

ブラインドを拡張した新たな情報提示手法とその応用

本間 貴士^{1,a)} 沖 真帆^{1,b)} 塚田 浩二^{1,c)}

概要：ブラインドは手軽に採光状況やプライバシーを調整できる点から、一般的な窓から会議室等のガラス壁まで、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について説明し、コンテンツ例や運用事例について紹介する。

Proposal and Application of Information Presentation Technique by Expanding Window Shade

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、液晶ディスプレイ等の平面のディスプレイ等とは異なるアプローチとして、霧や水などの「自然物」や、人々が日常的に利用する「日用品」にディスプレイの機能を融合させた新たなディスプレイの開発も進んでいる。我々は、日用品をディスプレイ化する試みとして、ブラインドに着目した。ブラインドは手軽に採光状況やプライバシーを調整できる点などから、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できると考えた。さらに、ブラインドの羽根の開閉状況に応じて、その特徴に合わせて映像を制御することで、室外に伝わる情報量を調整可能な新たな情報提示手法を提案する(図1)。

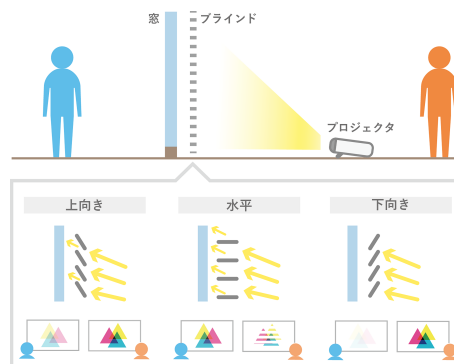


図1 本研究の着眼点。ブラインドの羽根の開閉状況に応じて、室内／室外の双方から閲覧可能なスクリーンとして利用する

2. 関連研究

ここでは、本研究と関連する先行研究として「自然物を利用して情報提示を行った研究事例」と「日用品を用いて情報提示を行った研究事例」という2つの領域から紹介する。

2.1 自然物を利用して情報提示を行った研究事例

本節ではまず、霧や水などの自然物を利用して情報提示を行った研究について紹介する。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

¹ 公立はこだて未来大学
^{a)} g2118037@fun.ac.jp
^{b)} okimaho@acm.org
^{c)} tsuka@acm.org

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提案している。辻本らは [2] 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ディスプレイ Ketsuro-Graffiti を提案している。Nakagaki らは膜状の流水の形状を制御して情報を提示する Hydro Morph を提案している [4]。このシステムでは流水が平面に当たることで形成される膜状の水を、上下する物体によりせきとめることで形状を変化させる。さらに、Kobayashi らはマイクロ流体ベースの柔軟な反射型マルチカラーディスプレイの構成手法を提案している [5]。このシステムでは水滴のような形の穴をピクセルに見立て、これを複数個繋げた形の流路を PDMS（シリコンの一種）により形成している。

2.2 日用品を用いて情報提示を行った研究事例

次に、日用品を用いて情報提示を行った研究について紹介する。なめらカーテン [6] 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。また、中原ら [7] 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。PotPet[8] は、センサや車輪を搭載した植木鉢型ロボットである。例えば、植物に必要な水分が不足してきた際に、植木鉢自身が動き回することで、ユーザに対して水分不足の情報提示を行う。AffordanceLight[9] は、Fab 施設等のものづくり環境において、光を用いてユーザを誘導するデスクライト型のシステムである。例えば、ユーザが使用した道具を認識し、次に使う可能性の高い道具の位置を提示する。Squama[10] 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。

2.3 本研究の特徴

このように、霧や水などの自然物や日用品による情報提示は多数提案されており、応用の幅も広く様々な場所で活用できる可能性がある。一方、本研究では、日用品としてブラインドに着目し、ブラインドの利用場面や特性を活かした新たな情報提示手法を提案する。

3. 提案

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、プロジェクタ等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、下向きの三状態で大別される。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、モーターで制御することで、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。

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」等が考えられる。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。例えば、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し、環境映像等を提示する場合は、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。そこで、図 2 のように、2 つの画像を自作したボーダー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。

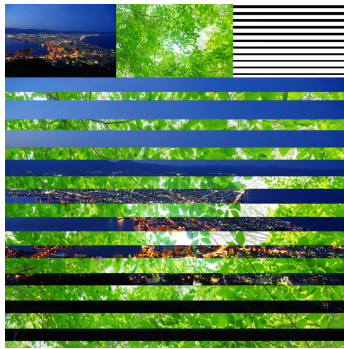


図 2 両面提示手法の一例. 上段左 2 枚の画像を, 右のマスク画像を用いて切り抜いて合成した.

4. 実装

本章では提案システムの実装として, 「小型ブラインド」, 「コンテンツの模索」, 「コンテンツ作成ツール」についてそれぞれ説明する.

4.1 小型ブラインド

まず, 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 3 にプロトタイプの構成を示す. まず, 実験環境を整えるために, 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 65cm × 縦 40cm とした. さらに, 映像を屋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めの木製の羽根 (幅: 3.5cm, 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, 100cm とした.

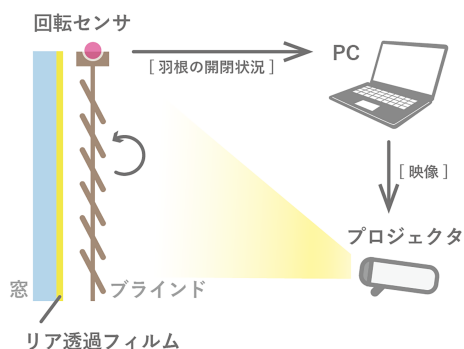


図 3 システム構成

4.1.1 羽根の角度検出

次に, 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. 本研究では, 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 (ALP5DC50) 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 4). センサで取得した値を 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.

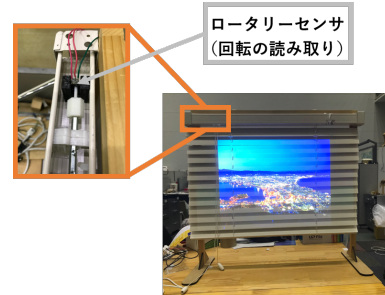


図 4 プロトタイプの外観とセンサの固定. ブラインド上部の回転軸にロータリーセンサを組み込むことで, 羽根の開閉状況を検出する.

4.1.2 羽根の角度制御

ここではまず, 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ーで駆動するの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二つのステッピングモーターを設置し, ブラインドを手動で開閉するための二本の引き紐をモーター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 プリンターで設計/出力し, モーター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, モーターはモータードライバを介して Arduino から制御する. 図 5 に, モーター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. 概ね, モーターを一回転させる毎に, 羽根の角度を約 45 度変えることができる. なお, 現在の実装では, モーターを一回転させるには約 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.

	ブラインドの状態	モーターの状態
上向き		
下向き		

図 5 羽根の状態を切り替えたときのブラインドとモーターの状態. 上向き時には左のモーターに, 下向き時には右のモーターに引き紐が巻かれる.

4.1.3 映像の投影例

次に、羽根の開閉状態を変えて、実際に映像を投影した事例について紹介する（図6）。プロジェクタは、図3のようにブラインドの正面下部に固定した。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」として説明する。また、投影した画像は図2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。

- 上向き状態（図6上）では、内側にくっきり映像が投影され、外側には羽根の隙間から漏れた一部の映像が投影された。
- 平行状態（図6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。
- 下向き状態（図6下）では、内側にはくっきり映像が投影される一方、外側からはほとんど映像が確認できなかった。

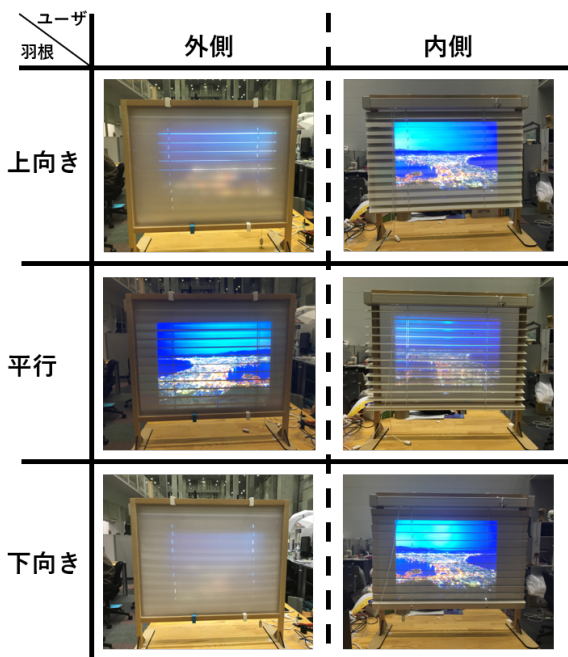


図6 羽根の開閉状態毎の外側／内側の投影例。（プロジェクタは内側から投影）

4.2 コンテンツの模索

ここではまず、試作したプロトタイプにおいて、3.2で示したように、外側と内側で全く異なる映像を投影することができるかの検証を行った。図7に実際に図2をプロトタイプに投影した様子を示す。観測者とブラインドとの距離／角度にも多少影響されるが、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できることを確認した。そのため、図8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一つ一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にて述べる。

また、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9）。また、数字やマーク、文字などの表現も可能であり、組み合わせ次第では幅広い応用が期待される。

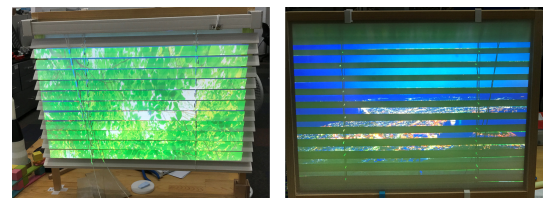


図7 両面提示の投影例。内側には木漏れ日、外側には夜景の映像が投影される。



図8 両面で異なった情報を提示するコンテンツの一例。内側（左）では、聴衆側用にスライドなどを表示しつつ、外側（右）では話者側用の読み原稿を表示できる。

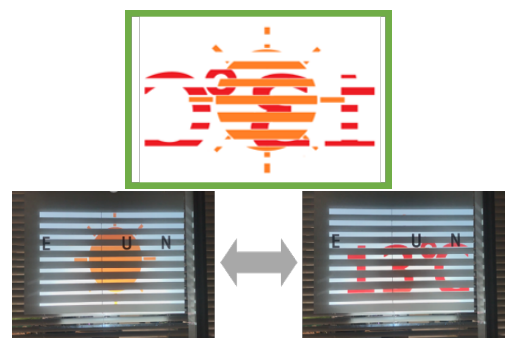


図9 上のような画像をただ下にスライドさせるだけでスリットアニメーション（晴れマークと気温など）のような表現が可能。

4.3 コンテンツ作成ツール

本章では、前述したように両面提示手法において、ある程度期待された視認性を得ることができたため、4.2 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ためのツールの実装を行う。プロトタイプでは、前述したような両面提示の為の画像はほぼ手作業で製作している。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、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 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、Unity 内でテクスチャを張り付けたブラインド 3D モデルを作成し、現実のブラインドに合わせて投影する。このように、Unity を投影の簡易的なシミュレータとして利用することで、コンテンツ制作や位置調整などの簡易化を図る（図 10）。次に製作したツールに関して「静止画用ツール」、「動画用ツール」、「Web との連携」と言った観点から説明する。

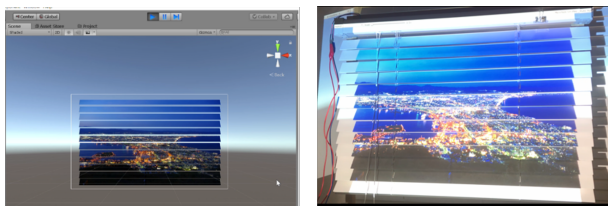


図 10 Unity で作成したブラインド 3D モデル（左）と実際に投影した様子（右）。

4.3.1 静止画用ツール

まず、ブラインド 3D モデルにテクスチャを反映させるために行った、画像分割の方法について説明する。画像分割は、Unity と画像処理ライブラリの ImageMagick を連携させることで実装した。具体的には、ユーザはまず任意のフォルダに画像を格納する。次に、Unity 上のボタンをクリックし、画像を選択する。すると、画像は ImageMagick を用いて自動的に分割され、Unity 用のリソースフォルダに保存される。分割が終わると、Unity 上のブラインドモデルに自動的に画像が反映される（図 11）。

なお、図 12 のように、ブラインド 3D モデルの後ろにもう 1 つ平面オブジェクトを置くことで、外側への提示を行うことができる。こちらに提示する画像も、ボタンで選択できる。

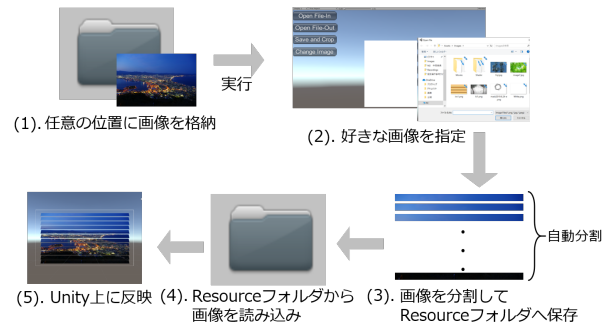


図 11 画像選択からテクスチャ反映までの流れ。

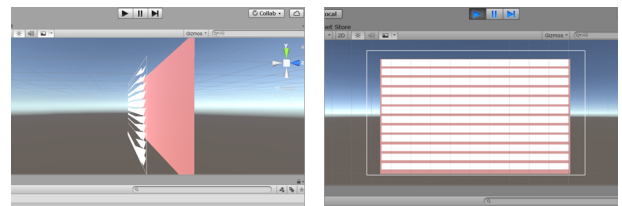


図 12 ブラインド 3D モデルの後ろにオブジェクトを置くことで外側への提示を行う。赤い面は実世界の窓に相当し、ここに移動する像が窓の外側に提示される。

4.3.2 動画用ツール

提案システムは、当初は主に静止画コンテンツを使用していたが、応用の幅を広げるため動画のコンテンツの作成も合わせて検討している。動画を画像の時と同じように分割／テクスチャへの反映を行うことが実装上困難であったため、Unity 内で透明なオブジェクトを用いて、簡易的に動画投影用のオブジェクトを分割することで対応することにした（図 13）。透明オブジェクトをブラインドのように角度調節することで、静止画コンテンツとほぼ同等の表現力を実現できる。想定するコンテンツとしては、画像投影時と同じように内側と外側で全く異なる別の動画を投影したり（図 14）、また外側用の動画にモザイク処理などを施すことで、内側へ投影してる動画の雰囲気を外側へ提示することなどができる（図 15）。

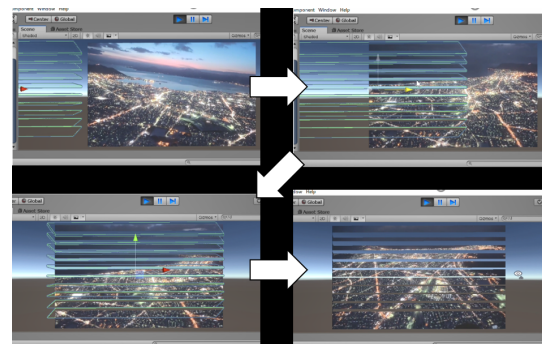


図 13 透明ブラインドオブジェクトを用いた動画の分割



図 14 動画の両面提示. 上: 実際に投影している動画. 左: 内側から見た様子. 右: 外側から見た様子.



図 15 内側へ投影している動画の雰囲気を伝える. 上: 実際に投影している動画. 左: 内側から見た様子. 右: 外側から見た様子.

4.3.3 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 (図 16). 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。

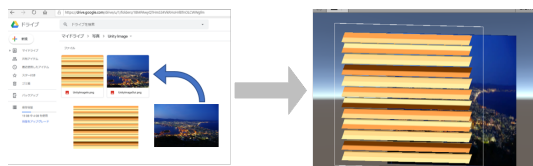


図 16 GoogleDrive へ画像をアップロードすることで Unity 上のモデルのテクスチャを変更できる

4.4 ブラインドとのインタラクション

現在のシステムでは、Unity 内で自由に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るため、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た。まず、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 を用いた試作を開始した。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 (図 17)。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、併せてインタラクティブなコンテンツ設計も併せて進めていく。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、検出方式も併せて検討する。



図 17 LeapMotion (正面下部) によって、触れる場所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。

5. 議論

本システムについて、「設置環境の変化への対応」、「実環境への適用」、「窓の透過性の制御」と言った視点から議論する。

5.1 設置環境の変化への対応

提案システムでは、4.3 で述べたように、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、現状では環境などの変化に伴い、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手動で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といった課題がある。そこで、そういっ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、Unity 内のカメラオブジェクトと実世界のプロジェクタとの位置関係に対応付けるとともに (図 18)、作成したブラインド 3D モデルの羽根の枚数や幅、傾きなどを自由に変更できるような機能を追加していく。

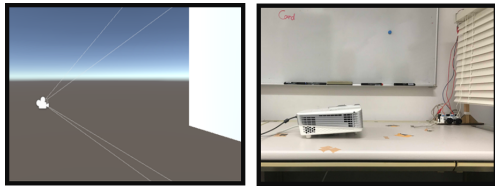


図 18 Unity 内のカメラオブジェクト（左）と実世界のプロジェクト（右）との位置関係を対応付けることで位置調整を行う。

5.2 実環境への適用

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。そこでまず、筆頭著者の大学院生室に着目し、提案システムを導入することとした（図 19）。大学院生室は、廊下と室内の間がガラス張り、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上で）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（大学院生室）を仕切る役割を持っている。この役割を考慮した応用例として、図 20 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 リストなどを併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／ブラインド等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っていきたい。

また、その他の環境への適用として、大学教員室への導入も検討している。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、室内での状況がわかりづらく、部屋の前を通る人が院生室に比べ多いなどが挙げられる。そういった環境において、システムを導入し数週間以上運用することで、提案システムの有用性や適切なコンテンツの調査を進めていきたい。



図 19 大学院生室の壁面ブラインドに提案システムを設置した様子。左：内側、右：外側。

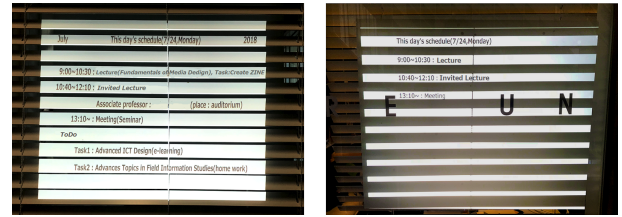


図 20 両面スケジューラの実用例。室内（左）には詳細な予定や Todo リストを、廊下側（右）には簡易的な予定のみを表示する。

5.3 窓の透過性の制御

また、現在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張り付けて投影を行っているため、常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。

6. 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た。さらに、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基礎的なプロトタイプを構築した。現段階では、ブラインドの 3 つの状態（上向き、平行、下向き）に応じて映像の切り替えを制御し、各状態である程度の視認性が得られることを確認し、ブラインドならではのコンテンツを模索している段階である。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できる機能を追加した。今後は、5.2 で紹介したように様々な生活場面に提案システムを導入し、その環境を想定した応用例の構築を進めていきたい。

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 Fog ディスプレイ, 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] 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.
- [3] 永瀬 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クラーシステム, 研究報告ユビ

- キタスコンピューティングシステム (UBI), 2015-UBI-47, No.9, pp.1-6, 2015.
- [4] K.Nakagaki, P.Totaro, J.Peraino, T.Shihipar, C.Akiyama, Y.Shuang, and H.Ishii, HydroMorph:Shape Changing Water Membrane for Display and Interaction, Proceedings of the TEI ' 16:Tenth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction, pp.512-517, 2016.
 - [5] K.Kobayashi, and H.Onoe, Microfluidic-based flexible reflective multicolor display, Microsystems and Nanoengineering, Vol.4, No.1, p.17, 2018.
 - [6] 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 (Nov. 2011).
 - [7] 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.
 - [8] A.Kawakami, K.Tsukada, K.Kambara, and I.Siio. Potpet:Pet-like flowerpot robot, Proceedings of the TEI ' 11: Fifth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction, pp.263-264, 2011.
 - [9] 白石 晃一, 平塚 晃美, 大島 裕明, 山本 岳洋, Affordance-Light: ファブ施設における How-to の誘導, WISS 2016 論文集 ' 16,pp. 287-288, 2016.
 - [10] 暦本 純一, Squama:Modular Visibility Control of Walls and Windows for Programmable Physical Architectures, Proceedings of AVI' 12, pp.168-171, 2012.