

位置に基づくインタラクティブ情報支援のための無電源小型情報端末

西村 拓一^{†,††} 伊藤 日出男^{†,††,†††} 中村 嘉志[†]
山本 吉伸^{†,††} 中島 秀之^{†,††,†††}

「いつでも、どこでも、誰でも」情報にアクセスできる遍在(コビキタス)型情報処理社会では、莫大な情報から「いま、ここで、私が」欲しい情報を簡便なインタフェースで提供することが重要である。そこで、本論文では、適切な位置で適切な方向に端末を向けるだけでインタラクティブに音声情報を取得する無電源小型情報端末(Compact Battery-less Information Terminal: CoBIT)を用いた情報支援システムを提案する。環境側の装置からは音声情報とエネルギーを伝える光を照射し、CoBITでは太陽電池に直結したイヤホンで音を聞くことができる。また、CoBITの表面には反射シートを貼り付けることで、赤外光投光カメラを用いればCoBITの位置やおよその方向を容易に推定することができる。これにより、CoBITの位置・方向の履歴およびユーザからの合図を基に適切な情報を直感的かつ容易な操作でインタラクティブに提供できる。本論文では、実装したCoBITの特性を示し、その試験運用やプロトタイプシステムを紹介する。

A Compact Battery-less Information Terminal System for Location-based Interactive Information Support

TAKUICHI NISHIMURA,^{†,††} HIDEO ITOH,^{†,††,†††} YOSHIYUKI NAKAMURA,[†]
YOSHINOBU YAMAMOTO^{†,††} and HIDEYUKI NAKASHIMA^{†,††,†††}

The target of ubiquitous computing environment is to support users to get necessary information and services in a situation-dependent form. In order to support users interactively, we propose a location-based information support system by using Compact Battery-less Information Terminal (CoBIT). A CoBIT can communicate with the environmental system and with the user by only the energy supply from the environmental system and the user. The environmental system has functions to detect the terminal position and direction in order to realize situated support. In this paper, we also show various types of CoBITs and the usage in museums or event shows.

1. はじめに

今後、現実世界を移動中に情報支援を享受するユーザはますます増加するだろう。このとき、“ubiquitous”¹⁾，“pervasive”²⁾，“context-aware”³⁾コンピューティングの研究分野で重要となることは、個人を特定するIDベースの情報支援だけでなく、ある特定の位置に存在する事実に基づいてID非依存の情報提供を実現する仕組みと考える。我々は、この仕組み

を位置に基づく通信⁴⁾と呼び、高い空間密度で提供したいコンテンツを有し、かつ様々な人が出入りするオープンな空間における情報支援を目指している。位置に基づく通信により、ユーザは、特定の端末を用いれば、個人を特定されることなく、位置に応じたサービスを受けることが可能となる。この場合、ユーザが移動しながら実空間をブラウズし、興味ある情報を手軽に入手することが重要と考える。そこで、端末の位置だけでなくその向きに応じた情報をインタラクティブに入手できる端末を目指す。これにより、ユーザは注目している方向に存在するコンテンツの情報を容易な操作で入手できることになる。

携帯端末と環境システムとを結ぶために使用されている一般的な伝達媒体は、周辺に均一に伝わりやすい電波と直進性があるため指向性を制御しやすい光とに分けられる。まず、位置に基づく通信を実現する観点で電波について考えてみよう。

[†] 産業技術総合研究所サイバーアシスト研究センター
Cyber Assist Research Center, National Institute of
Advanced Industrial Science and Technology

^{††} 科学技術振興事業団戦略的創造研究推進事業(CREST)
Core Research for Evolutional Science and Technology,
Japan Science and Technology Corporation

^{†††} 北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科
School of Information Science, Japan Advanced Insti-
tute of Science and Technology

最近、多く用いられている IC カードや RFID タグは、目的地や残りの料金などの情報のみを内蔵し、個人を特定する情報を内蔵しないことがある。この場合には、電波の伝達距離を数 cm と短く設定し、読み書き装置のそばに携帯端末を近づけることで ID 非依存の位置に基づく通信を実現していることになる。しかし、ユーザが実空間をブラウズする場合に、読み書き装置に端末を近づける点が若干不便である。そこで、電波の伝達距離を長くすることも考えられるが、伝達方向の制御が困難なため、端末の向きに関係なく周辺の読み書き装置と通信してしまう。

また、屋外を対象として 10 m 以上の広範囲に伝わる電波を利用するものとして、携帯電話、PHS、無線 LAN などがあげられる。この場合も個人を特定しない使用方法が考えられるが、端末の向きに応じた情報を提供したい場合には、方位を計測する磁気センサなどのセンサが必要となる^{5)~7)}。これは、複数箇所に微弱な FM 電波を発信する装置を設置し、FM 受信機を内蔵した端末が近づぐことで、特定位置における情報を取得できるシステム⁸⁾でも同様である。

一方、直進性のある光を用いる場合には、センサを内蔵しない携帯端末でも位置と向きに応じた情報支援を実現できるという利点がある。つまり、特定の範囲に信号を含む光を照射すれば、その範囲内に存在し、かつ光源方向にセンサを向けている端末のみが信号を受信することになる。このように、基地局からの光を受信できる位置および向きの端末のみが情報を入手できる特性を利用したシステムとして、トーキングサイン⁹⁾などがすでに開発されている。また、ユーザの位置を検出するアクティブパッチシステム¹⁰⁾も位置に基づく情報支援に活用されている。しかし、これらは、ユーザの合図などを環境装置が理解し、これに基づいて音声メッセージを返答するような、ユーザとのインタラクションは想定していない。

ユーザの状況の推定は容易でないため、インタラクティブに情報支援を実現することが好ましい。光通信を用いてインタラクティブに情報支援を実現するものとしては、C-MAP^{11),12)}、みんぱく電子ガイド¹³⁾、都市情報システム UCIS¹⁴⁾、ショッピングシステム¹⁵⁾などが知られている。また、拡張現実技術分野で知られている NaviCam¹⁶⁾ や Touring Machine¹⁷⁾ も端末にカメラを用いる点で光の直進性を利用している。これらは、PDA など小型ディスプレイを持つ高機能通信携帯端末により位置依存情報支援を実現している。

しかし、情報技術に不慣れなユーザも気軽に使用する場合に、より容易・直感的に操作できる携帯端末

が望ましい。また、短時間で起動してその場所の情報をすぐに提示できることや、持ち運びに便利のように小型であることも大切であろう。電池切れなどを心配せずに使用できるように、バッテリーのメンテナンスを不要とすることも重要と考える。

そこで、本論文では、環境やユーザのエネルギーのみで、インタラクティブ情報支援を実現する小型情報端末 (Compact Battery-less Information Terminal: CoBIT) を用いた位置に基づく情報支援システム¹⁸⁾を提案する。環境側の装置から音の波形に従って強度変調した光を照射し、CoBIT 内の太陽電池に直結したイヤホンにより無電源音声ダウンロードを実現する。また、CoBIT 上の反射シートの位置を環境側の赤外投光カメラで検出することにより、無電源で位置や向き、合図のアップロードを行う。これにより、ユーザの位置や向き、合図を基に適切な情報を直感的かつ容易な操作でインタラクティブに提供できる。

本論文の構成は、2 章で、無電源小型情報端末を提案し、3 章で音声ダウンロード特性を調べ、その試験運用について 5 章で述べる。4 章では、アップロードを実現するための CoBIT 上の反射シートの検出特性について調べる。また、6 章で照射方向を制御するビーム光を用いて特定のユーザにのみ音声配信するシステム実装例を示し、7 章でまとめと今後の課題を示す。

2. 無電源小型情報端末 CoBIT の提案

2.1 CoBIT の概要

本節では、CoBIT で実現した無電源音声ダウンロードおよび位置アップロードについて概説する。まず、音声のダウンロードについて図 1 を用いて説明する。環境側から、音声波形にバイアスをかけて増幅し赤外 LED で照射する。これにより、CoBIT の太陽電池が音声波形に従って発電し、太陽電池に直結したイヤホ

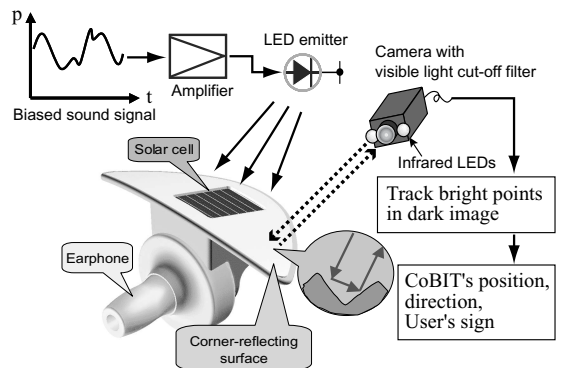


図 1 CoBIT 基本システム

Fig. 1 Basic CoBIT system architecture.



図 2 赤外光投影機つきのカメラによる画像例

Fig. 2 A sample image of the camera. The bright point is a CoBIT.

ン(特に低消費電力のセラミックホンが遠距離送信可能)から音声が出る。

次に、CoBIT 位置のアップロードについて説明する。環境側には、赤外 LED を取り付けたカメラを設置する。ただし、カメラには赤外パスフィルタを装着し、赤外光が入射しなければ真っ暗な画像を出力するようにする。CoBIT には小型コーナキューブを埋め込んだ再帰型反射シートを貼り付ける。この反射シートは、ほぼすべてのエネルギーを光源の方向へ反射する。したがって、環境装置から赤外光が照射されると環境装置に強力な光が戻る。これにより、カメラで得られる画像は、図 2 のようになり、容易に CoBIT の数やおよその位置を計測できる。また、光路上に透過率を変化させる物体を置けば、情報のアップロードが可能である。光路は、手で遮れば、たとえば遮る回数やパターンで数種の合図を送ることができる。さらに、CoBIT の動きからユーザの発する合図を推定できる¹⁹⁾。カメラを複数個用いれば、CoBIT の 3 次元位置や向きも推定できる。

このように、CoBIT は基本的に太陽電池に直結したイヤホンと反射シートの 3 点のみで構成され、無電源小型でありながら位置と向きに応じた情報をインタラクティブに入手できる端末である。

2.2 関連研究

フォトダイオードなどの光電変換素子により強度変調光を受信し、増幅してスピーカで音声を再生する技術は、太陽光を利用した Alexander Graham Bell の Photophone²⁰⁾ をはじめとして長年にわたって研究されてきた。最近では、豆電球に音声信号に応じた電流を流して変調光を発生し、これを太陽電池に直結したスピーカで受信する実験^{21),22)}(本節では、従来法と呼ぶ)も行われている。つまり、ここでは CoBIT が利用する無電源で音声をダウンロードする技術がす

で提案されているのである。

しかし、本論文で目指す情報支援用途に使用されたことはなく、また従来法のままでは送信距離が短く、音質が悪いという問題があった。

まず、送信距離が短いという問題は、ユーザが持ち歩けるように端末(太陽電池にスピーカ直結)を小型にすると、送信距離が数 cm 程度となるという点である。これは、目への影響を考えて電球の輝度を大きくできないためと、音声波形を増幅するドライバの出力では消費電力の大きい電球を駆動できないためである。そこで、本論文では、電力から光への変換効率が良く目への影響も少ない赤外 LED を採用した。赤外レーザを使用する場合には、光の密度が高いために目の保護を考えビーム光を拡散させればよいが、現状では高価であるため採用を断念した。さらに、従来法では太陽電池に直結していたスピーカの代わりに低消費電力のセラミックホンとした。これにより、CoBIT は小型の端末でありながら、2~3m 離れた位置での音声ダウンロードを可能とした。

次に、音質については、電球の電流-光量特性の時間遅れが大きいため、音声波形が崩れ低下する。この理由もあって、時間応答の良い赤外 LED を採用した。しかし、通常デジタル信号送信用として使用されている LED を、アナログ信号を送信するために使用するため、本論文では LED の特性評価(電流-光量、周波数応答)を行った。また、太陽電池は通常一定の光をエネルギーに変換するために使用されており、今回のようにセンサとしての特性は知られていない。そこで、太陽電池の動特性(周波数応答)の調査も行った。これらは、3 章で紹介する。

さらに、従来法では、具体的な情報支援を実現していなかった。そこで、本論文では、CoBIT の適用範囲(2.3 節)や CoBIT の運用方法(5 章)を説明する。

赤外光投影機つきのカメラで反射シートを検出するという位置アップロード技術に関してもモーションキャプチャで使用されている。しかし、情報支援時にユーザが存在する範囲とカメラ間の距離を考慮してカメラの仕様を設計しているわけではない。そこで、本論文では、再帰型反射シートの特性を調べたうえで、最適なカメラと赤外投影機との距離やカメラの画角を設定した。

上記のように、音声ダウンロードも位置アップロードも基本手法は提案されているものの、それぞれの改良および、これらを組み合わせて情報支援に活用する CoBIT は提案されていなかった。

2.3 CoBIT による情報支援

前方に太陽電池が向くようにして CoBIT を耳に装着すると、図 3 のように目に入った展示物などのコンテンツに関して、音声情報を入手できる。また、頭を縦に振ったり横に振ったりするなどのジェスチャで合図を送ってインタラクティブに情報を入手することもできる。通常、光源は高さ 2m 程度の位置に設置し、下方向約 30 度へ光を照射することで、前の人の頭に遮られにくく、向いた方向に応じた音声情報を届けられる。この場合、CoBIT の太陽電池は、約 30 度上へ向けておく。

図 4 に、CoBIT システムで想定している情報支援環境を示す。多くの展示物などのコンテンツを有する会場（空間）の中を、ユーザはゆっくり動き回りながら、必要なときのみ CoBIT を装着し興味ある対象を見ることで音声情報を入手する。したがって、各コンテンツからスピーカで音声を放送することのない静かな空間を想定している。つまり、情報が不必要なユーザが騒音で困ることがない環境である。また、情報技

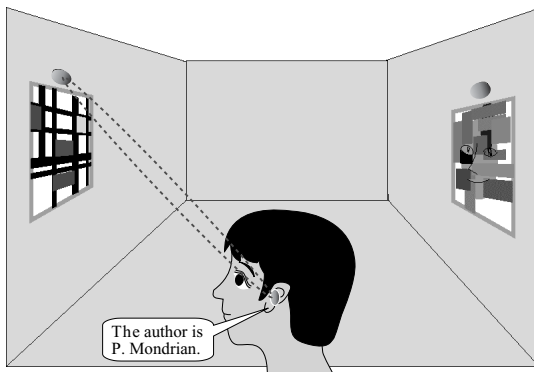


図 3 適切な位置・方向を向くと音声情報を受信

Fig. 3 Sound information is provided by looking at a proper direction at a proper position with a CoBIT.

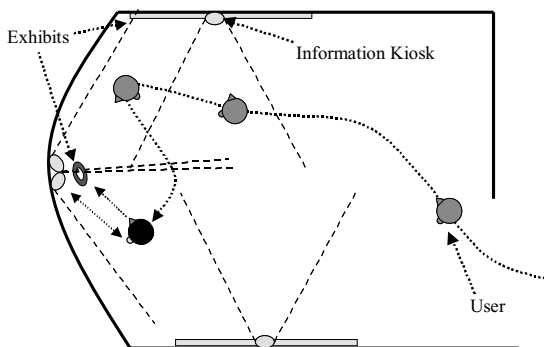


図 4 CoBIT で想定している情報支援環境（例）音声情報を必要とする人のみ CoBIT を装着して入手（原則静かな環境）

Fig. 4 Information support environment using CoBITs.

術に詳しくない一般の人でも自然な動作で情報を入手できる。このような場合に、位置と向きに応じた、ID 非依存の情報をインタラクティブに入手可能な CoBIT の特長（直感的操作、短時間起動、小型、電池メンテナンス不要）が生きてくる。CoBIT の利点とも欠点ともいえるが、他の方向を見ていても音声情報を聞きたい場合には CoBIT を使用することは適切ではない。

本論文では、1 セットの CoBIT 光源と赤外投光カメラを有する環境システムを情報キオスクと呼ぶ。たとえば、美術館における彫刻やモーターショーでの新車などユーザが見る方向に応じて異なった情報を提供したい場合には、図 4 左の例のように 1 個のコンテンツに対して情報キオスクを複数設置する。

基本的な情報キオスクの構成を図 5 (a) に示した。情報キオスクは、目の前にユーザが存在することをカメラで検出し情報支援を開始する。情報支援を行うエリアは、カメラの画角と光源の指向性を自在に調整して設定できる。図 5 (a) の場合は、視野に 1 人のユーザが存在するようにするか、1 人のみを注目して支援するシステムとする。この基本構成においても、位置に基づく ID 非依存通信を用いた情報支援を実現している。また、ユーザのおよその位置と向き（情報キオスクの方向を見ている）が分かるため以下のような情報支援が可能である。

K: 「この恐竜は随分昔に死滅しました。その理由を詳しく説明しましょうか？」

U: (合図で YES!)

K: 「実は、完全には分かっていないんです。ですから、右手にある本物の化石を見て想像してみてください」

(K: 情報キオスク, U: ユーザ)

図 5 (b) の場合は、カメラによる CoBIT ユーザの検出を複数人分行う。この場合は人数やそれぞれの位置関係・合図を理解したうえでの情報支援が可能となる。

K: 「この恐竜がなぜ死滅したか詳しく説明しましよ

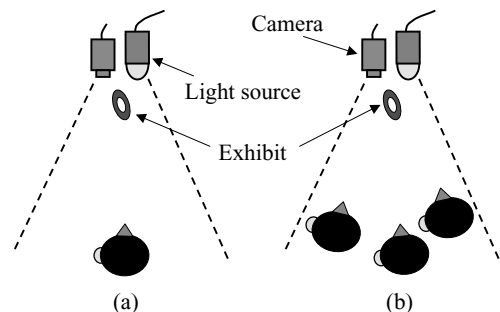


図 5 情報キオスクの構成。(a) 基本構成、(b) 複数 CoBIT 検出

Fig. 5 Information kiosk with a user (a), multiple users (b).

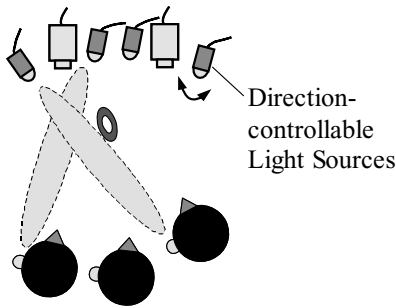


図 6 複数の方向制御光源を有する情報キオスク

Fig. 6 Information kiosk with multiple direction-controllable light sources and cameras.

うか？」

U: (ここで、半分以上の人が YES!)

K: 「では、3人中2人の方のご要望ですので説明しましょう。真ん中の方、もし、よろしかったら左手の次の展示で待っててくださいね」

さらに、図 6 のように複数のカメラにより複数の CoBIT の 3 次元位置を測定し、希望の CoBIT に対してのみ指向性の強い光源を照射する情報キオスクも考えられる (2つの鏡を用いて所望の方向へ光を反射するガルバノミラーや雲台など用いれば、光源の照射方向を制御することができる)。これにより、1つの情報キオスク内で CoBIT ごとに異なる音声を提供することが可能となる。この場合はたとえば 2 個の CoBIT を検出したとき、右の CoBIT のみに対して「右前にあるりんごは今日採れたものです。美味しいですよ。」などと個別の情報を提供することができる。

しかし、ユーザが同じ情報キオスクを共有している場合には同じ音声を聞く方がユーザ間の親近感が大きくなると考えられる。したがって、行動をともにしているユーザ同士のコミュニケーションを活性化したい場合などは、図 5 (b) の構成が適している。

3. 音声ダウンロード 特性

3.1 CoBIT 用光源

CoBIT へビーム光を照射するためには、音源、アンプおよび照明装置が必要である。今回は、音源は市販の音響機器からの出力とし、アンプは、20 mA のバイアス電流に加え、音響機器からの入力信号を増幅して電流を変化させた。また、LED は、スタンレー電気 (株) 製 GaAlAs 赤外発光ダイオードの DNK318U (直径 5 mm 長さ 10 mm, 光出力 20 mW (電流 50 mA のとき), 指向半値角 20 度, ピーク発光波長 870 nm, 遮断周波数 55 MHz) を用いた。

今回作成した LED の特性を測定した結果を図 7 に示

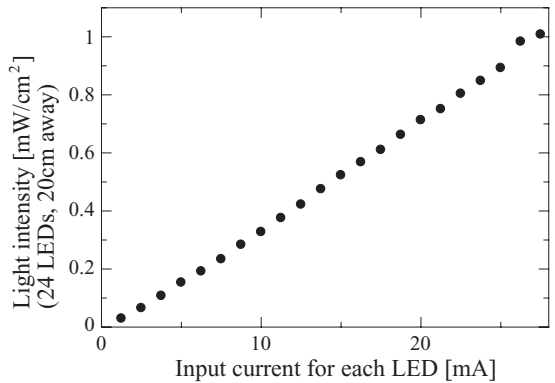


図 7 CoBIT 用光源の特性

Fig. 7 Characteristics of light source for CoBITs.

す。横軸は、LED への入力電流、縦軸は 24 個の LED を並べ 20 cm 離れたときの光の強度である。図 7 では、LED 光源の強度は入力電流にほぼ比例し、25 mA で 1 mW/cm^2 となっている。指向性を広げたい場合は、24 個の LED の方向を変化させればよい。また、指向性を狭めたい場合は、指向半値角が 5 度の LED などを用いればよい。

3.2 太陽電池とイヤホン

本節では、音声ダウンロードに必要な、CoBIT の太陽電池とイヤホンの特性を調べる。まず、イヤホンについては、圧電シートを用いるセラミックホンと導電コイルを用いるダイナミックヘッドホンが市販されている。ダイナミックホンは音質が良いものの、セラミックホンに比べて一般的に高価である。セラミックホンが電流をほとんど通さず電圧に応じた振動を発生する (低消費電力) のに対して、ダイナミックホンは電流に応じた振動を発生するため、より多くの電力を必要とする。また、音圧感度が高いほど音量が大きく、周波数帯域が広いほど音質が良くなる。

そこで、太陽電池の出力についても 2 種類のイヤホンを考慮して、開放電圧と一定抵抗時の電流を調べる。太陽電池には様々な種類があるが、安価で市販されており、かつ赤外光を光電変換できるものは、アモルファスシリコンまたは単結晶シリコンタイプである。本節では、後者 (サイズ: $2 \times 4 \text{ cm}$) を用いて音声ダウンロード特性を調べる。

図 8 にセラミックホンタイプの CoBIT を想定して、横軸に光の強さ、縦軸に太陽電池の開放電圧をプロットした。光の強さが 0.4 mW/cm^2 以上では非線形性が目立つが、ユーザが通常動き回る範囲 (光源から 40 cm 以上) では、光の強さは 0.25 mW/cm^2 以下になる。また、図 9 には、ダイナミックホンを想定して、横軸に光の強さ、縦軸に太陽電池の出力

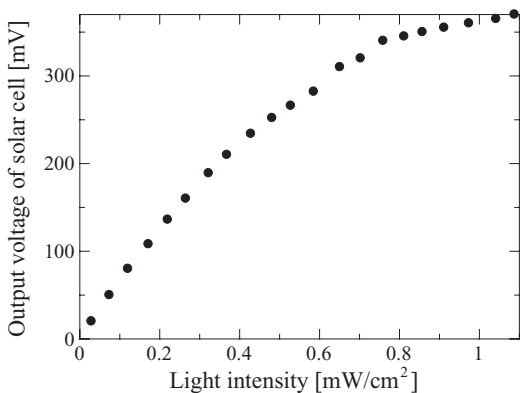


図 8 太陽電池の開放電圧特性 (セラミックホントタイプの CoBIT 用)

Fig. 8 Open-circuit voltage of solar cell.

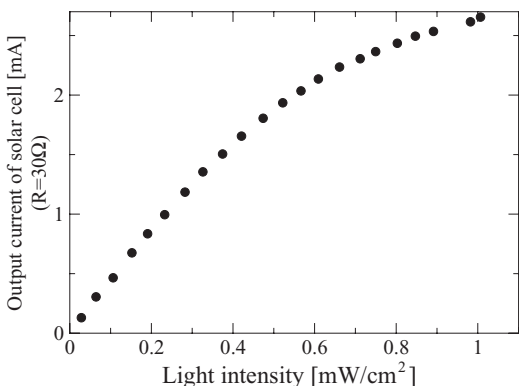


図 9 太陽電池の出力電流 (ダイナミックホントタイプの CoBIT 用)

Fig. 9 Output current of solar cell.

電流 (外部抵抗 30 Ω) をプロットした。やはり、実際に使用する光の強さを考えると線形性が高いといえる。音量は、音声による波形の高さが 1 mA の場合、 $VI = 30 \times 0.001^2 \text{ W} = 0.03 \text{ mW}$ 。音圧感度 106 dB/1 mW のヘッドホンを用いた場合には、約 93 dB の音が聞こえる。

CoBIT が入手する情報の範囲は、太陽電池の指向特性に依存する。そこで、図 10 に、横軸を太陽電池が光源を見込む角度、縦軸を出力電圧として指向特性をプロットした。指向半値角は、約 60 度となった。これは、有効な受光面積が 1/2 になるためと考えられる。さらに、指向性を急峻にしたい場合は、筒を用意したり入射方向を制限するシートを張ったりすればよい。逆に指向性を広めたい場合には、複数の太陽電池を用いればよい。

3.3 環境ノイズ

CoBIT 光源からの光は信号光、環境中の光はノイズとなる。そこで、通常使用するオフィスにおいて光

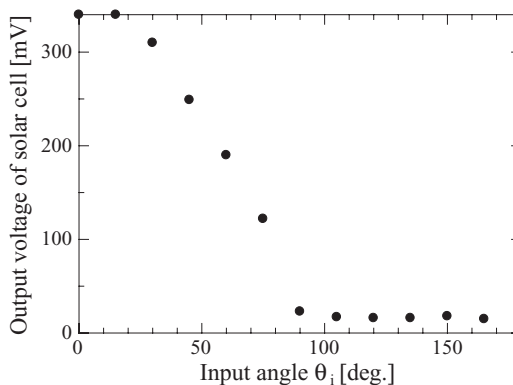


図 10 太陽電池の指向特性

Fig. 10 Directivity of solar cell.

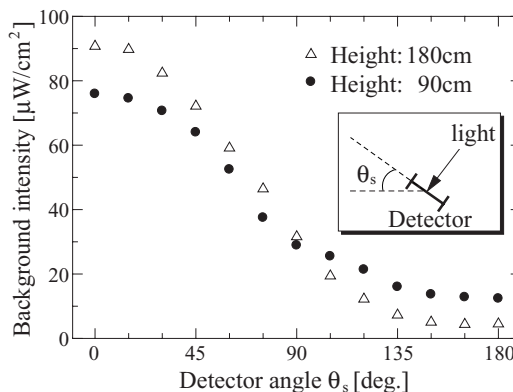


図 11 環境ノイズ

Fig. 11 Environmental noise.

の強さを測定した。高さ 180 cm, 90 cm の 2 か所において検出器を上方から横、さらには下向きに回転しながら光量を測定した。図 11 に測定結果を示す。横軸が上方向を基準 (0 度) とした検出器の角度 θ_s 度。縦軸が単位面積あたりのパワーである。どちらの高さにおいても角度 θ_s が大きくなるに従って光量が減少している。これは、天井に取り付けられた蛍光灯からの受光が減少するためである。また、高さの低い 90 cm の方が、変化が少ない。これは、上方を向いているときは、蛍光灯からの距離が増大して光量が減少し、下方を向いているときは、床面からの拡散光を受光するためである。

通常、前の人に隠されにくくするために、CoBIT に装着する太陽電池は、 $\theta_s = 60$ でやや上向きに装着する。この場合の、環境光の強度は、約 $60 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ となる。蛍光灯が可聴周波数帯域で明滅するタイプの場合、CoBIT 光源からの光がこの強度より下がるとノイズが目立つようになる。

高周波のインバータを用いた蛍光灯では可聴域にノ

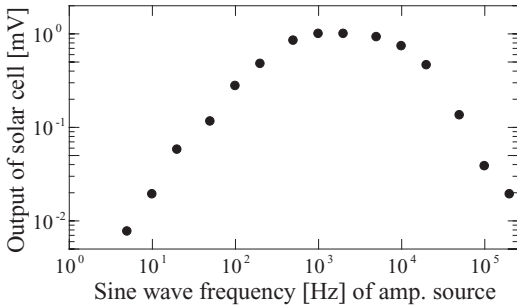


図 12 周波数ごとのゲイン

Fig. 12 Gain of different frequency.

イズが入らないため問題とならないが、一般的に環境光を低減することが重要である。そこで、今回用いた赤外 LED の中心周波数が 870 nm であることを鑑み、赤外パスフィルタの効果を評価する。今回の実験では、検出器に富士写真フイルム(株)製フィルタ(型番 IR84)を取り付けて再度実験を行った。その結果、受光量が $2 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ 以下と約 3% までノイズ低減できた。一方、赤外 LED の光は、フィルタによって 77% の強度になった。したがって、信号対ノイズ (S/N) 比は約 27 倍改善した。

3.4 総合評価

CoBIT 用光源のアンプに正弦波を入力し、この光源の光を太陽電池で受光したときの太陽電池の電圧出力の特性を調べた。図 12 は、横軸が周波数、縦軸が太陽電池の出力電圧である。1 kHz でピークとなり、200 ~ 20 kHz の範囲でゲインの低下が 1/2 以内であった。低周波でゲインが落ちている原因は、アンプ回路特性であり、高周波でゲインが落ちている原因は、太陽電池のコンデンサ特性による。セラミックホンでは、音質劣化をほとんど感じない。ダイナミックホンでは、低音が若干落ちていると感じるものの音楽の試聴程度は十分可能な音質となった。

4. ユーザ位置を考慮した反射シートの検出

今回用いた再帰型反射シートは、小型コーナーキューブを敷き詰めた 3M 社製 3970G を用いた。図 13 に、入射光と反射光のなす角 (以後、観測角と呼ぶ) が 0 度において入射角を変化させたときの反射率を示す。鏡であれば、入射角がほぼ 0 度のときだけに反射があるが、コーナーキューブの特性により、半値角が約 30 度まで増加している。また、図 14 に観測角を変化させた場合の反射特性 (入射角を 0 度に固定、メーカーが保証するデータ) を示した。反射率は観測角が約 0.3 度で半減する。この反射特性を近似するためにメーカー保証のデータに関して最小二乗法で近似曲線を求めた結

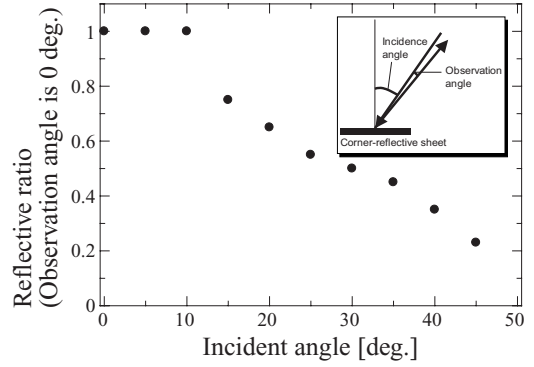


図 13 観測角が 0 度において入射角を変化させたときの反射シートの反射特性

Fig. 13 Reflective ratio of the reflective sheet when incident angle is changed.

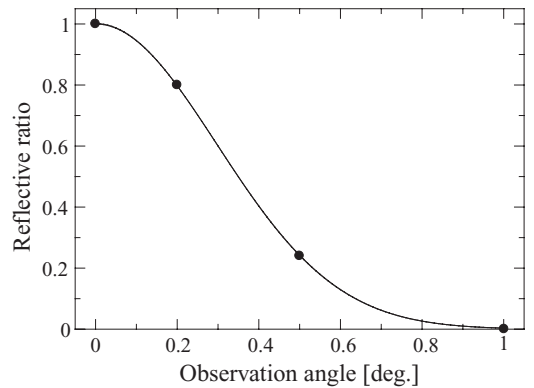


図 14 観測角を変化させたときの反射シートの反射特性 (入射角は 0 度)

Fig. 14 Reflective ratio of the reflective sheet when observation angle is changed (Incident angle is set to 0).

果、 x を観測角 (単位は度) として $\exp(-(2.38x)^2)$ となった。この近似曲線を図 14 に示した。

今回は、カメラ用の照射光源としてレンズから約 18 mm の位置に円周上に 12 個の赤外 LED を設置した投光器を用いた。この場合の反射シートの輝度特性を求める。まず、カメラ焦点と反射シートの距離を l [mm]、カメラ光軸と照射光源との距離を r [mm] とする。このとき、観測角 x 度 (照射光源と反射シートおよびカメラ光軸のなす角) は、近似的に $x = r/l \cdot 180/\pi$ ($r \ll l$) で与えられる。この観測角に応じた反射率は、前述のとおり $\exp(-(2.38x)^2)$ で近似できる。一方、照射光源の輝度は、カメラと反射シートの距離 l の 2 乗に反比例して減少する。このため、カメラで観測される反射シートの輝度は、 $1/(2l)^2 \cdot \exp(-(2.38x)^2)$ で与えられる。この輝度特性を、カメラからの距離 l [mm] を横軸にプロットした図が、図 15 である。したがっ

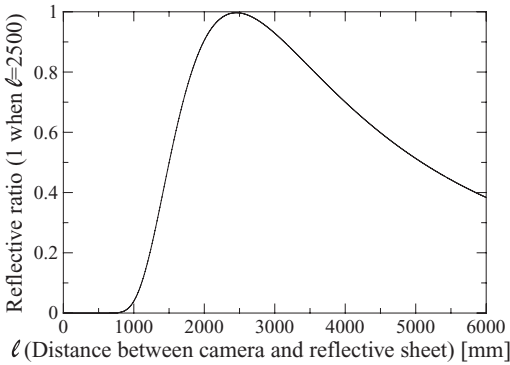


図 15 カメラからの距離に応じた反射シートの輝度

Fig. 15 Reflective ratio of the reflective sheet when the distance from camera is changed.

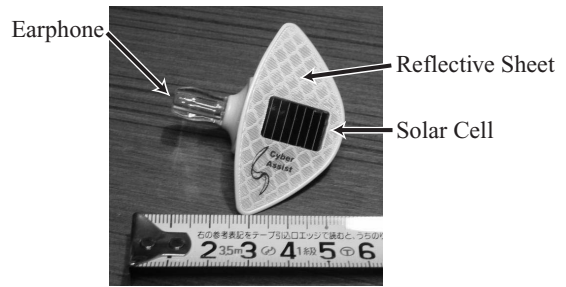
て、今回のカメラを用いた場合、カメラから約 1.5 m から 5 m の範囲において反射シートの輝度が上がり検出しやすくなる。もし、ユーザがカメラからさらに離れた範囲を移動する場合には、カメラの光軸と照射用光源の距離をさらに離せばよい。また、ユーザがカメラに近接する場合には、ハーフミラーなどを用いてカメラ光軸と照射光源を一致させればよい。

他に考慮すべきことは、カメラ映像上の反射シートのサイズである。画角を θ [rad]、反射シートの実サイズを R [mm]、画像のデジタイズを $I \times I$ [pixel] で行った場合、カメラから l [mm] に存在する反射シートのサイズは、 $IR/2l \tan \theta$ [pixel] となる。画角 45 度、反射シートのサイズ $R = 20$ mm、画像サイズ $I = 640$ pixel とすると、距離 $l = 2,000$ mm のとき反射シートは約 3×3 pixel で観測できる。今回の場合、3m 程度まで安定して検出できる。

5. ダウンロード 機能の試験運用

図 16 に、今回試作したセラミックホンタイプの CoBIT を示した。市販のセラミックホンに太陽電池を接続し、反射シートを貼り付けた。また、単結晶シリコンセル (12×17.5 mm) の太陽電池には、赤外パスフィルタ (IR84) を被せた。デザインは、リーディング・エッジ・デザインの山中俊治氏による。図 17 に、装着例を示す。

この CoBIT は、ドラえもんがテーマのアートプロジェクト (2002/7/13 ~ 9/23, サントリーミュージアム) においてデザイナーの松井龍哉氏が採用し、約 20 万人が体験したとみられる。3 畳ほどの部屋の窓および押入れに光源を設置しているため、それぞれの方向を見ると音声がかんてくる。1 人 2 個の CoBIT を貸し出し、両耳に装着してある程度音源方向が分かる



セラミックホン、太陽電池、反射板ほかより構成される。

図 16 セラミックホンタイプの CoBIT
Fig. 16 Ceramic phone typo CoBIT.



図 17 CoBIT 装着例

Fig. 17 A usage of a ceramic phone type CoBIT.

ようにした。このセラミックホンタイプの CoBIT は、耳の穴に挿入する安価なイヤホンを使用しているため、クリーニングの手間がかかり、落下時に破損しやすいという問題があった。

また、耳の穴に入れるタイプではなく耳掛けタイプのヘッドホンを用いた CoBIT を図 18 のように試作した。ヘッドホンはパイオニア製 SE-E03II を採用したが、消費電力の大きいダイナミックホンであるため太陽電池のサイズを大きくした (30×32 mm) 。

これらは、After 5 years—近未来テクノロジーエキジビション (2002/10/4 ~ 10/30, 丸の内ビル) にて使用した。図 19 のように、LED 光源 (3.1 節の CoBIT 用光源) を 25 カ所に設置した。それぞれ、プラズマディスプレイや液晶モニタの直上に配置し、動画像と同期して音声を送信した。

耳かけヘッドホンタイプの CoBIT に関して別途、活力自治体フェアの三鷹ブース (2003/1/29 ~ 1/31, 幕張メッセ) で展示し、アンケート調査を実施した。その結果、101 件のアンケートを回収した。CoBIT の大きさについては、約 71% が満足 (とてもよい + まあよい) であったが、もう少し小さい方がよいとの意見もあった (その他の選択肢は、どちらでもない、あ



図 18 耳掛けヘッドホンタイプの CoBIT
Fig. 18 Headphone type CoBIT.



図 19 LED24 個タイプの CoBIT 用光源
Fig. 19 Infrared LED emitters for CoBIT.

まりよくない、よくないであり、ほかに感想欄を設けた)。重さに関しては、満足が 89%と良い評価であった。これは、耳全体で CoBIT を支えるため重さを感じにくいと思われる。音量に関しては、約 68%が不満足(あまりよくない+よくない)、音質に関しては、約 53%が不満足との結果が出た。これは、フェアということもあって人の声やスピーカからの音などの他の音が大きかったことが原因である。音量を少しでも上げようと増幅率を無理に上げたため波形の山や谷が LED 発光の線形領域を超えてしまったことが音質低下の原因である。このことから 2.3 節で述べたように CoBIT を用いる環境は、基本的に静かであることが必要である。しかし、現在では、騒がしい環境で使用する場合は LED を 120 個使用する光源(消費電力約 40 W)を用いることで上記の問題を回避している。さらに、今回用いた耳かけタイプのヘッドホンではなく、外の音を遮断する耳を覆うタイプのヘッドホンなどを使用する場合もある。

6. 照射方向制御ビーム光を用いたシステム例

本章では、図 6 の情報キオスクにおいて、1 個の照射方向制御光源を用いたシステムを紹介する。図 20

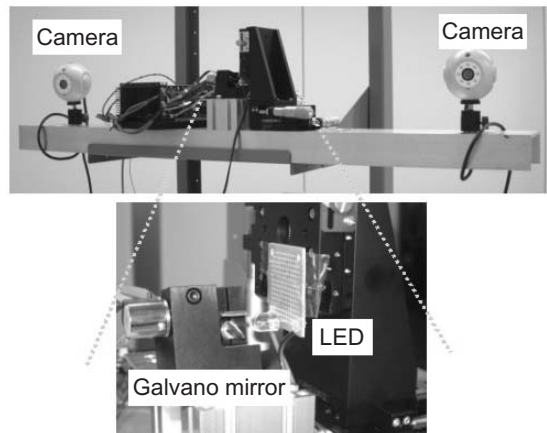


図 20 開発した環境装置 赤外光投射カメラ、ガルバノミラー、指向性赤外 LED ほかより構成される

Fig. 20 An environmental system: Two Cameras with infra-red LEDs, Galvano mirrors, infra-red LED.

に、試作した情報キオスクを示した。赤外光を投射し、赤外光を検出するカメラ²³⁾を 2 個用意し、このカメラにより CoBIT の 3 次元位置を推定した。また、CoBIT の輝点の隠れパターンからユーザの合図を認識した。今回は、CoBIT を 1 回手で隠す場合に「はい」、2 回隠す場合に「いいえ」という合図と取り決めた。カメラは、輝点の重心位置を出力するが、この輝点なくなる現象は、重心位置が瞬時に原点へ移動することで検出できる。そこで、初めて輝点なくなった後に一定時間表れるまでの間に輝点を見失った回数を数える。これが、CoBIT を隠した回数となる。

音声提供は、指向性の強い赤外 LED (指向半値角 5 度)で行った。このため、約 1.5 m 離れたユーザの位置で直径約 25 cm の範囲に広がった。また、この赤外 LED から照射されたビーム光を 2 つの鏡を用いて所望の方向へ光を反射するガルバノミラーで方向制御し、たえず CoBIT へ赤外光を照射した。

実験では、耳に CoBIT を装着したユーザが店の入口と設定した領域内に入ると、「いらっしゃいませ」という合成音声聞こえてくる。さらに、りんごがおいである近くの領域に入ると「これは、青森産のりんごです。購入されますか?」と CoBIT から音声聞こえてくる。ここで、「はい」と合図すると「ありがとうございます」、「いいえ」と合図すると「またのお越しをお待ちしております」と話しかけられ、最後にカメラ視野から出て行くと「ありがとうございました」とのメッセージが聞こえてくる。

7. おわりに

本論文では、環境やユーザが提供するエネルギーの

みで、環境側の装置およびユーザとの情報の送受信を実現する小型情報端末 (CoBIT) を用いた位置に基づく情報支援システムを紹介した。CoBIT は、無電源、小型という特長だけでなく、直感的に使用できるため、ユビキタス環境におけるユーザビリティが高い端末と考える。

今後は、音質の向上や歩行者に対する情報支援²⁴⁾ を実現し、パブボード²⁵⁾ のように他の情報提示装置との協調を行うことで計算機パワーのない端末を最大限活用する予定である。さらに、必要に応じて CoBIT 番号やユーザ属性を送出する装置を CoBIT に内蔵し、角ら¹²⁾ のシステムのような実空間における高度な情報支援を実現したい。

謝辞 本研究を行うにあたって次の方々より貴重な議論、ご協力をいただいた。(株)東芝研究開発センター森下明氏、ソフトピア渡辺博己氏、産総研宮田高志氏、野田五十樹氏、橋本政朋氏、(株)アルファシステムズ坂本和彌氏。通信総合研究所矢入郁子氏には、障害者の方への CoBIT 適応について、リーディング・エッジ・デザインの山中俊治氏には、CoBIT のデザインについてご指導いただいた。フラワーロボティクスの松井龍哉氏、サントリーミュージアムの渡邊彩子氏、After5years 実行委員会事務局の下久保重義氏、富士総研の中氏には、CoBIT を大規模に採用していただき運営面でもご協力いただいた。

参 考 文 献

- Weiser, M.: Some Computer Science Issues in Ubiquitous Computing, *CACM*, Vol.36, No.7, pp.75-84 (1993).
- Satyanarayanan, M.: Pervasive Computing: Vision and Challenges, *IEEE Personal Communications*, pp.10-17 (2001).
- Schilit, B., Adams, N. and Want, R.: Context-Aware Computing Applications, *IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*, pp.85-90 (1994).
- Nakashima, H. and Hasida, K.: Location-based communication infrastructure for situated human support, *Proc. SCI 2001*, pp.47-51 (2001).
- 島 健一: 位置情報流通のプラットフォーム, 情報処理学会誌, Vol.42, No.4, pp.362-365 (2001).
- 判澤正人, 篠田陽理子, 曲谷一成, 築島謙次, 増本優: DGPS を用いた視覚障害者用ナビゲーションシステムの開発, 情報処理学会研究会, HI68-10, pp.71-77 (1996).
- 久保田浩司, 前田典彦, 菊池保文: 歩行者ナビゲーションシステムの提案と評価, 情報処理学会論文誌, Vol.42, No.7, pp.1858-1865 (2001).
- 坊岡正之, 相良二郎, 赤澤康史: 微弱電波を用いた音声案内システムの開発, 第 11 回八工学カンファレンス講演論文集, pp.237-238 (1996).
- 伊藤啓二: ユニバーサルな視覚サイン—音声情報案内システムトーキングサインについて, 人間生活工学, Vol.2, No.4, pp.8-11 (2001).
- Want, R., Hopper, A., Falcão, V. and Gibbons, J.: The Active Badge Location System, *ACM Trans. Inf. Syst.*, Vol.10, No.1, pp.91-102 (1992).
- 角 康之, 江谷為之, Sidney Fels, Nicolas Simonet, 小林 薫, 間瀬 健二: C-MAP: Context-aware な展示ガイドシステムの試作, 情報処理学会論文誌, Vol.39, No.10, pp.2866-2878 (1998).
- 角 康之, 間瀬健二: エージェントサロン: パーソナルエージェント同士のおしゃべりを利用した出会いと対話の促進, 電子情報通信学会論文誌 (D-I), Vol.J84-D-I, No.8, pp.1231-1243 (2001).
- 栗田靖之: 「みんなく電子ガイドシステム」の開発, 国立民族学博物館『民博通信』, No.85, pp.39-50 (1999).
- 一岡義宏, 青木輝勝, 安田 浩: 赤外線簡易放送型通信を用いた都市型コミュニティ支援システム, 電子情報通信学会論文誌 (B), Vol.J84-B, No.7, pp.1299-1310 (2001).
- Bohnenberger, T., Jameson, A., Krüger, A. and Butz, A.: Location-Aware Shopping Assistance: Evaluation of a Decision-Theoretic Approach, *Proc. Mobile HCI 2002*, pp.155-169 (2002).
- Rekimoto, J. and Nagao, K.: The World through the Computer: Computer Augmented Interaction with Real World Environments, *Proc. UIST '95*, pp.29-36 (1995).
- Feiner, S., MacIntyre, B., Hollerer, T. and Webster, T.: A touring machine: Prototyping 3D mobile augmented reality systems for exploring the urban environment, *Proc. ISWC '97*, pp.13-14 (1997).
- 西村拓一, 伊藤日出男, 山本吉伸, 中島秀之: 無電源小型通信端末を用いた位置に基づく状況支援システム, 情報処理学会研究会報告, 2002-ICII-2, pp.1-6 (2002).
- 西村拓一, 向井理朗, 野崎俊輔, 岡 隆一: 動作者適応のためのオンライン教示可能なジェスチャ動画像のスポッティング認識システム, 電子情報通信学会論文誌 (D-II), Vol.J81-D-II, No.8, pp.1822-1830 (1998).
- The Photophone: The First Wireless Telephone (1880). <http://www.alecbell.org/Invent-Photophone.html>
- 岐阜物理サークル(編著): のらねこの挑戦, 新

生出版 (1996).

- 22) 光通信 (改良版) (2000).
<http://www.gijyutu.com/kyouzai/cybernetics/hikari.html>
- 23) 沼崎俊一, 森下 明, 梅木直子, 土井美和子:
 ジェスチャ入力に適した画像入力装置の提案とその3次元情報検出性能の検討, 情報処理学会論文誌, Vol.41, No.05 (2000).
- 24) 矢入 (江口) 郁子, 猪木誠二: 高齢者・障害者の自立的移動を支援する Robotic Communication Terminals, 人工知能学会誌, Vol.16, No.1, pp.139-142 (2001).
- 25) 山本吉伸: パブボード: 理想のモバイル情報環境を目指して, IPA 平成 12 年度未踏ソフトウェアプロジェクト成果論文集.

(平成 15 年 4 月 17 日受付)

(平成 15 年 9 月 5 日採録)



西村 拓一 (正会員)

1992 年東京大学工学系大学院修士 (計測工学) 課程修了。同年 NKK (株) 入社。X 線, 音響・振動制御関係の研究開発に従事。1995 年技術研究組合新情報処理開発機構つくば研究センタに出向。1998 年 NKK (株) 復帰。1999 年技術研究組合新情報処理開発機構つくば研究センタに所属。2001 年産業技術総合研究所サイバースト研究センターに所属し, 現在に至る。博士 (工学)。時系列データ検索・認識, 実世界情報支援に興味を持つ。電子情報通信学会, 人工知能学会各会員。



伊藤日出男 (正会員)

1982 年東北大学工学部電子工学科卒業。1984 年東北大学大学院工学研究科電子工学専攻博士前期課程修了。同年通産省工技院電子技術総合研究所入所。2001 年独立行政法人産業技術総合研究所に改組。サイバースト研究センターデバイス研究チーム長。ビーム偏向半導体レーザーの開発とその応用研究に従事し, 現在測位空間光通信システムに興味を持つ。IEEE, OSA, 電子情報通信学会, 応用物理学会, 日本光学会各会員。



中村 嘉志 (正会員)

1994 年神奈川大学理学部情報科学科卒業。1996 年電気通信大学大学院情報システム学研究科博士前期課程修了。1997 年同専攻博士後期課程退学。同年同研究科助手を経て, 現在産業技術総合研究所特別研究員。分散システムの研究に従事し, 現在情報支援システムに興味を持つ。IEEE, 電子情報通信学会各会員。



山本 吉伸 (正会員)

1989 年慶應義塾大学理工学部卒業。1991 年慶應義塾大学大学院理工学研究科修士課程計算機科学専攻修了。1994 年同専攻後期博士課程修了。博士 (工学)。同年通商産業省工業技術院電子技術総合研究所。2002 年~2004 年スタンフォード大学客員研究員。現在独立行政法人産業技術総合研究所主任研究員。専門はコミュニケーション論。インタフェース研究に従事。日本認知科学会, 日本心理学会各会員。



中島 秀之 (正会員)

1983 年東京大学大学院情報工学専門課程修了。工学博士。産業技術総合研究所サイバースト研究センター長。北陸先端科学技術大学院大学客員教授。人工知能, 特に知識表現, 推論等を状況依存性の観点から研究。最近はマルチエージェントならびに複雑系の情報処理とその応用に興味を持っている。認知科学会会長, ソフトウェア科学会理事, 人工知能学会会員, マルチエージェントシステム国際財団理事。主要編著書: 『知的エージェントのための集合と論理』(共立出版), 『思考』(岩波講座認知科学 8), 『記号の世界』(岩波書店), 『Prolog』(産業図書)。