

9 4 0 6 . 1  
数字に見る  
科学と未来  
Vol.6

# 涙で発電、血糖値を測る コンタクトレンズで健康管理

日常的に身に付けて血圧や心拍数などを測定するウェアラブルセンサーは、健康管理に有効なツールとして期待されている。名古屋大学大学院工学研究科の新津葵一准教授は、涙に含まれる極微量のグルコースで発電し作動する0.6ミリメートルの血糖センサーを開発した。

## 身近な人を 病気から守りたい

「糖尿病を患っていた祖母を見て、健康管理の重要性を感じていました。日々の健康管理に、自分が研究している回路技術を役立てられないかと考えたのです。世界最小クラス、0.6ミリメートル角の発電・センシング一体型血糖センサーを開発した名古屋大学の新津葵一准教授は、開発のきっかけをこう話す。

糖尿病では血糖値(血液中のグルコースの量を示す値)を下げるインスリンというホルモンが十分に作られなかったり、うまく働かなかったりして、血糖値が下がらなくなる。このため、糖尿病の治療や予防には、血糖値を継続して計測・観察し、コントロールしていくことが重要だ。現在は指先に針を刺して自己採血する方法が一般的だが、痛みや手間を考えると数時間ごとの計測に限界だ。

一方、近年は血糖値の変化を連続的に観察する重要性が指摘されている。数時間おきの測定では見落とされる睡眠中などの高血糖や低血糖を発見できるだけでなく、どのような時に血糖値が上がるのかを生活習慣と照らし合わせて知ることもできるからだ。例えば、野菜から食べ始める方がご飯から食べるよりも血糖値が上昇しにくいといった知見は、連続モニタリングによって得られたものだ。

## 利用者の負担を軽減し 連続モニタリングを目指す

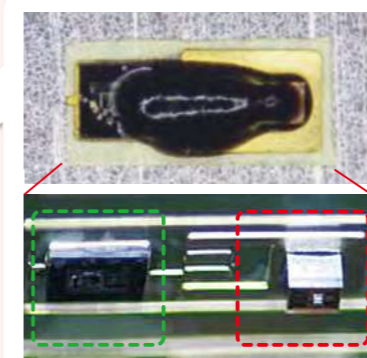
しかし、連続モニタリングはそう簡単ではない。「血糖値の変化を詳細に調べて予防や治療に役立てるには、10~15分に1度といった頻度での測定が望ましいのですが、痛みを伴う従来の方法では難しい。予防医療に利用するには、手軽さと低価格化が必要です」と新津さんは指摘する。

腕や腹部に細い針型のセンサーを刺して固定し、2週間連続でモニタリングできる装置も開発されている。しかし、日常的に使用するには、値段が高い。そこで新津さんが目を付けたのが、涙だった。

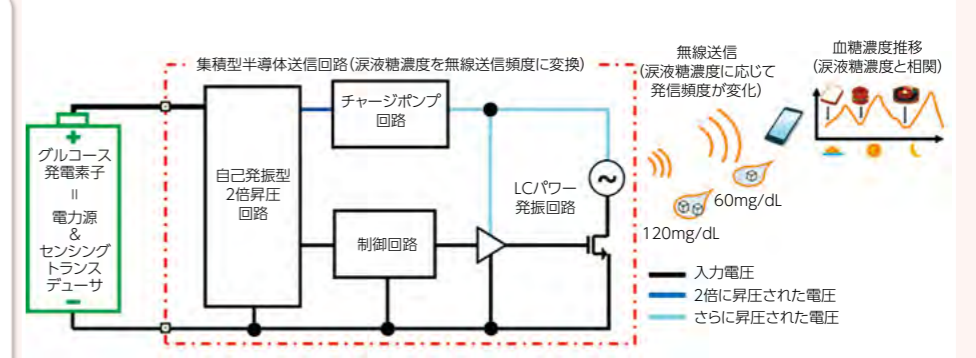
グルコースは血液の他、尿や唾液、汗、涙などにも含まれる。涙中のグルコースは血液中と比べ微量だが、血糖値と比例して変化する。食事などにより濃度が上下し、糖尿病の人では高くなる。コンタクトレンズ型のセンサーで涙に含まれるグルコース濃度を測れば、利用者の負担が少ないだろうと考えた。

「これまでもコンタクトレンズ型のグルコースセンサーは研究されていましたが、発電ができないため給電用眼鏡の着用が必要です。自分の専門である回路技術を生かせば、発電装置とセンサーを小型化し、コンタクトレンズだけで使えるようにできると考えました」と説明する。

■図1  
コンタクトレンズに取り付けられたセンサーの試作機。



試作機の左側が0.6ミリメートル角のグルコース発電素子、右側が約0.4ミリメートル角の送信回路。グルコース発電素子が電力源とセンシングを行い、送信回路がグルコース濃度を無線送信頻度に変換、送信する。



■図2  
血糖値測定のイメージ図。血糖値(血液中のグルコース濃度)が高くなると、発電量が増え、無線発信の頻度が多くなる。それを生かして血糖値の変化をモニタリングする仕組みだ。発信された電波を受信する装置についても検討中だ。



にいづ さいいち  
**新津 葵一**  
名古屋大学 大学院工学研究科 准教授  
2010年 慶應義塾大学大学院理工学研究科後期博士課程修了。博士(工学)。同年 群馬大学大学院工学研究科助教を経て、12年より名古屋大学大学院工学研究科講師。18年より現職。15年よりさきがけ研究者。

## 回路技術と半導体技術で 低電力化と小型化に成功

開発当初の回路は、グルコースで発電して、その電圧で濃度センサーを動かす設計だった。しかし、さきがけ報告会での「この回路は発電しているのか、センシングしているのか、よくわからないね」という研究総括の発言から、発電とセンシングの一体化を思い付いたという。

グルコース発電では、発電量はグルコース濃度によって変化する。つまり、発電量をセンシングの信号として利用できれば、わざわざグルコース濃度センサーを動かす必要がない。より単純な回路になり、省電力化と小型化が容易になる。

「難しかったのは、グルコース発電をはじめ、必要な回路を固体素子上に作るための回路設計でした。回路の微細な加工には既存の半導体技術を利用できます。しかし、発電やセンシング、発信などを一体化して行う回路は既存の半導体には存在しません。このため、半導体の製造プロセスを利用できる回路を、新たに設計する必要があったのです」と振り返る。

開発した試作品に組み込まれた世界最小クラスのグルコース発電素子は、鉛筆の先端ほどの大きさのチップで、発電とセンシングができる(図1)。

また、涙に含まれるグルコースでの発電量は1~数ナノワット(ナノは10億分の1)とごくわずかだ。そのため、センサー回路の省電力化が実用化への大きな鍵となる。試作品では、従来の1万分の1程度の0.27ナノワットで動作する無線送信機回路を実現した(図2)。単3乾電池でこのセンサーを約2億個動かせるほど省電力だ。

## 試作品完成で広がる可能性 ペットで実績を積み実用化へ

試作品を発表したことで、企業や他分野の専門家との共同開発の道が開け、実用化に向けた検討が始まっている。重要な課題が安全性だ。センサーには金属成分が含まれているため、金属が溶出しないようレンズで挟み込むといった工夫が必要一方で、涙に含まれるグルコースがセンサーに触れなければ検知できない。安全な素材選びや装着感の少ない搭載方法など、コンタクトレンズメーカーと共同で研究を進めている。

「試作品で性能を示したことで、企業が一緒に考えてくれるようになりました。安全性だけでなく、精度の向上、データの読み出し方法なども今後の課題ですが、電池技術者などとも協力

して開発していく予定です。今はスタート地点で、これからが本番です」と意気込む。

人での実用化には動物実験や臨床試験、国の機関からの認証などが必要で、まだ道のりは長い。そこで、まずは糖尿病が問題となっているペットでの実用化を目指している。人用よりも認可にかかる時間が短くて済むことから、ペットで実際に使用して実績を積み重ね、人での実用化を狙う。

専門である回路だけでなく、専門外である電池にも取り組んだことが今回の成果を生んだと新津さんは話す。「自分の専門だけでは、視野領域も狭まりますし、新しい発想も湧きにくい。可能性も小さくなります。必要に応じて専門家の力を借りながら、『社会から求められていることは全部やる』という姿勢で取り組んでいきます」。



新津さんの研究室には回路研究のためのモニターが並んでいる。