

# 構造的に不安定なロボットの姿勢制御

— 機構解析ソフトウェアを利用したシミュレーションと制御実験 —

吉富秀樹\*

阿武里志\*\*

## Posture Control of a Mechanically Unstable Robot

— Simulation with Computational Mechanics Program and Control Experiment —

Hideki YOSHITOMI and Satoshi ANNO

Studies on transportation with moving robot have been performed in recent year. In case of high stature robot, it is feared to fall down when the robot accepts the object. Therefore, the unstable robot has to maintain its posture by control. For the study of posture control, we take up the inverted pendulum robot as the representative unstable robot. The robot consists of an inverted pendulum type body and two coaxial parallel wheels. This paper describes the controllability of the experimental robot manufactured for the study and new simulation method with computational mechanics program. The posture of the experimental robot is regulated by the state feedback control. And it is evident that the presented simulation method can deal with the slip between the wheel and floor. So, this simulation is very useful in investigating the posture control scheme.

**Key Words.** Moving Robot, Inverted Pendulum, Posture Control, Simulation, Computational Mechanics

### 1. 緒 言

近年、工場内で品物を運搬するロボットやオフィス内で書類等を搬送するロボットなど、ロボットに物品を運搬させる研究が行われている<sup>(1)</sup>。このような搬送用移動ロボットとして、一般に四輪で接地するタイプのロボットでは運搬物によって姿勢が乱されることはあまり問題とならないが、安定性を確保するためには重心を低くして本体の四隅に車輪を配置する必要がある。その結果、ロボット自体が場所を取ることで、狭いオフィス内での移動が困難となる。したがって、オフィス内で働くサービスロボットとしては、ロボット自体の専有面積を小さく抑えるため、接地投影面積に比べて背が高い形態となる。このような背の高いロボットは、当然ながら不安定であり、運搬物を

渡された時に転倒する恐れがあることから制御によって自己姿勢の安定化を図る必要がある。そこで、このような構造的に不安定なロボットの代表例として倒立振り子型ロボットを取り上げ、自己姿勢の安定化手法について検討する。本研究の倒立振り子型ロボットの形態は、1本の車軸の左右に車輪を平行に取り付けた同軸二輪車であり、前後方向に姿勢が不安定なものである。また、不安定なロボットの姿勢制御に関する研究は、福祉車両の一種である電動車椅子の転倒防止技術に役立つものと思われる。

このような同軸二輪車に関する研究としては、山藤ら<sup>(2)</sup>は車輪のみの比例制御によって本体の姿勢を安定化できることを示している。平岡ら<sup>(3)</sup>はステッピングモータの開ループ制御特性を取り入れた制御手法を検討している。また、城間ら<sup>(4)</sup>は2台のロボットによる物体の協調運搬について報告している。

本報告では、姿勢制御の研究の第1歩として、研究用に製作した実験用ロボットの概要、ロボットの機械的な問題点を抽出するための制御性検討と基礎実験、機構解析ソフトウェ

原稿受付 平成13年8月31日

\* 機械工学科

\*\* 本校専攻科修了生 (現 (有)アンノ設計)

アを利用した制御シミュレーション手法について報告する。このうち特に、機構解析ソフトウェアを利用したシミュレーション手法については、車輪と床とのスリップを解析することが可能であり、従来の線形化された数式モデルを解くだけのシミュレーション方法に比べてより現実的な解析が可能であることがわかった。したがって、本シミュレーション手法は、この種のロボットの制御性を検討する上で簡便かつ精度のよい解析ツールとして今後も利用できるものと期待できる。

## 2. 実験用ロボットの概要

### 2. 1 ロボットの構成

実験用ロボットの構成を図1に示す。このロボットは1本の車軸の左右に車輪を平行に取り付けた同軸二輪車の構成となっており、前後方向に不安定である。したがって、モータによって車輪を前後に動かして姿勢を制御する必要がある。駆動用モータとしては、減速比 1/30 のギヤボックス付きの直流サーボモータを使用している。モータは、本体の慣性モーメントをかせぐため、車軸から離れた上部に取り付けられており、タイミングベルトを介して車軸にトルクを伝え車輪を回転させる。床からの本体の傾き角を測るため、車軸の延長上にロータリーエンコーダを取り付けてある。このエンコーダの軸には接触子が付いていて、接触子の先端は自重により常に床に接している。また、駆動用サーボモータにはエンコーダが内蔵されており、このエンコーダによりモータの回転角度を計測し、減速ギヤ比を考慮すれば、車輪の本体に対する相対的な回転角度がわかる。なお、ロボットの概略寸法は幅 400mm、長さ 130mm、高さ 820mm となっており、全体の質量は 13.6kg である。

### 2. 2 制御システム

ロボットの制御システムを図2に示す。制御用コントローラとしては、16ビットCPUのパソコンPC9801を使用した。本体の傾き角を測るエンコーダとサーボモータに内蔵されているエンコーダの信号は、それぞれカウンタボードを介してパソコンへ送られる。これらのエンコーダはいずれも1回転あたり1000パルスを発生する。なお、本体の傾き角の計測については、平衡点近傍での分解能を上げるためカウンタボードで4倍して計測している。次に、パソコンからの出力信号はD/A変換ボードを介してサーボドライバへ送られ、サーボモータ

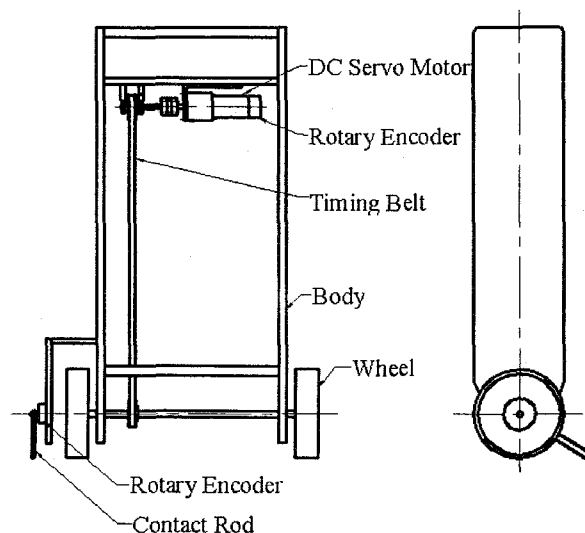


Fig.1 Construction of the experimental robot

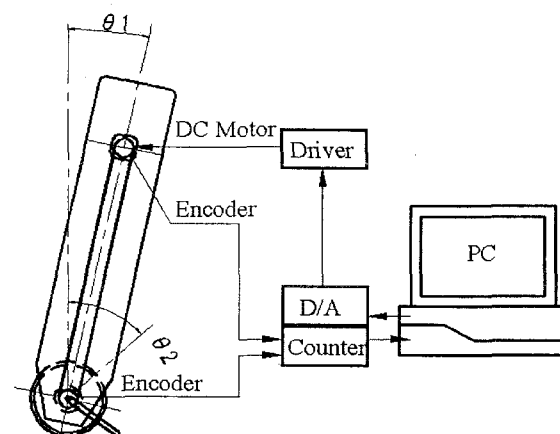


Fig.2 Outline of the control system

タに回転トルクを発生させる。

## 3. ロボットの制御性の検討

製作した実験用ロボットの機械的な問題点を抽出するため、簡単なレギュレータ問題に対して制御性検討と基礎実験を行った。

### 3. 1 数式モデルの導出

このロボットの運動は前後方向に限られることから、ロボットを横から見た2次元平面内でモデル化できる。そこで、図3のように本体部と車輪部に分けて運動を解析する。ここで、記号は以下のように定義する。

- $H$ : 車軸に作用する水平方向の力
- $V$ : 車軸に作用する垂直方向の力
- $L$ : 車軸から本体の重心までの距離
- $F$ : 車輪に加えられる水平方向の力
- $R$ : 床から車輪に作用する反力

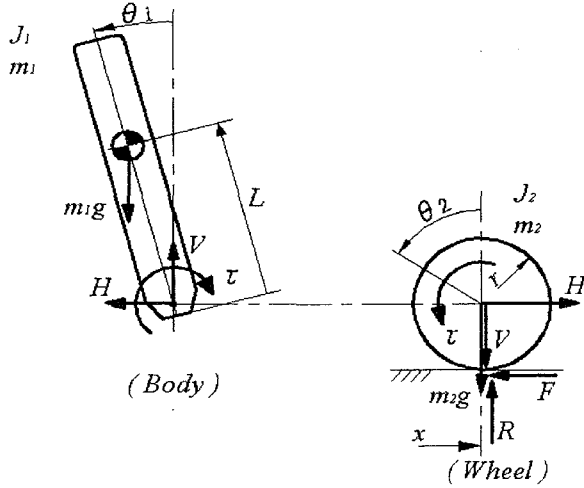


Fig.3 Modeling of the robot

$m_1$ : 本体の質量  
 $m_2$ : 車輪および車軸部の合計質量  
 $\theta_1$ : 本体の傾き角  
 $\theta_2$ : 車輪の回転角  
 $J_1$ : 本体の重心まわりの慣性モーメント  
 $J_2$ : 車輪および車軸部の総慣性モーメント  
 $r$ : 車輪の半径  
 $\tau$ : トルク

$g$ : 重力加速度  
 $x$ : 車輪の水平位置  
 $C$ : 粘性抵抗係数

なお、角度  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  は反時計回りを正とし、位置  $x$  は右方向を正とする。剛体の運動は重心まわりの回転運動と重心の並進運動に分解できるから、本体及び車輪部の重心の運動は以下のように表せる。

本体の重心回りの回転運動

$$J_1 \frac{d^2 \theta_1}{dt^2} = VL \sin \theta_1 - HL \cos \theta_1 - \tau + C \frac{d}{dt} (\theta_2 - \theta_1) \quad (1)$$

本体の重心の水平運動

$$-H = m_1 \frac{d^2}{dt^2} (x - L \sin \theta_1) \quad (2)$$

本体の重心の垂直運動

$$V - m_1 g = m_1 \frac{d^2}{dt^2} (L \cos \theta_1) \quad (3)$$

車輪部の重心回りの回転運動

$$J_2 \frac{d^2 \theta_2}{dt^2} = \tau - rF - C \frac{d}{dt} (\theta_2 - \theta_1) \quad (4)$$

車輪部の重心の水平運動

$$H - F = m_2 \frac{d^2 x}{dt^2} \quad (5)$$

車輪部の重心の垂直運動

$$R - V - m_2 g = 0 \quad (6)$$

また、車輪はスリップしないとすると、

$$x = -r \theta_2 \quad (7)$$

の関係がある。

式(1)~(7)から  $H$ ,  $V$ ,  $F$  および  $x$  を消去し運動方程式を求める。時間微分をドットで表すことにすると次式が得られる。

$$\begin{aligned}
 -\tau &= (J_1 + m_1 L^2) \ddot{\theta}_1 + m_1 r L \cos \theta_1 \cdot \ddot{\theta}_2 \\
 &\quad - m_1 g L \sin \theta_1 - C(\dot{\theta}_2 - \dot{\theta}_1) \quad (8)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \tau &= (J_2 + m_1 r^2 + m_2 r^2) \ddot{\theta}_2 - m_1 r L \sin \theta_1 \cdot \dot{\theta}_1^2 \\
 &\quad + m_1 r L \cos \theta_1 \cdot \ddot{\theta}_1 + C(\dot{\theta}_2 - \dot{\theta}_1) \quad (9)
 \end{aligned}$$

式(8)と式(9)の運動方程式は非線形であるので、これらの式を以下のように線形化する。平衡点近傍では  $\theta_1 \ll 1$  であるので、

$$\sin \theta_1 \doteq \theta_1, \quad \cos \theta_1 \doteq 1$$

とみなせる。また、 $\theta_1$  の2次の微小項を無視すると式(8)と式(9)は以下のように書き直される。

$$\begin{aligned}
 (J_1 + m_1 L^2) \ddot{\theta}_1 + m_1 r L \ddot{\theta}_2 - m_1 g L \theta_1 \\
 - C(\dot{\theta}_2 - \dot{\theta}_1) = -\tau \quad (10)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (J_2 + m_1 r^2 + m_2 r^2) \ddot{\theta}_2 + m_1 r L \ddot{\theta}_1 \\
 + C(\dot{\theta}_2 - \dot{\theta}_1) = \tau \quad (11)
 \end{aligned}$$

この2つの式がロボットの運動方程式となる。

### 3. 2 状態方程式と出力方程式

状態変数として  $\theta_1$ ,  $\theta_2$ ,  $\dot{\theta}_1$ ,  $\dot{\theta}_2$  を用いることとし、状態ベクトル  $x$  を式(12)のように定義する。

$$x = [\theta_1 \quad \theta_2 \quad \dot{\theta}_1 \quad \dot{\theta}_2]^T = [x_1 \quad x_2 \quad x_3 \quad x_4]^T \quad (12)$$

これから、状態方程式は以下ようになる。

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ a & 0 & b & c \\ e & 0 & f & h \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ d \\ k \end{bmatrix} \tau \quad (13)$$

ここで、 $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$ ,  $e$ ,  $f$ ,  $h$ ,  $k$  は以下である。

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{m_1 g L (J_2 + (m_1 + m_2) r^2)}{D} \\
 b &= -\frac{(m_1 r L + J_2 + m_1 r^2 + m_2 r^2) C}{D} \\
 c &= \frac{(m_1 r L + J_2 + m_1 r^2 + m_2 r^2) C}{D} \\
 d &= -\frac{(m_1 r L + J_2 + m_1 r^2 + m_2 r^2)}{D} \\
 e &= -\frac{m_1^2 r g L^2}{D}
 \end{aligned}$$

$$f = \frac{(J_1 + m_1 L^2 + m_1 r L) C}{D}$$

$$h = - \frac{(J_1 + m_1 L^2 + m_1 r L) C}{D}$$

$$k = \frac{(m_1 r L + J_1 + m_1 L^2)}{D}$$

なお,

$D = (J_1 + m_1 L^2)(J_2 + m_1 r^2 + m_2 r^2) - m_1^2 r^2 L^2$   
である.

式(13)の状態方程式は簡単のため次式で表す.

$$\dot{x} = Ax + B\tau \quad (14)$$

一方, 出力方程式については, 本体の傾き角  $\theta_1$  は車軸の延長上のエンコーダにより測ることができる. また, 車輪の本体に対する相対回転角度はモータに内蔵されているエンコーダによって知ることができるので, これに本体の傾き角  $\theta_1$  を加えることによって車輪の回転角度  $\theta_2$  を知ることができる. 従って, 出力変数として  $\theta_1$  と  $\theta_2$  を選ぶと, 出力方程式は以下となる.

$$y = \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} x \quad (15)$$

これを

$$y = Cx \quad (16)$$

とおく.

次に, 別途実験によって本システムの各パラメータを求めたところ表1に示す値が得られた.

Table 1 Parameters of the robot

Moment of inertia $J_1$	0.662 [kg · m <sup>2</sup> ]
Moment of inertia $J_2$	0.002 [kg · m <sup>2</sup> ]
Mass $m_1$	11.25 [kg]
Mass $m_2$	2.3 [kg]
Radius $r$	0.063 [m]
Length to the gravity center $L$	0.437 [m]
Friction coefficient $C$	0.212 [N · m/s]

ここで, 表1の値を用いてシステム行列  $A$  の固有値を調べてみると 0, 4.73, -2.47, -14.40 となり, 実数部が正の固有値が存在するので, 当然ながら, このロボットは不安定なシステムであることが確認できる.

次に, 可制御性と可観測性について調べる. 可制御性行列  $V$  は以式のようになる.

$$V = \begin{bmatrix} B & AB & A^2B & A^3B \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 0 & -6.008 & 72.978 & -1151.863 \\ 0 & 51.288 & -622.987 & 9041.027 \\ -6.008 & 72.978 & -1151.863 & 16206.538 \\ 51.288 & -622.987 & 9041.027 & -128729.106 \end{bmatrix} \quad (17)$$

また, 可観測性行列  $S$  は以下となる.

$$S = \begin{bmatrix} C & CA & CA^2 & CA^3 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 1.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 1.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 1.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 1.000 \\ 44.176 & 0.000 & -1.274 & 1.274 \\ -245.290 & 0.000 & 10.873 & -10.873 \\ -368.692 & 0.000 & 59.647 & -15.471 \\ 3147.385 & 0.000 & -377.363 & 132.073 \end{bmatrix} \quad (18)$$

いずれの行列もランクは4であるから, 可制御かつ可観測であることが判別できる.

### 3.3 制御則

このロボットは前述のように不安定なシステムであるので, 状態フィードバックによって安定化を図る. 状態変数  $x$  は推定可能であるので, 入力  $\tau$  として

$$\tau = -Kx \quad (19)$$

なるフィードバック制御を行なう. ここで, フィードバック係数行列  $K$  は,

$$K = [k_1 \ k_2 \ k_3 \ k_4] \quad (20)$$

のようにおいている. この状態変数線図を図4に示す. ここで, 式(19)を状態方程式(14)に代入すると,

$$\dot{x} = Ax - BKx = (A - BK)x \quad (21)$$

となる. 式(21)のシステムをレギュレータと呼ぶが, これを安定化するためには,  $A - BK$  の固有値の実部がすべて負となるようにフィードバック係数行列  $K$  を定める必要がある. 係数行列  $K$  を定める方法はいくつかあるが, ここでは極配置法を用いた. 最適な極配置は, ある程度

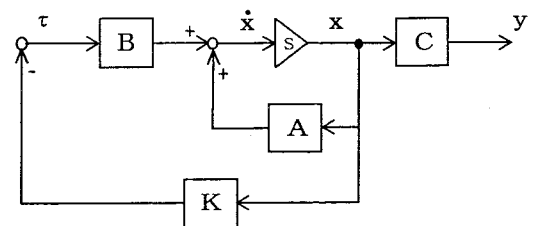


Fig.4 Diagram of the state feedback control

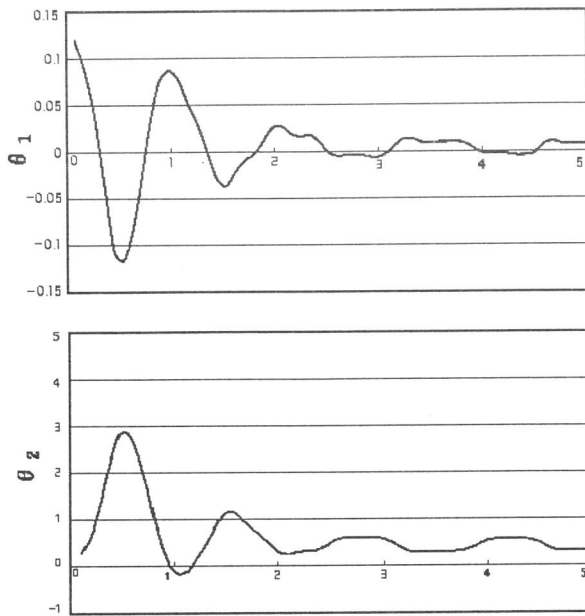


Fig.5 Experimental result of the state feedback control

試行錯誤的に求める必要がある。後で述べるシミュレーションや基礎実験によって最適な極配置を検討したところ、 $-2.5$ 、 $-3.0$ 、 $-3.5$ 、 $-14.4$ の極配置が良い応答を示したので、次に述べる基礎実験ではこの極配置を用いた。この極配置は、トルク過大にならないよう複素平面の原点に比較的近い実軸上の点である $-3$ 付近の極を使い、また、システム行列  $A$  の安定な固有値である $-14.4$  を使うことにより安定性を向上させることをねらって設定したものである。

### 3. 4 基礎実験

実験は、前項までで述べた連続系の制御則を単純に離散化し、パソコンによるデジタル制御により行なった。制御用コントローラとしては、前述したようにパソコン PC9801 を使用し、制御プログラムは Turbo-C で作成した。サンプリングタイムは  $7\text{ms}$  で、制御力は 0 次ホールドをかけた。また、状態変数  $\theta_1$ 、 $\theta_2$ 、 $\dot{\theta}_1$ 、 $\dot{\theta}_2$  のうち、角速度は直接計測していないので角度データから差分近似で求めた。差分近似の方法は、精度を上げるため、時系列データにおいて現時点と過去 3 点の計 4 点を用いた移動平均法によった。

実験結果を図 5 に示す。縦軸が角度、横軸が時間となっている。本体の傾き角  $\theta_1$ 、車輪回転角  $\theta_2$  とともに 2 秒後付近でほぼ安定しており、ロボットの姿勢を制御することができた。なお、基準位置付近で若干変動しているのは、タイミングベルトの振動やモータの不感帯などの影響と思われる。なお、実験の過程におい

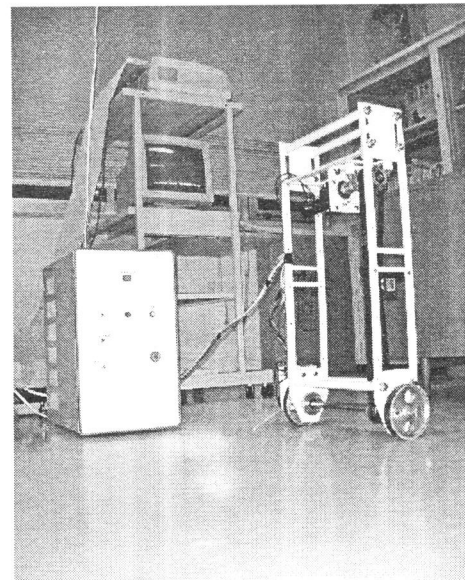


Fig.6 Photograph of the experiment

て、タイミングベルトの振動やエンコーダの分解能の問題が明らかになった。タイミングベルトについては、テンション用プーリを追加して振動を抑えた。エンコーダについては、カウンタボードのてい倍機能を使って 4 倍して分解能を上げた。

実験中のロボットの写真を図 6 に示す。ロボットが床の上に垂直に立っているのがわかる。なお、ロボットの左側にある四角の箱はサーボドライバや電源を収めたコントロールボックスである。また、後方に見えるのが制御用のパソコンである。

## 4. 制御系シミュレーション

制御系の解析にはコンピュータによるシミュレーションが不可欠である。一般的なシミュレーションとしては、システムの運動を表す線形化された微分方程式を数値的に解く方法が用いられる。一方、近年はパソコンの高性能化や Windows による GUI 環境の整備などと共に機構解析技術を使ったシミュレーションソフトウェアが汎用化されており、機構の運動をコンピュータ画面で見ながら各部の動きや力などを解析することが可能となっている。このような機構解析ソフトウェアのなかで、本研究では Working Model<sup>(5)</sup> というソフトウェアを利用して制御系のシミュレーションを行なった。

### 4. 1 機構解析ソフトウェアを利用したシミュレーション

機構解析ソフトウェア Working Model は実世界のニュートン力学をコンピュータ上に移し変え、種々の機構を動力学的に解析できるプ

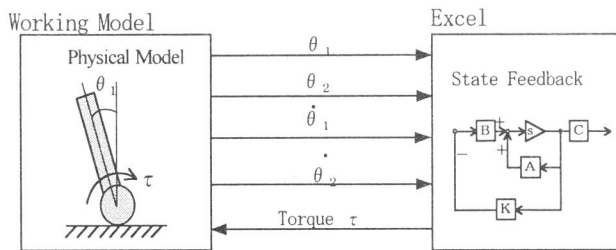


Fig.7 Data Exchange of the simulation system

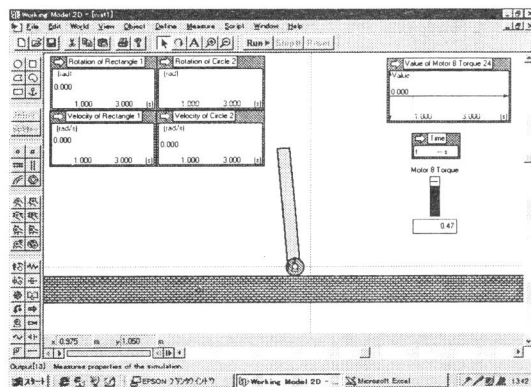


Fig.8 Physical model in "Working Model"

プログラムである。また、Working Model は DDE(Direct Data Exchange)をサポートしており、表計算ソフトの Excel とリアルタイムリンクを張ることができ、積分ステップ毎に互いにデータを受け渡しできる。そこで、Working Model と Excel をリンクさせてロボットの運動をシミュレーションするシステムを構成する。このシステムの概要を図 7 に示す。図に示すように、Working Model 内にロボットの 2 次元物理モデルを作成し、この動学的解析から得られた本体の傾き角と角速度および車輪の回転角と回転角速度の値を積分ステップ毎に Excel へ渡す。Excel では、受け取った各状態量とフィードバック係数を用いて制御力  $\tau$  を算出し、その制御力  $\tau$  を Working Model へ返す。この受け渡しを積分ステップ毎に行なうことにより Excel から Working Model 内の物理モデルの動きを制御することができる。

次に、Working Model 内に作成した物理モデルについて簡単に説明する。図 8 はパソコンの画面であるが、重力場が画面の上方から下方に作用しているので、まず床を水平に作成し背景に固定する。床の上に車輪を配置し、本体を車輪と連結させる。連結は粘性ピンで行なうため、実際の軸受と同じ減衰の性質を持たせることができる。さらに、車輪を動かすアクチュエータとしてモータを本体に取り付ける。このモータの発生トルクは Excel から間接的に制御す

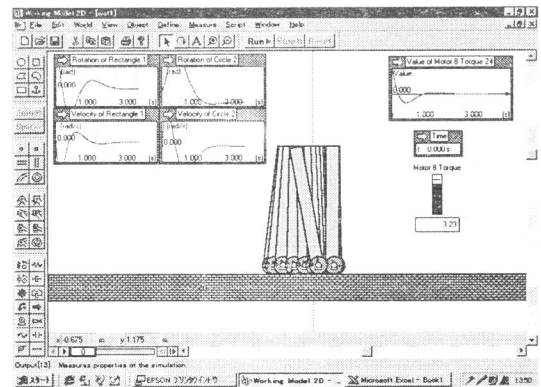


Fig.9 Moving trajectory obtained by simulation

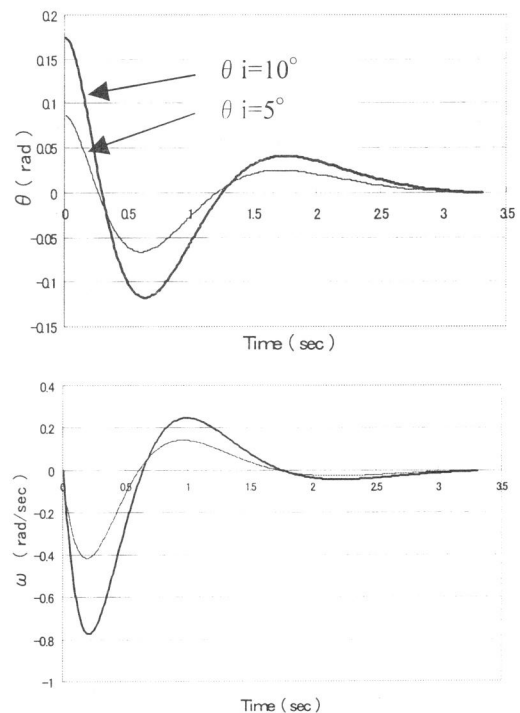


Fig.10 Simulation results of posture control

ることができる。また、床と車輪との間のスリップを考慮するため、それぞれに摩擦係数を与えてある。

#### 4. 2 シミュレーション結果

Working Model を利用したシミュレーション結果を次に示す。

##### (1) 初期姿勢角度をパラメータとした時間応答

図 9 は Working Model で作成した物理モデルの初期姿勢角  $\theta_i$  を  $10^\circ$  としたときの応答軌跡を示したものである。ロボットはまず基準位置より左側へ移動し本体を右へ少し傾かせる。この動作によって、姿勢を立て直すと共に基準位置へもどる動きが可能となる。そして、基準位置付近に移動してきたロボットは、基準位置を少し通り過ぎ、本体を再び基準位置方向へ傾け、その本体の傾きを直しつつ基準位置へもど

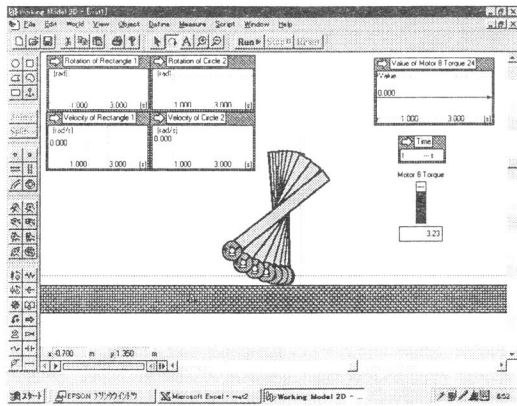


Fig.11 Moving trajectory obtained by simulation

り安定する．機構解析ソフトを利用したシミュレーションでは，図のようにロボットの動きをコンピュータ上で見ることができる．

次に，図 10 はシミュレーションで得られた結果をグラフで表したものである．図において上のグラフが本体の傾き角，下のグラフが傾き角速度の時間応答を示している．また，太線が初期姿勢角  $\theta_i=10^\circ$ ，細線が  $\theta_i=5^\circ$  の結果を表している．初期姿勢角度が大きいほど変動が大きくなるが，安定するまでの時間はほぼ同じであることが見てとれる．

次に，前記の図 5 は  $\theta_i=7^\circ$  のときの実験結果であるが，これと図 10 のシミュレーション結果を比べると本体の傾き角の応答について以下のことが言える．まず，制御開始後 0.6 秒付近までの応答はよく合っている．しかし，それ以降の応答の様相が異なっている．この原因の詳細は不明であるが，実機ではタイミングベルトの伸びや振動，また目に見えない車輪のスリップなどが起こっている結果と推察され，この種のロボットではある程度はやむを得ないと思われる．なお，安定するまでの時間はいずれも 2.5 秒前後であり比較的よく合っている．

## (2) 過大なトルクが生じたときの応答軌跡

最適な極配置を検討する場合，一般に極を複素平面の左遠方へ配置するほど早く安定させることができる．しかし，それには大きなトルクが必要となる．本ロボットのように車輪で床面を移動する形式では，トルクを過大にすると

車輪が滑ってしまい転倒する恐れがある．したがって，モータの発生するトルクは車輪がスリップする値以下に抑えなければならないが，従来の線形微分方程式を解くだけのシミュレーションでは，このようなスリップの問題を直接検討することはできなかった．一方，本シミュレーションでは，車輪が滑ると図 11 に示すように物理モデルが転倒するという結果が得られる．したがって，車輪型のロボットに対して，車輪と床とのスリップを考慮して制御性を検討する場合に，ここで示した機構解析ソフトを利用したシミュレーション手法は極めて有効な解析ツールとなるものと考えられる．

## 5. まとめ

本研究では，接地投影面積に比べて背の高い不安定なロボットの代表例として倒立振り子型ロボットを取り上げ，姿勢制御について検討した．研究用に製作した実験用ロボットは，レギュレータ問題の基礎実験を通して制御性の確認とハード面での改良を行なったところ，ほぼ目的通りの制御が実現できた．また，研究用に構築した機構解析ソフトウェアを利用したシミュレーション手法は，車輪と床とのスリップを解析可能であり，この種のロボットの制御性を検討する上で有効なシミュレーションツールとなることがわかった．

## 参考文献

- 1) 例えば，奥澤好之，他：全方向移動車両を用いた長尺物搬送，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'97 講演論文集 [Vol.A]，(1997) 499～500
- 2) 山藤和男，河村隆：同軸二輪車の姿勢および走行制御に関する研究，日本機械学会論文集 (C 編)，54-501，(1988) 1114～1121
- 3) 平岡延章，則次俊郎：ステッピングモータ駆動平行二輪車の閉ループ姿勢制御，日本機械学会論文集 (C 編)，61-592，(1995) 4638～4645
- 4) 城間直司，松本治，谷和男：構造的に不安定な移動ロボットの協調行動による物体の運搬，日本機械学会論文集 (C 編)，64-628，(1998) 4694-4701
- 5) Working Model，住商エレクトロニクス (株)