

山形大学広報誌

みどり樹

特集／工学部

世界最薄フィルム状
電子回路に高まる期待。

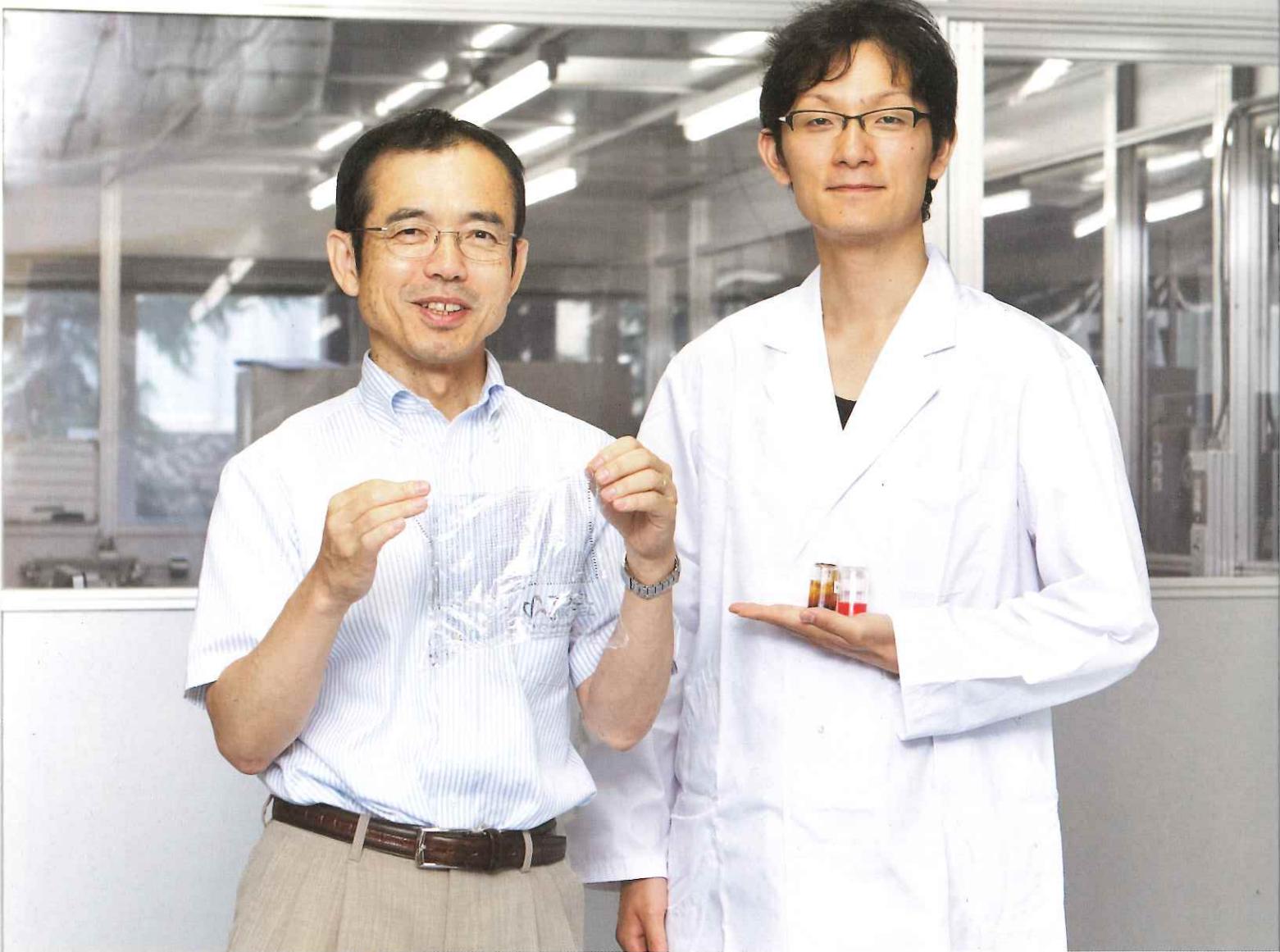
研究室訪問／医学部

山大発の内視鏡下
耳科手術が世界の
スタンダードへ。



Autumn
2014

vol. 61

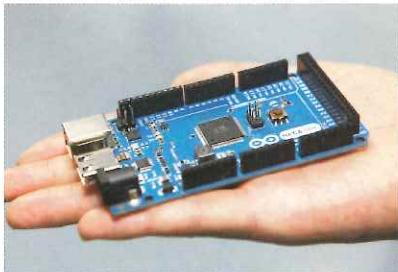


特集

存在価値、応用領域は無限大。 世界最薄フィルム状 電子回路に高まる期待。

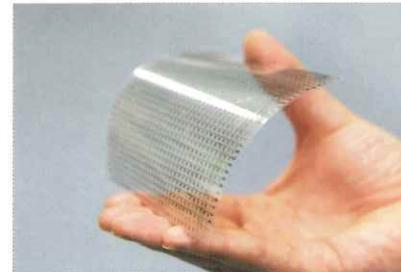
山形大学有機エレクトロニクス研究センターの時任静士卓越研究教授と福田憲二郎助教らのグループが、印刷により世界最薄（食品ラップの厚みの10分の1）の非常に柔らかいフィルム状のトランジスタ回路の作製に成功した。しかも、ハンカチ大（約20cm×20cm）で世界最大面積。従来のトランジスタはシリコンを用いて作製されていたため、重く、曲げることもできなかったのに対し、この世界最薄のトランジスタ回路は、曲げたり丸めたりできるだけでなく、手でくしゃくしゃにしても作動する。人の体に貼り付けても違和感なく、枕、シーツ、衣類などに貼りつけて使用することもできる。ヘルスケア用のセンサとの組み合わせなど、さまざまな応用が考えられる。発表と同時に各方面からの問い合わせが相次ぎ、この技術がどんなカタチで実用化されるのか今からとても楽しみだ。

電子回路がどんどん薄く、軽くなる時代



従来のトランジスタ回路

シリコンを用いて作製されるため、重くて曲げることもできなかった従来のトランジスタ。印刷で作製することもできなかった。



PETフィルムを用いたトランジスタ回路

ペットボトルの原料となるPETシート上に印刷されたトランジスタ回路。しなやかにはなったが、さまざまな用途を想定すると柔軟性はまだまだ不十分。



世界最薄を記録した電子回路

今回、作製に成功した世界最薄のトランジスタ回路。その薄さは食品ラップの10分の1、約1μメートル。非常に柔らかく、肌に触れても違和感を感じない。

世界最薄のフィルム状電子回路でのものづくりニッポンの復権を後押し

工学部創立100周年を機に米沢キャンパスに開設された「有機エレクトロニクス研究センター」の主要3部門のひとつ、有機トランジスタ研究部門の時任静士卓越研究教授が率いる研究グループでは、新しい時代の有機トランジスタなどの開発に取り組んでいる。ものづくりニッポンの地位が隣国に脅かされている昨今、コスト面で対抗するためにも高性能かつ安価な有機トランジスタが不可欠と考えられているからだ。同グループは、すでにポリエチレンテレフタレート(略称PET)というペットボトルの原料シートの上に半導体インク(有機)と導電性インク(銀ナノ粒子)の2種類のインクで印刷することでトランジスタ回路の作製に成功していた。しかし、PETフィルムの湾曲性はせいぜい数ミリ程度であるため、より薄く、食品ラップのように柔らかいトランジスタ回路を開発すべく研究を続けてきた。印刷による作製方法が省エネ、低成本という点でも最適と考え、有機物質インクや電気を通す銀の成分を含んだインクを企業と共同開発。その結果、「世界初、2種類のインクを用いて、印刷により世界最大

面積・世界最薄の電子回路の作製に成功」といったニュースが新聞紙上等を賑わすことになった。

その薄さ、約1μメートル(μ は1,000,000分の1を表す)、食品ラップの厚みの10分の1と例えられてもまだピンとこないが、実際にフィルムを目にして触れてみるとその柔らかさにようやく世界最薄を実感する。さらに、約20cm×20cmというサイズも世界最大面積と世界記録が続く。そして、何と言ってもこの世界最大面積・世界最薄の電子回路フィルムのメリットは、折ったり丸めたりどころか、くしゃくしゃにしても作動することが実証されているという点にある。曲率半径0.14mmの銅線に巻きつけてもトランジスタ特性が変化しないという実験結果も出ている。印刷型で世界最高の柔軟性を達成したことになる。どんなに薄くとも、どんなに電子回路としての精度が高くても、取扱注意・折り曲げ厳禁といった扱いにくさが付きまとって



時任静士

ときとうしづお●有機エレクトロニクス研究センター副センター長・卓越研究教授／九州大学で博士課程修了、工学博士。同大学院助手、NHK放送技術研究所勤務等を経て、2010年本学着任。専門はフレキシブル有機エレクトロニクス。

は実用化への道は遠退いてしまうに違いない。その点、この電子回路は見た目がこんなに繊細にもかかわらず、多少手荒に扱っても機能は健在だという。

極薄電子回路普及のキーワードは、ウェアラブルとディスポーザブル

現在、この世界最薄の柔らかい電子回路をより効果的に実用化させるために、時任教授らのグループはセンサ機能を付加する研究を重ねている。例えば、生体センサ。体に貼りつけて体を動かしても、作動信号に変化がないことも確認されている。例えば、腕に貼つたりなどして、血圧や心拍数などの健康データを測り、スマートフォンと連携して健康管理に役立てることなどが考えられている。頻繁に病院に行くのは面倒でも、この生体センサを身につけておけば、病気になる前に予兆を検出し、大事に至る前に受診を促してくれる。ここで重要なポイントとなるのが、体につけていて違和感がないこと。食品ラップの10分の1の薄さ、柔らかさにこだわったのも、ウェアラブル、つねに身につけていても気にならない素材であることを意識したからだ。

また、巻きつけても伸縮してもトランジ

電子回路を薄くするメリットは？

軽い

割れない

曲げられる

切れる

食品ラップの10分の1というその薄さからもわかるように、軽いというよりも、そもそも重さを感じない。

ガラスやシリコンなどの硬い無機素材と違い、フィルム状の電子回路は落としても割れる心配がない。

折ったり、曲げたり、くしゃくしゃに丸めたり、また広げたり、多少手荒に扱っても、ちゃんと作動する。

ハサミなどで簡単に切れるので、大きいサイズで一気に印刷して、小さく切って使うことで生産性が上げられる。

スタ特性が変化しないという特性を生かせば、まさにラップのように生鮮食品に巻きかけて数値を計測し、鮮度を調べることができるようになるかもしれないし、糖度センサを付加すれば、ラ・フランスのように食べ頃がわかりにくい果物の糖度を一目でチェックでき、一番おいしい状態で食べられるようにできるかもしれない。さらには、温度センサを付加すれば、ワインのボトルやビールの缶にこの電子回路を貼りつけることで一番おいしく飲める温度を知らせるサービスを提供することも可能だ。ただし、果物やワインの瓶などに貼って販売する場合は、ディスポーザブル、つまり使い捨てが前提となるため、コストがどれくらいまで抑えられるかがポイントになってくる。



福田憲二郎

ふくだけんじろう●大学院理工学研究科助教／長崎県出身、2011年3月東京大学大学院博士課程修了、工学博士。同年時任教授の強い勧めにより本学着任。研究テーマは有機トランジスタの印刷による作製手法の確立と回路応用。

現段階では、世界最薄電子回路の最大面積は20cm×20cmということになっているが、これはインクジェットプリンターのキャパシティの問題にすぎず、印刷面積の拡大を図ることは十分に可能だ。また、今ある16個のノズルを増やすなどすれば、当然印刷のスピードアップを図ることもできる。よりサイズの大きいものをスピーディにプリントできるようになれば、大型需要に対応できるとともに、大きく作ったものを小さく切って使用することにより生産性を高めることもできる。より良い材料の開発や回路の精度アップなど、さらに研究が進めば一層の省エネかつ

低コスト化が実現し、ディスポーザブル対応も夢ではなくなる。

一人ひとりのニーズに合った回路を家庭のプリンターで印刷する時代へ

前述の通り、極薄のフィルム状電子回路の用途はさまざまな分野に広がりを見せそうだ。「どんな用途に使えるかは、開発者の私たちより、お使いになる皆さんの方がいろいろなアイデアやニーズをお持ちなんじゃないでしょうか」と時任教授。と言しながらも例として自らの構想をいくつか語った。一つは、電子回路に重心移動センサを付加した独居老人のためのフロアシートのようなもの。一人暮らしの高齢者が立っている、歩いている、横になっている、その時々の状態をセンサで検出し、データを遠隔地でも確認できるようにするというもの。体調不良で倒れた場合など、異変をいち早く察知し、関係各所にその情報を発信することで素早い対応を可能にする。一方で、ゴルフのスイングにおける重心移動のチェックに活用し、フォーム改善でスコアアップにつなげができるとの構想も。高齢者問題からスポーツ、レジャーに至るまで、フィルム状電子回路の活用の守備範囲は実に広く、まさにアイデア・ニーズ次第。

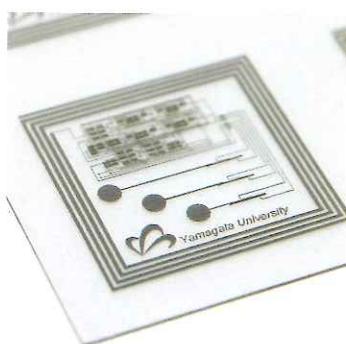
しかも、印刷方式のため、将来的には個人のニーズに合わせてコンピュータでカスタマイズし、家庭用プリンターで手軽に大量に作製できるようになる可能性もある。個人のためのデバイス、個人ための回路、印刷による電子回路の作製がまさに究極の少量多品種生産、一品一様のものづくりに大きく貢献することになるかもしれない。

充実の工学部、他学部との連携、そして企業との共同研究も盛ん

山形大学が世界初、世界最薄、世界最大面積の電子回路の作製に成功することができたのは、材料の開発からデバイス、バイオセンサ、応用まで、すべて工学部内でカバーできるという強みがあるからだ。この強みは大手企業にとっても大きな魅力のようで、企業から本学に派遣されて共同研究に取り組んでいる研究者も少なくない。さらに今後は、総合大学としてのメリットを生かし、医学部や農学部等、他学部とも連携を図ることで世界最薄フィルム状電子回路の応用領域の拡大を目指す。すでに、バイオセンサ等の開発・実用化に向けては医学部との共同研究が始まろうとしている。

7月に大学の定例会見で記者発表を行った本研究成果は、英科学誌ネイチャーの関連誌「ネイチャーコミュニケーションズ」でも紹介された。以来、新分野の技術開発として注目を集め、時任教授のもとには大手企業をはじめさまざまな方面から問い合わせや共同開発の申し入れが数多く舞い込んでいるという。築き上げた技術をタイミングよく社会に発信していくことも大切。「この技術を生かしてこんな応用はできないか」など、企業サイドから次なる研究の課題やアイデアをもらえることもあるからだ。一人ひとりの健康管理から、食事管理、高齢者対策、犯罪防止、スポーツ、レジャー…、幅広い分野でこれまで不可能だったことをこの電子回路が可能にするかもしれない。10年以内の実用化を視野に、時任教授と福田助教らのグループは、応用的な研究をさらに加速させている。

電子回路が薄くなると、どんなことに役立つの？



例えば
ヘルスケアセンサ

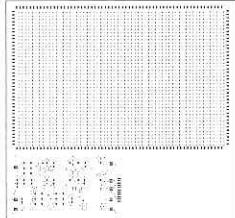
これまでのヘルスケアセンサは、シリコンの電子回路をベースに作られてきた。厚く柔軟性もないため、人の体につけると装着の違和感が感じられたのに対し、この極薄有機トランジスタなら柔軟に人の体にフィット。将来的には、体温、心拍、血圧などをセンサで測定し、そのデータをスマートフォンなどを通じて医師と共有するなど、病状管理や健康維持に役立てられそうだ。



汗の成分から
精神的ストレス状態を
チェック

近年、うつ病などの精神疾患が急増し、深刻さを増している。その予防対策のひとつとなりうるのがストレスコントロール。フィルム状の電子回路をこのように体に貼り付けることで汗に含まれるストレス物質の成分の濃度をチェック。早めにストレス状態から解放されるよう対処することも可能に。その他、多様な活用方法が期待できる。

世界最薄電子回路のつくりかた



1.回路を設計する

フィルム状の電子回路にどんな機能を持たせるかなど、ニーズに合わせた電子回路イメージをコンピュータに入力する。



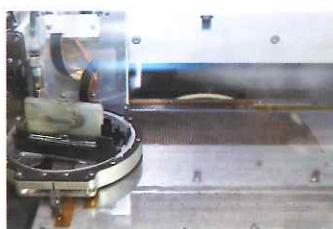
2.プリンターにインクとフィルムをセット

プリンターのカートリッジに半導体と導電性、2種類のインクを、さらにガラスなどの支持素材の上に形成させた極薄フィルムをセットする。



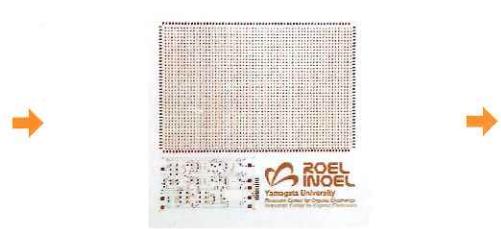
3.インクの出具合を調整する

微細な孔のノズルを持つインクジェットヘッドからインク液滴が的確に吐出するかを入念にチェック。インクの出方が電子回路の精度を左右する。



4.プリント

いよいよプリント開始。ここからは通常の印刷物と同じ工程。コンピュータソフトの指示に従い、電子回路がプリントされる。



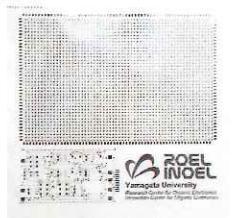
5.プリント完了

ハンカチ大(20cm四方)のフィルム状電子回路がわずか数分でプリント完了。このスピード感があれば量産化にも対応できる。



6.フィルムを焼く

プリント完了したフィルムをホットプレートのような装置で10~15分間焼き、残っている有機溶媒を飛ばして目的成分の薄膜を形成する。



7.熱加工完了

生体センサ・モデルの極薄電子回路。山形大学と有機エレクトロニクス研究センターのロゴマーク入り。まだ支持素材上に貼り付いた状態。



8.支持素材からフィルムを剥がす

超薄型フィルムは、支持素材と密着して剥がれにくいが、剥離層を作ることで密着力を加減し、容易に剥がすことができるようになっている。



9.完成

食品ラップの10分の1の薄さ。空調が起こす微かな空気の流れにも反応し、揺れる様子に世界最薄を実感。

将来こんなことが実現できるかも！



食べ頃サインを出してくれる 果物の糖度センサ

ラ・フランスなど食べ頃のわかりにくい果物には、糖度センサ付きの電子回路を貼って、食べ頃をお知らせ。丸い形状にフィットするのも極薄フィルムならでは。



ミルクの適温を知ってくれる ほ乳瓶の温度センサ

赤ちゃんにちょうどいい温度が一目でわかれれば、育児に追われる家族も大助かり。ワインやビールの飲み頃温度をズバリ知ってくれるセンサも喜ばれそうだ。



チケットやプラスチック製カードに埋め込み 情報発信により犯罪防止

紙のチケットやプラスチック製カードに埋め込んで所在地や利用状況などを発信させることができれば、紛失時や盗難にあった場合の被害回避も期待できる。