

特集 ハプティクス技術



What's haptics?

触覚を操るハプティクス技術が作り出す、
視聴覚表現では実現できない実体感・臨場感・一体感

… 2

株式会社エンライト 代表 技術ジャーナリスト 伊藤 元昭

リアルハプティクス技術が生み出す未来

… 4

慶應義塾大学ハプティクス研究センター 永島 晃

触覚フィードバックによりもたらされる
新感覚ユーザーエクスペリエンス

… 9

日本電産コパル株式会社 第二事業統轄 開発第三部

脳をドライブするハプティクス技術

… 12

～「未来を予感」DigitalHaptics®によるバーチャルとリアルの融合～

株式会社ミライセンス 代表取締役 香田 夏雄 / 取締役CTO 産業技術総合研究所 主任研究員 中村 則雄



特集「ハプティクス技術」

What's haptics?

触覚を操るハプティクス技術が作り出す、 視聴覚表現では実現できない実体感・臨場感・一体感

株式会社エンライト 代表 技術ジャーナリスト 伊藤 元昭

動きや質感を触覚で再現する触覚フィードバック(ハプティクス)技術の活用が、急速に広がっている。アクチュエータと、その精密制御技術の進歩、人間の触覚に関する脳科学的知見の蓄積の3つが融合し、実際には存在しないモノを本当にあるかのように感じる触覚表現が可能になった。その表現力を生かせば、新たなユーザーインターフェースや臨場感、実体感、一体感を伴う表現が可能になる。視覚表現であるディスプレイ、聴覚に訴えるスピーカに続く第3の表現媒体となり、ハプティクスを駆使した新たな価値を持つ電子機器が続々と登場することだろう。

人工的にリアルな触覚表現を作り出すハプティクス技術を応用した電子機器が、続々と登場してきている(図1)。

スマートフォンの分野では、Appleが2015年に発売した「iPhone6s/6cPlus」にハプティクス技術「3D Touch」を採用。ディスプレイ上にグラフィックスで表現したアイコンを押した時にあたかも物理的なボタンを押しているかのように感じさせるユーザーインターフェース(UI)を作り出した。また、ゲーム機の分野では、任天堂が2017年に発売した「Nintendo Switch」のコントローラに、「HD振動」と呼ぶハプティクス技術を投入。グラスの中に氷を入れたときの感触まで表現する新たな表現手段を盛り込んだ。

触覚だけが伝えられる 実体感・臨場感・一体感

これまでの電子機器における触覚利用は、携帯電話のマナーモードに使うバイブレーションのように、電子機器のユーザーに気づきを与えるアウェアネス向けに限られていた。

ところが近年では、アクチュエータの振動パターンを精密に制御できるようになり、実際には存在しないモノが動く感触や材料の質感、硬さや柔らかさまでリアルに表現できるようになった。そして、触覚表現の活用を前提としたUIや、視聴覚表現では伝えにくい臨場感や実体感を実現した新たなメディアが生まれつつある。

人間に備わっている五感、「視覚」「聴覚」

「触覚」「嗅覚」「味覚」、それぞれで得られる情報の量は、かなり偏っている。諸説あるが、「産業教育機器システム便覧(教育機器編集委員会編 日科技連出版社)」によれば、視覚を通じて得ている情報は83%、聴覚で11%、触覚で1.5%、嗅覚で3.5%、味覚で1%だという。電子機器とユーザーをつなぐ際に、視覚と聴覚に関わる表現だけに頼ったとしても、人の認知情報の9割以上をカバーできているわけだから、これで十分だと考える人も多いことだろう。

しかし、実は残りの3つの知覚能力でなければ伝わらない情報があることが、多くの研究で分かっている。嗅覚は人間の過去の記憶と特に強いつながりを持ち、味覚はその

図1 ハプティクス技術を応用した電子機器が続々登場



出典: Appleが公開しているiPhoneのビデオ、Nintendo Switch紹介ビデオ

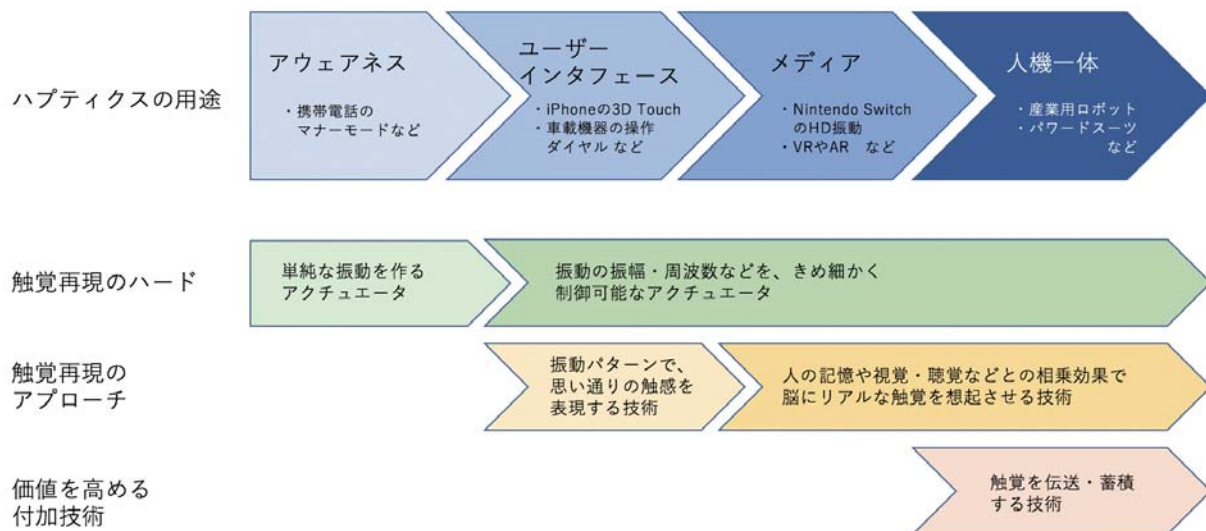


図2 ハプティクス技術の用途の広がりを実現に必要な技術

出典:165. 日皮協(日本産業皮膚衛生協会)会員研修会講演、「つつる／すべすべ／さらさらの違いとは? 心地よい触感とは?(+幸福の因子分析結果)」、2013年3月14日、http://lab.sdm.keio.ac.jp/maeno/papers/maeno_short2013.pdf

時々に必要な栄養・体作りの材料・体調を整える物質を分別するため能力であるとされる。では、触覚の役割は何なのか。触覚は知覚対象となる人やモノに触れないと伝わらない感覚であり、逆に感じることであれば人やモノが実在すると感じる。このため、モノの実体感や場の臨場感、さらには自分が能動的に機械を操る際に機械との一体感を感じさせるために重要な知覚能力だ。

触覚の活用を前提にしたUIとメディア

触覚固有の特性を、機械とユーザーをつなぐインターフェースや情報を伝送・蓄積するメディアに盛り込むことができれば、これまで不可能だった豊かな情報表現も可能になる。

例えば、iPhoneの3D Touchのようなタッチパネルとハプティクス技術を組み合わせたUIは、これまでのUIにはない操作性を生み出すことができる。タッチパネルは、アプリケーションに応じて操作系をカスタマイズできる特徴があるものの、所詮グラフィックスをタッチするだけなので、ユーザーに操作感を実感させることが難しい。この欠点をハプティクス技術で補うことができる。さらに3D Touchで実現しているように、アイコンを単純に押した感覚だけではなく、さらに深く押し込むといった操作も可能になる。

電子機器のUIは、ユーザーが触れる頻度が高い。このため、ユーザーはそこから操作

性の良さや機器の品質を意外なほど敏感に感じ取っている。こうしたUIの触覚を自在に操る手段としてハプティクス技術を活用し、優れたユーザー体験を作り出すために役立っているメーカーもある。

例えば、BMW社は、車載機器用の操作ダイヤルにハプティクス技術を投入している。見た目は機械式ダイヤルなのだが、操作対象となる機器に合わせて、「カチカチ」と不連続に動かしたり、「スルッ」と連続的に動かしたりできる。さらに、そうした1つひとつの感触を徹底的にデザインすることで、自社ブランドを主張する高級感も演出している。

刺激の再現ではなく、触覚の再現を目指す

UIに応用するハプティクス技術は、既に成熟した技術である。多少現実味がない人工的感触でも十分活用できるからだ。これに対し、臨場感や実体感を伴う体験をもたらすメディアに応用するハプティクスには、アプローチの異なるレベルの高い技術が求められる(図2)。人が既に体験したことがある感触を、リアルに再現する必要があるからだ。

1980年代後半から1990年代に掛けて、ゲームセンターで体感ゲームが流行した。例えば、ラリーカーを題材にした体感レースゲームでは、遊ぶ人が乗り込むコックピット全体を大型モーターや油圧装置の力を使っ

て揺り動かして、悪路を実際に走っているかのような体験を作り出していた。これは、リアルな状況で受ける物理的な刺激を再現するアプローチからのハプティクス技術である。

これに対し、近年のハプティクス技術では、刺激を再現するのではなく、人間が頭の中で感じる触覚そのものを再現するアプローチを採るようになった。言い換えれば、人の記憶や視覚や聴覚などとの相乗効果で、人間の脳をだましてリアルな触覚を感じさせる戦略である。

このアプローチは、大きく3つの要素技術が発達したために実現可能になった。振動の立ち上がり速度、振幅、周波数を高精度に制御できるアクチュエータ技術、それを制御して触覚を錯覚させる振動パターンを生み出す制御ソフトウェア技術、そして人がリアルな触覚を感じるメカニズムを解明する脳科学的知見である。

そして今、さらにリアルな触覚を再現し、人と機械が同じ触覚を共有することによる、人馬一体ならぬ“人機一体”の実現を目指して技術開発が進められるようになった。人が自分の手足を動かすのと同じ感覚で、巨大な機械や繊細な仕事をこなす機械を自在に操りたい。さらには、熟練した職人や芸の達人の感覚を蓄積し、スキルの習得やロボットの育成に役立てたい。これらの望みがかなう時代が目の前に来ている。



リアルハプティクス技術が生み出す未来

慶應義塾大学ハプティクス研究センター 永島 晃

手作業に依存することが多かった農作業現場、医療・介護現場、災害現場だけでなく、機械化の進んだ製造ラインにおいても、機械と人間が協調して人間の柔軟な作業能力を支援することの重要性が注目されている。実現の肝は人間に備わっている「力触覚」の再現であり、その力触覚を機械に再現する技術が「リアルハプティクス」である。リアルハプティクスが拓く多彩なブレークスルーを紹介する。

力触覚とは何か

人間は五感(視覚、聴覚、触覚、味覚、臭覚)を持って外界を感知し行動している。この五感を人間のいるところ、生きる瞬間から解放して、時空を越えて利活用する多様な試みがなされてきた。19世紀には聴覚の遠隔伝達が、20世紀には視覚の遠隔伝達が可能となった。20世紀後半にはそれら情報の記録・編集・再現も容易になった。そして21世紀、触覚の遠隔伝達が実現されてきた。

広辞苑によると、触覚は「モノに触れたときに起こる感覚。皮膚の触点および各種の受容器より感受される。触覚を用いて積極的にモノを認識しようとする行為を能動的触覚という」とある。視覚・聴覚が発生側からの信号を単に感じる受動的な感覚であるのに対し、能動的触覚は、意図した行為を実行するために対象物/モノに触れて力を加え、モノの変化を感じながら行為を意図に適応させる過程で感じる双方向性の触覚である。

人間はモノに触れるだけで、それが鉄のように硬いか、スポンジのように軟らかいか、風船のように弾力がある物体なのかを即座に感じ取り、行為を柔軟に修正している。これが人間に備わっている能動的触覚、すなわち力触覚である。五感という触覚は、まさにこの力触覚である。箸でモノをつかんでも、手袋をはめてモノに触れても力触覚を感じることから、皮膚表面で感じている感覚でないことは明白である。

ハプティクスとリアルハプティクス

「ハプティクス」と「リアルハプティクス」は全

く異なった概念を意味している。ハプティクスとは、利用者に力、振動、動きなどを与えることで皮膚感覚フィードバックを得る技術のことである。

初期のハプティクス応用事例として、航空機分野での事例を図1に示す。動翼と操作桿が物理的に結合されていた時代には、飛行状態に伴って動翼が振動すると、その振動が操作桿に直接伝わり、パイロットは操縦しながら危険を感知できた。しかし、サーボ機構の採用によって情報伝達が一方となり、パイロットにこの振動が伝わらなくなった。その補償手段として、航空機の仰角を測定して失速の危険ありと判断すると、人造的に振動を操縦桿に与える装置が考案され追加された。

スマートフォンの操作やメール受信に同期して振動を発生させることや、ストーリー展開に沿って映画館の座席を振動させるのもこの応用である。また、仮想現実(VR)ゲームで、仮想のゲーム環境に入り込んだ人間

の仮想的な行為実行に伴って感じる(と想像する)触感を人工的に生成して、感触として人間に伝える技術もこの範疇の中にある。

一方、「リアルハプティクス」は、人間に備わっている力触覚を機械に再現することで、実世界での行為に伴う実際の触覚を遠隔伝達して遠隔実行を支援する技術である。力触覚伝送の研究は20世紀半ばに始まり、多くの研究者によって研究されてきた。この研究競争を制したのは、慶應義塾大学の大西公平教授である。2011年3月に力触覚伝送を可能とする「実世界ハプティクスコア技術の原理特許」(日本特許第4696307号、US Patent 7672741B2)を取得している。この大西が発明した技術を、これ以降、リアルハプティクス技術、略記してRH技術と呼ぶことにする。

RH技術の概念的な仕組みを図2に示す。図2右側の操作側装置Aと左側の作業側装置Bとは、モーターの組込まれた同じ構造であり、電気回線で接続されている。そして、以

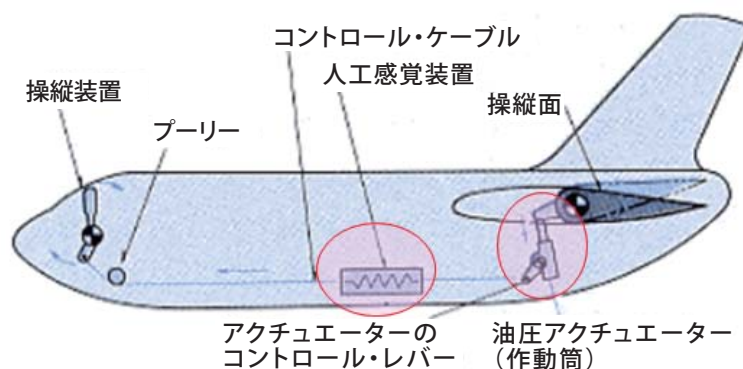


図1 航空機の動翼制御系

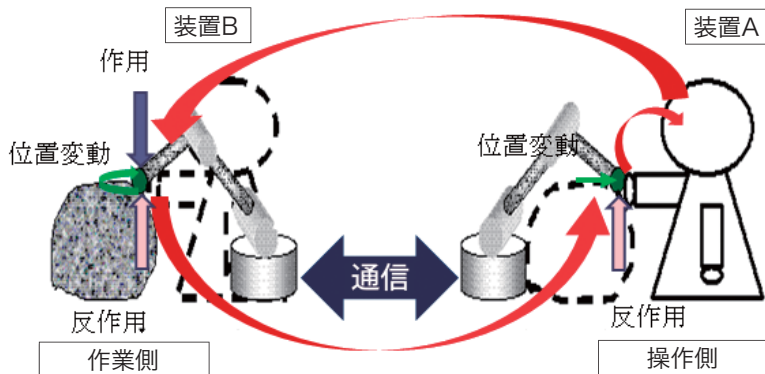


図2 力触覚伝送の概念図

RH技術が可能にすること

ニュートン力学によると、対象にエネルギーを与えて活性化できるのは、双対関係にある「力」と「位置(速度)」の二つだけである。RH技術は、「位置制御による硬い運動」と「力制御による軟らかい運動」との二つの制御を合成して、対象に適応した最適な制御を実現している。従来機械の多くが力触覚を持たず、位置制御による硬い運動が中心であったのと対照的である。

ここで言う位置制御による硬い運動とは、位置が定まっていれば力が定まっていなかった運動のことを指す。設定位置に達するまで、障害を撥ね除けても全力で動く運動である。一方、力制御による軟らかい運動とは、力が定まっていれば位置が定まっていなかった運動を指す。対象からの反作用力が設定した力に達するまで動く運動である。

RH技術は力触覚伝送の実現に伴って、次の二つの特長を発現している。

- ✓ 行為実行に伴う動きを超高速で位置信号と力信号の2種の電気信号で表現する。
- ✓ 位置制御と力制御を任意に合成した制御を実現する仕組みを実現する。

下のような手順で力触覚を共有する。

(1)操作側での人間の操作によって発生する装置A先端の移動情報と力情報を作業側に伝える。

(2)作業側の装置Bはこの情報に従って、対象物に力を加え、続いて接触によって発生した対象物の変動による、装置B先端の位置情報と装置Bが感じる反作用力を操作側に伝える。

(3) 操作側はこの情報に従って、装置A先端の位置を調整して作業側の位置に追従させる。同時に作業側の反作用力を装置Aで発生させる。

(4) 人間は前項でフィードバックされる反作用がゼロの場合には物体に接触していないと判断し、反作用がゼロでない場合には、何らかの物体に移動したと判断する。さらに、人間は位置変化の増分と反作用の増分から接触物体の剛性（＝力変化／位置変化）を推定でき、剛性の大きさによって接触対象への操作内容を適応させることも可能である。

これら(1)、(2)、(3)、(4)を超高速で繰返すことで、装置Aと装置Bの先端位置が一致し、作業側で対象物が感じる作用力と、操作側で人間が感じる反作用力との間に作用反作用則が成立する。この二つの現象を同時に

矛盾なく実現することで、操作側で操作する人は、作業側の対象物を操作側で直接操作したのと全く同じ力触覚を感じながら操作できるようになる。

留意すべきは、人間が素早く操作すると、わずか0.1秒で1cmほど動くことである。すなわち、図2で(1)、(2)、(3)、(4)を0.1秒周期で処理すると、高速操作によって装置Bの先端部が最悪1cmオーバーランして、対象物を傷つける可能性がある。1m秒程度の超高速周期での処理が望まれるゆえである。高速測定のための力センサーなどで力を測定していたのでは、柔軟な操作を高速実現することは不可能である。

表1 リアルハプティクス技術が拓くブレークスルー

ブレークスルー	説明
①力触覚伝送の実現	力触覚を活かしながら、行為実行の空間と、行為操作の空間を分離
②軟らかい動作が可能	位置制御に力制御を加えることで、ロボットが人間と同じような動作を可能に
③行為の超人化	行為実行と行為操作を繋ぐ信号に多様な変換を施し、超人的な行為を創出
④行為の見える化	行為を位置変化と力変化の2信号で検出、行為の記録、伝承、監視、自動化につなぐ
⑤対象の見える化	対象に測定のための行為を印可し、対象の物理特性（剛性、粘性、慣性）を定量化
⑥行為の再実行	行為実行を記録・編集して再実行が可能。行為対象が若干変化していても柔軟に対応
⑦行為の創作・実行	行為実行記録を編集、外部情報などと連携させた行為コンテンツを作成、実行が可能
⑧仮想空間で行為実行	操作対象をシミュレーションによるモデルとして、行為の仮想実行が可能

RH技術の特長と高度なICTを融合することで、表1に示す多彩なブレイクスルーが拓かれる。これらブレイクスルーを組み合わせることで実現される各種ソリューションを解説する。見出しに付加されている○番号は、当該ソリューションに関係の深い表1のブレイクスルー項目番号である。

●作業遠隔化ソリューション①②③

■力触覚伝送を実装することで、遠隔化に取り残されてきた接触操作を含む多くの非定常な作業の遠隔化が可能になる。これら作業の多くが、灼熱/低温現場、クリーンルーム/無菌エリア、混乱現場など厳しい環境での作業であり、遠隔化によって大幅な作業環境の改善および作業者の肉体的制約などを緩和できると期待できる。力触覚伝送は「テレワーク」をオフィス業務から現場業務へと拡張する夢の技術である。

■遠隔化で重要になるポイントの一つは、多様な大きさの対象物や軟弱な対象物をいかに扱うかである。従来の装置では、規格外の対象物を不良品として排除する、バネや空気圧を使って対象物のばらつきを吸収する、画像解析で大きさを推定して処理を切替えるなどの対応を行ってきた。また、軟弱な物体を袋に入れて吸引で把持するなどの工夫もなされている。これらの仕組みによって、ある程度の対応が可能となった、処理スピードが犠牲となる、対象物に制約を与える、対象

物を傷つける、機能付加による装置の複雑化・高コスト化を招くなど、副作用は大きい。RH技術を装置に実装すれば、これら課題は容易に克服できる。

図3に腐敗したミカン把持して除去する装置を示す。従来の吸着パッド/吸引方式だと、搬送中に果実を落としたり、果実の大きさによっては把持できなかったりという弱点があった。RH技術を実装した図3の装置は、ミカンの大きさにかかわらず、また腐敗の程度がひどくても瞬時につかんで排除することを可能とした。

■操作対象が操作者が扱えないほどの重量物/微細/軟弱なモノであっても、作業側と操作側の間をつなぐ力信号及び位置信号に変換を施すことで、操作側から通常の力で操作が可能になる。肉体的ハンディキャップや高齢化による制約の解消が期待できる。

力信号と位置信号の両方を、操作側から作業側に向かって10倍増幅すると、人間自身が10倍の力持ちになった感覚で強力な作業が可能となる。逆に、1/10に減衰させると、人間自身が1/10になった感覚で微細な作業が可能になる。また、力信号だけを増幅すると操作対象物を軟らかく感じ、減衰させると硬く感じて操作できる。図4にイメージを示す。

■遠隔化を実現する際に重要になる、もう一つのポイントは、人間のモチベーションを高めて人間の判断力と柔軟な操作能力を発揮させることである。方策の一つが、自己の操作が現場の動きと密につながっていると感じる「操作主体感」を高めることである。

自動車のハンドル操作をはじめ、多くの操作が一方向接続になり、操作指示は現場につながっても、その指示に伴う現場の反応を操作者がじかに感じられない欠点が見え化している。主体感が薄くなり、無責任化の進行を助長していると言えるのではないかと。RH技術を実装して双方向接続による力触覚をよみがえらせ、操作者が現場の反応をリアルタイムで把握して適切に対応できる環境構築が重要である。これは、テレワーク普及にとっても重要なポイントである。



図5 遠隔魚釣

と。RH技術を実装して双方向接続による力触覚をよみがえらせ、操作者が現場の反応をリアルタイムで把握して適切に対応できる環境構築が重要である。これは、テレワーク普及にとっても重要なポイントである。

●遠隔コミュニケーション実現①②③

■RH技術による遠隔操作は、離れたところに住む親や子供、孫とのスキンシップによるコミュニケーションや、遠くで参加できなかったパーティー会場の友人との遠隔から握手などにも応用できる。さらに、観光地に設置されているアバター（分身）とネットワークでつながって、接触操作や力操作を含む実体験を楽しむことも夢ではない。実際に、遠隔から実世界での魚釣りを楽しみ、そこで釣った魚を翌日には宅急便で入手できるサービス企画が進んでいる（図5）。通信スピードの高速化がさらなる普及を加速すると期待できる。

●見える化ソリューション③④⑤

■図6上段にある装置を用いて、10cm位の棒を左右に移動させて4種の対象物に接触する行為を実行し、それぞれの行為を位置信号と力信号で記録したグラフを図6に示す。Aは対象がない場合、Bは対象がスポンジの場合、Cは対象が金属塊である場合、Dは対

図3 腐食ミカンの把持



図4 ポテチと草加せんべい



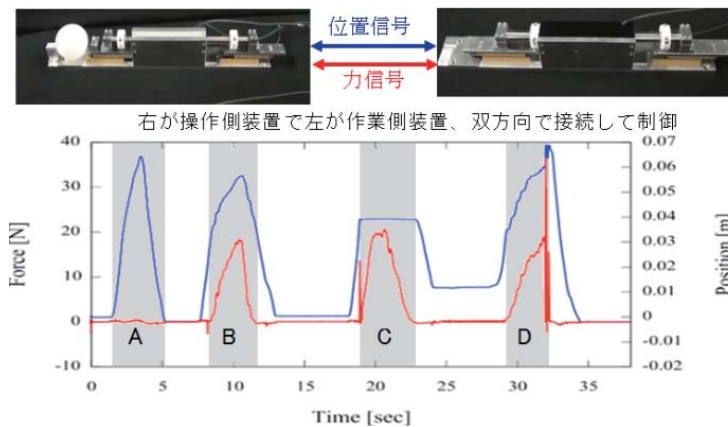


図6 RH技術による行為の見える化

再実行することが可能となる。行為再実行の流れを図8に示す。そして、単に再実行するだけではなく、以下のような特徴を盛り込むこともできる。

- ✓ 操作対象の状況が記録時と若干異なっている場合でも、力制御による軟らかい運動によって違いを吸収した実行が可能である。
- ✓ 記録した信号列を編集して新たな操作行為を行う信号列を作成して、実行することも可能である。

象が風船である場合である。

- ✓ Aは無接触なので力は発生していない。
- ✓ Bでは位置変化と力変化が同時・同方向で発生している。
- ✓ Cでは塊に接触して位置変化が停止、力変化だけが発生している。
- ✓ DではBのスポンジと同様の動きで推移し、突然自由動作となっている。

これらのデータから、位置信号と力信号の軌跡を解析することで実行された行為を読み解くことが可能となることが分る。そして、行為の見える化によって次の効用が期待できる。

- ✓ 匠の業の解説：熟練者による行為実行を記録して解析・解説する。
- ✓ 匠の業の伝授：学習者と熟練者の実行記録を比較して違いを発見・伝授する。
- ✓ 匠の業のロボットへの技能移植：匠の業を読み解き自動化制御方式を導出する。
- ✓ 行為実行の常時監視：実行記録をから操業および機器の不具合を検知する。
- ✓ 行為実行に関連するAIによる推論を導出する場合、ビッグデータとして従来は入手が困難であった行為実行に伴う力信号の収集が可能となる。

■農作業現場の熟練技能者は果物に触るだけでその成熟度を感じとることができる。RH技術を応用することで、固体や流体の粘性、慣性、剛性などの性状をリアルタイムで測定可能になる。果実や野菜などの成熟度の検査や、化学合成品の物理特性などを瞬時に測定して対応操作を行う応用に有効である。果物を把持すると瞬時に、果物の大きさ、硬さ、重さを測定する多機能把持ハンドのプロトタイプを図7に示す。

■金属表面や塗装面、そして漆塗り表面などを、力触覚を数百倍に増幅した接触棒によって優しくスキャンすることで、表面の滑らかさを測定することができる。匠が持つ鋭い触覚を機械によって再現できるようになる。

●行為再実行ソリューション⑥⑦

■RH技術を実装することで、音楽を記録して再生するのと同様に、行為操作を記録して

■将来的には、各種行為の記録・蓄積した情報を編集し、他のセンサー入力や各種プログラムと連携させた複雑な行為実行を記述する「行為コンテンツ」の作成・実行を構想している。観たい映画をネットワーク経由でダウンロードして鑑賞するように、実行したい行為、例えば目玉焼き料理の行為コンテンツをネットワークから自宅の自動キッチン装置にダウンロードして、実行して味わうことも夢ではない。この仕組みをIoA (Internet of Actions) と称して、推進していく。図9にIoAの概念図を示す。

●仮想空間ソリューション⑧

ブレークスルーの⑧は、仮想空間に関するソリューションの実現である。RH技術は実世界の異なる空間をつなぐだけでなく、実世界とバーチャル世界を双方向でつなぐことも可能である。

図7 測定機能付き把持ハンド



図8 行為再実行の流れ



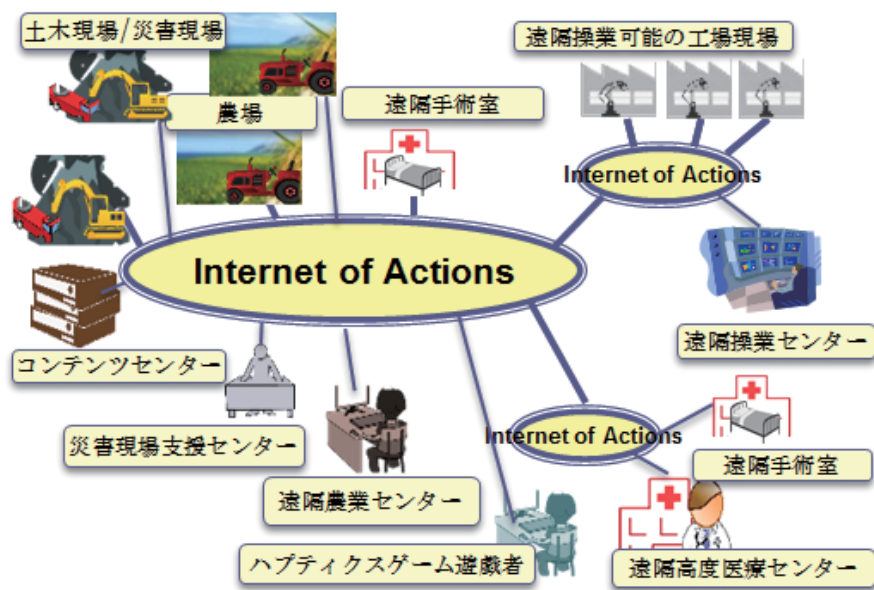


図9 IoA(インターネット・オブ・アクションズ)概念図

■トレーニングシミュレータの分野では、操作対象のシミュレーションモデルを作成し、位置の変位だけでなく力の反応を実感しながら、実作業に近い臨場感ある機器操作のトレーニングが可能になる。リハビリ訓練装置としての応用も期待できる。

■アミューズメント分野に本格的に力触覚を導入するインパクトは大きいと考えている。既にVRゲームに擬似的な力触覚が導入され相応の効果を発揮している。RH技術のアミューズメント分野への活用については、別の機会に論じることとする。

ABC-COREモジュールの開発

RH技術を活用するソリューション開発の高品質化および研究開発の効率化に資すると同時に、RH技術実現方式の不要な多様化による市場混乱を避けるため、RH技術の基幹部分を規格化・暗号化・秘匿化した上で、集積化したABC-COREモジュール(20mm×20mm)を開発した。

このモジュールを利用することで、RH技術の学理に深入りすることなく、応用レベルでのRH技術の実装が確実・容易になる。機能概要は次の通りである。

- ✓ 位置・速度・力制御：上位システムからモータの位置・速度・力制御の指令と計測などが可能。位置・速度・力制御の合成方式の指定も可能。
- ✓ 力触覚伝送：モータ2台を運動同期させて力触覚伝送が可能。力の拡大・縮小の指示、位置・力情報の記録、再実行も可能。
- ✓ モータに掛かる負荷力計測：チップ内で推定算出するので、力センサーなどは不要。
- ✓ API通信：上位システム接続は応用レベルサイドから使い易いAPIを定義し規格化。

ABC-COREモジュールの実装を図10に示す。その特徴は以下の通りである。

- ✓ ABC-COREモジュールとモータとはドライバ経由、エンコーダとはパルス列で接続。(数百μ秒周期程度で動作)
- ✓ 上位システムおよび他のABC-COREモジュールとはシリアル通信で接続。(9,600～921,600baudで動作)

ABC-COREモジュールを実装した製品を市場に安心して投入可能にするため、モジュールの成長を担保し、市場責任を担う戦略企業としてモーションリップ株式会社(代表取締役CEO：溝口貴弘)を2016年4月に設立した。

先進企業との共同研究開発

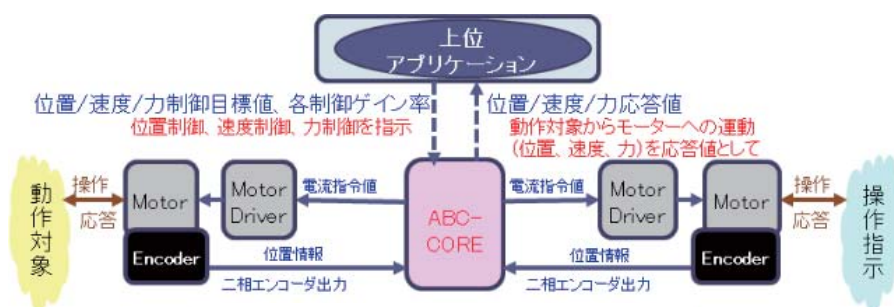
慶應義塾大学では、2014年12月に「ハプティクス研究センター」(センター長：大西公平)を設立して、RH技術を迅速かつ遍く普及させる活動を推進してきた。

優れたソリューションを実現するため、狙いの市場・現場の真のニーズを理解し、RH技術の利活用に積極的な企業との共同研究開発活動を重視している。既に30件以上の共同研究開発プロジェクトが進行中である。

ABC-COREモジュールの提供先は、ハプティクス研究センターとの共同研究開発企業に限定している。一般への提供時期は未定である。

「リアルハプティクス」、「IoA」、「ABC-CORE」は、モーションリップ株式会社の登録商標である。

図10 ABC-COREモジュールの実装





触覚フィードバックによりもたらされる 新感覚ユーザーエクスペリエンス

日本電産コパル株式会社 第二事業統轄 開発第三部

触覚フィードバックは、電子機器の中に組み込まれ、モータなどアクチュエータで発生させる振動によってユーザーに伝えられる。触覚フィードバックの応用が拡大し、より多彩な触覚の再現が求められるようになったことで、アクチュエータも劇的な進化を遂げている。こうした触覚デバイスの分野の技術と製品の開発を牽引しているのが、世界的総合モータ・メーカーである日本電産グループである。触覚デバイスでは、デバイス自体の機能・性能の向上もさることながら、その潜在能力を引き出すための駆動制御技術のさらなる進歩も欠かせない。本稿の中で、日本電産グループは、触覚フィードバックのトータル・ソリューションを共に構築するパートナーを渴望している。

タッチパネルは直感的操作が可能 だが操作感は物理キーから後退

家電製品（冷蔵庫、洗濯機など）や車載製品（カーナビ、エアコンなど）、さらにはモバイル製品（スマートフォン、タブレット、ノート型パソコンなど）の多くでタッチ操作インタフェースが搭載されるようになってきた（図1）。スマートフォンの普及により、ユーザーが画面を指で直接タッチして直感的に操作するユーザーインタフェースが一般的になり、セットメーカー各社がスマートフォンと同様の操作ができるタッチ操作インタフェースを、多くの製品に採用したからである。

タッチ操作インタフェースが登場するまでは、複雑な機能を限られた数の物理キーで操作させるためには、ある特定の物理キーに複数の機能を割り当てて画面を見ながら操作する、いわゆるマルチファンクションキーに

よる操作が一般的で、それを使いこなすために、ユーザーには学習と慣れが要求された。ただし、こうした物理キーを用いる操作インタフェースには、クリックという確実なフィードバック（操作感）が伴うことから、ユーザーには操作しているという安心感があつた。

残念なことに、タッチ操作インタフェースそのものには、画面が変わった、LEDが点灯したといった視覚に訴えるフィードバックしかない。その欠点を補うため、操作音による聴覚へのフィードバックを併せて実装しているが、十分な操作感を与えることはできなかった。

続々と登場する 触覚フィードバック応用製品

ようやく最近になって、物理キーと同等の操作感が得られる触覚へのフィードバ

ックが実装されるようになってきた。触覚フィードバックが一般に知られるようになったのはここ最近のことである。Appleが2015年3月に発売した「Apple Watch」の「Taptic Engine」と「Macbook」の「Force Touch」トラックパッド、そして同社が同年10月に発売した「iPhone6s」の「3DTouch」に採用されたことで、徐々に知られるようになってきた。

Apple以外の製品では、トヨタ自動車が2014年から発売を開始した「レクサスNX」に「リモートタッチインタフェース」と呼ばれるタッチパッドが搭載され、振動によるフィードバック機能が実装された。またAudiも、2017年発売を開始した「A8」「A7」と、2018年に発売を開始した「A6」において、従来のロータリープッシュボタンやスイッチ類に代わるシステムとして「MMIタッチレスポンスコントロールシステム」を搭載した。これには、触覚と音によるフィードバック機能が実装されている。そして拡張現実（AR）、仮想現実（VR）やゲーム製品でも触覚フィードバックが注目され、2017年任天堂から発売された「Nintendo Switch」のコントローラにも触覚フィードバックが実装され、話題になった。

これらの製品では、物体の振動をうまく利用し、触れている人の皮膚を変形させることによって、振動という機械刺激を皮膚の感覚器官に伝達する「触覚デバイス」が搭載されている。そして、感覚器官において電気信号に変換して脳を錯覚させ、実際には存在して

図1 タッチ操作インタフェースを採用した洗濯機



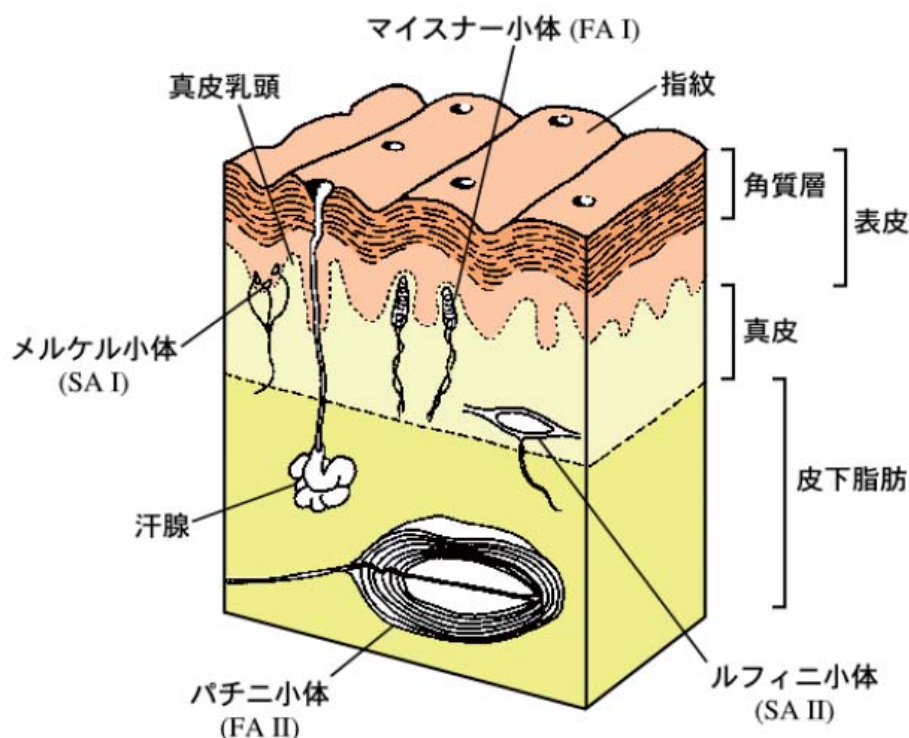


図2 人の皮膚に備わっている機械刺激を検知する感覚器官

出典：165. 日皮協(日本産業皮膚衛生協会)会員研修会講演、「つつ／すべ／さらの違いとは？心地よい触感とは？(十幸福の因子分析結果)」、2013年3月14日、http://lab.sdm.keio.ac.jp/maeno/papers/maeno_short2013.pdf

いないのに、クリック感、ツルツル感、デコボコ感といった感触や前後左右上下に引っ張られる感覚などの触覚フィードバックを生じさせている(図2)。

物理キーの代替用途において デバイス技術は完成の域に到達

一言に触覚フィードバックといっても大きく二つの用途がある。一つは既存の物理キーをリプレイスする安心・安全が目的の触覚フィードバック、もう一つは新たなユーザーエクスペリエンス(UX)を与える感動・驚きが目的の触覚フィードバックである。

前者の物理キーをリプレイスする目的の触覚フィードバックでは、タッチ操作インタフェースを操作(タッチ)したときに、ユーザーにクリック感やコツコツ感などを与える。この効果によって、家電製品、車載製品、モバイル製品、キオスク端末、ATM、産業機器などで幅広く搭載されることが期待できる。特に子供からお年寄りまで、ありとあらゆる人が使用することを想定したユニバーサルデザイ

ンが求められる家電分野において、今後より多くの製品への搭載が期待されている。

この効果を生み出す触覚デバイスとして代表的なものとして、横リニア・アクチュエータがある。比較的小型なデバイスで触覚効果が得られる点の特徴である。先に挙げたAppleの製品の完成度の高さからも分かるように、技術的にはほぼ完成の領域に達している。

新たなUXの創出に向けて 触覚デバイスの進化が続く

一方、後者の新たなUXを与える目的の触覚フィードバックでは、あたかもそこに実在しないモノがあるかのようなリアリティのある手触り感(素材感)や、実体験しているかのような引っ張り感などをユーザーに与えることができる。AR、VR製品において、今まで経験してきたことがなかったリアリティ(臨場感)を、この手触り感や引っ張り感などを通じて与えることで、桁違いの感動と体験を得られるものと期待されている。

こうした効果を生み出すための代表的な触覚デバイスに、ボイスコイル型リニア・アクチュエータがある。比較的大型のデバイスで、広帯域の周波数特性を持つ点の特徴であり、様々な触覚効果を生成することができる。先に挙げたNintendo Switchが代表的な製品だが、技術的にはまだ進化の途中段階にあり、次世代の触覚デバイスの登場が望まれている。

応用市場で高まる期待に応える 多種多様な触覚デバイスを提供

これらの応用市場の期待に応えるため、日本電産グループでは、「Wonder Sense」と呼ぶ触覚デバイスの統一ブランドのもとで、日本電産コパルと日本電産セイミツ、そして日本電産サンキョーの各社が各々独自に触覚デバイスを開発、製品化している。ここでは、前者のタッチ操作ユーザーインタフェース向けに適したデバイスを紹介する。

日本電産コパルと日本電産セイミツの触覚デバイスであるリニア・アクチュエータには、

小型で、従来の偏心モーターと比較すると応答性に優れるなどの特徴がある。圧電素子(ピエゾ素子)と比較すると、より低電圧で駆動可能であり、製品に組込んだ際の価格が安く済むといった特徴がある。そして、共振周波数を利用しているため、小型にも関わらず、強力な振動が得られる。

これらの特徴から、スマートフォンやスマートウォッチなどで数多くの採用実績がある。日本電産コパルと日本電産セイミツの触覚デバイスには2種類のシリーズがある。小型化や薄型化が求められる応用機器に向けた製品には「Sprinterシリーズ」をそろえている。Sprinterシリーズには、用途に応じて振動方向が異なる縦リニア・アクチュエータと横リニア・アクチュエータがある。一方、より強い振動感が求められる製品には「Spearシリーズ」をそろえている。このように、応用製品に求められる幅広い要求に応えられる製品ラインナップを用意している。

思い通りの触覚の実現には、ソフト技術などの進歩も欠かせない

触覚フィードバックを実現するためには、触覚デバイスだけではなく、それを効果的に動作させるソフトウェアも重要になる。

触覚デバイスは、人間の錯覚を利用し、ク

リック感やタップ感などの効果をユーザーにもたらし。そして、触覚デバイスを振動させることで、指先にある感覚器官(マイスナー小体、パチニ小体など)に物理キーを押下した際に受ける振動に相当する機械刺激を与え、電気信号に変換され脳を錯覚させる。このような錯覚を効果的に生じさせるには、触覚デバイスを駆動するための印加電圧を適切に制御し、最適化された駆動波形を生成する必要がある。

求められる触覚フィードバックを触覚デバイスが生成できるように、応答性(起動性、収束性)が良く、十分な振動量(加速度)があり、かつ適切なエネルギー量(周波数)を持たせるよう、駆動波形をデザインしなければならない。従来の偏心モーターのように、つなげば簡単に動作するというものではない。

触覚デバイスの振動を精密に操るためには、印加電圧を最適に制御する駆動回路と駆動波形が必要となる。触覚フィードバックは、応用が始まったばかりの新しい技術である。このため、完成されたソリューションがまだない。応答性がよく、安価な駆動回路の提供と最適な駆動波形のデザインを支援するソリューションの登場がセットメーカーからも切望されている。

さらにこれらに加えて、リアリティのある触

覚を生み出すためには、筐体構造も重要な要素となる。触覚デバイスは振動を利用し錯覚を引き起こすものであるため、必要な場所のみに振動を伝搬させ、それ以外には伝搬しないように筐体を設計する必要がある。例えば振動をアイソレーションする構造にしたり、逆に振動を増幅させる構造で設計したりする。

触覚利用の拡大と普及にはソリューション提供が重要

触覚フィードバックの利用の拡大と普及は、触覚デバイスの進化だけでは実現しない(図3)。それを駆動するための応答性がよく安価で信頼性の高い駆動回路、そして求める触覚効果を生成するための最適な駆動波形を簡単に作成するための駆動波形生成ツール、さらに筐体設計サポートが求められている。これら付加価値を生み出す技術要素を組み合わせたソリューション提供が非常に重要になる。

触覚フィードバックによって生み出される触覚はあくまでも錯覚にすぎない。しかし、利用する人にとってはまぎれもなく実在する感覚である。日本電産グループは触覚デバイスだけではなく、触覚フィードバックのトータル・ソリューション・サービスを構築するため、回路設計、ソフトウェア設計、構造設計の各分野においてソリューションパートナーを探している。

触覚フィードバックは産声をあげたばかりの技術だが、ここで取り上げた製品以外にも、教育分野、医療分野を含めた幅広い分野での製品への採用も期待されている。日本電産グループは、これらの期待に応えられるよう、今後もさらに進化した触覚デバイスを開発し、人々の生活を安全で快適に、そして新鮮な驚きと感動に満ち溢れた未来とするための活動を強化していく。

・文章中の会社名、各製品名は、各社の商標または登録商標です。・「Wonder Sense」は、日本電産株式会社の登録商標です。

図3 触覚フィードバック利用の拡大と普及に向けて





脳をドライブするハプティクス技術

～「未来を予感」DigitalHaptics®によるバーチャルとリアル融合～

株式会社ミライセンス 代表取締役 香田 夏雄 取締役CTO 産業技術総合研究所 主任研究員 中村 則雄

VR・AR技術が飛躍的に進化するなか、ここ数年、触覚フィードバック(ハプティクス)技術が、高い注目を集めている。VR・ARで実現される仮想世界で、真にリアルなインタラクションを体感させるには、「身体性」を実現することが必須になり、そのコアテクノロジーとして「ハプティクス技術」が期待されているからだ。しかし、その「身体性」は、ゲームやスマートフォンなどに搭載されている従来型のハプティクス技術では、実現できないことが分かっている。ミライセンス社は、常識を覆す脳科学に基づいた「3DHaptics」技術を開発し、この「身体性」の実現を可能にした。本稿では、脳科学を武器にした、その最新のテクノロジーを解説する。

VR・ARの飛躍的発展！ そこに足りないものとは？

バーチャルリアリティ(VR)、拡張現実感(AR)など、CG映像技術や音声技術を駆使することによって、現実と区別がつかないようなリアルな仮想空間を体験することが可能となりつつある。ヘッドマウント・ディスプレイ(HMD)と呼ばれる眼鏡を掛けることによる、全くの別世界が、あたかもそこにあるかのように体験できたり、物理的な現実の世界に、仮想のものとは思えないようなリアルな物体をCGによって重ね合わせてみせたりすることが当たり前になってきた。

これらの仮想空間は、非常にリアルなのが、いざ、その仮想空間の中の物体にインタラクションしようとする、大きな問題が発生する。例えば、オブジェクトに触ろうとしても触れられない、本来通り抜けられないはずの壁を通り抜けてしまうなど、現実世界では当

たり前にできることが、仮想世界ではすることができない。VR・ARの技術の応用先が、ゲームならば無視できるかもしれないが、デザインなどの実務に応用しようとなると、こうした「触れられない」という事実が、非常に大きな問題となってくる。実際、多くのVR・ARコンテンツ業者が、いろいろな分野の業務アプリケーションに応用しようとしているが、実用的な成果を出せずにいる。つまり、バーチャルとリアル融合がうまくいっていないのである。

バーチャルとリアル融合を実現する「身体性」

その原因は、何なのだろうか。人は、物理的な世界を理解するときに「身体性」を利用している。「身体性」という言葉には、様々な定義がある。ここでは、脳内のイメージと、自分の体から得られる五感などの情報をマッ

チングさせる手段としておこう。例えば、皆さんが生活している物理的な世界では、手を伸ばしたりして、目の前に見える物体を実際に触ることにより、その物体までの距離感やその物体の素性を理解し、それを脳内のイメージに反映させてはじめて理解している。

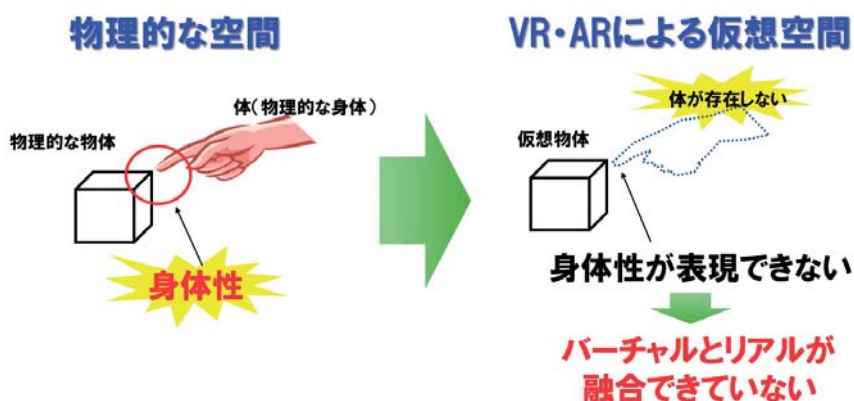
しかしながら、VR・ARは、五感のうち、視覚(映像)と聴覚(音声)にのみ基づいたテクノロジーであるため、この「身体性」を利用するのに十分ではない(図1)。VR・ARの世界では、リアルな体を持っていないため、「身体性」を発揮するために、体を使うことができないのだ。

「身体性」を実現する、脳科学をベースとした最新ハプティクス技術

VR・AR業界では、その視覚・聴覚的なリアルさが上がれば上がるほど、こうした「身体性」を表現できないことが問題になってきている。そこで、「身体性」を実現するテクノロジーとして急速に注目されてきているのが、触った感覚や手応え感を表現する手段として期待される「ハプティクス(触力覚)」技術である。実際に、多くのVR・ARのハードウェアメーカーが、血眼になってハプティクス技術の模索を始めており、バーチャルとリアルを結びつけるのに欠かせないコアテクノロジーとして認識され始めている。

ここで注意が必要なことは、旧来から存在しているハプティクス技術と、ここで述べているVR・ARで望まれているハプティクス技術

図1 VR・ARと身体性



ハプティクスがある VR・ARによる仮想空間

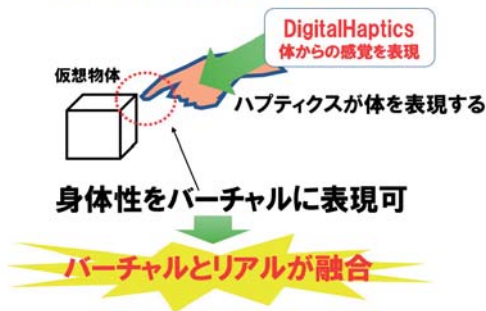


図2 身体性を実現するハプティクス技術

は、全く別物であるということだ。旧来の技術は、ブザー音的に、「ブーブー」、「ブブブ」といったように、リズム的な表現をするものだった。これを、うまく制御すれば、ゲームを楽しむときなどの高揚感をあおることができるかもしれない。しかし、これは、VR・ARで必要となる「リアル」な触感・感触からはほど遠く、「身体性」を実現できるものではない。

そこで、この旧来のハプティクスと、新世代のハプティクスを区別するため、ミライセンス社では、「身体性」を実現することができる真にリアルなハプティクス技術を「DigitalHaptics」(商標登録済)と定義し、普及を進めている(図2)。

この身体性を実現するためのハプティクス技術は、現在、世界中で急速に研究開発が進められている。それら研究の多くが、例

えば、手の周りのロボットアームのようなものを取り付けて、手の動きに対して強制的に指などに力を加えることで、何か物体をつかんだような感覚を得るような仕組みになっている。しかし、この仕組みでは、機材が大きくなる・コスト高などの問題により、コンシューマ商品に利用することが考えにくいのが現状だ。また、技術的にもロボットアームの機械限界があるため、例えば、連続的に引っ張られているような感覚などを表現することができない。

この機械式のハプティクス技術は、その発想が物理学に基づく工業化技術をベースにしているため、作用・反作用の法則にしばられる。その結果、力を出すには等価の力が必要となり、どうしても、機材が大型化してしまう。実は、映像や音声技術が飛躍的に発展したのに対して、ハプティクス技術が、なかなか進化しなかった理由は、この「物理学をベースにしないといけない」という思い込みがあったからであると考えられる。

ここで、180度、視点を変えてみよう。人は、物理的な世界を、五感を使って感じているが、実際には、いろいろな生体センサーから得られた情報を脳内で処理して、イメージ化している。つまり、すべては、脳が感じていると思っただけなのだ。であれば、脳をうまく具合にだますことができれば、どのようにも感じさせることができるはずである。この発想に基づき、産業技術総合研究所の中村博

士(弊社CTO)により、発明されたのが「錯触力覚技術」である。

「錯触力覚技術」によって 表現される「三原触」とは?

この技術がおもしろい点は、特殊なパターンで皮膚を刺激することにより、脳内に錯覚を発生させ、その錯覚として、手応え感や触った感覚を感じているように思わせることができることだ。刺激するパターンを変えることにより、引っ張ったり押されたりするような「力覚」、コツコツ・コンコン・ギューッと柔らかい硬いといった「圧覚」、ザラザラといった物体の表面材質感である「触覚」を、同時に、自在に表現することが可能になる。中村博士の研究では、これら3つの感覚を出すパターンは、「1元論」として導出されており、RGBといった光の三原色のように、触感・感触を表現するための要素「三原触」(注意、色ではなく触を使用している)となっているとしている(図3)。

この成果は極めて大きな意味を持っている。RGBを組み合わせれば、どのような色も作り出せるのと同じように、これら「力覚」「圧覚」「触覚」を組み合わせることにより、人が感じる、どのような触感・感触を表現することができてしまうからだ(図4)。このような、触覚における錯覚現象は、自然界には存在しないと思われていたため、錯触力覚を導出し、その制御方法も確立した研究は、驚きの発明であることを理解していただけるかと思う。

図3 「錯触力覚技術」と、それにより表現される「三原触」とは?

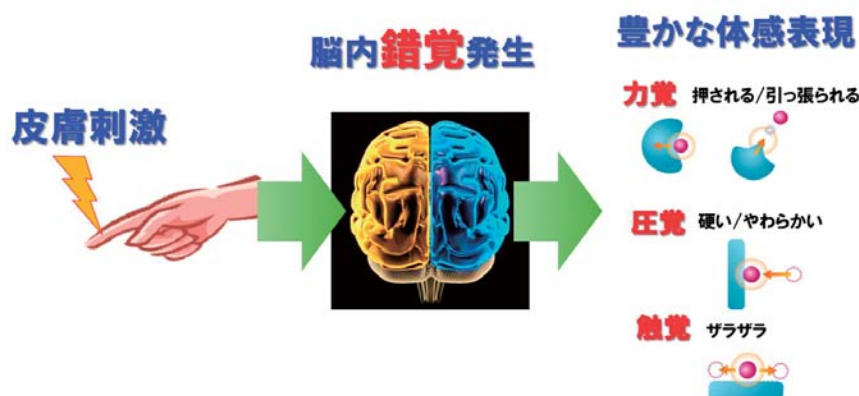
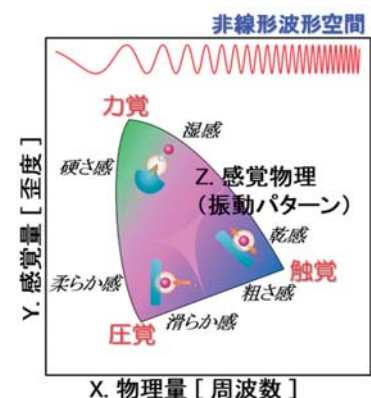


図4 一元論に基づいた、「三原触」理論の概念図



実際に、ミライセンス社のデモを体験した人は、これまでにない感覚を味わい、驚きの表情を隠せない方が多く、噂を聞きつけた海外の大手IT企業の重役が、わざわざこの技術を体験するだけに訪日することもあるほどだ。

これらの研究成果は、産総研、およびミライセンス社により、世界の各国や地域で特許が取得されている(ワールドワイドで特許30件)。錯覚を発生させるためのパターンとして、少し歪が入った波形パターン(非線形波形と呼んでいる)を使用している。これら特許は、サイン波やコサイン波といった単純な波形以外の非線形波形を使用して触力覚を表現すること、そしてその具体的な実現方法を網羅的にカバーしており、非常に強力な特許となっている。

3DHaptics:その実現方法とLRAを凌駕するWLAの登場

この錯触力覚技術をベースにして商用化した技術が、ミライセンス社が開発している「3D触力覚技術」である。この3D触力覚のための刺激パターンの実現には、具体的には、振動、超音波、電気刺激など様々な方法を使用することができる。ミライセンス社では、安

全性と商用化の容易性の観点から、振動を使用している。この振動の発生には、振動子(アクチュエータ)を使用する。マイコンや専用LSIを用いて波形パターンをリアルタイムに合成し、このアクチュエータを制御している。

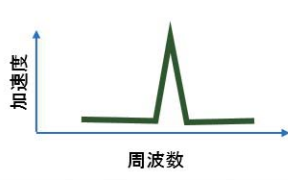
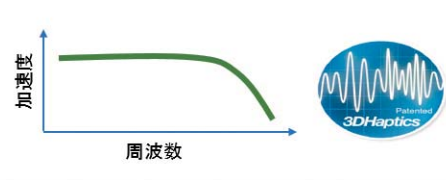
アクチュエータというと、「Linear Resonant Actuator(LRA)」を思い浮かべる人も少なくないだろう。しかし、残念ながら、LRAでは、3D触力覚技術を制御することはできない。その理由は、LRAは、共振(共鳴)効果を応用し、1つの周波数で、最大の振動を出すために設計されているからだ。これまでLRAは、小型化しても大きな振動を得られることから、携帯電話などのバイブレーションとして広く採用されてきた。しかし、最近のゲーム機などが、ブーブーといったリズム的な表現しかできないのは、1つの周波数でLRAを断続的に制御することしかできないことに起因している。ちなみに、異なる周波数で制御するLRAを組み合わせて、非線形波形を生成する場合も産総研とミライセンス社の特許によりカバーされている。

3D触力覚技術に向けて、ミライセンス社では、独自開発した「Wide-range Linear Actuator(WLA)」を使用している(図5)。

WLAとは、より広い周波数特性を持ったアクチュエータの総称である。その特性から、3D触力覚技術で使用される非線形波形を再生することが可能になっている。アクチュエータの開発技術は、近年進化を続けており、広い周波数特性持ちながらも、十分な感覚を生むことが可能なアクチュエータが開発されている。DigitalHaptics世代では、表現力の乏しいLRAは、時代遅れの技術なっていくと予想している。

錯覚を発生させるために、非線形波形を使用するが、効率的な波形はどのように導出すればよいのだろうか。また、アクチュエータが変われば、その特性が変わるため、最適に制御するためには、波形をチューニングする必要が出てくる。しかし、非線形波形は、事実上サイン波以外のどのような波形でもよい。そのため、最適な波形の導出には、多くの工数が必要になる。そこで、ミライセンス社では、「錯触力覚」に関する多くの知見と、膨大な計測結果をナレッジ化し、人工知能/機械学習(AI/ML)の技術を用いることにより、波形の算出を半自動化している。どのようなシステムでも、即座に最適波形を計算することが可能なため、今後の技術普及と発展に大きな

図5 LRA(共振型)とWLA(広帯域型)の比較

	従来型Haptics技術	次世代型のDigitalHaptics技術
技術タイプ	共振周波数ドライブ型	非線形波形ドライブ型
アクチュエータタイプ	LRA (Linear Resonant Actuator) 共振型 (固定周波数でドライブ) 	WLA (Wide-range Linear Actuator) ワイドレンジボイスコイル型 (任意波形で、幅広い周波数帯でドライブ可能) 
表現力	・ ブザーや太鼓的表現 - トントン、コトコト、ブーブーの組み合わせによる単純なもの	・ 多彩な表現(三原触) - 力覚 (引っ張る押される) - 圧覚 (柔らかい硬い) - 触覚 (表面材質感、ザラザラ感など) - エフェクト音・楽曲の再生 ※ブザーや太鼓的表現はもちろん含まれる

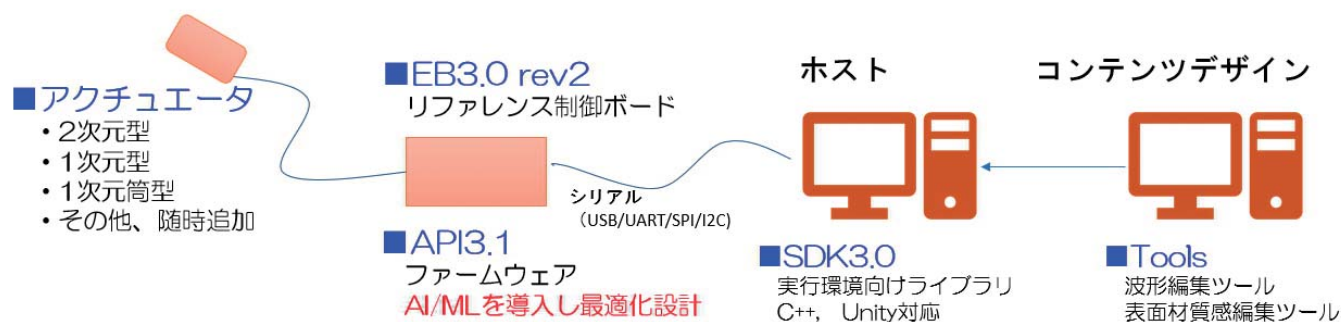


図6 3DHapticsソリューション

可能性が期待できる。

3DHaptics:高度な開発を支援する豊富なソリューション群

ミライセンス社では、3DHapticsを応用したデバイス機器を開発するための評価キット (EVK)を開発し、配布している (図6)。アクチュエータをドライブするためのサンプル電子基板 (電子回路)も付属するため、ただちに技術評価や各社のデバイスへの組み込み評価を開始することができる。

また、三原触に基づき、触感・感触を作り出すにも非常に手間が掛かる。LRA時代は、リズムのような表現だけだったので、極端な話をすれば、ブザーのようにON/OFF制御を行うだけで済んだ。しかし、3D触力覚技術では、複雑な波形を制御する必要がある、いわゆる「楽曲」を編集するような手間が必要になってくる。そのような制御プログラム

を開発するには、膨大な工数が必要になる。

そこで、ミライセンス社では、その煩雑な制御を、簡単に行うことができる「3DHaptics SDK」を開発し、技術パートナーやコンテンツ開発会社へライセンス販売している。このSDKには、C++や、ゲームエンジンUnityから簡単に機能呼び出すことができるミドルウェア (API)、三原触の組み合わせを直感的に簡単に行うことができるソフトウェアツール (波形編集ツール)、画像をベースに、表面材質感を編集することができるソフトウェアツールなどが含まれている (図7)。今すぐにでも、3DHapticsを応用したコンテンツや機材を開発することが可能だ。

DigitalHapticsテクノロジーが実現する未来

以上、見てきたように、VR・AR技術の普及と発展のためには、バーチャルとリアルを

融合し身体性を実現する「3D触力覚技術」が、次世代の必須のコアテクノロジーとなる。VR・ARが、リアルを超えて、リアリティ (現実感)を実現できるようになれば、映像と音声を中心だった、コミュニケーションにも革命を起こすことも可能かもしれない (図8)。

また、中村博士が発明した「錯触力覚技術」は、脳科学を用いることにより、これまで物理工学では、不可能であったことも、可能にすることができることを示唆している。さらに、現時点では、「錯触力覚技術」は、身体性をリアルに実現する目的で使用しているが、その制御を工夫すれば、「脳をドライブ」する、すなわち、人の行動を人為的に操作することも可能になるかもしれない。このように、DigitalHaptics技術には、無限の可能性があり、人の生活を豊かに、楽しく、効率化し、ライフスタイルにパラダイムシフトをもたらす技術になると期待している。

図7 波形編集ツール (開発中)

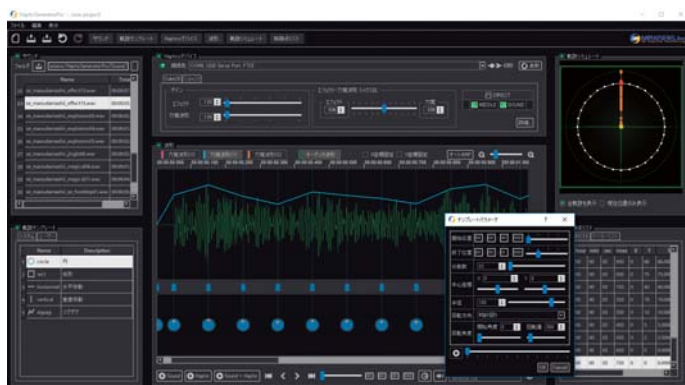


図8 ゲームから医療・福祉まで、ライフスタイルにパラダイムシフトを!

