

## 4 足歩行ロボットの動歩行について

木 村 浩\*

### 1. はじめに

従来行なわれてきた歩行ロボットの研究は、着地足で作る多角形上に重心をおき常に静的な安定を保つ「静歩行」と、静的には不安定であるが動的に安定を保つ「動歩行」に大別される。静歩行においては制御が容易であるので不整地歩行を実現し易いという特徴があり、動歩行においては移動速度や消費エネルギーの点で優れているという特徴がある。

二足歩行ロボットの動歩行研究<sup>1)</sup>が盛り上がった後、1983年頃に次は四足歩行ロボットに動歩行を行なわせようという気運が起こってきた。四足動歩行研究を始めたグループには、一足ホッピング、二足動歩行、四足静歩行などからの参入組が多く、アプローチはそれぞれ異なりながらも、背景には、ロボットを四足動物のように歩かせて見たいという動機が、少なからずあったと思われる。大体において歩行とは簡単な動作の繰り返しであるが、潜在的に持っている自由度は多く、時間的にも空間的にも非常に複雑な運動である。しかし、人間や動物は普段何気なく歩行しているように見え、どのようにしたらロボットを動物のように歩かせることができるかは、必ずしも明らかではなかった。本稿では、「動歩行の持つ利点を生かすために、どのようにロボットを歩かせたら良いか」という問題について、筆者が東京大学工学部三浦・下山研究室在学中に行なった研究を中心に述べてい

トロット：対角の脚が同時に動く

ベース：左右について同側の脚が同時に動く

バウンド：前後について同側の脚が同時に動く

と呼ばれている(図1)。

Hildebrand は、デュティ比(ある脚が歩行の1サイクルで着地している割合)と歩容の関係を馬や犬について詳細に調べている<sup>2)</sup>(図2)。

### 2.2 四足動歩行ロボットによる歩容の実現

四足ロボットの研究においても、これまでに上記の3つの歩容を実現しようという試みが数多くなされており、トロット<sup>3)~6)</sup>やベース<sup>3),7)</sup>がすでに実現され、バウンド実現のための解析<sup>8),9)</sup>が行なわれている。さらに、トロットとベース間の歩容の遷移<sup>10),11)</sup>や、トロットやベースによるヨー軸まわりの旋回<sup>12),13)</sup>が実現されている。また、四足走行では Raibert らによって三つの歩容とトロットによる旋回が、ホッピングロボットにより実現されている<sup>14),15)</sup>。

### 3. 四足動歩行の安定制御

歩行ロボットの制御では、まず第一に、倒れずにいかに安定に歩行を持続するかが重要である。四足歩行ロボットの動歩行実現のための制御方法は、大きく次の3つに分けられる。

(a) 静歩行においては、重心を着地足が作る多角形上におくことにより、静的安定を保つことができる。動歩行においても、重力項の他に慣性力項・遠心力項・コ

### 2. 四足歩行の歩容について

#### 2.1 歩容

四足動物を観察していきまず目につくのが、歩容である。歩容とは、各脚の動きの位相差によって区別される歩行形態のことである。例えば、四脚における基本的な歩容として、二脚が対になって動く歩容が動物で観察され、それぞれ

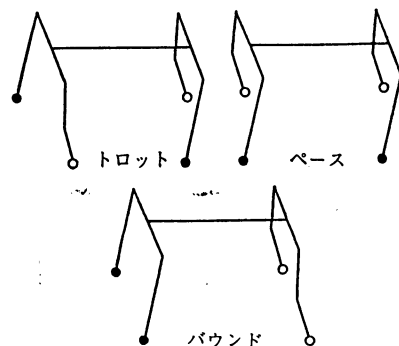


図1 四足歩行の代表的な歩容

原稿受付 1993年2月10日

Dynamic Walk of the Quadruped Robot

\* 電気通信大学

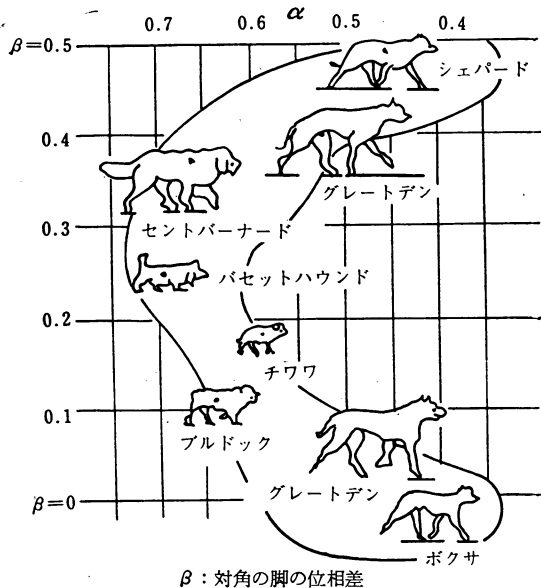


図2 いろいろな犬の歩容

リオリ項等を考慮した ZMP (Zero Moment Point) を用いて同様の判断を行ない、ZMP を着地足が作る多角形上に常におくような軌道と制御を用いる。

(b) 足底の大きさに頼ることなく歩行できるように、支持脚を基点とした倒立振子モデルに基づく軌道と制御を用いる。このとき、ZMP は必然的に着地足を結んだ線上にくる。このとき、短い2脚支持期に慣性の大きな倒立振子に対して有効な制御を行なうことは難しいので、歩行の安定化は2脚支持期→両脚支持期→2脚支持期という相変化を利用して行なわれる。

(c) 走行のように跳躍相が現れる場合には、同様に相変化を利用して、着地時の脚位置を制御することにより安定化を行なう<sup>14)</sup>。

広瀬らは、歩行中 ZMP が前に移動するにともなって ZMP を着地足が作る多角形から出ることを防ぐために胴体を横に揺動させる方法を提案している<sup>9)</sup>。これは慣性の大きな胴体を不必要に加減速することになり、動歩行が静歩行に対してもっている高効率性を損なう恐れがある。また、トロット歩容では重心が着地足対角線上の比較的近くにあるので、ZMP を着地足が作る多角形におく軌道も可能であるが、ペース歩容やバウンド歩容では大きな足底と足首アクチュエータが必要となり難しい。

倒立振子モデルでの制御は、胴体が重力により倒れ自然に揺動が生じる。この運動が不安定にならないように、二足ロボットの動歩行制御と同様な制御が必要である<sup>9), 10)</sup>。また、歩行周期が長くなると揺動振幅が大きくなり制御は難しくなる。従って、あまり歩行周期を長く

とることができない。

いずれの制御方式も従来、一足や二足歩行ロボットにおいて用いられてきた制御の延長であり、四足歩行ロボットにおける動歩行の実現はより易しいものである。その端的な例としては、一つのアクチュエータのみで機構的に構成した歩行ロボットのトロットや<sup>17)</sup>、まったくアクチュエータを持たない歩行ロボットの下り坂でのトロット<sup>18), 19)</sup>が実現されている。いずれにしても、筆者らはトロットとベースによる動歩行を一旦実現してしまうと、少なくとも平地での四足ロボットの動歩行制御自体はそれほど難しくないと認識するようになった。そこで、よりうまく動歩行するためにはどうしたらよいかという、歩行解析や力学の問題にもう一度立ち戻ることにした。

#### 4. 指標に基づく歩行解析

ロボットによる四足動歩行の実現がまだ遠い先のことと考えられていたころ、歩行の研究といえば動物などの歩行解析であった。

Hildebrand は、図2の結果から、動物は、体の大きさ(主に脚長)に応じて歩容が異なることや、移動速度に応じて歩容を変えることが観察され、そこに何らかの最適化がなされていることを指摘している。

この他にも、これまでに多くのいわゆるバイオメカニズム関連の研究者らが、動物を機械システムとみなして、その歩行の解析やモデル化を試みている<sup>20)</sup>。その結果は大変興味深く、歩行ロボットにおいて参考になる点も少なくないが、実際の歩行ロボットをどのように作り・動かすかを明らかにすることは、やはりロボット研究者の仕事と考えられる。

以下、改めて、歩行の指標とパラメータを考え、四足動歩行を解析した結果について述べる。

##### 4.1 移動機能としての指標

歩行を移動という点からとらえると、重要なのは、最大移動速度や移動効率という指標であり、これらは、倒れる・滑る・つまづくといった事態が生じない限り、制御ではなく力学の問題となる。そこで、本稿では、歩行という運動を移動機能という観点から解析・評価する指標として、「安定性」、「最大移動速度」、「移動エネルギー」の三つを導入する。

##### 4.2 歩行のパラメータ

ある歩行ロボットについて不変のパラメータを「大域的なパラメータ」と呼び、可変のパラメータを「局所的なパラメータ」と呼ぶ。ここでは便宜的に、以下の分類を行う。

〔大域的なパラメータ〕

・脚の自由度構成

- ・脚の本数
- ・使用アクチュエータ
- ・胴体や脚の長さ、質量、慣性モーメントなどの物理量

大域的なパラメータは、ロボットの設計時に決定される。これまで多くの脚ロボットが製作され、実験が行われてきたが、これらのパラメータと指標との関係を扱った研究は少ない<sup>21), 22)</sup>。

#### 〔局所的なパラメータ〕

- ・歩容
- ・デュティ比
- ・移動速度、歩行周期、歩幅
- ・胴体高さ、遊脚振り上げ高さ

局所的なパラメータは、歩行計画時に決定される。

以下、これらの指標とパラメータの関係を簡単な力学モデルに基づいて解析した結果について述べ、四足ロボットの歩行計画と設計への適用を考える。

### 4.3 歩行ロボットにおける指標と歩行周期の力学的関係

#### 4.3.1 歩行の安定性と歩行周期

歩行ロボットの力学系を、支持脚足首のアクチュエータが存在しない倒立振子のモデルで表す。このような倒立振子は静的には不安定であるので、この系を倒れないように制御し続けることは難しい。歩行においては、ある時間内に遊脚を着地させることにより、支持脚が倒れすぎることを防いでいる。倒立振子の系において、歩行周期 $T$ が大きくなると支持脚の運動の振幅が大きくなり倒れる危険性がでてくる。すなわち、安定な定常歩行が可能な最大周期 $T_{\max}$ が存在する<sup>3)</sup>。

#### 4.3.2 最大移動速度と歩行周期

デュティ比 $\alpha$ 、移動速度 $V$ 、歩行周期 $T$ 、歩幅（胴体に対する遊脚の振り出し幅） $S$ の間には、次の関係が成り立つ。

$$V = \frac{S}{\alpha T} \quad (1)$$

(1)において、移動速度 $V$ を上げるためには、歩幅 $S$ を大きくするか歩行周期 $T$ を小さくすればよい。このとき、移動速度の上限値は、遊脚を駆動するアクチュエータの出力限界 $U_{limit}$ より決定され、次式となる。

$$V \leq \frac{U_{limit}}{24 J} l T. \quad (2)$$

ここで、

$J$  : 遊脚の慣性モーメント、 $l$  : 脚長、 $\alpha=0.5$ 。

この式より、移動速度を上げるために歩行周期を小さくすることは最大移動速度の点から得策でなく、できるだけゆっくりとした周期と大きな歩幅で歩行することが

望ましいことが分かる。そして、 $U_{limit}$ が比較的小さいときには、最大移動速度 $V_{\max}$ は4.3.1で述べた $T_{\max}$ によって制限される<sup>3)</sup>。

$$V_{\max} = \frac{U_{limit}}{24 J} l T_{\max} \quad (3)$$

すなわち、移動速度を上げるためには安定に歩行可能な周期をできるだけ大きくすることが望ましい。一般に、長い倒立振子棒ほど立て易く、また、普通の振子では周期はひもの長さによって決定されることはよく知られている。歩行ロボットにおいても、倒立振子モデルによる簡単な解析によると、各基本対称歩容における安定な歩行周期は脚長の平方根に比例することが示される<sup>23)</sup>。このことは、歩行ロボットの設計において動歩行のためには、脚長を長くとり、できるだけ重心を高くすることが望ましいことを意味しており、静歩行の場合とは反対になることは興味深い。

#### 4.3.3 移動エネルギー

電動モータを用い高トルクを大電流より得る歩行ロボットでは、歩行時に消費されるエネルギーのうち最大のものは、次式で表されるジュール熱損失である。

$$E_e = \int_0^T \sum_{i=1}^h R_i \left( \frac{\tau_i}{G_i K_i} \right)^2 dt \quad (4)$$

ここで、 $\tau_i, R_i, G_i, K_i$ は、それぞれ、関節トルク、電機子抵抗、減速比、トルク定数。

このとき、単位距離移動するのに要するエネルギー（以下、単に、移動エネルギー）は、次式となる。

$$P = \frac{E_e}{V_G T} \quad (5)$$

歩行を計画するときに現れる多くのパラメータは、この移動エネルギー $P$ を最小にする条件より求めることができる<sup>3)</sup>。

### 4.4 四足動物における指標とデュティ・ファクタの力学的関係

4.3では歩行の指標と周期の関係について解析を行ったが、4.2で述べた多くのパラメータすべてについて解析を行うことは容易ではない。これに対して、動物の歩行を解析することは、歩行のような複雑な運動を考える上での知見を与えることが期待できる。それは、動物はなんらかの意味で最適な歩行を本能または経験により実現していると思われるからである。

4.3の解析結果と関連して、下山らは、大きさの異なる2匹の犬の歩行について、脚長とデュティ・ファクタまで含めた解析を行っている<sup>24)</sup>。

まず、デュティ・ファクタ $\alpha$ と対角の脚の位相差 $\beta$ の関係は、図3に表される様に、ある一定の分布をとる。このグラフ上で、□印と×印はそれぞれ、脚長33cmの柴犬と脚長48cmのセッターを表している。これは、

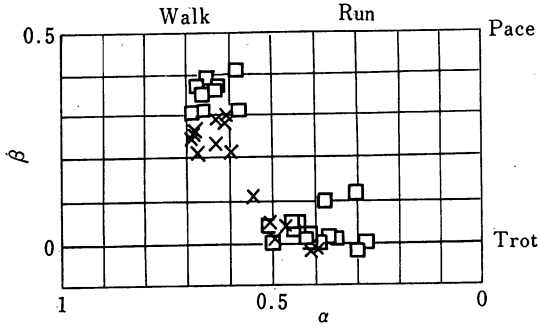


図3 犬におけるデューティ・ファクタと歩容の関係

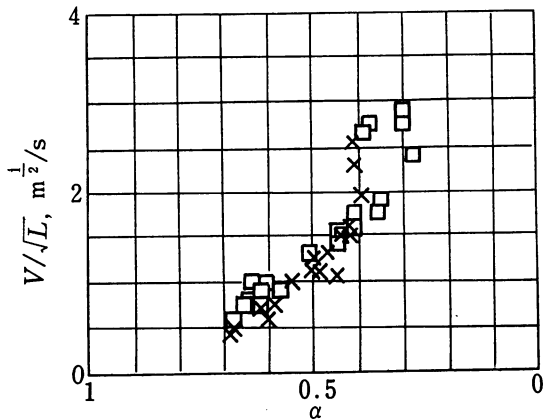


図4 犬におけるデューティ・ファクタと移動速度の関係

Hildebrand<sup>2)</sup>の結果とよく一致している。

ここで、脚長 $L$ を用いて歩行周期 $T$ 、歩幅 $S$ 、移動速度 $V$ を次のように正規化する。

$$T^* = T/\sqrt{L}, S^* = S/\sqrt{L}, V^* = V/\sqrt{L} \quad (6)$$

このとき、正規化された歩幅 $S^*$ はデューティ・ファクタ $\alpha$ によらず一定であることが観察され、移動速度 $V^*$ とデューティ・ファクタの関係は図4となる。このグラフ上で、□印と×印の分布はほぼ一致しており、正規化することにより脚長の影響を排除できることが分かる。

#### 4.4.1 犬とロボットの歩行の比較

図4の關係の物理的な意味を考えるために、犬の場合の実験結果と、犬と同じディメンジョンをもつ四足歩行ロボットの力学モデルを使って計算した結果を比較する。ここで、以下の仮定を設ける。

- (a) 単位距離移動するのに要するエネルギー $P$ は、(5)で定義される。
- (b) 軌道は、 $\alpha, \beta, T, V$ を決めれば一意に定められる。
- (c) 正規化された歩幅 $S^*$ は、一定である。
- (d)  $\beta$ は $\alpha$ の関数として、図3で与えられる。

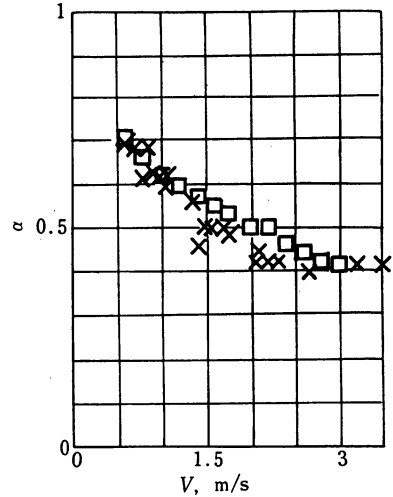


図5 移動エネルギーを最小にするデューティ・ファクタの計算例

このとき、ある移動速度 $V$ に対して、移動エネルギー $P$ の最小値を与えるデューティ・ファクタ $\alpha$ を計算により求めたものが、図5の□印である。この図には前節で述べた犬の実測データ(×印)もあわせて示してあるが、よく一致している。これより、アクチュエータの性質の違いなどにもかかわらず、実際の動物の歩行が四足歩行ロボットにとって最適なものであるという仮定が成り立つ。さらに、動物は $P$ を最小にするために図3、4で示される歩行を行っているとは仮定すると、歩行ロボットにおいても図3、4を満たすように $\alpha, \beta, T$ を決定することにより、 $P$ を最小にする歩行を達成することができるであろう。

## 5. 制御入力の変長性を利用した制御

4. で述べた歩行計画により歩行パラメータが決定されたならば、それを実現するために各アクチュエータがどのような出力をするかが重要である。

通常、四足動物や歩行ロボットは歩行に最低限必要な自由度以上の自由度を持っている。このことは、歩行には冗長性が存在していることを意味しており、この冗長性をどのように使うかは、より良く歩くために重要であると考えられる。

ここでは、複数脚接地による拘束のために生じる制御入力の変長性を利用した動歩行とヨー軸まわりの旋回について述べる<sup>12)</sup>。

### 5.1 負荷の分散による制御入力の最適化

図6において、ある脚が接地しているときには6個の拘束条件が存在するので、 $j$ 本の脚が着地しているとき

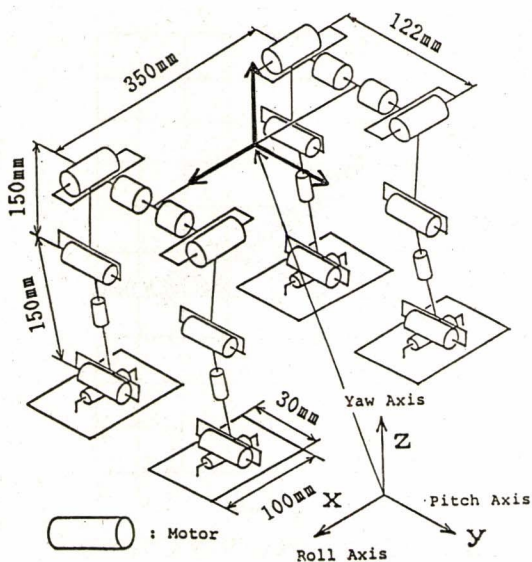


図6 歩行ロボットのモデル

には,

$$e(q)=0 \in \mathbf{R}^m, \quad m=j \times 6 \quad (7)$$

という拘束条件が成り立つ。

このとき、系の運動方程式は次式となる。

$$M\ddot{q} = C\tau + g + h + d + E^t f \quad (8)$$

ここで,

$q$ : 状態変数

$\tau$ : 制御入力  $\in \mathbf{R}^k$ ,

$M(q)$ : 慣性行列  $\in \mathbf{R}^{n \times n}$ ,

$g(q)$ : 重力項,

$d(\dot{q})$ : 粘性摩擦項,

$f$ : 拘束力  $\in \mathbf{R}^m$ ,

$C \in \mathbf{R}^{n \times k}$

$h(q, \dot{q})$ : 遠心力項,

$$E = \partial e / \partial q \in \mathbf{R}^{m \times n} \\ = [e_{n-m+1}^t, \dots, e_n^t]^t.$$

この式において、 $E^t f$ の項以外は通常のリンクの運動方程式から得られ、 $E^t$ は、マニピュレータにおいてよく知られた、エンドエフェクタに働く力を関節トルクに変換するヤコビアン転置行列に相当する。

さらに、拘束条件(7)が成立するためには、拘束力は以下の関係を満たさなければならない。

$$(\text{法線方向拘束力}) \geq 0 \quad (9)$$

$|(\text{接線方向拘束力})|$

$$\leq |(\text{静止摩擦係数}) \times (\text{法線方向拘束力})| \quad (10)$$

(9), (10)が満たされる限り、拘束力の値の厳密な制御は必要でないといえる。このとき、(8)から拘束力 $f$ を消去すると、次式が得られる<sup>3)</sup>。

$$QC\tau = Q\{M\ddot{q} - (g + h + d)\} \quad (11)$$

ここで,

$$Q = E_p P \in \mathbf{R}^{(n-m) \times n},$$

$$P = M^{-1} - M^{-1} E^t (E M^{-1} E^t)^{-1} E M^{-1},$$

$$E_p = [e_1^t, \dots, e_{n-m}^t]^t$$

$e, \dots, e_{n-m}$ は、 $e_{n-m+1}, \dots, e_n$ と独立で、かつ、互いに独立なベクトル

(11)では  $\text{rank}(QC) = n - m < k$ であり、複数脚接地による拘束のために制御入力の冗長性が生じている。

ここでは、「トルクの自乗和を最小にする条件」

$$\sum_{i=1}^k \tau_i^2 \rightarrow \min. \quad (12)$$

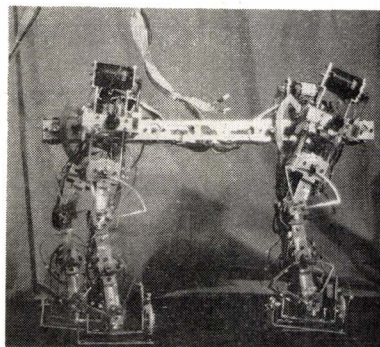
を導入し、擬似逆行列  $R = QC$ ,  $R^+ = R^t(RR^t)^{-1}$ を用いて,

$$\tau = R^+ Q\{M\ddot{q} - (g + h + d)\} \quad (13)$$

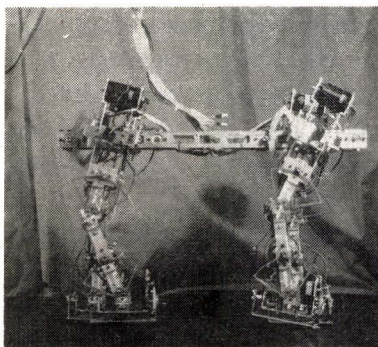
より、制御入力を求める。

これは、(4)の意味での移動エネルギーを最小にする解でもあり、制御入力の冗長性を利用して、負荷の分散による制御入力の最適化を図ったといえる。

このような制御則を用いて Collie-2 と呼ばれる四足歩行ロボットを用いて、トロットとベース歩容を実現した写真を図7に示す。ここで、制御は3.で述べたよう



(a) トロット



(b) ベース

図7 Collie-2の動歩行写真

な倒立振子モデルに基づいて行なわれ、支持脚の足首アクチュエータは用いられていない。

## 5.2 負荷の集中によるヨー軸まわりの旋回

図6のようにヨー軸のアクチュエータを持った歩行ロボットでは、それを用いて胴体をヨー軸まわりに回転させることにより旋回を行なうことは容易であるが、胴体のヨー軸まわりの慣性モーメントは大きいので、相当地に大きなアクチュエータがヨー軸に必要となる。しかし、直進時にはこのような大きなアクチュエータは不要であるので負荷の増大となり望ましくない。これに対して、複数の脚が接地しているならば(11)において支持脚のヨー軸アクチュエータを消去してもこの式を満たす $\tau$ を求めることは可能であり、その場合にはヨー軸アクチュエータは慣性モーメントの小さい遊脚を駆動できればよいので比較的小さなもので十分である。このとき、ヨー軸まわりの旋回は支持脚の主に(Collie-2が縦長であるので)ロール軸まわりのアクチュエータによって、接地点での拘束を利用することによって行なわれる。

このように制御入力に冗長性がある系では、負荷の集中を図ることにより、出力や性質に応じたアクチュエータの選択が可能となる。このような制御則を用いてロボット歩容によるヨー軸まわりの旋回を実現した<sup>10)</sup>。

## 6. おわりに

本稿では、四足歩行ロボットの動歩行制御について簡単に述べたあと、歩行を移動機能という観点から解析・評価する指標として「安定性」、「最大移動速度」、「移動エネルギー」の三つを導入し、これらの指標と歩行を表す多くのパラメータ(歩容、デュティ・ファクタ、歩行周期など)の関係を解析した結果について述べた。また、四足歩行時に複数脚接地による拘束のために生じる制御入力の冗長性を利用した動歩行と旋回について述べた。しかし、そこで解析されたパラメータは4.2で述べた局所的パラメータの一部であり、他の局所パラメータや大域パラメータと指標との関係は、まだ、十分には解析されていない。また、階段や不整地などの環境を歩行する際には、整地とは違った解析結果が得られるであろう。

歩行という運動が時間的にも空間的にも非常に複雑な運動であることや、アクチュエータの性質によって歩行に必要なエネルギーの定義が異なってくるなど個々のハードウェアに依存した部分が多いことから、問題が複雑になるにつれて、一般的な解析は困難となり、統一的な歩行計画論や歩行ロボット設計論は、非常に困難になる。

これに対して、4.4で述べたように動物の歩行を力学的に解析し、指標に最も影響を与えるパラメータを捜し出すことは、このような複雑な問題に対する知見を与え

るかもしれない。また、階段や不整地などの環境を歩行する際には、運動は認識の程度と深く関わってくるであろう。認識の不完全さを、どのような方法で、どの程度運動の方で補うことができるか、動物を用いて実験してみるのもおもしろいかもしれない。その際、従来の歩行解析の研究<sup>20)</sup>のように単に現象を説明するだけでなく、ロボットにどのように適用できるかという視点が重要になるであろう。

## 参考文献

- 1) 特集二足歩行ロボット, 日本ロボット学会誌, 1-3, 3/52 (1983).
- 2) M. Hildebrand: "Symmetrical gaits of dogs in relation to body build", J. of Morphology, 124, 353/360 (1968).
- 3) 木村, 下山, 三浦: "四足動歩行ロボットの力学的解析", 日本ロボット学会誌, 6-4, 367/379 (1988).
- 4) 王, 佐野, 古荘: "階層制御構造による4足歩行ロボットの動的制御", 日本機械学会論文集C, 54-497, 209/216 (1988).
- 5) 広瀬茂男, 米田 完: "4足歩行機械の静動融合歩容とその連続軌道生成", 日本ロボット学会誌, 9-3, 267/275 (1988).
- 6) 榊原, 菅, 細田, 服部, 藤江: "4脚歩行機構のための低衝撃足先軌道", 日本ロボット学会誌, 8-6, 662/671 (1990).
- 7) 佐野, 古荘, 尾関: "離散時間モデルを用いた歩行周期制御に基づく4足ロボットのベース歩行", 日本ロボット学会誌, 9-7, 865/876 (1991).
- 8) 木村: "Bound 歩容の力学的解析一脚長と運動の関係について", 第7回日本ロボット学会学術講演会講演会予稿集, 669/672 (1989).
- 9) 阪口, 本多, 佐野, 古荘: "四足ロボットバウンス歩行制御", 第10回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 579/580 (1992).
- 10) 日本ロボット学会ビデオ特集号, "東大・三浦/下山研究室のロボット研究", Vol.9 (1991).
- 11) 佐野明人, 古荘純次: "クロック歩行からベース歩行への静動遷移歩行", ロボティクス・メカトロニクス講演会'92講演論文集, Vol.B, 239/242 (1992).
- 12) 木村, 下山, 三浦: "四足歩行ロボットの力学と制御(複数脚接地によって生じる制御入力の冗長性を利用した動歩行)", 日本機械学会論文集C, 55-517, 2396/2403 (1989).
- 13) 米田 完, 広瀬茂男: "4足歩行機械の知能的歩容決定に関する研究, その18 動的旋回歩容", 第9回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 901/902 (1991).
- 14) M. H. Raibert: "Legged Robots That Balance", MIT Press (1986).
- 15) MIT Leg Laboratory Video, "On the run", (1992).
- 16) 佐野, 古荘, 長沼: "四足歩行システムの低次モデル(ロボット歩行の場合)", 日本機械学会論文集C, 56-529, 2474/2482 (1990).
- 17) 田口, 高津, 宮田, 金子: "4脚動的歩行機械の研究", 第9回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 905/906 (1991).
- 18) 比留間, 下山, 三浦: "四足受動歩行機構", 日本ロボット学会第1回ロボットシンポジウム予稿集, 299/304 (1991).



- 19) 田口, 金澤, 釣谷, 阿久根, 高津: “疑似直線機構を用いた4足受動歩行機械”, 第10回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 567/568 (1992).
- 20) バイオメカニズム4, 東京大学出版会, (1979).
- 21) 広瀬, 梅谷: “歩行機械のエネルギー効率に関する基本的考察”, 計測自動制御学会論文集, 15-7, 928/933(1979).
- 22) 金子, 他: “多足歩行機械の自由度に関する基本的考察”, 日本ロボット学会誌, 3-3, 207/219 (1985).
- 23) 木村, 下山, 三浦: “動力学を考慮した四足歩行パターンの解析”, 第4回日本ロボット学会学術講演会講演会予稿集, 395/398 (1986).
- 24) 下山, 他: “犬の歩行解析とロボットの歩行”, 第5回富士通国際情報社会科学研究所夏期シンポジウム報告書, 8/17 (1988).



木村 浩 (Hiroshi KIMURA)

1961年2月5日生。1983年東京大学工学部機械工学科卒業。1988年東京大学大学院工学系研究科機械工学専攻博士課程修了。工学博士。同年、東北大学工学部機械知能工学科助手。1992年10月より電気通信大学機械制御工学科講師。歩行ロボット、知能ロボットの研究に従事。平成元年度日本ロボット学会論文賞受賞。日本機械学会、情報処理学会、計測自動制御学会の会員。  
(日本ロボット学会正会員)