

閉所空間調整システムを用いた VR 体感型ゲームにおける 閉所空間の認知特性評価

柴山大輝^{1a} 阿部大河^{1b} 野口周^{1c} 西将輝^{1d} 宇和伸明² 林秀彦^{1e}

VR 体感型ゲームでは、コンテンツによって閉所空間が提示される場面があるが、それによる知覚認知特性や生体反応の解明は十分ではない。本稿では、閉所空間を構築し、閉所の狭さや天井の高さなどの視覚情報を VR 技術によって調整することで圧迫感や安心感などの印象評価に及ぼす影響および認知距離の推定に及ぼす影響を調べる実験を行った。VR 技術の利用によって、現実世界の閉所空間における圧迫感などを軽減することで、閉所による恐怖心の軽減や MRI 等の医療検査機器の利用快適性向上を図る応用技術に貢献する可能性を示唆した。

Cognitive assessment of confined space on VR experience type game using confined space adjustment

DAIKI SHIBAYAMA^{1a} TAIGA ABE^{1b} SHU NOGUCHI^{1c} MASAKI NISHI^{1d}
NOBUAKI UWA² HIDEHIKO HAYASHI^{1e}

Through a head-mounted display (HMD) of virtual reality (VR) experience type game, in the case of the scene in which confined space, we feel pressure or dull on virtual environment. Their many parts of cognitive characteristics and human performance or vital reaction remain unexplained. This report presents that four experiments of the confined space by VR technology of visual information adjustment for ceiling height or area of the confined space. We investigated impression assessment of oppressive feeling or security feeling and recognition distance using confined space adjustment system. Using by VR technology, it contribute to lessen the fear of confined space of medical inspection apparatus such as MRI inspection in the real world.

1. はじめに

近年、仮想環境を提示するヘッドマウントディスプレイ (HMD: Head Mount Display) の普及により、バーチャルリアリティー (VR: Virtual Reality) コンテンツは増加の傾向にある。VR 体験型のゲームでは、ゲームのコンテンツによっては閉所空間が提示される場面があるが、ユーザーが感知する閉所空間の知覚認知の機構およびその特性の解明は十分ではない。本稿では、閉所空間を構築し、その部屋の広さによる圧迫感や安心感などの印象評価への影響および認知距離の影響を明らかにすることを目的として、VR 技術を用いた閉所空間調整システムを開発し、閉所の知覚認知の一端を明らかにする実験を行った。

2 節では開発した閉所空間調整システムの概要について述べる。3 節では本システムを用いた実験について述べる。実験は、閉所空間の狭さが被験者の印象評価へ及ぼす影響を調べるため、空間の天井の高さや部屋の狭さを数値化し、条件を変えながら 3 つの実験を行った。実験 1 では部屋の狭さだけに着目し、実験 2 では天井の高さに着目した実験を行った。実験 3 では触覚により得られる情報も含めた条件で実験を行った。さらに 3 つの実験の結果から得られた情報を元に、現実世界の狭い閉所空間であっても VR 技術

を応用することでリラックスできるのかどうかを調べるため、その指標の 1 つとして心拍数の変化を計測する実験 4 を行った。4 節では関連研究をふまえて実験結果について考察し、5 節では全体をまとめる。

2. 閉所空間調整システム

本システムは、HMD にスマートフォンを装着し、VR アプリを用いて 3D 映像として閉所空間を提示する。

2.1 ハードウェア構成

実験では HMD として BOBO VR Z4 を装着し、スマートフォンは iPhone6s を使用した。なおスマートフォンはシステムチップに Apple A9 を搭載し、解像度は 1334*750、サイズは 4.7 インチである。

2.2 ソフトウェア構成

閉所空間は正方形からなり、一般的な部屋のデザインにし (図 1)、空間は 10 段階の広さに分けて用意した (表 1)。なお、この空間の切り替えはアプリ内で行うことができ、天井の高さなど、空間そのものの大きさを変える場合は PC から自由に変更できるように設計した。また、動作確認では Apple A7 以上のシステムチップを搭載していれば問題なく動作することを確認した。

1 北星学園大学
Hokusei Gakuen University.
1a i14084@hokusei.ac.jp
1b i14002@hokusei.ac.jp
1c i14065@hokusei.ac.jp
1d i14061@hokusei.ac.jp

1 e hhayashi@hokusei.ac.jp
2 株式会社インGRESSAR
Ingressar Co., Ltd.

表1 段階別の部屋の広さ

	縦	横
1 段階目	110 c m	110 c m
2 段階目	170 c m	170 c m
3 段階目	230 c m	230 c m
4 段階目	290 c m	290 c m
5 段階目	350 c m	350 c m
6 段階目	410 c m	410 c m
7 段階目	470 c m	470 c m
8 段階目	530 c m	530 c m
9 段階目	590 c m	590 c m
10 段階目	650 c m	650 c m

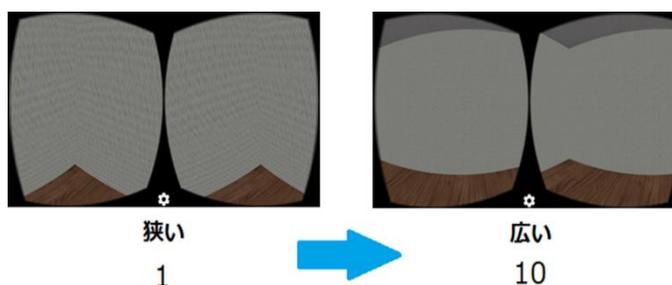


図1 提示する閉所空間

3. 閉所空間の狭さが印象評価へ及ぼす影響

閉所空間の狭さが被験者の印象評価へ及ぼす影響を調べるため空間の天井の高さや部屋の狭さを数値化し、条件を変えながら3つの実験を行った。実験1では部屋の狭さだけに着目し、実験2では天井の高さに着目した実験を行った。実験3では触覚により得られる情報も含めた条件で実験を行った。さらに3つの実験の結果から得られた情報を元に被験者に閉所空間でHMDを装着させ映像を見た際に変化する心拍数の変化を計測する実験の計4つの実験を行った。

3.1 実験1

被験者がどの位の狭さで閉所空間と認知するか調べるため、現実世界の広い空間で被験者5名にHMDを装着させ、狭さを10段階に分けた仮想空間（表1）を提示する。1段

階目の空間の高さは300cmで一定で保たれ、縦横は110cmの正方形で、段階がひとつあがるごとに縦横60cmずつ一定に拡張される。仮想空間の提示は10段階すべてを恒常法で連続に提示し、それぞれの空間に対して安心感、圧迫感、没入感、疲労感を5段階で印象評価する（表2）。また、それぞれの空間の壁までの認知距離を測定する。ここで認知距離とは被験者の観察によって現実世界の距離（実距離）を推測した距離である。なお被験者は空間の中心から空間を自由に見渡すことができ、移動することはできない。

表3は被験者5名の印象評価と認知距離測定の結果の平均を示し、図2および図3は表3をグラフで示したものである。1段階目から3段階目までは安心感が低く、圧迫感が高い結果を示した。安心感は4段階目の上昇が6段階目まで変わらなかったが、7段階目で上昇し、それ以降の変化は見られなかった。圧迫感は4段階目からは急に低くなり続け、8段階目を境に圧迫感の減少は止まり、一定の数値を示した。没入感と疲労感についてはどの段階でもある程度一定の数値が保たれていた。また、認知距離については7段階目までの数値はおおよそ一定の上昇が見られたが、8段階目以降の空間については数値があまり変化しなかった。

表2 印象評価の項目と評価尺度

項目	評価尺度 (5段階)
安心感	安心感がない—安心感がある
圧迫感	圧迫感がない—圧迫感がある
没入感	没入感がない—没入感がある
疲労感	疲労感がない—疲労感がある

表3 印象評価と認知距離の結果の平均

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
安心感	2.4	2.6	2.8	3.2	3.2	3.2	3.6	3.6	3.6	3.6
圧迫感	4.6	4	3.6	2.8	3	2.6	2	1.6	1.4	1.8
没入感	2.6	2.4	2.2	2.4	2.4	2.2	2.4	2.4	2.4	2.4
疲労感	2	1.8	1.4	1.6	1.4	1.6	1.6	1.8	1.6	1.4
認知距離(cm)	30	50	61	89	96	112	126	166	168	168

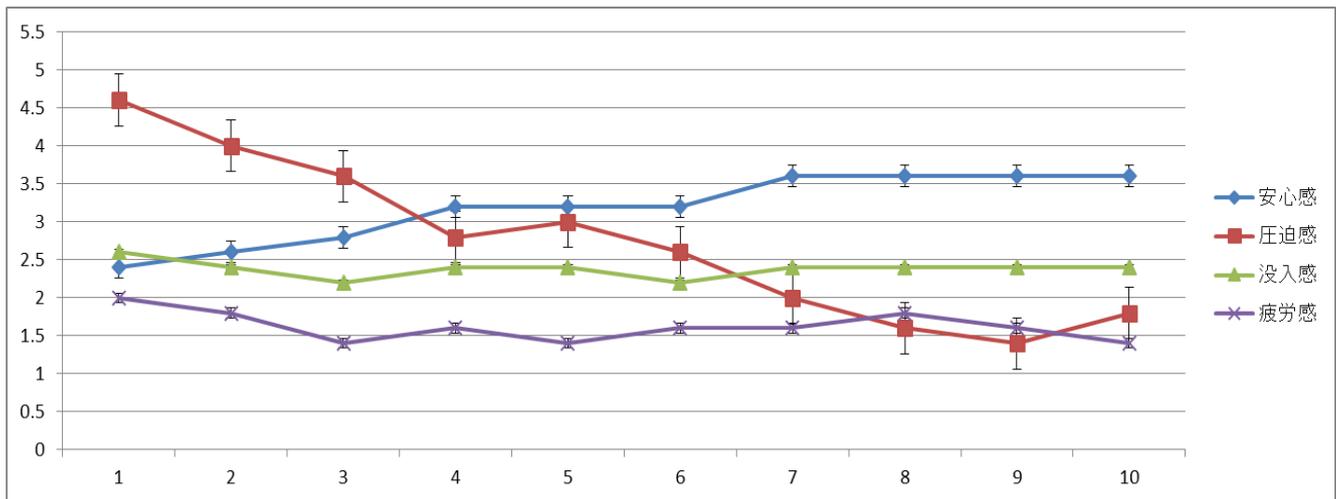


図2 被験者の印象評価の平均値

表4 認知距離の推定結果(cm)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
被験者1	20	50	30	60	120	100	120	140	160	100
被験者2	30	30	65	55	40	50	50	70	80	60
被験者3	40	50	50	80	80	100	120	150	140	180
被験者4	20	40	60	100	100	130	180	270	240	250
被験者5	40	80	100	150	140	180	160	200	220	250
平均	30	50	61	89	96	112	126	166	168	168
標準偏差	9	17	23	34	34	43	45	67	57	77

4段階目で安心感が上昇し圧迫感が低くなったことから、空間の縦横が290cm、被験者から壁までの距離が145cmを越えると狭いと感じなくなり、145cmを下回ると狭いと認知する可能性が示唆される。これは平均値(表4)が示す数値からも同様の可能性が示唆され、4段階目の空間の数値が3段階目の空間と比べて27cm増加している。また、8段階目以降は認知距離の測定結果に大きな変化が見られなかったことから、空間が縦横530cmを越えて、被験者から壁までの距離が265cmを越えた時点で認知距離の推定が難しくなった可能性が示唆される。しかし、標準偏差に注目すると被験者の中で数値にばらつきが出ているため個人差があるといえる。

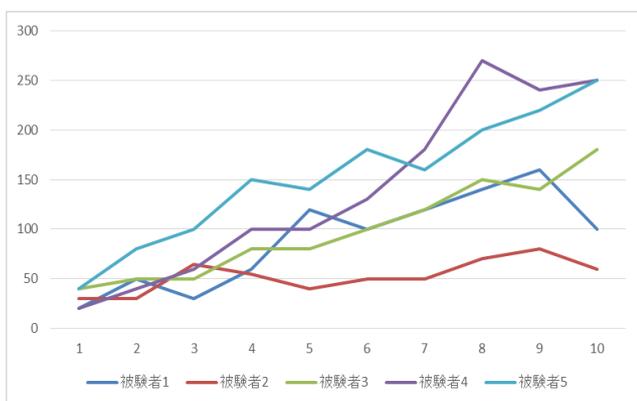


図3 被験者5名の認知距離の推定結果

3.2 実験2

実験2では、天井の高さがそれぞれの印象評価にどの程度の影響を示すのかを調べるため、実験1で利用した空間と同じ空間を使い、天井の高さを変えて、それぞれ実験を行った。使用した空間は10段階の空間のうち、実験1の段階で被験者の印象評価の変化が大きかった1段階目と4段階目と7段階目の空間を使用した。天井の高さは高い状態(600cm)と低い状態(200cm)の空間を用意し、被験者にははじめに天井が低い状態の1段階目と4段階目と7段階目の空間を恒常法で提示し、次に天井が高い状態の1段階目と4段階目と7段階目の空間を恒常法で提示した。実験1と同様に被験者はそれぞれの空間において印象評価と認

知距離の推定を行うものとした。

天井が低い状態では安心感が 3.2 以下と低く、圧迫感がどの段階の空間でも 3 を上回る結果となり、一番狭い 1 段階目の空間で圧迫感は 4.4 となった。没入感は 1 段階目の空間では 2.6 と他の空間に比べて 0.2 高かったが大きな変化は見られなかった。疲労感はその空間でも変化はなかった。認知距離については 1 段階目の空間では 28cm、4 段階目で 114cm、7 段階目で 186cm とそれぞれの空間で差が大きくなった(表 5、図 4)。天井が高い状態では、安心感が 1 段階目は 2 と低い数値がでたが、4 段階目以降の空間では 3 を上回る数値で、さらに 4 段階目以降の空間では圧迫感が 2.4 と 3 を下回る数値となった。没入感、疲労感については変化が無かった。認知距離は 1 段階目の空間で 38cm となりやや広く推定されたが、4 段階目と 7 段階目での差は 26cm と小さかった (表 6、図 5)。

表 5 天井が低い状態の印象評価の平均値

	低1	低4	低7
安心感	2.2	3	3.2
圧迫感	4.4	3.6	3
没入感	2.6	2.4	2.4
疲労感	1	1	1
認知距離(cm)	28	114	186

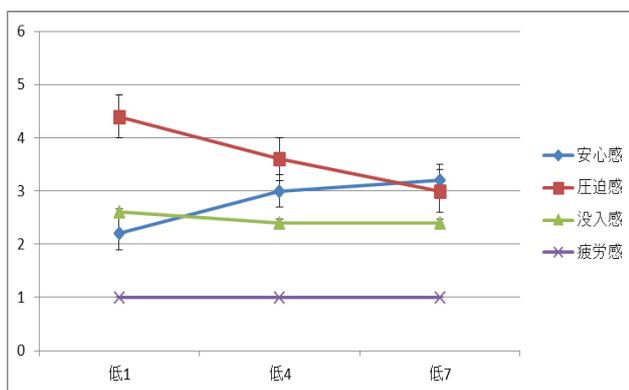


図 4 天井が低い状態の印象評価の平均値

表 6 天井が高い状態の印象評価の平均値

	高1	高4	高7
安心感	2	3.4	3.6
圧迫感	4	2.4	2.4
没入感	2.4	2.4	2.4
疲労感	1	1	1
認知距離(cm)	38	82	108

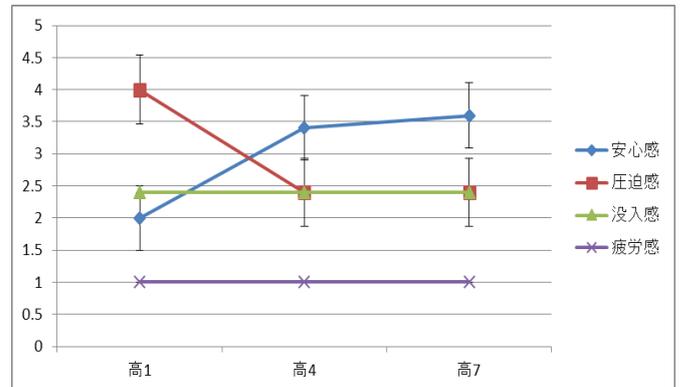


図 5 天井が高い状態の印象評価の平均値



図 6 実験中の被験者の様子

実験の結果から、広い空間でも天井が低いと圧迫感が増加し、認知距離が大きくなる。逆に広い空間は天井が高いと認知距離が短くなり、圧迫感が減少する。また安心感も増すことがわかった。天井の高さが印象評価になにかしら影響を与えていると考えられる。

3.3 実験 3

触覚による情報が、被験者の印象に与える影響を調べるため、現実世界の狭い空間で仮想空間を体験した。

現実世界の狭い空間に被験者が入り HMD を装着させ、実験 2 と同様に被験者の印象の変化が顕著だった 1 段階目、4 段階目、7 段階目の空間を提示した。現実世界の狭い空間の大きさは高さ約 100cm、縦約 70cm、横約 40cm の空間を用意した。また、空間内には前後左右に壁が設けてあるの

で、被験者は手を伸ばせば壁に触ることができる。なお、評価方法については実験 1、実験 2 と同様にそれぞれの段階に応じた印象評価と認知距離の推定を行った。

表 7 は被験者 5 名の印象評価と認知距離の推定結果の平均値を示したものである。図 7 は表 7 をグラフとして示したものである。全ての段階で安心感は 3 を下回り、圧迫感、没入感、疲労感については 1 段階目で 5 となり全ての実験の中でも最も高い数値であった。没入感、疲労感については 1 段階目では 3.2 となった。疲労感についてはどの段階でも一定の数値であった。また、認知距離については 1 段階目では 23cm という結果になった。

表 7 印象評価と認知距離の推定結果の平均

	1	4	7
安心感	1.4	1.8	2.6
圧迫感	5	4	3.4
没入感	3.2	2.8	2.4
疲労感	1.2	1.2	1.2
認知距離 (cm)	23	68	100

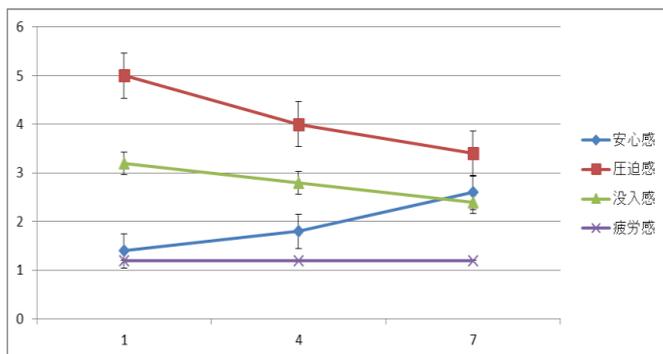


図 7 印象評価と認知距離の推定結果の平均

3.4 実験 4

病院などで MRI を使用する際、その環境の閉所空間が苦手な患者に VR で狭さを感じさせない景色の映像などリラックスできるようなものを提示することで MRI が苦手で使えないといった問題を解決していく可能性を見出す。

実験 3 で一番圧迫感の印象評価が低かった被験者と一番圧迫感の印象評価が高かった被験者 2 名を対象に実験を行った。MRI に似た環境を作るため、テーブルの下に仰臥位にさせ、高さ 100cm、縦 200cm、横 100cm 程の閉所空間を構築した。そして VR で映像を提示する前後で、リラックス状態を表す指標のひとつとして心拍数を測定した。心拍数は、腕時計型心拍計 (Xiaomi Miband) を用いて測定した。

実験 3 で圧迫感の印象評価が低かった被験者は、VR 使用前は 60.7BPM、VR 使用後は 63.3BPM と VR 使用前も使

用後もあまり差はなかった。しかし、圧迫感の印象評価が高かった被験者は、VR 使用前は 71.7BPM、VR 使用後は 65.0BPM と VR 使用前に比べ使用後は心拍数が低下していた。そのことから、リラックスできていた可能性が示唆される。

表 8 圧迫感の印象評価が低かった被験者

	VR使用前	VR使用後
BPM	60.7	63.3

表 9 圧迫感の印象評価が高かった被験者

	VR使用前	VR使用後
BPM	71.7	65.0

実験の結果から VR の効果があるということが示唆された。しかし、閉所空間がどれだけ苦手なのかは個人差がある。同じ映像を見せても人によって圧迫感を軽減できないこともある。病院など医療機関で実用化していくには、多くの種類の映像を用意する、できるだけその人の好みに合った映像を提示する、などといった工夫が必要になるだろう。

4 総合考察

バーチャルリアリティ技術は、乗り物の運転、産業機器の操作、さらには VR ゲームコンテンツの開発など、これまでもあらゆる産業分野で活用されており、その活用による人間の感覚特性を考慮した設計が安全性、快適性を向上させるうえで重要であるが、その知見の蓄積は十分ではなかった 1)。VR 空間の認知特性を明らかにするうえで、現実世界において人間が空間をどのように把握するかの研究は、空間認知を対象とする認知科学や建築学分野において研究が進んでおり、その一つとして認知距離の研究 3) 4) があつた。認知距離の研究は、都市空間、経路探索空間、建築空間などの空間構造の違いによって、それぞれ研究されているが、建築空間においては、壁や天井により規定される「明確な幅と高さ」があるが、その要素を対象とした研究は少ないことが指摘されている 3)。柳瀬は、日常的に歩行移動している建築空間内経路の認知距離を対象として経路環境の物理的な変化による要因に着目し、これまでの都市空間を対象とする空間認知研究では検討されることがなかった経路の幅および天井高といった要因が、建築空間内経路の認知距離に影響を与えている可能性を示唆している。また、建築空間において狭小空間における印象評価の研究では、人間の前後が 130cm 程度の距離において、圧迫感を認知しやすくなる傾向にあることが指摘されているが 2)、VR を用いた仮想空間においても同様の傾向を示すのかどうかの知見は得られていなかった。

本稿では、これらの関連研究をふまえて、VR 技術によ

って閉所空間を構築し、その部屋の広さによる圧迫感や安心感などの印象評価への影響および認知距離の影響を明らかにした。実験1では、被験者がどの位の狭さで閉所空間と認知するかを調べ、空間の縦横が290cm、被験者から壁までの距離が145cmを越えると狭いと感じなくなり、145cmを下回ると狭いと認知することを明らかにした。実験2では、天井の高さがそれぞれの印象評価にどう影響しているのかを調べた。天井が高い場合と低い場合では低い場合の方が安心感は低く圧迫感が強い印象を受けることが明らかになり、実験1と比較しても天井を低くした場合は広い空間でも圧迫感が増加し、認知距離が大きくなる。逆に広い空間は天井が高いと認知距離が短くなり、圧迫感が減少し、安心感は増す傾向にあることが明らかになった。実験3では、触覚による情報が、被験者の印象に与える影響を調べた。触覚による情報は被験者に圧迫感を与え安心感が低くなることが明らかになり、実験1、実験2と比較すると、同じ狭さの空間でも触覚による情報が加わったことで安心感が大幅に減少し、圧迫感が上昇した。このことから狭さを感知する認知特性の一つとして触覚は重要な役割を果たしているといえる。実験4では、実験1から実験3を通して圧迫感を最も感じやすい被験者と圧迫感を最も感じにくい被験者を対象に、MRIを想定した現実世界の狭い空間にHMDを装着せずに入った場合と、HMDを装着して現実世界の狭い空間に入り、そこで広い空間のVR体験をする場合について、それぞれの心拍数を計測する実験を行った。最も圧迫感を感じやすい被験者はVR体験をしたときに心拍数が下がり、広い空間を体験することで心的負担が減るといえる。一方で、最も圧迫感を感じにくい被験者には大きな変化は見られないことが明らかになった。

5 おわりに

本稿では、閉所空間調整システムを開発し、VR体感型ゲームを想定した閉所空間の認知特性について、評価実験を行った。閉所空間の狭さが被験者の印象評価へ及ぼす影響を調べるため、空間の天井の高さや部屋の狭さを数値化し、条件を変えながら実験を行った。実験1では部屋の狭さだけに着目し、実験2では天井の高さに着目した実験を行った。実験3では触覚により得られる情報も含めた条件で実験を行った。さらに3つの実験の結果から得られた情報を元に、現実世界の狭い閉所空間であってもVR技術を応用することでリラックスできるのかどうかを調べるため、その指標の一つとして心拍数の変化を計測する実験4を行った。これらの実験から狭さを感じる距離が被験者から壁までの距離が145cm程度として得ることができ、天井の高低差、触覚の有無により印象評価に変化が見られることが明らかになった。また、現実世界の閉所空間であっても、視覚情報として広い空間のVR体験を提示することによって、リラックス効果を演出できる可能性を示唆する実験データが得られた。

これからVR技術を用いたゲームなどのコンテンツが普及する際に、安心感の低下や圧迫感の増加はVRを長時間体感する際に問題となってくることが危惧される。そこで実験4でも行ったように、認知特性を考慮してVR技術を活用し、狭さを感じさせない視覚情報の提示を工夫する必要がある。また、それらはVRを体感した際のパニックの回避、閉所に対する恐怖心の軽減、MRI等の閉所の知覚認知を伴う医療機器の利用快適性への応用にもつながることが期待される。

参考文献

- 1) 林秀彦, 宇和伸明, 安藤広志: 視覚系と前庭系の相互作用による水平回転感覚の基礎特性, 映像情報メディア学会誌, Vol.59, No 6, pp876-883(2005)
- 2) 石原佑樹, 佐野奈緒子, 辻村壮平, 秋田剛: 狭小空間の最適空間寸法に関する研究姿勢と行為の違いによる空間の印象評価実験, 人間・環境学会第21回大会, 発表論文要旨(2014).
- 3) 柳瀬亮太: 建築空間内における認知距離に影響する環境要因の検討, *Cognitive Studies*, 5(3), pp15-24(1998).
- 4) 山田匡志, 柳瀬亮太: 視覚的情報が経路の印象と認知距離に与える影響, 日本建築学会北陸支部研究報告集, 第56号, pp330-333(2013).