

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 5 月 23 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25280071

研究課題名(和文)人間拡張型テレプレゼンスシステムに関する研究

研究課題名(英文)Research on Human-Augmenting Telepresence Systems

## 研究代表者

暦本 純一(Rekimoto, Junichi)

東京大学・大学院情報学環・教授

研究者番号：20463896

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では遠隔共同作業に関わるもので、人間と異なる特質を持つ機械や、他の人間に遠隔地から接続し、全周囲映像等を通して遠隔地の環境と相互作用することを支援する。従来のテレプレゼンス研究とは異なり、遠隔地の存在との差分を積極的に利点として活用するところが大きな特徴である。研究の前半ではドローンとの接続を対象とし、人間の姿勢変化や跳躍などがドローンと接続し没入感覚を生み出すことを確認した。後半では頭部搭載全周囲カメラを開発し、一人称映像で不快な体験となる画像揺れを解消し、利用者が自由な方向で環境を観測することを可能にした。研究成果は学术论文のみならず新聞やテレビ放送でも複数回取り上げられ報道された。

研究成果の概要(英文)：This project investigates telepresence interactions when humans are connected to other machines or other humans. Unlike traditional telepresence systems, this project accepts and utilizes difference between remotely connected entities. In the first half of the project, we investigated human-drone remote connection and confirmed how the user can have immersive feeling of the drone. In the latter half of the project, human-human telepresence is investigated. We developed a head-worn 360-degree image capturing system with video stabilization. These results have been published by multiple international conference papers as well as journals.

研究分野：ヒューマンコンピュータインタラクション

キーワード：人間拡張 テレプレゼンス テレイグジスタンス 全周囲映像 遠隔共同作業

## 1. 研究開始当初の背景

遠隔地とのコミュニケーション手段として、空間の把握や存在感の伝送を行う、テレプレゼンス（あるいはテレイグジスタンス）の研究が従来より行われている。典型的には、利用者が頭部搭載ディスプレイやハンドマニピュレーターなどを装着し、利用者の頭部と連動して遠隔地のロボットに搭載されたカメラが駆動される。また遠隔地のロボットアームの運動も利用者の手の動きに合わせて駆動される。このような機構により、利用者があたかも遠隔地に移動したかのような感覚を提供して作業を行うことができた。

従来のテレプレゼンス研究では遠隔地のカメラ駆動などの機構制御は、利用者の動作を正確に反映させることに主眼が置かれていた。それにより自然な遠隔存在感が得られる一方、利用者の能力をさらに拡張させる（たとえば飛翔する能力を付与する）場合についてはそれほど配慮が払われていなかった。また、機器の運動特性や伝送遅延などで、利用者の運動を完全には反映されない（あるいは反応が遅れる）場合のような、利用者対象物の「ずれ」は排除困難な課題として残されていた。

一方、その発想を変え、ずれや機能の差分を解消すべきものではなく、積極的に遠隔作業に活用する方法が考えられる。

## 2. 研究の目的

本研究では、背景に述べた発想に基づき、人間と異なる能力を持つ機器への遠隔接続によって、人間の能力を仮想的に拡張する「人間拡張型テレプレゼンスシステム」を提案する。利用者対象物の「ずれ」や「遅延」を積極的に利用者に意識させ操作感を向上させるヒューマンインタフェースの研究を行う。

対象物としては、自律型飛翔システム（クアドコプター）と、他の人間そのものに接続する場合を想定し、それぞれの場合において遠隔地での能力拡張を実証する。

## 3. 研究の方法

以下の三つの研究項目を立て、それを実現評価する方法で研究を実施した。

### (1) 能力拡張が可能なテレプレゼンスシステムの構築

飛翔体と利用者頭部運動を連結させることで、利用者に仮想的な飛翔能力を与えることができるようになる。さらに、利用者の行為を増幅させる機構を導入する。このような機構により、飛翔体が遠隔地の危険地域などで空間制約を受けずに移動し、状況を迅速に

把握するなどの応用を実現することができる。さらに、身体能力が拡張されたテレプレゼンスシステムによるエンターテインメントやスポーツシステムなどの産業応用も検討する。

### (2) 対象物との運動特性の差異を考慮したテレプレゼンスシステムの構築

飛翔体の旋回能力は人間の頭部回転速度より劣る場合がある。また、ネットワークの伝送遅延などで利用者の身体運動の反映が遅延する場合もあり得る。このような状況では、利用者と遠隔地の機械とを追従して動作させる場合に差異を完全に除去すること原理的に困難である。発想を転換し、差異を積極的に利用者に適切に伝達する機構を考案する。また、対象物のカメラ映像を利用者に単に提示するのではなく、パンチルトカメラや対象物が旋回中に取得した画像を連結（ステッチング）した周辺環境映像を実時間で構築し、その一部分を利用者に提示する機構を構築する。これにより、遅延や運動性能の差分を吸収する方式を確立する。

### (3) 「人間と人間を接続するテレプレゼンス」の構築

(1),(2)で構築した機構は、遠隔接続の対象が機械ではなく人間である場合にも適用可能である。つまり、利用者が遠隔地の作業現場にいる別の人間(遠隔者)の視野や他の感覚を共有する機構が構築できる。従来の拡張現実感システムでは、遠隔者の周辺状況を何らかの手段で認識し、状況に合致した情報を遠隔者によって提示していた。本提案では、遠隔者が他の人間(利用者)と接続することで、利用者は遠隔者の作業状況を共有しながら、適切な支援を行うことができる。たとえば、災害現場において救助作業が必要な遠隔者は、専門家である利用者や接続して作業指示を得ることができる。

## 4. 研究成果

### (1) 機械との遠隔接続に関する研究成果：

本研究の前半では、UAV（無人飛行機）によるテレプレゼンスを実現した。実験には4軸ヘリコプターを利用し、HMDを装着した利用者が被災地に遠隔存在し、周囲を見回すとその頭部動作に追従してヘリコプターのカメラも回転することで遠隔地での操作感や没入感が達成できることを確認した(図1)：

さらに、身体感覚を拡張させるために、実際の動作の数倍の移動を行うこと実験を行った。たとえば、実際の利用者がジャンプすると、そのジャンプが数倍になってヘリコプターの飛翔に反映される(図2)。このよう

な拡大率を直感的に制御できるかどうか、また人間の移動速度と対応するヘリコプターの運動性能とのバランスを評価した。



図 1：遠隔飛翔体との接続例

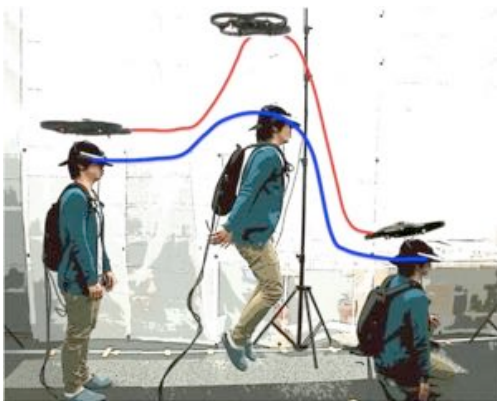


図 2：跳躍能力の拡張例

## (2) 人間との遠隔接続に関する研究成果

本研究の後半の成果である、人間と人間を接続するテレプレゼンスシステムでは、頭部搭載カメラとホログラム型透過ヘッドマウンテッドディスプレイ (HMD) による構成を試作した。この構成では、装着者の一人称映像が遠隔地に伝達され、遠隔地の利用者は装着者の HMD に指示情報などを表示させることができる。この機構は人間を利用した拡張現実システムと考えることができる。

試作評価を行った結果、二つの課題が判明した。ひとつめは一人称映像の視野の狭さである。遠隔利用者が一人称映像を覗き込むような感覚になり、遠隔地の状況を把握ことに困難さを感じてしまう場面があった。

この問題を解決するために、一人称映像に画像特徴点に基づくスティッチング処理をほどこして映像を接続し、仮想的に広い視野を提供する機構を考案した。この機構では、一人称映像の過去画像を接続し、装着者の周辺環境を再現する。装着者が環境を見回すなどの行為をとれば、その接続映像が広視野角カメラを代替することができる (図 3)。

第二の課題は、遠隔指示を与える手段である。たとえば、装着者が何らかの作業をしている際に、遠隔から指示者が物品の位置など

を教示する場面が考えられる。その際に、物品の位置装着者の現状の視野外になることもあり得る。また、指示情報を見る透過型デ



図 3：一人称映像の時系列接続による仮想広視野角画像

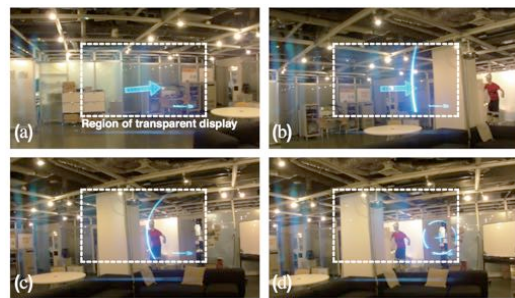


図 4：頭部搭載ディスプレイへの指示情報の例 (視野外の位置が指定可能な情報視覚表現を用いている)

ィスプレイの視野角が規定されているので、位置による指示できる範囲がより限定されたものになってしまう。

この課題を解決するために、位置情報が視野 (や透過型ディスプレイの画角外) にあつたばあいには、その物体からの距離に基づく曲率を持った指示図形を透過型ディスプレイの周辺近くに表示する機構を構築した (図 4)。これは携帯電話のような小型ディスプレイ上での情報視覚化技術を装着型ディスプレイに応用したものである。この機構により、装着者と指示者との間で、空間指示を活用したコミュニケーションがより円滑に行えるようになった。

## (3) 全周囲一人称映像の処理に関する研究成果：

研究の最終年度では、人間と人間を遠隔接続する構想をより発展させ、頭部搭載型の全周囲カメラシステムを構築し、装着者の周辺環境を 360 度の全周囲映像として取得し、複数カメラによる画像を一枚の全周囲映像 (正距円筒図法画像) として連結する機構を構築した。この画像を蓄積ないし伝送することで、利用者の環境を迫体験することができる。具体的には、6 台のカメラを持つ頭部搭載カメラシステムを構築し、その映像を接合 (スティッチング) することで全周囲映像を

得ることができる（図5）。接合などの画像処理はGPUを用いることでビデオフレームレート処理を行えることを確認した。



図5：試作した頭部搭載型全周囲カメラ



図6：頭部搭載型全周囲カメラによる体験映像の伝送

このような一人称映像では装着者の頭部揺れに起因する画像酔いが顕著であることも判明した。それを抑制する新たな画像処理アルゴリズムの改良を行った。

本アルゴリズムでは全周囲映像の特徴点追跡により映像の回転成分を抽出し、それを逆に適用することで回転の影響を相殺する。実験の結果、酔いが軽減するとともに、装着者の映像を観測する際に一体外離脱視点に近い感覚を得ることを分かった。この構造により、装着者の頭部方向や運動とは独立に、ネットワークから接続した参加者は任意の方向を観測することが可能になり、より自由度の高い共同作業が可能になることを確認した。

これらのシステムの構築と評価から得られる知見により、本課題の成果は遠隔共同作業の基盤として利用できることが確認できた。さらに、特殊な状況や能力を持つ装着者（たとえばトップアスリート）の視点からの環境情報を、画像酔いを誘発する揺れを除去した状態で観測できることで、一人称体験の記録手段としても有効であることを確認した。

### （3）成果発表およびアウトリーチ

これらの研究成果は論文発表、デモンストラーション展示のみならず報道機関等でも複数回報道され研究成果のアウトリーチを図ることができた。さらに、複数の国際学会にて基調講演を依頼され実施した。また、研究成果から、人間の能力を拡張するための概念構成を、“Internet of Abilities”という研究ビジョンとしてまとめ公表し[2]、今

後の同種の研究の発展方向について課題を示した。

## 5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計3件）

1. 暦本純一、Perspective IoT から IoA へ、人類を拡張するネットワーク、日経エレクトロニクス (1164), 89-101, 2016-02 [招待論文]
2. 笠原俊一、暦本純一、JackIn：一人称視点と体外離脱視点を融合した人間による人間のオーグメンテーションの枠組み、情報処理学会論文誌 56(4), pp1248-1257, 2015.[査読有]
3. Misawa Kana, Ishiguro Yoshio, Rekimoto Jun, LiveMask: A Telepresence Surrogate System with a Face-Shaped Screen for Supporting Nonverbal Communication, Information and Media Technologies 8(2), 617-625, 2013 [査読有]

〔学会発表〕（計 22 件）

1. 小宮山 凌平, 味八木 崇, 暦本 純一, JackIn Space: 一人称・三人称映像間の連続的な遷移を可能にするテレプレゼンスシステム, 情報処理学会インタラクション 2016 科学技術館（東京都千代田区） [査読有]
2. Shohei Nagai, Shunichi Kasahara, Jun Rekimoto, LiveSphere: Sharing the Surrounding Visual Environment for Immersive Experience in Remote Collaboration, TEI 2015. California, USA [査読有]
3. Shunichi Kasahara, Shohei Nagai and Jun Rekimoto, First Person Omnidirectional Video: System Design and Implications for Immersive Experience, TVX 2015. Brussels, Belgium, [査読有]
4. Shunichi Kasahara and Jun Rekimoto, JackIn Head: Immersive Visual Telepresence System with Omnidirectional Wearable Camera for Remote Collaboration, VRST 2015. Beijing, China [査読有]
5. Kana Misawa and Jun Rekimoto, Wearing Another's Personality: A Human-surrogate System with a Telepresence Face, ISWC' 15, Proceedings of the 2015 ACM International Symposium on Wearable

- Computers, pp.125-132, 2015. Osaka, Japan [査読有]
6. 永井翔平, 笠原俊一, 暦本純一, 全周囲映像を用いたヒューマンテレプレゼンスのための体験共有システム, インタラクション 2015 科学未来館 (東京都江東区) [査読有]
  7. Kana Misawa and Jun Rekimoto, ChameleonMask: Embodied Physical and Social Telepresence Using Human Surrogates, ACM SIGCHI 2015, Seoul, Korea [査読有]
  8. Shunichi Kasahara, Shohei Nagai, and Jun Rekimoto, LiveSphere: Immersive Experience Sharing with 360 degrees Head-Mounted Cameras, ACM Symposium on User Interface Software and Technologies, 2014, Hawaii, USA [査読有]
  9. Jun Rekimoto, A New You: From Augmented Reality to Augmented Human, ACM ITS 2014 keynote, Dresden, Germany (招待講演).
  10. Jun Rekimoto, Augmented Human, ACE 2014 keynote, Madeira, Portugal (招待講演)
  11. Keita Higuchi, Katsuya Fujii and Jun Rekimoto., Flying Head: A Head-Synchronization Mechanism for Flying Telepresence, ICAT 2013. Tokyo, Japan [査読有]
  12. 暦本純一, 体外離脱視点によるスポーツトレーニング支援, 第13回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2013) 神戸国際会議場 (兵庫県神戸市) [招待論文]
  13. 樋口 啓太, 暦本 純一, Flying Head: 頭部動作との同期による無人航空機の実操作メカニズム, インタラクション 2013 科学未来館 (東京都江東区) [査読有]
  14. Jun Rekimoto, From Augmented Reality to Augmented Human, ISMAR 2013 keynote, Adelaide, Austria (招待講演)
  15. Jun Rekimoto, Human Augmentation and the Future of HCI, APCHI 2013 keynote, Bangalore, India (招待講演)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

<http://lab.rekimoto.org/projects/livesp>

here

<https://lab.rekimoto.org/projects/jackinspace/>

<https://lab.rekimoto.org/projects/jackineye/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

暦本 純一 ( REKIMOTO JUNICHI )

東京大学・大学院情報学環・教授

研究者番号: 20463896

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

味八木 崇 ( MIYAKI TAKASHI )

東京大学・大学院情報学環・特任講師

研究者番号: 50511961