

実環境における段階的情報提示のための インタラクションデザインの枠組み

白井良成^{†,††} 松下光範[†] 中小路久美代^{†,††}

本研究の目的は、実環境において膨大に蓄積されうる活動履歴をより有効に利用するために、人工的に実世界に痕跡を投影することで人間にその存在を示し、興味をいだいたユーザには必要に応じてより詳細な情報を段階的に提示していくためのインタラクションデザインの枠組みを構築することである。本論では、活動履歴を、その活動が行われた実世界の場所に痕跡として投影する手法を基礎として、能動性、環境性、抽象性、公共性、という4つの軸で情報の提示手法を考察し、ユーザの認知過程に沿うような、情報を段階的に提示していく提示手法のモデルを構築した。そしてそのモデルを検証するために、掲示物の掲示履歴を事例モデルとして実際のシステム構築を行った。実装に際して必要となる表現形態および技術的側面を検証し、そのメカニズムの構築と評価を行った。

An Interaction Design Framework for Incremental Information Presentation within a Real World

YOSHINARI SHIRAI,^{†,††} MITSUNORI MATSUSHITA[†]
and KUMIYO NAKAKOJI^{†,††}

Ubiquitous computing environments allow us to collect and store a large number of interaction histories about human activities and objects. This paper presents an interaction design framework for incremental information presentation on demand in accessing such history data, summarized and projected in a real environment where the activities actually took place. We identify requirements for information presentation in terms of the four spectra: active vs. passive, real vs. virtual, abstract vs. concrete, and social vs. personal. We have constructed a model for incremental information presentation, and built a prototype system based on the model. We describe technical requirements for building such systems, discuss related work, and conclude the paper with future directions.

1. はじめに

大容量記録メディアの出現、およびセンサやネットワーク、セキュリティといった技術の発達にともない、ユビキタスコンピューティング環境が実現されつつある。そのような環境においては、環境内に存在する人間を含めた多種多様なオブジェクトの、長期間にわたる作業や活動の履歴を持続的に記録することが可能となる。たとえば Gemmell らの MyLifeBits⁶⁾ では、閲覧した Web ページから電話による通話まで自身に関連する様々な履歴を記録し、自伝の作成や記憶補助と

して活用しようとしている。また、角らは人と人、人と物等のインタラクションをセンサ群で記録し、体験の要約を自動的に作成する試みを行っている²⁹⁾。

これらの既存のプロジェクトは、対象とする人やオブジェクトの活動の履歴を人間に意味があるようにいかにインデキシングや加工を行うか、といったことに着目した研究である。これに対し我々のアプローチは、実環境内での比較的長期間にわたる活動の履歴を、事象の時系列データとして記録し、その情報を、ある時刻におけるその実環境内に存在する人間にフィードバックする際の、実環境にグラウンディングした情報提示の汎用的モデルの構築を目指すものである。

実環境には、足跡や wear (摩耗) といった様々な過去の活動の履歴が痕跡として残り、我々はこれらの痕跡を意思決定の材料として利用している^{3),31)}。たとえば、登山においては地面に残る足跡が、進路を決定するための重要な情報となる。この場合の足跡は、

[†] 日本電信電話株式会社 NTT コミュニケーション科学基礎研究所

NTT Communication Science Laboratories, NTT Corporation

^{††} 東京大学先端科学技術研究センター

RCAST, The University of Tokyo

その時点より以前にそこを通った人々の活動履歴である。コンピュータ上においても、テキストファイルの閲覧履歴頻度や回数をそのテキストを表示するウィンドウのスクロールバーにビジュアルにフィードバックすることで、注目すべき箇所を探すためのキーとするといった手法が、すでに提案されてきている^{8),9)}。

我々は、このような「痕跡」や「摩耗」が有する、情報表現形態としての機能に着目している。物理的に残された痕跡や摩耗は、活動履歴の内容を詳細に示すものではないが、膨大になりうる長期間にわたり蓄積された活動履歴を、その活動が実際に行われた場に、人間が一瞥可能な表現形態で提示している。概してそのような表現は、環境に溶け込むようにして、いわばアンビエントな情報表示として表されており、人間の活動に割り込んだり邪魔したりするものではない。

我々はこれまで、このような、痕跡や摩耗の有する、(1) 実環境への接地 (grounding) 性、(2) 一瞥性、(3) アンビエンス性という3つの特徴を利用して、実環境で行われる活動履歴の表現として実現し、Optical Stain というシステムを構築してきた²⁶⁾。Optical Stain は、掲示板に随時貼り替えられる掲示物 (ポスター) や、それを閲覧するために立ち止まる人間を、常時モニタリングカメラで観察し、画像処理を行うことによって、掲示物の掲示位置、期間の長さや閲覧者の立ち止まった場所や時間を履歴として蓄積し、時間的な長さを色の濃さに対応させたモノトーンの「影」を、プロジェクタでその位置に投影するようなシステムである。

Optical Stain の運用評価実験の結果、Optical Stain が投影する光学的な痕跡から、ユーザは、そこに何らかのポスターがあったこと、大勢があるポスターの前で立ち止まっていたこと、といった情報を見て取れることが確認された²⁶⁾。と同時に、それらのユーザから、「実際に過去にその場所に貼られていた掲示物が見たい」、「誰がその場にいたのかわかりたい」といった発話を得られた。すなわち、痕跡表現は、活動履歴の存在を提示することが可能であるとともに、それに興味をいだいた人間がそれに関してさらに情報を得るためのきっかけとなりうるということが分かった。自然世界において生じる痕跡や摩耗では、それらを構成する過去の事象に関する詳細な情報を得ることは困難である。それに対し Optical Stain のように、実世界から収集された活動履歴データを加工し人工的に痕跡情報を実世界に投影するようなアプローチでは、痕跡のように抽象化した表現から元の具体的なデータに戻ることが可能である。しかしながら、痕跡として抽象化して投

影している表現から、どのようにして個々のユーザがより詳細な情報を得られるようにしていくべきかの、表現と操作の系とを規定していく必要がある。痕跡表現で存在を提示した後、興味をいだいたユーザが、より詳細な関連情報を得ることができるよう情報に提示していけるようなインタラクションの枠組みが望まれる。

本研究の目的は、実環境において膨大に蓄積される活動履歴をより有効に利用するために、人工的に実世界に痕跡を投影することで人間にその存在を示し、興味をいだいたユーザには必要に応じてより詳細な情報を段階的に提示していくためのインタラクションデザインの枠組みを構築することである。本論におけるインタラクションデザインとは、「ユーザがどのような思考と行為の過程を経験しながらシステムを利用するのかという視点から、システムの表現系と操作系とを決めていくこと」とする¹⁵⁾。インタラクションデザインの枠組みとは、各々の情報ドメインに適した表現形態を探るのではなく、いくつかの情報ドメインに共通したフォームの特性に着目し、その特性ごとに、人間の思考と行為のモデルを構築し、それに沿うインタラクションのモデルを作成することを指す。本論では、実環境に焦点を当て、実環境における情報利用の際の認知的プロセスをモデル化し、それに沿う段階的情報提示方法のモデルを作成する。

以降、2章では、まず、実環境において蓄積された履歴情報を利用するユーザの認知的プロセスモデルを説明する。次に、そのプロセスステップに沿うような段階的な情報提示を考察する際の軸として、提示すべき情報をどのようにデザインするかを、能動性、環境性、抽象性、公共性という4つの視点から整理する。3章では、段階的情報提示を実現するための概念的なシステムモデルについて述べる。4章では、実環境における掲示板上の掲示物の掲示履歴を事例ドメインとして取り上げ、2,3章で説明したモデルを基に提示方法のデザインを行い、デザインに基づき実装したシステムについて説明する。5章では、実装したシステムから得られた知見に基づき、提案するモデルの検証を行い、我々が構築したモデルの適用範囲について考察する。6章では、我々のアプローチと他の研究との関係について、技術的側面から比較を行う。さらに、我々のアプローチを実世界におけるソーシャルナビゲーションとらえた場合の意義と課題について論じる。最後に7章でまとめと今後の課題について述べる。

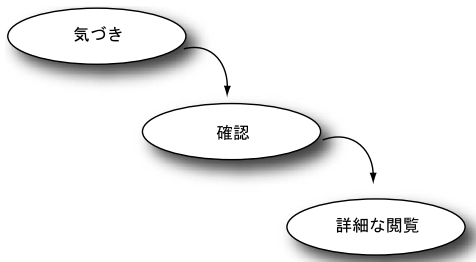


図 1 情報の利用における認知的プロセスステップ

Fig. 1 A cognitive process model for information usage.

2. 環境を介した情報の提示

本章では、まず履歴情報を利用するユーザの認知プロセスをモデル化し、次にそれらの各プロセスステップに応じた情報提示手法を考察するための4つの軸について説明を行い、段階的・情報提示手法の枠組みについて説明する。

2.1 情報利用の認知的プロセス

本研究における我々のアプローチは、実世界における活動履歴を、実環境に痕跡として投影することで情報としてユーザに提示するというものである。換言すると、環境において収集、蓄積された履歴情報の、その環境を介した情報提示を行っていると思なすことができる。

そのような環境において情報を利用する人間の認知的過程は、下記の3つのステップでモデル化することができる(図1)。

Step 1: 気づき 情報の存在に気づく

Step 2: 確認 気づいた情報の実体を確認する

Step 3: 詳細な閲覧 確認した情報を詳細に閲覧する

これら3つのステップは、独立して行われるわけではなく、対象に対して一連の流れとしてよどみなく行われる。また、前のステップを経て必ず次のステップへと進むわけではなく、各ステップにおいて、その対象について興味があるか、必要であるかといった判断を経て次のステップへと進む。情報の存在に気づいた段階でも、ユーザが情報のニーズを感じていなければ、そのまま無視して情報を利用することはないかもしれない。また、ユーザが情報のニーズを感じている場合でも、いきなりその詳細を知りたいわけではなく、まずは無関係なものを除外する判断を行うと考えられる。確認後、興味がありさらに詳細を知りたいと判断した時点で、詳細を閲覧するという第3のステップに入る。

たとえば廊下に文字の書いた紙切れが落ちている状

況を考える。その場を通る人の多くが、通行時に廊下に紙切れが落ちていることに気づくであろうが、そのままではその紙切れが何であるかは知らないまま通り過ぎることになる。その紙切れが気になった人は、紙切れに注意を向け、それが授業の講義メモであることが分かる。つまり、紙切れが何であるかを確認する。その後、その講義メモにさらに興味を持った人は、その講義メモをより詳細に閲覧する。たとえば、時間に余裕がある人であれば講義メモ内の書き込みから落とし主の手掛かりを探して落とし主に渡すかもしれないし、その講義がどのような講義であるかを大学のウェブページで調べるかもしれない。確認後その物に対して興味を持つか否かは、個々人の状況や立場等に依存する。

Shneiderman は、可視化における情報検索時の「呪文 (mantra)」として、“Overview first, zoom and filter, then details on demand.”を掲げ、情報可視化を行う際にはこのような行動を考慮してデザインする必要があるとしている²⁷⁾。Shneiderman の Mantra は、ユーザが自らの情報ニーズを認識し、必要な情報を獲得しようと計算機の画面に注目していることを前提としたものである。それに対し本論で扱う実世界を介した情報提示においては、ユーザは必要な情報を意識的に環境内から取得しようとしているわけではないし、またユーザが自らの情報ニーズを認識しているか否かも定かではない。ユーザにとって有益な情報の存在をユーザに伝達し、情報の必要性を顕在化する必要がある^{4),32)}。

2.2 段階的な情報の提示

上述の認知プロセスモデルの各ステップに対応する、そのための情報提示を考えると、次のようになる。

Level 1: 情報の存在の提示

Level 2: 情報の識別子の提示

Level 3: 情報の詳細提示

前章で触れた Optical Stain は、抽象的なグレーの「しみ」を活動履歴の痕跡表示としてその活動が行われた場所に投影することによって、実環境への接地 (grounding) 性、一瞥性、アンビアンス性を有した情報提示を行っている。このような実世界への痕跡のプロジェクションは、上述したように、情報の存在の提示は行っているが、それが具体的には何であり (情報の識別子)、どういうことを意味していたか (情報の詳細) を提示するような表現方法としては適切ではない。

有効に段階的・情報提示を行うためには、図2に示す3つの段階の間をシームレスに統合することが必要である。本研究では、実世界における活動が実施された

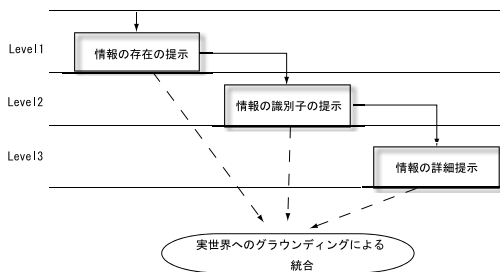


図 2 段階的・情報の提示

Fig. 2 Incremental information presentation on demand.

場所への投影によって可能となる接地性を、段階的・情報提示の基盤として、各段階を統合するアプローチをとった。実世界で活動履歴が起こった同じ場に、その活動履歴情報の存在、それが何であるかを提示し、必要に応じてより詳細な情報を提供しようとするものである。それぞれの段階で提示する情報は、同一の活動履歴に関する異なる表現形態となる。我々は、それぞれのレベルの情報提示が同じ場所に存在するのは直感的であり、次の段階に移行しようとしているユーザにとって分かりやすいと考えている。

一方、実世界にそれらの情報を混在して単に提示することは、情報のオーバーフローを起こすことにつながり情報の効果的な利用をむしろ阻むものとなる。情報の存在を示すのに有効に機能した一瞥性（ぱっと見て分かる）およびアンビアンシティ（気にならない、無視したければ無視できる）とを損なうことなく、興味を持ったユーザには、その識別子や詳細を提示する必要がある。

これらの課題に対処するために、段階的な情報提示の要件を、能動性、環境性、抽象性、公共性という4つの観点から考察した。

(1) 能動性：プッシュ vs. プル

能動性とは、システムが、能動的に情報を提示するのか、ユーザのリクエストに応じて情報を提示するのかの軸である。技術としては、プッシュ型情報提示とプル型情報提示のどちらをとるべきか、をデザインすることに相当する。

情報の存在そのものに気づいてもらうためには能動的にプッシュ型情報提示を行う必要がある。それに対して、確認を行ったり詳細な閲覧を行うのは、フィルタリングをかけ、興味があるか否かを判断するという行為を行った後のユーザである。したがって、リクエストもしないのに詳細な情報が表示されるのではなく、ユーザのリクエストに応じて、プル型の情報提示を行うことが望ましい。

(2) 環境性：環境化 vs. 非環境化

環境性とは、情報を環境の一部として提示するか否かの軸である。その場にいるユーザが広く知覚可能な方法で実環境の一部として情報を提示することで、ユーザは実環境に接するのと同じような態度で情報を取得することが可能となる。すなわち、ユーザは実環境の情報を取得する場合と同じように、情報を特定の機器を操作することなく取得することができる。たとえば、情報を視覚的にその場に重畳することで、ユーザはその場を通りかかるだけで、情報を見ることができる。あるいは、スピーカでその場にアナウンスを流せば、その場を通りかかるだけでそのアナウンスを聞くことができる。

しかしながら、人は環境内の情報を無意識のうちに処理しているため、実環境の一部として情報を提示することは、その情報を本来必要としていない人の意識までも引き付けてしまい、活動を妨げてしまう危険性がある。そのため、環境化する情報は、その場に多くの人が必要とするものにとどめ、それ以外の情報はできるだけ環境と切り離し、必要としているユーザにのみ伝達するのがよいと考える。

(3) 抽象性：抽象表現 vs. 具体表現

抽象性とは、情報を提示する際に抽象的な表現を用いるか具体的な表現を用いるかの軸である。情報の存在のみを示すためには、一瞥性が重要となる。少ない認知的負荷で提示された情報を処理できるよう、情報の細部を捨象し、抽象表現を生成して提示することで、人間は多量な情報を短時間で概観することが可能となる。しかしながら、その情報が何であるかを確認したい、より詳細を閲覧したい、というニーズに応えるためには、情報の具体的な表現が必要となってくる。情報が具体的になるにつれ、一瞥性には劣るが情報量が増加する。

(4) 公共性：公共化 vs. 個人化

公共性とは、提示する情報の制御権を環境側が持つのか、ユーザが持つのかの軸である。本研究では、実環境として、様々な人々が行き交う、公共の場を想定している。したがって、実環境に明示的に提示された情報は、広く様々な人々の目に触れるものとなる。環境側が情報の提示をコントロールし、人々に対して等しく同一の情報を提示することで、情報を取得するユーザは同一の内容の情報を他の人々と共有すること、そして共有しているということを知っているということ、という2つの側面から、情報に対する信頼感を感じ

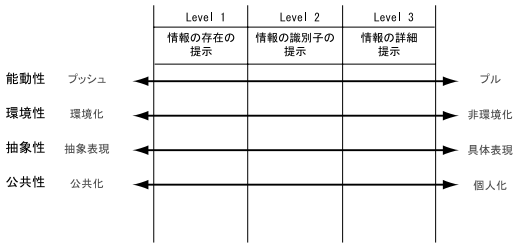


図 3 段階的の情報提示手法の枠組み

Fig. 3 Framework for incremental information presentation.

じることになる。しかしながら、万人が共通して興味を持つ情報というものは存在せず、自分が興味を持った情報が提示されていなかったり、自分には無関係な情報を目にする必要があったりして、結果として上述の情報過多による認知負荷増大という問題が起こる。

一方、情報を個人化することで、ユーザは自分の判断で情報を自由に扱うことが可能となる。個人化することで、情報を持ち帰ってじっくり見たり、個人のプロフィールや状態を利用して不要な情報のフィルタリングや加工をしてから閲覧したりするといったことが可能となる³³⁾。情報に対する制御権を得ることで、情報を自分が見たいように見ることが可能となるため、人の情報に対する理解度が高まる可能性が高い。しかしながら、個人が自由に操作しながら独自の視点で情報を見ることを可能とすることで、他者と同一の情報を見ているといった感覚は失われる。

能動性および抽象性は、情報を得る個人の視点から導き出される軸である。すなわち、個人に対して情報をシステムがプッシュするべきか、ユーザが自らプルすべきか、また、情報を抽象表現で一瞥したいのか、それとも具体表現で詳細に見たいのかという軸である。一方、環境性および公共性は、実環境は不特定多数の人が利用する環境である、という点を考慮した軸であり、不特定多数のユーザ全体への影響を考慮している。すなわち、不特定多数のユーザは情報を明示してほしいのか否か、また、情報を得る人はこの場を利用している不特定多数のユーザと同じ情報と同じように見たいのか、それとも自分の視点で見たいのかという軸である。

それぞれの段階に適した情報提示方法を図 3 にまとめる。Level 1 では、個々のユーザが情報の存在そのものに気づいていないため、システムは情報をユーザに対してプッシュする必要がある。このような情報の存在そのものは、広く一般的に有益であると考え、等しく知覚可能なように環境化して提示する必要がある。

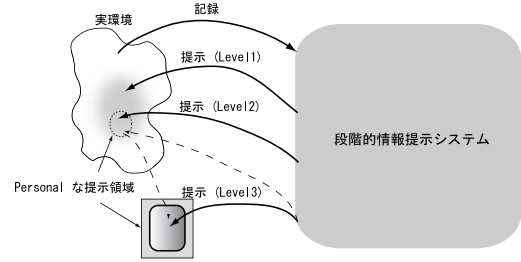


図 4 段階的の情報提示の概念モデル

Fig. 4 Conceptual model for incremental information presentation.

。このような存在に関する情報の提示には、一瞥性が高い抽象表現が望ましく、また存在を提示する段階では、公共度の高い情報提示で十分である。

それに対して Level 2, Level 3 に移行するにつれて、ユーザの興味に見合うだけの詳細な情報を提示するために具体表現が必要となり、また、詳細な情報を自由に閲覧できるように個人化されていることが望ましい。これらの Level ではユーザがニーズを認識しているため、ユーザのリクエストに応じて情報を提示する、プル型の提示となる。また、そのような具体的な情報は他者にとっては煩雑で必要のない情報となるため、できるだけ非環境化し、個別のユーザのみに見えるような形で情報提示を行うことが望ましくなる。

以上をまとめると、Level 1 から Level 3 に向かうに従い、プッシュ型からプル型へ、環境型から非環境型へ、抽象表現から具体表現へ、そして情報の操作の主体を公共からより個人へと提示方法、表現方法を変える必要がある。

次章では、このような段階的の情報提示を可能にするような、汎用的なシステム概念モデルについて説明する。

3. 段階的の情報提示のための概念的システムモデル

本章では、段階的の情報提示を実現するためのシステムのための、汎用的システムアーキテクチャのモデルについて説明する。

2章で述べたように、ユーザの情報利用の認知的プロセスに沿って情報を提示するためには、情報の存在の提示、情報の識別子の提示、情報の詳細提示という3つのレベルの情報提示を実現する必要があり、なおかつ3つの段階をシームレスに統合する必要がある。

段階的の情報提示のための概念モデルを図 4 に示す。段階的の情報提示システムは、実環境における活動を持続的に記録するとともに、活動が行われた場所に対し

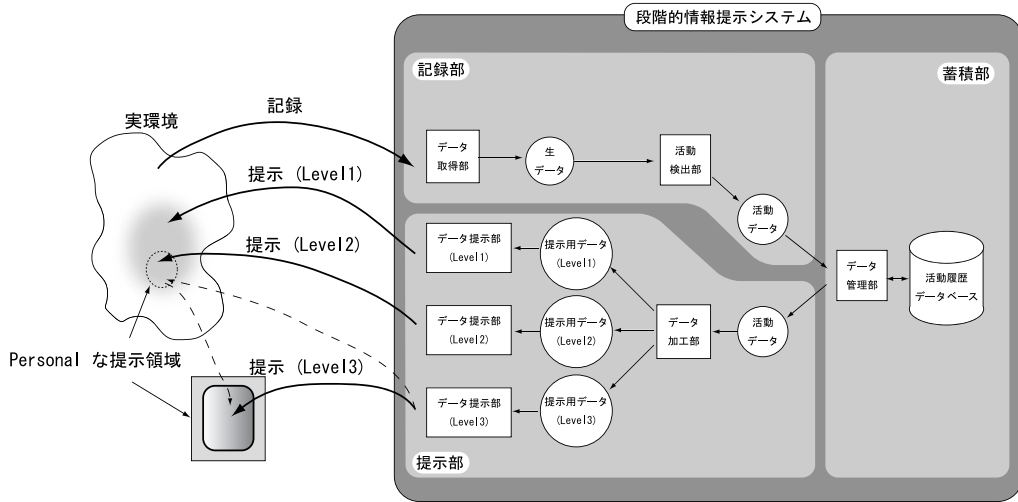


図 5 段階的情報提示システムの構成

Fig. 5 Architecture of incremental information presentation system.

て活動履歴を直接レベルに応じた提示方法・表現を用いてフィードバックする。Level 1 の状態のユーザに対しては、情報の存在を提示するために、情報を公共の領域に明示的に環境化して提示する。一方、Level 2 および Level 3 の状態のユーザに対しては、他者に不要な知覚的負荷を与えないようにパーソナルな領域に対して情報を提示する。シームレスな統合を実現するためには、活動の履歴を実環境に対して接地 (grounding) することが重要である。異なるレベルの情報を活動が実際に行われた実環境の同じ場所に対して接地することで、ユーザはステップの遷移に応じてすばやくそのステップで求められる情報を取得することができる。つまり、場所をシンクロさせることで、ユーザは情報を確認したい、もっと詳細な情報が欲しいと感じたときに、すばやく情報を引き出すことができる。一方、接地された情報を基に Step 2 から Step 3 の状態へ遷移が済んだ後は、それ以上認知的な遷移は発生しないため、Step 3 の状態のユーザは情報を接地されたままの状態で見ることが必要はない。ユーザは、たとえば取得した情報をじっくりと閲覧できる場所に移動して見たりしてもよいだろう。

次に、上記モデルに従って情報を提示するために求められるシステムのコンポーネントについて検討する。我々が考える段階的情報提示を実現するシステムに必要なシステム構成を図 5 に示す。システムは大きく分けて、実環境で行われている活動を記録するための記録部と蓄積部、および記録された活動履歴を実環境を介して提示するための提示部とから構成される。記録部では、持続的に実環境で行われている活動をデータ

取得部から取得し、次に、活動検出部において取得した生データから活動を検出する。検出された活動データはデータ管理部を介して活動履歴データベースに蓄積される。

一方、提示部ではデータ管理部を介して活動履歴データベースより活動データを取得する。次に、取得したデータを提示用データ (表現) に加工する。情報利用の認知プロセスに沿った段階的な情報提示を行うためには、3 段階の情報提示方法・表現が必要なため、データ加工部ではそれぞれのステップに応じた 3 種類の提示用データを作成する。そして、データ提示部を介してそれぞれのデータをそれぞれのステップに適した方法でユーザに提示する。このように図 5 のようなシステム構成を有するシステムを設計することで、ユーザの 3 段階のステップに応じた段階的な情報提示を実現することができる。

4. ケーススタディ：実環境の掲示板環境における活動履歴の伝達

以上の段階的情報提示手法のモデルを検証するために、掲示物の掲示履歴を事例として取り上げ、システムを実装した。本章では、まずシステムのコンセプトデザインを説明し、次に技術的な実装手法について説明を行う。

4.1 コンセプトデザイン

掲示物の貼り替えという活動履歴をユーザに提示することで、新着掲示物や自分が居なかった期間に剥がされた掲示物の存在や掲示板の更新頻度等を知ることができる。これにより、自分が見ていない/見逃した

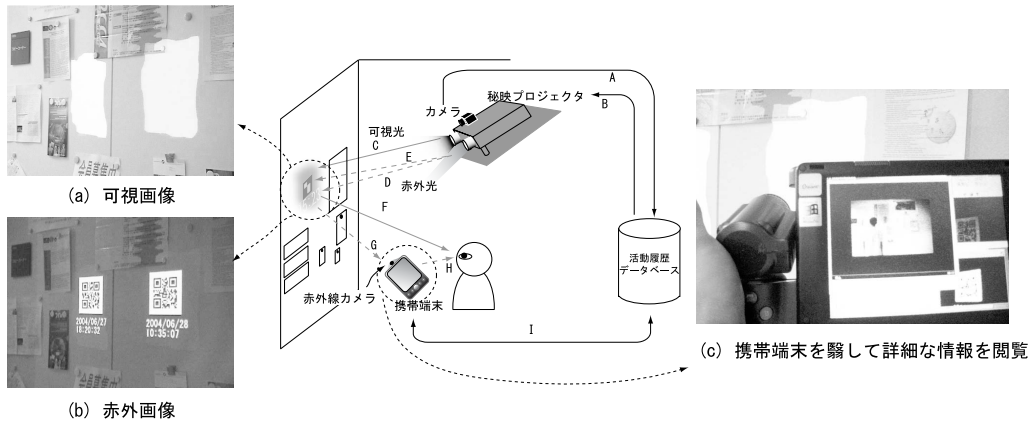


図 6 プロトタイプシステムの概要
Fig. 6 Overview of the prototype system.

掲示物を優先的に見たり，更新頻度から大体何日間隔で掲示板を閲覧すればよいか等の判断をしたりすることができる．

我々は，前章で行った考察を基に，事例として取り上げた掲示物の掲示履歴について情報提示方法をデザインし，デザインに基づいたプロトタイプシステムを構築した．図 6 に，構築したシステムの概要を示す．システムは，可視光および不可視光で情報を投影可能な秘映プロジェクタと実環境で行われている活動を記録するカメラと活動履歴データベース等から構成される．まず本節において我々が行ったデザインについて述べ，次節においてシステムの具体的な実装に関して説明する．我々が行ったデザインを以下に示す．

Level 1: 掲示物が貼り替えられた場所に対し，掲示物の形を模した光学的痕跡をプロジェクタを用いて可視光で提示

Level 2: 掲示物が貼り替えられた場所に対し，掲示物が貼られた/剥がされた日時をプロジェクタを用いて不可視光で提示

Level 3: 掲示物が貼られた/剥がされた際の掲示板の様子や剥がされた掲示物の画像を，過去に閲覧していないものを優先して携帯端末に提示

Level 1 の情報提示では，抽象的な情報を，公共性を維持したまま，環境化してプッシュする必要がある．我々がデザインした提示方法・表現は，基本的に前出の Optical Stain の手法を踏襲するものであり，掲示物の貼り替えという過去の活動を掲示物の形を模した痕跡に抽象化した．このような表現でデザインされた痕跡をプロジェクタを用い，実環境の一部として明示的に投影（プッシュ）することで，光学的痕跡を目にしたユーザは掲示物の貼り替えという活動の存在をす

ばやく知ることができる．これらの情報は，その場に居る人すべてが同じように目にする事ができる．

Level 2 の情報提示では，Level 1 の痕跡表示に対して興味を持ったユーザに対して情報の識別子を提示するため，Level 1 の表現よりも具体的な情報を，非環境化して提示し，ユーザにプルしてもらうこととした．今回のデザインでは情報の識別子として掲示物が貼られた/剥がされた日時を提示することとした．日付のような時間情報は本論が対象とする活動履歴全般に付与可能な情報であり，情報を識別する際の基本情報になりうると考える．掲示板環境においても，日時を提示することで，自分が前回見た日時からどのように掲示板が変更され，自分が見逃した掲示物が何かをユーザが“識別”し，それより以前に変更されたことを示す情報を除外（無関係なものの除外）するのに有効であると考えられる．日時のような言語的情報は，Level 1 で用いた痕跡表現よりも具体性の高い情報である．日時情報を提示することで，ユーザは日時およびその情報が掲示されている場所から提示された活動履歴を識別することが可能となる．このような情報を不可視光を用いることで非環境化して提示する．不可視光により提示された情報は Level 2 以上の情報に興味のあるユーザのみがプルすることができることとなる．これにより，他者が Level 1 の情報にアクセスすることを妨げることがない．また，Level 2 のユーザも特定の活動履歴を深く理解しようとする段階ではないと考え，個人化は特にせず，公共的な情報を，不可視光を用いたプロジェクタを用いて提示した．

Level 3 では，Step 2 の状態を経てより詳細な情報に興味のあるユーザへの情報を提示することになる．そこで，Level 2 と同じく情報を非環境化して提示し，

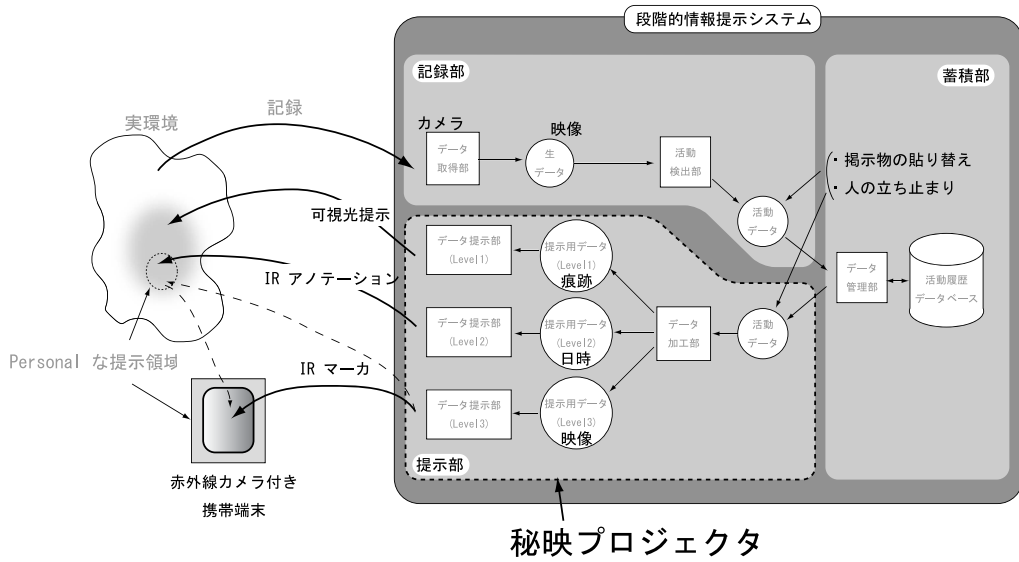


図 7 プロトタイプシステムの構成
Fig. 7 Architecture of the prototype system.

具体性はより高めることとした．具体的には，過去に掲示板で実際に行われていた活動の様子の映像や剥がされた掲示物の画像といった具体的な情報を提示することで情報の深い理解を可能とした．実環境に対して明示的に情報は提示されないため，他者の活動に影響を与えずに詳細な情報を必要とするユーザのみが情報を閲覧できる．また，ユーザは Level 1, Level 2 を経て欲しい情報が明らかになっているため，Level 2 と同じくユーザにプルしてもらうこととした．また，情報をユーザに自由に閲覧してもらうために，個人の携帯端末に提示することとした（個人化）．携帯端末は個人が能動的に操作することを前提としている端末であり，情報の存在をそのつど確認するデバイスとしては適していない．しかし，持ち主が自由に操作だけでなく，持ち帰って後で見たり，過去の閲覧履歴や個人のプロフィール等の個人に関する情報を蓄積できたりするため，個人化する際には非常に有効なデバイスであるといえる．

たとえば，携帯端末に蓄積された過去の活動履歴の閲覧状況を基に，未閲覧の情報を優先的に提示するという個人化も可能となる．個人化することで，ユーザの情報閲覧に対する自由度が高まり，情報の理解が高まると考える．

事例として構築したプロトタイプシステムのデザインの特徴を表 1 にまとめる．Level 1 から Level 3 にかけて徐々に提示方法がプッシュからプルへ，環境化から非環境化へ，抽象表現から具体表現へ，公共化から個人化へと移行して行っている．このようにユーザ

表 1 プロトタイプシステムのコンセプトデザイン
Table 1 Concept design of the prototype system.

	Level 1	Level 2	Level 3
能動性	プッシュ	プル	プル
環境性	環境化	非環境化	非環境化
抽象性	抽象表現	抽象表現/具体表現	具体表現
公共性	公共化	公共化	個人化

の状態に合わせた段階的な情報提示方法を実現することで，ユーザは状態の遷移に合わせて適切な方法・表現で提示された情報を閲覧することができると考えられる．

4.2 プロトタイプシステムの実装

我々は，2 章および 3 章で説明した段階的の情報提示手法のモデルの検証を目的として，前節で説明したコンセプトデザインに基づく掲示板環境における活動履歴提示システムのプロトタイピングを行った．システムのアーキテクチャは，基本的に図 5 に沿うものである．図 7 に，構築したプロトタイプシステムのアーキテクチャを示す．

システムの記録部には，前述の Optical Stain のデータ取得機能および活動データ抽出機能を利用して²⁶⁾．これらの機能は，実環境で行われている活動をカメラを用いて取得し，取得した画像から掲示物の貼り替えといった活動を検出し，活動履歴データベースに蓄積する．これらの記録部の機能説明の詳細は文献 26) に譲るものとし，本節の残りの部分では，新たに実装した提示部について主に説明を行う．

構築したプロトタイプシステムの提示部は，秘映プ

ロジクタ (HIEI Projector: Harmonious Invisible Extended Information Projector) として実装し、携帯端末としては、カメラ付きの小型のノートパソコンを利用した。秘映プロジェクトは、可視光と不可視光 (赤外線) を同時に投光することが可能なプロジェクトである²⁵⁾。プロジェクトから発せられる可視光と赤外光の波長の切り分けを正確に行うことで、可視光で投影した映像に対して、赤外線異なる映像を重ねて投影しても赤外線カメラを用いて読み取ることができる。本機能を用いることにより、赤外線カメラ付きの携帯端末とのスムーズな連携を実現できる。

2章で説明した3つのレベルでの段階的情報提示は、以下の3種類の方式で実現した。

- 可視光提示方式 (図6C)
- IR アノテーション方式 (図6D)
- IR マーカ方式 (図6E)

これらはそれぞれ、Level 1, 2, 3 の情報提示を行うためのものである。

可視光提示方式で提示された情報は、掲示板に直接可視光で投影され、ユーザは自分の目で情報を見ることができる (図6F)。

IR アノテーションは赤外線を用いて実環境に直接情報を重ね合わせて投影する方式である。投影された情報は赤外線カメラを通して見ることができる (図6G, H)。携帯端末等で実環境に重ね合わされた情報を閲覧する際には、携帯端末の動きに合わせてリアルタイムに実環境と情報 (仮想オブジェクト) の位置合わせを行う必要があるが、本方式では実環境に直接不可視光で情報を投影することができるため、手ぶれ等による位置合わせの再計算が必要ない。また、直接不可視光で投影された情報を読む方式のため、環境側のデータベース等とネットワーク接続を行い、新たに情報をダウンロードする必要がない。IR アノテーションを用いることで実環境に対して情報を非明示的に提示することができるため、Level 2 の提示が可能となる。

一方、IR マーカは赤外線を用いて実環境にマーカを投影する方式である。投影されたマーカは赤外線カメラで読み取られ、マーカに対応する情報が携帯端末上に提示される (図6G, H, I)。IR マーカ方式では、マーカを重ねて情報を特定の場所にオーバーレイする場合には、マーカのカメラに対する相対的な位置計算を行う必要があるが、情報を携帯端末上にダウンロードして提示するため、実環境の投影面の影響を受ける必要がなく、提示する情報の表現の制約がIR アノテーション方式に比べて少ない。

IR マーカを用いることで、個人化に有効な携帯端

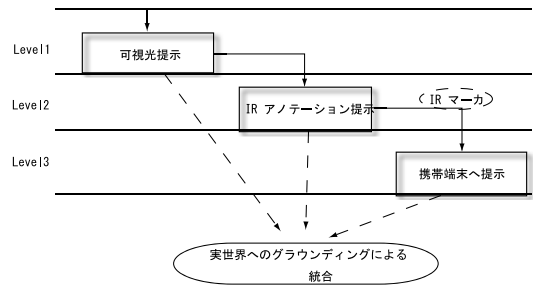


図8 秘映プロジェクトによる情報提示方法

Fig. 8 Information presentation method by HIEI projector.

末との連携が可能となる。マーカを介して、情報を携帯端末上にダウンロードすることにより、情報を持ち帰って閲覧することが可能である。また、マーカが指定した情報をデータベースから取得する際に携帯端末内の個人情報を利用して、情報を加工したり不要な情報をフィルタリングしたりすることが可能となる。

秘映プロジェクトを用いた段階的の情報提示方法を図8に示す。可視光を用いて情報の存在を提示し (Level 1)、IR アノテーションを用いて情報の識別子を不可視に提示する (Level 2)。さらに詳細な情報を閲覧したいというユーザは、IR マーカを介して詳細な情報を携帯端末上にダウンロードして自由に閲覧することができる (Level 3)。

我々は、秘映プロジェクトを実現するために、可視光投光用の液晶プロジェクトと赤外線投光用のDLPプロジェクトの2台を用いた。赤外線投光用のプロジェクトは、プロジェクトのレンズに700nm付近から長い波長域を通す特性を持ったバンドパスフィルタを貼り付けることで実現した。また、IR アノテーションやIR マーカを閲覧するための携帯端末のカメラには、800nm付近をピークとして750nm付近から長波長域を通すカメラ用の赤外線フィルタを取り付けることで、赤外線を読み取り可能にした。

本システムにより、ユーザの興味に応じて、実世界への活動履歴の段階的な情報提示が可能となった。情報提示は前述したコンセプトデザインに従った。Level 1として、プロトタイプシステムは、掲示物が貼り替えられた場所や人が立ち止まった場所に対して可視光で掲示物や人の形を模した光学的痕跡を提示する。これらの痕跡は時間が経つと徐々に暗くなり、一定時間後に消滅する。

700 nm 付近は可視波長領域であるが、我々がシステムを設置した環境では、提示した光を肉眼で確認することが困難であった。

Level 2 では、IR アノテーションを用いて、揭示された痕跡の基となる活動が行われた実際の日時を提示した。Level 1 の情報提示を見て痕跡が何であるかを確認したいと感じたユーザは、携帯端末をその痕跡にかざすことで、携帯端末上に、その活動が実際に活動が行われた日時が表示されるようにした。IR アノテーション例を図 6 (b) に示す。可視光で投影した揭示物を模した痕跡 (図 6 (a)) に重ねて赤外光で日時を提示しても、読み取りに影響がないことが分かる。

Level 3 の情報提示としては、IR マーカを利用して、揭示された痕跡の基となる活動が行われた際の映像を携帯端末に提示した。IR マーカには痕跡の基となる活動が行われた際の映像のアドレスがエンコードされている。Level 2 の日時の表示を確認して、揭示物が貼り替えられた際の状況に興味を持ったユーザは、携帯端末を IR マーカにかざすことで映像を取得し、活動時、および活動前後の様子を能動的に自身の興味に応じて閲覧することができる。たとえば、貼り替えられた際の映像から誰が貼り替えたのかを知ることができ、揭示物の内容についてより詳しくその人から聞くことができるかもしれない。映像を再生するソフトウェアのスライダ上には閲覧者の過去の履歴閲覧状況を基に個人化され、すでにそのユーザが閲覧した部分が色づけされているため、ユーザは、閲覧していない部分を選択的に閲覧するといったことを行うことができる。

秘映プロジェクトによって提示された IR アノテーションや IR マーカは、前述のように携帯端末をプロジェクトで投影された情報に対してかざすことで、あたかも虫眼鏡を用いるように¹⁹⁾ 詳細な情報を閲覧することができる。存在の提示が投影されている場所に携帯端末をかざすことで、その場所に対してグラウンディングが行われている情報をすばやく取得することができる。これにより、Level 1 から、Level 2 そして Level 3 へと段階的にレベル間を移行することが可能となった。

IR マーカ方式を実現するために、秘映プロジェクトでは QR コードを利用した。QR コードは 2 次元コードの一種であり、ISO (ISO/IEC18004) または JIS (JIS-X-0510) で規格制定されている。従来のバーコードの数十倍から数百倍の情報量を扱うことが可能であり、また、デコード用のソフトウェアを導入すれば、市販のカメラで読み取り可能である。

QR コードのサンプルと、その QR コードを赤外光で投影し、携帯端末のカメラで撮影した画像を図 9 に



図 9 IR マーカ例 (上: 作成した QR コード, 下: 赤外線カメラを通して撮影した画像)

Fig.9. Examples of IR marker.

示す。QR コードのデコードには、QR Code Decode Library を用いた。また、ユーザに提示する映像は、システムに設置したカメラからキャプチャした映像を用いた。痕跡に携帯端末をかざして、過去の映像を閲覧している様子を図 6 (c) に示す。

なお、実装した秘映プロジェクトの、投影結果に対する携帯端末の認識結果性能について行った評価実験の概要と結果を付録に記す。現方式では、プロジェクトと携帯端末のスムーズな連携を実現するためには、投影面の赤外線反射率が 60%程度必要であり、また、できるだけマーカと正対して認識を行うことが望ましいことが分かっている。実環境を構成するオブジェクトの赤外線反射率について今後さらに調査を進めていく必要がある。

5. 考 察

本章では、まずケーススタディに沿って構築したシステムをユーザに利用してもらい得られた知見等を基に、我々がデザインしたモデルとインタラクションデザインの枠組みの有効性について考察を行う。次に、本モデルの汎用性と適用事例について考察を行う。ケーススタディでは事例として揭示物の揭示履歴のみを取り上げたが、本枠組みの対象は揭示板に限定されるものではない。

5.1 システムの構築およびウォークスルーにより得られた知見

我々は、構築した枠組みの有効性について考察を行

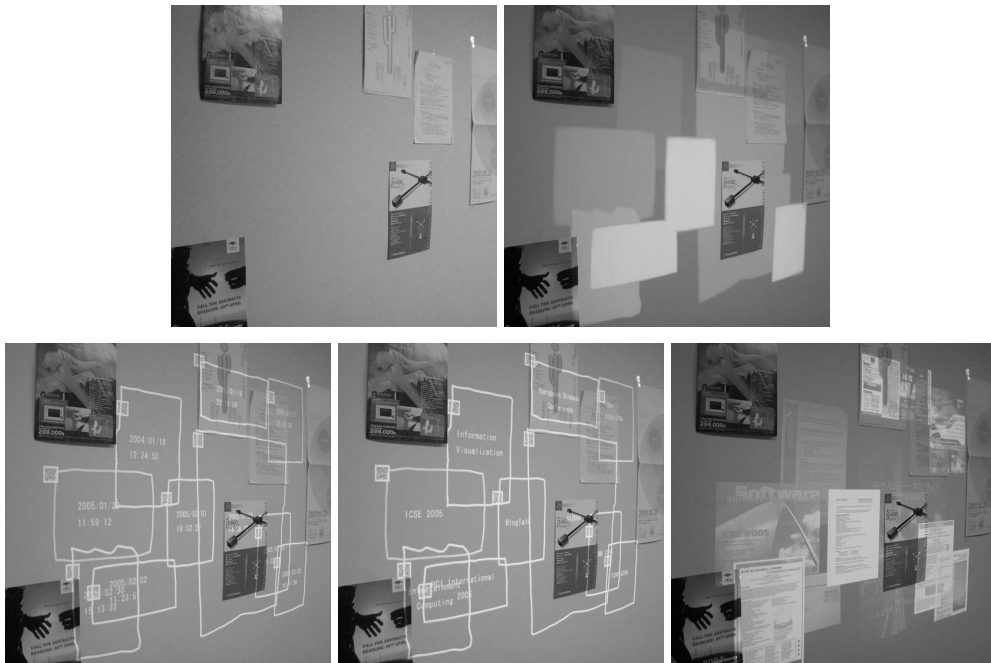


図 10 提示画像 (左上: 何もなし, 右上: 痕跡, 左下: 時刻, 中央下: タイトル, 右下: 貼り紙)
 Fig. 10 Presentation image (upper-left: nothing, upper-right: stain, lower-left: time, lower-middle: title, lower-right: poster).

うため, 3名のユーザによる, 構築したシステムのウォークスルーを実施した。

ウォークスルーの概要を以下に述べる。ユーザには, 掲示板の前に立ち, 秘映プロジェクタにより可視光および不可視光で投影された異なる表現形態の情報を見てもらった。ユーザに提示した画像例(可視光)を図10に示す。我々は, これらの画像をそれぞれ可視光, および赤外光で提示し, ユーザに, どのような表現形態とどのようにインタラクションを行える情報提示とすべきかについて, 自由にコメントを発言してもらった。赤外光で提示した画像は, 携帯端末およびハンディカムを通して見てもらった。携帯端末を通して不可視画像を見ている様子を図11に示す。

ウォークスルーの結果, 我々が提案した4つの軸に関連すると考えられるいくつかのフィードバックが得られた。以降ではシステムの構築, ウォークスルー等から我々が得た知見を基に, 4つの軸それぞれについての考察を行う。

(1) 能動性

ケーススタディで述べたように, Level 1 に関しては, 存在に気づいてもらうために, 情報をプッシュし, Level 2, Level 3 の提示に関しては, 携帯端末を用いて情報をプルしてもらうようにデザインを行った。



図 11 ウォークスルーの様子
 Fig. 11 Picture of walk-through.

Level 1 に何も提示しなかった場合には, どこに情報があるのかを知ることができないため, Level 1 におけるプッシュは妥当であると思われる。実際に, Level 1 に何も提示しなかった場合には, ユーザは携帯端末を用いてまず情報のありかを探さなければならなかった。一方, Level 2, 3 における情報のプルに関し, 我々は Level 2, Level 3 の情報とも, 携帯端末をその情報にがざすことで閲覧できるようにデザインを行った。し

かしながら、ユーザからはQRコードが画面中央に入るといきなり画像等が提示されるより、画面の中央に合わせてシャッタを押す等の方法で指定したいという意見が得られた。このコメントは、情報の存在に気づいたあとは、自分の意思で情報をプルしたいということを示していると同時に、プルの方法にも、携帯端末を単に向けるだけでなく、よりその情報を欲しいと感じた際にはより明確に意思表示をして情報を得たいというような段階があることを示唆していると考えられる。今後 Level 2, Level 3 におけるプルの方法については、さらに検討していく必要がある。

(2) 環境性

情報を実環境の一部として提示した場合、情報に対して容易に気づき閲覧することが可能となるが、その情報を必要としていない他者の活動を阻害する可能性がある。そのため、ケーススタディでは、環境化は Level 1 に対してのみ適用し、Level 2, Level 3 については環境化を行わないこととした。

ウォークスルーにおいて、図 10 のようないくつかの画像を可視光でユーザに提示したところ、赤外光で提示した場合と比べて、どの画像も見やすいという感想が得られた。その理由としては、わざわざ携帯端末を使いたくないといった意見や、携帯端末を使った場合、目で見た場合と比べ、解像度が低く見難いという意見が得られた。

解像度に関しては、多分に試作品のデバイス上の問題を含んでいるが、上記の意見は、環境化することで、閲覧の容易性が増すことを示唆している。

一方で、提示する活動履歴の量 (ex. 痕跡の数) を増やすと、貼り紙等をプロジェクションした場合には、散らかっている、ごちゃごちゃして見難い等の意見が得られた。実際に貼り紙の場合、枚数を増やすにつれて掲示板は乱雑となってゆき、それぞれが見難くなるだけでなく、実際のリアルな掲示物が意識し難くなったり読み難くなる。つまり、少なくとも実際の掲示物を読みたいユーザに対しては、実環境の実際の情報である掲示物の閲覧が環境化により阻害されてしまうという危険があることが分かる。

これらのことから、環境化することで閲覧容易性は増すが、環境化の仕方によっては、実環境の他の活動を阻害するため、環境化する情報とそうでない情報をうまく切り分ける必要があるといえる。

現時点では痕跡提示は少なくとも他者の活動はそれほど阻害しない²⁶⁾ という知見に基づき痕跡のみを可視光で提示するデザインとしているが、どの程度の

ユーザがどの程度の詳細な情報を必要としており、一方でその場で他のことをしているユーザの活動をどの程度阻害するか等について考察を進めたいと考える。

(3) 抽象性

ケーススタディにおいては、Level 1 では情報の一瞥性を高めるために、抽象度の高い情報を提示し、Level 2, 3 に移行するにつれて、ユーザの興味に応えるために具体性を高めていくというデザインを行った。

ウォークスルーにおいて図 10 に示す抽象度の異なる画像をユーザに提示したところ、テキストで時刻を提示した場合、どちらが古いかを 1 枚 1 枚比較する必要があり、全体的に比較したいときには、痕跡提示のように重なりや濃さが欲しいといったコメントが得られた。これは、掲示物が剥がされてからの経過時間を痕跡の濃さに割り当てた場合のほうが、剥がされた時刻をテキストで提示した場合よりも一瞥性が高くすばやく情報の大まかな選別ができることを示しており、我々のデザインした痕跡や時刻の提示が、意図どおりに機能していることを示唆していると考えられる。

一方、提示したそれぞれの画像に対する意見として、痕跡からは、それが何を示したもののなのかが分からないといった意見が得られた。これは、今回デザインした痕跡からは、その場所に情報が存在するか否かは分かっても、どういった情報かを知る手がかりがないため、結局、携帯端末を使ってタイトル等をブラウジングせざるをえないという意見である。また、ケーススタディにおいて、我々が Level 2 の提示において活動履歴一般に付与可能であり基本情報として用いることが可能と考えた日時よりも、タイトルが提示されていたほうが、それが何であるか分かりやすいといった意見も得られた。これは、日時よりタイトルのように、情報の内容に踏み込んだもののほうが識別子として有効に機能することを示唆しているが、どういった内容をどの程度の情報量で識別子として提示するのがよいかについて考える必要がある、今後の課題としたいと考える。

それぞれの段階における適切な抽象度の程度について、今後検討していく必要があるといえよう。

(4) 公共性

我々はケーススタディで述べたように、Level 1 から Level 3 に移行するにつれて、徐々に個人化を進めることで、情報の深い理解が促進されると考えている。

実際に、1 人のユーザはハンディカムを通して情報を見た際に、ズームを操作することで情報の選別や閲

覧を行っていた。また、ズームをするとくっきり見えたり、詳しい情報が出てきたりするようになればもっとうれしいといった意見も得られた。また、情報を持ち帰るときは画面全部に情報が出てよいが、この場で見るときは、詳細な情報で携帯端末を通して見ている環境の様子が隠れてしまうとうれしくないというように、情報を持ち帰るといふ選択肢について触れた意見も得られた。これらのフィードバックは、ユーザが情報を閲覧する際に、自身で操作しながら情報を見ることで理解を促進したいという考えがあることを示唆している。

一方、現状では数名のウオークスルーしか行っており、環境内の人々に同じ情報を同じように見せることの効果についての知見は得ていない。しかしながら、複数人で掲示板に提示された画像を見ているときに、1人のユーザの操作によって提示画像が変更されてしまうのは、他のユーザの閲覧を阻害する可能性がある。ユーザが段階的に情報を取得し、欲しい情報が絞られてくる前の段階では、個々のユーザの情報に対する制御権は制限する必要があると考える。

今回実施したユーザによるウオークスルーは、実際に利用されている環境で行ったものではなく、またユーザには情報を閲覧することをあらかじめ依頼した状況下で行ったものであり、様々な人が様々な活動を行っている実際の環境下における行為のモデルとは異なる。特に、不特定多数のユーザ全体への影響を考慮した軸である、環境性、公共性への検証はさらに進めていく必要がある。しかし、実環境内においても各個人が情報閲覧を志向した後は、今回行ったウオークスルーと同じような状況下で情報を段階的に取得していくと考えられる。そのため、図3に示したそれぞれの軸における段階的提示の方向性に関していえば、今回行った考察により順当であると考えられる。

それぞれの軸の考察において述べたように、段階における各軸の程度（たとえば、Level 2における抽象度はどの程度が適切か）に関しては、今後さらに検討していく必要がある。

5.2 モデルの汎用性と適用事例

本論では我々が構築したモデルの事例として提示物の提示履歴を取り上げた。しかしながら、我々のモデルの適用環境は掲示板に限定されるものではない。たとえば、オフィスの床に対する活動履歴を提示する方法を検討する際にも、認知プロセスに沿って4つの軸で検討することで、情報の存在を足跡として提示、足跡がつけられた日時や足跡をつけた人の情報を提示、

足跡がつけられた際の状態を詳細に提示といった提示方法をデザインすることができる。

また、提示する情報も活動履歴に限定されるものではない。たとえば、近年ユーザの位置に応じて関連する情報（たとえば、近くの飲食店に関する情報）をユーザの携帯端末等に提示する研究がさかんに行われているが²⁾、我々のモデルにのっとれば、まず、情報の存在を視覚的な表現（たとえば飲食店を模したアイコン表現）でユーザに提示し、存在に気づいたユーザが興味を持った場合には、ユーザに対して情報のアイデンティティを確認できるだけの情報（たとえば、飲食店の種類等）を提供し、確認した結果、詳細な情報を見たいと希望したユーザに対しては、詳細な情報（たとえば、それぞれの店舗のメニュー等）を提示するといった、段階的提示の提示方法が考えられる。

最後に、提案するモデルは、実環境における履歴情報だけでなく、コンピュータシステム内でのアクティビティ、たとえば Time-machine computing に見られるようなファイル操作の履歴²⁰⁾ や、ソフトウェア開発における開発履歴といった履歴表現⁵⁾ を取り扱う際にも、適用が可能である。

このようにして、提案するモデルを用いることで、実環境を介して情報を提供するシステム間の比較や有効性検証を行うことができると考えられる。

6. 関連研究

本論では、段階的提示手法のインタラクションデザインの枠組みについて主に論じたが、これを実装、実現するための手法に関する技術的側面は重要な課題である。特に、実環境への可視光と赤外光とを利用した投影という手段を介したグラウンディングはモデルにおける重要な要件であり、これが技術的に実現できない限り、本論で説明した理論的枠組みも実現できないことになる。本論では、実際に事例として提示物をドメインとして取り上げプロトタイプシステムを実装することでモデルの有効性と実現可能性を示したが、本章ではまず、このような、我々がプロトタイプングにおいて採用した以外の技術的アプローチについて、概観し、現状でのアプローチとの比較を行う。

また、本アプローチを実世界におけるソーシャルナビゲーションシステムと見なした場合の意義と課題について論じる。

6.1 技術的アプローチ

6.1.1 投影と携帯端末との連携技術

プロトタイプングに利用した秘映プロジェクトでは、段階的提示手法においてユーザの状態の遷移に応

じてスムーズにプロジェクトから携帯端末に提示デバイスを変更するため、赤外光を用いプロジェクトと携帯端末の連携を可能としたが、この連携は各種位置センサを用いても実現が可能である⁷⁾。しかし、たとえば ActiveBat¹⁾ や Cricket¹⁷⁾ 等を用いてプロジェクトと携帯端末の連携を実現した場合、基本的にはプロジェクト投影面とセンサとの位置合わせを行わなければならない。これに対し、我々が用いたマーカを直接プロジェクトで投影するという方式は、位置合わせが必要ない。近年では環境の広範な区域をカバーするために、パンチルト機能を備えたプロジェクトシステムも提案されているが¹⁶⁾、我々の方式はこのような可動型プロジェクトを導入して拡張するにはさらに威力を発揮すると考えられる。

また上記のセンサは、位置認識のために特殊なデバイスを必要とするが、秘映プロジェクトでも用いられているビジュアルマーカ方式は、近年多くの携帯機器に据え付けられているカメラを利用することができる。加えて、ビジュアルマーカは IP アドレスや URL 等を埋め込むことができるため、プロジェクトが接続されている環境側のサーバと携帯端末を連携前にあらかじめネットワークで接続しておかなくてもよいという利点がある。また、Navigeta²³⁾ のように、床や天井に RFID 等のセンサを埋め込んで位置を取得する方法もあるが、これらのシステムはプロジェクトの投影面側に大がかりな敷設作業が必要である。

実世界での状況認識を可能とするビジュアルマーカの研究としては、CyberCode²¹⁾ や VCC¹²⁾ をあげることができるが、これらのマーカは可視でありユーザにコードの存在を意識させてしまう。牧野らは赤外線透過率の高い顔料を用いた非可視バーコード¹³⁾ を提案しているが、我々はプロジェクトで不可視バーコードを投影することで、動的な位置やコードの変更を可能としている。

6.1.2 非明示的な情報の投影による非環境的情報提示

実環境に対して情報を非明示的、すなわち通常では見えない状態で提示する技術としては、上記センサを用いた技術以外にも Snared Illumination¹⁴⁾ 方式やオクルージョンを用いた方式¹¹⁾ がある。

Snared Illumination ではプロジェクトで情報を提示する際に、明示的に提示する映像に対し、時分割に

異なる映像を一瞬だけ挟み込む。挟み込まれた映像は、裸眼では知覚することができないが、提示のタイミングと同期した液晶シャッター方式の眼鏡を通して見ることができる。Snared Illumination の方式は我々の方式と同じく環境に対して直接非明示的に情報を提示でき、興味深い。同期信号をプロジェクトとやりとりする必要がある。

オブジェクトが作るオクルージョンを利用して特定のユーザにのみ情報を提示する方法¹¹⁾ は、ユーザが特定のデバイスを使う必要がないが、オクルージョンは環境の構成に依存してしまうため提示環境が限定されてしまうという問題がある。

6.1.3 明示的な情報の実世界への投影による環境化

プロジェクトを用いて実世界に情報を投影する研究としては、ED projector¹⁶⁾、iLamps¹⁸⁾、I/O Bulb³⁰⁾ 等があげられるが、これらの研究はプロジェクトに閉じた情報の提示方法を提案しており、ユーザの状態に応じた情報提示は実現していない。Augmented Surfaces²²⁾ は、プロジェクトと携帯端末を連携させるという点で本研究と類似しているが、Augmented Surfaces では、実環境のオブジェクトに対して付与されたマーカを用いて連携を実現している。我々の研究は特定の場所における活動の履歴を伝達する目的でシステムのデザインを行ったため実現手法が異なっている。また、Hello.Wall²⁸⁾ では、Ambient Display とユーザの距離に応じて、空間を 3 つのゾーンに分け、それぞれ異なる情報伝達を実現している。壁面に提示された Ambient な情報から ViewPort と呼ばれる携帯端末を利用して情報を取得することができる。環境のデザインに関する観点が我々と近いが、我々は既存の実環境に対して活動履歴をフィードバックすることを目指しているため、実現方法が異なる。

6.1.4 実世界に投影した情報の個人的利用への展開

構築したプロトタイプでは、携帯端末を利用することで情報の個人への提示を実現した。これに対し、透過型の HMD (Head Mounted Display) は、個人用の情報提示機器として、情報の識別子や詳細な情報の提示に適しているといえる。人の有効視野内に実環境と関連付けられた情報を遍在させることができるため、Level 1 の情報の存在の提示にも利用できる。また、Wearable Computing の研究領域では、日常的に装着するデバイスとしての議論が行われており、段階的情報提示が可能なデバイスとしての可能性を秘めている。しかしながら、現時点では透過型の HMD を日常的に装着している人はほとんどおらず、また、我々は眼鏡や腕時計をしない人がいるように環境内のすべ

試作システムでは、2 台のプロジェクトを用いているため、投影面の位置合わせを行っているが、たとえば単板式 DLP プロジェクトの回転フィルタに赤外線フィルタを追加する等の方法で 1 台で実現すれば、位置合わせは必要ない。

ての人が常時 HMD を装着するような状況にはならないと予測している．そのため、HMD が一般に普及した状況においても、その環境にいる万人に対して情報をプッシュできるプロジェクタは Step 1 の状態のユーザに対する情報提示デバイスとして有効であり、プロジェクタと個人端末（HMD を含む）の連携を実現する秘映プロジェクタは段階的情報提示を実現するために必要な技術であると考える．

6.2 ソーシャルナビゲーション

我々のアプローチは実環境におけるソーシャルナビゲーション³⁾を実現していることから考えることができる．ソーシャルナビゲーションは、他者情報（活動履歴）を利用して人が日常場面で問題解決を行うことを指す²⁴⁾．実環境においては、他者の活動を参照しながら問題解決を行うことが可能であるが、計算機上で行われている他者の活動は現状では多くの場合参照することが実環境と比較して困難である．そのため、近年計算機上のアプリケーションのデザインにソーシャルナビゲーションを積極的に取り入れようという試みが進められている．しかし、我々は生活サイクルの高速化や環境の人工化により、近年の実環境からは他者の活動履歴が失われつつあると捉えており、実環境に対しても人工的に他者情報を提示していく必要があると考えている．

本論で提案、試作したシステムは、掲示板環境において、過去に人がどの掲示物の前で立ち止まったか、最近更新された掲示物はどれかといった他者が行った活動を提示することで、ユーザは人気がある掲示物や新着掲示物を推測することができる．また、詳細な情報へのアクセスを可能とすることにより、この掲示物は過去にどういった類の掲示物が貼られていたか、立ち止まっていたユーザはじっくり読んでいたか否か、実際に掲示物を閲覧していた人はどういった反応を示したかといったことを知るため、これらの情報を参考にユーザは掲示板という環境に対する今後の態度を決定することができる．つまり、掲示板の過去の活動履歴をユーザに提示することは、ユーザの掲示板における現在や将来の行動の手助けとなると考える．

なお、本アプローチにおいても、既存のソーシャルナビゲーションと同様にプライバシーの取扱いが課題となる．Optical Stain では、他者の痕跡のみを出していたため、実際にその場で誰が何を行っていたかをユーザが知ることはできなかった．構築したプロトタイプシステムでは、実際にその場で誰が何を行ったかを映像を介して知ることができる．試作システムは、

オフィス内の公共空間を対象としており、その場で行われる行動も比較的限られているため、プライバシーの保護等に関する処理を現状では特に行っていない．しかし、システムを設置する環境によっては、たとえば shadow-view¹⁰⁾ のようなプライバシーに配慮した履歴の伝達や、ユーザが記録された履歴を削除する等の仕組みを導入する必要があると考える．

7. おわりに

本論では、その場でこれから行う活動の判断材料となりうる他者の過去の活動履歴をその場にいる人に対して段階的に提示する方法を提案した．人が実環境で行う情報利用の認知プロセスに適した提示方法について能動性、環境性、抽象性、公共性という4つの軸で考察を行い、ユーザの状態に適した段階的情報提示のためインタラクションデザインの枠組みを構築した．また、モデルの検証を目的として段階的な情報提示を行うプロトタイプシステムをデザイン、実装し、試作したシステムを用いて仮想的なユーザによるウォークスルーを実施した．

本論で述べた4つの観点は、実環境に対して情報を提示するうえで、それぞれ考慮しなければならない非常に重要な軸であると考えているが、現時点でこれらの軸以外にも考慮すべき軸が存在する可能性を否定するものではない．今後、考慮すべき観点についての検証をさらに進めるとともに、必要性が生じれば軸の追加等も行っていく予定である．

また、我々が試作したプロトタイプシステムは、現状では赤外光の光量が十分とはいえず、また試作した携帯端末の携帯性に関しても改善の余地がある．今後、装置の改良を行い、我々が提案する手法が与えるユーザへの影響についてさらに検証していきたい．また、今回提案したモデルに基づき様々なシステムの分析を行い、モデルの有効性、適用範囲について検証したいと考えている．

謝辞 本研究を進めにあたり、NTT コミュニケーションズ株式会社大黒毅氏、NTT コミュニケーション科学基礎研究所平田圭二氏より多くの貴重なご助言をいただいた．秘映プロジェクタの性能評価の際には、株式会社メディアックス赤塚大典氏に多くのご協力をいただいた．また、NTT コミュニケーション科学基礎研究所社会インタラクション研究グループ、および東京大学中小路研究室の方々には常日頃多くの面で本研究を支えていただいた．ここに深く感謝する．なお、本研究の一部は文部科学省科学研究費基盤研究（A）（1）16200008 のもとに実施されたものである．

参 考 文 献

- 1) Addlesee, M., Curwen, R., Hodges, S., Newman, J., Steggles, P., Ward, A. and Hopper, A.: Implementing Sentient Computing System, *IEEE Computer Magazine*, Vol.34, No.8, pp.50–56 (2001).
- 2) Chen, G. and Kotz, D.: A Survey of Context-Aware Mobile Computing Research, Technical Report TR2000-381, Dept. of Computer Science, Dartmouth College (2000).
- 3) Dieberger, A., Dourish, P., Hook, K., Resnick, P. and Wexelblat, A.: Social navigation: Techniques for building more usable systems, *interactions*, Vol.7, No.6, pp.36–45 (2000).
- 4) Fischer, G. and Nakakoji, K.: Making Design Objects Relevant to the Task at Hand, *Proc. AAAI-91 (9th National Conference on Artificial Intelligence)*, pp.67–73 (1991).
- 5) Froehlich, J. and Dourish, P.: Unifying Artifacts and Activities in a Visual Tool for Distributed Software Development Teams, *Proc. International Conference on Software Engineering (ICSE 2004)*, pp.387–396 (2004).
- 6) Gemmell, J., Lueder, R. and Bell, G.: The MyLifeBits Lifetime Store, *ACM SIGMM 2003 Workshop on Experiential Telepresence* (2003).
- 7) Hightower, J. and Borriello, G.: Location Systems for Ubiquitous Computing, *IEEE Computer*, Vol.34, No.8, pp.57–66 (2001).
- 8) Hill, W.C., Hollan, J.D., Wroblewski, D. and McCandless, T.: Edit Wear and Read Wear, *Proc. ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'92)*, pp.3–9 (1992).
- 9) Hill, W.C. and Hollan, J.D.: History-Enriched Digital Objects: Prototypes and Policy Issues, *The Information Society*, Vol.10, No.2, pp.139–145 (1994).
- 10) Hudson, S.E. and Smith, I.: Techniques for Addressing Fundamental Privacy and Disruption Tradeoffs in Awareness Support Systems, *Computer Supported Cooperative Work (CSCW'96)*, pp.248–257 (1996).
- 11) Intille, S.S.: Change Blind Information Display for Ubiquitous Computing Environment, *UbiComp2002* (2002).
- 12) 岸野泰恵, 塚本昌彦, 坂根 裕, 西尾章治郎: コンピュータディスプレイ上の自律移動型の半透明ビジュアルマーカ, *インタラクション 2002 論文集*, pp.14–21 (2002).
- 13) 牧野秀夫, 森下文仁, 阿部好夫, 山宮士郎, 長谷川勝, 石井郁夫, 中静 真: 非可視型バーコードを用いた視覚障害者用物体案内方式の研究, *電子情報通信学会論文誌*, Vol.J80-D-II, No.11, pp.3094–3100 (1997).
- 14) McDowall, I.: Snared Illumination, *SIG-GRAPH2004 emerging technologies* (2004).
- 15) 中小路久美代, 山本恭裕: 創造的情報創出のためのナレッジインタラクションデザイン, *人工知能学会論文誌*, Vol.19, No.2, pp.154–165 (2004).
- 16) Pinhanez, C.: The Everywhere Displays Projector: A Device to Create Ubiquitous Graphical Interfaces, *UbiComp2001*, pp.315–331 (2001).
- 17) Priyantha, N.B., Miu, A., Balakrishnan, H. and Teller, S.: The Cricket Compass for Context-Aware Mobile Applications, *Proc. 7th ACM MOBICOM* (2001).
- 18) Raskar, R., van Baar, J., Beardsley, P., Willwacher, T., Rao, S. and Forlines, C.: iLamps: Geometrically Aware and Self-Configuring Projectors, *ACM Trans. Graphics* (2003).
- 19) 暦本純一: 簡易性とスケーラビリティを考慮した拡張現実感システムの提案, *インタラクティブシステムとソフトウェア III (WISS'95)*, pp.49–56 (1995).
- 20) Rekimoto, J.: Time-Machine Computing: A Time-centric Approach for the Information Environment, *ACM UIST'99* (1999).
- 21) Rekimoto, J. and Ayatsuka, Y.: CyberCode: Designing Augmented Reality Environments with Visual Tags, *DARE 2000* (2000).
- 22) Rekimoto, J. and Saitoh, M.: Augmented Surfaces: A Spatially Continuous Workspace for Hybrid Computing Environments, *CHI'99*, pp.378–385 (1999).
- 23) 椎尾一郎, 山本吉伸: コミュニケーションツールのための簡易型 AR システム, *WISS2000*, pp.117–124 (2000).
- 24) 新垣紀子, 安村通晃: ソーシャルナビゲーション: その影響と支援の可能性, *認知科学*, Vol.11, No.3, pp.163–170 (2004).
- 25) 白井良成, 松下光範, 大黒 毅: 秘映プロジェクト: 不可視情報による実環境の拡張, *The 11th Workshop on Interactive Systems and Software (WISS2003)*, pp.115–122 (2003).
- 26) 白井良成, 大和田龍夫, 亀井剛次, 桑原和宏: 実環境指向のウェアネス情報とその提示手法, *情報処理学会論文誌*, Vol.43, No.12, pp.3653–3663 (2002).
- 27) Shneiderman, B.: *Designing the User Interface*, 3rd edition, Addison-Wesley (1998).
- 28) Streitz, N., Prante, T., Rucker, C., Alphen, D.V., Magerkurth, C., Stenzel, R. and Plewe, D.: Ambient displays and mobile devices for the creation of social architectural spaces, chapter 16, *Public and Situated Displays: Social and Interactional Aspects of Shared Display Tech-*

nologies, pp.387-409, Kluwer Academic Publisher (2003).

- 29) 角 康之, 伊藤禎宣, 松口哲也, シドニーフェルス, 間瀬健二: 協調的なインタラクションの記録と解釈, 情報処理学会論文誌, Vol.44, No.11, pp.2628-2637 (2003).
- 30) Underkoffler, J., Ullmer, B. and Ishii, H.: Emancipated Pixels: Real-World Graphics In The Luminous Room, *Proc. SIGGRAPH'99*, pp.385-392 (1999).
- 31) Wexelblat, A. and Maes, P.: Footprint: History-Rich Tools for Information Foraging, *CHI99*, pp.270-277 (1999).
- 32) Ye, Y. and Fischer, G.: Supporting Reuse by Delivering Task-Relevant and Personalized Information, *Proc. 2002 International Conference on Software Engineering (ICSE'02)*, pp.513-523 (2002).
- 33) Ye, Y., Yamada, K. and Nakakoji, K.: Making Useful Programming Objects Available for a Programmer: at the Right Time in the Right Way through the Right Peers, *Profes2004 Workshop on Software Product Archiving and Retrieving System*, pp.45-53 (2004).

付 録

A.1 秘映プロジェクタの性能評価

試作システムにおける技術的課題であった, ユーザの状態の遷移に応じたスムーズな提示方法の変更が秘映プロジェクタによって実現可能かどうかを検証するため評価実験を行った.

A.1.1 実験概要

秘映プロジェクタで投影する IR アノテーションや IR マーカは, 印刷されたものや計算機上に提示されたものと異なり実環境に直接投影されるため, 認識の際に実環境の背景の影響を受ける. そこで, 実環境の背景の影響を調べるため, 環境の赤外線反射率が IR マーカの認識に与える影響を調査した. 実験は, 屋内の蛍光灯が設置された掲示板で行った. 実験の概要を以下に示す.

まず, 赤外線反射率が可視域から赤外域までほぼ一様で, おおよそ 20% 間隔の異なる素材を 5 枚準備した. 具体的には, 濃さの異なるグレースケールの用紙を複数枚印刷し, 赤外線の反射率を調べ, その中から赤外線反射率がおおよそ 80%, 60%, 40%, 20%, 0% の 5 種類の用紙 (素材 A ~ E に対応) を選別して素材とした. 素材を図 12 に示す.

赤外線の反射率の計測には, Ocean Optics 社製の USB2000 Fiber Optic Spectrometer を用いた. これ

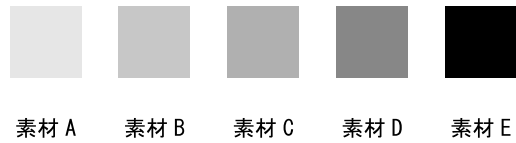


図 12 実験素材

Fig. 12 Experimental material.

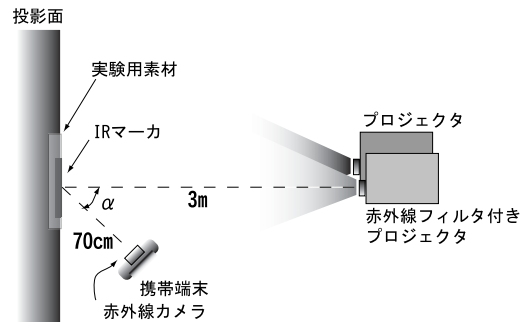


図 13 実験の設定

Fig. 13 Setting of experiment.

らの素材を秘映プロジェクタの投影面に貼り付け, それぞれの素材に対して IR マーカを投影し, 認識実験を行った. 実験の設定を図 13 に示す. IR マーカを素材から 3 m の距離から投影し, 投影した IR マーカから 70 cm の距離に赤外線カメラ付きの携帯端末を設置した. また, 可視光との切り分けが可能であることを示すため, 可視光用のプロジェクタを用いて, 素材全体を覆う白色の矩形を投影した.

実験は素材それぞれに, 10 文字のランダムな文字列がエンコードされた 15 cm 角の IR マーカ (QR コード) を投影し, そのマーカを携帯端末上で 20 回ずつデコードを試みた. また, QR コードに対する携帯端末の角度 (図 13 中 α) が認識に与える影響を確認するため, それぞれの素材に対して, $\alpha = 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ の 3 条件で上記デコードをそれぞれ試行した. 素材ごとの閾値は固定とし, 手動で設定を行った.

A.1.2 実験結果

IR マーカの認識率を図 14 に示す. 投影する素材の赤外線反射率が低くなるに従い, 認識率が落ちていき, 赤外線の反射率が 20% (素材 D) あたりになると認識が困難になることがグラフから読み取れる. また, マーカと携帯端末の間の角度が大きくなるにつれて, 若干認識率が落ちていくという結果が得られた. IR マーカの認識時に誤認識は発生しなかった.

図 12 に提示した素材は印刷の過程で, 赤外線反射率が変化する可能性が高いため注意されたい.

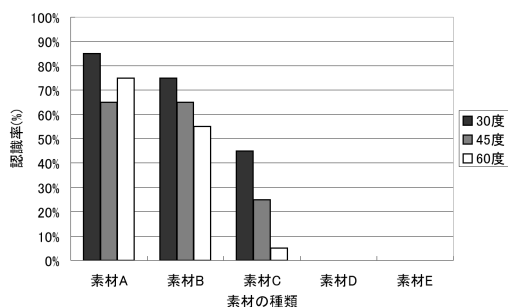


図 14 IR マーカの認識率

Fig. 14 Recognition rate of IR marker.

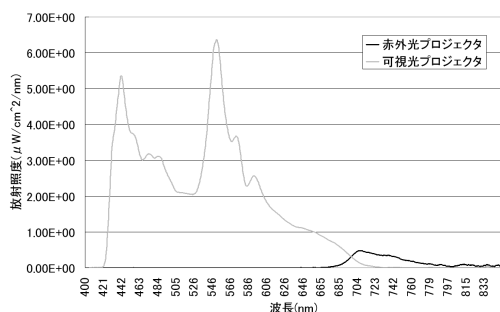


図 15 プロジェクタの放射照度

Fig. 15 Irradiance of the projector.

A.1.3 議 論

上記結果からは、現状ではプロジェクタと携帯端末のスムーズな連携を実現するためには、投影面の赤外線反射率が60%程度必要であり、また、できるだけマーカと正対して認識を行うことが望ましいことが分かった。試作した携帯端末用のIRコード読み取りソフトウェアはカメラから得られる画像を常時デコードするため、携帯端末をかざしてから認識までに若干のタイムラグが発生してしまうが、赤外線反射率が40%程度の場合も読み取りは可能である。

また、素材Dについても、実際には若干の反射が検出されている。そのため、赤外光の量を増やすことで、認識は可能だと考えられる。我々が試作に使用した可視光用プロジェクタと赤外光用プロジェクタの分光放射照度を図15に示す。測定にはUSB2000を用い、プロジェクタから1mの距離における放射照度を測定した。グラフより、可視光用プロジェクタと比較して赤外光用プロジェクタの放射照度はかなり少ないことが分かる。我々が赤外光用に使用したプロジェクタは光源に高圧水銀ランプを使用しているが、キセノンランプ等の赤外域にも強いスペクトル特性を持つ光源を用いることで赤外線の投光量を増やすことは可能であると考えられる。

また、IRマーカはプロジェクタを用いて提示して

いるため、大きさを自由に变化させることができる。マーカを大きくすることで、認識率の向上が期待できる。マーカを大きくすることで、投影面をある程度占有することになるが、可視のマーカと異なり環境内のユーザの視覚的負荷を増大させる心配がないため、認識率を向上させる有効な方法の1つであると考えられる。

我々は実験の結果を受けて、オフィス内の壁、机、貼り紙等、多くの場所の赤外反射率の測定を試みている。その結果、黒色系のオブジェクトや貼り紙等を除いたかなり多くの環境が赤外反射率が60%を超えていることが分かった。また、貼り紙等の印刷物に関しても可視光域の反射率が低い暗色系の印刷物であっても必ずしも赤外域の反射率は低くないことが分かった。実環境を構成するオブジェクトの赤外反射率について今後さらに調査を進めていきたいと考える。

(平成16年10月25日受付)

(平成17年5月9日採録)



白井 良成 (正会員)

1998年慶應義塾大学環境情報学部卒業。2000年同大学大学院政策・メディア研究科修士課程修了。同年日本電信電話株式会社入社。現在に至る。2004年より東京大学工学系研究科博士課程在学中。ヒューマンコンピュータインタラクションに関する研究に従事。FIT2003 ヤングリサーチアワード受賞。ヒューマンインタフェース学会会員。



松下 光範 (正会員)

1993年大阪大学工学部精密工学科卒業。1995年大阪大学大学院基礎工学研究科物理系専攻制御工学分野博士前期課程修了。同年4月日本電信電話株式会社入社、現在に至る。自然言語理解、情報可視化、ヒューマンコンピュータインタラクションに関する研究に従事。博士(工学)。平成14年度情報処理学会論文賞等各賞受賞。日本知能情報ファジィ学会、人工知能学会、ACM各会員。



中小路久美代（正会員）

1986年大阪大学基礎工学部情報工
学科卒業後（株）SRA入社．1993
年米国コロラド大学より Ph.D. 取
得．1995年より奈良先端科学技術
大学院大学情報科学研究科客員助教

授．科学技術振興事業機構さがけ「情報と知」およ
び「協調と制御」領域研究員等歴任．2002年より東
京大学先端科学技術研究センター特任教授．現在に至
る．NTT コミュニケーション科学基礎研究所リサー
チプロフェッサ．情報処理学会ヒューマンインタフェ
ース研究会主査．ヒューマンインタフェース学会理事．
ACM, IEEE-CS, Cognitive Science Society, 人工
知能学会, ソフトウェア科学会, 電気通信学会, 日本
認知科学会, 日本デザイン学会, ソフトウェア技術者
協会等各会員．
