



AR システムは、カメラの位置姿勢を推定するために用いる位置合わせ手法から、Location Based AR、Vision Based AR、Hybrid AR に分類できる [2]。

Location Based AR は、電子コンパス (方位センサ) や GPS、Wi-Fi などのセンサ情報を組み合わせて用いることで、カメラの位置姿勢を推定する。Location Based AR の例としては、セカイカメラ<sup>\*4</sup>(TonchiDot Inc.) や Layer<sup>\*5</sup>(Layer, Inc.) などのアプリケーションが挙げられる。Location Based AR を用いたシステムには全方向の情報認識できるという利点がある。その一方で、GPS や Wi-Fi に基づいた位置情報は数 m の誤差があることに加えて、電波や磁界、建物などの外部環境からの影響を受けやすいという問題がある [3], [4]。そのため、Location Based AR はカメラの正確な位置姿勢の推定が必要な AR システムには適していない。

Vision Based AR はカメラ画像の特徴点情報を用いることでカメラの位置姿勢を推定する。Vision Based AR は特定マーカの特徴点情報を使用する Marker Based AR と、マーカ以外の特徴点情報を使用する Markerless AR に大別できる [5]。Marker Based AR で用いられる AR 専用のマーカは、決まった図形の内部にボタンがあることが多い (e.g., ARToolKit [6], ARTag [7], Magic Cards [8])。一方、Markerless AR には、カメラ画像から外部環境の特徴点の追跡および特徴点のマッピングによってカメラの位置姿勢の推定を行う手法 [9] や、肌色に近い色のエッジ情報を用いて手を認識する手法 [10] などがある。Vision Based AR はカメラ画像の特徴点情報に基づいた位置合わせ手法であるため、正確なカメラの位置姿勢の推定ができるという利点がある。その一方で、Vision Based AR で用いられるカメラ画像は描写できる光の階調の範囲が狭く、システム外部の光学的影響を受けやすいという問題がある。

Hybrid AR は、これら二つの手法を組み合わせたものである [11], [12]。センサ情報とカメラ画像の情報を組み合わせるため、単体のセンサ情報でカメラの位置姿勢を推定が困難な状況に対応できる。一方で、各センサによる情報取得の前提条件や分解能、精度などを合わせる必要があり、扱いが難しくなる [2]。

本研究では、AR を適用する対象が、ユーザの把持する情報端末であるため、Vision Based AR を用いて情報端末を認識するアプローチが適当であると判断した。また、携帯型端末の性能の観点から、AR マーカを用いる方法を用いることとした。

### 3. デザイン指針

従来の Vision Based AR を用いて対象とする物体を認識する AR システムは、対象とする物体の外部に AR マー

カを貼付、設置したりする手法 (e.g., [13], [14]) や、画面に AR マーカを表示することで情報端末を認識する手法 (e.g., [15], [16]) などが用いられている。しかし、前者の手法では、対象とする物体の外部に AR マーカを取り付けることで物体の外観に影響を与えるため、その物体を使用する際にそれに起因する制約が生じる可能性がある。また、情報端末の画面に AR マーカを表示する手法は、AR マーカを表示している間は端末本来の機能が十分に利用できなくなる懸念がある。これらの理由から、本研究では情報端末の枠部分に AR マーカを取り付けることで情報端末を認識する手法を採用する。情報端末の枠を認識する手法を用いることで、端末本来の外観を損なわず、結果としてユーザの作業に与える影響を低減できると考えている。

また本研究では、対象の情報端末の近傍に仮想オブジェクトを提示する情報表示手法を用いる。一般的に、AR システムでの仮想オブジェクトの操作は、基本的な操作 (e.g., 移動、追加/削除、サイズ変更) でさえ困難であることが指摘されている [17]。こうした仮想オブジェクトを操作する方法論として Tangible AR が提案されている [18]。Tangible AR には、仮想オブジェクトの操作に専用のコントローラを用いる方法と、日常にある実世界オブジェクトをコントローラとして用いる方法があるが [19]、本研究ではシステム実装の簡便性を考慮して後者の方法を採用する。

## 4. 提案システム: Off Screen

3章で述べたデザイン指針に基づき、プロトタイプシステム「Off Screen」を実装した。Off Screen は、ユーザが眼鏡型ウェアラブルデバイスを装着している状態で、Vision Based AR を用いて携帯型情報端末の枠を認識することで、眼鏡型ウェアラブルデバイスを通して見た際に、端末の画面外に情報を展開して表示するようになっている。

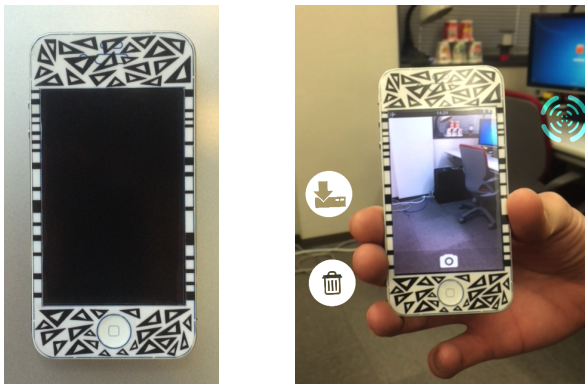
### 4.1 Off Screen の構成

本プロトタイプシステムでは、眼鏡型ウェアラブルデバイスの代用としてシースルー型 HMD を使い、画面外に拡張する情報は端末で撮影した写真を使用する。シースルー型 HMD を通して端末を見ることで、端末で撮影した複数の写真を仮想オブジェクトとして即時に画面外に拡張し、仮想カーソルを用いてそれらの写真を操作する。情報端末に iPhone4 (Apple Inc., MC604J/iOS 6.0.1) を使用した。シースルー型 HMD は HMZ-T2 (SONY) に iPhone5s (Apple Inc., ME226J/iOS 7.0.3) を取り付けて作成した。マーカ情報や端末の操作情報に関するデータ通信は Bluetooth を介して行うこととした。

本プロトタイプシステムでは、端末の枠に取り付けるマーカとして、端末の外観を損なわないようにデザインされた専用のマーカを用意した。このマーカを取り付けた端末と、それをシースルー型 HMD を通して見た端末の外観

\*4 2014/1/22 にサービス終了

\*5 <https://layar.com/>(2014/9/14 確認)



(a) マーカを枠に貼付した端末  
 (b) シースルー型 HMD を通して見た端末  
 図 2 システムで用いる携帯端末の外観

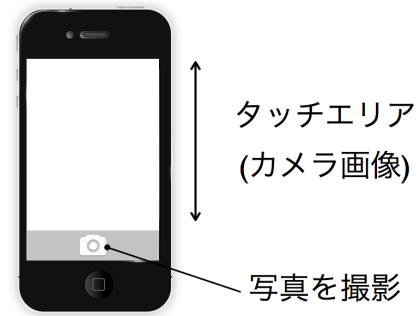


図 4 端末の画面デザイン

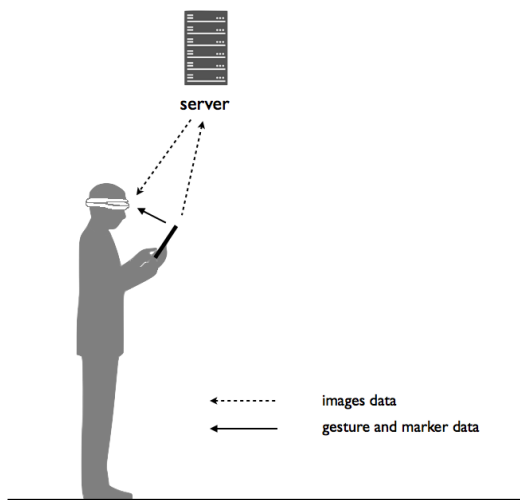


図 3 提案システムの通信の流れ

を図 2 に示す。

眼鏡型ウェアラブルデバイスの表示は、表示する情報を情報端末から眼鏡型ウェアラブルデバイスに送信することによって行う。同様に、眼鏡型ウェアラブルデバイスに表示される仮想カーソルは、認識した操作情報に基づいて、情報端末から眼鏡型ウェアラブルデバイスに送信することによって行う。本実装では、Bluetooth を介したデータ通信とサーバを介したデータ通信の二つを用いている。Bluetooth を介したデータ通信では、仮想カーソルを操作するための操作情報とマーカ情報を眼鏡型ウェアラブルデバイスに送信する。サーバを介したデータ通信では、情報端末の画面外に拡張する画像情報などを、情報端末から眼鏡型ウェアラブルデバイスに送信する。これにより、サーバを介して情報端末から眼鏡型ウェアラブルデバイスに何らかの情報を送信している途中でも、仮想カーソルによる情報の操作が可能になる。提案システムの通信の流れを図 3 に示す。

実装では、AR SDK に Vuforia<sup>\*6</sup> SDK v2.8 (QUAL-

<sup>\*6</sup> <https://developer.vuforia.com> (2014/9/14 確認)

COMM Inc.) を使用した。Vuforia は、正方形の黒枠で囲われた AR マーカを認識する AR SDK と異なり、特徴点が多いマーカを事前に登録する AR SDK である。そのため、マーカの一部にオクルージョンが生じてても、携帯端末の位置姿勢の推定が可能になる。

本システムでは NodeJS<sup>\*7</sup> v0.8.4 を使用し、リアルタイムの通信を可能にしている。本プロトタイプシステムでは、Node を用いて画像の送信を行うため、送信する画像を送信側の端末で文字列に変換してサーバに送り、そのサーバから相手の端末に Push された後に受信側の端末側で文字列から画像に変換する方法を採っている。

#### 4.2 Off Screen の操作方法

Off Screen で用いる端末の画面は、下部ツールバーとタッチエリアに分かれており、下部ツールバーには写真を撮影するためのカメラアイコンがある(図 4 参照)。タッチエリアは、端末のカメラの映像を表示しており、このタッチエリアで、シースルー型 HMD を通して端末を見ることで確認できるカーソルを操作する。Off Screen は、仮想カーソルを操作することで写真を操作する。仮想カーソルは、一般的に我々がモバイル端末で使用するドラッグ、ピンチイン、ピンチアウト、ダブルタップにダブルタップとドラッグを組み合わせたダブルタップドラッグのジェスチャ操作を用いて操作する。また、仮想カーソルは通常モード、ドラッグモード、移動モード、縮小モード、拡大モードの状態があり、一般的な PC で用いるカーソルの操作に則って、カーソルの状態によって表示するイラストを変更する。写真の保存と削除の操作にはセーブアイコンとトラッシュアイコンのイラストを用意し、それらのアイコンの箇所に写真を移動することで操作が実行される。カーソルとアイコンで使用するイラストを各々図 5、図 6 に示す。また、仮想カーソルの状態の詳細と表示するイラストを表 1 に示す。本システムで用いたジェスチャ操作の対応付けを表 2 および表 3 に示す。また、シースルー型 HMD を通して端末を操作している時のスクリーンショットを図 7 に示す。

<sup>\*7</sup> <http://blog.nodejs.org/2012/07/25/node-v0-8-4-stable/> (2014/9/14 確認)

表 1 仮想カーソルの状態と表示するイラスト

状態	状態の詳細	イラスト
通常モード	通常時の状態	normal
ドラッグモード	通常時でダブルタップした状態	drag
移動モード	カーソルを含むオブジェクト (写真) を移動している状態	move
縮小モード	カーソルを含むオブジェクト (写真) を縮小している状態	pinched in
拡大モード	カーソルを含むオブジェクト (写真) を拡大している状態	pinched out

表 2 カーソルがオブジェクト (写真) の外にある時の操作の対応付け

操作 (表示しているイラスト)	対応付け
ドラッグ (normal)	カーソル (normal) を移動する
ドラッグ (drag)	カーソル (drag) を移動する
ダブルタップ (normal)	カーソルをドラッグモード (drag) に切り替える
ダブルタップ (drag)	カーソルを通常モード (normal) に切り替える
ダブルタップドラッグ (normal)	ドラッグモード (drag) 後、通常モード (normal) に戻る
ダブルタップドラッグ (drag)	通常モード (normal) に戻した後に移動する
ピンチイン (normal or drag)	(pinched in) を表示後、直前のカーソルに戻る
ピンチアウト (normal or drag)	(pinched out) を表示後、直前のカーソルに戻る

表 3 カーソルがオブジェクト (写真) の内にある時の操作の対応付け

操作 (表示しているイラスト)	対応付け
ダブルタップ (normal)	移動モード (move) に切り替える
ダブルタップ (drag)	通常モード (normal) に切り替える
ダブルタップ (move)	通常モード (normal) に切り替える
ダブルタップドラッグ (normal)	移動モード (move) 後、通常モード (normal) に戻る
ダブルタップドラッグ (drag)	移動モード (move) 後、ドラッグモード (drag) に戻る
ピンチイン (normal or drag or move)	縮小モード (pinched in) 後、直前の状態に戻る
ピンチアウト (normal or drag or move)	拡大モード (pinched out) 後、直前の状態に戻る

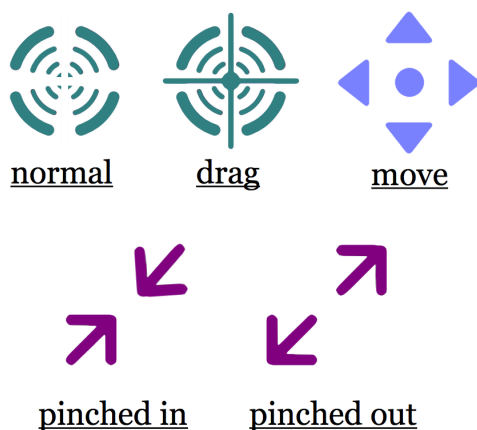


図 5 仮想カーソルに用いるイラスト



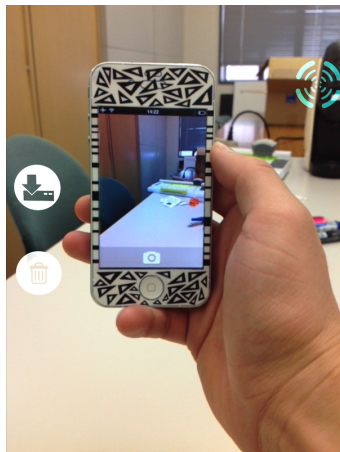
図 6 アイコンに用いるイラスト

## 5. 評価実験

前章で実装したプロトタイプシステムを対象として、このシステムに対する問題点や改善点を集めるための評価実験を行った。実験では、インスペクション法の一つである認知的ウォークスルーを用いた。インスペクション法は、システムのデザイン段階において適用可能な、エンドユーザの協力を必要としない評価手法である。認知的ウォークスルーはインスペクション法の一つであり、システムの学習容易性に焦点を当てた評価に適していると言われている [20]。認知的ウォークスルーでは、実験協力者に操作方法を教示せず、タスクと想定するユーザの心情や背景を組み合わせたタスクシナリオを最初に提示する。そして、タスクシナリオを達成する上で必要となる操作ステップを、学習容易性に焦点をあてた複数の質問に回答してもらうことで、各操作ステップに対する問題点や改善点を収集する。本実験では複数のタスクシナリオを用意し、各タスクシナリオを達成する上で必要となる操作ステップにおける問題点や改善点を収集することを企図して実験を行った。

### 5.1 実験の構成

プロトタイプシステム Off Screen は、AR を用いて情報



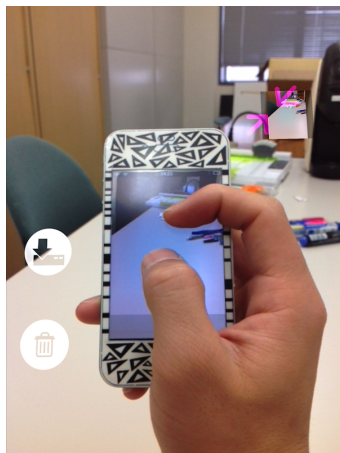
(a) 端末を認識した後 (通常モード)



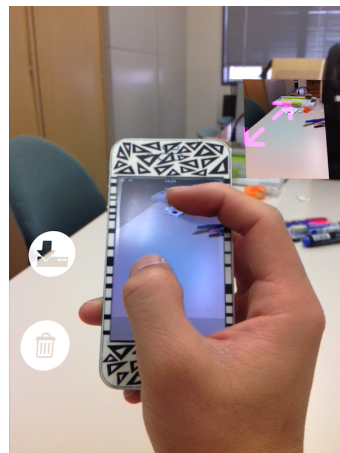
(b) ドラッグモード



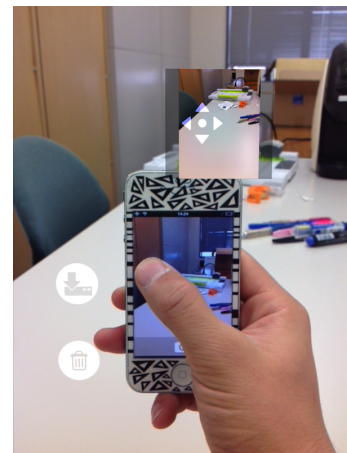
(c) 写真を撮影



(d) 写真を縮小 (縮小モード)



(e) 写真を拡大 (拡大モード)



(f) 写真を移動 (移動モード)

図 7 Off Screen の画面モード

端末の枠を認識することで、端末情報やコンテンツを仮想オブジェクトとして画面外に表示する。表示された仮想オブジェクトは、端末本来の操作を情報端末で行うことで操作する。本実験では、これらの機能に対する問題点や改善点を見つけるために、以下の 7 つの操作ステップを設定した。

ステップ 1. カメラのアイコンをタップすることで、写真を撮影する。

ステップ 2. タッチエリアでドラッグすることでカーソルを移動する。

ステップ 3. カーソルが写真内にある状態で、移動モードに切り替えた後にドラッグすることで写真を移動する。

ステップ 4. カーソルが写真内にある状態で、ピンチアウトすることで写真を拡大する。

ステップ 5. カーソルが写真内にある状態で、ピンチインすることで写真を縮小する。

ステップ 6. 写真を「ゴミ箱」のアイコンまでドラッグすることで削除する。

ステップ 7. 写真を「保存」のアイコンまでドラッグすることで保存する。

これらの操作ステップを直接指示しないように、実験協力者に提示するタスクシナリオを以下のように設定した。これらのタスクシナリオは、シースルー型 HMD や眼鏡型ウェアラブル端末を装着しているユーザが、自身の端末を用いて写真を撮影している状況を想定している。加えて、撮影した写真を即時に画面外に拡張することで、端末の画面を切り替えることなく自由に比較した上で取捨選択する過程で必要となる操作を考慮している。なお、それぞれのタスクシナリオの文末には、どの操作ステップに該当するかを記した。また、実験では「タスクシナリオ」という言葉を「背景と課題」として伝えた。

(1) 先日あなたは、最近流行している眼鏡型ウェアラブル端末を購入しました。今からその眼鏡型ウェアラブル端末を装着した上で、自身の端末を使って写真撮影を行おうと思います。その「背景と課題」を持った想定で、システムを操作して下さい。【ステップ 1】

(2) あなたは、撮影した複数の写真を操作しようと思います。そのためまず最初に、画面外に現れた複数の写真を自由に移動します。その「背景と課題」を持った想定で、システムを操作して下さい。【ステップ 2】【ス

### トップ 3】

- (3) あなたは、撮影した写真の中により詳しく見たい写真を見つけました。そのため、画面外に現れた複数の写真の中で、詳しく見たい写真を拡大して、それ以外の写真を縮小して表示しようと思います。その「背景と課題」を持った想定で、システムを操作してください。【ステップ 4】【ステップ 5】
- (4) あなたは、画面外に現れた複数の写真の中で興味を惹かれない写真を見つけました。そのため、写真の一部を削除しようと思います。その「背景と課題」を持った想定で、システムを操作してください。【ステップ 6】
- (5) あなたは、画面外に現れた写真の中で、気に入った写真を見つけました。そのため、写真を何枚か保存しようと思います。その「背景と課題」を持った想定で、システムを操作してください。【ステップ 7】

各操作ステップへの指摘を受けるために、認知的ウォークスルーの項目を参考に、以下に示す 4 つの質問内容を記載した質問シートを作成した。

- (1) ユーザは本システムによって、課題を達成するためにその操作をしようとするか。
- (2) ユーザは本システムを見て、その操作が利用可能であると正しく理解できるか。
- (3) ユーザは本システム上で自身の課題と操作手順を正しく関連付けることができるか。
- (4) 本システムからのフィードバックを元に、ユーザは課題の解決に向けて前進していることを正しく理解できるか。

実験協力者には、これらの質問に対して、Yes または No で回答してもらった。これらの質問項目のうち No と答えた場合、その理由について実験協力者にコメントを記述するように促した。なお、実験協力者から要望があった際は、回答が Yes の場合でもコメントを記述してもらった。また、ステップ 6 とステップ 7 については同一の操作を用いるため、タスクシナリオ 4 を行った後にタスクシナリオ 5 を行うグループと、タスクシナリオ 5 を行った後にタスクシナリオ 4 を行うグループに分けた。実験後にインタビュー形式で事後アンケートに答えてもらった。事後アンケートでは、(1) 本システムで用いた端末の操作性について、(2) AR について、(3) デザイン性について、各々回答してもらった。

## 5.2 実験手続き

実験協力者は、情報系学部在籍する大学生 8 名 (男性 5 名、女性 3 名) であった。実験に先立ち、実験協力者に対して実際に本システムを利用するユーザの立場となったと想定した上で、問題点や改善点を指摘するように依頼した。具体的には、提示するタスクシナリオについて、実際

に実験協力者自身がそのタスクシナリオの状況であると想定してもらい、操作するように依頼した。説明では、特に以下の点を留意事項として確認した。

- (1) 質問は課題を達成する操作手順をまだ知らないユーザの立場に立って回答すること。
- (2) 質問の答え方について、Yes か No かの判断に迷うことや、少しでも疑問に思うことがあった場合には、No と答えること。
- (3) 各質問には、それまでのすべてのステップがスムーズに実行できたと仮定して回答すること (その質問以前に No と回答しても、その影響を考えない)。

本実験では、5.1 節で述べたタスクシナリオを実験協力者に一つずつ与え、一つのタスクシナリオが達成された段階で、新たに次のタスクシナリオを実験協力者に与えた。各タスクシナリオを終えるごとに、そのタスクシナリオに含まれる操作ステップの問題点や改善点を指摘してもらうために、質問シートを実験協力者に提示した。本実験では、時間の制約を設けず、実験協力者の判断でタスクシナリオを達成したと思われた段階もしくは達成できないと判断した段階で手をあげるように求めた。タスクシナリオに該当するステップが 2 つある場合で、前半のステップの段階で実験協力者が達成できないと判断した場合は、前半のステップの回答を教示した後に操作を再開してもらった。また、実験協力者が達成できないと判断した場合は、該当するステップの質問 1~4 において全て No を選択してもらった。

## 5.3 実験結果

実験協力者 A~実験協力者 H の 8 人を対象とした、カメラのアイコンをタップすることで、写真を撮影する機能 (ステップ 1) についての課題では、質問 (1) に 7 人が、質問 (2) に 6 人が、質問 (3) に 7 人が、質問 (4) に 7 人が、各々 Yes と答えた。本ステップは単純な操作であるため、全ての実験協力者が問題なく使用することができた。ただし、カメラのアイコンをタップしてから仮想オブジェクトとして写真表示されるまでにタイムラグがあったため、アイコンが機能していないと感じるユーザがいた。また、初期の仮想カーソルの位置が情報端末の画面の中央にあるため、仮想カーソルをタップする行為が見られた。

実験協力者 A~実験協力者 H の 8 人を対象とした、タッチエリアでドラッグすることでカーソルを移動する機能 (ステップ 2) についての課題では、質問 (1) に 4 人が、質問 (2) に 2 人が、質問 (3) に 5 人が、質問 (4) に 6 人が、Yes と答えた。本ステップでは、ほとんどの実験協力者が仮想オブジェクトを手で操作しようとした。仮想カーソルで用いたイラストから、カーソルと理解することが難しかった、端末で仮想カーソルを操作することに気付きにくい、などの指摘があった。

実験協力者 A～実験協力者 H の 8 人を対象とした、カーソルが写真内にある状態で、移動モードに切り替えた後にドラッグすることで写真を移動する機能 (ステップ 3) についての課題では、質問 (1) に 5 人が、質問 (2) に 3 人が、質問 (3) に 6 人が、質問 (4) に 8 人が、Yes と答えた。多くの実験協力者はカーソルを写真内にドラッグする段階まで問題なく行っていた。ダブルタップをすることで、カーソルの状態を切り替えることが分かりづらいのではないかという指摘があった。これは、通常スマートフォンではダブルタップをあまり使用しないこと、および PC で用いるカーソルと違うこと、に起因すると考えられる。

実験協力者 A～実験協力者 H の 8 人を対象とした、カーソルが写真内にある状態で、ピンチアウトすることで写真を拡大する機能 (ステップ 4) についての課題では、全ての質問において対象とする実験協力者が Yes と答えた。これは、実験協力者は類似した機能をスマートフォンやタブレット端末で使用したことがあり、理解しやすかったためだと考えられる。

実験協力者 A～実験協力者 H の 8 人を対象とした、カーソルが写真内にある状態で、ピンチインすることで写真を縮小する機能 (ステップ 5) についての課題では、全ての質問において対象とする実験協力者が Yes と答えた。これは、ステップ 4 と同様、実験協力者は類似した機能をスマートフォンやタブレット端末で使用したことがあり、理解しやすかったためだと考えられる。

実験協力者 A～実験協力者 D の 4 人を対象とした、写真を「ゴミ箱」のアイコンまでドラッグすることで削除する機能 (ステップ 6) についての課題では、質問 (1) に 4 人が、質問 (2) に 4 人が、質問 (3) に 4 人が、質問 (4) に 3 人が、Yes と答えた。「ゴミ箱」のアイコンのおかげで操作は容易に判断できたが、ゴミ箱のアイコンに写真をドラッグする際に、ゴミ箱のアイコンが隠れる、という指摘があった。

実験協力者 A～実験協力者 D の 4 人を対象とした、写真を「保存」のアイコンまでドラッグすることで保存する機能 (ステップ 7) について課題では、質問 (1) に 4 人が、質問 (2) に 4 人が、質問 (3) に 3 人が、質問 (4) に 2 人が、Yes と答えた。ステップ 6 の「ゴミ箱」のアイコンとは異なり、アイコンから操作が判断しづらかったためだと考えられる。また、写真をドラッグした後の、写真が消えるエフェクトに違和感がある、という指摘があった。

実験協力者 E～実験協力者 H の 4 人を対象とした、写真を「保存」のアイコンまでドラッグすることで保存する機能 (ステップ 7) についての課題では、質問 (1) に 4 人が、質問 (2) に 3 人が、質問 (3) に 4 人が、質問 (4) に 2 人が、Yes と答えた。「保存」のアイコンに写真をドラッグする際に、アイコンが隠れる、写真をドラッグした後に、写真が消えるフィードバックに違和感があった、などの指摘があった。

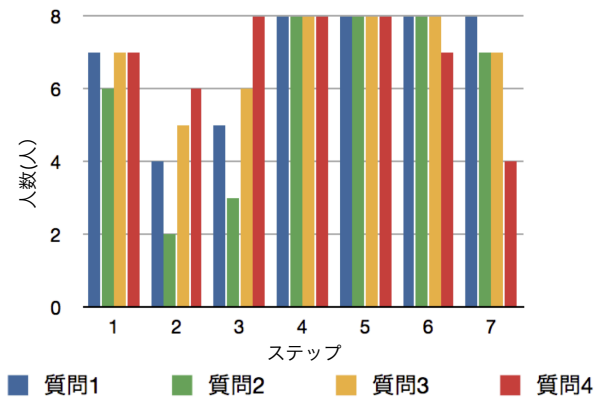


図 8 各質問に対して Yes と回答した被験者の数

実験協力者 E～実験協力者 H の 4 人を対象とした、写真を「ゴミ箱」のアイコンまでドラッグすることで削除する機能 (ステップ 6) についての課題では、全ての質問において対象とする実験協力者が Yes と答えた。

各質問に対して Yes と回答した実験協力者数を図 8 に示す。

#### 5.4 考察

本実験で最も Yes が少なかったのは、ステップ 2 の質問 2 (8 人中 2 人) であった。この結果は、タッチエリアでドラッグすることで仮想カーソルの移動する機能が、最も気づきにくかったことを示している。仮想カーソルのイラストから、実験協力者がカーソルと理解することが困難であったことから起因したと考えられる。同様な意見はコメントからも得られた。

ステップ 3 の質問 1、質問 2 から、仮想オブジェクトの位置に仮想カーソルを移動した後にダブルタップすることで仮想オブジェクトをドラッグする機能が、慣れない操作であることに加えて、気づきにくい機能であったことが推測できる。しかし、ステップ 3 の質問 3 に 8 人中 6 人が Yes、ステップ 3 のドラッグの操作を含むステップ 6 とステップ 7 の質問 3 に 8 人と 7 人が Yes、と回答した結果から、ダブルタップをドラッグの操作に用いることは、慣れない操作ではあるものの使用に問題はないと考えられる。

実験結果から、ステップ 4 の拡大、ステップ 5 の縮小、ステップ 6 の削除の質問に Yes が多いことが分かる。これは、仮想オブジェクトの操作にピンチアウト、ピンチイン、ゴミ箱のアイコンまで仮想オブジェクトをドラッグする、ことを用いても問題なく使用できることを示している。

実験結果とコメントから、通常モードの仮想カーソルのイラスト、及び、保存のアイコンのイラストに対する指摘が多く見られた。これは、実験協力者がイラストから想起する操作と実際の操作が異なっていたためだと考えられる。こういった理由から、イラストがユーザの操作の理解に大きく影響することが分かった。

## 6. おわりに

本論文では、電子端末の情報表示方式を AR で拡張することで、ユーザと情報のインタラクションを拡張することを目指し、枠認識を用いた電子端末の情報表示拡張システムの提案とそのプロトタイプシステム Off Screen の実装および評価実験を行った。

実験で得られたコメントから、「対象とする仮想情報までカーソルを移動するのが面倒である」「仮想情報を直接手で触ろうとしてしまう」などの意見があった。また、実験協力者の多くが仮想情報を触れる動作を行っていたことから、より直感的な操作を検討すべきであると考えられる。本システムは電子端末の枠に AR マーカを取り付けるため、枠に範囲内の特徴点を認識する。そのため、枠の範囲が狭い電子端末では、認識領域の減少から認識精度が落ちると考えられる。加えて、2章で述べたように Vision Based AR は光学的環境の変化に弱いという特性があるため、情報端末の画面に反射した照明の影響から、認識が遮断されることがある。実験の事後アンケートにおいても、照明の反射に起因する仮想情報のちらつきに関するコメントが見られた。そのため、特徴点情報に基づいたカメラの位置合わせのみでなく、色情報やセンサ情報を組み合わせた位置合わせ手法を検討する必要がある。情報表示に関しては、画面外に表示した仮想情報が重なった場合に、背後にある写真やアイコンが見えなくなる。そのため、仮想情報が重なった場合、サイズが小さいオブジェクトから前面に表示するなど、表示方法を検討する必要がある。また、写真が気付きにくい等の意見があったので、写真に枠を取り付けることで、写真を際立たせるなどの工夫が必要である。操作のフィードバックに関しては、実験協力者によってはコメントが異なった。そのため、操作を完了した情報をポップアップする、音のフィードバックを追加するなどの、ユーザが分かりやすいフィードバックを検討する必要がある。

## 参考文献

- [1] 佐々木俊尚：ウェアラブルは何を変えるのか？, Amazon Services International, Inc. (2013).
- [2] 亀田能成：AR のためのセンシング, 情報処理, Vol. 51, No. 4, pp. 419-424 (2010).
- [3] 村田正秋, 瀬川爾朗, 鳥本秀幸：IMES の技術動向：シームレス三次元測位・航法の新技术, 電子情報通信学会誌, Vol. 95, No. 2, pp. 119-124 (2012).
- [4] Sangani, K.: Developing Augmented Reality Apps, *Engineering and Technology Magazine*, Vol. 8, Issue 4, pp. 52-55 (2013).
- [5] 亀田能成：マーカレス AR, 映像情報メディア学会誌, Vol. 66, No. 1, pp. 45-51 (2012).
- [6] 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. PRMU, Vol. 101, No. 652, pp. 79-86 (2002).
- [7] Fiala, M.: ARTag, a Fiducial Marker System using Digital Techniques, *Proc. CVPR'05*, pp. 590-596 (2005).

- [8] Demuyneck, O. and Menéndez, J. M.: Magic Cards: A New Augmented-Reality Approach., *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 33, Issue 1, pp. 12-19 (2013).
- [9] Klein, G. and Murray, D.: Parallel Tracking and Mapping for Small AR Workspaces, *Proc. ISMAR '07*, pp. 1-10 (2013).
- [10] Lee, T. and Hollerer, T.: Handy AR: Markerless Inspection of Augmented Reality Objects Using Fingertip Tracking, *Proc. Wearable Computers 2007*, pp. 83-90 (2007).
- [11] Schall, G., Wagner, D., Reitmayr, G., Taichmann, E., Wieser, M., Schmalstieg, D. and Hofmann-Wellenhof, B.: Global Pose Estimation Using Multi-sensor Fusion for Outdoor Augmented Reality, *Proc. ISMAR '09*, pp. 153-162 (2009).
- [12] Langlotz, T., Nguyen, T., Schmalstieg, D. and Grasset, R.: Next-Generation Augmented Reality Browsers: Rich, Seamless, and Adaptive, *Proc. IEEE*, Vol. 102, No. 2, pp. 155-169 (2014).
- [13] Looser, J., Billinghamurst, M. and Cockburn, A.: Through the Looking Glass: The Use of Lenses As an Interface Tool for Augmented Reality Interfaces, *Proc. GRAPHITE 2004*, pp. 204-211 (2004).
- [14] Jung, K., Park, J.-I. and Choi, B.-U.: Marker-based Tangible Interfaces for 3D Reconstruction, *Proc. ICCE 2013*, pp. 440-441 (2013).
- [15] Lee, K. J., Ahn, S. C. and Kim, H.-G.: Using a Mobile Device As an Interface Tool for HMD-based AR Applications, *Proc. ACE '06* (2006).
- [16] Sonntag, D., Deru, M. and Bergweiler, S.: Design and Implementation of Combined Mobile and Touchscreen-based Multimodal Web 3.0 Interfaces, *Proc. IC-AI 2009*, pp. 974-979 (2009).
- [17] Billinghamurst, M., Grasset, R. and Looser, J.: Designing Augmented Reality Interfaces, *SIGGRAPH Computer Graphics*, Vol. 39, Issue 1, pp. 17-22 (2005).
- [18] 加藤博一, Billinghamurst, M., Poupyrev, I., 鉄谷信二, 橋啓八郎：拡張現実感技術を用いたタンジブルインタフェース, 芸術科学会論文誌, Vol. 1, No. 2, pp. 97-104 (2002).
- [19] Kobayashi, K., Hirano, M., Narita, A. and Ishii, H.: A Tangible Interface for IP Network Simulation, *CHI '03 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, pp. 800-801 (2003).
- [20] 堀 雅洋, 加藤 隆：HCI の拡張モデルに基づく認知的ウォークスルー法の改良：Web ユーザビリティ評価における問題発見効率, 情報処理学会論文誌, Vol. 48, No. 3, pp. 1071-1084 (2007).