

視界分割による複数の空間表現を用いた身体的インタラクションシステムの提案

本信 敏学¹ 吉野 孝¹

概要:我々は、視界分割を用いた空間表現システム「CompoundViewer」を開発した。CompoundViewerは、異なる複数の空間の映像を並べて表示する頭部運動追従型両眼視覚提示システムである。CompoundViewerは、ディスプレイの画面分割のような平面的な表現ではなく、人間の視界を分割して複数の立体的な空間を表現する。我々はHMDを介して、擬似的に人間の視界を複数に分割する。分割した視界にそれぞれ異なる空間の映像を投影する。これにより、複数の空間内の様子をユーザに提示することが可能になった。そこで本稿では、従来の空間間の移動手法と違い、複数空間を視認しながら空間間の移動を行うことが可能なインタラクションシステムを提案する。身体に対する空間的制約を3段階に分けて実験を行った。実験の結果、視界分割表現を用いた空間間の移動表現では、空間間による身体移動表現と同じように、パーチャルハンドに身体所有感を生じて、身体的空間動作を行えることがわかった。またアンケートの回答から、視界分割による三次元的に空間移動可能な身体的操作表現についての身体的操作性の影響と習熟度の違いなどの問題点が明らかになった。

Proposal of Physical Interaction System for Plural Spatial Expressions by Dividing Field of View

TOSHIGAKU MOTONOBU¹ TAKASHI YOSHINO¹

1. はじめに

近年、VRChatなどの空間共有システムが普及してきている[1]。複数地点にいる人々は一つの仮想空間に集まってコミュニケーションすることが可能になった。また、集まった人々が複数のコミュニティを形成し、アニメや映画などを一緒にみるなどの環境が整ってきた。従来、メディアスペースによって遠隔地間を近づける試みがなされてきた。特に人間の視覚に対する新しいアプローチ[2][3]が多く提案されてきた。たとえば、装着したHMDにドローンを用いて撮影した映像を投影することで、ユーザは自分の身体に依存しない視点を持つことができる[4]。このように、道具などが人間の動きに視覚などの情報の一貫性を与えることで、ユーザは道具をまるで自分の身体の一部として錯覚する[5]。HMDは視覚情報の提示に優れているため、容易に身体所有感を誘発することが可能である。

従来、1つのディスプレイ内で二つ以上のアプリを同時に開くマルチウィンドウや、1つの画面を任意に分割して複数の映像を取り込むスプリット・スクリーン[6]などで、複数の物事や他のユーザ視点を確認してきた。また、複数地点における協調作業や学習支援システムでは、ウィンドウに表示されている映像から他の空間の様子を確認してきた。さらに、ビデオチャットを行う際に、ドア型インタフェースを用いて遠隔空間内の三次元的な接触表現を実現することで、別への空間の侵入感をユーザに与え、テレプレゼンスを向上させる試みがなされてきた[7]。

本研究では、VRにおける視界分割を用いた空間表現システム「CompoundViewer」[8]を開発した。本システムは、VR技術を利用することで、擬似的にHMDを装着したユーザの視界を分割するように表現した。分割された視界に異なる複数の空間の映像を投影した。視界分割表現を用いることで、ユーザは分割された視界から、異なる複数空間を見ながら動き回ることが可能となった。またCompoundViewerでは、従来の画面分割による平面情報で

¹ 和歌山大学システム工学部
Faculty of Systems Engineering, Wakayama University

はなく、立体的な空間情報を提示する。3次元の空間映像をユーザに提示することで、ユーザは目の前にある複数の立体的な空間を把握することが可能になる。これにより、従来の空間間の移動手法と異なる新しい空間間の移動を行う仕組みが実現可能になる。また、視覚の同調により生じた身体所有感をユーザに与えることで、現実空間での直感的な身体的空間操作を実現することが可能になる。そこで本稿では、異なる空間における空間間の移動を行う際の身体的操作方法について設計し、視界分割における複数空間に対する身体的インタラクションシステムを提案する。

2. 関連研究

我々は、自分の身体を介して外の世界を認知しており、無意識的に自分の身体の形状という身体像を把握している。自分が自分の身体像を認知できる感覚は、身体所有感と呼ばれている。ラバーハンド錯覚 [9] では、視触覚間の感覚同期により、自分の身体以外のものに対して、身体所有感が生じ、身体像が変容する。また、自分の動きに同調するアバターに対しても、身体所有感が生じることが知られている。Tsakiris らの研究では、仮想空間内において、現実よりも長い腕に対しても、身体所有感が生じることが分かった [10]。また、小川らは、身体を通じて楽器を演奏する行為に着目し、現実の身体とは異なる身体像を通じてバーチャルなピアノを演奏することのできるアプリケーションシステム“えくす手”を構築した [11]。本システムは、頭部運動に追従するシステムである。視界における複数空間の映像が頭部運動に追従し描画されることにより、ユーザに複数の空間ごとに自分の視点を持つという身体所有感を生じさせることが可能になる。複数視点を持つにより、ユーザは目の前の空間しか見えないという制限を超越し、身体拡張することが可能になる。

Rui Pan らは、遠距離恋愛を支援するため VR を用いたビデオストリーミングシステム“MyEyes”を開発した [12]。MyEyes を用いることで、被験者はパートナーの目を通して見ているかのように、ユーザは自分の一人称視点を交換することが可能になる。Rui Pan らは、3つの異なる画面分割手法（スプリットビュー、水平ビュー、オーバーラップビュー）を設計し、実験を行った。定量的結果から、大半のカップルがオーバーラップビューを優先し、最も強い共存感を示した。また、スプリットビューとオーバーラップビューの両方は、カップルが遠隔パートナーと身体所有感を生み出すのに役立つことがわかった。

本研究との相違点として、この研究は他人の視点映像を人間同士で相互に交換することで、相手との共存感を生み出すことを実現している。これに対し、本システムは、VR HMD を介して擬似的に人間の視界を分割することで、複数空間内の状況をユーザに提示する。一人のユーザが同じ空間内で複数の一人称視点映像を見る [13] のではなく、複



図 1 視界分割の仕組み



図 2 CompoundViewer の表示映像（垂直 2 分割）

数の異なる空間内でそれぞれ一人称視点を所持する表現を実現した。また、提案手法により分割した視界の境界が存在することで、複数空間を見ている感覚を与える。また、仮想的に異なる空間をつないで、ユーザが空間間を行き来するのではなく、常に複数の空間の映像を見る。

3. CompoundViewer

3.1 CompoundViewer の概要

CompoundViewer は、異なる複数の空間の映像を並べて表示する頭部運動追従型両眼視覚提示システムである。VR HMD を介して擬似的にユーザの視界を複数に分割する。分割された複数の視界に異なる空間の映像を表示する。図 1 に視界分割の仕組みを示す。異なる空間内にそれぞれユーザの視点となるカメラを設置する。カメラごとに描画範囲を指定し、カメラが撮影した映像を HMD 内に表示する。これにより、HMD を装着したユーザは、空間の境界である視界の切れ目が存在することにより、自分が複数の空間にいる状態を認識する。また分割された視界を通して空間を視認することで、ユーザに複数の空間にいる感覚を与えることが可能になった。CompoundViewer は、複数

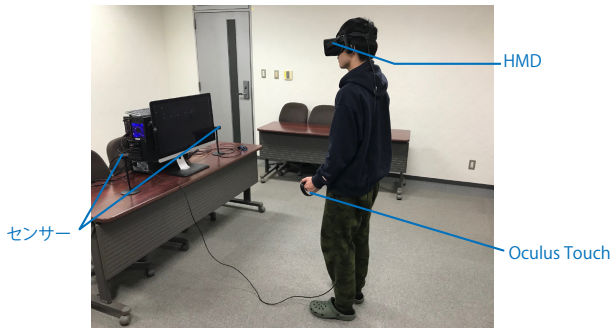


図 3 システム環境

のアプリケーションをモニターに表示するために使用する「画面分割」をメタファとした。本稿では、実験により1空間との空間把握能力に差がもっとも少ない「垂直2分割」を使用した。図2にCompoundViewerの表示映像(垂直2分割)を示す。

3.2 システム構成

図3にシステムの利用環境を示す。CompoundViewerはOculus Rift(解像度:2160×1200, 視野角:110度)とOculus Touchを使用した。図3のように、本システムはPCとOculus Riftをつないだ状態で行う。モニターにHMD装着者が見ている映像が表示される。また、2台のトラッキングセンサーをPCに接続する必要がある。センサーとセンサーは約1.2m以上、2m以内の距離を離れて設置した。2台のセンサーがトラッキングできるルームスケールは約1.5m×約1.5mである。センサーを設置したことにより、HMD装着者の頭の回転や傾きに加え、頭の上下左右前後の動きまで6DoF(DoF:自由度)を測定するが可能である。CompoundViewerは、Unityを用いて開発した。また、Oculus Touchを使用するために、Unityのアセット*1を利用した。

4. 提案手法

4.1 空間間におけるインタラクション

従来から、異なる空間における空間間のインタラクションについて、多くの試みがなされてきた。Bruderらは、空間内に「ポータル」と呼ばれる別の空間につながる穴で空間間の移動表現を実現した[14]。この表現手法により、ユーザは別の空間に移動した感覚を得た。また、桶田らは、ユーザの視界を現実空間からVR空間へ時間的・空間的に滑らかに遷移させることで、ユーザに体験を非現実と認識させない新たな空間遷移方法を提案した[15]。

これまでに開発してきたCompoundViewerにおいては、前述したようにHMDを用いて人間の視界を分割することで、異なる複数空間を同時に視認することが可能になっ

*1 Oculus Integration:
<https://assetstore.unity.com/packages/tools/integration/oculus-integration-82022>(参照 2019.5.12)

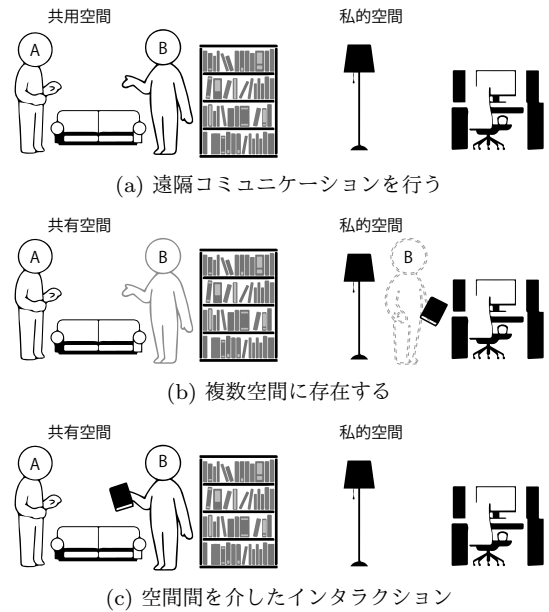


図 4 提案手法のイメージ

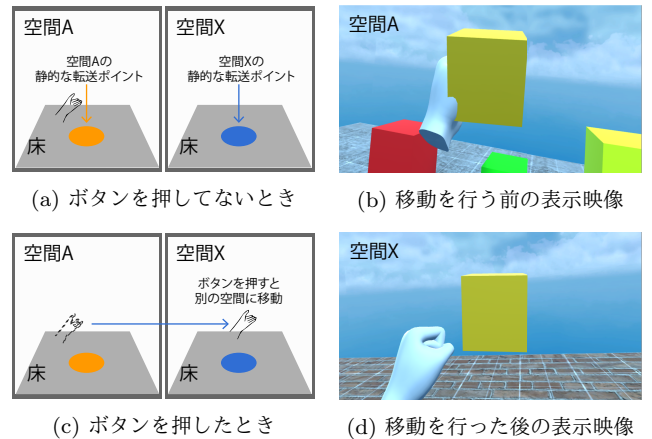


図 5 空間間による身体移動表現(表現手法1)

た。これにより、視界分割表現を用いた空間間の身体的操作における新しいインタラクションの可能性について検証する。図4に提示手法における空間間のインタラクションのイメージを示す。まず、図4(a)のように、共有空間で他人とコミュニケーションを行う。次に、図4(b)の共有空間と私的空間ともに自分が存在する。これにより、BさんはAさんとの会話を続けている状態で、私的空間に対して身体的空間操作を行うことが可能となる。また、図4(c)のように、共有空間における遠隔コミュニケーションを中断せずに、私的空間内の物を接触し、移動するなどのインタラクションを実現したことが目的となっている。本稿では、身体に対する空間的制約を3段階に分けてシステムを実装した。

- (1) 空間間による身体移動表現
- (2) 視界分割による身体移動表現
- (3) 視界分割による身体分離表現

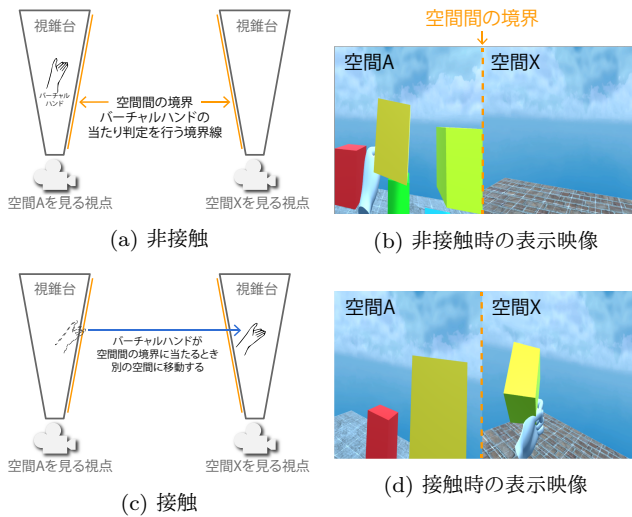


図 6 空間間の境界の接触判定と
視界分割による身体移動表現（表現手法 2）

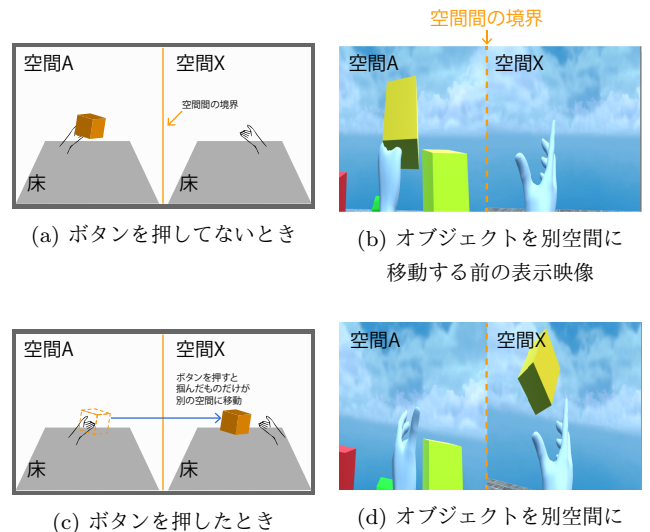


図 7 視界分割による身体分離表現（表現手法 3）

4.2 表現手法 1：空間間による身体移動表現

従来では、別の空間にアクセスする際に、シーンの遷移を用いて空間間の移動を実現する。別の空間にアクセスする際に、今いる空間の映像をフェードアウトして、移動先の空間の映像をフェードインして表示する。このように空間映像の切り替えることで、ユーザは別の空間に移動した感覚を得ることができる。まず、各空間の中央に静的な転送ポイント（あらかじめ決められた場所）を設置する。ユーザはコントローラのボタンを使うことで、設置された静的な転送ポイントに移動することが可能である。図 5(a)のように、ユーザは空間 A 内に存在する。図 5(b)に移動を行う前の表示映像を示す。ユーザは空間 X に行きたいとき、手元にあるコントローラのボタン X を押すことで、図 5(c)のように、空間 X の静的な転送ポイントに移動する。図 5(d)に移動を行う前の表示映像を示す。また、ユーザはオブジェクトをつかんだ状態でコントローラのボタンを押すと、オブジェクトをつかんだまま別の空間に移動することができる。この表現手法は、身体に対する空間的制約はなく、自由に身体を空間間で移動することが可能である。

4.3 表現手法 2：視界分割による身体移動表現

CompoundViewer による視界分割表現により、ユーザは同時に複数空間を見ることが可能である。また、図 6 のように、垂直に 2 分割された視界の切れ目である空間間の境界が存在する。視界分割による身体移動表現では、空間間の境界を用いて、バーチャルハンドを自由に空間間を移動することが可能である。バーチャルハンドの位置情報を取得し、カメラの視錐台内にオブジェクトが存在するかを判定する。視錐台を人間の可視領域であり、本稿では視界として定義する。また、図 6 のように、バーチャルハンドが空間間の境界に接触したときの当たり判定から、バーチャルハンドを見えなくなったカメラを特定する。特定したカ

メラに応じて、バーチャルハンドを移動する先の空間を求める。そして、求めた空間にバーチャルハンドを移動する。以下に、空間間の境界にバーチャルハンドの接触判定方法について説明する。

(a) 非接触

バーチャルハンドが空間間の境界に接触していない場合について述べる。図 6(a) のように、バーチャルハンドがカメラの視錐台内に存在しており、空間間の境界に接触していないと判定する。このとき、バーチャルハンドは空間間の移動を行わない。図 6(b) 非接触時のバーチャルハンド状態の表示映像を示す。

(b) 接触

バーチャルハンドが空間間の境界に接触した場合について述べる。図 6(c) のように、バーチャルハンドが空間間の境界に接触したときの当たり判定から、バーチャルハンドを見えなくなったカメラを特定する。特定したカメラに応じて、バーチャルハンドを移動する先の空間を求める。このとき、バーチャルハンドは空間間の移動を行う。図 6(d) 非接触時のバーチャルハンド状態の表示映像を示す。

この表現手法は、身体に対する空間的制約は低く、自由に身体の一部を空間間に移動することが可能である。

4.4 表現手法 3：視界分割による身体分離表現

CompoundViewer による視界分割表現により、ユーザは同時に複数空間を見ることが可能である。視界分割による身体分離表現では、図 7(a) のように、バーチャルハンドがそれぞれ別々の空間に存在する。バーチャルハンドを自由に空間間を行き来することができず、空間ごとに独立して存在する。図 7(b) にオブジェクトを別空間に移動する前の表示映像を示す。バーチャルハンドが別々の空間に存在することにより、ユーザに自身の身体が分離し、それぞ

れ異なる空間に存在する感覚を与える。視界分割による身体分離表現では、オブジェクトを別の空間に移動するためにコントローラのボタンを使用する。オブジェクトをつかんだ状態でコントローラのボタンを押すと、図 7(c)のように、ユーザがつかんでいるオブジェクトだけ別の空間に移動する。図 7(d) にオブジェクトを別空間に移動した後の表示映像を示す。このとき、アバターやバーチャルハンドは空間間の移動を行わない。この表現手法は、身体に対する空間的制約は強く、それぞれの空間が独立に存在する。

5. 実験

5.1 実験の概要

視界分割による空間間のインタラクション、また身体に対する空間的制約による身体操作性の変化を検証する。実験は、視界分割表現の「視界分割による身体移動表現」「視界分割による身体分離表現」の 2 つと、従来の視界分割しない空間間の移動表現を組み合わせて、以下の 3 つの表現パターンを比較した。

- (1) 空間間による身体移動表現
- (2) 視界分割による身体移動表現
- (3) 視界分割による身体分離表現

5.2 実験の手順

本実験は、提案手法による異なる空間間の移動可能な身体的空間操作を行う試作システムを用いて行う。実験タスクは異なる空間内をオブジェクトの空間間の移動を行う。タスクを行うための最低限に必要な空間間の移動回数は同じようにした。実験協力者は和歌山大学の学生 10 名である。

実験は以下の手順によりを行う。順序効果を考慮し、表現パターンの順番は実験協力者により異なる。

- (1) 実験協力者は Oculus Rift の装着方法とコントローラの操作方法について説明を受ける。
 - (2) 実験協力者は Oculus Rift を装着して、両手にコントローラを持った状態でシステムを体験した。空間内のオブジェクトを空間移動する練習を行う。
 - (3) 実験協力者自身が、システムの操作方法を理解し、システムの操作について慣れたと判断してから実験を行った。
 - (4) 実験開始後、オブジェクトの配置が変化するので、実験協力者は、オブジェクトをそれぞれ適切な位置に移動する作業を行う。各表現パターンにおけるオブジェクトの配置は異なる。
 - (5) 作業終了後、アンケートを回答する。また本実験は、実験協力者がオブジェクトをそれぞれ適切な位置に移動するまでにかかった時間とオブジェクトを掴んだ回数を計測した。
- 上記の (2) から (5) を 3 つの表示方法において実施する。

実験後、アンケート調査を実施した。アンケートは 5 段階のリッカート尺度による評価と記述式を用いた。

5.3 実験結果と考察

表 1 に実験のアンケート結果を示す。

表 1 (1) 「仮想空間内の手を自分の手として操作できた」という質問項目に対する 5 段階評価では、「空間間による身体移動表現」「視界分割による身体移動表現」「視界分割による身体分離表現」ともに高い評価が得られた。実験協力者の自由記述では「現実の手と同じように掴むやはなすなどの操作をすることができた」といった意見が得られた。以上のことから、動きが同期するバーチャルハンドにおいて、視界分割表現はユーザの身体的空間操作の感覚に大きく影響せず、バーチャルハンドに身体所有感を生じたことがわかった。

表 1 (2) 「自分がその場にいたように感じた」という質問項目に対する 5 段階評価では「空間間による身体移動表現」と「視界分割による身体移動表現」ともに高い評価が得られた。「視界分割による身体分離表現」に対する 5 段階評価では中央値 3.5、最頻値 3 という評価が得られた。「視界分割による身体分離表現」について、実験協力者の自由記述では「オブジェクトだけが空間移動するために不自然さを感じた」「左半身と右半身がそれぞれ別の空間にまたがっていたので、変な感じがした」といった意見が得られた。以上のことから、「視界分割による身体分離表現」はユーザに身体が別々の空間に存在する感覚を与える。仮想空間における存在感に影響を与えることがわかった。

表 1 (3) 「オブジェクトを空間移動することができた」という質問項目に対する 5 段階評価では、「空間間による身体移動表現」「視界分割による身体移動表現」「視界分割による身体分離表現」ともに高い評価が得られた。実験協力者の自由記述では「どの表現パターンでも、現実の手として操作することができた。」といった意見が得られた。表 2 に実験の計測結果を示す。「空間間による身体移動表現」が最も少ない操作回数と短時間でタスクを行うことがわかった。「視界分割による身体分離表現」が最も多い操作回数と長時間を必要とする。また、ばらつきも大きいことから、複数空間における空間間の移動の操作性において、身体に対する空間的制約に影響があることがわかった。また、身体に対する空間的制約が高くなるほど、身体的空間操作に違和感が強くなり、操作の効率に影響することがわかった。

表 1 (4) 「身体的な操作による違いがあったと感じた」という質問項目に対する 5 段階評価では中央値 4、最頻値 4 という評価が得られた。「同意する」と回答した実験協力者の自由記述では「視点の切り替えに手間を感じた」「ボタンによる操作とボタンを使わない操作があるため」といった意見が得られた。しかし、「強く同意しない」「同意しない」と回答した実験協力者が 4 名いる。「強く同意しない」

表 1 アンケート結果 (5 段階評価)

質問項目	表現パターン	評価の分布					中央値	最頻値
		1	2	3	4	5		
(1) 仮想空間内の手を自分の手として操作できた	空間間による身体移動表現	0	0	0	2	8	5	5
	視界分割による身体移動表現	0	0	1	3	6	5	5
	視界分割による身体分離表現	0	0	0	5	5	4.5	4, 5
(2) 自分がその場にいたように感じた	空間間による身体移動表現	0	0	0	4	6	5	5
	視界分割による身体移動表現	0	0	0	6	4	4	4
	視界分割による身体分離表現	0	0	5	4	1	3.5	3
(3) オブジェクトを空間移動することができた	空間間による身体移動表現	0	0	0	3	7	5	5
	視界分割による身体移動表現	0	0	0	7	3	4	4
	視界分割による身体分離表現	0	0	0	4	6	5	5
(4) 身体的空間操作による違いがあると感じた	全体	2	2	0	6	0	4	4
(5) 操作に慣れるまでの習熟度の違いがあると感じた	全体	0	4	0	4	2	4	2, 4

評価の分布は、「1:強く同意しない」「2:同意しない」「3:どちらともいえない」「4:同意する」「5:強く同意する」である。

表 2 計測結果

計測項目	表現パターン					
	空間間による身体移動表現		視界分割による身体移動表現		視界分割による身体分離表現	
	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差
オブジェクトを掴んだ回数 (回)	7.5	1.51	8.4	2.01	12.5	3.75
タスクを行う時間 (s)	0.35	0.07	0.54	0.29	0.73	0.36

と回答した実験協力者の自由記述では「すべての表現パターンは現実の頭と手を動きに同期して、ボタン操作が簡単だった」といった意見が得られた。以上のことから、ボタンによる操作に対して、ユーザは身体的操作について違和感を感じるということがわかった。また、ボタン操作以外にも視点の切り替えによる身体的に操作の違いを感じる。これにより、今後は空間における身体操作性に影響を与える要素についてもっと具体的に調査する必要がある。

表 1 (5)「操作に慣れるまでの習熟度の違いがあると感じた」という質問項目に対する 5 段階評価では中央値 4、最頻値 2, 4 という評価が得られた。表 3 に表現パターンごとの回答者数を示す。表 3(1) から「空間間による身体移動表現」が最も操作しやすいことがわかった。また、表 3(2) から「視界分割による身体移動表現」が習得しにくいことがわかった。さらに、表 2 の視界分割表現パターンの計測結果のばらつきが大きいことから、実験協力者ごとの習熟度の違いが大きい可能性がある。このことから、操作回数を増やすことで、「視界分割による身体移動表現」「視界分割による身体分離表現」のばらつきが小さくなり、もっと効率よく操作を行うことが可能と考えられる。今後は、表現手法ごとに空間間の移動を繰り返し、操作に慣れた後の操作時間などの変化について詳しく調査する必要がある。また、実験協力者の自由記述では「視界分割による身体的空間操作は、シームレスではなく、ずれた位置にオブジェクトが転送されたために違和感を感じた」といった意見が得られた。以上のことから、視界分割におけるシームレスな空間間の身体空間操作を表現する手法が必要であることがわかった。

他に実験協力者の自由記述では「1 空間で切り替える方が、視界分割よりも操作に負担を感じた」といった意見が得られた。この意見から、「空間間による身体移動表現」でオブジェクトを移動する際に、複数の空間情報を同時に確認できないため、実験協力者が操作に負担を感じたと考えられる。これにより、視界分割表現では、同時に異なる空間を視認できるため操作への負担が少ないことがわかった。また、実験協力者の自由記述では「視点を切り替えるのが手間だと感じた」「シーンが遷移したのを感じた」といった意見が得られた。これらの意見から、「空間間による身体移動表現」では、視点の切り替えに負担を与えることがわかった。これにより、視界分割表現では、視点の切り替えによる負担がなく、複数空間を何回も行き来する作業に役立つ可能性があることがわかった。

6. おわりに

本研究では異なる空間における三次元的に空間移動可能な仕組みを開発し、試作システムを用いて実験を行った。実験の結果、提案手法により異なる空間における空間移動する際の身体的空間操作の違いを確認した。視界分割における複数空間に対する身体的なインタラクション手法について提案した。提案した表現手法は以下の 3 パターンである。

- (1) 空間間による身体移動表現
- (2) 視界分割による身体移動表現
- (3) 視界分割による身体分離表現

また、提案手法を用いた試作システムを開発し実験を行った。実験の結果、視界分割表現では、視点の切り替え

表 3 表現パターンごとの回答者数

	質問項目	表現パターン		
		空間間による 身体移動表現	視界分割による 身体移動表現	視界分割による 身体分離表現
(1)	仮想空間内のバーチャルハンドを自分の手として、もっとも操作できたのはどれですか	5	3	2
(2)	操作になれるまでに、もっとも大変だと感じたのはどれですか。	1	5	4

による負担がなく、同時に複数の空間を確認しながら操作を行うことが可能である。空間間による身体移動表現と同じように、バーチャルハンドに身体所有感を生じて、身体的空間動作を行える。またアンケートの回答から、視界分割による三次元的に空間移動可能な身体的操作表現についての身体的操作性の影響と習熟度の違いなどの問題点が明らかになった。また、身体に対する空間的制約が高くなるほど、身体的空間操作に違和感が強くなり、操作の効率に影響することがわかった。

今後、遠隔コミュニケーションを行う際に、コミュニケーションを中断せずに身体的操作で別空間にアクセス可能なシステムを開発し、実験を行う。

参考文献

- [1] 総務省 平成 30 年版 情報通信白書 端末, 世界の AR / VR 市場規模・VR ヘッドセット出荷台数の推移及び予測, <http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h30/html/nd111350.html>(参照 2019.5.12).
- [2] Kevin Fan, Jochen Huber, Suranga Nanayakkara, Masahiko Inami: SpiderVision: Extending the Human Field of View for Augmented Awareness, Proceedings of the 5th Augmented Human International Conference (AH '14), Article 49, pp.1-8, ACM(2014).
- [3] Valentin Heun, Anette von Kapri, Pattie Maes: Perifoveal display: combining foveal and peripheral vision in one visualization, Proceedings of the 2012 ACM Conference on Ubiquitous Computing(UbiComp '12), pp.1150-1155, ACM(2012).
- [4] Hedayati, H., Walker, M. and Szafir, D.: Improving Collocated Robot Teleoperation with Augmented Reality, Proceedings of the 2018 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction(HRI '18), pp.78-86, ACM(2018).
- [5] Ivan Poupyrev, Mark Billinghurst, Suzanne Weghorst, and Tadao Ichikawa: The go-go interaction technique: non-linear mapping for direct manipulation in VR. Proceedings of the 9th annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST '96), pp.79-80, ACM(1996).
- [6] 脇山 真治: 映画におけるスプリット・スクリーンの系譜く〜マルチ映像史の傍流として〜, 芸術工学会誌, Vol.64, pp.27-34(2014).
- [7] 濱上 宏樹, 吉野 孝: ドアコム AR: ポータルを用いた空間接続表現手法 による対話相手の存在感の強化, インタラクシオン 2018 論文集, Vol.INT18009, pp.72-80(2018).
- [8] 本信 敏学, 吉野 孝: CompoundViewer: 視界分割を用いた空間表現手法による複数の 3 次元的な空間把握の検証, 情報処理学会 インタラクシオン 2019, デモ展示 1A-00, pp1-6(2019).
- [9] Botvinick, M. and Cohen, J.: Rubber hands 'feel' touch that eyes see, Nature, Vol.391, No.6669, p.756(1998).
- [10] Tsakiris, Manos, et al.: Hands only illusion: multisensory integration elicits sense of ownership for body parts but not for non-corporeal objects, Experimental Brain Research, Vol.204, No.3, pp.343-352 (2010).
- [11] 小川奈美, 伴祐樹, 櫻井翔, 鳴海拓志, 谷川智洋, 廣瀬通孝: えくす手: 変調バーチャルハンドへの即応的な身体所有感の生起による身体拡張システム, 情報処理学会インタラクシオン 2016, pp.1022-1027(2016).
- [12] Rui Pan, Samarth Singhal, Bernhard E. Riecke, Emily Cramer and Carman Neustaedter: MyEyes: The Design and Evaluation of First Person View Video Streaming for Long-Distance Couples, Proceedings of the 2017 Conference on Designing Interactive Systems(DIS '17), pp.135-146, ACM(2017).
- [13] 杉田 祐樹, 樋口 啓太, 米谷 竜, 佐藤 洋一: 複数一人称視点映像閲覧における行動空間とカメラ位置姿勢の 3 次元可視化による効果, 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクシオン (HCI), Vol.2017-HCI-171, No.26, pp.1-8(2017).
- [14] G. Bruder, F. Steinicke, and K. H. Hinrichs: Arch-Explore: a natural user interface for immersive architectural walkthroughs, Proceedings of the 2009 IEEE Symposium on 3D User Interfaces(3DUI '09), pp.75-82, IEEE(2009).
- [15] 桶田 真吾, 武原 光, 河合 紀彦, 佐藤 智和, 酒田 信親, 清川 清: 全方位映像による仮想化現実世界を介した現実空間と VR 空間の遷移に関する一考察, 第 80 回全国大会講演論文集, Vol.2018, No.1, pp.269-270(2018).