

社会動向レポート

人間拡張：Augmented Human

～人間の能力を拡張する期待の技術～

経営・IT コンサルティング部
川瀬 将義

1. はじめに

近年、「人間拡張(Augmented Human、オーグメンテッド・ヒューマン)」という言葉が耳にする機会が増えているのではないだろうか。人間拡張は一言で表すと「人間の能力を補完・向上する、あるいは新たに獲得するための技術」であり、様々な社会課題を解決する効果をもたらすと期待が集まっている。人間拡張の代表的なアプリケーションであるパワーアシストスーツ⁽¹⁾ (人体の動きをサポートする装着型の装置)は、運動能力を向上することで荷物を運搬する際の負担を軽減し、作業時間を短縮できるなど、一人一人の生産性向上や労働力不足を解消する効果が期待されている。また、けがや老化などにより喪失/低下した能力を補うことで、自立した生活の支援、それによる医療・介護費を低減する効果も期待される。

人間拡張の発展を支える要素技術には、ロボット、センサ、通信、AI⁽²⁾、VR⁽³⁾/AR⁽⁴⁾/MR⁽⁵⁾、ハプティクス⁽⁶⁾ (振動や力などで人間の触覚を疑似的に再現する技術)などが挙げられる。これらの要素技術の組み合わせにより、従来よりも人間と一体化したデバイスが作製できるようになった。例えば、義手/義足やロボットアームなどは、ロボット、センサ、通信、ハプティクスを組み合わせることで、搭載したセンサにより取得した触覚情報を身体に伝達・体感させ、

あたかも自身の手や腕のように扱えるデバイスになりつつある。特に、ハプティクスの技術革新は、人間に「デバイスとの一体感」を感じさせることに大きく貢献している。デバイスの存在の煩わしさを軽減させ、人間がデバイスの機能を自身の能力のように扱うことを可能とするハプティクスは、人間拡張の発展において重要な要素技術となっている。

一方、人間拡張の活用場面は「人間拡張がもたらす効果」に応じて様々である。また、その効果は人間拡張のアプリケーションや組み合わせる要素技術に応じて多岐にわたり、画一的に示すことは難しい。しかし、効果の整理・類型化を行うことは、人間拡張の適用範囲や活用方法の検討を可能とするため重要であると考えられる。

本稿では、最初に人間拡張を定義・分類し、人間拡張の全体像を把握する。続いて、「デバイスとの一体感」を向上する取組みを紹介し、人間拡張を実現する技術の現状について論じる。その後、「人間拡張がもたらす効果」を整理・類型化し、今後の人間拡張の適用範囲や活用方法の可能性、人間拡張への期待について述べる。

2. 人間拡張の定義・分類

(1) 人間拡張の定義

一般に、人間拡張には明確に確立された定義はなく、文脈に応じて様々な技術が該当する。東京大学の暦本純一教授は、人間拡張を「人間

の能力をテクノロジーによって自由に増強・拡張させる技術」と説明し、人間拡張の究極の姿を「人機一体」としている⁽⁷⁾。「人機一体」は人間と機械の一体化のことであり、テクノロジーを活用した機械が人間と一体化し、能力を自由に増強・拡張することが人間拡張と言えよう。

一方、国立研究開発法人産業技術総合研究所（以下、産総研と称する。）の人間拡張研究センターは「人間拡張とは、人に寄り添い人の能力を高めるシステム」と説明している⁽⁸⁾。「人に寄り添う」とは人間に違和感を覚えさせないことを含んでおり、人間に一体感を感じさせるシステムにより人間の能力を高めることが人間拡張の1つの重要な要素と言えよう。

このように人間拡張の定義は様々な観点で述べられているが、共通して指摘されているのは、「人間とデバイスの一体化」、「人間の能力の拡張」の2つである。ここで言う「デバイス」とは、先述した人間拡張の要素技術（ロボット、センサ、通信など）を組み合わせたテクノロジーやシステムのことである。現状のデバイスは機械的なものが中心であるが、将来的には細胞やタンパク質などを材料として用い、より人間との一体化を促進する人間拡張も検討されており、機械的なデバイスに限定されるわけではない点も指摘しておく。また、ここで言う「能力の拡張」は、「人間拡張がもたらす効果」の観点から、「能力を補完・向上する、あるいは新たに獲得する」と整理することが出来る（詳細は4章を参照）。

以上をふまえ、本稿では人間拡張を「デバイスが人間と一体化し、人間の能力を補完・向上するための技術、あるいは新たに獲得するための技術」と定義した。

(2)人間拡張の分類

人間拡張において「人間の能力を補完・向上

する、あるいは新たに獲得する」方法としては2つのアプローチがある。1つは人間の器官（運動器、感覚器など）が持つ能力を拡張する方法で、本稿では「身体の拡張」とする。もう1つは人間を物理的な身体から解放し、新たな身体（ロボットなど）との感覚共有や操作を行う方法であり、「存在の拡張」とする。

図表1に、「身体の拡張」と「存在の拡張」を整理した結果を示す。

① 身体の拡張

身体の拡張は人間の器官に応じて分類できる。現状、人間拡張の対象となる器官は、1)運動器、2)感覚器、3)脳(神経系)、がほとんどである。呼吸器、循環器、消化器などの能力を拡張するデバイスも存在するが、能力が喪失/低下した器官を代替する医療機器としての側面が強いため、図表1では4)その他に分類している。

1)運動器

運動器はロボットに例えると、エネルギーを物理的運動に変換するアクチュエータに相当し、運動器の拡張とは人間の運動能力を補完・向上、あるいは新たに獲得する技術である。アプリケーションとしてはパワーアシストスーツ、義手/義足などがある。パワーアシストスーツは重量物を運搬する際に腰の負担を軽減するなど力仕事の支援を主な目的とし、介護や物流などの分野で活用されている。義手/義足は失った四肢を代替する人工四肢であり、従来は力加減の調節や意図した動作を行うための長期間のリハビリや訓練が必要であった。しかし、ハプティクスや筋電位測定・分析技術などの研究開発の進展により、義手/義足が触れた感覚を触覚として身体に伝達することなどが可能となりつつあり、利用者の利便性やQOL（Quality of Life）の向上が期待されている。

図表1 人間拡張の分類

大分類	小分類	概要	アプリケーション例
身体の拡張 (人間の能力の拡張)	運動器	人間の運動能力を補完・向上、あるいは新たに獲得する技術。筋力低下の補完や運動能力の向上などが含まれる。	・義手／義足 ・パワーアシストスーツ ・第3の腕
	感覚器	人間の五感の能力を補完・向上、あるいは新たに獲得する技術。現状では視覚、聴覚が主な対象であり、視力や聴力の補完などが含まれる。	・メガネ／コンタクトレンズ ・スマートグラス ・補聴器
	脳	人間の脳の能力(学習能力、記憶力、認知能力、他器官の制御能力など)を補完・向上、あるいは新たに獲得する技術。学習効率の向上や記憶障害の補完などが含まれる。	・脳情報モニタリング学習 ・記憶チップ
	その他	呼吸器、循環器、消化器などの器官の能力を補完・向上、あるいは新たに獲得する技術。現状では、能力が喪失／低下した器官を代替する医療機器としての側面が強いため、一般に人間拡張として話題になることは少ない。	・超音波無発声音声装置 ・人工心臓 ・人工呼吸器
存在の拡張 (物理的な身体からの拡張)	現実の身体	人間の分身体であるロボット(アバターロボット)との感覚共有・遠隔操作により、遠隔地で活動する身体を獲得できる技術。	・遠隔医療ロボット ・アバターロボット
	仮想の身体	デジタル空間における分身体(デジタルアバター)の感覚共有(仮想の感覚を構築して体感)・操作により、仮想空間で活動する身体を獲得できる技術。	・デジタルアバター
	他人の身体	他者の身体感覚や五感などを、自身の感覚として体感できるようにする技術。	・体験共有

(資料) みずほ情報総研作成

2) 感覚器

感覚器はロボットに例えるとセンサに相当し、感覚器の拡張とは人間の五感を補完・向上する、あるいは新たな能力を獲得する技術のことである。

現状、人間拡張が検討されている主な対象は視覚器及び聴覚器である。視覚器を拡張するアプリケーションにはメガネ、コンタクトレンズ、スマートグラス、AR／MR グラスなどが挙げられる。スマートグラス、AR／MR グラスはメガネ型の機器で、メガネのレンズ部分がディスプレイを兼ねており、現実と重ねてデジタル情報を表示できる。周辺環

境を認識するセンサがないものをスマートグラス、センサがあるものをAR／MR グラスと呼ぶ。スマートグラスは機能がデジタル情報の表示のみに制限されている代わりに軽量という利点がある。一方、AR／MR グラスはある程度の大きさ・重量があるものの、現実の世界で見た物体を識別し、その上に情報を重ねて表示できるなど、より複雑な機能を有している。

聴覚器を拡張するアプリケーションには補聴器や人工内耳などの医療機器が挙げられる。なお、スマートグラスの中には音声ガイド機能を搭載した機種も存在しており、これは聴

覚器を拡張したアプリケーションと言える。

触覚器、嗅覚器、味覚器の拡張は②存在の拡張における感覚共有(遠隔地でにおいを感じるなど)のための要素技術としての側面が強い。

3) 脳(神経系)

脳の能力に関しては解明されていない部分が多く、かつ、脳波や脳血流変化などの脳情報の取得には大掛かりな装置が必要な場合もあり、技術的なブレイクスルーが望まれている。

実際に活用されつつあるアプリケーションとしては、脳情報モニタリング学習／訓練が挙げられる。これは、脳情報を取得してAIで分析することで、集中や記憶など、自身の半ば無意識的な状態を把握し、学習や訓練を効率化するものである。自身の集中具合や学習の効率を記録できる「Effective Learner⁽⁹⁾ (株式会社ニューロスカイ)」や、集中力を高めるゲーム「GLOWMASTER⁽¹⁰⁾ (Playto Holdings Inc.)」など、実際に製品として販売されているものもある。

脳の機能である認知能力、学習能力、記憶力、他器官の制御力などの拡張に向けた研究開発も進められており、今後の展開に注目したい。

4) その他

呼吸器、循環器、消化器などの能力を拡張する技術も存在する。よく知られたものとしては、医療機器である人工心臓や人工呼吸器などが挙げられる。

医療機器以外では、ソニーコンピュータサイエンス研究所と東京大学暦本研究室が共同開発した、無発声音声装置「SottoVoce⁽¹¹⁾」が挙げられる。これは発声せずに話した際の口腔内の動きを顎の下に取り付けた超音波イメージングプローブ⁽¹²⁾で計測し、AIで解析して発声内容を復元するものである。

② 存在の拡張

存在の拡張は感覚共有・遠隔操作を行う対象に応じて分類できる。現状では1)機械の身体(ロボット)が主流であるが、将来的には2)仮想の身体(デジタル空間)、3)他人の身体も想定されている。1)機械の身体と2)仮想の身体を合わせて、テレグジスタンスやテレプレゼンスと呼ばれている。存在の拡張では人間の五感の多くまたは全ての再現が期待されているが、現状では視聴覚、触覚が主な対象であり、嗅覚、味覚の再現は研究開発がされているものの実用化にはまだ時間がかかると思われる。

1) 機械の身体

ここで言う機械の身体は、人間の分身体であるロボット(アバターロボット)のことであり、アバターロボットとの感覚共有・遠隔操作により、人間が遠隔地に存在しているかのように存在を拡張する技術である。アバターロボットは人型を中心に開発が進められているが、人型以外のロボットもあり得る。ロボット技術の進展に加え、視聴覚がAR／MR、触覚がハプティクスにより再現できるようになったほか、5Gにより大容量・低遅延の通信が可能となったことで、近年注目が高まっている。また、COVID-19(新型コロナウイルス感染症)の感染拡大に伴い、人間同士が接触しない活動を可能にする技術として注目がさらに高まっている。アバターロボットはテレワーク、テレショッピングなどの遠隔体験や、危険作業の代替などへの活用が期待されている。また、通常時は人間が介在せずに自動のロボットとして動作するが、必要に応じて人間が操作することで、一人で複数のアバターロボットを操作することも可能となる。これは製造現場や接客など、作業を完全にはルーチン化できない場面での活用が期待されている。期待の大きいアバターロボットであるが、現状ではコストが課題であり、普及のためには低価格

化が望まれている。

2) 仮想の身体

ここで言う仮想の身体は、デジタル空間における分身体(デジタルアバター)のことであり、デジタルアバターとの感覚共有(仮想の感覚を構築して体感)・操作することにより、人間が仮想空間に存在しているかのように存在を拡張する技術である。いわゆる VR の発展形であるが、現状では視聴覚に加え、一部の触覚を体感できるに留まっている。

3) 他人の身体

他人の身体感覚や五感などを自身の感覚として体感できるようにする技術である。熟練者の感覚を自身が経験することで学習・訓練効率を向上させるなどの活用が期待されている。事例として、他人の視界を体感できる「JackIn Head⁽¹³⁾」がソニーコンピュータサイエンス研究所と東京大学 暦本研究室により発表されており、スポーツ選手の視点を体験できる利用法などが提案されている。

3. 人間拡張を実現する技術の現状 ～デバイスとの一体感～

本章では「デバイスとの一体感」を向上する最近の取組みを紹介する。「デバイスとの一体感」は、本来の人間の能力を妨げない、あるいは人間の能力を妨げていないかのように錯覚させることで向上できる。例えば、VR では視界を全て映像に置き換えることで、映像を実際の視覚と錯覚させることで一体感を演出している。

デバイスが人間と一体化する場合、触覚はほとんど必然的に生じる感覚である。先述の例においても、VR は視覚を妨げてはいないものの、デバイス(ヘッドセット)を装着することによる違和感(触覚)は存在する。このような違和感を可能な限り解消する、もしくは触覚を再現・利用する技術として、本稿ではハプティクスに着

目し、「デバイスとの一体感」を向上する研究開発事例を紹介する。

ハプティクスは振動や力などで人間の触覚を疑似的に再現する技術であり、ゲーム機のコントローラーや、ディスプレイのタッチ感覚のフィードバックなどに使われている。触覚を情報として記録・伝達することも可能となっており、動画配信に触覚情報をコンテンツとして搭載・伝達する研究も進められている。図表2は「TECHTILE toolkit⁽¹⁴⁾」と呼ばれる触覚の取得・記録・編集・伝達・再現が行えるツールで、一方の紙コップで生じた玉が転がる感触を取得・記録し、もう一方の紙コップに張り付けられたアクチュエータでその感触を伝達・再現している。また、ハプティクスを応用して、ロボットが知覚した触覚を人間にそのまま伝達・再現する技術も開発されている。

このように、触覚を伝達・再現する技術は研究開発が進んできているが、人間が煩わしさを感じずに装着できるデバイスとするためには、まだ課題が残っている。現在のアクチュエータはコイルと磁石を使うものが多く、デバイスがある程度の大きさになることは避けられない。

図表2 「TECHTILE toolkit」を用いた触覚の取得・記録・伝達・再現



(資料) 慶應義塾大学 南澤孝太教授ご提供

そのため、デバイスが人間にとって煩わしく感じ、ユーザー体験の妨げになる点が課題となっている。より良いユーザー体験のためには、メガネやコンタクトレンズと同程度に人間と一体化した、あるいは人間の触覚に錯覚を起こすことで、存在を感じさせないデバイスの開発が望まれる。

その解決策の1つとして、デバイスを衣類に組み込むことも考えられている。産総研と名古屋大学は「着るだけで心電図計測ができるスマートウェア⁽¹⁵⁾」(図表3)を発表している。このスマートウェアは電気信号を伝達する導電性糸及びフレキシブル基板(FPC)、心電を計測するセンサ(静電植毛電極⁽¹⁶⁾)、が内蔵されており、スマートフォンなどを接続することで給電・通信を行うことができる。技術的にはセンサをアク

チュエータに変えさえすれば、着用者に触覚を感じさせることも可能である。

また、アクチュエータをゴム、布、フィルムなどのソフトな素材で再現し、皮膚に直接貼り付ける(皮膚と一体化させる)試みもある。例えば、豊田合成株式会社と慶應義塾大学の南澤孝太教授らは共同で「e-Rubber⁽¹⁷⁾」を開発している。「e-Rubber」はゴムでできたソフトアクチュエータであり、電気信号により伸縮することで触覚を再現できる。

このように、「デバイスとの一体感」を向上できるハプティクスが開発が進むことで、利用者がより使いやすいデバイスが誕生しつつある。将来的には、人間が身に着けても違和感や煩わしさが全く生じない人間拡張デバイスが実現しているかもしれない。

図表3 着るだけで心電図計測ができるスマートウェア



図表4 触覚を再現するゴムのアクチュエータ



4. 人間拡張の活用方法、適用範囲 ～人間拡張がもたらす効果～

本章では、「人間拡張がもたらす効果」を整理・類型化することで、今後の人間拡張の適用範囲や活用方法の可能性を示す。「人間拡張がもたらす効果」は「能力補完」「能力向上」「能力獲得」の3通りに大別できる(図表5参照)。

① 能力補完

能力補完は人間に元々備わっている能力の補完・補助、能力の喪失／低下の防止を目的とした人間拡張である。つまり元々の能力をゼロとしたとき、何らかの理由(老化やけがなど)でゼロからマイナスになった能力をゼロに戻す／近づけること、また能力がマイナスにならないように防ぐことを目的としている。主に義手・義足などの医療機器やヘルスケア現場における介護機器などが該当するほか、パワーアシストスーツによる腰痛防止なども挙げられる。そのほか、人間拡張を活用することで高齢者や傷病者などが快適に生活できる環境を整備することも可能である。例えば、アバターロボットを遠隔操作することで、病院のベッドにいながら別の場所で働くなどが挙げられる(全身の補完と言える)。

② 能力向上

能力向上は人間に元々備わっている能力をさらに向上する、つまり元々の能力をゼロとしたとき、能力をプラスにすることを目的とした人間拡張である。例えば、遠隔手術ロボットはロボットアームの活用で本来の人間の手より可動域を拡大できるほか、手の震えが防止されるなど高精度な執刀が可能である(手術能力の向上と言える)。

③ 能力獲得

能力獲得は人間に本来備わっていない新しい能力を獲得することである。もたらす効果は獲得した能力によるため一言で表すことは出来ないが、例えば、ロボットアームを人間に装着し、第3の腕を新たな能力として獲得する取組みがある⁽¹⁸⁾。また、AR／MRグラスはカメラ映像を用いて振向かずに後方を確認する能力を獲得できるほか、天気予報や時間などを表示することで、情報を視覚で認識する能力を獲得可能である。アバターロボットは遠隔地に自身を存在させる能力を獲得できるほか、複数アバターの同時操作により複数の身体を獲得可能である。

最後に、人間拡張の代表的なアプリケーション例を図表6に示す。ここに記載した例は活用

図表5 人間拡張がもたらす3つの効果

人間拡張がもたらす効果	概要	適用範囲	アプリケーション例
能力補完	人間に元々備わっている能力の補完・補助、能力の喪失／低下の防止	・医療・ヘルスケア ・けが・故障の防止 ・労働環境の整備	・医療機器 ・パワーアシストスーツ (筋力低下の補完、腰痛防止など)
能力向上	人間に元々備わっている能力のさらなる向上	・生産性向上 ・品質向上	・遠隔手術ロボット ・パワーアシストスーツ (運搬能力向上)
能力獲得	人間に本来備わっていない新しい能力の獲得	・様々 (能力によって異なる)	・第3の腕 ・スマートグラス

(資料) みずほ情報総研作成

図表6 代表的な人間拡張のアプリケーションの整理

大分類	小分類	アプリケーション例	拡張領域	概要	アプリケーションの効果			
					補完	向上	獲得	補完／向上／獲得の例
身体の拡張 (人間の能力の拡張)	運動器	パワーアシストスーツ	・運搬能力	電動アクチュエータや人工筋肉などの動力により身体の動きをサポートする装着型の機器	○	○		・筋力低下の補完 ・腰痛の防止 ・運搬能力向上による作業時間の短縮
		義手／義足	・四肢 ・触覚	喪失した四肢を代替する人工の四肢	○	○		・喪失した四肢の補完 ・操作能力の向上(より高精度な操作)
		第3の腕	・四肢 ・触覚	自身の3本目の腕として操作できるロボットアーム			○	・3本以上の腕の獲得
	感覚器	メガネ／コンタクトレンズ	・視覚	視力を補完、調節する器具	○			・視力の補完
		人工眼球／網膜	・視覚	電気刺激により視覚情報を脳に伝達する人工感覚器	○			・喪失した視力の代替
		スマートグラス	・視覚 ・情報認知	現実と重ねてデジタル情報を表示するメガネ型の機器。周辺環境を認識するセンサを持たない			○	・デジタル情報を視界で確認する能力の獲得
		AR/MR グラス	・視覚 ・情報認知	現実と重ねてデジタル情報を表示するメガネ型の機器。周辺環境を認識するセンサを持つ		○	○	・視力の向上 ・デジタル情報を視界で確認する能力の獲得 ・後方確認能力の獲得
		補聴器	・聴覚	音声を増幅し、聞き取りを補助する器具	○			・聴力の補完
		人工内耳	・聴覚	音声を電気信号に変換し、聴神経を刺激して脳に伝達する装置	○			・聴力の補完
	脳	脳情報モニタリング学習／訓練	・学習能力	脳情報の計測により人間の集中や記憶の状態を把握し、効率を高める学習／訓練手法		○	○	・学習能力の向上 ・集中状態、記憶状態を把握する能力の獲得
		脳情報機器操作	・命令伝達	脳情報の計測により機器を制御する命令を抽出・伝達し、機器を遠隔制御する技術			○	・機器を遠隔制御する能力の獲得
		記憶チップ	・記憶力	デバイスに人間の記憶情報を記録し、脳の記憶容量を拡大する技術。デバイスを介して他人の記憶情報の閲覧もできる	○	○	○	・記憶障害の補完 ・記憶力の向上 ・他人へ記憶を伝達する能力の獲得
		その他	超音波無発声音声装置	・発声能力	発声せずに話した際の口腔内の動きを計測し、発声内容を復元するシステム	○		○
	存在の拡張 (物理的な身体からの解放)	現実の身体	遠隔手術ロボット	・四肢 ・視覚	術者が患部の立体映像を見ながら遠隔操作でロボットアームを動かす手術器具			○
アバターロボット			・四肢 ・運搬能力 ・耐久力 ・五感 ・コミュニケーション能力	分身体のロボット(アバターロボット)との感覚共有・遠隔操作により、人を遠隔地に存在させる技術	○	○	○	・全身の補完 ・過酷環境に対する抵抗力の向上 ・遠隔地に自身を存在させる能力の獲得 ・複数の身体の獲得 ・人型でない身体の獲得
仮想の身体		デジタルアバター	・五感 ・コミュニケーション能力	デジタル空間における仮想の分身体(デジタルアバター)との感覚共有・操作により、仮想空間で活動できる身体を獲得する技術			○	・デジタル空間を体感する能力の獲得 ・遠隔で五感を活用してコミュニケーションする能力の獲得
他人の身体		体験共有	・四肢 ・五感 ・学習能力	他人の身体感覚や五感などを体感を自分の感覚として体感できる技術。			○	○

(資料) みずほ情報総研作成

方法がある程度明確になっているほんの一例に過ぎないが、今後の研究開発の進展や技術革新、新しい発想・技術の組み合わせなどにより、新たな価値を創出するアプリケーションが次々と生まれてくるのではないだろうか。

5. 人間拡張への期待

本稿では、人間拡張を定義・分類した上で、「デバイスとの一体感」を実現する技術の現状、「人間拡張がもたらす効果」や人間拡張の活用方法および適用範囲について紹介した。

「デバイスとの一体感」の観点では、ハプティクスなどの技術の適用によりデバイスの着用に伴う煩わしさの解消が可能となり、人間拡張の普及が促進される可能性について述べた。また、「人間拡張がもたらす効果」の観点では、効果を3つに分類(①能力補完、②能力向上、③能力獲得)した上で、人間拡張の適用範囲や活用方法について整理し、新たな価値を創出するアプリケーションへの期待を述べた。

我が国においては、産総研が人間拡張研究センターを設立したほか、内閣府がムーンショット型研究開発制度において「2050年までに、人が身体、脳、空間、時間の制約から解放された社会を実現」を目標として掲げる⁽¹⁹⁾など、政府主導の研究開発も始まっている。これらの研究開発は、少子高齢化に伴う労働力不足や医療・介護費の高騰など、社会課題の解決に向けた人間拡張の社会実装を目指しており、人間拡張の発展とそれに伴う社会変化は今後加速していくものと期待される。

ここまで述べた通り人間拡張は多様な適用範囲や活用方法が想定され、社会実装は段階的に進むと考えられる。まずは、危険作業や医療・介護などの人間拡張の恩恵が大きく他手法による代替が困難な場面で活用が進み、「デバイスとの一体感」の向上に伴い製造業、サービス業、

娯楽、生活などと拡大していくだろう。将来的に人間拡張を日常で利用可能とするためには、我々自身が人間拡張を環境・状況に合わせて効果的に利用するスキルや、人間拡張による社会変化に柔軟に適應するスキルを身に付けていくことも必要である。人間拡張を実現するデバイスの研究開発の進展と、人間拡張の利活用への適應の双方が組み合わさることで、様々な社会課題を克服した未来が訪れるのではないだろうか。

注

- (1) ロボットスーツ、パワードスーツとも呼ばれる。
- (2) Artificial Intelligence、人工知能
- (3) Virtual Reality、仮想現実
- (4) Augmented Reality、拡張現実
- (5) Mixed Reality 複合現実
- (6) Haptics、触覚
- (7) 暦本純一 監修「オーグメンテッド・ヒューマン AIと人体科学の融合による人機一体、究極のIFが創る未来」株式会社エヌ・ティー・エス、(2018年)
- (8) センター長挨拶(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)
<https://unit.aist.go.jp/harc/index.html>
- (9) Effective Learner (株式会社ニューロスカイ)
<https://www.neurosky.jp/effective-learner/>
- (10) GLOWMASTER (Playto Holdings Inc.)
<https://playto.org/how-it-works/glowmaster-game/>
- (11) SottoVoce: An Ultrasound Imaging-Based Silent Speech Interaction Using Deep Neural Networks (東京大学 暦本研究室)
<https://lab.rekimoto.org/projects/sottovoce/>
- (12) 超音波を発生し、はね返ってきた超音波を探知する装置
- (13) JackIn Head (ソニーコンピュータサイエンス研究所)
<https://www.sonycs.co.jp/project/2373/>
- (14) TOOL KIT (TECHTILE)
<http://www.techtile.org/techtiletoolkit/>
- (15) 着るだけで心電図計測ができるスマートウェア(産業技術総合研究所)
https://www.aist.go.jp/aist_j/new_research/2019/nr20190610/nr20190610.html
- (16) 銀メッキを施した短繊維(導電性繊維)を、表面が柔らかくなるように植毛した電極
- (17) e-Rubber (豊田合成株式会社)
<https://www.toyoda-gosei.co.jp/e-rubber/>
- (18) 直感的な随意操作が可能な【第三の腕】の開発(早稲田大学 岩田研究室)

- <http://jubi-party.jp/research/thirdhand>
- (19) ムーンショット目標1 2050年までに、人が身体、脳、空間、時間の制約から解放された社会を実現 (内閣府)
- <https://www8.cao.go.jp/cstp/moonshot/sub1.html>

参考文献

1. 【特集】さよなら重労働、パワーアシストスーツ“普及元年”で変わるもの〈株探トップ特集〉(株探、株式会社ミンカブ・ジ・インフォノイド)
<https://kabutan.jp/news/marketnews/?b=n201911280754>
2. 力触覚を伝え、記録、編集するリアルハプティクス技術 (Medtec Japan、インフォーマ マーケッツ ジャパン株式会社) <http://www.medtecjapan.com/ja/news/2016/10/24/1701>
3. 自分で触っているような、リアルな感覚を伝えるロボットアーム (PUBLIC RELATIONS OFFICE)
https://www.gov-online.go.jp/eng/publicity/book/hlj/html/201811/201811_10_jp.html
4. 3Dプリンターで作る筋電義手、臨床応用を目指す (電気通信大学 横井研究室)
<https://www.uec.ac.jp/research/information/opal-ring/0005620.html>
5. 混同されやすいスマートグラスと AR グラス その違いを解説 (Mogura VR News、株式会社 Mogura)
<https://www.moguravr.com/smartglasses-ar-glasses/>
6. 似ているようで違う? 「AR/MR グラス」と「スマートグラス」 (株式会社 RAKUDO)
<http://www.rakudo.io/blog/index.php/2019/12/24/glasses/>
7. 脳波のモニタリングと機械学習で、人間の学習効率が2倍に!? バイオフィードバック装置による実験が進行中 (livedoor NEWS、LINE 株式会社)
<https://news.livedoor.com/article/detail/16462587/>
8. テレイグジスタンスとは (東京大学 館研究室)
<https://tachilab.org/jp/about/telexistence.html#point01>
9. 物理的距離と身体的限界をゼロにする avatarin (ANA ホールディングス株式会社)
<https://avatarin.com/concept/>
10. 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 技術戦略研究センター「コロナ禍後の社会変化と期待されるイノベーション像」(2020年)
<https://www.nedo.go.jp/content/100919493.pdf>
11. 物の形や硬さ、動きを表現するハプティクス技術 (日本放送協会 放送技術研究所)
https://www.nhk.or.jp/str/publica/giken_dayori/156/5.html
12. 触覚を、伝える。(慶應義塾大学 ハプティクス研究センター)
<http://haptics-c.keio.ac.jp/>
13. 細やかな触覚を伝えるテレイグジスタンス遠隔操作ロボットを開発 (国立研究開発法人 科学技術振興機構、慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科)
<https://www.jst.go.jp/pr/announce/20120711/index.html>
14. 慶應・野崎研、リアルハプティクスで力触覚を伝える双腕ロボットアームを開発 (Impress Watch、株式会社インプレス)
<https://pc.watch.impress.co.jp/docs/news/1083450.html>
15. 次世代ゴムはロボットの皮膚や筋肉になる 感じて動くゴム「e-Rubber」 豊田合成・慶應大が共同開発、ロボデックスで展示へ (ロボスタ、ロボットスタート株式会社)
<https://robotstart.info/2019/01/15/e-rubber-keio-demo.html>
16. 雑賀隆史「ロボット手術の現状と展望」岡山医学会雑誌、第123巻、pp.63-64
https://www.jstage.jst.go.jp/article/joma/123/1/123_1_63/_pdf/-char/ja