

3D プリンタと柔軟フィラメントを用いた直列弾性アクチュエータの開発

2020sc104 馬場陸

指導教員：稲垣伸吉

1 はじめに

多脚ロボットは、産業界や災害現場での活躍が期待されている。しかし、多脚ロボットは重い荷物を運ぶときや、不整地の歩行の際に衝撃が加わることで、サーボモータのギアが破損する可能性が考えられる。また減速比が大きいため、外力によるトルクの検出が難しい。そこでサーボモータに弾性パーツを加えることで、衝撃を吸収する安定性の高い直列弾性アクチュエータの開発が必要である。

従来のロボットは、外力による影響を小さくするために硬い関節、剛性の高い構造、そして強力なアクチュエータが使用されている。近年では、衝撃による部品の破損や、人とロボットの共同作業への関心の高まりから、SEA (Series Elastic Actuators, 直列弾性アクチュエータ) の開発が進められている。SEA とは、衝撃の吸収、安全性の向上を目的として、ゴムのような弾性パーツを取り付けたアクチュエータのことである。文献 [1] では、金属バネを使った SEA を、文献 [2] では、ポリウレタンゴムを使った SEA を、文献 [3] では、弾性棒を使った SEA を提案している。SEA については、様々な研究に取り入れられており、SEA にクラッチを取り入れ、衝撃吸収と高精度な力制御が可能なる人工膝関節の開発 [5]、介護ロボットやサービスロボットなどのアシストロボットに SEA を導入し力制御を安定して行えるようにする研究 [6] があり、汎用性が高く、クラッチやダンパーなどと併用することで広い用途での活躍に期待できる。

本研究では、3D プリンタを用いた小型サーボモータ用の SEA モジュールの開発を行う。具体的には、SEA に用いる弾性パーツを設計、製作し、小型サーボモータに取り付けて実験を行う。

2 弾性パーツの設計と解析

図 1 は 3D プリンタを用いて作成した弾性パーツである。このモデルは、文献 [2] を参考にして設計したものである。

図 2 のように弾性パーツの内側の円に力のモーメントを加え解析する。弾性パーツが受けるトルクを τ 、角変位を α とする。本研究で使用するモータの最大トルクが 9.9Nm なので、衝撃を加味し、20Nm までを解析の範囲とすると、弾性パーツのばね定数 k は、

$$k = 0.51(\text{Nm/deg}) \quad (1)$$

と求められた。



図 1 3D プリンタを用いて作成した弾性パーツ

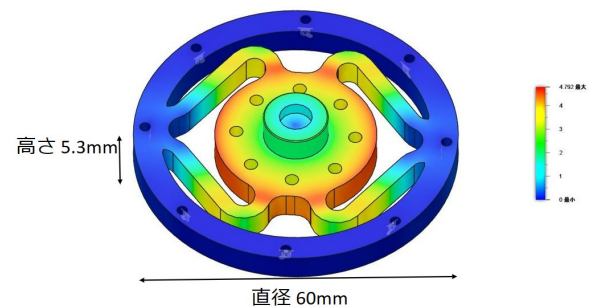


図 2 弾性パーツのモデルと解析結果

3 SEA の構成

本研究で使用する SEA は、図 3 のような構成になっている。サーボモータ、サーボホーン、弾性パーツ、マグネットが繋がっており、ロボットの脚にあたるリンク部分を挟んで逆側には、IC (AS5048) [4] を含むロータリーセンサを取り付けた。図 4 に作成した関節パーツを、図 5 に組み立てた SEA を示す。

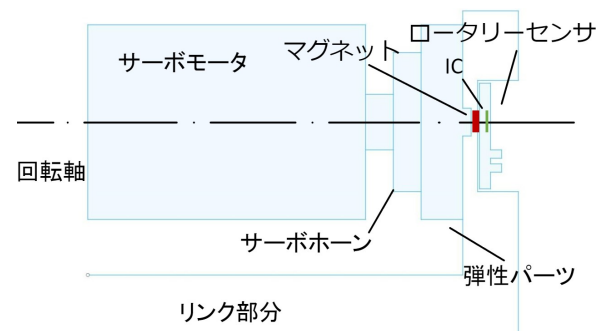


図 3 SEA の構成

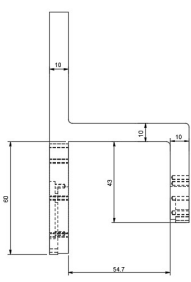


図4 関節パーツ

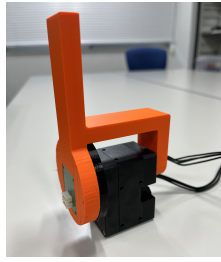
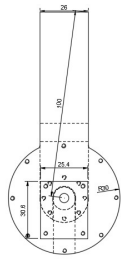


図5 組み立てたSEA

4 性能実験

図6のように、力センサと関節パーツが接触した状態にし、モータに設定した電流を与えたときの力の大きさを5msごとに計測する。その後、弾性パーツがない状態で同じように計測をし、弾性パーツある時とない時での結果を比較する(図7)。図7より、弾性パーツが衝撃を吸収していることがわかる。

次に弾性パーツのばね定数を求めるために、トルクの異なるデータを12回計測する。そのときの回転角度を10通りほど計測し、その平均と対応するトルクのデータでグラフを作成した(図8)。実験結果より、弾性パーツのばね定数は、

$$k = 0.13(\text{Nm/deg}) \quad (2)$$

となった。解析時と実験時ではばね定数に違いがみられたのは、弾性パーツの作製時に素材の充填率を20%に設定していたため、弾性パーツが柔らかくなり、外輪と内輪の結合部が大きく変形し、外輪に接触していたためと考えられる。今後の研究では、弾性パーツの充填率を100%に設定して実験を行う必要がある。

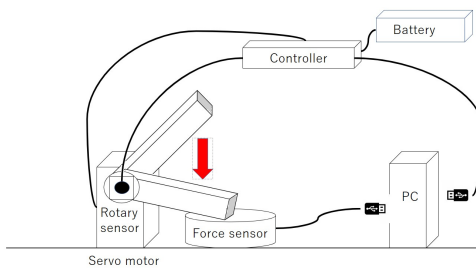


図6 実験概要図

5 おわりに

本研究では、SEAの構成の考案、弾性パーツのモデルの設計と解析、3Dプリンタで作製し、性能実験を行った。そして、弾性パーツにかかるトルクを得るためのばね定数を導出し、弾性パーツによる衝撃の吸収を確認した。

参考文献

[1] Leandro Tome Martins, Roberta de Mendonca Pretto, Reinhard Gerndt, and Rodrigo da Silva

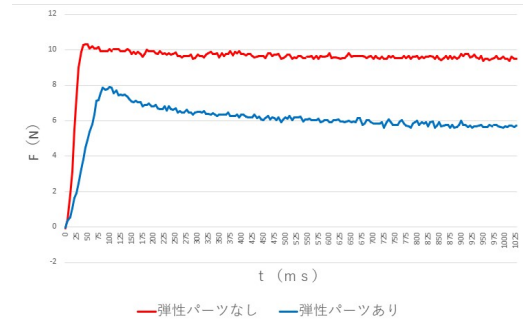


図7 弾性パーツありとなしの時間応答

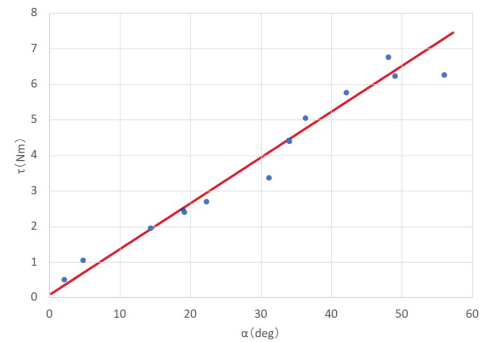


図8 弾性パーツのばね定数

Guerra. “Design of a Modular Series Elastic Upgrade to a Robotics Actuator”, Robot World Cup XVIII, pp.701–708, 2014.

- [2] Leandro Tome Martins, Christopher A. Arend Tatsch, Eduardo Henrique Maciel, Reinhard Gerndt, Rodrigo da Silva Guerra. “A Polyurethane-based Compliant Element for Upgrading Conventional Servos into Series Elastic Actuators”, IFAC-PapersOnLine, Vol.48, No.19, pp.112–117, 2019.
- [3] Reis Murat, Nafiseh Ebrahimi and Amir Jafari. “Elastic Actuator Design Based on Bending of Cylindrical Beam for Robotic Applications”, Variable Stiffness Actuators, Vol.9, No.3, 80, 2020.
- [4] ams OSRAM Group. “AS5048A/AS5048B Magnetic Rotary Encoder Product Document”, ams OSRAM Group, 2018.
- [5] Elliott J. Rouse, Luke M. Mooney and Hugh M. Herr. “Clutchable series elastic actuator: Implications for prosthetic knee design”, The International Journal of Robotics Research, Vol.33, No.13, 2014.
- [6] Giorgio Carpino, Dino Accoto, Fabrizio Sergi, Nevio Luigi Tagliamonte and Eugenio Guglielm. “A Novel Compact Torsional Spring for Series Elastic Actuators for Assistive Wearable Robots”, Journal of Mechanical Design, Vol.134 (121002), pp.1–10, 2012.