

令和 6 年 6 月 10 日現在

機関番号：12608
研究種目：基盤研究(C)（一般）
研究期間：2021～2023
課題番号：21K03747
研究課題名（和文）生体模倣型の液架橋形成と氷による可逆接合を併用した把持力制御による物体操作技術
研究課題名（英文）Manipulation technology using gripping force control with biomimetic liquid bridge formation and reversible ice bonding
研究代表者
関口 悠（Sekiguchi, Yu）
東京工業大学・科学技術創成研究院・助教
研究者番号：00712423
交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：氷の接着力を用いた可逆接合の実現を目標に、氷の接着力の評価およびマニピュレーションシステムの構築に取り組んだ。接着力評価では、表面状態や液滴の形成状況による力の変化を明らかにした。マニピュレーションシステムでは、結露しやすいプローブ形状、氷結しやすいプローブ形状など、目的に沿ったプローブ形状の探索を行い、マニピュレートに適した形状の検討を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

マニピュレーションシステムの多様化は製造技術において重要な問題であり、技術的課題の発見や課題の解決は、新たなシステム手法の開発に欠かすことが出来ない。自然現象としては広く知られている氷がくっつく現象を、物体を把持・運搬する技術に転用するための課題や可能性の検討に本研究では取り組んだ。本課題の実施により見えてきた課題への取り組みは、今後、新は把持技術の構築の役に立つと考えられる。

研究成果の概要（英文）：To achieve reversible bonding using the adhesive force of ice, the evaluation of the adhesive force of ice was conducted and a manipulation system was created. In evaluating the adhesive force, the change in force depending on the surface condition and the formation of droplets has been observed. For the manipulation system, probe shapes suitable for the purpose, such as probe shapes prone to condensation or freezing have been searched, and suitable shapes for manipulation have been investigated.

研究分野：接合

キーワード：adhesion ice manipulation

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

短時間での可逆接合は、物体の操作技術分野で活用が期待されている。大きな構造物の把持・運搬には、指構造を持つロボットが主流であるが、平板や微小構造物をつかむことは難しいため、これらには従来、真空チャックや電磁チャックなどが用いられてきた。その代替として期待されているのが分子間力を用いた可逆接合である。固体間の分子間力を用いた可逆接合の代表例として、ヤモリの足裏構造がある。足裏のセタ/スパチュラと呼ばれる微細毛から成る階層構造が表面粗さを吸収し、大きな把持力を生むだけでなく、接着異方性を持つことにより容易な脱離も実現している。しかしながら、汚れに弱いなどの欠点を打開するアイデアの欠乏により、現時点においても実用には至っていない。もう1つの期待されている手法が液架橋力である。特に、微小物体の把持において有効性が示されているものの、液体であるが故に、発生する把持力に限りがあった。そこで着目したのが、接着剤の接着メカニズムである。多くの接着剤は、液体で塗布し、何らかの作用で固体になると接着力を発現する。従って、液架橋を形成する液体が固体となれば、より大きな付着力が発生すると考えられる。更に、固液相変化を用い、再び液体となれば、付着力が低下し、脱離できることから、水/氷の変化を用いることで、物体の把持・脱離が実現できれば、対象物を気付付けすることもなく、物体のマニピュレーションを実現できる可能性がある。

2. 研究の目的

本研究課題では、液滴のサイズを調整する機構と凍結させる機構を兼ね備えた、氷着型マニピュレート手法の開発を目的とした。アマガエルの足裏には、液体を保持したり表面を濡らしたりする機能があることが知られている。そのような生物由来の機構に着目し、液滴のサイズを調整して液架橋を形成するとともに、そこに冷却機能を追加することで液体を固着させ、把持の実現を目指した。

3. 研究の方法

まず初めに、氷着を利用した場合に、どの程度の物体をマニピュレートできる可能性があるかを明らかにするために、氷による接着力を評価できるシステムを構築し、接着力の評価に取り組んだ。その後、液滴のサイズを調整する機構の実現可能性の検討と、液体の供給方法に関する検討を行い、実現可能な構造について、実際にマニピュレータを試作し、その性能の評価を行った。

4. 研究成果

(1) 接合強度の評価

水冷式ペルチェを材料試験機に組み込むことで、実際のマニピュレーションに近い環境下で接着力を評価できるシステムを構築した(図1)。そして、純水を用いて液架橋を形成した状態で冷却し、氷を形成してから十分に時間が経過した後に、剥離試験を実施し、接着力の評価を行った。

一般的な接着力の変化として、表面が平らな状態と粗い状態では、粗い状態の方が良好な接着性を示すことが知られているが、アクリル樹脂表面と氷の接着性においても、成形品の平らな表面状態での接着力に比べ、紙やすりで粗く削られた表面状態の方が、およそ10倍の接合強度を示すことが確認された。

平滑なアルミ表面への氷の接着力を調査した例では、液滴の量によって接合強度に違いが見られた(図2)。液量が多く、液架橋の長さが1mm以上であった場合、また液架橋の長さが1mm未満であるが液架橋を形成している場合については、アルミ表面と氷の間の界面破壊が起き、0.1MPa程度の接合強度であったのに対し、少量の液滴を滴下後に押し付けた状態で冷却し、非常に薄い氷層しか存在しない状態にした場合は、氷内部の凝集破壊となり、接合強度も0.7MPa程度と液架橋を形成して氷となった場合に比べ、非常に大きな接合強度が得られることが明らかとなった。このことから、実際のマニピュレートでは、大きな液滴を形成する必要はなく、プローブの先端を濡らす程度の少量の液体が供給されれば、目的を果たすことが分かった。

以上のことから、液滴をプローブ先端で保持し、液架橋の液量を調整する機構を持つプローブを作製する当初の目標から方向を転換し、少量の液体をプローブ先端に供給すること、そしてその液体を迅速に冷却できることを目指すこととした。

(2) マニピュレート用プローブの試作

プローブ冷却・把持システムの検討として、直径3mm、長さ20mmのプローブの根元に冷却源を設置し、プローブを冷やすことで、プローブ先端の液体を固化させる構造を採用した。プローブの材質は、熱伝導性を考慮して、アルミ合金とした。

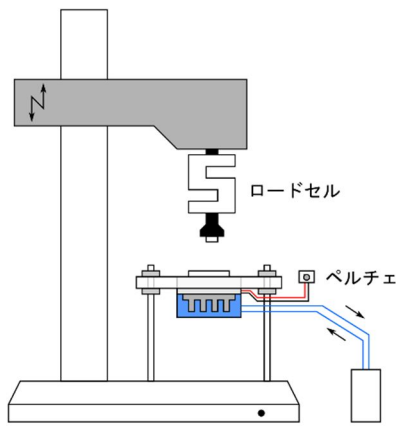


図1 氷着力測定システム

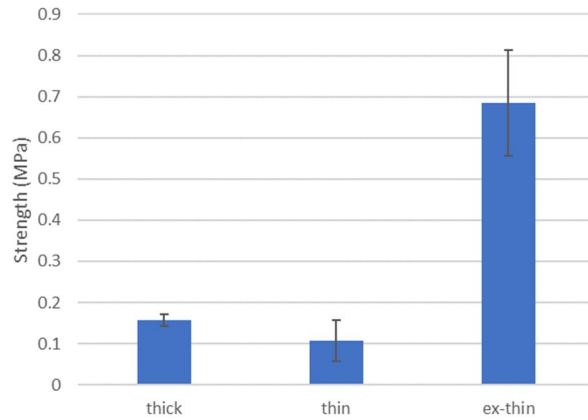


図2 アルミ表面の氷着力

液体の供給方法としては、液槽からピックアップする外部供給型と結露を利用した自己生成型の二種類を検討した。プローブを様々な形状に加工し、液体の供給方法への適応性と冷却時の固化に要する時間の違いを比較検討した。図3に作製したプローブの一例を示す。図4に今回作成したプローブシステムの全体像を示す。



図3 プローブ形状の一例

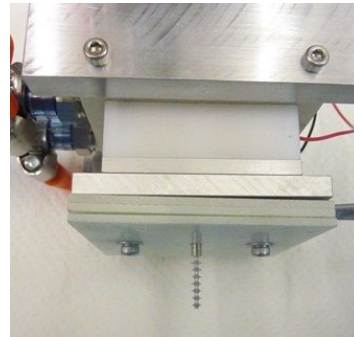


図4 システム全体像

プローブ先端に平坦部を設けることで、外部供給型として十分に機能するに十分な液滴を形成することは明らかになったものの、外部供給型は液槽の準備と液槽からピックアップする動作が必要であるため、自己生成型の方が応用の幅は広いと考えられる。

自己生成型に適したプローブ形状の検討では、結露のしやすい形状と凍結しやすい形状が異なることが明らかとなった。外気と接する側に表面積が大きくなる形状だと結露しやすかったものの、早く結露する形状ほど凍結までには時間を要する傾向にあった(図5)。プローブ内部に表面積を増やした場合には、結露にはあまり影響がなく、凍結も遅くなる傾向が見られた。適度な表面積の増加が結露と凍結の両立に寄与することが分かった(図6)。これらの知見を基に、マニピュレートの検証を行った(把持:図7, 脱離:図8)。マニピュレートに実現はしたものの、対象物が大きくなるほど、熱伝導の関係から、凍結までに時間がかかり、即時の物体操作には向かないことも明らかとなった。

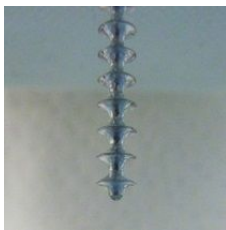


図5 プローブ先端
例1

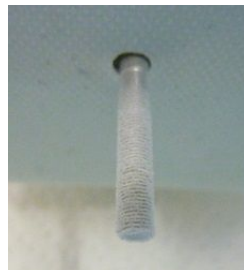


図6 プローブ先端
例2

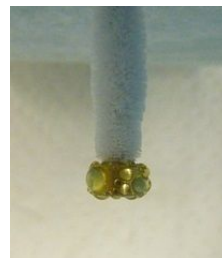


図7 プローブ先端
把持の様子

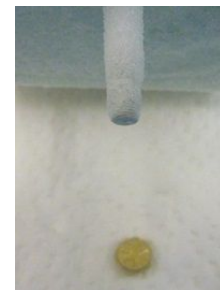


図8 プローブ先端
脱離の様子

プローブ形状の工夫により、結露による自己生成型の液滴形成と凍結の両立が実現する可能性を示せた一方で、本手法によるマニピュレートはサイズなど対象物の適用に制限があり、汎用性が乏しいことも示唆され、特定の用途に限って有効な手段であることが明らかとなった。

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〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------