

Title	能動的な身体性に基づく臨場感の伝達と遠隔行動
Sub Title	Transmission of realistic sensations and remote behavior based on active embodiment
Author	館, すすむ(Tachi, Susumu) 渡邊, 孝一(Watanabe, Koichi) 南澤, 孝太(Minamizawa, Kota) 古川, 正紘(Furukawa, Masahiro)
Publisher	
Publication year	2014
Jtitle	科学研究費補助金研究成果報告書 (2013. )
JaLC DOI	
Abstract	<p>能動的な身体性に基づく臨場感の機序を解明し、人間・機械系において高度な臨場感を伝達するために必要な設計パラメータを明らかにした。すなわち、従来の受動的な臨場感に能動性を加えることによる臨場感向上の効果、身体性を加えることの効果および両者の複合の効果、テレインテグレーションシステムを用いて定量的に明らかにした。</p> <p>定量化された効果に基づき、目的に応じた臨場感伝達のために必要な、上記の能動性・身体性のパラメータの最適設計法を提案し、これからのネットワーク社会の進展に必要な、遠隔コミュニケーション、遠隔作業などの遠隔行動を可能とする高度な臨場感を伝達する人間・機械系の設計法を提案した。</p> <p>This study revealed the mechanism of a realistic sensation as a result of active embodiment, and identified design parameters needed to transmit highly realistic sensations in human and mechanical systems. The impact of improved sense of reality by adding an active sense to a traditional passive sense of reality, the impact of adding embodiment, and the composite impact of both were quantitatively identified using a telexistence system.</p> <p>Based on the quantified impact, an optimal design method for the above active and embodying parameters was proposed for transmitting a sense of reality per objective for human and mechanical systems. A design method for human and mechanical systems that transmits a high sense of reality was also proposed, which enables remote behaviors such as remote communication and remote work needed to further advance the future network-based society.</p>
Notes	研究種目：基盤研究(A) 研究期間：2011～2013 課題番号：23240017 研究分野：総合領域 科研費の分科・細目：情報学・メディア情報学・データベース
Genre	Research Paper
URL	<a href="https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KAKEN_23240017seika">https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KAKEN_23240017seika</a>

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the Keio Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 31 日現在

機関番号：32612

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2011～2013

課題番号：23240017

研究課題名(和文) 能動的身体性に基づく臨場感の伝達と遠隔行動

研究課題名(英文) Transmission of realistic sensations and remote behavior based on active embodiment

研究代表者

館 すすむ (TACHI, Susumu)

慶應義塾大学・大学院メディアデザイン研究科・特任教授(非常勤)

研究者番号：50236535

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 36,100,000円、(間接経費) 10,830,000円

研究成果の概要(和文)：能動的な身体性に基づく臨場感の機序を解明し、人間・機械系において高度な臨場感を伝達するために必要な設計パラメータを明らかにした。すなわち、従来の受動的な臨場感に能動性を加えることによる臨場感向上の効果、身体性を加えることの効果および両者の複合の効果をも、テレグジスタンスシステムを用いて定量的に明らかにした。

定量化された効果に基づき、目的に応じた臨場感伝達のために必要な、上記の能動性・身体性のパラメータの最適設計法を提案し、これからのネットワーク社会の進展に必要な、遠隔コミュニケーション、遠隔作業などの遠隔行動を可能とする高度な臨場感を伝達する人間・機械系の設計法を提案した。

研究成果の概要(英文)： This study revealed the mechanism of a realistic sensation as a result of active embodiment, and identified design parameters needed to transmit highly realistic sensations in human and mechanical systems. The impact of improved sense of reality by adding an active sense to a traditional passive sense of reality, the impact of adding embodiment, and the composite impact of both were quantitatively identified using a telexistence system.

Based on the quantified impact, an optimal design method for the above active and embodying parameters was proposed for transmitting a sense of reality per objective for human and mechanical systems. A design method for human and mechanical systems that transmits a high sense of reality was also proposed, which enables remote behaviors such as remote communication and remote work needed to further advance the future network-based society.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・メディア情報学・データベース

キーワード：バーチャルリアリティ テレグジスタンス 臨場感

## 1. 研究開始当初の背景

現在普及している遠隔コミュニケーション技術は電話やテレビ会議システムなどであり、映像や音声の共有に限られるものである。そのため五感情報の共有に基づいた高臨場感コミュニケーション技術の研究が盛んに行われており、時間や空間を超えた意思疎通や作業を実現する技術として期待されている。しかしながら、この技術の重要な要素の一つである「臨場感」の機序の解明は十分とはいえず、これに基づく遠隔システム設計法も確立していない。特に、従来の高解像度化および広視野化が行われてきた高臨場感設計法は、人が行動しない受動的な状況を前提に感覚情報量の増加を目指したものであり、能動的な身体運動や身体性がもたらす臨場感の考慮がなされてこなかった。

## 2. 研究の目的

本研究では、遠隔地における能動的な行動が伴う高度な遠隔コミュニケーションや遠隔作業を「あたかも別空間に入り込んだかのような」臨場感を持って達成することを目的とし、能動的な身体性に基づく臨場感の機序を解明するために、人間・機械系において高度な臨場感の伝達に必要な設計パラメータを明らかにする。つまり、能動性・身体性を加えることによる効果をモデル化し、目的に応じたパラメータの最適設計法を提案する。

そこで既に我々が提唱している能動性と身体性を兼ね備えた遠隔作業・遠隔コミュニケーション技術であるテレグジスタンスを基盤として臨場感の機序の解明と高臨場感設計手法を確立する。

## 3. 研究の方法

本研究ではテレグジスタンスの概念に基づく臨場感検証プラットフォームの開発を基盤として研究を進めた。テレグジスタンスとは、人を模した代理ロボットを遠隔地に配置し、利用者の身体運動や音声をロボットに伝送しつつ、ロボットが受け取る視聴触覚などの感覚情報を利用者に返すことであたかも利用者がロボットに入り込んだかのような高臨場感体験を実現する技術概念である。本研究は次の3段階の実施項目に基づいて実施された。

まず実施項目(1)として「ロボットを用いた能動的な身体性を有する臨場感検証プラットフォームの構築と自己投射性の検証」を行った。次に実施項目(2)である「臨場感における能動性・身体性の主要パラメータの抽出と、臨場感モデルの構築」を行い、さらに実施項目(3)として「構築したモデルに基づく能動的な身体性を有する臨場感の伝送」を実施した。

## 4. 研究成果

(1) ロボットを用いた能動的な身体性を有する臨場感検証プラットフォームの構築と自己投射性の検証

能動的な身体性に基づく臨場感の検証実験を行うため2つのプラットフォームを試作し、これらが能動的な身体性をもつことを実験により検証した。

まず、足に相当する移動機構・360度ステレオカメラ・人の腕と同等の自由度を持つロボットアームから構成される代理ロボットと、コックピットである全周囲立体映像提示装置 TWISTER を統合した臨場感検証プラットフォームを構築している。検証実験の結果、コックピット内の被験者は代理ロボットに乗り込み歩きまわることによって能動的な視覚情報が得られただけでなく、被験者の腕の能動的な運動を反映させたロボットアームは、ジェスチャ・握手・マニピュレーション能力などの身体性を有することが分かった。

次に、腰部の自由度をもつ能動的ステレオカメラヘッド TORSO・人の腕部の運動を反映できるロボットアームから代理ロボットを構成し、これに頭部搭載型ディスプレイ(HMD)を統合することで、能動的な身体を持つ臨場感検証プラットフォームを構築した。そこで自己投射性の検証としての検証として被験者は固定されたステレオカメラを自己投射対象として用い、HMDを装着した被験者とカメラとを同時に棒で突付くことによって、視覚情報の両条件から代理ロボットへの自己投射性を検証した。この自己投射性の検証実験の結果、被験者の腕の能動的な動きに起因すると思われる代理ロボットへの自己帰属・自己定位の向上が認められた。

(2) 臨場感における能動性・身体性の主要パラメータの抽出と、臨場感モデルの構築

構築した能動的な身体性を有する臨場感検証プラットフォームを用い、臨場感の伝達における頭部運動の能動性の寄与について定量化を行った。

まず、探索活動を想定した行動空間において頭部運動自由度が対象認識や探索時間に与える影響を明らかにした。そこで本実験では実施項目(1)で構築した臨場感検証プラットフォームをさらに改良し、頭部6自由度を有し全方位移動が可能な遠隔操縦ロボットを用いた。その結果、頭部6自由度の運動が許容される条件では、単眼視であっても頭部運動を伴わない場合の両眼視と同程度もしくはそれ以上の奥行き認識精度が得られることがわかった。また頭部運動における能動性が増すほど、探索タスクにおけるタスク遂行時間・衝突回数・個人差が減少し、さらには習熟速度が向上するという結果を得た。これは臨場感伝送において利用者の能動性を付与することの効果の端的に示す成果といえる。

次に、臨場感を伝達する際に自分が存在していると感じる位置、すなわち自己定位における触覚刺激の寄与を明らかにした。具体的

には、受動的に触覚刺激を受けた結果として背中に触覚刺激が与えられる場合は、被験者は一人称視点のカメラ映像を見ているにもかかわらず、先行研究が示すようにカメラ前方の位置に自己定位が生じた。一方で、能動的な触運動動作を行った結果として手元に触覚を得る場合は、一人称視点のカメラ位置に自己定位が生じていることを示唆する結果を得た。これらの結果は、触覚刺激の受動性・能動性条件を数秒という比較的短時間で切り替えており、長時間の順応時間を設けることなく再現されている。このことから、自己定位という側面からも能動的行動が臨場感伝送に寄与することを示す成果である。

さらに、定位という空間方向だけではなく時間軸方向の臨場感の伝送を行う際に求められるパラメータの抽出を行った。具体的には、視覚を遮断し聴覚及び触覚のみを記録・再生する臨場感伝送システムを構築し、実時間と記録された聴覚・触覚情報の差異を低減させる手法を開発した上で、他者とのコミュニケーションを行う中で両者の切り替えを行うことで、体験者が実時間の感覚情報と記録された感覚情報との間の遷移に気づかないまま、記録された話者との会話を継続できることを確認した。この成果は、体験者の能動的な発話行為が時間方向の臨場感維持に寄与しうることを明らかにしたものである。

### (3) 構築した臨場感モデルに基づく能動的な身体性を有する臨場感の伝達

項目(2)として構築した臨場感モデルに基づき、能動的な身体性を有する臨場感伝送の実証システムを構築した。

まず、能動的な身体性としてユーザ自身の外観に着目することで、バーチャル空間内においても一人称視点で観察される利用者自身の外観が維持されるというマスク生成手法を考案した。これは利用者自身の能動的な身体運動を実時間で計測することにより、利用者の身体の位置姿勢およびバーチャル空間内の物体との遮蔽関係が自明であることを用いており、頭部搭載型ディスプレイ上のビデオシースル用ステレオカメラで撮影される利用者自身の身体をバーチャル空間内に投影する。本成果は、従来のステレオ画像や深度カメラを用いた画像切り出しでは困難であった遮蔽関係の整合性が保たれるという優位性を持つものである。

次に、ネットワークに接続されたテレグジスタンスロボットを広い地域に分散させ様々な場所から体験可能なユビキタステレグジスタンスという概念を提案し、この実証システムとして広域に多数配置を可能にする簡易型テレグジスタンスシステム TELUBee を開発した。

またこの TELUBee を発展させることで、国際会議 ICAT2013 のデモセッション内にてフランスから日本へ TELUBee に乗り込み、日本

科学未来館内を自由に見渡しさらに動き回るといった国境を越えたテレグジスタンス体験のデモンストレーションであり、世界に先駆けて実施に成功した成果として特筆すべきものである。

### 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 6 件)

- ① MHD Yamen Saraiji, Charith Lasantha Fernando, Masahiro Furukawa, Kouta Minamizawa, Susumu Tachi: Realtime Egocentric Superimposition of Operator's Own Body on Telexistence Avatar in Virtual Environment, Proceedings of the 23rd International Conference on Artificial Reality and Telexistence (ICAT), Tokyo, Japan, pp. 35-39 (2013.12), 査読有
- ② Kevin Fan, Hideyuki Izumi, Yuta Sugiura, Kouta Minamizawa, Sohei Wakisaka, Masahiko Inami, Naotaka Fujii and Susumu Tachi: Reality Jockey: Lifting the Barrier between Alternate Realities through Audio and Haptic Feedback, Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'13), pp. 2557-2566, Paris, France (2013.4), 査読有
- ③ MHD Yamen Saraiji, Charith Lasantha Fernando, Masahiro Furukawa, Kouta Minamizawa and Susumu Tachi: Virtual Telesar - Designing and Implementation of a Modular Based Immersive Virtual Telexistence Platform, Proceedings of 2012 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII2012), pp. 595-598, Fukuoka, Japan (2012.12), 査読有
- ④ Susumu Tachi, Kouta Minamizawa, Masahiko Furukawa and Charith Lasantha Fernando: Telexistence - from 1980 to 2012, Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2012), pp. 5440-5441, Vilamoura, Algarve, Portugal (2012.10), 査読有
- ⑤ 舘暲, 渡邊孝一, 竹下佳佑, 南澤孝太, 吉田匠, 佐藤克成: "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" 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 63. 11-21 (2012.6), 査読有
- ⑥ Susumu Tachi, Kouichi Watanabe, Keisuke Takeshita, Kouta Minamizawa, Takumi Yoshida, Katsunari Sato: "Mutual Telexistence Surrogate System: TELESAR4-Telexistence in Real

Environments Using Autostereoscopic Immersive Display”, Intelligent Robotics and Systems (IROS2011), pp. 157-162, San Francisco, California, USA (2011.9), 査読有

[学会発表] (計 11 件)

- ① MHD Yamen Saraiji, Charith Lasantha Fernando 古川正紘, 南澤孝太, 舘暲: テレグジスタンスの研究 (第 75 報) - テレグジスタンスのためのバーチャル環境への自己身体の実時間重畳-, 日本バーチャルリアリティ学会 第18回大会, 22A-1, 大阪 (2013.9)
- ② 新井瑛子, 古川正紘, 南澤孝太, 舘暲, テレグジスタンスの研究(第73報): ミニチュア・ドールハウスの世界を体験するための視覚伝送系設計, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2013(Robomec2013), 2P1-Q13, 筑波 (2013.5)
- ③ 渡邊孝一, 江川諒, 萬羽俊太郎, 菅原亮, 古川正紘, 南澤孝太, 舘暲, 立体視機能と体幹 6 自由度を有するテレグジスタンス救助ロボットの評価, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2013(Robomec2013), 1P1-P14, 筑波 (2013.5)
- ④ MHD Yamen Saraiji, Charith Lasantha Fernando, Masahiro Furukawa, Kouta Minamizawa, Susumu Tachi, Study on Telexistence LXXIV:Haptic Layer Design and Integration for Virtual Telesar, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2013(Robomec2013), 1A2-E06, 筑波 (2013.5)
- ⑤ Kyo Hirota, Charith Lasantha Fernando, MHD Yamen Saraiji, Masahiro Furukawa, Kouta Minamizawa, Susumu Tachi, TELUbee -TElexistence platform for Ubiquitous Embodied Experience-, Laval Virtual 2013 ReVolution, Laval, France (2013.3)
- ⑥ 廣多馨, MHD Saraiji Yamen, Charith Fernando, 古川正紘, 南澤孝太, 舘暲: テレグジスタンスの研究 (第 72 報) -複数のスレーブロボットを用いた広域分散型テレグジスタンスの試作-, 日本バーチャルリアリティ学会 第17回大会, 32A-3, 横浜 (2012.9)
- ⑦ 古川正紘, Fernando Charith Lasantha, 家室証, 南澤孝太, 舘暲: テレグジスタンスの研究 (第 71 報) -主観的視線方向と頭部運動との相関-, 日本バーチャルリアリティ学会 第 17 回大会, 32A-2, 横浜 (2012.9)
- ⑧ Fan Szu-Wen, 泉秀幸, 杉浦裕太, 南澤孝太, 脇坂崇平, 稲見昌彦, 藤井直敬, 舘暲: To Confuse the Perception of Reality through Mixing the Past with

Audio and Haptic Feedback, 日本バーチャルリアリティ学会 第 17 回大会, 22B-5, 横浜 (2012.9)

- ⑨ 泉 秀幸, Fan Szu-Wen, 渡島健太, 杉浦裕太, 南澤孝太, 脇坂崇平, 稲見昌彦, 舘暲: Reality Jockey: 聴覚情報を主体とした Substitutional Reality System を用いた会話型システムの提案, エンタテインメントコンピューティング 2012, 神戸 (2012.9)
- ⑩ 廣多馨, 古川正紘, 南澤孝太, 舘暲: テレグジスタンスの研究(第 69 報) -複数のスレーブロボットを用いた広域分散型テレグジスタンスの基礎的検討-, 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会 2012(Robomec2012) 論文集, 2A2-P02, 浜松 (2012.5)
- ⑪ 渡邊孝一, 舘暲: “身体感覚とテレグジスタンス” 生体情報処理と高度情報処理シンポジウム 2012, 長岡 (2012.1)

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

- ① 名称: 画像呈示装置及びこれに用いるマスク生成装置  
発明者: 舘暲, 南澤孝太, 古川正紘, フェルナンド チャリス, モハマド サライジ ヤメン  
権利者: 同上  
種類: 特許権  
番号: 特願 2014-49151  
取得年月日: 2014-03-12  
国内外の別: 国内

[その他]

【ホームページ】

<http://tachilab.org/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

舘 暲 (TACHI Susumu)  
慶應義塾大学・大学院メディアデザイン  
研究科・特任教授 (非常勤)  
研究者番号: 50236535

### (2) 連携研究者

渡邊 孝一 (WATANABE Kouichi)  
木更津工業高等専門学校・講師  
研究者番号: 20549315

南澤 孝太 (MINAMIZAWA Kouta)  
慶應義塾大学・大学院メディアデザイン  
研究科・准教授  
研究者番号: 10585623

古川 正紘 (FURUKAWA Masahiro)  
慶應義塾大学・大学院メディアデザイン  
研究科・特任助教  
研究者番号: 40621652