

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 -トレイグジスタンスの研究第 60 報-

Master-Slave System using Robot with a 6DOF Robot Head and Pneumatic Robot Arms.
-Study on telexistence LX-

渡邊孝一¹⁾, 川上直樹²⁾, 舘暲¹⁾

Kouichi WATANABE, Naoki KAWAKAMI and Susumu TACHI

1) 慶應義塾大学 大学院メディアデザイン研究科

(〒 223-8526 神奈川県横浜市港北区日吉 4-1-1, {kouichi, tachi}@tachilab.org)

2) 東京大学 大学院情報理工学系研究科

(〒 113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1, kawakami@star.t.u-tokyo.ac.jp)

Abstract : We propose a new master-slave system that aim to make safety and smooth communication with human. Proposed slave head has 6 DOF unlike conventional robot head which has 3 DOF. It achieves not only gestures generated by a combination of the robot head and other body parts but also motion parallax of operator. Proposed slave arm has pneumatic actuators instead of electronic DC motors, and it achieves a mechanical compliance of robot arm as near as a essential softness of human arm. In this research, we construct and implement a master-slave system that consists of an above mentioned 6 DOF robot head and pneumatic robot arms.

Key Words: *telexistence, master-slave, 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おけるコミュニケーションに、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コミュニケーションを実現可能である。これまでにトレイグジスタンスマスタスレーブの研究は多くなされてきたが、人の社会に入り込みコミュニケーションを行うことを目的としたシステム、またそのような条件下での評価プラットフォームの実機レベルでの実装例は殆ど無い。そこで、人とロボットとのコミュニケーションに必要な要素挙げ、それを満たした新しいスレーブロボットの提案及びそれを用いたトレイグジスタンスマスタスレーブシステム構築と実機実装を行う。

2. 人とのコミュニケーションの要素

人同士のコミュニケーションの例として、面と向かって会話する、握手をする、物の受け渡しをする、手を振る、体

全体を利用してジェスチャーをする、など身体に深く関わる動作が多数挙げられる。これらは、接触を伴う相互作用がない場合とある場合に分けられる。接触を伴う相互作用が無い場合とは、図 1(a) のようなジェスチャーなどを指す。この場合では、操縦者の思い通りに動くこと、自分の姿勢が視認できること、各部位の相対関係が保たれていることなどが必要であり、動作の範囲、動作の追従性、動作時の各身体部位の相対関係が重要な要素であるといえる。接触を伴う相互作用をする場合とは、図 1(b) のような握手などを指す。この場合では、安心して触れられること、人のような柔軟な動きが出来ること、力の共有が出来ることなどが必要であり、関節の柔軟性、操縦者と遠隔地の人との間での力の共有が重要な要素であるといえる。

上記の要素を満たすシステムの実現のために、従来のロボットシステムの構成を再検討してみる。ここでは、頭部と腕部の 2 部位にのみ注目し検討する。従来の人型ロボットの頭部の多くは首回転 2 ないしは 3 自由度を有するが、人間の頭部は首や胴部の運動に連結した並進運動も含めて 6 自由度あり、3 自由度では人間の頭部の運動を十分に再現しきれない。また、従来の人型ロボットアームの多くは、人

間の腕と同等の自由度を有しソフトウェア若しくはセンサ等を利用して柔軟性を確保しているが [1], アクチュエータに依存する関節剛性の高さにより衝突時を含めた完全な柔軟性は獲得できず, アクチュエータレベルで柔軟なものを利用すべきであると考える。

そこで本稿では, 頭部の自由度が 6 自由度あり, 腕部が柔軟アクチュエータにより構築されるロボットを構築し, それを利用した新しいテレグジスタンスマスタスレーブシステムを提案・実装する。

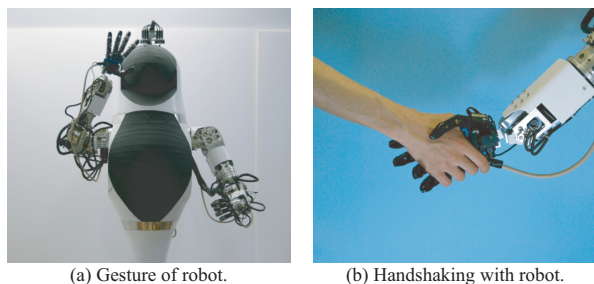


図 1: Communication with robot.

3. TORSO-空圧アームシステムの提案

本章では, 前章で掲げた要素を満たすマスタスレーブシステムの提案・実装を行う。システムを構成する要素として, 頭部には文献 [2] にて筆者らにより提案されているロボットヘッド TORSO を, 腕部には文献 [3] にて提案されている空圧アクチュエータにより構成された空圧アームを利用する。TORSO は従来の首回転 3 自由度を持つロボットヘッドに腰回転 2 自由度, 首上下並進 1 自由度を追加した 6 自由度を有する頭部・腰部一体型のロボットヘッドである。空圧アームは人間の腕の動きを再現するのに必要な 7 自由度を有し, 圧縮した空気による本質的な弾性を利用した柔らかい駆動やインタラクションが可能なロボットアームである。空圧アクチュエータは, 最近になって空圧ゴム人工筋を用いた人型アームも実現されており, 注目されるアクチュエータである [4]。TORSO 及び空圧アームの詳細は前述した各文献を参照されたい。

3.1 TORSO-空圧アームシステム構成

提案するシステムの全体構成を図 2 に示す。システムは頭部と腕部で独立に情報のやり取りを行う構成となっている。頭部では, 頭部に装着する HMD に取り付けられた頭部位置姿勢計測センサの情報を取得し, スレーブ側に送る。スレーブ側では受け取った操縦者の頭部位置姿勢から TORSO の参照関節角度を求め, TORSO 各軸の DC モータを駆動する。TORSO のヘッドに取り付けられたカメラの情報はそのまま操縦者が装着している HMD に送り, 遠隔の視覚情報を立体提示する。一方腕部では, マスタアーム各軸の角度情報を取得し, スレーブ側に送る。スレーブ側では受け取った操縦者の手先位置姿勢から空圧アームの参照関節角度を求め, 電空ハイブリッドレギュレータを駆動する。さ

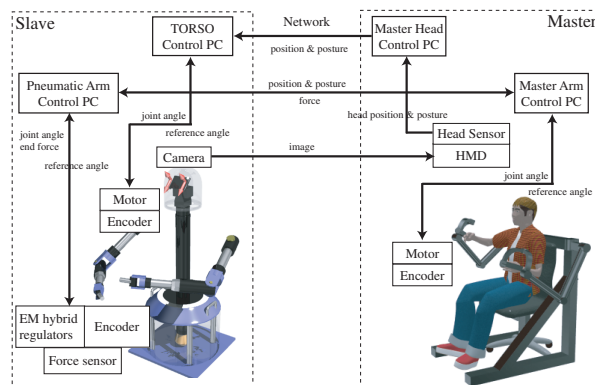


図 2: TORSO - Pneumatic arm hybrid system configuration.

らに, 空圧アームの先端に取り付けられた力センサから外部接触力情報を取得し, マスタ側に送る。マスタでは得られた力情報からマスタアーム各軸の参照角度を求め, 各軸の DC モータを駆動し操縦者に力提示をする。なお, 空圧アームの場合は各シリンダ室の内圧から手先の力を推定することが出来るため, 力センサレスでのバイラテラル実装も可能であるが, ここでは将来的な課題として留めておく。

3.2 スレーブロボット実装環境

TORSO 及び空圧アームの配置は以下のようにした。両空圧アーム間の肩幅はおよそ 0.5 [m] で, 一般的な成人男性の肩幅の 1.2 倍程度である。この肩幅のずれが許容される範囲であることは既に我々の予備評価¹から分かっている。また, 図 3 に示すように TORSO は空圧アームの両肩から前方に 0.1 [m] ほどずらした位置に配置する。この配置に関する検討は次章にて行う。

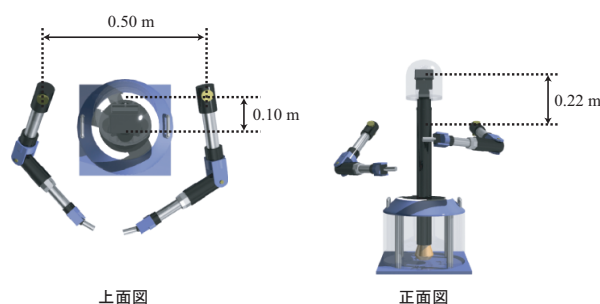


図 3: Arrangement of TORSO - Pneumatic arm robot.

3.3 システム実装結果

システム構成図 2 及び配置図 3 に基づいてシステムを実装した結果を図 4 及び図 5 に示す。マスタアームには 6 自由度外骨格マスタアームを用い, 不足 1 自由度を補うための肘姿勢計測に加速度センサ (浅草ギ研 AS-3ACC) を, 力計測に小型 6 軸力センサ (BL autotech) を利用する。マスタア

¹4 章の評価を肩幅に適用したところ, 1.2 倍程度まではタスク性能が低下しないという結果を得ている。この評価結果は VR 学会論文誌 Vol.14 No.3 に掲載予定である。



図 4: TORSO - Pneumatic arm robot.

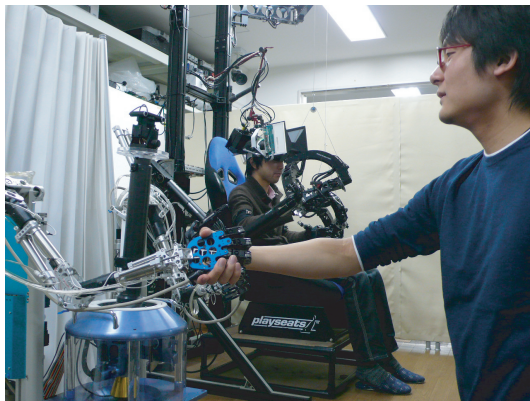


図 5: Handshake task using TORSO - Pneumatic arm.

ムの制御 PC は Intel Pentium4 プロセッサで 2.8 [GHz], メモリ 512 [MB] のものである。スレーブアームの制御 PC は Intel Core2Duo プロセッサで 2.0 [GHz], メモリ 2.0 [GB] のものである。TORSO の制御 PC は Intel Pentium4 プロセッサで 2.4 [GHz], メモリ 1.0 [GB] のものである。頭部位置姿勢計測には ADL-1(shooting star tech.) を利用した。HMD は試作したものであり、水平画角 46 度で解像度が 1024 × 768, 総重量が 2 [kg] 程度である。

実装した結果から、これまでのロボットよりも人間に近いしぐさを表現できていることを確認できた。また、実際に体験すると、4~5 分程度使用しているだけで、HMD 越しに見えるロボットアームがまるで自分の腕であるかのように感じてくるようになり、非常に自然なテレグジスタンス状態が作り出せていることを実感できた。さらに、HMD

の重量を少し感じるものの、頭部の拘束感が少なく腰自由度により広い範囲を見ることができると、自然とロボット側の環境にいるかのような錯覚に陥ることがわかった。加えて、ロボット側では胴体が無いに等しいにもかかわらず、動作から人のようなしぐさが見受けられ、各部位の相対関係が正しく保たれる必要があることを実証したと考える。

図 5 では、ロボット側の環境にて人間とインタラクションを行う例として握手動作を行っている様子を示している。空圧アームの柔軟性により、ロボット側の人間は安全で自然な握手動作が可能である。また、関節が全体的に柔軟に実現されているため、暴走時の危険性などもなくロボット自身に触れるような動作を行ったとしても装置を壊すことなく駆動し続けることが出来た。

4. 頭部-肩部の前後位置ずれによるタスク影響評価

TORSO のように広い可動範囲を持つ装置に対してアームなどを組み合わせる時、その可動範囲を阻害しないように設計や配置等を考えなければならない。本章では、前章で実装したスレーブ実装環境における配置の検討を行う。

TORSO のすぐ横に空圧アームを配置すると、TORSO が持つ腰回転自由度に起因する広い可動範囲の殆どが使えなくなってしまう。空圧アームを TORSO の可動範囲を阻害しないように配置するためには、1) アームを設置している肩部が TORSO に連動して動くような機構を設ける、2) TORSO の可動範囲に空圧アームが入らないように特別な設計を行う、3) TORSO と空圧アームの配置を工夫する、の 3 方式が考えられる。どの方式でも TORSO の広い可動範囲を妨げずにシステムを構築可能だが、ここでは既に構築されたシステムを利用するため、TORSO と空圧アームの配置を工夫する方式を採用する。

TORSO の可動範囲を阻害せず且つ肩幅を人間のサイズに合わせて TORSO と空圧アームを配置するためには、TORSO と空圧アームを前後にずらす以外に方法がない。しかしその場合に、操作性や臨場感などに影響が生じる可能性がある。そこで、ロボットの頭部と肩部が前後にずれを持った場合にタスクに与える影響を調べる。

4.1 評価環境

シミュレータ環境を含めた実験システム構成を図 6 に示す。OpenGL エンジンを用いてコンピュータ内に生成した VR シミュレーション環境内に CG のロボットヘッドおよびスレーブアームを構築し、ダイナミクス調整やタスクの成否判定を簡単にするために物理演算エンジン Open Dynamics Engine (ODE) を適用する。シミュレータ内にはロボットヘッドおよびロボットアームの他にタスク用の環境オブジェクトとしてスタートポイントとターゲットポイントが配置され、ロボットアームの手先と接触判定が行われる。シミュレーション環境の生成に用いた PC は Xeon プロセッサで 3.2[GHz], メモリ 2.0 [GB] のものである。

評価では手先との接触を伴いつつ最もプリミティブなタスクとして、空間内に配置された環境オブジェクトを手先

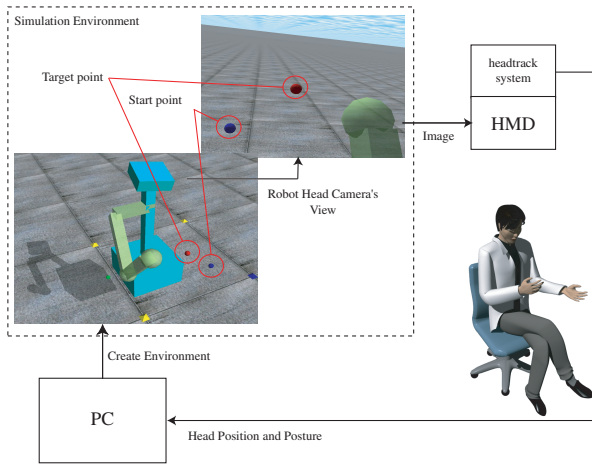


図 6: System configuration and simulation environment of length experiment.

で触れるポインティングタスクを採用する。環境にはポインティング対象のスタートポイントとターゲットポイントが生成され、それぞれを手先で交互にポインティングすることでタスクを遂行していく。図 7 にスタートポイントとターゲットポイントの配置を示す。各ポイントはロボットに正対する垂直平面上に生成する。視点から平面までの距離は、被験者の腕の長さの 0.9 倍の位置となるように取る。ターゲットポイントは角度間隔 72 [deg] でスタートポイントを中心とした五角形の頂点に、試行中はランダムに生成する。スタートポイントからターゲットポイントまでの距離を垂直面角 (34.5 [deg]) と平面までの距離を用いて、視野内に正五角形がぎりぎり視認できる大きさになるように決めた。

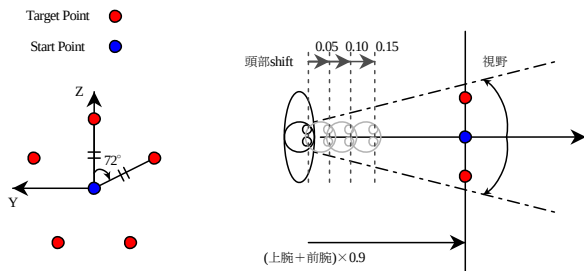


図 7: Start-Target points arrangement of length experiment.

4.2 評価条件

スタートポイントに触れた後にランダムに生成されるターゲットポイントに触れるまでにかかった時間をタスク遂行時間として評価に利用する。評価では、CG 空間上に生成されたロボットヘッドをロボットアームの肩の位置から前方にずらして評価する。視点からスタートポイントまでの距離については、ヘッドのずれ量に関係なく一定とする。ずれのパターンとしては、0.00, 0.05, 0.10, 0.15 [m] とし、肩の位置を原点として前方を正方向とする。

4.3 評価結果

得られた結果を表 1 に示す。行要素が頭部と肩部のずれで、列要素がずれ量 0.00 [m] で正規化した平均遂行時間とその標準偏差である。結果からわかるように、0.15 [m] まで前方にずらした場合でも、分散は多少大きくなっているものの遂行時間の平均値は殆ど低下していない。よって、ポインティングタスクを遂行する上では頭部の肩部に対するずれが 0.15 [m] 程度まで許容されるといえる。

表 1: Effect of task performance by shift between head and shoulder.

	0.00	0.05	0.10	0.15
Average time	1.000	0.948	0.912	0.975
Standard deviation	0.219	0.281	0.220	0.387

上記の結果より、TORSO-空圧アームシステムとしては、TORSO を空圧アームの肩の位置より 0.10 [m] まで手前にずらして配置した前章の構成で性能低下等の問題は生じないと考えられる。

5. おわりに

本稿では、人とのコミュニケーションを目的とした新しいトレイグジスタンスマスタスレーブシステムの提案を行った。今後、提案したシステムを利用して人と触れる環境下における身体性の発現や自己の認識構造に関する様々な評価を行うことで、トレイグジスタンス技術の展開に留まらず人間の解明を進めていきたい。

謝辞 本研究の一部は戦略的情報通信研究開発推進制度 (SCOPE) の支援を受けて行われた。

参考文献

- [1] H. Iwata, S. Kobashi, T. Aono, and S. Sugano. Design of anthropomorphic 4-dof tactile interaction manipulator with passive joints. In *Proceedings of IEEE/RSJ IROS*, pp. 1941–1946, 2005.
- [2] Kouichi Watanabe, Ichiro Kawabuchi, Naoki Kawakami, Taro Maeda, and Susumu Tachi. Torso: Development of a telexistence visual system using a 6-d.o.f. robot head. *Advanced Robotics*, Vol. 22, No. 10, pp. 1053–1073, 2008.
- [3] Kouichi Watanabe, Hisashi Nagayasu, Naoki Kawakami, and Susumu Tachi. Mechanical compliance control system for a pneumatic robot arm. In *SICE Annual Conference 2008*, pp. 2789–2794, 2008.
- [4] Festo AG & Company KG. Airic's arm. http://www.festo.com/INetDomino/coorp_sites/en/ffeed49f2394ea43c12572b9006f7032.htm.