

トレイグジスタンスの研究 (第 61 報) —TELESAR3 システムの提案と構築—

Study on Telexistence (LXI)

- Proposal and Implementation of TELESAR3 System -

○ 渡邊 孝一 (慶應大) 竹下 佳佑 (東大)
佐藤 克成 (東大) 正 南澤 孝太 (東大)
正 舘 暲 (慶應大)

Kouichi WATANABE, Keio University, kouichi@tachilab.org
Keisuke TAKESHITA, The University of Tokyo
Katsunari SATO, The University of Tokyo
Kouta MINAMIZAWA, The University of Tokyo
Susumu TACHI, Keio University

We propose a new telexistence system "TELESAR3" that aim not only to make safety and smooth communication with human but also to reveal the presence and recognition of human. Slave robot of TELESAR3 consists of a 6 DOF robot head and pneumatic robot arms, is able to more faithfully represent large motion range and compliance of human. Master system of TELESAR3 is constructed by wearable sensor tubes, called Flexible Sensor Tube (FST), operator can possess virtually limitless freedom of movement. We implemented the master-slave system and made sure the system is working properly.

Key Words: Telexistence, Master-slave system, Human-robot communication

1. はじめに

我々は遠隔操縦・遠隔コミュニケーションにおいてあたかもロボットの存在する遠隔の環境に居るかのような高度な臨場感を持つことを可能とする技術、トレイグジスタンスの研究を進めている。トレイグジスタンス技術を利用することで、これまで視聴覚中心だった遠隔通信に身体の動作や触覚に関する情報が加わり、より現実に近い遠隔作業や遠隔コミュニケーションを実現可能である。トレイグジスタンスマスターシステムとして、我々はこれまでに TELESAR 及び TELESAR2 を開発してきた[1]。

近年では、幽体離脱体験を誘発するような視覚的なトレイグジスタンスの状態を構築し、人間の自己定位や自己帰属について調べるような研究[2,3]も行われてきており、遠隔作業や遠隔コミュニケーションに留まらず、人間の解明にもトレイグジスタンスの技術が用いられてきた。

こういった中で我々は、人とのコミュニケーションを対象にそれに必要な要素を見直し、TELESAR2 に代わる新たなスレーブロボットの提案を行っている[4]。一方で、従来の外骨格マスタ装置の可動域が狭く可搬性を損なうという観点から、ウェアラブルで軽量なマスタシステムの利用可能性も検討している[5]。これらは、従来のシステムよりも人間に近い動作やインタラクションを実現でき、人間社会でのコミュニケーションシステムとして高い親和性を有するだけでなく、まだ解明されていない人間の認識や存在の解明のために有効に利用できると思われる。

そこで本稿ではこれまでに提案してきたスレーブロボット及びマスタシステムを組み合わせ、自身を含む“人”とのコミュニケーションを可能とし自身の認識や存在を解明することを目的とした新しいトレイグジスタンスマスターシステム“TELESAR3”の提案と構築・実装を行う。

2. TELESAR3 システムの提案

これまでに、高い臨場感を持ちながら遠隔地での作業を実現する TELESAR システム、高い臨場感を持って人との相互

コミュニケーションを実現する TELESAR2 システムを開発してきた。本研究では、人間の動作や柔軟性を忠実に再現し、人とのコミュニケーションだけでなく自分自身とのインタラクションをも考慮した、自身の認識や存在を解明するためのプラットフォームとして、TELESAR3 システムを提案する。

まずは、システムに必要な要件をマスタも含めた上で再検討する。ここでは、従来どおり上半身のみを対象とするが、将来的に下半身の運動に対応する移動も含めた上で検討を行う。頭部としては、マスタスレーブ共に十分な自由度を有し、操縦者が不自由なくその自由度を利用できる必要がある。腕部も同様に、スレーブが十分な自由度と柔軟性を有し、操縦者が不自由なく自由度を利用できることが望まれる。マスタシステムは、出来るだけ軽量で可搬性があることや上半身全体として広い運動範囲を確保できることが重要である。

スレーブロボットの頭部自由度としては、従来の首回転 3 自由度で足りず、並進自由度が必要である。人間の腰と頭部は背骨によって物理的に拘束されており上下方向へは殆ど伸縮はしないため、(腰から上の)頭部並進運動は 2 自由度分で十分に表現できるといえる¹。よって必要となる自由度は首回転 3 自由度に腰部の回転 2 自由度を加えた 5 自由度である。

腕部の自由度は 7 自由度で十分再現可能であることは言うまでもない。また自由度以上に、柔軟性の要素は非常に重要であり、本質的な柔軟性を得るためにアクチュエータレベルでの実装が必要であるといえる。そこで従来の TELESAR が採用してきた DC モータによるアームではなく、空気や流体、バネなどを利用したアームを採用する。こういったアクチュエータは位置決め精度や追従性能が DC モータよりも劣るが、本システムでは高い精度や追従性を要求しないこととする。

マスタシステムとしては、操縦者が日常的に動く動作を制限せず、装着時の疲労が少なく、様々な環境下への配置が可能であり、かつインタラクションが行えることが必要となる。従来の TELESAR システムでは、安定した位置姿勢の計測と

¹ バーチャル空間にて注視タスクを行った結果として、首の上下並進自由度はタスク性能に影響がないという結果を得ている

十分な力情報の提示を可能とする外骨格マスタを採用してきたが、本システムでは可動範囲、操作時の疲労、可搬性の点を重要視し、ウェアラブルマスタを採用する。ウェアラブルマスタとして多くのシステムが提案されているが、どれも個人差への対応がやすく人間同様の可動域を確保できる一方で、地面との接地が無い場合、力の提示が苦手であり位置姿勢も相対的にしか求められないという欠点を持っている。力提示についてはインタラクションを行ううえでは重要であるため、これを効率的に提示する方式は今後の課題となる。

3. TELESAR3 システムの構築

3.1 システム構成

スレーブロボットの構成は文献[4]と同様に6自由度ロボットヘッド TORSO と7自由度空圧アームからなる。TORSO の頭部が人間の頭部よりも小型に製作されているため、首の上下並進自由度はそのサイズによる位置の補正のために利用される。マスタシステムは文献[5]で利用したウェアラブルマスタ FST (Flexible Sensor Tube) を利用する。システムの構成は図1のようになる。

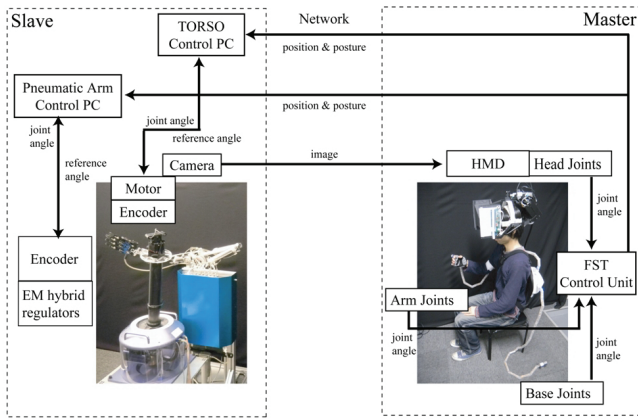


Fig. 1 : TELESAR3 system configuration.

FSTにより頭部の先端位置姿勢と腕部の先端位置姿勢(手首の自由度を考慮し手先を先端と定義する)と肘の位置を取得する。頭部及び腕部にそれぞれ1本のチューブを割り当て、それぞれで位置姿勢の計算を行う。肘は腕部のチューブの中間関節を接地させることで計測する。

ウェアラブルシステムに共通する問題として、基準となる接地点が無い場合、頭部及び腕部の先端位置姿勢が相対値でしか求められない。これを解決するには、システムの基準となる部位に地面との絶対位置姿勢を取得できるジャイロのようなセンサを取り付ける方式などが挙げられるが、一般にそういったセンサは大きさ・重量共に扱いにくい場合が多い。本システムではFSTに1本のベースチューブを接続し、ベースチューブの先端を地面に接地することにより絶対位置姿勢を求める手法を採用した。チューブの増設は容易であり、物理的なチューブの関節数に制限は無いためチューブを長く構築することで動作の制限をすることなく実装できる。また、ベースチューブと頭部、FST制御ユニットの位置姿勢を利用すれば、スレーブロボットに移動機能が追加された場合に頭部と腰部の関係を正しく保ちつつ歩き回ることも可能である。本システムでは、アームの肩が頭部と独立して接地されていることから、腕部の先端位置姿勢については肩に対する相対位置姿勢により駆動し、頭部をベースチューブに対する相対位置姿勢により駆動する。肩の位置については、手先位置の

軌跡を利用したキャリブレーションにより推定する。

3.2 システム実装

システムを実装した結果を図2に示す。右側にFSTを装着した操縦者が、左側にスレーブロボットが配置され、操縦者は目の前にあるスレーブロボットにテレグジスタンスしている状態である。今回、アームは右腕のみを実装しているが、両腕共に実装可能である。



Fig. 2 : Overview of TELESAR3.
(left: slave robot, right: operator and master)

ロボットの頭部腕部共に自身の動きに対応しており、システムが正しく動作していることが確認された。また、従来のような配置や動作範囲の制限も無く、操縦時の疲労感が低減されていることも確認された。

4. おわりに

自身を含む“人”とのコミュニケーションを可能とし自身の認識や存在を解明することを目的とした新しいテレグジスタンスマスタスレーブシステム“TELESAR3”を提案し、システムの構築及び実装を行った。今後はTELESAR3システムを利用して身体性の拡張や自己の認識を中心とした評価を行っていく予定である。

謝辞 本研究の一部は総務省・戦略的情報通信研究開発推進制度(SCOPE)、科学技術振興事業団・戦略的基礎研究推進事業(JST-CREST)の支援によって実施された。旭光電機(株)の和田様、田中様、上田様にはFSTの運用に関してご協力を頂いた。

文献

- [1] Susumu Tachi, Naoki Kawakami, Hideaki Nii, Kouichi Watanabe and Kouta Minamizawa, “TELESARPHONE: Mutual Teleexistence Master Slave Communication System based on Retroreflective Projection Technology”, *SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration*, Vol.1, No.5, pp.335-344 Sep. 2008
- [2] H. Henrik Ehrsson. The experimental induction of out-of-body experiences. *Science*, Vol. 317, p. 1048, 2007.
- [3] Bigna Lenggenhager, Tej Tadi, Thomas Metzinger, and Olaf Blanke. Video ergo sum: Manipulating bodily self-consciousness. *Science*, Vol. 317, pp. 1096-1099, 2007.
- [4] 渡邊孝一, 川上直樹, 館暲, “6自由度ヘッド及び空圧アームを有するロボットを用いたマスタスレーブシステムの構築 -テレグジスタンスの研究第60報-”, 第14回VR学会大会論文集, Sep. 2009
- [5] 竹下佳佑, 佐藤克成, 南澤孝太, 渡邊孝一, 新居英明, 川上直樹, 館暲, 和田貴志, 田中徹, 上田明寿, “テレグジスタンスの研究(第59報) FlexibleSensorTubeを用いた空圧アームの遠隔操作”, 第14回VR学会大会論文集, Sep. 2009