

# 足首弾性関節を用いた2脚步行 / 走行ロボットの制御

## Control of Biped Walking and Running Utilizing Compliant Ankle Joint

林 真司 (大阪大学)  
正 細田 耕 (大阪大学)

正 田熊 隆史 (大阪大学)

Shinji HAYASHI, Graduate School of Eng., Osaka Univ., 2-1 Yamadaoka, Suita, Osaka  
Takashi TAKUMA, Graduate School of Eng., Osaka Univ.  
Koh HOSODA, Graduate School of Eng., Osaka Univ.

One of the issues of a biped robot is to realize jumping and running as well as walking. The compliance of the ankle joint is supposed to be a key for realizing stable running. This paper reports the relationship between the ankle joint compliance and jumping motion. An experimental result shows that the ankle joint compliance changed success rate and direction of jumping. This result suggests that the feedback controller can be constructed.

**Key Words:** running robot, ankle joint compliance, feedback controller

### 1 はじめに

二脚ロボットが実現すべき課題の一つは走行である。これまで Raibert らは空気圧シリンダを用いたホッピングロボットを試作し、走行を実現した<sup>1)</sup>。しかし、そのロボットの機構および制御則は走行に特化したものであり、歩行することは困難である。ASIMO<sup>2)</sup>、HRP-2LR<sup>3)</sup>は減速比の高い電動モータを用いて歩行および走行の両方を実現した。そのため、関節の剛性は高く、着地時の衝撃によりモータを破損するおそれがある。また高速かつ高出力で関節を駆動するモータは質量が大きいためロボット全体の重量が大きくなる。更にエネルギーを保存することができないためエネルギー効率が悪い。これにより、これらのロボットがより高速で走行することは難しいと予想される。一方空気圧アクチュエータの一種である McKibben 型人工筋は質量が小さくかつ弾性を持つため、走行に適したアクチュエータであるといえる。このアクチュエータを関節に拮抗配置することで関節の弾性を操作することができ、歩行/走行中にロボットのダイナミクスを変化させることができる。これまで中本らは McKibben 型人工筋を関節に拮抗配置した二脚ロボットを用いて試行によってパラメータを決定し、歩行および走行を実現している<sup>4)</sup>。

本件では McKibben 型人工筋を拮抗に配置した2次元2脚步ットを用いて、安定した走行を実現するためのフィードバック制御則の構築を目指す。本報告ではその予備段階として跳躍実験を行い、足首関節の弾性が跳躍運動に影響を与えることを実験によって確認する。これにより Raibert らの提案したフィードバック制御則のように、走行の状態によって足首関節の弾性を変化させることで跳躍方向を操作し、安定した走行が実現できると期待される。

### 2 ロボットの構成

実験で使用するロボットの概観を Fig.1 に示す。ロボットの全高は約 900[mm]、全幅は約 260[mm]、全重量は約 7.00[kg] である。ロボットは2次元平面内を運動するように、内側の脚2本(内脚)および外側の脚2本(外脚)がそれぞれ連結された構造となっている。自由度は腰、両膝、

両足首それぞれピッチ軸の合計5自由度である。腰部、腰部と膝の間および膝と足首の間にそれぞれ McKibben 型人工筋を拮抗に配置しており、アクチュエータを伸縮させることによって各関節を駆動させることができる。またアクチュエータの内圧を変えることで自身の弾性を変えることができる。これより、アクチュエータに給気する時間を調節することで、関節の弾性を変えることができる。

次に、関節駆動機構の概略図を Fig.2 に示す。McKibben 型人工筋への給排気はソレノイドバルブ (VQZ1321, (株)SMC 社) の開閉操作によって行う。また、バルブ開閉はロボット上部に搭載した H8 マイコン (H8/3069F, (株)ルネサステクノロジ社) によって制御する。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する。さらに、内脚、外脚両方の足裏の踵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。

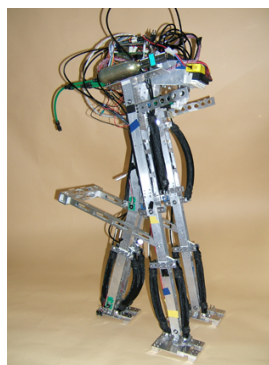


Fig.1 2D running pneumatic robot

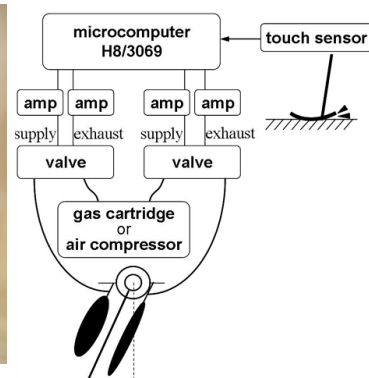


Fig.2 System

### 3 動作パターンの生成

McKibben 型人工筋には非線形性やヒステリシスといった特性がある。そのため、電動モータを用いたロボットのようにモデルを構築し、解析的に制御器を導入するといったことは困難である。そこで、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則を構築し、バルブの開閉時間を調整することで跳躍を実現する。

生成した動作パターンを Fig.3 に示す。直立姿勢から膝関節を可能な限り屈曲させ、腰が足首の真上になるようにする。次に、膝関節の伸展と足首関節の底屈による蹴り出しを行い跳躍する。このとき、足首関節の底屈を膝関節の伸展よりも少し遅らせることで垂直方向への跳躍が可能となる。離床後、着地の衝撃をアクチュエータの柔軟性で吸収できるように跳躍中に膝をある程度屈曲させ、爪先から着地する。このとき、足首の底屈筋からの排気時間である  $T_a$  [ms] を変化させることにより、着地時の足首関節の弾性を操作することができる。着地時の足首関節の弾性は  $T_a$  が小さいほど高く、大きいほど低くなる。

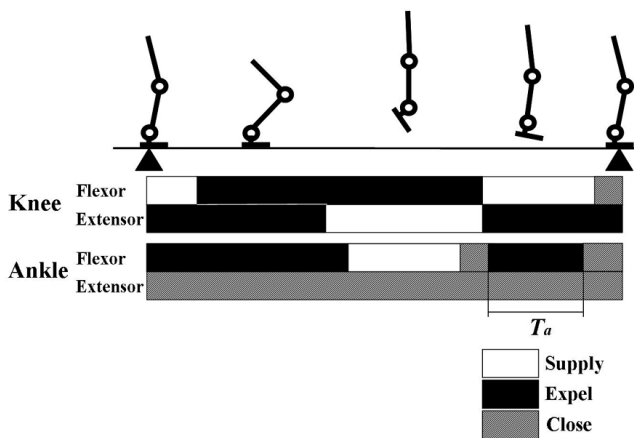


Fig.3 Valve operation for jumping

#### 4 跳躍実験

着地時の足首関節の弾性の变化がロボットの運動に及ぼす影響について調査するために以下の跳躍実験を行った。

$T_a$  を 0~120[ms] まで 20[ms] 間隔で変化させ、各  $T_a$  に対して、連続跳躍回数と転倒時の跳躍方向について観察した。転倒方向についてはロボットが着地後に前方に倒れこむ場合は 1、後方に倒れこむ場合は -1 とした。試行は各  $T_a$  に対してそれぞれ 20 回行い、跳躍回数と転倒方向の値の平均値を計算した。連続跳躍回数の結果を Fig.4 に、転倒方向の結果を Fig.5 に示す。

$T_a$  が小さいときは、足首関節が硬すぎるため着地後も足首関節はほとんど動かずに爪先立ちとなる。そのため、姿勢が不安定で連続して跳躍することが難しかった。また、着地後ロボットは後方へ倒れこむ傾向にあった。

$T_a$  を大きくしていくに従い跳躍回数は増え、 $T_a = 100$ [ms] のときに最も多くなり、最大 4 回連続で跳躍することができた。これは、 $T_a$  が大きく足首が柔らかいときは、爪先から着地した後、足裏全体で立つために連続して跳躍することができたと考えられる。また、 $T_a$  が 80[ms] より大きくなる。これより、着地後にロボットが前方に倒れこむ傾向にあった。

着地時の足首関節の弾性の变化によって、着地後のロボットの運動が変化することが確認できた。

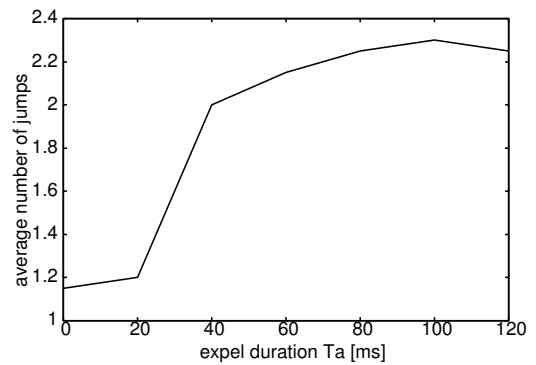


Fig.4 Average number of jumps

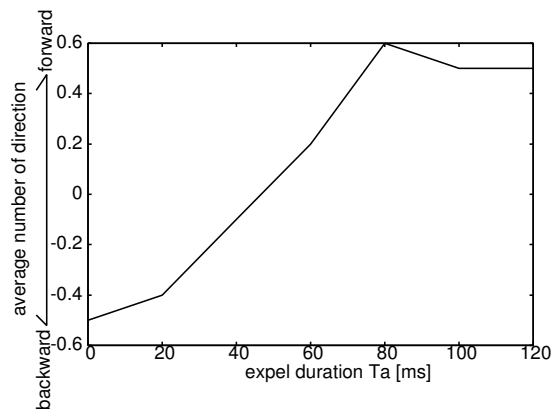


Fig.5 Average number of direction

#### 5 おわりに

本稿では跳躍運動を行い、着地時の足首関節の弾性がロボットの運動に影響を与えることを確認した。着地時に足首関節の弾性が高いと後方へ倒れこみ、逆に弾性が低いと前方に倒れこむ傾向があることが確認できた。

これらの結果を用いて、今後は走行の状態によって足首関節の弾性を変化させ、跳躍方向を操作するフィードバック制御則を構築を目指す。そして、安定した走行の実現を目指す。

#### 参考文献

- [1] M.H. Raibert, "Legged Robots That Balance", The MIT Press, 1986
- [2] <http://www.honda.co.jp/ASIMO/>
- [3] Shuuji Kajita, Kenji Kaneko, Kazuhito Yokoi, Kazuo Tanie, "A Running Experiments of Humanoid Biped", Proc. of the 2004 IROS, pp136-141, 2004
- [4] 中本厚, 田熊隆史, 細田耕. "歩行・走行を実現する空気圧拮抗駆動 2 足ロボットの開発と実験", ロボティクス・メカトロニクス予稿集, 2006.