

非言語情報に基づく Computer Mediated Communication

大野 健彦

NTT サイバーソリューション研究所
〒239-0847 神奈川県横須賀市光の丘 1-1

ohno.takehiko@lab.ntt.co.jp

非対面状態における同期型コミュニケーションにおいて、参加者の映像に基づく非言語情報を共有画面上に表現する形態のコミュニケーション手法を提案する。本手法では、非対面状態で一般に用いられるビデオ画像に代えて、利用者の視線位置と頭部方向を画面上に表示する。これらの情報は筆者らが開発した視線計測装置によって計測され、ネットワークを経由して相手側のシステムに伝達される。本システムを利用することで、利用者は従来のコミュニケーションシステムでは伝達が困難であった非言語情報を、選択的に相手側の環境に伝達することが可能となった。

Computer Mediated Communication by Non-Verbal Information

Takehiko Ohno

NTT Cyber Solutions Laboratories
1-1 Hikarino-Oka, Yokosuka, Kanagawa, 239-0847

ohno.takehiko@lab.ntt.co.jp

In the non-face-to-face, synchronous communication environment, we propose a new communication method which visualizes the user's limited nonverbal information on the shared screen. To represent the user's nonverbal information, this does not use the video image, but instead displays the gaze position and the face direction on the screen. The user's gaze position is detected by a gaze tracker developed by the author, and transferred to the participant's system via the network. With this system, the user can selectively transfer clear nonverbal information, which is difficult to understand from the video image provided by the traditional communication systems.

1 はじめに

人と人とのコミュニケーションは、我々が日常的に行なっている、もっとも基本的な活動の一つである。その形態は多岐に渡り、また日々多様化している。特にここ10年余における携帯電話の普及、インターネットの大容量化と低価格化に伴う電子メールやWorld Wide Web(WWW)などのIT技術の一般化、またそこに登場した多数のアプリケーションやサービスは我々の生活を大きく変えた。今やこれらの技術が普及する前の生活スタイルに戻ることは難しい。

これらのコミュニケーション技術を、対面-非対面、同期型-非同期型の2軸で整理する。対面とは目の前に相手がいる状態であり、非対面とは相手が目の前ではなく遠隔地において、例えば電話など何らかのコミュニケーション技術を用いてコミュニケーションを行う状態である。同期型とは、二人またはそれ以上の参加者が同時にコミュニケーションを行う形態であり、非同期型とはコミュニケーションが必ずしも同時には行なわれず、離散的に行なわれる形態である。非同期型の場合は、参加者全員が必ずしも同一時間にコミュニケーションへ参加する必要はない。

図1に、主なコミュニケーションの形態を、対面-非対面、同期型-非同期型の軸で分類した結果を示す。近年登場した新しいコミュニケーション技術は、その多くが非対面かつ非同期型であることがわかる。我々が古くから行なってきたコミュニケーションの形態は大半が対面かつ同期型であることを考えると、その対極に位置するコミュニケーションの形態が多様化しているという事実は興味深い。一方、その他の形態についても、その形態におけるコミュニケーションが不必要であるというよりは、たまたま適した技術がないだけであり、今後、新たなコミュニケーション手法が登場することで、一気に多様化する可能性もある。特に同期型コミュニケーションは、我々が日常生活を行なううえで欠かせないコミュニケーション形態であることから、コミュニケーション技術の発展に伴う形態の多様化が、生活の利便性を大いに向上させていくであろう。

本稿では、非対面状態における同期型コミュニケーションに焦点をあて、これまで行なわれてきた研究を、我々の研究を中心にその動向について述べ、今後の方向性について議論する。

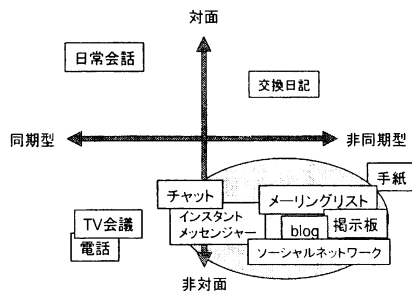


図1: 多様なコミュニケーションの形態

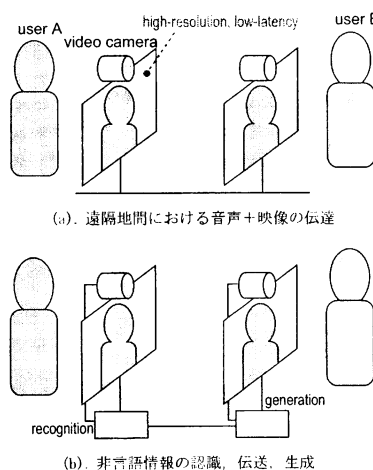


図2: 非対面コミュニケーションの形態。

2 非対面における同期型コミュニケーション

非対面における同期型コミュニケーションは、これまで電話に代表される音声コミュニケーションが主流であった。近年、ネットワークの高速化に伴い、音声に加えて映像を付加する形態のコミュニケーションが簡単に利用できるようになってきた。例えば携帯電話にテレビ電話機能が搭載されたり、PC上でビデオチャットが簡単にこなえるようになってきた。またIP電話にテレビ電話機能が搭載されたものもある。対面状態におけるコミュニケーションでは、我々は視覚情報と聴覚情報を統合しながらコミュニケーションを遂行している。非対面状態においても音声に映像が付加されれば、より臨場感の高い、豊かなコミュニケーションが実現されることが期待される。

2.1 コミュニケーションにおける映像の役割

そもそも非対面コミュニケーションにおいて、音声に映像が加わると、どのような効果が得られるのであろうか。直感的には映像が加わることで、多大なメリットが得られることが予想される。しかしながら、これまで音声のみと音声+映像のコミュニケーションを比較した様々な研究では、予想に反して、映像の効果は対話の構造や作業効率などの観点から見て、必ずしも大きくないという結果が得られている [3, 16]。一方、これらの研究では、対面と音声のみ、あるいは対面と音声+映像では、対話構造や作業効率が大きく異なっている。これらの研究は映像が加わっても、必ずしも対面と同一コミュニケーションが実現されないだけでなく、映像が加わる効果はあまり明確でないことを意味している。

一方、交渉課題 [5, 22]、実世界における協調組立作業 [6] など、作業の種類を特定することで、映像に明確な効果と役割が見出せる場合もある。コミュニケーションにおいて映像が不要であるというよりは、定量的に測定可能な効果を得ることは難しいが、作業の種類によってはその効果が顕在化する場合もあるということであろう。

それではなぜ映像の効果は必ずしも大きくないという、一見直感に反する結果が得られるのであろうか。もっとも大きな要因は、非対面状態で用いられる映像が、対面状態で我々が用いる視覚情報とは大きく異なる点であろう。主な違いを以下に整理する。

- 映像品質。映像の解像度、色再現性、画角など、映像の撮影/伝送/表示系に起因する問題。最近ではハイビジョン程度の解像度を持つ画像のリアルタイム送信が可能となり、遠隔地間コミュニケーションに用いられるなど、画質については進歩が目覚ましい。しかしながらネットワークで伝送する以上は避けられない映像遅延の問題など、課題は多く残る。
- 空間構造。参加者は対面状態において3次元空間を共有するのに対し、非対面状態では2次元空間を共有する。そのため奥行き情報の多くが失われ、微妙な頭部方向の認識、ジェスチャの理解などが困難となる。また、非対面状態では相手の空間にある物体を物理的に指し示すことが困難であり、理解の共有が困難となる要因である。遠隔地間におけるポインティング技術の研究(例えば [24])もおこなわれているが、完全に対面状態と同等の感覚を提供するものではない。
- 空間の非対称性。参加者の位置する空間が物理

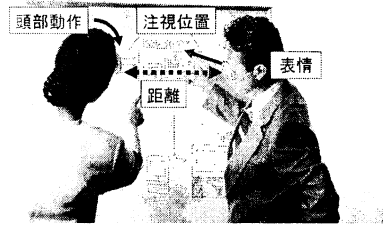


図 3: 対面コミュニケーションにおける非言語情報。

的に分離しているもう1つの問題点として、自分が相手の空間においてどのように見えているかがわかりにくいという問題がある。そのため、うなづき、ジェスチャなどの非言語情報の効果が対面状態と比較してわかりにくく、円滑なコミュニケーションを阻害する要因となる [8]。空間の非対称性を解決する手法として、例えば鏡のメタファを用いて、双方の空間を同一平面状に重畳、表示する方法 [11] が提案されている。

これらの諸問題を解決する方向性の一つとして、上記問題を個別に解決し、真に対面状態と同一な感覚が得られるコミュニケーション空間の実現を目指すことが考えられる(図 2(a))。しかしながら、上記問題を完全に解決することは現在のところ不可能であり(例えば遅延がまったくない映像通信を作成することはできない)、また仮に解決した場合でも、得られるコミュニケーション空間は対面状態を超えるものではない。

もう一つの方向性として、非対面コミュニケーションとはネットワークを介したコミュニケーションであることを積極的に利用し、対面では実現できないコミュニケーション空間を実現することが考えられる。そこでは映像をそのまま伝送するのではなく、映像からなんらかの情報や状態を認識し、相手空間において生成することになる(図 2(b))。このような手法は、対面状態よりも利便性が高く効率が良い、あるいはコミュニケーションが活発になるなどの利点を持った環境を構築できる可能性がある。

非対面コミュニケーションの研究は、これまで前者が主流であったが、コンピュータが進化し、利用者の行動をリアルタイムに認識、理解することが可能になってきたことから、今後は後者の手法も盛んになるものと思われる。



図 4: 視線と頭部情報を伝達するコミュニケーションシステム、視線情報は一定時間の視線データが連続する線分として、頭部方向情報は画面上部に表示された静止画として表現されている。また、視線測定の確認用に、利用者の眼球像が表示されている。

3 コミュニケーションにおける非言語情報の抽出とその利用

それでは、これまでどのような非言語情報が抽出され、利用されてきたのであろうか。対面コミュニケーションにおいて主に用いられる非言語情報を図 3 に示す^{*}。対面コミュニケーションによってもっとも重要な役割を果たすのが視線である。視線の役割は外部の情報を収集するだけでなく、同時に自分の興味や関心、理解度などを示したり、相手の対話に割り込んで発話権を交代するきっかけを作ったりする [1, 2, 10]。非対面コミュニケーションでも映像によって視線情報を伝達可能であるが、視線方向がわかりにくい、微妙な変化が読み取れないなど、対面と同等の効果を得ることは難しい。

そこで、視線をそのまま伝達するのではなく、視線の

^{*}これらの情報は視覚情報に属する情報である。聴覚情報に属する情報 (例えば音律や強度) などの情報もあるが、本稿では視覚情報にのみ着目し、聴覚情報については言及しない。

持つ意味を考慮し、視線や頭部方向を認識、利用する手法が提案されている。例えば Stienfelhagen らは全方位カメラを利用して参加者の頭部画像を撮影し、Neural Network を用いて視線方向を推定、Hidden Markov Model を用いて注意の方向 (focus of attention) を推定する手法を提案している [18]。Takemura らは赤外線センサーを利用して頭部方向を推定し、注意の方向を検出する手法を提案している [21]。また、竹前らは複数人対話において視線方向に基づき映像を切り替えることで、対話の方向性と相手の反応をわかりやすく伝達する手法を提案している [20]。これらの研究はいずれも、テレビ会議のように遠隔地にいる利用者に映像を通じてコミュニケーションの様相をわかりやすく伝達するために、適切な映像を選択する手段として利用者の非言語情報を利用している。

筆者は非言語情報として視線と頭部動作の 2 種類に着目し、これらの情報を計測、伝達するシステムを試作した [12, 13]。コミュニケーションにおいて視線情報

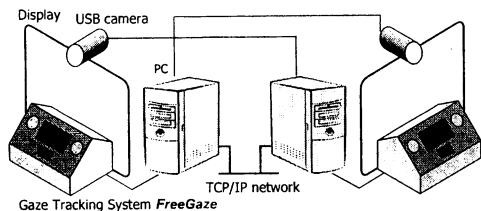


図 5: システム構成。二台の視線測定装置 FreeGaze を備えた PC がネットワークに接続されている。なお試作したシステムでは、利用者の顔画像撮影用に、USB カメラを互いの PC にクロスして接続している。

報が重要な役割を果たすことは前述の通りであるが、非対面状態では対面状態と比べて視線情報が伝わりにくい。そこで、遠隔地にいる 2 名の利用者が World Wide Web(WWW) 等が表示された共有画面を見ながらコミュニケーションを行う場面を想定し、各自の注視位置を共有画面上に重ねる。本システムを用いることで、お互いが共有画面上のどの箇所を注視しながら会話をしているかが、画面上に表示された視線として明らかになる。システムの画面イメージを図 4 に、構成を図 5 に示す。

本システムの特徴は、(1) 視線を線分で可視化し、(2) 顔方向を静止画で表示する 2 点にある。それぞれの特徴とその効果を以下に述べる。

3.1 視線の可視化

非対面状態における映像を用いたコミュニケーションにおける問題点の一つとして、相手の顔画像から、相手が何を見ているのかがわかりにくいことが挙げられる。原因の一つには、一般に顔撮影に用いるカメラの光軸が視線方向と一致していないことが挙げられる。この問題を回避する手段として、ディスプレイ上部に相手の顔画像を表示し、ディスプレイの上にカメラを設置すると比較的良好な結果が得られることが知られている [4, 7]。また、ハーフミラーを利用して光軸を完全に一致させる方法 [9] や、撮影した顔画像を半透明に重ね合わせて表示する手法 [19] も提案されている。ただし表示される顔画像は 2 次元であり、顔の角度や顔から画面までの距離は正しく伝達されないことから、見ている対象の正確な推定は困難である。

本手法では、視線を相手の画面上に直接描画する。利用者が共有画面を見ると、最新 1 秒間の視線がリアルタイムに共有空間上に描画される。もっとも最近の視線位置は赤色で、その後、徐々に緑色に変化して 1 秒後に消滅する。連続した直線で表現することにより、

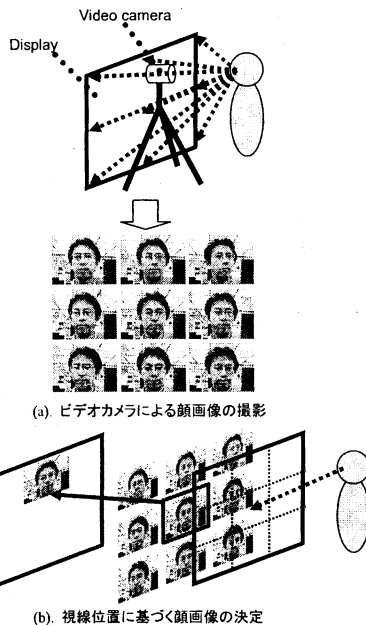


図 6: 顔画像の撮影および視線に基づく顔画像の選択。

視線を点で表示する場合にくらべ、最新の注目箇所を一見して知ることが可能である。視線は通常、相手の注意を妨げないように細い線で表示されているが、視線を強調したい場合にはスペースキーを押すことで、太い線で表示することが可能であり、この場合には注意を強くひきつけやすい。

また、自分の視線が相手にどのように伝わっているかが一見してわかるように、自分の視線位置も青い丸で共有画面上に表示される。

3.2 静止画を利用した頭部方向の表示

利用者の頭部方向情報は、ビデオによる動画表示ではなく、静止画の切り替えによって表現される。利用者はあらかじめ画面上の 9 箇所を順次注視し、ディスプレイ前部に配置したカメラで静止画を撮影しておく (図 6(a))。コミュニケーション時には、計測された視線から対応する静止画が選択され、相手側ディスプレイに表示される (図 6(b))。

一般に非対面状態における映像コミュニケーションではビデオ画像を用いる場合が多いが、本手法で静止画を用いる理由として以下の 3 点が挙げられる。1 点目は 2.1 節で述べた通り、そもそもビデオ画像を伝達しても、その効果は少ない点である。対面においては発話交代などにおいて視線や頭部方向が重要な役割を果たす [10] と考えられてきたが、非対面状態におい

る映像コミュニケーションでは、音声のみのコミュニケーションと比較して、対話構造にはほとんど差が見られなかった [16]。ほとんど効果のない顔画像を、音声に比べて顕著に遅延しながら、ネットワーク帯域を消費しつつ表示することは取りやめ、そのかわりに顔の方向という、極めて少ない情報量で表現可能な情報を利用することとした。

2点目は、ビデオ画像を用いて頭部方向を表示する場合に比べ、頭部方向を強調して表示できることがある。静止面の撮影時には、画面隅に表示されたマーカーを注視した状態における利用者の顔画像を撮影する。その結果、一般に画面を9等分した1領域を見ている場合に比べ、より顔の傾きが大きい画像が得られる。2次元で表示され、また実際の大きさに比べて小さな顔画像では、顔方向がわかりにくい傾向があるが、傾きを強調することでどの方向を向いているかがわかりやすくなる。

3点目は、映像コミュニケーションにおいてしばしば問題となる、相手に自分の顔画像を開示することに対する抵抗感の軽減がある。日常生活においては、寝起きの状態など、しばしば自分の顔を表示することがはばかれる局面がある。また、不特定多数とのコミュニケーションにおいてはプライバシーの問題がある。本手法ではビデオ画像をリアルタイムに用いるのではないことから、例えばあらかじめ撮影しておいた顔画像を用いたり、あるいは自分の顔に代えて人形の顔を表示するなどの代替手段も可能である。

4 2点キャリブレーションに基づく視線測定法

提案手法は、利用者の視線をリアルタイムで測定することにより非言語情報を生成している。非対面コミュニケーションに限らず、Human-Computer Interaction(HCI)に視線を利用する場合には、利用者が望むときにはただちに視線計測が可能となる必要がある。そのため、筆者らはこれまで手軽に使える視線測定法に関する研究を行ってきた [15, 14]。本手法の特徴は、眼球撮影用カメラ、ユーザの眼球、見る対象であるディスプレイの3次元位置関係を正確に求めることにより、通常、5点から20点のマーカーを順次注視する必要のある個人キャリブレーションを、わずか2点で実現可能としている点である。当初構築したシステムはカメラ方向が固定されているために頭部の可動範囲が4cm四方と狭かった [15]。そこでステレオカメラで別途ユーザの3次元空間における眼球位置を計測し、

カメラの測定方向を変化させることで、より広い範囲の頭部位置を許容している。現在のシステムは装置内部にパン方向およびチルト方向の鏡を内蔵し、モータで駆動することで、図7に示すとおり、縦および横方向に30cm程度、奥行き方向に20cm程度の移動が可能である。

本システムは、まずステレオカメラで利用者の両眼位置を求め、そこから右目または左目(利用開始時に指定可能)の3次元位置を求める(図8)。次に眼球撮影用カメラの先に配置されたミラーをモータで駆動することで、カメラの光軸をパン方向およびチルト方向のそれぞれで制御する。また、カメラから眼球までの距離を算出し、眼球撮影用カメラの焦点を調整する。次に眼球撮影用カメラで得られた眼球像(可視光線カットフィルターを装着したモノクロカメラを利用することで、近赤外線映像が得られる)から、画像処理により瞳孔中心、および近赤外線光源の角膜表面における反射像(プルキニエ像あるいは角膜反射像と呼ぶ)の位置を求める。視線方向は瞳孔中心およびプルキニエ像の位置関係から算出する。瞳孔中心の推定にあたっては、角膜表面における屈折の影響を考慮している。算出した視線をディスプレイ上に射影して得られた交点が、ディスプレイ上の視線となる。なお、個人キャリブレーションにおいては画面对角位置に配置された2点を順次注視し、得られた視線と正しい視線との差分に基づき補正パラメータを算出している。測定精度については個人差があるが、視野角0.8度程度である。視線測定時には、同時にディスプレイから眼球までの距離を算出している。

本システムを利用して非対面コミュニケーションを行なう場合、まず2点による個人キャリブレーションを行い、補正パラメータを求めておく。システムの利用時には、得られた補正パラメータを利用することで、新たにキャリブレーションを行なうことなくシステムの利用が可能である。

5 議論

試作したシステムについては、評価実験を実施し、視線や顔情報を可視化することでどのような効果が得られるのかを確認中である。また、視線情報の可視化手法についても、より分かりやすく作業の妨げにならない手法を検討する余地がある。遠隔地間の共同作業における視線共有には、例えばユーザ間の知識転移が促進される [17, 23] などの効果が報告されている。一方、常に視線を表示することは、相手の視線を引き付けてコミュニケーションの妨げになったり、開示した

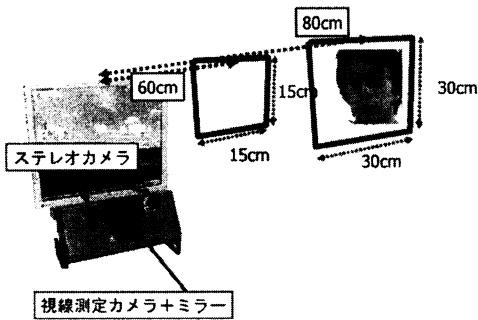


図 7: 視線測定システム FreeGaze/Blue



図 8: ステレオカメラおよび眼球撮影カメラによる映像

くない情報が相手に伝わってしまうなど、これまでにない問題を引き起こす可能性もある。今後、これらを検討して、より優れたコミュニケーション環境を構築していくことを目指していきたい。

なお、評価実験を通して明らかになったが、対話中に被験者が取る姿勢には大きな個人差があり、被験者によっては対話中に頭部位置が視線測定可能な範囲を超えてしまう場合もあった。自然なコミュニケーションを阻害しないためには、頭部位置に関してかなりのロバスト性が要求されることを改めて確認した。精度の高い視線測定を行なうには、利用者の眼球をカメラで拡大して撮影することが必須であるが、多少精度が低くても、少ない制約で利用可能な視線計測法も検討が必要である。

また、現在利用している非言語情報は視線情報のみであるが、例えばカメラ画像から表情を認識すると遠隔地間コミュニケーションを活性する新たな手段として利用できる可能性がある。また、視線から利用者の関心、興味などを推定できれば、共有している情報を更新する手がかりとしての利用も可能となろう。これ

らは対面コミュニケーションにおいても実現されていないコミュニケーション形態であり、カメラで顔画像を撮影する積極的な理由となるであろう。

6 おわりに

本稿では、非対面かつ同期型コミュニケーションの一種として、人の非言語情報を計測し、相手空間に生成する形態のコミュニケーション手法を提案した。これらの手法では、顔方向や視線などの非言語情報を何らかの方法で計測することが前提となる。顔方向や視線の計測技術は随分と進歩し、安定した計測が可能となりつつある。しかしながら多人数のコミュニケーションを支援する場合など、実現が困難な局面もまだまだ多く存在する。提案手法が利用している視線計測も、利用者前方に設置したカメラで頭部を撮影することが前提であり、装置が大きい、頭部位置が限定される、個人キャリブレーションが必要であるなど、いろいろ制約が残る。まだまだ研究課題は多いが、計測技術のさらなる発展によってこのような制約が解消され、またその利用技術に関する研究も盛んになることで、近い将来に対面コミュニケーションとは異なる、まったく新しい形態のコミュニケーション環境が実現されるのではないかと期待している。

参考文献

- [1] Argyle, M. and Graham, J. A.: The Central Europe Experiment: Looking at Persons and Looking at Object, *Environmental Psychology and Nonverbal Behavior*, Vol. 1, No. 1, pp. 6-16 (1976).
- [2] Argyle, M., Lefebvre, L. and Cook, M.: The Meaning of Five Patterns of Gaze, *European Journal of Social Psychology*, Vol. 4, No. 2, pp. 125-136 (1974).
- [3] Chapanis, A.: Interactive human communication, *Scientific American*, Vol. 232, pp. 36-42 (1975).
- [4] Chen, M.: Leveraging the Asymmetric Sensitivity of Eye Contact for Videoconferencing, *Proceedings of The Conference on Human Factors in Computing Systems*, ACM Press, pp. 49-56 (2002).
- [5] Daly-Jones, O., Monk, A. and Watts, L.: Some advantages of video conferencing over high-quality audio conferencing: fluency and awareness of attentional focus, *International Journal*

- of *Human-Computer Studies*, Vol. 49, No. 1, pp. 21–58 (1998).
- [6] Fussell, S. R., Setlock, L. D. and Kraut, R. E.: Effects of Head-Mounted and Scene-Oriented Video Systems on Remote Collaboration on Physical Tasks, *Proceedings on Human Factors in Computing Systems (CHI 2003)*, pp. 513–520 (2003).
- [7] Grayson, D. M. and Monk, A. F.: Are You Looking at Me? Eye Contact and Desktop Video Conferencing, *ACM Transaction on Computer-Human interaction*, Vol. 10, No. 3, pp. 221–243 (2003).
- [8] Heath, C. and Luff, P.: Disembodied Conduct: Communication Through Video in A Multimedia Office Environment, *Proceedings of the Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 99–103 (1991).
- [9] Ishii, H. and Kobayashi, M.: ClearBoard: A Seamless Medium for Shared Drawing And Conversation with Eye Contact, *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pp. 525–532 (1992).
- [10] Kendon, A.: Some Functions of Gaze-Direction in Social Interaction, *Acta Psychologica*, Vol. 26, pp. 22–63 (1967).
- [11] 森川治: 人に優しい超鏡対話における指差し行為, *情報処理学会論文誌*, Vol. 41, No. 5, pp. 1290–1297 (2000).
- [12] Ohno, T.: Weak Gaze Awareness in Video-Mediated Communication,, *Extended Abstracts of ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1709–1702 (2005).
- [13] 大野健彦: 視線共有に基づく遠隔地間コミュニケーション, *信学技報 HIP20004-10*, Vol. 104, No. 747, pp. 55–60 (2005).
- [14] Ohno, T. and Mukawa, N.: A Free-head, Simple Calibration, Gaze Tracking System That Enables Gaze-Based Interaction, *Proceedings of Eye Tracking Research & Application (ETRA2004)*, pp. 115–122 (2004).
- [15] 大野健彦, 武川直樹, 吉川厚: 2点補正による簡易キャリブレーションを実現した視線測定システム, *情報処理学会論文誌*, Vol. 44, No. 4, pp. 1136–1149 (2003).
- [16] Sellen, A. J.: Remote Conversations: The Effects of Mediating Talk With Technology, *Human-Computer Interaction*, Vol. 10, pp. 401–444 (1995).
- [17] Stein, R. and Brennan, S. E.: Another Person’s Eye Gaze as a Cue in Solving Programming Problems, *Proceedings on 6th International Conference on Multimodal Interfaces*, pp. 9–15 (2004).
- [18] Stiefelhaven, R., Yang, J. and Waibel, A.: Modeling Focus of Attention for Meeting Indexing, *Proceedings of ACM Multimedia ’99*, pp. 3–10 (1999).
- [19] Stotts, D., Smith, J. M. and Gyllstrom, K.: FaceSpace: Endo- and Exo-Spatial Hypermedia in the Transparent Video Facetop, *Proceedings of Fifteenth ACM Conference on Hypertext and Hypermedia*, pp. 48–57 (2004).
- [20] 竹前嘉修, 大塚和弘, 武川直樹: 対面の複数人対話を撮影対象とした対話参加者の視線に基づく映像切り替え方法とその効果, *情報処理学会論文誌*, Vol. 46, No. 7, pp. 1752–1767 (2005).
- [21] Takemura, K., Matsumoto, Y. and Ogasawara, T.: Estimation of Focus of Attention of Multiple People for Video Conferencing, *Extended Abstracts of ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 2227–2230 (2005).
- [22] Veinott, E. S., Olson, J., Olson, G. M. and Fu, X.: Video helps remote work: speakers who need to negotiate common ground benefit from seeing each other, *CHI ’99: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, ACM Press, pp. 302–309 (1999).
- [23] Velichkovsky, B. M.: Communicating Attention: Gaze Position Transfer in Cooperative Problem Solving, *Pragmatics & Cognition*, Vol. 3, No. 2, pp. 199–224 (1995).
- [24] 山下淳, 葛岡英明, 井上直人, 山崎敬一: コミュニケーションにおけるフィードバックを支援した実画像通信システムの開発, *情報処理学会論文誌*, Vol. 45, No. 1, pp. 300–310 (2004).