

トレイグジスタンスの研究 (第32報) — 頭部運動に高速追従するトルソ型撮像ロボットの開発 —

財津 義貴^{*1} 中川 高志^{*1} 稲見 昌彦^{*2} 川上 直樹^{*2} 柳田 康幸^{*2} 前田 太郎^{*3} 館 暲^{*2}

Study on Telexistence(XXXII)

-Development of torso-shaped robot camera for real-time head motion following-

Yoshitaka Zaitu^{*1} Takashi Nakagawa^{*1} Naoki Kawakami^{*2} Masahiko Inami^{*2}
Yasuyuki Yanagida^{*2} Taro Maeda^{*3} and Susumu Tachi^{*2}

Abstract — The torso-shaped robot camera is the new robot camera for The Next Generation of telexistence. This robot camera is able to follow a sitting operator's head motion in real-time. By using it, the operator is able to have the same field of view as it. In this paper, we report development and verification of this robot camera.

Keywords : Telexistence, The Next Generation of Telexistence, Robot Camera

1. はじめに

1.1 研究の背景

トレイグジスタンス (テレプレゼンス) とは、操作者が遠隔地にある人間型ロボットを、あたかも自分がその場で作業をしているかのような感覚で操作することができる高臨場感遠隔操作技術である[1][2]。

従来のトレイグジスタンスは、放射能汚染区域や宇宙空間などのような人間が現地で直接作業できない極限環境での作業をロボットに代行させることを目的としていたため、操作者にロボット側の環境を高臨場感に提示するための研究はなされていたが、ロボット側の環境に“操作者の存在感”を提示するための研究はなされていなかった。しかし、今やロボットの役目は極限領域での作業代行に留まらず、人間の生活環境において人とコミュニケーションをとりながら人と協調して行う作業を代行することが求められている。この“人とロボットとの協調作業”にトレイグジスタンスを応用する際、ロボット側の環境にいる人に対して、あたかも操作者本人と一緒に作業しているように感じさせる仕組み、つまりロボット側の環境に“操作者の存在感”を提示する機能がないと協調作業において重要となる相手とのコミュニケーションの確立に支障をきたすと推測される。

次世代トレイグジスタンスは、従来のトレイグジスタンスにロボットに操作者の映像を投影する機能を追加したものである(図1)。ロボット側の環境にいる人(観測者)は頭部搭載型プロジェクタ(HMP)[3]によってロボットの表面に投影された操作者の実画像を見ることができる。これによってロボット側の環境にロボット側の環境に操作者の存在感を提示することが可能となる[4]。

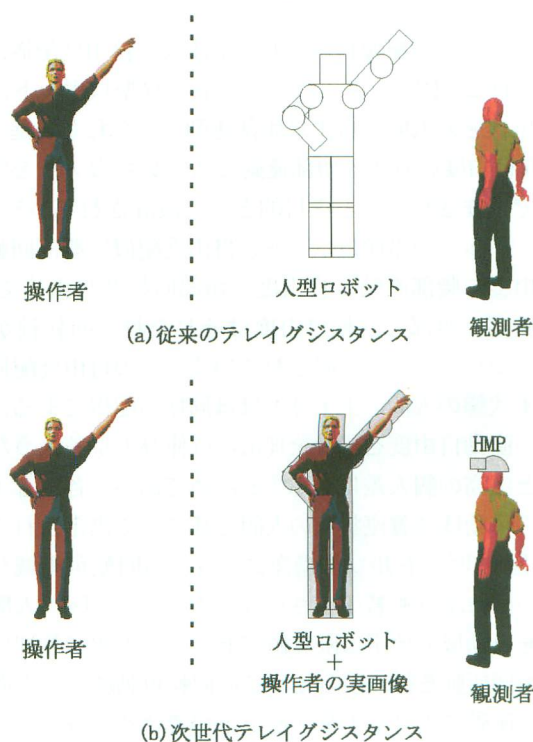


図1 次世代トレイグジスタンスの概念図[3][4]
Fig.1 The next generation of telexistence[3][4].

*1: 東京大学大学院工学系研究科

*2: 東京大学大学院情報理工学系研究科

*3: 東京大学大学院情報学環

*1: Graduate School of Engineering, The University of Tokyo

*2: Graduate School of Information Science and Technology, The University of Tokyo

*3: Graduate School of Interfaculty Initiative in Information Studies, The University of Tokyo

1.2 次世代テレグジスタンス用撮像装置

次世代テレグジスタンスには、操作者または観測者がお互いの環境の映像をあたかも自分がそこにいるかのように見ることができる撮像・提示系が必須であり、さらにそれらには操作者または観測者の頭部運動に実時間で追従する機能が求められる。この要求に対して、提示系については頭部搭載型プロジェクタ(HMP)^[3]などの手法が開発されている。しかし、撮像系については回転3自由度を有する頭部運動に実時間で追従する撮像装置、あるいは前もって与えられた高速運動を再現する並進・回転6自由度を有するロボットは開発されているものの、体幹運動を加えた並進・回転6自由度を有し、かつ頭部運動に実時間で追従する撮像装置はほとんど例がない。そこで我々は、人間の自由な頭部運動、すなわち並進・回転6自由度を有する運動に実時間で追従する撮像装置を開発した。この撮像装置は並進・回転6自由度を有し、かつ着座状態の人間の、体幹と首関節の自由度を用いた頭部運動に実時間で追従することが可能となるように設計されたトルソ(胸像)型撮像ロボットである。

本発表では次世代テレグジスタンスの実証装置の撮像装置として開発された、着座状態の人間の頭部運動に実時間で追従するトルソ型撮像ロボットについての報告を行う。

2. トルソ型撮像ロボットの概要

トルソ型撮像ロボットの全体図と自由度配置、仕様を図2、図3、表1に示す。トルソ型ロボットは、着座状態の人間の自由な頭部運動、すなわち並進・回転6自由度を有する頭部運動にステレオカメラを実時間で追従させることを目的として設計されている。

トルソ型撮像ロボットの自由度配置は腰部回転2自由度、腰部直動1自由度、頭部回転3自由度であり、腰部、頭部の回転自由度はそれぞれの回転軸が1点で交わるように配置されている。この自由度配置は着座状態の人間の上半身とほぼ同様の配置である。腰部の直動自由度を設けた理由は伸び上がるような運動と座高の個人差に対応するためである。各ジョイントの可動域は着座状態の人間を基にして決定されている(図4)^[5]。トルソ型撮像ロボットの回転可動域が人間のそれよりも若干小さくなっているが、図の人間の回転可動域の数字は限界値であるので人間が無理のない頭部運動を行う限りではこの回転可動域でも人間の頭部運動に十分に追従することができる。各ジョイントの駆動性能は着座状態の人間の頭部運動の速度のオーダー以上の速度を出すことができるように設計されている。トルソ型撮像ロボットの頭部には2台の $\phi 7\text{mm}$ CCDカメラが人間とほぼ同じ眼間距離(65mm)をお

いて配置されている。

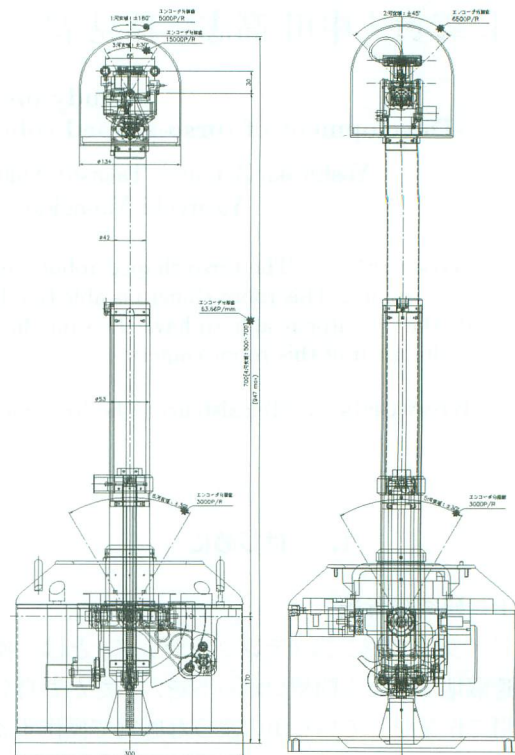


図2 トルソ型撮像ロボット (左:正面図, 右:右側面図)

Fig.2 Torso-shaped robot camera (left : front view, right : right-side view).

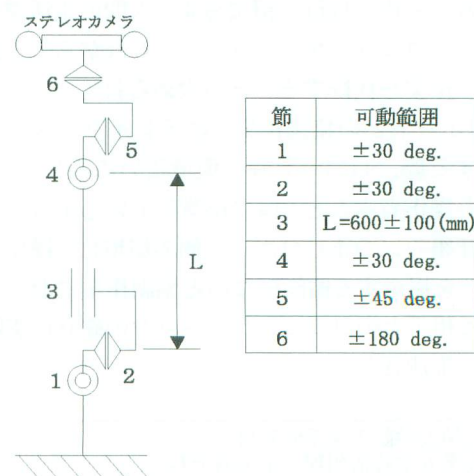


図3 トルソ型撮像ロボットの自由度配置と可動域

Fig.3 Freedom arrangement and excursion.

3. 実験

表 1 トルソ型撮像ロボットの仕様
Table 1 Specification of torso-shaped robot camera.

自由度配置	
腰部	回転 2 自由度, 直動 1 自由度
頭部	回転 3 自由度
負荷重量	
頭部重量	約 500 g
カメラ部慣性モーメント	約 $4.2 \times 10^{-4} (\text{kg} \cdot \text{m}^2)$
駆動モータ	
腰部回転, 直動	maxon DC コアレス モータ (20W)
頭部回転	maxon DC コアレス モータ (6W)
エンコーダ分解能	(4 通倍前の値)
腰部ピッチ, ロール	3000P/R
腰部直動	63.66P/mm
頭部ロール	15000P/R
頭部ピッチ	6500P/R
頭部ヨー	5000P/R
撮像部	
撮像装置	東芝 $\phi 7\text{mm}$ CCD カメラ 2 基
光軸間距離	65mm

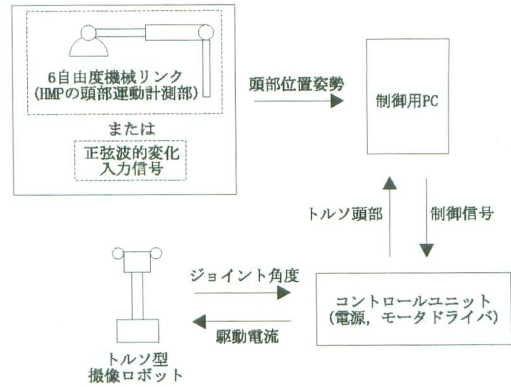


図 5 実験装置

Fig.5 Experimental setup.

トルソ型撮像ロボットの追従性能評価実験として、各ジョイントに正弦波的に変化する入力信号を与え、各ジョイントの追従性能を測定する。この入力信号の周波数は、人間が各ジョイントに対応する部位・方向の往復運動を無理なく行うことができる最大の周波数を実測し、その周波数の値を用いる。

実験装置を図 5 に示す。トルソ型撮像ロボットの追従目標は、今回はあらかじめ PC 内に用意してあるが、今後の頭部運動追従実験及び撮像性能実験のために、頭部搭載型プロジェクタ (HMP) の頭部運動計測用 6 自由度機械リンクを用いて実時間で計測される頭部位置及び姿勢データを用いることができるように組まれている。トルソ型撮像ロボットへの信号入力と制御は PC (CPU: 233MHz) を用いて行った。制御方式は PD 制御であり、制御ループの周期は約 0.5ms である。制御信号から駆動電流への変換にはモータドライバ (岡崎産業 (株) TITECH ロボットドライバ) を用いる。

4. 実験結果と考察

正弦波入力信号に対するトルソ型撮像ロボットの頭部ヨー回転、腰部ピッチ回転ジョイントの運動を図 6 に示す。入力信号の周波数は、人間の頭部ヨー回転方向往復運動、腰部ピッチ回転方向往復運動の最大周波数を実測し、頭部ヨー回転ジョイントについては 1.3Hz、腰部ピッチ回転ジョイントについては 1.0Hz とした。入力された角度 (目標値) に対する各ジョイントの運動の時間遅れは頭部ヨー回転ジョイントでは 2~3ms、腰部ピッチ回転ジョイントでは 1ms であった。撮像装置の撮像周波数が 60Hz、すなわち 17ms 周期で撮像していることを考えると、トルソ型撮像ロボットの追従遅れ時間は撮像周期の 5 分の 1 以下と見積もることができ、撮像した映像を操作者に提示する際にこの遅れ時間はほとんど影響を及ぼさないと推測することが

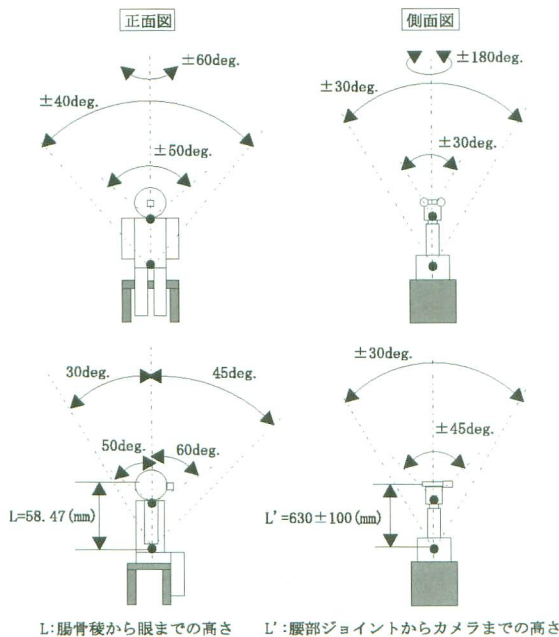


図 4 着座状態の人間とトルソ型撮像ロボットとの可動域の比較

Fig. 4 Excursion comparison between sitting operator and torso-shaped robot camera.

できる。よって、トルソ型撮像ロボットは着座状態の人間の頭部運動に実時間で追従することが可能であると考えてよい。

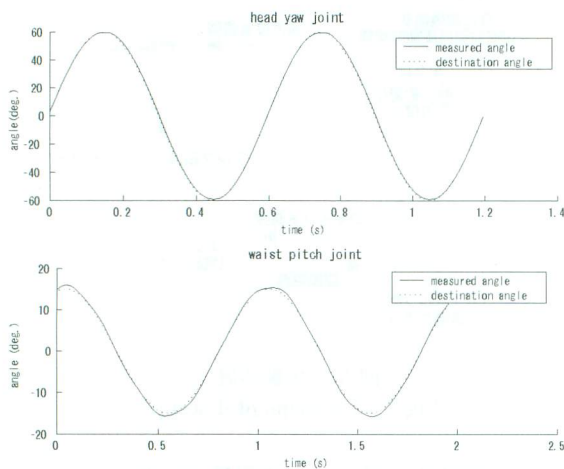


図6 正弦波入力信号に対する (a) 頭部ヨー方向回転ジョイント, (b) 腰部ピッチ方向回転ジョイントの運動。

Fig.6 Sine wave responses of torso-shaped robot camera. (a) Head yaw-directional rotative joint. (b) Waist pitch-directional rotative joint.

5. まとめ

次世代テレグジスタンスの実証試験用撮像装置として着座状態の操作者の頭部運動に実時間で追従するトルソ型撮像ロボットを新たに開発し、実時間追従性能を確かめた。今後は実際の頭部運動に実時間で追従する性能の検証実験を行い、提示装置として頭部搭載型プロジェクタ (HMP) を用いた撮像-提示系の性能検証を行う予定である。

参考文献

- [1] 舘, 阿部: テレグジスタンスの研究 (第1報), 第21回 SICE 学術講演会, pp.167-168, 1982.
- [2] 舘: 人工現実感, 日刊工業新聞社, 1992.
- [3] 稲見 他: 頭部搭載型プロジェクタの研究 (第2報) - 試験的実装-, 日本バーチャルリアリティ学会第4回大会論文集, pp.59-62, 1999.
- [4] 川上, 稲見, 財津, 柳田, 前田, 舘: テレグジスタンスの研究 (第31報), 日本バーチャルリアリティ学会第5回大会論文集, pp.367-368, 2000.
- [5] 佐藤 他: 人間工学基準数値数式便覧, 技報堂出版, 1992.