

自律型清掃ロボットを開発

T-iROBO[®] Cleaner

加藤 崇

省人化を目的に自動で動作制御を行う自律型清掃ロボット T-iROBO[®] Cleaner（以下「本開発ロボット」という）の開発を行った。一般的な建築現場では作業エリアを三角コーンやコーンバーで区画するケースが多いが、市販の清掃ロボットでは区画を検知できずにコーンバーの下を通過してしまう。そこで、本開発では作業エリアを認識するためにレーザーレンジファインダーを用いて空間の障害物を検出させる。また、床上に粉塵が多く堆積したエリアで清掃ロボットを稼働させると肉眼では認識できない程度の粉塵が空間に舞い、それをレーザーレンジファインダーが障害物として検知する。その障害物を回避するために回転しながら清掃するため重点的に清掃することができる。今回開発した本開発ロボットを用いて現場にて検証実験を行った結果、人が清掃する作業と同等の作業効率となる結果が得られた。このような本開発ロボットは作業の前後だけ指示を送り作業中に作業員が拘束されないため、清掃作業に関わるコストを大きく削減できることが示された。

キーワード：省人化、ロボット、自律制御、ICT

1. はじめに

建設業就業者数の減少により建設ロボット技術の導入による省人化が求められている。また、建設業では、他の業種と比較して長時間労働となっており労働時間の短縮も求められている¹⁾。これらの課題を受け、建設作業では主作業ではないが多くの労力・時間を費やしている「清掃」に着目し、作業時間の効率化（省人化）を図る。

近年、家庭用の清掃ロボットは爆発的に普及しており、建設現場においても清掃ロボットの導入により省人化を図ることが期待される。そこで本報告では建設現場向けに開発した本開発ロボットについて実験的に検討した結果を述べる。

2. 清掃作業の方法別の作業時間と課題

清掃作業の省人化を評価するため、方法別に清掃作業に要する時間について比較する。代表的な清掃作業として①ほうき②掃除機③家庭用清掃ロボットを使用した場合についてそれぞれ評価する。実験では、同一面積（12 m²：4 m × 3 m）に珪砂 6 号を約 1 kg 撒き作業効率を求める。「ほうき」は人がほうきを使用して最後に塵取りで回収するまでの時間、「掃除機」は全て掃除機で回収するまでの時間、ロボットは全て回

収するまでの時間とする。手法別の清掃時間を表—1、清掃状況を図—1にそれぞれ示す。これらの結果より、「ほうき」と「掃除機」では作業効率は 0.4 分/m² となる結果を得た。両手法とも人が判断して清掃を行うため作業精度や効率は良いが、ほうきの場合の作業効率は作業面積に応じて体力の観点から作業が長時間に及ぶ場合には低下するものと考えられる。一方、「ロボット」では、作業効率は 4.7 分/m² となる結果が得られた。なおこの時のロボットの移動速度は、平均 1.1 km/h 程度である。家庭用清掃ロボットでは粉塵等の量が多いと一度の清掃では全てを回収できないため、同一箇所を繰り返し清掃する必要がある

表—1 方法別の清掃時間

手法	作業効率	精度	作業員	備考
①ほうき	0.4 分/m ²	○	拘束	要体力
②掃除機	0.4 分/m ²	○		要電源
③ロボット	4.7 分/m ² ~ 1.3 分/m ²	△	開始前後	ゴミの量に依存



図—1 手法別の清掃状況

図—1 手法別の清掃状況

作業効率が著しく低下した。なお、ゴミの量を少なくして同様の検証を行った結果、作業効率は1.3分/m²まで短縮できる結果を得た。

下記に本検討で用いた家庭用清掃ロボットの課題をまとめ、これらの課題を本システムでは克服する。

- ・ゴミを回収するホッパーの容量が2.6Lと小さい。建築現場のようなゴミの量が多い場合は回収したゴミを交換する作業が必要となり省人化に繋がらない。
- ・清掃できる幅が20 cm程度であるため、広範囲の清掃には不向きである。
- ・ロボットに設置されているサイドブラシの押しつけ強度が弱いため、壁面から10 cmの幅でゴミを回収できない。
- ・床面に釘やビス等の小さな障害物が落ちていた場合、乗り越えられず異常停止する。

さらに、一般的な建築現場では、区画エリアを図-2に示す三角コーンやコーンバーで仕切ることが多いが市販の清掃ロボットでは区画を認識できずコーンバーの下を通過してしまうためエリアを決めて清掃することが困難である。



図-2 建築現場の一般的な作業環境

3. プロトタイプ構築に向けた基礎検討

(1) ベースマシンとバッテリー容量

省人化を実現するためには夜間や休憩時間を中心に無人で清掃作業を行う必要があり、長時間の連続運転が望まれる。建築現場向けに市販されている図-1(b)に示す掃除機では吸引能力は高いが消費エネルギーが1050 W程度と大きく、多くのバッテリーを消費し長時間の連続運転は現実的ではない。そこで建築現場の清掃作業で一般的に用いられるスイーパーをベースマシンとして検討する。スイーパーは人がスイーパー自体を後方から押し進めることで内部ドラムを回転させ粉塵等を回収するものが多く用いられるが、今回ベースマシンとして検討する図-3に示すスイーパーは移動制御は人力であるがバッテリー搭載式で内部にあ



図-3 バッテリー搭載式スイーパー

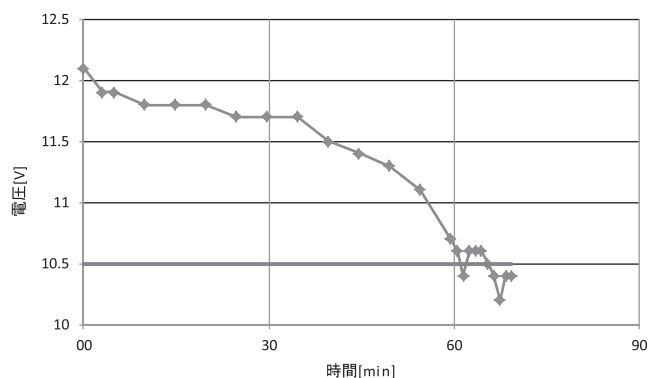


図-4 動作時間と電圧の関係

るドラムをモーターで回転させてゴミを効率良く回収するタイプである。このタイプのスイーパーは吸引型の掃除機と比較して消費エネルギーが150 W程度と省エネである。

本開発ロボットに搭載するバッテリー容量を評価するため、実験的にスイーパーの動作時間と電圧の関係を求める。測定した結果を図-4に示す。横軸が時間 [分]、縦軸が電圧 [V] を表している。本検討では容量が12 Ahの鉛バッテリー (12 V DC) を使用する。清掃作業開始前は12.1 Vを示していたが、作業とともに電圧が減少し60分経過後に10.5 Vとなり電池切れのサインが点灯した。この際、内部ドラムやサイドブラシの動作電流は約11.7 Aであり、ほぼ計算通りとなる結果を得た。夜間から早朝にかけて連続稼働させる場合、バッテリー容量は140 Ah以上必要であることが示された。

(2) 移動制御アルゴリズム

家庭用清掃ロボットの動作パターンを参考に本開発ロボットでは図-5に示す3種類の移動とする。①壁に沿う移動パターンと②直進移動するパターン③壁やコーンバー等の障害物を回避移動するパターンの組合せとする。

壁に沿う移動パターンは、本開発ロボットに距離センサーを設け、壁との距離を一定に保つようにフィードバック制御を施す。なおサイドブラシが右側に設置され

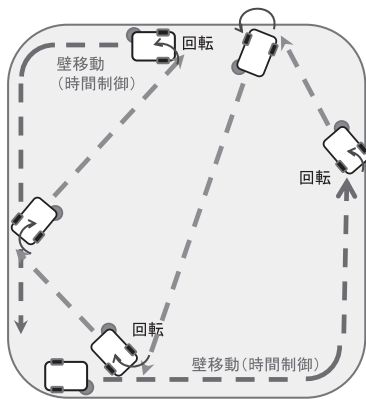


図-5 移動制御パターン

ているため、このパターンのみ反時計回りで移動する。

障害物を検知した場合の回避するための回転量は、90度～180度の範囲でランダムに回転する。その際、回転方向は障害物の入射方向に対して鈍角となるように設定し、回転後にロボットが通過できるスペースがあることを認識してから回転を行う。進行方向に2cm以上の段差が存在する場合は障害物として認識し、後進して回避する。

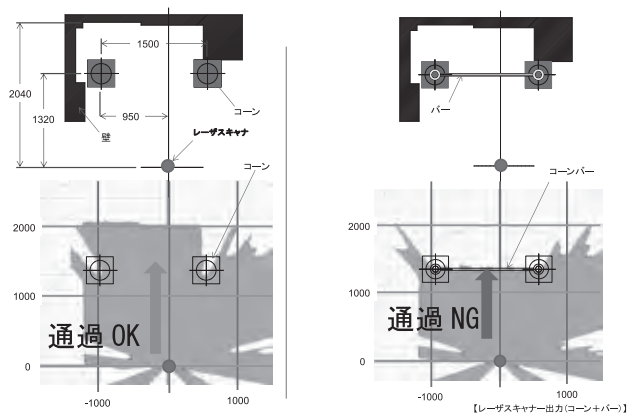
(3) 障害物検知システム

建築現場では作業エリアの区画を図-2に示す三角コーンやコーンバーで表示することが多く、それらを正確に検知できる必要がある。本開発ロボットでは周囲との距離を正確に計測して障害物を検出するために表-2に示すレーザーレンジファインダーを用いる。これにより最大検出距離は10m、検出範囲は270度の横断面を把握することが可能であるため、回転時の進行方向の状況を把握することができる。

表-2 レーザーレンジファインダーの仕様

項目	仕様	項目	仕様
検出距離	0.06 m ~ 10 m	走査時間	25 msec
走査角度	270 度	角度分解能	0.25 度
ステップ数	1081	安全規格	クラス 1
大きさ	W50 mm × D50 mm × H70 mm		

実験的にレーザーレンジファインダーを用いて、(a)三角コーンおよび (b) 三角コーンとコーンバーの場合の応答結果を求める。その結果を図-6に示す。ただしレーザーレンジファインダーはコーンバーと同一の高さに設置している。図中の上図が平面における位置関係、下図がレーザーレンジファインダーの応答結果である。レーザーレンジファインダーで計測すると、0.25度ごとに障害物までの距離が求められる。(a)



(a)三角コーン (b)三角コーンとコーンバー

図-6 レーザーレンジファインダーの応答結果

の結果より、2個の三角コーンを認識できておりこの間は障害物が無いため通過しても良いと判断していることがわかる。一方(b)の結果より、三角コーンにコーンバーが設置されるとコーンバー全体を障害物として認識するため通過できないと判断していることがわかる。この判断アルゴリズムを利用することにより、建築現場特有の区画エリアを正確に認識できる結果を得た。しかし、コーンバーの位置にレーザーが正確に照射されないと認識できないため、確実に34mm径のコーンバーにレーザーを照射できるシステム構築が必要となる。そこで本開発ロボットではレーザーレンジファインダー自体をステッピングモーターで縦回転させ、三次元的に障害物を検知させる。

(4) 汚れ検知システム

清掃エリアの中が万遍なく汚れているケースは少なく、部分的に塵埃等が多く堆積することが多い。そこで効率的に清掃を行うためには汚れている部分を認識して重点的に清掃する必要がある。人は視覚的に汚れ状況を判断して作業するため効率良く行うことができるが、清掃ロボットに汚れを判断させるためには映像情報からの判断が必要となる。しかし塵埃等を映像情報から判断させることは非常に困難である。そこで本開発ロボットでは粉塵が多く堆積している部分でサイドブラシを回転させると肉眼では認識できない程度の粉塵が舞うことを利用し、レーザーレンジファインダーでその粉塵を障害物として認識させる。その際、清掃ロボットは粉塵を回避する方向に回転するため、浮遊した粉塵が安定するまで重点的に清掃する。これを実験的に検証するため粉塵量を変化させて障害物として認識する粉塵量を明確にする。実験状況を図-7に示す。粉塵量は、1m × 1mの範囲に珪砂を10g ~ 100gをそれぞれ均等にまいている。この結果30g

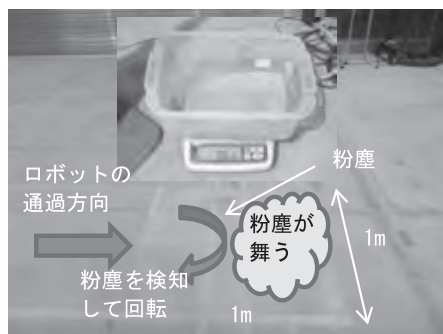


図-7 汚れ検知システムの検証

(肉眼で粉塵の存在がわかる程度)以上の粉塵量の場合はその周辺を集中的に清掃する結果を得た。

4. プロトタイプの様

構築したプロトタイプの様を表-3, 外観を図-8にそれぞれ示す。駆動系の制御はタブレット型のPCを採用し, 図-9に示す制御画面で操作するものとする。清掃時はランダム動作を行うが, 移動時にマニュアル操作できるように前後左右に移動できる様とする。

(1) 現場における実験的検証

建築現場において実験的に清掃ロボットを導入し作業効率を検証する。検証状況を図-10に示す。これより, 作業効率は人の場合は0.4分/m², 本開発ロボットの場合は1.2分/m²でありロボットの方が作業効率は低下する結果が得られた。ただし, 入隅部の20cm

表-3 プロトタイプの様

項目	仕様	項目	仕様
電圧	12V DC	移動速度	1 km/h
使用電流	14 A	バッテリー容量	160 Ah
稼働時間	9 h	総重量	76 kg
ホッパー容量	35 L	ブラシ幅	400 mm
大きさ	W610 mm × D830 mm × H790 mm		



図-8 プロトタイプの外観



図-9 プロトタイプ制御画面

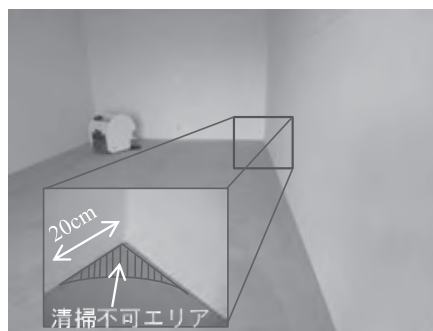


図-10 現場における実験状況

程度のエリアにはサイドブラシが届かず清掃を行うことができないため一部は人が行う必要があるが, 本開発ロボットは作業の前後だけロボットに指示を送り作業中に作業員が拘束されないため, 清掃作業に関わるコストを大きく削減できることが示された。これまでの清掃作業は必要に応じて作業員が行ってきたが, 本開発ロボットの場合は施工作业を行っていないエリアや, 施工作业に影響を及ぼさないエリアを中心に常時動作させることも効果的であることが示された。

5. おわりに

省人化を目的に自動で動作制御を行う本開発ロボット T-iROBO[®] Cleanerの開発を行った。従来, 人が行った清掃作業を同等の時間でロボットが作業できることが示され省人化が図れる結果を得た。今後は, さまざまな現場において本開発ロボットの運用検証を行い, 2018年度を目標にリリース展開していく予定である。

JCMIA

《参考文献》

- 1) 日本建設業連合会, 建設業ハンドブック 2015, P18, 2016

【筆者紹介】

加藤 崇 (かとう たかし)
大成建設(株)
技術センター 生産技術開発部
課長

