

Title	HMDのパーソナルスマートデバイス化に向けた提案と開発
Sub Title	Proposal and development of HMD for personal smart device
Author	孫, 嘉欣(Sun, Jiabin) 小木, 哲朗(Ogi, Tetsurō)
Publisher	慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科
Publication year	2018
Jtitle	
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	修士学位論文. 2018年度システムエンジニアリング学 第280号
Genre	Thesis or Dissertation
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO40002001-00002018-0039

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

修士論文

2018 年度

HMDのパーソナルスマートデバイス 化に向けた提案と開発

孫 嘉欣

(学籍番号：81733393)

指導教員 教授 小木 哲朗

2019 年 3 月

慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科
システムデザイン・マネジメント専攻

論 文 要 旨

学籍番号	81733393	氏 名	孫 嘉欣
論文題目： HMDのパーソナルスマートデバイス化に向けた提案と開発			
(内容の要旨) ヘッドマウントディスプレイ (HMD) を中心としたバーチャルリアリティ (VR) 技術が、原型が提示されてから 50 年を経過するが、主に産業応用を中心に研究開発が行われてきた。しかしながら、VR 元年と言われた 2016 年以來、PlayStation VR やスマートフォン VR の普及により、HMD の個人利用者が増加しているが、現状では高臨場感の体験と手軽な操作両方を備えた HMD 製品がまだない。そこで本研究では、個人利用者を対象に、家庭内で使用することを想定し、HMD のパーソナルスマートデバイス化に向けて提案し、ハイパフォーマンスでかつ手軽に使える HMD の開発を目的とする。 HMD のパーソナルスマートデバイス化を実現するため、まずは VR 体験者向けの現状の VR 体験に関する調査を行った。結果、ハイパフォーマンスのコンテンツに対する重視が見られ、ハードウェアとソフトウェアの手軽さに対する低評価と重視が見られた。これらの結果から、ハイパフォーマンスの PC 型 HMD を元に、音声インタフェースを用いたワイヤレス化 HMD を提案し、開発を行った。 三和機工社製 PC 型 HMD をベースに、映像通信のワイヤレス化、センサデータ通信のワイヤレス化、電源供給のワイヤレス化を行い、HMD のワイヤレス化を実現した。また、Google Home Mini を利用し、IFTTT によるインタラクション制御を加え、音声インタフェースのプロトタイプを実現した。 そして、本研究で提案及び開発した音声インタフェースを使用するワイヤレス化 HMD のシステムの有効性を検証するため、被験者に体験させた上、アンケートを回答させる評価実験を行った。評価項目はワイヤレス化による身動きの楽しさ、HMD 一式の軽さに対するの評価、及び音声インタフェースの反応速度、認識率に対するの評価、さらに両方に対する有効性と利用意欲を設問した。評価実験の結果、ワイヤレス化に対する良い評価を得たが、音声インタフェースの反応速度と認識率に対する評価はあまり高くない。ただし、両方に対する有効性と利用意欲が高いことが確認できたため、音声インタフェースを用いたワイヤレス化 HMD のシステムの有効性が示された。			
キーワード (5 語) VR(バーチャルリアリティ), パーソナルスマートデバイス, HMD(ヘッドマウントディスプレイ), ワイヤレス化, 音声インタフェース			

SUMMARY OF MASTER'S DISSERTATION

Student Identification Number	81733393	Name	Jiixin Sun
Title Proposal and Development of HMD for Personal Smart Device			
Abstract <p>Virtual Reality (VR) technology centering on Head-Mounted Display (HMD) has been mainly conducted on industrial applications since the prototype was presented 50 years. However, since 2016, which is said to be the first year of VR, due to the spread of PlayStation VR and smartphone VR, the number of individual users of HMD is increasing. Current HMD does not have products with both real experience and handy operation yet. In this research, we aimed to develop HMD prototype with high performance and handy operation as a personal smart device in the home.</p> <p>To realize HMD as a personal smart device, we first conducted a survey on the current VR experiences towards VR experiencers. As a result, emphasis on high performance contents, and low evaluation and emphasis on easiness of hardware and software were seen. Based on these results, we proposed and developed a wireless HMD with voice interface.</p> <p>To confirm the usage of the system, we conducted an evaluation experiment to let the user experience and answer the questionnaire. As a result of the evaluation experiment, we got a good evaluation on wireless, but the evaluation of the response speed and the recognition rate of voice interface is not very good. Moreover, it was confirmed that the effectiveness and motivation the use this system are high, and the effectiveness of the system of wireless HMD using voice interface was shown.</p>			
Key Word (5 words) Virtual Reality (VR), Personal smart device, Head-Mounted Display (HMD), Wireless, Voice interface			

目次

第1章 序論.....	1
1.1 研究背景.....	2
1.2 現状のHMD.....	4
1.2.1 スマートフォン型HMD.....	4
1.2.2 一体型HMD.....	5
1.2.3 PC型HMD.....	6
1.3 研究目的.....	7
1.4 関連研究.....	8
1.4.1 TPCAST社製 HTC Vive用ワイヤレスキット.....	8
1.4.2 本研究の独自性.....	10
第2章 HMDのパーソナルスマートデバイス化に向けた提案.....	11
2.1 概要.....	12
2.2 現状のVR体験に対するアンケート調査.....	12
2.2.1 アンケート設計.....	12
2.2.2 アンケート実施及び結果.....	12
2.3 提案内容.....	15
第3章 システムの開発.....	16
3.1 概要.....	17
3.2 ベースとなるHMD.....	17
3.3 ワイヤレス化の開発.....	18
3.3.1 ワイヤレス化のイメージ.....	18
3.3.2 映像通信のワイヤレス化.....	19
3.3.3 センサデータ通信のワイヤレス化.....	22
3.3.4 電源供給のワイヤレス化.....	25
3.3.5 ワイヤレス化HMDのシステム構成及び処理プロセス.....	26
3.4 音声インタフェースの開発.....	28
3.4.1 音声インタフェースのイメージ.....	28
3.4.2 Google Home Miniを用いた音声認識.....	28
3.4.3 インタラクション制御.....	29
3.4.4 音声インタフェースのシステム構成及び処理プロセス.....	30
3.4.5 音声インタフェースに対する予備検証実験.....	31
第4章 評価実験.....	34
4.1 概要.....	35
4.2 検証実験の目的.....	35
4.3 検証実験の内容.....	35
4.4 検証実験の実施.....	37
4.5 分析結果.....	39

4.6 考察.....	46
第5章 結論.....	47
5.1 結論.....	48
5.2 今後の展望及び課題.....	48
5.2.1 ワイヤレス化の課題.....	48
5.2.2 VRコンテンツの課題.....	48
謝辞.....	50
参考文献.....	52
外部発表.....	54
付録.....	56
付録A.....	57
A.1 VR体験に関するアンケート.....	57
A.2 音声VR体験に関するアンケート.....	58
A.3 ワイヤレス化HMDと音声体験に関するアンケート.....	59
付録B 一部参考開発ソース.....	60
B.1 センサデータ受信.....	60
B.2 視線方向変化による画面変化.....	62
B.3 音声操作による画面変化.....	63

目次

図1-1	HMDを使用した運転シミュレータのイメージ①.....	2
図1-2	HMDを使用した運転シミュレータのイメージ②.....	3
図1-3	PlayStation VRでゲームをするイメージ.....	3
図1-4	Google Cardboard.....	4
図1-5	Galaxy VR.....	5
図1-6	HoloLens.....	5
図1-7	HTC Vive.....	6
図1-8	PlayStation VRセットアップ時の接続.....	7
図1-9	TPCAST社製HTC Vive用ワイヤレスキット.....	8
図1-10	HTC Viveの構成.....	9
図1-11	ワイヤレスキット使用時のHTC Viveの構成.....	9
図2-1	VR体験アンケート 性別.....	13
図2-1	VR体験アンケート 年代.....	13
図2-1	VR体験アンケート 体験したVRデバイス種類.....	13
図2-4	9項目に対する評価結果.....	14
図3-1	三和機工社の試作HMD.....	17
図3-2	試作HMDのボタン.....	17
図3-3	従来のPC型HMDの通信.....	18
図3-4	ワイヤレス化のイメージ.....	19
図3-5	WirelessHD方式通信 DHD-W551.....	20
図3-6	WHDI方式通信 LDE-WHDI202TR.....	21
図3-7	視線方向計測の原理.....	22
図3-8	ワイヤレスセンサ LPMS-B2.....	23
図3-9	Bluetoothアダプタ LBT-UAN05C2.....	24
図3-10	モバイルバッテリー CHE-066.....	25
図3-11	ワイヤレス化HMDのプロトタイプ.....	26
図3-12	ワイヤレス化HMDのシステム構成と処理プロセス.....	27
図3-13	ワイヤレス化HMDを使用する様子.....	27
図3-14	音声インタフェースのイメージ.....	28
図3-15	Google Home Mini.....	29
図3-16	インタラクションの機能フロー.....	29
図3-17	音声インタフェースのシステム構成と処理プロセス.....	30
図3-18	5つの仮想世界シーン.....	31
図3-19	予備検証実験の様子.....	33
図3-20	予備検証実験の評価結果.....	33
図4-1	360度映像コンテンツ.....	35
図4-2	仮想世界コンテンツ 四季の島シーン.....	36

図4-3	仮想世界コンテンツ 各島のシーン.....	36
図4-4	検証実験一回目の様子.....	38
図4-5	展示会の様子.....	38
図4-6	検証実験アンケート 性別.....	39
図4-7	検証実験アンケート 年代.....	39
図4-8	検証実験アンケート HMD体験の有無.....	40
図4-9	検証実験アンケート HMD所持の有無.....	40
図4-10	検証実験の平均値.....	41

表目次

表2-1	VR体験に関するアンケート実施の詳細.....	12
表3-1	WirelessHD方式通信製品スペック.....	20
表3-2	WHDI方式通信製品スペック.....	21
表3-3	ワイヤレスセンサスペック.....	23
表3-4	Bluetoothアダプタスペック.....	24
表3-5	モバイルバッテリースペック.....	25
表3-6	予備検証実験におけるアンケート実施の詳細.....	32
表4-1	検証実験の実施の詳細（一回目）.....	37
表4-2	検証実験の実施の詳細（二回目）.....	37
表4-3	検証実験の実施の詳細（三回目）.....	37
表4-4	HMD体験の有無別グループ統計量.....	42
表4-5	HMD体験の有無別独立サンプルの検定.....	43
表4-6	HMD所持の有無別グループ統計量.....	44
表4-7	HMD所持の有無別独立サンプルの検定.....	45

第 1 章

序論

1.1 研究背景

VR（全称，バーチャルリアリティ）普及元年と言われた2016年以来、VR技術が一般的に広く知られるようになったが、実はVRという言葉は1990年代前半に出現し、その当時から「等身大3D」「実時間（リアルタイム）インタラクション」「自己投射」という、現在のVRも必要とされる三要素が固まったと言われている[1]。VR技術が知られるようになった要因としては、Oculus Rift, HTC Vive, PlayStation VRなどの民生用HMD（全称，ヘッドマウントディスプレイ）製品が、2016年に次々と発売されたことだと言われている[2]。しかし、HMDそのものは、1968年に、Ivan Sutherlandによって原型が提示されてから、既に50年を経過していた[3][4]。

HMDとは、頭部に装着するディスプレイであり、目の近くに置いた液晶パネルなどの表示素子を光学系により遠方に結像させる[5]。光学系により画面を拡大して表示することから、物理的なスクリーンを持たず、投影型のプロジェクタより小型でありながら、大画面の表示を鑑賞することができる[6]。HMDの特長としては、広い視野、広い視界、立体画像表示があげられる[7]。これらをと外部のトラッキングシステムなどの組み合わせによって、没入感が実現しやすくなったことから、応用が次第に多くなり、VR技術の発展を大きく加速させた[8]。

しかし、HMDは当初VRの可視化ツールとして、シミュレーションやトレーニング、研究開発などの、主に産業応用でのごく限られた用途を中心に使われていた[9]。図1-1、図1-2は、HMDを使用した運転シミュレータの様子を示したものである。利用者はHMDを装着し、現実の走行環境をCGで再現した360度の仮想空間内で運転を学習する。シミュレータを使用することで、本番さながらの臨場感と緊張感が味わうことができる[10]。



図1-1 HMDを使用した運転シミュレータのイメージ①



図1-2 HMDを使用した運転シミュレータのイメージ②

しかしながら、Oculus Rift、HTC Vive、PlayStation VRなどのHMD製品、及びスマートフォンVRの出現及び普及により、個人利用者がVR体験をするために、HMDを使用することが増加している。図1-3は、PlayStation VRを使用してゲームを楽しむ様子を示したものである。ゲームだけでなく、360度実際映像やCGムービーなどの多彩なVRコンテンツによって、仮想の世界に自分が存在するような体験が可能になっている[11]。



図1-3 PlayStation VRでゲームをするイメージ

これまで50年以上発展し続けたHMDは、VR普及元年の2016年になって、ついに一般的に広く知られるようになったと言える。今後のHMDの開発と使用としては、産業界での利用とともに、家庭内や個人利用を中心としたものとなると予想される。

近い未来の使用シーンとして、2020年開催されるオリンピックが挙げられる。現場で観戦する人数には制限があり、誰もが楽しめるため、HMDを使用するリアルタイムの360度スポーツ配信が想定される。家の中でも現場にいるような観戦体験を提供できるかと思われる。

さらに数年後では、HMDはスマートフォンやテレビなどを取って代わり、一人が一台を所持するようなパーソナルスマートデバイスとして、あらゆる場所にて使用されることも想定される。

1.2 現状のHMD

市販されている製品の中、各自使用されている外部機器により、本研究では、スマートフォンを使用するスマートフォン型HMD、外部機器を使用しないスタンドアロンの一体型HMD、パーソナルコンピュータ（以下、PC）やゲーム機を使用するPC型HMDに分類する。以下、各型のHMDの現状について述べる。

1.2.1 スマートフォン型HMD

スマートフォン型HMDは、ハコスコ、Google Cardboard（図1-4）、Galaxy VR（図1-5）などの製品があげられる。これらの製品は、スマートフォン上のアプリやウェブサイトなどを開き、VRコンテンツを表示した状態で、HMDに差し込み、固定した上、スマートフォンの画面上で生成された映像をそのまま拡大表示するという仕組みとなっている。スマートフォン側ではアプリやウェブサイトなどを使用するが、設定や使用などはとてもシンプルで、初めて体験する利用者でも、簡単に体験できる。



図1-4 Google Cardboard



図1-5 Galaxy VR

スマートフォン型のHMDの中には、Google Cardboardのような一つのボタンだけ操作可能な製品もあり、Galaxy VRのような、機能のボタンを数個持ち、あるいは小型のコントローラ（図1-5左側）が付けられる製品もあるが、複雑の操作ができないため、操作が必要するようなVRコンテンツはあまり体験できない。並びに、画面の質はスマートフォンの性能に大きく影響されているため、スマートフォンのパフォーマンスの制限、及び画面そのものの大きさに限りがあることから、スマートフォン型HMDでは、臨場感の高いVR体験ができない。

1.2.2 一体型HMD

一体型HMDは、HoloLens（図1-6）、Oculus Goなどの製品があげられる。このタイプでは、HMDに内蔵する小型計算機によって映像を生成し、液晶パネルにより表示する。初期のセットアップが完了した後、外部の操作を不要とするため、ある程度簡単に体験できる。しかし、小型計算機のパフォーマンスはそれほど高くないため、臨場感もそれほど高いとは言えない。



図1-6 HoloLens

1.2.3 PC型HMD

PC型HMDは、HTC Vive（図1-7）、Oculus Rift、PlayStation VR（上記図1-3参照）などの製品があげられる。このタイプでは、計算能力が優れたPCやゲーム機などを外部機器とし、外部機器の上で映像を生成し、HMDに送信され、表示される。



図1-7 HTC Vive

この種のHMDは、外部機器の性能と計算能力が優れているため、生成された映像によって、臨場感の高いVR体験を行える。しかし、図1-3、図1-7から分かるように、PC型HMDの部品は多く存在し、セットアップはかなり複雑である。例として、PlayStation VRのセットアップ時の接続を図1-8に示す。青い線の①～④は、HMD側、ゲーム機側、電源側、外部カメラ側などの間で接続しなければいけない。さらに、外部トラッキングがある製品では、セットアップする前に、一定空間を確保した上でこそ、セットアップを行うことができる。ハードウェアを全て接続した後は、ソフトウェアのインストールや空間セッティングなども必要であり、初めて使う際は、かなり複雑で煩わしさを感じられ、手軽には使えない。

CUH-ZVR2の場合

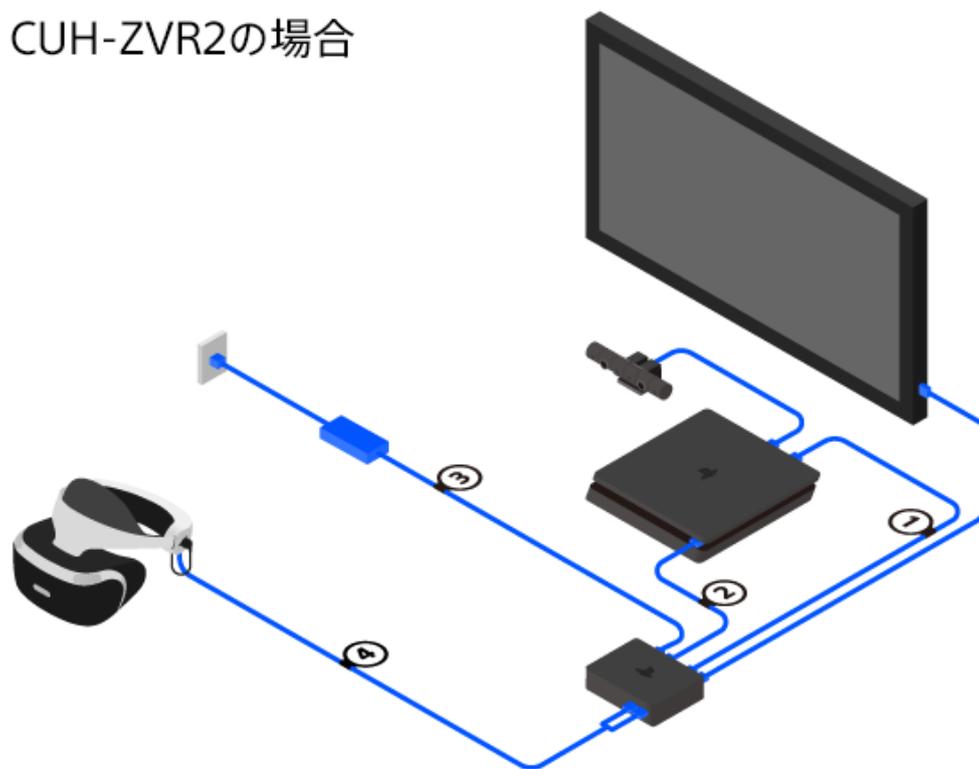


図1-8 PlayStation VRセットアップ時の接続

スマートフォン型，一体型，PC型の三種のHMDの現状から分かるように，臨場感の高いVR体験と手軽な操作はトレードオフの関係にあり，両方を備えたHMDが望まれていると考えられる。

1.3 研究目的

そこで，本研究では，個人利用者を対象に，家庭内でのVR体験を想定し，パーソナルスマートデバイス化に向けて，ハイパフォーマンスな臨場感を体験できるかつ，手軽に使えるHMDを目指し，音声インタフェースを用いたワイヤレス化HMDを提案し，及び開発を目的とする。

1.4 関連研究

1.4.1 TPCAST社製 HTC Vive用ワイヤレスキット

2016年11月、TPCAST社によって開発されたHTC Vive用ワイヤレスキットを発表され、2017年第1四半期から中国にて販売を開始した。ワイヤレスキットは、HMD側受信機（図1-9上）、HMDの電源ボックス（図1-9左下）、PC側送信機（図1-9右下）によって構築される。他には、専用のWi-Fiルータ、モバイルバッテリー、HDMIケーブル、USBケーブルなどが含まれている。このワイヤレスキットの通信では、最大解像度1080P、90Hzの映像を遅延2ms以下に伝送することが可能である[12]。



図1-9 TPCAST社製HTC Vive用ワイヤレスキット

元の HTC Vive の構成は、HMD 側からの HDMI ケーブル、USB ケーブル、電源ケーブルをリンクボックスに接続し、PC 側から HDMI ケーブル、USB ケーブルをリンクボックスに接続した後、リンクボックスを介して、HMD と PC の通信は有線で行われる（図 1-10）。

一方、ワイヤレスキットを使用する際に、HMDとリンクボックスの間に接続されたHDMIケーブル、USBケーブル、電源ケーブルを短いものに変更し、ワイヤレスキットの受信機に接続する。受信機とHMDの電源はモバイルバッテリーが入った電源ボックスによって供給される。送信機はHMDの代わりに、HDMIケーブル、USBケーブルをリンクボックスに接続する。また、PC側は専用Wi-Fiルータに接続する。これによって、元のHDMIケーブル、USBケーブルを使った有線の通信は、ワイヤレスで行われることとなる（図1-11）。

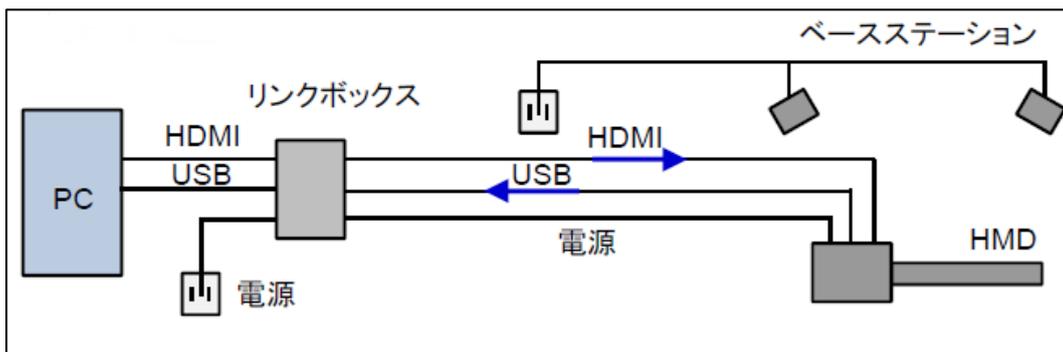


図1-10 HTC Viveの構成

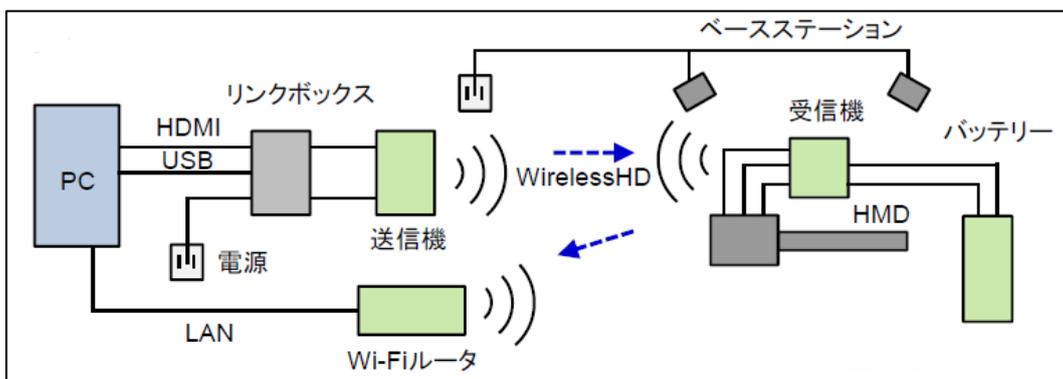


図1-11 ワイヤレスキット使用時のHTC Viveの構成

TPCASTのワイヤレスキットを使用した結果、映像伝送の遅延は認識できない範囲となっている。映像伝送は、送信機と受信機の間には障害物が存在しても3メートル程度の距離では途切れが見られない。送信機と受信機のペアリングは一度成功すれば安定するが、ペアリングは不安定であり、接続すれば成功となることは少ない。電源オフなどによりペアリングが切られる場合、再度のペアリングが必要とすることも手間がかかる。また、HMD側に接続する受信機とバッテリーは、利用者の重量的な負担がかかる上、長時間の使用では、発熱も生じるため、VR体験にも影響すると考えられる。

また、TPCAST社は2019年1月8日に、Oculus Goに対応する二代目のワイヤレスソリューションTPCAST Air企業版を発表されたが、不動産、室内デザイン、教育などの企業応用に適用する予定である。

1.4.2 本研究の独自性

本研究では、新しく技術を開発することはなく、市販されているHMD製品に対する改良もない。個人利用者が家庭内でVR体験することを想定し、ハイパフォーマンスなVR体験を可能にするとともに、一般的な方や初めて利用する方に対しても手軽な操作インタフェースを提案したい。今後一家に一台のHMDがあることを目指し、広く普及されているスマートフォンのようなパーソナルスマートデバイス化に向けて、既に存在する要素技術を本研究で提案する独自の組み合わせにより、汎用的な音声インタフェースを用いたワイヤレス化HMDのプロトタイプを実現する。

第 2 章

HMD のパーソナルスマートデバイス化に向けた提案

2.1 概要

本章では、HMDのパーソナルスマートデバイス化に向けた提案について説明する。これまでVR体験をしたことがある方を対象に、現状のVR体験に対する調査を行った後、その結果をもってパーソナルスマートデバイス化に向けた提案について述べる。

2.2 現状のVR体験に対するアンケート調査

第1章では、現状のHMD製品の問題点をあげたが、実際個人利用者はVR体験に対し、どのように感じられているかを把握するため、VR体験に関するアンケート調査を行った。

2.2.1 アンケート設計

まず、回答者自身の属性として、性別、年齢（何歳代）を回答項目とした。そして、体験したHMDの種類（PC型、スマートフォン型、一体型）を複数選択の形式で回答させた。回答者が複数種のHMDを体験したことがある場合、回答者自身が最も良いと思うHMDを標準に、評価項目に対して評価を行うよう設問した。

評価項目は以下の9項目である。

- ・事前準備の簡単さ
- ・臨場感の高さ
- ・コンテンツの面白さ
- ・画面の精細さ
- ・視野の広さ
- ・遅延の無さ
- ・装備一式の軽さ
- ・操作の簡単さ

評価方法は五段階評価である。

- ・上記9評価項目の現状に対する五段階評価（1～5）
 - ・家庭内でのVR体験を想定する際に同9評価項目に対する重視度の五段階評価（1～5）
- また、アンケート構成の詳細は、付録A.1 VR体験に関するアンケートを参照のこと。

2.2.2 アンケート実施及び結果

表2-1は、アンケート実施の詳細を示したものである。

表2-1 VR体験に関するアンケート実施の詳細

対象者	これまでVR体験をしたことがある方
実施方法	Google Formsを用いたインターネット調査
回答者	16名

図2-1、図2-2、図2-3は、回答者16名の属性結果を示したものである。

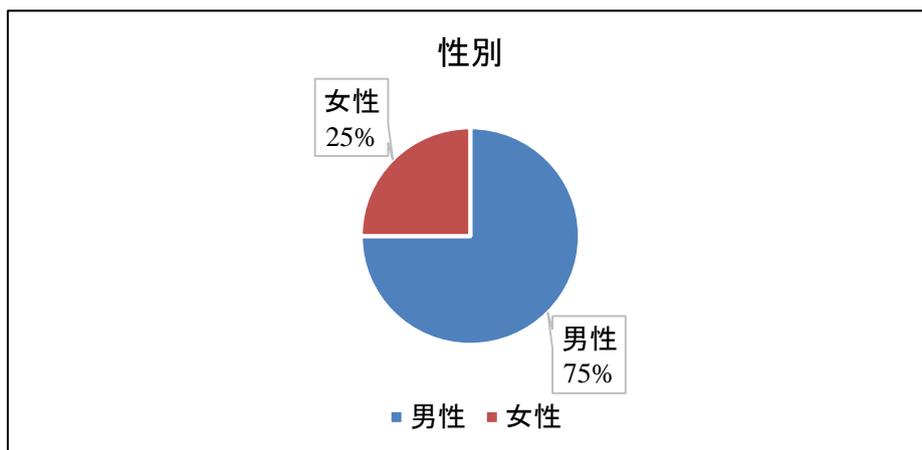


図2-1 VR体験アンケート 性別

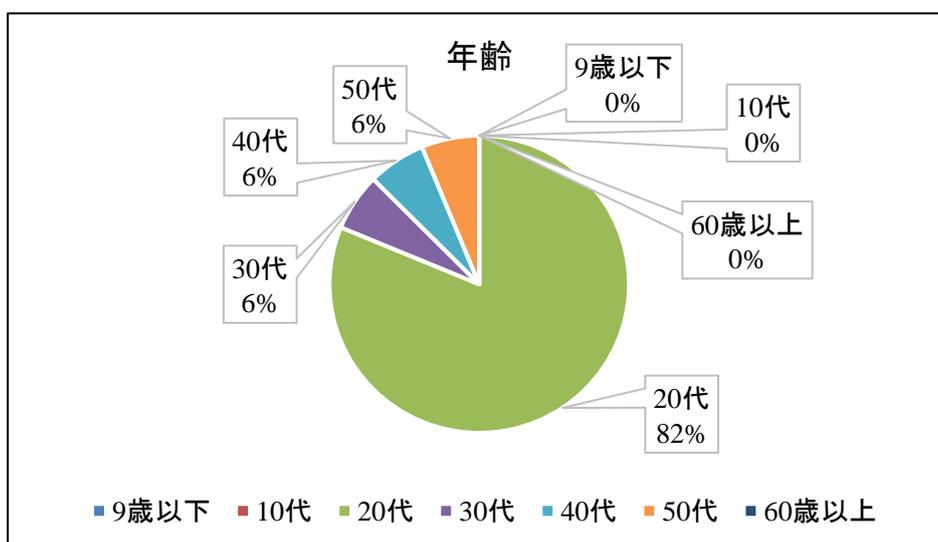


図2-2 VR体験アンケート 年代

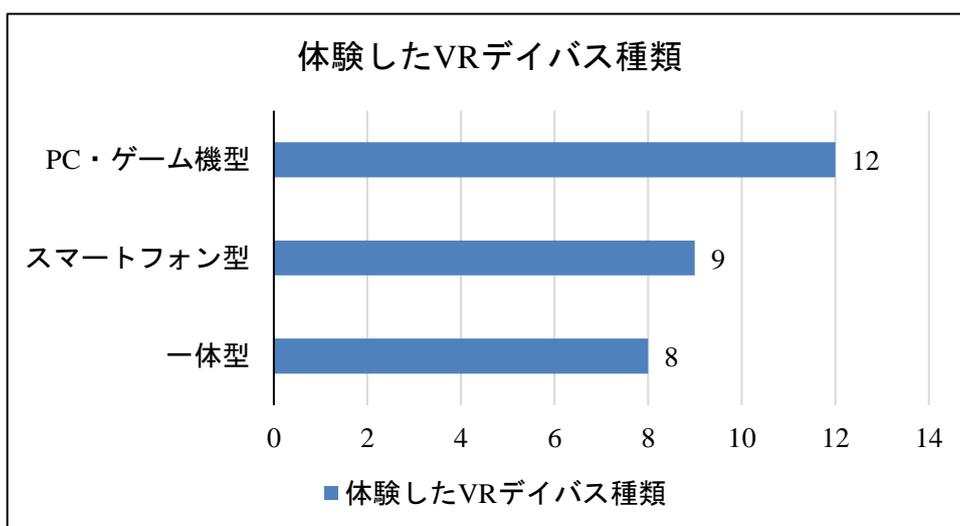


図2-3 VR体験アンケート 体験したVRデバイス種類

図2-4は、各評価項目の平均値及び標準偏差を示したものである。

9項目の現状に対する評価は全体的に低くなっている。その中でも、装備一式の軽さ、身動きの自由さに対する評価が最も低くなっており、現在のHMDの重量と装着する際の身動きに対する制限への不満が見られる。これは、装着するHMD自身が重だけでなく、HMDと外部機器の間に接続される複数のケーブルが重さを増やし、同時に身動きに対する制限の原因になると考えられる。また、次に低い評価のコンテンツの面白さ、画面の精細さは、VRコンテンツに対するクオリティーが望まれていると考えられる。

一方、家庭内でのVR体験を想定する際に同9項目に対する重視度では、全体的に高くなっている。その中でも、臨場感の高さ、画面の精細さ、視野の広さ、遅延の無さ、コンテンツの面白さがかなり高くなっており、回答者が家庭内でもハイパフォーマンスなVR体験をしたいと考えられる。また、現状に対する低評価が見られる身動きの自由さ、装備一式の軽さに対する高い重視度も見られ、HMDの軽量化と装着する際の身動きに対する制限の軽減に関する需要が高く見られる。

事前準備の簡単さ、操作の簡単さに対する評価は、高くなく、低くもなく、現在ではあまり問題視していない様子だが、実は潜在的な問題になっていると考えられる。これまでVR体験をしたことがある方は、家庭内ではなく、展示会やエンターテインメント体験の際に体験することが多く見られる。スマートフォン型と一体型とは別に、PC型のHMDは、実際ハードウェアのセッティングを行い、何本ものケーブルを接続した後、またソフトウェアのインストールを行ってから初めて、VR体験ができるという状況に対しても、まだ知らない方が多い。ハイパフォーマンスなVR体験をするため、事前準備の手軽さは求められると考えられる。一方、操作の簡単さでは、複数のHMDを体験してから分かるように、操作方法はHMDごとに異なっているため、異なるHMDを体験する度に、新しい操作方法を覚えなければならないという煩わしさがある。そのため、操作性に対する手軽さも求められると考えられる。

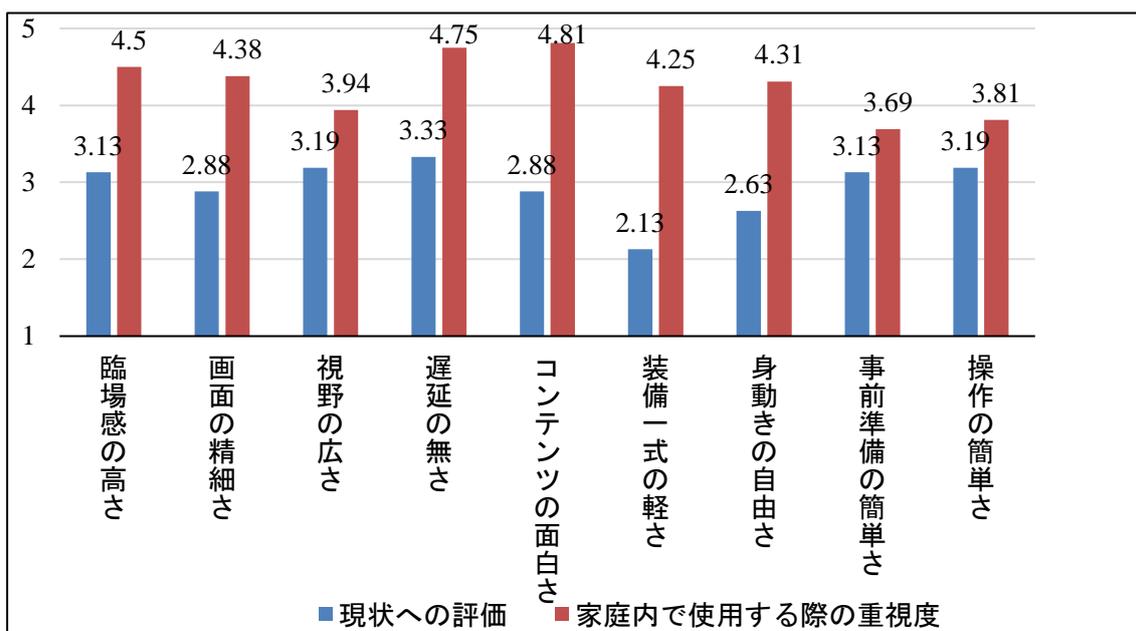


図2-4 9項目に対する評価結果

2.3 提案内容

上記の評価結果から、個人利用者が家庭内でVR体験を良くするため、HMDのパーソナルスマートデバイス化に向けた提案を行う。

まずは、家庭内でのVR体験を想定する際に、高い重視度が見られたハイパフォーマンスなVR体験に対して提案する。これに対しては、現状のHMD製品の状況から分かるように、スマートフォン型と一体型では提供できないような、PCやゲーム機が外部機器となっているPC型HMDのパフォーマンスが最も高く、ハイパフォーマンスなVR体験を提供するため、ハイパフォーマンスのPCを外部機器として必要とする。

そして、現状で低い評価が見られたHMDの手軽さに対して提案する。実際問題となっているHMDの装備一式の重量、身動きに対する制限は、ケーブル類を無くすことを提案し、装備するものの軽量化、及びケーブル類による身動きの制限を軽減できると考えられる。同時に、ケーブル類を無くすことにより、ハードウェアをセッティングする際に、ケーブル類の接続がなくなるため、潜在的な接続に対する煩わしさも解消される。手軽に使えるHMDを実現するため、ケーブル類のワイヤレス化を提案する。

最後に、潜在的な問題となっている操作性の手軽さに対して提案する。HMDを装着する際に、目が覆われている状況となっており、通常のPCに対するデスクトップのキーボードやマウスによる操作を行うことが困難である。現在のHMD製品では、コントローラなどのデバイスを使用し、仮想キーボードやメニューを用いたインタフェースが使用されることが多い。しかし、これらのコントローラは各社で各自開発されており、異なるHMDに対しては異なるコントローラを使わなければいけない。そこで、一部コントローラを必要とする操作を除き、簡単な操作を音声認識で実現することを提案する。ハンズフリーになることも可能となり、手軽に操作できるよう、音声インタフェースを提案する。

以上のことから、HMDのパーソナルスマートデバイス化に向けて、ハイパフォーマンスのPCを外部機器とした、音声インタフェースを用いたワイヤレス化HMDを提案する。

第 3 章

システムの開発

3.1 概要

本章では、HMD のパーソナルデバイス化に向けて提案した、音声インタフェースを用いたワイヤレス化 HMD の開発について説明する。ベースとなる PC 型の HMD を用い、ワイヤレス化の開発、及び音声インタフェースの開発について述べる。

3.2 ベースとなるHMD

今回試作したベースとなる HMD は共同研究させて頂く株式会社三和機工が製造、提供して下さった試作機（以下、試作 HMD）とする。この試作 HMD は、USB による DC 5V, 1A の電源を必要とする。映像入力は HDMI 入力となっている（図 3-1）。それ以外、左側に電源ボタン 1 個、音量ボタン 2 個（大・小）、立体視切り替えボタン 1 個、右側に明るさ調節ボタン 1 個、ピント調節スイッチ 2 個（左目・右目）のボタンがある（図 3-2）。



図 3-1 三和機工社の試作 HMD



図 3-2 試作 HMD のボタン

試作 HMD を使用する際、まずは USB ケーブルを電源アダプタあるいは PC の USB ポートに接続し、そして HDMI ケーブルを PC の HDMI 口に接続する。そして電源ボタンを押し、装着すると、PC のメイン画面の拡張画面あるいは複製画面が試作 HMD の液晶パネルにより表示させる。

3.3 ワイヤレス化の開発

3.3.1 ワイヤレス化のイメージ

従来の PC 型 HMD の通信は、PC と映像通信、センサデータ通信を主要とする。映像通信は HMD と PC の間でのディスプレイケーブルによって行う。センサデータは一般的に、視線方向計測データと視点位置計測データの 2 種類があり、視線方向計測データは利用者の頭部移動によって変化し、HMD と PC の間での USB ケーブルによって行う。視点位置計測データは、外部カメラやトラッキング装置と PC の間に USB ケーブルを接続し、通信を行う。通信以外では、HMD に電源を供給するための電源ケーブルがあり、HMD に接続されるケーブルは最少 3 本が存在する (図 3-3)。本研究では、上記のディスプレイケーブル、USB ケーブル、電源ケーブルによる映像通信、センサデータ通信、電源供給のワイヤレス化について検討し、開発を行った (図 3-4)。



図 3-3 従来の PC 型 HMD の通信

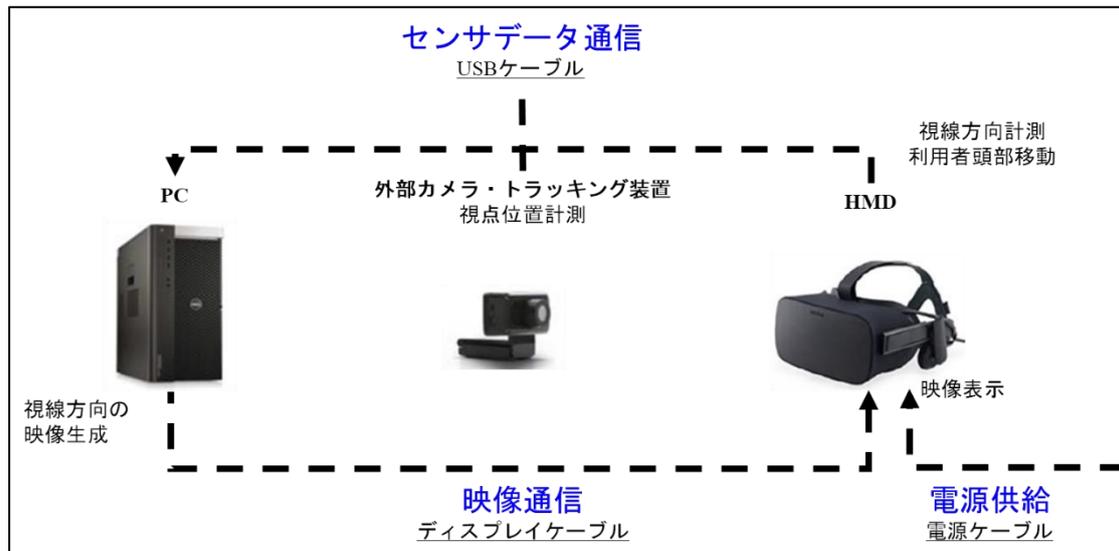


図 3-4 ワイヤレス化のイメージ

3.3.2 映像通信のワイヤレス化

映像通信のワイヤレス化は、ディスプレイケーブルをワイヤレス化することとする。現状の PC 型 HMD は、HDMI による映像通信を行うことが多い、今回使用する試作 HMD も HDMI 通信による映像通信を行う。そのため、映像通信のワイヤレス化については、HDMI 通信のワイヤレス化を行うことになる。ただし、これは特別な通信方式の開発を行わなくても、近年の壁掛けテレビ等のじゅようにより、いくつかのワイヤレス HDMI 通信方式が既に規格化されている。

ワイヤレス HDMI 通信の方式については、WirelessHD 方式と WHDI 方式があげられる。両方式の製品は、ともに HMD に接続する受信機と PC に接続する送信機で構成される。

WirelessHD 方式は、Intel、SiBEAM 社などによって策定された方式で、60GHz の高周波数帯域を使用し、最大 28Gbps の伝送速度を実現できる。この方式では、伝送速度は速く、Wi-Fi などに干渉されないが、通信距離が短く、障害物に弱いという特徴を持つ。

WHDI 方式は、AMINON、モトローラ社などによって標準化が行われた方式で、5GHz 電波帯を使用し、最大 3Gbps 程度の伝送速度である。この方式は、通信距離が長く、障害物に強いが、伝送速度はやや遅い、一般的に使われる Wi-Fi などと同じ電波帯を使用するため、干渉されやすいという特徴がある。

本研究では、両方式の上記の特徴をともに、価格を考慮した上、両方式の製品をともに入手した。プロトタイプの開発において両方式の製品を使用し、比較を行い、本研究が想定する家庭内の使用シーンにおいてのより良い方式を選択することとする。

実際使用する製品を以下に記す。

1) WirelessHD 方式

表 3-1 WirelessHD 方式通信製品スペック

製品名	ワイヤレス HDMI 送受信機器
製品型番	DHD-W551
製造元	DAIAD 社
電源仕様	送信機, 受信機 DC 5V, 1A
給電方法	Micro USB ケーブル
本体サイズ	W90×D56×H17mm
本体重量	送信機約 155g, 受信機約 153g
対応解像度	最高 1080P (60Hz)
伝送距離	電波干渉のない環境にて 30 メートル



図 3-5 WirelessHD 方式通信 DHD-W551

使用方法は、まず、送信機と受信機に対してそれぞれ給電する。そして、HDMI ケーブルを使ってそれぞれ PC, HMD 側に接続する。ペアリングは電源入れた後に自動で行われるため、接続が終わり次第、映像通信が可能になる。

2) WHDI 方式通信

表 3-2 WHDI 方式通信製品スペック

製品名	HDMI 送受信機
製品型番	LDE-WHDI202TR
製造元	ロジテック社
電源仕様	送信機 DC 5V 受信機 AC 100V
給電方法	送信機は USB ポートによる給電 受信機は AC アダプタによる給電
本体サイズ	送信機 W30×D83.2×H17.1mm 受信機 W95×D95×H31.2mm
本体重量	送信機約 26g 受信機約 125g
対応解像度	最高 1080P (60Hz)
伝送距離	送受信機間に障害物がない環境で最大 7メートル



図 3-6 WHDI 方式通信 LDE-WHDI202T

使用方法は、まず、送信機と受信機に対してそれぞれ給電する。そして、送信機は PC の HDMI 口に直接接続し、受信機は HDMI ケーブルを使って HMD 側に接続する。両方のペアリングボタンを少しの間に押し、ペアリングを完成した後、映像通信が可能になる。

3.3.3 センサデータ通信のワイヤレス化

センサデータ通信のワイヤレス化は、最近の IoT の発達により、種々のワイヤレスセンサが製品化され、ある程度利用可能になっている。HMD で要求されるセンサ機能としては、視線方向計測と視点位置計測があげられる。視線方向計測とは、利用者がどの方向を見ているかの計測であり、利用者の頭部移動によって変化し、見直し動作を実現するためには必要である。一方、視点位置計測は、利用者のいる位置を意味し、空間内での利用者の移動を実現するために必要である。

視線方向計測に関して、現状の PC 型 HMD では、加速度センサ、地磁気センサ、ジャイロセンサの融合によって計測を行っている。加速度センサでは、重力加速度の成分を計測することで、視線のロール (roll)、ピッチ (pitch) の傾きを算出する。地磁気センサは、地磁気的各成分を計測し、加速度センサから既知の傾きを合わせることで、ヘッドニング (heading) の方向を算出する。また、ジャイロセンサは、角速度の計測値を積分することで角度を計算する。一般的には、加速度センサの出力にローパスフィルタ、ジャイロセンサの出力にハイパスフィルタを通して合成することで、視線方向の精度を高めることができる (図 3-7)。加速度センサと地磁気センサを搭載すれば視線方向計測は完成できるが、精度と安定性のため、ジャイロセンサも必要とする。

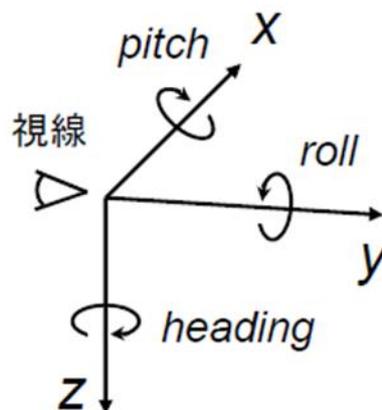


図 3-7 視線方向計測の原理

一方、視点位置計測に関して、現状では HMD ごとに異なる方法を使用しており、標準化には至っていないのが現状である。例えば、HTC Vive は、外部のベースステーションから発せられる赤外光レーザーを HMD に取り付けられた赤外光センサで計測し、センサデータを PC 側に送信する。また Oculus Rift では、HMD に取り付けられた赤外光 LED を PC 側の赤外光カメラで撮影することで計測を行うため、通信は不要である。以上の状況を考慮し、本研究では、家庭内での VR 体験を想定し、360 度配信映像の体験やバーチャル空間での体験においての空間移動は必ずしも必要ではないため、視点位置計測については、ワイヤレス化の対象から除外した。

実際使用する製品を以下に記す。

1) ワイヤレスセンサ

表 3-3 ワイヤレスセンサスペック

製品名	超小型軽量 9 軸無線モーショセンサ
製品型番	LPMS-B2
製造元	LP-RESEARCH 社
Bluetooth 性能	2.1 + EDR / LE 4.1
通信距離	最大 20 メートル
本体サイズ	W39×D39×H8mm
本体重量	12g
加速度センサ	3 軸, $\pm 2 / \pm 4 / \pm 8 / \pm 16$ g, 16 ビット
地磁気センサ	3 軸, $\pm 125 / \pm 245 / \pm 500 / \pm 1000 / \pm 2000$ °/s, 16 ビット
ジャイロセンサ	3 軸, $\pm 4 / \pm 8 / \pm 12 / \pm 16$ gauss, 16 ビット
サンプリング周波数	最大 400Hz



図 3-8 ワイヤレスセンサ LPMS-B2

使用方法は、中心にある電源ボタンをオンにするだけである。データの蓄積で方向にズレ生じることもあるため、使用する前は一度ソフトウェアでオフセットに戻すこと。

2) Bluetooth アダプタ

表 3-4 Bluetooth アダプタスペック

製品名	Bluetooth (R) USB アダプタ
製品型番	LBT-UAN05C2
製造元	エレコム社
Bluetooth 性能	Bluetooth Ver.4.0 Dual mode (EDR 及び LE 対応) Class 2
通信距離	機器との接続距離, 推奨最大 5 メートル
コネクタ形状	USB タイプ A
対応 PC	Windows が作動し, USB2.0 ポートを標準で持つ PC



図 3-9 Bluetooth アダプタ LBT-UAN05C2

使用方法は、PC に接続し、Bluetooth の設定からセンサとのペアリングを完成させる。

3.3.4 電源供給のワイヤレス化

電源供給のワイヤレス化としては、HMD への電源供給とともに、今回導入したワイヤレス HDMI 通信の受信機の電源、ワイヤレスセンサの電源が対象となる。近年のスマートフォンの普及に伴い、種々のモバイルバッテリーが製品化されていて利用可能である。本研究の電源供給のケーブルをワイヤレス化では、電源をモバイル化にするものとする。

今回使用する試作 HMD は、USB による DC 5V, 1A の電源を必要とする。また、HDMI 受信機は AC アダプタを使用するが、今回で使用する製品は、USB 電源となっており、DC 5V, 1A 以上の電源を必要とする。そして、ワイヤレスセンサは内蔵のリチウム電池があるため、既にワイヤレス化が行われている。以上から、今回のプロトタイプとしては、出力電圧 DC 5V, 出力電流 USB2 ポートによる 2A 以上を必要とする、これには対応する市販品が多く存在する。

実際使用するモバイルバッテリーを以下に記す。

表 3-5 モバイルバッテリースペック

製品名	cheero Power Plus 10050mAh DANBOARD version
製品型番	CHE-066
製造元	cheero 社
電池容量	10050mAh
出力	5V・3.4A (2ポート合計)
出力ポート	USB タイプ A

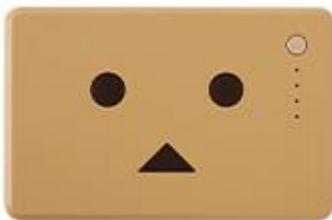


図 3-10 モバイルバッテリー CHE-066

3.3.5 ワイヤレス化 HMD のシステム構成及び処理プロセス

映像通信，センサデータ通信，電源供給をワイヤレス化した上，試作 HMD を用いて，ワイヤレス化 HMD のプロトタイプを試作した（図 3-11）．実際の使用にあつたては，HMD に直接接続されている HDMI 受信機とモバイルバッテリーをポーチに収めることとする．



図 3-11 ワイヤレス化 HMD のプロトタイプ

試作 HMD に取り付けた LPMS-B2 センサは，加速度センサ，地磁気センサ，ジャイロセンサのデータを Bluetooth アダプタが接続された Windows システムの PC に Bluetooth 通信で送信する．センサデータを受信した PC は，上記の受信データを用い視線方向を算出する．また，PC は視線方向データに基づき，視線方向の映像を生成し，PC に接続された HDMI 送信機から，WirelessHD 方式・WHDI 方式での通信を行い，生成した映像を HMD 側に接続された HDMI 受信機に送信し，HMD 上で表示する．図 3-12 は，このプロトタイプのシステム構成と処理プロセスを示したものである．

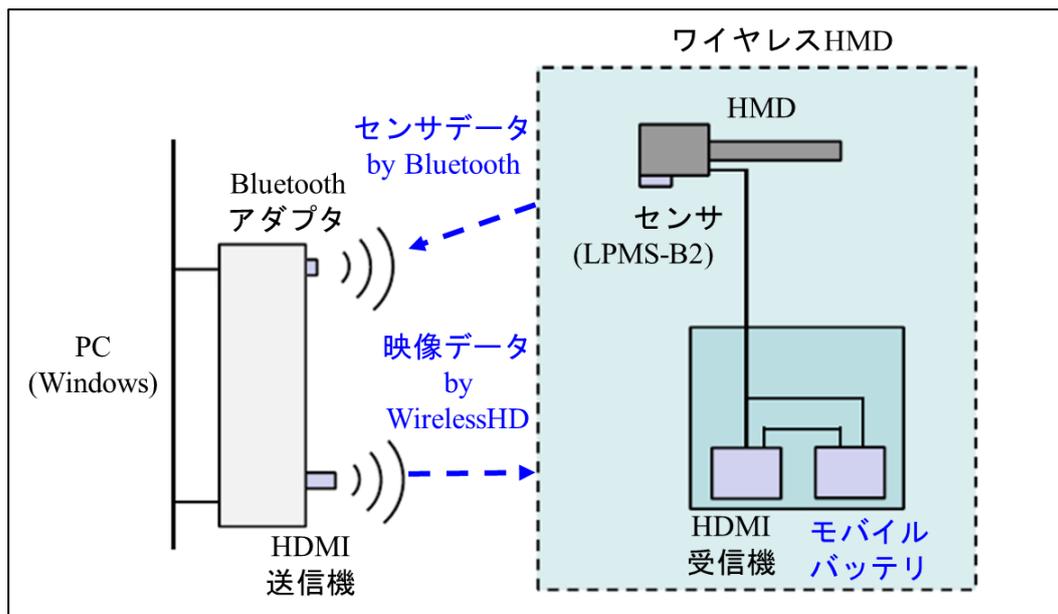


図 3-12 ワイヤレス化 HMD のシステム構成と処理プロセス

また、図 3-13 は、ワイヤレス化 HMD を使用している様子を示したものである。利用者に、HMD に直接接続されている HDMI 受信機とモバイルバッテリーを収めたポーチを腰に取り付けさせ、その上で HMD を装着して使用するようにした。



図 3-13 ワイヤレス化 HMD を使用する様子

3.4 音声インタフェースの開発

3.4.1 音声インタフェースのイメージ

VR 体験をする際、HMD を装着することによって、利用者の目が覆われる状態になる。VR 体験においては、3次元空間での操作が中心となるため、通常の PC に対するデスクトップでのキーボードやマウスによる操作を行うことは困難となる。VR 体験においての操作に対応するため、市販されている HMD 製品は、一般的にコントローラを用いた仮想キーボードやメニューを使用することが多い。ただし、コントローラは基本的に各社が自社 HMD に対する専用コントローラを自主開発するため、HMD 製品ごとに異なるものを使用されており、操作方法もそれぞれ異なっている。また、コントローラを使用するため、PC との間に新たなケーブルを必要とする場合もある。

既に HMD のワイヤレス化を実現した上で、新たなケーブルを増やすことなく、さらに利用者が操作をしやすくするため、手軽なハンズフリーインタフェースとして、音声認識を利用する音声インタフェースについて提案した。音声インタフェースを使用する際は、利用者が HMD を装着した上、他のもの一切を持たずに、「〇〇が見たい」「△△に移動して」などのような指示を自由に発話するだけで、操作が実行されるというイメージである。

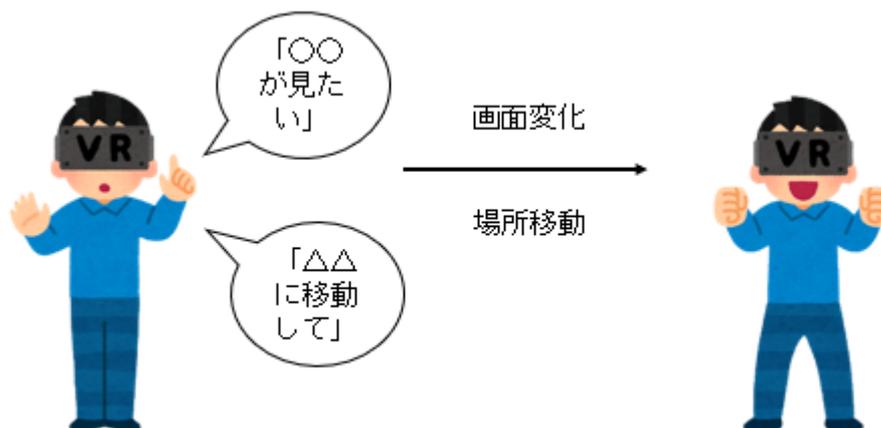


図 3-14 音声インタフェースのイメージ

3.4.2 Google Home Mini を用いた音声認識

本研究では、ワイヤレス化 HMD の手軽なハンズフリーインタフェースのプロトタイプとして、Google Home Mini (図 3-15) を用いた音声インタフェースを構築した。Google Home Mini は、利用者が音声スピーカーに話しかけると、「OK Google」の言葉をウェイクワードとして使用し、これに続く言葉を音声データとして取り込む。この音声データは、フロントエンドのクラウドサービスとして用意された Google Assistant に送られ、ここで音声認識、ジョブ生成、音声合成等の処理が行われる。また、ここで生成されたジョブに従い、バックエンドのサーバに処理を送ることで、利用者が Google Home Mini を使用した任意のアプリケーションを開発することが可能となる。本システムでは、VR 用のバックエンドサーバを立てることで、VR 空間におけるインタラクションを実現した。



図 3-15 Google Home Mini

3.4.3 インタラクション制御

音声に応じたサーバによるインタラクション制御を実現するための方法として、IFTTTを利用した。IFTTT (IF This Then That) は、あるサービス (This) を利用したら (Then)、別のサービス (That) を利用するという形で、Web アプリケーション間の連携を取る仕組みであり、ここでは Google Assistant と Webhooks の連携を取ることで、音声インタフェースを実装した。Webhooks はアプリケーションの更新情報を他のアプリケーションにリアルタイムに提供する仕組みで、ここでは音声入力時に POST リクエストにより VR 用サーバにコマンドを送信するために利用した。図 3-16 は、IFTTT を用いたインタラクションの機能フローを示したものである。

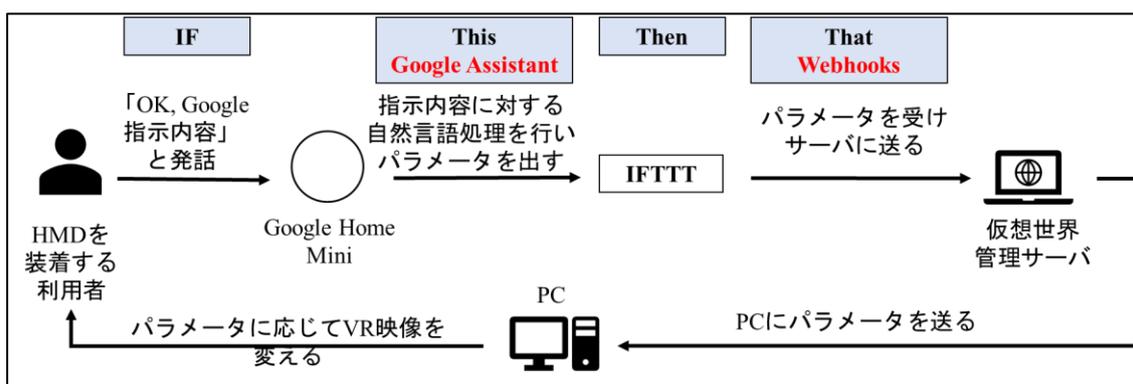


図 3-16 インタラクションの機能フロー

3.4.4 音声インターフェースのシステム構成及び処理プロセス

図 3-17 は、ワイヤレス化 HMD における音声インターフェースのシステム構成及び処理プロセスを示したものである。まず、利用者がウェイクワードの「OK, Google」に続き、指示内容を発話すると、IFTTT の This である Google Assistant の設定を通して、指示内容を文字化した音声コマンドに変換する。そして、IFTTT の That である Webhooks を通して、サーバ上の POST リクエストを実施し、文字化された音声コマンド内容をテキストデータとして保存する。その後、VR コンテンツを起動した PC 上では、FTP によりサーバ上にあるテキストデータが書かれた指示ファイルを取得し、その音声コマンド内容に応じて VR コンテンツ内容をレンダリングし、ワイヤレス HDMI 通信により映像を HMD 側に送信、表示する。以上のことから、音声インターフェースのプロトタイプを実現した。

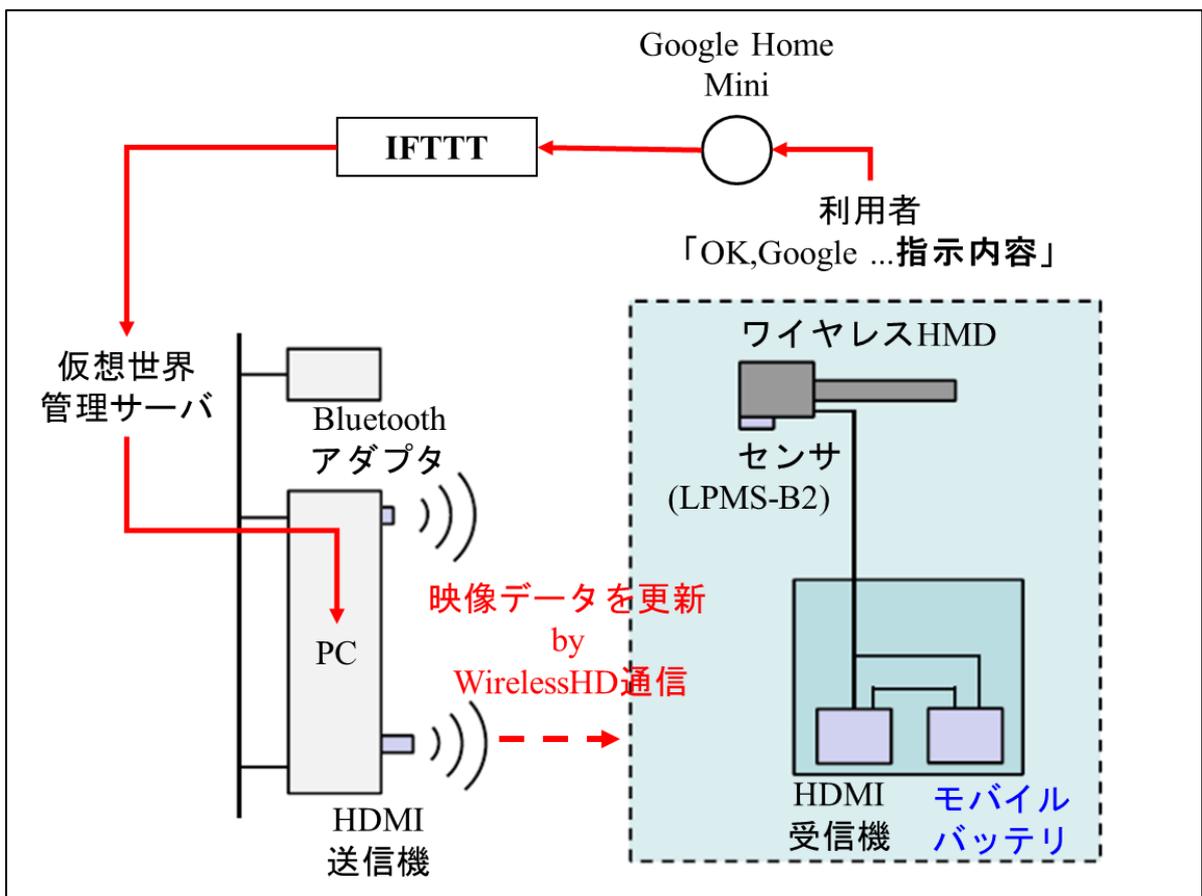


図 3-17 音声インターフェースのシステム構成と処理プロセス

3.4.5 音声インタフェースに対する予備検証実験

音声インタフェースのプロトタイプを実現した後、まずは音声インタフェースのユーザビリティに対する予備評価実験を行った。予備評価実験は、HTC Vive、Google Home Mini を用いて行った。

予備評価実験で使った VR コンテンツは、Unity 上で開発したデモコンテンツである。図 3-18 は、デモコンテンツにある 5 つの仮想世界シーンを示したものである。PC 側でコンテンツを起動すると、最初に図 3-18①の「四季の島」のシーンが表示される。画像の下側は「春の島」、左側は「夏の島」、上側は「秋の島」、右側は「冬の島」になっている。そして図 3-18②～④は、視点を変えた「春の島」「夏の島」「秋の島」「冬の島」のシーンになっている。このコンテンツの体験では、Google Home Mini に対し、「OK, Google」に続き、「春の木」「夏の木」「秋の木」「冬の木」「四季の木」の発話を行うことで、この 5 つのシーンの間に移動することである。

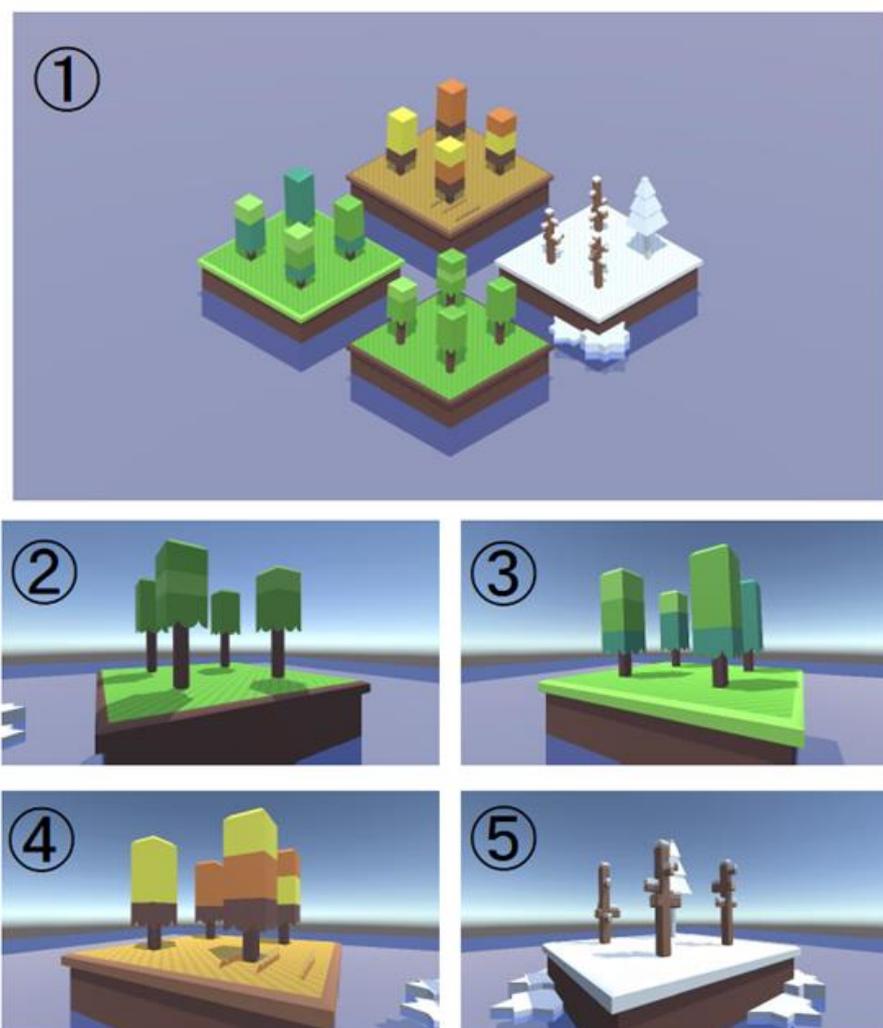


図 3-18 5 つの仮想世界シーン

予備検証実験は、慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科のメディアアシテムラボ（小木研究室）が毎年出展をしている、埼玉県立総合教育センターが主催する一般の方を招いた教育イベント[13]にて実施した。表3-6は、予備検証実験実施の詳細を示したものである。

表3-6 予備検証実験実施の詳細

イベント名	「集まれ！ “センター探検隊”」
開催日時	2018年10月13日（土）
開催場所	埼玉県立総合教育センター
対象者	イベントに参加する方々
実施方法	音声インタフェースを用いたVR体験後のアンケート調査
回答者	14名

アンケートでは、まずVR体験の有無、所持の有無、音声アシスタント体験の有無、スマートスピーカー所持の有無について設問した。そして、VR体験の面白さ、家庭内でのVR体験意欲を設問した。

音声操作に対する評価項目は以下の6項目に対する五段階評価（-2～2）である。

- ・ 音声操作に対する抵抗感
- ・ 音声操作の反応速度
- ・ 音声操作に対する画面の切り替え速度
- ・ 音声操作の認識率
- ・ VR体験における音声操作の有効性
- ・ VR体験における音声操作の利用意欲

最後に、回答者自身の属性として、性別、年齢（何歳代）を回答項目とした。

アンケート構成の詳細は、付録 A.2 音声 VR 体験に関するアンケートを参照のこと。

図 3-19 は、実験の様子を示したものである。被験者には、HTC Vive を装着した上、机の上に置かれる Google Home Mini に対して発話し、5 つの仮想世界シーンを切り替えながら VR 体験を行うよう指示した。体験後、アンケートに回答させた。



図 3-19 予備検証実験の様子

図 3-20 は音声 VR 体験に関するアンケートの平均値と標準偏差を示したものである。VR 体験は面白く感じてもらえたが、音声インタフェースの反応速度、画面の切り替え速度、音声に対する認識率などに対する評価はまだ低く見られ、性能に対する改善を行うべきである。ただし、有効性と利用意欲は良い傾向があるため、現段階での音声インタフェースの有効性は検証できたと考えられる。

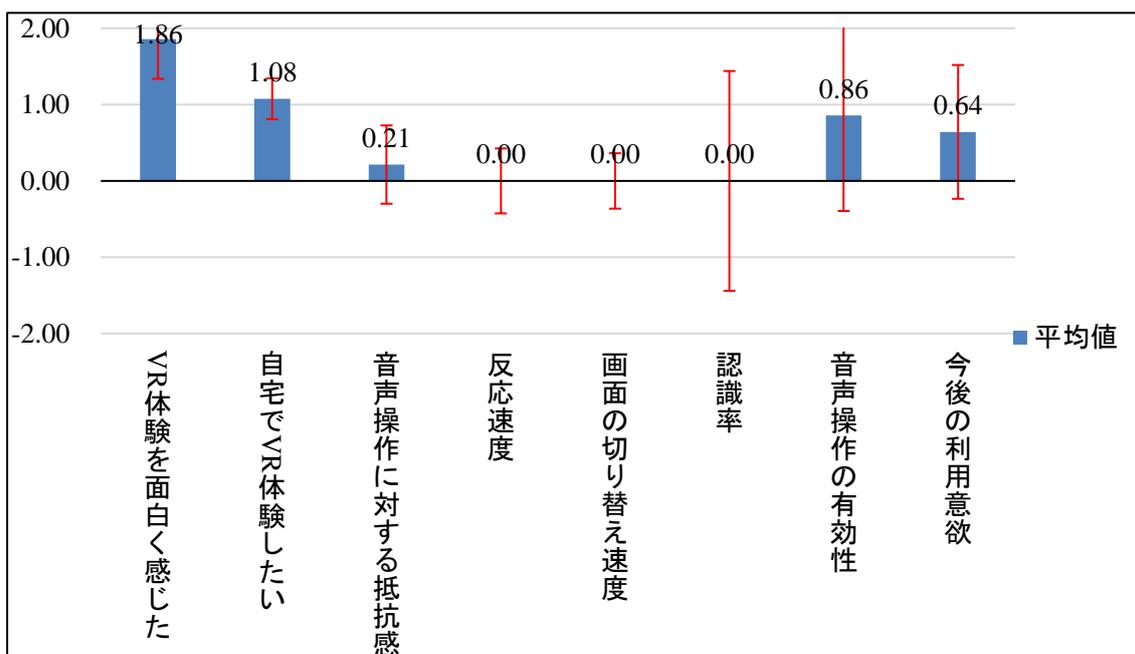


図3-20 予備検証実験の評価結果

第 4 章

検証実験

4.1 概要

本章では、提案及び開発した音声インタフェースを用いたワイヤレス化 HMD のシステムに対する検証実験について説明する。また、検証実験の結果から、本研究で提案及び開発したシステムの有効性を検証する。

4.2 検証実験の目的

音声インタフェースを用いたワイヤレス化 HMD に関する評価を得て、システムの有効性を検証すること。

4.3 検証実験の内容

検証実験は、本研究で開発したワイヤレス化 HMD と音声インタフェースを組み合わせた上で、被験者に体験してもらい、アンケートに回答することである。

まずは体験コンテンツについて説明する。使用した VR デモコンテンツは二つある。まず、一つ目はバスケットボール試合の 360 度映像コンテンツである (図 4-1)。このコンテンツに対する音声操作は、Google Home Mini に対し、「OK, Google」の後に「映像を再生」「映像を停止」の発話を行いながら、映像の再生をコントロールすることである。



図 4-1 360 度映像コンテンツ

VR デモコンテンツの二つ目は第3章の予備検証実験で使われた5つの島のデモコンテンツを改良した仮想世界コンテンツである。コンテンツを起動すると、最初に①の「四季の島」のシーンが表示され、被験者から見て画面の下側は「春の島」、左側は「夏の島」、上側は「秋の島」、右側は「冬の島」になっている(図4-2)。



図4-2 仮想世界コンテンツ 四季の島シーン

今回の検証実験では、図4-2が示した4つの島のシーンについて改良した。被験者にさらなる臨場感を与えるため、四季の島の中心点で島を見るのではなく、島の中心に視点位置を変更した。図4-3は、各島に移動した後に見られるシーンを示したものである。このコンテンツに対する音声操作は、Google Home Mini に対し、「OK, Google」の後に「春の木・春の島」「夏の木・夏の島」「秋の木・秋の島」「冬の木・冬の島」「四季の木・四季の島」の発話を行いながら、各シーンに移動することである。

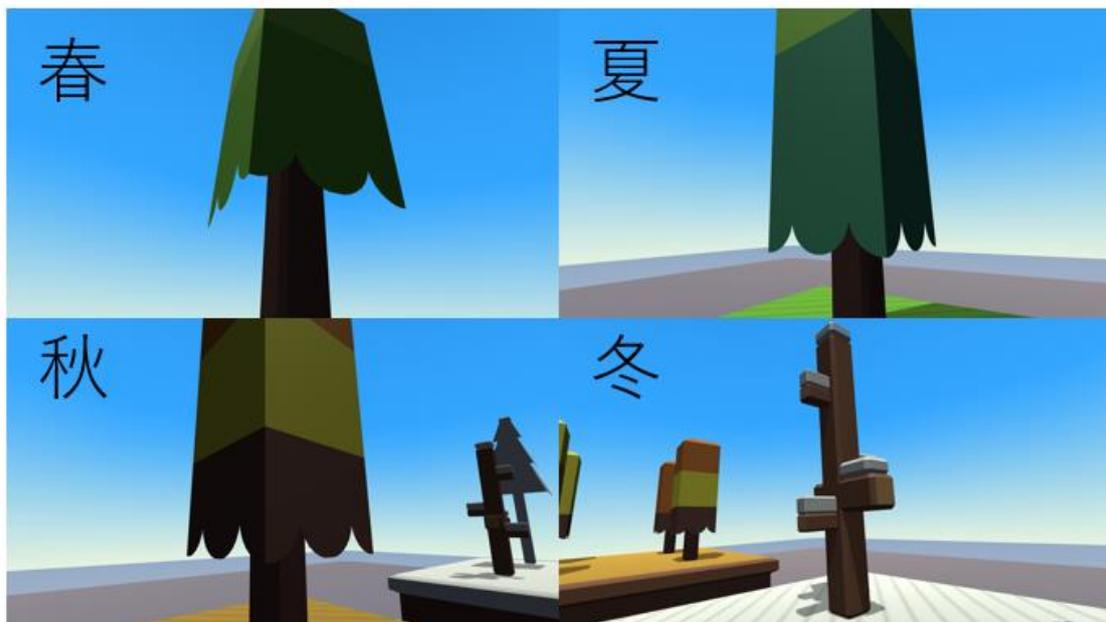


図4-3 仮想世界コンテンツ 各島のシーン

被験者に以上二つのコンテンツを体験した上で、アンケートを回答させた。

アンケートは、まず、回答者自身の属性として、性別、年齢（何歳代）を回答項目とした。VR体験に関する属性には、被験者がこれまでにHMDを使ったVR体験の有無、HMD所持の有無を設問した。

ワイヤレス化に対しては、身動きの楽さ、HMD一式の軽さを設問した。音声インタフェースに対しては、反応速度、認識率を設問した。また、ワイヤレス化と音声インタフェースの共通項目とした、有効性と利用意欲について設問した。

評価方法は各項目に対する五段階評価（-2～2）である。

アンケート構成の詳細は、付録 A.3 ワイヤレス化 HMD と音声体験に関するアンケートを参照のこと。

4.4 検証実験の実施

検証実験は、学内、及び本研究を進めるにあたり、共同研究させて頂く株式会社三和機工が出展をしている、企業交流型イベントである新価値創造展、ものづくり展にて、合計三回実施した。表4-1、表4-2、表4-3は、三回の検証実験実施の詳細を示したものである。

表4-1 検証実験実施の詳細（一回目）

実施日時	2018年10月30日（火）
対象者	同研究科の学友の方々
実験環境	協生館実験室（C3N17）
実施方法	ワイヤレス化 HMD と音声体験後のアンケート調査
回答数	10 件

表4-2 検証実験実施の詳細（二回目）

イベント名	新価値創造展
開催日時	2018年11月14日（水）～16日（金）
開催場所	東京ビックサイト
対象者	イベントに参加するの方々
実施方法	音声インタフェースを用いた VR 体験後のアンケート調査
回答数	8 件

表4-3 検証実験実施の詳細（三回目）

イベント名	ものづくり展
開催日時	2018年12月11日（火）～13日（木）
開催場所	東京ビックサイト
対象者	イベントに参加するの方々
実施方法	音声インタフェースを用いた VR 体験後のアンケート調査
回答数	38 件

図4-4, 図4-5は, 検証実験一回目の様子及び展示会の様子を示したものである.



図4-4 検証実験一回目の様子



図4-5 展示会の様子

4.5 分析結果

上記三回の検証実験を合わせた56件のアンケート結果に対して分析する。

まずは、アンケートの回答者56名の属性結果を以下に示す。

性別では、男性が42名、女性が13名、無回答が1名である。(図4-6)

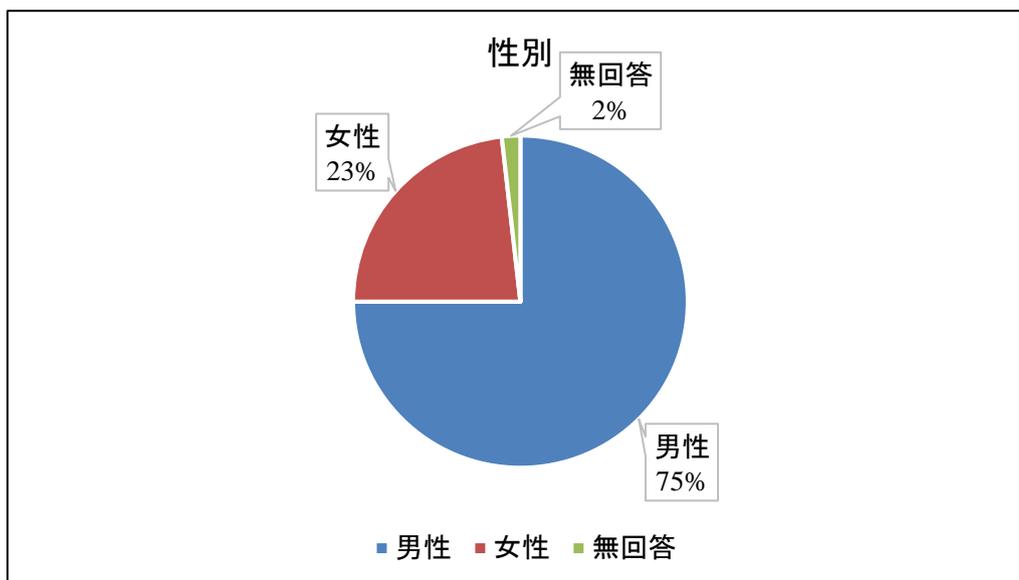


図4-6 検証実験アンケート 性別

年齢（年代別）では、9歳以下が0名、10代が2名、20代が22名、30代が9名、40代が12名、50代が9名、60歳以上が2名である。(図4-7)

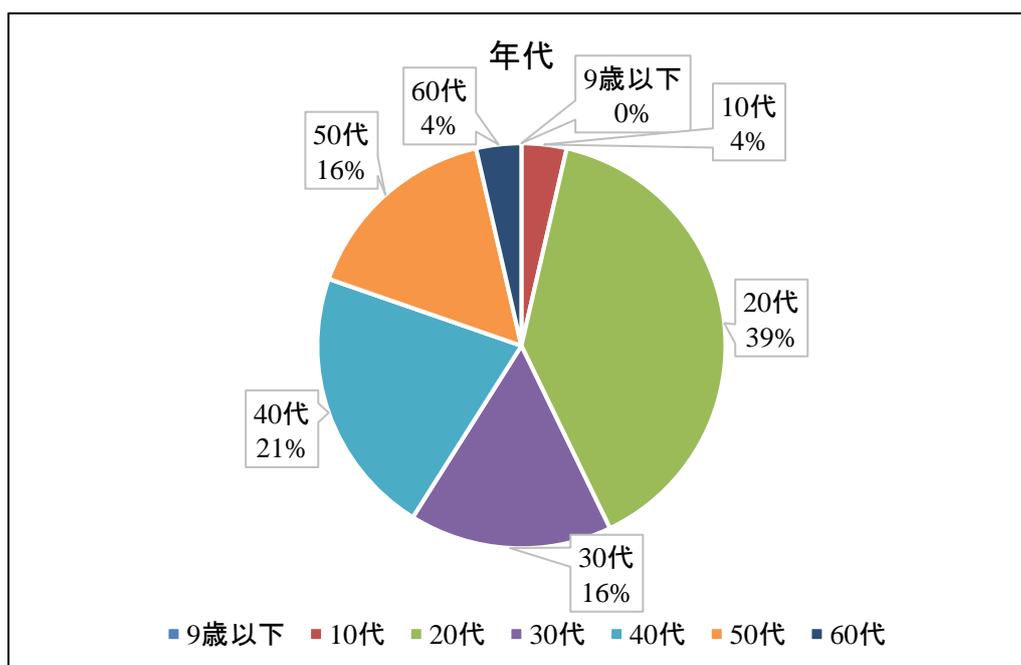


図4-7 検証実験アンケート 年代

HMD体験の有無については、体験したことがない方が25名、体験したことがある方が30名、無回答が1名である。(図4-8)

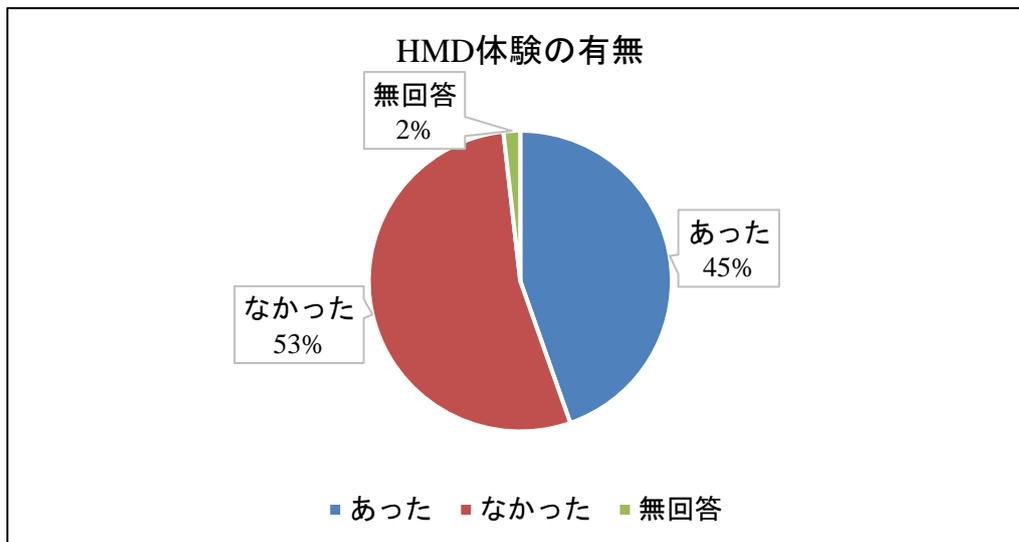


図4-8 検証実験アンケート HMD体験の有無

HMD所持の有無については、所持していない方が43名、所持している方が12名、無回答が1名である。(図4-9)

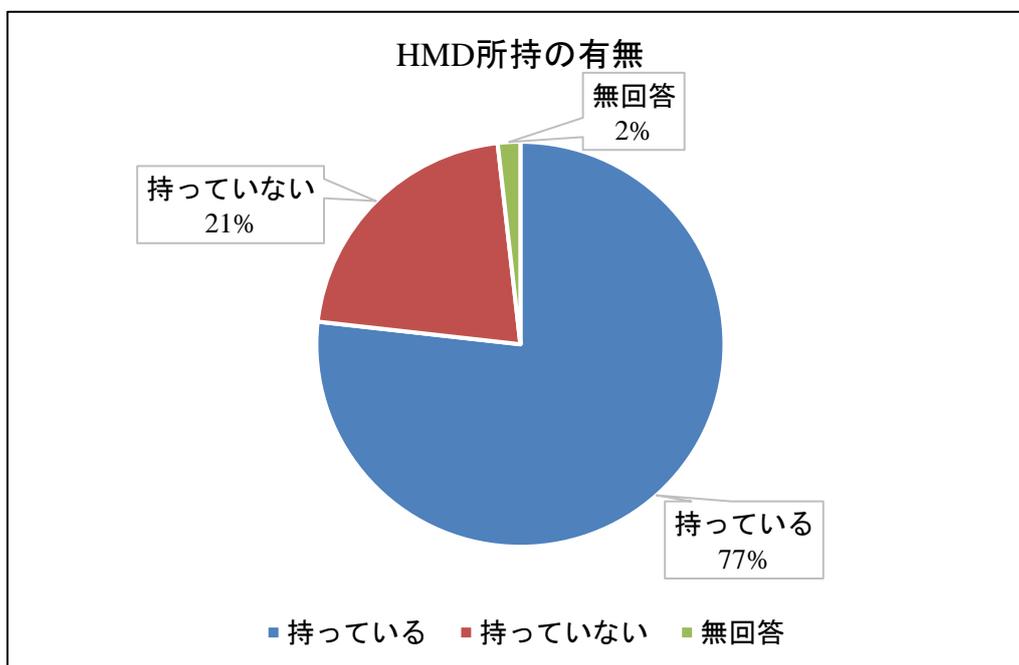


図4-9 検証実験アンケート HMD所持の有無

そして、図4-10は、各評価項目の結果の平均値を示したものである。

ワイヤレス化に関しては、全体的に身動きの楽さ、HMD一式の軽さにおいて比較的に良い評価を得た。有効性と利用意欲も高く見られる。音声インタフェースに関しては、全体的に反応速度と認識率に対する評価はまだ低くなっているが、有効性と利用意欲が高く見られるため、操作性に関する向上を必要とするが、音声インタフェースの利用については期待されていると考えられる。

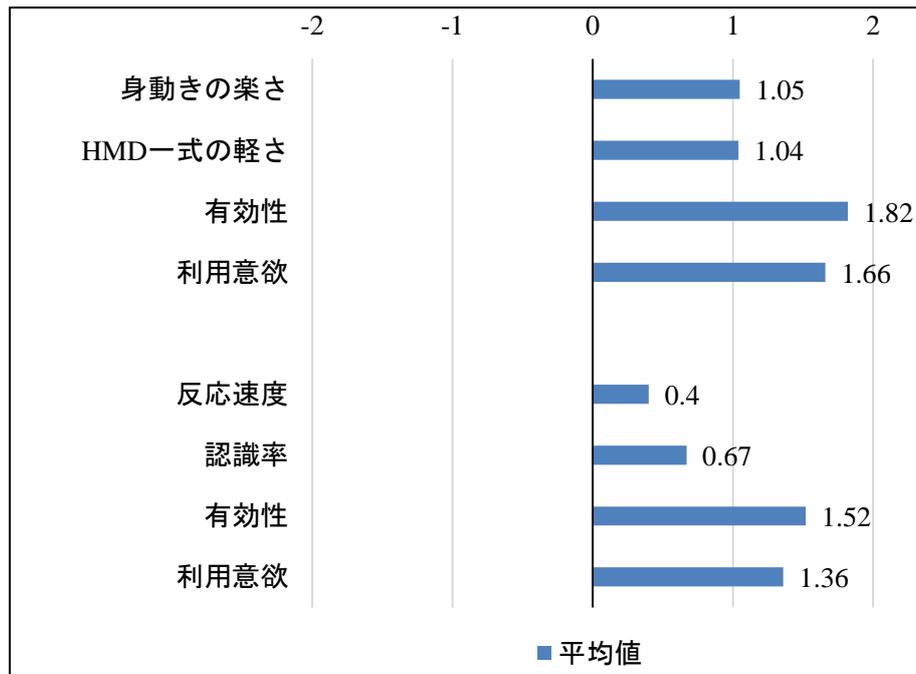


図4-10 検証実験の平均値

また、被験者のVR体験に関する属性別に対して、t 検定分析を行った。

1) HMD体験の有無別

表4-4は、被験者のHMDを使ったVR体験の有無に対する分析を示したものである。

表4-4 HMD体験の有無別グループ統計量

	HMD体験の有無	度数	平均値	標準偏差	平均値の標準誤差
身動きの楽さ	1	30	1.13	.819	.150
	0	24	.96	1.122	.229
HMD一式の軽さ	1	22	1.45	.858	.183
	0	23	.65	.982	.205
ワイヤレス化の有効性	1	30	1.87	.346	.063
	0	25	1.76	.597	.119
ワイヤレス化への利用意欲	1	30	1.70	.596	.109
	0	25	1.60	.577	.115
音声操作の反応速度	1	30	.40	1.163	.212
	0	24	.33	1.167	.238
音声操作の認識率	1	29	.69	1.198	.223
	0	24	.67	1.308	.267
音声操作の有効性	1	30	1.57	.568	.104
	0	25	1.52	.714	.143
音声操作への利用意欲	1	30	1.40	.724	.132
	0	25	1.32	.748	.150

表4-5は、独立サンプルの検定を示したものである。その中、HMD一式の軽さに関して、等分散を仮定する場合、有意確率が0.006と読み取れる。これは、有意水準1%で有意差があるとみなせる。表4-4の平均値を参照し、HMDを体験したことがある方は平均1.45の評価を出し、体験したことがない方は平均0.65の評価を出したことにより、体験したことがある方は本研究で試作したHMD一式の軽さをもっと感じる傾向があると考えられる。

表4-5 HMD体験の有無別独立サンプルの検定

		等分散性のための Levene の検定		2 つの母平均の差の検定		
		F 値	有意確率	t 値	自由度	有意確率 (両側)
身動きの楽さ	等分散を仮定する	3.555	.065	.662	52	.511
	等分散を仮定しない			.640	40.903	.526
HMD一式の 軽さ	等分散を仮定する	.840	.365	2.913	43	.006
	等分散を仮定しない			2.922	42.660	.006
ワイヤレス化 の有効性	等分散を仮定する	3.365	.072	.827	53	.412
	等分散を仮定しない			.790	36.897	.435
ワイヤレス化 への利用意欲	等分散を仮定する	.362	.550	.628	53	.532
	等分散を仮定しない			.630	51.766	.531
音声操作の 反応速度	等分散を仮定する	.008	.930	.209	52	.835
	等分散を仮定しない			.209	49.346	.835
音声操作の 認識率	等分散を仮定する	.162	.689	.067	51	.947
	等分散を仮定しない			.066	47.307	.948
音声操作の 有効性	等分散を仮定する	.436	.512	.270	53	.788
	等分散を仮定しない			.264	45.524	.793
音声操作への 利用意欲	等分散を仮定する	.021	.886	.402	53	.689
	等分散を仮定しない			.401	50.576	.690

2) HMD所持の有無別

表4-6は、被験者のHMD所持の有無に対する分析を示したものである。その中、HMDを所持している方はワイヤレス化の有効性と利用意欲に関して平均2の評価を出したことから、本研究で提案したHMDのワイヤレス化についてかなり期待があると思われる。

表4-6 HMD所持の有無別グループ統計量

	HMD所持の有無	度数	平均値	標準偏差	平均値の標準誤差
身動きの楽さ	1	12	1.50	.522	.151
	0	42	.98	.975	.150
一式の重さ	1	9	1.56	.726	.242
	0	36	.97	.971	.162
ワイヤレス化の有効性	1	12	2.00	.000	.000
	0	43	1.79	.514	.078
ワイヤレス化への利用意欲	1	12	2.00	.000	.000
	0	43	1.58	.626	.095
音声操作の反応速度	1	12	.25	1.215	.351
	0	42	.45	1.173	.181
音声操作の認識率	1	12	1.08	.900	.260
	0	42	.55	1.292	.199
音声操作の有効性	1	12	1.58	.669	.193
	0	43	1.51	.668	.102
音声操作への利用意欲	1	12	1.25	.866	.250
	0	43	1.37	.691	.105

表4-7は、独立サンプルの検定を示したものである。その中、ワイヤレス化の有効性に関して、等分散を仮定しない場合、有意確率が0.011と読み取り、有意水準5%で有意差があるとみなせる。さらに、ワイヤレス化の利用意欲に関して、等分散を仮定しない場合、有意確率が0.000と読み取り、有意水準1%で有意差があると見なせる。表4-6の平均値を参照し、HMDを所持している方は両方平均2の評価を出したことにより、HMDを所持している方はワイヤレス化の有効性と利用意欲についてもっと大きく感じる傾向があると考えられる。

表4-7 HMD所持の有無別独立サンプルの検定

		等分散性のための Levene の検定		2つの母平均の差の検定		
		F 値	有意確率	t 値	自由度	有意確率 (両側)
身動きの楽さ	等分散を仮定する	1.097	.300	1.781	52	.081
	等分散を仮定しない			2.459	34.610	.019
HMD一式の 軽さ	等分散を仮定する	.664	.420	1.683	43	.100
	等分散を仮定しない			2.003	16.004	.062
ワイヤレス化 の有効性	等分散を仮定する	10.467	.002	1.400	53	.167
	等分散を仮定しない			2.668	42.000	.011
ワイヤレス化 への利用意欲	等分散を仮定する	40.096	.000	2.300	53	.025
	等分散を仮定しない			4.384	42.000	.000
音声操作の 反応速度	等分散を仮定する	.007	.933	-.523	52	.603
	等分散を仮定しない			-.513	17.304	.615
音声操作の 認識率	等分散を仮定する	2.609	.112	1.342	52	.185
	等分散を仮定しない			1.636	25.386	.114
音声操作の 有効性	等分散を仮定する	.012	.912	.329	53	.744
	等分散を仮定しない			.329	17.626	.746
音声操作への 利用意欲	等分散を仮定する	1.729	.194	-.512	53	.611
	等分散を仮定しない			-.450	15.129	.659

また、自由記入の項目に関しては、「将来性がると思う」「ワイヤレスになることでいろんなことに使えそうと思った」「軽くて長時間利用も可能で良いと思う」「音声操作可能なところはお年寄りなどが利用するときに使いやすいと思う」「様々な業界で届かなかった部分に手を届かせることができるものだと思う」などの期待的なコメントをもらった。一方、「メガネ対応もして欲しい」「慣れないこともあり360度回ると目が回った感じがした」「視力差があるためVR映像がぼやけていた」などのコメントから、今後の改善方向については良いヒントを得た。

4.6 考察

検証実験を行う際の状況、並びに実施により得られた結果から、本研究で提案及び開発したシステムの改善点について考察する。

ワイヤレス化に関しては、全体的に良い評価を得た上、HMDを体験したことがある方にも、HMDを既に所持している方にも、有効性と利用意欲をもっと感じる傾向が見られ、HMDのワイヤレス化の提案は有効だと考えられる。

音声インタフェースの性能に関する評価はまだ低く、被験者の属性別でも有意性が見られなかったため、VR体験における音声インタフェースの改善について検討を行う必要がある。ただし、有効性と利用意欲に関しては良い評価を得たため、音声インタフェースの提案は有効だと考えられる。

以上のことから、本研究で提案及び開発したシステムの有効性が確認されたと考えられる。

さらに、今回の検証実験は学校内にある実験室、東京ビックサイトにて開催された展示会二箇所にて行われたため、実験環境がかなり異なることから、ワイヤレス化の映像通信についての良いヒントを得られた。それは、実験室のような電波環境がシンプルな環境では、ワイヤレスHDMIの両方式で通信する製品でも安定に映像通信を行えるが、展示会会場のような電波環境が混雑な環境では、WHDI方式での通信はかなり干渉されやすくなっており、ほとんど使用不可能な状態になる。一方、WirelessHD方式で通信する製品は、どの環境でも干渉されないため、安定して使用することができる。これにより、今後はWirelessHD方式で映像通信を行う製品のみを使用し継続に検討を行う。

そして、本研究で開発したプロトタイプは、センサをHMD側に貼り付け、並びに利用者にHDMI受信機とモバイルバッテリーを収めたポーチを装着させる状態でありながら、HMD一式の軽さに対しても比較的軽いと感じさせることができたため、HDMI受信機、センサなどを内蔵することもすぐ実現可能だと考えられる。

第 5 章

結論

5.1 結論

本研究では、個人利用者を対象に、家庭内でのVR体験を想定し、パーソナルスマートデバイスかに向けて、ハイパフォーマンスでかつ、手軽に使えるHMDの開発を目指した。現状のHMDを分析し、VR体験者向けにVR体験に対する評価のアンケート調査を行った結果、音声インタフェースを用いたワイヤレス化HMDを提案し、プロトタイプの開発を目的とした。

開発は、まずHMDのワイヤレス化について検討した。ワイヤレス化は、映像通信のワイヤレス化、センサデータ通信のワイヤレス化、電源供給のワイヤレス化について検討し、実現した。プロトタイプを開発する際、映像通信は二種の方式を使用した。通信が安定の上、環境の電波によって干渉されないのがWirelessHD方式通信だった。センサデータ通信では、視線方向のみを計測し、360度の見回しを可能にした。電源供給では、モバイルバッテリーを使用した。

次に、音声インタフェースについて検討した。音声認識は、Google Assistantが使用されるGoogle Home Miniを使用した。インタラクションの制御は、IFTTTを利用し、Google AssistantとWebhooksの連携を取る仕組みで実現した。

最後に、音声インタフェースを用いたワイヤレス化HMDに対して、検証実験を行った。検証実験の結果、ワイヤレス化と音声インタフェースに対する有効性と利用意欲を確認できた。

5.2 今後の展望及び課題

5.2.1 ワイヤレス化の課題

本研究において、HMDのパーソナルスマートデバイス化に向けて提案した音声インタフェースを用いたワイヤレス化HMDは、主にハードウェアの使用と通信手段に対する検討を行い、実現した。ただし、HMDの一体化と更なる軽量化、及び通信の安定性と操作の簡単性などのことに関して、更なる改善について検討を行う必要がある。さらに、視線方向計測のみで行う映像体験や、音声インタフェースのみで行う操作は、必ずしもカバーできない場合がある。より良いVR体験のため、視点位置計測や、コントローラの使用についても改めて検討する必要があると考えられる。

5.2.2 VRコンテンツの課題

本研究で行われた開発はハードウェアをメインとし、VRコンテンツの開発について検討を行わず、Unityを用いた単独なVRデモコンテンツを制作した。今後はJavascript APIの一つであるWebVRを利用できるのではないかと考えている[14]。他の研究でも、HTML5による360度動画VRアプリケーションについて研究を進めているため[15]、VRコンテンツをウェブ上に移行する可能性はあると考えられる。WebVRは特定の数種ブラウザ上で稼働可能し、スマートフォンとPCとも使える仕様となっている。複雑なVRコンテンツでもWebVR上で使用可能となると、WebVRを用いた汎用的なプラットフォームができ、単一製品に対するでなく、どのHMDでも使える汎用的で共有可能なVRコンテンツの開発が期待できる。

本研究では、検証実験の際に Unity を用いて開発したデモコンテンツを WebVR への実装に向けて実験をしている。現段階では、ローカルデータ通信により、WebVR 上で作った簡単なコンテンツを操作することが可能だと判明した。今後はより複雑なコンテンツを用い、ワイヤレス化の通信と音声インタフェースを導入し、WebVR に関する実験を行う予定である。

謝辭

謝辞

本研究を進めるにあたり、慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科の小木哲朗教授には、指導教官として多くのご指導を頂いたことを、厚く感謝申し上げます。同研究科の西村秀和教授には、副査としてご助言を頂いたことを深く感謝申し上げます。ゼミや日常の議論の中で多くのアドバイスとご助力を頂いた同研究室に所属するメンバー、同研究科に所属する諸先輩方及び同期の方々に、深く感謝申し上げます。

また、試作HMDを製作、提供していただいた、株式会社三和機工の益田準様、丹司恵之様、並びに、株式会社OTPの金鳳浩様に感謝致します。研究に対するサポート、及び企業展示会に参加するという貴重な体験をさせてくださったことを、ここに厚く御礼申し上げます。

さらに、ご多忙の中、アンケート調査、及び検証実験にてご協力頂いた方々に厚く御礼申し上げます。

最後に、日本への留学を支えてくださり、大学院に進学させてくださった両親に、心より感謝申し上げます。

2019年1月

孫 嘉欣

参考文献

参考文献

- [1] 桑野雄, “VRは人間のあり方そのものを変えていくのか 3D&バーチャルリアリティ展 基調公演レポート” [Online].
<https://www.watch.impress.co.jp/headline/docs/extra/vr/1008849.html> [Accessed: 2019.02.15].
- [2] 星貴之, 檜山敦, 稲見昌彦, “VR/AR/MRの産業分野への応用展開”, 精密工学会誌, Vol.83, No.6, 2017, pp. 485-488
- [3] Ivan E. Sutherland, “A Head-Mounted Three-Dimensional Display”, AFIPS Conference Proceedings, pp.757-764
- [4] 西田宗千佳, “【西田宗千佳のRandomTracking】 特別編 : 「バーチャルリアリティー」の歴史を俯瞰する” [Online].
<https://av.watch.impress.co.jp/docs/series/rt/737344.html> [Accessed: 2019.02.15].
- [5] 渡辺清, “ウェアラブルな映像デバイス”, 映像情報メディア学会誌, 57 卷 (2003) 3号, pp. 335-336
- [6] 研野孝吉, “HMDの最新の動向と展望”, 映像情報メディア学会誌, 55卷 (2001) 8-9号, pp.1081-1083
- [7] 深井克明, “立体ヘッドマウンドディスプレイ (HMD)”, 映像情報メディア学会誌, 52 卷 (1998) 7号, pp. 912-913
- [8] Junzhong Gu, “VR, AR and MR - challenges and opportunities”, Computer Applications and Software, Vol.35 No.3, Mar. 2018, pp. 1-7
- [9] 宮坂寛和, “ヘッドマウンドディスプレイの応用と製品動向”, 映像情報メディア学会技術報告, 23.70巻 (1999)
- [10] “ヘッドマウンドディスプレイを使用した運転シミュレータ” [Online].
<https://www.tokyu-techno.co.jp/business/simulator/headmountdisplay/> [Accessed: 2019.02.15].
- [11] “PS VRの特長” [Online].
<https://www.jp.playstation.com/psvr/features/> [Accessed: 2019.02.15].
- [12] “TPCAST Wireless Adapter for VIVE” [Online].
<https://www.tpcastvr.com/product-vive> [Accessed: 2019.02.15].
- [13] 埼玉県公式ホームページ, “県立総合教育センター 一般公開「集まれ! ‘センター探検隊’」の開催について”[Online].
<https://www.pref.saitama.lg.jp/a0001/news/page/2018/0928-21.html> [Accessed: 2019.02.15]
- [14] “WebVR | Web | Google Developers” [Online].
<https://developers.google.com/web/fundamentals/vr/> [Accessed: 2019.02.15].
- [15] 小林史明, “HTML5による360°動画VRアプリケーション実装”, 映像情報メディア学会誌, 70巻 (2016) 3号, pp. 236-239

外部発表

外部発表

以下、本研究に関連する外部発表タイトルを記す。

国内学会発表

1. 小木哲朗, 伊藤研一郎, 栗田祐輔, 孫嘉欣, 金鳳浩, 益田隼, 丹司恵之, “ハイパフォーマンスコンテンツに対応するワイヤレスHMDの開発”, 日本バーチャルリアリティ学会第33回テレ-immージョン技術研究会, 福岡, 2017.12.8.
2. 孫嘉欣, 小木哲朗, “パーソナルスマートデバイスに向けたワイヤレスHMDの開発”, 日本機械学会第28回設計工学・システム部門講演会, 沖縄, 2018.11.4-6
3. 孫嘉欣, 小木哲朗, “パーソナルデバイス化に向けたHMDのワイヤレス化と音声インタフェース”, 日本バーチャルリアリティ学会第36回テレ-immージョン技術研究会, 宮城, 2018.12.6

付録

付録 A

A.1 VR 体験に関するアンケート

第2章において、これまでVR体験をしたことがある方を対象に、現状のVR体験に対するアンケート調査内容を以下に記す。

1. あなたの属性についてお答えください。

【性別】 男性 ・ 女性

【年齢】 9歳以下・10代・20代・30代・40代・50代・60歳以上

2. あなたが体験したヘッドマウントディスプレイ(HMD)の種類をお答えください。(複数選択可)

1) PC・ゲーム機型 (Oculus Rift, HTC VIVE, PlayStation VR など)

2) スマートフォン型 (ハコスコ, Google Cardboard, Galaxy VR など)

3) 一体型 (HoloLens, Oculus GO など)

3. 今までの VR 体験で感じたことをお答えください。

※多種の VR デバイスを体験した場合、あなたが最も良いと思うデバイスを標準して、お答えください。

事前準備の簡単さ	複雑	【1	2	3	4	5】	手軽
臨場感の高さ	低い	【1	2	3	4	5】	高い
コンテンツの面白さ	面白くない	【1	2	3	4	5】	面白い
画面の精細さ	悪い	【1	2	3	4	5】	良い
視野の広さ	狭い	【1	2	3	4	5】	広い
遅延の無さ	有る	【1	2	3	4	5】	無い
装備一式の軽さ	重い	【1	2	3	4	5】	軽い
操作の簡単さ	複雑	【1	2	3	4	5】	簡単
身動きの自由さ	制限される	【1	2	3	4	5】	制限されない
その他 (自由記入)							

4. もしも、家庭内で VR 体験をするとしたら、重視することをお答えください。

事前準備の簡単さ	全く気にしない	【1	2	3	4	5】	最も重視
臨場感の高さ	全く気にしない	【1	2	3	4	5】	最も重視
コンテンツの面白さ	全く気にしない	【1	2	3	4	5】	最も重視
画面の精細さ	全く気にしない	【1	2	3	4	5】	最も重視
視野の広さ	全く気にしない	【1	2	3	4	5】	最も重視
遅延の無さ	全く気にしない	【1	2	3	4	5】	最も重視
装備の軽さ	全く気にしない	【1	2	3	4	5】	最も重視
操作の簡単さ	全く気にしない	【1	2	3	4	5】	最も重視
身動きの自由さ	全く気にしない	【1	2	3	4	5】	最も重視
その他 (自由記入)							

☆ 以上となります。ご協力ありがとうございました。

A.2 音声 VR 体験に関するアンケート

第3章で行った音声インタフェースに対する予備検証実験のアンケート調査内容を以下に記す。

1. 以前、VR ゴーグル (HTC VIVE, Oculus Rift など) を体験したことがありますか？
あった なかった
2. VR ゴーグル (HTC VIVE, Oculus Rift など) をお持ちですか？
持っている 持っていない
3. お持ちの場合、主にどのような用途で利用していますか？ (複数選択可)
ゲーム 映画鑑賞 旅行体験 その他 ()
4. 以前、音声アシスタント (Siri, Google アシスタント, Cortana など) を使用したことがありますか？
あった なかった
5. スマートスピーカー (Google Home, Amazon Echo など) をお持ちですか？
持っている 持っていない
6. VR 体験についてお答えください。
 - (1) VR 体験を面白く感じましたか？
面白い やや面白い どちらとも言えない あまり面白くない 面白くない
 - (2) ご自宅で VR 体験をしたいと思えますか？
思う やや思う どちらとも言えない あまり思わない 思わない
7. 音声操作についてお答えください。
 - (1) 音声操作に対する抵抗感はありますか？
ある 少しある どちらとも言えない あまりない ない
 - (2) 音声操作の反応速度についてどのように感じましたか？
遅い やや遅い どちらとも言えない やや早い 早い
 - (3) 音声操作に対する画面の切り替え速度についてどのように感じましたか？
遅い やや遅い どちらとも言えない やや早い 早い
 - (4) 音声操作の認識率についてどのように感じましたか？
悪い やや悪い どちらとも言えない やや良い 良い
 - (5) VR 体験における音声操作は有効だと思いますか？
思う やや思う どちらとも言えない あまり思わない 思わない
 - (6) 今後 VR 体験をする際、音声操作を利用したいと思えますか？
思う やや思う どちらとも言えない あまり思わない 思わない
8. あなたの属性について教えてください。
 - (1) 性別： 男性 女性
 - (2) 年齢： 9歳以下 10代 20代 30代 40代 50代 60歳以上

☆ 以上となります。ご協力ありがとうございました。

A.3 ワイヤレス化 HMD と音声体験に関するアンケート

第4章で行った検証実験の本アンケートの内容を以下に記す。

1. あなたの属性について教えてください。
【性別】 男性 ・ 女性
【年齢】 9歳以下・10代・20代・30代・40代・50代・60歳以上
2. 以前、HMD（HTC VIVE, Oculus Rift, PSVR など）を体験したことがありますか？
あった ・ なかった
3. HMD（HTC VIVE, Oculus Rift, PSVR など）をお持ちですか？
持っている ・ 持っていない
4. ワイヤレスでの体験についてお答えください。
 - (1) 身動きについてどのように感じましたか？
楽でなかった 【-2 -1 0 1 2】 楽だった
 - (2) ワイヤレス化 HMD 一式の重さについてどのように感じましたか？
重かった 【-2 -1 0 1 2】 軽かった
 - (3) HMD のワイヤレス化は有効だと思いますか？
思わない 【-2 -1 0 1 2】 思う
 - (4) 今後ワイヤレス化 HMD を利用したいと思いますか？
思わない 【-2 -1 0 1 2】 思う
5. 音声操作についてお答えください。
 - (7) 音声操作の反応速度についてどのように感じましたか？
遅かった 【-2 -1 0 1 2】 早かった
 - (8) 音声操作の認識率についてどのように感じましたか？
悪かった 【-2 -1 0 1 2】 良かった
 - (9) HMD における音声操作は有効だと思いますか？
思わない 【-2 -1 0 1 2】 思う
 - (10) 今後 HMD における音声操作を利用したいと思いますか？
思わない 【-2 -1 0 1 2】 思う
6. ワイヤレス化 HMD と音声体験に関するご感想を教えてください。（自由記入）

☆ 以上となります。ご協力ありがとうございました

付録B 一部参考開発ソース

B.1 センサデータ受信

PC 側がセンサデータを受信し、UDP 通信を通して、映像コンテンツに視線方向データを送信するプログラムを以下に記す。

使用言語 C#

※LP-RESEARCH 社が提供したセンサデータ処理プログラムを一部参照

名称 Program.cs

```
using System;
using LPMSB2;
using System.IO;
using System.Net;
using System.Net.Sockets;
using System.Threading;
using System.Text;

namespace LpSensorCSharp_CommandLine_Example
{
    class Program
    {
        static Socket server;
        static String sdata;
        static void Main(string[] args)
        {
            server = new Socket(AddressFamily.InterNetwork, SocketType.Dgram,
                ProtocolType.Udp);
            server.Bind(new IPEndPoint(IPAddress.Parse("127.0.0.1"), 6000));
            Thread t = new Thread(sendMsg);
            t.Start();
            //センサデータを受信
            string sensor1Address = "センサのシリアル ID";
            LpmsB2 sensor1 = new LpmsB2(sensor1Address);
            sensor1.connect();
            int retryCount = 0;
            while (sensor1.getConnectionStatus() !=
                LpmsB2.SENSOR_STATUS_CONNECTED)
            {
                if (sensor1.getConnectionStatus() == LpmsB2.SENSOR_STATUS_ERROR)
                {
                    if (retryCount >= 3)
                    {
                        Console.WriteLine("Error connecting to sensor after {0} retries.
                            Terminating bye", retryCount);
                        System.Environment.Exit(1);
                    }
                    Console.WriteLine("Error connecting to sensor: {0}",
                        sensor1.getErrorMessage());
                    Console.WriteLine("retrying {0}", retryCount);
                    retryCount += 1;
                }
                Thread.Sleep(3000);
            }
        }
    }
}
```

```

    }
    //sensor1.printConfig();
    while (sensor1.getConnectionStatus() ==
LpmsB2.SENSOR_STATUS_CONNECTED)
    {
        int nData = sensor1.hasNewData();
        if (nData > 0)
        {
            LpmsData sd = new LpmsData();
            sd = ((LpmsData)sensor1.getLpmsBData());
            sdata =
String.Format("{0:+0.000;-0.000},{1:+0.000;-0.000},{2:+0.000;-0.000}",
                sd.euler[0], sd.euler[1], sd.euler[2]);
            Console.WriteLine(sdata);
            //センサデータを送信
            EndPoint point1 = new IPEndPoint(IPAddress.Parse("127.0.0.1"), 6001);
            EndPoint point2 = new IPEndPoint(IPAddress.Parse("127.0.0.1"), 6002);
            EndPoint point3 = new IPEndPoint(IPAddress.Parse("127.0.0.1"), 6003);
            EndPoint point4 = new IPEndPoint(IPAddress.Parse("127.0.0.1"), 6004);
            server.SendTo(Encoding.UTF8.GetBytes(sdata), point1);
            server.SendTo(Encoding.UTF8.GetBytes(sdata), point2);
            server.SendTo(Encoding.UTF8.GetBytes(sdata), point3);
            server.SendTo(Encoding.UTF8.GetBytes(sdata), point4);
        }
        else
            System.Threading.Thread.Sleep(1);
    }
    if (sensor1.disconnect())
        Console.WriteLine("sensor {0} disconnected", sensor1.getAddress());
    else
        Console.WriteLine("sensor {0} error disconnecting", sensor1.getAddress());
    server.Close();
}
static void sendMsg()
{
}
}
}

```

B.2 視線方向変化による画面変化

映像コンテンツが受けた視線方向データを元に、相応角度の画面に変化させるプログラムを以下に記す。

使用言語 C#

名称 udpSpring.cs

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using System.Net;
using System.Net.Sockets;
using System.Text;
using System.Threading;
using UnityEngine;

public class udpSpring : MonoBehaviour
{
    static Socket server;
    static private Vector3 newAngle = new Vector3(0, 0, 0);
    static private float pitch, roll, heading;

    void Start()
    {
        server = new Socket(AddressFamily.InterNetwork, SocketType.Dgram,
ProtocolType.Udp);
        server.Bind(new IPEndPoint(IPAddress.Parse("127.0.0.1"), 6001));
        Thread t = new Thread(ReciveMsg);
        t.Start();
    }

    static void ReciveMsg()
    {
        while (true)
        {
            EndPoint point = new IPEndPoint(IPAddress.Any, 0);
            byte[] buffer = new byte[1024];
            int length = server.ReceiveFrom(buffer, ref point);
            string message = Encoding.UTF8.GetString(buffer, 0, length);
            var values = message.Split(',');

            roll = float.Parse(values[0]);
            pitch = float.Parse(values[1]);
            heading = float.Parse(values[2]);

            newAngle = new Vector3(-1 * roll, -1 * heading, pitch);
            Debug.Log(newAngle);
        }
    }

    void Update()
    {
        transform.eulerAngles = newAngle;
    }
}
```

B.3 音声操作による画面変化

音声操作のコマンドに応じて、表示画面を変化させるプログラムを以下に記す。

使用言語 C#

名称 SeasonChange.cs

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;
using System;
using System.IO;

public class SeasonChange : MonoBehaviour
{
    Camera CameraMain;
    Camera CameraSpring;
    Camera CameraSummer;
    Camera CameraAutumn;
    Camera CameraWinter;

    void Start()
    {
        CameraMain = (Camera)GameObject.Find("CameraMain").GetComponent("Camera");
        CameraSpring = (Camera)GameObject.Find("CameraSpring").GetComponent("Camera");
        CameraSummer =
(Camera)GameObject.Find("CameraSummer").GetComponent("Camera");
        CameraAutumn =
(Camera)GameObject.Find("CameraAutumn").GetComponent("Camera");
        CameraWinter = (Camera)GameObject.Find("CameraWinter").GetComponent("Camera");

        CameraMain.enabled = true;
        CameraSpring.enabled = false;
        CameraSummer.enabled = false;
        CameraAutumn.enabled = false;
        CameraWinter.enabled = false;
    }

    void Update () {

        //音声操作部分
        string filePath = @"C:/cygwin64/home/command.txt";
        string allText = File.ReadAllText(filePath);
```

```
//get command word
char[] separator = new char[] { ' ', '\t', '\n' };
string[] eachWord = allText.Split(separator);
Debug.Log("word: " + eachWord[1]);

int iCompare0 = eachWord[1].CompareTo("4season");
if (iCompare0 == 0)
{
    CameraMain.enabled = true;
    CameraSpring.enabled = false;
    CameraSummer.enabled = false;
    CameraAutumn.enabled = false;
    CameraWinter.enabled = false;
}
int iCompare1 = eachWord[1].CompareTo("spring");
if (iCompare1 == 0)
{
    CameraMain.enabled = false;
    CameraSpring.enabled = true;
    CameraSummer.enabled = false;
    CameraAutumn.enabled = false;
    CameraWinter.enabled = false;
}
int iCompare2 = eachWord[1].CompareTo("summer");
if (iCompare2 == 0)
{
    CameraMain.enabled = false;
    CameraSpring.enabled = false;
    CameraSummer.enabled = true;
    CameraAutumn.enabled = false;
    CameraWinter.enabled = false;
}
int iCompare3 = eachWord[1].CompareTo("autumn");
if (iCompare3 == 0)
{
    CameraMain.enabled = false;
    CameraSpring.enabled = false;
    CameraSummer.enabled = false;
    CameraAutumn.enabled = true;
    CameraWinter.enabled = false;
}
```

```
int iCompare4 = eachWord[1].CompareTo("winter");
if (iCompare4 == 0)
{
    CameraMain.enabled = false;
    CameraSpring.enabled = false;
    CameraSummer.enabled = false;
    CameraAutumn.enabled = false;
    CameraWinter.enabled = true;
}
//音声操作部分終了
}
```