

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題(和文)	4足歩行機械の知能的歩容決定に関する研究 その5
Title	
著者(和文)	広瀬茂男, 菊池秀和, 梅谷陽二
Authors	SHIGEO HIROSE
出典 / Citation	第1回日本ロボット学会学術講演会, , , 117-118
Citation(English)	, , , 117-118
発行日 / Pub. date	1983, 12
権利情報 / Copyright	本著作物の著作権は日本ロボット学会に帰属します。 Copyright (c) 1983 The Robotics Society of Japan.

1. まえがき

歩行機械は、高い荒地踏破性を備えた新しい型の移動システムに成り得る。これまでその制御系については、Fig.1の様な階層構造を持つ方式が有効であることを述べてきた<sup>1)</sup>。そして、そのうちの上位に位置する歩容決定<sup>2),3)</sup>、経路決定<sup>3),4)</sup>についてはいくつかの考察を行った。しかし、下位の制御系、つまり重心高さと同体姿勢を適切に保持するという制御系については、それについての最も基本的な吟味を行ったのみであり、十分な考察はしていなかった。そこで、本報ではこれらの考察をさらに発展させ、より滑らかな重心高さ制御と同体の水平保持を行うための鉛直方向運動目標値生成法を論ずる。

2. 重心高さの制御

歩行機械の足先の鉛直方向運動には可動範囲が存在するので、荒地上において同体重心が不必要に高い、あるいは低い姿勢を

とった場合には、足先が地面に届かない、あるいは障害物に接触する等の歩行阻害が多発する。したがって重心は地面との距離を適切に保つ様に地面の起伏に追従していかなければならない。しかし、歩行機械が一歩でまたぎ越してしまう様な空間周波数の高い凹凸にまで重心運動を追従させるのは逆に望ましくない。

そこで、ここで<sup>3)</sup>は任意のあるステップを実行する間の重心高さ制御を、そのステップの最初に設定した「仮想支持面」と同体重心との鉛直距離をステップ終了時に指定された一定値となる様に制御するという方式を導入する。ここでいう仮想支持面には、歩行体の現在位置付近の地面を近似する回帰平面を使用する。回帰平面を決定する情報は、視覚を有する場合は現在位置前後の測定情報を、有さない場合は歩いて来た過程で得た後方の地形情報、つまり接地点情報を用いる。

このような制御方式の具体的な手順を以下に示す。ステップ開始時( $t=0$ )に支持脚 $i$  ( $i=1\sim 4$ )の足先座標が重心座標系で $z_i(0)$ であり、仮想支持面を

$$z = fx + gy + h \dots (1)$$

とすると、ステップ終了時( $t=T$ )に重心が(1)の平面から高さ $H$ にあるための足先座標 $z_i(T)$ は次の様に示される。

$$z_i(T) = z_i(0) - (\Delta z + h + H) \dots (2)$$

ただし、 $\Delta z = f\Delta x + g\Delta y$ 、 $(\Delta x, \Delta y)$  はステップ中の重心移動量である。重心を、ステップを通して等速で上下動させるとすると、

$$z_i(t) = z_i(0) - (\Delta z + h + H)t/T \dots (3)$$

となる。(3)式による制御によれば、次のステ

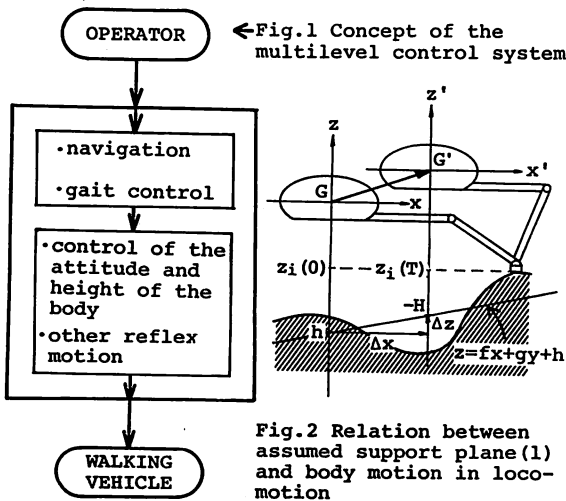


Fig.2 Relation between assumed support plane (1) and body motion in locomotion

ッパに移行して仮想支持面が変化するたびに重心は折れ線状に動いてゆくが、実際の支持面が完全な傾斜平面の場合は、重心と平面の鉛直距離がHに保たれる動作を生ずる。具体例として、Fig. 3に段と波状地形に対する重心軌跡をシミュレートした結果を示す。このシミュレーションでは視覚は無いものとし、過去の前脚足先接地点6個から最小自乗法によって得た回歸平面を仮想支持面としている。Fig. 3(a)の破線は従来の方式<sup>1)</sup>による軌跡であり、これに比較すると本方式がより互方向運動制御を改善していることがわかる。

### 3. 胴体の水平維持

歩行機械の胴体は、制御の簡潔化、鉛直駆動と水平駆動の分離によるエネルギー効率の向上、輸送手段としての利点等の理由により、常にその姿勢を水平に維持すべきであると筆者らは考えている。

先に述べた(3)式が各支持脚について完全に満たされているのであれば、一度水平になった胴体姿勢は崩れることはない。しかしながら現実の機械においては、サーボ系の残差や脚および地面のコニアライアンスにより、(3)式だけで制御目標値を生成したのでは水平は保持し得ない。そこで、胴体の傾斜を測定してその傾きを0にする様な各支持脚足先の互方向目標値を生成することを考える。このとき、各目標値は(3)と異っても、全支持脚での平均は同一である様に行う。すなわち

$$\bar{z}_i(t) = \bar{z} = \bar{z}_i(0) - (\Delta z + h + H) t / T \dots (3)'$$

を満たす様にする。ここで $\bar{z}$ は全支持脚についての平均を表す。現在の足先座標が重心座標系で $(x_i^m, y_i^m, z_i^m)$ であり、胴体のピッチ角、ロール角が $\theta_p, \theta_r$ と測定された時、 $\theta_p$ と $\theta_r$ は共に微小として、仮に

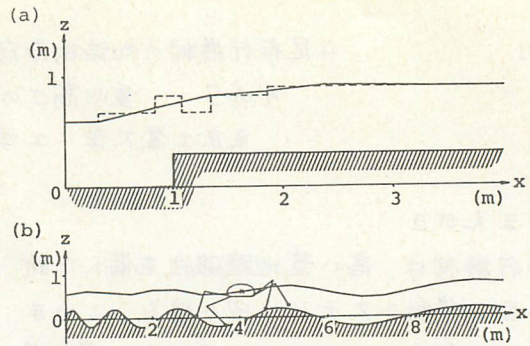


Fig. 3 Trajectories of body center in (a) step terrain and (b) undulating terrain

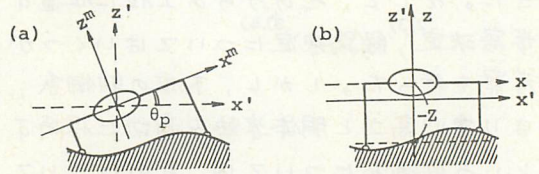


Fig. 4 The basic principle of inclination control of the body posture  
(a) Attitude adjustment  
(b) Height adjustment

$$z_i' = z_i^m + x_i^m \theta_p + y_i^m \theta_r \dots (4)$$

なる目標値 $z_i'$ を与えれば姿勢は水平に戻る。

さらに $\bar{z}_i(t)$ を(3)'式の $\bar{z}$ に一致させるには、

$$z_i(t) = z_i' + (z - \bar{z}_i') \dots (5)$$

とすればよい。(4)、(5)をまとめて

$$z_i(t) = z_i^m + (x_i^m - \bar{x}_i^m) \theta_p + (y_i^m - \bar{y}_i^m) \theta_r + z - \bar{z}_i^m \dots (6)$$

なる目標値 $z_i(t)$ を与えれば、胴体姿勢の水平維持と、2.に述べた重心高さ調整を同時に行ってゆけることになる。(Fig. 4)

### 4. まとめ

歩行機械の胴体の高さや姿勢の制御について考察し、一部シミュレーションによりその有効性を示した。今後は実機の制御にこの手法を用いてその特性を検証し、さらに動特性や処理時間を考慮に入れた制御方式を追求してゆきたいと考えている。

<参考文献> 1) 広瀬, 梅谷: 計測自動制御学会論文集 16-5 (1980) 2) 広瀬, 岩崎, 梅谷: 同 18-2 (1982) 3) Hirose, Nose, Kikuchi, Umetani: Proc. of 1st ISRR (1983) 4) 広瀬, 菊池, 梅谷: 第25回自動制御連合講演会予稿集, 331/332 (1982)