

環境と共存する機械システムに関する研究

研究代表者 長濱 峻介
(理工学術院総合研究所 次席研究員)

1. 研究課題

ロボットをはじめとして現代の機械システムは、精密な動きや高出力、高剛性を実現するために主に金属で構成されている。これらの機械は、我々人間に比較すると重量があり硬く高出力であるため、人間にとって安全であるとは言い難い。また、これらの機械システムは長く運用することを目指し自然環境に対し耐性を持つように設計されているため、自然分解されるまで時間がかかり、自然環境に対しても負荷を与えうる。そのため、機械と環境（人間環境や自然環境）が真の意味で共存するためには、機械システムの根本的な設計思想の変更を行う必要があると考える。本研究では環境に溶け込み共存する機械システムの設計論の構築を目指す。設計論を構築する上で、環境を構成している材料である有機材料に着目し、まずはロボットを対象としてこれらの材料を主体とした機械システムの開発を行っていく。

2. 主な研究成果

2.1 微小突起シートの吸着力制御

微小突起構造の吸着力は、突起が吸着対象の表面に接近しファンデルワールス力の影響が大きくなることで生じると言われている。そして、その大きさには突起と吸着対象間の表面自由エネルギーが関係している。そのため、突起先端表面の表面自由エネルギーを変化させることができれば、吸着力の制御が可能になると考えられる。

クロミック材料は、電気、熱、光、機械的作用などの外的要因によって色が変わるクロミズムを示す材料である。クロミズムは、外的刺激により材料の分子構造が変化することで生じる現象として知られている。そして、この分子構造が変化する特性を利用し、クロミック材料の濡れ性を光によって可逆的に変化させた事例が報告されている。濡れ性が変化することは、表面自由エネルギーの変化と同義である。そこで本研究では、微小突起構造の表面にクロミック材料を適用することで、外的刺激により表面自由エネルギーを変化させ、物体の解放に応用することを考えた。

微小突起シートの突起が独立しているタイプ（独立タイプ）と結合しているタイプ（結合タイプ）の作成時に、シリコンゴムにクロミック材料を混合した。その後、そのシートを用いて UV 照射の有無に応じた吸着力を計測した。独立タイプにおいては、吸着力に差が見られなかった。一方、結合タイプに関しては、図 1 に示すように吸着力の変化を確認した。

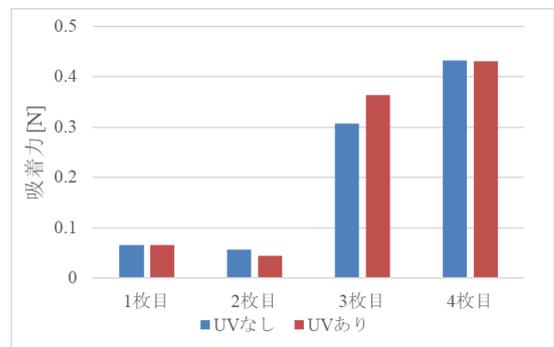


図 1 結合タイプにおける UV 照射の有無に応じた吸着力

2.2 分散協調駆動機構 (DCD-SAS)

筋肉は高分子で構成され、多数の様々な太さ、長さの筋繊維が密に充填されたアクチュエータであり、これらの筋繊維が負荷に応じて協調駆動を行っている。DCD-SASの研究では、筋肉のように複数のアクチュエータが協調して駆動するシステムを目指している。

DCD-SASを構築した際に、図2のように紐の長さが長いTSAと紐の長さが短いTSAが混在する状態となる。このように異なる紐の長さのTSAを同期駆動させて荷重を受ける際、各TSAにかかる張力が均等に分散されないことを確認している。そこで実験では、紐の直径が同じだが紐の長さ異なる複数のTSAを分散配置した状態において、TSAを協調駆動させて荷重を受ける際に各TSAにかかる張力を測定し、荷重分散比率の評価を行った。

図3に結果の一例を示す。紐の直径は約0.8 mmとし、100 mm、150 mm、200 mmと異なる紐の長さが混在した状態で、各アクチュエータを駆動した際の荷重分散比率である。紐の長さや太さのパラメータを変更した状態で、荷重分散比率を計測した結果、紐の長さや太さのバランスを適切に調整することにより、各アクチュエータにかかる負荷をコントロール可能であることが示唆された。

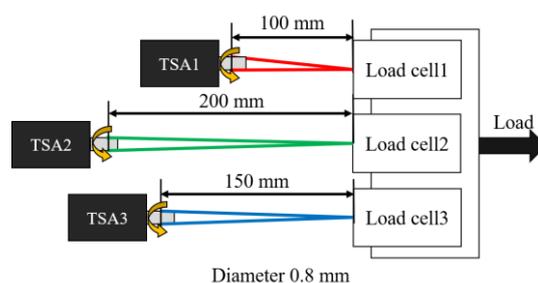


図2 紐の長さが異なるアクチュエータを備えた分散協調駆動機構 (DCD-SAS)

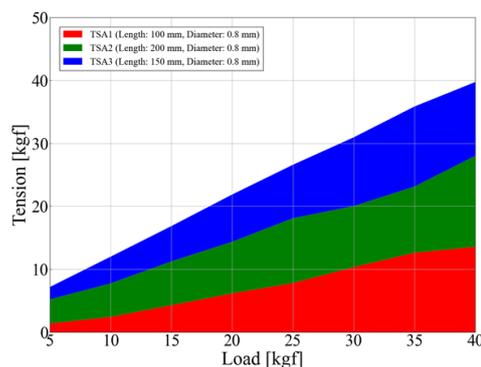


図3 DCD-SASを駆動した際の荷重に応じた各アクチュエータへの負荷の比率

2.3 溶解する材料

一定の湿度下で溶解する性質を有する材料 (研究室で製作) にセルロースナノファイバー (CNF) を添加することで溶解特性を制御可能かの調査を行った。環境試験機内にて25°C、95%RHの条件で1週間静置した際の材料の動的粘弾性の変化を確認した。サンプルとしては、CNFを添加したサンプル (CNFサンプル) と、CNFを添加していないサンプル (No-CNFサンプル) を用意し比較を行った。図4に結果を示す。どちらのサンプルも、貯蔵粘弾性率が低下していて、損失粘弾性率の変化は少ないことから、サンプルは固体から液体寄りの性質に変化していることは確認できた。貯蔵弾性率の変化率に着目すると、CNFサンプルと比較するとNo-CNFサンプルは大きく低下している。CNFサンプルは、変化率としては貯蔵弾性率の低下が抑制されているように見える。しかしながら、CNFの添加によりそもそも貯蔵弾性率が上がっているからであり、貯蔵弾性率の変化量はNo-CNFサンプルと同程度であった。つまり、CNF自体は溶解特性に影響を与えていないことが示唆され、本サンプルの溶解特性の調整はCNFではできていないことが確認できた。しかしながら、CNFを添加することで、固体寄りの状態を材料に付与できることも確認できたため、今後本研究の結果が自明なことなのかを文献の調査や他の材料にCNFを添加することで確認していきたい。

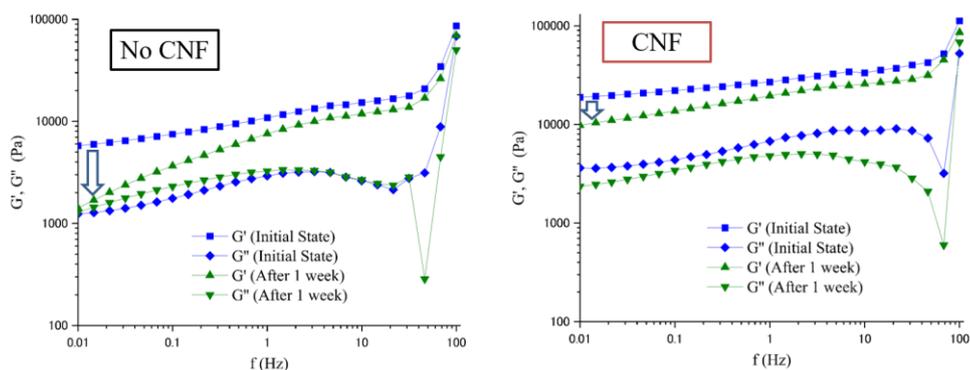


図4 CNF を添加していないサンプルの動的粘弾性（左図）と添加したサンプルの動的粘弾性（右図）の比較

3. 共同研究者

特になし

4. 研究業績

4.1 学術論文

特になし

4.2 総説・著書

研究室紹介 早稲田大学菅野重樹研究室, 自動化推進, Vol.49, No.3, pp.8-9, ISSN2189-1753, 2020

4.3 招待講演

特になし

4.4 受賞・表彰

特になし

4.5 学会および社会的活動

SOBIM2020 実行委員

バイオメカニズム学会 幹事

5. 研究活動の課題と展望

本年度, 外部予算の獲得とともに装置を購入できたため, 各研究の評価が可能となった. 今後は, それらの装置を用いて, 各研究のデータの取得を行い成果としてまとめる.