

# 1602 テレイグジスタンスの研究 第22報

— マニピュレーション作業用実験システム —

機械技術研究所 ○館 暉, 荒井裕彦, 前田太郎, 大山英明, 常本直貴  
安川電機製作所 井上康之

Study on Tele-Existence (XXII)

- Tele-Existence System for Manipulation Experiments -

○ S.Tachi, H.Arai, E.Oyama, T.Maeda, N.Tsunemoto Mechanical Engineering Laboratory  
and Y.Inoue Yaskawa Mfg. Co. Ltd.

## 1. はじめに

離れたところで働く知能ロボットを、人間が必要に応じて、あたかも自分の分身のように自在に制御し利用する技術、すなわちテレイグジスタンス<sup>1)</sup>の工学的実現可能性を実証することをめざして研究を進めている。今回テレイグジスタンスを用いるマニピュレーション作業の効果を体験的に評価し、かつ定量的に解析することを目的として、作業用実験システムを構築し、試作ハードウェアを用いて評価実験を行ったので報告する。

## 2. マニピュレーション作業用実験システム

マニピュレーション作業用実験システムは、人間型スレーブロボットとその移動装置、作業用マスター・システム、人工現実感創出システム、及び作業対象となる。スレーブロボットは、基本的には第13報で報告した人間型ロボットに第19報の改良を加えたロボットであるが<sup>2), 4)</sup>、今回それに移動のための移動装置を付加し、ハンド部を改良した。マスターについても、第18報と第19報のマスター<sup>3), 4)</sup>の視聴覚提示装置をさらに改良している。視聴覚提示装置、ハンド部とインピーダンス制御によるマニピュレーションの詳細はそれぞれ第23報と第24報で報告することとし<sup>5), 6)</sup>、ここでは全体システム構成と基本的システム動作の概要を述べる。

テレイグジスタンスマニピュレーション実験用マスター装置をFig.1に示す。これに乗り込み、遠隔のロボットとの通信路を確立すれば、オペレータは、その場にいながらにして、遠隔で働くロボットと自分自身が一体化したような感覚を得ることができる。操縦者の手の運動や首の運動がエンコーデを用いた測定装置で実時間計測され、コンピュータと通信装置を介して、ロボットに送られる。平行リンク構造

とユニバーサルジョイント構造によるカウンターバランス機構により、オペレータは頭部の運動を拘束されず、しかも装置の重量を意識せずに、空間内6自由度の運動が自由に行なえるようになっている<sup>3)</sup>。

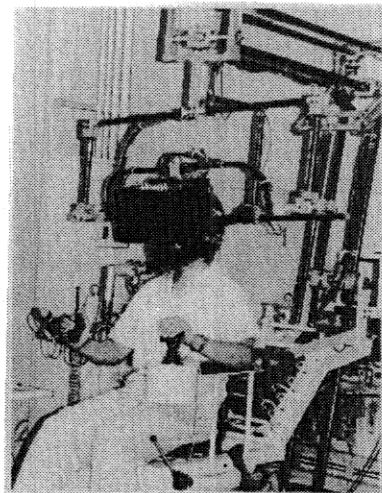


Fig.1 Tele-Existence Master System.

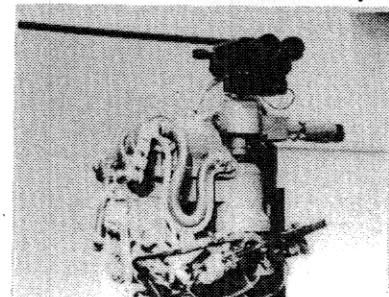


Fig.2 Anthropomorphic Slave Robot (TELESAR).

Fig.2に示すロボットが、大きさや自由度配置を人間に合わせて設計したテレイグジスタンス用スレーブロボットTELESAR (TELE-existence Surrogate Anthropomorphic Robot) である。頭部には立体視

カメラとマイクロフォンを搭載し、人間の見たい方向、聞きたい方向へ実効上時間遅れなく向くことができる。このロボットは、平面内の2自由度の並進と1自由度の回転が可能である。Fig.3にスレーブロボットの移動装置の構成と可動範囲を示す。

ロボットの得た感覚情報は、オペレータに送られ、オペレータは頭部に結合された提示装置を使って、ロボットが見たり聞いたりしたのと原理的に同一の歪のない空間を、天然色かつ三次元で体験できる。

オペレータが作業を行うと、人間と同一の自由度配置に設計された7自由度のスレーブ腕機構が、その動作を忠実に再現する。オペレータは、自分の腕の存在する場所にロボットの腕を見て、視聴覚情報と姿勢・運動感覚情報が整合した状態で作業を行える。

Fig.4に今回構成した実験システムのブロック図を示す。このシステムでは、実世界(Real World)へのテレイングジスタンスに加えて、コンピュータが創出した仮想世界(Virtual World)へのテレイングジスタンス、さらには、現実世界と仮想世界の重ね合わせを可能とするため、コンピュータグラフィックスの立体的スーパーインポーズ機能を付加している。人工現実感機能の詳細については、第25報と第26報で述べる<sup>7, 8)</sup>。Fig.5に画像関連信号の流れを

ROBOT

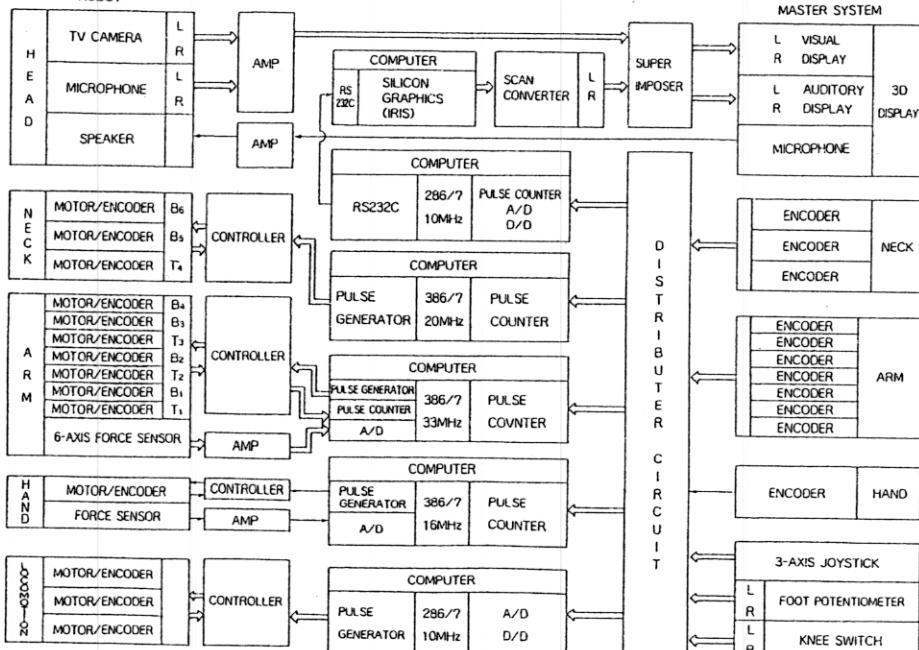


Fig.4 Block Diagram of the Experimental Tele-Existence Manipulation System.

示す。左眼の結線が実験時に用いたもので、現在は右眼に示す方式とし簡略化を図っている。

### 3. 作業実験

テレイングジスタンスのメリットを明らかにするため以下に示す4種類の実験を行った。

(1) テレイングジスタンスを用いることにより、従来のロボットが不得意だった人間的な作業が自由に行えることを示す実験。

ランダムに置いた標的に棒を差し来んだり(Fig.6)、適当に配置した物体を積み重ねたりする作業を行った(Fig.7)。正確な立体視能力に加え、目と手の関係が直接作業する場合と同一の条件に保たれている為、誰でも特別な練習や訓練をしなくとも、人間が

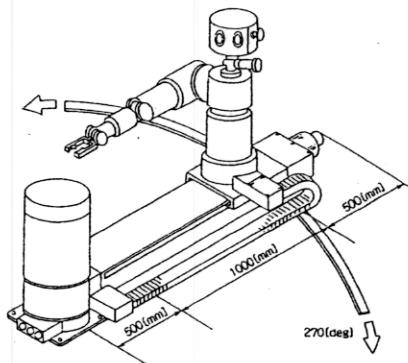


Fig.3 Locomotion Mechanism of the Robot.

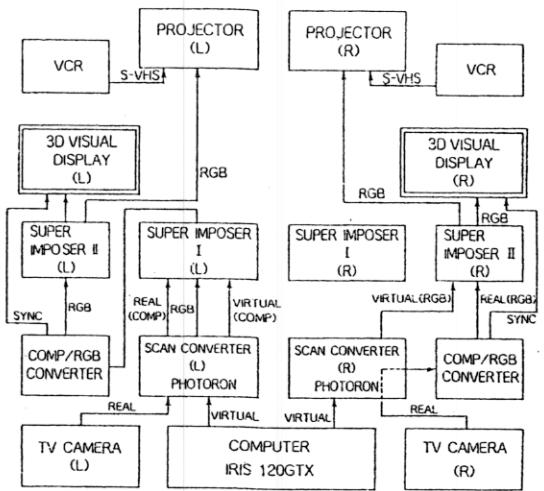


Fig. 5 Visual Information Flow.

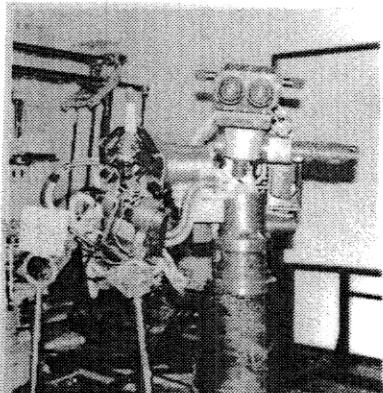


Fig. 6 Insertion of a Stick into a Randomly Arranged Target.

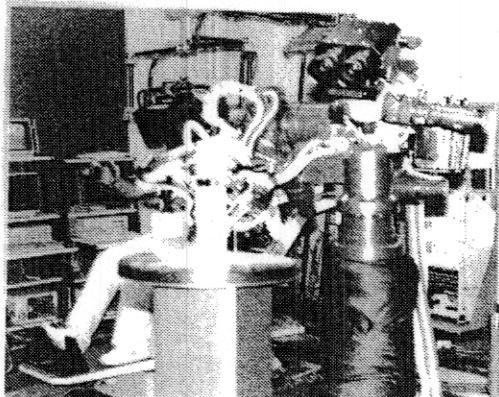


Fig. 7 Handling of Randomly Placed Objects.  
直接行うのとほぼ同等の速度で、ロボットをすばやく操れることが実証された。

オペレータは自分の腕の存在する位置にロボットの腕を見るので、目と手の協調作業が自然に行える。

対象物が動いていても、距離の目測をあやまつことはない。人間の目と手の自然な協調動作がロボットにより再現される。また背景が複雑なシーンでも、立体認識に支障をきたさないので、ロボットのために特別に環境を整備仕直す必要がないなど、今までのロボットや従来の遠隔操作ではできなかった機能が実現されることが実験を通じて実証された。

(2) 実際には存在しない仮想環境をコンピュータで臨場的に構成し、人がその仮想空間内で自由に行動することが可能となる。この人工現実感と呼ばれている技術の第一段階の研究として人が仮想環境にテレイグジストしてそれを有効に利用することが可能であることを示す実験。

緊急事態が発生したことを想定して、ロボットが仮想環境を通過して、作業現場に直行する場面を設定した。緊急作業現場に向っている時のシーンをオペレータがロボットに乗込んでいるかのごとく仮想空間表示した。研究所の2階をモデルとして構成した仮想環境内の走行状況を示した。その結果、本装置により、実際と同一の距離感に基づく移動感覚が得られることが判明した。

また、作業現場の設計図から現場の状態を構築し、それを仮想空間表示した。オペレータは現場への道道、仮想空間を用いて想定される作業をあらかじめ、行ってみることができる。オペレータの動きに応じてグラフィクス画面が実時間で書き直される。オペレータの目の前には、実際と距離や大きさが同一の条件となるように作業対象が表示される<sup>7, 8)</sup>。このシステムによりオペレータは実際の作業を行う前に事前の訓練を行うことができ、実際の緊急作業をより確実かつ迅速に遂行することが可能となった。

(3) 今まで不可能だった作業や、できたとしても長時間を要したり人間にとて危険な作業をロボットと人間の両者を感覚的に一体化したテレイグジスタンスで迅速に行えることを示す実験。

現場に到着するとすぐに状況を調べ、原因をみきわめる。今回の実験では、パイプからリークが生じている状況を設定した。リークの生じたパイプの緊急バルブを閉じて(Fig. 8)有毒ガスをとめ、充満した煙を排煙する(Fig. 9)。そのためバルブのノブを動かしたり、ファンのスイッチを押す作業を行った。作業には、インピーダンス制御を用い<sup>6)</sup>、力の制御をロボット側で行い、的確な作業が迅速に行な

えるよう工夫した。この実験で、無事、緊急事態を、人間の臨機応变の判断力と、認知制御能力を最大限に發揮し、ロボットを制御することで、回避することが可能となることが実証された。

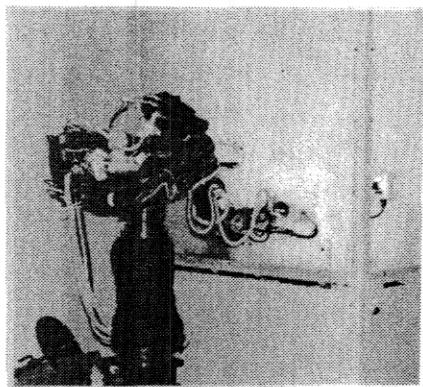


Fig.8 Operation in Hazardous Environment.

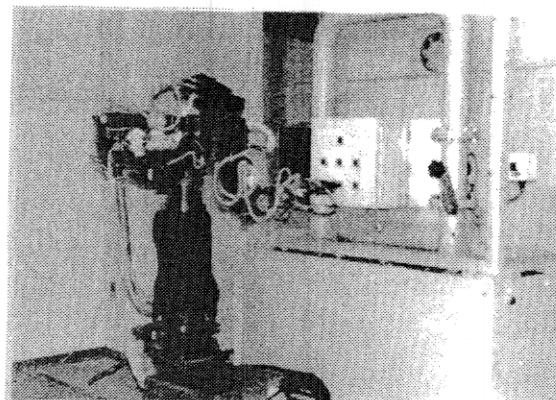


Fig.9 Teleoperation using Impedance Control.

(4) テレイグジスタンスにより、自然な臨場感が得られるため、極限作業ロボットとしての利用にとどまらず、人間とのコミュニケーションを必要とする場面に広く利用できることを示す実験。

人間と共に存する場でコミュニケーションをともなう作業を行った。挨拶を交わした後、生卵を取って人間に手渡した。ロボット側で指先の力を計測しインピーダンスを制御しているので、オペレータが力を入れすぎても卵のような柔らかい対象でも潰してしまうことはない (Fig. 10)。花束の贈呈なども、自然な距離感覚が得られるため安全に行えた (Fig. 11)。これらの実験を通じて、自分の分身のロボットが自分にかわって遠隔の地で人間とともに働き、存在していくことができる可能性が示された。

#### 参考文献

- 1) 館、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、167/168 (1982)
- 2) 館、荒井、前田：テレイグジスタンスの研究 第13報、第27回SICE学術講演会、249/250 (1988)
- 3) 館、荒井、前田：テレイグジスタンスの研究 第18報、第28回SICE学術講演会、433/434(1989)
- 4) 館、荒井、前田、常本：テレイグジスタンスの研究 第19報、第7回日本ロボット学会学術講演会、55/56(1989)
- 5) 前田、館：テレイグジスタンスの研究 第23報、第8回日本ロボット学会学術講演会(1990)
- 6) 館、荒井、大山、前田、常本、井上：テレイグジスタンスの研究 第24報、同上(1990)
- 7) 常本、館、荒井、大山、前田、井上：テレイグジスタンスの研究 第25報、同上(1990)
- 8) 大山、館、荒井、前田、常本、井上：テレイグジスタンスの研究 第26報、同上(1990)

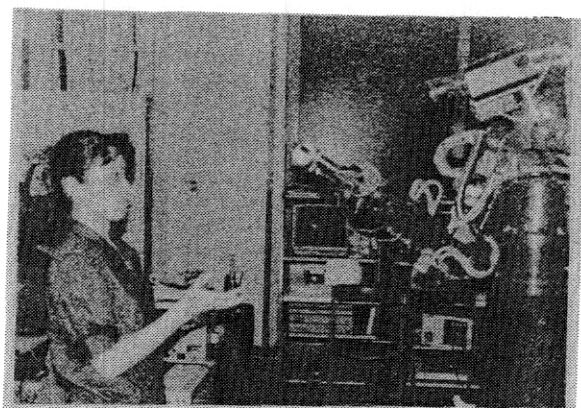


Fig.10 Handling of a Fragile Object.

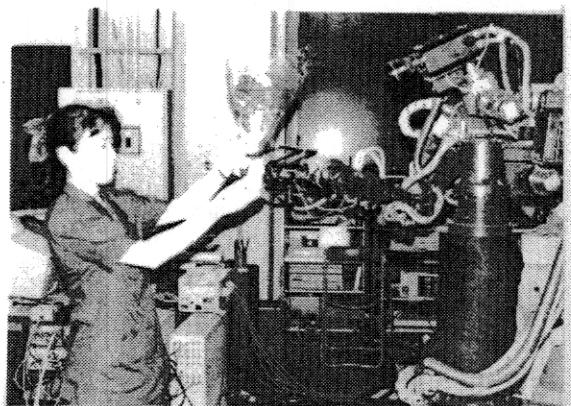


Fig.11 Human Friendly Communication.