

# 自律移動ロボットによる横断歩道の押ボタン操作

## Pedestrian Push Button Operation by Autonomous Mobile Robot

本地 正弥 (筑波大) ○正 大矢 晃久 (筑波大)

Masaya HONJI, University of Tsukuba

Akihisa OHYA, University of Tsukuba

This paper describes a method of operating a pedestrian push button existing on a pedestrian crossing for an autonomous mobile robot. In this research, we constructed the system, designed and experimented the button pressing action, and evaluated the operation success rate against the road condition and the sunshine condition.

**Key Words:** Mobile Robot, Crosswalk, Pedestrian Push Button

### 1 はじめに

近年、自律移動ロボットの研究が盛んに行われている。自律移動ロボットの研究が進む中で、屋内だけでなく、屋外やより多くの環境で自律移動を行うロボットの活躍が期待されている。こうした屋外を走行する自律移動ロボットの応用として、道案内や、郵便物などの配達、通学する児童の見守りなどがあげられる。自律移動ロボットが屋外を走行する際には、歩道を走っていることが多く、経路上にロボットが走行するためにボタンを押す動作が必要な場合が考えられる。例えば、図1に示すような歩行者用押しボタンが存在する横断歩道を渡る際には、ロボットがそのボタンを押さない限り信号が変わることはなく、ロボットが横断歩道を渡ることができない。ロボットが横断歩道の歩行者用押しボタンを押すことができれば、屋外を走行するロボットの行動範囲が広がり、より広範囲に移動することが出来ると考えられる。しかし、横断歩道にある押しボタンの配置は場所により異なり、押しボタンボックスの取り付け高さや向き、地面の勾配などを考慮する必要がある。

本研究では、上述のような自律移動ロボットが歩行者用押しボタンを押す必要がある横断歩道を渡れるようにするための方法の提案と提案した方法がどの程度有効であるかを検証を行う。横断歩道にある歩行者用押しボタンは様々な環境に存在し、地面の状態や、押しボタンの取り付け高さが異なるため、こうした環境にある押しボタンを押すことが出来るかどうかの検証を行う。

### 2 関連研究

横断歩道にある歩行者用押しボタンを押す研究に関してはすでに存在している。Chandら [1] は、歩行者用押しボタンに対して、ロボットの上部に棒をロボットの進行方向に対して平行に取り付けボタンを押す動作を行っている。この方法では、ロボットの正面にあり、かつ、棒を取り付けた高さにある歩行者用押しボタンを押すことが出来ないと考えられる。また、移動ロボットにマニピュレータを取り付けることによって可能な動作を増やす研究 [2] がされている。永谷ら [3] や Klingbeilら [4] はエレベータの押しボタンに対するアプローチとしてマニピュレータを用いている。マニピュレータを用いることで、エレベータを昇降させるためにある多数のボタンの中から目的のボタンを押すことができていた。しかし、これらの押しボタンは歩行者用の押しボタンは形状が異なり、ボタンを押すのに必要な力が違うため、同じようなアプローチでボタンを押すことが出来るかどうかは検証されていない。

これらの研究に対し本研究では、様々な環境に存在する歩行者用押しボタンに対して有効なアプローチ方法を提案する。提案したアプローチ方法を用いて実験を行い、有効性を検証する。

### 3 方法

#### 3.1 問題設定

本研究では、屋外を走行する移動ロボットは走行に必要な障害物やランドマークを含んだ地図を持っていることを想定する。この地図には歩行者用押しボタン向きや角度などの位置情報が入

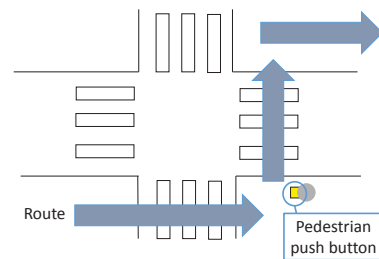


Fig.1 Environment with pedestrian crossing

っており、移動ロボットは自己位置推定をしながら歩行者用押しボタンの手前 1m 周辺まで移動することが可能である。また、ロボットと歩行者用押しボタンの間にロボットが移動できないような障害物が存在しないことを想定する。

#### 3.2 歩行者用押しボタン

歩行者用押しボタンは横断歩道の近くに存在し、場所により取り付けてある場所や高さ、向きが異なる。歩行者用押しボタン自体は多くが同じ大きさ、種類のもが使われている。図2に歩行者用押しボタンの例を示す。歩行者用押しボタンボックスは幅 12cm、高さ 14.5cm であり、地面から約 90cm~105cm の位置にある。黄色の部分の中に赤いスイッチがついているものが多い。スイッチは直径 2.4cm である。本研究では黄色の部分歩行者用押しボタンボックス、赤いスイッチの部分歩行者用押しボタンとする。歩行者用押しボタンを押すためには約 15N の力が約 0.2 秒必要である。

#### 3.3 対象とする環境

本研究では、筑波大学内に存在する歩行者用押しボタン 8ヶ所で検証を行う。図3に筑波大学内にある歩行者用押しボタンの場所を示す。図4に筑波大学内に存在する歩行者用押しボタンを示す。表1に歩行者用押しボタンの方角、地面の傾き、地面からの高さを示す。このように歩行者用押しボタンは場所により取り付けてある高さや地面の傾きが異なる。こうした傾きがある場所でも移動ロボットが歩行者用押しボタンを押すことが可能な手法を検討する。

#### 3.4 手法の検討

歩行者用押しボタンを押す方法を検討する。本研究では車輪型移動ロボットを使用する。考えられる手法として、ロボットにボタンを押すための棒を取り付けることである。この場合、特定の高さのボタンを押すことが可能であるが、歩行者用押しボタンの取り付け高さは場所により異なる。そのため、歩行者用押しボタンを押すためにはボタンを押す部分の高さを変えることが必要となる。また、ロボットを移動させながら押す場合、地面が傾いている場所では押しボタンを押すことは難しいため、ロボットを停

Table 1 Specification of target environments

Place	A-1	A-2	A-3	A-4	B-1	B-2	B-3	B-4
Azimuth[deg]	W216	SW214	NW319	NE66	E101	W273	W287	E92
Pitch inclination[deg]	1	2	1	3	13	15	16	17
Roll inclination[deg]	2	9	1	10	8	12	9	10
Step height[cm]				11				
Reflection tape			○		○		○	
Height[cm]	97.0	97.5	96.5	98.0	99.2	102.7	99.0	97.8

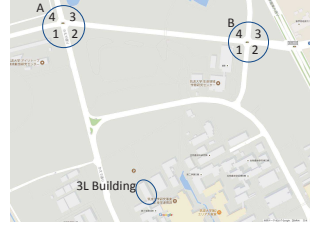
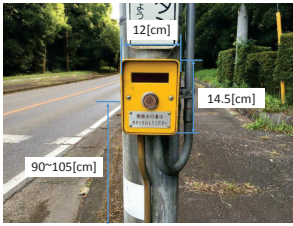


Fig.2 Example of push button box Fig.3 Target environments

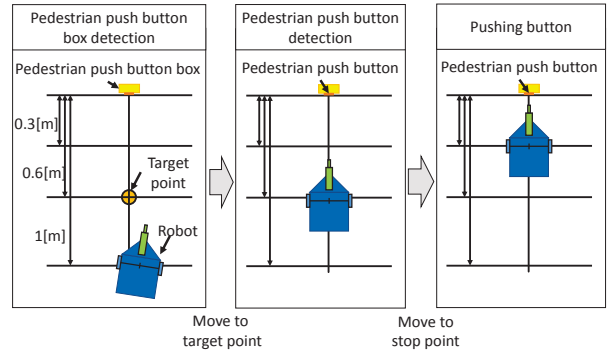


Fig.5 Approach overview

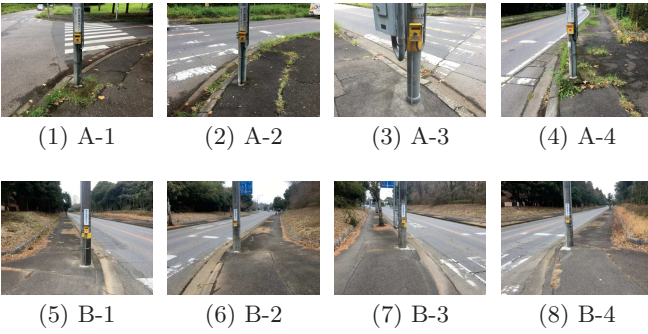


Fig.4 Target environments

止したまま押すこととする。ロボットを停止したままボタンを押すためにはマニピュレータを取り付ける必要がある。しかし、市販されているマニピュレータはロボットに搭載するには大きく、また、搭載可能なサイズのマニピュレータでは手先に大きな力を出すことが難しい。そのため、高さ調整のためのアクチュエータとスイッチを押すためのアクチュエータをそれぞれ選定し組み合わせさせてロボットに搭載することとした。

### 3.5 検出方法

押しボタンの周りに同色のものが少ない場合、歩行者用押しボタンボックスの色を抽出することで検出が可能である。そのため、本研究では、押しボタンボックスの特徴である黄色検出を行うこと検出を行う。また、押しボタンは押しボタンボックスの内部に存在する円形のため、押しボタンボックスの中から円形を検出することで押しボタンの検出が可能である。

### 3.6 アプローチ方法

ロボットは押しボタンの約 1m 手前周辺に停止し、画像から押しボタンボックスの検出を行う。その後、垂直アクチュエータを用いて押しボタンボックスの高さを合わせる。高さを合わせたら、押しボタンボックスの距離と角度を測域センサを用いて算出し、押しボタン正面 0.6m 手前まで移動する。移動した後、押しボタンの検出を行い、垂直アクチュエータを用いて押しボタンの高さに合わせる。高さを合わせたら、押しボタン 0.3m 手前まで移動する。移動した後、水平アクチュエータを用いてボタンを押す。図 5 にアプローチ方法の概要図を示す。以下に詳細を示す。

#### 3.6.1 正面位置までの移動

本研究では、歩行者用押しボタン正面 1m 手前より半径 0.3 m の範囲内にあり、歩行者用押しボタンボックスを検出可能な範囲を開始地点とする。また、垂直アクチュエータの高さを 1 番高い位置に設定する。ロボットに取り付けた 2 台のカメラより押しボタンボックスの検出を行い、押しボタンボックスが画像の中心になる様にロボットへ角速度及び垂直アクチュエータへ指令を送る。次に、測域センサより押しボタンボックスの距離及び角度検出を行う。取得した押しボタンボックスとの距離が 0.6m の範囲に入るまで直進する。ロボットが押しボタンボックスを見失わない様に水平方向のカメラより押しボタンボックスの位置を検出し続け、見失った場合にはカメラ内に押しボタンボックスが入るようにロボットを回転させる。この時垂直アクチュエータは動かさない。押しボタンボックスとの距離が 0.6m の範囲に入ったら次の動作に移行する。

#### 3.6.2 押す動作前の接近

押しボタンボックスの正面に移動した後、ロボットを停止し、2 台のカメラから押しボタンの検出を行う。押しボタンが画像の中心になる様にロボットに角速度及び垂直アクチュエータへ指令を送る。その後、測域センサより取得した押しボタンボックスとの距離が 0.3m 以内に入るまでロボットに速度 0.1m/s を与え、ロボットが押しボタンを見失わない様に水平カメラより取得した押しボタンの検出位置に応じた角加速度を与える。この時垂直アクチュエータは動かさない。押しボタンボックスとの距離が 0.3m の範囲に入ったら次の動作に移行する。

#### 3.6.3 押す動作

押しボタンボックスとの距離が 0.3m の範囲に入ったらロボットを停止し、2 台のカメラから押しボタンの検出を行う。押しボタンが画像の中心になる様にロボットに角速度及び垂直アクチュエータへ指令を送る。押しボタンの位置に垂直アクチュエータの位置を合わせた後、ロボットを停止し、水平アクチュエータを動かし、ボタンを押す。この時、水平アクチュエータの先端に取り付けた圧力センサにより押しボタンとの接触及びスイッチにより押しボタンを押したかどうかを検出する。

#### 3.7 押しボタンの押し方

水平アクチュエータの先に歩行者用押しボタンの動作検出するためにスイッチと圧力センサを使用する。スイッチは歩行者用押しボタンの動作後に切り替わるものを使用する。このスイッチは動作のために必要な力が大きいため、スイッチが切り替わる前

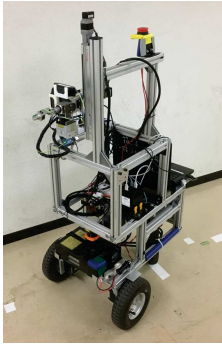


Fig.6 Mobile robot

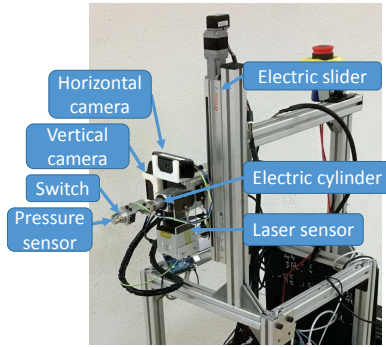


Fig.7 Sensors and actuators mounted on the robot

にロボットが後ろに下がってしまう。そのため、圧力センサを用いて押しボタンとの接触を検出し、押しボタンへの接触によりロボットを前進させることでロボットの後退を防ぐ。本研究では、押しボタンの表示パネルによる動作検出は行わない。

## 4 実装

### 4.1 ハードウェア

#### 4.1.1 ロボット

図 6 にロボットの全体図を示す。ロボットは独立 2 輪駆動式である。ロボットは後述するアクチュエータとセンサを搭載している。

#### 4.1.2 アクチュエータ

水平アクチュエータとしてオリエンタルモータ社の電動シリンダ EAC2-E10-AZAKD-2 を用いる。電動シリンダはボールねじをステッピングモータで回転させることで直動機構を動かし、ボールねじを直線上に動かしている。この電動シリンダを用いることで歩行者用押しボタンを押すのに十分なトルクを出すことが出来る。垂直アクチュエータとしてオリエンタルモータ社の電動スライダ EAS2NX-F20-AZAKD-2 を用いる。電動スライダはボールねじをステッピングモータで回転させることで直動機構を動かし、リニアガイドを直線上に動かしている。この電動スライダを垂直にロボットに取り付け、上記の電動シリンダ、センサ類をスライド部分に固定することで高さが異なる歩行者用押しボタンに対しても高さ調整を行うことで押すことが可能である。これらのアクチュエータは PC とのシリアル通信 (RS-485 通信) によって速度、加速度、位置を指定する。

#### 4.1.3 センサ

押しボタンおよび押しボタンボックス検出のためのカメラとして Logicool 社製の C920 を 2 台及び測域センサとして北陽電機社製の URG-04LX を 1 台使用する。カメラを押しボタンの高さを検出するために 1 台使用し、向きを検出するために 1 台使用する。また、測域センサを用いて歩行者用押しボタンとの距離及び取り付け角度を検出する。押しボタンの動作検出のために、水平アクチュエータの先に押しボタンより動作に必要な力が大きいスイッチと接触検出のための圧力センサを取り付ける。PC よりスイッチの動作や圧力センサにかかる電圧を取得するためにマイコンである Arduino Uno を使用する。PC とのシリアル通信によりスイッチの状態や圧力センサにかかる電圧を取得する。図 7 にロボットに取り付けた電動スライダ、電動シリンダ、カメラ、測域センサを示す。

### 4.2 ソフトウェア

#### 4.2.1 押しボタンボックスの検出方法

カメラから取得した画像を元に画像処理ライブラリの OpenCV を用いて HSV 色空間を用いて黄色抽出を行う。押しボタンボックスの抽出がうまく行われないう場合は HSV のパラメータの調整を行うことで抽出が出来るようにする。調整により領域の大きい物を押しボタンボックスと判定することが出来る。図 9 に押しボタンボックスの検出画像の例を示す。

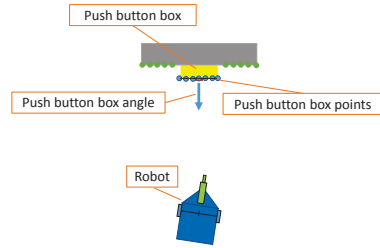


Fig.8 Push button box angle detection

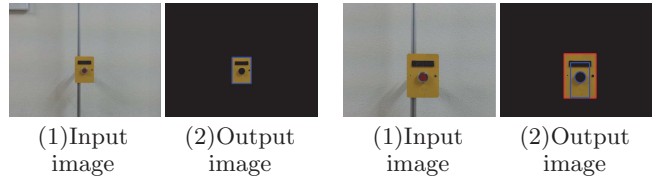


Fig.9 Example of push button detection

Fig.10 Example of push button detection

#### 4.2.2 押しボタンボックスの距離と角度の検出方法

押しボタンボックスの距離と角度の検出にはカメラと測域センサを用いる。カメラから押しボタンボックスの検出を行い、押しボタンボックスの画像における位置を算出し、押しボタンボックスのロボットから見た角度を計算する。測域センサから取得した点群とカメラより取得した押しボタンボックスのロボットから見た角度を利用して点群を取り出す。取り出した点群を距離によるセグメンテーションを行い、ロボットから 1 番近くのセグメントを押しボタンボックスの点群とする。セグメントの中心からロボットと押しボタンボックスとの距離、セグメントの端点から押しボタンボックスの角度を計算する。図 8 に押しボタンボックスの角度検出方法の図を示す。

#### 4.2.3 押しボタンの検出方法

取得した画像から前述の押しボタンボックスの検出を行う。押しボタンボックスの検出を行った画像から押しボタンの検出を行う。しかし、押しボタンボックスの検出により検出された範囲には押しボタンの他にも円と検出される部分が多く、誤検出する 경우가多い。誤検出を減らすために円を検出する範囲を小さくする。図 10 に押しボタンの検出例を示す。赤色の四角が押しボタンボックスの領域であり、青色の四角が円の検出範囲である。青色の四角は赤色の四角より上方向及び左右方向に大きさを 2 割小さくしている。また、測域センサより得られる押しボタンボックスとの距離に応じて検出する円の大きさを変更し押しボタンの大きさ程度の円のみを検出する。

#### 4.2.4 押しボタンを押す方法

押しボタンの動作検出にスイッチを用いる。用いるスイッチは歩行者用押しボタンよりもスイッチの動作に必要な力が大きく、歩行者用押しボタンの動作後にスイッチが動作する。また、歩行者用押しボタンへの接触検出のために圧力センサを用いる。

## 5 実験

### 5.1 押しボタンの検出における環境変化の影響実験

環境変化に対して押しボタンボックスの特徴である黄色検出が可能であるかを検証する。筑波大学内にある押しボタンボックスに対して、時間、天候の変化計 6 パターン画像を取得し、それぞれ黄色検出を行った。6 パターンは朝の時の晴れと曇り、昼の時の晴れと曇り、夕方の晴れ、夜の晴れの場合である。図 11 に検出に利用した入力画像と出力画像を示す。表 2 に使用した HSV のパラメータを示す。パラメータは H:95~125,S:120~255,V:0~255 を基準に各環境に応じてパラメータの変更を行った。パラメータが合っているかどうかの確認はそのパラメータを使用し押しボタンの動作が可能であるかで判定を行った。基準としたパラメータをそのまま使用することが出来る天候、時間も存在するが

**Table 2** Parameters used for yellow extraction

	Morning Sunny	Morning Cloudy	Noon Sunny	Noon Cloudy	Evening Sunny	Night Sunny
Hue Parameter(Max180)	95~125	95~125	95~125	95~120	95~120	95~120
Saturation Parameter(Max255)	120~255	120~255	120~255	110~255	110~255	130~255
Value Parameter(Max255)	0~255	0~255	0~255	0~255	0~255	0~255

**Table 3** Outside experiment results

Target place	A-1	A-2	A-3	A-4	B-1	B-2	B-3	B-4	Total
Success/Trial	10/10	8/10	10/10	7/10	8/10	9/10	7/10	8/10	67/80

多少パラメータを変更しないと押しボタンボックスの検出を正しく行うことができない場合があった。各環境に応じて HSV のパラメータの設定を行うことで、押しボタンボックスの特徴である黄色部分の検出を行うことが可能であることを確認できた。また、このパラメータを設定することで、ロボットにより押しボタンの操作が可能であることを確認した。

### 5.2 対象とする環境での繰り返し実験

筑波大学内にある歩行者用押しボタン 8ヶ所にて実装した手法を用いて実験を行った。図 12 に実験環境の一例を示す。実験は、8ヶ所に対して、それぞれ 10 回ずつ試行を行い、実際にボタンの動作が可能であるかで判定を行った。開始地点は押しボタンの手前 1m 周辺で水平カメラの画角に歩行者用押しボタンボックスが入る位置で平行移動(前後左右最大 0.2m 程度)及び角度変化(左右最大 25deg 程度)を付け、毎回異なる開始位置で行った。表 3 に実験結果を示す。各場所 10 回ずつ試行を行い、合計 80 回試行を行った。成功したのは 67 回で約 84% の成功率であった。地面の傾きが少ない所であれば、成功する回数が多く実装した方法により押しボタンを押すことが可能であることを確認できた。しかし、傾きの大きい場所では、ロボットの車輪が空転するなどの問題が発生し、押しボタンを押すことができない場合があった。

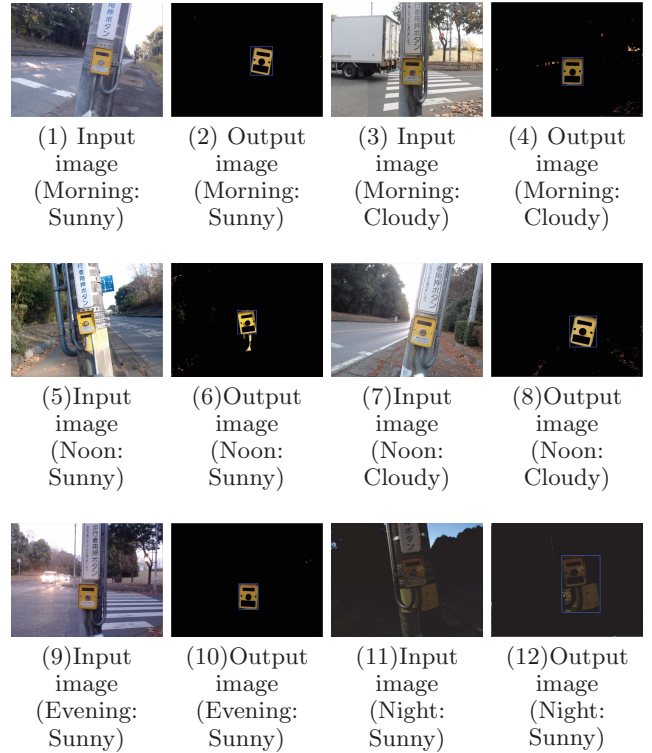
## 6 おわりに

本研究では、移動ロボットが押しボタンを押す必要がある横断歩道を渡れるようにするための方法を構築した。構築したシステムを用いて時間や天候の変化の影響について検証を行い、パラメータ調整より検出可能であることが確認できた。また、実際に複数ヶ所にある押しボタンに対して構築したシステムがどの程度有効であるか実験により検証した。実験により、押しボタンの取り付け高さや向きが異なる場所、地面の傾きや段差がある場所においても押しボタン操作が可能であることを確認できた。

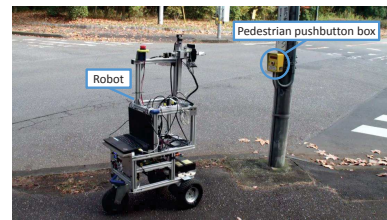
今後の展望として、横断歩道を渡る動作に組み込むことが考えられる。組み込むことで押しボタン操作が可能となり、ロボットの行動範囲が広がるのが期待される。

### 参考文献

- [1] A. Chand, S. Yuta: "Navigation strategy and path planning for autonomous road crossing by outdoor mobile robots", *IEEE International Conference on Advanced Robotics*, 2011.
- [2] 見浪 護, 藤原 直史, 柘植 広志: "自律移動ロボット搭載型マニピュレータの位置・姿勢制御", *日本ロボット学会誌 Vol.11 No.1, pp.156-164*, 1993.
- [3] 永谷 圭司, 松浦 伸悟, 田中 豊: "自律移動マニピュレータによるエレベータ昇降動作の実現", *ロボティクス・メカトロニクス講演会*, 2003.
- [4] E. Klingbeil, B. Carpenter, O. Russakovsky, A. Y. Ng: "Autonomous operation of novel elevators for robot navigation", *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 2010.



**Fig.11** Box Detection Results



**Fig.12** Outside experimental environment