

# 赤外線ランドマークを用いた自律移動ロボットの研究

○林 純平 大久保 重範 及川 一美 高橋 達也 (山形大学)

## Research of the Autonomous Mobile Robot Using the Infrared Landmark

\* J.Hayashi and S.Okubo and K.Oikawa and T.Takahashi(University of Yamagata)

**Abstract**— In this research, a navigation of the wheel type Autonomous Mobile Robot is induced by using the infrared landmark. And, our purpose is to enable a robot to be treat easily by anyone. In this paper, we describe improvement of this robot's driving wheels.

**Key Words:** Infrared landmark, Autonomous mobile robot, Subsumption Architecture

### 1 はじめに

現在世の中では、人が動作一つ一つを操作して動かすロボットではなく、ロボット自らが考えて行動するようにさせるな知能ロボットが注目され、世界中で様々な研究がされてきている。よって将来、そのような知能ロボットは一般家庭や福祉施設の場などで活躍するであろう。しかしそのような場所で利用されることを考えたとき、実際にロボットを扱うのは専門家ではなく一般の素人である可能性が高い。

そこでまず、自己位置同定の方法としてロボットに外界環境を絶対座標表現地図で与える従来の方法は、外界環境を正確に計測し精度の高い地図を作成した後に、目的地までの経路を絶対座標によって細かに指示してやらなければならない。しかしこの作業は一般の人にとって、とても難しく困難だと考えられる。

そこで本研究ではロボットに絶対座標地図を用いないこととし、作業環境中に赤外線ランドマークという人間でいう目印を設置しそれを誘導させることで、素人でも容易にロボットを扱えることを目標とする。

以上のような背景のもと研究を進めているが、本稿では、自律移動ロボットのシミュレーション、実機実験の結果で浮上した問題点の改良を主に述べていく。

### 2 車輪型自律移動型ロボット

本研究では、Fig.1のような車輪型移動ロボットを用いる。また、主な仕様を Table.1 に示す。

このロボットの行動決定手法として『Subsumption

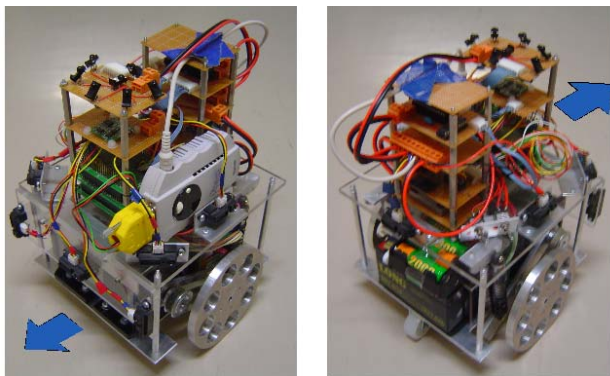


Fig. 1: Externals of robot

Architecture(以後 SA)』を用い、駆動系には独立 2 輪駆動方式を用いる。また、周辺の距離情報を取得し障害物を回避させるための『PSD センサ』、ロボットをある向かわせたい方角へ行動させるための『電子コンパス』、赤外線ランドマークから発信される ID 信号を受信することができる『IR 受信センサ』を搭載してあり、『無線 RS232C』により PC からロボットの CPU(H8) へプログラムを送っている。

Table 1: The main specification

CPU	H8/3048F (日立)
PSD センサ	GP2D12 (シャープ) × 8
IR 受信センサ	SPS-443-1 (SANYO) × 7
電子コンパス	RDCM-802 (Geosensory)
無線 RS232C	WNA-RS (I-O DATA)
モーター	LH56KM2-802 (日本サーボ) × 2
主力電力	MF バッテリー WP1.5-12
サイズ	182 × 216 × 270(W × D × H[mm])

### 3 2つのSA

SA 構造とは主に Fig.2のような SA と Fig.3のような SA があるが、この 2つの相違点を考えてみる。

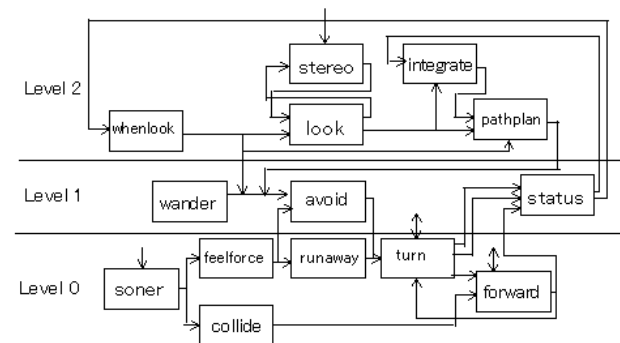


Fig. 2: Interference type SA

まず第 1 に、情報を層間で受け渡しをしているかいないかである。Fig.2のように層間で干渉がある SA はスパゲッティ構造であり、ある層の修正が他の層に影響を与えるためデバッグが困難である。一方、Fig.3の SA は、層が独立しているため、層の追加、削除、挿入、

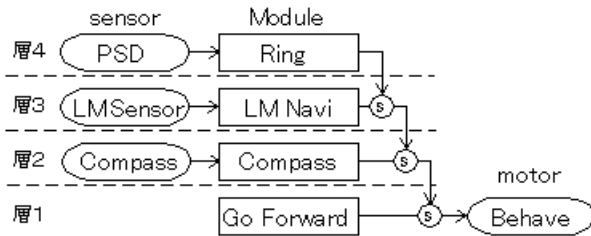


Fig. 3: Nonintervention type SA

変更が容易である。また、修正する場合には問題のある層のみを検証することでよい。またここで、Fig.2を干渉型SA、Fig.3を非干渉型SAと呼ぶことにする。

第2に、抑制が出力のみである点とそうではない点である。例えば、センサ群から同時に複数の層に入力があったとしても、干渉型SAの場合モジュールに入力される際に意図どおりに抑制することができるが、非干渉型SAでは上層ほど優先されるため、下層は上層に抑制され仕事ができなくなる。これは、固定階層の問題で、層を独立に設計することによって起こる問題である。

本研究では層が独立なため開発が容易になるという点からFig.3の非干渉型SAを用いる。複数ある全タスクを独立な小タスク(モジュール)に分割し互いに干渉させず実行させることにより反射的行動が可能となる構造である。また、固定階層問題についてはイベント駆動型階層構造切替手法を用いて解決できる。

#### 4 赤外線ランドマークの利用

本研究での目的地誘導方法は、人間でいう看板の代わりとして赤外線ランドマーク (Fig.4左) を用い、そこから発信されるID信号をロボットに受信させ、ランドマークを経由させ誘導させる方法を考える。

しかし本研究では絶対座標地図を用いないので細かい経路指示はできない。よってロボットの作業環境は壁に囲まれた通路状(廊下など)とし、ランドマークは通路天井に設置しID信号下方に向け送り、ロボットの上部に取り付けられたIR受信センサ (Fig.4右) に受信させる仕組みとする。

例えば高さ2.5mに設置した場合、半径2.0mでID信号をノイズとして感じ、1.5mで誤認識はあるが認識でき、0.3mで認識できる。また、誘導をする上での環境作りはランドマークを必要な箇所に要所要所設置するだけなので素人でも簡単である。

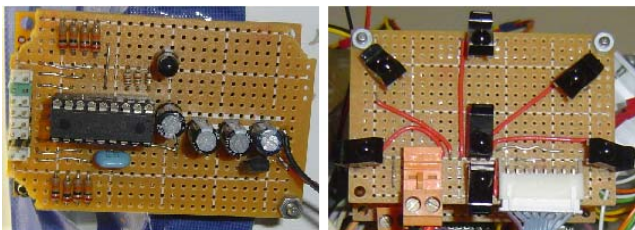


Fig. 4: Infrared landmark and IR reception sensors

#### 5 イベント駆動型階層構造切替手法

先ほど述べたSAの問題の解決として、複数の階層構造を用意し有限状態オートマトンにより状況に応じて階層構造を切り替える手法『イベント駆動型階層構造切替手法』を考える。Fig.5が概要図であるが、まず全ての状態を管理し、イベントを発行するイベントメソッドが備わっているマネージャーがある。そして各階層構造にはイベントを受け入れられるイベントリスナが備わっており、どのモジュールからのどのイベントを受け付けたかによってどの階層構造に遷移するかが記述してある。そしてあるモジュール内で特定の状態遷移が起きたとき、イベントメソッドをコールして特定のイベントを発行し、現在の階層構造のイベントリスナにイベントを送る。もし、そのイベントリスナにそのイベントに対する遷移先が記述していなければ無視されるというシステムである。この仕組みはマネージャーを介して間接的に干渉させるので、層を独立に設計可能で且つ再利用性も高い。

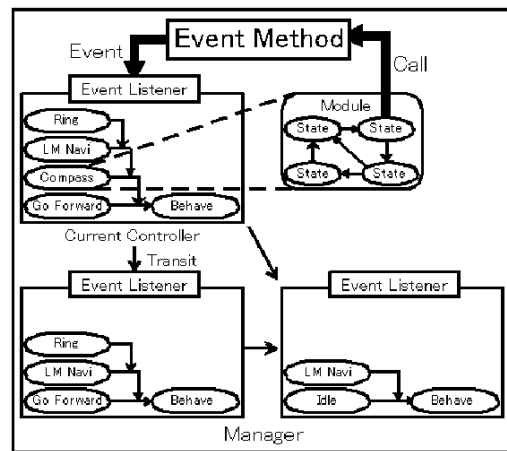


Fig. 5: Event Driven Layered Control Changer

#### 6 シミュレーション

今回、ロボットに課せたタスクは『目的地到達問題』である。そして、作業環境として大学校舎内の廊下とし、障害物(ダンボール箱)を複数個設置した。また、目的地の廊下天井高さ約2.5mにランドマークを1つ設置した。

まず、ロボットをランドマークがある方角へ向かわせ、途中に設置された障害物を回避し、ランドマークより発信されているID信号を認識することができたらその場に停止させることを行った。

そのためFig.3のような、障害物を回避させる『Ring』、電子コンパスにより向かわせたい方角に向かわせる『Compass』、赤外線ランドマークに接近しIDを認識したら停止させる『LM Navi』、常に直進させる『Go forward』の、4つのモジュールを持つ1つの階層構造を用いてシミュレーションした。ここで、ID信号が床に到達する範囲を示した内側と外側の点線円はそれぞれ半径1.5m、2.0mとする。

シミュレーション結果は、Fig.6のような軌跡となり、

上手く障害物を回避し、赤外線ランドマークから発信されるID信号を受信して接近し、認識できる範囲にきた所で停止しているのがわかる。

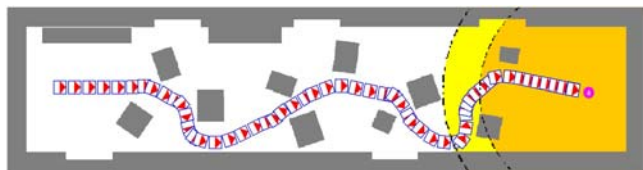


Fig. 6: Simulation result

## 7 実機実験

次に実際のロボットを用いシミュレーションと同じ条件で実験したところ、Fig.7(タイヤの滑りとH8の計算能力から正確な自己位置推定が困難なため、撮影したビデオより手書きで軌跡を描いた)のようになった。

まずスタートしてすぐ右に曲がり自ら障害物に向かって見えるように見えるが、これは電子コンパスの影響で建物内の金属により方角に誤差が生じた可能性があるため右下に向かって行ったと思われる。しかしそこで、障害物を回避して向きがランドマークとは逆向きになってしまっても、向きを修正した所は良かったと思う。

そして、障害物回避という点ではほぼシミュレーションと同等の走行を実現できた。最後、ロボットのストップ箇所は1.5mラインに入った付近だった。この結果は、シミュレーション結果と比べてかなり離れていたが、ランドマークの改良によりこの問題を解決することができた。

また、軌跡中の3つの黒丸箇所はタイヤが床でスリップし続けたため手で押し補助した箇所である。これは廊下のちょっとしたうねりのためタイヤが浮き、空転したと考えられる。この改良については次に述べる。

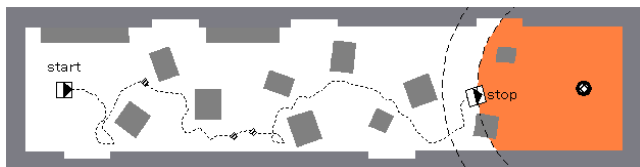


Fig. 7: Experiment result

## 8 足周りの改良

今回の実機実験結果で明らかになった足周りの弱さを克服するために改良をすることにした。

まずこの空転の原因を考えると、廊下の床が平らではなく少しうねっていたこと、この車輪型ロボットにサスペンションがついていないこと、そして前後に付いている従輪がボールキャスターであったことなどが挙げられる。つまり、ロボットの動輪が常に地面と接する状態ではなかったことが推測される。

そこで今回考えた足周りの改良方法は、ロボットの両側にサスペンションを装着させること、従輪をタイヤキャスターに取り替えることによって、常に地面と反発させ平坦ではないところでも空転せずスムーズに

走行させるように設計した。Table.2に改良での必要な部品を示す。

Table 2: Necessary parts

サスペンション	# A725 (HPI)	
キャスター	D=30mm	× 2
スイングアーム	アルミ	× 2
タイミングプーリ	286-4581	× 4
タイミングベルト	359-8336 (Gates)	× 2
ボールベアリング	747-771(NMB)	× 4
タイヤ	アルミ	× 2
タイヤ軸	D=6mm	× 2
アルミ板	180mm × 180mm	

そしてその改良の方法の進め方は大きく分けて、

- スイングアームの製作
- アルミタイヤの製作
- サスペンション、キャスターの取り付け

という3段階に分けられる。

まず1つ目のスイングアームについては、モーター軸とタイヤ軸を固定させるための部品でありモーターからの動力をタイミングプーリとベルトを用いて伝達する。また、軸とアームとの摩擦を避けるためボールベアリングをアームにはめた。サスペンションの片端を固定するねじ穴も調整がきくように3つあけた。

次の2つ目のタイヤはアルミを用いタイヤとボス部の両方を製作し、軽量化として肉抜きも行った。また、改良する前のタイヤは直径120mmであったが、トルクを増やすため110mmと少し径を小さくした。そして、タイヤ軸も径6mmで製作した。

そして、Fig.8にアームとタイヤの装着図(ロボットの右側)を示す。

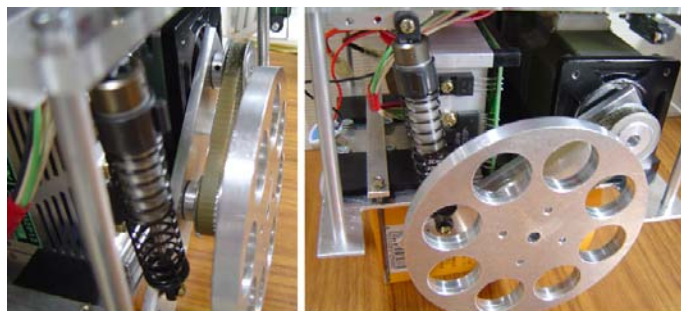


Fig. 8: Figure where suspension was installed

そして3つ目のサスペンションについて、今回はHPI RACINGのプロダンパーセットを用いた。これは、70mm~103mmの範囲で機能することができる。

このサスペンションの下側端をスイングアームに、上側端を基盤がのっているアクリル板にL字アルミを用いて固定した。このL字アルミも3つのねじ穴を設け、調整を可能とした。またキャスターも前後対象に固定して安定させた。そのロボットの裏の様子をFig.9(画像右側がロボットの前)に示す。



Fig. 9: Back of robot and position of tire

また、上下合計6つの調整穴で一番車高が高くなる穴で固定した場合、動輪のアルミタイヤが地面と接したときに、従輪が3mm程度浮くように設計した。これは常にサスペンションのバネの力で地面と反発させるためである。その様子をFig.10（画像手前がロボットの正面）に示す。

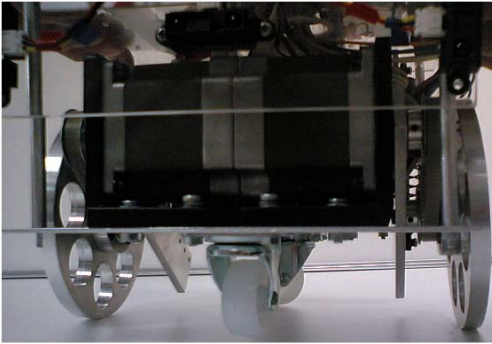


Fig. 10: Touching condition of tire and floor

そしてこの足周りを改良したロボットで、上記の実機実験時に利用した廊下を走行させたところ、全く問題なく走行を継続することができた。

また、次に明らかに平坦ではない状況を故意につくりそこを走行させてみたが、この場合もスリップすることなく走行することが出来た。

## 9 考察

今回ロボットの足周りについて改良がほぼ成功したことを述べたが、やはり今はまだタイヤの周りに滑り止めのようなものを巻いていないため多少のずれが生じてしまう。

ゴム状のものを巻くとしたら、走る度にほこりやゴミが付着してスリップしてしまう可能性があると思われるので、その点を改善できるような素材を考えたい。

また、足周りを改良する上で、常に地面と接するようにする方法として3輪という考えもあったが、このロボットはPSDセンサなどからの情報によりその場で急旋回などのようなバランスが崩れるような動きをするため、やはり4輪にして安定性の重視を優先に考えた。

そして今後の課題について、今回はたった1つだけ

のランドマークを用いロボットの誘導を行ったが、今後は、ランドマークを複数個利用し経路させ、『イベント駆動型階層構造切替手法』を用いた誘導方法をしていきたい。

またそのロボットの誘導方法として、線と線の組み合わせだけで描いた『手書き地図』のような簡略化された地図を用いることも考えていきたい。手書き地図であるなら利用者が容易に作成でき、ロボットも意図どおり誘導できるのではないかと思うので、今後の展望として考えていきたい。

そしてまた、今現在利用しているバッテリーをより効率の良いものに変えることも考えていきたい。

## 10 おわりに

今回は、本研究の目的となる背景、そして使用する車輪型自律移動ロボットの説明、赤外線ランドマークの利用法とロボット誘導方法、複数のタスクを課せたシミュレーション結果及び実機実験結果、またその結果より浮上した足周りの弱さの改善のための、サスペンションによる改良方法について述べた。

足周りの改良については成功して良かったと思う。また、課題もいくつか浮上したので、改善、改良をして今後の研究を進めていきたい。

## 参考文献

- [1] R.Brooks: "A Robust Layered Control System For A Mobile Robot", IEEE Journal of Robotics and Automation, vol.RA-2, no.1, pp.14-23 (1986)
- [2] 及川 一美: "座標系を用いない人工ランドマークを用いた移動ロボットのナビゲーション", 計測自動制御学会東北支部第211回研究集会, 資料番号211-12 (2003.10.11)
- [3] 五味 隆志: サブサンプリング・アーキテクチャ, Journal of Japan Society for Fuzzy Theory and Systems, vol.7, no.5, pp.909-930 (1995)
- [4] 米田 完, 坪内 孝司, 大隈 久: "はじめてのロボット創造設計" (2001)