

トイレ用小型清掃ロボットの開発

薩 見 雄 一^{*1} 青 山 元^{*1} 石 川 和 良^{*1} 関 淳 也^{*1}
足 立 佳 儀^{*1} 石 村 左 緒 里^{*1} 高 橋 朝 美^{*1} 横 田 和 隆^{*2}

Development of a Small Cleaning Robot for the Rest Room

Yuichi Satsumi^{*1}, Hajime Aoyama^{*1}, Kazuyoshi Ishikawa^{*1}, Junya Seki^{*1},
Yoshinori Adachi^{*1}, Saori Ishimura^{*1}, Asami Takahashi^{*1} and Kazutaka Yokota^{*2}

The rest room in the highway service area occupies a large space and requires cleaning at regular intervals throughout the day, 24 hours. However, it is becoming increasingly difficult to find required number of cleaning staffs, particularly for cleaning during the night. Moreover, today's rest room is more sophisticated and has many more facilities than before, and demand for higher and better cleaning quality is strong. In this paper, we present a small cleaning robot for the rest room. The robot automatically cleans the floor by two cleaning methods: dry, vacuum cleaning for small trash, dust, and hairs, and wet, mopping cleaning for dirt and stains. The robot was tested in the actual rest room environment, and results show that it was effective and efficient for automating cleaning tasks in the rest room.

Key Words: Cleaning Robot, Rest Room, Highway Service Area, Safety

1. は じ め に

21 世紀においては、社会の少子高齢化の進展やサービス経済化の流れに沿って、消費者の生活分野、公共分野、医療福祉分野から様々な産業分野に至るまでの幅広い活動を支援するロボットへの期待が高まっている [1]。ある調査によれば、2010 年におけるロボットの市場規模は約 1.8 兆円、そのなかで人と共存する生活分野のロボットの市場規模は約 7,300 億円と予想されている [2]。これらの生活分野のなかで、当面、大きな市場ニーズを有するものの一つとして清掃を行うロボットが挙げられる。現実には、駅、空港、大規模店舗、トイレなどの生活共同空間の清掃作業現場においては、過酷な労働条件下において多くの労働力と人件費が必要とされ、さらに少子高齢化による労働力不足の問題が深刻化している。人手による清掃は多大な労力を要する作業であり、作業の省力化、自動化が求められている。また、近年は、高速道路のパーキングエリアのトイレの多機能化が進んでおり、清掃品質に対する利用者の要求は高い。さらに高速道路のパーキングエリアは、山間部等に建設されていることも多く、清掃作業員の確保が都市部に比べて困難である。

パーキングエリアのトイレ清掃ロボットの事例としては、ディ

アロボ関西の「LADY BIRD」[14] があるが、清掃方式はスクラバ方式であるため、清掃後に床が濡れてしまうため利用者の転倒等が懸念される。

これまで我々は、屋内用の清掃ロボットを開発し、その実用化に成功している [3]~[5]。主にオフィスビルの共用部（廊下、エレベータホール）や空港の発着ロビーなどに導入され、実運用されている。これらのロボットの運用は、安全面から深夜などの人がいない時間帯に限られた。オフィスビル、空港はカーペットフロアが大半を占めているため、回収するゴミも砂塵のような細かいゴミを対象としていた。また愛知万博にて、ハードフロア対応として、ロードスイーパー型で比較的大型の屋外清掃ロボットを開発し、夜間の無人屋外環境にて実証試験を行った [6]~[8]。

しかし、これらのロボットは大型のため、トイレ等の生活公共空間では運用が難しく、小型の清掃ロボットの開発が必要である。

そこで我々は、パーキングエリアのトイレに対応でき、人と共存する環境下でも安全に作業できる小型清掃ロボットを、中日本高速道路株式会社と共同で開発し、2010 年 4 月に掛川実験センター（パーキングエリア）のトイレに導入して実用化に成功した。

本論文では、まずトイレの清掃作業について考察し、要求仕様を明確にする。それに基づき実用的なトイレ用小型清掃ロボットの仕様について述べる。トイレに適応できる清掃装置、車体、走行制御、安全設計について提案し、導入したパーキングエリ

原稿受付 2010 年 12 月 20 日

^{*1}富士重工業株式会社

^{*2}宇都宮大学

^{*1}Fuji Heavy Industries Ltd.

^{*2}Utsunomiya University

■ 本論文は有用性で評価されました。

アのトイレでの実証試験の結果から、本提案の有効性を示す。なお、本ロボットは独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の「生活支援ロボット実用化プロジェクト」の元で開発された安全技術と「次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト」の元で開発された知能モジュールの搭載をしている。

2. ロボットによるトイレの床面清掃作業

2.1 作業環境

近年、高速道路のサービスエリア、パーキングエリアは、ドライバーの生理的な要求を満たすことと運転の疲労と緊張を解きほぐすことを第一の目的とし、性別、年齢、国籍、個人の能力にかかわらず、多くの人が利用可能なことが必要とされている。このためあらゆる人に快適でやさしく、「環境負荷の少ないトイレ」「ユニバーサルデザイン」「美しいトイレ」の実現に向けて様々な取り組みがなされている。Fig. 1 に示すトイレのように情報コーナの設置、多目的トイレ、女性用パウダーコーナの設置など従来なかった設備が設置され、高機能化されている。その結果、トイレが大型化する傾向がある。また、当然ながら清掃レベルの向上や均質化といった清掃品質の向上も求められている。

現在、トイレの清掃作業は、人手で行われている。さらに24時間定期的な清掃を行う必要があるが、特に夜間等には作業員の確保が困難になってきている現状がある。また、高速道路サービスエリアのトイレは、24時間常に利用客が出入りするため、不特定多数の人が往来する環境である。

トイレの床面は、タイルシートのハードフロアであり、男子小便器周囲は汚垂石の床材である。男子小便器周囲が特に汚れやすく、カビや異臭が発生するため、この部分のみ汚れを除去しやすい材質の床面にしている。他の床面と材質が異なるため、境界には段差が存在する。Fig. 2 にトイレの外観の例を示す。

2.2 トイレの清掃作業

サービスエリアのトイレのゴミは、砂や髪の毛等の床上に落下しているものと、泥や汚れ等の床上にこびり付いているものがある。そのため清掃方式もゴミの種類に応じて異なる方法が使分けられている。すなわち、砂等の落下しているゴミについては、乾式清掃（バキューム作業）、汚れ等のこびり付いているものについては、湿式清掃（モップ作業）が行われている。なおハードフロアを磨く清掃方式としては、洗浄液をまき、ブラシで擦ったのち、汚水を回収するスクラバ方式が一般的である。しかしサービスエリアのトイレでは、24時間人が出入りするため、人のいるなかで清掃しなければならず、床に水を撒くことは人が滑る等の危険があり、好ましくないため、スクラバ方式は用いられず湿式清掃（モップ作業）が採用されている。

2.3 要求仕様

上記の作業環境にて、ロビー、男子小便器周囲の汚垂石、個室を除く床面の清掃を行う小型清掃ロボットを開発することとした。多目的トイレと男女の個室は、扉を開くためのアクチュエータやセンサ等のインフラが必要になりコストがかかることと、清掃中は大便器が使用できなくなるため今回は清掃対象から除外する。また、異なる種類のゴミに対応するため、乾式清

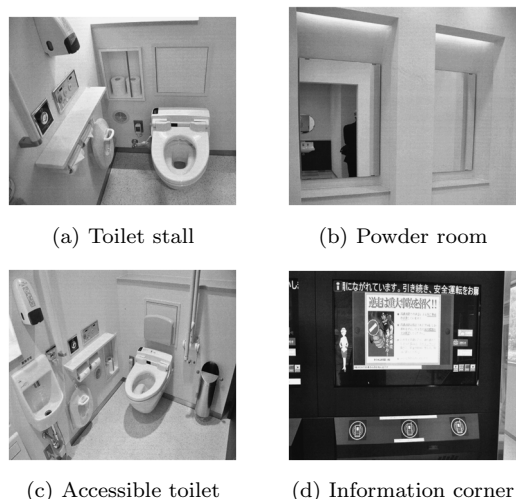


Fig. 1 Rest room by universal design



Fig. 2 Appearance of rest room

掃（バキューム作業）を行ったあとに、湿式清掃（モップ作業）を行う必要がある。この清掃作業をロボットで行う場合、以下の項目を満たす必要がある。

- (1) 乾式清掃（バキューム作業）と湿式清掃（モップ作業）の両方を行うことが可能であること
- (2) 人と共存可能な安全性、静穏性、排気性を有すること。静穏に関しては、一般家庭用の掃除機と同等であること
- (3) 清掃作業員以上の作業効率、作業品質を実現すること
- (4) ユニバーサルデザインのバリアフリー環境下で走行が可能で汚垂石等の表面の滑らかな床材も走行可能であり、段差の乗り上げができること
- (5) 高齢者の作業員でも操作および日常保守が可能であること

3. トイレ用小型清掃ロボットの開発

3.1 技術的課題

基本的な開発方針として、ロボットの車体構造および足回りは、コスト低減と信頼性、耐久性、安全性等の品質を考慮し、実用化に成功している専用部小型清掃ロボットと共有化することとする[3]。さらに清掃装置の基本レイアウトは駆動輪の後部に車体幅より小さい吸引装置とモップを搭載することを考える。このため、車体直下での清掃が困難となる男子小便器回りの清掃には、車体の外に展開する清掃装置も必要となる。

要求仕様と以上の基本方針に基づく技術的課題を示す。

- (1) 吸引装置とモップを搭載し、男子小便器回り清掃用の機構を搭載すること
- (2) 人と共存するために人や物に接触することなく自律走行でき、家庭用の掃除機並みの静穏性、排気性を確保すること



Fig. 3 Exterior of the developed small robot for rest rooms

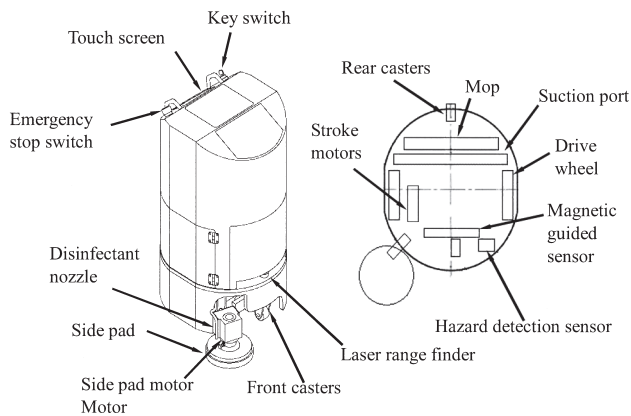


Fig. 4 Small robot for rest room

- (3) 一回の清掃で確実に汚れを取る
 - (4) バリアフリーの環境下で、走行精度 ± 20 [mm] 以内を実現すること
 - (5) 容易な操作および保守性を実現すること
- さらに上記課題の達成に適した、信頼性が高く低コストの既存技術は積極的に用いる。

3.2 ロボットの外観および仕様

開発したロボットの外観および構成図を Fig. 3, Fig. 4 に示す。また、主仕様を Table 1 に示す。本ロボットは自走しながらトイレの清掃作業を行う。トイレの床面清掃を行うための清掃装置として、乾式清掃（バキューム作業）のための吸引装置、湿式清掃（モップ作業）のためのモップを搭載している。吸引装置については、3.4.1.1 項、モップについては 3.4.2.1 項で述べる。さらに汚れがひどい男子小便器前を清掃するため、サイドパッドを搭載している。サイドパッドについては、3.4.2.2 項で述べる。モップおよびサイドパッドはマイクロファイバ製の布を取り付ける構造としている。湿式清掃のためには業務用アルコールをモップとサイドパッドに染み込ませる。この構造については 3.4.2.3 項で述べる。

足回りは、左右 2 輪と後部キャスタ 1 輪、前部キャスタ 1 輪からなる 4 点接地で、左右 2 輪が駆動輪となっている。走行誘導

Table 1 Specifications

Vehicle dimension	500 [mm] × 450 [mm] × 800 [mm] (Body only)
Weight	95 [kg] (including battery)
Locomotion actuators	DC Motors
Power source	24V lead battery
Maximum working duration	2 hours 30 minutes
Velocity	5 [m/min], 10 [m/min], 20 [m/min]
Cleaning devices	Blower motor and suction port for dry cleaning Mop and side pad for wet cleaning
Sensors	Magnetic guide sensor Laser range sensor

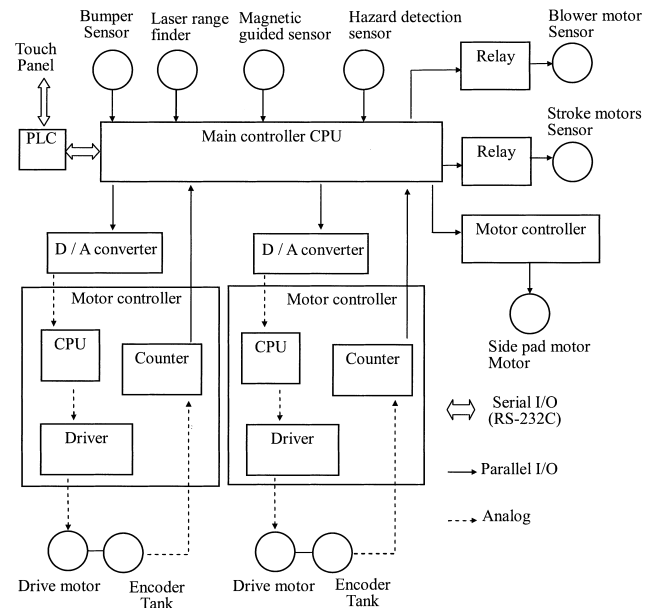


Fig. 5 System diagram

センサとして前方に磁気ガイドセンサを、安全装置としてレーザ式の測域センサ、バンパセンサ、危険箇所検知センサを搭載し、ユーザインターフェースとしてタッチパネルを搭載している。このタッチパネルは、対話式に操作できるようになっており、またロボットの状態も人の顔をイメージした表情とともに表示される。

システムは、メイン・コントローラ、操作パネル・モータコントローラ、モータから構成される分散システムである。他の機器は、メイン・コントローラに平行 I/O で接続されている。Fig. 5 にシステム図を示す。

3.3 下部台車

前述したように、今日のトイレは「ユニバーサルデザイン」つまり、バリアフリーの観点から建築されている。バリアフリー



Fig. 6 Overview of the suction device

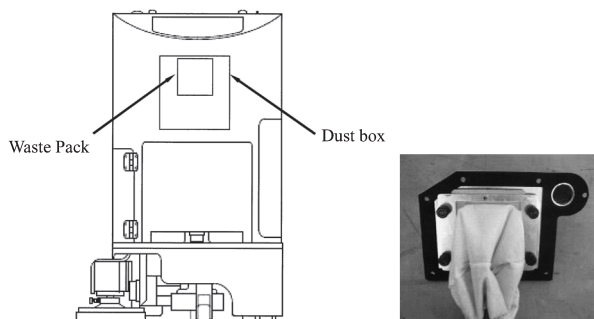


Fig. 7 Waste pack

は一般的に車椅子使用者、高齢者、妊婦、乳幼児を連れた者等、誰もが円滑に利用できる生活空間とされている。そのため、20 [mm] 以上の段差がある場合は床面をスロープとしている。利用円滑化誘導基準によると、屋内ではスロープの勾配は $1/12$ (4.76°) 屋外では、 $1/15$ (3.81°)、段差が 160 [mm] 以下の場合は $1/8$ (7.12°) となっている。廊下、扉等の幅は 800 [mm] 以上、最大勾配 $1/12$ (4.76°) とされている。そこで、駆動装置は、清掃装置の配置を考慮し、左右の駆動 2 輪、前部キャスタ 1 輪、後部キャスタ 1 輪の 4 点接地としており、 $1/12$ (4.76°) の勾配と走破できるトルクと車輪径を選定した。また、段差に関しては男子トイレの汚垂石と床面の段差が最大段差 7 [mm] 程度なので、この段差を走破できるようにした。

3.4 清掃装置

3.4.1 乾式清掃装置（バキューム作業）

3.4.1.1 吸引装置

吸引装置はゴミ吸引部およびゴミ回収パックから構成されている。吸引装置は吸引能力を向上させるため直線形状とし、駆動輪後部に配置されている。サイズ等は安全を考慮し、車体幅より小さい幅の清掃装置を搭載している [4]。また、ゴミ回収パックは、湿式清掃時のことを考慮し、耐水製のゴミ回収パックを選定した。Fig. 6 に吸引装置、Fig. 7 にゴミ回収パックの外観を示す。

3.4.2 湿式清掃装置（モップ作業）

乾式清掃装置（バキューム作業）を行ったあとに、清掃の仕上げとして湿式清掃を行う。湿式清掃は揮発性に優れた業務用アルコールをマイクロファイバ製モップとサイドパッドに染み込ませ清掃を行う。揮発性に優れた業務用アルコールを使用するので、清掃後すぐに床面が乾き、トイレ利用者が転倒する危険性がない。また除菌もできるので、清掃品質向上にもつながる。

3.4.2.1 モップ

モップは、Fig. 8 に示すように、湿式清掃の仕上げとして駆

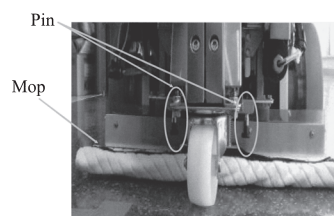


Fig. 8 Mop

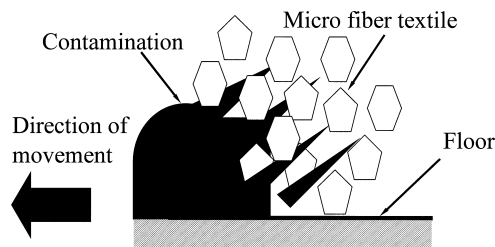


Fig. 9 Micro fiber

動輪の後部に搭載している。取り付けはプランジャピンを使用しているため工具を使わず取り外しが可能であり、ロボットの専門家でない清掃作業員でも交換作業が可能である。

ロボットによる清掃作業では、作業効率と作業品質を確保するため 1 回の清掃で確実に汚れを拭き取らなければならない。そこで、モップにはマイクロファイバ製の布を採用した。マイクロファイバは、Fig. 9 のように超極細繊維を特殊な三次元立体構造に織り上げたもので、奥の深い立体構造である。そのため、たくさんの隙間が、微細な誇りや汚れ、水を集めて蓄える。また、細い繊維の断面が多角形であるため、汚れとの接触面積が大きく、さらに尖った繊維の側面が柔らかい刃物の役割をし、汚れた表面を削り、拭き取りが容易になる。なお、一般的なモップを使用した清掃作業では、脱水機で軽く脱水した状態が汎用に使いやすく、汚れが落ちやすい。そこで本ロボットのモップに水分を含ませるために、業務用のアルコールを自動的に供給する構造とし、モップを湿らせることとした。

3.4.2.2 サイドパッド

サイドパッドは男子小便器周りの汚垂石を清掃するため、車体の外側に出す必要がある。またトイレ内の移動の際には、狭い場所を通過しなければならないため、内側に格納できる構造にする必要がある。格納時にパッドが地面に接触しているとサイドパッドが引きずられてしまい、パッドを傷めてしまう。また、男子小便器前を清掃するため衛生上床に引きずることは望ましくない。そのため、清掃作業時以外では床面に接触しない構造にする必要がある。

サイドパッドの構造を Fig. 10 に示す。サイドパッドは直径 200 [mm] で、フリーの 2 リンク構造の先端に取り付けられており、このリンク機構全体がワイヤーを介してストロークモータで上下する。サイドパッドを斜めに接地させることにより、パッドと地面との接点を 1 点にし、回転により生じる地面からの反力を利用して、車体の外側に出る構造 [10] [11] となっている。飛び出し幅を最大 200 [mm] とし、ストッパーボルトにより、飛び出し量を調整できる構造とした。また、Fig. 11 のように、サ

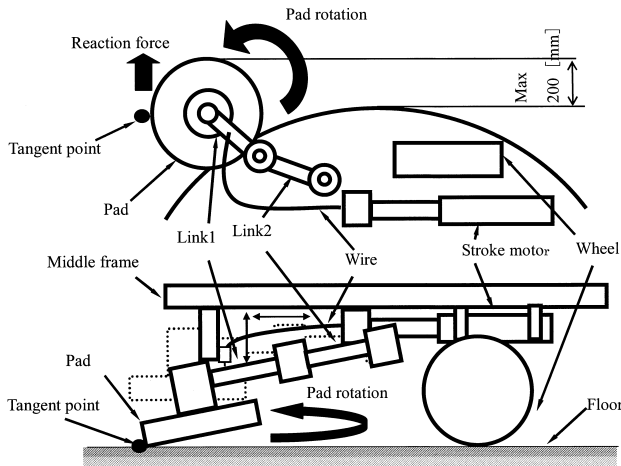


Fig. 10 Structure of side pad

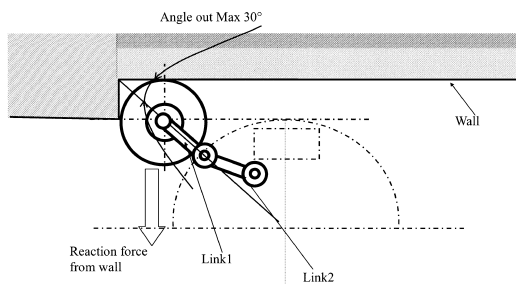


Fig. 11 Jolting of side pad

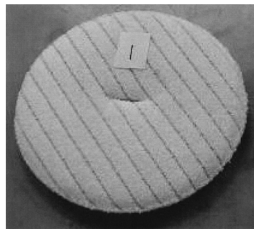


Fig. 12 General view of pad

イドパッドの飛び出し角度は最大 30° としており、壁の凹凸などに接触した際には、小さな反力で内側に揺動するようにした。万一人と接触することも考慮して、足が接触した場合にも車体に戻るよう $3\sim 5$ [N] の力で揺動する。また格納スペースを確保するため、アームは二段関節の折りたたみ式とした。この揺動機構により、センサやアクチュエータを用いずに格納が可能となり、安価な清掃装置を実現できた。さらに、機械的な機構のため応答性も早く、安全性の面でも有利である。パッドの材質はモップと同様にマイクロファイバを採用した。Fig. 12 に外観を示す。

サイドパッドは本来男子小便器近辺の床面を清掃するために搭載したが、通路等の壁際の清掃にも有効であり、清掃面積の拡大が期待できる。ただし衛生上の観点から、男子小便器の清掃時と通路清掃時ではパッドを交換する必要がある。

3.4.2.3 洗浄水供給構造

モップおよびサイドパッドに水分を持たせるために、Fig. 13

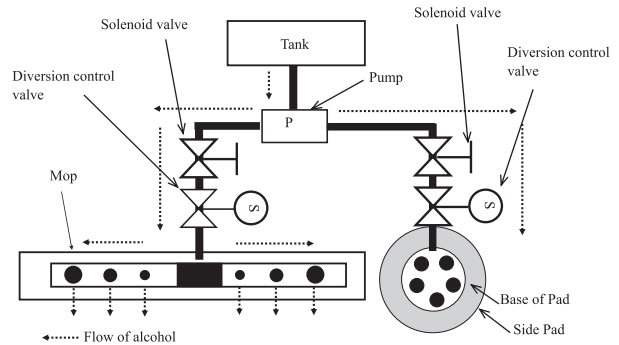


Fig. 13 Pipe structure

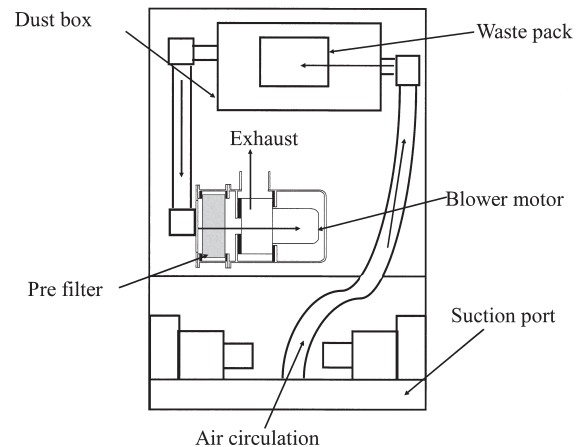


Fig. 14 Structure of blower cleaning

のようにタンクにある業務用アルコールをポンプの圧力により、配管に流し、電磁弁と流用調整バルブによりアルコールの滴下量を調整できる構造にした。アルコールの滴下量は調整が可能であり、床面の汚れ具合等により、現場にて滴下量を調整する。

モップの配管に穴を数箇所開け、その穴から業務用アルコールをマイクロファイバに滴下する構造にした。この配管構造では外側に行くにつれて、動圧が小さくなる。そのため、内側の穴を小さくして静圧を大きくし、外側の動圧を大きくすることにより出口の滴下量を一定にし、モップ全体に均一にしみ込ませることができた。

サイドパッドでは、サイドパッドの基板に穴を開けてしみ込ませる構造としている。

3.5 防音性、排気性

生活空間であるトイレでは、人と共存して清掃を行うため、ロボットの清掃時の騒音や排気の塵埃を考慮しなければならない。そこで、一般家庭の掃除機の音量を目安とし、同程度の騒音に抑えることとした。最も音量が大きいブロアモータを、Fig. 14 のようにボックス構造とした。ブロアモータにより吸引される空気は、プレフィルタを通過させることにより排気に含まれる塵埃を軽減した。プレフィルタはブロアモータの後段（排気側）でなく前段（吸引側）に配置してある [9]。もっとも塵埃が高いゴミ回収パックの後にプレフィルタを配置しているため、吸塵効率を上昇させることができる。本プレフィルタは $10\text{ }\mu\text{m}$ 以

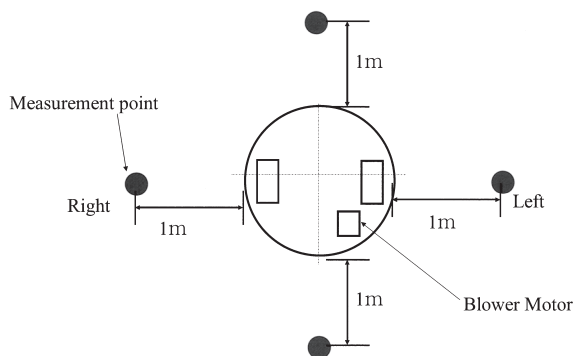


Fig. 15 Noise test

Table 2 Results of noise test

	Front	Back	Left	Right
Cleaning Robot	76.1 [dB]	72.2 [dB]	76.7 [dB]	72.3 [dB]
Industrial Cleaner	83.7[dB]			
Home Cleaner	88.2[dB]			

上の粒子を取り除く中性能タイプとした。また、排気口の向きは、床面のゴミの拡散を防止するため上向きとした。

この装置をロボットに搭載し、Fig. 15のようにロボット周囲4点で騒音試験を行った。Table 2に本ロボットの測定結果と、業務用掃除機、家庭用掃除機の音量を示す。Table 2より、本ロボットの騒音は、4方向すべてにおいて家庭用掃除機より騒音が小さい。

3.6 安全設計

3.6.1 障害物センサ

本ロボットは人と共存する環境下で運用されるため、人や物との衝突を避けるよう、障害物検知センサが必要である。赤外線等の反射型センサは、検知物体の色や材質により、検知距離に大きな違いが出ることがある。またトイレの環境ではステンレスの鏡面仕上げ材質の壁や枠があり、誤検知の可能性がある。そこで本ロボットにはレーザ測域センサを搭載することとした。レーザ測域センサは検知物体の色や材質の影響を受けないため、物体との距離を正確に測定できる[12]。

Fig. 16に測域センサの設置位置と最大検知範囲を示す。経路上に人や障害物を1,000[mm]以内に検知したときは減速し、300[mm]以内に検知したときは、直ちにロボットを停止させ、安全性を確保する。また、このセンサは、測定範囲を切り替えることができ、狭域部を走行するときは、左右方向のみ範囲を狭め、固定物や設置物を検知しないようにする。

3.6.2 バンパセンサ

障害物センサが故障および検知不能の場合を考慮しバンパセンサを採用している。バンパに荷重がかかり、中央のビートが押されると上部電極板が湾曲し、下部電極板に接触すると回路がオンとなる。荷重がなくなると上部電極板は復帰し回路はオ

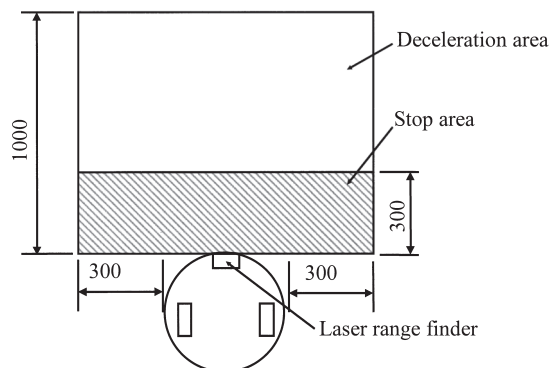


Fig. 16 Range detection and location

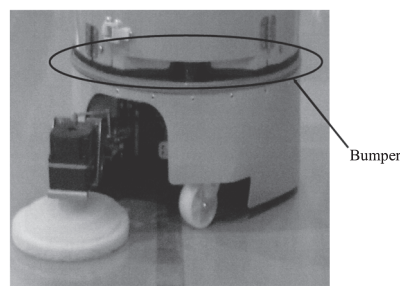


Fig. 17 View of bumper

フとなる。回路がオンの状態のときロボットは緊急停止し、オフになるとロボットは3秒後にその場から自動的に動作を開始する。

3.6.3 危険箇所検知センサ

ガラス窓等や大きな下り段差が存在する危険な場所には、ロボットが接近してはならない。そこでこのような危険箇所に、走行経路誘導用の磁気とは逆転したS極の磁気を設置し、それを検知する磁気センサをロボットに搭載した。ロボットが正常に動作していれば、走行経路誘導用のN極の磁気に沿って走行するため、この磁気センサが検知することはない。しかし万一異常が発生し、通常の走行経路から大きく逸脱してこの磁気センサが危険箇所の磁気を検知した場合、ロボットは非常事態と判断し、即座に緊急停止する。

3.7 保守性

本清掃ロボットは、メカ、電気・電子・制御、センサ、ソフトの統合した総合技術である。人と共存する環境下で自律走行するため、高い信頼性が求められており、部品の故障等によって運用に支障をきたしてはならない。そこで、消耗品等を定期的に交換することで、故障を未然に防ぐ必要がある。そのためには、部品交換が容易にできることが重要である。本ロボットの車体構造にはFig. 18のように、ビルの清掃ロボットと同様に下フレーム、中間フレーム、上フレームからなるモジュール分割となっている[3]。車体の分解、組み付けがしやすく、部品の交換が容易となり、作業の効率も図った。さらに日常的にはゴミ回収パック、サイドパッド、モップの交換および洗浄液の充填を行う必要がある。これらに対しては工具なしで清掃作業員が容易に交換可能なように設計を行った。

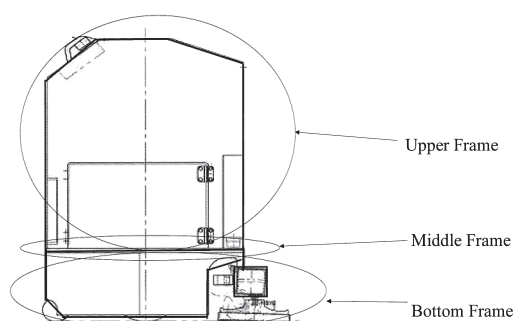


Fig. 18 Body structure

4. 走行制御

4.1 走行制御方法

本ロボットは限られたスペースのなかで、壁やトイレ内設備と接触することなく走行ができ、かつ信頼性の高い走行法が求められる。また、人と共存することが前提であり、人の往来に左右されない安定的な走行が必要不可欠となる。

室内でのロボットの誘導法としては、ジャイロセンサや室内GPSを用いた方法等が考えられる。ジャイロセンサの場合、角度のキャリブレーションを行う必要がある。すでに我々が実用化し、実績のある屋内用清掃ロボットでは、ジャイロセンサと磁気テープによるキャリブレーションを行っていた。すなわち基準となる向きに平行に磁気テープを設置し、ロボットを磁気テープに沿って走行させ、ある程度の距離を走行すると、ロボットは基準方向を向くため、そこでジャイロセンサの角度をセットする手法をとっていた。この手法は、ロボットが基準方向に向くまでの走行距離が確保されなければならない。しかしサービスエリアのトイレでは、上記のキャリブレーションが有効となるような十分な長さの直線走行を確保することは困難である。また室内GPSは非常にコストが高く、実用的でない。

そこで本ロボットでは、磁気ガイドセンサによる磁気誘導方法に、エンコーダを組み合わせた走行制御を採用した。ロボットで使われている技法 [12] [13] であり、信頼性が高く、実用化に適している。本ロボットの清掃対象であるトイレなどの狭く限られた走行範囲の場合は特に有用である。

5. 実証試験

5.1 試験環境

本ロボットの性能、実用性の検証を行うため、中日本高速道路株式会社との協力で建設中の第二東名高速道路の掛川実験センターのトイレ棟にて実証試験を行った。

掛川実験センターの外観を Fig. 19 に示す。清掃エリアは3分割し、どのエリアからでもスタートできるようにした。トイレ部分の平面図の清掃エリアを Fig. 20 に示す。個室のトイレは、扉があり扉を開くためのセンサやアクチュエータ等が必要になり、現状では費用対効果が見込めないため清掃範囲から除いた。この実験センターは、第二東名高速道路サービスエリアへ導入予定の製品や、開発中の技術を検証するための施設である。トイレ棟には、前述のユニバーサルデザインのトイレ様式となっている。



Fig. 19 Kakegawa research center

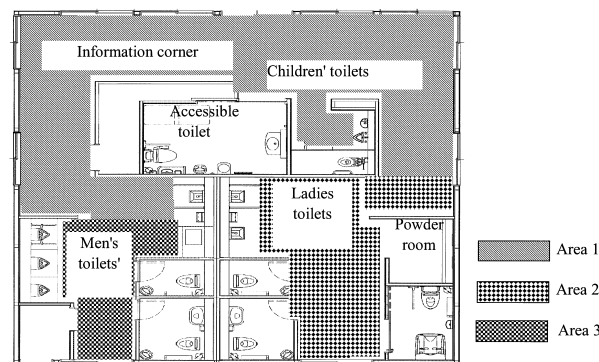


Fig. 20 Restroom cleaning area kakegawa research center

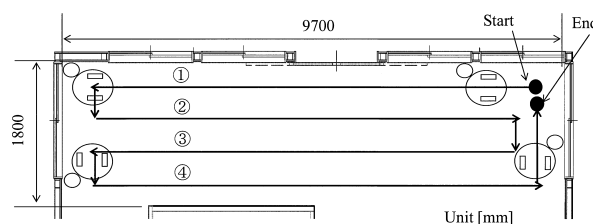


Fig. 21 Clean area 1 travel route

走行経路に沿ってロボットの誘導のための磁気テープを床材の下に埋設した。Fig. 21 に清掃エリア1のなかのインフォメーションコーナー付近の走行線図を示す。Fig. 21 のように清掃後、女子トイレ前へ移動し、清掃を行う。その後、子供用トイレ、男子トイレ前の清掃を行う。そして、清掃エリア2を清掃し、清掃エリア3に移動し、清掃を行う。このようにして多目的トイレ、男子、女子、子供用トイレの個室、パウダーコーナー、洗面器周辺を除く清掃エリアの90%の面積をカバーする。残りの清掃しなかった10%は、壁際であり本体直下の吸引装置とモップでは、清掃できない。

5.2 連続走行試験

試験環境を7ブロックに分割し、ブロックごとに乾式、湿式清掃を実施した。

磁気テープを用いた誘導方法により、走行精度は、10 [m/min] のとき約 $\pm 5 \sim 7$ [mm] 程度、20 [m/min] 約 $\pm 7 \sim 10$ [mm] 程度であった。Fig. 22 に現地走行試験結果を示す。この結果は、従来の移動ロボット [12] と同等の走行精度であった。

さらにロボットが長時間安定走行することは、実用の観点から重要な点であることから、2010年7月1～6日まで、1日連続8時間走行試験を6日間行った。試験中は、2時間おきに試験用

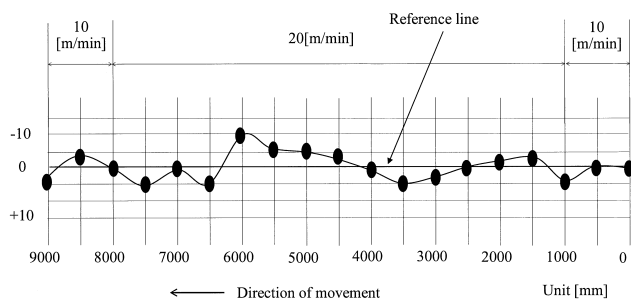


Fig. 22 Fig. 21 track③ local accuracy test drive

Table 3 Testee

Sex	Age					
	20s	30s	40s	50s	60s	Total
Man	1	2	1	3	1	8
Women	0	0	1	2	2	5
Total	1	2	2	5	3	13

バッテリーを交換し、このときにアルコールの補充とゴミパックの交換も行った。また、6日間走行中は故障することなかった。

また人での清掃作業の場合60分かかったが、本ロボットでの全経路を清掃するのに、50分で完了し清掃効率の向上が達成できた。清掃品質は目視で確認した結果、常に清掃作業員による清掃と同等であった。

5.3 ユーザ評価

高速道路サービスエリアのトイレは、特殊な空間であり、その清掃も様々なノウハウ、知識が必要である。従来より、中日本高速道路株式会社では、清掃機器等の導入する際に、実際の清掃作業員にアンケートを行い、アンケート結果に基づいて導入の可否を決めている。そのため、本ロボットの運用についても、実際の清掃員に評価してもらうのが最善であると考えた。従来の清掃機器で使用していたアンケート項目を本ロボット用にアレンジして、清掃性能、安全性能等について実際の清掃員へのアンケートを実施した。

被験者の構成は、操作教育を行ったあと、一週間程度実運用を行った者で、偏りがないように多くの年代とし、性別もなるべく均等になるように考慮した。構成の詳細を Table 3 に示す。そして、アンケートの内容を Table 4 に示す。

評価は、本ロボットの清掃走行状況確認や実際に清掃員にロボットを操作、保守を体験してもらったあとにアンケート形式で行った。各項目とも1～5点で数字が高いほど、その項目の評価が高いこととした。評価基準を3点と定めた。また点数による評価以外に、自由記載および口頭による意見聴取も行っている。なお、本アンケート実施時は通常運用とまったく同じ条件でロボットを走行させた。そのときのロボットの走行速度は Fig. 22 のように直線経路部 20 [m/min] で走行する。経路シフト部、男子小便器前、設備に近接する箇所は 10 [m/min] で走行する。

評価は、2010年8月26日に掛川実験センターにて実施した。

本評価の結果は、Table 5, Fig. 23 のとおりであった。ほぼ

Table 4 The contents of the questionnaire

	Evaluation item	The evaluation		
		Evaluation Level/Sage1	← →	Evaluation Level/Sage5
①	Combination of dry vacuum cleaning and wet mopping cleaning	Ineffective		Effective
②	Effectiveness of the side pad	Ineffective		Effective
③	Quantity of cleaning liquid	Too short		Appropriate
④	Operating speed of the robot (time)	Slow		Sufficient
⑤	Quality of cleaning(compared with human)	Inferior		Superior
⑥	The detection range of the obstacle detection sensor	Inappropriate		Appropriate
⑦	Running speed (safety)	Dangerous		Safe
⑧	Visibility of the touch panel	Hard		Easy
⑨	Understandable of touch panel (content displayed)	Hard		Easy
⑩	Operability of touch panel	Hard		Easy
⑪	Replacement of Trash Pack	Hard		Easy
⑫	Supplying cleaning liquid	Hard		Easy
⑬	Tank capacity	Small		Sufficient
⑭	Replacement of Mop	Hard		Easy
⑮	Continuous work hours of Robot (2.5hr)	Too short		Sufficient
⑯	Noise to worker	Too noisy		unaffected
⑰	Noise to customers	Too noisy		unaffected

すべての項目で評価基準である3点を上回った。乾式清掃（バキューム作業）と湿式清掃（モップ作業）については評価項目①の乾式と湿式併用の清掃方法は、平均値 3.64 で評価基準を大きく上回る結果となった。人と共存可能な安全性は、評価項目⑥の障害検知センサの検知範囲は、平均値 3.91、⑦の自走速度について（安全面）は、平均値 3.93 と評価基準を大きく上回る結果となった。また、防音性に関しては評価項目⑯の作業中の

Table 5 Result of questionnaire

	Evaluation item	Maximum	Minimum	Average	Standard deviation
①	Combination of dry vacuum cleaning and wet mopping cleaning	5	3	3.64	0.81
②	Effectiveness of the side pad	5	2	3.25	1.21
③	Quantity of cleaning liquid	4	2	3.18	0.63
④	Operating speed of the robot (time)	5	3	3.68	0.88
⑤	Quality of cleaning(compared with human)	4	3	3.50	0.52
⑥	The detection range of the obstacle detection sensor	5	3	3.91	0.99
⑦	Running speed (safety)	5	3	3.93	0.42
⑧	Visibility of the touch panel	5	3	4.17	0.83
⑨	Understandable of touch panel (content displayed)	5	3	4.11	0.71
⑩	Operability of touch panel	5	4	4.58	0.51
⑪	Replacement of Trash Pack	3	1	1.87	0.75
⑫	Supplying cleaning liquid	4	1	2.68	1.34
⑬	Tank capacity	5	2	2.33	0.88
⑭	Replacement of Mop	5	2	3.68	0.87
⑮	Continuous work hours of Robot (2.5hr)	5	3	3.36	0.67
⑯	Noise to worker	4	3	3.08	0.28
⑰	Noise to customers	4	3	3.25	0.45

ロボットの発声音は、平均値 3.08、⑰のお客様への発声音の影響は、平均値 3.25 で評価基準値並であった。人以上の作業効率に関しては評価項目④のロボットの作業速度（時間）は、平均値 3.68 で、評価基準を大きく上回る結果となった。作業品質は評価項目⑤の床清掃の仕上がり（人力との比較）は、平均値 3.50 で評価基準を上回る結果となった。タッチパネルの操作性の簡易性は、評価項目⑧の操作パネルの見やすさは、平均値 4.17、⑨の操作パネル（表示内容）の分かりやすさは、平均値 4.11、⑩の操作パネルのタッチしやすさは、平均値 4.58 で最も高い評

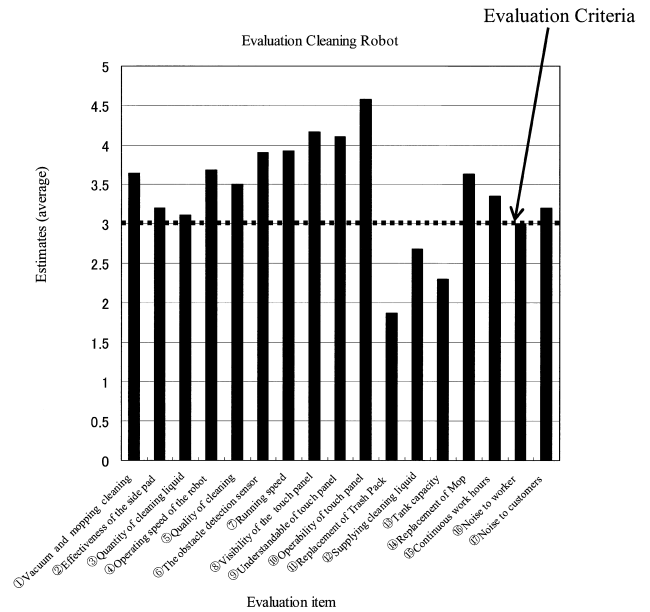


Fig. 23 Result of evaluation

価を得た。日常保守に関しては、評価項目⑪のゴミパックの交換は、平均値 1.87、⑫の洗浄液の補充は、平均値 2.68、⑬の洗浄タンクの容量については、平均値 2.33 で評価基準 3 点を下回った。その一方で評価項目⑭のモップの交換については、平均値 3.68 で評価基準を上回る結果となった。

ゴミ回収パックについては、交換時に取り外すノブボルトの数が多く作業性が悪いとの意見があった。また洗浄液の補充については、残量表示が見えづらいとの意見が多くあった。これらについては、今後改良・改善を行っていく予定である。

このアンケートによる評価結果から、本研究で開発した清掃ロボットの有用性を示すことができたと考える。

6. おわりに

以下に本論文のまとめを述べる。

(1) 吸引装置とモップを搭載することにより、ロボットによる湿式清掃（モップ作業）と乾式清掃（バキューム作業）を実現できた。

(2) 安全性、安全技術、安全手法の導入により人と共存する環境下でのロボットによる清掃作業を実現した。また、アンケート調査による評価によって満足の行くものであるとの評価を得た。防音性に関しては、ボックス構造により、家庭用の掃除機よりも騒音を抑えることができた。プレフィルタをゴミ回収パックの後に搭載することにより、塵埃回収効率の向上を図った。

(3) マイクロファイバ製モップ、サイドパッドに業務用のアルコールを滴下させることにより、効率的に汚れを落とすことができ、清掃作業員と同等な作業効率と作業品質を実現した。

(4) 磁気による走行制御を採用することにより、バリアフリー下での環境で従来の清掃ロボットと同等の走行精度を実現した。

(5) アンケートの結果により、タッチパネルは高い評価を得られ、ユーザに受け入れられた。保守に関しては、清掃作業員が工具を使わずに作業が可能となった。

(6) 清掃作業員を対象としたアンケート調査による評価によって、清掃方式や清掃品質が満足のゆくものであるとの評価を得た。操作性についての評価も高かったが、一部保守性について改善すべき点があることが明らかとなった。

本ロボットの導入により、これまでオフィスビル等の屋内を中心に運用されてきた清掃ロボットの適用フィールドをトイレへと広げることができた。今後のサービスエリア等のトイレなどに継続導入が期待されている。

今回の実証試験にて、本ロボットの清掃面積は、清掃エリアの90%が確保できた。今後の展開として、中日本高速道路株式会社は、サービスエリアトイレの壁と床面の間を丸みのある形状にすることを検討している。これによりサイドパッドが壁際の床面の端まで届くようになり、90%の清掃面積が95%のへと拡大が可能となる。ロボット本体の改良に加え、環境側の整備も改良することで、より高い効果が期待される。サービスロボットを実用化するためには、このようにメーカーとユーザが一体となって、試験・改良を進めていくことが、非常に重要である。

参 考 文 献

- [1] 日本機械工業連合会, 日本ロボット工業会:平成12年度21世紀におけるロボット社会創造のための技術戦略調査報告書, 2000.
- [2] 経済産業省:新産業創造戦略 2005, 2005.
- [3] 青山, 田島, 横田, 尾崎, 山本:“自律走行式床面清掃ロボットの開発”, 日本ロボット学会誌, vol.16, no.1, pp.57-64, 1998.
- [4] 青山, 小森谷, 田島:“床面清掃ロボットのための吸引装置の開発”,

日本機械学会論文集 C 編, vol.65, no.634, pp.232-237, 1999.

- [5] 田島, 青山, 関, 石川, 横田, 尾崎, 山本:“ロボットによる高層ビルの清掃システムの開発”, 日本ロボット学会誌, vol.22, no.5, pp.595-602, 2004.
- [6] 青山, 石川, 田島, 井上, 関, 岡村, 米持, 糸賀:“屋外清掃ロボットスバルロボハイター RS1 の開発”, 第23回日本ロボット学会学術講演会予稿集 CD-ROM, 3I15, 2005.
- [7] 青山, 石川, 井上, 関, 田島, 岡村:“屋外清掃ロボットスバルロボハイター RS1 実証試験”, 第23回日本ロボット学会学術講演会予稿集 CD-ROM, 3I16, 2005.
- [8] 青山, 石川, 井上, 関, 田島, 岡村:“屋外清掃ロボットスバルロボハイター RS1 実証試験”, 第23回日本ロボット学会学術講演会予稿集 CD-ROM, 3I16, 2005.
- [9] 青山, 石川, 石村, 西原, 和田迫:“製薬会社向スクラバロボットの清掃装置の開発”, 第24回日本ロボット学会学術講演会予稿集 CD-ROM, 3I15, 2006.
- [10] 青山, 西原, 石川, 石村, 関, 和田迫, 薩見, 足立, 高藤, 雫, 伊沢:“清掃ロボットの壁際清掃”, 第26回日本ロボット学会学術講演会予稿集 CD-ROM, 3D33, 2008.
- [11] 青山, 石川, 関, 和田迫, 薩見, 足立, 高藤, 西原, 今野, 雫, 伊沢, 石村, 長谷川:“屋外型清掃ロボットの清掃装置及び防水構造の開発”, 第26回日本ロボット学会学術講演会予稿集 CD-ROM, 1K21, 2008.
- [12] 関, 青山, 石川, 石村, 和田迫, 薩見, 横田, 尾崎, 山本:“連結式容器交換ロボットの開発”, 日本ロボット学会誌, vol.27, no.2, pp.188-198, 2009.
- [13] 関, 青山, 石川, 石村, 和田迫, 足立, 薩見, 横田, 尾崎, 山本:“視覚によるライン・トレースと磁気タグの併用による走行制御を用いた搬送ロボットの開発”, 日本ロボット学会誌, vol.27, no.8, pp.833-841, 2009.
- [14] http://www.chinou.co.jp/co_story/ladybird.html



薩見雄一 (Yuichi Satsumi)

2003年第一工業大学航空工学科卒業。2007年富士重工業株式会社入社。2009年宇都宮大学大学院博士後期課程入学。現在同社エコテクノロジーカンパニークリーンロボットプロジェクトにて清掃ロボット、搬送ロボット等の研究開発に従事。

(日本ロボット学会正会員)



石川和良 (Kazuyoshi Ishikawa)

1999年明治大学理工学部機械工学科卒業。同年富士重工業株式会社入社。トレーラの構造設計、清掃ロボットの開発を担当。2008年宇都宮大学大学院博士後期課程修了。現在同社エコテクノロジーカンパニークリーンロボットプロジェクト担当として、清掃ロボット、搬送ロボット、地雷探知ロボット等の研究開発に従事。日本機械学会会員。(日本ロボット学会正会員)



足立佳儀 (Yoshinori Adachi)

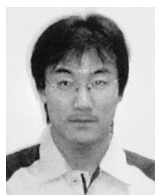
2007年名城大学大学院博士前期課程修了。同年富士重工業株式会社入社。2009年宇都宮大学大学院博士後期課程入学。現在同社エコテクノロジーカンパニークリーンロボットプロジェクトにて清掃ロボット、搬送ロボット等の研究開発に従事。

(日本ロボット学会正会員)



青山 元 (Hajime Aoyama)

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。1999年宇都宮大学大学院博士後期課程修了。富士重工業株式会社戦略本部クリーンロボット部部长として清掃ロボット、搬送ロボット、地雷探知ロボット等の各種ロボットの研究開発に従事。現在同社エコテクノロジーカンパニークリーンロボットプロジェクト上席技師、埼玉工業大学ヒューマンロボット学科教授。博士(工学)。日本機械学会会員。(日本ロボット学会正会員)



関 淳也 (Junya Seki)

2005年宇都宮大学大学院博士前期課程修了。同年富士重工業株式会社入社。2007年宇都宮大学大学院博士後期課程入学。現在同社エコテクノロジーカンパニークリーンロボットプロジェクトにて清掃ロボット、搬送ロボット等の研究開発に従事。日本機械学会会員。(日本ロボット学会正会員)



石村左緒里 (Saori Ishimura)

1995年東京科学電子工業専門学校機械工学科卒業。2008年富士重工業株式会社入社。2009年宇都宮大学大学院博士後期課程入学。現在同社エコテクノロジーカンパニークリーンロボットプロジェクトにて清掃ロボット、搬送ロボット等の研究開発に従事。(日本ロボット学会正会員)

**高橋朝美 (Asami Takahashi)**

1995 年栃木県立宇都宮女子高等学校卒業。2009 年富士重工業株式会社入社。現在同社エコテクノロジーカンパニークリーンロボットプロジェクトにて清掃ロボット、搬送ロボット等の研究開発に従事。

**横田和隆 (Kazutaka Yokota)**

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・カレッジ大学院博士課程修了。1992 年宇都宮大学工学部機械システム工学科助手。1995 年同学科助教授。2002 年同大学工学部附属ものづくり創成工学センター助教授を経て、現在同大学大学院工学研究科循環生産研究部門教授、ものづくり創成工学センター長。PhD。知能移動ロボット、不整地移動脚式ロボット、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、精密工学会会員。

(日本ロボット学会正会員)