

AR 上の AR –メタ AR–の提案

松下卓矢^{†1} 長島洋亮^{†1} 濱川礼^{†1}

本論文では『メタ AR』を提案する。『メタ AR』とはマーカーを使い表示した AR をマーカーとみなし、さらにその AR に対応する AR を表示するものである。従来の AR は一つのマーカーに対し、一つの種類の AR しか表示できなかった。また、表示させた AR はその時点で役目が終わり、それからの広がりがあった。しかし『メタ AR』を利用することで、実空間上のマーカーを多く利用せずに、多くの種類の AR を表示できる。また、AR を再利用するため、処理を繰り返すことにより理論的には無限に AR を表示させることができる。我々は本手法を用いた実システム「ARigato」を開発した。「ARigato」は贈り物作成支援システムであり、PC と Tablet 二つのシステムから構成される。色紙に対し PC 上で AR・メタ AR の設定を行い、その情報をサーバー経由で Tablet に読み込むことで色紙を閲覧した際、AR・メタ AR が表示される。

Proposal of meta-AR AR on AR TAKUYA MATSUSHITA^{†1} YOUSUKE NAGASHIMA^{†1} REI HAMAKAWA^{†1}

1. はじめに

本論文では『メタ AR』を提案する。『メタ AR』とはマーカーを使い表示した AR をさらにマーカーとみなし、さらにその AR に対応する AR を表示するものである。

従来の AR は一つのマーカーに対し、一種類の AR しか表示できなかった。また、表示させた AR はその時点で役目が終わり、それからの広がりがあった。例えば[1][2]のような一般的に使われている AR では一つのマーカーに対し、一つの決まったオブジェクトが表示される。一度表示したオブジェクトは全く変化しない、または変化してもオブジェクトをどう見ても同じ変化をするものが表示されるだけである。また[3]ではオブジェクトの操作はできたが、操作したのち、それから新たなオブジェクトを表示させたり、他のオブジェクトに変化を与えたりすることはなかった。

しかし『メタ AR』を利用することで、実空間上のマーカーを多く利用せずに、多くの種類の AR を表示できる。また、AR を再利用するため、処理を繰り返すことにより理論的には無限に AR を表示させることができる。AR を変化させることで、新たに表示させる AR を変えることもできる。

我々は本手法を用いた実システム「ARigato」を開発した。「ARigato」は贈り物作成支援システムであり、PC と Tablet 二つのシステムから構成される。色紙に対し PC 上で AR・メタ AR の設定を行い、その情報をサーバー経由で Tablet に読み込むことで色紙を閲覧した際、AR・メタ AR が表示される。

本システムを用いて実際に色紙にマーカーを作成し、AR・メタ AR の付加・色紙の閲覧までの評価を 11 名の評価者を実施した。また、作成者から実際に色紙を受け取り、実際に AR・メタ AR を閲覧する評価を 3 名の評価者を実施した。

2. メタ AR

『メタ AR』とは表示させた AR を新たなマーカーとみなし、さらに AR を表示、変化させるものである。『メタ AR』は現実空間にマーカーとしての実体を持たないため、画像処理による認識は必要ない。また新しく現れた AR をマーカーとすることもできる。これにより、その操作を繰り返すことで複数の AR を一つのマーカーで出現させることができる。

イメージとしてはマトリョーシカ人形がわかりやすい。中から出てくる人形が新しく出現する AR である。しかしマトリョーシカ人形には出せる人形に限界があるが『メタ AR』ならば理論上は無限に AR を出現させることができる。

図 1 では[4]のマトリョーシカ人形を参考にマトリョーシカ人形を『メタ AR』で表示したイメージを示す。マトリョーシカ人形では図 1 の下の図で終了だが『メタ AR』ならばオブジェクトが設定されていれば処理が続き無限に AR が表示される。

^{†1} 中京大学 情報科学研究科



図1 マトリョーシカ人形をARとみなした例

(上)一つ目のAR, (真ん中)メタARによる二つ目のAR,
(下)表示を繰り返し、増えたAR

従来のARとしては図2左図のようにバースデーカード全体をマーカーとした[1]や、図2右図のように名刺に幾何学的な模様のマーカーをつけることでARを可能にしている[2]などがある。また付箋へマーカーを張り付け、それを読み込むことでメモを表示、編集できる[5]のような研究もあるがこれらはどれも現実存在するマーカーを認識することでARを表示している。

しかし、それでは表示させるものが増えるたびに現実マーカーが増えていく。マーカーをつけることのできる範囲が決まっている場合、マーカーが増えることはよいことではない。



図2 従来のマーカーの例

(左)[2]のマーカー (右)[3]のマーカー

マーカーレス型ARのように一見マーカーが無いように見えるものでも実際は何らかのマーカーを認識していたり、GPSなどの情報を利用しているため、表示させるオブジェクトが増えれば、マーカーの数も増える。仮にマーカーを複数つけ、マーカーとする部分が重なった場合、マーカーの認識が不安定になるのは自明である。

マーカーが認識できないというのはARの研究でもっとも避けるべき事態である。

『メタAR』ならば、もっとも注目してほしい部分のみにマーカーを置くだけでよい。その1つのみ認識できれば

よいからである。

マーカーの数を増やすため、どんなに小さなマーカーにしてもARを表示する機器の認識できる限界がある。

だが『メタAR』ではマーカーの大きさを考慮するのは最初に表示させる時のみのため、多くマーカーを置くためにマーカーを小さくする必要もほとんどないと言える。

図3に色紙1枚へマーカーレス型で複数のマーカーを設定した例を、図4にメタARを適用した例を挙げる。図3ではマーカーが被っているが、図4ではマーカーが1つですむため、他のマーカーの影響で認識が不安定になることはない。



図3 色紙にマーカーを設定した例

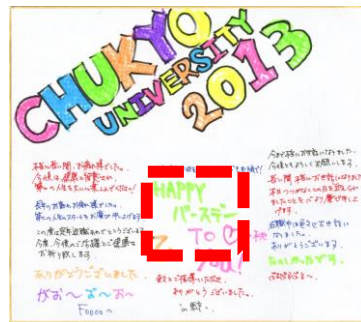


図4 図3にメタARを適用した例

『メタAR』を利用することで現実のマーカーを減らすことができ、表示させるARを増やすこともできる。これは、先に述べたマーカーをつけることのできる範囲が決まっている場合に大きな役割を果たす。カードや本、色紙などの小さな範囲にマーカーを仕込む際に、とても役立つ。また、図5のように幾何学的な模様を持つマーカーが多いため、見栄えもよくなり、空いたスペースに別のことを書くこともできる。

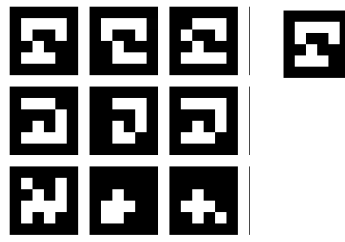


図5 複数マーカー(左)とメタARを使用した際のマーカー(右)の数の差

また、マーカーの認識する方向や最初に表示させた AR の状態を変えることで、さらに表示させる AR を変えることができる。こちらは、複数の機器で同じ AR を見た際のギミックに役立つ。

例えば、図 6 のようにキャラクターが AR として表示されたとする。この時、キャラクターの後ろから見た場合、新たに表示される AR は吹き出しで「前から見て！」というものになるかもしれない。また正面から見た場合、新たなキャラクターが表示されるということもあるだろう。

こういったギミックはエンターテインメントの分野で利用できる。



図 6 (上)後ろから見たときの例
(下)前から見たときの例

GPS を利用し、AR による道案内を行うアプリの[6]と[7]は現実には存在しないようなマーカーを使用する AR である。これにはマーカーのサイズは関係ない。しかし、これはもともと屋外での使用を想定したものであり、マーカーをつけることのできる範囲が地球上という大きな範囲であるため、今回は考慮しない。

だが、メタ AR と GPS を連動させることでさらに画期的なシステムを作ることでもできると考えている。これに関しては展望で書く。

表示させた AR を画面のタップやスライドによって移動や拡大縮小、回転させる[3]のような研究や撮影した映像のある物体を AR のオブジェクトとし、その AR を表示させ、再生時間による操作や大きさの操作をする[8]のような研究もある。これらは表示される AR はユーザーの操作によって変化するものの、新たに AR が表示されているわけではない。そもそも『メタ AR』の目的は、現実のマーカーを使用せず、表示した AR を新たなマーカーとみなし AR を表示できる点にあるので、[3][8]もそういった面で見れば

ただの AR と変わらない。

切り絵のような美しいマーカーのデザインを行う[9]のような研究もある。このようなマーカーに対し工夫を施し、認識精度の向上や、マーカーデザインのモチベーションを向上させることにももちろん意義はある。しかし、メタ AR を使用することで、マーカーの工夫も容易になると考えられる。現実では不可能なマーカーでもデジタル情報ならば可能である。[9]のような切り絵もデジタルならば表現が可能であるし、現実では認識の問題で使用できない色や形の者もマーカーとして利用できる。

マーカーの書かれた透明な板を組み合わせることで、マーカーとして成り立つものや、アナモルフォーシスを利用したマーカーを作成したりなどマーカー自体にユーザーが操作する要素を取り入れ、そのデザインを研究している[10]もあるが。これはもし、[11]や[12]のように表示させた AR に触れる、画面以外をユーザーが操作することで AR を変化させるというような研究が進めば、『メタ AR』でも十分にマーカーのデザインができると考えている。

『メタ AR』は、AR を表示させる際持つ位置情報、カメラ位置を使用しているため、現実のマーカーを認識するような画像処理は使用していない。そのため、一度最初の AR を表示させることができれば他のシステムに組み込むことは容易だと考えられる。

3. 利用例

『メタ AR』の利用法としてはカードや手紙、色紙等 AR マーカーをつけることが困難、または大きさや形の関係で複数つけることができないものに利用できると考えられる。

カードゲームに利用した場合、マーカーの向きを変えることで AR を変化させられるため、カードを認識した際、カードの状態によって AR を変えることでカードゲームの新たなゲーム性の開拓ができる。

また複数の AR マーカーを同時に利用する際、マーカーの組み合わせによって状態を変える、ということも考えられる。従来の手法では表示させる数だけマーカーを用意する必要があったが、『メタ AR』を使用することでたった一つのマーカーで事足りるようになる。

また手紙や色紙等の贈り物には文字や写真をつけるが「スペースが足りない」、「多数の写真を貼りたい」という問題・要望が発生する。『メタ AR』を利用することでこの問題は解決できると考えている。

4. ARigato

利用例で述べた、手紙や色紙等の贈り物に「スペースが足りない」、「多数の写真を貼りたい」という問題・要望を解決するため、メタ AR を利用した贈り物作成支援システム「ARigato」を作成した。

贈り物として作るものは今回記念品として選ばれるこ

との多い色紙とした。

システムを作成するにあたり、マーカーレス型 AR 作成ライブラリ「Vuforia」を使用した。

「ARigato」では現実のマーカーを認識して立方体を表示させる。表示させた立方体のカメラのほうを向いている面に対応した AR を表示させるようにした。

図 7 では奥の立方体のこちらを向いている面に写っている人物に関する写真が貼られた立方体が新たに手前に表示されている。

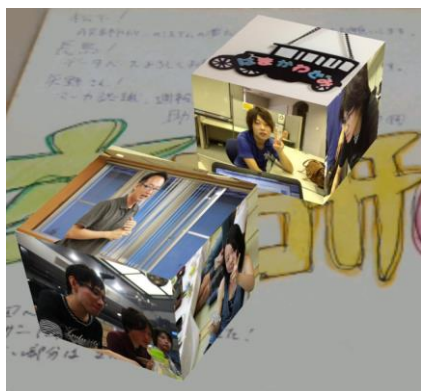


図 7 『ARigato』によるメタ AR 表示例

「AR + ありがとう(Arigato)」より、本システム名は「ARigato」である。

4.1 システム概要

本システムは AR・メタ AR を付加した色紙作成・閲覧支援システムである。

本システムは、色紙を贈る人(以後、作成者)が使用するシステムと色紙を受け取る人(以後、閲覧者)が使用するシステムの 2 つのシステムで構成されている。

本システムでは作成者は PC、閲覧者は Tablet を使用する。作成者側システムでは PC 操作で、マーカー作成、AR・メタ AR の設定を行い、それらのファイルをサーバーに保存する。作成者は任意の場所に色紙上のマーカーを作成することができ、AR・メタ AR で表示する画像の再設定も可能である。

閲覧者は閲覧者側システムを使用し、AR・メタ AR を Tablet で閲覧する。閲覧者側システムはシステム起動後 Tablet を色紙に向けるだけで閲覧ができる。

本システムではサーバーを使用する。サーバーは作成者が設定したファイル(画像、マーカー情報など)を保有し、閲覧者が所有する色紙とサーバーが保有している色紙情報を照合する。

今回、「スペースが足りない」という問題を解決するため、マーカーレス型の AR にし、「多数の写真を貼りたい」という要望を解決するため表示させる AR は立方体とした。

4.2 ARigato の流れ

ARigato を使用する流れを図 8, 9, 10 と共に以下に示す。

(1) 色紙の作成, 色紙のスキャン

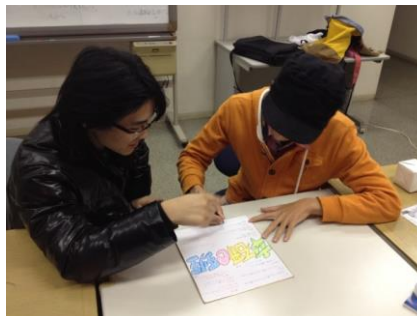


図 8 色紙の作成

(2) 作成者側システムを使用し、マーカーの作成, AR・メタ AR の付加



図 9 マーカー作成, AR・メタ AR 設定の様子

(3) 閲覧者側システムで AR の閲覧



図 10 閲覧の様子

4.3 作成者側システム

この項では作成者側のシステムについて説明する。

作成者側システムではマーカーの設定や AR・メタ AR の設定を行う。

作成者側システムはだまかに 4 つの工程からなる。

- 色紙画像の読み込み
- マーカーの作成
- AR・メタ AR の付加
- サーバーへの AR 情報のアップロード

これらを図と共に説明する。



図 11 作成者側システム GUI

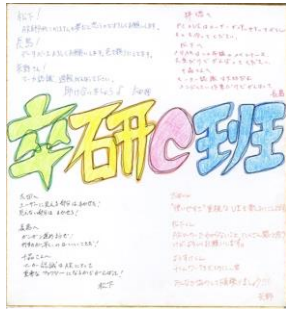


図 12 今回使用した色紙

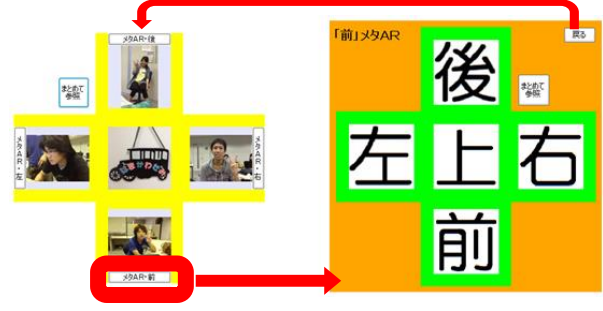


図 16 メタ AR 設定パネル

4.3.1 色紙画像の読み込み

図 13 の「画像読み込みボタン」を押す、または図 11 の左側の四角へ色紙画像をドラッグ&ドロップすることで色紙画像が読み込まれる。ここで色紙に図 13 左部に表示されている 8 ケタの数字が ID として付与される。



図 13 図 11 の上部

4.3.2 マーカーの作成

図 13 の「マーカー作成ボタン」を押すと、色紙画像上においてマウスポインタが + に変化し、マーカーが作成可能になる。図 14 のようにドラッグして範囲を決定し、マーカーを作成する(枠が青色になるまで引き伸ばさないと作成されない)。



図 14 マーカー作成の範囲決定

マーカーが作成されると AR とメタ AR を設定する画面が表示される。

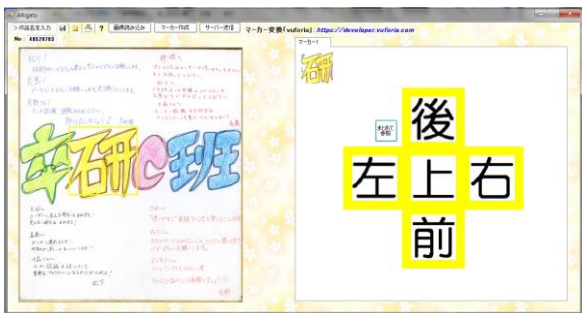


図 15 色紙画像が読み込まれ、マーカーの設定が終了した画面

4.3.3 AR・メタ AR の付加

図 15 の上左右前後の文字は立方体の面を表しており、クリックすることでその面へ表示させる画像を設定することができる。

「メタ AR ボタン」を押すと、メタ AR 設定 のパネルに切り替わる。

メタ AR 設定パネル上で AR の設定と同じようにクリックして設定することでメタ AR の設定をすることができる。

4.3.4 サーバーへの AR 情報のアップロード

図 13 の「サーバー送信ボタン」を押すことで色紙画像、設定したマーカーの設定、AR・メタ AR の設定等をサーバーへ送信する。

4.4 サーバー

この項ではサーバーでの閲覧者の所有する色紙の判別について説明する。

サーバーは大まかに 3 つの工程からなる

- 色紙画像の取得
- 辞書データの作成
- 類似画像検索

4.4.1 色紙画像の取得

閲覧者側システムで撮影した色紙画像を使用する。

4.4.2 辞書データ作成

検索対象となるサーバーに格納されているすべての色紙画像に対して特徴量の算出し、辞書データとして保持する。

4.4.3 類似画像検索

取得した色紙画像を基にサーバーに格納されているすべての色紙画像にそれぞれ類似度を算出する。類似度上位の色紙 ID を Tablet に渡す。

4.4.4 識別実験

Tablet で撮影した色紙画像には、色紙以外の部分に背景が入ってしまうため、背景によって類似画像検索の精度が左右される。そのため、背景の識別実験を行った。

実験方法は 6 色 (黒, 黄, 白, ピンク, グレー, オレンジ) の背景色を用意し、それぞれを背景とした色紙画像 15 枚に各 10 回ずつ検索を行い識別率を検証する。

図 17 はオレンジと黄の背景例である。

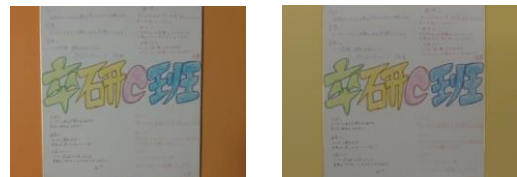


図 17 (左) オレンジ (右) 黄
実験結果として表 18, 表 19 を示す。

背景色	黒	クリーム	白	ピンク	グレー	オレンジ
識別率	70%	20%	30%	10%	100%	20%

表 18

背景色	黒	クリーム	白	ピンク	グレー	オレンジ
識別率	100%	60%	70%	20%	100%	20%

表 19

上記結果から 3 位以内識別率に比べて 5 位以内識別率が良いことがわかった。また、背景色がグレーであれば、3 位以内・5 位以内共に、100%の識別率であることがわかった。この結果より、類似度上位 5 位以内の色紙 ID を Tablet に渡し、背景色にはグレーを推奨する。

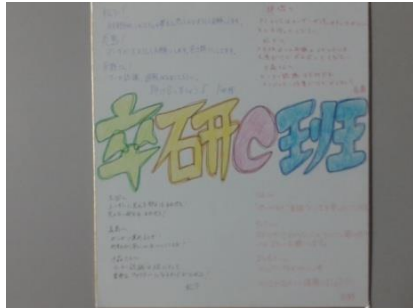


図 20 グレー背景

4.5 閲覧者側システム

この項では閲覧者側のシステムについて説明する。作成者側システムはだまかに 4 つの工程からなる。

- 色紙撮影
- 類似画像検索結果取得
- AR 情報のダウンロード
- AR・メタ AR 閲覧

4.5.1 色紙撮影

所有する色紙を撮影する。撮影された画像は jpg 形式でキャッシュに保存される。撮影した画像はサーバーでの類似画像検索に使用される。

4.5.2 類似画像検索結果取得

サーバーでの類似画像検索の結果を受け取る。その結果からダウンロードする AR 情報のリクエストを行う。

4.5.3 AR 情報のダウンロード

取得した類似画像検索の結果から、必要な AR 情報をサーバーからダウンロードする。

図 21 に AR 情報のダウンロードの流れを示す。

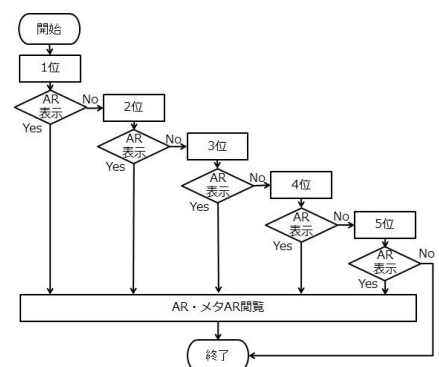


図 21 ダウンロードの流れ

まず、類似画像検索の結果第 1 位の色紙に関する AR 情報のダウンロードを行う。ダウンロード完了後、色紙に

Tablet をかざして AR が表示されれば、AR・メタ AR 閲覧になる。しかし、ここで AR が表示されない場合、類似画像検索の結果第 2 位の色紙に関する AR 情報のダウンロードを行う。ダウンロード完了後、色紙に Tablet をかざして AR が表示されれば、AR・メタ AR 閲覧になる。同じように類似画像検索の結果第 3 位、第 4 位、第 5 位とダウンロードを繰り返し、類似画像検索の結果第 5 位の AR 情報をダウンロードしても AR が表示されない場合、システムを終了する

4.6 AR・メタ AR

この項では AR・メタ AR の処理を説明する。

この項のことをシステムに組み込むことができればメタ AR の導入ができる。

メタ AR が普通の AR と違う一番の点は現実のマーカーの読み込みの必要がないということである。

そのかわり、最初の AR を表示した際、保持しているであろう AR を表示した位置やカメラ位置の情報を利用する。

メタ AR で表示されたオブジェクトの位置の情報は保持しているはずなので処理の繰り返しを記述することで無限に表示される AR が実現できる。

AR・メタ AR の実現のため、マーカーレス型 AR 開発ライブラリ「Vuforia」と 3D グラフィックス API「OpenGL」を使用する。

AR・メタ AR の処理は、だまかに 3 つの工程からなる。

- AR 情報の読み込み
- マーカー認識
- AR・メタ AR 表示

4.6.1 AR 情報の読み込み

閲覧者側システムで設定した AR 情報を読み込む。読み込む情報は「マーカー情報」「AR・メタ AR の設定」「使用した画像」「AR・メタ AR の対応表」である。

「マーカー情報」は dat ファイルと xml ファイルの二つからなる。本システムではまず、xml ファイルを読み込み、内部のデータから読み込む dat ファイルを選択し、読み込む。xml ファイルにはマーカー名が定義されており、マーカー名からそのマーカーで表示させる立方体に使用する AR 画像を決定できる。dat ファイル、xml ファイルの名前は「8 ケタの数字+拡張子」となっており、8 ケタの数字は色紙 ID である。

「AR・メタ AR の設定」は立方体のどの面にどの画像を表示させるかが定義されている。

「使用した画像」は AR・メタ AR に使用されている画像である、画像の名前は作成者側でアップロードされる際、リネームされており、AR で使用する画像は「AR_base0.jpg」メタ AR で使用する画像は「AR_meta0.jpg」とした。画像の名前の数字部分は画像数が増えるごとに増えていく。

「AR・メタ AR の対応表」は現実の AR を表示させたとき、どの面が見えたら、どの AR を表示させるかというこ

とが表になっている。

4.6.2 マーカー認識

閲覧者側システムでダウンロードした AR 情報の中のマーカー情報を使用する。マーカー情報にはマーカーの特徴点情報が入っているため、この特徴点を用い、マーカーの認識、追跡を行う。

マーカー画像とそれにグレースケール化を施し特徴点情報を画像に付与したものを図 22 に示す。



図 22 (左) マーカー画像
(右) 特徴点情報の付与された画像

4.6.3 AR・メタ AR 表示

AR の表示には OpenGL を使用する。

AR 空間上に立方体の AR を表示する。



図 23 AR 表示

この表示された AR は Tablet をタップすることで動きが変わる。

AR 表示後、一度目のタップで AR がその場で回転を始める。二度目のタップで停止する。もう一度タップするとまた回転を始める。

メタ AR は本来、見る方向によって異なる AR を表示することができるようにするものだが、今回は色紙であるという前提からこのような操作をするようにした。これは色紙には文字や絵が書いてあり、正しく読んだり見たりするためには 1 方向から見る必要があるので正面の 1 方向からしか見ないと推定したからである。タップによる操作にすることで、タブレットを動かしたり、色紙を動かしたりする必要がなくなるため、色紙を見ながら AR の閲覧ができる。

メタ AR の表示には AR 表示と同様に OpenGL を使用する。



図 24 メタ AR の表示

AR の表示と異なりメタ AR は画面をタップした後表示される。

一度目のタップでは表示されないが、二度目のタップで現実のマーカーを使い表示された AR のカメラの側を向いている面に対応したメタ AR が表示される。3 度目のタップでメタ AR は AR の周りを公転する。

つまり流れとしては

- AR 表示
 - AR 自転
 - AR 停止、メタ AR 表示・自転
 - AR 自転、メタ AR 公転
 - AR 停止、メタ AR 消去
- となる。流れを図 25 に示す



図 25 AR・メタ AR の流れ

また、メタ AR には表示範囲が設定されている。

表示範囲は、立方体を一方向から見た際、立方体の側面 2 つが均等の大きさに見える位置、つまり現実のマーカーを使用し表示した AR を中心とした軸から $\pm 45^\circ$ の範囲とした。

5. 評価

評価は作成者側のシステムを 11 人、閲覧者側のシステムを 3 人、計 14 人に作成者システムの評価者から閲覧者システムの評価者へ色紙を送る形でそれぞれしてもらった。

評価内容に関しては、最初に挙げた「スペースが足りない」、「多数の写真を貼りたい」等の問題、要望を解決できたかに重点を置いて評価してもらった。

5.1 評価結果

全体の評価は「スペースが足りないという問題点は改善

されるか」という問いに対して、14人全員が「改善される」と答えた。さらに「多数の写真を貼りたいという要望は解決されるか」という問いに対しても、14人全員が「解決できる」という回答を得た。

また「メタ AR」に関しては、閲覧者側システムの評価者へのアンケート項目である「メタ AR は必要だと感じたか」という問いに対して3人全員が「必要である」と答えた。さらに「メタ AR は見やすかったか」という問いに、図 26 のような回答を得た。

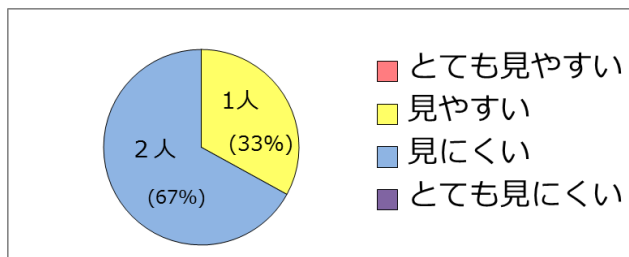


図 26 アンケート結果

「見にくい」という回答の理由には、「メタ AR の回転を止めてゆっくり見たい」や「メタ AR の表示範囲を広くしてほしい」等が挙げられた。

6. 成果

評価結果から、本システムは『メタ AR』を利用することで、「スペースが足りない」、「多数の写真を貼りたい」という問題・要望を解決することができた。

また、アンケートの答えとして「色紙を貰うときと Tablet を通して見るときの二度楽しめる！」や「メタ AR の機能が面白い！」等の意見をもらった。このことから色紙を贈る際に、より人を喜ばせることができるシステムを開発することができたといえる。

しかし、今回「ARigato」ではメタ AR を一方向からのみしか閲覧できないという制限があったため、「見る角度によってメタ AR を変化させたい」「表示させるメタ AR の工夫に制限がかかってしまった」という意見もあった。

7. 展望

今回『メタ AR』の利用法として贈り物を挙げたがこれ以外にも利用例で挙げたように多くの利用法がある。そのため、これからも『メタ AR』を利用したシステムを提案していく。

メタ AR の項で述べた GPS との連携もの構想として、位置による AR の変化を考えている。同じマーカーを見たとき、ある場所で表示されるものと別の場所で表示されるものを違うものにする事でエンターテインメント性を持ったシステムを作成できるのではないかと考えている。

「ARigato」で考えると、日本ではメタ AR で表示されるものは写真だが、海外では文章が表示されるといった変化を

加えることができる。または、ある地点以外では集合写真、自室では自分のみの写真が表示されるというのも、面白いだろう。

また「ARigato」では無限に AR を表示させるという手法を取らなかったため、「ARigato」に組み込んだり、それを利用したシステムの作成もしたいと考えている。

そのほかの意見として、「メタ AR も一度完全に停止している状態が見たい」「もっと多くの動作をさせたい」「立方体だけでなく別の形の AR を表示させたい」等もあったので意見を参考にしつつ、「ARigato」の改善をしていきたい。

メタ AR の項でも述べたが、[11]や[12]のように表示させた AR に触れたり、デバイスで操作することが容易にできるようになれば、メタ AR は更なる可能性を持つと考えている。

8. 謝辞

本研究を行うにあたり、意見をくださった方々、評価者の皆様へ、ご助力いただいた皆様に、謹んで感謝の意を表する。

9. 参考文献・関連研究

- 1) ピザハット パースデーAR アプリ
<http://www.ph-ar.com/>
- 2) AR MESSAGE
<http://ar.sanshin-sya.co.jp/>
- 3) Annette Mossel, Benjamin Venditti, Hannes Kaufmann: 3D Touch and HOMER-S: Intuitive Manipulation Techniques for One-Handed Handheld Augmented Reality, ACM, (2013), ISBN: 978-1-4503-1875-4.
- 4) Frau Vintage
<http://www.frau-vintage.com/#>
- 5) 鈴木可奈, 山澤一誠, 横矢直和: 拡張現実感を用いたマルチメディア付箋システムの構築
電子情報通信学会技術研究報告, 110(35), pp59-64, 2010-05-07
- 6) i タウンページ-病院、ホテル、グルメ、観光情報、地図で検索!
<https://play.google.com/store/apps/details?id=jp.co.nttds.itownpage>
- 7) MapFan eye
<http://www.mapfan.com/iphone/ar/>
- 8) Tobias Langlotz, Mathäus Zingerle, Raphael Grasset, Hannes Kaufmann, Gerhard Reitmayr: AR Record&Replay Situated Compositing of Video Content in Mobile Augmented Reality, ACM(2012), ISBN: 978-1-4503-1438-1
- 9) 翁 姫雅: 切り紙細工に基づく AR マーカーのデザインと検証
- 10) 五ノ井あずさ, 森谷友昭, 高橋時市郎: 拡張現実感のための拡張マーカーの提案とその応用 映像情報メディア学会技術報告 35(14), pp61-64, 2011-03-04
- 11) Adrian David Cheok, Xubo Yang, Zhou Zhi Ying, Mark Billinghurst Hirokazu Kato: Touch-Space: Mixed Reality Game Space Based on Ubiquitous, Tangible, and Social Computing Personal and Ubiquitous Computing Volume 6 Issue 5-6, December 2002 Pages 430 - 442
- 12) TARP (Toolkit of Augmented Reality with Physics)
<https://code.google.com/p/tarp-project/>