

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

本信 敏学^{1,a)} 吉野 孝^{1,b)}

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 VR HMD を介して、擬似的に人間の視界を複数の空間に分割する。分割した視界にそれぞれ異なる空間の映像を投影する。それにより、複数の空間内の様子をユーザに提示することができる。本研究では、VR 技術を用いて複数の空間内に自分の視点が存在するように表現することで、複数空間に存在する視点から複数の立体的な空間を把握できる仕組みを提案する。また、提案手法を実装した「CompoundViewer」を開発し、実験を行った。複数空間におけるユーザの空間把握能力を検証するために、「複数の空間における対象物を見たときの反応」「複数の空間のアバターの行動に対する反応」の評価を行った。実験の結果により、提案手法による複数の立体的な空間を把握できる可能性があることが分かった。

1. はじめに

VR は、従来のビデオチャットとは違い、ボイスチャットだけでなく、身振りや手ぶりを相手の目の前で伝えられるため、実際に会っている感覚が強いのが特徴である。VR はこれまでのビデオチャットの臨場感を上回っており、同じ VR 空間にいる他のプレイヤーを意識する感覚（ソーシャル・プレゼンス）^{*1}が生まれる。また、VR/AR 技術を活用し、人間の能力を拡張する研究 [1][2] が多く存在する。本研究では、人間の五感による知覚の割合が最も大きい視覚について焦点を当てた。これまでに、人間の視覚に対する新しいアプローチ [3][4] が多くなされてきた。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 [5]。

従来、一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、ゲームにおける複数人のローカルプレイなどで、複数の物事やプレイヤー視点を確認してきた。今後、VR の発展により、同時に複数の空間情報を提示することが可能になると考えられる。これまでは、VR 空間内に「ポータル」と呼ばれる穴を出現させ、ポータルに遠隔地の映像を表示させるなどの試みがなされてきた [6]。しかし、ポータルは平面的な空間情報の提示には優れているが、立体の空間情報の提示では、現実との差異が生じることがわかっている。

そこで本研究では、VR 技術を利用することで、HMD を装着したユーザの視界を分割するように表現した。そして、分割された視界に異なる複数の空間の映像を投影した。そうすることで、ユーザは HMD を通じて分割された複数の視界から、異なる複数空間を見ながら動き回ることができる。また提案手法では、従来の画面分割による平面情報と異なり、立体的な空間情報を提示することができ、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できる。

2. 関連研究

VR 体験中のユーザーと視点を共有・交換するシステムが多数提案されている [7][8]。笠原らは JackIn [9] と呼ぶ、一人称映像およびそれから生成される体外離脱視点を介して他人の状況を観測し、遠隔地から利用者を誘導するインタフェースを開発した。利用者評価実験によって体外離脱視点による効果を明らかにした。JackIn は人間 (Body) の能力を他の人間 (Ghost) が強化拡張するという可能性を持っていることがわかった。

また、笠原と YCAM (山口情報芸術センター) は共同で Parallel eyes [10] を開発した。Parallel eyes では、相互に

¹ 和歌山大学システム工学部システム工学科

a) motonobu.toshigaku@g.wakayama-u.jp

b) yoshino@sys.wakayama-u.ac.jp

^{*1} ソーシャル・プレゼンス (ソーシャルな実在感): <https://www.youtube.com/watch?v=X6XOwtscnY>



図 1 システム構成 (垂直 2 分割)

並行して行われる一人称視点共有によって、人間が視聴行動をどのように理解し、発達させることができるかを調査した。自分と自分以外の視点から状況を把握する方法や、複数の映像から「自分」を理解する感覚など、ユーザは感覚的に学んでいくことがわかった。人間の行動の発達における知見に加えて、知覚現象、相互視覚共有における身体の挙動、および相互視覚共有の導出されたコミュニケーションモデルも発見した。

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ーミングシステム“MyEyes” [11] を開発した。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共有することができる。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。半数以上のカップルは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。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的所有感覚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、これらの研究は他人の視点映像を複数の人間間で相互に交換することで、自分の知覚や能力が拡張されたような状態を実現している。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 [12] を見るのではなく、複数の異なる空間内でそれぞれ一人称視点を持つ表現を実現した。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。さらに、提案手法による人間の空間把握能力への影響について検証した。

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 の HMD を介して疑似的にユーザの視界を複数に分割する。そして、分割した複数の視界に異なる空間の映像を表示する。それによって、ユーザに複数の空間を提示し、複数空間視認可能な視界における身体拡張の実現を目指す。

3.2 設計方針

従来の複数空間における情報の提示は、スクリーンの画面を分割して複数空間の情報を表示してきた。しかし、実際にはそれぞれの空間が立体的に存在しており、表現している状況と実際の状況に差異が生じてしまう。なぜなら、人間は立体的に目の前の空間を認識しているためである。

そこで、本研究では、VR 技術を用いて複数の異なる空間を並べて表示することで、平面的な映像ではなく、立体的な空間表現を実現した。また、提案手法による空間の境界である視界の切れ目が存在することにより、ユーザに自分が複数の空間にいる状態を認識させることができる。そして、分割した視界を通して空間を視認させることで、複数の空間にいる感覚を与えることができると考えた。また、従来の画面分割では、頭部の動きに追従して空間内を見渡すことができないが、CompoundViewer は HMD を介することで、頭部の動きに追従して複数の異なる立体的な空間を見渡すことができる。

3.3 システム構成

本システムは Oculus Rift（解像度：2160 × 1200，視野角：110 度）を使って、ユーザに複数の空間を提示する。CompoundViewer は限られた画面内で複数のコンテンツを開くために行う動作「分割」をメタファとした。装着者

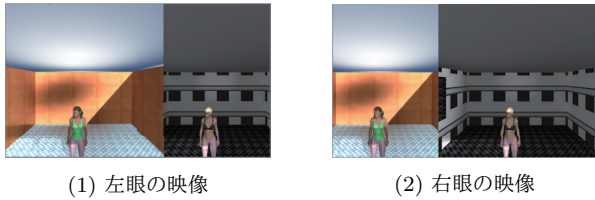


図 2 視差の画面例



図 3 システムの画面例 (左眼)

の HMD には、複数の地点にいる部屋の映像が分割した視界に表示される。これにより、分割した視界に、複数の異なる空間が並べて表示されているような映像となる。CompoundViewer は、Unity を用いて開発した。また、部屋や NPC (ノンプレイヤーキャラクター) のモデルを作成するために、Unity のアセット^{*3*}4^{*}を使用した。

図 1 に CompoundViewer のシステム構成 (垂直 2 分割) を示す。異なる座標に存在する複数の空間内にそれぞれユーザの両眼となるカメラを設置し、設置したカメラの描画範囲をそれぞれ指定する。そして、複数のカメラのテクスチャを合成してレンダリングする。たとえば、垂直 2 分割の場合、HMD の両眼の左半分指定した空間 1 のカメラのビューが投影される。また、空間 2 のカメラの描画範囲を空間 1 のカメラで投影した以外の部分に設定することで、空間 1 と空間 2 の両方のビューが両眼に描画される。そして、全部のカメラのテクスチャをレンダリングして、HMD の視界にそれぞれの空間の映像を出力する。

本システムは、視差を維持するために、図 2 のように左眼と右眼の映像を異なる箇所でも分割した。また、視界の面積がすべて均等になるように分割するのではなく、等間隔で分割した。これにより、HMD を通じて複数の空間を視認することで、ユーザに複数の空間内の状況を提示した。

また、提案手法による複数空間における人間の空間把



図 4 実験風景

握能力への影響を検証するために、以下の 4 つパターンを実装した。図 3 に 4 つのパターンの左眼の映像を示す。

- (1) 2 空間表現 (水平 2 分割)
- (2) 2 空間表現 (垂直 2 分割)
- (3) 4 空間表現
- (4) 9 空間表現

また、空間に設置した全部のカメラはユーザの頭の動きに追従するように設定した。これによりユーザは、設置したカメラを介して、自由に空間を見渡することができる。

4. 実験

4.1 実験の概要

今回、Oculus Rift を使って実験した。HMD を介して視認可能となる複数空間におけるユーザの情報把握能力の変化を検証した。また、提案手法によって分割可能となった視界がユーザに与える効果と負担の評価を行った。複数空間の提示における影響を検証するため、比較対象として、通常の VR 空間 (1 空間表現) を用意した。提案手法により、複数空間における情報把握を調査するために CompoundViewer を用いて実験を行った。そして、「複数の空間における対象物を見たときの反応」と「複数の空間のアバターの行動に対する反応」の二つ反応時間を計測し、また、アンケート調査を行った。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。

4.2 実験手順

本実験では CompoundViewer を用いて、「複数の空間における対象物を見たときの反応」「複数の空間のアバターの行動に対する反応」の反応時間を計測した。実験協力者はそれぞれ和歌山大学の学生 10 名である。まず、実験協力者にシステムの操作方法を説明した。次に、図 4 のように実験協力者は椅子に座って Oculus Rift を装着した。そして、右手にマウスを持った状態で以下の 5 つパターンを実験した。

- (1) 1 空間表現
- (2) 2 空間表現 (水平 2 分割)

^{*3} Pack Gesta Furniture:
<https://assetstore.unity.com/packages/3d/props/furniture/pack-gesta-furniture-1-28237>

^{*4} UMA 2 - Unity Multipurpose Avatar:
<https://assetstore.unity.com/packages/3d/characters/uma-2-unity-multipurpose-avatar-35611>

表 1 実験 A: 対象物を見たときの反応に関するアンケート結果 (5 段階評価)

	質問項目	評価の分布					中央値	最頻値
		1	2	3	4	5		
(1)	VR 空間の数が増えても、VR 空間内のオブジェクトが立体的に見えた	0	1	2	4	3	4	4
(2)	空間の数が増えても、出現した物体をすぐに反応することができた	2	1	3	4	0	3	4
(3)	空間の数が増えるにつれて、3D 酔いがひどくなった	3	3	1	2	1	2	1, 2
(4)	同じく 2 空間でも分割手法 (垂直 2 分割 or 水平 2 分割) による違いがあると感じた	0	0	0	4	6	5	5

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 実験 A: 反応時間 1(対象物を見たときの反応時間) の結果

	1 空間	2 空間 (水平 2 分割)	2 空間 (垂直 2 分割)	4 空間	9 空間
平均 (s)	1.12	1.33	1.25	1.67	3.57
標準偏差 (s)	0.98	1.23	2.01	2.94	9.45
外れ値 (回数)	4	4	5	4	19

・外れ値は 1 空間の標準偏差の 3 σ を超えた値とする

(3) 2 空間表現 (垂直 2 分割)

(4) 4 空間表現

(5) 9 空間表現

実験協力者には、タスクの内容を伝えているが、空間把握能力の実験であることは伝えていない。各パターン間に 1~2 分の休憩時間を設けた。また、実験協力者が実験中で気分が悪くなったと感じたら、すぐに実験を中止するようにした。実験後、アンケート調査を実施した。

4.2.1 実験 A: 対象物を見たときの反応

実験協力者に装着した HMD には、分割した視界が表示されている。システムは、分割した視界にそれぞれ異なる座標にある部屋の中の映像を表示している。ユーザの視点を、それぞれ異なる座標にある部屋に配置したが、部屋内の壁など模様が同じため、同じ部屋のように見える。

実験開始後、実験協力者の見えている複数の部屋内に、どれか一つの部屋内だけオブジェクトが音とともに生成される。オブジェクトは 5~20 秒の間にランダムなタイミングで生成される。生成される場所もランダムである。音が聞こえたときに、実験協力者にオブジェクトを探すように伝えた。また、オブジェクトを発見したときに、手元にあるマウスで左クリックするタスクを設けた。実験協力者がクリックするまでオブジェクトは消えない。以上のタスクを上記の 5 パターンで各 10 回ずつ行った。実験協力者の視界にオブジェクトが入ってから、マウスで左クリックするまで時間を計測した。本実験では、これを反応時間 1 とする。

4.2.2 実験 B: アバターの行動に対する反応

実験協力者に装着した HMD に分割した視界が表示されている。システムは、分割した視界にそれぞれ違う座標にある部屋の中の映像を表示している。部屋内のレイアウトは同じであるが、壁や床の模様などは異なる。

実験協力者の見えている複数の部屋内に、性別や顔などがランダムに生成された NPC がいる。各部屋の NPC は通常、左見右見の状態を繰り返す。5~20 秒の間のランダムなタイミングに、どれか一つの部屋内にいる NPC がユーザの方に顔を向き、右手を振り始める。そして、実験協力者に手を振り始めた NPC を見たときは、マウスを左クリックするように伝えた。NPC は実験協力者がクリックするまで手を振り続ける。以上のタスクを上記の 5 パターンで各 10 回ずつ行った。そして、NPC が動作を変えたタイミングから、実験協力者がマウスで左クリックするまで時間を計測した。本実験では、これを反応時間 2 とする。

5. 実験結果と考察

5.1 実験 A: 対象物を見たときの反応の結果と考察

表 1 に実験 A のアンケート結果を示す。表 1 (1)「VR 空間の数が増えても、VR 空間内のオブジェクトが立体的に見えた」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「4 分割から、視界の四隅が見えにくい」「9 つに分割されると、1 つの空間が狭くなりすぎるので、立体的に見えない」といった意見が得られた。以上のことから、視界の分割数を増えすぎると、立体視に影響を及ぼすことが分かった。

表 1 (2)「空間の数が増えても、出現した物体をすぐに反応することができた」という質問項目に対する 5 段階評価では中央値 3、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「空間の数が多いほど、情報量が多く感じてオブジェクトを探すのに時間がかかる」といった意見が得られた。以上のことから、視界の広さを変えず空間の数を増やすと、実験協力者は情

表 3 実験 B: アバターの行動に対する反応に関するアンケート結果 (5 段階評価)

	質問項目	評価の分布					中央値	最頻値
		1	2	3	4	5		
(1)	空間の数が増えても、それぞれの空間内の状況を把握することができた	0	2	2	5	1	4	4
(2)	空間の数が増えても、アバターの動作の変化をすぐに反応できた	0	2	1	6	1	4	4
(3)	空間の数が増えるにつれて、情報量を多く感じた	0	0	0	5	5	4.5	5

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 4 実験 B: 反応時間 2(アバターの行動に対する反応時間) の結果

	1 空間	2 空間 (水平 2 分割)	2 空間 (垂直 2 分割)	4 空間	9 空間
平均 (s)	0.50	0.49	0.45	0.51	0.99
標準偏差 (s)	0.14	0.09	0.08	0.21	0.91
外れ値 (回数)	2	0	0	2	24

・外れ値は 1 空間の標準偏差の 3 σ を超えた値とする

報量を多く感じる事が分かった。また、反応時間 1 の結果を表 2 に示す。表 2 より、視界の分割数が増えることによって、実験協力者の平均反応時間が増えた。また、ばらつきが大きくなった。1 空間では、4.06 秒 ($1.12 + 0.98 \times 3$) 以上の値を外れ値 [13] とした。本実験では、「見落とし」と定義する。同様に、2 つ以上の空間でも、4.06 秒 ($1.12 + 0.98 \times 3$) として、1 空間の 3 σ を超えた値を外れ値とした。異なる空間においても、同じ閾値を用いた理由として、視界が分割されても、全体の視界の広さに影響しないため、1 空間と同じく対象物を見て反応できると考えた。結果として、4 分割までは見落としの回数に変化が見られなかった。しかし、9 分割では見落とし回数が増えた。したがって、ある一定の分割数を超えたとき、反応時間に影響することが分かった。

表 1 (3)「空間の数が増えるにつれて、3D 酔いがひどくなった」という質問項目に対する 5 段階評価では中央値 2、最頻値 1, 2 という評価が得られた。「強く同意しない」と回答した実験協力者の自由記述から、3D 酔いに強い人は、空間の数が増えても 3D 酔いに影響しないことが分かった。以上のことから、提案手法による 3D 酔いの影響が小さいことが分かった。

表 1 (4)「同じく 2 空間でも、分割手法 (垂直 2 分割 or 水平 2 分割) による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 5、最頻値 5 という評価が得られた。実験協力者全員が違いがあると感じた。以上のことから、同じ 2 空間でも、垂直 2 分割と水平 2 分割による違いがあることが分かった。また、実験協力者の自由記述から、垂直 2 分割の方が、水平 2 分割より見やすい人が多いことが分かった。

また、「立体的に視える空間の数をすべて回答してください」という質問項目に対する記述では、水平 2 分割 8 名、垂直 2 分割 9 名、4 分割 7 名、9 分割 5 名という結果が得られた。これにより、分割した空間の数が増えるほ

ど、立体的に見えにくいことと、9 分割までなら半数の人が立体視できることが分かった。以上のことから、提案手法は、分割数による立体視の影響があると考えられる。

5.2 実験 B: アバターの行動に対する反応の結果と考察

表 3 に実験 B のアンケート結果を示す。表 3 (1)「空間の数が増えても、それぞれの空間内の状況を把握することができた」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「9 分割の場合、すべては厳しかったが、4 分割までならどの空間も正確に把握できた」といった意見が得られた。以上のことから、空間数を増やしすぎると、実験協力者に把握できない空間が生じる。また、4 空間までなら問題なく把握できることが分かった。

表 3 (2)「空間の数が増えても、アバターの動作の変化をすぐに反応できた」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「上の方を見ても、意外と下の方で動いている NPC にも気づけた」といった意見が得られた。これは、人間の周辺視野は動きに対して敏感に反応できるため、視界内の NPC の動きの変化に気づけたと考えられる。以上のことから、視界を分割しても、全体の視界の広さが変わらないため、視界内の変化をすぐに気づけることが分かった。また、反応時間 2 の結果を表 4 に示す。実験 A と同じく 1 空間の標準偏差の 3 σ を超えた外れ値を「見落とし」と定義する。結果として、実験 A と同様の傾向が得られた。以上のことから、提案手法による反応時間の影響はあるが、4 分割までは 1 空間と情報把握能力の差があまり見られなかった。

表 3 (3)「空間の数が増えるにつれて、情報量を多く感じた」という質問項目に対する 5 段階評価では中央値 4.5、最頻値 4 という評価が得られた。これにより、視界の広さが変わらなくても、空間数が増えていたため、受ける情報

量を多く感じたことが分かった。したがって、視界の広さが変わらなくても、実験協力者に情報量を多く感じさせており、提案手法による複数空間の情報提示ができたと考えられる。

また、「自分がその場にいたように感じた空間数をすべて回答してください」という質問項目に対する記述では、水平 2 分割 7 名、垂直 2 分割 7 名、4 分割 5 名、9 分割 3 名という結果が得られた。実験協力者の自由記述では「2 分割以上から、別の次元から人々を覗いている感じがした」といった意見が得られた。以上のことから、提案手法による複数空間表現では違和感を感じ、没入感に影響が生じる可能性がある。また、別の実験協力者の自由記述では「NPC の動きが単調で、環境音がなかったため、没入感はなかった。普通に 3D の映像を見ているように感じた」といった意見が得られた。これにより、音や複雑な動きの表現がなかったため、空間に対する没入感の減少が問題であることが分かった。

さらに、「複数の空間内の状況を把握することができた空間数をすべて回答してください」という質問項目に対する記述では水平 2 分割 10 名、垂直 2 分割 10 名、4 分割 10 名、9 分割 4 名という結果が得られた。4 分割まで実験協力者全員が 4 つの空間内の状況を把握できたことから、提案手法における最大数の空間の把握は 4 空間までであることが分かった。

6. おわりに

本研究では、「複数空間を見る」を体験することが可能なシステムの実現を目指し、視界分割手法を提案した。提案手法を用いた CompoundViewer を開発し、実験を行った。提案手法では、ユーザに複数の空間を提示することができ、提示された複数の空間の状況を把握させることができた。しかし、ある一定の分割数を越えたとき、空間の把握能力に影響することが分かった。また、アンケートの回答から、提案手法による没入感の影響や分割数の増加によるユーザへの負担の問題点が明らかになった。

実験の結果をまとめる。

- (1) 提案手法は立体視に影響を及ぼすが、9 空間までなら、半数の実験協力者が立体視できた。
- (2) 提案手法による 3D 酔いを増す傾向は低い。
- (3) 垂直 2 分割は水平 2 分割よりも見やすい。
- (4) 提案手法による複数空間の表現では違和感を感じ、没入感に影響が生じる。
- (5) 4 空間までなら実験協力者全員が空間の把握ができた。しかし、9 空間では把握できない空間が生じる。

今後、分割可能な視界を介して複数の現実空間の表現を実現する。また、複数の現実空間を視聴可能となったユーザの行動の変化について実験を行う。

参考文献

- [1] 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).
- [2] Levin, G., McDonald, K. and Sugrue, C.: Augmented Hand Series(online), available from <<http://www.flong.com/projects/augmented-hand-series/>> (accessed 2018-10-05).
- [3] 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).
- [4] 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).
- [5] 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).
- [6] 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).
- [7] Jan Gugenheimer, Evgeny Stemasov, Julian Frommel, Enrico Rukzio: ShareVR: Enabling Co-Located Experiences for Virtual Reality between HMD and Non-HMD Users, Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems(CHI '17), pp.4021-4033, ACM(2017).
- [8] Jan Gugenheimer, Evgeny Stemasov, Harpreet Sareen, Enrico Rukzio: FaceDisplay: Towards Asymmetric Multi-User Interaction for Nomadic Virtual Reality, Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems(CHI '18), Paper No.54, pp.1-13, ACM(2018).
- [9] 笠原俊一, 暦本純一: JackIn: 一人称視点と体外離脱視点を融合した人間による人間のオーグメンテーションの枠組み, 情報処理学会論文誌, Vol.56, No.4, pp.1248-1257(2015).
- [10] Shunichi Kasahara, Mitsuhiro Ando, Kiyoshi Suganuma, Jun Rekimoto: Parallel Eyes: Exploring Human Capability and Behaviors with Paralleled First Person View Sharing, Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems(CHI '16), pp.1561-1572, ACM(2016).
- [11] 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).
- [12] 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ョン (HCI), Vol.2017-HCI-171, No.26, pp.1-8(2017).
- [13] 大久保街亜: 反応時間分析における外れ値の処理, 専修人間科学論集, 心理学編, Vol.1, No.1, pp.81-89(2011).