



# 実世界指向インタフェース ー実空間に拡張された直接操作環境ー

ソニーコンピュータサイエンス研究所 暦本 純一  
rekimoto@acm.org

## はじめに

過去30年間にわたるヒューマンコンピュータ・インタラクション研究の流れをみていくと、その根幹に「直接操作 (direct manipulation)」と呼ばれる考え方があることに気づく。対話型グラフィックシステムの元祖として名高いSutherlandの“Sketchpad”システムでは、ディスプレイ上に表示された図形情報をライトペンで直接的に操作するインタフェースを備えていた。たとえばライトペンによって図形をドラッグする操作などが発案された。この革新的な研究は、EngelbertのNLS<sup>2)</sup> (マルチウィンドウ・ハイパーテキスト・マウスの発明) やゼロックスパロアルト研究所におけるAlto等の研究を経て今日のコンピューティングスタイルの基盤へと発展した。

メリーランド大学のShneidermanは、直接操作インタフェースの特徴を図-1の4点として挙げている。すなわち、直接操作インタフェースでは、コンピュータスクリーン上に現実世界を模した仮想世界を構築し、利用者に現実世界での操作感覚 (物を直接指し示し、手でつかんで移動させるなど) を模した対話技法を提供する。仮想世界は必ずしも現実世界の忠実な再現とは限らず、デスクトップ・メタファのようにある現実世界の要点が様式化されたものを含んでいる。

一方、最近のコンピューティング環境を考えると、ユーザインタフェースの対象はスクリーン上の世界に

は限定されなくなっている。モバイル・コンピューティングやユビキタス・コンピューティングという用語に示されるように、我々のコンピューティング環境では複数の異なるタイプのコンピュータ (群) を組み合わせて利用するスタイルに移行しつつある。また、携帯電話や情報家電など、多様な形態の「コンピュータ」が使われるようになってきている。

ところが、こういった新しいコンピューティング環境では、直接操作インタフェースの原理が必ずしも守られていないのが現状である。たとえば、訪れた会議室のコンピュータに、自分のプレゼンテーションデータをコピーするシーンを考えてみよう。自分の目の前にあるコンピュータであるにもかかわらず、接続するためには相手の機器アドレスを知る必要がある。また、接続対象ごとに異なった方法での操作を強要されるかもしれない。いわば、コマンド指向時代のインタフェースに逆行しているといえるだろう。このように、モバイルでユビキタスなコンピューティング環境は潜在的にユーザインタフェースをより複雑化する可能性を持っている。現実世界の模倣としての存在であったスクリーン上の世界 (仮想世界) と、現実世界とが分離していることに問題の原因がある。これを解決するためには、直接操作の原理に加えて、以下の原則を考慮する必要があるのではないかと考えている。

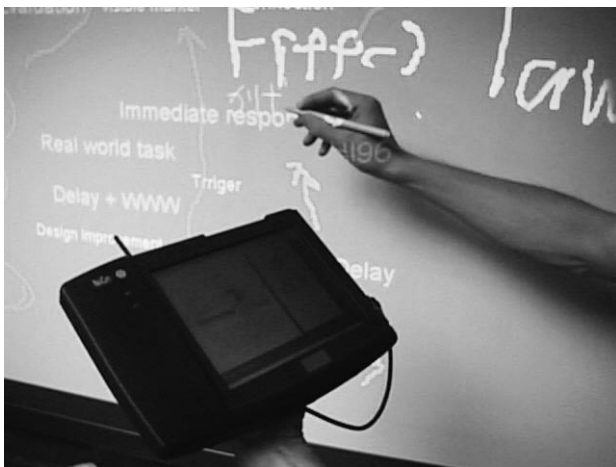
- 操作世界の視覚的表現 (メタファ)
- 迅速・逐次的かつ可逆な操作
- タイピング操作になりにかわる指示 (ポインティング) と選択 (セレクション) 操作
- 操作結果の即時的な視覚化

図-1 「直接操作」の定義 (Shneiderman<sup>1)</sup>による)

- 現実世界の行為とコンピュータ世界の反応の一致：現実世界での自然な行為 (たとえば機器を指し示す、物体を持ち上げるなど) が仮想世界への適切な指令として解釈される。
- 複数の機器を組み合わせた操作の支援：利用者の作業が複数の機器に関与する場合でも複雑性が増加しない。また複数の機器を積極的に組み合わせることでより効果的に作業を達成することができる。
- 仮想物体 (アイコン等) と現実の物体・コンテキストとの連携：コンピュータスクリーン上の情報と現実情報との自然な関連づけを支援する。

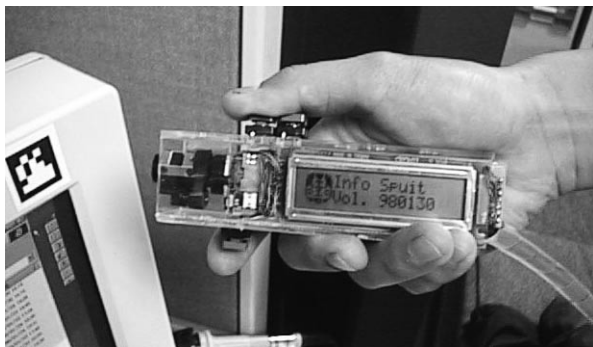


(a) アイコンをコンピュータ間で直接的に移動



(b) 携帯型コンピュータを電子白板のパレットとして利用

図-2 Pick&Dropによる情報操作



(印刷情報によってテレビ映像を制御)

図-3 InfoPoint : 実世界におけるPick&Dropの応用例

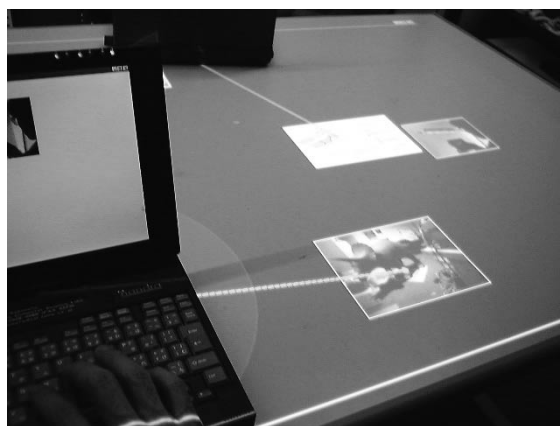
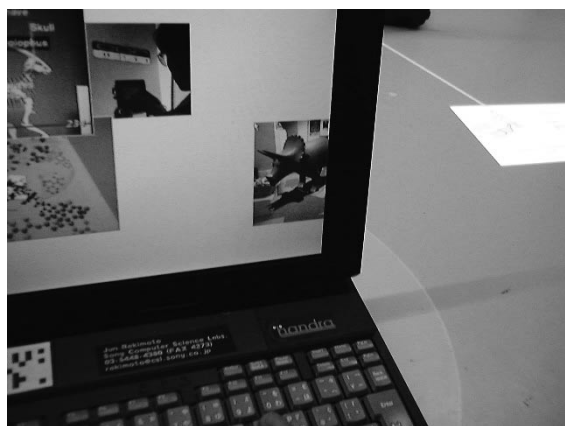
以下では、実空間において直接操作インタフェースを可能にする種々の試みについて紹介する。

### Pick&Drop : デジタル情報の現実空間での直接操作

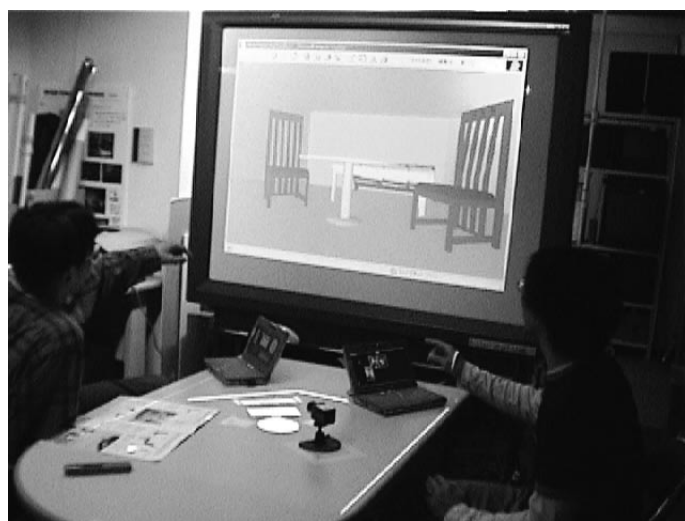
Pick&Drop<sup>2)</sup>は、GUIの対話技法としてよく用いられる「ドラッグ&ドロップ」操作を実世界に拡張したインタフェースである。ドラッグ&ドロップでは、スクリーン上のアイコンなどをマウスで別の場所に移動させる操作によってコンピュータに処理を指示する。たとえば別フォルダに移動させればファイル移動操作を、「ごみ箱」アイコンに移動させればファイル削除操作を指示する。これは現実世界での物体の移動操作を模擬した直接操作インタフェースであり、移動先によって処理が変化するなど操作の「文法」も規定している。

Pick&Drop操作では、ドラッグ&ドロップの概念を発展させ、単一コンピュータ上と、複数のコンピュータが関与した場合とで同一の操作感を提供した対話技法である。操作にはペンを用いて、アイコンを「つまみ上げる」操作を可能にしている。ペンでアイコンをタップして、そのまま別のコンピュータスクリーン上で再度タップすると、アイコンがコンピュータ間を移動する。ペンには機器から読み取り可能なIDが組み込まれており、ネットワーク上で、ペンIDとデータIDの結合関係を管理している。利用者は、あたかもデータをペンによって実世界に「持ち出し」、別のコンピュータに移動させるような感覚を得ることができる。操作時にコンピュータのネットワークアドレスを意識することがなく、「このコンピュータ」から「あのコンピュータ」へと、直接指示できることが特徴である。これはユビキタス・コンピューティングの環境向けに直接操作インタフェースを拡張したものといえる。

Pick&Dropの考え方を応用すると、実世界の多様な機器間での情報操作を統一的に行うことができる。たとえば図-2では、手持ちの携帯型コンピュータ(PDA)を電子白板の操作パレットとして利用している例である。PDA画面から図表をボードに移動させたり、ペンの色や太さなどを手元のパレットで変更したりすることができる。図-3に示したInfoPoint<sup>3)</sup>というデバイスでは、印刷された情報(たとえばビデオ映像のタイトル)をテレビにPick&Dropすることで、動画配信を自動的に開始するなどの操作を可能にしている。利用者からは、印刷情報をテレビに直接的に取り出す感覚を得ることができる。また、同じ情報をプリンタに対してPick&Dropすれば、対応する映像がプリントアウトされる。この



(a) ノートPC上の情報が、ディスプレイ境界を越えてテーブル上に移動している



(b) テーブル上のカメラ模型を操作して、3次元映像の視点を制御する

図-4 Augmented Surfaces上でのインタラクション

ようにドラッグ&ドロップ操作でアイコンの組合せによって得ていた操作の「文法」が、現実世界の機器を用いて実現されている。デバイスの先端には小型のカメラが組み込まれており、紙面情報は印刷された2次元バーコードを用いて認識している。

### 環境に埋めこめられたコンピュータとのインタラクション

次に、居住空間に組み込まれたコンピュータとの対話技法について考えてみる。たとえばWellnerのDigitalDesk<sup>4)</sup>は、実世界の「机」にコンピューティング能力を与えることにより、仮想情報と実世界情報の融合を

試みている。この環境上で印刷物を用いて机上にプロジェクションされた情報を操作するなどの種々の対話技法が提案された。

Augmented Surfaces<sup>5)</sup>は、テーブル上の情報とテーブルの上に置かれた電子機器との連続性に特に着目して設計されたデジタルテーブルシステムの一つである。Augmented Surfacesは他のコンピュータとの連携を特に意識して設計されている。たとえば会議における従来のテーブルの役割を考えると、会議参加者が持ち込む資料を共有し、ノートやノートパソコンを置くための「作業台」として機能している。Augmented Surfacesでは、たとえば、ノートパソコンや携帯電子機器をテーブル上に置く、という現実の物体に対する操作をネットワーク環境への指令として解釈する。その結果、たとえ





図-5 Wearable Key：手に持った物との間で認証情報を交換する

ば図-4に示すように、テーブルの表面がノートパソコンの画面を拡張するための作業空間として機能するようになる。ノートパソコンからアイコンを連続的に移動させてテーブル上にレイアウトしたり、他の参加者との間で情報を交換するための作業空間としてテーブルを利用したりすることができる。テーブルに置かれる物体の認識は、テーブル上に設置されたカメラ映像によって行っているが、他の認識手段（たとえば非接触（RFID）タグ<sup>6</sup>）を用いることも可能であろう。

## 利用者の自然な行為とネットワーク認証が連携する

利用者の物理的な行為は、直感的なセキュリティ制御に応用することもできる。たとえば、Augmented Surfacesシステム上では「同じテーブル上にあるコンピュータ間のみで情報交換を許す」というセキュリティ設定が可能である。このような設定により、パスワード入力などの煩雑な操作を経ずに、会議中の参加者に安全に情報を配布することが可能になる。

図-5に示すWearable Key<sup>7</sup>は、携帯型の認証デバイスで、装着者が手で持った機器との間で自動的に認証処理を行う。たとえばキーボードに触れるだけで自分の環境にログインできるなど、所有者の権利が自動的に反映されるようになる。物体との通信には人体を導体として用いた情報伝送技術（Personal Area Networks<sup>8</sup>と同等の技術）を利用している。

## 実世界に情報を貼り付ける

（狭義の）拡張現実感システムでは、整備に必要な情報を機器の実映像に重ねて表示するなど、現実世界と仮想世界とが空間的に一致した情報環境の構築・提示を目標としている。一方、これらの仮想情報は、あらかじめシステム構築者がデータベース等に登録してあることを仮定しており、拡張現実感システムの利用者が情報を動的に生成するという発想が少なかった。現実世界では、付箋紙を書類に添付するなど、情報を動的に生成してそれを現実世界の事物に添付することは日常的であるが、電子情報を現実世界に添付できれば、検索やネットワークによる情報共有などの効果を現実世界でも享受することができる。

図-6はAugmentable-Reality<sup>9</sup>（拡張可能な現実）と呼ぶシステムの画面例で、位置情報付きの映像上に情報を貼り付けることで、あたかも現実世界に「付箋紙」を添付するかのようなインタフェースを提供している。この付箋紙情報はネットワーク上で共有可能なので、たとえば特定のレストランの前に行ってその「評価情報」を残していくことができる。

「空気ペン」<sup>10</sup>は、実世界にペンによる描画軌跡を仮想的に残すことのできるシステムで、位置センサが組み込まれたペン型デバイスで空中に描画すると、その描画情報が利用者の空間的位置とともに記録される。位置センサ付きの頭部搭載型ディスプレイを装着して、空中に残された描画軌跡を見ることができる。利用者の位置認識技術としては、床に非接触タグを敷き詰め、それを靴に装着したリーダで認識する方法などが提案されている。

これらのシステムでは、必要とされる要素技術の開発もさることながら、その社会的影響も慎重に考慮する必要があるだろう。新しい形態のコンテンツ産業となり得るかもしれないが、巨大な「落書き・中傷」空間となる危険性も持っている（両者は矛盾しないかもしれないが）。

## おわりに

本稿では仮想世界と現実世界を統合した直接操作インタフェースの研究事例を紹介した。これらのシステムでは、実世界を認識するためのセンサなどの要素技術に目がいきがちであるが、利用者にとっていかに自然な操作感を提供するか、というインタフェース・デザインの側面も重要である。“Ubiquitous Computing”の提唱者であるMark Weiserは、後年“calm technology”（静



図-6 Augmentable-Reality : 実世界に付箋紙情報を貼り付ける

かな技術) という呼び方を好んで用いていた。梅棹忠雄が自著の中で「知的生産の技術」を「生活に静けさを取り戻すための技術」と表現していたことと関連して興味深い。コンピュータ機器や情報環境が実生活の不可欠な構成要素となろうとしている現在、操作の複雑さを減少させるための努力がより一層必要である。

## 参考文献

- 1) Shneiderman, B.: Designing the User Interface – Strategies for Effective Human-Computer Interaction, Addison-Wesley (1998).
- 2) Rekimoto, J.: Pick-and-Drop: A Direct Manipulation Technique for Multiple Computer Environments, Proceedings of ACM UIST '97, pp.31-39 (1997).
- 3) Khotake, N., Rekimoto, J. and Anzai, Y.: InfoStick: An Interaction Device for Inter-Appliance Computing, Workshop on Handheld and Ubiquitous Computing (HUC'99) (1999).
- 4) Wellner, P.: Interacting with Paper on the DigitalDesk, Communication of the ACM, Vol.36, No.7, pp.87-96 (1993).
- 5) Rekimoto, J. and Saitoh, M.: Augmented Surfaces: A Spatially Continuous Workspace for Hybrid Computing Environments, Proceedings of ACM SIGCHI '99, pp.378-385 (1999).
- 6) 椎尾一郎, 早坂 達: モノに情報を貼りつける – RFIDタグとその応用 –, 情報処理, Vol.40, No.8, pp.846-850 (Aug. 1999).
- 7) Matsushita, N., Tajima, S., Ayatsuka, Y. and Rekimoto, J.: Wearable Key: Device for Personalizing Nearby Environment, IEEE International Conference on Wearable Computer (ISWC 2000), Oct. 2000, pp.119-126 (2000).
- 8) Zimmerman, T. G.: Personal Area Networks: Near-field Intra-body Communication, IBM Systems Journal, Vol.35, No.3&4, pp. 609-617 (1996).
- 9) Rekimoto, J., Ayatsuka, Y. and Hayashi, K.: Augmentable-Reality: Situated Communication through Digital and Physical Spaces, IEEE 2nd International Symposium on Wearable Computer (ISWC '98), pp.68-75 (1998).
- 10) 山本吉伸, 椎尾一郎: 空気ベンー空間への描画による情報共有 -, 第59回情報処理学会全国大会講演論文集 (4), pp.39-40 (1999). (平成14年1月17日受付)