

テレグジスタンスと私

館

障*

ロボット学会が10周年を迎える。ロボット学会の創設に向けて熱い議論をかわし、組織作りの作業に奔走し明け暮れた日々がつい昨日のように思いだされる。その頃の回想はもう少し時代を経た20周年にでも披露することとし、本特集では、その頃時を同じくして、やはり日夜情熱を燃やし片時も心を離れることのなかったテレグジスタンスの研究の黎明期の頃を回想してみたい。

そもその始りは、1980年の夏であった。客員研究員として滞在したMITでの1年間の研究生活を終え、つくばに移転した機械技術研究所にもどってきた。75年に着想し予備的研究を経て77年から開始した盲導犬ロボットの研究はまさに大詰を迎え、MITでの成果を盛りこみつつ1年間の遅れを取返すべく心血をそそいでいた。MITでは、ボストンアームで有名なマン教授とともに盲人の歩行補助装置の系統的かつ定量的な評価方法を提唱し研究を行った。すなわち、盲導犬ロボットが得た経路情報や障害物情報をいかに盲人に伝えたらよいか、その最適な方法を定量的に見出すために装置・人間・環境総合シミュレータを構築しその実現を計った。シミュレータの構想はマン教授が60年代に提唱したアイデアである。仮想的な補助装置を利用し行動する人間の運動を実時間で計測し、その結果から仮想障害物と仮想装置のインタラクションを計算機が算出し人間に障害物情報を提示しつつ、その時の人間の行動を評価規範として装置の最適設計を可能にしようとするものである。

盲人用歩行補助や感覚代行においては視覚情報を視覚以外の感覚器官を利用して人間に伝達し人の歩行を如何に可能とすることができるかという大問題がある。これを調べるには晴眼の人間がどのような感覚情報を環境から得て歩行を行っているかを実験的に調べることが重要であるが、そのための効果的な手段が皆無であった。装置・人間・環境総合シミュレータに視覚機能を持たせれば、人間の移動にどのような情報が必要なのかを実験的かつ系統的に調べる事ができる。すなわち、移動する人間の運動状態を実時間に計測しその状態に基づいて仮想的な環境との相互作用を計算機が計算し、その時見えるべき環境からの視覚情報を臨場的に人間に提示する。そ

れが可能となれば、その情報の量と質を計算機の制御下で変化させ、それによる人間の行動を評価規範とすればどの情報が人間の移動にとって根本的に重要かが定量的に解明されるであろう。

ところがそのアイデアの決定的な問題点は、当時の計算機の能力が低くそれが工学的に実現できない点にあることは明白であった。そこで仮想環境ではなく実環境を用いロボットを利用したらどうだろうか考えた。ロボットを障害物の存在する環境で人間の意志に従って移動させ、人間にはロボットの見た視覚情報を自分がその場にいるのと同様に伝えるシステムを構成することができれば、前記の研究の第一段が踏出せる筈である。しかし、ロボットの得た視覚情報を人間に自分が直接見ているように与えることがはたして可能であろうか。そのような研究は当時皆無であり、アイデアさえもなかった。それにもかかわらずなぜか実現できそうな思いにかられ考えに耽けて寝ても覚めてもその事が頭から離れる事がなかった。雑巾でも絞るようにきりきりと頭を絞っても絞っても解決の糸口さえも掴めなかった。勿論当時は解決できるという保証さえあろうはずはなかった。時にはやはりそのようなことは不可能なので、それで今まで誰も提案していなかったのではないかという思いが頭をよぎった。しかし、また次の日には思い直して違う観点から考え始めていた。

それは秋も深まったある日の朝、研究所の廊下での事だった。所詮人間の視覚は波動に基づいており結局二つの目の網膜に映し出された2枚の映像だけしか人間は利用していない。ただ、時々刻々の変化を能動的にとらえそれから3次元を再構成しているのだという事実を再発

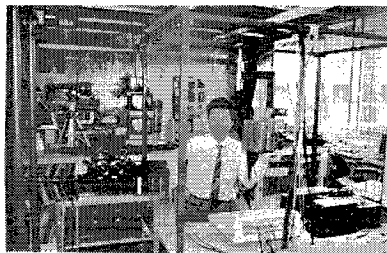


写真1 初期のテレグジスタンス実験装置と筆者 (1984年ごろ)

A retrospective on tele-existence

* 東京大学先端科学技術研究センター

見した瞬間だった。直接視で得られるのと同じ網膜像を計測と制御の力で人間に与え続けられれば良い。その瞬間それまでのもやもやが一瞬のうちに霧散するのを感じて軽い身震いをおぼえた。すぐ研究室にもどり、ノートに向って溢れるように浮んでくる考えを次々とまとめていった。驚くべき事ではあるが、視覚提示の原理も同時にいわば大悟した。

それがテレグジスタンスになるのには、後いくらかかからなかった。ロボットに於ける利用法も自然と浮んできた。テレグジスタンスでは、離れたところにいる人間（操作者）が、ロボットの存在する場所で直接作業しているかのような高度の臨場感をもってロボットを遠隔操作する。つまり自分の分身のロボットが自分の代わりに仕事をしていて、それでいて、その状況が手にとるようにわかる。また必要な時には、そのロボットに代わって、自分でその仕事を直接しているような感覚を持ちながら実行できる。遠隔の作業現場にある機械の腕を器用に操るための、いわゆる従来の遠隔操作の概念はテレオペレータと呼ばれていた。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、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を中心に研究開発された。しかし、テレオペレーションではその場にいるような臨場感は伴わず従って人間の大局的判断や器用さを遠隔で十分に発揮できなかった。その点を補うべく1960年代に米国において人が機械の中に入って操縦するエグゾスケルトン型と呼ばれる人力増幅機械が研究されたが、この研究は、ロボット技術がまだ未成熟であったことに加えて、人がロボットの中に入りこむという危険をはらんだ設計思想自体が問題で実用に至らなかった。しかし、テレグジスタンスの概念を用いてロボットの制御に用いれば、人力増幅機の中に人が入りこむというような危険なことをしなくとも、また重要なスペースを人間に裂く事なくロボットを自律化知能化しつつ、必要に応じて人が中に入っているのと同等の感覚を確保しながら制御し作業を行うことができるわけである。従って、通常はロボットに任せておいて必要な時にのみテレグジスタンスすればよい。まさに、テレオペレーションとエグゾスケルトン型人力増幅機と管理制御の行着く先を見出したという感慨があった（計測と制御、第3世代ロボット、Vol.21, No.12, 1982）。

最初の特許はその年の内に盲人用歩行補助器評価装置として出願し、ロボットへの適用は感覚情報呈示機能をもったマニピュレータの操縦方法として年が明けてすぐに出願した。アイディアが次々と浮びテレグジスタンスの概念が固まるにつれ、これが工学的に実現可能であ

ることを実証したいという衝動にかられじっとしていることができなかった。1981年に入って早速、盲導犬ロボットの評価という名目で特別研究の予算を割いて最初の実験装置の設計に入った。装置が完成したのはその秋、白黒ながら、眼前に臨場感溢れる別世界がすぐにも手に届くように広がった時の感慨は筆舌に尽くしようもない。これを発展すべく盲人用とロボット制御の二つの特別研究の申請に取掛かった。

明けて1982年、おりから新しいロボットの大型プロジェクトの種を探していた通産省機械情報産業局産業機械課の当時課長補佐だったU氏から、テレグジスタンスの考えとそれに基づく第3世代のロボット技術のパラダイムに深い感銘を受けたので、是非ロボットプロジェクトの研究計画の立案をして欲しいと依頼され、夜を徹して計画書を完成させた。それが採用され原案となり省内の賛同が得られ、多少の修正を経て所謂「極限作業ロボット」の大型プロジェクトが誕生した。その年の末に大蔵省に認められ1983年から8年間200億円の国家予算で世界に魁けた第3世代ロボットの研究開発として開始された。これがその後サミットに基づくAdvanced Roboticsの国際共同研究へと発展していったのは周知のとおりである。

その間にもテレグジスタンスの基礎研究を進め、最初の学会報告を1982年夏に計測自動制御学会で行った。世界で初めて日本の学会でテレグジスタンスなる言葉が使われた。その後、米国ではミンスキーにより1983年に発表されたARAMISの報告書のなかでテレプレゼンスとよばれ同様のコンセプトが発表された。テレグジスタンスは前述のように大型プロジェクト「極限作業ロボット」の研究開発計画の大きな柱の役割を担い、またその中で実際の研究が進展した。その結果現在では、その工学的実現可能性が理論的にも、また実際のハードウェアシステムによる実験からも実証され、基本システム的设计法が明確になっている。さらに、本研究の成果は海洋作業の実証機にも組込まれ実用に近づいている。

それにしても、テレグジスタンスに思い至って世界に対する見方が一変した。長年懸案だったubiquitousの意味も実感できる気さえた（日本ロボット学会誌、Vol.4, No.3）。テレグジスタンスと人工現実感とはメディアを変えるであろう。人間の時空の制約を解放するであろう。存在とか現実とかの本質にせまるということもあながち絵空言でもあるまい。このように近年、人工現実感とテレグジスタンスはさらに多くの可能性を広げ、21世紀に向けてのキーテクノロジーとして世界が注目している。しばらくは、テレグジスタンスと人工現実感に明け暮れる毎日がまだまだ続きそうである。