UPLIGHT: 全周囲ディスプレイと携帯型ゲームデバイスの融合

中村 俊勝 * 加藤 達也 † 伊藤 思音 ‡ 佐藤 俊樹 *

概要. 我々は，立方体や球などの高さと側面を持つ構造物の隠れた部分に着目し，この隠れを身体を動かして能動的に見に行く行為がエンタテインメント性を持っていると仮説を立てた．本研究では，このエンタテインメント性を，携帯ゲーム機のプレイスタイルに落とし込むことで生まれた新たな全周囲ディスプレイデバイス「UPLIGHT」を提案する．本研究では内蔵する小型短焦点プロジェクタと超広角魚眼レンズを用いた全周囲投影技術に加え，自由に交換可能な様々な形状の全周囲ディスプレイで，全周囲連続的な映像表現のゲームコンテンツを実現した．更に全周囲ディスプレイの左右下部にコントローラを取り付けることにより，伝統的な携帯型ゲーム機のプレイスタイルを取り入れた．本論文では，開発したプロトタイプ及び操作可能なゲームコンテンツ，展示活動中に得た知見を基に行った考察について述べる．

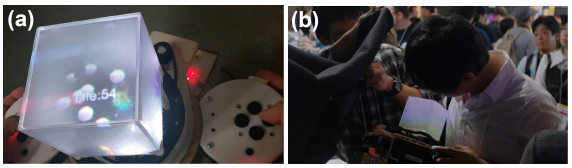

図 1. プロトタイプの外観とユーザによる試遊の様子 (a)UPLIGHT，(b)UPLIGHT を遊ぶ様子

1 はじめに

全周囲ディスプレイは，立方体や球体などの立体物の表面全周囲に映像を表示するデバイスである．全周囲ディスプレイには，壁や天井をディスプレイとし，映像を内側から見るもの [4, 1] と，直径 6m の大きな球体 [7] や，手のひらに収まる小さな筒をディスプレイとし，映像を外側から見るもの [5] がある． 全周囲ディスプレイには，一般的な平面形状のディスプレイ内や HMD 等を通して見た 3D グラフィックスや入力デバイスを介した間接的な対話手法とは異なり，映像を伴った立体的な形状を直接目で見て，直接手で触れることができるという高い現実感のある対話が可能な利点がある．

このような全周囲ディスプレイには，立体的な形状の全周囲に映像を表示させるがゆえに，ユーザの頭部位置に応じた「死角」が存在する．例えば，ユーザがある角度からディスプレイ手前側の側面に表示された映像を見ているとき，このユーザは反対側の側面に表示された映像を同時に見ることはできない．このようなディスプレイの死角を全周囲ディスプレイの制限とみなし，ディスプレイの一部に死角を補う映像を映したり，タッチ操作等で映像をスクロールさせることでこれを回避する手法 [6] が研究されてきた．また，この死角を複数人同時使用時の各ユーザのプライベート領域として積極的に活用する研究 [2] もある．しかし，従来の研究ではこの死角によって生じた見えない領域を，ユーザに身体動作を用いて能動的に見に行かせることに着目し,「見えない部分を見に行く」動作のエンタテインメント性について深く議論した研究は少ないといえる．

そこで本研究では，これまで全周囲ディスプレイの死角をユーザに積極的に「見に行かせる」ことで，ゲーム体験のエンタテインメント性を高める試みに着目する．これまでにも，大形の全周囲ディスプレイを複数人で囲んで用いるシステムの提案 [12] を行ってきたが，本研究では新たにシングルユーザに着目し，両手で保持した全周囲ディスプレイを両手・上半身の動作を用いて様々な角度から閲覧する手法を提案する．さらに，これを誰もが親しんできたシングルユーザ向けの小型ゲームデバイスの操作メタファと融合させる試みも行い，新しく提案する全周囲ディスプレイ搭載のゲームデバイス「UPLIGHT」(図 1) のインタラクション手法について述べる．

2 目的

本研究の目的は，両手で持つことが可能な小型の全周囲ディスプレイを用いて，全周囲ディスプレイの隠れた部分をユーザが自発的に見にいくインタラクションが持つエンタテインメント性を活かし，人が楽しむことができる新たな小型全周囲ディスプレイデバイスを開発することである．これを達成するうえで，本論文では，デバイスに適した形状や入力手法，必要な機能などの提案デバイスの設計についての考えと，提案デバイスによってユーザが体験するであろう楽しさについての考え，そして，ディスプレイ部の隠れへのユーザの興味を高めるために必要な機能についての考えを以下に述べる．

Copyright is held by the author(s).
* 北陸先端科学技術大学院大学
† 電気通信大学
‡ Delft University of Technology

図 2. 上下が定まっている立体構造物の隠れの閲覧方法
(a) ひっくり返し，(b) 覗きこみ，(c) 手回し

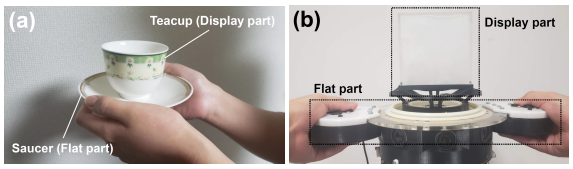

図 3. 全周囲ディスプレイに上下を作り出すための着目
(a) ティーカップ，(b) 把持可能な平面部の付加

2.1 閲覧方法の分析と UPLIGHT の要件

まず，我々は，両手で持てるサイズの人形や，側面に柄の描かれたコップ等の，ユーザにとって上下が定まっている立体構造物を両手で把持し，閲覧するスタイルに着目した．これは，机に置くときや，両手で把持するときの姿勢が，置きやすさや持ちやすさから，ほぼ一姿勢に定まる立体構造物を両手で把持し，様々な方向から眺める閲覧スタイルだといえる．このような構造物の隠れた部分を閲覧するときに，ユーザは主に以下の 3 つの見にいき方をする．

1 つ目は，図 2(a) のように，両手の手首をひねって，対象物の裏側を見るために，ひっくり返して見る方法である．この見にいき方は，両手の手首をひねるだけで行うことができ，極短時間で対象物の裏側の隠れを，ユーザの真正面に持ってきて見ることができるという特徴をもっている．また，この方法は，主に，ユーザが座って対象物を目線と同じ高さの水平な位置に保持していたり，対象物の隠れた部分の情報の反転や，対象物自体の姿勢の変更を気にする必要がなかったり，対象物の裏側の情報をすぐに観察したかったり，対象物自体がユーザにとって軽かったりするときに行われやすいと考えられる．

2 つ目は，図 2(b) のように，対象物のユーザが見たい部分の隠れが見えるように，ユーザ自身の上半身と対象物をそれぞれ逆向きに傾けて覗き見る方法である．この見にいき方には，ユーザ自身と対象物それぞれの姿勢の傾け方を変えることで，対象物の全周囲側面を連続的に見ることができるという特徴がある．また，この方法は，主に，ユーザが立って対象物を見下ろす位置で保持していたり，対象物の隠れの情報の反転を気にする必要がなかったり，対象物自体の姿勢を出来るだけ維持したかったり，対象物の隠れの情報を即座に，かつ，連続的に観察したかったりするときに行われやすいと考えられる．

3 つ目は，図 2(c) のように，利き手で対象物の下部を持って，利き手と逆の手で対象物の頭部を掴み回転させて，対象物の裏側の上下を反転させずにユーザの真正面に持ってきて見る方法である．この見にいき方には，対象物の隠れの裏側の情報を上下をひっくり返すことなく，じっくりと真正面から観察することができるという特徴や，対象物の側面全周囲を連続的に真正面から眺めることができるという特徴がある．また，この方法は，主に，対象物の隠れた部分の情報が上下が反転した状態では理解することや捉えることが難しいものであったり，隠れを観察する時間が十分に存在したり，隠れにユーザが興味を持っていたりするときに行われやすいと考えられる．

これらの閲覧方法は，身体的な動きを多く含み，能動的な情報探索行為の能動性をより高めることができると考えた．そして，高められた能動性は，能動的な情報探索行為の結果によってユーザにもたらされる驚きや興奮，発見といった感情の起伏をより大きなものに変えることができるとも考えている．そのため，提案デバイスに適した形状は，以上の閲覧方法を行いやすく，加えて，自然とユーザがこれらのインタラクションを行うような物である必要があると我々は考えた．以上の条件を満たすためには，主に，以下の要件を考慮した全周囲ディスプレイデバイスを設計する必要があると考える．

要件 1. デバイス全体の上下が定まっていて，その上下がユーザにとって認知しやすいこと．

要件 2. デバイスを両手で把持しやすくて，両手で持ちながらでも手首がひねりやすいこと．

要件 3. 全周囲ディスプレイは，どの角度から眺めても隠れが存在し続ける形状であること．

要件 4. デバイスを把持しながら入力を行えること．

要件 5. ディスプレイを見ながら入力を行えること．

要件 6. ディスプレイ部の底面以外で，全周囲連続的な映像が表示できること．

要件 7. ディスプレイ部が容易に片手で回せること．

2.2 UPLIGHT に適した形状

まず，我々は，全周囲ディスプレイに上下を作りだす必要がある．そこで，我々は，図 3(a) のティーカップとソーサーのような，立体構造物と平面の関係に着目した．すなわち，図 3(b) のように，全周囲ディスプレイの底面に横長の平面を付加することで，全周囲ディスプレイ部が上部，平面部が下部とユーザに認識されると考えたのである．これによって，要件 1 を満たすことができると考えた．さらに，その平面部は，両手で把持することができる十分な大きさとすることで，要件 2 を満たすことができると考えた．

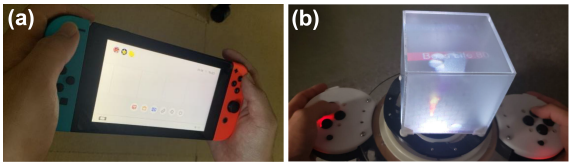

図 4. 携帯ゲーム機の伝統的なプレイスタイルの継承 (a)Nintendo Switch，(b)UPLIGHT

次に，全周囲ディスプレイ部の形状について考える．詳しくは考察の章にて述べるが，前提として，全周囲ディスプレイには，ユーザがどんな角度から見ても，隠れが存在し続ける必要がある．そのため，全周囲ディスプレイ部は，立方体や，球，三角柱などの柱体といった，どの角度からもその全周囲を一覧することができない形状である必要がある．また，全周囲ディスプレイ部のどの部分を底面として，両手で把持可能な平面部と接合するのかを考える必要がある．立方体や球といった形状であれば，どの部分を底部としようが問題ないが，三角柱といった形状であれば，側面を底部とすると，頭上から一覧できてしまう．そのため，柱体形状の場合は基本的には底面をそのまま底部とする必要がある．以上のように，ディスプレイ形状を決定することで，要件 3 を満たすことができると考えた．

2.3 UPLIGHT に適した入力手法

まず，我々は，提案デバイスの平面部の左右を両手で把持し，全周囲ディスプレイ部を目前に保持して閲覧するというスタイルが携帯ゲーム機のプレイスタイルに類似していることに注目した．小型のゲーム機本体を両手で把持し，目の前で保持しながら，右手・左手用に分かれて配置されたボタンを両手で操作して遊ぶのが携帯ゲーム機のプレイスタイルである．この携帯ゲーム機のプレイスタイルは，1980 年前後に発売されたエポック社のゲームポケコンや，任天堂のゲーム＆ウォッチ，ひいては 2017 年に発売された任天堂の Switch(図 4(a)) に至るまでほぼ一貫している．スマートフォンやタブレットが急速に普及しタッチスクリーンによる入力が浸透した今日においても，このスタイルの携帯型ゲーム機はゲームファンの間では根強い人気があり，もはや確立されたプレイスタイルであると言っても過言ではない．

そこで，本研究では，提案デバイスの入力手法として，図 4(b) のように，携帯ゲーム機と同様の左右に分かれた 1 組のボタンコントローラを取り入れることにした．このような伝統的な携帯ゲーム機の操作手法を取り入れることで，提案デバイスが携帯ゲーム機の延長線上にあるものと認識され，特別な操作説明を必要とせず，誰でも使用可能なデバイスとなることを期待している．

また，以上のような入力手法を採用することで，要件 4 と要件 5 を満たすことができると考えられる．

2.4 UPLIGHT に必要な機能

はじめに，ディスプレイ部の全周囲連続的な映像表現を実現する手法について考える．これには様々な実現方法が存在するが，本提案デバイスに適した手法を考える必要がある．まず，OLED を複数枚組み合わせた手法 [8] では，OLED 間に映像の断裂が起きてしまうため要件 6 を満たすことができない上に，様々なディスプレイ形状を実現するためのハードルが高いという問題がある．また，深度カメラと外部プロジェクタを用いた手法 [11] では，ユーザが両手でデバイスを把持した状態で扱うため，上半身や両腕に投影を遮られ，ユーザの真正面の部分に投影が届かないことが起こる可能性がある上に，その解決にはプロジェクタを数多く必要とするという問題がある．加えて，赤外線カメラと小型プロジェクタをヘルメットと一体化させたデバイスを頭部にかぶる手法 [3] では，ディスプレイ部のユーザが見ている部分にしか投影ができない上に，ディスプレイ部を掴む際に手に投影が重なってしまうという問題があり，要件 7 を満たすことができない．更に，HMD を用いた手法にも言えるが，頭に装置を付けるため頭部が重くなってしまい，ディスプレイ部の全周囲を閲覧する際に身体を動かしにくくなってしまうという問題もある．そこで本研究では，プロジェクタをデバイスに内蔵し，ディスプレイ部の下部からのリアプロジェクションを行った．そのため，プロジェクタは小型で短焦点なものを採用し，ディスプレイ下部に配置した魚眼レンズによって投影範囲を広げた全周囲投影ユニットを用いた．これにより，全周囲連続的な映像表現が常に可能で要件 6 を満たせると考えられ，かつ，様々なディスプレイ形状を実現しやすいという利点や，投影対象であるディスプレイ部とプロジェクタを一体化していることで，ユーザが激しく動いても投影がぶれないという長所もある．

次に，ディスプレイ部の水平回転機構を実現する手法について考える．まず，前述のように，ディスプレイ部はリアプロジェクションによって実現するため，投影する映像の角度と実際のディスプレイ部の回転角を正確，かつ，リアルタイムに同期させる必要がある．そこで，詳しくは実装の章で述べるが，タイミングプーリとタイミングベルト，ロータリエンコーダを用いた機構で，これを実現する．これにより，要件 7 を満たすことができると考えられる．

2.5 UPLIGHT がもたらす楽しさ

まず，楽しさには多くの種類があるが，我々が提案する手法によってもたらされる楽しさは，能動的な情報の探索行為による驚きや発見，興奮といった感情の起伏によって得られる楽しさが主なものであると考えている．また，その発見によって，ユーザ自身の知的好奇心が満たされるという楽しさもある．加えて，情報探索行為を身体を動かして行うために

発生する，身体を動かすことそれ自体による楽しさも得られると考えている．さらに，身体を動かしながら能動的に情報探索行為を行う場合，その能動性は身体を大きく動かすほど強くなると考えている．そして，能動性が高まった分だけ，能動的な情報探索行為による感情の起伏は大きくなり，その結果として，ユーザはより強く楽しさを感じられたり，より大きくなった知的好奇心を満たせたりするのではないかと考えている．

2.6 隠れへ視線を誘導するための工夫や機能

ここでは，全周囲ディスプレイの見えない部分に対するユーザの好奇心をくすぐり，ユーザの能動性をより高めるために考案した三つの工夫や機能について述べる．

はじめに，ディスプレイ形状の工夫について述べる．まず，前述したように，本研究において，全周囲ディスプレイの形状には隠れが必要である．よって，制限はあれど，球や立方体や柱体などの様々な形状が採用可能である．しかし，よりユーザの視点を隠れへ誘導するには，曲面よりも，平面で構成された形状の方が適しているのではないかと考えている．実際に，平面で構成されたディスプレイ部の隠れを見にいった際に，一定角度を越えるとそれまで見えていなかった映像が一気に見えるようになる．そのため，一度に発見や驚きがより多く起こるようになり，感情の起伏が大きくなる．こういった理由から，立方体や柱体といった形状の方がより隠れへユーザの視点を誘導できるのではないかと考えている．

次に，アプリケーション側の制御によるディスプレイ部の自動回転を用いた視覚的な誘導機能について述べる．まず，詳しくは考察の章にて述べるが，ディスプレイ部の自動回転がユーザによって制御できる状態は本研究においては望ましくない．しかし，アプリケーション側の制御で自動回転機能を用いることで，ユーザが見たい情報がユーザの視界から隠れるように，ディスプレイ部自体が自動回転するといった要素を実装でき，ユーザの隠れへの好奇心を高める要素になると考えている．

最後に，異なる位置に設置した複数の音源を用いた聴覚的な誘導機能について述べる．これは全周囲ディスプレイ部下部に円周上に等間隔で外側に向けてスピーカを配置し，キャラクタがアクションを行ったディスプレイ上の位置に対応したスピーカから，アクションに応じた効果音を発生させるという手法である．これを活用することで，全周囲ディスプレイの隠れから聞こえてくる音にユーザが誘導されるといった効果が期待できる．

以上のようなコンセプトのもと，本研究では全周囲ディスプレイデバイス「UPLIGHT」の設計と開発を行った．本論文では以下に，本研究の立ち位置を示した後，実際に開発したプロトタイプの実装方法や，有効だと考えられるアプリケーションの構成要素と，実際に開発したアプリケーションの詳細，展示活動などを経て得た知見と考察について述べる．

3 関連研究

これまでにも，全周囲ディスプレイにユーザから見て隠れた部分が存在するという特徴を活かした，エンタテインメントへの応用がなされてきた．まず，Julie らは，球状全周囲ディスプレイの側面のプライベート性と上部のパブリック性を活用したマルチユーザによる対戦ゲームと協力ゲームを提案している [10]．そして，Ryouta は，円筒形全周囲ディスプレイの自分の見えていない部分は対戦相手に見えているという特徴を活かした，ワイヤレスコントローラを用いた対戦ゲームを提案している [9]．しかし，これらの全周囲ディスプレイの隠れの応用はどれもマルチユーザへのものであり，シングルユーザのインタラションに着目したものはなかった．

また，平面ディスプレイ上で遊べる Polytron Corp. の Fez は視点の横回転機能を持ち，これまでの視点だと見えていなかった情報が，視点の横回転によって見えるようになり，驚きや発見を生み出すゲームデザインが為されている．しかし，情報探索行為である重要な視点の横回転機能が指先を動かすことで操作可能なボタンなどによって行われている．我々は，この情報探索行為を身体を動かしていればそれ自体がより楽しくなり，更に，情報探索行為によって発見や驚きがあったとき，能動的に身体を動かしているからこそ，より強い楽しさを生むことができると考えている．

4 実装

4.1 システム概要

図 5 にプロトタイプのハードウェア構成を示す．提案デバイスは小型プロジェクタ (Smart Beam Laser) と広角レンズから成る全周囲投影ユニットと，その上部に配置された 10cm 四方の取り替え可能な全周囲ディスプレイ，ステッピングモータとロータリエンコーダ (PKP214U06A-R2EL-L)，タイミングベルトおよびプーリから成るディスプレイ回転機構，ボタンコントローラ，回転制御用のマイクロコントローラ，ディスプレイの下部に円周上に配置されたスピーカ，および映像投影用の計算機から成る．

4.2 広角レンズとプロジェクタを使った全周囲投影

広角レンズとプロジェクタを使った全周囲投影システムの概略を図 5 に示す．小型プロジェクタから照射された映像は直上の広角レンズを通り，全周囲ディスプレイの内部からディスプレイ上面および 4 つの側面にリアプロジェクションされる．

全周囲ディスプレイに沿った映像を投影するため

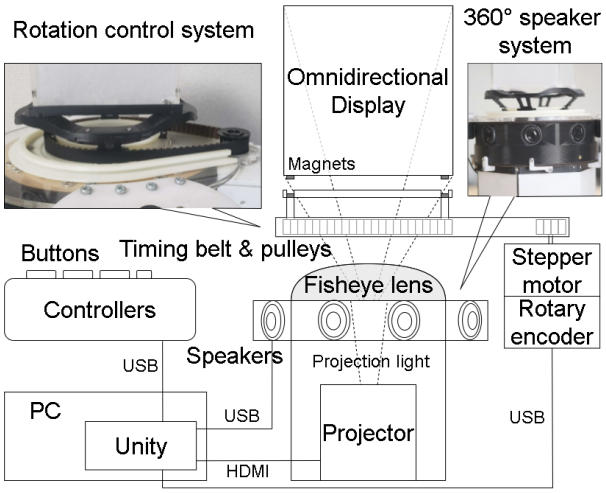

図 5. システム構成図

に，まずプロジェクタキャリブレーションを行いプロジェクタの内部・外部パラメータ，およびレンズの歪みパラメータを求めている．これらを Unity 内のカメラに適用することで，3DCG 空間上に再現したディスプレイと同形状のメッシュモデルに適用されたゲームのシーンを投影したテクスチャがそのまま全周囲ディスプレイに投影されるようになる．

全周囲ディスプレイは，今回の実装では立方体形状 (図 6(a)) に加え，直径 10cm のくびれのある球体形状 (図 6(b)) も用意した．立方体ディスプレイについては板厚 2mm のアクリルキューブの内側からトレーシングペーパを張り付けることで制作した．また球体ディスプレイについては直径 10cm の LED 電球のシェード部分を用いて制作した．

4.3 全周囲ディスプレイ回転システムの設計

全周囲ディスプレイ回転システムを図 5(左上) に示す．ディスプレイは輪状のタイミングプーリに装着されステッピングモータとタイミングベルトで接続されている．そのため，ディスプレイは手で掴んで直接回転させることが可能なほか，必要に応じてマイクロコントローラを介して Unity から自動回転させることも可能である．ディスプレイの回転角度は，ロータリエンコーダでリアルタイムに読み取り，マイクロコントローラから計算機に送信される．Unity 上でこれを受け取り，メッシュモデルに同じ回転を適用することで，回転に追従した映像を投影することが可能である．

4.4 360 度スピーカシステムの設計

360 度スピーカシステムを図 5(右上) に示す． 音声はプロジェクタに内蔵されたディスプレイ下部のスピーカに加え，ディスプレイの周囲に円周上に配置した 8 個のスピーカから出力する．音声の再生角度は，回転していない状態のディスプレイにおける

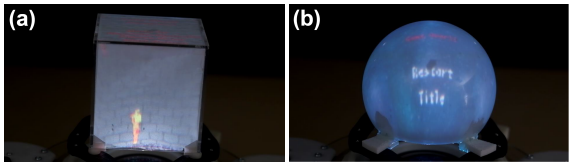

図 6. (a) 立方体形ディスプレイ，(b) 球形ディスプレイ

角度を Unity 上で指定し，音声の再生は，指定された角度に最も近い角度にあるスピーカを使用する．また，ディスプレイの回転角度を取得し，再生角度を補正することで，ディスプレイの回転に追従した音声の出力が可能である．

5 アプリケーション

5.1 本提案を達成するうえで必要な要素について

本インタラクションを達成するうえで，ゲームアプリには以下の要素が必要だと考えられる．まず，ディスプレイ関連では，全周囲に映るゲーム映像の連続的な繋がり，ユーザから隠れている部分も含めた全周囲表面上の形状に沿ったキャラクターの移動といった要素が考えられる．そして，デザイン関連では，立体形状の隠れをユーザが見にいったときに驚きや発見が生まれるようなゲームデザイン，様々な面をユーザに沢山見たいと思わせるようなゲームデザイン，常にユーザに確認してもらうことが必要な情報の天面への配置といった UI デザイン，隠れがあることによるゲームの高難易度化の予測と適切なレベルデザインといった要素が考えられる．

以上の要素を複数持ったゲームアプリ例として，UPLIGHT 用のアクションゲームとブロック崩しゲームを制作したため，その内容について述べる．

5.2 サイドビューアクション for UPLIGHT

これは，一般的なサイドビューアクションゲームを元に開発したものである (図 7 (a))．これは，側面で 360 度繋がったステージ上を，移動やジャンプ，弾の発射などが行えるキャラクタを操作しながら，隠れた部分に潜む敵や障害物を倒したり，かわしたりして，次のステージに続くはしごを目指し，奥に進んでいくゲームである．操作キャラクタは，ユーザから隠れた部分を含めてディスプレイの側面全周囲を移動でき，隠れた部分に移動した操作キャラクタを姿勢を変えて見に行き，そこに敵やジャンプで越えないといけない壁等の発見を用意することで，ユーザに発見や興奮，驚きを与えることができると考えている．更に，キャラクタは全周囲を短時間で移動するため，上記の体験を短時間で繰り返し体験できる良さがある．そして，本ゲームでは，天面も利用している．まず，ユーザのヒットポイント等の基本的なパラメータや，メニューなどの UI を表示している．また，敵がディスプレイの隠れた部分か

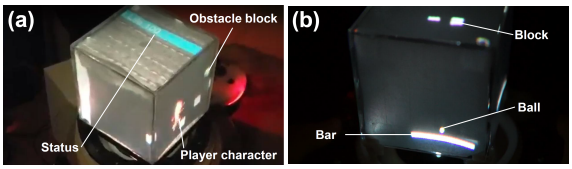

図 7. (a) アクションゲーム，(b) ブロック崩しゲーム

ら弾を発射したときに，側面だけではなく，天面を通過して操作キャラクタに降りかかるなどといったギミック上の利用も行っている．加えて，ユーザが操作するキャラクタも，向こう側に存在する敵を天面越しに狙うことができる．

5.3 ブロック崩し for UPLIGHT

これは，一般的なブロック崩しゲームを元に開発したものである (図 7 (b))．これは，全周囲ディスプレイに沿って飛ぶボールを，ディスプレイ底部に達しないように，全周囲側面を移動するバーを操作して跳ね返し，天面部に配置されたブロックをボールを当てて全て破壊することを目指すゲームである．ユーザはディスプレイ形状に沿って飛ぶ特殊な弾道のボールを用いたブロック崩しゲームが楽しめる．また，ゲーム中のボールは立体形状を変えるごとに異なる弾道となり，楽しみ方や体験を変えることができる．更に見えないところに飛んでいったボールの軌道を完全に予測することは難しく，ユーザは見えない部分を身体を動かして見にいき，意外な位置や軌道を描くボールに驚きや発見を見出し，全周囲ディスプレイの隠れがもたらす面白さを体験できる．

6 考察

6.1 ディスプレイ部の自動回転操作の問題点

本提案デバイスの，初期のプロトタイプでは，モータによるディスプレイ部の左右への回転をユーザの手元のボタン操作でも行えるようにしていた．しかし，これは展示活動を通して得た知見であるが，自動回転操作ができることを知らずに遊んでいたユーザはディスプレイの隠れを身体を動かして能動的に見にいきながらアプリを楽しんでいたにも関わらず，自動回転操作ができることを伝えた途端，身体を動かすことなく，自動回転操作のみで隠れを見るようになってしまった．これでは，本研究が提案する楽しさをユーザは体験することができないと考え，ディスプレイ部の自動回転機能は，ユーザの操作ではなく，アプリ側の制御のみで使用できるように現在は設定している．

6.2 隠れのないディスプレイ形状の問題点

隠れのないディスプレイ形状として，半球形状ディスプレイについての検討を行った．しかし，ユーザはディスプレイの映像を一覧できるため，ディスプレイ上方からの視界を維持したまま，能動的に動くことなく遊ぶようになってしまうと考えた．そのため本デバイスのディスプレイ形状には，立方体や，くびれのある球形状といった，どの角度から見ても一覧できないものが適切だと考えている．

6.3 操作における制限について

ユーザが反対側の面を覗き込んだ場合等で，キャラクタの左右の移動方向とユーザの操作が意図と異なってしまう問題がある．この問題は，固定型ゲームコントローラの特性上，慣れることによって解決すると考え，実際ある程度プレイを続けると，反転操作にも慣れ，問題なくプレイできる傾向がみられた．また，一般的なトップビューのゲームではフィールドの全体が見えており，かつ，キャラクタが平面上に存在することから，直線的な弾道予測は難しくない．うってかわって，全周囲ディスプレイ上においては立体形状や隠れた部分の存在によって弾道予測の難易度が高くなっている．しかし，適切なゲームバランスの設定を行えば，ゲームのやりがいに繋げられる長所だと我々は捉えている．

6.4 プロトタイプの制限

使用したプロジェクタの遅延により，自動回転中にディスプレイに対して映像が遅れ，表示がずれてしまう問題がある．これを解決するためには，低遅延の投影が可能なプロジェクタを用いるか，プロジェクタの投影遅延と回転速度を考慮した予測投影を行う必要があると考える．また，レンズ周辺部の解像度・画質の低下も顕著である．実装を行ったゲームでは，背景とキャラクタの色をコントラストの高い配色にし，キャラクタのグラフィックスもシンプルにすることで視認性の向上を図っている．また UPLIGHT は携帯ゲーム機のように，デバイスを目の前まで持ち上げて遊ぶプレイスタイルであり，加えて覗き込みなどの手や上半身を動かす運動を頻繁に行う必要がある．そのため，出来るだけ軽量で取り回しやすいのが望ましい．ただ，プロトタイプは 2.5kg と，市販の携帯ゲーム機 (0.2〜0.4kg 程度) と比べて重く，また，筐体外部の計算機とケーブルで繋がれ，取り回しにくい．そのため，より良い体験を実現するためには軽量化や無線化が必要だと考えられる．

7 結論と今後の展望

本論文では，全周囲ディスプレイの隠れに着目した，シングルユーザのインタラクションに基づいた新たな全周囲ディスプレイデバイスを開発・提案した．今後は，本インタラクションのエンタテインメント性を実験により検証していく．また，視覚や聴覚だけでなく，触覚や嗅覚を組み合わせるなど，ユーザの情報探索行為の能動性をより高める手法を検討していく．

参考文献

[1] H. Benko and A. D. Wilson. *Pinch-the-Sky Dome: Freehand Multi-Point Interactions with Immersive Omni-Directional Data*, p. 3045–3050. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 2010.

[2] H. Benko, A. D. Wilson, and R. Balakrishnan. Sphere: Multi-Touch Interactions on a Spherical Display. In *Proceedings of the 21st Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '08, p. 77–86, New York, NY, USA, 2008. Association for Computing Machinery.

[3] G. Cortes, E. Marchand, G. Brincin, and A. Lecuyer. MoSART: Mobile Spatial Augmented Reality for 3D Interaction With Tangible Objects. In *Frontiers in Robotics and AI*. Association for Computing Machinery, 2018.

[4] C. Cruz-Neira, D. J. Sandin, T. A. DeFanti, R. V. Kenyon, and J. C. Hart. The CAVE: Audio Visual Experience Automatic Virtual Environment. *Commun. ACM*, 35(6):64–72, June 1992.

[5] A. Gomes, L. L. Priyadarshana, A. Visser, J. P. Carrascal, and R. Vertegaal. Magicscroll: A Rollable Display Device with Flexible Screen Real Estate and Gestural Input. In *Proceedings of the 20th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, MobileHCI '18, New York, NY, USA, 2018. Association for Computing Machinery.

[6] Z. Li, S. Miyafuji, T. Sato, H. Kuzuoka, and H. Koike. OmniEyeball: Spherical Display Equipped With Omnidirectional Camera And Its Application For 360-Degree Video Communication. In *The 31st Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology Adjunct Proceedings*, UIST '18 Adjunct, p. 33–35, New York, NY, USA, 2018. Association for Computing Machinery.

[7] T. Machida. GEO-COSMOS: World's First Spherical Display. In *ACM SIGGRAPH 2002 Conference Abstracts and Applications*, SIGGRAPH '02, p. 189, New York, NY, USA, 2002. Association for Computing Machinery.

[8] P. Pla and P. Maes. *Display Blocks: Cubic Displays for Multi-Perspective Visualization*, p. 2015–2020. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 2012.

[9] K. Ryota. loopScape. Japan, 2003.

[10] J. R. Williamson, J. Williamson, D. Sundén, and J. Bradley. Multi-Player Gaming on Spherical Displays. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '15, p. 355–358, New York, NY, USA, 2015. Association for Computing Machinery.

[11] Y. Zhou, S. Xiao, N. Tang, Z. Wei, and X. Chen. *Pmomo: Projection Mapping on Movable 3D Object*, p. 781–790. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 2016.

[12] 東海林 和, 中村 俊勝, 三村 巧, 佐藤 俊樹. ユーザの自発的移動を促進させる全周囲ディスプレイ. WISS2017 予稿集. 日本ソフトウェア科学会インタラクティブシステムとソフトウェア研究会, 2017.