

20年後の テレイグジスタンス

Tachi Susumu 館 暉

テレイグジスタンス研究委員会



1. テレイグジスタンス発祥当初1982年のシステム提案

テレイグジスタンス (telexistence)^[1] の概念が生まれたのは、1980年9月19日であるが、テレイグジスタンスの概念が、まとまったかたちで学会誌に公表されたのは、1982年12月に発刊された『計測と制御』に掲載された「第三世代ロボット」の論文中である。その中で図1に示す人間・ロボットシステムとして提案されている。以下に、その論文から提案システムと説明を引用する^[2]。

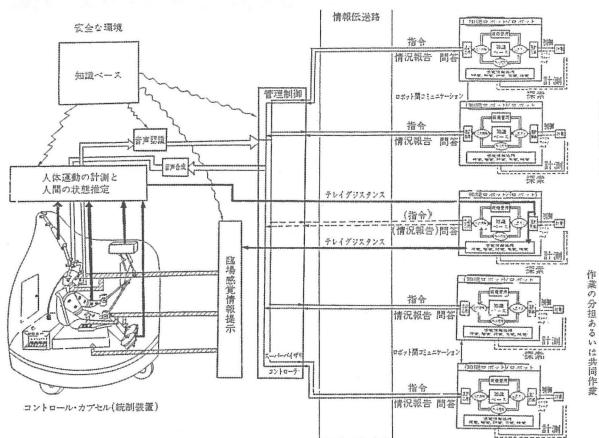


図1 人間・ロボット・テレイグジスタンスシステム^[2]

[引用はじめ] 数台の自立移動型知能ロボットがコントロールカプセル（統制装置）内の操作者（管理者）の命令に従って、危険かつ苛酷な作業環境内で作業を分担し、かつ必要に応じて共同しながら働いている。その作業分担やプランニングスケジューリングは管理制御装置（一種のスーパバイザリコントローラ）が受持ち、各知能ロボットからは、仕事の進行ぶりに関する報告が逐次送られてくる。それらはスーパバイザリコントローラで整理され、たとえば音声（視覚・触覚でも可）で操作者に伝わる。操作者は、自然言語に近い言語で命令を下し、判

断結果を伝えれば、音声認識装置、スーパバイザリーコントローラを経て各知能ロボットへの命令として伝達され、知能ロボットは目的を理解して自らの知能や知識を活用して目的の逐行をはかる。ロボットの感覚器の情報はロボットの知的動作のための重要な情報源であるが、それらは操作者によっても隨時モニタされている。

安全性からのチェックも知能ロボット自体、スーパバイザリコントローラレベル、操作者といった三段階で行っており、その意味で安全性が高められている。

知能ロボットが、独自の能力では対処しえない困難な作業に直面したとき、ロボットからの要請あるいは操作者の判断で、そのロボットを遠隔操縦モードに切りかえる。その際にも従来のいわゆる遠隔操縦の方式ではなく操作者がそのロボットの中に入りて操縦しているような高度の遠隔臨場感 (tele-presence) と自分の腕を操るに似た高い操作性 (tele-operator) をもって作業のできるテレイグジスタンス (tele-existence) の方式を採用する。その際、知能ロボットの各サブシステムは人の指令によって自由に制御される操縦型ロボットとして働く。

テレイグジスタンスでは、操作者の人体運動や力の状態などが実時間で計測され、操作者の内部状態が推定される。その内部状態がロボットに伝送され、直接ロボットの運動制御回路をコントロールする（図中では第3番目のロボットがテレイグジスタンスマードで制御されており、太線が人とロボットの間の情報の流れを示している）。人の動きを忠実に再現してロボットの人工の目、首、手、足などが制御される。そのときのロボットの人工の感覚器からの情報はすべて対応する人間の感覚器に直接提示の方式で送られる。たとえば、操作者が見たい方向を向けば、ロボットも同一方向を向いて、そこに人がいたときに見える状景に対応する像を人の網膜上に実像として結像する。操作者が腕を目の前にもってくると、視野内にはロボットの手が同じ位置関係であらわれてくる。

る。したがって人は自分の手と対象物、さらには囲りの空間との関係を、自分の過去の経験と同一の関係でとらえて作業ができる。ロボットが物体にふれた感覚は、人の手に皮膚刺激として提示され、操作者は自分でふれたのに似た感覚を有して作業を行え、理想的には人が直接作業するのと同程度の、現実的には人がロボットの中に入り込んで作業するのと同程度の操作性をもって、人の器用さを生かした作業が逐行できる。

ロボットがもつ放射線、紫外線、赤外線、マイクロ波、超音波、超低周波などのセンサ情報（超感覚情報と呼ぶ）も、操作者がたとえば、夜間は赤外センサ情報を可視光に変換して提示して闇の中で物を見たり、超音波情報を可聴周波数に変換して通常は聞えない情報を操作者が利用したりできる。また、通常の視覚ディスプレイ上に超感覚情報をスーパーインポーズしたり、通常利用しない皮膚感覚チャネルを利用して提示できる。それらの情報を有効利用して操作者は人間能力の拡張をはかれる。また、ロボットの腕の操作性を高めて自分の腕のように制御すれば、通常もてない物がもてるという意味での人形增幅機が実現されることになる。

さらに、カプセル内の知識ベースをたとえば、MITのMedia Room のようにアクセサビリティの高い方式で利用することにより操作者の判断がより確実なものとなろう。知識ベースを人の記憶の補助や計算の補助として使う以外に、人の動きをそのままロボットに送るのではなく、熟練作業者の動きに修正して送ることなども興味がある課題である。

これらのシステム技術は、工場やプラント、コンビナート内の危険、劣悪環境内作業、原子力プラントの点検、修理、危険作業、放射線廃棄物処理、宇宙海洋での探索、修理、組立作業、災害時における搜索、人命救助、復旧作業、通常時においては、清掃事業、土木建築作業、農林水産業、警察、探険、レジャー、テストパイロットやテストドライバーの代替などの応用の可能性をもつ根幹技術である。[引用終わり]

上記から明らかなように、このシステム設計の考え方は、現在でも変わることがない普遍的なものである。実際、この論文に示された応用のいくつかは、34年の歳月を経て、現在、まさに実現されようとしている。すなわち、このシステムと上記の応用分野が、いまこそ、これから20年後のテレイグジスタンスとして現実味を帯びてきているといえよう。

2. アールキューブが描くテレイグジスタンスの未来像

テレイグジスタンスの概念が中核となって、「極限作業ロボット」の大型プロジェクトが生まれたことからも分かるように、最初のテレイグジスタンス応用シーンは、

我々が何気なく享受している現代社会の発展と安全を支える過酷な労働を、より安全で居心地が良く働きやすい環境下で行うというものであった。

1990年代になり、ネットワーク社会のなかでのテレイグジスタンスの活用が『アールキューブ』として提案された。その中で、生活の場面で使用されるテレイグジスタンスの未来像が『アールキューブストーリー』として描かれている^[3]。

第1幕には、78才にして世界最高峰のエベレストに挑みつづけるK井N助が登場する（図2）。10年前に実際の登山で大事故に会い生死の境をさまよった末、九死に一生を得た。しばらく寝たきりの日が続いて社会復帰の気力も喪失していた時、医者が勧めてくれたのがテレイグジスタンスだった。爾来、彼は、テレイグジスタンスでリハビリして、いまではエベレストに挑戦している。彼の分身ロボットのエネルギーが切れかかった時、それを助けにきてくれたエネルギー補給のヒューマノイドは、I原U子という20才前後の女性が、アルバイトで東京の自宅のコックピットからテレイグジスタンスしているものであった。

第2幕は、そのI原U子が、シンガポールで、S川F夫とテレイグジスタンスデートをする前のわずか30分を使って、友人のM美とロンドンでテレイグジスタンス



図2 テレイグジスタンスでヒマラヤ登山

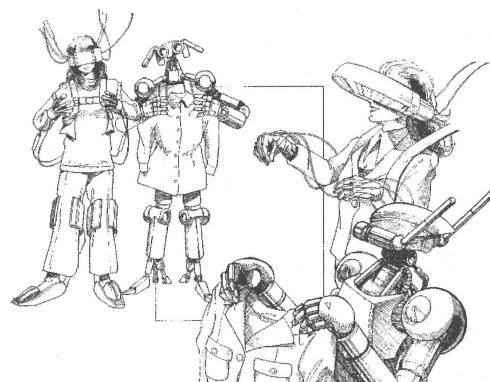


図3 テレイグジスタンスでショッピング

ショッピングをする場面から始まる。U子のレンタルヒューマノイドに比して、M美のヒューマノイドは、最新型で微妙な生地の触感が伝わってくるのである。服地の感触を味わうのにはこうではなくてはいけない(図3)。U子は、うらやましい気持ちにかられる。しかし、それをたちきり、F夫とのデートのため、ロンドンからシンガポールにスイッチを切り替えた。二人が会ってまもなく、F夫に災害本部から緊急連絡が入った。

第3幕は、テレイグジスタンス会議から始まる。S川F夫は、直ちに現場に向かい指揮体制の起案を命じられる。大被害で容易には近付けない地域には、空中からパラシュートでロボットを落下させる。F夫に割り当てられたものも十分前にパラシュートで降りてきたヒューマノイドである。合流したZ田のヒューマノイドとともに被災地で活動する。F夫は、少年の瓦礫の下に埋もれた祖母の助けの求めに応じ、瓦礫の山を搔き分け、なかに据っていた老女を無事助け出す。しかし、その直後、後ろの分厚い壁が突然崩れ落ち、ヒューマノイドが下敷きになってしまう。すぐに建設機械なみの大きさのL型を手配してもらい、それに乗り換えて下敷きになったヒューマノイドを引っ張り出しが、修理が必要で困り果てる。そのとき、アールキューブクラブの会員でボランティアとして現地いりしているP川G之というアールキューブナードにテレイグジスタンス修理をしてもらえた。

第4幕の冒頭では、アールキューブを趣味や仕事にするアールキューブナードの生活を紹介している。ほとんど一日中コックピットで過ごす。運動も分身をスポーツセンターに行かせて、自分はコックピット上でトレーニングする。P川G之は、ウインブルトンで取材中の新聞社のヒューマノイドの修理の依頼を受け、未発表の最新機種KX型にログインする。

第5幕には、アールキューブが大嫌いな新聞記者D村J郎が登場する。就職先をB新聞社にしたのもそれが最大の理由だった。入社当時、B新聞社はアールキューブを批判する特集記事を組んだ。しかし、B新聞社も数年ほど前から、手のひらを返すようにアールキューブ推進派となつた。J郎も取材にテレイグジスタンスを不承不承使い始めたところだった。ヒューマノイドを修理してもらい、ついでに、G之をおだてて、アールキューブ・ヒューマノイドとして出場して優勝した正体不明のヘル・ゲオルグ・シユナイダーのコックピットのありかを突き止めもらう。J郎は、すぐにスイスにテレイグジスタンスで飛んだ。自宅に訪れると扉を開けて出てきたのは車椅子に乗った身体障害者の青年だった^[3]。

アールキューブストーリーの描く未来は、いまから20年前に描かれたテレイグジスタンスの未来である。この

世界は20年たった今も、いまだ実現されていない。しかし、このような世界を指向する動きは現在急速に高まっている。従って、この世界は、20年後、あるいは30年後のテレイグジスタンスの世界といえよう。

3. 遠隔就労とテレイグジスタンス社会

34年前のシステム提案と20年前のアールキューブの描く未来の両者ではなく、しかし、これから社会にとって重要なテレイグジスタンス応用が最近になって提案された^[4]。それが、就労にテレイグジスタンスを利用するという新しい考え方である。

現在我が国をはじめ先進諸国では、大都市への人口の一極集中、高齢者の増加と少子化による働き手の減少、移民による文化摩擦や治安の悪化、子育てと労働の両立の難しさ、通勤に時間がとられ自分の時間が持てないなど、多くの困難な課題を抱えている。

しかし、実は、人の移動の概念を変え、実際的な移動を伴うこと無く身体機能を移動させることができれば、この困難を克服することができる。今までの遠隔からの在宅勤務は、映像や資料、また会話などを伝える遠隔コミュニケーションやペーパーワークに限られ、実際にその場に居ないと行えない工場での労働や建設現場の作業などを在宅で行うことは不可能であった。テレイグジスタンスは、五感のみを伝える遠隔コミュニケーションという従来の範疇を逸脱して、人間の身体機能そのものを伝達してしまう画期的な方法である。

従って、身体機能を移動できるテレイグジスタンス社会が実現すれば、人と産業との関わりや社会のありかたが、根幹から変革する。労働環境の問題が解消され、悪環境で働くなくとも済む。どんな場所に工場を置いても、仕事をする人を全国、あるいは全世界から集められるため、今までとは工場の立地条件が革命的にかわり大都市への集中が避けられる。国外の労働者も遠隔から就労できるため、移民問題を解消する。さらに時差を利用して24時間の労働力を複数の国外拠点から確保でき夜勤が不要となる。男女問わず育児しながらの労働参加が可能となり、子育てをしやすい社会となる。

このように、テレイグジスタンスを就労に用いれば、グローバルなビジネスにおける移動による時間的コストを解消する。通勤に伴う移動が不要となり、交通問題を緩和できる。職住近接が必ずしも必要ではなくなり、都市への人口集中が緩和され、ワーク・ライフ・バランスを改善し、本人が住みたい場所に住んで、生きがいのある生活を行えるようになると予測される(図4)。

また義体である分身ロボットにより身体機能を補綴・拡張することで、高齢者や障害者でも若者に体力的に負けず、豊富な経験を活かした労働参加が可能となり労働

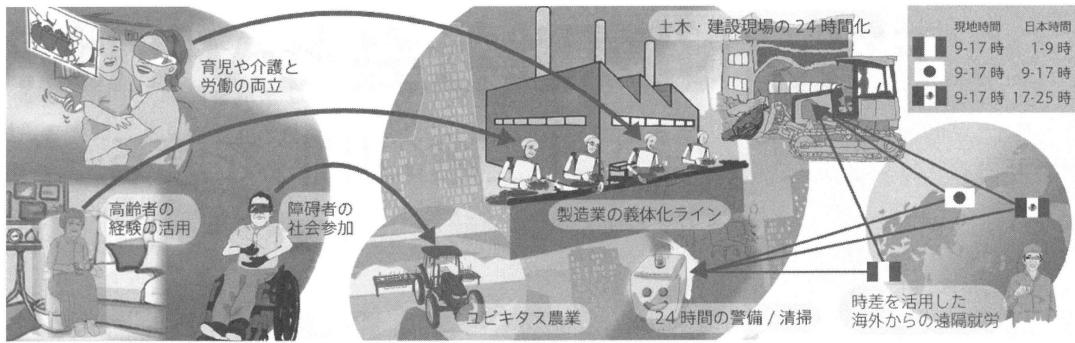


図4 テレイグジスタンスによる遠隔就労

の質が格段に向上し日本の活力がよみがえる。世界的に一流のスキルを有する技術者・医師等の専門家の招聘も容易になり、職能に応じた人材の最適配置が行える。

将来的には、災害時や非常時の緊急対応を安全な場所から瞬時に行う／當時の医療や介護／医師や専門家の過疎地への派遣／新たな観光・旅行・ショッピング・レジャーなどの産業創出によって、国民の利便性と生きがいを飛躍的に向上し、クリーンで省エネルギーな社会における健やかで快適な生活が実現されると見込まれている。

4. 20年後を見据えて

20年後のテレイグジスタンスを予測するに際して、三つのテレイグジスタンスの未来像を今まで発表された論文や著作から年代順に振り返ってみた。

最初の未来像は、34年前のものである。1982年に公表された考案で、通産省の大型プロジェクト「極限作業ロボット」(1983年4月～1991年3月)のリーディングコンセプトとなった。

2番目の未来像は、ネットワークでロボットを結び、それに自在にテレイグジスタンスすることを目指したアールキューブの考案で、これがもとになり、通産省の大型プロジェクト「人間協調・共存型ロボット(HRP)」(1998年4月～2003年3月)が発足した。

3番目の未来像は、最近のものである。JSTのACCEL「身体性メディア」プロジェクトにおいて、遠隔就労に必須の、触覚をメディアのレベルにひきあげる研究開発を行われている。

三つの未来像は本質的には、違いがあるわけではないが、最初のものは、どちらかといえば人間の危険で過酷な作業を安全かつ快適に行うというコンセプトであり、2番目は、ネットワークを介して人間を自在にする、また人間の存在を拡張する、さらに、失なわれた機能を回復するというものである。3番目は、両者をあわせ、現在、世界が抱えている課題を解決しようとするもので、「社会のための学術」としての立場からの提案である。

なお、ここでとりあげなかったが重要なテレイグジスタンス応用として、テレイグジスタンスを人間の解明に使うという応用がある。著者が、1981年に最初の装置を作つて自分自身を見た時の感激は忘れない。見ているのが自分なのか、見られているのが自分なのか自問自答した。初めて体験した人が一様に感動する一種の幽体離脱にも似た体験である。そのほか、人間以外のものにテレイグジスタンスして動物の仲間入りをしたり、訓練なしにスクーバダイビングに興じたり、レジャーへの展開は、すぐそこにある。書き尽くせなかつた未来像も含め最後に、テレイグジスタンス応用をまとめた図5を掲載しておく。これらの、どれが20年後に実現しているのか楽しみである。



図5 テレイグジスタンス応用

参考文献

- [1] Susumu Tachi: Telexistence 2nd Edition, World Scientific, ISBN978-981-4618-06-9, 2015.
- [2] 館 嘉洋, 小森谷清: 第3世代ロボット, 計測自動制御学会誌計測と制御, Vol. 21, No. 12, pp. 1140-1146, 1982.
- [3] 通産省アールキューブ研究会編: アールキューブ, 日刊工業新聞社, ISBN4-526-03816-4, 1996.
- [4] 館 嘉洋: テレイグジスタンス, 日本ロボット学会誌, Vol. 33, No. 4, pp. 215-221, 2015.