

# トレイグジスタンスの研究 (第33報)

## — 頭部搭載型プロジェクタによる実画像の実時間提示の研究 —

Study on Telexistence (XXXIII)

- A Study of Real-time and Real-image Display by Head-Mounted Projector -

財津義貴, 中川高志, 稲見昌彦, 川上直樹, 柳田康幸, 前田太郎, 笠崎

Yoshitaka ZAITSU, Takashi NAKAGAWA, Masahiko INAMI, Naoki KAWAKAMI,

Yasuyuki YANAGIDA, Taro MAEDA and Susumu TACHI.

東京大学大学院 工学系研究科

(〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1, z2@star.t.u-tokyo.ac.jp)

**Abstract :** Telexistence Next Generation enables a user to view the real image of the remote operator's upper body and face on the robot's surface in real time, and therefore facilitates more natural communication than previous master-slave robot control systems. By using a Head-Mounted Projector(HMP) and a torso-shaped robot equipped with a camera, the user can receive a realimage from his/her own viewpoint in real time. This paper presents an explanation and experimental results of this system.

**Key Words:** *Telexistence, Head-Mounted Projector, Robot Camera, Display*

### 1. はじめに

トレイグジスタンスとは、操作者が遠隔地にあるロボットを、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極限環境での作業を想定したものであるので、操作者にロボット側の環境を高臨場感に提示する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環境での作業に留まらず、人間の生活環境において人と協調して作業を行う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があたかも操作者本人と一緒に作業しているような感覚を得るための機能、すなわちロボット側の環境に“操作者の存在感”を提示する機能が欠けている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 [3][4].

次世代トレイグジスタンス (TNG : Telexistence Next Generation) とは、ロボット側環境におけるロボット操作者の存在感を増強することに重点を置いて従来のトレイグジスタンスを改良したロボット遠隔操作技術である [3][4]. ロボットと協調作業を行う人が、遠隔地にいるロボット操作者とその場で一緒に作業しているかのように感じることで

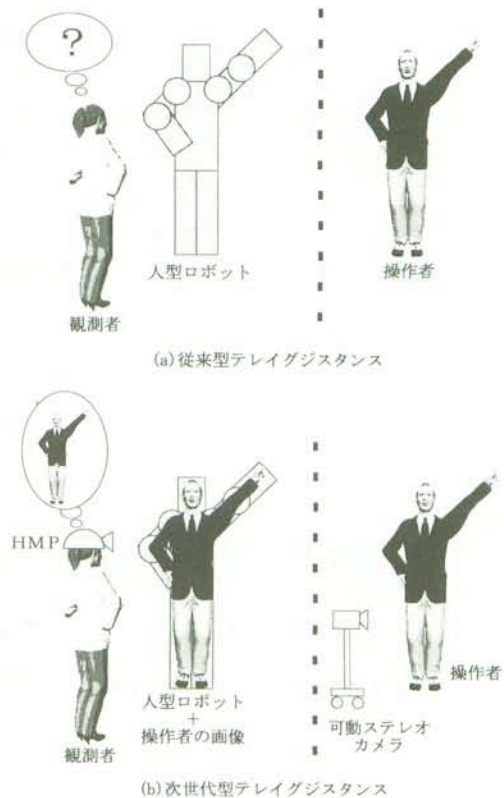


図1: 次世代トレイグジスタンス

操作者とより円滑なコミュニケーションを取りながら協調作業を行うことができると期待される。従来型トレイグスタンスからの具体的な改良点は以下の2点である。

1. ロボットの追従性能をより高速かつ正確に改良することにより、ロボットを操作する人(操作者)の身振りや仕種(しぐさ)を提示することができるようにする。
2. ロボットと一緒に作業する人(観測者)の視点での操作者の実画像をロボットに重畳させることにより、観測者が操作者の現在の姿、表情を知ることができるようにする。

我々には上に挙げた改良点の2番に該当する部分、すなわち任意の観測者視点から見た遠隔地の操作者の実画像をロボットの表面に実時間で投影するシステムを想定し、その擬似モデルシステムを次に説明する頭部搭載型プロジェクタとトルソ型撮像ロボットとを用いて実際に構築することで、この改良点を実装可能であることを確認した。本発表ではこのシステムの構成について説明し、このシステムが実際に機能することを確認するための実験とその結果について報告する。

## 2. 要素技術

### 2.1 頭部搭載型プロジェクタ (HMP)[5]

頭部搭載型プロジェクタとは、実空間とバーチャル空間とを視覚的に違和感無く重畳することを目的とした画像提示デバイスである。本実験では我々の研究室で試作されたHMP(HMP model-2: 図2)を用いる。

HMPの原理を図3に示す。HMPは光源、LCD、小開口径光学系、ハーフミラー、再帰性反射スクリーンで構成される。LCDの光源は床部に配置された光源ユニットから光ファイバライトガイドを通して供給される。LCDの画像は小開口径光学系で拡大され、ハーフミラーで反射されて再帰性反射塗料を塗布した物体(再帰性反射スクリーン)に投影される。再帰性スクリーンに投影された画像は再帰性反射材の性質により入射した方向に反射され、ハーフミラーを介して小開口径光学系と共役な位置にある装着者の眼に投影される。

HMPの利点は、

1. 小開口径であるので、焦点深度が大きく広範囲での結像が可能であり、また再帰性反射スクリーン以外で反射した光は装着者に届かないので現実物体との遮蔽関係が保存される。
2. ハーフミラーを介して装着者の眼と光学的に共役な位置から画像を投影しているため、スクリーンの形状による画像の歪みが生じない。
3. 再帰性反射材を塗布、もしくは貼付することで任意の形状の物体をスクリーンとして用いることができる。

という点があげられる。HMPは複雑な凹凸のあるロボットの表面を容易にスクリーンとすることが可能である[3]ので、

次世代トレイグスタンスの操作者実画像提示機能を実装する有力な手段の1つである。

また、自然な頭部運動を妨げることなく頭部運動に同期した画像を提示するために、頭部位置姿勢計測及び重量バランス調整用の6自由度機械リンク機構を併せて用いている。

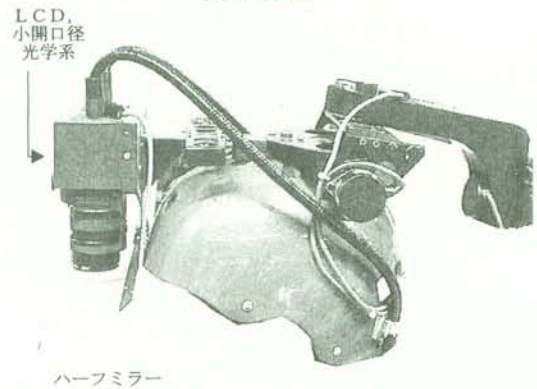


図2: 頭部搭載型プロジェクタ (HMP model-2)

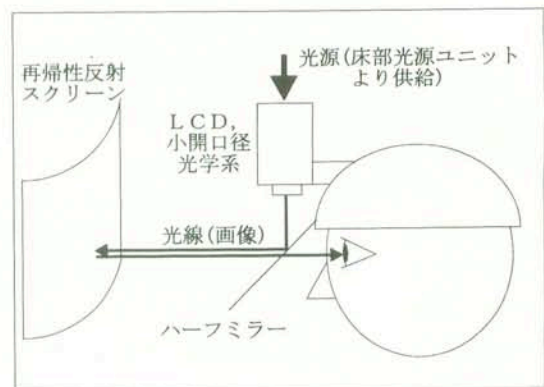


図3: 頭部搭載型プロジェクタ (HMP) の原理。

### 2.2 トルソ型撮像ロボット [6]

トレイグスタンスを用いてロボットを操作することによって作業を行う際に、ロボットの目の前の物体の側面を



観察するためにロボットの撮像装置を側面に回り込ませる、すなわち運動視差をつける運動が不可欠である場合が多い。この「回り込む」運動を行うためにはロボットの撮像装置が並進の自由度を有している必要がある。従来の撮像装置では、回転3自由度を有する頭部運動に実時間で追従する、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自由度を有する撮像ロボットは存在するが、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ことが可能な撮像装置はほとんど例がない。そこで我々は、着座状態の人間が運動視差をつけるために行う動作、すなわち並進及び回転6自由度をもつ頭部運動に実時間で追従することが可能なトルソ型撮像ロボット(図4)を開発した。

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。これはトルソ型撮像ロボットの自由度配置を着座状態の人間の上半身とほぼ同様にすることで追従性能を上げるためである。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)において配置されている。トルソ型撮像ロボットの頭部重量はCCDカメラと頭部回転運動用の駆動モータ、エンコーダ、構造材を含めて約500gと非常に軽量であり、追従性能の向上に大きく寄与している。

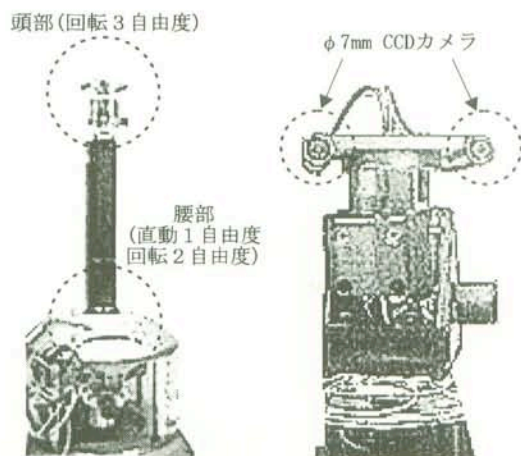


図4: トルソ型撮像ロボット(左:全体図, 右:頭部拡大図)

### 3. 実験及び実験結果

HMPとトルソ型撮像ロボットを用いて構築した撮像・提示システムを図5に示す。トルソ型撮像ロボットと着座状態の被写体、HMPを装着した着座状態の観測者とロボットに見立てた直方体型再帰性反射スクリーンとが双対になるように配置されている。観測者が頭部を運動させるとトルソ型撮像ロボットはその運動に追従して観測者視点での被写体の実画像を撮像する。トルソ型撮像ロボットが撮像し

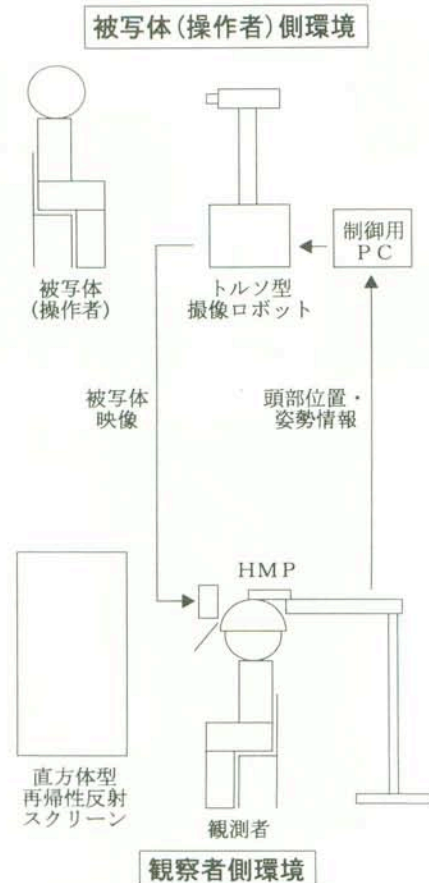


図5: 実験装置

た被写体画像は観測者のHMPから直方体型再帰性反射スクリーンに投影され、観測者は被写体の実画像を観測することができる。

このシステムを用いて観測者が任意の視点から被写体の実画像を観察した結果を図6に示す。図6(a)の状態では正面から観察した被写体の実画像を観測できている。この状態から観測者が頭部を直方体型再帰性反射スクリーンの側面に回り込ませることで図6(b)の状態に移行し、観測者は被写体の側面の実画像を観察できていることがわかる。また、トルソ型撮像ロボットの追従遅延時間はCCDカメラの撮像周期(フレームレートの逆数、およそ17ms)よりも小さく[6]、また撮像された画像が観測者の眼に届くまでの時間も十分短いので、観測者視点からの被写体の実画像を実時間で撮像、提示できているといえる。

### 4. おわりに

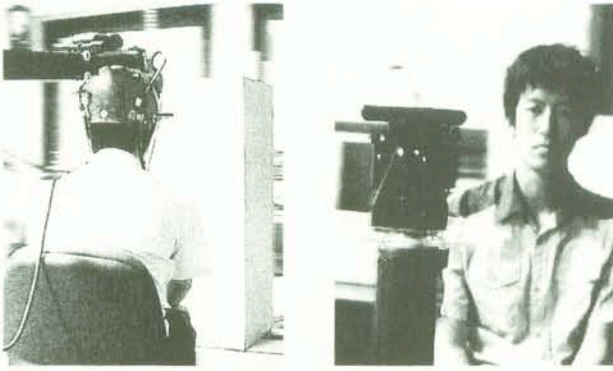
本実験によって、観測者の視点から見た被写体の実画像を直方体型再帰性反射スクリーンに実時間で投影して提示することが可能であることを確認することができた。この手法は次世代レイグジスタンスにおける観測者視点からのロボット操作者の実画像、及び操作者視点からの観測者の実画像を撮像し提示するシステムを実装する有力な手段の一つであるといえる。

## 謝辞

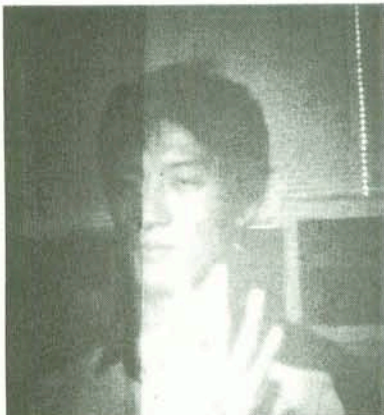
本研究は科学技術振興事業団の戦略的基礎研究推進事業の一部として行われた。

## 参考文献

- [1] 舘, 阿部: テレイ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: テレイグジスタンスの研究 (第29報) - オブジェクト指向型ディスプレイとしての遠隔ロボット -, ヒューマンインタフェース学会研究報告集, Vol.1, No.2, 35-38, 1999.
- [4] 川上 他: テレイグジスタンスの研究 (第31報) - 次世代テレイグジスタンスシステムのための頭部映像撮影・提示系の構築 -, 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] 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.
- [6] 財津 他: テ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 -, ヒューマンインタフェース学会研究報告集, Vol.3, No.2, pp.51-54, 2001.



(a) 正面から観察している観察者側の様子(左)と被写体側の様子(右), 観察される映像(下)



(b) 頭部を側面に回り込ませて観察している観測者側の様子(左)と被写体側の様子(右), 観察される映像(下)

図 6: 実験結果