



# ミクロとマクロの視点で鑑賞体験を提供する VR アクアリウムコンテンツの制作

A Creation of VR Aquarium Content: A Dual Perspective Approach for Micro and Macro Appreciation

小濱行秀<sup>1)</sup>

Yukihide KOHAMA

1) 九州大学大学院 芸術工学府 (〒815-8540 福岡市南区塩原 4-9-1, kohama.yukihide.241@s.kyushu-u.ac.jp)

**概要:** 本稿では、実空間と仮想空間を結びつける試みとしてミクロとマクロの視点に着目し、水槽内部で仮想的に泳ぐプレイヤーと外部の鑑賞者が相互作用できる VR アクアリウムコンテンツを制作する。実装にあたり、VR 空間を上肢の水泳動作によって移動するインターフェース、フェイストラッキングを用いた視差効果による立体視システム、仮想空間が空中像として重なるホログラム水槽ディスプレイについて検討する。

**キーワード:** 拡張・複合現実, テレプレゼンス, ユーザインタフェース, 立体・空中像ディスプレイ

## 1. はじめに

水族館における鑑賞体験は様々な水生生物の生態や環境問題についての学びという面で教育的意義がある。一方で、エンタテインメントやアートに通じる魅力も同時に味わうことができる。近年、実空間と仮想空間を結びつける試みが盛んに行われている中で、水族館における鑑賞体験と ICT, VR などの技術を掛け合わせた取り組みも多くみられる[1]。VIRTUAL OCEAN PROJECT では、360 度カメラを搭載した水中ドローンと VR を掛け合わせ、あたかも水中ドローンに乗り込んだような体験が可能である[2]。仮想的な海中遊泳を通じて海の神秘性や環境問題を中心とした学びを提供することを目的としており、時間・場所・年齢、ハンディキャップに関係なく体験できる利点がある。

臨場感を構成する要素として視聴覚に基づく移動感覚や実空間の様子を把握できる条件が挙げられる[3]。このことに注目し、身体の運動に倣った直観的な移動手法や体験者が実空間に対し相互作用できる手法によってより臨場感のある体験を提供できると筆者は考えた。

このような考察を踏まえて本研究では水族館での鑑賞体験をもとにミクロの視点に立つプレイヤーとマクロな視点に立つ鑑賞者との相互作用により実空間と仮想空間を結びつける試みとして、水槽を題材とした VR アクアリウムコンテンツの制作を行う。

## 2. 作品概要

制作したコンテンツでは、現実にある水槽を眺める鑑賞者の視点と HMD を装着し水槽の中を仮想的に泳ぐプレイ



図 1: 本作品の 2 つの視点  
(上: マクロ・外観視点, 下: ミクロ・VR 視点)

ヤーの 2 つの視点で体験できる (図 1, 2)。この両視点において水槽の中の石や植物、置き物などの装飾や泳いでいる魚を観ることができる。なお、魚は仮想的に再現し表示されたものである。

プレイヤーは HMD を装着することで仮想的に水槽内部を再現した VR 空間内を遊泳する。プレイヤーの上肢の運動に対応した方向に推進するインターフェースにより、主

に平泳ぎや水掻きに近い水泳動作で全方向的な移動を行う。空間内では、外部の映像が水槽のガラス面に沿う形で空間内に表示されており、映像の表示に対応した水槽外部の音声も指向性を持って出力されている。これによりプレイヤーは外部の状況を視聴覚的に認識することができる。

空間内におけるプレイヤーと魚の位置情報は現実にある水槽の中に投影されているホログラム映像に反映されており、外部の鑑賞者はプレイヤーと魚のアバターが遊泳している様子を視認できる。前述の通り、鑑賞者側の映像・音声が水槽内部に共有されているため内部のプレイヤーに対し視聴覚的にコミュニケーションを行うことが可能である。

こうした仕組みによって、プレイヤーと鑑賞者の両者の体験、視聴覚的な対話や相互作用を通じて、体験者にあたかも自分の身体が小さくなって水槽の中に入り込んだような感覚を促すことを狙っている。

肉眼で捉えた水槽内の装飾やアバター、魚の様子を踏まえて VR 空間内に入ることであらゆるものが巨大化したかのような体験をもたらすことができる。また、水槽内外の様子を体験者同士が把握し対話を行うことで、実空間と仮想空間の繋がりをより高めることを目指した。

### 3. システム設計・開発

本作品のシステム全体の構成を図 3 に示す。本作品では、大きく分けて「VR 空間内におけるシステム」と「アバター・魚のホログラムを VR 空間内とリアルタイムに同期し表示する水槽ディスプレイのシステム」の 2 つを構築した。

機材にはデスクトップ PC、MacBook Air、iPad Pro、HMD (Meta Quest 2) と付属のコントローラーを利用した。開発環境には Unity、Python を用いた。3D モデル等アセットの制作には Blender、Photoshop などを利用した。なお、魚の 3D モデルとモーションは Sketchfab 内で配布されているものを利用した[4]。

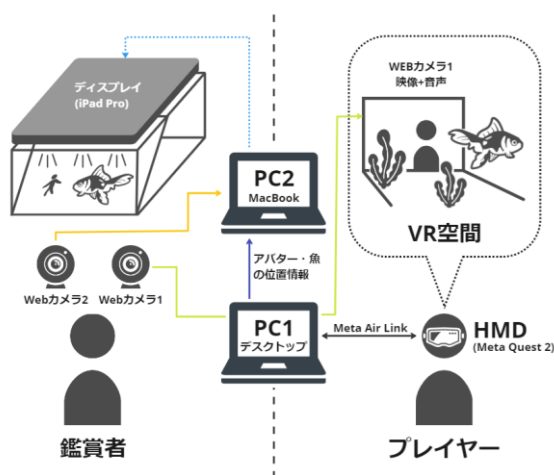


図 3: システム全体の構成

#### 3.1 VR 空間と水槽ディスプレイとの連携

本作品では、VR 空間の体験と水槽ディスプレイの鑑賞を別室で実施する為、それぞれを 2 台の PC 同士が遠隔で連携するようシステムを設計した。VR 空間と水槽ディスプレイとの連携については Photon Unity Networking 2 を用い、VR 空間上のプレイヤー、魚の位置座標と回転のみを同期した。水槽ディスプレイ上のアバターはプレイヤーの視点方向に対して体勢が変化するように設定しており、上肢で泳ぐようなモーションをループ再生している。魚については各環境において同様の設定を行っている。

#### 3.2 VR 空間

VR 空間の視覚演出について、実際的水槽内の装飾を模した 3DCG アセットを制作し、配置した。また、水面のゆらぎを再現するシェーダー、水面やガラス面などにおける鏡面反射をリアルタイムに反映し、水中内の様子を再現した (図 4)。また、水槽下部に設置した Web カメラからの入力映像をガラス面に沿う形で配置した。

音声演出には、水中音声を録音したものと Web カメラ



図 4: 実際的水槽内 (上) と実際的水槽内を再現した VR 空間 (下)

からの入力音声を用いた。前者は常時再生されているものと水泳動作に合わせて再生されるものの 2 種類を実装した。後者は水槽の外部から聴こえるよう指向性を設定し、ローパスフィルターにより 700Hz 以下に加工した。

3.3 水泳インターフェース

制作したインターフェースではプレイヤーの上肢の水泳動作による直観的な全方位移動を行うことを目指した。

コントローラーの移動方向の速度ベクトル $v$ をもとに手の平の方向に対する速度ベクトル $v_x$ を計算し、一定の閾値を超えるとその逆方向のベクトルをプレイヤー本体に与え、推進する(図 5-6)。物理演算は Unity の標準機能を用いて実装し、推進方向・速度や閾値、水の抵抗の設定については水中での移動に近づくよう調節を行った。

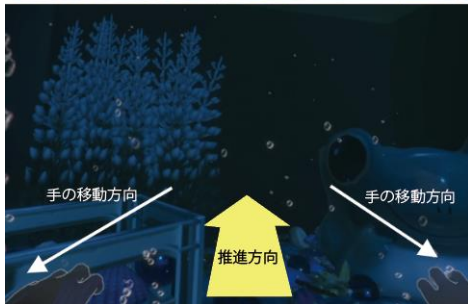
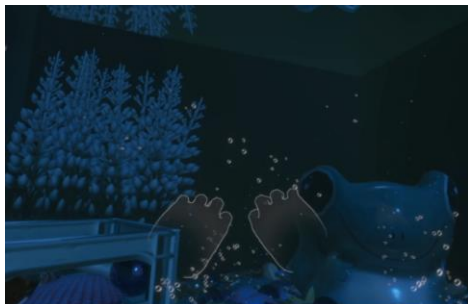


図 5: 水泳インターフェースの仕組み(上. 左下)と実際に遊泳している体験者(右下)

3.4 水槽ディスプレイ

立体視システムを用い水槽内に仮想空間を重ねて表示し、実空間と仮想空間の繋がりを強める手法として 3D メガネを利用したディスプレイが考案されている[5]。本制作では水槽内に装飾が施されている点と裸眼による立体視を実現することを検討しプログラムによる仮想空間の表示を試みた。

使用した水槽のサイズは 27×18×15cm で、水槽の中に



図 7: 水槽の外観と内部構造

アバターや魚などの任意の 3DCG をペッパーズ・ゴーストによる空中像として表示する。ペッパーズ・ゴーストとは、ハーフミラーや板ガラスなど用い実像と虚像を重ねて提示する仕組みである。本制作においては水槽の上部に設置した iPad Pro の映像を板状のポリエチレンテレフタレート樹脂に反射するよう配置することで再現した(図 7)。

また、ホログラムには鑑賞者の顔のトラッキング情報をもとにした運動視差をリアルタイムに反映し、疑似的に立体的な表示をしている。トラッキングには水槽下部に設置した Web カメラを入力とし、Google 社が提供するオープンソースの機械学習 (ML) ソリューションフレームワークである MediaPipe を用いて画像認識を行っている。

MediaPipe の機能の 1 つである FaceMesh では認識した顔に対し 468 個のランドマークを取得することができ、本制作ではそのうちの目、鼻、耳のものを用いて頭部の位置、方向を推定する機能を実装した(図 8)。具体的には人間の虹彩のサイズの認識による深度推定が可能であること[6]

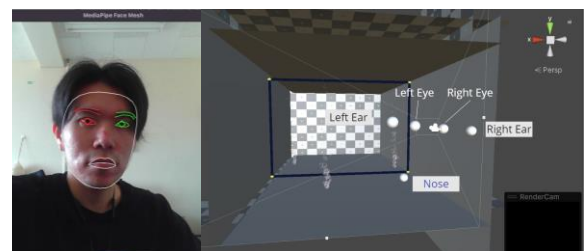


図 8: MediaPipe FaceMesh の実行結果(左)を Unity 上で同期している様子(右)

をもとに、目のトラッキング情報から Web カメラからの深度を推定し、耳と鼻の相対的な位置関係から頭部の位置、方向を推定する。このトラッキング情報を用い、Unity 上で仮想的に設定したカメラのレンダリング画像を投影用に変換し、表示に用いた。

#### 4. 評価と考察

制作した VR アクアリウムコンテンツを鑑賞・体験した 7 名の学生を対象にアンケート調査を実施した。

制作物の鑑賞・体験に際して、一定の手順としてデモンストレーションと対話、タスクの指示を行った。手順の設定には鑑賞者とプレイヤーの両視点での体験を通じた評価を得ることを目的としている。

アンケートは制作物のシステムや内容の改善を目的とし、5 段階評価による 3 項目と自由記述項目で構成されている。

##### 4.1 鑑賞・体験の流れ

はじめに筆者がデモンストレーションとして VR 空間上で泳ぐ様子を水槽ディスプレイを通じて体験者に見てもらおう。次に、別室に移動し体験者に HMD を装着させ、VR 空間内の様子や移動方法について説明を行う。体験者が把握し次第、筆者のみ元の部屋に戻る。1 分程度自由に遊泳させた後に水槽ディスプレイから体験者に語りかける。反応があり次第、体験者の状況に合わせて、タスクの指示を行う。タスクは以下の 1~5 の中から選んだ 3 つと最終タスクである。

1. 声が聞こえたら頷いてください。
  2. その場で潜水/浮上してください。
  3. 金魚を追いかけてください、近寄ってください、目で追ってください。
  4. ビールケースを探してください、近づいてください。
  5. テトラポッドを探してください。近づいてください。
- 最終タスク: 蛙の置物の中にあるキーワードを確認し次第、HMD を外して元の部屋に戻ってきてください。

元の部屋に戻ってきた体験者に最終タスクで確認したキーワードを回答してもらい体験の終了を伝える。

##### 4.2 アンケート結果

実施したアンケートでは、初めに質問①~③の 3 項目について 5 段階で評価をしてもらい、各項目の評価の理由について自由記述を求めた。各質問の結果と評価の平均・標準偏差を以下に示す。(図 9-11) (表 1-3)。

- ① 「水槽ディスプレイについて、魚および遊泳しているプレイヤーが水槽の中にいるような感覚はありましたか」
- ② 「VR パートの体験について、実際に自分が水中にいる・もしくは泳いでいるように感じましたか」
- ③ 「VR パートの体験について、水槽ディスプレイの中に入り込んだような感覚はありましたか」

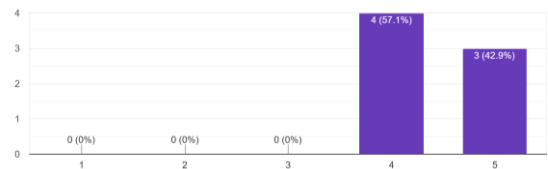


図 9: アンケート①の結果

表 1: アンケート①についての自由記述

自由記述内容
そのように感じた理由があれば教えてください。
視差が付いていたことで、かなり立体的に見えた。また遠近感もあり、魚及びプレイヤーの動きが水槽の奥行きを生かしていたように思われた。
自然に合成されていたため
呼び掛けに応じて水槽中の小人が泳いでいたから
立体視がわざとらしくない自然な感じよかった。
聞こえる音が水の中にあるような聞こえ方だったのが良かったです
プレイヤーの動きを実際に見れたため、プレイヤーの手の動きとモデルがリンクしてたらもっとそう感じると思った(既に実装してたらすみません)

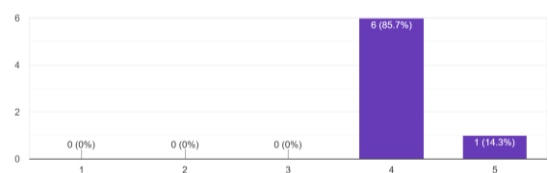


図 10: アンケート②の結果

表 2: アンケート②についての自由記述

自由記述内容
そのように感じた理由があれば教えてください。
視認性が低く、光の屈折具合からも水中での視界が高く再現されていたような感覚があった。
没入感があったため
浮遊感と視聴覚は泳いでいると感じたが、実際の体の動かしかたはどちらかというと操作している、と感じた。特に前後の移動で。後ろ向きの移動(体は前に向けたまま)がとても難しかった。
・絶妙な動きにくさ・泡
音の聞こえ方が水の中にいる感覚を強めたと思う。浮力の表現(再現)を強められたらより水中らしさが出ると思った。
自分が泳いだ分だけ進むのは水中でのリアリティを感じました。
自分の手の推進力で実際に移動するため

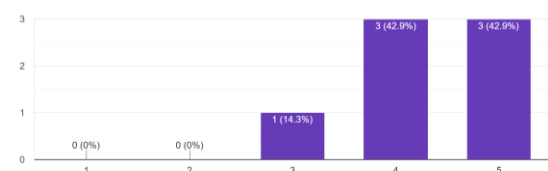


図 11: アンケート③の結果

表 3: アンケート③についての自由記述

自由記述内容
そのように感じた理由があれば教えてください。
水槽を見ている人が、自分の視点からはガラス板を挟んだ向こう側のように見えたり、それによって自分が見られているように感じられた。
水槽の外の人が少し見えづらかったため
事前に見た水槽のなかと同じだったことから
「外」から見られているのが見える→自分が「中」にいることを感じる
水中で「おおお〜!!!」の気持ちが強くて水槽ディスプレイの中という前提をあまり意識せずに体験してました...
水槽を覗き込んでいる人が見えるのは、魚の気持ちになりました。
360度回まれて広い世界にいるように感じながらも、ある程度の区切りの壁があって閉塞感とのバランスがよかった

表 4: 質問①~③の評価の平均・標準偏差

質問	内容	平均	標準偏差
①	水槽ディスプレイについて、魚および遊泳しているプレイヤーが水槽の中にいるような感覚はありましたか。	4.42	0.245
②	VRパートの体験について、実際に自分が水中にいる・もしくは泳いでいるように感じましたか。	4.14	0.122
③	VRパートの体験について、実際に自分が水中にいる・もしくは泳いでいるように感じましたか。	4.28	0.49

最後に、水槽ディスプレイ、VR パートの体験、本作品における体験全体それぞれに対する感想、気づき、改善などについて自由記述を求めた(表 4-6)。

表 5: 水槽ディスプレイについての自由記述

水槽ディスプレイについて、感想や気づき、改善点などについて自由に記述してください。
魚やプレイヤーの遊泳している様子が本当に水中にいる時のようであり、ディスプレイそのものが水槽としての機能を果たしているように思えました。
全体的に完成度が高く新鮮さはあるが違和感がなかった。
かえるの表面がぬめってとてもよい
もう少し水槽っぽい素材感で構成されていると、よりリアリティを感じられると思いました。うまくやればカメラも上手に隠せる(目立たなくできる)と思います。
水面がもう少し外の世界が見れたらいいと感じました

表 6: VR パートについての自由記述

VRパートの体験について、感想や気づき、改善点などについて自由に記述してください。
水槽の中の再現度が高く、現実とVR空間との結びつきが強かったです。また、金魚に近づいた時の迫力は、現実で絶対に体験できないからこそのがあって興奮しました。
泳ぐ体の動作で、「操作」している感覚になったので
もう少し直感的に(実際にプールで泳ぐ体の動きで)泳げるとより没入感が強くなりそうだと感じた。
泳ぎ方のコツを掴むまでが少し難しかったです。「手のひらから運動力が生じている」ことが何かしらの方法で示されていると良いかも。
簡単に上手に泳げると嬉しい
ちょっと進みづらい点
水流で抵抗が大きいところがあったらゲーム性が高くなると思った

表 7: 本作品における体験全体についての自由記述

本作品における体験全体について、感想や気づき、改善点などについて自由に記述してください。
VR空間で自分が見られるという感覚が今までにない不思議な体験でした！
手軽な観賞用インテリアやペットとしても使い道がありそうと思いました
いいね！
楽しかった〜〜
水槽ディスプレイは水族館みたいに全体的に青かったと思うけど、水槽の中も全体的に青みがかった色合いするとどうなるんだろうとちょっと気になる。
めちゃくちゃ楽しかったです。ありがとうございます。

#### 4.3 考察

各 5 段階評価の平均は 4 ポイントを上回っており、本作品のマイクロとマクロの視点の相互作用により実空間と仮想空間を結びつけるというコンセプトを体験者の多くが評価していることがわかる。

質問①については平均が最も高くばらつきも少ないため、相対的に水槽ディスプレイは一定の評価を得たと見られる。自由記述においては、プレイヤーの上肢の動きがアバターと同期していない点や水槽内の照明演出の不一致や水槽の外観、装飾の素材を指摘する意見もみられ、改善の余地が残されている。一方で、自然な視差で奥行を感じるといった意見が最も多く、ホログラムのシステムそのものの有効性を確認できた。

質問②については平均が最も低くばらつきが少ないため、水中感覚や水泳インターフェースについては相対的に評価が低かった。自由記述においてインターフェースの操作性や浮遊感に対し違和感があるという意見があったため、推進方向に対する移動感覚の再現や移動システムに改善の余地がみられる。一方で、ある程度自由に動けない感覚や VR 空間内の視認性の低さによる閉塞感、水中音声により没入感が高まったという意見もあり、水中における不自由さの演出が没入感を高める可能性がある。

質問③については最もばらつきが大きく、あたかも水槽の中に入り込んだかのような感覚、身体の縮小化については個人差が見られた。自由記述においては VR 空間の没入感に集中したために水槽の中にいるという前提条件が意識されなかったという評価もみられた。一方で、外部の様

子を常に意識させられる設計によって水槽の中にいる感覚が強まったという意見が過半数を占めており、水槽内外での相互作用が効果的に作用していることがわかった。その他には空間の閉塞感を肯定する意見もあり、質問②の考察と同様の不自由さが効果的に作用することが明らかになった。

#### 5. まとめと今後の展望

本研究では、マイクロとマクロの視点に着目し、水槽内部で仮想的に泳ぐユーザーと外部の鑑賞者が相互作用でできる VR アクアariumコンテンツを制作した。制作物の鑑賞・体験者にアンケート調査を行ったところ、水槽ディスプレイにおけるホログラム表示の有効性や VR 空間内から外部と相互作用することによりあたかも水槽の中に入り込んだような感覚をもたらすことがわかった。今後の展望としては主に VR 空間とディスプレイの同期や水泳インターフェースのシステムの改善に向けて個別に調査し最適な手法を検討する

#### 参考文献

- [1] SoftBank. 「須磨海浜水族園開業 60 周年イベント向けに VR コンテンツを企画・提供～VR 技術を活用した体験型コンテンツと全天球映像コンテンツで水中世界へ～ | ソフトバンク」, [https://www.softbank.jp/corp/group/sbm/news/press/2017/20170630\\_02/](https://www.softbank.jp/corp/group/sbm/news/press/2017/20170630_02/)(2023 年 7 月 11 日 閲覧).
- [2] バーチャルオーシャンプロジェクト. 「VIRTUAL OCEAN PROJECT」, <https://www.virtualocean.jp/>(2023 年 7 月 11 日 閲覧).
- [3] 西山 雄大, 植林 尚之, 野村 取作: 身体がない仮想現実環境において歩行と視点移動の同期が臨場感を伴う, 日本感性工学会論文誌 Vol.20 No.3 pp.243-248, 2021.
- [4] Somitsu, Tosakin goldfish, Sketchfab <https://sketchfab.com/3d-models/tosakin-goldfish-b2f0681c1e2145bcb0289f03ed75ea37>, (2023 年 7 月 11 日 閲覧).
- [5] 出口 真美, 田村 祐一: 水中に物体を浮かべることが可能な体感型水槽ディスプレイ, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, TVRSJ Vol.21 No.3 pp.525-528, 2016.
- [6] Andrey Vakunov, Dmitry Lagun, Research Engineers, “MediaPipe Iris: Real-time Iris Tracking & Depth Estimation”, Google Research, <https://ai.googleblog.com/2020/08/mediapipe-iris-real-time-iris-tracking.html>