

# 体調見守る小さなバイオセンサー 独創的研究で社会を健康で豊かに

東京理科大学工学部先端化学科准教授

## 四反田 功

東京理科大学は7学部7研究科にユニークな研究者が多数在籍している。理工学部の四反田功准教授は電気化学センサー研究の気鋭。体内物質を感知して体調を見守るバイオセンサーの実現が目標。独創的な研究に健康、情報通信、建設など様々な業界が注目している。

(聞き手：鹿児島昌樹・日経サイエンス発行人)

### 印刷技術で製作

— バイオセンサーとは何ですか。  
**四反田** 生体や生体分子などの持つ優れた分子認識機能を利用した計測デバ

イスです。生体分子が物質を見分ける能力をうまく使うと、汗や尿、血液などに含まれる体内物質やその量の増減などを感知して、体の具合をとらえられます。私たちのセンサーはシート状で縦横2cm程度。印刷技術で紙やシールにプリントして作ります。アイロンで衣服に貼り付けられます。仕組みの特徴は、酵素を使って体内物質を感知することです。血中の糖(グルコース)の量を調べる血糖センサーの場合、グルコースは酵素(グルコースオキシダーゼ)と反応すると、電子を酸素に渡して過酸化水素になります。この酵素と電極をセンサーに組み込んでおくことで電子を電極に渡すことで電子の流れ(電流)を電極で測れるので、その電流値からグルコースの量がわかります。私たちは様々な酵素を使ってセンサーを研究開発しています。

理工学を融合して  
学際領域を創造し  
役立つ研究を  
役立つ研究を

### 電源も体内物質

— どんなセンサーですか。

**四反田** 例えば、体内物質の量を測りながら、その体内物質で発電もする自己駆動型ウェアラブルバイオセンサーです。糖など体内物質を酸化して発生する電流を測るのがバイオセンサーですが、この酸化反応は自発的に続きます。そこで流れた電子を受け止める別の酵素をもう1個組み込んだものがバイオ燃料電池です。自動車を動かす燃料電池の場合は、水素を燃料として白金触媒を使って酸素と反応させて発電しますが、バイオ燃料電池は水素の代わりに乳酸やグルコースを燃料とし、酵素を使って酸素と反応させて発電します。バイオセンサーの電源部分をバイオ燃料電池で構成し、バイオ燃料電池で発電しながら体内物質をモニタリングするわけです。

尿中のグルコースを燃料としてバイオ燃料電池で発電し、一定の電力が貯まったらBluetoothなどでデータを送信します。このときにグルコース値が高いと発電量が大きいため、送信の頻度が多くなります。その頻度からグルコースを計測できます。自己駆動型デバイスは軽くて装着感のない次世代のウェアラブルデバイスになり得えます。私たちのバイオ燃料電池とバイオセ

**四反田 功** (シタンダ イサオ)

工学博士。専門は電気分析化学(バイオセンサー、バイオ燃料電池)。2001年東京理科大学工学部工業化学科卒業。2006年東京大学大学院工学系研究科博士課程修了後、同年4月東京理科大学工学部工業化学科助手に。2010年から1年間カリフォルニア大学サンディエゴ校客員研究員。2012年東京理科大学工学部工業化学科講師。2020年より東京理科大学工学部先端化学科准教授。この間東京理科大学優秀研究者奨励賞(2016年)やET/IoT Technology Award 2019におけるEmbedded Technology 優秀賞など受賞。

ンサーは、体液を使って常温・中性・非侵襲の条件で発電と計測ができて体に優しい。バイオ燃料電池を心臓ペースメーカーの補助電源とすれば、使い切った電池を体から取り出す手術の頻度を減らせるのではないかと考えています。

— 発電性能はいかがですか。

**四反田** バイオ燃料電池(発電回路)1つの起電力は0.5~0.8Vですが、電池を5つ直列につなげた構造にすれば3V以上になりLEDが光ります。印刷技術で作ったシート状の電池をハサミで切れば望みの出力の電池になります。チャージポンプ式省電力無線電送デバイスを十分駆動させられ、スマホに無線で送信できます。この電池を応用して尿中のグルコースで発電するおむつ電池を開発しています。尿中のグルコースで発電し、排尿を検知し、さらにグルコースもモニタリングできるわけです。介護現場で使えばおむつの交換時期がわかるほか、食後高血糖などの健康管理もできると期待されています。

### 異分野融合が強み

— 応用範囲が広そうですね。

**四反田** 脱水状態をとらえるバイオセンサーも研究しています。汗に含まれるナトリウムイオンをイオノフォアという物質でとらえます。脱水状態の評価はスポーツ選手の体調管理や熱中症の予防などに重要です。建設業界では現場作業員の熱中症を防ぐために心拍

数を監視していて、閾値を超えると警告音を鳴らして作業員に伝えています。心拍数は体を動かすと上昇するので警告音が現場のあちこちで鳴るそうです。汗のナトリウムイオンの測定なら「脱水になりかけている」ことのもう1つの兆候として熱中症の予防に役立つのではないかと考えています。

— 研究の経緯を教えてください。

**四反田** 化学が好きで東京理科大学に入学し、メッキや腐食の研究からバイオセンサーなどに広がりました。私は「理工学をうまく融合させて、新たな学際領域を構築しつつ、人の役に立つ研究をする」ことを意識しています。バイオセンサーは素材から実装まできちんと研究しないと世に出ていきませんので基礎研究から応用研究まで取り組んでいます。

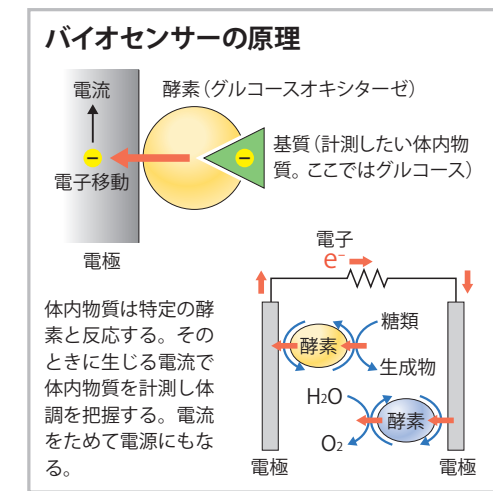
— 東京理科大学の特長とは。

**四反田** 独創的な研究者が大勢いて、

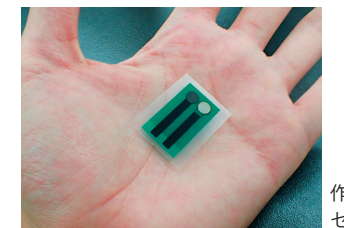


四反田准教授は研究室員らと議論しながら印刷装置でセンサーの試作を繰り返している。

一緒に研究と教育に取り組んでいることです。理工学研究科では分野を超えて研究する8つの「横断型コース」を設けています。全学横断組織である東京理科大学スペース・コロニー研究センターでは、宇宙飛行士で特任副学長の向井千秋センター長のもとで、学内の様々な研究者が集まり独自の宇宙滞在技術研究を進めています。私も宇宙飛行士向けのセンサーを研究しています。異分野融合によって「1+1」は「2」でなく、「100」などになる大きな成果につながると思います。私たちは研究で世界のトップを走っていないといけない。こうした姿勢で取り組む研究が本学ならではの教育につながり、それがまじめな学生たちの意欲をさらにかきたてていると思います。



### バイオセンサーの一例



作製したセンサー



Tシャツにプリント

