

ヒューマンインタフェースの動向 - ポストGUIの座をめぐって -

小島啓二

日立製作所中央研究所

ヒューマンインタフェースのソフトウェアに関するサーベイ結果について述べる。サーベイ対象はここ数年のACM CHI会議を中心とし、ポストGUIの動向を調べた。分野としては(1) GUI関連研究、(2) マルチメディア/マルチモーダルインタフェース、(3) エージェントインタフェース、(4) 仮想現実、および(5) Ubiquitous Computingが活発である。(1)～(4)はいずれも仮想世界の構築とそれに対するアクセスの方法に関するものであり、(5)は実世界の作業の直接的支援を目指すものといえる。今後は仮想世界指向と実世界指向の二つのアプローチを統合する枠組み(複素世界観)を確立することが重要であると考えられる。

SURVEY ON HUMAN INTERFACE SOFTWARE: WHO SUCCEEDS GUI?

Keiji Kojima

Hitachi, Ltd. Central Research Laboratory

英文概要 This paper reports on the results of a survey of human interface software. The survey focuses on recent ACM CHI conferences. Main topics are: (1) Graphical user interface and its improvement, (2) Multimedia/Multimodal interface, (3) Agent interface, (4) Virtual Reality, and (5) Ubiquitous computing. (1)(2)(3) and (4) describe how to construct virtual worlds and have smooth access to them. On the other hand, (5) tries to give direct support to human activities in the real world. Future research efforts will put stress on integrating virtual-world-oriented view with real-world-oriented one.

1 はじめに

コンピュータが一部の専門家のみが魔法のように操作する特殊な機器であった時代はある意味で幸福であった。いわゆる普通の人（若者の流行語ではいっぱんぴーぶるの略でばんぴーというそうである）へのコンピューティングパワーの開放がまさにバンドラの箱を開いてしまったように感じているコンピュータ技術者は少なくないに違いない。やっとの思いで複雑で高度な機能を実現しバグを取った労作が、ばんぴーによる「使い勝手が悪い」の一言でさみしく切り捨てられてしまうのである。

かくしてヒューマンインタフェースは現代のキーワードの一つとなり、ACMのSIGCHIのような学会は大盛況を呈している。ここではヒューマンインタフェースにからむ新しいコンセプトが豊富に登場することはもちろん、「こんなに学会では良さそうなアイデアがたくさん出ているのになぜ現実のシステムの使い勝手は全然良くなるのか」といった問題に関する論文[1]も採択される等、真摯な議論が続いている。そこでこのサーベイではここ数年のCHIの予稿集を中心としてヒューマンインタフェースの最新動向を調べることとしたい。現在隆盛を極めていくのはいうまでもなくGUI(Graphical User Interface)であり、CHIにおいてもこの関係の論文数が多い。ここでは特に「GUIの次にくるもの」に関してどんなアイデアがあるかとの視点を持ちながら見ていくことにする。

具体的には、以下のテーマに大別してポストGUIの展望をサーベイする。

- (1) GUI
- (2) マルチメディア/マルチモーダル
- (3) エージェント
- (4) 仮想現実
- (5) Ubiquitous Computing

2 GUI関連研究の動向

GUIの次にくるものは次世代GUIである[2]というのは安易とはいえ、既存技術であるGUIの強力さを見るにつけ、現実的解の有力候補といわざるを得ない。現在のGUIの課題、いにかえると次世代のGUIが備えるべき要件として議論されているのは次の三点に絞られる。

- (1) 優れたGUIを設計するための方法論の確立
- (2) GUI開発工数の削減
- (3) 新しい有効なメタファ

2.1 インタフェース設計方法論

良い設計手法と優れた評価手法は表裏一体の関係にある。これまでに提案されている評価手法としては、専門の評価者によるheuristic evaluation[3]、実使用環境でのusability testing、interface guideline[4,5]との照合、cognitive walkthrough[6]などがあげられる。またこれらを前提とした設計手法、例えば初期設計時点からのユーザ参加を重視するParticipatory Design[7]をはじめ、おなじみのRapid Prototypingやiterative designなどが実際に効果があることが多く報告されている。

しかしながら現実のシステム設計ではこれらの方法の効果を知りつつも適用する時間的余裕がないことがほとんどである[8]。そこでタイトなスケジュールを嘆く前にありうる解の一つは要するに手早く簡単にシステムが出来てしまう方法を思い付くことであろう。というわけで次のテーマが重みを増す。

2.2 GUI開発効率の向上法

GUI開発の工数を削減する方法として従来から提案され実用になっているのは、部品であるwidgetを組み合わせてGUI構築を容易化しようとするUser interface toolkit[9]あるいはUIMS(User Interface Management System)[10]のアプローチである。またこれらをベースにしたいいわゆるUser Interface Builderも優秀な製品が出回ようになってきている。Interface Builderの問題点として指摘されているのは、Builderで作成したGUIがアプリケーションのセマンティクスと独立になっている点である[11]。多くの設計者が気づいているようにアプリケーションのもつ基本データ構造とGUI経由で入出力される情報の間にはしばしば直接的な関係がある[12]。そこでアプリケーションの基本設計から適切なGUIを自動的に生成してしまおうという試みが始まっている[13]。

一方コーディングレベルのカスタマイズやプログラミング作業をビジュアル化して少しでも簡単にしようという研究も数多く行われてきた。代表的なものはProgramming by ExampleあるいはProgramming by Demonstrationと呼ばれる、実際の操作の履歴からプロ

グラムを生成する手法である[14]。これも例えばスプレッドシートでのマクロ作成等で製品レベルで応用されている。この方法の問題点の一つは条件分岐や繰り返しといった制御が作りにくいことである。条件分岐については複数の例示から合成する方法[15]が、また繰り返しについてはユーザの操作パターンから反復部分を検知して生成する方法[16]がそれぞれ提案されている。もう一つの問題点は例示操作から何が作られたのかがエンドユーザにとって透明でないことがあげられる。生成されたスクリプトをテキストとして表示し適宜編集を許すのが常道ではあるが、一般に生成されたものは読みづらく、ましてそのスクリプト言語を知らない人にとっては意味がない。これに対処するアプローチとしてユニークなのは、EAGER[16]の考え方である。EAGERはユーザの操作に繰り返しパターンを発見したと確信するとユーザの次の操作を予測して先回りして表示する。それが正しいか否かでユーザはシステムがうまく繰り返しを生成しているかをスクリプトを見なくても判断できるというわけである。

2.3 GUIにおける新しいメタファ

現在のPC/WS上ではデスクトップメタファが完全に主流の位置を占めている。その自然な拡張として考えられるのが複数のワークスペースを使うルームメタファ[17]である。ルームメタファは今後グループウェア応用が増えるにしたがって必然性が高まると考えられる。また他の今後重要となるメタファとしては本メタファ[18]があげられる。

一方急速に改善されているグラフィックス性能を利用してデスクトップ上の情報の可視化レベルを向上させる試みも行われている。代表的なのはInformation Visualizer[19]である。Information Visualizerでは大きなファイル階層やスプレッドシートの表示を3次元的に行って効果をあげている。Information Visualizerの考え方やウィンドウシステムにおけるウィンドウの表現自体もより豊かにしようとの試み[20]は、数年のうちに現在のデスクトップのLook&Feelを大きく変えたと予想される。

3 マルチメディア／マルチモーダル

CG、ビデオ等の映像メディアや音声、音楽等の音

メディアなどマルチメディアを活用して自然で豊かなヒューマンインタフェースを実現しようとするアプローチもハードウェア環境が整うのにともなって俄然現実味を帯びてきている。ビデオを使うものとしてはVideoDraw[21]に始まる共有空間の実現を狙ったものが興味深く、盛んに研究が行われている。グループウェアに関するものは臨場感の実現のために相手の画像をTV電話風に表示するものが多い。これに対して、共有すべきはお互いの作業対象であり、例えば隣に座っている人とも使いたくなるようなシステムでないと意義は小さい[22]というのは鋭い指摘ではなからうか。またビデオの重要性が高まるのにともない、その検索や編集といった技術も着実に進歩している[23]。

複数の入出力のモダリティを随時切り替えたり多重に用いることによって柔軟性と頑健性を向上させようとするマルチモーダルインタフェースの考え方も定着しつつある。具体的には音声入力とジェスチャや視線追跡の組み合わせなどが用いられている[24]。音声による入力是否定的議論も多いテーマである[25]。しかしながらふと思い付いたことを入れておきたいといった、必然性のある音声の利用形態を提案しているVoiceNotes[26]のような研究が新局面を開くように思われる。出力側のモダリティとしては表情を利用するものも面白い[27]。

4 エージェント

インタフェースにおけるエージェントとは、「何かを依頼すると代行して処理してくれる存在」であり、この意味ではソフトウェアサイエンスの中で用いられるエージェント指向とかわりはない。しかしながらヒューマンインタフェース研究の中では、ともすれば古くから論争のある「擬人化」の問題と密接に絡み合っ議論されることが多い[28]。実際ユーザインタフェース設計の教科書の多くは、ダイアログボックスのメッセージとして「あなたのファイルを私は壊してしまいました。申し訳ありません」などと決して表示してはならない、「ファイルが壊れています」とクールに出しなさいと教えている。CG技術の進歩でいかにも人間のような顔のCGが出せるようになって擬人的インタフェースも見栄えは格段に進歩しているが、論争の本質には変化がないように感じる。反対派（であると同時に主流でもあるように思われる）の意見は、「ユ

ーザをあざむくものであり、非生産的であり、かつ道徳的にも疑問」というものである[28]。にもかかわらずSFをはじめApple社の"Knowledge Navigator"、Hewlett-Packard社の"1995"などのプロモーションビデオには擬人的エージェントインタフェースが満載されているところに何か人の本質的欲求のようなものを感じるのである。

エージェントを使って成功が期待できる領域として、アミューズメントの他に教育分野がある。特に仮想的、電子的な世界に人間がアクセスするための水先案内人のような位置付けが考えられる。具体例として、アメリカの歴史のマルチメディアDBのブラウザであるGUIDES[29]があげられる。GUIDESではある地方のある時期をそれに合わせた容姿の擬人的エージェントがユーザと対話しながら説明する形式を採用している。GUIDESのように対象タスクを選んで認知心理的な配慮の上に設計されたシステムが増えてくれば、擬人的エージェントの技術も今後適切な展開を見込めるであろう。

もう一つの期待される適用対象はスケジュール管理、メール分類、書類の回覧、情報検索といった日常的な秘書業務である(Knowledge Navigatorの世界)。残念ながら現時点ではこれらに対するエージェントインタフェースの有効性を証明するような例はない。これら秘書的業務の自動化(これをエージェント機能とよんでいることが多い)をめざすシステムも、Object Lens[30]をはじめとして製品レベルのものを含めて種々開発されている。これらの普及に伴ってエージェント機能を持つシステムのヒューマンインタフェースに関する議論も深まっていくものと思われる。

エージェントをどう賢くするかも大きな課題である。これにはProgramming by Example、すなわちOn the job trainingを利用するのが一つの場合である[31]。エージェントに限らずユーザが教えて賢く出来るインタフェースはinstructible interfaceと総称されている。

5 仮想現実

VR(Virtual Reality)[32]もエージェント指向同様混乱を招きやすい用語である。VRというとヘッドマウントディスプレイをつけ、データグローブをはめた姿を連想させる各種マスメディアによる記事が多いのが誤解を与える一因であろう。そこで概念の抽象性に重

きを置いてVirtual EnvironmentやVirtual WorldあるいはVirtual Workspaceといった用語を好む研究者も増えているようである。この観点からいえば現在のデスクトップメタファも立派なVirtual Worldでの直接操作型インタフェースといえるであろうし、先にあげたGUIDESもVirtual Worldの直接操作型でないアクセスインタフェースの例となっている。

さて仮想的なオブジェクトの直接操作技術についてみると、2次元についてはマウス等の入力デバイスの評価[33]を除いて新しい動きは少ない。3次元については立体視を用いない普通のマウススペースのもの[34]も新味は少ないかもしれないがコスト面からは重要である。同様の考え方でさらに普通のマウスの両端にローラをつけたものによる3次元のオブジェクトの直接操作法も提案されている[35]。

出力側についてみると現在のヘッドマウントディスプレイの問題点はいくまでもなく価格と解像度、目に対するインパクト等である。これらを解決する現実的アイデアとして普通のグラフィックワークステーションのモニタの画面をヘッドポジションの検出機構と連動させて動かす方式[36]は有望であると考えられる。またVR応用プログラムを簡単に作成するためのツール[37]やVirtual Worldの持つべきソフトウェアアーキテクチャ[38]についても今後研究開発が盛んになると予想される。

6 Ubiquitous Computing

ここまでみてきたGUI、エージェント、仮想現実を一言でまとめるとすると、それは電子的仮想世界指向インタフェースであると考えられる。その意味でこれらは同一の進化の線上にあるといえよう。ひるがえって我々の日々の活動をみてみると、それらはほとんどが非電子的実世界でおこなわれている。文書などはその典型で、いまや多くの資料がワープロで作成されるようになったにもかかわらず相変わらずオフィスには紙が氾濫している。この状況は過渡的なものであり、PC/LANがさらに進歩しながら普及してかつ前述のようなインタフェース技術が進化すれば自然に解決して人はディスプレイと向かい合いながらすべての仕事をするようになるというのが一つのシナリオである。もう一つのシナリオは、仮想世界指向、つまり画面上で何でも出来ますという考え方は破綻しもっと現実世界

で行われている人の活動のスタイルを直接支援する方向にコンピュータ技術がいわば見えないう形で適用されるようになるというものである。1991年に発表された論文“The Computer for the 21st Century”[39]はこの第二のシナリオを展開したものである。[39]では上述のように実世界の中で意識されない形で存在するコンピューティングという概念をUbiquitous Computing (どこにでもある、ありふれたの意)と呼んでいる。

このコンセプトに沿った研究としては、実際の文書のLook&Feelそのものをユーザインタフェースにしておしまおうとするもの[40]にはじまって、机の上方にカメラとプロジェクタを置いて、机の上の紙文書をあたかも電子的文書のように扱えるようにする実験[41]などが試みられている。後者では例えば紙の文書の中のある単語を指して訳せというと、カメラで指の示す部分を認識してその訳がプロジェクタで机の上に投射されると言ったタスクを実現している。このように本来紙だとできないことをコンピュータの支援で紙の上で実現してしまうという考え方はEmbodied Virtualityと呼ばれている。ある意味でVirtual Realityの反対の語になっているところが示唆に富んでいる。また紙の伝票や帳票をそのままユーザインタフェースにしようとする試み[42]もUbiquitous Computingのコンセプトの実現の流れにある。

7 おわりに

ヒューマンインタフェースの進化の度合いはインタフェース開発がどこに焦点を置いて行われているかによってみることができるとする考え方がある[43]。[43]はインタフェース開発の焦点は次の5段階をたどって移っていくとしている。

- (1) The Interface at The Hardware
- (2) The Interface at the Programming Task
- (3) The Interface at the Terminal
- (4) The Interface at the Interaction Dialogue
- (5) The Interface at the Work Setting

これからみると現状は(3)~(4)といったフェーズにあり、Ubiquitous Computingや一部のCSCWのためのインタフェース[44]が(5)における試みといえそうである。したがって本サーベイのテーマである「ポストGUIは何か」という問いに対する優等生的答えはつき

のようなものであろう。「ポストGUIは(4)に相当するエージェント/仮想現実、すなわち仮想世界とのインタラクションインタフェースであり、その次のポストポストGUIが(5)の現実世界を指向したUbiquitous Computingである。」

しかしながら、Ubiquitous Computingが呈示している問題、例えば実世界の紙の文化とどう折り合いをつけるのかといった疑問はまさに今日の課題であり、それは次々世代で解決しようとの先送り姿勢で逃げられるものではないと著者自身は感じている。そういった意味で上記解答はしっかり来ないものがある。

思えば現代社会は実世界と仮想世界の複合体となりつつある。文書の例でも多くは紙で出回っていると同時にどこかのハードディスクにも入っていたりしている。つまり同じものが実世界のオブジェクトとしても存在するし仮想世界のオブジェクトとしても存在しているわけである。この状況は数学で習った複素数を想起させるものがある。数学では実数だけでは演算に対して閉じなくなって虚数の概念を導入して数を実部と虚部の和として拡張することによって豊かな世界を築いた。同様に現代も実世界の制約を超えるためにPCの広域ネットワーク統合体のような電子的仮想世界(虚世界)の導入の必要に迫られている。すなわち現代社会は「複素世界」と呼ぶにふさわしいものなのかも知れない。このような複素世界観とでもいうべきものの上に立って、エージェント/仮想現実代表される仮想世界指向とUbiquitous Computingに代表される実世界指向とを統合する枠組みが今求められているのではなかろうか。そこで曖昧ではあるが「ポストGUIは複素世界指向インタフェースである」との結論で本稿を締めくくりたい。

参考文献

- [1]Robert M. Mulligan, Mark W. Altom, & David K.Simkin User interface design in the trenches: some tips on shooting from the hip. in Proceedings of CHI'91, (New Orleans,Louisiana, April 27-May 2, 1991), ACM, New York, pp.232-236.
- [2]Piyawadee "Noi" Sukaviriya, James D.Foley, Todd Griffith A Second Generation User Interface Design Environment: The Model and The Runtime Architecture. in Proceedings of CHI'93, (Amsterdam,The Netherlands, April 24-29, 1993), ACM, New York, pp.375-382.
- [3]Nielsen, J., & Molich R. Heuristic evaluation of user interfaces. in Proceedings of CHI'90, (Seattle,Washington, April 1-5, 1990), ACM, New York, pp.249-256.
- [4]Apple Computer, Inc. Human interface guidelines: The Apple desktop interface. Cupertino, California, 1989.
- [5]Brown, C. M. Human-computer interface design guidelines. Norwood, N.J.: Ablex Publishing Corporation, 1988.
- [6]Lewis, C., Polson, P., Wharton, C. & Rieman, J. Testing a walkthrough methodology for theory-based design of walk-up-and-use interfaces. in Proceedings of CHI'90, (Seattle,Washington, April 1-5, 1990), ACM, New York, pp.235-242.
- [7]Jeff Johnson, Pelle Ehn, Jonathan Grudin, Bonnie Nardi, Kari Thoresen, Lucy Suchman Participatory Design of Computer Systems. in Proceedings of CHI'90, (Seattle,Washington, April 1-5, 1990), ACM, New York, pp.141-144.
- [8]Robert M.Mulligan, Mary Dieli, Jakob Nielsen, Steven Poltrock, Daniel Rosenberg, & Susan Ehrlich Rudman Designing usable systems under real-world constraints: a practitioners forum. in Proceedings of CHI'92, (Monterey,California, May 3-7, 1992), ACM, New York, pp.149-152.
- [9]Adrian Nye & Tim O'Reilly X Toolkit Intrinsic Programming Manual OSF/Motif 1.2 Edition. (O'Reilly & Associates,Inc. 1992)
- [10]Green, M. Directions for User Interface Management Systems Research. Computer Graphics 21,2 (April 1987),pp.113-116
- [11]Jeff Johnson, Selectors: Going Beyond User-Interface Widgets. in Proceedings of CHI'92, (Monterey,California, May 3-7, 1992), ACM, New York, pp.273-279.
- [12]Dennis J.M.J. de Baar, James D.Foley & Kevin E.Mullet, Coupling application design and user interface design. in Proceedings of CHI'92, (Monterey,California, May 3-7, 1992), ACM, New York, pp.259-266.
- [13]Christian Janssen, Anette Weisbecker, Jurgen Ziegler, Generating User Interface from Data Models and Dialogue Net Specifications. in Proceedings of CHI'93, (Amsterdam,The Netherlands, April 24-29, 1993), ACM, New York, pp.418-423.
- [14]Myers, B. Creating User Interface by Demonstration. Academic Press, San Diego, Calif., 1988
- [15]Kojima, K., Matsuda, Y. & Futatsugi, S., LIVE - Integrating Visual and Textual Programming Paradigms - in Proceedings of 1989 IEEE Workshop on Visual Languages, (Rome, Italy, October 4-6, 1989), IEEE, Washington, pp.80-85.
- [16]Allen Cypher EAGER: Programming repetitive tasks by example. in Proceedings of CHI'91, (New Orleans,Louisiana, April 27-May 2, 1991), ACM, New York, pp.33-39.
- [17]Henderson, D.A., Jr. & Card, S.K. Rooms: The use of multiple virtual workspaces to reduce space contention in a window-based graphical user interface. ACM Transactions on Graphics 5(3,July 1986), pp.211-243
- [18]Kyoichi Arai, Teruo Yokoyama & Yutaka Matsushita, A window system with leafing through mode :BookWindow. in Proceedings of CHI'92, (Monterey,California, May 3-7, 1992), ACM, New York, pp.291-292.
- [19]Stuart K. Card., George G.Robertson. & Jock D.Mackinlay The information visualizer, an information workspace. in Proceedings of CHI'91, (New Orleans, Louisiana, April 27-May 2, 1991), ACM, New York, pp.181-188.
- [20]Loretta Staples Representation in Virtual Space: Visual Convention in the Graphical User Interface. in Proceedings of CHI'93, (Amsterdam,The Netherlands, April 24-29, 1993), ACM, New York, pp.348-354.
- [21]John C. Tang & Scott L. Minneman VideoDraw: A video interface for collaborative drawing. in Proceedings of

- CHI'90, (Seattle, Washington, April 1-5, 1990), ACM, New York, pp.313-320.
- [22]Bonnie A. Nardi, Heinrich Schwartz, Allan Kuchinsky, Robert Leichner, Steve Whittaker, & Robert Sclabassi, Turning Away from Talking Heads: The Use of Video-as-Data in Neurosurgery. in Proceedings of CHI'93, (Amsterdam, The Netherlands, April 24-29, 1993), ACM, New York, pp.327-334.
- [23]Hirotada Ueda, Takafumi Miyatake, Shigeo Sumino & Akio Nagasaka, Automatic Structure Visualization for Video Editing. in Proceedings of CHI'93, (Amsterdam, The Netherlands, April 24-29, 1993), ACM, New York, pp.137-141.
- [24]Blattner M.M & Dannenberg R.G. CHI'90 Workshop on multimedia and multimodal interface design. SIGCHI Bulletin 22,2 (October 1990), pp.54-58.
- [25]Paul Brennan, Gerhard Deffner, Debbie Lawrence, Monica Marics, Eileen Schwab, & Marita Franzke Should We or Shouldn't We Use Spoken Commands in Voice Interfaces? in Proceedings of CHI'91, (New Orleans, Louisiana, April 27-May 2, 1991), ACM, New York, pp.369-372.
- [26]Lisa J. Stifelman, Barry Arons, Chris Schmandt & Eric A. Hulteen VoiceNotes: A Speech Interface for a Hand-Held Voice Notetaker. in Proceedings of CHI'93, (Amsterdam, The Netherlands, April 24-29, 1993), ACM, New York, pp.179-186.
- [27]Akikazu Takeuchi & Katashi Nagao, Communicative Facial Displays as a New Conversational Modality. in Proceedings of CHI'93, (Amsterdam, The Netherlands, April 24-29, 1993), ACM, New York, pp.187-193.
- [28]Abbe Don, Susan Brennan, Brenda Laurel & Ben Shneiderman, Anthropomorphism: From Eliza to Terminator 2. in Proceedings of CHI'92, (Monterey, California, May 3-7, 1992), ACM, New York, pp.67-70.
- [29]Abbe Don, Tim Lauren, & Brenda Laurel, GUIDES 3.0. in Proceedings of CHI'91, (New Orleans, Louisiana, April 27-May 2, 1991), ACM, New York, pp.447-448.
- [30]Lai, K.Y., Malone, T., Yu, K.C. Object Lens: A spreadsheet for cooperative work. ACM Transactions on Office Information Systems, October 1988.
- [31]David Maullsby, Saul Greenberg, & Richard Mander, Prototyping an Intelligent Agent through Wizard of Oz. in Proceedings of CHI'93, (Amsterdam, The Netherlands, April 24-29, 1993), ACM, New York, pp.277-284.
- [32]Fisher, S.S., McGreevy, M., Humpshries, J. & W.Robinett, Virtual Environment Display System. in Proceedings of the 1986 Workshop on Interactive 3-D Graphics (Chapel Hill, North Carolina), 1986.
- [33]Stuart K.Card, Jock D.Mackinlay & George F. Robertson, The Design Space of Input Devices. in Proceedings of CHI'90, (Seattle, Washington, April 1-5, 1990), ACM, New York, pp.117-124.
- [34]Stephanie Houde Iterative Design of an Interface for Easy 3-D Direct Manipulation. in Proceedings of CHI'92, (Monterey, California, May 3-7, 1992), ACM, New York, pp.135-142.
- [35]Dan Venolia, Facile 3D Direct Manipulation. in Proceedings of CHI'93, (Amsterdam, The Netherlands, April 24-29, 1993), ACM, New York, pp.31-36.
- [36]Colin Ware & Kevin Arthur and Kellogg S.Booth, Fish Tank Virtual Reality. in Proceedings of CHI'93, (Amsterdam, The Netherlands, April 24-29, 1993), ACM, New York, pp.37-42.
- [37]Chris Shaw, Jiandong Liang, Mark Green & Yunqi Sun, The Decoupled Simulation Model for Virtual Reality Systems. in Proceedings of CHI'92, (Monterey, California, May 3-7, 1992), ACM, New York, pp.321-328.
- [38]J. Brayan Lewis, Lawrence Koved & Daniel T. Ling, Dialogue Structures for Virtual Worlds. in Proceedings of CHI'91, (New Orleans, Louisiana, April 27-May 2, 1991), ACM, New York, pp.131-136.
- [39]Mark Weiser, The Computer for the 21st Century. Scientific American. September, 1991, pp.66-75.
- [40]Eric A. Bier & Ken Pier, Document as User Interfaces. in Proceedings of CHI'91, (New Orleans, Louisiana, April 27-May 2, 1991), ACM, New York, pp.443-444.
- [41]William Newmann & Pierre Wellner, A Desk Supporting Computer-based Interaction with Paper Documents. in Proceedings of CHI'92, (Monterey, California, May 3-7, 1992), ACM, New York, pp.587-592.
- [42]Walter Johnson, Herbert Jellinek, Leigh Klotz, Jr.

Ramana Rao, & Stuart Card, Bridging the Paper and Electronic Worlds: The Paper User Interface. in Proceedings of CHI'93, (Amsterdam, The Netherlands, April 24-29, 1993), ACM, New York, pp.507-512.

[43]Jonathan Grudin, The Computer Reaches out : The Historical Continuity of Interface Design. in Proceedings of CHI'90, (Seattle, Washington, April 1-5, 1990), ACM, New York, pp.261-268.

[44]Hiroshi Ishii & Naomi Miyake, Toward an Open Shared Workspace: Computer and Video Fusion Approach of Teamworkstation. Communication of the ACM, 34, 12, December, 1991, pp.37-50.