

ClearBoard: シームレスな協同描画空間のデザイン

小林稔 石井裕

NTTヒューマンインタフェース研究所

協同描画支援のための新しいメディアClearBoardについて報告する。従来の遠隔の協同描画支援システムでは、本来連続した空間である協同描画活動の空間が協同描画ウィンドウと対面対話ウィンドウに分割され、その間に不連続なシーム（縫目）が存在した。このシームを取り除くために「透明なガラス板の上に描画しガラス板を通して会話するメタファー」に基づく新しい協同描画メディア"ClearBoard"を考案した。ClearBoardのコンセプトを実現するための2つの実装方法について検討し、ドラフタミラー方式によるプロトタイプClearBoard-1を製作した。プロトタイプを用いた実験を通して明らかになったClearBoardの重要な特質"gaze awareness"についても述べる。

ClearBoard: Designing a Seamless Medium for Shared Drawing

Minoru Kobayashi, Hiroshi Ishii

NTT Human Interface Laboratories

1-2356 Take, Yokosuka-Shi, Kanagawa, 238-03, Japan

This paper presents a new shared drawing medium named ClearBoard. In existing systems which support shared drawing activities, the space for collaboration is divided into two images, a image of shared drawing space and of face-to-face conversation space. In order to integrate these two images seamlessly, we devised the metaphor of ClearBoard: "talking through and drawing on a transparent glass window." The design requirements for implementing and the design of the first prototype based on Drafter-Mirror architecture are described. Some findings gained through the experimental use of the prototype, including the important feature of "gaze awareness", are also reported.

1. はじめに

コラボレーションの支援には、参加者が情報を共有し一緒に仕事をする場：協同作業空間の提供が重要である。協同作業空間の身近な例としてホワイトボードがあげられる。図1はホワイトボードを用いた打ち合せ風景である。参加者は、ボードの上に書き込んだり、指し示したり、ジェスチャーをしたり、話したり、という動作を同時並行的に行ないながら協同で思考している。参加者全員が同時に見て書き込めるホワイトボードの上に情報を共有することで、協同で思考する活動が支援されている。本研究はこのような協同描画活動を遠隔に位置するユーザ間で行なう環境を構築することを目的とする。

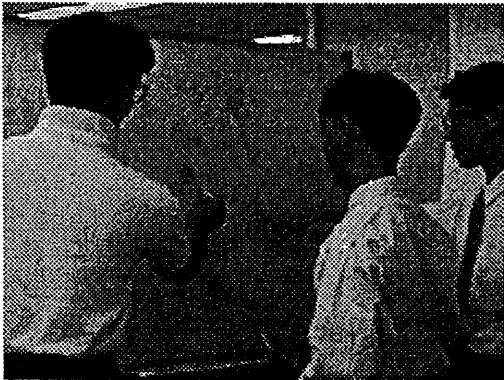


図1 ホワイトボードを使ったミーティング

実際のホワイトボードを用いた会議では、参加者の視点は時々刻々移っていく。具体的な内容を話すときはホワイトボードの上の描画を中心に、一方、抽象的な内容を話すときは相手の顔を中心にしながら話す。対面の対話においては、目線の配り方や顔の表情などのノンバーバルなキューがコミュニケーションに不可欠な要素として働いている。

我々はTeamWorkStation[3]のデザインを通し、このようなダイナミックな協同描画活動を支援するためには、相手を見ながらの対話と協同作業空間での作業をスムーズに切り替えながらコミュニケーションが行える環境を構築する必要があることを認識した。そのためには、ホワイトボードの機能やテレビ電話の機能を提供するだけでは不十分で、それらを連続的に統合した環境を提供する必要がある。

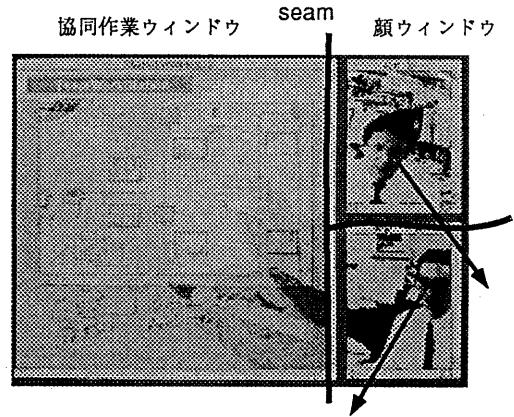


図2 TeamWorkStationにおけるseamとアイコンタクトの欠如の問題

実際の会議環境は連続した一つの空間である。参加者とホワイトボードの間に不連続なシーム(seam, 縫目)は存在しない。しかし、これまでの協同描画をサポートしたビデオ会議システムでは、ユーザ像と描画像は別々の映像として扱われ、別のウィンドウやディスプレイに表示されていた[4]。本来連続しているコミュニケーションの空間が、いくつかのウィンドウやディスプレイに分割され、その間には不連続なシームが存在していた。

アイコンタクトがとれないことも従来のビデオ会議システムの問題点であった。相手がどこを向いているのかわからない状況では充分なコミュニケーションは難しくなる。アイコンタクトのサポートもコミュニケーション支援には重要である。

図2は従来のツールの2つの問題、

- (1) 協同作業空間と対面対話空間の間のシームの問題と
 - (2) アイコンタクトの問題
- をTeamWorkStationを例にあげて示している。

ここで紹介するClearBoardはこれらの問題を解決する新しい協同描画メディアである。ClearBoardはシームレスな協同作業空間とアイコンタクトを同時に可能にする。本論文では、ClearBoardのコンセプトと、コンセプトを実現するための設計条件、プロトタイプのシステム構成を示し、その使用を通して明らかになったことを報告する。

2. ClearBoard：新しい協同描画メディアのコンセプト

連続した空間とアイコンタクトの双方を同時に達成するツールをデザインするために、最初に日常的な協同描画環境に基づく2つのメタファーを検討した。

(a) ホワイトボードのメタファー

ホワイトボードの前に立ちその上に描画するホワイトボードを用いた協同描画環境をそのまま再現するメタファーである。このメタファーでは全ての参加者が描画面のオリエンテーションを共有できる。しかし、各参加者があたかも同じ場所にいて相手に触れることが出来る状況を遠隔の端末間で実現することは難しい。仮想現実感の技術を用いれば不可能ではないが、立体視のためのヘッドマウントディスプレイをユーザに着用させコンピュータで生成された映像をユーザに見せることは、ユーザの認知的負荷を少なからず増加させる。

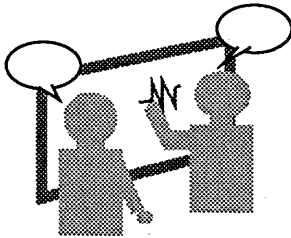


図3 ホワイトボードのメタファー

(b) テーブルのメタファー

テーブルの両側に座りテーブルの上で協同描画を行なうメタファーである。参加者が互いの顔を容易に見ることが出来るので対面対話に適してい

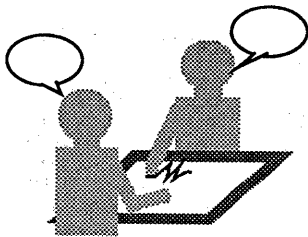


図4 テーブルのメタファー

る。しかし、描画像は相手に対して上下が逆になってしまう。例えばL型のディスプレイ装置を作ることでこのメタファーを実現することができるが、テーブルの上で空間を共有する状況を遠隔の端末間で実現することは、ホワイトボードのメタファーの場合と同様に難しい。

(a)や(b)のメタファーの短所を解決し、長所を活かした新しい協同描画ツールのメタファーとして次のメタファーを考案した。

(c) ガラス板のメタファー

このメタファーでは、参加者はガラス板の両側に立ちガラス板の上に描画し、ガラス板を通して相手の姿を見ながら会話をする。透明なガラス板がそれぞれの参加者の存在する空間を隔てているので、遠隔地間の通信端末に適用しても空間の共有に関する混乱をユーザに与えることはない。このメタファーの長所は、テーブルのメタファーのようにお互いの顔が見やすいこと、描画と相手の顔が画面上の近くに映っているのでそれぞれを見るのに大きな視点の移動を必要としないことである。一方、ガラスの表面に描いた描画像は反対側から見ると左右が逆になってしまう点は問題点である。しかし、これはビデオ映像を反転する装置を付加することで容易に解決できる。

単純で、上に挙げた長所を持つメタファー(c)を用いて協同描画ツールをデザインすることにし、このメタファーに基づくツールを透明なホワイトボードという意味で“ClearBoard”と名付けた。

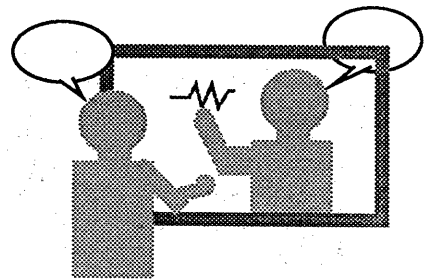


図5 透明なガラス板のメタファー

3. プロトタイプClearBoard-1のデザイン

ClearBoardのコンセプトによる協同描画環境を、遠隔に位置するユーザの間で実現するためには次の条件を満たす必要がある。

- (1)表示面に直接描画できること。
- (2)ユーザ像は表示面を通して撮影されること。
- (3)描画面のオリエンテーションを各ユーザが共有できること。

ハーフミラーを用いた視線一致装置[1]では(2)の条件は満たすことが出来るが、(1)の条件は満たすことが出来ない。条件(3)は特に文字を書く場合には必須である。ガラス板のメタファーをそのまま実現したのではこの条件は満たされない。

TeamWorkStationのプロトタイプでは、同じ解像度で表示できる情報量が同じでも画面が大きい方が作業空間を広く感じられた。できるだけ広い作業スペースを確保できるように、実装するプロトタイプでは(4)大画面もデザインの条件とする。

これらの条件を満たす方式として考案した方式の内の2つ、(1)液晶スクリーン方式と、ハーフミラーを応用した(2)ドラフタミラー方式を次に示す。

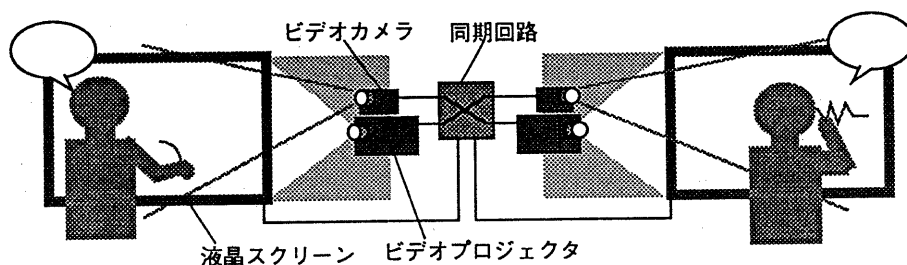
(1)液晶スクリーン方式

図6は液晶スクリーン方式のシステム構成図である。描画をしているユーザを正面から撮影するためにはスクリーンの背後に置いたカメラでスクリーンを通して撮影することが必要である。印加電

圧を制御することで透明状態と半透明状態を高速に切り替えることのできる液晶パネルをプロジェクションスクリーンとして用いることで、この条件を満たす装置をつくること出来る。

液晶スクリーンは(1)半透明状態と(2)透明状態の2つの状態の間を遷移する。(1)半透明状態においてはスクリーンはリアプロジェクションスクリーンとして働き、ビデオプロジェクタから投影された相手の映像は液晶スクリーン上に結像する。(2)透明状態では、ユーザ像はスクリーンの背後に置かれたビデオカメラによって透明なスクリーンを通して撮影される。イメージの投影・撮影のタイミングと液晶スクリーンの半透明・透明の遷移を同期させて制御することで、一つのスクリーンを時間分割で表示・撮影に用いる。この方法は、視線一致装置としてNTTの志和らによって実装されている[5]。表示面を描画できるように加工し、双方のユーザの描画像が正確に重なり協同描画が成り立つように調整することでClearBoardのコンセプトをこの方式で実現できる。

液晶スクリーンの状態切替の周波数はそのサイズに依存するので、ユーザの目の負担を軽くする高い周波数と大きなスクリーンの両立は難しい。画面を注視する協同描画ツールに用いるにはユーザの目への負担はできるだけ少なくしたい。これらの技術的な課題と、その価格の高さから、今回はこの方式を採用せず、次の方法「ドラフタミラー方式」を考案した。



(2) ドラフタミラー方式

斜めに傾けたスクリーンを用いることで描画ツールとしての描きやすさを向上させるデザインを検討する過程で、ユーザの目への負担が少なく単純な図7に示すようなシステム構成を考案した。傾いた画面が製図に使うドラフターに似ていることとハーフミラーを用いていることから、この方式をドラフタミラー方式と呼んでいる。

装置は、傾いたスクリーン、ビデオプロジェクタ、ビデオカメラから成る。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カーを用いた。このペンは布で拭き取って消去できる。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に投影・表示する。

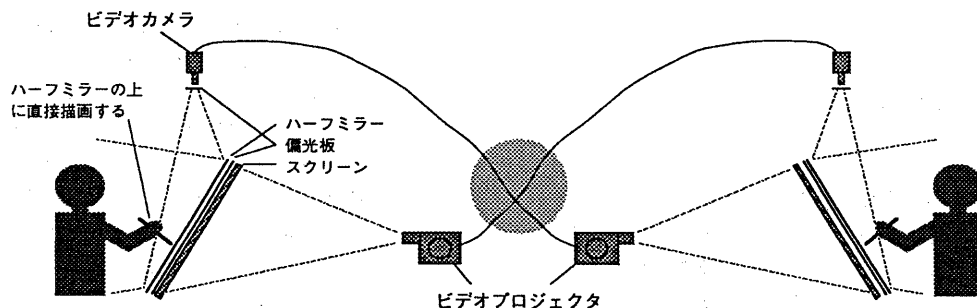
表示された像を再びカメラで撮影することによっておこるビデオフィードバックは、スクリーンの偏光板と、ビデオカメラのレンズに取り付けられ

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。

また、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。その方法としては光学的方法やビデオ画像を画像処理することで変形する方法が考えられるが、今回作成した装置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。

液晶スクリーン方式ではビデオプロジェクタの使用が必須であったが、ドラフタミラー方式は撮影手段と表示手段が分かれているので表示装置はプロジェクタに限らずCRT等も使用可能である。CRTはプロジェクタに比べて高解像度、高輝度であるが、画像変形装置を別に用意する必要があるが、また、表示面が平坦なCRTを入手できなかったため、今回の実装ではビデオプロジェクタを用いた。

アイコンタクトを成立させるためには、ユーザが相手の目を見たときに、相手にそのユーザが自分の方向を向いているような映像を提示する必要がある。つまり、画像中の相手の顔を見ているときには視線はカメラのレンズを向くように配置する必要がある。



小型のスクリーンを用いた視線一致装置ではカメラとディスプレイを同じ方向に位置させることで容易にアイコンタクトを成立させることができる。しかし、ClearBoardのような大画面の装置では画面全域でアイコンタクトを成立させることは困難である。つまり、図8に示すように、(A)各ユーザが中心部において正面にいる相手を互に見つめ合う場合は各ユーザがカメラを見つめることになりアイコンタクトが成立するが、(B)スクリーンの周辺部では視線方向とカメラの方向は一致せず、アイコンタクトが成立しない。

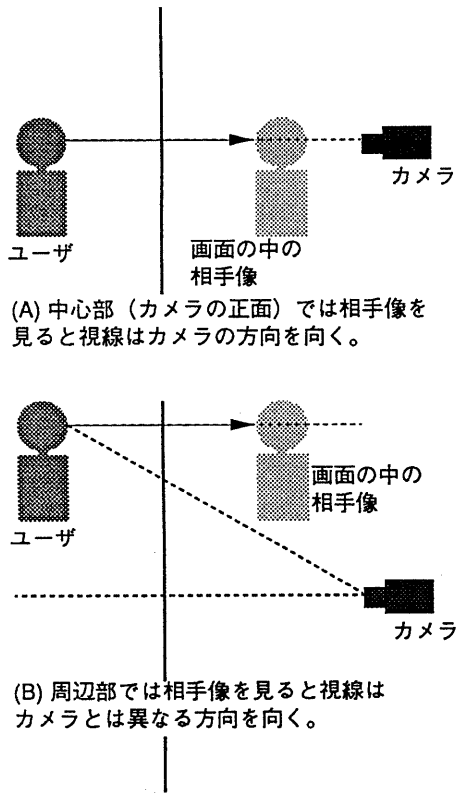


図8 大画面におけるアイコンタクト

大画面の装置で正面にいる相手とのアイコンタクトを成立させるためには、画面のどの部分においても正面を向いていればカメラの方向を向いている映像が撮影される必要がある。そのためには、

カメラはスクリーンから無限遠に配置するのが理想である。

しかし、実際にはこの配置には許容範囲があり[6]、正確にカメラの方向を向かなくてもアイコンタクトが得られるような感覚を与えることができる。この許容範囲は、画像の解像度、画面の大きさ、画面とユーザとの距離、人間の視力などに影響されて決まる。

装置を構成する際のカメラとスクリーンの距離は大きくとるのが理想だが、実際には装置や部屋の大きさによって制約される。今回実装した装置では、使用したプロジェクタとカメラのレンズの焦点距離の調節範囲の中でその距離が最大になるように配置を決定した。

4. プロトタイプを使用して

このドラフトミラー方式に基づくClearBoardの最初のプロトタイプ（ClearBoard-1）を、アイコンのデザインや、地図を用いた打ち合せ、論文の構成についての打ち合せ等に使用した。図9はその様子である。

その結果、アイコンタクトの頻度の増加が認められた。これは相手の顔と描画像がスクリーン上で近くに位置しているために、視点を大きく動かさずに容易に相手の顔を見ることができると考えられる。アイコンタクトが容易にとれることは、親近感の増加につながる。

また、ClearFace[2]ではユーザは相手の顔画像の上に描くことをためらったが、ClearBoardではユーザは相手の顔の像の上にもかまわず描画した。その要因としては、像の明瞭度、明るさの比、顔の像の大きさ等も考えられるが、ClearBoardのメタファーが、描画するガラス板とガラスの向こう側の相手との間の距離を意識させ、相手の顔と重なる場所に描画することへの抵抗感を軽減していると考えられる。

Gaze Awareness

プロトタイプの使用を通じて、ClearBoardでは相手がスクリーン上のどこを見ているのか容易に分かることが明かになった。相手が見ているところが分かる特質を" gaze awareness"と呼ぶ。

"river crossing"の問題を用いた協同の問題解決の実験をClearBoard上で行なった。この実験から、相手がどちら側の岸を見ているかを簡単に当てることができることを確認できた。相手がどこを見ているのが分かることは、お互いに助言しながら作業を進める上で有効であった。

正確な gaze awarenessは、通常のホワイトボードを用いた会議環境では得られない。対象と相手の目の両方を視野に収めることのできるClearBoardの環境においてはじめて容易に得られ、強く意識された。

これまでの通信ツールのデザインに関する議論では、視線については「一致させること」に注力されてきた。しかし、一致するだけでなく「一致していないことが分かること」、さらに「何を見ているのが分かること」もコミュニケーションには重要である。相手の「視線が読める」特質、

gaze awarenessの概念は、より一般的な考え方で、アイコンタクトは gaze awarenessの特別な場合と考えることが出来る。 gaze awarenessは、これからの協同描画ツールのデザインを考えてゆく上で重要なコンセプトである。

ClearBoard-1の問題点

プロトタイプを使用して明らかになった現状のプロトタイプの問題点を挙げる。

(1)画質

ドラフタミラー方式の現在のプロトタイプでは、スクリーンが傾いているのでその上端と下端ではカメラからの距離が異なる。カメラの焦点をスクリーン中央に合わせるとスクリーンの両端やユーザの顔には焦点が合わず、鮮明な画像を画面全体にわたって得ることは困難である。また、CRTに比べて液晶ビデオプロジェクターの解像度は悪く、画質低下の大きな原因になっている。さらに、ドラフタミラー方式の重要な構成部品であるハーフミラーと偏光板は画像の光量を落とし、ハーフミラーは周囲光を視野に入れるので、画面が見にくくなっている。画面の見やすさは、作業のしやすさに大きく影響するので改善する必要がある。

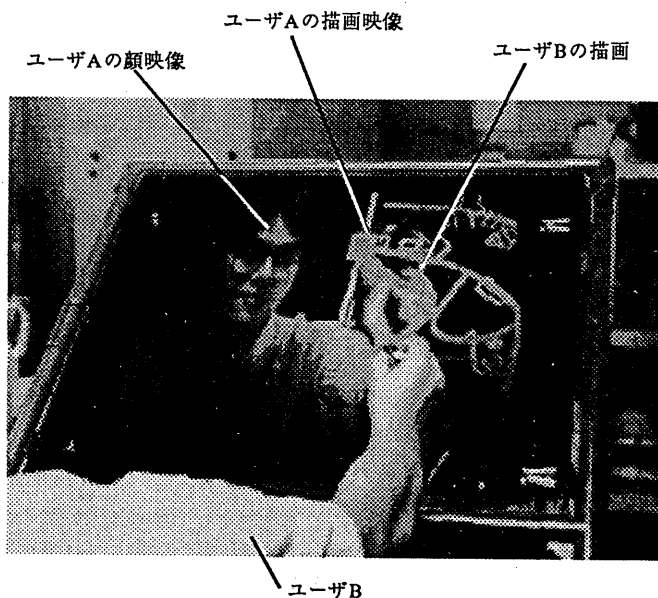


図9 プロトタイプClearBoard-1の使用風景

(2)相手の描画像を消せない

描画像は各ユーザのスクリーンの上に描かれているので、実際のホワイトボードのように相手の描画像を消すことができない。

(3)2重に映る手の像

図10に示すように、ClearBoardでは本来1本である腕の像が2重に映る。ClearBoardを使ったユーザは、はじめはこの手が邪魔になるが、しばらく使用して慣れると、片方の手を無視して使うことで気にならなくなったと報告している。

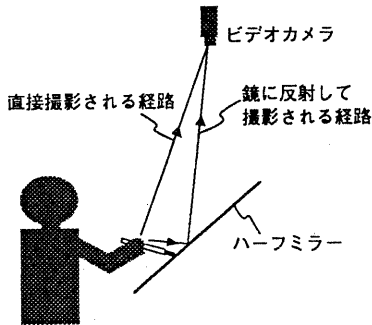


図10 手の2重映り

(4)結果の記録

フェルトペンで描画する現在のプロトタイプでは、描いたイメージの保存にはポラロイド写真を使っている。本格的な協同描画には、描画像の記録・再生機能が必要である。

5. まとめ

新しい協同描画メディアClearBoardについて報告した。ClearBoardは、遠隔の実時間コラボレーション支援において、(1)継目のない協同描画空間と(2)gaze awarenessを実現した。

本研究の目的は、従来のシステムでは別々であった協同描画空間と対面対話空間をシームレスに統合し、同時に、視線を有効に使うことができる協同描画環境を構築することにあった。その目的を達成するためのメタファーとして「透明なガラス板を通して会話し、その上に描画するメタファー」を提案し、それに基づくコミュニケーション

メディアをClearBoardと名付けた。本論文では、ホワイトボードやテーブルのメタファーとの比較を通じ、ClearBoardのメタファーの優位性についても論じた。コンセプトを実現するための装置の設計条件について検討し、プロトタイプClearBoard-1をドラフトミラー方式によって実装した。実装されたプロトタイプからコンセプトが当初の目的を達成していることを確認した。さらに、プロトタイプの使用を通じてClearBoardの重要な特性 "gaze awareness" を発見した。gaze awarenessのコラボレーションにおける働きについては今後調べてゆく。

参考文献

1. Acker, S. R., and Levitt, S. R. Designing Videoconference Facilities for Improved Eye Contact. In Journal of Broadcasting & Electronic Media, Volume 31, Number 2, Spring 1987, pp. 181-191.
2. Ishii, H., and Arita, K. ClearFace: Translucent multi-user interface for TeamWorkStation. In Proceedings of European Conference on Computer-Supported Cooperative Work 1991(ECSCW'91, Amsterdam), 1991, pp. 163-174.
3. Ishii, H., and Miyake, N. Toward an Open Shared Workspace: Computer and Video Fusion Approach of TeamWorkStation. Communications of the ACM, December 1991, pp. 37-50.
4. Ishii, H., and Kobayashi, M. ClearBoard: A Seamless Medium for Shared Drawing and Conversation with Eye Contact. In Proceedings of 1992 ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'92, Monterey, California, May 3 - 7), ACM, New York, 1992.
5. Shiwa, S., and Ishibashi, M. A Large-Screen Visual Telecommunication Device Enabling Eye Contact. In Digest of technical papers of Society for Information Display International Symposium 1991(SID 91), 1991, pp. 327-328.
6. 佐藤利喜夫,三浦彰,永田邦一 映像電話における撮像管の位置に関する検討 昭和42年電気四学会連合大会, 講演1998, 1967.