

バクテリオロドプシン薄膜を用いた
バイオメテックセンシング

高度好塩菌から 視覚機能をつくり出す

未来 ICT 研究所は、新たにナノ・バイオ融合領域を立ち上げました。生物のセンシング機能をナノテクノロジーで再現するという大望のもと、視覚機能を有するバイオメテックセンシングは重要なコア技術です。ICT での活用が期待されるロボットの眼への応用を目指して、バクテリオロドプシンを使った新たな視覚機能を研究開発しているナノ ICT 研究室の笠井主任研究員を訪ねました。



Q：バクテリオロドプシンとはどんなものですか。

笠井：アフリカ・セネガルのレトバ湖に生息している高度好塩菌が光エネルギー変換のために使っている紫色の物質です。動物の視細胞にあり視神経に信号を伝える役目をもつロドプシンという物質によく似ているため、バクテリオロドプシン(bR)と呼ばれています(図1)。



図1 精製したバクテリオロドプシン

ナノICT研究室
主任研究員

笠井 克幸

Kasai Katsuyuki

博士(工学)

略歴

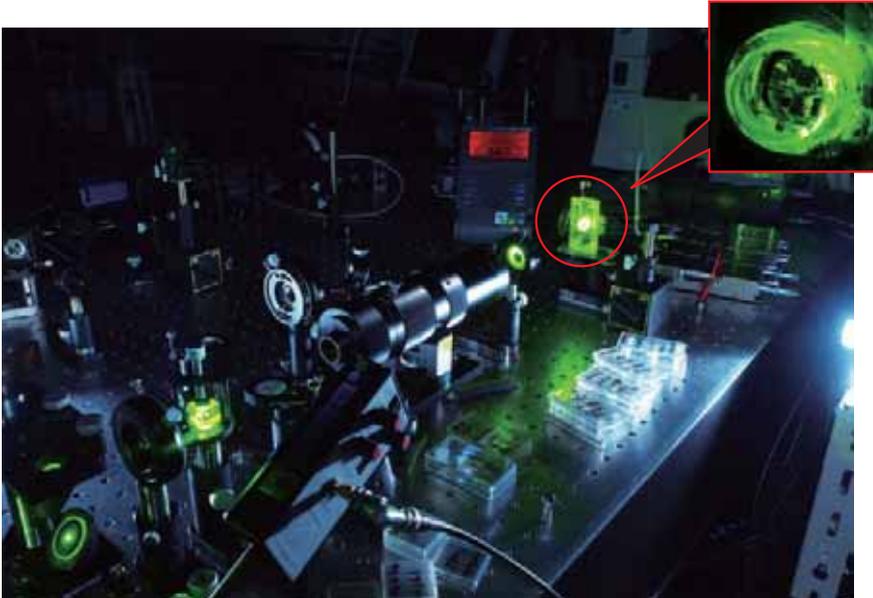
1984年、大学院修士課程修了後、郵政省電波研究所(現NICT)入所。鹿島支所衛星管制課第4管制係勤務を経て、1991年より関西先端研究センター(現未来ICT研究所)に勤務、現在に至る。その間、1988～89年宇宙開発事業団客員開発部員、1994～96年フランスLaboratoire Kastler Brossel, ENS et UPMC客員研究員。2002年レーザー学会業績賞・論文受賞。

研究分野

バイオエレクトロニクス、非線形光学、レーザー制御、量子光学

近況

某コーヒー博物館にて、コーヒー博士に認定されました。次はコーヒーマイスターにチャレンジできればと思います。朝はやっぱり缶コーヒーですよ。



bRのセンサはレーザー光の検出にも使える。その実験の様子。

bRには、光が当たるとプロトン(H⁺イオン)を菌の体外にはき出し、光が消えるとプロトンを吸い込む「プロトンポンプ」という機能があります。つまり、光が当たると電流が流れ、消えると逆向きに流れるのです。ヒトの網膜にあるロドプシンにも同じ機能がありますが、ヒトのロドプシンは一度光に当たると分解してしまい、元に戻るのに時間がかかります。しかし、bRは分解せずに光化学反応サイクルが回って再生するため、実用的にもより使いやすい物質と言えます。

高度好塩菌から精製したbR溶液は、電流を通すガラス(ITOガラス)の上で薄膜にすると、光を検知して電流を発生させるセンサになります(図2)。薄膜をつくるには、ディップコート法という、bR溶液からITOガラスを引き上げるときの表面張力によって薄膜にす

る方法を使っています。ディップコート法は、引き上げる速さによって自由に厚さが調整でき、bRの分子も一定程度整列させることができます(図3)。

Q : bRのセンサはどのようなことに利用できるのですか。

笠井：私はbRがロボットの眼に応用できると期待しています。ロボットは30年後には一家に1台設置されるほど普及する可能性があります。今から30年前、パソコンがこれほどまでに家庭に普及するとは思いませんでしたから、十分あり得る話だと思います。

特に、日本は高齢化が進み、介護に大きな負担がかかるでしょう。高度な人工知能を搭載した介護ロボットが登場するにはまだまだ時間がかかると思いますが、ICTを使ってリモートコントロールで介護をしたり、ふだんの生

活を見守ったりすることは現実味を帯びてきています。リモートコントロール時にも、ロボット自身が自分で判断して目の前の障害物や危険を避ける必要があります。それには、視覚の情報をもとにした自律型の瞬時の運動制御が必要なので、視覚-運動制御機能をもつセンシングシステムはとても重要なコア技術になるはずで

Q : bRは視覚センサとしてどのようなところが優れているのですか。

笠井：bRを利用した視覚センサは、エッジ(輪郭)やコントラストの変化の検出が得意です。これまで主に使われてきた視覚センサとしてCCDやCMOSのイメージセンサがありますが、それらは検出したイメージを平面の1枚絵としてしか認識できないため制御に用いる演算処理を必要とし、すでにあるロボットでは階段の縁を認識するための処理がうまくできずに上り下りにも苦労しています。その点、bRのセンサならば、エッジやコントラストの変化を瞬時に見つけ出し、凹凸でつまずくことはありません。このように、光の信号を捉えて画像化する機能だけでなく、視覚の情報をもとに行動や運動を制御することも、視覚の重要な機能なのです。

例えば、昆虫は外の世界をきわめて

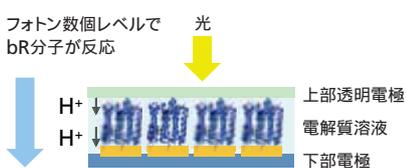


図2 bRを利用した視覚機能センサの概念図



図3 ディップコート法。ゆっくり引き上げるほど薄い膜になる。(紫色はbR溶液)

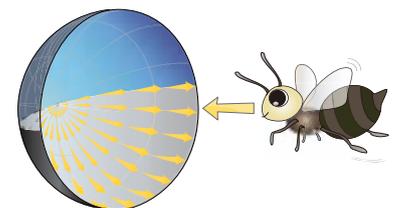


図4 地平線へ向かって飛んでいる昆虫が見ているオプティカルフロー

粗い像でしか見ていないのですが、オプティカルフローと呼ばれる像の流れのパターンを検出して即座に運動を制御しています。ハエが俊敏にハエタタキを避けられるのも、このオプティカルフローを利用しているからなのです。実際に、欧米では無人航空機や月着陸船の研究開発においてオプティカルフローを利用して低空飛行のときに障害物を避ける技術に応用しようとしています。それには超高性能なイメージセンサと高速のコンピュータを使って演算させていますが、それを使ってもなお演算に時間がかかり消費電力も非常にかかってしまう上に、ある程度の搭載スペースを必要とするそうです。

また、オプティカルフローを検出できる視覚機能センサは、それ1つでいくつかのセンサをまかなえる可能性を秘めています。現在、自律移動型のロボットは、画像化のためにイメージセンサを、奥行きなどの情報を集めるためにレーダーを、角度や角速度を検出するためにジャイロスコープをそれぞれ運動制御のために積んでいます。しかし、昆虫はこれらの器官をもっていないのに、オプティカルフローによって行動や運動の制御をしています(図4)。

私はbRにもオプティカルフローを検出する能力があると考えています。これができるようになれば、低コストで自律移動型ロボットの運動制御のための視覚機能センシングシステムを提供できるようになります。さらに、搭載スペースを必要とする高速のコンピュータも必要ありませんし、そのうえ、センサ自体は電源を必要としないので、一家に1台置けるようなバッテ

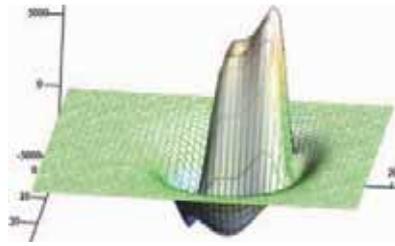


図5 bRを利用した新たな視覚機能をもつセンサで右へ移動するオブジェクトを見たときのシミュレーション。進行方向が強調され、移動方向が瞬時に認識できる。(Simulation by Prof. Aida and Dr. Katagiri)

リー駆動の介護用ロボットには最適な低コストの視覚・運動制御システムの構築が期待できるのです。

bRには、もう1つバイオ材料として優れたところがあります。それは廃棄しても地球環境に悪影響を及ぼさない点です。これからの産業は廃棄のことも考え、環境に負荷を与えるものであってはならないと思います。bRのみならず、バイオ材料ならば持続可能な開発が期待できます。

Q：これまでの研究でどれだけの性能が実現されていますか。

笠井：人間の眼と同じような構造のものをbRでつくれば、人間の眼と同じような応答ができるのではないかと考えました。

人間の網膜は興奮領域と抑制領域に分かれており、これらをうまく使うことによってコントラストの変化やエッジを検出しています。これをヒントに、bR薄膜を興奮領域と抑制領域に分け、それぞれ光が当たったときに逆の方向に電流が流れるようにしました。このセルの上でエッジを動かしたとき、抑制領域ではマイナスの電流が流れ、興奮領域に入るとプラスのほうにシフトすることを確かめました。このセルは人間の視覚の細胞に相当するため、適切に配置することによって人間の眼に近いものがつくれます。現在、アレイ

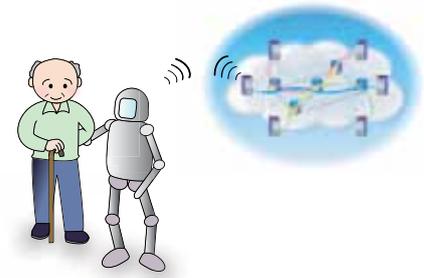


図6 ICTを用いた介護ロボットによる安心な老後生活

型の作製に向けて実験を繰り返しています。

さらにこのセルに使うbRとして、特性の違うものを組み合わせることによって、演算処理をしなくても物体の移動方向の先端が強調されて検出できることが、シミュレーションからわかってきました(図5)。この新たな視覚機能を実用化できれば、介護ロボットの眼として、信号制御に直接利用できるようになると思います。

Q：これからのバイオセンシング技術の展望についてお聞かせ下さい。

笠井：日本のロボット技術はかなり優れているので、ロボット技術とバイオセンシング技術、ICT技術を組み合わせさせて産官学で連携していければと思っています。

例えば、パソコンをインターネットにつなぐとき、標準化された規格があります。同様に、ロボットを各家庭からインターネットにつなごうとすると、ロボットICTの標準化技術が必要になってくると思います。こういう場面では、国の政策が必要になってくる部分もあるので、NICTが関わっていく必要性はとても大きいと考えています。バイオメトリックセンシング技術でICTを用いた介護ロボットが各家庭に普及して、安心な老後生活が迎えらることを期待しています(図6)。