



人とロボットが 共存する社会で 求められる 人の意図を類推する 機械の開発を目指して

13 人と機械の 新しい関係を作る 工学への誘い

電気通信大学情報理工学部知能機械工学科

横井 浩史 教授



このコーナーでは、私たちの社会や生活に身近な研究テーマをわかりやすく紹介する。第一線で活躍されている研究者の研究内容を中心に、学問の仕組みや今後の可能性などについて、インタビューする。

社会のさまざまな場面に機械やコンピュータが登場し、人と機械が共存する状況は顕著になってきています。これまでの機械は人が命令を与えて作動させるだけのもので、人は使う側、機械は使われる側に役割が固定されていました。しかし、機械の性能が著しく高まり、複雑化、高度化してくると、人がすべて制御することは困難になります。そこでは、人と機械が互いに適応できるような機械システムの開発が必要になってきます。

従来のロボット工学の概念から脱却し 機械と人による新しい生命系を追求する

ロボットの研究領域は多岐にわたっています。中でも、人の運動や感覚に関する脳の活動を利用して機械を制御する技術であるBMI (Brain Machine Interface) は、医学との融合領域として注目を集めています。そこで必要とされる学問のベースにロボット工学があることは間違いありません。ロボット工学は、電子工学や制御工学、機械工学、情報工学、人間工学などを含んでおり、BMIでは特に医学との関連が深いと言えます。

しかし、ロボット工学という言葉には、人が使う機械、言い換えれば人に使われる機械としてのロボットというニュアンスがあります。医学との融合分野では医用福祉工学といった言葉が使われますが、この言葉にも、医療あるいは福祉の分野で人に使われる機械を開発するといったイメージがあります。これまでは人の能力の方が圧倒的に高かったために、機械は人に使われるだけでよか

ったのです。しかし、現在の機械はコンピュータと結びつき、正確で複雑な動きや緻密なコントロール、圧倒的な情報処理能力など、人間をはるかに上回る能力を獲得しているため、その機械を人間が厳密にコントロールしようとするとう無理が生じてきます。

例えば、手指の動きを再現するロボットを考えてみましょう。人には片手に5本の指があり、1本の指が3つの関節を備えています。指先からの2つ目までの関節は「曲げる・伸ばす」という動きだけですが、3番目の関節は横にも動くため、指1本につき4自由度^(*)あることとなります。また掌には「閉じる・開く」動作で1自由度、さらに手首の回転で3自由度ありますから、手首から先だけで24自由度あると考えることができます。人はこの24自由度を持つ手指をスムーズに制御していますが、同じように24自由度を持つ機械を作り、各自由度の動きを個々に制御しようとしても、人の手のようになめらかに動かすことは不可能に近いでしょう。あまりにも制御が複雑になるからです。そうになると、機械の方に、人の意図を理解して動くイン

PROFILE

横井浩史 (よこい・ひろし)
電気通信大学情報理工学部知能機械工学科教授

北海道大学大学院工学研究科精密工学専攻博士課程修了。通商産業省工業技術院生命研究所技官、北海道大学大学院工学研究科助教、東京大学大学院工学研究科精密機械工学専攻助教などを経て、2009年より現職。チューリッヒ大学人工知能研究室シニア研究員、西イングランド大学知的自動化システム研究室フェロー研究員を兼任。東京大学大学院情報学環教授(併任)。社会生活、特に福祉の分野で役立つような柔軟でインテリジェントな機械システムを目指し、人と機械の相互反応系を中心的なテーマとして研究を続けている。

(*) 1) 自由度…ここでは動きのパターンの数と考えてよい。それぞれ独立した動きを1自由度と考える。例えば、3次元空間におかれた物体には、前後、左右、上下に移動できるので移動で3自由度、さらに物体自身が3方向に回転できるので回転で3自由度、合わせて6自由度がある。



テリジェンスが必要になってきます。つまり、人がこうしたいと思った動きを、機械が類推して具体的な動作として出力したり、機械からの入力によって人の側が変化していくような、人と機械が一体になって動いていくようなシステムが望ましいわけです。こうした人と機械の相互反応を考え

【資料2】ロボットハンドによる日常動作



ペンを握り字を書く



ペットボトルからグラスへ水をそそぐ動作

(横井先生提供)

たロボット開発はまだ始まったばかりで、あえて名前をつければ、「人と機械の新しい関係を作る工学」ということになります。そしてそれは、人と機械による新たな生命系を追究することにほかなりません。

5本指のロボットハンドを開発し 筋電位を使った制御で自在に動かす

こうした人と機械の新しい関係を作る工学は、義肢・装具（いわゆる義手、義足など）や、運動補助、リハビリテーションなどの分野に応用できます。私の研究室でもさまざまな方向から研究を進めています。

例えば、5本指のロボットハンドの開発を行っています【資料1】。ロボットハンドは、手と同じ動作を実現するロボットの部品と考えることもできますが、事故などで手首や前腕部を失ってしまった人に装着すれば、手と同じような動作ができる義手として使えます。ただし、ロボットハンドを義手として使うためには、その人が動かしたいと思ったときに動かなくてはなりません。

そこで、ロボットアームの制御には筋電位^(*2)を利用

します。手首や前腕を失った人でも、手指を動かす筋肉は残っているので、そこから筋電位を取り出すわけです。取り出した筋電位情報の中には、その人がどんな風に手指を動かしたかったかという運動意図が含まれています。筋電位解析技術を使って、その運動意図を読み取り、ロボットハンドにその意図を実行させるのです。

人の手指を動かす筋肉は約30本あり、それらが連携して動くことで、24自由度の動きをコントロールしています。皮膚表面から筋電位センサーを使って筋電位を取り出しますが、センサーの数をできるだけ少なくして、多くの運動をとらえられる方が実用的ですから、私たちは2つのセンサーを使っています。しかし、センサーが少ないと、筋電位信号と運動意図の対応関係が一定ではなくなり、単純な連立方程式では解けなくなります。そこで、信号をフーリエ変換する方法を使います。すると、手首を回転させる、小指を倒す、指を曲げるなどの動作ごとに、信号分布のパターンが得られるため、そのパターンと運動を対応させるわけです。

実際には、運動意図と異なる動きをすることもありますが、筋電位のパターンには個人差があるため、被験者に装着してもらい、自分がしようとした動きと、実際のロボットハンドの動きの関係を学習することは不可欠です。また、ロボットハンドにもニューラルネットを構築し、被験者の運動意図を推定する適応学習機能を持たせてあります。その結果、手を開く、握る、じゃんけんのチョキの形を作るなど、15パターンの手指の動きに対応させることが可能になりました。そして、字を書く、ドアノブを回す、料理をするなどの日常的な動作の多くを、ロボットハンドで実現することができました【資料2】。

【資料1】個性適応型ロボットハンドの概念図



(横井先生提供)

(*2) 筋電位…筋肉の動作に伴って発生する電圧。脳から脊髄を通して運動ニューロンに伝わった神経信号は、運動ニューロンのシナプスを通して筋膜表面に電気信号を励起し、そこから波状に電気信号が伝わることによって筋肉が収縮する。

感覚のフィードバック技術を利用し 手の高度な動作の実現を目指す

人の手は、動作を行う運動系のシステムであると同時に、超高感度センサーとしても働いています。例えば、触っただけではわからない微小な凹凸も、指先で表面をなぞるとすぐにわかります。運動によって高度な情報を入力する認識能力を「アクティブ・センシング」と言いますが、人の手にはそうした能力が備わっているのです。

手は、自分にどれくらいの力がかかっているのか、どれくらいのスピードで動いているのか、互いの手指がどう連携しているのかを、人間に教えてくれています。つまり、手は脳からの指令で作動すると同時に、その動作を通して脳に情報を伝えているのです。こうした相互の連携は、手の機械を考える上では重要です。

例えば、料理の際に、油をフライパンに注いだり、包丁でものを切ったりするには、しっかりと対象物を握っているかどうかを確認できなければ心配です。そのためロボットハンドには、触覚センサーを装備し、触覚情報を装着者にフィードバックできるようにしています。人の手のような高度なアクティブ・センシングはまだできませんが、筋電位の解析技術と触覚のフィードバック技術を使うことで、より高機能な使いやすい義手などへの応用が可能になるはずです。

現時点では、字を書く場合は、肩と肘の運動と連動した形で行っていますが、今後は、手指だけの運動で実現させるように開発を進めていくつもりです。また、上腕切断で手指を動かす筋肉が欠損している場合でも、筋電位解析技術を使えば、肘の運動、手指の握り・開き、親指の運動を作り出すことで可能ですから、筋電位の技術を幅広く応用していく予定です。

感覚のフィードバックを使う機械を使い 脳に新しい機能部位を作り出す

BMIには、脳で考えたことを外部機械で実現する「出力型インターフェイス」と、外部機械を使うことによって脳に新たな刺激を作り出す「入力型インターフェイス」の2種類が考えられます。出力型インターフェイスは、いわばアニメの「ガンダム」や「マジンガーZ」のようなシステムを思い浮かべてもらえばいいと思います。

入力型インターフェイスについて具体的に説明しましょう。例えば、脳卒中などで左半身が完全に麻痺した人

でも右側の一部の情報を使って左側を動かすことができるようになるといいます。また、右手が動かない人の左手にセンサーを装着し、左手の動きをそのまま右手に伝えて強制的に右手を動かすと、徐々に右手が動くようになってきます。脳は自分の意図とそれに呼応して動く動作に対しては強く反応し、そこに神経回路をつなげようとするのです。ロボットハンドのように電氣的に動かす場合と、曲げセンサーのように機械的に動かす場合がありますが、いずれにしても、強制的に動かしていると、その動きと脳の動きが結びつくのです。

これを利用するのが入力型インターフェイスです。私たちは、ロボットハンドを使ってその研究も進めています。被験者がロボットハンドで手を握る・開くという動作をするときの脳の動きをfMRI^(*3)で観測し、脳の活動を分析するのです。ロボットハンドの動きは、モニターを通じて被験者にフィードバックされており、このような視覚情報によって、脳の体性感覚野が活発に働くようになります。体性感覚野は視覚野と連動しており、脳は、モニターからの視覚信号をまるで自分の手で触っているかのように感じるようになります。つまり、機械に刺激されて、脳は新しい機能部位を作り出したのです。

次に、触覚センサーからの触覚フィードバックを入れて同様の動作を行った場合、今度は、体性感覚野の活性が低くなります。触覚信号を受け入れることで、視覚に頼る必要がなくなったわけです。触覚フィードバックは、ロボットハンドとは逆の腕に戻していますが、脳の中では、右手の感覚のように感じる錯覚も見られました。ただし、触覚フィードバックがあると、前頭前野の活動も活性化します。これは、ロボットハンドを考えながら使っていることを意味しています。

これらが意味することは、外部機械を操作することで得られる刺激を、適切に人の脳にフィードバックすることで、失っていた機能を回復させたり、新しい機能を作り出せるということです。つまり、機械でトレーニングすることで、人の脳を作り替えていくことができるのです。ロボットハンドは、筋電位に反応を起こすきっかけとして利用しますが、脳の電流をきっかけに使う出力型の機械も十分に開発可能です。また、脳へのフィードバックが行われる機械を使えば、人間の脳を変化させることもできるわけです。このような人・機械相互適応系の研究は、まさに人と機械の新しい関係を作っていくことに寄与するはずです。

(*3) fMRI…機能的核磁気共鳴装置