4足歩行ロボットの省駆動軸構成

米 田 完* 空 閑 融*

Quadruped Robot with Reduced Number of Actuators

Kan Yoneda* and Toru Kuga*

This paper describes a highly general discussion of the classification of the function of a quadruped walking robot, and necessity number of active degrees of freedom (DOF) for each function is revealed. Specific number of active DOF is shown for reduced function quadruped robots. For example, leg function of forward/backward/curve/turn on uneven terrain requires 2 DOF. Omni-directional walk on uneven terrain realizes by 3 DOF as for the leg function. Additional number of DOF contributes to control internal forces of the legs. Controlling internal pushing/pulling forces between 4 supporting legs requires 3 additional DOF on 3 DOF of swing leg. As for the body movement, controlling a center of the gravity (CG) in forward/backward, sideways, vertical directions requires 1 DOF individually. Body attitude control of two horizontal axes, and vertical axis requires 1 DOF each. Popular quadruped robot with 12 DOF is the one that have all above DOF. On the second, concrete mechanisms for reduced DOF quadruped are shown. A 3 DOF mechanisms for forward/backward/curve/turn locomotion on uneven terrain, and a 4 DOF one for omni-directional locomotion are designed. Latter one follows a more easily realistic 5 DOF design. A gait generating algorithm for reduced function quadruped is also shown. Finally, the experiments of trial manufactured 3 DOF and 5 DOF quadrupeds show a validity of discussions.

Key Words: Quadruped, Degrees of Freedom, Number of Actuator

1. は じ め に

4足歩行ロボットは、安定性の高い静歩行ができる最小限の脚数であることが特徴である。しかし、それでもその自由度は1脚につき3自由度、合計12自由度が標準的である。これは、より多足の6足歩行ロボットなどに比べて軽量にできるというメリットを持っており、多くのロボットが比較的軽量に作られている[1]~[3]。もし、より少ないアクチュエータ数で4足歩行ロボットを構成し、メカニズムを小規模なものにすることができれば、上記の特徴がさらに顕著なものになると考えられる。文献[4]においては、4足歩行ロボットを省自由度化する先駆的研究が行われ、6自由度の4足歩行ロボットを試作して実証している。このような省自由度化は、ロボットの軽量化に大いに貢献すると期待される。しかし、省自由度化したものは、それ分だけ機能が減少することは避けられない。本論文では、4足歩行ロボットの省自由度化について、さらに徹底した考察を行い、歩行機能とアクチュエータ数との関係について論じる。また、機能減少とアクチュエータ数節約のトレードオフの中で、実用的と思われるいくつかの例について、具体的なメカニズムの構成

法について述べる。特に、関節自由度よりもアクチュエータ数が少なく、フリー回転の関節を持つ構造について述べる。これらの考察を基に、3アクチュエータと5アクチュエータの2種の試作機を製作し、省自由度化の有効性を実証する。

省自由度歩行ロボットは、機能が減少していることから、一般的な歩行計画アルゴリズムがそのままでは適用できない場合が多い。そのため、省自由度化の妥当性については制御アルゴリズムを含めた総合的な性能によって評価する必要があると考えられる。本論文では、試作した3アクチュエータおよび5アクチュエータの4足歩行ロボットについて歩容計画アルゴリズムのうち、省自由度化に対応した部分を示し、歩行実験を行うことによって、省自由度4足歩行ロボットの性能が発揮されることを示す。

なおここで、アクチュエータのある自由度のみが歩行機能を能動的に発生させる自由度であり、アクチュエータのない受動的自由度は歩行機能発生に直接寄与しない付随的自由度であると考えられることから、本論文では、歩行機能と能動的自由度数の関係について論じ、その能動的自由度を減少させることについて述べる。

2. アクチュエータ数と歩行機能の一般論

ここでは、あえて具体的なメカニズムを想定しないで、一般

原稿受付 2004年1月23日

*東京工業大学

*Tokyo Institute of Technology

性を保ったまま議論を行うことを試みる。

2.1 本論文で扱う4足歩行の範囲

4足歩行ロボットは、一般的に足先の大きさが小さく、足首部分の能動自由度を持たないものが多い。そのため、足先が地面に接する状況は、足裏面積による接触力分散の効果を除けば、モーメントを発生しないピンポイント接触である。本論文では四つのピンポイント接触を切り替えながら歩行する形態を4足歩行と考え、そのための機構構成について論じる。また、本論文では、静的安定性を維持しながら歩行する場合に限定して議論をすすめることとし、動的歩行については別の機会に述べることとする。

2.2 4足静歩行の機能

ここでは、4足歩行ロボットが静歩行を行う際に必要不可欠あるいは有効な機能について考える。十分な機能を持つ4足歩行ロボットを想定すると、巨視的に見れば、その機能は次の二つであろう。

(A) 任意の不整地に対して安定性を維持しながら任意の方向に歩行ができる。

(B) 胴体の位置と姿勢を任意に調整できる。

これらを具体的な脚や胴体の動きに分解して、次のような個別の機能を考えることができる。

(1) 4脚の中から一つの遊脚を選択する機能

(2a) 遊脚足先の前後の位置を任意に設定する機能

(2b) 遊脚足先の左右の位置を任意に設定する機能

(2c) 遊脚足先の上下の位置を任意に設定する機能

(3) 4脚支持状態で不静定となる、各脚の鉛直方向の力配分を制御できる機能

(4) 複数の支持脚間の内力（主に水平方向の押し合い引き合い力）を制御する機能

(5) 不整地上で胴体の水平を維持する機能、あるいは任意の胴体姿勢角を実現する機能

(6) 胴体の鉛直軸まわりの向き（方角）を任意に実現する機能

(7a) 胴体の重心位置を前後に調整する機能

(7b) 胴体の重心位置を左右に調整する機能

(7c) 胴体の重心高さを調整する機能

これらの中には重複したもの、すなわち独立した自由度を必要としない機能もある。

(1) は独立した能動自由度が必要である場合もありうるが、多くの場合は、他の自由度によって付随的に実現できるので、とりあえず必要な能動自由度数のカウントから外しておく。

(2a)～(2c) は、それぞれ1能動自由度を必要とする。この(1)、(2)によって上記(A)の全方向移動のための脚の動きが実現できる。ただし、安定性確保のための重心位置調整機能は別とする。このことは次のように考えればよい。4足静歩行の運動を順を追って見ていくと、まず、ある脚を遊脚として選択し、それを主に進行方向に水平移動させて着地点を任意に選択し、その地点の高さに応じて上下位置を調整して着地する。次にまた別の脚を遊脚に選択する。これを繰り返していけば、任意の地形で任意の方向に歩行していくことができる。つまり、4脚のうちの任意の脚が遊脚として選択でき、選択した遊脚が上下、前後、左右に任意の位置に到達することができればよい。こ

の考え方で重要な点は、歩行運動を時間的に追っていきながら、地面に対して運動している部分だけを見ることである。すると、地面に接地している支持脚の足先は運動自由度を必要としない。先に述べたように4点のピンポイント接触を切り替えて進行するのが4足歩行であると考えから、足先以外の部分、例えば、ひざの部分が運動しても歩行のための直接の機能であるとは考えない。このような考え方により、不整地上の全方向への歩行は、遊脚任意選択+遊脚運動3自由度、すなわち上記の(1)、(2)で実現できることになる。

(3) は4脚のうちの一つの上下位置を調整することで実現されるが、これは(2c)と同じ機能であり、(2c)が実現されれば、さらなる追加の能動自由度は発生しない。

(4) は4点間の内部力を調整する機能であるが、鉛直方向については、すでに(3)で実現しているため、水平方向のみを新たに考える。4点の位置関係の調整機能を順番に考えていくと、1点目は固定とし、2点目は、1点目と2点目を結ぶ線の方向だけ調整、3点目以降は、水平2方向に調整可能とすれば、4点間のすべての水平内力を調整することができる。すなわち1点目がゼロ、2点目が1、3点目と4点目がそれぞれ2の合計五つの調整自由度が必要である。ただし、このうちの1脚については遊脚としての自由度(2a)、(2b)と同義であると考えられるため、これを減じた3自由度が必要であると考えられる。あるいは、もともと遊脚分を除いて3点間の水平内力調整と考えて3自由度としても同様である。

(5) の胴体水平維持には、水平軸まわりの胴体回転運動の2自由度が必要である。

(6) は独立した1自由度が必要である。

(7a)～(7c) にはそれぞれ1自由度が必要である。

以上をすべて実現するためには、(2)について3自由度、(4)について3自由度、(5)について2自由度、(6)について1自由度、(7)について3自由度となり、合計12自由度となる。つまり、一般的な1脚3自由度、合計12自由度の4足歩行ロボットは、これらの機能をすべて実現できるだけの自由度数を有している。実際、ほとんどの4足歩行ロボットは、制御方法次第でこれらの機能を実現する能力を持っている。

2.3 段階的な歩行機能減少

さて、上記のすべての機能が必要不可欠であるとするれば、4足歩行ロボットは12自由度をもつ必要がある。しかし、4足歩行ロボットの運用次第では、省略できる機能もあると思われる。例えば、極端な例では、平地上の直進運動だけを行う4足歩行ロボットであれば、リンク機構等を駆使した、いわゆるおもちゃ的なロボットで、一つのアクチュエータで実現できる。ここでは、歩行ロボットの特徴である不整地上の歩行機能は不可欠なものと考え、さらにこれにいくつかの機能を追加したものを想定する。そのいくつかの機能とは、歩行方向の選択、胴体の姿勢調整である。

2.3.1 脚運動

歩行ロボットは任意の地点に移動できなければその実用性が著しく低くなってしまうため、ここではまず、自動車と同様の「前後並進+カーブあるいは旋回」の機能は最低限必須であると考え、その脚運動のために必要な自由度は2である。これは

Fig. 1 Relations of leg and CG position

先に述べたように不整地上を想定している。不整地に適応するために遊脚の高さを自由に設定できる必要があり、このための能動自由度が1である。また、カーブや旋回を可能にするための歩幅調整、すなわち遊脚の前後位置を自由に設定できることが必要であり、このための能動自由度が1である。

さらに歩行ロボットの特徴の一つでもある全方向への並進も可能であることが望ましい。この場合の脚自由度数は3となる。これは上記に加えて遊脚の左右位置を自由に設定するための1能動自由度が付加されている。

より自由度が多ければ、さらに別の機能を発揮できる。例えば、脚の力を調整することができ、文献 [5] のようにサスペンション的な機能を持たせたスムーズな歩行を実現できる。しかし、本論文ではできるだけ省自由度化することを念頭におき、この力調整の自由度は優先順位が低いものとする。

2.3.2 胴体運動

ここでは、脚運動としては、いわゆる全方向移動（前後左右斜め等に平行移動でき、カーブや旋回運動もできること）が実現できる場合について述べる。

全方向移動のためには、上記の (1), (2) の機能が必要十分であることはすでに述べたが、このうちの胴体運動に関係する (1) の機能について検討する。4 足歩行ロボットが胴体の位置姿勢調整機能をまったく持たず、重心位置の調整ができないのでは、遊脚の任意な選択ができない。任意な遊脚選択のためには、遊脚としない残りの三つの支持脚接地点で作られる三角形に重心投影点を入れることが必要である。一般的な 4 足歩行ロボットでは、この三角形は重心の移動範囲に比較して大きく、前後あるいは左右のみに重心位置が調整できれば、三角形の中に重心投影点を入れることが十分可能であると考えられる。より具体的には、Fig. 1 (a) のように対角の2脚を結ぶ直線の遊脚でない側に重心を位置させることができればよい。その場合、(2) の遊脚位置設定に加えて、(1) の遊脚選択機能のために独立して必要な自由度は1となる。なぜならば、遊脚としたい脚を上げるとともに、残りの3脚の三角形内に重心投影点を位置させればよいからである。逆に重心位置を先に決めて考えれば、Fig. 1 (b) のように同一の重心位置で遊脚にできる脚は二つあるが、このうちのどちらを遊脚にするかの選択は、遊脚の高さ調整の機能で行うことができる。以上の考察により、全方向移動を行うために必要な自由度は、脚の3自由度に重心移動の1自由度を加えて4である。

Table 1 Number of active DOF for variation of the functions

Body Leg	No active control	Forward/ Backward	+Pitch/Roll /Height	+Sideways	+Yaw orientation
Straight walk (Fixed gait)	1 *1)	2	5	6	7
Variable stride (Curb/Turn)	(2)	3	6	7	8
+Sideways (Omni- directional)	(3)	4	7	8	9
+Internal force control	(6)	7	10	11	12

*1) Body moves subordinately to leg motion

斜度の大きな不整地で歩行を行うためには、これに加えて胴体の姿勢調整や高さ調整を行う機能があれば、より好ましい。その場合には、姿勢調整のために2自由度、高さ調整のために1自由度を付加する必要がある。これらをまとめると Table 1 のようになる。

ただし、表中の () の部分は静的歩行のための重心調整機能が不足しているため、実際には歩行できない。また、固定歩容のものは不整地への対応ができない。*1) では、脚運動が固定パターンで胴体はそれに連動して固定パターンで運動するものとする。それ以外では、不整地上で任意の歩幅を実現するものとする。

また、この表では、脚と胴体の機能を順次加えているが、その加える順序はこれに限ったものではない。例えば、胴体の左右調整を省略して方角調整のみを加えてもよい。

なお、ここに示した運動機能の分類法は唯一のものではない。能動自由度との関係が把握しやすいように、筆者らが考案した一例であることを付け加えておきたい。

3. 具体的な省自由度 4 足歩行ロボットの構成

ここでは、具体的なメカニズムを想定しながら、実現性の高い省自由度化について検討する。これまでの議論で、4 足歩行ロボットの機能をどれだけ省略すれば、能動自由度数（アクチュエータ数）をいくつ減少できるかが明らかになった。これをふまえて、比較的必要性の低い機能だけを省略して実用性を保った省自由度 4 足歩行ロボットの具体的な構成法について検討を行う。

3.1 前後／カーブ／旋回機能のあるロボットの構成

歩行ロボットの特徴である不整地移動能力は保持したまま、移動できる方向を前後進およびカーブと旋回に限定する。また、胴体の運動は重心の前後調整のみとする。上記の議論では、これらの機能をもつ 4 足歩行ロボットは3能動自由度で構成できるはずである。すなわち、遊脚の上下運動と前後運動、重心の前後運動の三つである。

これを実現するためには、各脚にアクチュエータを装備するという構成ではなく、脚間の駆動、あるいは脚群と胴体間の駆

Fig. 2 Relative up/down of leg is made by 1 DOF

Fig. 3 Forward/backward of swing leg is made by 1 DOF
(a: active joint, p: passive joint)

Fig. 4 Forward/backward of CG

動するという考え方をしなければならない。例えば、4脚の高さ方向の相対運動を生成するために、Fig. 2(a)のような中央部のねじり運動を行う。あるいは、対称性が低くなるが、ある1脚だけに上下運動機能をもたせてもよい。例えば、Fig. 2(b)のように付け根の回転でもよいし、Fig. 2(c)のような直動でもよい。縮めた状態では自脚または対角の脚が遊脚にでき、延ばした状態では隣にある2脚のどちらかを遊脚にできる。いずれの場合も、どちらの脚が上がるかは重心の位置による。

次に、遊脚となった一つの脚の前後運動を生成するためには、Fig. 3(a)のような、横型の尺取り虫型の伸縮運動が考えられる。左右の脚の中央部はフリーに回転できるジョイントである。この部分はアクチュエータのない自由度であるから、本論文で節約したいと考える能動自由度にはカウントしない。この構成は、四つの脚の前後運動が差動機構を介して駆動されていることに相当する。遊脚以外の三つの脚は地面に対して摩擦力で拘束されているので、拘束のない遊脚だけが前後（正確には円弧状）に運動する。また、Fig. 3(b)の直動でも同様である。

重心の前後運動には、文献[4]で示されているようなFig. 4(a)のおもりの回転運動も有効である。ここでは上記の遊脚の前後運動と重心前後運動を合わせた駆動法として、Fig. 4(b)のような二つの直動運動を組み合わせたものを提案する。

これらを組み合わせれば、3能動自由度の4足歩行ロボットが構成できる。ここでは、製作しやすいものとして、Fig. 5(a)の構成法を提案する。ここで、この受動関節を含む機構が空間的に静定なものであることを確認しておく。1脚を遊脚にした状態で、アクチュエータのある駆動部分をすべて固定した場合に構成

(a) Proposed mechanism (a: active joint, p: passive joint)

(b) Passive settlement as a 3-dimensional linkage with four bar, one 3 DOF joint, three 1 DOF joints

Fig. 5 Proposed 3 active DOF configuration for forward/backward/curve locomotion

される空間的なリンクの自由度がゼロであればよい。Fig. 5(b)に示すように、このリンクのジョイントは二つの受動関節が1自由度ジョイント、遊脚と対になる支持脚の接地点が回転自在の3自由度ジョイント、残りの二つの接地点を結んだ直線まわりの回転が1自由度ジョイントを構成している。バーの数は地面を含めて4であり、全体は空間4節リンクである。残された運動自由度は $4(\text{バー数}) \times 6 - 3(1\text{自由度ジョイント数}) \times 5 - 1(3\text{自由度ジョイント数}) \times 3 - 6(\text{全体の並進と回転}) = 0$ となり、この機構がアクチュエータ部の駆動によって状態が一意に決まるものであることを示している。

3.2 全方向移動機能のあるロボットの構成

歩行ロボットの自在な移動を確保するために、全方向移動、すなわち前後左右斜めへの並進と旋回が可能なのを考える。ここでも胴体の運動機能は最小限に押さえ、重心の前後運動のみとする。このロボットは4能動自由度で構成できるはずである。上記の3自由度型に対して追加すべき機能は遊脚の横方向への運動である。本質的には前後運動との区別はなく、差動機構的な駆動が有効であるが、ここでは上記の3自由度機構に付加して稼働しなければならないので、左右の脚の中央に胴体があることを考慮する。

そこで、左右に対になる脚の横方向の伸縮は胴体に対して等距離になるようにし、前後二つの脚群の横方向の運動を差動機構を介して駆動するものが必要となる。Fig. 6(a)のような連通管とパンタグラフを組み合わせたもの、Fig. 6(b)のように左右逆ねじれのネジと差動歯車を組み合わせたものなどが考えられる。パンタグラフ機構は、開閉に伴って前後運動も生じてしまうが、これを考慮に入れて前後方向のアクチュエータで補正するように目標値を設定すればよい。差動歯車機構の方も、胴体中央にねじり回転部があることを考えると、その回転によって干渉的に脚運動が生じてしまうが、この干渉をキャンセルす

Fig. 6 Sideways motion is equal in left and right and differential between front and rear

るようにアクチュエータの角度目標値を設定すれば何ら問題なく独立に制御できる。また、脚群の前後直動に対しては中央の軸をスプラインにすればよい。このネジの部分には Fig. 6(c) のラックピニオン機構でも同様である。

上記のような 4 能動自由度で全方向移動を行うものは、実際に製作することは不可能ではないが、やや複雑になりすぎるため、本論文では同じ機能でアクチュエータを最小限度より一つ余計に付けた **Fig. 7** のような 5 アクチュエータ構成を提案する。これは脚の左右運動を前脚群と後脚群に分けて独立したアクチュエータで駆動するものであり、上記の差動機構等を用いたものよりもはるかに単純な構造である。

4. 省自由度型 4 足歩行ロボットの歩容制御

機能を限定した省自由度型 4 足歩行ロボットは、それに合わせた運動の計画を行う必要がある。ここでは前章の前後／カーブ／旋回機能に限定したロボット、および全方向移動機能のあるロボットについて、歩容生成アルゴリズムの例を示す。どちらのロボットも胴体に対する脚の駆動が複数の脚間で連動しているため、構造的な脚可動範囲が 1 脚単独のものではなく、連

Fig. 7 Simplified 5-actuator configuration for omnidirectional locomotion (a: active, p: passive)

Fig. 8 Front passive joint rotates by rear leg swing

動している脚位置の影響を受ける。実際に問題となるのは、左右 2 脚の中央にある受動関節の角度が限界に達することで、これを防ぐような配慮が必要である。なお、歩容生成アルゴリズム全般についての記述は別の機会に述べることとし、本論文では省自由度型のデメリットに対する配慮のみについて述べる。

歩行中の受動関節の角度は左右の脚の遊脚化によって大局的には左右の回転を繰り返す。しかし、例えば前 2 脚の中央の受動関節は、**Fig. 8(a)** のように前脚の遊脚時のみでなく後脚の遊脚時にも若干回転する。これは省自由度型のため、後脚の移動に伴い必然的に胴体の角度が変化するためである。このため、通常よく用いられる歩容生成アルゴリズムのように 1 歩ごとに可動範囲限界まで歩幅を延ばした歩行を計画したのでは次の脚が動かせず、歩行が継続できない。特にカーブに沿った歩行では **Fig. 8(b)** のような状態になり、前脚中央の受動関節は後脚移動時に比較的大きく回転する。さらに、受動関節角度は胴体中央のねじり関節を駆動することによっても回転を生じる。これは先に示した **Fig. 5(b)** のように脚と胴体とが空間的な 4 節リンクを構成しているためであり、受動関節角が大きいときほど角度増加量が多い。これらに対応するには、運動がすべて計画されていれば正確な運動学的計算が可能であるが、現在より先の歩容は未定である場合にも適応できるようにするため、次のような簡易な計算を行う。ここでは遊脚着地点を選択する際の可動範囲設定を歩幅に応じて小さくする。

$$\text{受動関節設定許容角} = \text{機構的な限界角} - k \times S$$

k は定数で、本研究の実験では $0.015 [\text{deg/mm}]$ とした。 S は歩幅 [mm] で、本研究で用いた歩容生成アルゴリズムでは、胴体と脚の関係が標準状態になる足先位置から次の着地点までの

Fig. 9 Experiment of 3 actuator model

距離とした。なお、機構的な限界角は次章で紹介する試作機では 24 [deg] である。これにより、次の脚を進めるため、および胴体ねじり動作を行うための余裕をもたせることができる。

このほかにも、提案する構造では遊脚を上げることによって胴体も連動するため重心が若干左右に移動する。しかし、この重心の移動方向は遊脚から支持脚に向かう方向であり、より安定性が増す効果があるので、歩容計画では特に考慮しないこととした。

5. 試作ロボットの設計と歩行実験による検証

5.1 3 アクチュエータ型試作機

Fig. 5 (a) の機構構成の試作機を製作した。全長 630 [mm]、全幅 600 [mm] で質量 4.9 [kg] (回路含む、電源別) と非常に軽量である。外観を Fig. 9 に示す。胴体中央部の回転関節駆動には出力 20 [W] のモータにハーモニック減速器、前後脚の直動駆動には同じく 20 [W] のモータにタイミングベルトを介してボールネジをつないでいる。歩行実験では前進後退に加えて Fig. 9 のように緩やかなカーブに沿った歩行を実現した。

5.2 5 アクチュエータ型試作機

Fig. 7 の機構構成の試作機を製作した。全長 630 [mm]、全幅は 520~760 [mm] に脚が伸縮する。特徴的な部分としては、脚の伸縮部分を軽量で剛性の高いものとするため、Fig. 10 のように二重アルミ角パイプの間の 4 面にローラを配した構造としている。ローラは直径 1 [mm] のデルリン製で、1 面につき 30 本使用して負荷を分散させ、変形をごく少なくしている。また、ローラはリテーナで保持して位置を保っており、リテーナ全長を 50 [mm] と長くし、その両端部 15 [mm] ずつにローラを入れ

Fig. 10 Section of expandable leg mechanism

Fig. 11 Experiment of 5 actuator model

ている。この構造によって、脚先端の鉛直方向の負荷による曲げモーメントに強くなっている。また、ねじりモーメント負荷がかかった場合にも少ない力で伸縮できることを確認している。実験では 150 [Nm] のモーメント負荷時に約 15 [N] の力で伸縮できた。

胴体中央部の回転関節、および脚の前後直動の部分は前節の 3 自由度試作機と同様である。脚の左右伸縮駆動には 20 [W] のモータにボールネジをつないでいる。ただし小径の左ネジがなかったため、片側はギアで逆転して駆動している。試作したロボット全体の質量は 8.8 [kg] (バッテリー含む) と非常に軽量なものとすることができた。歩行実験では Fig. 11 に示すように、横方向への並進を含む自在な歩行が実現できた。また、歩容生成アルゴリズム上で配慮した受動関節の許容限界角度設定についても、方向転換などの歩容変化を含む連続した歩行において良好に機能していることを確認した。

6. ま と め

本論文では、4 足歩行ロボットの機能を分類して考え、そのために必要な能動自由度について一般性の高い議論を行った。そして、機能を限定した場合に能動自由度数がいくつ必要である

かについて具体的な数を示した。続いて、実際にメカニズムを構成することを想定して、前後／カーブ／旋回機能に限定したロボットの構成、全方向移動機能をもつロボットの構成について論じた。また、機能限定による脚可動範囲の干渉を考慮するなど、歩容生成上の対応を示した。そして、これらの妥当性を検証するために試作機による歩行実験を行った。

本論文で試作した省自由度型ロボットは、軽量であるという特徴を生かして、足先に吸盤を装備して壁面歩行を行うロボットとしても活用できる。これらのメカニズムおよび制御法については別報で紹介する予定である。

参 考 文 献

- [1] J. Estremera and P.G. de Santos: "Free Gaits for Quadruped Robot over Irregular Terrain," Int. J. of Robotics Research, vol.21, no.2, pp.115-130, 2002.
- [2] 福岡泰宏, 木村浩: "4 足歩行ロボットの生物規範型不整地適応歩行", 日本ロボット学会誌, vol.19, no.4, pp.510-517, 2001.
- [3] 有川敬輔, 広瀬茂男: "3D 荒地用歩行ロボットの研究 (GDA と干渉駆動に基づく最適化歩行)", 日本ロボット学会誌, vol.13, no.5, pp.720-726, 1995.
- [4] 金子真, 阿部稔, 舘暲: "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, vol.2, no.2, pp.142-150, 1984.
- [5] 米田完, 飯山浩幸, 広瀬茂男: "4 足歩行機械のスカイフックサスペンション制御", 日本ロボット学会誌, vol.12, no.7, pp.1066-1071, 1994.

米田 完 (Kan Yoneda)

1961 年 10 月 16 日生。1985 年東京工業大学理学部物理学科卒業, 1987 年同大学大学院修士課程修了, 1989 年同大学大学院博士後期課程機械物理学専攻中退, 同年同大学機械物理学専攻助手, 1994 年同大学機械宇宙学科助教授, 現在に至る。歩行ロボット, 不整地移動車両の研究を行う。博士 (工学)。(日本ロボット学会正会員)

空閑 融 (Toru Kuga)

1978 年 11 月 6 日生。2001 年東京工業大学知能機械システム学科卒業, 2003 年同大学大学院機械宇宙システム専攻修士課程修了。現在シャープ (株)勤務。(日本ロボット学会正会員)