

空気圧拮抗駆動型歩行ロボットにおける受動性

大阪大学大学院工学研究科 田熊 隆史, 細田 耕

Passivity of a Biped Provided by Antagonistic Pairs of Pneumatic Actuators

Takashi Takuma, Koh Hosoda, Osaka University

Abstract— Antagonistic drive by a pair of pneumatic actuators is one of promising candidates to realize powered passive dynamic walking. In this paper, we investigate the contribution of compliance provided by the drive mechanism. We propose a controller that regulates the walking cycle by utilizing the compliance, and demonstrate the effectiveness by experiments.

1. 緒言

受動歩行ロボットは一切の駆動入力を用いず自己のダイナミクスのみを利用して歩行する。このようなロボットにわずかな入力を加える準受動歩行ロボットによって、自然でエネルギー効率のよい平面歩行やより安定な歩行を実現することができると考えられている。

準受動歩行ロボットを実現するための課題の一つはアクチュエータの選定である。例えば脚の振出時には初期に関節を駆動して初速を与えた後、ダイナミクスのみを用いて弾道学的に脚を振り出す。そのためアクチュエータは関節を駆動するだけでなくこれを受動的にする機能も求められる。従来開発されてきた準受動歩行ロボットでは減速比を極力小さくした電動サーボモータやダイレクトドライブモータが用いられてきた [1]。しかしこれらが駆動時に十分な力を出すためには大きなアクチュエータが必要となる。

一方で、準受動歩行を実現する別の方法として、空気圧による拮抗駆動が近年注目を集めている [2]。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、その重量に対する出力が大きく、また拮抗駆動を利用することにより関節を駆動することも自由にして弾道学的な運動を実現することもできるため、準受動歩行を実現するのに適していると考えられる。

空気圧による拮抗駆動の場合、充填した空気の圧力を調整することによって効率よく関節の弾性を変更することができる。このような弾性が準受動歩行に重要な役割を示すことを示唆する報告 [3] もあり、必ずしも関節を自由にするのではなく、弾性を持たせたまま歩行を実現することによって効率よい歩行を実現できるのではないかと考えられる。

本稿では、空気圧拮抗駆動によってもたらされる関節の弾性が二足歩行にどのような影響を及ぼすかを調べ、このような弾性を利用することによって歩行を安定化できる可能性があることを示す。また実験により、弾性を利用することによって歩行周期を変化させることができることを示す。

2. 拮抗型空気圧駆動ロボットの構成と歩行の実現

2.1 二次元拮抗型空気圧駆動ロボット

図 1 (a) に試作したロボット「空脚」を示す。ロボットは膝と腰に関節を持ち、四本の脚を持つ。この脚のうち外側二本と内側二本は連動して駆動し、進行方向と垂直な面上での転倒を防止している。腰部と腿部のリンク長はどちらも 0.3 [m]、全長は上部コントローラも含めて 0.75 [m]、幅は 0.35 [m]、重量は 5 [kg] である。

試作したロボットの関節駆動機構を図 1 (b) に示す。図のように関節には二つのアクチュエータが拮抗に配置されており、電磁バルブユニットによって駆動される。このユニットは給気と排気のパルプを持ち、一方を開けることでアクチュエータに空気を注入もしくは排出ができる。また両方のアクチュエータに適当な空気を注入した後給排気両方のバルブを閉めることによって、関節に適当な弾性を持たせることができる。以後、関

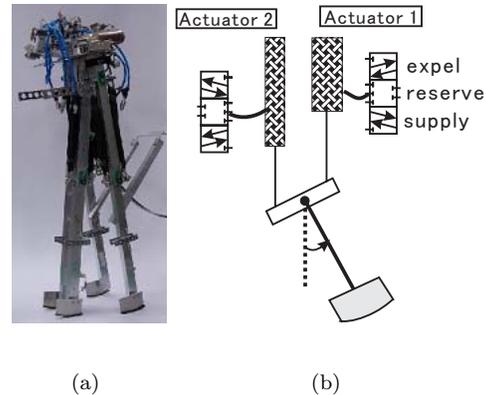


Fig.1 (a) 空気圧拮抗駆動型歩行ロボット「空脚」と (b) 拮抗駆動関節

節を駆動するアクチュエータに空気が残っているために受動的な動きをする関節を受動関節、アクチュエータから完全に空気が排気され自由に動くことのできる関節を自由関節と呼んで区別する。

2.2 歩行のための空気弁操作

図 2 に歩行のためのバルブ操作を示す。操作手順は以下の通りである：(i) 遊脚着地後 T_0 の間全てのバルブを閉じ、弾道学的運動を行う (ii) 脚振出と遊脚膝曲げ伸ばしのためのバルブ開閉を同時に行う。脚振出に関しては腰関節を駆動するアクチュエータの一方を給気、一方を排気して脚を前に出す。この時間を $S(k)$ とする (iii) 脚を受動的にし、遊脚が着地するまで弾道学的運動を行う。脚の受動化については、自由関節と受動関節でバルブ操作が異なる。

iii-1) 自由関節による脚振出の場合：

脚駆動後、駆動していた両アクチュエータの空気を排気する。十分時間が経過後排気バルブを閉じる

iii-2) 受動関節による脚振出の場合：

脚駆動後給気、排気バルブを閉じる。これにより適当な量の空気がアクチュエータに残り、弾性をもった関節となる

遊脚着地後、(i) に戻る。

ここで T_0 については実験より $T_0 = 32$ [ms] に固定した。また一方の脚が着地してから再び同じ足が着地するまでの時間を歩行周期と定義し、 $T(k)$ と表す。

3. 受動関節による歩行制御

本研究で扱う拮抗型空気圧駆動ロボットはバルブの開閉操作によって受動関節だけではなく受動的な弾性関節によっても歩行を行うことができる。そこで我々はこの二つの異なるダイナ

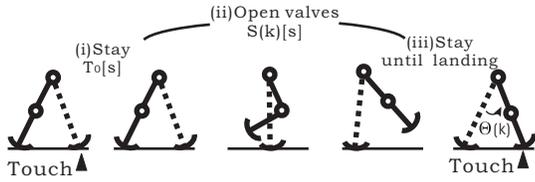


Fig.2 歩行のためのバルブ操作

ミクスが歩容に与える影響について調査し、弾性関節の有用性について考える。筆者らは先行研究 [4] によって、腰関節が受動関節であるときに、脚蹴り出しのためにアクチュエータに給気する時間 $S(k)$ と歩行周期 $T(k)$ に正の相関があることを実験によって示し、その相関より歩行周期を安定化する制御則を導出した。本稿では、腰関節が自由関節および受動関節時にこれらが歩行に及ぼす影響について調べる。

図 3 に腰関節が受動関節及び自由関節時の $T(k) - S(k)$ の相関を示す。図のように腰関節が受動関節の場合、 $S(k)$ と $T(k)$ の間に相関が見られた。一方で自由関節の場合、両者に相関が見られなかった。

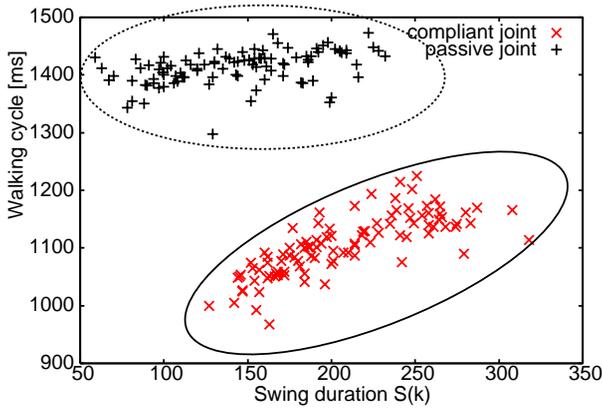


Fig.3 $S(k)$ と $T(k)$ の関係：腰が受動弾性関節時（実線囲み）と自由関節時（破線囲み）

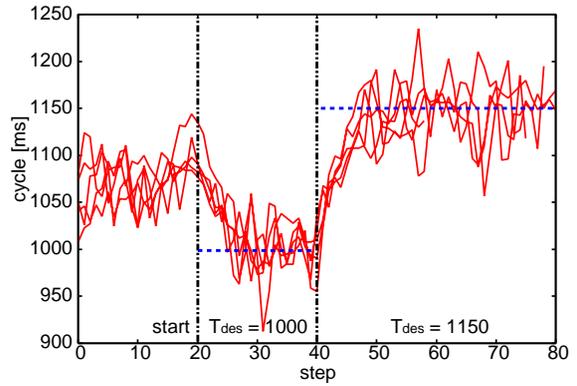
次に歩行周期を安定化させるため、受動関節による弾道学的歩行で得られた正の相関から次のような制御則を提案する。

$$S(k+1) = S_0 - K_p(T(k) - T_{des}) - K_i \sum_{i=k}^{i=0} (T(i) - T_{des}) \quad (1)$$

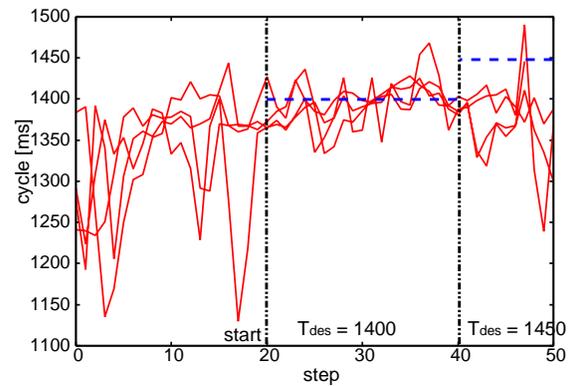
ここで S_0 は定数、 T_{des} は目標歩行周期、 K_p 、 K_i は正の定数である。いま $K_p = 0.2$ 、 $K_i = 0.1$ とし、腰関節が受動関節の時、目標歩行周期を $T_{des} = 1000$ [ms]（20-40 歩間）および $T_{des} = 1150$ [ms]（40 歩以降）とし、腰関節が自由関節の時、 $T_{des} = 1400$ [ms]（20-40 歩間）および $T_{des} = 1450$ [ms]（40 歩以降）として、各状態における歩行追従性を調べる。結果を図 4 (a) 受動関節時、(b) 自由関節時に示す。実験は各状態とも 5 回ずつ行った。図のように弾性関節時はフィードバック制御によって歩行周期が操作できるのに対し、自由関節時はフィードバック制御を行っても歩行周期は制御できないことが分かる。図 3 および図 4 より両者に相関を発生する要因は、腰の弾性関節であるといえ、関節に弾性をもたせることで制御が可能であることが分かった。

4. 結言

本稿では脚振出期の弾道学的運動を拮抗型空気圧駆動関節で実現する場合、これまでの受動歩行研究で扱われていた自由関節の他に、弾性を持った関節でも受動的に脚振出が可能である



(a) 受動関節時



(b) 自由関節時

Fig.4 歩行周期（実線）と目標歩行周期（破線）

ことを示した。次に遊脚駆動のための時間を変え、この時間が歩行周期に与える影響について調べた結果、腰関節が従来扱ってきた自由関節の時は正の相関が見られなかったのに対し、弾性を有する受動関節の時は正の相関が見られた。これにより受動関節は自由関節とは異なるダイナミクスを持ち、歩容に大きく影響を与えることが分かった。今後この受動関節が歩容に与えた影響の要因を解析し、より安定した受動歩行の実現を目指す。

参考文献

- [1] Y.Sugimoto and K.Osuka. Quasi-passive-dynamics-walking robot "quartet iii" based on delayed feedback control. In *Proc. of 5th Int. Conf. on Climbing and Walking Robots (CLAWAR2002)*, 2002.
- [2] M.Wisse and J. van Frankenhuyzen. Design and construction of mike ; 2d autonomous biped based on passive dynamic walking. In *2nd Int. Symp. on Adaptive Motion of Animals and Machines (AMAM)*, 2002.
- [3] Daniel Paluska and Hugh Herr. The effect of series elasticity on actuator work output. In *IROS Workshop on Morphology, Control, and Passive Dynamics*, 2005.
- [4] Takashi TAKUMA, Koh HOSODA, Masaki OGINO, and Minoru ASADA. Stabilization of quasi-passive pneumatic muscle walker. In *Proc. of 2004 IEEE/RSJ Int. Conf. on Humanoid Robots*, 2004.