

ブラインドを拡張した新たな情報提示手法の研究

本間 貴士^{1,†1} 沖 真帆^{1,a)} 塚田 浩二^{1,b)}

受付日 2020年4月20日, 採録日 2020年11月5日

概要: ブラインドは手軽に採光状況やブライバシを調整できる点から, 一般的な窓から会議室などのガラス壁まで, 幅広く利用されている. 本研究では, こうしたブラインドと窓をスクリーンとして見立てて, 室内から映像を投影することで, 室内/室外の双方から視認可能なディスプレイとして利用できると考えた. さらに, ブラインドの羽根の向きをセンサで取得し, 内側のみへ提示したいコンテンツや外側への提示を行うコンテンツなど, 投影する映像を制御することで, 室内/室外に伝わる情報量の調整を試みる. 本論文では, プロトタイプ的设计およびシステムの実装, コンテンツ例や運用事例について紹介する. また, 実環境における視認性の評価実験や, 数週間の運用を通じた知見を紹介し, システムの課題や展望について議論する.

キーワード: ブラインド, 日用品, 情報提示

Research on Information Presentation Technique by Expanding Window Shade

TAKASHI HOMMA^{1,†1} MAHO OKI^{1,a)} KOJI TSUKADA^{1,b)}

Received: April 20, 2020, Accepted: November 5, 2020

Abstract: The window shade has been widely used from a general window to the glass walls of meeting rooms because it can coordinate the lighting situation and privacy easily. In this study, we considered that window and the window shade can be used as display, which can be viewed from indoor and outdoor, by projecting the picture from inside of the room. Furthermore, we try controlling the information by adjusting picture based on the direction of slats. In this paper, we explain the design and implementation of the prototype and introduce examples of contents and deployment. In addition, we present the result of evaluation of visibility and the findings through the trial use in several weeks, and discuss the challenges and prospects.

Keywords: window shade, daily commodities, information presentation

1. はじめに

液晶ディスプレイは薄型, 軽量, 高画質といった特徴があり, テレビやデジタルサイネージといった大型機器用ディスプレイからタブレットやスマートフォンのようなモバイル機器用ディスプレイまで, あらゆる分野で利用されている. 一方, 既存の液晶ディスプレイの枠を超えた, 新

しいディスプレイも多数提案されている. たとえば, 人工的に発生させた霧に立体映像を投影したり [1], 泡を制御して飲料の表面をディスプレイ化したり [2] といった, 自然現象を活用した情報提示手法が提案されている. その一方で, 障子にインタラクティブな映像を投影したり [3], ディスプレイ前のカーテンの開閉状況を用いてブライバシ制御を行う [4] といった, 日用品を活用した情報提示手法も提案されている. このように, 自然物や日用品を情報提示媒体として扱う手法や, 日用品を使う自然な動作を活用した提示情報の切替手法が提案されてきた.

我々は, 日用品をディスプレイ化する新たな情報提示手法として, ブラインドに着目した. ブラインドは手軽に採

¹ 公立はこだて未来大学

Future University Hakodate, Hakodate, Hokkaido 041-8655, Japan

^{†1} 現在, 鈴与シンワート株式会社

Presently with SUZUYO SHINWART CORPORATION

a) okimaho@acm.org

b) tsuka@acm.org

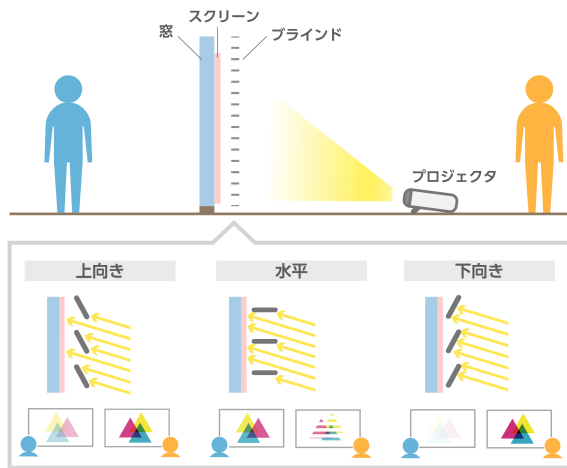


図 1 本研究のコンセプト

Fig. 1 Concept of the research.

光状況やプライバシーを調整でき、一般的な窓から会議室のガラス壁まで、幅広く利用されている。本研究では、こうしたブラインドと窓をスクリーンとして見立てることで、室内/室外の双方から視認可能なディスプレイとして利用する情報提示手法を提案する。ブラインドの羽根の開閉状況に応じて投影する映像を制御することで、室内外に伝わる情報量の調整を試みる（図 1）。

2. 関連研究

本研究と関連する先行研究として、「日用品を用いて情報提示を行った研究事例」と「多方向提示と多層提示」という 2 つの領域から紹介し、本研究の特徴について述べる。

2.1 日用品を用いて情報提示を行った研究事例

日用品を新たな表示媒体として扱う手法が提案されている。BubBowl [2] は、飲料の表面に 10×10 ピクセルのドットマトリクスパターンを生成するカップ型デバイスで、外部からのガス供給や可動部品を必要とせず、泡を使用してデジタル情報を提示できる。Ketsuro-Graffiti [5] は、ペルチェ素子を用いてディスプレイ表面上の任意の位置に結露を発生させ、ユーザが表示された情報を受け取るだけでなく、発生させた結露を指でなぞることでインタラクティブに情報を加工できるシステムである。Water-Jet Printer [6] は、スプリンクラーの散水領域をユーザがソフトウェア上で指定することで、水を用いた描画ができるデバイスである。中原ら [3] は、Kinect で取得した深度画像を用いることで、障子の開き具合や開け閉めの速さによって障子に投影される映像をリアルタイムで変化させるインタラクティブシステムを開発している。Projection BLIND [9] は、映像投影用スクリーンとして利用できる市販のブラインドである。乳白色で半透明素材の羽根が、室内側からの投影像を裏面に透過させて表示する。片面への情報提示を前提としており、日中はブラインドとして、夜間は店舗を閉めた

後の屋外の通行人に向けたサイネージとして利用する例が提案されている。

日用品を使う自然な動作や利用シーンをシステムに活用する研究が提案されている。なめらカーテン [4] は、カーテンの開け閉めを利用して直接的なコミュニケーションとアンビエントなコミュニケーションを直感的な操作で柔軟に調節できる遠隔コミュニケーションシステムである。Squama [7] は、光の透過性を部分的に制御できるガラス群を用いて、プログラマブルな壁面/窓を構築するシステムである。このシステムでは、窓の透明度をコンピュータからの指令で部分的に変化させることができるため開放性とプライバシーを両立させることができる。Peek-a-drawer [8] は、タンスの引き出しの中身を、2 点の遠隔地間で共有する情報共有システムである。ユーザが引き出しの中に物を収納した際に自動で写真を撮影し、そのデータを遠隔地にある同様のタンスの引き出しの中に出力することで、引き出しの中身を共有する。

2.2 多方向提示と多層提示

石川ら [1] は、専用のデバイスによって人工的に発生させた霧の投影位置を取得し、複数台のプロジェクタで同時に投影することで、多視点からの映像の観察および移動可能なフォグディスプレイを開発した。Reversible Display [10] は、2 つのディスプレイを板状コンピュータの表面、裏面の両面に備え、物理的なひっくり返し操作によりコンテンツを閲覧できるシステムである。各ディスプレイは独自の役割を持ち、連携をとりながらコンテンツを提示する。FoldMe [11] は、ヒンジを使用した折り畳むことができる両面ディスプレイである。ユーザはディスプレイのサイズと形状の両方を動的に変更したり、折り畳むジェスチャーを行うことで裏面にもアクセスすることができる。岩渕ら [12] は、透明無機 EL ディスプレイを用いて、デバイスの両面に透明タッチスクリーンを貼付することで、両面タッチ入力可能な透明インタラクティブディスプレイを提案している。これによりユーザはディスプレイ背面の自分の指を物理的に直接見ながらディスプレイの背面から正確な入力ができる。

HoVerTable [13] は、多方向から視認可能な空中映像を机面上に提示するシステムである。Aerial imaging plate (AIP) を机の天板として利用し、その下部に背中合わせに設置したディスプレイの光線を AIP で屈折させ、机上の空中で結像させることで実現している。巻口ら [14] は、ディスプレイとハーフミラーを各 4 つ使って、多層の空中像を両面に表示するシステムを提案した。V 字に組んだハーフミラーでディスプレイの像を透過/反射させ、空中で結像させる。一方向に 3 層の像を表示でき、奥行表現が可能である。Scritter [15] は、多層に投影された像の中から特定の層を選んで閲覧できるシステムである。異なる偏光フィル

タを取り付けた2台のプロジェクタで1つのスクリーンに像を投影し、ユーザは偏向レンズ眼鏡を装着することで、特定の層の像のみを視認する。

2.3 本研究の特徴

2.1 節の研究では、日用品を情報提示媒体として扱ったり、日用品を使う自然な動作をシステムの機能や操作方法に活用している。本研究ではブラインドに着目し、その使い方を情報提示方向/量を変更する操作に対応させた。また、すでに存在するブラインドと窓を利用することで、生活に溶け込んださりげない情報提示を狙う。Projection BLIND [9] がブラインドを一方向への投影用スクリーンとして利用するのにに対し、本研究ではブラインドと窓に結像させて両面への表示を同時に行うことができる。

2.2 節の研究では、多面/多層の情報提示を行うために特殊な表示デバイスが必要であり、両面提示を行うシステム [13], [14] でも独自の表示装置を両面分用意する必要がある。本提案では、既存のブラインドとプロジェクタ1台で両面提示が実現できる。窓に結像させるためのスクリーンを設置する必要があるが、乳白色のフィルムやアクリル板が利用できるため、入手/設置の負担が低いと考える。

3. 提案

本章では、提案システムのコンセプトや映像の投影例、情報提示手法を説明する。また、システムを実現するために必要となる、映像の分割幅の算出について述べる。

3.1 コンセプト

本研究では、ブラインドと窓をスクリーンとして見立てることで、室内/室外の双方から視認可能なディスプレイとして利用する。ブラインドの特性として、羽根の開閉によって採光/目隠しの具合を調節することができる。我々は、羽根の状態に応じて、プロジェクタなどの光源からの光の透過率が変化することに着目した(図1)。羽根の状態は、上向き、平行、下向きの3状態で大別される。光源がブラインドの下側にあると想定すると、各状態での特性は以下のようになる。

- 上向きの場合、ブラインドの表面で大半の光は反射するが、一部の光が隙間から窓側に漏れる(図1左)。
- 水平の場合、大半の光が窓側に漏れる(図1中央)。
- 下向きの場合、すべての光はブラインド表面で反射する(図1右)。

こうした特性を考慮して、本研究では羽根の状態をセンサで検出したり、モータで制御することで、プロジェクタからの映像の情報量を動的に調整して、室内/室外に提示することを目指す。

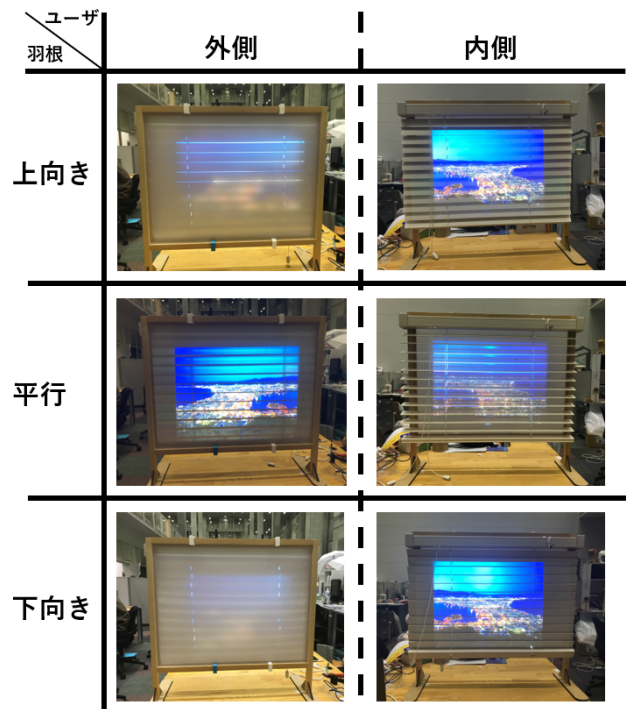


図2 羽根の開閉状態毎の外側/内側の投影例

Fig. 2 Projection examples for each slat angle.

3.1.1 映像の投影例

ブラインドの羽根の開閉状態を変えて、実際に映像を投影した事例を図2に示す。プロジェクタは、ブラインドの正面下部に設置した。また、投影した画像は後に示す図4の夜景の画像を使用し、ブラインド/窓それぞれに映る画像の見え方を確認した。羽根の開閉状態ごとの像の見え方を以下に述べる。なお、ここではプロジェクタ側の視点を「内側」、窓を挟んで逆から見た視点を「外側」と記す。

- 上向きの状態(図2上)では、外側には羽根の隙間から漏れた一部の映像が投影され、内側にはくっきり映像が投影された。
- 平行状態(図2中央)では、外側にくっきり映像が投影された。一方、内側の映像は窓に投影されるため、ブラインドが邪魔をしてやや見にくくなった。
- 下向きの状態(図2下)では、外側からはほとんど映像が確認できず、内側ではくっきり映像が投影された。

3.2 情報提示手法

本研究での情報提示手法は、内側/外側のどちらかに情報を提示する「片面提示」と、両面に同時に提示する「両面提示」が考えられる。

片面提示としては「ブラインドの状態に応じたコンテンツ提示」や、逆に「コンテンツに応じたブラインドの開閉制御」などが考えられる。前者の例としては、ユーザがブラインドを意識的に開閉することで、投影する映像を選択するコントローラのように利用する。後者の例としては、コンテンツの種類に応じて羽根の状態を自動的に制御する

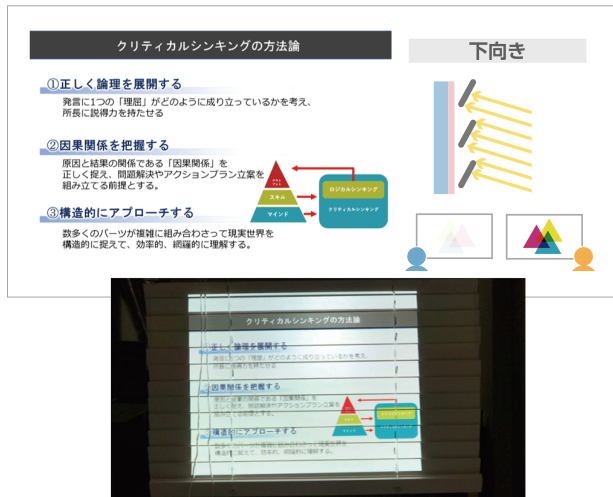


図 3 片面提示手法の 1 例

Fig. 3 Example of single-sided presentation.

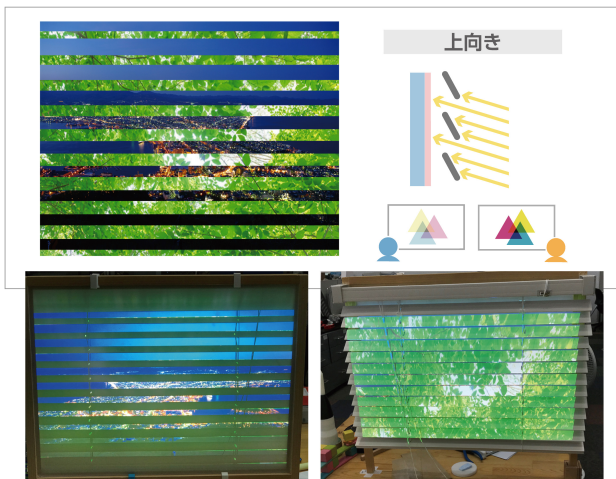


図 4 両面提示手法の 1 例

Fig. 4 Example of double-sided presentation.

ことで、室内中心/室外中心に情報の提示場所を調節することができる。たとえば、機密性の高い資料などを提示する場合は、羽根を下向きにして室内のみに提示 (図 3) し、環境映像などを提示する場合は、羽根を平行にして室外中心に提示する。

両面提示としては、ブラインドの羽根が平行～上向きの状態^{*1}では、プロジェクタの映像は内側/外側の両面に投影されるといった特徴を利用して、内側と外側に同時に異なる映像を投影できる可能性がある。図 4 のように、2つの画像をボード状のマスク画像を用いて切り抜き、1つの画像に合成し投影することで、内側/外側に異なる映像を表示できる。

^{*1} プロジェクタの設置方法に依存する。本研究では対象としないが、プロジェクタを天井吊りなどで上下反転して設置した場合は平行～下向きとなると想定される。

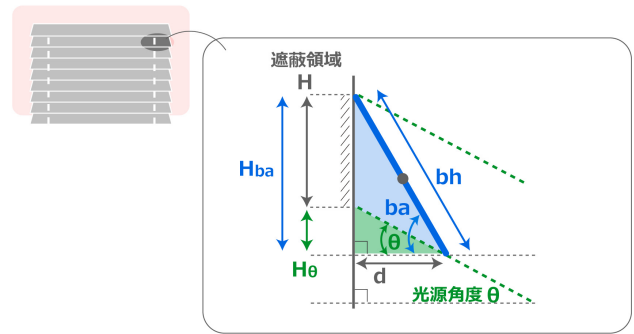


図 5 ブラインドの羽根 1 枚における遮蔽領域 H の算出例

Fig. 5 Calculation of shielding area (H) for a single slat.

3.3 分割幅の算出

ブラインドに光を照射すると、光の一部が羽根で遮蔽され、一部が通過する。本手法では、羽根表面に当たる光に室内用の像を、通過した光に室外用の像を対応付けることで、室内/外で異なる情報を提示する。これを実現するためには、それぞれの光の領域を計算し、各領域に室内外の画像を分割/配置した図 4 左上のような 1 枚の画像を生成する必要がある。この分割幅は、羽根の遮蔽領域から導くことができる。

分割幅に影響する要素を説明するために、遮蔽領域の求め方の 1 例を述べる。図 5 は鉛直方向に並んだ羽根のうち 1 枚の側面図であり、羽根の厚みを考慮しないとする。このとき、遮蔽領域 (H) は、 $H = |bh \cdot \sin(ba) - d \cdot \tan(\theta)|$ で算出できる。これは、羽根幅 (bh) が斜辺で羽根角度 (ba) を持つ直角三角形の高さ H_{ba} と、共通する底辺 d を持ち光源角度 (θ) の直角三角形の高さ H_{θ} の差である^{*2}。光源角度はプロジェクタと羽根の位置関係によって変わるため、遮蔽領域は羽根ごとに計算する必要がある。

4. 実装

図 6 に実装したシステムの全体図を示し、以下に本章の構成を説明する。4.1 節では、試作検証に用いる小型ブラインドの実装について述べる。4.2 節では、片面/両面に提示するコンテンツ例を紹介する。4.3 節では、コンテンツ作成ツールの実装について述べる。ツール内で用いる投影環境のパラメータを 4.3.1 項、表示コンテンツ生成のための画像の分割/配置ツールを 4.3.2 項、4.3.3 項で説明する。また、表示コンテンツを遠隔から手軽に変更できるようにするための Web 連携機能を 4.3.4 項で、3D モデルのパラメータを調整する機能を 4.3.5 項で説明する。後者は、新しい環境にシステム導入する場合など、設置環境の変化に対応することを狙う。4.4 節では、ツールを用いた実環境への導入例として、著者らが所属する研究室への設置について述べる。

^{*2} 水平方向を基準にして、羽根角度と光源角度の正負が逆の場合は和となる。

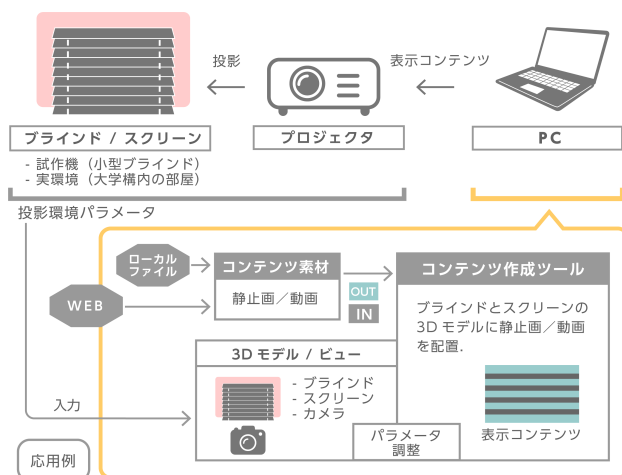


Fig. 6 System overview.

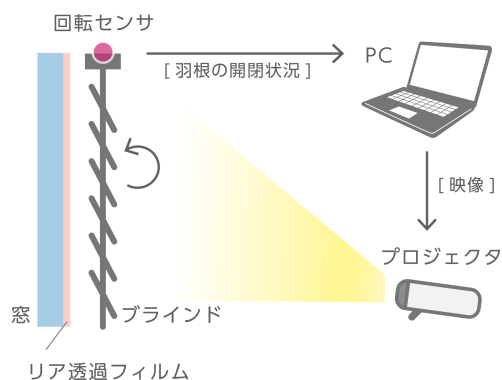


Fig. 7 System configuration of the first prototype.

4.1 小型ブラインド

ブラインド型ディスプレイのプロトタイプについて述べる。図 7 にプロトタイプの構成を示す。小型の窓枠を木材で作製し、窓ガラスに見立てたアクリル板をはめ込んだ。窓枠の内寸は、後述するブラインドに合わせて横 65 cm × 縦 40 cm とした。さらに、映像を室外に提示するために、アクリル板の表面にリア透過型のプロジェクションフィルムを取り付けた。次に、ブラインドを窓枠に固定した。ブラインドは市販品であり、映像を歪まずに投影するために羽根にたわみがなく厚みのある木製の羽根（幅：3.5 cm、白色）を持つものを使用した。また、プロジェクタは、BENQ の W1070 を使用し、プロジェクタからブラインドまでの距離は、ブラインド全体に映像を投影するため、100 cm とした。プロジェクタの投影角度は、約 20.5 度である。

4.1.1 羽根の角度検出

ブラインドの羽根の開閉状況の検出方法について説明する。本試作では、ブラインドの上側の回転軸が羽根の動きと連動することに着目した。そこでロータリーセンサ（ALPSCD50）を 3D プリンタで自作した固定具を用いて組み込み、回転軸にはめ込むように固定した（図 8）。セン

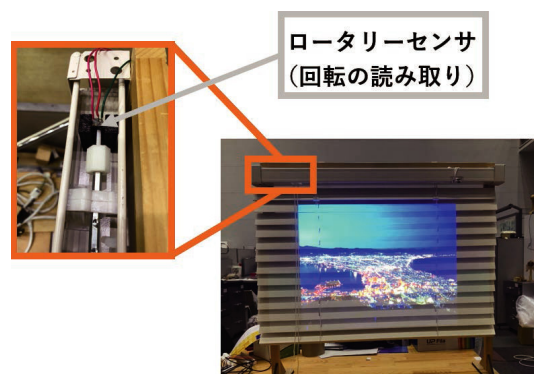


Fig. 8 Appearance of the first prototype.

羽根	ブラインドの状態	モーターの状態
上向き		
下向き		

図 9 羽根の状態を切り替えたときのブラインドとモータの状態

Fig. 9 Function to change the slat angle using motors.

サで取得した値を Arduino を通してパソコンで読み取り、読み取った値を羽根の開閉状況に応じて、複数の映像を切り替えてプロジェクタでマッピングする。

4.1.2 羽根の角度制御

ブラインドの羽根の角度を自動的に開閉する仕組みの実装について述べる。ブラインドの回転軸を直接モータで駆動するためには大きなトルクが必要で困難だったため、ブラインドの下部に 2 つのステッピングモータを設置し、ブラインドを手動で開閉するための 2 本の引き紐をモータで巻き取る機構を設計することにした。糸巻のような機構を 3D プリンタで設計/出力し、モータの先端に取り付けた。また、引き紐の先端を糸巻部の穴に通して抜けないように固定した。なお、モータはモータドライバを介して Arduino から制御する。

図 9 に、モータで紐を巻き取ることで、羽根の状態を切り替える様子を示す。おおむね、モータを 1 回転させる毎に、羽根の角度を約 45 度変えることができる。現在の実装では、モータを 1 回転させるには約 2 秒かかるため、あそびの時間も含めると「下向き」状態から「上向き」状態に変化させるには、約 10 秒の時間がかかる。

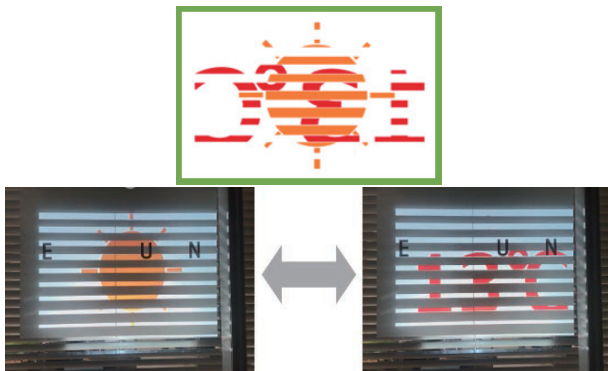


図 10 スリットアニメーションのような表現例

Fig. 10 Example of slit animation content.



図 11 両面で異なった情報を提示するコンテンツの 1 例

Fig. 11 Example of double-sided presentation content.

4.2 コンテンツ例

片面提示でのコンテンツ例を紹介する。ブラインドの影を活用した表現の 1 つとしてスリットアニメーションのような表現ができる可能性がある。ブラインドに映像を投影したときに外側に生じるブラインドの影をスリットに見立てることで、ブラインドの開く角度によってコマ数の違うアニメーションを投影できる (図 10)。また、数字やマーク、文字などの表現も可能であり、組合せ次第では幅広い応用が期待される。

次に、外側と内側でまったく異なる映像を投影する両面提示のコンテンツ例を紹介する。これは、前章の図 4 に示すように、マスク画像を用いて 1 つの画像に合成し投影することで、内側/外側に異なる映像を表示する手法である。図 11 のように、ブラインドをスクリーンとして、聴衆側 (内側) にスライドを表示しつつ、話者側 (外側) に読み原稿を表示するような簡易的なプレゼン機能を行えるシステムができる可能性がある。なお、このプロトタイプでは、投影する画像を画像編集ツールを用いてブラインドの開き具合に合わせて 1 つ 1 つ自作しているため、ブラインドの開閉状況やシステムの導入環境によって作り直す必要があり、時間も手間も大きくかかるといった課題があった。この解決策については 4.3 節にて述べる。

さらに、動画を投影するコンテンツも想定しており、画像投影時と同じように内側と外側でまったく異なる別の動画を投影したり (図 12)、また外側用の動画にモザイク処理などを施すことで、内側へ投影している動画の雰囲気を外側へ提示することなどができる (図 13)。



図 12 動画の両面提示。上：投影動画。左：内側から見た様子 (夜景)。右：外側から見た様子 (白黒アニメ)

Fig. 12 Example of different video content.



図 13 内側へ投影している動画の雰囲気を伝える例

Fig. 13 Example of same video content.

4.3 コンテンツ作成ツール

小型ブラインドを用いて両面に異なる画像を提示し、それぞれの面で独立した画像を視認できることを確認した (図 4, 図 10, 図 11)。次の段階として、前節で述べた課題の改善のため、コンテンツ製作を簡易化するツールの実装を行う。課題としては、まず両面提示のための画像はほぼ手作業で製作していた。また、ブラインドの角度やプロジェクタの位置などの要素で投影する位置の調整が必要のため、設置作業に時間がかかるなどの問題が生じていた。そこで、複数の環境に対応するために 3D ゲームエンジン「Unity」を利用してシステムの改善を試みる。具体的には、ブラインド/スクリーンの 3D モデルを作成し、投影環境を仮想的に再現させる簡易シミュレータとして利用することで、コンテンツ作成における画像の配置や分割、位置調整などの簡易化を図る (図 14)。

現実の機器の配置関係について 4.3.1 項で述べ、実装したコンテンツ作成ツールの詳細を 4.3.2~4.3.4 項で説明する。ツールの土台となる 3D モデルの調整機能について、4.3.5 項で述べる。

4.3.1 投影環境パラメータ

3D モデルで再現する対象となる、投影環境とパラメータの関係を図 15 に示す。表示コンテンツに影響する重要な

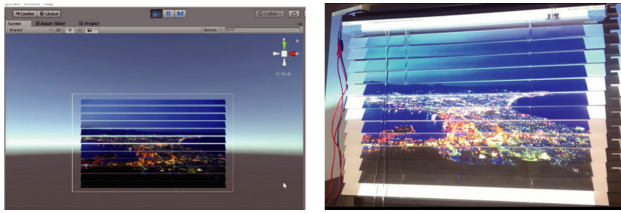


図 14 ブラインドの 3D モデル (左) と実際に投影した様子 (右)

Fig. 14 Blind model and projected appearance.

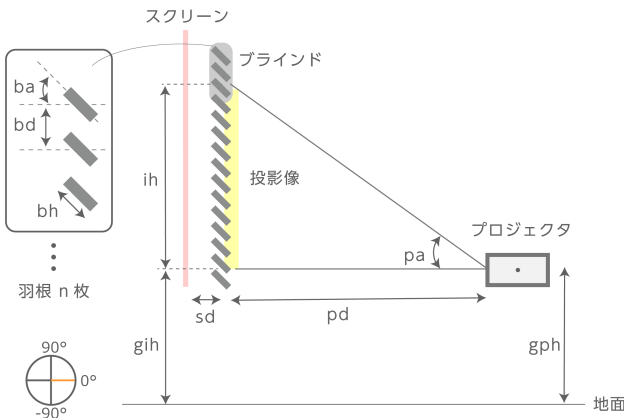


図 15 投影環境とパラメータ

Fig. 15 Projection environment and parameters.

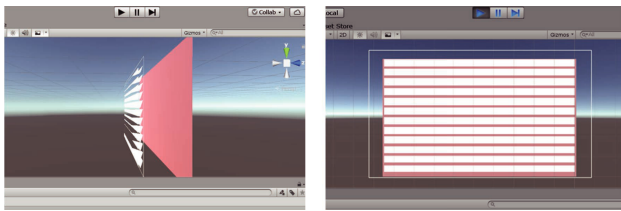


図 16 投影環境を模した 3D モデル

Fig. 16 3D model of the projection environment.

パラメータは、3.3 節で述べたブラインドの羽根幅 (bh)、羽根角度 (ba)、プロジェクタの投影角 (pa) と、羽根間隔 (bd) である。ブラインドとプロジェクタの距離 (pd)、投影像の高さ (ih)、地面～投影像の距離 (gih)、地面～レンズの距離 (gph) は、pa の概算に利用できる。投影されたコンテンツの視認性は、投影位置とユーザの視点位置に左右されと考えられるが、これは評価実験と議論で述べる。

4.3.2 静止画用ツール

ブラインドとスクリーンの 3D モデル (図 16) の表面に、任意の静止画を配置するスクリプトを実装した。ブラインドモデルでは、室内用画像をブラインドの羽根幅に合わせて分割し、各羽根にテクスチャとして貼り付ける。スクリーンモデルには、室外用画像をスクリーンのサイズに調整して配置する。GUI で画像を選択し配置した後、両モデルをカメラオブジェクトで撮影し、得た画像をプロジェクタで投影する。この際、両モデルの遮蔽関係を反映した画像が生成されるため、自前で 3.3 節の計算を行う必要はない。本ツールで動画の配置もできるが、ブラインドモデ

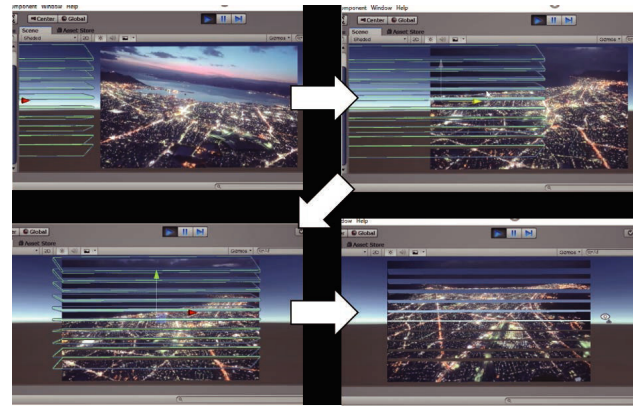


図 17 透明ブラインドオブジェクトを用いた動画の分割

Fig. 17 Masking a video using transparent blind objects.

ルでの動画再生速度が遅くなる問題が起こった。羽根毎に動画分割と再生を行う処理が、低いスペックのマシンでは負荷が高かったためだと思われる。この問題に対処するために、動画用ツールを実装した。

4.3.3 動画用ツール

ブラインドモデルに動画を配置/分割させる機能を追加した。ブラインドの位置に平面を配置し動画を表示させ、透明オブジェクトを使って動画の一部を切り取る (図 17)。透明オブジェクトをブラインドのように角度調節して、切り取る領域を羽根の隙間に相当するよう調整することで、静止画用ツールに近い分割表示ができるようになった^{*3}。

4.3.4 Web との連携

また、コンテンツのアップデート方法として GoogleDrive 上の専用フォルダへ画像をアップロードすることで、Unity 内で操作をしなくても画像の更新を行うことができる機能を実装した。Unity 内では、GoogleDrive の特定のフォルダを一定時間ごとにポーリングして監視しており、画像に更新があった場合、画像をダウンロード/分割して、ブラインドモデルに反映する。

4.3.5 設置環境の変化への対応

提案システムでは、前述したように、任意の画像や動画を選択することで、自動で分割/テクスチャへの反映などを行い、手軽にコンテンツを変更できる機能を持つ。しかし、環境などの変化にともない、作成したブラインド 3D モデルの大きさや回転角度、プロジェクタの設置場所などは適宜調節する必要があるため、システムを新たな環境へ導入するのに手間がかかる。そこで、こうした位置合わせを手軽に行うため、実際に投影する環境に合わせて、作成したブラインド 3D モデルの羽根の枚数や幅、傾きなどのパラメータや Unity 内のカメラオブジェクトと現実のプロジェクタとの位置関係を変更する機能を追加した。

具体的には、図 15 における羽根幅 (bh)、羽根間隔 (bd)、羽根角度 (ba)、羽根枚数 (n)、ブラインドとプロジェク

^{*3} 研究室における動作テストで、どちらの方法で作成したか見分けがつかないという意見を得た。

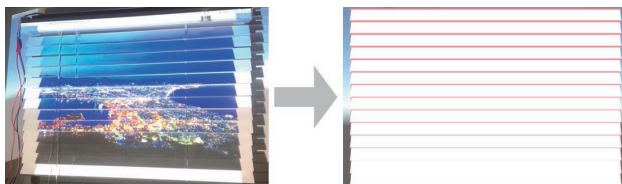


図 18 羽根幅 3.5 cm, 12 枚に設定したブラインドの 3D モデル

Fig. 18 Example of slat model: 3.5 cm × 12 pieces.

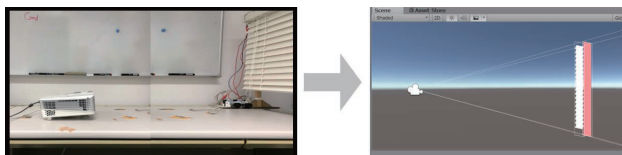


図 19 カメラとブラインド間の距離の設定 (100 cm)

Fig. 19 Distance setting of camera and blind.



図 20 院生室のブラインドにシステムを導入した様子

Fig. 20 Installation of the system on the student room.

タの距離 (pd), ブラインドとスクリーンの距離 (sd) の設定, および羽根の横幅と最上段の羽根の Y 座標を, 数値で変更できる. bh と n を一致させた例を図 18 に, pd を一致させた例を図 19 に示す. こういったパラメータを適宜調整することで, 手軽に投影環境の変化に対応できると考える. ただし今回の実装では, 開発上の問題でカメラの画角をプロジェクタの投影角度 (pa) に一致させる機能が不足しているため, 投影時に多少のずれが生じる. この点については, 議論の章で言及する.

4.4 実環境への導入

ブラインドの役割は設置場面によって異なるため, 適切なアプリケーションを設計をするためには提案システムを生活環境に導入し, 検証していく必要がある. そこで, 筆頭著者の大学院生室 (以下, 院生室) に着目し, 提案システムを導入した (図 20). 院生室は, 廊下と室内の間がガラス張りで, ブラインドで仕切られている. このブラインドをプロトタイプで利用した製品と (サイズを合わせて発注したうえで) 交換し, ガラスの一部にプロジェクションフィルムを配置した. なお, 現時点では検証段階のため, ブラインドの一部のみをディスプレイ化することとし, 小型のフィルムを利用している. この設置場面では, ブラインドはパブリック空間 (廊下) とプライベート空間 (院生室) を仕切る役割を持っている. この役割を考慮した応用

July	(yabunM, A51C) Jukubunfoc e'yab airtT	2018
This day's schedule(7/24, Monday)		
nozesJ : 0E:01~00:0		
srutsoi e svio : 01:51~04:01		
9:00~10:30	Lesson(Fundamentals of Media Design), Task: Create ZINE	gnitsoM : ~01:1
10:40~12:10	Give a lecture	
Associate professor: Katsuhiko Kaji(place: auditorium)		
13:10~	Meeting(Seminar)	
Other		
Task1: Advanced ICT Design(e-learning)		
Task2: Advances Topics in Field Information Studies(home work)		

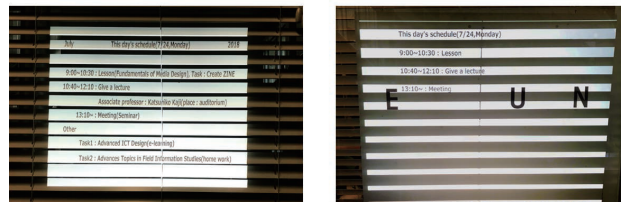


図 21 予定表. 室内に詳細 (左), 室外に概要 (右) を表示

Fig. 21 Schedule example.

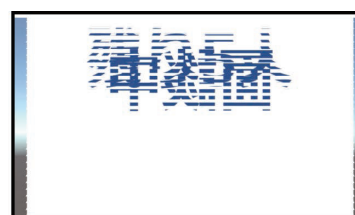


図 22 教員室での面談アプリ. 内側に残りの面談人数を表示

Fig. 22 Lab interview example.

例として, 図 21 のように外側/内側で異なる詳細度のスケジュールを提示できるシステムを試作した. 廊下側には大まかな時間/タイトルのみを表示し, 室内には各予定の詳細や Todo リストなどをあわせて表示させている. このように, ブラインドの設置場所と利用形態を加味して, ガラス/ブラインドなどの両面をスクリーンとした新たな情報提示の可能性を探る.

さらに, 大学教員室への導入も行った. 教員室もブラインドの持つ役割はほぼ同じであるが, 院生室と異なる点として, 基本的に部屋の中に人 (教員) がいるが, 棚などの配置の関係で室内の状況が分かりづらく, 部屋の前を通る人が院生室に比べ多いなどがあげられる. こうした環境において, システムを導入しコンテンツを製作する. また, 教員室においては投影箇所に乳白色のアクリル板を設置したが, 専用のプロジェクションフィルムを用いなくても, くっきりした映像を投影できることを確認した. 具体的な活用例として, たとえば, 学生と教員との面談を考える. 教員室では中の様子が確認できないため, 今誰が面談をしているかや教員の離席状況などが分かりづらく, さらに,

表 1 導入時の投影環境

Table 1 Projection parameters of the installation.

	院生室	教員室
ba (度)	−56	−30
bd (cm)	3.2	1.2
bh (cm)	3.5	1.5
n (枚)	12	31
ih (cm)	38.5	35.5
gih (cm)	113	206.5
sd (cm)	20	10
pd (cm)	70	75
pa (度)	20	22
gph (cm)	93.5	191
screen	乳白色フィルム*4	乳白色アクリル板

学生の数も多いためどのくらい面談が終わっているかなど確認できない。そこで本システムを用いることで、外側（学生）/内側（教員）に必要な情報を提示できると考えた（図 22）。

本導入における院生室と教員室の投影環境を表 1 に示す。

5. 評価実験

本システムの基礎的な評価として、実環境にシステムを導入したうえで、内側/外側の複数の視点からコンテンツの視認性を評価する必要があると考えた。視認性は視点位置と投影位置に影響を受けるため、複数の実験条件で視認性を調査する評価実験を実施する。上下方向の視点位置の違いが視認性に影響するかを確認するために、投影の高さが異なる環境である院生室と教員室を対象に実験を行う。水平方向の視点位置の違いが視認性に影響するかを確認するために、正面と斜めからの視点角度条件を用意する。距離の影響を調査するため、空間に余裕がある室外側については 2 種類の距離条件を用意する。

5.1 手法

本実験は、4.4 節で述べた院生室と教員室の投影環境で実施した。本実験の被験者は 22 歳から 26 歳の 8 名（身長 156~177 cm, 女性 2 名）を採用し、被験者には、各環境（教員室/院生室）にて提示したコンテンツを内側と外側でそれぞれ複数の位置で見てもらい、何が提示してあるかを書きとってもらう。投影環境によって見る角度や距離などに制限があるため、それぞれの環境で条件を変更してコンテンツの提示を行った。具体的には、教員室においては、内側では正面と左斜め 45 度からの 2 カ所、外側では正面と左右 45 度でそれぞれ短距離（150 cm）と長距離（450 cm）からの 6 カ所、計 8 カ所で評価を行い、院生室においては、内側では提示位置に対して正面と右斜め 45 度からの 2 カ所、外側では正面と左右 45 度からの 3 カ所、計 5 カ所で

*4 リアプロジェクションフィルム, Theaterhouse



図 23 評価実験で提示したコンテンツ例

Fig. 23 Content examples in the experiment.

表 2 教員室での角度ごとの正答率の結果

Table 2 The percent of correct responses (faculty room).

教員室		平均	標準偏差
内側	左斜め	100	0
	正面	98.33	3.09
外側	左斜め（短）	100	0
	左斜め（長）	98.33	3.09
	正面（短）	100	0
	正面（長）	98.33	3.09
	右斜め（短）	98.33	3.09
	右斜め（長）	98.33	3.09

表 3 院生室での角度ごとの正答率の結果

Table 3 The percent of correct responses (student room).

院生室		平均	標準偏差
内側	正面	100	0
	右斜め	100	0
外側	左斜め	97.5	4.63
	正面	100	0
	右斜め	97.5	4.63

評価を行った。提示するコンテンツは、ランダムに選出されたアルファベット 5 文字のものを用意し、できるだけ画面全体に文字を提示するため、教員室では 3 行、院生室では 2 行*5のコンテンツを提示した（図 23）。

このように、教員室/院生室において提示環境/手法はやや異なるが、実際にシステムを運用する際には多様な提示環境が想定されるため、あえて揃えない方針とした。

実験中、被験者には、提示した文字や位置毎の見やすさなどの視認性に関する主観的評価にもあわせて回答してもらった。最後に、提示した文字と書きとった文字を照らし合わせて正答率を比較し、主観評価や被験者からのコメントなどもあわせて、視認性に関する考察を行う。

5.2 結果

各環境において角度ごとによる正答率と被験者ごとの主観的視認性評価の結果について述べる。

教員室と院生室における角度ごとの正答率の結果についてまとめたものをそれぞれ表 2, 表 3 に示す。全体を通して、どちらの環境でもすべての角度で正答率 95%を超えて

*5 窓にあらかじめ貼ってあるカットティングシートの位置を避けるため削減した。

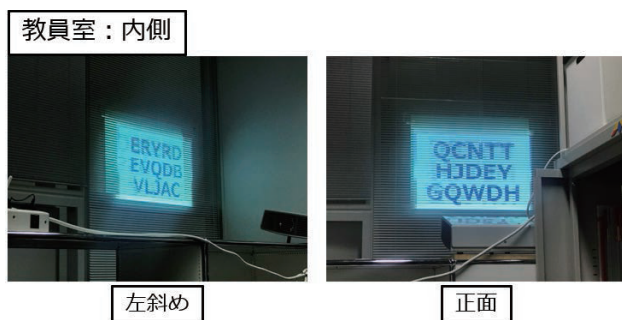


図 24 教員室（内側）での提示コンテンツの 1 例

Fig. 24 Content examples shown in faculty room (inside).

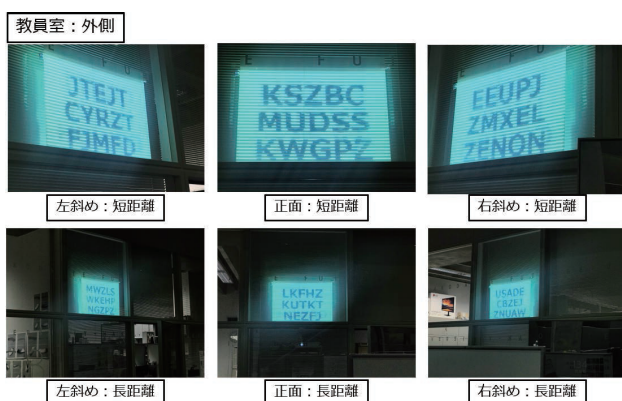


図 25 教員室（外側）での提示コンテンツの 1 例

Fig. 25 Content examples shown in faculty room (outside).

おり、文字の読み取りが容易であったことが分かる。また、図 24 (左) のようにブラインドの影と角度が合わさることによって、文字を読み取ることが難しくなるほか、環境によってはプロジェクタなどの設置場所が限られるため、図 26 のように窓のふちに隠れて別の文字に見えてしまったり、棚などの障害物によって一部見えづらくなるといった傾向があり、被験者の回答に一部誤回答が見られた。

教員室と院生室において被験者ごとの主観的な見やすさの評価の結果についてそれぞれ表 4 と表 5 に示す。教員室では、外側の長距離（左斜め、正面、右斜め）における主観的評価の平均が高い傾向にあった。また、内側の左斜めにおいては、ほかの提示場所 비해主観的評価が著しく低い結果となった。院生室では、内側と外側の正面における主観的評価が比較的高く、内側の右斜めにおける主観的評価が低い傾向にあった。

5.3 考察

各環境における、角度ごとの正答率と被験者ごとの主観的視認性評価の結果をまとめたものを図 27 に示す。本節では、それらの結果に対する各環境ごとの考察について述べる。

各環境における角度ごとの正答率の結果より、どちらの環境においても全体的に非常に高い正答率を得た（教員室

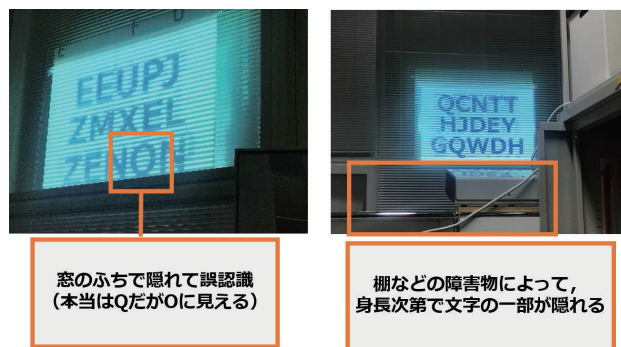


図 26 誤回答の要因の 1 例

Fig. 26 Reasons of the incorrect responses.

表 4 教員室での主観的視認性評価結果 (1. 見にくい–5. 見やすい)

Table 4 Results on subjective visibility (faculty room).

教員室		平均	標準偏差
内側	左斜め	2.13	0.76
	正面	3.5	0.76
外側	左斜め (短)	3	1.07
	左斜め (長)	4	0.76
	正面 (短)	3.38	0.92
	正面 (長)	4.13	0.64
	右斜め (短)	3.63	0.92
	右斜め (長)	4	1.07

表 5 院生室での主観的視認性評価結果 (1. 見にくい–5. 見やすい)

Table 5 Results on subjective visibility (student room).

院生室		平均	標準偏差
内側	正面	4.5	0.93
	右斜め	1.75	1.04
外側	左斜め	3.13	1.46
	正面	3.63	1.30
	右斜め	3.38	1.51

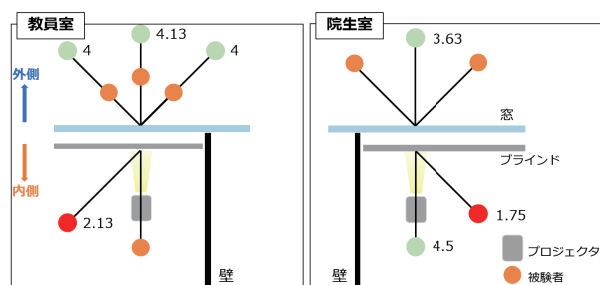


図 27 各環境における主観的視認性のまとめ

Fig. 27 Summary of subjective visibility.

98%以上、院生室 97%以上)。これは、今回実験の際に使用した大きめのフォントサイズでは、ブラインドによってある程度文字が隠れても、見えていない場所の補完がしやすく、文字としての認識が容易であったためだと考えられる。院生室では使用しているブラインドが幅 3.5 cm と大きく、図 23 (右側) のように外側に生じる影も大きくなってしまいが、今回の実験では、投影位置に対して視認する

表 6 本システムの情報提示に関するアンケート結果 (1. negative-5. positive)

Table 6 Questionnaire results (1. negative-5. positive).

項目	被験者 1	被験者 2	被験者 3	被験者 4	被験者 5	被験者 6	平均	標準偏差
提示された内容は理解できるか	4	3	4	4	4	4	3.83	0.41
提示された情報は目を引くか	5	4	5	4	3	4	4.17	0.75
提示方法の好ましさ	4	2	4	4	3	4	3.5	0.84

位置が比較的近かったため正答率が高かったと考察する。

次に、被験者ごとの主観的視認性評価結果について考察する。教員室において、外側の長距離における主観的評価が高かった。これは、遠くから見たほうが細かい歪みなどが気にならず、はっきり文字を読み取ることができたためだと考えられる (図 25 下段)。さらに、実験後のアンケートで「外側の長距離が一番見やすかった」といったコメントや「身長の影響で見づらい場所もあった」といったコメントが見られた。これは、教員室ではプロジェクタの設置環境の影響で、投影位置が高く、近い距離ではコンテンツを多少見上げる形になったり、投影されたコンテンツが棚や窓のふちによって読み取りにくくなるためであると考えられる。また、内側の斜めにおいて主観的評価が低くなったこととしては、この提示位置から文字を見たとき、外側へ提示した内容が見えてしまうため、文字が重なって見えたり、歪んで見えてしまうことがあったためだと考えられる。次に、院生室における主観的評価について考察する。院生室においては、内側と外側で正面からの視認性が高い傾向にあったため、これらの提示場所においては、文字の切れ目がほかの提示場所に比べ少なく、比較的提示内容が見やすかったと考えられる。また、院生室においても内側の斜めにおいては、主観的視認性が低い傾向にあった。これは、ブラインドに対して斜めから文字を見たとき、読み取ることはできるが、文字のガタつきが大きかったり、文字がより分割されて見えるようになったためだと考えられる。

以上のことから、内側で投影位置 (ブラインド) に対して斜め方向からの角度では比較的に見にくいと感じられるが、全体を通してコンテンツを見たときの正答率が高いため、文字を読み取りやすく、また、投影環境によっては身長や視力など身体的影響によって視認性が変わってくると考察する。

6. 予備運用

本格的な運用実験は行っていないが、前述した教員室においてシステムを一定期間、予備的に運用した。システムの運用者 (筆頭著者)/利用者からのフィードバックをふまえて、システムの運用に関わる知見を整理/議論する。

6.1 手法

教員室において約 1 週間システムを運用し、つねにコン

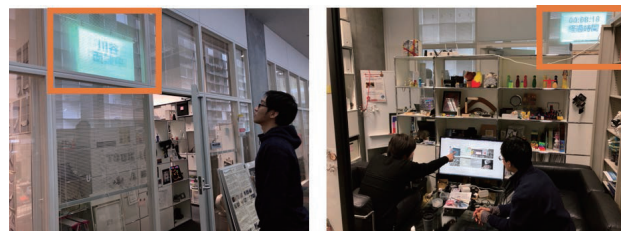


図 28 面談時に提示したコンテンツ

Fig. 28 Installed content for lab interview.



図 29 日常的に提示したコンテンツ

Fig. 29 Installed content for daily use.

テンツを提示した状態とした。提示コンテンツは、4.4 節で示した面談用コンテンツと、日常的に利用する研究紹介コンテンツの 2 種類を用意した。面談用コンテンツは、外側に現在面談している人の氏名を、内側には面談の経過時間を表示する (図 28)。研究紹介コンテンツは、外側には研究のデモビデオを、内側にはプロジェクト名や開発した学生の氏名・顔写真などを提示する (図 29)。こういったコンテンツを約 1 週間稼働させた上で、提示方法やコンテンツ内容について男女計 6 名 (女性 1 名) に簡単なアンケートを実施した。なお、利用者には教員側として著者 2 名を含むが、システムに日常的に触れるのは初めてであり、実運用にともなう効果や知見の整理としては一定の意義があると考えた^{*6}。

6.2 結果

アンケートの結果や被験者から得たコメントについて述べる。まず、アンケートの「提示された内容は理解できるか (質問 1)」、「提示された情報は目を引くか (質問 2)」、「提示方法の好ましさ (質問 3)」における結果についてまとめたものを表 6 に示す。全体的に見ると、それぞれの項

^{*6} 運用の制約として、実験中に Covid-19 の影響で登校自粛となり、実験期間を縮小した。アンケート回答者としては当初研究室の前を通る第三者も想定したが、同様の理由から研究室の教員/学生に限定した。

目で平均値が3.5以上であり、システムによる情報提示についてある程度好意的な評価を得た。また、「ブラインドのディスプレイ化についてどう思うか（質問4）」といったアンケートでは、「普通のディスプレイよりさりげない感じがする」、「デジタルサイネージだと表現がうるさすぎる時もあるため溶け込んでるのはいい」、「浮遊感がありよい」、「簡単にセットアップして利用できるなら素晴らしい」などの好意的なコメントや「普通のディスプレイでよいのではないかと思ってしまう」、「デザインやアート系のコンテンツだと向かない場合がありそう」といったコメントが見られた。さらに、「何が提示していると嬉しいか（質問5）」といったアンケートにおいては、「重要ではないが知っておきたいくらいの情報向き」、「文字などに加え、時計なども表示されていると便利」などといったフィードバックを得た。また、今回提示したコンテンツにおいて、図28に対しては「コンテンツに動きがあればもうちょっと見るかもしれない」、「時間経過などが表示されているのは便利」といったコメント、図29に対しては「過去のプロジェクト情報の動画はいいと思った」などのコメントを得た。

6.3 考察

本節では、アンケートの結果や被験者からのコメントに関しての考察について述べる。アンケート結果について各項目の平均値が3.5以上であり、全体的には好意的な結果を得た。しかし、「提示方法の好ましさ（質問3）」において2として回答もあり、そのコメントとして「普通のディスプレイでよいのではないかと思ってしまう」といった内容が見られた。これに関して、本システムによる情報提示はブラインドとプロジェクタがある環境であれば手軽に部屋の両面に情報を提示することができ、さらにプロジェクタを使用しているため投影範囲の拡大/縮小が容易であるなどといった利点がある。ただし、今回の運用環境では教員室の外側の情報提示だけを見た場合もあり、両面提示の効果を把握できなかった可能性がある。一方、被験者からのコメントで「普通のディスプレイよりさりげない感じがする」、「デジタルサイネージだと表現がうるさすぎる時もあるため溶け込んでるのはいい」などといった好意的なコメントも得られており、通常のディスプレイを設置した情報提示と差別化が図れていると考えられる。

「何が提示していると嬉しいか（質問5）」の回答において、「時間」や「天気」などのアンビエントディスプレイでよく扱われる回答が多く見られた。前章で述べたように、提案手法には、文字情報でも一定の視認性を持つが、生活空間に溶け込みやすい特性を生かしたアンビエントディスプレイとしても活用できると考えられる。また、「研究室の学生情報」や「生徒や教員の来訪の有無」の確認ができるというコメントも見られた。これに関しては、ブラインド付近（≒教員室の入り口付近）にセンサなどを

設置し訪れた人を記録するなどして、部屋への出入りを検出/提示できる可能性がある。

一方、今回システムの導入と運用は筆頭著者自身が行ったが、現ツールやコンテンツ切替に関して課題が見つかった。詳細は議論の章で述べる。

7. 議論

本章では、「視点位置の制約」、「コンテンツ作成ツールの課題」、「窓の透過性の制御」、「ブラインドへのインタラクション」、「一般的なディスプレイとの比較」の視点から議論する。

7.1 視点位置の制約

両面提示時における室内外の視認性を調査した評価実験では、教員室の室内側の主観的評価値が低い傾向となった。この要因として5.3節では、教員室の室内から像を見たときに「外側へ提示した内容が見えてしまう」ことをあげたが、院生室ではこの現象が起こらなかった。これは、教員室と院生室の投影位置が異なっていたことに起因する違いであると考えた。そこで本節では、上下方向の視点位置が視認性へ及ぼす影響について議論する。

図30に、上下方向の視点角度とブラインドの羽根角度の関係を示す。視点が(1)の範囲にある場合は上部の羽根しか見えず、(2)の範囲では投影側の羽根表面が見えないため、像の視認ができない。(3)の範囲内で、投影像を視認できる。(3-1)は、室内側の像のみが視認できる範囲である。(3-2)は「羽根角度」と「上の羽根が下の羽根の一部を遮蔽する境界角度」との間にあたり、羽根の隙間から室外側の像を視認できてしまう。教員室は、視点より上方に投影像が配置されており、視点は(3-2)に相当した。院生室は、視点より下方に投影像が配置されていたため、視点は(3-1)に相当した。

以上のように、本システムには像を視認しやすい視点角度に制約がある。視点角度は像との距離に依存するため、システム設置時には投影位置を考慮する必要があるといえる。

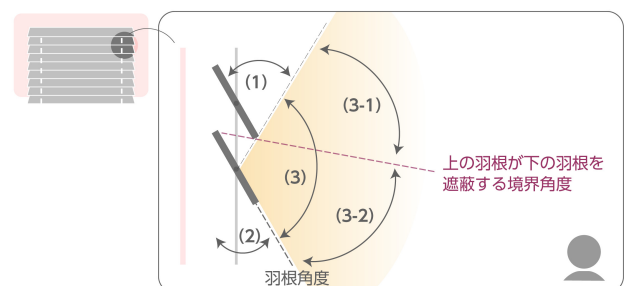


図30 室内側の投影像における視点角度と視認性の関係
Fig. 30 The relationship between viewpoint and visibility.

7.2 コンテンツ作成ツールの課題

現在のコンテンツ作成ツールの課題として、「投影角度とカメラ画角の不一致」、「コンテンツ切替」、「連続稼働時間」について述べる。

本システムの導入と運用は筆頭著者自身が行ったが、前述した調整ツールを利用しても、作成した3Dモデルと現実のブラインドの投影位置が微妙にずれてしまい、Unity内でモデルの座標/羽根パラメータの調整を手動で行う必要があった。これは、一般的なブラインドの羽根にはたわみがあり平面ではない点、プロジェクタとカメラの画角が厳密には一致していない点などが原因だと考えられるため、今後改良を進めたい。画角の一致については、paもしくはih/pd/gih/gphを入力してカメラのビューボリュームに反映させるスクリプトを実装することで改善できると考える。

また、今回の実験では提示する2種類のコンテンツの切り替えは筆頭著者が手動で行っている。この点はGoogle Calendarのようなスケジュール管理システムと連動するなどして、自動的に切り替えるなど対応していきたい。

システムは原則連続的に稼働させたが、3日程度連続で動作させると動作が重くなる課題が見られた。動画を複数切り替えて提示していた影響だと考えるが、一定期間ごとにシステムを自動的に再起動するなどして対策したい。

7.3 窓の透過性の制御

現在の投影環境では、窓側へ投影された映像を視認しやすくするため、4章で紹介したように窓に乳白色のプロジェクションフィルムを貼り付けて投影を行っているため、つねにすりガラスのような状態であり、窓としての機能を損ねてしまう可能性がある。透明度の高いプロジェクションフィルムを利用すれば窓の透過性は保てるが、やや視認性は落ちるというトレードオフがある。そのため、通電の有無で透明/不透明を切り替える瞬間調光フィルムなどの素材の使用を検討していく。このフィルムは基本乳白色だが、電気を通すと透明になる性質を持っているため、これをプロジェクションフィルムの代わりに使用することでシステムを利用するときだけ、窓を乳白色にするといった機能を追加できる可能性がある。

7.4 ブラインドへのインタラクション

現在のシステムでは、Unity内で指定した画像や動画を自動で投影用のコンテンツにする機能を備えるが、コンテンツを切り替えるためにPCを操作する必要があり、操作が手間となる可能性がある。そこで、ブラインドへ直接インタラクションを行うことで手軽なコンテンツ切り替えができるのではないかと考え、ユーザの動作検出とインタラクション手法を検討するため、LeapMotionを用いた試作を行った。具体的には、ブラインドの正面下部に

LeapMotionを設置し、ブラインドに触れるジェスチャーをすることで、触れた場所からエフェクトを発生させたり、特定の場所に触れることによって投影するコンテンツの切り替えなどを行うことができる。今後は、提案手法全体のブラインドに対するインタラクション手法を検討し、インタラクティブなコンテンツ設計もあわせて進めていく。また、現在はLeapMotionでの検証を行っているが、本システムの設置環境では必ずプロジェクタを用いて投影を行っており、Kinectのようなカメラベースのシステムの方が向いている可能性があるため、検出方式も検討する。

7.5 一般的なディスプレイとの比較

提案システムの設置箇所（窓の周囲の両面）に一般的なディスプレイを設置する場合と比較した議論を行う。まず、価格/設置コストについては、サイズが小さければディスプレイが、大きければ提案システムが有利となり一長一短であると考えられる。次に、情報提示手法としての特徴について考える。ディスプレイの方がクリアな映像を表示できるため、一般的なデジタルサイネージなどのForegroundなメディアとしては有利である。一方、存在感が強いため、生活環境で常時利用するには煩わしく感じる可能性がある。提案システムは、ブラインド自体を活用することで、ディスプレイを使うよりも生活環境に溶け込んだ（ForegroundからBackgroundまでカバーするような）情報提示を行える可能性がある。また、映像を表示しなければ、システムの存在感をほぼなくすることができる。こうした特徴を活用したコンテンツの設計はまだ十分とはいえないが、4.2節で紹介したスリットアニメーション（ブラインドの影を積極的に活用）、や室外に動画をばかして表示する例（室内の様子を外に伝えるアンビエントディスプレイのように活用）などを拡張し、有用なコンテンツを開発/運用していきたい。

8. まとめと今後の展望

本研究では、ブラインドと窓をスクリーンとして見立て、ブラインドの開閉状況に応じて映像を投影することで、室内/室外の双方から視認可能なディスプレイを提案し、ブラインドの開閉状況に応じて、室内/室外に伝わる情報量を調整するプロトタイプを構築した。次に、実環境への導入として、院生室と教員室にそれぞれシステムを導入し、各環境における基礎的なコンテンツを製作した。さらに、システムの改善として、Unityを用いて手軽にコンテンツの製作や投影する画像の変更、投影位置の調整などを行うツールを実装した。また、評価実験として教員室と院生室2つの環境においてシステムの視認性の調査を行った。

今後の展望として、評価実験を通して得たコメントや課題への対応を行う。具体的には、システムの改善や応用コンテンツに対する指摘、さらには、ブラインドモデルやカ

メラオブジェクトのパラメータの追加, コンテンツの製作/アップデート方法の改善など, 設置環境に素早くシステムを導入し, 手軽に利用できることを目指す. さらに, 教員室でのシステムの運用にともない, コンテンツの切り替えやシステムの動作が重くなるといった課題も見られたためその対応も行う. また, 本研究では実環境への導入として主に院生室と教員室での実験を行ったが, その他のブラインドが利用されている空間への対応を検討して行く. たとえば, 学内の教室, 会議室, 正面の大型窓, さらに, ブラインドが使用されている店舗の一角を利用してシステムの導入を検討して行きたい.

参考文献

- [1] 石川 優, 牟田将史, 田丸順基, 田丸英輔, 上原 皓: 花水: 多視点観察及び移動が可能なフォグスクリーン, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.19, No.2, pp.227-236 (2014).
- [2] Ishii, A. and Siio, I.: BubBow: Display Vessel Using Electrolysis Bubbles in Drinkable Beverages, *Proc. UIST '19*, pp.619-623 (2019).
- [3] 中原由美, 水野慎士: 障子を用いたインタラクティブシステムの開発, インタラクション 2017 論文集, 3-506-25, pp.771-773 (2017).
- [4] 神原啓介, 半田智子, 塚田浩二, 椎尾一郎: 日常空間で常時利用するためのカーテンメタファを用いたビデオコミュニケーションシステム, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.13, No.4, pp.291-302 (2011).
- [5] 辻本祐輝, 伊藤雄一, 尾上考雄: Ketsuro-Graffiti: 結露を用いたインタラクティブディスプレイ, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.21, No.3, pp.513-520 (2016).
- [6] 永渕玲緒奈, 的場やすし, 椎尾一郎: Water Jet Printer 散水領域が設定可能なスプリングラシステム, 研究報告ユビキタスコンピューティングシステム, Vol.2015-UBI-47, No.9, pp.1-6 (2015).
- [7] Rekimoto, J.: Squama: Modular Visibility Control of Walls and Windows for Programmable Physical Architectures, *Proc. AVI '12*, pp.168-171 (2012).
- [8] Siio, I., Rowan, J. and Mynatt, E.: Peek-a-drawer: Communication by furniture, *CHI '02 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '02)*, pp.582-583 (2002).
- [9] Projection BLIND: PARCO SPACE SYSTEMS CO., LTD., available from (<https://www.parco-space.co.jp/projectionblind/>) (accessed 2020-11-10).
- [10] 中村聡史, 園山隆輔: Reversible Display: 両面ディスプレイによるコンテンツ閲覧, 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, Vol.2005, No.52, pp.67-73 (2005).
- [11] Khalilbeigi, M., Lissermann, R., Kleine, W. and Steimle, J.: FoldMe: Interacting with double-sided foldable displays, *Proc. TEI '12*, pp.33-40 (2012).
- [12] 岩渕正樹, 寛 康明, 苗村 健: 両面タッチ入力可能な透明インタラクティブディスプレイの基礎検討, 情報処理学会シンポジウム論文集, Vol.2008, No.4, pp.171-172 (2008).
- [13] Kim, H., Yamamoto, H., Koizumi, N., Maekawa, S. and Naemura, T.: HoVerTable: Combining Dual-sided Vertical Mid-air Images with a Horizontal Tabletop Display, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.17, No.3, pp.275-286 (2015).
- [14] 巻口誉宗, 高田英明, 坂本大介, 小野哲雄: 両面透過型多層空中像表示技術の提案と実装, 情報処理学会論文誌デジタルコンテンツ (DCON), 情報処理学会, Vol.8, No.1, pp.1-10 (2020).
- [15] Hamada, T., Nagano, K., Utsugi, T., Hirano, M. and Shirai, A.: Scritter: A multiplexed image system for a public screen, *Proc. Virtual Reality International Conference (VRIC 2010)*, 3pages (2010).

本間 貴士

1995 年生. 2018 年公立はこだて未来大学システム情報科学部情報アーキテクチャ学科卒業. 2020 年同大学大学院システム情報科学研究科博士前期課程修了.

沖 真帆 (正会員)

1985 年生. 2013 年お茶の水女子大学大学院人間文化創成科学研究科博士後期課程修了. 博士 (理学). 同年より公立はこだて未来大学特任研究員.

塚田 浩二 (正会員)

1977 年生. 2005 年慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科博士課程修了. 博士 (政策・メディア). 産業技術総合研究所, お茶の水女子大学, 科学技術振興機構さきがけ研究員を経て, 2013 年より公立はこだて未来大学情報アー

キテクチャ学科准教授. 日用品インタフェース, マテリアルインタラクション等の研究に従事. 2012 年イグノーベル賞 (音響学) 受賞.

ここに掲載した著作物の利用に関する注意 本著作物の著作権は情報処理学会に帰属します。本著作物は著作権者である情報処理学会の許可のもとに掲載するものです。ご利用に当たっては「著作権法」ならびに「情報処理学会倫理綱領」に従うことをお願いいたします。

Notice for the use of this material The copyright of this material is retained by the Information Processing Society of Japan (IPSJ). This material is published on this web site with the agreement of the author (s) and the IPSJ. Please be complied with Copyright Law of Japan and the Code of Ethics of the IPSJ if any users wish to reproduce, make derivative work, distribute or make available to the public any part or whole thereof. All Rights Reserved, Copyright (C) Information Processing Society of Japan.