

---

## インターフェイスの街角 (9)

### 実世界指向インターフェイス

増井俊之

---

---

#### 実世界指向インターフェイスとは

計算機で扱うデータは、計算機のなかにあるのが普通です。ディスプレイ上に表示される文書ファイルはその計算機のディスクに収められており、フロッピーのデータはフロッピーのなかにあるのが当然と考えられています。しかし、最近のネットワーク環境では若干状況が変化し、ほかの計算機のデータが画面に表示されることも多くなりました。とはいえ、場所は違ってデータが計算機のなかにあることに変わりはありません。

計算機の内部のデータと外部の実世界のデータや事物は感覚的にかなり異なるため、変換には各種の入出力装置が必要です。というよりも、そもそもこのような分離が明確なので「インターフェイス」という用語が使われているでしょう。

計算機内部のデータと現実の事物のあいだのギャップは、工夫しだいでかなり狭めることができます。たとえば、紙の上に式を書くと、その右側に自動的に解答が印刷されるような計算機があれば、紙の上での計算と計算機内の計算のギャップはあまり感じられないでしょう。あるいは、英単語を見ただけでその意味を教えてくれるような眼鏡があれば、計算機内の辞書を検索している感覚は薄れるのではないのでしょうか。

このように、計算機内部のデータと現実の事物のあいだのギャップを最小にすることによって、計算機を意識せずに透過的な存在として活用する手法を実世界指向インターフェイス [11] と総称します。実世界指向インターフェイスは、計算機内部の仮想世界データと計算機外部の現実世界のデータを統一して扱う手法ともいえます。

---

#### ひろがる世界

一般に使われている GUI は、計算機のなかのデータをいかにうまく扱うかという点しか考慮していません。これに対し、現実の世界のなかで計算機をどう活用すべきかという基本的な問題に対処する実世界指向インターフェイスは、日常生活により大きなインパクトを与える可能性があります。

#### 人間の能力の拡大

実世界指向インターフェイスの有力な一分野として、拡張現実 (Augmented Reality) と呼ばれる技術があります。数年前に一大ブームとなった仮想現実 (Virtual Reality) 技術は、ユーザー自身が仮想データに没入することによってデータを統一的に扱うという考え方をベースにしていました。一方、拡張現実システムは、実世界オブジェクトを計算機データで補強するという考え方にもとづいています<sup>1</sup>。

たとえば野球の試合を遠くから見ている場合には、実際に何が起きているのかが分かりにくくなります。しかし、ラジオの実況中継を聴きながら観戦すれば状況がよく把握できます。これは、無線通信技術や解説者の技量によって、人間の知覚が増強されるからです。カメラなどで選

---

<sup>1</sup> イメージベースト・レンダリング (Image-based Rendering: CG をプログラムで生成する代わりに実写画像を活用する手法) に代表される、実世界データを仮想世界で活用する技術を仮想化現実 (Virtualized Reality) と呼ぶことがあります。同様の技術を、仮想世界を拡張するための技術と捉えて拡張仮想 (Augmented Virtuality) と呼び、拡張現実と拡張仮想をあわせて複合現実 (Mixed Reality) と呼ぶこともあります。この技術については、同じ名前を冠したエム・アール・システム研究所 (<http://www.mr-system.co.jp/>) で研究が進められています。しかし、こうなると何がなんだかよく分かりませんね。

手を認識すると同時にデータベースを検索し、選手の横に該当するデータを表示しながら観戦できれば、ひと味違う楽しみ方ができるかもしれません。このように、いろいろな手法を利用して、現実世界をより便利に楽しくすることを可能にするのが拡張現実技術です。

## ウェアラブル・コンピューティング

上記の例では、計算機はユーザーの知覚能力の拡大に使われています。実生活では、人間の知覚能力を拡大/補強するために、眼鏡や腕時計のように身につける道具がひろく使われています。最近、計算機を身につけ、人間の能力をさらに広範囲に補強するためのウェアラブル・コンピューティング (Wearable Computing) が注目されています。この手法では、ユーザーが実世界のどこで何をしているかといった状況判断能力が重要になります。たとえば、各種のセンサーなどによってユーザーが夜の駅にいることが分かれば、最終電車の時刻表を提示するといったことができます。

ウェアラブル・コンピューティングのもっとも特徴的な部分は、計算機を“着る”ように使う点にあります。対象は現実世界のデータとはかぎりませんが、現実の世界のデータを有効に活用する実世界指向インターフェイスをもつもののほうがより魅力的な応用の可能性を秘めています。

## コピキタス・コンピューティング

Xerox PARC (Palo Alto Research Center) の Mark Weiser は、身のまわりに多数の計算機を配置することによって生活の仕組みを大きく変えるコピキタス・コンピューティング (Ubiquitous Computing)[7] を提唱しています。実世界に配置された多数の小さな計算機が人間の活動を陰で支えるというのが、コピキタス・コンピューティングの基本的な考え方です。これも、実世界指向インターフェイスの 1 つの実装手法と捉えることができます。このような世界では、計算機の使用形態が従来のそれとは大きく変わる可能性があります。

たとえば、電車の切符の自動券売機に関するインターフェイスを考えてみましょう。ふだんあまり使わない経路の切符を買うのは難しいものです。すこしでも簡単に買えるように、音声によるガイダンスで目的地を指定できたり、目的地を書いたラベルをボタンに貼ってあったり、あ

るいは多数の硬貨を一度に投入できるようにしてあったりと、さまざまなインターフェイスが工夫されています。しかし、各改札口で誰が通過したかを検出し、その人の口座から自動的に運賃が支払われるような仕組みになっていけば、そもそも切符を購入する必要がなく、上のような自動券売機のインターフェイスの工夫はまったく無意味になります [9]。

このように、人間の ID を計算機のデータとして扱い、あちこちの計算機で処理できるようにするだけで、本当に必要な事項(上の例では移動距離に応じた料金の支払い)の実現に必要なインターフェイスは根本的に変わってしまいます。

商品を入れるだけで値段を計算したり、必要な商品の前を通ると商品棚が教えてくれたりする“買い物カゴ”が提案されています<sup>2</sup>。これが実現すれば、買い物という作業のインターフェイスは大きく変わるはずで

---

## 要素技術

実世界指向インターフェイスを実現するためには、従来の GUI とは異なる各種の技術が必要になります。

### 認識/センサー技術

実世界指向インターフェイスでは、現実世界の状況を計算機に知らせる必要があります。

GUI の場合は、ユーザーがキーボードやマウスを用いて明示的に計算機に指令します。これに対し、実世界指向インターフェイスではユーザーや操作対象などの位置を検出したり、あるいはユーザーの触っているものを判断する認識技術やセンサー技術を駆使して、状況を認識したりユーザーの意図を読み取る手法が有効です。センサ万別(?)といわれますが、現実には以下のようなものがよく使われています。

#### • バーコード

物流管理にひろく利用されているバーコードは、実世界の事象と計算機内データを関連づけるための実世界指向インターフェイスの基本技術として手軽に利用できます。たとえば、lpr などに手を加えて文書を印刷するたびにバーコードを付けるようにしておけば、印刷出力が

---

<sup>2</sup> <http://www.klevernet.com/>

ら元のファイルに簡単にアクセスできます。

最近、非接触でデータの読み書きが可能ないわゆるデータキャリアも普及しつつありますが、ネットワーク環境が充実していればかならずしも実世界の事物にデータをもたせる必要はありません。たとえば、ただの板の上に URL を示すバーコードを貼っておき、Web 上に該当するデータを置いておけば、フロッピーディスクのようにやりとりできます<sup>3</sup>。このように、容量の小さなありふれたバーコードでも実世界指向インターフェイスのために活用することができます。

#### ●ビデオカメラ

最近、携帯計算機でも動画の取込みや解析が簡単にできるようになりましたが、カメラ画像の解析によって状況や位置が認識できます。この手法には、取り込んだ画像に計算機内のデータを重ねて表示し、拡張現実を手軽に実現できるというメリットもあります。

JAN (Japanese Article Number) コードなどの 1 次元バーコードは、低解像度のカメラではうまく認識できません。しかし、QR コードのような 2 次元バーコードであれば比較的簡単に認識できるだけでなく、バーコードの大きさを計算してバーコードの位置や距離も知ることができます。

#### ●位置認識

屋外でのおおよその位置を把握するためには、GPS や PHS が利用できます。正確な位置を知りたい場合は、磁気や超音波を用いた 3 次元位置センサーがよく使われていましたが、最近ではカメラによる画像処理だけで位置を検出する手法も利用されています。

音波を使ったり、床にセンサーを並べてユーザーのほしい位置を調べたり、バーコードや赤外線による ID で位置を示すことも可能です。蛍光灯の点滅パターンを変化させ、自分がどの蛍光灯の近くににいるのかを知ることできるかもしれません。

これらの各種のセンサーから得られる情報や時刻情報などを組み合わせれば、計算機に実世界の状況を詳しく知らせることができるようになります。

<sup>3</sup> あらゆる文書は 13 バイトに圧縮可能だという話があります。4 バイトの IP アドレスで計算機を、ファイルの位置とサイズをそれぞれ 5 バイト、4 バイトで指定すれば、世界中の文書ファイルを 13 バイトで指定できるからです。

#### 出力技術

ディスプレイ上の表示は、現実の物体とは見え方がかなり違うので、どうしても計算機データと現実の物体とのあいだにはギャップが感じられます。両者をできるかぎり同じように見せるために、カメラとヘッドマウント・ディスプレイ (HMD) を用いて現実のデータを計算機のディスプレイ上に表示したり、プロジェクタで計算機データを現実の物体の上に投影する方法がよく用いられます。今後、プロジェクタが小型化されて苦勞せずに持ち歩けるようになれば、現実の世界のさまざまな物体に仮想データを投影することによって、拡張現実がさらに身近になるかもしれません。

ディスプレイやプロジェクタでは、どうしても立体感が欠けてしまいます。しかし、プリンタ出力を組み立てて立体化するという工夫をすれば、計算機データが実物に近づいて扱いやすくなります。

#### 通信/小型化技術

実世界指向インターフェイスの実現には、携帯計算機や埋込み計算機が不可欠ですが、場合によっては膨大な数の計算機が必要になります。無線や赤外線を用いて効率的に通信するための技術や小型化技術、低消費電力技術など、携帯端末の場合と同様の技術が重要です。

#### 状況判断/予測技術

実世界の状況を判断して活用するような実世界指向インターフェイス・システムでは、状況と情報を結びつけて記憶する仕組みや、過去の知識の参照によって現状を把握し、次の動作を予測するといった予測インターフェイスの技術が重要です。

たとえば、夜の駅でいつも時刻表を調べる人がいた場合、その行動パターンを学習することによって、夜間に駅に行けば自動的に時刻表を表示する実世界対応 PDA が作れるでしょう。

---

## システムの実例

ここまでで紹介した技術を組み合わせ、数多くの実世界指向インターフェイス・システムが試作されています。計算機が遍在するか、ID を利用するか、位置情報を使用するか、実世界オブジェクトに計算能力をもたせるか、現実世界との融合を重視するか、計算機や ID が移動するか

などの違いにより、多様なシステムが考案されています。

#### コピキタス・コンピューティング関連システム

前述のコピキタス・コンピューティングの考え方は、Mark Weiserをはじめとする Xerox PARC の研究員により実験がおこなわれ、1991 年の「Scientific American」誌の記事 [6] で反響を呼びました。研究員は、Parc-Tab と呼ばれる携帯端末をつねに持ち歩きます。Parc-Tab は液晶表示、赤外線通信機能をもつ簡易 PDA のようなもので、いつ誰とどこで会ったかがつねに記録されているため、備忘録としても使えます。さらに、同僚がどこにいるか、コーヒーが入っているかといった情報もつねに把握できるので、共同作業が円滑に進められます<sup>4</sup>。

多数の計算機で個人生活を豊かにするという意味では、1980 年代後半からすでに東京大学の坂村健氏の提唱する TRON プロジェクトにおいて、“TRON 電腦住宅”の実験がおこなわれていました<sup>5</sup>。PARC の研究は共同作業の支援に重点が置かれていたのに対し、電腦住宅はもっぱら個人の生活を支援するものであったという違いはありますが、家のなかに組み込まれた自律的に機能する多数の計算機の協調によって人間の生活を豊かにするという意味で、先駆的なコピキタス・コンピューティングシステムであったといえます。

#### 机型システム

現在の一般的なオフィス環境では、机の上に書類や本などの実世界オブジェクトが水平に置かれ、机上のディスプレイに計算機オブジェクトが垂直に表示されるのが普通です。しかし、計算機の画面をディスプレイではなく、(プロジェクタを使って)机の上に投影すれば、計算機のデスクトップと実世界のデスクトップが同じ感覚で扱えます。また、机上の実世界オブジェクトをカメラで認識し、書類などの実世界オブジェクトやユーザーの手の動きなどを計算機データとして扱うこともできるでしょう。このように、机上で計算機データと実世界オブジェクトを融合して使えるようにした各種の机型実世界指向インターフェイス・システムが提案されています。

4 欧米の共同作業支援 (CSCW: Computer-Supported Cooperative Work) に関する研究では、“同僚がどこで何をしているかを知る”技術について、さかんに議論されています。大部屋のオフィスではほとんど問題にならないのですが……。

5 [http://www.um.u-tokyo.ac.jp/DM\\_CD/DM\\_TECH/BTRON/PROJ/HOUSE.HTM](http://www.um.u-tokyo.ac.jp/DM_CD/DM_TECH/BTRON/PROJ/HOUSE.HTM)

図 1 DigitalDesk



図 2 InfoBinder



Pierre Wellner による DigitalDesk[8]<sup>6</sup>は、このような“机もの”の先駆的なシステムです。机の上にプロジェクタとカメラが設置してあり、机の上の紙や指をカメラで認識しつつ画面をプロジェクタから投影します。図 1 は、紙の上に印刷された数字の列を指で指定してカメラに認識させ、計算の結果を右側の電卓アプリケーションに投影しているところです。紙の上に印刷されたデータと計算機内部のデータが融合している様子が分かります。

玉川大学の椎尾一郎氏による InfoBinder[5]<sup>7</sup>も、机上で実世界指向インターフェイスを実現するシステムです(図 2)。机上に投影された仮想データは実物データにくらべると手応えがなく、操作も難しいので、紙ばさみやマウスと同様に動く“InfoBinder デバイス”(左手に持っているもの)を指代わりに使って、仮想データを移動させたり、閉じて別の実物に格納できるようになっています。

日立製作所の荒井俊史氏による InteractiveDESK[1]も机上に投影した計算機画面をペンで操作するシステムですが、ユーザーがキーボードを机上に置いた場合は、自動的に机の代わりに前面のモニターが使えるようになるといった工夫が加えられています。

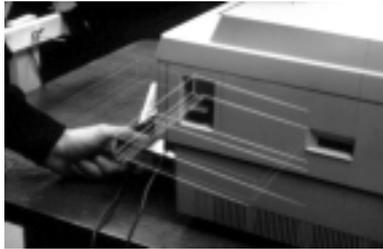
6 [http://www.rxrc.xerox.com/research/cms/directint\\_8.htm#HEADING7](http://www.rxrc.xerox.com/research/cms/directint_8.htm#HEADING7)

7 <http://fig.ele.eng.tamagawa.ac.jp/~siio/projects/info-binder/>

図 3 KARMA



図 4 KARMA ユーザーに見える画像



### KARMA

拡張現実を実現した初期のシステムとして、Columbia 大学の Steven Feiner らが開発した KARMA システム [2] が有名です<sup>8</sup>。

図 3 は、透過表示型の HMD を装着したユーザーがプリンタに関するヘルプを参照しているところです。HMD とプリンタの各部に 3D 位置トラッカが装着され、それらの位置関係が分かるようになっているので、実画像の上に CG 画像を重ねて表示することができます (図 4)。

### NaviCam

ソニー CSL の暦本純一氏の開発した NaviCam[4]<sup>9</sup> は、カメラを備えた携帯計算機を用いて、現実の画像の上に仮想データを重ねて表示するシステムです。端末画面には、ふだんはカメラで撮影した映像が映っていますが、実世界に貼りつけられたバーコードをカメラが認識すると、計算機に収められた関連情報が重ねて表示されます。

図 5 は初期の NaviCam の写真で、絵の上に貼りつけられたバーコードをカメラが認識することにより、その絵についての詳しい情報が画像と重ね合わされて表示されています。

図 6 は、新しいバージョンの NaviCam に表示される

8 <http://www.cs.columbia.edu/graphics/projects/karma/karma.html>

9 <http://www.csl.sony.co.jp/person/rekimoto/navi.html>

図 5 NaviCam



図 6 NaviCam による位置認識

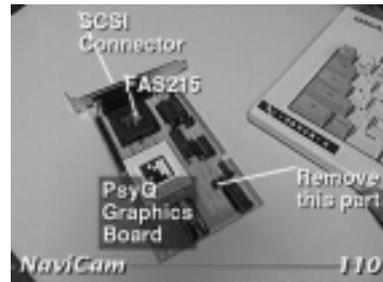


図 7 MetaDesk



画像です。2次元のバーコードを認識している点は同じですが、正方形のバーコードの歪み具合から実際の位置や傾きを検出してバーコードとカメラの位置関係を算出し、周辺の点の位置も計算して CG 画像をつねに正しい位置に重ねて表示することができます。前述の KARMA とは違って 3次元位置検出装置が要らず、位置合せのための微調整も不要な点が特徴です。

### Tangible Bits

MIT の石井裕氏は、人間が触覚的感覚で計算機内のデータ(ビット)を把握できるような実世界指向インターフェイスとして、“Tangible Bits”[3]<sup>10</sup>という概念を提唱し、各種のシステムを試作しています。

図 7 は MetaDesk というシステムで、プロジェクトから机上に背面投射された地図を、建物などに似た形状の物理的アイコン(Phicon: Physical Icon。図 8)を使って

10 <http://tangible.media.mit.edu/>

図 8 Phicon の例

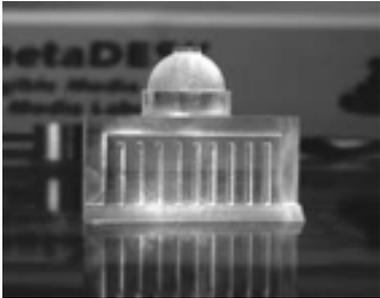


図 9 Ping Pong Plus



操作しているところです。MIT の 1 つの建物をかたどった Phicon を机の上で動かすと、その Phicon の位置がシステムに認識され、建物が地図上の正しい位置に移動するように表示が変化します。

Ping Pong Plus( 図 9 )では、卓球台の上にプロジェクタで画像が投影できるようになっています。玉が台に当たった位置は、台に取り付けられたマイクで検出します。この図からも分かるように、玉が台に当たった位置に波紋を表示しておもしろい雰囲気を出しています。

簡易実世界指向インターフェイスを備えた製品

簡単な実世界指向インターフェイスは、次のような製品でも使われています。

●CrossPad

老舗の筆記具メーカー Cross は、「CrossPad」<sup>11</sup> という端末を販売しています( 図 10 )。携帯型ペンタブレットに紙のノートを重ねたようなもので、紙の上にペンで

11 <http://www.cross-pcg.com/products/crosspad/pad.html>

図 10 CrossPad



書いたデータを電気的にも記録しておき、あとで PC に転送できるようになっています。紙に書いてからスキャナで撮っても同じことができそうですが、実世界データと計算機データを同時に生成している点が興味深いところ。いつどこで何を書いたかという情報まで記録できれば、さらにおもしろい応用が可能でしょう。

●SmartPaper

TV Interactive は、紙に触れるだけで赤外線コントロールができる「SmartPaper」という技術を開発しています<sup>12</sup>。この「紙」には小型の圧力センサー、電池、赤外線発光部などが内蔵され、TV 番組表などに応用すれば、観たい番組の部分に触るだけでチャンネルを変更したり、録画予約をしたりといったことができます。

●自動ドア

あちこちのビルのなかであり、人間の位置を認識し意図を理解して補助動作をおこなうという意味で、きわめて優れた実世界指向インターフェイス・システムだといえる……と思います。

●Lovegetty

異なる意図をもちつつ移動するユーザー間の協調作業を支援する、もっともホットな実世界指向/ウェアラブル・システム……かもしれません。

なんでもかでも実世界指向インターフェイスだといっているように思えるかもしれませんが、なんらかのセンサーを使っているインターフェイス装置は、すべて実世界指向インターフェイスの一種だと解釈してもそう間違っていないでしょう。

---

## 今後の課題

実世界指向インターフェイスはまだまだ発展途上の技術

12 <http://www.mabikai.mbc.ntt.co.jp/tviq/index.htm>

です。さらに優れたセンサーや入出力装置、通信方式、小型化などが必要なのはもちろんですが、それら以外にも将来は以下のような点が問題になってくるのではないのでしょうか。

- 多数の計算機や ID の管理

計算機や ID を本当に“コピキタス”にすると、それらが増えすぎて管理不能になるおそれがあります。組込み計算機の信頼性向上や、適切な ID 管理手法がきわめて重要になってくるでしょう。

- プライバシーの保護

周囲の計算機が面倒をみてくれるのはいいとしても、自分がいつどこで何をしたかをすべて知られるのは気持ちのいいものではありません。プライバシーを保てるように、なんらかの仕組みを作る必要があるでしょう。

将来の実世界指向インターフェイスについては、以下のようなアイデアが考えられます。

#### 実世界指向プログラミング

文字列のパターンマッチなどのテキスト処理プログラムには Perl のようなテキストベースの言語が便利ですし、GUI 画面などのビジュアルなものをプログラムにするにはインターフェイス・ビルダのようなビジュアル・プログラミングが有効です [10]。同様に考えると、実世界指向インターフェイスのプログラムを作るには、実世界のパターン・マッチング( 駅に近い、午後 5 時ごろ、…… )をおこなったり、実物をプログラミング要素として使う実世界指向プログラミングが有効かもしれません。たとえば、バーコードを認識したときになんらかのアクションを起こすプログラムを作りたい場合、そのバーコードの近くまで物を持っていき、アクションを指示するようにすれば具体的に分かりやすいでしょう。場所や人間のようにプログラムで直接扱いにくいものについては、地図や人形で代用することも考えられます。たとえば、地図上に人形を置いて時計で時刻を示すことにより、その人がある時刻にその場所にいるという状況をプログラムに与えることができます。

#### 実世界データと仮想世界データの相互変換

計算機内のデータを実世界オブジェクトに変換するための装置はあまりなく、現在のところ手軽に使えるのはプリンタぐらいしかありません。文書や画像はプリンタで簡単

に実物化できますが、それ以外のデータはあまり実物化されることはないようです。最近では PDF などによるペーパークラフトが流行っていますが、計算機データを簡単にペーパークラフト化できれば実世界と仮想世界のギャップがさらに狭まるでしょう。オンデマンドで本を印刷する試みも進められている<sup>13</sup>ようですから、仮想データの実物化技術は意外に速く進んでいくのかもしれない。

実世界オブジェクトと計算機データを手軽に変換できれば、これほど嬉しいことはありません。本も CD もビデオも新聞も写真も手紙も地図もテレビもステレオも電話帳も捨て、計算機データに一本化できれば家のなかがすっきり片づくように思います。

---

## おわりに

計算機は、今後もますます増え続け、目に見えない場所で透過的に使われていくでしょう。その意味でも、実世界指向インターフェイス技術がさらに重要になっていくことは間違いありません。機械が置いてある場所まで出向いて使う現在のデスクトップ計算機の利用形態は、置いてある場所まで足を運ばなければ本を読めなかった古代的状况に似ています。いずれは、そんな時代があったなどとは信じられないと、誰もが思うようになるのかもしれない。

現代の自動車や家電製品のなかには、無数のモーターが組み込まれています。しかし、モーターが普及し始めた当初は、現在のパーソナル・コンピュータと同じように「これ 1 台ですべて OK のホームモーター」という製品が宣伝されていたそうです。計算機が現在のモーターと同様の存在になる時代には、実世界指向インターフェイスなどという概念も言葉も消滅していることでしょう。

切符の自動券売機の例にあったように、操作の無意味な複雑さを解消するために実世界指向インターフェイスが利用される場面はまだまだありそうです。たとえば、あらゆる TV 局の番組をすべて録画するデッキがあれば、煩わしいビデオ予約インターフェイスは不要になるはずです。

インターフェイスを設計するときは、既存の手法に惑わされることなく、本当にしたいことを実現するのに最適な方法は何かをつねに考えることが重要でしょう。

---

<sup>13</sup> <http://www.hotwired.co.jp/news/news/business/story/832.html>

実世界指向インターフェイス関連の詳細な情報については、<http://www.csl.sony.co.jp/project/ar/ref.html>を参照してください。

(ますい・としゆき ソニー CSL)

[参考文献]

- [1] Toshifumi Arai, Kimiyoshi Machii, Soshiro Kuzunuki and Hiroshi Shojima, "InteractiveDESK: a computer-augmented desk which responds to operations on real objects", *CHI'95 Conference Companion*, pp.141-142, Addison-Wesley, May 1995
- [2] S. Feiner, B. MacIntyre, M. Haupt and E. Solomon, "Windows on the world: 2d windows for 3d augmented reality", *Proceedings of the ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST'93)*, pp.145-155, ACM Press, November 1993
- [3] Hiroshi Ishii and Brygg Ullmer, "Tangible bits: Towards seamless interfaces between people, bits and atoms", *Proceedings of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'97)*, pp.234-241, Addison-Wesley, April 1997
- [4] Jun Rekimoto and Katashi Nagao, "The world through computer", *Proceedings of the ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST'95)*, pp.29-36, ACM Press, November 1995
- [5] Itiro Sio, "InfoBinder: A pointing device for virtual desktop system", *Proceedings of HCI International '95*, pp.261-264, Elsevier Science, July 1995
- [6] Mark Weiser, "The computer for the twenty-first century", *Scientific American*, pp.94-104, September 1991 (邦訳: M. ワイザー「21世紀のコンピューター」, 日経サイエンス, 1991年9月号(『別冊日経サイエンス105 コンピューターネットワーク』に収録))
- [7] Mark Weiser, "Some computer science issues in ubiquitous computing", *Communications of the ACM*, Vol. 36, No. 7, pp.75-84, July 1993
- [8] Pierre Wellner, "Interacting with paper on the DigitalDesk", *Communications of the ACM*, Vol. 36, No. 7, pp.87-96, July 1993
- [9] 小島啓二「ビジュアルインタフェースの研究動向と応用」, pp.168-175, 『bit 別冊』, 共立出版, 1996年2月
- [10] 増井俊之「ビジュアルプログラミングのすすめ」, bit, 1998年1月号
- [11] 磨本純一「実世界指向インタフェースの研究動向」, コンピュータソフトウェア, Vol.13, No.3, pp.4-18, 1996年3月