

# McKibben型人工筋を用いた二足歩行ロボットの基礎実験 ～ 足首関節角・剛性と歩行安定性～

成岡 健一（大阪大学），細田 耕（JST，大阪大学）

## Primary Experiments of a Biped Walker Driven by McKibben Artificial Muscles

NARIOKA Kenichi(Osaka univ.), HOSODA Koh, (JST, Osaka Univ.)

**Abstract**— In this report, we describe the design and walking experiments of Pneumat-BT, which is an anthropomorphic biped walking robot. Each joint of the robot is driven by an antagonistic pair of McKibben artificial muscles. We investigate the relationship between joint angles of ankles and stability, and also the relationship between joint stiffness of ankles and stability.

### 1. はじめに

これまでに発表されてきた二足歩行ロボットの多くは、駆動源として電動モータを用いている。電動モータは正確な位置制御が可能である反面、重量が大きくなりやすく、柔軟性に乏しいという欠点を持つ。これに対し、筋肉のように柔軟なアクチュエータを実装することにより、ロボットの頑健性が飛躍的に向上し、ふるまいに適應性が生まれることが期待される。空気圧アクチュエータの一種である McKibben 型人工筋は、剛性可変性など筋肉に近い特性を持ち、優れた衝撃吸収性や Power Weight Ratio の大きさなどから、ダイナミックな動きに適したアクチュエータとして注目されている。

田熊らは McGeer の提唱した受動歩行ロボット [1] をベースとして、各関節に McKibben 型人工筋を拮抗に配置した準受動二足歩行ロボット”空脚”を製作し、平面内での歩行を実現させた [2]。また石川らは、空脚を発展させた三次元二足歩行ロボット”Pneuman”を製作し、15 歩程度の平面内歩行に成功している [3]。

本研究では、Pneuman を基に設計された人型三次元二足歩行ロボット”Pneumat-BT”の製作と実験を通じて、人工筋の拮抗駆動による二足歩行ロボットの設計原理、制御方策を探っていくことを目的としている。研究の第一段階として、足の構造に着目する。足は三次元歩行において極めて重要な役割を果たしており、特に足首ロール軸の角度及びその剛性は安定性に関与する本質的なパラメータのひとつであると考えられる、本論文では足首関節の角度・剛性と歩行安定性の関係を調べた基礎実験について報告する。

### 2. Pneumat-BT 概要

実験で用いたロボット Pneumat-BT の写真を Fig.1 に示す。ロボットは全高約 1.12[m]，全幅約 0.32[m]，脚長約 0.7[m]，重量約 9.6kg である。自由度は足首ロール軸・ピッチ軸，膝ピッチ軸，股ピッチ軸，腕ロール軸・ピッチ軸（以上，左右対称），腰ヨー軸の合計 13 自由度である。各関節には McKibben 型人工筋が拮抗に配置されて

おり、関節の角度や剛性を操作することができる。

次に、関節駆動機構の概略図を Fig.2 に示す。McKibben 型人工筋への空気の給排気は電磁バルブの開閉操作によって行われ、バルブ開閉はロボット胴体部に搭載した H8 マイコンによって制御される。また、胴体部にはバルブ及びマイコン用電源としてリチウムイオンバッテリーが内蔵されている。さらに、空気供給源として小型の高圧二酸化炭素ボトルを用いることにより、完全自立歩行が可能である。左右の足裏にはタッチスイッチが装備されており、地面との接触を検知することができる。



Fig.1 Pneumat-BT

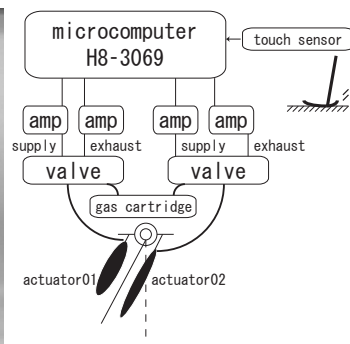


Fig.2 System of Pneumat-BT

### 3. 歩行制御則

遊脚の床接地の瞬間を基準とし、決められたタイミングでバルブ開閉操作を行うフィードフォワード制御による歩行を試みる。制御の流れを以下に示し、タイムチャートを Fig.3 に示す。

歩行開始前	各筋肉に給気
$T = 0$	(遊脚の接地)
$T = 0 \sim T = T_k$	遊脚の膝屈筋へ給気
$T = T_k \sim$	遊脚の膝屈筋から排気
$T = 0 \sim T = T_{sw}$	遊脚の股屈筋から排気
$T = 0 \sim T = T_{st}$	支持脚の股伸筋へ給気

歩行開始前に全ての筋肉にあらかじめ給気を行い、歩行中には特定の筋肉のみ給排気を行う。歩行開始前、歩行

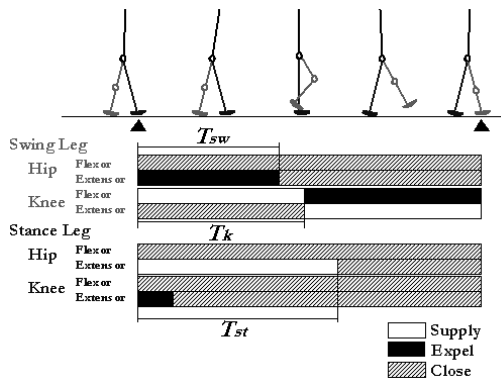


Fig.3 Control for travelling direction

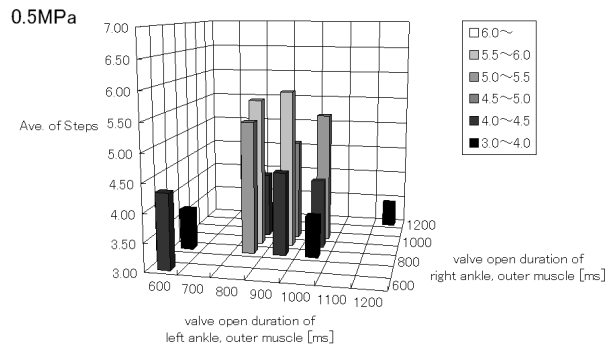


Fig.4 0.5MPa

中のそれぞれの給排気量及び操作タイミングが制御パラメータとなる。

#### 4. 進行方向制御

進行方向の制御と左右方向の制御に分けて考え、それぞれ以下のパラメータを調節する。

- 進行方向制御：膝・腰駆動タイミング ( $T_k$ ,  $T_{sw}$ ,  $T_{st}$ )
- 左右方向制御：足首筋への歩行開始前給気量

左右方向を手で支えながらロボットを歩かせる実験を繰り返し、進行方向制御パラメータを試行錯誤的に求めた結果、 $T_k = 400[\text{ms}]$ ,  $T_{sw} = 320[\text{ms}]$ ,  $T_{st} = 1500[\text{ms}]$ となった。

#### 5. 左右方向制御

##### 5.1 足首関節角度

左右両足首の計8個の筋肉のうち、前側、後側、内側の筋肉には充分な時間(4000[ms])給気して人工筋内圧が供給源圧力に等しくなるようにした。また、両足首外側筋への給気時間を刻み幅100[ms]でそれぞれ変化させて両足首ロール軸の角度を調節し、歩行に適した給気時間を調べた。各パラメータで20回以上の試行を行い、平均歩数を算出した結果をFig.4に示す。縦軸、横軸は右足首外側筋、左足首外側筋への給気時間を、高さ軸は各パラメータでの平均歩数をそれぞれ表している。足首関節筋への給気圧は0.5[MPa]、その他の筋肉への給気圧は0.55[MPa]に調節した。グラフ中央付近に平均歩数のピークが見られ、最適な足首角度が存在していることが読み取れる。

##### 5.2 足首関節剛性

次に、足首への給気圧を0.5[MPa]から0.65[MPa]に変化させて、歩行安定性に対する関節剛性の寄与を調べた[Fig.5]。給気圧0.5[MPa]時と比較すると、平均歩数のピークの高さが増加していることがわかる。

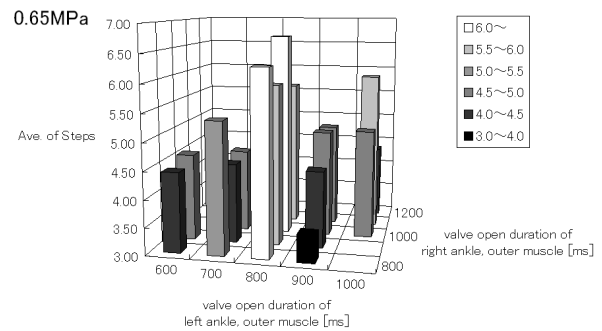


Fig.5 0.65MPa

#### 6. おわりに

今回の実験では、人型三次元二足歩行ロボットPneumat-BTを用いて、足首関節角度並びに剛性が歩行安定性に及ぼす影響について調べた。各剛性に応じて最適な足首関節角度があり、足首ロール軸の剛性を相対的に高めることにより平均歩数が上昇するという結果が得られた。今後の研究では、二足歩行ロボットにおける柔軟性と適応性の関係についてより詳しく調べていく予定である。

#### 参考文献

- [1] T.McGeer. Passive dynamic walking. *Int. J. of Robotics Research*, Vol. 9, No. 2, pp. 62-82, 1990.
- [2] Takashi TAKUMA, Koh HOSODA, and Minoru ASADA. Walking stabilization of biped with pneumatic actuators against terrain changes. *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 2775-2780, 2005.
- [3] 石川政行, 田熊隆史, 細田耕, 浅田稔. 拮抗型空気圧人口筋をもつ3次元2足ロボットの試作と歩行の実現. *ロボティクス・メカトロニクス予稿集*, Vol. CD-ROM, 1A1-S-043, 2005.