

# 新3次元マーカの活用により動作環境範囲を拡大させた バーチャルリアリティアクションゲーム方式の提案

宇佐美真<sup>†1</sup> 杉村博<sup>†1</sup> 三浦喬平<sup>†1</sup> 一色正男<sup>†1</sup>

VR (バーチャルリアリティ)アクションゲームでは人の動きに対して素早い反応が求められるが、没入型HMD (ヘッドマウントディスプレイ)を装着した状態で、手軽にヒューマンインタラクティブなゲームを実現することは容易ではない。本稿では、手持ちデバイスに装着された3次元マーカを視覚認識し、トラッキングしながらアクションゲームシーンに手の動きをフィードバックする仕組みによるVRゲームシステムを提案する。筆者らによる以前の論文において述べられた3次元マーカの場合、マーカが正しく視覚認識されるためには、背景が無彩色に限定されるという問題があった。今回、新しい3次元マーカを考案し、有彩色が混じった通常の色合いにおいてもマーカが問題なく視覚認識、トラッキングされることをコンシューマグレードの汎用デバイスで実現し、VRアクションゲームでの応用領域を広げることに成功した。

## Proposal of Virtual Reality Action Games Method to Expand Workable Fields by Using Newly Developed 3-dimensional Marker

MAKOTO USAMI<sup>†1</sup> HIROSHI SUGIMURA<sup>†1</sup>  
KYOHEI MIURA<sup>†1</sup> MASAO ISSHIKI<sup>†1</sup>

VR (Virtual Reality) action games require quick responses to human fast actions. It is not easy to achieve the human interactive games by using simple devices including an immersive head-mounted display. Authors discuss the VR game system by utilizing visual recognitions to track 3-dimensional (3D) Marker which is attached with hand-held device, and to feedback estimated hand-motions to action game scenes. In previous study of authors, there was a problem in the 3D Marker which limited to work at only achromatic color backgrounds. Authors newly developed 3D Marker to be used even in chromatic color backgrounds, and succeeded to expand workable fields of VR action games by utilizing generic consumer-graded devices.

### 1. はじめに

バーチャルリアリティ(VR)は、ゲーム業界において極めて有望であり、これまで、さまざまな研究と開発がなされてきた。昨今では、Oculus Rift [1]の登場があり、Sony Morpheus プロジェクト [1]が発表され、急速にVRゲームに対するユーザの期待が高まってきている。一方、Oculus Rift は高性能であるが、ハイパフォーマンス PC を接続して使う必要があるため、システムが高価であり、未だ手軽に楽しめる域には達していない。さらに、VR 普及への課題としてあげられるのが、実体験ともなわずに楽しさを伝えるのが困難である点であろう。TV コマーシャルやウェブサイトなどのメディアで、没入型VRの面白さはユーザに伝えきれないと考えられる。そこで、性能、機能は専用機であるOculus Riftなどに及ばなくとも、手軽にVR体験できるシステムを提案することがVRゲーム普及を加速する上で極めて重要な課題であると、筆者らは考えた。

人のアクションをとともなうVRゲームでは、没入型ヘッドマウントディスプレイ装置 (VR ゴーグル)、PC および、手の動作をフィードバックするためのゲームコントローラなど電子制御をとともなう装置で構成されるシステムが一般的であり、このようなシステムの場合、手軽に持ち運んで

VRアクションゲームを楽しむのは容易ではない。そこで可搬性を有し、低コストで手軽に楽しめるシステムがVRゲーム業界に必要であると考えた。本稿では、図1に示すように、スマートフォン、Google Cardboard [2]と呼ばれる簡易VRゴーグルおよび電子制御不要のハンドルに装着された3次元マーカといったコンシューマグレード (汎用) デバイスのみを用いて可搬性と低コスト性を備えながら人の高速な手の動きをアクションゲームに反映できる新しいVRゲームシステムを検討した。VRゴーグルに装着されたスマートフォン内蔵カメラを使ってマーカを視覚認識し、マーカのデコード、姿勢推定によるトラッキングなどの処理を内蔵ソフトウェアにて行うことで手軽に楽しめる没入型VRアクションゲームの実現を検討した。



図1 VRゲームシステム

Figure 1 VR game system

<sup>†1</sup> 神奈川工科大学  
Kanagawa Institute of Technology

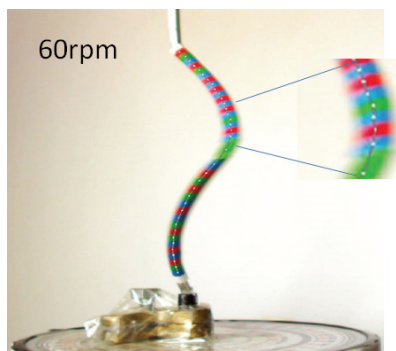


図 2 ローリングシャッター歪み  
 Figure 2 Rolling Shutter Effect

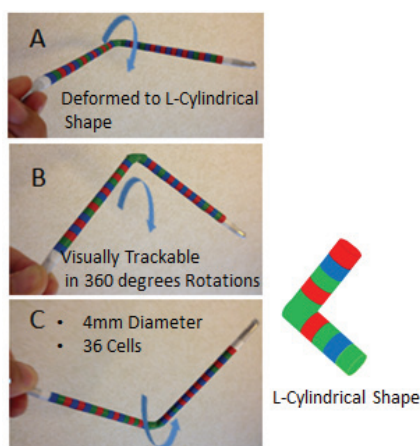


図 3 L字円柱形状の3次元マーカ  
 (旧3次元マーカ)  
 Figure 3 L-cylindrical shape 3D marker  
 (Previous 3D Marker)

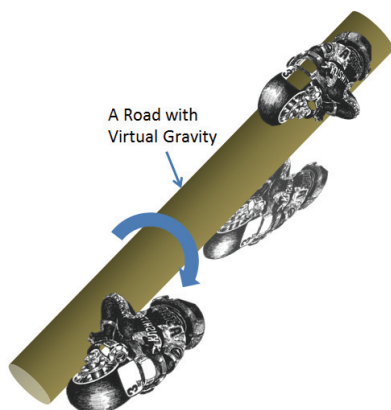


図 4 仮想引力を持った一本橋  
 Figure 4 Virtual Gravity Bridge

本稿では高速な手の動きをハンドルに装着されたマーカをカメラで視覚認識およびトラッキングし、ゲームシーンへフィードバックする方式を検討する。しかしながら、図2で見られるように、スマートフォンなど汎用デバイスで使用されるCMOSイメージセンサでは、高速動作する被写体を撮像したとき、画像にローリングシャッター歪み(RS歪み)[3]が生じることが知られている。そこで筆者らは以前の研究[4]において、図3で示すような360度回転方向から途切れなく視覚認識およびマーカのトラッキングを可能とする3次元マーカを拡張現実(AR)用途向けに開発した(旧3次元マーカ)。旧3次元マーカを活用することで高速で動作する被写体に、RS歪み現象が生じたときでも問題なくマーカがトラッキングされることを実証した。旧3次元マーカはL字型をした円柱形状であり、図3に示すように360度方向からマーカの途切れないトラッキング可能なこと、また、図2で示すように極端なRS歪みが生じた場合でも、高速動作物体のトラッキングが可能なることを特徴とする。図2のスクリーンショットでは、回転テーブルの上で60-RPMで回転させた旧3次元マーカを視覚認識しトラッキングした状態を示す。マーカが認識されたとき、マーカ上に白いドットをオーバーレイ表示させることで高速トラッキング性を証明している。しかしながら、旧3次元マーカは背景色に限定がある問題があった。マーカの背景に有彩色が含まれる場合、マーカで用いられる赤、緑、青と背景の色分離ができないため背景色に有彩色が含まれる場合、安定した動作ができないという限定条件があった。そこで本稿では、有彩色背景でも安定して視覚認識とトラッキングが動作する3次元マーカが必要と考え、動作の適用範囲が広げられる新しい3次元マーカ(新3次元マーカ)を提案する。新3次元マーカは、図1に示すようなVRアクションゲームでハンドルなど手持ちデバイスに装着して使用することを想定する。バイクのレーシングゲームにおいて平坦なレーシングコースを複数のバイクが走行するとして、突然、仮想引力を持った一本橋のシーン(図4)が登場する。このシーンでは、ハンドルを手の動きに同期して回転させながら一本橋上でバイクをローリング走行させて前のバイクを抜き去ることが可能となる。提案方式により、マーカの背景色の問題を解決しながら、新しいユニークなVR体験を、ユーザに手軽に楽しめる構成で提供できるのではないかと考えた。

2章では、関連する従来技術について、3章では提案手法に関して、4章では実験と結果について、5章で考察と将来に向けての方向性を述べる。

## 2. 関連する従来技術と方式

現在、VRゲーム用ヘッドマウントディスプレイシステムとして先行している例としてOculus Riftタイプが挙げら

れる。Oculus Rift では、高性能を実現するため高価格なハイパフォーマンス PC をケーブルにて接続する必要がある。さらに電子制御されたゲームコントローラを接続し手の動きをゲームに反映することが一般的な使用例である。持ち運んで手軽に没入型 VR ゲームを楽しむことは困難である。また、手のジェスチャーなどを光学式センシング技術で認識するデバイス Leap Motion [5] は、Oculus Rift に接続して使用可能で、前面に装着することでユーザインターフェースと

して使用することが可能である。しかし、物理的なハンドルなどが存在しないため、人が何かを操作しているというリアルな触覚的実感が乏しく、ヒューマンインタラクション性の観点で課題があると考えられる。

一般家庭に広く普及しているコンソール型ゲーム専用機としては PlayStation [6], Nintendo Wii [7] が存在する。これらは VR ゲームを処理するに十分な計算能力を有するが、人の動きをトラッキングするには専用の電子制御されたゲームコントローラやセンサを必要とする点で、手軽な可搬性を考慮したシステムではなく据え置き用である。

文献 8 では、AR 応用向けにキューブ形状の AR マーカ方式について論述されている。この方式では 2 次元 AR マーカを正 6 方体の 6 面に配置して全方位からマーカのトラッキングが可能と書かれている。この方式では、幅広く AR 用途で使用されている 2 次元マーカ方式の ARToolKit [8] が応用されている。2 次元 AR マーカがカードなどの裏と表の 2 次元平面に配置される方式では、視覚認識が裏から表面に入れ替わるときにトラッキングが途切れてしまうという問題を解決しており、常に 1 から 3 個の 2 次元マーカが認識されることになる。しかしながら、ARToolKit は Z Zang のカメラキャリブレーション方式 [9] を採用しており、この方式ではマーカを成立させるために事前にキャリブレーションされたカメラパラメータをもとに、マーカの形状を基準に画像認識してからマーカの認識が成立する。このため、RS 歪みなどの影響により撮像された画像が歪んだとき認識ができなくなるという課題があり、人の動きのような高速動作をトラッキングするとき、RS 歪みの影響で動作が不安定になりやすいので VR アクションゲームのような高速アクションをトラッキングする用途には不向きと考えられる。

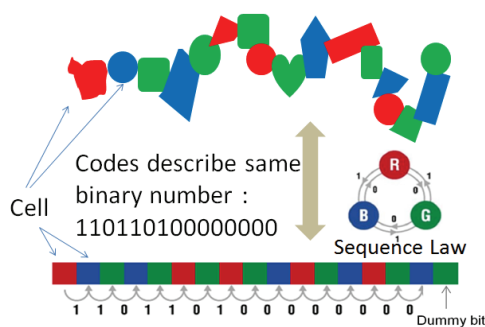


図 5 1次元カラーコード (カラービット)  
 Figure 5 1D color code (ColorBit)

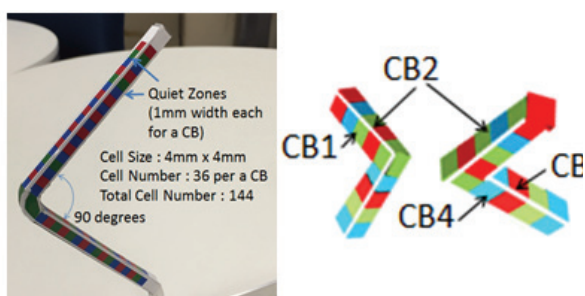


図 6 L字 4角柱 3次元マーカ (新 3次元マーカ)  
 Figure 6 L-shaped Quadratic Prism 3D marker (New 3D Marker)

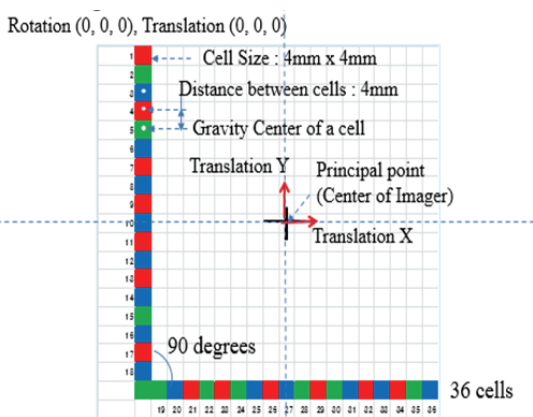


図 7 マーカの設計  
 Figure 7 Marker design

### 3. 提案手法

本章では、VR アクションゲームの動作環境範囲を広げるために開発した新 3 次元マーカの仕組みと、新 3 次元マーカを活用して VR アクションゲームシステムを構成する手法について論述する。

#### 3.1 新 3 次元マーカの開発

図 2 に円柱棒を 90 度角度で L 字型に曲げた形状を有する 3 次元マーカ(旧 3 次元マーカ)を示す。旧 3 次元マーカは、カラービット(CB), [10][11] と呼ばれる 1 次元コードの形状変形自由度特性を活用している。図 5 では 1 次元 CB コードの仕組みを示している。マーカと見られる部分を視覚認識して画像から切り出したあと、赤、青、緑(各色の画素集合単位をセルと呼ぶ)のセルの色遷移法則性を規定しコードの端から順番にセル色の遷移が 1 か 0 かを判定しバイナリーコードを生成する。エラー訂正に関わるセルの状況も

加味して、遷移法則が正しければコードが成立する。他の ARToolkit [8], QR code [12], 各種バーコードが事前に規定しキャリブレーションされたコード形状を元にコードの成立を判定するので、コードの形状が想定範囲以上に变形してしまっときコードとして成立しない一方、CB 方式は形状依存性がないため、形状自由度を有したコード体系であり画像歪みにロバスタな方式と言える。また、事前に Z Zang の方式のようなキャリブレーションが不要である。事前に CB の形状およびサイズを規定することで姿勢推定を行う際の絶対基準として使用することが可能である。そこで筆者らは、過去の研究で 1 次元 CB を L 字型に変形させ、2 次元化することで 3 次元姿勢推定が可能であることを確認後、更に形状を円柱型にして 360 度回転にともない途切れなくマーカトラッキングできる方式を旧 3 次元マーカで確立した。しかし、図 2 のように、旧 3 次元マーカには背景とマーカを区別する領域である無彩色のクワイエットゾーンが存在しないため、背景色に有彩色が存在するとセルの色か背景色かの視覚認識による区別がつかずトラッキングが不安定になる問題があった。そこで、図 6 に示すように、四角柱を 90 度 L 字型に曲げた形状物に CB を CB1, CB2, CB3, CB4 のように 4 面に装着し、CB1,2,3,4 の間に白色のクワイエットゾーンを設けることで確実に背景から色分離され、背景色の影響を受けずに 4 つの CB のいずれかが 360 度方向から常に認識されると考えた(新 3 次元マーカ)。4 つの CB の間に置かれるクワイエットゾーンは、四角柱形状の角の部分に配置し、背景と確実に色分離する方式である。旧 3 次元マーカの場合、常に視覚認識されるマーカは 1 個であるが、新 3 次元マーカの場合、回転方向により 1 個または 2 個の CB が視覚認識される。そのため、2 個認識されたときは平均値をもって姿勢推定データとすることが望ましいと考える。新 3 次元マーカにおいても、図 7 に示すとおり、旧 3 次元マーカと同じセルの設計を行う。セル間距離は 4mm で加重平均をとってセルの中心位置を計算し、36 セルで構成される L 字マーカがカメラのイメージセンサの 2 次元面に投影されることで、並進量 (Translation) と、回転量 (Rotation) が計算される。

### 3.2 システム構成と動作フロー

VR アクションゲームを想定したシステムは、紙とプラスチックレンズで出来た簡易 VR ゴーグル、スマートフォン、新 3 次元マーカが装着された手持ち操作用ハンドルのみで構成され、図 8 のような動作フローを提案する。没入型 VR ゲームは人のアクションをとともうが、通常、安全性に配慮し椅子に座った状態での使用が推奨される。しかし没入状態では現実世界に存在する手持ち操作用のハンドルを視認することができないため、実際のゲームをスタートする前はスマートフォンのカメラを使ってビデオシーサーモードにセットし、VR ゴーグル装着時に手元が見え

るようにする。ハンドルを手にして新 3 次元マーカが認識された時点で没入ゲームモードに遷移する。マーカが認識されるためには、まず、マーカらしい被写体を検出しマーカを画像から切り出してデコードすることが必要である。

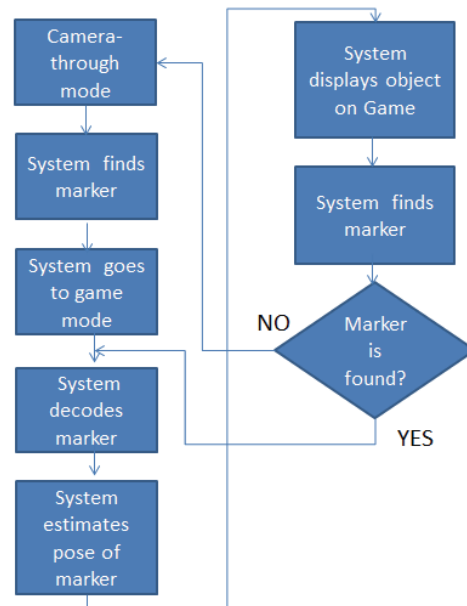


図 8 動作フロー  
 Figure 8 Workflow

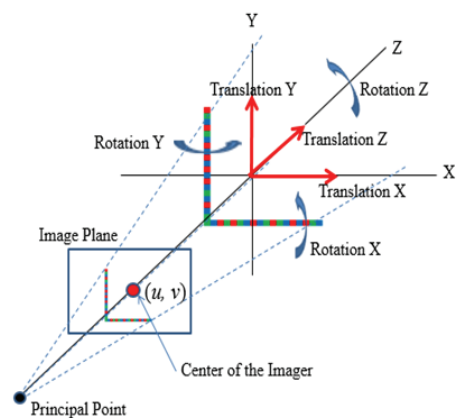


図 9 世界座標系とマーカの関係  
 Figure 9 Marker in world coordinate system

デコードされた新 3 次元マーカの 36 セルの中心にある 36 個のドット (イメージセンサ上に反映されるドットのピクセル位置) から図 9 に示した世界座標系、3 次元マーカのドット位置、イメージセンサの 2 次元表面の関係性より OpenCV [13] を使って Rotation (X, Y, Z) と Translation (X, Y, Z) を計算し新 3 次元マーカの姿勢推定を行う。Rotation (X, Y, Z), Translation (X, Y, Z) の計算値をゲームアプリケーションにフィードバックすることで人が操作するハンドルの動きをバイクなどスマートフォン上にディスプレイされる

画像の動きとして反映させる。このルーチンがルーピングさせて途切れなく新3次元マーカがトラッキングされることが重要である。本稿では汎用デバイスだけで構成されるシステムにて、手軽に持ち運んで楽しめ、かつヒューマンインタラクティブ性を備えた没入型 VR アクションゲームを想定する。手のインタラクション用ハンドルをトラッキングし、動きをゲームにフィードバックするための3次元マーカに加えた工夫により、現実環境の背景色に限定されずに実現する手法を提案する。

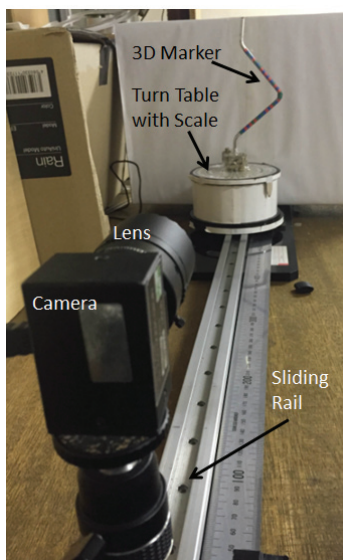


図 10 測定系

Figure 10 Measurement system

表 1 スペック

Table 1 Specifications

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 (マイクロビジョン社 VC-4302)	$Pixel$ ( $pix.$ )	1600 水平画素 (H) x 1200 垂直画素 (V)	カメラとピクセル数 (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 (レンズ:Tamron MV12VM412)	度	35	レンズと画角 (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

## 4. 実験と結果

本章では、旧3次元マーカと新3次元マーカを同条件で視覚認識し背景色が及ぼす影響と姿勢認識精度について比較し、新3次元マーカの有効性を検証する。

### 4.1 実験装置での検証

図 10 の測定系にて、旧3次元マーカと新3次元マーカを OpenCV で姿勢推定しながら回転角度の精度と背景色による認識の違いについて検証する。回転テーブルを用意し、その上に3次元マーカを配置した。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。実験装置での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 を使用した。内蔵イメージセンサは、Aptina 社 MT9D131 (横 1600, 縦 1200 ピクセル) である。カメラスペック、設定及び照明条件を表 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 (東芝製ダイナブック) に取り込み3次元マーカのデコード、姿勢推定を行う。マーカが認識されたとき、PC 内で測定データが自動的に CSV ファイルに出力されると同時に、PC 画面上でのカメラ動画像にリアルタイムで、マーカ上の各セルに白いドットをオーバーレイ表示する。画面上で白いドットがマーカの上にオーバーレイされている様子が視認される場合、マーカがトラッキングされていると判定できる。回転テーブルには 360 度の角度が測定できるようなスケールを貼りつけた。VR アクションゲームにて、手の操作を行う前提にて、今回の測定ではカメラから3次元マーカまでの距離を 500mm に設定した。回転テーブル上のマーカ位置は、Rotation (0, 0, 45), Translation (0, 0, 500) を図 9 の座標関係から基準位置として定義する。

図 11 のスクリーンショットは、背景に白い紙を置いた場合に回転テーブル上での新3次元マーカが基準位置で認識された状態を示す。拡大した部分で視認できるように、各セルに白いドットがオーバーレイ表示されている。旧3次元マーカも同様の位置基準で測定する。

図 12 のスクリーンショットで白色背景の場合、旧3次元マーカが認識されていることが確認された。図 13 のスクリーンショットでは、有彩色が含まれる本を背景にした場合、新3次元マーカ (図左側) のみが正しく認識されていることが分る。四角柱型である新3次元マーカでは、4 個の CB の間に 4 ラインの白色クワイエットゾーンが配置される。四角柱の 4 つの角の部分ほどの回転方向から視覚認識しても、各 CB と背景の間にも確実にクワイエットゾーンが生じるため、背景色と3次元マーカの赤、緑、青との背景有彩色が分離されることになる。旧3次元マーカの場合は白色背景にて、新3次元マーカの場合は有彩色が含まれる背景にて、それぞれ回転方向における姿勢推定を行っ

た。図 14 は、回転テーブル上のスケールを基準に 30 度おきに 3 次元マーカを右方向に 360 度回転させて、OpenCV から出力される測定値の誤差を 100 回サンプリングした平均値をプロットした実験結果である。認識誤差は旧 3 次元マーカが最大 7.3%，新 3 次元マーカが最大 9.2%であった。どちらのマーカも 90 度付近と 270 度付近での誤差が大きく傾向が見られたが、新 3 次元マーカの誤差がやや大きい傾向にあることが確認された。新 3 次元マーカの場合、回転角度により 2 個の CB が認識され、その平均値をとっているが、90 度、270 度付近では 1 個しか認識されてないにも関わらず誤差傾向は同様に大きいことから、新 3 次元マーカが複数 CB で構成されることに起因して誤差が大きい傾向にあるとは考えにくい。

旧 3 次元マーカ、新 3 次元マーカともにシームレスに 360 度回転における視覚認識とトラッキング性が確認されたが、図 15 に示す Camera View A ではシームレスに 360 度回転にともないマーカの視覚認識が確認された一方、Camera View B の方向からは旧 3 次元マーカ、新 3 次元マーカともに視覚認識されないことは方式の弱点であるが、このポイントは別課題とする。ただし、本稿で想定する VR アクションゲームシーンにおいては手持ちハンドルの操作をトラッキングすることを想定しており Camera View A の角度での 360 度回転にて 3 次元マーカがトラッキングできれば十分と考える。

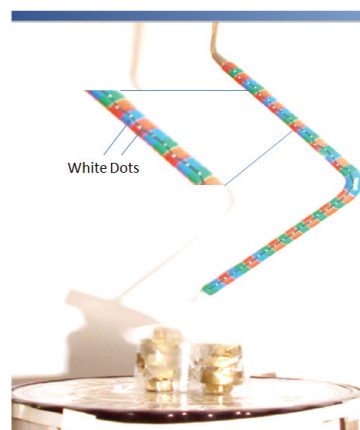


図 12 認識された旧 3 次元マーカ

Figure 12 Recognized Previous 3D Marker

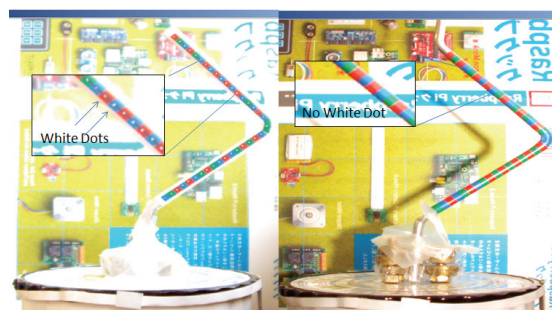


図 13 有彩色背景での認識の違い

Figure 13 Recognition differences in chromatic color backgrounds

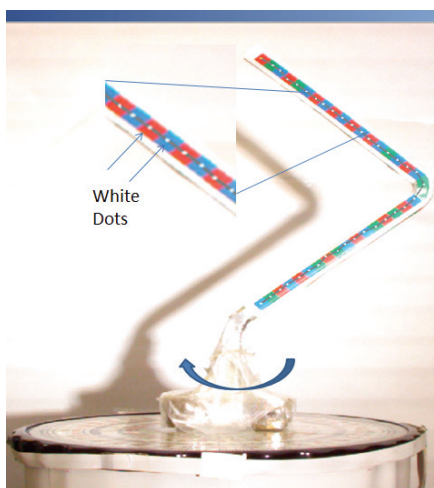


図 11 認識された新 3 次元マーカ

Figure 11 Recognized New 3D Marker

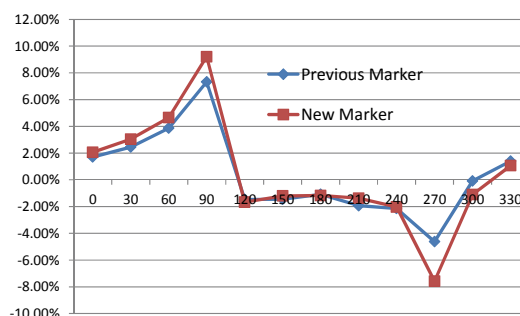


図 14 回転角度の精度測定

Figure 14 Measurement in rotation angles

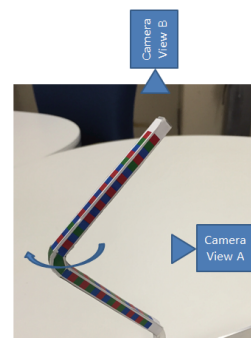


図 15 カメラアングルと認識

Figure 15 Recognitions in camera angles

## 4.2 実装と一般環境での検証

VR アクションゲームを想定したシステムは、紙とプラスチックからなる簡易型 VR ゴーグルにスマートフォンを装着、スマートフォン内蔵カメラで、ハンドルに取り付けられた新3次元マーカを撮像し、トラッキングする方式である。スマートフォンにデコードソフトウェアを実装し、現実世界を背景に新3次元マーカが安定して視覚認識とトラッキングできるかどうかを検証した。スマートフォンは、Sharp Aquos 402SH, Android OS はバージョン 4.4 を使用。3次元マーカがスマートフォンのカメラで撮像され、CBコードであると認識されると、スマートフォンのディスプレイ上に、マーカに紐づいて赤い枠線がリアルタイムでオーバーレイ表示される実装を行った。図 16 におけるスマートフォンのスクリーンショットは、無彩色である天井を背景に、旧3次元マーカが認識されていることを赤枠で示している。図 17 のスクリーンショットでは、有彩色が含まれる背景にて、左側の新3次元マーカは認識され、右側の旧3次元マーカが認識されていないことが赤枠の有り無しで確認されたことを示す。有彩色が含まれる背景においても、新3次元マーカは安定して認識できることを確認した。スマートフォンでは図 10 の実験環境のカメラと異なり、ホワイトバランスが自動制御されるため一定値に固定できない。しかしスマートフォンでの実装においても同様に、新3次元マーカの場合、一般環境の背景にて安定して認識できることを確認した。新3次元マーカを活用することで、現実世界の環境背景に含まれる様々な有彩色の影響を受けず、スマートフォン実装時においても VR アクションゲームで必要となるマーカの視覚認識が可能であることを実証した。

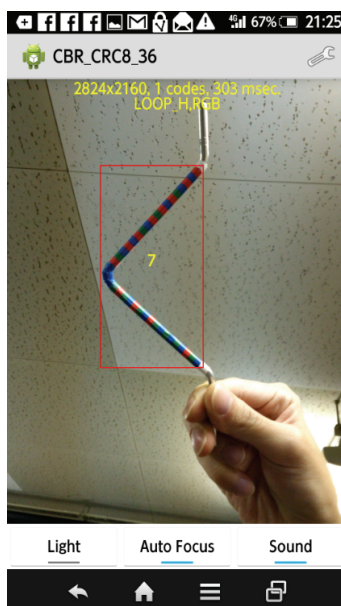


図 16 スマートフォンでの旧3次元マーカの認識

Figure 16 Recognition of Previous 3D marker by smartphone

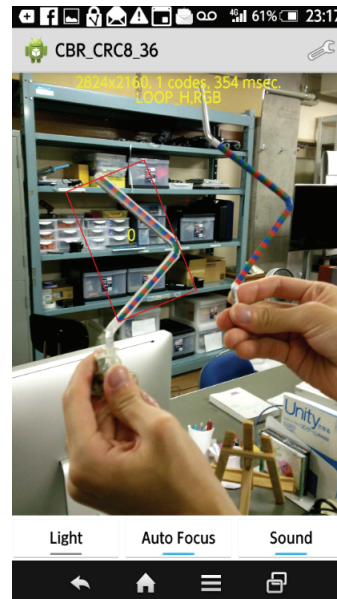


図 17 有彩色背景での認識の違い  
Figure 17 Recognitions in chromatic background

## 5. まとめ

本稿では、手の動きをハンドルに装着された3次元マーカをスマートフォンのカメラで視覚認識しトラッキングすることで、ヒューマンインタラクションをともなうユニークな VR アクションゲームの実現手法について論じた。従来の3次元マーカ（旧3次元マーカ）は、視覚認識されるために背景色に限定があったが、新規に開発した3次元マーカ（新3次元マーカ）の有効性を確認し、活用することによって、マーカの背景に有彩色が混じる一般的な環境での動作が可能になり、ゲームが動作する環境領域を格段に広げることになった。また、提案する VR ゲームは持ち運びに便利なスマートフォン、紙とプラスチックレンズで作られた簡易 VR ゴーグルおよび3次元マーカが装着された電子制御不要のハンドルといった汎用デバイスのみで構成される。ゆえに、低コスト導入、かつ、モバイルユースが可能で、入門者にとっても手軽に楽しむことができるため、一般社会において VR ゲーム普及加速への貢献が期待できると考える。

次のステップとして、VR アクションゲームへの実装においては3次元マーカの最適な大きさを検討する必要がある。本稿で述べた3次元マーカ方式ではマーカ自体がバイナリーコード化されているためタグとして区別することができるが、セル数が多ければ多数マーカが区別でき、また、マーカの認識精度は長さに依存する。大きすぎるマーカはスマートフォン画角に入りにくいというトレードオフもあるため、本稿での測定結果も踏まえて、ゲームに必要なかつ

十分な長さ精度を担保しながら出来る限り小さく設計されることが望ましい。

新3次元マーカを使うことで、対面で座った状態の2名が自分と相手のマーカが視覚認識上、重ならない範囲で同時に認識されることで、複数人数でのVRアクションゲームも可能と考えられる。この場合、スマートフォン同士が無線通信する必要があり、スマートフォン内部の処理速度に加えて、通信速度にリアルタイム性が大きく依存する点を検討する必要がある。

今後も、スマートフォンの計算処理性能、ディスプレイ精細性、カメラ解像度は上がっていくとみられるゆえ、その性能を十分に引き出しながら、3次元マーカとの組み合わせにより手軽な没入型VRゲーム方式を追求することで、VRが幅広いユーザに普及し、楽しまれることに貢献したい。

## 参考文献

- 1) L. Avila, Mike Bailey “Virtual Reality for the Masses” IEEE Computer Graphics and Applications 0272-1716 IEEE Computer Society 2014, pp. 103-104.
- 2) Google. Google Cardboard, 2014. <https://cardboard.withgoogle.com/>.
- 3) C. Liang, L. Chang, and H. Chen, “Analysis and Compensation of Rolling Shutter Effect,” Image processing IEEE transactions on, Vol. 17, No. 8, 2008, pp. 1323-1330.
- 4) M. Usami, K. Miura, M. Isshiki, “Augmented Reality System to use 3-dimensional Marker for 360-degrees Graphic Rotations Seamlessly in Hand-Motions”, IPSJ 2014-CDS-11, August 2014, pp. 1-8.
- 5) Marin, G, Dominio, F, Zanuttigh, P.” Hand gesture recognition with leap motion and kinect devices” Image Processing (ICIP), IEEE International Conference 2014 pp. 1565 – 1569.
- 6) Sony Computer Entertainment, PlayStation, <http://www.jp.playstation.com/> 2015.
- 7) Nintendo, Wii, <http://www.nintendo.co.jp/wii/> 2015.
- 8) W. Piekarski., B.Thomas, “Using ARToolKit for 3D hand position tracking in mobile outdoor environments”, Augmented Reality Toolkit, The First IEEE International Workshop, 2002, pp.102.
- 9) C. Lai, C. Wang “Mobile Edutainment with Interactive Augmented Reality using Adaptive Marker Tracking”, 2012 IEEE International Conference on Parallel and Distributed Systems, 2012, pp. 124-131.
- 10) A. Kimura et al: United States Patent, No: US 8,113,432 B2, Feb 2012.
- 11) B-Core Inc. Colorbit Reference, [http://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).
- 12) Denso, “QR code” <http://www.qrcode.com/en/>, 2015.
- 13) I. Culjak, D. Abram, T. Pribanic, H. Dzapco, M. Cifrek “A brief introduction to OpenCV”, MIPRO, Proceedings of the 35th International Convention, 2012, pp. 1725-1730.