

平成21年 6月15日現在

研究種目：基盤研究 (C)
研究期間：2006～2008
課題番号：18510151
研究課題名 (和文) 地雷探知をめざした4脚および6脚步行ロボットの 地雷原移動技術の研究
研究課題名 (英文) A Study of Locomotion Technology on a Mine Field of Quadruped and Six-legged Robot Aiming at Landmine Detection
研究代表者 内田 洋彰 (UCHIDA HIROAKI) 木更津工業高等専門学校・機械工学科・教授 研究者番号：00223561

研究成果の概要：地雷原での地雷探知・除去活動で活躍すると考えられる多リンク形および単リンク形6脚步行ロボットについて、安定した地雷原での歩行を実現する姿勢制御手法および脚角度センサが故障した場合に歩行を実現する手法について検討した。多リンク形については3Dシミュレーションおよび歩行実験により最適サーボ系およびスライディングモード姿勢制御手法の有効性を確認した。また、脚角度センサの一部が損傷した場合に歩行を継続的に実現する手法も提案し、3Dシミュレーションおよび歩行実験により有効性を確認した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	2,100,000	0	2,100,000
2007年度	800,000	240,000	1,040,000
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,700,000	480,000	4,180,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学 社会システム工学・安全システム

キーワード：安全システム, ロボット工学, 制御工学

1. 研究開始当初の背景

現在、全世界には地域紛争等のため1億個以上の対人地雷が埋設されているといわれている。研究開始前3,4年において、ロボット技術を用いて地雷探知・除去を機械化しようとする研究プロジェクトが始まっている。研究代表者はこのプロジェクトの1つとして採択された研究課題“地雷探知ロボットと無人処理車による地雷除去支援”に携わっている。この研究課題では、このプロジェクトの別の研究グループで開発された金属探知機と地中レーダを用いた地雷探知機を、申請者の関わっている研究グループで開発した自律型地雷探知ロボットに搭載し、安全で高効率な地雷除去支援システムを構築しよ

うとするものである。この中で、自律型地雷探知ロボットとしては移動形態として、クローラにより移動するロボットを用いている。クローラ式の自律型地雷探知ロボットを用いて地雷探知作業を行う場合、探知した後除去しないとその後の地雷探知作業が行えないという問題点がある。これは、クローラによる移動は線での移動であることによる。この問題の解決方法としては移動方法を点で移動する脚式とすれば良い。歩行ロボットを用いれば、地雷を除去する必要がなく探知作業のみを行うことができ、地雷がある場所のみを立ち入り禁止区域とするだけでも、地雷原を生活の場としている人々にとっては活動範囲を広げることとなる。申請者の研究グ

ループでは従来4足歩行ロボットおよび6足歩行ロボットの研究を行っており、特に6足歩行ロボットを地雷探知技術へ適用する方法を提案してきている。

2. 研究の目的

(1) 多関節形6脚歩行ロボット

研究の第1の目的は地雷探知、除去活動を目的に開発されている脚1脚が多関節からなる6脚歩行ロボットにおいて地雷探知作業を実現する姿勢制御手法の確立に寄与することである。検討する内容としては、①アクチュエータのダイナミクスを考慮した姿勢制御手法の確立、②脚の角度センサが損傷した場合の歩行制御手法開発の2点とする。

(2) 1リンク6脚歩行ロボット

第2の目的として地雷探知・除去活動の高効率化を目指して小型の4脚または6脚歩行ロボットについても検討する。1リンク6脚歩行ロボットは、①脚1脚が1リンクからなる4脚または6脚歩行ロボットの開発、②脚の角度センサが損傷した場合の歩行制御手法について検討する。

3. 研究の方法

(1) 多関節形6脚歩行ロボット

2006年度は1脚について3自由度を有する多関節形6脚歩行ロボットの開発設計について検討を行った。開発した多関節形6脚歩

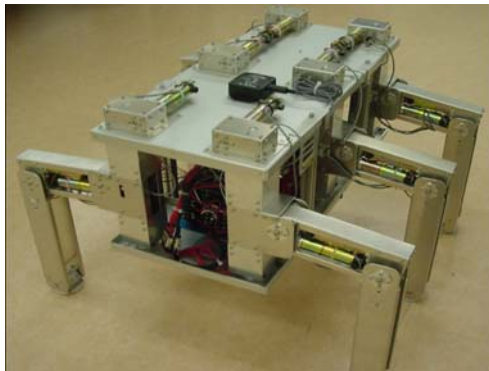


Fig.1 Six-legged robot

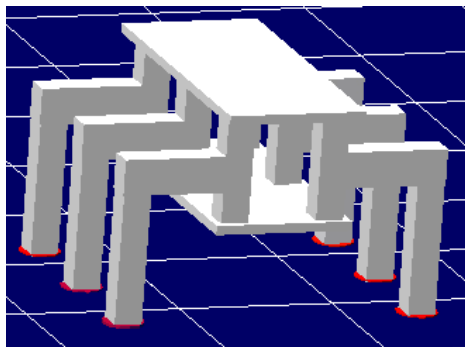


Fig.2 3D CAD model of six-legged robot

行ロボットは、高さ 0.5[m], 全長 0.666[m], 全幅 0.710[m], 重量約 16[kg]であり、脚リンクの駆動機構としては各リンクともウォームギアを用いている。そのため、ロボットの自重による負荷に対して、機構的に耐えることができる。これは地雷原で実際に使用される探知・除去ロボットは油圧式であることが想定され、油圧式では油圧シリンダおよび油圧モータが動作しない状態では機構的にロックされることを考慮している。Fig.1 に開発した6脚歩行ロボットを、Fig.2 に2007年度に機構解析ソフトに構築した開発した6脚歩行ロボットの3DCADモデルを示す。3DCADモデルではアクチュエータのダイナミクスを考慮したモデルとなっており、実機に近いシミュレーション環境となっている。

ここで、制御対象のモデルについて説明する。姿勢制御は間接的に支持脚に作用する鉛直方向の力を制御する。本研究で用いる6脚歩行ロボットの脚リンクにおいて鉛直方向の力を制御するアクチュエータは腿部リンクであるので、腿部リンクの伝達関数を求める。一般的にDCモータで駆動するロボットのリンクの伝達関数は式(1)で示される。

$$G(s) = \frac{b}{s(s+a)} \quad (1)$$

周波数応答実験結果より、式(1)におけるパラメータ a , b を求めた。本研究で用いる6脚歩行ロボットの足リンクは旋回部 (θ_{1i}), 腿部 (θ_{2i}), 脛部 (θ_{3i}) ($i=1, \dots, 6$) の3自由度を有している。ここで、歩行ロボットの姿勢制御の際に重要となる腿部の伝達関数式(1)を状態空間表現すると、次式で表される。

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} -a & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} b \\ 0 \end{bmatrix} u_i(t) \quad (2-a)$$

$$\theta_{2i}(t) = \begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{i1} \\ x_{i2} \end{bmatrix} \quad (2-b)$$

Fig.3 に腿部関節角度と支持脚に作用する鉛直方向の力との関係を示す。図中において l_{ii} は腿部リンクの長さ、 C_e および K_e は、接触面の減衰定数およびバネ定数である。この図において、次の仮定を設ける。

① 脛部は常に接触面に垂直になる ($\theta_{3i} = 0$)。

② θ_{2i} の変動は微小である。

この仮定により支持脚に作用する鉛直方向の力 F_i は、次式となる。

$$F_i = K_e l_{ii} \theta_{2i} + C_e l_{ii} \dot{\theta}_{2i} \quad (3)$$

式(2)を式(3)に代入すると

$$F_i = K_e l_{ii} x_{i2} + C_e l_{ii} \dot{x}_{i1} \quad (4)$$

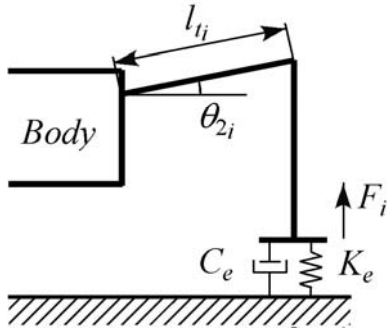


Fig.3 Relationship between the angle of thigh and the force in the perpendicular direction of the supporting leg

6足歩行ロボットが6脚支持の状態を考える。支持脚の鉛直方向の力を F_i ($i=1\sim 6$)、ロボット胴体の質量を M 、ロボット胴体の重心におけるピッチ軸およびロール軸周りの慣性モーメントを I_p および I_r 、ロボット胴体の歩行面からの高さを z 、胴体のピッチ角およびロール角を θ_p および θ_r 、支持脚の水平面における座標を x_i, y_i ($i=1\sim 6$) とする。この場合の鉛直方向とピッチ軸およびロール軸周りにおける運動方程式は次式となる。

$$\begin{cases} M\ddot{z} = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5 + F_6 - Mg \\ I_p\ddot{\theta}_p = y_1F_1 + y_2F_2 + y_3F_3 + y_4F_4 + y_5F_5 + y_6F_6 \\ I_r\ddot{\theta}_r = x_1F_1 + x_2F_2 + x_3F_3 + x_4F_4 + x_5F_5 + x_6F_6 \end{cases} \quad (5)$$

式(4)で表される各脚の力を式(5)に代入すると各脚の状態変数、胴体のピッチ角、ロール角、胴体高さおよびそれらの速度からなる $x = [x_{11}, x_{12}, x_{21}, x_{22}, x_{31}, \dots, x_{62}, \theta_p, \theta_r, z, \dot{\theta}_p, \dot{\theta}_r, \dot{z}]$ という 18 次の状態変数を定義することにより次の状態方程式が得られる。

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \\ \dot{x}_5 \\ \dot{x}_6 \\ \dot{x}_7 \\ \dot{x}_8 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & 0_{2 \times 2} & 0_{2 \times 2} & 0_{2 \times 2} & 0_{2 \times 2} & 0_{2 \times 2} & 0_{2 \times 3} & 0_{2 \times 3} \\ 0_{2 \times 2} & A_{22} & 0_{2 \times 2} & 0_{2 \times 2} & 0_{2 \times 2} & 0_{2 \times 2} & 0_{2 \times 3} & 0_{2 \times 3} \\ 0_{2 \times 2} & 0_{2 \times 2} & A_{33} & 0_{2 \times 2} & 0_{2 \times 2} & 0_{2 \times 2} & 0_{2 \times 3} & 0_{2 \times 3} \\ 0_{2 \times 2} & 0_{2 \times 2} & 0_{2 \times 2} & A_{44} & 0_{2 \times 2} & 0_{2 \times 2} & 0_{2 \times 3} & 0_{2 \times 3} \\ 0_{2 \times 2} & 0_{2 \times 2} & 0_{2 \times 2} & 0_{2 \times 2} & A_{55} & 0_{2 \times 2} & 0_{2 \times 3} & 0_{2 \times 3} \\ 0_{2 \times 2} & 0_{2 \times 2} & 0_{2 \times 2} & 0_{2 \times 2} & 0_{2 \times 2} & A_{66} & 0_{2 \times 3} & 0_{2 \times 3} \\ 0_{3 \times 2} & 0_{3 \times 2} & 0_{3 \times 2} & 0_{3 \times 2} & 0_{3 \times 2} & 0_{3 \times 2} & 0_{3 \times 3} & A_{78} \\ A_{81} & A_{82} & A_{83} & A_{84} & A_{85} & A_{86} & 0_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \\ x_7 \\ x_8 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_1 & 0_{2 \times 1} & 0_{2 \times 1} & 0_{2 \times 1} & 0_{2 \times 1} & 0_{2 \times 1} \\ 0_{2 \times 1} & B_2 & 0_{2 \times 1} & 0_{2 \times 1} & 0_{2 \times 1} & 0_{2 \times 1} \\ 0_{2 \times 1} & 0_{2 \times 1} & B_3 & 0_{2 \times 1} & 0_{2 \times 1} & 0_{2 \times 1} \\ 0_{2 \times 1} & 0_{2 \times 1} & 0_{2 \times 1} & B_4 & 0_{2 \times 1} & 0_{2 \times 1} \\ 0_{2 \times 1} & 0_{2 \times 1} & 0_{2 \times 1} & 0_{2 \times 1} & B_5 & 0_{2 \times 1} \\ 0_{2 \times 1} & 0_{2 \times 1} & 0_{2 \times 1} & 0_{2 \times 1} & 0_{2 \times 1} & B_6 \\ 0_{3 \times 1} & 0_{3 \times 1} & 0_{3 \times 1} & 0_{3 \times 1} & 0_{3 \times 1} & 0_{3 \times 1} \\ 0_{3 \times 1} & 0_{3 \times 1} & 0_{3 \times 1} & 0_{3 \times 1} & 0_{3 \times 1} & 0_{3 \times 1} \end{bmatrix} u + \begin{bmatrix} 0_{2 \times 1} \\ 0_{2 \times 1} \\ 0_{2 \times 1} \\ 0_{2 \times 1} \\ 0_{2 \times 1} \\ 0_{2 \times 1} \\ 0_{3 \times 1} \\ d_8 \end{bmatrix} g \quad (6)$$

ここで、

$$x_i = \begin{bmatrix} x_{i1} \\ x_{i2} \end{bmatrix} \quad (i=1, \dots, 6), \quad x_7 = \begin{bmatrix} z \\ \theta_p \\ \theta_r \end{bmatrix},$$

$$x_8 = \begin{bmatrix} \dot{z} \\ \dot{\theta}_p \\ \dot{\theta}_r \end{bmatrix}, \quad A_{ii} = \begin{bmatrix} -a - \frac{C_e l_{ii}^2}{I} & \frac{K_e l_{ii}^2}{I} \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$(i=1, \dots, 6), \quad A_{78} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$A_{8i} = \begin{bmatrix} \frac{C_e l_{ii}}{M} & \frac{K_e l_{ii}}{M} \\ \frac{C_e l_{ii}}{I_p} y_i & \frac{K_e l_{ii}}{I_p} y_i \\ \frac{C_e l_{ii}}{I_r} x_i & \frac{K_e l_{ii}}{I_r} x_i \end{bmatrix} \quad (i=1, \dots, 6),$$

$$B_i = \begin{bmatrix} b \\ 0 \end{bmatrix} \quad (i=1, \dots, 6), \quad u = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \\ u_5 \\ u_6 \end{bmatrix}, \quad d_8 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

である。

式(6)を以下のようにおく。

$$\dot{x} = Ax + Bu + fg \quad (7)$$

式(7)で表わされるシステムに対して最適サーボ系、スライディングモードサーボ系を設計する。2007年度において①アクチュエータのダイナミクスを考慮した姿勢制御手法については、“最適サーボ系によるアクチュエータのむだ時間を考慮した6足歩行ロボットの姿勢制御”および“スライディングモード制御によるアクチュエータのむだ時間を考慮した6脚歩行ロボットの姿勢制御”について、実機を用い、検証を行った。②の課題“脚の角度センサが損傷した場合の歩行制御手法開発”については、2008年度に3DCADモデルを用いてシミュレーションにより検討する。Fig.1に開発した6足歩行ロボットの外観を、Fig.2に開発した6脚歩行ロボットの3DCADモデルを示す。3Dシミュレーションにより各制御手法の有効性を確認後、実機を用いても確認する。歩容は5脚支持歩行とした。

(2) 1リンク 6脚歩行ロボット

Fig.4 に開発した脚 1 脚が半円弧形状の 1 リンク 6 脚歩行ロボットを示す。開発した 1 リンク 6 脚ロボットのサイズは全幅 0.37[m], 全長 0.75[m], 高さ 0.24[m], 重量は 5.1[kg] である。1 リンクの脚は半径約 60mm の半円状となっている。

4. 研究成果

(1) 多関節形 6 脚歩行ロボット

2006 年度は Fig.1 に示される 6 脚歩行ロボットの開発および実験環境の構築に費やしたので①アクチュエータのダイナミクスを考慮した姿勢制御手法については、2007 年度に“最適サーボ系によるアクチュエータのダイナミクスを考慮した 6 脚歩行ロボットの姿勢制御”および“スライディングモード制御によるアクチュエータのダイナミクス

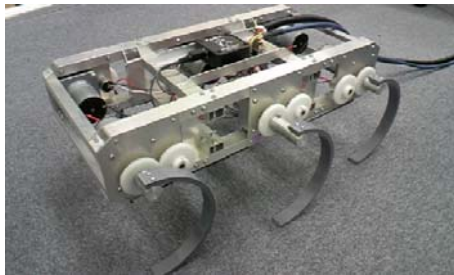


Fig.4 1 link six-legged robot

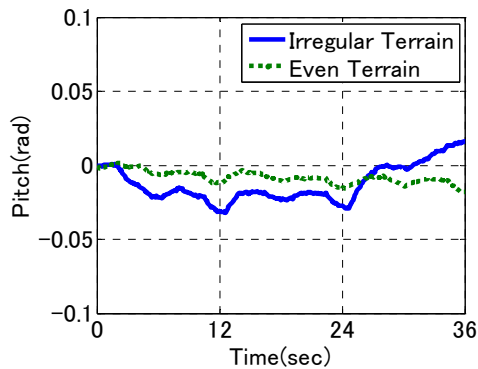


Fig.5 Experimental results of pitching angle

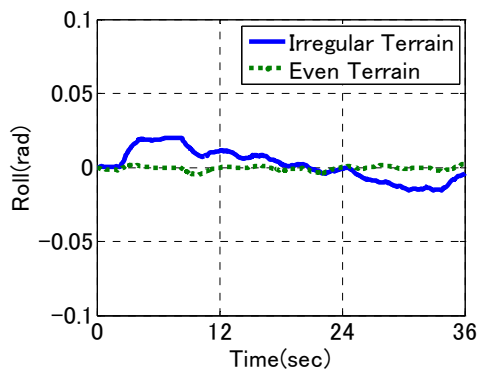


Fig.6 Experimental results of rolling angle

を考慮した 6 脚歩行ロボットの姿勢制御”の検討をコンピュータ上にモデル化した 3D モデルと実験の両面から行った。

最適サーボ系を用いた姿勢制御手法により 6 脚歩行ロボットが整地および段差 40 [mm] の不整地での歩行実験結果を Fig.5~7 に示す。ピッチ角およびロール角の結果を Fig.5 および Fig.6 に示す。図中において実線が不整地を歩行した場合、破線が整地を歩行した場合である。実験結果より、不整地歩行では若干ピッチ角およびロール角に変動が見られる。胴体ピッチ角およびロール角ともに ±0.03rad 以内に収まっており段差の影響はほとんど見られず、整地歩行と同様な安定した歩行を実現していることがわかる。Fig.7 に不整地歩行時の脚 II における腿部リンクの時間応答を示す。実線は不整地歩行時の腿部リンクの角度、破線は整地歩行時の目標値である。図より提案する姿勢制御手法により、1 周期目に段差に乗り、3 周期目に段差から降りているのが分かる。

しかし、歩行ロボットの不整地歩行では支持脚に作用する力が変動するためその変動をパラメータ変動として扱う必要があり、ま

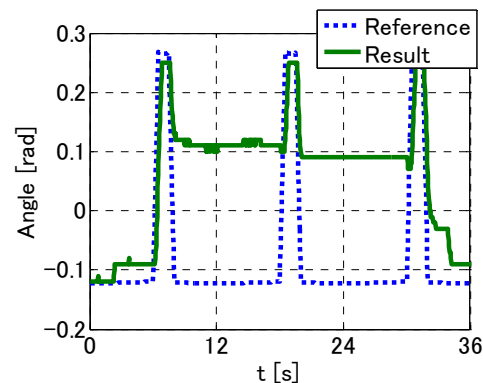
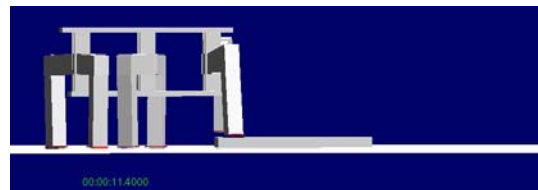
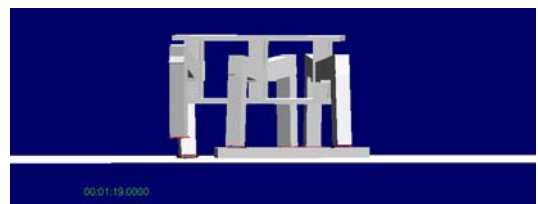


Fig.7 Experimental result of thigh link of Leg II in the case of irregular terrain



(a) Animation at 11.5[s]



(b) Animation at 79[s]

Fig.8 Animations in the case of existing a step obstacle

た、ロボットの駆動機構としてウォームギアを用いているため摩擦などの非線形要素が制御性能に影響を及ぼす。このようなパラメータ変動、非線形要素に対して非常にロバストなスライディングモード制御を適用した姿勢制御手法について検討した。コンピュータシミュレーションおよび実験の両面から検討を行い、段差を用いた不整地歩行において制御手法の有効性を確認した。3Dシミュレーションでのアニメーション結果を Fig.8 に示す。Fig.8(a)および(b)はスライディングモード制御でのシミュレーション時間が 11.5[s] および 79.0[s] でのアニメーションを示す。図よりアクチュエータのダイナミクスを考慮したスライディングモード姿勢制御手法が有効に働いて、地雷原の凹凸がある環境で安定に歩行を実現できる手法となっている。

②脚の角度センサが損傷した場合の歩行制御手法については、2008 年度に検証を行った。第 1 段階として 3 リンク(旋回部、腿部、脛部)からなる脚関節において胴体の自重を支えるのに重要な腿部リンクの角度センサ情報が得られない場合に式(7)で表わされる数学モデルを用いて腿部リンクの角度および角速度を推定するオブザーバをカルマンフィルタで推定し、2007 年度に有効性を確認した最適サーボ系でロボット胴体の姿勢を制御する手法で歩行できるかどうかを検討した。最初に 3 脚支持、4 脚支持および 5 脚支持歩行におけるオブザーバを構築するのに必要な可観測性について検討した。その結果、オブザーバの構成には、3 脚支持歩行では 6 脚とも腿部角度センサレスでも可、4 脚支持歩行では支持脚のうち 3 脚がセンサレスで可、5 脚支持歩行でも支持脚の 3 脚が形作る三角形にロボット胴体の重心の投影点が存在する 3 脚がセンサレスで可能となることが示された。この結果を踏まえ、コンピュータ上に構築した 6 脚歩行ロボットを用い、3 脚支持歩行について歩行できるかどうか検討を行った。その結果、整地で 6 脚の腿部角度センサの情報なしに 3 脚支持歩行できることを示した。結果の詳細な図については紙面の関係上省略する。

(2)1 リンク 6 脚歩行ロボット

ここでは、小型の 4 脚および 6 脚歩行ロボットについて述べる。当初、2006 年度は 1 リンク 4 脚歩行ロボットの自律歩行制御について検討する予定であったが、歩行の安定性および多関節形 6 脚歩行ロボットの研究テーマの関連性より、1 リンク 6 脚歩行ロボットについて検討することとした。第①の課題としては、整地歩行を行う歩行パターンはデューティ比 0.67 の 3 脚支持歩行で、歩行速度は 0.12[km/h] で歩行を実現した。第②の課題

としては、高さ 0.7[m] で 2 段となっている障害物のある不整地を乗り越えることを示した。また、後進歩行、旋回歩行についても検討し、それぞれの歩行についても実現することができた。

2007 年度は地雷原等人間が立ち入ることが困難な環境下において作業した場合に想定される故障が発生した場合に歩行を実現する自己修復機能の 1 つについて検討を行った。ロボットの故障としては大きなところとしてアクチュエータの故障およびセンサの故障が考えられる。2007 年度はセンサの故障として脚リンクの角度センサが故障した場合に歩行を実現する手法について検討した。6 脚中 2 脚の脚センサが故障した場合、ロボット胴体のピッチ角およびロール角の情報をもとに脚の角度センサ情報が得られない脚のアクチュエータを駆動する制御入力生成法を提案し、歩行実験によりその有効性を確認した。具体的には、第 1 脚と第 4 脚にフィードフォワード入力、その他の脚に PD 制御を用いて整地での歩行実験について検討した。第 1 脚と第 4 脚に胴体姿勢フィードバックを付加した場合と付加しない場合について実験を行った。Fig.9 および Fig.10 に歩行時の胴体のピッチ角変動およびロー

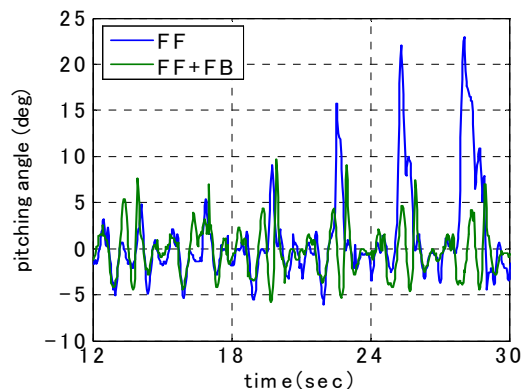


Fig.9 Experimental results of the pitching angle of the body

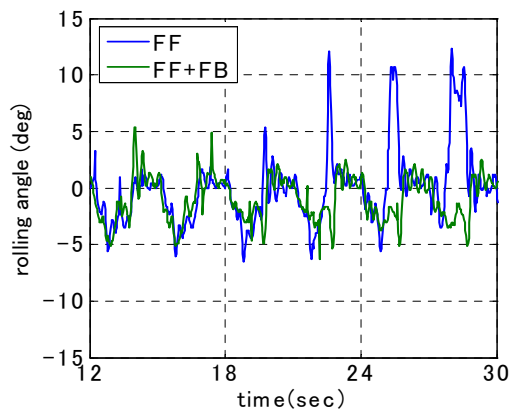


Fig.10 Experimental results of the pitching angle of the body

ル角変動を示す。フィードフォワード入力のみでは歩行におけるピッチ角とロール角の変動が徐々に増加しているが、胴体姿勢フィードバック入力を付加した場合にはピッチ角とロール角の変動を一定範囲内に抑制し、歩行を継続的に実現している。このことから、脚リンクの角度センサが故障した場合に胴体姿勢のピッチ角およびロール角を検出することにより歩行を実現できることが示された。

2008年度は1リンクの脚からなる6足歩行ロボットについても多関節形と同様に歩行ロボットの数学モデルを導出し、オブザーバが構成できるかどうか検討した。多関節形と同様にオブザーバの構成は可能であることが示された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

- ①中山隼, 内田洋彰, 清水遊亮, 半円弧状の脚を有する6脚歩行ロボットの歩行制御, 高専学会誌, 「高等専門学校の教育と研究」, Vol.13-2, pp.27-32, 2008, 査読有

[学会発表] (計 9 件)

- ①中山隼, 内田洋彰, オブザーバによる1リンク6足歩行ロボットの脚関節角度の推定, 日本機械学会関東支部第15期総会講演会, 2009年3月, 茨城大学.
- ②Hiroaki Uchida, Yusuke Shimizu, Shun Nakayama, Generation Method of Feedback Control Input of Leg Link Using an Attitude Sensor for a Six Legged Robot Consisting of One Link, Proceedings of 11th International Conference on Climbing and Walking Robots, pp679-686, 2008年9月, 査読有, Coimbra (Portugal)
- ③Hiroaki Uchida, Kenzo Nonami, Sliding Mode Attitude Control of a Six-legged Robot in Consideration of Actuator Dynamics, Proceedings of 11th International Conference on Climbing and Walking Robots, pp671-678, 2008年9月, 査読有, Coimbra (Portugal)
- ④清水遊亮, 内田洋彰, 中山隼, 1リンク6足歩行ロボットの姿勢センサを用いた脚リンクフィードバック入力生成法, 日本機械学会関東支部第14期総会講演会, 2008年3月, 東京海洋大学.
- ⑤早川純矢, 内田洋彰, 野波健蔵, アクチュエータのダイナミクスを考慮した6足歩行ロボットのスライディングモード姿勢制御, 日本機械学会関東支部第14期総会講演会,

2008年3月, 東京海洋大学.

- ⑥内田洋彰, 早川純矢, 野波健蔵, アクチュエータのダイナミクスを考慮した6足歩行ロボットの姿勢制御に関する実験的検討, 第25回日本ロボット学会学術講演会, 2007年9月, 千葉工業大学.
- ⑦中山隼, 内田洋彰, 清水遊亮, 半円弧状の脚を有する6脚歩行ロボットの歩行制御, 日本高専学会第13回年会講演会, 2007年9月, 木更津高専.
- ⑧清水遊亮, 内田洋彰, 中山隼, 野波健蔵, 1リンクの脚を有する6足歩行ロボットの歩行制御, 日本機械学会関東支部第13期総会講演会, 2007年3月, 宇都宮大学.
- ⑨Hiroaki Uchida, Kenzo Nonami, Attitude Control of Six-legged Robot in Consideration of Actuator Dynamics by Optimal Servo Control System, Proceedings of 9th International Conference on Climbing and Walking Robots, 2006年9月, 査読有, Brussels (Belgium)

[図書] (計 1 件)

- ①Hiroaki Uchida, Kenzo Nonami, I-Tech Education and Publishing, Climbing & Walking Robots Towards New Applications, Attitude Control of Six-legged Robot in Consideration of Actuator Dynamics by Optimal Servo Control System, 2007, pp.299-312.

[産業財産権]

○出願状況 (計 件)

○取得状況 (計 件)

[その他]

6. 研究組織

(1) 研究代表者

内田 洋彰

木更津工業高等専門学校・機械工学科・教授

研究者番号: 00223561

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者