



2019年に注目すべき技術

2019/1

三井物産戦略研究所
技術トレンド基礎調査センター、技術・イノベーション情報部

はじめに

三井物産戦略研究所技術トレンド基礎調査センターでは、毎年1月にさまざまな技術の中から、その年に注目すべき技術を、3つの視点により抽出・選択している。1つ目の視点は、「その年に実用化」という短期的視点でなく、いろいろと動きが活発化しそうな、中・長期的視点で注目すべき技術であること。2つ目の視点は、その技術応用がある特定分野だけでなく将来的な活用分野も幅広いこと。そして3つ目の視点は、同技術の実用化により、社会・経済・産業へのインパクトも大きく、世界を変えるゲームチェンジャー的な可能性を持つことである。そうした観点から「2019年に注目すべき技術」として以下3つの技術を選んだ。おのおの紹介していきたい。

・ブレイン・マシン・インターフェース —拡大する脳情報技術の産業利用—	2
・プロテインエンジニアリング —タンパク質研究が切り拓く農業、食品、マテリアルの新たな可能性—	6
・ハプティクス（触覚） —5Gの登場とアクチュエーション技術の進化で実用化フェーズへ—	10
・2018年注目技術の総括（量子ICT／オミックス解析／マテリアルズインテグレーション）	15

ブレイン・マシン・インターフェース ー拡大する脳情報技術の産業利用ー

技術トレンド基礎調査センター 阿部 裕

ブレイン・マシン・インターフェースとは

ブレイン・マシン・インターフェース（Brain Machine Interface：BMI）とは、脳と機械を直接、または間接的につないで、脳の内部を調べたり、脳の機能を強化したり、脳の疾患を治療したりする技術である。特に脳とコンピュータをつなぐ場合には、ブレイン・コンピュータ・インターフェース（Brain Computer Interface：BCI）と呼ぶ場合がある。現時点でBMIとBCIの違いに関する明確な区分けはないが、本稿では、脳と、コンピュータを含む機械をつなぐ技術の総称としてBMIと呼称する。

なぜ、今、BMIに注目するのか。ポイントは3点ある。1点目は、21世紀に入り、欧米先進国が脳情報技術分野に政府主導による莫大な投資を行っていること。特に米国は、2013年、The BRAIN Initiative（BRAIN：Brain Research through Advancing Innovative Neurotechnologies）を立ち上げて総額5,000億円以上の巨額な資金を民間や大学に投入しており、スタートから5年を経て、その研究成果が実を結びつつある。2点目は、脳内部の情報を、極めて精緻に計測できる小型のBMIが各種開発され、脳の構造と機能や、脳疾患などの原因を解明する脳科学など、医療分野以外でも幅広く利活用されるようになってきている点。3点目は、BMIなど脳情報技術に関する研究について、現時点で、日本は世界のトップレベルにあること。長年の研究成果とノウハウを有した多数の研究者やエンジニアが活躍しており、日本政府が主導して脳情報に関する知的資産を有効活用できる基盤整備が行われている点である。

日本を含む先進国や中国では、高齢化が進み、いかに健康寿命を延ばし、認知症など脳疾患を予防して医療費などの社会コストを軽減させるかが喫緊の課題となっている。2019年は、あらためてBMIなどの脳情報技術が、社会に与える影響とポテンシャルについて認知されるターニングポイントとなるだろう。

BMIの方式と種類

BMIには、侵襲式と非侵襲式と呼ばれる2つの方式がある（図表1）。侵襲式とは、手術で頭蓋骨に穴を開け、直接、脳の表面や内部にBMIを埋め込む方式である。侵襲式は患者に大きな肉体的負荷をかけるが、得られる脳情報は非常にクリアで利用価値が高い。非侵襲式は、頭皮から間接的に脳情報を得る手法で、インターネットなどで市販されているBMIは非侵襲式で、装着感の良しあしはあるものの、肉体的な負荷は比較的少なく多用されている。

また、BMIには、入力型BMI、介入型BMI、出力型BMIの3種類がある。入力型BMIは、脳内へ信号やエネルギーを送る技術である。代表例は、人工内耳で、世界で最も普及しているBMIである。生まれつき聴覚に障害を持つ患者や、難聴になった患者の聴覚機能の補完・補強に利用されている。人工内耳は、体外に装着

図表1 BMIの種類と方式

種類	概要	方式	事例
入力型BMI	脳内へ信号やエネルギーを送り込むBMI	侵襲式	人工内耳 人工網膜
		非侵襲式	経頭蓋直流電気刺激（tDCS ^{注1} ） 経頭蓋交流電気刺激（tACS ^{注2} ） 経頭蓋磁気刺激（TMS ^{注3} ）
介入型BMI	脳の情報処理／信号伝達プロセスに介入するBMI	侵襲式	深部脳刺激（DBS ^{注4} ） 深部電極
出力型BMI	脳内の神経活動などから得られる信号を外部に送るためのBMI	侵襲式	埋込電極 （剣山、マクロアレイ）
		非侵襲式	脳波（EEG ^{注5} ） 脳磁波（MEG ^{注6} ） 近赤外分光計測（NIRS ^{注7} ）

注1 tDCS：transcranial Direct Current Stimulation
 注2 tACS：transcranial Alternating Current Stimulation
 注3 TMS：Transcranial magnetic stimulation
 注4 DBS：Deep Brain Stimulation
 注5 EEG：Electroencephalogram
 注6 MEG：Magnetoencephalography
 注7 NIRS：Near Infrared Spectroscopy

した装置が集めた音を電気信号に変換して、脳内の聴覚神経に信号を伝達する。この信号により聴覚神経が刺激されることで聴覚機能を回復させる技術である。このほかには、人工網膜が実用化されている。人工内耳と同様に視覚神経に外部の画像信号を送り込んで、視覚機能を回復させる技術である。

介入型BMIは、脳の情報処理プロセスや神経信号伝達プロセスに介入する技術である。介入型BMIの代表例は、深部脳刺激（Deep Brain Stimulation：DBS）で、人工内耳に次いで普及している。DBSは、脳の深部にある体の動きを司る部位が異常な動きをしている場合、その部位に電気刺激を与えるなど、意図的に介入することで脳機能を調整する技術である。パーキンソン病などによる運動障害を回復させるDBSは、世界で多数の臨床事例がある。

出力型BMIは、脳内からの信号を外部に送るための技術である。出力型BMIの代表例はロボットの制御で、現在では、出力型BMIを使ってモニター画面のカーソルを脳内情報だけで操作することや、米ブラウン大学の研究においては四肢麻痺の患者がロボットアームを操作することが可能となっている。特に筋肉の萎縮と筋力低下を引き起こす筋萎縮性側索硬化症の患者への適用が期待されている。

このようにBMIは、人工内耳や人工網膜、パーキンソン病の病状緩和など医療分野で活用されており、今後、超小型化が進むと、拡張現実（Augmented Reality：AR）などの技術とあわせることで人間の感覚を拡張したり、脳を刺激して記憶や運動能力を向上させたりするなどの新たな取り組みが注目を集めるようになるだろう。次項において、医療・ヘルスケア分野以外でのBMIの利活用に焦点を当てて解説を行う。

有望な活用分野

ICT分野：脳情報による通信と新しいアルゴリズムの開発

米国防高等研究計画局（DARPA：Defense Advanced Research Projects Agency）の「Silent Talk」プログ

ラム（脳情報通信）は発声による会話ではなく、純粹に脳神経の信号を分析することで、爆音が響く戦場での円滑なコミュニケーションを実現し、確実な指揮統制を可能にすることを目指している。具体的には、ヘルメットの内部にBMIや各種センサーを組み込んで兵士の脳から直接、脳情報を取得する仕組みである。脳情報はその後、分析され、電気信号に変換されて送信機から発信される。また、米国の情報コミュニティのR&D部門である米諜報高等研究計画局（IARPA：Intelligence Advanced Research Projects Activity）は、MICrONS（Machine Intelligence from Cortical Networks）プロジェクトを推進している。このプロジェクトは、脳が行う高度な認知・学習・記憶などの活動を詳細に解明し、最終的に機械学習の新しいアルゴリズムを開発して、諜報分析や偵察衛星からの画像分析などに活用することを目的としている。

ロボット分野：脳情報でパワーアシストスーツや人工義手を動かす

日本のサイバーダイネ社のパワーアシストスーツは、重量物を扱う作業やエンターテインメント等で利用されているが、脳神経の異常や筋肉系の機能低下で身体を自由に動かせなくなった患者に向けて、パワーアシストスーツの製造・販売が開始された。体を動かそうとするときに脳から発せられる微弱な神経信号をセンサーで検出し、運動神経に介入することで患者の意思に従った動作を実現している。また米DEKA Research and Development社は、LUKE Armという人工義手を販売している。この人工義手には、脳に埋め込んだセンサーから得た情報を利用してロボット義手を操作する独自のソフトウェアが組み込まれている。このソフトウェアによって、従来の人工装具よりも、より正確かつ自然な義手の制御が可能となっている。

教育・訓練分野：脳情報やARを併用して訓練を最適化

イスラエル国防軍は、BMIとARを併用した疑似戦闘訓練を実施している。現状では、これまで実際の戦闘車両を展開させ、大量の弾薬を使用していた訓練を、仮想空間上で再現することが可能となっている。これにより、訓練のコストを大幅に削減することができ、脳波や心拍数など生体情報を一緒に記録・分析することで、個々の兵士の戦闘能力の評価と改善に活用中である。また米陸軍も戦術拡張現実（Tactical Augmented Reality）を開発中で、前述のDARPAの脳情報通信技術との融合が検討されている。米HRL Laboratoriesは、初心者パイロットに向けて、脳波の操作を利用した軽飛行機などの着陸訓練を実施している。訓練では、集中力を高める効果があるといわれる経頭蓋直流電気刺激（間接的に脳に直流刺激を与える）という手法を用いて、航空機操縦シミュレーターで着陸手順トレーニングを行い、短時間で実際の着陸時パフォーマンスを向上させている。

住宅分野：宅内の電子制御機器を脳情報で操作するBMIハウス

国際電気通信基礎技術研究所、NTT、島津製作所、積水ハウス、慶應義塾大学などは共同して、「BMIハウス」の開発を進めている。このBMIハウスで利用されるBMIは、無線ネットワークに接続しており、利用者が思考することで、車椅子の制御や、家電機器やドア、カーテン、照明などの操作を可能にしている。また、介助者に自分自身の喜びや怒りといった感情も伝達することができる。蘭Philips社もAccenture社

とともに、筋萎縮性側索硬化症患者の自立的な生活を支援するため、脳情報を基に「Philipsスマートテレビ」、「スマートLED照明 Philips hue」などのPhilips製品・サービスの制御を可能にする技術を開発した。Philipsの特徴は、音声や視線でも家電製品の制御が行えることである。

商品開発・デザイン分野：感性評価やニューロデザイン

BMIなど脳情報技術を開発中のFacebook Media Labは、脳科学を応用して、広告や新商品を評価するチームを編成している。この研究所では、脳情報のみならずアイトラッキング、表情分析や発汗といった生理分析手法も駆使して客観性のある評価手法の確立を目指している。ある化粧品会社では、脳情報に基づいて、「しっとり感」や「さっぱり感」など数値化しにくい感性情報について被験者の脳波パターンを記録・分析し、その結果を製品に応用している。また、同様に商品形状、色、匂いなどについても脳情報から得た結果を踏まえて商品を開発し、効果を上げている。ASIMOなどロボットを開発している本田技研工業は、脳の特性を生かしたニューロデザインと呼ばれる取り組みを行っている。すでに同社のバイクのフェイス部分を、意図的に人間の顔に似せたデザインにしているが、これはこのデザインにより対向車などからの視認性が向上するという、BMIを用いた検証結果によるものである。

今後の展望

BMIなどの脳情報技術の進展は、さまざまな社会的効用が期待できる反面、リスクも存在する。このまま、何ら社会的統制もなされないまま技術が浸透していくと、人間の思考を読み取り、意図した方向に操作して犯罪に利用されるなどの危険性をはらんでいる。また、脳情報技術の開発と応用については、「有望な活用分野」で示したとおり、軍事分野での事例が多い。すでに脳に直接・間接的に刺激を与えて兵士を無力化する非致死性兵器が実戦配備されている現実がある。また軍備拡張著しい中国人民解放軍は「制空権・制海権から制脳権（制脳戦）」という新たな軍事ドクトリンを提唱し、陸・海・空・宇宙・サイバーに次ぐ「第六の戦略空間」として脳を重要視しており、脳に対する直接・間接的な攻撃が行われる可能性がある。

このようにBMIなどの脳情報技術は、軍事利用が先行しているが、その技術的余波は、確実に民生部門にも押し寄せており、BMIを用いた新機軸の製品やサービスが生まれつつある。例えば、ARなど拡張現実技術との融合による五感（視覚、聴覚、触覚、嗅覚、味覚）を拡張・強化する技術や、人間の身体能力と認知能力を、BMIやロボット技術、人工知能などの関連技術を用いて飛躍的に向上させる新たな技術分野に焦点が当たり始めている。

脳は、人類が知る最も複雑なものであるとも、また人類最後のフロンティアであるともいわれ、脳を核としたBMIなどの革新的な技術動向については、今後も注目していく必要がある。

プロテインエンジニアリング

ータンパク質研究が切り拓く農業、食品、マテリアルの新たな可能性ー

技術・イノベーション情報部 新産業・技術室 岡田智之

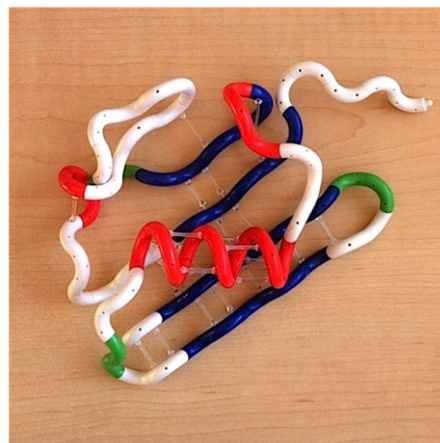
プロテインエンジニアリングとは

タンパク質は、複数種類のアミノ酸がつながって形成されるが、鎖状にアミノ酸がつながったものが、図表1の右側の模型に示すように折りたたまれて立体構造を成すことで、初めてタンパク質の機能を発揮する。タンパク質の機能には、例えば、栄養価値、薬効、酵素としての機能といった生物学的機能や溶解性、弾性、塑性、乳化能、強度、粘着性といった物理・化学的機能がある。このような機能を活用して、タンパク質は、医薬、食品、洗剤などの分野で古くから利用されてきた。

図表1 タンパク質の立体構造のイメージ



アミノ酸が鎖状につながった模型。この状態ではタンパク質は機能を発揮しない。



アミノ酸が鎖状につながったものが折りたたまれ立体構造を成している模型。立体構造を成すことでタンパク質は機能を発揮する。

写真出所：東京工業大学 田口英樹教授のホームページ

http://taguchi-hideki.blogspot.com/2015/12/tangle-proteins-building-set_19.html

プロテインエンジニアリングとは、タンパク質の構造と機能を明らかにして、「天然のタンパク質、主に酵素の機能を改変する技術」（「バイオテクノロジーの教科書（上）」ラインハート・レンネバーグ著）といわれてきた。近年、電子顕微鏡、X線結晶分析、NMR解析、X線小角散乱（SAXS）法、分析用超遠心機（AUC）といった構造解析技術が進歩し、複雑なタンパク質の立体構造が明らかとなってきた。これにより、タンパク質の構造と機能の関連性についてのデータが蓄積され、ビッグデータが構築され始めた。ワシントン大学のDavid Baker教授は、このビッグデータを活用して、天然のタンパク質に加えて、全く新しいタンパク質を一から自在に設計し生産する手法を開発した。このような技術開発を背景にプロテインエンジニアリングは新たな時代に突入したといえる。

有望な活用分野

プロテインエンジニアリングは、医療分野での活用がすでに普及している。タンパク質でできている抗体は、ウイルスや細菌などに結合してそれらを無力化する。この時、効果を最大限に発揮するには、鍵と鍵穴の関係のようにウイルスや細菌にしっかりと結合できる立体構造を持つタンパク質を作り出す必要がある。このような立体構造を持つタンパク質を設計、生産するのにプロテインエンジニアリングが活用され、これまでに10種類以上の抗体医薬が開発されてきた。医薬分野で活用が進んできたが、最近では、農業、食品、マテリアル分野への転用が進んでいる。以下では、これら3つの分野におけるプロテインエンジニアリングの活用について述べる。

農業

化学合成農薬は、農業の生産性向上に大きく寄与してきたが、地球環境問題への関心が高まると、化学合成農薬による水質汚濁や土壌汚染が懸念されるようになり、1990年代以降は化学合成農薬の適正利用の重要性が指摘されるようになった。近年では作物の残留農薬による消費者への健康被害も指摘されている。広く普及している除草剤のジカンバも環境汚染や健康被害が懸念されている。農薬・種子大手の米Corteva Agriscience社は、先述のBaker教授が設立した米Arzeda社と協業し、ジカンバの分解酵素の開発に成功した。ジカンバの立体構造に合わせて、効果的に分解できる酵素の構造を設計したのである。また、Arzeda社ではニームの木に含まれる防虫効果のあるタンパク質に注目し、その効果を高めたタンパク質を設計し、酵母で生産する技術を研究開発している。生物が生産する物質を農薬として利用するバイオ農薬は一般に効果が低いとされるが、プロテインエンジニアリングを用いて、立体構造を改変することにより、効果を高めている。

さらに、Corteva社とArzeda社は、農薬だけではなくトウモロコシなどの種子の開発にもプロテインエンジニアリングを活用している。収量を向上させる酵素をArzeda社が設計し、その酵素が植物体内で発現するようにCorteva社が育種をしている。

食品

食品分野では、砂糖代替品の開発やタンパク質の物理・化学的機能を活用した商品開発を行う企業が出現している。

(1) 新たな甘味料

キク科植物のステビアは天然甘味料として広く利用されているが、甘い後味が残ることが問題となり特に清涼飲料水用には不向きとされることが多い。食品素材大手の英Tate & Lyle社は、タンパク質の構造設計用のソフトウェアを開発した米Codexis社と協業して、ステビアを酵素反応で改質し低カロリーで砂糖に味の近いTASTEVA®を開発したと2018年7月に発表。ステビアの抽出物をより砂糖に近い甘味とする構造に変換する酵素をCodexis社が設計したのである。

ほかにプロテインエンジニアリングを用いた甘味料を開発している企業にイスラエルのAmai Proteins社がある。同社のCEOのSamish氏は、長年イスラエルのワイツマン科学研究所で、コンピュータ上でタンパク質の設計を行っていた。熱帯のジャングルの日陰に育つミラクルベリーなどの果物は甘みのあるタンパク質を含むが、加熱時などにこのタンパク質は破壊されてしまう。Amai Proteins社では、天然の甘味タンパク質の構造を解析し、加熱時に破壊される個所のアミノ酸組成を変えることにより、加熱時でも安定する甘味タンパク質を開発した。Amai Proteins社は、イスラエルのフードテックのインキュベータであるThe Kitchen社から支援を受けるほか、グローバル企業の米PepsiCo社や仏DANONE社との協業も検討している。

（２）物理・化学的機能を活用した商品開発

米新興企業のJUST社は、卵不使用のマヨネーズ、ドレッシング、クッキー生地およびスクランブルエッグを製造している。JUST社で特筆すべきことは、ビッグデータ解析の導入が進んでいることである。多くの種類の植物性タンパク質の構造を解析し、物理・化学的機能についてビッグデータを構築している。米Google社などからデータサイエンティストを採用しており、ビッグデータ解析によって、複数のタンパク質を組み合わせることにより目的の特性を持つタンパク質素材を開発している。今後は卵代替以外の新たな製品の開発が可能となるかもしれない。

マテリアル

新興企業の米Bolt Threads社、日Spiber社、独AMSilk社は、いずれも遺伝子を改変した大腸菌を用いてクモの糸に含まれるタンパク質を生産する技術を有する。クモの糸のタンパク質は、鉄鋼よりも強度が高く、綿よりも軽いものが多い。これらの企業は、多くの種類のクモの遺伝子とその遺伝子が作り出すタンパク質の物理・化学的機能に関するデータを有している。このデータを用いて、目的にあったタンパク質でできたマテリアルを作り出すことができる。Bolt Threads社はブランド大手の英Stella McCartney社やアウトドアグッズメーカーの米Patagonia社と、Spiber社もPatagonia社と協業して、アパレル関連のオリジナル製品の開発を目指す。AMSilk社は、蘭Airbus社と機材用の軽量複合素材を開発すると2018年9月に発表している。

ワニ革・牛皮・羊皮など天然皮革代替のプロテインマテリアルを開発している新興企業に米Modern Meadow社がある。同社は、遺伝子を改変した酵母にコラーゲンなどのタンパク質を生産させ、この生産したタンパク質を天然皮革と同じ質感や耐久性があるマテリアルに加工する。マテリアルサイエンスの技術を転用してタンパク質を加工していることが同社の強みの一つである。3Dプリンターを用いて皮革「Zoa」を開発し、2017年10月にはこの素材を利用したプロトタイプTシャツが、ニューヨークのモダンアート美術館で展示された。さらに、2018年3月にはドイツの機能化学品大手のEvonik Industries社とスケールアップに向けて協業すると発表している。

今後の展望

医療分野のさらなる進展

プロテインエンジニアリングを活用した新たなビジネスがすでに創出され始めており、大いに注目すべきであるが、科学的に未解決な問題がある。冒頭で記載したとおり、タンパク質は鎖状にアミノ酸がつながったものが、折りたたまれて立体構造を成すが、この立体構造が形成されるメカニズムが完全には解明されていないのである。例えば、試験管内では立体構造を形成しても、細胞内では形成されないことがある。立体構造が形成されるメカニズムを解明し、コントロールできるようになれば、より効果の高いタンパク質をつくり出すことができるようになる。この立体構造形成のメカニズムについては、アルツハイマー病やパーキンソン病などの発症機構の解明を目的に医療分野での研究が進んでいる。今後も医療分野から農業、食品、マテリアル分野への技術転用が期待される。

DIYバイオ

食品・マテリアル分野でプロテインエンジニアリングを用いて開発されたモノは、これまでにない物性を有する。そこで、プロトタイプを製作し、使用してもらい、ユーザーからのフィードバックを活用しながら改良していくプロトタイプ型開発が有効であろう。

このプロトタイプの製作で注目されているのがDIY（Do-It-Yourself）バイオのコミュニティである。DIYバイオとは、コワークスペースなどでバイオテクノロジーの研究開発を個人や中小企業が行うことであり、欧米を中心に拡大している。先述の新興企業もこのようなDIYバイオのコミュニティを活用しているところが多い。プロテインエンジニアリングを活用したプロトタイプが、世界中で数多く制作され、新たな事業機会を生み出す可能性がある。

ハプティクス（触覚）

ー5Gの登場とアクチュエーション技術の進化で実用化フェーズへー

技術・イノベーション情報部 デジタルイノベーション室 難波田康治

ハプティクス（触覚）とは

人間の感覚は「視覚・聴覚・触覚・嗅覚・味覚」の五感に分類される。従来ITの世界においては視覚と聴覚がユーザーインターフェース（UI）の手段として用いられてきたが、近年いくつかの技術的背景により触覚（ハプティクス）に注目が集まっている。

これらの感覚を数値化する技術がセンシングであり、それらの数値を正確に再現する技術がアクチュエーションである。例えば聴覚（音）におけるセンシングはマイクが行い、アクチュエーションはスピーカーが行う。触覚のセンシングは圧力センサーや温度センサーが行う。アクチュエーションはモーターや圧電素子による振動により、触覚を再現する接触式が主だったが、近年超音波を用いた非接触式が発展しつつある。

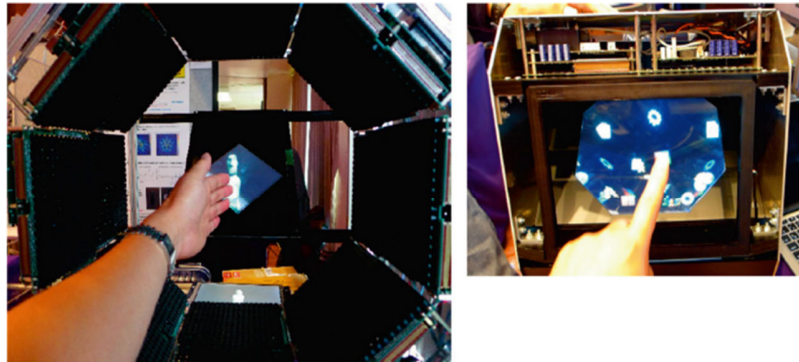
なお、嗅覚においても、匂いを簡易にVR（Virtual Reality：仮想現実）に活用できるアクチュエーション技術開発の取り組みが進んでいる。VRゴーグルに装置を取り付けることにより、仮想世界に同期して最適な匂いを発生させる仕組みである。またオーダーメイドで匂いの調合を行い、VRゴーグル用のカートリッジとして提供する企業も出現している。味覚においては、味覚センサーの開発は以前から進んでいるが、「おいしさ」の評価には嗅覚や視覚による評価も求められる。近年では、これらのデータを定量化し、飲料・食品の開発に活用する取り組みが進み始めている。

有望な活用分野

ジェスチャーUIのフィードバックへの活用

画面やボタンを押さずに入力可能なジェスチャー入力は、衛生面の観点から、医療機関ですでに使用され始めている。また、セキュリティの観点からATM等への活用が検討されており、ハンズフリーの観点から自動車のエアコンやオーディオ等の入力手段にも利用するという動きがある。しかしながら、ジェスチャー入力は非接触な入力方式のため、入力したという感覚に乏しいという難点があり、超音波の活用により触覚フィードバック機能を実装しようという研究が進められている。東京大学の篠田裕之教授らの研究においては、超音波素子を多数並べ、超音波の出力および位相を制御することにより、触覚を再現することに成功している（図表1）。また英Ultrahaptics社も同様のデバイスの実用化に成功しており、自動車のUI等への活用検討が進んでいる。

図表1 東京大学篠田裕之教授らが開発した超音波による触覚再現技術



出所：日経エレクトロニクス 2018年4月号

VRへの応用（仮想世界とのインタラクション）

VRにおいては、仮想世界とのインタラクションに視覚および聴覚が利用されてきたが、ユーザー体験をよりリッチにするために触覚の活用検討が進んでいる。これらの用途においても、超音波を使った非接触アクチュエーション技術の導入が検討されている。応用方法としては、3Dゲームや体験型のエンターテインメント等における触覚フィードバック機能の導入が予想される。蘭Sensiks社は視覚・聴覚に加え、触覚と嗅覚を用いて仮想空間を体感できるボックス型の装置を開発した（図表2）。太陽の熱や風、草原の匂いといったものまで再現することにより、より仮想空間をリアルに体感することが可能となった。

図表2 蘭Sensiks社が開発した触覚と嗅覚を用いたVR体験機



出所：コーンズ テクノロジー社ウェブサイト

米VAQSO社は、VRゴーグルに取り付けることにより仮想空間で5種類の香りを楽しめるキットを発表した（図表3）。VRの標準的な開発環境であるUnity用のAPI（Application Programming Interface：ソフトウェア開発を容易にするための仕様）が用意され、開発者は仮想空間上で視覚および聴覚と連携した嗅覚のコンテンツの作成が可能となる。また同社は顧客からのリクエストに応じて香りを調合し販売するサービスも行っている。

図表3 米VAQSOのVR用香り発生デバイス



出所：VRonWEBMEDIA 2018年11月21日掲載

EC（Electric Commerce：電子商取引）における触覚再現技術の活用にも注目が集まっている。ECにおいては、視覚と聴覚によるVRを活用した仮想店舗の取り組みが進んでいるが、特にアパレル等で重要な、手触りを体感することは困難であった。現時点では超音波方式では強度や分解能に限界があるため触覚の実用化には至っていないが、今後技術の改善が進めば、商品の手触りをある程度再現することも可能になり、VRのECへの活用もより広がっていくであろう。

遠隔操作

人は細かい作業をするときに常に触覚を頼りに力加減を調整しており、この感覚を力触覚と呼ぶ。遠隔操作においては、この力触覚が操作の正確性や作業効率を向上するために重要になってくる。慶應義塾大学では力触覚の再現に必要な精密センシングとフィードバックをするためのアクチュエーション技術の研究開発を進めており、これにより遠隔での繊細な作業が可能となる。慶應義塾大学発ベンチャーのモーションリブ社はモーターに掛かる負荷力を推定することによりローコストで力制御を実現できる力触覚技術を開発し、製造販売を行っている。

また、筋電位や脳波を正確にセンシングすることにより作業を効率化する技術の開発も進んでいる。特に脳波については非常に微弱なため従来は利用が困難と考えられてきたが、深層学習を用いたパターン認識技術により実用化に挑戦する動きが出ている。これらの技術はBMI（Brain Machine Interface）とも呼ば

れる。

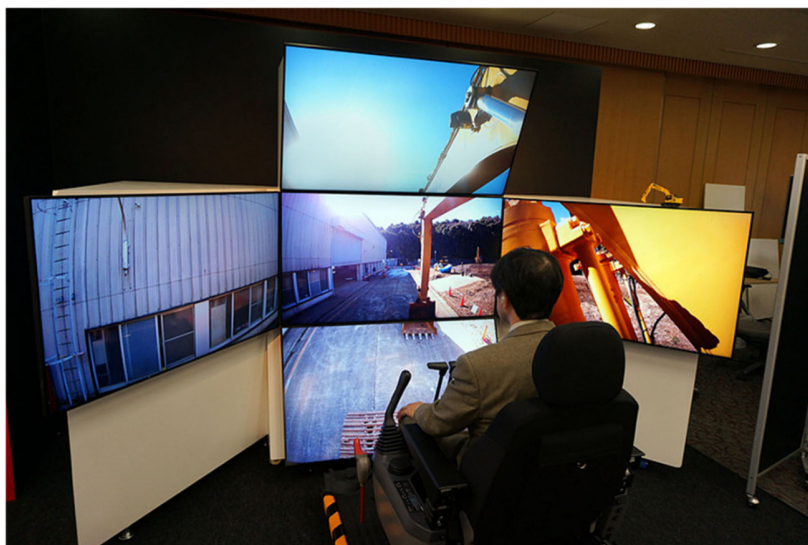
遠隔操作の高度化を実現する上で鍵となる技術が、先進国を中心に2019年より商用サービスが開始される5G（第5世代移動通信システム）である。5Gにおいてはネットワークの遅延が1ミリ秒以下になる予定であり、これにより触覚のフィードバックを非常に小さな遅延で伝送することが可能となる。遅延の削減は正確な操作を自然な感覚で実現するために重要であり、NTTドコモ、ソフトバンクといった通信各社が遠隔操作の実用化に向けた実証実験を進めている。

今後、遠隔操作の活用が進むビジネス領域としては、医療（手術）、製造、建設、接客などが挙げられる。医療においては医師不足や過疎化などの背景から遠隔手術の需要が増大していく見込みである。従来の手術支援ロボットの代表例である米Intuitive Surgical社の「da Vinci」は、触覚のフィードバック機能がないため術部以外の内臓を損傷させるなどの事故が発生していたが、触覚フィードバック機能により、このような事故が低減できると考えられている。手術支援ロボットベンチャーの日リバーフィールド社は触覚が執刀医の手に伝わるロボットを開発中であり、2020年の実用化を目指している。

製造業においては、現在工場で人手によって直接行われている作業が、人により遠隔操作されたロボットに置き換わる可能性がある。これらのロボットはテレグジスタンス（telexistence：遠隔存在）ロボットとも呼ばれる。触覚技術は製造における物をつかむなどの作業に必要な不可欠なものであり、これらの技術の発展や5Gの実用化が、製造業でのテレグジスタンスロボットの導入を促進すると考えられる。

同様の展開が建設業界においても検討されている。NTTドコモとコマツは、重機の遠隔操作の実証実験を進めている（図表4）。5Gの低遅延を生かし数センチメートルの精度での制御を行う予定だが、このような精密な遠隔操作においても触覚フィードバックは必須の技術となっていくだろう。また現在、危険な作業の多い建設現場で人が行っている作業の人型ロボットによる代替も検討されており、日メルティンMMI社等

図表4 NTTドコモとコマツが開発したショベルカーの遠隔操作



出所：インプレス ケータイWatch 2018年1月24日掲載

により人の作業の代替が可能な高い出力のアクチュエーターの開発が進められている。建設業における作業は複雑で、ロボットの自律動作ではまだ困難な作業も多く、これらの作業の代替用途においてテレグジスタンスロボットの需要があり、今後の実用化が予想される。

飲食店や商業施設などにおける接客は、対人スキルとしての機微が必要であることから自律ロボットによる人の代替が難しい領域であり、テレグジスタンスロボットの導入が見込まれる。配膳や集配等の業務では人との物の受け渡しが発生することがあるが、力加減が重要であり触覚フィードバックが必要となることから、触覚機能を備えたテレグジスタンスロボットの需要が高まると予想される。テレグジスタンスロボットの導入により、働き手の通勤が不要になる、あるいは障害を持つ人の在宅での勤務を促進するなどが期待される。

今後の展望

VRへの触覚の追加によるUXの向上

従来の視覚や聴覚を中心とした仮想現実のユーザーエクスペリエンス（UX）に加え、触覚による仮想世界とのインタラクションが可能になることにより、ユーザーは仮想空間に、より没入できるようになり、仮想空間でのUXが向上するであろう。これにより例えば体験型エンターテインメント等のコンテンツは視覚・聴覚に加え、触覚や嗅覚までがモデル化され、その中でユーザーがよりリッチな体験を行うことができるものが今後成長していくことが予想される。

場所からの解放による新しい労働環境

従来の医療（手術）、製造、建設、接客等における作業は触覚に依存するものが多かったが、触覚のセンシングとアクチュエーション技術の発展や5Gの登場による通信の遅延の低減により、遠隔での作業が可能な時代となる。今後はさまざまな作業が遠隔で可能となり、場所の制約がなくなっていくであろう。これにより、労働に柔軟性が生まれ、テレワークが適用できる職業も徐々に増加していくと考えられる。また、クラウドソーシングと組み合わせることで、労働力の確保がより柔軟に行えるようになる。国境をまたいだ労働も可能となるなど、世界的に働き方が大きく変わる可能性があり、今後の動向に注目したい。

2018年注目技術の総括（量子ICT／オミックス解析／マテリアルズインテグレーション）

以下では、2018年1月に発刊した戦略研レポート「2018年に注目すべき3つの技術」で取り上げた、量子ICT、オミックス解析、マテリアルズインテグレーションについて、その後の動向を簡単に総括したい。

量子ICT

量子ICTは、量子コンピュータ、量子暗号通信、量子センサーなど、量子の物理的特性を利用した技術で、既存のICTでは高速化・性能の改善が限界に達しつつある領域でのブレークスルーを目指す技術の総称である。2018年1月のレポートで「2018年は量子ICT元年になる」と予想した。

2018年は「量子ICT元年」と予想したとおり、世界中でさまざまな動きがあり、量子ICTは急速に注目され始めた。米中では、貿易摩擦のなかで、5G（第5世代移動通信システム）など、次世代の技術覇権を賭けた開発競争が激しさを増し、量子ICT分野においても国家と企業双方を巻き込んだ開発競争となっている。中国科学院は、安徽省合肥市に760億元を投じ、量子情報科学国立研究所を建設中（2020年完成予定）で、すでにアリババと量子ICTの研究施設を開設した。2018年3月にはバイドゥも独自の量子ICTの研究所を開設し、テンセントも両社に追随する動きを見せている。特にアリババは、IBMに次ぐ11量子ビットの量子コンピュータを開発し（2018年2月）、今後、量子ICTなどの先端分野に150億ドル相当の資金を投じる計画である。このような中国の官民連携による積極的な量子ICTの開発動向は、米国を刺激し、米国では、国家として量子ICT分野における戦略的な取り組みが必要であるとの認識から「国家量子イニシアティブ（National Quantum Initiative Act）」が議会に提出された。2018年12月25日、トランプ大統領が署名し、2019年以降の5年間で12億ドルを投じる計画が始動する。EUでも「量子技術フラッグシップ（Quantum Technology Flagship）」により、10年間で10億ユーロを投入する計画を推進中で、日本も「量子科学技術の新たな推進方策」を策定した。特に内閣府の「革新的研究開発推進プログラム（ImPACT）」では、NTT主導で開発された量子ニューラルネットワーク型コンピュータでクラウド環境が公開されるなど、日本独自の成果が生まれている。このように量子ICTは、先進各国で研究開発が進められ、今後ICT全体を飛躍的に発展・向上させるとともに、さまざまな破壊的なイノベーションが生みだされると期待されている。（技術トレンド基礎調査センター 阿部裕）

オミックス解析

オミックス解析とは、さまざまな生体分子データを用いて網羅的に調べる技術であり、予防法や治療薬の開発において注目が集まっている。2018年は製薬会社によるオミックス解析を用いた新規医薬品研究開発分野ならびに検査分野における個別化医療での活用が本格化することを言及した。

2018年1月には、医薬品開発分野において、オミックス研究を主導する米Regeneron Pharmaceuticals社傘下のThe Regeneron Genetics Center、英UK Biobank¹、英GlaxoSmithKline社の3機関が共同で推進するオミックス研究に、米AbbVie社、米Alnylam Pharmaceuticals社、米Biogen社、英AstraZeneca社、米Pfizer社が新たに参入した。さらに2018年12月には米Amgen社傘下のアイスランドのdeCODE genetics社が、オミックス解析を行うSomaLogic社と提携するなど多くの動きが見られた。これらの提携研究によって今後さらに医薬品開発におけるオミックス解析の活用が加速することが予想される。検査分野では、採血で簡単に遺伝子などの分子を調べる「リキッド・バイオプシー」の個別化医療への応用が進み、製薬企業等とリキッド・バイオプシーを提供する企業との提携が相次いでいる。2018年1月、米製薬大手Bristol-Myers Squibb社は、米Personal Genome Diagnostics社と提携し、がん免疫療法オプジーボ®の個別化医療の実現を目指している。日本でも、2018年2月より国立がん研究センターが米Guardant Health社と組んで大腸がん治療のトライアルを開始した。また2018年10月に聖路加国際大学と島津製作所はオミックス解析によって非アルコール性脂肪性肝疾患のバイオマーカー同定を発表している。また、中国でも肺がん治療で用いられるAmoyDx社のリキッド・バイオプシーが承認を受けている。今後は、がんの個別化医療のみならず、早期診断分野への関心がますます高まると見込まれ、引き続き注視したい。（技術・イノベーション情報部 新産業・技術室 加藤貴子、木下美香）

¹ UK Biobank：英国で取り組まれている医学研究用遺伝子バンク。

マテリアルズインテグレーション

マテリアルズインテグレーションは、情報科学を利用する新材料の探索に加え、材料の性能や経年変化等も高精度で予測する統合型材料開発支援システムと定義される。欧米化学会社は、事業売却が進むことで蓄積した知見の流出が続くなか、総合化学企業としての体制を維持し、知見を守り続けてきた日本の化学企業は、本技術の開発で存在感を示すことになると言及した。

2018年は、マテリアルズインテグレーション活用の有望分野として挙げた、自動車をはじめとする輸送機器のマルチマテリアル化での研究開発が活発化した。技術競争力の強い日本では、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）が、「マグネシウム材の性能・寿命に関するマテリアルズインテグレーション活用技術の開発」を研究テーマとして採択し、2018年度から2022年度を研究対象期間として開発を進める。具体的には、難燃性マグネシウム合金の疲労特性予測計算モジュールの開発と、難燃性マグネシウム合金

の疲労特性・寿命などのデータベース構築に取り組み始めた。NEDOはそのほかにも、3つの研究テーマ「マルチマテリアル車体軽量化に関わる革新的設計技術の開発」、「超高強度鋼板の腐食挙動解析技術の開発」および「超高強度薄鋼板の水素脆化挙動評価技術の開発」を採択した。いずれのテーマも材料の構造・性質そのものだけでなく、マテリアルズインテグレーションを進展させる上で必要な材料のパフォーマンスやプロセスを深掘りする実利用を意識した研究テーマとなる。マテリアルズインテグレーションは、日本の材料技術の国際競争力を向上させる強力なツールとなると言及したが、2018年は正にその強力なツール構築に向け大きく舵を切った年となった。（技術・イノベーション情報部 新産業・技術室 永島学）

当レポートに掲載されているあらゆる内容は無断転載・複製を禁じます。当レポートは信頼できると思われる情報ソースから入手した情報・データに基づき作成していますが、当社はその正確性、完全性、信頼性等を保証するものではありません。当レポートは執筆者の見解に基づき作成されたものであり、当社及び三井物産グループの統一的な見解を示すものではありません。また、当レポートのご利用により、直接的あるいは間接的な不利益・損害が発生したとしても、当社及び三井物産グループは一切責任を負いません。レポートに掲載された内容は予告なしに変更することがあります。

