

# 日本バーチャルリアリティ学会研究報告

The 13<sup>th</sup> Workshop on Telexistence

第 13 回テレイグジスタンス研究会

2019年1月25日

日本バーチャルリアリティ学会

# 日本バーチャルリアリティ学会研究報告目次

## CONTENTS

### 第13回テレイグジスタンス研究会／The 13<sup>th</sup> Workshop on Telexistence

〔主催：テレイグジスタンス研究委員会〕  
〔Organized by Special Interest Group on Telexistence〕

2019年1月25日（金）14:00－17:30（東京大学）

|        |                                                                                                                                                                                           |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| TX01-1 | T-Aura: Thermally Enriched Head Mounted Displays for Telexistence and Virtual Reality Applications<br>Roshan Lalintha Peiris, Yamen Saraiji, Liwei Chan,<br>南澤 孝太(慶應義塾大学), 舘 暲(東京大学) …… 1 |
| TX01-2 | オフィス状況を可視化する遠隔コミュニケーションシステムの開発<br>野中 雅人(沖電気工業株式会社) …… 5                                                                                                                                   |
| TX01-3 | Superception（超知覚）の実現にむけて<br>笠原 俊一<br>（ソニーコンピュータサイエンス研究所，東京大学）… 7                                                                                                                          |
| TX01-4 | xExistence を考える<br>泉原 厚史, 檜山 敦, 稲見 昌彦(東京大学) …… 9                                                                                                                                          |

# T-Aura: Thermally Enriched Head Mounted Displays for Telexistence and Virtual Reality Applications

Roshan Lalintha Peiris<sup>1)</sup>, Yamen Saraiji<sup>2)</sup>, Lichao Shen<sup>3)</sup>, Kouta Minamizawa<sup>4)</sup>, Susumu Tachi<sup>5)</sup>

1), 2), 3), 4) Keio University Graduate School of Media Design  
(〒223-8526 横浜市港北区日吉 4-1-1, roshan, yamen, shenlc, kouta@kmd.keio.ac.jp)

2) The University of Tokyo  
(〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1, tachi@tachilab.org)

**Abstract:** Facial thermoreception plays an important role in mediating surrounding ambient and direct feeling of temperature and touch, enhancing our subjective experience of presence. Such sensory modality has not been well explored in the field of Telepresence and Telexistence. We present T-Aura, an enhanced experience of remote presence that consists of a fully facial thermal feedback system combined with the first person view of Telexistence systems. Here, we present an overview of the design and implementation of T-Aura, along with scenarios envisioned for social and intimate applications.

**Key Words:** *Thermal Feedback; Telexistence and Telepresence; Intimate and Ambient Interaction.*

## 1. Introduction

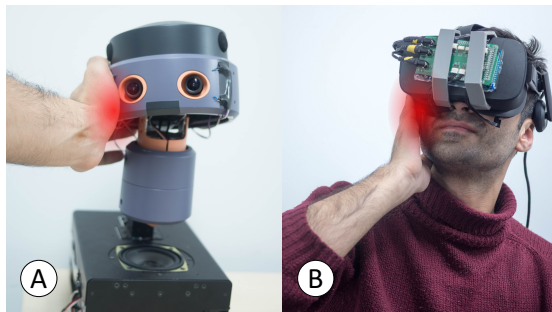


Figure 1 T-Aura system constructed by two sides: A) a remotely operated telexistence robot with facial temperature sensing, and B) an HMD with thermal feedback capacity.

We rely on our sensory feedback to realize and comprehend the environment surrounding us, and understand the boundaries of body and space through the loop of interaction. When perceiving the surrounding space through our bodies, we utilize our sensory organs and interpret their raw information in an unconscious manner maintaining our subjective feeling of presence, and affecting our behavior and thoughts [2]. Among these sensory feedbacks we use is thermoception, the

sense of direct and indirect external temperature changes.

Thermoception plays an important role in mediating the ambient state of the environment, and plays both a direct and an indirect role in sensing changes around us. Temperature changes also affect our emotions and psychological state such as pleasantness and excitedness [8] in social situations for example. Its role also becomes prominent when the interaction is intimate and interpersonal. However, such sensory stimulus becomes dramatically limited when used through a mediated environment, such as in Telepresence and Telexistence scenarios. In such scenarios, our body is virtually transported into a different location and has limited access to the physical space, which is imposed by the used avatar robot. In this work, we address this limitation by exploring thermal feedback on the face in Telexistence systems through the proposed system, T-Aura.

T-Aura enables the users of Telexistence systems the awareness of facial thermal feedback through a customized Head Mounted Display (HMD) with thermal feedback modules and a remotely operated avatar system with adequately mounted temperature sensors. Figure 1 provides an overview of the proposed system, in which an anthropomorphic robot head can detect the facial

temperature changes and transfers it to the user along visual and auditory feedback.

## 2. Related Works

**Related Work** In the field of Telepresence and Telexistence, a considerable amount of work has been dedicated to mediate the state of remotely operated avatars toward the operating user. Haptic feedback has been an important design consideration in such systems to maintain the quality of operation [5]. For example, finger modules [1] were previously proposed addressing the transmission of pressure, vibration, and thermal feedback for direct manipulation applications. In a relevant area of telecommunication, [6] showed the effect of haptic in transferring the social and intimate activities, such as hugging with remote people.

Body and facial thermal feedback were not widely investigated in teleoperated applications, but mainly used in media and entertainment [7]. In this work, we build on the previous work [4] to provide a thermal feedback experience in teleoperated applications and remote social interactions.

## 3. T-Aura Overview

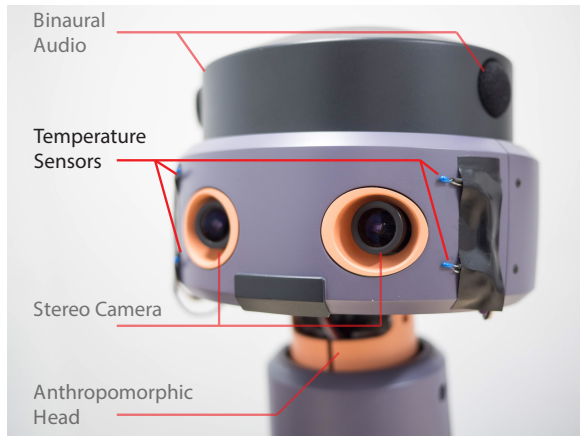


Figure 2 Robot face construction overview and sensors used to detect ambient and direct temperature changes2.

T-Aura consists of an end-to-end Telexistence system providing real-time control and sensory feedback to the user. An anthropomorphic Telexistence robot integrates stereo vision, binaural audio, and facial thermal feedback, as well as three axis rotation as shown in Figure 2. In the proposed design, four thermistor sensors (model: RS Pro NTC, 10k $\Omega$ )

distributed on robot's face capture the indirect and direct temperature changes. The raw information of the sensors are embedded into the media stream along the visual and auditory feedback, and are sent to the user in real-time (overall latency < 100ms)

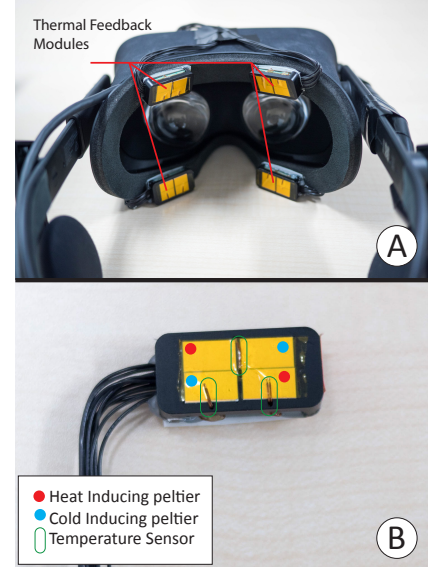


Figure 3 (A) Customized HMD (Oculus CV1) with four thermal feedback modules mounted to stimulate the skin. (B) Developed module construction with three temperature sensors and four peltiers for heat and heat stimulation and control.

The user can access the robot using a customized HMD (model: Oculus CV1) that is shown in Figure 3(A). The design of the HMD includes thermal feedback capability while maintaining the ergonomic experience when operating through it. Four modules were distributed across the inner side of the HMD (touching user's skin) that match the positioning of the sensors placed on the robot. In this design, we deployed a previously developed feedback module [3] shown in Figure 3 that self-contain four peltiers and three thermistors. Two of the peltiers are responsible to induce heating, while the other two induce cooling. This design allows fast response to temperature changes. The three thermistors are used in the control mechanism of the peltiers, creating a closed-loop temperature controller system. For safety and comfort reasons, we limit the minimum and maximum temperature presented by the modules to the range of 15°C up to 35°C.

### 3.1 Facial Temperature Control

The T-Aura system continuously senses, averages and calibrates both the robot sensors and the users skin temperatures such that facial temperature

feedback is only triggered based on the changes that occur on the interaction with the robot's face. That is, the system does not match the exact temperature from the robot's sensors. Instead, with the changes in temperature on the robot's sensors, those changes are translated to the user's skin. In this manner, the system prevents any sudden temperature changes and lets the user experience a comfortable and subtle temperature sensation.

### 3.2 Thermal Interactions

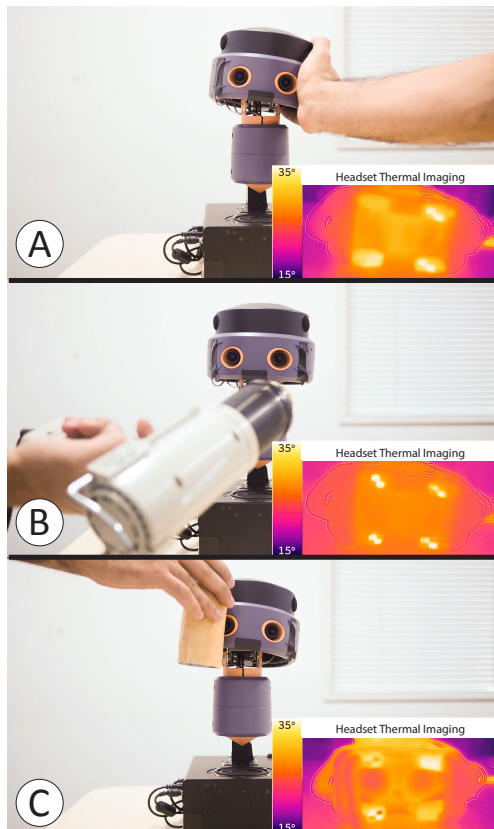


Figure 4 Various interactions with T-Aura: A) direct touch to the face induces a sudden change in thermal feedback, B) airflow (hot/cold) results in a flow of changes over the modules, and C) use of cold/hot objects to result in temperature changes.

We have tested T-Aura using several thermal interactions to show the responsiveness toward temperature changes. Figure 4 shows three different interactions that highlights the thermal changes in the HMD. Thermal images (captured using FLiR 1 camera) shows the changes of temperature on the modules placed in the HMD. Direct touch by skin (A) and the use of cold objects (C) results a sudden change in the temperature of the module, where the user of indirect source, such

as hair dryer (B), results in a smoother flow of temperature changes across the modules



Figure 5 T-Aura in remote intimate interactions with friends using cross-modal feedback.

### 4. Conclusion and Future Work

In this work, we presented T-Aura, a proof of concept system to convey facial thermal feedback in Telepresence and remotely operated systems. We highlighted the role of temperature on face in social and intimate scenarios, which current Telepresence systems does not provide. In this design, a remotely connected robot captures the direct and ambient temperature changes and mediates it to a customized HMD used by the user, and presents the corresponding changes into his face.

In this reported design, we have only used four feedback modules to convey the thermal state of the robot side into user face. In this design, although the resolution was relatively low (4 points), it was sufficient to mediate the direct interactions and temperature changes within a local scale. We will carry on an expansion of this design to include wider distribution on the face and the neck. A user study will be conducted to evaluate the effectiveness of such design in intimate interactions.

### References

- [1]Tadatoshi Kurogi, Masano Nakayama, Katsunari Sato, Sho Kamuro, Charith Lasantha Fernando, Masahiro Furukawa, Kouta Minamizawa, and Susumu Tachi. 2013. Haptic transmission system to recognize differences in surface textures of objects for telepresence. In *Virtual Reality (VR)*, 2013 IEEE. IEEE, 137- 138.
- [2]Leonard Mlodinow. 2012. *Subliminal: How your unconscious mind rules your behavior*. Vintage.
- [3]Masashi Nakatani, Katsunari Sato, Kunio Sato, Yuzuru Kawana, Daisuke Takai, Kouta Minamizawa, and

- Susumu Tachi. 2016. A novel multimodal tactile module that can provide vibro-thermal feedback. In International AsiaHaptics conference. Springer, 437- 443.
- [4] Roshan Lalintha Peiris, Wei Peng, Zikun Chen, Liwei Chan, and Kouta Minamizawa. 2017. ThermoVR: Exploring Integrated Thermal Haptic Feedback with Head Mounted Displays. In Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. ACM, 5452- 5456.
- [5] Susumu Tachi. 2015. Telexistence. In Virtual Realities. Springer, 229- 259.
- [6] James Keng Soon Teh, Adrian David Cheok, Roshan L Peiris, Yongsoon Choi, Vuong Thuong, and Sha Lai. 2008. Huggy Pajama: a mobile parent and child hugging communication system. In Proceedings of the 7th international conference on Interaction design and children. ACM, 250- 257.
- [7] Jordan Tewell, Jon Bird, and George R Buchanan. 2017. The Heat is On: A Temperature Display for Conveying Affective Feedback. In Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. ACM, 1756- 1767.
- [8] Graham Wilson, Dobromir Dobrev, and Stephen A Brewster. 2016. Hot under the collar: Mapping thermal feedback to dimensional models of emotion. In Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. ACM, 4838- 4849.

# オフィス状況を可視化する 遠隔コミュニケーションシステムの開発

Development of remote communication system visualizing the office situation

野中雅人<sup>1)</sup>

Masato NONAKA

1) 沖電気工業株式会社 経営基盤本部 研究開発センター

(〒335-8510 埼玉県蕨市中央 1-16-8 OKI システムセンター, nonaka533@oki.com)

**Abstract:** In this paper, I propose the new system which supports informal communication by visualizing the office situation. The system overlays status information on the office image, and connects conversation channel triggered by calling out someone's name. The communication experiment was performed between Saitama office and Osaka office, and the result shows that the system provides an easy way to facilitate better communication.

**Key Words:** Telework, Awareness, Communication System, Employee Engagement

## 1. はじめに

深刻化する労働力不足、常に期待されるイノベーション創出・生産性向上を背景に働き方改革に取り組む企業が増えている[1]。定型業務の機械化も相まって今後は場所に捉われずに非定型な知識労働をする機会が増えると考えられる。そこでは様々なメンバーと信頼関係が築け、臨機応変にコミュニケーションがとれる環境が重要になる。

このような環境の実現に向け、筆者らは相手の状況を理解するというアウェアネスに着目した超臨場感テレワークシステムを開発してきた[2]。実証実験にてコミュニケーション量を増やす効果を確認できた一方、システムが大掛かりであり実用化には課題があった。

本稿では導入容易性向上を目的に新たに開発したオフィス間コミュニケーションシステムについて述べる。

## 2. オフィス状況を可視化する遠隔コミュニケーションシステム

### 2.1 コンセプト

システム開発に先駆けコンセプトの見直しを行なった。パフォーマンスの高い組織では心理的安全性が確保されている、従業員エンゲージメントが高いという報告がある[3][4]。これらの報告と我々のマネジメント経験から「誰でも主体的に活動できる仮想ワークプレイス」というコンセプトとし、テレワークにおけるインフォーマルコミュニケーションを支援するシステムを開発することにした。具体的には、チームの働いている様子が見える/見せる価値、チーム内のやり取りがわかる価値、些細なコミュニケーション

を行なえる価値、即座にコミュニケーションできる価値などを提供することにした。

### 2.2 システム構成と主要機能

本システムはオフィスの一角に設置した共用大画面端末やデスクサイドの個人用タブレット端末に、様々な情報を重畳した遠隔オフィスの 360 度映像を常時表示し、そこで話したい相手の名前を呼びかけると相手の近傍の端末に接続するものである。

図 1 にシステム構成を示す。オフィスを俯瞰するための 360 度カメラ、コミュニケーション端末となるタブレットや大画面 PC、人物位置を取得する IC タグシステム、位置情報の管理や接続制御を行なうサーバーから構成される。

映像・音声の通信は WebRTC で実装しており、端末はブラウザのみで動作するようになっている。また、端末間をパケットリレー式にメディア配信する方式を開発し、高性能な映像配信サーバーを不要にしている。これらにより導入容易性の向上を実現している。

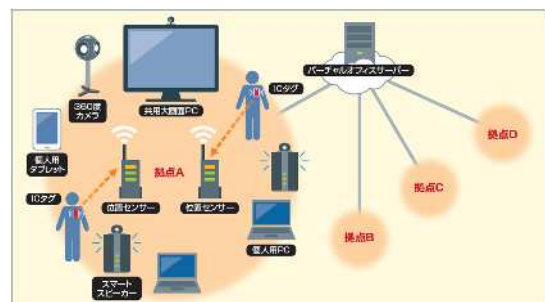


図 1 システム構成





図 2 端末画面

図 2 に端末画面を示す。オフィス状況の可視化機能として、360 度映像には人が集まっていることを示すアイコンや通話中を示すアイコンなどの各種アイコン、短文のメッセージが重畳表示されるようになっている。

### 3. 予備実験

#### 3.1 実験概要

筆者の埼玉オフィスと大阪オフィスを接続して予備実験を行なった。使用したシステムは開発途上のものであり、図 2 の機能の中でメッセージ AR、様子見(サムネイル)が実装されていない版である。実験期間は 2018 年 7 月 9 日から 20 日までの 2 週間で、後半はシステムを停止させた。実験参加者は埼玉 21 名、大阪 5 名の計 26 名。大阪 5 名の内 2 名は埼玉からの出張者である。

評価はアンケートおよび自由記述エッセイにより、2.1 節に挙げた価値が提供されているか、システムにより普段と同じようにコミュニケーションがとれるか、システムが停止することでどのような影響があるか調査した。

図 3 にシステムの利用光景を示す。

#### 3.2 実験結果

図 4 に評価結果を示す。「遠隔地の人とすぐ隣で一緒に仕事をしているように感じる」といった同室感については、システムによって十分に感じられている訳ではないが、システムを停止するとほとんど感じられないという結果となった。エッセイでは「システムが停止すると離れ小島感がすごい」、「遠隔地メンバーへの関心が薄れる」、「無くなると寂しさを感じる」といった意見が挙げられており、システム導入時よりも停止後にシステムの価値を感じるユーザーが複数現れた。

インフォーマルコミュニケーションの支援については一部機能が未実装だったこともあり期待した結果ではなかったが、迅速なコミュニケーションについては効果を感じる利用者が多かった。



図 3 システム利用光景

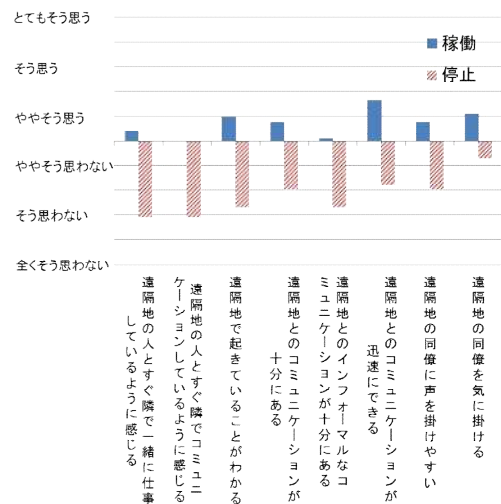


図 4 評価結果

### 4. まとめ

映像配信サーバーレスとすることで導入容易性を高めたオフィス間コミュニケーションシステムを開発し、予備実験を行なった。開発したシステムは 360 度の俯瞰映像上に様々なオフィス状況情報を重畳表示できるものになっている。現状では高い同室感を提供するものにはなっていないが、コミュニケーションのしやすさには効果が見られた。またシステム導入時よりも撤収後に再評価されるという結果になった。評価結果は業務状況や人間関係にも左右される。引き続き期間・規模を拡大しながら評価を行ない、より有用性の高いシステムの実現を目指していく。

#### 参考文献

- [1]帝国データバンク：働き方改革に対する企業の意識調査，<https://www.tdb.co.jp/report/watching/press/pdf/p180904.pdf>，2019.1 アクセス。
- [2]野中雅人：場所に捉われないフレキシブルな働き方を可能とする ICT，電子情報通信学会誌，Vol. 101, No. 5, pp. 463-468, 2018.
- [3]Google：Understand team effectiveness，<https://rework.withgoogle.com/guides/understanding-team-effectiveness/steps/introduction>，2019.1 アクセス。
- [4]リンクアンドモチベーション：「エンゲージメントと企業業績」に関する研究結果を公開，[https://www.lmi.ne.jp/news/pdf/lmg\\_20171114a.pdf](https://www.lmi.ne.jp/news/pdf/lmg_20171114a.pdf)，2019.1 アクセス。



# Superception (超知覚) の実現にむけて

Super + Perception = Superception : Research Framework for Perceptual Engineering

笠原俊一<sup>1)2)</sup>  
Shunichi KASAHARA

1) 東京大学 先端科学技術研究センター 2) Sony Computer Science Laboratories  
(〒153-8904 東京都目黒区駒場 4-6-1, [kasahara@star.t.u-tokyo.ac.jp](mailto:kasahara@star.t.u-tokyo.ac.jp) / [kasahara@csl.sony.co.jp](mailto:kasahara@csl.sony.co.jp))

**Abstract:** Superception is a research framework that makes it possible to expand, transform and engineering human perception and cognition by intervening in human sensory input and output using computer technology. This paper provides the overview of the concept and introduces related research projects.

**Key Words:** Perception, Virtual Reality, Embodiment, Body Ownership, Sense of Agency

## 1. はじめに

知覚は感覚器官などの入力から情報を生み出し、我々の認知・判断や行動を生み出すことで「自分」を形成する根源となっている。しかし、その自らの存在や能力の根源である知覚は不変項ではなく、可塑性をもつ変容可能なものである。その知覚の工学的制御 (perceptual engineering) を可能にすることで、自らが参照可能な制御性をもつ知覚能力の実現ができると考えている。

筆者は、その人間の存在や能力の根源である知覚に対して、コンピュータ技術を用いて工学的に接続や拡張・変容させることで実現する知覚を Superception (Super「超：通常状態を超える、個体を超えた集合体、メタ」+ perception「知覚」を合わせることによって生み出した造語) として提唱している。

これまでも社会において、現実是非常に主観的なものであることがマクロ・ミクロの様々なスケールで明らかになっている。「Post Truth」に関する社会現象から、Virtual Reality における高い現実感の生成など、現実是非常に可塑性のある我々の知覚が作り出しており、かつその認識・知覚状態を生み出すだけの社会的・技術的実装が実現している。この背景からも、Superception 研究を通して、知覚の工学的制御による自己知覚の編集や、知覚能力の強化、他者との共感や無自覚な知覚の自覚的な制御などの可能性とリスクを提示することが重要であると考えられる。

本項では、これまでの Superception に関する研究の事例を 3 つ (知覚の相互接続、身体感覚の工学制御、行為主体感を生み出す時間境界) 紹介する。

## 2. 知覚の相互接続

「Parallel Eyes」[1]は知覚を相互に接続することで生まれる、知覚的・認知的可能性を探索するプロジェクトである。スマートフォンを利用したヘッドマウントディスプレ



図 1 Parallel Eyes :ヘッドマウントディスプレイを装着することで、4 人分の視点映像が同時に見える。

イを装着することで、ネットワークで接続された 4 人分の一人称視点のカメラ映像を同時に見ることができる。鬼ごっこ体験では、自分の視点映像に加えて、他者の視点映像が見える状況でゲームすることで、視覚の相互接続による身体知覚の変化を体験することができる。

Parallel Eyes でのうろ覚え書き体験では、視点共有状態で、自らの記憶を元に指定されたアイテム (キリンや自由の女神像等) を描く。この体験では「他者が描いているものを参照し、意識的に、もしくは無意識的に自分の描くものに反映していた」、「本来無いような絵の要素が、ある一人から継承されて知らずのうちに自分も書いていた」のような、個々個人の記憶を頼りに描いていたが、いつのまにか“集合的な記憶”を使って描いていたようなことが発生する。これらの体験を通して、視覚接続状態が我々の身体感覚や、知識や判断に対して様々な変化をもたらすことを示してきた。

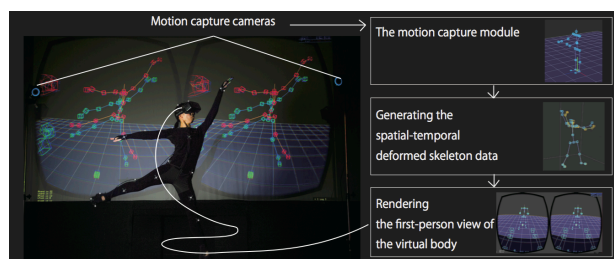


図 2 Malleable Embodiment: Virtual Reality 空間でアバターの動きを時間的・空間的に変調させ身体の軽さや重さなど物理的な感覚の変化を生み出す

### 3. 身体感覚の工学制御

「Malleable Embodiment」[2] は、身体帰属感の柔軟性に着目し、Virtual Reality 空間で自分の身体表現（アバター）の動きを時間的・空間的に変調させることで、自分の身体の軽さや重さなど物理的な感覚の変化を生み出す。

このシステムでは、全身の動きをリアルタイムに計測する装置を用いて、人間の動きデータ系列から仮想的に過去や未来の時刻における身体の動きを推定する。HMD を装着し、時空間的に変調させた自分の身体の動きを観測すると、自分の身体感覚に変化を感じる。

実験の結果、仮想身体に対して Body Ownership（身体帰属感）を保持して、身体表現の時間操作を行うことで、時間的に近傍な未来の場合は「身体の軽さや調子の良さ」、時間的に近傍な過去の場合、「身体の重さや調子の悪さ」と内的な感覚変化が発生することを明らかにした。さらに、身体表現の時間操作のパラメーターを他者が制御することで、体験者の体の重さに関する知覚が変わる。これは身体帰属感を保持した状態での仮想身体表現への介入による、身体感覚の工学制御の可能性を示唆している。

### 4. 行為主体感を生み出す時間境界

コンピュータによる予測性能の向上と、身体そのものを直接制御するテクノロジーの進化によって、自分の意志よりも早く・正確に自身の身体が駆動させることが可能になる。その時保障すべきは、行為の主体は自分であるという感覚 (Sense of Agency) であり、これを生み出すための制御基盤が今後重要になる。

「Preemptive Action」[3] では自分の意志によって身体が動く前に、コンピュータによって“動かされた”としても、その行為を“自らが行った” (Sense of Agency) と知覚する時間的領域と成立条件を調査した。EMS (筋電気刺激) を用いて、人工的に自分の意志と同じであるが、自分の能力よりも早く身体 (指) を駆動させ、その行為に対する行為主体感計測した。結果、通常の視覚反応よりも約 80-100msec 時間先行させても行為主体感を保持する時間境界があることが示唆された。

一例として「Wired Muscle」[4] では、視覚反応時間の測定で用いる棒反応測定を模し、ある人がペンを落とし、そのペンをもう一人が掴むとき、ペンを離す人の筋活動を

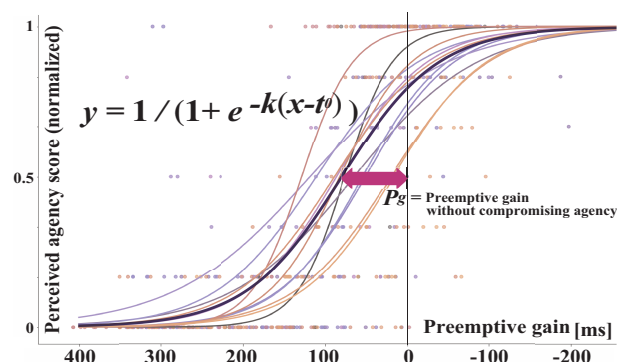


図 3 Preemptive Action: EMS による反応時間の加速量 (Preemptive gain) と行為主体感のスコアの関係

EMG により検出し、掴む人の筋肉を EMS によって直接駆動する。すると通常ではペンは掴めないが、Wired Muscle システムによって手が駆動されてペンを掴めてしまう。この際、人間本来の反応速度よりも早い速度で“動かされている”のにも関わらず、“自分が掴んだ”と感じる。

### 5. Superception とテレグジスタンス

Virtual Reality やテレグジスタンスは、本来ある「自分」を物理的変容させたり、移動させたり、自分という存在を物理的な制約から解放する可能性を提示してきた。しかし「自分」というものが、どこまで変容しても「自分」であり続けるのかは全くの未知であり、また、どのように変容可能であるかも未だ多くの研究課題が残っている。本稿で紹介した、知覚の相互接続、自己帰属感や行為主体感に基づいたエンジニアリングは、人間の身体の物理的な制約からの逸脱を実現できた際に重要となる、何が「自分」たらしめるのか、という問いに貢献しうるものであると考えている。

### 参考文献

- [1] S. Kasahara, M. Ando, K. Suganuma, and J. Rekimoto. 2016. Parallel Eyes: Exploring Human Capability and Behaviors with Paralleled First Person View Sharing. CHI2016 <https://doi.org/10.1145/2858036.2858495>
- [2] S. Kasahara, K. Konno, R. Owaki, T. Nishi, Akiko Takeshita, T. Ito, S. Kasuga, and J. Ushiba. Malleable Embodiment: Changing Sense of Embodiment by Spatial-Temporal Deformation of Virtual Human Body. CHI 2017. <https://doi.org/10.1145/3025453.3025962>
- [3] S. Kasahara, J. Nishida, and P. Lopes. Preemptive Action: Accelerating Human Reaction using Electrical Muscle Stimulation Without Compromising Agency CHI 2019, <https://doi.org/10.1145/3290605.3300873> (in press)
- [4] Jun Nishida, Shunichi Kasahara, and Kenji Suzuki. 2017. Wired muscle: generating faster kinesthetic reaction by inter-personally connecting muscles. SIGGRAPH 2017. <https://doi.org/10.1145/3084822.3084844>

# xExistence を考える

## The Initial Study of xExistence

泉原厚史<sup>1)</sup>, 檜山敦<sup>2)</sup>, 稲見昌彦<sup>2)</sup>

Atsushi IZUMIHARA, Atsushi HIYAMA, and Masahiko INAMI

1) 東京大学大学院工学系研究科 2) 東京大学先端科学技術研究センター  
〒 153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1, izumihara@star.rcast.u-tokyo.ac.jp

**Abstract :** 人や環境とのインタラクションの自在化のため、人の存在を生来の身体像から解放し、人の主観的身体認知・身体能力と他者にとっての存在感をバーチャルに編集・再構築する研究を行っている。こうして作られる新しい人の存在観のことを xExistence と呼称する。本論文ではまず「場と主体」という切り口で遠隔コミュニケーション研究領域における存在観の分類を行ったうえで、人が場に対して遍在化したり、複数の人を融合していくといった xExistence 的存在観の位置付けと可能性を議論する。次に、空間中を軽快に飛び回る身体を獲得とそのような存在を理解しコミュニケーション可能とする xExistence システムの設計事例として ExLeap を取りあげる。これは複数の全天球カメラ間を連続的に移動しながら音声コミュニケーションを行うものである。そのユーザテストを通して確認された xExistence としての価値や可能性を報告し、デザイン指針や課題を議論する。

**Key Words:** Telepresence, Disembodiment, Out of Body

### 1. はじめに

人が遠隔地に実際に存在しているかのような高度な臨場感を持って作業やコミュニケーションを行うことを可能にする技術を館らは Telexistence[2] あるいはミンスキーは Telepresence[1] として提唱した。これらは、人と等価な感覚器と身体能力を有するロボットに人が乗り移ることを理想形とするものである。

我々の研究チームでは、失われた身体部位の補綴や機能回復にとどまらず、人がロボットや人工知能など一体となることで自己の身体認知・身体能力や環境との関係性を柔軟に再設計しながらも、自己主体感を保持したまま多様な活動の自在性を高めることを目指す研究領域を「自在化身体」と銘打ち研究を行っている [4]。我々はこの身体自在化の観点から、人と人のコミュニケーションや環境とのインタラクションを自在化の方法論として、自己の身体像や他者の受ける存在感を生来の身体と切り離す「脱身体」的なアプローチを検討している。

人は生まれながら固有の身体を持つため、その身体を意のままに操ることは直観的に可能であるし、身体は環境に適合する形で発展を遂げてきているため我々は環境を上手く活用・インタラクションして生きていくことができる。しかしこのことは、人と環境という系において一つの拘束条件であるとも言える。住居や家具・道具は環境側の改変であり我々の暮らしの快適さや利便性を増す物であったが、人の身体は生来の像をとどめている。これに対し我々は人の

身体像をいったん生来の身体と切り離し編集・再構成を可能とすることと、それにより全く新しい環境とのインタラクションや人とのコミュニケーションを作り出すことを考える。このような脱身体的に拡張される存在の概念（存在観）を我々は xExistence と呼称する。

また、人の身体像の編集を考えたとき、それがどのように他者にとって受け入れ・理解可能なものとするか、またそのような存在と他者はどのようにインタラクションするのかも、同時に議題として立ち上がる。xExistence は臨場感および身体認知や身体機能という自己の側面と、他者にとってそれがどのような存在として立ち上がるのかの両面から議論・検討する必要がある [3]。

xExistence の考え方のもとに様々な新しい体験や身体像づくりについて議論していくことが可能であるが、本論文ではその第一歩として遠隔コミュニケーションにおける存在観を起点に議論を始める

### 2. 遠隔コミュニケーション研究の「場と主体」に基づく分類

これまで数多くの、コンピュータを介した遠隔コミュニケーションに関する研究が為されてきた。ここでは xExistence の考え方を遠隔コミュニケーションの領域において具体化しながら議論を深めるために、これまでの遠隔コミュニケーション研究を「場と主体」という切り口から分類を試みる。コミュニケーションの主体は多くの場合人である。テレ



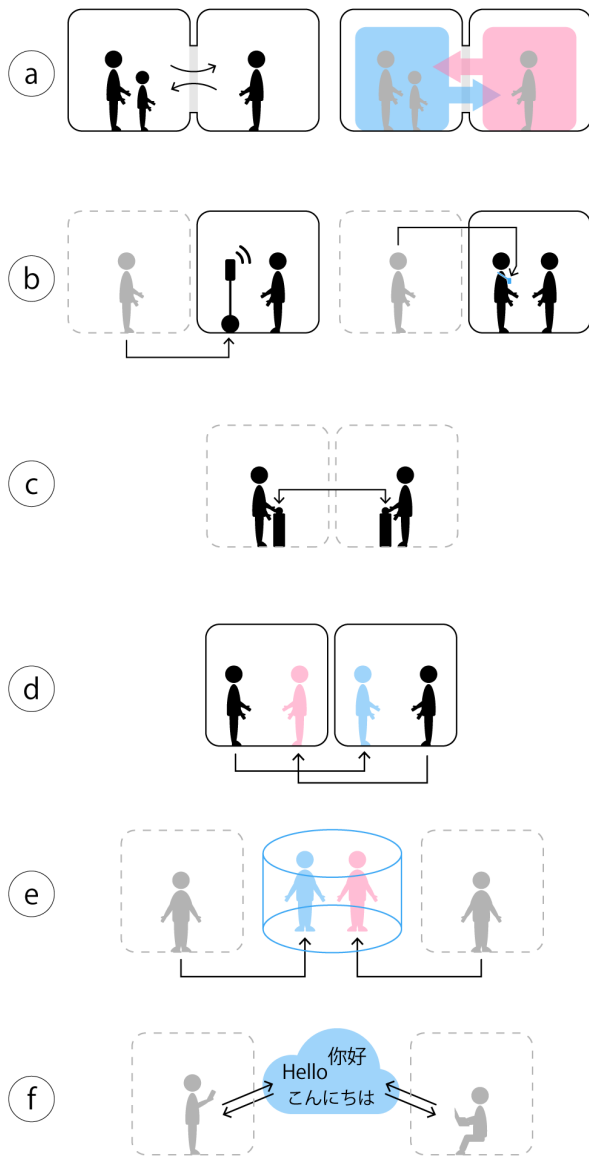


図 1: 遠隔コミュニケーション研究の「場と主体」に基づく分類. (a) 空間接続型 (b) 臨場型 (c) 代理メディア型 (d) 空間重畳型 (e) パーチャル空間型 (f) ウェブメディア型

イグジスタンスの場合、遠隔地からアクセスするリモートユーザとアクセスされる場にいるローカルユーザに大別されるが、その両者がコミュニケーションの主体である。場とはコミュニケーションが起きる空間のことであり、それを起こす状況も含めた環境も含まれる。テレイグジスタンスの場合ロボットが存在し作業を行う側の場合はもちろん、リモートユーザの肉体のありかも場の一部である。

本論文では遠隔コミュニケーション研究を空間接続型、臨場型、代理メディア型、空間重畳型、パーチャル空間型、ウェブメディア型の 6 つに大別する。図 1 にそれらを模式図化して示す。

#### a. 空間接続型

主に映像や音声によって、コミュニケーション主体と彼らの存在する場同士を接続するタイプの遠隔コミュニケーションである (図 1 a 左)。Skype 等のビデオ通話が代表的だが、それを大画面化して人を等身大に写し、インフォーマルなコミュニケーションを支援するシステム [5] や、互いに向かい合って仕草や視線を伝達しながらワークスペースを共有して共同作業を支援する物 [6]、空間を互いに 3 次元映像として伝送・表示することであたかも離れたオフィスどうしがつながったかのような作業空間を作り出す物 [7] などが研究されてきた。

これに準ずるタイプとして、必ずしも視聴覚的なメディアを用いないが、互いの場の状況、人の在不在や気配を何かしらの方法で取得し遠隔地で提示することにより、互いに思いをはせ気遣うきっかけをつくる研究も行われている [8][9]。これらは互いの空間を間接的あるいは弱く接続している状態と言えるので、ここでは間接空間接続型、あるいは弱空間接続型と呼称する (図 1 a 右)。

空間接続型は、場と主体の情報を相互に対等にやりとりするのが特徴的である。

#### b. 臨場型

主体である人が、あたかも離れた別の場所に移ったかのような体験を作るものである。Telexistence やテレプレゼンスロボット [10] がこれに当たる。また、ローカルにいる人物にカメラやマイク等の装置を装着しその人に移動してもらうことで達成する臨場型テレプレゼンスも多数研究が行われている [11][12]。

臨場型では、リモートユーザはローカルの場に臨場感を感じながらそこにいるローカルユーザと接することができるが、ローカルユーザからリモートユーザ自身を生き生きと感じたりリモートユーザのいる場を感じる事ができず、臨場感に非対称な状態が作られることが特徴的である (図 1 b) [13]。

#### c. 代理メディア型

個人の動作や状態を、媒介となるオブジェクトを経由して相互に伝達提示するタイプである。3 本のローラを離れた相手と押し合うような体験を作る InTouch [21] や、センサーとアクチュエータの仕込まれたぬいぐるみの手足や首を動かすと、それが互いのぬいぐるみに伝達する RobotPHONE [22] などの研究が行われている。

弱空間接続型は互いの場や複数名の主体の状況を伝達するのに対し、代理メディア型は身体同士が場を介せず直接インタラクションを行う点において存在観が異なる。

#### d. 空間重畳型

異なる複数の空間間において、そこにいる人物とその空間を 3 次元的にキャプチャ・伝送し、自分の空間でリアルタイムに再現することであたかも互いに相手が自分の場所に来たかのような体験を作り出すタイプの遠隔コミュニケーションである [14][15]。また、鏡のような表現を用いて接続した遠隔地の側に自分を合成して表現することで、あたか

も遠隔地に入り込んでコラボレーションしている様な体験を作り出す物 [16] もある。これは空間接続型の応用と考えることも出来る。

主体の存在する場が移動する点は臨場型と近いが、臨場型と異なり相手の場に臨場感を感じるわけではなく、相手が自分の場にきたような体験を相互に作るのが特徴である。

#### e. バーチャル空間型

インターネット上にバーチャルな世界・空間を作り、利用者はそこに代理の身体（アバター）で訪れ、遊んだりコミュニケーションを取るものである。Second Life [17] や各種オンラインゲームでのコミュニケーションがこれに当たる。また昨今の VR HMD および姿勢推定技術の低廉化に伴い、VR を利用したアバターによるコミュニケーションアプリ [18][19] も多数リリースされている。

バーチャル空間においては実世界の物理法則等から逸脱した場を作り出すことができ、人もまた、その姿形だけでなく身体能力や社会的な関係性も作り替えることができる。今日の VR ブームにおいては心身共に自在に振る舞うことを可能とする場として注目されている。

また、複数参加者がバーチャル空間に集まり互いに等身大の 3 次元で認識しながらコミュニケーションできる相互テレグジスタンスの研究も行われている [20]。これは (b) 臨場型のテレグジスタンスの延長線上であり、先述の存在感の非対称性という課題へのアプローチと言える。

#### f. ウェブメディア型

テキスト・写真・動画を用いたインターネット上のコミュニケーションツールも遠隔コミュニケーションの一つである。特に昨今は SNS とスマートフォンの台頭により、多様なコミュニケーションが活発に行われている。これらは身体を伴わず物理的な場やバーチャルな空間を必要としないことで、距離や時間を超越できる。

#### 本章のまとめ

本章では既存の遠隔コミュニケーション研究を「場と主体」という切り口から 6 つに分類し、各分類における存在観の特徴について考察した。次章ではこの分類を踏まえ、遠隔コミュニケーションを舞台に xExistence の可能性を議論していく。

### 3. xExistence 的な存在観

人の身体像を生来の身体と切り離し編集・再構成をおこなう xExistence の考え方のもとでは、自己の新しい身体認知・身体機能と他者にとっての存在感を設計する。以下にそのアイデアの一部を示す。

#### g. 点在・遍在

物理法則や能力によって、生来の身体には居場所や移動速度・自然な移動動作が規定される。それに対し圧倒的に高速に移動したり、部屋の複数箇所に同時に存在したり、部屋中に広く行き渡って存在できる身体を手に入れることはできないだろうか。たとえば我々がガスのように希薄で軽く、拡散する身体像（図 2 g）を得ることができれば、その

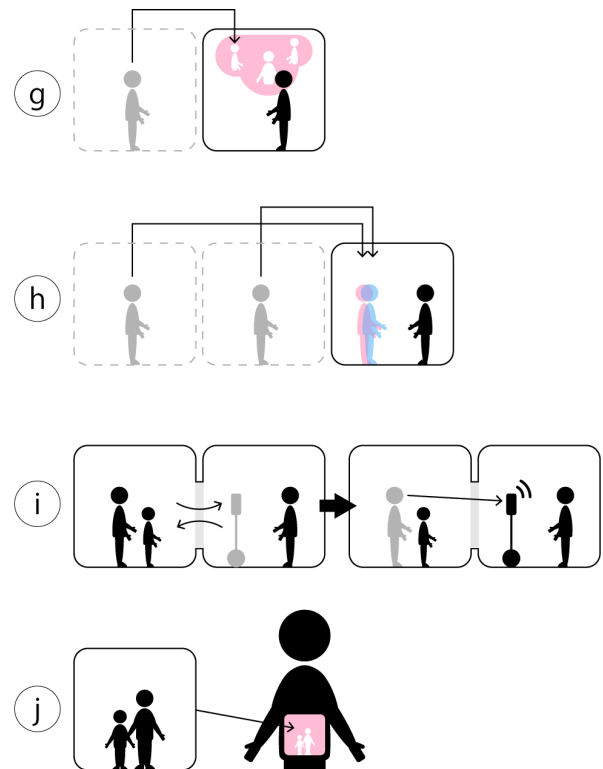


図 2: xExistence 的な身体認知・身体機能および存在感の例。(g) 点在・遍在 (h) 複数人のオーバーラップ (i) 複数身体の乗り換え (j) 身体と空間の入れ子構造

ような運動機能を行使したり、そのような存在として認識可能かも知れない。

#### h. 複数人がオーバーラップする身体

他者からは一つの存在として認識されるが、実際には複数人が同時に利用している身体も想定される。これは、あるコミュニティ全体として活気があるとか落ち着いているといった雰囲気のようなものとしても想像されるし、より活動的な主体として、複数人の意識や判断が統合されたバーチャルな存在としても想像される。前者の場合は先ほどと同様ガスのように空間に行き渡る身体がイメージされ、後者の場合は一つの具体的な身体が伴う方が適切かも知れない（図 2 h）。

ロボットの身体を用いるテレグジスタンスにおいては、生来の身体とロボットの身体を一致させることが主要な議題の一つであるが、xExistence の観点では、複数人でどのように一つの身体を扱うか、あるいは複数人の意識を納め得る身体とはどのような物であるか、が議論の対象となる。

#### i. 異なる複数の身体を乗り換え

前章で様々な事例を挙げたように、人の存在する場と主体である人の身体像は求められるコミュニケーションチャネルや実装形態により様々に異なる。これらをつなぐことはすなわち、主体が複数の場や身体を乗り換えていくことを意味する。たとえば空間接続型で視界内に見えているテレグジスタンスロボットに、その窓枠から張り込んで乗り

移る体験を設計しうる (図 2 i) . さらにその身体は続けてバーチャル空間のアバターに転移しても良い.

#### j. 身体と空間の入れ子関係

これまで, 生来の身体であってもロボットの身体やバーチャルなアバターであっても, 基本的には場に身体があるという構図であった. しかし, 場が身体にマップされるという逆の系を考えることが出来る. 例として自分の腹部に自分の職場が収まっているようなマッピングを考えてみる. 自分が組織のリーダーであったとして, メンバーの在不在や各人の仕事の調子・健康状態などを, 文字情報や視覚的な体験としてではなく, 自分の体調や身体感覚として感じとることは出来ないだろうか (図 2 j) . この状況も, 興味関心のある場の状況を知ると言う意味で遠隔コミュニケーションである.

同じようにいま自分がいる空間そのものの状況を自分の身体感覚として得られるならば, 自ら起こす具体的な状況と事象に対してどのような身体感覚が生起するかを対応させて体験することが出来るため, 場に対して body ownership のような感覚を作り出すことができるかも知れない.

#### xExistence 的な遠隔コミュニケーションの利点

脱身体的な身体を介する遠隔コミュニケーションは, 人間の動作を視聴覚や力触覚的に正確に再現することを必ずしも志向しない. その結果以下のようなメリットを享受しうる.

一つはコストの低減である. 人間の運動や感覚を正確に取得・再現出来るロボットの製作や運用は未だ非常にコストがかかる. xExistence は物理的制約から逸脱する超現実的なアプローチであり, 物理的な写実性を高めることが必ずしも要件とはならない. 結果的に可用性や普及性が高まり, 社会実装と実運用の可能性を上げることが期待できる.

もう一つはリアリティや臨場感の基準を動かすことである. 写実性を追求しない情報提示の手法を用いることで, むしろ人の想像力を活用するのが xExistence においては重要となる. Suzuki らは, リアルタイムの映像音声と収録された物を, 被験者に気づかれることなく入れ替えたり混ぜ合わせたりすることで, 人の現実認識を揺るがすシステムを開発した [23]. このシステムで体験者は収録済みの映像に対しても「目の前で起きていることである」と認識してしまうが, この錯覚は映像の解像度が低い状況でも有意に起きており, リアリティの基準が動いたことを意味する. xExistence においても人の身体認知や他者の感じる存在感を編集しながらも, そこに生来とは異なるリアリティを作り出すことが研究議題の一つとなる.

#### 本章のまとめ

本章では xExistence の考え方に基づいた新しい存在観について議論した. 次章では xExistence の存在観に基づいた遠隔コミュニケーションの実例を示し, そのプロトタイプングを通して得られた知見に基づき新しい身体像や存在感設計をより具体的に議論する.

## 4. xExistence 的遠隔コミュニケーションのプロト

### タイプ

xExistence の実装の第一歩として我々は, 空間内に複数の 360 度カメラ・マイクスピーカーからなるノード (図 4) を配置し, リモートユーザは遠隔地からそれらの映像をモニターまたは HMD でリアルタイムに見回し, カメラ間を連続的に飛び回りながらローカルユーザとコミュニケーションでできるシステム ExLeap を研究・開発している [24]. ExLeap の体験中の様子を図 3 に示す.

ユーザは移動する先のノードを見た状態でボタンを押すだけで, 軽快にノードのあいだを飛び移ったような体験が出来る. これは二つのカメラ映像を視線中央を一致させたままクロスフェードで切り替えることで実現している, VR HMD を用いると, 通常身体では不可能な高速移動をしているような, 没入感のある体験が可能である. 複数名に利用してもらったところ, 気になった物の近くまで行って見てみたり, 見かけた人に近寄って行って短時間だけ会話する, といったインフォーマルなコミュニケーションを促進することが確認できた. また, 軽快な移動そのものの楽しさが好意的に受け止められた.

#### 点在・遍在性

ExLeap は臨場感を持って遠隔地に入り込むと言う意味では (b) 臨場型の遠隔コミュニケーションである. しかし, 入り込む身体が離散的に配置されており, その間を視覚的に軽快に連続的に移動が可能であることから, あたかも存在が空間中の複数箇所に (g) 点在, あるいは遍在しているような体験を作り出している.

#### 複人数のオーバーラップ

また, 本システムは各ノードが静的に配置された単独の 360 度カメラによって構成されているため, ロボットを用いるテレグジスタンス等と異なり, 一つのノードを複数のリモートユーザが同時に利用可能 (h) である. 本システムではあるときは一つのノード (身体) に複数のリモートユーザが時に同時に複数名入り, あるときは複数の身体にそれぞればらばらにリモートユーザが存在する, という存在感の濃淡が現れる.

現時点では, 複人数がオーバーラップす身体表現や同居しているユーザ同士のインタラクションについては深く検討できていないので, 今後の課題としたい.

#### 存在感と身体像の議論

本システムでは, リモートユーザが利用していることと見ている向きを, 全方位 LED を用いて表示した. ローカルユーザは LED の点灯に気がつきさえすれば, リモートユーザの存在を感じ, また LED の指す方向をノンバーバルなコミュニケーションチャンネルとして利用することも出来た. リモートユーザの顔向きがノードの LED に反映される様子を図 4 に示す.

しかし「そもそも LED の状態変化に気がつけず, リモートユーザが声を発さないままで合った場合, 覗かれているような不信感を感じる」というローカルユーザの意見も複数寄



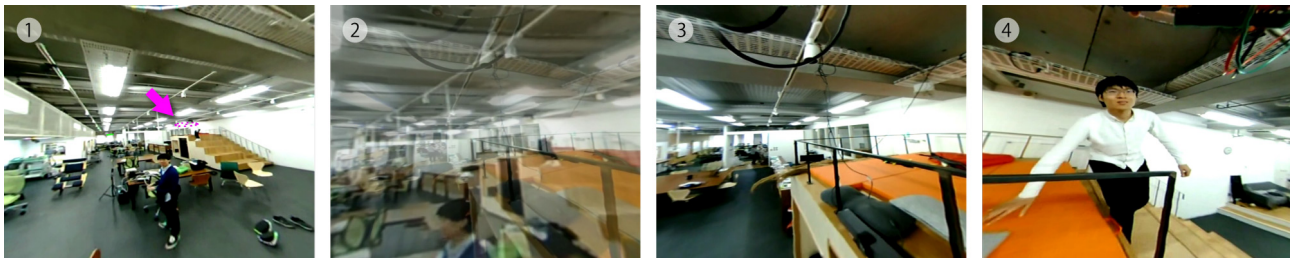


図 3: ExLeap : 体験中の映像。①②③異なるカメラに視点を移動して④ふり向き、そこにいる人とコミュニケーションを取る様子。



図 4: ノードの構成および、存在と視線方向を示す LED

せられた。この問題に対しては、リモートユーザがノードに入り込む際に音によってその存在を示す改善策が考えられる。これは日常的に扉の開閉や足音によって部屋に人の出入が理解出来ることに相当する。一方で、リモートユーザが使い始めて話し始める前に、マイクホワイトノイズが聞こえ始めて、ユーザがいることに気がつけたと言う報告もあった。ローカルユーザにとっての存在感の生成は、xExistenceを考える上で重要な議題である。

また、カメラとマイクスピーカだけで構成されるミニマルな身体であっても、物理的な作業が必要とならないユースケースにおいては、移動の軽快さやそれに伴う自在なインフォーマルコミュニケーションが、リモートユーザの臨場感を大幅に埋め合わせる可能性が示唆された。一方で移動がボタン一つであるために身体動作として行っている感覚が欠如していることが指摘された。これは軽快な移動の利便性のために意図的に行った物であったが、脱身体的なアプローチと身体動作感生成の両立も重要な議題なので今後の課題としたい。

## 5. おわりに

本論文では、人の存在を生来の身体像から解放し、人の主観的身体像と他者にとっての存在感をバーチャルに編集・再構築することで作られる新しい人の存在観 xExistence を提案した。

次に、「場と主体」という切り口で遠隔コミュニケーション研究領域の分類を行い、その上で xExistence 的な遠隔コミュニケーションとしてどのような体験と身体像を設計するか議論を行った。

その上で、空間中を軽快に飛び回る身体の獲得とそのような存在を理解しコミュニケーション可能とする xExistence システムの設計事例として ExLeap を取りあげた。そのユーザテストを通して確認された xExistence としての価値や可能性を報告し、デザイン指針や課題を議論した。

### 遠隔コミュニケーション以外の展開

本論文では主に遠隔コミュニケーションについて xExistence の展開を議論したが、xExistence の適用範囲はその限りではない。存在が部屋に遍在するような身体像を作ることが出来れば、家電の操作や戸締まりなど空間操作インタラクションの作法として有効な物であると考えられる。Feuchtnner らは、現実の家具とのインタラクション手法として、AR 環境で自らの手を伸ばすことを提案している [27]。また、Blanke らが取り組んでいる out-of-body-experience に関する研究を用いて自分自身を客観的に見るという体験を作り出すことが出来る [25] が、スポーツなどで自分の動作を客観的にとらえて技術習得や改善に役立てるシステムなどに応用できると考えられる [26]。このような展開も視野に入れて、今後 xExistence の研究を進めていきたいと考えている。

### 謝辞

本研究の一部は、JST ERATO JPMJER1701 および JST 国際科学技術協力基盤整備事業の支援を受けている。

### 参考文献

- [1] Minsky, Marvin. "Telepresence." (1980).
- [2] Tachi, Susumu, et al. "Teleexistence—from 1980 to 2012." Intelligent Robots and Systems (IROS), 2012 IEEE/RSJ International Conference on. IEEE, 2012.
- [3] 館, et al. "再帰性投影技術と全周囲裸眼 3D ディスプレイを用いて存在感と臨場感を実現する相互テレグジスタンスシステム:TELESAR4 (特集) テレグジスタンスのためのロボティクス・グラフィクス・インタフェース)." 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 17.1 (2012): 11-21.

- [4] 稲見 昌彦: 稲見自在化身体プロジェクト, [https://www.jst.go.jp/erato/research\\_area/ongoing/17943235.html](https://www.jst.go.jp/erato/research_area/ongoing/17943235.html), 2017
- [5] Fish, Robert S., Robert E. Kraut, and Barbara L. Chalfonte. "The VideoWindow system in informal communication." Proceedings of the 1990 ACM conference on Computer-supported cooperative work. ACM, 1990.
- [6] Ishii, Hiroshi, and Minoru Kobayashi. "ClearBoard: a seamless medium for shared drawing and conversation with eye contact." Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems. ACM, 1992.
- [7] Raskar, Ramesh, et al. "The office of the future: A unified approach to image-based modeling and spatially immersive displays." Proceedings of the 25th annual conference on Computer graphics and interactive techniques. ACM, 1998.
- [8] 宮島 麻美, 伊藤 良浩, 伊東 昌子, 渡邊 琢美. つながり感通信: 人間関係の維持・構築を目的としたコミュニケーション環境の設計と 家族成員間における検証. ヒューマンインタフェース学会論文誌, 5(2):171180, May 2003
- [9] 辻田眸; 塚田浩二; 椎尾一郎. 遠距離恋愛者間でのコミュニケーションを支援する日用品 "SyncDecor" の提案. コンピュータ ソフトウェア, 2009, 26.1: 1.25-1.37.
- [10] Desai, Munjal, et al. "Essential features of telepresence robots." Technologies for Practical Robot Applications (TePRA), 2011 IEEE Conference on. IEEE, 2011.
- [11] Misawa, Kana, and Jun Rekimoto. "Chameleon-mask: Embodied physical and social telepresence using human surrogates." Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems. ACM, 2015.
- [12] Kasahara, Shunichi, and Jun Rekimoto. "JackIn head: immersive visual telepresence system with omnidirectional wearable camera for remote collaboration." Proceedings of the 21st ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology. ACM, 2015.
- [13] Rae, Irene, et al. "A framework for understanding and designing telepresence." Proceedings of the 18th ACM conference on computer supported cooperative work & social computing. ACM, 2015.
- [14] Pejsa, Tomislav, et al. "Room2room: Enabling life-size telepresence in a projected augmented reality environment." Proceedings of the 19th ACM conference on computer-supported cooperative work & social computing. ACM, 2016.
- [15] Orts-Escolano, Sergio, et al. "Holoportation: Virtual 3d teleportation in real-time." Proceedings of the 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology. ACM, 2016.
- [16] Morikawa, Osamu, and Takanori Maesako. "Hyper-Mirror: toward pleasant-to-use video mediated communication system." Proceedings of the 1998 ACM conference on Computer supported cooperative work. ACM, 1998.
- [17] Second Life, <https://secondlife.com/>, 2003
- [18] VRChat, <https://www.vrchat.net/>, 2017
- [19] Cluster, <https://cluster.mu/>, 2017
- [20] Tanaka, Kenji, et al. "TWISTER: An immersive autostereoscopic display." Virtual Reality, 2004. Proceedings. IEEE. IEEE, 2004.
- [21] Brave, Scott, and Andrew Dahley. "inTouch: a medium for haptic interpersonal communication." CHI'97 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (1997): 363-364.
- [22] Sekiguchi, Dairoku, Masahiko Inami, and Susumu Tachi. "RobotPHONE: RUI for interpersonal communication." CHI'01 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems. ACM, 2001.
- [23] Suzuki, Keisuke, Sohei Wakisaka, and Naotaka Fujii. "Substitutional reality system: a novel experimental platform for experiencing alternative reality." Scientific reports 2 (2012): 459.
- [24] 泉原厚史, 檜山敦, 稲見昌彦. 複数の 360 度カメラ間を移動出来るテレプレゼンスシステムの開発. 日本バーチャリアリティ学会第 23 回大会予稿集, 2018.
- [25] Lenggenhager, Bigna, et al. "Video ergo sum: manipulating bodily self-consciousness." Science 317.5841 (2007): 1096-1099.
- [26] Tominaga, Junya, Kensaku Kawauchi, and Jun Rekimoto. "Around me: a system with an escort robot providing a sports player's self-images." Proceedings of the 5th Augmented Human International Conference. ACM, 2014.
- [27] Feuchtner, Tiare, and Jrg Mller. "Extending the body for interaction with reality." Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. ACM, 2017.

日本バーチャルリアリティ学会研究報告

VR 学研報 Vol.24, No. TX01

第 13 回テレイグジスタンス研究会

©2019 by the Virtual Reality Society of Japan ( VRSJ )

発行者 日本バーチャルリアリティ学会

〒113-0033 東京都文京区本郷 2-28-3 山越ビル 301

TEL 03-5840-8777 / FAX 03-5840-8766

e-mail office@vrsj.org

The Virtual Reality Society of Japan

Yamakoshi Bld. #301, 2-28-3 Hongo, Bunkyo-ku,

Tokyo, 113-0033 Japan

禁無断転写・転載