

特集2

人と一体化する未来型情報環境

高速センサー技術が実現する束縛のない世界とは？

部屋中のあらゆる物が、また私たちの体さえもが、モニターやマウス、キーボードに変身し、スマートフォンやパソコンのように情報をやりとりできる。そんな夢のような世界を実現させようとしているのが、東京大学の石川正俊教授らの研究グループだ。今年の5月には、自分の手のひらをスマートフォンのディスプレイに変身させ、しかも触れることなく触覚刺激まで感じられる、新しいシステムを発表した。石川さんと共同研究者の東京大学の篠田裕之教授に、今回開発したシステム、そして高速センサー技術が可能にする未来の情報環境について話を聞いた。

違和感のない情報環境を目指して

動く手に投影して刺激する

手を差し出すと、手のひらにスマートフォンの画面が映し出される。手を動かしても、その映像は手のひらからずれることはない。さらに表示されたボタンには、何も触れていないのに、押されたような感触が生じる。

石川さんらが開発したのは、まるで自分の手がスマートフォンに変身してしまったように感じられる独創的なシステムだ。

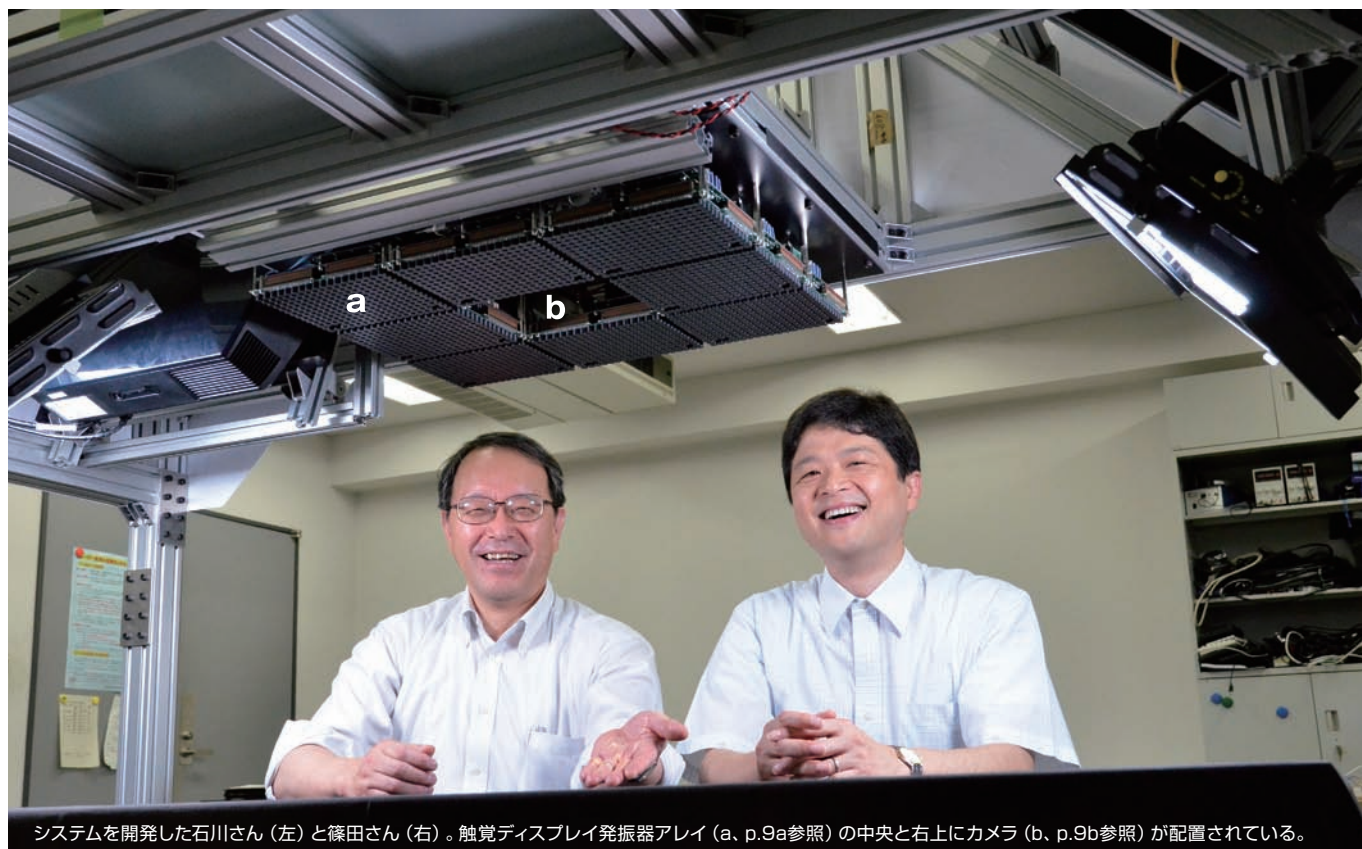
「ポイントは2つあります。1つは、手をどんなに高速で動かしてもシステムがついていくということ、もう1つは、接触していないのに圧力が感じられることです」と石川さんは説明する。

今回のシステムは、石川さんの研究室で開発した高速画像処理技術と、篠田さんの研究室で開発した触覚を与える技術を組み合わせたものだ。

実験システムは、手などの動くものを追いかけて、常にその中央にスマートフォンがあるかのように映像を投影するために、

カメラなどを用いた追跡ユニットや、映像を投影するためのプロジェクター、超音波を使って触られた感覚を与える装置（触覚ディスプレイ）などを組み合わせている（下図）。映像が手のひらからずれないのは、対象となる手の追跡と投影を、非常に高速で行っているからだ。

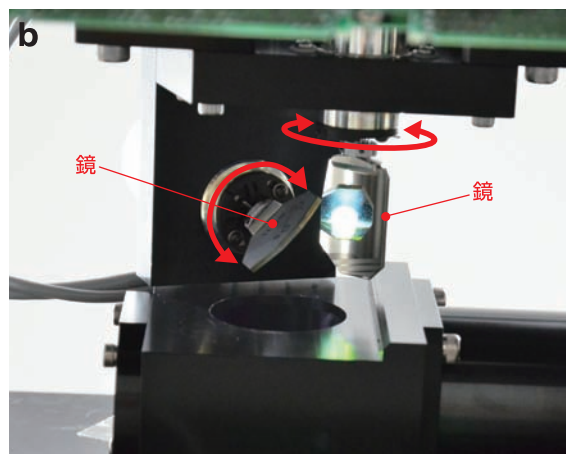
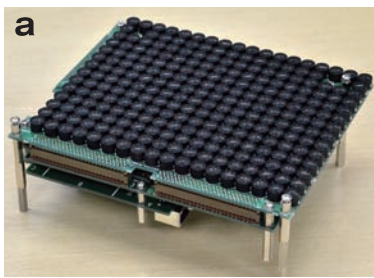
対象物を高速で追いかける技術（高速トラッキング技術）は、カメラの顔認識システムで自動的に焦点を合わせる仕組みをイメージすると理解しやすい。石川さんの技術では、画面の中央に手などの対象



システムを開発した石川さん（左）と篠田さん（右）。触覚ディスプレイ発振器アレイ（a、p.9a参照）の中央と右上にカメラ（b、p.9b参照）が配置されている。



装置の上部、カメラを取り囲むように取り付けられている「触覚ディスプレイ発振器アレイ」。小さな円柱状の装置が超音波振動子で、それが縦横に多数並べられている。



触覚ディスプレイ発振器アレイの中央に配置されているカメラ。開発当初はカメラ自体の向きを変えて対象を追っていたが、動かすものが大きいと動きが遅くなる問題があった。そこで鏡2枚でカメラの視野だけを動かし、そこに写った像をとらえることで、より速い処理を可能とした。今回の視野はあまり広くなくてよいので、使う鏡は通常より小さい。この鏡は追跡の高速化だけでなく、映像の投影技術にも一役買っている。プロジェクターから同じ鏡を通して投影することで、ズレのなさを実現しているのだ。

物がくるように、上下左右自在にカメラの視界を向けて、高速トラッキングを実現している（上図a）。その情報をもとにして、手のひらに映像を投影し、触覚刺激を与えているのだ。

手のひらのボタンが押されたような触覚刺激の実現には、超音波を発生する部品を多数用いている。システムの上方でタイミングよく超音波を発生させることで、対象物の特定の位置に刺激を加えたり、刺激する位置を高速で移動させたりすることができる（p.11図）。

1000分の1秒の世界を実現

このシステムでは、「高速」が重要なポイントになっているが、それは並の高速ではない。今回の追跡ユニットには、石川さんの研究室で開発された、1000分の1秒の単位で画像処理を行う技術が使われている。テレビ映像や一般のビデオカメラでは、30分の1秒ごとに画像が切り替わる。そのスピードになると、人間の目では切り替えていることが感知できずに動画に見える。ところが今回のシステム

では、その30倍ものスピードで対象物を追跡する。触覚ディスプレイでも1000分の3秒ごとに、触覚を与える3次元的な位置を計算し、的確に刺激を送ることが可能だ。

「触覚の処理が1000分の3秒止まりなのは、音の伝わる速さに限界があるからです。極限まで速くできたと納得できるまで、ずいぶん時間がかかりました。」と篠田さんは妥協を許さないプロジェクトの厳しさを伺わせた。

なぜそれほど的高速化が必要なのだろう。「人の動きに合わせて映像が動くゲームがありますが、画面内の動きが人の動きよりもほんの少し遅れることがしばしばあります」と石川さん。人はそのわずかな遅れを察知して、一体感がない、違和感があると感じる。「これは、システムが人間とほぼ同じスピードを目指してつくられているためです。違和感を避けるためには、システム側をはるかに高速にする必要があるのです」と説明する。

今回のシステムのように、それぞれが1000分の数秒であれば、組み合わせることでも多少の遅れが生じて、人間には

今回発表されたシステムの全体像。左側が高速トラッキングや無拘束での触覚ディスプレイなどの装置（装置を下からのぞいたのがp.8の写真）で、右側のパソコンで設定などを行う。



手のひらに映し出されたスマートフォンのような画面。ボタンが表示されている部分に、何かで触れることなく触覚刺激を与えられる。

遅れが感じられないシステムを構築できるのだ。

存在が気にならないシステムへ

石川さんが研究代表者を務めるCRESTの研究課題には、篠田さんのほか、3次元の高速ディスプレイの開発を行う徳島大学講師の山本裕紹さんや、非接触の触覚センサーを開発する電気通信大学教授の下条誠さんなども参加している。

未来型情報環境には、石川研究室が得意とする視覚という1つの感覚だけではなく、複数の感覚を統合したシステムが必要と、石川さんは考えている。「五感の中では、聴覚技術の応用はかなり進んでいるので、今回は触覚との組み合わせを実現することにしました。このプロジェクトに参加している方々は、視覚や触覚に関する世界でもトップレベルの研究者ばかりです」と石川さんは胸を張る。

共同研究者らは、現在、統合へ向けてそれぞれの要素技術の開発に集中している。石川さん自身も、これまで研究室で開発してきた「じゃんけん必勝ロボット」

や「打率10割ロボット」など(右下図)の成果を生かしながら、今回のシステムに組み込むための高速トラッキング技術を開発してきた。

すべての要素技術で最もこだわるのは「高速性」だ。人間の感知できるスピードをはるかに上回ることによって、「誰も経験したことのない世界が生み出せる」と石川さんは考えている。

このシステムは、将来、どのように生かされるのだろう。「例えば、家の中のどこからでも3次元のテレビに入れて、画像に触るだけで買い物も楽しめるようになるでしょう。メールも好きなところに映し出し、写真を本物のようになでられる、そんな世界を実現したいと思っています」と夢は壮大だ。

もちろん、そうしたシステムの開発は、世界中で進められている。それを「まったく違和感ない動きで実現する」ことを目指す。「人間にとって、情報環境がそこにあることさえ意識しないようなシステムをつくりたいと思っています」と、世界の一步先を見据えている。人間が感知できないほど処理を高速化し、リモコンもコードもなしに、束縛も違和感もなく没入できる、そんな未来型情報環境をつくり出そうとしている。

イノベーションに必要なもの

石川さんらは、それぞれの要素技術の開発・改良と並行して、全体のシステム設計についても検討を重ねている。「どんなシステムをつくりたいか、という基本思想をまず持って、それに必要な技術は何か、と仮定して組み合わせる、そんな思考実験の繰り返しが大切です」。今回、人が感知できない処理を実現するには、それぞれの要素で1000分の1秒単位の速さが必要と逆算していたからこそ、妥協せずに追求することができた。

これまでの日本の研究開発は、真理を探究し、個別の技術を磨くことに力を入れてきた。しかし、科学技術が社会にイノベーションをもたらすには、どのようなシステムを創り出し、どのような価値を生み出すのか、という創造的・演繹的な科学技術が一層重要になると予測する。もちろん、要素を分析的に研究していくことを否定しているわけではない。「研究者、研究内容によって、どちらに重点を置くべきか、その配分は当然変わってきます。これらは車の両輪のようなもので、そのバランスをどうしていくかが、日本の科学技術の将来を決めていくことにつながるはずです」と説く。



手にした白紙がスマートフォンのディスプレイに変身。紙の位置を動かしても違和感なく画像が投影される。

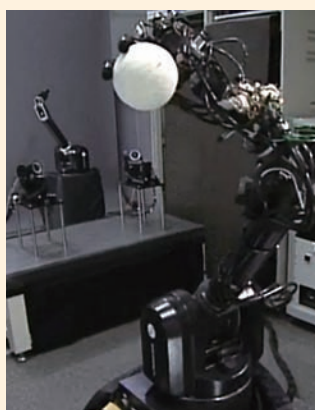
イノベーションに必要なことがもう1つあると、石川さんは続ける。それは「社会受容性」だ。優れた技術を開発しても、社会が受け入れられるものかどうか明暗を分けるという。産学連携は社会に問うていくための大切な場でもあると、石川さん自身も積極的に研究成果を事業化したり、ベンチャー企業を立ち上げたりしてきた。

身の回りのものや環境そのものを、人間の感覚に対して遅延のない豊かな情報表現ツールとすることにより、情報世界と実世界が時空間で一体化した新しい環境をつくり出そうとしている。それこそが社会に受け入れられる、人間と調和した未来型情報環境であると考えている。

石川 正俊 いしかわ・まさとし

東京大学大学院情報理工学系研究科教授

1977年、東京大学工学部卒業。79年、東京大学大学院工学系研究科計数工学専門課程修士課程修了。通商産業省工業技術院製品科学研究所主任研究官、東京大学大学院工学系研究科助教授、教授を経て、2001年より現職。04～05年に東京大学副学長、05～06年に東京大学理事・副学長を務めた。11年、紫綬褒章を受章。その他、受賞歴多数。09年度より、CREST「高速センサ技術に基づく調和型ダイナミック情報環境の構築」の研究代表者。



石川さんの研究室で以前開発されたスローイングロボットとバッティングロボット(左)、じゃんけんロボット(右)。これらのロボットでも、高速トラッキング技術が使われている。じゃんけんでは、人が手を出し終える前に形を見抜いて、勝てる手を出せる。



非接触の触覚が秘める可能性

デバイスよりシステム優先

篠田さんは、石川さんらと取り組む研究課題の中で、非接触の触覚ディスプレイの開発を担当している。狙った位置にめがけて超音波をピンポイントに収束させて、その圧力によって触覚を刺激するものだ(右図)。

接触することなく触覚刺激を与えるには、熱や空気のジェットなど、いくつか方法が考えられるが、篠田さんによれば、超音波は「非常に細かい分布や、圧力の時間変化をつくり出すといった制御が可能で、触覚ディスプレイには効果的」なのだという。しかし、今回のシステムにも、装置から発生する音の低減や圧力強度の向上など、取り組むべき余地がまだあるという。CRESTの残り期間で、それらの改良を行っていく予定だ。

篠田さんは、触覚に関する修士論文を書いて以来、ずっと触覚の研究を行ってきた。当初は、触覚を生み出すための強力な超音波を発生できる特別な振動子を開発しようとしていた。そんな篠田さんに転機が訪れたのは、2008年だった。ポスドクの学生らと議論する中で、「超音波をどう発生させるかではなく、非接触での

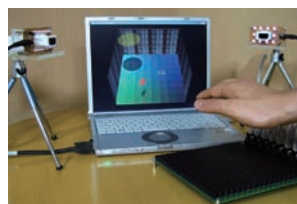
触覚刺激で人間をどのように支援できるかが本当の問題」と考えるようになったそうだ。そのときに、まず必要なのは新しい振動子ではなく、

実は新しいシステムなのだというのに気付いた。実際に、今回、石川さんと開発したシステムでは、超音波の振動子そのものは、市販のものを利用している。

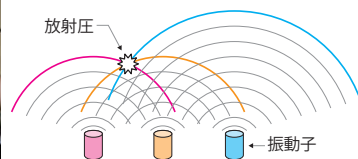
非接触が安全をつくる

非接触の触覚ディスプレイの将来的な応用について、篠田さんが例としてまず挙げたのはタッチパネルだ。「画面の手前で指先に押した感覚があれば、それ以上押そうとしなくなります。触った感覚は、非接触タッチパネルの重要な要素なのです。」と説明する。例えば、オートロックシステムで暗証番号を押すパネルは、触った跡が侵入者に重大なヒントを与えることがある。非接触式であれば、跡が残ることはない。またエレベーターなど公共スペースのボタンでこの技術を利用すれば、感染症の予防にもつながる。

一方で、本人が意図的に触れ



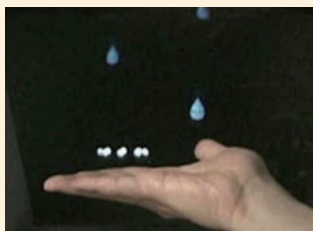
皮膚に触感を生じさせる「空中触覚ディスプレイ」(左)とその概念図(右)。下方の振動子から超音波放射するタイミングを調整することで、放射圧による触感をねらった点に生みだす。



るものではなく、何かを気付かせるために皮膚を刺激する用途にも利用できると考えている。

「車の運転中に、視野の外から別の車が接近してきたことを知らせるために、触覚が利用できます。右、とか、斜め後ろ、とか言葉で伝えられるよりも、首や肩をトントンと刺激されれば直感的にそちらに注意が向きますよね」というのは、ごく一例。ほかにも、例えば、「立ち入り禁止」は押し返される感覚で伝えることもできる。

触覚ディスプレイは、将来的には用途が広いと篠田さんは考えている。「視覚を補助して作業効率や確実性を高めるだけでなく、皮膚刺激でマッサージしたり適度な運動を誘導したりといった、使うほど元気になれる情報環境をつくりたいと思っています。遠隔のコミュニケーション手段としても有望ですし、今は想像もできないような使い道も、まだまだあるはずです」と目を輝かせた。



篠田さんらが2009年に開発した「非接触触覚インターフェース」。空中に表示した立体映像に同期して触覚刺激を行う装置の試作例。

篠田 裕之

しのだ・ひろゆき

東京大学大学院新領域創成科学研究科教授

1988年、東京大学工学部卒業。90年、東京大学大学院計数工学専攻修士課程修了。同大学助手、東京農工大学講師、助教授、カリフォルニア大学バークレー校客員研究員、東京大学准教授を経て、2012年より現職。09年度より、CREST「高速センサー技術に基づく調和型ダイナミック情報環境の構築」の共同研究者。

