

## テレロボティクスの世界

館

障\*

筆者がテレロボティクスなる言葉を初めて耳にしたのは、MIT のシュリダン教授とつくばのあるレストランで昼食をともにしているときのことであった。たしか1985年の初春、おりしも極限作業ロボットのプロジェクトの一環として進んでいたレイグジスタンスの研究もいよいよ佳境に入りつつある時であった。想えば、テレロボティクスは従来のテレオペレーションにロボット技術を融合した概念で、NASA が米国議会の支持を受け、宇宙ステーションをはじめとする宇宙の自動化・ロボット化技術を検討する委員会で作られた新語であり、日本では殆ど知られていなかった時期であった。この委員会は、宇宙ステーション開発資金の少なくとも10% すなわち2,000億円相当を宇宙自動化、ロボット化に利用すべきだとし日本の極限作業ロボットなどのロボット技術の研究開発に対抗したのである。

その時極めて新鮮に響いたこの言葉もいまやしっかりと定着した感がある。もっとも言葉は使わずとも、いわゆるテレオペレーションに端を発するこの一連の研究の流れはロボット分野をはじめ人間生活の根幹をなす部分において常に重要な役割を演じてきている。この随想では、人間能力の補綴と拡張をめざした研究を歴史的にたどりながらその将来を展望してみたい。というのは、「あきらめ鏡にあへば過ぎにしも今行く末のことも見えけり(大鏡)」といわれるように、歴史は常に現在と未来をうつす鏡であるからである。

遠隔の作業現場にある機械の腕を器用に操ることは、テレオペレーション(遠隔操作)と呼ばれ、そのシステムはテレオペレータないしは、テレカイアと称された。これは第二次世界大戦後の原子力の利用とともに本格的に研究開発が進められた技術である。通称マジックハンドと呼ばれるマスタースレーブ・マニピュレータがアルゴンヌ国立研究所のレイ・ゲーツ博士を中心とするグループにより研究開発され、1948年にはANL Model-1と呼ばれる機械式の実用型マスタースレーブ・マニピュ

レータが開発されるに至った。さらに、それを電気式に発展させたANL E1は1954年に完成している<sup>1)</sup>。

さて、このテレオペレーションは、人間がいる場所から隔れた作業現場にロボットの腕があり、それをいわば窓越しに操縦するという方式であり、人間がその場にいるような臨場感がなかった。一方、臨場感が必要な作業は数多く、臨場感を失わずかつ危険な作業環境を回避する方法が模索されるなか、それを解決すべく1960年代に生まれた方式がエグゾスケルトン型人力増幅機であった。これは人間がエグゾスケルトンという外骨格型の機械の鎧のようなものを着て、人間の器用さや大局的で臨機応変の判断を失わず、かつ自分の力を増幅しながら悪環境下で作業を遂行しようという試みである。振返れば、米国における1960年代のテレオペレーションの研究は、このエグゾスケルトン型人力増幅機が主流であった。これは、1950年代後半のGE社のモッシャー博士の研究に端を発するもので、60年代には米軍とGE社の共同プロジェクトに進展したり、例えばハーディーマンと呼ばれる装置は、25倍の力を増幅しながら人間の器用さを保つとされたがこの研究は実現しなかった。もっとも、これからヒントを得て以後現在に至るまで多くのSFや劇画にこの方式が取入れられ活躍しているのは皮肉である。

エグゾスケルトン型人力増幅機が失敗した理由は二つある。第一に、中に人間が入るので、安全性のためにシールドされていても、故障した場合には悪環境下で人間に危害が加わる危険性があった。また、鎧を着込んだ上に力が増幅しているので、故障の場合、人間がそのまま機械に壊されてしまうことになる。第二に、実際に人間が入るように設計するのは困難であった。つまりセンサーやコンピュータ等を入れるスペースが全くとれないのである。本来なら人間が入っているスペースこそ、コンピュータやセンサーを配置しなければならない重要なスペースである。その意味では絵には描けても工学的には実現が困難であったと言える。コンピュータやセンサが十分に配置できなければ、人間が動かないとロボットも作動しない。それでは人間にとって苛酷な状況はかわら

原稿受付 1993年8月2日  
The World of Telerobotics

\* 東京大学先端科学技術研究センター

ない。人間がやらないでも済む事はロボットの自律機能にまかせたほうが良いことは明白である。

テレオペレーション技術に自動化の手法を組み合わせた方法がスーパーバイザリコントロール（管理制御）で、1970年代にこの概念は広く様々の分野で利用されるようになっていった。この概念は1960年代の後半、MITのシュリダシ教授によって提唱された。これは、最初は宇宙におけるテレオペレーションのために考えられた概念であるが、現在では宇宙に限らず海洋その他多くのテレオペレーションの場面で利用されうるとされている。例えば火星や月に送ったロボットを、地球上のオペレータが遠隔操作しようとしたとすると、何秒というオーダーの指令情報と感覚フィードバックの伝送に必要なむだ時間のために、オペレータは、手を少し動かして、その結果が戻るのを待って、また次の操作を行うという順を少しずつ丹念に繰り返さなければならない。このため、作業時間が増加し作業能率が著しく低下するほか、オペレータの心理的負担が増大する。また、突発事故の時には間に合わない。そこで、管理制御では、人間は従来のマスタースレーブ方式のように、すべての動作を逐次送るということをやめ、ロボット言語による命令として伝達する。そのために、遠隔のロボットにローカルのコンピュータを配し、そのコンピュータは地上から送られたマクロな命令を解釈し、それを実行可能なシーケンスとし、ロボットのアクチュエータに働きかける。ロボットからのフィードバックも整理して、その結果を地上に送る。このような自律性をロボットに与えることにより、作業

能率が向上する。ソ連の月面車ルナホートにはこの管理制御方式が採用され、その有効性を示したといわれている。

しかし管理制御をもってしても、臨場感の問題はやはりなら解決はできなかった。そのような時、管理制御の良さとエグゾスケルトン型人力増幅器の臨場感の利点を止揚した形で生まれた概念が1980年に日本で生まれた。それがトレイグジスタンスであった<sup>2)~4)</sup>。

トレイグジスタンスのシステムでは、ロボットはある程度自律しており、それを悪環境下で働かせるようになっている。従ってそれぞれのロボットは、自分なりの知能を持ち、人間はいながらにしてこれらを管理制御する。しかしロボットが自分の力だけで作業をするのには限界のある場面がある。その時には人間の手助けが必要となるが、それには遠隔操作では不十分である。ロボットが対処できない場面には、人間の大局的な判断や目と手の協調という作業も必要となるので、面倒なオペレーションでは対処できないからである。

そこで人間がいながらにして、エグゾスケルトン型人力増幅機のような効果をもたらす必要がある。つまり自分がロボットの中に入り込んだような状況を作り、ロボットに代わって人間が作業する。そしてある程度うまくいったら、元の自立モードに戻してロボットに作業させるのである。このようにトレイグジスタンスは、テレオペレーションでありながら、バーチャルには（効果として実質的には）エグゾスケルトン型人力増幅機を実現するものといえることができる。

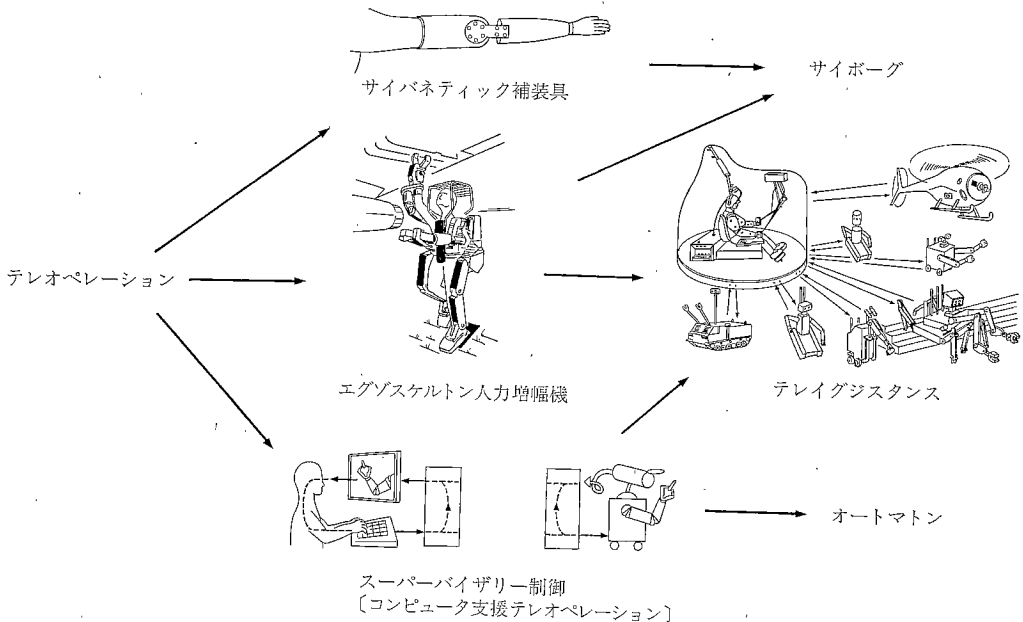


図1 テレロボティクスの進展

筆者は「メカトロニクスのはなし」という書物のロボットとサイボーグと名付けた章のなかで、人間の太古からの夢には大別して二つあり、その一つが、自分の命令に従って仕事をすべてやってくれる忠実な能力のある下僕をもつことであり、もう一つが修業を積み自分自身の能力を最大限に高めて、いわゆる超人となることであると論じた<sup>5)</sup>。これはロボットパラダイムとサイボーグパラダイムと言い換えても良いであろう。

テレオペレーションから発した技術の流れは、図1に示すように、人間能力の補綴としてのサイバネティック補装具、エグゾスケルトン型人力増幅機、スーパーバイザリ制御へと進展し、最近になってテレレジスタンスに止揚された。

補装具と人力増幅機の目指すさきには、サイボーグがあり、管理制御の一つの最終目標は、完全なロボットとしてのオートマトンがある。そのなかで、テレレジスタンスは人間の時空の制約を越えるという意味で超人指向でありながら、一方オートマトンとしての自律ロボットと自在に交信する意味から、将来まさにロボットとサイボーグという二つの夢の掛け橋としての役割を担ってゆくであろう。

## 参 考 文 献

- 1) E. G. Johnsen, W. R. Corliss: Teleoperators and Human Augmentation, AEC-NASA Technology Survey NASA SP-5047, Dec. 1967.
- 2) 館 障, 阿部 稔: テレレジスタンスの研究第1報—視覚ディスプレイの設計—, 第21回計測自動制御学会学術講演会予稿集, pp.167-168, July 1982.
- 3) 館 障: テレロボティクスとテレレジスタンス, 計測と制御, Vol.28, No.12, pp.1059-1064, 1989.
- 4) 館 障: 人工現実感, 日刊工業新聞社, 1992.
- 5) 館 障: メカトロニクスのはなし, 日刊工業新聞社, 1984.

## 館 障 (Susumu TACHI)



1968年, 東京大学工学部計数工学科卒業。  
1973年, 東京大学大学院工学系研究科博士課程修了, 工学博士, 東京大学助手, 昭和50年通産省機械技術研究所研究員, その後主任研究官, 遠隔制御課長, バイオロボティクス課長, 1979年から1990年, マサチューセッツ工科大学客員研究員, 平成元年, 東京大学助教授, 平成4年, 東京大学教授に就任, 現在に至る。IEEE/EMBS学会賞, 通産産業大臣賞などを受賞。国際計測連合学会 (IMEKO) ロボティクス会議議長を務める。(日本ロボット学会正会員)