

## ClearBoard-2における協同作業空間と会話空間のシームレスな融合

小林稔 石井裕  
NTTヒューマンインターフェース研究所

ClearBoardは、従来マルチウィンドウ等によって別々に提供されていた協同作業空間と会話空間を連続的に統合した新しいコラボレーションメディアである。本稿では最初に、「透明なガラス板」を通して会話しガラス板の上に両側から描画するメタファーに基づくClearBoardの基本コンセプトを示す。続いてビデオ協同描画によるプロトタイプClearBoard-1から、コンピュータ協同描画によるClearBoard-2に至るデザインの過程を示す。また、ClearBoard-2のコンピュータ協同描画を実現するグループウェアTeamPaintのデザインも示す。最後にプロトタイプを使用して得られた知見を報告する。

## Seamless Integration of Shared Workspace and Interpersonal space in ClearBoard-2

Minoru Kobayashi, Hiroshi Ishii  
NTT Human Interface Laboratories  
1-2356 Take, Yokosuka-Shi, Kanagawa, 238-03, Japan

ClearBoard is a new collaboration medium that seamlessly integrates the shared workspace and interpersonal space which have been provided separately with arbitrary multi-window or multi-screen interfaces in existing multi-media teleconference systems. We present the key concept of ClearBoard that is based on the metaphor of "talking through and drawing on a transparent glass window." Then, we describe the design evolution from video based prototype ClearBoard-1 to computer based prototype ClearBoard-2. The design of TeamPaint, a shared painting editor used in ClearBoard-2, is also described. Finally, some initial findings from the experimental use of the prototype systems are reported.

## 1. はじめに

グループによる思考は、異なる知識・考え方を持つ参加者がアイデアを互いにぶつけ合うことを通して、個人による思考では得られなかつたアイデアの増幅を可能にする。そのようなグループによる思考：コラボレーションの支援はコンピュータテクノロジーの早い時期からの重要なテーマである。

コラボレーションの支援には、(1)情報を共有し一緒に作業する協同作業空間の提供と(2)人間同士のコミュニケーション手段の提供の両方が必要である。効果的なコラボレーション支援には、それらが「アイデアのキャッチボール」を妨げないように充分に注意してデザインされていることが大切である。

コンピュータテクノロジーに基盤を置くグループウェアは主に(1)協同作業空間の提供を、映像通信に基盤を置くテレビ会議システムは主に(2)コミュニケーション手段の提供を狙って、それぞれ別々に研究開発が進められてきた。映像や音声のデジタル化により映像や音声をデータと一緒に扱うことが可能になり、多くのマルチメディア会議システムが開発されている。これらのマルチメディア会議システムでは、グループウェアとテレビ電話機能がマルチウィンドウインターフェース等によってひとつのシステムに組み込まれ両方を合わせて利用することができるが、(1)(2)が別々であることには依然として変わりがなかった。本研究では、これらを「融合」することで、よりスムーズなアイデアのキャッチボールを可能にするコラボレーションメディアの実現を目指している。

本稿は遠隔のユーザ間の協同描画活動を支援する技術についての報告である。先ず実際に対面した協同描画活動と、これまでに開発された協同作業支援システムによる協同描画を比較し、これまでの協同描画支援システムに存在した協同作業空間と会話空間の間の不連続なシーム（縫目）を指摘する。次にこのシームを取り除き協同作業空間と会話空間を人間の認知的視点から見て連続的に統合する協同描画メディア ClearBoard のコンセプトを示す。映像通信技術

を用いて実現したプロトタイプ ClearBoard-1、コンピュータを用いた ClearBoard-2 のデザインを示し、製作されたシステムを使用することを通じて得られた知見を報告する。

## 2. 協同描画活動と協同描画支援技術

コラボレーションの身近な例としてホワイトボードを使った協同描画活動がある（図1）。ホワイトボードの上に文字や図形を描き情報を共有することで、一緒に考える活動が支援される。遠隔のユーザ間の協同描画活動支援には(1)相手と一緒に作業をするための協同作業空間と(2)相手と話をするための会話空間の提供が必要である。

遠隔の協同描画を支援するシステムには、Commune[2,10]、GroupSketch[3]、CaveDraw[9]のようなコンピュータベースの協同描画エディタや、映像を用いてハンドジェスチャーによる表現を可能にした VideoDraw[11]、TeamWorkStation[4]のようなビデオベースの協同描画ツールがある。これらのシステムの主な目的は(1)協同作業空間の提供である。映像通信によるテレビ電話やテレビ会議は、(2)会話空間を提供する。

ところで、実際の対面での協同描画活動では、参加者の視点はホワイトボード上の協同描画にあったり、会話する相手の表情にあったりと、協同作業空間と会話空間の間をまぐるしく遷移する。このように視点を移動しながら、

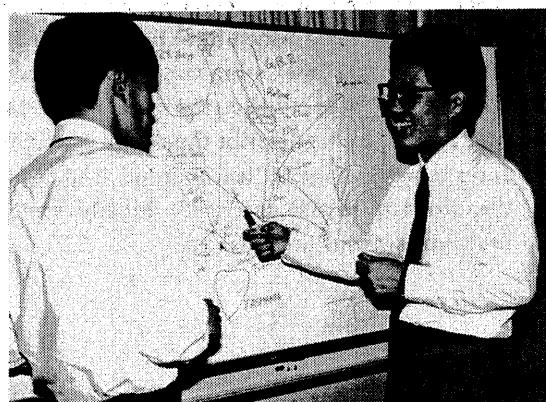


図1 ホワイトボードを使った協同描画

ジェスチャーや顔の表情や視線の向きと、協同描画との位置関係を読み取ることで、相手の細かな仕草の持つ意味を素早く理解し、協同作業を円滑に進めるのに役立てている。

協同描画機能とテレビ電話機能を、マルチスクリーンやマルチウィンドウによって組み合わせることで(1)(2)両方を提供するシステムを構成できる。しかし、例えばマルチウィンドウを用いた図2に示すようなシステムでは、本来連続したコラボレーションの空間が協同作業ウィンドウと会話ウィンドウに分断され、その間に不連続なシーム（縫目）が存在した。この不連続なシームによって、本来意味を持っていた協同作業空間と会話空間の間の関係が失われ、円滑な協同作業が妨げられていた。

### 3. ClearBoardのコンセプト

この不連続なシームを取り除き、協同作業空間と会話空間を連続的に融合したメディアの基本コンセプトとして考案したのが、「透明なガラス板」のメタファーに基づくClearBoardである[5,6,7]。ClearBoardのユーザは、相手と自分の間に位置する透明な板を通して会話しガラス板の上に両側から描画するように、遠隔の相手と一緒に描画をすることができる。図3は、実際のガラス板を用いたClearBoardのコンセプトを表すモックアップClearBoard-0である。このメタファーにより一枚の平面ディスプレイによって協同作業空間と会話空間を連続的に表現でき

る。実際のガラス板では、片側に描いた描画像は反対側からは左右が逆転してしまい、特に文字は読みにくい。この点は、映像通信を使ったClearBoardでは映像を左右反転することで解決可能である。

### 4. ClearBoard-1のデザイン

ClearBoardのコンセプトに基づき、映像通信を用いて遠隔の2地点間の協同描画を支援するプロトタイプClearBoard-1を作成した。

ClearBoardのコンセプトを実現するためには、端末装置は次の条件を満たす必要がある。

- (a)画像を表示するスクリーンに直接触れて描画できること。
- (b)ユーザ像をスクリーン面を通して撮影すること。
- (c)左右のオリエンテーションを共有できること。

(a)(b)の条件は「透明なガラス板」のメタファーをそのまま実現するためのものである。実際のガラス板では、反対側からは左右が逆になり特に文字は読むのが困難である。協同作業のメディアとしては(c)の条件が必要である。

この条件を満たす方式として、ドラフタミラー方式を開発した。製図に用いるドラフターのように描画面が傾いていること、撮影のためにハーフミラーを用いていることを特徴とするこ

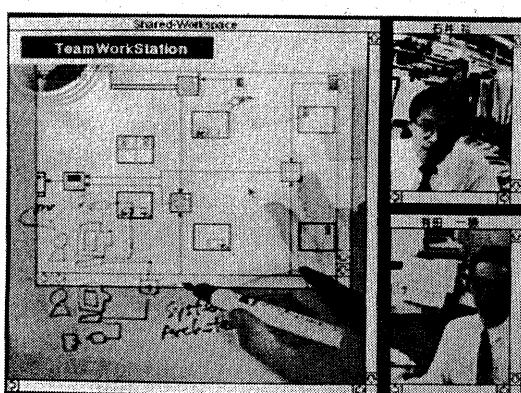


図2 マルチウィンドウの例

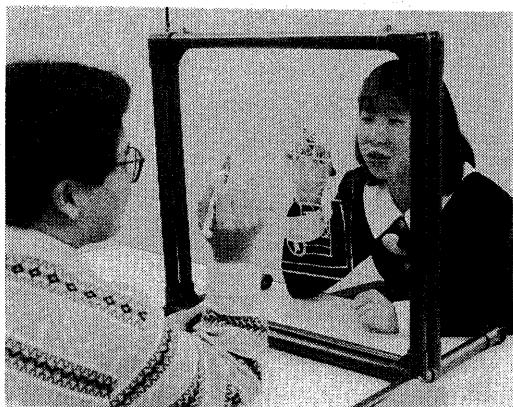


図3 ClearBoard-0

とからドラフタミラー方式と呼ぶ。

視線一致を実現するためにハーフミラーを使う方法[1]は一般的であるが、視線一致テレビ電話に使われたこの方法では、(b)スクリーン面を通して撮影は可能であるが、ディスプレイ前部に位置するハーフミラーの為に(a)スクリーンへ直接触れての描画が不可能である。

ドラフタミラー方式では、図4に示すような構成をとることでスクリーンへの直接描画を許している。図4に示すように、装置は、傾いたスクリーン、ビデオプロジェクタ、ビデオカメラから構成される。スクリーンは、半透明のプロジェクションスクリーン、偏光板、ハーフミラーを重ね合わせて構成され、約45度に傾けて設置してある。ユーザはそのスクリーンの上に

直接フェルトペンで描画する。実験では背景のイメージと区別し易い水性の蛍光ペイントマークを用いた。

スクリーン上方に設置されたビデオカメラはスクリーン上の描画像とハーフミラーに反射したユーザ像を連続した一つのビデオイメージとして撮影する。そのイメージは相手端末にビデオネットワークを通して伝送され、スクリーンに背面から投影され表示される。相手は表示された相手の描画像の上に重ねて描画することで協同描画を行うことができる。ユーザ像と描画像を含む映像は描画像の左右のオリエンテーションが双方で同じになるよう投射・表示する。

表示された像を再びカメラで撮影することによっておこるビデオフィードバックは、スク

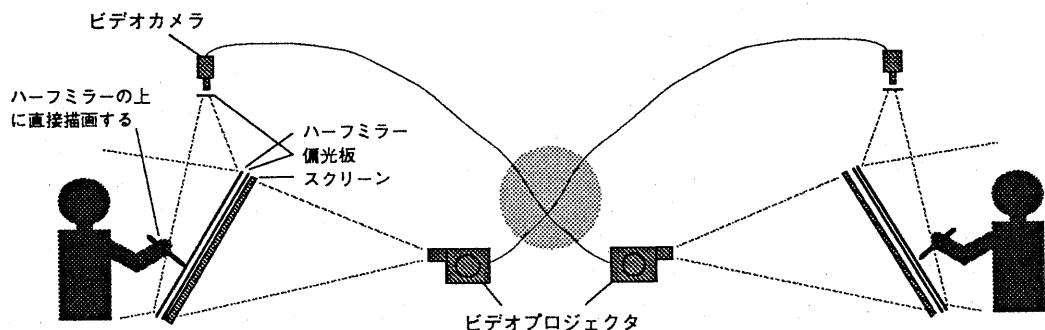


図4 ClearBoard-1のドラフタミラー方式の構成

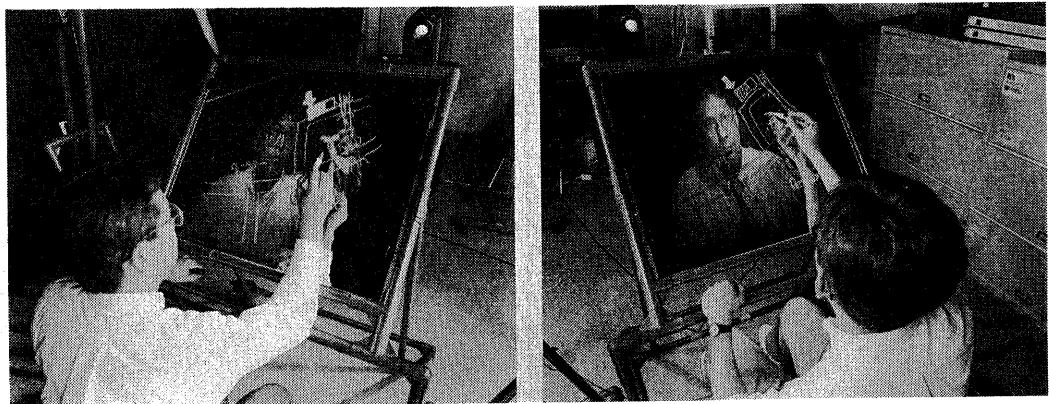


図5 ClearBoard-1の使用風景

リーンの偏光板と、ビデオカメラのレンズに取り付けられた偏光板の偏光軸方向が互いに直行するように設定することで防止する。

カメラで撮影された描画面の映像は、描画面が傾いているためにカメラに近い上部は大きく撮影され台形状に歪んでいる。互いの描画像を重ね合わせて協同描画を行うためには、元通りの大きさと形で再現されるように画像を変形する必要がある。ClearBoard-1では、傾いたスクリーンに投影する際に生じる逆の歪みによって相殺し、描画像の歪みを除去している。

図5に、ドラフタミラー方式によって実現したビデオ協同描画によるプロトタイプClearBoard-1の使用風景を示す。

## 5. ClearBoard-2のデザイン

ClearBoard-1の使用を通じて、ビデオ協同描画によるClearBoard-1の次のような問題点が明らかになった。

### ・描画像が不鮮明

ClearBoard-1の画面の不鮮明さは、ビデオプロジェクタ、ビデオカメラの性能によるところが大きい。加えてClearBoard-1では、その構造上、カメラからの距離が描画面上部と下部では約50cm異なるために描画全体に焦点を合わせることは困難であった。ユーザは描画よりさらに50cm程度離れているので、ユーザと描画全体にわたり焦点の合った映像を撮影することはできなかった。

### ・精密な位置合わせが必要

ビデオ協同描画を実現するためには双方の端末でレンズ倍率と位置関係を正確に合わせる必要があり、装置は周囲の振動やユーザの加える力などによってずれが生じやすく扱いにくかった。

・協同作業結果の保存・再利用ができない  
撮影表示装置の解像度が低いために太いペンで描画する必要があり、約50cm四方の描画スペースはすぐに使い果たされた。新しいスペースを作るためには描いた描画を消さねばならなかっ

た。ペイントマーカによる描画像は保存しておくことができなかつたので、一度消してしまった絵を再び利用することはできなかつた。

これらの問題を解決するために、ビデオ協同描画の代りにコンピュータによる協同描画機能を備えたClearBoard-2をデザイン・実装した。

### 協同描画エディタ：TeamPaint

ClearBoard-2のコンピュータ協同描画機能を実現するために、ネットワーク接続されたコンピュータ間で協同描画を可能にする協同描画グループウェアTeamPaintを作成した。TeamPaintは次のような特徴をもつ。

- ・単純なヒューマンインターフェース  
「紙と鉛筆」のように使えるように、「ペン」「消ゴム」「はさみ」の3個のアイコンによる単純なヒューマンインターフェースとした。オブジェクトとして管理するdrawエディタではなく、ビットマップとして管理するpaintエディタとし、操作を「ペンによる描画」に限定し操作を単純化した。

- ・描画面への同時並行アクセス  
協同描画では、各参加者の描画やポインティング等の動作は同時並行的に起こる[11]。描画権の移譲などの操作によって参加者にストレスを与えないために、フロアコントロール無しにいつでも各ユーザが描画やポイント操作ができるようにした。また、各ユーザのカーソルの動きは常に相手に伝えられ、カーソルによるジェスチャーは常に全ての参加者に見える。ボタンを押さなければジェスチャー、押せば描画というように容易に切り替えながら作業が可能である。

### ・分散型構成

リアルタイムの協同作業エディタのシステム構成として、(A)中心となるサーバマシンが存在する集中型の構成と、(B)同じ構成の端末が相互に通信しながら実現する分散型の構成が考えられる。(A)は完全なWYSIWIS(What You See Is What I See)を実現できるが、システム全体の通信量が増え、各端末上での操作も一度セントラルサー

バに送られてからフィードバックされるので操作感が悪くなる。一方(B)は、不整合が起こる可能性は残るが、通信量は少なくローカルなフィードバックができるので快適な操作感が得られる[8]。TeamPaintでは(B)の分散型の構成をとっている。

・マルチレイヤー構造  
各ユーザはそれぞれ個人レイヤーを持ち、自分

のレイヤーに対してのみ書き込みや消去が可能である。

・図形データのインポート機能

描画結果の保存再利用だけでなく、他の作図ソフトウェアで作成された図形ファイルを読み込み、それをもとに書き込みを加えて協同描画ができるインポート機能をもつ。インポート図形は各個人のレイヤーとは別のインポートレイヤーに読み込まれる。

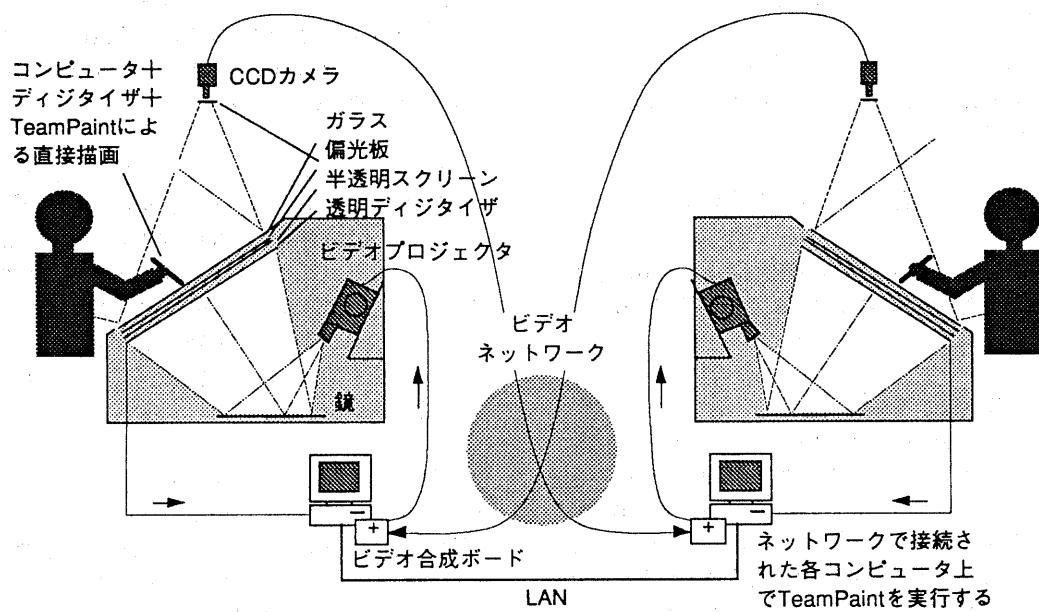


図6 ClearBoard-2の構成

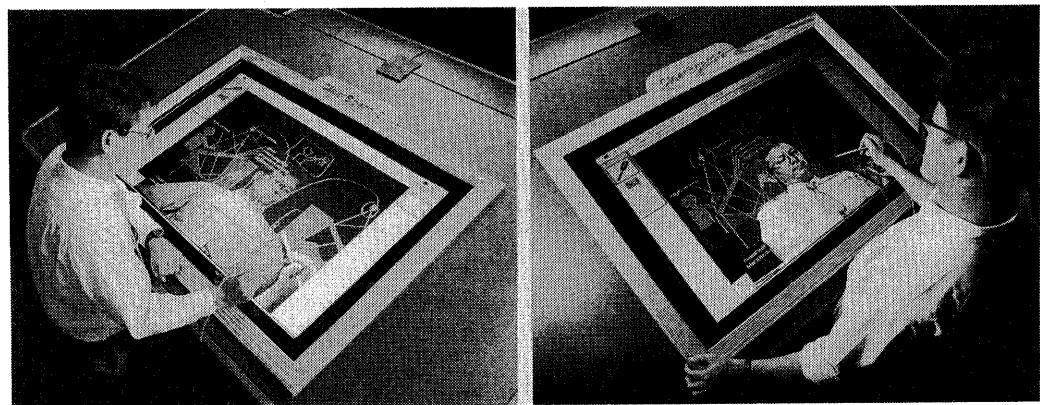


図7 ClearBoard-2の使用風景

## ClearBoard-2

図6にClearBoard-2の構成を示す。ClearBoard-1と同じくドラフタミラー方式に基づき、ユーザ像はスクリーン表面のハーフミラーに反射してスクリーン上方のビデオカメラに撮影される。ユーザが描画するペンの位置はスクリーンの表面に貼られた透明なディジタイザシートによって検出され、コンピュータに送られる。ネットワークを介して相手側コンピュータと接続されたコンピュータ上で動作するTeamPaintが、その座標値をもとに協同描画像を生成する。この協同描画像と相手側で撮影され伝送されたユーザ像をクロマキー合成し、ビデオプロジェクタから投影する。

図7は実装されたClearBoard-2を使用している様子である。高解像度のプロジェクタにより、画面の解像度は全体的に向上した。描画像はコンピュータによって生成されるので、ClearBoard-1のように焦点が合わないことはなく、細い線まで鮮明に表示される。ビデオカメラ、スクリーン、プロジェクタの配置を変更し、スクリーンの角度を緩やかにしたことで、腕をスクリーンにのせて描くことができ楽になったが、相手がガラス下側に立っているような印象を受けるようになった。また、協同描画の位置合わせはコンピュータ上で保証されているので、カメラやスクリーンの厳密な位置合わせは必要ななくなった。



図8 ゲーズアウェアネス：画面中のユーザは右側のオブジェクトを注視している。

## 6. 検討

### 6.1 ゲーズアウェアネス

ClearBoardでは相手がスクリーン上のどこを見ているかが分かる（図8）。この特質をゲーズアウェアネス（gaze awareness）とよぶ。相手の視線が読めることで、相手の細かい（言葉やボイントティングに現れない）注意の動きを知ることができる。相手の視線を読んで相手の理解度や興味を探ることは、我々が普段の日常生活の中で自然に身に付けているスキルである。従来のコラボレーションメディアでは、このようなスキルを利用する事が不自然なインターフェースによって妨げられていた。協同作業空間と会話空間を自然な形で統合したClearBoardでは、このような日常生活のスキルをそのまま持ち込んで使うことができる。一緒にものを考えるためのコラボレーションメディアには、例えば、相手の視線をコンピュータビジョン技術で検出し表示する機能を提供するよりは、ユーザが必要なときに日常的に身に付けているスキルによって相手の視線を読むことができる環境を提供することが重要だと考える。

### 6.2 ClearBoard-2のコンピュータ描画機能

コンピュータ描画機能によって、保存再利用が可能になり作業空間が拡大し、描画像が鮮明になりClearBoardは実用性を増した。現在のTeamPaintでは、レイヤー構造によって自分の描画レイヤーのみ消去書き込み可能であるが、相手の描いた描画像に対する操作権については今後の検討課題である。自分の操作によって相手の描画を傷つけないことは、人間の曖昧さを許し書き込みに対する抵抗感を減らし、積極的な協同作業への参加を促す。一方、相手に消去を依頼したり、相手が自分の描画を邪魔にしていいなか気にすることはユーザの負担になっているとも考えられる。

### 6.3 今後の課題

ClearBoard-1,2では2地点間を結んだが、3地点以上のコラボレーションにClearBoardを拡張することは興味深いテーマである。ClearBoardの基

本コンセプトの「ガラス板」は2つの面しか持たないので1枚のガラス板を3点以上で共有するの不可能である。新しいメタファーの適用が必要であると考える。また、3人以上が参加するコラボレーションにおけるゲーズアウェアネスの働きも今後の研究課題である。

ClearBoard-1, 2の両方を使ったユーザの中にはペンで描画するClearBoard-1の方を好むユーザがいた。これは、コンピュータ描画システムにおけるペンの動きに対する描画の遅れや、実際のペンに比べて劣る表現力（ペンのタッチ等）に対する不満などが主な原因であると考えられる。コンピュータ描画の性能向上はもちろん、TeamWorkStationのように様々なツールをユーザ個人好みに合わせて利用できるような工夫が必要であると考える。

## 7.まとめ

新しいコラボレーションメディアClearBoardのコンセプトとプロトタイプについて報告した。ClearBoardは、従来マルチウインドウ等によって別々に提供されていた協同作業空間と会話空間を、「透明なガラス板」のメタファーを用いて人間の認知的視点から自然な形で統合した。ClearBoardでは相手の視線を読むことができるが、このような人々が日常から身に付けているスキルをそのまま活かすことができることはコラボレーションメディアのデザインにおいて重要である。ClearBoard-2では、コンピュータによる協同作業空間と映像音声通信による会話空間を融合した。データや映像という複数のメディアによって実現するマルチメディアシステムも、ユーザの目に触れる部分では自然で意味のある形に融合されて提供されるべきであると考える。

## 参考文献

- [1]Acker, S., and Levitt, S. Designing Videoconference Facilities for Improved Eye Contact. *Journal of Broadcasting & Electronic Media*, 31, 2 (Spring 1987), 181-191.
- [2]Bly, S.A., and Minneman, S.L. Commune: A

Shared Drawing Surface. *Proceedings of COIS '90*, ACM, New York, 1990, pp. 184-192.

[3]Greenberg, S., Roseman, M., Webster, D., and Bohnet, R. Issues and Experiences Designing and Implementing Two Group Drawing Tools. *Proceedings of HICSS '92*, IEEE Computer Society, Los Alamitos, CA, 1992, pp. 139-150.

[4]Ishii, H., and Miyake, N. Toward An Open Shared Workspace: Computer and Video Fusion Approach of TeamWorkStation. *Communications of the ACM* Vol. 34, No. 12 (December 1991), 37-50.

[5]Ishii, H., and Kobayashi, M. ClearBoard: A Seamless Medium for Shared Drawing and Conversation with Eye Contact. *Proceedings of CHI '92*, ACM, New York, 1992, pp. 525-532.

[6]Ishii, H., Kobayashi, M. and Grudin, J. Integration of Inter-Personal Space and Shared Workspace: ClearBoard Design and Experiments. *Proceedings of CSCW '92*, ACM, New York, 1992, pp. 33-42.

[7]小林稔, 石井裕. ClearBoard:シームレスな協同描画空間のデザイン. 情報処理学会ヒューマンインターフェース研究会1992.3.3

[8]Lauwers, J.C., Joseph, T.A., Lantz, K.A., and Romanow, A.L. Replicated Architectures for Shared Window Systems: A Critique. *Proceedings of COIS '90*, ACM, New York, 1990, pp. 249-260.

[9]Lu, I., and Mantei, M. Idea Management In a Shared Drawing Tool. *Proceedings of ECSCW '91*, Kluwer Academic, Dordrecht, The Netherlands, 1991, pp. 97-112.

[10]Minneman, S.L., and Bly, S.A. Managing a Trois: A Study of a Multi-user Drawing Tool in Distributed Design Work. *Proceedings of CHI '91*, ACM, New York, 1991, pp. 217-224.

[11]Tang, J.C., and Minneman, S.L. VideoDraw: A Video Interface for Collaborative Drawing. *Proceedings of CHI '90*, ACM, New York, 1990, pp. 313-320.