

Title	2者間の選択的情報提示のためのディスプレイシステムの研究
Sub Title	Study on display system for selective information presentation between two users
Author	青木, 透(Aoki, Toru) 稲見, 昌彦(Inami, Masahiko)
Publisher	慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科
Publication year	2014
Jtitle	
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	修士学位論文. 2014年度メディアデザイン学 第374号
Genre	Thesis or Dissertation
URL	<a href="https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO40001001-00002014-0374">https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO40001001-00002014-0374</a>

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the Keio Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

修士論文 2014年度（平成26年度）

2者間の選択的情報提示のためのディスプレイシステムの研究

慶應義塾大学大学院  
メディアデザイン研究科

青木 透

本論文は慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科に  
修士(メディアデザイン学)授与の要件として提出した修士論文である。

青木 透

審査委員：

稲見 昌彦 教授 (主査)

太田 直久 教授 (副査)

石戸 奈々子 准教授 (副査)

修士論文 2014年度 (平成26年度)

## 2者間の選択的情報提示のためのディスプレイシステムの研究

カテゴリー：サイエンス / エンジニアリング

### 論文要旨

本研究では、同一空間にいる2者間の選択的情報提示について、透明度が調節可能なディスプレイと指向性を持った投影スクリーンの2種類のディスプレイから検討を行う。透明度が調整可能なディスプレイは透過型液晶ディスプレイと透明度を調整できるバックライトで構成されており、バックライトの明るさを制御することで、透明度を変化させることができる。ゆえに、ディスプレイごしに向かい合っているユーザーが、ディスプレイの透明度を調整することによって、ディスプレイ上の情報を共有することができる。また、不透明な状態では従来のディスプレイのようにユーザーはプライベートな使用を行うことができる。このように、従来のディスプレイでは行うことができなかった透明度の調整を行うことによって、ユーザーはディスプレイを他のユーザーの方向に向けることや、ディスプレイの内容を確認するために移動することなく、情報共有を行うことができると考えられる。

また、face to face 以外の選択的情報提示手法として、指向性を持った投影スクリーンの設計を行う。このスクリーンは再帰性投影技術と拡散板、ウムフィルムを組み合わせることにより特定のユーザーにのみ情報提示を行うことができる。また、ウムフィルムの透明度を調整することで特定のユーザーのみに情報を提示するプライベートモードと複数人で情報を観察することができるパブリックモードにシームレスに切り替えることができる。このスクリーンは効率的に光を投影装置の光を反射させることができるため十分な照度を得ることができる。このことから寝室を想定環境とし、睡眠からの目覚め感の向上について同一空間内にいる

他者の睡眠を妨害することなく、快適な目覚めに必要な照度をユーザーに照射することができる。

本研究では、これらの情報選択手法やコミュニケーションに必要なインタラクションに関して検討する。

キーワード：

透明化, ディスプレイ, CSCW, 選択情報提示, インタラクション

慶應義塾大学大学院 メディアデザイン研究科

青木 透

Abstract of Master's Thesis of Academic Year 2014

Study on Display System for Selective Information  
Presentation between Two Users

Category: Science / Engineering

Summary

This research is presented two types of displays in terms of selective information presentation for users in the room. One of them is a display that enables users to change transparency of its surface. This system consists of two transparent liquid crystal displays and backlight that allow users to change brightness. The transparency is changeable by adjusting brightness of backlight. Therefore, users facing with each other can share information through the display by changing its transparency. And when display is opaque, user can use the display as conventional display to do their individual work. Thus, it could be possible to share information on display without turning around it to show to other user or walk around table to see the information. Furthermore, directional screen is built as other way of selecting information. This screen consists of Retro Reflective Material, LSD(Light Shaping Diffuser) and switchable diffuser. Therefore, it provides information to particular individual and is able to reflect light from projector effectively. Thus, use can get high brightness. It helps user wake up comfortably without disturbing other parson in the same room. In this research, I discuss the way of selecting information and interaction for communication using display and also present a application that could take advantage of this ability.

Keywords:

Transparent, Display Technology, CSCW, Selective Information Presentation, Interaction

Graduate School of Media Design, Keio University

Toru Aoki

# 目 次

第1章 序論	1
1.1. 背景	1
1.2. 目的	2
1.3. 本論文の構成	3
第2章 関連研究	4
2.1. ネットワークを介した共同作業支援システム	4
2.1.1 アイコンタクトあり	4
2.1.2 アイコンタクトなし	8
2.2. 同一空間における共同作業支援システム	11
2.3. 情報の選択的提示に関する研究	13
2.4. 本研究の立ち位置	15
第3章 Face to Face におけるディスプレイを介した共同作業支援システム の設計	16
3.1. 同一空間におけるユーザーの配置	16
3.2. 設計指針・要件	17
3.2.1 ゲイズアウェアネス	17
3.2.2 設計指針	18
3.3. 提案システム	19
3.3.1 設計要件に基づいた使用機材の選択	19
3.3.2 バックライトの輝度調節による情報の選択	21
3.3.3 システム構成	22



第4章	システムの実装とインタラクション	24
4.1.	システムの実装	24
4.1.1	インタラクション	27
第5章	構築したシステムの評価, 考察	32
5.1.	実装したディスプレイの性能評価	32
5.1.1	透明度	32
5.1.2	可視性	34
5.2.	ユーザーテスト	34
5.3.	考察	38
5.3.1	位置合わせ	38
5.3.2	文字反転	38
5.3.3	ディスプレイの配置・角度	38
第6章	side by side のユーザー配置における選択的情報提示のためのディスプレイシステム的设计	39
6.1.	同一空間における他者との選択的情報提示	39
6.2.	システム設計	40
6.2.1	再帰性投影技術	40
6.2.2	投影スクリーンの情報の選択的提示	41
6.2.3	スクリーンの構成	42
6.2.4	スクリーンの試作と観察	43
6.3.	実装	45
6.3.1	スクリーン素材の選択	45
6.3.2	実装	52
6.4.	作成した投影スクリーンの評価	53
6.5.	ユーザーからのフィードバック	54
6.6.	まとめ	54
第7章	結論	56

謝辞	59
参考文献	61

# 目 次

2.1	ClearBoard [1]	5
2.2	ConnectBoard [2]	5
2.3	志和が開発したシステム [3]	6
2.4	Jim らによるソフトウェアによってゲイズウェアネスを実現したシステム [4]	7
2.5	岡田らが開発した BrowserMajic [5]	7
2.6	Vertegaal が開発した視線方向を伝えることのできるグループウェア [6]	8
2.7	TeamWorkStation [7]	9
2.8	C-Slate [8]	9
2.9	超鏡 [9]	10
2.10	TransWall [10]	11
2.11	岩渕らが開発した透明インタラクティブディスプレイ [11]	12
2.12	eTable [12]	13
2.13	SHelective [13]	14
2.14	Lumisight Table [14]	14
2.15	実世界モザイク [15]	14
2.16	Programmable Shadows [15]	14
3.1	同一空間における想定されるユーザー配置パターン	17
3.2	透明なガラスを通した議論の様子 [1]	19
3.3	透明度を調節したディスプレイの利用パターン (右) 全体が不透明でプライベートな作業空間として利用 (中) 部分的に透明にして情報共有 (左) 全体を透明にしてパブリックな作業空間として利用	21

3.4	バックライトがオフのときの光の様子 . . . . .	22
3.5	バックライトがオンのときの光の様子 . . . . .	22
3.6	バックライトがオフのときのディスプレイの様子 . . . . .	22
3.7	バックライトがオンのときのディスプレイの様子 . . . . .	22
3.8	ディスプレイの構成図 . . . . .	23
3.9	偏光板により直線偏光された光の位相を $1/2$ 波長板がずらす様子 . . . . .	23
4.1	本研究で用いた透過型液晶パネルに白を表示した様子 . . . . .	25
4.2	黒を表示した様子 . . . . .	25
4.3	使用した LED ストリップ . . . . .	26
4.4	Endlighten に縁から光を当てた様子 LED が OFF の状態 . . . . .	26
4.5	LED が ON の状態 . . . . .	26
4.6	実装したシステム . . . . .	27
4.7	実装したディスプレイの両面表示:表面 . . . . .	27
4.8	実装したディスプレイの両面表示:裏面 . . . . .	27
4.9	通常の表示 . . . . .	28
4.10	コンテンツを反転させた様子 . . . . .	28
4.11	うさぎの 3D オブジェクト . . . . .	29
4.12	龍の 3D オブジェクト . . . . .	29
4.13	アプリケーションで絵を描いた様子 . . . . .	29
4.14	透明度を調節するスライダー . . . . .	31
4.15	右半分を透明にし, ディスプレイを通して face to face のコミュニケーションを行う様子 . . . . .	31
4.16	左半分を透明にした様子 . . . . .	31
4.17	裏面から見た様子 . . . . .	31
5.1	ディスプレイの透過率測定の様子 . . . . .	32
5.2	液晶ディスプレイの構成 . . . . .	33
5.3	作業で作成する 3D オブジェクト . . . . .	35
5.4	作業の様子 . . . . .	35

6.1	拡散板 (LSD) の特性	41
6.2	LSD の特性	41
6.3	ウムフィルム：不透明状態	42
6.4	ウムフィルム：透明状態	42
6.5	天井スクリーンの共有・非共有の選択	42
6.6	作成する投影スクリーンの構成図	43
6.7	観察位置	44
6.8	正面からの観察	44
6.9	横 1m からの観察	44
6.10	正面からの観察：ウム透明	45
6.11	正面からの観察：ウム不透明	45
6.12	横 1m からの観察:ウムフィルム透明	45
6.13	横 1m からの観察:ウムフィルム不透明	45
6.14	超高輝度反射シート 7610(3M) の表面	47
6.15	ブロードブラック 8318(レフライト) の表面	47
6.16	再帰性反射材の表面構造	47
6.17	構築するスクリーンの拡散角度	48
6.18	横方向の拡散角度	49
6.19	縦方向の拡散角度	49
6.20	スクリーンの表面反射	49
6.21	試作する投影スクリーンの拡散角度のシミュレーション	50
6.22	LSD の比較実験環境	51
6.23	測定方法	52
6.24	実験 1 による測定結果	52
6.25	実験 2 による測定結果	52
6.26	実験 3 による測定結果	52
6.27	実装したスクリーンにプロジェクターで投影した場合と、プロジェクター対応クロスに映像を投影した場合の照度分布	53
6.28	プロジェクター対応クロスに映像を投影した場合の照度の分布	54

# 表 目 次

4.1 試作ディスプレイの使用機材 . . . . .	24
5.1 輝度の測定 . . . . .	33
6.1 試作投影スクリーンの使用機材 . . . . .	51

# 第1章 序

# 論

## 1.1. 背景

現在，資料を作成したり情報を共有する際には，パーソナルコンピュータを用いて作業を行うことが中心となっている．それに伴い，多くのディスプレイが設置されている．そのため，ディスプレイを介して向かい合うユーザー同士がコミュニケーションを取る際の視覚的な障害になる場合がある．また，ディスプレイ上の情報を共有する際，ディスプレイの視野角が160度程度であることから，ディスプレイの向きの変更や，ディスプレイの見える場所にユーザーが移動する必要がある．このように，ディスプレイはコミュニケーションの視覚的な障害となりえる，さらに他者との情報の共有という観点ではディスプレイ面全体を共有してしまうことから最適ではないと言える．

コンピュータを用いて他者とコミュニケーションを取ったり，共同作業をするためのシステムは多く提供されている．文書や写真などの資料を共有する際には，メールに添付して送ったり，ファイル共有ソフトを用いることで，他者と資料を共有している．しかし，これらの共有方法ではリアルタイムでの共同作業を行うことは難しく，また相手が資料のどこに注目しているのか，どこについて議論しているのかを知ることが困難であった．リアルタイムで編集することのできるシステムとしてgoogleが提供しているGoogleDriveがある，このシステムではクラウド上の資料をリアルタイムに複数人で編集することができる．SkypeやHangoutなどのコミュニケーションソフトウェアはWebカメラを用いてユーザーの顔を撮影することにより，音声と映像で遠隔でのコミュニケーションを取ることを目的としたシステムである．しかし，これらの遠隔コミュニケーションソフトウェア

ではユーザーの顔を撮影しているカメラはディスプレイの上部にあるため、相手とのアイコンタクトを行うことが困難であるという問題がある。

近年、ディスプレイの向こう側が透けて見える透過型液晶ディスプレイが開発されている。博物館や美術館などで広く利用され、ディスプレイの向こう側に設置された展示物の説明をディスプレイ上に表示することで、空間的に立体感のある演出を実現している。また、透過型液晶パネル上の表示はディスプレイ上の両面から視認可能であるため 300 度以上の広い視野角を確保していると言える。このような透過型液晶パネルを用いて透明ディスプレイを構築することで、従来では難しかったディスプレイ上の情報の共有などをスムーズに行えると考えられる。さらに、透明ディスプレイではディスプレイ越しに向かい合ったユーザー同士が Face to Face コミュニケーションを取りながら情報を共有することができる。しかしながら、透明であるがゆえ、ユーザーとディスプレイの情報は常に他者に見えてしまう。また、ディスプレイの背景の情報がユーザーの情報認識の妨げになる可能性がある。

以上より、ディスプレイを用いて情報を共有する際には、ディスプレイが視覚的な障害となりうることや、ディスプレイ上の共有情報の選択を行うことが困難である。これらのことから、シームレスにプライバシーとパブリックを切り替えられ、共有情報の選択が可能なディスプレイは同空間におけるユーザー間の共同作業の支援や、情報提示の観点から有益であると考えられる。

## 1.2. 目的

これらの背景を踏まえ、本研究では同一空間におけるディスプレイを介した2者間の選択的情報提示について検討する。今までコミュニケーションや情報共有の際の視覚的な障害となっている個人での使用を目的としたディスプレイから、個人での作業と他者との情報共有や共同作業への使用をシームレスに切り替えられ、また、共有情報の選択を行えるディスプレイの設計を行う。



### 1.3. 本論文の構成

本研究では，本章で述べた背景を元に，Face to Face と Side by Side でのユーザー配置における選択的情報提示について2種類のディスプレイから検討する．まずは，Face to Face の想定環境としてオフィス環境におけるディスプレイの検討を行う．個人での作業からディスプレイの向こう側にいる他者との情報共有をシームレスに行うためのディスプレイの設計を行い，実装を行う．本論文の構成を以下に示す．第1章では背景及び目的について述べる．第2章では本研究に関する先行研究について述べる．主に遠隔地におけるコラボレーションシステムについての事例，情報共有の際のプライバシーとパブリックについての事例について取り上げ，本研究の立ち位置を明確にする．第3章では本研究で行ったディスプレイシステムの設計について述べる．関連研究のコンセプトを元に設計要件を明らかにし，ディスプレイを通じた共有にふさわしい機材の選択を行う．第4章では，実装したシステムについて述べる．また，実装したシステムで行うことのできるインタラクションについて述べる．第5章では実装したシステムの評価，考察を行う．第6章では透明度を調節可能なディスプレイでは支援できない Side by Side のユーザー配置において寝室を想定環境として，選択的情報提示支援のための投影スクリーンの設計，実装を行う．第7章では本研究の結論として，本研究のまとめについて述べる． w

## 第2章

# 関連研究

本章では本研究に関連する研究を取り上げる。関連研究として、コンピュータを用いた共同作業、情報の選択的提示手法について、以下の3つの要素に分けて示す。

- ネットワークを介した共同作業支援システム
- 同一空間における共同作業支援システム
- 情報の選択的提示に関する研究

### 2.1. ネットワークを介した共同作業支援システム

#### 2.1.1 アイコンタクトあり

これまでリアルタイムでの共同作業システムや透明ディスプレイの応用は広く検討されてきた。その中でも対話に重要な役割を果たしている視線は大きな問題であり、遠隔においてもアイコンタクトを成立させることのできるシステムは多く提案されている。アイコンタクトを成立させるための方法としてハーフミラーを用いる方法が代表的である。石井らの ClearBoard [1] は透明なガラスのメタファーを応用した共同作業空間と会話空間を連続的に統合したビデオシースルー型のコラボレーションメディアである。このシステムでは偏光板とハーフミラーを用いることで遠隔地にいる相手とアイコンタクトを取りながら情報共有や共同作業を可能としている。ClearBoard では、相手の顔や視線を見ながら作業を進めること

ができるため、相手がどこに注目しているのか知ることができ、言葉には表れない相手の細かな注意から、理解度や興味を知ることができる。

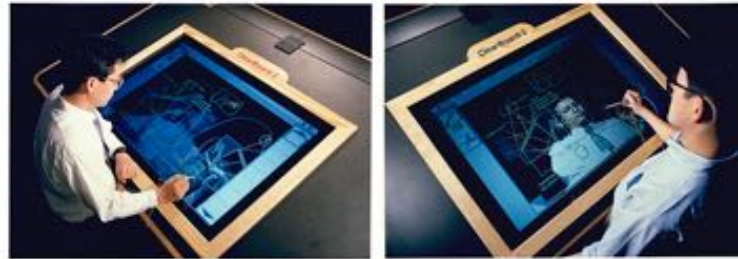


図 2.1: ClearBoard [1]

また、Kar-Han らが提案したアイコンタクトを取ることを実現したシステムの ConnectBoard [2] では、透明度の高い Holo スクリーンの背後にカメラとプロジェクターを設置し、ユーザーの顔に近い高さで設置されたカメラでユーザーの顔を撮影することにより、遠隔地にいる相手とのアイコンタクトを取ることを可能としている。



図 2.2: ConnectBoard [2]

志和が開発した遠隔地にいる相手とのアイコンタクトを可能にしたシステムでは、透明状態と不透明の光を拡散することのできる状態を切り替えることができる液晶シャッターをスクリーンとして用いている [3]。液晶の背後にカメラとプロジェクターが設置されており、液晶の透明不透明を切り替える。液晶が透明状態

のときプロジェクターはオフで、カメラでユーザーの顔を取得する。不透明の状態の時カメラをオフにし、プロジェクターで不透明のスクリーンに映像を投影する。この状態を高速に切り替えることにより、遠隔地にいる相手とのアイコンタクトを可能にしたシステムを提案している。



図 2.3: 志和が開発したシステム [3]

これまであげたシステムでは遠隔ミーティングでのゲイズアウェアネスを実現するためにハーフミラーや、時分割のスクリーンの使用などハードウェア面での改良が多い。しかし、Jimらは高価なハードウェアを用いることなくソフトウェアでのゲイズアウェアネスの実現の検討を行っている [4]。遠隔ビデオ会議システムで相手とアイコンタクトを行うためには撮影しているカメラの方向を見る必要がある。しかし、カメラは多くの場合ディスプレイの上部に取り付けられているためディスプレイを見て相手を確認しながらアイコンタクトを行うことは困難である。この研究ではwebカメラでユーザーの顔を撮影し、顔の向きを取得する。取得した顔にカメラの方向を見ているように見えるテクスチャをマッピングする。これにより、ユーザーはカメラの方向を見ることなく相手とアイコンタクトを行うことができる。しかし、テクスチャマッピングを行っていることから不自然な映像となる。



図 2.4: Jim らによるソフトウェアによってゲイズアウェアネスを実現したシステム [4]

岡田らはマウスポインタの位置を擬似的な視点としてを用いることで視線を伝える手法を提案している [5]. このシステムはウェブブラウザ上で動作するグループウェアシステムで, ユーザーの各方向を向いた顔写真をあらかじめ撮影しておく. 会議中のウィンドウ上の各ユーザーの静止画像は, そのユーザーのマウスポインタが位置する方向を向いた画像が表示される. つまり, 表示される静止画は相手の顔が表示されたポートレートウィンドウとマウスポインタの相対位置で決まる. しかし, マウスポインタの位置が注目点とは限らず, 相手の顔の上にマウスポインタを置くことは不自然である.

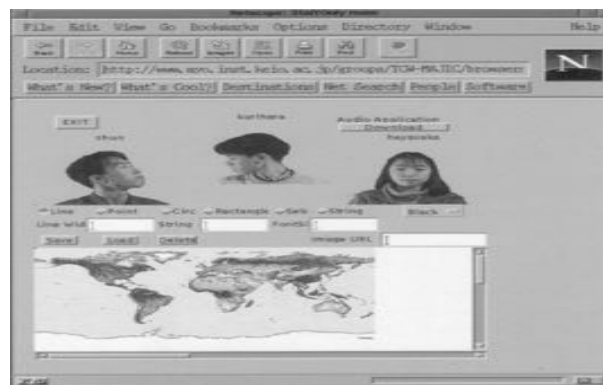


図 2.5: 岡田らが開発した BrowserMajic [5]

Vertegaal はアイトラッカを用いることでユーザーの視線方向を検出し, 3DVR空間で擬似的なアイコンタクトとゲイズアウェアネスを表現している [6]. 会議の参加者の顔は円状のテーブルを囲んだように表示され, 各ユーザーの画像はその

ユーザーの視線の方向によって変化する。また、アイトラッカで検出された各ユーザーの視線方向は視線の方向は共有されているディスプレイ上の文書上に表示される。



図 2.6: Vertegaal が開発した視線方向を伝えることのできるグループウェア [6]

### 2.1.2 アイコンタクトなし

また、石井らは個人の作業スペースと共同スペースを融合させることによりシームレスにそれぞれの作業を切り替えることができるグループウェアも提案している。TeamWorkStation [7] では、個人の作業スペースをカメラで取得し、ディスプレイにオーバーレイ表示することにより、個人の作業とコンピュータを用いる作業をシームレスに切り替えることができる。これにより、相手の手元を確認することができ、相手がどこを指しているのかを知ることができる。また、ディスプレイの端にお互いの顔を表示することにより、相手の表情を確認することができる。オーバーレイ表示することにより複数人での使用も可能だが、参加人数が増えるとオーバーレイされる情報が増えるため、表示されている情報の所有者がだれかがわかりにくくなるという問題点がある。



図 2.7: TeamWorkStation [7]

タブレット端末を用いた共有システムも提案されている。Shahran らの C-Slate [8] は、遠隔地にいる相手との文書の共有やゲームを行うことを目的とした Face to Face のコミュニケーションを可能にしたシステムである。マルチタッチに対応したタブレット端末を手元に、Face to Face コミュニケーションのためのディスプレイをユーザーの顔の正面に搭載している。またシステムの上部に取り付けられたステレオカメラにより手のジェスチャーが検出されマルチタッチのディスプレイとの距離に応じて透明度を変化させ表示される。これにより、情報を共有している相手がタブレット上の情報のどこを操作しているか、どこを指で示しているかを伝えることのできるシステムである。



図 2.8: C-Slate [8]

従来のビデオ会議システムではスクリーン上に他者の映像が映し出され、スクリーンという窓越しに対話を行う。実際の対話を模倣するため、相手とのアイコンタクトが重要となっていた。しかし、森川らは今までのビデオ会議システムのように多く提案されてきた他者の映像を表示し対話を模倣するのではなく、自己像を表示する超鏡 [9] を開発した。このシステムでは、他者のみをスクリーンに表示させるのではなく、対話者全員が同一の画像を用いて対話を行う。また対話は2地点にかぎらず何地点でも構わない。対話に利用する画像は対話への参加者全員が同室にいるかのような様子を鏡に写したものである。ユーザーはこの表示された映像の中で、隣接した対話者と視覚的な相互作用を行うことができる。従って、相手に視線を送ったり、対話相手の横に移動したり、相手に触れるかのような行動も取ることができる。



図 2.9: 超鏡 [9]

これらは遠隔地においてもネットワークを介し、相手のアイコンタクトやジェスチャーなどを確認することが可能である。同一空間においても使用することはできるが、ネットワーク越しの共同作業はまだまだリアリティが低く、共同作業効率も高くないという不満もある。



## 2.2. 同一空間における共同作業支援システム

TransWall [10] は、透明度の高いスクリーンに2台のプロジェクターで両面から投影することにより、情報を表示しながらガラスを通して相手との Face to Face コミュニケーションを可能としている。また、タッチセンサーを搭載しており、ガラスの両面から同時にさわると触覚フィードバックを返すなどの、新しいインタラクションを提案している。



図 2.10: TransWall [10]

岩瀬らは、透明無機 EL ディスプレイを用い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 [11]。透明ディスプレイを用いて両面からの入力を可能にすることで、ディスプレイを挟んで向かい合ったユーザーがディスプレイの情報を相手の顔や手の入力をディスプレイ越しに確認しながら共有することができる。



図 2.11: 岩瀬らが開発した透明インタラクティブディスプレイ [11]

オフィス環境や、近距離における共同作業を支援するシステムとして Rodden らが eTable を提案している [12]. オフィスや旅行会社の従業員と客, 医師と患者が話し合いを行う際は多くの場合両者は Face to Face でディスプレイに向かい合っ  
て座っている. 話し合いの中, 従業員や医師はディスプレイを用いて作業するが  
客や患者は相手がなにをしているのかを確認することが難しく, 話し合いに積極  
的に参加することができない. eTable では両者は side by side で座り, 水平に置か  
れた 2 台のディスプレイと垂直に置かれた 1 台のディスプレイを使用する. 水平  
に置かれたディスプレイでそれぞれは作業することができ, 垂直に置かれたディ  
スプレイで情報を共有する. このシステムにより, 客や患者は積極的に作業や話  
し合いに積極的に参加することができ, またアイコンタクトを取りながらの情報  
共有もスムーズに行うことができる.



図 2.12: eTable [12]

これらのシステムはネットワークを介したものと比べると、相手の行動の把握が容易であることから作業効率がいいと考えられる。しかし、これらのシステムは共同作業や情報共有を行うことを前提に設計されているため、ディスプレイの情報が常に共有されてしまい提示情報の選択を行うことが困難であり個人での利用には向いていない。

### 2.3. 情報の選択的提示に関する研究

共同作業やプレゼンテーションにおける情報共有のプライバシーとパブリックの選択に関しては、伏木らがSHelective [13]を開発している。SHelectiveでは、複数画面を用いた際の画面共有の手法として、共有したい情報だけをアプリケーションウィンドウ単位で選択できるようにすることでプライベートな情報はメインディスプレイのみに、パブリックな情報はメイン画面と外部ディスプレイに表示し、プライバシーを制限しながら画面の共有実現している。

筑らは見る位置によって異なる情報を提示することができる Lumisight Table [14]を開発している。テーブルを囲んで複数人で作業する際に電子的なディスプレイをテーブルを埋め込むことを考えた時、文字や画像などの方向性のある情報に関して、それぞれのユーザーの向きに応じての情報提示が必要となる。このシステムはテーブルトップ型のディスプレイで、テーブルの下にプロジェクターを設置している。スクリーンとなるテーブルは情報の提示範囲を制限することのできる

フィルムである Lumisty で構成されている。Lumisty によって情報は指向性を持ち、各ユーザーごとに別々の情報を提示することを実現している。

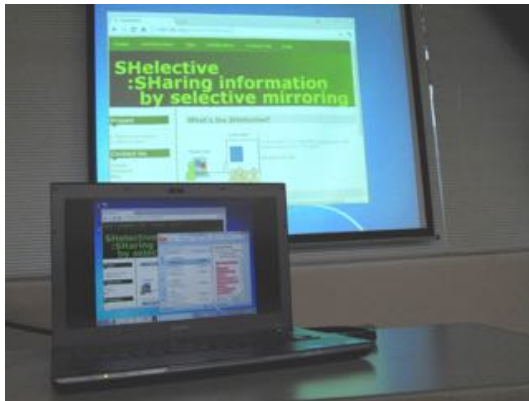


図 2.13: SHelective [13]



図 2.14: Lumisight Table [14]

曆本 [15] は、電圧のオン・オフによって透明度を調整することのできる調光液晶シートを用い視覚情報の提示範囲の制御を提案している。10cm × 10cm 角に切り出したシートを組み合わせ、それぞれを独立して透明度を調整することによりプライバシーとパブリックの情報の選択を行うことのできるプログラマブルな窓を開発した。この窓を用いることで実世界モザイク (図 2.15) や Programmable Shadows (図 2.16) を提案している。

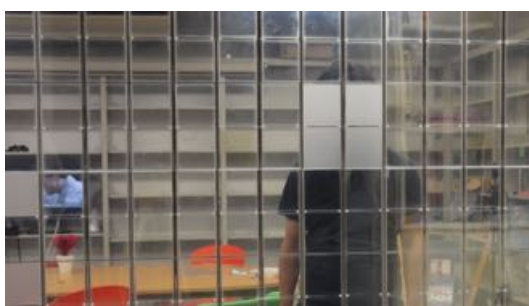


図 2.15: 実世界モザイク [15]



図 2.16: Programmable Shadows [15]

これらのシステムを用いることで、相手に共有する情報の選択や、提示範囲を制限することができる。しかしながら、共有・非共有をシームレスに選択することができず、個人での作業から共同作業へ切り替える事が困難である。

## 2.4. 本研究の立ち位置

これまで、共同作業を支援する目的の研究は多く行われてきた。ネットワークを用いて遠隔地における作業支援を行うものはアイコンタクトを可能にしたり、相手のジェスチャーを伝えることで、言葉に表れない相手の情報を確認することができた。これらは同様に同一空間での利用も可能であるが、ネットワークを介していることから相手の状況を詳しく知ることができず、リアリティの低さから作業効率が低くなる問題がある。また同一空間での情報共有を支援するシステムも多く検討されている。しかしながら、情報共有を行うことを目的として開発されているため、情報が常に共有されてしまい個人での使用としては向いていない。これらの問題を解決するために、共同作業や情報共有のための情報の提示範囲をユーザーが任意に選択することができるシステムも検討されている。これらを用いることにより同一空間に複数人いる場合でも、ディスプレイ上の情報の提示範囲を制限することでプライバシーの情報とパブリックな情報を選択することができる。しかし、これらは個人での作業と共同作業の切り替えをシームレスに行うことができない。そこで本研究では、個人での作業と共同作業をシームレスに切り替えることのできるディスプレイについて情報の選択的提示という観点から研究を行う。

## 第3章

# Face to Faceにおけるディスプレイを介した共同作業支援システムの設計

本章ではまずオフィス環境を想定して、Face to Faceでのディスプレイを介した共同作業を行うことを目的としたシステムを設計する。個人での作業から他者との共同作業、情報共有へとシームレスに切り替えることのできるディスプレイの設計に必要な設計要件を示す。

### 3.1. 同一空間におけるユーザーの配置

同一空間において想定されるユーザーの配置は、Face to Face, Side by Side, Back to Back, Right Angleとなる(図3.1)。これらの配置パターンの中で特にFace to Faceでは、個々がディスプレイシステムを使用している場合にそれぞれのディスプレイの内容を共有する場合、相手をこちら側に呼んだり、ディスプレイ自身を回転させ互いに見えるようにする必要がある、情報共有まで手間を要する。そこで本章ではまずFace to Faceの共同作業支援システムの設計を行う。

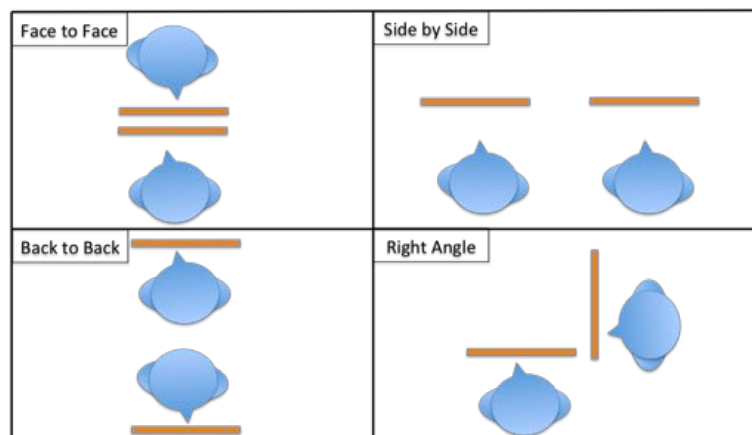


図 3.1: 同一空間における想定されるユーザー配置パターン

## 3.2. 設計指針・要件

### 3.2.1 ゲイズアウェアネス

アウェアネスとは他者の存在や状況がわかっていることを指す。例えば、オフィスにおいて相手がキーボードを打っている音や、資料の紙をめくる早さなどから相手の忙しさや感情がわかることがある。また、コラボレーションの分野で重要な要素となっているものとして、ある人の視線がわかっているゲイズアウェアネスがある。Galeら [16]によればゲイズには Full gaze awareness, Partial gaze awareness, Mutual gaze awareness の3つに分けられる。Full gaze awareness は相手が何を見ているのかがわかる, Partial gaze awareness は相手の見ている上下左右程度の方向がわかる, Mutual gaze awareness は相手に見られていることがわかるという, アイコンタクトを指す。このゲイズアウェアネスは相手が何に注目しているのか, 何に関心を持っているのかなどを目の動きから認識することができ, コミュニケーションやコラボレーションの際に重要な要素の1つとなる。

### 3.2.2 設計指針

システムを設計するにあたり，ClearBoard のコンセプトを参考にした．ClearBoard は「透明なガラス板」を通して会話しガラス板の表面上に両側から描画するように遠隔地にいる相手と描画することをコンセプトとしている [1] 図 3.2. 共同作業のためのツールとして，テーブルトップ型のディスプレイ [14] やホワイトボードが挙げられるが，石井らはこれらよりも透明なガラスを通した情報共有の方が作業中の両者のアイコンタクトの回数が多いことを示している [17]．透明なガラスを通した情報共有ではガラス上の情報と相手の顔へ視線をスムーズに移動させることができる．相手の表情や視線の先を知ることによって，相手が何に注目しているのか，興味を持っているのかを知ることができる．このアイコンタクトは日常生活の中で自然と行われている．つまり，共同作業空間と会話空間を自然な形で統合することにより，我々が日常的に行っている視線を読むという行為を行うことができる．この ClearBoard の設計指針からパブリックな使用，すなわち情報共有を行う上で相手の視線を知ることが重要な要素となる．

次に，これまでの共同作業支援システムは遠隔での使用や共同作業支援のみの目的で作られたものが多い．しかしオフィスにおける作業を考えた場合，個人的な作業と共同作業や会話などのコミュニケーションの 2 つに分けられる．さらにディスプレイを用いた個人的な作業から他者との情報共有を行う際に，相手の作業を中断し，ディスプレイを動かしたり，ディスプレイが見える位置に移動する必要がある．これらの手間をなくすような個人的な作業から情報共有へのシームレスな切り替えが行える必要がある．

さらに，オフィスにおける作業用ディスプレイという観点では，ディスプレイ上の情報は常に共有されるのではなく，必要に応じてユーザーが共有・非共有を選択できる必要がある．ここで，SHelective [13] のようにディスプレイ上の情報の全てを共有するのではなく，ディスプレイ上の必要な部分のみを共有できるべきである．

以上の議論より得られる本提案システムの設計要件を以下に示す．





図 3.2: 透明なガラスを通した議論の様子 [1]

1. 相手の顔や目をみて情報を共有できる
2. ディスプレイの両面が利用できる
3. シームレスに共有・非共有を切り替えることができる
4. 部分的な情報共有ができる

### 3.3. 提案システム

#### 3.3.1 設計要件に基づいた使用機材の選択

3. 2で示した設計要件に基づき使用機材の検討を行う.

相手の顔や目をみて情報を共有できる

ClearBoardのコンセプトの情報共有の際に相手の目を見るという、ゲイズアウェアネスを達成するためには透過型のディスプレイが適していると考えられる。透過型ディスプレイではディスプレイの表面からも裏面からも同じ情報を見ること

ができることから、情報共有に適している。透過型ディスプレイには透明度の高いホロスクリーンにプロジェクターで情報を投影する方式や透過型液晶パネルがある。今回のオフィスでの利用を考えた際、場所を必要とするプロジェクターやスクリーンは適していない。そこで本システムでは透過型液晶パネルを採用する。

#### ディスプレイの両面が利用できる

透過型LCDを2枚重ねることでディスプレイの両面をユーザーが別々に使用できるようにする。

#### シームレスに共有・非共有を切り替えることができる

透過型液晶パネルは透明であるため、両面から情報を見ることができ、情報を共有できる。しかし透明であることから常に情報が他者に共有されてしまう。そこで、個人での作業を行うために不透明にする必要がある。個人での作業と共同作業の状態をシームレスに行き来するために、透明な状態と不透明な状態をそれぞれ選択できるようにする。

#### 部分的な情報共有ができる

部分的な情報共有を行うために、ディスプレイの透明度を部分的に調節できる必要がある。図3.3に今回想定するディスプレイの透明度の調節パターンを示す。また、ユーザーはディスプレイを挟みお互いが向かい合って座るため透明度を調整する際にディスプレイの向こう側にいるユーザーが情報を共有できる状態なのか考慮する必要がある。

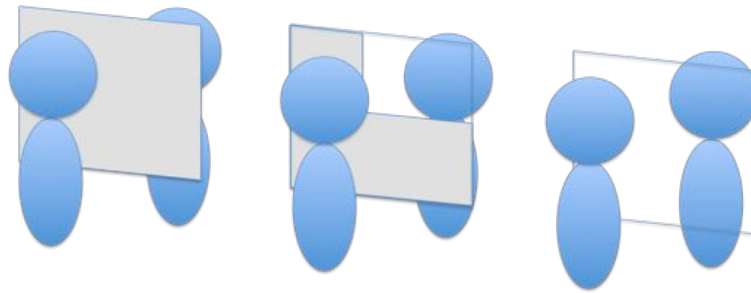


図 3.3: 透明度を調節したディスプレイの利用パターン (右) 全体が不透明でプライベートな作業空間として利用 (中) 部分的に透明にして情報共有 (左) 全体を透明にしてパブリックな作業空間として利用

### 3.3.2 バックライトの輝度調節による情報の選択

透明度の調節はバックライトの光で行う。バックライトの光をオンにしたとき、ディスプレイ表面の輝度が高くなる。それにより背景との間にコントラスト差が生じる。このコントラスト差から結果としてオクルージョンが起こり、ディスプレイ表面と比べ背景が見えにくくなる。この状態を不透明な状態として扱うことでディスプレイに向かい合っているユーザー同士はお互いに見えなくなり、またディスプレイの情報はお互いに共有されない状態となる。

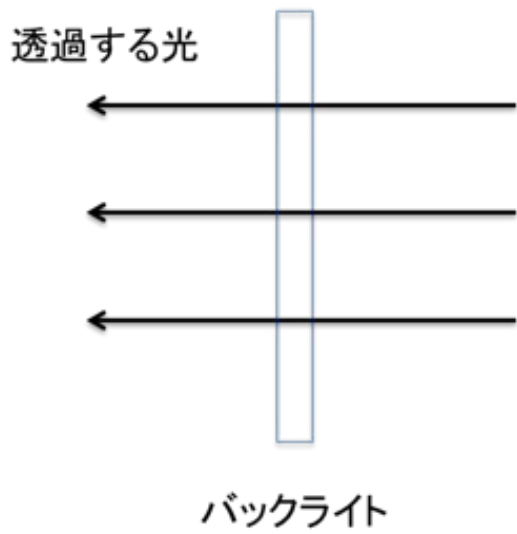


図 3.4: バックライトがオフのときの光の様子

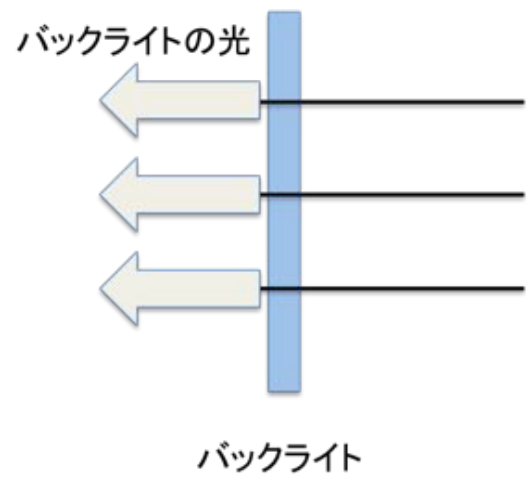


図 3.5: バックライトがオンのときの光の様子

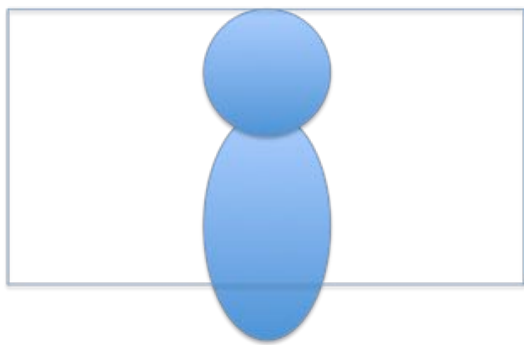


図 3.6: バックライトがオフのときのディスプレイの様子

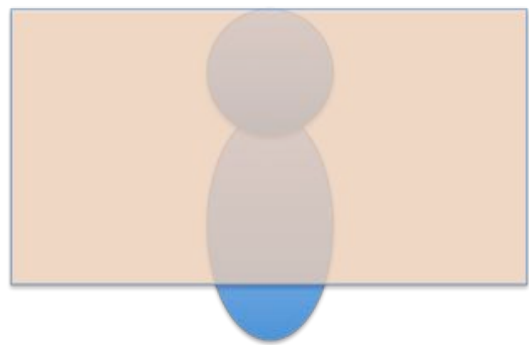


図 3.7: バックライトがオンのときのディスプレイの様子

### 3.3.3 システム構成

3. 2で述べた要件を満たすようにシステムを構成する。図3.8に示すように提案システムは2枚の透過型液晶パネルと、光量の調節により透明度を調整することのできるバックライト、および1/2波長版を挟む形で構成される。バックライトのON、OFF時のコントラストの違いを利用することで、図3.3の3つの状態

を実現する。まず、バックライトが ON の状態では、透過型液晶パネル上でのコントラストが背景よりも高くなることから、結果として不透明となりパネル上の情報は向かい合うユーザーには共有されない。ゆえに、提案システムは図 3.3(左)のように、各々の面を従来のディスプレイのように使用することができる。一方で、バックライトの一部の領域を OFF にすることで図 3.3(中)、全ての領域を OFF にすることで図 3.3(右)の状態を実現することができる。ここで、システムを構成する 2 枚の透過型液晶パネルは 各々直線偏光板で構成されている。そのため、図 3.9 のように透過型液晶パネル内面の向かい合う 2 面の直線偏光版の向きが同方向となるように、 $1/2$  波長版を用いている。

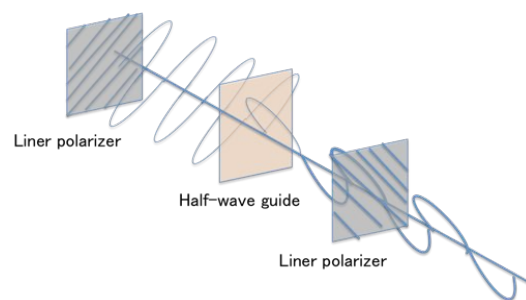
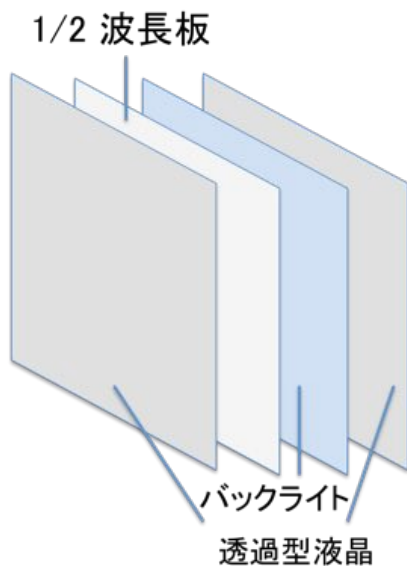


図 3.9: 偏光板により直線偏光された光の位相を  $1/2$  波長版がずらす様子

図 3.8: ディ스플레이の構成図

## 第4章

# システムの実装とインタラクション

第3章の設計指針をもとに実装を行った。まず、実装に用いた機材について述べる。次に、実装を行ったシステムで行うことのできるインタラクションについて述べる。

### 4.1. システムの実装

LCD, バックライト, 波長版として用いた機材を表 4.1 に示す。

表 4.1: 試作ディスプレイの使用機材

機材	型式・仕様・メーカー
LCD	LTI220MT01(SAMSUNG) <sup>1</sup>
バックライト	Endlighten(ACRYLITE) <sup>2</sup>
1/2 波長板	MCR280A-4(美館イメージング) <sup>3</sup>

透過型液晶パネルとして, Samsung 社製の LTI220MT01 を使用した。この透過型液晶パネルは 22 インチサイズで解像度は 1680 × 1050, コントラストレートは 500:1, 白を表示した時最も透明 (図 4.1), 黒を表示した時最も不透明 (図 4.2) となる。

<sup>1</sup><http://www.displayalliance.com/storage/1-spec-sheets/LTI220MT01.pdf>

<sup>2</sup>ACRYLITE : <http://www.acrylite-shop.com/US/us/acrylite-led/light-guiding-edge-lit-ga7iwmq7gnt.html>

<sup>3</sup>美館イメージング : [http://www.mecan.co.jp/original/polarizer/lambda\\_ir-shcase.html](http://www.mecan.co.jp/original/polarizer/lambda_ir-shcase.html)



図 4.1: 本研究で用いた透過型液晶パネルに白を表示した様子



図 4.2: 黒を表示した様子

バックライトには光を拡散することのできる Endlighten を用いる。Endlighten は縁から光を当てるとアクリル表面に光を拡散し、アクリル全体が発光する。本システムでは、LED ストリップ (図 4.3) をこのアクリルの縁に巻きつけた。LED を ON にした場合、ディスプレイのコントラストが高くなる。この LED の OFF の状態を透明 (図 4.4)、ON の状態を不透明 (図 4.5) として扱うことで透明度の調節を可能にした。また、プライベート空間と共有空間を同時に実現するために、バックライトをモニターの右半分と左半分に分割し、それぞれを独立して透明度を調整できるようにした。全体の実装を (図 4.6) に示す。本システムでは LCD を 2 枚用いることで、ディスプレイの両面を使用することができる (図 4.7)。



図 4.3: 使用した LED ストリップ



図 4.4: Endlighten に縁から光を当てた様子 LED が OFF の状態



図 4.5: LED が ON の状態





図 4.6: 実装したシステム

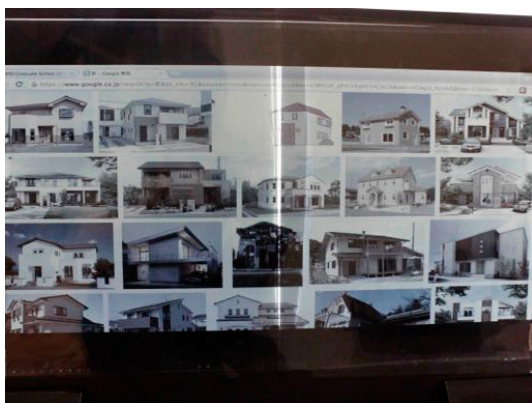


図 4.7: 実装したディスプレイの両面表示:表面



図 4.8: 実装したディスプレイの両面表示:裏面

### 4.1.1 インタラクション

#### コンテンツの反転

ディスプレイ上のコンテンツをディスプレイを通して共有する際、ディスプレイの向こう側にいる相手にはコンテンツが左右反転した状態で見えてしまう。特に文字では反転していると認識に負担がかかってしまう。そのため相手に正しい

向きでコンテンツを共有する必要がある。そこで、コンテンツを反転させるアプリケーションを作成した。このアプリケーションでは手の動きを認識することができるジェスチャー操作型デバイスの LEAP MOTION を使用しジェスチャーで操作する。ユーザーは共有したいコンテンツを選択し手を左から右へスワイプすることでそのコンテンツを左右反転させ共有相手に正しい方向でコンテンツを見せることができる (図 4.9, 4.10)。

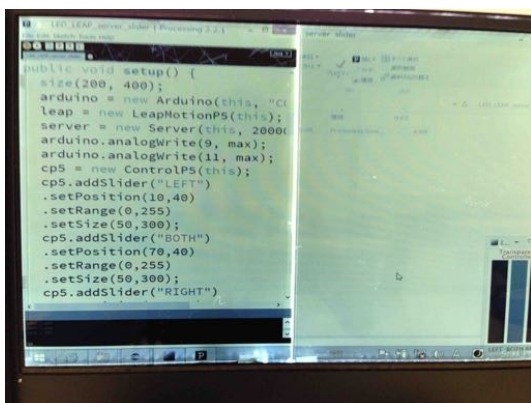


図 4.9: 通常が表示

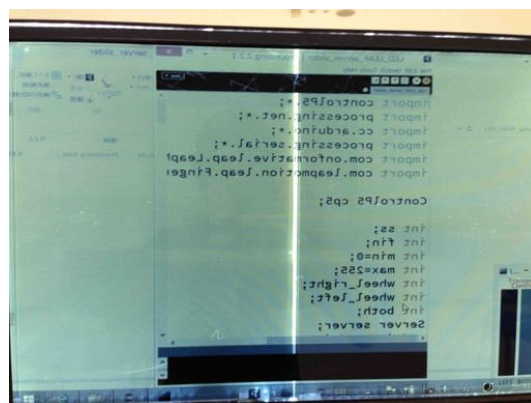


図 4.10: コンテンツを反転させた様子

### 3D ビューワー

ディスプレイの両面から 3D オブジェクトを操作することのできる 3D ビューワーを作成した。制御している PC はネットワークで通信しており、両面から 3D オブジェクトを操作することができる。

### お絵描きアプリケーション

絵を描くことのできるアプリケーションを作成した。

### プライベートエリアとパブリックエリア

本システムでは手のジェスチャーを検出することができるデバイスの LEAP MOTION によるジェスチャーとマウス操作による輝度調節用スライダーにより



図 4.11: うさぎの 3D オブジェクト



図 4.12: 龍の 3D オブジェクト

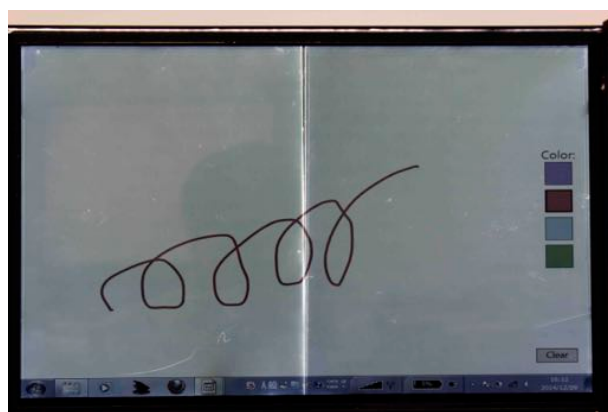


図 4.13: アプリケーションで絵を描いた様子

輝度を調節できる（図 4.14）。手を上下に動かすジェスチャーによって、ディスプレイの右半分と左半分の透明度を独立して調整することができる。下から上へ手を動かすことによりバックライトの明かりを減光し透明にする。ディスプレイの右半分の透明度を調整する際はディスプレイの右側で、左半分を調整したい場合はディスプレイの左側、全体の透明度を調節する場合はディスプレイの中心でジェスチャーを行うことにより透明度を調節することができる。これによりディスプレイの透明度を調整し、共有したい情報は透明なパブリックエリアに、共有したくない情報は不透明なプライベートエリアに表示することでウィンドウを閉じることなく相手とディスプレイを通してコミュニケーションを取ることができる（図 4.13）。（図 4.16）はディスプレイの左半分を透明にし共有状態にした様子である。（図 4.17）はその様子を裏面から見た様子である。透明にした半分は共有されオブジェクトを見ることができ、非共有の半分は裏側からは観察することができない。



図 4.14: 透明度を調節するスライダー



図 4.15: 右半分を透明にし、ディスプレイを通して face to face のコミュニケーションを行う様子



図 4.16: 左半分を透明にした様子

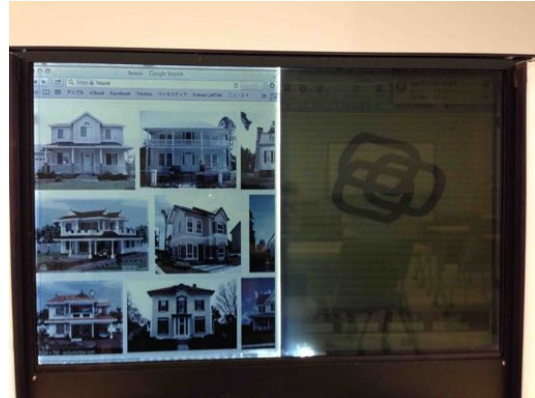


図 4.17: 裏面から見た様子

## 第5章

# 構築したシステムの評価, 考察

### 5.1. 実装したディスプレイの性能評価

#### 5.1.1 透明度

本システムで用いた Samsung 製の透過型液晶ディスプレイの透過率は低く、2枚重ねた場合ディスプレイを通して相手の顔は確認することができるが、相手の視線までを確認することが難しい。電球の輝度と、電球を透明液晶を通して見た場合の輝度を測定した。測定結果を 5.1 に示す。

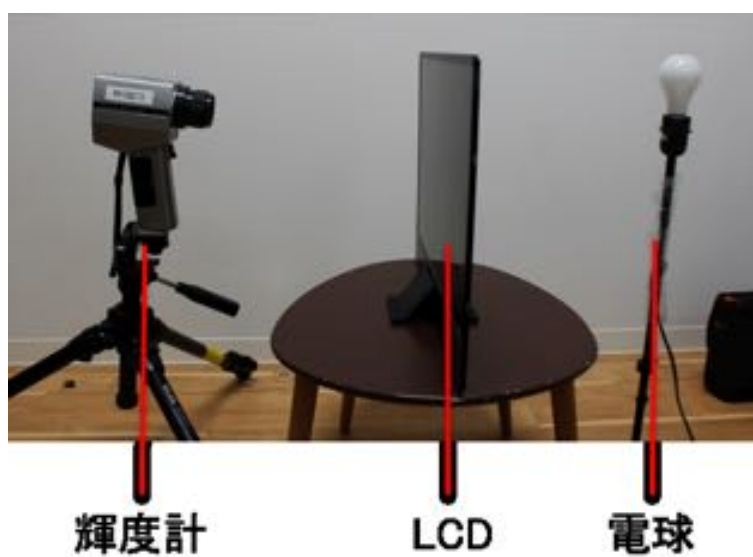


図 5.1: ディ스플레이の透過率測定の様子

表 5.1: 輝度の測定

測定対象	輝度
電球	40000
LCD(samsung)1枚	7060
LCD2枚+Endlighten	1600

この結果から透過率が約1/5ほどしかないことがわかった。本システムでは液晶を2枚重ねて用いたため約1/25程度まで輝度が落ちてしまった。

液晶ディスプレイは図5.2のように構成されている。<sup>1</sup>

液晶ディスプレイを通して来る光は、まず偏光フィルターにより半分に減光され、そこからさらにカラーフィルタによって1/3減光される。よって透過率は約15%となる。これは液晶ディスプレイの構成上これ以上透過率を得ることが難しい。

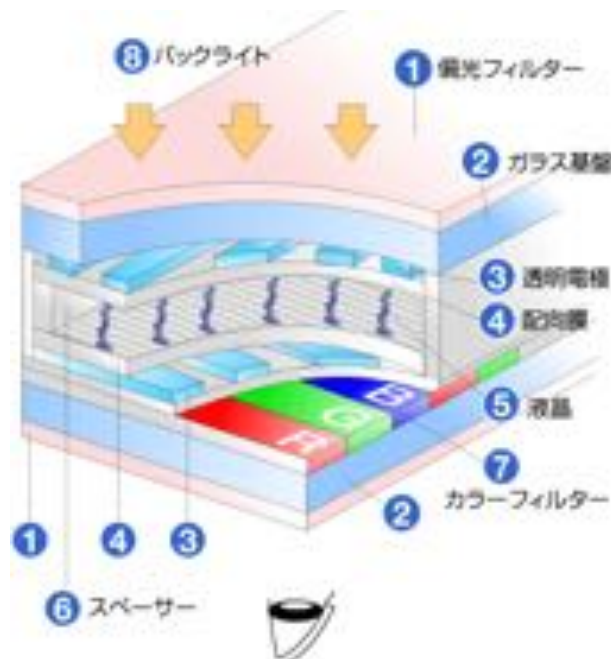


図 5.2: 液晶ディスプレイの構成

<sup>1</sup>シャープ 液晶の世界: [http://www.sharp.co.jp/products/lcd/tech/s2\\_3.html](http://www.sharp.co.jp/products/lcd/tech/s2_3.html)

## 5.1.2 可視性

ディスプレイ上の情報の見やすさ

バックライトがオンの状態

バックライトがオンの状態のときバックライトの明るさによってディスプレイのコントラストが左右される。吉武ら [18] によれば、液晶ディスプレイを使用した作業で90%の人がディスプレイ輝度  $25\text{cd}/\text{m}^2$  (鉛直面照度 250 lx) で許容できると答えている。今回構築したシステムのバックライトをオンにした状態の輝度は、 $21.7\text{cd}/\text{m}^2$  であった。これよりディスプレイとして問題なく使用できると考えられる。

バックライトがオフの状態

バックライトをオフにした場合、ディスプレイを透過してくる環境光がバックライトの代わりとなる。つまり背景の輝度によって、ディスプレイ上の情報の読みやすさが変わり、情報共有の際の認識負担が変化する。窪田 [19] は透過型液晶ディスプレイに求められる表示輝度とコントラストの条件を実験を通して示している。この実験によるとディスプレイの周辺輝度とディスプレイの輝度が近ければディスプレイ上の情報の認識に負担が少ないという結果が示された。今回実装したディスプレイを透過してくる光は約  $1/25$  であり、周囲との輝度差が大きい、よって、バックライトをオフにした情報共有の際には認識に負担がかかる。

## 5.2. ユーザーテスト

実装したシステムを用いユーザーが共同作業を行う様子を観察した。

目的

今回実装したシステムを用いて、ディスプレイの背面から指示が出せるか、指示を受けたユーザーはその指示を理解し指示に従い作業が行えるかを観察する。



## 作業内容

作業内容は3DモデリングソフトのRhinceros<sup>2</sup>を使用し、直方体と球を作成し球を直方体の上に乗せるという作業を行った。図5.3は完成図である。バックライトは常にオフにし、透明状態として透明度の調節は行わない。作業中ユーザーA(指示者)とユーザーB(作業者)は今回実装したシステムに向かい合って座る。始めにユーザーAのみに作業内容の説明を行い実際に3Dオブジェクトを作成する作業を行ってもらった。ユーザーAは3Dモデリングに慣れており、参考書などを見なくても作業ができる。

次に、ユーザーBとの共同作業を行った。始めに今回作成する3Dオブジェクトの完成図を見せ、作業内容を説明した。ユーザーBは3Dモデリングの経験はほとんどなく、Rhincerosの使用は初めてであった。ユーザーAがディスプレイの裏から指示を出し、ユーザーBはその指示を受けて3Dオブジェクトの作成を行う。

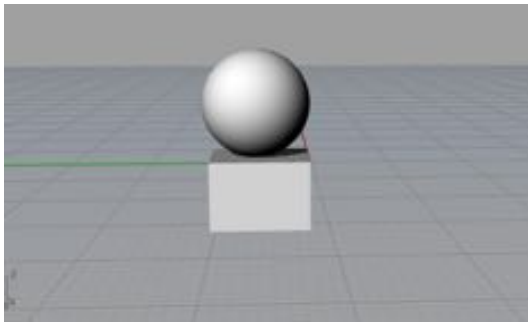


図 5.3: 作業で作成する 3D オブジェクト



図 5.4: 作業の様子

## 作業の観察

作業中ユーザーAはユーザーBに対して、声で説明しながら指で選択するべき項目を伝えた。ユーザーAは相手のディスプレイの情報を見るためにディスプレ

---

<sup>2</sup><http://www.rhino3d.co.jp/>

イに顔を近づけて指示を出していた。ユーザー B は相手の指示通りに作業を進めていた。

## ヒアリング

作業のあと以下の項目の質問を行った。

1. 相手の顔は確認できたか
2. 相手の表情は確認できたか
3. 相手の目は確認できたか
4. 指先での指示は確認することができたか
5. 相手のディスプレイ情報は見えたか
6. 自分のディスプレイ情報は見えたか
7. 相手の声は聞こえたか

1. 相手の顔は確認できたか

両者とも相手が誰であるか認識できると答えた。

2. 相手の表情は確認できたか

表情は確認できない

3. 相手の目は確認できたか

両者とも作業中に相手の目を意識していなかった。

4. 指先での指示を確認することができたか

指先はよく見ることができ、抽象的なオブジェクトを指示することができた。

5. 相手のディスプレイ情報は見えたか

見えた

6. 自分のディスプレイ情報は見えたか

見えた。しかし、輝度が低いため長時間の作業の際には疲れが生じるであろう。

7. 相手の声は聞こえたか

問題なく聞こえた

また両者からヒアリングを行った。

・ユーザー A

相手のカーソルを指で追うのは新鮮で、また指示したい抽象的な 3D オブジェクトを口頭だけでなく指で指し示すことができたので指示が出しやすかった、反転した文字は認識に負担がかかった。との回答を得た。

・ユーザー B

初めて使用したソフトだが、指示通りに進めることで作業をスムーズに行うことができた。一般的なディスプレイを使用し、side by side に座り横から指示を出されるよりも圧迫感や威圧感がなく作業を行うことができる。今回の透過型液晶ディスプレイの透過度は低く、相手の表情まで確認することができないが、表情が見えないため自分の作業に集中しやすい。今回のように文字情報の少ない 3D モデリングや動画編集のような口頭で説明するよりも指で指示するような作業に向いているとの意見を得た。

### 観察のまとめ

今回の検証から、顔の表情や目を確認することは難しいがディスプレイ上の情報は十分確認でき、指で指し示すことにより抽象的な指示を出しやすいことがわかった。また、Face to Face のため従来のディスプレイを用い横から指示を出す際よりも身体的な接触が少なく圧迫感や威圧感がないとの意見を得た、side by side よりも face to face の方が身体接触が少なく、自由な作業スペースを得られるという意見は Inkpen [20] らが行ったディスプレイを用いた共同作業におけるディスプレイ要素の比較実験でも述べられている。しかしながら、輝度が低いことから長時間の使用はユーザーに負担がかかる。また、反転している文字は認識に負担がかかるということがわかった。

## 5.3. 考察

### 5.3.1 位置合わせ

本研究では実際の透過型液晶ディスプレイを用いた、ビデオシースルー方式の情報共有システムを用いるとき、画面が自然に透けているように見せるためには正確な位置合わせが必要となる上、少し視点を移動させるとずれが生じる。また、複数のユーザーで利用する場合には、ユーザーごとに個別のディスプレイを必要とするなど、それぞれのユーザーの物理的位置合わせを行うことが困難である。ビデオシースルー方式を用いた場合完全にアイコンタクトを成立させるためにはユーザーに動きの制約を与える。しかし、本研究では実際の透明型液晶ディスプレイを用いたため、ディスプレイの背景はユーザーの動きに対応して変化する。よって、アイコンタクトを成立させるためや自然に透けているように見せるための物理的位置合わせを行う必要がない。

### 5.3.2 文字反転

本システムでは相手にコンテンツを共有する際に、コンテンツの反転を解消するためのフリップアプリケーションを作成したが、両者が同時に正しい向きでコンテンツを見ることはできない。この問題は透過型液晶ディスプレイを用いる以上解決することは困難である。

### 5.3.3 ディ스플레이の配置・角度

このシステムのディスプレイはユーザーの間に垂直に置く必要がある。そのため、ディスプレイを見やすいように角度に変えることができない。また、ユーザーが隣同士に配置している場合、共有情報の選択は行うことができない。

## 第6章

# side by sideのユーザー配置における選択的情報提示のためのディスプレイシステムの設計

本研究は住宅メーカーであるトヨタホーム株式会社との共同研究によって行われた。同社では生活スタイルの多様化から、つながりやコミュニケーションが希薄になってしまいがちな家族について、同じ家に住みながらよりつながり強くを持つことができる次世代コンセプト住宅について取り組んでいる。特に本研究では寝室でのディスプレイのあり方について、選択的情報提示の観点から研究を行った。

### 6.1. 同一空間における他者との選択的情報提示

ここまでで行った透明度を調節可能なディスプレイの設計では face to face における使用において、共有情報の選択を行い共同作業を支援した。しかし、このディスプレイは face to face での使用に限定されている。生活環境におけるユーザーの配置は face to face に限らない。ユーザーは自由に配置され作業を行うことが多く、特に隣同士に座った場合、共有したくない情報が横にいる人には共有されてしまう。この問題は今回構築したディスプレイシステムでは解決できていない。この問題を解決するためにはディスプレイに対する角度によって表示情報を選択することができるような指向性を持ったディスプレイシステムの設計が必要となる。ここでは共同作業に限らないユーザー間の情報の提示について検討する。曆本が提案したプログラマブルな窓はプライバシー情報や室内に取り込む光を動

的に制御した [15]. このプログラマブルな窓は生活環境における情報の選択を支援している.

オフィス環境やリビングスペース, 寝室などユーザーは自由な配置により空間を共有する. また, 室内に光を取り入れるためにカーテンやブラインドを開けたり, 照明をつける. しかし, 寝室においては, 目覚めに必要な光を得るために同様の手段を取ると同じ室内で寝ている他者の睡眠を妨害してしまう可能性がある. これらのことから同じ空間にしながら特定のユーザーのみに目覚めを支援する光を提示可能な指向性を持ったディスプレイシステムの設計を行う.

## 6.2. システム設計

### 6.2.1 再帰性投影技術

指向性を持ち, かつ, 目覚めに十分な照度を得る必要がある. 稲見らが開発した光学迷彩 [21] に応用されている再帰性投影技術は物体をあたかも透明に見せることができる技術である. この再帰性投影技術はスクリーンとなる再帰性反射材にハーフミラーを通してプロジェクターで映像を投影する. 再帰性反射材は入射した光を, 入射した方向と同じ方向に反射させるという特殊な光反射性質がある. そのためプロジェクター光源からの光を効率よく観察位置に集光させることができるため高輝度な投影が可能である. 再帰性反射技術は光の反射性質からプロジェクターの光源位置からのみ観察することができる指向性を持っている. このように指向性を持ち, 高輝度を得ることができる再帰性反射技術を応用する.

しかしこの再帰性反射技術は観察することができる視点が狭く, またハーフミラーを通して観察する必要がある. 齊藤ら [22] の再帰性投影技術を車内のピラーに応用した研究では, スクリーンとなる再帰性反射材に拡散板<sup>1</sup> (Light Shaping Diffuser: LSD) (図 6.1, 6.2) と呼ばれる光を特定の角度のみに拡散することのできる拡散板を組み合わせて, 観察視点を広げることでハーフミラーを介さずにピラーを透明化することが可能であると示している. 本システムでもこの組み合わせを採用する.

---

<sup>1</sup><http://www.osc-japan.com/lsd-corp/lsd-about/>



図 6.1: 拡散板 (LSD) の特性

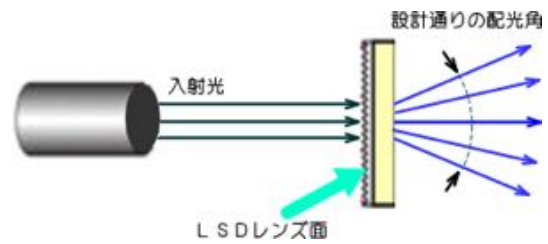


図 6.2: LSD の特性

## 6.2.2 投影スクリーンの情報の選択的提示

齋藤らが提案した再帰性反射材と LSD の組み合わせによる投影スクリーンでは、特定の方向にプロジェクターの映像を拡散させることで視野を拡大した。さらに視点位置における提示情報の選択性を可能とするために、スクリーンの1番上の層に電圧のオンオフにより透明度を瞬時に切り替えることのできるウムフィルム<sup>2</sup> (図 6.3) を取り付けた。ウムフィルムは不透明の状態のとき、光を拡散させる性質があるため透過型の投影スクリーンとしてよく用いられている。このウムフィルムを用いることにより、透明状態 (図 6.4) のときは指向性を持ち特定の1人に映像を提示できる状態、一方、フィルムが不透明状態のときはプロジェクターの映像を拡散するため観察位置によらず映像が観察可能になる (図 6.3)。このフィルムを用いることで情報の共有・非共有を瞬時に切り替えることを可能にする (図 6.5)。

<sup>2</sup>日本板硝子ウムプロダクツ株式会社：<http://umu.jp/index.html>



図 6.3: ウムフィルム：不透明状態



図 6.4: ウムフィルム：透明状態

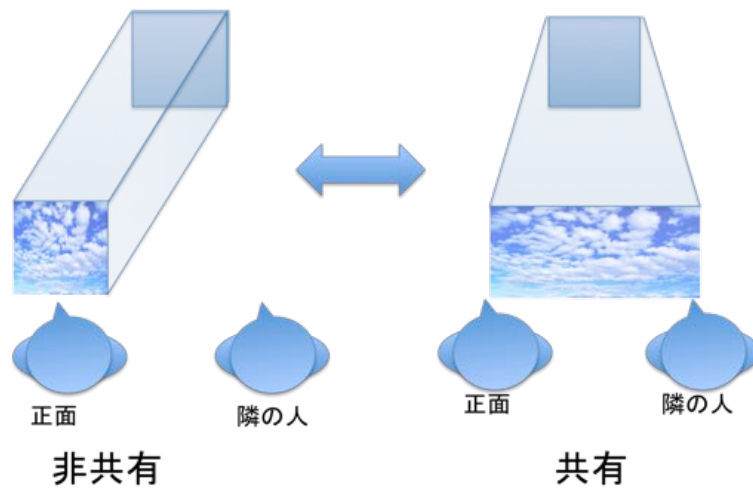


図 6.5: 天井スクリーンの共有・非共有の選択

### 6.2.3 スクリーンの構成

スクリーンは4層で構成される。基盤となるアクリル板に再帰性反射材を貼付けその上にLSDとウムフィルムを貼付ける（図6.6）。



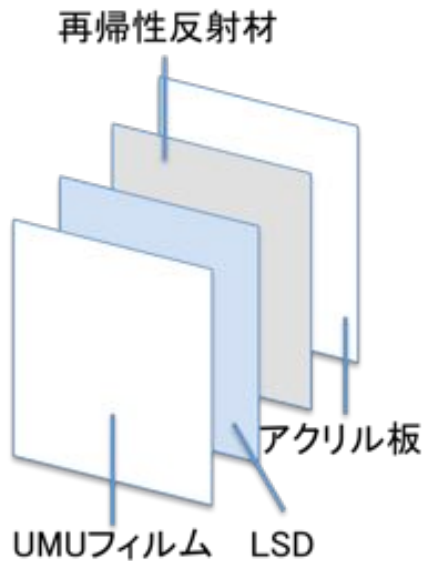


図 6.6: 作成する投影スクリーンの構成図

#### 6.2.4 スクリーンの試作と観察

スクリーンの構成で述べた構成でスクリーンを試作し映像を投影することで、スクリーンの指向性と共有・非共有の切り替えを観察した。プロジェクターでスクリーンの正面から映像を投影し、映像の観察はプロジェクターの0.5m離れた正面の位置、正面から横に1m離れた2点で観察を行った(図6.7)。まず、UMUフィルムなしでスクリーンの試作を行い、スクリーンが指向性を持っていることを観察した。スクリーン正面から観察した場合、投影した映像を高い輝度で確認することができる(図6.8)。一方で隣の人の視点を想定した1m横に離れた位置から観察すると、映像が見えず投影された映像が指向性を持っていることが確認できる(図6.9)。次に、UMUフィルムをスクリーンに取り付け、スクリーンの共有・非共有の切り替えが可能か観察した。スクリーン正面から観察した場合、UMUフィルムの透明(図6.10)・不透明(図6.11)に関わらず映像を確認することができる。一方で隣の人の視点を想定した1m横に離れた位置から観察すると、UMUフィルムが透明な場合、映像が見えず投影された映像が指向性を持っていること

が確認できる (図 6.12)。また、ウムフィルムが不透明になった時、ウムフィルムがプロジェクターの映像を拡散するため、1m 横にずれた視点からも映像が確認できる (図 6.13)。これらのフィルムの状態はスクリーン下に置かれた人の動きを検出することができる Kinect により、ユーザーの手のジェスチャーにより切り替えることができる。ウムフィルムの透明・不透明を切り替えることによりシームレスに情報の提示範囲を切り替えることができた。



図 6.7: 観察位置



図 6.8: 正面からの観察

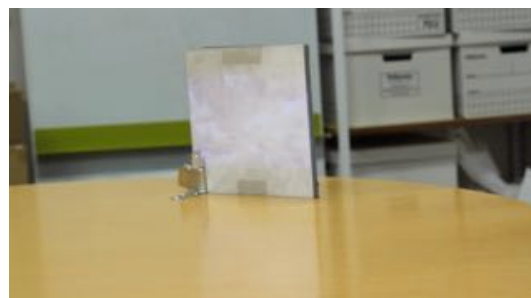


図 6.9: 横 1m からの観察



図 6.10: 正面からの観察：ウム透明



図 6.11: 正面からの観察：ウム不透明



図 6.12: 横 1m からの観察:ウムフィルム透明



図 6.13: 横 1m からの観察:ウムフィルム不透明

## 6.3. 実装

### 6.3.1 スクリーン素材の選択

光の睡眠への影響を調べる研究は多く行われている。人はメラトニンと呼ばれる内因性の概日リズム位相を反映するホルモンが分泌されることにより眠気を感じ [23], このメラトニンの分泌が光により抑制されることはよく知られている。このことから起床前に光を照射することにより目覚め感を向上させる研究が行われ

ており、目覚めに最適な照度を調べている。野口ら [24] は起床前 30 分間に漸増光照射（顔面照度 0～100lx）を行い、目覚め感が向上することを確認している。また 1000lx のような高照度でなくても家庭用の照明器具で得られるような 100lx 程度で目覚め感が改善されることが報告されている [25]。しかし、100lx では就寝時にまぶたを通して目に入る光は少なくなるため、本システムでも 1000lx 程度の照度を得られるようにスクリーンを設計する。

### 再帰性反射材

必要な高輝度を得るために再帰性反射材の反射率を比較した。今回は 3M 社の超高輝度反射シート 7610<sup>3</sup>、レフライト社のシルバークレー 8318<sup>4</sup> を使用した。輝度を測定した結果、3M 社のシルバークレーの再帰性反射材の方が反射率が高いことを確認した。それぞれの再帰性反射材の表面を顕微鏡で観察した（図 6.14, 6.15）。図からはビーズの大きさや、密度、サイズの統一性について大きな違いは確認できなかった。図 6.16 に再帰性反射材の構造の模式図を示す。これから、反射率に大きな影響を与えているのは、反射層だと考えられる。今回ブラックよりもシルバーの方が反射層の反射効率が良いことから、高い輝度を得ることができた。よって、本システムでは、高輝度の反射を得ることができる 3M 社製の超高輝度反射シート 7610（シルバー）を採用する。

---

<sup>3</sup><http://www.mmm.co.jp/security/scotchlite/>

<sup>4</sup>[http://www.reflite.co.jp/nichiref/seihin\\_reflite\\_reflective\\_cloth\\_film\\_page03.html](http://www.reflite.co.jp/nichiref/seihin_reflite_reflective_cloth_film_page03.html)

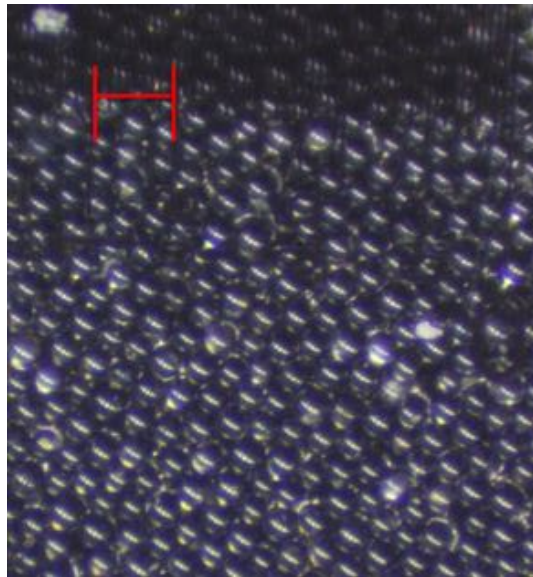
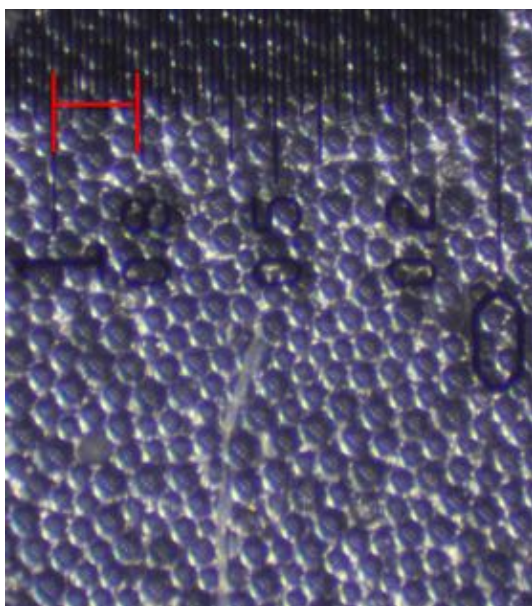


図 6.14: 超高輝度反射シート 7610(3M) の表面  
 図 6.15: ブロードブラック 8318(レフライト) の表面

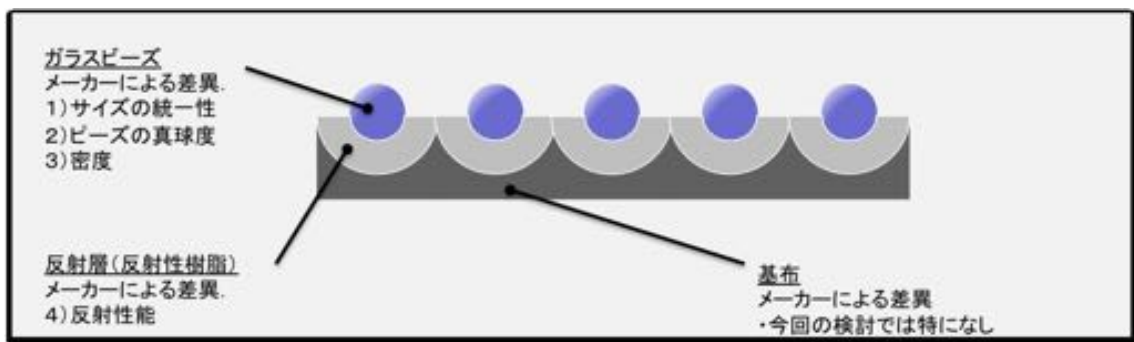


図 6.16: 再帰性反射材の表面構造

### 拡散板 (LSD)

LSD の拡散角度を決定するためにまず、想定するベッドの位置関係から今回必要となる拡散角度をモデル化しシミュレーションにより算出する。プロジェクターによって投影された映像はまず LSD を通り再帰性反射材に到達する。拡散角度  $\alpha$

のLSDでは映像が $\alpha$ の角度で拡散され、再帰性反射材によって反射する。反射された光はもう一度LSDを通り角度 $\alpha$ で拡散される。よってこのスクリーンでは入射時と反射時で2回LSDを通るため、 $2\alpha$ で映像が拡散されることになる(図6.17)。次に横方向への拡散角度について検討する(図6.18)。観察視点とスクリーンまでの高さをH、LSDの拡散角度を $\alpha$ とすると横方向の観察可能範囲 $W_h$ は

$$W_h = 2H \tan \alpha \quad (6.1)$$

と表せる。また、縦方向の拡散角度(図6.19)は目から天井スクリーンの高さをH、LSDの縦方向の拡散角度を $\beta$ 、観察可能範囲を $W_v$ とすると、

$$W_v = H \tan \beta \quad (6.2)$$

となる。以上で求めた式から拡散角度のシミュレーションを行った(図6.21)。シミュレーションの結果から横方向の拡散はベッドの幅500mm~1000mmに収まるようにするためには $5^\circ \sim 8^\circ$ 、縦方向には600mm~800mmに収まるようにするために $12^\circ \sim 18^\circ$ の拡散角度を持ったLSDが適していることがわかった。

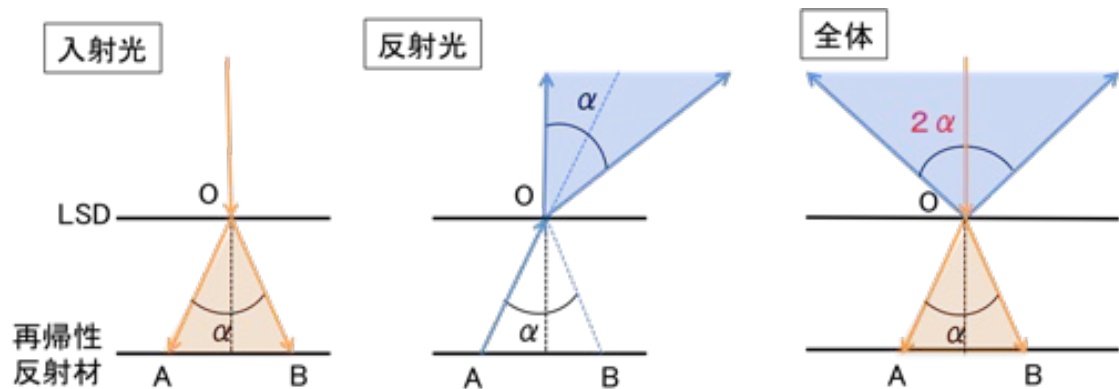


図 6.17: 構築するスクリーンの拡散角度

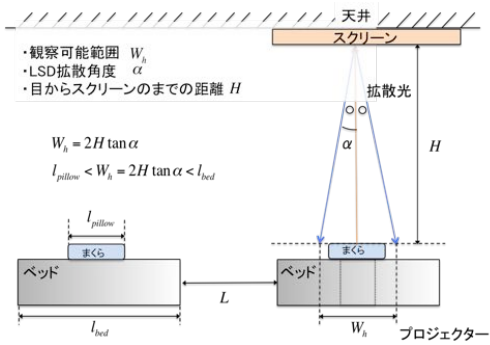


図 6.18: 横方向の拡散角度

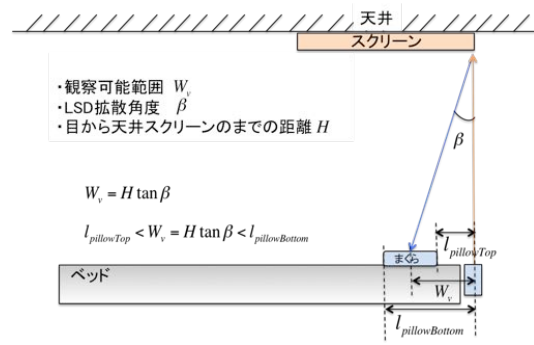


図 6.19: 縦方向の拡散角度

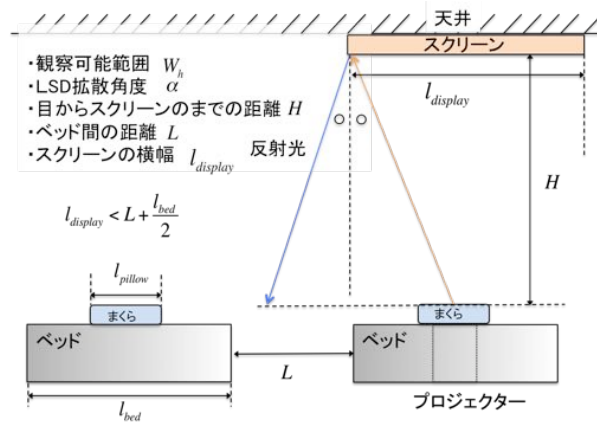


図 6.20: スクリーンの表面反射

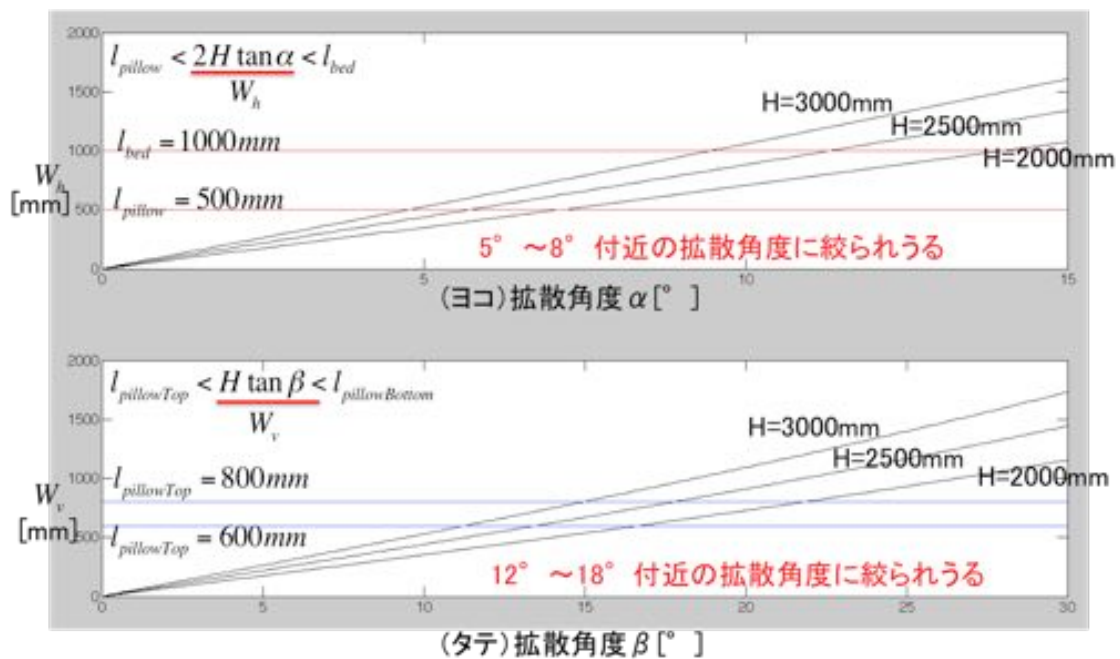


図 6.21: 試作する投影スクリーンの拡散角度のシミュレーション

拡散角度のシミュレーションの結果から今回のスクリーンに最適な拡散角度を持ったLSDを実験を通して選択するために、2種類の異なる拡散角度（ $40^\circ \times 0.2^\circ$ と $30^\circ \times 5^\circ$ の楕円拡散）を持ったLSDで比較実験を行い、輝度を測定した。投影装置の位置はスクリーン面から2000mmの距離に設置した（図6.22）。使用機材は表6.1の通りである。測定方法として、実験1：主拡散方向に垂直な方向（拡散角度が小さい方向）（図6.23左）、実験2：主拡散方向に平行（拡散角度が大きい方向）（図6.23中）、実験3：入射光に角度をつけ主拡散方向に平行（図6.23右）に対してLSD2種類で測定を行った。検討手順として、スクリーンにLED平行光源光のコリメートライトを垂直に入射させた際の垂直方向成分、水平方向成分の輝度を計測した。測定結果を図6.24、6.25、6.26に示す。



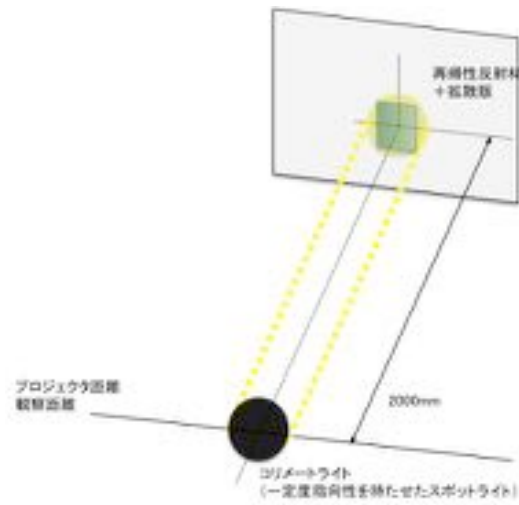


図 6.22: LSD の比較実験環境

W

表 6.1: 試作投影スクリーンの使用機材

機材	型式・仕様・メーカー
LSD(40° × 0.2°, 30° × 5°)	レンズ拡散評価キット <sup>5</sup>
再帰性反射材	超高輝度反射シート スコッチライトハイゲイン 7610(3M)
投影ライト	スポットライト 白色 #85-343 (METAPHASE TECHNOLOGIES) <sup>6</sup>

<sup>5</sup><http://www.shinko-ele.co.jp/detail.html?pid=489>

<sup>6</sup><http://www.edmundoptics.jp/illumination/led-illumination/led-spot-lights/metaphase-technologies-spot-lights-collimator/85-343>

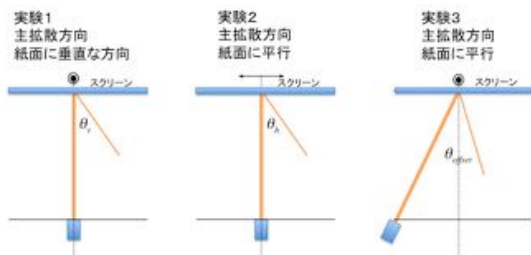


図 6.23: 測定方法

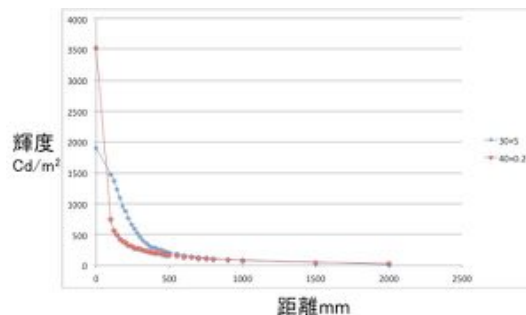


図 6.24: 実験 1 による測定結果

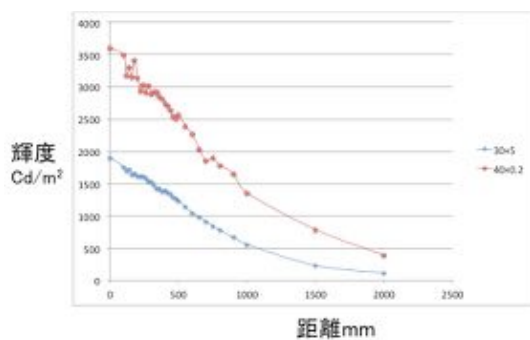


図 6.25: 実験 2 による測定結果

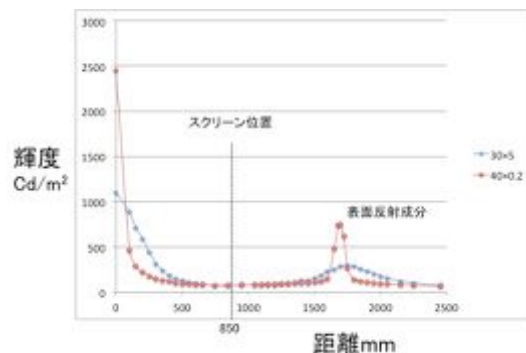


図 6.26: 実験 3 による測定結果

この測定結果から、 $40^{\circ} \times 0.2^{\circ}$  の拡散角を持った LSD は測定角度  $0^{\circ}$  のとき高い輝度を得ることができているが、拡散角度  $0.2^{\circ}$  の方向では平行方向への測定距離が離れると輝度の減衰が大きくなる (図 6.24)。また、図 6.26 から、入射光が角度を持って LSD に入射した場合、 $40^{\circ} \times 0.2^{\circ}$  の LSD で表面反射が大きく観察された。これは、LSD の反射が入射角度に依存するものと考えられる。これらの結果から、本システムでは  $30^{\circ} \times 5^{\circ}$  の LSD を採用する。

### 6.3.2 実装

30cm  $\times$  30cm 角の亚克力パネルに再帰性反射材を貼付けた。さらにその上に LSD を貼付け投影スクリーンを作成した。

## 6.4. 作成した投影スクリーンの評価

作成した 30cm × 30cm 角のスクリーンパネル 12 枚を天井に設置し、ベッドに横になった際の頭の位置で輝度を測定した。図 6.27 は天井に作成したスクリーンを設置し、プロジェクターで映像を投影した際の輝度の分布を示したものである。スクリーンの真下の顔面の位置では最高の照度は 870lx となり、目標としている照度 1000lx は得ることができないが、十分の明るさを得ることができている。一方で隣のベッドの顔面の位置での照度は 25lx となっており、スクリーンが指向性を持っていることが確認できる。図 6.28 は天井にプロジェクター対応のクロスを設置し、プロジェクターで映像を投影した場合の輝度の分布である。このクロスでは光は全体に拡散し、十分な照度を得ることができていないことがわかる。

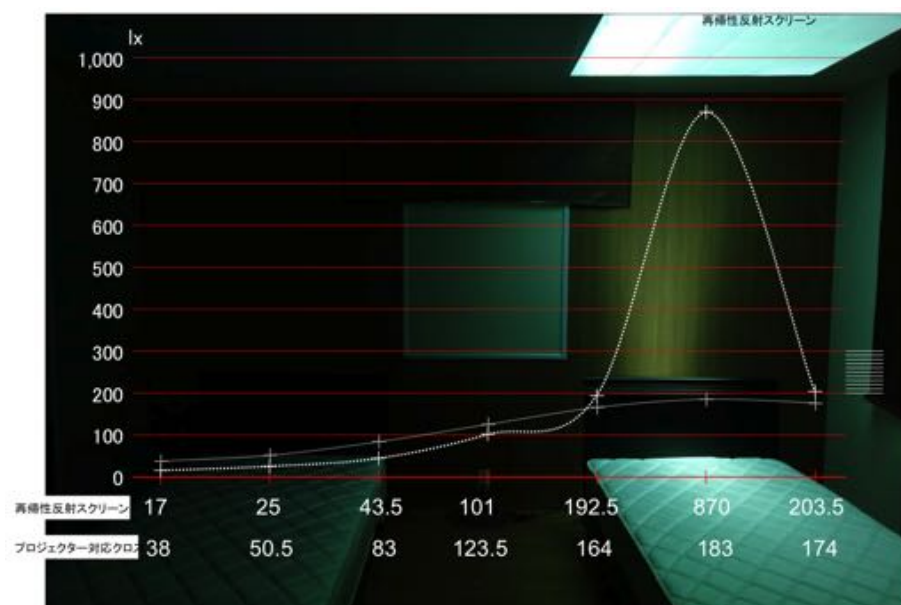


図 6.27: 実装したスクリーンにプロジェクターで投影した場合と、プロジェクター対応クロスに映像を投影した場合の照度分布

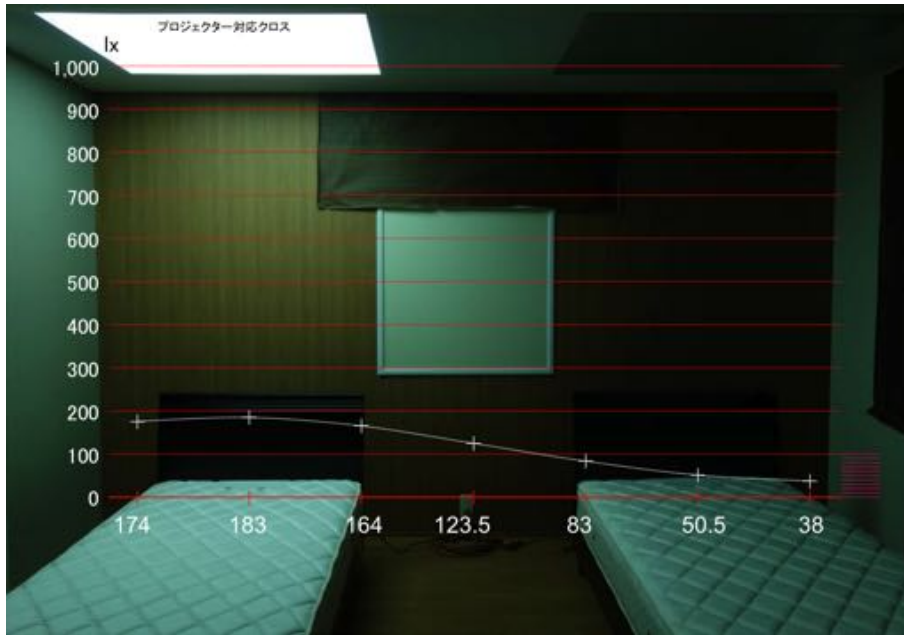


図 6.28: プロジェクター対応クロスに映像を投影した場合の照度の分布

## 6.5. ユーザーからのフィードバック

実際にユーザーにベッドに横になってもらいスクリーンについてのフィードバックを得た。投影スクリーンの下のベッドに関しては、十分な輝度を得ることができているため明るいとの意見を得た。しかし、隣のベッドでは照度が17lx程度であるのに関わらず、目をつむっても少し明るさが気になるとの意見を得た。原因として、スクリーンのLSDが基盤のタイルに対し四隅でテープで接着しているため、重力によってスクリーンの中心がたるみスクリーンの表面反射が大きくなってしまったためだと考えられる。

## 6.6. まとめ

再帰性投影技術と拡散板、UMU フィルムを組み合わせることにより、Side by Sideでの共有・非共有をシームレスに切り替えることができる投影スクリーンの

設計、実装を行った。また、想定環境を寝室とし投影スクリーンを寝室の天井に設置し、プロジェクターで試作した投影スクリーンに映像を投影し、得られる照度の測定を行った。測定結果から、スクリーン正面では870lx、正面から1[m]隣の視点では17lxとスクリーンが指向性を持ち、かつ、目覚め感を向上させることのできる照度を得られることができた。しかしユーザーからのフィードバックでは、隣で寝る人の視点では、17lx程度であるが目をつむってもスクリーンの明るさが気になるとの意見を得た。これは、試作したスクリーンのLSDがアクリルの四隅で接着されており、天井に設置した時にLSDがたるみスクリーンの表面反射が強くなったためだと考えられる。これを解決するためには、より狭い拡散角度をもったLSDを使用することにより、拡散する光を小さくする。拡散する光が少なくなると、スクリーン正面では得られる輝度が高くなるため、プロジェクター自身の輝度を下げることができる。これにより、スクリーン正面では十分な照度を得つつ、より指向性を持ち隣の人の視点での照度を下げることができると考えられる。

## 第7章

# 結 論

本研究では同一空間にいる他者との選択的情報提示について、想定環境をオフィスとした Face to Face の共同作業を支援する透過型液晶ディスプレイと、寝室を想定環境とした Side by Side における高輝度な指向性を持った投影スクリーンの2種類を設計することで提示情報の選択や共同作業支援の検討を行った。

第1章では背景として従来のディスプレイでの情報共有や共同作業の問題点を指摘し、個人での作業と共同作業への状態をシームレスに切り替えることのできるディスプレイの構築を目的とした。

第2章では、第1章で述べた背景に関連した先行事例を紹介した。主に、遠隔での共同作業を目的としたシステム、近距離での共同作業を支援するシステム、情報共有の際の情報公開範囲を検討している研究を取り上げた。これらの関連研究から、本研究では同空間にユーザーの近距離においての2者間の共同作業を支援することのできるシステムや、情報選択を行えるディスプレイの構築を目指すとした。

第3章では、オフィス環境での Face to Face を想定し、共同作業における必要な設計要件を示し、それを基にシステムの設計を行った。

第4章では、第3章で行ったシステムの設計を基に適切な機材を選択し、システムを実装した。また実装したシステムで行えるインタラクションを示した。

第5章では、実装したディスプレイを使用した共同作業を行うユーザーの観察と考察を行った。文字情報を中心としないような3Dオブジェクトや映像の編集に向いていることがわかった。文字は透過型ディスプレイを通した際反転してしまうため、認識に負担がかかってしまった。また face to face での作業のため両者の

身体的接触がなく、指示者の威圧感や圧迫感が少ないとの意見を得た。

第6章では、第5章までで設計したFace to Faceを支援するシステムから、寝室を想定環境としたSide by Sideでの他者との提示情報の選択を可能とした目覚めを支援するための投影スクリーンの検討、実装を行った。スクリーンは再帰性反射材、光拡散版LSD、ウムフィルムで構成され、ウムフィルムの透明度を切り替えることで拡散状態を変化させ、プライベートの使用とパブリックの使用をシームレスに切り替えることができる。実装した投影スクリーンの評価から、他者の睡眠を妨害することなく、目覚めに必要な照度を得ることができていることを確認した。

以上のように本研究では同一空間における2者間の選択的情報提示について検討、ディスプレイの実装を行った。オフィス環境を想定したFace to Faceの作業支援では、透明度を調節することができるディスプレイを構築することにより、ユーザーやディスプレイを動かすことなくシームレスに個人の作業と共同作業を切り替えることができる。ユーザーテストの結果、特に、3Dオブジェクトの設計や動画編集など文字よりも映像を使った共同作業の支援に向いていることがわかった。しかし、透明度の低さからディスプレイ輝度が低くなり長時間の使用は困難である。より高い透過率を持ったディスプレイが開発されることにより長時間でも使用でき、相手の目も確認できるシステムが期待できる。

また、Side by Sideのユーザー配置での情報選択が可能な指向性を持った投影スクリーンの開発を行った。この投影スクリーンは指向性を持ち高輝度を得ることができることから、特定のユーザーに目覚め感を向上させるためのディスプレイとしての使用の検討を行った。この投影スクリーンを用いることで、同じ家に住み生活スタイルの違う家族が、他者の睡眠を妨害することなく、ユーザーに光や情報を提示し目覚めを支援することができる。これにより、生活スタイルが異なっても、コミュニケーションやつながりを持つことができると期待できる。これらの2種類のディスプレイを設計することで、同一空間におけるディスプレイのあり方を検討した。

## コントリビューション

本研究は共同研究として進められた。以下にプロジェクトのコントリビューションを示す。

透明度調節可能ディスプレイに関しては、3Dビューアー、コンテンツの反転をさせるアプリケーションなどソフトウェアの開発を Daivid lindlbauer 氏 (Technical University Berlin, Germany) が担当し、その他ハードウェアの実装を私が行った。

指向性を持った投影スクリーンはトヨタホーム株式会社との共同研究で行われ、私たちのプロジェクトでは使用機材の選定、実装など技術的な提案を行った。



# 謝 辞

本研究の指導教員である稲見昌彦教授には、幅広い知見からの確かな指導と暖かい励ましやご指摘をしていただきました。また、国内外問わず多くの挑戦の機会をくださいました。研究以外でも様々な刺激をいただき、物事を知り考えることの楽しさを教えていただきました。心から感謝いたします。

研究の方向性について様々な助言や指導をいただきました慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科の太田直久教授に心から感謝いたします。

研究指導や論文執筆など数多くの助言を賜りました慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科の石戸奈々子准教授に心から感謝いたします。

南澤孝太准教授には研究に対する姿勢に関して常に刺激をいただきました。研究の本質を考えて研究を行うことができました。心から感謝いたします。

本プロジェクトのメンターである上間裕二研究員には、私のために時間を惜しまず、常に私の視点に立って指導をしていただきました。また、研究に悩んでいるときも落ち込んでいる私を励ましてくださいました。心から感謝いたします。

杉浦裕太特任助教には、私がプロジェクトの方向性に悩んでいるとき親身になって相談に乗っていただき、的確な意見をくださいました。心より感謝いたします。

共同研究先である University of Applied Sciences Upper Austria の Media Interaction Lab の Michel Hallar 教授には滞在先のオーストリアで英語でのコミュニケーションに戸惑っている私に対して、暖かく指導していただきました。心から感謝いたします。

同大学の本プロジェクトの共同研究者である David Lindlbauer 氏は、鋭い判断と考察でこのプロジェクトを導いてくれました。心から感謝いたします。

また、研究室の同期である広瀬雅治君、正井克俊君、岩崎花梨さん、Mhd Yamen Saraiji 氏には、同期として苦楽を共にし、私が辛いときにも支えていただきました。

た. 心より感謝しています.

## 参 考 文 献

- [1] Hiroshi Ishii, Minoru Kobayashi: ClearBoard: A Seamless Medium for Shared Drawing and Conversation with Eye Contact, CHI, pp525-532(1992).
- [2] Kar-Han Tan, Ian Robison, Ramin Samadani, Bowon Lee, Dan Gelb, Alex Vorbau, Bruce Culbertson, John Apostolopoulos: ConnectBoard: A remote collaboration system that supports gaze-aware interaction and sharing, MMSP(2009).
- [3] Shinichi Shiwa: A large-screen visual telecommunications device using a liquid-crystal screen to provide eye contact, Journal of the SID, pp37-41(1993).
- [4] Jim Gemmell, Kentaro Toyama, C.Lawrence Zitinck, Thomas Lang, Steven Seitz: Gaze Awareness for Video-conferencing: A Software Approach, Computer-Supported Cooperative Work, pp26-35(2000).
- [5] 岡田 兼一, 松下 温: 静止画像を用いた狭帯域ネットワーク用多地点会議システム, 情報処理学会論文誌, pp2762-2769(1998).
- [6] R. Vertegg: The GAZE Groupware System: Mediating Joint Attention in Multiparty Communication and Collaboration, CHI'99(1999).
- [7] Hiroshi Ishii: TeamWorkStation: Towards a Seamless Shared Workspace, CSCW'90, pp13-26 (1990).
- [8] Shahram Izadi, Ankur Agarwal, Antonio Criminisi, John Winn, Andrew Blake, Andrew Fitzgibbon: C-Slate : A Multi-Touch and Object Recognition

- System for Remote Collaboration using Horizontal Surfaces, Second Annual IEEE International Workshop on Horizontal Interactive Human-Computer System, pp3-10(2007).
- [9] 森川 治, 前迫 孝憲: 「超鏡」: 自己像を表示するビデオ対話方式, ヒューマンインターフェース, pp25-30(1997).
- [10] Heejeong Heo, Seungki Kim et al: TransWall, Siggraph Emerging Technologies(2013).
- [11] 岩淵 正樹, 筧 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 (2008).
- [12] Tom Rodden, Yvonne Rogers, John Halloran, Ian Taylor: Designing novel interactional workspaces to support face to face consultations, CHI, pp57-64 (2003).
- [13] 伏木 秀樹, 苗村 健: SHelective を用いた対面的画面共有の活用シナリオ, WISS, (2012).
- [14] 筧 康明, 飯田 誠, 苗村 健: インタラクティブな多人数用方向依存ディスプレイテーブル Lumisight Table の提案, 情報科学技術フォーラム, pp.293-294(2003).
- [15] 暦本 純一: Squama: プログラマブルな建築のための構成要素, WISS(2012).
- [16] C. Gale, A. Monk: Where am I looking? The accuracy of video-mediated gaze awareness, Perception Psychophysics, pp586-595(2000).
- [17] H.Ishii, M.Kobayashi, J.Grudin: Integration of interpersonal Space and Shared Workspace: ClearBoard Design and Experiments, ACM Transactions on Information Systems, pp349-375(1993).
- [18] 吉武良治, 田村徹: TFT 液晶ディスプレイに要求される輝度に関する検討, 照明学会誌 第 78 卷 第 6 号, pp268-275(1994).

- [19] 窪田悟: 透過型液晶ディスプレイに求められる表示輝度とコントラストの条件, テレビジョン学会誌 Vol.50, No.6, pp768-774(1996).
- [20] K. Inkpen, K. Hawkey, M. Kellar, R. Mandryk, K. Parker, D. Reilly, S. Scott, T. Whalen: Exploring Display Factors that Influence Co-Located Collaboration: Angle, Size, Number, and User Arrangement(2005).
- [21] M. Inami, N. Kawakami, D. Sekiguchi, Y. Yanagida, T. Maeda, S. Tachi: Visuo-Haptic Display Using Head-Mounted Projector, Proceedings of IEEE Virtual Reality 2000, pp233-240(2000)
- [22] 齊藤綾亮, 柳田康幸: 再帰性投影技術を用いたシースルーピラーの可能性に関する検討, 日本バーチャルリアリティ学会第12回大会論文集(2007)
- [23] 樋口重和: 光とヒトのメラトニン抑制, 時間生物学 Vol.14 .No.1, pp13-20(2008)
- [24] 野口公喜, 白井修一郎, 駒田陽子, 阪口敏彦: 起床前漸増光照射の目覚めへの影響, 照明学会第33回全国大会, pp196(2000)
- [25] 野口公喜, 白川修一郎, 駒田陽子, 小山恵美: 天井照明を用いた起床前漸増光照射による目覚めの改善, 照明学会誌 第85巻 第5号, pp315-322(2001)