

ハエの脚をモデルに開発した接着技術

SATテクノロジー・ショーケース2021

■ はじめに

従来は「強力な接着」により丈夫な製品を作ることを目指していましたが、循環型社会ではリサイクル時に強力な接着が製品の分解・分別を妨げることが問題になります。このため製造時から分解や繰り返し使用を考慮した設計が求められるようになり、その実現のために「接着と分離を繰り返せる新しい接合構造」の開発が進められています。

生物には「接着と分離に優れた接着構造」が見られます。歩行における足裏の機能に注目すると、鏡面でも滑らない接着機能や、壁や天井裏でも落ちない接着機能を有しており、歩行動作では接着だけでなく足を離す動作(分離)も繰り返す機能があります。これまでにバイオミメティクス(生物模倣技術)分野で生物の「形」を模倣して繰り返し接着構造が開発されています。しかしながら、製作には半導体製品製造に用いられるMEMS技術を利用するなど複雑で高い生産コストが課題でした。

我々は、生物の接着機構(例えば、昆虫の脚裏接着構造)が、「少ないエネルギー消費」で、しかも「室温」で形成されることに着目しました。これまでの生物の「形」だけでなく、新たに生物自身の「作り方」を模倣する手法は独創的です。生きたサナギの中の成長を観察できる技術を用いて形成プロセスの解明と、その応用による人工的な製造プロセスの設計に挑戦することとしました。

■ 活動内容

ハエやハムシなどの昆虫は、色々な表面を垂直にも逆さまにも歩くことができます。これらの昆虫の脚裏には接着に優れた毛が生えており、これを迅速にくっつけたり剥がしたりして歩いています。この仕組みは、繰り返し接着の開発のモデルとして注目されています。毛の形は色々ありますが、我々はシンプルな形状の「ハエ型」(脚裏のヘラ状接着性剛毛)の接着構造に着目しました(図1)。

変態過程のサナギの中で脚裏のヘラ状接着性剛毛が形成される様子は、キイロショウジョウバエを免疫組織化学染色及び細胞骨格性アクチンを蛍光標識することで観察しました。図2に示すように、サナギの中で(a)では見られなかった毛が、(b)で発生、(c)で成長、(d)で完成するまでの形成過程を観察できました。脚裏のヘラ状接着性剛毛は、人間の髪の毛のように「伸びる」のではなく、細胞の先端が固定され、細胞が内側に引き伸ばされるように伸び

て形成されていました。

観察により解明した単純な2ステップによる「形成プロセス」をもとに、人工的な接着構造の製作プロセスを設計しました。これまでのバイオミメティクス(生物模倣技術)は生物の「形」を模倣しましたが、新たに生物自身の「作り方」を模倣する手法は独創的な手法です。図4に示すように、①ナイロン繊維の引き上げ(ヘラ構造の形成)と②固化の「2ステップ」のみで製作することができます。実際にこの製作プロセスを用いて、室温での製作に成功しました(図5)。

この接着構造は、昆虫と同様に、接着面に対して剪断方向に強い接着力を示し、垂直方向には弱い力で簡単に分離できる機能を持つことが確認できました(脱着効果)。開発した単純なプロセスにより低コスト化が可能となります。

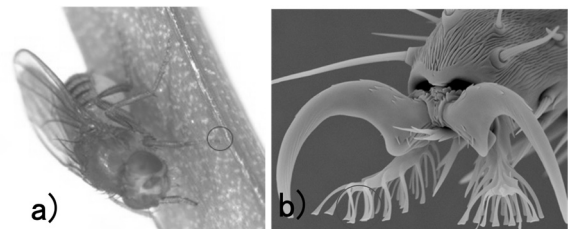


図1 (a)キイロショウジョウバエの脚先(赤丸部分)。(b)脚先の拡大(電子顕微鏡写真)。水色(赤丸部分)が「ハエ型」(脚裏のヘラ状接着性剛毛)の接着構造。

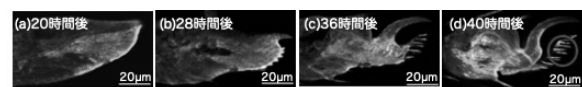


図2 キイロショウジョウバエのサナギ中で、脚裏のヘラ状接着性剛毛の形成プロセスを観察。緑色は剛毛形成細胞における細胞性アクチン繊維、マゼンタは剛毛形成細胞の核、灰色は前跗節細胞。時間は蛹化後の経過時間。(a)毛の発生前。(b)毛の発生。(c)毛の成長。(d)毛の完成。

代表発表者 所 属 問合せ先
細田 奈麻絵(ほそだ なおえ)
国立研究開発法人 物質・材料研究機構
〒305-0044 茨城県つくば市並木 1-1
TEL: 029-860-4529 FAX: 029-860-4697
Hosoda.Naoe@nims.go.jp

■キーワード: (1)バイオミメティクス
(2)接着
(3)ハエ
■共同研究者: 木村 賢一 (北海道教育大学)

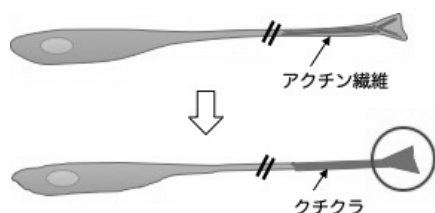


図3 「ハエ型」(脚裏のへら状接着性剛毛)の接着構造の形成メカニズム(模式図)。

- (a)剛毛形成細胞が伸長し、細胞骨格性アクチン繊維により「へら状」の骨組みを形成する。
- (b)クチクラの分泌により「固化」して形成が完了する。この単純な2ステップにより形成できる。

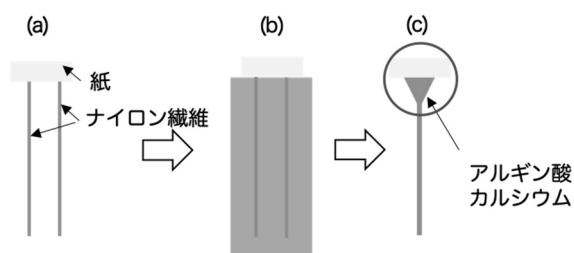


図4 「ハエ型」(脚裏のへら状接着性剛毛)の接着構造の人工的な製作プロセスの概略図。

- (a) 骨組みをナイロン繊維で作成する。(b) 片方を固定したナイロン繊維を樹脂に浸し、引き上げるとへら状の形に自己組織化する。(c)その後、固化して完了する。

■ 今後の展開

本研究で開発した「接着と分離を繰り返せる接着構造」は、新たな応用環境を拡大できる可能性があります。産業用ロボットのアームに装着すれば、滑りやすい製品や持ちにくい製品でも組み立て時に保持させることができます(脱着機能の応用)。また、屋外用ロボット(災害対応ロボットやドローンなど)の脚部に装着することにより、虫のように垂直の壁を登らせるなど今までは困

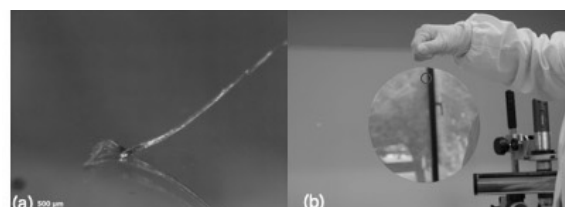


図5 人工的に製作した「ハエ型」(脚裏のへら状接着性剛毛)の接着構造。(a) ガラス板に接着させた様子。(b) 一本のみでシリコンウエハー(52.8g, 直径20.3cm)を持ち上げる。赤丸は接着部。

難だった場所での移動や固定が可能になります。

昆虫の脚裏は、接着と剥離を迅速に繰り返すことができ、様々な表面を歩行することができるので、このような機能をロボットの脚部に応用すると昆虫のように3次元に歩いて移動することを実現できます。今後、多様な環境での使用を可能とするための開発を推進する計画です。社会実装にあたり、開発した製造プロセスを用いることで生産コスト・製造エネルギーの低減が図れるので、持続可能社会を実現するための環境低負荷技術としての普及が期待されます。

■ 関連情報等

K.Kimura, R.Minami, Y.Yamahama, T. Hariyama, N.Hosoda, "Framework with cytoskeletal actin filaments forming insect footpad hairs inspires biomimetic adhesive device design", *Communications Biology*, (2020)
<https://doi.org/10.1038/s42003-020-0995-0>