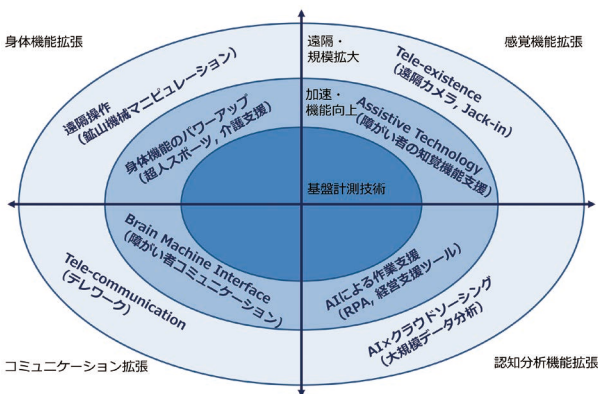


人間拡張で拓くメタバースの産業応用

国立研究開発法人産業技術総合研究所 人間拡張研究センター
 研究センター長 持丸 正明

1. 人間拡張

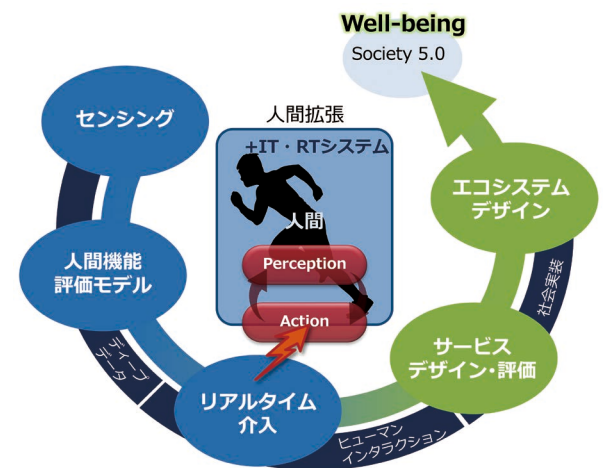
産業技術総合研究所の人間拡張研究センターでは、人間拡張技術を「人に寄り添い、人を高める技術」と位置付けている。人が情報技術やロボット技術をまとうことで、一時的に人の心身能力を高め、また、その技術を継続して利用することで、人単体の心身能力をも維持増進できるようなシステム技術をめざしている。図1に人間拡張の技術マップを示す。人の心身機能を、身体運動、感覚知覚、認知分析、コミュニケーションの4分野に分け、それぞれについて、個々の機能を加速したり向上させたりする技術や、人がネットワークにつながることでそれらの機能を遠隔化したり規模拡大する技術として整理している。図1に示した通り、このように整理された技術カテゴリそれぞれについて、すでに何らかの研究があり、実用化されているものもある。人間拡張は、全く新しい研究分野と言うよりも、これらの技術を包括した基盤を構築することで新しい産業を創出する領域であると考えている。



資料：産業技術総合研究所作成
 図1 人間拡張の技術マップ

人間拡張は、図2に示すように、まず人の状態や環境をリアル空間でセンシングするところから始まる。人に寄り添うセンシングのためには、フレキシブル

でストレッチャブルなセンサや電池の技術が必要となる。そこで得られるデータをサイバー空間に構築した個人のデジタルモデルで即座に分析、評価する。場合によっては近い未来をシミュレーションで予測する。その評価、予測結果に基づいて、人や環境をより望ましい状態に変容させるべく、再びリアル空間で介入を行う。視覚情報提示だけでなく、五感のXR、ロボット技術が必要となる。このセンシングから介入に至るサイクルを迅速に回すことで、人の心身機能を拡張する。ただし、このセンシングから介入に至る技術だけでは人間拡張の産業化は難しい。自動車産業がMaaS (Mobility as a Service) を提唱する時代に、人間拡張スーツを物として販売するのは時代逆行である。人間拡張は、初めからサービスとして産業化すべきである。人間拡張スーツはレンタルし、それによってもたらされる心身の変容や生産性の向上に課金するのである。継続して利用してもらうことで、貴重なデータを得ることもできるだろう。このためには、製造業のサービス化やサービスデザインを担うサービス工学も必要となる。人間拡張研究センターでは、センシングからサービスデザインまでの異分野研究者をそろえ、人間拡張の産業化をめざしている。



資料：産業技術総合研究所作成
 図2 人間拡張研究のフレームワーク

2. 人間拡張とメタバース

図1に示した「遠隔・規模拡大」は、人がネットワーク接続されサイバー空間に出入りすることで実現される。このような計算機やネットワーク上に構築された時間の概念を持つ3次元空間、もしくは、そこで提供されるサービスをメタバースと呼ぶ。われわれが実在するリアル空間 -- ユニバース (universe) に対して、それを超えた別の空間という意味で接頭語の meta- がつきメタバース (metaverse) となっている。人間拡張とメタバースは同じものではない。人間拡張の中には、サイバー空間をあまり活用することなくセンサとロボット制御で身体運動機能を拡張する研究¹⁾や、センサとAIでコミュニケーション機能を拡張する研究²⁾もある。ここでは、われわれの人間拡張研究の中で、サイバー空間を積極活用している例を紹介する。

第一は、接客トレーニング支援の研究である³⁾(図3)。サイバー空間にファミリーレストランの実店舗の複製物を構築し、そこに仮想顧客を再現する。このサイバー空間に、VRゴーグルとハンドジェスチャデバイスを装着した訓練者が没入し、仮想顧客に対して接客サービスを行う。サイバー空間内での訓練者の視線、行動は生成した仮想顧客の行動と共にすべて記録され、随時再生できる。指導者はそれを異なる時空間で見て、サイバー空間内にコメントを残すかたちで指導を行う。サイバー空間内のテーブルや椅子は形状だけでなく意味情報も持っており、別の店舗情報に置き換えたとしても、仮想顧客はちゃんと通路を通過して椅子に座るように設計されている。また、指導者がいなくともログデータから訓練者の基本スキルを自動評価できるようになっている。このサイバー空間では、仮想顧客の行動が「介入」であり、顧客を待たせることなく、いかに目配りをして適切に接客できるかのスキルを習得できる。訓練者はそのスキルをリアル空間に持ち帰ることになる。



資料：産業技術総合研究所作成

図3 接客トレーニング支援

第二の事例は、遠隔での介護サービス支援の研究である⁴⁾。専門の理学療法士がいる医療機関と、リハビリテーショントレーニングを受ける患者がいる遠隔地が、それぞれリアル空間に存在する。この理学療法士と患者がサイバー空間では同一の空間に寄り添って存在し、理学療法士も患者もお互いの存在を感じ、理学療法士は患者の身体の動きを感じながら手を添えて患者の身体を動かし、患者は理学療法士の手を感じながらリハビリテーショントレーニングを行う(図4)。このために患者の動きをセンシングし医療機関にあるロボットを介して理学療法士に伝えるウェア -- MR³ウェア (Multi-Modal Mixed Reality for Remote Rehabilitation) を開発している。印刷技術に基づくフレキシブルでストレッチャブルなセンサをウェアの関節部に配置し、それによって患者の関節の動きを捉えている。将来的には、振動や温感で遠隔にいる理学療法士が添えた手の感触を伝達できるようにする。患者がつけたVRゴーグルには寄り添う理学療法士が見えており、視覚や触覚、温熱感覚から患者は理学療法士の存在を感じて、その指示に従って効果的に遠隔リハビリテーショントレーニングができると考えている。ここでは、患者はサイバー空間の存在情報を多感覚を介してリアル空間に持ち帰り、トレーニングというリアル空間の行動変容につなげることになる。



資料：産業技術総合研究所作成

図4 遠隔での介護サービス支援

3. サイバー空間の価値をリアル空間に環流する

メタバースというサイバー空間で産み出された価値は、何らかのかたちでリアル空間に環流することになる。現時点でのメタバースの中心的な産業分野であるエンターテインメントでは、仮想空間でのゲーム体験やアート鑑賞をリアル空間にいる人の感情変容として環流している。ストレスが発散できる、楽しい、夢中になれるなどの感情変容である。いま、メタバースが注目されているのは、サイバー空間での価値の形成とリアル空間への環流が、コロナ禍で大きく変わったからだと考えている。世界規模で発生したコロナ禍は、感染予防の観点から人と人の物理的な接触低減につながり、テレビ会議が急速に浸透した。それによって、テレビ会議を使う人の受容性とリテラシーも急速に向上した。テレビ会議はメタバースとしては貧弱な技術であるが、それまでメタバースに遊園地やアートの価値を作り込んで、顧客がそれを消費する形態が多かったのに対して、メタバースに顧客が集い、そこで価値を共創できることを示した意義は大きい。メタバースは消費空間から共創空間に変わり、同時に、B2C から B2B に変わってきたのである。

B2B では、サイバー空間からリアル空間への価値の環流も多様となる（表1）。先に述べた感情変容として環流するエンターテインメントの事例にとどまらず、研究事例として挙げたトレーニングや、あるいは、サイバー空間を利用した EdTech（Education Technology）などのように人の知識やスキルとして環流するアプリケーションがある。遠隔の保守作業において、専門家が現地に出向かず仮想空間に入りながら現地作業者に教示をするというのも、この知識やスキルの環流に位置付けられよう。さらに、遠隔リハビリテーションの事例で示したように、人の行動変容として環流することもできるようになる。サイバー空間を活用することで、健康維持に資する日常運動を継続させたり、観光行動を誘発させたりすることもできるだろう。より工業的には、知能機械と人が混在する物流や製造現場で、サイバー空間内で両者の最適な作業分担や行動を計画し、それを人に提示して生産性を向上させることもできる。スキルの習得でも身体運動的なスキルを伴う場合や、行動変容を促す場合

では視聴覚刺激だけでなく、EMS（Electrical Muscle Stimulation）で筋を活動させたり、振動などの触覚呈示によって触感覚や体性感覚に介入することが多い。また、このように人に介入して変容させるだけでなく、ロボットが代行してリアル空間に価値を環流することもできる。サイバー空間で計画した通りにリアル空間で人や物を運ぶ自動運転、あるいは、建設機械の遠隔操作による土木工事（環境の変容）などが相当する。

表1 リアル空間への価値の環流

サイバー空間からリアル空間に環流する価値	価値を環流させるインタフェース技術	刺激される感覚モード	産業応用例
人の感情の変容	VRゴーグル、立体音響	視覚、聴覚	エンターテインメント
人の知識やスキル	VRゴーグル、立体音響、EMSIによる筋刺激、触力覚呈示	視覚、聴覚、触覚、体性感覚	教育、トレーニング
人の行動変容（継続）	VRゴーグル、立体音響、EMSIによる筋刺激、触力覚呈示、温熱呈示	視覚、聴覚、触覚、体性感覚、温熱感覚	健康、介護、観光、物流、製造ライン、オフィスサービス
金銭	仮想通貨	--	データ、モデル、デジタル作品などの商取引
人や物の移動	自動運転ビークル	--	モビリティ、物流
環境の変容	遠隔操作ロボット	--	土木、建築

資料：産業技術総合研究所作成

4. メタバースの意義

わざわざメタバースというサイバー空間を介在させる意義は何であるのか。もちろん、「遠隔化」というのは大きな効能の一つである。また、サイバー空間では「重力や時間」の因子をも自在に変化させることができるため、それを活用した人間拡張トレーニングというのも別の意義としてある。むしろ、産業としての重要な意義は、「介入とデータ」にあると考えている。人のさまざまな感覚モード（視覚、聴覚、触覚など）に介入することは、リアル空間でも可能である。しかし、実際には周辺に影響を与えない個別介入は難しいし、適切なタイミングでの介入制御も難しい。大規模な介入となるとコストも大きくなる。サイバー空間では、これらが解決できる。また、サイバー空間では、全く同じ状況や文脈を再現できるため、介入項目以外の条件をそろえて多人数に介入を行って、介入に伴う行動変容の因果関係や個人差を明確に調べることもできる。

データという観点では、なにより環境データが完全に取得できることの意義が大きい。人は環境から刺激

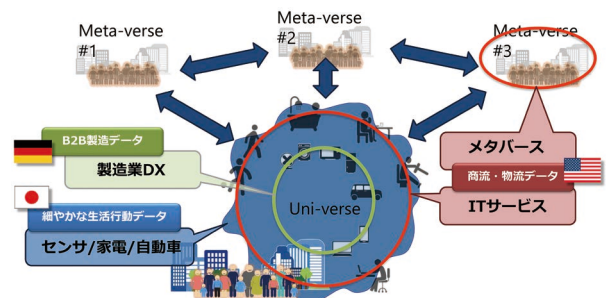
を受け、それに対して反応するシステム（刺激-反応モデル）と捉えることができる。リアル空間で活用されるセンサは、基本的に反応を計測している。生理反応、行動変化などはすべて反応である。刺激は介入のことであるが、人は企図した介入以外のすべての環境から刺激を受けている。リアル空間では、この人の周囲のすべての環境データ（≒人にとっての刺激データ）を完全に観測、再現することはできない。一方で、サイバー空間ではすべての環境はデジタル化されたものであり、それらのデータは企図した介入と、それによってもたらされる人の反応と共にすべて記録されていることになる。環境データにはラベルがつけられ、場合によっては先の接客トレーニングの事例のように意味情報も与えられている。データは膨大であるが、最新の人工知能の技術をもってすれば、環境、介入、行動変容の関係性をモデル化することは十分に可能であろう。そのように考えると、メタバースはそれ自身が環境、介入、行動変容の関係性の知識の記録であり、また、それを再生、体験するメディアでもあると言える。

5. インターバースを獲る

リアル空間にいる人がサイバー空間に入り、また、サイバー空間で産み出した価値をリアル空間の人に環流するために、リアル空間とサイバー空間を相互につなぐ技術が必要となる。メタバースとユニバースの間、すなわちインターバース技術である。Web3時代であるので、これからのメタバースは一社が独占するのではなく、分散型になるかもしれない。そうなれば、メタバースとメタバースを頻繁に行き来することも出てくるだろう。メタバースとメタバースの間もまたインターバースと呼ぶことができる。

日本産業はインターバースをタッチポイントとして獲るべきである。これが筆者の主張である。図5の中央下にある青いくねくねとしたかたちは、人の生活を意味している。生活は不定形で個人差があり、絶えず変化している。さて、図中で赤い丸で示された部分は米国の企業がタッチポイントとして獲得している部分である。スマートフォンなどのITデバイスを通じて生活のタッチポイントを獲り、また、さらにメタバースも獲得する勢いである。これに対して、ドイツが進めた Industrie4.0 という政策は、ドイツ

が抱える SIEMENS や SAP が得意とする製造分野のデジタル化で製造から CRM (customer relationship management) までをタッチポイントとして獲得しようとするものである（図中の緑の丸）。日本産業にはもうタッチポイントが残されていないようにも見える。筆者は、日本産業が得意とする、あるいは、IoT時代まで抱えてきた産業、すなわち、センサ、家電、自動車で生活や産業活動の細やかなデータを取り、それをそのままサイバー空間につなげ、価値に結びつけていくところに戦略的にフォーカスすべきと考えている。図5中の青い部分、インターバースをタッチポイントとして獲る。メタバースとユニバースの間、メタバース間をつなぐゲートを押さえると言うことである。



資料：産業技術総合研究所作成

図5 インターバース

日本産業がインターバースをタッチポイントとして獲るために、五つの視点で協調したアクションが必要になる。第一は、基盤技術研究である。五感をつなぐ技術、あるいは、脳をつなぐ技術、特に、サイバー空間からリアル空間に環流するインタフェース技術の研究が重要である。また、前節で述べた通りメタバースそのものが知識メディアになることを考えると、そのデータアーキテクチャや分析技術の研究も必要となる。第二はルール形成である。インターバース技術の interoperability、データのポータビリティという構造標準だけでなく、インターバースの性能標準や品質管理のプロセス標準も整備する必要がある。また、メタバースのデータ利用（個人情報保護、プライバシー）に関するルールや、中毒性、生体安全性など負の側面を抑えるための安全標準も整備しなければならない。

そして、その標準化戦略の上で、第三のビジネスモデルの開発が重要であるのは言うまでもない。市場性や独自性だけでなく、スケーラビリティを担保できる

モデルを開発していく必要がある。以上の三つに加え、第四として社会受容性がある。先に述べた通りコロナ禍でメタバースの社会受容性は大きく向上したと思われるが、テレビ会議に比べると、3次元のサイバー空間利用者はまだ限定的である。最後の第五は人材育成の視点である。サイバー空間のコンテンツを作るクリエイター人材、インターバース技術のエンジニア、さらにはサイバー空間での体験をデザインできる人材を育成しなければ、ビジネス需要の拡大に人材が追いつかないことになる。そして、インターバース技術を担う製造業が、センサや家電、自動車というデバイス売りから、インターバースをタッチポイントとしたプラットフォームサービス事業に移行していくために、製造業のサービス化を担う人材の育成も進めなければならない。技術、ルール、ビジネス、社会、そして人材の協調的な開発が必要なのである。

6. おわりに

人間拡張技術やインターバース技術を足掛かりに、メタバースがエンターテインメントにとどまらず、さまざまなB2B、もしくはB2B2C産業に活用される可能性と、そのためのアクションについて述べた。2022年現在、内閣府が推進する戦略的イノベーション創造プログラムSIP（Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program）は第2期の終了段階にあり、2023年度から第3期が始まろうとしている。その第3期のプログラム課題候補に「バーチャルエコノミー拡大」というものが挙がり、検討が進められている。バーチャルエコノミーは内閣府の造語であるが、メタバースによる新経済圏と考えて良い。筆者は、この「バーチャルエコノミー拡大」の課題候補の検討を推進するプログラムディレクター候補にアサインされている。この課題候補の検討が進み、第3期の課題として採択された場合には、上記の五つの視点で協調的な開発アクションをとるプロジェクトを公募し、日本産業界がインターバースのタッチポイントを獲れるようマネジメントしていきたい。

参考文献：

- 1) A. Murai, S. Kanazawa, K. Ayusawa, S. Washino, M. Yoshida, M. Mochimaru (2021), DATSURYOKU Sensor—A Capacitive-Sensor-Based Belt for Predicting Muscle Tension: Preliminary Results, *Sensors*, 21(19), 6669; <https://doi.org/10.3390/s21196669>
- 2) Y. Kunimi, M. Ogata, H. Hiraki, M. Itagaki, S. Kanazawa, M. Mochimaru (2022), E-MASK: A Mask-Shaped Interface for Silent Speech Interaction with Flexible Strain Sensors, *Augmented Humans 2022*, Pages 26-34; <https://doi.org/10.1145/3519391.3519399>
- 3) 大槻麻衣, 大隈隆史 (2020), 飲食サービス業におけるVR業務訓練システムの開発, *情報処理学会研究報告*, Vol.2020-HCI-187(13); <http://id.nii.ac.jp/1001/00204034/>
- 4) 蔵田武志 (2021), 遠隔りハビリのための多感覚XR-AI技術基盤構築と保健指導との互惠ケア連携; <https://unit.aist.go.jp/harc/nedo-xrai-healthcare/pdf/2021/nedo-poster202107.pdf>

執筆者紹介



持丸 正明 (もちまる まさあき)

1964年神奈川県生まれ。1993年、慶應義塾大学大学院博士課程 生体医工学専攻修了。博士(工学)。同年、工業技術院生命工学工業技術研究所 入所。2001年、改組により、産業技術総合研究所 デジタルヒューマン研究ラボ 副ラボ長。2018年より、人間拡張研究センター センター長(現職)。専門は人間工学、バイオメカニクス、サービス工学。現在、ISO TC 324 および PC329 国際議長。消費者安全調査委員会・委員長代理。