

車輪移動式壁面移動装置の踏破性能向上法の研究

矢括 幸始¹⁾・宮城 弘守²⁾

A mechanism for moving over obstacles on a wall for the wall-climbing vehicles of wheel-drive type

Kouji YAHAZU, Hiromori MIYAGI

Abstract

Robots capable of moving on vertical walls have been searched for a long time. They are applied for rescue or fire-fighting in a high-rise building. Several types of wall-climbing robots have been developed in our laboratory for 25 years. A wall-driving robot was developed in 1994, and it could move on a vertical wall by using thrust force of two propellers and wheels. This model is easily controlled on a flat wall, but was difficult to use on an irregular wall. In the previous year, to solve this problem, the mechanism of wall-climbing of propeller type was simulated on a computer, and particular attention was paid to maneuverability in the movement of this robot. A test model is manufactured this year and the experiments confirm that the model can move on an irregular wall by using a computer-aided control system.

Key Words:

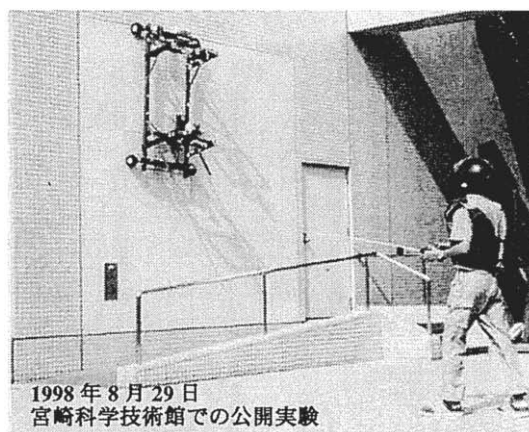
wall-climbing, irregular wall, wheel-drive, propeller, experiments

1. 序論

近年ビルの高層化・形状の複雑化が進み、はしご車での救助活動に困難を生じている。

本研究室では 25 年にわたり壁面移動ロボットの開発研究を続け、壁面検査用の吸盤型に続いて写真 1 に示すプロペラ推進走行型を完成した (1994 年)。このロボットは、プロペラの推力を壁面にやや傾け、自重を支えながら車輪を壁に押し付けて駆動し、鉛直平面壁を高速で移動できる。また、日高、東との共同研究では、天井に張り付いて走行するモデルも製作した¹⁾。しかし、いずれのモデルも壁面の凹凸を踏破できないことが課題となっている。

これを解決するため、写真 2 に示すに大きな車輪 4 個と前後左右に方向を変えられるプロペラ 2 枚を搭載する機体を考えた³⁾。また、垂直面から天井面への移動など、考えうるケースの移動方法を検討した⁴⁾。本報では、電動テストモデルによる移動制御実験結果について述べる。



1998年8月29日
宮崎科学技術館での公開実験

写真1 プロペラ推進走行型壁面移動ロボット



2002.1.29 S-207 実験室にて

写真2 新しい機体の構想

1) 物質工学専攻大学院生

2) 材料物理工学科助手

2. 機体の構造・機構の概念設計

2.1 構造と機構

図1は、プロペラ推進走行型を壁面の凹凸を踏破可能にするための機体形状等の検討過程を示している。

壁面の傾斜角度に対応できるようにするにはAのようにプロペラ推力と向きを制御すればよいし、前後の車輪の接触する壁面の傾斜角度が異なる場合にはBのようにプロペラ推力と向きを独立に制御すればよい。しかし、Cのよ

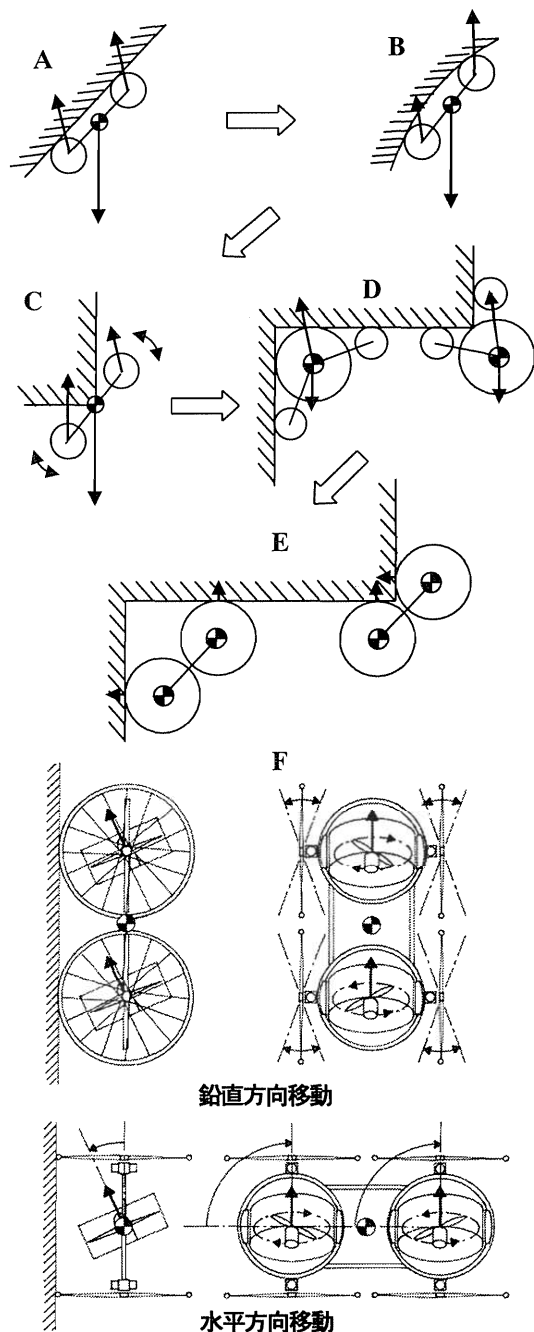


図1 機体形状等の検討

うな凸部では機体がつかえてしまうのでDのように大きな車輪2個で左右からプロペラを挟み込む構造を考えた。構造はシンプルだが補助輪がないと安定しないし、制御も煩雑である。そこでEのようにDを2個連結する方法を考えた。Fがその詳細を示している。

上下のプロペラはエンジンで互いに反転駆動され反転トルクは相殺される。プロペラはそれぞれが円形のレールに沿って左右に回転でき、壁方向にも傾斜できる。4個の車輪は直流モータでそれぞれ駆動され、ステアリングは上下が独立に 20° 程度変化できる。車輪には細いタイヤとスポークを利用し、横倒しの姿勢ではプロペラの後流がスポークの間を吹き抜ける構造とする。また推力ユニットの重心は車輪の中心上に置き、さらに機体の中心に重心がくるように搭載機器の配置を工夫する。

プロペラ推進走行型2号機(1996年)の最大推力は自重の1.1倍であったが、プロペラ推進飛行型(1998年)ではこの比は1.3倍程度まで高まった。この経験から最大推力が自重の1.2~1.3倍になるよう軽量な機体を実現可能と考えている。

2.2 車輪間隔の検討

車輪間隔 d の踏破性能の検討結果を図2に示す。 $d/D > 0$ は前後の車輪間に隙間があることを、 $d/D < 0$ は車輪を食いちがいに配置して重なりを設けた状態を示す。 δ は凸部の角度である。

$d/D = 0$ から左右上方に伸びる線の下側では、鋭い凸部を通過する際機体が不安定になったりつかえてしまう。理論上 $d/D = 0$ が最も踏破性能がすぐれていることが示されている。

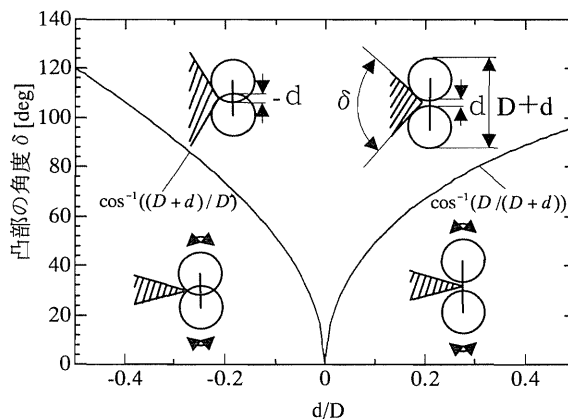


図2 車輪間隔と凸部の踏破性

3. 実験装置

3.1 模擬壁面上移動実験装置

写真3に示す実験装置は、機体の車輪を駆動して、実際に模擬壁面上の移動をシミュレートできる。機体は長さ4.0mのサポートバーの先端で機体の重心まわりに回転可能なよう取り付けられている。これにより機体姿勢角が自由に变化する。サポートバーは機体から3.0mのところを2自由度の支点で支えられ、機体の鉛直および水平方向の移動を可能にしている。支点からみて機体の反対側には主推力モーター・プロペラの推力不足を補うため、機体重量の70%（想定値）を支えるカウンタウェイトを取り付けた。

なお移動シミュレート用に製作した模擬壁面は高さ1.8m、幅0.9m、奥行き0.9mである。



写真3 模擬壁面上移動実験装置

3.2 主推力モーター

主推力モーターには、ラジコンの受信機から直接回転数制御できる質量0.39kg、電源電圧12VのDCブラシレスモーターを2基使用した。このモーターに直径250mmのグラスナイロン製の固定ピッチプロペラを直結し、推力を発生させている。推力は、有線化改造したラジコンの送・受信機を介してコンピュータで制御される。プロペラの最大推力は2基合計で14.7[N]（回転数：6500rpm）である。

3.3 プロペラ推力の方向角を変化させるための機構

電動テストモデルは床、鉛直壁面、天井を連続的に走行移動するため、機体の姿勢角の変化に応じてプロペラ推力

の方向角を通常のサーボモーターの作動角より大きく変化させる必要がある。そのため以下の改造を行った。

推力方向角制御のため、高トルクの小型産業用サーボモーターを準備した。メーカーと協議して外付けの角度検出用のポテンシオメータを6kΩの1回転ポテンシオメータから2kΩの1回転ポテンシオメータと前後に直列挿入した約2kΩの固定抵抗に変え、改造前の $\pm 60^\circ$ の動作角を改造後には $\pm 150^\circ$ に拡大した。

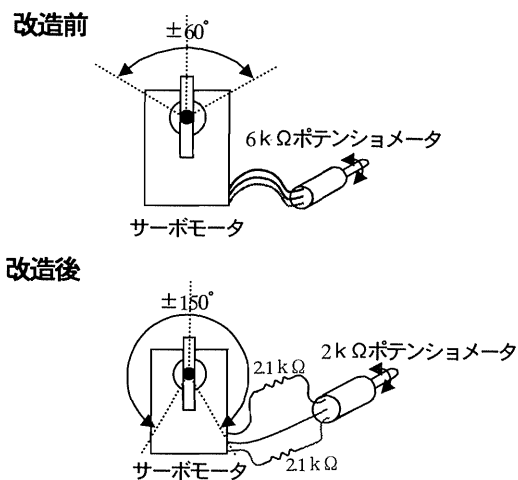


図3 サーボモーターの動作角拡大

3.4 車輪機構

実際の機体には図1に示したように4個の車輪が取り付けられると考えているが、テストモデルの機体はサポートバーで支えられているため、前後各1輪とした。車輪の直径は302mm、車輪間の距離は2mmである。車輪の駆動には減速機付モーターを使用し、3.5.1に述べるマニュアル操作スイッチにより前後独立に正/逆転/停止できる。

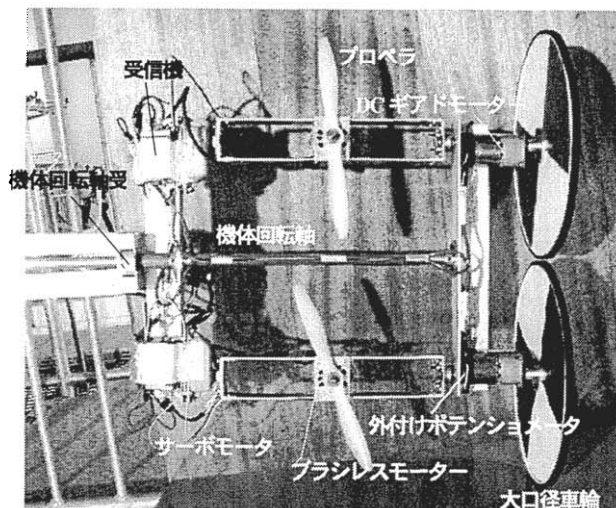


写真4 電動テストモデル

3.5 操縦制御システム

機体の移動操作は、マニュアル操作で行う車輪の回転操作とそれを助けるプロペラ推力のコンピュータ制御とで分担されている。これは、災害現場などで実際にこの装置が使用される状況を想定しているため、そのような場所では制御を完全に自律化するより人間が現場の状況を総合的に判断して操作するほうが安全・確実と考えるためである。もちろん人間の判断には時間の遅れを伴い、制御の精度も低下するので、機体側には刻々変化する機体の姿勢にあわせて適切な制御を行う能力が要求される。そのために機体には、マイコンが搭載されることになるが、本実験で使用するパソコンは、この機体に搭載するマイコンに相当する制御を行う。

3.5.1 マニュアル操縦システム

車輪の駆動は、図4に示すマニュアル操縦盤で操作する。 $SW1$ が前輪の駆動方向を操作する正/逆/停止スイッチで、 $SW2$ が後輪を操作するスイッチである。なお、前・後輪の駆動方向をコンピュータで記録するため、モーターと並列に固定抵抗を接続し、電圧信号を取り出した。

3.5.2 ラジコン送・受信機利用のコンピュータ制御システム

壁面移動ロボットの研究グループは、ラジコンメーカーの協力でパソコンの制御信号を送信できるシステムを1992年に完成し、その後の研究のほとんどに使用してきた。

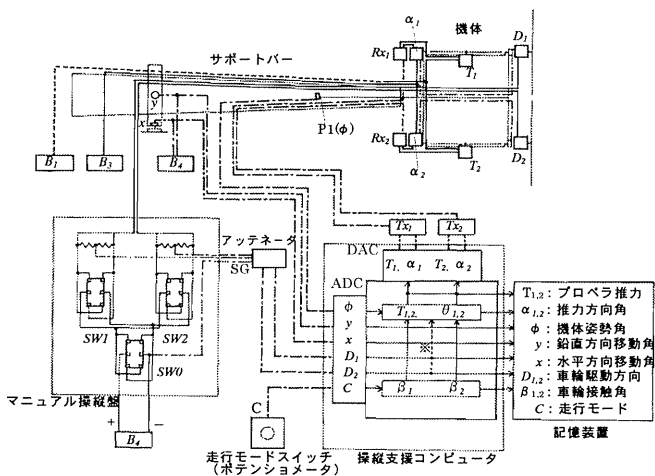


図4 操縦制御システム

本研究ではこのシステムをさらに改良して、有線で直接パルス列の制御信号を受信機に送れるよう改めた。

3.5.3 操縦制御システム

機体の姿勢角 ϕ はポテンシオメータ (P1) で計測され、シールド線を介してコンピュータに取り込まれる。この信号やマニュアル操作で与える走行モード C、車輪駆動方向の信号 $D_{1,2}$ を取り込み、制御式を用いて適切な制御力 (プロペラ推力 $T_{1,2}$ 、推力方向角 $\alpha_{1,2}$) を決定する。このように決められた命令信号は、ラジコン送信機 Tx_1 、 Tx_2 により 95msec ごとに機体に搭載されたラジコン受信機 Rx_1 、 Rx_2 へ有線で送信され、主推力モーターと推力方向角を調節するサーボモータに伝えられる。添字 1,2 は 1 が前輪側、2 が後輪側を示す。

4. 連続走行移動

4.1 連続走行移動の概要

図5は機体が壁面の凹凸に沿って鉛直方向に移動する様子を示している。

連続して鉛直方向に移動するとき (壁面 B、D) は、プロペラ推力の方向角を壁方向にやや傾け、その鉛直上向き成分を自重に一致させるため、機体は壁方向に力を受けて車輪が押し付けられる。

底の付け根に達すると (コーナー2)、前輪側のプロペラ推力の方向角を天井に向けて車輪を押し付け、鉛直壁面から天井面に移動する。コーナー2を移動中、前後の車輪をそれぞれの接触点で天井や壁面に押し付けるよう、上下のプロペラはそれぞれ独立に推力とその方向が調整される。

天井面に逆さに取り付いて移動するとき (壁面 C) は、車輪を天井面に押し付け、落下を防ぐ。

天井面から屋上に回り込むとき (コーナー3、4) は、底の角に向かって車輪を押し付けるようプロペラ推力とその方向角を調整する。

完全に屋上に乗り移る (壁面 E) と、車輪に機体の重量がかかるようにプロペラ推力を低く絞り込む。

このように機体がどのような姿勢にあるときでも、車輪の接触点に向って前後の車輪を押し付けるように制御すればよいと考えられる。

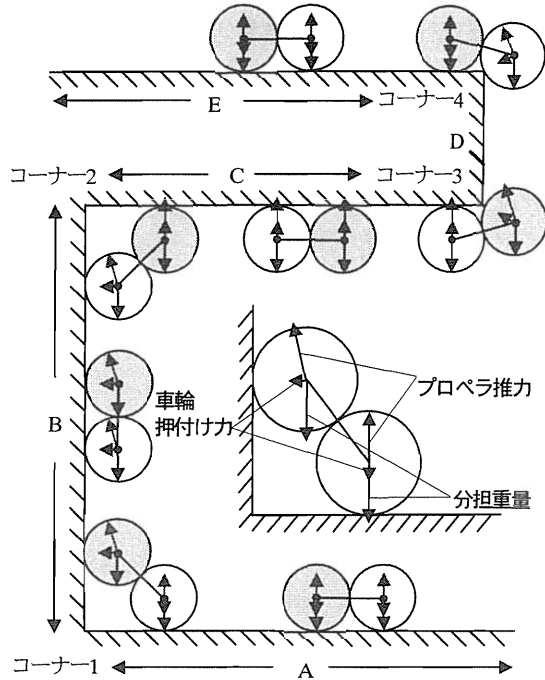


図5 連続走行移動の概要

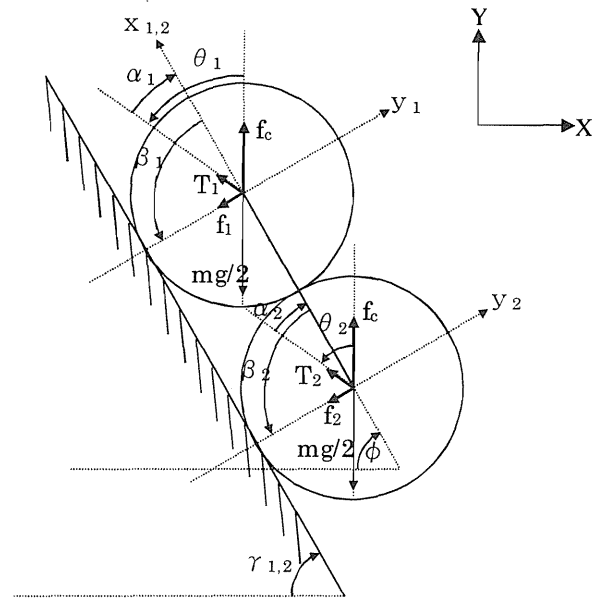


図6 座標系

4.2 連続走行移動の制御方法

座標系を図6に示す。壁面への押付け力 $f_{1,2}$ は従来の走行型の経験から一定値としても問題はなく、機体姿勢角 ϕ と車輪接触角 $\beta_{1,2}$ を用いて、刻々と変化するプロペラ推力 $T_{1,2}$ と推力方向角 $\theta_{1,2}$ が算出される。これらをY方向（鉛直上方）を基準とする絶対座標系で表すと(1)、(2)式のようになる。

$$T_{1,2} = \sqrt{\{f_{1,2} \cos(\beta_{1,2} - \phi)\}^2 + \left\{\frac{mg}{2} - f_c - f_{1,2} \sin(\beta_{1,2} - \phi)\right\}^2} \quad (1)$$

$$\theta_{1,2} = \tan^{-1} \frac{f_{1,2} \cos(\beta_{1,2} - \phi)}{\frac{mg}{2} - f_c - f_{1,2} \sin(\beta_{1,2} - \phi)} \quad (2)$$

- $T_{1,2}$: プロペラの推力 $\theta_{1,2}$: プロペラ推力の方向角
- m : 機体の質量 $\beta_{1,2}$: 車輪接触角
- g : 重力加速度 ϕ : 機体姿勢角
- $f_{1,2}$: 推力と重量との合力で与える車輪押付け力 (0.3×mg/2に固定)
- f_c : カウンタウェイトで機体を支える力 (0.7×mg/2に調整している。実際の機体では0)

なお、機体に搭載される推力方向角制御用サーボモータには $\theta_{1,2}$ を(3)式により機体座標系に変換した値 $\alpha_{1,2}$ を命令量として与える。

$$\alpha_{1,2} = \frac{\pi}{2} - \theta_{1,2} - \phi \quad (3)$$

しかし、(3)式を用いてサーボモータへ命令を与えると、反応に遅れが生じたので、ステップ応答を一次遅れで近似して得られる時定数 $\tau=0.43[s]$ を用いて、遅れ補正を加えた次式で命令 $\alpha^*_{1,2}$ を与えることにした。 $\Delta t=95msec$ である。

$$\alpha^*_{1,2}(t + \Delta t) = \frac{\alpha_{1,2}(t + \Delta t) - \alpha_{1,2}(t)}{1 - e^{-\frac{\Delta t}{\tau}}} + \alpha_{1,2}(t) \quad (4)$$

これらの式に含まれるフィードバック信号は $\beta_{1,2}$ と ϕ で、あとは固定設定値である。これによりマニュアル操作で移動が行われている間、機体姿勢角と車輪接触角のセンサー情報があれば、推力とその方向角が適正に制御され、機体が常に接触面へ押し付けられることが示された。

車輪接触角センサーは本研究の結果を検討して決定される。したがって本研究では車輪接触角センサーの代わりに走行モードスイッチを利用して、マニュアルで既知の壁面の角度 $\gamma_{1,2}$ を与え、それと機体姿勢角 ϕ から車輪接触角 $\beta_{1,2}$ を算出した。車輪接触角 $\beta_{1,2}$ は次式のように与えられる。

$$\beta_{1,2} = \phi + \left(\frac{\pi}{2} - \gamma_{1,2}\right) \quad (5)$$

しかし、図7のような凸部（コーナー3）を移動する場合には、AやBのように、前・後輪の接触点が壁面の角になるため、(5)式に含まれる壁面の角度 $\gamma_{1,2}$ を走行モードスイッチでマニュアル入力することが困難である。そこでコーナー3の移動では、車輪接触角 $\beta_{1,2}$ を(6)、(7)式のように

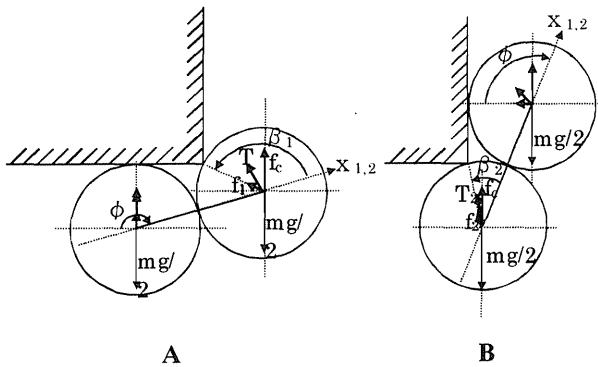


図7 凸部の移動

機体姿勢角 ϕ から算出するようにした。

$$\beta_1 = \cos^{-1}\{1 - 2\sin(\pi - \phi)\} + \phi - \frac{\pi}{2} \quad (150^\circ \leq \phi \leq 180^\circ) \quad (6)$$

$$\beta_2 = \sin^{-1}\{1 - 2\cos(\pi - \phi)\} + \phi - \frac{\pi}{2} \quad (90^\circ < \phi < 120^\circ) \quad (7)$$

機体姿勢角 ϕ が、(6)、(7)式に示されるの範囲にあるとき、各車輪は壁面の角に接触する。 ϕ がこの範囲でないときは、天井または鉛直壁面に接しているのので、通常どおり (5) 式により車輪接触角を与えた。

実験では機体が移動している状況に応じて(5)、(6)、(7)式から車輪接触角を求める方法を外部から指示する必要がある。そのための装置が走行モードスイッチで、与える命令・情報は以下の通りである

走行モード C=2,4: コーナー1、コーナー2 では車輪が2点接触する。どちらの接触点に機体を押し付けるかの命令を与える。

走行モード C=1,3,5: (5)式の計算に必要な前・後輪それぞれが接触している壁面の角度 $\gamma_{1,2}$ を与える。

走行モード C=6: コーナー3 移動時に限り、(6)と(7)式から車輪接触角 $\beta_{1,2}$ を算出することを命令する。

移動実験ではこれら3つの命令を与えたが、前・後輪それぞれに車輪接触角センサーが搭載されれば、走行モード C=1,3,5,6 を与える必要がなくなり、車輪が壁と天井など2点に同時に接触した時に限り、走行モード C=2,4 の命令(2,4双方は必要ない。2点のうち前進側か後進側かという指示で足りる。)をマニュアル操作で与えればよいはずである。

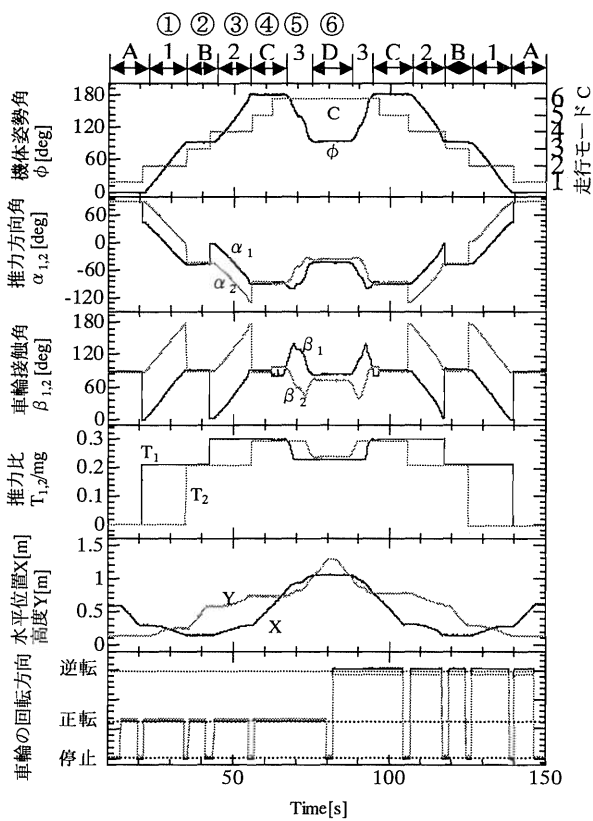
4.3 連続走行移動の実験結果

車輪押し付け力を $f_{1,2}=0.15mg$ として連続走行移動実験を行った。電動テストモデルのプロペラの最大推力は、2個合計で14.7[N]である。これが機体重量 mg の30%分に相当し、推力を $\pm 0.15mg$ 変化できると仮定して移動テストを行った。図5に示すA(床)から移動を開始して、D(鉛直壁面)まで到達した後、再びAまで戻るという経路で実験を行った。実験結果を図8と写真5に示す。

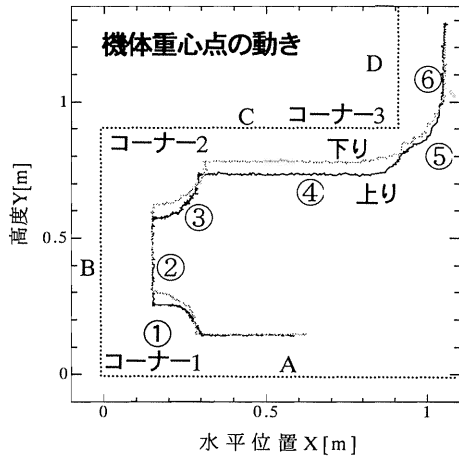
15~20[s]の間テストモデルはA(床)を移動している。この時機体が自重の15%に相当する力で床に押し付けられるよう、推力は前・後輪側ともに0となっている。コーナー1を移動する間は、前輪側のプロペラの向きを壁面方向へ傾けて保ち、後輪側のプロペラを鉛直上向きに保つため、機体姿勢角 ϕ の変化に応じて $\alpha_{1,2}$ が刻々と変化している。壁面Bを移動する間は前・後輪側ともに推力方向が -45° 、推力比は0.21となっている(35~42[s])。コーナー2を移動する間は前輪側の推力 T_1 を最大値の $0.3mg$ に増加し、天井へ車輪を押し付けている(44~55[s])。機体姿勢角 ϕ が 180° になると、後輪も天井に接触するので、後輪側も推力 T_2 を $0.3mg$ に増加している(55~63[s])。コーナー3を移動する間は車輪接触角が連続的に変化し、それに応じて、推力方向と推力が変化している。また、ここを移動する間車輪が滑ったが、特に危険性はなく通過することができた。コーナー3を経てD(鉛直壁面)上を移動し、高度約1.3[m]の地点(80[s])で車輪を停止後逆転させ、上りと同じ経路を下っている。

これにより連続走行移動では、車輪が壁に接触する方向角 $\beta_{1,2}$ と機体の姿勢角 ϕ を検出して、推力の大きさ $T_{1,2}$ と方向角 $\alpha_{1,2}$ を自動制御することによって、マニュアル操作で車輪を駆動して上昇・下降を行っても安全に移動できることが実験的に確認された。

なお、壁と天井で構成されるコーナー2などで車輪が2点接触する場合の自動化は、実際の装置では接触角の検出エラーが発生する可能性もあってメリットが少ない。本テストのようにマニュアルでスイッチ操作するほうが信頼性が高いと考えている。



①～⑥は写真5の番号



注) 機体支持部のたわみのため、サポートバーの支点で計測した移動角に誤差を生じている。上りと下りで経路が重ならないのはそのため。

走行モード C	機体に与える命令または情報
C-1	2輪とも床Aに接している。
C-2	前輪は鉛直壁面Bを押せ。後輪は床Aに接触している。
C-3	2輪とも鉛直壁面Bに接触している。
C-4	前輪は天井Cを押せ。後輪は鉛直壁面Bに接触している。
C-5	2輪とも天井Cに接触している。
C-6	2輪は天井C、コーナー3、鉛直壁面Dに接触している。

図8 連続走行移動実験結果

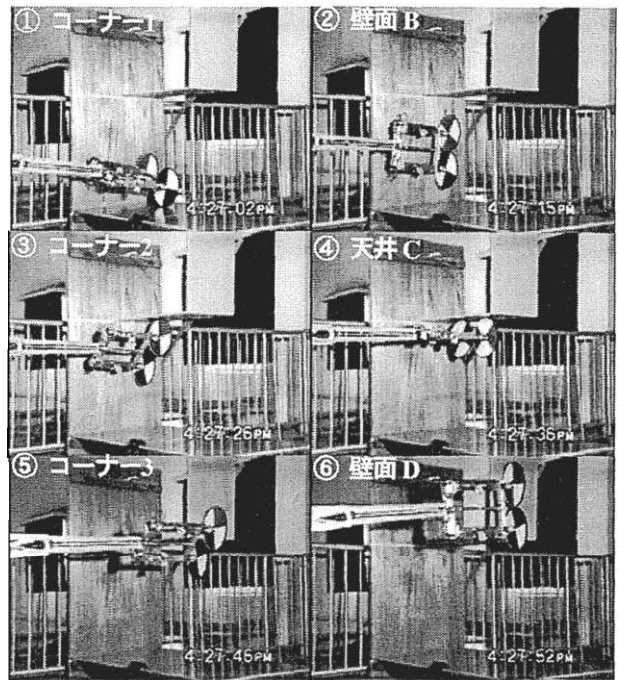


写真5 連続走行移動実験

5. 鋭角凹コーナーの移動

5.1 連続走行移動による鋭角凹コーナーの移動シミュレーション

建物の凹部には直角な角だけではなく鋭角の角もある。図9の(A)～(F)に示すように鋭角コーナーを連続走行移動で通過しようとする、車輪の回転数制御が複雑になる。

(A)、(F)の状態は連続走行移動で制御できることが実験的にもわかっているので、(B)から(E)の状態に移動する間に車輪の回転数と回転方向をどう制御すればよいかをコンピュータシミュレーションで検討した。図10にその結果を示す。斜面と天井がなす角度は60°とした。また、機体の移動速度は0.04m/s(テストモデルの移動速度)、車輪の直径は0.3m(テストモデルの車輪の直径)と設定した。

斜面を登って7.5[s]に鋭角凹コーナーに達した機体は約15[s]かけてコーナーをぬけ、その後天井を移動している。鋭角凹コーナーの移動中、図9(D)の状態になるまでは、定速回転する前輪にあわせるため後輪の回転数と回転方向が複雑に変化する。(D)の状態から先では、今度は前輪の回転数と回転方向が複雑に変化している。

連続走行移動制御による方法

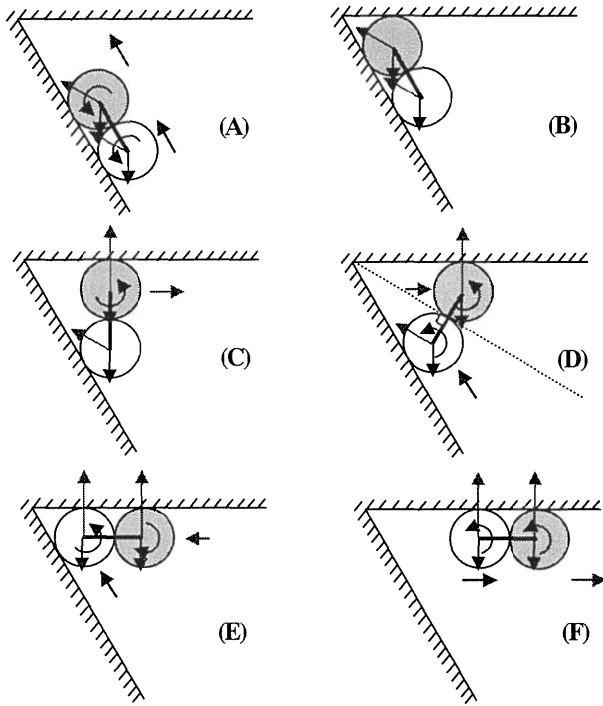


図9 鋭角コーナーでの移動

後輪を振り上げ、前輪と後輪を入れ替える方法が利用できることはわかってきた。前輪を空転状態にして推力で機体を持ち上げ/下げする方法⁴⁾を1年間にわたって検討した後、以下の方法に気づいた。

5.2 後輪振り上げ/下げ移動の制御方法

前輪を鋭角コーナーに押し付けた状態で駆動すると、機体側には逆トルクが発生する。この回転力を利用して後輪を振り上げる(下げる)ことを考えた。

前輪はプロペラ推力によって $f_f=0.15mg$ でコーナーの角に押し付けるようにする。この時の前輪側の推力方向角は $\theta_f=30^\circ$ 、推力は $T_f=0.26mg$ である。摩擦力が十分であれば、前輪の駆動力で機体に回転力を与えられるので、前輪の車軸を支点とした回転運動を行うことが可能と考えられる。この時後輪側のプロペラ推力 T_2 と方向角 α_2 は、機体の回転運動に影響しないように常に自重 ($0.15mg$) とバランスするよう制御する。また、後輪を振り下げる場合は前輪を反対方向に駆動する。

後輪振り上げ/下げ移動による方法

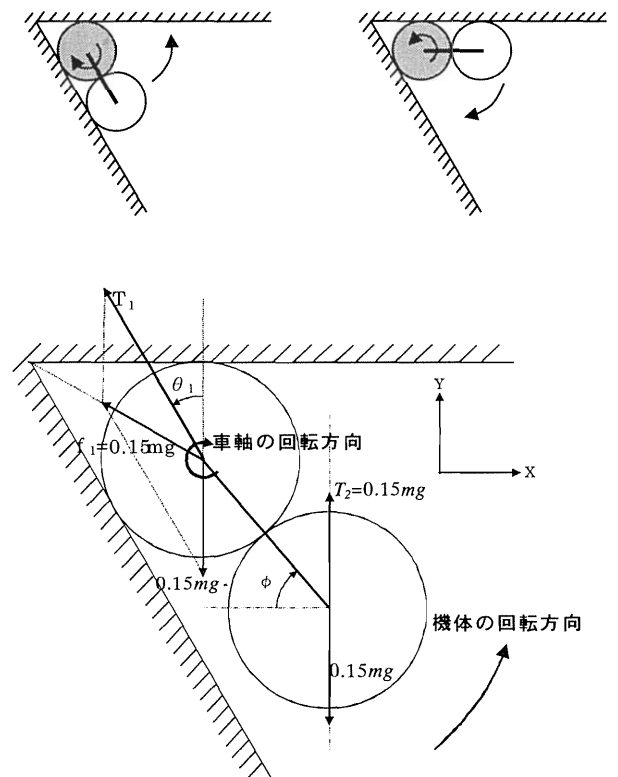


図11 前輪駆動による後輪振り上げ移動

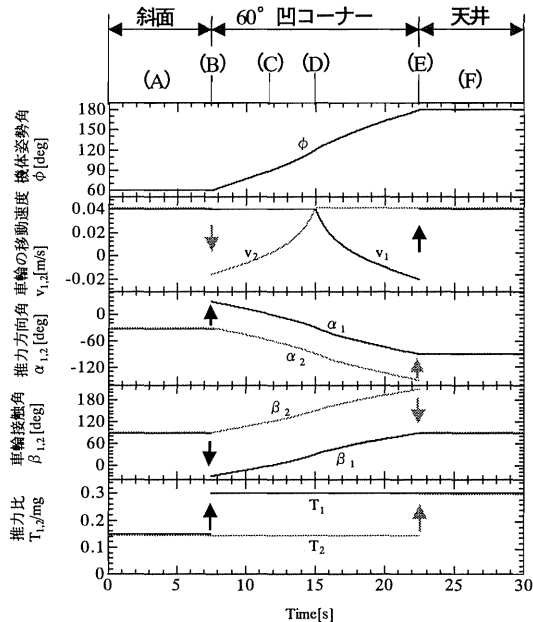


図10 鋭角凹コーナーの連続走行移動シミュレーション結果

このように、車輪の回転数と回転方向を2輪を同調させながら個別に微妙に制御することは、コンピュータをもってしても容易なことではない。機体の前後や表裏に構造の違いがないことを活かして、前輪が天井面に接触したら、

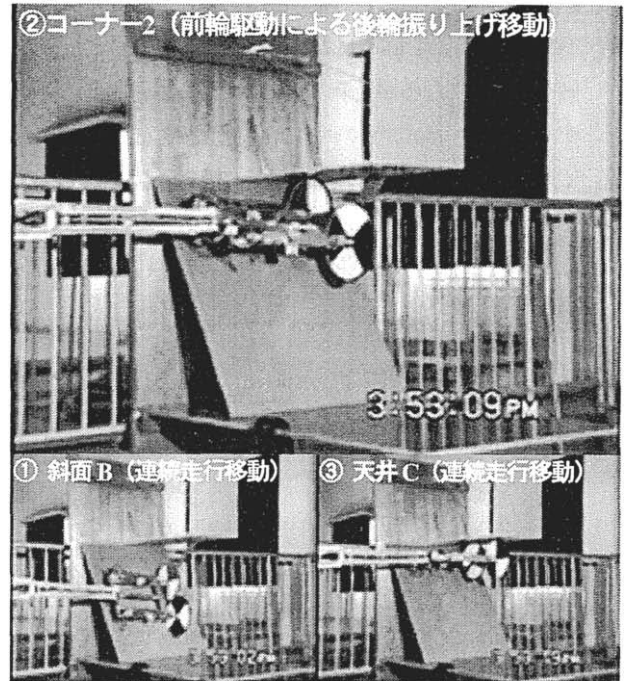
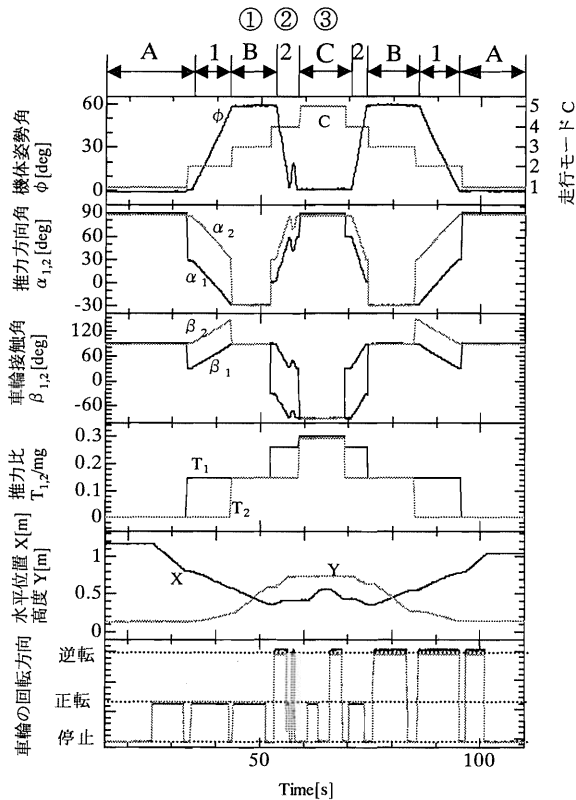
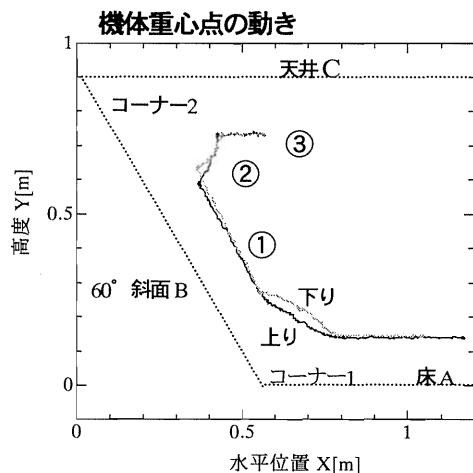


写真6 前輪駆動による後輪振り上げ移動実験

①～③は写真6の番号



注) 機体支持部のたわみのため、サポートバーの支点で計測した移動角に誤差を生じている。上りと下りで経路が重ならないのはそのため。

走行モード C	機体に与える命令または情報
C=1	2輪とも床Aに接している。
C=2	前輪は斜面Bを押せ。後輪は床Aに接触している。
C=3	2輪とも斜面Bに接触している。
C=4	前輪側はコーナーを押せ。後輪側のプロペラ推力と方向角を重量0.15mgとバランスさせよ。
C=5	2輪とも天井Cに接触している。

※C=1,2,3,5は連続走行移動と同じ

図12 前輪駆動による後輪振り上げ/下げ移動実験結果

5.3 前輪駆動による移動実験結果

写真6に示すように実験装置に鋭角凹コーナーを模擬する斜面を追加して、移動制御のテストを行った。なお、天井Cと斜面Bのなす角度は60°とした。

機体は床から移動を開始し、斜面、鋭角凹コーナー、天井へと移動し、再び床まで戻る経路とした。走行モードCの意味は、連続走行移動時は4.3と同様で、鋭角凹コーナーでの後輪振り上げ/下げ移動では「前輪をコーナーに押し付け、後輪側のプロペラ推力と方向角を重量0.15mgとバランスする」制御命令をC=4として与えた。実験結果を図12と写真6に示す。

図12の53～58[s]の間が後輪振り上げ移動、70～74[s]が振り下げ移動である。機体が斜面上を移動し(43～53[s])、天井面に接触すると走行モードをC=4に切り替えた。前輪をマニュアル操作により逆転駆動するとそれに応じて機体が振り上がり、後輪が天井面に到達することが確認できた。振り下げ移動(70～74[s])では、逆に前輪を正転駆動させて振り下げるのに必要な回転トルクを発生させている。55～57[s]にオペレータが車輪回転を誤操作したが、機体は適確に反応しかつ安全性を保っている。

この移動テストによって、鋭角凹コーナーでは前輪を駆動して後輪を振り上げ/下げる方法が有効であることが確かめられた。実際の機体では、3.5に述べた理由で車輪

駆動とステアリングは外部からマニュアルで操作し、プロペラ推力と推力方向角は機体に搭載されるマイコンで制御することになるが、その制御プログラムをほとんど変更することなく鋭角凹コーナーを移動できることは魅力的である。また、機体側の制御に割り込む操作が最小限なうえ、振り上げ/下げ角を完全にマニュアルで操作できることは実用的である。

6. 結果

本研究の結果、次のことが確認された。

1. 大きな4つの車輪と方向角を制御できる2枚のプロペラを組み合わせた機体の形状と移動制御機構は、壁面の凹凸を乗り越えて移動する目的に対して有効である。
2. 移動制御をマニュアルによる車輪駆動操作とそれを支援して機体を常に安全な状態に維持するコンピュータ制御に分割することが可能である。
3. 「連続走行移動」と「後輪振り上げ/下げ移動」を組み合わせるにより、大きな凹凸を乗り越えて鉛直方向に移動できることが確認された。
4. 「後輪振り上げ/下げ移動」による 90° 以下の凹部の移動は、「連続走行移動」の操縦制御システムをそのまま利用できるのが実用的である。
5. 本研究により、鉛直方向移動が機体姿勢角センサーと車輪接触角センサー（仮想）により安全に制御できることを実験的に確認した。今後は、本研究結果を検討して車輪接触角センサーに関する要求仕様を決めることができる。
6. 移動実験中観察したところでは、凹凸の移動中かなりの頻度で車輪が滑っている。移動機構が少々滑っても問題がないということは、壁面移動機構としては画期的である。今後は低摩擦係数下での移動の安全性を確認する必要がある。
7. 大きな凹凸を踏破して移動できることは本研究で確認できたが、壁面の細かな凹凸を車輪接触角センサーが検出した場合の機体搭載マイコンによる自動制御法の検討が今後必要である。

7. おわりに

本研究を進めるにあたり、平成 13 年度産業教育内地留

学生の中野健吾日向工業高校教諭には実験モデルの製作と基本テストを分担していただいた。厚く御礼申し上げます。

工学部乱流風洞実験施設運営委員会には、障害踏破性能試験のために乱流風洞実験棟作業足場の使用を認めていただいた。感謝の意を表します。

大分工業高等専門学校菊川裕規講師には、ラジコン送/受信機の有線通信化につき、自作装置を貸与いただくなど貴重な情報を提供していただいた。ここに厚く御礼申し上げます。

三和電子機器株式会社 CS 部 CS 企画課斎藤英樹氏には、ラジコン送/受信機の有線化改造を快く引き受けていただき、また、外部信号の接続方法の情報提供をいただいた。ここに感謝の意を表します。

利根川精工の坂東治夫社長には、サーボモータの動作角拡大のための改造を快く引き受けていただき、当方で実施した電気回路の再改造についても相談にのっていただいた。ここに感謝の意を表します。

なお本研究は、文部科学省科学研究費補助金（平成 13～14 年度）および産業教育内地留学生受け入れに対する学内措置による予算を利用して実施した。

参考文献

- 1) 日高義浩、東正之、宮城弘守
「壁面移動ロボット推力押付タイプの基礎研究」(日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演論文集 2P1-44-072,2000,5)
- 2) 東正之、日高義浩、宮城弘守
「壁面移動ロボット推力押付タイプの基礎研究」(日本機械学会講演論文集 No.005-2,pp.177-178,2000,10)
- 3) 宮城弘守、日高義浩、東正之
「プロペラ推進壁面移動ロボットの移動性に関する技術的展望」(日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演論文集 1P1-02-005,2000,5)
- 4) 小川宗長
修士論文「壁面移動ロボットの踏破性能向上法の研究」(2001 年)