

コンシューマ・デバイス論文

# 人の動作に対してグラフィクスを高速かつシームレスに追従させる3次元ARマーカの開発

宇佐美 真<sup>1,a)</sup> 杉村 博<sup>1</sup> 三浦 喬平<sup>1</sup> 一色 正男<sup>1</sup>

受付日 2015年1月26日, 採録日 2015年5月21日

**概要:** 今後のゲーム業界におけるARの活用は、ヒューマンインタラクション性を高めるうえで、大変期待される技術である。これまで実世界の動きを仮想世界のARに反映させる際、動きトラッキングのためにARマーカを視覚認識する手法が提案され実用化されている。ゲーム用途では高速な動きをとまなう人のアクションをトラッキングする必要があるがコンシューマグレードの汎用カメラで認識すると、CMOSイメージセンサのローリングシャッター方式に起因する画像歪みが生じて認識困難になることがあった。また、2次元ARマーカ方式において、1枚のカード型ARマーカをトラッキングする方式は、幅広く使用されているが2次元表面の表から裏面への動きにとまぬグラフィクスを360度シームレスに追従表示させることは困難である。課題を解決するために1次元カラー認識コードの変形自由特性を活用した3次元ARマーカを開発した。開発した3次元ARマーカを使用することで、汎用カメラにおいてARマーカの高速アクション時に認識画像が歪んだ場合でもトラッキング可能なことを確認し、かつ、360度シームレスな回転トラッキングを可能にした。その結果、人の動作に高速追従してグラフィクス描画することに成功した。

**キーワード:** AR, 3D AR マーカ, ローリングシャッター, カラービット

## Development of 3-dimensional Augmented Reality Marker to Achieve Graphics Tracking at High Velocity Seamlessly in Human Motions

MAKOTO USAMI<sup>1,a)</sup> HIROSHI SUGIMURA<sup>1</sup> KYOHEI MIURA<sup>1</sup> MASAO ISSHIKI<sup>1</sup>

Received: January 26, 2015, Accepted: May 21, 2015

**Abstract:** Augmented Reality (AR) is a promising technology in the game industry especially for human interaction capabilities from now. Up to now, many AR methods have been studied and commercialized to recognize AR markers visually in order to track motions so that motions of the real-world can be applied to AR systems at virtual worlds. Game applications require to track human actions in high speed motions. However if a consumer-grade generic camera is used for visual recognitions, image distortions occur and the distortions make errors of visual recognitions due to so-called "Rolling-Shutter Effect" in CMOS image sensors. Moreover, AR Methods of a 2-dimensional AR marker on a 2-dimensional card surface have been frequently used. However it is difficult to track the 2-dimensional AR markers and to display related graphics seamlessly in 360-degree rotations from the top to reverse sides. In order to overcome the problems, authors developed a 3-dimensional AR marker by utilizing deformable characteristics of a 1-dimensional color recognition code. Authors proved recognition and tracking capabilities of the 3-dimensional AR marker when the AR marker moved fast in motions even in using generic cameras and related image distortions occurred. Furthermore authors proved AR marker can be rotated in 360-degrees seamlessly. As a result, authors succeeded to display graphics in conjunction with fast tracking of human motions.

**Keywords:** AR, 3D AR marker, rolling shutter, colorbit

### 1. はじめに

今後のゲーム業界におけるヒューマンコンピュータインタラクション (HCI) [1] 性を高めた Augmented Reality (AR) の活用は大変期待される技術である。ゲームにおい

<sup>1</sup> 神奈川工科大学  
Kanagawa Institute of Technology, Atsugi, Kanagawa 243-0292, Japan

<sup>a)</sup> michaelusami0730@gmail.com

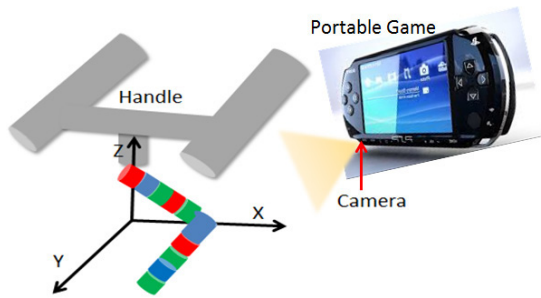


図 1 ゲーム用ハンドルへの AR マーカ活用例

Fig. 1 An example of AR marker applicable game in steering for games.

て実世界における人の動きをコンピュータに伝えるには、ボタン、キー、マウスなど様々な方法が存在する。人の動きを直観的かつ高速に反映させ AR 表示することは重要と考えられるが、携帯ゲーム機などに搭載されたセンサで人の動きに親和性高く正確、高速に距離の変化、回転運動などに対してシームレスに AR 表示させることは容易ではない。

本稿で述べる技術の応用例の 1 つとして、図 1 のようなハンドル操作をとともなうゲームでの利用、たとえばフライトシミュレータにおける電子制御不要ハンドルと携帯ゲーム機での活用を想定したとき、ハンドルは X, Y, Z 軸の高速回転性が必要とされる。そこで、ハンドルに AR マーカを取り付け、携帯ゲーム機の操作する人の側向きに内蔵された汎用カメラで視覚認識し、ハンドルの高速アクション状況の姿勢推定計算をリアルタイムに行い、計算結果から携帯ゲーム機の画面にハンドルの動きとゲーム背景を重畳させて表示することを想定した。携帯ゲーム機自体を回転、並進させてジャイロなどを使って制御する方式があるが、ゲーム機の表示画面まで動いてしまうという問題がある。本稿の方式では、電子制御をとともなう専用ハンドル装置を使わず、または、持ち歩かなくても、ハンドルとして使える形状の操作物に AR マーカを取り付けるだけで、ハンドルの高速アクションをとともなう HCI 性を備えたゲームが実現できると考えた。電子制御不要のハンドルは、ケーブル、ワイヤレス通信が不要のため実装と使用が容易で充電不要な利点もある。電子制御不要ハンドルを活用するにあたり、ハンドルに取り付けられたマーカを視覚認識する本方式の場合、ハンドルをどこかに固定する必要がなく、ケーブルレスが実現できるので、人間のアクションに対する操作自由度が高いと考えられる。

本稿では、人による高速アクション操作をとともなうゲーム機を想定し、AR マーカをシームレスにトラッキングしながら AR 表示を実現する技術の提案を行う。2 章では関連する従来技術について述べ、3 章では、課題を解決するための提案手法を説明する。4 章では実証実験とその結果について述べ、5 章では、まとめと将来ステップについて述べる。

## 2. 従来方式

ARToolKit [2] は、カード上などに印刷された AR マーカの動きをトラッキングして、マーカに同期して AR 表示する方式として幅広くゲーム用途などに活用されている。文献 [3] では、ARTag と呼ばれる方式が、ARToolKit の認識ロバスト性を高めたと書かれている。

これらの 2 次元 AR マーカ方式では姿勢推定に OpenCV [4] が使われている。そこでは、カメラキャリブレーションに Zhang の方式 [5] を用いた関数を使用する。カメラキャリブレーションとは、ある時点におけるカメラ固有の内部パラメータと、世界座標系における位置姿勢を意味する外部パラメータを求める処理である。カメラキャリブレーションがなされると、ある 3 次元座標を持った点がカメラ画像のどこに投影されるかが計算できる。Zhang の方式では、従来方式に比べてカメラキャリブレーションを容易にしたが、カメラとマーカの角度を変えて、最低 2 回のカメラキャリブレーションが必要で、4-5 回が推奨と書かれている。事前にカメラキャリブレーションされた AR システムでは、高速動体トラッキングを行う場合、CMOS イメージセンサで生じるローリングシャッター方式による画像歪み (RS 歪み) を配慮しなければならないが、Zhang の方式では校正値に考慮されないため、高速動体のトラッキングミスが生じる。

さらに、ARToolKit, ARTag のような 2 次元 AR マーカ方式では、1 枚のカードの表面と裏面に AR マーカを配置したとしても、表から裏へシームレスに AR 描画を行うことは困難という課題がある。

マーカレス方式における AR 視覚認識手法も研究されている。マーカレス方式は AR マーカ不要である点で有効な方式であるが、使用前に対象物体の視覚認識、計算、特徴記憶が必要な点で利便性に課題がある。文献 [6] では、マーカレス方式で視覚認識時に必要とされる大きな計算パワーと、それにともなって増大する消費電力の問題を指摘し、消費電力の改善および 2 次元 AR マーカの極端な傾きによる視覚認識に関する課題を解決する手法として正 6 方体の、それぞれの表面に 2 次元 AR マーカを配置する方式が議論されている。正 6 方体の場合、複数のマーカを同時認識することで、立体物の回転に対してシームレスな認識が可能である。1 つ 1 つの AR マーカが 2 次元であるため、RS 歪みの影響で高速トラッキングミスを生じる点、および事前のキャリブレーションが必要な点においては Zhang の方式と同様である。また正 6 方体の場合、3 面の同時マーカ視覚認識が必要なため、計算パワーと消費電力が増えるという問題が書かれている。1 つの物体に対して複数のマーカが必要となるのが原因である。文献 [6] の提案では複数のマーカを認識するのに対し、本提案は 1 つのマーカをトラッキングするため、処理量は小さくなると考えられる。



図 2 RS 歪み現象

Fig. 2 Phenomenon of RS distortion.

高速トラッキングが必要とされるゲーム用途において、処理量を増大させることはできる限り避けることが重要と考えられる。

文献 [7] においては、RS 歪みの補正方式に関して、文献 [8], [9], [10] の成果を改善する内容として、RS 歪みの解析と、その補正方式について書かれている。

RS 歪みは、スマートフォン、ゲーム機などで使用されるコンシューマグレードのカメラ（汎用カメラ）で幅広く使用される CMOS イメージセンサの露光および読み出しタイミングが、ラインごとに異なるため、高速動体を撮像したとき、またはカメラ自体が高速移動したとき、撮像画像が変形してしまう現象である。図 2（文献 [7] から引用）では、クリスマスツリーが斜めに傾いている。これは、画面上部ラインの露光、読み出しタイミングと、画面下部ラインのタイミングが異なるためである。文献 [7] の方式では、画面全体の動きを推定し、ラインを並べなおすことで、画面全体の補正において効果があったが、画面内の小さな動きに対して効果がないと書かれている。つまり、カメラが被写体に対して動いたときには効果的であるが、カメラが固定されて AR マーカなどをトラッキングするには適した方式ではない。文献 [7] で述べられているように、メカニカルシャッターを用いて RS 歪みを解決する方法があるが、携帯ゲーム機などに、メカニカルシャッターを搭載することはコスト面においても技術的にも困難である。それを解決する手法として、文献 [11] では、グローバルシャッター方式の CMOS イメージセンサの研究結果が述べられている。グローバルシャッター方式の CMOS イメージセンサを採用すれば RS 歪みは生じないが、グローバルシャッター方式のイメージセンサは高価でありコンシューマグレードの機器への採用は現実的ではない。ゲーム用途として汎用カメラを使うことは、コスト面、性能面バランスを考えると妥当な選択と考える。

### 3. 提案手法

形状自由度特性を有する 1 次元カラーコードを活用する

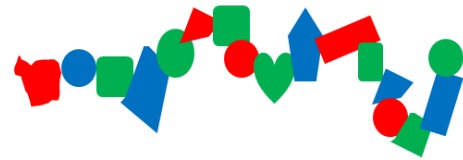


図 3 形状自由度特性を有する 1 次元カラーコード（カラービット）  
Fig. 3 Deformable 1-dimensional color code (colorbit).

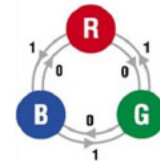


図 4 色遷移とコーディング法則性  
Fig. 4 Color sequence and coding law.

ことで、RS 歪み現象を解決し、当該コードを変形させることで 3 次元 AR マーカを構成した。開発した 3 次元マーカを活用することにより、ゲームシーンで人の動きに連動するために必要な、高速かつシームレスな動体トラッキングの実現、また同時にリアルタイム描画性を備えた AR 方式を提案する。

#### 3.1 形状自由度特性を有する 1 次元コードについて

図 3 は、赤、緑、青、それぞれのピクセルの集合（セル）を連結した図形であり、セルの形状には特別な意味を持たないものとする。このとき、左端の赤セルの隣に青セルがあったとき、つまり、セル色が赤から青に遷移した状態を“1”と定義する。同様に左端から 2 番目の青セルから 3 番目の緑セルへ遷移した状態を“1”と定義する。3 番目の緑セルから 4 番目の青セルへ遷移した状態を“0”と定義する要領で、図 4 のような 6 通りの遷移法則が定義できる。

この法則に従い 1 次元バイナリーコードの形成が可能であり、本稿で使用した 1 次元カラーコード方式では、セルの大きさ、形状に依存せず、赤、緑、青の色遷移状態が読み取ればコードとして認識される。ゆえに汎用カメラの撮像画像に RS 歪みが生じ、変形した AR マーカ画像からもコード認識が可能になる。

この色遷移を読むコード方式は、グレースケールで色の濃さを 3 段階に変化させても、原理的には同様の認識が可能である。しかしながら、本稿では、汎用カメラが原色の赤、緑、青カラーフィルタを搭載しておりカラーセパレーションが優れていることを考慮し、色の遷移でバイナリーコードを形成する方式（以降、カラービットとする）[12], [13]を採用した。

カメラ画像からコードとして切り出すとき、先頭セルと後端セルを区別する必要があるため、先頭セルは赤、後端セルは緑または青で終了することにする。後端セルは赤で終わらないために設けるダミービットとする。総セル数  $N$  に対し



図 5 1次元カラーコード (直線カラービット)

Fig. 5 1-dimensional color code (straight colorbit).

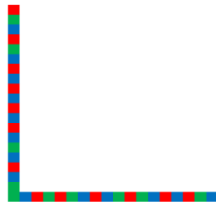


図 6 L字型 2次元カラービット

Fig. 6 L-shaped 2-dimensional colorbit.

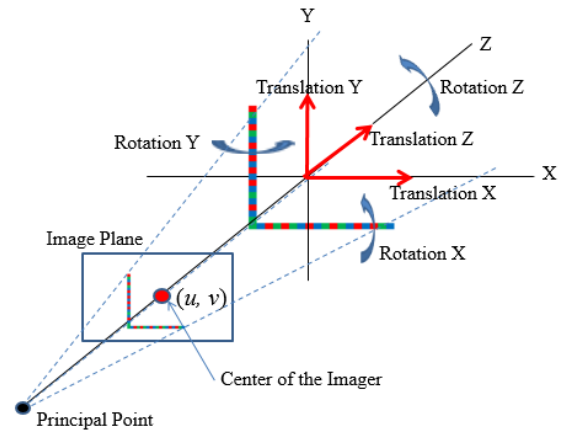


図 7 世界座標系とカラービットの位置関係の定義

Fig. 7 Definition of colorbit position in world coordinates.

て、 $2^{(N-2)}$  のコード値の表現が可能な 1次元コードである。

### 3.2 3次元 AR マーカの考案

AR マーカの姿勢推定を行いながら 360 度シームレスな動体トラッキングを可能とするため、2.1 節で述べたカラービットを使って、3次元 AR マーカを考案した。

図 3 の 1次元カラービットを、図 5 に示すように各セルのサイズを同じにして直線形状にしたとき、視覚認識されたセルの重心中心位置を基準とし、セル間距離を測定することで、カラービットをスケールとして使用する。しかしながら直線形状のカラービットを視覚認識したとき、2次元平面に配置された 1次元マーカから 3次元姿勢を認識することは困難である。そこで、形状自由度特徴を活用して図 6 のように L字型 (角度 90 度に変形) カラービットに変形することにより、2次元平面上に配置されたマーカの 3次元姿勢推定を可能とした。図 5 に示す 1次元コードの場合は、図 7 に示す世界座標系で、Rotation X および Y の両方を認識することが困難であるが、画像として見たとき 2次元要素の加わった L字型カラービットの場合、Rotation X および Y の両方を認識することが可能になる。この理論は、ARToolKit で 2次元マーカを使ったとき、3次元認識が可能になると同様の仕組みである。ゆえに図 7 に示すように、世界座標系 (X, Y, Z) における 2次元平面上に配置された L字型カラービットをカメラのイメージプレーンに相当する 2次元平面に投影する方式で L字型 2次元カラービットの 3次元姿勢推定が可能となり、カード上に配置される 2次元 AR マーカとして使用することができる。

さらに、L字型 2次元カラービットを円柱形状にすることで、360 度回転にともない、シームレスに動体トラッキングを可能とする 3次元 AR マーカを考案した (図 8)。本方式では、図 8 の A から C に示すように、円柱状物体にコードを印刷することで、3次元 AR マーカの 360 度回転にともないつねにカメラからの視覚認識を可能とした。

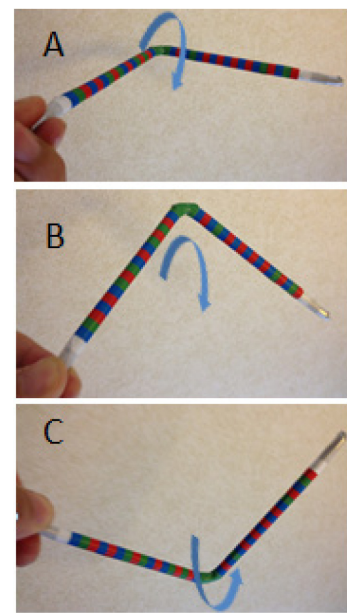


図 8 3次元 AR マーカ

Fig. 8 3-dimensional AR marker.

ゆえに、3次元グラフィクスを手の動きと同期して 360 度回転しながら表示させることが可能と考えた。さらに、3次元 AR マーカはコード化されているため、複数のマーカを区別して紐付けされたグラフィクスを表示することが可能である。

## 4. 実験

本稿では実験環境を作って、考案した 3次元 AR マーカを高速で動かし、汎用カメラによる視覚認識をしたとき RS 歪みが生じた場合でも動体トラッキングが可能なること、および 360 度回転させてシームレスにトラッキングし、AR 表示できることの検証を行う。

### 4.1 実験用 3次元 AR マーカの設計と作成

図 9 は、実験で使用する 3次元 AR マーカの平面設計

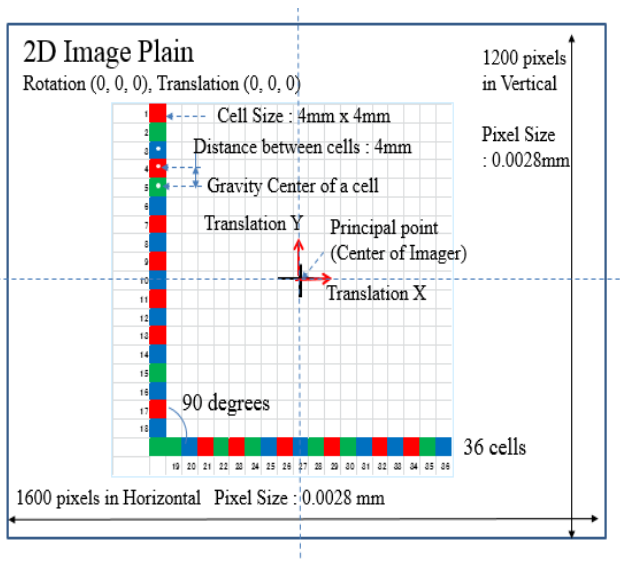


図 9 イメージセンサ平面に正対した 3 次元 AR マーカ平面図  
 Fig. 9 Plane surface of 3-dimensional AR marker at the front of image sensor.

をイメージセンサ平面に重ねて示した図である。イメージセンサ平面と正対する平面投影視において、すべてのセルは縦横 4mm の正方形とする。総セル数は 36 セルとする。3 次元形状として見ると直径 4mm の円柱形状である。各セルの間隔はそれぞれ 4mm である。円柱形状は、直径 4mm のアルミニウム棒を L 字型に折り曲げて作成し、カラーコードの印刷を行って 3 次元 AR マーカを作成した。実世界で人間の手で動作させられる範囲として、3 次元 AR マーカからカメラまでの距離を 300 から 700 mm と想定し、その距離、およびイメージセンサのピクセル数が横 1,600、縦 1,200 で得られるカメラ解像度で、必要かつ十分な認識ができるサイズをピンホールカメラモデル [14] より計算して縦横 4mm の正方形とした。イメージセンサ平面に投影されたセル間距離の変化を撮像することで姿勢推定を行いながら、36 セルをコードとして認識できるかどうかを判断することで動体トラッキング性を検証する。

4.2 AR システム

図 10 のフローに基づいて AR システムを構成する。フロー ①において、汎用カメラで撮像した画像を PC へ取り込む。フロー ②において、画面全体から AR マーカらしき画像を切り出す。赤、緑、青のピクセルの塊に対して閾値を設定して推定しセルとして認識する。フロー ③のデコード処理においては、先頭の赤セルから順番にセルの色遷移を読み取っていく。セルの一部をエラー訂正ビットとして割り当てる。エラー訂正ビットとして設定された数値と、先頭から後端ビットまでのトータルセルの数が合致すれば、カラービット成立とし、デコードが完了する。

フロー ④において、カメラに対する AR マーカの姿勢（並進、回転）の関係を認識する必要があるため図 7 に示す

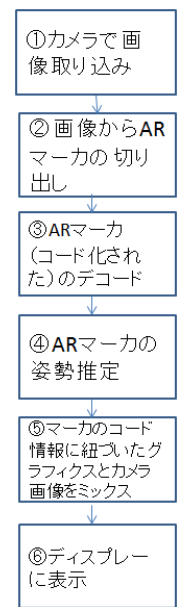


図 10 AR システムのフローチャート  
 Fig. 10 Flow chart of AR system.

関係で姿勢推定を行う。世界座標を (X, Y, Z) としたとき、イメージセンサの平面座標 (u, v) (単位：ピクセル) に対して、マーカの並進を Translation (X, Y, Z) (単位：mm)、回転を Rotation (X, Y, Z) (単位：度) で定義する。本稿では、イメージセンサの中心座標を (u, v) = (0, 0) とし、図 7 のように、イメージセンサ平面に投影される AR マーカが正対する座標を Translation (0, 0, 0), Rotation (0, 0, 0) と定義する。フロー ⑤では、カメラから得られた実世界の画像に対して、AR マーカのコード情報に紐付いたグラフィックスを PC 内で重畳する。フロー ⑥では、フロー ⑤の画像をディスプレイで表示する。

4.3 測定内容と環境

3 次元 AR マーカの動体トラッキング特性を測定し、汎用カメラで RS 歪みが生じてトラッキングが可能か、また、トラッキング精度に関して検証を行う。回転テーブル上に配置された 3 次元 AR マーカの速度を変えて回転させ、人の動きを想定した回転速度で動体トラッキングが可能かどうかを検証する。さらに、時間軸に対して、回転テーブルの物理的回転位置と、カメラが動体をトラッキングして姿勢推定で出力される Rotation (X, Y, Z) 値 (回転角度数値) を比較することで精度とリアルタイム性の検証を行う。さらに、360 度回転にともなうシームレスな AR 表示ができることの確認を行う。測定環境として、図 11 に示すように、回転テーブルを用意し、その上に 3 次元 AR マーカを配置した。カメラをスライディングレールの上に配置し、回転テーブルからの距離を正確に把握できるようにした。汎用カメラはローリングシャッター方式の CMOS イメージセンサを内蔵したマイクロビジョン社の VC-4302



図 11 測定ツール  
Fig. 11 Measurement tools.

表 1 カメラスペックとパラメータ設定

Table 1 Camera specifications and parameters setting.

| アイテム                              | 単位              | スペックと設定                          | アイテム                              |
|-----------------------------------|-----------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| カメラとピクセル数<br>(マイクロビジョン社 VC-4302)  | Pixel<br>(pix.) | 1600 水平画素 (H)<br>x 1200 垂直画素 (V) | カメラとピクセル数<br>(マイクロビジョン社 VC-4302)  |
| イメージャサイズ                          | mm              | 4.48 H x 3.36 V                  | イメージャサイズ                          |
| ピクセルサイズ                           | mm              | 0.0028 x 0.0028                  | ピクセルサイズ                           |
| レンズと画角<br>(レンズ :Tamron MV12VM412) | 度               | 35                               | レンズと画角<br>(レンズ :Tamron MV12VM412) |
| 照明 (白色 LED)                       | Lux             | 500                              | 照明 (白色 LED)                       |
| 照明色温度                             | K               | 5500                             | 照明色温度                             |

を使用した。内蔵イメージセンサは、Aptina 社 MT9D131 (横 1,600, 縦 1,200 ピクセル) である。カメラスペック、設定および照明条件を表 1 に示す。カメラ出力は USB2.0 経由で、Intel Dual Core-i5 CPU を搭載する PC (東芝製

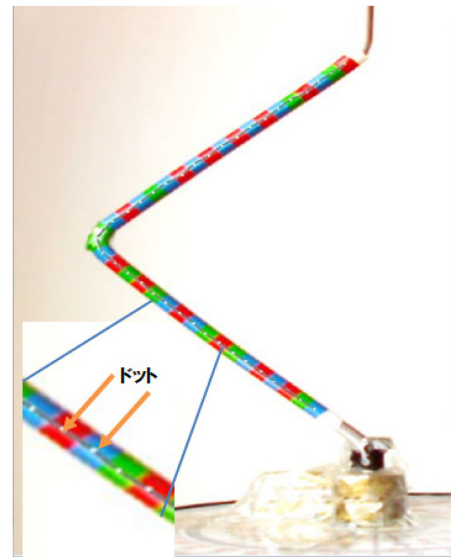


図 12 認識された 3 次元 AR マーカ  
Fig. 12 Recognized 3-dimensional AR marker.

ダイナブック) に取り込み 3 次元 AR マーカのデコード、認識、姿勢推定を行う。回転テーブルは直流を加えることで回転駆動し、供給電圧に対して一定速度で回転するように校正した。また、測定系は暗箱で覆い外光の影響を排除して一定の測定結果が得られるようにした。照明は、つねに被写体位置において 500-Lux になるよう調整した。なお、シャッタースピードは、被写体のブレが影響しないように 500 分の 1 秒に設定した。また、今回の測定ではカメラから 3 次元 AR マーカまでの距離を 300 mm に設定した。

#### 4.4 観測と測定

図 12 の PC スクリーンショット画像は、静止状態の 3 次元 AR マーカの認識状態を示す。カメラで 3 次元 AR マーカが撮像されて、かつデコードされコードとして成立したとき、それぞれのセルにドットをオーバーレイ表示するようにした。図 12 の拡大部分はオーバーレイ表示を見やすく表示したものである。3 次元 AR マーカはカメラで撮像された画像そのものであり、ドットはマーカに印刷されたものではない。視覚認識によりコードが成立したとき、ドットを 3 次元 AR マーカに重ねて描画し、各ドットをラインで結んで表示するようにした。それぞれのドットは、認識されたセルの重心位置に配置され、ラインで結ぶよう表示し、静止状態で 3 次元 AR マーカが正しく認識されることを PC スクリーンショットで目視確認した。このドットおよびライン表示がなされていれば、トラッキングができていると判断する。

3 次元 AR マーカの動的状態を視覚認識した観測結果を図 13 に示す。図 13, 図 14 は図 12 と同様に、視覚認識によるコード成立をドット描画により目視トラッキング確認できるものとする。17.5-RPM (Rotation Per Minute) 回転速度のときには、RS 歪みが観測されないことが目視

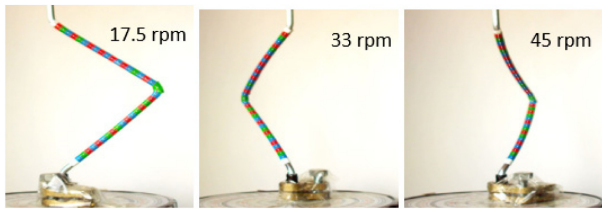


図 13 3次元 AR マーカの高速回転と RS 歪み

Fig. 13 RS distortions in high velocity locations of 3-dimensional AR marker.

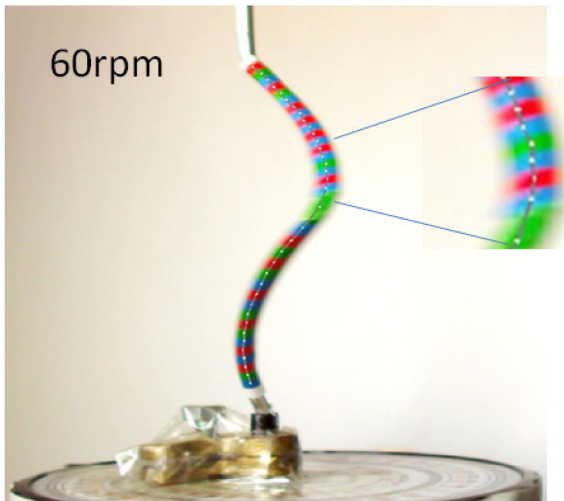


図 14 著しい RS 歪み時でのトラッキング確認

Fig. 14 Tracking recognition in significant RS distortion.

確認できる。

33-RPM 回転時では、RS 歪みが出始めていることが目視できる。45-RPM 回転では著しく歪みが生じている。

図 14 で、60-RPM 回転時にはさらに著しい RS 歪みが観測されるが、各セル上にドットが正しく描画されており、高速動体トラッキングできることが確認された。

人の動きの高速動体トラッキングにともない違和感なく AR 表示するためには、リアルタイム性と姿勢推定の精度確認が必要である。姿勢推定には、OpenCV の関数を用いたが、カメラキャリブレーションは行っていない。図 15 は、回転テーブルの上面視であり、回転にともなう 3次元 AR マーカ、カメラの位置関係を示す。

カメラと 3次元 AR マーカは世界座標系において、Rotation (0,0,45) 度、Translation (0,0,300) mm の位置を起点とする。図 16 は図 15 で示される関係をもとに、時間軸に対する物理回転角度（青線）、およびカメラでとらえた姿勢推定（Rotation）（赤線）の測定結果である。人の動きに対するリアルタイム性、および 360 度全域で回転トラッキングがなされていることが確認された。一方、-90, +90 度付近において、姿勢推定の誤差が 360 度回転に対して同様の傾向を持ち最大 7%あることが分かった。

次に、3次元 AR マーカの 360 度回転と描画実装の検証を行った。OpenCV の関数で姿勢推定した Rotation

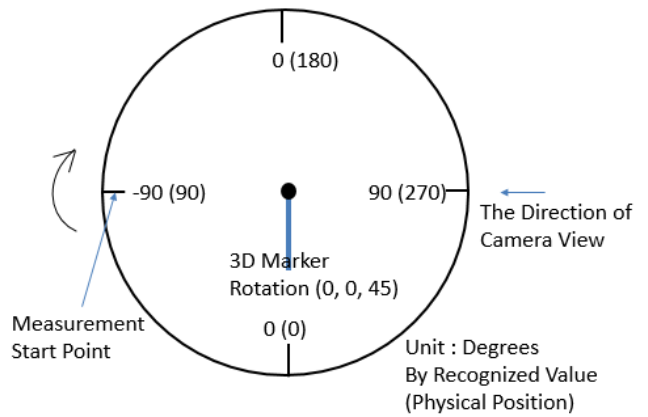


図 15 回転角度と 3次元 AR マーカの位置関係

Fig. 15 Rotation angle and 3-dimensional AR marker in position.

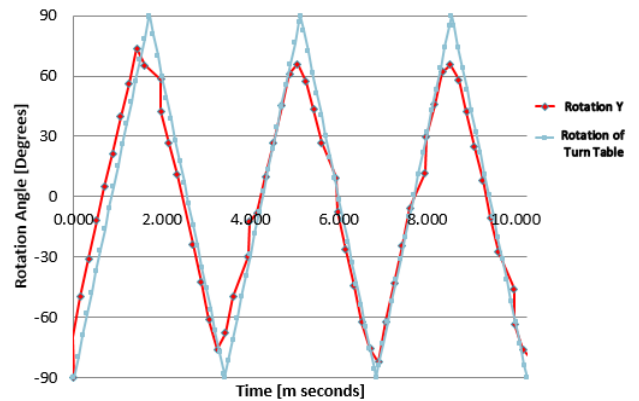


図 16 時間経過に対する物理回転と姿勢推定値

Fig. 16 Physical rotation and pose estimation in time frame.

(X, Y, Z), Translation (X, Y, Z) の出力数値を、OpenGL [15] に渡し、6 立方体スケルトンの 3次元オブジェクトを 3次元 AR の 360 度回転に追従して描画させた。図 17 のように、手による回転に追従させながら描画できることが確認された。ただし、図 16 で観測された誤差の領域付近で若干のブレがあったが大きな違和感はなく、シームレスな 360 度回転と追従描画ができた。

本方式では、赤、緑、青色の遷移を視覚認識しているので、背景に有彩色が混じるとマーカと背景の区別がつかず誤認識が生じる。無彩色背景の室内などにおいて視覚認識が正しく動作する。有彩色背景での動作方法に関しては別の課題とする。

本方式では特定角度からの視覚認識によるオクルージョンは別課題とするが、視認方向によりオクルージョンが生じる状態を図 18 に示す。このような角度からカメラで視覚認識を試みると、セルのカラーがオーバーラップして、オクルージョンが生じマーカ認識できなくなることを確認している。本方式においてオクルージョンが発生せず正しく視覚認識によりマーカトラッキングできる条件は、マーカ上に配置されたセル色それぞれが、別のセル色と交差しな

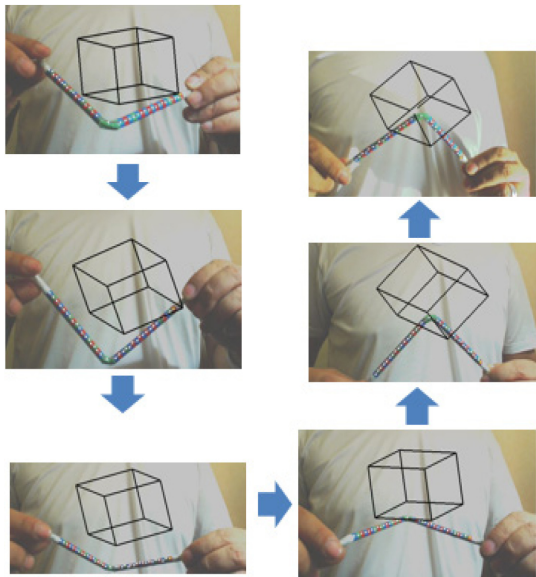


図 17 マーカの 360 度回転とオブジェクトの描画

Fig. 17 Object overlay in 360-degrees rotation of marker.



図 18 視認方向におけるオクルージョン

Fig. 18 Occlusion in a view direction.

い視認方向の範囲で使用することである。

## 5. まとめ

ゲーム用途を想定して、人による高速なアクション操作にシームレスに追従する 3 次元 AR マーカを開発した。3 次元 AR マーカを高速動作させたときの視覚認識時に、汎用カメラで使われる CMOS イメージセンサ特有の RS 歪みが著しく生じた場合でも動体トラッキングできることを確認した。また、AR 表示に必要なリアルタイム性と精度を備えた姿勢認識が確認された。3 次元 AR マーカを 360 度回転させながら、シームレスにマーカをトラッキングできることが確認できた。実際に手で 3 次元 AR マーカを回転し、グラフィクスを追従させながら描画できることを確認した。このとき、認識誤差の原因は、図 19 に示す 3 次元 AR マーカの曲がり部分（アルミニウム棒を曲げたとき生じた）が若干ラウンド形状になっていることに起因すると思われるので、3D プリンタなどで作成することで精度の向上が必要と考える。

特に、本稿で想定するハンドルの高速回転をトラッキングするようなゲーム用途においては 45-60 rpm の速度で回

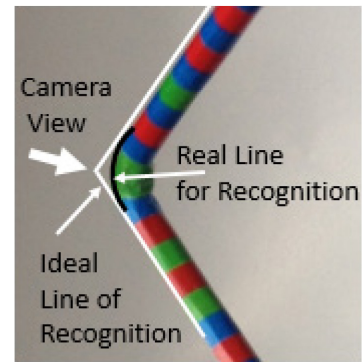


図 19 3 次元 AR マーカにおける、曲がり部分の現実ラウンド形状と理想ライン

Fig. 19 Bended part of real-line shape and ideal line in 3-dimensional AR marker.

転する物体の視覚認識が必要であり、汎用カメラ使用時における RS 歪みが生じた場合においても、AR システムが AR マーカをトラッキングし続けることは効果的である。本稿で論述した技術は、今後、高速アクション物体の視覚認識をともなう、HCI 性の高いゲーム用 AR システムの新たな用途開発に貢献できるものとする。

次のステップとしては、3 次元マーカの形状を工夫しながら、ゲーム用途で必要とされる人の様々なアクションに対応することで、さらなる HCI 性を追求した AR システムを具現化したい。

## 参考文献

- [1] de Landgraaf, W.A.: Interaction between users and Augmented Reality systems, *Human-Computer Interaction of the future an essay for HCI 2004*, pp.1-18 (2004).
- [2] ARToolkit, available from (<http://artoolkit.sourceforge.net/>).
- [3] Fiala, M.: ARTag, An Improved AR Marker System Based on ARToolkit, *National Research Council Canada*, pp.1-36 (2014).
- [4] The OpenCV Reference Manual Release 2.3 (Oct. 15, 2011), available from ([www.opencv.org](http://www.opencv.org)).
- [5] Zhang, Z.: A Flexible New Technique for Camera Calibration, *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.22, No.11, pp.1330-1334 (2000).
- [6] Lai, C.-L. and Wang, C.-L.: Mobile Edutainment with Interactive Augmented Reality using Adaptive Marker Tracking, *IEEE 18th International Conference on Parallel and Distributed Systems*, pp.124-138 (2012).
- [7] Liang, C.-K. Chang, L.-W. and Chen, H.H.: Analysis and Compensation of Rolling Shutter Effect, *IEEE Trans. Image Processing*, Vol.17, No.8, pp.1323-1330 (2008).
- [8] Geyer, C., Meingast, M. and Sastry, S.: Geometric models of rolling shutter cameras, *Proc. Omnidirectional Vision Camera Networks and Non-classical Cameras*, pp.12-19 (2005).
- [9] Ait-Aider, O., Andreff, N., Lavest, J.M. and Martinet, P.: Exploiting rolling shutter distortions for simultaneous object pose and velocity computation using a single view, *Proc. 4th IEEE Int. Conf. Computer Vision Systems*, pp.35-41 (2006).



- [10] Ait-Aider, O. and Bartoli, A.: Kinematics from lines in a single rolling shutter image, *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR '07*, pp.1-6 (2007).
- [11] Wány, M. and Israel, G.P.: CMOS Image Sensor With NMOS-Only Global Shutter and Enhanced Responsivity, *IEEE Trans. Electron Devices*, Vol.50, No.1, pp.57-62 (2003).
- [12] Kimura, A., Matsuda, M. and Kando, K.: Apparatus for recognizing an optical recognition code in which a code symbol of a 1-dimensional color bit code indicative of certain data is divided into a plurality of code symbols, United States Patent, No:US 8,113,432 B2 Feb.14 (2012).
- [13] B-Core Inc.: Colorbit Reference (May 2005), available from [www.colorbit.jp/en/wp-content/uploads/2010/05/colorbit\\_reference\\_EN2.pdf](http://www.colorbit.jp/en/wp-content/uploads/2010/05/colorbit_reference_EN2.pdf).
- [14] Hoiem, D.: Projective Geometry and Camera Models, *Computer Vision CS 543/ECE 549 University of Illinois*, pp.1-63 (2011).
- [15] OpenGL, available from <http://www.opengl.org/>.



一色 正男 (正会員)

神奈川工科大学教授. 2012年~JSCA-HEMS タスクフォースチェアマンとしてホームエレクトロニクス領域における新しいライフスタイルの創造, ECHONET コンソーシアム標準化に貢献.



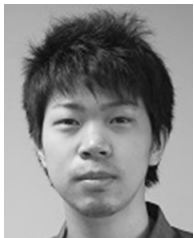
宇佐美 真 (正会員)

神奈川工科大学大学院博士後期課程工学研究科電気電子工学専攻在籍.



杉村 博 (正会員)

神奈川工科大学創造工学部ホームエレクトロニクス開発学科助教, ホームネットワークや HEMS に人工知能技術を応用する研究に従事.



三浦 喬平

神奈川工科大学大学院博士前期課程工学研究科電気電子工学専攻修了.