

# スメルンバ: Roomba を用いた 室内においマップ自動生成システム

藤埴 洗輝<sup>1,a)</sup> 酒井 郁貴<sup>1</sup> 土井 佑斗<sup>1</sup> 山中 美優姫<sup>1</sup> 濱川 礼<sup>1</sup>

**概要:** 本論文では、室内の見取り図を自動生成し、におい物質の発生場所を可視化するシステム『スメルンバ』の開発について述べる。自律型掃除ロボットを使うと室内の埃を自動で除去できるが、空気の汚れまで掃除することはできない。空気の汚れを掃除する為には、においの発生源を特定し、除去する必要がある。そこで、本研究では自律型掃除ロボット Roomba を用いて、『スメルンバ』の開発を行い、その評価を行った。

**キーワード:** ロボット, におい, ガスセンサ, 見取り図, 可視化

## SmeRoomba: System for automatically generating the odor of map using the Roomba

KOKI FUJITSUKA<sup>1,a)</sup> FUMIKI SAKAI<sup>1</sup> YUTO DOI<sup>1</sup> MIYUKI YAMANAKA<sup>1</sup> REI HAMAKAWA<sup>1</sup>

**Abstract:** In this study, we have developed a system called “SmeRoomba” for displaying a odor that has occurred in the room on the sketch. We use self-cleaning robot in order to remove dust in the room. However, it is not possible to clean up contamination of the air. Moreover, in order to clean the odor it was necessary to remove the odor sources. Therefore, in this study, we have developed “SmeRoomba” using the Roomba of self-cleaning robot.

**Keywords:** Robot, Oder, Gas Sensor, Sketch, Visualization

### 1. はじめに

現在、より便利で快適に生活できる社会を実現させる為、日常生活における様々な分野においてロボットの活用が期待されている。近年では、自律型掃除ロボットが急速に普及しており、2010 年には国内だけでも 1 年間で 20 万台以上販売されている (図 1)。自律型掃除ロボットが急速に普及した理由は、掃除を手間を感じているユーザーが多いからである。株式会社マイナビが主婦に対して実施した嫌いな家事についてのアンケート調査によると、約 20% のユーザーは部屋の掃除を嫌っている (図 2)。その理由として、「繰り返し同じ作業をしなければならないこと」や「終わりが無い為、達成感が得られないこと」が挙げられていた。

つまり、多くのユーザーは掃除という作業を手間を感じており、「自らの手を煩わせることなく、部屋を掃除して欲しい」という要望を抱えていたのだ。このニーズに応える為に、自律型掃除ロボットには室内を巡回しながら、自動で室内のほこりを掃除する機能が備わっている。

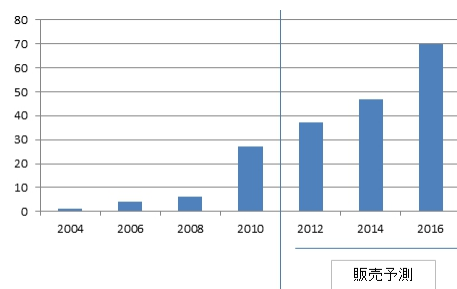


図 1 「おそうじロボット」国内市場規模予測 (単年販売台数、単位:万台) [1]

<sup>1</sup> 中京大学 情報理工学部 情報システム工学科  
Chukyo University

<sup>a)</sup> h112092@st.chukyo-u.ac.jp

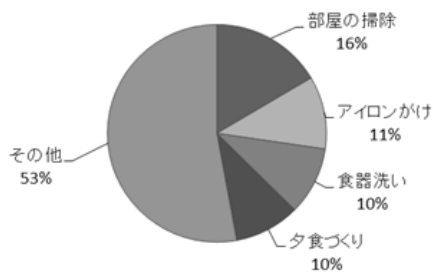


図 2 嫌いな家事ランキング (440 人対象) [2]

しかし、室内の清掃をするという観点で考えると、必ずしも自律型掃除ロボットの機能は充分とはいえない。例えば、部屋の汚れには、においも含まれている。しかし、自律型掃除ロボットは室内のにおいを取得して、空気の汚れを取り除くことができない。空気の汚れは、食品のにおい、体臭、汗のにおい、靴のにおい等、日常生活の様々な場面で発生している。しかし、人間の鼻には同じにおいを嗅いでいると、次第にそのにおいを感じなくなる順応性という性質があり、自分の衣類や部屋のにおいには気が付かないことも多い [3]。

また、におい物質は、人間の目で視認することができない。その為、予めにおいの発生場所が判明していなければ、ユーザーに消臭させることは難しい。

そこで、本研究ではユーザーがにおいの発生源を速やかに特定できる環境を実現させる為に、iRobot Corporation の Roomba [4] を使って、室内のどこでにおいが発生しているのかを可視化するシステム『スメルンバ』の開発に取り組んだ。本研究で Roomba を使用した理由は、Roomba は自律型掃除ロボットの市場において約 74.6% のシェアがあり [5]、iRobot 社が Roomba を制御する為のシリアル通信インタフェースを公開しているからである。

## 2. 関連研究

におい検出の研究には、半導体式ガスセンサを用いた防災システムがある [6]。この防災システムでは火災を早期検知させる為に、火災発生直前の焦げ臭さと、燃焼に伴って発生する水素を検知している。ただし、この防災システムは部屋にガスセンサを設置する必要がある、ガスセンサを設置していない場所での火災検知はできない。

また、においセンサを体に装着することで、日常生活におけるユーザーの状態を識別する研究がある [7]。この研究では 3 種類のガスセンサからセンシングデータを取得し、そのデータを元に解析することによって、ユーザーの状態を「室内」、「外」、「食事」、「トイレ」の 4 つコンテキストに分類することができる。この研究ではにおいの成分を分析していない為、ユーザーの周りでのにおいが存在しているかどうかを判断することはできない。

他にも、自律移動型ロボットを用いて、ガスの発生源を調

査する研究がある [8]。この研究では CMOS カメラ、ガスセンサ、気流センサを活用することによって、ガスが発生している方向を調査することができる。気流センサを活用する前提のシステムとなっている為、扇風機やエアコンを起動している時にシステムを動作させることができない。

これらの研究を踏まえて、本研究では次の 2 点を意識してシステム開発を行った。第一に、室内全体の環境を調査する為に、室内を自由に移動できる自律型ロボットにガスセンサを搭載した。その為、ガスセンサを設置していない場所のガスも検出することができる。また、自律型ロボットに室内全体を巡回させることによって、自律型ロボットが直接においの発生場所を調査している為、扇風機やエアコンが起動している時でもシステムを正常に動作させることができる。第二に、におい物質を検出する際に、生活臭を構成する主要成分が存在しているのかを識別する仕組みを開発した。この仕組みによって、室内でにおい物質が存在しているかどうかを判断することができる。

## 3. 研究内容

### 3.1 におい物質の選出

本研究では、検出対象のにおい物質をアンモニア、硫化水素、メチルメルカプタン、トリメチルアミンの 4 種類に絞っている。地球上において有機化合物は約 200 万種類存在しているが、におい分子は約 40 万種類存在しており、有機化合物の約 20% を占めている [9]。また、においを構成している物質は数百種に及ぶ為、全てのおいを正しく識別することは不可能である。その為、本研究では検出対象のにおいを室内に存在し得る生活臭 (表 1) として、その中でも悪臭防止法で指定された気体 [10] に限定している。本研究では日常生活で発生しているにおいを検出し、におい物質の発生源を特定することを目的としている為、生活臭を取得する必要がある。加えて、悪臭防止法に指定されているアンモニア、硫化水素、メチルメルカプタン、トリメチルアミンは生活臭を構成する主要成分となっていた為、これらの気体を検出すれば生活臭が発生しているかどうかを識別できる。

### 3.2 システム概要

『スメルンバ』は室内の見取り図を自動生成し、室内のどこでにおいが発生しているのかを可視化するシステムである (図 3)。初めに、Roomba に室内を巡回させて部屋の見取り図を自動生成する。次に、室内を巡回しながらにおい検出を行い、室内のどこでにおいが発生しているのかを調査する。最後に、室内のにおい物質が発生している場所を『においマップ』として保存する。保存された『においマップ』は、ユーザーが任意のタイミングで表示させることができる。

表 1 生活臭の主成分 [11]

発生場所	種類	主成分
厨房	生ゴミ臭, 調理臭	硫化水素, メチルメルカプタン, 硫化メチル, アンモニア
トイレ	排泄物臭	硫化水素, メチルメルカプタン, 硫化メチル, アンモニア
水廻り	排泄水臭, カビ臭	アセトアルデヒド, アンモニア, 酢酸
居室	タバコ臭, 生活臭	アセトアルデヒド, 硫化水素, ニコチン, タール
燃焼器具	排ガス臭	アセトアルデヒド, 窒素酸化物, 炭化水素, メチルアミン
ペット	動物・ペット臭	炭化水素, メチルメルカプタン, アンモニア, 硫化メチル

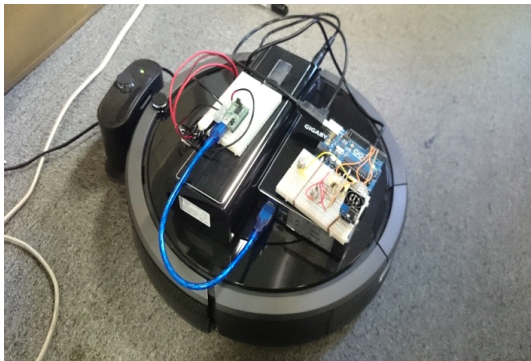


図 3 『スメルンバ』の全体像

## 4. スメルンバ

### 4.1 システム構成

『スメルンバ』はパソコン, Roomba, マイクロコンピュータの Arduino, 3 種類のカスセンサ, ベアボーン型 PC の BRIX[12] によって構成されている (図 4). 初めに, パソコンから BRIX に対してリモートデスクトップ接続を行う. その後, BRIX 上で Roomba を操作し, においマップ生成部の処理に移る. その結果, Roomba とカスセンサのセンシングデータを使って室内の『においマップ』を生成し, BRIX 内に『においマップ』を保存することができる. においマップ生成部で生成された『においマップ』は, においマップ表示部で参照される.

### 4.2 においマップ生成部

においマップ生成部は Roomba 制御部, におい検出部, におい識別部によって構成されており, Roomba が持っている自動で部屋を巡回する機能を利用して, 室内の『においマップ』を生成している.

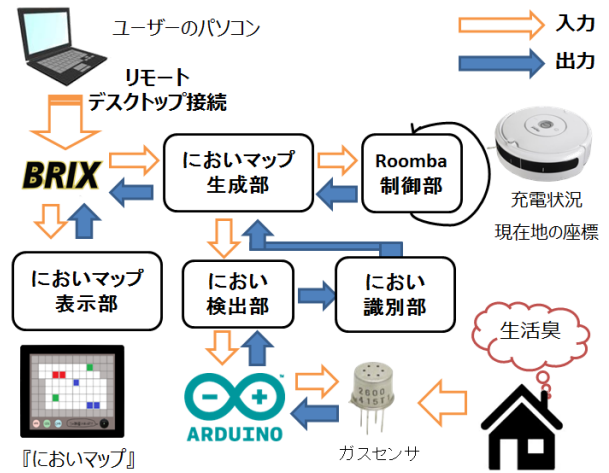


図 4 スメルンバのシステム構成

図 5 に, 『においマップ』を生成する為のアルゴリズムを示す. 初めに, Roomba を起動させた時に Roomba が向いている方向を Y 軸, Y 軸に対して垂直方向を X 軸とする. 次に, Roomba に室内を巡回させて, X 軸方向, Y 軸方向の最小値, 最大値を取得する. その後, 取得した X 軸方向, Y 軸方向の最小値, 最大値を元に見取り図の大きさを設定する.

見取り図の大きさを設定した後, 再び Roomba に室内を巡回させる. その際, 3 種類のカスセンサを使って空気中の気体を検出し, におい物質が存在しているかどうかを識別する. ここで, Roomba の移動先でにおい物質が存在していた場合, その情報を見取り図として保存する.

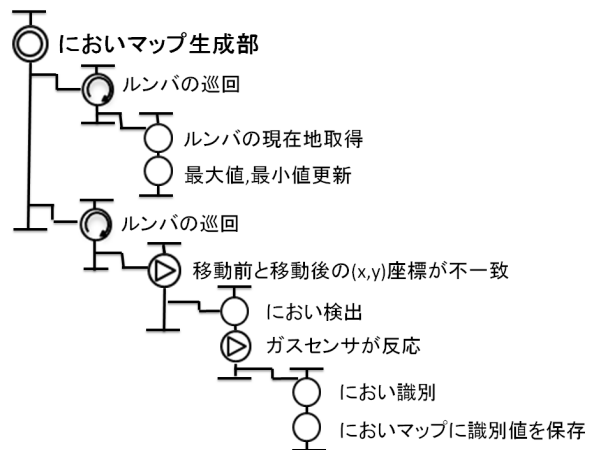


図 5 においマップ生成法のアルゴリズム: HCP チャート

### 4.3 Roomba 制御部

#### 4.3.1 センシングデータの活用

Roomba が室内を巡回している時に, 2 つのセンシングデータを取得している. 第一に, Roomba が移動している時の現在地情報を取得する. その理由は, Roomba が通った場所とにおい物質の種類を同時に保存することによって,

室内のどこでにおいが発生しているのかを記録することができるからである。第二に、Roomba の充電状況を取得する。Roomba には室内の巡回が終わった後、充電器に戻る機能がある。その為、Roomba の充電状況を取得すれば、室内全体のにおいを『においマップ』に反映させることができる。

#### 4.3.2 センシングデータの取得方法

本研究では、Roomba を制御するライブラリとして lib-Roomba を使用した。libRoomba を使用すれば Roomba の制御モードの変更、モータ制御、ライト制御等を行うことができる。Roomba の制御モードには OFF モード、Passive モード、Safe モード、Full モードの 4 種類がある (表 2)。Passive モード、Safe モード、Full モードでは Roomba のセンシングデータを取得をすることができる。ただし、Safe モードと Full モードでは全ての制御を行う必要がある。その為、本研究では Passive モードで制御することによって現在地と充電状況の取得を行っている。

表 2 Roomba の制御モード

制御モード	制約
OFF	データの送受信ができない
Passive	現在地情報と充電状況が取得できる モータの制御はできない
Safe	安全に関する機能以外の全ての制御ができる 現在地情報と充電状況の取得ができる モータの制御ができる 通常の掃除機能は使用できない
Full	全ての制御ができる 停止条件を無視して行動する 通常の掃除機能は使用できない

#### 4.3.3 Roomba とのシリアル通信

BRIX と Roomba との間でシリアル通信を行うことによって、BRIX 上で Roomba のセンシングデータを取り扱う。5V の TTL 接続を使って Roomba と BRIX のシリアル接続を行っているが、通常のシリアル端子と Roomba を接続することはできない。その為、マルツエレクトロニクス株式会社の USB-Serial 変換チップ MFT232RL とマル信無線電機株式会社のミニ DIN プラグ 7P(MP-371/7) を中継してシリアル接続を行っている。

### 4.4 におい検出部

#### 4.4.1 におい検出装置

室内で発生しているにおい物質は気体として存在しているので、においが発生しているかどうかを調査する場合、気体を検知することができるガスセンサが必要となる。現在、におい計測で一般的に使われているガスセンサは、水晶振動子式と半導体式の 2 種類である。

水晶振動子式のガスセンサは振動子の表面のにおい感応膜へにおい分子が吸着すると膜の質量が増加し、比例した

共振周波数の低下量でにおい物質の濃度を計測する。特に有機系のにおい物質について生体の嗅覚特性に近いセンサを実現できる可能性がある。しかし、水晶振動子式のガスセンサは Roomba には搭載できない程大きく、その上 1 台当たり数百万円の費用がかかる。

一方、半導体式のガスセンサは半導体表面におけるにおい分子の吸着と表面反応によって半導体の抵抗値が変化する。この仕組みを活用することによって、におい物質を検出することができる [13]。数値として表した検出結果を Arduino を通して容易に受け渡すことができる為、水晶振動子式と比較して小さく安価で手に入れやすいという利点がある。

その為、本研究では、においの検出方法として半導体式のガスセンサを採用した。

#### 4.4.2 ガスセンサの選出

悪臭物質指定されている気体を検出する必要がある為、3 種類のガスセンサを使用してにおい検出を行う。表 3 に示した 3 種類のガスセンサを活用することで、アンモニア、硫化水素、メチルメルカプタン、トリメチルアミンを検出することができる。

表 3 各ガスセンサの検出できる気体

ガスセンサ	気体
MQ-137	アンモニア, エタノール, 一酸化炭素
TGS2450	水素, トリメチルアミン, 硫化水素, メチルメルカプタン, エタノール
TGS2603	アンモニア, 硫化水素, メチルメルカプタン, エタノール

#### 4.4.3 におい検出の仕組み

本研究では、3 種類の半導体式ガスセンサ素子と Arduino を使ってにおい検出を行っている (図 6)。開発環境は Arduino1. 0. 6 で BRIX との通信にはシリアル通信を用いる。ガスセンサ素子は気体を検出した時、抵抗値が変化する。各ガスセンサ素子のデータシートに記述されたセンサ抵抗値比  $\frac{R_s}{R_o}$  よりガスセンサの感度が求められる [14], [15], [16]。センサ抵抗値比において、 $R_s$  は各種濃度のガス雰囲気中でのセンサ抵抗値を、 $R_o$  は洗浄大気中におけるセンサ抵抗値を表す。

#### 4.4.4 BRIX との通信

移動する Roomba の上から室内のにおいを測定し MQ-137, TGS2450, TGS2603 の順に各ガスセンサが検出した抵抗値比を識別部へ受け渡す (表 4)。

### 4.5 におい識別部

#### 4.5.1 におい物質の識別

におい識別部では、におい検出部で検出された気体がにおい物質かどうかを識別している。本研究では、アンモニア、硫化水素、トリメチルアミン、メチルメルカプタンの発

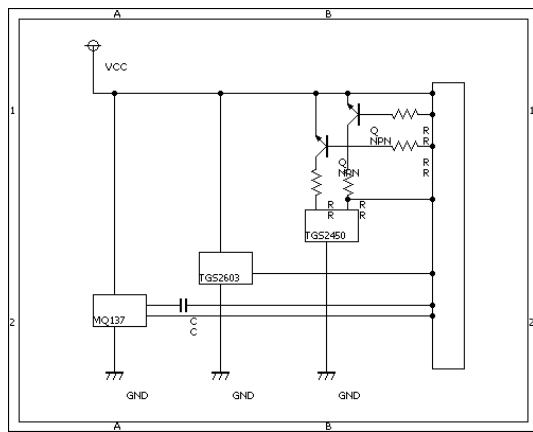


図 6 Arduino の回路図

表 4 ガスセンサでの検出結果例

検出対象	MQ137	TGS2450	TGS2603	検出結果
清浄大気	3.42	1.18	1.11	水素
整髪剤	0.61	0.83	1.20	一酸化炭素
たまねぎ	2.91	0.79	0.38	メチルメルカプタン
煙草の煙	0.73	0.41	0.95	アンモニア 一酸化炭素

生場所を表示することを目的としている。しかし、におい検出部で使用しているガスセンサは、一酸化炭素、エタノール、アンモニア、水素、硫化水素、トリメチルアミン、メチルメルカプタンのいずれかが存在した時に気体を検出する仕組みとなっている。その為、ガスセンサがにおい物質を検出しているのかを調査する必要があった。

#### 4.5.2 におい識別の仕組み

シリアル通信を使って、におい検出部で算出した各ガスセンサの感度を受け取る。その後、各ガスセンサの感度を元に、どの気体が検出されたのかを識別する(表 5)。ただし、ガスセンサは特定のセンサの感度に対して、複数の気体に対応している場合がある。その為、3種類のガスセンサの検出結果を照らし合わせることで、空気中に必ず存在しているにおい物質を識別している。

例えば、MQ-137, TGS2450, TGS2603 が出力したセンサの感度がそれぞれ 0.75 以上 1.5 未満, 0.008 以上 0.03 未満, 0.43 以上 0.89 未満の時、MQ-137 の検出結果だけではアンモニア、エタノールの内、どちらの気体が空気中に存在しているのかを識別することはできない。しかし、ここで TGS2603 の検出結果を使えばエタノールが検出されていないことが分かる為、空気中にアンモニアが存在していることが分かる。また、TGS2450 の検出結果だけではメチルメルカプタン、エタノールの内、どちらの気体が空気中に存在しているのかを識別することはできない。しかし、TGS2603 の検出結果を使えばエタノールが検出されていないことが分かる為、空気中にメチルメルカプタンが存在していることが分かる。

表 5 各ガスセンサの検出対象 [14], [15], [16]

ガスセンサ	センサの感度	検出気体
MQ-137	3.5 ~ 2.9	反応なし
	2.9 ~ 1.5	一酸化炭素, エタノール
	1.5 ~ 0.75	アンモニア, エタノール
	0.75 ~ 0.1	アンモニア
TGS2603	1.0 ~ 0.89	反応なし
	0.89 ~ 0.43	トリメチルアミン, 硫化水素, メチルメルカプタン
	0.43 ~ 0.29	トリメチルアミン, メチルメルカプタン, エタノール
	0.29 ~ 0.01	エタノール
TGS2450	1.0 ~ 0.7	反応なし
	0.7 ~ 0.6	アンモニア
	0.6 ~ 0.48	アンモニア, 硫化水素
	0.48 ~ 0.1	アンモニア, 硫化水素, メチルメルカプタン
	0.1 ~ 0.03	アンモニア, 硫化水素, メチルメルカプタン, エタノール
	0.03 ~ 0.008	メチルメルカプタン, エタノール
0.08 ~ 0.0001	メチルメルカプタン	

#### 4.6 においマップ表示部

においマップ表示部では、過去に生成した『においマップ』を参照することによって、部屋のどこでにおい物質が発生しているのかを可視化している。

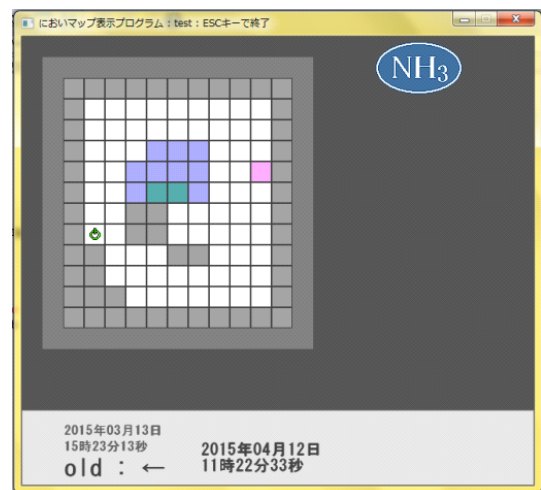


図 7 においマップ表示部

『スメルンバ』では、見取り図上でにおい物質が存在している場所を特定の色で塗り潰すことにより、室内のにおいを可視化している。そして、特定の色で塗り潰されたマスにカーソルを当てることで、そのマスで発生しているにおい分子を表示させることができる。見取り図上で各マスにおいて壁は灰色、Roomba が通った道は白色となり、その他の色は検出したにおい物質を表す(図 7)。本研究では複数のにおい分子が同時に同じ場所で存在していた場合、

検出できた全てのにおい分子を画面上に表示させることができる。その結果、高濃度のにおい物質だけでなく、低濃度のにおい物質も同時に表示できる。

また、本研究では現在の『においマップ』だけではなく、過去の『においマップ』も参照できる機能を開発した。この機能で室内におけるにおいの変化をとらえることができる。その為、ユーザーは、においが発生し易い場所や新たににおいが発生するようになった場所を容易に特定することができる。

## 5. 研究成果

### 5.1 アンケート調査による評価

#### 5.1.1 アンケート調査の手順

学生 12 人に対して『スメルンバ』についてのアンケート調査を実施した。初めに、被験者は評価対象の 3 部屋を訪れ、部屋の見取り図をスケッチした。本研究では、大学構内の院生室 2 部屋とアトリエ 1 部屋の計 3 部屋を対象として評価を行った。これらの部屋を評価対象に選んだ理由は、全ての部屋でにおいが発生している可能性があったからである。院生室 2 部屋では学生が頻繁に飲食物を持ち込んでおり、アトリエでは学生がにおいを発する画材を取り扱っていた。

見取り図をスケッチした後、室内のどの場所でどんなにおいを感じたかを見取り図上に記入した。その後、においマップ表示プログラムを使用し、被験者自身が描いた見取り図とシステムが自動生成した『においマップ』(図 8)を比較した。最後に、においマップ表示プログラムに対してのアンケートを記入した。

#### 5.1.2 アンケート調査の結果

アンケート調査の結果を使って、『スメルンバ』のにおい検出の精度を評価した(表 6)。部屋のにおいを感じるかという設問では、部屋 A では全ての被験者が部屋のにおいを感じないと回答し部屋 B では被験者の約 83%、部屋 C では被験者の約 92%がにおいを感じると回答していた。その為、被験者は部屋 A、部屋 B ではにおいを感じていなかったが、部屋 C では強においを感じていた。また、『スメルンバ』がにおいを検出した場所と被験者が感じたにおいの場所が一致しているかという設問では、評価対象の 3 部屋において、被験者の約 36%が一致していないと認識していた。ここで、『スメルンバ』は部屋 A において、室内のゴミ箱の付近でにおい物質を検出していた。『スメルンバ』が室内のにおいを検出していたことに対して、ユーザーが室内のにおいを認識していなかったことから、『スメルンバ』は人間の嗅覚では区別が感じ取ることができない微かなにおいまで検出している。

また、被験者にプログラムを使った時、便利に感じた点について聞いてみたところ、マウスカーソルを見取り図上に乗せるだけでにおいの成分を確認することができる機能が

良かったという評価が得られた。しかし、においの構成物質は分かっても、どんなにおいが発生しているのか分からないという不満の声があった。また、過去の『においマップ』を遡ることによって、室内のにおいの変化を捉えることができたという意見もあった。



図 8 部屋 A の『においマップ』

表 6 『スメルンバ』のアンケート結果

評価項目	部屋名	はい	いいえ
部屋のにおいを感じるか	部屋 A	0	12
	部屋 B	2	10
	部屋 C	11	1
においが検出された場所はおいを感じた場所か	部屋 A	8	4
	部屋 B	7	5
	部屋 C	8	4

### 5.2 実測による評価

#### 5.2.1 実測による評価の手順

部屋 A に対して、『スメルンバ』が自動生成した見取り図の精度を評価した。初めに、室内における家具の配置と部屋の寸法を元に見取り図を作成した(図 9)。Roomba の直径が 34cm であることから、34cm 四方を 1 マスとして見取り図を格子で区切った。その後、『スメルンバ』が生成した見取り図と実際の見取り図を比較し、室内における家具の配置がどれだけ一致しているか調査した。

#### 5.2.2 実測による評価の手順

評価の結果、全 153 マス中の約 75% が一致した。約 25%のマスにおいて一致しなかった理由は 2 つある。第一に、実測に基づいて作成した見取り図では、Roomba の移動範囲が考慮されていなかったからである。例えば、部屋 A には机の下に Roomba が移動できる広さがあった為、『スメルンバ』が自動生成した見取り図では家具が配置されていない場所として認識されていた。第二に、実測に基づいて作成した見取り図では、椅子やゴミ箱等の位置が考慮さ

れていなかったからである。

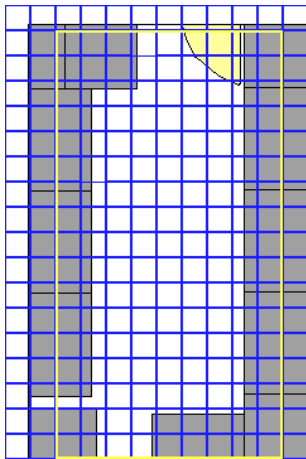


図 9 部屋 A の見取り図

### 5.3 考察

本研究では、においの発生箇所を自動で特定させることに成功した。『スメルンバ』を活用すると、見取り図上でにおいの分布を可視化することができる。その為、においが発生している地域の中心を調査することによって、においの発生源を容易に特定できる。ただし、『スメルンバ』を活用しても、室内でどんなにおいが発生しているかを正確に識別することはできなかった。その理由として、硫黄化合物センサの TGS2450 が硫黄単体だけではなく、全ての硫黄化合物に対して反応してしまう点が挙げられる。におい物質は分子構造の違いによって全く異なるにおいを発してしまうことがある。その為、においを識別するにはどの硫黄化合物が反応しているのか判明していなければならない。しかし、硫黄だけを識別するのではなく、他の硫黄化合物も同一の物質として識別してしまう。その為、におい物質が存在しているかどうかを調査することはできるが、どんなにおいが発生しているのかを識別することはできなかった。

## 6. 今後の展望

『スメルンバ』には室内のどこでにおいが発生しているのかを特定する機能が備わっているが、空気の汚れを自動で除去する機能は備わっていない。その為、今後はにおいの発生源において消臭スプレーを散布したり、空気の換気を行ったりする機能の開発に取り組んでいきたい。

また、『スメルンバ』はシステムが活用できる場面が限定されているという問題点を抱えている。Roomba は室内を自動で巡回するロボットだが、段差が大きい場所を進むことはできない。『スメルンバ』はあくまで日常生活を支援することを目的として開発したが、発電所や工場等、異常の発生を速やかに報告してほしい場所でも必要とされているシステムである。その為、今後は Parrot 社が開発した

A.R.Drone や Rolling Spider[17] 等の軽快な動作をするロボットに移植することで、本システムが活用できる場面を拡大していきたい。

### 参考文献

- [1] 株式会社シード・プランニング, “「おそうじロボット」ユーザー調査結果と将来展望”, <http://www.seedplanning.co.jp/press/2012/2012011701.html>(2012. 01. 10).
- [2] 株式会社マイナビ, “妻が本当は嫌な家事ランキング”, <http://woman.mynavi.jp/article/130703-009/>(2013. 07. 03).
- [3] 日本デオドール株式会社, <http://www.deodor.co.jp/nioimec.html>.
- [4] iRobot Corporation, <http://www.irobot-jp.com/>.
- [5] 株式会社シードプランニング, “おそうじロボットの導入ユーザー調査と市場展望”, <http://www.seedplanning.co.jp/press/2012/2012011701.html>(2012. 01).
- [6] 竹井 義法, 高山 靖則, 田代 哲朗, 南戸 秀仁, 岩崎 幸代, 笠原 浩, “火災検知のための臭いセンサシステムの開発とロボット搭載への検討 (2003. 01).
- [7] 小林 泰貴, 寺田 努, 塚本 昌彦, “においに基づく状況認識の実現に向けて”(2010. 07)
- [8] Hiroshi Ishida, Hidenao Tanaka, Haruki Taniguchi, Toyosaka Moriizumi, “Mobile robot navigation using vision and olfaction to search for a gas/odor source”(2006).
- [9] 東リ株式会社, MAINTe vol. 5(1992. 5. 10).
- [10] 環境省 大臣官房 廃棄物・リサイクル対策部, “廃棄物処理施設生活環境影響調査指針”, [https://www.env.go.jp/recycle/misc/facility\\_assess/mat05.pdf](https://www.env.go.jp/recycle/misc/facility_assess/mat05.pdf)(2006. 09).
- [11] 室内環境学会, “室内環境学概論”(2010. 11. 30).
- [12] GIGABYTE, <http://www.gigabyte.com/>.
- [13] 一般社団法人 日本電気計測器工業会, “嗅覚 電子応用計測”, <http://tech.jemima.or.jp/30405.html>.
- [14] HANWEI ELECTRONICS CO. LTD, “TECHNICAL DATA MQ-137 GAS SENSOR”, <http://www.sensorica.ru/pdf/MQ-137.pdf>.
- [15] フィガロ技研株式会社, “TGS2450 硫黄化合物ガス検知”, <http://www8.plala.or.jp/InHisTime/PIC-027/TGS2450.pdf>.
- [16] フィガロ技研株式会社, “TGS2603 空気の汚れ, 悪臭検知用ガスセンサ”, [http://www.figaro.co.jp/product/docs/tgs2603\\\_productinfo\\\_rev04.pdf](http://www.figaro.co.jp/product/docs/tgs2603\_productinfo\_rev04.pdf).
- [17] Parrot 社, <http://www.parrot.com/jp/>.