

車内清掃ロボットの開発

Development of the Train-Cleaning Robots



北見 公一*



三田 哲也*

At the site of Shinkansen train cleaning, the most advanced technology is being continuously introduced in order to enhance the quality of cleaning work and improve the labor environment related to cleaning work. However, developing such technology according to users' requirements and specifications would be a huge hurdle because of the high development costs and the long timeframes involved. In response, this research has integrated the functionality of obstacle avoidance in commercially available cleaning robots so as to achieve fast and thorough cleaning in train cabins while avoiding obstructions including cabin seats and thus actualized affordable train-cleaning robots with sufficient movement capacity for train cleaning.

●キーワード：清掃ロボット、ルンバ、グランクラス、アルゴリズム

1. はじめに

新幹線の車内清掃の現場では、清掃品質の向上及び清掃業務における労働環境の改善のため最先端技術の導入を進めている。その試みの一つとして、市販の清掃ロボット(iRobot ルンバ)を購入時の状態のままグランクラス車両の車内清掃に試用したところ、掃除機としての清掃能力は十分であったが、停車時間内の清掃完了と座席下等の狭小空間での稼働が求められる車内清掃用のロボットとしての移動能力は不十分であることが判明した。そこで、本研究開発では市販の清掃ロボットに対して、客室内の座席等の障害物を避けながら短時間で客室内をくまなく移動して清掃する機能を開発、付加することで、車内清掃業務で使用するに十分な移動能力を備えた安価な車内清掃用ロボットの実現をめざした。

2. E5系グランクラス車両について

本研究開発にて開発する清掃ロボットの清掃対象箇所は、E5系新幹線車両のグランクラス車両の客室とした。E5系新幹線は2011年3月に「はやぶさ」用車両としてデビューし、10号車にグランクラス車両が連結されている。グランクラスは、特別なゆとりとおもてなしを提供する最上級の新たなグレードの車両であり、本研究開発では車内清掃にも最高品質が求められるこの車両を清掃対象とした。

3. ルンバについて

ルンバはiRobot社製の家庭向けの清掃ロボットである。iRobot社はルンバを制御するための通信プロトコルRoomba 500 Open Interface (OI) を公開しており、それを利用することで、ルンバが持つセンサ値の取得やブラシやモータを任意に動作させることが可能となっている。なお、OIを用いた制御を行う場合、ルンバの通常動作を担うアルゴリズムは無効となる。

4. 試作機の開発

今回、試作機として開発に使用したロボットはiRobotルンバ500シリーズである。ルンバには正面の物体あるいは壁を検知するために、赤外線センサが前面に6つ用意されている。しかし、壁や障害物の色(反射率)によって、同じ距離でもセンサの値が大きく変動し、検知自体が不可能な場合もある。例えば、黒色系の壁に対しては、センサの値は著しく小さな値となり、正しく検知することができない。その対策として、色による差異が少ないセンサを外部に配置した。以下、この節では、初めにマイコン、センサなどハードウェア開発について述べ、次にアルゴリズムなどソフトウェア開発について述べる。

4.1 ハードウェア開発

4.1.1 マイコンおよびセンサの追加

ルンバと通信し制御するために用いるマイコンおよび複数の測距センサを追加した。これは、改造前の清掃ロボットに備わっているセンサの搭載位置からは、座席台座の背面側

の高さが低くこれを検知できないこと、また座席前面側では座席のフットレストの位置が高く検知できないことからである。これらを検知するために、図1、2のようにルンバの下部に2つ、上部に3つの合計5つのセンサを追加した。

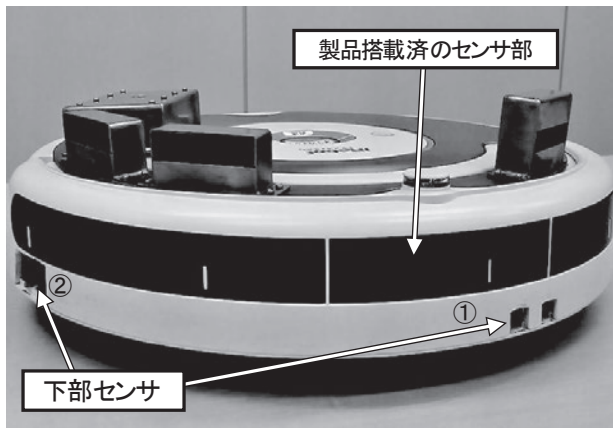


図1 ルンバへの下部センサの追加

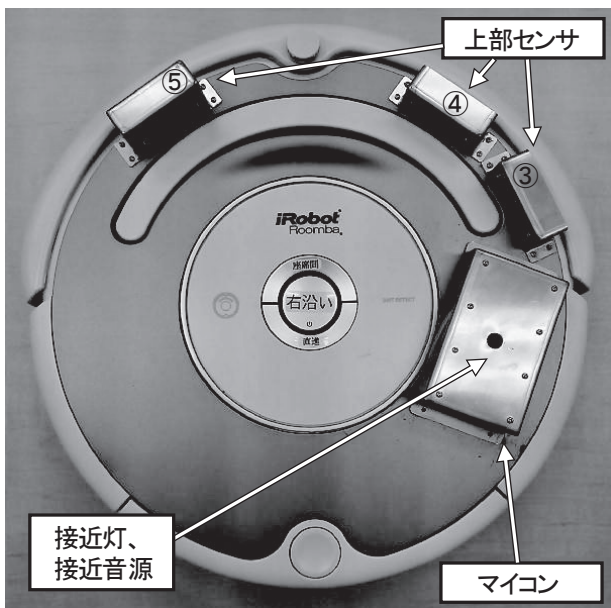


図2 ルンバへの上部センサおよびマイコン等の追加

4.1.2 接近灯および接近音源の追加

車内清掃時にロボット清掃と協業する清掃作業員がロボットの接近を把握できるよう、図2の位置に接近灯および接近音源を付加した。

4.1.3 バーチャルウォールの設置と改良

清掃作業現場では床面のロボット清掃と窓拭き等其他の人間系の作業との協業で行われ、客室内外に作業員がスムーズに出入りできるよう客室扉を開放のままロボット清掃を行う運用が想定されることから、客室出入口からロボットが客室外へ逸走しないよう、ロボット清掃時は客室出入口下にルンバ

に同梱されているバーチャルウォールを設置することとした。なお、バーチャルウォールとは、赤外線の見えない壁を作り出し、実際の壁がない箇所でもルンバの清掃エリアを制限できるルンバ清掃時のアシストツールである。ただし、バーチャルウォールが適切な向きに設置されないと設置者の意図しない箇所まで“見えない壁”の影響が及んでしまい、その場合ルンバが想定どおりの範囲の清掃をしなくなる懸念があるが、特に時間制約のある車内清掃業務においてはバーチャルウォールの設置方向に高い精度を求めることは非常に困難であった。そこで、バーチャルウォールを客室出入口下に設置する際に、容易に適切な向きに設置することができるよう、図3に示すガイド部品を製作してバーチャルウォールに取り付けた。これにより不慣れた作業員でも適切な向きにバーチャルウォールを設置することが可能になった。

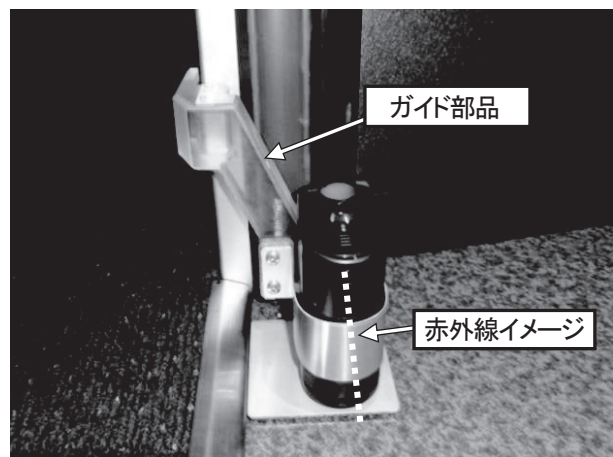


図3 改良したバーチャルウォール

4.2 ソフトウェア開発

4.2.1 周回アルゴリズム

今回、清掃ロボットに客室内を短時間かつ網羅的に清掃させるために、ロボットの右側が客室内の車両内壁と座席台座に沿って周回させることで、図4に示す一筆書きで客室内ほぼ全面の清掃が完了することに着目した。

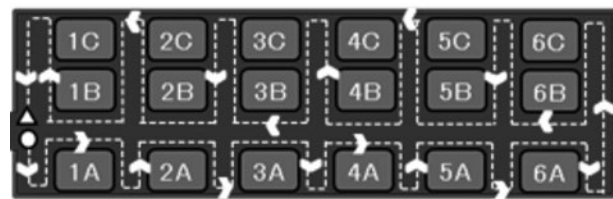


図4 ロボットの周回イメージ

そこで、このような一筆書き清掃が可能となるよう図5のフローチャートを満たすアルゴリズムを開発しロボットに実装した。

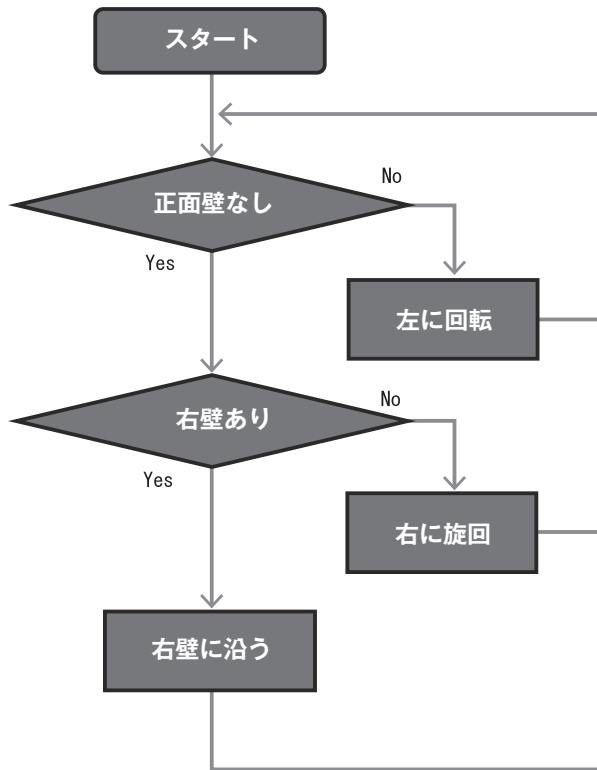


図5 ロボットの周回アルゴリズム

4.2.2 ロボットの周回制御

客室内を右壁沿いに周回させるためのロボット制御は、図1、2で示した追加センサ①～⑤により取得される壁や座席台座との距離情報を図2のマイコンに格納されたソフトウェアにて図5のアルゴリズム処理を繰り返すことで実現している。内部処理としては、壁面や座席前面・側面通過時には図2の主に上部センサを用いて処理を行う上部センサモード、座席背面通過時には主に下部センサを用いて処理を行う下部センサモードにそれぞれモード遷移して処理が行われる。

具体的には、上部センサモードでは、右壁の検知は図2の上部センサ③で行い、一定の距離を保ちながらロボットを動かし、壁に近づくとセンサ値に応じた回転半径で左に旋回させ、壁から離れるとセンサ値に応じた回転半径で右に旋回させる。障害物の検知は上部センサ④にて行い、検知時は座席前面の凹凸に対応するように動作させる。また、正面の壁検知は図1の下部センサ①で行い、検知時は90度程度左に回転させる。

下部センサモードでは、正面の壁検知は図1の下部センサ①にて行い、検知時は90度程度左に回転させる。また、右壁の検知は下部センサ②で行い、一定の距離を保ちながらロボットを動かし、壁に近づくとセンサ値に応じた回転半径で

左に旋回させ、壁から離れるとセンサ値に応じた回転半径で右に旋回させる。

4.2.3 座席間直進アルゴリズムとロボット制御

周回清掃だけでは通路にごく一部ではあるがロボットが通過しない箇所があることから、座席間を直進(図6)するアルゴリズムを開発しロボットに実装した。ロボットの動きとしては、座席間通路の直進から始まり客室出入口に到達すると左に回転して周回へ遷移する流れとした。

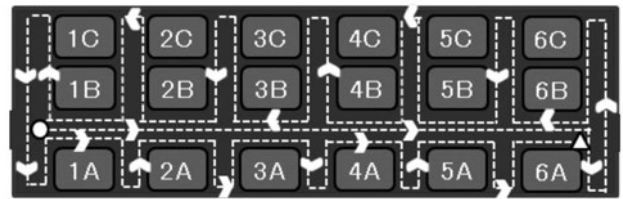


図6 ロボットの座席間直進と周回のイメージ

この際のロボット制御は、図2の上部センサ④、⑤を用いており、ロボットが左右どちらかの座席に近寄った時は座席から離れるよう制御することで座席間の通路を直進する。また、客室出入口付近での直進から周回への遷移では、当初ロボットがバーチャルウォールの赤外線を検知することで遷移するプログラムとしていたが、後に記す運用評価試験において逸走が発生したため、スタート後に座席6列をカウントすると周回へ遷移するプログラムへ変更した。

4.3 移動速度の設定

改造前のルンバの移動速度は300mm/sec程度であった。しかし、限られた時間内に清掃を完了させる必要性から、ロボットの移動速度も清掃能力が低下しない範囲内で向上させることが望ましいため、本研究では、移動速度を350mm/secに設定したルンバについて、元々の300mm/sec程度のルンバとの清掃能力の比較試験を行った。

試験環境として、紙パンチのごみをサンプルとして絨毯にまき、それぞれの速度設定でルンバに清掃させた。図7に清掃前、各速度での清掃後の状態を示す。その結果、ルンバ

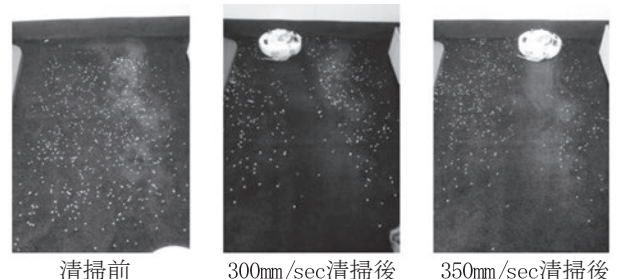


図7 移動速度の違いによる清掃能力比較

が通過した箇所は両速度共に同程度の清掃が行えていることが分かる。なお、ここでは簡易的な実験であったため、実際のごみを清掃する試験を行う必要性も考えられたが、およそ清掃能力はどちらも差異がないと判断し、本研究では清掃ロボットの移動速度を350mm/secに設定することとした。

5. 運用評価試験

清掃ロボットの実運用を踏まえ、ロボットの性能面やロボットと清掃作業員との協業時における支障の検証を主たる目的として運用評価試験を実施した。試験は、清掃会社にご協力いただき、新幹線車両センター内における実際の車内清掃時に開発した清掃ロボットの使用状況に対して評価したものである。試験は約1ヶ月半の期間に一日あたり10回程度の使用ではあったが、以下の各項目について確認ができた。

5.1 性能

5.1.1 移動性能

意図したとおり移動し清掃を完了することがほとんどであったが、バーチャルウォールを検知せずに客室外へ逸走したり、通路の直進中に客室出入口まで到達せずに途中の座席間に入り込んでざりすることがごく稀に発生した。

5.1.2 清掃時間

図6の直進からスタートし客室内一周を周回して清掃完了するまでの時間は概ね5分30秒であった。そのおおよその内訳は、直進部分で約30秒、周回部分で約5分であった。

5.2 清掃作業員との協業

床面清掃をロボットで行うにあたり、通常の床面清掃作業で使用しているハンドクリーナーの使用を取止めた。また、清掃手順は、座席回転の終了後、清掃ロボットをスタートさせ、他の清掃作業と平行して運用する手順とした。また、試験終了後に清掃作業員に対してアンケートを実施した。

5.2.1 清掃時の支障有無

試験中、他の作業中の清掃作業員が清掃ロボットと衝突したりロボットを踏み潰したりといった事象は発生しなかった。また、アンケートにはロボットが他の作業の邪魔になったという声はほとんどなかった。ただ、ロボットの接近音が聞こえづらい、また逆に騒々しいという声があった。

5.2.2 ロボットの運搬

新幹線車両センターでは、所定清掃箇所の前に専用のロボット置き場を用意したためロボットを遠方に運搬する必要はなかったが、作業上の都合により運搬の必要が発生した際には、専用鞆に入れても重いという意見があった。

6. 考察

本研究では、市販の清掃ロボットであるルンバを改造して使用環境に適した機能を付加したロボットを開発することで、ロボットを一から設計、製造する場合に比べ安価なコストで開発することができた。その反面、市販のロボットを活用して開発したことにより、特に足回り等の機械部分は改造元のロボットの性能以上にはすることはできないなど、元々の製品仕様に大きく依存せざるを得なかった。例えば、高精度に制御できるロボットを実現しようとしても、ルンバの機械部分自体が高精度に動作できる設計となっていないため、制御側からロボットに細かい制御指令を与えても、想定どおりに制御できないケースもあった。また、ルンバの個体差もあり、同じ設計で製造した複数台のロボットに対して同一の制御指令を与えても走行の軌跡が同一にならないことがあったが、この原因についても改造元のロボット性能が一因であると考えられる。

7. おわりに

運用試験を通して、開発した清掃ロボットの課題も見えられたが、運用条件が比較的厳しくない現場であれば実使用は十分に可能であることが分かった。清掃時間に余裕のある現場や清掃作業員のサポートが受けやすい現場など、開発した清掃ロボットの特性に見合った現場を選択して使用することが望ましいと考える。