



Title	INVISIBLE : 影を追う者
Author(s)	應和, 春香; 佐賀野, 正行; 吉村, 康弘 他
Citation	日本バーチャルリアリティ学会論文誌. 2010, 15(3), p. 315-324
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/3134
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

INVISIBLE –影を追う者–

應和 春香^{*1} 佐賀野 正行^{*1} 吉村 康弘^{*1} 小村 仁美^{*1} 山崎 仁之^{*1}
 渡邊 大輔^{*1} 仲野 嘉信^{*1} 白澤 卓^{*1} 辻村 壮史^{*1} 川嶋 賢二^{*1}
 福嶋 昌子^{*1} 井村 誠孝^{*2} 千原 國宏^{*1}

INVISIBLE –The Shadow Chaser–

Haruka Owa^{*1} Masayuki Sagano^{*1} Yasuhiro Yoshimura^{*1} Hitomi Komura^{*1} Masayuki Yamazaki^{*1}
 Daisuke Watanabe^{*1} Yoshinobu Nakano^{*1} Taku Shirazawa^{*1} Soshi Tsujimura^{*1} Kenji Kawashima^{*1}
 Masako Fukushima^{*1} Masataka Imura^{*2} Kunihiro Chihara^{*1}

Abstract – “INVISIBLE –The Shadow Chaser–” is an entertainment content that aims the representation of virtual objects by presenting various indirect information of the objects. In this content, we use the combination of shadow, sound, weight, and vibration for representation of invisible creatures. Two players cooperate to capture the creatures. One has a magical spotlight to make the shadow of the creatures. The other estimates a position of the creature from the shadow and the sound of footsteps and captures the creature by a vacuum-like device. When the creature is captured, the player feels a weight of the creature on the backpack.

We exhibited the content in IVRC 2005, Laval Virtual 2006, and SIGGRAPH 2006 and inspected the effect of a combination of these information upon the presence of virtual creatures. The collected opinions from these exhibition experiments revealed that the multi-modal presentation of indirect information can make players feel the existence of invisible creatures more effectively than the single sense presentation.

Keywords : indirect information, presence, virtual shadow, weight

1 はじめに

バーチャルリアリティ技術の大きな目的は、バーチャルな物体や生物を、実在感を伴って知覚者に提示することである。視覚を始めとして、触覚、味覚、嗅覚、聴覚からの知覚的経験は、感覚器からの入力に基づいて知覚者自身が構築したものである [1] という前提に立ち、実環境からの感覚刺激の本質的部分を人工的に再現し、知覚者に与えることにより実在感の創出がなされる。この過程においては、人工的に提示される感覚刺激が、知覚者がこれまでの経験を通して獲得している感覚から環境を構築するルールと合致していることが重要である。提示される感覚刺激が獲得済みのルールと合致していない場合には、知覚者はバーチャルな世界に対する違和感を感じてしまう。

本作品 “INVISIBLE –影を追う者–” は、実在感の構築ルールとの齟齬が生じやすいバーチャル物体の直接的な視覚提示を敢えて行わずに、構築ルールとの整合が容易である間接的な情報を提示し、バーチャル物体の核心部分は知覚者が保持している構築ルールに

よって補わせることにより、実在感を創出するというコンセプトに基づく作品である。ここで間接的な情報とは、対象物の認知に附随して無意識的に受容されている情報を指し、対象物の実在感を補強する役割を果たしている。本作品では、間接的な情報として影、音、振動、重量を組み合わせることで、姿の見えないバーチャル生物を提示する。複合現実環境内を二人のプレイヤーが探索し、影と音からバーチャル生物の位置を推定し、捕獲する。捕獲に成功すると振動と重量によりバーチャル生物の存在が感じられる。

2 関連研究

本節では、本作品で利用する感覚提示手法に関連する技術の従来研究について概観し、バーチャルリアリティ技術を利用したエンタテインメント分野における本作品の位置付けを明らかにする。

2.1 視覚

本作品の体験にあたっては、プレイヤーは空間内を自由に移動することから、以下の条件を考慮してバーチャル物体を提示する必要がある。

- 視点が自由に変更でき、その際に整合性が失われないこと。

^{*1}奈良先端科学技術大学院大学

^{*2}大阪大学

^{*1}Nara Institute of Science and Technology

^{*2}Osaka University

- バーチャルな3次元物体が存在する空間と、体験者の移動する空間が同じであるため、バーチャル物体の提示位置に特殊なデバイスを配置しなくてよいこと。
- 実空間はある程度広い空間で、実物体は任意の形状を持つことから、面全体を特殊な装置で覆うことは難しいこと。
- 複数人が空間を共有できること。

VR技術を用いた従来のエンタテインメント作品においては、映像の提示に小型ディスプレイ [2] や Head-Mounted Display (HMD) [3] が利用されているが、小型ディスプレイでは表示領域に限られること、HMDでは装着者のみへの情報提示となってしまうことから、共に複数人での情報共有には向かない。任意の位置への3次元情報提示を可能とする技術としてはレーザーによる3次元ディスプレイ [4] があるが、バーチャル物体の提示領域が危険なものとなり、プレイヤーが歩きまわる空間と重なる可能性があるため使用は難しい。

視覚により得られる実体以外の情報としては、影から得られる情報があり、3次元位置の定位や、実物体との光源環境の整合を通して、物体の存在感を与える重要な要素である [5]。影情報を積極的に活用したエンタテインメント作品には、影自体の持つ特性を拡張しエンタテインメントに利用するもの [6, 7, 8, 9]、体験者の影を能動的なインタラクションに使用するもの [10, 11] などがある。

本作品では、影が持つ性質のうち、影が生成されるということは光を遮っている物体があるはずという因果関係を利用し、影の提示により実体の実在感を想起させる。

2.2 聴覚

立体音響を利用した3次元音源定位は、既に広く使われている技術であり、視覚に頼らずに物体の位置を定位させるというコンセプトに基づくエンタテインメント作品も見受けられる [12]。

2.3 触力覚

視覚以外の感覚提示の方法として重要視されているのが、触力覚や温覚と言った皮膚や筋肉への刺激である。

汎用的に利用されている力覚提示デバイスは、リンク構造や糸などの物理的に力を伝達する機構を用いているため、体験者の自由な空間移動が妨げられる。非接触・無拘束な力覚提示手法として、超音波を使い、スピーカーアレイにより音圧を調整することで、物体の空間位置を提示する岩本らの研究がある [13]。風による力覚提示の研究も行われており [14, 15]、レイグジスタンスへの応用もなされている [16]。また、物

体内部の重心移動を制御することにより、撃力の提示 [17, 18] や牽引感の提示 [19] が行われている。しかしいずれも持続的に大きな力を発生させることは難しい。

本作品では持続的に重量感を与えることに特化し、重量増加を流体の移動により提示するデバイスを開発する。

振動感覚を使った触力覚提示の事例は数多くある。本作品ではバーチャル生物が捕獲された時に捕獲デバイス内を移動する感覚を表現するために振動を利用する。振動による移動感の表現は、身体に巻きつけたスピーカアレイによるバッサリ感の生成 [20] などに見られる。本作品では捕獲装置の一部であるパイプを手元より遠い方から順に振動させることにより、捕獲した感覚を生成する。

2.4 間接情報の提示による実在感の創出

間接的な情報の提示によりバーチャルな存在の実在感を創出しようという試みは、エンタテインメントのみならずコミュニケーションの分野でもなされている。

青木らの作品“Kobito -Virtual Brownies-” [21] は、実世界では見えないバーチャル生物の存在を、バーチャル生物が動かしていると想定して実物体を一見自発的に運動させることにより表現している。この作品ではモニタを通すとバーチャル生物が可視化されるようになっており、体験者がバーチャル生物の姿を確認することで作品のいわば種明かしがなされる構成となっている。一方で本作品では、情報の統合をプレイヤーに委ねることにより、想像力の介入できる余地を最後まで残している点が特徴である。

鳴海らの作品“inter-glow” [22] は、可視光通信技術を用い、複数種類の光を識別し、バーチャルな複数人物の会話と対応付けたインスタレーションである。能動的な探索という点で本作品とコンセプトを同じくする部分はあるが、複数のモダリティの利用は行っていない。

三輪らは、身体の影響を送りあう共存在コミュニケーション技術を提案し [23]、対面してコミュニケーションする場合と同等の存在感が身体の影響から得られることを示している。本作品でも影を存在感提示に利用することにより自発的共同作業の創発を目指しているが、加えて、影に対象の3次元位置の定位という目的を持たせており、光源・物体・影の3次元空間内での関係をより積極的に利用することを目指している。

3 本作品の概要

前節で述べたように、五感の個々に対する感覚提示とそのインタラクティブ作品への応用に関しては多数の事例が見られる。五感は独立に機能しているのではなく密接に関係を持ち、物体の存在感を創出している

ことから、複数の感覚の相互作用を利用することにより、VR空間の臨場感を高めることができることが示されている [24]。

本作品は、バーチャルな物体をユーザに提示するにあたって、実際の映像を直接見せることなく、複数の間接的な情報のみを提示することで、立体的な像を提示せずとも、本体が存在しているかのような感覚を与えるエンタテインメント作品である。間接的な情報は、単体では対象物を認識する上で弱い制約しか与えないが、それゆえに我々が様々な感覚情報を統合する上で則っている感覚から環境を構築する処理過程との不整合を起こしにくい。本作品は、複数の間接的な情報と、知覚者が保持している構築ルールによって実在感を創出するというコンセプトに基づいている。

以下では作品の概要を紹介する。

3.1 本作品のストーリー

本作品は以下のようなストーリーを背景とする。

「あるところに、不思議な部屋がありました。その部屋には誰もいないはずなのに、たくさんの足音がするというのです。近所の住人は夜中になると、その足音がうるさくて眠ることができません。住人たちはたまにかねて、あなたたちに何とかしてくれ、と依頼をしてきました。

実は、その部屋には普通の人の目には見えない、いたずら好きのゴブリンたちがいたのです。あなたたちの使命は、目に見えない生き物の影を映し出すサーチライトと、掃除機型の捕獲機を使って、できるだけ多くのゴブリンを見つけ出して吸い込み、退治することです。果たしてあなたたちは、住人たちに安眠をもたらすことができるでしょうか。」

3.2 本作品の概要

本作品では、プレイヤーは二人一組となり、一方がサーチライトを、他方が捕獲機を担当して、部屋の中にある姿の見えないゴブリン(図1)を、制限時間内にどれだけ多く捕獲できるかを競う(図2)。

姿の見えないゴブリンの存在を示す間接的な情報として、ゴブリンの足音と、サーチライトに照らされた影を提示する。ゴブリンの足音は立体音響により部屋内に設置されたスピーカから提示される。プレイヤー1がサーチライトをゴブリンの存在する位置に向けると、ゴブリンの影が部屋の床面、壁面に映し出される。

プレイヤー2は投影された影の位置と足音から、ゴブリンの3次元位置を推測し、推測した位置に捕獲機のパイプを向け、吸引スイッチを入れる。推測位置が正しければゴブリンが捕獲される。振動がパイプの先端からバックパックに向かって順に伝わり、最終的にゴブリンの重さがバックパックに加わることで、捕獲したゴブリンの実在感がプレイヤーに与えられる。



図1 吸い込むゴブリンたち
Fig.1 Goblins



図2 作品体験風景
Fig.2 Scene of experience

ゲーム性を高めるために、ゴブリンには逃げ足が速いもの、空中飛行能力を持つものなどの特徴付けがなされた4種類を用意する。捕まえやすさによって得点が異なる。また、得点は捕獲機の1度の起動で何匹のゴブリンを吸い込めたかによっても異なる。2匹、3匹を同時に吸い込んだ場合には、単純に加算される以上の点を得ることができる。

作品を体験する部屋は、壁のうち一面が開放されており、部屋の外にいる観客はプレイヤーの様子を見ることができる。加えて、部屋の外にいる観客には、ゴブリンが見える状態で部屋の中の様子がモニターに提示されるため、部屋のどこにゴブリンがいるのか、どの方向に動いているのかを知ることができる。観客はプレイヤーにゴブリンの居所や、複数のゴブリンを同時に吸い込むために狙うべきポイント、吸い込むタイミングを示唆することで、作品体験に参加できる。

4 本作品の構成要素

本作品のシステム構成図を図3に示す。本システムの要は各プレイヤーが使用する以下の二つのデバイス

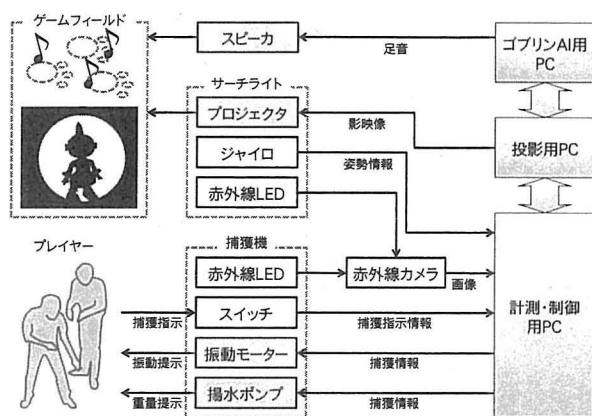


図3 システム構成図

Fig.3 Configuration of system

である。

- 捕獲対象(ゴブリン)の影を提示するためのセンサ類とプロジェクタを搭載した「サーチライト」
- 捕獲時の感覚をフィードバックする重さ提示装置等を搭載した「捕捉機」

他に、ゴブリンの足音を提示するためのスピーカ、各デバイスの位置を測定するためのカメラが環境に設置されている。以下の節では、各構成要素の詳細について説明する。

4.1 デバイスの3次元位置姿勢検出

本作品においては、ゲームという性質上、リアルタイムかつ違和感を感じない程度の精度でデバイスの3次元位置姿勢を検出する必要がある。赤外線カメラによる位置センシングと3軸角度センサによる傾き計測を組み合わせることで、デバイスの位置姿勢を決定する。

デバイスには2個の赤外線LEDと3軸角度センサを取り付ける。2個のLEDを結ぶ線分はプロジェクタ画像の横方向と平行である。カメラは光軸が鉛直下向きになるように天井に取り付けられる。事前のキャリブレーションによってカメラと実空間との変換行列は求まるため、以下ではカメラ座標系(図4)における座標値の計測について、その原理を説明する。

赤外線カメラを用いることにより、画像にはLEDの輝点だけが映るため、閾値処理による二値化とラベリングにより、各輝点の画像上での位置を容易に求めることができる。

画像内の輝点位置とカメラの内部パラメータから、3次元空間における輝点が存在する可能性のある直線の式を求める。輝点 $L_i (i=1, 2)$ に対応する直線を l_i とすると、それぞれの直線はカメラ座標系の原点を通

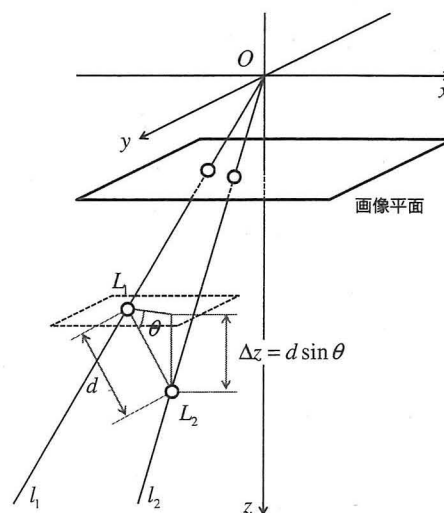


図4 カメラ座標系

Fig.4 Camera coordinate system

ることから、媒介変数表示によって、

$$l_i : \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = t_i \begin{pmatrix} a_i \\ b_i \\ c_i \end{pmatrix} \quad (1)$$

と書ける。

3軸角度センサにより水平面からの傾きが得られており、LED間の実空間での距離が既知であることから、直線上のLEDの位置を以下のようにして一意に求めることができる。LEDの位置を $\vec{r}_i = (x_i, y_i, z_i)^T$ とする。二つのLED間のベクトルを考え、実空間における距離を d 、3軸角度センサにより得られる水平面からの傾きを θ とする。二点間の距離が d であることから、

$$|\vec{r}_2 - \vec{r}_1| = d \quad (2)$$

が成立し、鉛直方向の距離から、

$$z_2 - z_1 = d \sin \theta \quad (3)$$

が成立する。式(1)(2)(3)を t_i について解くことにより、LEDの位置 $\vec{r}_i$ が求まる。

4.2 間接的情報の提示1 - 影

ゴブリンの影は、サーチライトデバイス(図5)を構成するプロジェクタから、影の部分を除いたスポットライトの映像を投影することにより提示する。プロジェクタから投影する画像は、バーチャル空間において、実空間のプロジェクタと同じ位置から見た画像をレンダリングすることにより生成できる。プロジェクタの画角は事前に求めておくことができ、実空間におけるプロジェクタの位置姿勢は前節の手法により求まっているので、これらの情報に基づいてバーチャル空間内にカメラを置き、ゴブリンをレンダリングする

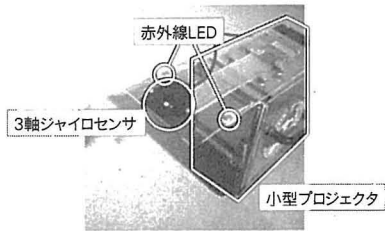


図5 影を投影するサーチライトデバイス
Fig.5 Shadow projector

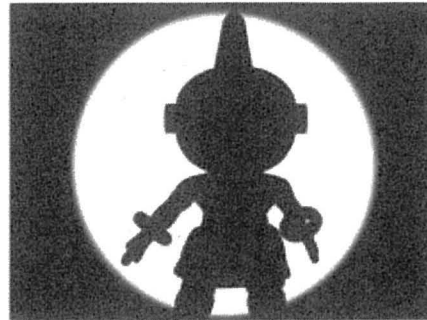


図7 スポットライト画像
Fig.7 Image of spotlight

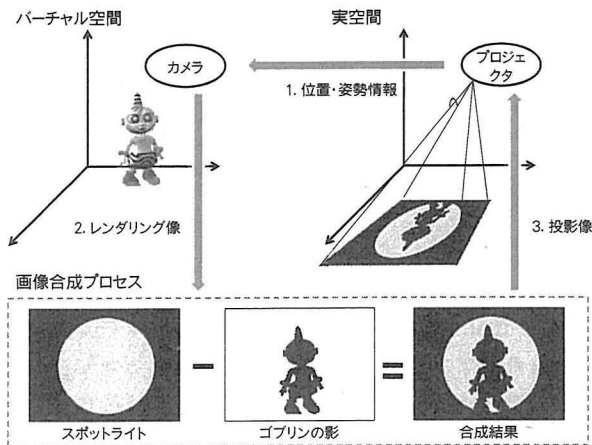


図6 影の生成
Fig.6 Process of making shadow

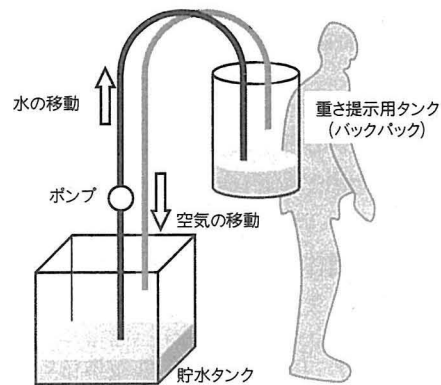


図8 水の移動による重さ提示
Fig.8 Presentation of weight

(図6). レンダリングされた形状で円形のスポットライト画像を切り抜き(図7), この画像をプロジェクタから投影することにより, スポットライト中の影を表現する.

一般的なCGでは, 影を生成するためにバーチャル空間の形状モデルを必要とし, 生成技法もシャドウマッピングやシャドウボリュームといった方法によらなければならない. また生成された影をMR空間で提示するにあたっては, 高い幾何学的整合性が求められる. 本手法では影の形状を除いたサーチライト像をプロジェクタから投影することで, 計算負荷が低く幾何学的整合性の精度を考慮する必要がない影のMR表現を実現している.

4.3 間接的情報の提示2 - 足音

足音は空間の2箇所に配置したスピーカから立体音響により提示される. ゴブリンが捕獲機およびプレイヤーから遠ざかるように床面上を移動する際に, 対応した足音を再生することで, 見えないゴブリンを定位する手掛りを与える. また, 捕獲時には, 足音を停止しゴブリンの悲鳴を再生する.

4.4 捕獲時の吸い込み感と重量感の提示

ゴブリンの捕獲判定は, 捕獲機の吸引スイッチがオンになっている時の, バーチャル空間上の捕獲物と現

実空間の捕獲機のパイプ先端の距離に基づいて行われる. 距離が十分に短ければ, ゴブリンを捕獲したと判定される.

捕獲時には, ゴブリンはパイプの中を先端から手元の方へと移動し, 最終的にはプレイヤーが背負ったバックパックの中に捕えられる. 本作品では, 振動と重さの変化を用いて, ゴブリンを捕獲機のバックパックに吸い込んだ感覚を提示する.

パイプ内でのゴブリンの移動は, パイプに取り付けた複数の振動モーターを, パイプの先端から手元に向かって順に振動させることにより表現する. 本作品では6個の振動モーターを用いる.

重量感の提示は, 地面に据え置いた貯留用タンクから, ポンプを用いてプレイヤーが装着したバックパック内の重さ提示用タンクへ水を移動させることにより行う(図8). ポンプによる揚水には一定の時間を要するため, 揚水中は背中に取り付けられた振動モーターを振動させることで, ポンプの駆動をプレイヤーに感知されないようにすると共に, ゴブリンがバックパック(図9)内で暴れている感覚を提示する.

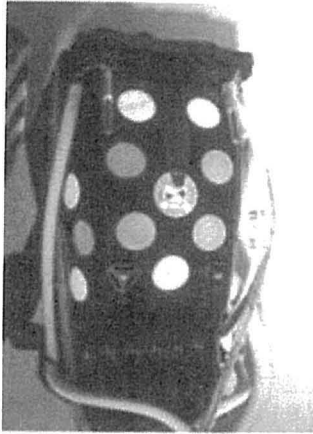


図9 重量提示されるバックパック
Fig.9 Backpack for weight representation

4.5 ゴブリンの行動制御

本節ではゴブリンの行動の制御手法について説明する。

ゴブリンには個体ごとに以下のパラメータが定められている。

- 移動方向 $\vec{f}$: (x, y) で表される単位ベクトルでありゴブリンがどの方向に移動しているかを定める。
- 移動する速さ v : ゴブリンがどの程度の速さで移動するかを定める。
- 移動時間 s : ゴブリンが走り続ける時間を定める。
- 待ち時間 m : ゴブリンが移動を再開するまでの時間を定める。

これらのパラメータに基づいて、ゴブリンの動作を以下のフローにより決定する。

1. ゴブリンの移動方向 $\vec{f}$ を乱数により決定する。
2. 移動方向 $\vec{f}$ の方向に、一定時間 s だけ速さ v で移動する。
3. 移動後、待ち時間 m に定められた時間だけ静止する。
4. 待ち時間 m 経過後、1 に戻って繰り返す。

上記基本処理に加えて、ゴブリンの状況を考慮した以下の条件処理によりゴブリンの移動方向を変更する。

- ゴブリン間の距離が一定値以下になった場合には、各ゴブリンの移動方向 $\vec{f}$ をゴブリンが最も離れる方向に強制的に変更する。

- ゲームエリアの境界である部屋の端に達したゴブリンの移動方向 $\vec{f}$ をゲームエリア境界面で反射するように変更する。
- サーチライトもしくは捕獲機が接近した場合には、移動方向 $\vec{f}$ をサーチライトもしくは捕獲機から最も離れる方向に強制的に変更する。

ゴブリンの行動を決定するパラメータのうち、移動する速さ v 、移動時間 s 、待ち時間 m は各ゴブリンに固有の値となっており、これらのパラメータを調整することにより、ゴブリンのキャラクター特性を決定する。例えば、移動する速さ v と移動時間 s が小さく、待ち時間 m が大きいゴブリンは、動きが緩慢でバテ易く、プレイヤーの側からすると捕獲しやすいゴブリンとなる。逆に、移動する速さ v と移動時間 s が大きく、待ち時間 m が小さいゴブリンは、動きが機敏で止まってもすぐに動き出すため、プレイヤーの側からすると捕獲しにくいゴブリンとなる。

5 展示経験

本節では、本作品の展示にあたって構築したシステムの概要と、展示の様子、展示を通して得られた知見について述べる。

5.1 システム構築

バーチャル生物のスペックおよび展示環境やデバイスの限界を考慮して、各間接情報の具体的な提示内容を以下のように決定した。

- プロジェクタから投影する影のサイズは、ゴブリンの身長を約 20cm として算出した。
- 足音の音量は会場の騒音状況に合わせて設定した。
- 振動による生物の吸い込み感覚の提示は経験的に約 3 秒程度で筒先から手元まで振動が移動するものとした。
- ゴブリン捕獲時の重さ提示量については、ゴブリンの体重を 500g 前後と見積もった。これは生後 1ヶ月程度の子猫の体重に相当し、身長 20cm 前後の生物として妥当な値である。

一方、重さ提示の予備実験として、背中に背負ったバックパックに重量変化があったことを知覚できるための閾値を確認したところ、500g 程度の重量増加であれば知覚できることがわかった。生物としての整合性および人間の重量感覚の両面から、本作品ではゴブリン 1 匹の重量を提示する際には 500ml の水量を加えるものとした。

表 1 システムの諸元
Table 1 Properties of system

カメラ	解像度	640×480
	設置高さ	2m
	画角(水平)	80度
プロジェクタ	解像度	1024×768
	投影角(水平)	32度
	輝度	700ANSIルーメン
	重量	0.9kg
3軸角度センサ	角度精度	0.25～1度
	角度分解能	0.03度
	サンプリング	180Hz

本作品の構築に使用した機器のスペックを表1に示す。またブースサイズは約2m×2mである。

本作品の体験の質は位置計測の精度に依存する。捕獲判定の基準として、ゴブリンの存在している位置に捕獲機筒先を向けた際に確実に捕獲されることを目標とする。カメラによる位置計測における誤差は、1ピクセルのずれが最大となる床面でも約0.5cmである。一方、プロジェクタによる映像投影では3軸角度センサにおけるわずかな角度のずれが投影先の位置の大きなずれにつながる。俯角30度、床面からの高さ70cmにおいて俯角に1度の誤差が生じた場合の投影位置の変化は約5cmである。ゴブリンのサイズが約20cmであることから、約5cmの誤差が生じていてもゴブリンの中心部分をポインティングできれば確実に捕獲できるため、本実装で十分な精度が確保できていると言える。

5.2 対外展示

本作品は、IVRC (International collegiate Virtual Reality Contest) 2005 東京予選大会 (東京・お台場)、同岐阜本大会 (岐阜・各務原)、Laval Virtual 2006 (フランス・ラバル) および SIGGRAPH 2006 Emerging Technologies (アメリカ・ボストン) にて展示を行い (図10)、老若男女問わず延べ1,500名以上が体験した。特に小さな子供が総じて体験を希望する傾向にあり、2人1組での体験方式ゆえに、サーチライト担当と捕獲機担当を交代して2度以上体験する人も少なくなかった。また、ゲームの途中で複数ゴブリンの同時吸い込みが得点アップにつながることに気づき、サーチライトを効果的に使用して逃げ回るゴブリンを追い込み、吸い込んで得点を高めるなどの戦略的プレイも自然発生した。

本作品は母国語の異なる複数の国や場所での展示に際して、各国語での操作説明および宣伝媒体の作成を行うとともに、言葉に頼らず体験をうながす雰囲気を作成するためにブースにコミカルな装飾を施した。操作説明、技術的説明は完全に対応できたとは言えな



図 10 SIGGRAPH 2006 での展示風景
Fig. 10 Exhibition at SIGGRAPH 2006

かったが、本作品を体験したプレイヤーからは、特にゴブリンを吸い込んだ感覚や重さを知覚した際、またゲーム終了後に自分の得点を確認した際に、一様に笑顔が見られた。

プレイヤーの様子やプレイ後のアンケートから、以下の改善すべき点が指摘されたため、改良を施した。

- 初期のバックパックは市販の硬質ウレタンで作成されていたが、重量があり、特に幼児がうまく背負えず、提示された振動や重さを知覚できない場合があった。

対応策として、バックパックを変更した。市販のバックパックのうちベルトがずれない、背中の補強が堅固なものを選び、バックパック自体の重さが体験の邪魔にならないようにした。結果、プレイヤーにはバックパックの形状による動きづらさを知覚させることなく、体験に集中してもらうことができた。

- 初期の段階ではゴブリンは3種類であり、床上を移動するのみであったため、影の位置からゴブリン本体位置の類推が容易であった。

対応策として、ゴブリンの種類を4種類に増やし、空中飛行能力を有したゴブリンを配置した。また部屋に台座を設置し、その上にもゴブリンが移動するようにして行動範囲を立体的にした (図11)。結果、立方体の体験空間の床面だけでなく、側面もゲームにとって意味のある空間として観客に意識してもらうことができた。またプレイヤーがより大きな動きで作品を体験することで、観客へのアピールも高まった。

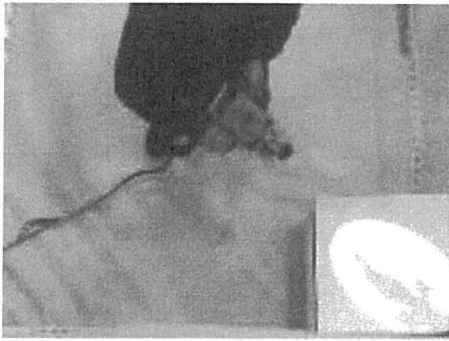


図 11 台上にもゴブリンが出現
Fig. 11 Goblin appears on the shelf

6 考察

本節では、本作品のコンセプトである「複数の間接情報の提示により実在感を与える」目的の達成について、プレイの各局面に分けて考察する。

捕獲機によってゴブリンが捕獲される前の段階では、吸い込む対象であるゴブリンの位置を同定することがプレイヤーには要求される。このための情報として足音と影を提示したが、実際のプレイヤーの行動からは主として影に基づいた定位を行っていることが見て取れた。足音からの定位は、今回の展示においては展示環境の環境音が大きかったこともありやや困難で、ゴブリンの逃走行動を示すのみに留まった。しかし足音は捕獲機を持っているプレイヤー2にも聞こえるため、音をトリガとして自然と周囲を探索する行為がうながされ、結果としてプレイヤー二人の間で言葉や身振りによる情報の伝達といった協調動作が引き起こされる要因となった。海外での展示においては、制作チームスタッフと一般来場者といった言語による意志疎通が円滑ではなくかつ初対面のペアがプレイする場合も頻繁であったが、おおむね問題なく楽しんでいただけた。

また外部の観客にはブース内のどこにゴブリンが存在するかを俯瞰視点で見ることができるモニタを提供したため、プレイヤーに対して手助けとなる情報を声で伝達しようとする自発的な行為が見られた。この外部からの音声による指示も、間接的な情報の一つとして本作品のコンセプトとうまく馴染んでいた。

捕獲後も振動と重量を用いてバーチャルキャラクターの存在感を示した点は本作品の特徴の一つである。一般的にゲームにおいては、破壊ないし捕獲されたキャラクターはゲームの舞台から退場し、その存在感は急速に失われる。本作品では、捕獲されたゴブリンの捕獲後の状態を間接的な情報により提示することで、ゴブリンが単なる捕獲対象という記号ではなくバーチャルな生物であるという側面をより強調している。複数の間接情報による提示を行うことで、捕獲対象の探索→

捕獲→収蔵の一連のプロセスにおいて、バーチャル生物は異なる情報提示形態を取りながらも継続して表現されている。

ゲームというコンテキストが制限された状態であるとは言え、間接的な情報のみが与えられた両プレイヤーが、バーチャルな生物の存在を捕捉して行動していることから、複数の間接情報の提示により実在感を与えるというコンセプトは達成されていると考えられる。

一方で、体験者の意見から得られた未解決の課題として、捕獲機に装着した振動モーターの振動音がゴブリンの足音の認識を妨げ、音の提示効果を低下させることが挙げられる。複数の感覚を提示する際には、互いの感覚を相互的に高めるよう選択して提示する必要がある。

また、存在感の提示効果をさらに高める工夫として、ゴブリンを吸い込んだ瞬間にバックパックに衝撃を与える機構の追加などが考えられる。ただし、機構の追加はバックパックそのものが重くなる問題を引き起こす。他の案としては、吸い込んだゴブリンの種類に応じて、重量や振動の提示の大きさに変化を与え、体験者に違いを感じさせるなどの手法が考えられる。

ゴブリンの捕獲に伴う情報提示はプレイヤー2に対する振動や重量によるものであるため、プレイヤー1および観客はゴブリンが捕獲されたことを直接的に知ることができない。観客にゴブリンが捕獲されたことを視覚的によりわかりやすく提示する方法として、吸い込んだゴブリンの重量に応じて光るLEDをバックパックに装着する案が考えられる。この方法を用いれば、観客に対しても姿の見えないゴブリンがバックパックに吸い込まれていることが直感的に伝わり、プレイヤーと観客の一体感をより強く引き起こすことができると考えられる。

7 おわりに

本論文では、複数の間接的な情報を提示することで、対象物の存在を知覚させることができるというコンセプトに基づき、視覚、聴覚、触力覚の組み合わせで実在感を知覚できるマルチモーダル・エンタテインメントとして、特殊なサーチライトにより影を映し出すことができ、特殊な捕獲機により姿の見えないゴブリンを吸い込むことができる作品“INVISIBLE -The Shadow Chaser-”の制作と展示について述べた。展示体験で得られた知見から、本作品は一つの感覚ではなく複数の感覚を提示することで、効果的にバーチャルな生物の実在感を知覚させることを実現できた。没入感提示システムが一般家庭などで広く使用されるようになった際には、視覚と振動と重量感を用いたエン

タテインメントの創造も可能であることを示すことができた。

参考文献

- [1] ドナルド・D. ホフマン. 視覚の文法—脳が物を見る法則. 紀伊國屋書店, 2003.
- [2] Daniel Wagner, Thomas Pintaric, and Dieter Schmalstieg. The invisible train: A collaboration handheld augmented reality demonstrator. In *ACM SIGGRAPH 2004 emerging technologies*, 2004.
- [3] 山口徳郎, 浅井和広, 中島孝司, 北村喜文, 岸野文郎. Illusionhole 上のインタラクティブマルチメディアコンテンツの試作. エンタテインメントコンピューティング 2007 講演論文集, pp. 15–18, 2007.
- [4] Hidei Kimura, Taro Uchiyama, and Hiroyuki Yoshikawa. Laser produced 3D display in the air. In *ACM SIGGRAPH 2006 emerging technologies*, 2006.
- [5] Daniel Kersten, David C. Knill, Pascal Mamassian, and Isabella Bulthoff. Illusory motion from shadows. *Nature*, Vol. 379, p. 31, 1996.
- [6] 苗村健, 新田拓哉, 三村篤志, 原島博. 懐中電灯型デバイスをを用いた複合現実環境におけるバーチャルシャドウ. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 7, No. 2, pp. 227–238, 2002.
- [7] 養毛雄吾, 寛康明, 飯田誠, 苗村健. 補色を用いて自己の影を彩りある映像メディアにするマルチプロジェクトシステム. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 10, No. 1, pp. 21–30, 2005.
- [8] Mark Cypher. Biophilia. In *ACM SIGGRAPH 2006 art gallery*, 2006.
- [9] Y. Uchida, M. Naito, and S. Hirayama. Kage no sekai – interactive animation of shadow based on physical action. In *Proceedings of International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology*, p. D1, 2007.
- [10] Akimichi Ihara, Kazuo Imahata, Takashi Imamura, Sayaka Kamon, Mitsuru Takenouchi, Tsuyoshi Nomura, Hajime Harada, Keiji Matsuda, Kazuhiro Manabe, Rei Miyake, and Kunihiro Chihara. Kagekami. In *Laval Virtual ReVolution*, 2008.
- [11] ソニー・エクスプローラサイエンス. Holowall table.
- [12] ROBOT 123. トブオンブ, 2000. IVRC2000.
- [13] Takayuki Iwamoto, Mari Tatezono, Takayuki Hoshi, and Hiroyuki Shinoda. Airborne ultrasound tactile display. In *ACM SIGGRAPH 2008 new tech demos*, 2008.
- [14] 鈴木由里子, 小林稔, 石橋聡. 無拘束なインタフェースを目指した風圧による力覚提示方式. 情報処理学会論文誌, Vol. 43, No. 12, pp. 3643–3652, 2002.
- [15] 小坂崇之, 宮下芳明, 服部進実. 没入型三次元風覚ディスプレイのためのコンテンツ開発. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 12, No. 3, pp. 315–322, 2007.
- [16] Erika Sawada, Shinya Ida, Tatsuhito Awaji, Keisuke Morishita, Tomohisa Aruga, Ryuta Takeichi, Tomoko Fujii, Hidetoshi Kimura, Toshinari Nakamura, Masahiro Furukawa, Noriyoshi Shimizu, Takuji Tokiwa Maki Sugimoto, and Masahiko Inami. Byu-byu-view – a wind communication interface-. In *ACM SIGGRAPH 2007 emerging technologies*, 2007.
- [17] 松井信也, 井村誠孝, 安室喜弘, 眞鍋佳嗣, 千原國宏. 直

動式ソレノイドを用いた力覚提示デバイス. 日本バーチャルリアリティ学会第 8 回大会論文集, pp. 29–32, 2003.

- [18] 池田洋一, 木村朝子, 佐藤宏介. ToolDevice: 道具のメタファを利用した実世界指向インタフェース—情報の重み感覚の提示—. インタラクシオン 2003 論文集, pp. 207–208, 2003.
- [19] Tomohiro Amemiya and Taro Maeda. Asymmetric oscillation distorts the perceived heaviness of handheld objects. *IEEE Transactions on Haptics*, Vol. 1, No. 1, pp. 9–18, 2008.
- [20] Sayaka Ooshima, Yasushi Fukuzawa, Yuki Hashimoto, Hideyuki Ando, Junji Watanabe, and Hiroyuki Kajimoto. /ed(slash)-gut feelings when being cut and pierced. In *ACM SIGGRAPH 2008 new tech demos*, 2008.
- [21] Takafumi Aoki, Takashi Matsushita, Yuichiro Iio, Hironori Mitake, Takashi Toyama, Shoichi Hasegawa, Rikiya Ayukawa, Hiroshi Ichikawa, Makoto Sato, Takatsugu Kuriyama, Kazuyuki Asano, Toshihiro Kawase, and Itaru Matsumura. Kobito: virtual brownies. In *ACM SIGGRAPH 2005 emerging technologies*, p. 11, 2005.
- [22] Takuji Narumi, Atsushi Hiyama, Tomohiro Tanikawa, and Michitaka Hirose. inter-glow. In *ACM SIGGRAPH 2007 emerging technologies*, p. 14, 2007.
- [23] 三輪敬之. 場の統合による共存のコミュニケーション技術. 電子情報通信学会誌, Vol. 89, No. 3, pp. 218–225, 2006.
- [24] David Hecht, Miriam Reiner, and Gad Halevy. Multimodal virtual environments: Response times, attention, and presence. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, Vol. 15, No. 5, pp. 515–523, 2006.

(2010 年 3 月 27 日受付)

[著者紹介]

應和 春香



2007 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士前期課程修了。在学中, 3 次元形状計測の研究に従事。修士(工学)。

佐賀野 正行



2007 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士前期課程修了。在学中, 複合現実感技術の研究に従事。修士(工学)。

吉村 康弘



2007 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士前期課程修了。在学中, 作業支援システムのインタフェースの研究に従事。修士(工学)。

小村 仁美



2007 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士前期課程修了。在学中，色覚シミュレーションシステムの研究に従事。修士(工学)。

山崎 仁之



2006 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士前期課程修了。在学中，計測に基づく人体アニメーション生成の研究に従事。修士(工学)。

渡邊 大輔



2007 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士前期課程修了。在学中，スペクトル画像解析の研究に従事。修士(工学)。

仲野 嘉信



2007 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士前期課程修了。在学中，リアルタイムコンピュータグラフィックスの研究に従事。修士(工学)。

白澤 卓



2007 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士前期課程修了。在学中，人物アニメーション生成の研究に従事。修士(工学)。

辻村 壮史



2007 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士前期課程修了。在学中，バーチャル大腸内視鏡の研究に従事。修士(工学)。

川嶋 賢二



2005 年～2007 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士前期課程在籍。在学中，像情報処理の研究に従事。

福島 昌子



2005 年～2006 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士前期課程在籍。在学中，情報考古学の研究に従事。

井村 誠孝 (正会員)



2001 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士後期課程修了。同年同研究科助手。2007 年同研究科助教。2009 年大阪大学大学院基礎工学研究科准教授。現在に至る。人工現実感およびコンピュータグラフィックスの研究に従事。博士(工学)。情報処理学会，IEEE 等各会員。

千原 國宏 (正会員)



1973 年大阪大学大学院基礎工学研究科博士後期課程修了。同年大阪大学基礎工学部助手。1983 年同助教授。1992 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科教授。現在に至る。バーチャルリアリティの応用研究に従事。工学博士。システム制御情報学会，日本生体医工学会，IEEE 等各会員。