

スキューバダイビング訓練のためのバーチャル海中体感システムの開発

橋本悠希

筑波大学システム情報系

Abstract: We propose a training system of scuba diving using head mounted display underwater. This system has two functions. One is high immersion using underwater head mounted display (UHMD). The other one is to reproduce buoyancy change according to water depth. For these function, user can learn how to control buoyancy under various situations with high reality. This paper describes about design and implementation of UHMD system, which can withstand water pressure. The results showed that water resistant performance of our UHMD system is enough for use at a depth of about 4 meters, and this system has a possibility to present various depth of water regardless of actual depth.

1. 緒言

スキューバダイビング(以下スキューバ)とは、空気を詰めたタンクを使って深く潜水し、地上では味わえない無重力感や、神秘的で美しい水中の世界を全身で楽しむ魅力的なレジャースポーツである。また同時に、スキューバは生涯スポーツでもあり、ライセンス区分や年齢や体力差などによって制限もあるが、誰もが楽しめるスポーツとして長年楽しまれてきた。スキューバ人口は日本で約 120 万人である[1]が、近年、社会の高齢化に伴って、スキューバ人口はシニア世代の割合が増加しており、事故比率も 40 代以上の割合が増えつつある[2]。また、高齢者の事故はほとんど 100%が死亡事故となる重大なものが多い[3]。今後ますますシニア世代の割合が増加することが予想されることから、より安全なダイビングを行うためには低負荷でかつ十分な訓練を行うことができる環境を構築することが望まれる。しかしながら、従来のスキューバ訓練は、実地訓練以外に熟達の道は無く、不測の事態を冷静に対処できる練度に到達するには多大な時間を要する。さらには、実地訓練の際に、海中の様々な状況を再現するのが難しいという問題も存在する。

そこで本研究は、没入感の高いバーチャル海中体感システムを開発し、プールや浅瀬などの安全で手頃な水域に居ながら、任意の水中環境の体験を実現することを目指す。

海中をバーチャルに体験するシステムはこれまでに数多く提案されてきた[4][5][6][7]。しかしながら、その多くは陸上において海中の映像を提示するものであり、スキューバにおける高度な実地訓練を代替することはできない。これに対して近年、水中でリアルタイムに視覚提示を行なう研究が発表されている[8][9]。中でも暦本らは、水槽の壁面にプロジェクタで映像を投影し、様々なシチュエーションの海を泳いでいるかのような体験を実現している[10]。しかしながら、専用の水槽やプロジェクションシステムを用意する必要があることから利用可能な場所が限られ、ユーザの行動は狭い水槽内に限られる。このため、スキューバのような潜水した状態で比較的広い空間を泳ぎまわる訓練には適さない。

そこで筆者は、次の 2 点を行動の制約なしで実現するため、水中で使用可能な頭部搭載型ディスプレイ(以下、水中 HMD)を用いることで、海中の様々な状況をバーチャルに体感できるシステ

ムを提案する。ここで、スキューバにおいて、最も重要な操作を考えてみると、浮力および空気消費量の調節が挙げられる。このことから、本提案システムにバーチャルな浮力再現装置を搭載することを盛り込む。これにより、水中 HMD によって海中での様々な不測の事態を体感し、それに応じた浮力・空気消費量を調節する技術を浮力再現装置から学ぶことで、実際のダイビング時の事故率を下げるための訓練が十分に可能であると考えられる。本提案システムで提案する機能をまとめると、以下の2点となる。

- ・ 没入型ディスプレイによって得られる圧倒的な没入感
- ・ 水深をシミュレートした浮力変化の提示により、任意の水深における体の浮き具合や空気消費量の体感

本研究期間では、上記2点のうち「没入型ディスプレイによって得られる圧倒的な没入感」に対する取り組みを主に行った。

2. 研究方法

「没入型ディスプレイによって得られる圧倒的な没入感」に取り組むにあたり、「水中 HMD の試作」「アプリケーションの制作」「プールでの動作実験」という3つの課題を設定し、それぞれ取り組んだ。

2.1 水中 HMD の試作

2.1.1 設計指針

本研究では、提案システムの利用場所として、スキューバでの基礎訓練に用いられる浅瀬やプールを想定している。これらの場所の水深は、全身が水中に入った上で泳ぐことが可能な4m程度である。よって水中 HMD は、この水圧に耐える必要がある。映像出力は、様々な実験を行うことを想定して高クオリティの映像をリアルタイムに操作可能であることが望ましい。センシングについては、人の動作に合わせてリアルタイムに映像を変化させるため高い応答性が求められる。さらに、上述した性能を満たしつつシステム全体が持ち運び可能で、電源が無い場所でも動作する必要がある。

これらの設計指針を満たすため、今回は各要件に対して以下のように実装することとした。

防水・耐水：完全に水没しても動作するよう、回路全てをシーリング剤で保護

映像出力：外部 PC から高クオリティ映像を出力

センシング：内界センサによる高速ヘッドトラッキング

単独動作：全ての制御及び電源供給を賄う高性能ノート PC の導入

2.1.2 装置構成

一人称視点アプリケーションの制作には、高クオリティな CG 空間を容易に制作でき、外部デバイスとの連携も可能な Unity(Unity Technologies)を用いた。水中 HMD 本体には、Unity がサポートしていて連携が容易な HMD である Oculus Rift DK2(Oculus VR, Inc.)を用い、分解して回路部およびディスプレイ部を利用した。また、Oculus Rift DK2 には加速度、ジャイロ、地磁気センサが内蔵されており、1kHz という高速動作が可能であることから、ヘッドトラッキング用にこれらのセンサを用いることとした。信号のやりとりと水中 HMD への電源供給は有線で行った。ケーブル長さは、想定水深である4mの中である程度の行動が可能となるよう、10mとした。水中 HMD システムの構成を Fig.1 に示す。

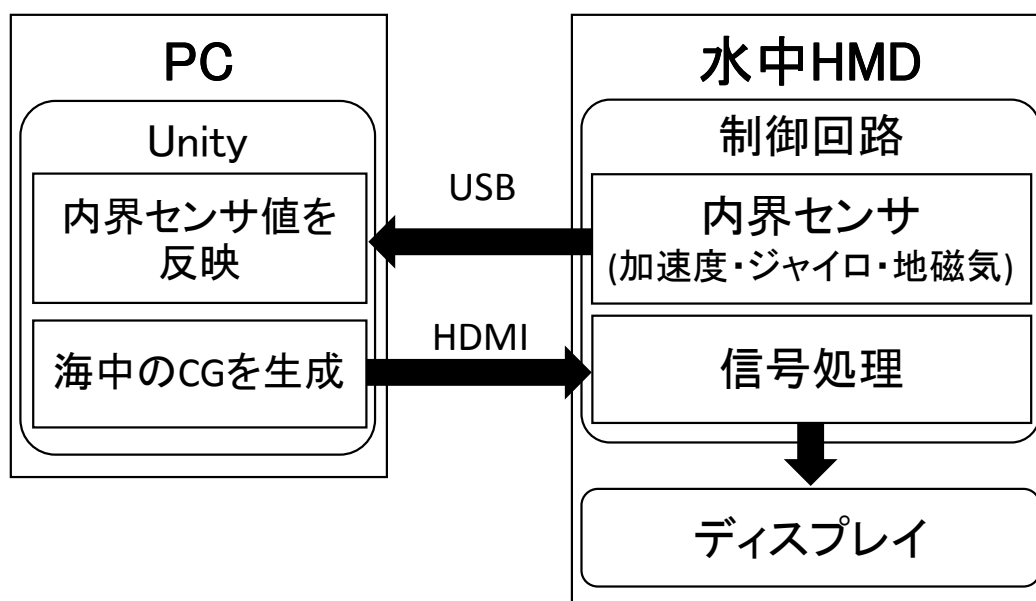


Fig. 1 System diagram

2.1.3 実装結果

・防水・耐水加工

水没させる部分について、防水・耐水加工を施した。回路部、ディスプレイ部については、回路用シーリング材(信越化学工業, KE347 および KE348)を用いて全体を覆った。また、HMD のレンズ接合部についても同様にシーリング材で防水・耐水加工を施した。コネクタ部については防水タイプの熱収縮チューブ(ヘラマンタイトン株式会社, TREDUX-MA47)で保護し、10 m の有線ケーブルの保護には防水ホース(株式会社コクゴ, ST-22)を用いた。

・水中マスクとの接合

ユーザと水中HMDがしっかりと密着して水が侵入しないよう、水中マスク(株式会社キヌガワ, Gull, A-0102)のフレームを、回路部やディスプレイ部と接合した。接合には、発泡ウレタンを用い、隙間をシーリング材で埋めた。製作した水中HMDのプロトタイプを Fig.2 に示す。

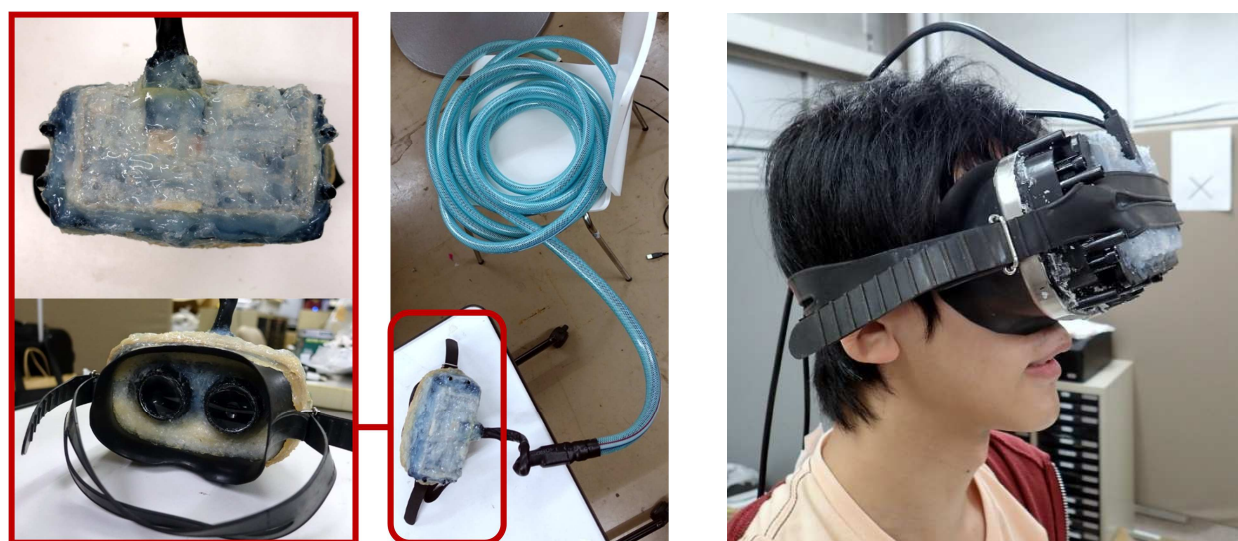


Fig. 2 First prototype of underwater HMD

2.2 アプリケーションの制作

「浅い海中に漂う」「大きな縦穴に潜水する」という2種類のシチュエーションをUnityで制作した。視界の操作は、水中HMD側の内界センサと同期させた。ただし、水深の変化に関してはPC側からの操作とした。海藻やサンゴ等のオブジェクトは、Unity Asset Storeで公開されている3Dモデルデータ(Nobiaux / Yughues, Yughues Underwater Plants v.2)を使用した。アプリケーションを制作するにあたり、CGをフレームレートの低下なく描画させるため、強力なGPUを搭載したノートPC(株式会社マウスコンピューター, NEXTGEAR-NOTE i5910BA1)を導入すると共に、3Dオブジェクトの量やエフェクト、地形データ等を最適化して処理負荷を抑えた。実際に制作したCG空間の様子をFig.3に示す。



Fig. 3 CG of under the sea

2.3 動作検証実験

筑波大学が所有する室内温水プール(最大水深3.8m)にて、水中HMDシステムの動作検証実験を行った(Fig.4)。実験手順は以下の通りである(Fig.5)。実験時、水深は被験者の水深の変化によらず固定された水深のCGを提示した。これは、映像がどの程度水深の知覚に寄与するかを検証するためである。被験者は、スキューバダイビング経験者2名および未経験者2名であった。

1. 地上で水平位置のキャリブレーションを行う
2. プールに入った被験者が水中HMDを装着
3. 潜水を行い、息の続く限り辺りを見回したり、泳いだりして動作を確認する

実験の結果、防水・耐水については、水中HMD装着時においてプールの最大水深である3.8mで正常に動作し、水中HMD内への水の侵入も確認できなかったことから、想定する水深約4mでの使用が十分可能であることが示された。また、水中における内界センサの動作状況は、感覚的に地上とほぼ変わらない追従性を示した。また、映像も70fps以上という十分なフレームレートが確保されており、全体として目標どおりの性能であることが確認できた。

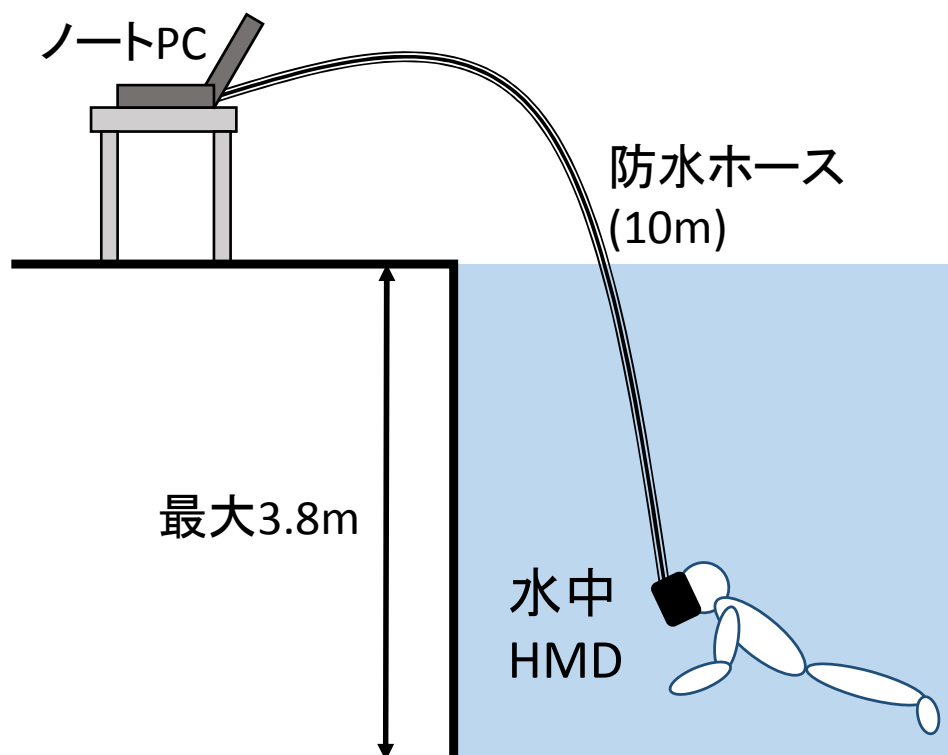


Fig. 4 Experiment diagram

1. 水平位置のキャリブレーション



2. 水中HMDを装着



3. 潜水し、あたりを見回したり泳いだりして動作を確認



Fig. 5 Procedure of the Experiment

体験した感想では、「深いところにいる感じがしたのに、実際は浅いところにいるのが不思議」という意見が多く聞かれた。実際、体が水面まで浮上して初めて浮かんでいたことに気づくということが全ての被験者で生じていた。上述の通り、今回の実験では被験者の水深の変化によらず固定された水深のCGを提示していた。そのため、体は沈んでいないにもかかわらず深い水深の中のように感じられたものと推測される。このことは、浅瀬にいながら様々な水深での海中体験が可能であることを示している。以上から、本提案システムによって、海中の様々な状況を高いリアリティで提示できる可能性が示唆された。

一方で、今回製作したハードウェアや実験方法について様々な問題点も表出した。ハードウェアに関しては、第一に、HDMIケーブルの不良により、映像が途切れがちになってしまった点が挙げられる。これは、温水プールの湿度等の影響でノイズが増加した影響だと考えられる。今後、リピータや光ケーブルを導入してノイズ耐性を向上させると共に、ケーブル内に除湿剤を導入することで解決する予定である。第二に、ケーブル保護用ホースが重く、被験者が自由に泳ぎにくい点が挙げられる。現在、軽量で柔らかい放水用の布製ホースに切り替える作業を進めており、今後水中での動作テストを行う予定である。第三に、水中HMDが外れやすいことが挙げられる。実験中、潜水しようと潜り込んだ際に水中HMDがズレてしまった例が多く見られた。これは、水中HMDの固定方法に問題があると考えられる。現在は1本のラバーバンドのみで被験者の頭部に水中HMDを固定させている。しかしながら、通常の水中マスクと比べて体積と重量が増加している水中HMDでは、より強固な固定方法が必要とされる。そこで現在、複数のバンドを用いる、水の抵抗を受けにくい形状の外装を作るなどの改善を行っており、今後実証実験を行う予定である。最後に、深い水深に水中HMDのみを沈めた際、回路と水中マスク間の空間内に水が侵入してしまったことが挙げられる。これは、レンズ接合部にある目視できない穴が存在していたことが原因であった。水が侵入した状態でも回路は動作していたこと、実際の実験では水中HMDを装着した状態で潜水することから現在それほど問題になっていないが、完全に防水するためレンズ部を含めたフレーム全体を独自設計するなど防水の強化を行っていく。次に実験方法に関しては、実験環境、安全性の面で課題が見つかった。実験環境については、プールの中では捕まるものが無く、被験者側が水深を一定に保つことが難しいという点が挙げられる。これについては、初めからある程度ウェイトをつけた状態で潜水させることでプールの底に安定して滞在できる状態を作り出すことを検討している。安全性の面では、視界がHMDで覆われるため、壁などの障害物にぶつかりやすいという点が挙げられる。今後、障害物検知用センサを水中HMDに搭載し、障害物を検知できるようなシステム作りを目指す。

5. 結言

本稿では、プールや浅瀬などの安全で手頃な水域に居ながら、任意の海中環境の体験を実現することを目指し、水中HMDを用いたバーチャル海中体感システムを提案した。本システムでは、「没入型ディスプレイによって得られる圧倒的な没入感」と、「水深をシミュレートした浮力制御による、任意の水深における体の浮き具合や空気消費量の体感」の実現を目指している。今回は、実現目標の1つである水中HMDのプロトタイプを設計・実装を行い、温水プールを使った動作実験によってプロトタイプの実効性、水中でHMDを用いた視覚提示の有効性を確かめた。今後は、現在のプロトタイプで生じた問題点を改善すると共に、ユーザが潜った分だけCGの水深も変化する水深の同期機能を実装し、さらなるリアリティを追求する。また、長時間潜水した

状態で実験可能な環境を構築し、水中下での視覚効果の影響を検証していくことでシステムの没入感を向上させていく。さらに現在、本システムのもう一つの実現目標である、水深をシミュレートした浮力制御を実現するための装置を設計中であり、この装置の動作の検証とシステムへの統合を行っていき、最終的にはスキューバ訓練へ本システムを導入したいと考えている。

参考文献

- [1] 公益財団法人 日本生産性本部：レジャー白書 2013, 生産性出版, 2013.
- [2] レジャースポーツダイビング産業協会: ダイビング産業における動向調査, 平成 13 年度ダイビング産業に関する調査研究報告書, 2002.
- [3] 三保: 潜水事故の現状報告と分析, PADI Japan PJ Report2001/1, 2001.
- [4] キヤノン: MR Platform System, 第 10 回産業用バーチャルリアリティ展, 2002.
- [5] Google: Seaview, 2015.
<http://catlinseaviewsurvey.com/>
- [6] Samsung: Shark diving in the desert, 2015.
http://adsoftheworld.com/media/ambient/samsung_shark_diving_in_the_desert
- [7] Picselica Ltd.: Ocean Rift, 2015.
<http://ocean-rift.com/>
- [8] C.Domingues, S.Otmane and A.Dinis: A New Device for Virtual or Augmented Underwater Diving, IEEE Symposium on 3D User Interfaces 2012, pp4-5, 2012.
- [9] Y.Ukai, J.Rekimoto: Swimoid: A Swim Support System using An Underwater Buddy Robot Full Paper, 4th International Conference in Cooperation with ACM SIGCHI(AH2013), 2013.
- [10] 暦本: AquaCAVE, 2014.
<https://lab.rekimoto.org/projects/aquacave/>