

人を理解し協働する センスコンピューティング

Sensecomputing for Human-Machine Collaboration through Human Emotion Understanding

● 林田 尚子

あらまし

日本の生産年齢人口は、2060年に全人口の約半分にまで落ち込むと予測されている。このような社会の変化とともに、テレワークやロボットを活用する新たなワークスタイルが身近になりつつある。職場において、他者とのつながりが生み出す力は人々を大いに助ける。一方で、現状のロボットや情報システムではこれらの力をうまく活かせていない。富士通研究所では、こういった人の心理的な要素を含めて、人を理解し支援する情報システムの実現を目指したセンスコンピューティングの研究に取り組んでいる。その一環として、VR(Virtual Reality)空間を活用したユーザー同士のつながりを支援する将来のテレワークシステムを想定し、そのデザインフェーズとしてVR空間における遠隔のユーザー同士の対人関係構築に関する行動の観察を行った。その結果、ユーザーの身体パーツの位置や上半身の向きなどが、対人関係構築に重要であるとの新たな知見を得た。

本稿では、本研究の理論的背景、ユーザー観察の概要、およびその結果について述べる。

Abstract

The Japanese working-age population is estimated to fall to about half of the total population by 2060. Along with this change in society, new working lifestyles such as working remotely and co-working with robots are becoming popular. Coming together with others within the workplace in the real world can create advantages for organizing our work life, but current computer technologies—including robots and other autonomous artificial intelligent systems—have not helped to create the same advantages in remote working spaces yet. Sensecomputing Research Center in Fujitsu Laboratories takes on this research issue regarding people's need for relatedness. We aim to develop computer-supported cooperative remote working spaces that satisfy people's basic psychological need for relatedness. In this paper, we introduce a preliminary study on building design for future remote working spaces. This paper presents lessons learned on how a user interacts with other persons using his/her interpersonal relationship-building behaviors in virtual reality settings. The paper shows that future remote working spaces will let a user be informed that another person would like to approach them/avoid them, using where the other person's body parts are positioned, how angled the other person's upper body is, etc. This paper includes the background for the study and the preliminary results of user observations, including its methodology and system configurations.

まえがき

「人間は必ずしも合理的に行動しない」。これは、Thalerが2017年にノーベル経済学賞を受賞⁽¹⁾したことで話題となった、行動経済学の基本的な考え方である。例えば、飢餓対策の募金の呼びかけでは、数値による説明ではなく飢餓に苦しむ少女のストーリーを伝える。このように、提示する情報の内容や順番を人の感情の動きを考慮して工夫することで、人々が社会全体にとって良い選択ができるように支援が行われている。

近年、欧米では行動経済学や行動科学が実践的に活用されている。⁽²⁾このような考え方は、必ずしも合理的な判断をするわけではない人間と相対する情報システムにとっても重要である。すなわち、人の行動原理や感情の動きを踏まえた上で情報提示ができて初めて、システムが人にとって適切な形で支援できると考えられるからである。

このような考えのもと、富士通は人が中心の社会「ヒューマンセントリック・インテリジェントソサエティ」の実現を掲げている。⁽³⁾この人中心のアプローチを推し進めるに当たって、富士通研究所では2017年からセンスコンピューティングへの取り組みを開始した。これは、情報システムが人間の感覚・感性や感情・心理面も含め、人を深く理解するための最先端の研究である。本研究では、工学や認知科学、心理学など、幅広い学際的な視点が必要となる。そのため、HCI (Human-Computer Interaction)、CSCW (Computer-Supported Cooperative Work) などの分野で世界的に著名な国内外の大学研究者らとの共同研究を積極的に進めている。

本稿では、まずセンスコンピューティングが目指す人と協働する情報システムについて述べる。次に、協働のための重要な要素である対人関係の構築に関する検討と新たに得られた知見について述べる。

人と協働する情報システム

● 背景

少子・高齢化が進む日本の生産年齢人口は、2060年には全人口の約半分にまで減少すると予測されている。⁽⁴⁾近い将来の労働力不足に備えるため

に、人々のワークスタイルは変化を余儀なくされる。知的なコンピュータやロボットとともに人が働く場面が増え、また子育てや介護をしながら働く世代では、柔軟なワークスタイルやワークプレイスが必要とされる。

● 目的

人々が生き生きと人間らしく働く上で、欠くことができない重要な要素の一つは、他者の存在や他者とのつながりである。しかし、上記のようなワークスタイルの変化に伴い、働く人同士のつながりが薄れていくのは必至である。そこで仮に、人がコンピュータやロボットと心理的な関係を構築でき、テレワークでもチームの一体感を持つことができれば、現実の職場と同様に、他者とのつながりやそれによって生み出される力を活用できると考えている。

このような他者の存在や他者とのつながりが生み出す力を取り込み、未来のワークスタイルにあっても、人々が人間らしく働く手助けをする情報システムが、富士通研究所の目指す人と協働する情報システムである。

次章以降では、このような人と協働する情報システムの実現に向けた取り組みの一環として、遠隔のユーザー同士の対人関係構築支援に関する検討結果について述べる。

対人関係の構築支援の研究

● 従来研究

対人関係の構築支援は前述のHCI、CSCWだけでなく、CMC (Computer-mediated communication) といった研究領域でも行われている。例えば、人との間で関係を構築するソフトウェアエージェントや、人と人との関係構築を支援するビデオ会議システムなどの研究例がある。対人関係の構築は言語行動だけでは難しく、人々が現実空間で対話の際に行っている非言語行動（アイコンタクトや、うなずきなど）を情報システムに取り入れる研究が盛んに行われている。

Bickmoreらは、身体の動きをアニメーションとして表示できる対話エージェントに、多くの対話戦略（対話相手の体面を損なう発言の防止など）と非言語行動の実装を試みている。⁽⁵⁾大塚らは、複数人の遠隔対話において、人の頭と連動して動く

ディスプレイを用いて、人と人とのアイコンタクトを可能にし、現実空間の対面状況のような自然なコミュニケーションを可能にするシステムを開発している。⁽⁶⁾

これまでの対人関係構築を支援するための研究では、対話行動（発話や傾聴など）の支援に軸足があった。そのため、現実空間の対話行動の研究で重要であるとされている対話戦略を活用することや、発話時や傾聴時の非言語行動（アイコンタクトや、うなずきなど）の活用主眼があった。

● 本研究の着目点

現実空間において、人は他人との親密さに応じて相手との物理的な距離を調整することがある。例えば、離れた場所で共同で作業するテレワークなどにおいて、人が他者の存在や他者とのつながりを感じるためには、従来の研究で検討されてきた対話を成立させるための関係構築以上に、より現実に近いレベルでの非言語行動の伝達が必要であると考えている。

対人関係を「調整する」行動に関する理論として、親密性平衡理論⁽⁷⁾が知られている。親密性平衡理論では、人は自分が他者と築きたい親密性のレベルに応じた関係性構築の行動を行っていると言われている。そして、自分の想定している親密性のレベルと異なる行動を他者が取った場合には、人は視線や表情、物理的な距離などによって、他者との対人関係を調整する行動を取ると説明されている。

例えば、初対面のAさんとBさんが対話する場合、AさんはBさんに対して低い親密性のレベルを想定する。その状態で、突然Bさんが至近距離に近寄ってきたとすると、Aさんは自分の想定している親密性のレベルと現実の状況との間でバランスが崩れたと認識する。そこで、Aさんは親密性レベルが高すぎる現在の状況から、もっと親密性レベルが低く自分の想定とバランスの取れた状態に戻そうと調整行動を取る。具体的には、AさんはBさんに対して、目を合わせなくなったり、身体を背けたりする。

本研究では、先行研究⁽⁷⁾⁻⁽¹¹⁾に基づき、親密性平衡理論の中で紹介されているものも含め、現実空間において知られている対人関係の調整行動に関連する18種類の行動を抽出した（表-1）。なお、この18種類の対人関係調整行動を動作の種類の観点から5カテゴリーに分けて示している。この調整行動を現実空間と遠隔環境で観察・比較し、遠隔における対人関係構築に関わる知見を獲得する。

ユーザー観察

本章では、現実空間で行われる対人関係構築と同様に、遠隔のユーザー同士でも対人関係を調整する行動を可能にする情報システムの構築を目的とし、そのデザインフェーズとして行ったユーザー観察について紹介する。ユーザー観察の目的は、その場で何が起きているかをユーザー同士のインタラクション（対話に限らないやり取り）の観察

表-1 18種類の対人関係調整行動

カテゴリ名	〔識別名〕 各概説
物理的距離…物理的距離を変化させることによる対人関係調整行動	[SB01] 上半身の距離を近づける
	[SB02] 上半身の距離を遠ざける
	[SB03] 顔の距離を近づける
	[SB04] 顔の距離を遠ざける
	[SB05] 身体パーツの距離を近づける
	[SB06] 身体パーツの距離を遠ざける
アテンション…アテンションを変化させることによる対人関係調整行動	[SB07] 互いへアテンションを向ける
	[SB08] 相手からアテンションをそらす
	[SB09] 同じものへアテンションを向ける
	[SB10] 相手のアテンションを追いかける
向き…対話相手に対する向きを変化させることによる対人関係調整行動	[SB11] 相手に対して顔を向ける
	[SB12] 相手から顔を背ける
	[SB13] 相手に対して上半身を向ける
	[SB14] 相手から上半身を背ける
前後傾…前傾・後傾することによる対人関係調整行動	[SB15] 前傾する
	[SB16] 後傾する
ジェスチャー…ジェスチャーによる対人関係調整行動	[SB17] ポジティブな意味を持つジェスチャーをする
	[SB18] ネガティブな意味を持つジェスチャーをする

から抽出し、システム設計に反映すべき知見を発見することにある。

本研究では、現実空間でのユーザー同士の対人関係調整行動のデータ取得（ステップ1）と、遠隔のユーザー同士の対人関係調整行動のデータ取得（ステップ2）を行い、その行動の差異に注目して観察した。

● ユーザー観察のデザイン

遠隔のユーザー同士で対人関係を構築する情報システムの想定適用シーンは、対人関係が重視されるあらゆるシーンが対象となる。例えば、遠隔でジョブトレーニングを行うシーンや、遠隔で医療アドバイスを受けるシーン、遠隔の同僚とあたかも同じ場にいるように存在感を共有するシーンなどが挙げられる。これらの広範な適用シーンの中で、どのような考え方で今回観察するユーザー同士のインタラクションの場面をデザインしたかについて説明する。

本研究では、観察集団の集めやすさのほかに次の2点を考慮し、インタラクションの場面を英会話学習時とした。

第一に、インタラクションの内容のばらつきを抑える点を考慮した。英会話学習時の発話内容は、それぞれのレベルに応じて英会話を上達させることに限定される。したがって、学習者間での発話内容のばらつきがほかのシーンに比べて少なく、会話内容の違いによる影響が出にくい。

第二に、ユーザー同士の立場や役割が実験中に大きく変化しない点を考慮した。一般的に、英会話学習中に英語講師と学習者の立場や役割が大きく変化することはない。そのため、立場や役割の変化の影響を受けにくい。

● ユーザー観察の概要

ユーザー観察においては、以下の三つの検証条件のいずれかを英語学習者に対して割り当て、各条件下におけるユーザーの対人関係調整行動のデータを採取した。三つの条件は、「英語講師に対して仲良くなりたいと思うときの行動をしてもらうように指示する条件（接近性の条件）」「英語講師に対して仲良くなりたいと思わないときの行動をしてもらうように指示する条件（回避性の条件）」「何も指示をしない条件」である。

(1) 現実空間のユーザー同士の対人関係調整行動の観察（ステップ1）

ステップ1は、現実空間で対面しているユーザー同士を対象とした観察である。英語講師と学習者との間でどのような対人関係調整行動が行われるのか、現実空間においてユーザー観察を行った。

ステップ1の現実空間における18種類の行動を整理した様子を図-1に示した。ユーザーの様子を二つのカメラで撮影し、事後に行動をタグ付けするツールを用いて、図-1下部に示す各行動の生起を時系列に整理した。なお、図-1上部左右の二つの画像は、それぞれ英語学習者の正面およびサイド

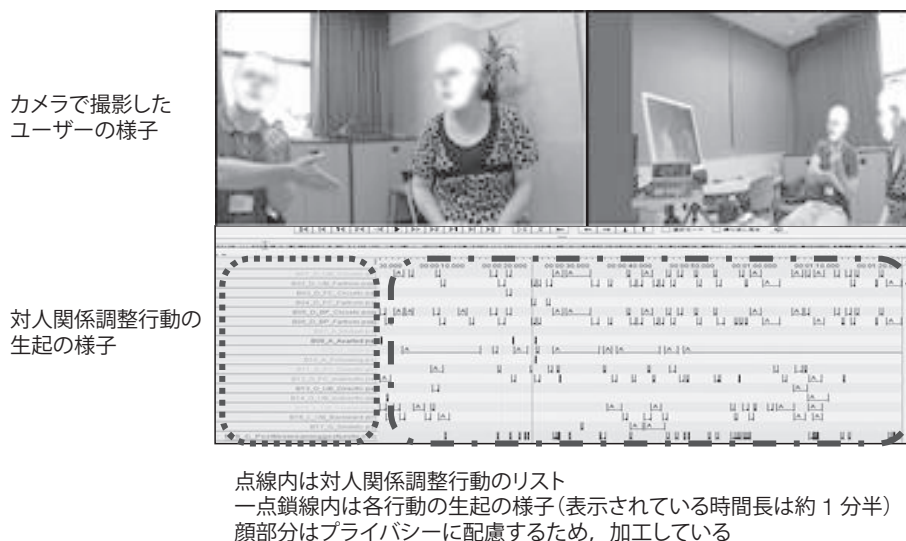


図-1 現実空間における対人関係調整行動のデータ

に設置したカメラで撮影した映像である。

(2) 遠隔のユーザー同士における対人関係調整行動の観察 (ステップ2)

ステップ2は、遠隔のユーザー同士を対象とした観察である。英語講師と学習者との間で、対人関係調整行動がどのように行われるのか、現実空間と同様の用いられ方をしているのか否かについて、VR (Virtual Reality) 空間を活用し、ユーザー観察を行った。

このステップでは、18種類の行動について観察を行い、それらが遠隔のユーザー同士で接近性・回避性の対人関係調整を行う際に用いられているか否かについて、ステップ1と同様に生起を時系列に整理した。VR空間においては、ステップ1と同様の配置となるように、英語講師と学習者との両方に座位を指示した。

(2-1) VR空間

図-2に、遠隔のユーザー同士の対人関係調整行動を観察するに当たり、構築したシステムの概要を示す。VR空間の中で、英語講師と英語学習者はそれぞれ図中の立っているアバターと座っているアバターによって、自らの対人関係調整行動を表すことができる。

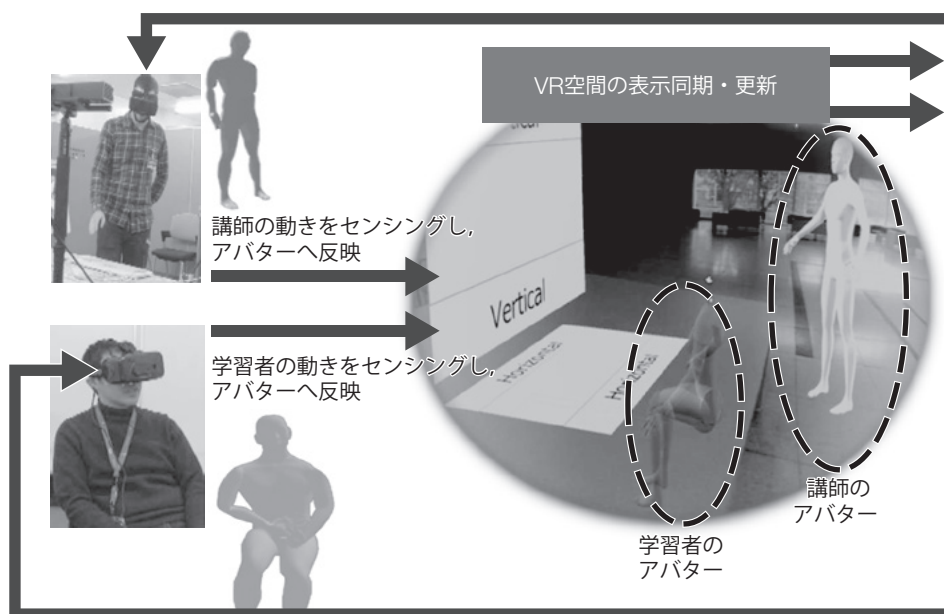
各ユーザーのVRヘッドセットの動きを感知し頭

部姿勢を採取するセンサーと、各ユーザーの正面に設置した深度センサーによって、各ユーザーの動きをセンシングする。そして、それぞれのセンシングデータを、アバターの位置や各身体パーツの関節の回転角度へとマッピングしている。これらの動きを遠隔のユーザーが見ているVR空間のアバターに反映させる。これによって、各ユーザーは遠隔のユーザーが自分に対して行っている対人関係調整行動を見ることができる。またそれに対して、自分の行動を更に調整できる。

(2-2) ユースケース

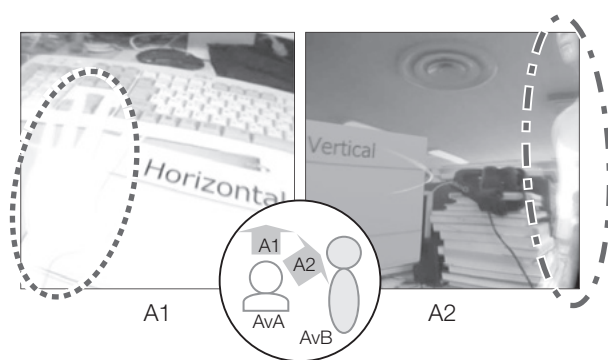
VR空間中で、対人関係調整行動を行った際に得られたユーザーの視界の例を図-3に示す。ここでは、VR空間中でユーザーがどのような形で対人関係調整行動を行えるかについてユースケースを、そのときのアバターの視界がどのように変化するかを含めて説明する。

- ・アテンションによる対人関係調整の例：アバター AvAがアバター AvBのことを見る。これにより、アバター AvAの視界は図-3 (a) に示すように、アバター AvA自身の手が映った状態 (A1) からアバター AvBの姿が映った状態 (A2) へと変化する。
- ・前後傾による対人関係調整の例：アバター AvA



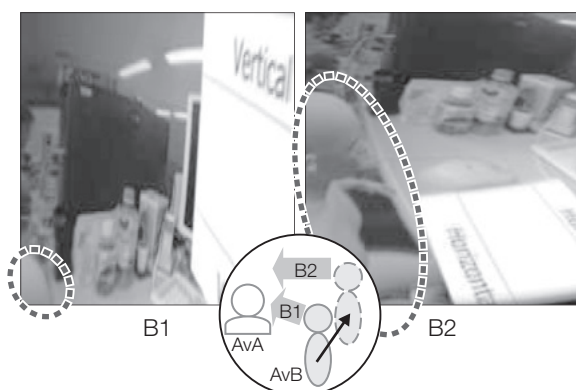
現実空間を360度カメラで撮影した天球画像を用いてVR空間を構成

図-2 システムの概要



A1：点線内にアバターAvA自身の手
A2：一点鎖線内にアバターAvBの姿

(a) ユーザーAの視界



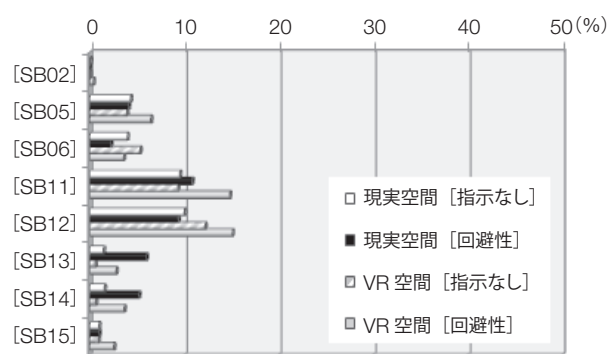
B1およびB2：点線内にアバターAvAの姿

(b) ユーザーBの視界

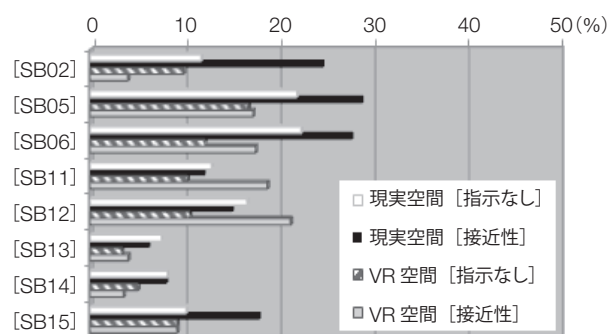
図-3 ユーザーの視界の例

が前傾する。これにより、アバター AvAの視界は、図-3 (a) のA1中のHorizontalと書かれた机上の資料上に見えている状態から前傾の動きと同期して、机上の資料が近づいた状態へと変化する。

- 物理的距離による対人関係調整の例：アバター AvBがアバター AvAから遠ざかる。これにより、アバター AvBの視界は、図-3 (b) に示すように、アバター AvAがAvBの近くにいる状態 (B1) からAvBの遠くにいる状態 (B2) へと変化する。
- 向きによる対人関係調整の例：アバター AvBがアバター AvAの方向へ上半身の向きを変える。これにより、アバター AvBの視界は、図-3 (b) のB1中のVerticalと書かれた正面の資料が視界にある状態から上半身の向きをアバター AvAへ向ける動きと同期して、正面の資料が見えなくなる状態へと変化する。
- ジェスチャーによる対人関係調整の例：アバター AvAが腕組みをする。これにより、アバター



(a) 英語学習者1のデータ



(b) 英語学習者2のデータ

図-4 各対人関係調整行動の各セッションに占める時間

AvAの視界では、図-3 (a) のA1中のHorizontalと書かれた机上の資料上に自分の手が見えている状態から手が見えなくなり、自分の身体の近くで腕組みをしている状態へと変化する。また、アバター AvBの視界では、この動きと同期して図-3 (b) のB2のように座っているアバター AvAの腕が腕組みをしている状態へと変化する。

● ユーザー観察の結果

ここでは、前節のステップ1とステップ2で採取したデータを比較し、今回のデザインフェーズにおけるユーザー観察から得られた結果とシステムを構築する上で留意すべき知見を2点示す。

1点目は、現実空間で行われていた18種類の対人関係調整行動と比較して、VR空間ではほとんど使われないものがあるということである。

ある英語学習者1について、回避性の行動の条件の有無に応じて、各行動が行われた時間が全検証セッションの時間に対して占める割合を比較したデータを図-4 (a) に示す。また、ある英語学習者2について、接近性の行動の条件の有無に応じて、各行動が行われた時間が、全検証セッションの時

間に対して占める割合を比較したデータを図-4 (b) に示す。なお、図-4 (a) (b) にはいずれも、現実空間で観測された行動のそれぞれの総時間に対し、VR空間でも現実空間の50%以上の時間が観測されたものをVR空間でも必要とされる行動と見なし、そのような8種類の対人関係調整行動をピックアップした。

この8種類の行動は、[SB02] [SB05] [SB06] が上半身や身体パーツの位置に関するもの、[SB11]～[SB14] が顔や上半身の向きに関するもの、[SB15] が上半身の前傾に関するものであった。また、この8種類以外の対人関係調整行動（例えば [SB07]～[SB10] のようなアテンションを使った行動）は、VR空間においては現実空間ほどは使われていないことが観測された。

これらの結果から、接近性や回避性の対人関係調整行動を遠隔のユーザー同士で伝え合うためには、これまで非言語コミュニケーションの研究分野ではあまり重要視されてこなかった、身体パーツの位置や上半身の向きなどを伝え合うことが重要であるということが示唆される。

2点目は、18種類の対人関係調整行動の中には、VR空間の中で現実空間以上に用いられる行動があるということである。図-4 (a) の対人関係調整行動 [SB11] を用いて説明する。これは、顔を英語講師の方向に向ける行動である。回避性の指示条件の有無による対人関係調整行動の増加量を比較すると、現実空間における増加量よりも、VR空間における増加量の方が大きい。

これは、VR空間ではより使われやすい対人関係調整行動があるということを示唆している。システムデザインの際には、ユーザーの状況に応じて、これら使われやすい行動が遠隔のユーザー同士でも共有できるように留意する必要がある。

む す び

本稿では、富士通研究所が取り組んでいる、情報システムが人間の感覚や感情などを理解するセンスコンピューティングと人と協働する情報システムの実現へ向けた研究の取り組みについて説明した。更に、その一環として、将来の新たなワークスタイルで働く人々を理解し支援することを目指し、遠隔のユーザー同士の対人関係構築を支援

するシステムのデザインフェーズにおける取り組みを紹介した。

ユーザー観察では、接近性や回避性の対人関係調整行動を遠隔のユーザー同士が行うためには、身体パーツの位置や上半身の向きなど、従来の研究では遠隔のユーザー同士で共有することが重要視されてこなかったものを共有することも重要であることを明らかにした。

本研究では、大学との共同研究を通じて多くの学際的視点も取り入れている。今後も、ほかの組織との相乗的な成長は、アカデミックな領域に限らずビジネス領域においても更に重要なものとなる。例えば、人と協働する情報システムは、テレワークなどの社会的要請からだけでなく、VRデバイスやAR (Augmented Reality) デバイスの普及によっても相乗的な成長が期待できる。

現在、研究のフェーズはユーザー観察に基づくシステムのデザインフェーズから、プロトタイプシステムを構築するフェーズへと進んでいる。まずは、このプロトタイプシステムを2018年度に小規模のユーザーでテスト運用し、共同研究者らと仮説検証を繰り返す。このようなデザインとシステム構築の反復を行い、チームメンバーらと活き活きと協調して作業を行うことのできる情報システムの構築を進めていく。

参考文献

- (1) The Nobel Prize : Press release: The Prize in Economic Sciences 2017.
<https://www.nobelprize.org/prizes/economics/2017/press-release/>
- (2) The Behavioural Insights Team (英国Nudge Unit).
<http://www.behaviouralinsights.co.uk/about-us/>
- (3) 富士通 : Fujitsu Technology and Service Vision.
<http://www.fujitsu.com/jp/vision/index.html>
- (4) 総務省 : 平成29年度版情報通信白書.
<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h29/pdf/29honpen.pdf>
- (5) T. Bickmore et al. : Social Dialogue with Embodied Conversational Agents. *Advances in Natural Multimodal Dialogue Systems*, p.23-54 (2005).
https://link.springer.com/chapter/10.1007/1-4020-3933-6_2

- (6) K. Otsuka : MMSpace: Kinetically-augmented Telepresence for Small Group-to-group Conversations. Proceedings of IEEE Virtual Reality 2016, p.19-28 (2016).
<https://ieeexplore.ieee.org/document/7504684/>
- (7) M. Argyle et al. : Eye-Contact, Distance and Affiliation. Sociometry, Vol.28, No.3, p.289-304 (1965).
<https://www.jstor.org/stable/2786027>
- (8) J. N. Bailenson et al. : Interpersonal Distance in Immersive Virtual Environments. Personality and Social Psychology Bulletin, Vol.29, p.1-15 (2003).
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15018671>
- (9) T. Bickmore et al. : Establishing and Maintaining Long-Term Human-Computer Relationships. ACM Transactions on Computer-Human Interaction, Vol.12, No.2, p.293-327 (2005).
<https://dl.acm.org/citation.cfm?id=1067867>
- (10) A. Mehrabian : Some Referents and Measures of Nonverbal Behavior. Behavioral Research Methods and Instrumentation, Vol.1, Issue 6, p.203-207 (1968).
<https://link.springer.com/article/10.3758/BF03208096>
- (11) V. Richmond et al. : Immediacy. Nonverbal Behavior in Interpersonal Relations, p.195-217 (1995).

著者紹介



林田 尚子 (はやしだ なおこ)

(株) 富士通研究所
Sensecomputing研究センター
ソーシャルインタラクション技術の研究・開発に従事。