

トレイグジスタンス・マスタスレーブシステムにおける操縦者とスレーブロボットとの間の寸法不一致の影響

渡邊 孝一^{*1} 川上 直樹^{*2} 舘 暲^{*1}

An Effect of Dimensional Disagreement between the Operator and the Slave Robot in Telexistence Master-Slave System

Kouichi Watanabe^{*1}, Naoki Kawakami^{*2} and Susumu Tachi^{*1}

Abstract – When a user operates slave robots in the telexistence master-slave system, the fact that the dimension of the user does not match the dimension of the slave robot has an influence on the task performance. In particular, when the dimensions of the user and the slave robot are non-similar, uniform scaling cannot be used. In this study, we examined the effect of the non-similarity on the task performance. From the evaluation results, we can conclude that the effect on the working task performance is small if each dimension of parts of the slave robot is lower than 1.2 times of the dimension of the user.

Keywords : telexistence, master-slave, dimensional disagreement, non-similarity

1 はじめに

トレイグジスタンスマスタスレーブ [1] では、決められた寸法仕様に従って設計・構築されたスレーブロボットを介して遠隔環境に没入する。トレイグジスタンスが目指す高い臨場感や操作性、コミュニケーションを実現するためには、操縦者とロボットの寸法が一致するべきである。しかし、人間の寸法には個人差があるため全ての操縦者の寸法がロボットと合致せず、操縦者とロボットの間で寸法の不一致が生じる。

ロボットが存在する空間全体を幾何学的・動力学的に拡大縮小し、ロボットの寸法やインピーダンス情報を操縦者のものと一致させる手法としてスケーリングが挙げられる [2, 3, 4]。操縦者とロボットの寸法が相似系で異なる場合にはスケーリングが有効だが、操縦者とロボットの上腕・前腕・頭部・胴体など各部位毎に別々の割合で寸法が異なる場合、スケーリングではある一部位のみでしか寸法関係が正しく再現されない。このように操縦者とロボットの寸法が非相似系で異なる場合にはスケーリングでは対処できず、操縦者は己の身体とロボットとの間に感覚的なずれを感じてしまう。一方で、視聴覚や触覚などの感覚情報のフィードバックによる情報の補完効果 [5, 6] により、寸法の不一致が及ぼす感覚的なずれがある程度緩和できると期

待される。

本論文では、操縦者とロボットの寸法が非相似系で異なる場合に操作性に生じる影響を調べ報告をする。

2 寸法不一致によるタスクへの影響評価

本稿では、スレーブロボットの各寸法部位に対して操縦者とは異なる寸法を与えた場合に生じる作業タスク性能への影響を検証する。

2.1 ロボットの寸法部位の分類

まず、ロボットの上半身が持つ寸法部位を以下の5部位に分類し、その分類に基づいて寸法評価を行う。肩から肘までの長さを上腕寸法、肘から手首までの長さを前腕寸法、左右の肩の間の長さを肩寸法、肩の高さから首回転中心までの長さを首寸法、そして首回転中心から視点までの長さを視点寸法とする。図1に寸法の定義を示す。

2.2 評価環境

シミュレーション評価システム構成を図2に示す。手先の位置姿勢計測に6自由度設置型外骨格マスタアームを、肘の自由度計測に3軸加速度センサ(浅草ギ研)を、頭部の回転3自由度計測に6自由度リンク機構頭部計測装置 ADL-1(shooting star tech.)を利用する。VR物理シミュレーション環境提示のためにHMD(提示水平画角46 [deg]、解像度1024x768 [pixel])を利用し、提示環境をOpenGLとOpen Dynamics Engine (ODE)を用いてコンピュータ内に生成しHMDに投影する。環境にはCGのロボットヘッド、ロボットアームおよびスタートポイント、ターゲットポイントを構築する。環境生成に用いたPCの性能はXeonプロセッ

^{*1} 東京大学大学院 情報理工学系研究科, 現: 慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科

^{*2} 東京大学大学院 情報理工学系研究科

^{*1} Graduate School of Information Science and Technology, The University of Tokyo, presently Graduate School of Media Design, Keio University

^{*2} Graduate School of Information Science and Technology, The University of Tokyo

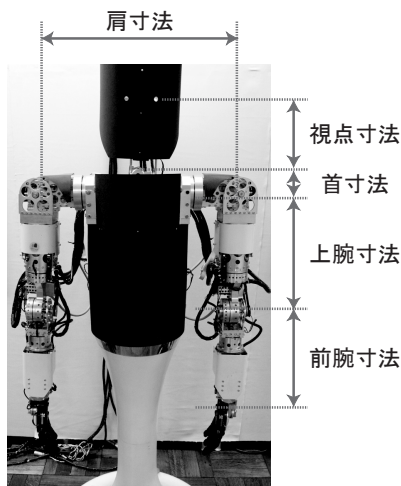


図1 スレーブロボットの寸法部位の分類
Fig. 1 Dimensions of parts of the slave robot.

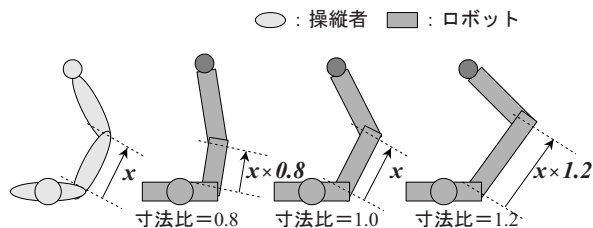


図3 寸法比の変更例 (上腕)
Fig. 3 Example of length ratio "x" (upper arm).

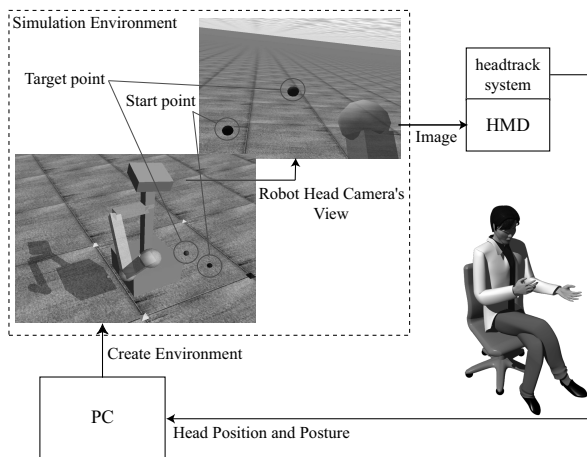


図2 寸法不一致によるタスクへの影響評価環境
とシステム構成
Fig. 2 System configuration and simulation
environment.

サ 3.2 [GHz], メモリ 2.0 [GB] である。ここで後の評価のため、空間内座標をロボット前方向に X 軸を天頂方向に Z 軸を取った右手座標系と定義する。

2.3 評価条件

評価タスクに手先との接触を伴い、かつ最も単純なポインティングタスクを用いる。

操縦者に対してロボットが持つ寸法を示す指標として、ある寸法部位において被験者の寸法に対して与えるロボットの寸法の割合を寸法比と定義する。例えば、上腕寸法比 0.5 の場合には操縦者の上腕寸法に対して 0.5 倍の上腕寸法を持つロボットの構築を意味する。図 3 に上腕寸法を例としていくつかの寸法比を与えた場合の寸法の変化例を示す。

図 4 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。視点から前方の任意の X 軸上に YZ 平

面 (以後、評価平面とする) を取り、評価平面内においてスタートポイント中心の正五角形の各頂点にターゲットポイントを配置する。評価平面までの X 軸上の距離は、ロボットアームの長さ依存する作業領域を考慮して変更する。操縦者とロボットアームの寸法が一致する寸法比 1.0 の時、評価平面を特異姿勢の回避を考慮して操縦者の腕の長さの 0.9 倍の位置に生成する。他の寸法比の場合、ロボットアームの長さを寸法比に基づき変更した上で、その長さの 0.9 倍の位置に評価平面をそれぞれ生成する。この時、正五角形の見えの大きさが視点からの距離に対して一定となるように、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変化させる。本評価ではこの距離を、垂直画角 (34.5 [deg]) と評価平面までの距離を用いて正五角形が視野内で視認できる最大の大きさとなるように決めた。なお、このターゲットポイント距離の変更によるタスクへの影響がないことは予備実験において確認済みである。

被験者はランダムに選択された寸法比により構築されたロボットアームを用いて、環境内のスタートポイントとターゲットポイントを手先で交互にポインティングする。スタートポイントに触れてからターゲットポイントに触れるまでにかかった時間を計測し評価に用いる。寸法比は 0.5 倍、0.8 倍、1.0 倍、1.2 倍、1.5 倍の 5 パターンを与える。被験者は 2 名で、うち 1 名は本タスクの熟練者であり、もう 1 名は初心者である。各被験者ともに、1 つの寸法比に対して各ターゲットポイント毎に 20 回、計 100 回を寸法比毎にランダムに選択して試行を行う。試行前に、各ターゲットポイントを順番にポイントするトレーニングを 2 順程度行わせる。得られたデータを各試行 100 回のうちの最大値で規格化し寸法比毎の疲労の影響による絶対値の違いを排除した上で、寸法比 1.0 の平均値で各ターゲットポイントのデータを除算し寸法比 1.0 に対する割合を求める。求めたデータの平均値と標準偏差を評価する。

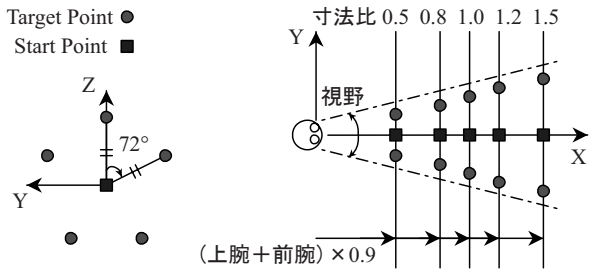


図4 スタートポイントおよびターゲットポイントの配置
Fig. 4 Start point and target point arrangement.

2.4 評価結果

得られた結果を図5から図9に示す。各グラフの横軸は寸法比で、縦軸は寸法比1.0にて正規化したタスクの遂行時間を表す。

図5に上腕寸法比を変更した結果を、図6に前腕寸法比を変更した結果を、図7に肩寸法比を変更した結果を示す。図5より、2名の被験者間で分散の違いがあるが、寸法比1.0に対して寸法比1.2でのタスクの遂行時間が短い。これは、上腕が操縦者の寸法よりも長くなり前腕部が視野内に多く映り込んだことにより、腕の認識が容易になった結果だと考えられる。しかし寸法比1.5では遂行時間が延びており、オーバーリーチングによってタスクが遂行しにくくなったことが伺える。図6と図7では、寸法比1.0に対して寸法比1.2でのタスクの遂行時間が殆ど低下していない。これらの結果より、腕部の各部位では操縦者の寸法に対して1.2倍程度までの寸法を持つロボットであれば、ポインティングタスク性能に影響を与えることなく扱えるといえる。

図8に首寸法比を変更した結果を、図9に視点寸法比を変更した結果を示す。図8および図9より、前腕寸法比および肩寸法比を変更した場合と同様に、寸法比1.2でのタスクの遂行時間が低下せず、寸法比1.5まで大きくなると低下する傾向を持つことが見て取れる。一方、寸法比が1.0より小さい、即ち視点が操縦者のものより低くなる場合にタスク性能が低下している。この場合、環境オブジェクトを見上げる形となり下方視野が狭くなる。人間は下方視野が狭い場合にタスク遂行性能が落ちることが知られていることから、タスク遂行性能の低下が生じたと考えられる。先ほどの腕部の各部位の結果と同様に、頭部の各部位でも操縦者の寸法に対して1.2倍程度までの寸法を持つロボットであれば、ポインティングタスク性能に影響を与えることなく扱えるといえる。

全ての結果から、各部位の寸法比が操縦者のものに対して1.0倍から1.2倍の範囲において、ポインティ

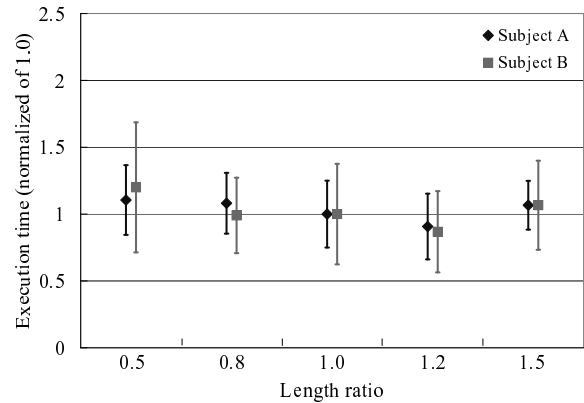


図5 上腕寸法比の変更結果
Fig. 5 Result of change in upper arm length.

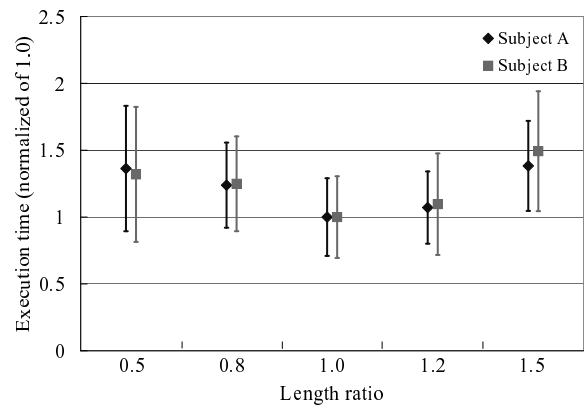


図6 前腕寸法比の変更結果
Fig. 6 Result of change in forearm length.

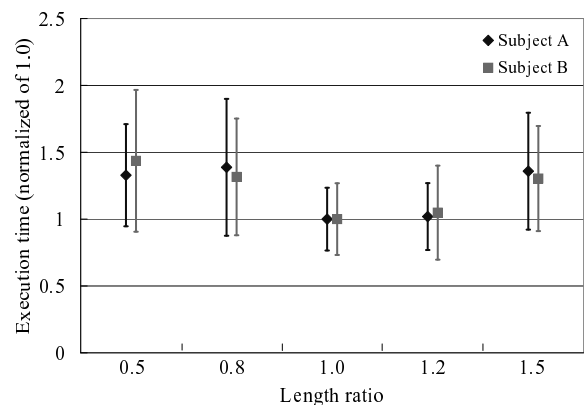


図7 肩寸法比の変更結果
Fig. 7 Result of change in shoulder length.

ングタスク性能が低下しないと言える。また、熟練度の違う2人の被験者において全ての結果で同じ傾向を有しており、タスクの熟練度による影響はないと言える。

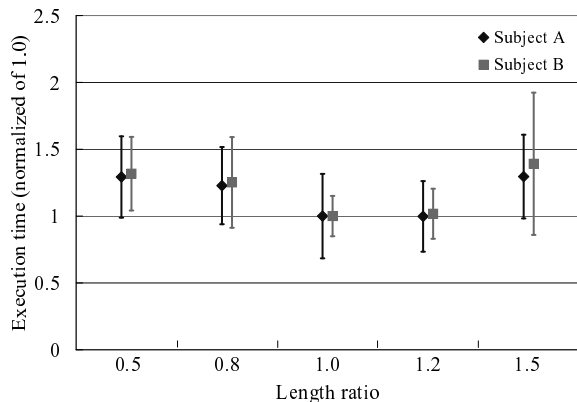


図8 首寸法比の変更結果

Fig. 8 Result of change in neck length.

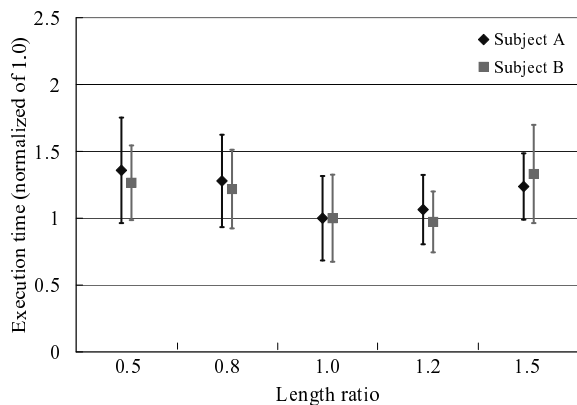


図9 視点寸法比の変更結果

Fig. 9 Result of change in eye view length.

3 おわりに

本稿では、トレイグジスタンス・マスタスレーブシステムにおいて操縦者の寸法に対してスレーブロボットの寸法を非相似系で変化させた場合にポインティングタスクに生じる影響を調べた。その結果、各部位の寸法を操縦者のものに対して寸法が増加する方向にそれぞれ1.2倍程度変更してもタスクの遂行性能は低下しないことを確認した。この結果から、人間が自分の身体を多少大きめに見積もっていると推測できるが、HMDの限定された視野の影響や評価タスクがポインティングタスクのみであることも考慮する必要があり、今後精査が必要である。また、本稿では各部位単体で寸法を変更した場合の評価に留まっており、複数部位の寸法を同時に変更した場合の効果についても今後評価していく必要がある。

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] Susumu Tachi, Naoki Kawakami, Hideaki Nii, Kouichi Watanabe, and Kouta Minamizawa. Tele-sarphone: Mutual teleexistence master-slave communication system based on retroreflective projection technology. *SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration*, 2008.
- [2] J. Edward Colgate. Power and impedance scaling in bilateral manipulation. In *Proceedings of the 1991 IEEE ICRA*, pp. 2292–2297, April 1991.
- [3] Taisuke Sakaki and Susumu Tachi. Impedance scaling of a tele-existence master-slave manipulation system by using similarity transformation. In *Proceedings of the Second ISMCR*, pp. 295–302, November 1992.
- [4] 柳田康幸, 館暲. HMD型トレイグジスタンスシステムの頭部運動時における視野角不整合の影響. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 7, No. 1, pp. 69–78, 2002.
- [5] Y. Rossetti, G. Rode, L. Pisella, A. Farnè, L. Li, D. Boisson, and M. T. Perenin. Prism adaptation to a rightward optical deviation rehabilitates left hemispatial neglect. *Nature* 395, p. 166.169, 1998.
- [6] H. Henrik Ehrsson, Charles Spence, and Richard E. Passingham. That's my hand! activity in premotor cortex reflects feeling of ownership of a limb. *Science*, Vol. 305, No. 5685, pp. 875–877, 2004.

(2009年3月27日受付)

[著者紹介]

渡邊 孝一 (学生会員)



2004年千葉大・工・情報画像工学科卒。2006年東大院・情報理工・システム情報学専攻修士課程修了。2009年同大博士課程修了。情報理工学博士。同年慶應大院・メディアデザイン研究科助教。トレイグジスタンスマスタスレーブシステムの研究に従事。

川上 直樹 (正会員)



1996年東工大・理工・電気・電子工学専攻修士課程修了。1999年東大・工・先端学際工学専攻博士課程修了。工学博士。同年東大院・工・計数工学科助手。2002年東大院・情報理工・システム情報学専攻講師。バーチャルリアリティの研究に従事。

館 暲 (正会員)



1968年東大・工・計数工学科卒。1973年同大大学院・工・計数工学専攻博士課程修了。工学博士。同年同大・工・計数工学科助手。1975年通産省工技院機械技研研究員、マサチューセッツ工科大学客員研究員を経て、1989年東大先端科学技術センター助教授。1992年同センター教授。1994年同大・工・計数工学科教授。2001年同大大学院・情報理工・システム情報学専攻教授。2009年慶應大院・メディアデザイン研究科教授。トレイグジスタンス、人工現実感の研究に従事。日本バーチャルリアリティ学会初代会長。