

足首弾性関節を有する二足歩行ロボット

Control of the Biped Walk Utilizing the Compliant Ankle Joint

大阪大学 林 真司, 田熊 隆史, 細田 耕

Shinji HAYASHI, Takashi TAKUMA, Koh HOSODA
Osaka University

Abstract Ankle joint compliance plays an important role in humans' biped walking. On the other hand, a few researches have investigated the compliance of the biped robot. This report describes that the biped walker with the compliant ankle joints is developed and that different joint compliance provides different cyclic locomotion.

1 はじめに

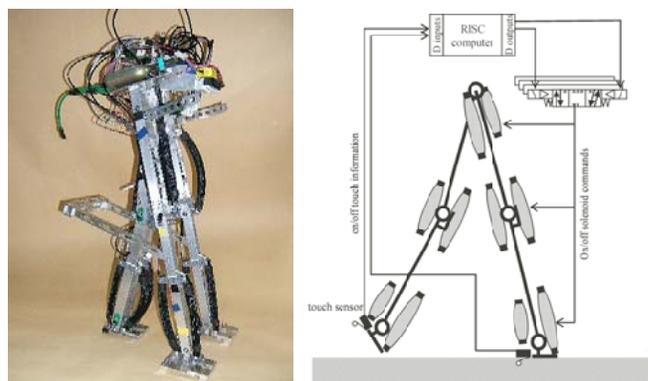
ヒトの歩行および走行において、関節の弾性が重要な役割を果たすことが運動生理学の分野で報告されている [1]。このような報告から、二脚ロボットが安定した歩行や走行、跳躍を実現するアプローチとして、関節の弾性を利用することは有効であると考えられる。しかしこれまでの二脚ロボットの多くは減速比の高い電動モータを用いるため [2]、その関節の剛性は高く、弾性を有した歩行を実現することは難しい。また一方で弾性を持つ空気圧アクチュエータを有する二脚ロボットもいくつか発表されているが [3]、これまで関節の弾性に言及したものはない。

本稿では関節の中でも足首関節の弾性に着目し、実機を用いて弾性が歩行に与える影響について調べる。弾性を有する関節を実現するために、空気圧アクチュエータの一種である McKibben 型人工筋を関節に拮抗に配置した。この人工筋の弾性を操作することで関節の弾性を変えることができる。そこで足首関節の弾性を変え、異なる足首弾性における歩行周期を観察し、足首関節が歩行に与える影響について報告する。

2 空気圧アクチュエータを有する二脚歩行ロボット

実機を試作するにあたり、関節の弾性を実現するために McKibben 型人工筋を使用する。McKibben 型人工筋は空気圧アクチュエータの一種であり、内部の圧力に応じて弾性が変わる。そこでこの人工筋を関節に拮抗に配置し、関節を駆動するだけでなく関節の弾性を操作する。試作した二脚歩行ロボットの全体図を図 1(a) に、関節駆動のためのシステム構成を図 1(b) に示す。

図のようにロボットは腰一自由度、両膝それぞれ一自由度、足首それぞれ一自由度の合計五自由度を持つ。関節を駆動する人工筋は電磁バルブ (SMC 社製 VQZ1321)



(a) Developed biped robot

(b) Control design for driving the joint

図 1: Developed biped robot (a) and the control design to drive the joint (b)

を開閉することによって伸縮する。電磁バルブは RISC コンピュータ (ルネサステクノロジ社製 マイクロコンピュータ H8/3069) からの開閉信号によって作動する。またロボットの足裏にはマイクロスイッチが付加されており、脚の着地を検出する。ロボットの高さは約 0.9 [m]、幅は約 0.26 [m]、重量は約 7 [kg] である。前額面内での転倒を防ぐために四本の脚を持ち、外側二本と内側二本の脚はそれぞれ連動して駆動する機構となっている。

3 歩行のためのバルブ操作

拮抗駆動する関節は、人工筋に給排気する時間を調整することで位置と弾性が変化する。そこで給排気バルブを開閉するタイミングを歩行パラメタとし、適切なパラメタを選ぶことで歩行の実現を図った。図 2 にバルブの開閉タイミングチャートを示す。歩行において、パラメタは二つの種類に分類される。一つは歩行前に予圧を与

え関節の弾性を操作する給気時間であり，もう一つは歩行中に関節を駆動およびその弾性を操作する給気/排気時間である．ここでは歩行パラメタのうち，足首関節に配置された拮抗筋両方に給気する時間 T_a を前者とし，タイムチャート中のバルブ開閉時間 T_s, T_w, T_b を後者とした． T_a の値が小さいとき関節は自由関節に近い特性を示し， T_a を大きくするにつれ弾性は大きくなる．ここではこの足首弾性関節の影響を調べるため，他のパラメタ，すなわち T_s, T_w, T_b については歩行可能なパラメタを探索し，その値で固定する．パラメタを探索した結果， $20 \text{ [ms]} \leq T_a$ に対して $(T_s, T_w, T_b) = (80, 100, 250) \text{ [ms]}$ のとき歩行が可能であることが分かった．ここで $T_a = 100 \text{ [ms]}$ のとき，ロボットは歩行周期 1.38 [s] ，歩幅 0.35 [m] ，歩行速度 0.51 [m/s] であった．

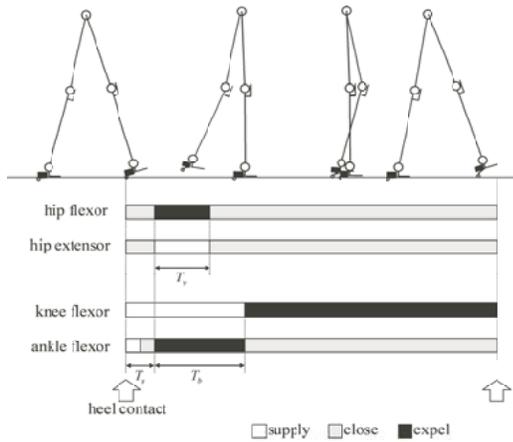


図 2: Valve open/close timing chart

4 実験

足首の弾性が歩行に与える影響を調べるために，足首の弾性を決定するパラメタ T_a を変え，歩行周期を観測した． T_a と歩行周期の関係を図 3 に示す．実験では $T_a = 20, 30, 50, 100, 200, \dots, 500, 800, 1000, 1500 \text{ [ms]}$ のときの定常歩行時の歩行周期の平均と分散 (各値につき 60 歩分) を観測した．図より， T_a が 20 [ms] から 500 [ms] の間歩行周期が若干短くなり，その後ほぼ一定の値を示していることが分かる． $20 \leq T_a \leq 500 \text{ [ms]}$ において， T_a の値が大きくなるにつれて足首の弾性が徐々に高くなることが確認された．また $500 \leq T_a$ においては関節はほぼ剛体に近く，歩行中は足首を回転することなく歩行すると考えられる．この結果より，歩行周期は足首の弾性に影響を受けると考えられる．

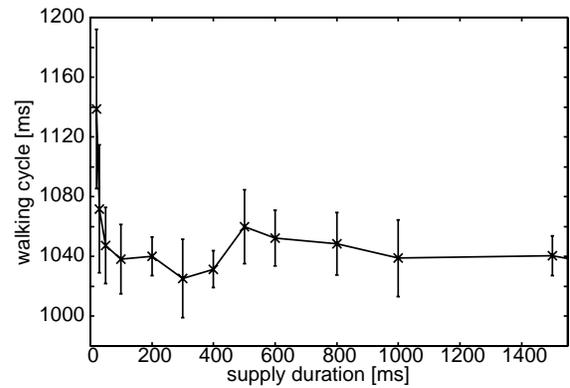


図 3: Relation between supply duration on ankle joint T_a and walking cycle

5 おわりに

本稿では足首が歩行に及ぼす影響を調べるために，McKibben 人工筋を拮抗に配置した二脚ロボットを試作し，異なる足首弾性における歩行周期を観察した．その結果，足首弾性によって歩行周期が変わることが確認された．足首関節は回転運動だけでなく，着地時の衝撃を吸収，解放するためにも重要な機構の一つである．跳躍運動において足首関節の弾性が跳躍の操作に重要な役割を果たすことが報告されていることから [4]，二脚ロボットが安定した歩行および走行を実現するために足首関節の弾性を操作することは，有効なアプローチであると考えられる．

参考文献

- [1] C.T.Farley and O.González, Leg Stiffness and Stride Frequency in Human Running, *Journal of Biomechanics*, Vol. 29, No. 2, pp.181-186, 1996
- [2] K.Akachi, K.Kaneko, N.Kanehira, S.Ota, G.Miyamori, M.Hirata, S.Kajita and F.Kanehiro, Development of humanoid robot HRP-3P, *Proceedings of 2005 IEEE/RSJ International Conference on Humanoid Robots*, pp.50-55, 2005
- [3] M. Wisse and A. L. Schuwab and R. Q. van der Linde and F. C. T. van der Helm, How to keep from falling forward : Elementary swing leg action for passive dynamic walkers, *IEEE Transactions on Robotics*, Vol. 21, No. 3, pp.393-401, 2005
- [4] 林 真司, 田熊 隆史, 細田 耕, 足首弾性関節を用いた 2 脚歩行 / 走行ロボットの制御, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2007 (発表予定), 2007