

(たち・すすむ) 1946年生まれ。1968年東京大学工学部卒、東大大学院工学系研究科(計数工学専攻)に進み1973年工学博士。通商産業省工業技術院機械技術研究所を経て東大助教授、同教授。2009年から2015年まで慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科教授・国際バーチャルアリティ研究センター長。2015年から東大高齢社会総合研究機構。



第92回
写真：日経サイエンス

ロボット使う疑似体験 提唱から実用化へ

本人に代わりロボットが外出したり作業したりするテレイグジスタンス

1980年代に提唱したアイデアの実用化が視野に入ってきた

遠隔操作はもちろん、遠隔旅行や遠隔就労も夢ではないかもしれない

ロボットが本人に代わって観光地を訪れたり、工場で作業に携わったりする。本人は別の場所にいながらロボットと一緒に一体化した感覚で操作する——。テレイグジスタンス(遠隔存在)と呼ばれるこうした技術体系を1980年代に提唱したのが東京大学名誉教授の館暉だ。この分野への企業参入も増えており、館は時代が追いついてきたとの思いを強くしている。(文中敬称略)

民間企業による宇宙船開発や無人月探査など未来技術を競うコンテストを運営している米国のXプライズ財団。2016年10月、学識経験者や企業経営者、投資家らをロサンゼルスのホテルに集めて、次年度からのコンテストのテーマを選ぶ審査会を開いた。この会場に、自らが開発したテレイグジスタンス・ロボットの「TELESAR V(テレサ5)」を傍らにプレゼンテーションをする館の姿があった。

館に協力を仰いだのは、全日本空輸(ANA)がスポンサーになった応募グループ。TELESAR Vのようなアバター(代理人)タイプのロボットを使って旅行など遠隔地の体験ができる新技

術の開発をコンテストのテーマに提案した。300人近い審査員が投票し、3グループの提案したテーマを採択。ANAのグループの提案も選ばれた。

その後、ANAのグループはコンテストのテーマを、アバターの用途を旅行や観光に限らずより広い応用を目指す内容に拡大した。こうしてXプライズ財団主催によるコンテスト「ANA AVATAR XPRIZE」が始まった。世界から多数の参加が見込まれ、2021年に予選を開催する。勝ち抜くと20チームが2022年の本戦に進む。

最初は盲導犬ロボット

ANA AVATAR XPRIZEのコンセプトは館が提唱したテレイグジスタンスと共に通している。作業現場など離れた場所にロボットを置き、操作者はその場にいるような感覚で作業をする。例えば、鉱山での採掘作業。本社の作業台に座ったオペレーターが画面を見ながら現場作業の手応えを感じつつロボットを動かす、といったイメージだ。

館がテレイグジスタンスの概念を考えついたのは、通商産業省工業技術院

機械技術研究所(現在の産業技術総合研究所)にいた1980年秋。政府の在外研究員として米マサチューセッツ工科大学(MIT)で約1年を過ごして帰国した年だった。当時は目の不自由な人のために歩き方を補助する「盲導犬ロボット」の開発に取り組んでいた。

この装置の開発や性能評価のため、人が歩こうとする空間の視覚情報を何らかの形で装置側に伝える必要があった。だがその有効な方法が思いつかない。ある日、研究所の廊下を歩いていたとき答えが見つかった。「本人の頭と同じように動くものを装置側に置いておけばいい」。

人は視覚情報を目の網膜で受けている。網膜に映る映像は人が顔や視線を動かすことで変化し、これを脳がまとめて3次元の空間情報を作り出す。だとすると本人がその場にいなくても、その人の頭部に相当するものを置き、本人の頭の動きに合わせて動くようすれば、その場にいるのと同等の視覚情報を伝えられるに違いない。

すぐに「盲人用歩行補助器評価装置」を考案した。目の不自由な人の代わり

に視覚をもつロボットを歩かせるという仕組みだった。さらに、この手法は別の場所にあるロボットをその場にいるような感覚で操作するのにも使えると気づいた。そのアイデアをもとに「感覚情報呈示機能をもったマニピュレタの操縦方法」を考案。1982年7月には計測自動制御学会の学術講演会でテレイグジスタンスの概念を学界に向け提案した。

テレイグジスタンスはロボット工学や仮想現実（VR）、通信、ロボットを制御する人工知能（AI）などの各技術を組み合わせることで実現する。現在の各技術の到達点を見ると、テレイグジスタンスの実現はさほど難しくないのではないかという気もしてくる。

しかし、ロボット技術1つをとっても、当時普及していた産業用ロボットは定型の作業を高速で行うのは得意だが、アバターに使えるヒト型ロボットは研究途上だった。ロボットからの感覚情報を伝えるための通信速度も遅く、本格的なVR技術もまだ登場していなかった。こうした制約の中、館はテレイグジスタンスの原理を実証して将来

につなぐ研究をコツコツと積み重ねていった。

自作装置で衝撃的な体験

1982年、館は「一生忘れられない衝撃的な体験」をする。操作者の頭の動きどおりに動くカメラロボットが映像を操作者に示す「テレイグジスタンス立体システム」を開発、これを自ら試したときのことだ。館自身があたかも幽体離脱をして自分の姿を外から観察しているようなリアルな感覚を覚えた。テレイグジスタンスが実現可能だと確信した瞬間だった。

1985年には遠隔操作により、まるで自動車のような移動ロボットに乗り込んだ感覚で障害物を回避したりする「テレイグジスタンス・ピークル」を開発。1980年代末からはロボット「TELESAR」シリーズによるテレイグジスタンスの実証を進めてきた。

最初のTELESAR I（1989年）では、操縦者が遠隔地にロボットを介して入り込むような感覚を作り出せることを示した。TELESAR II（2005年）では、離れた場所のロボットの頭部に操縦者

の顔の映像を映し出し、遠隔地にいる人々が操縦者とコミュニケーションする「相互テレイグジスタンス」に成功した。TELESAR IV（2010年）では操作者が自由に動き回しながらロボットのいる遠隔地とコミュニケーションできることを実証した。

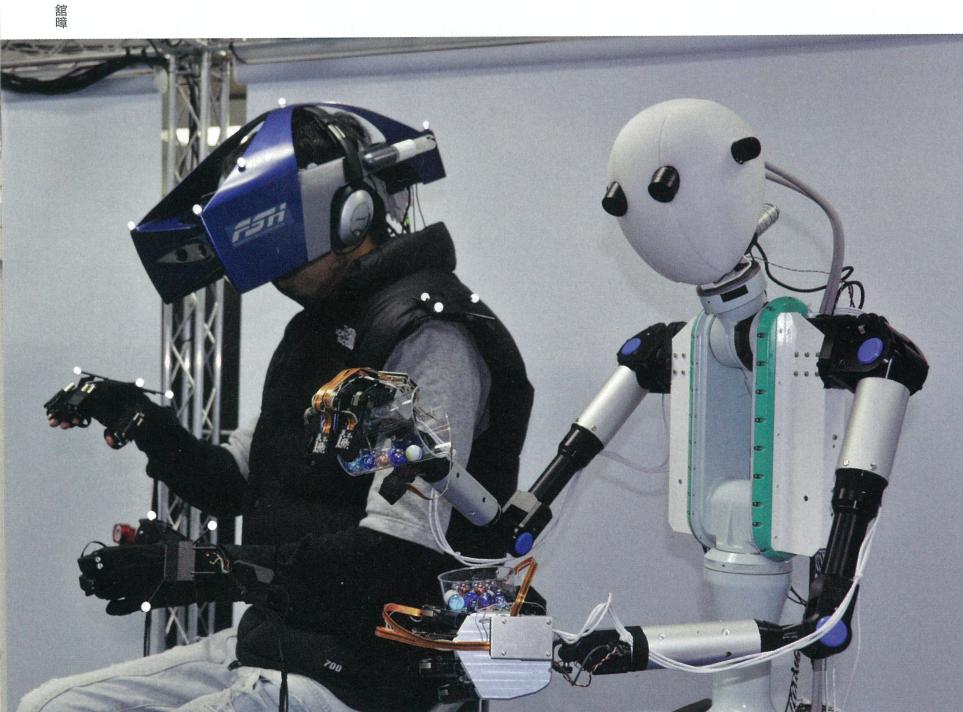
館がテレイグジスタンスの実用化に向け、この10年ほど集中的に取り組んでいるのが五感の1つである触覚をうまく伝える技術だ。館らは、あらゆる色が赤・緑・青の三原色の組み合わせで表現できることになぞらえた「触原色原理」という手法を提案している。

館によれば「硬い・柔らかい」「ざらざら・すべすべ」「温かい・冷たい」「痛い」といった手触りの感覚は、対象となる物体との接触によって皮膚表面に生じる「圧覚」「振動覚」「温度覚」の3つの基本的な感覚の組み合わせによって作り出される。この原理を使えば触覚情報を少ない情報量で伝えることができる。

触覚を伝える新鋭システムを初めて組み込んだのがTELESAR Vで2011年だ。まず指先への反力や温度を伝えるシステムとして開発、翌2012年に触原色原理に基づく触覚の伝送機能を組み込んだ。このロボットはいわば館の最新の研究プラットフォームだ。

館は2015年から科学技術振興機構（JST）の研究開発制度ACCELの「触原色に立脚した身体性メディア技術の基盤構築と応用展開」の研究代表者を務めている。このプログラムは新技術の実用化や社会実装を強く意識した研究制度で、ベンチャー設立も推奨されている。

館は2016年にXプライズ財団の会議でプレゼンテーションをした縁で、海外の投資家から一緒に起業しないかと誘われた。関心をもってくれてうれしかったが丁重に断った。「テレイグジスタンスは日本で生まれた技術で公的な支援も受けしてきた。起業するなら



テレイグジスタンス・ロボットTELESAR V（右）は操縦者に触感を含む存在感を伝えられる。

テレイグジスタンスならば出かけずに旅行も楽しめる観光地を見聞できるほか物にも触れて体感できる

日本でやらねばと考えた」からだ。

そんなとき出会ったのが三菱商事出身の起業家、富岡仁だった。富岡はACCELのネットワークを通じて館の技術を知った。最初はVRベンチャーの起業を考えていたが、館の話を聞いて将来性を確信した。2017年設立の新会社名はしばりTELEXISTENCE。館は会長に迎えられ、館のもとで研究していた慶應義塾大学特任講師のチャリス・フェルナンドがCTO（最高技術責任者）に就いた。

国内企業も相次ぎ参入

同じころ、国内の有力企業が続々と参入してきた。トヨタ自動車は分身のように遠隔操作が可能なヒト型ロボットを2017年に発表。新日鉄住金ソリューションズ（現・日鉄ソリューションズ）とNTTドコモも共同でヒト型ロボット操作システムを発表した。小型のアバターロボットを開発するベンチャー企業も登場。テレイグジスタンスの事業化は、2年後に予選が開かれるANA AVATAR XPRIZEと相まって、勢いがつきそうだ。

ただ、技術的な課題もある。1つは通信性能。触覚を操作者に伝える際、ミリ秒単位の通信遅延でも操作者に違和感を与えるという問題がある。館はこれについて「通信遅延が少ない次世代通信規格5Gの登場でほぼ解決される」とみている。一方、大きな課題として残されているのが、人の手の動きを精巧に再現するロボットハンドの開発だという。

だが館はこれも時間の問題だと考えている。「エンジニアリング（工学）は面白いもので、とても困難だと思わ



与えるだろう」と館は考えている。

日常生活へのインパクトも大きい。足腰が弱って外出できなくなった高齢者や障害者が、ロボットを介して外出や買い物を楽しんだり、家族に会いに行けたりする。こうした場面では、単に相手の顔が見えるだけでなく手を握ったり抱いたりといった感触が自由に伝えられるようになるだろう。

新技術の社会実装の進め方に館は信念がある。「人間が機械に支配されることなく、人間が機械を使いこなさなければならない。技術は社会と調和しつつ人々の生活をよりよいものにしないといけない」。盲導犬ロボットの開発など、人と機械の関係を考えてきた館は、この原点を見据えつつ、自ら編み出した技術の成長を見守っている。

（日本経済新聞編集委員・吉川和輝）