

S151021

**移動ロボットによる施設内の巡回警備  
(単一固定測域センサによる走行中の障害物検知と防火扉の開閉領域検査)**

谷垣 絢太<sup>\*1</sup>, 大矢 晃久<sup>\*2</sup>

**Indoor Patrolling Using a Mobile Robot  
(Obstacle Detection and Fire Door Inspection Using Single Fixed LRS)**

Kenta TANIGAKI<sup>\*1</sup> and Akihisa OHYA<sup>\*2</sup>

<sup>\*1\*</sup><sup>\*2</sup> Intelligent Robot Lab., Univ. of Tsukuba  
Tennodai 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki, 305-8573 Japan

This paper describes about the navigation system and the system that confirms whether there is an object to hinder the opening and closing of the fire door by using single fixed LRS (Laser Range Sensor). Our approach is to (1) give the map to the robot about the open-close area of the fire door beforehand and patrol indoor environment by meandering which allows to recognize surroundings in 3D and helps to avoid obstacles, (2) confirms if there is an object to hinder opening and closing of the fire door by checking if the ranging data taken from LRS in an open-close area exists. The basic experimental result shows it is possible to navigate the robot to the fire door and detect the obstacles which hinder opening and closing of the fire door.

**Key Words** : Security Guard Robot, LRS

## 1. 結 言

### 1・1 研究背景

凶悪な事件が後を絶たない昨今、人々の警備に対する関心および警備の需要は年々高まっている<sup>(1,2)</sup>。より効率的な警備を実現するにあたって、解決すべき問題が二つある。一つは、警備業務は危険と隣り合わせであるため、警備員の命が危険に晒されるという点で、もう一つは、夜間の巡回警備等のルーチンワークを人間が行うと負担が大きいという点である。これらの問題を解決する方法として、人間の代わりに警備業務を行うロボットの開発が考えられる。もし建物内部に常駐し自律的に警備業務を行うロボット（以降、警備ロボットと表記）が実現可能ならば、上記の問題を解決でき、さらに不法侵入、強盗、傷害といった犯罪に対する抑止力としての効果も期待できる。

### 1・2 先行研究

現在、多くの警備ロボットが開発・研究されている。セコムロボットXは、屋外を巡回移動できる監視用ロボットである<sup>(3)</sup>。このロボットの最大の特徴は、人間と同じように俊敏に動ける運動性能である。普段の巡回時は人間が歩く速度である4[km/h]程度で自動走行を行うが、不審者を発見した時など緊急時は現場に急行するために、人間が走る速さ並みの10[km/h]まで速度を出せる。また、不審者の撃退としてヘッドライトによる光の威嚇、操縦者の声をダイレクトに伝える音声威嚇、そして白煙装置による煙を使った威嚇などがあり、搭載してあるカメラにより不審者の映像を記録することも可能である。

リボークQは、一般の人々が生活する空間の中で業務を行うサービスロボットであり人と連携する機能が充実している<sup>(4)</sup>。火災・漏水を発見し館内防災センターに通報し、侵入者を発見した際は光や音声により威嚇することも可能である。また、顔認識機能として特定人物を発見・通報する機能があり、画像の記録も可能である。巡

<sup>\*1</sup> 非会員、筑波大学（〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1）

<sup>\*2</sup> 正員、筑波大学

E-mail: tanigaki@roboken.esys.tsukuba.ac.jp

回中に重点的に監視したい場所の静止画を撮影し巡回後にまとめて確認する機能もある。

これらの研究では、人間の代わりにロボットが不審者の発見・撃退や映像の記録など様々な警備タスクを行っているが、まだ実現できていない警備タスクも多い。その中の一つに、防火扉の開閉を妨げる物体の確認という業務がある。そこで、本研究では、施設内をロボットが巡回し、防火扉の開閉を妨げる物体を確認するシステムについて提案する。

### 1・3 研究目的

研究の目的は、施設内の巡回警備業務の一部を警備ロボットに代替させることである。そこで、数ある警備業務の中で、まずは防火扉の開閉の妨げになる物体をチェックするシステムを開発することとした。先行研究で記した通り、開発されている警備ロボットはいずれも異常検知や走行障害物の検出・回避を、複数のセンサを使用することで実現している。しかし、ロボットは高価であり低コスト化を実現するためにはなるべく一つのセンサで複数のパフォーマンスを行えることが望ましいと考えられる。そこで、本研究では施設内を障害物回避しながら巡回する機能と、防火扉の開閉を妨げる物体を検出する機能を、一つのセンサのみを使用して実現するシステムの開発を行った。

## 2. 防火扉の開閉を妨げる物体をチェックするシステム

### 2・1 システムの概要

防火扉の開閉の妨げになる物体をチェックするシステムについて述べる。まず、建物内の巡回を開始する。ロボットが防火扉の前まで移動したとき、防火扉の開閉を妨げる物体があるかどうか確認する。もし物体が確認された場合は、その物体周辺の写真を撮り画像を監視センターへ送信する。そして警備員がその画像を確認することで対処する。すべての防火扉の確認が終了するまで、巡回を繰り返す。実際、防火扉の開閉領域にはドアストッパーやダンボールなど様々な大きさ・形の物体があることが想定される。防火扉は完全に閉まらないと役に立たないため、これらの物体の存在を正しく検出する必要がある。

本研究では、移動プラットフォームとして図1に示す独立二輪駆動の車輪型移動ロボット「山彦」を使用する。「山彦」は、マイクロプロセッサでモータ制御を行い、ラップトップPCでロボットの走行制御を行う。また、防火扉の開閉を妨げる物体や障害物の検出には北陽電機社製の測域センサURG-04LX (LRS) を使用する。測域センサは地面から26.5[cm]の位置に測定面が床面に対して垂直になるように取り付け、取得したセンサデータは搭載したラップトップPCで処理する。

### 2・2 物体検出方法

本稿では扱っている空間全体の座標をグローバル座標（以降、GL座標と表記）と定義する。図2のように、GL座標からみて防火扉の回転軸上の座標点、防火扉が開いている状態での扉先端部の座標点、防火扉が閉じている状態での扉先端部の座標点、の3点と防火扉の高さから、防火扉が開閉するときの可動領域（以降、開閉領域と表記）を設定する。物体の検出は、縦向きに取り付けたセンサを使ってロボットを開閉領域内の所定の位置でその場で回転させながら測距データを3次元的に取得することで行う。このとき、設定した開閉領域内に測距データが存在した場合、防火扉の開閉を妨げる物体があると判断する。

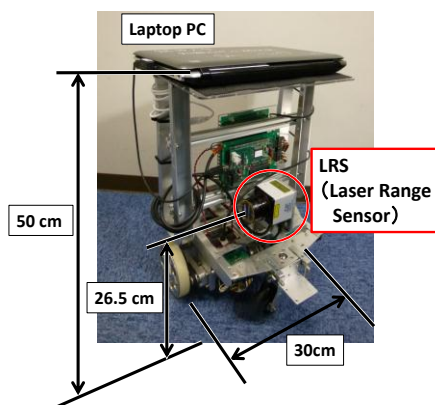


Fig.1 Mobile robot platform "Yamabico"

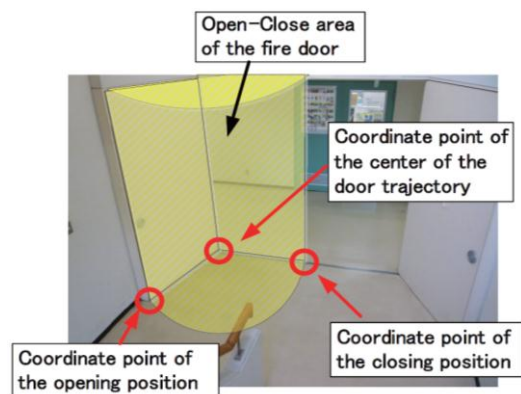


Fig.2 Open-close area of the fire door

### 3. 施設内の巡回

#### 3.1 蛇行移動の実装

本研究ではロボットが蛇行移動することでロボットの走行経路上にある障害物を確実に検知・回避し施設内の巡回を測域センサー一つで実現する(図3)。前述したような縦向きに設置したセンサを使用することで、ドアストッパーのような小さい障害物から机のような大きい障害物まで様々な高さの障害物を検知することが可能となる(図3-I)。しかし、ロボットには幅があるのでそのまま直進すると障害物にぶつかってしまう。この対策として、センサに回転機構を取り付け周囲環境を3次的に認識し、ロボット前方の障害物を検知することが考えられる<sup>6)</sup>。しかし、回転機構を必要とせずにロボット前方の障害物の検知を実現できるのであれば、低コスト化につながる。そこで、本研究ではロボットが蛇行移動させることでロボットの幅分、すなわちロボットの走行経路上にある障害物を検知することにした(図3-II)。このようにロボットを蛇行移動させることでロボットに固定した測域センサを振り、周囲環境を3次的に認識することで障害物回避をしながら施設内を巡回する(図3-III)。

#### 3.2 ウェイポイント追従による巡回

本研究では、図4に示したように施設内の巡回をあらかじめGL座標上で定義したウェイポイントを結んだ線に沿って蛇行移動することで行う。巡回は、まず(1)ロボットがその場で0[deg]から180[deg]まで回転してロボット前方に障害物があるか確認する。その後、(2)次のウェイポイントに向かって蛇行移動する。(3)ウェイポイントに到達したら次のウェイポイントに向かってロボットを旋回させる。(1)から(3)の処理を目的地のウェイポイントまで繰り返すことで、施設内の巡回を障害物回避しながら行う。

#### 3.3 障害物の検知方法

障害物の検知は、次のウェイポイントに向かってロボットが蛇行移動するときのロボットの幅分を考慮した領域(図5、以降走行領域と表記)かつ床面からロボットと同じ高さまでに測距データが存在した場合、障害物が存在すると判断することで行う。

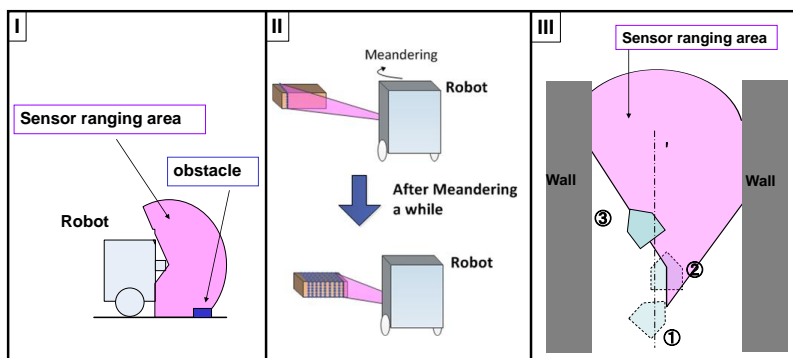


Fig.3 Recognition of environment three-dimensionally by meandering

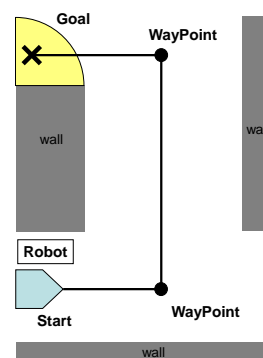


Fig.4 WayPoint Navigation

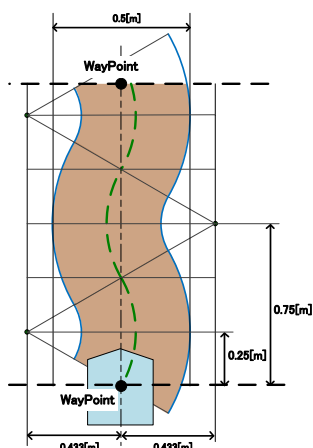


Fig.5 The area to detect obstacles

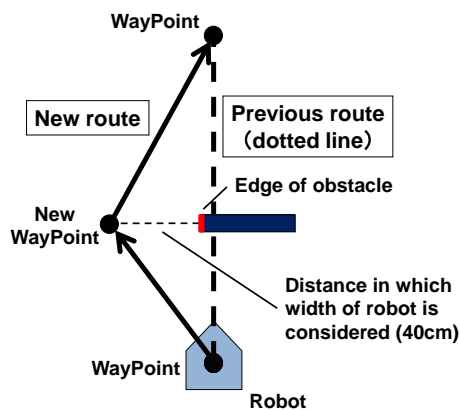


Fig.6 Detail of obstacle avoidance

### 3・4 障害物の回避方法

図6に障害物の回避方法を示す。障害物を検知した場合、まずロボットを停止させる。そしてロボットがその場で±90[deg]回転しながら測距しそのデータを2次元平面上に落とした後、測距データをクラスタリングする。クラスタリングには最短距離法という、複数のデータがある中である閾値以下にある2点を同じクラスタに併合していく方法を用いている(閾値は200[mm]に設定)。ここで、クラスタリングした測距データの中で、走行領域内に存在する測距データを含むクラスタを障害物とする。そして、障害物として判定されたクラスタに対して、現在ロボットがいる位置から角度が最大となるような位置にある2点(クラスタのエッジ点)を求める。求めたエッジ点のうちどちらが現在走行中のウェイポイント間を結ぶ線(図7の点線)に近いかに計算し、近いエッジ点からロボットの大きさを考慮した距離(今回は40[cm]とした)離れた位置に新しいウェイポイントを追加し、新しいウェイポイントに向かってロボットを旋回させる。後は、前述した通り周辺環境に障害物がないことを確認した後、蛇行移動させる。この処理を繰り返すことで障害物回避しながら施設内を巡回する。

## 4. 実験

### 4・1 施設内の巡回と開閉領域検査実験

提案した手法で、施設内を障害物回避しながら巡回し、物体検出が行える防火扉の開閉領域の所定の位置まで移動可能か実験した。実験の方法は、提案した手法で全長9mのコースにおいてロボットの走行経路に障害物がある場合とない場合の2パターン用意し、ロボットが防火扉の所定の位置まで移動し防火扉の開閉を妨げる物体を検出できるか確かめた。なお、両パターンにおいて防火扉の開閉を妨げる物体としてダンボールを使用した。図7に、実験時に取得したオドメトリ値と測距データ、事前に設定したウェイポイントと開閉領域を俯瞰した図を示す。実験の結果、両パターンにおいてロボットは防火扉の所定の位置まで移動し、開閉を妨げる物体を検出することができた。この結果から、提案手法の有効性を確認することができた。

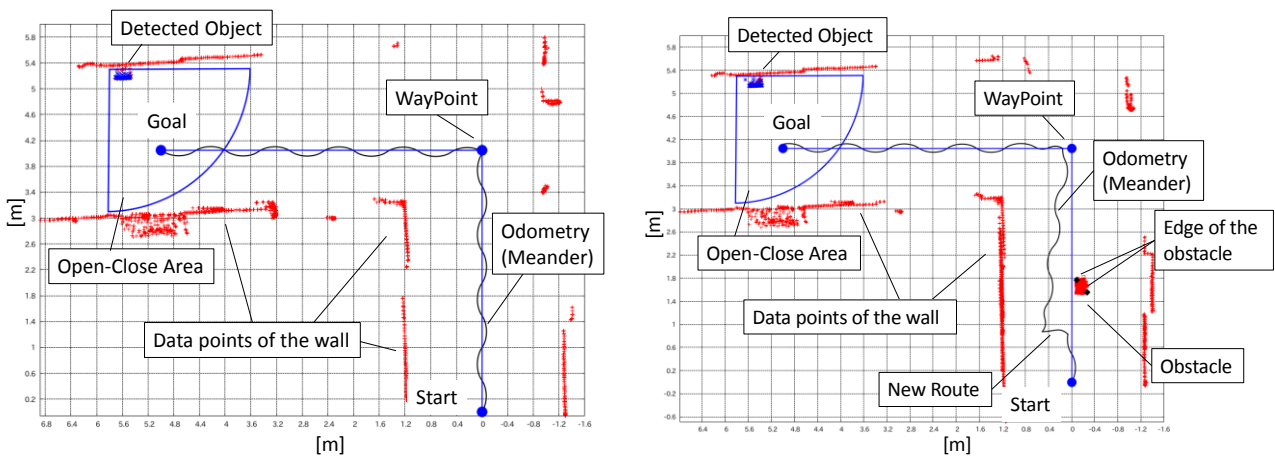


Fig. 7 Indoor patrolling and fire door inspection (left: no obstacle, right: obstacle)

### 4・2 防火扉の開閉を妨げる物体の検出実験

提案した手法で、身近で形や大きさが様々な物体を検出できるかどうか実験した(図8)。検出対象物はダンボール、ドアストッパー、椅子、台車である。実験の方法は、開閉領域内の所定の位置でロボットを回転させながら測距し、開閉領域内に測距点を確認できた場合はPCの画面上に×を、確認できなかった場合は○を表示させることで、ロボットが物体を検出したかどうか確認する。また、ロボットは防火扉から1.2m離れた位置に、検出対象物は防火扉と隣接するように設置した。

実験の結果、ドアストッパー以外の物体を検出することができた(表1)。この実験から、ダンボールや椅子など比較的サイズの大きい物体は検出することが可能であったがドアストッパーのように小さな物体を検出することができなかった。この原因としては、ロボットとドアストッパーとの距離が遠かったため、点群の密度が低くなってしまったため、うまく検出することができなかったと考えられる。この問題に対して、ロボットと検出対

象物との距離が離れている可能性がある開閉領域では、1 箇所だけではなく複数箇所でも物体検出手法を用いることで検出することが可能だと考えられる。

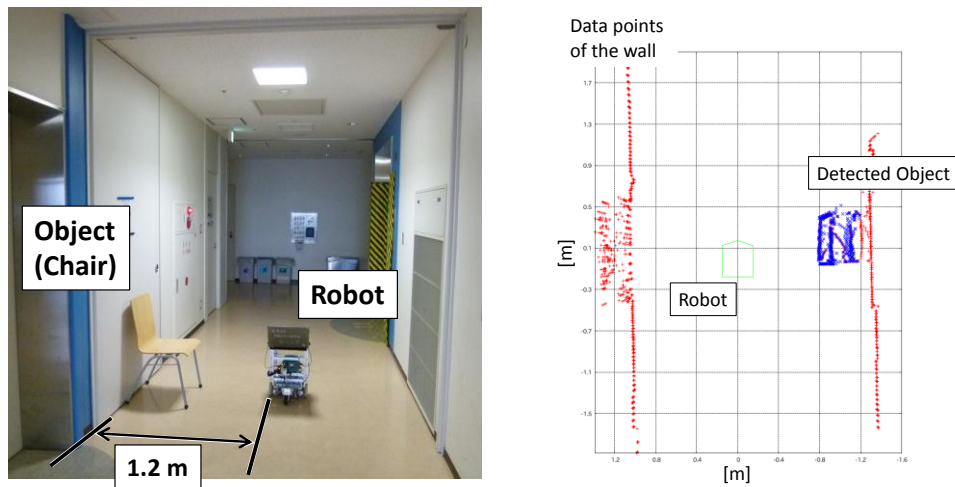


Fig.8 Experimental environment of object detection and its data

Table 1 Experimental result of object detection

Object	Size [cm]	Result
no-object	-	○
cardboard	21 : 21 : 19	×
chair	45 : 42 : 83	×
doorstopper	13 : 12 : 3	○/×
hand truck	48 : 74 : 85	×

## 6. 結 語

本稿では、ロボットに固定した単一の測域センサのみを用いて施設内を障害物回避しながら巡回し、防火扉の開閉を妨げる物体を検出する手法を提案し、実験よりその有効性を確認した。今後の課題としては、最適な蛇行経路の検討や、取得した測域センサの測距データの情報をもとにオドメトリのズレを修正することなどが挙げられる。

## 文 献

- (1) 総務省統計局, “平成 16 年サービス業基本調査統計表”, 2005.
- (2) 松日楽信人, 小池秀樹, “先端技術をリードするホームロボットの開発動向”, 東芝レビュー, Vol.59 No.9, pp2-8, 2004.
- (3) セコム株式会社, “屋外巡回監視ロボット セコムロボット X”,  
入手先<[http://www.secom.co.jp/corporate/release/2005/nr\\_20051006.html](http://www.secom.co.jp/corporate/release/2005/nr_20051006.html)> [入手日 2010 年 7 月 6 日]
- (4) 総合警備保障株式会社, “巡回警備ロボット Reborg-Q”, 入手先<[http://www.alsok.co.jp/corporate/robot/reborg\\_q.html](http://www.alsok.co.jp/corporate/robot/reborg_q.html)>  
[入手日 2010 年 7 月 6 日]
- (5) 松本光広, 吉田智章, 小柳栄次, 川田浩彦, 嶋地直広, 大矢晃久, 油田信一, “回転式揺動機構による測域センサの三次元化”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2008 講演論文集, 2P1-G17