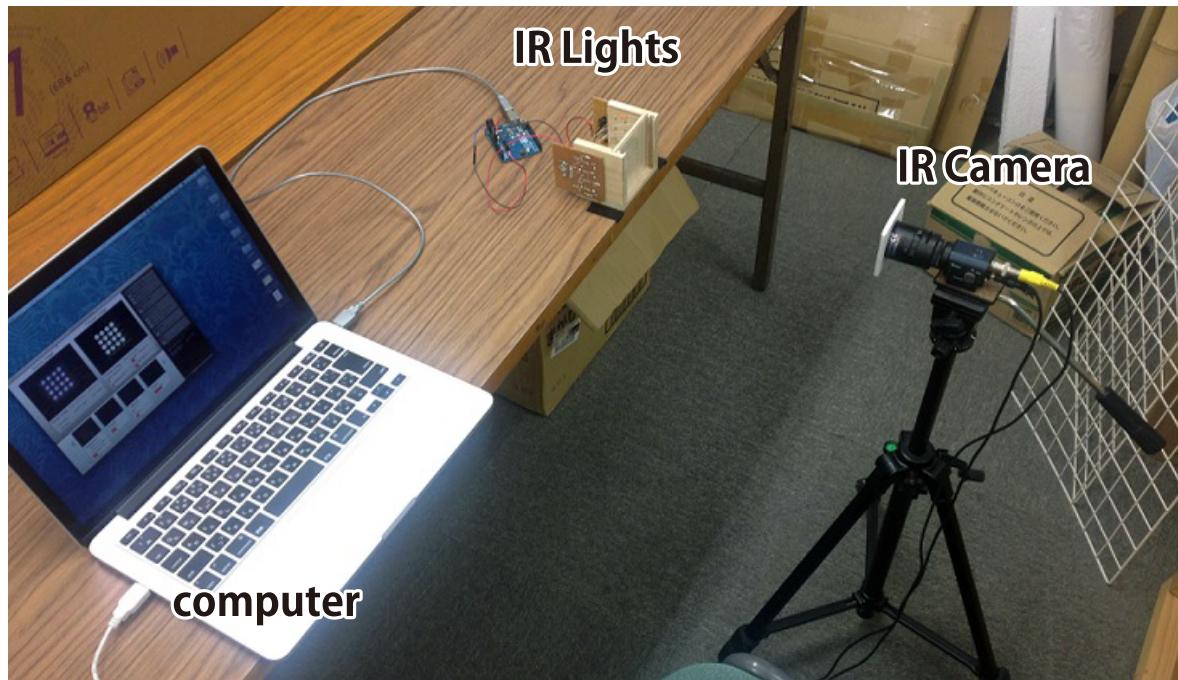


図 4.1: 実験全体図

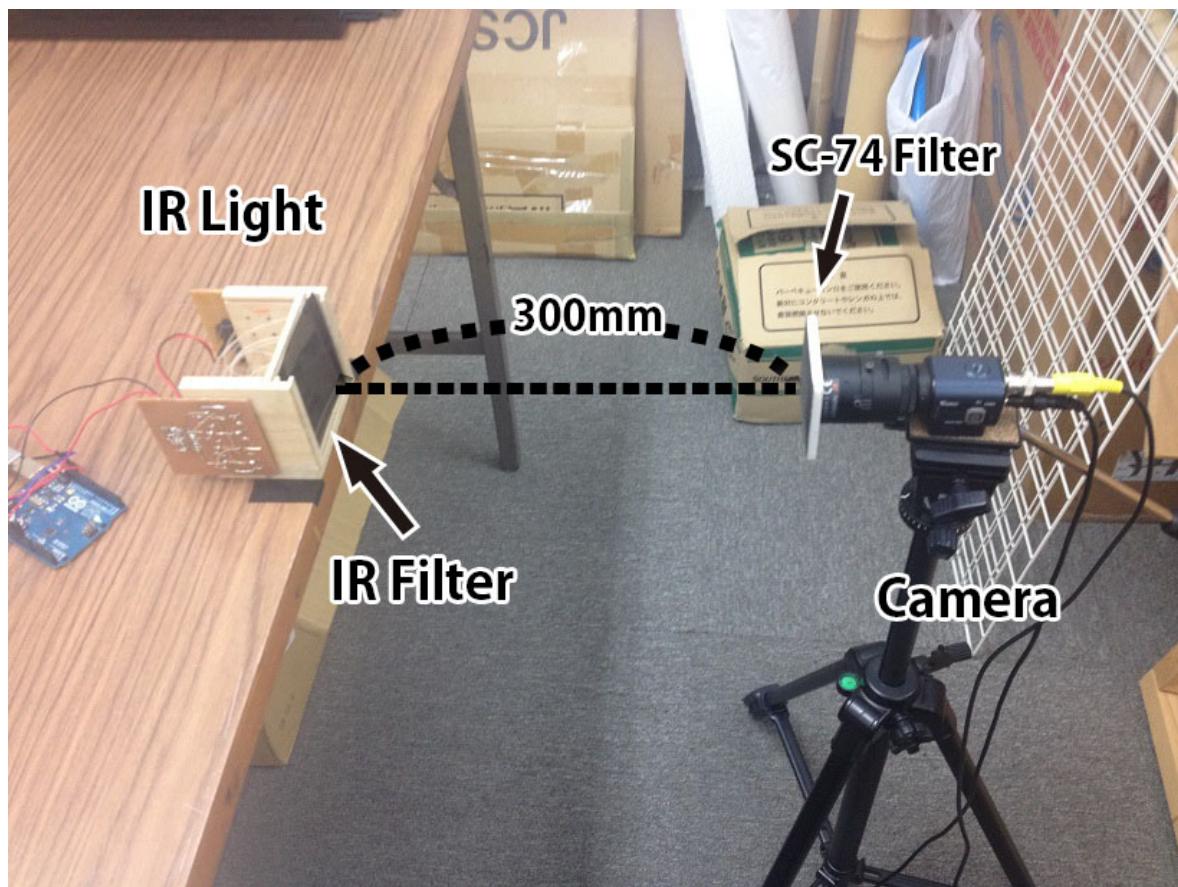


図 4.2: 実験

Prototype System Components

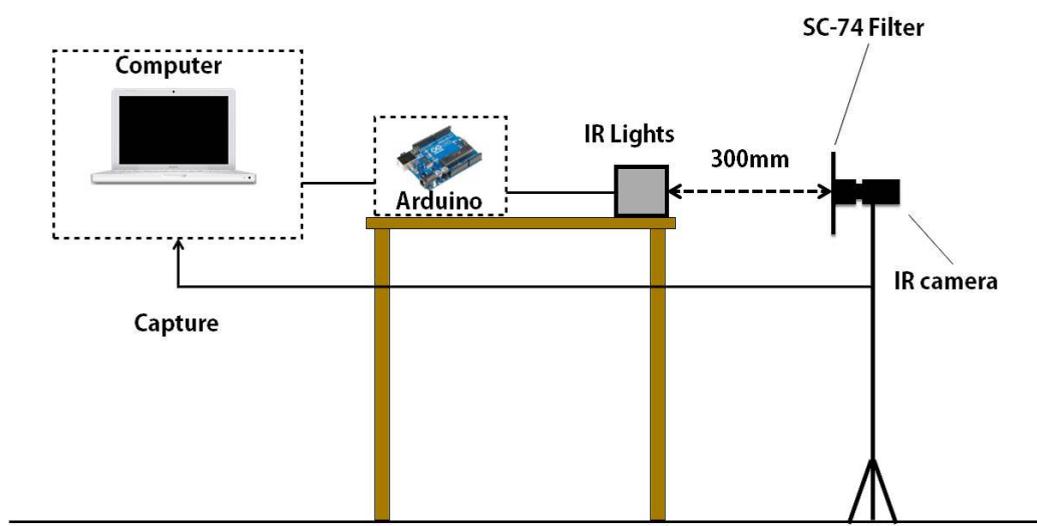


図 4.3: 実験図

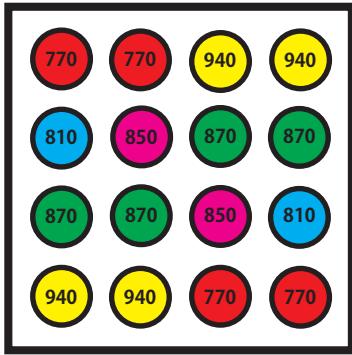


図 4.4: 赤外光波長ごとの図

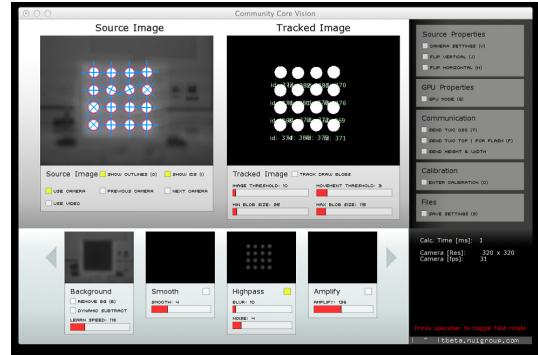


図 4.5: フィルタ無し (SC-74のみ)

4.1.2 検証結果と考察

マーカにおける赤外光の波長の位置を図 4.4 に示す。フィルタなし (SC-74 フィルタのみ) の場合は図 4.5 のようになる。また結果の一覧を表 4.1 に示す。表は○が透過、-が遮断された場合になる。結果として IR-78,80 のフィルタはどの波長の赤外光にも影響を与えたなかった。IR-82 のフィルタは 770nm の赤外光に対してわずかに減光させた。IR-84 のフィルタをかざした場合、770nm の赤外光は一部が透過しなくなった。IR-86 のフィルタをかざした場合は 770nm の赤外光は完全に遮断され認識されなくなった。IR-88 のフィルタをかざした場合、810nm 以下の赤外光まで遮断され認識されなくなった。IR-90 のフィルタをかざした場合、850nm 以下の赤外光が遮断され認識されなくなった。IR-92 のフィルタをかざした場合、870nm 以下の赤外光は遮断され認識されなくなった。IR-94、96 のフィルタでも検証を行ったが、940nm の赤外光は遮断されることとはなかった。前章において行った選定実験では 2 値化して厳密に識別を行わなかったため今回の実験とは異なる結果となった。また、投光機の LED の個数や光量、光源の範囲も異なる。さらに認証装置では POF を使用しているため光る範囲が狭く、光量も落ちていた。3.1 において赤外線 LED は 8 個の集合体を用いて照射した。対して今回の実験においては赤外線 LED は 1 個のみで、さらに赤外線 LED の先に POF を接続し、婉曲させたため光量が比較的に少なかったからだと推測される。この検証により、使用した赤外線 LED はすべて異なる種類の IR フィルタで遮断することができるため、システムにおいてこの 5 種類の赤外 LED を使用することが可能であることが再度確認された。

4.2 異なる種類の IR フィルタを重ねた場合の検証

4.2.1 検証条件

4.1 節の検証により、複数種類の波長の赤外光と、複数種類の IR フィルタを組み合わせることで、マーカパターンを作成し認識可能であることが確認された。認証装置としてはさらに多くのマーカパターンを扱うことができる方が望ましいと考えられる。前節の実験において IR フィルタにより赤外光が遮断はされないが減光されたという結果がいくつかあった。そこで複数の IR フィルタを重ねることによってマーカパターンを変更することができないかと考えた。異なるフィルタを重ねることによりマーカパターンを変更することができた異なる複数のカド

表 4.1: IR フィルタ 1 枚を赤外光源にかざした場合の透過

LED	IR フィルタ									
	IR-78	IR-80	IR-82	IR-84	IR-86	IR-88	IR-90	IR-92	IR-94	IR-96
770nm	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-
810nm	○	○	○	○	-	-	-	-	-	-
850nm	○	○	○	○	○	○	-	-	-	-
870nm	○	○	○	○	○	○	○	-	-	-
940nm	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

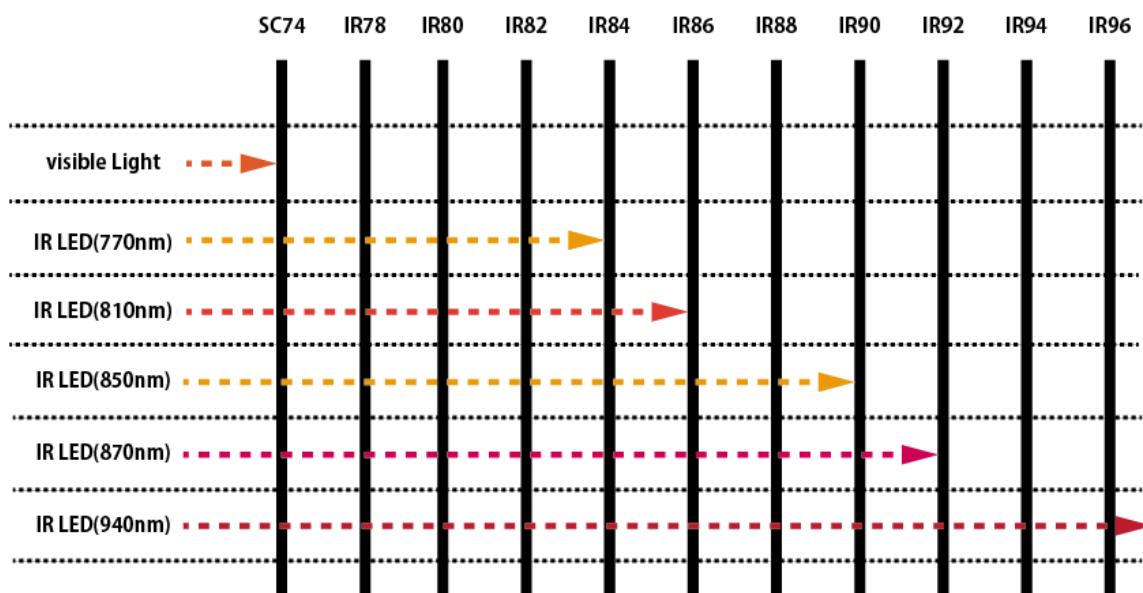


図 4.6: プロトタイプシステムにおける赤外光の透過図

を使用するためセキュリティも向上すると考えられる。本節では複数の異なる種類の IR フィルタを重ねることによりマーカパタンを変化させることができなのか検証を行った。カメラや投光器の位置は前節の実験と同様で、投光器のスリット部分に IR フィルタを重ね、その際のマーカパタンをスクリーンショットで記録した。

4.2.2 結果と考察

検証結果を表 4.2~4.8 を示す。△は同じ波長の LED のどれかが透過、もしくは遮断された場合である。フィルタ 1 枚のみの場合と、異なるフィルタを複数枚重ねるとではマーカパタンに変化が見られた。例えば表 4.1 のように IR-86 のフィルタ 1 枚のみの場合では 770nm の赤外線 LED の光が遮断されるのみの結果だったのに対して IR-78 ~ IR-88 の（6 枚）の IR フィルタを重ねた場合、表 4.2 のように 850nm の波長の赤外光まで遮断されることが判明した。同様に、IR-80 ~ IR-88、IR-82 ~ IR-88 を重ねた場合でも 850nm の赤外光が遮断されることが確認された。また、IR-92 以降の番号のフィルタはどの番号のフィルタから重ねても

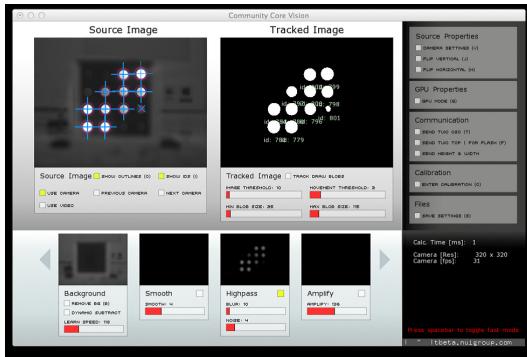


図 4.7: IR-84 IR-86

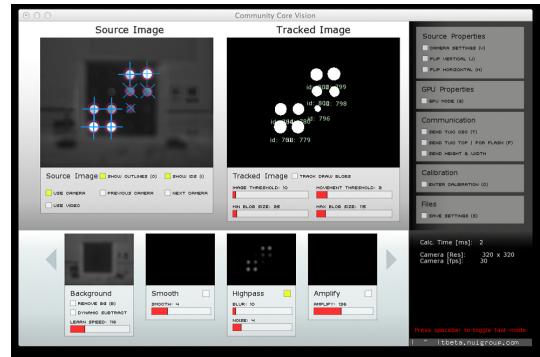


図 4.8: IR-84 IR-88

マーカパターンには変化が無いことが判明した。IR-78 のフィルタは今回行った実験の条件下では、フィルタを重ねても変化は起きず、IR-80 と同等の結果となった。このフィルタは他のどの IR フィルタと組み合わせても認識には影響することは無いと考えられる。940nm の赤外光は認識範囲が小さくなりはしたが、遮断されることは無くすべての条件において認識された。IR フィルタ 1 枚を重ねた場合と同一の検証条件であったが、図 4.7、4.8 のように全ての同一波長の赤外線 LED か認識できないという場合が存在した。

原因としては光ファイバの長さ、切り口、撮影環境、LED の位置、個数、赤外 CCD カメラのレンズ、赤外カメラの絞りの値などが考えられる。

表 4.2: IR-78

	78-80	78-82	78-84	78-86	78-88	78-90	78-92	78-94	78-96
770nm	○	△	-	-	-	-	-	-	-
810nm	○	○	-	-	-	-	-	-	-
850nm	○	○	○	○	-	-	-	-	-
870nm	○	○	○	○	○	△	-	-	-
940nm	○	○	○	○	○	○	○	○	○

表 4.3: IR-80

	80-82	80-84	80-86	80-88	80-90	80-92	80-94	80-96
770nm	○	-	-	-	-	-	-	-
810nm	○	○	-	-	-	-	-	-
850nm	○	○	○	-	-	-	-	-
870nm	○	○	○	○	△	-	-	-
940nm	○	○	○	○	○	○	○	○

表 4.4: IR-82

	82-84	82-86	82-88	82-90	82-92	82-94	82-96
770nm	-	-	-	-	-	-	-
810nm	○	-	-	-	-	-	-
850nm	○	○	-	-	-	-	-
870nm	○	○	○	△	-	-	-
940nm	○	○	○	○	○	○	○

表 4.5: IR-84

	84-86	84-88	84-90	84-92	84-94	84-96
770nm	-	-	-	-	-	-
810nm	△	-	-	-	-	-
850nm	○	△	-	-	-	-
870nm	○	○	△	-	-	-
940nm	○	○	○	○	○	○

表 4.6: IR-86

	86-88	86-90	86-92	86-94	86-96
770nm	-	-	-	-	-
810nm	-	-	-	-	-
850nm	○	-	-	-	-
870nm	○	○	-	-	-
940nm	○	○	○	○	○

表 4.7: IR-88

	88-90	88-92	88-94	88-96
770nm	-	-	-	-
810nm	-	-	-	-
850nm	-	-	-	-
870nm	○	-	-	-
940nm	○	○	○	○

表 4.8: IR-90

	90-92	90-94	90-96
770nm	-	-	-
810nm	-	-	-
850nm	-	-	-
870nm	-	-	-
940nm	○	○	○

表 4.9: 2 枚重ねた場合

	IR-78	IR-80	IR-82	IR-84	IR-86	IR-88	IR-90	IR-92	IR-94	IR-96
770nm	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-
810nm	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-
850nm	○	○	○	○	○	-	-	-	-	-
870nm	○	○	○	○	○	○	-	-	-	-
940nm	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△

表 4.10: 3 枚重ねた場合

	IR-78	IR-80	IR-82	IR-84	IR-86	IR-88	IR-90	IR-92	IR-94	IR-96
770nm	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-
810nm	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-
850nm	○	○	○	○	-	-	-	-	-	-
870nm	○	○	○	○	○	○	-	-	-	-
940nm	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△

4.3 同一種類の IR フィルタを重ねた場合の検証

4.3.1 検証条件

前節の実験では全て異なる種類のフィルタを用いて検証した。本節では同じ条件のもとで同一のフィルタを重ねた場合のマーカパタンの変化を確認した。同一種類のフィルタを最大3枚まで重ねての実験を行った。

4.3.2 結果と考察

結果を表4.9、4.10に示す。検証結果から、フィルタ1枚のみである表4.1の場合と比較して、IR-84のフィルタを2枚重ねることにより810nmの赤外光が遮断された。IR-88のフィルタを2枚重ねることにより810nmの赤外光が遮断された。IR-80のフィルタを3枚重ねることにより770nmの赤外光が遮断された。IR-86のフィルタを3枚重ねることにより850nmの赤外光が遮断された。上記のように同一のフィルタを重ねた場合でもマーカパタンは変化するということが確認された。

4.4 偏光板を用いた実験

2.2.3節において示したように、偏光板には偏光方向があり、2枚の偏光板をそれぞれ異なる方向で重ねることで、光が透過しなくなる。その仕組みを用いて灯光器とテーブル面に偏光板を入れる。灯光器側を90°ひねることにより偏光板の偏光方向を変えることで光が透過しなくなり、マーカパタンを変更することができると考えられる。また、通常の偏光板では基本的

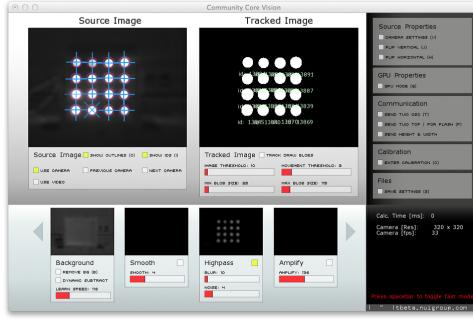


図 4.9: 偏光板 1

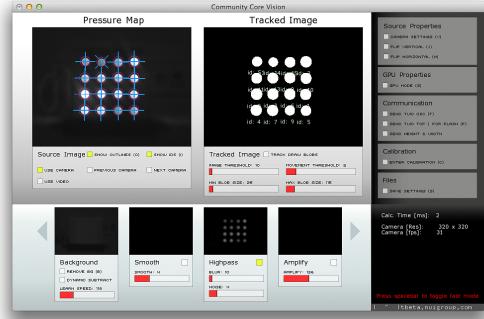


図 4.10: 偏光板、赤外偏光板

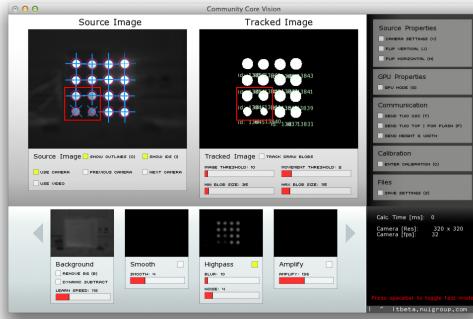


図 4.11: 赤外偏光板 1

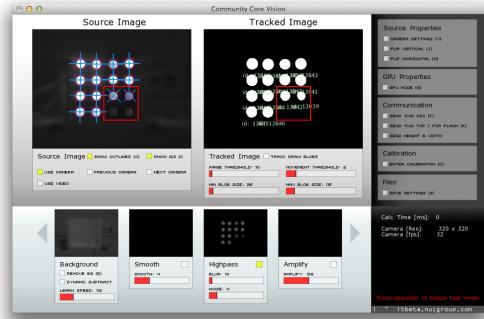


図 4.12: 赤外偏光板 2

に赤外光を偏光することはできず、透過させてしまうため通常の偏光板に加えて、赤外光用の偏光板も検証に用いた。前節において IR フィルタをはめ込んだ箇所に 2 枚の偏光方向の揃っていない偏光板を差し込み、同じようにスクリーンショットを撮影した。検証では (1) 通常の偏光板を 2 枚、(2) 通常の偏光板と赤外光用の偏光板をそれぞれ 1 枚づつで計 2 枚、(3) 赤外用の偏光板を 2 枚の計 3 種類の実験を行った。

4.4.1 結果と考察

結果を図 4.9~4.12 に示す。通常の偏光板を 2 枚用いてそれぞれ異なる偏光方向にして前節の実験と同様に灯光器のスリットに差し込み、カメラで撮影した。

赤外用の偏光板は通常の偏光板の約 1/2 の大きさのものを 2 枚使用していたため、結果の図 4.11、4.12 においては赤枠内のみが偏光板による影響を受けている。結果として通常の偏光板を使用した場合は、赤外光は全て透過し、認識された。2 枚のうち別の種類の偏光板を用いた場合は、770nm の赤外光がわずかに減光されたのみですべての赤外線 LED の光が透過し、認識された。赤外光用の偏光板を使用した場合は 770nm の波長の赤外線 LED の光のみが遮断された。

5 関連研究

本研究と類似する研究について 5.1 節では赤外を用いた関連研究についてまとめ、5.2 節ではマーカを用いた関連研究についてまとめる。5.3 節において関連研究との相違点について述べる。

5.1 赤外光を用いた入力や実物体の認識

赤外光はセンサとして様々なものに用いられている。例えば、家電用のリモコンは赤外光の点滅により情報を送信している。他にも赤外光通信や自動ドアなどのセンサなどにも使用されている。そのほかにも赤外光を用いた認識技術としてインタラクティブサーフェスにおいて多く用いられている。インタラクティブ・サーフェスとは、実在するテーブルや壁といった「面(サーフェス)」を用いて、ユーザに対してインタラクション可能な情報提示媒体としたものである。インタラクティブ・サーフェスは協調作業の支援や、エンタテインメントといった様々な目的に用いられ、いずれもユーザの直感的な操作性の実現を目指すべく研究が進められている、近年特に注目を集めているインターフェース技術の一つである。このインタラクティブサーフェスの位置の認識や、テーブル上で使用されるオブジェクトの認識に赤外光が使用されているシステムがある。インタラクティブサーフェスでは、複数人が同時に使用することを想定して設計されている。そのため、入力装置にはマウスやキーボードのような複数人での共有が難しいものを用いずにサーフェス上でのタッチパネルや実物体を用いてシステムとのインタラクションを行うという例が多く見られる。その際にセンシング方法として赤外光を利用したシステムというものがある。特にテーブル型のシステムにおいて多く用いられている認識方法である。

Microsoft PixelSense[17]¹ は実際に業務用に販売されているテーブル型システムである。本質的には windowsOS を搭載したパーソナルコンピュータであり、上部に 30 インチのタッチスクリーンを搭載している（図 5.1 参照）。このようなテーブル型システムではテーブル面がタッチパネルになっており、またテーブル上に置くことにより追加情報などを提示することができるテーブルトップオブジェクトを使用している。これらの認識の際に赤外光を使用し、位置などを認識している。

Lumisight Table[9] はテーブル型のシステムで、テーブル上に置かれたオブジェクトを操作することによりテーブル面に映し出された情報を操作することができるシステムである。テーブル上に置かれたオブジェクトの底部には反射材が張り付けられており、その赤外光の反射をカメラで認識することでテーブル上に何が置かれているのか認識している。

Tablescape Plus[7] はテーブル上に置かれたオブジェクトがスクリーンになっている。テーブル上のオブジェクトの底部に AR マーカ [8] を貼り付けすることで物体の認識を行い、オブジェクトに映像を投影するシステムである。オブジェクトを移動させてもそのオブジェクト上に映っている映像もオブジェクトに追随するような仕組みになっている。

SLAP[24] はテーブル上に配置されたシリコンゴムとアクリルでできたオブジェクトを操作することでテーブル面上に映し出された情報を直観的に操作することが可能なシステムである

¹ Microsoft PixelSense – <http://www.microsoft.com/en-us/pixelsense/default.aspx> (2014/12/26 確認)

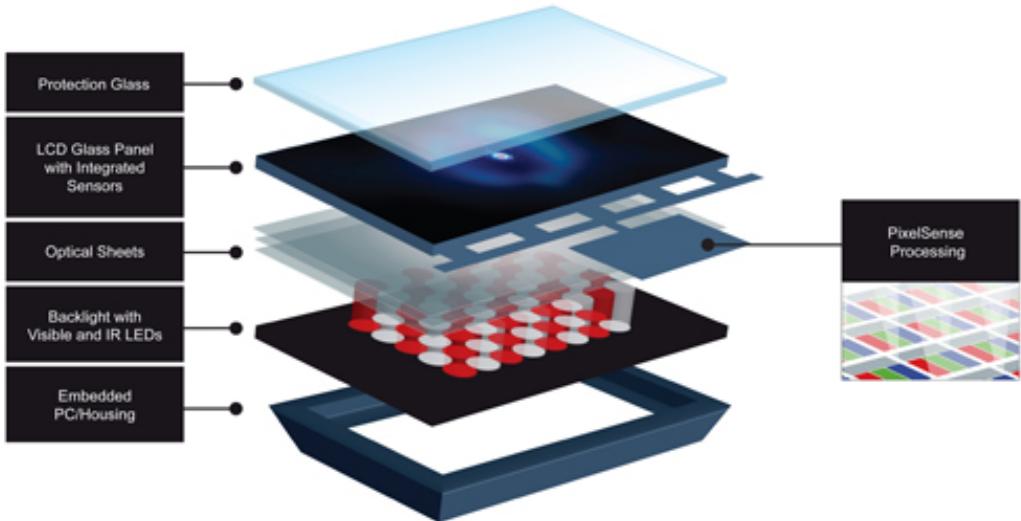


図 5.1: PixcelSense

(図 5.3 参照)。このシステムは、テーブル面の下から赤外光を照射し、オブジェクトの底面に貼り付けられた反射材による赤外光の反射を読み取ることで情報を提示している。

白井らは秘映プロジェクタという赤外光を用いて情報を秘匿することが可能なプロジェクタを提案した [19]。このシステムはプロジェクタと赤外光、読み取り端末により構成される。読み取り端末には赤外カメラが搭載されておりそれを通して見ることにより人の目には見えない不可視なマーカを認識し、それに付与された情報を見ることができる。

田中ら [20] は多重赤外光を用いたマーカを提案した。この手法の場合、テーブル上のオブジェクトに貼り付けられた反射板からの反射を読み取り認識を行う。また大森らはその赤外光とフィルタで作られるマーカの仕組みを利用して情報投影システムを製作した [10]。このシステムはハンドヘルド型の赤外光投射機で、赤外光を IR フィルタと再帰性反射材が埋め込まれた壁面ディスプレイに照射すると反射材により反射された赤外光をカメラで認識し、プロジェクタにより情報が映し出される(図 5.5 参照)。田中らは多重赤外光を用いた壁面型のインタラクティブサーフェスの提案をしている [5]。このシステムはマグネット裏側に反射板と赤外光を遮断する IR フィルタを貼り付け、照射された赤外光を反射した位置と ID を特定しそれに対応した情報を壁面型のサーフェス上に映し出すことができる(図 5.4 参照)。

阪口らの Shadow++ は赤外光とその特性を利用したインタラクティブな影遊びシステムである [14]。IR フィルタで覆われたオブジェクトに対して赤外光を照射することで IR フィルタの中に存在するマーカを認識できるようになる。それによりスクリーンに映し出されている映像が変化する。Restive shadow [16] では異なる複数の波長の赤外光と異なる号数の IR フィルタを用いた影絵のインタラクティブアートである(5.6 参照)。黒いフィルタで覆われたオブジェクトの中にさらに異なる号数の IR フィルタが入っており、異なる波長の赤外光を当てるとオ

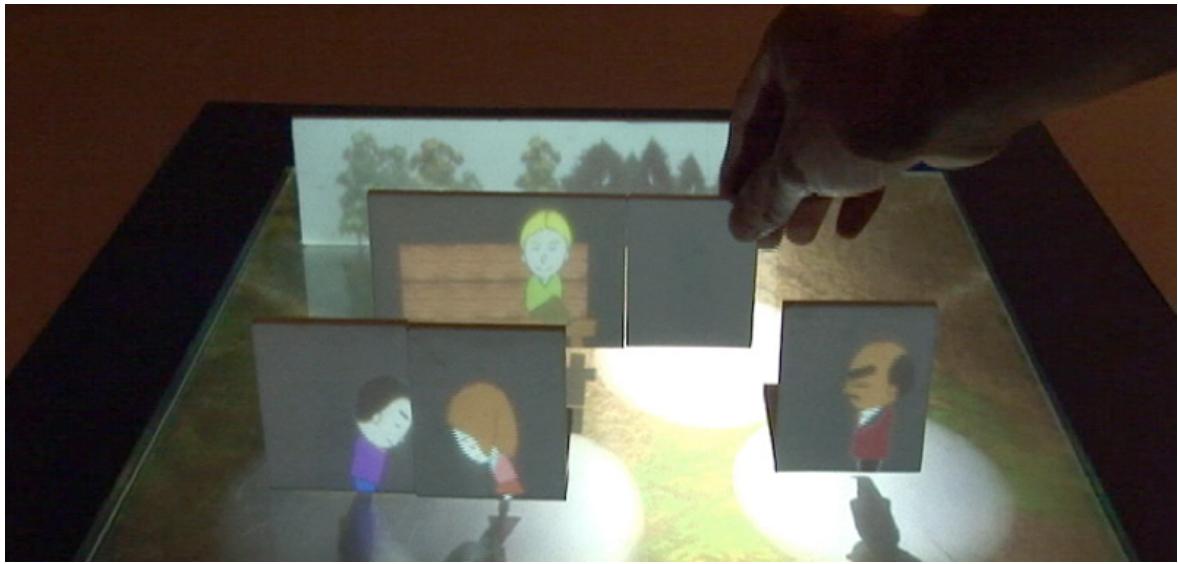


図 5.2: TableScape Plus(文献 [7] より図引用)

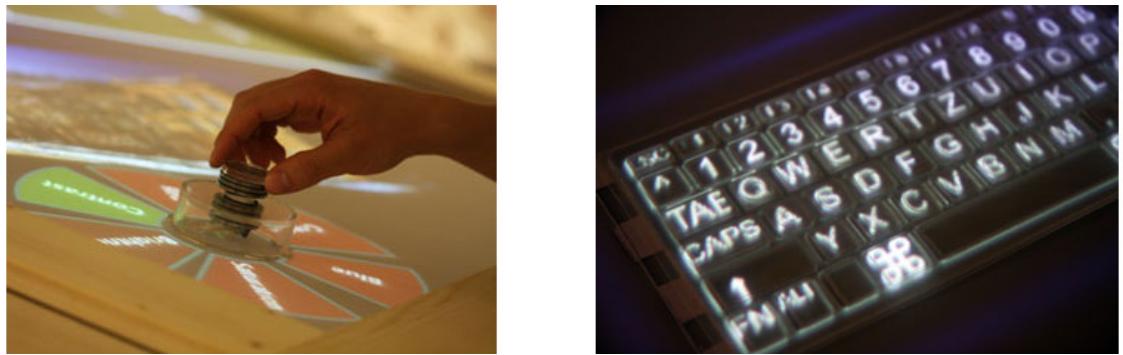


図 5.3: SLAP オブジェクト (文献 [24] より図引用)

オブジェクトの影が変わることで情報が伝送する仕組みになっている。

他にも赤外光を点滅させることで情報を転送するという手法を用いているシステムもある。青木の Balloon Tag [27] では小型の灯光器から赤外線 LED を点滅させ情報を送り、その情報をカメラで読み取ることでその灯光器から送られる情報を得ることができる。また、実空間上での ID 認識システムとして IDCam[29] が挙げられる。これは光学的 ID と高速イメージセンサを利用したシステムで、高速に光る LED ビーコンをカメラで読み取り認識を行う。

筆者らはテーブルトップシステム上で使用することができる可変マーカとしてゼンマイ動力を用いたオブジェクトを提案した [33]。このシステムはテーブル上のオブジェクト内に配置された複数の波長の LED を発光させておき、オブジェクトの下に IR フィルタを敷くことでマークパタンが変更されテーブルに映るコンテンツが変更されるというもので、本研究で提案するものに近いものになる。

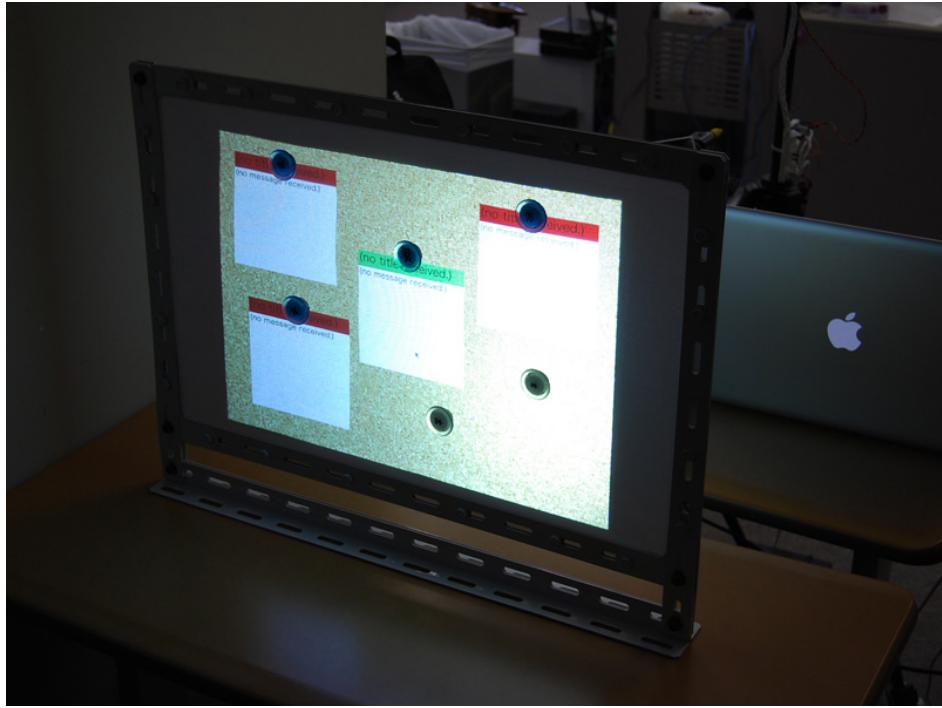


図 5.4: マグリッドサーフェス (文献 [5] より図引用)

5.2 マーカ技術

同一のマーカに複数の情報を付与する手法として、ActiveCyberCode [4] が挙げられる。これは既存の CyberCode[13] のマーカを拡張したもので、紙に印刷されたマーカの一部分をカメラで撮影し、画像処理を用いてマーカに対応する情報を取り出して利用する。マーカは紙媒体に印刷されたものを用いるので LED などを使用したものと比較して手軽に利用することが可能だが印刷されたものにさらに情報を追加することはできず、情報量に限りがある。

岸野らはコンピュータディスプレイを用いた動的なマーカである VCC (Visual Computer Communication) を提案した [32]。これはコンピュータディスプレイ状に内容や位置を動的に変更できるマーカを表示し、マーカとカメラの位置関係及び、アプリケーションで利用する情報を表現できるシステムである。

また岸野らは、VCC マーカをウェアラブルなものに利用できないかと考え、持ち運びが可能な可変マーカとして LED を用いた VCC マーカを提案した (図 5.7 参照) [26]。

出島らは AR に利用するマーカをデジタルイメージ化し、テーブル型システム上にプロジェクトで直接映し出すという手法を提案している [28]。これによりテーブル型システム上においてマーカの動的な制御を行うことが可能になり、またマーカ操作は手動で操作することができる。

浦西らは重ね合わせ可能な半透明二次元カラーマーカを提案した [23]。これは AR マーカを拡張したもので、Cyan, Magenta, Yellow の三色の半透明のカラーマーカを用いてそれらを重ねることで異なるマーカを作り出し、情報を提示することができる。

上條らは不可視バーコードによるマーカを提案した [30]。不可視バーコードは紫外線などの光をあてることにより光を発する不可視インクを用い、2 次元バーコードを新聞や雑誌の記事等に重畠して印刷したものである。

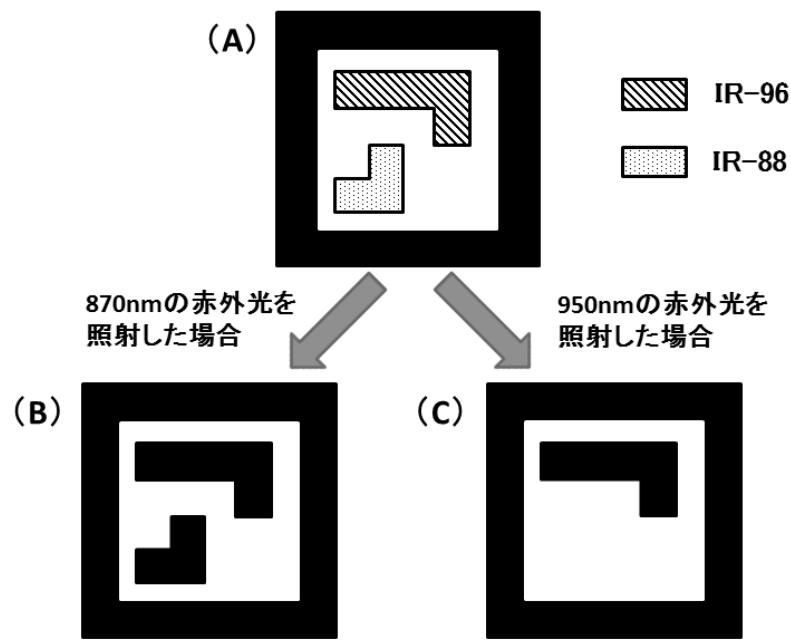


図 5.5: 多重赤外波長を利用した情報投影手法 (文献 [10] より図引用)

reac Table[6] はテーブルトップ型のシステムでテーブル上に置かれた複数のオブジェクトを移動させたり、回転させることにより演奏をすることが可能な電子楽器である。このシステムではオブジェクトに図 5.9 のような 2 次元マーカを用いている。

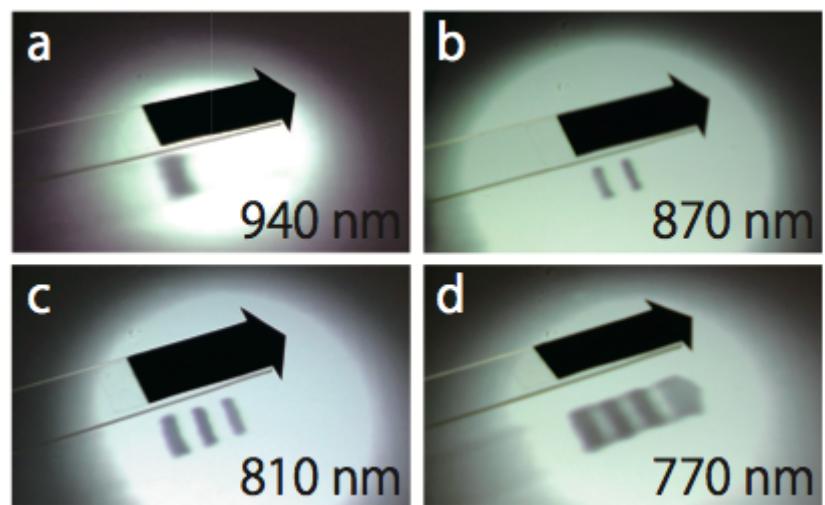


図 5.6: Restive Shadow(文献 [16] より図引用)

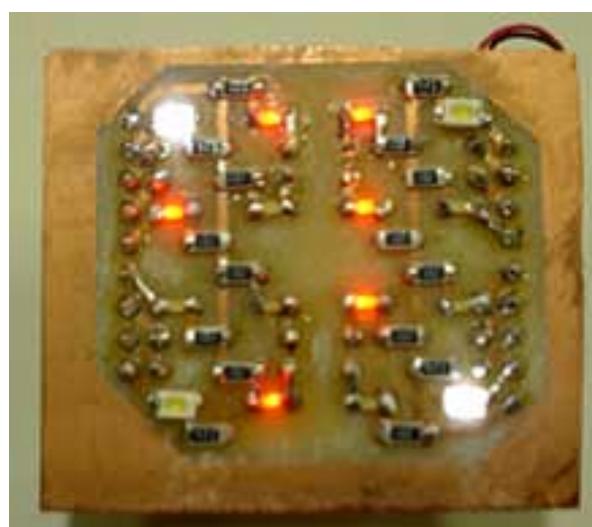


図 5.7: LED VCC(文献 [24] より図引用)

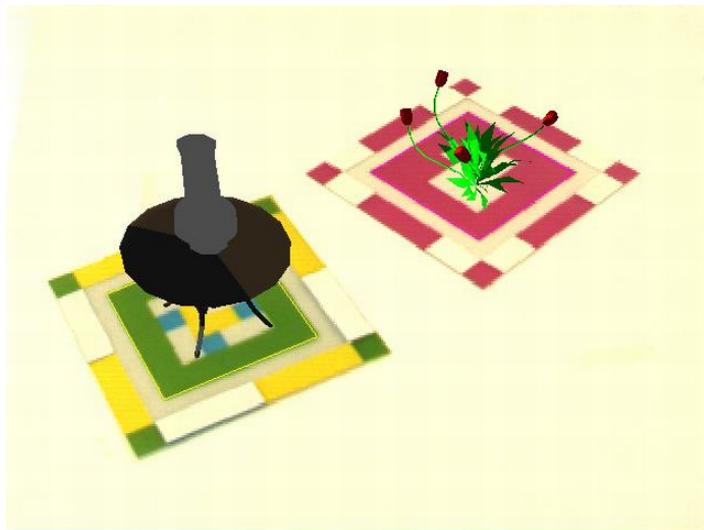


図 5.8: 重ね合わせ可能な半透明二次元カラーマーカ (文献 [23] より図引用)

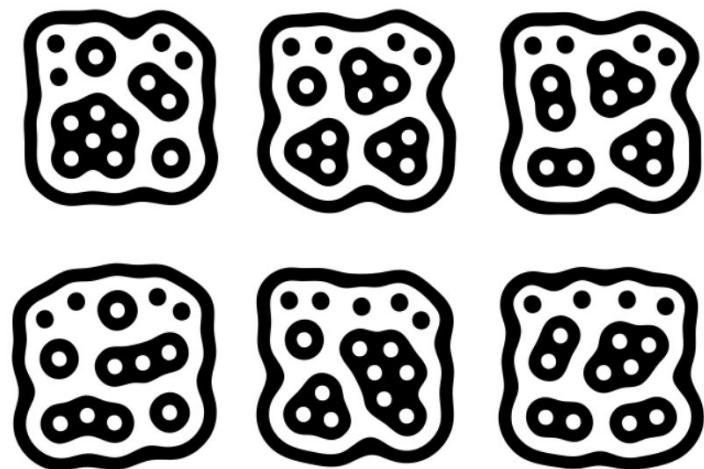


図 5.9: reacTIVision(文献 [6] より図引用)

5.3 既存研究との比較

上記で挙げた cybercode や VCC 等の場合はマーカパタン部分が視認できてしまうためマークを複製されてしまう恐れがある。本研究で提案するマークでは赤外光を用いるため複製をする難易度は比較的高くなると考えられる。また、紙媒体や LED のみを用いた認識装置ではパタンが限られてしまうといった問題が挙げられる。今まで赤外光を用いた認識、認証システムに関してはテレビのリモートコントローラだったり、上述した Balloon Tag のような赤外光を点滅させることで情報を送信するような、マークが同じ個所で時系列によって変化し、情報を伝達するという仕組みの物が存在する。しかしそのような仕組みの場合はユーザが任意のタイミングでマークを変化させるといったことは困難である。そのような手法で情報を送信するシステムに対して本研究では赤外光の発光する位置という空間的な情報をもとに認証を行うシステムを提案する。田中らが提案した多重赤外光を用いたマークの場合は、オブジェクトに張り付けられた反射板に反射した赤外光を認識するという手法をとっているため、そのオブジェクト自体には電源が不要という利点もあるが、反射するパタンは変更することができないという欠点がある。筆者らが提案したゼンマイを用いたシステムは本研究で提案するものに近いが、作成できるマークパタンが少ないため、認証装置として使用するには難しいと考えられる。

6 議論

本研究において提案したシステムについて議論を行う。

6.1 提案システムの問題点

6.1.1 マーカ認識に関する問題点

4章の検証において、同じ種類の波長の赤外線 LED、電圧、電流、抵抗のものを使用したが、片方が遮断され、もう片方は透過し、認識されたというものが数か所存在したことが明らかになった。4.1節での1枚のみのIRフィルタを用いた実験においては、全ての各々異なる波長の赤外線 LEDにおいてどれかだけが透過しないといったものはなかったが、4.1節での複数の異なる種類のフィルタを重ねた場合の認識実験では IR-80,82,84 からのもので片方だけが透過したという現象が見られた。重ねた IR フィルタの枚数や赤外線 LED の波長の種類などもばらばらで共通点などは見られなかった。4.3節において行った同じ種類のフィルタを重ねた実験においては、IR-96 のフィルタを複数重ねた際に 940nm の赤外線 LED のみにおいてどれかが遮断されたという結果になった。認証装置としては確実に認識、認証を行えなければならぬため、原因を探り解決する必要がある。原因としては 赤外線 LED の個体差の問題、POF の太さ、長さや切り口、接続部の問題、光を発している場所、筐体の設計の問題といったようなことが考えられる。今後この原因を明らかにする必要がある。

プロトタイプシステムを用いた検証において、カメラとマーカ面との距離は 300mm としていた。それよりもカメラと赤外光が近い距離であれば認識は可能である。近い距離で用いるのであれば現在使用している直径 15mm の POF よりもさらに細い光ファイバを使用することが可能だと考えられる。また、カメラと赤外光源の距離を変更することで赤外光のコントロールに使用する IR フィルタの号数も変化すると考えられる。POF の直径が検証において用いたものより細いものを使用した場合でも発光面の面積が減ることになるので発光をコントロールする際に用いられる IR フィルタの号数も異なるものになる可能性がある。

また認識用の赤外カメラに関しても絞りの調整の問題がある。絞りの設定により透過、遮断に用いられる IR フィルタの号数が本研究で行った検証とは異なる結果になる。

偏光板を用いたマーカ変化の検証実験を行ったところ本研究で実装したプロトタイプシステムにおいては赤外光用の偏光板を 2 枚用いて 770nm の赤外光のみが遮断されるという結果となった。認証に用いるカードに偏光板と IR フィルタや減光フィルタを重ねることによって 770nm 以外の波長の赤外光もある程度コントロールすることが可能になると考えられる。

阪口らの Slanting Shadow[15] では 使用した 2 枚の偏光板のうち片方が普通の偏光板でもう片方が赤外用偏光板という組み合わせで情報の表示、非表示のコントロールを行っていた。このシステムでは図のように上から赤外光を照射し、手元の偏光板が張り付けられたオブジェクトを操作することにより偏光方向を変更することで光のコントロールを行っていた。またその際は灯光器とそれを照射する赤外用の偏光板との距離が離れており、拡散してしまい光量が比較的に少なくなってしまっているためこの 2 枚の偏光板を用いることでも情報の切り替えが可能になっていると考えられる。

本研究のプロトタイプシステムでは外装の素材として加工が容易で安価であり、切削 RP マ

シンで加工することができるという利点から、木材（桐）を用いた。しかし今回用いた木材の場合 POF の張力による劣化が見受けられた。このため木材を用いる場合は POF を接着剤やパテなどで固定した方が良いと考えられる。また今後実装する場合は木材よりも固いプラスチックやアクリルなどの素材を用いた方が良いと考えられる。

6.1.2 ハードウェアに関する問題点

本研究で提案したシステムでは、プラスチック製光ファイバ（POF）を用いているため灯光器をあまり小型化することができない。認識に関しては POF は直径が太い物の方が輝度が高く認識精度が高くなると考えられる。しかし POF は直径が太いほど曲げにくく、灯光器の内部も圧迫されメンテナンス性も悪くなり、扱いにくくなる。マーカ面は 80mm × 80mm 程度の大きさで、発光する箇所は 4 × 4 の計 16 箇所だったが、POF を 2 点ずつ出した場合だと装置内に余裕はあるが、どの赤外線 LED がどの発光地点に接続されるのか判別しにくかったり、他の POF が邪魔になってしまふといったことがあり、メンテナンス性に問題があると考えられる。接続に関する問題点に関しては、POF に対して塗装をする、色のついたテープを巻きつけるといったことである程度改善することはできると考えられる。また他の解決策としては、さらに細い POF を使用するということが挙げられる。それを使用することにより曲げにも強く、空間内には余裕が生まれるため、POF の追加も容易になる。しかし細い POF を用いると発光面が狭くなるため認識が難しくなるという問題点もある。カメラを至近距離で用いるのであればさらに細い POF でも認識することが可能だと考えられる。

本研究では赤外光用のカメラを使用している。赤外光自体は市販の Web カメラなどでも撮影することは可能であるが、赤外用のカメラと比較した場合、感度が低いため本研究で用いたような細い光ファイバから出る赤外光を撮影するのが困難である。これに関してはセキュリティ面では利点であるとも考えられる。

6.2 今後の展望

6.2.1 認識パターンの増加

本実験においては赤外線 LED は計 16 個用いた。カメラで認識するマーカ部分も 4 × 4 のマトリクス状にしたもの用いた。これらの赤外線 LED およびマーカ面に通じている POF の数を増やすことにより更にパターンを増やすことが可能になると考えられる。また本研究において使用した 5 種類の赤外線 LED とは異なる波長の赤外光を増やすことが可能であればパターンを増やすことが可能になると考えられる。しかし現状のシステムでは 5mm の赤外線 LED を使用している。この型の LED を増設する場合、装置の筐体も大きくなってしまう。そのような場合、小型のチップ型 LED を使用することにより問題を解決することが可能だと考えられる。

赤外線 LED の数を増やすとともに 1 個の赤外線 LED から複数光ファイバを通すことによってマーカ面の赤外光の発光数を増やすことでさらにパターンを増やすことが可能になると考えられる。その場合赤外線 LED の細かな制御が必要になると考えられる。

Baloon Tag[27] のように赤外線 LED を点滅させることにより時系列的にも情報を送ることが可能にすることによりさらにパターンを増やすことができると考えられる。

今回のシステムでは小型の灯光器に赤外 LED と光ファイバを詰め込んだが、固定器であれば光ファイバのみを伸ばすことにより灯光する部分のみ小型化することが可能になる。

複数台のカメラを使用し、それぞれに異なる IR フィルタをつけることでそれぞれで異なるマーカパタンを認識することができると考えられる。

現在のプロトタイプシステムではパソコンからの有線での電力供給を行い、灯光器と比較しても比較的大きいものになってしまっている。これに関してはバッテリーを使用する、小型のマイコンを使用するという方法で解決可能だと考えられる。

また 4 章において行った検証ではマーカ部分と認識用の赤外カメラとの間には何も置かずに実験を行った。例えばテーブルトップシステムでの使用の場合、テーブル面はディスプレイとして扱われるため、面には透明ではない素材を使用しなければならなくなる。その際に素材によっては何もしていない段階から減光されるため、赤外光の遮断、透過の実験とは異なる結果になる可能性があると考えられる。

6.2.2 認証装置以外での利用

本研究で提案した認証装置に関して関連研究においても取り上げたインタラクティブサーフェスにおいて使用することができると考えられる。特にテーブル型システムにおいて用いられるテーブルトップオブジェクトに使用することが可能だと考えられる。筆者らが提案したゼンマイを用いたシステムでは、マーカとなる 赤外線 LED が点灯している間はテーブル面に映像が映し出され、IR フィルタをマーカとカメラの間に配置することによりマーカパタンが変更され、映し出される映像の内容が変更されるという仕組みになっていた。そのようなエンタテイメントシステムなどにおいての利用も考えられる。

7 結論

本論文では光を用いた認証装置の提案を行い、複数波長の赤外光と複数の異なる種類の光学素子を用いた認証装置のプロトタイプシステムの実装を行い、認証を行うことが可能なのか検証を行った。

1章では、本研究の背景にある現状の認証装置について概観し、実例や問題点を列挙した。そのうえで現状の認証装置における問題に対して赤外光を用いた認証装置の提案を行った。

2章では、赤外光と光学素子に関する説明を行い、認証装置の具体的な提案手法について述べた。

3章では、プロトタイプシステムの実装に複数波長の赤外光を用いることが可能なのか選定実験を行った。その検証結果をもとに 770nm、810nm、850nm、870nm、940nm の計 5 種類の異なる赤外線 LED を用いて提案した認証装置のプロトタイプシステムを実装した。

4章では3章において実装したプロトタイプシステムを用いて実際に認識をすることが可能なのか検証を行った。またさらに扱うことが可能なマーカパタンを増加させるために複数の IR フィルタを重ねることによってもマーカパタンを変化させることができなのか検証を行った。また偏光板を用いることによってマーカパタンを変化させることができなのか検証を行った。

5章では本研究と類似する赤外光を用いた専攻研究について概観し、それらと本研究との差異をまとめた。

6章では、実装したプロトタイプシステムの問題点や課題について述べた。加えて、提案システムのこれから展望について述べた。

7章では、本稿の要点をまとめ、結論付けた。

謝辞

本研究の遂行、ならびに本稿を纏めるにあたり、数多くの御指導、御鞭撻を賜わりました関西大学大学院総合情報学研究科松下光範教授に深甚の謝意を表します。

同大学松下研究室の皆様やお世話になりました卒業された先輩方には研究活動において、相談や議論、論文構成や発表練習など様々なことご協力いただき本当にありがとうございました。心から感謝いたします。

また大学院進学への良き御理解、ならびに様々な面でご支援を頂きました家族に感謝いたします。

A 付録

A.1 3章で述べた図

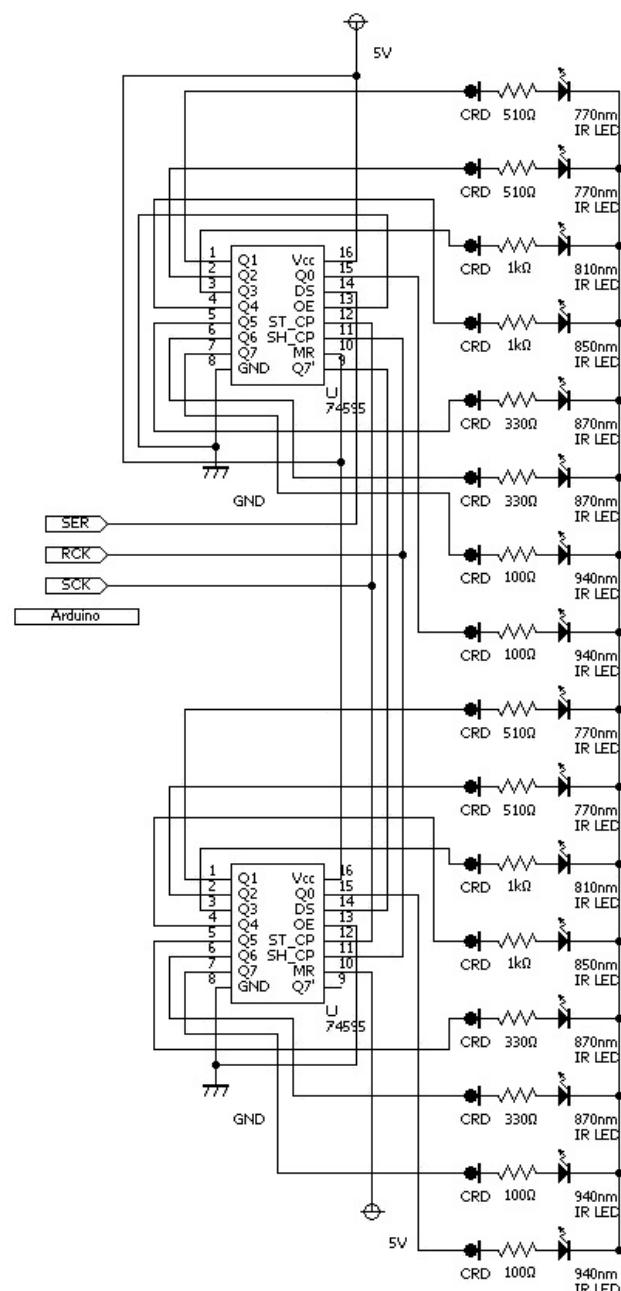


図 A.1: プロトタイプシステムの回路図

A.2 4章で述べた検証結果のスクリーンショット

A.2.1 フィルタを重ねた場合の検証結果

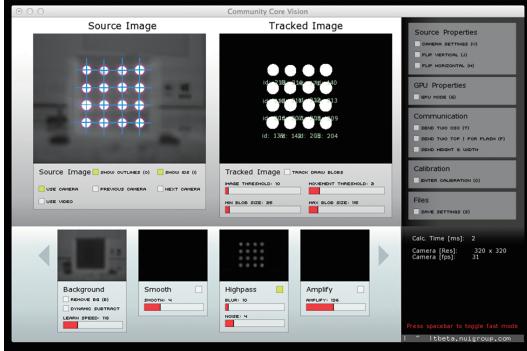


図 A.2: IR-78

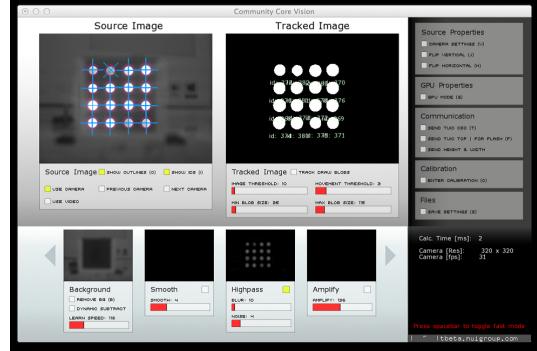


図 A.3: IR-80

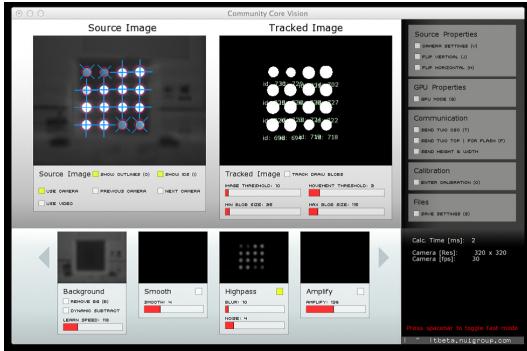


図 A.4: IR-82

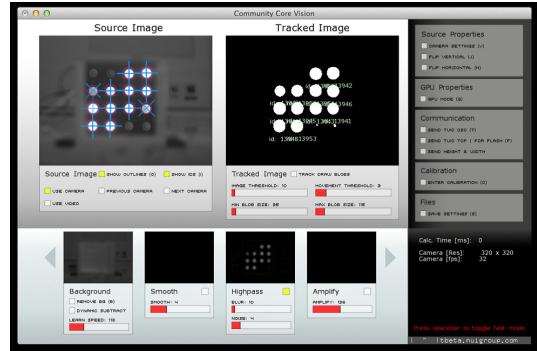


図 A.5: IR-84

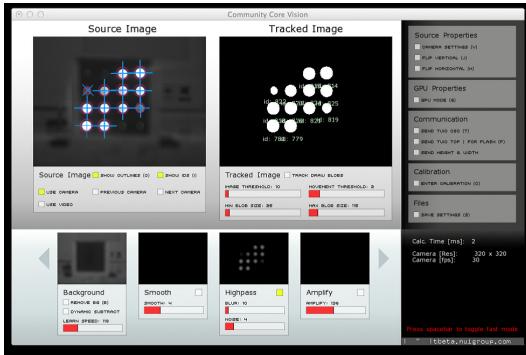


図 A.6: IR-86

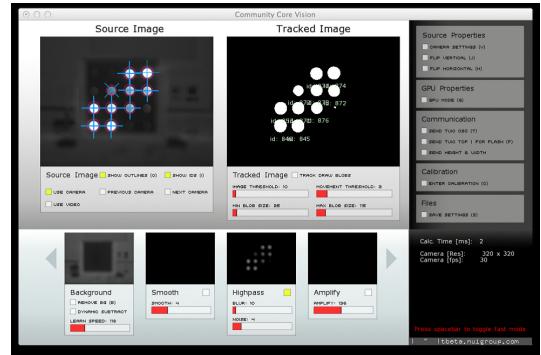


図 A.7: IR-88

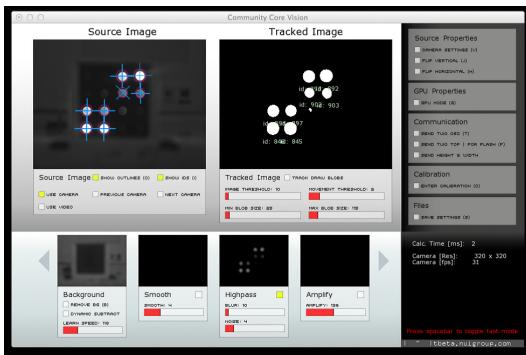


図 A.8: IR-90

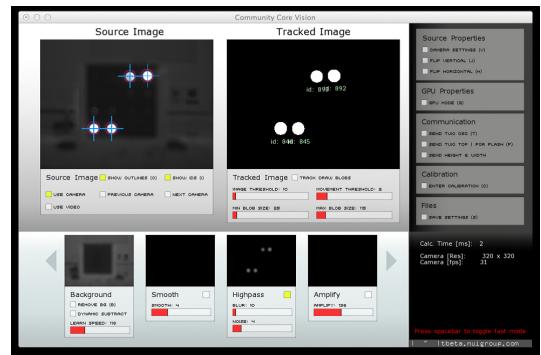


図 A.9: IR-92

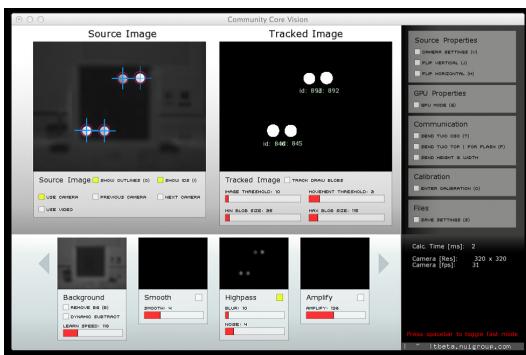


図 A.10: IR-94

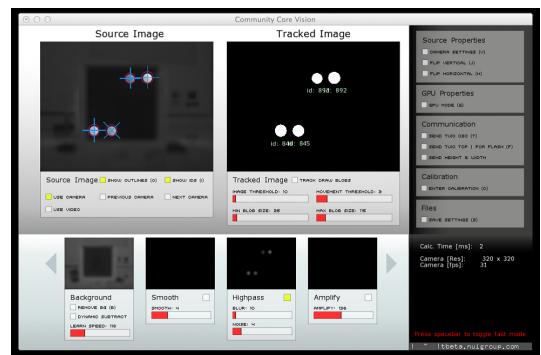


図 A.11: IR-96

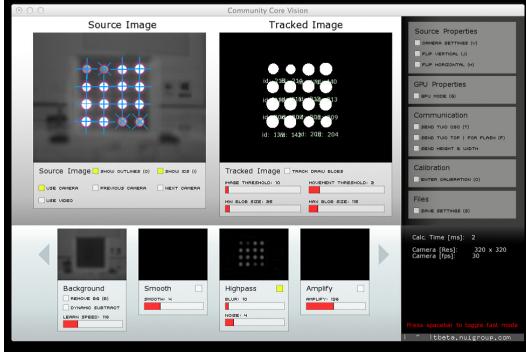


図 A.12: IR-78 IR-80

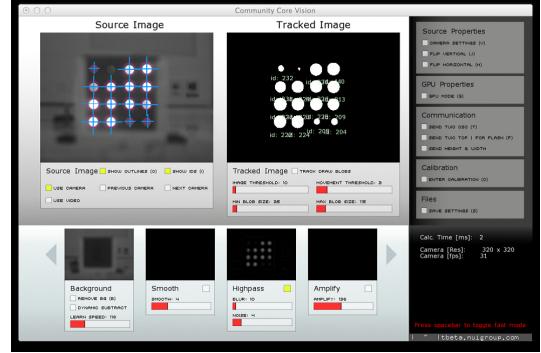


図 A.13: IR-78 IR-82

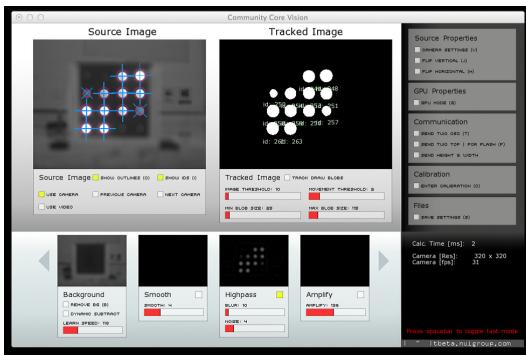


図 A.14: IR-78 IR-84

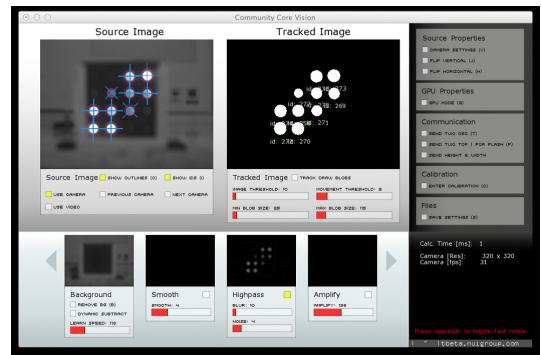


図 A.15: IR-78 IR-86

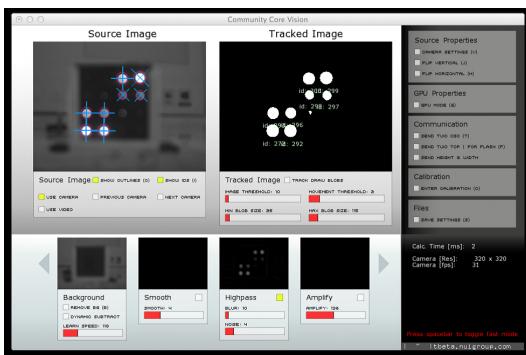


図 A.16: IR-78 IR-88

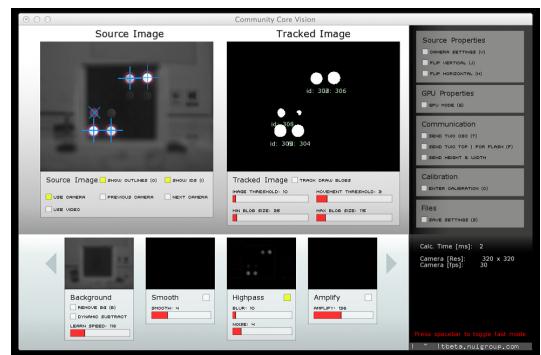


図 A.17: IR-78 IR-90

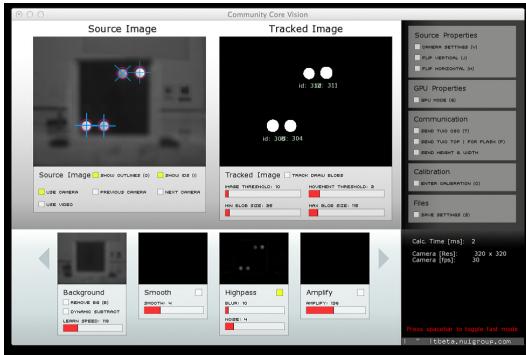


図 A.18: IR-78 IR-92

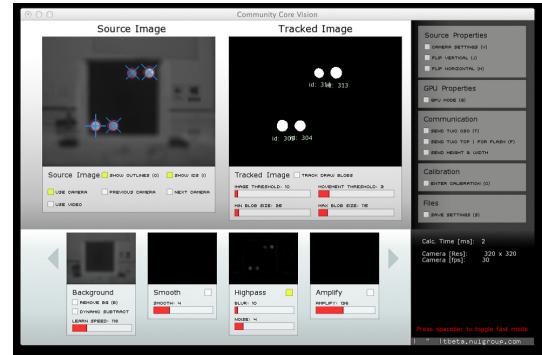


図 A.19: IR-78 IR-94

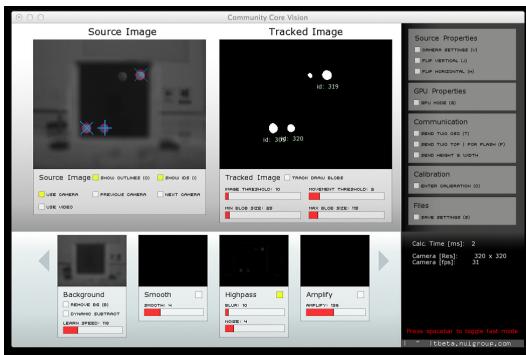


図 A.20: IR-78 IR-96

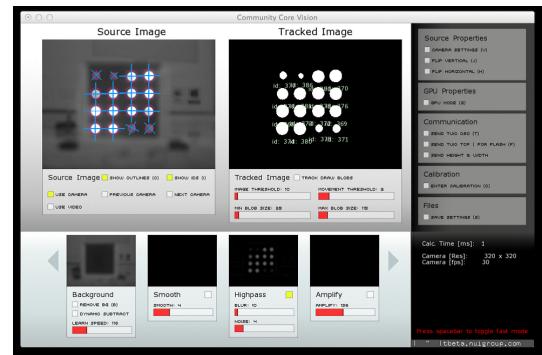


図 A.21: IR-80 IR-82

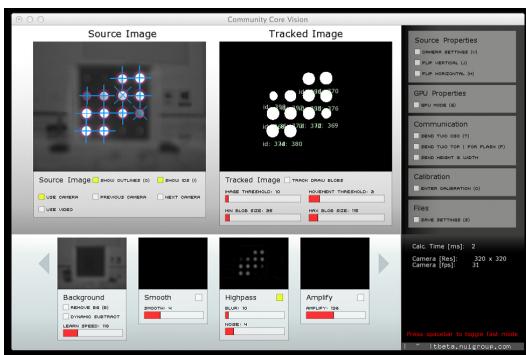


図 A.22: IR-80 IR-84

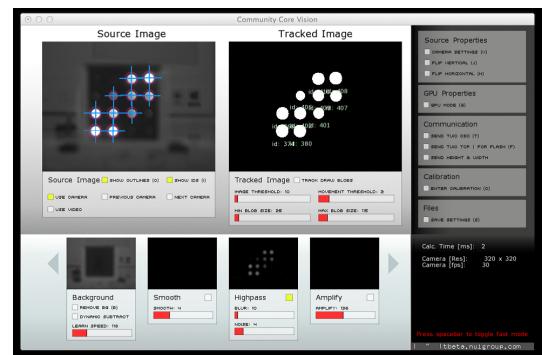


図 A.23: IR-80 IR-86

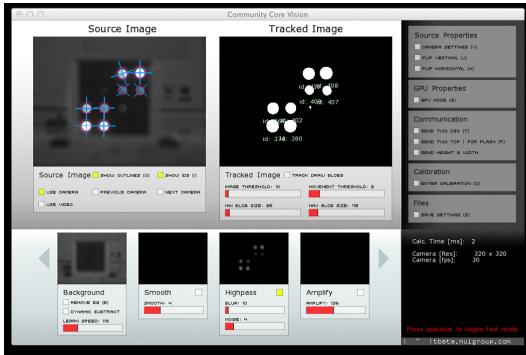


図 A.24: IR-80 IR-88

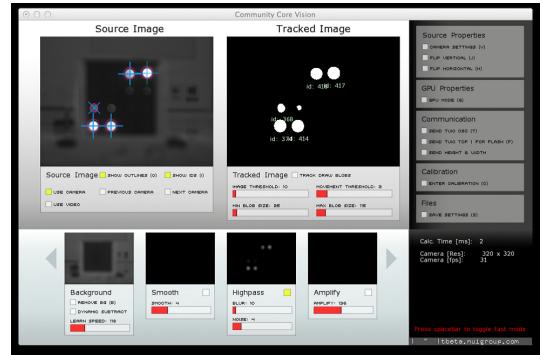


図 A.25: IR-80 IR-90

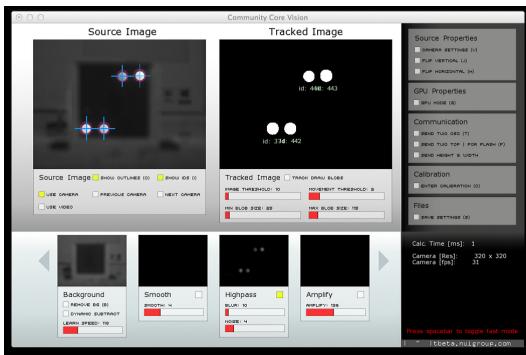


図 A.26: IR-80 IR-92

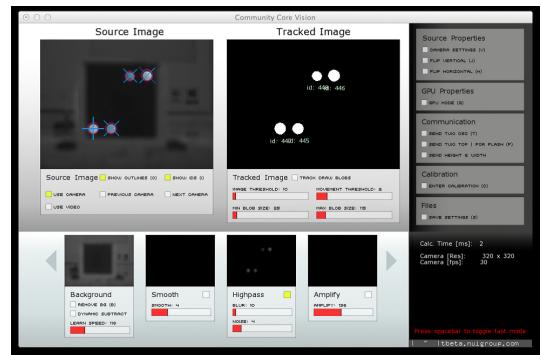


図 A.27: IR-80 IR-94

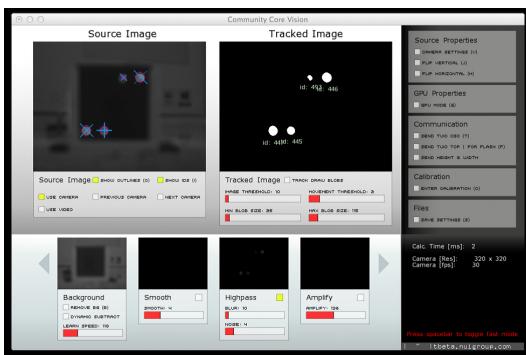


図 A.28: IR-80 IR-96

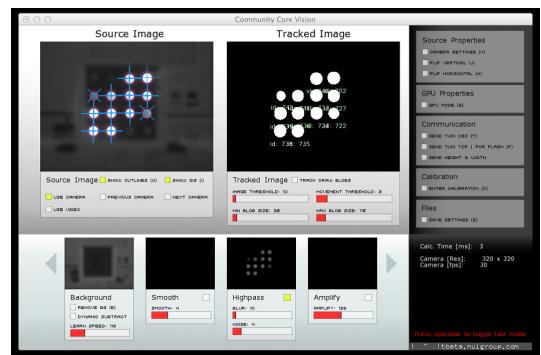


図 A.29: IR-82 IR-84

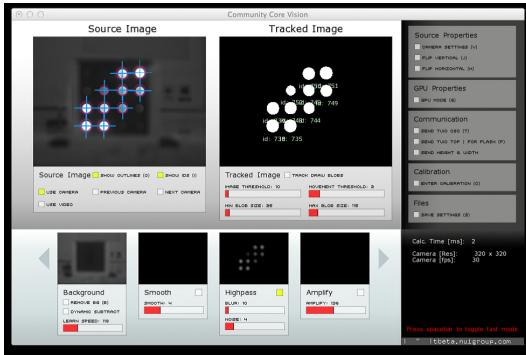


図 A.30: IR-82 IR-86

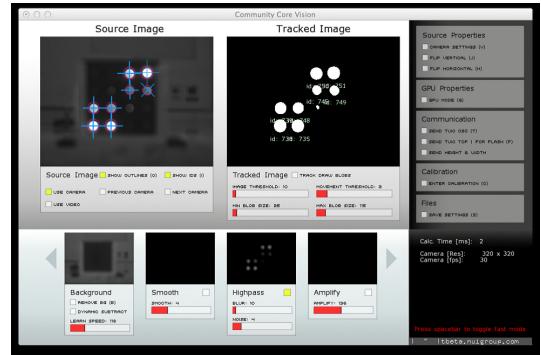


図 A.31: IR-82 IR-88

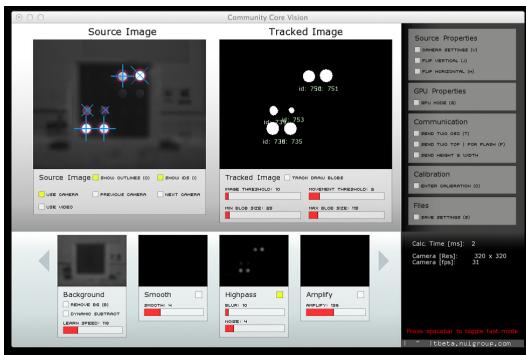


図 A.32: IR-82 IR-90

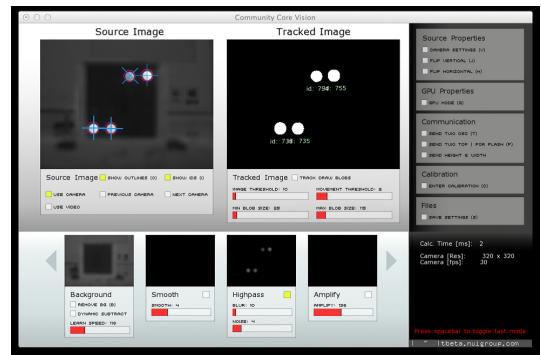


図 A.33: IR-82 IR-92

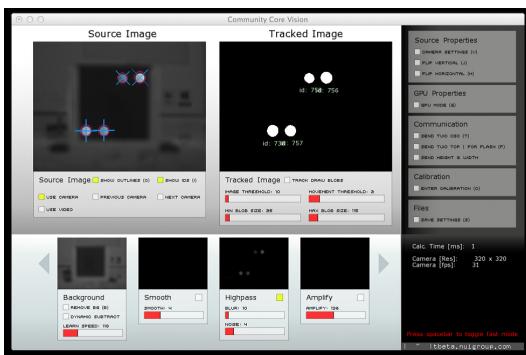


図 A.34: IR-82 IR-94

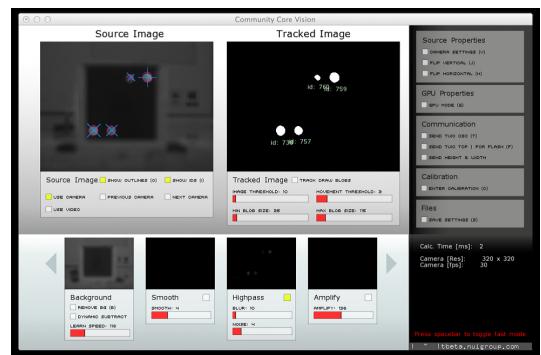


図 A.35: IR-82 IR-96

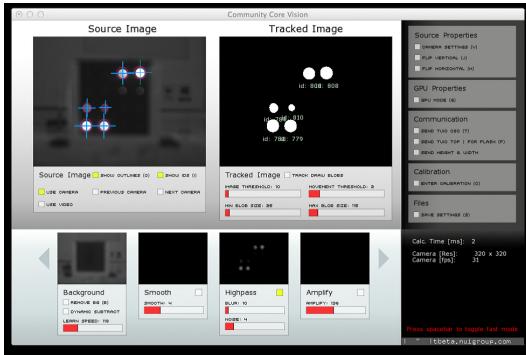


図 A.36: IR-84 IR-90

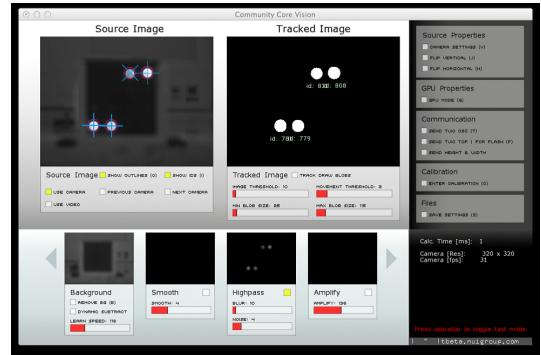


図 A.37: IR-84 IR-92

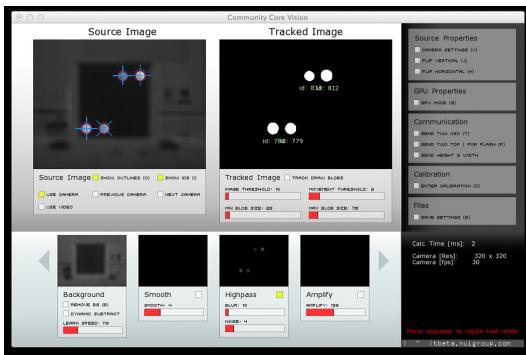


図 A.38: IR-84 IR-94

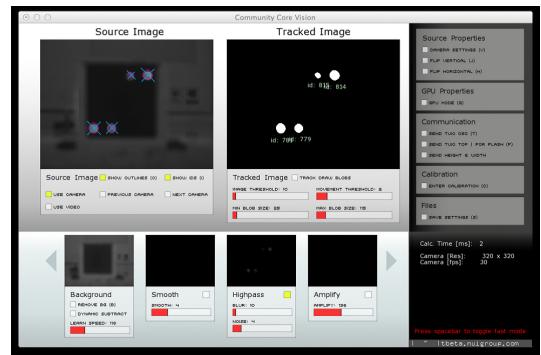


図 A.39: IR-84 IR-96

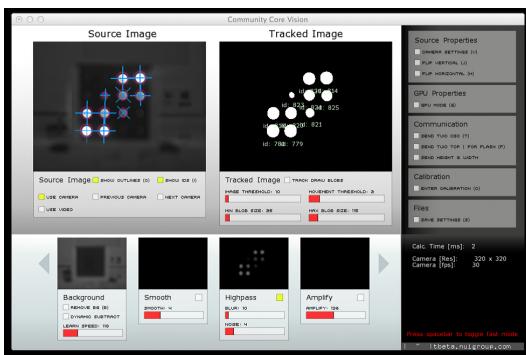


図 A.40: IR-86 IR-88

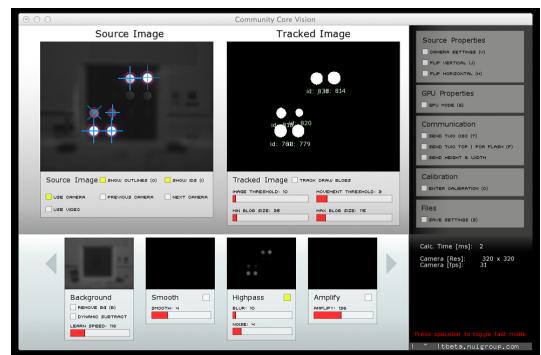


図 A.41: IR-86 IR-90

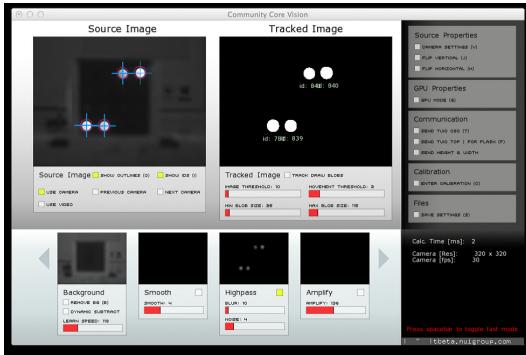


図 A.42: IR-86 IR-92

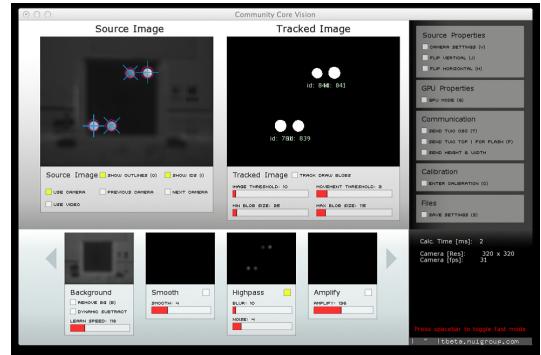


図 A.43: IR-86 IR-94

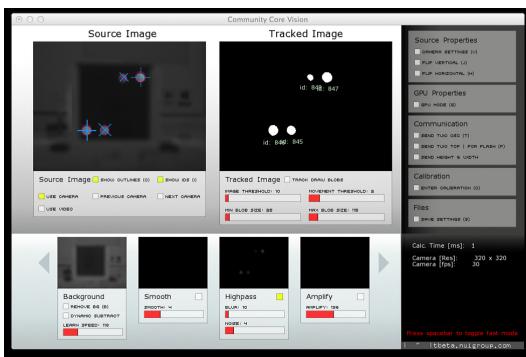


図 A.44: IR-86 IR-96

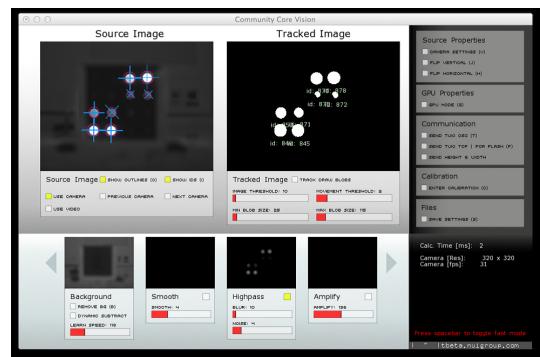


図 A.45: IR-88 IR-90

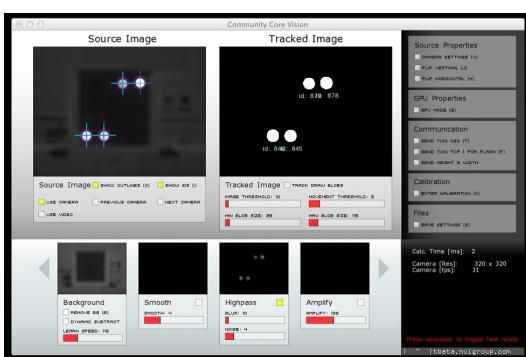


図 A.46: IR-88 IR-92

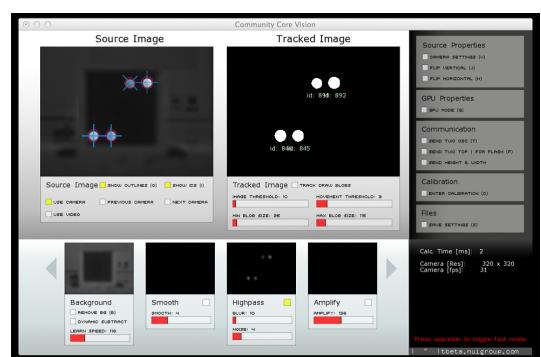


図 A.47: IR-88 IR-94

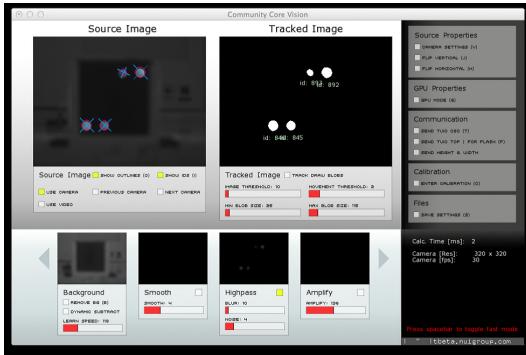


図 A.48: IR-88 IR-96

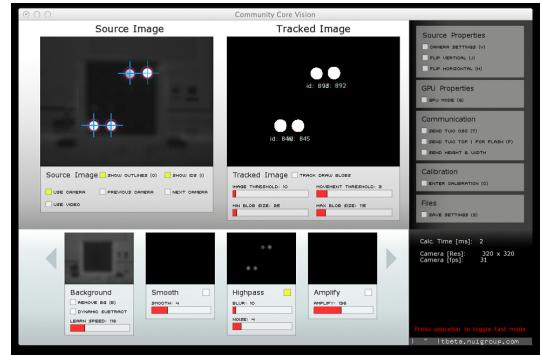


図 A.49: IR-90 IR-92

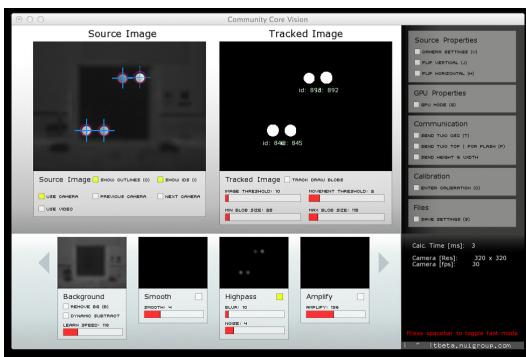


図 A.50: IR-90 IR-94

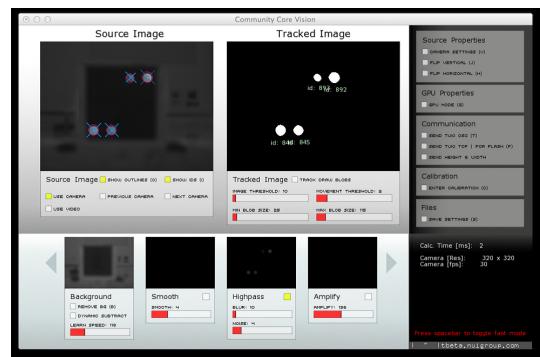


図 A.51: IR-90 IR-96

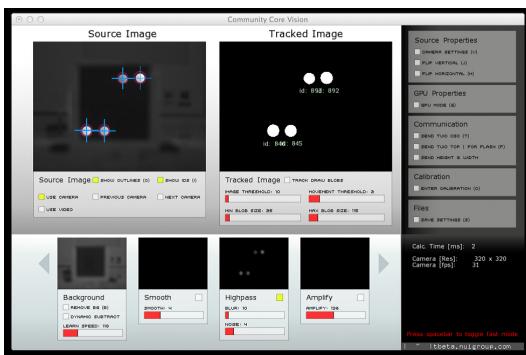


図 A.52: IR-92 IR-94

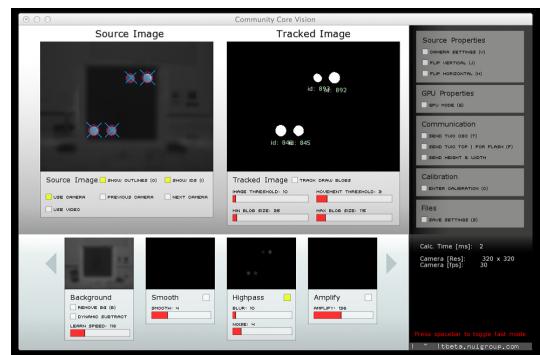


図 A.53: IR-92 IR-96

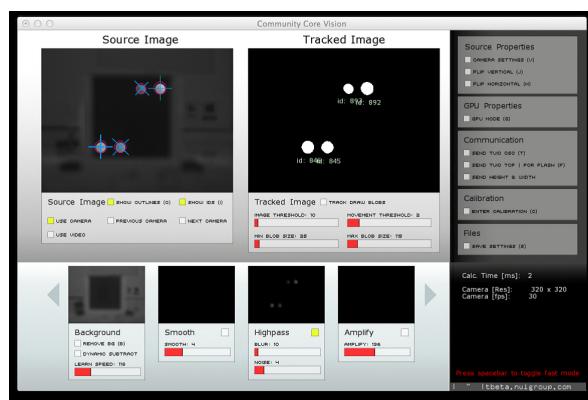


図 A.54: IR-94 IR-96

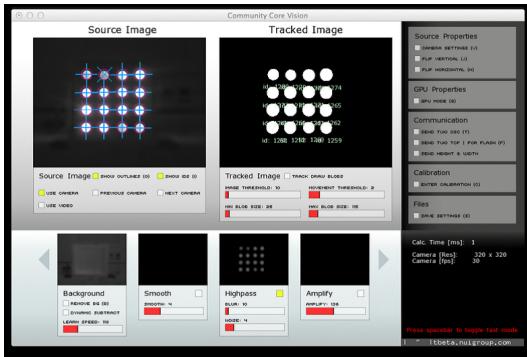


図 A.55: IR-78x2

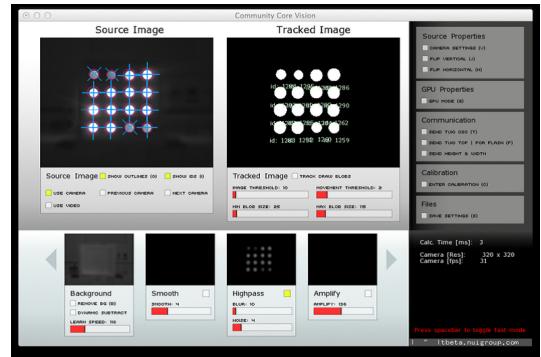


図 A.56: IR-78x3

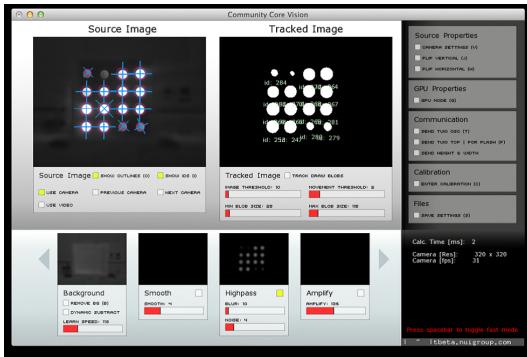


図 A.57: IR-80x2

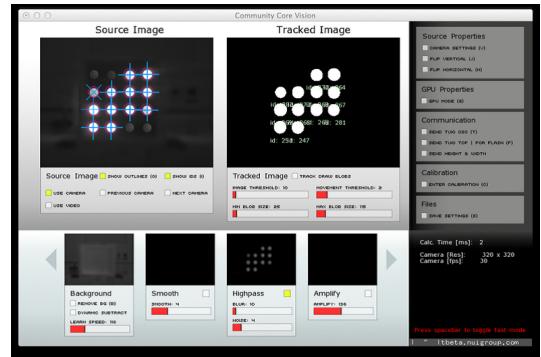


図 A.58: IR-80x3

A.2.2 同じフィルタを重ねた場合の検証結果

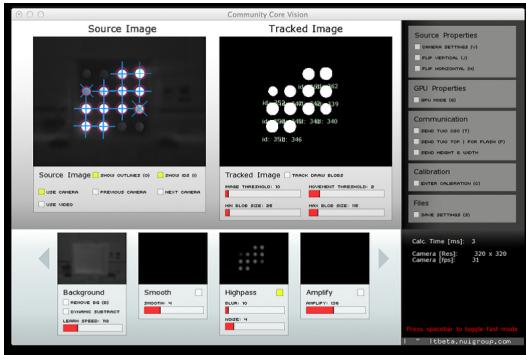


図 A.59: IR-82x2

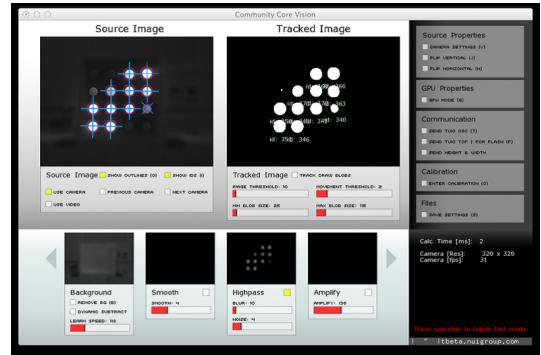


図 A.60: IR-82x2

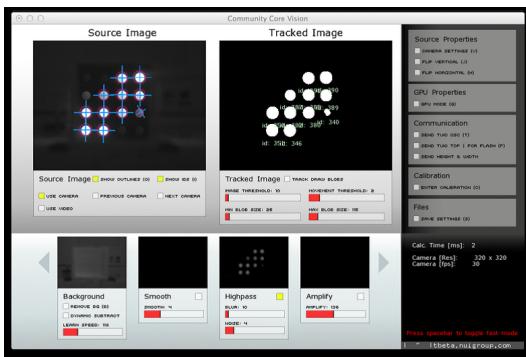


図 A.61: IR-84x2

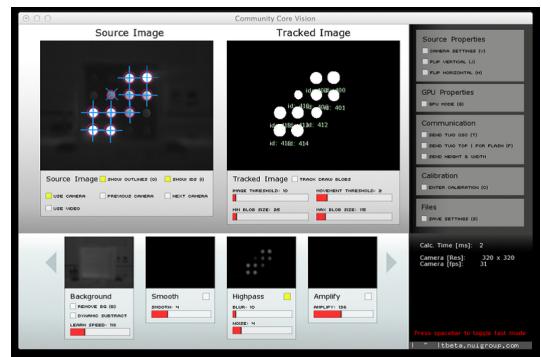


図 A.62: IR-84x3

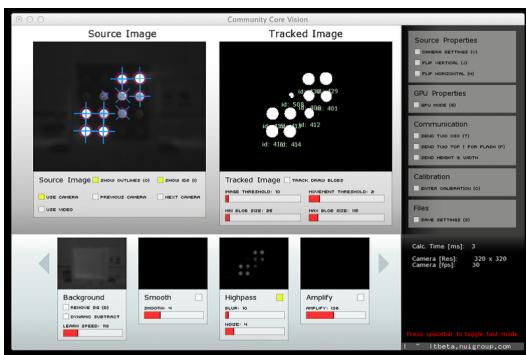


図 A.63: IR-86x2

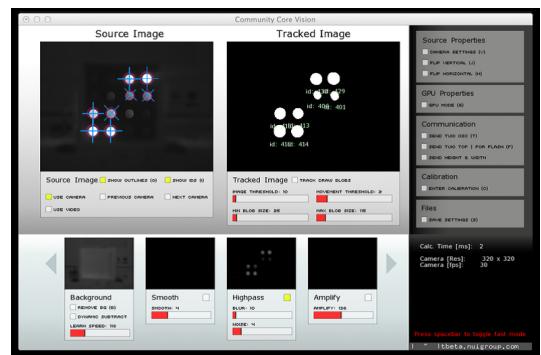


図 A.64: IR-86x3

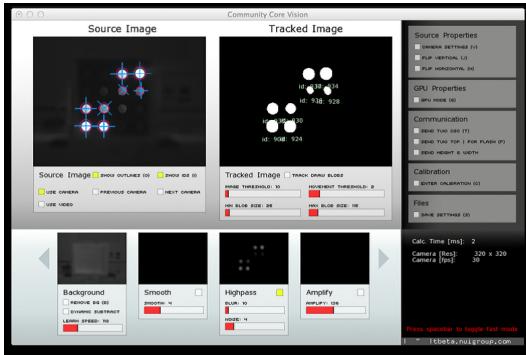


図 A.65: IR-88x2

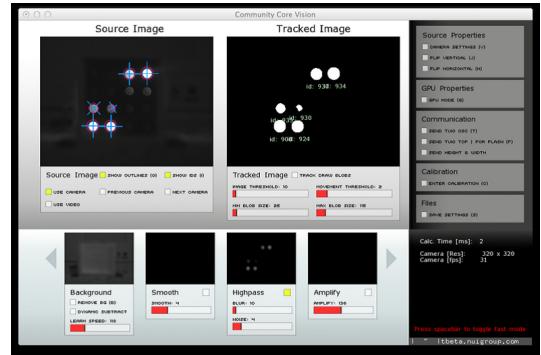


図 A.66: IR-88x3

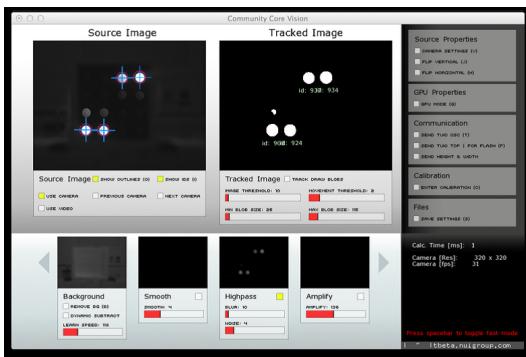


図 A.67: IR-90x2

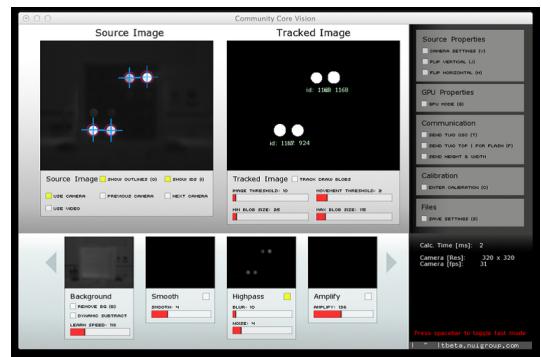


図 A.68: IR-90x3

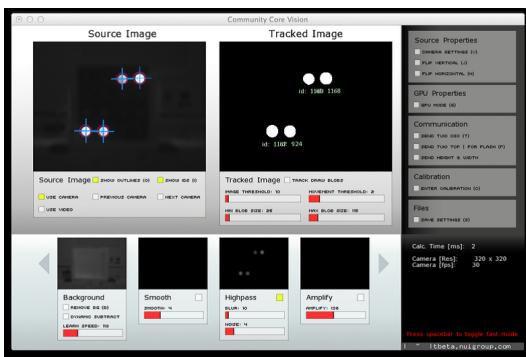


図 A.69: IR-92x2

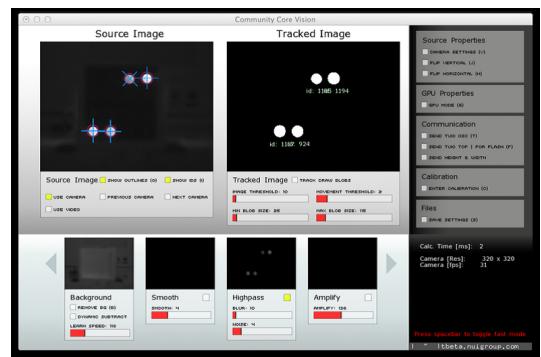


図 A.70: IR-92x3

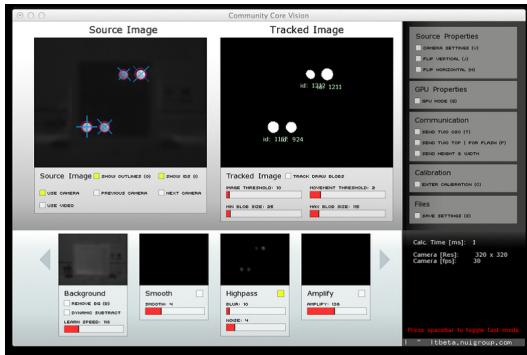


図 A.71: IR-94x2

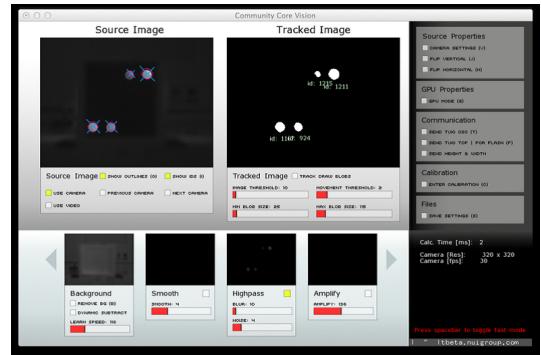


図 A.72: IR-94x3

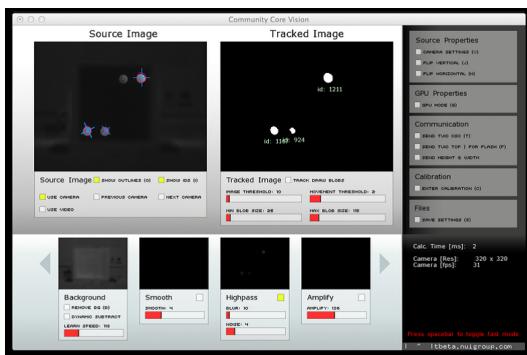


図 A.73: IR-96x2

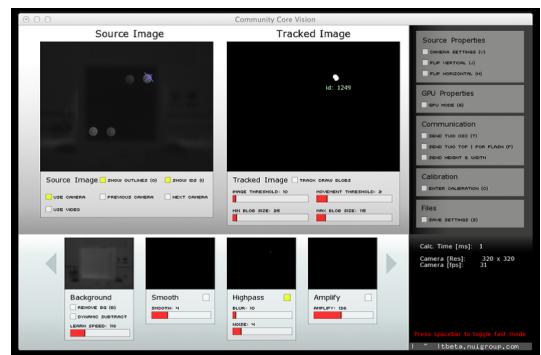


図 A.74: IR-96x3

参考文献

- [1] ALPHA-ONE ELECTRONICS LTD.: *Model No. VSF771N1: Visible Light Emitting Diode* (2009).
- [2] ALPHA-ONE ELECTRONICS LTD.: *Mold type Model No. LSF812N1: Infrared LED* (2009).
- [3] Arduino: *Arduino Uno* <http://www.arduino.cc/>.
- [4] Ayatsuka, Y. and Rekimoto, J.: Active CyberCode: A Directly Controllable 2D Code, *CHI '06 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '06, New York, NY, USA, ACM, pp. 490–495 (2006).
- [5] Hamamura, Y., Tanaka, T. and Matsushita, M.: Magrid Surface: An Interactive Display That Varies the Information by an Attached Magnetic Object, *Proceedings of the 2013 International Conference on Signal-Image Technology & Internet-Based Systems*, SITIS '13, Washington, DC, USA, IEEE Computer Society, pp. 795–799 (2013).
- [6] Jordà, S., Geiger, G., Alonso, M. and Kaltenbrunner, M.: The reacTable: Exploring the Synergy between Live Music Performance and Tabletop Tangible Interfaces, *Proceedings of the 1st International Conference on Tangible and Embedded Interaction*, pp. 139–146 (2007).
- [7] Kakehi, Y., Naemura, T. and Matsushita, M.: Tablescape Plus: Interactive Small-sized Vertical Displays on a Horizontal Tabletop Display, *Proceedings of the 2nd Annual IEEE International Workshop on Horizontal Interactive Human-Computer System*, pp. 155–162 (2007).
- [8] 加藤博一: 拡張現実感システム構築ツール ARToolKit の開発, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 101, No. 652, pp. 79–86 (2002).
- [9] 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, *Proceedings of the 2004 ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work*, pp. 274–283 (2004).
- [10] 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, 情報処理学会インタラクション 2011, pp. 807–808 (2011).
- [11] OptoSupply Ltd.: *5mm High Infrared LED: OSIR5113A* (2005).
- [12] OptoSupply Ltd.: *5mm Infrared LED: OSI3CA5111A* (2011).
- [13] Rekimoto, J. and Ayatsuka, Y.: CyberCode: Designing Augmented Reality Environments with Visual Tags, *Proceedings of DARE 2000 on Designing Augmented Reality Environments*, pp. 1–10 (2000).

- [14] Sakaguchi, S., Tanaka, T., Shinoki, R. and Matsushita, M.: Shadow++: A System for Generating Artificial Shadows Based on Object Movement, *ACM SIGGRAPH 2012*, Poster, No. 119 (2012).
- [15] Sakaguchi, S., Tono, H. and Matsushita, M.: Slanting Shadow: Changing Invisible Shadow Shapes by Rotation for Expanding Shadowgraph Experience, *SIGGRAPH Asia 2014 Emerging Technologies*, SA '14, New York, NY, USA, ACM, pp. 12:1–12:3 (2014).
- [16] Sakaguchi, S., Tono, H., Tanaka, T. and Matsushita, M.: Restive Shadow: Animating Invisible Shadows for Expanding Shadowgraph Experience, *SIGGRAPH Asia 2013 Emerging Technologies*, SA '13, New York, NY, USA, ACM, pp. 16:1–16:2 (2013).
- [17] SAMSUNG: *Samsung SUR40 for Microsoft® Surface® Enclosure Guide* (2012).
- [18] SHARP: SHARP AQUOS TECHNOLOGY: 知っておきたい、色の話 , <http://www.sharp.co.jp/aquos/technology/color/> (2015/1/20 確認).
- [19] 白井良成, 松下光範, 大黒毅: 秘映プロジェクタ: 不可視情報による実環境の拡張, 第11回 インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ, 日本ソフトウェア科学会インタラクティブシステムとソフトウェア研究会 (2003).
- [20] 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).
- [21] TEXAS INSTRUMENTS: *Model No. SN74HC595N :8-BIT SHIFT REGISTERS* (2004).
- [22] TOSHIBA: 東芝赤外 LED GaAlAs 赤外発光: TLN233(F) (2004).
- [23] 浦西友樹, 今村昂司, 真鍋佳嗣, 佐々木博史, 千原國宏: 重ね合わせ可能な半透明二次元カラーマーカ, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 15, No. 2, pp. 125–133 (2010).
- [24] Weiss, M., Jennings, R., Wagner, J., Hollan, J. D., Khoshabeh, R. and Borchers, J.: SLAP: Silicone Illuminated Active Peripherals, *Extended Abstracts of Tabletop '08*, pp. 37–38 (2008).
- [25] 株式会社デンソーウェーブ: QR コードドットコム <http://www.qrcode.com/>.
- [26] 泰恵岸野, 昌彦塚本, 裕坂根, 章治郎西尾: ウェアラブル環境のための LED を用いたビジュアルマーカ (モバイルコンピューティング), 情報処理学会論文誌, Vol. 44, No. 9, pp. 2334–2343 (2003).
- [27] 青木恒: 「見えない」ビジュアルタグ Balloon Tag, インタラクション 2001 論文集, pp. 129–130 (2001).

- [28] 大樹出島, 高志太田: 1ZC-8 テーブルトップインターフェイスによる AR オブジェクトの動的な制御 (VR 空間と AR, 学生セッション, インターフェース), 全国大会講演論文集, Vol. 70, No. 4, pp. 4-117–4-118 (2008).
- [29] 伸行松下, 大輔日原, 輝行後, 真一吉村, 純一曇本: ID Cam : シーンと ID を同時に取得可能なスマートカメラ (特集: インタラクション技術の革新と実用化), 情報処理学会論文誌, Vol. 43, No. 12, pp. 3664–3674 (2002).
- [30] 上條浩一, 張綱, 昇上條, 正輝南, 博之森川: 不可視バーコードにおける印刷支援システム, 情報処理学会論文誌, Vol. 50, No. 11, pp. 2607–2617 (2009).
- [31] 洋一瀬戸: バイオメトリクスを用いた本人認証技術, 計測と制御 = Journal of the Society of Instrument and Control Engineers, Vol. 37, No. 6, pp. 395–401 (1998).
- [32] 昌彦塙本: 実空間利用のためのビジュアルなコンピュータ間通信方式, 情報処理学会研究報告. MBL, [モバイルコンピューティング], Vol. 2000, No. 14, pp. 25–32 (2000).
- [33] 堤修平, 平田五月, 田中琢磨, 松下光範: ゼンマイ動力を用いたテーブルトップオブジェクトの基礎検討, 全国大会講演論文集, Vol. 2013, No. 1, pp. 91–93 (2013).
- [34] 日本電気株式会社: よくわかる最新無線 IC タグの基本と仕組み, 秀和システム (2005).