

携帯端末を用いたポインティングによる
室内空間でのアドホックな情報アクセス
手法に関する研究

総合情報学研究科
知識情報学専攻

インタラクションデザインの理論と実践

21M7113

竹村 孟

目次

1	序論	1
1.1	モノと情報の関係	1
1.2	IoT の普及	1
1.3	新たなインタラクション	2
1.4	本研究の目的	3
2	関連研究	4
2.1	様々な操作手法	4
2.2	ジェスチャを用いた操作手法	9
2.3	本研究の立ち位置	9
3	提案手法	11
3.1	デザイン指針	11
3.2	ユーザの位置, ポインティング方向の特定	11
3.3	実装	12
3.4	モノの認識	16
3.5	オブジェクト登録	17
4	ユーザビリティ実験	18
4.1	実験環境	18
4.2	実験の流れ	19
4.3	実験結果	20
5	精度実験	25
5.1	実験設計	25
5.2	実験結果	25
6	考察	30
6.1	ユーザビリティ実験	30
6.2	精度評価実験	34
7	おわりに	37

1 序論

1.1 モノと情報の関係

我々の身の周りには多くのモノが存在し、それらのモノはそれぞれ情報を保持している。例えば本であれば、ページ1枚1枚に文字や写真を記すことで本の「内容」という情報を保持している。また、時計であれば決められた通りに歯車が動くことによって「時間」という情報の保持をしている。これらの例は、モノがそれぞれ独自の情報を保持し、必要に応じてユーザにその情報を提示する役割を持つことを示唆している。モノの「本体」は情報であり、物理的に存在するモノは情報を保持し提示する媒体であると見做すことができる。

従来まではモノが情報を保持するための機能は単一であったため、基本的にモノと情報は切り離すことができず、対の関係であった。しかし、近年の科学技術の発達によりモノと情報の関係は変化しつつある。先の例で述べた本であれば文字や写真といった「内容」の情報を保持するために紙媒体であることは必須であった。しかし、文字や写真が紙媒体に限らずデジタルデータでの保存が可能となり、ディスプレイ上でも紙媒体と同様の情報を保持しユーザに提示することが可能となった。これにより電子書籍が登場した。また、時計についても同様の変化があり、歯車の動きによって管理されていた「時間」という情報はコンピュータの制御によって管理することが可能となった。これにより「時間」の情報を保持、提示するために文字盤である必要がなくなり、ディスプレイ上に「時間」を表す数字のみを表示するデジタル時計が登場した。このように情報はモノとの対の関係から分離され、あらゆる媒体での保持、提示が可能となった。

モノと情報が分離されたことにより、これまで1つのモノに対して1つの情報しか保持できなかったが、1つのモノで複数の情報を保持し提示することが可能となった。「時間」、「日付」、「温度」といった複数の情報を保持するデジタル時計などが例として挙げられる。また、このようなモノの最も代表的な例としてスマートフォンがある。スマートフォンでは「時間」や「日付」をはじめ、アプリケーションを用いることで電子書籍で本の「内容」や動画やwebサイトの「コンテンツ」といった情報を保持しユーザに提示することが可能である。

ここまで述べた通り、情報はそれを保持するためのモノに依存する必要がなくなり、それぞれ分離して扱うことが可能となった。モノが変化しても我々ユーザが得ることができる情報には変化はなく、このことからモノの本質は情報であると言える。

1.2 IoTの普及

1.1節で述べた通り情報はモノに依存せず、それぞれ分離して扱うことが可能となった。これにより、ある情報を扱うのに固有のモノである必要がなくなり、あらゆるモノで扱うことが可能となった。さらに、1つのモノで複数の情報を扱うことのできるデバイスが登場した。しかし、依然としてモノが保持している情報はそのモノの中でしか扱うことが出来ず、モノの間での情報の移動は実現していなかった。例えばテレビであれば保持している情報として、電源が入っているか否か、チャンネル、番組表が挙げられる。これらの情報はテレビというモノが保持しており、その情報を得るにはユーザが専用のリモコンで操作

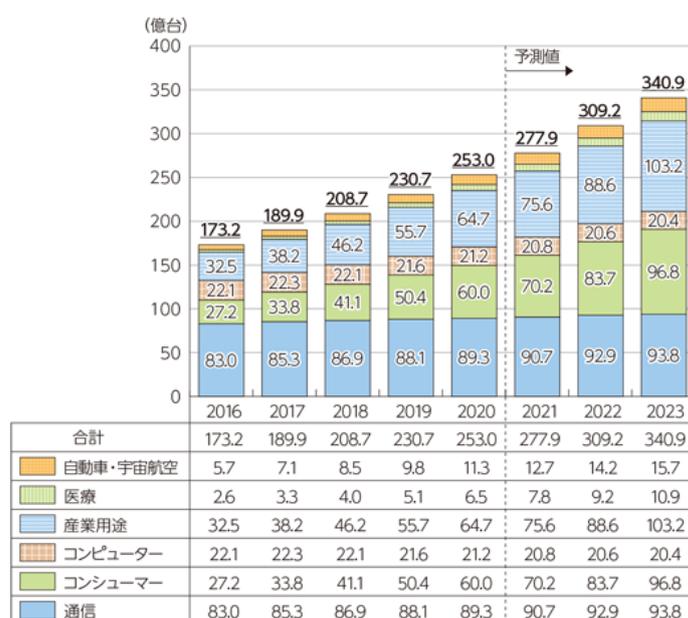


図 1.1: 世界の IoT デバイス数の推移及び予測（文献 [25] より図引用）

するほかなかった。その他の家電製品についても同様で、情報を取得し操作するには直接モノに触れるか専用リモコンを用いるしかなく、それぞれのリモコンの管理や独自の操作方法の把握がユーザにとって負担となっていた。

このようなことに対して、近年では Internet of Things (IoT) 関連技術の発達に伴い、身の回りの多くの製品がネットワークに接続可能なモノへと変化している。先に述べた通り情報はモノが保持しており、ユーザがその情報を扱うには専用のリモコンを用いるか直接触れて操作する方法が主流であった。しかし IoT 技術によってモノがネットワークに接続されたことにより、モノが保持していた情報は別のモノへの移動が実現し、あるモノの情報を別のモノからユーザが扱うことが可能となった。例えばテレビが保持している電源が入っているか否か、番組といった情報はネットワークを経由することでスマートフォンに移動し、ユーザはスマートフォン上からテレビが保持している情報を扱うことが可能となる。

このような IoT デバイスの数は図 1.1 のように 2016 年時点では 173 億台から 2020 年には 253 億台まで増加しており、今後も増加すると考えられている [25]。またコンシューマー向けの IoT デバイスの数も増加傾向にあり、我々の身近にも普及していくと予測される。

1.3 新たなインタラクション

1.2 節で述べたような IoT 技術の普及に伴って、ユーザのモノに対するふるまいも変化している。先の例で述べた通り、例えば従来の家電製品では操作するために製品に搭載されている操作面を直接操作するか、専用のリモコンを用いることが一般的であった。しかし IoT 技術によってモノがネットワークに接続され、モノの情報が自由に移動可能となった。これにより従来のそれぞれの専用のリモコンでの操作は、それぞれのモノの情報をスマートフォンに集め、一括で管理、操作可能な形態へと変化した。例えば Apple 社から提供され

ているホームアプリ¹であれば、対応している製品をアプリケーションに登録することでスマートフォンから登録されている家電製品すべての操作が可能となる。このサービスではさらに外出先からの操作も可能となっており、従来の方法では難しかった操作方法を実現している。このように、モノがネットワークに接続されたことによりユーザのモノに対するふるまい、つまりインタラクションは変化しており、今後スマートフォンを用いたインタラクションに限らず新たなインタラクションも増えている。代表的なものとしてスマートスピーカー（e.g. Google Home², Amazon Echo³）が挙げられる。スマートスピーカーはネットワークに接続されたスピーカーとなっており、音声認識と音声アシスタントによってユーザへのレスポンスが可能となっている。これにより、ユーザは音声によってスマートスピーカーに対して時間や天気といった情報の提示の要求を行い、スマートスピーカーはこれに対して音声による情報の提示を行うことができる。加えて音声によるネットワークに接続されたモノの操作も可能としており、例えば「照明を消して」と音声で指示すれば部屋の照明を消すことができる。このように、IoT 技術普及以前では考えられなかったインタラクションを実現されており、今後も新たなインタラクションが増えていくことが予想される。

1.4 本研究の目的

1.1 節、1.2 節で述べた通り、情報がモノから分離し扱うことが可能となり、加えて IoT 技術によりモノの間での情報の移動が実現した。このことからモノは情報を保持し提示するための媒体に過ぎず、モノの本質は情報であるといえる。このような変化から 1.3 節で述べた通り、従来の対象に直接行うインタラクションから、任意に情報を移動させることでモノの情報を参照し操作するインタラクションへと変化した。スマートフォンを用いた場合ではディスプレイ上から対象を選択することで情報を取得することが可能となっており、スマートスピーカーでは対象の名前を音声で入力することで情報の取得を可能としている。しかし、今後 IoT 技術がさらに普及した場合、いずれのインタラクションもユーザが IoT 技術によって操作可能なデバイスを把握していることが前提となるため、ユーザが把握していない空間での情報を得たい対象の選択は難しい。

そこで本研究では従来の専用リモコンのようなモノに向ける動作、つまりポインティングによる任意のモノの情報の取得、及び操作を可能とするインタラクションを提案する。本稿ではその一端として、スマートフォンによるポインティングしているモノの情報の取得と操作を実現するシステムを実装する。

¹<https://www.apple.com/jp/home-app/accessories/> (2023/01/06 確認)

²https://home.google.com/intl/ja_jp/welcome/ (2023/01/05 確認)

³<https://www.amazon.co.jp/b?ie=UTF8&node=5364343051> (2023/01/05 確認)

2 関連研究

本章ではIoT技術、及びその普及に伴う新たなモノに対するインタラクションに関する研究を紹介し、本研究の立ち位置を明確にする。

1章で述べた通り、モノと情報の関係性の変化や科学技術の普及に伴いこれまでにない新たなインタラクションが提案されている。モノがネットワークに接続されたことにより専用リモコンでの操作に限定されず1つの端末で複数のモノの操作が可能となり、これにより専用リモコンでのボタン操作にとらわれず、スマートフォンでの液晶タッチディスプレイを使った手法や音声入力を使ったこれまでにないインタラクションが提案されている。本章ではこのようなスマートフォンや音声による様々なモノに対するインタラクションに関する研究を紹介する。

2.1 様々な操作手法

コンピュータの登場以降、多くのインタフェースが生まれた。古くはキャラクタやコマンドでの入力を中心としたCharacter User Interface (CUI) から始まり、その後ディスプレイ上でアイコンや、マウスによる操作が可能なGraphical User Interface (GUI) が生まれた。GUIは個人の所有するパーソナルコンピュータに限らず、ハードウェアの小型化・低価格化により家電製品にコンピュータが組み込まれることによって多くの製品の操作手法として使われるようになった。このように身の回りの多くの製品にコンピューターが組み込まれ、我々が意識せずコンピューターの恩恵を享受する環境をMark Weiserは「ユビキタスコンピューティング」としている[12]。身の回りにあるコンピューターの例としてスマートフォンが挙げられるが、2019年時点でのスマートフォンの普及率は日本国内で83.4%¹となっており、1章でも述べたようにIoT技術も普及していることから「ユビキタスコンピューティング」が目指す環境への変化は続くと考えられる。暦本はこの変化は従来の「コンピューターのあるところに行く」という利用方法から生活のあらゆる場面に「コンピューターを持ち込む」という利用方法への変化としている[30]。また、この変化に対して従来のGUIを発展させる、つまり単にコンピュータのインタフェースを良く設計したとしても、現実世界との連携を改善していかなければ本当の意味で人間の生活を楽にしているとは言えないとしている。

この流れに対して長尾は、人間とコンピュータとの対話を扱うヒューマンコンピュータインタラクション (HCI) 分野の研究において、現在のところ大別して2つの方向性があるとしている[27]。その2つの方向性とはエージェント指向インタフェースと実世界指向インタフェースである。

エージェント指向インタフェースとはエージェント、つまり自律的に挙動しているように見えるコンピュータと人間の仲介者が組み込まれているインタフェースを指す[15][16]。エージェントは人間からの指示を受け取り、それを基に様々な操作を行う。そのためインタフェースとのインタラクションはできるだけ人間の会話スタイルに近づける必要があり、システムは人間が意識的および無意識的に発信する情報を受け付け、それを人間にとって自然な形態で情報を伝達できなければならない。エージェントの実用化されている例とし

¹<https://onl.bz/VeZTfEc> (2023/01/26 確認)

て Apple 社の音声アシスタント Siri²があげられる。また、このようなエージェントはデバイスに組み込まれ、Google Home³、Amazon Echo⁴といったエージェント指向インタフェースが販売されている。

これに対し実世界指向インタフェースとは現実世界（実世界）のモノ、場所、出来事を使ってコンピュータとインタラクションする手法が使われているインタフェースを指す [22]。従来はコンピュータの位置が固定されていたことからその利用場面は限定され、コンピュータを使うことが主目的となっていた。しかし、スマートフォンをはじめとした持ち運ぶことができるコンピュータが普及したことにより、限定されていた利用場面は会議中、通勤中、買い物中といったように様々な利用場面が想定されるようになった。このような現実世界の人間の利用状況の変化に対して実世界指向インタフェースは最適なインタラクションを行い、人間の作業を支援することを目指す。例えばカーナビであれば利用者が運転という作業中に必要とする現在の位置情報、交通状況の情報を音声と地図で提供することで支援するよう設計されており、決して運転中にカーナビを使うことが主目的となるよう設計はされていない。曆本は従来の GUI などのインタフェースと比較した場合、実世界指向インタフェースの本質的な違いは以下の 4 点としている [30]。

- インタフェースの透明化
- 実世界の状況認識
- 人間の能力の強化
- 実世界情報とコンピュータ情報の連携

インタフェースの透明化とは、利用者の注意は実世界でのタスクに集中しており、コンピュータに向けられていない状態を指す。先の例のカーナビであれば、利用者の注意は「自動車を運転する」というタスクに向けられており、カーナビに集中されることはない。実世界の状況認識は、利用者は集中しているタスクを支援するために必要な利用者が実世界で置かれている状況を認識することを指す。状況とは Dey らによると利用者とシステムのインタラクションに関連しそうな事物（人、場所、モノ）の状態を特徴づける情報を指す [5]。また、角は実世界インタラクションを考える時に重要となる状況情報とは、インタラクションの主体となる人物を特定する情報、インタラクションがなされる時刻、場所であるとした [24]。人間の能力の強化とは人間の能力そのものを疑似的に増強することであるとしている。例えばナビゲーションシステムであれば人間の環境認知能力を強化していると言える。実世界情報とコンピュータ情報の連携については、情報がコンピュータ内ですべて完結しない実世界指向インタフェースの重要なテーマとし、図 2.1 を用いて説明している。

(a) は従来の GUI をマウスとキーボードで操作するコンピュータとのインタラクションを表しており、ユーザはコンピュータと対話し現実世界と交流もしているが 2 つのインタラクションは融合されていないためギャップが生じている。(b) の仮想現実感については、ユーザの交流範囲は完全にコンピューターの作り出す世界に限定されており現実世界とのインタラクションは遮断されているとしている。一方、実世界指向インタフェースでは (c)

²<https://www.apple.com/jp/siri/> (2023/01/29 確認)

³https://home.google.com/intl/ja_jp/welcome/ (2023/01/05 確認)

⁴<https://www.amazon.co.jp/b?ie=UTF8&node=5364343051> (2023/01/05 確認)

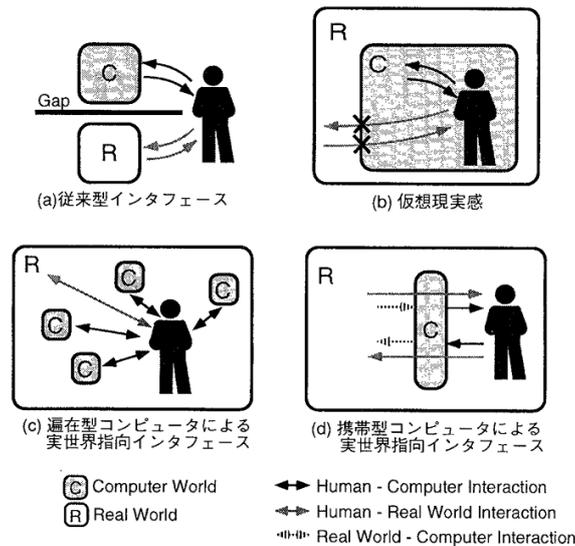


図 2.1: インタラクションスタイルの比較 (文献 [30] より図引用)

の環境にコンピュータを偏在させることで現実を強化するアプローチや (d) のように携帯型コンピュータによって現実世界とのインタラクションを拡大するアプローチがあるとしている。例として、IoT 製品は (c) に、スマートフォンは (d) に当たると考えられる。

2.1.1 項ではエージェント指向インタフェースの研究事例，2.1.2 項では実世界指向インタフェースの研究事例を紹介する。

2.1.1 エージェント指向インタフェース

エージェントが用いられている例として Seaborn らはソーシャルロボット，チャットボット，会話型エージェントを挙げている [10]。ソーシャルロボットは社会的認知機能を持つロボットを指し，これには複雑な知覚，運動，認知能力が必要であるとしている [1][2]。このようなロボットによるインタラクションはヒューマンロボットインタラクション (HRI) 分野で研究が行われているが本稿では詳細は割愛する。

チャットボットはテキストによるユーザとの対話を行うインタフェースを指す。チャットボットはすでに多くの web サービスで実用化されており，例えば JR 西日本はチャットボットによる忘れ物の問い合わせシステムを実装している⁵。このように Shawar らはチャットボットは教育，情報検索，ビジネス，e コマースなどのアプリケーションで有用であるとしている [11]。研究事例として，金子らは家電機器がユーザの判断や支援が必要な状態になった時にユーザにテキストで指示を行うことでユーザの行動を促すチャットボットシステムを開発した [17]。また，小菅らは大学の授業の振り返りにおいてチャットボットと学生が対話することで授業の理解不足箇所を特定し，その理解を支援するシステムを開発した [19]。これらのようにユーザはチャットボットと対話を行うことで自身の問題や課題を把握することが可能であると考えられる。一方でチャットボットは基本的にユーザからの入力に対していくつかのパターンを用意し返答するような設計がされているため，複雑な

⁵<https://www.jr-odekake.net/railroad/service/left.html> (2023/01/30 確認)

質問には対応することができず、複合的な活動は難しいとされている。

会話型エージェントは音声によってユーザとのインタラクションを行うインタフェースを指す。2.1節の述べた Siri などの音声アシスタント、それを組み込んだ Google Home などのスマートスピーカーがこれに当たる。これらのデバイスは居住空間にスピーカーを設置し、これに対して「〇〇を□□して」と音声で入力することで機器の操作を実現している。音声を用いた操作に関する研究として、吉田らは従来のボタン操作によるインタフェースでは高齢者や視覚障害者にとって問題があるとし、音声認識を用いた家電操作手法を提案した [29]。このシステムはエアコンの操作を可能としており、「電源を入れる」「温度を2度下げる」といった文章を音声で入力することで操作を実現している。Kim は Raspberry Pi とオープンソースの AI を用いて音声制御システムを開発した [8]。また、音声入力と併用して GUI を用いる手法も存在する。Norhafizah らは同様に高齢者や障害者を支援することを目的として、スマートフォンと Arduino Uno を用いて音声とタッチスクリーンによって扇風機と照明器具の操作を実現した [3]。Omar らはモバイル端末から複数の家電機器を操作可能なシステムを開発しており、このシステムでは GUI を使ったスライダー操作と音声による操作を実現している [7]。

2.1.2 実世界指向インタフェース

スマートフォンの普及やセンシングデバイスの発展により多くの実世界指向インタフェースの研究が行われている。

Pavithra らは赤外線センサやスマートフォンを用いて家電機器を操作可能なシステムを開発した [9]。図 2.2 に Pavithra らの提案システムを示す。このシステムでは赤外線センサによって光を検知し照明の電源を管理する。また人感センサによって人の動きを検知した時に扇風機の電源を操作することができる。これらのセンサの情報は Raspberry Pi に送られることによってそれぞれの機器に操作を反映している。加えて火災検知センサも設置されており、火災が発生した場合はカメラで撮影した画像やビデオがスマートフォンに送信されると同時に消防署へ通報されるようになっている。これは図 2.1 の (c) のような環境にあたる。このように環境にコンピュータを偏在させるようなシステムはすでに実用化し販売されており、switchbot⁶が挙げられる。

専用デバイスやスマートフォン、モバイルデバイスを使った図 2.1 の (d) のような実世界指向インタフェースも多く研究されている。スマートフォンを用いた手法として Annan らは Android 端末から家電機器を操作する手法を提案している [14]。Android 端末から送信された操作情報は中継端末に送信され、受け取った情報をもとに中継端末が各家電機器を操作する仕様となっている。佐藤らは機器に AR マーカーを取り付け、それをスマートフォンのカメラで読み取ることで機器の操作を実現するシステムを開発した [20]。機器に取り付けられた AR マーカーをカメラで読み取ることによって機器それぞれの操作インタフェースがカメラの映像上に合成されて表示される。AR マーカーによって機器を識別しているため、それぞれの機器に適した操作インタフェースを表示することが可能となっており、オーディオであれば音量を、PC であれば動作しているソフトの名称などが表示されている (図 2.3)。同様なスマートフォンのカメラを用いたインタラクションとして吉田らは QR

⁶<https://www.switchbot.jp/> (2023/01/30 確認)

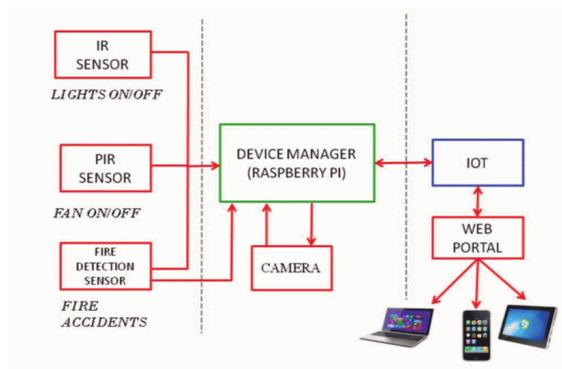


図 2.2: Pavithra らの提案システムのブロック図 (文献 [9] より図引用)



図 2.3: デバイス情報の AR での表示 (文献 [20] より図引用)

コードを読み取ることで家電機器の操作を可能としたシステムを開発した [31]. このシステムでは機器に取り付けられた QR コードをスマートフォンのカメラで読み取る web ページ上で機器の操作を行うことが可能である. 河崎らは Android 端末を家電機器に向けることで操作対象を選択し家電機器の操作を行うことを可能としたシステムを開発した [18]. この手法では Android 端末から発せられる可視光を家電機器側のデバイスが読み取ることで Android 端末で行われた操作を家電機器に反映している. このような対象に向ける動作や指差す動作はポインティングと呼ばれ, このような人間の動き, つまりジェスチャを用いた実世界指向インタフェースは多く提案されている.

2.2 ジェスチャを用いた操作手法

実世界指向インタフェースの操作手法の 1 つとしてジェスチャを使った手法は多く提案されている.

モノを用いたジェスチャとして吉居らは生活空間内の家電機器を操作する手法としてクッション型インタフェースを開発した [28]. この研究では, クッションの内部の反射型光センサを埋め込み, ユーザがクッションに対してジェスチャを行うことで家電機器を操作することが可能となっている. 例として照明を消す時はクッションの中央を押すジェスチャで電源の管理を行うことができ, クッションをひっくり返すことで操作対象の切り替えを行うことができる.

椎尾らはモノに埋め込まれた RFID タグを用いた入力デバイス PlayStand++を開発している [23]. RFID タグが組み込まれた CD ケースを PlayStand++上に置くことで CD の内容が再生され, CD ケースを下に動かすことで次の曲を再生し, 右に回すことで音量を大きくすることが可能である.

身体を用いたジェスチャで家電機器を操作する手法として塚田らの Ubi-Finger がある [26]. Ubi-Finger は機器に対して「指差し」を行うことで操作対象を選択し, その後ジェスチャを行うことで対象を操作することが可能なデバイスである. 特徴として既存のメタファを活用したジェスチャが取り入れられており, 例えばオーディオの音量を操作するときはずつまみを「回す」ジェスチャを行うことで操作することができる.

Dong-Luong らは深度センサで手の形を認識し, 塚田らの手法と同様に手でジェスチャを行うことで家電機器の操作を実現している [6]. この手法では特殊なセンサを必要としているものの, ユーザが特殊なデバイスを操作する必要はない.

Yamamoto らは複数のカメラを部屋に設置することでユーザのポインティングジェスチャの認識を可能とした [13]. これにより部屋の中でのユーザ位置, ジェスチャ, 姿勢の認識を可能としており, このことからポインティング対象の認識を可能としている.

2.3 本研究の立ち位置

1.4 節で述べたように本実験では, ユーザの把握していない環境においても直感的な操作対象の選択が可能なシステムの実現を目指す. 2.1.1 項で述べたようなスマートスピーカーをはじめとしたエージェント指向インタフェースは音声などを用いてユーザと対話することで我々の生活を豊かにするが, 使用するにあたってエージェントがなにをできるか, ど

のように操作するかを把握する必要があるため、ユーザにとって未知の環境での使用は適しているとは言えない。これに対し実世界指向インタフェースでは実世界のモノに基づいて操作されるため、ユーザにとって未知の環境においても操作が容易であると想定される。一方で2.1.2項や2.2節で述べたような手法は使用するにあたって特殊な環境やジェスチャパターンなどの特殊な操作方法の記憶が必要となるためユーザの負担となってしまう。

これらのことから本研究ではスマートフォン単体で動作し、ユーザのポインティングによってモノの認識および操作可能なシステムの実装を行う。

3 提案手法

3.1 デザイン指針

1.4節で述べたように本研究ではポインティングによってモノの情報を取得し、操作可能なシステムの実現を目指す。IoT技術による家電機器の操作は現在のところ居住環境、つまり見知った既知の環境で利用されることが多い。しかし、今後IoT技術の普及によって宿泊施設などのユーザにとって未知の環境で利用されることも想定される。このような未知の環境においてもユーザにとって利用しやすいシステムに求められる要件として以下が挙げられる。

- ある環境に特化した特殊なデバイスを必要としない。
- 複雑なインタラクションを必要としない。

未知の環境においてユーザははじめに環境の把握を行うと考えられる。その後、ある機器を操作したい場合ユーザは直接機器に触れて操作するか専用のリモコン、及びスイッチを用いることが一般的である。しかし、機器の操作方法がその環境のために作られた特殊な操作デバイスで行うものである場合ユーザが即座に行いたい操作を実行することができず、煩わしさの原因となってしまう。同様に複雑なインタラクション、例えばジェスチャパターン認識による操作などについてもユーザは各操作に必要なジェスチャを覚える必要があり、可能な操作が増えるにつれて覚えなくてはならないジェスチャパターンが増えるためユーザの負担となってしまう。また未知の環境はその特性上、一時的に滞在する場所に過ぎず、1度記憶した操作方法是その環境を離れた際に覚えておく必要がなくなる。このことから本研究で提案するシステムでは普及機であるスマートフォンによる、従来の専用リモコンなどで親しみのあるポインティングによるインタラクションを用いる。

本研究のシステムでは環境に設置させた無数のモノに対してユーザが任意の対象にスマートフォンを向けることで情報の取得を可能とする。ユーザが取得した情報をもとにスマートフォン上にはポインティングしたモノを操作するためのインタフェースが表示され、任意の操作を行い反映させることを実現する。またシステムがユーザがポインティングしているモノを認識するにはシステムがどこに何があるかを把握している必要がある。特にポインティングによるモノの認識、識別を行うにはどこにあるかの情報が重要となる。そのため本研究のシステムではポインティングによるモノの位置情報の登録も同時に行う。

3.2 ユーザの位置、ポインティング方向の特定

スマートフォンでポインティングしているモノを認識するにはスマートフォンを持っているユーザの空間における位置情報と今どこにポインティングしているかの情報が必要となる。Davidsonらは屋内環境でユーザ位置を特定する技術として

- (1) Bluetoothなどの無線周波数信号。
- (2) 3軸加速器やジャイロ스코ープなどの自己完結型センサ。
- (3) 建物の間取り図。

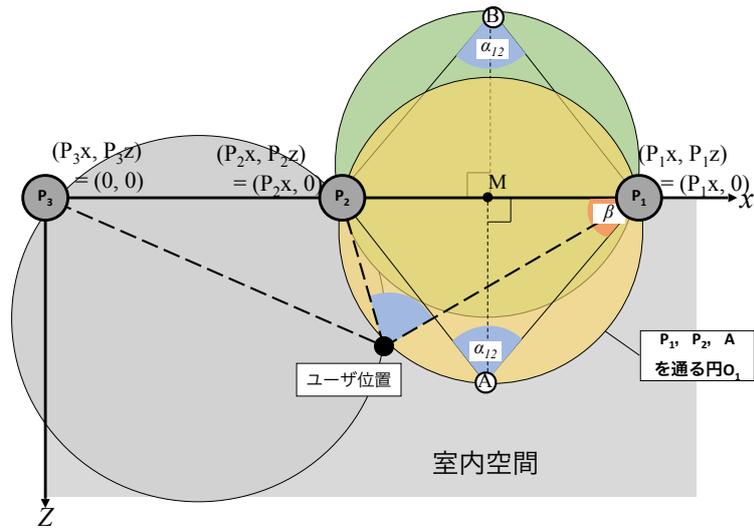


図 3.1: ユーザ位置の候補となる円 (文献 [21] より引用)

(4) 帯磁パターンを示した磁気フィンガープリント.

の4つを挙げている [4]. (1), (4) の技術については環境に特殊デバイスや家電機器の配置によって帯磁パターンが変化する可能性があるため本研究で用いるのは好ましくない. そこで本研究では佐藤らの手法を用いて空間内でのユーザ位置とポインティング方向の特定を行う [21].

この手法ではスマートフォンのジャイロセンサの値と部屋の間取りの情報を基にユーザ位置とポインティング方向の特定を実現している. 図 3.1 は部屋を上から見た場合の図となっている. ユーザ位置の特定にあたって始めに部屋の中に図中の P1, P2, P3 のような任意の3つの基準点を設定する. ユーザはこれらの基準点にスマートフォンを向け, その際のスマートフォンに内蔵されたジャイロセンサの値を記録する. これにより各基準点に向けた際のセンサの値から, ユーザ位置と2つの基準点のなす角を求めることが可能となる. そのため円周角の定理により, ユーザ位置と2つの基準点のなす角と一致する図中の α_{12} となる点 A を含む円 O1 が求められる. この円 O1 の円周上の座標は全てユーザ位置候補となる. この円を全ての基準点の組み合わせで生成し, これらの円の共通する交点がユーザ位置となる.

ポインティング方向については各基準点に向けた際のジャイロセンサの値が記録されているため, この値と現在のセンサの値を比較するもとで求めることが可能である.

3.3 実装

3.1 節をもとに実装したシステムの構成を図 3.2 に示す. スマートフォンから送信されたモノの操作情報はサーバーを経由しモノに送られる. 今回の実装ではモノとの通信に switchbot API¹を使用した. 以下ではクライアントアプリケーション, サーバー, 管理用ア

¹<https://github.com/OpenWonderLabs/SwitchBotAPI> (2023/02/13 確認)

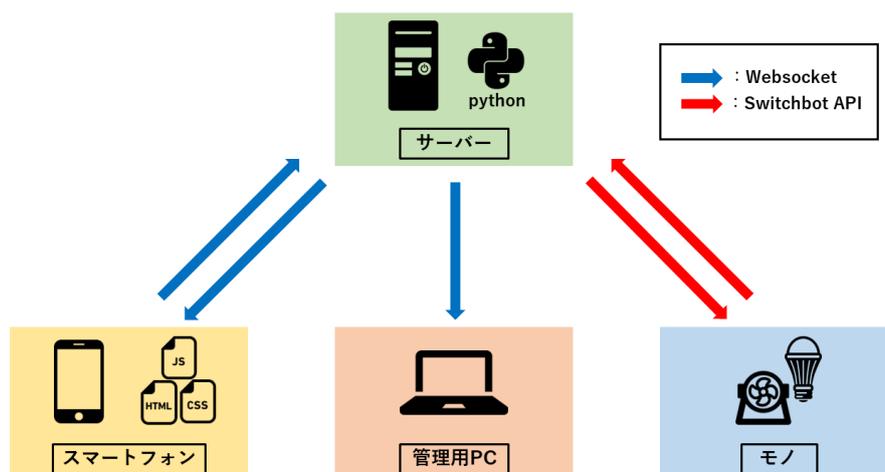


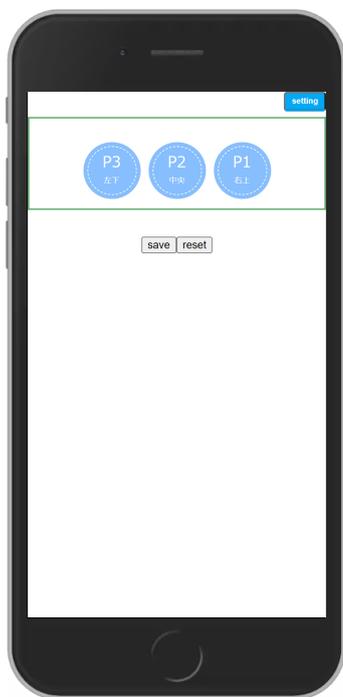
図 3.2: システム構成図

アプリケーションについて詳しく説明する。

3.3.1 クライアントアプリケーション

本研究のシステムで用いるスマートフォンのアプリケーションはHTML5, CSS, Javascriptを用いて web アプリケーションとして開発した。実際のアプリケーション画面を図 3.3 に示す。図 3.3(a) はアプリケーション起動時の初期画面となっている。P1, P2, P3 のそれぞれのボタンを部屋の中の対応した基準点にスマートフォンを向けながら押すことでその時のジャイロセンサの値がサーバーに送信される。ジャイロセンサの値は Javascript によって取得され、WebSocket 通信を用いてサーバーに送信される。ユーザのポインティング方向を特定するため、全ての基準点のセンサの値の取得後からはジャイロセンサの値が変更される度にサーバーに値が送信される。

基準点のセンサの値がサーバーに送信された後、図 3.3(b) のような画面へと遷移する。この画面ではスマートフォンを任意のモノに向けることで、対象の情報の取得が可能である。スマートフォンをモノに向けながら画面上部に設定された四角の領域を下にスワイプすることでモノの現在の状態と操作するための操作面が表示される (図 3.3(c))。スワイプ操作は誤入力を防ぐため設定された領域のみでスワイプ操作を受け付ける。操作面を表示させるにはモノにスマートフォンを向ける必要があるものの、一度操作面を表示させれば画面上に表示され続けるため、ユーザは操作するために常にモノにスマートフォンを向け続ける必要はない。図 3.3(c) は電球の操作面を表示させた場合の画面である。モノの状態を操作面は画面下部に表示される。この電球の場合 RGB での色の操作と明るさの操作を行うことが可能であるため、現在の RGB の値と明るさをスライダーで表している。ユーザはこのスライダーを動かすことで各パラメータを変更し電球の操作を行うことが可能である。また、RGB の値によって決定される電球の色は操作面の背景の色と連動している (図 3.3(d))。これによりユーザの RGB 操作を補助する。



(a) 基準点登録画面



(b) コントローラー画面



(c) 操作面取得後



(d) 操作後

図 3.3: スマートフォンアプリケーションの画面

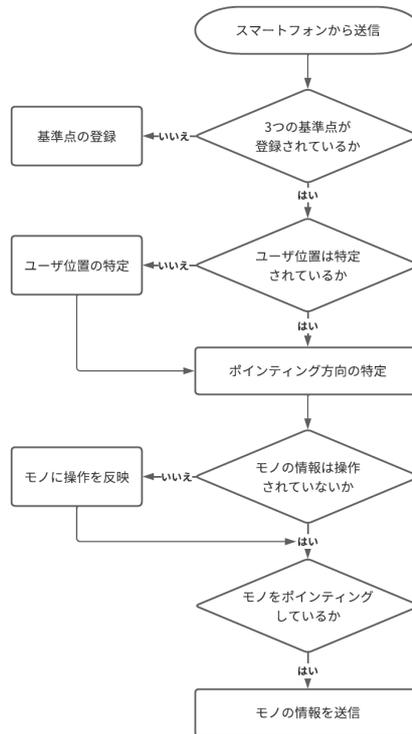


図 3.4: サーバーでの処理のフロー図

3.3.2 サーバー

スマートフォンとモノをつなげるため Python3.8 を用いて中継サーバーを構築した。本研究ではユーザのポインティング方向取得のため佐藤ら [21] の手法を用いる。ユーザの位置及びポインティング方向の特定，各デバイス間の通信を同時に行うには膨大な処理を必要とする。本研究のシステムの利用状況としてユーザ自身のスマートフォンを用いることを想定しているため，様々なスペックのスマートフォンが想定される。そのためスマートフォン側で行われる処理は最小限であることが好ましく，システムに必要な処理をユーザのスマートフォン上で行うのは適さないと考えられる。そこで本研究のシステムではスマートフォン側で行われる処理を最小限にし，システムに必要な処理の大部分をサーバー側で行った。

スマートフォンから送られるジャイロセンサの値をはじめとした情報に対してサーバーで行われる処理工程を表したフロー図を図 3.4 に示す。スマートフォンから送られた情報をサーバーが受け取った際まずはじめにユーザ位置算出に必要な 3 つの基準点のジャイロセンサの値が登録されているかの確認を行う。登録されていない場合は基準点の登録を行い，されている場合はユーザ位置の算出を行う。その後現在のユーザのジャイロセンサの値からポインティング方向の算出を行う。これらの算出が終わった後にモノの操作に必要な処理を行う。はじめにスマートフォンからモノの操作情報が送られている場合，この操作情報も switchbot API を使用してモノに送信する。その後，算出されたポインティング方向から後述するモノの認識手法を用いてユーザがシステムに登録されているモノをポインティ

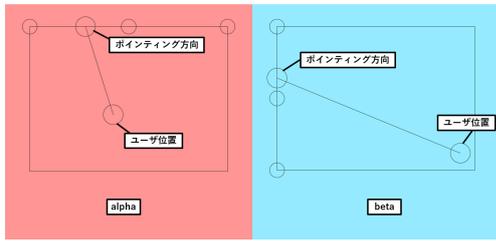


図 3.5: 管理用 PC の画面

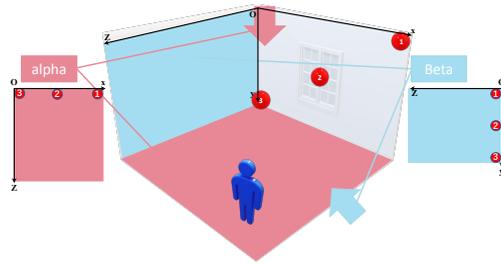


図 3.6: 提案手法での部屋の表現(文献 [21] より引用)

ングしているか否かの判定を行う。ポインティングしている場合はモノの情報をスマートフォンに送信し処理を終了する。この一連の処理をスマートフォンからの情報を受信する度に行う。

3.3.3 管理用アプリケーション

スマートフォンのジャイロセンサの値から算出されるユーザ位置とポインティング方向を視覚的に確認するため、佐藤らの開発したシステムを参考に管理用の web アプリケーションを開発した。実際に実装した画面を図 3.5 に示す。画面左側の赤い領域は部屋を上から見た場合(図 3.6 参照)のユーザ位置とポインティング方向を表しており、右の青い領域は部屋を横から見た場合のユーザ位置とポインティング方向を表している。本稿では以下それぞれを α 面、 β 面とする。

スマートフォンから送られたジャイロセンサの値もとにサーバーで算出されたユーザ位置とポインティング方向は管理用アプリケーションへと送られる。この管理用アプリケーションではリアルタイムでユーザの算出されたポインティング方向を視覚的に確認することが可能となっている。また、画面上での部屋の大きさはアプリケーション起動時にサーバーから送られる部屋の寸法をもとにそれに対応した比率となるよう表示される。

3.4 モノの認識

ポインティングによるモノの情報の取得を行うには、システムがユーザが今何をポインティングしているかを判断する必要がある。そこで提案手法ではジャイロセンサの値から得られたユーザ位置とポインティング方向からモノの認識及び判定を行う。前提としてユーザ位置とポインティング方向を特定するにはシステムが使用される空間の間取りが必要となる。そのため空間の中でのモノの位置、つまり座標の情報があればユーザ位置とポインティング方向の情報を組み合わせることでモノをポインティングしているかどうかの判定は可能となる。提案手法ではユーザ位置からポインティング方向に延びる直線が、システムに登録されたモノの座標を中心とした一定の領域(以下、ポインティング判定領域とする)と重なる場合にユーザがモノをポインティングしていると判定する。何をポインティングしているかのモノの識別についてはそれぞれの座標のモノが何かをシステムに登録することで識別を行う。これらの手法により実世界のモノに対してデバイスやマーカーといった認識、識別するための特別のものを必要としない。

3.4.1 算出方法

ユーザ位置からポインティング方向に延びる直線がポインティング判定領域と重なっているかの判定をシステムでおこなうにはいくつかの工程を必要とする。提案手法では直線がポインティング判定領域と重なっているかの判定を行うため、領域を四角形とし、この四角形の各頂点と対角線上にある頂点を結ぶ線分を生成した。この時生成される線分は2本となる。生成された2本の線分の内いずれか1つがユーザ位置からポインティング方向に延びる直線と交差する場合モノをポインティングしていると判定する。これを α 面と β 面で行い、どちらの面でのポインティングしていると判定された場合スマートフォンにモノの情報を送信する。

3.5 オブジェクト登録

3.4節で述べたようにモノのポインティング判定を行うにはその空間のどこにモノが置かれているかの情報が必須となる。そのためシステムを利用するにはユーザによるモノの位置情報の登録が必要になる。モノの位置情報とはその空間においてのモノの座標であるため、ユーザが数値で入力する場合は部屋の壁からモノがどの程度離れているかを測る必要があり、多大な負担となってしまう。また、深度センサーやカメラで取得した画像から部屋の中のモノの位置を割り出す手法も考えられるが、これらは特殊な機器やその機能を搭載した一部のスマートフォンに限定されるため、3.1節で述べたデザイン指針に反する。そこで提案手法ではポインティングによるモノの位置情報の登録を行う。

ユーザがモノに対してポインティングした時、モノは必ずユーザ位置からポインティング方向に延びる直線上のどこかに存在する。1つの直線ではその直線上のどこにモノがあるか判断することは難しいが、別のユーザ位置から同一のモノに向けている時のポインティング方向に延びる直線がある場合、この2つの直線の交点を求めることでモノの位置を特定することが可能となる。

提案手法のシステムではスマートフォンの画面が図 3.3(b) の状態に時に save のボタンを押すことでユーザの現在の α 面と β 面の位置座標、それぞれの面でのユーザ位置からポインティング方向へ延びる直線の傾きを保存する。また、reset のボタンを押すことでユーザ位置と基準点をセンサの値を初期化し、新たな位置で基準点を登録することで別のユーザ位置からのポインティングを可能とする。

4 ユーザビリティ実験

本研究では新たなインタラクションとしてポインティングによるモノの情報の取得及び操作を提案し、これをスマートフォンを用いることで実現するシステムを開発した。提案手法のシステムではスマートフォンによるポインティングによってモノの認識、操作そしてモノの位置情報の登録を可能としている。本章では提案手法のユーザビリティを測る実験について記す。提案手法のシステムのユーザビリティを評価するため既存の操作手法との比較実験を行った。今回は比較対象として製品化されているスマートスピーカー、参考としてモバイルアプリを使用した。実験では被験者にそれぞれの手法でモノに対して行うタスクを指示し、その後使用感に関するアンケートを行った。加えてユーザ観察のため実験中の被験者の様子の動画を撮影した。詳細については下記に記す。

4.1 実験環境

実験環境は幅 4.5m、奥行き 3.3m、高さ 2.4m の空間とした。今回の実験ではそれぞれの操作手法がモノとして、switchbot スマート電球¹を 3つ用い、それぞれ電球を図 4.1 の L1, L2, L3 の座標の位置に、高さは地面から 0.4m となるよう配置した。スマート電球はそれぞれスマート電球 A, スマート電球 B, スマート電球 C という名前で管理される。システム内でのオブジェクト認識領域は誤差を考慮してそれぞれの電球の座標を中心に幅 0.4m、奥行き 0.4m、高さ 0.8m となるよう設定した。被験者はこれらの電球に対して実験管理者から比較に用いるスマートスピーカーは Google Nest Mini²を使用し、設定した空間の中心となるよう図 4.1 の S1 に配置した。被験者は後述する実験管理者から指示されたタスクを図 4.1 の U1 から行う。また、提案手法のシステムに必要な基準点は被験者がスマート電球の方向に向いた時の正面の壁の右上, 中央, 左下とし、それぞれ P1, P2, P3 とした。

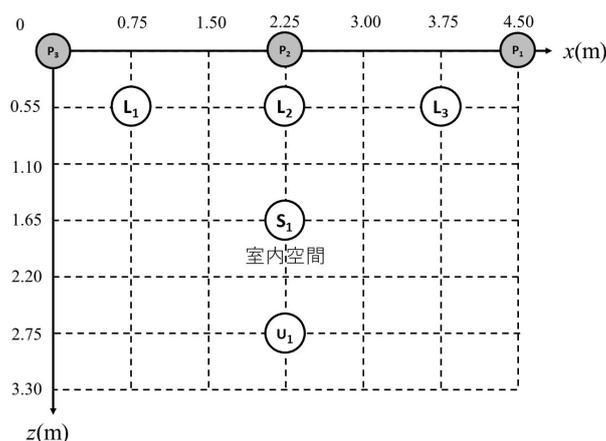


図 4.1: ユーザビリティ実験の環境

¹<https://www.switchbot.jp/products/switchbot-color-bulb> (2023/02/02 確認)

²https://store.google.com/jp/product/google_nest_mini?hl=ja (2023/02/02 確認)

4.2 実験の流れ

提案手法のシステムのユーザビリティを測るため、既存の操作手法との比較を行う。その後それぞれの操作方法の使用感に関する5段階評価と自由記述のアンケートを行った。

提案手法のシステムの比較対象として主に先に述べたスマートスピーカーを用いた。また、今回の実験ではswitchbotの製品を用いるため参考としてswitchbot公式のモバイルアプリ³も実験で使用した。提案手法のシステム及びswitchbotのアプリでの操作はiphone12⁴を用いて行った。

実験では初めに被験者が使う操作手法について説明し、その後練習時間を設けてからタスクの指示だしを行った。操作手法の説明ではそれぞれの手法を実際にスマート電球を操作しながら説明した。スマートスピーカーの操作の説明では音声によってスマート電球の色の変更、明るさの変更、現在のスマート電球の明るさの情報を取得可能であることを例として提示した。操作手法の説明後、被験者が操作に慣れるための練習時間を設けた。練習時間については一様に定めず、被験者自身が操作に慣れ準備ができた旨を確認する方式を採用した。その後、被験者にはこれらの操作手法それぞれでスマート電球に対して行うタスクを指示した。タスクは以下の8つである。

- (1) 左の電球を緑色にしてください。
- (2) 真ん中の電球を紫にしてください。
- (3) 右の電球を水色にしてください。
- (4) 右の電球の明るさを最大にしてください。
- (5) 左の電球の明るさを最小にしてください。
- (6) 真ん中の電球の明るさを最大の4分の1にしてください。
- (7) 右の電球の明るさを最大の4分の3にしてください。
- (8) 左の電球の明るさを最大の半分にしてください。

タスクは(1)から順番に指示し、タスクが完了次第次の指示を行った。タスクの完了か失敗かの判断は実験管理者側では行わず、被験者自身がタスクを完了したと思った場合に自己申告する方法を採用した。これはタスクの特性、特に(1)(2)(3)の色の変更に関して、人によって色の認識が異なるためである。また、スマートスピーカーでの操作は音声認識の精度の問題からタスク続行が困難となる場面が想定される。そこで今回の実験ではスマートスピーカーが3回連続で被験者の音声入力を認識できなかった場合と、被験者自身が指示されたタスクをスマートスピーカーで行うのが困難であると感じた場合は自己申告によってタスク失敗と次の指示へ移行した。全タスク終了後、スマート電球の位置を入れ替え、次の操作手法で同様にタスクを指示した。なお、この一連の流れは実験開始前にタスクの内容を伏せたうえで被験者に説明した。スマート電球A、スマート電球B、スマート電球Cはそれぞれ提案手法のシステムの場合は図4.1のL1, L2, L3に、スマートスピーカーの場合はL3, L1, L2に、モバイルアプリの場合はL2, L3, L1に配置した。各操作方法を使用す

³<https://apps.apple.com/jp/app/switchbot/id1087374760> (2023/02/02 確認)

⁴<https://www.apple.com/jp/shop/buy-iphone/iphone-12> (2023/02/02 確認)

表 4.1: タスクにかかった平均時間 (秒)

	提案手法	スマートスピーカー	スマートスピーカー (失敗抜き)	アプリ
練習時間	85.13	131.25	131.25	77.44
タスク (1)	20.69	29.56	26.87	11.38
タスク (2)	20.44	20.94	20.94	13.31
タスク (3)	33.50	39.69	31.43	10.69
タスク (4)	9.31	37.56	37.93	7.56
タスク (5)	14.38	52.00	48.80	8.31
タスク (6)	15.44	52.56	44.92	14.81
タスク (7)	15.56	57.75	54.50	16.56
タスク (8)	13.38	44.94	37.67	12.25

る順番は順序効果が想定されるため、グループ A とグループ B の 2 つに分けて行った。グループ A では提案手法のシステム、スマートスピーカー、モバイルアプリの順番で行い、グループ B ではスマートスピーカー、提案手法のシステム、モバイルアプリの順番で行った。

全ての操作手法でのタスク終了後、それぞれの操作手法の使用感に関するアンケートを行った。アンケートでは以下の項目を質問した

- (a) 操作方法を理解するのに感じた難易度
- (b) 操作対象を正確に選択することができた
- (c) 操作は適切に反映されたか
- (d) 指示された操作を行うのに感じた難易度
- (e) ストレスなく思い描いた通り操作することができたか

これらの質問に対して 1 から 5 の 5 段階の評価を行ってもらった。(a) (d) は 1 が難しい 5 が簡単とし、(b) (c) (e) は 1 ができなかつた 5 ができたとした。この質問の他に不満点とよかった点の自由記述を行った。これに加えてスマートスピーカーと IoT 製品の使用経験の有無について普段から使っている、何回か使ったことがある、使ったことがないの 3 つの選択肢の中から回答するアンケートを行った。

4.3 実験結果

20 代の男女 16 名をグループ A を 8 名、グループ B を 8 名に分け実験を行った。以下実験結果について記す。

4.3.1 タスク

ユーザビリティ実験においてそれぞれの操作手法で各タスクにかかった平均時間を表 4.1 に示す。スマートスピーカーでの操作についてはタスク (1) において 1 件、タスク (3) において 2 件、タスク (4) において 1 件、タスク (5) において 6 件、タスク (6) において 3 件、タスク (7) において 2 件、タスク (8) において 4 件のタスク失敗があった。表 4.1 にはこれらの失敗を件数として含めない平均時間も示す。

4.3.2 5段階評価

図 4.2 から 4.6 にアンケート結果を示す。4.2.2 項で述べた (1) のアンケート項目での回答の平均値は提案手法、スマートスピーカー、モバイルアプリでそれぞれ 4.25, 2.43, 4.75 となった。提案手法で最も多かった回答は 4 で 8 件、スマートスピーカーでは 1 の回答が 7 件、モバイルアプリでは 5 の回答が 12 件であった。(2) の項目の回答の平均値は提案手法で 3.81, スマートスピーカーで 2.75, モバイルアプリで 4.68 となった。最も多かった回答は提案手法、スマートスピーカー、モバイルアプリそれぞれで 4 が 6 件, 2 が 7 件, 5 が 13 件であった。(3) の項目の回答の平均値は提案手法で 4.25, スマートスピーカーで 2.5, モバイルアプリで 4.93 となった。最も多かった回答は提案手法、スマートスピーカー、モバイルアプリそれぞれで 5 が 10 件, 2 が 10 件, 5 が 15 件であった。(4) の項目の回答の平均値は提案手法で 4.25, スマートスピーカーで 1.68, モバイルアプリで 4.93 となった。最も多かった回答は提案手法、スマートスピーカー、モバイルアプリそれぞれで 4 と 5 が 7 件づつ, 1 と 2 が 7 件づつ, 5 が 10 件であった。(5) の項目の回答の平均値は提案手法で 4.25, スマートスピーカーで 1.62, モバイルアプリで 4.68 となった。最も多かった回答は提案手法、スマートスピーカー、モバイルアプリそれぞれで 5 が 8 件, 1 が 8 件, 5 が 12 件であった。

4.3.3 自由記述

以下、アンケートの自由記述項目において主だった内容について述べる。提案手法の自由記述では主にスマートフォンの画面上のユーザインタフェースとシステムに関する記述が多く見られた。ユーザインタフェースに関する記述では、RGB や明るさのパラメータ操作のため用いたスライダーの操作について不満を感じたといった記述が 8 件あった一方で、設定した色が背景色となっているためわかりやすかったといった記述が 2 件あった。システムに関する記述では、操作したい電球とは別の電球が選択されたといった記述が 4 件不満点として挙がった。また、ポインティングによる操作対象の選択が直観的であった、対象の名前を覚える必要がなくよかったといった記述が 12 件あった。

スマートスピーカーの自由記述では主に音声認識の精度、操作対象の選択、インタラクションに関する記述が多く見られた。スマートスピーカーではモノの操作を行う際に対象の名前を言う必要があるが、この時モノの名前と実際に位置関係を覚える必要がある。この位置関係の把握及び記憶に関する不満点の記述が 8 件挙がった。また、音声適切に認識されない事象に関する記述が 15 件挙がった。よかった点としては、手を使わずに音声のみで操作できるため楽であったといった記述が 12 件挙がった。

モバイルアプリの自由記述では主に操作対象の選択とユーザインタフェースに関する記述が多く見られた。モバイルアプリでは名前によってモノが管理されている。そのためスマートスピーカーと同様にモノの名前と位置関係を把握する必要があるため、これに関する煩わしさなどの不満点が 5 件挙がった。よかった点として、モバイルアプリではあらかじめ多くの色がプリセットとしてボタンで登録されているため、これが使いやすいといった記述が 4 件挙がった。

4.3.4 ユーザ観察

提案手法のシステムにおいて被験者が操作しようとしているスマート電球とは別の電球がシステムによって認識された様子が 8 人の被験者で確認された。これらの被験者の基準

点登録時の様子としてスマートフォンを持った手を基準点に向かって大きく伸ばす様子が確認できた。またスマートフォンの角度の変化に着目した時、p2とp1の角度の変化の大きさに比べてスマートフォンを下に向けるp2とp3の角度の変化量が小さい傾向が見られた。他にも3つの基準点の角度の変化が小さい様子も確認できた。また、1人の被験者で片手でのスマートフォンの操作による基準点を行う様子が確認できた。これらの被験者はその後のタスクでスマート電球にスマートフォンを向けた状態で少しずつポインティング方法を変えながら複数回下にスワイプする様子が確認でき、タスク(4)以降ではタスク(3)に比べスムーズに操作する対象を選択する様子が見られた。

スマートスピーカーを使った実験では合計19件のタスク失敗があった。そのうちスマートスピーカーが3回連続で音声を認識できなかったことによる失敗は1件で残りの18件は被験者による自己申告での失敗となった。3回連続で音声認識できず失敗したのはタスク(6)であり、この時「スマート電球Cの明るさを4分の1にして」と指示しており、これを3回行った。加えて、同様の指示を出し認識されなかったため自己申告による失敗としたケースが3件あった。この様にスマートスピーカーではタスク(6)、(7)のような分数の表現は認識されないため、多くの被験者が1度認識されなかった後に百分率に言い換えて指示し、タスクを完了させた。また、タスク(6)、(7)において認識されなかった際にスマートスピーカーから操作方法についての案内があった。

タスク(3)、(4)、(8)では被験者が適切な対象に適切な指示を出しそれが対象に反映されているものの、被験者自身が操作が反映されていないとし自己申告によってタスク失敗としたケースが合計3件見られた。例えばタスク(4)ではスマート電球の明るさが操作によって最大となっているにも関わらず、明るさを最大とする操作を続け最終的にタスク失敗とした。このような行動は自己申告によるタスク失敗とは別に6件確認された。

そのほか12件の自己申告によるタスク失敗は全て適切な対象、適切な指示を行っていないものの、別の電球が反応したか認識されなかった場合であった。スマートスピーカーでの操作において対象の名前を言うことは必須となるが、指定したスマート電球とは別の電球とは別の電球が変化の様子は全ての被験者で確認できた。この様に適切なスマート電球を指定しているにも関わらず、スマートスピーカーの認識によって別の電球が操作され、これが続くことで自己申告による失敗となるケースが多かった。また、スマートスピーカーへの指示が適切に受け付けられない過程で多くの被験者が別の電球の操作を行った。この際色の変更を行う傾向があった。加えて稀にスマートスピーカーが指示を復唱する様子を確認した。

音声認識されない場面は全ての被験者で確認できた。ほとんどの場合は適切な操作対象、操作指示を行っているにも関わらず、別の対象が操作される様子であった。その他認識されない事例として複雑な指示を行った場合や音声入力中に言葉に詰まる場合で確認された。複雑な指示とはタスク(6)、(7)で分数による明るさの指定を行うことで指示が長くなることで複雑化する例が挙げられる。

また、スマートスピーカーでのタスク(1)において指定されたスマート電球とは別の電球に対して指示する様子が9件確認された。

スマートスピーカーを用いてタスクに成功してケースについては多くの被験者がタスク(1)から(3)において「スマート電球○を□色にして」と指示しており、タスク(4)から

(8) については「スマート電球○の明るさを□□にして」と指示している様子であった。この時タスク (4) (5) (8) については最大を 100%, 最小を 0, 半分を 50% のように言い換える被験者を一部確認し、タスク (6) (7) においてはタスクを成功させた被験者は全員分数を百分率に言い換えることでタスクを成功させた。

モバイルアプリでの操作において指差して各スマート電球の位置を確認する様子が 5 人の被験者で確認された。また、タスク (1) で指示されたスマート電球とは別の電球を操作してしまう様子が 2 件確認された。

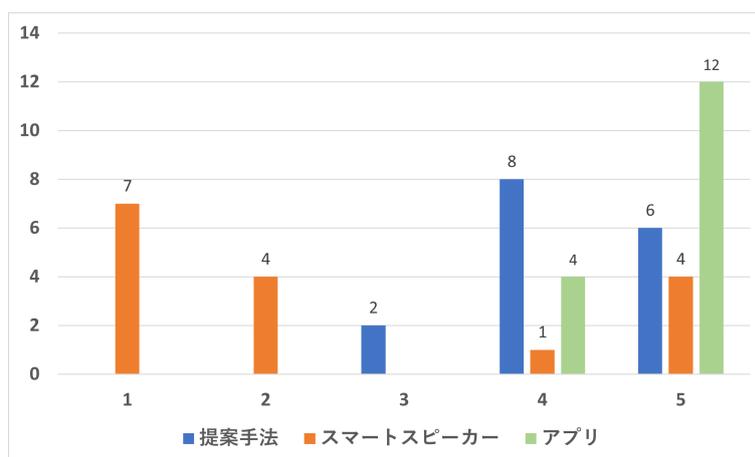


図 4.2: (a) 操作方法を理解するのに感じた難易度

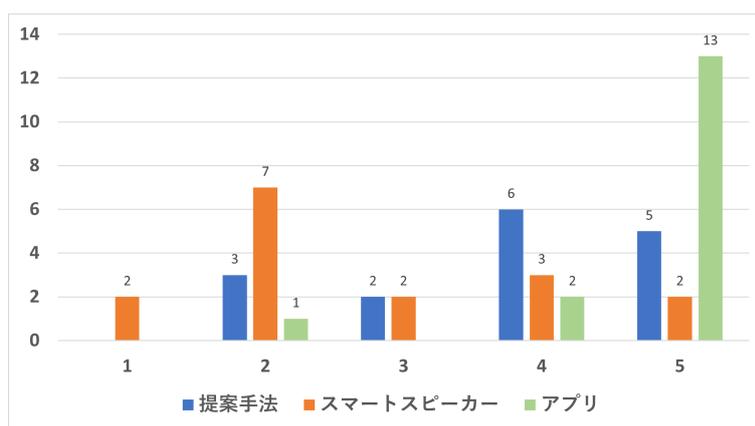


図 4.3: (b) 操作対象を正確に選択することができたか

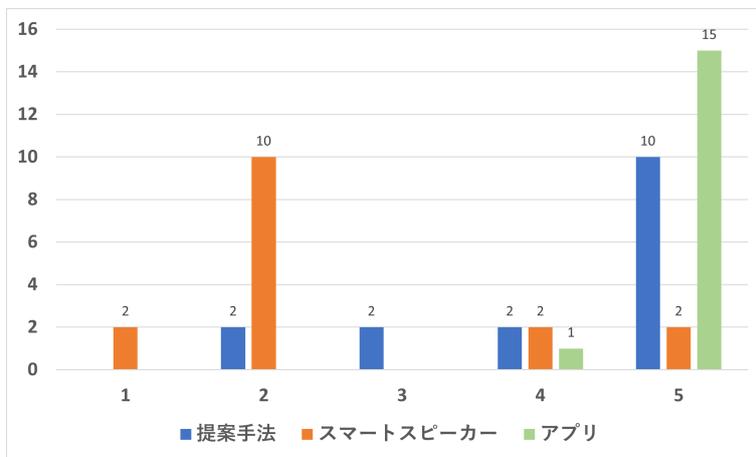


図 4.4: (c) 操作は適切に反映されたか

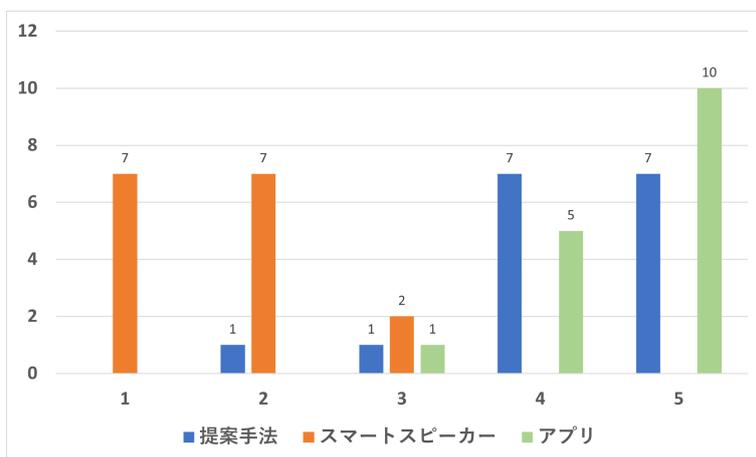


図 4.5: (d) 指示された操作を行うのに感じた難易度

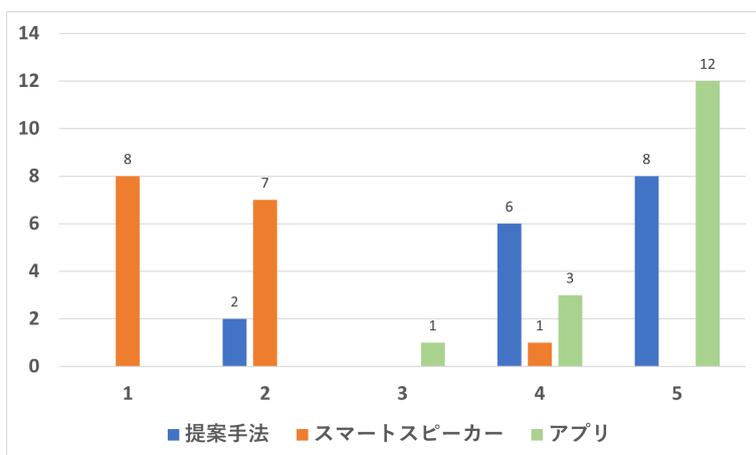


図 4.6: (e) ストレスなく思い描いた通り操作することができたか

5 精度実験

5.1 実験設計

3.5節で述べた通り，提案手法のシステムではポインティングによるモノの位置を登録する機能を実装した．本章ではこの機能の精度を検証する実験について記す．実験では提案手法のシステムを用いて3つの地点から設定した空間に配置された6つのモノをポインティングを行い，それぞれの実際のモノの位置とシステムが算出したモノの位置の比較を行った．

精度実験を行った環境を図5.1に示す．4.2.1項と同様に実験環境は幅4.5m，奥行き3.3m，高さ2.4mの空間とし，提案手法のシステムに用いる基準点も同様に設定した．今回の実験では位置を登録する対象として図5.1のA1からA6までのそれぞれの地点に高さ64cmの目印を配置した．被験者は図5.1のU1からU3までのそれぞれの位置からA1に配置された椅子に向かってポインティングを行い，A2以降についても同様に行った．これらのポインティングによって得られた数値からモノの位置の算出を行う．2地点からのポインティングによるモノの位置の算出を行うため，U1とU2，U1とU3，U2とU3（以下，それぞれU1U2，U1U3，U2U3とする）の合計3つの組み合わせでの算出結果の比較を行う．

5.2 実験結果

被験者1名による精度評価実験を行った．表5.1から表5.8は実験結果を表す．提案手法のシステムによるユーザ位置の算出では α 面の x 座標において実際のユーザ位置から最大約42cmの差がU3地点で確認された．同様に z 座標では約22cmの差がU2地点で確認された． β 面においてはU2地点の z 座標にて約12cm，U3地点の y 座標にて被験者の身長が169cmであったため，スマートフォンを胸元の高さ，つまり120cmとした場合に約74cmの差が確認された．

モノの位置の算出については α 面の x 座標において平均約15cm，中央値約15cm， z 座標において平均約20cm，中央値約19cmの差が確認された． x 座標で差が最大となったのはU2U3によるA5にて約40cmの差， z 座標ではU2U3によるA1で約47cmの差が確認された．また， x 座標の最小はU2U3によるA4にて約1.2cm， z 座標はU2U3によるA3で約5cmとなっている．平均して座標のずれが小さかったのはU1U2によるポインティングとなっており， x 座標が約14cm， z 座標が約16cmとなっている．

β 面では座標の差は z 座標で平均約420cm，中央値約149cm， y 座標では平均約88cm，中央値約37cmとなっている． z 座標で差が最も大きくなったのはU1U3によるA3にて約2990cm， y 座標ではU2U3によるA5にて約512cmが確認された．差が最も小さくなったのは z 座標ではU2U3によるA2にて約30cm， y 座標では同様にU2U3によるA2にて約1.7cmとなった．平均して座標のずれが小さかったのは α 面同様U1U2によるポインティングとなっており， z 座標で約126cm， y 座標で約39cmとなっている．

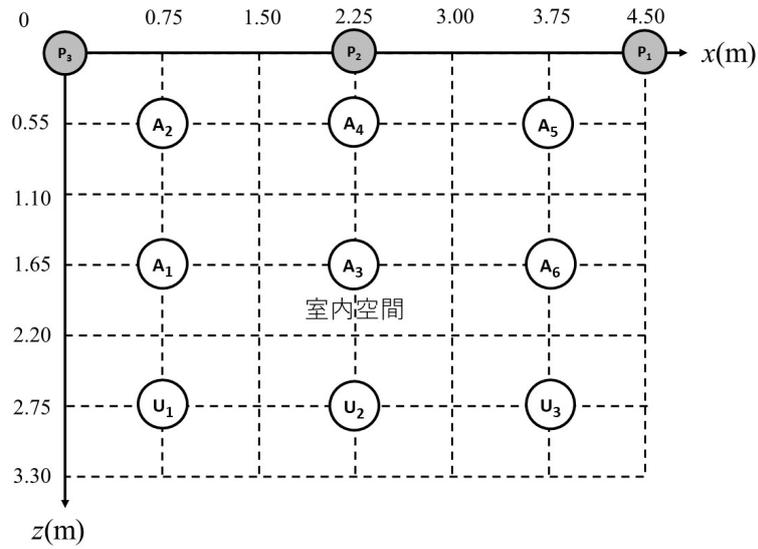


図 5.1: 精度実験の環境

表 5.1: α 面のユーザ座標算出結果

ユーザ位置	実際の x 座標	算出された x 座標	差分
	実際の z 座標	算出された z 座標	
U1	75	108.0873913	33.08739127
	275	274.8821838	-0.1178162328
U2	225	224.0717354	-0.9282646164
	275	252.8563363	-22.14366367
U3	375	332.2655896	-42.73441036
	275	261.4093227	-13.59067732

表 5.2: β 面のユーザ座標算出結果

ユーザ位置	実際の z 座標	算出された z 座標	差分
	実際の y 座標	算出された y 座標	
U1	275	273.7359715	-1.264028505
	120	106.9003295	-13.09967045
U2	275	262.4280491	-12.57195086
	120	109.0166432	-10.98335677
U3	275	286.7185735	11.71857349
	120	45.38760183	-74.61239817

表 5.3: α 面においての U1U2 のモノの位置算出結果

モノの位置	実際の x 座標 実際の z 座標	算出された x 座標 算出された z 座標	差分
A1	75	97.38186456	22.38186456
	165	144.4999891	-20.50001091
A2	75	93.20328342	18.20328342
	55	40.25125844	-14.74874156
A3	225	226.2207887	1.220788656
	165	173.9576957	8.957695737
A4	225	226.3300607	1.330060718
	55	65.48852141	10.48852141
A5	375	388.3831661	13.38316608
	165	146.3545244	-18.64547559
A6	375	350.0298544	-24.97014563
	55	79.00011804	24.00011804

表 5.4: α 面においての U1U3 のモノの位置算出結果

モノの位置	実際の x 座標 実際の z 座標	算出された x 座標 算出された z 座標	差分
A1	75	96.52422106	21.52422106
	165	134.0547822	-30.94521783
A2	75	92.63630441	17.63630441
	55	31.31348331	-23.68651669
A3	225	228.3276144	3.327614399
	165	172.1577787	7.157778743
A4	225	222.4596712	-2.540328753
	55	72.34251946	17.34251946
A5	375	335.2761101	-39.72388986
	165	170.706392	5.706391999
A6	375	345.3511814	-29.64881861
	55	82.78807703	27.78807703

表 5.5: α 面においての U2U3 のモノの位置算出結果

モノの位置	実際の x 座標 実際の z 座標	算出された x 座標 算出された z 座標	差分
A1	75	65.69920794	-9.300792063
	165	117.4021878	-47.59781218
A2	75	80.56944694	5.56944694
	55	19.72669543	-35.27330457
A3	225	226.3168458	1.31684575
	165	170.4311316	5.431131616
A4	225	226.1704405	1.170440548
	55	78.73182251	23.73182251
A5	375	334.9345094	-40.06549064
	165	180.9983636	15.99836361
A6	375	345.133587	-29.86641301
	55	85.75828924	30.75828924

表 5.6: β 面においての U1U2 のモノの位置算出結果

モノの位置	実際の z 座標 実際の y 座標	算出された z 座標 算出された y 座標	差分
A1	165	304.7048033	139.7048033
	64	118.7590193	54.75901929
A2	55	218.6021105	163.6021105
	64	100.3806163	36.38061632
A3	165	250.8311446	85.83114457
	64	104.1272646	40.12726465
A4	55	209.2517716	154.2517716
	64	95.42982793	31.42982793
A5	165	240.004077	75.00407695
	64	101.1918524	37.19185239
A6	55	192.7735958	137.7735958
	64	95.21416645	31.21416645

表 5.7: β 面においての U1U3 のモノの位置算出結果

モノの位置	実際の z 座標 実際の y 座標	算出された z 座標 算出された y 座標	差分
A1	165	99.176987	-65.823013
	64	40.05761319	-23.94238681
A2	55	-58.17047887	-113.1704789
	64	67.65158411	3.651584114
A3	165	3155.307202	2990.307202
	64	455.7693278	391.7693278
A4	55	-141.1324104	-196.1324104
	64	33.10320637	-30.89679363
A5	165	757.8229314	592.8229314
	64	188.8227769	124.8227769
A6	55	-541.6996065	-596.6996065
	64	-10.80018348	-74.80018348

表 5.8: β 面においての U2U3 のモノの位置算出結果

モノの位置	実際の z 座標 実際の y 座標	算出された z 座標 算出された y 座標	差分
A1	165	-55.94919967	-220.9491997
	64	35.64888003	-28.35111997
A2	55	25.19811558	-29.80188442
	64	62.26980439	-1.730195613
A3	165	21.5233002	-143.4766998
	64	7.448633202	-56.5513668
A4	55	-21.20667645	-76.20667645
	64	36.54649667	-27.45350333
A5	165	-1334.28656	-1499.28656
	64	-448.1530569	-512.1530569
A6	55	-238.4239549	-293.4239549
	64	9.769605559	-54.23039444

6 考察

6.1 ユーザビリティ実験

提案手法のシステムのユーザビリティを測るため、既存の製品化されている操作手法との比較を行った。以下では各観点からの考察を行う。

6.1.1 各タスクについて

4.3.1項の表4.1の通りスマートスピーカーでのタスク(1)から(3)と(4)から(8)にかかった時間を比較した時、増加傾向にあるのが見られる。これら2つの群のタスクの違いは、タスク(1)から(3)は各スマート電球の色を操作するタスクであるのに対して、タスク(4)から(8)は各スマート電球の明るさを操作するタスクとなっている。4.3.4項で述べたようにスマートスピーカーに対して色の変更であれば「スマート電球○を□色にして」と指示することで、明るさの変更であれば「スマート電球○の明るさを□□にして」と指示することで操作可能であることが確認されている。この2つの指示を比べたとき、色の変更時は操作対象を発話した後にどのように変化させるのかを2つの文節で指定しているのに対して、明るさの変更時は操作対象を発話した後にどのパラメータをどのように変化させるのかを3つの文節で指定している。そのため色の変更の指示に比べて明るさの変更の指示は長くなり、スマートスピーカーが認識しなくてはならない文節の数も増えていることがわかる。加えて明るさの変更では最大、最小、半分といった単語の認識は可能であるが、タスク(6)(7)のような分数による表現での入力は認識可能ではないため百分率への言い換えを行う必要がある様子が確認されている。そのためタスク(4)から(8)では音声が入り正しく認識されなかった場面が多く確認された。また、タスク(6)では分数による表現でスマートスピーカーに指示を行ったことで指示が認識されず、これが3回続いたためタスク失敗となったケースが1件確認された。このような要因からスマートスピーカーに対する音声入力の試行回数が色を変更するタスクに比べ増加した傾向が見られ、結果としてタスクにかかった時間が伸びたと考えられる。

タスク(3)、(4)、(8)のスマートスピーカーでの操作において適切な対象に適切な指示を行い、その指示がスマート電球に反映されているにも関わらず被験者の自己申告によってタスク失敗となった場面があった。例えば、タスク(3)はスマート電球の色を水色に変更するタスクであるが、被験者がスマートスピーカーを用いて適切なスマート電球に対して「水色にして」と指示し、スマートスピーカーはこの指示を正常に認識し操作を反映しているにも関わらず同様の指示を複数回行った後にタスクを失敗とした様子であった。これは4.2節で述べたように個人によって色の認識や明るさの程度の認識が異なることが要因していると考えられる。人同士のコミュニケーションにおいて色や程度の認識の個人差から齟齬が発生することがある。今回の場合ではスマートスピーカーの内部システムで定義させていた色や明るさのパラメータが被験者が想定していたものと違ったため被験者が出した指示が正しく認識されたと判断できずタスク失敗としたと考えられる。

提案手法のシステムとモバイルアプリの各タスクにかかった時間を比較した時、タスク(1)から(3)では9秒から20秒程度の差が見られるが、タスク(4)から(8)では大きな差は見られない。これは提案手法のシステムで実装したユーザインタフェースによる影響

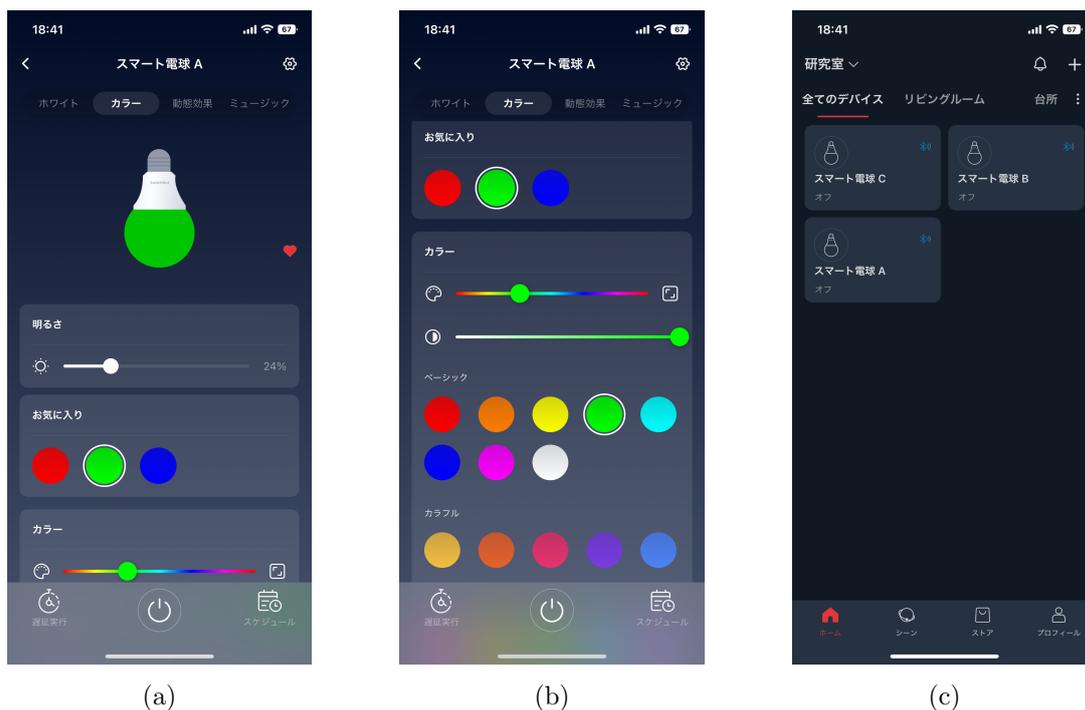


図 6.1: モバイルアプリの操作画面

であると考えられる。提案手法のシステムでは 3.3 項の図 3.3(c) のような画面で電球の操作を可能としている。図中の赤、緑、青の各スライダーを動かすことで RGB の割合を決定することが可能であるが、自由記述のアンケートでこのスライダーについての不満点が多く挙がっており、具体的にはどのような RGB の割合でどのような色になるのかがわからなかったといったものであった。一方でモバイルアプリでは色を変更するスライダーの他に図 6.1(a)、図 6.1(b) のようなあらかじめ色をプリセットしたボタンがいくつか用意されており、自由記述ではこの機能がわかりやすく使いやすいといった意見が挙がっている。このような要因からモバイルアプリと比較したとき提案手法のシステムではタスク (1) から (3) において操作時間は延びたと考えられる。また、提案手法においてタスク (4) でタスクを行うのにかかった時間が大きく短くなったが、これは前のタスクで指定されたスマート電球とタスク (4) で指定されている電球が同一であるため、操作面がそのままスマートフォンの画面上に残っており対象を選択する動作が省略されたためであると考えられる。

6.1.2 提案手法でのモノの認識精度

提案手法のシステムにおいて、本来操作したいスマート電球とは別の電球が認識される事象が確認された。これはシステムを使用する際に行われる基準点の登録時に実際に取得されるべき値と取得された値にズレが生じたためであると考えられる。この事象が見られた被験者の基準点登録時の様子として基準点に向かってスマートフォンを持った手を伸ばす様子や、p2 にスマートフォンを向けたときの角度を基準とした場合 p1 にスマートフォンを向けたときの角度に比べ p3 にスマートフォンを向けたときの角度が小さい様子が確認された。また、認識されなかったスマート電球の位置として 4.1 節の図 4.1 中の L1 と L3 であった。今回の実装で用いた佐藤らの手法では本来手を伸ばすような動作を行ったとして

もユーザ位置とポインティング方向の算出は可能であるが，スマートフォンの空間座標は固定されているのが望ましいとしている [21]．しかし，実際にシステムを使用する場面においてスマートフォンをある空間座標に固定した場合，自然なインタラクションを阻害することが考えられたため，佐藤らはスマートフォンの持ち方などの指定は行わず，ユーザの姿勢や特性，ユーザ位置の算出精度を考慮したポインティング精度を評価する実験を行った．実験では図 6.2(a) 中の S1 から S9 の位置それぞれから空間に設定された T1 から T12 のターゲットをポインティングを行った．その結果 β 面において誤差を大きくなる傾向を確認しており，特にポインティングするにあたって体を大きく動かす必要のある T4 から T8 については誤差がより大きくなる傾向がある．また，基準点に近いターゲット程誤差が小さくなることが示唆されている．今回行った実験では佐藤らの行った実験と同様にスマー

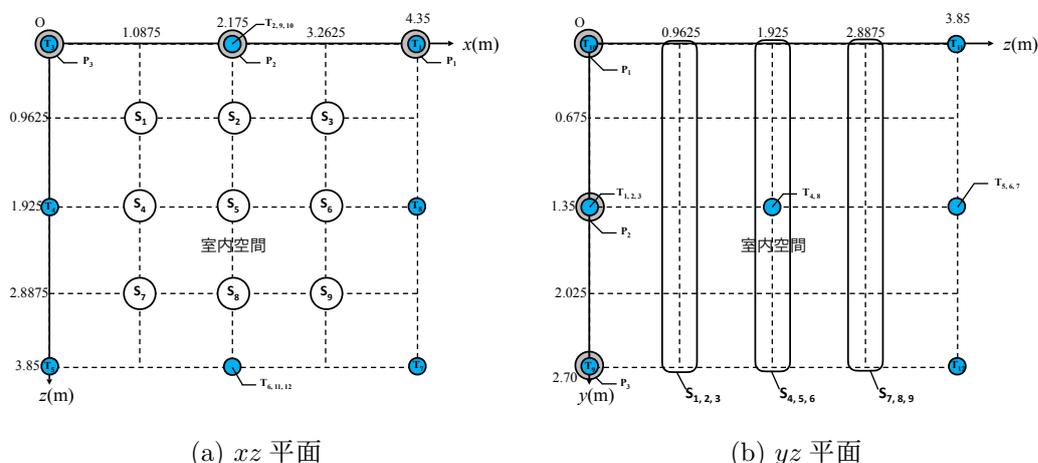


図 6.2: ポインティングの誤差を測定するためのターゲットの設定 (文献 [21] より引用)

トフォンの持ち方等の指定は行わなかったため，ポインティング方向の算出に同様の誤差が表れたことが考えられる．特に上記のような特徴的な行動をとった被験者については誤差が最大化されたためポインティングした電球が認識されなかったと考えられる．また，このような事象が確認できた被験者はその後，ポインティング方向を少しずつ変えながら複数回画面をスワイプすることで操作したいスマート電球の認識を成功させている様子が見られ，タスク (4) 以降ではそれ以前のタスクに比べ短時間での操作対象の認識に成功している．このことから被験者それぞれがポインティング方向を調節し修正することでポインティングが認識される領域を学習していることが考えられる．

6.1.3 操作対象の選択

今回の実験でのタスクはいずれの操作手法についても 4.1 節で設定したスマート電球 A，スマート電球 B，スマート電球 C といった各電球の名前ではなく「右の電球」や「左の電球」のように場所で操作するスマート電球を指定している．そのため被験者はスマートスピーカーとモバイルアプリでは操作の練習時間中に各スマート電球を操作することでそれぞれの電球が図 4.1 の L1, L2, L3 のどこに配置されているかを把握し，電球の名前と位置を関係づける必要がある．このような各スマート電球の位置関係の把握は実験課程で被験者には強制しておらず，タスクの内容を伏せたうえで練習が終わり次第実験監理者から指

示された操作を行ってもらったことを伝えている。そのため位置関係の把握は任意となっており、このことから4.3.4項で述べたようにスマートスピーカーとモバイルアプリでのタスク(1)に指定されたスマート電球とは別の電球に対して操作を指示する様子が複数の被験者で確認された。

スマートスピーカーでの操作において指定したスマート電球とは別の電球に操作が反映される様子が多く確認された。特にこの様子はタスク(4)から(8)で確認され、先の6.1.1項で述べたようにスマートスピーカーでの明るさの変更を行う際の特徴が原因であることが考えられる。被験者からの指示をスマートスピーカーが正常に認識できなかった時のスマートスピーカーの反応として以下の4つが確認された。

- 認識できなかったとユーザに伝える。
- 指示された操作を別のスマート電球に対して行う。
- 指示された操作とは別の操作を指示されたスマート電球に対して行う。
- 指示された操作とは別の操作を別のスマート電球に対して行う。

タスク(4)から(8)ではタスク失敗が16件確認された。その内、6.1.1項で述べたタスク(6)での1件の失敗を除く18件では指示が認識されなかった際に4つの反応がランダムに、かつ連続で発生していた。スマートスピーカーから認識できなかったと反応が返された場合の多くは被験者が分数表現などのそもそもスマートスピーカーが認識することができない表現を使って指示を行っていたため、指示の表現を変える様子が確認された。その他3つの反応については被験者がタスクで指定された適切なスマート電球に適切な表現で指示している際に確認された。これはスマートスピーカーを用いて明るさを変更する際の指示の3つの文節いずれか、または複数を誤認識してしまったため発生したと考えられる。スマートスピーカーがユーザからの指示を誤認識し操作を反映する際、システムとしては指示を正常に認識し指示を反映したと判定している。そのため、ユーザはスマートスピーカーの誤認識によって操作に失敗したのか自身の指示が原因で操作に失敗したのかの判断を迫られる。今回の実験においては被験者は指示をスマートスピーカーが誤認識した際に誤認識によって操作に失敗したと考え、もう一度同様の指示を行う様子が見られた。しかし2度目の指示でも誤認識された場合、被験者は操作する対象や内容を変えて指示する様子が見られた。タスク失敗となったケースでは2度目以降の指示でも誤認識が続いた様子が確認されており、このことから各スマート電球の名前と位置の関係を把握し続けるのが困難となったため失敗したと考えられる。一方でタスク成功となったケースではスマートスピーカーから被験者が出した指示を復唱し確認する様子が確認された。このスマートスピーカーからの指示の確認は毎回の指示で行われている様子はなく、ランダムで発生するものであった。

6.1.4 ユーザビリティ総評

4.3.2項で述べた5段階評価の結果では全ての質問項目でスマートスピーカーの回答の平均値を提案手法のシステムが上回る結果となっており、質問(b)を除いたほかの4つの質問において回答の平均値が4以上となる結果を得られた。提案手法のシステムでの質問(b)での回答の平均値が3.81となっており、スマートスピーカーの回答の平均値よりかは高くなっているものの、他の質問の回答の値よりも低い結果となった。これは6.1.2項で述べた

ようなシステムの認識精度の問題が影響していると想定され、この点については自由記述で4件不満点として挙がっている。

質問項目 (b), (c) は操作対象の選択と操作内容の反映に関する質問項目となっており、スマートスピーカーでの操作においては6.1.3項で述べたような音声による指示を正しく認識できない事象が発生したことから質問 (b), (c) で平均値が低くなったと考えられる。また、操作対象の名前と位置の対応付けとその記憶が必要となるためこれが負担であったといった自由記述が8件挙がっている。このような記述はモバイルアプリでの自由記述でも不満点として5件挙がっており、実験中にスマートフォンの画面 (図 6.1(c)) を見ながらスマート電球を指差しながら各電球の名前を声に出して確認している様子がスマートスピーカーとモバイルアプリを用いた場合で見られた。一方で提案手法のシステムの自由記述では、操作したい対象に向けるだけで操作対象を選択することができるため直観的であった、対象の名前を覚える必要がないのでよかったといった意見が自由記述で12件確認されている。このようなことから質問 (a), (e) において回答の平均値がともに4.25となっており、スマートスピーカーと比較して高くなった要因であると思われる。

質問 (d) は指示されたタスクを行うのに感じた難易度に関する質問となっているが、6.1.1項で述べたようにタスクによってはスマートスピーカーに対して出す指示が複雑化するため操作が困難となる傾向が見られ、これはスマートスピーカーでの質問 (d) の回答の平均値が1.68となっていることにも影響していると思われる。自由記述では色の変更などの簡単なタスクであれば手を使わないため楽でよかったとした記述があった一方で、複雑なタスクであればスマートスピーカーが認識するために言い換えや言葉を整理する必要があることが不満点として挙がった。

このように今回の実験環境のようなユーザにとって慣れない未知の環境において、実世界のモノから独立した状態で行われる操作は操作方法の把握や実世界でのモノの状態と扱うことが可能な情報の関連付けを行う必要があるためユーザに負担がかかることが示唆される。これに対して本研究で実装したシステムではポインティングによって任意のモノの情報を取得することが可能であるため、手元の情報と実世界でのモノの関連付けを行う必要なく、ユーザにとって直観的で理解が容易であると考えられる。

6.2 精度評価実験

5章で述べたようにポインティングによるモノの位置の登録の精度を検証した。α面においての算出されたx座標とz座標の誤差の絶対値をグラフ化したものをそれぞれ図 6.3と図 6.4に示す。x座標ではいずれのユーザ位置からの組み合わせでもA3, A4で誤差が小さくなる傾向が見られる。z座標のA3でも同様の傾向は見られる。このことから部屋の中央にて誤差が小さくなり、精度が高くなると示唆される。部屋の中央であるほど佐藤らの手法でのユーザ位置推定精度が高くなる傾向が報告されていることから、本手法の精度はユーザ位置推定精度に影響を受けていることが推察される。

β面においては最大約2990cm, 平均でもz座標で約420cm, y座標で約88cmといった全体として大きい誤差が確認された。最も大きい誤差が発生した条件に着目したとき、図 4.1のユーザ位置U1とU3の2点からA3をポインティングした場合となっている。U1とU3

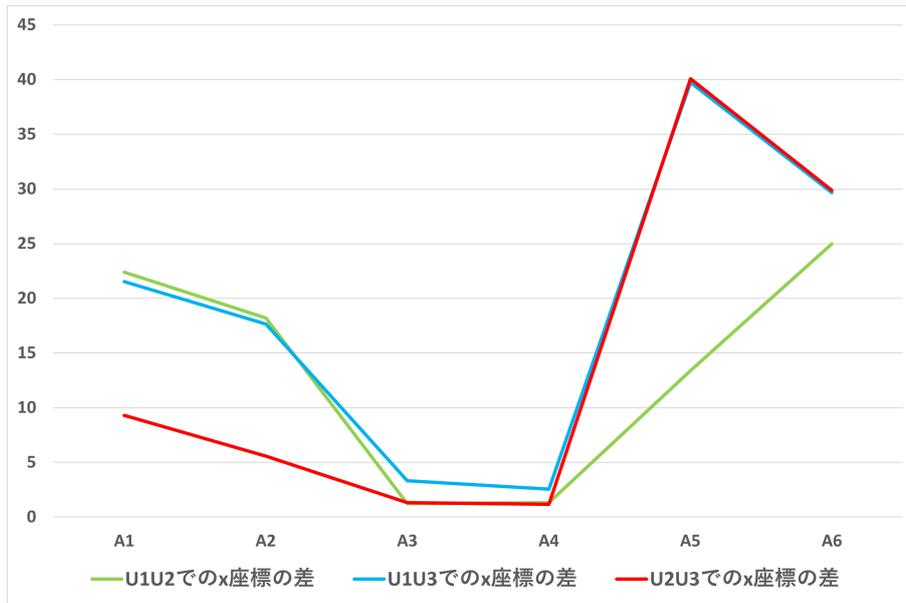


図 6.3: α 面における x 座標の誤差

表 6.1: β 面での各ユーザ位置から延びる直線の傾き

モノの位置 \ ユーザ位置	U1	U2	U3
A1	0.38292	0.23044	0.02842
A2	0.11825	0.19705	-0.06455
A3	0.12107	0.42161	0.14306
A4	0.17788	0.25551	0.02871
A5	0.16923	0.34895	0.30447
A6	0.14434	0.19816	0.06783

は A3 から見たとき、線対称の関係となるためそれぞれのユーザ位置と A3 を結ぶ直線の傾きは一致する。特に今回の実験においては全てのユーザ位置で立った状態でポインティングを行ったため、実際の U1 と U3 のユーザ位置から伸びる A3 へポインティングしたときの直線の傾きが近似したためこのような誤差となったと推察される。このような観点から今回の実験において各ユーザ位置から延びる A1 から A6 をポインティングした際の直線の傾きを算出した (表 6.1)。A1, A3, A5 はそれぞれユーザ位置 U1, U2, U3 の正面に位置する関係となっており、比較的傾きが大きくなっているのが分かる。一方でそれ以外については傾きの値は近似している。このことから β 面においてユーザのスマートフォンを傾ける動作は小さくなるのが推察される。

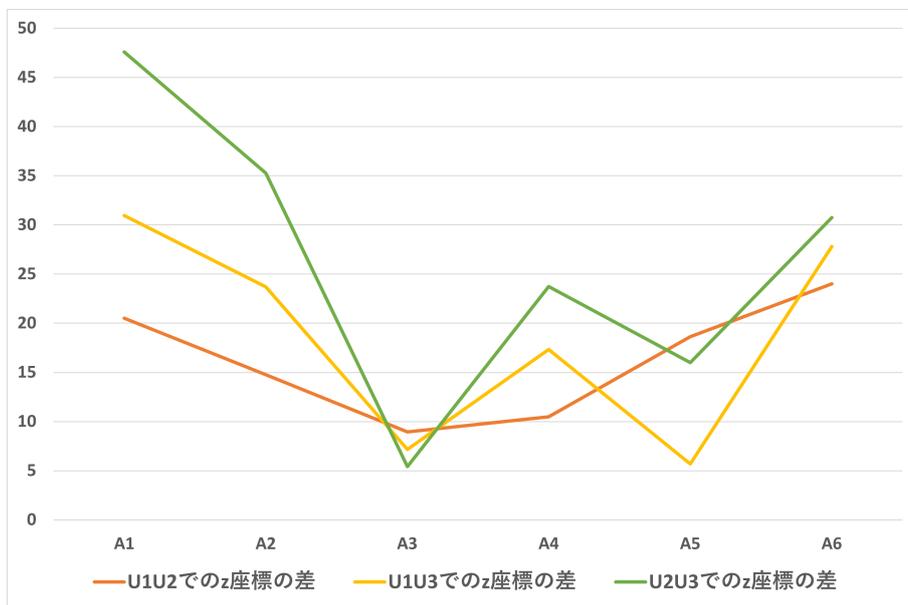


図 6.4: α 面における z 座標の誤差

7 おわりに

本研究ではユーザにとって慣れない未知の環境においてもシームレスにモノの情報にアクセス可能な手法として、従来のリモコン操作のようにモノにポインティングすることで直感的にモノの情報にアクセスする手法を提案した。実装ではスマートフォンによるポインティングによってモノの情報を取得し操作可能なシステムを開発した。実験ではこのシステムのユーザビリティを測るため、提案手法のシステムとスマートスピーカー、モバイルアプリの各操作手法で実験環境に配置された3つのスマート電球に対して指示されたタスクを行うユーザ実験を行った。その結果、各操作手法の使用感を問う5段階評価のアンケートでは、全ての質問項目において提案手法のシステムがスマートスピーカーの回答の平均値を上回る結果となった。また、ユーザ観察や自由記述の回答から実験環境のような被験者にとって慣れない環境において、スマートスピーカーとモバイルアプリでの操作に必要なモノの名称と実際の環境での位置関係の把握が困難である傾向が確認された。このことから本研究で実装したシステムは、実験環境のようなユーザにとって未知の環境において直感的でシームレスなモノの情報へのアクセスが可能であることが示唆される。

今後更なるIoT技術の普及によって我々の身の周りの多くのモノがネットワークに接続されることが想定される。IoT製品の主流の操作方法は今回の実験で用いたスマートスピーカーやモバイルアプリであるが、実験でのモバイルアプリの自由記述で「3つが限界、4.5つになってくると名前を覚えられない」といった記述が挙がっていることから、IoT技術がより普及した際にユーザにとって未知の環境に限らず、居住空間のような慣れ親しんだ環境でも本研究の手法は有用であると考えられる。一方で実験で提案手法のシステムを用いた際にスマート電球をポインティングしているにも関わらず電球が認識されない場面がいくつか確認されたことから実用化においては精度面の問題が残る。ポインティングが認識されない被験者についてはユーザ位置を特定するための基準点の際に共通する傾向の動きが見られたため、この動きをシステム側で修正することで精度向上を図ることが可能であると推察される。

謝辞

本研究をまとめるにあたり、関西大学総合情報学部の松下光範教授には数々のご指導ご鞭撻を賜りました。松下光範教授からいただいたアドバイスやフィードバックによって、私の研究の方向性が明確になりました。また、配属時だらしく適当な性格な私でしたが、一人前とは言えずとも多少はまともになれたかと思います。これはひとえに松下光範教授のおかげかと思われまますこの場を借りて、心からの感謝の意を表します。また、研究活動においてのアドバイスや何気ない雑談に応じていただいた山西良典准教授にも感謝の意を表します。

研究室生活を送る上でお世話になりました10期生、11期生、12期生、13期生の皆様に、感謝の意を表します。特に、宮川栞奈氏、森岡真由氏は本稿の日本語の文法や誤字を修正して頂き、加えて私の日頃の無茶なサーバー管理業務にも対応していただき助かりました。感謝の意を表するとともにこれからの活躍とサーバー管理業務に何事もないことをささやかながら祈っておきます。また卒業したにも関わらずサーバー業務を助けていただいた福元颯氏に多大な感謝申し上げます。

大学院生となってから周りの友人が就職してしまっただけ平日遊び相手がいなくなり暇を弄んでいたところ、雑な呼び出しや遊びに応じてくれた cafe L'Arche の店長及び常連の皆様、本当にありがとうございました。

飲み友達の皆様にも感謝します。

思い返せばこの2年間楽しかったことも辛いことも多々ありました。どちらかといえば辛いことの方が多かった気がします。学部も含めればさらに長い学生生活でした。学部の時は個人的にもっとつらかったと記憶しています。しかし乗り越えられたのはひとえに周鉄爾氏、樋口亮太氏、山本京佳氏ら同期の存在があったからであると思います。ありがとうございました。本来で1人1人に感謝の気持ちを記したいところではありますが、筆者は現在非常に緊迫した状況であるため省略させていただきます。

兎にも角にもこの学生生活に関わった全ての人に感謝申し上げます。

最後にはなりませんが18年間の学生生活を支えていただいた両親に深く感謝申し上げます。

参考文献

- [1] Breazeal, C. and Scassellati, B.: A context-dependent attention system for a social robot, *Proc. 16th International Joint Conference on Artificial Intelligence*, Vol. 2, p. 1146–1151 (1999).
- [2] Brooks, R. A., Breazeal, C., Irie, R., Kemp, C. C., Marjanovic, M., Scassellati, B. and Williamson, M. M.: Alternative essences of intelligence, *AAAI/IAAI*, Vol. 1998, pp. 961–968 (1998).
- [3] bt Aripin, N. and Othman, M. B.: Voice control of home appliances using Android, *2014 Electrical Power, Electronics, Communications, Control and Informatics Seminar*, pp. 142–146 (2014).
- [4] Davidson, P. and Piché, R.: A Survey of Selected Indoor Positioning Methods for Smartphones, *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, Vol. 19, No. 2, pp. 1347–1370 (2017).
- [5] Dey, A. K., Abowd, G. D. and Salber, D.: A conceptual framework and a toolkit for supporting the rapid prototyping of context-aware applications, *Human-Computer Interaction*, Vol. 16, No. 2-4, pp. 97–166 (2001).
- [6] Dinh, D.-L., Kim, J. T. and Kim, T.-S.: Hand gesture recognition and interface via a depth imaging sensor for smart home appliances, *Energy Procedia*, Vol. 62, pp. 576–582 (2014).
- [7] Hamdan, O., Shanableh, H., Zaki, I., Al-Ali, A. R. and Shanableh, T.: IoT-Based Interactive Dual Mode Smart Home Automation, *2019 IEEE International Conference on Consumer Electronics*, pp. 1–2 (2019).
- [8] Kim, T.-K.: Short Research on Voice Control System Based on Artificial Intelligence Assistant, *2020 International Conference on Electronics, Information, and Communication (ICEIC)*, pp. 1–2 (2020).
- [9] Pavithra, D. and Balakrishnan, R.: IoT based monitoring and control system for home automation, *2015 Global Conference on Communication Technologies*, pp. 169–173 (2015).
- [10] Seaborn, K., Miyake, N. P., Pennefather, P. and Otake-Matsuura, M.: Voice in human-agent interaction: a survey, *ACM Computing Surveys*, Vol. 54, No. 4, pp. 1–43 (2021).
- [11] Shawar, B. A. and Atwell, E.: Chatbots: are they really useful?, *Journal for Language Technology and Computational Linguistics*, Vol. 22, No. 1, pp. 29–49 (2007).
- [12] Weiser, M.: The Computer for the 21 st Century, *Scientific american*, Vol. 265, No. 3, pp. 94–105 (1991).

- [13] Yamamoto, Y., Yoda, I. and Sakaue, K.: Arm-pointing gesture interface using surrounded stereo cameras system, *Proc. 17th International Conference on Pattern Recognition, 2004. ICPR 2004.*, Vol. 4, pp. 965–970 Vol.4 (2004).
- [14] Zhu, A., Lin, P. and Cheng, S.: Design and Realization of Home Appliances Control System Based on the Android Smartphone, pp. 56–59 (2012).
- [15] 石田亨: エージェントを考える, 人工知能, Vol. 10, No. 5, pp. 663–667 (1995).
- [16] 大澤博隆: ヒューマンエージェントインタラクションの研究動向, 人工知能, Vol. 28, No. 3, pp. 405–411 (2013).
- [17] 金子翔麻, 吉田諒, 渡邊恵太: osa: 家庭内タスクのコントロールと意思決定を担うチャットbotシステム, 情報処理学会研究報告, Vol. 2016-HCI-169, No. 8, pp. 1–6 (2016).
- [18] 河崎泰孝, 秋田純一: ユーザの操作履歴とポインティング動作を用いた機器操作リモコン, インタラクション, pp. 641–644 (2014).
- [19] 小菅李音, 高木正則, 市川尚: チャットボットを利用した学習者との対話による理解不足箇所の学習支援システムの開発と評価, 情報処理学会研究報告, Vol. 2019-CE-151, No. 4, pp. 1–6 (2019).
- [20] 佐藤健哉, 坂本陽, 三原進也, 島田秀輝: 拡張現実感技術を利用したネットワーク家電制御方式, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 110, No. 473, pp. 177–182 (2011).
- [21] 佐藤光起, 竹村孟, 松下光範: 室内空間におけるスマートフォンを用いたユーザ位置・方向の推定, 情報処理学会論文誌, Vol. 63, No. 9, pp. 1537–1546 (2022).
- [22] 椎尾一郎: 実世界指向インタフェース, 人工知能, Vol. 14, No. 6, p. 1192 (1999).
- [23] 椎尾一郎, 増井俊之, 塚田浩二: MouseField : ユビキタスコンピューティングのための入力デバイス, 情報処理学会論文誌, Vol. 46, No. 7, pp. 1661–1670 (2005).
- [24] 角康之: 実世界インタラクションにおける状況認識の役割, システム/制御/情報, Vol. 47, No. 4, pp. 179–184 (2003).
- [25] 総務省: 令和3年版 情報通信白書のポイント (2021). <https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r03/html/nd105220.html> (2023/01/05 確認) .
- [26] 塚田浩二, 安村通晃: Ubi-Finger : モバイル指向ジェスチャ入力デバイスの研究, 情報処理学会論文誌, Vol. 43, No. 12, pp. 3675–3684 (2002).
- [27] 長尾確: マルチモーダル・ヒューマンコンピュータインタラクション, 計測と制御, Vol. 35, No. 1, pp. 65–70 (1996).
- [28] 古居なおみ, 坂本大介, 杉浦裕太: クッション型インタフェースによる家電操作に向けたジェスチャ設計と認識, 情報処理学会論文誌, Vol. 60, No. 10, pp. 1859–1868 (2019).

- [29] 吉田諒, 安村通晃: 音声リモコン方式を用いた家電操作の試作と検討, 情報処理学会研究報告, Vol. 2005, No. 114, pp. 65–70 (2005).
- [30] 暦本純一: 実世界指向インタフェースの研究動向, コンピュータ ソフトウェア, Vol. 13, No. 3, pp. 3.196–3.210 (1996).
- [31] 吉田雅規, 栗原一輝, 藤田裕之, 関家一雄, 杉村博, 一色正男: QR コードでスマートフォンに家電製品の詳細情報と制御画面を表示する IoT アプリケーション, 情報処理学会研究報告, Vol. 2017-CDS-19, No. 10, pp. 1–4 (2017).