

「ウェアラブル」の未来予想図

森川 博之 (東京大学)

ウェアラブル到来

ウェアラブル機器の歴史は古い。1968年には、Ivan Sutherlandがヘッドマウントディスプレイ The Sword of Damocles を作り上げている。また、1993年にはザイブナーが i486 を搭載したウェアラブル初号機 MA I を商品化している。さらに、「ウェアラブルの伝道師」として有名な神戸大学の塚本昌彦教授がウェアラブル機器装着生活を始められたのは2001年である。

今までコンセプト先行の感があったウェアラブル機器であるが、スマートフォン市場を牽引してきたグーグルとアップルが眼鏡や腕時計などのウェアラブル機器の製品化を加速させていることもあり、市場からの期待も大きくなりつつある。グーグルの「グーグル・グラス」、アップルの「iWatch」、サムソンの「GALAXY Gear」、クアルコムの「Qualcomm Toq」、ソニーの「スマートウォッチ2」、テレパシーの「テレパシー・ワン」、セイコーエプソンの「MOVERIO」など、目白押しである。2014年1月にラスベガスで開催された家電見本市 CES でも、ウェアラブル機器関連の出展企業数が300社以上にも上っている。

本格的に市場投入がなされ始めた理由として、以下の3点を挙げることでできよう。

まず、スマートフォンの普及がある。スマートフォンが存在することで、コンピューティング機能をスマートフォンに任せることが可能になった。スマートフォンがなければ、コンピューティング機器をユーザ自身が別途持ち歩かなければならなかったことを考えると、スマートフォンの存在は大きい。また、無線での常時接続やセンサなどのデバイス群の

性能も、スマートフォンの普及に伴い飛躍的に進化している。小型化や省電力化が格段に進歩し、小型、軽量のウェアラブル機器の土壌が整ってきた。柔軟な設計が可能になり、過去のウェアラブル機器が大きくて不細工であったのに対し、最近のウェアラブル機器にはデザイン性にも優れるものが登場してきた。

次に、スマートフォンが普及する中で、産業界において「ポストスマホ」としてウェアラブル機器が期待されていることがある。先進国のスマホ市場が飽和しつつあることから、次世代の端末やサービスで優位に立とうとする狙いである。そもそも、iPhoneが登場したのは2007年であり、すでに7年にも渡って皆が同じユーザエクスペリエンスを経験している。スマホという形態に限界がきつつある。ポストスマホとして、消費者を引き付ける入力インターフェースを提案できた企業が、競争優位を確立できるといった期待がある。

最後が基本特許である。ザイブナーは1994年に「身につけるコンピュータ」という概念で基本特許を獲得している。ヘッドマウントディスプレイとコンピュータとを組み合わせた特許であったため、ウェアラブル機器の開発にあたっては基本特許の侵害を心配しなければいけなかった。20年が経ち特許侵害を気にせずにウェアラブル機器を開発できるようになったことも、現在のウェアラブルブームの背景にある。

出来の悪いコンピュータとウェアラブル機器

ウェアラブル機器は大きく2つのタイプに分けられる。人の情報伝達手段を拡張する「能力拡張型」と

人の行動や状態を記録してモバイルヘルスなどを実現する「センシング型」である。

前者の代表例が、グーグル・グラスなどの眼鏡型機器とスマートウォッチと呼ばれる腕時計型機器である。人に備わっている五感や、目、耳、口などの入出力インターフェースの能力をさらに拡大することを目的としている。

このような「能力拡張型」のウェアラブル機器は、コンピュータの出来をよくする流れに位置づけると理解しやすい。そもそも、コンピュータのあり方に関するいろいろなアイディアは1970年頃までには登場しているといってもよい。現在のコンピュータの出来は残念ながらまだそのレベルに至っていないのである。

Vannevar Bushは、ENIAC公開の1年前の1945年に記した有名な思索的論文 *As We May Think*¹⁾ において、Memexというアイディアを示している。コンピュータを使いやすくするヒューマンインタフェースの重要性を示すとともに、コンピュータを計算機としてではなく「知能増幅装置」と捉えた。

J. C. R Lickliderは、*Man-Computer Symbiosis*²⁾ において、人間の脳と計算機を密に結合して共生させることの必要性を示し、Douglas Engelbartは、1962年に *Augmenting Human Intellect: A Conceptual Framework*³⁾ と題するレポートにおいてコンピュータは人間の精神を拡張したものであるという構想をまとめている。

そして、1965年には前述のSutherlandが人間の身体そのものと仮想世界との対話のビジョンを示している⁴⁾。CAVEなどの没入型ディスプレイや、Wiiリモコンやキネクトへと続く流れの源泉である。

1970年代に入ると、Alan Kayが誰もが使えるコンピュータという考えを明確にする⁵⁾。コンピュータを直感的に操作したい、いつでもどこでも手軽に使えるようにしたいという欲求を満たす「パーソナルコンピュータ」である。最近のスマートフォンやタブレットでは、子供でも自然にコンピュータを扱うことができる。40年以上も前のビジョンがようやく実現されつつある。

40、50年前に出された「人間知能の増幅」といったビジョンの域にまでかなり近づいてきたものの、まだ欠けているものがある。この欠けている点を補完できる可能性を有するのがウェアラブル機器である。

1つは、インターフェースとしての画面である。「首を傾げてスマホなどの画面を見るのは自然な動きではない」とよくいわれるが、人とコンピュータとのより自然な対話を目指したヒューマンインタフェースの開発は、ウェアラブル機器でもってより高度化していくことになる。眼鏡型や時計型などの機器の登場に続いて、人の知覚のモデル化に基づき「感覚」を考慮したヒューマンインタフェースが出てくることになる。

もう1つが、コンピュータをアクティブにするためのウェアラブル機器である。現在のコンピュータは、ユーザが誰であろうと、何をしようとして、そのまま鎮座している。ユーザがコンピュータに合わせなければいけない状況がずっと続いている。これに対して、ウェアラブル機器によって、ユーザの状況や目的を把握することが可能になれば、コンピュータの使い方が一変することになる。

文字の読めないユーザには音声出力をするとともに文字の読み方を教えてあげるコンピュータ、手術の状況に応じてカルテに自動アクセスするコンピュータ、ある特定の人を注視したらその特定の人声だけを増幅するコンピュータ、興味を抱く周囲のものに関して簡潔な説明を加えるコンピュータなど、ユーザの状況を把握することで、人間知能の増幅に資するコンピュータを実現できる。

ウェアラブル機器の登場が、現在のコンピュータの出来の悪さを再認識する契機となる。グーグル・グラスなどの眼鏡型ウェアラブル機器であっても、ユーザの状況や目的を把握する手段になるためである。ウェアラブル機器が、コンピュータを利用する人との接点としてだけではなく、人を観察する接点となることで、40、50年前に出されたビジョンをようやく実現できる土壌が整いつつある。

身体の一部となるウェアラブル機器

ウェアラブル機器のビジネスは不動産ビジネスに似ているといわれる。スマートフォンやタブレットであれば複数台を持ち歩く人もいるが、眼鏡型や腕時計型ウェアラブル機器を2台着用する人はいない。いったん陣取りしてしまえば大きな参入障壁になるためである。

大きな参入障壁が生じてしまえば、ウェアラブル機器の市場は限定的になってしまう。ウェアラブル機器の市場が花開くために必要なことと、ウェアラブルでなければ実現できない機能とを考えると、ウェアラブル機器は身体の一部となる方向で進んでいくことになる。

坂村健や Mark Weiser は、1980 年代に「どこでもコンピュータ」「ユビキタスコンピューティング」という表現で、コンピュータチップが衣服、家具、壁、さらには身体にまでちりばめられる世界を描いているが、コンピュータ、通信、記憶装置などの性能やサイズの小型化が指数関数的に進むことで、ようやく身体の一部となるウェアラブル機器の実現が近付いている。

有名なものの1つが、2014年1月に試作品を完成させ、臨床試験を実施したとの発表をしたグーグルのカメラ内蔵コンタクトレンズである。ワシントン大学にいた Babak Parviz が開発を進めていたもので、コンタクトレンズの高分子フィルムにチップと LED を埋め込み、装着者の涙から血糖値を計測して LED 表示させる。

今までの指数関数的な技術進歩が今後も進めば、レンズに数千もの LED が収められ、レンズ上での画像表示も近いうち実現できるようになる。もはや眼鏡型ウェアラブル機器は必要なくなる。

また、仮想網膜ディスプレイ機器をコンタクトレンズに埋め込み、網膜に映像を直接映し出す方法も物理的には実現可能である。きわめて小さいマイクロレーザをレンズに埋め込み、網膜に直接焦点を結ぶことで、鮮明な画像を送り届けることができる。

このようなスマートコンタクトレンズの利点は、

視野角が広いこととともに、消費電力が非常に少ないためバッテリーなどの心配をしなくてもよいことにある。網膜との距離が短くなるため、エネルギーを効率的に利用できるためである。身体の一部となることで、バッテリーの問題も一気に解消されることになるだろう。

コンタクトレンズは視覚機能を拡張するものであるが、ほかの知覚の拡張もなされていくことになる。音の伝達範囲を制限して特定の人とだけひそひそ話ができるシステムなど、新しい聴覚環境も実現されていく。

また、布に縫い込んだセンサや肌に貼るセンサなども登場している。NTTと東レは、ナノファイバ生地に高導電性樹脂を特殊コーティングすることで、耐久性に優れ、心拍数や心電波形などの生体信号を高感度に検出できる機能素材 hitoe を開発している。

生地にセンサが縫い込まれるようになれば、呼吸、睡眠、体温などをはじめとした生体信号を常時モニタリングすることができ、信号の乱れの迅速な検知が可能となる。誰もいないところで倒れたとしても、衣服が状態を感知して、自動的に救急車を呼ぶことができる。さらに DNA チップが埋め込まれるようになれば、がん抑制遺伝子の1つである p53 遺伝子の検出も可能となり、がんに対する見方も抜本的に変わることになる。

ウェアラブル機器がますます身体の一部になることで、脳とコンピュータとの距離が縮まり、最終的には脳と直接信号をやりとりする時代がやってくる。いわゆるポストヒューマン、サイボーグの時代である。映画「ミクロの決死圏」において科学者クルーを乗せた艇が赤血球のサイズで旅をするシーンと同じ世界が、ナノテクノロジー技術による体内ナノマシンによって実現される。ナノテクノロジー技術と遺伝子技術が我々の将来に与える影響はきわめて大きい。

このような世界の一步手前の段階としてウェアラブル機器を位置づけると、人に埋め込んで強化したい機能は何なのか、といった問いかけをしながらウェアラブル機器の開発がなされていくことになる

思われる。

ちなみに、仮想世界と人々が密に結合された世界を多くの人が不気味に感じてしまうのは致し方ない。人の行動原理や考え方は急速に変わらないためである。

電話が登場したとき、「離れた距離でわざわざ話したいと思うのか？ 集まって話せば良いのに」と思う人が多かったようである。電話も聴覚の拡張現実の一種であると考え、**「身体全体での電話」となる仮想世界と人との密な結合に不気味さを感じなくなるにはもう少しの時間が必要となる。**

ウェアラブル機器での見える化とその次

現時点で想定されているウェアラブル機器の使われ方の多くは「見える化」である。

現在見えないものを見えるようにするもので、拡張現実が代表例である。自動車を外国で運転しているときに標識を母国語で表示してくれるシステム、スーパーで陳列されている商品の成分、カロリー、口コミなどを表示するシステム、点検保守作業において点検個所の順番を表示するシステムなどである。買い物、博物館、観光などのあり方が一変する。

また、生体情報のように今まで「見える化」されていなかった情報もウェアラブル機器によって見えるようになる。たとえば、米ベンチャー企業の Scanadu が開発した SCOUT は、体温、心拍数、呼吸数、血中酸素飽和度、不整脈、血圧などをこめかみにあてるだけで測定できる。人間の体内を覗いてどんな病気でも診断できる「スター・トレック」のトリコーダの現代版である^{☆1}。

着るだけで心電、対応活動量、睡眠状況などを計測できる T シャツ、血糖値をリアルタイムで計測できる生体内インプラントセンサ、病気が深刻になる前に警告する DNA チップなど百花繚乱である。

このような病院外のデータは、医療従事者にとって貴重なものである。活動量が指示通りであるかなどを把握することができるとともに、疾病の兆候をも把握することができ、病院の内と外での一体的な

医療提供が可能となり医療や健康管理のあり方も変わる。

2013 年に 2 億円以上の資金を調達したモバイルヘルス分野スタートアップは米国で 100 社以上もあるといわれており、ウェアラブル機器成長市場としてのモバイルヘルスへの期待はきわめて大きい。

余分なものを取り除く「見える化」もある。自車の前の大型トラックを透かしてその前の車を表示できれば運転の安全性が高まる。自動車の躯体を消すことができれば、運転の体験がまったく異なったものになる。工場内のさまざまな配管の点検、保守、修理では、対象とする配管以外を透かすことで点検、保守、修理の効率を格段に向上させることができる。また、ある特定の領域以外からの音や雑音を消すことで、音響の知覚体験も変わることになる。

これらの「見える化」の次に続く 1 つの将来としては、芸術や飾り付けなどデザイン領域へのウェアラブル機器の展開があり得る。電気や紙や水道とともに、コンピュータも汎用技術 (General Purpose Technology) であるためである。電気や紙や水道の発展の最終段階では、照明、和紙造形、噴水など装飾的な使われ方もなされてきた。同じようにウェアラブル機器とデザイン領域との接点が今後ますます強化されていく。

「見える化」の次のもう 1 つの将来は、超人的な身体強化であろう。シリコンと生体細胞が融合される時代である⁶⁾。すでに圧力や温度を感じる有機材料を使った「ロボットスキン」も開発されており、人間が部分的にロボットになる時代はすぐそこまで来ている。聴覚や視覚を取り戻す人工蝸牛や網膜インプラントの技術が進むことで、動物が備える優れた知覚能力や運動能力を人間が手に入れることができるようになる。遺伝子技術と組み合わせることで、夢のような超人的な身体強化が可能となり、進化の制約から解放される。

.....
^{☆1} 「スター・トレック」において、トリコーダは 23 世紀の技術として登場している。

データを集めるウェアラブル機器

ウェアラブル機器をビジネスとして考えると、革新的な機器を開発して垂直統合で勝負するか、集めたデータで勝負するかのどちらかである。競争相手の追従を許さない革新的な機器があれば、アップルの iPhone のようなエコシステムを作り上げることができる。差別化が難しい場合には、データが勝負となることをあらかじめ想定しながらエコシステムをデザインしていくことが必要である。

そもそも、グーグル、アマゾン、フェイスブック等の IT 企業の強みは、膨大な量のデータを集めている点にある。集めたデータ自身がプラットフォームを構成しており、多様なサードパーティがプラットフォーム上にサービスを展開するエコシステムが巷を席卷している。

ウェアラブル機器に関しても同様であろう。ウェアラブル機器を介して膨大な量のデータを集めた企業が覇者となる。ウェアラブル機器から得られるデータは、現在の Web 企業が対象としている Web データとは異なる新しいデータであり、誰にでもチャンスがある世界である。

グーグルがグーグル・グラスの開発に力を入れている理由も、このデータの価値にあらう。ユーザが常にウェアラブル機器を身にまとうことで、ユーザのあらゆる行動にまつわるログを収集できる。機械学習の発展に、最も重要なのがユーザインタフェースの進化にあるといわれるゆえんである。

集めたデータの使い方が明らかでないうちから「データを集める」ことに注力することは負担が大きいものの、データを集めてからでないと分からない知見やサービスは存在する。米国で検索サービスが花開いた契機は、蓄積されていたデータ量がその時点ですでに膨大にあったことにあるとの説がある。どれだけデータを集められるかが鍵となる。データを集めながらでしか見出せない知見が存在するためである。

OECD (経済協力開発機構)においても、「新たな成長源：知識ベース資産 (New Sources of Growth :

1865年に英国で施行された法律。制限速度を郊外では時速4マイル、市外では時速2マイルとし、自動車の前方60ヤード前方で赤旗を持った者が先導し、自動車の接近を知らせなければならぬという法律。死傷を伴う人身事故などへの危険、自動車の普及によって影響を受ける可能性のある馬車運送業者や鉄道業者の議会への圧力、煤煙や騒音による街道住民の反対運動などが背景にある。赤旗法は1896年に廃止されたが、赤旗法により英国の自動車産業は、諸外国に後れをとることになったといわれている。なお、日本においても京都府の路面電車において、赤旗法に似た電気鉄道取締規則が1895年に京都府令六十七号として制定されている。

図-1 赤旗法

Knowledge-Based Capital)」と題するレポートが作成されつつあり、データ自身が経済成長に資する源となることを謳い始めている。データ駆動型経済が到来することを踏まえての活動であり、ウェアラブル機器のデザインにおいてもデータ自身の価値をあらためて認識することが求められる。

ハードウェアとしてのウェアラブル機器は、どこかの時点で必ず価格競争に巻き込まれる。ウェアラブル機器単体で利益を上げるのではなく、集めたデータから利益を上げるのでできるエコシステムを考える中から、ウェアラブル機器の新たな活用方法が見出されていくことになる。

社会と制度とウェアラブル機器

ウェアラブル機器のこれからを考えるにあたっては、プライバシーの問題を避けて通ることはできない。グーグル・グラスへの警戒や気持ち悪さは至るところで議論を巻き起こしている。成長市場として期待されているヘルスケアにおいても、体の秘密を知られてしまうことに対する警戒感が存在する。

個人、企業、社会の需要と、プライバシーへの配慮との程よいバランスを考えていかなければならない。この際には、研究者、技術者自身も制度設計に積極的に関与していかなければならない。英国の赤旗法(図-1参照)の例を出すまでもなく、研究者や技術者も制度設計に積極的に関与し、技術進化を妨

げずに市場を創出していくことが重要となる。

また、技術進歩を過小に評価してしまいがちなことにも留意しておかなければいけない。1960年、スイスの時計産業は世界市場で90%のシェアを占めており、歯車やベアリングもないクォーツで時計ができるはずはないと考えていた。しかし、セイコーが1968年にクォーツを用いた時計を発売し、スイスのシェアは瞬く間に10%以下に落ちた。

指数関数的に技術が進歩することを念頭に置きながら未来社会を構築していかなければならない。ムーアの法則の終焉が近付いているといわれて久しいが、その後にはナノテクノロジーが控えている。Richard Feynmanは原子1個1個を組み合わせてどんな分子でも作り出せる日を夢見ていたが、その日も近付いている。

ナノテクノロジー、遺伝子工学、生物学と情報通信技術とが融合し、ウェアラブル機器がまったく新しい形態に変容していくプロセスに寄与していき

いものである。

参考文献

- 1) Bush, V. : As We May Think, The Atlantic (July 1945).
- 2) Licklider, J. C. R. : Man-Computer Symbiosis, IRE Trans. on Human Factors in Electronics, Vol.HFE-1, pp.4-11 (Mar. 1960).
- 3) Engelbart, D. : Augmenting Human Intellect : A Conceptual Framework, SRI Summary Report, AFOSR-3223 (Oct. 1962).
- 4) Sutherland, I. : The Ultimate Display, Proc. IFIP Congress, pp.506-508 (1965).
- 5) Kay, A. : A Personal Computer for Children of All Ages, Proc. ACM Annual Conference (Aug. 1972).
- 6) Brooks, R. : Flesh and Machines: How Robots Will Change Us, Pantheon Books, New York, NY (2002).

(2014年6月16日受付)

■ 森川博之 (正会員) mori@mlab.t.u-tokyo.ac.jp

1992年東京大学大学院博士課程修了。現在、同大先端科学技術研究センター教授。本会論文賞、電子情報通信学会論文賞(3回)、ドコモモバイルサイエンス賞、総務大臣表彰など受賞。新世代M2Mコンソーシアム会長、OECD/CDEP副議長等。

