

令和 2 年 6 月 7 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H01771

研究課題名(和文)連鎖的相互行為を支援する超時空間遠隔対話システムの研究開発

研究課題名(英文)Development of hyper-spatiotemporal communication space that supports sequential interaction

研究代表者

葛岡 英明(Kuzuoka, Hideaki)

東京大学・大学院情報理工学系研究科・教授

研究者番号：10241796

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,700,000円

研究成果の概要(和文)：葛岡らは拡張現実による遠隔対話システムを開発し、実験によって、遠隔対話者のアバターの身体表現レベルが実際の人間に近いほど動作の予期がしやすく、対話も円滑になることを確認した。小池らは球体型ディスプレイと全天周カメラを組み合わせた新しいコミュニケーションデバイスOmniGlobeを開発した。遠隔対話実験の質的な評価により、コミュニケーションの品質が向上することが確認された。角らは多人数コミュニケーションの状況理解と支援を実現するために、参加者の非言語行動のセンシングとエンゲージメント(興味、関与、積極性)の数量化を実現する理論とシステムの構築を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

人と人の対話では、言語的・非言語的な表現が重要な役割を果たしている。そうした個々の表現が、それに続く対話者の行為に与える影響に注目したとき、それらの表現は社会的手がかりと呼ばれる。電子化された空間ではそうした社会的な手がかりが伝わらないために、コミュニケーションの効率・効果が低減することが指摘されている。本研究では、拡張現実や全周型の実画像通信システムを利用して、遠隔地間で社会的手がかりを伝える手法の新規的な提案やその効果を検証するとともに、社会的な対話の新しい評価手法を提案している。

研究成果の概要(英文)：Kuzuoka group developed an augmented reality remote collaboration system. An experiment with the system showed that the higher the presentation level of an avatar, the smoother the communication. Koike's group developed a novel video communication system that consists of spherical display and omni-directional camera. A qualitative analysis of an experiment showed that the system improves communication quality. Sumi's group developed a method to sense non-verbal actions of a person and assess his/her engagement level to enable situation recognition and to support of multi-party communication.

研究分野：CSCW

キーワード：CSCW 遠隔コミュニケーション 実画像通信システム

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

ビデオ対話システムの研究では、単に参加者の顔を相互に見られるだけではなく、参加者の身体的行為とその周囲の環境を相互に提示したり観察したりできることの重要性が指摘されてきた。しかしこのような、環境とそこに埋め込まれた行為の相互提示と相互観察は、通常のテレビ会議システムでは、通信メディアによって生ずる非対称性 (asymmetry: カメラの視野角の狭さや、3次元空間を平面的なディスプレイに表示することによって、メディアを通して知覚する空間や行為が、実際のそれらとは食い違ってしまうこと) のために、十分に支援できないことが指摘されてきた (Heath & Luff, 1991)。

人々の相互行為をマイクロに分析する社会科学的な研究 (エスノメソドロジー) によれば、人々の対話は、環境に埋め込まれた視線、ジェスチャ、発話などの行為が、対話参加者相互に連続的に提示・観察される (連鎖する) ことによって達成される。ところがメディアを介した遠隔対話では、その非対称性のために、行為の連鎖に齟齬が生じるのである。従って、円滑な遠隔対話を実現するためには、人の連鎖的な相互行為が実行されることを支援する必要がある。

### 2. 研究の目的

本研究では、遠隔地間における連鎖的な相互行為を支援するために、従来のように遠隔地の状況をできるだけ忠実なパースペクティブで撮影・表示し、時間遅れなく伝えようとするアプローチではなく、空間を圧縮した撮影・表示形態である全周映像の利用、拡張現実空間におけるアウェアネス提示の効果の検証、対話分析の支援を目的とした。

### 3. 研究の方法

本研究では、以下の3種類のシステム開発をおこなった。

(1) 全周を撮影できるカメラを内蔵しつつ全周映像を表示できるボール型の遠隔対話端末を開発し、端末周囲の全ての実環境とその環境内における身体動作を相互に送受信できるようにした。また、このシステムを利用した実験により、その有効性や課題を明らかにした。

(2) 遠隔対話を支援する拡張現実空間を開発し、遠隔対話者のアバタの表現レベルが、対話に与える影響を調査した。

(3) 対面での多人数対話における、各参加者のエンゲージメント (興味、関与、積極性) を図る手法の開発と分析をおこなった。

### 4. 研究成果

(1) 全周の撮影と表示の可能なボール型遠隔対話端末の可能性を追求すべく、初年度は、半球カメラ (Kodak PIXPRO SP360) と半球ディスプレイ (学研 WorldEye) を一体化した I/O デバイスを2台開発した (図1)。図2に示すように、A地点で撮影した半球映像がB地点の半球ディスプレイに表示され、B地点の映像がA地点に表示される。この球体表示の有効性を確認すべく、半球カメラ映像を平面ディスプレイに表示した場合との比較実験を行った (図3)。その結果、タスク遂行時間には有意な差は見られなかったが、被験者の多くが半球面ディスプレイ表示を支持した。

1号機での知見をもとに、全天周カメラ (Ricoh THETA) と全球ディスプレイ (渋谷光学 Glomal350) を使用した2号機を開発した (図4)。本機では、いくつかの対話機能が付加された。まず、一体化したカメラ+ディスプレイを回転機構の上に置くことで、利用者がデバイスを物理的に回転させることで、遠隔地の見たい場所を見ることができるようになった。第2に、顔検出行い最も近くにいる利用者にインタラクションの主導権を与えた。第3に、全天球カメラが撮影する下部領域を利用して、球体ディスプレイへのタッチ検出機能を実現した。第4に、ディスプレイ上の任意の部分をタッチすると、その部分が拡大表示する機能等を実装した。このデバイス2台を用いた被験者実験の結果、本デバイスは、遠隔コミュニケーションを支援するための、遠隔環境の理解、利用者同士の gaze awareness を増加させることが示された。

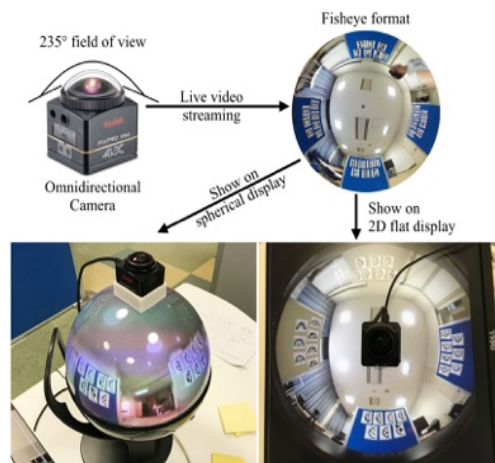


図1. ボール型遠隔対話端末



図2. 遠隔対話システムの概念図

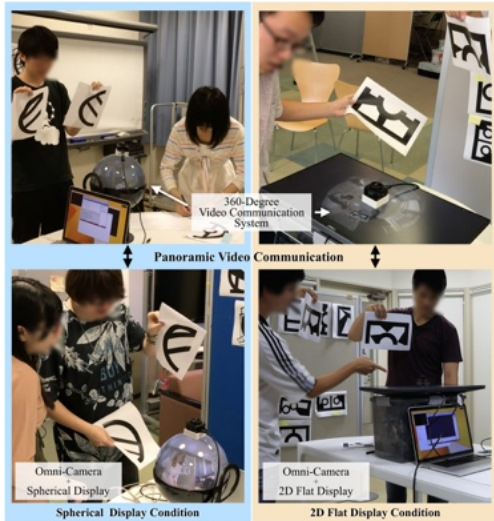


図 3. 平面ディスプレイと半球型ディスプレイの比較実験



図 4. 全球型ディスプレイを用いた 2 号機

(2) 実空間における機器の組み立てや保守を、遠隔から指示をすることを想定して、拡張現実 (AR: Augmented Reality) 技術を利用した遠隔対話システムを実装した。従来のシステムでは、遠隔対話者の頭部と手先だけをアバタとして表示する例も多い。その一方で、全身アバタを表示することによって社会的テレプレゼンスが向上することも知られている。しかし、アバタの表示レベルが、対話に与える影響は十分に検討されてこなかった。そこで、本研究では、AR 遠隔協調作業において、異なる表示レベルのアバタを作業者に提示し、それが対話に与える影響を調査する実験をおこなった。

実験は、全身アバタ (Body)、手+腕 (Hand + arm)、手先のみ (Hand only) の 3 条件を参加者内配置で比較した (図 5)。図 6 に実験環境を示す。

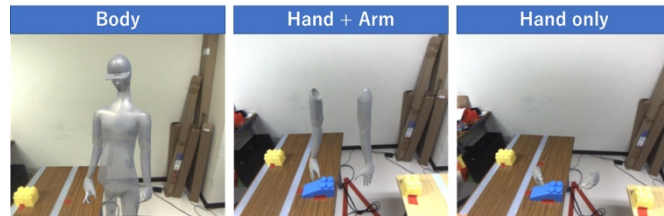


図 5. 3 つの実験条件 (左: 全身アバタ、中: 手+腕、右: 手先のみ)

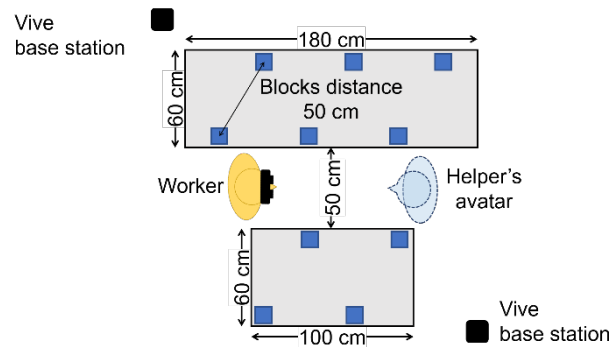


図 6. 実験環境

指示者からの指示は、事前に演者がテーブル上のブロックをポインティングする動作を、モーションキャプチャシステム (Optitrack S250e) を用いて 5 パターン記録した。各パターンは 10 回のポインティングから成り、同じブロックのポインティングは行わなかった。各パターンの平均時間は約 33 秒であり、ポインティングの順序はシーケンス間で異なるものとした。

参加者は HTC VIVE ヘッドマウントディスプレイ (HMD) によって、ステレオカメラ ovrVision によってキャプチャされた現実の光景に仮想の指示者アバタを重畳描画した映像を観察した。参加者は大学生・大学院生 (男性 9 名、女性 1 名、年齢は平均 23.6 歳 (SD 1.26)) 10 名であった。

ユーザビリティの評価には SUS (System usability scale) を用いた (10 問、各設問 1~10 点で回答)。また、指示と指示の間、および指示を受けている間に指示者アバタのデザインが作業者に与える印象を調査するために、以下の設問に回答させた (各設問 1~7 点で回答)。

1. アバタの追跡は容易だった (Tracking)
2. アバタの指示は理解が容易だった (Understandable)

参加者は AR 空間でアバタの指示に従ってブロックを順にタッチした。実験は図 1 に示す 3 条件で行われ、各条件で、練習と本番セッションを設けた。提示する指示シーケンスは 5 種類中 1 種類を全参加者、全条件共通の練習用とし、残り 4 種類を本番セッションの各条件にランダムに割り当てた。

参加者およびアバタの初期位置は毎タスク固定された位置とし、参加者には指示が連続で与

えられること、できるだけ早くブロックに触れるよう教示した。3条件終了後、質問票に回答させた。

SUSの結果を図7左に示す。条件を固定要因、参加者をランダム要因とした線形回帰分析の結果、条件間に有意傾向が見られた ( $F(2, 18) = 3.47, p = 0.053$ )。下位検定 (Bonferroni correction) の結果、Body条件はHand only条件よりも有意に高いスコアとなった ( $p = 0.031$ )。次に、Q1の結果(図3中)に関しても同様の分析を行った結果、条件間に有意差が見られた ( $F(2,18)=5.47, p=0.014$ )。下位検定の結果、Body条件はHand only条件よりも有意にスコアが高かった ( $p=0.003$ )。しかし、Q2(図3右)に関しては条件間の有意差は見られなかった。以上より、より詳細な身体情報を提供することにより、遠隔指示システムの質を向上させることができるという我々の仮説はユーザビリティ、追従のしやすさという2点において支持された。

Q1(追従のしやすさ)について、実験時のビデオより、Body条件の場合はアバタの頭が見えているために、手が動く前でも顔が動いた直後に参加者が追従できており、このことが参加者の印象を向上させたと考えられる。また、参加者より、「Hand onlyの場合はある地点からある地点へ大きく移動する際に、見失いそうになることがあるが、Body条件は容易に追従できた」というコメントを得た。

一方でQ2(理解のしやすさ)について、ずれの条件でも差が見られなかった。これは、今回のタスクがブロックに触れるという単純なタスクであったため、差が見られなかったものと考えられる。よって今後は、ブロックを回転させる、移動させるといったより複雑なタスクにすることを検討している。

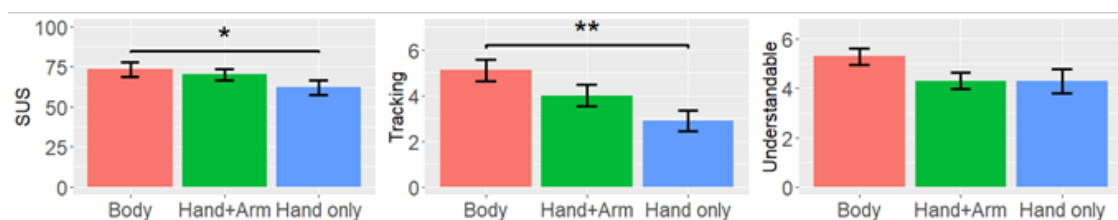


図7. 実験結果 (SUS (左)、Q1 (中)、Q2 (右))

(3) 本課題の共通目標は、時空間制約を超越したコミュニケーションを実現する支援技術の開発と、そこでの問題を理解するための理論構築である。はこだて未来大学の研究グループは、主に対面コミュニケーションを対象とし、2~5人程度の人々が会話する際の各参加者のエンゲージメント(興味、関与、積極性)を測る手法の開発と分析を行った。実施した研究は主に以下の二件である。

一件目は、一人称ライフログ映像から、日常活動における様々な社会的状況に応じた当事者のエンゲージメントを定量化する試みである。二件目は、チュータリング対話の質を参加者の非言語行動から推測する試みである。ここで得られた知見は、遠隔コミュニケーションにおける自然な対話を実現するには、何を重視すべきなのか、どこに注目すべきなのかといった指針を提供するものである。

一件目については、胸に常時装着した小型カメラによって記録される一人称ライフログ映像に映り込んだ対面者の顔を数えることで、カメラ装着者の日常の社会活動量を推測しようとする試みである(図8)。対面者とのコミュニケーション時におけるカメラ装着者自身のエンゲージメントを測ることを目指し、検出された顔の大きさと検出継続時間を勘案する手法を提案した。実際のライフログ記録を用いて当事者たちの主観評価実験を行い、提案手法の妥当性と改善点を明らかにした。つまり、提案手法は大変単純であるにもかかわらず人の主観と傾向が一致することが分かった。一方で、ライフログデータの分析を通して、人は斜め前や真横にいる人と密接なコミュニケーションをしていることがわかり、ライフログカメラは周辺視野の広い魚眼カメラが適していることも明らかにした。



図8. 胸に装着したカメラによる顔数の計測



図9. チュータリング対話のラベリング

二件目は、大学生の学び合いの手段であるチュータリングを題材とし、教える側(チューター)と教えられる側(チューティー)の間の対話の質を測るシステムの開発を試みた。具体的には、

発話と手作業の交替パターンや量の多寡を自動計測するシステムを作成し、チュータリング対話の会話分析を可能にするラベリングの自動化を実現した（図9）。並行して、学内で雇用されている学生チューターのグループに協力を求め、模擬チュータリングのデータ作成と、それらのデータの振り返り作業によって望ましいシーンや望ましくないシーンの特定をしてもらった。それらのデータを相関分析、主成分分析、重回帰分析などの統計手法で分析し、チューター間で評価の高いチュータリングのパターンを見出すことができた。具体的には、チューターがあまり出しゃばらずに、チューターの発話や作業量が多くなるようにすることが望ましいチュータリング方略である、という彼らの暗黙知を数量化モデルで表現することができた。

<引用文献>

Heath, C. and Luff, P., Disembodied Conduct: Communication Through Video in a Multi-Media Office Environment, Proc. of CHI '91, pp. 99-103, 1991.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Wang Tzu-Yang, Sato Yuji, Otsuki Mai, Kuzuoka Hideaki, Suzuki Yusuke	4. 巻 4
2. 論文標題 Effect of Body Representation Level of an Avatar on Quality of AR-Based Remote Instruction	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Multimodal Technologies and Interaction	6. 最初と最後の頁 3~3
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） doi.org/10.3390/mti4010003	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Zhengqing Li, Shio Miyafuji, Toshiki Sato, Hideki Koike, Naomi Yamashita, Hideaki Kuzuoka	4. 巻 24
2. 論文標題 Impact of Display Shapes on Symmetric 360 Video Communication For Remote Collaboration	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Virtual Society of Japan	6. 最初と最後の頁 165~176
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.18974/tvrsj.24.2_165	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Matsumura Kohei, Sumi Yasuyuki, Gompei Takumi	4. 巻 25
2. 論文標題 Embodiment of Guidance Robot Encourages Conversation among Visitors	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Information Processing	6. 最初と最後の頁 352~360
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.2197/ipsjjip.25.352	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Matsumura Kohei, Sumi Yasuyuki, Sugiyama Mitsuki	4. 巻 25
2. 論文標題 Analyzing Listeners' Empathy by Their Nonverbal Behaviors in Bibliobattle	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Information Processing	6. 最初と最後の頁 361~365
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.2197/ipsjjip.25.361	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 KUSAJIMA Shota, SUMI Yasuyuki	4. 巻 E101.D
2. 論文標題 Activating Group Discussion by Topic Providing Bots	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Information and Systems	6. 最初と最後の頁 856 ~ 864
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1587/transinf.2016IIP0034">https://doi.org/10.1587/transinf.2016IIP0034</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計11件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 9件)

1. 発表者名 Zhengqing Li, Shio Miyafuji, Toshiki Sato, Hideki Koike, Naomi Yamashita, and Hideaki Kuzuoka
2. 発表標題 How Display Shapes Affect 360-Degree Panoramic Video Communication
3. 学会等名 Designing Interactive Systems Conference (DIS '18) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Zhengqing Li, Shio Miyafuji, Toshiki Sato, Hideaki Kuzuoka, Hideki Koike
2. 発表標題 OmniEyeBall: Spherical Display Equipped with Omnidirectional Camera And Its Application For 360-Degree Video Communication
3. 学会等名 31th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST'18) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Zhengqing Li, Shio Miyafuji, Erwin Wu, Toshiki Sato, Hideaki Kuzuoka, Hideki Koike
2. 発表標題 OmniEyeBall: An Interactive I/O Device For 360-Degree Video Communication
3. 学会等名 ACM International Conference on Interactive Surfaces and Systems (ISS2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 Zhengqing Li, Shio Miyafuji, Erwin Wu, Hideaki Kuzuoka, Naomi Yamashita, Hideki Koike
2 . 発表標題 OmniGlobe: An Interactive I/O System For Symmetric 360-Degree Video Communication
3 . 学会等名 Designing Interactive Systems Conference (DIS'19) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Briane Paul V. Samson, Yasuyuki Sumi
2 . 発表標題 Exploring Factors that Influence Connected Drivers to (Not) Use or Follow Recommended Optimal Routes
3 . 学会等名 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Ryo Fujikura, Yasuyuki Sumi
2 . 発表標題 Facilitating experiential knowledge sharing through situated conversations
3 . 学会等名 Augmented Humans International Conference (AHs '20) (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Yasuyuki Sumi, Masaki Suwa, Koichi Hanaue
2 . 発表標題 Effects of viewing multiple viewpoint videos on metacognition of collaborative experiences
3 . 学会等名 CHI 2018 (国際学会)
4 . 発表年 2018年



1. 発表者名 Akane Okuno, Yasuyuki Sumi
2. 発表標題 Social activity measurement by counting faces captured in first-person view lifelogging video
3. 学会等名 10th Augmented Human International Conference (AH 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ryo Fujikura, Yasuyuki Sumi
2. 発表標題 Facilitating experiential knowledge sharing through situated conversations
3. 学会等名 Augmented Humans International Conference (AHs '20) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 奥野 茜, 角 康之
2. 発表標題 一人称ライフログ映像からの顔検出に基づいた社会活動計測
3. 学会等名 インタラクシオン2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 辻本 海成, 角 康之
2. 発表標題 チュータリング対話の質評価に寄与する非言語情報の検討
3. 学会等名 インタラクシオン2020
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	角 康之  (Sumi Yasuyuki)  (30362578)	公立はこだて未来大学・システム情報科学部・教授   (20103)	
研究 分担者	大槻 麻衣  (Otsuki Mai)  (30609095)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・研究員   (82626)	
研究 分担者	小池 英樹  (Hideki Koike)  (70234664)	東京工業大学・情報理工学院・教授   (12608)	
研究 分担者	山下 直美  (Yamashita Naomi)  (70396141)	日本電信電話株式会社NTTコミュニケーション科学基礎研究所・協創情報研究部・特別研究員   (94305)	