

# 自律走行式床面清掃ロボットの開発

青山 元<sup>\*1</sup> 田島 茂樹<sup>\*1</sup> 横田 和隆<sup>\*2</sup>  
尾崎 功一<sup>\*2</sup> 山本 純雄<sup>\*2</sup>

## Development of Floor Cleaning Robots

Hajime Aoyama<sup>\*1</sup>, Shigeki Tajima<sup>\*1</sup>, Kazutaka Yokota<sup>\*2</sup>,  
Koichi Ozaki<sup>\*2</sup> and Sumio Yamamoto<sup>\*2</sup>

This paper describes a new mechanism of a floor cleaning robot and its control system for autonomous navigation. The robot can be equipped with a cleaning function; scrubbing or sweeping. The controller memorizes the positions of obstacles by repeating longitudinal traverse and swivel 90 [deg] motion. The robot moves to the back of the obstacles and cleans up all area using this information.

**Key Words:** Floor Cleaning Robot, Optical Fiber Gyroscope, Obstacle Sensor

### 1. はじめに

清掃作業は、家庭をはじめとして、人間の活動空間であれば必ずといってよいほど必要になる作業である。なかでも駅、空港、大規模店舗、工場など、広域の空間の清掃は、多くの労力と人件費を要し、労働条件も過酷である。そこで我々は、著しい労働集約型事業である清掃作業の省力化、省人化、作業不足対策を狙いとして自律走行式床清掃ロボットの研究開発を行った。本ロボットには、小型軽量で、障害物や人間を検知しながら自律的に走行し清掃作業を行うことが求められる。

実用的な床面清掃ロボットの開発を考えるとときには、1) 洗浄液を用いる必要のある床面やバキューム清掃を必要とするカーペット面など多様な床面への対応、2) 可能な限り人手に頼らない自律性、3) 女性にも取り扱いが容易であり、作業者に肉体的、技能的な負担をかけない操作性と小型化、4) 与えられた清掃区域をくまなく清掃できる走行性能、5) 作業者を含み、環境内を往来する人間に対する安全性、の実現が課題であると考えられる。

従来報告されている清掃ロボットにおいては、走行のために環境の詳細な地図の入力を必要としたり [1]~[3]、壁をガイドとする壁際清掃のみ、あるいはランドマークの設置を必要とする [6]~[9] など、自律性、操作性および環境整備の点で難点があり、対応可能な環境の自由度が十分でない。また重量で 300~

600 [kg]、サイズも全長 1,500 [mm] 前後、全幅 1,000 [mm] を超えるなど [1]~[4]、取り扱いや小型化に難がある。走行性能も直進走行時の精度が悪くと、往復運動の間に横方向の位置誤差が蓄積して清掃し残す部分が生じる。このため往復運動において 180 度ターンを行わずに、ターン角度を小さくした V ターン前後進を用いる [5] などの走行方式を採用している。

本ロボットにおいては、1) ソフトウェアの工夫と走行時のセンサの利用により、ロボットの自律性および作業者が簡単に任意の清掃エリアを設定できる操作性と自由度、2) 作業者と使用環境を考慮した小型化、3) ジャイロを用いた走行制御による走行性能の確保、4) センサを用いた障害物検出と故障・異常検知を考慮した制御システム設計による安全性、を実現した。以下では、本ロボットの設計方針、機構、走行性能、ソフトウェア、安全性、保全性設計について報告する。

### 2. システム構成

#### 2.1 概要

本ロボットは、車体、走行装置、清掃装置、制御装置から構成される。床面の種類に応じた清掃装置の違いにより、スクラパ式、スイーパ式の 2 タイプのロボットがあり、清掃装置以外は共通である。

スクラパ式ロボットを Fig. 1 に、スイーパ式ロボットを Fig. 2 に、また主要諸元を Table 1 に示す。ロボットの平面形状は円形であり、Fig. 3 および Fig. 4 に示すとおり全長を直径とした円内部に車体全体が収まるようにした。駆動輪を車体中央の左右に、車体前後にはキャスタを配置した。走行操舵は左右駆動の回転差によって行う。

本ロボットはスピニング型のロボットであるため、袋小路からの

原稿受付 1996 年 10 月 21 日

<sup>\*1</sup>富士重工業 (株)

<sup>\*2</sup>宇都宮大学工学部

<sup>\*1</sup>Fuji Heavy Industries, Ltd

<sup>\*2</sup>Faculty of Engineering, Utsunomiya University

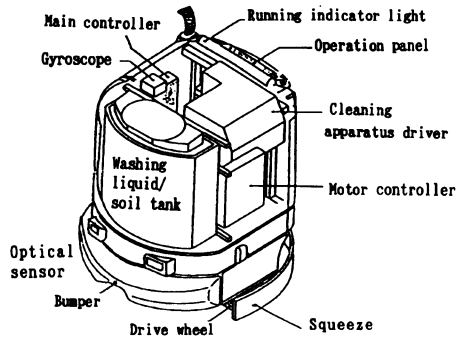


Fig. 1 The scrubber-type robot

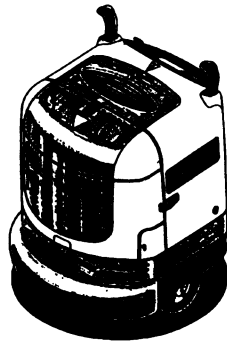


Fig. 2 The sweeper-type robot

Table 1 Specification

Parameters	Scrubber type	Sweeper type
L×W×H	850x720x890	850x720x890
[mm]	(Squeeze Width 850)	(Suction nozzle Width 700)
Weight [kg]	210(Main body 105)	125(Main body 80)
Power resource	Battery DC12[V], 90[AH]x2	65[AH]x2
Method of cleaning	Wash	Vacuum
Width of cleaning[mm]	620	700
Ability of cleaning [m <sup>2</sup> /h]	1,110	2,000
Tank capacity [ℓ]	35	15
Method of guide	Autonomous navigation with optical fiber gyroscope	
Running speed [m/min]	3step variable 10, 20, 30	15, 30, 50
Object sensor	Optical sensor, ultra sonic sensor	
Safety precaution	Melody, Soft bumper, Running indicator light, Emergency stop switch	

脱出，障害物の回避の際には，車体のオーバーハングを気にすることなく移動が可能である。また，走行経路を前進とスピン・ターンによる構成に限定し，前方および側方の障害物検出のみを行うことにした。

基本的なレイアウトは，車体下部にブラシや，吸引ノズル等の清掃装置，車体フレーム上の前部に清掃タンク，後部は制御装置を含む電装系およびバッテリーで構成されている。車体の寸法，重量は，女性が操作して清掃できる自走式清掃機と同程度とし，全長1,000 [mm] 以内，全高900 [mm] 以内，全重量200 [kg] 前後とした。特に全幅については，片開のエレベータやドアを通過できる800 [mm] 以内とした。清掃性能についても自走式清掃機と同程度とした。制御システムとしては，故障または異常時の安全性を優先して設計を行った。

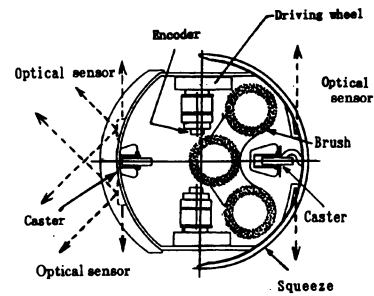


Fig. 3 Bottom view of scrubber-type robot

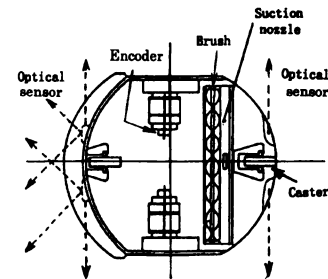


Fig. 4 Bottom view of sweeper-type robot

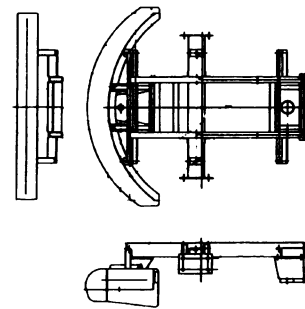


Fig. 5 Lower frame

清掃ロボットの運用については，作業者が清掃エリアを任意に選定できること，さらに作業者がロボットと同時並行に他の仕事ができることが重要となる。特に本研究では，ユーザ調査によって，まとまった仕事は30分の時間を要するという結果を得ている。したがって自律走行性については，30分以上清掃走行しても方向の誤差がなく，掃除残しを生じないような性能が要求される。

## 2.2 車体

車体は，Fig. 5，Fig. 6 および Fig. 7 に示すように，下フレーム，中間フレーム，上フレームから構成されている。

下フレームは，2本の軽量型材の角管をメインフレームとし，中央に駆動装置取付けの角管をメンバーとして通した梯子型構造で，走行装置，清掃装置取付けによる床面からの反力，タンク，バッテリーの重量搭載物の荷重を受ける。さらに，路面の凹凸や盲人用タイル走行時の衝撃が生じるので，それに耐えられるような強度をもつように，下フレームの設計を行った。この構造により，補強部材を必要とせず，かつ板金部品数の削減を図った。

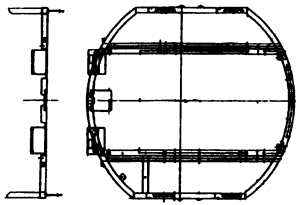


Fig. 6 Middle frame

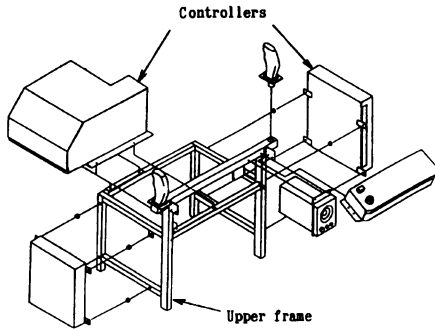


Fig. 7 Upper frame

中間フレームは、軽量部品であるセンサ類、カバー類を取り付けるための車枠であり、山形型材、ハット型材を用い、取り付けに必要な最小限の強度のみを有する。

上フレームは、コントローラ等の各制御装置が取り付けられており、軽量型材の角管で構成されている。

### 2.3 走行装置

小型化を図るために、駆動車輪、駆動モータ、減速機をユニット化した。床下スペースの制限から、駆動モータは、フラットタイプのDCサーボ・モータを採用し、車輪には、ウレタン・ラバーをアルミ・ホイールに焼付けしたものを用いた。

キャストには、Fig. 8に示すように床面の凹凸に対して駆動輪がスリップしないように、スウィングアーム方式のサスペンション機構を取り入れた。盲人用タイル上の走行を考え、段差10[mm]でも走行可能なようにキャスト輪の直径は125[mm]としてある。

### 2.4 スクラバ式清掃装置

スクラバ式清掃装置では、洗浄液を床に散水し、ブラシで床を洗浄した後、その汚水をスクイージ（污水吸入部）から污水タンクに回収する。タンクは真空ブロアに接続されており、汚水と一緒に吸入された空気をタンク部分で分離する（Fig. 9）。従来の清掃機械のように、洗浄用、污水用の二つのタンクを搭載すると、無駄な空間をかかえるため、タンクの数は一つとし、その内部に仕切り膜を設けた。清掃開始時のタンク内は洗浄水で満たされているが、洗浄水が床に散布されて減るにつれ、徐々に仕切り膜は移動し、仕切り膜の反対側の空間に吸い上げた汚水が溜る。

ブラシはFig. 3に示すように、下部のスペース対策と清掃幅を確保するため、3組のディスク型で遊星減速機を介して駆動モータに接続されている。

スクイージは、ブラシ後方に配置し、ロボットのスピンドルに対処するため、円弧型にしてある。汚水の回収漏れを防ぐ

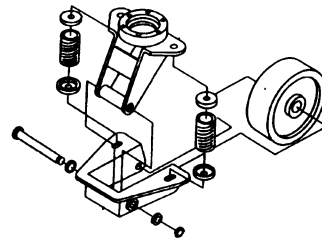


Fig. 8 Caster

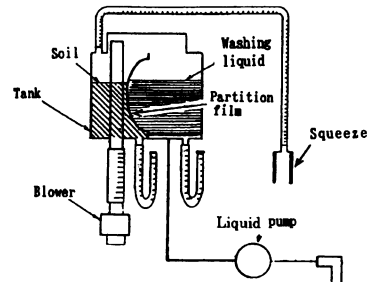


Fig. 9 The cleaning mechanism of the scrubber-type robot

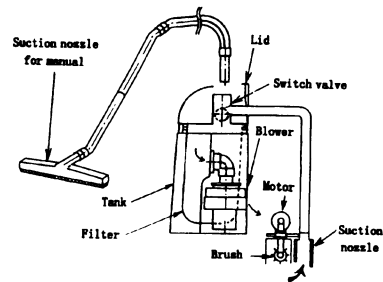


Fig. 10 The cleaning mechanism of the sweeper-type robot

ため、円弧に沿って車より外に出ている。障害物との万一の接触にも対処するために、若干の柔軟性をもたせて、左右への揺動を許す機構とした。

### 2.5 スイパ式清掃装置

スイパ式清掃装置は、ゴミ吸引部およびゴミ回収タンクから構成されている（Fig. 10）。ゴミ吸引部は、吸引能力を向上させるため直線形状とし、後部キャストの前に配置されている。ハードフロア、カーペットおよび絨毯についても対応可能である。清掃フィールドがハードフロアの場合については、ブラシユニットを取り外し吸引部のみとすることができる。

ゴミ回収タンクは、部品点数削減、容量確保のためブロー成型により、外カバーを兼ねた一体成型とし、内部に集塵フィルタを装着している。タンク後部にブローモータを2基設け、防音のためタンクで囲む形で装備している。タンクふた内部には、狭い場所、角部、隙間等を手持ちの吸引ノズルで清掃する場合の切り替えバルブを有する。

### 2.6 制御装置

ロボットの制御装置の構成をFig. 11に示す。本装置は、生産性および安全性を重視して、メインコントローラ、操作パネルコントローラ、モータ・コントローラ、ジャイロ・コント

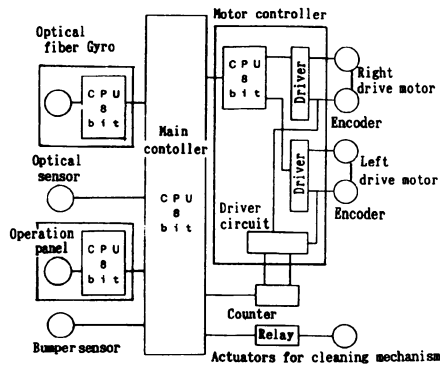


Fig. 11 System diagram

ローラから構成される分散システムとした。各コントローラはCPUをもった1枚のプリント基盤であり、それぞれが独立に機能する。本研究では、RS-232Cに基づく通信規格で、メインコントローラと他のコントローラをFig. 11のように接続した。なお、通信速度は9,600[bps]である。通信データを受信したコントローラは、受信状態を返信するようになっており、通信エラーが通知された場合には再送信を行う。さらに、メインコントローラおよびジャイロ・コントローラあるいはモータ・コントローラ間では、一定周期(タイムアウト時間)で通信を行う。これによってホストコントローラは、再送信処置も含めてタイムアウト時間以内に通信を達成できなかった場合に、一方、ほかのコントローラは、一定時間以内に通信データを受信しなかった場合に、システムに異常が発生したと判断する。異常が起きた際の処理については第5章で述べる。

モータ・コントローラでは、メイン・コントローラからの指令に基づき駆動モータの速度制御を行う。メイン・コントローラは、一つのチャンネルで左右の駆動輪データを通信することによって、各モータを独立に駆動制御させる。

エンコーダは左右の駆動輪のモータ軸にそれぞれ直結して取り付けられ、発生したパルス信号は、モータ・ドライバへフィード・バックすると共に、分周器を介しカウンタで積算され、積算したデータをメイン・コントローラが読み取り、平均値を演算して走行距離データとしている。

## 2.7 障害物センサ

Fig. 3 および Fig. 4 に示すように障害物センサとして、前方および両側面方向に計6点の光センサを配置した。前方障害物検知用として、前部に並列に設けた光センサは、遠近の2段階の広角のものをを用いた。

## 3. 清掃ロボットの経路計画

清掃ロボットの経路計画問題は、与えられた環境内を効率よく走査する経路計画問題であると定式化できる。こうしたアルゴリズムについては地図上に障害物の情報を入力し、移動方向を限定し、その方向に優先順位をあらかじめ定めた方法[10]による議論がある。しかし、実用化を念頭においた場合、アルゴリズム自体の正しさ、性能(速さ、簡便さ)もさることながら、必要となる環境情報、その入力、保管、管理方式などについても考慮する必要がある。

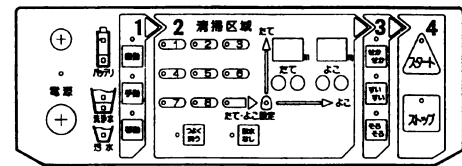


Fig. 12 Operation panel

清掃環境情報を与える手法としては、1) 清掃範囲を教示する、2) 地図もしくは経路をオフラインで作成しておく、3) ロボット自身が走行しながら獲得する、が考えられる。これまでに開発された清掃ロボットについては、環境情報は、1) 清掃開始時に教示する[1]~[3]、2) 地図、経路情報をROMあるいは磁気カード上に作成しておく[2][3]、などの報告がある。これらの報告では、1) の教示の場合、清掃エリア外周の壁沿いに走行させるが、全周が壁でない場合に手動による教示が必要になったり、清掃のたびに外周を走行させることは作業効率の面で望ましくない、といった欠点がある。2) の地図、経路情報をあらかじめ作成する場合、データ作成、管理負担がユーザーにかかり、さらに、入力データの誤りの検出と修正(デバッグ)方法、実環境と環境情報のキャリブレーション、等の問題の解決を図る必要がある。デバッグおよびキャリブレーションは技術上の問題であるが、ユーザーの負担という観点からは、データ作成、管理の複雑さは重要な問題である。

本研究では、上記3) の実用的な手法として、以下に述べる「清掃エリア設定方式」を提案した。作業者はロボットを清掃開始点に移動させた後、その地点を一つの頂点として、清掃範囲を包絡する矩形のおおよその縦横の長さをFig. 12に示す操作パネルの「たて」、「よこ」設定スイッチから入力する。ロボットは、この矩形領域を縦方向については側面センサの間隔より大きい0.7[m]の単位の升目、横方向については往復運動時の横シフト距離0.4[m]または0.5[m]の単位の升目で区切り、初期的な地図情報とする。この地図情報においては、清掃した升を「1」、清掃していない升を「0」として表現する。ロボットには、升を通過するような経路で清掃を行わせるため、ロボットの動作を「直進」および「スピン・ターン」とした。したがってロボットは、各升ごとに前後左右の4方向に経路を取れることになる。本研究では、ロボットの初期位置の向きに対して、左側にある「0」の升を優先して経路を決定することにした。ロボットは清掃した升を「1」に更新しながら作業を進める。また、ロボットが障害物を検出したときには、それを回避しながら清掃作業を行い、障害物の位置を記録する。ここで、具体的な走行例をFig. 13に示す。

本方式では、作業者の入力情報は矩形領域の寸法のみで、清掃エリアの厳密な境界や障害物の位置などの詳細な地図情報を入力する必要はないため、簡便かつ直感的である。矩形の縦横の長さを大きめにセットして、清掃範囲の隅に壁が存在する場合、壁を障害物として判断して、次の経路に移る。また、清掃範囲が壁等に囲まれている必要がないため、オープン・スペースの清掃や広いフロアを一部分ずつ清掃することも可能である。

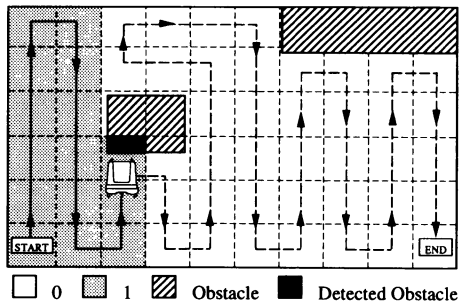


Fig. 13 An example of floor cleaning path

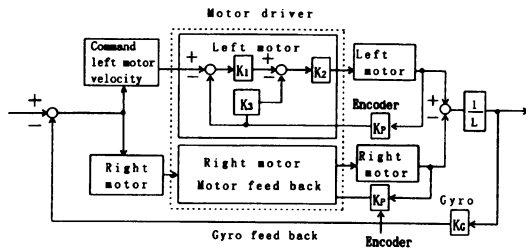


Fig. 14 Control blok diagram

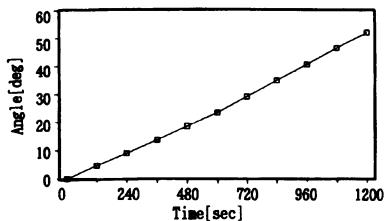


Fig. 15 The rate integration of optical fiber gyro while it stand still

## 4. 走行実験

### 4.1 ジャイロを用いた姿勢角の検出補正

本ロボットでは、光ファイバジャイロによって検出した姿勢角を、駆動輪モータへの連続指令値にフィードバックする制御系を構成した (Fig. 14). しかし、ジャイロは例え静止していても、その角速度の積分値ジャイロ角度は、制御回路およびジャイロセンサのリプル・ノイズによるオフセット誤差のためにドリフトする。

Fig. 15 に、本ロボットに搭載した光ファイバジャイロを静止しておいたときのドリフト特性を示す。このように、ジャイロシステムを初期化した後は、角速度の積分値は時間にはほぼ比例して増加する。このようなドリフト特性の問題点については、小森谷らも指摘している [11]. 特に初期化後 10 分以内は比例関係であると見なせる。

この特性を利用し、ジャイロ角度の誤差を補正するため次の方法を用いた。ロボットが静止時のオフセット誤差による角速度としてのデータを一定時間、本ジャイロでは 6 秒間で 512 回のサンプリングを行う。なお本研究では、サンプリング数を実験的に求めた。このサンプリングによって得られたデータの平均値をロボットが動作したときに検出される角速度から差し引

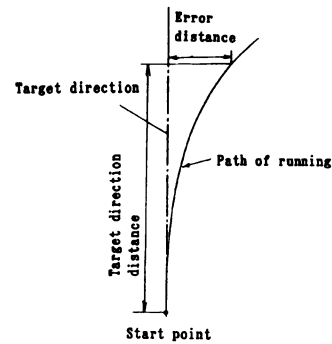


Fig. 16 Measurement of error

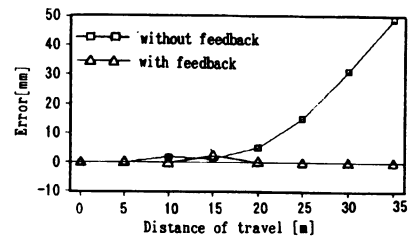


Fig. 17 Characteristic of straight motion

く。すなわち、検出した角速度からオフセット誤差による角速度を差し引く。この差し引いた角速度を積分してロボットが動いた角度とする。これをオフセットキャンセルと呼ぶ。また、ジャイロ角度の誤差が小さい範囲以内で、スタート時 (0 度方向) と同方向のとき、停止時または走行中にジャイロの角度データを強制的に 0 度とする。これをアングルクリアと呼ぶ。なおジャイロについては、実験前に 10 分間のウォーミングアップを行い、初期角度およびオフセット等の初期化を行った。

### 4.2 走行実験

試験用ロボットを用いての走行実験を行った。まず本ロボットの直進走行特性を調べるために、駆動モータの速度制御のみの場合、ジャイロによるフィードバックありの場合について、直進走行実験を行った。

ロボットの走行軌跡は、本体後ろのキャストにマーカをつけ、床面のマーカ跡の中心より求めた。このようにして得た軌跡において、始点を通り軌跡に接する直線をロボットの初期姿勢 (目標進行方向) とみなし、これと走行軌跡との差を走行誤差として、5 [m] 間隔で測定した (Fig. 16). ジャイロによるフィードバックがない場合とある場合での誤差の比較を Fig. 17 に示す。これらの図は走行距離 (横軸) に対する走行誤差 (縦軸) を表している。実験結果より、ジャイロフィードバックなしの場合では、スタート方向 35 [m] 以内の走行距離に対して、最大走行誤差が約 50 [mm] となった。ジャイロフィードバックありの場合では走行距離が伸びても蓄積せず、誤差をマーカの幅 (約 8 [mm]) 以内に収めることができた。

次に実際の清掃走行と同じように横にシフトしながら走行させる横シフト走行実験を行った。その軌跡を Fig. 19 に示す。縦方向の走行距離は 20 [m]、清掃速度は 20 [m/min] である。ただし 18 [m] から 20 [m] までは 10 [m/min] に減速した。横シフ

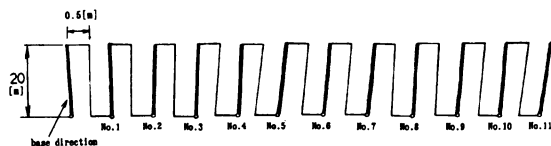


Fig. 18 Floor cleaning path

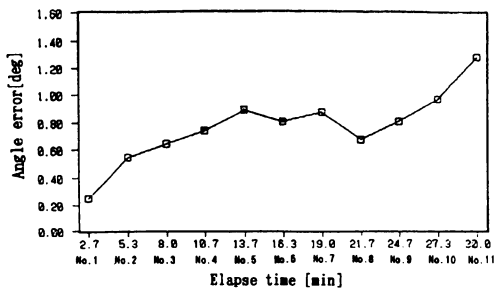


Fig. 19 Angle error along the floor cleaning path

ト方向の走行距離は500[mm]、清掃速度は10[m/min]であり、横シフト距離については減速から停止までの停止距離も含めて測定した。本研究では、ジャイロの特性として、初期化から10分程度は比例的に誤差が累積することはすでに述べた。そこでこの間は、この特性を考慮して、ジャイロによる姿勢角の補正を行うことにした。ジャイロのキャリブレーションとしては、10分ごとに、ロボットが初期化のときと同一方向に向き、かつ、方向転換のために停止するタイミングで、オフセットキャンセルを行うことにした。すなわちこの方法は、累積誤差が推定できる範囲内において予想される誤差量を差し引くことによって、ある程度累積誤差を無効にすることができる。しかし、オフセットキャンセルを行っても走行距離が長くなるにつれ、累積誤差は増大する。そこで、ロボットが初期化のときと同じ方向の向きに停止した場合、ロボットの向きを示すジャイロの角度が初期化の方向と一致するようにロボットをその場回転させ、アングルクリアを行うこととした。この方法によって、累積誤差の増加を小さくすることが可能である。また、停止時にキャリブレーションを行うのはロボットの揺れによる誤差を極力防ぐため、さらに、その場回転による修正を行うのは、ロボットの停止時のショックおよび床面の滑りによる角度誤差を無効にするためである。

Fig. 18 に示す基準方向に対して、太線で示した走行軌跡との角度誤差を Fig. 19 に示した。横軸に Fig. 18 の各○印までの走行時間、縦軸に角度誤差を示す。この実験の結果、11 往復30分走行させての角度誤差は最大1.20度であった。

## 5. 安全性設計

### 5.1 自律走行型ロボットの安全性

自律走行型ロボットの安全性を考える場合、1) 人間を含めた障害物との衝突、2) ロボットの行う作業そのものの安全の確保、3) システムの異常・故障の検知、について考慮する必要がある。本ロボットにおいては、衝突についてはセンサを、異常・故障検出については制御システムに各種検出回路を備えて、

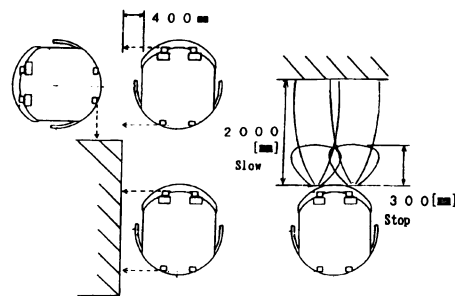


Fig. 20 Operation of obstacle sensor

安全性を確保した。なお、本ロボットの清掃作業はロボットの真下で行われるため、2) の作業の安全性については、FRP およびゴムのスカートでブラシ等の清掃装置を囲むことにより確保した。

### 5.2 障害物検出と衝突検出

無接触式としては、光センサで障害物を検出する。車体から2[m]以内に物体があると減速し、0.3[m]以内の場合は停止する。両側面方向の光センサは、ロボットが柱等の障害物を抜けて裏側に回り込む場合の側面の障害物の有無の検出に用い、検出距離0.4[m]である。センサの検出範囲を Fig. 20 に示す。

光センサで検出できなかった場合を考え、Fig. 11 に示すバンパセンサを設けた。バンパセンサは、整形されたウレタンの中にテープスイッチが断線等を考慮して2重に内蔵されている。障害物に接触すると走行を一時停止させる。この場合は減速しながら停止する。障害物がなくなれば4秒後に再び走行が開始される。

### 5.3 異常・故障検出

バッテリー低下時を含め、制御システムが正常な場合と、異常になった場合について対応できるようシステムを構築した。

Fig. 21 に示すように、本システムでは、メインコントローラがサブコントローラ、センサ、スイッチの状態を監視し、メインコントローラの異常、故障については別系統の回路を設け監視を行う。正常の場合には速度制御により減速停止させ、異常または緊急の場合には駆動モータの電流をリレー回路により遮断して走行を停止させる。各機能動作時の停止距離を Table 2 に示す。

非常停止スイッチは、走行時に危険な状態、暴走等が起きたとき、ロボットを急停止させる。このスイッチは操作パネル右に設けた。これを動作させるとメインコントローラは駆動モータドライバ、清掃モータドライバに動作指令として停止の制御信号を送る。制御信号はデータ通信のエラーを考慮して速度データ通信とは別系統に停止専用の信号ラインをもっている。この場合は通常のような減速停止ではなく急停止の指令を送る。しかし、メインコントローラからの停止指令を受けても駆動モータドライバが異常であると走行が停止できない。そこで、このような万が一のトラブルを避けるため、非常停止スイッチの信号により直接駆動モータの電流回路を0.3秒遅らせて解放する。遅らせる理由は停止動作初期0.3秒間駆動モータの制動力を利用して停止距離を短くするためである。

異常検出回路は、タイマー設定時間内にCPUがウォッチド

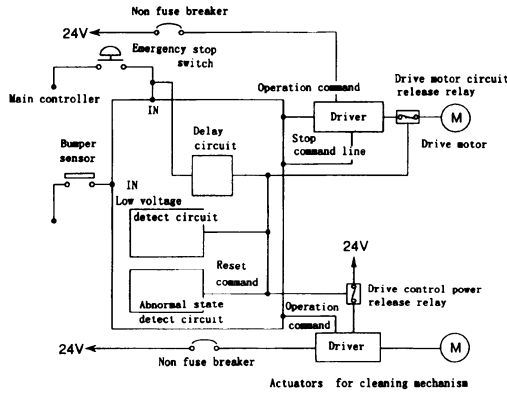


Fig. 21 Safety system diagram

Table 2 Stop distance

	Stop distance [mm]		
	Emergency Stop Switch Operated	Fault Detected	Normal Slowing down and Stopping
Low speed (10m/min)	60	65	70
High speed (30m/min)	135	470	450

グタイマをリセットしなければ、CPUに何らかの異常が発生したものとみなし、CPUに対してリセットをかける。ノイズによる異常検出回路の誤検出を考慮して、0.2秒以内に4回以上、異常が発生するとCPUをリセット状態に保持し、駆動モータの電流回路、清掃モータ電源回路を解放する。

低電圧検出回路は、メインコントローラ、駆動モータコントローラ、操作パネル、ジャイロに、おのおの設けられている。バッテリー電圧が19[V]以下になった場合、各コントローラの安定化電源の出力は低下し、誤動作の恐れがある。誤動作防止のため、低電圧検出回路は、CPUにリセット信号を出力し、各リレーを解放する。

ノンフューズブレーカは、制御装置系、駆動モータ系、清掃アクチュエータ系と機能別にそれぞれ設けられている。駆動車輪が乗り越えられない段差等につきあたり回転を拘束され、規定以上のトルクが発生して、過電流が流れた場合、供給電源を遮断する。

#### 5.4 停止距離

Table 2に示すように、低速走行時の停止距離は各停止状況についてほとんど変わりはない。高速走行時には、非常停止スイッチ作動時の0.3秒だけ制動力を利用する方法が135[mm]であり、正常での減速停止距離のおおよそ3分の1と最も短い。バンパの先端から、前部キャスタ輪中心まで170[mm]であり、段差検出センサ等をバンパ先端に取り付け、作業検出作動した場合、停止距離170[mm]以内ならば、前部キャスタが床面から落ちない。非常停止スイッチ作動時の停止法ならば、十分上記の条件を満足できる。

## 6. 生産性・安全性設計

実用的なシステムを考える場合、部品取付、組立、点検、修理を容易にする必要がある。このため、本ロボットにおいては、車体は各モジュールに分割可能な構成とし、各装置もユニット化し、極力ボルトにて装着している。ユーザが頻繁に取り扱う清掃装置は容易にメンテナンスができるよう、各部の着脱は極力ワンタッチ式とした。

Fig. 5, Fig. 6, Fig. 7に示したように、車体フレームは一般の機械のように溶接で接続した一体式ではなく、下フレーム、中間フレーム、上フレームのモジュールとなっており、各フレーム間の配線はコネクタにより連結される。このため組装は同時に各フレームごとに行うことができ、作業する取扱重量も小さくすみ、自由に反転しながらの組立が可能である。また、少量生産のコストも考慮し、各フレームは金型や複雑な治具を不用とするため、軽量型材を多用している。

走行装置においては、駆動部の装着はボルト4本にて容易に行えるようにし、清掃装置の床下への装着スペースを確保した。

スクラバ式ロボットのブラシの着脱はワンタッチ式、污水吸入部の取り付けについては、工具なしで取り外しできるノブネジ式とした。タンクの取り付けは、車体に設けた位置決めのためのボス穴にタンクのボスを差し込み、車体カバーにパッチン錠でワンタッチで固定する方式とした。

スイーパー式ロボットにおいては、カーペット用ブラシとブラシ駆動モータは一つのユニットになっている。清掃フィールドがハードフロアのみの場合は、カーペット用ブラシユニットが不要になるため、蝶ナットにより工具なしで取り外し可能とした。

制御装置の点検整備は、装置上のモニタまたはパイロットランプにより、各コントローラが正常か故障かの判断を行う。故障時には、コントローラの交換で対応することによって、点検、交換等が容易となる。Fig. 1に示したように各コントローラは外側に配置してあるため、カバーをはずせば容易に交換可能である。

清掃装置の動作のチェック用として清掃装置の操作スイッチと表示灯を設けてある。後部点検扉のすぐ内側にあり、コントローラの信号とは無関係に動作でき、ブラシ装置の昇降、格納位置で点灯する。

## 7. ユーザ・インタフェース

本ロボットのように、作業時に環境内で人間と共存することが前提となる場合、ユーザ・インタフェースには、作業者の操作といった直接的なインタフェースのみならず、外観など、作業員以外の人間に対する間接的なインタフェースも含めて考えるのが妥当である。本ロボットでは、直接的なユーザ・インタフェースにおいて操作性と親和性を、間接的なユーザ・インタフェースにおいて親和性を重点において設計を行った。特に親和性に関しては、単に機械としての違和感の軽減にとどまらず、見るものに安全な印象を与え、安心感、信頼感を引き起こすことも狙いとした。

車体上面に配置した操作パネル (Fig. 12) には、専用のコン



トローラが割り付けられており、メンブレン・スイッチによって構成されている。スイッチには適度のクリック感をもたせ、表示には感覚的な表現を用いるなど、堅苦しくなく容易に理解できる語句を用いた。清掃作業の指定は、項目別に設けた四つのスイッチ群のなかからおのおのの一つを選択することによって行う。スイッチ群には、指定順に番号をつけ、作業者が順番を間違えた場合にはブザーが鳴って次には進めないようになっている。

ロボット外観のデザインは、全体に丸く愛らしいデザインとすることに主眼を置いた。それは、駅、空港、店舗等の利用者に、その清掃作業風景が周囲の雰囲気と溶けこみ違和感を抱かせない配慮からである。タンクを含めた外装カバーは曲面とし、コーナーの半径は大きくとった形状とした。車体前位のソフトバンパは、車体平面ビューで円形を基本とする車体外形に合わせ、その形状も丸みをもたせ車体の丸みにマッチさせた。また、バンパと車体との識別ができるように色分けした。このことは、利用者に、機械という無機質でより危険なイメージを抱かせず、安全性の表現からも有効である。

## 8. おわりに

本論文では、自律走行式清掃ロボットの構造、機構、制御システム、走行方式、安全設計、保全性について提案し実用化を図った。

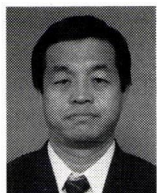
本ロボットは、車体の円形形状、直進、スピントーンを基本とした走行方式による機構の簡略化、センサ数の削減、任意の位置から詳細な地図情報なしの清掃走行可能性、特にジャイロ角度誤差補正による直進性能等の特徴を持っている。

さらに、試験車による走行実験によって、ロボットの各機能を実証しその走行特性を明らかにした。本研究において開発された清掃用ロボットはすでに実用化されており、現在、スクラバ式ロボットが空港・大型店舗・駅等で稼働中である。

今後は、通行人との共存を可能とするための人間と物体との判別、より効率的かつ操作しやすい走行方式について研究を進める予定である。

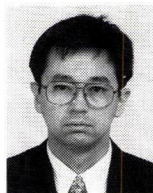
## 参考文献

- [1] 松原：“床面清掃ロボット”，ロボット，no.38，pp.80-87，1983。
- [2] 鳥居：“システム化した床面清掃ロボットの開発”，R&M '93.8，pp.26-30，1993。
- [3] 鈴木：“ビックバードから清掃ロボットが舞う”，ビルクリーニング，'94.8，pp.10-25，1994。
- [4] ビルメンテナンス編集部：“建物保全（株）の清掃ロボットの開発から”，ビルメンテナンス，'95-11，1995。
- [5] 江口，藪内，高木，乾，小林：“移動ロボットの直進走行制御と移動方式”，第13回日本ロボット学会学術講演会，pp.897-898，1995。
- [6] 石川：“JR東日本における清掃・洗浄ロボットの開発”，R&M，94-1，pp.22-25，1994。
- [7] 清弘，降矢：“床磨きロボットの自己推進制御（第3報）”，第12回日本ロボット学会学術講演会，pp.1213-1214，1994。
- [8] 美馬，梶谷，明，金森：“ごみ収集ロボットシステム（CAMPUS-I）の開発—位置および姿勢検出センサー—”，第13回日本ロボット学会学術講演会，pp.909-910，1995。
- [9] 村田，梶谷，明，金森：“ごみ収集ロボットシステム（CAMPUS-I）の開発—システムの基本構想と移動ロボット本体—”，第13回日本ロボット学会学術講演会，pp.907-908，1995。
- [10] 小林，藪内，近藤，江口：“掃除ロボットのインテリジェント化技術”，システム/制御/情報，vol.35，no.8，pp.473-480，1991。
- [11] 小森谷，大山：“光ファイバジャイロを利用した移動ロボットの位置推定の手法”，日本ロボット学会誌，vol.14，no.4，pp.532-537，1996。



青山 元 (Hajime Aoyama)

1954年12月17日生。1979年山梨大学工学部精密工学科卒業，同年，富士重工業株式会社入社。高所作業車の安定制御装置，大型多軸自走車の油圧駆動および全輪操舵システム，清掃ロボットの開発を担当。現在，同社車両技術部制御技術課課長として，ロボット技術，自動化システムの研究開発に従事。日本機械学会の会員。（日本ロボット学会正会員）



田島茂樹 (Shigeki Tajima)

1964年11月13日生。1988年日本大学理工学部電気工学科卒業，同年，富士重工業株式会社入社。鉄道車両の電装設計，トルクコンバータ制御システム，清掃ロボットの開発を担当。現在，同社車両技術部制御技術課主任として，ロボット技術，自動化システムの研究開発に従事。日本機械学会の会員。（日本ロボット学会正会員）



横田和隆 (Kazutaka Yokota)

1962年6月13日生。1987年東京大学工学部精密機械工学科卒業，1991年ロンドン大学インペリアル・カレッジ大学院修了，1992年宇都宮大学工学部機械システム工学科助手，現在同学科助教授，PhD。自律分散型ロボットシステム，組立計画の支援・自動化，保全作業の自動化などの研究に従事。日本機械学会，精密工学会の会員。（日本ロボット学会正会員）



尾崎功一 (Koichi Ozaki)

1967年6月10日生。1993年東洋大学大学院博士前期課程修了。1995年埼玉大学大学院博士後期課程修了。1995年理化学研究所奨励研究員。1996年宇都宮大学工学部助手。1997年度同大講師，現在に至る。自律分散型ロボットシステム，移動ロボットなどの研究に従事。博士（工学）。日本機械学会，精密工学会，環境システム計測制御学会の会員。（日本ロボット学会正会員）



山本純雄 (Sumio Yamamoto)

1942年7月5日生。1971年東北大学大学院工学研究科精密工学専攻博士課程単位修得退学，現在，宇都宮大学工学部機械システム工学科教授，工学博士。感覚・感性の計測，複合システムの計測制御，群システムなどの研究に従事。日本機械学会，環境システム計測制御学会などの会員。（日本ロボット学会正会員）