

スナップフィットのメカニクス:

弾性,かたち,摩擦が生み出す非接着的かつ分離可能な接合機構

立命館大学 理工学研究科
基礎理工学専攻 博士前期課程 2年 (助成時)
同上 博士後期課程 1年 (現在)
吉田 圭介

緒言

ペンのキャップは、「パチン」という軽快な音とともにペンにはめ込まれ、それらはやや大きな力で引っ張ると元通りに分離することができる。この接合機構は、キャップの弾性変形と、キャップとペンのあいだの幾何特性、そして摩擦作用が組み合わさることで生まれるもので、スナップフィットと呼ばれる。スナップフィットは複数の部品を非接着的に接合し、そして可逆的に取り外すことができる。ペンのキャップだけでなく様々な工業製品の組み立てにも重宝されており、現代に欠かせない技術と言える。

スナップフィットシステムを成す材料となる梁構造やシェル構造に関する力学は古くから研究されてきたが、近年、ロボティクス分野や“メカニカル・メタマテリアル”のような新奇材料を開発する分野、そしてバイオメカニクス分野の発展とともに、古典力学は華々しく蘇った。梁やシェルを現代的な視点から見返すことで、これまで注目されてこなかった興味深い性質が次々と発見されている。本研究では、スナップフィットシステムを次世代の古典力学問題として機能創発という観点から注目した。梁やシェルの摩擦接触に関する力学理論を整備し、さらにその理論を応用することで、スナップフィットの接合機能が創発するしくみを理解するための研究をおこなった。

スナップフィットは、2つの物体が弾性変形を経て組み合わさり、その状態が安定化することで接合を成し遂げる。この過程をもっともシンプルに再現するモデルは、「円弧型曲がり梁が剛体円にはめ込まれる系」である(図1)。

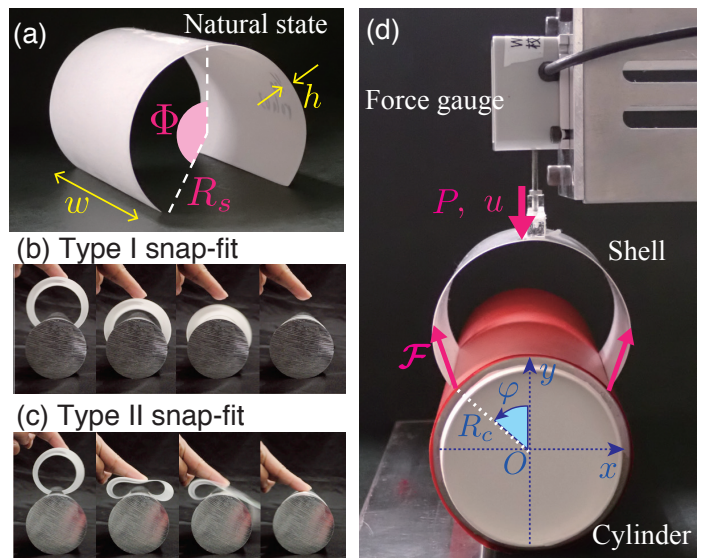


図1 本研究のモデルと基本的な挙動(b,c), および実験系(d).

剛体円と曲がり梁の曲率の比(α)と曲がり梁の幾何形状(中心角 Φ)がスナップフィットシステムの幾何学的性質(デザイン)を再現しており、剛体円と曲がり梁のあいだの静摩擦係数 μ が接合状態の安定化や接合機能の増幅に寄与している。この系について詳しく調べるために、本研究では弾性梁の離散要素シミュレーションを実施した。また、シミュレーションにおける摩擦のモデリングの妥当性や系の現実での挙動を詳しく確認するために、曲がり梁を円筒形シェル、剛体円をアクリルシリンダーにモデル化した実験モデル(図 1(a), (d))を構成し、力測定の実験もおこなった。

主な成果

実験・シミュレーションの力測定結果(図 2(b-d))をもとに、はめこみ状態の定量的な分類をおこなった。典型的な静摩擦係数($\mu=0.21$)のもとで、系の幾何パラメータ(α, Φ)を変えながらそれぞれのはめ込み状態を調べていくと、その相図(図 2(a))は、スナップフィット接合がうまくいく領域(Snap-fit 相, 図の赤・橙色の領域)とそうでない領域(Misfit 相, 図の青・緑色の領域)に明確に分かれることがわかった(図 2(a))。そしてこの相境界曲線は、系の材料特性に依らない形式で、幾何パラメータと静摩擦係数の関数として記述できることが、本研究でおこなった理論研究により明らかとなった。この結果は、材料特性とは無関係に、摩擦をうまく活かせる幾何デザインを系に与えることで、スナップフィット機能が生み出せることを示唆している。さらに、梁の理論と接触問題を組み合わせることで、接合の際にみられる力学特性や形態の移り変わりに関する解析もおこなった。これらの詳細な結果は成果論文[1]に記載している。

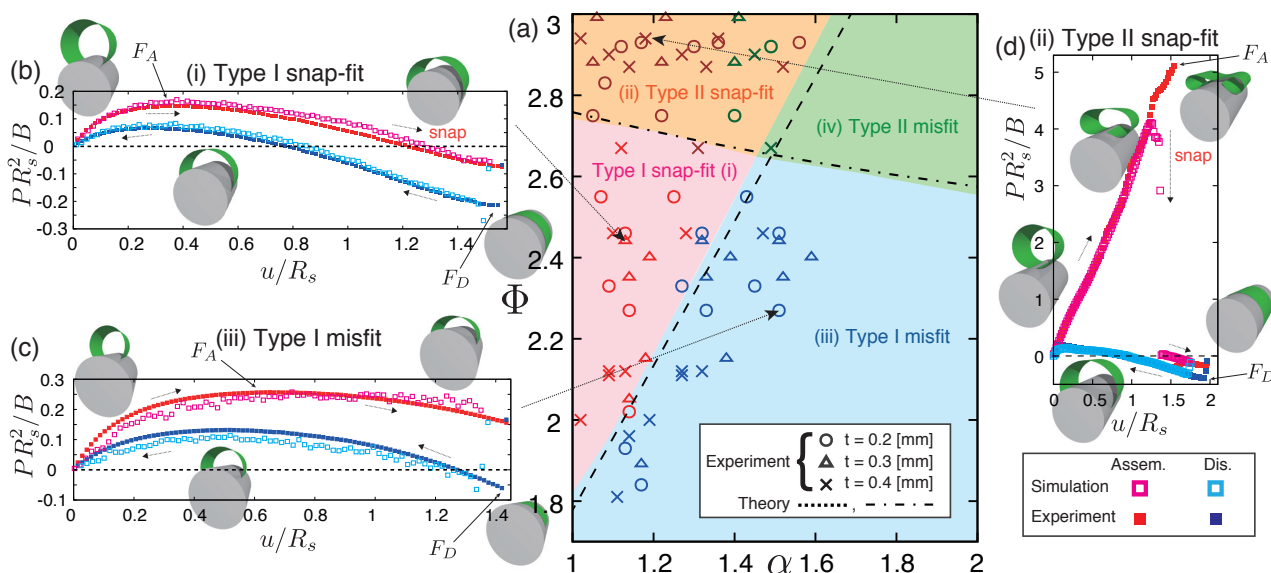


図 2 (a)系の幾何デザインとはめこみ状態の関係をあらわす相図。(b)-(d)力測定の実験、およびシミュレーションの結果。

成果論文

[1] Keisuke Yoshida and Hirofumi Wada, “Mechanics of a Snap Fit”, Phys. Rev. Lett. **125**, 194301 (2020).