展望

テレイグジスタンスの新展開

Recent Development of Telexistence

舘 暲* *東京大学 Susumu Tachi* *The University of Tokyo

1. テレイグジスタンスと人間能力の拡張

テレイグジスタンスとは,人間が自分自身が現存する場所とは異なった場所に実質的に存在し,その場所で自在に行動するという人間の存在拡張の概念であり,また,それを可能とするための技術体系である.

自分自身が現存する場所と異なった場所は,実世界でも,コンピュータが生成した世界でもよく,後者の場合,すなわちバーチャル世界へのテレイグジスタンスは,狭義のバーチャルリアリティ(VR)にあたる.また,バーチャル世界を実世界に重畳させて,そこへテレイグジスタンスすることもありえる.この拡張型テレイグジスタンスは,拡張現実(AR)になっている.

それらの関係を、図1に示す。創造されたバーチャル世界を使った VR は、創作やゲーム、エンターテインメントに用いられる。一方、現実世界をモデルとしたバーチャル世界を用いる VR は、教育訓練や設計、あるいは、科学的解明などの目的に使用される。狭い意味でのテレイグジスタンスは、現実世界へのテレイグジスタンスであるが、これに、その世界に対応するバーチャル世界を重畳して利用すれば、拡張型テレイグジスタンスとなる。この場合の距離をゼロにしたものが、いわゆる拡張現実(AR)となる。

人間の能力拡張の観点から考察すれば、テレイグジスタンスは、人間が新たな身体を持つことにあたる。その身体は実世界では物理的なアバターであり、バーチャル世界では、バーチャルアバターであるが、ここでは物理的なアバターに限定して考察する。なお、物理的なアバターはロボット以外の別の人や動物であってもよいが、ここではロボットとする。人間以外の生物を使ったテレイグジスタンスに関しては、ロボット学会に1986年に掲載された「テレイグジスタンス ―未来の夢と現在の技術―」[1]を参照されたい、2009年に公開されたジェームズ・キャメロン監督による映画「アバター」の世界が、映画公開よりも23年も前

原稿受付 2018年9月10日

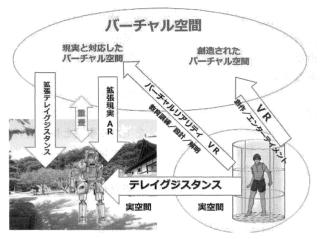


図1 VR/AR/テレイグジスタンスの関係図

に上梓されたこの論文にすでに記載されている.

人間の失った能力を補綴したり拡張したりする概念は、サイボーグと称されている。全身をサイボーグ化する装置としては外骨格型人力増幅器が有名である。これは、ロバート・ハインラインの SF では、パワードスーツとよばれ、1960年代に米国陸軍と GE が実際に研究開発し [2]、その後、多くの SF やアニメなどの素材となった。図 2 の左が、その人力増幅器の概念図である。このシステムでは、人間の各種の能力が人機一体となって補綴されたり拡張されたりする。見えないものを見たり、AI の記憶や判断を活用したり、力を増幅したりすることができる。

しかし、このシステムにはいくつかの欠点がある。一つは、自動的にシステムを動かすことが極めて困難であることである。ロボットが勝手に動くと人の身体までが動かされてしまう。第二の欠点は、壊れた際に使用者に被害が及ぶことである。第三は、その場に行かないと使えないことである。

それらの欠点を解消したバーチャル(実質的)な、外骨格型人力増幅器が、テレイグジスタンスシステムである。図2の右図のように、使用者は遠隔にいるにもかかわらず、ロボットをあたかもスーツのように着込み、その中に入った状態を実現している。それにより、外骨格型人力増幅器の

^{*〒 113-8656} 文京区本郷 7-3-1

^{*}Bunkyo-ku, Tokyo

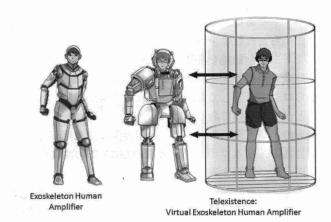


図 2 外骨格型人力増幅器とテレイグジスタンス (バーチャル な外骨格型人力増幅器)

長所はそのままで、その欠点を補っている。すなわち、人が新しいロボットの身体を手に入れ、その機能を使って自分の身体機能を拡張することができる。そのうえで、ロボットに自動で作業をさせるときには、自分が動くことはない。したがって、複数のロボットに順次テレイグジスタンスして使用することも可能となる。また、ロボットが壊れても人には危害が加わらない。もちろん、その場に直接赴く必要もないのである。

テレイグジスタンスが、しばしば究極のサイボーグであるといわれるのは、自身の身体を失わずに、新しい身体を得ることができると同時に、感覚、知、運動の能力の拡張に加えて、身体的な移動を伴わず空間を移動できると言う意味で時空の能力の拡張も可能とするからである.

2. AI とテレイグジスタンス

人工知能(AI)とテレイグジスタンスは持ちつ持たれつの関係にある。テレイグジスタンスの概念を基軸とした最初の国家プロジェクトが1983年から8年計画で実施された「極限作業ロボット」プロジェクトであるが、その元になる考え方を纏めた論文が1982年に『計測と制御』に掲載された「第三世代ロボット」である[3]。下記に、主にその論文を抜粋引用しながら説明する。

図3(a)と図3(b)に示すように複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、遠隔の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ニングスケジューリングは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。それらはスーパパイザリコントローラで整理され、例えば音声(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、スーパバイザリコントローラを経て各知能ロボットへの命令とし

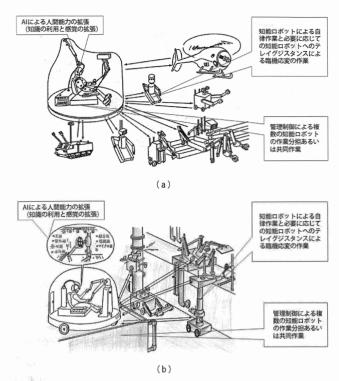


図3 (a), (b) 人工知能との共存:多数の知能ロボットを管理制御し必要に応じてテレイグジスタンスする

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。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って操縦しているような高度の遠隔臨場感と自分の腕を操るに似た高い操作性をもって作業のできるテレイグジスクンス(telexistence)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。

ロボットが持つ放射線,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(超感覚情報とよぶ)も,操作者が例えば,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,通常持てない物が持てるという意味での人力増幅機が実現されることに



図4 ネットで繋がるテレイグジスタンス:世界中の分身ロボットを皆が自由にログインして使う

なる.

さらに、カプセル内の知識ベースを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可能である。

1990年代になって、ネットワークで世界各地に配置されたロボットにログインしては、テレイグジスタンスする構想が、アールキューブとして発表された。下記に、日本ロボット学会誌に 1997年に掲載された論文から抜粋しながら説明する [4].

アールキューブはネットワーク環境を利用したパーソナルなテレイグジスタンス社会を目指した研究開発構想とそのための基礎研究と位置づけられる。情報のみが行き交う当時のネットワークを進化させて,ロボットを自在に用いることにより作業の伴うものとする構想であった。

このアールキューブが実現されれば、例えば、現在の家庭のパソコンが VR 入出力付の VR パソコンになり、それを用いてインターネットを介して世界中のサイトにテレイグジスタンスすることが可能となる(図 4)。家庭内のパソコンにはパーソナルロボットがあたかもコンピュータの端末機器のように接続され、コンピュータの指令で制御されたり、テレイグジスタンスモードでは使用者の目となり耳となって環境を認識し、使用者の意のままに分身のように行動する。家庭だけではなく、オフィスや工場、病院、学校、図書館、美術館、公園、競技場、アミューズメントパークなどあらゆるところに、テレイグジスタンスロッボットが配置されており、人は家庭からでもオフィスからでも、あるいは公衆電話のような公衆アールキューブサイトから世界中のアールキューブロボットを自分の分身として利用できる。

これを用いれば、例えば、病院に永く入院していて外にでられない子供たちやお年寄りが、ほかの子供たちと一緒に遊んだり、自分の家族の住む家に戻ったりすることが、バーチャル(実質的)に可能となるのである。

そして, この各地に配置されたロボットは原則的には知

能ロボットである.そのため、人が使用しないときは自動的に決められた仕事を行ったり、人との応対をしたりできる.また、安全知能を備えることにより、使用者が見過ごした危険を回避できる.さらに、使用者が、途中でロボットからログアウトしても、自分の元いた場所に自動的に戻ることができるのである.

最近のテレイグジスタンスの応用展開は,遠隔就労での利用である.日本ロボット学会誌の 2015 年の論文から抜粋引用しつつ説明する [5].

いま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。

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、人と産業とのかか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、悪環境で働かなくても済む。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、いま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。さらに時差を利用することで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。

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.

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、高齢者や障碍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/常時の医療や介護/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.

さらに特筆すべきは、テレイグジスタンスでの遠隔就労 が進めば、人が身体を利用して作業する際のデータが数多

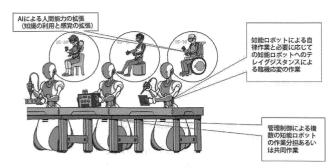


図 5 テレイグジスタンスで遠隔就労:世界中から誰でもが自由に好きなときに働け、働きながらにして知能ロボットの学習のためのビッグデータも得られる

く集まることである. それは, ビデオで撮影したデータとは異なり, 人がどこを見ながら手にどのような力を加えて作業しているかまで分かるデータである. 現在, 人の臨機応変で巧みな作業を知能ロボットに教え込むには, いわゆる教師とすべきビッグデータがなく深層学習を持ってしても達成できていない. しかし, テレイグジスタンスによりそのような作業を世界中からの労働者により行っているうちに必要なデータが集まり, 知能ロボットに置き換えることが可能となってゆく. その意味でも, テレイグジスタンスは重要な役割を果たす. また, いわゆる巧みの技の伝承も完全な形で可能となろう.

3. 産業化への動き

「極限作業ロボット:1983-1991年」、「人工現実感:1995-1999年」、「ヒューマノイドロボットプロジェクト:1998-2003年」、「テレイグジスタンスを用いる相互コミュニケーションシステム:2000-2006年」、「再帰性投影技術を用いた相互テレイグジスタンス:2006-2008年」、「多人数が自由に行動する実空間への身体性を有したテレイグジスタンス:2008-2011年」、「さわれる人間調和型情報環境:2009-2015年」、「身体性メディア:2014-現在」などの国家プロジェクトを通して進展してきたテレイグジスタンス技術であったが、ここにきて急速に産業化の兆しが見えてきている.

長らく研究開発段階にあったテレイグジスタンスは,2007 年頃から米国でテレプレゼンスという名称のもと Double [6] や Beam [7] などが商品化され始めたが、内実は移動機能を 持った skype というべきもので、使用者にとってその場に いるような臨場感は得られなかった.

2015年ごろになって,臨場感を有して視聴覚のテレイグジスタンスが可能となった OriHime [8] などの製品が販売されはじめたり,身体の不自由な祖母が孫の結婚式に遠隔から臨場感をもって参加することが可能となったりしたが [9],それらはコミュニケーションや体験が中心で作業を行うことはできなかった.

一方で同じころ, 大林組が建機のテレイグジスタンスに

よる遠隔運転を行い遠隔作業の先鞭をつけ [10], 2017年になって、新日鉄住金ソリューションズと NTT ドコモ [11], トヨタ [12] などが、臨場感があり作業も可能なテレイグジスタンスシステム開発を対外発表するに至った。さらに、TELEXISTENCE INC. などのテレイグジスタンスを用いる遠隔就労に挑戦するベンチャーも生まれる [13] 中、ANAは大分県とともにテレイグジスタンスの社会実装実験を始める [14] など、テレイグジスタンスの産業化への道が、着実に拓けだしている。

4. 世界における新展開

2016年8月3日, Xプライズ財団のビジョネアーズ・プライズ・デザインというチームが、お台場にある日本未来科学館にある舘研究室を訪れた. Xプライズ財団は、2014年に世界の偉大なリーダー50人に選出され、イノベーション界のカリスマと評されるピーター・ディアマンデスが1995年に創立したもので、これまでに有人弾道宇宙飛行コンテストや、海水からの原油回収など、大規模なプロジェクトを開催している. リンドバーグの大西洋単独無着陸飛行が、人間の移動や観光という新たな領域を爆発的に広げたように、世界規模の賞金レースによって新たな産業を創出する企てであり、現在の民間宇宙産業を創出したのはXPRIZEの成果であるとされている.

非公開の研究棟にある舘研究室の一室で、TELESAR V を体験した彼らはヘッドマウントディスプレイを装着、手袋をつけて体を動かした瞬間、驚きの声をあげた。「まさに、これだ! これが探し求めていたものだ」[15]. それから約 2 カ月後、X プライズ財団はサミットを開いた。

約 300 人のメンターとよばれる投資家、学者、実業家、慈善事業家、芸術家、技術者が集まり、次期賞金レースの候補である九つのテーマを 2 日間にわたって審査した。このとき財団から招待され実演したのが、筆者らが開発した TELE-SAR V である。その功あって ANA AVATAR XPRIZEが 2016年10月に次期賞金レーステーマに決定したのである。その後、開発目標と評価の詳細が X プライズ財団によりに煮詰められて 2018年3月12日に米国テキサス州オースチンで開催された 5XSW の会場で正式なレースのローンチが宣言された [16].

予定では、2019年9月末までに世界中からのエントリーを受付、プロポーザルの書類審査で2020年2月までに150チームに絞り、2021年5月に予選大会、20チームを選定して、2022年1月には本戦が行われる。予選では、主にPhysicalsとよばれる人機一体のテレイグジスタンスシステムの身体検査が行われ、本戦では、福祉分野、災害対応分野、および実験室環境でのタスクを行ってその達成度を競う。このコンテストは、バーチャルリアリティ、ロボティクス、AI、ネットワーク等、最先端のテクノロジーを用い、

異なる複数の場所に人間がロボットの身体を用いて存在し、物理的に物を触ったり作業したりできるテレイグジスタンス技術の産業化を目指すものである[17].

5. お わ り に

テレイグジスタンスは,筆者が1980年9月19日に着想した概念であり,1982年には最初の装置を作製し発表した[18].その後,40年近い歳月を経て技術が育ち熟してきた.現在,世の中の進歩が,まさにテレイグジスタンスに向かって動き出しているといえる.環境,距離,年齢,身体能力など様々な制限にかかわらず自在に瞬時に移動することを可能とする本技術により,アバター産業やテレイグジスタンス産業が生まれ育ち,遠隔就労やレジャーはもとより,例えば医師,教員,熟練技術者が不足している地域や,人間の立ち入りが困難な災害現場等でのアバターの活用等を通じて,社会課題の解決と経済発展の両立への貢献が期待される.

参考文献

- [1] 舘暲: "テレイグジスタンス—未来の夢と現在の技術—", 日本ロボット学会誌, vol.4, no.3, pp.295-300, 1986.
- [2] Ralph S. Mosher: "Handyman and Hardiman," Technical Paper 670088, SAE International, 1967.
- [3] 舘暲, 小森谷清: "第3世代ロボット", 計測と制御, vol.21, no.12, pp.1140-1146, 1982.
- [4] 舘暲: "バーチャルリアリティとロボティクス", 日本ロボット学会誌, vol.15, no.4, pp.512-515, 1997.
- [5] 舘暲: "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.

- [6] https://www.doublerobotics.com/
- [7] https://suitabletech.com/
- [8] http://orihime.orylab.com/
- [9] NEWS WATCH9「結婚式にロボットが"奇跡"の対面」, NHK 総合テレビ, 2015/10/12.
- [10] 古屋弘, 山田祐樹, 栗生暢雄, 清酒芳夫, 森直樹: "遠隔搭乗操作に よるマルチクローラ型無人調査ロボットの開発", 大林組技術研究所 報, no.80, pp.1-10, 2016.
- [11] https://www.nssol.nssmc.com/technology/iox-solution/5gfactory-002.html
- [12] https://www.youtube.com/watch?v=UB2xrX9gQtA
- [13] https://www.forbes.com/sites/japan/2018/01/26/telexistence-how-this-tokyo-startup-is-building-real-life-avatar-robots/# 4a2964c14094
- [14] https://www.oita-press.co.jp/1010000000/2018/03/30/ JD0056766791
- [15] "時間,空間,自分,すべての制約を超える働き方を異次元に導く「幽 体離脱」のテクノロジー", Forbes JAPAN, no.46, pp.34–39, 2018.
- [16] https://forbesjapan.com/articles/detail/20313
- [17] https://avatar.xprize.org/
- [18] 舘暲: "テレイグジスタンスと私", 日本ロボット学会誌, vol.10, no.1, pp.29-30, 1992.



舘 暲(Susumu Tachi)

1968 年東京大学工学部卒業, 1973 年同大学 大学院博士課程修了・工学博士. 東京大学先 端研教授, 工学部教授, 大学院情報理工学系 研究科教授などを経て, 2009 年東京大学名誉 教授. 同年慶應義塾大学に移り, 教授・特任 教授・特別招聘教授・国際バーチャルリアリ

ティ研究センター長などを務める. 2015 年からは,東京大学高齢社会総合研究機構館研究室にて ACCEL 身体性メディアプロジェクト研究代表者としてテレイグジスタンス,バーチャルリアリティなどの研究を推進している.

(日本ロボット学会正会員・フェロー)