

人数が不均衡な遠隔テレビ会議における 弱い光を用いた視線アウェアネス

敷田 幹文^{1,†1,a)} アルニー ラティカン^{2,b)}

受付日 2016年4月11日, 採録日 2016年10月4日

概要: 近年, 情報ネットワークの高速化, ビデオ通信の高画質化によって, 遠隔地とのテレビ会議が普及してきた. 遠隔会議では参加者の映像や音声は鮮明に再現されるが, 議論において重要なノンバーバル情報の伝達が十分でない. 特に, 視線の不一致によって誰に向かって話しているか分からないことが, 存在感の薄れに影響しており, 遠隔参加者が他者と対等に議論することの妨げとなっている. この課題に対して, 視線一致を実現するディスプレイを用いる研究では, 装置が特殊で高価になる可能性がある. また, 視線を代替する装置を用いる研究でも会議室側で話が盛り上がると遠隔参加者は注目されなくなる. 本論文では, 参加者の大半が会議室 1 カ所に集まり, 1 人だけが遠隔地から参加するテレビ会議で, 遠隔参加者の存在感を伝えてソーシャルプレゼンスを実現するために, 弱い光のランプを視線情報に基づいて点灯させるアウェアネス支援方式を提案する. また, 被験者を用いた会議の実験で, 遠隔参加者が他者と同程度に注目され, 会議中のアイデア数も増加することを確認した.

キーワード: 視線アウェアネス, ノンバーバル情報, テレビ会議

Assisting Gaze Awareness by Using Faint Lights during a Video Conference between an Unbalanced Number of Participants

MIKIFUMI SHIKIDA^{1,†1,a)} ARUNEE RATIKAN^{2,b)}

Received: April 11, 2016, Accepted: October 4, 2016

Abstract: Commercial video-conferencing systems have become popular due to the spread of high-speed networks and high-quality video-transmission technology. Although these systems can transmit pictures and voices clearly, they cannot sufficiently transmit non-verbal cues (e.g., eye contact). If users cannot make eye contact, they do not know exactly whom they are talking to. It is thus hard for a single remote user to get equal opportunities to take turns talking. Some research papers provide methods of supporting gaze awareness. A remote user, however, does not receive attention when the other users in the same room are talking actively. In this paper, we discuss communication support in the case of tele-communication among several local users and one remote user using a commercial video-conferencing system. In particular, a method for representing the gaze direction of the remote user—to convey the feeling of “being together” to the local users and make social presence—is proposed. It uses a faint light based on the gaze direction of the remote user. The usefulness of the proposed method was confirmed by experimental meetings. In detail, the local users paid more attention to the remote user, and the number of ideas generated in the meetings was increased.

Keywords: gaze awareness, non-verbal information, video conference

¹ 北陸先端科学技術大学院大学情報社会基盤研究センター
Research Center for Advanced Computing Infrastructure,
Japan Advanced Institute of Science and Technology, Nomi,
Ishikawa 923-1292 Japan

² 北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科
School of Information Science, Japan Advanced Institute of
Science and Technology, Nomi, Ishikawa 923-1292 Japan

^{†1} 現在, 高知工科大学情報学群
Presently with School of Information, Kochi University of
Technology

1. はじめに

近年の情報ネットワークの高速化, ビデオ通信の高画質化によって, 遠隔地とのテレビ会議はより使い勝手の良いものとなり, テレビ会議システムの商品化も進んできた.

^{a)} shikida.mikifumi@kochi-tech.ac.jp

^{b)} aratikan@jaist.ac.jp

民間企業におけるオフィスの多地点化，省庁の地方への分散化構想の推進を背景に，分散環境下におけるテレビ会議システムの利用はさらに広がるものと考えられる。

テレビ会議システムにおいて，遠隔地にいる会議参加者の画像や音声の伝達状況に比べて，会話の場で発生するノンバーバル情報 [1] の伝達がまだ十分ではないことが指摘されて久しい [2], [3]。しかし，ノンバーバル情報は会話において重要な役割を果たしている [4], [5], [6]。特に，情報伝達にとどまらない創造性の高い双方向的議論を行う場合，ノンバーバル情報の重要性は増してくる。

ノンバーバル情報の中でも視線情報（たとえば，アイコンタクトの頻度や視線の方向に関する情報）は，最も重要なノンバーバル情報の1つである。一般的なテレビ会議システムでは，ディスプレイの上，または横などにカメラが置かれている。そのため，会議参加者がディスプレイ内の相手の画像に注目していてもカメラの方向には視線が向いていないために，対話者は視線を誤認識する，あるいはアイコンタクトが成立しないという問題が生じる。Vertegaalらは，ユーザがアイコンタクトに気づけないとき，話し掛けられているのか否か，話者が誰に話し掛けたいのかを正しく判断できず，議事進行に問題が生じると指摘している [7]。現在喋っている話者にとっては，対話者のトピックへの興味の度合いをアイコンタクトによって推測し，今話しているトピックが対話者にとって適切であるか否かを判断することができる。よって，誰に向かって話しているか分からない，アイコンタクトが上手くとれない状況下では，円滑なコミュニケーションが行われにくい。

テレビ会議システムは，ディスプレイを共有するか否かという観点から，次の2つのタイプに大まかに分類することができる。“専有ディスプレイ”タイプか，“共有ディスプレイ”タイプである。前者では，会議参加者が，各自の専有するディスプレイを用いてテレビ会議に参加する。後者の共有ディスプレイタイプでは，会議参加者は，本社と支店，中央官庁と支庁あるいは本校とサテライト校のような2カ所もしくは3カ所の地点から参加し，各地点で1つの大きなディスプレイを共有しながら対話を行う。いくつかの共有ディスプレイタイプの専用機が開発され，商品化されている（たとえば，文献 [8]）。

専有ディスプレイタイプのテレビ会議システムでは，カメラとディスプレイが参加者ごとに設置されているため，視線追跡装置を装着すれば，各ユーザの視線方向の検出と伝達が可能になる [9], [10]。一方，共有ディスプレイタイプのシステムでは，アイコンタクトの成立や視線アウェアネス支援が重要な課題として残っている。

共有ディスプレイタイプのシステムは，本社と支店で働くユーザ間の会議のような2カ所間の会議にしばしば使われ，各地点の参加者数に偏りが生じる場合がある。たとえば，本社において参加する会議参加者数の方が，支店から

参加する会議参加者数より，数で優る場合である。この場合，ノンバーバル情報の伝達が豊富で，会話の自然な成立が容易な同室にいる参加者間のみで議論が進みやすい。遠隔側の少数参加者は議論に取り残されやすいという状況が発生する。筆者らもこのような状況をよく経験する。文献 [11] でも遠隔会議において，遠隔側参加者との議論が極端に少なくなると指摘している。また，参加人数の不均衡を考慮した研究 [12] でも，注意を引き過ぎることによって自然なコミュニケーションが阻害されることがある。

本論文では，主会議室の多人数と遠隔地の1人に分かれて行われるテレビ会議において，議論に取り残されがちな遠隔参加者の存在感を，主会議室側の参加者に気づかせるために，遠隔参加者の視線方向のアウェアネス提供方式を提案する。会議において，視線情報は共同作業に直接影響を与える情報ではないが，視線情報を伝えることで会議の進行が支援される。そのため，視線方向を明瞭に伝達するのではなく，話者の喋りを遮らないように弱い光のランプを点灯することで遠隔参加者の存在感を表出し，会議における会話支援に特化した情報提示を行う。また，本方式を商用の共有ディスプレイタイプのシステムに用いて，3人と1人による2地点間のテレビ会議の評価実験を行い，遠隔参加者が他の参加者と同程度に注目され，会議中のアイデア数も向上することを確認する。以下，2章ではまず本研究の位置づけを述べる。3章で弱い光のランプを用いた視線アウェアネス提供方式を説明する。4章では提案方式を用いた会議による評価実験について述べ，5章で本方式の有用性に関する議論をしたのち，6章でまとめを行う。

2. 関連研究

2.1 会話における視線の重要性

会話における視線の重要性は，様々な研究で指摘されている [13], [14], [15]。人は視線から相手の意図を感じ，逆に視線によって相手に意図を伝達している。たとえば，話者の目をしっかりと見ることで，相手の話に興味がある，聞いているという意思表示，または，次に話をしたいという発話権の要求を行う。逆に，話者の話に興味があれば，視線を話者から逸らし，話を振られないようにするなどである。これらの視線情報を解釈して円滑な会話を行っている。すなわち，視線情報が話者交替に重要である。また，Sunらは，コミュニケイティブ・プレゼンス (communicative presence [16]) を高めるために，アイコンタクトが重要であると指摘している [3]。このように，視線情報などから得られる意図などの情報はソーシャルプレゼンス [17], [18] の実現に重要である。Bioccaらは，ソーシャルプレゼンスのレベルを3つに分けており，単にプレゼンス情報に気づいている「レベル1」では不十分であり，相手の行動の意図や感情などの心理的情報を逐一理解している「レベル2」やさらにそれが相互的で対称な理解となる「レベル3」が

必要であるとしている [19].

2.2 視線一致による視線アウェアネス支援

視線アウェアネスを提供する手法の1つは、視線を一致させる方式である。ディスプレイ/スクリーンやカメラといったデバイスに工夫や再構成を加えることにより、会議参加者間の視線を直接、あるいは間接的に一致させる支援を行っている研究がある（たとえば、文献 [20], [21], [22], [23] など）。主な方法としては、ユーザの頭の動きや視線の方向を検出しそれに応じて各ユーザのディスプレイの方向や角度を変更可能とする、特殊な素材や特殊構造のディスプレイ/スクリーンを利用する、等身大のディスプレイ/スクリーンを利用する、カメラの台数を増加させる、もしくはこれらの技術の組合せである。

文献 [11] では、遠隔参加者の目と耳の役割をするカメラと、顔の役割をする液晶ディスプレイを一体とした頭部を、遠隔者が上下左右に動かすことで視線一致を実現している。遠隔者は自分が注視している相手の方向に頭部を動かすことで視線一致を実現する。この研究は、地点間の人数が均等かつ立場が対等で自由に議論を行う場合であれば有用である。しかし、人数が不均衡な場合には有効でない。文献 [12] でも指摘されているように、立場が対等でも、人数が対人数対対人数の場合、十分なノンバーバル情報がある対人数側の参加者間でのコミュニケーションが活発になり、対人数側で話が盛り上がり対人数側は注目されなくなる。

2.3 視線代替による視線アウェアネス支援

テレビ会議において視線アウェアネスを提供するもう1つの方法は視線を代替する手段を提供する方式である。そのために、アバタやテレプレゼンス (tele-presence) ロボットを利用した研究がある。話者間の対人距離や話者の身体の向きは、ノンバーバル情報の1つであるが、井上はHMD (head-mounted display) を着用した遠隔ユーザの座席位置と向きをアバタに反映させることで、遠隔会議参加者間の対人距離と身体方向が調整可能な複合現実感分散会議システムを実現した。そして、アバタに反映させた座席位置と向きが、他の参加者の視線行動に影響を与え、アバタに視線を向ける回数と時間を増加させることを明らかにした [24]。共有ディスプレイタイプでは、会議参加者は遠隔地の参加者と話すだけでなく、各地点内で実際の対面にある隣人とも話をする。もし、会議参加者がHMDを装着していた場合、実世界にいる隣人の実際の目や表情を見ることはできない。そのため、同一の部屋から会議に参加しているにもかかわらず、ノンバーバル情報の伝達が十分ではなくなる。

一方、対人数対対人数の遠隔会議で有効な手法として、文献 [12] では、ロボットを使用することで視線の代替手段

を実現している。カメラを搭載したロボットを対人数側の机の上に置き、対人数側参加者が操作して、対人数側の誰に注目しているかを意思表示し、注意を引くことでコミュニケーションを支援する。また、Adalgeirssonらは、3-DOF (degrees of freedom) の首と腕を持つ MeBot と呼ばれるテレプレゼンスロボットを開発した。MeBotは遠隔参加者の手や頭のジェスチャやアイコンタクトというようなノンバーバル情報を表現できる [25]。このシステムを用いた場合、相手側ユーザはテレプレゼンスロボットが歩き回っている間、ロボットに容易に注意を向けることができる。ロボットを用いる方式では、対人数側全員の注意を引くことが可能であるが、ロボットおよびカメラを手動で操作するため会議に集中できなくなる問題に加え、注意を不自然に引き過ぎて、現在の会話に集中できなくなるということが予想される。また、そのような状況が発生すると、対人数側参加者も意思表示をためらうことが起こりうる。これでは、自然なコミュニケーションの場を提供することは難しい。

一般のテレビ会議システムの場合、通常のディスプレイは扁平であり、そのため、画面内が見えるのは前面に座っているユーザだけであり [26]、視線方向の伝達はできない [27]。そこで、新しい種類の3Dディスプレイが開発されている。Misawaら [5] は、立体顔形状ディスプレイを用いた LiveMask [27] というテレプレゼンスシステムを実現した。頭部の動きに応じて3-DOFで動作可能なユーザ本人の3D顔型ディスプレイに顔映像を投影することで、正確な視線方向の伝達を目指している。Panらは円柱状のスクリーンと配列されたカメラとプロジェクタを用いて、ローカルユーザが遠隔地ユーザの視線情報とテレプレゼンス情報を認識しやすいシステムを低コストで実現した [26]。このシステムは、本研究の対象である対人数対1人で行うような地点ごとに参加人数が不均衡なテレビ会議を対象としている。このような場での創造会議において主会議室側だけで議論が進めば、3Dディスプレイであっても注意を払わず、伝達されているプレゼンス情報を知覚できない。すなわち、遠隔参加者の意図や心情などの心理情報が得られず、高いレベルのソーシャルプレゼンス状態とならない。

以上より、デバイスの改良や再構成は、しばしば高い費用を必要とし、また、操作の込み入った複雑なシステム構成やHMDの装着は、一般的な会議には不向きであると考えられる。LiveMaskのようなユーザ本人と完全に同一の3Dディスプレイを使う場合には、事前のディスプレイ作成が必要であり、会議への飛び入り参加はできない。さらに、テレプレゼンスロボットのようなユーザの代理物の操作は認知的負荷をとまなう。そこで、本研究では、カメラやディスプレイに再構成を加えることなく低予算で、認知的負荷の少ない自然な視線アウェアネス支援を目指す。

3. 弱い光を用いた視線アウェアネス

本章では、多人数と1人の2拠点に分かれて行われる遠隔会議において、遠隔参加者の視線情報を多人数側参加者に伝達して、遠隔参加者の存在に気づかせ、ソーシャルプレゼンスを支援する方式を説明する。なお、本方式では視線情報自体を正確に伝達することを目的とはせず、視線情報に基づいた存在感の表出を目的としている。つまり、視線情報に基づいた存在感のアウェアネス提供方法であるが、これを本論文中では視線アウェアネスの一種とする。

3.1 方式の概要

提案する方式では、遠隔参加者の顔映像を見ることによって視線情報に気づくのではなく、机上の各参加者の前に弱い光のランプを点灯させることで視線に気づかせる。

本論文では、遠隔テレビ会議が行われる2拠点のうち、人数が多い側を「主会議室」と呼び、1人だけの側を「遠隔」と呼ぶ。また、それぞれの拠点での会議参加者を、「主会議室参加者」「遠隔参加者」と呼ぶ。なお、本方式で想定している会議の参加人数は数名程度であり、そのうちの1人だけが遠隔側である。より多人数の会議では、同室であっても司会者が進行を制御し、他の参加者の視線情報を活用する機会が少なくなる。一方、数名以下の会議で司会者がおらず、対等な立場で議論を行う創造会議などでは、視線情報の役割が重要となる。また、数名の会議では互いの顔が見えやすい座席配置がよい[28]とされており、円形の座席配置が用いられるため、本論文でも円形配置を想定している。

本研究で支援対象としているのは音声を用いる会議であり、視線情報は共同作業の内容を直接伝達する必須情報ではないので、正確で明瞭な伝達を行う必要はない。しかし、2章でも述べたように、視線情報は会議の進行を支援するために重要なノンバーバル情報の一部である。そのため、本方式では、作業内容である会話を阻害しないように不明瞭に加工した視線情報のみを提示し、視線情報が果たすべき役割である話者交替の支援のみを効率的に行う。

3.2 視線情報の提示法

提案する方式の全体構成を図1に示す。遠隔参加者の視線情報を読み取り、主会議室でその情報を提示するまでの手順の概略を以下に示す。

(1) 遠隔参加者側に設置したコンピュータ(遠隔参加者PCと呼ぶ)に接続した、視線計測装置を用いて遠隔参加者の視線角度を読み取る。ただし、顔面装着型のアイカメラなどは用いない。顔面を覆うことで表情などのノンバーバル情報が失われ、円滑なコミュニケーションの妨げになるため、文献[29], [30], [31], [32]と同様に、顔から離れた位置のカメラで顔を撮影して視線角

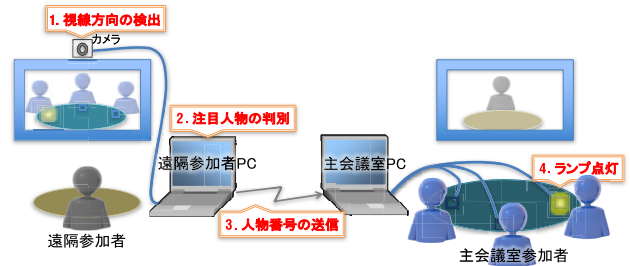


図1 提案方式の全体構成

Fig. 1 Overview of proposed method.



図2 ライトの強度

Fig. 2 Strength of the faint light.

度を算出する方式を用いる。

- (2) テレビ会議システムに映っている各人物のディスプレイ上の位置と、読み取った視線のディスプレイ上の位置を比較し、最も近い人物(注目人物と呼ぶ)を判別する。ただし、会議中に着座位置は大きく変化しないことを前提とし、各人物の位置はあらかじめシステムへ入力しておく。
- (3) 注目人物が前回と異なっていた場合、遠隔参加者PCがその人物番号を主会議室に置かれたコンピュータ(主会議室PCと呼ぶ)へ送信する。また、遠隔参加者PCは上記動作を繰り返す。
- (4) 主会議室PCが人物番号を受信すると、その番号に対応する主会議室参加者の前に置かれたランプが点灯し、これ以外のランプは消灯される。
主会議室各参加者前の机には弱い光を発するランプを配置して、眩しさが議論を妨げることを防止する。

3.3 光による気づきの強度

図2に示すように、ランプを置く場所は机上とし、光源が明瞭でない弱い光を用いる。著者らの経験では、自分が話しているときや議論に熱中している際には気がつかないが、他者の話を聞いているときなどには気づきやすい。強い光を用いると、より確実に注意を引くことが可能になるが、会議中に必ず気づかせて、つねに誰を見ているかを全員に周知させることは注意の引き過ぎである。

同室での対面会議を考えた場合、他者が誰を見ているかをつねに把握する必要はなく、必要なときに視線情報を判別できればよい。たとえば、会議中に右側に座っている人

に熱心に話をしている場合、その人の視線によって関心の程度を感じたりするが、現在の会話に関係のない左側に座っている人の視線には気づかないことが多い。一方、周りの反応が気になり、話に一呼吸置いた際には、周りを見渡すことで、他者が自分を見ているかの判別が即座にできる。このように話者は無意識のうちに視線情報を取捨選択することで円滑に話を行っている。しかし、注意を引き過ぎている場合には、遠隔参加者が視線を向けるたびに全員が視線に気づいてしまい、議論の中断が発生する可能性がある。実際の遠隔会議でも、遠隔参加者が発言すると全員が会話をただちに停止してディスプレイに注目する光景が日常的によく見られる。一方、遠隔参加者にとっても、視線を向けるたびに注目されて議論を妨害していると感じると、視線を向ける行為を躊躇するようになる。このように、強いアウェアネスは自然なコミュニケーションの妨げとなる。

4. 評価実験

4.1 実験の概要

提案方式を用いることで、遠隔参加者の視線に基づいて存在感が表出され、これに主会議室参加者が気づくことで、遠隔参加者も同等に注目され、効率的な会議が実現できるかどうかを評価する。そのために提案方式を用いるプロトタイプシステムを作成し、実際に会議を行った。

被験者は大学院生 8 人で、4 人ずつ 2 グループに分けて行った。被験者は全員男性で平均年齢は 29 歳である。多くが博士後期課程の学生であり、議論に慣れている。また、テレビ会議システムを利用した遠隔会議に慣れていない人が被験者となった場合には、日常経験している対面環境と違ってプレゼンス情報が伝わりにくい環境に慣れていないことになるので、その影響が大きいことが予想される。しかし、著者らの大学では多くの会議室にテレビ会議システムが導入されている。また、被験者は大学院生で、その多くが博士後期課程の学生であり、通常の議論に慣れてだけでなく、他キャンパスの学生や他大学の研究者との議論などでこのテレビ会議システムを使用しており、テレビ会議システムの使用に不慣れなための影響は小さい。

この実験では、他のメンバの発言を尊重しつつ議論を進める人間関係の会議を想定しており、各グループ内に面識のない人が混ざるようにし、被験者にもこの想定を説明した。

議論を行うテーマは「食堂の改善法」のように、被験者である学生にとって身近な話題とし、被験者やテーマによって発言量に極端な差が出にくいように工夫した。そのため、テーマは 5 つのみで、各テーマで 6 分間の議論を行った。議論の進め方は、定められたテーマに関して各自が思いついた考えを出していくこととした。ただし、考えの名前のみを発言するのではなく、発言がある程度の長さ持続



図 3 対面会議の様子

Fig. 3 Face-to-face meeting.

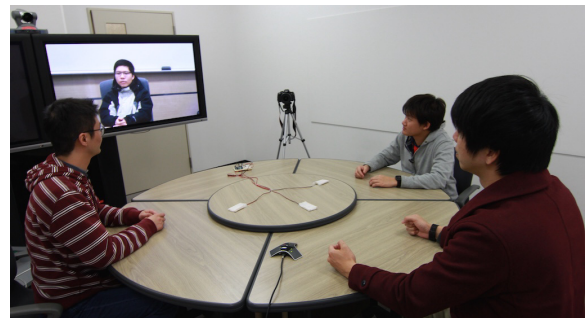


図 4 テレビ会議システムを用いる会議の様子

Fig. 4 Video-conferencing meeting.

するように、説明を付加することとした。

この実験では、以下の 3 種類の条件下で会議を行った。

- (1) 対面会議 (“Face” と表記) 図 3 に示すように、4 人の参加者全員が同室で 1 つの 4 人掛けテーブルに着席する。
- (2) テレビ会議 (“Video” と表記) 参加者 4 人のうち 1 人が商用テレビ会議システムだけを用いて別の部屋から参加する。図 4 に示すように、他の参加者 3 人は 4 人掛けテーブルの 3 席に着席し、空いた 1 席にテレビ会議システムのディスプレイを配置する。ただし、この条件時にテーブル中央の視線通知システムは稼働させていない。
- (3) 提案方式を用いるテレビ会議 (“Light” と表記) 上記テレビ会議と同様に、図 4 の状態で 4 人の参加者が着席する。提案方式に基づく視線通知システムを稼働させ、遠隔参加者の視線方向に着席している参加者の前にあるランプが点灯するようにしておく。

4.2 実験設備

本実験ではテレビ会議システムを利用するが、高品位のシステムとして普及している Polycom 社の HDX-8006 を用いた。50 インチのディスプレイで、HD 画質の通信を行うことができる。また、音声に関しても、高性能のマイクと音響制御機構を備え、各参加者は自席でマイクを持たずに普通に発言しても音声強度が自動調整されており、エコーなども発生しないように処理されている。

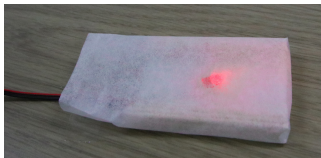


図 5 LED ランプ

Fig. 5 The brightness of LED with a cover.

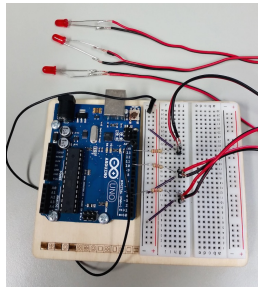


図 6 LED 制御部

Fig. 6 LED controller.

対面会議にできる限り近づけた環境にするため、ディスプレイを椅子の位置に置いた。ただし、提案方式は一般的な商用テレビ会議システムをそのまま利用できることが特徴の1つであるため、この実験でも設置位置の移動しか行わず、特殊な改造はしていない。そのため、ディスプレイ上の遠隔参加者の顔は他の参加者より多少高くなっている。すなわち、通常の工夫のみで遠隔参加者がその席に実際に着席している光景に近づくようにした。

また、視線の方向を認識する方法として、この実験では EyeTribe Tracker [32] を遠隔参加者の席の前に設置した。遠隔参加者 PC は、この装置を用いてテレビ会議システムのディスプレイ上で遠隔参加者が注目している点の座標が得られるので、あらかじめ指定した主会議室参加者が映っている各座標と比較し、遠隔参加者が主会議室参加者のうち誰に注目しているかを判別する。

なお、この装置による視線検出では、眼球の細かな動きなどの影響で、得られる座標にはある程度の誤差が含まれており、実際に測定結果を見ると細かい振動が観測された。しかし、今回の実験では主会議室参加者は3人のみであり、注目している座標がディスプレイの左側/中央/右側のどの領域にあるか判別できればよいため、この誤差は十分小さく、実際の実験中に誤認識が生じたことはなかった。

主会議室の机上ランプとしては一般的な赤色 LED を使用したが、参加者が光源を直視すると気づきが強過ぎるため、図 5 のように透過性のある薄い紙でカバーした。また、視線に基づいて3つの LED の点滅を制御するために、図 6 の Arduino UNO を主会議室 PC に接続して利用した。

4.3 実験結果

実験での会議は、最初に4名の被験者で対面環境 (Face)

表 1 各グループが行った会議条件の順序

Table 1 The order of conditions.

会議順序	第 1 グループ	第 2 グループ
1	Face	Face
-	(1 名が遠隔会議室へ移動)	
2	Video	Light
3	Light	Video
-	(遠隔参加者が交替)	
4	Video	Light
5	Light	Video
-	(アンケートに回答)	

表 2 実験後のアンケート結果

Table 2 The results from questionnaire.

主会議室参加者の回答				
記号 質問項目	Video	Light	p 値	
主 1. B が話しているとき、あなた (C/D) は A が B を見ていることに気づきましたか?	2.38 (1.19)	3.75 (0.89)	0.01	
主 2. あなた (B) が話しているとき、あなたは A があなたを見ていることに気づきましたか?	2.50 (1.07)	4.00 (0.93)	0.02	
主 3. A に視線を向けられたとき、あなたは注意を払いましたか?	2.38 (1.41)	3.63 (0.92)	0.01	
主 4. B と C が話しているとき、あなた (D) は A が話し出そうとしていることに気づきましたか?	2.25 (1.49)	2.63 (1.19)	0.14	
主 5. あなた (B) と C が話しているとき、あなたは A が話し出そうとしていることに気づきましたか?	2.88 (0.99)	3.25 (1.04)	0.20	
主 6. A が話した後、主会議室 (B, C, D) のみで話しが進んでいましたか?	3.63 (1.06)	2.88 (0.99)	0.01	
遠隔参加者の回答				
記号 質問項目	Video	Light	p 値	
遠 1. 主会議室での会話中に、注意を払われていると感じましたか?	3.50 (0.96)	4.25 (0.5)	0.04	
遠 2. 主会議室での会話中に、あなたが注目した人はあなたに注意を払いましたか?	2.50 (0.58)	3.50 (1.00)	0.04	
遠 3. 発話中でない主会議室参加者に注目したとき、その人はあなたに注意を払いましたか?	2.00 (0.00)	3.50 (1.00)	0.03	
遠 4. あなたは主会議室での話題に加わることができましたか?	3.00 (0.82)	4.25 (0.5)	0.04	
遠 5. 主会議室での会話中に、あなたは話す機会を逃がしませんでしたか?	2.50 (0.58)	4.00 (0.82)	0.03	
遠 6. 主会議室での会話中に、話し始めることは容易だと感じましたか?	2.50 (0.58)	4.00 (0.82)	0.03	
遠 7. あなたが話した後、主会議室参加者のみで話しが進んだことはありませんでしたか?	3.25 (0.50)	2.50 (0.58)	0.03	

を1回実施し、次にその4名のうち1名が別室で遠隔参加者となって通常のテレビ会議 (Video) と提案方式 (Light) を行った。その後、主会議室の1名と遠隔参加者が交替してからも同様に提案方式の有無で2回行った。よって、表 1 に示すように、各被験者は合計5回で、前述の5つのテーマに関して会議を行った。以上の順序での実験をもう1つのグループの被験者でも同様に行った。ただし、提案方式による支援有無の順序は両グループで入れ替えており、また、被験者の疲労が結果に影響しないように会議間は十分な時間をとった。両グループともに対面環境の実験を最初に行っているが、主として評価する通常のテレビ会議と提案方式に慣れが影響しにくくなるようにした。また、対面環境は日常的に行われているコミュニケーションと同じであるため、慣れの影響は小さいと考えられる。

5回の会議終了後に、全被験者に対して行った Video 条件と Light 条件に関するアンケートの主な結果を表 2 に示す。回答は1から5の5段階評価である。回答は主会議

室と遠隔側で別々に集計し、平均値、標準偏差値および t 検定の p 値を示している。表 2 の中で主会議室参加者の回答は回答数 8 であるが、遠隔側を担当した者は 4 名だけであるので、遠隔参加者の回答は回答数 4 である。そのため、主会議室での参加回数が被験者によって異なるが、次に述べるように回答は個々の会議ごとではなく全体的に一度だけ問うため、会議数を増やしてテーマが異なることによる影響よりも小さいと判断した。質問文では遠隔参加者を「A」とし、主会議室参加者を「B」「C」「D」と表現している。なお、表 2 では質問を簡潔に表記しているが、実際のアンケート用紙では質問の状況が明確に伝わるように図示してより詳しく説明している。

アンケートの質問文では、「見ていることに気づいた」や「話し出そうとしていることに気づいた」などの表現を用いている。一般的には「見ていた」各時点で「それに気づいた」かどうかを調査すべきと考えられるが、会議がすべて終わった後に行ったアンケートによって全体的な主観で調査している。Biocca らは、ソーシャルプレゼンス実現のためには、プレゼンス情報を単に伝達するだけでは不十分で、相手の意図などの心理的情報を逐一理解できているかどうかを重要としており [19]、この実験でも、理解できていたかどうかを当人に問う方式の調査を行った。

本実験では大画面のディスプレイを円卓の一席に配置し、高画質の映像と高品質の音声を用いることで、一般的な商用テレビ会議システムの中でもきわめて臨場感が高い製品を用いている。しかしながら、この製品を用いても主会議室参加者は遠隔参加者の視線にほとんど気づけていないことが分かる（主 1-3）。この傾向は自分の発話中も同室他者の発話中も同様である。議論の内容に集中しているためにディスプレイ内の遠隔参加者を見ておらず、気づくことが難しい。

一方、遠隔参加者からの発言に関する結果は、主会議室参加者から見ると提案方式でも大きな改善がないといえる（主 4-5）。これは、使用したテレビ会議システムの音声調整機構が優れており、発話がきわめて明瞭に聞こえるため、不都合を感じていなかったためと考える。しかしながら、遠隔参加者の回答を見ると、発話開始に関して問題があって、提案方式である程度の改善を感じていることが分かる（遠 4-6）。このように、主会議室参加者と遠隔参加者の認識に差があることも、通常のテレビ会議の問題であるといえる。

4.4 遠隔参加者への注目度分析

この節では、遠隔参加者の存在感を表出することで、遠隔参加者が主会議室参加者からどの程度注目されるようになるかを分析した結果を述べる。ここでは会議中に見られた回数をその参加者への「注目度」と定義する。

会議中の全被験者の様子をビデオ撮影しており、主会議

表 3 話者が他人を見た回数の比較

Table 3 Comparison of counts of gaze.

	Video	Light
同室他者を見た (1 人当たり)	24 回 (44%)	17 回 (36%)
遠隔参加者を見た	7 回 (13%)	13 回 (28%)
総数	55 回	47 回

室の各被験者が誰に視線を向けていたか解析を行い、主会議室参加者と遠隔参加者への注目度をそれぞれ求めた。ただし、ここでは発話している間の視線が最も重視する相手を現していると考え、主会議室で話者となっている時間に他の参加者を注視した回数を、全発話に関して数えた結果を表 3 に示す。ただし、主会議室は 3 人いるので同室他者は 2 人いるが、1 人当たりの値である。

表 3 から通常のテレビ会議では視線移動の総回数は提案方式の場合とほぼ同じにもかかわらず、同室内と遠隔で 3 倍以上の差が生じている。従来のテレビ会議では、高品位のシステムを用いたとしても、同室内の参加者に意識が集中しており、遠隔参加者が映るディスプレイには注意が払われていない。

一方、提案方式では同地点と遠隔の全参加者をほぼ同等に見ていたことが分かる。これは主観評価ではあまり改善がなかった。どちらの方式でも会議自体で使用している機材はまったく同じテレビ会議システムであることにより、参加者の意識的には改善があまり感じられなかったと考える。しかし、実際には、提案方式を用いることで改善が生じており、遠隔参加者であってもほぼ同等の発話機会が議論を行うことができていた。

4.5 会議効率の分析

この節では、提案方式が会議の効率に与える影響を分析する。会議にはそれぞれ目的があり、その目的に沿う発言を単位時間当たりどれだけできたかをその会議の「効率」と定義する。

方式による会議効率を評価するために、実験中に撮影したビデオを解析して発話内容を調査した。この実験で行った会議は、4.1 節で述べたように、定められたテーマに関して、ブレインストーミングのように各自が思いついた考えを出していく。そこで、新たな考えを述べる発話のみを「アイデア」と考えて、アイデア数を調査した。新たな考えを述べた発話のみであるため、追加説明や他人のアイデアへの質問や相槌のような短かい発話はアイデア数に含まれていない。すなわち、この会議では単位時間当たりのアイデア数を会議効率とする。このアイデア数を方式ごとに集計し、6 分間の会議 1 回当たりの平均アイデア数を求めた結果を表 4 に示す。

表 4 の結果から、同じ時間であっても、対面会議が最も効率良くアイデアを出せることが分かる。しかし、通常

表 4 平均アイデア数の比較

Table 4 Average of ideas for each meeting.

	Face	Video	Light
アイデア数	13.0	7.8	10.8
比率 (対面を 100%とする)	100%	60%	83

のテレビ会議では6割しかアイデアが出せていない。参加者4人のうち3人は同じ対面状況であるため、75%以上が期待されるが、実際にはテレビ会議の使用によって発話が阻害されて、会議効率が低下している。

一方、提案方式を用いると、同じテレビ会議システムを利用しているにもかかわらず、83%まで効率を向上させることができた。対面会議では様々なノンバーバル情報が伝わっているのに対し、本方式では視線情報のみを通知しているが、視線情報が会議の進行に与える影響が大きいために、会議効率が大きく向上しているといえる。

5. 議論

本章では、実験結果に基づいて提案方式の有用性に関する議論を行う。

5.1 存在感への気づき

同室内の対面会議では、十分なノンバーバル情報があるために活発なコミュニケーションが可能であるが、1人だけが遠隔から参加する遠隔会議では、2章で述べたように、この遠隔参加者のみが注目されなくなる [12]。この研究では、遠隔参加者も注目されて主会議室参加者と同等に会議で発話可能にすることを目的としている。そのため、主会議室参加者の遠隔参加者への注目度を評価尺度と考えて、4.4節で主会議室参加者の注目先分析を行い、遠隔参加者への注目が主会議室参加者に近づいていることを示した。

また、ソーシャルプレゼンスの実現のためには、単にプレゼンス情報が伝達されているだけでなく、相手の行動の意図などの心理的情報を逐一理解できていることが必要である [19]。しかし、参加者の主観による評価では解釈の個人差などによる誤差が大きいので、アンケートの質問項目を単純化し、この研究では行動への気づきを調査した。

4章の実験では、大画面のディスプレイを円卓の1カ所に置き、高画質の映像を用いることで、一般的なテレビ会議システムの中でもきわめて臨場感が高い製品を用いている。しかし、4.3節の結果では、主会議室の参加者は遠隔参加者の視線にほとんど気づいていない。主会議室参加者は3人のみであるため、ディスプレイを注視すれば遠隔参加者の視線は分かりやすいのであるが、議論に集中していると自分が注視している部分以外の動きに気づきにくいので、平面のディスプレイ内の画像の変化では実空間内の顔の動きよりも情報が少ないことが原因と考えられる。

しかも、主会議室では差がそれほど大きいと感じていな

いにもかかわらず、遠隔参加者はより大きな差として感じていた。このように、両者の認識にずれがあるため、支援のない一般的なテレビ会議システムを用いると、主会議室では遠隔参加者の不都合に気がつかずに勝手に議論を進めることになる。

以上の結果から、通常のテレビ会議システムの利用では遠隔参加者は注目されていなかったにもかかわらず、提案方式を用いると同じテレビ会議システムを利用して遠隔参加者が注目されるようになったことが分かる。一般に、コミュニケーション中に相手の行動から様々な情報を得て、相手の心理的情報を知覚している [19]。そのため、知覚するには相手の行動に気づいていることが必要と考える。

ただし、遠隔参加者が対等に議論に参加できるようになっても、会議自体の目的達成度が低下しては意味がない。しかしながら、4.5節の結果を見ると、アイデアを出すという会議の目的をアイデア数で評価すると従来よりも向上していることが分かった。すなわち、ソーシャルプレゼンスの高いレベルに近づいたことで、会議の質も向上したといえる。

5.2 実現コストの評価

近年、企業や大学でテレビ会議システムの普及が進んでいるが、普及にはコストが影響するので、より低いコストで実現できることが望ましい。

高品位の映像を提供するテレビ会議システムの製品価格は、従来は数百万円以上していたが、近年は百万円以下の商品も多い。これらの表示装置は一般家庭用テレビと同様なディスプレイであるが、ディスプレイが特殊装置に代わると、製品価格が上昇することが予測できる。

これに対し、本論文の提案方式では、テレビ会議システムとは完全に独立したシステムとして実現可能である。すなわち、特定の装置に依存せず、近年の廉価版テレビ会議システムを通常どおり利用できる。

一方、別システムとして構成する部分にもコストがかかるが、今回の実験で用いた視線認識装置 [32] の価格は\$199である。また、出力装置はPCから制御する機構の実装容易性から Arduino UNO を用いたが、他にはLEDランプがあるのみである。すなわち、ハードウェアとしてはカメラとLEDランプ程度であり、制御機構、ソフトウェアや製品化コストを考慮しても、テレビ会議システムに追加するシステムは低価格で実現できる。

以上のように、システム全体を低価格で実現できることは本提案方式の利点の1つである。

5.3 有効な参加者数

本論文の方式は、参加者数が数人程度で、かつそのうちの1人のみが遠隔地にいる創造会議などを想定している。

数名以下の会議で司会者がおらず、対等な立場で議論を

行う会議では視線情報の役割が重要であるが、より多人数の会議では同室であっても司会者が進行を制御し、他の参加者の存在感が影響することは少なくなる。

一方、遠隔参加者の人数が2人の場合を考えると、本方式では、どちらの参加者からの視線であるかを提示することが難しく、また、視線を向けた人の人数についても同様に難しく、ランプの色や明るさを変化させることで主会議室参加者がそれを正しく知覚できるかどうかに関して今後検証が必要である。

しかしながら、提案方式は、遠隔参加者の存在感を表出することで主会議室参加者の注意を遠隔参加者が映るディスプレイへ向けて、テレビ会議システムが伝えるプレゼンス情報に気づかせることを特徴とする方式である。よって、視線を向けた参加者が2人のどちらか不明であっても、2人の映るディスプレイに主会議室参加者が注目すれば遠隔参加者が発話しやすい状況になると予測している。これを実際に検証する実験は今後の課題である。

また、遠隔参加者が多い場合は主会議室参加者が多数派ではないことを意味する。この場合には、遠隔参加者のディスプレイが注目されずに主会議室参加者だけで会議が進むという、本論文の方式が支援対象とする状況が少なくなる。参加者数が対等な場合には、逆にディスプレイのみを注視する行動が知られており、Inoueらは、遠隔参加者が3人の場合にそのような注視行動を抑制し、遠隔と対面のコミュニケーションを両立させる方式を提案している [33]。

5.4 他のアウェアネスとの併用

会議中に伝えたいノンバーバル情報は視線のみではなく、態度や身振り手振りなど、様々な種類がある。本研究では視線アウェアネスの効果を確認したが、著者らは、遠隔参加者のジェスチャによる発話要求動作を伝達することによるテレビ会議の質の向上について、文献 [6] で述べた。文献 [6] の方式では、身振り手振り、頷き、相槌、姿勢の変化なども調査し、発話要求があったときに音で伝達している。

すなわち、本論文の方式では視線情報に基づいて存在感を表出しているのに対し、文献 [6] では発話要求を伝達している。想定している会議の形態は同一であるが、アウェアネスする情報の種類が異なるので、両者を併用することも可能であり、一方のみの場合よりもさらに会議の効率化が期待できる。ただし、視覚と聴覚の両方を併用するなど、使用するデバイス数が増えると、会議参加者が混乱することも考えられる。適切な併用方法は今後の課題である。

6. おわりに

本論文では、遠隔地とのテレビ会議を行う際に、遠隔参加者の視線の方向を検出し、その情報を弱い光のランプに置き換えて提示することにより、遠隔参加者の存在感の表

出を可能とする視線アウェアネス提供方式を提案した。参加者の大半が会議室1カ所に集まり、1人だけが遠隔から参加する会議では、高品質な商用テレビ会議システムを用いても、主会議室側で話が盛り上がると装置が目立たなくなる可能性があった。

本論文の提案方式を用いて実際に会議を行う実験を行った結果、主会議室参加者から見た遠隔参加者への注目度が改善し、他の主会議室参加者と同等に近くなることが確認できた。また、アンケート結果から相手の行動に気づくようになったことが分かった。これにより、相手の心理的情報の理解が進み、ソーシャルプレゼンスの実現 [19] が近づくことが期待できる。一方、会議中に出されたアイデア数による会議効率の評価でも、対面環境の会議に近い結果が得られた。したがって、従来のテレビ会議システムを利用する遠隔会議においても本論文の方式を用いることで、遠隔参加者への注目度を対面会議に近づけて、かつ会議自体の質も向上できることが確認できた。

また、提案方式は、テレビ会議システムとは独立に実現可能な方式である。テレビ会議システムとして特殊装置を必要とせず、総合的なコストが低く実現できることも提案方式の特徴である。

今回の実験では、遠隔参加者が1人のみで主会議室参加者が3人という固定条件で評価したが、人数や着席位置の変化による影響も確認する必要がある。また、光の強さ、色、ランプの位置や大きさなどによって効果に差異が生じるが、今回の実験法では実施回数に限られていた。最適な条件を調査することも今後の課題である。

謝辞 本論文の執筆に際し、議論に参加していただき、様々なコメントをいただいた門脇千恵氏に深謝する。また、実験の実施に際しては、Konlakorn Wongpatikaseree氏および被験者として協力していただいた北陸先端科学技術大学院大学の学生諸氏に感謝する。

参考文献

- [1] W・フォン・ラフラー＝エンゲル：ノンバーバルコミュニケーション、大修館書店 (1981).
- [2] 松下 温, 岡田謙一 (編著)：コラボレーションとコミュニケーション, 共立出版 (1995).
- [3] Sun, J. and Regenbrecht, H.: Implementing Three-Party Desktop Videoconferencing, *Proc. OzCHI '07*, pp.95–102, ACM (2007).
- [4] Nguyen, D.T. and Canny, J.: More Than Face-to-face: Empathy Effects of Video Framing, *Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp.423–432, ACM (2009).
- [5] Misawa, K., Ishiguro, Y. and Rekimoto, J.: LiveMask: A Telepresence Surrogate System with a Face-Shaped Screen for Supporting Nonverbal Communication, *Journal of Information Processing Society of Japan*, Vol.21, No.2, pp.295–303 (2013).
- [6] 敷田幹文, 増田雄亮：分散環境における話者交替のアウェアネス支援, 情報処理学会論文誌, Vol.56, No.1,

- pp.126–136 (2015).
- [7] Vertegaal, R., Weevers, I., Sohn, C. and Cheung, C.: GAZE-2: Conveying Eye Contact in Group Video Conferencing Using Eye-controlled Camera Direction, *Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp.521–528, ACM (2003).
- [8] Polycom, I.: HDX Series, available from (<http://www.polycom.com/products-services/hd-telepresence-video-conferencing/realpresence-room/realpresence-room-hdx-series.html>).
- [9] Vertegaal, R.: The GAZE Groupware System: Mediating Joint Attention in Multiparty Communication and Collaboration, *Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp.294–301, ACM (1999).
- [10] Ohno, T.: Weak Gaze Awareness in Video-mediated Communication, *CHI '05 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, pp.1709–1712, ACM (2005).
- [11] 小峯隆宏, 勝本道哲, 丹 康雄: 遠隔会議でのアイコンタクト実現手法の提案と評価, 情報処理学会マルチメディア通信と分散処理研究会報告, Vol.DPS-122, pp.139–144 (2005).
- [12] 鈴木雄介, 福島寛之, 深澤伸一, 竹内晃一: 遠隔会議支援ロボットシステムの注意喚起能力評価, 情報処理学会論文誌, Vol.51, No.1, pp.25–35 (2010).
- [13] Kendon, A.: Some functions of gaze-direction in social interaction, *Acta Psychologica*, Vol.26, pp.22–63 (1967).
- [14] 武川直樹: コミュニケーションにおける視線の役割, 電子情報通信学会誌, Vol.85, No.10, pp.756–760 (2002).
- [15] 大塚和弘, 竹前嘉修, 大和淳司, 村瀬 洋: 複数人物の対面会話を対象としたマルチ切替えモデルに基づく会話構造の確率的推論, 情報処理学会論文誌, Vol.47, No.7, pp.2317–2334 (2006).
- [16] Böcker, M. and Mühlbach, L.: Communicative Presence in Videocommunications, *Proc. Human Factors and Ergonomics Society 37th Annual Meeting*, pp.249–253 (1993).
- [17] 坂内祐一: プレゼンス情報, 電子情報通信学会 知識ベース 知識の森 S3 群-8 編-2 章 2-3 (2008), 入手先 (http://www.ieice-hbkb.org/portal/doc_501.html).
- [18] IJsselstein, W.A., van Baren, J. and van Lanen, F.: Staying in touch: Social presence and connectedness through synchronous and asynchronous communication, *Volume 2 of the Proc. HCI International 2003*, pp.924–928 (2003).
- [19] Biocca, F. and Harms, C.: Defining and measuring social presence: Contribution to the Networked Minds Theory and Measure, *Proc. PRESENCE 2002*, pp.7–36 (2002).
- [20] Okada, K., Maeda, F., Ichikawa, Y. and Matsushita, Y.: Multiparty Videoconferencing at Virtual Social Distance: MAJIC Design, *Proc. 1994 ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work*, pp.385–393, ACM (1994).
- [21] Bondareva, Y., Meesters, L. and Bouwhuis, D.: Eye Contact as a Determinant of Social Presence in Video Communication, *Proc. International Symposia on Human Factors in Telecommunication* (2006).
- [22] Nguyen, D. and Canny, J.: MultiView: Improving Trust in Group Video Conferencing Through Spatial Faithfulness, *Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp.1465–1474, ACM (2007).
- [23] Jones, A., Lang, M., Fyffe, G., Yu, X., Busch, J., McDowall, I., Bolas, M. and Debevec, P.: Achieving Eye Contact in a One-to-many 3D Video Teleconferencing System, *ACM Trans. Graph.*, Vol.28, No.3, pp.64:1–64:8 (2009).
- [24] 井上智雄: 実対人距離を調節可能な複合現実分散会議システム, 情報処理学会論文誌, Vol.50, No.1, pp.246–253 (2009).
- [25] Adalgeirsson, S.O. and Breazeal, C.: MeBot A Robotic Platform for Socially Embodied Telepresence, *Proc. 5th ACM/IEEE International Conference on Human-robot Interaction*, pp.15–22, IEEE Press (2010).
- [26] Pan, Y. and Steed, A.: A Gaze-preserving Situated Multiview Telepresence System, *Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp.2173–2176, ACM (2014).
- [27] Misawa, K., Ishiguro, Y. and Rekimoto, J.: LiveMask: A Telepresence Surrogate System with a Face-shaped Screen for Supporting Nonverbal Communication, *Proc. International Working Conference on Advanced Visual Interfaces*, pp.394–397, ACM (2012).
- [28] 石川弘義: 会議の心理学, 筑摩書房 (1986).
- [29] 坂下祐輔, 藤吉弘亘, 平田 豊: 画像処理による3次元眼球運動計測, 日本実験力学会誌, Vol.6, No.3, pp.236–243 (2006).
- [30] 辻 徳生, 柴田真吾, 長谷川勉, 倉爪 亮: 視線計測のための LMedS を用いた虹彩検出法, 電子情報通信学会画像の認識・理解シンポジウム, pp.684–689 (2004).
- [31] SmartEye 社: AntiSleep, 入手先 (<http://www.smarteye.se/content/antisleep>).
- [32] TheEyeTribe: The Eye Tribe Tracker, available from (<http://theeyetribe.com/products/>).
- [33] Inoue, T., Okada, K. and Matsushita, Y.: Integration of face-to-face and video-mediated meetings: HERMES, *Proc. ACM Group '97*, pp.405–414 (1997).



敷田 幹文 (正会員)

1965年生。1995年東京工業大学大学院理工学研究科情報工学専攻博士後期課程修了。博士(工学)。同年北陸先端科学技術大学院大学情報科学センター助手。2001年同助教授。2012年情報社会基盤研究センター教授。2016年高知工科大学情報学群教授。大規模情報システム, コミュニケーション支援に関する研究に従事。ACM, 電子情報通信学会, 日本ソフトウェア科学会各会員。



アルニー ラティカン

2014年北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士後期課程修了。博士(情報科学)。2015年北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科研究員。ソーシャルネットワーキングサービスに関心を持つ。