

# 5感インタフェース技術を用いた拡張テレグジスタンスの研究開発 (121807016)

Development of advanced telexistence with five senses multimedia technology

## 研究代表者

前田太郎 大阪大学

Taro Maeda Osaka University

## 研究分担者

古川正紘<sup>†</sup> 近藤大祐<sup>††</sup>

Masahiro Furukawa<sup>†</sup> Daisuke Kondo<sup>††</sup>

<sup>†</sup>大阪大学 <sup>††</sup>大阪大学

<sup>†</sup>Osaka University <sup>††</sup>Osaka University

研究期間 平成 24 年度～平成 26 年度

## 概要

ヒトの感覚特性を生かした新たな 5 感インタフェース技術を用いて、身体性を活用した直観的な遠隔臨場感通信・制御技術であるテレグジスタンス技術を柔軟に拡張することで、その実用性・応用性を大きく向上させることを狙う。従来のテレグジスタンス技術における問題点であった臨場感成立における伝送・追従特性上の時間・空間精度に関する厳しい制限を錯覚現象を用いることによって緩和し、柔軟に拡張されたテレグジスタンス技術の実現を目指す。

### 1. まえがき

ヒトの感覚特性を生かした新たな 5 感インタフェース技術を用いて、身体性を活用した直観的な遠隔臨場感通信・制御技術であるテレグジスタンス技術を柔軟に拡張することで、その実用性・応用性を大きく向上させることを狙う。従来のテレグジスタンス技術における問題点であった臨場感成立における伝送・追従特性上の時間・空間精度に関する厳しい制限を、前庭電気刺激や錯覚利用インタフェース等の新しい感覚提示技術を利用した錯覚現象を用いることによって緩和し、一定の随意性や自己同一性を維持しつつ、時間・空間的なずれを許容しながら行動意図のレベルで一致した体験と行動の伝送を実現する柔軟に拡張されたテレグジスタンス技術の実現を目指す。これによって低コストで柔軟な運用を可能とすることで、日常的な個人スキル・体験情報の通信・記録・伝達から、緊急時の遠隔支援に至る幅広い応用への普及技術となることが期待される。

### 2. 研究開発内容及び成果

#### 2. 1 ウェアラブルな五感伝送技術の改良

本研究開発の要素技術として新しい感覚モダリティの提示技術及び、その定量化に取り組んだ。その成果として「前庭電気刺激の多自由度化とそれに伴う応答強度の補償制御」「分節化追従マーカ技術」「外耳道の変形加速度による頭部内動作の実時間弁別」などが挙げられる。また「ホロミックな全方位移動を可能にするトロコイド走行系：移動身体プロファイルの拡張」もまた「ヒトの視点移動に追従する五感伝送技術」ための要素技術である。

#### 2. 2 「バーチャルアバター」に対するテレグジスタンスの拡張

「バーチャルアバター」はテレグジスタンスの特徴である一人称視野にとって自身の身体が死角となる欠点に対する解決策であり、自己姿勢を三人称視点でアバターに投影提示することで自己状態のモニターとするものである。これをテレグジスタンスとして活用するためには「三人称視点で見るアバターへのオーナーシップとエージェンシー」を高いレベルで生じさせる必要がある。この条件を明らかにすることによって同時に人間特有の身体性への

拘束条件を緩和して「非ヒト型への身体変容」や「物理常数の変容」をも実現することにも繋げられることになる。

「小型ヒューマノイドでの身体比例動作：小スケール化への拡張」や「ドローン視点からの身体性：大スケール化への拡張」、「バーチャルミラーでのゴルフスイング学習：鏡像変換への拡張」、「第3の腕への自己同一性：身体プロパティ変容への拡張」および「非ヒト型身体への「つもり制御」：機構学的身体性変容への拡張」はこの可能性を追求した成果であり、自己身体感や空間的臨場感の拡張に一定以上成功した成果を得た。

#### 2. 3 「半自動動作を含むロボット」に対するテレグジスタンスの拡張

行動の分節化と追従伝達関数化については、「つもり制御」技術に端を発した行動の分節化と分節単位の自動制御の組み合わせによる複雑機械系の制御と、テレグジスタンスおよびパラサイトヒューマン技術における協調二重追従制御系の伝達関数モデルの二つの成果を発展・統合させることによって、ヒトが持つ行動スキルの実データを「分節化された理想軌道+伝達関数」に還元することで、操縦者(マスター)と被操縦者(スレーブ)の各要素を計算モデルによる自動制御(バーチャルロボット)で半自動的に代替させるという構想である。本研究では直接的な機械制御の半自動化ではなく、追従トレーニングにおけるバーチャルなロボット教示者・被教示者として、「バーチャルミラーでのゴルフスイング学習：鏡像変換への拡張」や「内視鏡トレーニングボックスでのスキル獲得：機構学的幾何変換への拡張」などの発展的な出口応用においてその実効性を検証した。この自動化技術は「空間・時間スタビライズ」の制御を計算モデルによって自動化することによって達成され「スキルを含んだ動作データのモデル化と再活用」に汎用性を持たせる成果となっている。

#### 2. 4 「遠隔協調動作による体験共有を行うヒト」に対するテレグジスタンスの拡張

上記半自動化技術によって教示者や被教示者をバーチャルロボットとしてテンポラリーに実現できる技術を確立したことによって「空間・時間スタビライズ」の制御を自動化し、遠隔伝送による時間ずれ・空間ずれの規模によらず、時刻と場所に依らず原典動作をスキル保有者から完全

に独立したコンテンツとして活用が可能になった。熟練者の行動スキルを追体験可能なコンテンツ化したことで「バーチャルミラーでのゴルフスイング学習：鏡像変換への拡張」や「内視鏡トレーニングボックスでのスキル獲得：機構学的幾何変換への拡張」などが成果として実現した。これらのコンテンツ化を実時間的に通信経路上で実現することで、従来のテレグジスタンスによる遠隔協調制御における時間ずれ・空間ずれの問題を遠隔通信経路を介したスキルの伝達という観点からは大幅に改善することが可能となり、五感伝送・五感電話の実現という観点からも情報通信分野における技術面・学術面に大きく貢献する成果となった。

## 2. 5 計測・記録された体験情報とテレグジスタンスの拡張条件の解析によるヒトの臨場感、随意感、自己同一感に関する心理物理的考察と知見、それに伴う次世代臨場感技術への設計論の端緒の獲得。

上記の全ての成果要素において、再現性のある被験者実験のデータを定量的な数理モデル化したことによって、設計論としては工学的に一般化された数値で定量的に設計可能なフレームワークを提案することに成功している。特に空間・時間スタビライズを用いた整合性補償は、各々の出口利用における具体的な応用開発を目的とした場合に最初のプロトタイプモデルを設計可能な段階にある。また、学術的には最も新しいと共に最も挑戦的な課題として「融合感を用いた意識下多点身体追従誘導」が挙げられる。従来の意識上での追従動作がほぼ 1 点のみの追従に留まったのに対して五指や全身での同時追従を可能とする可能性は、自他融合を誘導するという知覚心理学的な学術的知見としての価値に留まらない動作インタフェースとしての大きな可能性を示している。

## 3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取り組み

本研究の成果はいずれも再現性のある被験者実験のデータによって定量的な数理モデル化をしたことによって、設計論として工学的に一般化された数値で定量的に設計可能なフレームワークを提案することに成功している。学術的に最も挑戦的な課題としては「融合感を用いた意識下多点身体追従誘導」が挙げられる。従来の意識上での追従動作がほぼ 1 点のみの追従に留まったのに対して五指や全身での同時追従を可能とする可能性は、自他融合を誘導するという知覚心理学的な学術的知見としての価値に留まらない、動作インタフェースとしての大きな可能性を示している。同錯覚は実際に腹腔鏡術トレーニングシステム「追いトレ」において実際の臨床医療の教育現場で一部導入と検証が開始されており、今年度以降に実際の手術支援システムにまで発展させ、医療機器認可を取って製品化する構想が持ち上がっている。この応用は近年の臨床現場における腹腔鏡術技向上への危急の要請に応えるとともに、有用だが導入に時間を要するロボット手術とのギャップを埋め得る実用技術として波及効果が期待される。さらに同錯覚をバーチャルミラーにおいて用いて自己鏡像と教示者鏡像の融合感を生じさせて全身運動の追従課題を実現させる利用方法についても検証を進めており、研究担当者の一人によってゴルフトレーニングシステムへの応用としてのベンチャー事業化が模索されている。

## 4. むすび

本研究開発ではヒトの感覚特性を生かした新たな五感

インタフェース技術を用いて、身体性を活用した直観的な遠隔臨場感通信・制御技術であるテレグジスタンス技術を柔軟に拡張することで、その実用性・応用性を大きく向上させる開発を行った。これまで導入の遅れてきた災害対策や原子炉作業等の喫緊の課題への応用はもちろんのこと、特に近年の廉価 HMD の普及と共に YouTube でも全周囲映像やステレオ映像の共有が開始されており、これらを介したデジタルコンテンツ化を実現する記録再生式の追体験型テレグジスタンスへの展開も次世代に普及する情報通信技術として期待されるものである。

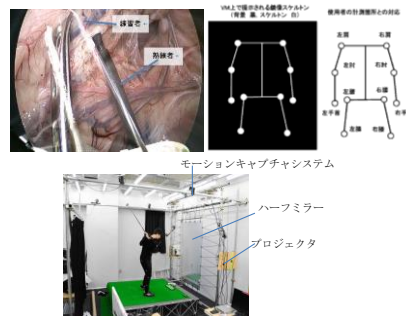


図1 拡張テレグジスタンスによるスキル伝達/学習：内視鏡術技トレーニング(左上)、ゴルフスイング教示用アバター(右上)、全身教示用バーチャルミラー(下)

### 【誌上発表リスト】

- [1]近藤大祐、飯塚博幸、安藤英由樹、小濱 和貴、坂井義治、前田太郎、“腹腔鏡下手術トレーニングにおける視野共有手法による学習効果とその実証”、日本バーチャルリアリティ学会論文誌、Vol.18、No.4、pp.487-496 (2013年12月31日)
- [2]青山 一真、安藤 英由樹、飯塚 博幸、前田 太郎、“前庭電気刺激における逆方向不感電流を用いた加速度感覚の増強”、日本バーチャルリアリティ学会論文誌 19(3)、315-318 (2014年9月30日)
- [3]青山 一真、櫻井 悟、宮本 靖久、古川 正紘、前田 太郎、安藤 英由樹、“前庭電気刺激における不感電流を用いた往復電流刺激が与える身体動揺の増大効果と逆電流印加時間の関係”、日本バーチャルリアリティ学会論文誌 Vol 20, No 1, pp 65-68, (2015年3月31日)

### 【受賞リスト】

- [1] Kazuma Aoyama, Hiroyuki Iizuka, Hideyuki Ando, Taro Maeda, Best Student Paper Award, “Countercurrent Enhances Acceleration Sensation In Galvanic Vestibular Stimulation”, the 23rd International Conference on Artificial Reality and Telexistence, 2013年12月13日
- [2]近藤大祐、飯塚博幸、安藤英由樹、小濱 和貴、坂井義治、前田太郎、日本バーチャルリアリティ学会論文賞、“腹腔鏡下手術トレーニングにおける視野共有手法による学習効果とその実証”、日本バーチャルリアリティ学会論文誌、Vol.18、No.4、2013、2014年9月17日
- [3]鳥居航、近藤大祐、安藤英由樹、前田太郎、robomech 表彰“外耳道の加速度を利用した頭部及び頭部内の各器官のリアルタイムな動作弁別”、日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2014、2014年5月26日

### 【報道掲載リスト】

- [1] 操縦かんでロボ踊る”日経産業新聞 2013年5月14日
- [2] トロコイド駆動機構 日本経済新聞、2014年9月10日

### 【本研究開発課題を掲載したホームページ】

<http://www.youtube.com/user/maedalab>