

# The Light Shooter

## - 電子弓インターフェースシステムの制作

安本 匡佑<sup>1,a)</sup>

概要：本研究は、身体運動を入力とするインタラクティブ空間において、没入感、存在感とフォースフィードバックを実現する認知空間の形成を目的とする。特に FPS(First Person Shooting) の様なゲームにおける応用を視野に入れ、これらを実現するため和弓を元にした電子弓インターフェースとその展示空間を設計し、その環境を用いたインタラクティブコンテンツ「The Light Shooter」の制作を行った。

### 1. はじめに

ビデオゲームをはじめとしたインタラクティブコンテンツの領域において、指先を使用するゲームパッド、マウス、キーボードがその入力形態として主流を占めていたが、Wiiをはじめとして、PlayStation Eye や Kinect はそれ以外の身体運動を入力として扱うことを可能にした。特に Kinect は全身の身体運動を画像解析によって取得することで、手に何も持たずに入力処理を行うことが可能であり、これら新たな環境の普及により、ビデオゲーム以外の分野においても広くナチュラルインタラクションを実現するものとして様々な応用がなされていった。

しかしながら、これらの入力を従来のビデオゲームの文脈に乗せようとしたときに、いくつかの問題点が生じている。第1にプレイヤーへのフィードバックは従来のビデオゲームと同じテレビなどの画面による映像出力を主体としているため、身体運動を入力として取り込むことは可能ではあっても、プレイヤーの視線は常にモニタの画面を注視していなければならない、身体運動が不自然となってしまう。HMDのように頭に装着する表示デバイスを用いることで解決しそうだが、それらは人間の視野に比べ視野角が狭いため周囲の情報を十分に取得できず、有線で接続したデバイスを身体に装着しなければならないため、自由な身体運動を妨げてしまう。加えて言及するなら、周囲からはHMDを装着した人が何を見ているのか、何を行っているのかが分からないため、その姿は異様なものに映り、そのコンテンツが楽しそうなものとして見えにくいのではないだろうか。また CAVE の様な VR システムを用いた場合、視

野角の問題は解消されるが、閉鎖空間であるため移動を伴う身体運動を制限してしまう。

身体運動と映像の関係の問題は、自由な身体運動を伴わないビデオゲームでも発生する。仮想3次元空間を利用したFPS(First Person Shooting) ゲームはビデオゲームのジャンルの中の一つとして存在しており、そのなかでも銃を用いたシューティングゲームが多くみられる。プレイヤーは多くの場合テレビなどの固定された表示デバイスを用いるため、自由にそのデバイスの方向を変えることはできないが、コンテンツは3次元でできているため、現実の自分の身体ではなく、映像自体を回転させることで表現している。この際、身体を回転させる行為によって本来生じるはずの身体を回転させたという筋肉の動き、遠心力などの身体感覚は発生しない。自由な身体運動は自由な視線運動を伴うべきである。

第2に特にカメラを身体運動の認識に使用する場合、手に何も持たないためフォースフィードバックを与えることが困難であるということだ。手は本来何かを操作するための器官であり、実際にゲーム内ではキャラクタは何かを持っていたり、何かに触れたりする。しかしながらこれに対するフィードバックは映像と音のみであり、手にゲームパッドを持っている場合においてもフォースフィードバックは高々振動を与える程度である。人は手で何かを操作するとき、視覚や聴覚からだけでなく、その感触でそれがどのような状態であるかを認識している。指先の感触、筋肉にかかる力、温度などが有用な情報となる。プレイヤーにコンテンツに対する没入感、実在感を与えようとするとき、これらの情報を正しく伝えることは重要ではないだろうか。

第3に実験的な幾つかのゲームを除き、大多数はゲームコンテンツ自体が従来のゲームパッドを入力に用いたもの

<sup>1</sup> 東京工科大学  
Tokyo University of Technology  
<sup>a)</sup> yasumoto@stf.teu.ac.jp

と同様のゲームデザインとなっているため、繰り返し出てくる処理に上手く対処できない。例えばゲーム内のキャラクターとして人型のキャラクターが登場する場合、身体運動を用いた入力として、プレイヤーはキャラクターに剣を振らせるために、同様の動きとして手を振る動きを入力とすることがある。このようにゲーム内のキャラクターとプレイヤーの動きを1対1に対応させることで直感的な操作を実現している。しかしながらキャラクターは歩く、走るといった動作を頻繁に行う。この時ゲーム内のキャラクターを歩かせるために1対1対応の動作をプレイヤーが行うとなると2つ問題が生じる。1つは映像表示デバイスであるテレビは固定であり、身体運動を検知するデバイスがカメラである時、移動に空間的制限ができてしまい、歩く動作をプレイヤーが行うことは不可能であるということ。また仮に足踏みを歩く動作に割り当てたとしても、足踏みに必要な身体の筋肉の動きと、歩くのに必要な身体の筋肉の動きは異なる。つまり完全には対応していない。2つ目の問題は繰り返し行う単純な動作は身体的疲労を伴い、尚且つそれがゲームの主要な要素ではない場合、つまり身体を動かすことがゲームの主要な要素である Wii Fit の様なフィットネス系のもの以外ではその行為の必要性が低い。ゲームはストレスとそれに対する報酬によって面白さを演出するが、コンテンツの与えるストレスに身体的な疲労が加わると報酬がそれに見合わず、面白さを感じる事が難しくなる。ビデオゲームとはプレイヤーの入力動作を正確に認識するのではなく、プレイヤーの意図を正確に認識しなければならない。ゆえに、従来のコンテンツの延長ではなく、身体運動を前提としたデザインが必要となってくる。

これらはそれぞれ単体の問題ではなく、身体情報を用いたインタラクティブコンテンツを制作していく上で包括的に考慮しなければいけない問題である。ゆえに本制作では、まずはコンテンツを考え、それを実現するための技術要素として、視野やインターフェースの問題へと取り組んだ。「The Light Shooter」というインタラクティブコンテンツを制作。それを実現するためのゲームコントローラとして、弓を用いた電子弓インターフェースデバイスの制作。さらにそれらを取りまく展示空間の設計と構築を行った。

## 2. 関連研究

本制作において、フォースフィードバックを用いたコンテンツ作りが重要な要素である。手に保持する形式のゲームコントローラにフォースフィードバックとしては組み込まれたアクチュエーターによる振動を用いることが多い。これはレースゲームにおいて路面の状態を手に伝えるような事には適しているが、単純な振動のみしか行えないため汎用性が低い。より汎用的なモノとして重りを制御し反力や衝撃力へを持たせる事例 [3] や、回転運動を制御することで引っ張られる錯覚を与える研究 [2] もみられる。しか

し絶対的な力の量が現実と比べて低く、疑似的であり正確ではない。そのため実際のモノを操作するときと比べて使用感が異なり、現実の運動技能をゲーム内などの仮想空間に生かすことが困難と考えられる。

汎用性を持ったものを現実のモノの形に模して用いる手法もあり、WiiMote を銃やハンドルの形をしたものに組み込んで使うゲームデバイスがある。これらはフォースフィードバックの観点からは能力が乏しいが、実際にこれらを使用するのと同様の姿勢で使用するため、その姿勢を行うことで肉体から想起された実在感が存在する。

一方汎用性は失われるが、特定の用途に特化したものにするために現実のものにセンサなどを組み込む事例も存在する。ぬいぐるみの質感を生かしたインターフェース [1] や全身の運動の起点となる腰を用いて捜査するバランスボールインターフェース [4] 等がある。これらは人工的に力を発生させて操作している人に返すわけではないため、コンテンツから任意のタイミングでのフィードバックは難しい。しかしながら現実のものを利用してあるため、それ自体がリアルなフィードバックを持つ。ぬいぐるみもバランスボールもセンサの有無にかかわらず、押せば変形や反発もする。そして表面の質感は当然本物である。ただし、これらは現実では別の用途に存在するためのものであり、そもそも操作するためのデバイスではない。

これらのことから本制作においては、本来操作する道具を題材とし、単体で安全に繰り返しフォースフィードバックが得られるものとして弓をインターフェースとして使用することを考えた。弓は矢が無くても空撃ちすることができ、フォースフィードバックが発生する。また弓は銃と同様に戦争に用いる武器であり、コンテンツがインターフェースの影響を受け、残虐かつ暴力的な印象を持つことを避けるため、映像として「君の身体を変換してみよ展」 [7] における「点にんげん 線にんげん」 [8] で用いたシンプルなバイオロジカルモーション [9] を表現に応用した。

## 3. コンセプト

コンセプトはモノ感、実際のモノが持つ感触、温度、そして使用したときのフォースフィードバックの表現である。

その根底にあるものは、Kinect をはじめとする非接触のインターフェースを使用して映像コンテンツと向き合った時に感じる空虚感、そしてそれを使用したものをナチュラルインタラクションと呼ぶことの違和感。映像の画質のみが進歩し、リアルさを追求するために高画質化したスーパーハイビジョン [5] の映像を見たときに鑑賞者である自分は現実のものと区別がつかないくらいに高画質な映像を見上げているにもかかわらず、その映像は下を見下ろすアングルで撮影されていたため、重力の方向が一致していないため、映像としてのリアリティの欠如。そしてその原因となる四角い固定された画面の問題である。

如何にして操作するプレイヤーとコンテンツを連続的に結び付け、その境界を取り除くかを焦点とし、自由な身体運動と表現を結び付けられるものとして制作を行ったのが弓を使用したコンテンツである「The Light Shooter」である。

弓を題材としたことには次のような理由がある。まず、弓や銃といった遠くのものを狙う道具は見ている方向と狙っている方向が一致し、360°全方向に対して撃つことも持ち運ぶことも可能である。ゆえに自由な身体運動と、視線方向と映像の方向を一致させる表現に用いることが出来る。

そして銃と違い弓は飛距離や速度をアナログ的に制御することが可能であると同時に、遠くに飛ばそうと強く弓の弦を引くと、それに比例して弦を引く力が必要となり、弦に触れている指にも力がかかり、矢を放った際も引き絞った弦の量に応じて衝撃や振動が生じる。つまりフォースフィードバックが弓を適切に扱うために必須の判断材料であり、現実の身体能力をそのまま生かせるように設計することが可能である。

最後に飛翔体である矢の速度は比較的遅く軌道は放物線を描き、尚且つ構造上連射できない。ゆえにコンテンツとしてプレイヤーに考えることを促しつつ、考える時間を与えることが出来る。ゲームとは精神的に挑戦的な課題 [6] であるという本質に合致する。

このコンテンツを実現するために本質的に必要な要素は以上であり、それ以外の要素は極力排除すること念頭に置いた。映像や音による表現はシンプルにするため、真っ暗な空間に光を弓で撃ちこみ、その光を利用して探索と防衛を行うコンテンツにした。暗闇にはプレイヤーが存在する現実世界に出てこようとする生物を探しだし、物陰に隠れていればその障害物を打ち砕きながらそれを撃退することがこのコンテンツの目的となる。光を照らし標的を探し、光の矢を撃ちこみ標的を照らしだし打ち倒していく。プレイヤーは専守防衛のため移動という運動を行わず、探索と射撃に専念できるようにする。

#### 4. システム

「The Light Shooter」は主に入力インターフェースとしての電子弓、インタラクティブなソフトウェアコンテンツとしての映像表現、そしてそれらを統合する展示空間作りが主たる要素である。図1に示すように、プレイヤーは弓をスクリーンに向けて構え、弓の電子的な情報はコンピュータへ無線通信で送られ、弓の物理的な情報、つまり力覚は直接プレイヤーの身体にかかる。弓からの電子情報はコンピュータ内で処理し、ソフトウェアコンテンツで反映しスクリーンに映像として投影している。

##### 4.1 電子弓

電子弓インターフェースデバイスは、四半弓という小型

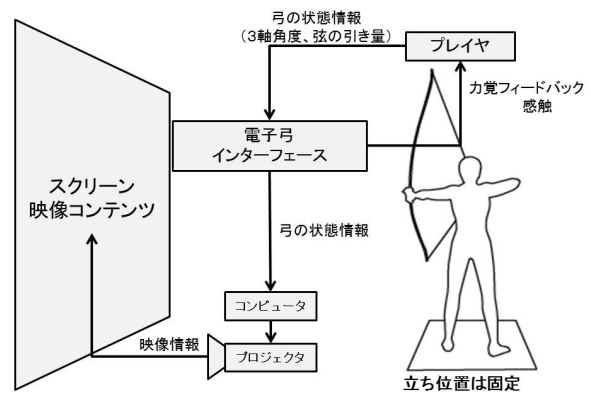


図1 「The Light Shooter」のシステムの全体図  
Fig. 1 "The Light Shooter" Overview of this system

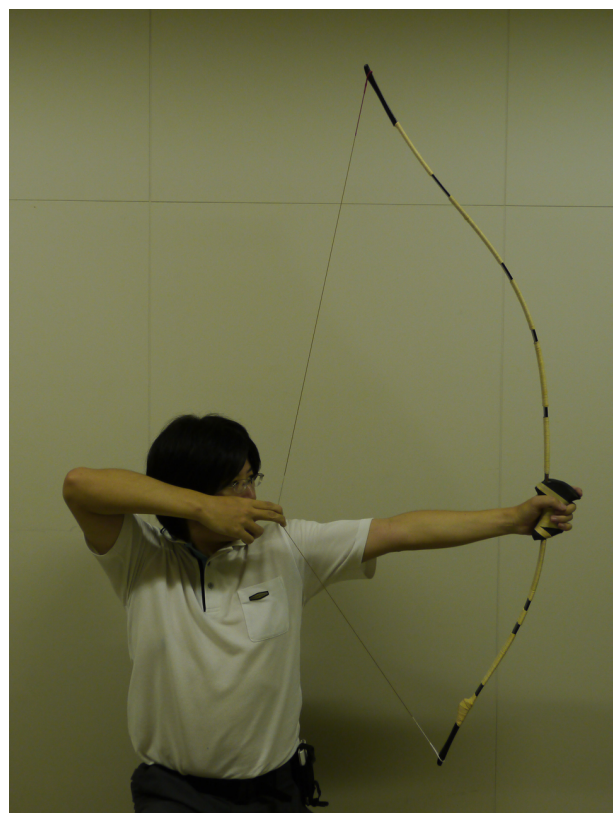


図2 電子弓とそれを構えたプレイヤー  
Fig. 2 The Electric Bow and Player

の和弓と、弓の状態を取得するために必要なセンサ類で構成されている。これらは全て3Dプリンタで出力したABS樹脂製の和弓のグリップ部分に内蔵し、四半弓、そして電子弓デバイス全体のトーンを統一し、美観を損ねる配線や電子機器類がプレイヤーの目に入らないように、黒い牛革と籐皮で表面を覆った。電子弓には矢は存在しないが、弦を引き空撃ちすることで狙った方向に弦の引き量に応じた速度で仮想的に矢を飛ばすことができる。グリップは手で握る方向に対して十分な強度を持ち、センサ類はグリップ内部に硬質スポンジと共に収めることで弓を使用したときの

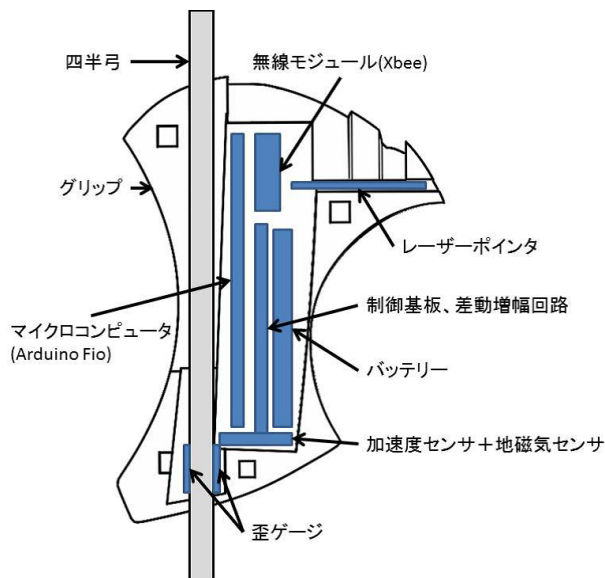


図 3 電子弓のグリップ内のセンサ類

Fig. 3 The sensors in the grip of the electric bow interface device

衝撃に耐えられるようにデザインしている。

弓をインターフェースとする際に必要な情報は、どこを狙っているかという方向情報、弦をどれくらい引いているか、もしくは弦を放して矢を撃ったかという弦に関する情報であり、これらの情報とホストコンピュータとやり取りし、電子弓が身体運動を妨げないようスタンドアロンで動作することが必要である。ゆえに3軸加速度センサ、3軸地磁気センサ、歪ゲージ等のセンサ類、センサからの情報を統合するためのマイクロコンピュータ、ホストコンピュータと通信を行うための無線モジュール、スタンドアロンで動作するためのバッテリーで電子弓は構成されている。弓は本物の感触、フォースフィードバックを兼ね備えつつも、子供でも比較的取り回しを良くするために、和弓の中でも標準となっている約221cmの長弓ではなく、約160cmと小型で張力の低い四半弓を用いた。

方向情報に関して、垂直方向の移動は加速度センサからの情報を元に計算を行い、水平方向は地磁気センサと加速度センサから得られる情報を元に計算を行う。弦の引き量に関してはグリップ内部の四半弓の両面にあわせて2つの歪ゲージを配置し、2ゲージ法によって差分を計測し、それをオペアンプを用いた差動増幅回路で信号を増幅しマイクロコンピュータで読み取る。これらの歪ゲージから弓の変形量を求め、それを弦の引き量に変換し、また、その値の時間的な変化から弦を放して矢を放ったかどうかを識別する。また、実際に電子弓で狙っている方向とコンテンツ内で狙っている箇所を一致させるためのキャリブレーションを簡略化するためにレーザーポインタを備えている。これらのセンサ類は図3のように電子弓のグリップ部分に設置しており、情報はマイクロコンピュータで統合し、Zigbee

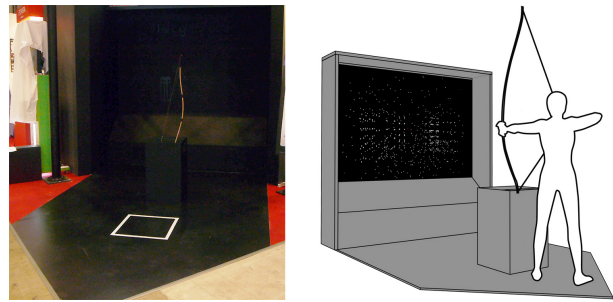


図 4 実際の展示空間の写真(左)と展示空間のイラスト(右)  
 Fig. 4 (left)(right)

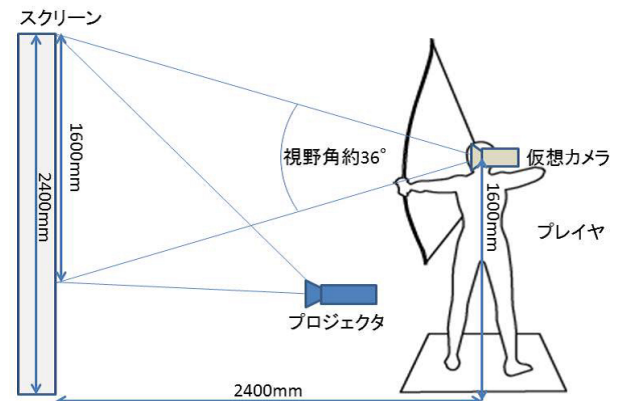


図 5 視野角の一致のための仮想カメラの設定  
 Fig. 5 Virtual camera position setting

規格の無線モジュール (Xbee Pro S1) でホストコンピュータと通信を行う。

#### 4.2 展示空間

図4の様に展示空間には電子弓を持つプレイヤーが立つ舞台と映像投影のためのスクリーンを設置。黒い舞台に白い正方形の枠を描くことでプレイヤーの立ち位置を固定した。展示空間全体はスクリーンを含めて黒で統一し、プロジェクタから投影する映像とスクリーンの大きさを一致させることで、プロジェクタ特有の四角い投影枠を隠し、空間内に白い映像が浮いているように演出している。プレイヤー正面の黒い直方体の物体は内部にプレイヤーから見えないようにプロジェクタとパソコンを配置し、その外側には電子弓を立て掛ける台の役割を兼ね備えている。

スクリーンと人の位置関係は図5に示す関係となっている。展示空間の広さの関係からスクリーンの高さを最初に決定し、そこから超短焦点プロジェクタ (MX812ST) によって映像を投影した際にスクリーンの横幅と映像の横幅が一致する距離を求めてプロジェクタの位置を決定した。プレイヤーはプロジェクタの映像を阻害せず、尚且つ視野角を広く確保するためにプロジェクタの後方、スクリーンから2400mmの位置に視点が来るように設定する。プレイヤーの視野角と映像の視野角を一致させるため、コンテンツ内の3D空間をレンダリングするための仮想的なカメラの位

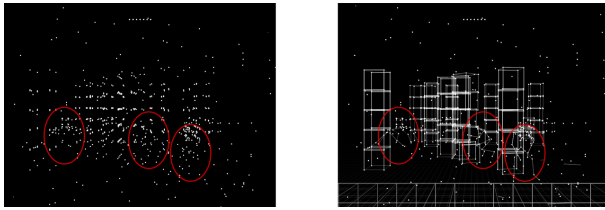


図 6 生物、背景、ランダムドットを同一の白い点で表現。動かない静止画のため認識できないが、丸で囲んだ箇所には人が存在している(左) 同様の映像に含まれる白い全線分を表示した状態(右)

Fig. 6 Creature, background, random dots are represented by the same white dot. Can not be recognized because of the still image that does not work, there are people in place that circled (left). View all white line included in the same image (right).

置と現実の視点が同一の位置に来るように高さ 1600mm に設定し、これらの値から仮想カメラの視野角を約 36° に定めた。また、この仮想カメラの near clip plane を 2400mm に設定することで、カメラから 2400mm の距離よりも近いものを描画せず、コンテンツもこれに合わせたものにした。これらのことにより、映像を投影するスクリーンは現実と仮想を結ぶ窓となり、あたかもその向こう側に世界が広がっているように表現することを可能とした。また、視野角が一致したことにより、コンテンツ内の人や動物などのキャラクタの大きさが実寸大となり、スケール感が生まれるだけでなく、その大きさによりそれらがどの程度の距離にいるのかを直感的に理解することが容易となった。現実の視点の位置と仮想の視点の位置が同一の場所となり、和弓を用いて的を狙う際は半身に構え、弓を保持する手をほぼ真っ直ぐに伸ばすため、弓の回転角度、腕の長さ、視点の位置を元に画面上のどこを狙っているのかをほぼ推定することが可能となった。

#### 4.3 映像表現

コンテンツを映像として表現する際に、以下の 3 つ事柄を考慮した。

- (1) 弓矢で何かを撃つという表現が残酷にならないようにする。
- (2) 現実と同じ視野角であるということが分かりやすいように、大きさを認識できる実在のもので表現する。
- (3) 余分な要素を排除しつつも映像自体に面白さを与えるため、精神的に挑戦的な課題を持つ映像を要素として加える。

これらを満たすものとして、動き回る人や獣を標的と設定し、黒い背景にそれらを表す白い点のバイオロジカルモーションによって表現した。生物は 2 足歩行の人と 4 足歩行の獣の 2 種類を用意し、それぞれ人は 20 点、獣は 15 点の白い点で構成した。また、バイオロジカルモーションに

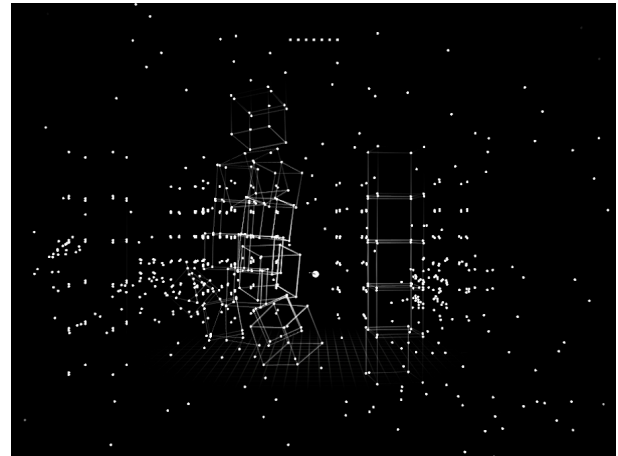


図 7 コンテンツの映像。弓を向けた方向の周囲に白い点が浮かび、画面中央付近の矢の周囲のみ物体を構成する辺が白い線として表示される

Fig. 7 The graphic of this content. White dots appears around the direction toward the bow. Edges that make up objects around the arrow only appears as a white line

よる認識を強調するため、生物を構成するものと同じ白い点を空間にランダムに動き回るように配置し、また背景オブジェクトを構成する点も同様に表現した。背景オブジェクトは 8 つの頂点を持つシンプルな立方体のみで表現し、これらが生物やプレイヤーの放った矢に衝突することで物理演算を用いて、リアルな動きを演出する。バイオロジカルモーションは動かなければそれが生物であるかどうかを人は認識できないが、点群が動き尚且つそれが生物の動きを元としている場合は人はそれを生物だと認識することが出来る。同様に正確に物理演算を行った背景オブジェクトの立方体の動きは生物の動きではないが、点群は一塊のクラスタとして動くため、動きから意味を見出しそれらが立方体であると認識できる。プレイヤーは白い点群が動くことで生物や立方体を見出す。それらの認識が正しいかどうかを判断するため、図 6 の左図に示す通り通常は黒い背景に白い点のみだが、矢を放った際は矢の周囲に生物や立方体といった立体オブジェクトの点を結ぶ辺を白い線分で表示される。図 6 の右図では分かりやすいようにこの場面に含まれる全線分を示しているが、プレイ時は図 7 の様に矢の周囲のみ線分が表示される。ただし、床面などの白いグリッドに関しては動かないため、これを構成する白い点は全ての状態で表示を行わない。また、時間が経過するにつれ矢の持つ光は徐々に失われて一定時間後に真っ暗になる。

プレイヤーが狙っている箇所と見ている箇所を一致させつつ、精神的に挑戦的な課題を持たせるため探索という要素を加えた。電子弓をスクリーンに向けておらず、弦を引き絞っていない際にはスクリーン上には真っ暗で何も表示しないが、プレイヤーがスクリーン上の任意の箇所を狙うとその正確な位置には赤い点を表示し、さらに弦を引き絞ると引き量に比例して周囲の白い点が照らされ表示される。

コンテンツの付加的な要素として、電子弓から撃ちだす矢のバリエーションを増やすことで戦略性を持たせた。これは電子弓の地面に対して垂直になるように構えた状態と、そのロール角を傾け、弓を横向きに構えた場合で撃ちだせる矢を変化させた。縦に構えている際は、高速で飛距離があり重量を持つため、遠距離の生物や、障害物の陰に隠れた生物に対して有効であり、横に構えている際は、低速で飛距離はないが、同時に3方向に広がって複数の矢を撃ちだすことで、多数の敵に対して有効である。また比較的長時間光が持続するため、索敵にも適している。これらをプレイヤーが直感的に判別できるように、縦に構えた際は狙っている位置に赤い点を一つ、横に構えた際は赤い点を三つ並べて表示する。

## 5. おわりに

本稿では単一のスクリーンを用いた「The Light Shooter」の制作と展示を行ったが、身体全体の移動という要素を付加し、全方向への対応を行うための実装を現在行っている。また、視野、身体と映像の重力方向の関係などまだ明らかにしていない箇所の検証と評価を行っていく。

## 参考文献

- [1] 杉浦裕太, 箕豪太, ウィタナ アヌーシャ, リーカリスタ, 坂本大介, 杉本麻樹, 稲見昌彦, 五十嵐健夫: FuwaFuwa: 反射型光センサによる柔軟物体への接触位置および圧力の計測手法の提案とその応用, エンタテインメントコンピュティング (2011).
- [2] T. Amemiya, T. Maeda: Directional Force Sensation by Asymmetric Oscillation from a Double-layer Slider-crank Mechanism, ASME Journal of Computing and Information Science in Engineering Vol.8 No.3(2008).
- [3] 吉野 圭一: 汎用型フォースフィールドバックコントローラの開発, 入手先 <<http://www.ipa.go.jp/jinzai/esp/2007mito2/mdata/11-13.pdf>> (2012/12/13).
- [4] Masasuke Yasumoto: Balance ball interface, ACM SIGGRAPH ASIA 2008 artgallery: emerging technologies(2008).
- [5] スーパーハイビジョンの映像パラメータと心理物理効果: 西田幸博, 電子情報通信学会技術研究会 (2011).
- [6] Raph Koster: 「おもしろい」のゲームデザイン, オライリージャパン (2005).
- [7] 佐藤雅彦, 桐山孝司, ユーフラテス, 石川将也, 齋藤達也, 安本匡佑, 井高久美子, 勝目祐一郎: 君の身体を変換してみよ展, NTT インターコミュニケーション・センター (2008).
- [8] 安本匡佑, 石川将也, 佐藤雅彦: 点にんげん 線にんげん, NTT インターコミュニケーション・センター (2008).
- [9] Gunnar Johansson.: Visual-perception of biological motion and a model for its analysis, Percept Psychophys(1973).