

## 昆虫の骨格筋を模倣した六足歩行ロボットの設計 Development of Hexapod Robot Imitating Insect Skeletal Muscle

○開米拓実<sup>1</sup>, 森下克幸<sup>2</sup>, 武井裕樹<sup>3</sup>, 齊藤健<sup>4</sup>\*Takumi Kaimai<sup>1</sup>, Katuyuki Morishita<sup>2</sup>, Yuki Takei<sup>3</sup>, Ken Saito<sup>4</sup>

Abstract: In robot development, various biological features are imitated and applied to robots. Typical actuators commonly used at that time are electromagnetic actuators, hydraulic / pneumatic actuators, and piezoelectric actuators. In recent years, the requirements for actuators have diversified, and the realization of movements that could not be reproduced before has an important meaning in robot development. In this paper, we designed a Hexapod robot that imitates the structure of insect skeletal muscles using HNN and SMA. In the future, we will develop robots that make use of the features of SMA and make robots smaller and move more like creatures.

### 1. はじめに

ロボット開発では様々な生物の機能が模倣されロボットに応用されている。その際に一般的に用いられている代表的なアクチュエータといえば、電磁アクチュエータ、油圧・空圧アクチュエータ、圧電アクチュエータである<sup>[1]</sup>。これらのアクチュエータは軸やガイドに沿った動作の生成が可能である。一方、生物は動作に筋肉を使用する。生物の筋肉は筋肉そのものが伸縮することで関節を動かし、柔軟な動きを生成している。近年、アクチュエータに対する要求は多様化し、従来では再現できなかった動きの実現が、ロボット開発において重要な意味を持つといえる。そこで我々は筋肉が繊維状の細胞で構成されていることから、ワイヤによる動作を採用し、この筋肉構造の模倣をおこなった。ワイヤには筋肉を模倣した人工筋肉ワイヤ (SMA) を用いて、筋肉によって関節を動かすメカニズムを再現することで動物のような柔軟な動きの再現を目的とした。本論文では昆虫の筋肉構造の再現を目的とし、アクチュエータに SMA を用いることで、より生物に近いロボットの構造設計を行ったので報告する。

### 2. 昆虫の筋肉構造とその応用

筋肉には横紋筋と平滑筋の2つの種類がある。横紋筋は横縞模様のある筋肉で、平滑筋には横縞がない。昆虫では、内臓筋も含めて全ての筋肉が横紋筋という特徴がある<sup>[2]</sup>。脊椎動物の骨格筋も構造的には横紋筋に分類される。つまり、昆虫の脚部の筋肉の収縮弛緩の制御のしくみは、脊椎動物の骨格筋と基本的には同一である<sup>[3]</sup>。骨格筋は大きく屈筋と伸筋に分けられる。屈筋は関節の曲がる側についており、縮むことで関節が曲がるようになっている。伸筋はその反対側につき、

縮むと関節が伸びる。筋肉は収縮時に力を出すので、自身で伸びることはできないので、屈筋と伸筋が互いに拮抗的に働くことで関節の曲げ伸ばしが行われる<sup>[4]</sup>。

Figure1 に昆虫の脚の筋肉を模倣した前後・上下動作の構造設計図を示す。SMA は前後運動、上下運動でそれぞれ拮抗するよう配置することで拮抗する伸筋・屈筋を再現した。

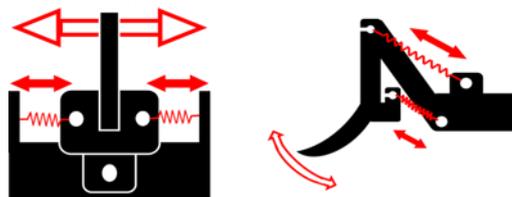


Figure 1. Structure designs that imitate the vertical movement and the longitudinal movement of an insect leg

### 3. SMA を用いた機体の設計

開発した機体の構造図を Figure 2 に示す。脚は等間隔になるよう配置し、動かした際に SMA の挙動が分かりやすいよう、ボディ部分はシンプルな長方形に設計した。Figure3(A)に設計した脚の部品図を、Figure3(B)

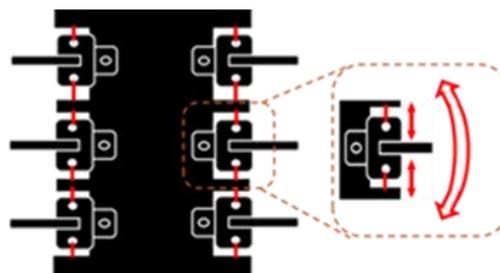


Figure 2. Insect robot body structure

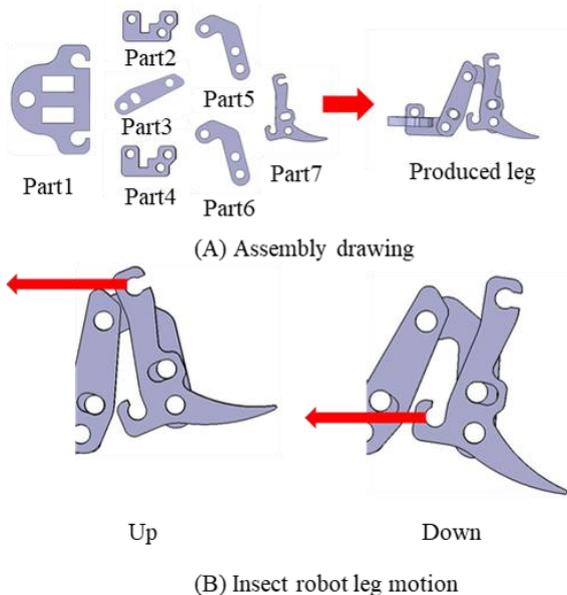


Figure 3. Insect robot leg structure

に設計した脚の軌跡図を示す。パーツ数は7つであり、Figure3(A)の Part2 と Part4, Part5 と Part6 はそれぞれ同じパーツである。Part3 と Part7 の穴がそれぞれ一か所ずつ楕円の形をしていて、それよりも小さい径の軸を通すことで、SMA の収縮弛緩で脚が動作しつつも可動域に制限が付くような構造となっている。今後改良していく過程でロボットの小型化がしやすいよう全てのパーツは立体構造でなく平面構造で設計し、厚みは1パーツ 2mm で統一した。Figure3(B)に示した脚の動作は重心の上下運動による機体の傾きを防ぐため、可動域に制限が付く構造で上下の変位を抑えるよう設計した。

#### 4. 昆虫型六足歩行ロボットの脚

実際に今回 3DCAD を用いて設計したロボットの脚を Figure 4 に示す。

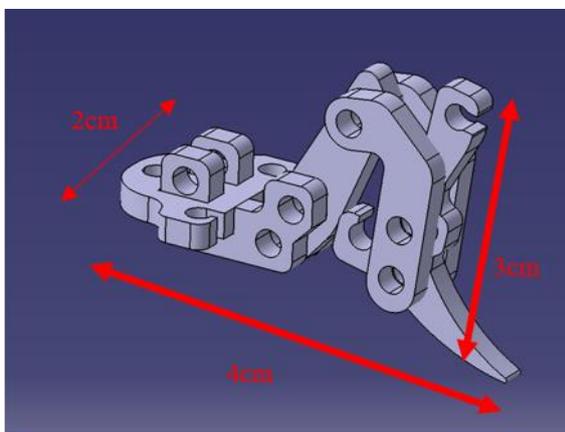


Figure 4. Legs of a Hexapod robot imitating insect skeletal muscle structure

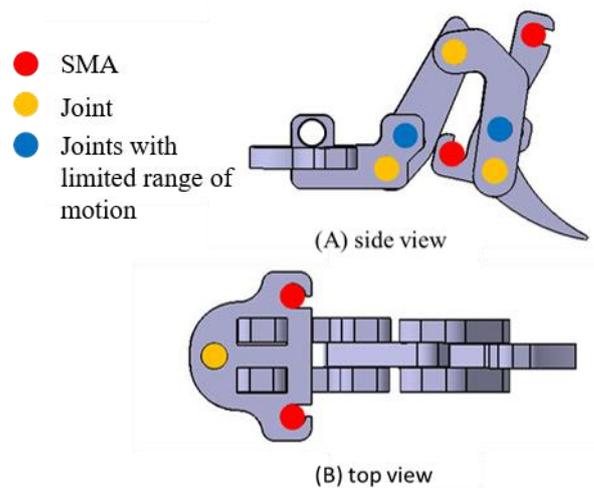


Figure 5. Legs of a hexapod robot imitating insect skeletal muscle structure top and side views

設計は 3DCAD ソフトの CATIA にておこなった。最大長さは約 4cm, 最大高さは 3cm, 最大幅は 2cm で設計した。関節はプラスチック棒で留める予定である。更に詳しく説明した側面図を Figure 5(A)に、上面図を Figure 5(B)に示す。図の赤い部分に SMA を引っ掛けることで昆虫の脚の筋肉の配置に近い構造を再現した。黄色い軸部分は関節部になっていて SMA の収縮弛緩に伴って回転する。また、Figure3(A)の Part7 にあたるパーツが SMA の収縮弛緩で青い軸部分を中心に楕円を描くように回転することで、足全体で歩行のような動作を再現している。

#### 5. まとめ

SMA を利用した昆虫の筋肉を模倣した六足歩行ロボットの設計をおこなった。今後は応力計算などから脚と体の作成可能な寸法を細かく定め、3D プリンターを用いて実際にロボットの作製をおこなう予定である。また、より筋肉構造に近い機構への改善や小型化、制御系についても検討していく予定である。

#### 6. 参考文献

- [1] 鈴森康一：「新しいアクチュエータへの期待」, 日本機械学会論文(C 編), 77 巻 778 号, pp.244-251, 2011.
- [2] 岩本裕之：「高輝度 X 線が明らかにした昆虫飛翔筋構造の進化の過程」, 日本放射光学会誌, Vo.119, pp.241-247, 2006.
- [3] 岩本裕之：「昆虫飛翔筋のはたらきとその進化」, 生物物理, 50 巻 4 号, pp.168-173, 2010.
- [4] C.W.Thompson and R.T.Floyd：「身体運動の機能解剖」, 医道の日本社 2002.