



特集

# 実世界 インタフェースの 新たな展開

## 編集にあたって

増井俊之 慶應義塾大学環境情報学部

### 実世界インタフェースとは

計算機の使われ方は近年大きく変化してきた。初期の計算機は、名前のとおり数値計算を行う用途がほとんどであり、一部の人間が特定の場所で特殊な

装置を使うものであったが、パソコンの出現によって一部の人間という制約がなくなり、その後の計算機の小型化によって場所の制約もほとんど消滅した。将来はさまざまな面から人間生活を支援するためにあらゆる場所で計算機が利用されていくと考えられ、

計算機と柔軟な対話を行うための新しいインタラクション手法が提案されてきている。実世界で計算機が利用される幅広い状況に適した入出力手法を使って計算機と対話するユーザインタフェースのことを**実世界インタフェース**と呼ぶ。

人間の存在を検出するセンサ、ドアを開けるアクチュエータ、それらを結び付ける処理装置を適切に組み合わせた自動ドアは、よくデザインされた実世界インタフェースの好例である。人間が部屋やビルに入りたいという意図とドアに近づくという行動は関連が明白であるため、ドアに近づくとドアが開くという機能は分かりやすく便利であり、一度利用すれば使い方を忘れることがない。一度体験すると忘れにくく、直感的に利用し続けることができるような操作手法をユーザインタフェースの**イディオム**（慣用語）と呼ぶ。デザインの工夫により、実世界インタフェースにおける優れたイディオムを実現することが可能になる。

## 実世界インタフェースの歴史

機械や道具は実世界で利用されるのが当たり前だったが、計算機では記憶装置内やネットワーク上のデータのみを扱う時代が続いていたため、計算機内部のデータと計算機の外の世界が直接やりとりするということは少なかった。一方、センサ情報を利用して装置を制御する CPU がさまざまな装置に組み込まれてきたが、それらは裏方として動作することがほとんどで、直感的なインタフェースを実現するためにセンサ技術を利用するという発想は欠けていた。初期の計算機ではプログラムを作成するにも実行するにもスイッチやキーボードのような装置を利用するのが当然と考えられており、ユーザの意図を操作にマッピングすることが困難であるにもかかわらず、そのような装置を活用できる者が専門家であると考えられていた。このような認識は妥当なものではなく、実世界で慣れた行動に似た操作を計算機上で利用できる GUI (Graphical User Interface)こそが直感的なインタフェースであると

いう考えが主流となったことにより、実世界における直感的な操作をサポートする実世界インタフェースが受け入れられる素地ができたといえるであろう。

現実世界の情報をそのまま計算機で扱ったり、見えている情報に計算機内の情報を付加したりすることによって計算機内部の情報と現実世界の状況に関連づけようというさまざまな試みが開発され利用されてきた。MITの石井裕は計算機内の情報と実世界の事物を融合するという思想を「Tangible Bits」<sup>☆1</sup>と名付け、その思想に基づいたシステムを大量に試作して大きな影響を与えた。一方、計算機の小型化／高性能化により、計算機をどこでも利用しようとするモバイルコンピューティングや、あらゆる場所で計算機資源をさりげなく利用できるにしようというユビキタスコンピューティングの考え方が普及したことにより、実世界で計算機を利用することの意義が広く認識されてきた。これらの結果、計算機が利用される実世界環境において、その状況を最大限に活用するための実世界インタフェースの考え方がアーキテクチャ<sup>☆2</sup>として浸透してきたといえるだろう。

## インタフェースと抽象思考

間接的な操作や抽象的な思考が必要な機械は使いにくくなりがちだが、実世界インタフェースによってこれが解決することがある。パソコンからプリンタに印刷を行う場合、通常はプリンタの名前を指定したりリストから選択したりする必要があるが、意図と異なるプリンタが指定されているのに気づかず印刷に失敗してしまうことがある。これは名前を使って間接的な指示を行っていることが原因であり、実世界インタフェースを利用して目の前のプリンタを指し示したり触ったりして指定する場合はこのような問題は起こらない。

☆1 <http://doi.acm.org/10.1145/258549.258715>

☆2 中西：「アーキテクチャとインタラクションデザイン」

Suica<sup>☆3</sup>の導入によって電車に乗る手間が激減したことは記憶に新しい。電車に乗るために切符を買うことは必須の手続きだと従来は考えられていたが、切符の利用と乗車行動に直接の結びつきはないため両者の間のマッピングの理解が必要なうえに、路線図を理解して運賃を調べる手間、券売機に現金を投入して切符を買う手間、紛失しないように切符を保持する心理的負担、などのさまざまな負担を利用者に強いていたことになり、Suicaという実世界インタフェースの採用によってこれらの負担が激減したことは大きな意義があったといえるだろう。数字や文字をまったく読めない人でもSuicaを利用できる点も注目に値する。

抽象的思考やシンボルによるマッピングが必要なインタフェースは世間に蔓延している。たとえば店舗での会計作業では、金額を表現する数字と硬貨／紙幣との相互変換が常に必要であり、作業者にとって隠れた負担となっている。障害者用として開発されているレジでは、数字を表示するかわりに具体的な紙幣や硬貨の写真で金額が表現されるためこのような変換が不要になっている。インタフェースを実世界的なものに変えることによって直感的なインタフェースが実現されていることになる。車のハンドルを右に回せば車は右に進むようになっているが、「右に20度」のようなコマンド入力が必要であれば誰も運転できないであろう。実際の車の動きと直結した具体的な入力インタフェースの提供によって運転しやすい車が実現されていることになるが、不適切なマッピングをユーザに強いているケースはまだ多い。優れた実世界インタフェースシステムは直感的なイディオムを提供しており、システムの存在が意識されることなく誰もが利用できるようになってきている。センサやアクチュエータを適切に利用することによってユーザの身体的感覚にマッチした実世界インタフェースが実現できる<sup>☆4</sup>。



## 実世界インタフェース実現のポイント

優れた実世界インタフェースシステムを実現するためには各種のセンサやネットワークとそれらを結合する計算機とソフトウェアが必要になるが、近年はこれらの利用が容易になり、さまざまな実世界インタフェースを手軽に実験することが可能になっている。ネット上に存在する大量のユーザの持つデバイスや集合知を利用することによって、以前の大きなプロジェクトに匹敵する大規模な実験すら可能になりつつある<sup>☆5</sup>。

### ▶ 手軽なハードウェア

小型パソコンや携帯端末の普及に加え、それらに簡単に接続して利用できるセンサやワンボードマイコンが手軽に入手できるようになってきている。Phidgets Inc.<sup>☆6</sup>はパソコンのUSB端子に接続可能な各種のセンサやアクチュエータと汎用入力ボードを安価に販売しており、実世界の情報をパソコンで読み出したリサーボモータで実世界のものを制御したりできる。Arduinoプロジェクト<sup>☆7</sup>は回路やソフトウェアを完全公開したワンボードマイコン「Arduino」を開発／販売している。パソコン用の手軽な統合開発環境であるProcessing<sup>☆8</sup>と同じインタフェースを持つ「Arduino IDE (Integrated Development Environment)」が配布されており、これを利用すると単体で動作する組込みシステムをC言語で簡単に開発することができる。mbed.org<sup>☆9</sup>はブラウザ上でソフトウェアの開発が可能なワンボードマイコン「mbed」を販売している。ハードウェア

☆3 2001年にJR東日本が運用開始した、プリペイド式の非接触式ICカード。

☆4 飯塚他：「身体性に基づく実世界インタフェース」

☆5 味八木他：「集合知センシングによる実世界インタフェース」

☆6 <http://www.phidgets.com/>

☆7 <http://www.arduino.cc/>

☆8 <http://processing.org/>

☆9 <http://mbed.org/>

ア技術を持たなくても手軽に利用できるこのようなシステムが手軽に入手できるようになったことにより、実世界インタフェースのプロトタイプを作成することが劇的に容易になった。実世界インタフェースのさまざまなプロトタイプの試作を繰り返すことによってより優れたシステムが開発される可能性が高まると考えられる。

### ▶ 手軽なソフトウェア

前述の Arduino は Arduino IDE を利用したプログラム開発が可能であり、mbed はブラウザ上の IDE でプログラム開発が可能なのでソフトウェア開発環境をインストールする必要すらなくなっている。Phidgets は Java, Perl などの言語を利用して手軽に利用することが可能であるうえに MobiServer<sup>☆10</sup> のようなシステムを利用することによって TCP/IP 経由で統一的にアクセスが可能であり、任意の言語で利用することができる。無料で使いやすい開発システムにより、実世界インタフェースのプロトタイプ製作がきわめて容易になっている。

### ▶ 手軽なネットワーク

ネットワーク環境が充実してきた現在、センサで取得した実世界の情報はネットワーク上の別の計算機と簡単に通信して交換することが可能になっている。異なる計算機との通信では共通のプロトコルを利用する必要があるが、影響力のある Web サービスのプロトコルが標準的に利用されることが多くなった結果、異なるサービスを接続して利用する「マッシュアップ」が容易になり、実世界のセンサ情報をもとに通常の Web サービスと通信したり、人間の操作の代わりにセンサ情報を利用したりする利用法が広まってきている。特に、近年ユーザが急増している twitter<sup>☆11</sup> 上で実世界の事物が発言するシステムが増えている。地震情報アカウント<sup>☆12</sup>、気象センサアカウント<sup>☆13</sup>、ダム貯水量報告アカウント<sup>☆14</sup> など、各種の有用な実世界情報が twitter を通じてネットワーク上に提供されているし、研究室の状況を報告する

アカウントやコーヒーマーカの状態を報告するアカウント<sup>☆14</sup> など、個人的な実世界情報を twitter 上で発言するさまざまなアカウントも広く利用されている<sup>☆15</sup>。インターネットの黎明期、研究室のコーヒーマーカの状態を遠方からチェックできる「インターネットコーヒースerver」が注目を集めたことがあったが、前述のようなハードウェア/ソフトウェアが手軽に利用できるようになった現在、コーヒーマーカの状態を twitter 上で発言するようなシステムはわずかな手間で見ることが出来る。

### ▶ Poor Man's UbiComp

手軽に入手できる携帯端末やセンサなどを利用して実世界インタフェースを実現する試みを筆者は「Poor Man's UbiComp<sup>☆16</sup>」と呼んでいる。ユビキタスコンピューティングの考え方の有効性を実証するため、センサを多数設置した実験室や実験住宅において多くの実験が行われてきた。このような実験では未来への可能性を感じることができた反面、ユビキタスコンピューティングの実現は大変だという印象が感じられたのも事実である。現在は、入手が容易なシステムを組み合わせるだけでもある程度有効なユビキタスコンピューティングは可能であり、家庭における実世界インタフェースの普及をはかることが重要だと考えている。

計算機の専門家のみがインターネットを利用して来た時代はネットの利用形態は比較的限られていたが、Web の発明によってさまざまな分野の人々がネットを利用するようになってから劇的にネットの利用形態が広がった。センサやネットワークの利用が一般に認知されつつある現在、実世界インタフェースの普及に拍車がかかりつつあると予想できる。

☆10 <http://mobi ubiquitous.com/mobiserver/>

☆11 <http://twitter.com/>

☆12 [http://twitter.com/eq\\_jp](http://twitter.com/eq_jp)

☆13 [http://twitter.com/mebius\\_sensor](http://twitter.com/mebius_sensor)

☆14 <http://twitter.com/sameurabot>

☆15 垂水：「ソーシャルメディアと実世界」

☆16 UbiComp は Ubiquitous Computing の略。

## 実世界インタフェースの用途

近年は計算機インタフェースに関する研究発表の多くが実世界インタフェース関連のものとなっており、マウスやキーボードのような標準的な入出力装置のみを利用したシステムの提案は年々減少している。現在のパソコンなどにおける入出力手法が理想的だというわけではないが、実世界インタフェースの実現が容易になったのに対し、実世界におけるインタフェース手法がまだまだ発展途上であることが原因であろう。以下のような実世界インタフェースシステムの研究が盛んに行われている。

### ▶ 拡張現実 (Augmented Reality)

見えている世界の上に計算機情報を重畳するというアイデアはさまざまな映画や漫画でおなじみであり、これを実現するための各種の技術が長年研究されている。ユーザが知覚できる現実の情報にそれを拡張する情報を加える技術はすべて拡張現実と呼べるはずであるが、ユーザが見ているものの上にコンピュータグラフィクス画像を重ねる技術が拡張現実と呼ばれるのが一般的である。このような狭義のARを手軽に実現することができるAR Toolkit<sup>☆17</sup>が広く利用されるようになったため現在ARは一般に広く認知されるようになっており、実世界インタフェース研究の大きな一分野となっている。

### ▶ 机上のインタフェース

Pierre WellnerによるDigitalDesk<sup>☆18</sup>の提案以来、机の上に表示した計算機情報と机の上でのユーザ操作を統合する数多くの試みが行われている<sup>☆19</sup>。

### ▶ 家庭のインタフェース

家庭で過ごす時間は長く、くつろいだ環境でコミュニケーションを行ったり各種メディアを楽しんだり家事の面倒を軽減したりするための各種の実世界インタフェースシステムが研究されている<sup>☆20</sup>。計算機を日常的に利用するために解決すべき問題は多い。たとえば台所、風呂、トイレのような苛酷な環

境において誰もが計算機を有効に利用できるようにするためには、ロバストな実装や優れたインタラクションデザインが必要になるだろう<sup>☆21</sup>。

### ▶ 人間の拡張

人間の能力を増強したり欠点を排除したりすることは計算機利用の究極の形態であると考えられる。このためには人間の外部にある計算機を利用するのが一般的であるが、常に計算機を身につけて利用する「ウェアラブルコンピューティング」や計算機を体に埋め込んでしまうサイボーグ的システムの研究も行われている<sup>☆22</sup>。

### ▶ 触覚フィードバック

計算機内の情報の性質を直感的に体で感じられるようにするためのさまざまな触覚提示システムが研究されている。

### ▶ ユニバーサルデザインからのアプローチ

誰もが使えることを目標として機械を設計する場合、具体的で直接的な実世界インタフェースが最善の選択となることが多い前述の「障害者用レジ」は実世界インタフェースに基づいた優れたユニバーサルデザインの例といえるだろう。

### ▶ エンタテインメント

優れたGUIは手品と似たところがあるように、優れたインタフェースはエンタテインメントと相性が良いと考えられる<sup>☆23</sup>。

### ▶ 位置情報利用

位置情報を利用したWebサービスが近年注目されており、それを活用したさまざまな実世界インタ

☆17 <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/>

☆18 <http://doi.acm.org/10.1145/159544.159630>

☆19 小池:「テーブルトップインタフェース」

☆20 椎尾:「家庭のユビキタスコンピューティング」

☆21 安村:「日常生活のインタラクションデザイン」

☆22 福本:「ウェアラブルインタフェース&センシング」

☆23 宮下:「エンタテインメントコンテンツと実世界インタフェース」

フェースの研究が行われている。

### ▶ 共同作業支援

計算機を共同作業の支援に利用しようとする CSCW (Computer-Supported Cooperative Work) の研究が長年にわたって続けられている。Wiki や SNS のような Web 上での共同作業をサポートするシステムが普及してきているが、より将来的なテーマとして、実世界での共同作業までも支援する研究が行われている<sup>☆24</sup>。

## 実世界インタフェースの展望

将来の計算機インタフェースは大部分が実世界インタフェースになると考えられるが、実用的な実世界インタフェースの実現には課題も多い。現在大きな課題となっているテーマを以下に述べる。

### ▶ 標準的なイディオム

車を右に進めたいときは丸いハンドルを右に回し、データの内容を調べたいときはデスクトップのアイコンをクリックするなど、自動車やパソコンのように普及した機械の場合その操作インタフェースはほとんど標準化されているのに対し、実世界インタフェースの操作イディオムはまだ決定的なものが存在しない。アイコンやメニューの発明から始まり、さまざまな発明と淘汰が繰り返された結果としてパソコンの GUI 画面が決まったのと同じように、風呂や台所で利用できる実世界インタフェースのイディオムが決まってくることは間違いないと考えられるが、今のところ標準となる強力な候補はまだ存在せず、淘汰の対象となるアイデアも不足している。

### ▶ 実世界の認証技術

書店の検索端末やデジタルサイネージなど、公共の場所に置かれた情報端末において個人的な情報を

利用する機会が増えてくると思われるが、ユーザを特定するためには何らかの認証が必要になる。この場合、標準的な認証デバイスを利用するか、人間の能力や記憶に基づく個人認証手法を利用する必要があるだろう。携帯電話や Suica のように個人と対応づけられた装置を利用したり、ユーザ名やパスワードで認証を行うといった方法が現在すぐ利用できるが、認証装置をいつも持ち歩いているとは限らないし、パスワードは忘れやすく入力が面倒だという問題がある。また、個人に対応づけられた ID をいつも利用していると行動履歴や嗜好などが漏れてしまう危険がある。個人を特定することなく、プライバシーを保ちながら実世界においてある程度のカスタマイズを行うことができるような簡単な識別手法が必要になってくると考えられる。

### ▶ 実世界のテキスト入力

キーボードが使えない環境でテキストを入力する必要がある場合、パソコンと同じようなテキスト入力システムを利用するのは効率が悪いので、携帯電話などで採用されているような各種の予測入力手法を利用することが適当だと思われる。このとき、実世界のコンテキストや個人情報を利用するとより効果的である。街角でコーヒー店を検索するとき最も近い店舗が優先的に表示されたり、書店で本を検索しようすると購入予定の本が優先的に表示されたりすると便利だろう。入力と検索を融合する手法や、簡単な個人識別を利用したカスタマイズ手法を実世界インタフェースと融合する技術が望まれる。

.....

実世界インタフェース技術はこれからの計算機利用において最も重要な技術の1つである。本特集が、ユニバーサルでユビキタスな計算機環境を実現するための一助となれば幸いである。

(平成22年6月8日)

<sup>☆24</sup> 角:「体験メディア:グループ活動の文脈に埋め込まれた実世界メディア」