JAIST Repository
https://dspace.jaist.ac.jp/

Title	開放感を高めるデジタル窓の開発
Author(s)	會，珍
Citation	
Issue Date	2017-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/14109
Rights	
Description	Supervisor:宮田　一乗，知識科学研究科，修士

JAIST
JAPAN
ADVANCED INSTITUTE OF
SCIENCE AND TECHNOLOGY

Japan Advanced Institute of Science and Technology

修士論文

開放感を高めるデジタル窓の開発

1550023 曾　珍　（ソウ　チン）

主指導教員　宮田 一乗

審査委員主査　宮田 一乗

審査委員　西本 一志

由井薗 隆也

敷田 麻実

北陸先端科学技術大学院大学
知識科学研究科

平成 29 年 2 月

目次

1. 序論 1
1.1 背景 1
1.2 無窓空間の心理影響に関する関連研究 4
1.3 開放感の定義 6
1.4 本研究の目的 6
1.5 本論文の構成 7
2. 関連研究 8
2.1 擬似窓に関する先行研究 8
2.2 既存のデジタル窓の課題と問題点 9
3. デジタル窓の制作 13
3.1 形状の検討と予備調査 13
3.2 機能の検討 17
3.3 実装 20
3.3.1 フレーム 20
3.3.2 ソフトウェア 26
3.3.3 ハードウェア 30
4. 評価実験 34
4.1 実験方法 34
4.1.1 評価アンケートの作成 34
4.1.2 実験の流れ 35
4.2 結果及び考察 40
5. 総括 50
5.1 まとめ 50
5.2 課題と展望 51
謝辞 52
参考文献 53
付録 56

図目次

図 1-1　ミネソタ大学の地下施設 1
図 1-2　福岡市中央区天神地下街 2
図 2-1　ATMOPH WINDOW 9
図 2-2　FRAMED * 2.0（左）、ELECTRIC OBJECTS（右） 10
図 2-3　MODULE WINDOW 11
図 3-1　台形と長方形の比較 13
図 3-2　実験室の俯瞰図 15
図 3-3　実験中の様子 15
図 3-4　全体像とハードウェアの配置 20
図 3-5　全体設計図 21
図 3-6　基盤部 21
図 3-7　右側 22
図 3-8　左側 22
図 3-9　天板部 23
図 3-10　2 枚折り戸 23
図 3-11　制作に用いた 3D プリンタ 24
図 3-12　プリンターでの制作中の様子 25
図 3-13　試作フレーム 25
図 3-14　球体プレイヤーを制作する手順 26
図 3-15　メッシュの属性比較 （本研究（左）　標準設定（右）） 26
図 3-16　フェイストラッキング機能 28
図 3-17　使用したエアフロー 30
図 3-18　エアフローの設計図 30
図 3-19　マイクロスイッチ 31
図 3-20　マイクロスイッチの実装 31
図 3-21　LED テープ 32
図 3-22　赤外線リモコン 32
図 3-23　USB カメラ 33
図 3-24　USB カメラの実装 33
図 4-1　実験室の俯瞰図 36
図 4-2　パターン 1 37
図 4-3　パターン 2 37
図 4-4　実験の様子 38
図 4-5　実験の手順 39

図 4-6　評価プロフィールパターン 1（11 人） 41
図 4-7　評価プロフィールパターン 2（11 人） 42
図 4-8　平均値の比較..... 43
図 4-9　パターン 1（国別） 48
図 4-10　パターン 2（国別） 49

表目次

表 1-1　日本地下街面積のランキング 3
表 2-1　ATMOPH WINDOW と MODULE WINDOW の比較 12
表 3-1　印象評価 16
表 3-2　インタビュー調査結果 18
表 3-3　パーツのサイズとプリントに所要した時間 24
表 3-4　映像プレイヤーのソースコード 27
表 3-5　フェイストラッキング機能のソースコード 29
表 3-6　エアフロ―の属性 31
表 3-7　USB カメラの属性 33
表 4-1　印象測定のため SD 尺度 34
表 4-2　評価実験の被験者属性 35
表 4-3　パターン 1 のデータ 40
表 4-4　パターン 2 のデータ 40
表 4-5　対応サンプルの統計量 44
表 4-6　対応サンプルの相関係数 45
表 4-7　対応サンプルの T 検定 45

1.　　序論

本研究では、利用者に自然な開放感を与えるデジタル窓の開発を行う。本章では、はじめに無窓空間の増加について述べたのち、無窓空間の心理影響に関する関連研究を紹介し、窓と開放感の関係を説明する。その後、本研究の目的について述べ、最後には論文の構成を示す。

1.1　　背景

現在、人口増加や高齢化の進行、科学技術の進展、環境問題の顕在化などにより、人々の住空間に関するニーズも高度化した。一方、大都市中心部における空間の過密化の問題はますます厳しくなっている。この問題への対策として、地下空間の開発や使用が注目されている。

世界的に地下の様々な有効利用が進んでいる。例えば、アメリカのミネアポリスのミネソタ大学には多くの施設が地下にあり、地下図書館や半地下学生寮もある。

図 1-1　ミネソタ大学の地下施設

(出典：http://wenku.baidu.com/link?url=QdzNImKxJDH7pjRX35g3kn-lxr19C0cn-2FTPa58NZUlhRxRWpjegVAOvzRiLDQG_zVCCea56Il83yxOz-5uNkQbIKNmhSaAWQvEc5-qfoq)

また、パリのカタコンベは大規模な地下鉄の導入とともに、巨大なショッピング・センターとして再開発された。シンガポールでも、世界初の地下科学都市として地下開発が進められており、大型デパート 10 店舗分ほどの面積にオフィスや研究所を建設予定である。このような傾向を見ると、地下で働くことや、地下に住むことは時代の要望と考える。

日本でも地下空間を充実的に利用している（図 1-2）。

図 1-2　福岡市中央区天神地下街

(出典：
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/27/Tenjin_Chikagai%28Tenjin_Underground_City%29_-_02.JPG)

都市地下空間活用研究会（略称 USJ）が、日本の地下街面積によってランキングした結果を表 1-1 に示す。一番面積が広い新宿駅の地下街は、新宿サブナード、ルミネエスト、小田急エース（北館・南館）、京王モール、京王モールアネックス、が 5 つの地下街とつながっている。ファッションと飲食の店を中心し、全部の店舗数が 433 件になっている。

地下空間利用のメリットとしては、温度と湿度があまり変わらない。そして、耐震性が高い。日本など地震が多いところでも、地下空間で耐震の有効性が高い。また、今地下空間は地面の開発より、まだまだ開発の余地がたくさんある。今後は、地下空間もますます増えていくと考えられる。

表 1-1　日本地下街面積のランキング

	駅名	地下街名	総面積(平方メートル)
1	東京・新宿駅	小田急エース(北館・南館)、京王モール、京王モール アネックス、新宿サブナード、ルミネエスト	10万4500
2	名古屋・栄駅	森の地下街(栄地下街、栄中南地下街、栄東地下街、栄北地下街の総称)、サカエチカ、セントラルパーク	8万4100
3	名古屋駅	サンロード、新名フード、メイチカ、ダイナード、ミヤコ地下街、名古屋近鉄ビル地下街、ユニモール、エスカ、テルミナ	8万2400
4	大阪・長堀橋駅	クリスタ長堀	8万1800
5	横浜駅	ポルタ、ザ・ダイヤモンド、新相鉄ビルDブロック地下街	8万0600
6	大阪・梅田駅	ホワイティうめだ、ディアモール大阪	7万7000
7	東京駅	八重洲地下街	6万4300
8	川崎駅	アゼリア	5万6900
9	札幌・大通駅	オーロラタウン、ポールタウン	4万7900
10	大阪・なんば駅	なんばウォーク、NAMBAなんなん	4万5000

（出典：都市地下空間活用研究会の粕谷太郎・主任研究員が作成
http://style.nikkei.com/article/DGXNASFK0602G_X00C11A9000000?channel=DF280120166608）

1.2　無窓空間の心理影響に関する関連研究

地下空間を利用する場合に、一つ重要な問題がある。地下では、地上のように窓を設置することは困難であり、無窓の状態になる。窓には、採光や通風換気などの基本機能以外に、天気や時間などの外界の情報を取得するインタフェースの役割を持つ。しかしながら、地下は外界とは遮断された隔離空間であるため、心理的な不快や不安感などの負の側面が指摘されている[1,2,3,4,5,6,7]。外の景色を眺めることができない、自然光が差し込まない、視界が制限されるなど、圧迫感や閉塞感も感じやすい。

窓の設置が困難な空間は地下に限らない。例えば、博物館や美術館、制御監視室、企業や大学などの研究開発室などの特殊な施設では、展示品の保護や情報の安全性の確保、防犯およびプライバシー保護のために、無窓とする場合もよくある。特に技術開発の現場においては、情報流出などの懸念からセキュリティを強化する流れにあり、技術開発の発展に伴ってこのような研究開発施設はどんどん増えていくと考えられる。一方、窓がある場合でも、外には隣のビルしか見えなかったり、作業場がパーティションで区切られ窓から離れた場所にあるなど、窓の存在を感じられない環境も多い。

無窓空間における人への心理的な影響を調査した研究事例は、今まで少なくない。

たとえば、Wyon らは、オフィスで働く人々に対して、有窓空間と無窓空間でのそれぞれの反応をアンケート調査した[1]。その結果、半分以上の人にオフィスにおいて窓が欲しいという要望があった。特に単純な作業を繰り返すような仕事に従事する場合において、このような要望が強くなった。

佐藤[2]は、脳波を測定し、地下の閉鎖空間の人の心理、生理、行動への影響を実験した。その結果、地下にいる人は閉塞感を感じやすくてリラックスしにくく、活動性または意欲が低下することが明らかとなった。Hollon らによる研究[3]では、地下と地上の無窓オフィスという二つの情景で、勤務者の満足度など心理変化をアンケート調査によって比較した。其結果、地下は通風や照明など条件を地上の無窓オフィスとほとんど同じ設定にしても、地下

で働く人々は、眺めや刺激を欠くために勤務環境に対する満足度が低く、強く否定的な評価であったことを確認した。エディット・ナジら[4]の研究においてもこの結果は再確認され、これが文化や気候に影響を受けない普遍的な人類の欲求であるという示唆を得ている。

Lene Lottrup らは、オフィスでの窓の有無と働きがいの関係について調査し、窓があるスペースでは、無窓の環境よりも仕事効率や働く満足度が高まることを明らかにした[5]。

佐藤と乾らは、無窓の執務空間の視環境で心理や行動に与える影響を調査した[6]。視環境とは、「ヒトの視覚と関わる物理的環境のことであり、採光、照明方法、光源の種類、グレア、照度と輝度のレベルと分布,色彩などから総合的に構成されるもの」とされる[7]。この実験では、有窓・無窓の 2 つの環境を用意して、被験者にビーズに紐を通すという単純な作業を行ってもらい、その際の心理状態を評価した。結果、有窓環境における作業成績の向上は顕著であり、特に開放感が高まったことにより作業成績が向上したことを示した。

山田は、窓の有無による開放感の違いが精神的疲労に与える影響を生体反応により調べた[8]。その結果、窓がある状態では無窓状態よりも心理的な開放感が高いと評価されたことから、窓の存在に副交感神経の活動を高める傾向があると述べた。

1.3　開放感の定義

1.2で述べた関連研究では、人々が窓による開放感を強く必要としていることを支持している。乾たちは、開放感とは「ある空間において、人間が視覚を通して受け取る空間の大きさの感じ」方であると定義した[9]。また、開放感の大小が照度や窓の面積、室容積の変化と一定の相関が得られること、それに基づいた開放感の実験式も提案している。一方で、空間において開放感が高ければ高いほど良いというわけではないとも述べている。また、人が空間を知覚する時、それが同じ大きさの空間であったとしても、空間内に配置した物体の大きさや、光の投影状況、壁の凹凸などによって、空間の広さの差異を感じることがあるとされている[10]。

以上より、単純に空間が大きければ大きくほど開放感があるというものではなく、空間を構成している要素を総合的に評価しなければならないと考える。

1.4　本研究の目的

人口増加や都市の過密化などの問題に対して、地下空間の大規模化および複合的な利用の増加が予想される。すなわち、人々が無窓空間に滞在する機会が増加すると考えられる。無窓空間による心理的な悪影響を軽減するために、擬似的な窓を設置し開放感を演出することを考えた。

本研究では、タブレット端末を用いて窓の外景画像を表示し、フェイストラッキングを利用することで表示する画像に奥行き感を付与するデジタル窓を開発する。さらにデジタル窓にカーテンなどの小物を設置することで、利用者に自然な開放感を与えることを研究の目的とする。

1.5　本論文の構成

以降、第 2 章では関連研究を紹介し、既存方法の不足や問題点を指摘する。第 3 章では、第 2 章で指摘した不足に対する対策案を示し、設計図と実装について詳しく説明する。第 4 章では、開発したデジタル窓の評価実験を行い、分析結果を示す。第 5 章では、研究を総括するとともに、残された課題や今後の展望について述べる。

2. 関連研究

地下空間の有効利用が本格的に検討され始め、擬似窓に関する研究事例が増えてきた。擬似窓とは、外の風景を描いた絵を飾ったり、映像をディスプレイに表示したりするなど、視覚的に窓と認知できるような窓を模したものである。本章では、これまでの擬似窓に関する先行研究をまとめ、つづいて既存のデジタル窓を紹介し、その課題と問題点などを示す。

2.1 擬似窓に関する先行研究

地下などの無窓空間での閉塞感や不快感を軽減する目的で、擬似窓を用いた研究事例がある。

Heerwagen は、風景画、ポスターや植物などで無窓の空間で設置し、その空間の主観評価を行った[11]。この研究は、無窓空間の中でリアルな自然なものを飾ることによって、心理的な悪影響を補償する可能性があることを示した。

武藤らは、疲労回復や雰囲気の良さといった窓が持つとされる心理的効果を、無窓空間において代替できるものが提供できないか、その可能性を調査した[12]。実験では、撮影した屋外の景色を地下室のモニタで映す環境と、絵画に間接照明をあてる 2 つの環境を設定した。その結果、人間は風景などの情報により外とのつながりを感じる一方で、空間の広がりを認識できてはじめて開放感が得られるということが明らかとなった。また、外界の視覚的な情報を知覚することと風や光の変化などのリアリティを感じることを、別の概念として認識していることも明らかとなった。すなわち、開放感を高めるためには、景色だけではなく、リアリティを高めるなどして空間の広がりを感じさせることが重要であるといえる。

大塚らは、大型液晶ディスプレイを擬似窓とした場合に、人に与える効果を調査した[13]。結果、白色画像を表示した場合と比較して、HD 映像による風景を表示した場合に擬似窓の違和感や不自然さが下がり、開放感や居心地がよくなるといったポジティブな傾向が得られることを示した。これは、HD 映像を表示した液晶ディスプレイの左右に、白色画像を表示した明かり窓を模したディスプレイを配置すると、その傾向が強まることも明らかとな

った。また、ディスプレイを奥に配置して出窓型にして窓の周囲を光らせた環境においても、明かり窓ほどではないが傾向は強まり、出窓という形状と窓周囲の明かりのいずれかが、良い効果を及ぼしていることが示唆されている。

阿部による擬似窓の有効性に関する研究[14]では、無窓環境に擬似窓を導入し、リフレッシュなどの目的に応じた映像を使った場合、本物の窓と同等、もしくは本物の窓以上の効果を得られることを明らかにした。

以上の研究事例から、擬似窓が本物の窓と代替可能であることが確認できる。

2.2　既存のデジタル窓の課題と問題点

現在市販されている代表的なデジタル窓として、「Atmoph Window」（図 2-1）がある。

図 2-1　Atmoph Window

（出典：http://atmoph.com/ja/）

これと類似する商品としては、日本では Framed * 2.0（図 2-2　左）、海外では Electric Objects（図 2-2　右）がある。しかし、これらの類似商品はいずれも空間装飾用のデジタルディスプレイというイメージが強い。

図 2-2　Framed * 2.0（左）、Electric Objects（右）

（出典:https://frm.fm/(左)；https://www.electricobjects.com/Objects（右））

Atmoph Window では、表示した風景を実物であると認知してもらうために、4K の高精細なディスプレイを採用している。これにより、室内の空間が広がった印象を与えることを目指している。あらかじめ撮影した様々な風景の 4K 動画を再生可能であり、今後はライブストリームも行う予定である。Atmoph Window には近接センサが搭載してあり、手をかざすことで、天気や時刻、カレンダなどを表示する。さらに、目覚まし時計や、夜であれば夜景というように時刻に合わせて適切な景色を選択・表示するスマートスケジュールという機能も有する。

一方、コンセプトモデルの段階ではあるが YYK 社の「Module Window」（図 2-3）がある。

図 2-3　Module Window

（出典：http://module-window.jp/）

多種類のセンサを自由に組み合わせることで、様々な機能を実現する。例えば、風力検知センサを用いて、ディスプレイ機能を持つ窓ガラス上に、風になびく仮想的なカーテンを表示する機能などが提供可能である．しかしながら、Module Window は実際の窓の表面に設置するものであり、壁などに自由に設置できる擬似窓ではない。一方で、10 年後の未来の窓という発想に基づいて、上述の機能のように様々な窓の可能性を示しているため、将来のデジタル窓の発展方向を示唆するものであるといえる。そのため、デジタル窓の開発において参考にできる点は多い。

Atmoph Window と Module Window の比較を表 2-1 示す。

表 2-1　Atmoph Window と Module Window の比較

名前	Atmoph Window	Module Window
現状	商品	コンセプトモデル
配置条件	どこでも	窓の表面に付ける
映写映像	4K 映像：ライブストリーミング 自分で撮影した動画	ピクチャー（動画＋静止画） テレビ
操作方法	タッチ、スマホと連動	タッチ、非接触操作
装置	近接/明るさセンサ Bluetooth 通信	外気、温度、音声、 風速度、照度センサ 冷却ファン インターネット通信 Bluetooth 通信
機能	映像と音を流れ 天気、時間、スケジュールを表示（数字と文字） 目覚まし時計（鳥の声）	映像と音を流れ 外気情報表示（天気、温度、紫外線など）数字と文字 換気、照明、調光（自動＆遠隔で調整）
不足	刺激が映像による視聴覚のみであり、リアルさを高める風による触覚などの情報が得られない 4K 映像を用いているが、視点変更に伴う風景の変化がない	窓に付属品の部品 擬似窓にならない

Atmoph Window は空間の広がりを認知させることを目的としている。しかしながら、ディスプレイへの情報提示および、タッチ入力に依存する機能が多い。例えば、時計やカレンダなどは実際の窓には表示されておらず、また、これらを操作するためにはディスプレイへのタッチ操作が必要となる。そのため、これらの情報提示や操作方法が窓として自然に認識することへの妨げとなっていると考えられる。また、4K 映像でリアルな風景を表示できるが、固定された視点での映像表示であるために、奥行き感をあまり感じない。以上の考察より、擬似窓として開放感を与えるためには、改良の余地が残されていると考える。

3.　デジタル窓の制作

本章では、本研究で開発したデジタル窓の設計から実装までの過程を詳述する。

3.1　形状の検討と予備調査

本研究では、タブレット端末としてマイクロソフト社の Surface Pro 3(以下はサーフェイスと略す)を用い、それを自作フレームに差し込むことでデジタル窓を制作する。

フレームのデザインは、出窓形状にすることとした。押田は、模型実験による窓の形状変化に関する心理的研究で、普通窓より出窓の方が開放感は高まることを解明した[15]。通常の出窓は一部を屋外へ突出させて施工するが、本研究でのデジタル窓は机上もしくは壁に設置するため、フレームは手前へ突出する形状とする。

実際の出窓には、底部が長方形と二等辺台形の二つのタイプがある。どちらがより良い開放感を与えるかを確認するため、図 3-1 に示すようにダンボールで出窓フレームを試作し、4 人の被験者を対象に評価実験を行った。

図 3-1　台形と長方形の比較

インタビュー調査の結果、すべての被験者において長方形のフレームにのみ開放感を得られるという評価が得られた。この理由として、二等辺台形は開口部の面積が大きいが、フ

レームは長方形のものよりも大きくなり、作業スペースの占有面積も大きくなる。また、出窓を正面から見る時、長方形の場合にはフレームが壁面に対して垂直であることから、フレームの厚みを視覚的に認識しやすい。いっぽう、台形の場合にはフレームの左右に角度がつくため厚みが直感的に把握しづらく、また、フレームの内側の面が視界に占める割合が大きくなることから圧迫感が発生してしまい、奥行き感が失われてしまうこといったことがあげられる。

以上より、本研究においては底部が長方形のフレームを採用する。日野らによる窓形状と室内開放感に影響に関する研究[16]で、縦長窓より横長窓では開放感が高いという結論を得た。また、Rahmawati らによる窓と視点の位置関係が室内開放感に及ぼす影響の研究[17]でも、横長窓から開放感を得ることを確認した。以上の理由から、デジタル窓の形状は横長とする。

つづいて、デジタル窓のフレームの厚みの許容範囲に対する評価実験を行った。実際の出窓は底部の前面が壁面とほぼ同じ奥行位置にあり、窓は壁面よりも奥に配置されている。しかし、提案するデジタル窓は先述のように壁もしくは机上に設置することを想定しているため、フレームが壁面より前にあるという、実際の出窓とは異なった位置関係となる。そのため、想定している形状が窓として認識されない可能性がある。そこで、予備調査によりフレームが壁面よりも手前にあっても、フレーム中に風景があることで窓として認識できるかを確認する。また、認識できた場合にはフレームの厚みにより開放感にどのような変化が生じるかを確認する。

実装に用いるタブレット端末（サーフェス Pro3）のサイズは高さ 203mm×幅 292mm×厚さ 9.8mm である。フレームの開口部は端末と同じサイズとし、厚さを 20mm から 160mm まで 10mm 刻みの、計 15 個のフレームを試作した。

このフレームに対し、6 人の被験者で JAIST の学生ブースにて印象評価を行う。実験室の俯瞰図と実験中の様子を図 3-2、図 3-3 に示す。

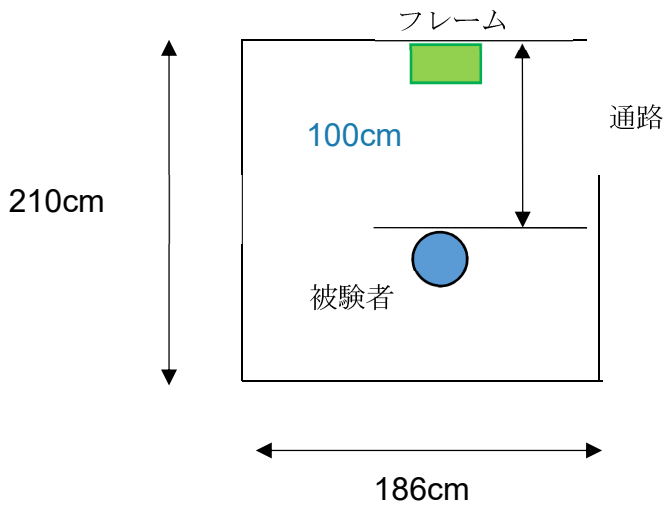

図 3-2　実験室の俯瞰図

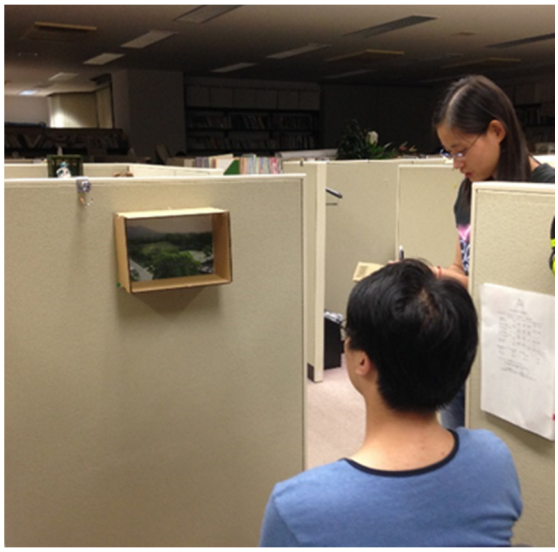

図 3-3　実験中の様子

実験の手順は、一枚の風景写真を背景として貼り付けたフレームを壁に設置し、被験者を壁から 100cm の距離にある椅子に座らせる。厚みの大きいフレームから順に印象評価を行い、その変化を記録する。景色を見ることを目的に配置されている窓は、一般に人の目線と同じ高さに配置されているため、本研究においても、図で示すように座って背筋を伸ばした際の目線の位置にフレームを配置する。

評価項目は、閉塞感と開放感を感じる範囲、窓らしさ（窓として認識しやすさ）、理想サイズと（窓として相応しい厚み）である。

表 3-1　印象評価

被験者	閉塞感の許容範囲	開放感	窓らしさ	理想サイズ	違和感があるサイズ
1	12cm 以下	12cm～5cm	12cm～6cm	10cm	11cm 以後
2	13cm 以下	13cm～5cm	13cm～7cm	10cm	10cm 以後
3	16cm 以下	16cm～6cm	16cm～10cm	16cm	特にない
4	11cm 以下	14cm～4cm	11cm～4cm	5cm まだは 6cm	5cm 以後
5	16cm 以下	16cm～7cm	16cm～8cm	16cm	特にない
6	14cm 以下	14cm～7cm	12cm～8cm	11cm	7cm 以降

表 3-1 に示す印象評価から、フレームの設置面の手前方向に厚みが出ていても、窓として認識が可能であるという結果を得た。全被験者の印象を整理すると、11cm 以下であれば厚さを許容でき、12cm～7cm の範囲において開放感を感じる、また、11cm～10cm がもっとも窓として認識できるという結果であった。予想外であったのは、厚さが 4cm 以下の場合、窓として認識されない場合が多いということである。先行研究では、無窓空間の心理的な悪影響を減らすため、絵画や写真フレームを飾り、それを窓として認識させることを目的としていたが、期待した効果を得ていなかった。その原因としては、絵画などの厚みが薄いものでは空間に対する印象変化が少なく、壁と同一面に配置されているものとして認識されたためであると考えられる。一方で、予備実験においては、フレームの厚みがあることでフレーム内外の空間が分離されている印象を与え、窓らしさが発生したと考えられる。上述の結果に対する考察から、実装するフレームの厚さは 11cm とする。

また、窓らしさの演出のため、窓枠についても検討する。窓枠は内部空間と外部空間の接合をコントロールする役割を果たす。亀之らは、アンケートによって、寒冷地と温暖地における居住者の窓の開閉役割に関する意識調査を行った[18]。「窓について重要であると考え

ること」の項目において、その結果、寒冷地において重要視されていることは開放感と気分転換であり、温暖地では換気であった。窓を閉じて生活することに抵抗感があるという人がいずれにおいても 4 割超という結果であった。この結果から、人間は窓を開けることで、風通しや換気効果を期待しており、同時に開放感も求めていることから、風と開放感に関係性があると考えられる。

また、松原らは、京都市内の大学学生を調査対象に、窓に対して求めることについてアンケート調査した[19]。その結果、通風と自然光はおおよそ同じ重要度ということを明らかにした。前章の武藤らの研究[12]でも、外界から吹き込む風、また、その風の変動によってリアリティが高まり、外界と繋がっている感覚を得られるとされている。

そのため、本研究ではそれに応じて、戸を開けるとファンを起動させて送風する機能を実装する。送風を開始するタイミングで戸を開けるという行為と紐づけて、触感的なフィードバックによってリアリティを高めることで、窓を開ける実感を高める。なお、評価実験においては、戸の開閉を対象に含めると、開閉タイミングなど個々の被験者で実験の条件が変化して印象評価に影響が生じる可能性を考慮し、戸は開放状態として設定する。

なお、設置するフレームの前面とディスプレイまでの奥行きは上述の通り 11cm にするが、風景を表示する Surface のディスプレイの表示面の横幅は 22cm 以上ある。そのため、一般的な両開きの開き戸にした場合、戸を開いた際に戸がフレームから手前にはみ出してしまうので、本研究においては 4 枚折戸を採用する。

3.2 機能の検討

人が置かれた立場によって、窓に求める機能や役割は異なると考える。住人にとって、窓は換気や通風、眺める空間として位置づける。建築家は、外気や日光・月光を室内に取り入れられる窓を、温度調整や照明の利用を抑える省エネのための開口部と考える。インテリアデザイナは、窓を明かり取りもしくは、室内の雰囲気作りのための飾りと考える場合もある。

無窓の環境下にある人に対して、窓を用いてどのように良い開放感を提供できるかを明らかにするため、無窓空間で擬似窓として求める機能、開放感を得られる瞬間などについて、10 人の被験者によるインタビュー調査を行った。調査結果を表 3-2 に載せる。なお、表中の()内は、指摘した被験者数を表す。

表 3-2　インタビュー調査結果

分類	事例
視覚的	時間を感じる(4)　光の変動(7)　眺め(8)　人の服装で気温を認識(2) 天気の変化を知る(3) 場所の認識(2) カーテンが揺れる(4)
聴覚的	外の声が聞こえる(4)
触覚的	扉を開ける(6)
嗅覚的	匂いが入る(2)
心理的	気分転換(5)　落ち着くことができる(1)
物理的	風を通り(7) 避難の出入口(1) 散熱(3)
その他	人と挨拶ができる(1) 目覚ましとして(1)

その中で、需要が高い機能整理し、最も開放感と繋がっている機能をまとめた。それは、眺望、外からの刺激としての太陽光の差し込み、通風（窓を開けた瞬間に風を送り、カーテンを揺らす）である。

本研究では、これらの 3 つの機能に焦点をあてて実装する。

（1）眺望

タブレット端末を使用し、風景を全景映像として表示する。実際の窓同様に、視点によって風景が変化するという自然な視覚情報を与えるため、フェイストラッキング機能を用いる。すなわち、カメラでユーザの顔を認識し、顔の移動に合わせて映像における視点を移動させる。これにより、奥行き感を演出し、見える景色の範囲を広げる効果を期待する。

（2）太陽光の差し込み

昭和 50 年から、窓の日照と開放感には深い関係があると報告されている[9,10,19,20]。本研究では、フレーム内側奥の上部に設置する LED テープの明るさと発光パターンをコントロールすることで、太陽の光を模す。

（3）通風

小型ファンをフレームの内側左右に設置する。窓枠の開閉に応じて、ファンの On/Off を切り替える。また、松原らによる自然に繋がる視覚要因と居間での快適感に関する研究で、カーテンの動きが快適感に有意に影響することが示されている[20]。この知見から、実物のカーテンに用いられている素材を窓枠前面の左右につける。小型ファンとカーテンによって、窓の開放に伴う通風の視覚および触覚刺激を利用者に与える。

3.3　実装

以上で述べた事柄にしたがい、その実現方法を提案する。

3.3.1　フレーム

出窓フレームは、3D モデリングソフトでデザインし、3D プリンタで造形する。設計図は Google 社の SketchUp（2017 バージョン）で制作した。全体像を図 3-4 に、全体設計図を図 3-5 に、各パーツの設計図を図 3-6～図 3-10 に示す。また、制作には図 3-11 で示す MakerBot ReplicatorZ18 と MakerBot Replicator2X の 2 台の 3D プリンタを用い、その際の各パーツの制作時間は表 3-3 の通りである。図 3-12 に制作中の様子を、図 3-13 に試作したデジタル窓を示す。

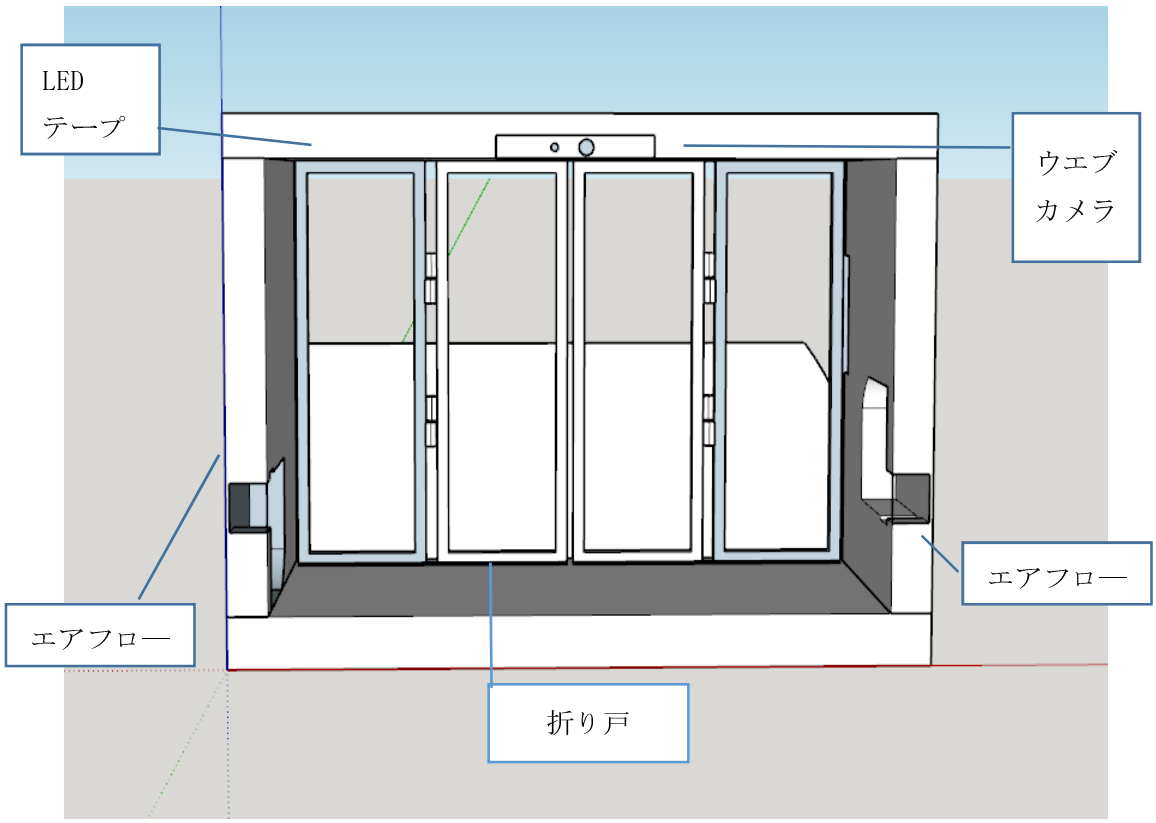

図 3-4　全体像とハードウェアの配置

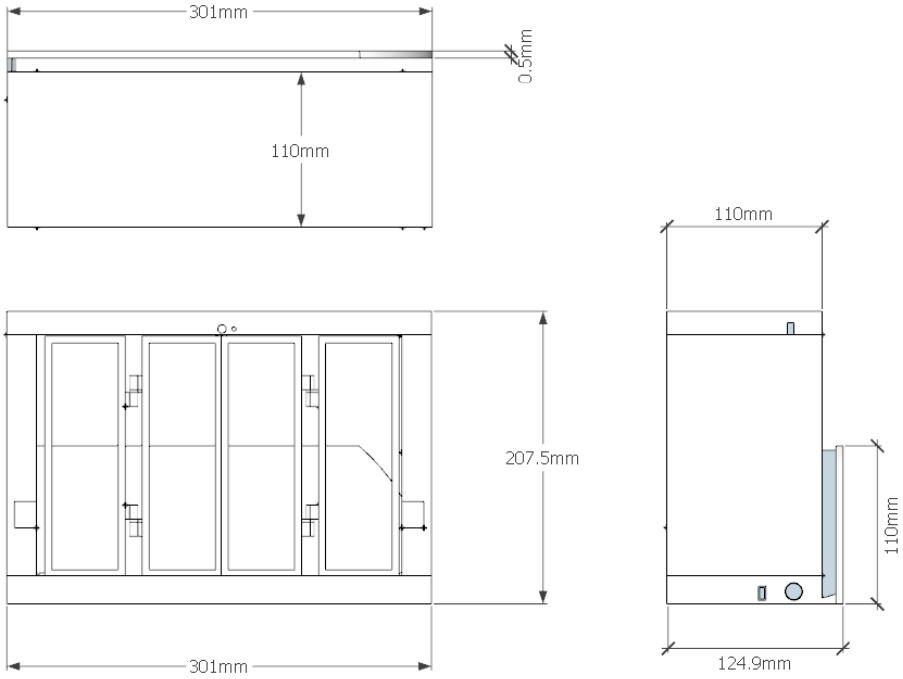

図 3-5　全体設計図

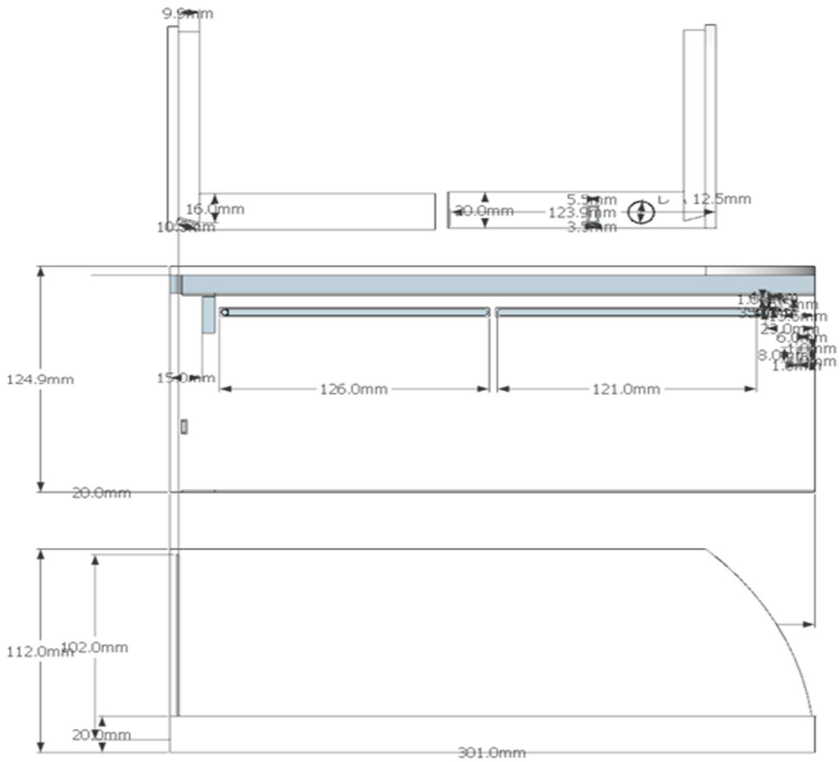

図 3-6　基盤部

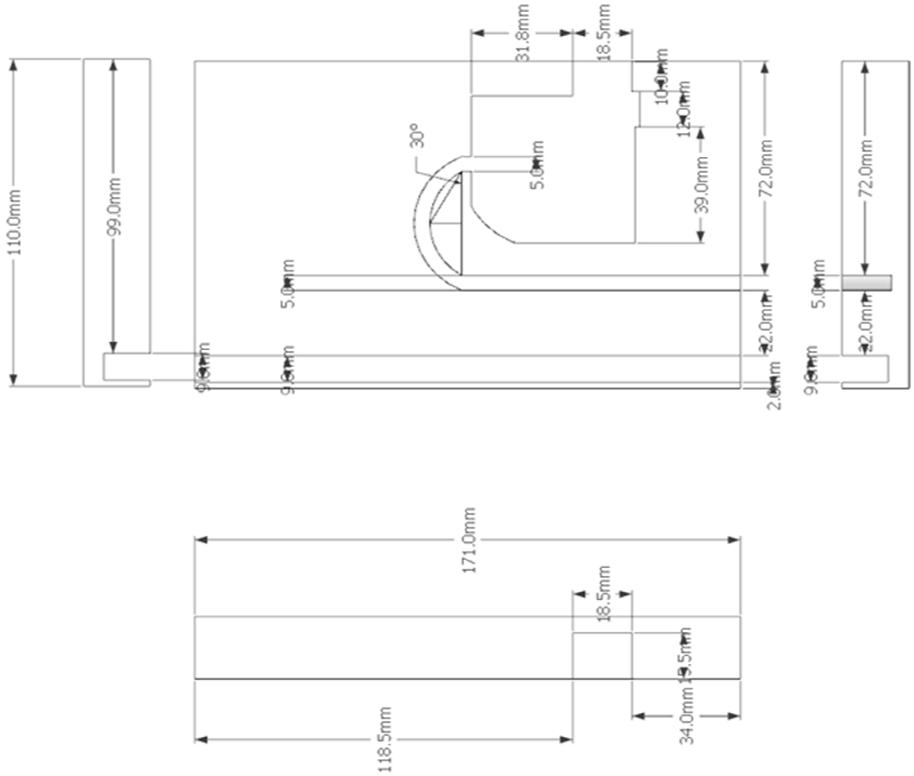
110.0mm
99.0mm
31.8mm
18.5mm
30°
5.0mm
72.0mm
39.0mm
171.0mm
118.5mm
34.0mm

図 3-7　右側

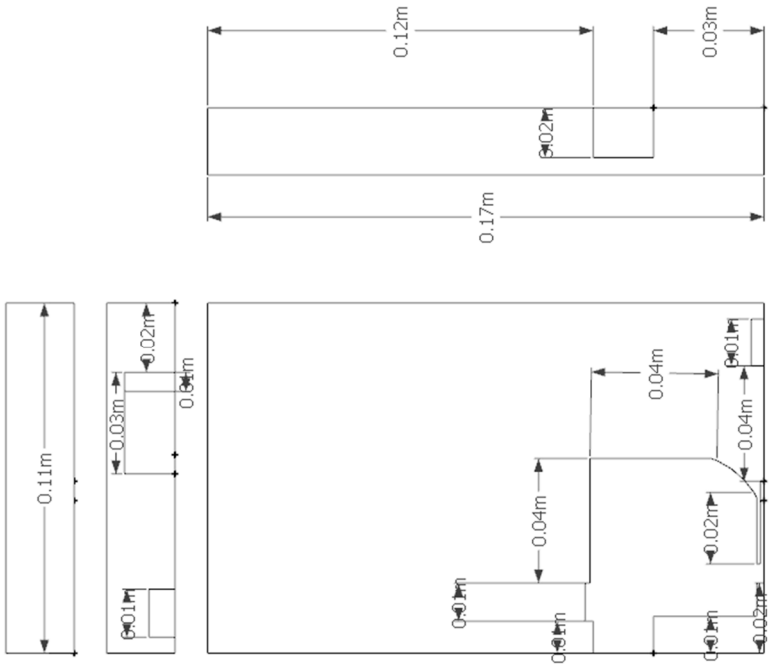
0.12m
0.03m
0.17m
0.11m
0.02m
0.04m
0.01m

図 3-8　左側

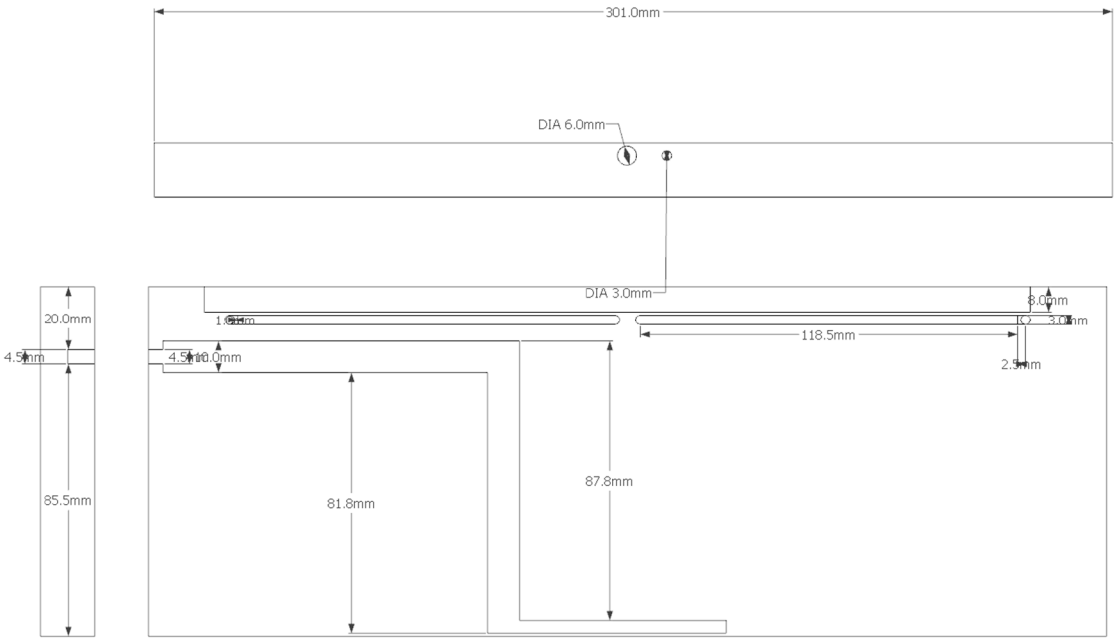

図 3-9　天板部

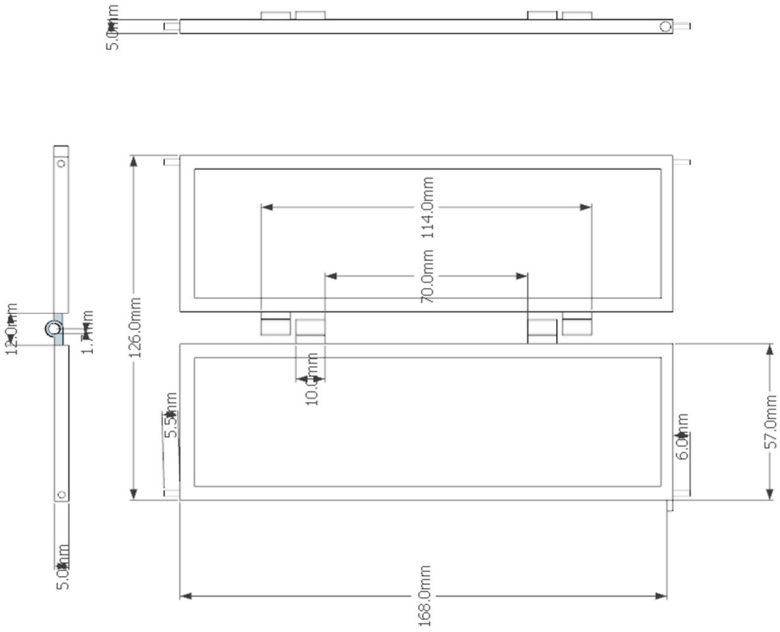

図 3-10　２枚折り戸

表 3-3　パーツのサイズとプリントに所要した時間

	名前	サイズ(cm)	所要時間（h）
(1)	基盤部	30.1*12.5*10.5	27
(2)	左側	11.0*2.1*17.1	8.8
(3)	右側	11.0*2.1*17.1	10.5
(4)	天板部	30.1*11*1.7	12.5
(5)	戸×4	5.7*0.5*16.8	3.5×4

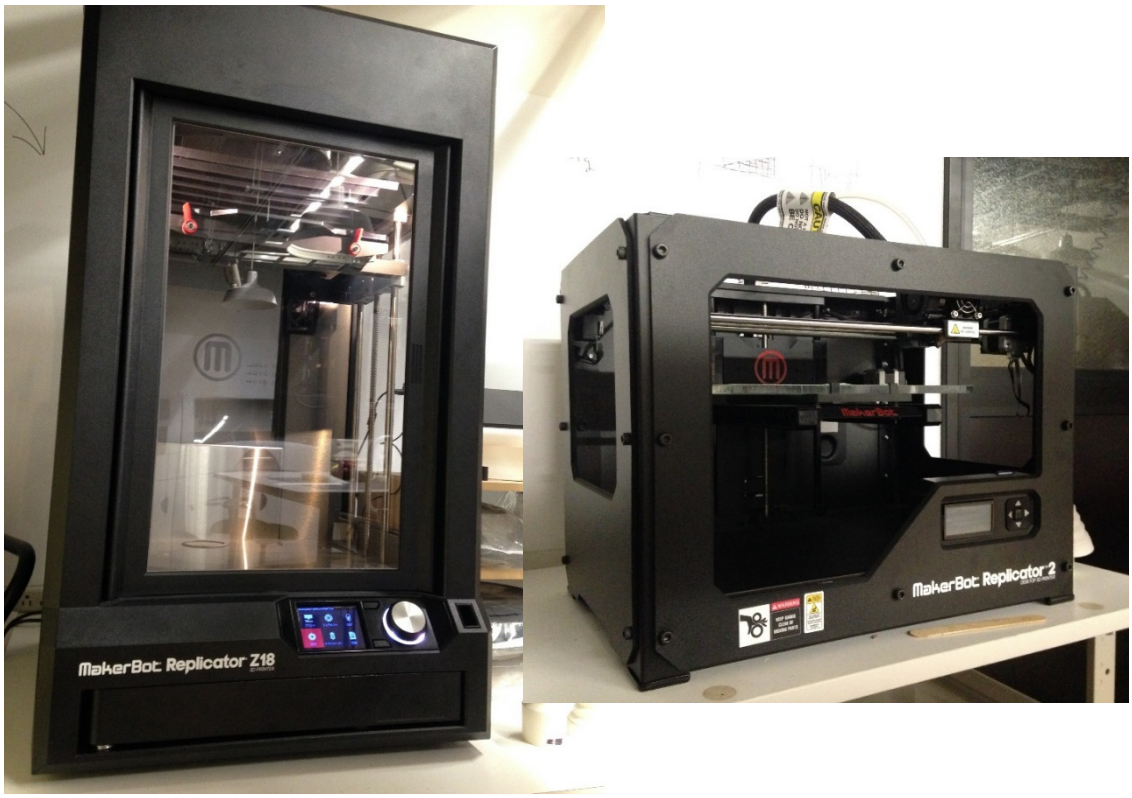

図 3-11　制作に用いた 3D プリンタ

左：MakerBot ReplicatorZ18，右：MakerBot Replicator2X

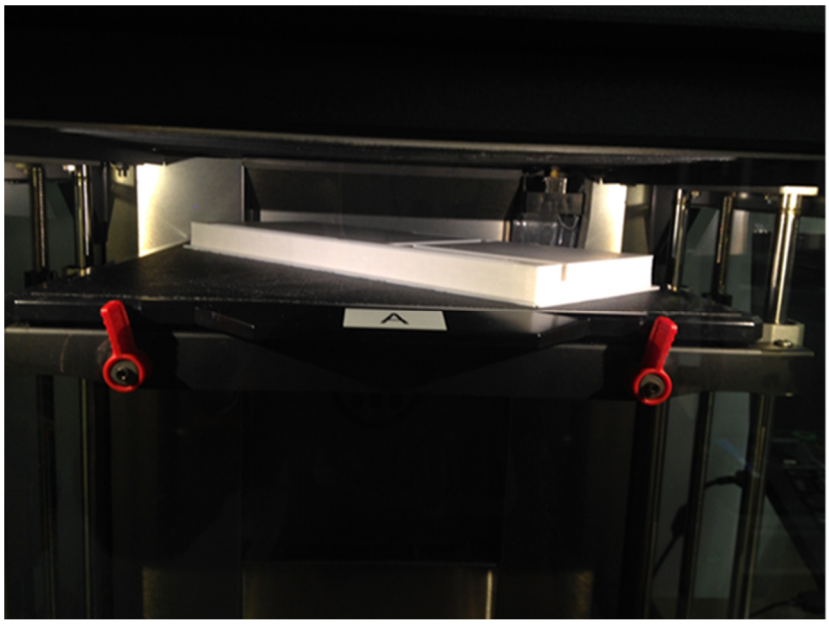

図 3-12　プリンターでの制作中の様子

図 3-13　試作フレーム

3.3.2　ソフトウェア

フェイストラッキング機能の実装には、Unity と OpenCV を利用した。

Unity とは、Unity Technologies 社が提供するゲームエンジンである。また、OpenCV とは、画像処理・画像解析および機械学習等の機能を持つ C/C++、Java、Python、MATLAB 用ライブラリである。本研究では、lbpcascades ディレクトリに格納された Local Binary Patterns 特徴量により学習した識別器データを利用し、カメラで取得した顔を認識する。

ソフトウェアは、主に２つのモジュールで構成する。

１つ目は、全景映像をテクスチャとして球体にマッピングする映像プレイヤーの作成である。図 3-14 に示すように、Unity を用いて、全景映像を表示する球体映像プレイヤーを制作する。表示したい映像をテクスチャとして生成し、球体に付ける。

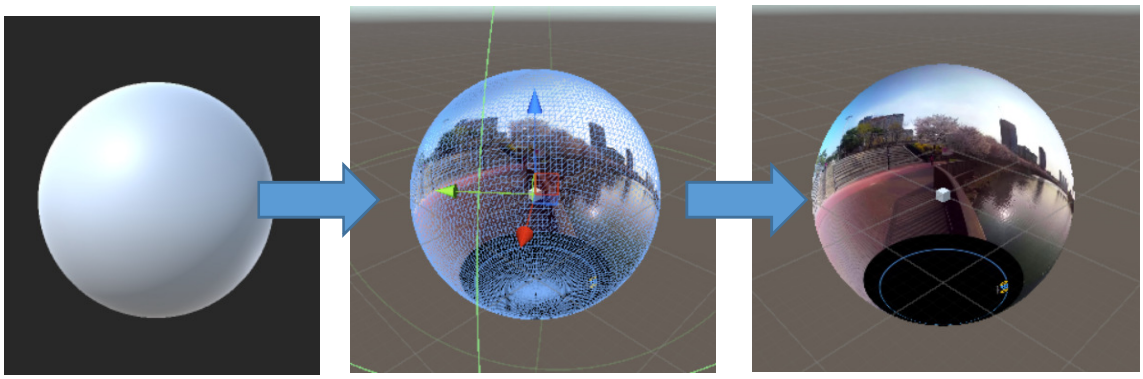

図 3-14　球体プレイヤーを制作する手順

ここで、表示する全景映像の解像度を劣化させないため、球体のメッシュサイズは、Unity の標準設定より 10 倍細かくした（図 3-15）。

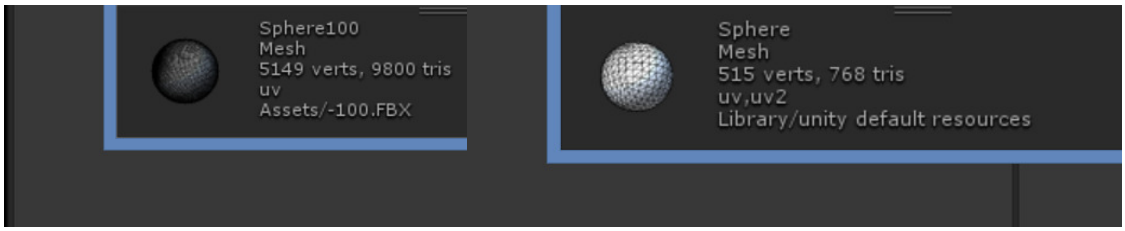

図 3-15　メッシュの属性比較　（左：本研究，右：標準設定）

映像プレイヤーのソースコードを表 3-4 に示す。

表 3-4　映像プレイヤーのソースコード

```
using UnityEngine;
using System.Collections;

public class Movieplayer : MonoBehaviour {

publicmaterial sphere;
publicmovieTexture movie;

void Start()
{
movie = (MovieTexture)sphere.mainTexture; //映像をテクスチャに生成
movie.loop = true; //映像ずっと繰り返し流れ
}
void OnGUI()
{
if (sphere.mainTexture as MovieTexture) //映像は球体に付けたかどかの判断
{
movie.Play(); //映写開始
}
```

2 つ目は、OpenCV を用いたフェイストラッキング機能である。

図 3-16 に示すように、球体映像プレイヤー内部の球体の中心位置にメインカメラを配置する。ウェブカメラから取得した画像に対して OpenCV により顔認識を行い、画像中の顔の中心座標を取得する。ウェブカメラ画像の X 軸中心座標を球体映像プレイヤーの中心座標となるようにオフセットを設定し、認識された顔の座標とウェブカメラ画像の中心の座標の差を移動量として、メインカメラの座標に反映させる。これにより、利用者の顔の移動でメインカメラを制御でき、顔の移動にしたがって、メインカメラから見える映像も移動する。

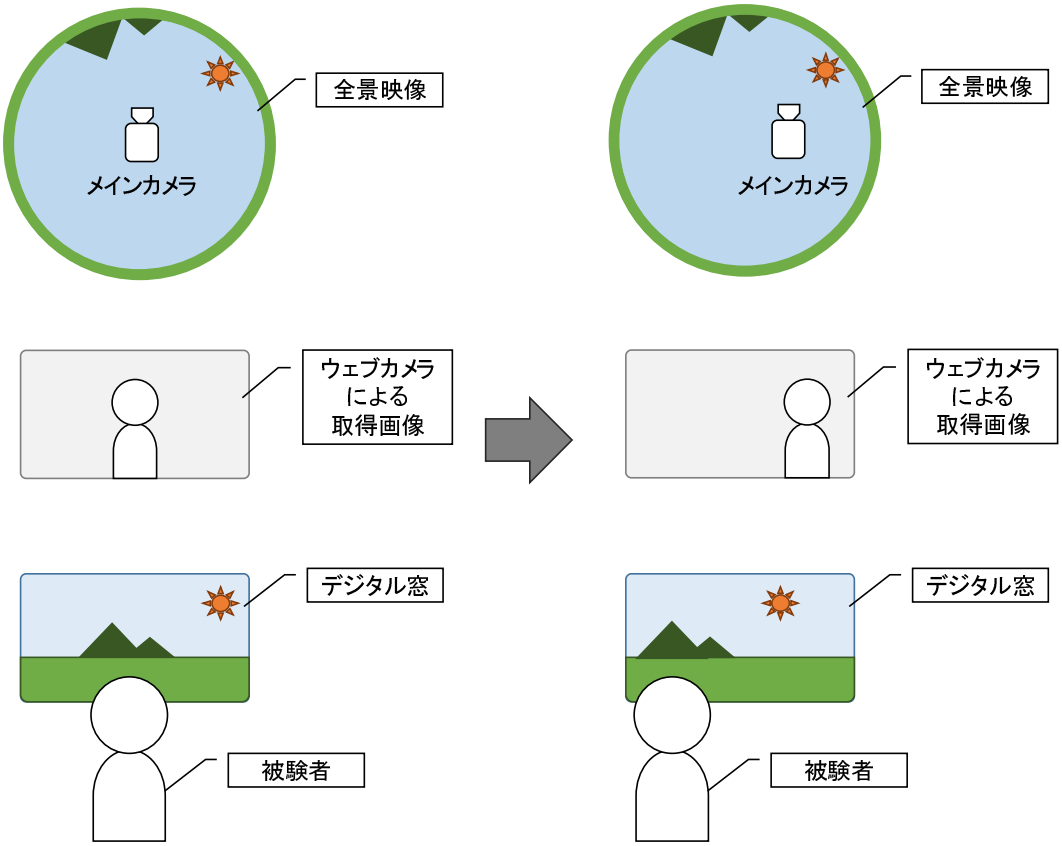

図 3-16　フェイストラッキング機能

ソースコードを表 3-5 に示す。

表 3-5　フェイストラッキング機能のソースコード

```
public class DetectFace : MonoBehaviour
 {
      private CascadeClassifier face_cascade;
      private CvScalar scalar;
      private Size frameSize;
      private Texture2D tex;
      private VideoCapture cap;     // Use this for initialization
      void Start()
      {
           scalar = new CvScalar(255, 255, 255);
           face_cascade = new CascadeClassifier("Assets¥¥Plugins¥¥lbpcascade_frontalface.xml");//顔検出器の作成
          cap = VideoCapture.FromCamera(0); //カメラから顔の映像取る
           frameSize = new Size(cap.FrameHeight, cap.FrameWidth); //映像サイズ設定
         tex = new Texture2D(cap.FrameHeight, cap.FrameWidth); //テクスチャ作成
           GetComponent<Renderer>().material.mainTexture = tex; //主なテクスチャ作成にさせる
           GetComponent<Renderer>().material.SetTextureScale("_MainTex", new Vector2(1.0f, -1.0f)); //新座標を設定
           }   // Update is called once per frame
      void Update()
    {
         Mat frame = new Mat(frameSize, MatType.CV_8UC3); //openCV のデータ BGR から RBG に変わる
         cap.Retrieve(frame, 0);
         cap.Read(frame); // get a new frame from camera
         OpenCvSharp.CPlusPlus.Rect[] face = face_cascade.DetectMultiScale(
              frame, 1.1, 2, HaarDetectionType.ScaleImage, new Size(10, 10)); //顔の中心座標とサイズを設定
         foreach (OpenCvSharp.CPlusPlus.Rect rec in face)
         {
              Cv2.Rectangle(frame, rec, scalar);
              GameObject.Find ("Cube").transform.position = new Vector3 (face[0].X, 0, face[0].Y);
              //正方形に座標を譲る
              transform.position =new Vector3(-(3.5f-(float)(face[0].X+face[0].Width/2)/100),0,0);
         }
         tex.LoadImage(frame.ToBytes(".png"));
    }
```

3.3.3　ハードウェア

送風機能：

図 3-17 に示す小型な静音ファンモータを２基用いて送風する。その機種のエアフローの設計図は 3－18、属性は表 3-6 に示す。

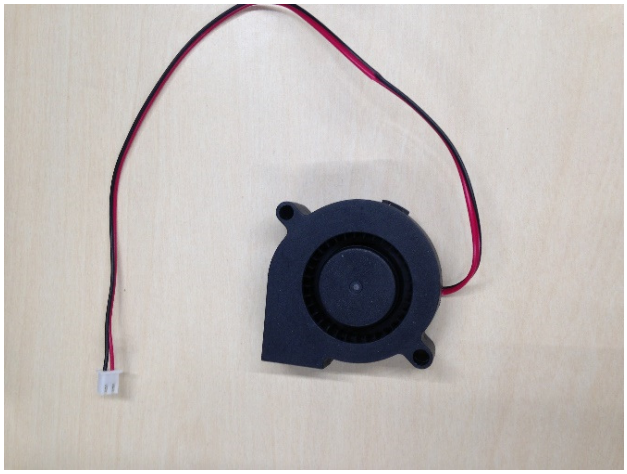

図 3-17　使用したエアフロー

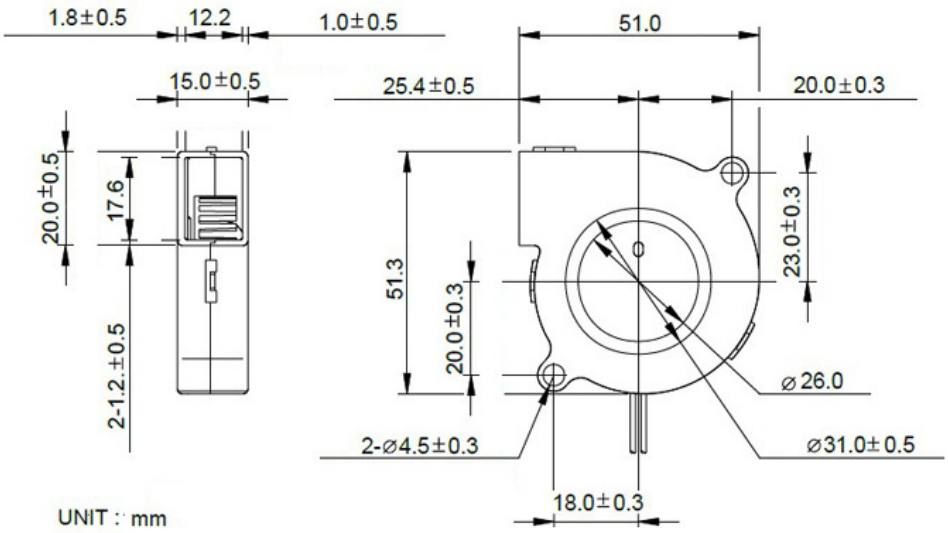

図 3-18　エアフローの設計図

（出典：鹏达蓝图科技销售部

https://item.taobao.com/item.htm?spm=a1z10.1-c.w4004-6711697856.12.wN2P33&id=38456593462）

表 3-6　エアフロ―の属性

型番	DC 静音ファンモータ
定格電圧	DC 5V
定格電流	0.06A
工率	0.3W
回転数	2200∓10%RPM
騒音	18DBA

ここで、図 3-19 に示すマイクロスイッチ（オムロン/SS-5GL2-F）は、窓枠の開閉とファンが連動するように左側の折り畳み扉の下に設置する。実装図は図 3-20 を示す。

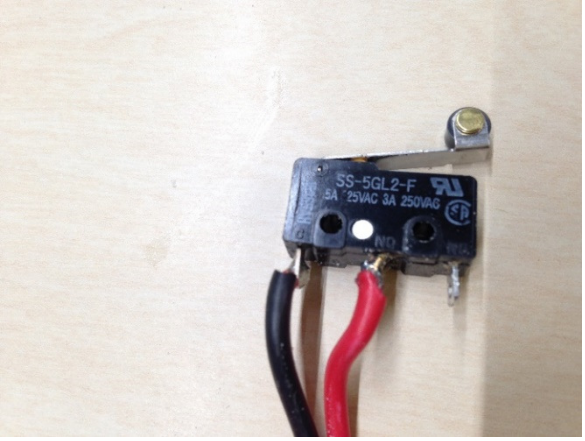

図 3-19　マイクロスイッチ

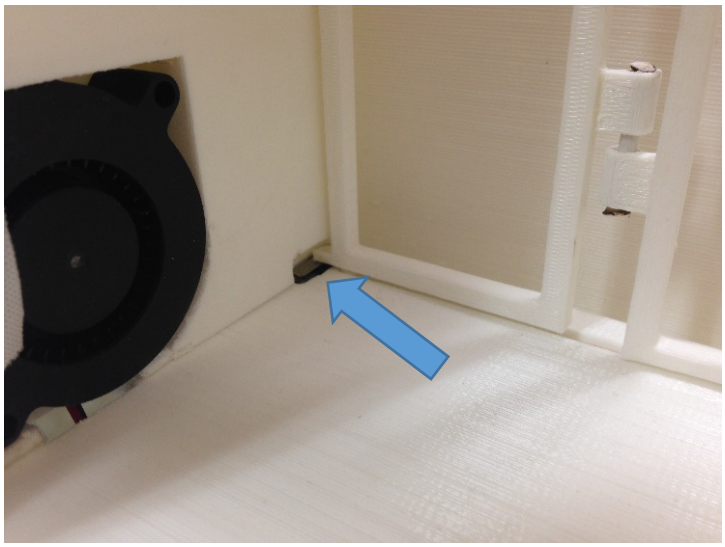

図 3-20　マイクロスイッチの実装

太陽光の演出機能：

木下らは、「窓からの漏れ光のように、光っている面が大きいほど、開放感評価値は高まる」ことを明らかにした[21]。本研究では LED テープ（PARADISE 社製 3528，5V，電球色）を、窓枠の上近くに設置する。LED の光が、戸を通してフレームの基盤部の上部分を照らす、または影を投影することで太陽光の差し込み効果を演出するために、角度を付けて実装した(図 3-21)。LED の明るさおよび On/Off のコントロールは、図 3-22 に示す赤外線リモコンで行う。

図 3-21　LED テープ

図 3-22　赤外線リモコン

カメラの実装：

タブレット端末は画面上部にカメラを搭載しているが、フレームに設置した際にカメラを塞いでしまう。そのため、別の USB カメラ（属性は表 3-7、実物は図 3-23 を示す）をフレーム正面の上に付ける（図 3-24）。

表 3-7　USB カメラの属性

型番	KP-CAM32
カメラ種類	ピンホールカメラ/カラー　CMOS 32 万画素
出力解像度	VGA（640*480）
フレームレート	30fps（VGA 時）
感度	5Lux（5fps 時）
水平画度	52.4 度
F 値（レンズの明るさ）	2.8

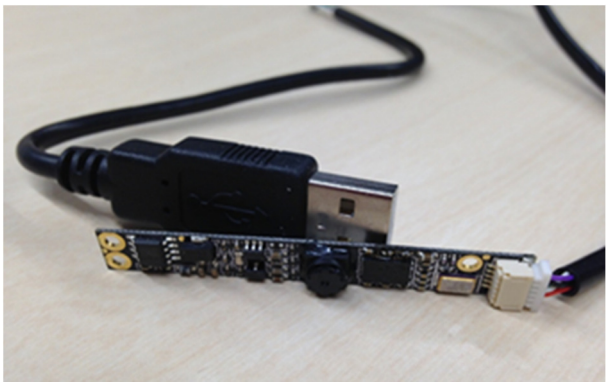

図 3-23　USB カメラ

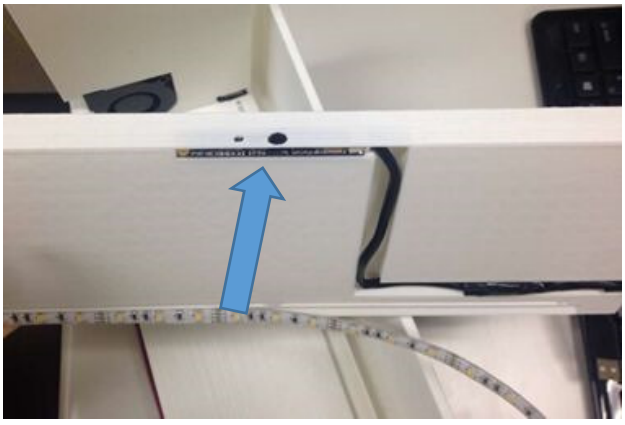

図 3-24　USB カメラの実装

4.　評価実験

本章では、提案したデジタル窓の効果を、SD 法を用いた被験者実験で定量的に評価する。また、既存のデジタル窓と比較することで、擬似窓の開放感をさらに高める方法を検討する。

4.1　実験方法

4.1.1　評価アンケートの作成

評価には SD（Semantic Differential）法を用いるため、その形容詞対の尺度構成を、長町らの「情緒工学の研究」[22]と北川らの「建築物の言語描写における面の多義性」[23]を参考に設定した。設定した形容詞対（14 対）を表 4-1 に示す。

表 4-1　印象測定のため SD 尺度

1	開放的な	閉鎖的な
2	視覚的に広い	視覚的に狭い
3	圧迫感がない	圧迫感がない
4	奥行感がある	奥行感がない
5	居心地が良い	居心地が悪い
6	明るい	暗い
7	疲れを癒す	ストレスがたまる
8	違和感がない	違和感がある
9	潤いを感じる	殺風景を感じる
10	落ち着ける	落ち着けない
11	軽快な感じ	重苦しい感じ
12	作業しやすい	作業しやにくい
13	外と繋がっている	外と断絶している
14	デジタル窓を見て楽しめる	デジタル窓を見て楽しめない

本実験における評価尺度は、「非常に、かなり、やや、どちらでもない、やや、かなり、非常に」の 7 段階とし、得点形式で評価する。用いたアンケート用紙は、付録に載せる。

4.1.2　実験の流れ

被験者は閉所恐怖症を持たない 20 代の大学院生 11 名である。各被験者の属性を表 4-2 に表す。

表 4-2　評価実験の被験者属性

被験者	性別	年齢	国籍
A	女	21	中国
B	男	23	日本
C	男	23	日本
D	男	27	中国
E	男	26	中国
F	男	26	中国
H	女	24	中国
I	男	24	日本
J	女	26	日本
K	男	24	日本
L	女	27	中国

実験は全面とも窓がない防音室で行った。実験室の俯瞰図を図 4-1 に示す。

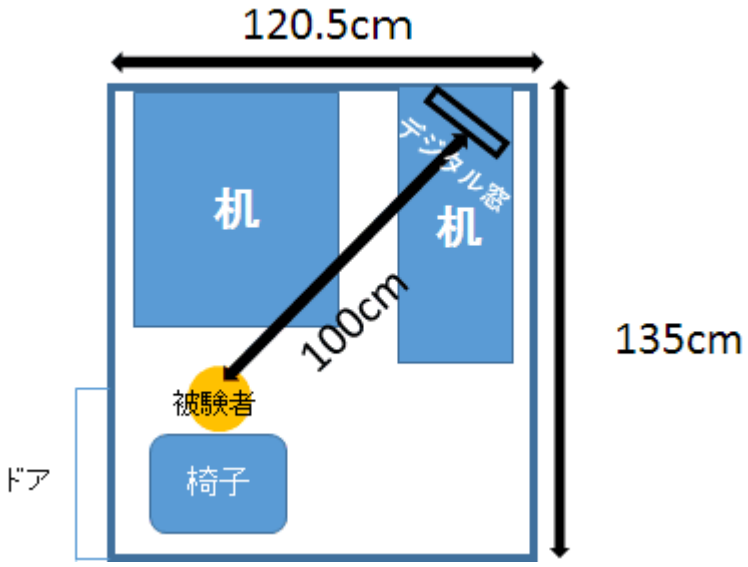

図 4-1　実験室の俯瞰図

本実験では既存のデジタル窓との比較評価を行うために、以下の二つの実験パターンを用意した。

パターン１：既存のデジタル窓を再現するため、サーフェスのみ（フレームなし）で単視点の映像を表示する。実験環境を図 4-2 に示す。

図 4-2　パターン 1

パターン 2：本研究で提案したデジタル窓（フレームあり）を配置し、フェイストラッキングした全周囲映像を表示する。実験環境を図 4-3 に示す。

図 4-3　パターン 2

両実験パターンとも、サーフェスの画面から被験者までの距離を 100cm に固定し、表示する映像の種類も、視点移動の可否の差異はあるが、同じものである。予備実験においては、3.1 で示したように被験者が椅子に座って背筋を伸ばした際の目線の高さと一致するようにフレームを配置した。いっぽうで、本実験においては被験者にデスクワークを行ってもらうため、机に対して前のめりになり、ただ座っているよりも目線が低くなる。そのため、デジタル窓の位置はその目線の高さに合うよう、予備実験よりも低く配置する。

実験中の様子を図 4-4 に示す。

図 4-4　実験の様子

実験の手順を図 4-5 に示す。

まず、パターン 1 の環境で、被験者は 10 分間で漢字の書き取り作業（普段ブースで作業する状態をシミュレーションするため）を行う。その後、第一回目のアンケートを取る。アンケートに回答後、被験者は実験室から退出して 10 分間の休憩を取り、リラックスする。

続いて、被験者はパターン 2 の環境で第一回と同様の作業を行う。その後、第二回目のアンケートを取る。実験完了までに所用する時間は、一人あたり約 40 分である。

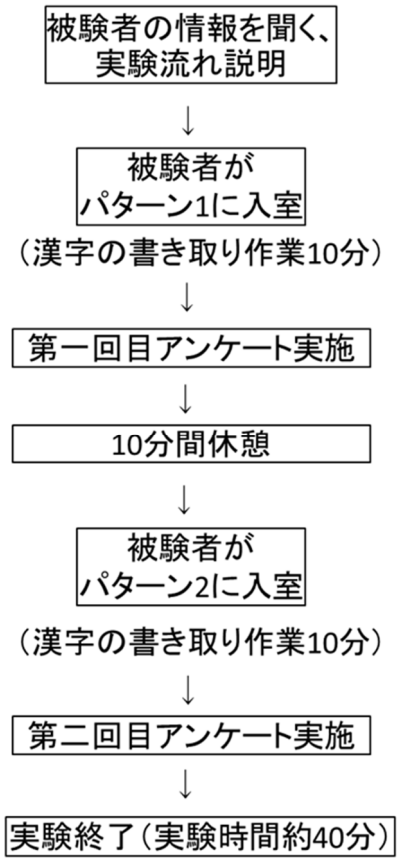
被験者の情報を聞く、
実験流れ説明
被験者が
パターン1に入室
（漢字の書き取り作業10分）
第一回目アンケート実施
10分間休憩
被験者が
パターン2に入室
（漢字の書き取り作業10分）
第二回目アンケート実施
実験終了（実験時間約40分）

図 4-5　実験の手順

4.2　結果及び考察

SD 法のアンケート結果を、表 4-3 と表 4-4 に示す。また、印象評価プロフィールを、図 4-6 と図 4-7 に示す。

表 4-3　パターン 1 のデータ

	パターン1													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	開放的な	視覚的に広い	圧迫感がない	奥行感がある	居心地が良い	明るい	疲れを癒す	違和感がない	潤いを感じる	落ち着ける	軽快な感じ	作業しやすい	外と繋がっている	デジタル窓を見て楽しめる
	閉鎖的な	視覚的に狭い	圧迫感がある	奥行感がない	居心地が悪い	暗い	ストレスがたまる	違和感がある	殺風景を感じる	落ち着けない	重苦しい感じ	作業しにくい	外と断絶している	デジタル窓を見て楽しめない
1	6	6	5	4	5	4	6	5	4	6	5	5	6	7
2	4	4	3	4	1	4	4	1	4	1	5	1	7	4
3	6	6	4	5	3	3	4	3	5	3	4	4	6	5
4	7	6	6	2	5	2	6	6	2	5	6	5	6	2
5	6	7	3	5	5	5	5	5	5	3	5	2	6	2
6	6	7	6	5	6	4	6	6	4	5	3	5	7	6
7	4	3	1	2	4	1	4	1	5	5	5	4	7	4
8	6	5	6	6	4	2	4	5	5	3	4	2	7	6
9	5	3	3	5	2	2	3	4	3	4	5	3	3	4
10	6	5	5	5	5	3	5	3	3	4	4	4	4	4
11	4	4	1	6	4	4	4	1	4	1	4	1	7	4
平均値	5.45	5.09	3.91	4.45	4.00	3.09	4.64	3.64	4.00	3.64	4.55	3.27	6.00	4.36
標準偏差	0.99	1.38	1.78	1.30	1.41	1.16	0.98	1.87	0.95	1.55	0.78	1.48	1.28	1.49
分散	0.98	1.90	3.17	1.70	2.00	1.36	0.96	3.50	0.91	2.41	0.61	2.20	1.64	2.23

表 4-4　パターン 2 のデータ

	パターン2													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	開放的な	視覚的に広い	圧迫感がない	奥行感がある	居心地が良い	明るい	疲れを癒す	違和感がない	潤いを感じる	落ち着ける	軽快な感じ	作業しやすい	外と繋がっている	デジタル窓を見て楽しめる
	閉鎖的な	視覚的に狭い	圧迫感がある	奥行感がない	居心地が悪い	暗い	ストレスがたまる	違和感がある	殺風景を感じる	落ち着けない	重苦しい感じ	作業しにくい	外と断絶している	デジタル窓を見て楽しめない
1	3	5	3	2	4	1	4	3	4	2	2	3	5	1
2	4	5	5	7	2	3	5	6	4	5	5	5	7	5
3	3	4	3	3	3	2	3	5	3	3	3	3	3	3
4	2	3	3	2	3	3	4	5	3	3	2	2	3	1
5	2	3	3	4	3	3	3	4	4	4	2	3	4	3
6	4	4	5	5	5	2	3	4	2	5	3	4	3	1
7	2	2	2	2	2	1	2	2	3	3	2	2	3	3
8	5	6	5	3	4	2	4	5	4	3	4	3	4	3
9	3	5	5	3	3	3	3	4	3	2	5	2	2	3
10	4	4	3	4	4	3	4	4	3	4	4	4	3	3
11	2	2	2	2	3	2	3	2	2	3	3	3	3	2
平均値	3.09	3.91	3.55	3.36	3.27	2.27	3.45	4.00	3.18	3.36	3.18	3.09	3.64	2.55
標準偏差	1.00	1.24	1.16	1.49	0.86	0.75	0.78	1.21	0.72	0.98	1.11	0.90	1.30	1.16
分散	0.99	1.54	1.34	2.23	0.74	0.56	0.61	1.45	0.51	0.96	1.24	0.81	1.69	1.34

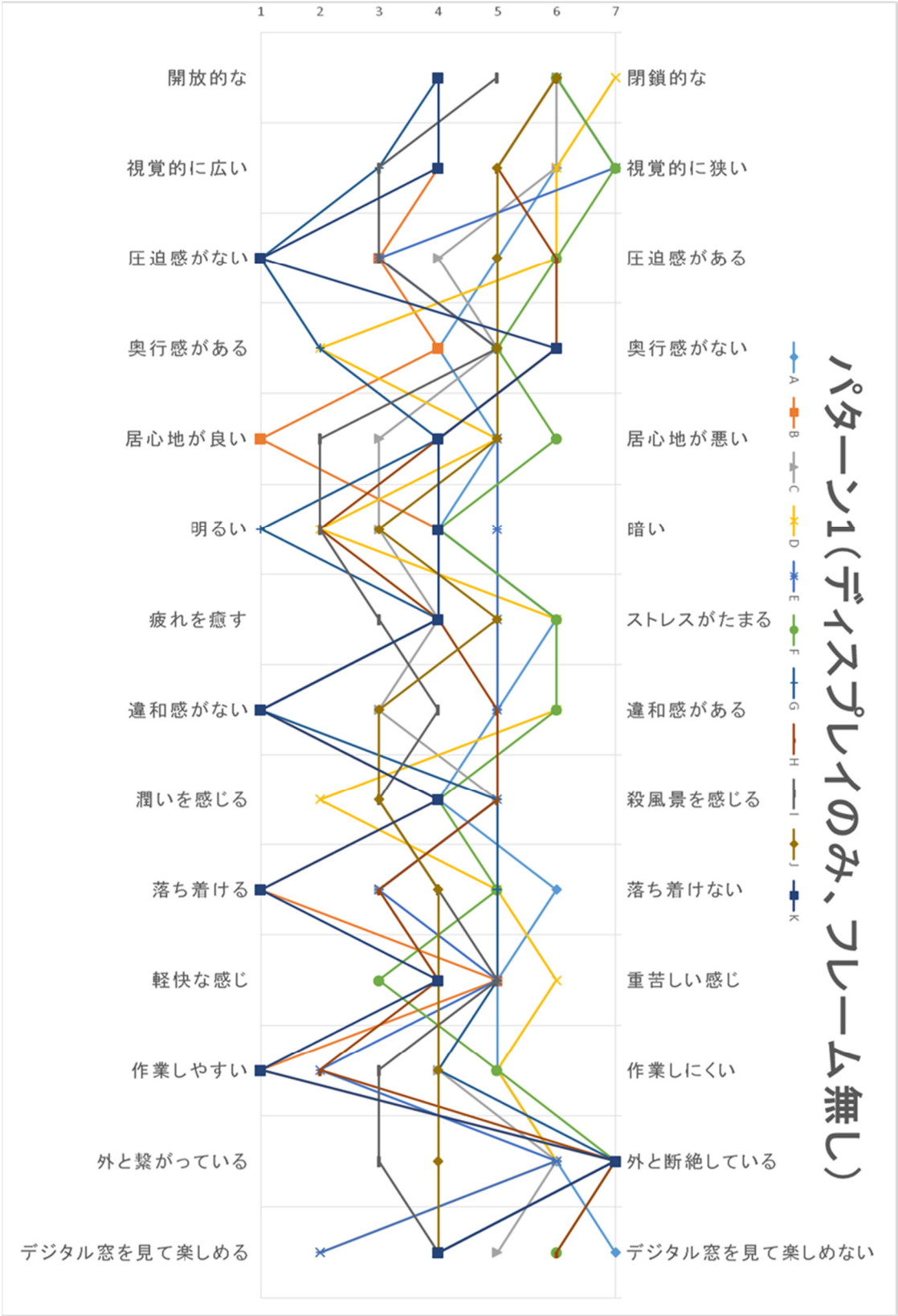

図 4-6　評価プロフィールパターン 1（11 人）

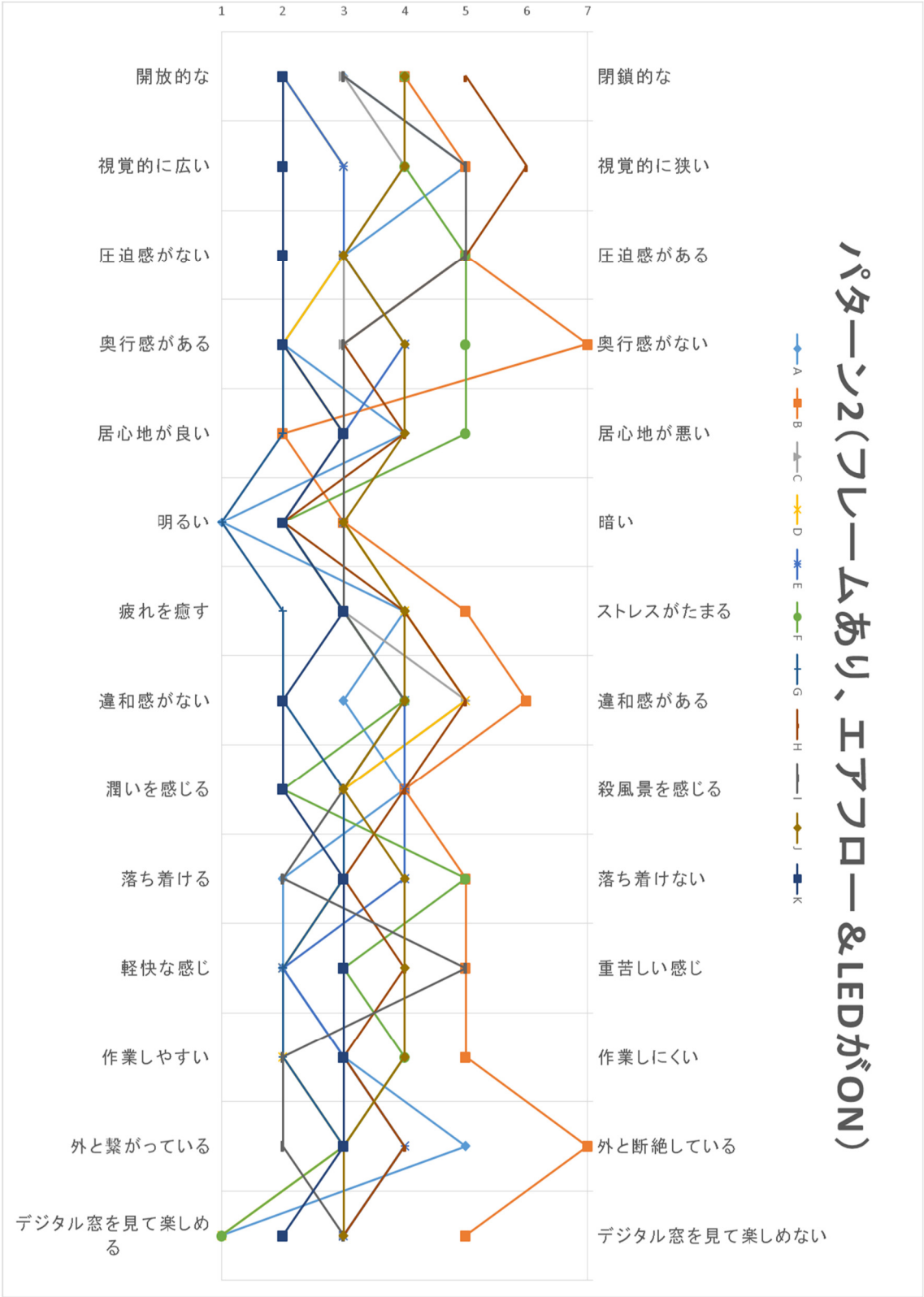

図 4-7　評価プロフィールパターン 2（11 人）

分析にあたり、結果を見やすくするため、14 対項目について評価平均値を折れ線表示したものを図 4-8 に示す。評価得点は低いほどいい評価（1 は非常にいい、7 は非常に悪い）である。

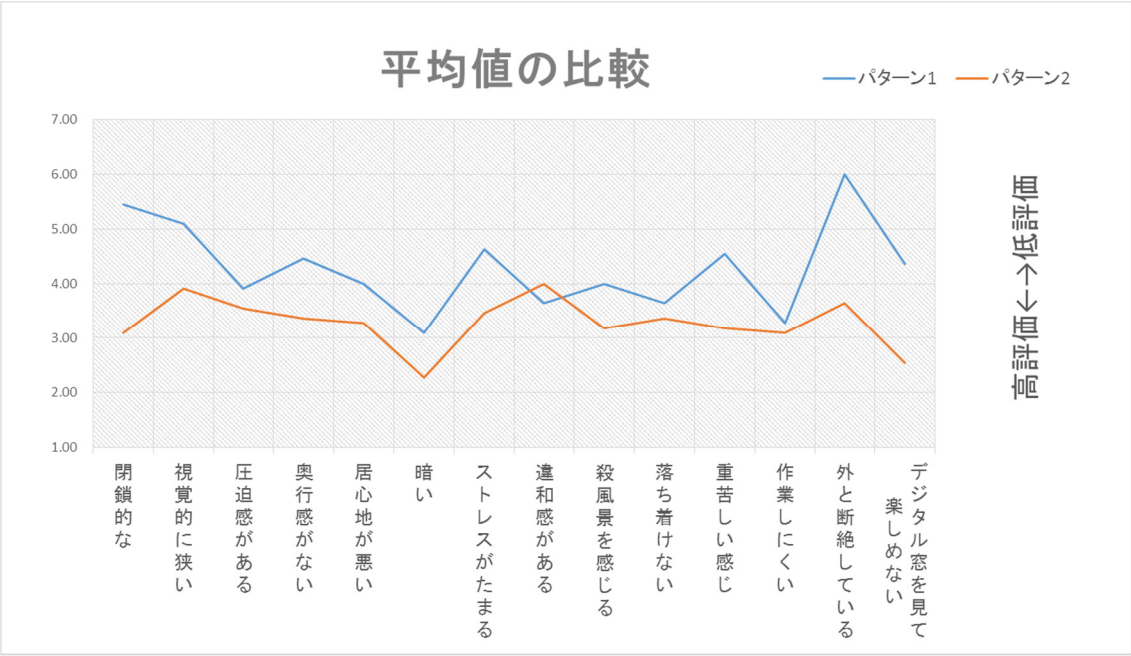

図 4-8　平均値の比較

図 4-8 から、パターン 1（既存研究）よりもパターン 2（本研究）は全体的に高評価を得たことが確認できる。特に、「開放的な」や「外と繋がっている」、「デジタル窓を見て楽しめる」の 3 項目で評価は顕著である。「視覚的に広い」、「奥行感がある」、「疲れを癒す」、「軽快な感じ」、「明るい」の 5 項目でも高評価である。しかしながら、「違和感がない」の項目では低い評価となった。これは本研究の有効性を示していると考えるが、データをより深く分析するため、 t 検定を行った。

二回のアンケート結果に対する評価得点の平均に有意差がみられるかの確認のため、t 検定を実施した。本研究では、IBM 製の PASW　Statistics 18（旧名称 : SPSS Statistics）を用いて分析を行った。パターン 1 は「無し」、パターン 2 は「あり」という命名型で、14 対項目を 14 ペアに分けた。分析結果を、表 4-5 から表 4-7 に示す。

表 4-5　対応サンプルの統計量

		平均値	N	標準偏差	平均値の標準誤差
ペア 1	無し一	5.45	11	1.036	.312
	あり一	3.09	11	1.044	.315
ペア 2	無し二	5.09	11	1.446	.436
	あり二	3.91	11	1.300	.392
ペア 3	無し三	4.45	11	1.368	.413
	あり三	3.55	11	1.214	.366
ペア 4	無し四	4.45	11	1.368	.413
	あり四	3.36	11	1.567	.472
ペア 5	無し五	4.00	11	1.483	.447
	あり五	3.27	11	.905	.273
ペア 6	無し六	3.09	11	1.221	.368
	あり六	2.27	11	.786	.237
ペア 7	無し七	4.64	11	1.027	.310
	あり七	3.45	11	.820	.247
ペア 8	無し八	3.64	11	1.963	.592
	あり八	4.00	11	1.265	.381
ペア 9	無し九	4.00	11	1.000	.302
	あり九	3.18	11	.751	.226
ペア 10	無し十	3.64	11	1.629	.491
	あり十	3.36	11	1.027	.310
ペア 11	無し十一	4.55	11	.820	.247
	あり十一	3.18	11	1.168	.352
ペア 12	無し十二	3.27	11	1.555	.469
	あり十二	3.09	11	.944	.285
ペア 13	無し十三	6.00	11	1.342	.405
	あり十三	3.64	11	1.362	.411
ペア 14	無し十四	4.36	11	1.567	.472
	あり十四	2.55	11	1.214	.366

表 4-6　対応サンプルの相関係数

		N	相関係数	有意確率
ﾍﾟｱ 1	無し一＆あり一	11	.143	.675
ﾍﾟｱ 2	無し二＆あり二	11	.058	.865
ﾍﾟｱ 3	無し三＆あり三	11	.317	.341
ﾍﾟｱ 4	無し四＆あり四	11	.195	.565
ﾍﾟｱ 5	無し五＆あり五	11	.671	.024
ﾍﾟｱ 6	無し六＆あり六	11	.180	.597
ﾍﾟｱ 7	無し七＆あり七	11	.216	.524
ﾍﾟｱ 8	無し八＆あり八	11	.282	.401
ﾍﾟｱ 9	無し九＆あり九	11	.266	.428
ﾍﾟｱ 10	無し十＆あり十	11	-.331	.319
ﾍﾟｱ 11	無し十一＆あり十一	11	-.218	.519
ﾍﾟｱ 12	無し十二＆あり十二	11	-.291	.385
ﾍﾟｱ 13	無し十三＆あり十三	11	.438	.178
ﾍﾟｱ 14	無し十四＆あり十四	11	-.220	.516

表 4-7　対応サンプルの t 検定

		対応サンプルの差					t値	自由度	有意確率 (両側)
					差の 95% 信頼区間				
		平均値	標準偏差	平均値の標準誤差	下限	上限			
ﾍﾟｱ 1	無し一 - あり一	2.364	1.362	.411	1.449	3.279	5.756	10	.000
ﾍﾟｱ 2	無し二 - あり二	1.182	1.888	.569	-.086	2.450	2.076	10	.065
ﾍﾟｱ 3	無し三 - あり三	.909	1.514	.456	-.108	1.926	1.992	10	.074
ﾍﾟｱ 4	無し四 - あり四	1.091	1.868	.563	-.164	2.346	1.936	10	.082
ﾍﾟｱ 5	無し五 - あり五	.727	1.104	.333	-.014	1.469	2.185	10	.054
ﾍﾟｱ 6	無し六 - あり六	.818	1.328	.400	-.074	1.710	2.043	10	.068
ﾍﾟｱ 7	無し七 - あり七	1.182	1.168	.352	.397	1.966	3.357	10	.007
ﾍﾟｱ 8	無し八 - あり八	-.364	2.014	.607	-1.716	.989	-.599	10	.563
ﾍﾟｱ 9	無し九 - あり九	.818	1.079	.325	.093	1.543	2.516	10	.031
ﾍﾟｱ 10	無し十 - あり十	.273	2.195	.662	-1.202	1.747	.412	10	.689
ﾍﾟｱ 11	無し十一 - あり十一	1.364	1.567	.472	.311	2.416	2.887	10	.016
ﾍﾟｱ 12	無し十二 - あり十二	.182	2.040	.615	-1.189	1.553	.296	10	.774
ﾍﾟｱ 13	無し十三 - あり十三	2.364	1.433	.432	1.401	3.327	5.469	10	.000
ﾍﾟｱ 14	無し十四 - あり十四	1.818	2.183	.658	.352	3.284	2.763	10	.020

SET Unicode=No OLang=Japanese Small=0.0001.

ｔ分布において「外側 5%の範囲にあれば同一母集団からの標本ではなく，有意差があると考える」というルールがある。信頼区間を 95%に設定した時、信頼区間の外側に来る有意確率ｐは、

もし、p>0.1 ならば、有意でない；

0.05<p<0.10 ならば、有意傾向である；

p<0.05 ならば、有意である。

となる。有意ということは、その変化は偶然とは考えにくいことである。

表 4-7 より、

ペア 1「開放的な--閉鎖的な」（ｐ0.000）、

ペア 7「疲れを癒す--ストレスがたまる」（ｐ0.007）、

ペア 9「潤いを感じる--殺風景を感じる」（ｐ0.031）、

ペア 11「軽快な感じ--重苦しい感じ」（ｐ0.016）、

ペア 13「外と繋がっている--外と断絶している」（ｐ0.000）、

ペア 14「デジタル窓を見て楽しめる--デジタル窓を見て楽しめない」（ｐ0.020）

のｐ値すべてが 0.05 より小さいので、これらの事項に対して有意であることが分かる。

出窓形のフレームの効果で、本研究のデジタル窓はただのディスプレイではなく、外界と繋がった窓として認識され、開放感を高めたと考えられる。また、エアフロ―で発生したそよ風がカーテンを揺らすことで、潤いや軽快な感覚を与える効果があることが認められる。

また、

ペア 2「視覚的に広い--視覚的に狭い」（ｐ0.065）、

ペア 3「圧迫感がない--圧迫感がある」（ｐ0.074）、

ペア 4「奥行感がある--奥行感がない」（ｐ0.082）、

ペア 5「居心地が良い--居心地が悪い」（ｐ0.054）、

ペア 6 「明るい--暗い」（ｐ0.068）

では、0.05<p<0.10 であるので、有意傾向にある。

本研究のフェイストラッキング機能から、奥行感の演出や、視覚的な広さ、圧迫感の抑制効果の可能性があることを示した。

一方、

ペア8「違和感がない--違和感がある」、

ペア10「落ち着ける--落ち着けない」、

ペア12「作業しやすい--作業しにくい」

のp値は0.1より大きく、有意ではない。これらの原因としては、次のことが考えられる。

違和感については、フェイストラッキングが一因であると考える。3. 1の予備実験により、フレームに一定の厚さがあったほうが窓としての違和感は少ないという結果が得られたことから、パターン1よりも2の違和感が少なくなることが示唆される。しかし、実験において有意差が示せなかったため、また、有意差はなくとも平均値でパターン2の違和感が大きいことは、パターン2において違和感を高めるなんらかの状況が発生していると考える。実験において、デジタル窓は被験者の正面ではなく、右斜めに配置した。そのため、被験者が机で作業する時、カメラは被験者の横顔しか取得できなかった。OpenCVでは、斜め方向で取得した顔画像を上手く認識できない。これにより、表示する映像の視点位置に揺れが生じたことがあり、それに被験者は違和感を覚えたと考える。

また、落ち着きと作業については、実験環境である防音室が影響していると考える。被験者は学生であり、普段はにぎやかな日常環境に身を置いている。そのため、外界の音が遮断された防音室に入ると、雑音がないために 2 パターンの相違以上に普段の環境との差が大きくなる。結果、そのギャップが強く印象に残っていたことで、2 パターンでの差が少なかったと考えられる。もし、長期間で刺激を欠ける防音室にいたら、逆に不安や妄想が生じる可能性もある。そのため、今後、長期間という条件で実験を再検討する必要があると考える。

さらに、被験者の国籍を中国と日本とで同数としたため、国籍別の分析も行った。その結果を、図 4-9 と図 4-10 に表す。

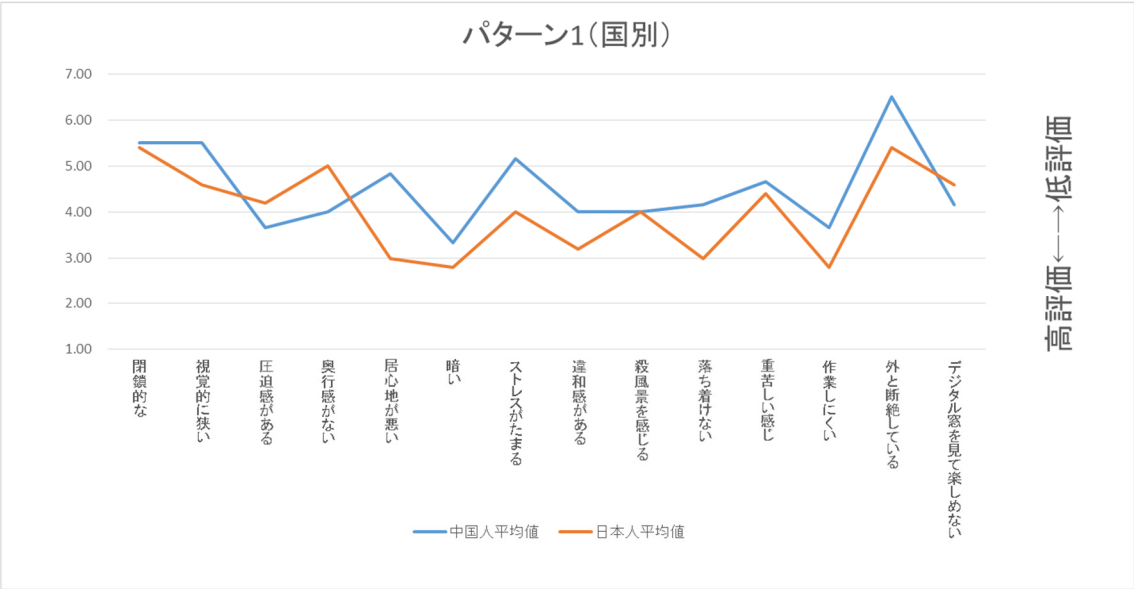

図 4-9　パターン 1（国別）

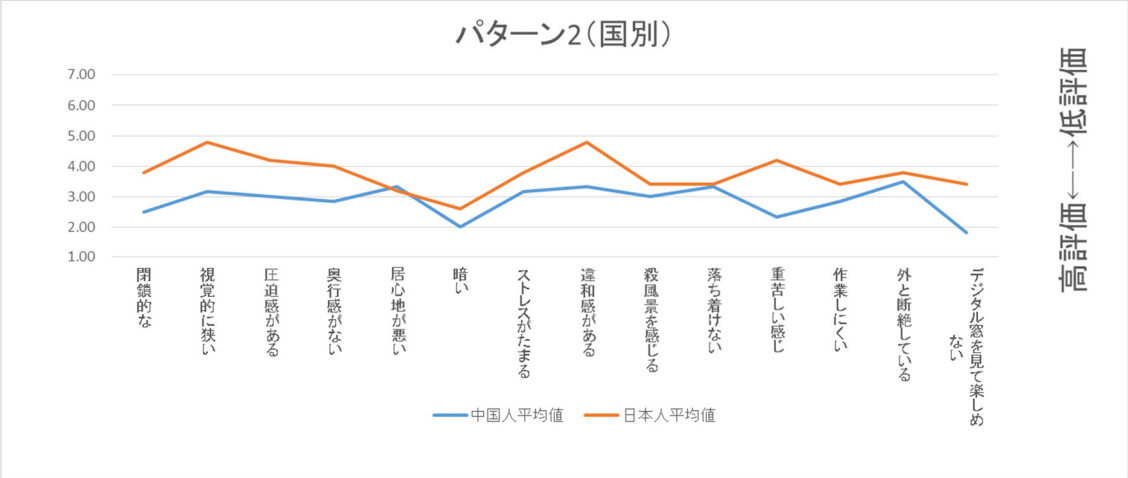

図 4-10　パターン 2（国別）

これらのグラフより、2 つのパターンにおける印象変化は、日本人グループより中国人グループにおいて大きい傾向がみられる。これは、中国の国土は広いために狭い環境に慣れていないなどの理由により、中国人が日本人よりも狭いところに抵抗感を抱きやすい感覚を有している可能性が考えられる。そのため、中国人は閉塞感を改善したいという要望が日本人より強く、2 パターン間の評価の差が顕著に表れたと考える。一方、国籍とは無関係に、狭い密閉な空間では集中しやすく、落ち着けることを確認した。

5.　総括

本章では、本研究の全体的な総括を行う。まず本研究のまとめについて述べ、その後、本研究に残された課題および、今後の展望を示す。

5.1　まとめ

本研究では、開放感を高めるデジタル窓を提案した。既存のデジタル窓は映像を流すだけであるが、本研究では開放感に繋がる要因を調査し、映像、外からの刺激、インタラクションという三つの観点から設計した。フェイストラッキングにより映像の視点をユーザの動作に合わせて変化させることで、小型のディスプレイでも広い視野や奥行き感を演出できることを示した。窓の外からの刺激としては、LED による照明（太陽光の差し込み）とエアフロ―による風を表現し、外との繋がりを演出した。カーテンや窓枠も映像による仮想的なものではなく実物体を用意し、センサにより窓の開閉を認識して送風や LED の ON/OFF を切り替えるなど、窓とのインタラクションにより空間の広がりを演出した。

評価実験により、デジタル窓から開放感が得られるかという観点から有効性を確認した。結果、本研究は開放感について、高まる効果が顕著であった。また、無窓空間による生じた悪い心理影響を改善する可能性も示した。フェイストラッキングや送風の機能により、外界と繋がっていることを認識できるため、リアリティ効果が高まる傾向があった。一方、実験は比較的短時間で行ったので、落ち着くことや作業しやすいことに対しては、効果があまりみられなかった。また、フレームの配置により、違和感が生じることがあるため、設置に関してはさらなる検討が必要であることが分かった。

5.2　課題と展望

本研究において残された課題としては、リアルさを向上するために、まず映像の解像度を高めるべきと考える。また、評価実験においては、フレーム無し・フェイストラッキングによる映像追従なし，フレームあり・フェイストラッキングによる映像追従ありの 2 パターンのみの実施にとどまった。フレームだけを見てもカーテン・風・太陽光の差し込みのそれぞれのありなしによるパターン、また、それに映像追従のありなしを加えたパターンでの実験が考えられ、個別に検証する必要がある。さらに、フレームの設置場所が被験者の斜め前であったことで、認識する顔が正面ではなく斜めとなるケースが多く、認識精度が低下したため適切なトラッキングが行えず、映像の移動に違和感が生じてしまった。また、フレームの機能については評価実験を行ったものの、デザインに対しての評価は行っていない。デザインが開放感につながることも考えられるため、形状や素材などのパターンを増やして実験を行うことで、提案手法の信頼性が高まると考える。

今後の展望については、まず表示する映像として、ユーザのいる空間の外の風景をリアルタイムで取得したものを使うことが考えられる。これにより、外出するかどうかの判断や、季節の移り変わりなどを感じることもでき、本来の窓が持つ効果や効能により近づけることを検証することは今後の課題である。また、本研究では、1 種類のタブレット端末に限定して実装および評価実験を行った。ディスプレイの大きさと開放感とに関連があるかどうかも検討すべきと考える。さらに、擬似窓からの刺激として、五感の中の嗅覚刺激を考慮し、窓から入る木や花などの匂い発生させることにより、外界との繋がり意識をさせ、また、リアリティも高まることで、開放感を高めることも可能であると考える。

また、国または文化による開放感の差異とその要因に関しても、幅広く調査したい。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、多くの方のご協力を頂きました。

終始にわたり懇切丁寧に御指導、御鞭撻を賜りました主指導教員である宮田　一乗教授に深く感謝し、心からお礼申し上げます。ゼミの際などに色々な国・地域のお土産のお菓子をくださり、ありがとうございました。また、本研究の指導ならびに就職活動においても惜しみない助力を下さった浦　正広助教に心より感謝申し上げます。くまモンのミニ四駆は研究の励みになりました。3D プリンタでのフレームの制作において長時間にわたり様々な指導やアドバイスをいただきました永井研究室の谷口　俊平研究員に深く感謝いたします。副指導教員の Dam Hieu Chi 准教授には、入学後の仮配属の際にお世話になりました。副テーマ指導教員の神田　陽治教授には、優しく接していただけました。研究科長の永井　由佳里教授には入試前に JAIST への見学の機会を与えていただき、入学のきっかけとなりました。また、ICT ビジネスプラン発見＆発表会において中尾特別賞を受賞でき、この研究テーマを評価してもらえて嬉しかったです。

JAIST での 2 年間の留学生活では、宮田研究室の皆様に大変お世話になりました。筆者はまだまだ日本語が上手くありませんが、皆様にいつもやさしく聞いていただきました。特に、林　千晴さんはいつも話しかけてくれ、いろいろ助けていただきました。王　睿さんは親切で優しくしてくれました。また、本研究の遂行にあたり、井戸田　彰義さんと王　鴻宇さんには主にプログラムの作成において助言とアドバイスをいただきました。Urango Bugaa さんからは、英語に関して多大な支援をいただきました。また、宮田研究室のメンバーではありませんが、副テーマを通して友人となった小國　美貴さんには、そのユニークな人柄で楽しませてもらい、副テーマの報告書の執筆においてアドバイスをいただきました。ここに感謝の意を表します。本研究の実験にご協力いただいた被験者の皆様にも感謝いたします。

最後に、ご協力を頂きました皆様に、心より感謝します。

参考文献

1. Wyon, D. P. and Nilsson, I., Human experience of windowless environments in factories, offices, shops and colleges in Sweden, in Proc. 8th CIB Congr., Norwegian Building Research Institute, Oslo, 1980
2. 佐藤仁人,閉鎖空間が人間の心理・生理・行動に及ぼす影響,J.SICE Vol.33,No.12,1994.11
3. Hollon,S.D., Kendall.P.C.,Norested,S.& Watson,D.Psychological responses to earth sheltered multilevel and above ground structures with and without windows.Underground Space,1980,5,pp171-178.
4. エディット・ナジ、安永幸子、古瀬敏;地下オフィスと地上オフィスで働く人々の心理的反応の比較；Man-Environment Research Association,1995.
5. LENE LOTTRUP, ULRIKA K. STIGSDOTTER, HENRIK MEILBY,ANNE GRETE CLAUDI: The Workplace Window View: A Determinant of Office Workers' Work Ability and Job Satisfaction, Landscape Research, 2013 Landscape Research Group Ltd.
6. 佐藤仁人,乾正雄: 無窓執務空間の視環境が心理・行動に及ぼす影響;J. Illum. Engng. Inst. Jpn. Vol.77 No.6.1993
7. 外山みどり,斉藤進：職場における快適な視環境の設計，人間工学,vol.29,No.2 (93),pp75-80.
8. 山田 託也：窓の有無による開放感の違いが精神疲労に与える影響：自立神経活動による評価，(日本生理人類学会第 62 回大会発表要旨,学会記事),Japan Society of Physiological Anthropology, 日本生理人類学会誌 15(2), 49, 2010-05-25.
9. 乾正雄,渡辺圭子,宮田紀元:開放感に関する研究(1,2,3),昭和 45 年照明学会全国大会,1973.
10. 水田 和孝,戸倉 三和子,大井 尚行:均一照明空間における室内照度と窓外眺望の開放感への影響力：実大空間による室内開放感に関する実験研究・その 3, 日本建築学会研究報告. 九州支部. 2, 環境系. (42), pp. 21-24, 2003-03-01. 社団法人日本建築学会.
11. Heerwagen, J.H. and Orians, G.H.: Adaptations to windowlessness-a study of the use of visual decoration in windowed and windowless offices, Environment and Behavior 18-5,1989.
12. 武藤浩，宇治川正人，他：窓の心理的効果とその代替可能性，日本建築学会計画系論文集第 474 号 pp.57-63，1995.
13. 大塚俊裕，山口一，他：大型液晶ディスプレイを用いた擬似窓に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集 pp.101-102，2008.
14. 阿部志菜子：擬似窓の有効性に関する研究，知的システムデザイン研究室,2016.2.

15. 押田 光雄, 模型実験による室内の窓の形状変化に関する心理的研究(その 2)形態因子構造とイメージ特性の関係について, 前橋工科大学研究紀要 / 前橋工科大学 編, 3,pp.55-60
16. 日野真理子,水田和孝,大井尚行: 窓形状(縦長窓が室内開放感に及ぼす影響模型による開放感に関する実験研究,日本建築学会大会学術講演梗概集(関東),2001.9.
17. Hidayah Rahmawati,大井 尚行,高橋 浩伸: 窓形状と位置が室内開放感に及ぼす影響 : 模型実験による開放感に関する研究(窓・光環境,環境工学 I), 学術講演梗概集. D-1, 環境工学 I, 室内音響・音環境, 騒音・固体音, 環境振動, 光・色, 給排水・水環境, 都市設備・環境管理, 環境心理生理, 環境設計, 電磁環境. 2008, pp. 103-104, 2008-07-20. 社団法人日本建築学会.
18. 亀之園薫, 松原斎樹, 鈴木憲三,澤島智明,合掌顕, 藏澄美仁, 中谷岳史: 寒冷地と温暖地における住宅居住者の窓の開放意識及ぶ生活実態, 2004, 第 28 回人間一生活環境系シンポジウム報告集, pp.121-124.
19. 松原斎樹, 藏澄美仁, 西田優花, 磯野千都, 下村孝,京都市内の大学の学生を対象とした窓の心理的効果に関する調査研究, 日本建築学会技術報告集, Vol10, 2000,pp.169-172.
20. 吉浦峻史,大井尚行,高橋浩伸,壁面の凹凸が室内開放感に与える影響に関する研究 : 照度と光源位置の変化による基礎的検討, 学術講演梗概集. D-1, 環境工学 I, 室内音響・音環境, 騒音・固体音, 環境振動, 光・色, 給排水・水環境, 都市設備・環境管理, 環境心理生理, 環境設計, 電磁環境 2006, pp.821-822, 2006-07-31.
21. 松原斎樹,小東敬典,荒木千里,金谷,剛志,藏澄美仁,合掌,顕,松枝伸明,佐生奈保美,自然につながる視覚要因が居間での快適感に与える影響 : その 1 開口面積の拡大とカーテンの動きの影, 学術講演梗概集. D-1, 環境工学 I, 室内音響・音環境, 騒音・固体音, 環境振動, 光・色, 給排水・水環境, 都市設備・環境管理, 環境心理生理, 環境設計, 電磁環境,AN10487000,2008,pp.105-106.
22. 木下雄一朗,深堀清隆,窪田陽一: オープンスペースの照明パターンが空間の開放感に及ぼす影響分析, 景観・デザイン研究講演集 No.1 December 2005.
23. 長町 三生,瀬沼 勲,岩重 律子 : 情緒工学の研究, 人間工学 1972, 8.
24. 北川 啓介,黒田 祐五,鳥居 智之: 建築物の言語描写における面の多義性, 日本建築学会計画系論文集,Vol. 79 (2014) No. 697, pp. 669-676.
25. Sally S. Shahzad 1, John Brennan , Dimitris Theodossopoulos , Ben Hughes and John Kaiser Calautit , Building-Related Symptoms, Energy, and Thermal Control in the Workplace: Personal and Open Plan Offices, 2016.08.
26. 宮田紀元. 窓の機能の視覚的側面. 建築雑誌, Vol.91, No1114, pp.1129-1130, 1976.
27. 山川昭次, 武藤浩, 他 : 地下オフィスの環境改善に関する実証的研究, 日本建築学会大会学術講演梗慨集 pp.345-346, 1992.

28. 竹中由佳: 無窓休憩室の快適性に関する研究, 東京工業大学建築学科昭和 60 年度卒業論文梗概集 pp51-52, 1985.

付録

評価アンケート

学年：＿＿＿＿

性別：男　女

- 以下いろいろな印象表現が並んでいます。各項目について、感じるままに○を付けてください。
- ○は縦横の線の交点につけてください。

（記入例）

1　2　3　4　5　6　7

- 全部で14問です。

	1	2	3	4	5	6	7	
	非常に	かなり	やや	どちらでもない	やや	かなり	非常に	
開放的な								閉鎖的な
視覚的に広い								視覚的に狭い
圧迫感がない								圧迫感がある
奥行感がある								奥行感がない
居心地が良い								居心地が悪い
明るい								暗い
疲れを癒す								ストレスがたまる
違和感がない								違和感がある
潤いを感じる								殺風景を感じる
落ち着ける								落ち着けない
軽快な感じ								重苦しい感じ
作業しやすい								作業しにくい
外と繋がっている								外と断絶している
デジタル窓を見て楽しめる								デジタル窓を見て楽しめない