

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2003 年 12 月 24 日 (24.12.2003)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 03/106112 A1

(51) 国際特許分類: B25J 5/00

(21) 国際出願番号: PCT/JP03/07089

(22) 国際出願日: 2003 年 6 月 4 日 (04.06.2003)

(25) 国際出願の言語: 日本語

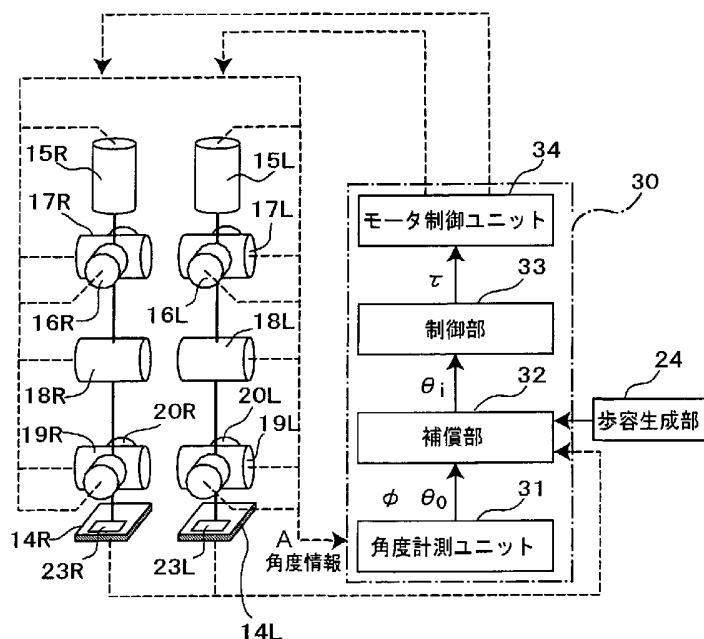
(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願2002-172109 2002 年 6 月 12 日 (12.06.2002) JP(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 科学技術
振興事業団 (JAPAN SCIENCE AND TECHNOLOGYCORPORATION) [JP/JP]; 〒332-0012 埼玉県 川口市
本町 4-1-8 Saitama (JP).(72) 発明者; および
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 古田 貴之
(FURUTA, Takayuki) [JP/JP]; 〒156-0057 東京都 世
田谷区 上北沢 3-3-2-6-303 Tokyo (JP). 田
原 哲雄 (TAWARA, Tetsuo) [JP/JP]; 〒113-0021 東京
都 文京区 本駒込 6-2-3-16 Tokyo (JP). 奥村 悠
(OKUMURA, Yu) [JP/JP]; 〒251-0028 神奈川県 藤
沢市 本鶴沼 2-3-2-1 Kanagawa (JP). 北野 宏明
(KITANO, Hiroaki) [JP/JP]; 〒350-0035 埼玉県 川越
市 西小仙波町 2-1-8-3 Saitama (JP). 清水 正晴

[続葉有]

(54) Title: WALKING TYPE MOVING DEVICE AND WALKING CONTROL DEVICE THEREFOR AND WALKING CON-
TROL METHOD

(54) 発明の名称: 歩行式移動装置及びその歩行制御装置並びに歩行制御方法



24... GAIT GENERATING UNIT
31... ANGLE MEASURING UNIT
A... ANGLE INFORMATION
32... COMPENSATION UNIT
33... CONTROL UNIT
34... MOTOR CONTROL UNIT

(57) Abstract: A walking control device (30) which drive-controls the drive means of each joint (15L, 15R-20L, 20R) of each leg (13L, 13R) based on gait data, and which comprises force sensors (23L, 23R) each for detecting a force applied to the sole of each foot (14L, 14R), and a compensation unit (32) for correcting gait data from a gait generating unit (24) based on a horizontal floor reaction force out of forces detected by force sensors, wherein each force sensor (23L, 23R) consists of three-axis sensors (36a-36d) each provided in each sole section obtained by dividing each foot (14L, 14R) into a plurality of sections to allow a force sensor provided in a region adjacent to the end edge of each sole to detect the contact of a contact detection unit (32b) with a foot side surface and allow the compensation unit (32) to correct gait data from the gait generation unit (24) with reference to a contact with a foot side surface, whereby the contact of a foot side surface with an object such as an obstacle is detected to ensure walking stability.

(57) 要約: 歩容データに基づいて各脚部 (13L, 13R) の各関節部 (15L, 15R-20L, 20R) の駆動手段を駆動制御する歩行制御装置 (30) が、各足部 (14L, 14R) における足裏に加わる力を検出する力センサ (23L, 23R) と、力センサで

検出した力のうち水平床反力に基づいて歩容生成部 (24) からの歩容デ

[続葉有]



(SHIMIZU,Masaharu) [JP/JP]; 〒160-0022 東京都 新宿区 新宿 1-3-4-3 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 平山 一幸 (HIRAYAMA,Kazuyuki); 〒160-0022 東京都 新宿区 新宿 2-3-10 新宿御苑ビル 6階 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (国内): CN, KR, US.

(84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

添付公開書類:
— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

ータを修正する補償部(32)とを含み、各力センサ部(23L, 23R)が、各足部(14L, 14R)の複数の分割した足裏の各部に設けた三軸力センサ(36a~36d)から成り、各足裏の端縁に隣接する領域に備えられた力センサにより、接触検知部(32b)が足側面の接触を検知し、補償部(32)が足側面の接触を参照しながら歩容生成部(24)からの歩容データを修正し、これにより障害物等の物体に対する足側面の接触を検知して、歩行安定性を実現する。

明 細 書

歩行式移動装置及びその歩行制御装置並びに歩行制御方法

技術分野

本発明は、歩行式移動装置に関し、足側面の接触を検出できるようにした歩行制御に関するものである。

背景技術

従来、所謂二脚歩行式ロボットは、前もって設定された歩行パターン（以下、歩容という）データを生成して、この歩容データに従って歩行制御を行なって、所定の歩行パターンで脚部を動作させることにより二脚歩行を実現するようにしている。

ところで、このような二脚歩行式ロボットは、例えば路面状況、ロボット自体の物理パラメータの誤差等によって歩行の際の姿勢が不安定になりやすく、場合によっては転倒してしまう。これに対して、歩容データを前もって設定せずに、リアルタイムにロボットの歩行状態を認識しながら歩行制御を行なうようにすれば、歩行の際の姿勢を安定させて歩行を行なわせることも可能であるが、このような場合でも、予期しない路面状況等が発生した場合には、歩行姿勢が崩れてロボットが転倒してしまうことになる。

このため、歩行制御によってロボットの足裏における床反力と重力の合成モーメントがゼロとなる点（以下、ZMP（Zero Moment Point）という）を目標値に収束させる、所謂ZMP補償を行なう必要がある。このようなZMP補償のための制御方法としては、例えば特開平5-305583号公報に示すように、コンプライアンス制御を利用してZMPを目標値に収束させ、ロボットの上体を加速させて修正する方法や、ロボットの足の接地場所を修正する制御方法が知られている。

ところで、このような制御方法においては、ZMP規範によりロボットの安定化を図るようにしており、このZMP規範においては、水平床反力を測定するこ

とが前提条件となっている。このため、従来の二脚歩行式ロボットにおいては、足裏に力センサを備えており、この力センサにより足裏における水平床反力を測定するようにしている。

しかしながら、このような構成の二脚歩行式ロボットにおいては、上述したように足裏に設けられた力センサは、水平床反力を測定するだけであって、例えば二脚歩行式ロボットの歩行動作中に、足部を移動させたとき、足部の側面が障害物に当たったような場合、二脚歩行式ロボットは、このような障害物への足側面の接触を認識することができず、歩行を続けようとして場合によっては転倒してしまうことがあった。

発明の開示

この発明は、以上の点にかんがみて、障害物等の物体に対する足側面の接触を検知して、歩行安定性を実現できるようにした歩行式移動装置と、その歩行制御装置及び歩行制御方法を提供することを目的としている。

上記目的は、この発明の第一の構成によれば、本体と、本体の下部両側にて二軸方向に揺動可能に取り付けられた中間に膝部を有する複数本の脚部と、各脚部の下端に二軸方向に揺動可能に取り付けられた足部と、各脚部、膝部及び足部を揺動させる駆動手段と、要求動作に対応して、目標角度軌道、目標角速度、目標角加速度を含む歩容データを生成する歩容生成部と、この歩容データに基づいて上記駆動手段を駆動制御する歩行制御装置と、を備えており、上記歩行制御装置が、各足部における足裏に加わる力を検出する力センサと、上記力センサで検出された力のうち、水平床反力に基づいて歩容生成部からの歩容データを修正する補償部と、を含んでいる二脚歩行式移動装置であって、上記力センサが、各足部の足裏の複数に分割された領域にそれぞれ備えられていて、各足裏の端縁に隣接する領域に備えられた力センサが、それぞれ足側面の接触を検知すると共に、上記補償部が、足側面の接触を参照しながら歩容生成部からの歩容データを修正することを特徴とする歩行式移動装置により、達成される。

好ましくは、上記力センサは三軸力センサであって、上記各足裏の端縁に隣接する領域にて、対応する力センサの検出部材としてのソール外縁の少なくとも一

部が、当該力センサを中心とする円弧面を形成している。

本発明による歩行式移動装置は、好ましくは、上記力センサが三軸力センサであって、上記補償部は、各力センサからの検出信号に基づいて六軸方向の力を演算する六軸力算出部と、力成分の分解により足側面の接触を検出する接触検知部と、を備えている。上記接触検知部は、好ましくは、各力センサからの検出信号が、床面からの力によるものか床面上の物体との接触によるものかを判断して、どの力センサが足側面の接触を検出したかのフラグ情報を補償部に出力する。

また、上記目的は、この発明の第二の構成によれば、本体と、本体の下部両側にて二軸方向に揺動可能に取り付けられた中間に膝部分を有する複数本の脚部と、各脚部の下端に二軸方向に揺動可能に取り付けられた足部と、各脚部、膝部及び足部を揺動させる駆動手段と、から成る歩行式移動装置に関して、要求動作に対応して歩容生成部により生成される、目標角度軌道、目標角速度、目標角加速度を含む歩容データに基づいて上記駆動手段を駆動制御すると共に、各足部における足裏に加わる力を検出する力センサと、上記力センサで検出された力のうち、水平床反力に基づいて歩容生成部からの歩容データを修正する補償部と、を含んでいる歩行式移動装置の歩行制御装置であって、上記力センサが、各足部の足裏の複数に分割された領域にそれぞれ備えられていて、各足裏の端縁に隣接する領域に備えられた力センサが、それぞれ足側面の接触を検知すると共に、上記補償部が、足側面の接触を参照しながら歩容生成部からの歩容データを修正することを特徴とする歩行式移動装置の歩行制御装置により、達成される。

好ましくは、上記力センサは三軸力センサであって、上記各足裏の端縁に隣接する領域にて、対応する力センサの検出部材としてのソール外縁の少なくとも一部が、当該力センサを中心とする円弧面を形成している。

本発明による歩行式移動装置の歩行制御装置は、好ましくは、上記力センサが三軸力センサであって、上記補償部が、各力センサからの検出信号に基づいて六軸方向の力を演算する六軸力算出部と、力成分の分解により足側面の接触を検出する接触検知部と、を備えている。上記接触検知部は、好ましくは、各力センサからの検出信号が、床面からの力によるものか床面上の物体との接触によるものかを判断して、どの力センサが足側面の接触を検出したかのフラグ情報を補償部

に出力する。

さらに、上記目的は、この発明の第三の構成によれば、本体と、本体の下部両側にて二軸方向に揺動可能に取り付けられた中間に膝部分を有する複数本の脚部と、各脚部の下端に二軸方向に揺動可能に取り付けられた足部と、各脚部、膝部及び足部を揺動させる駆動手段と、から成る歩行式移動装置に関して、要求動作に対応して歩容生成部により生成される、目標角度軌道、目標角速度、目標角加速度を含む歩容データに基づいて上記駆動手段を駆動制御すると共に、各足部における足裏に加わる力を力センサにより検出して、上記力センサで検出された力のうち、水平床反力に基づいて、補償部により歩容生成部からの歩容データを修正する歩行式移動装置の歩行制御方法であって、各足部の足裏の複数に分割された領域にてそれぞれ力センサにより力を検出する第一の段階と、各力センサのうち、足裏の端縁に隣接する領域に備えられた力センサからの検出信号により、それぞれ足側面の接触を検知する第二の段階と、上記補償部が、足側面の接触を参照しながら歩容生成部からの歩容データを修正する第三の段階と、を含んでいることを特徴とする歩行式移動装置の歩行制御方法により、達成される。

好ましくは、上記力センサは三軸力センサであって、上記各足裏の端縁に隣接する領域にて、対応する力センサの検出部材としてのソール外縁の少なくとも一部が当該力センサを中心とする円弧面を形成している。本発明による歩行式移動装置の歩行制御方法は、好ましくは、上記力センサが三軸力センサであって、上記補償部が、各力センサからの検出信号に基づいて、六軸方向の力を演算する六軸力算出部と力成分の分解により足側面の接触を検出する接触検知部とを備えている。上記接触検知部は、好ましくは、各力センサからの検出信号が、床面からの力によるものか床面上の物体との接触によるものかを判断して、どの力センサが足側面の接触を検出したかのフラグ情報を補償部に出力する。

上記構成によれば、各足部の足裏の複数に分割された領域にそれぞれ設けられた力センサにより検出した水平床反力に基づいて、補償部により歩容生成部からの歩容データを修正して駆動手段を駆動制御する。その際、補償部は、上記力センサのうち、各足裏の端縁に隣接する領域に備えられた力センサにより検知された足側面の接触を参照しながら歩容データの修正を行なう。従って、ロボットの

各足部が歩行動作中に、足側面が物体に接触したときには、足側面の接触を力センサにより検知して、この足側面の接触を参照しながら足裏の床面との摩擦力によって生ずる水平床反力に基づいて歩容データを修正して、本体、好ましくはロボットの上体の安定化が図られる。従って、ロボットの各足部が、例えば床面上に在る障害物や段差等に当たったときでも、足側面の接触を検知して歩容データを修正することにより、ロボットの安定性を確保することができ、転倒することがなく確実に歩行制御を行なうことが可能である。

上記各分割部にそれぞれ備えられた力センサが三軸力センサであって、上記各足裏の端縁に隣接する領域にて、対応する力センサの検出部材としてのソール外縁の少なくとも一部が、当該力センサを中心とする円弧面を形成している場合には、これらの領域の外縁の円弧面の部分に物体が接触したとき、接触点と力センサの距離が常に等しいことから、力センサの検出信号に基づいて接触力を計算する際の計算が簡略化され、検出時間を短縮することができる。また、上記補償部が、各力センサからの検出信号に基づいて、六軸方向の力を演算する六軸力算出部と力成分の分解により足側面の接触を検出する接触検知部とを備えている場合には、六軸力算出部により、少なくとも二つの三軸力センサにより六軸方向の力を演算することができるので、各分割部には、それぞれ安価な三軸力センサを備えることにより、六軸力センサと同様に六軸方向の力を検出することができると共に、コストを低減することができる。また、接触検知部にて力成分を分解して、力センサの構成に基づいてどの力センサが足側面の接触を検知しているかを判別することにより、足側面の接触を検知することができる。

上記接触検知部が、各力センサからの検出信号が床面からの力によるものか床面上の物体との接触によるものかを判断して、どの力センサが足側面の接触を検出したかのフラグ情報を補償部に出力する場合には、補償部は、このフラグ情報に基づいて、どの力センサが足側面の接触を検知したかを参照しながら、歩容生成部からの歩容データの修正を行なうことができる。

図面の簡単な説明

本発明は、以下の詳細な発明及び本発明の幾つかの実施の形態を示す添付図面

に基づいて、より良く理解されるものとなろう。なお、添付図面に示す種々の実施例は本発明を特定または限定することを意図するものではなく、単に本発明の説明及び理解を容易とするためだけのものである。

図 1 は、この発明による二脚歩行式ロボットの一実施形態の機械的構成を示す概略図である。

図 2 は、図 1 の二脚歩行式ロボットの電氣的構成を示すブロック図である。

図 3 は、図 1 の二脚歩行式ロボットの歩行制御装置における補償部の構成を示すブロック図である。

図 4 は、図 1 の二脚歩行式ロボットの各足部の足裏に設けられた力センサの構成を示すもので、(A) は平面図、(B) は断面図である。

図 5 (A) ~ (C) は、それぞれ図 4 の各三軸力センサと力計測の基点の配置を示すグラフである。

図 6 は、図 1 の二脚歩行式ロボットの歩行制御動作を示すフローチャートである。

図 7 は 図 1 の二脚歩行式ロボットの接触検知動作を示すフローチャートである。

図 8 (A) ~ (C) は、それぞれ図 1 の二脚歩行式ロボットにおける力センサによる足側面の接触検知の状態を示す概略図である。

図 9 (A) 及び (B) は図 4 に示した力センサの変形例を示す平面図である。

発明を実施するための最良の形態

以下、図面に示した実施形態に基づいて、この発明を詳細に説明する。

図 1 乃至図 2 は、この発明による歩行式移動装置を適用した二脚歩行式ロボットの一実施形態の構成を示している。

図 1 において、二脚歩行式ロボット 10 は、本体である上体 11 と、上体 11 の下部両側に取り付けられた中間に膝部 12 L, 12 R を備えた二本の脚部 13 L, 13 R と、各脚部 13 L, 13 R の下端に取り付けられた足部 14 L, 14 R と、を含んでいる。

ここで、上記脚部 13 L, 13 R は、それぞれ六個の関節部、即ち上方から順

に、上体 1 1 に対する腰の脚部回旋用（ z 軸周り）の関節部 1 5 L, 1 5 R、腰のロール方向（ x 軸周り）の関節部 1 6 L, 1 6 R、腰のピッチ方向（ y 軸周り）の関節部 1 7 L, 1 7 R、膝部 1 2 L, 1 2 R のピッチ方向の関節部 1 8 L, 1 8 R、足部 1 4 L, 1 4 R に対する足首部のピッチ方向の関節部 1 9 L, 1 9 R、足首部のロール方向の関節部 2 0 L, 2 0 R を備えている。なお、各関節部 1 5 L, 1 5 R 乃至 2 0 L, 2 0 R は、それぞれ関節駆動用モータにより構成されている。

このようにして、腰関節は、上記関節部 1 5 L, 1 5 R, 1 6 L, 1 6 R, 1 7 L, 1 7 R から構成され、また足関節は、関節部 1 9 L, 1 9 R, 2 0 L, 2 0 R から構成されることになる。さらに、腰関節と膝関節との間は、大腿リンク 2 1 L, 2 1 R により連結されており、また膝関節と足関節との間は、下腿リンク 2 2 L, 2 2 R により連結されている。

これにより、二脚歩行式ロボット 1 0 の左右両側の脚部 1 3 L, 1 3 R 及び足部 1 4 L, 1 4 R は、それぞれ 6 自由度を与えられ、歩行中にこれらの 1 2 個の関節部をそれぞれ駆動モータにて適宜の角度に駆動制御することにより、脚部 1 3 L, 1 3 R, 足部 1 4 L, 1 4 R 全体に所望の動作を与えて、任意に三次元空間を歩行することができる。

さらに、上記足部 1 4 L, 1 4 R は、足裏（下面）に、力センサ部 2 3 L, 2 3 R を備えている。この力センサ部 2 3 L, 2 3 R は、後述するようにそれぞれ各足部 1 4 L, 1 4 R における力、特に水平床反力 F を検出するようになっている。なお、上記上体 1 1 は、図示の場合、単に箱状に示されているが、実際には頭部や両手を備えていてもよい。

図 2 は図 1 に示した二脚歩行式ロボット 1 0 の電氣的構成を示している。図 2 において、二脚歩行式ロボット 1 0 は、要求動作に対応して歩容データを生成する歩容生成部 2 4 と、この歩容データに基づいて、駆動手段、即ち上述した各関節部即ち関節駆動用モータ 1 5 L, 1 5 R 乃至 2 0 L, 2 0 R を駆動制御する歩行制御装置 3 0 と、を備えている。なお、二脚歩行式ロボット 1 0 の座標系として、前後方向を x 方向（前方+）、横方向を y 方向（内方+）そして上下方向を z 方向（上方+）とする $x y z$ 座標系を使用する。

上記歩容生成部 2 4 は、外部から入力される要求動作に対応して、二脚歩行式ロボット 1 0 の歩行に必要な各関節部 1 5 L, 1 5 R 乃至 2 0 L, 2 0 R の目標角度軌道, 目標角速度, 目標角加速度を含む歩容データを生成する。上記歩行制御装置 3 0 は、角度計測ユニット 3 1 と、補償部 3 2 と、制御部 3 3 と、モータ制御ユニット 3 4 と、から構成されている。

上記角度計測ユニット 3 1 は、各関節部 1 5 L, 1 5 R 乃至 2 0 L, 2 0 R の関節駆動用モータに備えられた、例えばロータリエンコーダ等により各関節駆動用モータの角度情報が入力されることにより、各関節駆動用モータの角度位置、即ち角度及び角速度に関する状態ベクトル ϕ を計測して、補償部 3 2 に出力している。上記補償部 3 2 は、図 3 に示すように、六軸力算出部 3 2 a と、接触検知部 3 2 b と、補償部本体 3 2 c と、を備えている。上記六軸力算出部 3 2 a は、力センサ部 2 3 L, 2 3 R からの検出出力に基づいて六軸力 (F_x , F_y , F_z , T_x , T_y , T_z) を補償部本体 3 2 c に出力する。また、接触検知部 3 2 b は、力センサ部 2 3 L, 2 3 R からの検出出力に基づいて力成分を分解し、各力センサ部 2 3 L, 2 3 R の各検出出力が、床面からの力によるものか、床面上に在る物体との接触によるものかを判断し、前もってセンサ構成情報部 3 2 d に記録されているセンサ構成情報を参照しながら、各力センサ部 2 3 L, 2 3 R のどの力センサ 3 6 a, 3 6 b, 3 6 c, 3 6 d (後述) が足側面の接触を検知したかを判別して、当該力センサのフラグ情報を補償部本体 3 2 c に出力する。その際、接触検知部 3 2 b は、各力センサのタッチセンサとしての出力信号 { $Sw_x(0)$, $Sw_y(0)$, $Sw_z(0)$; $Sw_x(1)$, $Sw_y(1)$, $Sw_z(1)$; ... } を出力するが、足側面の接触を検知した力センサの出力信号のフラグを例えば 0 から 1 に設定することにより、各力センサのフラグ情報を出力する。

これにより、補償部本体 3 2 c は、六軸力算出部 3 2 a からの六軸力に基づいて水平床反力 F を演算し、さらに接触検知部 3 2 b からのフラグ情報を参照して、この水平床反力 F 及び角度計測ユニット 3 1 からの状態ベクトル ϕ に基づいて歩容生成部 2 4 からの歩容データを修正し、ベクトル θ_i ($i = 1$ から n 、ただし、 n はロボット 1 0 の歩行に関する自由度) を制御部 3 3 に出力する。

上記制御部 33 は、補償部 32 で修正された歩容データであるベクトル θ_i から、ロボットの各関節部における角度ベクトル θ_0 を減算して、ベクトル $(\theta_i - \theta_0)$ に基づいて、各関節駆動用モータの制御信号、即ちトルクベクトル τ を生成する。上記モータ制御ユニット 34 は、制御部 33 からの制御信号（トルクベクトル τ ）に従って各関節駆動用モータを駆動制御する。

ここで、上記力センサ部 23L, 23R は左右対称の構成であるから、力センサ 23L について図 4 を参照して説明する。力センサ部 23L は、足部 14L の下面である足裏板 35 の下側にて、水平方向に分割して、即ち x 方向に二分割、y 方向に二分割して設けられた四個の力センサ 36a, 36b, 36c, 36d として構成されている。各力センサ 36a, 36b, 36c, 36d は互いに同じ構成であり、力センサ 36a について、以下に説明する。この力センサ 36a は、上方のソール 37 と下方のソール 38 との間に取り付けられた三軸力センサであって、下方のソール 38 が受ける力を検出するようにになっている。

ここで、下方のソール 38 は、力センサ 36a のセンサ軸を中心に前後左右に揺動可能に支持されており、全方位について揺動により接地し得るようになっておると共に、足部 14L の外縁に隣接する部分、即ち、足側面に、上方に向かって立ち上がる側壁 38a を備えている。これにより、足部 14L が、床面上に在る物体に対して側方に当たったとき、下方ソール 38 の側壁 38a が当該物体に衝突して、その衝撃力が力センサ 36a に伝達して、力センサ 36a がこの接触を検出することができる。なお、力センサ部 23L 及び 23R はそれぞれ四個の各力センサ 36a ~ 36d に分割されているが、これに限らず、少なくとも各足部 14L, 14R のかかと部の両側及び足先部の両側の四個に分割されていればよく、さらに五個以上に分割されていてもよい。また、各力センサ 36a 乃至 36d は、図示の場合、足裏にて整列して配置されているが、これに限らず任意に配置されていてもよい。

ところで、一般的には同一平面上に四個以上の力センサが設けられていても、すべての力センサが着地した状態で、それぞれ力を検出することは幾何学的にも不可能になり、四個目以上は冗長となる。しかしながら、この場合には、各分割部が互いに分割されていることにより、すべての力センサ 36a 乃至 36d が床

面に着地可能となり、冗長な力センサがなくなって、各力センサがそれぞれ力を検出することができる。

従って、足部 14 L, 14 R の床面への着地により加えられる力は、各力センサ 36 a 乃至 36 d に分散して印加されることになるので、各力センサ 36 a 乃至 36 d は、小型で軽量のものを使用することができ、これにより、各力センサ 36 a 乃至 36 d のコストを低減することができる。また、各力センサ 36 a 乃至 36 d に印加される力が小さくなるので、解像度が向上する。従って、同じ解像度を得るためには、各力センサ 36 a 乃至 36 d を受けて A/D 変換する A/D コンバータとして、比較的性能が低く安価なものを使用することができるので、A/D コンバータのコストを低減することができる。

ここで、上述した各力センサ 36 a 乃至 36 d は、三軸力センサであるが、二個以上の三軸力センサが在れば、六軸方向の力を演算することができる。

以下、一般的に n 個の三軸力センサから、六軸方向の力を演算する場合について図 5 を参照して説明する。図 5 において、足裏にて、力計測の原点 O (O_x , O_y) に対して、 n 個の三軸力センサ S_1 , S_2 , S_3 , $\dots$, S_n が配置されている。なお、力計測の原点 O は、例えば足部の関節の駆動座標系に一致させることが好ましい。

ここで、各三軸力センサ S_i の位置を、 $S_i = (X(i), Y(i))$ とすると、六軸方向の力は、それぞれ以下の式で与えられる。

即ち、各方向の力 F_x , F_y , F_z は、

$$F_x = \sum_{i=1}^n f_{x(i)} \quad (1)$$

$$F_y = \sum_{i=1}^n f_{y(i)} \quad (2)$$

$$F_z = \sum_{i=1}^n f_{z(i)} \quad (3)$$

で与えられ、また各方向のトルク T_x , T_y , T_z は、

$$T_x = \sum_{i=1}^n f_{z(i)} \cdot (Y(i) - O_y) \quad (4)$$

$$T_y = \sum_{i=1}^n f_{z(i)} \cdot (X(i) - O_x) \quad (5)$$

$$T_Z = \sum_{i=1}^n f_{Y(i)} \cdot \cos \alpha + f_{X(i)} \cdot \sin \alpha \sqrt{(X(i) - O_X)^2 + (Y(i) - O_Y)^2} \quad (6)$$

で与えられる。ただし、上記式(6)において、 α は、

$$\alpha = \arctan \left(\frac{X(i) - O_X}{Y(i) - O_Y} \right) \quad (7)$$

で与えられる。

このようにして、各三軸力センサ36a乃至36dの検出出力に基づいて、補償部32内に設けられた六軸力算出部32aにより演算が行なわれ、六軸方向の力が検出されることになる。

さらに、これらの六軸方向の力から、水平床反力 F は、床面とロボット10の足裏の摩擦力によって生ずる水平方向の力、即ち上記X方向及びY方向の力 F_x 、 F_y の合力として表わされ、そのベクトル F_c 及び大きさ $|F_c|$ は、

$$F_c = \begin{bmatrix} F_x \\ F_y \end{bmatrix}, \quad |F_c| = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \quad (8)$$

で表わされる。

なお、各三軸力センサ36a乃至36dは、個々の検出出力のバラツキがあると共に、周囲の温度、経年変化等によって検出出力が変動する。従って、各三軸力センサ36a乃至36dの検出出力は、例えば自動キャリブレーションにより補償部32内にて自動的に較正される。

本発明の実施形態による二脚歩行式ロボット10は以上のように構成されており、歩行動作は図6に示すフローチャートにより以下のように行なわれる。

図6において、先ずステップST1にて、歩容生成部24が、入力された要求動作($J=J$)に基づいて歩容データを生成し、歩行制御装置30の補償部32へ出力する。そして、ステップST2にて、双方の足部14L、14Rに備えられた力センサ23L、23Rがそれぞれ力を検出して、補償部32の六軸力算出部32a及び接触検知部32bへ出力する。これと並行して、ステップST3にて、角度計測ユニット31が、各関節部15L、15R乃至20L、20Rの状

態ベクトル ϕ を計測して、補償部32へ出力する。

ステップST4にて、六軸力算出部32aは、力センサ部23L, 23Rの各力センサ36a乃至36dの検出出力に基づいて六軸力を算出し、補償部本体32cへ出力する。これと並行して、ステップST5にて、接触検知部32bが、力センサ部23L, 23Rの各力センサ36a乃至36dの検出出力に基づいて、後述するように、どの力センサ36a乃至36dが足側面の接触を検知しているかを判断して、当該力センサ36a乃至36dのフラグ情報を補償部本体32cへ出力する。これにより、ステップST6にて、補償部32の補償部本体32cが、六軸力算出部32aからの六軸力に基づいて水平床反力Fを演算する。

ステップST7にて、補償部32の補償部本体32cは、この水平床反力F及び角度計測ユニット31からの各関節部15L, 15R乃至20L, 20Rの状態ベクトル ϕ に基づいて、接触検知部32bからのフラグ情報を参照しながら歩容データを修正し、ベクトル θ_i を制御部33へ出力する。ここで、補償部32は、六軸力を公知のZMP補償関数に適用して歩容データを修正するようにしてもよい。この公知のZMP補償関数については、例えば本出願人による2002年12月19日付で国際公開された国際特許出願（国際公開番号WO02/100606 A1）を参照できる。なお、上記ZMP補償関数に限らず、従来の補償関数に六軸力を適用して歩容データを修正してもよいことは勿論である。

次に、ステップST8にて、制御部33は、ベクトル θ_i からロボットの各関節部における角度ベクトル θ_0 を減算して、ベクトル $(\theta_i - \theta_0)$ に基づいて各関節駆動用モータの制御信号、即ちトルクベクトル τ を生成し、モータ制御ユニット34へ出力する。そして、ステップST9にて、モータ制御ユニット34が、このトルクベクトル τ に基づいて、各関節部の関節駆動用モータを駆動制御する。これにより、二脚歩行式ロボット10は、要求動作に対応して歩行動作を行なうことになる。

その後、ステップST10にて、制御部33が、動作カウンタインクリメントにより $J = J + 1$ として、所定のサンプリング時間になるまで待機した後、ステップST11にて、上記Jが前以て決められた動作終了カウント以下の場合には再びステップ2に戻って、上記動作を繰り返す。そして、ステップST11にて

、上記 J が動作終了カウントを超えた場合には動作を終了する。

ここで、上述したステップ S T 5 における接触検知部 3 2 b による足側面の接触の検知は、図 7 のフローチャートに示すようにして行なわれる。図 7 において、接触検知部 3 2 b は、初期条件 $K = 0$ から、ステップ S T 2 1 にて、 $K = K + 1$ として、ステップ S T 2 2 にて、K 番目（各力センサ部 2 3 L, 2 3 R の個々の力センサ 3 6 a 乃至 3 6 d には予め通し番号が付されている）の力センサ 3 6 a 乃至 3 6 d の接触検知作業を開始する。図において、N 個のセンサを有している場合を説明しているが、ここでは $N = 8$ 、即ち $K = 1 \sim 8$ として説明する。

ステップ S T 2 3 にて、前もってセンサ構成情報部 3 2 d に記録されているセンサ構成情報から当該力センサの足中心方向を取得して、三軸に関してその方向を正と設定する。続いて、ステップ S T 2 4 にて、当該力センサ 3 6 a 乃至 3 6 d が力を検知すると、ステップ S T 2 5 にて、接触検知部 3 2 b は、X 方向に関して正の力を検出しているか否か ($F_x (K) > 0 ?$) を判断し、正の力である場合には、ステップ S T 2 6 にて、当該力センサに関してフラグを立てる ($Sw_x (K) = 1$ に設定) と共に、正の力でない場合には、ステップ S T 2 7 にて、当該力センサに関してフラグを下ろす ($Sw_x (K) = 0$ に設定)。

ステップ S T 2 8 にて、接触検知部 3 2 b は、Y 方向に関して正の力を検出しているか否か ($F_y (K) > 0 ?$) を判断し、正の力である場合には、ステップ S T 2 9 にて、当該力センサに関してフラグを立てる ($Sw_y (K) = 1$ に設定) と共に、正の力でない場合には、ステップ S T 3 0 にて、当該力センサに関してフラグを下ろす ($Sw_y (K) = 0$ に設定)。

その後、ステップ S T 3 1 にて、接触検知部 3 2 b は、Z 方向に関して、正の力を検出しているか否か ($F_z (K) > 0 ?$) を判断し、正の力である場合には、ステップ S T 3 2 にて、当該力センサに関してフラグを立てる ($Sw_z (K) = 1$ に設定) と共に、正の力でない場合には、ステップ S T 3 3 にて、当該力センサに関してフラグを下ろす ($Sw_z (K) = 0$ に設定)。

最後に、ステップ S T 3 4 にて、接触検知部 3 2 b は、上記各フラグ情報を補償部本体 3 2 c に出力すると共に、 $K = 8 ?$ の判定を行ない、 $K \neq 8$ の場合には、ステップ S T 2 1 に戻って、 $K = K + 1$ として、上記ステップ S T 2 2 から S

T 3 4 の動作を繰り返し行なう。また、 $K = 8$ の場合には、接触検知の作業を終了する。

このようにして、図 8 (A) に示すように、足部 1 4 L に関して、左方から接触力を受けたとき、あるいは図 8 (B) に示すように、足部 1 4 L に関して、斜め下方から接触力を受けたとき、さらには図 (C) に示すように、左方及び斜め下方の複数方向から接触力を受けたとき、それぞれ力センサ 3 6 a 及び／又は 3 6 d が、それぞれタッチセンサとして作用することにより、接触検知部 3 2 b による接触検知が行なわれる。

この場合、二脚歩行式ロボット 1 0 において、各関節駆動用モータの駆動制御の際に、補償部 3 2 の補償部本体 3 2 c にて、各足部 1 4 L, 1 4 R の足裏に設けられた力センサ部 2 3 L, 2 3 R からの水平床反力 F に基づいて、接触検知部 3 2 b による足側面の接触を示すフラグ情報を参照しながら歩容データが修正され、ベクトル θ_i が生成され、この水平床反力 F を規範としてロボット 1 0 の安定性が得られる。これにより、ロボット 1 0 の各足部 1 4 L, 1 4 R が、例えば床面上に在る障害物や段差等に当たったとしても、足裏に設けられた力センサ部 2 3 L, 2 3 R が足側面の接触を検知することができるので、従来のようにそのまま歩行動作を続行して場合によっては転倒してしまうことはなく、要求動作に対する歩行動作を確実に行なうことが可能になる。

この実施形態の二脚歩行式ロボット 1 0 によれば、各足部 1 4 L, 1 4 R の足裏に設けられた力センサ部 2 3 L, 2 3 R、即ち複数に分割された足裏にそれぞれ設けられた三軸力センサ 3 6 a 乃至 3 6 d からの検出信号から演算される水平床反力 F に基づいて、さらに接触検知部 3 2 b による足側面の接触の検知を参照しながら歩容データを修正することにより、足裏の床面との摩擦力により生ずる水平床反力 F を規範として歩行制御を行なうことができる。さらに、力センサ部 2 3 L, 2 3 R を側面に関するタッチセンサとしても利用して、足側面の接触を検知することができるので、簡単な構成になり低コストで、床面上に在る障害物や段差等があっても、ロボット 1 0 の歩行安定化を実現することができる。

上述した実施形態においては、力センサ部 2 3 L, 2 3 R は、それぞれ図 4 に示すように、各力センサ 3 6 a 乃至 3 6 d の下方のソール 3 8 の側壁 3 8 a が全

体として長方形の外形を有しているが、これに限らず、図9（A）に示すように、検出部材としての下方のソール38の側壁38aの少なくとも一部、図示の場合、角部が、それぞれ各力センサ36a, 36b, 36c, 36dを中心とする半径R1, R2, R3, R4の円弧面として形成されていてもよい。このような構成により、円弧面として形成された側壁38aの部分に関して、床面上に在る障害物や段差等の物体が接触した場合、対応する力センサ36a乃至36dが接触力を計算する際に、これらの部分から力センサ36a乃至36dまでの距離が常に等しいことから、計算が簡略化され、検出時間が短縮される。さらに、図9（B）に示すように、各側壁38aの少なくとも一部が、それぞれ各力センサ36a乃至36dを中心とする互いに同じ半径Rの円弧面として形成されている場合には、各力センサ36a乃至36dにおける計算式のパラメータが同一になり、より計算が簡略化され、より一層検出時間が短縮される。

上述した実施形態においては、本発明を二脚歩行式ロボットに適用した場合について説明したが、これに限らず、他の各種機器を二本足で支持すると共に、この二本足で歩行するようにした二脚歩行式移動装置や、さらには複数本の脚部で支持し且つ歩行を行なう歩行式ロボットや歩行式移動装置に対しても本発明を適用し得ることは明らかである。

産業上の利用可能性

以上述べたように、この発明によれば、ロボットが歩行動作中に各足部が、例えば床面上に在る障害物や段差等に当たったときでも、足側面の接触を検知して歩容データを修正することにより、ロボットの安定性を確保することができ、転倒することがなく確実に歩行制御を行なうことが可能となり、歩行安定性を実現できる極めて優れた二脚歩行式移動装置と、その歩行制御装置及び歩行制御方法が提供される。

請 求 の 範 囲

1. 本体と、本体の下部両側にて二軸方向に揺動可能に取り付けられた中間に膝部を有する複数本の脚部と、各脚部の下端に二軸方向に揺動可能に取り付けられた足部と、各脚部、膝部及び足部を揺動させる駆動手段と、要求動作に対応して、目標角度軌道、目標角速度、目標角加速度を含む歩容データを生成する歩容生成部と、この歩容データに基づいて上記駆動手段を駆動制御する歩行制御装置と、を備えており、

上記歩行制御装置が、各足部における足裏に加わる力を検出する力センサと、上記力センサで検出された力のうち、水平床反力に基づいて歩容生成部からの歩容データを修正する補償部と、を含んでいる二脚歩行式移動装置であって、

上記力センサが、各足部の足裏の複数に分割された領域にそれぞれ備えられていて、各足裏の端縁に隣接する領域に備えられた力センサが、それぞれ足側面の接触を検知すると共に、

上記補償部が、足側面の接触を参照しながら、歩容生成部からの歩容データを修正することを特徴とする、歩行式移動装置。

2. 前記力センサが、三軸力センサであって、前記各足裏の端縁に隣接する領域にて、対応する力センサの検出部材としてのソール外縁の少なくとも一部が、当該力センサを中心とする円弧面を形成していることを特徴とする、請求項1に記載の歩行式移動装置。

3. 前記力センサが、三軸力センサであって、前記補償部が、各力センサからの検出信号に基づいて、六軸方向の力を演算する六軸力算出部と、力成分の分解により足側面の接触を検出する接触検知部と、を備えていることを特徴とする、請求項1又は2に記載の歩行式移動装置。

4. 前記接触検知部は、各力センサからの検出信号が、床面からの力によるものか、床面上の物体との接触によるものかを判断して、どの力センサが足側

面の接触を検出したかのフラグ情報を補償部に出力することを特徴とする、請求項 2 又は 3 に記載の歩行式移動装置。

5. 本体と、本体の下部両側にて二軸方向に揺動可能に取り付けられた中間に膝部分を有する複数本の脚部と、各脚部の下端に二軸方向に揺動可能に取り付けられた足部と、各脚部、膝部及び足部を揺動させる駆動手段と、から成る歩行式移動装置に関して、要求動作に対応して歩容生成部により生成される、目標角度軌道、目標角速度、目標角加速度を含む歩容データに基づいて上記駆動手段を駆動制御すると共に、各足部における足裏に加わる力を検出する力センサと、上記力センサで検出された力のうち、水平床反力に基づいて歩容生成部からの歩容データを修正する補償部と、を含んでいる歩行式移動装置の歩行制御装置であって、

上記力センサが、各足部の足裏の複数に分割された領域にそれぞれ備えられていて、各足裏の端縁に隣接する領域に備えられた力センサが、それぞれ足側面の接触を検知すると共に、

上記補償部が、足側面の接触を参照しながら、歩容生成部からの歩容データを修正することを特徴とする、歩行式移動装置の歩行制御装置。

6. 前記力センサが、三軸力センサであって、前記各足裏の端縁に隣接する領域にて、対応する力センサの検出部材としてのソール外縁の少なくとも一部が、当該力センサを中心とする円弧面を形成していることを特徴とする、請求項 5 に記載の歩行式移動装置の歩行制御装置。

7. 前記力センサが、三軸力センサであって、前記補償部が、各力センサからの検出信号に基づいて、六軸方向の力を演算する六軸力算出部と、力成分の分解により足側面の接触を検出する接触検知部と、を備えていることを特徴とする、請求項 5 又は 6 に記載の歩行式移動装置の歩行制御装置。

8. 前記接触検知部は、各力センサからの検出信号が、床面からの力によ

るものか、床面上の物体との接触によるものかを判断して、どの力センサが足側面の接触を検出したかのフラグ情報を補償部に出力することを特徴とする、請求項 7 に記載の歩行式移動装置の歩行制御装置。

9. 本体と、本体の下部両側にて二軸方向に揺動可能に取り付けられた中間に膝部分を有する複数本の脚部と、各脚部の下端に二軸方向に揺動可能に取り付けられた足部と、各脚部、膝部及び足部を揺動させる駆動手段と、から成る歩行式移動装置に関して、要求動作に対応して歩容生成部により生成される、目標角度軌道、目標角速度、目標角加速度を含む歩容データに基づいて上記駆動手段を駆動制御すると共に、各足部における足裏に加わる力を力センサにより検出して、上記力センサで検出された力のうち、水平床反力に基づいて、補償部により歩容生成部からの歩容データを修正する、歩行式移動装置の歩行制御方法であって、

各足部の足裏の複数に分割された領域にてそれぞれ力センサにより力を検出する第一の段階と、

各力センサのうち、足裏の端縁に隣接する領域に備えられた力センサからの検出信号により、それぞれ足側面の接触を検知する第二の段階と、

上記補償部が、足側面の接触を参照しながら、歩容生成部からの歩容データを修正する第三の段階と、

を含んでいることを特徴とする、歩行式移動装置の歩行制御方法。

10. 前記力センサが、三軸力センサであって、前記各足裏の端縁に隣接する領域にて、対応する力センサの検出部材としてのソール外縁の少なくとも一部が、当該力センサを中心とする円弧面を形成していることを特徴とする、請求項 9 に記載の歩行式移動装置の歩行制御方法。

11. 前記力センサが、三軸力センサであって、前記補償部が、各力センサからの検出信号に基づいて、六軸方向の力を演算する六軸力算出部と、力成分の分解により足側面の接触を検出する接触検知部と、を備えていることを特徴と

する、請求項 9 又は 10 に記載の歩行式移動装置の歩行制御方法。

12. 前記接触検知部は、各力センサからの検出信号が、床面からの力によるものか、床面上の物体との接触によるものかを判断して、どの力センサが足側面の接触を検出したかのフラグ情報を補償部に出力することを特徴とする、請求項 10 又は 11 に記載の歩行式移動装置の歩行制御方法。

図 1

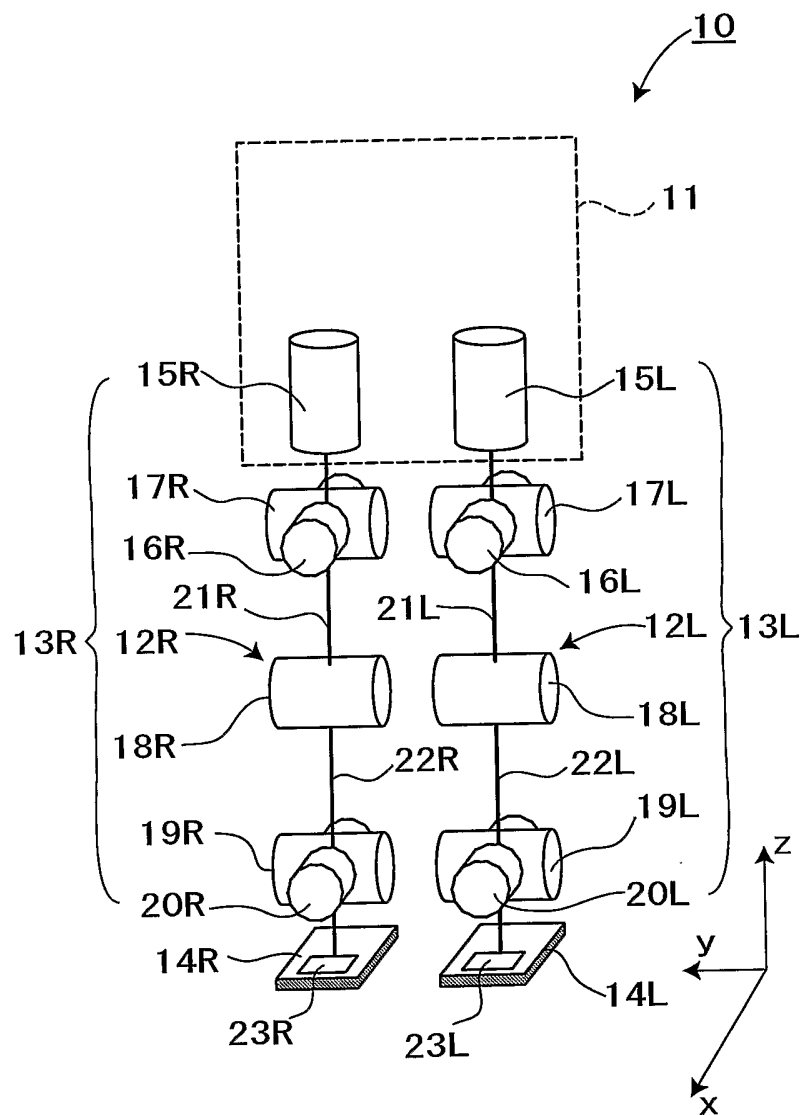


図 2

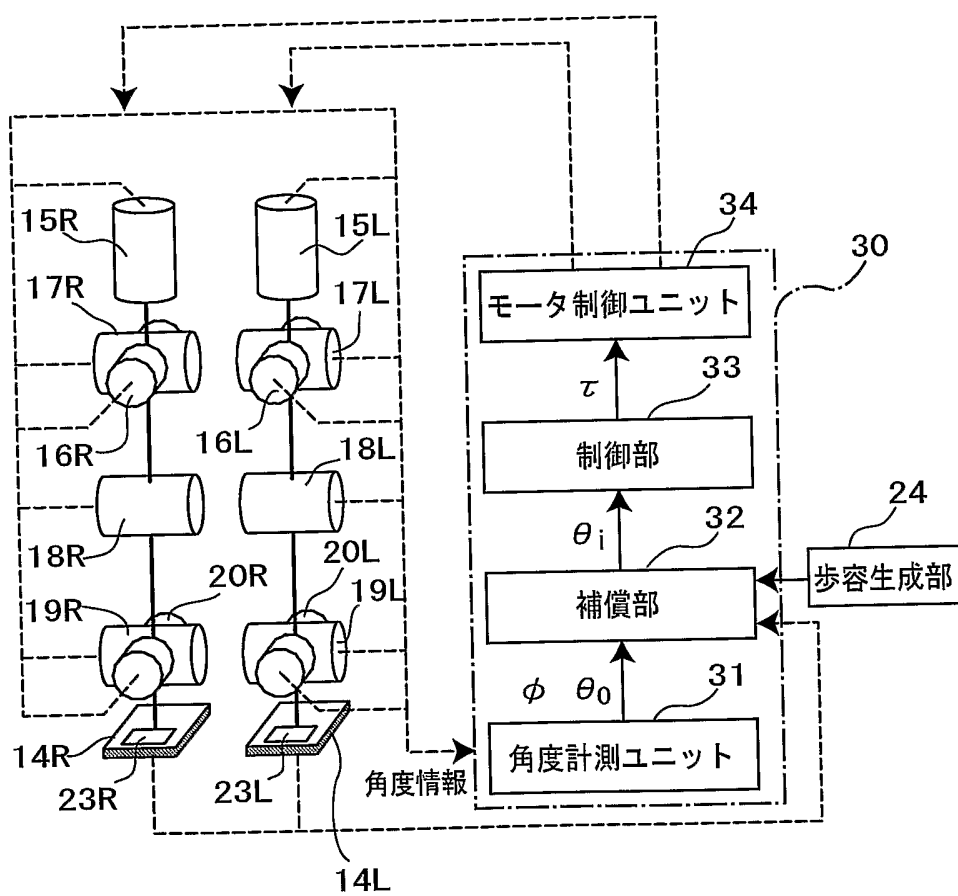


図 3

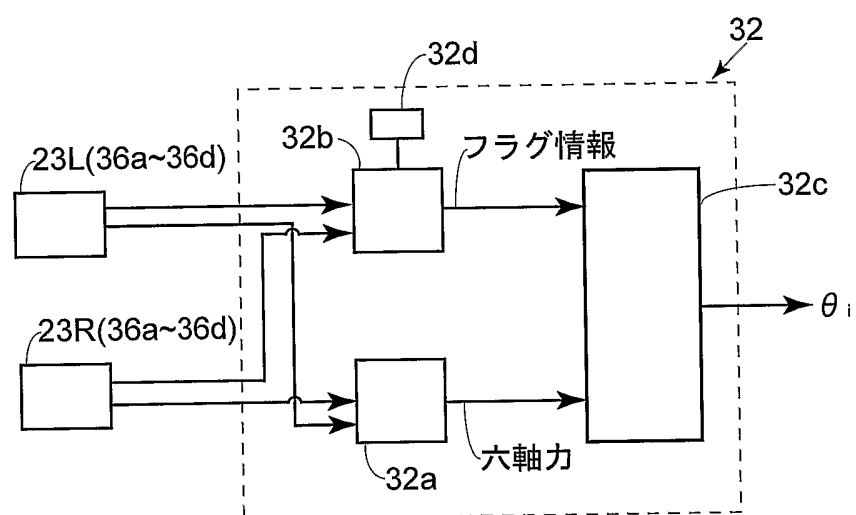


図 4

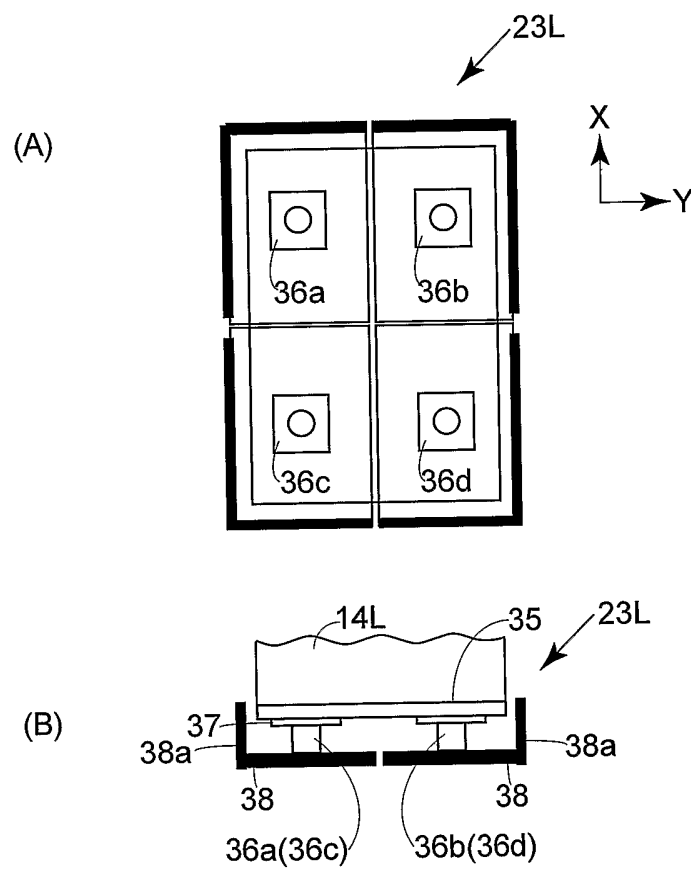


図 5

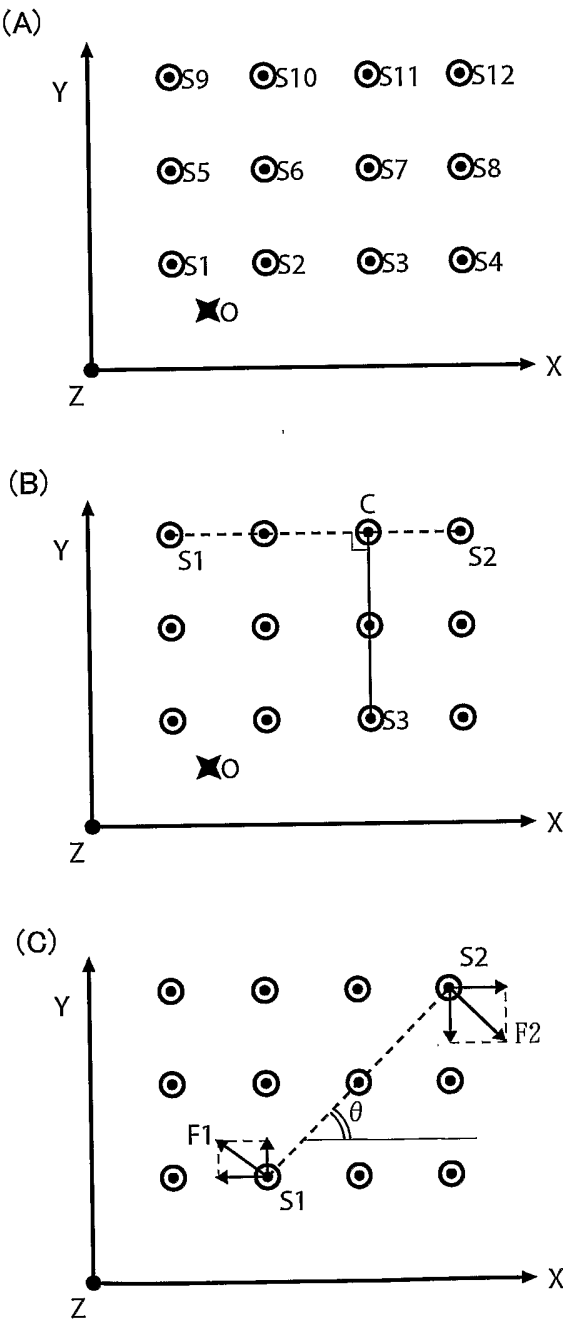


図 6

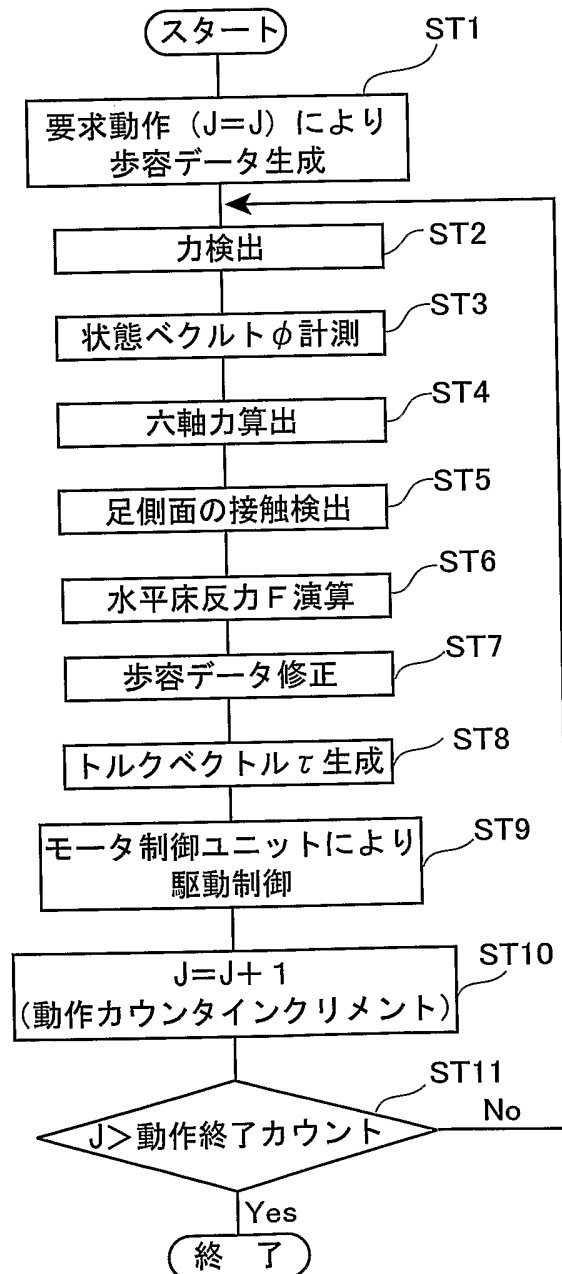


図 7

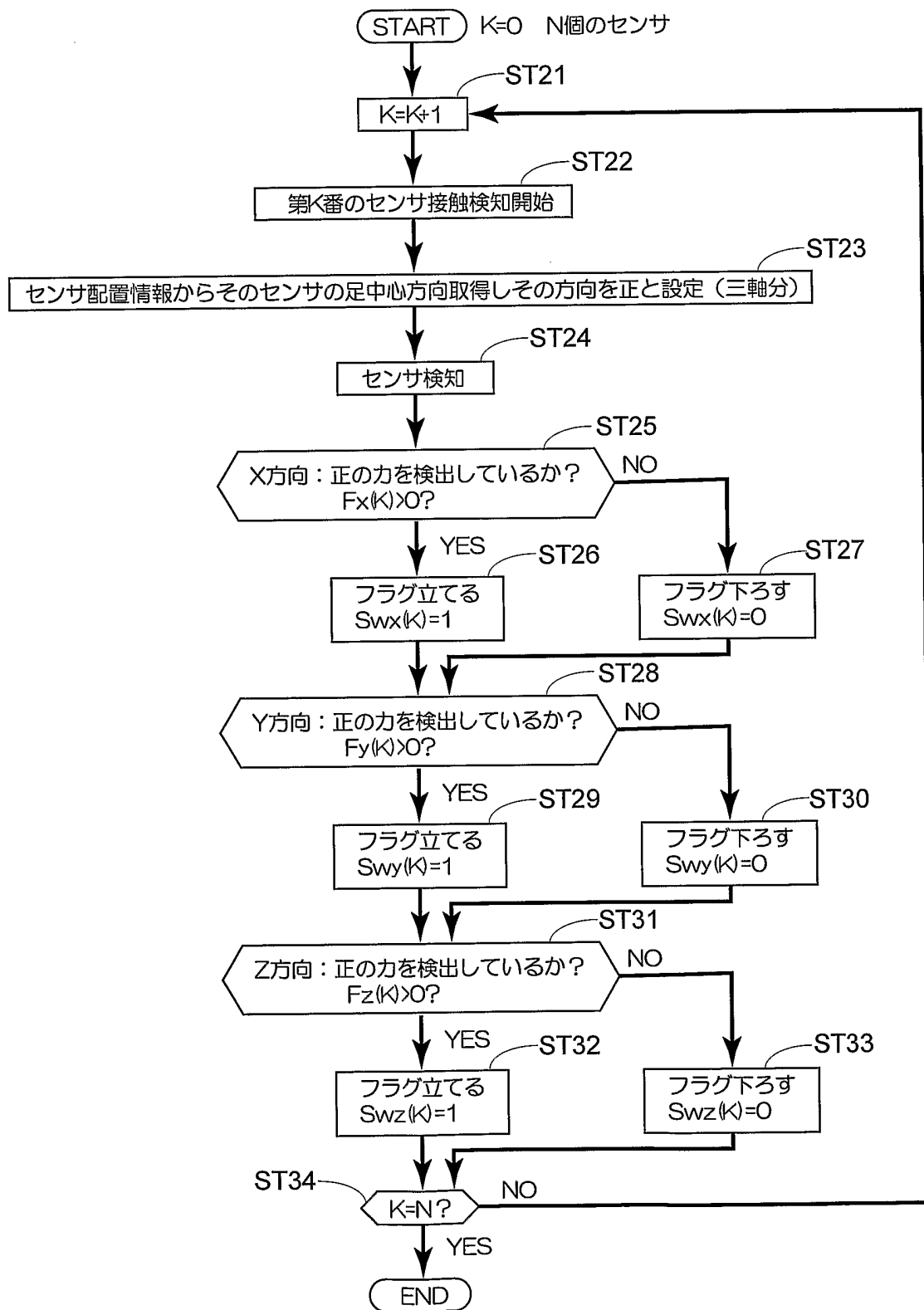


図 8

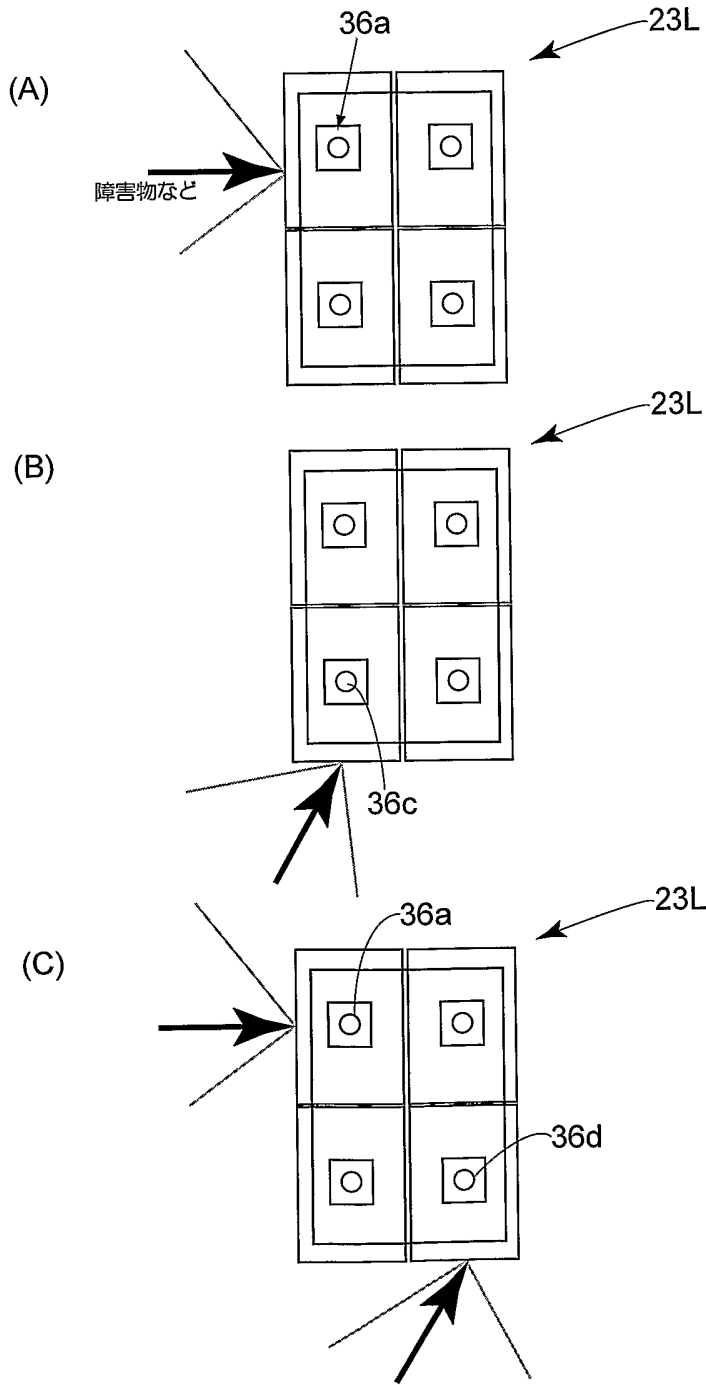
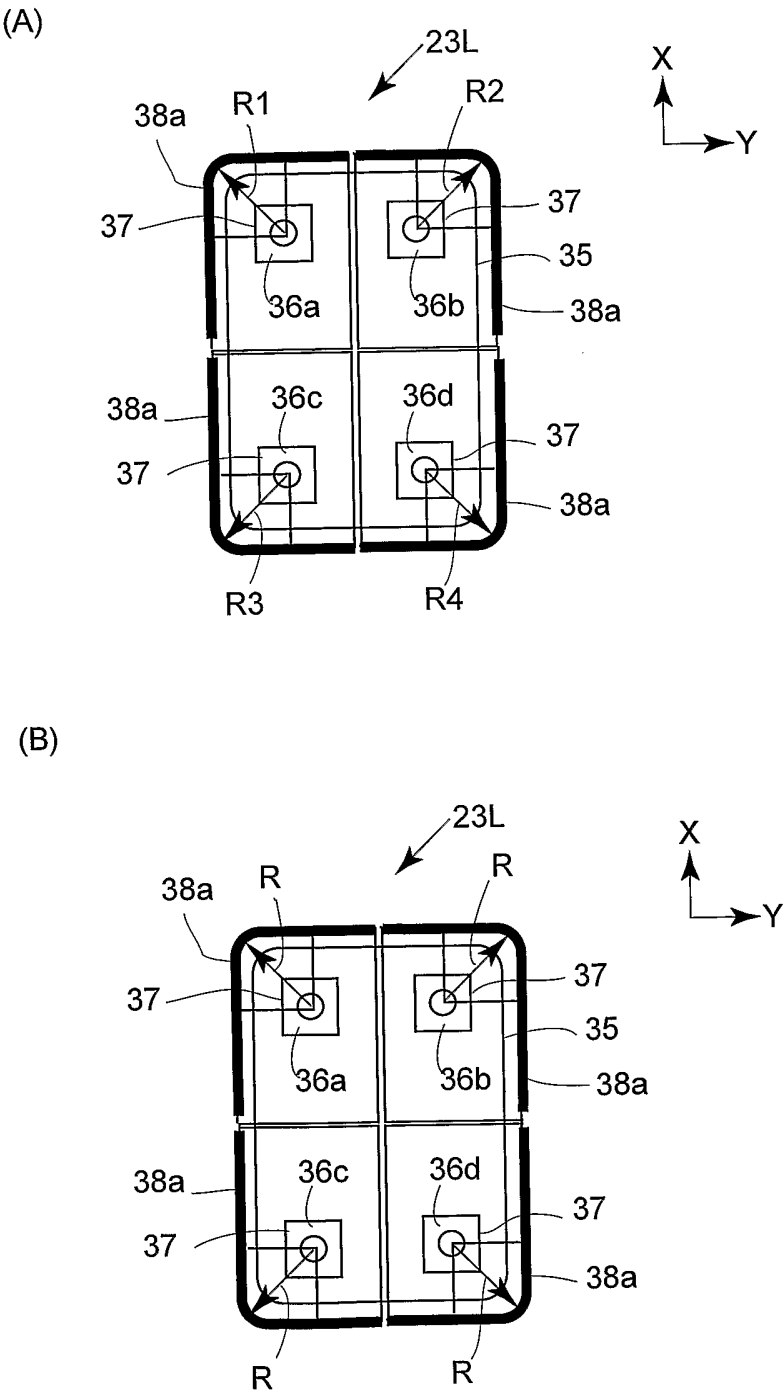


図 9



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/07089

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ B25J5/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ B25J5/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2003

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-1998

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 0433091 A2 (HONDA GIKEN KOGYO KABUSHIKI KAISHA), 14 December, 1990 (14.12.90), Full text & JP 3-184781 A	1-12
A	JP 6-79657 A (HONDA GIKEN KOGYO KABUSHIKI KAISHA), 22 March, 1994 (22.03.94), Full text (Family: none)	1-12

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.
 ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search
12 September, 2003 (12.09.03)Date of mailing of the international search report
30 September, 2003 (30.09.03)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))
Int. Cl⁷ B25J 5/00

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))
Int. Cl⁷ B25J 5/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年
日本国公開実用新案公報 1971-1998年
日本国登録実用新案公報 1994-2003年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	EP 0433091 A2 (HONDA GIKEN KOGY O KABUSHIKI KAISHA) 1990. 12. 14, 全 文& JP 3-184781 A	1-12
A	JP 6-79657 A (本田技研工業株式会社) 1994. 0 3. 22, 全文 (ファミリーなし)	1-12

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日
12. 09. 03

国際調査報告の発送日
30.09.03

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁 (ISA/JP)
郵便番号100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)
佐々木 正章



3C 9133

電話番号 03-3581-1101 内線 3324