

テレグジスタンスの研究（第 65 報） - Telesar5:触覚を伝えるテレグジスタンスロボットシステム-

舘 暲^{*1} 南澤孝太^{*1} 古川正紘^{*1} 佐藤克成^{*1}

Study on Teleexistence LXV - Telesar5: Haptic Teleexistence Robot System -

Susumu Tachi,^{*1} Kouta Minamizawa,^{*1} Masahiro Furukawa^{*1} and Katsunari Sato^{*1}

Abstract — CREST プロジェクト「さわれる人間調和型情報環境の構築と活用」の一環として研究開発しているテレグジスタンスロボットシステム Telesar5 (Teleexistence Surrogate Anthropomorphic Robot 5) の概要を報告する。Telesar5 は、両眼、両耳、口からなる頭部を 3 自由度 (DOF) の首で支え、7DOF からなる腕を 2 対有し、左右の手は、それぞれ温度センサ付き分布圧覚センサを配した 15DOF の手指を持っている。背骨 3DOF と腰 2DOF の動きにも対応する。一方、マスタは、旭光電機と共同で開発した FST テレグジスタンスマスタシステムを利用している。HMD は、両眼両耳の視聴覚提示機能と音声伝送用マイクに加えてビデオシースル機能を持ち、頭部位置姿勢 6DOF、肩位置姿勢 6DOF×2、肘位置姿勢 6DOF×2、手先位置姿勢 6DOF×2、手指 12DOF×2 の計測機能と、手への温感情報を含む触覚情報の提示機能を有している。

Keywords: teleexistence, telepresence, virtual reality, haptics, master-slave system

1. はじめに

テレグジスタンスの概念[1]は、1980 年に我が国で生まれ、特許[2]、最初の実験と日本での発表[3]、国際会議での発表[4]、移動型テレグジスタンスシステム[5]、人間型ロボットシステム Telesar [6]、二足歩行ロボットでの実験[7]が行われ、その実現可能性と有効性が示されている。

「臨場感」と「存在感」を具備した相互テレグジスタンスの考えが 1999 年に発表され[8]、再帰性投影技術 (RPT: Retro-reflective Projection Technology) を用いた相互テレグジスタンスの視覚系の検証実験が行われた[9]。2005 年の愛知万博では、人間型ロボットシステム Telesar2 [10]が構成され、公開実験を通して、相互テレグジスタンスの実現可能性と有効性が示された。

自分自身の認識や存在を解明することを目的として、人間とのインタラクションを容易に行えるテレグジスタンスマスタスレーブシステム Telesar3 を構成し、身体性の拡張や自己の認識を中心とした評価実験を始めている[11]。

Telesar4 システムでは、全方向移動ロボットに全周囲ステレオカメラ VORTEX を搭載しアームとハンドを有した代理ロボットを用いて、イベント会場に遠隔参加するための実証実験を行っ

た。遠隔からの参加者は、TWISTER[12]を用いて、VORTEX から送られてくる 360 度のフルカラーの実時間ステレオ映像を、特殊な眼鏡などを使うことなく裸眼で観測でき全周囲音響を聞き、イベント会場に集う参加者とジェスチャーを交え「臨場感」を有してコミュニケーションできる。一方、会場参加者も、通常の会話だけではなく、TWISTER の外側の円周上を移動制御されるカメラで撮影された遠隔参加者の映像が RPT でロボットに投影され、それを任意の方向から見る事ができ、かつ、握手をしたりできることから、遠隔参加者の「存在感」を感じることが出来る[13]。

これまでの研究で、視覚と聴覚に関してのテレグジスタンスの実現可能性と有効性は明らかになっているが、触覚（体性感覚）については、視聴覚に比べるといまだ明確ではない。

触覚は、固有受容感覚と皮膚感覚に分類されるが、そのうち、いわゆる力覚といわれる固有受容感覚については、テレグジスタンスより以前のテレオペレーションにおいて既に、力帰還型のバイラテラル制御やインピーダンス制御などを通して、その実現可能性と有効性が明らかになっている。しかし、物体の‘つるつる感’や‘ざらざら感’、あるいは‘ぬくもり’などを固有受容感覚とともに能動的に伝えるハプティックテレグジスタンスは、いまだ研究途上にある[14]。

^{*1}: 慶應義塾大学, {tachi, kouta, furukawa, sato}@tachilab.org

^{*1}: Keio University

著者らは、CREST プロジェクト「さわれる人間調和型情報環境の構築と活用」において、触覚情報を視覚情報と同等に、記録し伝達し再生可能な情報に高めるための研究を行っており、本報では、そのためのプラットフォームとしての触覚を伝えるトレイグジスタンスロボットシステム Telesar5 のシステム構成ならびにプロトタイプロボットシステムについて報告する。

2. CREST プロジェクト「さわれる情報環境」

CREST プロジェクト「さわれる人間調和型情報環境の構築と活用」では、実空間コミュニケーション、ヒューマンインターフェース、メディア処理が融合した、見て触れる情報環境の構築を目指している。すなわち、実空間の触覚情報の取得と理解及び触空間の伝達と人への能動的働きかけを可能とし、人が自然環境で所作し行動しているような感覚で情報環境を利用して、遠隔コミュニケーション、遠隔体験、疑似体験を可能とするばかりではなく、デザインや創作などの創造的活動をも実世界と同様にできる人間調和型の「さわれる情報環境」を構築することを目標としている。図1に、このプロジェクトの概略を示す。

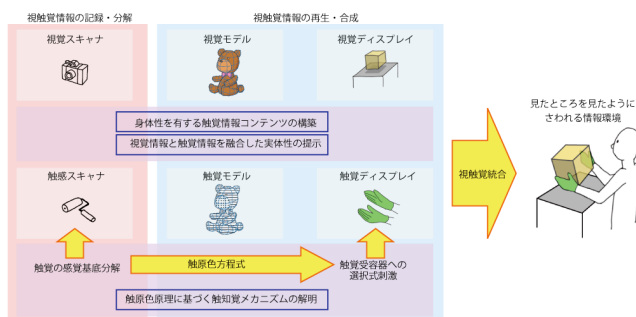


図1 「さわれる情報環境」プロジェクトの概略

Fig. 1 General Plan of Haptic Media Project

視覚における三原色の発見は、人間の知覚原理に基づく視覚情報の自在な分解、記録、再生、合成の技術を生み出し、今日ではネットワークを通じて世界中で映像情報がリアルタイムに伝達され、ハードウェア、ソフトウェア、コンテンツそれぞれが巨大な産業構造を構築するに至っている。一方触覚は近年その有用性が社会的に広く認識されつつあり、携帯電話やビデオゲーム機におけるマルチタッチインターフェース、振動フィードバックなど、様々な試みがなされ、情報機器における触覚情報の伝達技術は萌芽的段階にあるといえる。しかしながら触覚において、視覚の三原

色に相当する機序の解明は未だなされておらず、アドホックな手法による固有の触感の伝達は数多く試みられているものの、自在な触覚情報の記録や再生を行う手段は存在しない。

従って、現在の情報環境の多くは視覚と聴覚を提供するものであり、触覚を提供できる情報環境は従来提案されているものの、下記の理由により自在な「体験」の伝達には至っていない。

- ① 触知覚の原理的理解が不十分でアドホックな手法による特定の触感の伝達にとどまる。
- ② 狭い意味の触覚のみの提示にとどまり、視聴覚や身体運動との統合が不十分である。

そこでこのプロジェクトでは、触原色の仕組みを解明し、触原色原理に基づく情報環境の設計法を確立して、見たところを見たように触れる情報ディスプレイを研究開発する。それとともに、触覚情報を実時間に計測可能なセンサを研究開発し、離れていても直接触っているような感覚を伝えたり、実際には存在しない人工物であってもそれに触っているような触感を与えたりできる知的情報環境の構築とその活用を目指している。

具体的には、

- ① 触原色原理を展開して人間の触知覚の機序を解明し、
- ② 視覚や身体運動と統合された触覚情報提示の設計手法を確立して、

触覚情報の「計測・分解」「伝送」「合成・提示」するための基盤技術を確立し、触覚を視覚や聴覚と同様に情報メディアとして扱うような段階に引き上げ触覚を自在に伝達する技術を構築する。

図2に、触覚情報の「計測・分解」「伝送」「合成・提示」の概念図を示す。



図2 触覚情報の「計測」「伝送」「提示」

Fig. 2 Measurement, Transmission and Display of Haptic Information

3. Telesar5 の概要

今回研究開発したテレグジスタンスロボットシステム Telesar5 (Telexistence Surrogate Anthropomorphic Robot 5) は、前述の「さわれる情報環境」プロジェクトの触覚情報の「計測・分解」「伝送」「合成・提示」に関する研究成果を統合して実証実験を行うためのプラットフォームとして研究開発したものである。

視触覚融合を行いながら、遠隔の環境であっても、その場にいるように見たり聞いたりすることができ、それに加えて、見たところを見たように触れる視聴覚と触覚を融合して遠隔に伝送するための実証研究のプラットフォームとして Tlesar5 を構成した。

例えば、これを用いて、遠隔地間の触覚情報伝達の実証システムを構築することができる。触覚センサからの信号をリアルタイムに伝送し、触覚ディスプレイにより温度感覚などを含む触感を提示し、視覚と統合したシステムを実現する。

図 3 に、Telesar5 システムの構成を示す。本システムは、マスタスレーブシステムであり、視聴覚の情報を実時間に計測し伝送して人に提示する「視聴覚情報系」、人の動作を実時間で計測し、それを伝送してロボットの動作を人に追従するよう制御を行う「動作計測制御系」、触覚情報を実時間で計測し、伝送して人に提示する「触覚情報系」からなる。なお、Telesar5 は基本的には臨場感を重視したテレグジスタンスシステムで、相互テレグジスタンスの構成は取っていない。

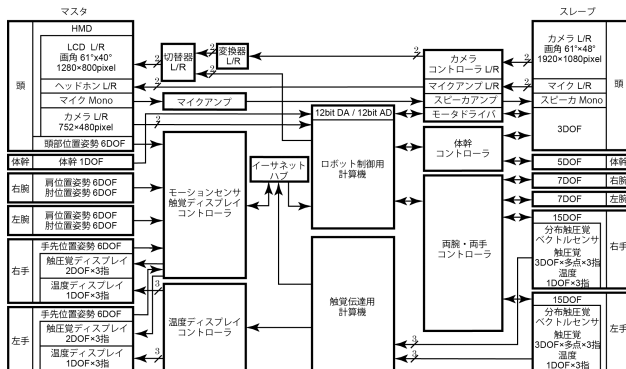


図 3 Telesar5 のシステム構成

Fig. 3 System Diagram of Telesar5

図 4 に、Telesar5 スレーブロボットの外観を示す。Telesar5 スレーブは、両眼に当たる人間の眼間距離相当離して配置されたハイビジョンステレオカメラ、両耳に当たるマイクロフォン、及び、口にあたるスピーカからなる頭部を 3 自由度の首で支えている。それに加えて、背骨 3 自由度と

腰 2 自由度の動きにも対応する。

7 自由度からなる腕を 2 対有し、左右の手は、それぞれ温度センサ付き分布圧覚センサを配した 15 自由度の手指を持っている。手指の自由度は、親指 5 自由度 (根元回転, 根元開閉, 中節回転, 中節開閉, 末節開閉), 人差し指 3 自由度 (根元開閉, 中節開閉, 末節開閉), 中指～小指 2 自由度ずつ (中節開閉, 末節開閉) に加え、アブダクションの 1 自由度を有する。

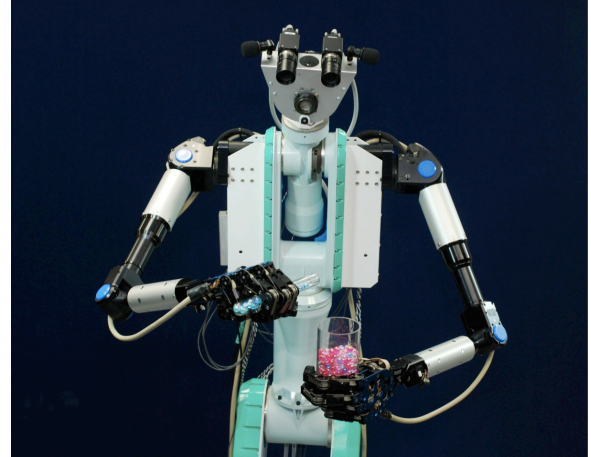


図 4 Telesar5 のスレーブロボット

Fig. 4 Telesar5 Slave Robot

一方、Telesar5 マスタの運動計測システムとして、旭光電機と共同で開発した FST (Flexible Sensor Tube) テレグジスタンスマスタシステムを利用している。頭部位置姿勢 6 自由度、肩位置姿勢 6 自由度×2、肘位置姿勢 6 自由度×2、手先位置姿勢 6 自由度×2、手指 12 自由度 (親指 4 自由度, その他の指 2 自由度) ×2 の計測機能を有する。

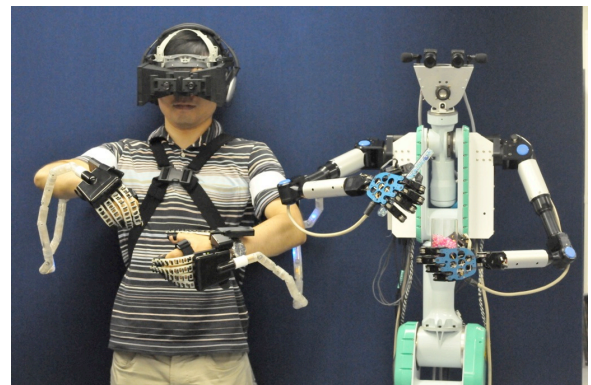


図 5 Telesar5 のマスタスレーブシステム

Fig. 5 Telesar5 Master Slave System

両眼両耳の視聴覚提示機能と音声伝送用マイクを有した HMD(頭部搭載型ディスプレイ)は、その場で直接に対象物を見た場合の大きさと距離が、HMD を介して見た場合にも正確に保たれるための設計法[15]を利用して設計されており、さらに、眼間調整型ハイビジョン機能とビデオシースル機能を加え高視野角を実現している[16]。触覚情報提示機能については、手への温感情報の提示が可能となっている[17]。図 5 に、Telesar5 のマスタスレーブシステムの外観を示す。

遠隔にあるスレーブロボットが人間の運動に追従し、スレーブの頭部に搭載されたロボットの目と耳で捉えた視界と音響が、マスタの視聴覚提示システムにより、人間に臨場的に提示される。また、スレーブの腕と手が人間の腕と手に追従して動き対象物とコンタクトし、その触覚情報を視聴覚と矛盾なく人が感じることで、人は遠隔に居ながらロボットの居る場所に居るような感覚を有して「見たところを見たように触る」ことが、限られた触感ではあるが可能となった。

4. おわりに

本稿では、ハプティックテレイグジスタンスシステム Telesar5 の概要について、CREST プロジェクト「さわれる情報環境」との関連も含め報告した。Telesar5 は、人がその場にいるような視聴覚の臨場感に加えて、温度感覚も含めた能動的な触覚の臨場的な提示を行うテレイグジスタンスシステムである。今後、触感を高め「見たところを見たように触れる情報環境」実現のための研究プラットフォームとして活用してゆく所存である。

参考文献

- [1] S.Tachi: Telexistence, World Scientific, ISBN-13 978-981-283-633-5, 2010.
- [2] 舘暲, 谷江和雄, 小森谷清: 感覚情報提示機能をもったマニピュレータの操縦方法, 特許第 1458263 号.
- [3] 舘暲, 阿部稔: テレイグジスタンスの研究 第 1 報, 第 21 回計測自動制御学会予稿集, pp.167-168, 1982.
- [4] S.Tachi, K.Tanie, K.Komoriya and M.Kaneko: Tele-Existence (I), Proceedings of the 5th Symposium on Theory and Practice of Robots and Manipulators (RoManSy'84), pp.245-254, Udine, Italy, 1984.
- [5] S.Tachi, H.Arai, I.Morimoto and G.Seet: Feasibility Experiments on a Mobile Tele-existence System, Proceedings of The International Symposium and Exposition on Robots, pp. 625-636, Sydney, Australia, 1988.
- [6] S.Tachi and K.Yasuda: Evaluation Experiments of a Teleexistence Manipulation System, Presence, Vol.3, No.1, pp.35-44, 1994.
- [7] S.Tachi, K.Komoriya, K.Sawada, T.Nishiyama, T.Itoko, M.Kobayashi and K.Inoue: Telexistence Cockpit for Humanoid Robot Control, Advanced Robotics, Vol.17, No. 3, pp. 199-217, 2003.
- [8] S.Tachi: Augmented Telexistence, Mixed Reality -Merging Real and Virtual Worlds, pp. 251-260, 1999.
- [9] S.Tachi, N.Kawakami, M.Inami and Y.Zaitzu: Mutual Telexistence System Using Retro-reflective Projection Technology, International Journal of Humanoid Robotics, Vol.1, No.1, pp.45-64, 2004.
- [10] S.Tachi, N.Kawakami, H.Nii, K.Watanabe and K.Minamizawa: TELESARPHONE: Mutual Telexistence Master Slave Communication System based on Retroreflective Projection Technology, SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, Vol.1, No.5, pp.335-344 (2008.9)
- [11] K.Watanabe, S.Tachi: Verification of Out of Body Sensations, Attribution and Localization by Interaction with Oneself, in Proc. of IEEE International Symposium on Virtual Reality Innovations (ISVRI 2011), pp. 111-118, Singapore, 2011.
- [12] S.Tachi: TWISTER: Immersive Omnidirectional Autostereoscopic 3D Booth for Mutual Telexistence, Proceedings of ASIAGRAPH 2007, vol.1, no.2, pp.1-6, Tokyo, Japan, 2007.
- [13] S.Tachi, K.Watanabe, K.Takeshita, K.Minamizawa, T. Yoshida and K.Sato: Mutual Telexistence Surrogate System: TELESAR4 - Telexistence in Real Environments using Autostereoscopic Immersive Display -, in Proc. of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2011), San Francisco, USA, 2011.
- [14] K.Sato, K.Kamiyama, N.Kawakami and S.Tachi: Finger-Shaped GelForce: Sensor for Measuring Surface Traction Fields for Robotic Hand, IEEE Transaction on Haptics, Vol.3, No.1, pp.37-47, 2010.
- [15] 舘暲, 荒井裕彦: テレイグジスタンスにおける視覚情報提示系の設計と評価, 日本ロボット学会誌, Vol.7, No.4, pp.314-326, 1989.
- [16] 古川正紘, 佐藤克成, 南澤孝太, 舘暲: テレイグジスタンスの研究 (第 66 報) - TELESAR V を用いた目と手の協調による遠隔作業, Entertainment Computing (EC2011), 2011.
- [17] 佐藤克成, 南澤孝太, 古川正紘, 舘暲: テレイグジスタンスの研究 (第 67 報) - カベクトルと温度情報による触感伝送, Entertainment Computing (EC2011), 2011.