

折紙がつなぐ

	研究代表者	東京大学・大学院総合文化研究科・教授 館 知宏 (たち ともひろ)	研究者番号：50586740
	研究課題 情報	課題番号：24B202	研究期間：2024年度～2026年度 キーワード：計算折紙、STEAM協働、デジタルファブリケーション、生物規範設計、構造形態学

なぜこの研究を行おうと思ったのか (研究の背景・目的)

研究の全体像

我々は、その時々が必要に合わせて形や働きを柔らかく変える新しい人工物を実現することで、大量消費モデルからのパラダイムシフトをなせないかと考える。この新しい人工物を実現する鍵として、DNAやタンパク質の折り畳み、昆虫の翅、脳の皺、植物の葉や花など、自然界に遍在し複合的な機能を生み出す「折り」の原理に着目した。折りによって、1次元から2次元 (面)、2次元から3次元 (立体)、3次元から4次元 (動き) が作り出され、さまざまな機能が生まれる。

この「折り」の原理の中核をなすのが、日本伝統の芸術の「折紙」である。本領域「折紙がつなぐ」では、折紙を媒介として、自然に遍在する折りの科学 (Science)、数理による原理の記述 (Math)、芸術家の発想 (Art)、製造と多機能性を担保する工学 (Engineering)、情報と物質の統合 (Technology) といった STEAM 領域を融合し人工物設計の学術体系を変革する。



図1 領域全体像

背景

折紙は、1960年代より科学的・工学的に注目され、折り畳み展開できるコンパクト・軽量・強靱な構造物の宇宙・飲料缶・医療用ステントなどへの工学応用がなされてきた。2000年代後半からは「計算折紙」の革命的進展により、折紙の動的で複雑な挙動 (形状、動的変形、機械性能) が明らかになってきた。本領域の提案者らは計算折紙の進展を国際的に先導し、これまでの学術や産業の延長線上にない自由な発想によって、折紙の可能性を広げてきた。国際的にも、米国や中国などを中心として多数の研究グループが新規参入し、現在ではホットな研究分野となっている。

一方で、現在の折紙工学は要素技術にとどまり、未来社会のインダストリーで要求される多様で複合的な要求に対する設計論が提供できていない、設計の限界を迎えている。さらに、この原因をたどると、折紙がなぜ機能し、特異にふるまうのかを説明する原理が未解明である、説明の限界が存在する。

我々は、これらの限界を突破するために、折紙を単機能の部品としてとらえるのではなく、生体のように、設計、製造、材料、機械性能、流体、熱、光など複合的な機能性を統合したシステムであるとしてとらえることを考えた。このような複合的な問題を解決するためには、折紙の芸術がつなぐSTEAM領域を融合し、既存の学問分野の枠に収まらない体系を作り出す必要がある。

目的・計画

本研究では、折紙がなぜ機能するのかを説明可能とし、複合的な要求に対して折紙を設計可能とすることで、形態や機能を自在に変化させる新しい人工物を目指す。伝統的な芸術である折紙を媒介として STEAM をまったく諸分野を有機的につなげ、折紙による融合的分野を切り開き、学術体系を変革する。

- A01「**遍在する折紙の科学**」では、折紙の持つ本質的な特異性を、数学・自然・人工物に共通する普遍的な記述で説明可能とする。具体的には、館 (東大) が微分幾何学と力学系の数理論を駆使して「パターンと物性をつなぐ折紙数理」を構築し、斉藤 (九州大) がマイクロCTによる昆虫や植物のマイクロスケール構造観察・解析を通して、「自然と人工物をつなぐ折紙科学」を探索する。
- A02「**折紙を遍在させる工学**」では、スケール、静的・動的性質、熱・流体・音・材料などを超えた多様なドメインで、折紙の特異性を設計・製造可能とする。具体的には、石田 (明治大) が材料・機械の複合的問題や熱・流体の問題と折紙を組み合わせ「形と力学をつなぐマルチフィジックス折紙工学」を実現し、鳴海 (慶応大) が既存の1000倍以上の複雑さを処理できる自己折り技術を武器に「機能性と製造性をつなぐ自己折り技術」を開発する。
- X00「**科学と芸術と産業をつなぐ折紙**」では、科学・芸術・産業を広く巻き込んだ協働の場を醸成し、多様な分野の専門家に関わってもらい、本領域を新しい視点から担う人材を発掘・募集する。

この研究によって何をどこまで明らかにしようとしているのか

この研究では折紙を通じて科学・芸術・産業が協働する学術体系を作りあげる。これによって将来、一人ひとり、その時々へのニーズに寄り添った「やわらかな」人工物を実現し、インクルーシブ (包摂的) でサステイナブル (持続可能) な社会に貢献する。学術変革 (B) の3年間では、この変革の種を生み、核となるビジョンを提示し、この変革に加わる仲間を募る。

「遍在する折紙の科学」では、微分幾何や力学系の言語を用いて、折紙の生み出す機能性やふるまいを俯瞰的なシステムの視点で記述可能とし、また自然が優れた折紙を生み出す自己組織的なプロセスを明らかにする。将来展望としては、これらを核として、可積分系や群論、発生生物学や生体力学、ソフトマター物理学などの視点を加えることで、万物の折紙の科学の体系を描く。

「折紙を遍在させる工学」では、材料力学・機械力学・熱力学・流体力学における折紙の実験・フィージビリティ検証を行い、複合的・多機能性を持つ折紙設計の道筋を切り開くほか、多機能な素材・構造をマルチスケールで製造可能な自己折り技術を開発する。将来展望としては、平面に折り目を印刷してスイッチを押すだけで様々な形状や機能となり、使い終わると平面にもどり再度別機能をプログラム可能な人工物 (トランスフォーマー) などが期待される。

折紙文化は豊かで科学的発見や革新の種を持つ作家も少なくないが、学術・産業につなげられていないのが現状である。「科学と芸術と産業をつなぐ折紙」では、芸術と産業をまきこんだSTEAM協働に取り組む。日本の芸術文化を原動力として、芸術・科学・産業の振興につなげ、社会にインパクトを与える。

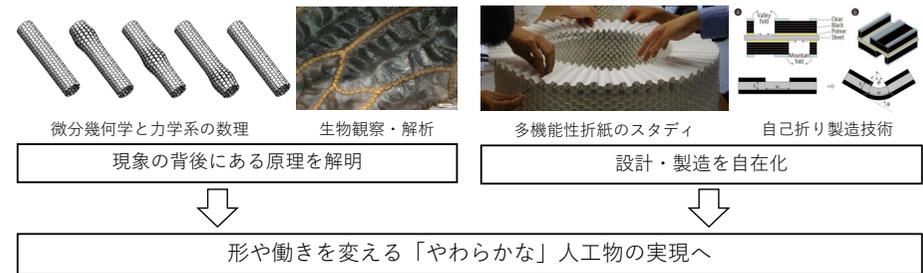


図2 研究アプローチ