

鏡を拡張したコンテクストアウェア情報表示装置

藤波香織^{†1} カウサルファヒム^{†2}
中島達夫^{†3}

本論文では AwareMirror と呼ぶ普段慣れ親しんでいる鏡を用いた情報提示装置を提案し、既存の日常物を情報環境とのインタラクションのために拡張することについて考察する。AwareMirror はその前にいる人物の当日の予定に関連した情報を鏡面に提示することで、鏡の前の普段の行為の中で意思決定を支援することを狙っており、コンピュータディスプレイに装着されたマジックミラーとユーザを特定するためのセンサ、およびインターネット上に存在する情報サービスで構成される。試作システムに対するユーザ評価を通して、必ずしも日常物としての自然さに固執する必要はなく、システムに対する制御感と情報理解の効率性が重要であることが確認された。

A Context-aware Display System Augmenting a Mirror

KAORI FUJINAMI,^{†1} FAHIM KAWSAR^{†2}
and TATSUO NAKAJIMA^{†3}

In this paper, we propose a context-aware display that augments a mirror, AwareMirror. AwareMirror presents information relevant to a person in front of it by super-imposing his/her image through his/her daily activity. A magic mirror board is attached in front of an ordinal computer monitor for this purpose. A toothbrush has been chosen as an identification tool while proximity sensors have been utilized to detect a person's position. Also, three types of information that can affect user's decision making have been selected. As a result of user evaluation by a Wizard-of-Oz method and an in-situ experiment, we found the concept was well accepted. They preferred more controllability over proactive functionalities and understandability of information than the passive and reflective nature of a mirror.

1. はじめに

技術の発展にともない我々の生活空間には大量の情報があふれている。そしてこれらの情報は、いまやデスクトップを離れて携帯電話や PDA など無線通信機能を持った端末によりいつでも取得可能となる環境が整いつつある。また、アンビエントディスプレイといわれるような日常生活空間に溶け込みユーザの意識の辺縁で情報提示するディスプレイも提案されている¹⁵⁾。このように身近となった情報機器で大量の情報を扱う際には、ユーザの置かれている状況や生活スタイルを反映して必要な情報のみを提供することが重要となる。これを欠くことでユーザは有用な情報があるにもかかわらず、取得するための機器操作に多大な努力を払わなければならなくなる。このように適切な情報を適切な状況下で提供することは、コンテクストアウェアネス(状況・文脈依存)と呼ばれユビキタスコンピューティングを実現するうえでの大きな研究課題となっている。

我々はユーザのコンテクスト情報を抽出する手段として普段使用している人工物(日常物)に着目し、そこから得られる使用状況や使用場所といった動的な情報や所有者のような静的な情報を活用することで、コンテクストを容易に取得することを目指している²⁾。これは、人工物は本来使用目的や役割を持って設計されているために、その使用状況を取得することでユーザがその使用に関連付いた状況にいると推定できるという考えに基づいている。また人工物の形状や役割、使用方法を反映した情報提示を行うことで、コンテクストの取得同様に通常の道具としての使用の最中に自然に情報提供を受けることができると考える。

本論文では、このケーススタディとして「鏡」を取り上げ、プロトタイプ実装とユーザ評価について述べる。鏡は太古の昔からその前にあるものの像を写し出す道具として使われてきた⁴⁾。鏡の前で人々はそこに写る表情からしばしば体調の良し悪しを判断することができる。さらに、誰かが後ろを横切ったり、後ろのやかんが沸騰したりしているといった、彼らのバックグラウンドで発生している情報についても知ることができている。このような反射的(reflective)な性質は鏡の本質といえる。さらに、人々は鏡を見ながら歯を磨きつつ、当

^{†1} 東京農工大学大学院共生科学技術研究院先端情報科学部門

Department of Computer, Information and Communication Sciences, Tokyo University of Agriculture and Technology

^{†2} 早稲田大学大学院基幹理工学研究科情報理工学専攻

Graduate School of Fundamental Science and Engineering, Waseda University

^{†3} 早稲田大学基幹理工学部情報理工学科

School of Fundamental Science and Engineering, Waseda University

日着ていく服装やスケジュールといった自身にとって重要なことを考えていることもある。このように、鏡の前は本来のタスクを実行しつつも様々な情報を取得し次の行動のための意思決定を行う場として適していると考えられる。

このような観察に基づき本論文では、AwareMirror と呼ぶユーザの直近のイベント（アポイント）に関連して意思決定を支援する情報を提供する鏡を提案する。なお、鏡の前の人物のアイデンティティと当該人物のアポイント開始時刻とその場所をコンテキストとして利用する。この鏡はこれまで我々が持っている鏡に対する理解を踏襲し、さらにその映し出す対象を物理空間だけでなくサイバー空間の双方の情報へと拡張するものである。このため、我々はその存在を通常の鏡として認知し自然に提供される情報を受け入れることができるというコンセプトである。我々は、この鏡のような既存の日常物に計算機能を付与して拡張する際には、本来の使用方法や使用感を妨げないことが重要であり、新たな情報提示装置を設計するのは異なると考えた。その一方で、拡張された機能を利用するにはこれまでにない新たな使用手順が必要となる場合もあり、どのような変化が受け入れられるのかが明らかになっていない。文献 1) において我々は本コンセプトに対する基礎評価について述べた。本論文ではユーザ評価を交えたより多角的な評価について述べる。

本論文の構成は、2 章で AwareMirror の要求条件と設計方針、3 章で試作システムの実装について説明する。そして 4 章ではユーザ評価実験について述べ、5 章で関連研究について述べた後、6 章で結論を述べる。

2. 要求条件と設計方針

2.1 要求条件

設計にあたり重要かつ困難なことは通常の鏡の使用方法や使用感を極力変えないことであると考える、以下の要求条件を掲げた。

- (1) 自動的な情報提供開始
- (2) 暗黙的で自然、かつプライバシーの侵害感に配慮したユーザの特定
- (3) 日常生活空間への設置容易性
- (4) 主作業や習慣的動作の遂行を妨げない情報提供

鏡としての機能を損ない、単なる「ディスプレイ装置」にならないためには、提示される情報はユーザの介在なしに自動的に表示されたり消去されたりするべきである（要求条件 (1)）。よって、ユーザは自然な方法であるだけでなく、暗黙的に（明示的な意思表示をしなくても）特定されるべきである。それに加えてプライバシーの侵害感を与えずに実施でき

なくてはならない（要求条件 (2)）。一般的に、ユーザは正しいコンテンツを正しいタイミングで提示されることを望むが、そのシステムがビジョンベースのセンシング技術を使っているというだけで拒絶する場合もある。これは、カメラがプライバシーの侵害感を与えるためである。さらに鏡が設置される場所は、服を着替えたり化粧をしたりするといったプライベート度合いが高い空間であることが、これを増幅していると考えられる。よって、ユーザの特定にあたってはプライバシーの侵害感を低く抑える手法を用いる必要がある。また、AwareMirror が設置される空間として家庭の洗面所などの日常生活空間を想定しているために、特殊であったり大がかりな技術や装置で実現するのではなく、設置の容易性を意識する必要がある（同 (3)）。さらに、情報の提供にあたっては鏡の前で執り行われる作業の特徴を考慮する必要がある。通常、鏡の前では情報を取得することが主目的ではなく、化粧をしたり、洗顔や歯磨きの最中にそこに映し出された自己の像と対峙して内省したりするといった作業や習慣的動作が存在する。このため、情報の理解に時間がかかったり、鏡に映っているユーザ自身の像を提示される情報によって隠したりしてしまうことはその実行を妨げることになり本末転倒となる。よってユーザへの割込みの影響を極力少なくすることが要求条件 (4) としてあげられる。

これらの要求条件は、鏡とそれが設置される場所に特化したものである。これは、日常物の拡張にあたっては、個々の日常物の役割とその利用場所を十分に考慮する必要があると考えたうえでのものである。

2.2 設計方針

上述の要求事項に対して以下のようなアプローチで実現を図る。

- (1) 共有されることがない日常物の使用状況の活用
- (2) 裏面からの透過による情報と実像の合成表示
- (3) 2 段階の情報提示方法による主作業の遂行支援

2.2.1 非共有日常物の使用状況の活用

共有されることがない日常物（個人専有物）の使用開始を契機に情報提供を開始することで、要求条件 (1) および (2) を満足させる。情報提供対象（ユーザ）となるべき人物や提供タイミングを特定する方法としては、1) ビデオカメラを用いた顔や視線、頭部方向認識^{3),17)}、2) 個人を表す無線タグの携帯、3) 指紋や声紋といった生体情報の使用、が一般的に考えられるが、通常の鏡の使用を妨げないという基本原則から、携帯が必要な無線タグや明示的に提示する必要があるバイオメトリクス情報の使用は不適切であると考えた。またプライバシーの侵害感も低く抑える必要があるため、ビデオカメラの使用は好ましくないと考

えられる。一方、鏡の前で用いられかつ習慣上共有されることがない日常物（個人所有物）を用いることで、通常の行動を何ら変えることなく監視感によりもたらされるプライバシーの侵害感を排除してユーザを特定し、情報提供が可能になると考えられる。このような日常物としては歯ブラシ、髭剃り、くしなどが該当するが、性別や個人の習慣に依存しにくいということを考慮し、歯ブラシを採用することとする。

さらに、情報提示はユーザが鏡を使用しているときに行われるべきであるために、「鏡の前での歯磨き」を検出する必要がある。これについても視線検出に見られるような画像解析は用いずに、日常物の使用状況を組み合わせることで実現する。すなわち、「鏡の前に人物^{*1}が現れ、かつ鏡の周辺で歯ブラシが使用されていれば、現れた人物が歯ブラシの使用者である」とする。そして、経験的に鏡の前で歯磨き行為をする際には鏡を見ている可能性が高いことから、その人物が鏡を見ながら歯を磨いていると結論づけ、最終的に歯ブラシの所有者情報をもとにその人物を特定する。この様子を図1に示す。3.2節で述べるように、歯ブラシと鏡には半径3m程度の領域で検出可能な無線タグが貼付されており、鏡の付近に読み取り器が設置されている。この構成により鏡の近くに歯ブラシが存在することを検出している。図においてケース2が最終的に情報が提供される場合である。ケース1については歯ブラシが使用されていないために、アイデンティティを決定することができない。ま

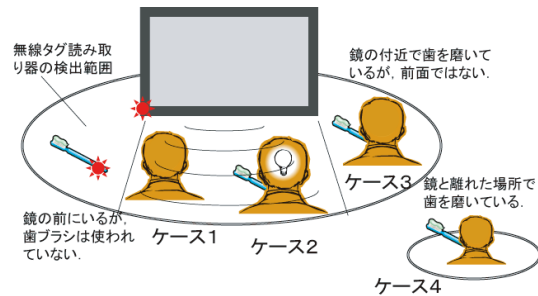


図1 低レベル情報の組合せによるユーザ特定

Fig. 1 User identification using low level contextual information.

*1 画像解析を用いずに赤外線距離センサのような低レベルのセンサを用いる場合には、人間と他の生物やロボットのような無生物を区別することは困難であるために、厳密には「物体」とすべきである。しかしながらセンサの設置高やロボットの普及状況を考慮すると、現状では「人物」と見なすことができるため、ここでは「人物」と表記する。

たケース3については、歯ブラシは使用されているものの前面にいないために情報提供の意味がないと見なされ、同様にケース4についても鏡から離れているために対象外となる。ここでもケース3において新たに人物が鏡の前面に現れた場合には、実際に歯を磨いている人物に関する情報が提供されることになる。このことについては、想定しているような家庭内での利用では人数的な面から競合が起こりにくいことと、自然と競合を避けるように行動が習慣化されていることが多いことから、発生頻度が低いケースであると考えられる。

なお、歯ブラシの「使用開始」というイベントは情報提供対象者を特定してサービスを開始するトリガとして用いられている。このため、使用が検出された後に手を休めるなどして歯ブラシが停止状態になったとしても情報の表示を停止することはしない。一方で歯を磨き続けていてもユーザが鏡の前から離れることはそこでの情報提示が意味をなさなくなるために、このタイミングで提示をやめる。

2.2.2 裏面からの透過による情報表示

人工的に作り出された情報と元々鏡に映る像（実像）を共存させるにあたっては、要求条件(3)を満足させることが重要となる。

鏡を利用した情報の表示方法に関して2つの方法が考えられる。まず1つ目として、鏡の反対側の壁面などに情報を表示させ、それ自身を利用者の姿とともに鏡に映すというもの（反射方式）があげられる。そしてもう1つは、鏡の裏から透過させるというもの（透過方式）である。これらはそれぞれ一長一短がある。

反射方式は、鏡自身は既存のものを使うことができる一方で写すべき情報が利用者の姿により隠されてしまわないように適切な場所を選択する必要がある。AwareMirrorの初期バージョンではこの方式を採用し、鏡の前面の壁面に8個のLEDからなる抽象的なディスプレイを設置した。しかしながら利用者自身の体や後ろを横切る人により隠されてしまう場合があった¹⁾。このため、ユーザ自身がディスプレイが見えるように場所を移動するとしたら、その時点で鏡を使っているのではなくシステムを使っていることになってしまう。これに対し、Steerable Interface⁸⁾のような柔軟な投影システムにより動的に表示場所を変更する方法も考えられるが、体の位置を特定するための正確なセンシングと投影場所変更のために装置が非常に大がかりなものになり日常生活空間への適用は現実的でない。さらに、反射方式を採用する際に気をつけることは、鏡の性質上、映像の向きや順序を意識する必要があるのであるということである。

一方、透過方式は、本来の鏡の持つ反射性を残しつつも画像やテキストを背面から透過させる必要があるために特殊な鏡を必要とする。しかしこの場合には、表示する情報の向きや

順序を気にする必要や人物の位置を意識した制御を行う必要はない。よって、AwareMirrorの実現にあたっては鏡にマジックミラーを使用した本方式を採用した。マジックミラーはプレートを挟んだ2面間の明暗差が小さいと反対側が透けて見えるという性質を持っており、この原理を用いて情報を明るい色で表現することでその部分のみを透過させて実像と合成表示する。

2.2.3 2段階の情報提示

ユーザの本来の作業や動作への影響を低減させるために、提供する情報の抽象度を低いもの(概要情報)と高いもの(詳細情報)の2つに分けて段階的に提供することで、要求条件(4)を満たす。図2に初期状態を加えた3つの表示状態(表示モード)の関係を示す。

AwareMirrorは通常時は単なる鏡として機能するが、前述のように人が鏡の前に現れてそこで歯ブラシが使用されると概要情報モードに遷移し、人が立ち去ると表示が消えて再び初期画面に戻る。この遷移は通常の鏡としての使用を維持するために、自動的に行われる。概要情報表示モードでは、AwareMirrorは視線の先に抽象的な情報を表示するアンビエントディスプレイとして機能する。したがってこのモードでは、AwareMirrorを通常の鏡として利用することを期待している。抽象的な情報は、日頃慣れ親しんでいるアイコンや色、その動きにより表現することで理解のしやすさを実現する。これはまた、鏡の前という場所の特徴を反映したものである。すなわち、しばしば歯磨き時や洗面時には眼鏡を外しているため、重要なイベントの存在のみを通知することが好まれると考えた。

一方、詳細情報表示モードは文字により具体的な情報を表示するものである。このため、何らかの契機により自動的に詳細モードに遷移することは、視界に詳細情報が勝手に入り込みそちらに注意が向いてしまうことになり、本来のタスクを中断させる。このため、利用者に自らのモードを選ぶ権利を与えることとした。これはすなわち、利用者に鏡との関係を自ら選択させることになる。図2においては、利用者が詳細を知ることを望み、システム

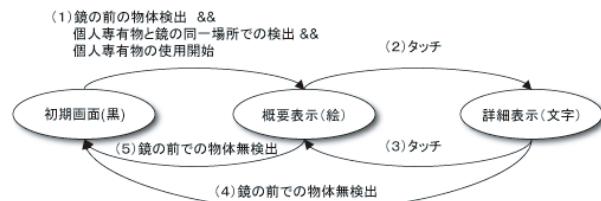


図2 表示モード間の遷移：初期状態・概要情報・詳細情報

Fig.2 Transition among default, abstract, and detail information provision mode.

に明示的に指示を出すことで詳細情報表示モードに遷移して詳細情報を表示する。自ら選択したこのモードでは、利用者は本来のタスクを中断して提示される情報を積極的に見ることになり、AwareMirrorの役割はディスプレイへと変容する。しかしこの役割の変容は利用者自らが選択した結果であるために自然に受け入れられるものと考えられる。再び指示を出すことで概要情報表示モードへ戻るが、その一方で指示を出さずに立ち去ってしまう場合を考え、初期画面へ戻すこととした。なお、詳細情報表示モードへの遷移にあたっては、ユーザが「詳細な情報を取り出す」という目的を想起しやすい行為により実現する。

3. AwareMirrorの実装

AwareMirrorの使用時の様子を説明した後に、これを実現するためのシステム構成について述べる。

3.1 使用時の様子

図3に情報表示結果を示す。同図(a)は概要情報提示モードであり、鏡の前の人物が歯を磨きながら視線の先に彼に関連した情報をとらえている様子を表している。この図においては、1)傘のアイコンで次のスケジュールで出かける先のその時刻の天気が雨であること、2)スノーキャップと手袋を着けたキャラクターのアイコンにより最高気温が15°C以下で寒いこと、3)赤い列車により次のスケジュールで使用する交通機関にトラブルがあること、4)次のスケジュールまでの残り時間、を表現している。残り時間はリアルタイムに減っていく。なお、左下の図はマジックミラーを除いた画面のスクリーンショットを表している。

ここで彼がさらに詳細の情報を知りたいと感じた場合には中央のタッチセンサに触れることで情報を取得する。その際には以下のような情報が画面の下部に繰り返しスクロール表示される(図3(b))。

“次の予定は 12:00 から 山田さん と 高田馬場 で鏡についてのミーティングです。次の予定地の今日の天気は 雨 で最高気温は摂氏 10 度、降水確率は 90% です。東京鉄道日本線*1は、ダイヤが乱れています”

下線部分はスケジュール登録情報やそれをもとにしたWeb情報解析から抽出された情報であり、自動的に埋め込まれる。こうしてAwareMirrorはその前面にいる人物のコンテクストを反映した情報を表示する。このような情報は鏡の前で行われる意思決定を支援するこ

*1 後述するようにインターネット上の実コンテンツを利用しているが、特定企業に対する誤解を避けるために架空の名称を用いている。



図 3 AwareMirror の 2 つの情報表示モード

Fig. 3 Usage of AwareMirror, (a) abstract and (b) detail information provision mode.

とが可能な情報であり¹⁾,我々は傘や必要な書類を帯同することを思い出したり,代替の交通手段を選択したり,出かける準備を急いだりすることが可能となる.また,鏡と人間との関係は概要情報表示モードにおいては通常の鏡の使用の延長で自然であり,続いて詳細情報表示モードにおいては利用者の意思により通常の鏡とのそれとは異なる関係に移行する.

3.2 システム構成

図 4 に AwareMirror のシステム構成図を示す.同図において矩形は機能を表し,吹き出しは実装で使った技術や製品・サービスを表す.機能のうち物理空間情報マネージャは共通基盤機能として位置づけられており,鏡や歯ブラシをはじめとした空間内に存在する様々な日常物とそれが存在する位置情報を関連づけて管理する役割を担っており,情報の取得手段とその利用を分離する役割を担う.

以下では AwareMirror の動作をアプリケーション機能と基盤機能との連携を交えて説明する.鏡の前面での人物の出現は赤外線距離センサを通じて検出され,物理空間情報マネージャに通知される.同様に個人専有物(歯ブラシ)についても使用状況の変化が検出されると通知される.また,鏡および個人専有物の位置は外部のロケーションシステムによりトラッキングされており,物理空間情報マネージャで管理されている.なお,歯ブラシが鏡の

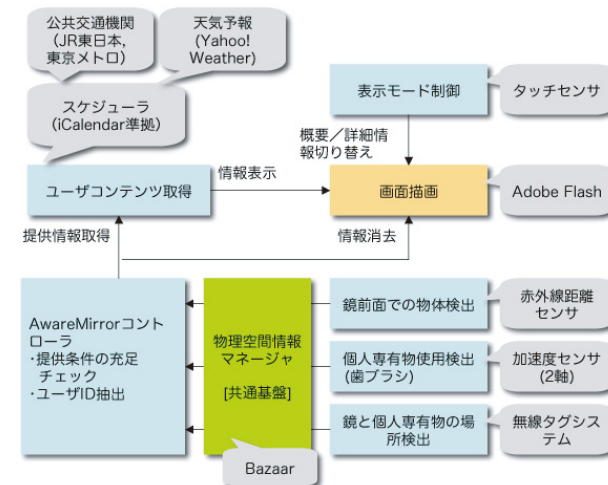


図 4 AwareMirror 全体構成

Fig. 4 Overall architecture of AwareMirror.

付近に存在するという状況は、物理空間情報マネージャ上で位置に関して同じレベルをもっているか否かで判定している。本実装ではロケーションシステムとして無線タグシステムを用いており、物体に取り付けられた無線タグが同一の読み取り器により検出されている状況を表示している。洗面所の鏡のように動くことがない物体の場合には、無線タグを取り付けて位置検出しなくても、あらかじめ手動で位置情報を登録し、付近に歯ブラシのタグを検出する読み取り器を設置することで対処できる。しかしながら、姿見や卓上鏡の前で歯を磨くようなケースでは、これらの鏡は移動される可能性があるためにつねにトラッキングする必要があり、本実装ではより一般的なシステム構成として鏡側にも無線タグが存在するという構成をとっている。なお、試作システムでは RFCODE 社製無線タグシステム SPIDER READER III⁹⁾ を用いており、実験環境では検出範囲は約 3m であった。

AwareMirror コントローラでは、物理空間情報マネージャを通じてこれらのコンテキストの変化を受け取り、2.2.1 項であげた条件の充足をチェックしている。情報提供の条件がそろった場合には、歯ブラシに関連付いている所有者 ID を物理空間情報マネージャより取得したのち、ユーザコンテンツ取得部において当該ユーザのコンテンツ取得を実施し、画面描画を行う。システムは Java 言語により記述されているが、画面描画に関しては映像表現の柔軟性という特徴から Adobe Flash を用いている。また、タッチセンサにより提供情報の抽象度は制御される。2.2.1 項で述べたように、ユーザが鏡の前面より立ち去ると情報提示は終了する。この場合も 1 度、物理空間情報マネージャにその旨が通知されたうえで情報消去の制御がなされる。このため、鏡の前の人物の有無や歯ブラシの使用状況、また歯ブラシおよび鏡の場所を必要とする他のアプリケーションを開発するにあたり、それぞれの情報取得機能を開発する必要はなく共有されている情報を使用することができるため、アプリケーションロジック開発への専念と情報の整合性を保つことが可能となる。物理空間情報マネージャとしては、我々が開発した *Bazaar* を用いた。その内部での AwareMirror 関連情報の表現や情報の流れについては、本論文の範疇外となるため文献 19) を参照されたい。

3.3 鏡と歯ブラシの機能拡張

図 5 は AwareMirror の外観とその組み立て工程を表している。中央部に見えるタッチセンサにより概要情報モードと詳細情報モードの切替えを実現している。試作の初期段階では、この切替えは距離依存型可変抵抗器に接続したジッパにより行っていた。しかしその際の基礎評価において、1) 提供される情報の抽象度は 2 段階でなく連続的に変化するものと誤解する、2) 開け放したままその場を離れると次に現れたユーザへの提供画面は詳細情報画面から開始してしまう、という点が同方式の不評理由としてあげられた。これをふま

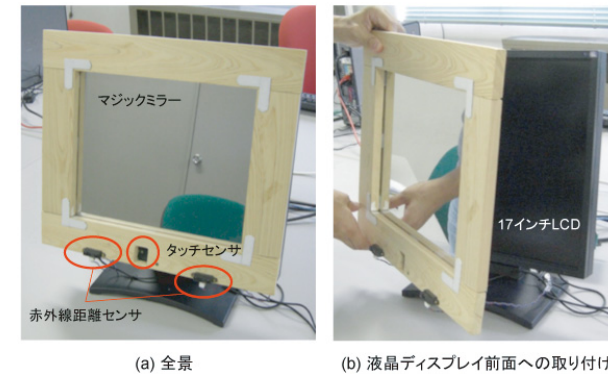


図 5 AwareMirror の外観とマジックミラー装着図
Fig. 5 Overview and assembling of AwareMirror.

て、切替え動作を直感的に連想できかつ前の回の使用の影響を受けない方式としてタッチ式を採用した。なお、タッチセンサは Phidget Interface Kit⁷⁾ を経由して制御用 Windows PC に取り込まれる。また、前面に取り付けられた赤外線距離センサ (SHARP GP2D12) は、検出距離の変化により人物の出現を検出するのに用いており、同様に Phidgets により PC に接続されている。なお、測定範囲は 20 cm から 80 cm である。また、検出角度は左右に 5 度ずつと狭いために、水平方向の検出範囲を広げるために同一センサを 2 台設置してそれぞれの判定結果の論理和により最終的な判定を下すこととした。

また、使用者を表す歯ブラシでは加速度センサ (2 軸) により「使用」を検出している。本来、歯ブラシを使用することは口中でブラッシングをするということであるが、そのために口中の成分を検出するような化学センサが必要になったり、衛生上クリアする問題が多くなるため実現性は低いと考えられる。このため、ブラッシングするという行為を加速度センサにより検出することにした。加速度データは Phidgets 側で周波数 65 Hz でサンプリングされ、前後 2 つのサンプル間の測定値の差分が閾値を一定回数以上超えた場合に「歯磨き開始」とし、一定時間 (3 秒) の静止状態により「終了」とした。これらのパラメータはいずれも経験的に決定している。なお、加速度センサは Phidgets を経由して鏡と同一の制御用 PC に約 5 メートルのケーブルで有線接続されているが、AwareMirror コントローラとは別プロセスで動作している。そして将来的には無線センサ技術により実現され、使用開始および停止のイベントが通知されることになる。

3.4 ユーザコンテンツ

3.1 節で述べたように、提供されるユーザコンテンツとしては、外出先（および時刻）の天気予報、使用予定の公共交通機関（鉄道）の状態、直近の予定までの残り時間がある。これらはいずれもユーザのスケジュールに依存したものであり、スケジュール情報の管理に関しては、RFC2445 で提案されている iCalendar¹⁰⁾ 形式を解釈可能なモジュールによりスケジュール管理ソフトウェアに依存しない取得を実現している。後述の実験では、同形式に基づきかつ Web ブラウザからスケジュール情報の入力と閲覧が可能となるような簡易スケジュール管理ソフトウェアを作成してインターネット上に配備して使用した。

また、天気予報情報および公共交通機関情報はいずれも提供元の許可を得たうえでインターネット上に存在する実サービスを利用している。前者はスケジュール情報から得られた目的地と時間を用いて Yahoo! Japan 天気予報¹⁶⁾ から必要な情報（天候、最高気温、降水確率）を抽出し、後者に関してはスケジュール情報に登録した使用路線情報をもとに東京メトロおよび JR 東日本の Web サイトより抽出している。

4. 評価と経験

4.1 ユーザ特定手段に関して

本節では、2.2 節であげた設計方針のうち、(1) 共有されることがない日常物の使用状況によるユーザ特定について述べる。なお、(2) に関してはすでに 2.2.2 項で他方式との比較を行っている。また、(3) に関しては 4.2 節において評価する。

4.1.1 評価実施方法と被験者の属性

調査は 50 人の被験者に対して無記名式アンケートで行われた。そのうち 34 人が著者が所属する研究室のメンバで、女性は 6 人である。そして約 10 人がユビキタスコンピューティングをテーマとした研究に従事している。研究室外の 16 人の内訳は、学生（5 人）、主婦（5 人）、技術職会社員（4 人）、自営業（2 人）であり、その年齢構成は 20 歳から 69 歳までである。

4.1.2 評価結果

評価では、次にあげる 4 種類のユーザ特定手段を提示し、その使用をイメージしてもらったうえで好ましい順に 4 点から 1 点までの得点付けをしてもらった。

タグベース 検出範囲が約 3m の無線タグを所持

ビジョンベース ビデオカメラを用いた顔認識の実施

日常物ベース 他人と共有することがない日常物の使用状況の使用

表 1 ユーザ特定手法に対する嗜好

Table 1 Preference for user identification methods.

手法	中央値
タグベース	2.5
ビジョンベース	2
日常物ベース	3
生体情報ベース	4

生体情報ベース 指紋や声紋といった生体情報を使用

それぞれのユーザ特定手法に対する嗜好得点の中央値^{*1}を表 1 に示す。なお、数字が大きいくほど、他と比較して好ましいとした人の数が多かったことを表す。

この表から、生体情報を用いた特定手法が最も好まれ、ビジョンベースの手法が最も好まれなかったことが分かる。アンケートのコメントから、タグベースの手法の場合は、タグの所持により情報の提供タイミングをユーザ自身が制御することができるという点をメリットとしてとらえていたが、同時に所持し忘れや紛失を懸念する声が聞かれた。ビジョンベースの手法の場合は、ユーザの明示的な指示は必要なく視線の抽出もでき、正しい表示位置の決定が可能であるということは認識しながらも、監視されている感じを受けることによるプライバシーの侵害感を最も心配していた。これは鏡が設置される場所の特性が影響していると考えられる。日常物ベースの手法に関しては、歯ブラシのように他人と共有することがない日常物を用いた暗黙的な特定という点が好まれていたが、偶然あるいは意図的に他人に使用される可能性があることを懸念していた。なお、他人に共有されない日常物の候補としては、歯ブラシが最も多く、つづいてカミソリ、タオル、ヘアブラシ、化粧品があげられた。最後に生体情報ベースの手法が好まれた理由としてユーザが何も持たずに高い精度で判定することができるという点があげられる。その一方で、手を出したり声を発したりするといった明示的な行為が必要であることがマイナス要因として指摘されていた。

試作システムで用いた歯ブラシのような日常物はユーザの明示的な指示を必要とせず、道具としての通常の使用を通して自然に鏡の前で情報を提供するためのトリガとなりうることが評価できる。また、家族のように信頼できる限られたグループにおいては他人が意図的に使用する可能性は低く、誤って使用された場合でもプライバシーの侵害感は比較的強く抑えることができると考える。そして 3.2 節で述べたように、情報表示開始/停止契機の判定は

*1 データが偶数個である場合には、中央の 2 つの値を 2 で割った。

AwareMirror コントローラによりユーザ特定方式とは分離されているために、様々な方式に容易に置き換えることができる。一方で歯ブラシとカミソリ以外については習慣的に家族内で共有している場合もあり、システムを初めて利用する際には用途と共用した場合の影響についてのコンセンサスを得る仕組みが必要となる。

4.2 インタラクション方法に関して

本節では AwareMirror とユーザとのインタラクション方法に関して、2段階表示の要否、情報表示画面の提示タイミングと詳細情報画面の表現方法、および画面の切替え手段についてユーザ評価を行う。評価のポイントは、AwareMirror の付加機能の有用性と、鏡本来の使用感を維持するような設計方針の有効性を見極めることである。

4.2.1 比較項目

設計時に盛り込まれた機能に対してそれと対照的な機能を実装し、ユーザに操作してもらいその使用感を比較した。

- (1) 概要情報表示画面の手動/自動表示
- (2) 詳細情報表示画面への手動/自動切替え
- (3) 詳細情報表示画面に鏡の機能を残す/残さない

(1) において「手動」の場合には鏡の前で歯磨きを開始しても概要情報表示画面は表示されず、タッチセンサを押下することで初めて開始される。また、(2) で「自動」の場合は、一定時間 (10 秒) 後に詳細情報画面に切り替わる。そして、鏡の機能を残すか否か (3) は図 3 の b) および図 6 に見られるような、黒い背景に白いテロップ文字か白い背景に黒い静止文字の画面をそれぞれ使用する。

4.2.2 被験者の属性と評価実施方法

評価は大局的な傾向を比較的短時間で知るためにオズの魔法使い法 (Wizard of Oz 法; 以下, WOZ 実験) による疑似操作と、少数の被験者を対象として被験者宅に試作システムを設置して一定期間使用したうえでの実践的なもの (以下, ユーザ宅実験) により実施した。被験者は、筆者所属研究室外の学生 (12 人), 主婦 (1 人), 技術職会社員 (2 人), 営業職会社員 (1 人), 自営業 (2 人) であり、その年齢構成は 18 歳から 70 歳までである。このうち、主婦と自営業 (2 人) からなる 1 家族と技術職会社員 (1 人暮らし) の 2 軒にそれぞれ 17 日間と 22 日間設置してユーザ宅実験を行い、残りの 14 人が WOZ 実験に参加した。

WOZ 実験では、実験者が「歯磨きをしてください」、「ボタンを押してください」といった指示を出して被験者が実行するのに合わせて、実験者が情報表示タイミングを制御した。これによりコンテキスト認識や処理時間に関する性能を除いた評価を行った。一連の操作試

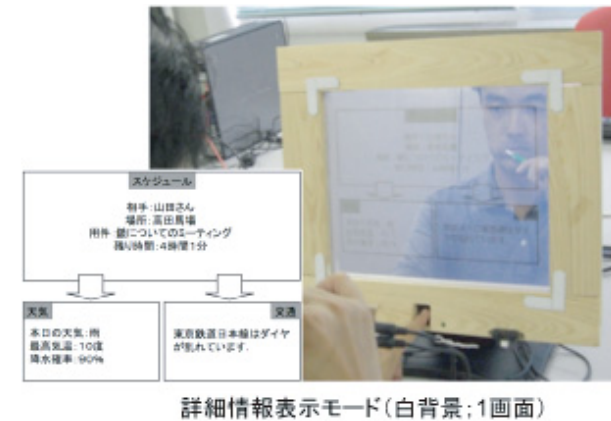


図 6 比較用詳細情報表示画面

Fig. 6 “White on Black” view of detail information mode.

験終了後にアンケートとインタビューを実施した。

一方でユーザ宅実験では試験開始後の 3 日間をトレーニング期間にあて、その後は自由に使用するよう依頼した。実験では上述の各比較項目での機能の切替えを被験者自身が簡易な GUI を通して行うために、これに慣れるのがトレーニングの目的である。そして実験者は操作方法やトレーニング手順などを書いた手引き書をユーザ宅に残してその場から離れていた。なお、機能の切替えは各回の直後に行うよう依頼した。これにより歯を磨く直前に機能変更を行うといった不自然な状態での試験を避けることを狙った。被験者には自由にコメントを記入する用紙を渡し、それに日々気づいた点を記入してもらうとともに、実験期間終了後にアンケートとインタビューを行った。

4.2.3 概要情報表示契機の制御方法について

比較項目 (1) に関しては WOZ 実験とユーザ宅実験を含め (以降の評価でも特に断らない限り両者の混合), 50.0% が自動での開始を好むという結果になった。自動での開始を好んだ被験者の意見としては、「タッチして開始という行為が (朝には特に) 面倒」、「タッチすることを忘れる」、「歯磨きに集中したい」といったことが聞かれ、使い始めは通常の鏡として対峙することを望んでいることがうかがえる。また、ユーザ宅実験の被験者 4 人はいずれも「自動」を好んだ。一方で手動での開始を好んだ被験者の意見として、「必要なときのみ情報を取得したい」というものがあり、理由の 1 つとしてもともとその日に予定もなく意

思決定の必要性を感じないときは鏡として使いたいと考えていることがあげられる。これは別の見方をすると概要情報であっても目障りなものになる可能性を示唆している。また、センサおよびその情報処理結果の不確かさゆえの誤動作（システムの信頼性）を理由としてあげる被験者もいた。

4.2.4 詳細情報表示契機の制御方法について

比較項目(2)に関しては、68.8% (11人)が手動による詳細情報画面への切替えを好んだ。その理由としては、「詳細情報の要否は自分で決定したい」、「詳細情報が欲しいときはすぐに欲しいものなので、切り替わるまで(10秒)待てない」といった制御の要望が共通的に聞かれたことから、当初の設計方針への支持がうかがえる。また「誤動作しない」ことを理由にあげた者もいた。一方で、自動切替えが好まれた理由としては「切り替えることが面倒くさい」、「(洗面所の作業で)濡れた手で触りたくない」といったことがあげられた。この理由は積極的に自動切替えを好むというものではなく、その背後には現状のタッチ式の切替えに対する不満がうかがえ、洗面所の制約を考慮したより簡潔な方法による手動切替えが求められていると考える。

4.2.5 詳細情報表示画面について

文字ベースの詳細情報表示画面については、図3(b)で示した表示形態に対して図6のようなものを比較で使用した。これは背景を白色にすることでユーザ側との明るさの差を小さくし、白色部分の透過を多くしたものである。この部分は反射が小さくなり、通常のコンピュータスクリーン上に表示されたドキュメントのような感覚を与えることから、鏡の機能を排除したものであるということが出来る。

この結果、68.8%が白い背景に黒い文字(図6)を好む結果となった。好まれる理由としては、「1画面に収まっているので一瞬で目を通せる」、「テロップは目で追いつけなくなるといけない」といったことがあげられる。これは文字列のスクロールでは図3に見られるように、ユーザが動いている文字を注視する必要があるために、鏡としての機能はむしろ邪魔なものに変容するからであると考えられる。そして、「鏡の機能が使えないことは気になるが、すぐに確認して戻せば済むし一覧表示なので理解にかかる時間は短くて済む」という意見も出された。このことは、この表示方式の方がむしろ主作業への割込み時間を短くすることができ、鏡本来の使用に与える影響は小さくなることを表している。その一方で、「白い背景に黒い文字」に否定的な被験者の意見は、「透過する字が見にくい」、「顔を見ながら歯磨きを続けたいので白い背景は邪魔」といったものであり、後者に関しては詳細情報の取得時においても通常の鏡として使用したいという願望の表れであり、設計方針に対する支持もうかがえる。

4.2.6 2段階の情報提示について

イメージによる概要情報提示の次に文字による詳細情報提示を行うという2段階の提示方法に関しても被験者から意見を収集した。その結果、66.7% (10人)が不要であると回答した。その理由は、「文字で確認しないと納得できない」、「文字だけで十分」、「絵では分かりにくい」、「はじめから絵と文字の両方あればいい」といったものであった。一方で「必要」と答えた人は、「絵だけで十分な情報もあればそうでないものもある」、「眼鏡を外しているときには文字は読めないので、まず最初の気づきを得るための絵がいい」と考えている。また「不要」と回答した被験者のうち、4人は「絵が十分な情報を与えるならば絵だけで十分」と答えている。しかしながら絵だけで、鉄道の運行状況(故障の発生場所や時間)などを伝えることには限界があるので彼らは文字による詳細情報が必要となる可能性があり、これを考慮すると2段階提示が必要と考える人は66.7%となる。

ユーザ宅実験の被験者に対しては、概要情報から詳細情報画面に切り替えた理由を尋ねたところ、「詳細を知りたい項目があった」、「急いでいた」という回答があり、必要に応じて切り替えたことが分かる。また、提示された情報を見て行動を変えることがあったか否かについては、2人がそれぞれ1回ずつ(交通機関異常と最低気温)あったと回答していることから、鏡の通常の使用の中で意思決定を支援するというAwareMirrorが機能したといえる。また興味深い回答として、「毎朝、絵が変化するのを見るのが楽しみだった」というものがあった。このような観点は、理解のしやすさや主作業の効率の高さといった従来の情報システムにはなく、日常生活におけるコンピューティングパラダイムには重要なものである。そしてこの点においても2段階の提示方法の意義を見いだすことができる。

4.3 概要画面表示までの処理時間に関する評価

ユーザ宅実験の際にプログラム中のタイムスタンプ埋め込みによる処理時間を計測した。図7に歯磨き開始から概要画面描画までの処理時間の内訳を示す。図中の項目は「その他」を除き左側から順に直列に実行される。なお、概要画面表示契機を「手動」としている場合は、即座に認識されるタッチ行為の直後からスケジュール情報抽出処理が実行されるために、同図左端の「歯磨き行為認識」時間は含まれないが、以降の処理は表示契機に関係なく共通に実行される。評価はWindows XP SP2 (CPU: Celeron 2.0 GHz, メモリ: 512 MB), Java SE5の環境下で実施した。

歯磨き行為認識時間は平均1.65秒(標準偏差1.17秒)、スケジュール情報抽出以降の処理時間は平均3.60秒(同1.58秒)であり、被験者全員が遅いと答えている。ここで3つの情報抽出処理はいずれもADSL回線(12Mbps)によるインターネットアクセス

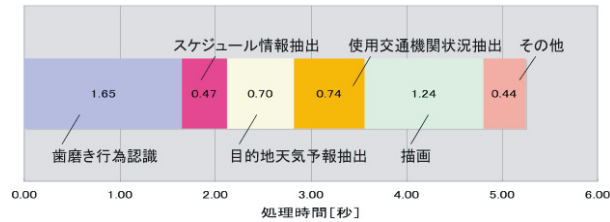


図 7 処理時間の内訳
Fig. 7 Processing time.

と HTML 解析時間を含んでいる．表示までの理想的な時間を，1) PC からの Web ページアクセス時間，2) 携帯電話での Web アクセス時間，3) テレビのスイッチを入れてから映像が出るまで，の 3 種の既存の情報取得手段に例えてあげてもらったところ，全員が 3) を選択した．1) や 2) をイメージすることができなかった被験者もいたが，3) が選択されたことで，3 秒程度の処理時間が目安となると考えられる．現状では，平均 5.24 秒かかっているが，このうち「目的地天気予報抽出」と「使用交通機関状況抽出」に関しては並列に実行することが可能なので，0.70 秒を除くことができる．また，スケジュールが入力された時点で目的地と開始時間情報を抽出することで，スケジュール抽出時間分を除くことができる．描画は Flash によるものであり，ハードウェアの高速化により今後改善されることが期待できる．したがって，歯磨き行為の認識を 1 秒程度で実現することが課題となる．

4.4 評価のまとめ

AwareMirror の実現にあたり，通常の使用方法や使用感を変えないことが既存の日常物を情報環境とのインタラクションのために拡張していくために重要であると考えた．その一方で情報提示装置として情報を伝えることが重要であるために，選択的に鏡と表示装置の機能を切り替えられるようにした．このような，鏡を通して意思決定を支援する情報を受け取るというコンセプトはユーザ評価に参加した全被験者に好評であった．しかしながら極力鏡として機能させるために，文字ベースの詳細情報表示画面にあっても鏡面下部に文字をテロップ表示するのみで自らの像を移す領域を残すという方針をとったが，情報理解の非効率さの点で被験者には不評であった．また最初に提示する概要情報は，「鏡の前での歯ブラシの使用」といった自然な行為を表示契機とするよう設計したが，半数がこれを支持する一方で，制御感を重視して自らタッチを契機とすることを好む被験者も半数いた．このことから必ずしも本来の受動的な使用の延長線上にある自然な行為が重要ではなく，システムに対す

る制御感と情報理解の効率性が重要であることを示唆している．

評価より，インタラクション方式については圧倒的に支持されるものではなく，被験者ごとに妥当な理由を持っていることが分かった．このため，システム運用上はプレファレンス管理機構を設けることで多くのユーザ要望に対応することが可能であると考えられる．また初期画面が現れるまでの速度に関しては，テレビの起動時なみの体感速度が求められており改善の余地がある．

5. 関連研究

鏡を対象とした研究として，Philips Research の Interactive Mirror⁶⁾ がマジックミラーの背面からの透過を利用して鏡像と情報を重ね合わせるという点と意思決定系の情報提示を行うという点で AwareMirror のコンセプトに近い．コンテンツ操作は，ジェスチャと鏡フレームへのタッチの 2 種類の手法を提供しており，名前のとおりインタラクティブな使用感を実現するものであるが，このような積極的な関わり合いに関する評価は明らかになっていない．また，個々の人物の識別に関しても言及されていない．次に，日立ヒューマンインタラクションラボの Miragraphy²⁰⁾ も背面からの透過方式を用いており，無線タグを用いて店舗での衣類情報を表示したり，ビデオカメラにより毎日の服装履歴を表示したりするといった使用法を提案している．しかしながら，個人の特定手段やインタラクション方法に関する知見は明らかにされていない．本論文では AwareMirror を通して，日常生活に浸透しうる鏡の拡張についてこれらの点を評価した．またこれらのシステムに関して知る限りでは，ユーザは鏡を通じて提供される新しい機能やサービスを積極的に「使う」ことが求められるためにユーザとシステムの間ギャップが存在するが，AwareMirror では使うことが鏡の前の普段の行為の延長となるよう設計しているためにギャップは小さく，その行為を邪魔しないと考える．

一方で，鏡のメタファをインタフェースに用いたものとして，Augmented Mirror¹⁸⁾ や i-mirror¹⁴⁾ があり，いずれも「鏡」をビデオカメラとモニタ（またはプロジェクタ）により実現した仮想的な鏡であるうえ，情報提示ではなく眼鏡の試着や化粧品の試し塗りのサポートといった用法であり，その位置づけは日常物としての鏡ではないと考えることができる．

AwareMirror はその前にいる人物にとって重要な情報を表示する．このような情報はその人物の現在や未来の状態を反映しており，コンテキストの一種であるといえ，AwareMirror はコンテキストウェアなシステムであるといえる．また，情報提供対象となる人物が本来のタスクを遂行しつつも視線の先に情報を提供することから，アンビエントディスプレイ

イ¹⁵⁾の一種であるともいえる。Rodensteinの「窓」のメタファを用いた研究¹¹⁾もまたこのようなディスプレイに分類することができる。この研究では「鏡」と反対の概念である「窓」が持つ透過性という特徴を用いて、窓の外に関連した情報を「窓」に重畳して表示している。また、日常生活空間に自然にとけ込むポスターや写真のような芸術作品の観点から情報の可視化を行っている研究としては、Informative Art⁵⁾やInfoCanvas¹²⁾といったものがある。これらは、はじめから「見る」ことを目的としたポスターなどのメタファを利用したものとなることができる。しかしながら、AwareMirrorは鏡としての機能を第1に生かしつつ、パーソナライズした情報を表示しなければならないという点でより強い制約を持っていると考えることができる。

また日常物を通じたコンテクストアウェアネスに関して、SmartITsプロジェクト¹³⁾で提案されているArtefact Computingの概念は、拡張された日常物の使用により人間のコンテクストを自然に獲得することを提案しているが、獲得(入力)に主眼がおかれており、出力に関しては検討が不十分であるといえる。

6. まとめと今後の課題

本論文では、コンテクストを反映した情報を表示する鏡であるAwareMirrorを提案した。AwareMirrorはその前面にいる人物の当日の予定に関連した情報を鏡面に提示することで、鏡の前における普段の行為の中で意思決定を支援することを狙ったものである。設計および試作システムの実装について説明したのちにユーザ評価について述べ、必ずしも日常物としての自然さに固執する必要はなく、システムに対する制御感と情報提示装置としての情報理解の効率性が重要であることが確認された。

最後に今後の課題を3点あげる。1点目として提供する情報に関する知見を深めることである。今回提供された情報は直近のスケジュールに依存しているが、このほかにも前日の運動量や食事内容なども健康増進意欲をかき立てて生活改善へと意識を向けることに貢献すると考えられる。また意思決定情報のうち、占いやビール指数といったエンタテインメント性が高い情報と天気予報や交通状況のような実利的な情報に対する嗜好の相違を検証することもあげられる。また2点目として鏡を設置する場所と提供機能の有効性の相違を検証することがあげられる。試作システムは洗面所での使用を前提として設計したが、鏡は寝室や玄関にも設置されることがある。このような場所におけるユーザ特定手段や情報提示方式についての差異を明らかにすることは日常物の拡張に関するガイドラインを作成していくうえで興味深い。最後に3点目として、新聞の閲覧やテレビの視聴、PCや携帯電話によるイン

ターネットブラウジングといった既存のメディアとの関係についても検討する必要がある。

参 考 文 献

- 1) Fujinami, K., Kawsar, F. and Nakajima, T.: AwareMirror: A Personalized Display using a Mirror, *Proc. International Conference on Pervasive Computing, Pervasive2005*, LNCS 3468, pp.315–332 (May 2005).
- 2) Fujinami, K. and Nakajima, T.: Sentient Artefact: Acquiring User's Context Through Daily Objects, *Proc. 2nd International Symposium on Ubiquitous Intelligence and Smart Worlds (UISW2005)*, LNCS 3823, pp.335–344 (Dec. 2005).
- 3) Gee, A. and Roberto, C.: Determining the gaze of faces in images, Technical Report CUED/F-INFENG/TR174, Department of Engineering, Cambridge University (Mar. 1994).
- 4) Gregory, R.L.: *Mirrors in Mind*, Freeman, W.H. and Company (1997).
- 5) Holmquist, L.E. and Skog, T.: Informative art: Information visualization in everyday environments, *GRAPHITE '03: Proc. 1st International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques in Australasia and South East Asia*, pp.229–235 (2003).
- 6) Lashina, T.: Intelligent bathroom, *Ambient Intelligence Technologies for Wellbeing at Home, a Workshop on European Symposium on Ambient Intelligence (EU-SAI2004)* (2004).
- 7) Phidgets Inc., Web site. <http://www.phidgets.com/>
- 8) Pingali, G., Pinhanez, C., Levas, A., Kjeldsen, R., Podlaseck, M., Chen, H. and Sukaviriya, N.: Steerable Interfaces for Pervasive Computing Spaces, *Proc. 1st IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PER-COM'03)*, pp.315–322 (Mar. 2003).
- 9) RF Code, Inc., Spider. <http://www.rfcode.com/>
- 10) Dawson, F. and Stenerson, D.: Internet Calendaring and Scheduling Core Object Specification (iCalendar), RFC2445 (1998). <http://www.faqs.org/rfcs/rfc2445.html>
- 11) Rodenstein, R.: Employing the Periphery: The Window as Interface, *Extended Abstract of International Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'99)*, pp.204–205 (May 1999).
- 12) Stasko, J., Miller, T., Pousman, Z., Plaue, C. and Ullah, O.: Personalized Peripheral Information Awareness through Informative Art, *Proc. 6th International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp2004)*, pp.18–35 (Oct. 2004).
- 13) The Smart-ITs project: The smart-its. <http://www.smart-its.org/>
- 14) Ushida, K., Tanaka, Y., Naemura, T. and Harashima, H.: i-mirror: An Interaction / Information Environment Based on a Mirror Metaphor Aiming to Install into Our Life Space, *Proc. 12th International Conference on Artificial Reality and*

1983 鏡を拡張したコンテクストアウェア情報表示装置

Telexistence (ICAT2002) (Dec. 2002).

- 15) Wisneski, C., Ishii, H., Dahley, A., Gorbet, M., Brave, S., Ullmer, B. and Yarín, P.: Ambient Displays: Turning Architectural Space into an Interface between People and Digital Information, *Proc. 1st International Workshop on Cooperative Buildings (CoBuild'98)*, pp.22-32 (Feb. 1998).
- 16) Yahoo! JAPAN: Yahoo!天気情報. <http://weather.yahoo.co.jp/weather/>
- 17) Zhao, L., Pingali, G. and Carlbom, I.: Real-time head orientation estimation using neural networks, *Proc. IEEE International Conference on Image Processing* (Sep. 2002).
- 18) 仲 祥平, 加藤博一, 橋啓八郎: Augmented Mirror: 鏡の中の拡張現実感, Technical Report TR-MVE 2001-10, 電子情報通信学会 (June 2001).
- 19) 藤波香織, 中島達夫: 知的人工物を用いた知的空間構築のための情報管理基盤, 情報処理学会論文誌: コンピューティングシステム, Vol.47, No.SIG12(ACS15) pp.399-410 (Sep. 2006).
- 20) 日立ヒューマンインタラクションラボ: Miragraphy. <http://hhil.hitachi.co.jp/products/miragraphy.html>

(平成 19 年 9 月 6 日受付)

(平成 20 年 2 月 5 日採録)



藤波 香織 (正会員)

1995 年早稲田大学大学院理工学研究科電気工学専攻修士課程修了。同年日本電信電話(株)入社。1997~2003 年 NTT コムウェア勤務。2005 年早稲田大学大学院理工学研究科情報科学専攻博士課程修了。博士(情報科学)。早稲田大学理工学術院客員講師を経て 2007 年より東京農工大学大学院共生科学技術研究院先端情報科学部門特任准教授。ユビキタスコンピューティング, ヒューマン・コンピュータインタラクション, ネットワークセンシング等に興味を持つ。



カウサル ファヒム

2002 年 Islamic University of Technology (バングラデシュ) 計算機科学科卒業。2006 年早稲田大学大学院理工学研究科情報・ネットワーク専攻修士課程修了。現在, 同大学院基幹理工学研究科情報理工学専攻博士課程在籍中。パーベシヴコンピューティング, マルチモーダルインタフェース等に興味を持つ。マイクロソフトリサーチ・アジアリサーチフェロー。



中島 達夫 (正会員)

1990 年慶應義塾大学大学院理工学研究科博士課程修了。1990~1992 年カーネギメロン大学計算機科学研究員。1992~1997 年北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科助教授を経て, 現在, 早稲田大学理工学術院情報理工学専攻教授。組み込みシステム, オペレーティングシステム, 分散システム, ユビキタスコンピューティング, 計算機ネットワーク, 高信頼分散リアルタイムシステム等に興味を持つ。