

Watch the Birdie! – 三感融合型複合現実感アトラクション

石黒 祥生^{*1}, 大槻 麻衣^{*1}, 比嘉 恭太^{*1},
木村 朝子^{*2*3}, 柴田 史久^{*1}, 田村 秀行^{*1}

Watch the Birdie! – A Mixed-Reality Attraction Using Tri-sensory Augmentation

Yoshio Ishiguro^{*1}, Mai Otsuki^{*1}, Kyota Higa^{*1},
Asako Kimura^{*2*3}, Fumihisa Shibata^{*1}, and Hideyuki Tamura^{*1}

Abstract — We developed a multi-user Mixed Reality (MR) attraction "Watch the Birdie!" as a test bed of an MR system with new modalities such as Audio-Visual MR and a sound event detection technique. In this attraction, users can find the approaching birds not only by CG but also by the loudness and direction of the chirp sounds from a three-dimensional sound field system. Users can also interact with birds by using sound direction and position. The sound detection system can localize the position of the sound source made by each user, with one pair of microphone array. Additionally, in this attraction, there are other functions that bushes rustles when the birds appear from there and a user can feel the weight of the bird when it perches on his/her hand.

Keywords: Mixed Reality, Audio-Visual MR, Sound Event Detection, Three Dimension Sound Field

1. はじめに

1989年にバーチャルリアリティ(VR)という言葉が登場した当初、マスメディアに大きく取り上げられ、社会現象と言えるほどのセンセーションを巻き起こした[1][2]。その後、医療、建築・都市計画、各種教育・訓練等の分野で着実に用途は増えている。他の分野にもまして娯楽分野での展開は活発で、テーマパークでのシミュレーション・ライドが常態化している。また、既に世に出ているビデオゲームを一層活気づかせ、一大産業分野となったのは、VRフィーバーの後押しがあったからであると言える。しかしながら、VRのもっていた人間の五感に訴える仮想空間体験という本質は薄められ、VRのある側面だけを切り取った実時間エンターテインメントになっている。

現実世界と仮想世界を融合する複合現実感(Mixed Reality; MR)は、VRの発展形であり、1990年代の後半以降に活発化した[3]。現実空間をも対象

とできる点で、VRよりも高い表現力を有しているため、アート&エンターテインメントにとっても大きなプラス要因であった。既に、SIGGRAPHやArs Electronica Festivalに有力作品が展示され、文化庁メディア芸術祭にも入賞しているのがその証左である[4][5]。また、愛知万博の日立グループ館のメインアトラクションに採用されて人気を博し、約200万人が体験したのは記憶に新しい[6]。MR技術は、ビデオゲームの枠組を超える、もっと発展的な空間型インタラクティブ・エンターテインメントの基盤となり得るものだと言って過言ではない。

ところが、従来のMRアトラクションは、ほぼすべて視覚的な現実と仮想の融合に頼っている。音や触感が加わっている作品もあるが、あくまで演出上の付加的な使われ方である[7]。我々は、MRアート&エンターテインメントの発展のためには、複合現実空間との対話のモダリティを増やして、表現力を増強することが肝要と考える。その具体的方策として、聴覚・触覚をもっと積極的に使える枠組みの構築を進めることにした。

聴覚に関しては、まず現実世界の実音と仮想世界で生成された人工音を融合する聴覚的MRを実現し、それを視覚的MRと整合をとって併用できるシステ

*1 立命館大学大学院理工学研究科

*1 Graduate School of Science and Engineering, Ritsumeikan University

*2 科学技術振興機構 さきがけ

*2 PREST, Japan Science and Technology Agency

*3 立命館大学 総合理工学研究機構

*3 Research Organization of Science and Engineering, Ritsumeikan University

ムを開発した[8]。続いて、現実世界で発した音イベントを検出して、複合現実世界に反映させるシステムに発展させた[9]。触力覚に関しては、視覚・触覚のような汎用の優れた提示装置がないため、各作品に適した個別の対話デバイスとならざるを得ない。このため、そうした個々のデバイスを視聴覚併用MRに導入する場合に、視聴覚と同期をとって矛盾なく利用できる環境を構築することにした。

本コンテンツ論文で述べる「Watch the Birdie!」は、その技術的枠組の有効性を検証し、各要素技術を向上させるためのテストベッドである。ただし、試験研究のための単なる実験対象ではなく、MR作品として十分楽しめることが最低条件であり、かつ従来の作品と比較して、新しいモダリティの威力を発揮しているコンテンツとなっていることも課題とした。こうした観点から制作したMRアトラクションの成り立ちと、技術検証結果を報告する。

2. 技術的背景と基本システム構成

2.1 視聴覚 MR システム

聴覚的MRは、コンピュータで生成した3次元音場による合成音と現実世界の実音が同時に聞こえることで達成する。3次元音場は、DA変換器(Thinknet社製 DF-2032D, 最高出力レート 100kHz)に出力、ヘッドホンアンプで増幅されて体験者が装着する開放型ヘッドホン(SONY製 MDR-F1)に提示される。この開放型ヘッドホンは、装着時にヘッドホンと耳の間に隙間ができるため、体験者が現実世界で発せられる様々な音と音処理用PCで生成した人工音を同時に聴取することが可能である。

技術的なキーは、視覚的MRと聴覚的MRが現実空間を共有し、かつ幾何学的な整合性が取れていることである。即ち、音を発しながら移動するオブジェ

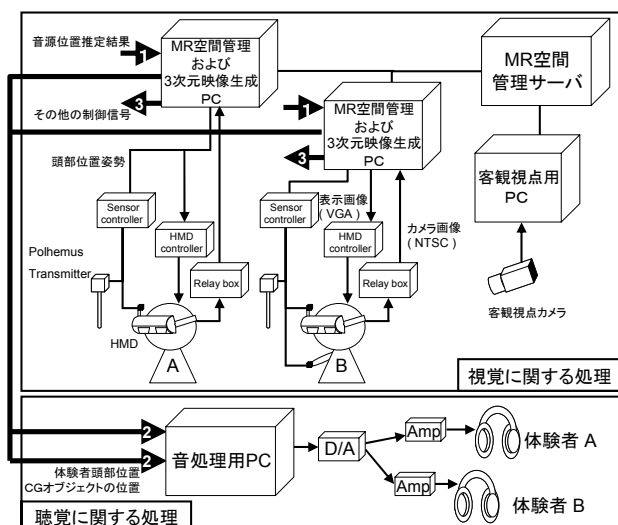


図 1 視聴覚 MR システムの構成
Fig. 1 Configuration of the audio-visual MR system

クトが、現実物体であれ仮想物体であれ、体験者には3次元空間内で違和感なく見え、かつ音が聴こえてくることである。

ベースとなっているのは、視覚的MRを達成するキヤノン製のMRプラットフォーム・システムで、ビデオスルー型HMD(Canon VH-2002)に現実世界の光景とCGで描いたオブジェクトの実時間合成結果を表示する方式である。頭部位置姿勢検出にはPolhemus社製の磁気センサ3SPACE FASTRAKを使用している。このシステムに独自開発した音処理システムを付加する形で全体システム(図1)を構成した。もともと視覚的MRが複数人同時体験可能なように設計されているので、聴覚的MRもまた複数人が矛盾なく3次元音場を体験できるように実現している。

視覚処理と音処理に用いるPCの仕様を、それぞれ表1、表2に示す。

2.2 音イベント検出システム

音イベント処理は、現実空間で発生した音刺激の方向や位置を推定し、それをMR空間のイベント入力として用いることを目的としている。

表 1 視覚処理 PC 仕様
Table 1 Specification of the visual processing PC

3次元映像生成&MR空間管理用PC Arcbrain Vectoran 2800GFK-RL9-19R4U-512M2/CS	
CPU	インテル(R) Pentium4 2.80GHz
メモリ	1GB
OS	Red Hat Linux9

表 2 音処理 PC 仕様
Table 2 Specification of the sound processing PC

3次元音場生成用PC Dell Precision 670	
CPU	64ビット インテル(R) Xeon(TM) 3.60GHz (2MB L2 キャッシュ 800MHzFSB)×2
メモリ	4GB DDR2-SDRAM メモリ(400MHz, ECC)
OS	Red Hat Linux Enterprise4

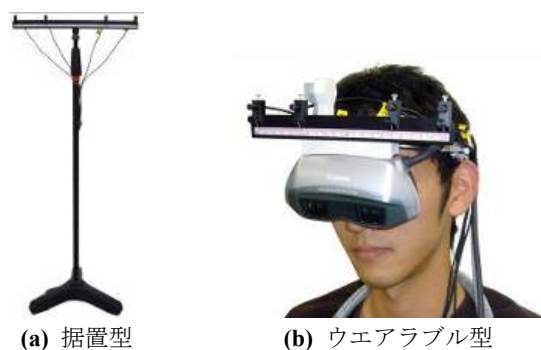


図 2 種類のマイクロホンアレイ
Fig. 2 Two types of microphone array

音刺激を捕らえ、その方向を推定するために、複数のマイクロホンシステムを系統的に配置したマイクロホンアレーを用いる。本研究では、従来からの据置型マイクロホンアレー（図 2(a)）に加えて、図 2(b) のようにマイクロホンアレーを体験者の HMD に取り付ける「ウェアラブル型マイクロホンアレー方式」も採用している。体験者が常に音刺激を発生するオブジェクトの方向を向いて正面で捕らえることで、方向推定精度の向上を図っている。音刺激の位置推定は、2 基以上のマイクロホンアレーを用いて行う。

この音イベント処理は、上述の 3 次元音場生成と同じ PC 内で実現し、音処理用システムを構成している（図 3）。

2.3 触力覚対話デバイス

触覚や力覚を与えるディスプレイは、汎用的なものを採用せず、アトラクション毎にそのコンテンツに適したデバイスを導入、もしくは独自試作することを前提としている。

触力覚提示を行う対話デバイスは、必然的に手にもつ、装着する等の方式となるため、何らかのセンサで手の位置姿勢を検出し、CG オブジェクトの位置や発する音と触力覚提示が矛盾なく感じられるような一貫性を保持できるように実現する。

後述する MR コンテンツに関しては、手に CG で描いたオブジェクトが乗った時に「重さ」を感じられるような「重み提示装置」を開発した。

3. 新しいモダリティの導入

聴覚的 MR や音イベント入力という新しい対話モダリティの威力を活かした魅力的なコンテンツとして、音で呼び寄せた CG 製の鳥が、体験者の周りで回り、戯れるというテーマを選んだ。この選択は、3 次元音場の効果を演出するには、CG オブジェクトがあまり早くない速度で飛行し、しかも自然に音を発するものが望ましいという理由からである。

鳥が飛ぶ様を観察する意味から、この MR アトラクションは「Watch the Birdie!」（米国で写真撮影時に子供に語りかける決まり文句。「ほら、鳥さんを見ていてね」の意）と名付けたが、鳥を呼び寄せる方法や、鳥が手に乗った時に重さを感じるような工夫も凝らすことにした。

3.1 視聴覚 MR と音イベント処理の演出

この体験型アトラクションでは、2 章で述べた新技術を印象づけるために、以下の 3 つのインタラクションモードを組み込むことにした。

(1) 音源位置推定技術の活用法として、実物の音源（スピーカ）に、CG で描いた鳥が集まって行く

というモードを設定した。

(2) 音源方向推定技術の活用法として、音発生デバイスを導入し、この音のする方向を利用したメニューの選択や、音のする方向の草むらから鳥が登場するというモードを設けた。

(3) 3 次元音場生成の活用法として、草むらから飛来する鳥が、体験者の周りや MR 空間を囀りながら飛び回っている間、その方向から音が聞こえるようなモードを設けた。

音源方向・位置推定に用いるマイクロホンアレーは、スタンドに取り付け位置姿勢を固定した据置型 1 台と、HMD に取り付けたウェアラブル型 1 台の計 2 台を利用する。

(1) で位置検出すべき音源としては、小型スピーカからアヒルの声を流す。聴覚的 MR の観点からは、実際に音を発するのが好ましいが、安定した音を供給するために、ここでは小型スピーカをおもちゃのアヒルに装着する方法を採用した。

一方、(2) のメニュー選択のための音源としては、野鳥観察者たちが用いるバードコール（図 4）を音発生デバイスとし、実際に鳴らす方法を採用した。バードコールは、森の中で鳥を似せた音を発生して鳥を呼び寄せる、ある種の擬音笛である。ここでは、木片に突き刺した棒状の金属を回転させることにより、鳥の鳴き声に似た音を出すタイプのものを採用した。

バードコールの発する音の周波数帯が人間の普段発する会話の周波数帯よりも高い点（約 4 kHz 以上）

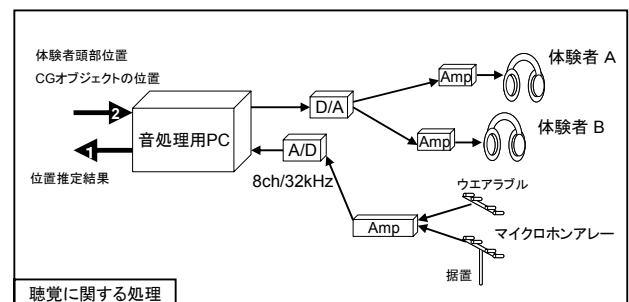


図 3 音イベント検出システム構成
Fig. 3 Configuration of the sound event detection system

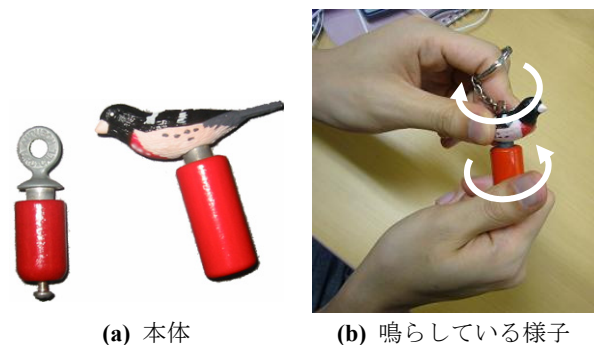


図 4 バードコール
Fig. 4 Bird call

に注目し、バードコールの周波数帯に重みを付けることで、雑音に対してロバストな音源方向・位置推定を可能とした。小型スピーカから流すアヒルの声についても、バードコールと同様に人間の会話と比べて高い周波数成分が含まれており、ロバストな位置推定が可能となる。

視覚的 MR は、当グループ内でも過去十分な実績がある、ビデオシースルー型で複合現実空間をリアルタイム描画する方法で実現する。ここに、聴覚的 MR を加えるに当たっては、幾何学的整合性を達成するだけでなく、視覚と聴覚の各システム間の通信遅延を小さくするなどの工夫を凝らした。

3.2 小鳥の重さを感じさせるデバイス

MR アトラクションの効果的な演出として、従来から手の平に CG オブジェクトを重ねて表示し、それを揺らす、放り投げるといった演出がよく用いられている[5][6][10]。フル CG で描く VR に対して、シースルー方式の MR では、自分の手が見えるという大きな利点があるからだと考えられる。我々の「Watch the Birdie!」でも、第 1 期開発では呼び寄せた鳥が手の平に止まる演出を試みたが、体験者からは視覚効果だけでなく、触覚もしくは力覚提示により鳥の到来を実感したいという要望が多かった。そこでもう一步踏み込んで、小鳥程度の重さを感じさせることを第 2 期開発で考えた。

バイブレータを起動して触覚を与える事例もあるが、小鳥が手に乗ったという感覚とはほど遠い[7][11]。力覚提示に関してはさまざまな研究がなされていて、SPIDAR や GyroCubeSensuous がよく知られている[12][13][14]。SPIDAR はワイヤにより張力を発生させ、GyroCubeSensuous では慣性により反力を提示できるが、ワイヤがあるために動作の制約が多く、重みのみを提示したいという今回の目的には適していないと判断した。

一方、重みの提示に特化した過去の事例としては、VR 作品の中で利用されたものや、道具型インタフェースの実現で採用された手法がある[15][16]。前者は、背中に背負ったバックパックと貯水タンク間で液体（水）を 2 台のポンプによって移動させることにより振動と重みを提示する方法である。一方、後者は、電磁ソレノイドを用いて軽量の金属（錘）を移動させ、衝撃を加えることでデバイスに乗る衝撃と重みを提示する。本アトラクションでは、前者の液体移動にヒントを得て、もっと少量の水を移動させる方式を採用することにし、図 5 のような装置を試作した。

このデバイス制御用の PC に重み提示命令が送られると、コントローラからリニアアクチュエータへ駆動信号が送られ、リニアアクチュエータがシリン

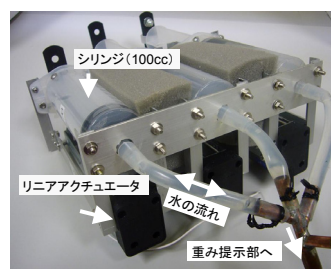
ダを押すことによってシリンジの中にある液体が移動する。これにより手に装着した提示部の重量が変化することで、小鳥が手に乗った程度の重みの提示を実現した。駆動部の仕様を表 3 に示す。リニアアクチュエータにはツカサ電工製テーブルタイプ TG-47C-LA-100T を用いた。

なお、図 5 の提示部に鳥の足を模した軽金属付加物を取り付けて、その足が手の平に触れるような持ち方を推奨している（図 6）。液体が流入して重みが増えたとき、その鳥の足の形状が手の平に実感でき、一層臨場感が増す。

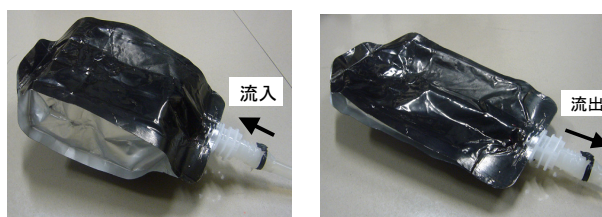
別途、鳥が草むらから飛び出してくる様子を高い臨場感で表現するために、草むらを模した造作物を実空間に配置し、これをコンピュータ駆動で揺らす

表 3 重み提示装置仕様
Table 3 Specification of the weight presentation device

電源電圧 [V]		DC 24 (2 系統)
提示量 [g]		0 - 300
提示速度 [ml/Sec]		25
リニアアクチュエータ	推力 [kgf (N)]	1.0 (9.8)
	速度 [mm/Sec]	27.7
	電流 [mA]	210



(a) 駆動部



(b) 提示部 (左: 重み提示時, 右: 非提示時)

図 5 重み提示装置
Fig. 5 Weight presentation device



図 6 鳥の足を模した軽金属付加物
Fig. 6 Light metal attachment imitating bird legs

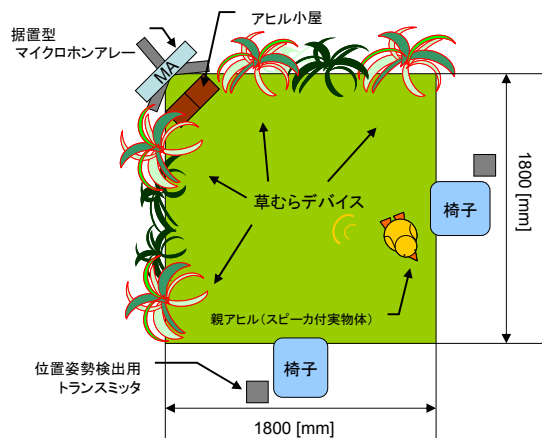


図 7 体験スペースのレイアウト
Fig. 7 Layout of the space

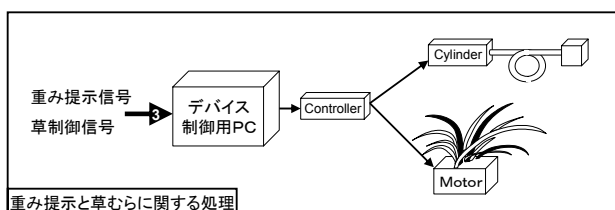


図 8 重み提示と草むらに関する処理のシステム構成
Fig. 8 Configuration of the system for weight presentation and bush rustling

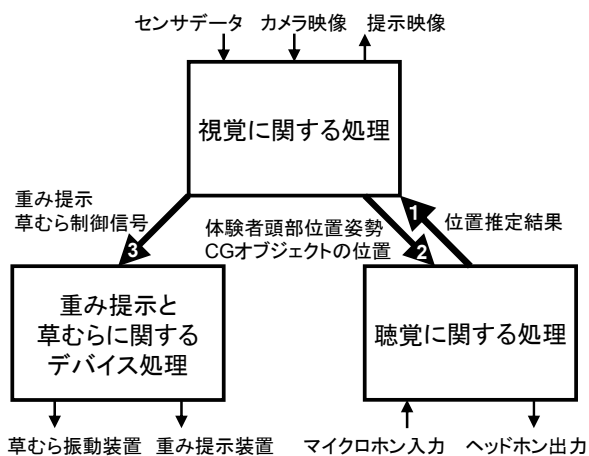


図 9 Watch the Birdie! システム概要
Fig. 9 System outline of "Watch the Birdie!"

演出も導入した。これらの草むらは図 7 に示す体験空間に配置する。草の揺れは、視覚的に捕らえられるだけでなく、同時に音を発することで実感できる。

鳥 (CG) が草むらから飛び出すと、デバイス制御用 PC から草の根元に設置されたモータに回転命令が送られ、実際に草が揺れる構造になっている。重み提示のための液体移動と草むら振動は、同じデバイス制御用 PC で実現している。その概略システム構成は図 8 に示す。この結果、本アトラクション「Watch the Birdie!」のシステム構成は、図 9 のように描くことができる。

表 4 CG オブジェクト一覧
Table 4 A list of CG objects

CG オブジェクト	名称
	子アヒル
	小鳥 (橙, 青, 黄, 赤, 桃)
	その他の鳥 (ハヤブサ, ペンギン)
	餌 (穀物, ミミズ, 魚, 肉)
	スイッチ板 (スイッチ板と表示例)

表 5 実物体一覧
Table 5 A list of real objects

実物体	名称	説明
	親アヒル	アヒルの玩具 スピーカを搭載し、鳴声を発生
	バードコール	音発生デバイス
	草むら	草むらデバイスを内蔵し、揺れる
	アヒル家	木製の巣箱 子供のアヒルはここから出現する
	背景画	森の写真を印刷し体験スペースを囲むように貼る
	グリーンマット	人工芝 体験スペースに設置する

4. MR コンテンツの流れ

以上の新しい対話モダリティを活かした MR コンテンツを作成した。MR 空間に登場する CG キャラクタと大道具・小道具として登場する実物の一覧は、表 4、表 5 の通りである。

このアトラクションは図 10 に示す流れで進行する。要素技術を強調するため、シナリオは3つのステージに別れている。メニュー選択方式は、体験者 A には音によるメニュー選択を、体験者 B には磁気センサによるメニュー選択を行うものとした。これは、MR 空間を同時共有体験しながらも、バラエティをもたせて少し異なった体験ができるよう配慮したためと、音イベントによるメニュー選択の効果を比較評価するための2つの理由による。

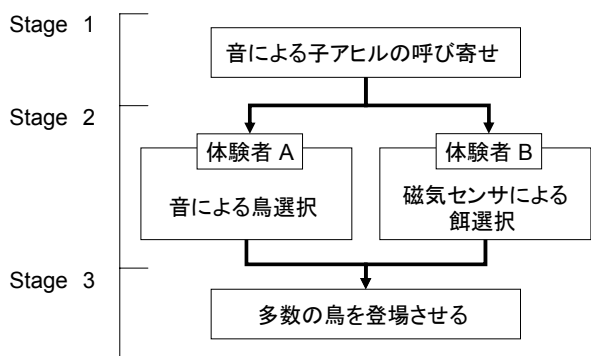


図 10 MR 体験の流れ
Fig. 10 Flow of the MR experience

●Stage 1: 音による子アヒルの呼び寄せ

イントロは登場キャラ数も少なく、音源位置推定技術をアピールする場面から始める。

HMD を通して体験スペースを眺めると、CG で描かれた沢山の子アヒル (表 4) が体験スペース上に設置された小屋から出現し、ランダムに歩き回っている様子を観察することができる。この体験スペースに、スピーカを搭載した親アヒル (実物) (表 5) を置き、オペレータの操作によりスピーカから鳴き声が再生される。音源 (親アヒルの声) の位置が推定できると、各子アヒルに “!” というマークが付される。確かに親の位置を確認できたぞという視覚フィードバックである。そして、その周りに子アヒル (CG) たちが駆け寄ってくる。

ここで、親アヒルの置き場所は簡単に動かせるので、親アヒルを移動すると、その位置を検出して、子アヒルが親アヒルを追いかける (図 11)。すべての子アヒルが親アヒルを中心とした一定範囲内に集まると、子アヒルは再びランダムに歩き回ることができる。

また、体験者自身が手をたたくなどの音を発生させることで、子アヒルを体験者の方へ呼ぶことが可能である。この際、複数点で音が鳴った場合、最後に推定した点に向かって行動する。ほぼ同時に複数箇所での音刺激があると、異なった推定場所が次々と現われて子アヒルがウロウロ戸惑うことになるが、これは人間とても同じであるので、そうした音刺激



(a) 鳴き声に気づいた様子



(b) 子アヒルが親アヒルのまわりに集まる様子

図 11 子アヒルの集まる様子(中央やや上が親アヒル)
Fig. 11 A scene ducklings flock around (The mother duck is on a few upper from center of pictures)



(a) 鳥を描いたスイッチ



(b) 選択された様子

図 12 バードコールによるメニュー選択
Fig. 12 Menu selection using a bird call

を避けるしかない。

●Stage 2A: 音による鳥選択

本 MR コンテンツの中心となるステージであり、音発生デバイスの効用や3次元音場を用いた視聴覚 MR 効果を体験できるよう設計されている。

体験者 A は、CG で描かれた鳥メニューの中から観察したい鳥を1羽だけバードコールを用いて選択する。メニューは4つのスイッチから構成され、各スイッチには、小鳥やハヤブサ、ペンギンなどの鳥が描かれており、体験者は観察したい鳥の描かれたスイッチに向かってバードコールを鳴らすことで、その鳥を選択することができる(図12)。

メニュー選択後、表示していたスイッチは全て消え、選択された鳥は鳴き声を発しながら体験スペースを大きく巡回する(ペンギンの場合は、床に落下し歩行する)。このとき、巡回/歩行している鳥の鳴き声は、その鳥の3次元位置から違和感なく聞こえてくる。

選択されたのが小鳥の場合には、しばらく巡回した後、体験者に向かって飛来し手に止まる(ハヤブサは近づいて来ない)。小鳥が手に止まると同時に体験者はその重みを感じることができる。

●Stage 2B: 磁気センサによる餌選択

一方、体験者 B は磁気センサを手に取り付け、手の動きで餌を与えられるようになっている。体験者 B に提示されるメニューは鳥の種類でなく、鳥に与える4種類の餌が描画されている。体験者 B は気に入った餌に手を伸ばして掬い取るように手を動かす

ことで、その餌を選択することができる。

餌の選択後、体験スペースに餌を投げ落とすことで、実物の草むらが揺れ、その餌に対応した鳥が出現し餌を食べる(図13(b))。その後、Stage 2B と同様に鳥が体験スペース上を巡回/歩行し、その鳥の位置から鳴き声が聞こえてくる。なお、巡回や歩行のパターンや経路は数種類用意されていて、ランダムに選ばれる。

バードコールによるメニュー選択と磁気センサによるメニュー選択を同時に行い、複数の鳥が出現した場合でも、体験者 A, B ともに CG で描かれた鳥の鳴き声を同時に違和感なく聞くことができる。

●Stage 3: 多数の鳥を登場させる

フィナーレとして、多数の鳥を登場させ、賑やかな MR 空間を観察体験できる(図14)。

Stage 2 で選択された鳥2羽は一旦退場しているが、バードコールと餌投げで再度呼び出され、アンコール出演する。その後、体験者 A, B がこの行為を反復し続けることで、多数の鳥が次々と草むらから登場する。ここで、鳥や餌の種類はランダムに選ばれる。脇役として、桃色の鳥も多数登場する。

ここで体験者 A の行為は、眼前に登場するメニュー選択ではなく、草むらに向かってバードコールを鳴らすこととする。すると、体験者から見て音を発した方向の草むらが振動し、そこから鳥が飛来する。ここでも、再度音源方向の推定を活用している。

鳥が一定数以上出現すると、飛んでいた鳥が高速に巡回し始め、中心に集まった後、飛び去って行く。



(a) 餌メニューの選択

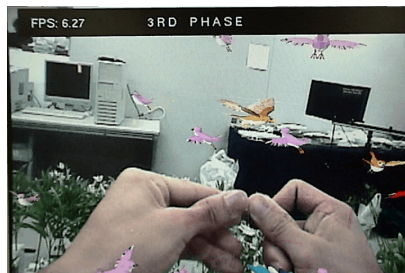


(b) 餌に飛来する様子

図 13 餌によるインタラクション
Fig. 13 Interaction using the feeds

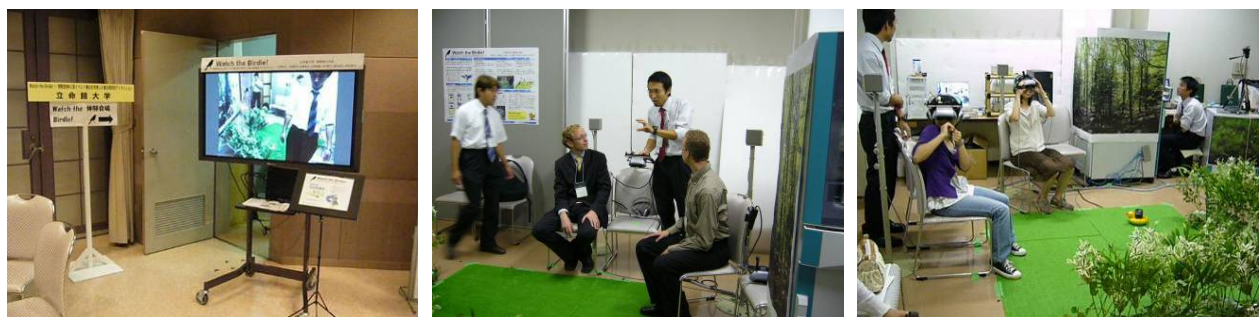


(a) 音を鳴らす(左) 餌を与える(右)



(b) 多くの鳥が飛び回る

図 14 鳥を呼び寄せる様子
Fig. 14 Scenes calling up the birds



(a) 展示ブースの様子

(b) 機能や機器について説明

(c) 体験の様子

図 15 VR 学会での展示の様子
 Fig. 15 Exhibition in VRSJ2006

最後に、体験スペースに残されたことに気づいた子アヒルが体験スペース中央に集合し、一斉に体験スペース右奥の家に帰ることで、このアトラクションは大団円を迎える。

この Stage 3 を体験している間、親アヒルのスピーカからは環境音として森の音が再生されている。これは、スピーカから発生された音も、開放型ヘッドホンでは違和感なく聴くことができるという意義を体験させるための演出である。

5. 展示経験と考察

従来の視覚的 MR に聴覚的 MR、さらに重みの提示をあわせたことで、MR 体験に新しいモダリティが生まれた。即ち、音のイベントを MR 空間に反映させることや、視聴覚 MR によって視覚と聴覚の整合のとれた複合現実を提示でき、そこに触力覚も加えるという枠組みである。この三感覚融合 MR における新しいモダリティを、鳥を音により呼び出し、手に乗せ重みを感じるなど、楽しみながら網羅的に体験できる MR アトラクションを作成した。

本 MR アトラクション(重み提示機能を除く)は、2006 年 9 月 7 日から 3 日間、仙台市青少年文化センターにおいて開催された日本バーチャルリアリティ学会第 11 回大会でデモ展示を行った(図 15)。1 回あたりの体験時間が約 10 分と参加体験型アトラクションとしては長いながらも、開催期間中約 200 人が体験するところとなり、貴重な客観的意見を得た。

この種の音響処理を含むデモンストレーションは、研究室段階では完成していても、多数の展示が行われる会場では他の展示で発せられる音を拾ってしまい、正しく作動しないことが多々ある。上記の展示では、雑音対策として、展示本会場に隣接する小部屋を貸与された。その反面、壁面が近くなり、反響などの影響が懸念されたため、吸音材も配置した(図 15 (b))。図中の壁の白い部分が吸音材)。この結果、この程度の簡易な対策で、十分実行可能であること

が実証された。

意図した新しいモダリティによる MR アトラクションに対する体験者の意見は以下の通りである。

- ・これまで視覚的 MR 体験が多数ある参加者には、狭視野の HMD では見ることができない側面や背面の様子を音によって補完できることが好評であった。
- ・視覚と聴覚が完全に共存し、かつそれぞれの現実と仮想が融合するという 2×2 方式の MR の意味が当初理解されない場合は少なからずあったが、Stage 2 以降の体験でようやくその意味が理解され、その技術的先進性に高い評価を得た。
- ・これまで 3 次元音場による聴覚 VR しか経験のない参加者には、視覚とここまで整合性がとれた体験が驚きをもって受け入れられた。
- ・音イベントを MR 空間に対する入力として利用する新たな試みも、余計な磁気センサ類を装着する必要がなく簡便であると好評であった(その比較のためにメニュー選択には 2 方式を採用した)。
- ・その反面、未経験者にはバードコールの使い方が難しく、想定した周波数の音が出ずに、誤認識を招くことがしばしばあった。また、体験者自身が発話した場合に、それをウェアラブル・マイクロホンアレーが捉えてしまうための誤認識もあった。
- ・また、スピーカを用いる場合は、その指向性のため、位置推定に失敗することも多く、全方位スピーカを用いてスピーカから発生する音の音源位置推定を行うなどといった工夫が必要であることが分かった。
- ・草むらデバイスは、実物である草むらが CG の鳥の影響で揺れたとき、驚きとともに好評であった。この種の演出の効果は高い。
- ・この大会展示で最も多かった意見が、小鳥が手の平に乗ったことを感じさせるような装置の開発と演出であった。この意見を取り入れて、第 2 期開発で「重み提示デバイス」を作成した。
- ・その後、研究室への来訪者・見学者に「重み提示デバイス」を体験してもらっている。液体流入に

一定の時間がかかるので、タイムラグがあることは避けられず、CGの鳥と全く同期して重み提示ができる訳ではない。それでも、実際に鳥が乗った感じがして、確実に臨場感が増すと概ね好評である。このタイムラグを考慮し、CG提示や音提示を遅らせて同期をとる等の対処法も考えられ、まだまだ改善の余地はある。

6. むすび

視覚的な複合現実感システムは、既にアート&エンターテインメント分野で着実な地位を築きつつある。その前提の下に、より豊かな表現力をもたせることを目的として、聴覚的MRの実現、音イベントの検出結果をMR空間に反映させるといった新しい対話モダリティを付加する研究を推進している。これは世界初の試みであり、技術的には視覚処理分野の定評ある方法と音響処理分野の最先端技術を駆使している。

本稿で述べた「Watch the Birdie!」は、その技術的有効性の検証のテストベッドとして開発したMRアトラクションである。単独の要素技術開発で十分と思われた検証結果も、多数の来場者に体験されるレベルに仕上げる途中で多々改善点が露わになる。逆に、音源の方向推定や位置推定の精度の悪さは、その欠点をカバーするようなコンテンツ中では、さほど大きな欠点ではなく、現状技術でも十分利用可能であることが判明した。

本文に記した大会のデモ展示で得た知見の大半は、その後改善し性能も向上させることができた。新たに開発した「重み提示デバイス」はまだまだ改善の余地があるが、MRアトラクションの一般体験者からの意見から生まれたテーマであるので、改善を続けたいと考えている。

全体として評価すれば、視聴覚MR、音イベント入力という、これまでにない枠組みの中で「バードコール」というアイデアが登場し、「Watch the Birdie!」というMRアトラクションが生まれた。本コンテンツ論文の存在により、視聴覚MR技術の存在が知られるところとなり、さらなる技術発展に繋がれば幸いである。

謝辞

本アトラクションの制作の一部を担当された松實洋介、百田裕、西沢孝浩、岩倉寛幸、上坂晃雅、岡本夏実の諸君に感謝する。本研究の一部は、科研費・基盤研究(A)「三感融合型複合現実空間の構成法に関する研究」による。

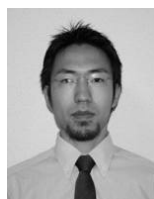
参考文献

- [1] 服部桂：「人工現実感の世界」，工業調査会，1991.
- [2] H. ラインゴールド（沢田博訳）：「バーチャル・リアリティ-幻想と現実の境界が消える日」，ソフトバンククリエイティブ，1992.
- [3] Y. Ohta and H. Tamura(eds.): *Mixed Reality---Merging Real and Virtual Worlds*, Ohm-sha & Springer, 1999
- [4] P. Brandl, S. DeLahunta, J. He, H. Kato, D. Kongerod, C. Lindinger, K. Obermaier, and R. Tannion: "Apparition," *ArsElectronica 2004*, 2004.
- [5] http://plaza.bunka.go.jp/festival/backnumber/13/sakuhin/contact_water.html
- [6] <http://www.expo2005.or.jp/jp/N0/N1/N1.1/N1.1.27/>
- [7] 大島登志一，佐藤清秀，山本裕之，田村秀行：「RV-Border Guards：複人数参加型複合現実感ゲーム」，日本VR学会論文誌，Vol. 4, No. 4, pp. 699 - 705 1999.
- [8] 比嘉恭太，西浦敬信，木村朝子，柴田史久，田村秀行：「視覚・聴覚を併用した複合現実感システムの開発(1)－視覚的MRと聴覚的MRの同時提示の実現－」，日本VR学会第11回大会論文集，pp. 285 - 288, 2006.
- [9] 大槻麻衣，西浦敬信，木村朝子，柴田史久，田村秀行：「現実の音イベントの方向・位置の推定とその複合現実空間への反映」，同上，pp. 109 - 112, 2006.
- [10] 大川卓哉，鈴木瑞枝，柴田史久，木村朝子，田村秀行：「複合現実型立体図鑑・カタログにおけるアイテム提示法に関する考察」，同第9回大会，pp. 297 - 300, 2004.
- [11] 大島登志一，佐藤清秀，山本裕之，田村秀行：「AR2ホッケー：協調型複合現実感システムの実現」，日本VR学会論文誌，Vol. 3, No. 2, pp. 55 - 60, 1998.
- [12] 野嶋琢也，関口大陸，稲見昌彦，館暲：「力覚提示を利用した実時間実環境作業支援システムの提案」，同上，Vol.7, No.2, pp. 193 - 199, 2002.
- [13] M. Sato, Y. Hirata and H. Kawarada: "SPace Interface Device for Artificial Reality-SPIDAR," *IEICE Trans.* Vol. J74D-II, No. 7, pp. 887 - 894, 1991.
- [14] N. Nakamura, Y. Fukui: "An innovative non-grounding haptic interface 'GyroCubeSensuous' displaying illusion sensation of push, pull and lift," *Proc. ACM SIGGRAPH 2005 Poster*, 2005.
- [15] 應和春香他：「INVISIBLE ～影を追う者～」，日本VR学会第10回大会論文集，pp. 511 - 512, 2005.
- [16] 池田洋一，木村朝子，佐藤宏介，井口征士：「道具のメタファを利用した実世界指向インタフェース」，インタラクション2003論文集，pp. 207 - 208, 2003.

(2007年3月28日受付)

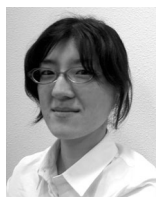
[著者紹介]

石黒 祥生 (学生会員)



2005年豊田工業高等専門学校情報工学科卒。2007年立命館大学理工学部情報学科卒。現在、同大学院理工学研究科博士前期課程在学中。三感覚融合MRの研究に従事。情報処理学会学生会員。

大槻 麻衣 (学生会員)



2006年立命館大学工学部情報学科卒。現在、同 大学院理工学研究科博士前期課程在学中。複合現実感、ポスト WIMP 型インタフェースの研究に従事。情報処理学会学生会員。

比嘉 恭太 (学生会員)



2006年立命館大学工学部情報学科卒。現在、同 大学院理工学研究科博士前期課程在学中。視聴覚併用型複合現実感システムの研究に従事。電子情報通信学会学生会員。

木村 朝子 (正会員)



1996年大阪大学基礎工学部卒。1998年同 大学院基礎工学研究科博士前期課程修了。同 大学助手、2003年立命館大学理工学部助教授、2004年同情報理工学部助教授を経て、2007年4月より科学技術振興機構さきがけ研究員、立命館大学総合理工学研究機構客員教授。博士(工学)。実世界指向インタフェース、複合現実感、ハプテックインタフェースの研究に従事。2001年より2002年まで Mayo Clinic にて Special Project Associate。電子情報通信学会、情報処理学会、ヒューマンインタフェース学会、ACM、IEEE 各会員。2006年本学会学術奨励賞等受賞。

柴田 史久 (正会員)



1996年大阪大学大学院基礎工学研究科博士前期課程修了。1999年同 研究科博士後期課程修了。大阪大学産業科学研究所助手を経て、2003年4月より立命館大学理工学部助教授。現在、同 情報理工学部情報コミュニケーション学科准教授。工学博士。モバイルコンピューティング、複合現実感等の研究に従事。IEEE、電子情報通信学会、日本ロボット学会、情報処理学会等の会員。2005年本学会学術奨励賞受賞。

田村 秀行 (正会員)



1970年京都大学工学部電気工学科卒。工業技術院電子技術総合研究所、キヤノン(株)等を経て、2003年4月より立命館大学理工学部教授。現在、同 情報理工学部メディア情報学科教授。工学博士。1997年より2001年まで、MR システム研究所にて「複合現実感研究プロジェクト」を率いた。本学会元理事、現在、評議員、複合現実感研究委員会顧問。編著書「Mixed Reality」(Ohmsha & Springer)「コンピュータ画像処理」(オーム社)など。電子情報通信学会フェロー、IEEE、ACM、情報処理学会、人工知能学会、映像情報メディア学会等の会員。情報処理学会論文賞、人工知能学会功労賞等を受賞。