

テレグジスタンス

新しい働き方と生き方

館 暉

バーチャルリアリティ (VR), 拡張現実 (AR), 複合現実 (MR), テレグジスタンス (遠隔存在) が, どのようなものであるのかを, まずはそれらの関係性を考察しながら明らかにする。なかでもテレグジスタンスは, アバターを自分の新しい身体とすることにより, 人間の存在の概念を拡張して, 人間の能力を飛躍的に拡張する究極のサイボーグ技術であり, これからの社会の課題解決の切り札の一つとして注目されている。このテレグジスタンスについて, 現状を見据えながら解説し, このテクノロジーが, これからの社会, 我々の働き方, 暮らしをどのように変えてゆくのかを概観する。

キーワード: テレグジスタンス, アバター, テレプレゼンス, テレオペレーション, バーチャルリアリティ (VR), 拡張現実 (AR), 複合現実 (MR), 人間能力の拡張, サイボーグ

1. テレグジスタンスとは

テレグジスタンス (telexistence: 遠隔存在) とは, 遠隔を意味する tel あるいは tele と, 存在を意味する existence を合わせた造語で, 人間が自分自身の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^{1), 2)}。

自分自身が現存する場所と異なった場所は, 実空間でも, コンピュータが生成したバーチャル空間でもよく, 後者の場合, すなわちバーチャル空間へのテレグジスタンスは, バーチャルリアリティ (VR: virtual reality) と呼ばれている。

それらの関係を, 図-1 に示す。バーチャルリアリティ空間には, 創造されたバーチャル空間と現実と対応したバーチャル空間の二通りがある。創造されたバーチャル空間を使った 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空間を用いる 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。狭い意味でのテレグジスタンスは, 現実空間へのテレグジスタンスであるが, これに, その空間に対応するバーチャル空間を重畳して利用すれば, 拡張型テレ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: augmented reality) となる。

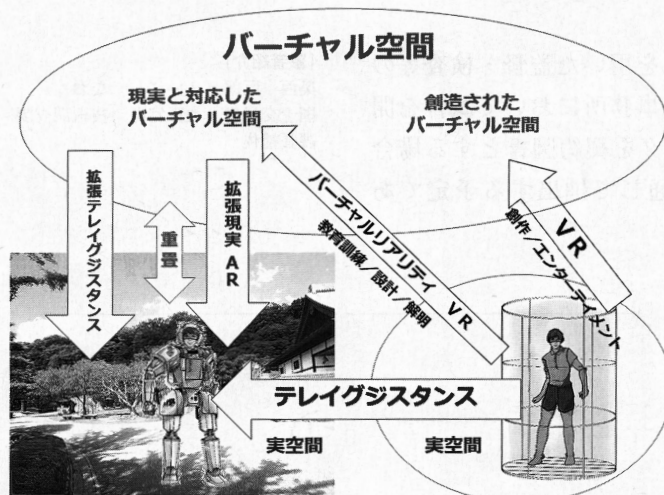


図-1 VR/AR/テレグジスタンスの関係図

最近、ARのほかに、複合現実(MR:mixed reality)という用語が使われている。ここで、VR、AR、MRの関係を明らかにしておきたい。図-2に示すように、現実空間とコンピュータの創生したバーチャル空間の二つの空間が存在し、それらは互いに重なり合っている³⁾。①がバーチャル空間を一切含まない純粋現実空間、④が、現実空間を一切含まない純粋バーチャル空間であり、その間に、二つの空間が混在する空間がある。その混在の仕方には二通りあり、②が、現実空間にバーチャル空間を加えるもので現実空間をバーチャル空間で補強し拡張することから拡張現実(AR)と呼ばれている。③が、バーチャル空間に現実空間を加える、拡張VR(AV:augmented virtual reality)である。バーチャルリアリティ空間に現実のシーンや人物などを加えてバーチャルリアリティを充実させるため拡張型のバーチャルリアリティになっている。このARと拡張VRであるAVの二つをあわせてMRといているのである。因みに、すべてをコンピュータグラフィックスのみで創生すれば一番右側の純粋なVR空間となる。

従って、MRはARを含むが、VRのすべてを含むわけではない。逆に、②+③+④の楕円がVRであり、VRはARもMRも含んでいるのである。そのため、日本バーチャルリアリティ学会(VRSJ)では、それらのすべてを、VRと総称している。

2. 人間の能力の拡張

人間の能力拡張の観点から考察すれば、トレイグジスタンスは、人間が新たな拡張された身体を持つことにあたる。その身体は実世界ではフィジカルアバターであり、バーチャル世界では、バーチャルアバターとなる。なお、フィジカル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。人間以外の生物を使ったトレイグジスタンスに関しては、日本ロボット学会誌に1986年に掲載された「トレイグジスタンス—未来の夢と現在の技術—」⁴⁾を参照されたい。2009年に

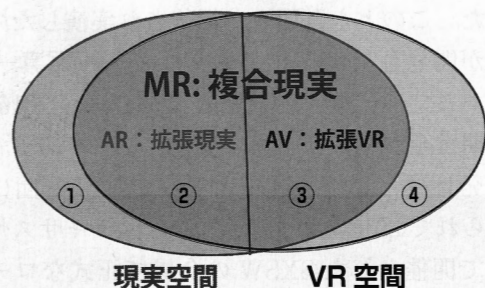


図-2 VR/AR/MRの関係図

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年も前に上梓されたこの論文に既に記載されている。

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、パワースーツと呼ばれ、1960年代に米国陸軍とGEが実際に研究開発し⁵⁾、その後、多くのSFやアニメなどの素材となった。図-3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き人の身体まで動かされてしまう。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、トレイグジスタンスシステムである。図-3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長所はそのまま、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。その上で、ロボットに自動で作業をさせるときには、自分が動かされることはない。従って、複数のロボットに順次トレイグジスタンスして使用することも可能となる(図-4)⁶⁾。また、ロボットが壊れても人には危害が加わらない。勿論、その場に直接赴く必要も無いのである。

ト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いう意味で時空の能力の拡張も可能とするからである。

3. 研究開発から実用化への潮流

「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」,「トレイグジスタンスを用いる相

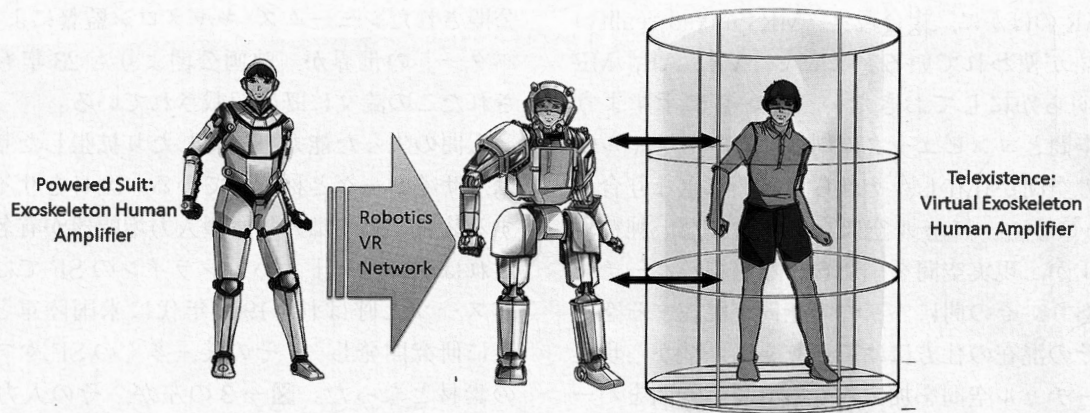


図-3 外骨格型人力増幅器とテレレジスタンス (バーチャルな外骨格型人力増幅器)

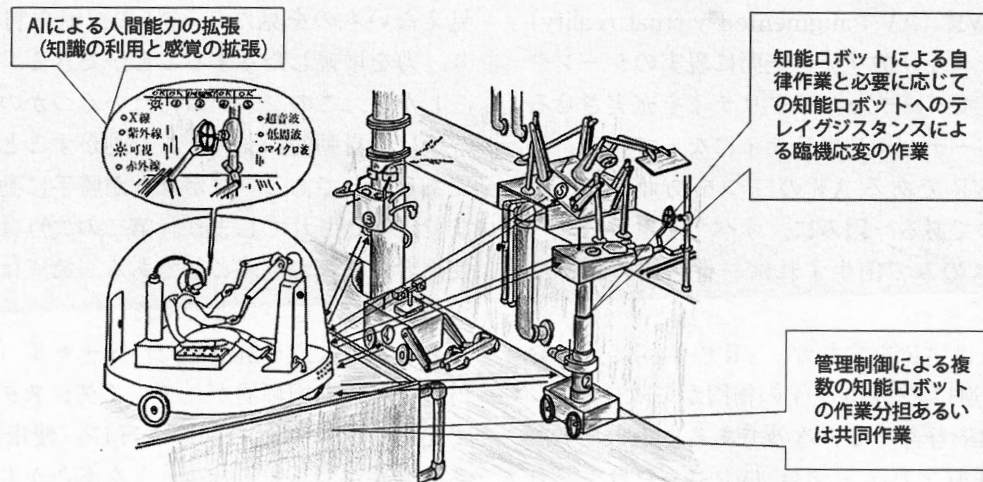


図-4 多数の知能ロボットを管理制御し必要に応じてテレレジスタンスする

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レジスタンス：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レジスタンス：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：2014-2019」などの国家プロジェクトを通して進展してきたテレレ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。

その発端となったのが、XPRIZE財団によるANA AVATAR XPRIZEである。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館研究室を訪れた。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・ディアマンダスが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実行し成功に導いている。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館研究室の一室で、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⁷⁾。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人のメンターと呼ばれる投資家、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9つのテーマを二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、著者らが開発したTELESAR Vである(写真-1)。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SXSWの会場で正式なローンチが宣言された⁸⁾。



写真-1 XPRIZE 財団の主催する Visioneers Summit での TELESAR V の実演

2019年9月末までに世界中からの千件近くのエントリーを受け付け、プロポーザルの書類審査を経て、2020年1月8日には、19か国からの77チームが挑戦権を得た。2021年5月に予選大会にて20チーム以内に絞り込み、2022年1月には本戦が行われる⁹⁾。

最先端のテクノロジーである、VR(第二世代)、ロボティクス(第四世代)、AI(第三世代)、ネットワーク(5G)が揃って新しい時代を迎えたことにより、テレグジスタンス実用化の機が、いままさに熟したといえる。このコンテストは、この機を奇貨として、テレグジスタンスの産業化を実現し、時空間瞬間移動産業を生み出そうとしているのである。

この動きの中、テレグジスタンスを用いる遠隔就労に挑戦するスタートアップである TELEXISTENCE INC. が2017年1月に生まれる¹⁰⁾中、2018年には、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グジスタンスシステム開発を対外発表、KDDIも5Gの普及を見据えテレグジスタンス事業に参入を表明するに至った。ANAは、2018年から、大分県とともにテレグジスタンスの社会実装実験を始め、2020年4月には、ANAホールディングズを持ち株会社とする avatarin(アバターイン)株を設立した¹³⁾。そのほかにも、GITAI, Meltin MMI, Ory Lab, 人機一体などの多数のスタートアップが生まれ育っており、テレグジスタンスの産業化への道が、着実に拓けだしている。

なお、建設機械施工における取組に関しては、本特集号に多くの報文が載せられていることから、ここでは、この分野の草分けともいえる、ごく初期のテレグジスタンスに関連した歴史的な取り組みを紹介するに留めたい。その一つが、テレグジスタンスを無人化施工に適用した世界で最初の事例である。1990年11月、長崎県雲仙普賢岳が198年ぶりに噴火し、

1991年6月から9月にかけて、大規模な火砕流や土石流が発生し、多くの被害が出た。1993年7月に建設省(現・国土交通省)が無人工化施工技術を公募し、フジタは、1994年より、試験施工を経て¹⁴⁾、本格的に無人化施工を実施した¹⁵⁾。また、東急建設は、1994年に建設作業用マンマシンマニピュレイティングシステムを発表し¹⁶⁾、大林組も1995年のころからテレグジスタンスに着手していた¹⁷⁾。詳しくは、参考文献を参照されたい。

4. テレグジスタンス社会と新しい働き方・生き方

COVID-19が蔓延する中、我が国でもテレワークの活用が行われ始めている。しかし、現在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コンピュータを使ったデスクワークに限られ、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る。一方、我が国の社会を支えている社会インフラとそれを守る多くの仕事、例えば、医療、福祉、電気、ガス、水、道路、鉄道、物流、コンビニやスーパーマーケット、建設、土木などは、人間の身体性を必要とする仕事であり、現在のテレワークの範疇では全く解決できない。

それを解決する方法が、テレグジスタンスである。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、人と産業との関わりや社会のありかたが、根幹から変革する。

その技術の拓く世界はどのようなものであろうか。世界中のあらゆる場所にアバターが置かれネットワークに繋がっていて、誰でもが空いているアバターにログインして利用できるし、いつでも自由にログオフすることも可能だ。コンピュータが生成したさまざまなバーチャル世界も、ネットワークに繋がっていて、誰もが利用可能である。じつは、使う側の人からすれば、自分が訪れる世界が実世界でもバーチャル世界でもかわりはない。アバターを自分の新しい身体としてその世界に存在し、情報を得たり、体験をしたり、楽しんだり、また仕事をしたりすることができるのである(図-5)。

身体機能を瞬時に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、移民問題を解消できることになる。さらに時差を利用することで24時間の労働力を時差のある複数の国外拠点から確保でき夜勤が不要となるのである。男女問わず育児や介護をしながらの労働参加が可能となり、子育てや介護がしやすい社会が実現する(図-6)。

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という点もメリットである。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地域の活性化が実現する。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、浮いた時間を活用し、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

したり拡張したりすることで、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社会の活力がよみがえる。

なお特筆すべきは、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く集まることによるビッグデータの活用である。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内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。

さらに、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

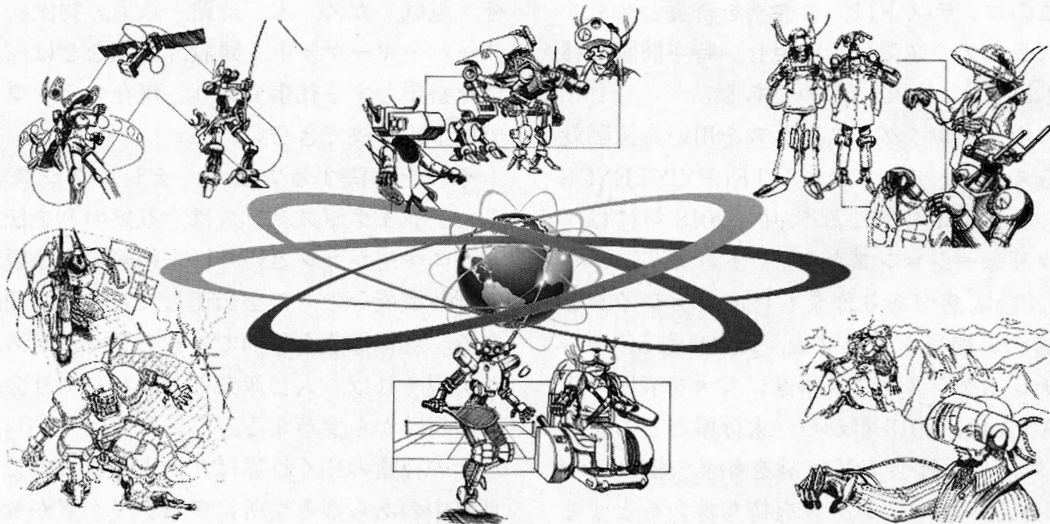


図-5 ネットで繋がるテレイグジスタンス：世界中の分身ロボットを皆が自由にログインして使う

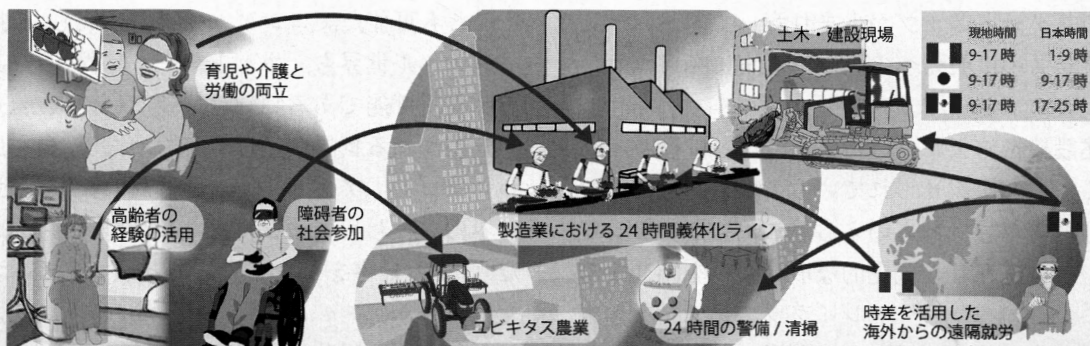


図-6 テレイグジスタンスで遠隔就労：世界中から誰でも自由に好きな時に働け、働きながらして知能ロボットの学習のためのビッグデータも得られる。時空間瞬間移動産業の創出とテレイグジスタンスの社会実装を通じて、新たな働き方、生き方、社会の在り方の実現を目指す

の最適配置が行える。逆に、医師や専門家の過疎地や海外への派遣も容易になる。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こともできるわけである。勿論、観光や旅行やショッピングまたレジャー、教育などに利用できることは言うに及ばない。このような「時空間瞬間移動産業」の創出によるテレグジスタンス社会を実現することで、国民の利便性と生きがい飛躍的に向上し、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。

さて、私たちにとって何よりも大切なことは、基本的に、人間が人間らしく生きるということである。私たちだけではなく世界各国の人たちも、皆が人間らしく生きるための手助けとしてテレグジスタンスやバーチャルリアリティがあると言っても決して過言ではない。それによって人間の能力を拡張したり、補ったりでき、たとえ体が不自由でも、テレグジスタンスの身体を自分の身体として使うことによって、究極のサイボーグとなり、自分の体に不具合があっても、新しい体が手に入るのだから、その体で様々な作業ができ、そのインターフェースによって、失った手が動くようになったりするわけである。人間の失われた機能を回復したり更にそれを強めたりして人間の能力を拡張して、あとは、人が一番やりたい仕事ができるということが理想である。それが人間らしく生きるということである。何が人間らしいかは、一人一人によって違うが、そういった個々の願いを叶えさせるためにこそ、科学技術を使っていくべきである。

世界には、貧困や紛争などで大変な暮らしを余儀なくされている人が多数いる。その現実を知るということを例にとっても、テレグジスタンスで直接難民キャンプや現地を訪れて、その事態を目の当たりにし直接話を聞くことと、ただニュースを見ているのでは、その理解に天と地ほどの差がある。さらに、テレグジスタンスを使って、自分の使える時間だけボランティア活動をすることもできるのである。専門家であれば、各種のコンサルティングや医療や介護などもテレグジスタンスで容易に行える。多くの人が、自国のテレグジスタンス社会を享受して、それにより自由になった時間を利用して、実際の移動を伴わずに、世界中の困っている人を助けることができるようになるのである。

5. おわりに

2016年はVR元年であるといわれ、ゴールドマン

サックスなどは、2020年代にVRがテレビに匹敵する産業になると予測し、いまそれが現実になろうとしている。この第二次のVRブームが始まる4年前の2012年に、著者は、日本VR学会の基調講演で、歴史的な考察から、3DとVR技術のもつ30年周期を発見し、第2次VRブームが2020年代に起きるとの予想を述べた¹⁸⁾。

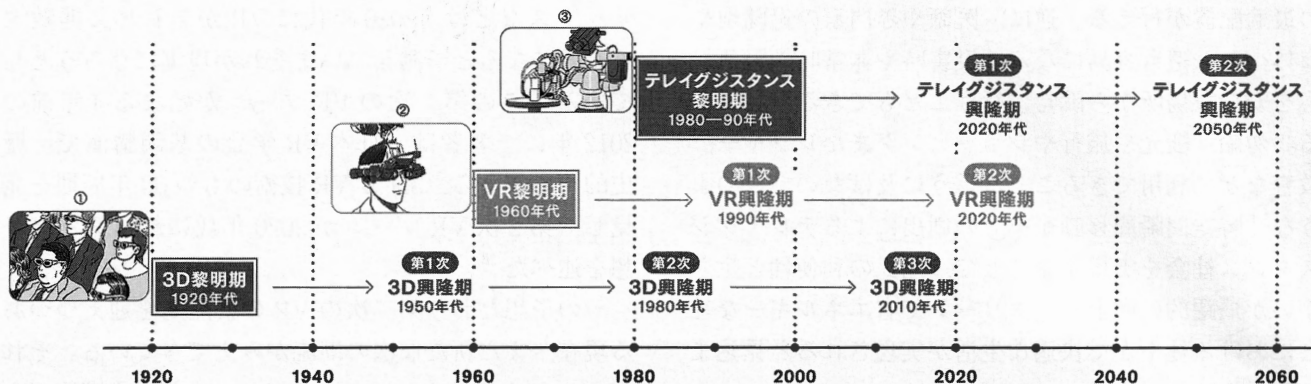
その予想どおり第二次のVRの興隆期を迎えつつある現在、また新たな次の潮流がみえてきている。それが、テレグジスタンス(アバター)という潮流である。テレグジスタンスは、著者が1980年9月19日に着想した概念であり、1982年には最初の装置を製作し発表した¹⁹⁾。その後、40年近い歳月を経て技術が育ちテレグジスタンスが最初の興隆期を迎えようとしている。

図一7に3D、VR、テレグジスタンスに関する30年周期を俯瞰している。黎明期とは、関係者は知っているものの一般的には知られておらず、興隆期を迎えてから、そういえばあの時に始まったと認識するものである。興隆期を迎え、歴史を紐解いた時の原点の時代である。そして、興隆期を2度ほど迎えて、そのうち、世の中に浸透してゆくように思われる。

1980年代から2000年代までの30年間は、テレグジスタンスの黎明期といえよう。学界では認知されプロジェクト研究などが進んだ一方、社会に実装されブームを起こすまでには至っていない。現在、世の中の進歩が、まさにテレグジスタンスに向かって動き出して、これから第一次の興隆期を迎えようとしている。その原動力の一つが、ANA AVATAR XPRIZEであることは疑いがない。

このAVATAR XPRIZEの影響を受け、我が国の科学技術政策もAVATARを意識し始めている。内閣府が1150億円の基金のもと2020年度から開始するムーンショット型研究開発制度の六つの目標の第一目標として、「人が身体、脳、空間、時間の制約から解放された社会を実現」を掲げ、誰もが多様な社会活動に参画できるサイバネティック・アバター社会とサイバネティック・アバター生活の実現に挑戦する²⁰⁾。すなわち「テレグジスタンス社会の実現」を目指しているのである。

2030年までに、一つのタスクに対して、1人で10体以上のアバターを、アバター1体の場合と同等の速度、精度で操作できる技術を開発し、その運用等に必要基盤を構築するとともに、望む人は誰でも特定のタスクに対して、身体的能力、認知能力及び知覚能力を強化できる技術を開発し、社会通念を踏まえた新し



図一 7 30年周期で革新する3D・VR・テレグジスタンス

- ① 1922年にHarry K. Fairallにより上映された3D映画「The Power of Love」
 ② 1968年にIvan Sutherlandが開発したHMD「The Sword of Damocles」
 ③ 1989年に舘暉が開発したテレグジスタンスロボット「TELESAR」

い生活様式を提案するとしている。そして、2050年までに、複数の人が遠隔操作する多数のアバターとロボットを組み合わせることによって、大規模で複雑なタスクを実行するための技術を開発し、その運用等に必要の基盤を構築し、望む人は誰でも身体的能力、認知能力及び知覚能力をトップレベルまで拡張できる技術を開発し、社会通念を踏まえた新しい生活様式を普及させる。

このような流れの中、世界的にはAVATAR XPRIZEにより、そして、国内的にはムーンショット型研究開発が機動力となり、2020年から2030年にかけて、環境、距離、年齢、身体能力など様々な制限に関わらず自在に瞬時に移動することを可能とするテレグジスタンス技術が大きく実用化され、時空間瞬間移動産業が生まれ育ち、遠隔就労やレジヤーはもとより、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。さらに、30年周期予想から、2050年代に、再び大きなステップアップが生じて、社会が大きく変わり、その時には、本格的なテレグジスタンス社会が実現されるものと予想される（舘予想）。

人間に新しい身体を義体として与え、時空の瞬間移動をバーチャル（実質的）に可能とするテレグジスタンスは、人間がより人間らしく生きてゆくことに、今後大きく貢献してゆくことであろう。

JCMJA

〈参考文献〉

- 舘 暉：テレグジスタンスの新展開，日本ロボット学会誌，vol.36，no.10，pp.2-6（2018）
- 舘 暉：テレグジスタンスと時空間瞬間移動産業，自動車技術，

vol.37，no.12，pp.17-23（2019）

- 舘 暉 監修：よくわかるVR，PHP研究所，pp.22-24，（2019）
- 舘 暉：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）
- Ralph S. Mosher: "Handyman and Hardiman", Technical Paper 670088, SAE International (1967)
- 舘 暉，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）
- “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”，Forbes JAPAN，no.46，pp.34-39（2018）
- <https://forbesjapan.com/articles/detail/20313>
- <https://avatar.xprize.org/>
- <https://www.forbes.com/sites/japan/2018/01/26/telexistence-how-this-tokyo-startup-is-building-real-life-avatar-robots/#4a2964c14094>
- <https://www.nssol.nssmc.com/technology/iox-solution/5g-factory-002.html>
- <https://www.youtube.com/watch?v=UB2xrX9gQtA>
- <https://travel.watch.impress.co.jp/docs/news/1244424.html>
- 小田博志：建設ロボットの遠隔操作とテレグジスタンス，第2回産業用バーチャルリアリティ展・セミナー要録，pp.220-223，幕張メッセ国際会議場（1994）
- 源昌彦：テレアースワークシステムにおける建設機械の遠隔操作（雲仙普賢岳プロジェクトでの実用例），第3回産業用バーチャルリアリティ展・セミナー要録，pp.62-65，東京晴海国際見本市会場・貿易センターホール（1995）
- 鷹巣征行：建設作業用マンマシンマニピュレイティングシステム，第2回産業用バーチャルリアリティ展・セミナー要録，pp.220-223，幕張メッセ国際会議場（1994）
- 竹本靖：テレグジスタンス実用化への展望，第3回産業用バーチャルリアリティ展・セミナー要録，pp.57-60，東京晴海国際見本市会場・貿易センターホール（1995）
- 舘 暉：特集 第17回大会 基調講演，原点回帰—バーチャルリアリティとテレグジスタンスの将来を見据えて—，日本バーチャルリアリティ学会誌，Vol.17 No.4，pp.6-17（2012）
- 舘 暉：“テレグジスタンスと私”，日本ロボット学会誌，vol.10，no.1，pp.29-30（1992）
- <https://www.8.cao.go.jp/cstp/moonshot/index.html>

〔筆者紹介〕

舘 暉（たち すすむ）
 東京大学 名誉教授，
 日本バーチャルリアリティ学会 初代会長

