

解 説

テレグジスタンス

Telexistence

館 暲* *東京大学

Susumu Tachi* *The University of Tokyo

1. は じ め に

テレグジスタンス (telexistence) とは、遠隔のロボットを自分の分身として利用し人間の時空の制約を開放しようとする試みである。筆者は、世界で初めてテレグジスタンスの概念を提唱するとともに、理論的研究に加えて、実際のハードウェアを用いた実験的研究により実証してきている。テレグジスタンスの概念を分かりやすく述べ、テレグジスタンスに至るテレオペレーションの歴史、また、いままでのテレグジスタンスシステムの開発の歴史を纏めるとともに、テレグジスタンスがこれから拓いていく社会を展望する。

2. テレグジスタンスとバーチャルリアリティ [1]~[5]

テレグジスタンスでは、人間が分身ロボットを介して実効的に存在する環境が (1) 人間にとって自然な三次元空間を構成しており、(2) 人間がそのなかで自由に行動でき、しかもその環境との相互作用が自然な形で実時間に生じ、(3) その環境への自己投射性が生じることが必要である。これらは、バーチャルリアリティの三要素と同一のものであり、それぞれ、等身大の空間性、実時間インタラクション、自己投射性と呼ばれている。

テレグジスタンスを用いる分身ロボットの制御では、人間の運動や力などが実時間で計測され、内部状態が推定される。その内部状態から推定された人間の行動意志がロボットに伝達され、直接ロボットの運動制御システムが制御される。つまり、人の動きを忠実に再現するようにロボットの人工の目、首、手、足などを制御する。そのときのロボットの人工の感覚器からの情報は、逆にすべて人間の感覚器にそれぞれ直接提示されることになる。

したがって、例えば人間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情景

に対応する像を、人の網膜上に実像として結像するわけである。人が自分の腕を目の前に持ってくると、視野内にはロボットの腕が自分の腕の代わりにまったく同一の位置関係で現れてくる。このようにして、人は自分の手と対象物、さらには周りの空間との関係を、自分の過去に培った経験と同一の関係で捉えて作業ができる。ロボットが物体に触れた感覚は、人の手に触覚刺激として提示され、人は自分で直接触れたのに似た感覚をもって作業できるのである。

それと同時に、テレグジスタンスは、人間を従来の時空の制約から開放し、時間と空間ないしはそれらの両者を隔てた環境に実効的に存在することを可能とする、いわば、ロボットを利用して人間をユビキタスにする技術である。ちなみにユビキタス (ubiquitous) とは、「Being or seeming to be everywhere at the same time: 同時にいたるところに存在する、あるいはそのようにみえる: 遍在する」という意味である。いつでもどこでも簡単にコンピュータを利用できる環境をユビキタス・コンピューティングと呼んだのは、ゼロックス社パロアルト研究所 (PARC) の Mark Weiser で 1993 年のことであるが、テレグジスタンスは、コンピュータではなく、実に人間そのものをユビキタスにしようとする考え方である。

一方、バーチャルリアリティ (VR) は、人間が現在実際に存在している現前の環境以外の環境を、あたかもそれが現前の環境のような感覚を持って体験し、かつその環境で行動することを可能とする技術である。そのような観点からすれば、バーチャルリアリティが人間の今いる場所を別の環境に変えるという捉え方をするのに対して、テレグジスタンスでは、今いる環境以外の別の環境に自分が行くという捉え方をしており、相対的に考えれば、両者は本質的には同一概念のエイリアスであるともいえる。

テレグジスタンスを用いれば、実物の環境だけではなくコンピュータの生成した人工環境に入り込み、そこに存在するような感覚を有して人工環境で行動することもできる。さらにそこにいるという実感を持つのに加え、同時に能力の拡張もできる。例えば、人間は暗闇や煙の中では物を見ることができないが、ロボットの赤外線センサや超音波センサを用いれば暗闇や煙の中でも対象物を捉えることがで

原稿受付 2015 年 3 月 2 日

キーワード: Telexistence, Telepresence, Teleoperation, Virtual Reality, Embodiment

*〒113-8656 文京区本郷 7-3-1

*Bunkyo-ku, Tokyo

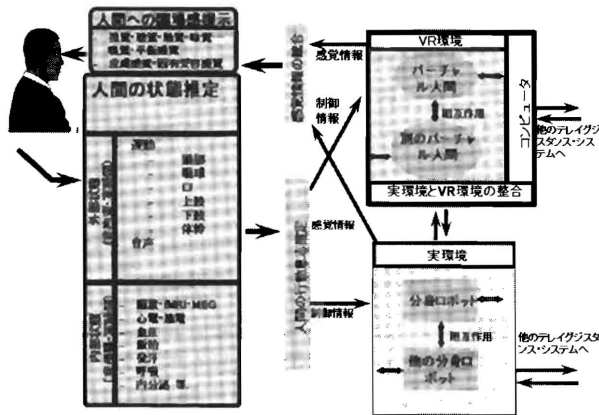


図1 実環境, VR環境, および, VR環境を介した実環境へのテレイグジスタンス

きる。実空間にロボットを使って遠隔臨場しながら、ロボットのセンサ情報を実空間にAR (augmented reality) の方法で提示すれば、暗闇や煙の中でも行動が可能となる。これは、拡張型テレイグジスタンス (augmented teleexistence) と呼ばれている。

図1に、こうした実環境, VR環境, および, VR環境を介した実環境へのテレイグジスタンスの構成を示す。

3. テレオペレーションからテレイグジスタンスへ [1]~[5]

第二次世界大戦後に、放射性物質を離れたところから安全に取り扱うため、アメリカのアルゴンヌ国立研究所 (ANL) で、「マスター・スレーブ・マニピュレーション (master-slave manipulation)」の研究が行われた。この研究から始まった技術分野が、テレオペレーション (teleoperation) である。

1950年代まではテレオペレーション技術は、マスター・スレーブ・マニピュレータを中心に研究されたが、それでは限られていた。つまり、テレオペレーションの方法では、単にマニピュレータつまり手だけが遠方について仕事をしているような状況だったからである。しかもその手自体にしても、ある程度の感覚はあったものの、自分の手のように自在に操作することは不可能であった。そこで1960年代になって、こうした問題の解決が図られた。エグゾスケルトン・ヒューマン・アンプリファイアー (exoskeleton human amplifier), 「外骨格型人力増幅機」という考え方である。

人力増幅機とは、人間は危険な環境下に直接身を置くが、ちょうど甲羅か鎧のようなもので自分を覆って安全を確保し、かつそれを用いて、自分の力を増強する装着型ロボット装置である。「メイズ (MAIS: Mechanical Aid for the Individual Soldier)」計画の中で、米軍とGE (General Electric) が中心になり研究した「ハーディマン (Hardiman)」

がその好例である。

多額の費用と人手を割いてなされたこの研究であったが、失敗に終わった。理由はいくつかあるが、一つは人間がロボットの中に入っているという状態は、いくら鎧にくるまれていても、やはり危険なことには変わらないという点である。何事もないときは例えば放射線の存在する環境下でも、放射線シールドで外界から守られ安全であるが、事故が起きて、ひとたびシールドが壊れると、人間は危険な環境下にさらされてしまう。また、装置が万が一、誤動作して潰れるときは、人間もロボットの強化されたパワーによって潰れてしまうのである。

第二には、人間が入っているロボットの体内はロボット機械にとって重要な空間で、本来はコンピュータやセンサ、アクチュエータやエネルギー源などを配置するための場所なのである。しかし、ここに人間が入っているために、それらを収納するスペースがとれない。したがって、人間が自らの意志で動かない限りなにもできないのである。しかも機械が勝手に動く人間と一緒に動いてしまう。人間にとっては、終始動き続けながら使っていなければならないので、使っている人間にとっては大変過酷な装置となった。

人間のサイズよりも格段に大きなロボットを作って、人間がロボットの頭にある操縦席に座ってロボットを操縦すれば、前述の第二の問題点は一見解決するように思われるが、本体を大きくすると、今度は人間に代わって働く場所が限られてくるという欠点が生じてしまう。現在人間が行っている仕事を代替することがそもそもの目的であるため、対象とする環境にしる建物にしる、対象物そのものもすべて人間に適したサイズとなっているため、巨大ロボットを利用する場面は、実はほとんどない。

こうした結論から、1960年代に研究されたこの外骨格型人力増幅機は、実際の場で使われることはなかった。しかし、そのアイデアはSFの世界での「強化戦闘服」などと相呼応するものであり、日本ではさらにコミックやアニメの題材ともなって『機動戦士ガンダム』シリーズが大ヒットするなど、物語の世界でどんどんと進化していった。

なお、最近になって、日本においては、このエグゾスケルトン型人力増幅機開発の機運が再び高まり、身体機能の一部機能を増幅した介護用や農業用の製品が現れるなどサイバネティック補綴などの研究と相まって注目を集めている。

1970年代になって、「管理制御 (supervisory control)」が誕生した。管理制御はマサチューセッツ工科大学 (MIT) の Thomas B. Sheridan 発案の概念である。簡単に言えば、人間がコンピュータを介してロボットのスーパーバイザ (管理者) として任務を遂行するというアイデアである。現在では当り前の考えなのだが、当時としては非常に新鮮なアイデアであった。人間はロボットを監視したり、ロボットの動作をプランニングしたり、あるいはロボット

の自律機能ではうまくいかないところを手助けしつつ、そのほかのことはロボットにまかせるという方式が、管理制御である。

1980 年になると、エクゾスケルトン人力増幅機と管理制御の利点に磨きをかけ、その二つをいわば止揚（アウフヘーベン）した新しい概念が、日本とアメリカで同時に提案される。それが、テレイドジスタンス（telexistence）である。ちなみに、日本の提案者は筆者でテレイドジスタンスと呼び、アメリカの提案者は、MIT の Marvin Minsky でありテレプレゼンス（telepresence）と呼んだ。

テレイドジスタンスでは、通常はスーパーバイザリ・コントロールと同じ状況で制御が行われる。人間は安全なコックピットの中にいて、ロボットが遠隔で働く。このロボット自体には、ある程度の知能があって、スーパーバイザリ・コントロールの場合と同じように、人間はロボットをプログラミングしたりプレビューしたりして、ロボットに対して適切な指示を与える。その命令に従って、ロボットはそれぞれの場所で、それぞれのできる範囲でのルーチ的な仕事を遂行するのである。しかしロボットの能力には限界があるため、すべてのことができるわけではない。そこで、人間が何らかの形で手助けしなければならない状況が生じる。そのときにテレイドジスタンスが使われるのである。

実際にはロボットを遠隔で制御しているのだが、実はエクゾスケルトンのようにロボットの中に入り込んで、自分がその場にいるかのような感覚でロボットを制御する。別の表現をすれば、バーチャルな（みかけは異なるが本質的には）エクゾスケルトン型人力増幅機の実現である。

すなわち、テレイドジスタンスでは、外骨格型人力増幅機のメリット、つまり人間の大局的な判断が活用でき、しかも、ロボットの自律性が最大限生かせることになる。外骨格型人力増幅機のよい点は生かしつつ、なおかつ人間は実際にはその場にいないので事故があっても安全で、たとえロボットが破壊されても人間にはまったく被害が及ばず、しかもロボットのスペースにコンピュータやセンサを配することができるので、ロボットに任せればよい場合はロボットに自律的な行動を、人が機械に勝手に動かされることなく遂行させることが可能な理想的なシステムが実現できる。もちろん、離れたところにながらにして実質的（バーチャル）にロボットに乗り込めるので、オペレータが移動する必要がないのも大きなメリットである。

図 2 に、テレオペレーションからテレイドジスタンスへの進展を示す。

4. テレイドジスタンスとテレプレゼンス

そもその概念としては、テレイドジスタンスもテレプレゼンスもほぼ同様の概念の提唱である。異なる点は、テレイドジスタンスは、実空間へのテレイドジスタンスに加

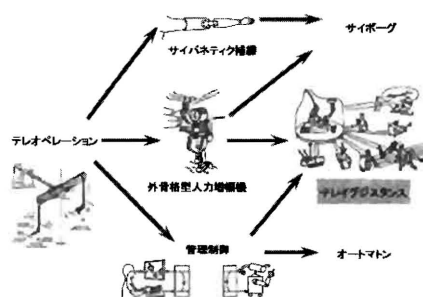


図 2 テレオペレーションからテレイドジスタンスへ

えてコンピュータの生成したバーチャル空間へのテレイドジスタンスや自立性との両立を当初から考慮しているのに対して、テレプレゼンスにはその概念はない。また、近年、売られているテレプレゼンスという名の商品では、存在感に重きがおかれ臨場感がない製品が大半である。

5. 臨場感と存在感

実際その場に身をおいているような感覚を「臨場感」と呼んでいる。バーチャルリアリティやテレイドジスタンスは、コンピュータの生成した空間や遠隔の地へ、自分が訪れたような臨場感を、そのシステムの利用者に提供する。臨場感は、視覚、聴覚、触覚、嗅覚、味覚、平衡感覚など、すべてが揃うのが理想であり、バーチャルリアリティやテレイドジスタンスでは、臨場感を究極的に高めるための研究がなされている。

一方、「存在感」という感覚も存在する。存在感は、人や物が確かな存在であると感じる感覚のことである。存在感は、そのシステムを直接利用している人が感じる感覚ではなく、そのシステムを利用している人の周りの人が、そのシステムを利用している人に対して抱く感覚である。テレビ会議の普及とともに、テレビ会議で画面に映る人の存在感のなさが問題となりだした。司会者がよほど注意して気配りしないと、蚊帳の外に置かれてしまう。もともと実体としては存在しないわけで、存在感がないのは当然ではあるが、なぜ映像と音声だけでは存在感が創出できないのかが疑問となる。バーチャルリアリティやテレイドジスタンスには、臨場感だけではなく、テレビ会議で失われる存在感を創出し、究極の存在感を追求することが求められている。

存在感は、ロボットをその使用者とそっくりに作れば高まる。しかし、その方法では、使用者の数だけの異なるロボットを作成することになり、しかも、そのロボットを利用する際、わざわざ、そのロボットを遠隔の地に運ぶ必要があり、人が直接行くことに比べての優位性が極めて減じられ、通常の用途には向かない。

したがって、汎用なロボットを、使用者に応じて、その使用者の存在感を提示する方法が求められている。その一つの

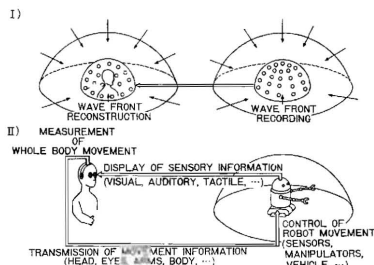


図3 テレイグジスタンスの概念



図4 テレイグジスタンスで自分をみる



図5 移動ロボットへのテレイグジスタンス

方法が、再帰性投影技術(RPT:retroreflective projection technology)を用いる実時間の使用者のロボットへの投影法である。

6. テレイグジスタンス小史

1980年テレイグジスタンスの概念の提唱：1980年9月にテレイグジスタンス (telexistence=tel-existence:tel=離れて+ existence=存在) に思い至る [6] [7]。図3にテレイグジスタンスの概念図を示す。

1982年テレイグジスタンス立体視システム：テレイグジスタンスを実現するための第一歩として「視覚」に着目して、遠隔のカメラロボットが、操作者の頭の動きどおりに動き、カメラの映像を操作者に提示するシステムを開発した。操作者は、カメラロボットがあたかも自分の頭であるかのように「テレイグジスタンス」できた [8]。このシステムで自分自身を見たときの驚きは今も忘れられない。いわば、初めての幽体離脱ともいべき体験であった (図4)。

1985年テレイグジスタンスビークルの開発：遠隔からでも、あたかも移動ロボットに乗り込んだような感覚で移動制御できるテレイグジスタンスシステムを開発。自分が車の運転手になった感覚で移動し障害物を回避できた (図5)。

1989年 TELESAR の開発：ロボットの中に入り込んだ



図6 人間型ロボット TELESAR へのテレイグジスタンス

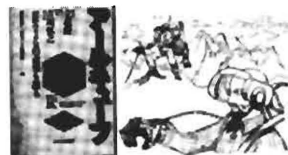


図7 アールキューブ構想



図8 2足歩行ロボットへのテレイグジスタンス



図9 ロボットホンで動作を伝える

ような臨場感覚を得ながら、ロボットを自分の分身のように自在に制御できる人間型ロボット TELESARを開発。ブロックを積んだり卓球の球を打ち返したりする作業が自分で直接行っている感覚で行えることが確かめられた [9]。また、実空間に加えてバーチャル空間へのテレイグジスタンスも可能となった (図6)。

1994年アールキューブ構想：ネットワークを介してテレイグジスタンスを可能とするアールキューブ (R3: Real-time Remote Robotics) が提唱され、「アールキューブ」構想委員会が通産省 (現在、経済産業省) により設置された。また96年構想をまとめた書籍である『アールキューブ』が出版され、そのなかで「アールキューブ・ストーリー」というSFでアールキューブ社会が描かれている (図7)。

2000年人間協調共存型ロボット (HRP)：アールキューブ構想の一環として実施された HRP プロジェクトにおいて、人間型2足歩行ロボットへのテレイグジスタンスの実装がなされた [10] (図8)。

2001年ロボットホンの開発：ロボットを人間に対するインタフェースとして積極的に利用することを提案し、人間のコミュニケーションに使用するロボットホンを開発した (図9)。

2005年 TELESAR II の開発：操作者の臨場感に加えて、

遠隔地側で操作者の「存在感」を実装する相互テレイグジスタンスの概念を提唱し、実証システムとして TELESAR II を開発した。その人がロボットの中に入って、そこにいるように見える [11]。なお、TELESAR II を用いた相互テレイグジスタンスシステム TELESARPHONE は愛・地球博に出展された (図 10)。

2007 年 TELESAR III の開発：6 自由度の首機構に両眼カメラが取り付けられ回り込みなどの自由な動作が可能となった (図 11)。

2008 年 Haptic Telexistence：テレイグジスタンスにおいて触覚が重要であることから GelForce と呼ぶ分布ベクト



図 10 臨場感と存在感を伝える相互テレイグジスタンス



図 11 回り込みによる臨場感と作業性の向上



図 12 触覚を伝えるハプティックテレイグジスタンス

ル力場を計測できる触覚センサを開発し、加えて、その触覚情報を人間に提示するための方法として視覚における三原色と同様の仕組みを触覚にも求める触原色の考えを 2002 年に提案 [12]、その解明と実現を経皮電気刺激や振動刺激などの研究を通して行い実装した。また、遭遇型と称する固有受容感覚提示法も合わせ組み込んだ (図 12)。

2010 年 VR 空間に集う：TWISTER (Telexistence Wide-angle Immersive STEROScope) という眼鏡なしで 360° を立体視可能なシステムを 2002 年に研究開発し、それをブースとして、多人数の人がそれぞれ TWISTER を利用し、それぞれが離れたところにおいても、あたかも同一場所に参集したのと等価な状態で互いの顔を見ながらコミュニケーションすることを可能とするシステムを研究開発した [13] (図 13)。

2011 年：会場へ遠隔参加する TELESAR IV：TWISTER を用いて、遠隔から例えばパーティ会場に遠隔参加することを可能とするシステムを開発した。会場にいる人も、遠隔から参加した人の顔を見ながら、また握手をしたりして親交を深められる [14] (図 14)。

2012 年細やかな触感を伝える TELESAR V：53 自由度の肢体を駆使した視覚や聴覚の臨場感溢れる伝達に加えて、ロボットが手に取った物の材質や温度などの遠隔環境の細やかな触感を人に伝えることのできる触覚テレイグジスタンスに、2012 年 7 月、世界で初めて成功した [15]。8 月には、米国の SIGGRAPH で展示公開された (図 15)。

2013 年：TeluBee の開発：世界中にロボットを配して、誰でもが自在にどこにでもテレイグジスタンスできる社会を目指して研究を進め、その一環として、家庭でも使える簡易型のテレイグジスタンス視聴覚ロボットを開発した (図 16)。

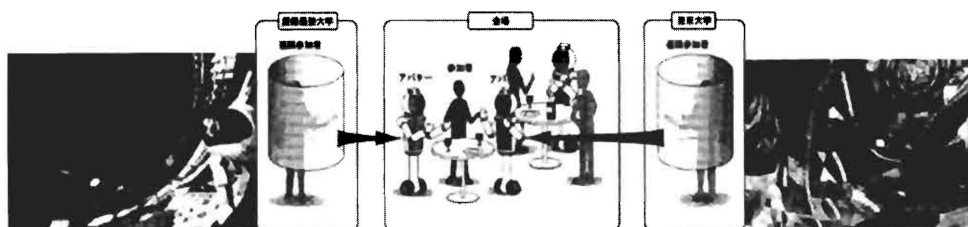


図 13 VR 空間に集う

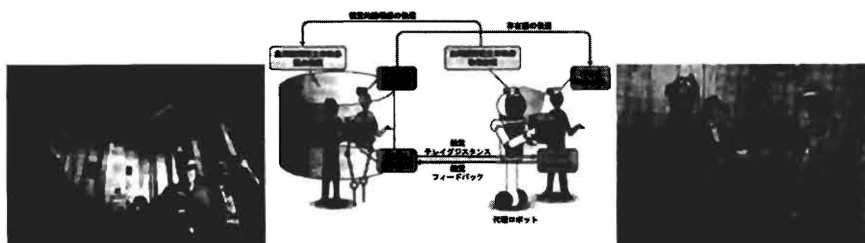


図 14 パーティ会場へ遠隔参加

2014年：Flying Telexistence：Droneを分身として自由に空中からのテレグジスタンスを目指すシステムを開発（図17）。

7. これからのテレグジスタンス

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、通勤に時間に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。

人の移動の概念を変え、実際的な移動を伴うことな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。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。テレグジスタンスは、五感のみを伝える遠隔コミュニケー



図15 細やかな触感の伝達



図16 世界中のロボットに入り込む



図17 テレグジスタンスで大空を翔る

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すむ。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代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。また地方都市にしながら都心で働くこともできるため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、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（図18）。

8. おわりに

テレグジスタンスの過去、現在、そして未来への展望を述べた。いままでの遠隔からの在宅勤務は、映像や資料、

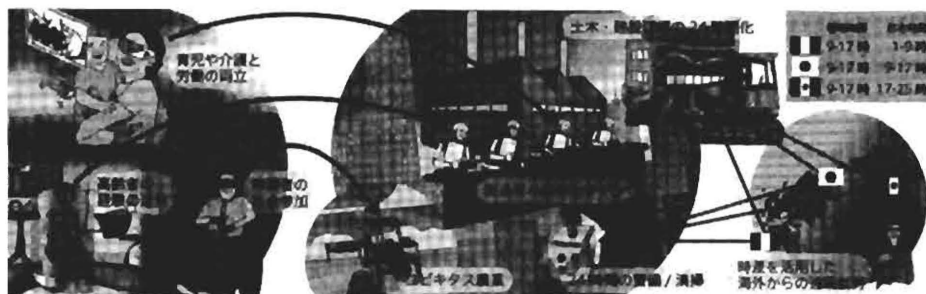


図18 テレグジスタンスによる遠隔就労

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を実現し、いままで不可能であった労働や作業を伴う遠隔就労を可能とする。

人間の身体を等価的に遠隔に存在させる「テレグジスタンス社会」の実現は、技術的に極めてハイインパクトなチャレンジであるのはもちろんのこと、既存の作業機器や労働環境の改善といった漸進的な改良ではなく、労働のあり方と人の生活様式そのものを抜本的に変革するという点において、非連続的なイノベーションを目指すものといえる。

ロボット学、バーチャルリアリティ学などの工学分野にとどまらず、法学、社会学、経済学、心理学など多くの英知を集めて是非実現したいものである。

参考文献

- [1] S. Tachi: Telexistence. World Scientific, 2010.
- [2] 館暲, 佐藤誠, 廣瀬通孝 (監修・執筆), 日本バーチャルリアリティ学会編: バーチャルリアリティ学, コロナ社, 2011.
- [3] 館暲, 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.
- [4] 館暲: “テレグジスタンス—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.
- [5] 館暲: “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.
- [6] 館暲, 阿部稔: “テレグジスタンスの研究 (第1報) —視覚ディスプレイの設計—”, 第21回 SICE 学術講演会, pp.167-168, 1982.
- [7] S. Tachi, K. Tanie, K. Komoriya and M. Kaneko: ‘Telexistence(I): Design and Evaluation of a Visual Display with Sensation of Presence,’ in A. Morecki et al. ed., Theory and Practice of Robots and Manipulators, pp.245-254, Kogan Page,

1985.

- [8] 館暲, 荒井裕彦: “テレグジスタンスにおける視覚情報提示系の設計と評価”, 日本ロボット学会誌, vol.7, no.4, pp.314-326, 1989.
- [9] S. Tachi and K. Yasuda: “Evaluation Experiments of a Telexistence Manipulation System,” Presence, vol.3, no.1, pp.35-44, 1994.
- [10] S. Tachi, K. Komoriya, K. Sawada, T. Nishiyama, T. Itoko, M. Kobayashi and K. Inoue: “Telexistence Cockpit for Humanoid Robot Control,” Advanced Robotics, vol.17, no.3, pp.199-217, 2003.
- [11] S. Tachi, N. Kawakami, H. Nii, K. Watanabe and K. Minamizawa: “TELESARPHONE: Mutual Telexistence Master Slave Communication System based on Retroreflective Projection Technology,” SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, vol.1, no.5, pp.335-344, 2008.
- [12] 館暲: “バーチャルリアリティにおける触覚の役割”, 電気学会論文誌 E, vol.122, no.10, pp.461-464, 2002.
- [13] 渡邊孝一, 南澤孝太, 新居英明, 館暲: “全周囲裸眼立体ディスプレイを用いたサイバースペースへのテレグジスタンス”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, vol.17, no.2, pp.91-100, 2012.
- [14] 館暲, 渡邊孝一, 竹下佳佑, 南澤孝太, 吉田匠, 佐藤克成: “再帰性投影技術と全周囲裸眼 3D ディスプレイを用いて存在感と臨場感を実現する相互テレグジスタンスシステム: TELESAR4”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, vol.17, no.1, pp.11-21, 2012.
- [15] S. Tachi, K. Minamizawa, M. Furukawa and C.L. Fernando: “Telexistence—from 1980 to 2012,” Proc. of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2012), pp.5440-5441, 2012.



館 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。東京大学工学部教授などを経て, 2009 年東京大学名誉教授。同年慶應義塾大学教授となり, 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。盲導犬ロボット, テレグジスタンス, 再帰性投影技術, 全周囲・多視点裸眼 3D 技術, 触原色などの研究を行う。(日本ロボット学会フェロー・正会員)