



# フレキシブル高感度センサーで 豊かな社会づくりに 貢献したい

異分野の研究者らと連携し、曲げたり丸めたりできる高感度のセンサーを開発。  
医療や福祉、農業などさまざまな分野での実用化を目指す関谷 毅さん。  
社会を豊かにしたいというまっすぐな思いが、  
多くの研究者や企業の共感を呼んでいる。

大阪大学  
産業科学研究所 先進電子デバイス研究分野 教授

## 関谷 毅

[せきたに・つよし] 1977年、兵庫県出身。大阪大学基礎工学部物性物理工科学卒業。東京大学大学院工学系研究科物理工学専攻博士課程修了。工学博士。東京大学大学院工学研究科量子相エレクトロニクス研究センター助手、助教、その後、東京大学大学院工学研究科電気系工学専攻助教、講師、准教授を経て2014年4月から現職。文部科学大臣表彰若手科学者賞、日本学術振興会賞など受賞歴多数。2014年にはトムソン・ロイターによる「高被引用研究者」（世界で影響力を持つ研究者）にも選出された。中学時代には野球部と駅伝部を掛け持ちしていたと言う。

「第33回松籟科学技術振興財団研究助成受賞」

## 多彩な分野の研究者を糾合

——2014年4月に関谷研究室が発足しましたが、このときはまだ37歳。異例ともいえる若さで教授に就任されましたね。

従来はできなかった計測をできるようにして、豊かな社会をつくりたいというのが、研究に対する私の最大のモチベーションです。そのためにフレキシブルな電子デバイス、特にセンサーの研究をしていたのですが、私としては単にセンサーを開発するだけでなく、それを社会実装できるところまでとことんやりたいわけです。でもそうなるといういろいろな異分野の研究者と連携する必要があります。もちろん東京大学にいたときもそうした連携はしていましたが、大阪大学は医工連携がとて盛んな大学です。私が東大で開発したセンサーを使いたいと手を挙げてくださった先生も、阪大にはたくさんいらっしゃいました。その後もさまざまなお縁があり、阪大で異分野融合の研究室をつくれることになりました。

——異分野融合の研究室とは、どういうことですか。

私自身は電子デバイスや電子材料が専門ですが、同じ研究室の須藤孝一准教授は応用物理の出身で界面や物性評価が専門ですし、植村隆文特任准教授は応用自然科学出身で、電子デバイスなどの評価のスペシャリストです。また荒木徹平助教は材料をつくったり集積化したりするのが専門で、スタンフォード大学の博士研究員だった吉本秀輔助教は回路設計、システムシミュレーション、情報処理の専門家です。これだけいろいろな分野の研究者がそろっている研究室は、なかなかないと思います。おかげで私の研究室では、材料やプ

ロセスの開発にとどまらず、システムや情報処理までできるようになりました。もちろん他大学や企業などとの連携も盛んに行っています。

## コンクリートの劣化を検知する

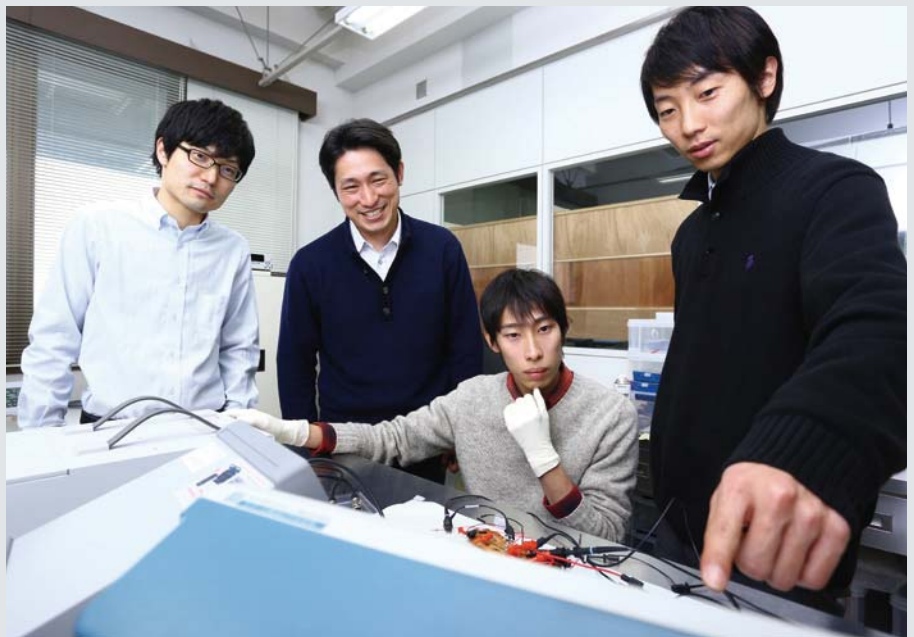
——フレキシブルなセンサーの研究をされているということですが、もう少し詳しくお話しいただけますか。

今、Internet of Things(IoT:モノのインターネット)という考え方が注目されていますね。機械とかいろいろなものをインターネットでつないで最適化したり新しい価値を創出したりするのがIoTです。私も以前から、アンビエントエレクトロニクス(環境エレクトロニクス)という名前で、同じようなことを学会や論文で紹介していました。ここでもし、我々の住む実空間のセンシングを担うのがシリコンLSIセンサーだとしたら、コスト的に見合わないと思っただけです。IoTというのは実空間をつなぐわけで、膨大な量のシリコンLSIセンサーが必要になり、それを広大な実空間に限なく展開しなければ

ならないからです。シリコンLSIは非常に優れたデバイスですが、硬いので曲げたりできないことと、大面積に展開するとコストが合わないという2つの弱点があります。だからそこを新しいテクノロジーでカバーする必要があります。

——それがフレキシブルなセンサーだと。

分かりやすい例をひとつお話しすると、いま日本ではビルや高速道路などの構造物に使われているコンクリートの20%は、建設されてから50年以上が経過しています。コンクリート構造物は通常は100年以上耐久性を持つ技術ですが、日本は地震が多い国であること、沿岸部に都市が広がっており塩害が起きやすいこと、昨今の酸性雨やNoX(窒素酸化物)により酸性環境が広がっていることからコンクリートが劣化しやすい状況にあります。コンクリートが劣化することで保守管理に大きなコストと時間がかかっています。20年後には7割が劣化(老朽化)するとも言われています。そのときすべてのコンクリートを調べるために



左から、荒木助教、関谷教授、大学院生の近藤雅哉さん、植村特任准教授。

打音検査しているわけにはいきません。そこで私たちが開発したシート状のセンサーをコンクリートに貼り、信号を検出してひずみや圧力などをセンシングする。そうすればコンクリートの状態がいつでも分かるようになり、壊れる前に改修工事などを行えるようにもなります。コンクリートの改修時期を人ではなくセンサーが知らせる。それがスマートインフラです。

——コンクリートからどういう信号が出てくるのですか。

割れれば振動が起きますし、ひずみが出れば変位が起き、抵抗の変化が生じます。そういう信号を検出し、なおかつそれが何を意味するのかを判断する情報処理の研究もしています。そうすれば、こういう信号が出たら何年後にはコンクリートが割れてしまうというようなことが分かるようになるわけです。

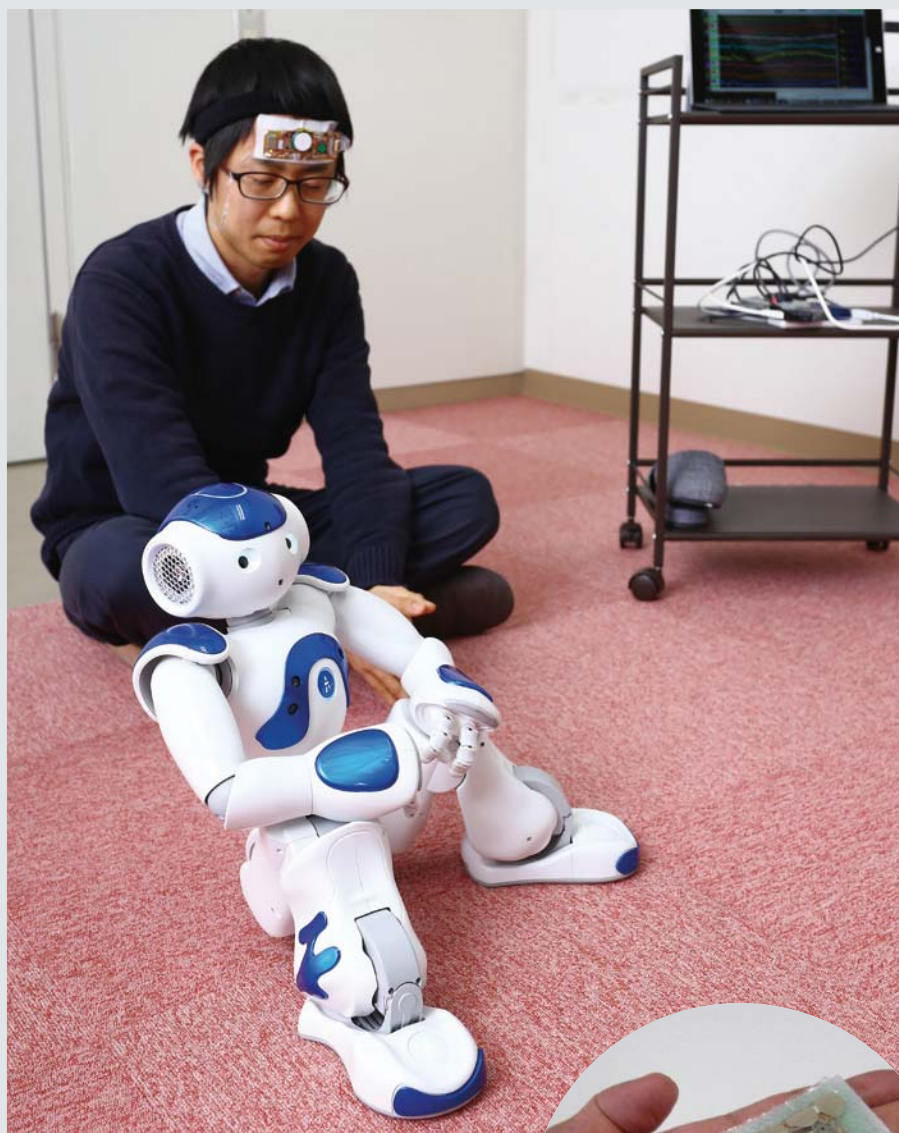
## テクノロジーが人の役割を補う

——高速道路のトンネルで天井のコンクリートが崩落する事故がありました。あのような事故も防げるようになるということですね。

少子高齢化の時代ですから、いろいろなところで人手が足りなくなっています。打音検査でコンクリートの状態を判別するのは専門家でないといけません。コンクリートの老朽化がどんどん進むと、人手に頼った保守管理には限界がきます。だからテクノロジーで人の役割を補う。それがセンサーの役割です。

——そのセンサーはいろいろなところに応用できそうですね。

たとえば農業があります。耕作地の水分とか肥料の量などをセンシ



ロボットを操作する吉本助教。額に貼ったシート型の脳波測定装置でリラックスしているときに出てくるα波を確認すると、そのデータはロボットに送られ、ロボットもリラックスする。



グして、水や肥料を蒔くタイミングを適正化するスマートアグリです。私たちが今一番力を入れているのは、医療や介護の分野です。冷却シートのように伸び縮みするシート状のセンサーを額に貼って脳波を測定する。そうすればその人が緊張しているのかリラックスしているのか簡単に分かります。リアルタイムで脳の中が可視化できるのです。データをたくさん取り、脳波の変化の意味が解析できれば、認知症の判定もできるようになるでしょう。私たちはすでに

脳外科医と共同で霊長類の脳の中に電極を入れ、活動時の脳波の包括的な計測をしています。どういう活動をしているときに脳波がどう動くか、高度な社会性を持つ霊長類の高次脳活動を大脳皮質および基底核の活動まで、包括的に調べているのです。

認知症の診断は専門医でも難しいのですが、軽度の認知障害なら薬も

効き、進行を止めたり遅らせたりすることができると言われていました。だから認知症になる前に脳の異変を早期に気づくことが大事なのですが、これまでは手軽に脳波を測定する方法がありませんでした。

現在は頭を隈なく覆う“ヘッドギアタイプ”の電極を装着して脳波を測定する方法が一般的です。でもこの方法は計測用の導電性ペーストを頭皮に塗るため、頭がべちゃべちゃになり被験者の負担が大きいし、専門性が高いため高度な知識を必要とすること、そして何より測定するための医療機器は非常に高額です。その点、私たちが開発したセンサーは額に貼るだけですから負担が少ないし、取り出したデータをスマホで処理できます。大型の医療機器にとって代わる開発ではなく、徹底的に使いやすさにこだわった開発です。だから家庭で簡単に測定することができます。薬を服用しながら脳波を測定すれば、どの薬がどの程度効いているか、定量的に評価することもできるようになるでしょう。それができれば、誰にどの薬が有効か、個別化した投薬も可能になるはずです。

## マイクロボルトの信号も計測可能

——精度に問題はないのですか。

そこが重要なポイントです。私たちが測定の対象にしている脳の信号は、マイクロボルトという非常に小さな電気信号です。ミリボルトレベルの信号を計測する装置はいくらでもあります。マイクロボルトの信号を計測するには大型の装置が必要でした。しかも額の筋肉からもさまざまな信号（筋電）が出ているので、それがノイズとなってしまいます。

一方で医療機器を実際に使う医師の方たちは、医療機器と同等の精度を求めます。それを私たちはシート1枚で測定できるようにしたのです。事実、私たちのセンサーシステムでは、手のひらサイズですが、ここにワイヤレスモジュールやCPUなどもすべて搭載していますが、高額で大型の医療機器で取ったデータと完全に同じデータを取ることができています。

——ノイズの問題も解決できたのですか。

脳の信号や筋肉の信号には周波数帯などでそれぞれ異なる特徴があります。その特徴をとらえて情報処理すればノイズをキャンセルアウトすることは比較的容易です。重要なのは、実空間だけでモノづくりをしないということです。サイバー空間でなら、いかようにでもすごい速度で計算することができます。実空間のデータをサイバー空間に飛ばせば、人間が何万年もかかって計算しなければならぬようなことを一瞬で計算できる。その結果をまた実空間に戻せばいいのです。

## 材料循環型エレクトロニクスを提案

——そういうセンサーが実用化され、IoT社会を実現すると、ものすごい量のセンサーが必要になりますね。資源的には問題ないのですか。

医療機器として使うとすれば、衛生上の問題もあり、少なくとも肌に貼り付く電極部分などは使い捨てにせざるを得ないと思います。それ以外の生活環境にもセンサーが入り込むとなると、それを使い終えた後、膨大な量の廃棄物が生まれる可能性は確かにあります。そこで私たちは、低エネルギーで分解でき、再構築も

可能な生分解性プラスチックフィルムを高機能化し、センサーに活用する研究も進めています。生分解性プラスチックは表面の平坦性が低いことや環境耐久性がないことなどからこれまでエレクトロニクスの分野ではほとんど使われてきませんでした。私たちは自己組織化単分子膜によりそのプラスチック表面を修飾し、平坦化を実現するなどして、地下資源に頼らない材料循環型エレクトロニクスの概念を創出したいと考えています。

——そうした研究の論文は「ネイチャー」や「サイエンス」にも掲載されましたね。2014年にはトムソン・ロイターによる「高被引用研究者」にも選出されました。

研究者の論文の価値判断のひとつは、どれだけ引用されるかであると考えています。トムソン・ロイターによるその選出は、21の全学術分野を対象に、10年間の引用数をもとにして決めたと聞いています。つまり、この10年間で影響力のある研究者に選んでいただいたということになります。たくさんの方の研究者に私の論文を読んでいただいたということですから、これはとてもうれしかったですね。

日本は超高齢社会です。でも、寝たきりの寿命が長くなるのでは、介護する側もされる側も大変ですし、社会的コストも増大する一方です。脳の状態をいち早く知ることができれば、認知症も早期に発見でき、寝たきりや介護が必要になる時期を遅らせることができるかもしれません。そういう社会の実現に貢献することをモチベーションに、これからも異分野で活躍しておられるいろいろな先生方、研究者と連携して研究を進めていきたいと思っています。