

フレキシブル電子デバイス研究

研究代表者 岩瀬 英治
(基幹理工学部 機械学科・航空宇宙学科 教授)

1. 研究課題

本研究は、硬く高性能な機能素子や配線を用いたまま、屈曲変形や伸縮変形が可能なフレキシブル電子デバイスの実現を目的としている。具体的なターゲットの1つとしては、切り紙構造が誘起する座屈変形を利用し、薄膜シートを折り紙構造に一括して折り上げる「Kiri-origami 構造」と命名した新規学術領域の学理の確立から、薄膜折り紙構造を用いたデバイス実証まで行う。折り紙は、大面積に展開する宇宙構造体や折りによる薄板の強度向上など、「折紙工学」として学術分野がすでに開拓されている。しかしながら、旧来の折り紙構造には折り上げの多価性が存在し、熱収縮ポリマーなどの能動材料を用いた self-folding を用いても平面から狙った構造に折り上げることが困難なことが示されている。そこで本研究では、self-folding を構造的に誘起する Kiri-origami 構造を数理モデルから構築し、機能性を有する切り紙パターンの設計手法の確立からそれを用いたフレキシブル電子デバイスによるデバイス実証までを行う。

2. 主な研究成果

2025 年度は屈曲変形や伸縮変形が可能なフレキシブル電子デバイスの原理検証、Kiri-origami 構造を中心としたデバイス製作手法の確立を行った。具体的には、マイクロファブリケーションを想定した製造手法の検討を行った。実施した研究の一例である「可動性メタサーフェスのための切り紙ヒンジ 4 節リンク機構」では、引張によって面外へ起き上がる切り紙構造を 4 節リンク機構のヒンジに使用して、天板と底板が平行に相互移動する 2 面スライド機構を検討した。切り紙構造は引張により面外への変形する特徴があり、平板の根元に切り紙構造をヒンジとして設けることで平板を基板から起き上がらせる。平面から起き上げをリンク機構に適用すると、引張動作によって 2 面のスライド移動が可能となり重ねあう板の変位量を変化させることが可能となる。このリンク機構は、2 面のスライド移動により効果を発現する可変焦点レンズや可変偏光フィルタなどへの適用が可能であり、平面光学板を製造プロセスの段階で同一の平面から一体としての形成が可能である。切り紙ヒンジ構造(Fig. 1)を提案し、本構造を引張ることによって 2 つの平板を平行にスライドすることが可能な駆動機構を構築した。2024 年度に行った第 1 次試作構造では引張に伴い、天板を支持する脚部の応力により天板が著しく傾斜(21.6 度)し、ヒンジが伸長することでリンク機構にゆがみが生じることが判明した。そこで 2025 年度では、起き上げ力を発生しないヒンジでリンクを構成し、起き上げ力を発生するヒンジを外部に接続する設計法を提案した (Fig. 2)。さらに 2024 年度に導入された脚部と天板の接続箇所に側方支持ミアンダ式応力緩和構造を組み合わせ、起き上げ力発生ヒンジを外部接続した新規提案構造と昨年度の構造比較により、天板傾斜抑制効果を検証した (Fig. 3)。検証実験では試験片を光学キャリアに固定されたマイクロステージで 0.5

mm 間隔で引張量を与え、ワンショット 3D 形状測定機 (VR-6200、Keyence) を使用して天板傾斜角を比較した(Fig. 4)。天板傾斜角は、天板の引張鉛直方向の中央部の傾斜角で定義した。天板傾斜角度の測定の結果、2024 年度の従来構造は約 10 度、2025 年度の新規提案構造は約 3 度となり、天板傾斜を 71%抑制できることが分かった。

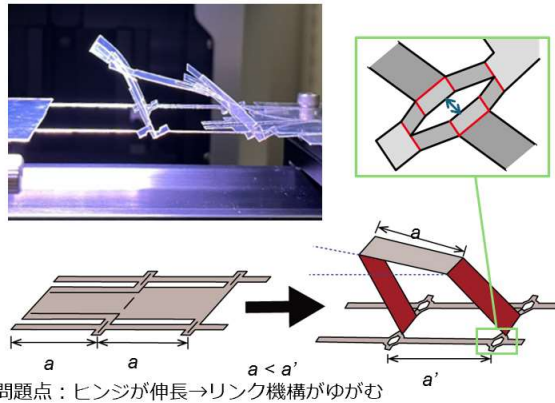


Fig. 1 切り紙ヒンジによる 2 面スライド機構

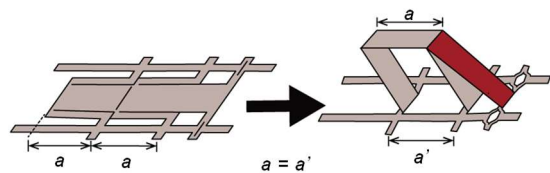


Fig. 2 起き上げ力発生ヒンジを外部接続した新規提案構造

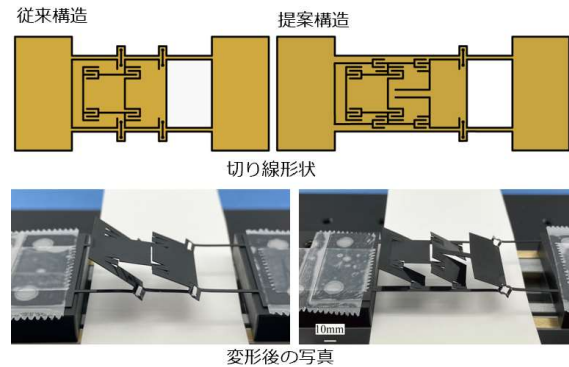


Fig. 3 新規提案構造と従来構造における天板傾斜の比較

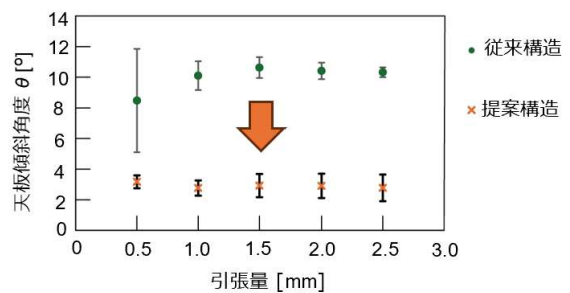


Fig. 4 天板傾斜角抑制構造の比較評価

3. 共同研究者

竹澤 晃弘 (早稲田大学・理工学術院・教授)

4. 研究業績

4.1 学術論文

Taiki Sugihara, Satoshi Ikezawa, Eiji Iwase, “Design and application of batch tilting of plates to multiple angles using kirigami hinges,” Mechanical Engineering Journal 12(4) 25-00170, (2025).

4.2 総説・著書

なし

4.3 招待講演

なし

4.4 受賞・表彰

・ 杉原大樹, 日本機械学会, 三浦賞, 2026 年 3 月

4.5 学会および社会的活動

- ・ 電気学会 論文委員会 (E グループ), 論文幹事
- ・ 電気学会 センサ・マイクロマシン部門, MSS 技術委員会, 委員.

5. 研究活動の課題と展望

2026 年度は、切り紙ヒンジ機構を用いた 4 節リンク機構のさらなる天板傾斜抑制のための構造を模索するとともに、メタサーフェスのスライド機構への実装法を検討する。具体的には 1 対のレンズを相互スライドさせることで焦点可変性を与える Alvarez メタレンズを対象として検討を行うことを計画している。