

仮想空間上でのウィンドウ操作ユーザインタフェースの提案と実装

林 広幸¹ 濱川 礼²

概要：本論文では、仮想空間上でマウスを用いてウィンドウを操作するユーザインタフェースの提案と実装について述べる。我々はパソコン上でウィンドウを作業領域として平面的なディスプレイの上で使用し続けていたが、近年ではVRの普及により、HMD(ヘッドマウントディスプレイ)という新しい環境も登場している。HMDを通して見る三次元的な仮想空間にウィンドウを配置すれば、ユーザは平面的なディスプレイよりも、立体的に拡張された作業領域を得ることが可能である。しかし、ウィンドウを仮想空間に利用する場合、その操作の複雑化が予想される。本論では過去のウィンドウ操作に関する研究に基づき仮想空間でウィンドウを操作しながら作業するために適したユーザインタフェースの提案と実装を行った。そして評価を行った結果、ユーザに対し違和感のない自然なウィンドウ操作感を提供することができた。また、今後の仮想空間上でのウィンドウマネジメントへの応用を目的としたデータの収集も行った。

1. はじめに

我々はパソコン上で何らかの作業を行う場合、ウィンドウと呼ばれるアプリケーション毎に割り当てられた領域を用いる。これにより複数のアプリケーションを同時に表示させ、任意に切り替えて作業を行うことが可能である。ウィンドウはディスプレイサーバによって画面の領域を割り当てられ、我々は普段一枚、あるいは複数のディスプレイにそれを表示させ作業を行っている。ユーザはディスプレイの枚数を増やしたマルチディスプレイ、あるいは大型のディスプレイを用いることでウィンドウを配置することが可能な作業領域を増やすことが可能である。しかし、これにはコストや、ディスプレイを配置するための物理的な領域の限界などが存在する。そこで、近年普及率の高まってきたHMDに着目する。2016年のVR(ヴァーチャルリアリティ)元年を経て、HMDは低価格化や用途の多様化が進んだ[1]。HMDを用いることでユーザは三次元の仮想空間に入り込む事ができ、従来の平面的な二次元の作業領域ではなく、仮想空間という立体的に拡張された三次元の作業領域を獲得することが可能である。しかし、作業領域が広がれば広がるほどポインティングに要する時間等が増すことは木本らの研究で指摘されている[2]。加えて、二次元環境

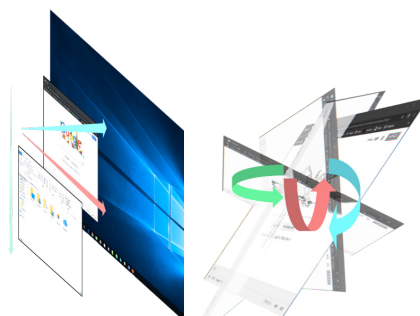


図1 立体空間でのウィンドウ

で扱っていたウィンドウを三次元の環境で操作する場合その複雑化が予想される。図1のように三次元環境では縦と横の空間に奥行きが加わり、二次元環境では一定であったユーザとウィンドウの距離や、ウィンドウ自体にも傾きといった要素が加わるからである。大画面領域を対象とした久保らの研究においても、ウィンドウが操作不能になったり見えなくなることが問題として挙げられている[3]。

仮想空間でウィンドウを用いて作業をすることにはこうした課題も多いが、それでも新しいワークスペースとしての価値を模索することは重要であると考える。GUI(グラフィカルユーザインタフェース)が登場した頃からウィンドウをどうマネジメントするかについては様々な研究や試みがなされてきた。本論文ではそうした過去の研究から仮想空間でウィンドウを操作するためのインタフェースを模索し、図2に示すような仮想空間上でのウィンドウ操作インタフェースの提案と実装を行った。図2は仮想空間上で

¹ 中京大学 情報科学研究科
Graduate School of Information Science and Technology,
Chukyo University

² 中京大学 工学部
School of Engineering Chukyo University



図 2 システムイメージ

のユーザの視界を表しており、ウィンドウが三次元空間に配置されている。ユーザはこのウィンドウ十枚をマウスとHMDによる入力で操作することが可能である。実装したインタフェースでユーザが素早く自分の意図した通りにウィンドウを配置することが可能になるか評価を行なった。また評価時に課した作業中のユーザのデータを集めることで、今後の研究活動に役立つ知見を得ることを目指す。

2. 関連研究

ウィンドウの操作支援や、ウィンドウの効率的な活用の研究は、主に二つの分野で盛んに行われてきた。一つはユーザの作業状態に合わせてウィンドウを自動的に操作するウィンドウマネジメントに関する研究、もう一つはユーザの意図したウィンドウに短時間でアクセスするためのポインティングに関する研究である。

ウィンドウマネジメントに関する研究

ユーザが何らかの作業を行う場合、それに適したウィンドウの配置等を自動的に行う研究として児島らの支援エージェント AIDE がある [4]。これは画面内だけでなく、実世界の周辺環境にもロボットアームを用いた支援を行っている。またタスクごとにウィンドウをまとめ、重なりをなくし切り替えを高速に行う柴田らの研究や、ユーザの作業履歴からワークスペースを構築しウィンドウ切り替えを行う吉田らの研究がある [5][6]。

ポインティングに関する研究

ポインティングに関する研究はディスプレイ環境も作用することから多岐にわたる。マルチディスプレイ環境におけるマウスカーソルの操作時間の増加や見失いに対処する木本らの研究ではユーザの顔の向きを用いている [2]。Webカメラからユーザの注視先のディスプレイを検出し、カーソルやウィンドウを移動させることにより問題解決を図っている。大画面を対象とした研究では、久保らや櫻庭らの研究が挙げられる [3][7]。久保らの研究ではウィンドウを閲覧困難とそうでないものでタイプ分けをし、人の位置情報に

合わせて適宜表示させている [3]。桜庭らの研究ではユーザの指し示す身体動作を用いた直感的なポインティング手法として Remote Touch Pointing を提案している [7]。

また、作業領域であるデスクトップを拡張する研究も数多く行われている。拡張に関する研究は主に二つの方法に分けられる。一つ目は平面的なディスプレイを三次元として捉える方法。二つ目は拡張現実などの技術を用いてディスプレイにウィンドウを配置する研究である。

立体的に活用する研究

従来、主として用いられているウィンドウシステムはウィンドウ同士が重なり合って描画されるオーバーラップウィンドウ方式である。表面上では縦横の平面的な領域であるが、内部的には重なり合ったウィンドウは階層的に管理されており立体的な構造を持っている。この方式ではユーザが何らかの作業を行う場合、対象となるウィンドウをフォーカス一番上の階層にしなくてはならないが、これには対象ウィンドウの探索や移動の手間などがかかる。これを解決するため、山中らのスイッチバックカーソルではマウスを用いて重なり合ったウィンドウの奥の層へアクセスする手法を提案している [8]。また吉田らの研究では視線を用いて背後ウィンドウの透過表示を行っている [9]。

ディスプレイ外に拡張する研究

HUD(ヘッドアップディスプレイ)を使用した坂根らの研究ではディスプレイ外の実空間にウィンドウを配置し、スティック型のホイールマウスと複数の入力モードを用いて操作を行っている [10]。

本研究の位置づけ

本論では上記の既研究から得られた知見を参考にし、仮想空間上でのウィンドウ操作に適したユーザインタフェースの提案を行う。本研究で対象となる環境は関連研究で述べられた環境とは異なり、ユーザは単独であり、ウィンドウを配置する仮想空間内に入り込んだ上でウィンドウ操作を行うことを前提としている。本論では仮想空間においてウィンドウ操作を行う基礎的なユーザインタフェースの検討と

提案, 実装を行う。これにより, 今までは考慮されなかった立体的な空間でユーザがウィンドウをどう見るか, どう配置し活用するかを調査することが可能となる。調査し集めたデータは今後, 仮想空間上でのウィンドウマネジメントに役立つものであると考えられる。

3. 仮想空間におけるウィンドウマネジメント

ウィンドウは GUI 環境において複数のアプリケーションを直感的に扱うために長く用いられてきた。その形状は当初から変わることなく四角であり, タイトルバーをドラッグした移動やサイズ変更が我々は慣れ親しんでいる。そのウィンドウを, 従来のディスプレイではなく別の環境で扱う研究は数多く行われてきた。また近年登場した MR デバイス Hololens^{*1}では実世界にウィンドウを配置することが可能であり, VR デバイスの Oculus Rift^{*2}では Oculus Dash と呼ばれる仮想空間上でのウィンドウ操作を行う UI をリリースしている。こうした環境が今後普及し仮想空間でウィンドウを用いた作業を行う機会が増えれば, そのマネジメントも課題になると考えられる。先に述べた関連研究から, ウィンドウを効率的に操作するためには素早く正確なポインティングが必要である [2][7][11]。また, 作業対象のウィンドウ, あるいは同一タスクで参照が必要な別のウィンドウを見やすい位置に配置することも重要である [4][5][6]。しかし, 配置に関しては従来の研究では平面のディスプレイを対象としたものに対する研究しかない。加えて, 仮想空間では今まで一定の振る舞いをしてきたウィンドウはより自由な振る舞いをするようになり, ユーザが利用できないという状況が発生することも十分考えられる [3][5]。仮想空間での適したウィンドウの配置に関しては, 新たに調査する必要があるだろう。

4. 提案ユーザインタフェース

ここでは先の 2 節と 3 節で述べたことをもとに仮想空間上でのウィンドウ操作ユーザインタフェースについて三つ提案をする。

4.1 マウスと HMD の向きを用いたレーザーポインタ

マウスは最も古くから使われているポインティングデバイスである。これとユーザの視点となる HMD の向きを用いたレーザーポインタを提案する。素早いポインティングのために顔の向きなどを用いる有用性は先に述べた事例のとおりである [2]。このほかにも VR 空間で HMD の向きと視線を合わせた入力を用いた宮下らの研究もある [12]。これは入力インタフェースに視線を用いることで, 没入感のある VR 体験を目指すものだったが, 精度の面で課題が

残った。しかし, HMD は常にユーザの向いている方向を正しく検出できるので, 入力にこの考え方は応用できるものとする。別の研究で程によって提案された顔の向きによるカーソル移動補助がある [13]。これは顔の向いている方向にカーソルを向け, 最後に別のインタフェースを用いて微細な調整をするというものである。本論ではこの二つの考えを組み合わせ, さらにマウスの動きを仮想空間のオブジェクトの回転と対応させることで, ポインティングを行うレーザーポイント入力インタフェースを提案する。

4.2 ウィンドウ移動時の軌道補正

2 節と 3 節で述べたように, ウィンドウの移動手順の増加, そもそも閲覧ができないようなウィンドウの状態が存在する可能性が仮想空間ではありうる。これらの問題を防ぐため, 仮想空間上でユーザの視点となるユーザ視点カメラとの関係を考慮した次の補正を行う。

- ウィンドウとユーザ視点カメラとの距離を保存
- ウィンドウの角度補正

ユーザ視点カメラを中心軸としたウィンドウの移動ウィンドウは移動時に, 移動前のユーザ視点カメラとの距離を保つ。そして, ユーザ視点カメラを中心とした円の弧を描くように移動を行う。また, ウィンドウはユーザの視点となるカメラに対し, 常に 90 度の角度を保つ。これは通常, ユーザはディスプレイに対し垂直に近い視線を良く用いていることが調査で明らかになっているからである [14]。これらの補正を行うことにより, ユーザはウィンドウの移動前と移動後でウィンドウの可読性と操作性を損なうことはないと考えられる。

4.3 ウィンドウの自動配置

移動の対象となるウィンドウや, ユーザのウィンドウの使用状況を知ることでシステムが自動でウィンドウの配置を行うことができる [5][6]。例として, 相互参照したいウィンドウの隣接配置や, 一時的に参照しなくなったウィンドウの視野外への移動が挙げられる。この時, 仮想空間である点を考慮した移動と配置を行うことで, 新たなウィンドウとのインタラクションを提案できると考えられる。しかし, それにはユーザの仮想空間上でのウィンドウ使用時のデータが必要である。よって, 本論では提案にとどめ, 今回実装されたユーザインタフェースの評価において実データを収集し, 今後の研究にて具体的な提案と実装を行いたいと思う。

5. ユーザインタフェースとテスト環境の実装

ゲームエンジンの Unity^{*3}と VR デバイスの HTC Vive^{*4}を使用して実装を行った。図 3 は実際にシステム

*1 <https://www.microsoft.com/ja-jp/hololens?SilentAuth=1wa=wsignin1.0>

*2 <https://www.oculus.com>

*3 <https://unity3d.com/jp>

*4 <https://www.vive.com/jp/>

を使用している様子である。ユーザの装着した HMD が頭の動きをトラッキングし、視界には仮想空間とその中に配置されたウィンドウが見えている。

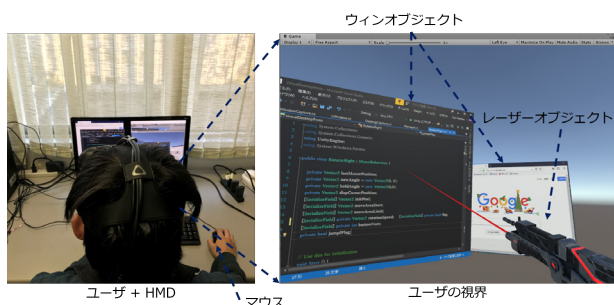


図 3 システム使用図

5.1 ユーザインタフェースの実装

仮想空間上に配置された操作対象であるウィンドウのオブジェクト (以下ウィンドウオブジェクト) を操作するためのユーザインタフェースについて述べる。

5.1.1 マウスと HMD を用いたレーザーポインタ

図 4 のようなレーザーを発する 3D オブジェクト (レーザーオブジェクト)^{*5} が入力インタフェースである。レーザーオブジェクトから照射されるレーザーがフォーカスしたウィンドウオブジェクトを操作対象と認識する。レーザーは二つのモードを持っており、フォーカスされていないときに右クリックを行うことでモードの切り替えを行う。一つのデバイスに複数の入力モードを付与して用いる方式は坂根らが空中のウィンドウを操作するのにも用いられている [10]。図 4 に示すように赤い時はウィンドウオブジェクトの移動モードであり、青い時はウィンドウの操作モードとなっている。

- 移動モード (赤いレーザー)
 - クリック&ドラッグで移動
 - マウススクロールでズームインズームアウト
 - マウススクロールボタン押し込みで角度調整
- 操作モード (青いレーザー)
 - フォーカスしたウィンドウの操作

レーザーオブジェクトは図 5 に示すようにマウスの上下左右の移動量に対応し、レーザーオブジェクトが回転するようになっている。また、レーザーオブジェクトの位置はユーザの装着している HMD に追従しているので見失うことはない。

5.1.2 ウィンドウの移動補正

ウィンドウオブジェクトの移動が行われる際、まずユーザの視点であるカメラとウィンドウオブジェクトの距離が算出され保存される。移動はレーザーオブジェクトに対し相対的な

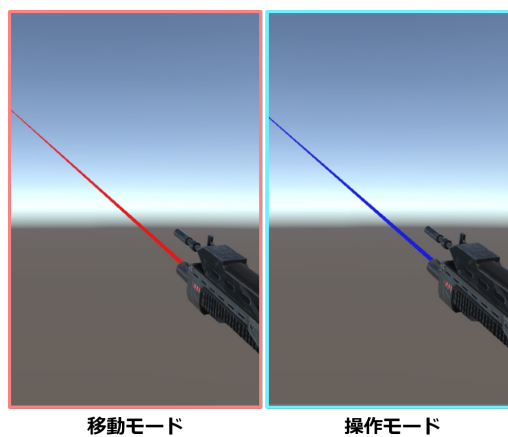


図 4 二つのモードと色違いのレーザー

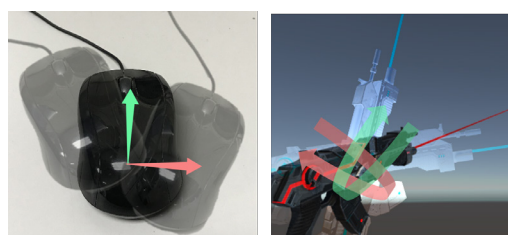


図 5 マウスの動きとオブジェクトの対応

距離が保たれる。そして移動終了時に、ウィンドウオブジェクトはカメラに対し垂直になるよう角度が変更され、保存してあった距離と等しくなるよう移動する。

5.2 テスト環境の構築

実装したユーザインタフェースをテストするため、実際にウィンドウを仮想空間に配置し操作可能とする環境構築について述べる。

5.2.1 仮想空間上へのウィンドウの生成

ウィンドウのキャプチャ画像をウィンドウオブジェクトにテクスチャとして貼り付けし、リアルタイムに更新を行う。この方法はディスプレイ外へのウィンドウ表示を行った坂根らの研究でも用いられている [10]。ウィンドウの持つウィンドウハンドルからデスクトップ上の座標と描画領域を取得し、その範囲内でデスクトップのキャプチャ画像を切り抜く。仮想空間上でキャプチャのサイズに合わせたスケールのウィンドウオブジェクトを作成し、テクスチャの更新を行う。こうすることで、図 6 に示すように、疑似的に仮想空間上にウィンドウを配置することが可能である。その使用上、一度に更新し操作できるウィンドウは一枚のみとなる。

6. 評価

実装したユーザインタフェースが妥当かどうか、学生被験者 9 人を対象に評価実験を行った。評価は VR 環境で本システムを用いて行うタスク A と、通常のマルチディスプレイ環境で行うタスク B の二つの環境において、それぞれ

^{*5} <https://assetstore.unity.com/packages/3d/props/guns/sci-fi-gun-heavy-87878>

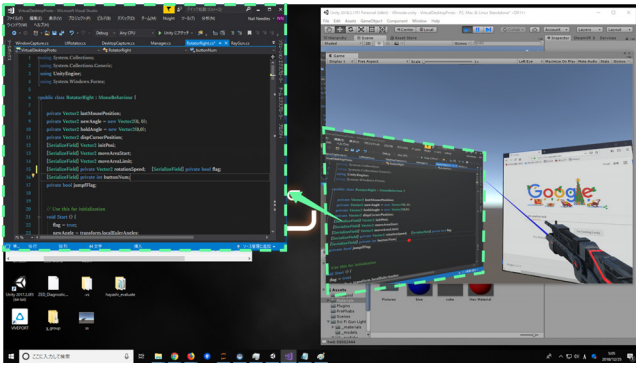


図 6 キャプチャ例 (VisualStudio)

Web ブラウジングと英語文章の翻訳作業を行ってもらった。まず本システムの使い方を説明し操作に慣れるまで十分ほど練習を行った後に二つのタスクを行ってもらった。A と B のタスクに決まった順番はなく、被験者毎にランダムで行った。被験者 9 人の内 4 人には Web ブラウジング、5 人には英語文章の翻訳作業を行ってもらった。結果を以下に示す。

6.1 ユーザインタフェース評価

本論で実装したユーザインタフェース及び環境について被験者に対しアンケート調査を行った。結果は表 1 の通りである。アンケートは 5 段階評価で行っており、1 が最もネガティブ、5 が最もポジティブな要素を表す。結果として実装したインタフェースはおおむね高評価であった。一部操作が複雑だったと思われる結果が出ているが、アンケートと合わせたヒアリングから原因はモードの切り替えに不慣れであったことであるとわかった。モードの切り替えに関しては、今は一度フォーカスを外してから行うようにしているが、今後は別の方法に改善する必要がある。

表 1 アンケート結果

	5	4	3	2	1
ウィンドウの移動は直感的に行えたか	5	1	2	1	0
ウィンドウの移動に違和感を感じたか	3	5	1	0	0
ウィンドウの移動、操作は複雑だったか	4	4	0	1	0
移動や角度の補正は便利だったか	4	4	1	0	0
意図した通りにウィンドウを操作できたか	4	2	0	3	0
マウスを用いた操作は使いやすかったか	4	5	0	0	0

6.2 比較評価

タスク A とタスク B の比較評価を示す。表 2 から、本システムの環境とマルチディスプレイ環境では使いやすさにはあまり差がないという結果になった。しかし疲労の面では本システムの方が疲れやすいという結果が出た。この理由として、マルチディスプレイの方が使い慣れている、HMD を使うため頭が重く疲労がたまるなどの意見があった。また、ヒアリング結果から本システムの方が複数のウィンド

ウを同時に参照する場合に便利である、ウィンドウを操作する自由度が高いためオリジナリティーを追求できるなどの意見を得ることができた。

表 2 タスク比較アンケート結果

	タスク A	タスク B
どちらの方が使いやすかったか	4	5
どちらの方が疲れたか	8	1

6.3 収集データに関する調査結果

被験者 9 人に対し、作業中の HMD の角度の変化を取得することで作業者が仮想空間内のどこを向いているかの調査を行った。図 7 は被験者全員の HMD の角度の頻度を表すグラフである。グラフの中心はユーザの真正面であり、最も濃くなっている。色はおおよそ左右に 45 度ずつ広がっているが、それ以上はあまり広がっていない。このことから、仮想空間の領域はあまり活用できていないということが読み取れる。アンケートでは領域活用について良い結果を得ているが、実際にはあまり活用されていないことが分かった。また、9 人の内 5 人を対象に、仮想空間上で作業に用いた

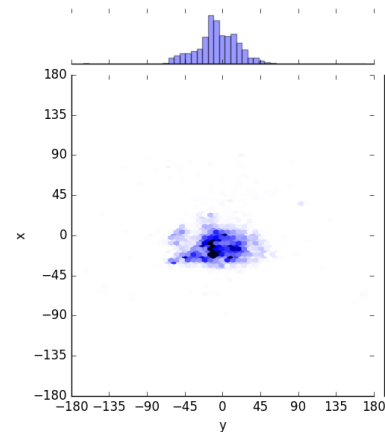


図 7 被験者全員の HMD 角度マップ

ウィンドウの座標を収集し、その変化を調査した。図 8 は被験者の内 2 名のデータをプロットしたグラフである。ウィンドウごとに色分けされており、点と点を結ぶ線は座標間の移動を表す。グラフから被験者 A と B はともに自身の全面に扇型にウィンドウを展開し作業しているのが読み取れる。先ほどの角度マップを合わせても妥当な結果であると思われる。被験者 B のウィンドウ操作は少なく、ほぼ固定された位置で使われているのに対して、被験者 A のウィンドウはユーザに対し近づいたり遠ざかったりする動きが多い。この被験者はズームインズームアウトを多用し、ウィンドウの見やすさを試行錯誤しながら作業を行っていたことが後のヒアリングでわかった。

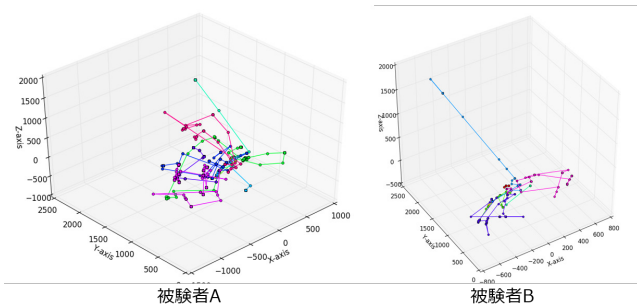


図 8 仮想空間上でのウィンドウの座標変位

6.4 ヒアリング

最後に、被験者たちにどういったウィンドウの配置や動かし方があればよいかヒアリング調査を行った。最も多かった意見はメインの作業対象となるウィンドウを正面に配置し、その作業に必要な資料を表示するウィンドウを見やすく配置してほしいという意見だった。

7. 考察

評価結果から、今回実装したウィンドウ操作のインタフェースに関しては、被験者達の主観ではあるがよい結果を得ることができた。ユーザはマウスと HMD を用いたインタフェースを活用し、ウィンドウを意図したとおりに動かし作業を行うことができた。しかし一方で、レーザーのモードの切り替えなどが複雑だという意見も出た。ウィンドウ操作の煩雑さを解消するためのインタフェースが仕様上でこういった問題を抱えるのは本末転倒であるので、対処方を考えなければならない。また、今回はマルチディスプレイの環境との比較を行った。使いやすさに差は出なかったが、本システムの方が疲労度が高いという結果が出た。これは HMD 自体の重さにも原因はあるが、システムの方からはウィンドウの移動を最適化することで首の運動を減らす等の対策できると考える。比較については、入力デバイスの違いを考慮した比較なども今後行わなくてはならない。ウィンドウの移動補正についてはユーザにとって違和感のない自然な移動ができたとの意見を得た。よって、今後はこれを軸としてさらなる移動や配置方法を模索する。データ収集に関しては、少ないデータ数であるにもかかわらず、ある程度の傾向や実態を読み取ることができたと考える。今後は被験者を増やす、または特定の被験者に継続的に使用してもらうなどし、データ収集を行っていく。

8. まとめ

本研究は仮想空間上でウィンドウを操作し作業するためのインタフェースの提案と実装を行った。提案は従来のウィンドウ環境を対象とした既研究を参考にしつつ、仮想空間という特性を考慮したうえで行った。そしてインタフェース提案としてマウスと HMD を用いたレーザーポインタと、ウィンドウ移動の補正を組み合わせたウィンドウ操作イン

タフェースを述べ、実装を行い評価した。主観的な評価ではおおむね今回実装したインタフェースの妥当性が証明されたが、一方で実データの、あるいは定量的な面で課題の残る結果となった。今後はさらなる比較評価と、インタフェースのブラッシュアップ、そして集めたデータをもとに仮想空間上でのウィンドウマネジメントを提案していく。

参考文献

- [1] IDCJapan 株式会社. 2022 年までの世界 ar/vr 関連市場予測を発表.
- [2] 木本亮司, 市村哲ほか. マルチディスプレイ環境における並行作業を支援する操作性向上手法. ワークショップ 2009 (GN Workshop 2009) 論文集, 第 2009 巻, pp. 135-140, 2009.
- [3] 久保和樹, 山本豪志朗, 武富貴史, 浦西友樹, 宮崎純, 加藤博一ほか. 広大なディスプレイ環境におけるウィンドウ操作支援. 平成 24 年度 情報処理学会関西支部 支部大会 講演論文集, Vol. 2012, , 2012.
- [4] 児島賢三郎ほか. アンビエントなデスクトップ作業支援システムの実装のためのタスクの分類化とタスク予測に基づくウィンドウと実物体のエージェント化メカニズムの構築. 第 184 回 情報処理学会 知能システム研究会 (SIG-ICS), 2016.
- [5] 吉田圭佑, 大園忠親, 新谷虎松. ユーザの作業履歴を考慮した知的ワークスペース構築機構. 人工知能学会全国大会論文集 2016 年度人工知能学会全国大会 (第 30 回) 論文集, pp. 1E23-1E23. 一般社団法人 人工知能学会, 2016.
- [6] 柴田博仁, 大村賢悟. ワークスペースの構築を可能にするウィンドウシステムの提案と評価. 人工知能学会論文集, Vol. 26, No. 1, pp. 237-247, 2011.
- [7] 渡辺恵太, 中道上, 山田俊哉, 尾関孝史. 大画面を利用した講義における直感的なポインティング手法の提案と評価. インタラクション, pp. 326-331, 2014.
- [8] 山中祥太, 宮下芳明. スイッチバックカーソル: 重なりあったウィンドウ間を移動可能なマウスカーソル操作手法. 第 19 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ論文集, pp. 66-71, 2011.
- [9] 吉田圭佑, 大園忠親, 新谷虎松. 視線情報を用いた背後参照情報の透過提示システム. IPSJ Interaction 2017.
- [10] 坂根裕, 塚本昌彦, 西尾章治郎. アイコンの立体表示を可能にするウェアラブル拡張デスクトップシステム. 第 4 回プログラミングおよび応用システムに関するワークショップ (SPA2001), オンラインプロシーディング, 2001.
- [11] 浅野岳史, 高嶋和毅, 北村喜文, 岸野文郎ほか. ポインティングタスクにおけるターゲット予測を利用したインタフェースの提案と検討. 情報処理学会研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI), Vol. 2005, No. 9 (2004-HI-112), pp. 65-72, 2005.
- [12] 宮下広夢, 林雅樹, 岡田謙一. 視線入力インターフェースを備えた hmd による vr 空間没入支援. VR 学研報, Vol. 13, No. CS-2, pp. 22-30, 2008.
- [13] 程浩侃. 顔の向きによりカーソル移動を補助する大画面ポインティング手法. 2012.
- [14] 大和正武, 門田暁人, 松本健一, 井上克郎, 鳥居宏次. 一般的な gui に適した視線・マウス併用型ターゲット選択方式. 2001.