

電子回路が自ら動き、つながり、外れる技術を開発 — 薄膜電子デバイスの自律的な組み替えを可能にするドッキング機構 —

ポイント

- ① 薄膜電子デバイス（※1）は、軽く柔らかい一方で、部品の交換や機能追加が難しいという課題がありました。
- ② これまで進めてきた「動く薄膜電子デバイス」技術を基盤に、自ら接続・切り離しできる機械・電気一体型ドッキング（※2）機構を開発しました。
- ③ 将来、センサーやグリッパーなどを自身で交換できる薄膜ロボットや、組み替え可能なウェアラブルデバイスへの応用が期待されます。

概要

スマートフォン、ウェアラブルセンサー、医療用デバイスなど、電子デバイスはますます薄く、軽く、柔軟くなっています。一方で、薄膜電子デバイスでは、必要に応じて部品を交換したり、別の機能を持つモジュールを接続したりすることが難しいという課題がありました。

九州大学大学院システム情報科学研究院の佐々文洋准教授、大学院システム情報科学府修士課程の内間駿介氏（研究当時。現キオクシア株式会社）らの研究グループは、電子回路を備えた薄膜電子デバイスがロボットのように動き、自ら接続・切り離しできるドッキング機構を開発しました。

研究グループはこれまで、動く構造と電気回路を薄いフィルム上に一体化する「Kinetic Electronics（※3）」という技術を進めてきました。今回の研究では、この技術を基盤として、薄膜電子デバイス同士を機械的にも電氣的にも接続し、必要に応じて切り離せる仕組みを新たに開発しました。

電気を流すとフィルムが曲がり、別のフィルム状モジュールをつかみます。接続後は、電源を切ってもつながった状態を保つことができます。さらに、接続部分を通じて電気を送り、相手側の薄膜モジュールを動かすことにも成功しました。

開発した機構は5～12Vで動作しました。分離型モジュールでは平均0.43Wで接続動作を行い、最大618mgf、すなわち6.1mNの保持力を示しました。これは、同程度の大きさ・重さの薄膜機能モジュールを支えるための基礎的な性能を示すものです。

今回の成果は、薄膜電子デバイスを「作って終わり」の一体型デバイスから、必要な機能を後から組み替えられるモジュール型デバイスへ発展させるための基盤技術です。将来的には、薄膜ロボット、ウェアラブルセンサー、医療・バイオ計測用の柔らかいデバイスなどへの応用が期待されます。

本研究成果は、国際学術誌「npj Flexible Electronics」に2026年7月17日（金）（現地時間）に掲載されました。

研究者からひとこと：

電子回路は、普通は「動かないもの」と考えられています。私たちはこれまで、電子回路を備えたフィルム自体が動く技術を進めてきました。今回の研究では、そのフィルムが相手をつかみ、電気を渡し、また離れる仕組みを実現しました。将来は、センサーやロボット部品を状況に応じて組み替えられる、生き物のような電子システムにつなげたいと考えています。（佐々文洋）

【研究の背景と経緯】

電子デバイスは、硬い基板の上に作られるものから、薄く、軽く、柔らかいものへと様々な形態へ発展しています。肌に貼るウェアラブルセンサーや、柔らかいロボット、医療・バイオ計測用の小型デバイスなどでは、フィルム状の電子デバイスが重要になっています。

我々の研究グループはこれまで、動く構造と電気回路を薄いフィルム上に一体化する技術を進めてきました。この技術により、薄膜電子デバイス自体が自律的に変形させ、そこにバイオセンサーや発光素子などの機能を組み込むことで能動的に動くセンサーを作製することができます。

しかし、これまでの動く薄膜電子デバイスは、個別の機能を持つ一体型デバイスとして使うことが中心でした。故障した部分を交換したり、別の機能を持つ薄膜モジュールを後から接続したりすることは難しいという課題がありました。一般的な電子機器では、コネクタやネジ、ソケットなどを使って部品を交換できます。一方、薄く柔らかいデバイスでは、そのような硬い接続部品を使うと、デバイス本来の柔らかさや軽さが失われます。また、薄膜電子デバイスを複数の部品に分けた場合、単に貼り付けるだけでは十分ではありません。機械的につながるだけでなく、電気も流れる必要があります。さらに、必要に応じて外せることも重要です。

そこで本研究では、薄膜電子デバイス自身が変形して相手をつかみ、電氣的にも接続し、必要に応じて切り離せる仕組みを開発しました。

【研究の内容と成果】

今回の研究では、薄膜電子デバイス同士を接続するための2種類のドッキング機構を開発しました。

1つ目は、1枚の薄膜電子デバイスの中で、フックとループのような構造がかみ合う機構です。電気を流すと薄膜が曲がり、フック部分がループ部分に引っかかります。これにより、機械的な接続と電氣的な導通が同時に形成されます。接続後は、電源を切ってもつながった状態を保つことができます。

2つ目は、2つの薄膜モジュールを接続する機構です。一方のモジュールにある3本の細いフィンガーが、もう一方のモジュールの穴に入り込みます。これにより、相手側のモジュールを持ち上げて保持できます。さらに、接続部分を通じて電気を送り、接続されたモジュールを動かすことにも成功しました。

実験では、開発した機構が5~12 Vで動作することを確認しました。フックとループを用いた機構では、接続時に約10 mmの変形を示しました。2つの薄膜モジュールを接続する機構では、平均0.43 Wで動作し、最大618 mgf、すなわち6.1 mNの保持力を示しました。

これらの結果は、薄膜電子デバイスが自ら機械的につながり、電気を受け渡し、さらに切り離せることを示すものです。従来のように外付けの大きなコネクタに頼らず、薄膜電子デバイスの中に自律的な接続機能を組み込める点が特徴です。

本研究の新規性は、動く薄膜電子デバイスを「組み替え可能なモジュール」として扱うための接続機構を実証した点にあります。これにより、薄膜電子デバイスにおける機能追加、交換、再構成に向けた新しい設計指針を示しました。

【今後の展開】

本技術は、薄膜電子デバイスを「単体で使う部品」から「機能を組み替えられるシステム」へ発展させる基盤技術です。センサー、発光素子、グリッパーなどを必要に応じて接続・交換できれば、用途に応じて形や機能を変えられる柔らかい電子システムの実現につながります。

今後は、接続機構の小型化や安定化を進め、薄膜ロボット、ウェアラブルデバイス、医療・バイオ

計測デバイスなどへの展開を目指します。将来的には、電子デバイスが生き物のように機能を組み替えながら働く、新しい柔軟電子システムへの応用が期待されます。

【参考図】

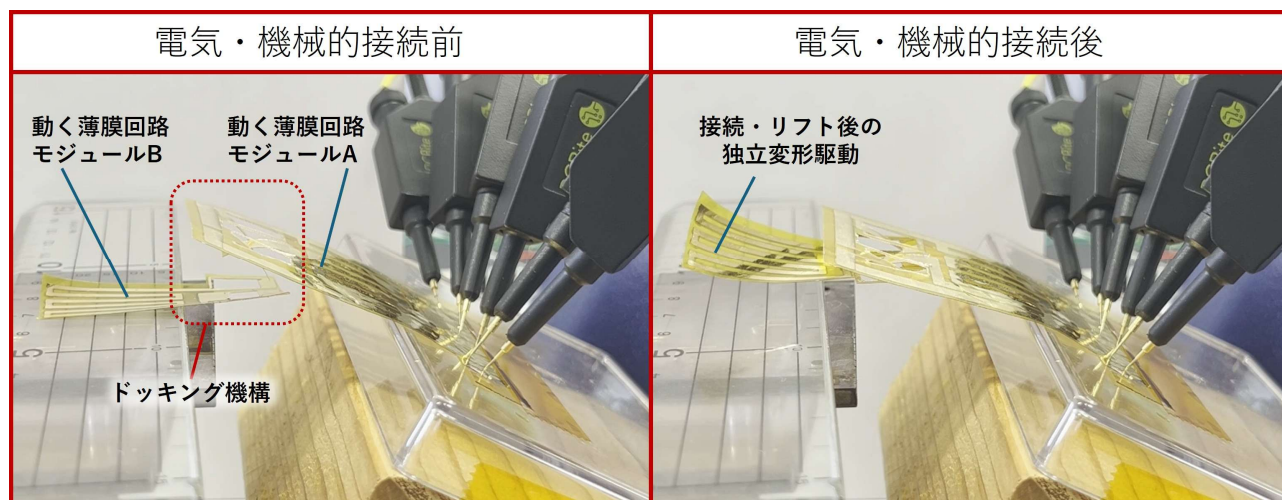


図1 動く薄膜電子デバイス同士の自律的なドッキング

電気回路とアクチュエータ（※4）を一体化した薄膜回路モジュール A が、電気入力によって変形し、ドッキング機構を介して薄膜回路モジュール B と機械的・電氣的に接続する様子。接続前（左）は両モジュールが分離しているが、接続後（右）はモジュール A がモジュール B を保持・リフトし、接続部を通じて電気を供給することで、モジュール B を独立に変形駆動できる。

【用語解説】

（※1）薄膜電子デバイス

…薄いフィルムの上に電子回路やセンサーなどを作り込んだデバイス。軽く、曲げやすく、肌や柔らかい物体に沿わせやすいという特徴がある。

（※2）機械・電気一体型ドッキング

…物理的に部品同士をつなぐだけでなく、同時に電気も流れるようにする接続方式。本研究では、薄膜電子デバイス自身の変形によってこの接続を形成する。

（※3）Kinetic Electronics

…動く構造と電気回路を薄いフィルム上に一体化する技術。研究グループがこれまで進めてきた技術であり、本研究ではこれを基盤として、薄膜電子デバイス同士を接続・切り離しする機構を開発した。

（※4）アクチュエータ

…電気や熱などのエネルギーを、曲げる、伸びる、動くといった機械的な動きに変換する部品。

【謝辞】

本研究は、JST 創発的研究支援事業（JPMJFR2343）の支援を受けたものです。

【論文情報】

掲載誌：npj Flexible Electronics

タイトル：Electromechanical docking and undocking mechanisms for thin-film robotic and electronic modules based on kinetic electronics

著者名：Shunsuke Uchima, Jiani Cai, Kenshi Hayashi and Fumihiro Sassa

DOI：10.1038/s41528-026-00606-9

【お問合せ先】

<研究に関する事>

九州大学 大学院システム情報科学研究所 准教授 佐々 文洋 (サッサ フミヒロ)

TEL : 092-802-3629

Mail : sassa@ed.kyushu-u.ac.jp

<報道に関する事>

九州大学 広報課

TEL : 092-802-2130 FAX : 092-802-2139

Mail : koho@jimu.kyushu-u.ac.jp

 **VISION 2030**
総合知で社会変革を牽引する大学へ