

〈一般研究課題〉 ロボットと同一エリア内にいる人の位置情報検出・  
記録システムの研究・開発  
助成研究者 中京大学 清水 優



## ロボットと同一エリア内にいる人の位置情報検出・ 記録システムの研究・開発

清水 優  
(中京大学)

### Development a system of detecting and recording human location in the same area of robot

Masaru Shimizu  
(Chukyo University)

#### Abstract:

In this research, I developed a system of detecting and recording human location in the same area of robot. I used CO2 sensor for human detector, ARToolKit for localization of robot. Depend on results of this experiment, we can construct same system for everyone cheaply. If this system will be equipped every robot working at home, office, factory, every robot can be became a rescue robot. In rescue scene, we want to know victim's location. If we use this system everyday, we will know victim's location automatically, already before disaster. So, robot near by human needs a human detector for ordinary life and emergency.

#### 1. はじめに(研究目的)

本研究では,人とロボットが同一エリア内で円滑に共存するために,ロボットが人の位置を検出・記録し,複数のロボットでその情報を共有・補完しあうシステムを開発する。

遠くない将来において,ロボットが家庭やオフィスに浸透する可能性は高い。その時,ロボットにとって,最も注意しなければならない情報は「動き回る人の現在位置」である。例えば,ロボットが地点Aから地点Bに移動しなければならないとき,静止している障害物は避けやすいが,歩いている人は避けにくい。曲がり角ではロボットのセンサの死角から,急に人が現れる可能性もある。また,仕事が終了したロボットは,次の指令を受けるために人の近くで待機すべく,人を探索する必要がある。

このようなとき、ロボットは自分の現在位置だけでなく人の位置も把握し、ロボットが人の位置を意識することで人にとって使いやすいロボットサービスの実現が可能となる。しかしロボットが本来の仕事しながら周辺にいる人を検出することは、これまでの画像処理等高度な人検出手法では負荷が大きすぎ現実的ではなかった。

申請者は、探索型レスキューロボットの研究・開発を行っており、RoboCup Rescue Robot League(JapanOpen)に毎年出場し開発したロボットの評価を得ている[1-3]。また、人を発見するための画像処理手法の提案[4-5]や、人の住環境に特化した不整地移動機構の開発、ロボットの自己位置測定システムの研究、複数のレスキューロボットで得られた情報を1つのマップに統合するシステム、GASセンサを用いた人検出システムの開発などを行っている。レスキューロボットの活動環境と家庭やオフィスは、緊急性の有無を除けば非常に似ており、被災者を捜すための技術はそのまま家庭やオフィスで人を見つけるための技術となる。

そこで本研究では、レスキューロボットのGASセンサ技術を用いて、家庭や職場と同程度の人数と床面積において、特定の同一エリア内にいるロボットが人と共存し、使いやすいロボットサービスとして存在するために人の位置情報を検出・記録・複数台ロボットでの共有・補完を行うシステムの構築を目標とする。

## 2. 実験システム

本研究では、下記の要素が必要となる。本章では、要素ごとに実験システムを説明する。

- ・CO2センサ …………… CO2を検出し、人存在の可能性を検知する
- ・Rangeセンサ …………… ロボット周辺の物体を測定する
- ・移動ロボット …………… 各種センサを搭載し、移動する
- ・ロボット位置推定システム …… ロボットの現在位置を推定する
- ・実験フィールド …………… 実験条件を確定する
- ・情報蓄積交換サーバ …………… ロボット位置、CO2,Rangeセンサ情報を蓄積交換

### 2.1 CO2センサ

ロボットの周辺に人がいるかどうかを判別する為に、CO2センサを使用する。今回は「人がいるかもしれない場所では、ロボットは減速する等、人に配慮して活動する」ことを目的にしているため、明確に人を検知する必要は無い。従って、できるだけ低リソースで信号処理を行うことができる低次元センサが望ましい。低次元センサの中でも、人体が放つ特徴的なシグナルであるCO2ガスをとらえるために、CO2センサを選択した。

今回使用するCO2センサは、SenseAir社製SenseAir S8とSenseAir K30である(図1)。SenseAirシリーズは小型、低電力でかつ自動校正機能があり、ロボット向きである。S8とK30のCO2応答性に、特に大きな違いは見られなかった。図2と図3は、それぞれS8とK30を比較する為に行った予備実験のグラフである。S8とK30を机の上に置き、10分間人間は離れておき、センサ上方約30cmから2回だけ息を吐き、再び離れた時のCO2測定結果である(測定間隔は1秒、縦軸単位はppm)。気象庁の大気中二酸化炭素濃度経年変化報告によれば、大気中の平均CO2濃

度は約400ppmとなっている[6]。図2および図3もCO2を与える前後は、約400ppmであり妥当な数値を出力していることがわかる。図2と図3では、無風となるように心がけて行動したが、空気に動きが残った。その結果、センサにかかるCO2の流れができ、検出濃度にムラができた。グラフからは、600ppmを越えるCO2濃度であれば、「人が周囲にいる可能性がある」と言える。

## 2.2 Rangeセンサ

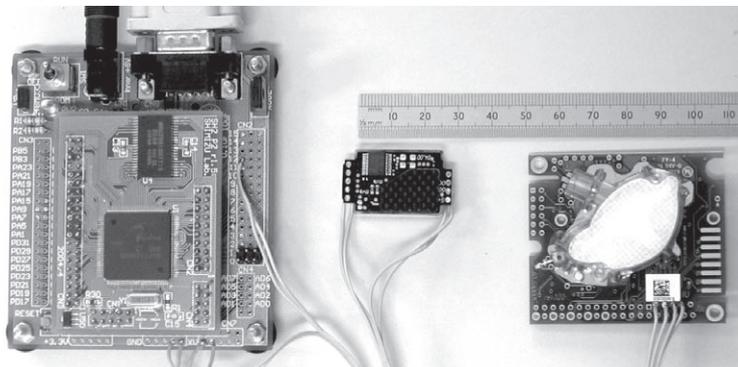


図1 CO2 Sensor (Left :Controller,Center:SenseAirS8,Right:SenseAirK30)

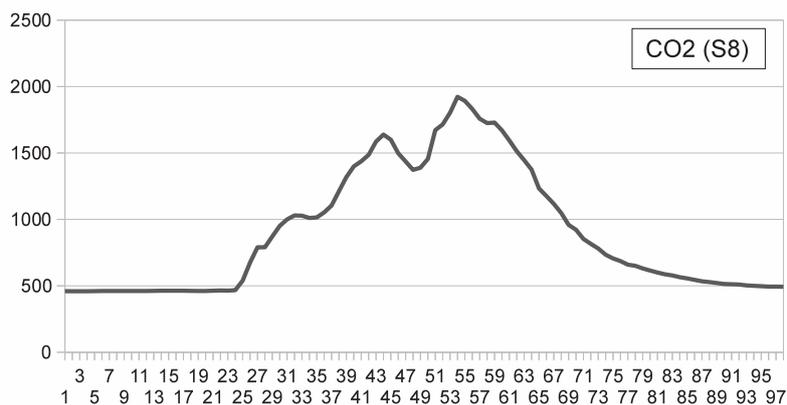


図2 CO2 Result of S8(VerticalUnit:ppm,HorizontalUnit:second)

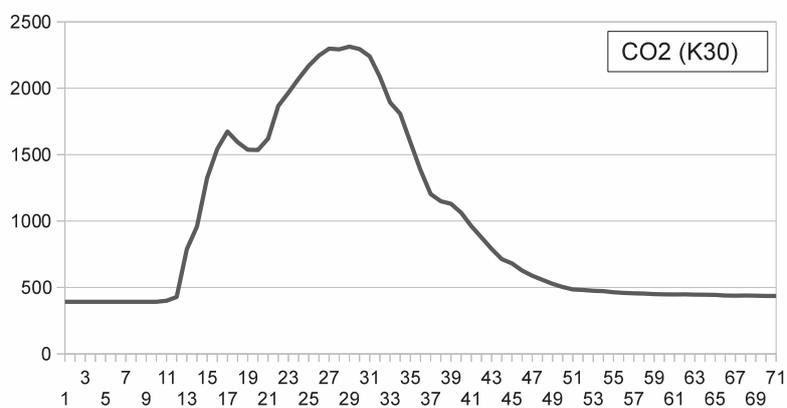


図3 CO2 Result of K30(VerticalUnit:ppm,HorizontalUnit:second)

CO2濃度の変化から近くに人がいる可能性を検知したロボットは、周囲の物体を測定し記録する必要がある。今回、周囲の物体を記録する為のデバイスとして、Rangeセンサを選択した。今回使用したRangeセンサは、北陽電機社製URG-04LXとTMU-30LXを選択した(図5(a),図6)。URG-04LXは、計測距離約8m, 計測範囲±120°(0.36°step)である。TMU-30LXは、計測距離約30m, 計測範囲±135°(0.25°step), である。どちらも小型軽量であり、移動ロボットに適している。

### 2.3 移動ロボット

今回は、2台のロボットを用意した。Robot1は、申請者が開発したレスキューロボットに後述のCO2センサとRangeセンサを搭載したロボットである(図4)。Robot1は、不整地移動機構と伸縮カメラアームを搭載している。カメラアーム先端に設置したCO2センサ(図6(a)下)は、地上50cmから1mまでの範囲のCO2源探索に適している。また、カメラアーム先端にはIRセンサ(非接触簡易温度センサ)も設置しており、発見したCO2源が人体であるかどうかを温度から検証できるようになっている。Robot1本体上に、Rangeセンサを搭載した(図6(b))。Robot2は、AAAI社製PIONEER1に、ノートPC, USB Camera, Rangeセンサ, CO2センサを搭載した車輪型ロボットである(図5,図7)。

これら2台のロボットとHOST PCの関係を図8に示す。また、表1にロボットの仕様を示す。

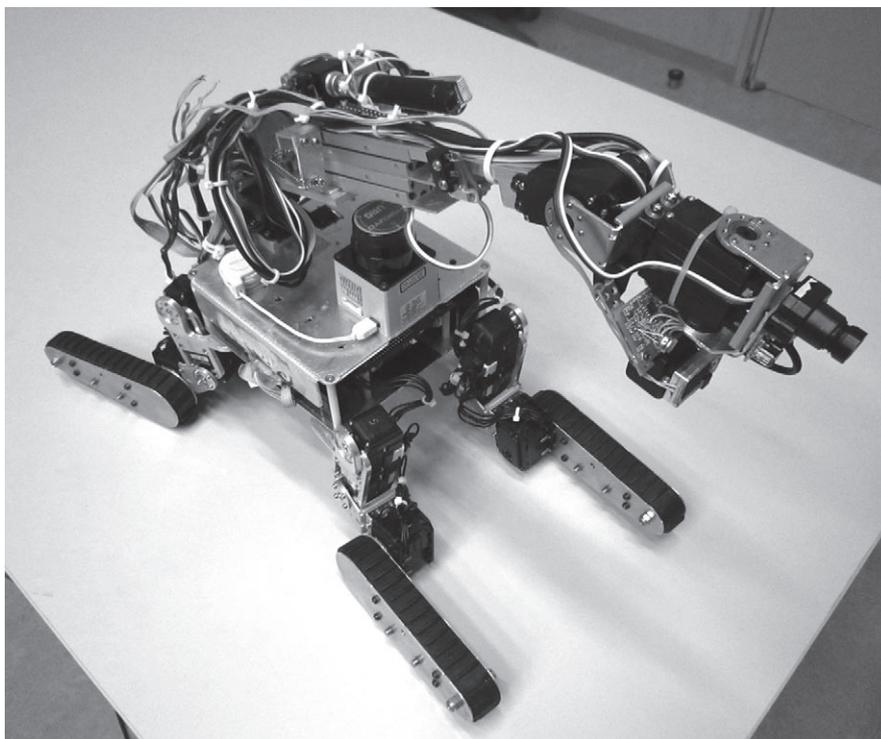
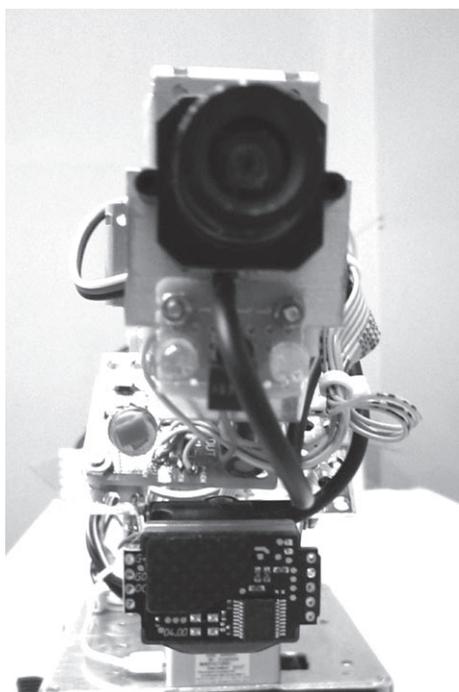


図4 Robot1



图5 Robot2



(a) CO2 Sensor (Bottom:SenseAir S8)



(b) Range Sensor URG-04LX

图6 Robot1 Sensor

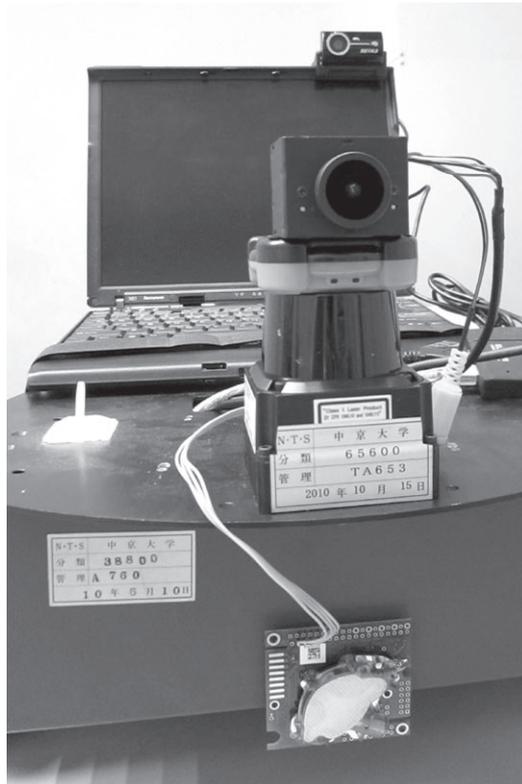


图7 Robot2 Sensor (Middle:UTM-30LX, Bottom:SenseAirK30)

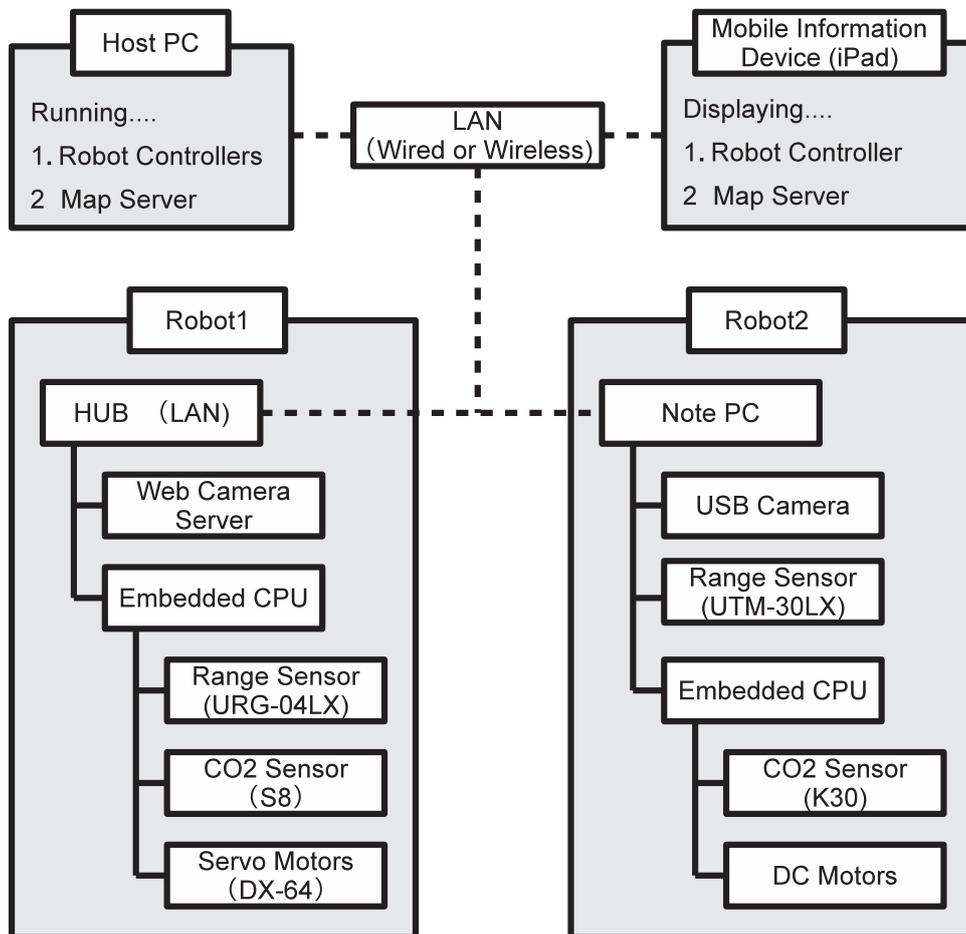


图8 Robot System Diagram

表1 Robot Specification

Robot1		Robot2	
CO2 Sensor	SenseAir S8 Located over 30cm high	CO2 Sensor	SenseAir K30 Located 5cm high
Range Sensor	URG-04LX	Range Sensor	TMU-03LX
Camera	Color camera(NTSC output) Angle of view : 100 degree	Camera	USB Camera Angle of view : 50 degree
Locomotion	4 legs with crawlers	Locomotion	2 Wheels and 1 free caster
Moving speed	10 cm/s	Moving speed	20 cm/s
Size(WxDxH)	230 x 500 x 450 mm	Size(WxDxH)	350 x 450 x 300 mm
Embedded CPU	SH2 7145F	Embedded CPU	SH2 7145F
		Note PC	Core2Duo 2GHz, 2GBytes Memory

## 2.4 ロボット位置推定システム

ロボットの位置を推定する為に、ARToolKitを使用した[7]。ARToolKitは、あらかじめ登録した任意の画像パターンをカメラ画像中から検出し、カメラ座標系から見た画像パターンの3次元位置を算出する機能を持つ。さらにこのARToolKitを位置推定に特化したQPToolKitを使用した[8]。今回は、一般家庭に普及したA4サイズプリンタで印刷できる大きさの画像パターンを10個用意し、P000～P009までの名前を付けて登録した(図9)。ただしP005とP008は、上下逆の画像として誤認識される為P008は使用しないこととした。画像パターンの外側黒枠は一辺154mmの正方形、内側白抜き部分は一辺77mmの正方形である。この画像パターンを、後述の実験フィールド外縁部に表2の位置に配置した。表2の座標は、後述の実験フィールド座標系で表されている。

QPToolKitからは、カメラ座標系から検出した画像パターンまでの平行移動と回転を表す行列

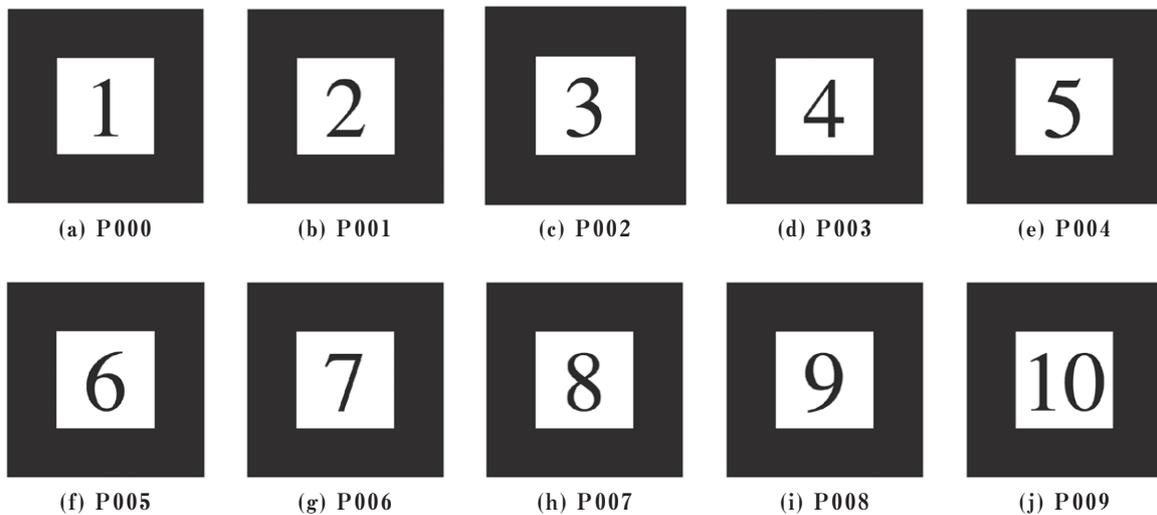


図9 ARToolKitImage Patterns

表2 Image Pattern Location

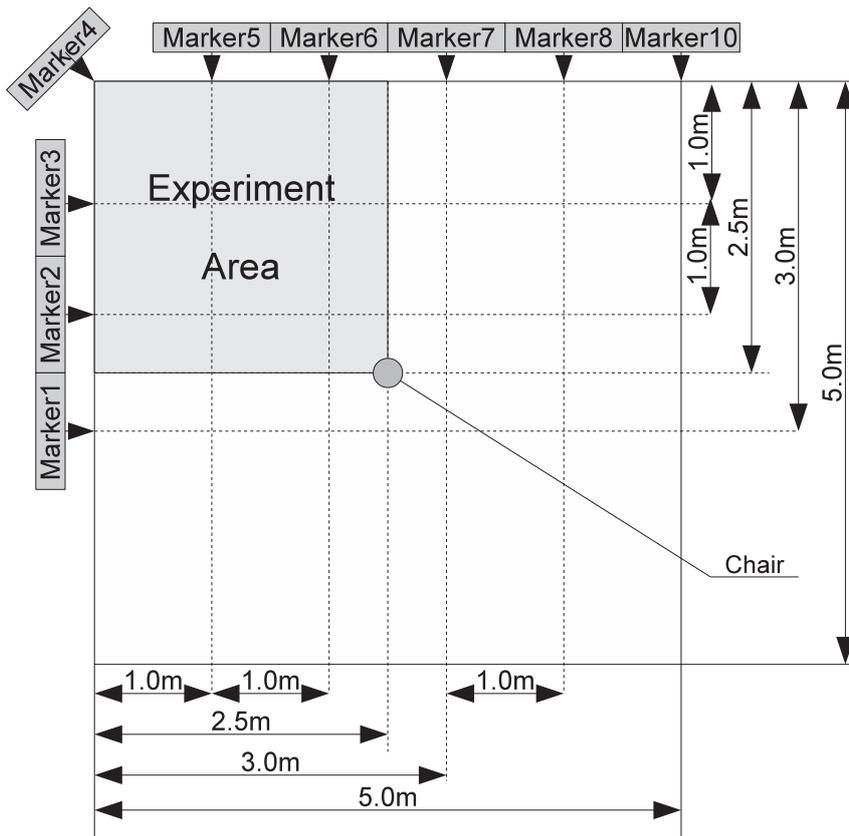
Marker No.	Marker1	Marker2	Marker3	Marker4	Marker5
Marker Name	P000	P001	P002	P003	P004
Location (X,Y) (Unit:mm)	(-2500, -500)	(-2500, 500)	(-2500, 1500)	(-2500, 2500)	(-1500, 2500)
Marker No.	Marker6	Marker7	Marker8	Marker9	Marker10
Marker Name	P005	P006	P007	P008	P009
Location (X,Y) (Unit:mm)	(-500, 2500)	(500, 2500)	(1500, 2500)	Unused	(2500, 2500)

Rが得られる。このRの逆行列に検出した画像パターンの表2の座標(実験フィールド座標系, 実験座標系については2.5実験フィールドにて説明)を掛けることで, ロボットのカメラ座標(実験フィールド座標系)を推定する。なお, 実験では, 得られたカメラ座標にオフセットを付加し, センサ座標を推定した。

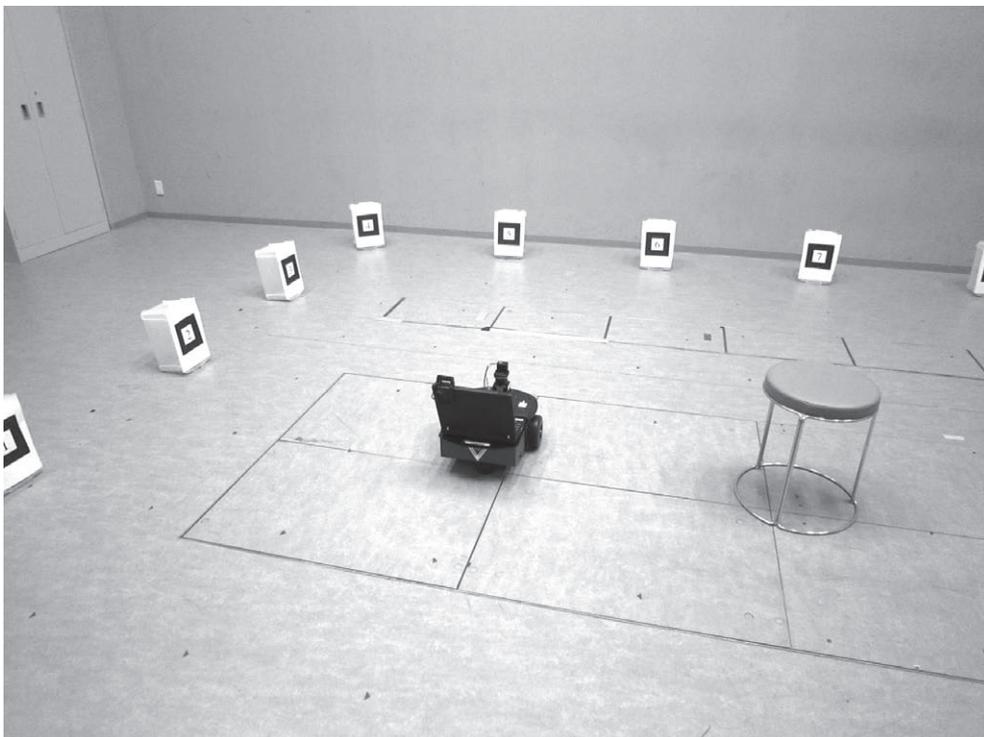
## 2.5 実験フィールド

今回の実験では, 空気の流れの無い広い空間が必要である。そこで, 8m×6mの室内中央に, 5m×5mの実験フィールドを用意した(図10)。図10中, Markerは図9の画像パターンである。実験フィールド中央に人が座る椅子を設置した。実験フィールド座標系も実験フィールド中央を原点とした。この実験フィールドは, 椅子を中心に対称形をしているので, この実験フィールドの第2象限でのみ実験を行うこととし, 位置推定用画像パターンも第2象限にいるロボットが発見しやすい配置とした(図11)。

図12は, 実験フィールド座標(-0.5, 0)にいるロボットのRangeセンサの計測結果である。Rangeセンサが, 図の中心である。図中目盛りの実線1マスの大きさは, 縦横ともに1mである。中央から放射状にのびている線は, 距離を計測するレーザを模しており, 障害物に遮られるまで外側に向かって描かれる。つまり線の先端に障害物がある。線が描かれていない部分は, レーザが届く範囲に障害物が無かったことを示す。図12中, M1は画像パターンP000であり,以降同様に最後のM7はP006を表す。灰色太線の正方形は実験フィールド, 図中央右の破線円は椅子である。椅子の斜め左上の物体は, 椅子に座っている人の足である。



☒10 Experiment Field



☒11 Setting Image patterns on the field outline

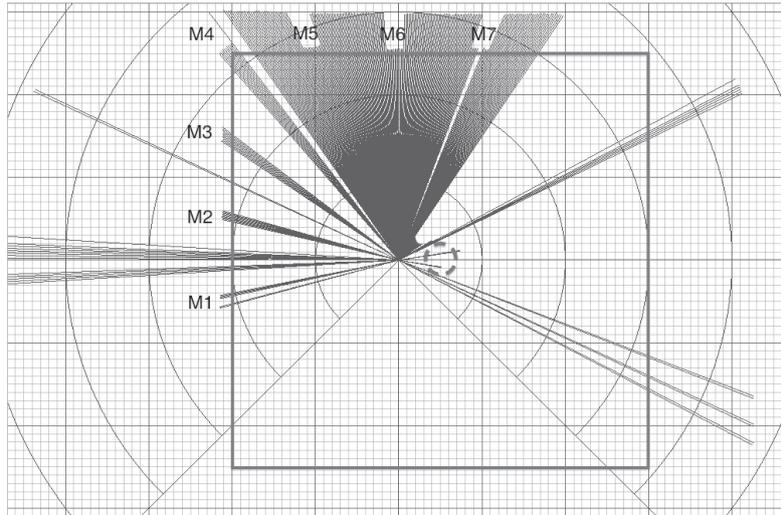


図12 Range Sensor Result

## 2.6 情報蓄積交換サーバ

情報蓄積交換サーバは、ロボットが計測したCO2濃度やRangeセンサ情報およびそれらを取得したロボット位置情報を記録し、ロボットからの要求に応じてある位置の「人が存在する可能性」を返す機能を持つ。データは、以下の様に格納する。

- ・2次元グリッド状に記録ノードを配置
- ・2次元グリッドの間隔は、ロボット位置推定精度の2倍に設定
- ・Rangeセンサで発見したロボット周辺の物体位置を含むグリッドの記録ノードにアクセスする(ロボット自体の位置では記録しない(図13：図12の拡大図))
- ・各記録ノードは、現在の「人の有無」を記録
- ・「人の有無」は、ロボットがCO2濃度600ppm以上を報告した回数を記録するが、CO2濃度500ppm以下の報告により0にリセットする
- ・同じロボットは同じ記録ノードに対して連続して記録できない(誤記録防止)

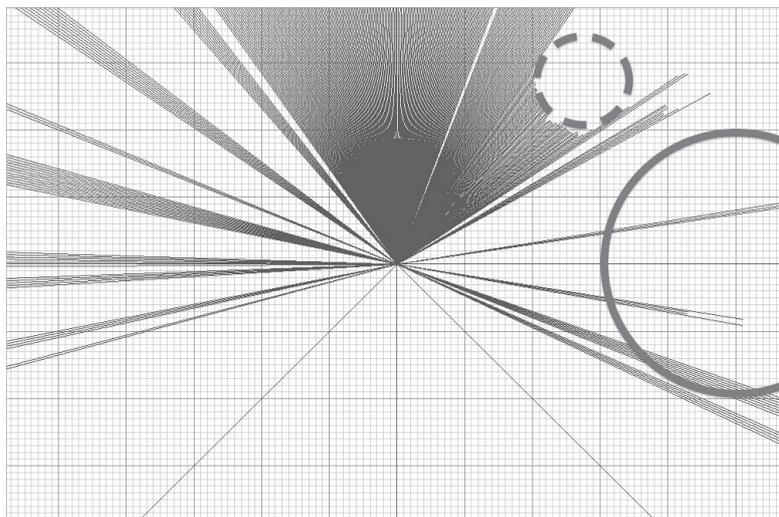


図13 Targetis human location, not robot (bold dotted circle is leg)

移動中のロボットが、ロボット位置や移動予定先の「人の有無」情報を要求した場合は、要求のあった位置を含むグリッドの記録ノードの値を送信する。また、複数のロボットが情報を蓄積することで信頼性が高まる。

このプログラムは、単純であり低価格なNETBOOKと呼ばれる低性能PCでも十分実行可能である。

### 3. 実験および結果

第3章では、位置推定実験とCO2測定実験、およびロボット間情報共有実験の結果を示す。すべての実験で、実験フィールド第2象限を0.5M刻みで2次元グリッド状に走査した。また、ロボットはRobot2のみを使用した。Robot1は、以下の理由で今回の実験には不適當であった。今後、レスキューロボットとして改めて評価する予定である。

- ・搭載したカメラの画角が広く、必要な頻度で画像パターンを認識できない
- ・CO2センサの取り付け位置が高く、床面付近でのCO2測定が困難

#### 3.1 位置推定実験

Robot2を使用し、1カ所で画像パターン計測を行った後、ロボットを次の計測場所に移動させ、これを繰り返した。実験座標系原点に近い位置では、位置推定用画像パターンを複数とらえることができた(図14)。位置推定誤差は、x軸で最大±約10cm、y軸で最大±約30cmであった(表3)。表3では、ロボット上のカメラ座標ではなく、センサ座標に補正して表示した。実験フィールドの外縁部に進むにつれ、一度に補足できる位置推定用画像パターンが少なくなり、最終的に、1つの位置推定用画像パターンしか細していない場合で、位置推定誤差がx軸で最大±約30cm、y軸で最大±約50cmという場合もあった。

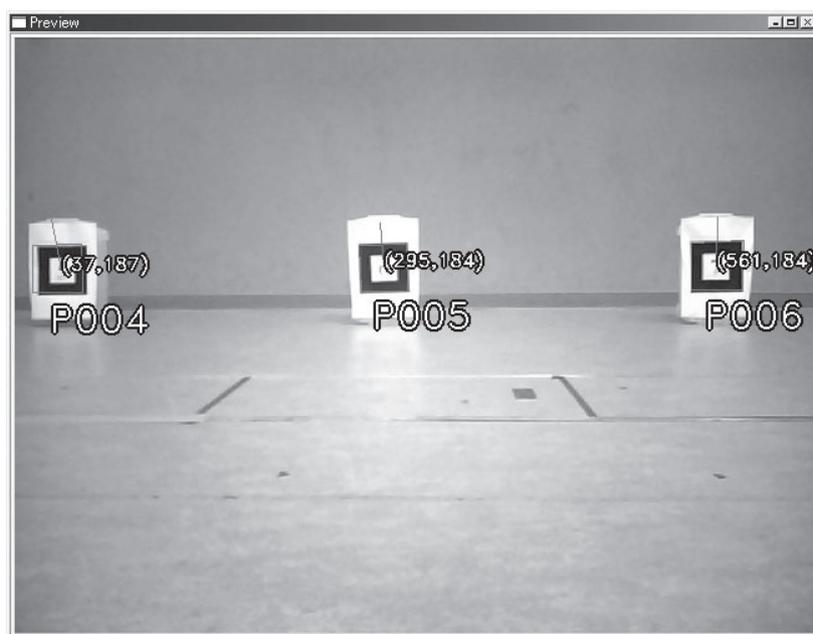


図14 QPToolKit detecting 3 image patterns

したがって、情報蓄積交換サーバの2次元グリッド間隔を50cmとした。

表3 Estimation of robot (CO2 sensor) location

True location	(-1500,1500)	(-1000,1500)	(-500,1500)	(0,1500)
Detected image patterns	P004	P004, P005	P005	P005, P006
Location (Estimated)	(-1673, 1174)	(-1058, 1334)	(-523, 1298)	(86, 1374)
	(-1500,1000)	(-1000,1000)	(-500,1000)	(0,1000)
	P004	P004, P005	P005	P005, P006
	(-1614, 778)	(-1093, 829)	(-542, 807)	(50, 876)
	(-1500, 500)	(-1000, 500)	(-500, 500)	(0, 500)
	P003, P004	P004, P005	P004, P005, P006	P005, P006
	(-1618, 288)	(-1124, 248)	(-498, 254)	(-165, 327)
	(-1500, 0)	(-1000, 0)	(-500, 0)	
	P003, P004, P005	P003, P004, P005	P005, P006, P007	
	(-1508, -263)	(-1052, 6)	(-478, -20)	

### 3.2 CO2測定実験

Robot2を使用し、床から5cm程度の高さのCO2濃度を計測した。1カ所で約1分間(数十サンプル)計測を行った後、ロボットを次の計測場所に移動させ、これを繰り返してCO2濃度を計測した(表4)。実験フィールド原点にあるCO2源(椅子に座っている人)からの距離に反比例して、CO2濃度が低くなる現象を確認した。実験は、無風状態を保つ様にしたが、制御できない空気の流れがあり、時間を変えて計測を行うと、全く別のパターンが得られた。

表4 Measured CO2

Location of Measurement	(-1500,1500)	(-1000,1500)	(-500,1500)	(0,1500)
CO2 (ppm) (Averaged)	544.06	529.80	618.35	533.88
	(-1500,1000)	(-1000,1000)	(-500,1000)	(0,1000)
	528.69	566.64	504.40	508.08
	(-1500, 500)	(-1000, 500)	(-500, 500)	(0, 500)
	567.52	622.37	824.08	586.80
	(-1500, 0)	(-1000, 0)	(-500, 0)	
	606.66	581.10	818.68	

結果として、以下の結論を得た。

- ・CO2源からの距離に反比例して、CO2濃度が低くなる
- ・2m離れると、室内平均CO2濃度になる(1m~2mの間に、ルール化困難な領域がある)
- ・閉め切った部屋では、平均CO2濃度は、500ppm~600ppm

したがって、情報蓄積交換サーバでのCO2濃度閾値を600ppmとした。

### 3.3 ロボット間情報共有実験

以上の実験によって、情報蓄積交換サーバに「人がいる可能性」を示す情報が蓄積された。そこで、これまでの実験と同じコースを走行するだけで計測はしない状態のRobot2により、人がいる付近で速度を落とすか実験した。その結果、Robot2は実験フィールド原点(人が座っていた位置)から距離1m以内では減速した。距離1mは、ロボット側であらかじめ設定した数値であり、状況依存で変更できると良い。

## 4. まとめ

これまでロボットが本来の仕事をしてしながら周辺にいる人を検出することは、画像処理等高度な人検出手法では負荷が大きすぎ現実的ではなかった。そこで、申請者は探索型レスキューロボットのGASセンサ技術を用いて、低負荷な処理によってロボット周辺の人を検知し、その場所を記録するシステムを開発した。

2台のロボットに人検出用GASセンサとしてCO2センサ、周辺物体記録用にRangeセンサを搭載、さらにロボット位置推定のためにA4サイズのマーカを周辺の壁に設置し、CO2測定実験を行った。実験は、5m×5mの実験フィールドを用意し、中央に人を着座させ、ロボットによって縦横0.5m刻みで2次元グリッド状にCO2測定を行った。この際、CO2濃度を測定し、同時にRangeセンサによってロボット周辺物体も計測した。計測したCO2濃度とRangeセンサの距離情報は、ホストPCに蓄積、CO2濃度が600ppm以上である場合、その周辺にある物体を「人である可能性がある物体」としてラベル付けた。ラベル付けの頻度が多い物体は、人である確度が向上する。人である可能性がある物体の位置情報は、各ロボットにフィードバックし、その周辺を移動する際には速度を落とす等、人に配慮する行動を実行できた。

これによりロボットが本来の仕事継続しながら、ロボット周辺にいる人の所在を記録・共有するシステムを安価に構築でき、人とロボットが共存しやすい環境を実現できる。

しかし、ロボットと人との事故防止をさらに考える必要もあ

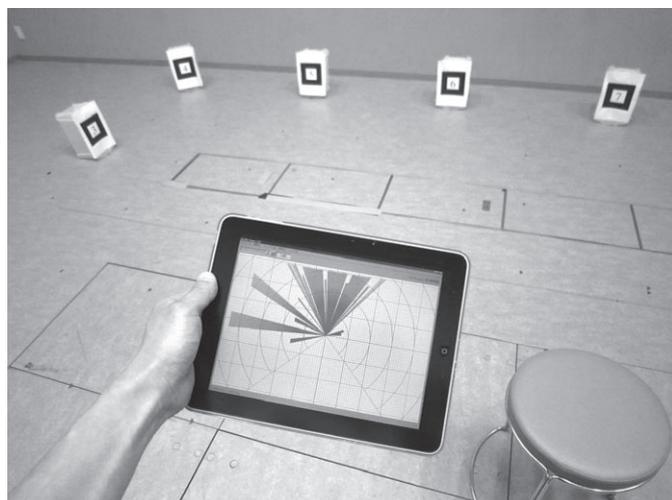


図15 Displaying inside information of robot on mobile device

る。将来、「ロボットは人がいる領域では安全を優先して振る舞う」ことを前提として、人はロボットとともに活動する時代がくると考えられる。ロボットが人や人のいる領域を認識しているかを知る手段として、モバイルデバイスでの状況確認ができると良い。図15は、iPadにロボットが現在計測しているRangeセンサの値を表示している様子である。このようなどこでもロボットの内部状態を確認できる手段と併用することで、ロボットと人との事故防止を図りながら、ロボットを使った快適な暮らしが実現されることを切に願う。

## 謝辞

本研究は、日比科学技術研究助成金の支援によって実施された。記して感謝する。

## 参考文献/サイト

- [1] 田所論, 北野宏明編: ロボカップレスキュー—緊急大規模災害救助への挑戦, 共立出版, 2000.
- [2] 田所論: ”ロボカップレスキュー”, 日本ロボット学会, Vol.20, No.1, pp.23-23, 2002.
- [3] 田所論: ”ロボカップレスキューロボットリーグ”, 日本ロボット学会, Vol.27, No.9, pp.21-24, 2009.
- [4] M.Shimizu, K.Aoki: "The proposal of the sufferer discovery vision system for the rescue robot ", Proceedings of the 7th QCAV(Quality Control of Artificial Vision), pp. 167- 172, 2005.5
- [5] 清水優, 日浦一彰, 加藤央昌, 信原卓弥: "赤外線画像を用いた被災者探索のための画像処理手法の提案 ", 電子情報通信学会 2007総合大会, 講演論文集, CD-ROM, pp. D-12-153, 2007.3.20-23
- [6] <http://ds.data.jma.go.jp/ghg/kanshi/ghgp/21co2.html>
- [7] <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/>
- [8] <http://kougaku-navi.net/QPToolkit/index.html>