



Beysion : 赤外線カメラとプロジェクタ投影による タンジブルインタフェースの開発

Beysion: Development of a Tangible Interface Using Infrared Camera and Projector Projection

辻 大朗¹⁾, 氷見 和¹⁾, 森 春介¹⁾, 山名 巧真¹⁾, 高橋 李奈¹⁾, 越野 亮¹⁾
Taro TSUJI, Yamato HIMI, Shunsuke MORI, Takuma YAMANA, Rina TAKAHASHI, Makoto KOSHINO

1) 石川工業高等専門学校 (〒929-0342 石川県河北郡津幡町北中条タ 1, koshino@ishikawa-nct.ac.jp)

概要 : 本研究は, 赤外線カメラとプロジェクタを用いた新しいタンジブルユーザインタフェース「Beysion」を開発した. 従来の上部設置型デバイスと異なり, 本システムは下方から物体を認識し, 投影することで, ユーザの視界や動きを妨げない設計である. マルチタッチシステム技術を応用し, コマの位置や動きを赤外線カメラで認識し, 下方からエフェクトを投影する. エフェクトは稲妻, 火花, 流れ星, 花びら, 音符, 爆発の 6 種類があり, コマの動きに応じてリアルタイムに発生する. 展示会で高評価を得たほか, 視覚的な楽しさを提供できる.

キーワード : タンジブルユーザインタフェース, 赤外線カメラ, プロジェクタ投影

1. はじめに

1997 年に石井らによって提唱されたタンジブルユーザインタフェース (Tangible User Interface, TUI) [1]は, 物理的なオブジェクトを介して情報や機能を提供するインタフェースの一形態である. TUI は物理的なインタフェースを使用するため, より豊かな体験価値を得られる. また, TUI には作業平面上に配置されたタンジブルデバイスの位置や動きを検出し, それに応じてイベントを発生させる形態も存在する. 例えば, MIT メディアラボの Sensetable[2]は, タッチパネルを作業平面として使用し, タッチパネル上に配置された物理的なタンジブルデバイスの位置と向きを物体の遮蔽や照明条件の変化に影響されずに検出し, その情報をリアルタイムでコンピュータに伝えるシステムである. HuddleLamp[3]は, 作業平面上部に設置した RGB-D カメラによってモバイルディスプレイやユーザの手の動きを認識し, インタラクティブなテーブルトップを必要とせず, 複数のユーザやデバイス間での新しい種類の空間認識型アプリケーションを実現できる. 文献[4]ではカラーセンサなどを用いて作業平面に定められた基準点からの相対的な位置を取得する方法などが使われてきた. 文献[5]では, 上部に設置された USB カメラを用いてコマを認識し, 上部に設置されたプロジェクタでコマにエフェクトを付加する演出システムが開発されている. E.S.P. (Extra-Sensory Puck)[6][7]は, 上部に設置されたカメラでエアホッケーのバックを認識し, 高速プロジェクタで光を投影することで目の錯覚を引き起こし, 新しいエアホッケー体験を提供するシステムである. また, 文献

[8]では, 赤外線 LED を内蔵したコマを操作し, そのコマに対してエフェクトを投影する. これらの研究事例では上部にカメラやプロジェクタを設置する場合, それらの機器や支柱がユーザの視界や動きを妨げる可能性がある. さらに, コマの認識のために特別な細工が必要な場合, 各自のコマを持ち寄って遊ぶことが難しくなる. そこで本研究は, マルチタッチシステム[9]の手法の 1 つである後方拡散光源式(Rear Diffused Illumination)を応用したインタフェースの開発を行った. 後方拡散光源式は, 赤外線光がタッチ面の下から上または下に配置された拡散層に照射され, 赤外線が拡散される. 指や物体が表面に触れると, 拡散された赤外線光がその物体に当たり, 下向きに反射され, 表面下の赤外線カメラによって検出される技術である. この技術を応用して, 赤外線カメラを用いて下方から移動する物体とその動きを認識し, 下方からその物体に映像を投影することで, カメラやプロジェクタやそれらを支える支柱などがなく, ユーザの視界や動きを妨げない, タンジブルインタフェースの開発を行った. 本インタフェースは台上で回転しぶつかり合うコマの位置をコマへの加工を施さずに台下に設置した赤外線カメラによって認識し, そのコマの位置や動きに対して, 下方からプロジェクタを使って軌跡や衝突エフェクトの映像を投影し, 音響を発生させるものである. 以上のインタフェースをベイゴマと Vision の造語である「Beysion」と名付けた.

2. Beysion 概要

本システムは 2 人のプレイヤーがそれぞれのコマをシ

システムが提供するスタジアムの上で回して遊ぶことを想定している。図 1 のように半透明に加工したプラスチック素材の板に赤外線照射し、コマに赤外線が当たると反射する。その反射された赤外線を、赤外線カメラで撮影することでコマを下方から認識した。赤外線カメラで撮影するとコマは以下の図 2 のように白く見え、このような映像からコマの検出を行う。赤外線光の反射を利用し、コマを認識することでエフェクトや照明などの可視光の影響を受けずにコマを認識することができる。認識したコマに対して、Unity で軌跡や、衝突にエフェクトを投影する。

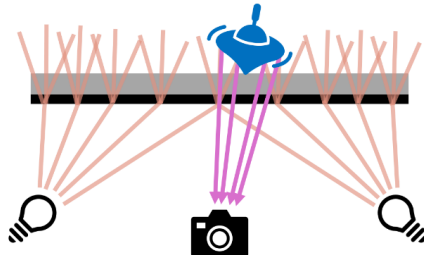


図 1：後方拡散光源式の概要

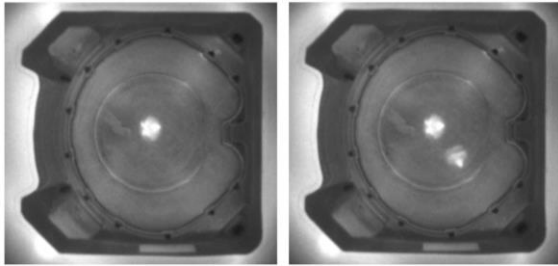


図 2：赤外線カメラ画像

2.1 ステージ構成

コマを回すための台として全体が透明のプラスチック素材でできているものを採用した（以下、スタジアムと呼ぶ）。このスタジアムにコマの認識、エフェクト投影のため、中心部のコマが回る場所をヤスリや金ブラシなどで傷をつけ、半透明にした。ステージ本体はアルミフレームを組み合わせた高さ 50 cm、幅 60 cm、奥行き 70 cm の直方体である。図 3、4 に内部の構造を示す。ステージ上面には、前述したスタジアムを設置し、プロジェクタ（EB-1795F）からの光を底面に設置した鏡で反射させ、スタジアムを映像のスクリーンとして機能させる。ステージの内部の四方に赤外線 LED（OptoSupply 赤外線ライト 940nm）を設置し、スタジアムに対して、赤外線を照射している。そして、底面に赤外線カメラ（Realsense Depth Camera D435i）を上向きに設置した。このカメラにエフェクトや屋内照明などの可視光を遮断するフィルタ（富士フィルム IR84）と太陽光から発せられる赤外線の影響を抑えるためのフィルタ（CERATEC JAPAN 940nm 狭帯域 BPF）を装着する。ステージ内部には、ファンを設置しプロジェクタの熱や赤外線ライトの熱を排出できるようになっている。ステージの外観は図 5 のように黒と白を基調とし、赤枠にあるようにエフェクトの変更、ゲームの始動用のボタンを設置することで、体験者自身で繰り返し遊べるようにした。

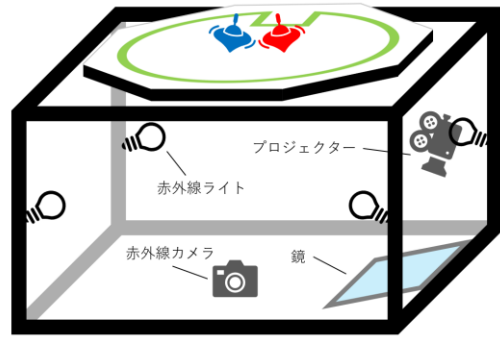


図 3：ステージ構造図



図 4：ステージ内部



図 5：ステージ外観

2.2 コマの位置と衝突の検出

コマの検出は動きの速いコマを検出する必要があり、検出に遅延が発生すると映像投影時にコマとエフェクトにずれが生じる可能性があり、コマの検出には高い即応性が求められる。そのため、コマの位置と衝突の検出には、機械学習を使わずに画像処理だけで検出を行った。コマの位置検出は、起動時と検出が乱れた際にコマが回っていないときの画像 120 枚を取得し、各画素における画素値の平均・標準偏差を計算するキャリブレーションを行う。その後、現在のフレームを取得し、キャリブレーション時に計算した平均・標準偏差を用いて各画素の値を標準化する。標準化した画素に閾値を設定し、画像に対して 2 値化処理を行い、モルフォロジー変換で 2 値化画像のノイズを除去する。2 値化画像中の図形の外接矩形の面積を取得することでコマの判定を行う。面積が小さい場合、コマとして認識せず、面積がコマのものとして妥当な場合、図 6 のように矩形の中心をコマの座標とする。面積が大きいとき、領域分割を行い、分割した各領域の外接矩形の中心をコマの座標とする。コマ同士の衝突の検出は図 7 のようにコマと検出されたもの 2 つが重なり、雪だるま状に検出された場合に衝突と判定している。

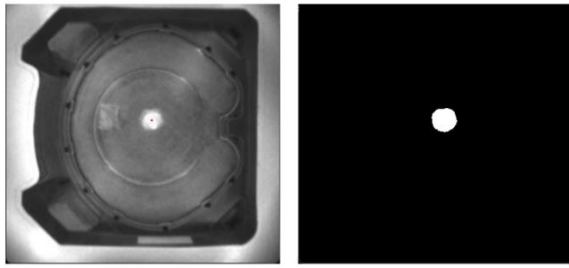


図 6 : コマの位置検出

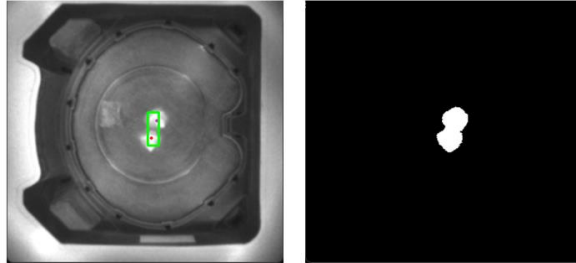


図 7 : コマ衝突時の検出

2.3 作成したエフェクト概要

エフェクト投影を下方から行うことで、コマにエフェクトが重なり影になることなく映像を見ることができ。エフェクトは、下の図の 6 種類を作成した。図 8-(1)のエフェクトは、稲妻をイメージして作成した。衝突エフェクトは、放射状に広がる稲妻と交差状の火花とそれを囲むパーティクルで構成している。衝突時の稲妻の形状は、Particle Strip によって、自動でランダムにパーティクルを結んだ帯を生成し、衝突ごとに生成されるパーティクルを連結することで稲妻を表現している。交差状の火花を短時間だけ表示している。パーティクルは火花が散っている様子を表すために棒状にしており、放射状に広がっている。軌跡は、稲妻の画像を引き延ばして表示している。軌跡の稲妻には青色、衝突の稲妻には黄色を使用しており、どちらも現実の稲妻に見られる色を選んだ。図 8-(2)のエフェクトは、火花をイメージして作成した。軌跡は、赤色から青色へ変化するグラデーションで表現している。衝突エフェクトは、数千個のパーティクルを放射状に移動させ、各パーティクルに Particle Strip で軌跡をつけることで火花を表現している。火花の色は赤色と紫色をパーティクルごとでランダムに使用しており、軌跡に対して、同色系と補色となる色を選択した。パーティクルの軌跡には白色を使用し、黒色の背景に目立つようにした。図 8-(3)のエフェクトは、流れ星をイメージし、作成した。軌跡のエフェクトは軌跡部分 (Trail Renderer) と星芒形で構成されており、軌跡の色は水色から紫色へのグラデーションで表現されている。そして、軌跡の周囲には大きさがランダムな紫色やピンク色の星芒形が表示されている。徐々に小さくなり、消えることでキラキラとした星のようなエフェクトを演出している。衝突時には、ピンク色の軌跡と水色のパーティクルが伴い、白色の六芒星がはじけるように散乱することで、流れ星を思わせるエフェクトを作成した。図 8-(4)のエフェクトは花をイメージして作成した。軌跡は VFX Graph を使ってコマの周りにランダムに花びらを生成している。花びらら

しさを表現するために回転させて散る様子をイメージした。衝突エフェクトは、花に見立てた図形を数式で表現し、描写には HLSL という言語を用いた。衝突時に音が鳴ることで視覚だけでなく聴覚でも刺激を得られると考え、効果音とそれに合ったエフェクトを作成した。図 8-(5)は音をイメージして作成した。軌跡のエフェクトは楽譜をイメージしており、音符部分と五線譜部分で構成され、VFX Graph を使って音符をランダムに生成し、Particle Strip を使って五線譜を表示している。衝突エフェクトは、VFX Graph を用いてランダムな色の音符を放射状に飛ばし、衝突時に効果音が鳴るようにした。図 8-(6)のエフェクトは衝突時に VFX Graph を使って爆発画像をフリップブックとして表示することで爆発している映像を投影している。軌跡は火のついた導火線をイメージしており、Trail Renderer を使って黄色と赤色からなる炎を表現した。

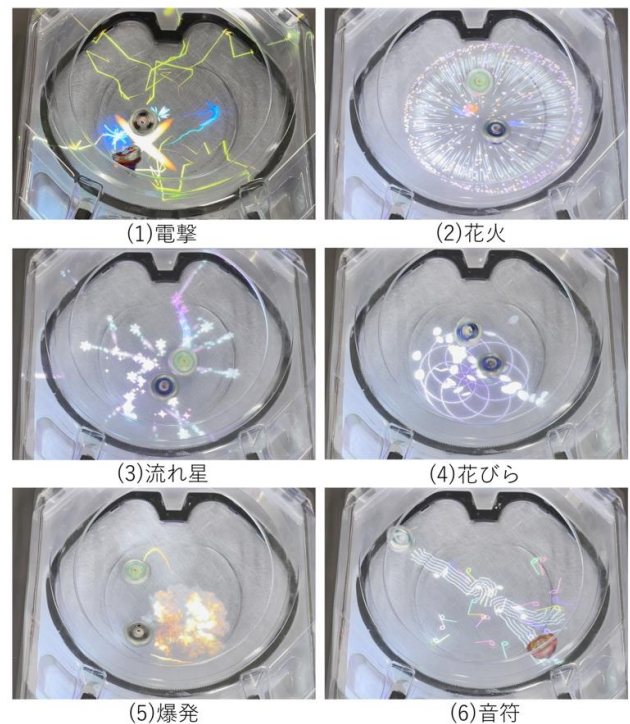


図 8 : 作成したエフェクト



図 9 : NT 金沢展示の様子

3. 評価

石川県金沢市・金沢駅もてなしドーム地下広場で行われた作品展示イベント「NT 金沢」において本インタフェースの展示を行った (図 9)。イベントでは本インタフェースによって、ユーザ体験が向上したか調査するため、アンケートと自由記述欄を設け、感想や意見の収集を行った。ア

アンケートに協力していただいた人数は 85 名である。アンケート内容と集計結果を表 1 に示す。アンケートではすべての方が Beysion の体験は楽しかったと答えた。しかし、実際に回るコマとエフェクトとの誤差を感じたという意見も少ないが見られた。この原因の代表的なものとしては、多くの体験者が体験中に iPhone や Android 端末などで撮影をしており、その中で、iPhone Pro のカメラで用いられている LIDAR スキャナの赤外線に影響を受け、誤検出や検出が乱れることがあった。

表 1: アンケートの内容と結果

質問	回答	人数 [人]
年齢	9 歳以下	11
	10 代	10
	20 代	24
	30 代	14
	40 代	22
	50 歳以上	4
対戦型コマ遊びで遊んだことがあるか	ある	38
	ない	47
Beysion の体験は楽しかったか	1: そう思う	84
	2: どちらかといえば思う	1
	3: どちらかといえば思わない	0
	4: そう思わない	0
どのエフェクトが好きか	(1)電撃	40
	(2)花火	11
	(3)流れ星	11
	(4)花びら	4
	(5)爆発	17
	(6)音符	2
エフェクトありとなしではどちらが楽しいか	投影システムあり	85
	投影システムなし	0
エフェクトとコマの動きにズレを感じたか	1: そう思う	1
	2: どちらかといえば思う	3
	3: どちらかといえば思わない	23
	4: そう思わない	58

4. おわりに

本研究では、マルチタッチシステムの技術である後方拡散光源式を応用し、赤外線カメラとプロジェクタを組み合わせた Beysion を開発した。このシステムは、従来の上部設置型デバイスと異なり、下方からの認識と映像の投影を行うことで、ユーザの視界や動きを妨げない設計となっている。展示会を通じて、Beysion はユーザから高い評価を得られた。しかし、特定のカメラや環境によっては誤認識が発生することがあり、これらの課題に対する改良や対策が必要である。さらに、応用範囲の拡大や、インタラクティブなエフェクトの多様化についても検討していく。

参考文献

- [1] Ishii, H., Ullmer, B. Tangible Bits: Towards Seamless Interfaces between People, Bits and Atoms. Proc. CHI 1997, pp.234-241, 1997.
- [2] Patten, J., Ishii, H., Hines, j. and Pangaro, G. Sensetable: a wireless object tracking platform for tangible user interface, Proc. CHI 2001, pp.253-260, 2001.
- [3] Radle, R., Jetter, H.-C., Marquardt, N., Reiterer, H. and Rogers, Y. HuddleLamp: Spatially-aware mobile displays for ad-hoc around-the-table collaboration, Proc. of the Ninth ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces, pp.45-54, 2014.
- [4] 武田悠暉, 高田秀志. カラーセンサを用いたタンジブルデバイスの平面位置検出に関する精度検証. ワークショップ 2017 (GN Workshop 2017) 論文集, pp.1-6, 2017.
- [5] 菅原雅仁, 迎山和司. 複合現実感を用いたベイブレード演出システムの制作. 平成 22 年度公立はこだて未来大学卒業論文.
- [6] Sato, K., Terashima, H., Nishida, S., Watanabe, Y.: E.S.P.: Extra-Sensory Puck in Air Hockey using the Projection-Based Illusion, SIGGRAPH Asia 2022 Emerging Technologies, 2022.
- [7] 村田有生喜, 佐藤健吾, 寺島裕貴, 西田眞也, 渡辺義浩. 投影型錯視に基づくエアホッケーの知覚操作の体験向上に向けた検討. 第 28 回バーチャルリアリティ学会大会, (3B1-05), 2023.
- [8] 的場やすし, 佐藤俊樹, 小池英樹. コマ遊び体験を拡張する遊具システム. 情報処理学会論文誌, Vol.56, No.3, pp.1110-1118, 2012.
- [9] NUI Group. Multi-Touch Technologies, pp.13-14, 2009