

平成13～14年度科学研究費補助金 基盤研究 (C)

1. 研究課題 車輪移動式壁面移動装置の障害踏破機構

2. 課題番号 13650282

3. 研究組織

研究代表者 宮城 弘守 (宮崎大学工学部助手)

4. 交付決定額 (配分額)

(金額単位: 千円)

	直接経費	間接経費	合計
平成13年度	500	0	500
平成14年度	200	0	200
総計	700	0	700

5. 研究発表

(1) 学会誌等

- ・宮城弘守、車輪駆動式壁面移動装置の障害踏破機構、第8回ロボティクスシンポジウム予稿集、pp. 373-380、2003年3月17-18日
- ・矢括幸始・宮城弘守、車輪駆動式壁面移動装置の障害踏破性能向上法の研究、宮崎大学工学部紀要31号、pp. 59-68、2002年9月

(2) 口頭発表

- ・宮城弘守・矢括幸始、車輪駆動式壁面移動装置の障害踏破機構、日本機械学会ロボメック02講演会、2P2-E03、2002年6月7-9日

目 次

1. 壁面移動装置の現状と課題	
1.1 宮崎大学の壁面移動装置の開発研究	pp. 1
1.2 車輪駆動式壁面移動装置の現状と課題	pp. 1
2. 障害踏破機構の概念設計と連続走行移動法	
2.1 構造と機構	pp. 2
2.2 連続走行移動法	pp. 3
3. 鉛直方向移動実験装置と操縦・制御システム	pp. 4
4. 連続走行移動実験結果と課題	
4.1 連続走行移動実験結果	pp. 5
4.2 連続走行移動の課題と解決策	pp. 5
5. 機体振り上げ／下げ移動実験結果	pp. 6
6. 機載センサーの要仕様の検討	pp. 7
7. 結論	pp. 8
8. おわりにかえて	
8.1 壁面移動原理	pp. 9
8.2 世界と日本の高層ビル	pp. 10
参考文献リスト	pp. 10

図面集 (図1～図20)

本研究に関連の強い参考文献の写し

1. 壁面移動装置の現状と課題

1.1 宮崎大学の壁面移動装置の開発研究

近年ビルの高層化と形状の複雑化が進み、はしご車の救難活動に困難を生じている。国会議員会館の建て替え計画（2003年度基本計画策定調査）が22階建て1棟から13階建て2棟に変更されたことは、世界貿易センタービルの事件がなくとも日本の消防事情を考えると賢明な選択といえる。

図1に宮崎大学工学部で開発した主な壁面移動装置を示す。

左上の2つは、大きな吸盤一つで壁に吸着し吸盤内のクローラで走行移動するタイプ¹⁾と、足先の小型吸盤で壁に吸着しながら歩行移動する2足歩行タイプ²⁾である。動きは緩慢だが、それぞれの移動原理の実証に役立った。

つぎに移動速度の速いプロペラ推進走行移動型をつくった。右上はその最終型^{3) 4)}で、移動速度を毎秒0.5mに抑えたが、車輪を空転とした初期のモデルでは加速がよすぎて苦労した。

走行移動型が何かの原因で壁から剥がされてもよいよう、また必要な時には飛んで移動できるようにしようと、下の飛行型の研究を10年近く続けた⁵⁾。5自由度実験まで行ったが、縦長機体の姿勢制御が難しくその後の研究を中断している。飛行型の研究は期待はずれに終わったが、機体の軽量化技術がこの10年間で著しく向上した。この飛行型では上下合計10馬力のエンジンを含め乾燥重量は15.5kgfに仕上がっている。姿勢制御ローターの駆動に約25%の動力を分配した関係でプロペラの推力重量比が1.2に落ちているが、それがなければこの値は最高1.39⁶⁾になる。この経験を踏まえ、構想の機体の推力重量比を1.3に設定した。

注) プロペラの最大推力を馬力当り2.5kgf（実績）、機体の運用重量を18kgf（飛行型実験時）として算出した。

1.2 車輪駆動式壁面移動装置の現状と課題

図2の左は1996年に完成したプロペラ推進走行型2号機（最終型）である。

移動制御実験の他に、滑車の運搬・取り付け作業や無線カメラのモニター試験も実施した。大きな荷重に耐えられる太くて重いロープはとても運べないが、それを引き上げるための滑車を運搬して取り付けることは比較的容易である。図3に示すように、

壁に適切な受け金具さえ用意されていれば、ラチェット式（実験では受け金具側を重力利用のラチェット構造としたが錆び付きの心配があるので滑車側が適当）の滑車をつっこんで固定し、緊急時には模式図のように機体を落下させて太いロープを一気に引き上げることも可能と考えられる。図3右下の写真は、機体に搭載した無線カメラから受け金具の方向をモニターした画面である。

この機体に搭載能力いっぱいの2リットルの燃料を搭載すると、鉛直な壁面なら20分間600mの移動が可能だが、僅か5cm程度の凹凸があっても前進できない。

図2の右は日高らと共同実験した「推力押し付けタイプ」である^{6) 7)}。緩やかに傾斜が変化する壁なら傾きに関係なく移動できることを確かめているが、この方法でも大きな凹凸は乗り越えられない。

これらのことや飛行型の研究が期待はずれに終わったことが、走行型を見直す本研究のきっかけとなった^{8) 9) 10)}。

2. 障害踏破機構の概念設計と連続走行移動法

2.1 構造と機構

図4に、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の検討過程を側面図A～Eに示す。円は車輪、円の中心を結ぶ直線は機体フレーム、矢線は重量とプロペラ推力を表している。

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く、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のようにこの制御を前後独立に行えばよい。しかし、Cのような凸部分では機体がつかえてしまうので、大きな車輪だけで機体フレームのない構造を考えた。構造はシンプルだがDのように前後に補助輪がないと推力の方向角が安定しないし、補助輪2個の制御は煩雑である。そこで大きな車輪を2個連結するEの方法を考えた。Fにその詳細を示す。

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ーでそれぞれが駆動され、ステアリングも上下が独立に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。プロペラの推力中心と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物の配置を工夫する。

図5の網かけの範囲では、模式図に示したように機体姿勢が安定しない。白抜きの範囲ではその心配がないが、車輪間隔が狭いほど障害踏破能力は高い。

図6は、走行タイプの最終型と構想の機体の概念設計を比べたものである。こうして比較すると、外観上の大きな違いは車輪の直径程度である。踏破性能を向上したい一方で、従来の走行型で実績のある車輪のマニュアル操作によって移動させたいと考えたため、無意識のうちに従来に似た機体構造や機構を選択したようである。

プロペラ推進（自重支持）と車輪駆動（高速移動）を前提として他の機体形状を検討した。鋭角凹コーナーの通過では車輪が少ない2輪が理想的だが、凸コーナーの移動の操作性・制御性を含めると6輪以上が4輪に勝る根拠を現状では見い出せない。

2.2 連続走行移動法

図7の左上に、前後の車輪を常に壁面との接触点に押し付けながら移動する「連続走行移動法」を示している。鉛直方向に移動するとき、プロペラ推力を壁方向に傾けて自重を支えながら車輪を壁に押し付ける。庇の付け根に達すると、それぞれの接触点で前輪を天井面に後輪を壁面に押し付けるよう上下のプロペラ推力と方向を調整しながら天井面に移動する。天井面に仰向けに張り付いて移動するとき、推力を3割程度増加して落下を防ぐ。天井面から鉛直壁面に回り込むときは、庇の角に向かって車輪を押し付けるようにする。完全に屋上に乗り移ると、車輪に機体の重量が加わるよう推力を低く絞り込む。右上の写真は、コーナー④を機体が通過する様子を示している。

機体を横倒しにして鉛直壁面上を水平移動する場合は、鉛直方向の移動より制御が容易である。前後の車輪を壁面に接触する部分で壁に押し付けるよう、プロペラ推力と方向角を調整する。

図8の上半分に鉛直方向へ移動する場合のプロペラ推力と方向角の制御値を示した。左が凹コーナー2ヶ所、右が凸コーナー2ヶ所の制御である。図7左上の移動に合わせるため右のグラフを左右反転して示した。図中の○は壁面や天井面を表している。計算では簡単のため、機体重量は上下の車輪の中央すなわち推力中心に1/2づつ配分され、重量0のフレームで車輪を接触して連結されていると仮定している。なお車輪を建物の面や角に押し付ける力は上下とも常に機体重量の15%（分担重量の30

%) となるよう調整するものとした。

何れの図も上段がプロペラ推力 T 、中段が推力の傾斜角 α_T 、下段が推力の方向角 α を示す。プロペラ推力は1基の値を機体重量 mg でわって無次元化している。プロペラ推力の傾斜角 α_T は、鉛直上方を基準に壁面方向を+にとっている。推力方向角 α は機体フレームを基準とし、時計回りを+としている。

車輪押し付け力を前後とも機体重量の15%とすると、推力は機体重量の0.65倍以下、推力の方向は鉛直軸を基準に採ると、 $0^\circ \sim 17.5^\circ$ ($\phi = 20.5$ (後輪)、 88.7° (前輪)) の間で変化する。凹コーナー①、②以外では推力とその角度は連続に変化し、不連続に変化する時も車輪を押し付ける方向を決めればよいので、制御は容易と考えた。

3. 鉛直方向移動実験装置と操縦・制御システム

図7の下に移動実験用の電動モデルを示した。モデルはサポートバーで支えるので車輪は2個とした。実験装置の d/D は0.0066で図5によると、 13.2° 以上の凸部なら通過できるはずである。車輪の回転中心軸上で向きを $\pm 150^\circ$ 変化できる直流ブラシレスモータ駆動のプロペラを搭載している。

図9の上は実験装置全体を示し、右手後方に模擬壁面と電動モデルが見える。

電動モデルは2自由度支持したサポートバー先端の回転軸受けに取り付けられているので、機体姿勢角を変化しながら模擬壁面に沿って移動する3自由度の動きをテストできる。

図9の下に実験装置の操縦制御システムの詳細を示した。青色はマニュアル操縦系、茶色はコンピュータの操縦支援制御系、黄色はデータ記録系を示している。走行モードスイッチは、車輪接触角を検出する仮想のセンサーと車輪が2点接触したときに押し付け方向を指示する入力装置を兼ねているため、茶色と青色が重複しているが、他の系統は完全に分離されている。このように操縦システムを分離した理由は、実際にこの装置が使われる際、従来の走行型⁴⁾と同じようにオペレータが車輪の操作だけに集中できるかを試すためである。

4. 連続走行移動実験結果と課題

4.1 連続走行移動実験結果

図10の左と図11に実験結果を示す^{10) 11) 12)}。

床を移動して壁に達したとき走行モードスイッチをつかって前輪を壁に押し付けるよう指令すると、プロペラが壁方向に 45° 傾いて回り始める。推力は 0.15mg の $\sqrt{2}$ 倍であるから、前輪は壁方向にのみ 0.15mg の力で押し付けられている。後輪が壁に達すると、後輪側にも同じ司令を送っている。天井面への移動も同じ要領で行われる。

これらのコーナーを通過するとき、機体姿勢は毎秒 7° 程度で変化した。

庇の角を天井面から鉛直壁面に回り込むとき後輪に続いて前輪が滑ったが、危険な様子は見られなかった。ただし姿勢角の変化速度は最大で毎秒 40° 程度に達した。

庇を回り込む途中で立ち往生することがあった。実験では直感的にプロペラ推力を増加してこれを回避したが、立ち往生の原因と回避できた理由を検討した。

庇の軒先延長線上で回り込み動作が停止しているから、図8の下のように、前輪が摩擦力を失って機体回転トルクが0になる不安定な中立状態に陥ったようである。実験装置では3個の軸受けの抵抗のためモデルは前輪が空中に浮いた状態で一瞬静止したが、実際の装置なら動揺を繰り返し危険な状態に至ったかもしれない。もしプロペラ推力が不足していると、機体回転トルクが負になる角度がさらに広がって庇の角を回り込むことが困難になる。

常時実行しても壁面の他の部分の連続走行移動に悪影響を及ぼさない処理を検討した結果、車輪の進行方向にプロペラ推力をやや傾けることが、簡単で効果的であるだけでなく必要な制御であることが分かった。

4.2 連続走行移動の課題と解決策

鋭角の凹コーナーの通過に「連続走行移動法」を適用すると、図13の左の(A)～(F)に示す鉄道のスイッチバックのような複雑な動きが要求される。この時の移動操作のシミュレーションの1例を図の右側に示す。

赤色で示した推力とその方向角は自動制御されるから、まず問題ない。しかし青色で示した車輪の正転／逆転と回転速度は、前後別々に、かつ同調して連続して変化する

ることが要求される。しかもその組み合わせは無限にあって到底マニュアル操作に馴染まないのだが、この操作は凹コーナーの角度が既知の場合にできることで、角度が未知の壁面ではコンピュータをもってしても大変な作業になるはずである。

マニュアルで車輪の回転を微妙に操作する事は到底無理であるから、前輪が天井面に接触したら後輪を振り上げて進行方向を入れ替える図14の右の(C)⁹⁾と(C')の方法について実験を交えて検討した¹⁰⁾。結果を図15に示す。

青がマニュアルの操縦、赤がコンピュータの操縦支援制御系、黄が操縦・制御に関係しない記録データである。

一番上の実験では、プロペラ推力とその方向角を同時にフィードバック制御している。ふらふらとした動きが気になる。 α_{r2} と t_2 の与え方にも任意性があり、実用に適さない。

2番目の実験では推力を一定に保ったまま、方向角を勘を頼りに段階的にマニュアル操作した。力のアンバランスを解消する作用を利用した簡単な方法の割には上手くいったが、下方に向かって開いたコーナーにしか利用できない欠陥に後で気づいた。

これらに対して、コーナーに押し付けた前輪を逆転して後輪を振り上げる3番目(C')の方法では、機体姿勢角の変化速度が一定で安定しており、マニュアル操作が容易で車輪を逆転するだけなので操作に任意性がない。移動性能の差は、上の2つの方法と比較すると、歴然としていて有望と考えた。

5. 機体振り上げ/下げ移動実験結果

図10の右と図12に実験結果を示す。

床から斜面を登って庇の付け根に達するまでの動きは、「連続走行移動」と同じである。

庇の付け根に達すると、走行モードスイッチをつかって前輪をコーナーの角に押し付け後輪側の分担荷重を支えるよう指令した。その後、前輪をマニュアルで逆転した。後輪が天井面に達した際、後輪がはじかれたように動いているが、これは停止操作を誤って前輪を正転させたためである。結果的にこの操作の反応の良さとコンピュータの操縦支援制御の信頼性が確認された^{10) 11) 12)}。

なお、60°コーナーの移動で機体姿勢角は、車輪回転速度に一致する毎秒20°

で変化し「連続走行移動」の3倍に増速された。

6. 機載センサーの要求仕様の検討

図16は実用機の操縦・制御方式と機器類の配置の設計案^{1,3)}を示している。

設計1は機体を一体のシステムと考える方法で、移動実験装置と同じ発想である。設計2は、単機能ユニットの集合体として1つの機体を構成する方法である。マニュアル操作には青色の走行ユニットだけが反応し、それとは全く無関係に茶色の推力ユニットは操縦支援制御を実行し続ける。まるで生物界の共棲関係を見るようで興味深い。エンジンに近接して配置する機器類の小型化と耐震・耐熱・耐ノイズ性の向上など課題が多く、現状では設計1の方が現実的であろう。

では、設計1に必要なセンサーの仕様を検討する(図17)。

機体の姿勢角は走行ユニット上で計測するから、 360° の変化にも追従する航空機仕様のジャイロ스코ープ(水平儀)を使用する必要がある。車輪接触角の検出には接触式・非接触式の何れの方法も選択可能だが、車輪が複数の点で壁面に接触したり逆に片輪だけ接触する場合や両輪とも浮き上がってしまうこともあり得るから、検出した1次情報には後処理を加える必要がある。システムを単純化するためセンサーには簡単で確実な動作原理のもの、例えば車輪表面に多数の接点スイッチを埋め込むような方法を選択したい。

非接触式としては、レーザー距離計や超音波距離計を車輪外側の中心部に取り付けることが考えられる。全方位ビジョンセンサーなら回転トレースの必要がないが、車輪半径の距離で焦点を結ぶ参照光を併用する必要があると考えている。

次に設計2に必要なセンサーの仕様も検討する(図18)。

この設計では推力ユニットの機体姿勢角を検出する。2.2に述べたように、姿勢角の変化は $\pm 17.5^\circ$ の範囲に収まるから、容量変化型の2軸傾斜計で足りそうである。応答を改善するため遅れ補償回路を追加しても傾斜角の変化角速度が高々毎秒 40° 程度に抑えられると考えると精度の低下は小さいであろう。

車輪接触角は非接触に検出するしかない。検出情報の処理法も気になるが、推力ユニットの周りで勝手に動き回る(≠推力ユニットからすると、そう見える)走行ユニットの干渉を避けて正しい情報を検出する方法を工夫する必要がある。

7. 結論

プロペラ推進走行型壁面移動装置の踏破性能を向上するための一連の検討作業の結果、以下のことが明らかになった。

- 1) 2枚のプロペラとそれを左右から挟む4個の大きな車輪を組み合わせた構造・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) 鋭角凹コーナーを通過する方法として「車輪駆動による機体振り上げ／下げ移動法」を採用することで、2000年に機体構造とともに提案した「連続走行移動法」の課題を克服できた。
- 3) 移動操作をマニュアルによる車輪駆動・ステアリング操作と機体が壁面からはがれ落ちないようにするプロペラ推力のコンピュータ支援制御に完全に分割して分担する方法は、安全上問題がない。
- 4) 大きな凹凸に対する踏破性能の向上を検討してきたが、車輪接触角センサーの1次情報を平均化処理すれば凹凸の大小に関わらず対応できることが分かった。
車輪接触角の1次情報の後処理のうち複数点で接触した場合は平均化処理するのが一番簡単な考え方である。壁面上に大きく突き出た障害に行き当たると、接触点の中間の角度すなわちコーナーの角方向に車輪が押し付けられて進めなくなるが、安定した姿勢で停止するので理想的である。細かな凹凸では車輪の駆動トルクが勝れば移動できるので特に配慮は必要ない。
車輪駆動用モーターの過負荷電流を検出して大きな障害の存在を検知する機能が必要である。車輪駆動系の安全装置だが、壁面の状態や燃料消費に伴う機体重量の変化、機体に加わる風圧の変化を検知する補完的なセンサーとしても利用できるであろう。
- 5) 推進ユニットが分担する操縦支援制御は機体姿勢角と車輪接触角の2つの情報を利用して実行できる。現状では6. に設計1で示した方法を採用し、前者を航空機仕様の2軸ジャイロスコープで、後者を車輪表面に多数の接点スイッチを埋め込んだセンサー(構想)で検出するのが現実的である。
- 6) この研究でまとめた機体の構造・機構も万全ではない。水平または仰向けの姿勢でプロペラ推力の方向角を自動制御するとき推力ユニットがレール内で回転を繰り返すことを抑えることはソフトで対応できるが、壁面の凹凸を通過する際トル

クを減少せずに車輪の回転速度を低下するには車輪駆動機構の工夫を必要とする。凹凸通過時の機体傾斜角の変化速度は（車輪の滑りによるものも含め）、車輪の回転速度によって決まり車輪の直径にはよらない。実験装置の毎秒 20° （3.3 r p m）は適当なようだが、平面壁の移動速度は毎秒1 m程度に速めたいと考える。仮に実用機の車輪直径を28インチとすると、車輪の回転速度はコーナー通過時の約3 r p mと平面走行時の約25 r p mの2段階に変化させる必要がある。

機体の前後や表裏を入れ替える操縦では機体落下の危険性がないにも関わらず違和感・錯覚やストレスは相当なレベルに達するはずであるから、それらを軽減・解消する工夫が必要となる。機体上に無線カメラを搭載してモニターすると、オペレータが“乗り物酔い”になるかもしれないし、超高層ビルでは“高所恐怖症”になるかもしれない。この装置の実用化にはこのあたりのマン・マシン系に関する課題も残っている。

8. おわりにかえて

8.1 壁面移動原理

図19は1998年までに個人的にまとめたメモである。現在考えられる壁面移動原理を網羅しているはずである。

中段の3つは皆、我々の研究室で実証実験を行った装置である。制御方法の考慮が不足しているが、左下に今回報告した装置が含まれている。

右下のように縦長形状の装置を自由飛行させるのは難しいが、ワイヤーで動きを制限または操作すると何とか使い物にならないかと思っている。

1999年8月の玄倉川の事故では、18名のキャンパーが中州に取り残され13名の尊い命が帰らぬものとなった。この時、救命ロープの設置に救助隊到着後2時間を要している。上述のワイヤーで拘束した飛行型を対岸に墜落させてもよいと考えるなら、発射銃より確実な方法になるかもしれない。

玄倉川の事故後の捜索に参加した神奈川県平塚市消防本部に昨年11月、日本で初めて、救命具を運搬・投下できるラジコンのレスキューヘリコプターが配備されたが、レスキュー隊員をヘリコプターから林間に確実に降下させるカプセルや水ロケットの浮輪だって現場にあれば役立ったかもしれない。災害救助現場では、ケースバイ

ケースで使い分けられるいろいろな装備が用意されるべきであろう。

8.2 世界と日本の高層ビル

図20に世界と日本の高層ビルをまとめてみた。2001年9月に崩壊した世界貿易センターのツインビルも示している。黄色に塗ったのが日本の建物だが、高さ50mの赤線を優に越えている。この赤線は通常はしご車が届く上限だから、それより上の階を利用するには覚悟がいる。

国会議員会館の建て替え計画が13階建て2棟に変更されたのは賢明な選択だが、65mの高さでは、多分、屋上まではしご車は届かない。屋上にヘリポートが計画されているようだが、火災時に役立つかどうか心配である。できれば1階を4mに設計変更されるべきだと思う。

世界貿易センタービルの跡地の利用計画が公募によりドイツのグループ「スタジオ・ダニエル・リベスキンド」の提案に決まった。以前の建物より高い世界一の高さの高層ビルを含む再開発計画が選ばれたことは信じがたいとしかいいようがない。

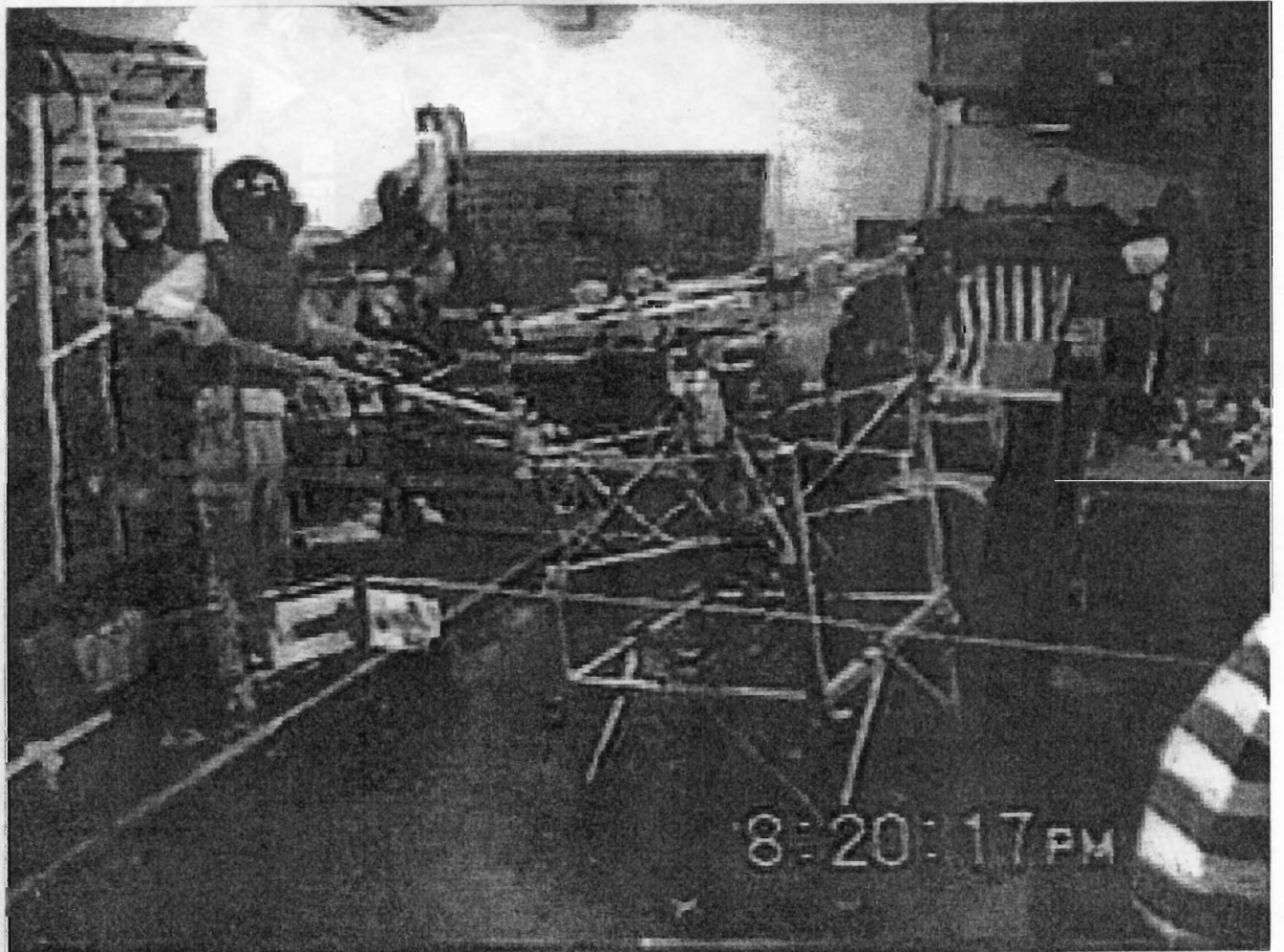
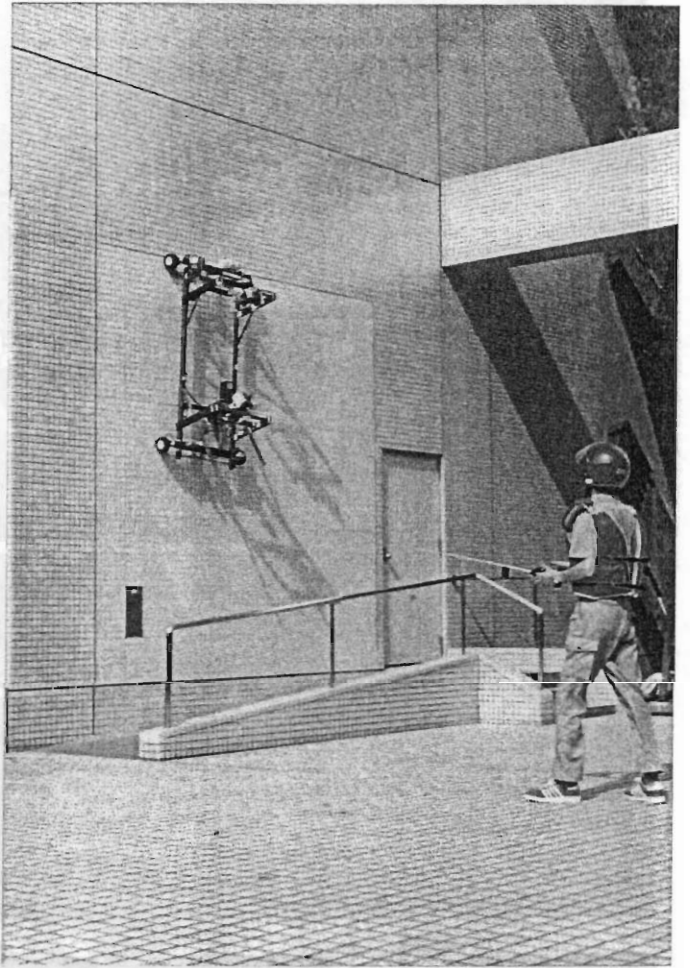
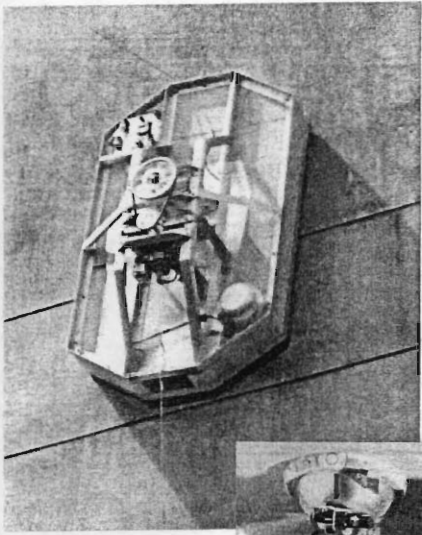
都市部の土地の有効利用のためには致し方ない選択とはいえ、構造力学は高層建築物が重力に耐えられず座屈する可能性までは解消してくれないことを建設界や都市の行政担当者がもっと重視してくれることを切望してやまない。

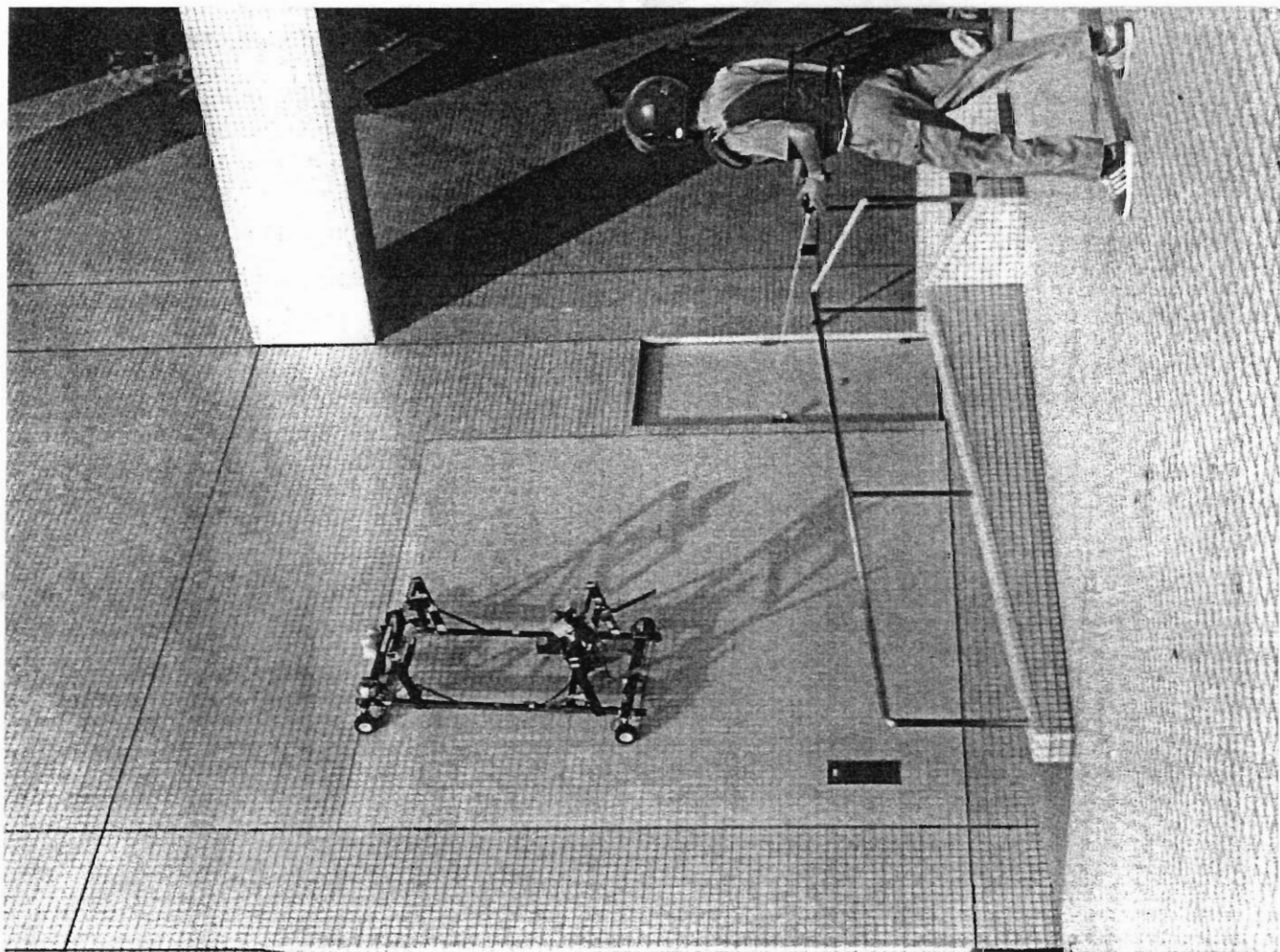
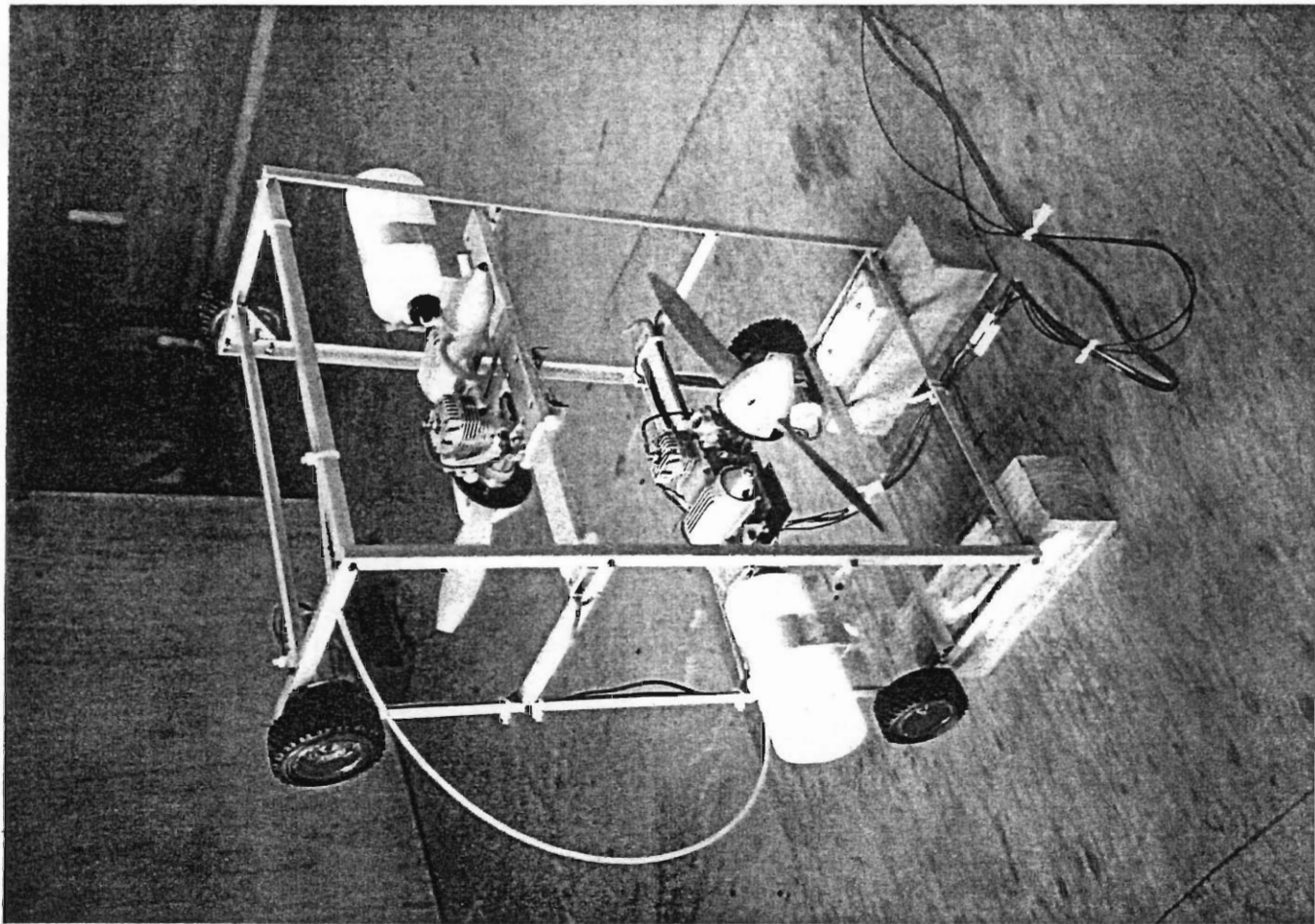
参考文献リスト

- 1) 西、解説 車輪またはクローラを用いた壁面移動ロボット、日本ロボット学会誌 Vol. 10 No. 5、pp. 570-574、1992.
- 2) 広瀬・長久保、解説 歩行移動ロボット、日本ロボット学会誌 Vol. 10 No. 5、pp. 575-580、1992.
- 3) 西・宮城、推進力による壁面移動ロボットの研究、日本機械学会論文集C編57巻543号、pp. 179-185、1991.
- 4) 宮城・西、プロペラ推進壁面移動ロボットの移動機構と壁面移動実験、日本機械学会ロボメック'96 Video Proceedings、1996.
- 5) MIYAGI, Intelligent Maneuvering of a Flight-Type Wall-Climbing Robot, AROB

4 t h ' 9 9 , 1 9 9 9 (口頭発表のみ) .

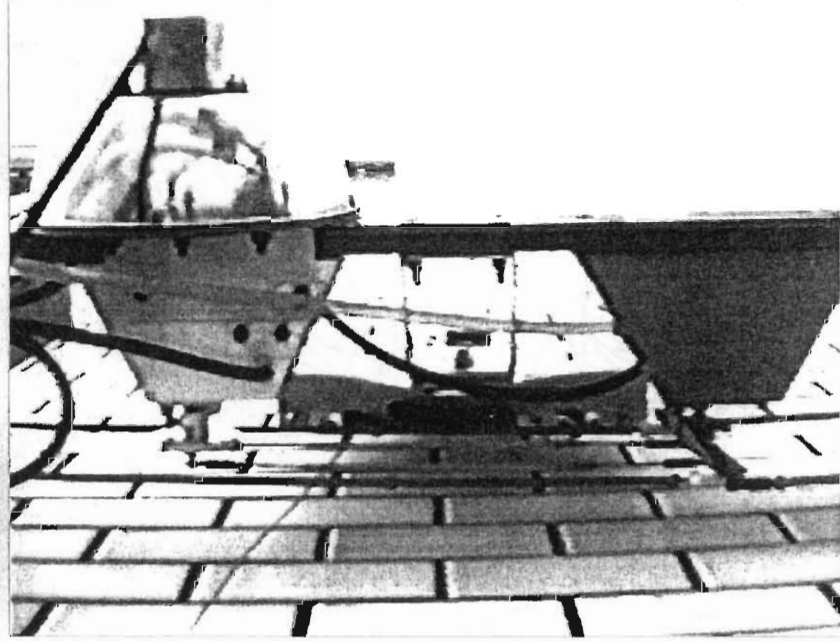
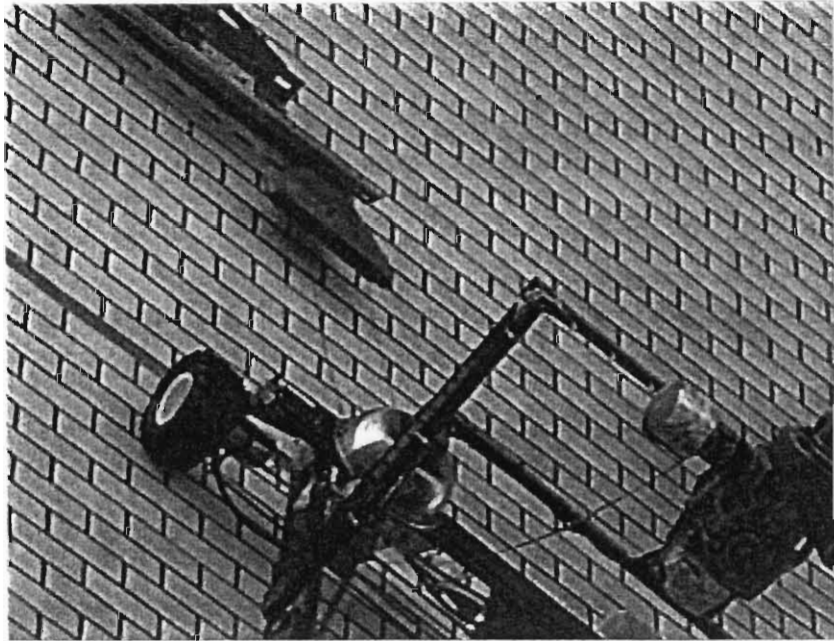
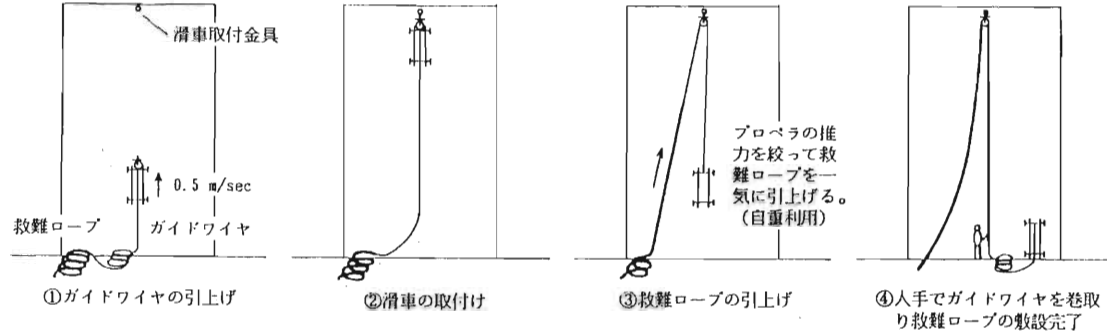
- 6) 日高・東・宮城、壁面移動ロボット推力押付タイプの基礎研究、日本機械学会ロボメック' 00 論文集、2 P 1 - 4 4 - 0 7 2、2 0 0 0 .
- 7) 東・日高・宮城、壁面移動ロボット推力押付タイプの基礎研究、日本機械学会中国四国支部・九州支部合同徳島地方講演会論文集、p p . 1 7 7 - 1 7 8、2 0 0 0 .
- 8) 宮城・日高・東、プロペラ推進壁面移動ロボットの移動性に関する技術的展望、日本機械学会ロボメック' 00 論文集、1 P 1 - 0 2 - 0 0 5、2 0 0 0 .
- 9) 小川、壁面移動ロボットの踏破性能向上法の研究、宮崎大学工学研究科修士論文、2 0 0 1 .
- 10) 矢括、車輪移動式壁面移動装置の障害踏破機構の研究、宮崎大学工学研究科修士論文、2 0 0 2 .
- 11) 矢括・宮城、車輪移動式壁面移動装置の踏破性能向上法の研究、宮崎大学工学部紀要 No. 3 1、p p . 5 9 - 6 8、2 0 0 2 .
- 12) 宮城・矢括、車輪駆動式壁面移動装置の障害踏破機構、日本機械学会ロボメック' 0 2 論文集、2 P 2 - E 0 3、2 0 0 2 .
- 13) 宮城、車輪駆動式壁面移動装置の障害踏破機構、第 8 回ロボティクスシンポジア予稿集、p p . 3 7 3 - 3 8 0、2 0 0 3 .

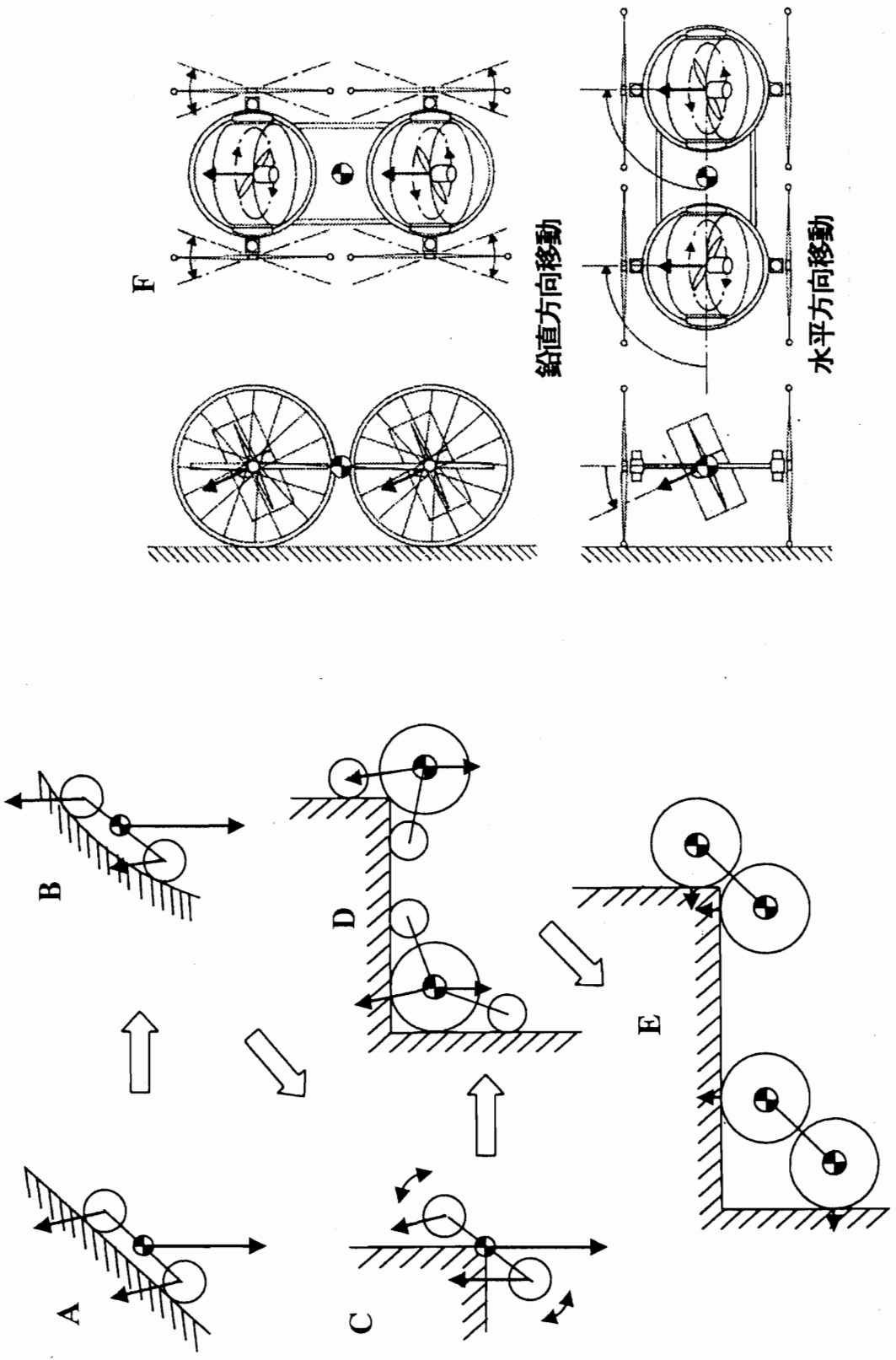


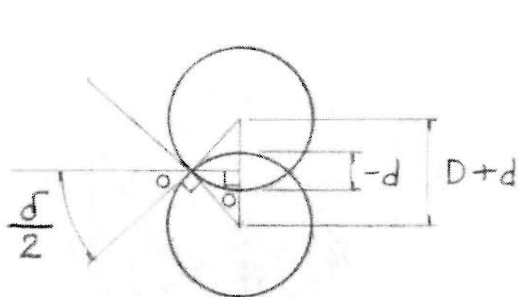
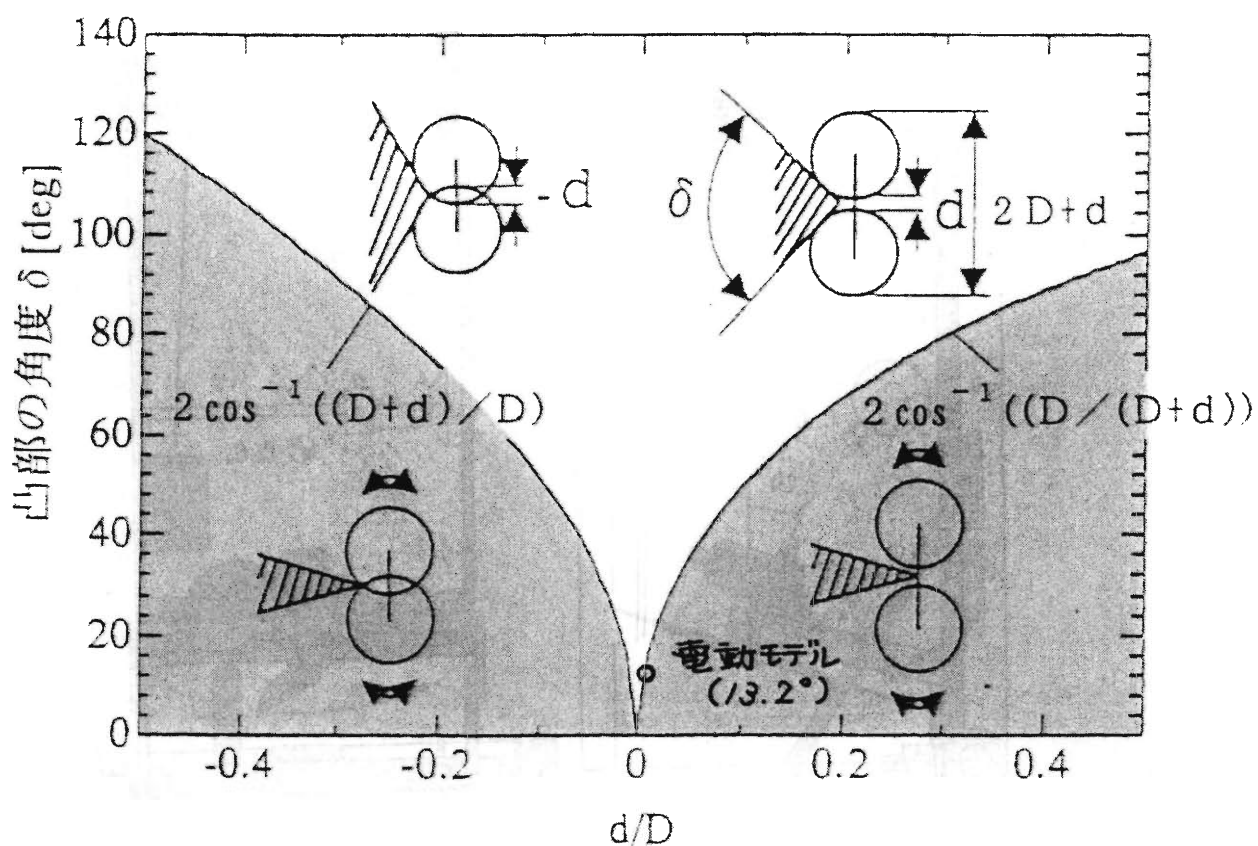


A. ロープの引き上げテスト

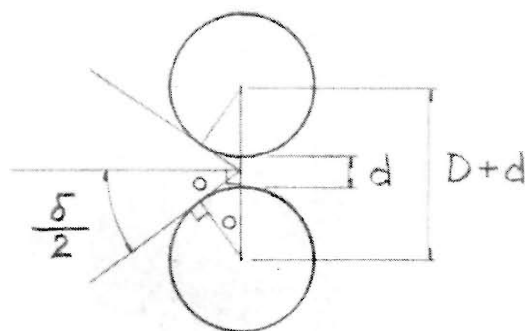
プロペラ推進走行型の救難用途の実用可能性を確認するため、ロープの引き上げテストを行う。





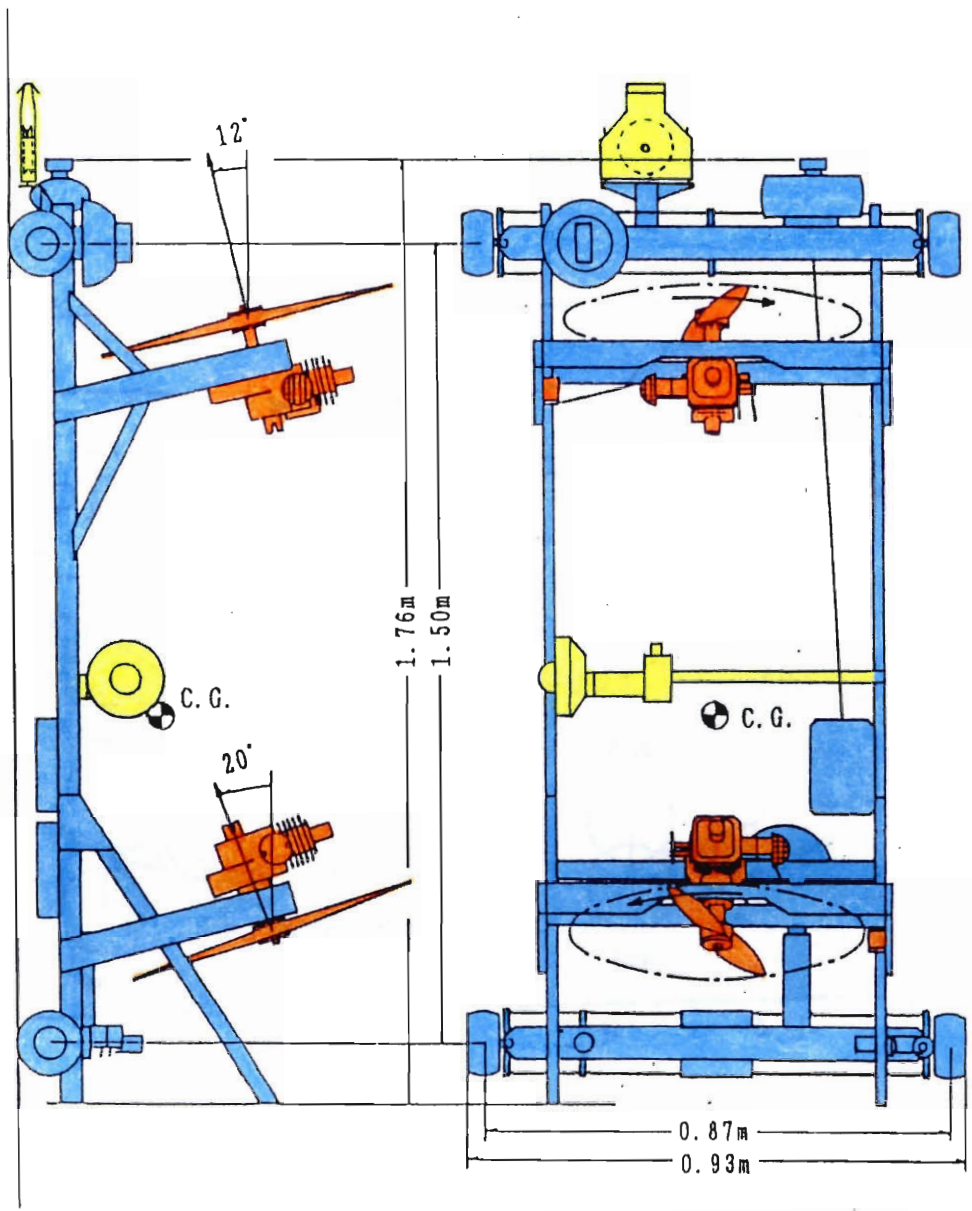


$$\frac{\delta}{2} = \cos^{-1} \frac{(D+d)/2}{D/2} \quad (d \leq 0)$$

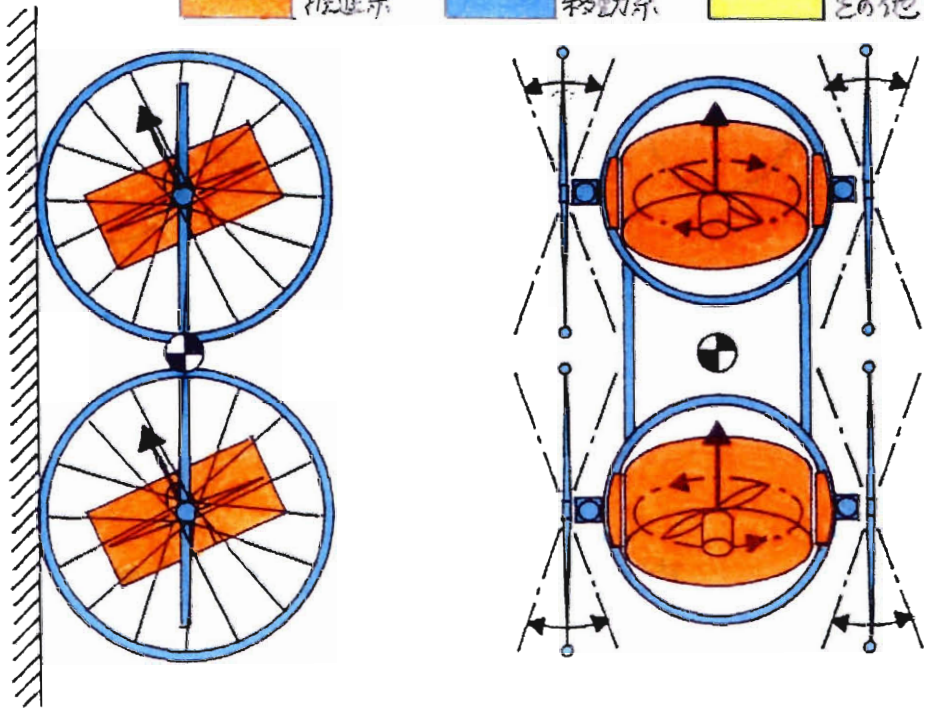


$$\frac{\delta}{2} = \cos^{-1} \frac{D/2}{(D+d)/2} \quad (0 \leq d)$$

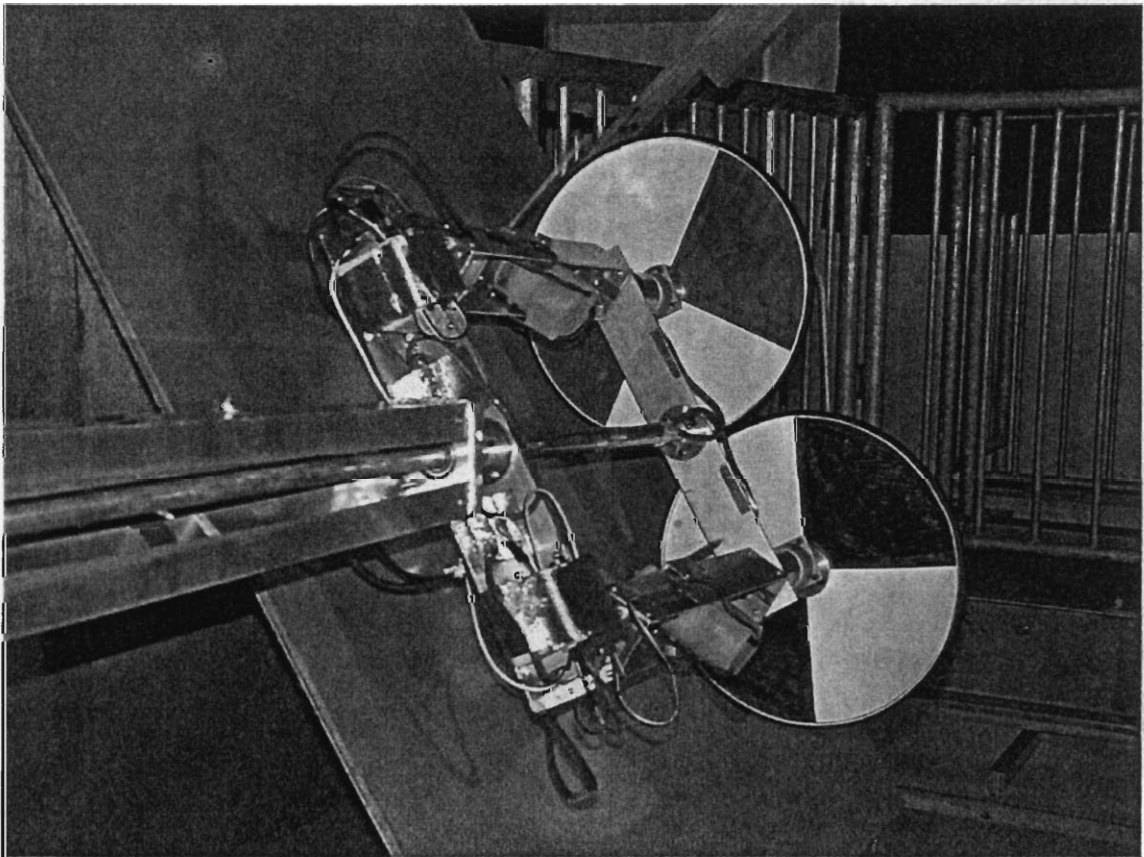
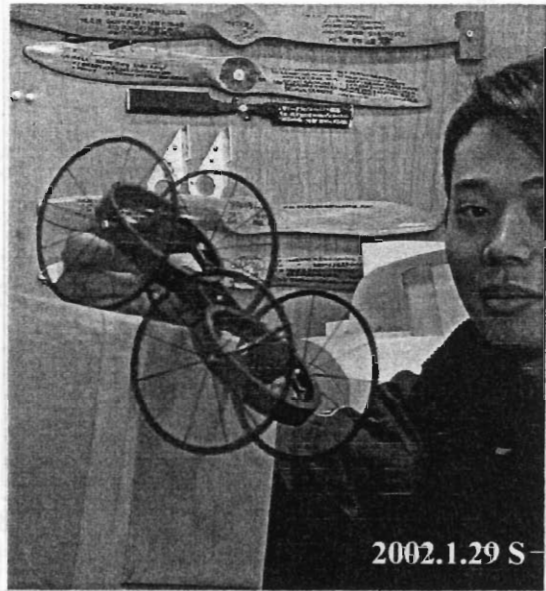
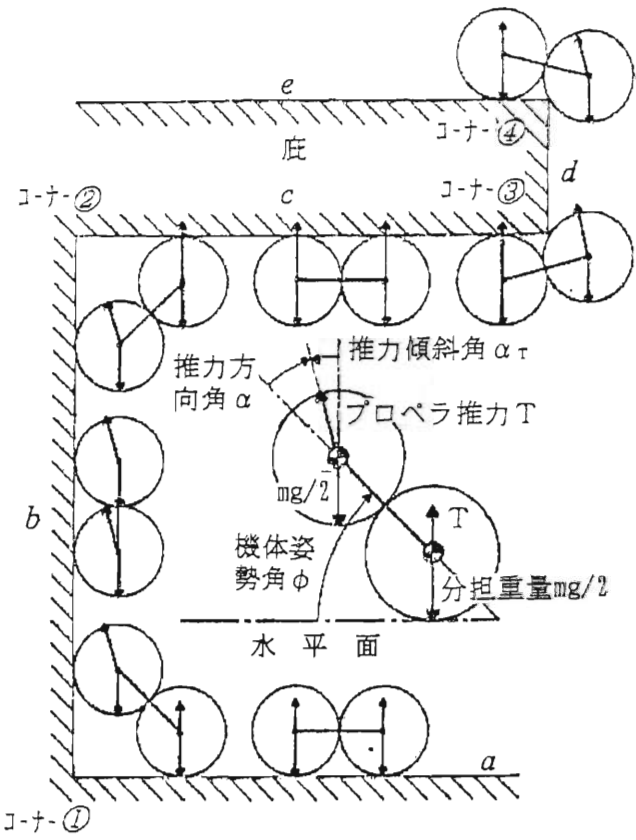
車輪間隔と凸部の踏破性能

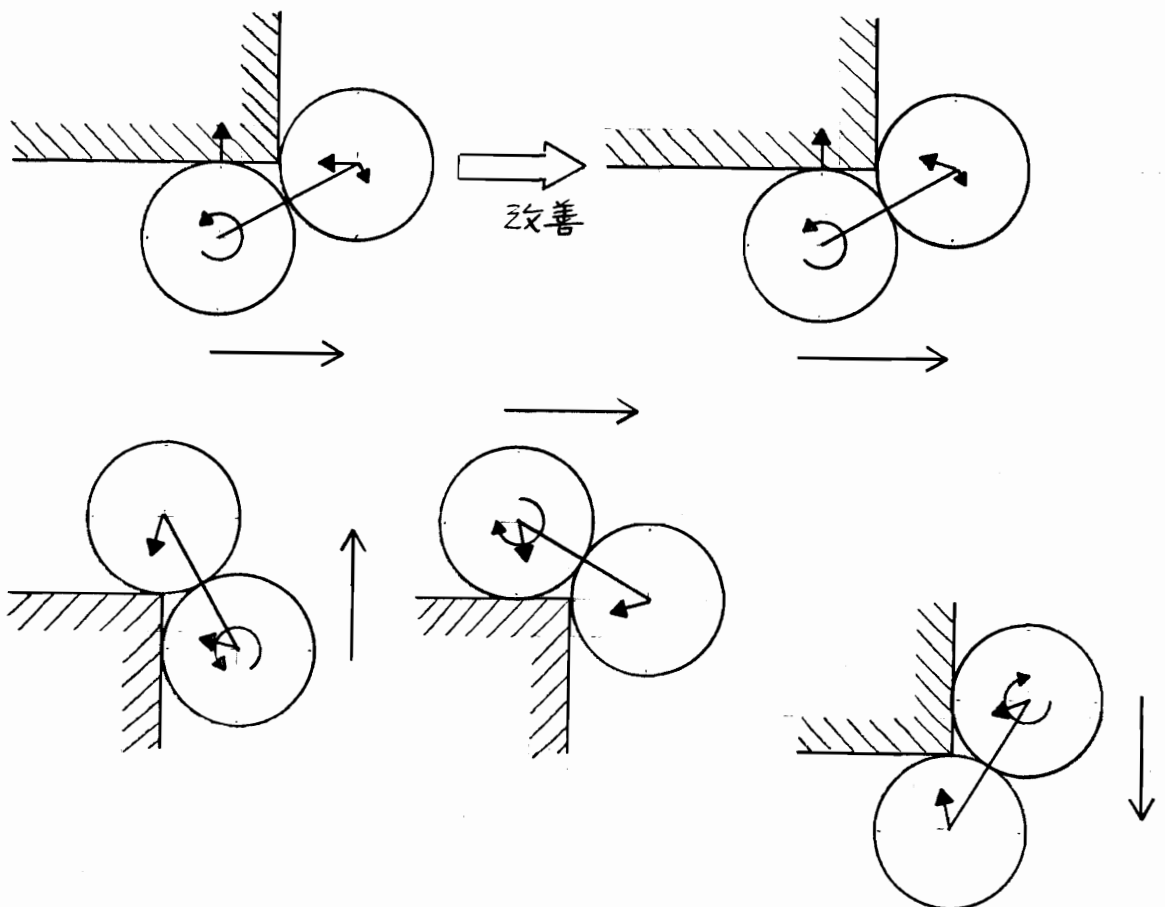
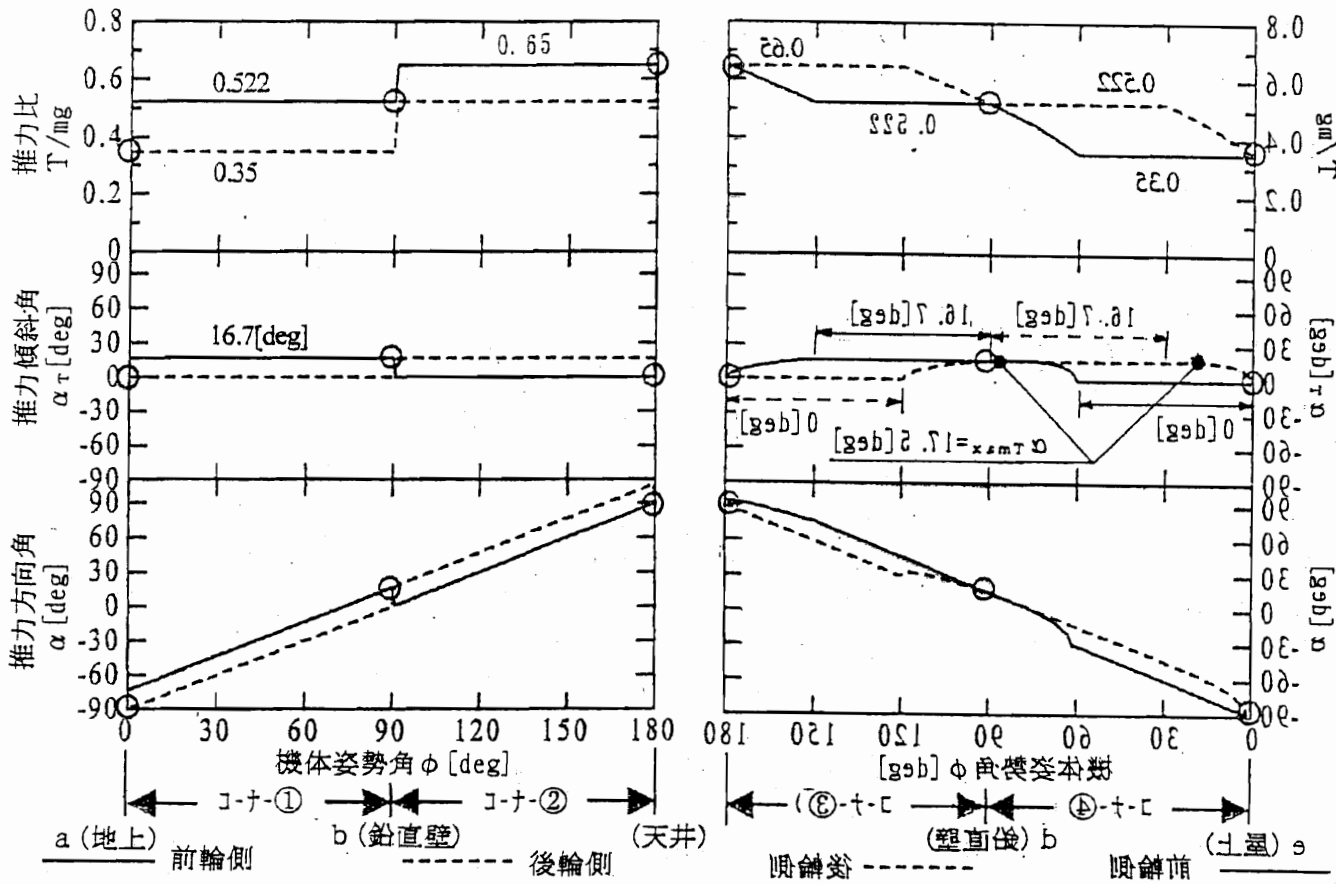


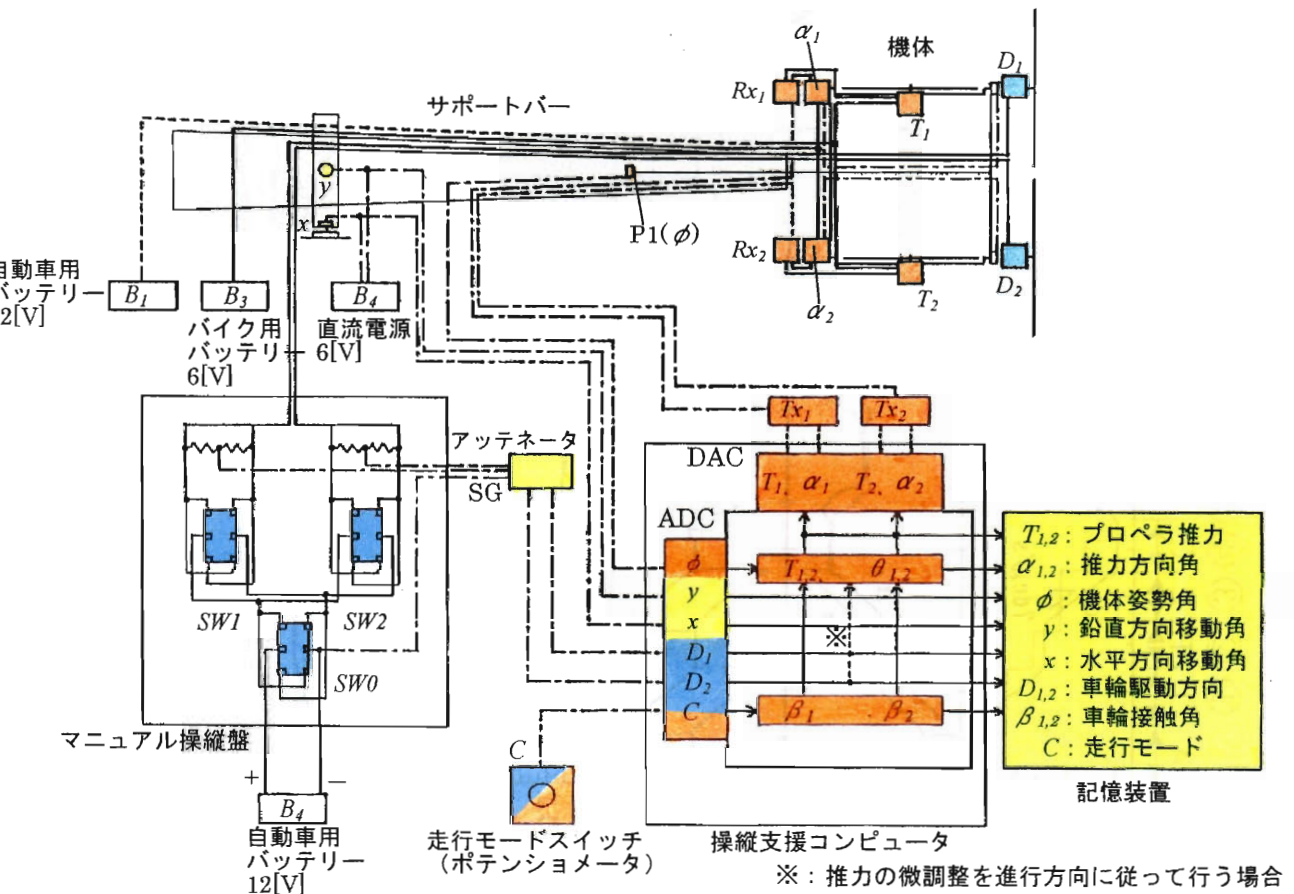
推進系
 移動系
 その他



鉛直方向移動

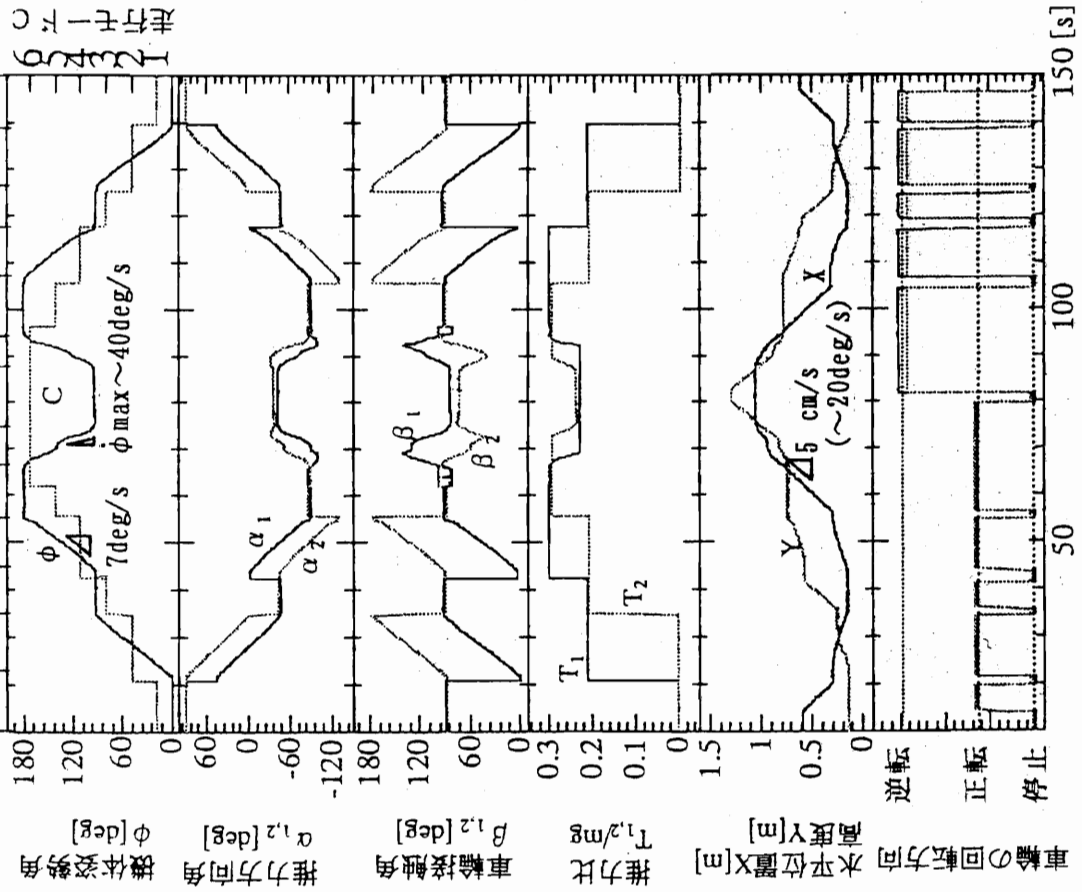
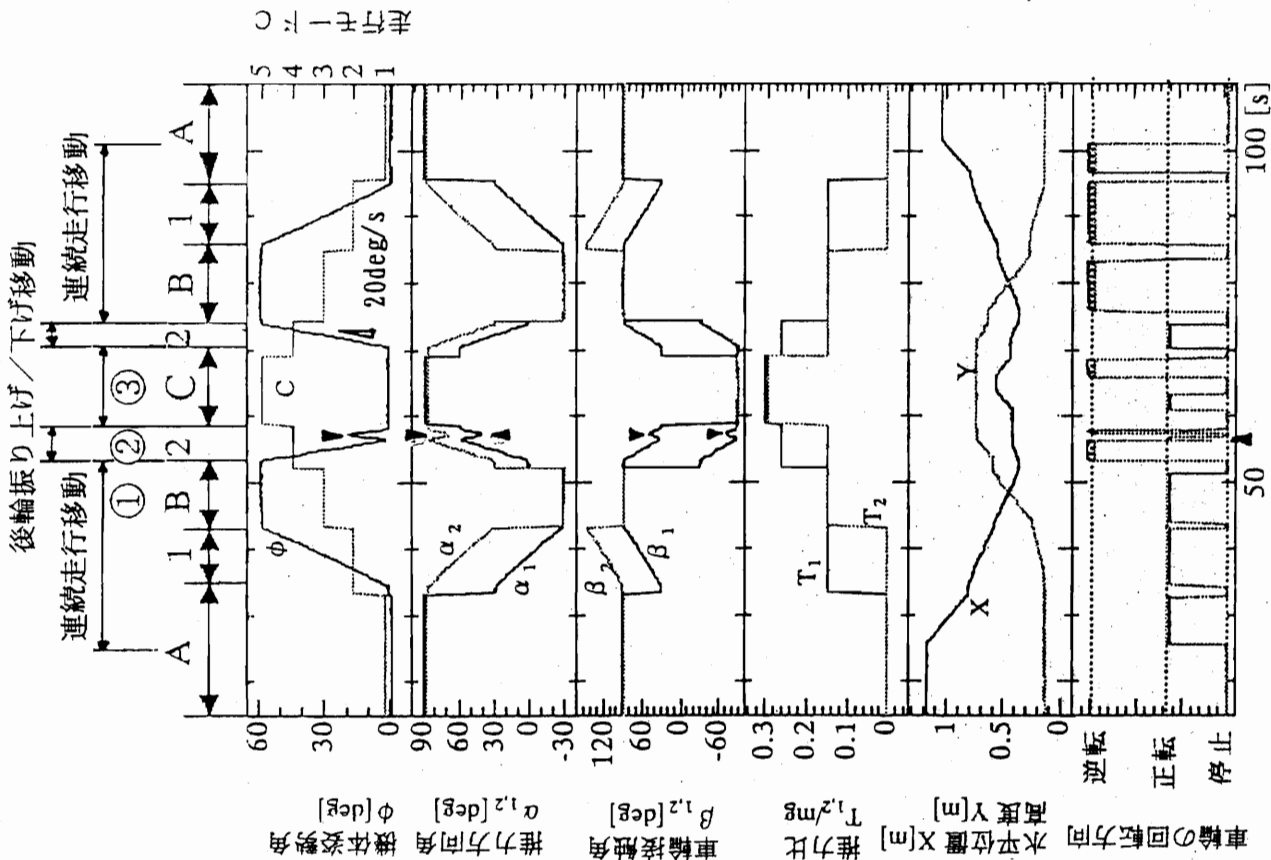






—— 20[A]以下の動力線・通信線 - - - - 20[A]以上の動力線 (溶接器用キャブタワイヤ)
 - - - - ツイストペア又はシールド通信線等

$T_{x1,2}$: ラジコン送信機 $R_{x1,2}$: ラジコン受信機 SG: シグナルグラウンド



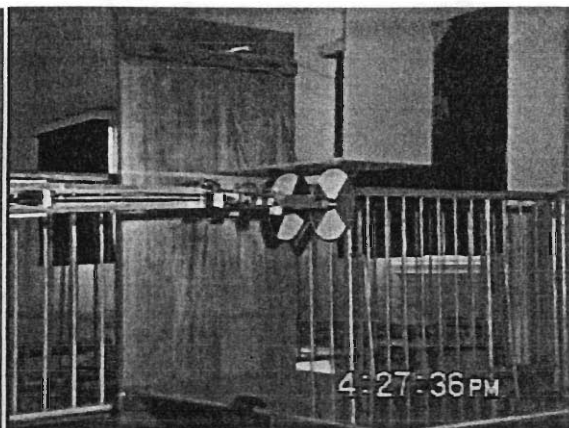
前輪駆動による後輪振り上げ/下げ移動実験結果

連続走行移動実験結果

①コーナー1



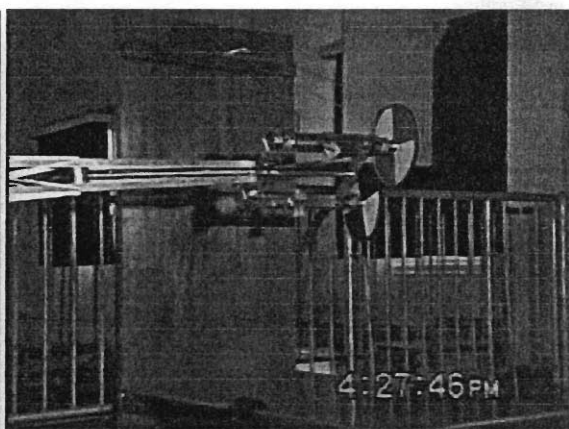
④天井 C



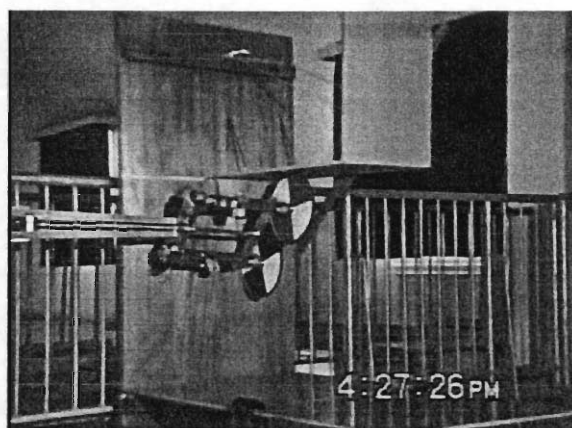
②壁面 B



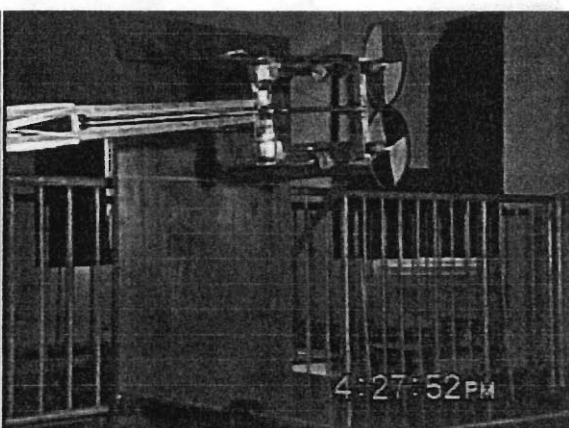
⑤コーナー3



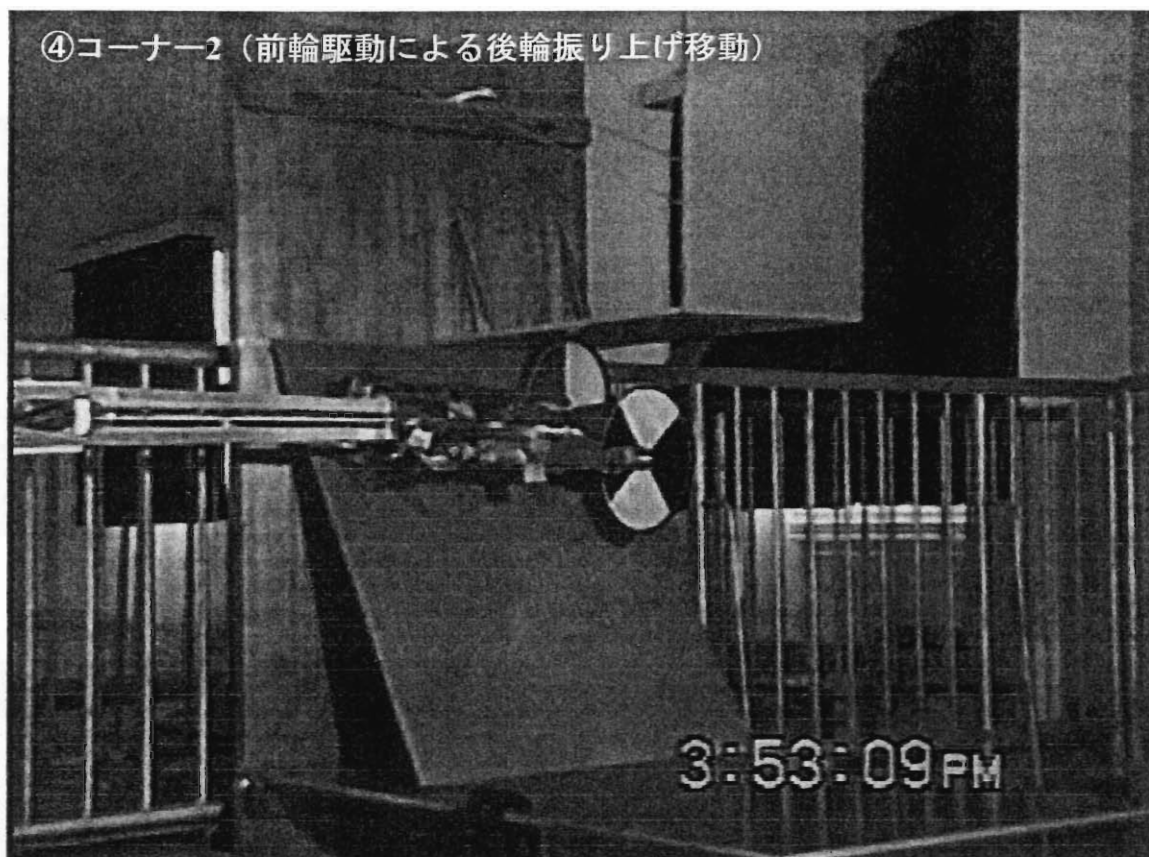
③コーナー2



⑥壁面 D

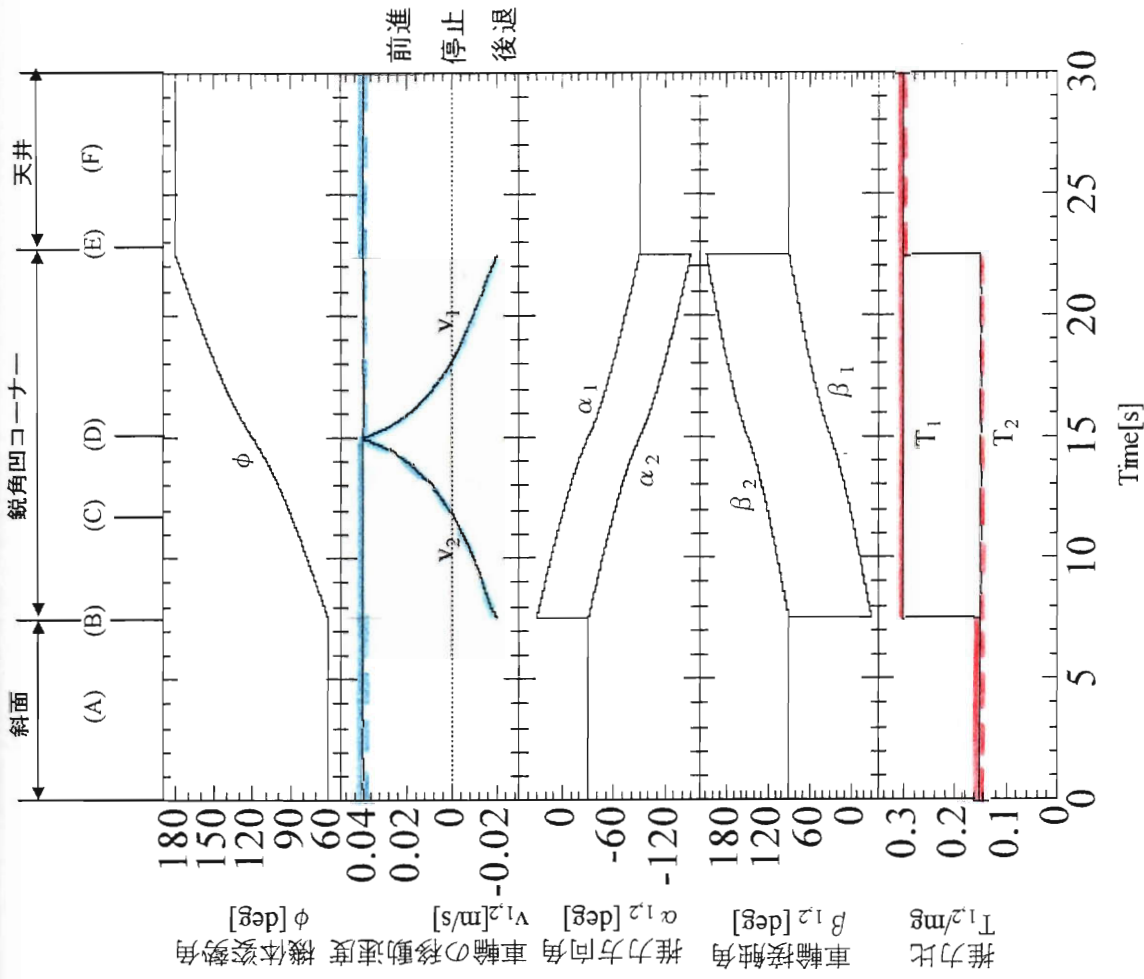
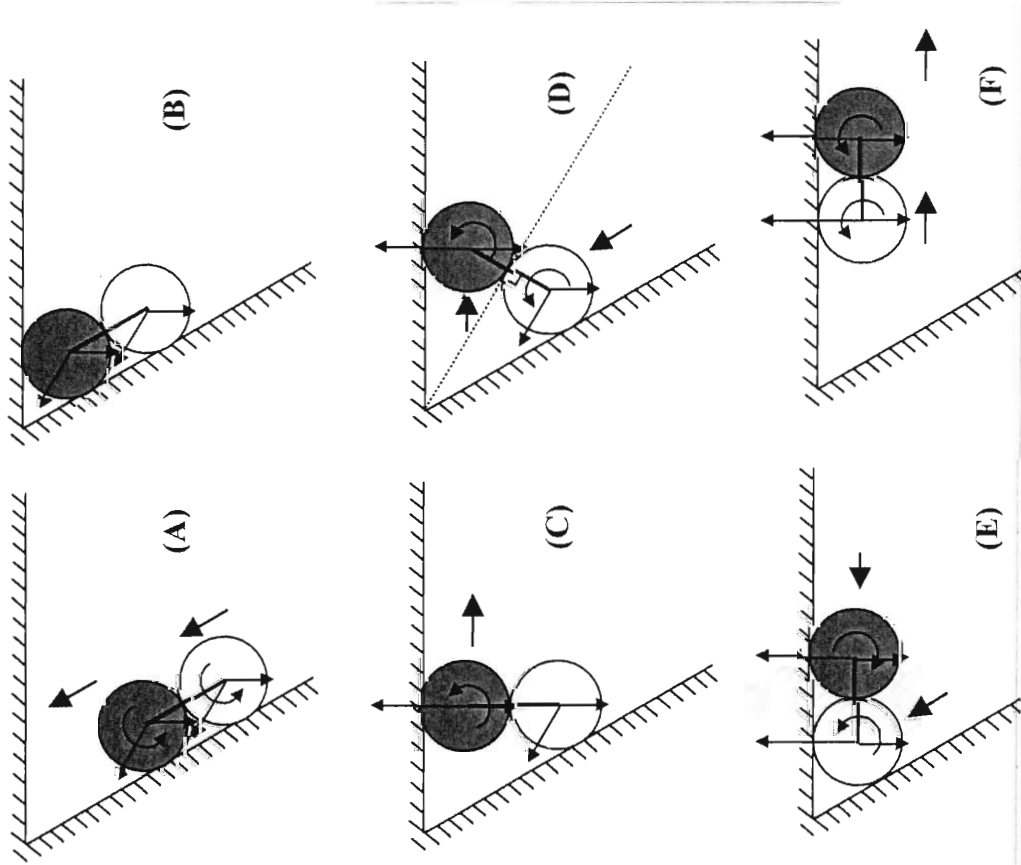


これらの写真はビデオ収録画像から作成している
連続走行移動実験



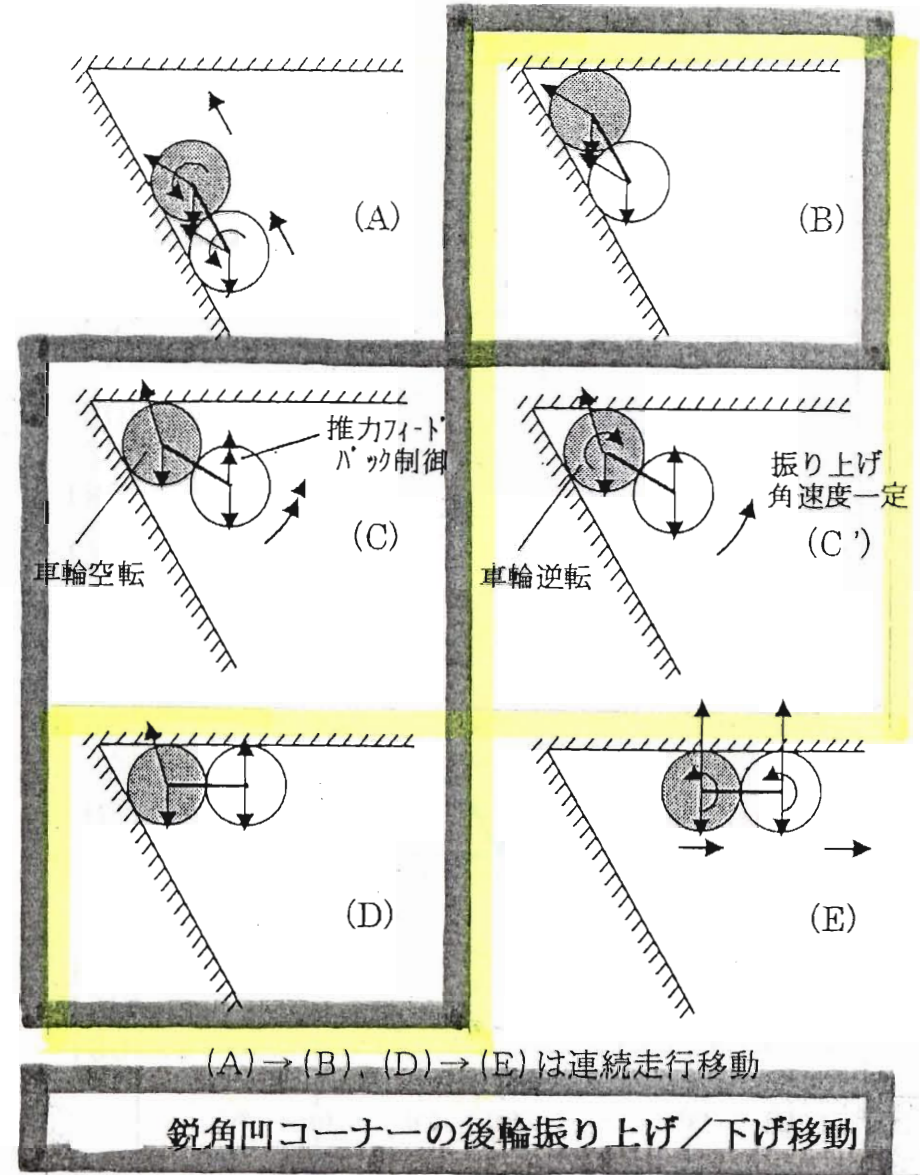
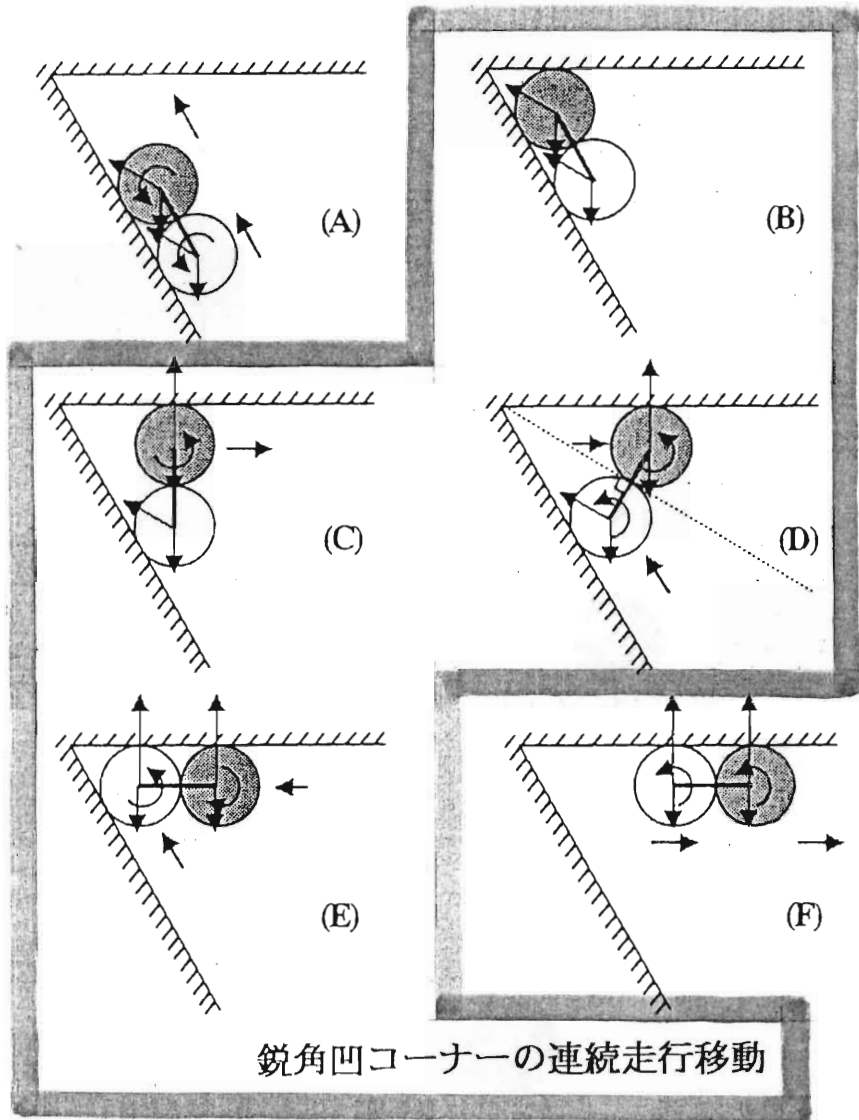
これらの写真はビデオ収録画像から作成している。
前輪駆動による後輪振り上げ(下げ)移動実験

連続走行移動制御による方法

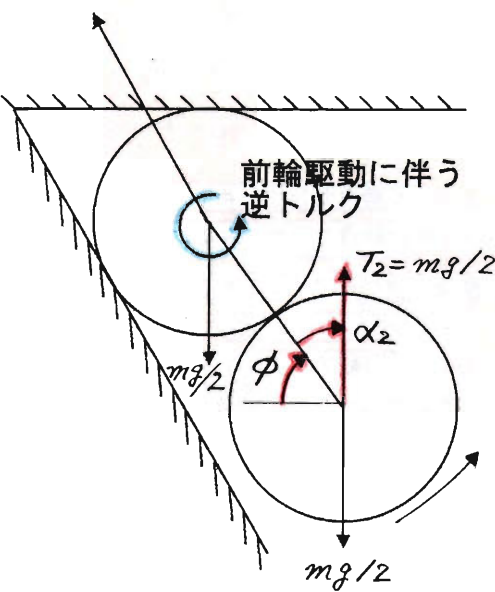
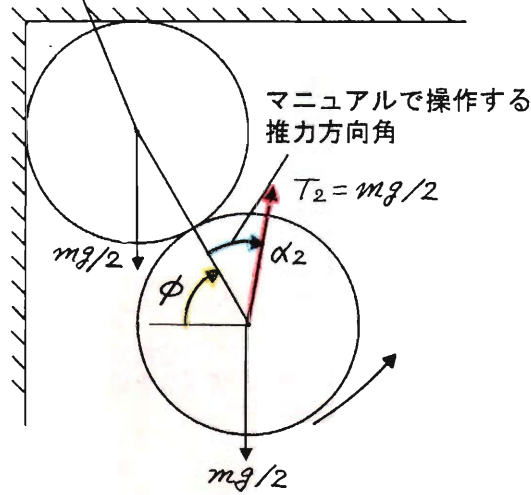
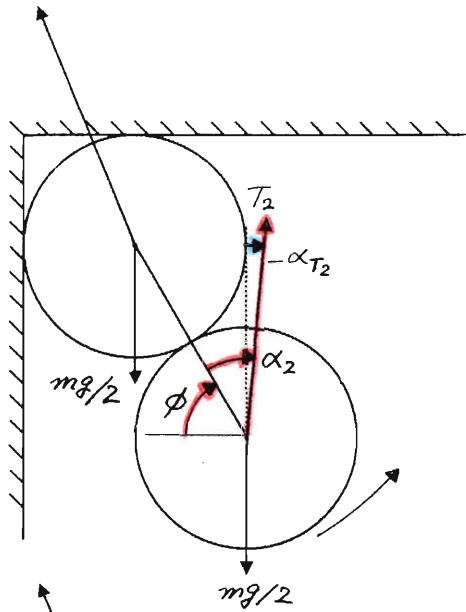


注) 車輪の移動速度を最大 0.04 [m/s] (0.265 [rad/s])、電動モデルとし、移動中のむだ時間を 0 [s] と仮定している。

60°凹コーナーの連続走行移動シミュレーション結果

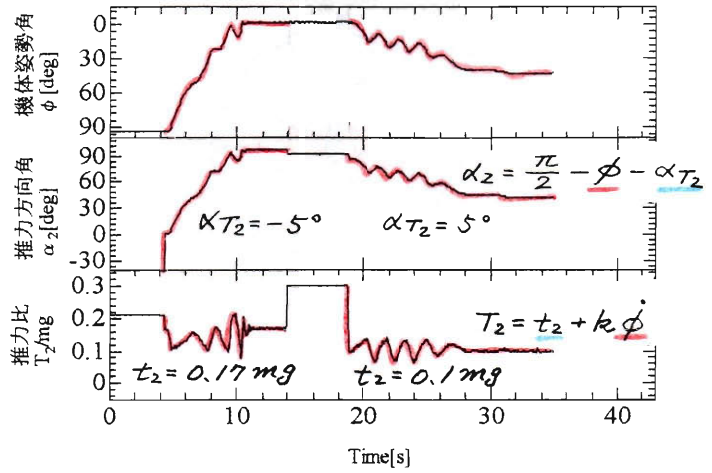


後輪振り上げ/下げ移動実験の比較

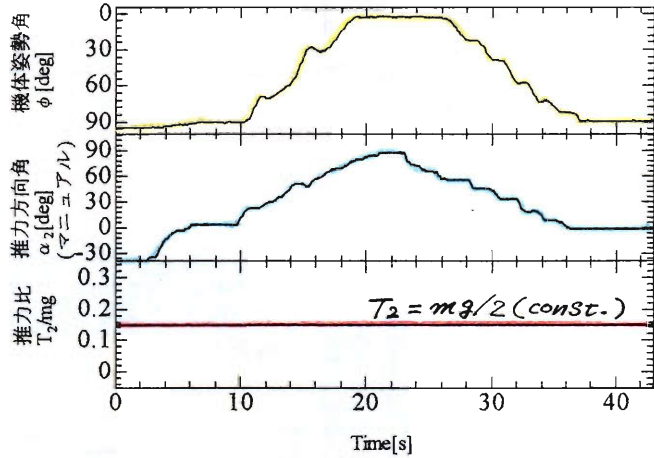


- マニュアル操作
- コンピュータ支援制御
- データ記録

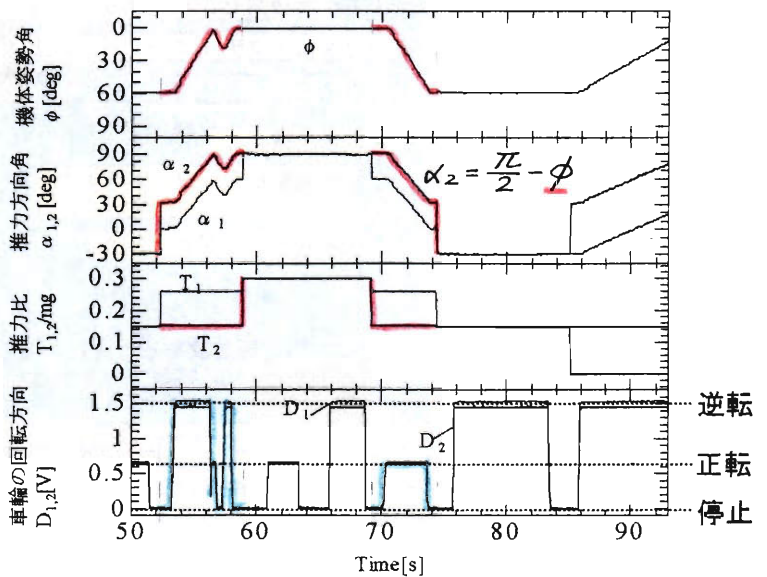
推力制御による後輪振り上げ(下げ)移動
(昨年度の検討結果)

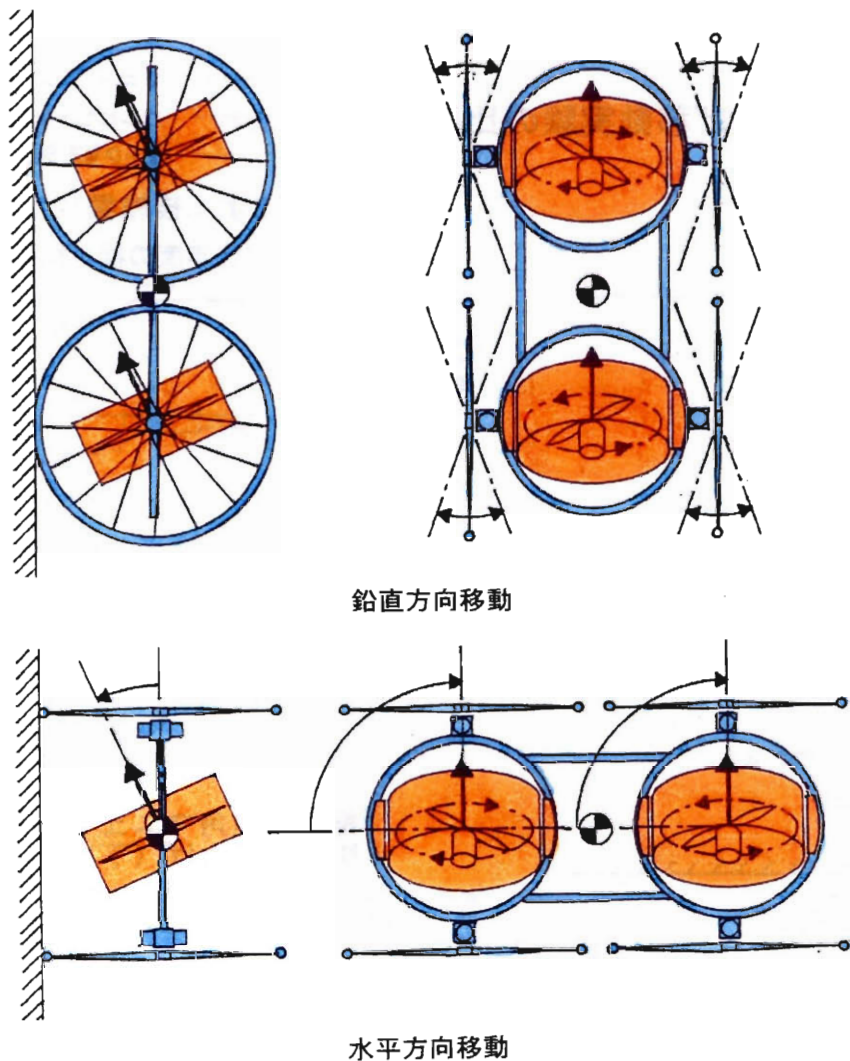


推力方向角マニュアル操作による
後輪振り上げ(下げ)移動



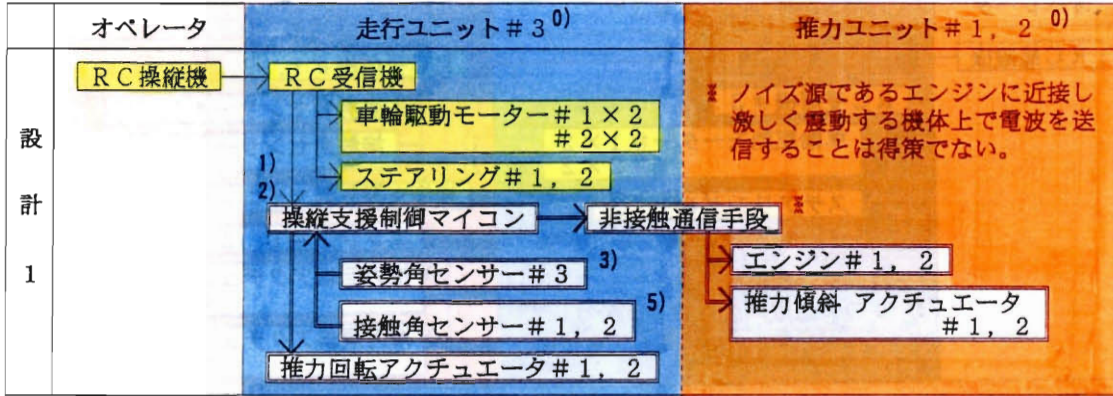
前輪駆動による後輪振り上げ(下げ)移動





	オペレータ	走行ユニット# 3 ⁰⁾	推力ユニット# 1, 2 ⁰⁾
設計	RC 操縦機	RC 受信機	※ ノイズ源であるエンジンに近接し激しく震動する機体上で電波を送信することは得策でない。 ※ 非接触通信手段 エンジン# 1, 2 推力傾斜 アクチュエータ # 1, 2
		車輪駆動モーター# 1×2 # 2×2 1) ステアリング# 1, 2 2) 操縦支援制御マイコン → 非接触通信手段 姿勢角センサー# 3 ³⁾ 接触角センサー# 1, 2 ⁵⁾ 推力回転アクチュエータ# 1, 2	
設計	RC 操縦機	RC 受信機# 3 [※]	RC 受信機# 1, 2 [※]
		車輪駆動モーター# 1×2 # 2×2 ステアリング# 1, 2 1) 姿勢角センサー# 1, 2 ⁴⁾ 2) 接触角センサー# 1, 2 ⁵⁾ 操縦支援制御マイコン# 1, 2 エンジン# 1, 2 推力回転アクチュエータ # 1, 2 推力傾斜アクチュエータ # 1, 2	

- — はマニュアル操作系 — は機載マイコンの操縦支援制御系
- 0) # 1, 2 は 2 個の推力ユニット、# 3 は 走行ユニット、× 2 は 2 台の意味。走行ユニットの欄に # 1, 2 とあるのは、「推力ユニット # 1, 2 に対応する」ことを表す。
- 1) 走行モード指令 2) エンジンキル / 0.7mg 推力調整 (但し車輪押し付け力が ±0.3mg の場合)
- 3) 航空機仕様 2 軸ジャイロスコープ (水平儀) 4) 容量変化型 2 軸傾斜計
- 5) 前・後輪毎に検出しなければならない。走行ユニットに搭載する設計 1 ではセンサーの検出原理に選択性があるが、推力ユニットに搭載する設計 2 では非接触式を選択するのが妥当である。



— — はマニュアル操作系 — — は機載マイコンの操縦支援制御系

1) 走行モード指令 2) エンジンキル/0.7mg推力調整(但し車輪押し付け力が±0.3mgの場合)

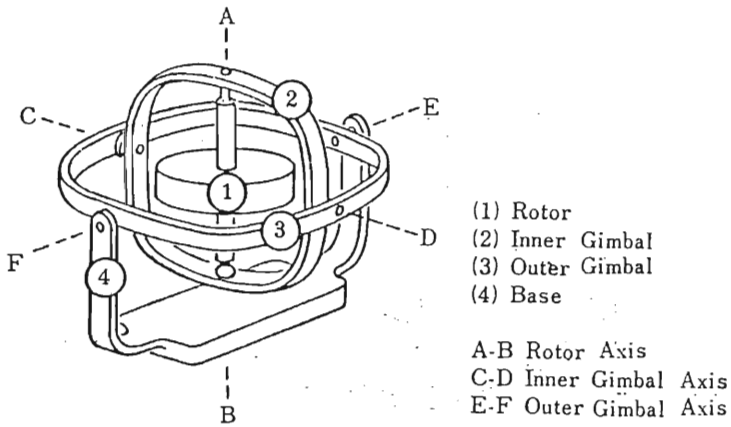
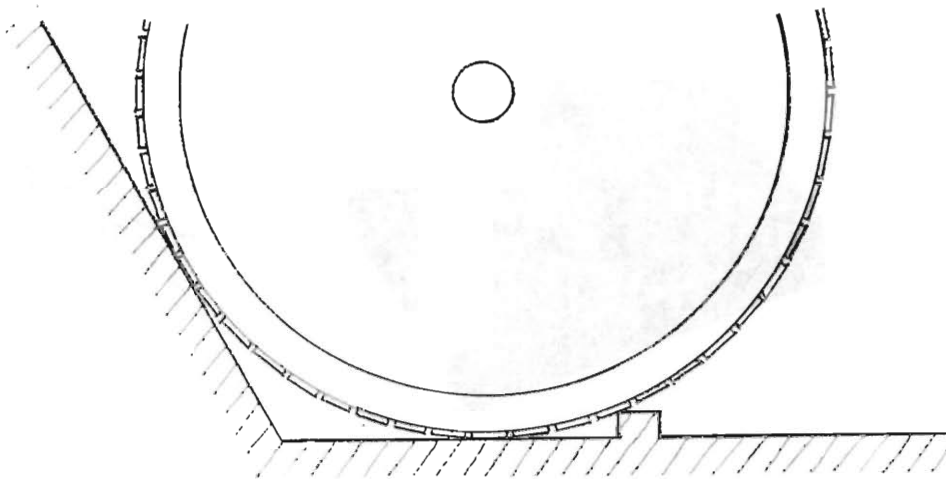
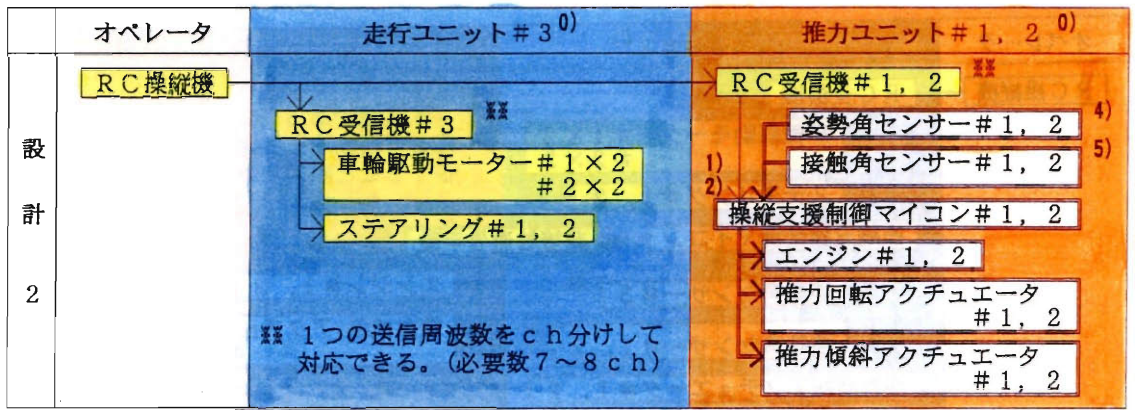


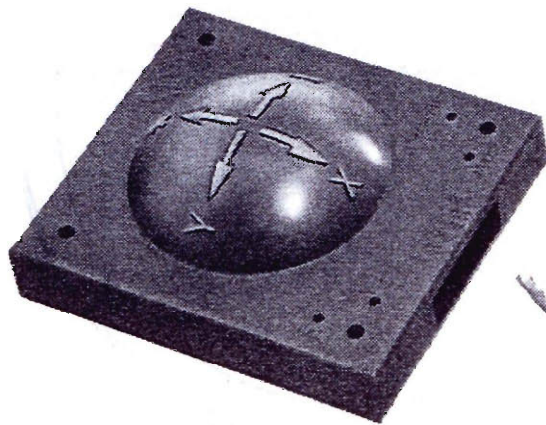
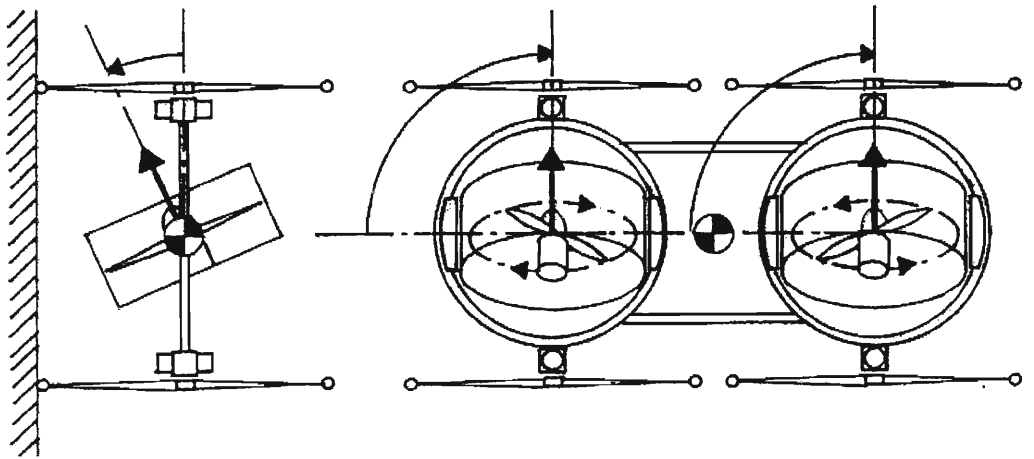
図3-2 Vertical Gyro の基本





— — はマニュアル操作系 — — は機載マイコンの操縦支援制御系

1) 走行モード指令 2) エンジンキル/0.7mg推力調整(但し車輪押し付け力が±0.3mgの場合)

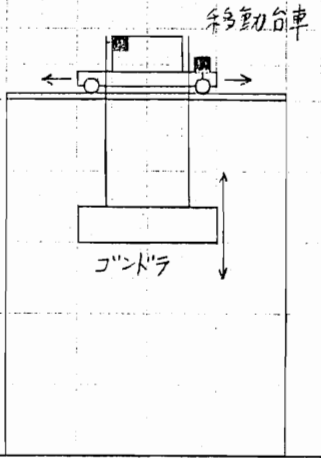


パシコ貿易(株)カタログより

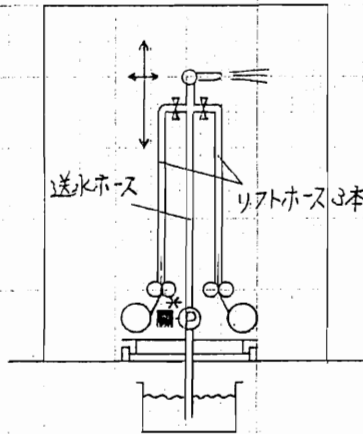
壁面移動ロボットの形式と現状

11/20.1997 宮城
11/18.1998 加筆

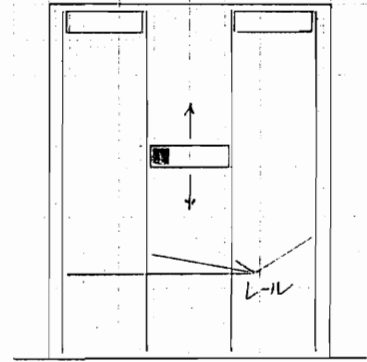
- 実用化
- 研究・試作
- △ 構想のみ
- 主動力
- * 主動力を一定運転
- 制御動力



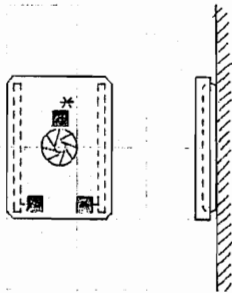
No.1 ゴンドラ ●
2自由度、低速、ペイロード大、
制御易(ON/OFF x2)
自重で拘束(安定)



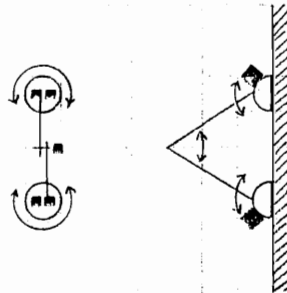
No.2 水圧リフト △
1.5自由度、低速、ペイロード中、
制御易(ON/OFF x3)
高さのみ拘束(不安定)



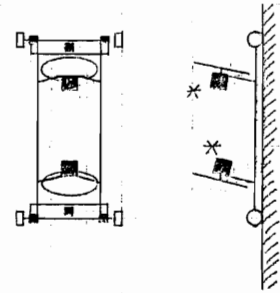
No.3 レール走行 ●
1自由度、中速、ペイロード大、
制御易(ON/OFF x1)
レールで拘束(安定)



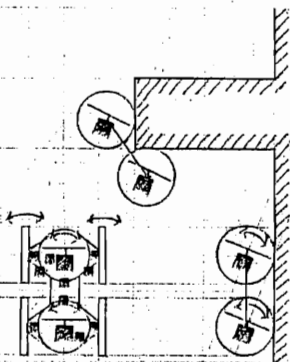
No.4 吸着走行 ●
2自由度、低速、ペイロード中、
制御易(ON/OFF x2)
壁面に吸着拘束



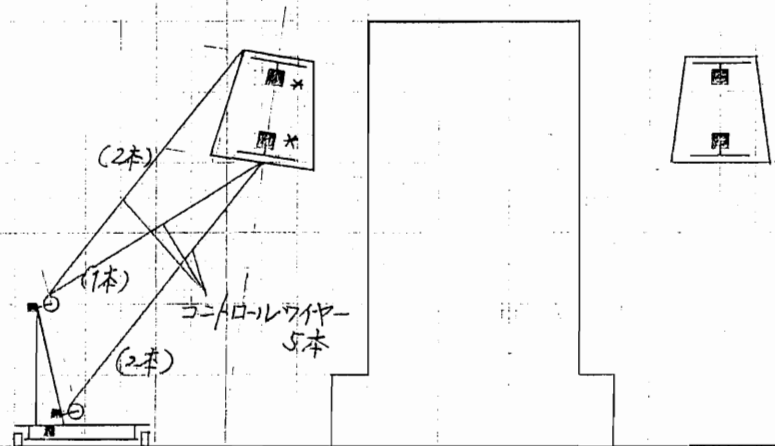
No.5 吸着歩行 ○
2.5自由度、低速、ペイロード小、
制御やや難(ON/OFF x7)
壁面に吸着拘束



No.6 推進走行 ○
2自由度、高速、ペイロード小、
制御易(ON/OFF x1, 比例 x2)
壁面に押し付け拘束



No.7 推進自由走行
2.5自由度、中速、ペイロード小、
制御やや難(ON/OFF x1, 比例 x2)
壁・天井面に押し付け拘束



No.8 限式飛行 △
3自由度、低速、ペイロード小、
制御やや難(ON/OFF x5)
空中姿勢、位置をワイヤで拘束

No.9 自由飛行 ○
3自由度、高速、ペイロード小、
制御難(比例 x4~6)
飛行中は拘束なし

世界貿易センタービル

建造：1972年

高さ：417m

ニューヨーク

シアーズタワー

建造：1974年

高さ：443m

シカゴ

ペトロナスツインタワービル

建造：1997年

高さ：452m

マレーシア、クアラルンプール

エンパイアステートビル

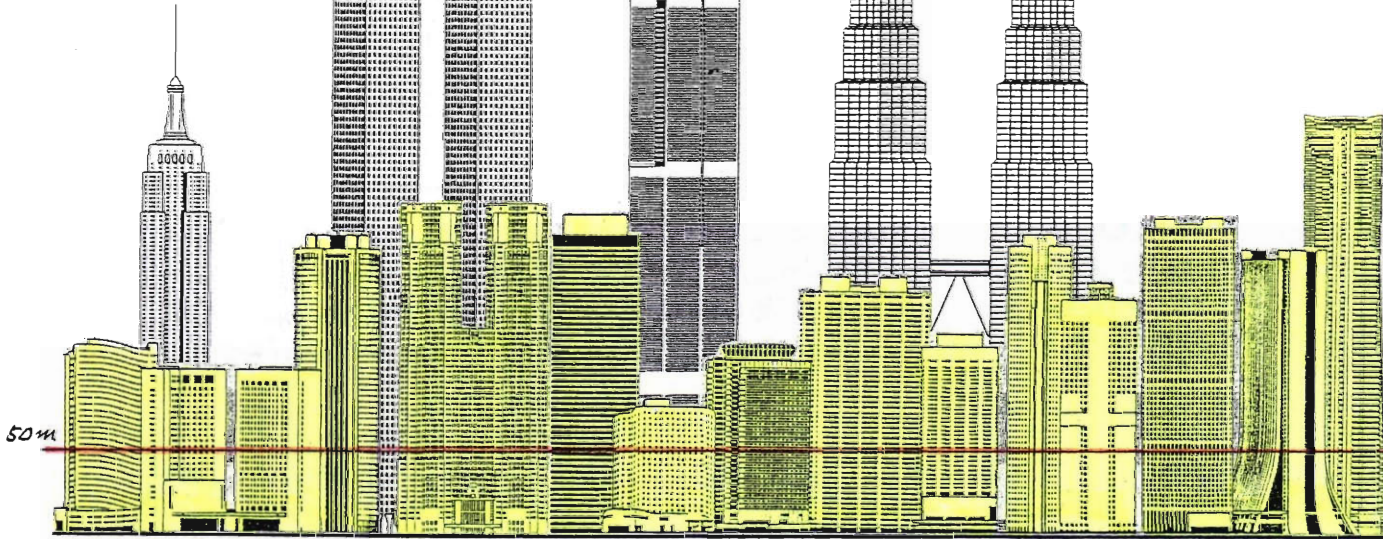
建造：1931年

高さ：381m

ニューヨーク

2001.9.11崩壊

(日経マイエス1998.3)



東京ビルディング 300m 24.9m
新宿住友ビル 200m 74.3m
新宿三井ビル 199m 61.9m
新宿野村ビル 170m 51.3m
新宿三井ビル 169m 50.9m
新宿三井ビル 169m 50.9m
新宿三井ビル 169m 50.9m
新宿三井ビル 169m 50.9m
新宿三井ビル 169m 50.9m
新宿三井ビル 169m 50.9m
(2000年Map'86)

国内・高さ順高層建築物一覧(100m以上のもの・建設中・計画中も含む)

昭和63年9月1日現在 鹿島建設広報室編

建 物 名 称	所在地	地上 F	地下	塔屋	用途	軒高 m	敷地面積㎡	延床面積㎡	基準階面積㎡	工期 自 至(計月)	建設会社
1 ランドマークタワー	横浜	75	3	0	幕・ホ	295.0	1	314,900		89.10~93	
2 東京都第一本庁舎	東京	48	3	0	事務所	241.8	2	14,350	195,764	86.3~90.2	大成、清水、竹中、新田地
3 サンシャイン60	東京	60	3	3	事務所	326.3	3	54,688	248,405 3,105	73.7~78.3(46)	鹿島、清水
4 新宿センタービル	東京	55	5	3	事務所	216.0	4	14,921	183,964 2,706	79.10	大成
5 新宿三井ビル	東京	55	3	3	事務所	312.0	5	14,449	179,356 2,480	72.4~74.9(30)	鹿島、三井
6 新宿野村ビル	東京	53	5	0	事務所	203.2	6	9,298	117,580 1,834	78.10	熊谷
7 新宿住友ビル	東京	52	4	2	事務所	200.0	7	14,446	176,511 2,631	71.11~74.2(29)	鹿島、竹中、住友
8 安田火災海上ビル	東京	43	6	2	事務所	193.0	8	9,298	121,485 1,856	76.3	大成
9 幕張プリンスホテルタワー棟	千葉	49	2	0	ホテル	183.0	9		76,027	89.4~91.10	
10 西新宿6地区市街地再開発	東京	43	4	0		183.0	10		239,000		
11 港区弁天町駅前市街地再開発A	大阪	51	0	0	事務所	182	11		64,320	92.7	
12 日本電機本社ビル	東京	43	4	2	事務所	180.0	12	21,284	145,272 265-3900	86.11~90.1	鹿島、大林
13 京王プラザホテル	東京	47	3	3	ホテル	169.8	13	14,500	156,337 1,673	68.11~71.3(29)	鹿島、竹中地
14 S.K.P.ビル(東芝本社ビル)	東京	40	3	1	事務所	165.9	14	34,525	362,613 3,459	81.8~84.3(32)	清水、鹿島
15 東京都第二本庁舎	東京	34	3	0	事務所	162.3	15	14,030	141,183	88.3~90.12	鹿島、大林、西松、住友地
16 港区弁天町駅前市街地再開発B	大阪	51	0	0	事務所	161.0	16		83,071	92.7	
17 国際通商センタービル	東京	32	3	2	事務所	153.6	17	10,621	223,803 2,916	71.11~74.6(32)	鹿島、大林、清水
18 ワールドビジネスガーデンA	千葉	36	1	0	事務所	153.0	18		51,540 238,000	88.8~90.11	鹿島
19 ワールドビジネスガーデンB	千葉	36	1	0	事務所	153.0	19		51,540 238,000	88.8~90.11	鹿島
20 世界貿易センター	東京	40	3	1	事務所	152.0	20	16,081	153,841 2,458	67.8~69.12(32)	鹿島
21 松下興産ツイン21	大阪	38	1	1	事務所	150.0	21	31,362	73,685 1,468	83.9~86.3(30)	鹿島、大成
22 住友生命O.B.P.キャスルタワー	大阪	38	3	0	事務所	150.0	22	17,407	223,685	38.11	竹中、鹿島、熊谷、住友
23 O.B.P.クリスタルタワー	大阪	37	2	3	ホ・店	150.0	23	12,600	85,394	38.4~90.8	竹中
24 新横浜プリンスホテル	横浜	42	3	0	ホテル	149.3	24		76,027		清水
25 森が丘三井ビル	東京	36	3	3	事務所	147.0	25	16,319	165,692 3,505	65.3~68.4(37)	鹿島、三井
26 新神戸オリエンタルシティC3	神戸	37	3	0	ホテル	146.2	26		135,369	88.9	竹中
27 明石町特定街区第3街区	東京	38				145	27		171,388	92.12	
28 三軒茶屋太子堂+TJ再開発	東京	30	4	0		145	28		77,300	92	
29 A.R.K.事務所棟	東京	37	4	2	事務所	144.3	29	35,900	182,040 3,885	83.11~86.3(28)	鹿島
30 赤坂プリンスホテル新館	東京	39	2	0	ホテル	138.9	30	31,034	69,948 1,498	80.2~82.10(32)	鹿島

ホテルオシャン45

宮崎 43 2 ホテル 150.0

(超高層ビル建ての小事案)