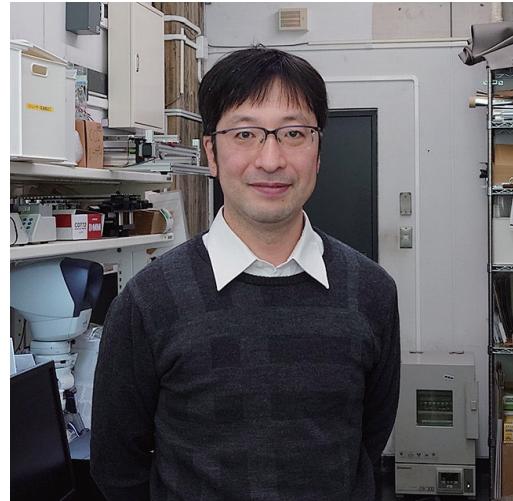


早稲田大学 理工学術院／ナノ・ライフ創成研究機構／

各務記念材料技術研究所

岩瀬英治 教授

2012年、基幹理工学部機械科学・航空学科専任講師として本学に着任。准教授を経て、2019年から現職。近年では特にマイクロオーダーの微細加工による機能発現に取り組む。2015年文部科学省平成27年度科学技術分野の文部科学大臣表彰若手科学者賞ほか、受賞多数。



### 構造によって、材料がもつ機能を引き出す

半導体やそれを組み込んだ部品、機器などにおいて、「欲しい機能」があった場合、それを得るための手段は様々です。材料を変える、部品数を増やす、などがすぐに思いつくことかと思いますが、私たちは「構造を変える」ことで、機能を引き出す研究を進めています。

たとえば、紙という材料は一般的には伸びる性質を持ちませんが、蛇腹に折ったり、七夕飾りのように切り込みを入れたりすれば、伸び縮みさせることができます。日本は材料の研究開発が非常に盛んですが、さらに構造による機能を加えることで、それらの研究に強みを増すことができるのではないかと考えています。

切り込みを入れると言っても、ただ切れば良いというわけではありません。図1の左側は七夕飾りで用いられる切り紙構造ですが、これを引っ張ると、伸びなかつたり歪んだりする部分が生じます。これを図1の右側のように、一部の切り込みを工夫することで均一な伸び方をするような切れ込みの入れ方を考えたりします。また、折り紙でも、図2の左側は折り紙構造としては有名な「ミウラ折り」と呼ばれる構造ですが、設置部が線のため対象物への貼付が困難です。これに対して図2の右側のように、設置部が面の折り紙構造とすると曲面に貼付する電子デバイスなどの応用において適しています。このような切り方や折り方の設計は、ある程度理論的に導くこ



図2 接地が線の一般的なミウラ折り構造(左)、接地が面の構造(右)

とができるが、「こうしてみたらどうだろう?」というアイデアを発端にして設計していくこともあります。作ってみたら思わぬ性能が現れ、後から理論づけをすることもあり、「切り」「折り」という単純なことながら奥が深い世界です。

### 既存にとらわれない、新しい構造から新しい機能を

近年、レーザー加工技術の微細化が進んだため、加工できる材料やサイズの幅が広がってきました。そのためウェアラブルデバイスなどの新技術の研究開発において、マイクロサイズの加工同時にある程度の面積が欲しい、といった要望に応え得る加工ができるようになっています。私たちはこの領域での加工技術の研究に取り組んでいます。

そのひとつの成果が、「キリオリガミ(Kiri-origami)構造」です。これは、折り線を有する切り紙構造で、硬く壊れやすい電子素子を取り付ける平板部を有しつつ、多数の折り線を一括して折り上げることができます(図3)。図2で紹介した折り紙構造などは、熱収縮フィルムを用いて自動で折上げますが、折り紙構造は最初にフィルムが反っているだけでも正しい山折りと谷折りにならなかつたり、途中で一度でも山折りと谷折りを間違えると正しい折り上げに戻れなかつたりという難しさがあります。一方、切り紙構造については、かなりの数の切り込みを入れても、引っ張れば思ったような形を作れることが多いのです。そこで私たちは、切り込みを引っ張る際に、あらかじめつけておいた折り線が自動的に折り上がるような構造を考案し、これをキリオリガミ構造と命名しました。

この応用先の一つとして考えているのが、ウェアラブルデバイスで、現在は伸縮耐性を持つ有機材料を用いての研究開発が主流です。しかし、従



図1 通常の七夕飾りパターンの切り紙構造(左)、端部の切り込みを工夫した切り紙構造(右)

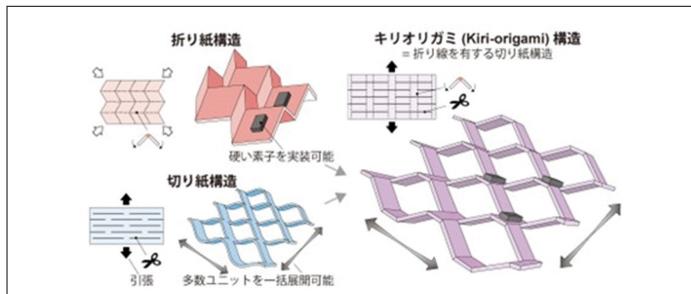


図3 折り紙・切り紙・キリオリガミ (Kiri-origami) 構造

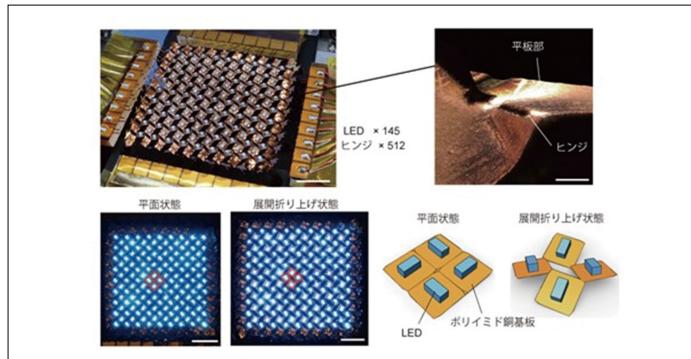
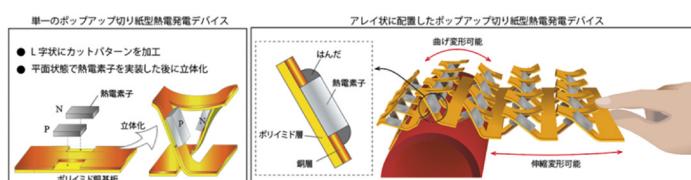


図4 LEDチップを取り付けた基板を引っ張りにより折り上げて製作したストレッチャブルディスプレイ

来から用いられてきた無機材料ベースのデバイスの方が、有機材料を用いたものよりも高い性能や安定性を持つこともまだ多くあります。そのため、キリオリガミ構造を用いて、145個の硬いLEDチップを取り付けた「ストレッチャブルディスプレイ」を試作し、伸縮させても動作することを実証しました(N. Nakamura, et al., *npj Flexible Electronics*, 9, 51(2025))。実用化するためには、引っ張って折り上げるところの装置を開発していく必要がありますが、その前までの工程は既存の産業技術で製作可能であり、キリオリガミ構造の大きなメリットだと考えています。

図5 曲げ変形および伸縮変形が可能なポップアップ切り紙型熱電発電デバイス  
(図中のNはN型の熱電素子を示し、PはP型の熱電素子であることを示す)

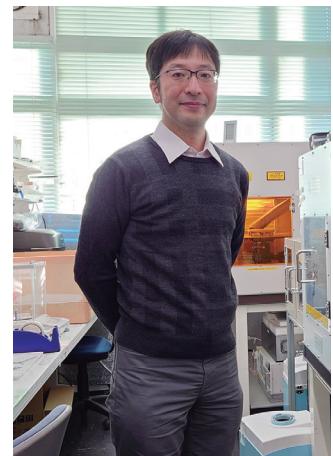
キリオリガミ構造以外にも、薄いフィルム基板に切り込みを入れて立体化させる「ポップアップ切り紙構造」による熱電発電デバイスの開発などにも取り組んでいます。材料が薄いので、人体などの曲面熱源にもフィットし、立体であるがゆえに平面状態よりも温度差がつきやすいため、高い発電性能を得ることができます(S. Terashima, et al., *npj Flexible Electronics*, 9, 105(2025))。

### 答えはひとつではない、0を1にする研究

研究室運営においては、学生1人につき1テーマをもってもらうようにしています。学生ひとりひとりに、正解が決まっていたそれまでの座学とは異なる「ひとつではない答え」を自分なりに見出す経験をしてもらいたい

と考えています。切り紙・折り紙構造で機能を引き出す、という大きなコンセプトは共通ですが、ひとりは円錐型の切り紙構造に挑戦し、ひとりは風速センサに応用する構造を考える、という具合です。

私自身は、0を1にするような研究に関心がありますが、もしその1を使って100や1000にしたいという企業などの方がいらっしゃるようであれば、ぜひお声がけいただきたいと思っています。特にこの数年、大学の特許取得に対するポリシーが変わってきており、大学単願の特許を出願することにも支援してくれるようになっています。そのため私としても、非常に助かっているところですし、企業の方にも私たちの特許を積極的に活用していただければと思っています。切り紙、折り紙構造を用いたデバイス研究はこの15年ほどで急速に増えてきていますが、切り方は図1に示した「七夕切り」、折り方は図2の左側に示した「ミウラ折り」が多く用いられています。私たちはそれらに縛られず、図4や図5に示したような様々な切り方、構造に挑戦しています。目下の目標は、目視できないぐらいまで切り込みを小さくして、表面に何もないように見えるのに引っ張ると伸びるような構造を作ることですね。



### 参考文献

[1]Shingo Terashima, Masato Ohnishi, Junichiro Shiomi, Eiji Iwase, "Pop-up Kirigami Thermoelectric Generator with High Stretchability with Conformable Thermal interfaces," *npj Flexible Electronics*, vol.9, 105 (11 pages), October 21, 2025.

[2]Nagi Nakamura, Eiji Iwase, "Stretch-based Kirigami Structure with Folding Lines for Stretchable Electronics," *npj Flexible Electronics*, vol. 9, 51 (8 pages), June 5, 2025.

[3]Yusuke Sato, Eiji Iwase, "Self-Folding Method using a Linkage Mechanism for Origami Structures," *Advanced Intelligent Systems*, vol. 5, issue 6, 2200445 (7 pages), March 22, 2023.

[4]Shunsuke Yamamura, Eiji Iwase, "Hybrid Hinge Structure with Elastic Hinge on Self-Folding of 4D Printing using a Fused Deposition Modeling 3D-Printer," *Materials & Design*, vol. 203, 109605 (10 pages), May, 2021.

[5]Takashi Sato, Kento Yamagishi, Michinao Hashimoto, Eiji Iwase, "Method to Reduce the Contact Resistivity between Galinstan and a Copper Electrode for Electrical Connection in Flexible Devices," *ACS Applied Materials & Interfaces*, vol. 13, no. 15, pp. 18247-18254, April 8, 2021.