

令和元年6月20日現在

機関番号：32692

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K13654

研究課題名（和文）濡れの制御にもとづく接着・剥離繰り返し界面の構築

研究課題名（英文）Continuous adhesion and detachment using liquid

研究代表者

西尾 和之（NISHIO, Kazuyuki）

東京工科大学・工学部・教授

研究者番号：00315756

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,800,000円

研究成果の概要（和文）：2つの平面試料を上下に向かい合わせて配置し、界面に液体を展開して密着させ、試料を垂直に引っ張った際の接着力を計測する装置を制作した。予備的な実験を行う簡易的な装置を組み上げて動作を確認した後に本格的な装置を製作した。接合面の角度を精密に調整する仕様としたが、結果的に、ナノスケールでの調整は困難であった。固体界面の接着力を確保するために親水化処理を行った結果、酸化チタンを成膜し、熱処理でアナターゼ型結晶として紫外線照射したもので接触角がほぼ0°となり、理想的な濡れ性にすることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

固体界面の接着/剥離の繰り返しは実現されていないが、ロボット類の可動範囲を広げるために重要な課題である。本研究で得られた成果は、固体界面に展開した水が接着に寄与する事を示したものであり、今後の研究の進展により、強い接着と容易な剥離を繰り返す界面の構築が期待される。また、水は大量に存在し、我々の日常生活では滑りやすいものとして認識されているが、水の量（膜厚）をナノスケールで制御することにより、強い接着剤としての新たな利用が可能となる。

研究成果の概要（英文）：First, preliminary apparatus to evaluate liquid adhesion was prepared. A glass plate was placed on a force gauge and pure water was cast on the glass. Then, another glass plate was moved downward using thread connected to a fishing reel and horizontally attached to the glass plate on the force gauge. Adhesion was measured by pulling the thread upward using the fishing reel. Based on the preliminary apparatus, motor-driven precise apparatus was constructed. Second, to increase the adhesion between the glasses using water, hydrophilic surface was prepared. Formation of Titanium dioxide film, crystallization to anatase and irradiation of UV light enabled the surface super-hydrophilic, whose contact angle was approximately 0 deg.

研究分野：界面化学

キーワード：固体界面 親水性 接着 流体

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ASIMO(本田技研工業)、pepper(ソフトバンク)あるいは地平アイコ(東芝)などの人型ロボット、人間が立ち入る事ができない領域で活動する探査ロボットや無人航空機(ドローン)など、人類に代わってロボット類が活躍する場が飛躍的に広がっている。しかし、人間と同様、重力に逆らって壁や天井を自由に移動することはいまだに困難であり、目途も立っていない。一部で、自動の窓拭きロボットなどで実現されているものの、接触面を常に吸引するために掃除機のような大がかりな装置が必要となる。その結果、多大な電力を消費し、騒音も大きいという問題がある。

20年近く前、ヤモリの手足の表面にある、ナノスケールに至る微細な階層構造の強接着性を模倣する手法が報告され(Nature, vol.405, p.681, 2000)、企業を含めて数多くの研究が進められてきた。しかし、壁面や天井を移動するためには、強い接着と容易な剥離の切り替えとその繰り返しが必要であり、未だに達成されていない。

アカハライモリは、ヤモリの様な特殊な手足を持たないものの、水槽の壁に密着してよじ登ることができる。タマカエルウオは、魚でありながら水中にいる事を嫌い、水槽の壁面に飛びついて留まる習性がある。カタツムリやナメクジも、長時間安定して垂直面に静止し続けている。彼ら・彼女らの接着の共通点は、自身の体を利用して、対象物との界面を若干濡らしている点にある。この現象を模倣し、固体界面の濡れを適切に制御することができれば、少ないエネルギー消費で垂直面に張り付く事が可能になるものと期待される。

固体同士の接着は非常に重要な加工プロセスであり、接着剤や粘着剤が社会で幅広く利用されているが、液体(流体)の接着力の詳細は検討されていない。

2. 研究の目的

本研究では、接着力の発現のために液体(流体)の利用を提案し、その現象を詳細に把握することを目的とする。具体的には、第一に、固体の界面に液体を僅かに展開する事によって接着力を発現させる。これは、ガラスなどの平滑な固体同士が通常は接着しないものの、界面に水が介在すると接着し、剥がすのに苦勞する現象である。この接着力はラプラスの式で示されるが、定性的には、(1)液体の表面張力が大きく、(2)固体表面の液体の濡れ性が高く、(3)固体界面の水膜が薄い程接着力が大きくなる。第二に、界面に展開した液体の膜厚(液体の量)を変えることによって接着力の変化を確認する。

本研究では、下記の2項目を主要な目標とし、強接着・易剥離の繰り返しの実現をはかった。

- (1) 接着力計測装置の製作と接着力の測定
- (2) 平滑面界面の液体の濡れによる接着特性の把握

3. 研究の方法

微弱な接着力を正確に計測する装置の製作では、はじめに、既存の部品を利用して簡易的な接着力計測装置を組み立て、その測定結果に基づき精度の高い装置を製作するという、2段階の方法をとった。固体界面の液体の濡れによる接着特性の把握では、スライドガラスを固体とし、その表面の親水性を最大にする処理方法を探索した。

4. 研究成果

(1) 接着力計測装置

はじめに、実験スタンドを基本骨格とした簡易的接着力計測装置を組み立てた。デジタルフォースゲージを上向きに設置し、その先端にアルミニウム製の試料固定台を固定した。実験スタンドの上端に滑車を設置し、非伸縮性の釣り糸を下げて、下向きの試料固定台に接続した。2つの試料固定台の水平性を確保するために、上側の試料固定台にボールジョイントを2つ設置し、接着面が任意の角度に変化する様にした。試料固定台にスライドガラスを接着し、界面に純水を添加して接合し、釣り用の小型リールで糸を上向きに引張り、接合面が剥離した時の引張り強度とスライドガラスの面積から接着強度を求めた。その結果、 $300\text{g}/\text{cm}^2$ 程度の接着力を得ることができた(図1)。接着力の計測が確認されたことから、この構成に基づいて本格的な装置の製作を進めた。上側の試料(試料台)を厳密に垂直に引き上げる方法について検討を進めた結果、試料台を固定した円柱状のテフロンロッドを垂直に配置し、ステンレスのガイドパイプ内で上下にスライドさせる方式とした。ロッドの回転を防止するため、ガイドパイプに縦にスリットを入れ、ロッドに固定したピンをスリットに入れた。ガイドパイプはX軸・Y軸の移動に加えて傾斜を微調整できる様にした。この装置を用いてガラス板の間に純水を展開して接着力を測定したところ、値の再現性が十分ではないものの、ガラス板の親水性を向上させると接着力が増大し、事前に予想していた特性が得られた。ただし、簡易装置と比較して接着力が低下する傾向があった。これは、ガラス板の接合面を完璧に水平にすることができていないことが原因と考えている。

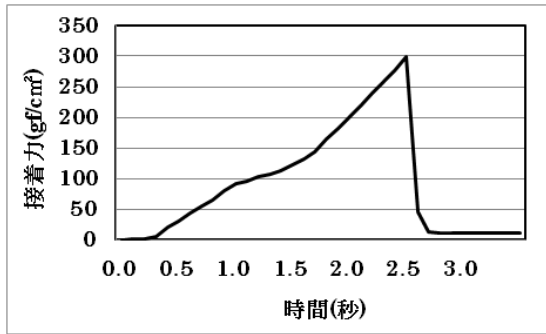


図1 接着力測定結果の例

(2) 液体を展開した固体間の接着力の把握

ガラス表面の親水化処理について、強酸による化学処理、強塩基による化学処理、プラズマエッチングによる物理処理について検討したところ、強塩基による化学処理で水の接触角が 5° 程度となり、高い親水性を示すことがわかった。更に、ガラスの表面に酸化チタンを成膜し、熱処理によってアナターゼ型結晶を形成させ、紫外線照射によって超親水性表面を得る手法について検討を進めた。酸化チタンの成膜方法について、ゾル・ゲル法と電子ビーム蒸着法の2つの手法で検討を進めた結果、電子ビーム蒸着法で形成した酸化チタン膜で水の接触角がほぼ 0° となり、超親水性の表面が得られることが確認された。この表面に純水を展開して接着力を測定したところ、簡易型装置で計測された約 $300\text{g}/\text{cm}^2$ に到達することができなかった。これは、接合界面が完全に水平ではなく、わずかながら隙間が生じてしまったためと考えられる。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計0件)

[学会発表] (計0件)

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

出願年：

国内外の別：

○取得状況 (計0件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年：

国内外の別：

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8桁）：

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。