

修士論文

複合現実技術における仮想オブジェクトの表示
および操作方法についての調査

早稲田大学大学院基幹理工学研究科
情報理工・情報通信専攻

遠山秀馬

学籍番号 5117F063-5

提出 2019年2月1日

指導教授 中島達夫

Displaying and Moving Virtual Objects in Mixed Reality Environments

Shuma TOYAMA

Thesis Submitted in Partial Fulfillment of
the Requirements for the Degree of
Master Engineering

| | |
|-----------------------------|------------------------|
| <u>Student ID</u> | <u>5117F063-5</u> |
| <u>Submission Date</u> | <u>Feb 1, 2019</u> |
| <u>Supervisor Professor</u> | <u>Tatsuo Nakajima</u> |

Department of Computer Science and Communications
Engineering, the Graduate School of
Fundamental Science and Engineering of Waseda University

概要

光学シースルー型のヘッドマウントディスプレイを用いた複合現実技術は現実空間を認識した上で仮想オブジェクトを付与することができる。この技術の利用例として、仮想オブジェクトによる自室など個人のスペースの拡張が挙げられる。

本研究では、個人での複合現実技術の利用に焦点を当て、そこで扱われる仮想オブジェクトがどのような表示型式、操作方法で提供されるのが望ましいかを調査した。プロトタイプシステムを用いた実験から、MR 環境における仮想オブジェクトの扱い方について知見を得ることが出来た。

目次

| | |
|---|----------|
| 第1章 序論 | 1 |
| 1.1 背景 | 1 |
| 1.1.1 複合現実(MR)技術の発展と展望..... | 1 |
| 1.1.2 情報技術における現実空間の拡張..... | 1 |
| 1.1.3 情報と場所の関係性..... | 1 |
| 1.1.4 仮想オブジェクトが抱える問題..... | 2 |
| 1.2 研究の目的 | 2 |
| 1.3 論文の構成 | 3 |
| | |
| 第2章 関連研究 | 4 |
| 2.1 関連事例..... | 4 |
| 2.1.1 現実空間への仮想オブジェクトの付与..... | 4 |
| 2.1.2 場所からの情報の取得..... | 5 |
| 2.2 仮想オブジェクトの遠隔操作..... | 5 |
| 2.2.1 An evaluation of techniques for grabbing and manipulating remote objects in immersive virtual environments | 5 |
| 2.2.2 Wall-based Space Manipulation Technique for Efficient Placement of Distant Objects in Augmented Reality | 6 |
| | |
| 第3章 実装・設計 | 7 |
| 3.1 設計・目的..... | 7 |
| 3.2 HoloList..... | 8 |
| 3.2.1 モード1 テキストによる表示 t..... | 8 |
| 3.2.2 モード2 メタファとなるオブジェクトによる表示..... | 9 |
| 3.2.3 モード3 アニメーションするオブジェクトによる表示 | 10 |
| 3.3 Landmark-based Remote Control (LRC)..... | 11 |
| 3.3.1 モードa ランドマークへのオブジェクトの位置補正..... | 12 |
| 3.3.2 モードb 室内俯瞰図によるオブジェクトの操作..... | 13 |

第4章 事前評価..... 14

| | |
|--------------------------------|----|
| 4.1 目的 | 14 |
| 4.2 User Enactments による評価..... | 14 |
| 4.3 実験概要 | 15 |
| 4.3.1 HoloList..... | 16 |
| 4.3.2 LRC..... | 16 |
| 4.4 結果..... | 17 |
| 4.4.1 HoloList..... | 17 |
| 4.4.2 LRC..... | 19 |

第5章 設計の再検討..... 23

| | |
|--|----|
| 5.1 HoloList..... | 23 |
| 5.1.1 情報の段階的な表示..... | 23 |
| 5.1.2 アニメーションによる情報提示..... | 23 |
| 5.1.3 モード4 アニメーションによるタスク開始時間の提示 | 24 |
| 5.2 LRC | 24 |
| 5.2.1 補助機能が与える弊害 | 24 |
| 5.2.2 仮想オブジェクトの操作形式..... | 24 |
| 5.2.3 ユーザの行動に対するフィードバック..... | 24 |
| 5.2.4 モードc オブジェクト及びランドマークの直接指定による操作..... | 25 |

第6章 評価..... 26

| | |
|---------------------|----|
| 6.1 目的 | 26 |
| 6.2 実験概要 | 26 |
| 6.2.1 HoloList..... | 26 |
| 6.2.2 LRC..... | 26 |
| 6.3 結果 | 27 |
| 6.3.1 HoloList..... | 27 |
| 6.3.2 LRC..... | 29 |

| | |
|---------------------------------------|-----------|
| 第7章 考察 | 33 |
| 7.1 再設計後のアプリケーションの評価..... | 33 |
| 7.1.1 HoloList..... | 33 |
| 7.1.2 LRC..... | 33 |
| 7.2 仮想オブジェクトの表示, 操作形式の段階的な変更 | 34 |
| 7.3 MR 環境での現実のオブジェクトと仮想オブジェクトの分類..... | 34 |
| | |
| 第8章 将来課題 | 35 |
| 8.1 ユーザビリティ対応..... | 35 |
| 8.2 フィードバック機能の改善..... | 35 |
| 8.3 仮想オブジェクトのアニメーションに関する調査..... | 35 |
| 8.4 AR, VR への対応 | 36 |
| | |
| 第9章 結論 | 37 |
| | |
| 参考文献 | 38 |
| | |
| 謝辞 | 40 |

図目次

| | |
|--|----|
| 図 1.1 Vrowser の利用図 | 2 |
| 図 2.1 IKEA Place の利用図 | 4 |
| 図 2.2 Wall-based Space Manipulation (WSM) の機能解説図 | 6 |
| 図 3.1 HoloList, LRC のコンセプト | 7 |
| 図 3.2 HoloList 利用図 | 8 |
| 図 3.3 HoloList モード 1 によるタスク表示 | 8 |
| 図 3.4 HoloList モード 2 によるタスク表示 | 9 |
| 図 3.5 HoloList モード 3 によるタスク表示 | 10 |
| 図 3.6 ランドマーク設定のための仮想マーカー | 11 |
| 図 3.7 LRC による仮想オブジェクト操作手順 | 12 |
| 図 3.8 LRC モード a の利用例 | 12 |
| 図 3.9 LRC モード b の利用例 | 13 |
| 図 4.1 実験風景 | 15 |
| 図 4.2 ランドマークへの仮想オブジェクトの設置判定 | 16 |
| 図 4.3 この表示形式は提示したシナリオに適していると思いますか | 17 |
| 図 4.4 どのモードが最もシナリオに適していると思いますか | 17 |
| 図 4.5 LRC を用いたタスクの所要時間 | 19 |
| 図 4.6 仮想オブジェクトの操作は容易にできましたか | 19 |
| 図 4.7 各モードの機能はタスクの達成に役立ちましたか | 21 |
| 図 4.8 各モードの機能を邪魔に感じることはありませんでしたか | 21 |
| 図 4.9 どの操作形式が最もタスクの達成に適していると思いますか | 22 |
| 図 5.1 LRC モード c の利用例 | 25 |
| 図 6.1 この表示形式は提示したシナリオに適していると思いますか | 27 |
| 図 6.2 どのモードが最もシナリオに適していると思いますか | 27 |
| 図 6.3 モード 3 における「どのオブジェクトが最も印象に残りましたか」 への回答 | 28 |
| 図 6.4 モード 4 における「どのオブジェクトが最も印象に残りましたか」 への回答 | 28 |
| 図 6.5 LRC を用いたタスクの所要時間 | 29 |
| 図 6.6 仮想オブジェクトの操作は容易にできましたか | 30 |
| 図 6.7 モード c の機能はタスクの達成に役立ちましたか | 31 |
| 図 6.8 モード c の機能を邪魔に感じることはありませんでしたか | 31 |
| 図 6.9 どの操作形式が最もタスクの達成に適していると思いますか | 32 |

表目次

| | |
|--|----|
| 表 4.1 「この表示形式は提示したシナリオに適していると思いますか」 の回答理由 | 18 |
| 表 4.2 HoloList に関するインタビュー結果 | 18 |
| 表 4.3 「仮想オブジェクトの操作は容易にできましたか」の回答理由..... | 20 |
| 表 4.4 仮想オブジェクトの操作性に関するインタビュー結果..... | 20 |
| 表 4.5 「各モードの機能を邪魔に感じることはありましたか」の回答理由.... | 22 |
| 表 4.6 各モードの機能に関するインタビュー結果..... | 22 |
| 表 6.1 「この表示形式は提示したシナリオに適していると思いますか」 の回答理由 | 28 |
| 表 6.2 HoloList に関するインタビュー結果 | 29 |
| 表 6.3 「仮想オブジェクトの操作は容易にできましたか」の回答理由..... | 30 |
| 表 6.4 「モード c の機能を邪魔に感じることはありましたか」の回答理由.... | 32 |
| 表 6.5 モード c に関するインタビュー結果..... | 32 |

第 1 章 序論

1.1 背景

1.1.1 複合現実(MR)技術の発展と展望

近年, 複合現実(MR, Mixed Reality)技術の発展に注目が集まっている. Microsoft社の HoloLens¹をはじめとする光学シースルー型ヘッドマウントディスプレイ(HMD)を用いた MR アプリケーションは, 現実空間に仮想のオブジェクトを付与することができる. 現在, この MR 技術は主に NASA[1]など企業単位で利用されているが, 今後, 拡張現実(AR, Augmented Reality)技術及び仮想現実(VR, Virtual Reality)技術同様一般的な普及が予想される.

個人での MR コンテンツの利用例として自室など個人のスペースを仮想オブジェクトにより拡張するという手法があげられる. 既に, 仮想オブジェクトをスイッチとした現実空間の家具の操作[2]や, 現実と仮想のオブジェクトを混合させたゲーム[3], など多くのアイデアが提案されている.

1.1.2 情報技術における現実空間の拡張

情報技術により現実空間を拡張する例として, Ambient Display[4]をあげる. Ambient Display では, デジタルコンテンツのインタフェースとして音や温度などのユーザの物理環境の変化をあげ, それらと情報の変化を関連づけることでユーザに受動的な情報の取得を促すというアプローチを提案している.

1.1.3 情報と場所の関係性

著者の過去の研究として, Vrowser[5]をあげる. このアプリケーションは情報の取得源となる Web ページを仮想オブジェクト化し, 現実空間を模した VR 空間に配置することで情報を分散, グループ化することを目的とした VR アプリケーションである. アプリケーションの利用図を図 1.1 に示す. 当研究では, VR 空間にランドマークとなる 3D オブジェクトが存在する場合とそうでない場合でユーザの Web ページの配置に違いがあるか調査するための評価実験を行った. その結果, 多くのユーザが Web ページを内容に関連するランドマークがある場所へ配置する傾向があり, 情報と場所の関係性についての知見を得た.

¹ HoloLens. <https://www.microsoft.com/ja-jp/hololens/>. Accessed 2018/12/28.



図 1.1 Vrowser 利用図

1.1.4 仮想オブジェクトが抱える問題

VR 技術や MR 技術によって提供される仮想オブジェクトは、その表示方法、操作方法が課題にあげられることが多い。これらの問題を解決するアプローチを提案することは MR 技術の一般的な普及に大きな意味を持つといえる。

1.2 研究の目的

本研究では、HoloLens を用いた、仮想オブジェクトによりユーザのスケジュールを管理する HoloList と室内のランドマークを基準に仮想オブジェクトの操作を補助する Landmark-based Remote Control(LRC)の2つのアプリケーションを作成し、個人のスペースにおける MR コンテンツの提供方法の調査を行った。各アプリケーションに対し複数の表示、操作形式を設定し、それらを比較することで、仮想オブジェクトの提供方法に対する知見を得ることを本研究の目的とする。

1.3 論文の構成

本論文は以下の9つの章で構成されている。

第1章 序論

本研究の背景, 目的を述べる。

第2章 関連研究

本研究の関連事例及び関連研究について述べる。

第3章 実装・設計

本研究で作成した HoloList, LRC の実装と設計方針について述べる。

第4章 事前評価

アプリケーションを用いた事前評価とその結果について述べる。

第5章 設計の再検討

事前評価に基づくアプリケーションの再設計について述べる。

第6章 評価

再設計後のアプリケーションを用いた評価とその結果について述べる。

第7章 考察

評価実験の結果から得られた考察について述べる。

第8章 将来課題

本研究の将来課題について述べる。

第9章 結論

今回の研究から得られた結論について述べる。

第 2 章 関連研究

2.1 関連事例

2.1.1 現実空間への仮想オブジェクトの付与

現実空間に仮想オブジェクトを配置する例として IKEA Place²をあげる。IKEA Place は家具量販店 IKEA が提供する AR アプリケーションであり、図 2.1 で示すように、家具の 3D オブジェクトを部屋に配置することができる。また、3D オブジェクトのサイズ、色を変更できるため、家具を、それが実際に部屋に置かれた状態を見た上で購入することができる。

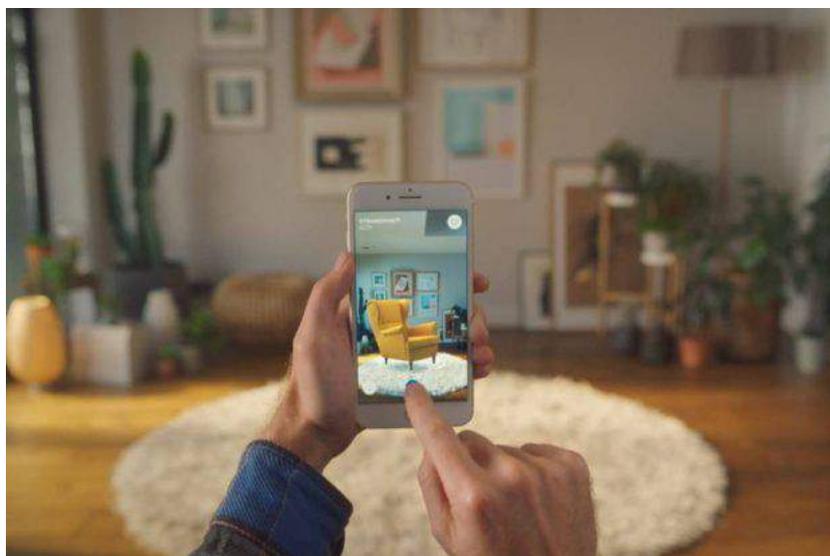


図 2.1 IKEA Place の利用図

(出展：脚註 2)

² IKEA Place. <https://m.ikea.com/jp/ja/pages/campaigns2018/ikeaplace/>. Accessed 2018/12/28.

2.1.2 場所からの情報の取得

デジタルコンテンツから得られる情報をディスプレイなどの一箇所で管理するのではなく、その情報が関係する場所ごとに分散して管理するという手法は様々な事例が存在する。

HoloLens を使用した場所による情報の取得の例として HoloSensor [6]をあげる。HoloSensor は室内の家具や植物にセンサを設置し、それを HoloLens で介して見ること対象の情報を取得するといったシステムである。

また、情報を視覚以外の方法で取得する手法として、1章で挙げた Ambient Display のようなアンビエントなメディアを利用した ambientROOM[7]をあげる。ambientROOM は、情報の取得のために常にディスプレイに目を向けなければならないコンピュータインタフェースに対して作成されたシステムであり、情報の取得を室内環境の変化により認知させるといったアプローチを提案している。その例として、電子メールの未読数に応じて室内に流れる環境音に変化するというシステムが紹介されている。

2.2 仮想オブジェクトの遠隔操作

仮想オブジェクトの遠隔操作の難しさは問題視されることが多い。その原因として HMD の解像度の低さ、視野角の狭さから生じる仮想オブジェクトへの遠近感の欠如[8]があげられる。この問題をサポートするための手法は VR 分野を中心に多くの議論がされている。本項ではその事例を紹介する。

2.2.1 An evaluation of techniques for grabbing and manipulating remote objects in immersive virtual environments

An evaluation of techniques for grabbing and manipulating remote objects in immersive virtual environments[9]は、VR 空間における仮想オブジェクトの遠隔操作を操作するためのアプローチについて述べている Doug らは、VR における操作補助のアプローチを、VR 空間のユーザの身体機能を拡張する Egocentric metaphor と VR 空間を縮小する Exocentric metaphor に分類している[9, 11]。当論文では、Egocentric metaphor に焦点を当て、レイキャスティングにより選択したオブジェクトを仮想の手により遠隔操作する HOME (Hand-centered Object Manipulation Extending Ray-Casting) を提案し、比較対象として Exocentric metaphor である VR 空間のミニチュアマップを表示する Win in Miniature (WIM) [10]を紹介している。

2.2.2 Wall-based Space Manipulation Technique for Efficient Placement of Distant Objects in Augmented Reality

Wall-based Space Manipulation Technique for Efficient Placement of Distant Objects in Augmented Reality[11]は, HoloLens を用いた仮想オブジェクトの操作をサポートする Wall-based Space Manipulation (WSM)というシステムについて述べている. WSM は図 2.1 に示すように, 室内の壁を選択し, 現実のオブジェクトをその方向へ縮小した仮想オブジェクトを表示することで, すでに配置されている仮想オブジェクトを操作する際のユーザの負担を軽減することを目的としている. 当論文の評価実験では, ユーザは仮想オブジェクトの配置場所が離れるにつれ負担が大きくなることを示し, WSM のアプローチが有効であると結論付けている.

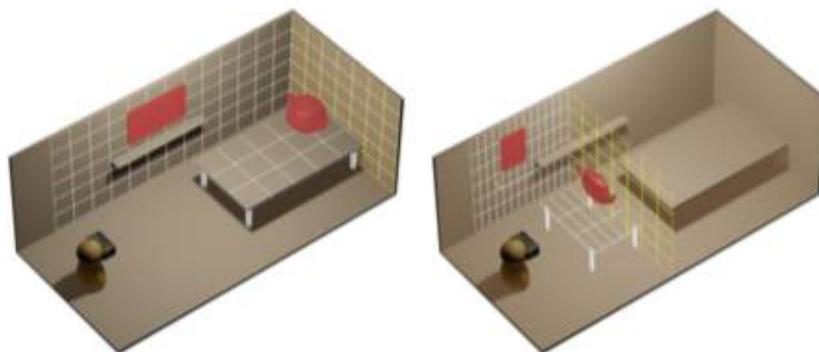


図 2.2 Wall-based Space Manipulation (WSM)の機能解説図

(出展: Wall-based Space Manipulation Technique for Efficient Placement of Distant Objects in Augmented Reality [12])

第3章 実装・設計

3.1 設計・目的

本研究で扱う HoloList, Landmark-based Remote Control(LRC)は Unity ゲームエンジン³, 言語 C#で開発した HoloLens アプリケーションである. いずれのアプリケーションも, 図 3.1 で示すように, ユーザは視線および人差し指を曲げるジェスチャを入力として仮想オブジェクトとインタラクションを行う. 各アプリケーションはそれぞれ複数のモードを切り替えることができ, 各モードによるユーザの評価を基に仮想オブジェクトの提供方法を調査することを本研究の目的とする. アプリケーション, 及びそれらのモードについての詳細を以下の節で述べる.

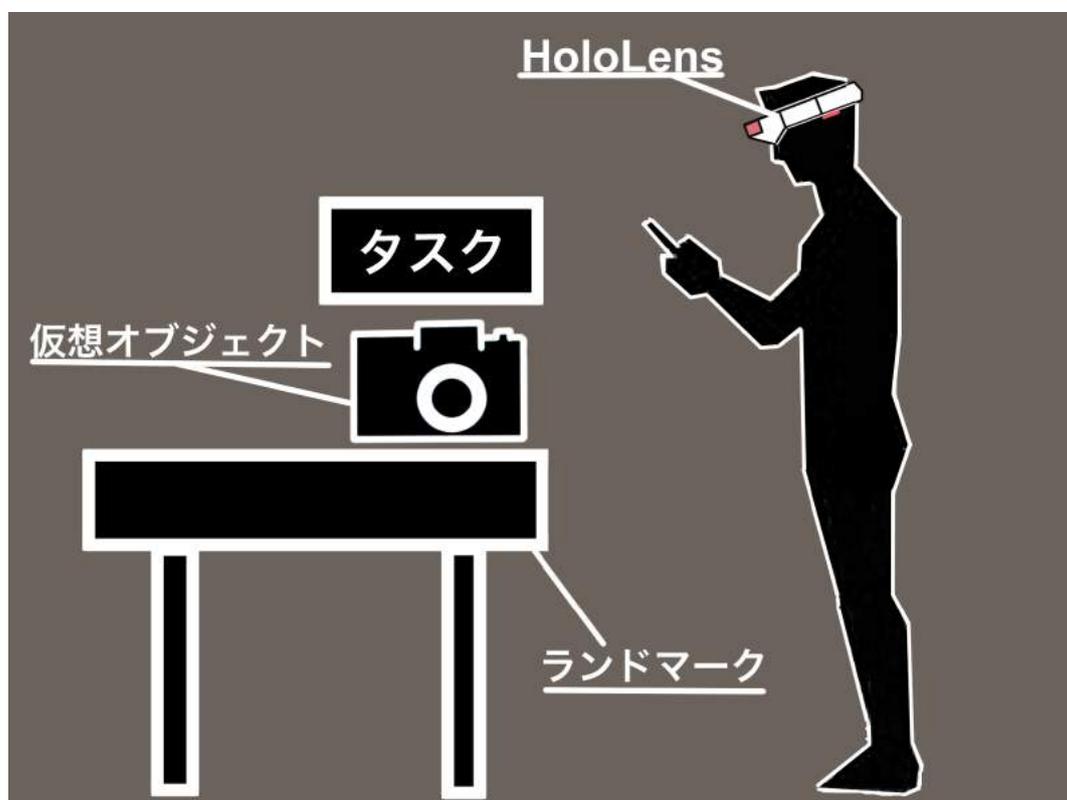


図 3.1 HoloList, LRC のコンセプト

³ Unity ゲームエンジン. <https://unity3d.com/>. Accessed 2019/1/6.

3.2 HoloList

HoloList は仮想オブジェクトとユーザのタスクを紐づけることでスケジュールを管理するアプリケーションである。HoloList を室内で使用した図を図 3.2 に示す。想定されるシチュエーションとして、翌日のタスクを設定し仮想オブジェクトを自室に配置するといった例があげられる。HoloList では、タスクの表示形式を 3 つのモードに切り替えることができる。各モードの詳細を以下に示す。



図 3.2 HoloList 利用図

3.2.1 モード1 テキストによる表示

モード1では、図3.3のようにタスク内容をテキストで示した平面的なオブジェクトで表示する。このモードは、ユーザが仮想オブジェクトを室内の机、壁など平面的な場所に設置することを想定しており、現実空間への仮想オブジェクトによる視覚的な影響が少ないことが特徴にあげられる。



図 3.3 HoloList モード1によるタスク表示

3.2.2 モード2 メタファとなるオブジェクトによる表示

モード2では、図3.4のようなタスクを連想させるような3Dモデルを配置し、それにユーザが視線を合わせることでタスク内容がテキストにより表示される。このモードでは、ユーザがタスク内容に対してアプリケーション内に用意されている3Dモデルを選択し、それらを室内の机や棚など現実のオブジェクトがある場所へ配置することを想定している。このモードの特徴として、ユーザが視線を合わせない限りタスク内容が表示されないため、一度に認識される情報の数を削減できるという点があげられる。本アプリケーションで選択できる3Dモデルは以下の4点である。

- ①カメラ
- ②本
- ③薬瓶
- ④ノートパソコン



図3.4 HoloList モード2によるタスク表示

3.2.3 モード3 アニメーションするオブジェクトによる表示

モード3では、図3.5で示すように、特定のアニメーションをする3Dモデルに視線を合わせることでタスク内容がテキストで表示される。このモードではモード2のようにタスク内容に対応する3Dモデルに加え、それがどのようなアニメーションをするかを設定できる。このモードの特徴として、3Dモデルがアニメーションするため現実のオブジェクトとの区別が容易という点があげられる。本アプリケーションで選択できるアニメーションは以下の4点である。

- ①オブジェクトが横方向に回転する
- ②オブジェクトの大きさが変化する
- ③オブジェクトの色が変化する
- ④オブジェクトがモデルとなる現実のオブジェクトを連想させる動きをする

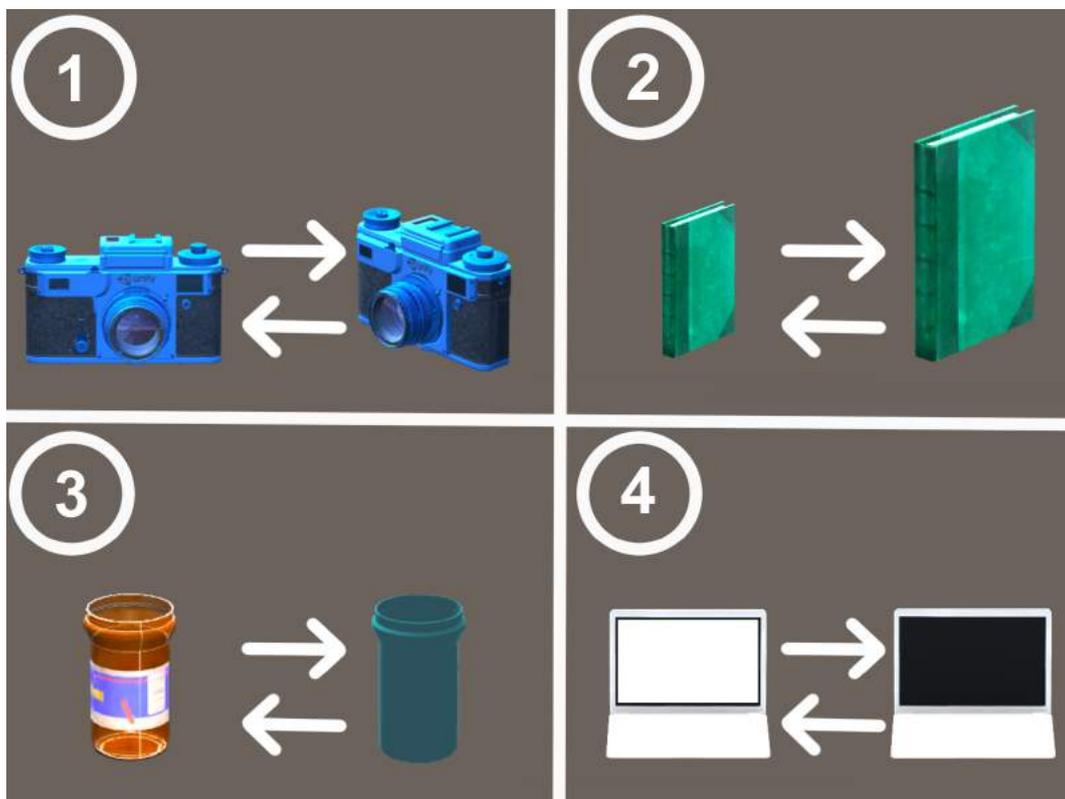


図 3.5 HoloList モード3によるタスク表示

3.3 Landmark-based Remote Control (LRC)

Landmark-based Remote Control(LRC)はランドマークを基に、仮想オブジェクトを遠隔操作するアプリケーションである。ここで扱うランドマークとは、室内に存在する机や棚などを指す。ユーザはLRCの初回利用時、ランドマークとしたい場所へ図3.6で示すような仮想オブジェクトからなるマーカーを配置することで設定される。マーカーおよび仮想オブジェクトの操作は、

- ① 仮想オブジェクトに視線を合わせる。
- ② 人差し指を曲げるジェスチャを行う。
- ③ 手を動かす。
- ④ 手を動かした方向へ仮想オブジェクトが移動する。

といった手順で行われる。操作手順を図にしたものを図3.7に示す。

LRCはHoloListなどの室内で使用するMRアプリケーション内で仮想オブジェクトの操作を補助するシステムとなることを想定している。LRCは2章3節で述べたExocentric metaphor[9]を軸に開発を行なった。LRCではランドマークを基に現実空間を縮小するというアプローチを軸に、2つのモードを開発した。各モードの詳細を以下に示す。

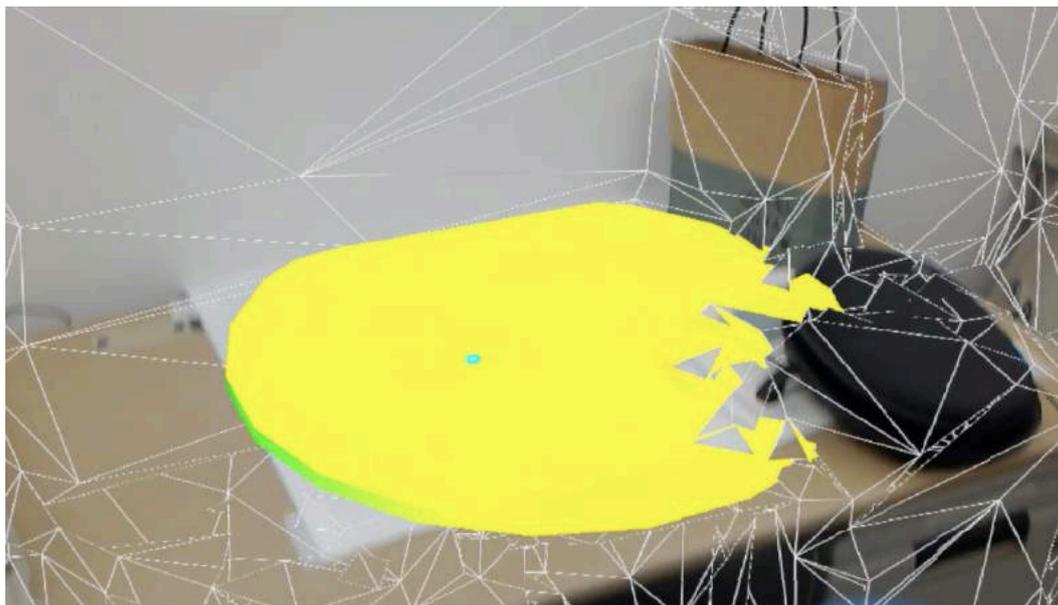


図 3.6 ランドマーク設定のための仮想マーカー

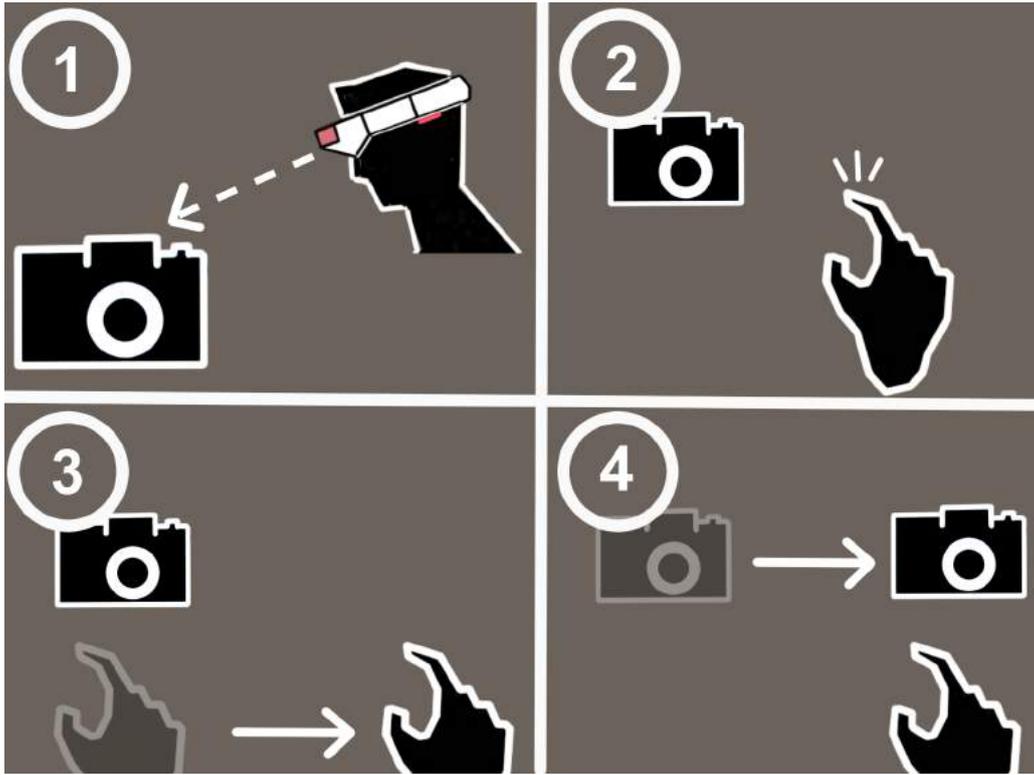


図 3.7 LRC での仮想オブジェクト操作手順

3.3.1 モード a ランドマークへのオブジェクトの位置補正

モード a は、図 3.8 に示すように、ランドマーク付近へ仮想オブジェクトを配置した際、適切な位置へ移動させる操作型式である。適切な位置とはユーザが仮想マーカーを設置した位置を指す。このモードの特徴として、仮想オブジェクトが想定外の位置に配置されることを避けることができ、ランドマークを基準に仮想オブジェクトの距離を把握することができる、という点があげられる。

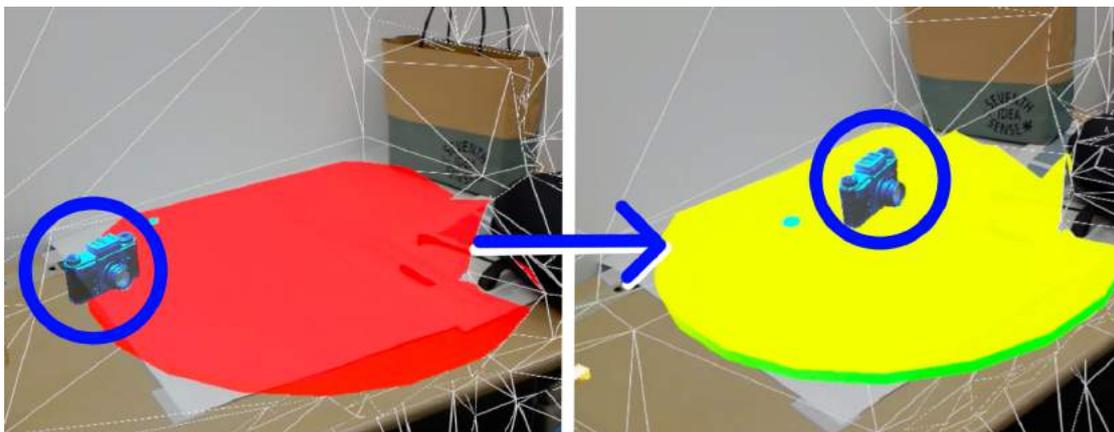


図 3.8 LRC モード a の利用例

3.3.2 モード b 室内俯瞰図によるオブジェクトの操作

モード b は通常の仮想オブジェクトの操作に加えユーザの視界に図 3.9 で示すような部屋の俯瞰図が表示される。ユーザはそこに表示されているオブジェクトとランドマークを示すアイコンを選択することで仮想オブジェクトを移動させることができる。アイコンの選択は、対象に視線を合わせ、人差し指を曲げるジェスチャを行うと行った手順で行われる。このモードは Win in Miniature (WIM) [10] を参考にしており、現実空間を俯瞰図により二次元的に縮小することで仮想オブジェクトの操作を補助するというアプローチのもと設計を行なった。



図 3.9 LRC モード b の利用例

4 事前評価

4.1 目的

本研究では, 3章で述べたアプリケーション, HoloList と LRC を用いて, 仮想オブジェクトの表示型式, 操作方法についての事前実験を行なった. アプリケーションのモード毎にタスクを行い, それらの結果を比較することで仮想オブジェクトの提供方法についてアプリケーション改善のための知見を得ることを本実験の目的とする.

4.2 User Enactments による評価

本研究の評価方法として User Enactments [12] を採用している. User Enactments は新規技術を用いたアプリケーションを評価するためにそれを使用するシナリオを作成し, 被験者がシナリオに従ってタスクを行なった時の達成度を評価すると行った手法である. 本実験で使用したシナリオを以下に示す.

Aさんは休日を有効に過ごすために HoloList でスケジュール管理を行った.
Aさんはタスク内容と 3D モデル, 対応するアニメーションを以下のように設定した.

タスク - 3D オブジェクト - アニメーション

- ・ 10 時: 旅行写真の整理 - カメラ - オブジェクトが回転する
- ・ 12 時 30 分: ブログの更新 - ノート PC - オブジェクトの大きさが変化する
- ・ 7 時 30 分: サプリメント摂取 - 薬瓶 - オブジェクトの色が変化する
- ・ 10 時 30 分: 読書 - 本 - ディスプレイ部分の 3D モデルが点滅する

さらに, 仮想オブジェクトの配置をスムーズに行うため, LRC を導入した.

4.3 実験概要

事前実験では,HMD を用いた AR, VR, MR アプリケーションの使用経験がある 20~24 歳の男性 7 名, 女性 1 名を対象に評価を行なった.実験の風景を図 4.1 に示す. 本実験は被験者へ 4 章 2 節で述べたシナリオに沿って HoloList, LRC を用いたタスクをモード毎に行ってもらい, タスク終了後にアンケートとインタビューをするという手順で行われた. 各アプリケーションのタスク内容を以下に示す.



図 4.1 実験風景

4.3.1 HoloList

ユーザは事前に配置された4つの仮想オブジェクトを3章2節で述べた各モードで閲覧し、そのモードがシナリオの達成に貢献したか、アンケート及びインタビューにより評価を行なった。モード2,3で扱う3Dモデルは図3.3に示した4つを使用している。

4.3.2 LRC

事前に設定した4つのランドマークへ任意の仮想オブジェクトを1つずつ配置する、というタスクをLRCの機能なし、モードa、モードbの3形式で行った。仮想オブジェクトは図3.3で示す4つの3Dモデルを使用した。仮想オブジェクトがランドマークへ正しく配置されたかは、図4.2で示すようにランドマーク付近へ設置された旗の3Dモデルに接触しているかを基準に判定を行なった。タスクの実行時間の計測及びシナリオが達成できたかのアンケート、インタビューを行った。

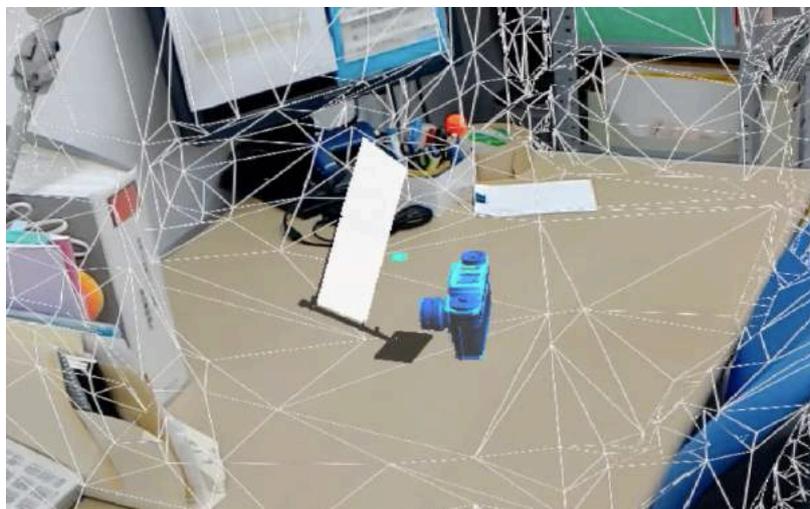


図4.2 ランドマークへの仮想オブジェクトの設置判定

4.4 結果

4.4.1 HoloList

HoloList について、各モードのシナリオの達成度に関するアンケート結果を図 4.3、図 4.4、表 4.1 に、インタビュー内容を抜粋したものを表 4.2 に示す。

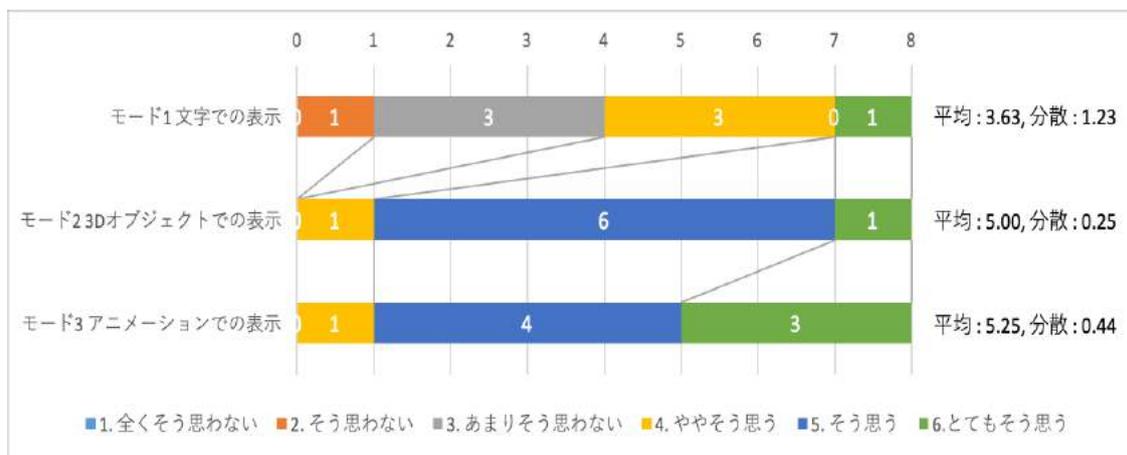


図 4.3 この表示形式は提示したシナリオに適していると思いますか

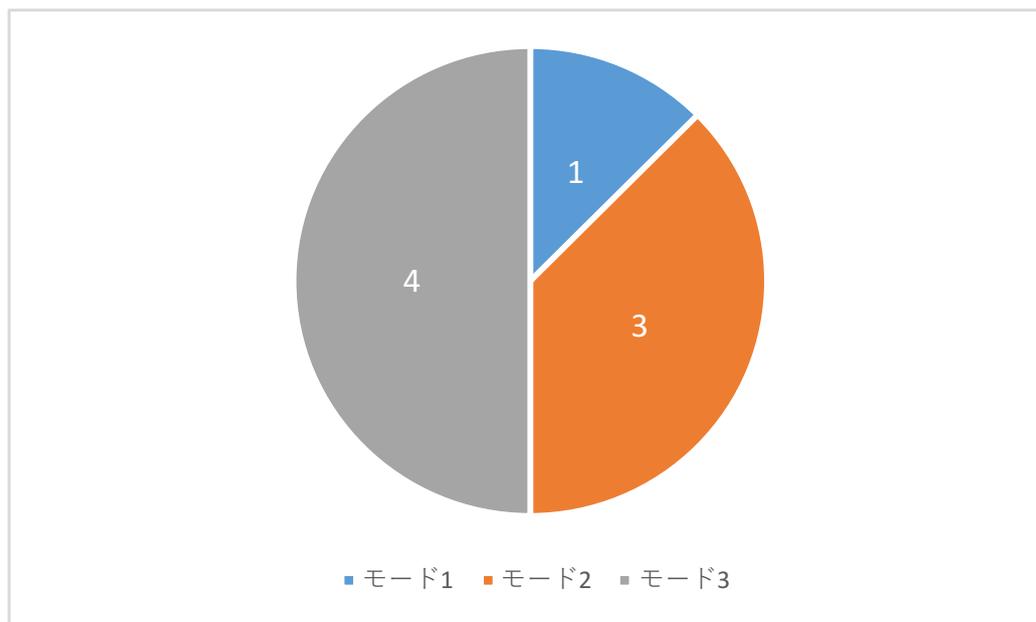


図 4.4 どのモードが最もシナリオに適していると思いますか

表 4.1 「この表示形式は提示したシナリオに適していると思いますか」の回答理由

| | |
|------|---|
| モード1 | 普段よく見るものにやるべきことが書いてあれば忘れずに済みそうだが、この形式では表示し続けると返って鬱陶しくなりそうである。 |
| | 部屋内に置かれている理由がなく、タスクリストの方がマシに感じた。 |
| | スペースをとるので数が増えたらわかりにくくなりそう。 |
| モード2 | 周りに馴染んでくれて、邪魔にならないからいいと思った。でも、オブジェクトがリアルすぎると馴染みすぎて気づかないかなと思った。 |
| | 物体の存在にすぐ気がつくことができ、またその内容も直感的にわかる。 |
| | ぱっと見である程度の情報を得られる。 |
| モード3 | 好きな動きをするオブジェクトもあれば、少し煩わしく感じるような動きもあるので好みが別れる。 |
| | 仮想オブジェクトであるということが明示的に明らかなのでタスクに対応しているということが意識されやすいと思う。あとは時間ごとに動きが変わったらさらにいいと思う。 |
| | 動いてることで強く意識した |

表 4.2 HoloList に関するインタビュー結果

| | |
|---------------------|--|
| モード2,3のシステムに関するコメント | 目線を合わせただけでタスク内容が表示されるのは、目的のもの以外のものも視界に入る可能性が高い。 |
| 3Dモデルに関するコメント | 薬瓶が自分の部屋にないという理由で最も現実のオブジェクトと区別がついた。 |
| アニメーションに関するコメント | 回転する動きが仮想オブジェクトとして自然に感じた。SF映画やゲーム内のものがよくしている動きなのでそう感じたのだと思う。 |
| | 拡大縮小する動きは視界に入ってくる量が変わるので少し鬱陶しく感じた。逆に、この鬱陶しさを緊急性の高い情報に紐づけてみては。 |
| | 仮想オブジェクトとして判断できるのは良いが、常に動かれているとそれに意識が向いてしまいそうなので、そこのトレードオフが重要だと思う。 |

4.4.2 LRC

LRC を用いた各形式におけるタスク完了までの所要時間を図 4.5 に示す。

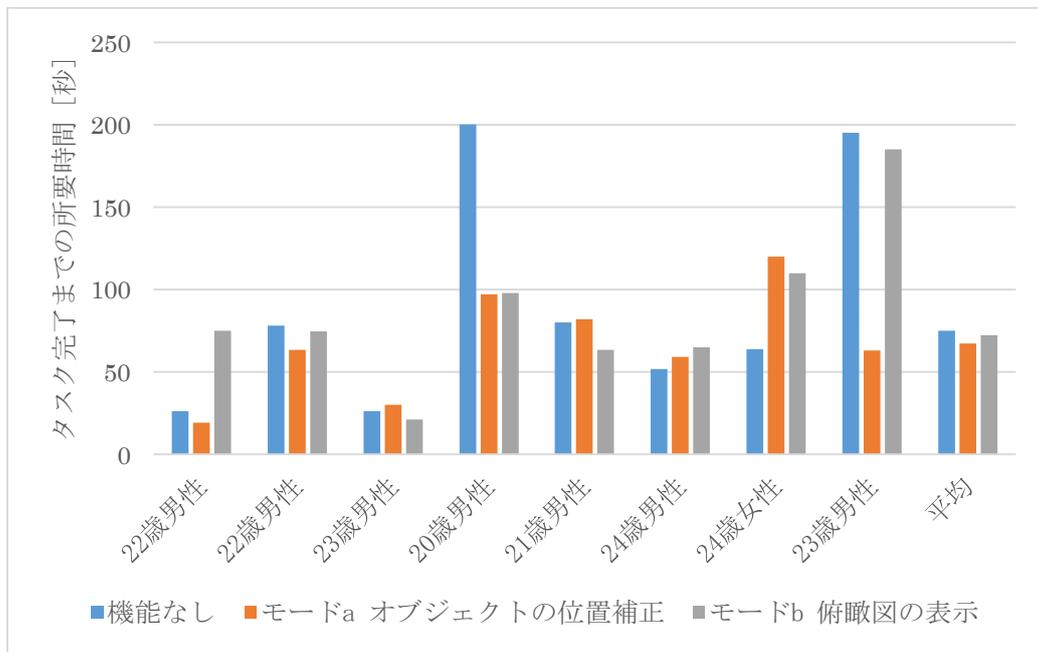


図 4.5 LRC を用いたタスクの所要時間

次に、各形式における仮想オブジェクトの操作性についてのアンケート結果を図 4.6、表 4.3 に、インタビュー結果を表 4.4 に示す。

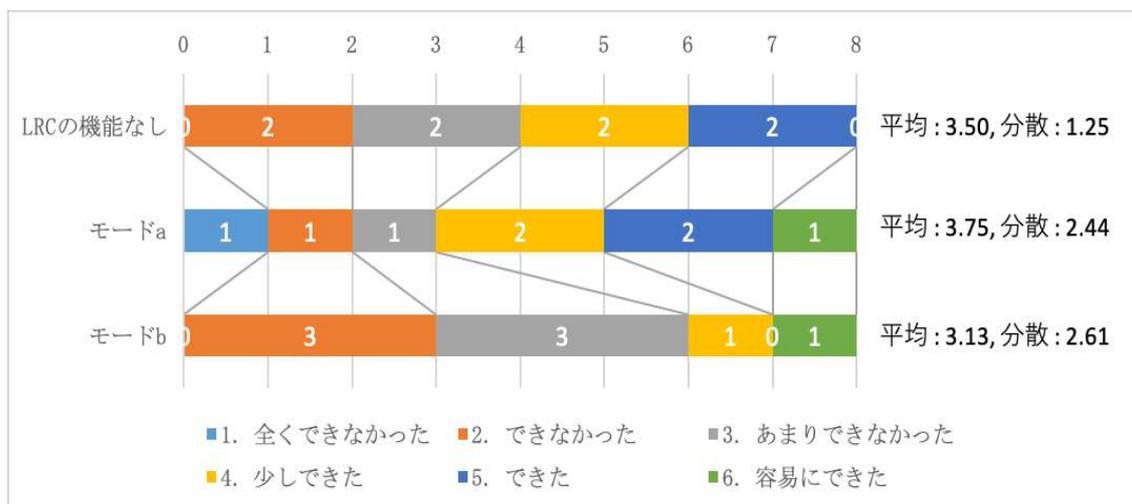


図 4.6 仮想オブジェクトの操作は容易にできましたか

表 4.3 「仮想オブジェクトの操作は容易にできましたか」の回答理由

| | |
|-------|---|
| 機能なし | 物体の大きさや形に依存するところがあると思われる。またカーソルの操作方法を把握するのに少し時間がかかった。 |
| | オブジェクトをつかんでいるかわかりにくかった。 |
| | 距離感がわかりにくい。 |
| モード a | 位置補正により若干容易になった。 |
| | 先ほどよりランドマークが見やすくなった。 |
| | 操作自体はあまり変化がない |
| モード b | 俯瞰図内のアイコンが小さい。 |
| | 物を選んで指定するだけで勝手に移動してくれたため。 |
| | 周囲の物体との干渉、マップオブジェクトの小ささ。 |

表 4.4 仮想オブジェクトの操作性に関するインタビュー結果

| | |
|---------------------|--|
| 仮想オブジェクトの操作に関するコメント | そもそも仮想オブジェクトを指定して動かすまでが難しい。 |
| | 俯瞰図の時のように仮想オブジェクトと移動先を直接選択できるようにしてほしい。 |
| モード a に関するコメント | 大雑把な操作はこのモードで行い、細かい位置の調整は機能なしの状態であればいいと思う。 |
| | マーカーがどこにもものをおけば良いかの目印になった。 |
| モード b に関するコメント | 他のモードで仮想オブジェクトを動かすのが難しかったので役に立った。 |
| | 仮想オブジェクトとランドマークの位置を一目で知れるのは良いと思ったが、実際にこのアプリケーションを使用する際、多くのユーザはその情報を把握しているのではないかと思った。 |

また、各モードの機能がタスクの実行に役に立ったかについての結果を図 4.7 に、各モードの機能を邪魔に感じたかについての結果を図 4.8、表 4.5 に、それらに関するインタビューの結果を表 4.6 に示す。

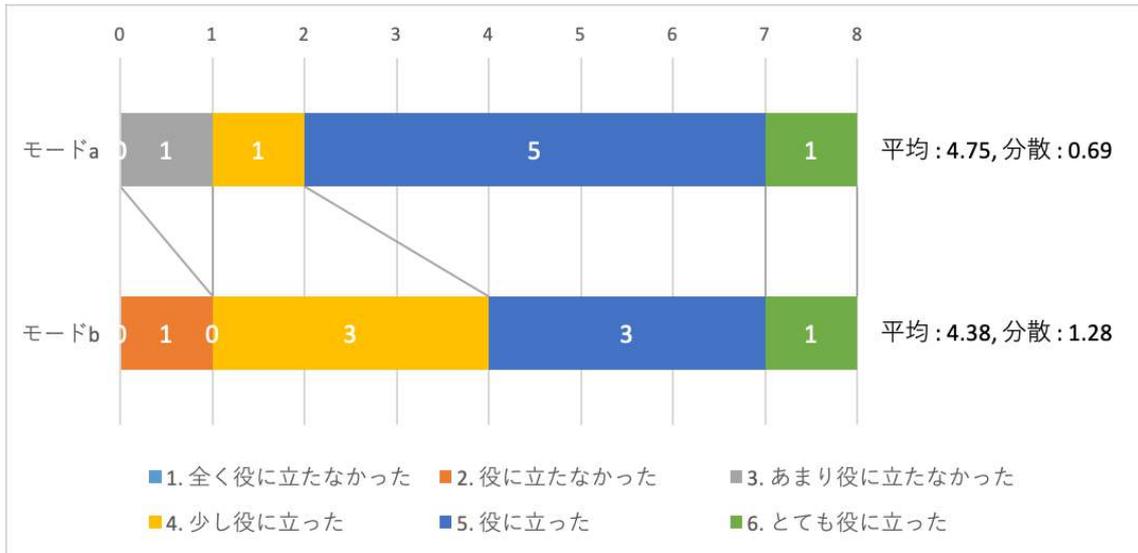


図 4.7 各モードの機能はタスクの達成に役立ちましたか

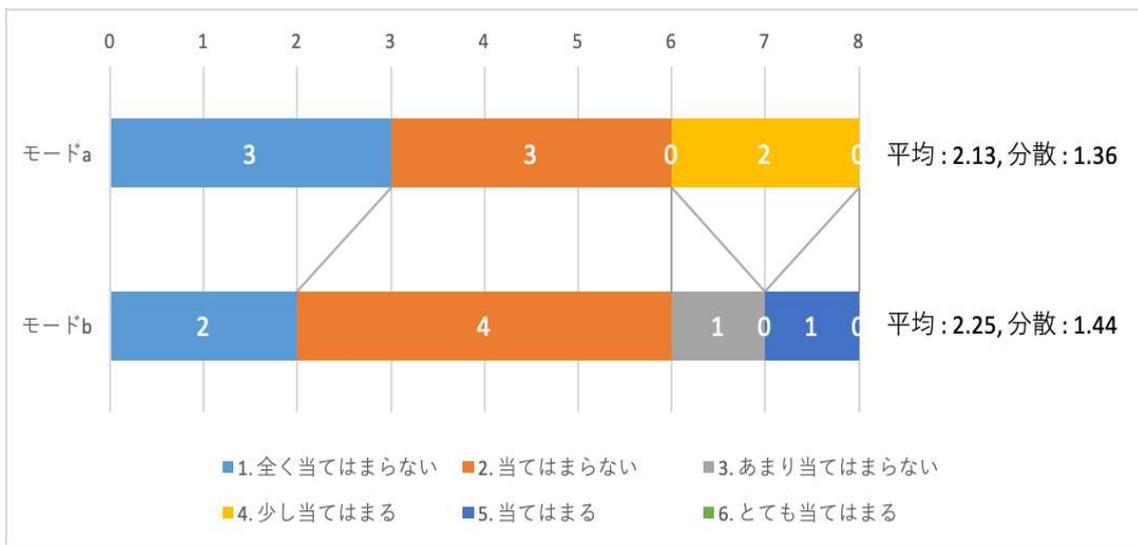


図 4.8 各モードの機能を邪魔に感じることはありましたか

表 4.5 「各モードの機能を邪魔に感じることはありましたか」の回答理由

| | |
|-------|--|
| モード a | 位置補正のサークルの色や大きさによるところが大きい気がする. |
| | オブジェクトを置く面で見ればなんも邪魔ではなかった(常に出てると邪魔かもしれない). |
| | 位置の調整が元では難しかったため、あって良いと感じました. |
| モード b | 俯瞰図が常に画面内に入るのが少し気になりました. |
| | 実験場所程度の広さの部屋ではあまり必要には思えない. |
| | タスクをやる分には邪魔とは思わなかった. |

表 4.6 各モードの機能に関するインタビュー結果

| | |
|----------|--|
| モード a | ものが密集していると補正が帰って邪魔に感じる. |
| に関するコメント | マーカーの表示非表示を切り替える機能が欲しい. |
| モード b | 俯瞰図というよりものを選択して移動させる機能が良いと思った.. |
| に関するコメント | 部屋の広さに応じて俯瞰図のサイズを変更する必要性があるので拡張性は難しいのでは. |

最後に、どの操作形式がタスクの達成に適しているかについてのアンケート結果を図 4.9 に示す.

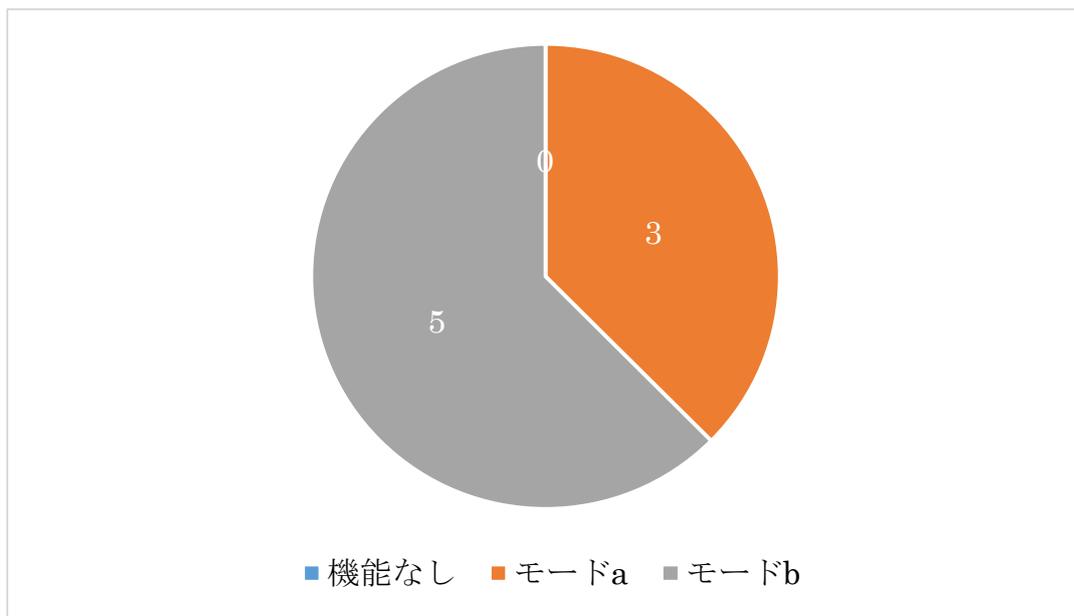


図 4.9 どの操作形式が最もタスクの達成に適していると思いますか

5 設計の再検討

各アプリケーションについて、事前実験の評価に基づく考察及び再設計の内容について述べる。

5.1 HoloList

5.1.1 情報の段階的な表示

情報の表示方法については、図 4.4 が示すように、8 人中 7 人が 3D モデルによる表示をシナリオに適していると選択しているため、直接テキストを配置するのではなく、そのメタファとなるオブジェクトを介して表示する形式が好ましいということがいえる。この理由として、表 4.3 でも意見されているように、テキストでの表示は現実のオブジェクトとの親和性が少なく、注目していない情報まで目に入ってしまうという点があげられる。そのため、モード 2, 3 のようにユーザが特定の仮想オブジェクトに注目する前後で提供する情報の量を変化させるべきだと考えられる。

しかし、モード 2, 3 に用いられている、対象に視線を合わせることにより情報を提示する形式は、表 4.4 で意見されているように意図しないインタラクションが発生する可能性が高いため、ユーザが意識的に行える動作を加える必要がある。

5.1.2 アニメーションによる情報提示

モード 3 における仮想オブジェクトのアニメーションについては、表 4.3, 表 4.4 で示すように多くの意見が得られた。肯定的な意見としては、アニメーションにより現実のオブジェクトと仮想オブジェクトを見分けることができる、否定的な意見としては、アニメーションの種類によっては常にそちらへ意識が向いてしまう、というものがあつた。これらの意見から、仮想オブジェクトのアニメーションの種類におけるユーザの注目度の違い及びそれによる情報の提示が可能か検証する必要があると考えられる。

5.1.3 モード4 アニメーションによるタスク開始時間の提示

以上の考察をもとに HoloList モード4 を作成した。このモードはアニメーションする 3D モデルに視線を合わせ、人差し指を曲げるジェスチャをすることで対応するタスク内容がテキストで表示される。ジェスチャによる入力情報は情報の提示にユーザの意識的な行動を設けることで、対象以外のタスクの表示を避けることを目的としている。また、モード3 とは異なり 3D オブジェクトは全て回転するアニメーションを行い、現在の時刻からタスク開始までの時間が近いほど回転する速度が上昇する。この機能により、ユーザはアニメーションからタスクの優先度を取得することができる。

5.2 LRC

5.2.1 補助機能が与える弊害

図 4.7, 図 4.9 から LRC の機能を肯定的に評価する被験者は多いことがわかったが、図 4.5, 図 4.6 から仮想オブジェクトの操作が大きく改善されたとはいえない、という結果となった。この原因として、各モードの機能は操作補助として働いているが、その際表示される仮想マーカーや俯瞰図が常に表示されることにユーザが不快感を覚えてしまうということが考えられる。実際に、図 4.8, 表 4.7 で LRC の機能を邪魔に感じるユーザが一定数いることから、ユーザの状態に応じて各機能の表示、非表示を切り替える必要があると考えられる。

5.2.2 仮想オブジェクトの操作形式

表 4.8 で示すようにモード b のオブジェクト、移動先のアイコンを選択して移動させる形式を評価する意見が得られた。このことから、俯瞰図でなく通常のオブジェクトにおいても手の動きに連動させて移動させる形式か、移動先を指定させる形式のどちらが適しているか検証する必要があると考えられる。

5.2.3 ユーザの行動に対するフィードバック

LRC が解決していない仮想オブジェクトが持つ問題に、ユーザの入力に対するフィードバックが少ないという点があげられる。表 4.5, 表 4.6 にある通り、どの仮想オブジェクトを選択しているか、正しくジェスチャ入力ができているかわからないという意見が多くこの問題を解決する機能を LRC に取り入れることが必要だといえる

5.2.4 モードc オブジェクト及びランドマークの直接指定による操作

以上の考察をもとにLRCモードcを作成した。このモードは図5.1で示すように、対象に視線を合わせ人差し指を曲げるジェスチャを、仮想オブジェクト、仮想マーカールを行うことで仮想オブジェクトを移動させる。仮想マーカは、ユーザの認識のしやすさを考慮し球体に変更した。また、ユーザがどのオブジェクトを選択しているかのフィードバックとして、視線を合わせている仮想オブジェクトに球体のエフェクトが表示される。さらに、補助機能がユーザの弊害になることを避けるため、仮想マーカを仮想オブジェクト選択中のみ表示されるよう変更した。

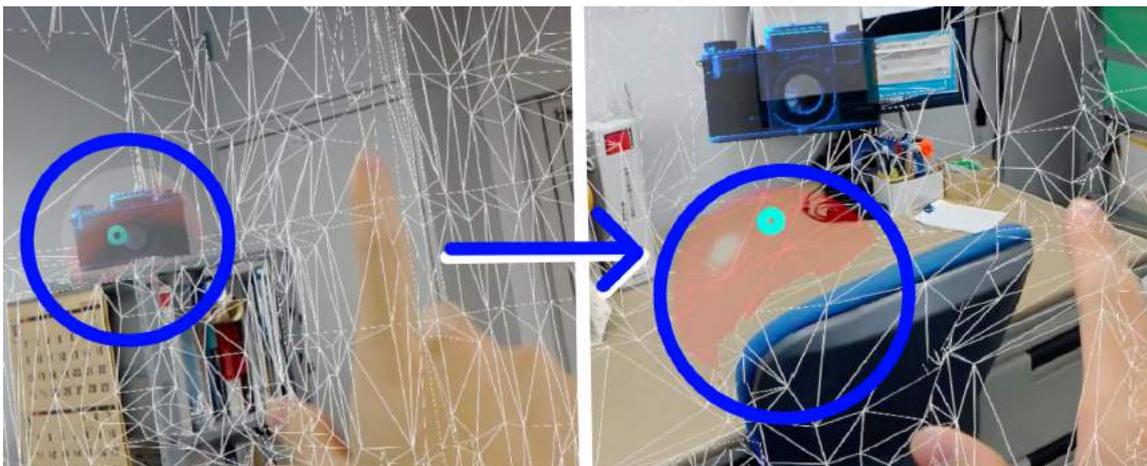


図 5.1 LRC モードcの利用例

6 評価

6.1 目的

本研究では, 事前実験から得られた評価をもとにアプリケーションを改良し, 再度実験を行なった. 改良前, 改良後のアプリケーションで共通のタスクを行い, 結果が改善されるか検証することを本実験の目的とする.

6.2 実験概要

本実験では, 事前実験と同様に 4 章 2 節で述べたシナリオに従い評価を行なった. 被験者は事前実験に参加した男性 7 人, 女性 1 人である.

6.2.1 HoloList

本実験では, 3D オブジェクトからの情報表示のためのインタラクションの変更, 及びアニメーションによる情報提示の可否について検証するため, HoloList のモード 3, モード 4 を使い評価を行なった. タスク内容は 4 章 3 節 1 項と同様であり, タスク終了後アンケート及びインタビューを行なった. なお, モード 4 のアニメーションの速度については, タスクを行う時間を午前 7 時に設定し, そこからのシナリオに示した各タスクの開始時刻の差を反映させている.

6.2.2 LRC

本実験では, LRC のモード a, b の評価をもとに作成したモード c により仮想オブジェクトの操作が改善されるか検証するために, LRC の機能がない場合との比較を行なった. 実験内容は 4 章 3 節 2 項と同様のタスクを行い, タスク完了までの時間, アンケート, インタビューにより評価を行なった.

6.3 結果

6.3.1 HoloList

HoloList について、各モードのシナリオの達成度に関するアンケート結果を図 6.1, 図 6.2, 表 6.1 に、各モードのどの 3D モデルに注目していたかについてのアンケート結果を図 6.3, 図 6.4 に、インタビュー内容を抜粋したものを表 6.2 に示す。

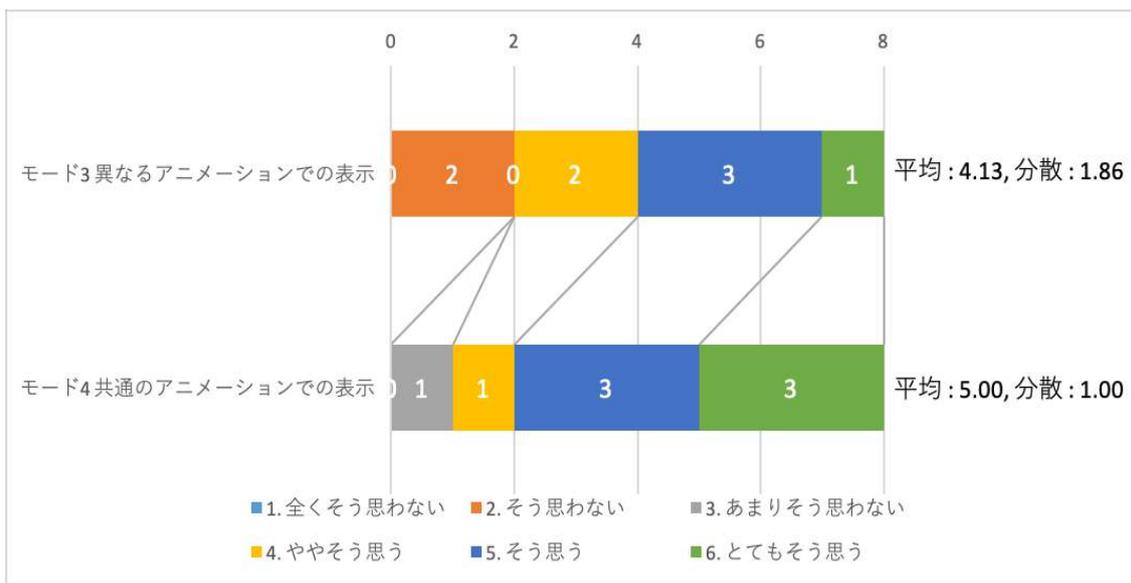


図 6.1 この表示形式は提示したシナリオに適していると思いますか

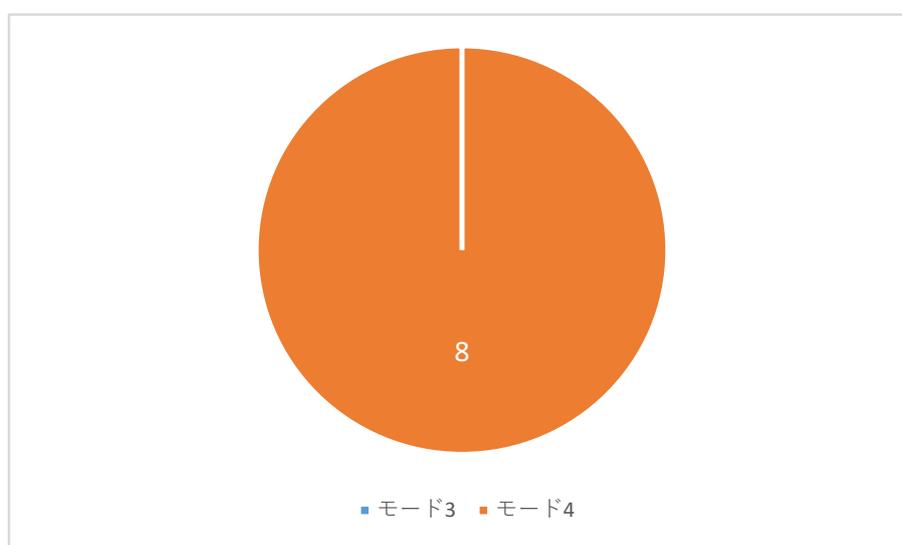


図 6.2 どのモードが最もシナリオに適していると思いますか

表 6.1 「この表示形式は提示したシナリオに適していると思いますか」の回答理由

| | |
|-------|--|
| モード 3 | 日常に邪魔にならない程度にユーザにやることをリマインドしている点が良いと思いました. |
| | 本の表示がわりと邪魔だったので、それが1番気になってしまった. |
| | 印象に残るオブジェクトが固定されてタスクの締め切りがわからない. |
| モード 4 | 早く回転しているものが印象に残ったために、直近のタスクへと意識を向けることができた |
| | 回転が大きいオブジェクトは印象に残る |
| | タスクの締め切りが早いものが一目見てわかる |

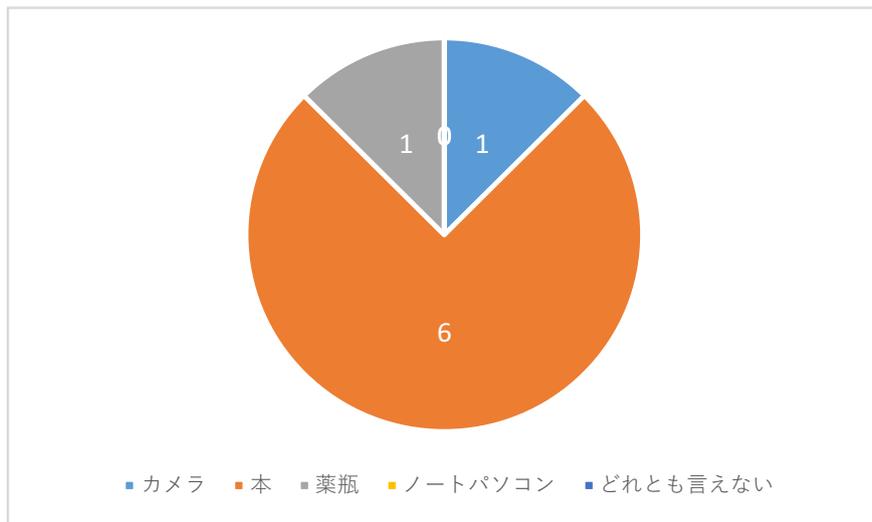


図 6.3 モード 3 における「どのオブジェクトが最も印象に残りましたか」への回答

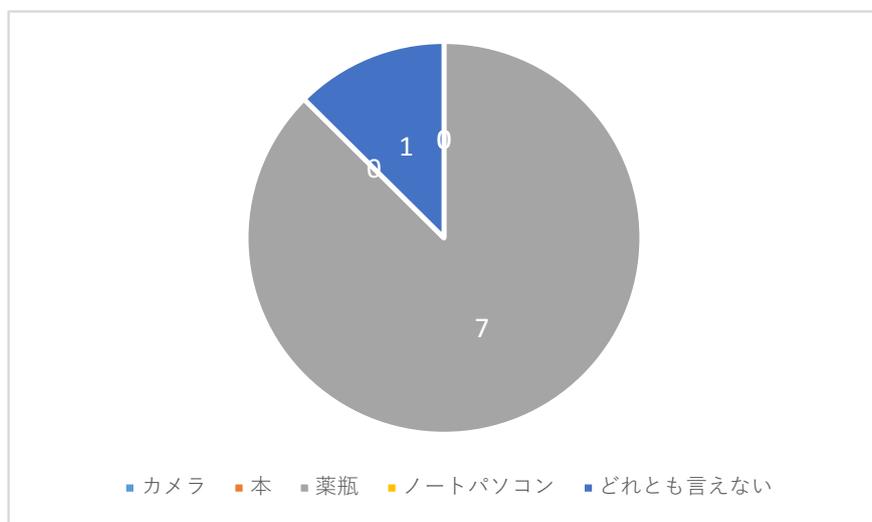


図 6.4 モード 4 における「どのオブジェクトが最も印象に残りましたか」への回答

表 6.2 HoloList に関するインタビュー結果

| | |
|------------------------|--|
| モード4でのタスクの表示方法に関するコメント | ジェスチャでのタスク表示はやりやすかったが、この辺はユーザによって自由に設定できた方が良いと思う。 |
| | ざっと部屋を見回した時に余計な動きをするものがなくなりよかった |
| モード3でのアニメーションに関するコメント | 本の大きさが変化するアニメーションは印象に残ったが、視界への影響が多いためどちらかという悪印象 |
| | 事前実験でも思ったが大きさの変化や色の変化のアニメーションは鬱陶しく感じる。それでタスクの緊急性は伝えられるが、その必要があるのか。 |
| モード4でのアニメーションに関するコメント | 薬瓶が早く動いていたので確認せねばと焦らされた。 |
| | 薬瓶が最優先でやるべきだとはわかったが、他のタスクの優先度がわかりにくかった。 |

6.3.2 LRC

LRC を用いた各形式におけるタスク完了までの所要時間を図 6.5 に示す。

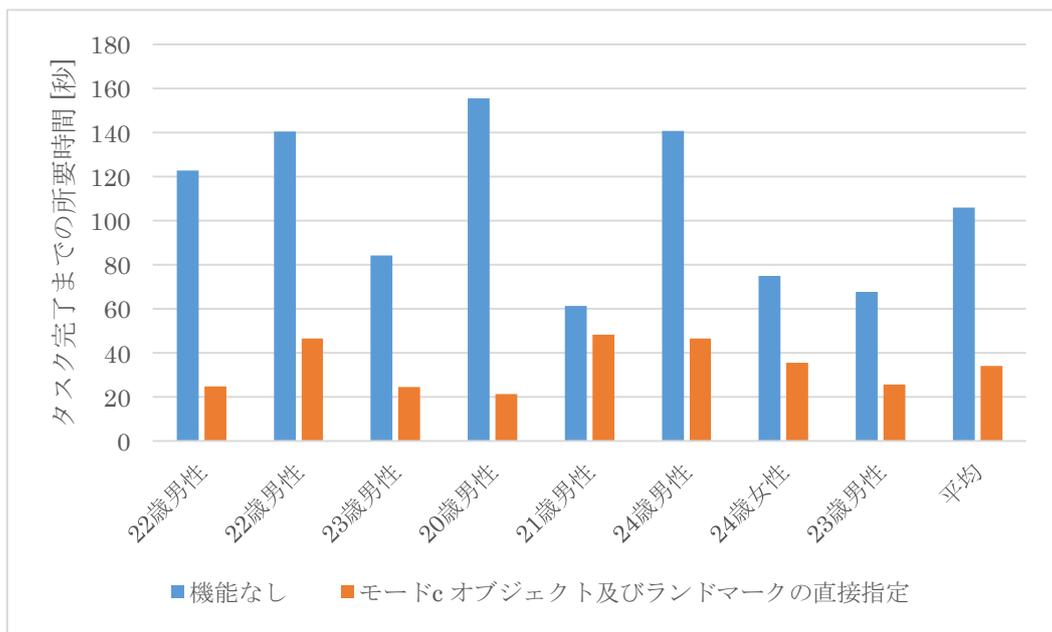


図 6.5 LRC を用いたタスクの所要時間

次に、各形式における仮想オブジェクトの操作性についてのアンケート結果を図 6. 6、表 6. 3 に示す。

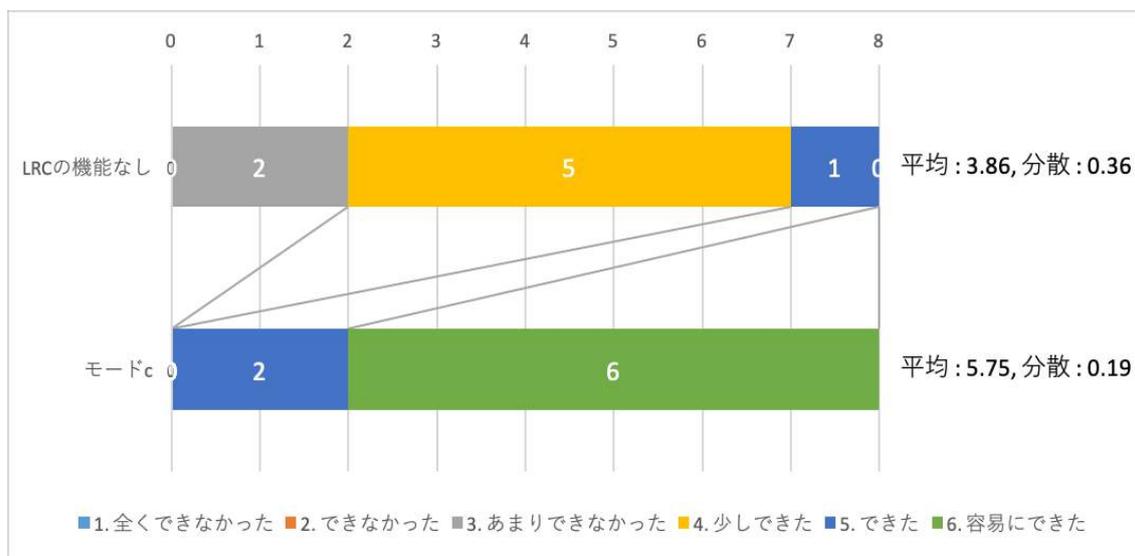


図 6. 6 仮想オブジェクトの操作性は容易にできましたか

表 6. 3 「仮想オブジェクトの操作性は容易にできましたか」の回答理由

| | |
|------|---|
| 機能なし | 前より上手くなったがものを置く場所に気を取られて転びそうになった。 |
| | 掴んでいるものとの距離感がわかりにくいので置くのが難しかった。 |
| | 特に高いところへ置く際の調整が、現実と同じく難しかった。 |
| モードc | 大まかな位置で操作できるようになった点および移動中持ち続けなくて良くなった点。 |
| | オブジェクトの操作性が容易になったため、作業を迅速に行えるようになったことと、さらに負担が軽減されたことで長時間の操作が行いやすくなった。 |
| | ずっと掴んでいなくていいので動作が気楽になった。 |

また、モード3の機能について、タスクに役に立ったかについての結果を図6.7に、邪魔に感じたかについての結果を図6.8、表6.4に、モード3についてのインタビュー結果を表6.5に示す。

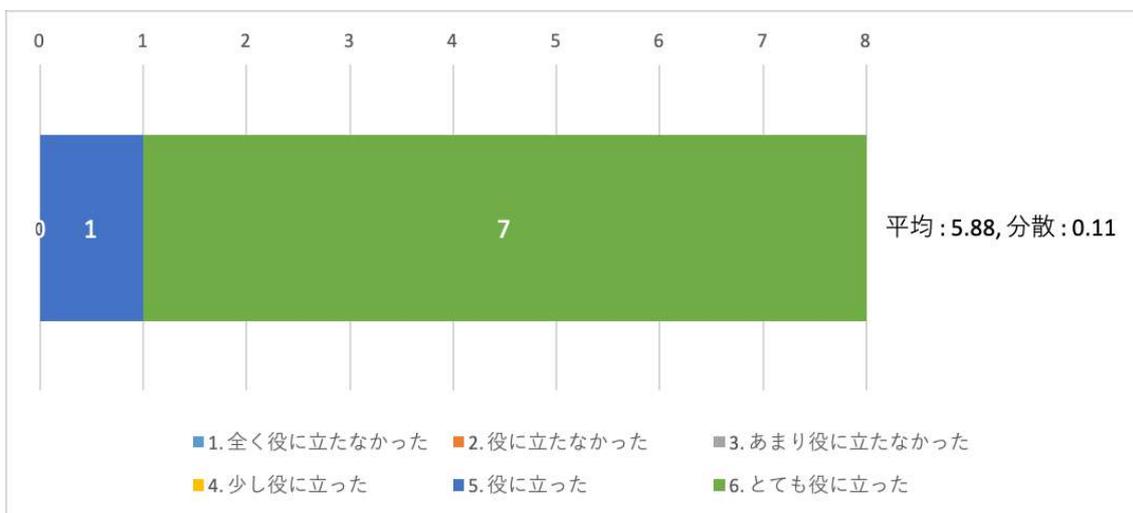


図 6.7 モードcの機能はタスクの達成に役立ちましたか

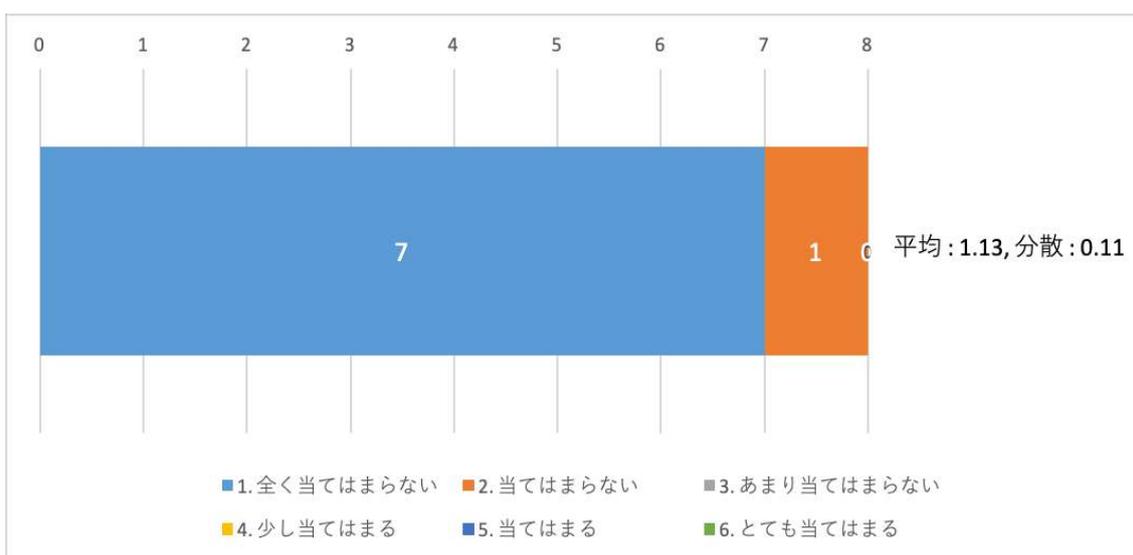


図 6.8 モードcの機能を邪魔に感じることはありましたか

表 6.4 「モードcの機能を邪魔に感じることはありましたか」の回答理由

| |
|---|
| 便利にはなれど，邪魔になった点が思いつかなかった. |
| 強いというなら，どれをタッチしてるのかわかりづらいというくらいで，それ以外は問題なかった. |

表 6.5 モードcに関するインタビュー結果

| | |
|----------------------------|---|
| オブジェクト選択時のフィードバックについてのコメント | 事前実験よりはわかりやくすなったが，ものが密集しているとどれに視線を合わせているかわかりにくい. |
| | もう少しエフェクトを大きくしてもいいが，それだと肝心のタスク表示に影響が出そう. |
| 仮想マーカーについてのコメント | 言われてみると見やすくなったと思う. |
| | 正直なところあまり意識しなかった. |
| 移動方法についてのコメント | 早く正確にオブジェクトを移動でき便利だが，物を動かした実感が湧かず，どこに置いたか覚えているか，という点では機能なしの方が良かったと思う. |
| | 大雑把な動きはこれでいいので，細かい動きもできるよう操作方法を切り替えられると良い. |

最後に，どの操作形式がタスクの達成に適しているかについてのアンケート結果を図 6.9 に示す.

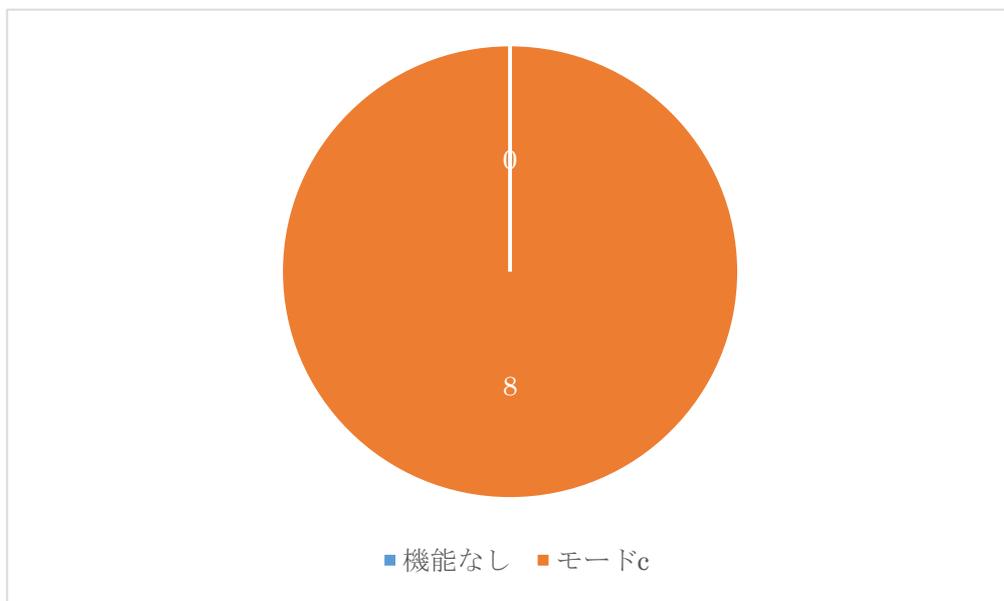


図 6.9 どの操作形式が最もタスクの達成に適していると思いますか

7 考察

7.1 再設計後のアプリケーションの評価

本節では、評価実験の結果をもとに、再設計後の各アプリケーションが改善されたかについて議論する。

7.1.1 HoloList

図 6.2 から、全ての被験者が再設計後に実装した HoloList モード 4 をモード 3 より高く評価する、という結果が得られた。この理由として、モード 4 の目的であるアニメーションでの情報の提示をユーザが有効だと感じた点や、モード 3 で問題視された不快に感じるアニメーションが削除されたという点があげられる。実際、図 6.3 が示すように、モード 3 において大きさが変化するアニメーションをする本が印象に残った被験者は 8 人中 6 人と半数以上を占めたものの、表 6.2 のコメントからそれを悪印象だと捉えているケースがほとんどであり、このようなユーザの視界に影響が大きいアニメーションの使用は避けるべきだと考えられる。

また、タスクの表示形式については、表 6.2 が示すように、ジェスチャによるユーザの意識的な行動による表示を好意的に評価するユーザが多かった。しかし、ユーザの任意で表示形式を変更できるようにすべきという意見もあり、この点についてはユーザのニュアンスに従ってカスタマイズできる設計にする必要があると考えられる。

7.1.2 LRC

図 6.5 が示すように、LRC モード c を用いることで仮想オブジェクトを操作するタスクの速度は大幅に向上した。また、事前実験で課題にあがった各モードの機能がユーザの弊害となる点についても、図 6.8 が示すように、機能を邪魔に感じるという質問に被験者 8 人中 7 人が「全く当てはまらない」と回答したことから改善されたといえる。よって、5 章で提案した、対象を指定することによる移動、ユーザの状態により補助機能の表示の切り替えは本アプリケーションの目的である、仮想オブジェクトの操作の簡易化に大きく貢献したといえる。

しかし、ユーザの行動に対するフィードバックについては、表 6.5 が示すように肯定的な意見が得られなかった。この原因として、フィードバックが必要とされる、「複数のオブジェクトが密集している状態で、どのオブジェクトを選択しているかわからない」という状況で、エフェクトの追加がさらに視覚的情報を増やしてしまったためだと考えられる。

7.2 仮想オブジェクトの表示, 操作形式の段階的な変更

評価実験から, タスクの表示方法については内容の直接表示でなくメタファとなる 3D オブジェクトやアニメーションを介しての表示が, 操作方法についてはランドマークなどで大まかな配置場所を指定してから, 位置を調整する形式が高く評価されることがわかった. これらの結果から, ユーザが注目している仮想オブジェクト数に応じてその表示形式, 操作形式を段階的に変更するべきだと考えられる. 変更方法としては, 注目している仮想オブジェクトが少なくなるにつれ, 表示する情報の精度, 操作精度を向上させる形式があげられる. また, HoloList モード 4 の評価が高いことから, 表示, 操作形式の切り替えはユーザの意識的な行動で行うやり方が適していると考えられる.

7.3 MR 環境での現実のオブジェクトと仮想オブジェクトの分類

仮想オブジェクトの表示方法については, 表 4.2, 表 4.3 から, テキストのような現実に存在しない形式の評価が低く, アニメーションする 3D モデルのような現実に存在するものに近い形式でかつ現実のオブジェクトが行えない挙動をするものが高い評価を得ているという結果が得られた. また, LRC においても, モード 1, 2 のような手の動きにオブジェクトの移動を連動される現実のオブジェクトに近い形式よりモード 3, 4 のような移動先を直接指定する形式の評価が高いという結果が得られた. このことから, 現実と仮想のオブジェクトが混在する MR 環境において, 仮想オブジェクトは現実のオブジェクトを模した見た目, アニメーションやジェスチャでの対象の選択のような, 従来のデジタルコンテンツで用いられるインタラクションを行う形式が適していると考えられる.

8 将来課題

8.1 ユーザビリティ対応

本研究では, User Enactments に従い, 被験者に設定したシナリオに沿って HoloList, LRC を使用してもらうことで, 研究の目的である仮想オブジェクトの表示, 操作形式についての検証, 及びそのためのシステム改善に比重を置くことができた. しかし, シナリオ内で事前に行なった自室へのランドマークの設定などユーザが任意に行うシステムについては調査を行わなかった. そのため, アプリケーションとしての品質向上のためには, ランドマークの配置, タスクと 3D オブジェクトの紐づけ, 操作方法の変更時の UI などについて検証する必要があるといえる.

8.2 フィードバック機能の改善

7 章 1 節 2 項で述べたように, LRC モード c で追加した, ユーザがどの仮想オブジェクトを選択しているか, エフェクトによりフィードバックを与える機能は高い評価を得ることができなくなった. 原因としては, 前述した通り, 視覚への情報が増えることにより, 本来の LRC の機能を阻害してしまったことがあげられる. よって, 音や外部デバイスを用いた触覚など視覚以外でのフィードバックが改善案として考えられる. これらの機能の実装及び評価を行うことが仮想オブジェクトに対する知見を深めることに必要だといえる.

8.3 仮想オブジェクトのアニメーションに関する調査

HoloList を用いた評価実験から, 仮想オブジェクトによる情報の提供方法は, 3D モデルといったメタファを介しての表示が適しており, 情報の一部をアニメーションにより提示することができることがわかった. また, 拡大縮小や色の変化といった視界への負荷が大きいアニメーションについては不快感を覚えるユーザが多いという結果も得られた. 今後, どの程度アニメーションにより情報が伝えられるか, アニメーションの種類によって表現できる情報に違いがあるかなどについて検証する必要があると考えられる.

8.4 AR, VR への利用

本研究で作成した HoloList 及び, LRC は HoloLens を用いた MR アプリケーションであるが, ユーザの入力が視線及びハンドジェスチャのため他デバイスへの移植が容易だといえる. そのため, AR, VR 環境における仮想オブジェクトについても, これらのアプリケーションを使用することで表示, 操作形式について検証することが可能であると考えられる. また, LRC のランドマーク設定を, 自室を模した VR 環境で行うといった MR 環境と他環境を組み合わせたアプリケーションの利用も考えられる.

9 結論

本研究では、MR 技術の個人のスペースでの利用に焦点を当て、そこで扱われる仮想オブジェクトについて調査を行なった。表示形式を調査するための HoloList、操作形式を調査するための LRC の 2 つのアプリケーションを作成し、それぞれに設定したいくつかのモードを比較するという形で 2 度の評価を行なった。

評価実験から、仮想オブジェクトはその表示、操作形式をユーザが注目している数に応じて変化させるべきだという結果が得られた。また、MR のような現実のオブジェクトと仮想オブジェクトが混在する場合、仮想オブジェクトは回転するアニメーションのような現実のオブジェクトと区別でき、視覚的な影響が少ない表示をする方が好ましいという知見を得ることができた。将来的には、今回作成したアプリケーションを AR, VR での利用、及びそれらと連動したアプリケーションの開発などが課題にあげられる。

参考文献

- [1] NASA is using HoloLens AR headsets to build its new spacecraft faster, MIT Technology Review.[Online].
<https://www.technologyreview.com/s/612247/nasa-is-using-hololens-ar-headsets-to-build-its-new-spacecraft-faster> [December 28, 2018].
- [2] Use Augmented Reality to Interact With Your Home, hackster.io. [Online].
<https://www.hackster.io/dotMorten/use-augmented-reality-to-interact-with-your-home-b10bf9> [January 2, 2019].
- [3] Patrick Misteli, Steven Poulakos, Mubbasir Kapadia, Robert W. Sumner, “Towards Emergent Play in Mixed Reality”, Proceedings of the 10th International Workshop on Semantic Ambient Media Experiences (SAME 2017): Artificial Intelligence MEETS Virtual and Augmented Worlds (AIVR) - in conjunction with SIGGRAPH Asia, pages 51-56.
- [4] Craig Wisneski, Hiroshi Ishii, Andrew Dahley, Matt Gorbet, Scott Brave, Brygg Ullmer, Paul Yarin, “Ambient Displays: Turning Architectural Space into an Interface between People and Digital Information”, CoBuild 1998: Cooperative Buildings: Integrating Information, Organization, and Architecture, pages 22-32.
- [5] Shuma Toyama, Mohammed Al-Sada, Tatsuo Nakajima “VRowser: A Virtual Reality Parallel Web Browse”, VAMR 2018: Virtual, Augmented and Mixed Reality: Interaction, Navigation, Visualization, Embodiment, and Simulation, pages 230-244.
- [6] Jisun Jang, Tomasz Bednarz, “HoloSensor for smart home, health, entertainment”, SIGGRAPH '18 ACM SIGGRAPH 2018 Appy Hour Article No. 2.
- [7] Hiroshi Ishii, Craig Wisneski, Scott Brave, Andrew Dahley, Matt Gorbet, Brygg Ullmer, Paul Yarin., “ambientROOM: integrating ambient media with architectural space”,CHI '98 CHI 98 Conference Summary on Human Factors in Computing Systems. pages 173-174.
- [8] Ernst Kruijff, J. Edward Swan, Steven Feiner, “Perceptual Issues in Augmented Reality Revisited”, Technical Papers, IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2010), Seoul, Korea, October 13–16, 2010, pages 3–12.
- [9] Doug A. Bowman, Larry F. Hodges. “An evaluation of techniques for grabbing and manipulating remote objects in immersive virtual environments”. I3D '97 Proceedings of the 1997 symposium on Interactive 3D graphics. pages 35-38, 1997.
- [10] Richard Stoakley, Matthew J. Conway, Randy Pausch. “Virtual reality on a WIM: interactive worlds in miniature”, CHI '95 Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pages 265-272.

- [11] Han Joo Chae, Jeong-in Hwang, Jinwook Seo, “Wall-based Space Manipulation Technique for Efficient Placement of Distant Objects in Augmented Reality”, UIST '18 Proceedings of the 31st Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, pages 45-52.
- [12] William Odom, John Zimmerman, Scott Davidoff, Jodi Forlizzi, Anind K. Dey, Min Kyung Lee, “A fieldwork of the future with user enactments”, DIS '12 Proceedings of the Designing Interactive Systems Conference. pages 338-347.

謝辞

本研究にあたり，多くの助言をくださった中島達夫教授に深く感謝いたします。また，実験に協力していただいた被験者の方々にも心から御礼申し上げます。