

駅構内清掃ロボットの開発



三田 哲也*



滝山 直樹*

駅構内の清掃作業は、体に負担の大きな作業、危険な箇所での作業、今後の労働力不足のおそれなど、さまざまな課題を抱えており、このような課題を解決するひとつの手段として、清掃業務の支援を目的とした駅構内清掃ロボットの開発に着手した。これまでに、移動機構と清掃機構を備えた1次試作機を製作し、JR東日本の駅型実験施設Smart Station 実験棟において評価試験を行った。その結果、移動機構については自己位置推定機能の付加による精度向上が必要となること、清掃機能については今回の設計で概ね期待どおりの効果を得られることが確認できた。

●キーワード：ロボット技術、清掃

1. はじめに

JR東日本では、駅を快適にご利用いただくため、日々清掃を行い、清潔な駅の提供に取り組んでいる。

駅構内の清掃作業は、体に大きな負担がある作業、危険な箇所での作業、今後の労働力不足のおそれなど、さまざまな課題がある。これら課題への対応として、清掃業務の支援を目的とする駅構内清掃ロボットの開発に着手した。

この開発に至る背景としては、ロボット技術が近年目覚ましい発展を遂げ、実社会での利用に耐えうる技術に成熟したことがあげられる。

ロボット技術には、制御技術、駆動技術、センサー技術、人工知能など、ロボットに関連する多様な技術が含まれるが、各々の技術は必ずしもロボットのみを対象にしているわけではなく、例えば、センサー技術は、ロボットが外部環境を把握するために必要な技術であるが、同技術は、最新の自動車に装備されている衝突回避のための自動ブレーキ機能にも活用されている。このようにロボット技術は、さまざまな製品、産業、研究などと共に進化を遂げており、一定の動作を模倣することや、既存の機器に何かしらの自動的あるいは自律的な機能を付加するという用途において、十分実用的な技術といえる。しかしながら、映画に登場する人型ロボットのように、いかなる環境に適合し、いかなる作業も行える万能ロボットが存在しないのも事実であり、場所や作業内容に応じて最適なロボットを設計する必要がある。本稿では、駅構内において清掃を行うことを目的としたロボットの開発について報告する。

2. 駅構内清掃の現状と課題

駅構内の清掃には、コンコースやホームなどの床清掃、窓や壁などの壁面清掃、天井清掃などがある。

現在の清掃は、自動床洗浄機といった清掃機器の普及により、モップ掛けといった手作業清掃の割合は減少している。しかし、天井や壁のように、清掃機器が無く手作業で対応しているケースや、階段や狭隘箇所のように、重い可搬型清掃機器を持ちながら清掃しているケースなど、体への負担が大きい業務や、場所により危険が伴う業務も残っている。また、清掃は列車の運行が終わり、お客さまのいない夜間に行われることもあり、生活リズムの面でも負担が大きい。



図1 駅構内清掃の様子

今後の労働力の確保も重要な課題である。現在はパート清掃員の補填も含め対応できているものの、少子高齢化の進行に伴い生産人口の減少が続くと、今後確保が難しくなることも考えられ、ひいてはコスト増に繋がることが懸念される。

【清掃の課題まとめ】

- ・体への負担が大きい作業がある。
- ・階段清掃など、危険な作業がある。
- ・夜間作業など生活リズムの面でも負担が大きい。
- ・今後労働力確保が難しくなるおそれがある。

3. 駅構内清掃ロボットの開発

3.1 ロボットの開発目的

第2章に示した駅構内清掃の課題の解決を目的に、清掃を支援するロボットの開発に着手した。具体的には、作業軽減、労働力確保、コストダウンを目的とする。対象は床清掃、特にコンコースの床清掃とした。

お客さまが直接触れることの少ない壁面や天井と比較して、床は汚れやすく、その分清掃頻度も高いことから、清掃ロボットの導入効果が最も期待できる箇所である。床清掃にはコンコース、ホームがあるが、ロボットの落下の危険を考慮し、今回はコンコース清掃を対象としている。コンコース清掃が可能であれば、ホーム清掃も可能であるが、落下を完全に防止するには物理的な壁が必要になることから、ホームドア設置箇所が増えた段階で研究対象とすることになっている。

3.2 コンコース清掃の現状と課題

3.2.1 コンコースの床材

コンコースの床材には、テラゾタイルや磁器タイルなどのタイル類を使うことが多い。駅構内を移動するロボットを考えるうえで重要となる表面形状で大別すると、表面が滑らかで光沢のあるタイプと、表面に凹凸があり光沢のないタイプに大きく二分され、前者の特長は見栄えの良さであり、後者には滑りにくい、傷が目立ちにくいといった特長がある。ホテルやデパートなど、高級感が求められ、かつ利用者の歩行速度が比較的低い箇所では前者が用いられることも多いが、駅のような半屋外環境で、かつ利用者の歩行速度が高い箇所では、後者が用いられることが多い。ロボットの設計においては、滑走しないためのタイヤ素材の選定や、凹凸に足を取られないためのタイヤ径などが設計における注意点となる。

3.2.2 コンコース清掃の課題

コンコース清掃は、ゴミや塵の清掃（除塵）、ブラシなどによる磨き清掃（ポリッシング）、場合によりワックス塗布の順で行われる。どちらの作業も床洗浄機と人による清掃の組み合わせであり、複数の作業者を必要とするが、とりわけ夜間の清掃では、短時間で清掃を完了させるために、さらに多くの人手が必要となり、作業者の確保が難しいケースもある。

床洗浄機にはさまざまなタイプがある。スペックの高いものは除塵、散水、ポリッシング、汚水吸引などのすべての機能を備え、カートのように乗車して取扱うことができるが、2~300万円程度と高価であり、主に広いコンコースを持つ大規模駅で使用されている。そのほか手押し式であったり、単一機能であつたりと比較的安価なタイプもあるが、機能が絞られれば、その分人の作業が増える。また、洗浄機は壁面、自動販売機、ベンチの下など、洗浄機にとっての障害物との接触を避けるために、障害物から数10cm程度の範囲は清掃できない。この範囲については、人がモップやハンドポリッシャーを使い清掃が行われている。洗浄機は100kgを超えることも多く、通常当該駅から運びだして複数駅で使用することは少ない。そのため、駅の清掃面積、格納スペースの有無、費用対効果などの各種条件から、その駅に合った清掃機器を選定している。

①除塵
(搭乗式掃除機)

②洗浄
(搭乗式床洗浄機
:ポリッシャー洗浄)

③洗浄(②でできない箇所を手作業で清掃)



図2 コンコース清掃の手順

【コンコース清掃の課題まとめ】

- ・壁際やベンチ下の清掃ができない
- ・複数の作業者が必要
- ・夜間作業者の確保ができない
- ・機器を複数駅で使用できない
- ・機器が高価

3.3 開発コンセプト

ロボットの開発におけるコンセプトを図3に示す。第2章、第3章でまとめた清掃全体の課題と、コンコース清掃の課題への対応を「ロボットに求められること」と位置づけ、そこから導きだした「小型」、「自律」、「高性能」、「軽量」、「安価」を開発のコンセプトとして、具体的な設計を進めた。

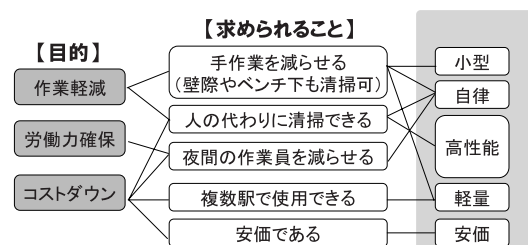


図3 コンセプト

3.4 駅構内清掃ロボットの開発

今回制作した1次試作機の全体像を図4に示す。今回は開発の第1段階として、移動機構と清掃機構を備えたロボットを試作した。今後、自律走行機能を加え、駅構内清掃ロボットの2次試作機を製作する予定である。

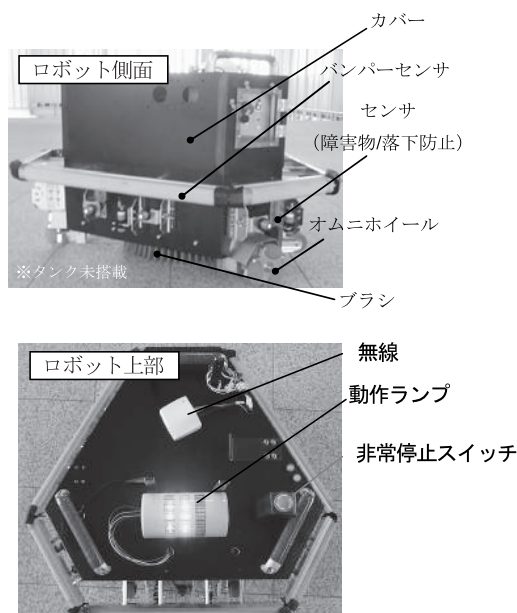


図4 ロボット全体像

1次試作機は、ブラシ回転軸（1軸）、ブラシ傾け軸（2軸）、オムニホイールと呼ばれるタイヤの軸（3軸）の計6軸で構成される。詳細は次項に記すが、1次試作機は3つのオムニホイールをブラシの外側に120°等配に配置しており、全方向移動が可能である。また、筐体の中央部に円形ブラシを備え、回転させることで床を清掃する。操作は2通りあり、1つ目は、ロボットに動きの指示をあらかじめ入力しておく方法であり、もうひとつは、ゲーム用のジョイパッドで直接指示する方法である。

3.4.1 移動機構

1次試作機は3つのオムニホイールを備え、全方向移動が可能としている。オムニホイールとは、図5に示すような全方向移動用車輪である。それぞれが独立の駆動軸を持っており、複数のオムニホイールを連動させることにより全方向移動が可能となる。

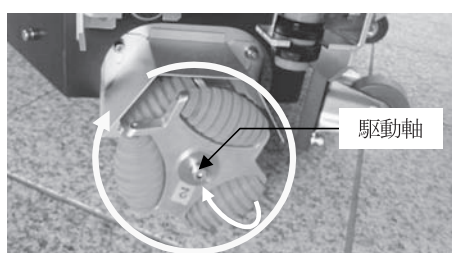


図5 オムニホイール

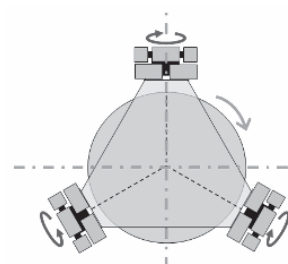


図6 オムニホイール取り付け位置

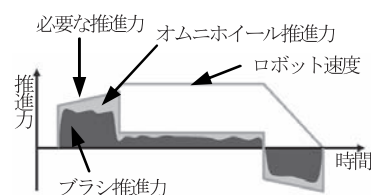


図7 推進力のイメージ

オムニホイールにはさまざまな種類があるが、今回採用したオムニホイールは、駆動軸まわりに等配置した3つの樽（フリーローラー）により構成される車輪を60°ずらして2列繋げたタイプである。オムニホイールを駆動軸まわりに回転させた場合、一方の車輪が接地状態の際に、もう一方の車輪は非接地状態となるが、結果として円が床を転がるのと同等の動きをする。また、駆動軸と平行方向に力をかけた場合は接地している樽が回転し、力の方向に進む。つまり縦と横の両方に進むことが可能であり、このオムニホイールを3つ備えることで、ロボットは全方向に移動できる。

また、清掃に用いるブラシは直交する2方向に傾けることができ、ブラシが回転した状態で、傾け軸の角度を制御することにより、所望の方向に推進力を発生させることができる[1][2]。これはオムニホイールの推進力をブラシの推進力でアシストし、バッテリーの消費を抑えることを目的とした試みである。図7に示すように、必要な推進力を得るにあたり、オムニホイールの推進力とブラシの推進力を調整する必要がある。一方、ブラシと床との間の摩擦力は、ロボット本体を鉛直軸まわりに回転させてしまう作用もあるため、その作用をキャンセルするようなオムニホイールの制御も必要となる。

3.4.2 清掃機構

今回は、ハンドポリッシャーなどでも使われている市販のナイロン製ブラシ（毛の長さ45mm、直径300mmの円形ブラシ）を採用した。このブラシを床面に圧着し、回転させることで清掃を行う。通常の清掃では、事前に床に水をまき、ポリッシングを行い、最後に汚水を回収する工程が必要となるが、1次試作機では、散水とポリッシング機構のみを装備した。汚水回

収機構は、自律清掃機能を備えた2次試作機開発の際に装備する予定である。

ブラシを回転させるブラシユニットは、ブラシ回転軸、ブラシ傾け軸（×2）、およびブラシ押付けバネ機構から成る。ブラシ押付けバネ機構は、ナットの取付け位置を上下に動かすことで、バネの押付け力を0～30kgfの範囲で調節できる。ブラシの押し付け力は清掃能力に影響するほか、ブラシ推進力、オムニホイール推進力にも影響するため、評価試験により最適な押し付け力を把握できるよう調整できる設計としている。

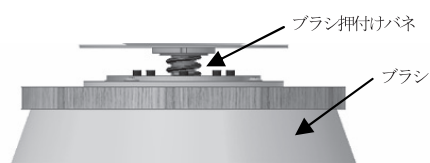


図8 ブラシ押し付けバネ機構

4. 評価試験

JR東日本の駅型実験施設Smart Station 実験棟にて評価試験を行った。試験内容は移動能力評価、清掃能力評価であり、結果は次のとおりである。

4.1 移動能力

4.1.1 移動精度

指令軌道、動作速度、ブラシ回転の有無、ブラシ傾けの有無、水の有無、床面の摩擦状態のそれぞれの場合において走行試験を行った。オドメトリ（車輪の回転角度変位の計測）精度は、条件による有意差は見られなかったものの、走行距離が長くなるほど誤差が蓄積し、精度が悪化する結果となった。これは自律移動機能を追加する際に必要となるロボットの自己位置推定により補正することが可能と考えられる。



図9 移動能力評価の様子

4.1.2 ブラシ推進力の効果

ブラシの傾けによって発生するブラシ推進力を利用した場合、オムニホイール駆動電流が低減されロボット駆動力のアシストに効果は見られたものの、システム全体の電流消費を劇的に減らす効果までには至らなかった。

4.2 清掃能力

動作速度、ブラシ押付け力、床面の摩擦状態を変え、床にまいたコーヒーや味噌などの汚れに対して清掃試験を行った。

通常の汚れ（床に付着し、乾燥した程度の汚れ）では、弱いブラシ押付け力、速い動作速度でも2往復ほどの清掃で落とし切ることができた。一方、重い汚れ（2日間ほど放置した汚れ）においては、特にコーヒーついて、5往復程度の集中的なポリッシングでも落とすことができなかった。しかし、これは一般的な清掃機器でも同様であり、実際の清掃の現場では、汚れにあった洗剤を用いて清掃している。

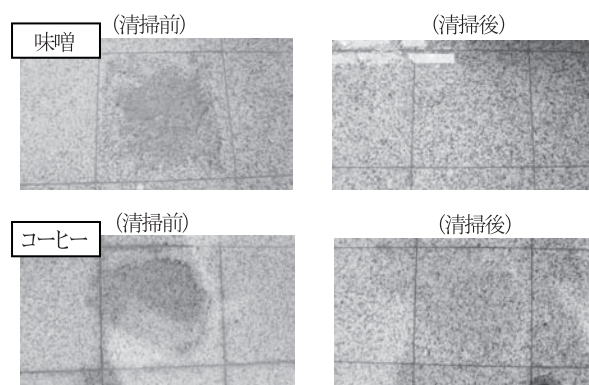


図10 清掃能力評価の様子

5. まとめ

- ・移動機構、清掃機構を備えた駅構内清掃ロボットの一次試作機を制作し、評価を行った。
- ・移動機構については、走行距離が長くなると誤差が蓄積するが、自己位置推定による補正で対応可能である。
- ・清掃機構については、概ね期待した効果が得られた。
- ・今後は、自律移動機能を備えた駅構内清掃ロボットの2次試作機を開発する予定である。

参考文献

- 1) 床磨きロボットの自己推進制御, 降矢, 清弘, 日本ロボット学会誌 Vol.13 No.6 854-859, 1995
- 2) 全方向移動床磨きロボットの非干渉PID制御, 布施, 丹沢, 清弘, 日本ロボット学会誌 Vol.27 No.6 679-684, 2009