

# 拮抗型空気圧人工筋を持つ3次元2足ロボットの試作と歩行の実現

## Prototype and Walking of 3D Biped Walker with Antagonistic Pneumatic Muscle

石川 政行 (阪大院)  
正 細田 耕 (阪大院, 阪大FRC)

田熊 隆史 (阪大院)  
正 浅田 稔 (阪大院, 阪大FRC)

Masayuki ISHIKAWA, Graduate School of Eng., Osaka University  
Takashi TAKUMA, Graduate School of Eng., Osaka University  
Koh HOSODA, Graduate School of Eng., Osaka University, HANDAI Frontier Research Center  
Minoru ASADA, Graduate School of Eng., Osaka University, HANDAI Frontier Research Center  
{ishikawa, takuma}@er.ams.eng.osaka-u.ac.jp, {hosoda, asada}@ams.eng.osaka-u.ac.jp

A McKibben artificial pneumatic muscle has an elasticity, and it is supposed to be useful for realizing robots that can run and bounce. However, it is more difficult to control the pneumatic actuator than the usual electric motor. One of the approaches to realize walking with pneumatic actuators is to design the robot so that it can walk with simple ON/OFF valve operation. In this paper, we illustrate the design of a 3D biped robot with McKibben artificial muscles and experimental results that the robot can walk on a flat plane with simple ON/OFF valve operations.

**Key Words:** pneumatic muscle actuator, 3D biped, quasi-passive dynamic walking

### 1 はじめに

現在多くの歩行ロボットに用いられている電動モータは正確に位置制御が可能である反面、ロボット全体に占める重量の割合が高く、多自由度になるにつれロボット全体の重量が大きくなる。また一般に高減速比の減速器を必要とするため、跳躍や走行など高加速の動作で関節を破壊してしまう危険性がある。一方で空気圧アクチュエータの一種であるマッキベン型アクチュエータは非常に軽量であり、自由度の増加に伴う重量の増加を抑えることができる。また、アクチュエータ自体が非常に高い柔軟性を持つため、跳躍や走行などを實現するアクチュエータとして有効であると考えられる。このアクチュエータは人間の筋肉との類似性という点で注目されており、これを用いたロボットの研究も多くなされている [1, 2, 3]。

本研究では全関節にマッキベン型アクチュエータを用いた多自由度の三次元二足ロボットを試作、歩行を實現する。空気圧アクチュエータの一種であるマッキベン型アクチュエータは自身の内部の摩擦により複雑な非線形性要素を持つ。そのためこのアクチュエータを装備したロボットの位置制御は難しく、あらかじめ設計した軌道を追従して歩行を實現することは困難である。そこで本研究では歩行が可能な形状にロボットを設計し、アクチュエータを駆動する弁の開閉時間を調整することで歩行の實現を目指す。

### 2 ロボットの概要

作成した二足歩行ロボットの概観を Fig.1 に示す。全高約 830 [mm]、全幅約 360 [mm] (腕を下ろした状態)、脚長約 700 [mm] で、全重量は約 7 [kg] である。ロボットは上体、太股、すね、足、腕から成る。腕は太股部と物理的につながっており、太股の動きに合わせてピッチ軸回りに回転する。自由度は肩ロール軸、股ピッチ軸、膝ピッチ軸、足首ロール・ピッチ軸の左右合計 10 自由度である。1 自由度につきアクチュエータ 2 つを拮抗に配置しており計 20 のアクチュエータを持つ。また、アクチュエータ 1 つにつき給気用、排気用 2 つの電磁弁を用意し、全体で計 40 個の弁を備える。自立化に向けて空気供給源として小型ポンペを各手先に装着する。

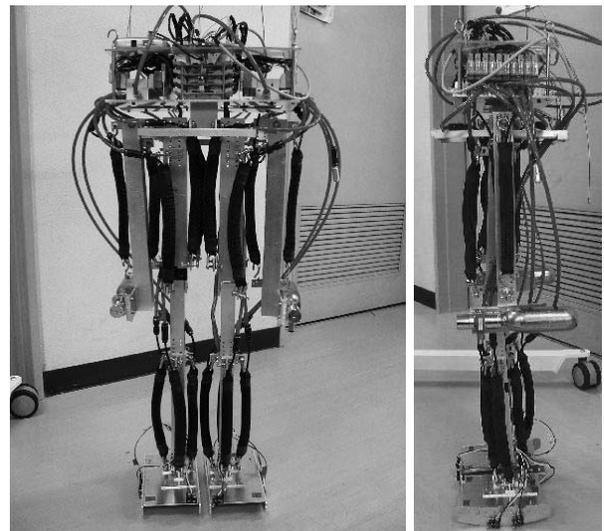
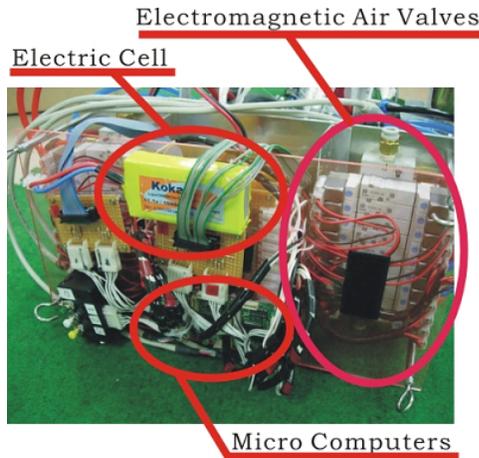


Fig.1 The overview of 3D pneumatic robot

Fig. 2 のように空気弁、電源とコンピュータは上体に配置されており、全重量の約 35% を占めている。このように重心を高い位置に配置しているため長い歩行周期で歩行ができ、適当な速度で遊脚を振り出すことができる。

マッキベン型アクチュエータは自身の持つ複雑な非線形性のために、計画した軌道を追従して歩行することは難しい。そこでロボットの設計に際して、制御、駆動力を一切用いずに歩行を實現できる受動歩行ロボットの特徴に関する知識を参考にした。受動歩行ロボットの特徴の一つは円弧状の足であり、その曲率半径は脚の長さの約  $\frac{1}{3}$  程度が適当であることが経験的に知られている [4]。この経験則に従って、試作したロボットの足の曲率半径を脚長の約  $\frac{1}{3}$  の 220 [mm] とし、長さを 135 [mm] とした (Fig. 3 参照)。また足裏に地面と足の衝突を検出する ON/OFF スイッチを取り付けた。



**Fig.2** Configuration of upper body : it has electromagnetic air valves, an electric cell, and micro computers to drive air valves.



**Fig.3** Robot Sole : The radius of the foot is 220[mm]. ON/OFF switches are attached on both side of soles to detect a heel strike.

### 3 空気弁開閉による歩行の実現

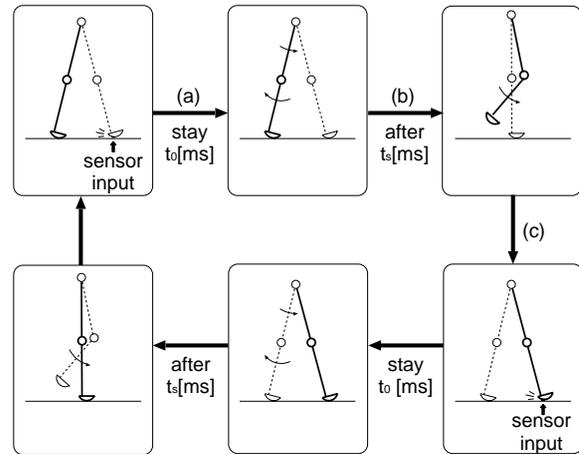
試作したロボットはアクチュエータを 20 本持つ。ここでは歩行に大きな影響を与えられられる両脚の腰部後部と膝後部のアクチュエータ四本に着目し、これらを駆動する弁の開閉時間を調整する。またそのほかのアクチュエータについては歩行前に適当な量の空気を供給するのみとし、歩行中に給排気を行わないようにした。ロボットの歩行パターンと歩行パラメータを Fig. 4 に示す。図中タッチセンサが反応すると、(a) 一定時間給排気を行わず、一定時間  $t_0$  後に脚を振り出すと同時に膝を曲げ、(b) 一定時間  $t_s$  後に腰関節の回転を止め、(c) 着地するまで給排気を行わない。遊脚が着地し、支持脚が地面から離れると支持脚と遊脚が入れ替わり、同様の弁操作で歩行を続ける。

この歩行において  $t_0, t_s$  が歩行パラメータとなる。この二つについて歩行実現のための値を探索した結果、 $t_0 = 10$  [ms],  $t_s = 250$  [ms] のとき 16 歩以上歩行できることを確認した。歩行時の様子を Fig.5 に示す。

### 4 結言

本研究ではマッキベン型アクチュエータを全関節に拮抗に配置した三次元二足歩行ロボットを試作した。本稿ではこのロボットの構成について説明し、歩行実現のための手順について述べた。

今後の課題の一つは歩行の安定化である。アクチュエータの持つ特性によりロボットのモデルを求めることは難しく、モデルより制御則を導出することは困難である。そこでモデルを明に表現することなく制御則を導く必要があり、今後これについて取り組む予定である。



**Fig.4** Walking Pattern : (a)When touch sensor detects a collision of a foot, a leg is swung and a knee is bended after the fixed time  $t_0$ . (b)After the fixed time  $t_s$  a hip is stopped. (c)The swing leg lands.



**Fig.5** Sequence of walk

### 参考文献

- [1] M. Wisse and J. van Frankenhuyzen. Design and construction of mike; a 2d autonomous biped based on passive dynamic walking. In *Adaptive Motion of Animals and Machines*, 2003.
- [2] M. Wisse. Three additions to passive dynamic walking; actuation, an upper body, and 3d stability. In *Proceedings of 2004 IEEE/RSJ International Conference on Humanoid Robots*, 2004.
- [3] Takashi TAKUMA, Koh HOSODA, Masaki OGINO, and Minoru ASADA. Stabilization of quasi-passive pneumatic muscle walker. In *Proceedings of 2004 IEEE/RSJ International Conference on Humanoid Robots*, 2004.
- [4] T. McGeer. Passive dynamic walking. *International Journal of Robotics Research*, Vol. 9, No. 2, pp. 62–82, 1990.