

## 席取り混雑回避システムの為の人数計測手法の検討

石川敏揮<sup>†1</sup> 平山雅之<sup>†1†2</sup> 杉本竜之介<sup>†2</sup> 早川佳克<sup>†2</sup>

近年、電車や店舗などの閉空間内での混雑が多く発生しており、これらの混雑状況を計測し緩和する方法の必要性が増している。我々はこうした閉空間内の混雑緩和の一つとして、食堂等で発生する席取り混雑に着目し、それを緩和することを目的としたシステムの提案と開発を進めている。

このシステムでは焦電型赤外線人感センサと赤外線距離センサを用いて食堂等の閉空間内の人検知を行い、施設利用状況を計測する。本稿では食堂内にある机の上のエリア、椅子に座っている人間がいるエリア、エリア外の3つについて距離センサと熱源を検知する焦電センサを併用し、それらのセンサデータを情報処理することで、席に座っている人間のみを計測する方法の提案を提案する。またこの方式をシステムとして実装し実験した結果についても合わせて報告する。

### A study on evaluation method for seat up congestion alleviation

TOSHIKI ISHIKAWA<sup>†1</sup> MASAYUKI HIRAYAMA<sup>†1†2</sup>  
RYUNOSUKE SUGIMOTO<sup>†2</sup> YOSHIKATSU HAYAKAWA<sup>†2</sup>

Recently, congestion with various places such as the cafe, restaurants, and libraries has come to the problem. In order to resolve these congestions, various types of crowded condition measurement technique are proposed. However, there is few crowded condition measurement technique which focuses on using status of equipment such as tables and chairs in a food court or cafeteria. In this paper, we proposed a way for detecting crowded conditions using rotating radar shaped pyroelectric infrared sensor.

This system uses a pyroelectric infrared sensor and Infrared distance sensor. The pyroelectric infrared measure the human. The Infrared distance sensor measure distance. This paper, this system measure the three areas. Its area is on the desk, seating, floor area. This system determined that people looking for a heat source of the seating area.

## 1. はじめに

### 1.1 背景

近年人口の増加に伴い店舗など閉空間内の混雑が問題となっており[1]、混雑緩和のための手法が提案されている[2][3]。閉空間内の混雑状況の評価は、人の密度を利用し評価する方法、席や机などの施設利用率を利用して評価する方法に分けられる。前者は電車や美術館などの閉空間、後者はフードコートや食堂などの閉空間の混雑評価に適している。前者については閉空間内への人の出入りをカウントするなどの方法が既に確立し、実用化されている。一方で、後者については、食堂のテーブル一つとっても、相席するケースなどもあり、単純にテーブルや椅子の利用率だけでは評価できないといった問題がある。このため視覚的に利用者に混雑状況を提示し施設を利用するかどうか判別してもらう必要がある。実用例としては会計カウンターに並んでいる際、机が置いてあるフロアにカメラを設置し、

この映像を見せることで施設の混雑状況を知らせるサービスが一部実用化されている。しかしこの方法ではプライバシーの観点から店内でシステムを実用化するしかなく、客は店そのものに足を運んで混雑情報を手に入れなければならない。このため我々はカメラを使わず、安価なセンサを用いて自動計測し、店外からも混雑状況を確認できるようにインターネットなどを介してして、客の集中をあらかじめ回避するなどして、混雑解消を実現するシステムを開発している。

このシステムについてはこれまでに混雑状況の評価方法の提案、並びにそれを計測するためのセンサ多重化の考え方について提案した[4]。また、センシングの方法としてレーダー状にセンシングを行うことでテーブルの周囲にある熱源を検知し、熱源の数をカウントすることで人数を計測する手法についても提案した[5]。しかしこの提案で用いた焦電型赤外線センサを単一利用する方式ではテーブル上にある飲食物やパソコンなどの熱源や机の周りを歩いている人間や隣の机に座っている人間を検知してしまうという問題があった。

そこで本論文では焦電型赤外線センサの他に赤外線測距センサを用いることで、机に着席している人間の判別制度を向上させるとともに、距離情報を用いて熱源の判別を

<sup>†1</sup> 日本大学大学院理工学研究科  
Graduate School of Science and Technology, Nihon University  
<sup>†2</sup> 日本大学理工学部  
College of Science and Technology, Nihon University x

行う手法について提案する。

### 1.2 閉空間における混雑度計測の問題点

電車やアトラクションの混雑評価では、一人分の面積と人数、定員数を用いて混雑状況を評価する。具体的には閉空間内の人数を定員数、もしくは一人当たりの専有面積で割ることで、一人当たりの平均専有面積（人密度）を算出する。そしてその値を基に、美術館内や電車内の混雑状況やアミューズメント施設などのアトラクションの待ち時間の数値を算出し表示をする。

一方、フードコートなどでは後述するように、席の充足率とテーブルの利用率は乖離してしまう。こうした閉空間では単純な人密度や設備利用率では混雑度合いを評価できない。ここでの問題点として、

- ① 設備利用率を評価に関する適切な評価指標が提案されていない
- ② 定量的にどれくらいあれば混雑と評価するかといった明確な基準値が定まっていない
- ③ これらを含め閉空間内の混雑を認識し評価するためのシステムが提案されていない

といった点を挙げる事ができる。

これらの問題点の結果、フードコートなどの施設利用者は目的地の混雑状況を知るために目的地を目視し、始めて混雑状況を認識しなければならない状況が続いている。

本報告では2章で①②についての考え方を簡単に紹介する。3章以降では③について具体的な混雑計測の方式とシステム実装方式を中心に報告する。

## 2. 閉空間の混雑評価

### 2.1 計測可能な指標

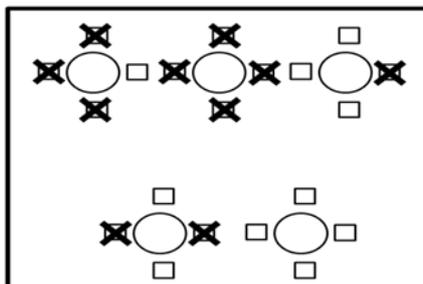


図1 フードコートの利用状況例

施設利用率に着目した混雑評価の一例として図1に示したフードコートの利用状況を例に、混雑評価指標を提案する。図1の○は机を表し、□は椅子、×は着席状況を表している。

フードコートの混雑を視覚的に評価する場合、定量的に計測可能な指標として、席数、テーブル数、利用者の人数、グループ数があげられる。例えば4人掛けの机に4人のグループが座ることもあれば1人が専有することもある。このためフロア内の席の利用率は、利用率100%未満で空席がある場合でも、机の利用率が100%となっていて空いている席を有効に利用できない場合もある。また机の使用率だけから判断してしまうと、机の使用率が100%の場合、相席を考えることが出来なくなってしまう。このため、フロア内の個別の施設(椅子や席など)の使用率を単純に算出し表示するだけでは使用者の求める情報とはなりえない。

### 2.2 施設混雑度評価のための複合指標の提案

また、施設の利用者が二人組の場合、三人組の場合などで客が必要としている席数が変化することも考慮する必要がある。これらを考慮し、以下の式(1~3)より、利用者が属するグループ全員が座ることを念頭に混雑度を算出する。

まず利用者がいるテーブルの判別を行うためテーブル一つ当たりの使用率を算出する。テーブル1つ当たり使用率をX、テーブル1つ当たりの席をN、テーブル1つ当たりの席を使用している人数をnとする。

$$X = n/N \quad [\%] \quad (1)$$

テーブル1つ当たり使用率X=0のとき未使用、X>0のとき使用中のテーブルを意味し、使用中のテーブル数をmとする。このとき1テーブルに複数のグループが相席することを考える。利用待ちのグループ一組の人数aで、あるテーブルについてa ≤ N-nの場合には、そのテーブルに相席することができる。このような条件を満たすテーブルがm'だけある場合、利用待ちのグループ一組が座れるテーブル数Yは閉空間内のテーブル数をMとしたとき

$$Y = (M - m + m') \quad [\text{台}] \quad (2)$$

と表わすことができる。この場合、混雑度Zは以下の式によって求められる。

$$Z = (m - m')/M \quad [\%] \quad (3)$$

### 2.3 利用状況評価例

例として図1の利用状況を使って混雑度を算出する。図中のエリア内の机M=5、机一つあたりの席数N=4。このうち使用中の机の数m=4である。使用中の机の利用率はX=100, 75, 50, 25[%]の机が各1台ある。利用待ちの2人組のグループが図中のフードコートを利用するとき、相席できるテーブルm'=2[台]あり、利用者が利用できるテーブル数Yは5台中3台となる。このときの混雑度はZ=40[%]となる。また利用待ちの3人組のグループが図中のフードコートを利用するときは相席できるテーブルm'=1[台]となり、混雑度はZ=60[%]となる。このように利用待ちの人数aが変化することにより、利用状況が同じでも利用者数が変化することにより混雑度が変化する。我々が目指している閉空間ナビゲーションでは利用待ちのグループ一組の人数aが利用できるテーブル数Yを基準に混雑度を表し、それぞれのグループにとっての混雑度を情報として提供する。

## 3. 閉空間ナビゲーションシステム

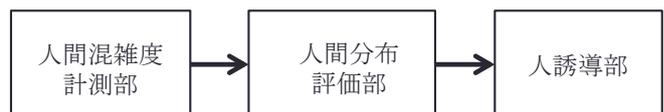


図2 閉空間ナビゲーションシステムのサブシステム構成

ここでは、上記で定義した混雑度の指標を、複数のセンサから得られる情報をもとに算出するための方法について紹介する。図2に閉空間ナビゲーションシステムのサブシステムの構成を示す。最終的な閉空間ナビゲーションシステムは人混雑度計測部、人間分布評価部、人誘導部の3つのサブシステムにより構成する。

人混雑度計測部：人混雑計測部は複数種類のセンサを使用することにより人検知を行う。

人間分布評価部 : センサのデータを処理し混雑度として数値化する。

人誘導部 : 混雑度をもとに閉空間内の混雑度合を施設利用者に提供することで閉空間内のどの場所が混雑または空いているか判断して行動の指針としてもらう。

これら3つのサブシステムの中でも、混雑度の計算に必要な人混雑度計測部は特に重要な役割を担っている。

## 4. 焦電型赤外線センサと赤外線測距センサを併用した人数計測手法

### 4.1 人検知に使うメインセンサの評価

表1 センサの評価

	人検知情報	測定精度	コスト	外乱影響	検知範囲	リアルタイム性
サーモパイル	人の有無	△	○	△	○	○
焦電型赤外線センサ	人の有無	○	○	○	○	○
CO2センサ	人の人数推定	×	○	△	○	×
マイクロフォン	人の有無	△	○	×	○	○
超音波センサ	人の有無, 対象までの距離	△	○	△	○	○
ドップラーセンサ	人の有無, 対象までの距離	○	△	○	○	○
カメラ	人の有無, 対象の状態	○	×	○	○	○

空間内外の人の検知については監視カメラなども含め様々なセンシング方法が提案されている。今回考える人検知環境はフードコートという特定閉空間内の席取り行為を目的としているため、着席している人間のみを検知する手法が望ましい。センシング方法としては表1に示すようにいくつかのセンサが候補として考えられる。ここで本システムに最適なセンサを選定するため

- ・着席者と非着席者を判断する精度を測定精度
- ・システム全体にかかるセンサのコスト
- ・外乱影響
- ・対象物までの距離、センサの視野角を含めた検知範囲
- ・リアルタイム性

の5項目に分けて評価を行った。

表1に見るように、焦電型赤外線センサは本システムに用いるセンサで考慮すべき5つの評価視点のすべてを満足しており、利用するセンサの第1選択肢となる。一方、測定精度や外乱影響、検知範囲に制約があるCO2センサ、マイクロフォンなどは利用するセンサとしては適さないと考えられる。さらに、カメラについてはコスト面の問題やプライバシーの問題などからふさわしくない。これより本システムでは、焦電型赤外線センサをメインセンサとして利用することが適切であると判断した。

一方で、焦電型赤外線センサはセンシング範囲内の人の有無を計測できるものの、センサからの位置情報については必ずしも正しい情報は持ちえないといった問題を持っている。このため、本方式では補助センサとして距離情報を取得するセンサを併用する。具体的には、サブセンサとして評価欄にあった測距センサとしての機能がある超音波セ

ンサ、ドップラーセンサ、赤外線測距センサのいずれかを併用する。今回は扱いやすさを考慮して、赤外線測距センサをサブセンサとして利用した。

### 4.2 複数種類のセンサの併用案

本システムにおける人検知では、「着席者とその他熱源の判別」、「単一センサによるセンシング視野」が問題となる。そこでここでは5.1の評価結果をもとに「着席者と非着席者の判別」については焦電型赤外線センサと測距センサを併用し、「センシング視野の問題」では焦電型赤外線センサを回転することで、この問題の解決を考える。

#### (1) 人の識別

焦電赤外線センサでは、センサの検知範囲内で温度の変化により人検知を行う。このときセンサから人までの距離に関わらず検知を行うため、椅子に座っているのか、センサの検知範囲を人が横切ったのか、もしくは机上に置かれた熱源なのか判別は難しい。このため、測距センサを併用し、対象物までの距離を計測し、テーブルの周囲にいる人間を判別することが可能となる。

#### (2) センシング視野の問題

一つのテーブルについてその周囲を検知するためセンサをモータで回転することで360°の範囲をセンシングすることで検知範囲を広くする。また焦電型赤外線センサは温度の変化量を見ているため動体でないと検知することができない。だがモータで稼働することにより熱源が動いていなくても検知が可能となる。このため椅子に座っている人間に動きがなくても検知が可能になる。

このように複数種類のセンサを併用することで検知対象の選別を行い、またセンサを動かすことで、センシング視野の問題や検知精度を高め、人検知を行い、混雑度を求めることができる。

### 4.3 1次元人検知手法

#### 4.3.1 基本方式

図3に焦電型赤外線センサを用いた検知手法を示す。各

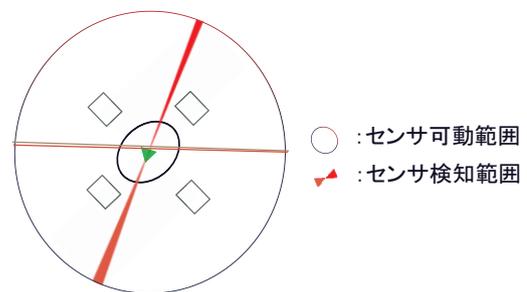


図3 焦電型赤外線センサを用いた検知手法

記号はそれぞれ、黒○は机、□は席、緑△は焦電型赤外線センサを表している。机上の中心付近に焦電型赤外線センサを設置。焦電型赤外線センサを360°レーダー状にセンシングを行うことでセンサの周囲にある熱源を検知する。焦電型赤外線センサは熱源を検知すると1秒間の検知信号が出るように回路上で設定してある。そして焦電型赤外線センサを対象になるように2つ配置しモータで180°回転させ、360°の範囲を検知する。モータを180°の往復にか

かる時間を1分と設定すると片道30秒かかり、センサは検知してから1秒間の出力時間を考慮すると6°間隔で出力があるかどうかを検知することで出力信号の取得ミスや取得過多にならない。センサの検知範囲180度を計測開始点を含め6度おきに計測点を置き、センサを回転させて計31点の計測点でセンサの検知情報を取得する。センサが人間を検知した場合の検知フラグを1と設定し、非検知の場合は検知フラグを0と設定した。往路では人間を検知した場合各計測点でフラグを1とする。復路でも同様にフラグを立てる。ただし、往路で立てたフラグは折らないといった処理を行う。センサが1往復した段階で30点のフラグデータを人間分布評価部に出力する。センサは1往復1分の割合で回転させ、再度するとき全フラグデータを0にし、30点のフラグデータを再取得する。これを繰り返すことにより1テーブルの利用状況を計測する。このセンサを閉空間内の各テーブルに設置し同様の処理を行うことで、閉空間内の混雑を計測する。

#### 4.3.2 適用実験（実験1）

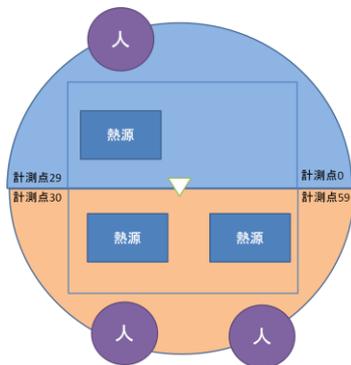


図4 1次元人検知測定環境

前述の方式の有用性を確認するため実験を行った。図4に実験に用いた測定環境の一例を示す。1次元人検知の測定環境を以下のように設定した。測定環境は机上、着席、席外の3つのエリアで設定した。

- ①検知対象：着席している3人の人間
- ②熱源の種類、個数：机上に熱源を3つ設置。今回はPCを3台設置した。
- ③周囲環境：机上は3つの熱源以外のものを設置しない。また機の周囲はランダムに人間が歩いているものとする。

この測定環境では人間3人を検知し、机上の熱源を無視できている結果が出てくることが望ましい。

#### 4.3.3 1次元人検知手法実験結果

実験結果を図5に示す。縦軸を時間、横は計測区間を示しており区間番号0~29は0°~180°の区間を計測、区間番号30~59は180°~360°の区間を計測している。焦電型赤外線センサが検知した時を1とし何も検知していない時0と表示している。分かりやすくするために1を赤に色を付けている。また物と言う欄の色を付けてある場所は焦電型赤外線センサから見て区間番号22~25, 30~34, 52~55の場所に熱源を置いていることを示している。データの

		計測点																														
		人	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
時間[分]	1	赤	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2	赤	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	3	赤	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	4	赤	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
		計測点																														
		物	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
時間[分]	1	赤	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	
	2	赤	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	
	3	赤	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	
	4	赤	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	

図5 1次元人検知計測手法実験結果

見方として0から59まで見ていき1が連続して出ているものを1つの群として捉えて群の数が熱源であると判断する。この時、計測区間番号0と59は連続しているのでお高いに1が立っていれば同じ群として数える。図5を基に熱源が時間ごとにいくつあるか数えると1分目は13群、2分目は9群、3分目は10群、4分目は12群という結果が得られた。

この結果から焦電型赤外線センサのみで計測した場合、連続した検知情報の数から4分間の計測時間内に9から13の熱源が机の周りにいることが予想される。このことから熱の持たない壁や柱といった室内特有の外乱を無視することはできたが、例えば机上に置いてある熱源、例えば飲食物やパソコンなどの作業道具、また機の外周を歩いている人間や隣席に座っている人間を検知している可能性が考えられる。

#### 4.4 2次元人検知手法

##### 4.4.1 基本方式



図6 2次元人検知計測手法データ取得位置

4.3.3 項の結果から焦電型赤外線センサの情報だけでは着席者かその他か判別することは難しいことがわかった。このためセンサから熱源までの距離情報を取得することで、センサから近い順にテーブル上の物体、着席者、非着席者の判別を行う方式を考える。本研究では距離情報取得のために赤外線測距センサを使用する。センシング方法は1次

元人検知手法と同じく焦電型赤外線センサの上に赤外線測距センサを設置しこのセンサ群を対象に2組設置する。この2組のセンサ群をモータで回転することで人検知を行う。データの取得方法として、焦電型赤外線センサは6°ごとの区間の間に熱源があれば信号を出力するのに対し、赤外線測距センサは6°間隔の点での対象までの距離を計測する。このためデータの更新をするときは図6に示すとおり区間番号と計測点がそれぞれ対応して行く。

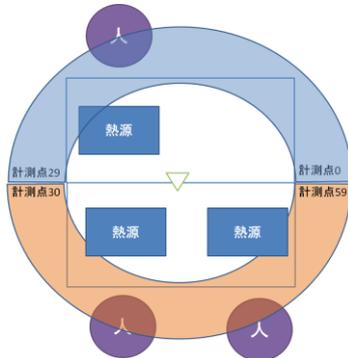


図7 2次元人検知測定環境

#### 4.4.2 計測実験 (実験2)

図7に測定環境の一例を示す。2次元人検知の測定環境を以下のように設定した。1次元人検知の測定環境と同様に測定環境は机上、着席、席外の3つのエリアで設定した。

- ①検知対象：着席している3人の人間
- ②熱源の種類、個数：机上に熱源を3つ設置。今回はPCを3台設置した。
- ③周囲環境：机上は3つの熱源以外のものを設置しない。また機の周囲はランダムに人間が歩いているものとする。
- ④180cm×120cmの机を使用し、計測の閾値としてテーブル上のエリアを50cm以内、着席者がいる範囲を50cm～75cm以内、席外のエリアを75cm以上とした。この値を距離計の閾値とする。内径の閾値は一般的な円形のテーブル直径100cmのサイズを基に定め、外形の閾値は椅子の着席

部分の大きさ25cmを基に内径の長さに足した値75cmとした。

この測定環境では人間3人を検知し、机上の熱源を無視できている結果が出てくることが望ましい。

#### 4.4.3 2次元人検知手法計測結果

図8に実験結果を示す。熱源、人間を配置した場所は1次元人検知の時と一緒である。計測結果から2つのセンサを併用したことにより検知できている場所とできていない場所がある。この理由としてまず焦電型赤外線センサのデータの取得方法として回路上でセンサの信号を1秒間出力するように設定している。だが回路乗数の変動で必ずしも出力時間が1秒でまわってはいない。このためデータの取得感覚を1秒間とするとわずかながらデータの取得漏れが発生する。このため例えば49～53の間で1分目の計測データが101101と出力されているのがわかる。

また人間を計測するため常に静止しているわけではないこのためセンサと同じ向きに動いたとき温度の変化が検知できずデータの記入漏れが発生する。これは焦電型赤外線センサだけでなく赤外線測距センサでも同じことが言える。このため2つのセンサのデータをそのまま対応させるのではなく一度計測の漏れをデータ処理により補完する必要があると考えられる。

### 5. 計測データ処理

#### 5.1 問題点

4.4.3で述べたように2つのセンサのデータをそのまま対応させては人数の計測ができない。この際の問題は以下の3つである。

- ①飛び値の修正処理：前述したようにセンサのデータの取得時や対象の動きによって飛び地が発生する。このため飛び地を修正する処理が必要となる。
- ②検知対象の人間と熱源の判別：5.8の結果からもわかる

		計測点																																
		物	人	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29		
時間 [分]	1	赤	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29		
		赤	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	2	赤	33	109	104	-73	-113	-107	-87	-100	-6	-59	33	62	62	-70	-70	-80	-80	-80	-38	127	-92	121	110	85	115	69	-23	13	-70	-80		
		赤	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
	3	赤	-18	103	98	110	-120	-124	-87	-111	-124	-92	-66	31	-117	27	-36	-80	-80	-80	-80	-34	-51	77	81	90	111	-80	-70	-80	-80	-80		
		赤	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
	4	赤	-33	109	113	97	81	90	-67	-12	62	-71	-16	2	111	20	-80	-80	-70	-80	-104	57	101	111	81	72	97	38	-80	-80	-80	-80		
		赤	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1		
			計測点																															
			物	人	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
	時間 [分]	1	赤	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	
			赤	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	
		2	赤	29	-36	-36	-26	-26	-80	13	45	83	-120	98	100	-80	-66	-67	-80	117	62	92	115	53	60	73	78	0	21	37	-119	115	-113	
			赤	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	
		3	赤	30	-80	-80	-80	-26	0	68	52	70	108	92	31	41	-80	-80	57	-71	57	71	116	50	85	74	83	32	35	120	-119	-124		
			赤	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	
4		赤	29	-26	-80	-26	-80	-26	-93	77	110	85	112	103	90	-80	-80	-70	119	-80	70	120	94	91	59	84	-13	21	37	124	117	-125		
		赤	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0		
		赤	30	-26	-80	-26	-26	-80	-66	88	101	66	60	53	-124	-92	-70	-80	-13	-92	106	59	88	44	75	85	20	21	37	-125	-120	-127		

図8 2次元人検知計測手法実験結果

ように3人の計測対象のほかに机の上に置いた3つの熱源が検知している。これはセンサを回転させることによりテーブル上の熱源も検知してしまうことが問題となる。このため先に述べたように閾値を定めて測距センサの距離データから計測対象を判別する。

③テーブル着席者と通行者の判別：焦電型赤外線センサの検知エリアに入ってしまった通行者と着席者を判別する必要がある。このため処理の手順としては検知対象の人間と熱源判別と同様に閾値を定めて測距センサの距離データから計測対象を判別する。

### 5.2 飛び値修正処理方法

飛び値の修正には焦電型赤外線センサのデータの他に距離データを使う。焦電型赤外線センサの取得データに飛び値が発生した場合、計測区間の測距センサデータ及び焦電型赤外線データの計測区間±1点の1分前と1分後の検知データの飛び地データを中心とした周囲8近傍を参照する。参照した検知データが全て検知であり、測距センサデータが内径以上かつ外径以下の着席者がいるエリアの場合には飛び値と判断し検知を意味する検知フラグ1で上書き処理を行う。同じ計測区間±1で検知フラグが非検知の区間が存在する場合、そのままの検知データを保持する。処理例を図9に示す。図9の場合、飛び値処理の対象である焦電型赤外線センサの検知フラグが0の場所を参照し、その周囲8近傍かつ赤外線測距センサが50cm~75cmの閾値の範囲内であればデータの書き換えを行う。

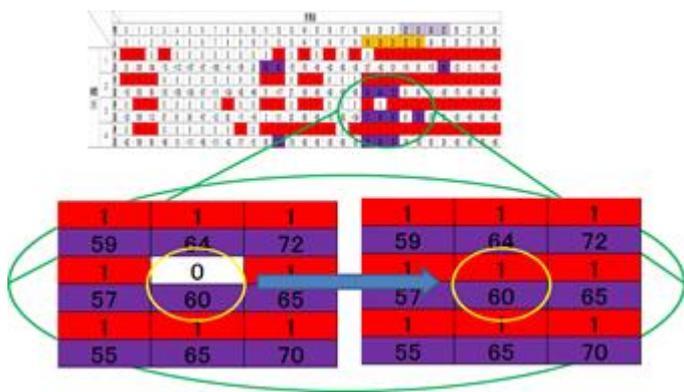


図9 飛び値処理後の2次元人検知計測手法実験結果

### 5.3 検知対象の人間と熱源の判別方式

計測を行った焦電型赤外線センサデータと測距センサデータを同一計測時間、計測区間で比較を行う。比較は次の①~⑥の条件で場合分けを行い、データ処理を行う。

- ①焦電型赤外線センサデータ1かつ測距センサデータが内径未満の時、机の上に存在する熱源と判断し、焦電型赤外線センサデータを0で上書きする
- ②焦電型赤外線センサデータ1かつ測距センサデータが外径以上の時、他のテーブルに属する人間または通路の通行者と判断し、焦電型赤外線センサデータを0で上書きする

③焦電型赤外線センサデータ1かつ測距センサデータが内径以上かつ外径未満の時、計測対象の机の椅子に着席している人間と判断し、焦電型赤外線センサデータを1のまま保持する。

④焦電型赤外線センサデータ0かつ測距センサデータが内径未満の時、テーブル上に存在する物体と判断し、焦電型赤外線センサデータを0のまま保持する。

⑤焦電型赤外線センサデータ0かつ測距センサデータが外径以上の時、テーブル周囲に存在する壁や柱と判断し、焦電型赤外線センサデータを0のまま保持する。

⑥焦電型赤外線センサデータ0かつ測距センサデータが内径以上かつ外径未満の時、テーブル周囲に存在する壁や柱と判断し、焦電型赤外線センサデータを0のまま保持する。

これら①~⑥の処理を全ての焦電型赤外線センサデータに行い、焦電型赤外線センサと距離センサのデータ比較を行う

### 5.4 テーブル着席者と通行者の判別方式

さらに通行者除去処理のための方法として、最新の時間と最古の時間以外のデータを対象に通行者除外処理を行う。最新のデータを参照しない理由としてその時間から人が着席した場合が考えられるためこのデータを参照することができない。また最古のデータに処理を行わない理由として計測を開始したときに人間がいた可能性があるためである。この他のデータを参照する理由として前後1分のデータには観測されないが1が孤立して出てきた場合、計測した時間1分だけ席に座っていたことになる。システムが使われる目的としてフードコート等での飲食や休憩が目的で席の埋まっているかどうかを判別できればいいので1分程度の利用であれば席が利用されていないと判断しても問題ないと考える。よって処理の仕方は焦電型赤外線センサデータと距離センサデータ比較処理後に焦電型赤外線センサデータにおいて検知データ1の孤立点が発生した場合にこれをテーブル付近通行者と判断、0で上書き処理を行う。図10に距離判別後の計測結果を示す。

		計測点																															
		物	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	
時間 [分]	人	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29		
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		計測点																															
		物	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	
時間 [分]	人	0	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

図10 距離判別処理後の2次元人検知計測手法実験結果

### 5.5 群わけ処理

最終的に人の有無を確定させるために、連続する焦電型

赤外線データの1を一つの群としてカウントを行う。この処理を全ての時間行に対して行い、各時間行での人数を算出する。このとき合併処理も併せて行う。今回のようにセンサを回転させるようにセンシングを行った場合、図11のようにデータの切れ目が発生する。今回は焦電型赤外線センサと赤外線測距センサを2組用いて計測しているため計測区間番号29番と30番、59番と0番が合併する。一つの熱源がそれぞれのセンサの検知範囲に跨って人間が居た場合群分け処理で一人の人間を二人とカウントしてしまう。そこでそれぞれのセンサの組ごとの結果で群のカウントを行い、計測区間番号29番と30番、59番と0番で検知フラグ1が立っていた場合カウントから1ずつ引いたカウント数とする処理を行う。例えばセンサ1で3群の人間が検知できていてセンサ2でも同様に3群の人検知がとれていたとする。この時、総計すると6群あるため6人の人間がテーブルの周囲に着席していることになる。ここでもし計測区間番号29番と30番に跨いで1が重なっていれば総計から1引いた値がテーブルの周囲に座っていることになり計測区間番号59番と0番でさらに1が重なっていればさらに総計から1を引いた人数が座っていると判断する。この処理を全ての時間行に対して行うことで、センサの検知範囲にまたがって人がいる場合の処理を行う。

## 6. データ処理後の計測結果

ここでは前述の5章で紹介したデータ処理により計測した人数と実際に居た人数を比較することで誤検知人数を算出し、提案するデータ処理方式の有効性を評価する。図11に先ほど示した5.6項の実験結果のデータ処理後の検知結果を示す。各群の配色は水色を1群、黄色を2群、緑色を3群、紫色を4群とした。

実験結果から1分目は4人、2分目は3人、3分目は2人、4分目は3人という結果になった。このため測定精度としては精度±1人の範囲で机一つ当たりに着席している人間を検知できることが確認できた。検知している人間が時間ごとにばらつきが起きる理由として挙げられるのが測距センサのデータと重ね合わせたときに使う閾値に問題が

あると考える。今回設定した閾値は一般的な大きさのテーブルである直径100[cm]のテーブルを覆うような内径の閾値を設定した。

## 7. 考察

### 7.1 提案システムで利用したセンサについて

提案方法では焦電型赤外線センサをメインに、赤外線測距センサをサブセンサとして利用した。実験1及び実験2より、焦電型赤外線センサを利用することでセンサ前面の人の有無検知ができることを確認した。また赤外線測距センサにより距離位置を含めて判定が可能となり焦電型赤外線センサのみを利用する場合よりも人検知の精度が上がることを確認できた。一方で、閉空間における人検知ではカメラ画像の利用なども考えられるが、システムの利用目的等を考慮に入れた場合、プライバシーの観点からは適切ではない。また人検知に関するリアルタイム性については、一般的に社員食堂などの飲食をする場所での人の平均滞在時間は26分程度という報告もあり、この時間が食堂などにおける人検知データ更新の一つの目安となる。このためCO2センサのように計測時間に幅があるセンサを用いるのは本システムの場合には好ましくないと考えられる。さらに人の発する音や動きをとらえるマイクロフォンやドップラーセンサ、超音波センサは後述するように外乱や室内の波の反射の影響を受けやすくデータの精度面を考慮すると本システムには相応しくない。これらに対し、提案法で利用した焦電型赤外線センサは温度の変化量を見ているため動く熱源に反応し、動く熱源が人間だけであれば人検知の情報としては十分信用できると考えられ本研究で狙っている閉空間内の人検知という目的には最適なセンサーであるといえる。一方で、実験でも述べたように焦電型赤外線センサのみでは着席者とそれ以外の判別が難しく距離情報を付加することで判別の情報を補う方式が効果的と考えられる。

### 7.2 1次元人検知

実験1では、焦電型赤外線センサをレーダー上に回転させデータを取得し、熱源データの連続値を1つの群として

		計測点																														
		物	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
時間 [分]	人	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

		計測点																													
		物	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58
時間 [分]	人	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

図11 データ処理後の2次元人検知計測手法実験結果

まとめることで熱源の数とれることが分かった。しかしこの方式では着席している人間に限定して検知するためには情報が不足していることがわかった。今回は足りない情報として距離情報を付加することで着席者とそれ以外の熱源の差別化し、着席者のみの人数を計測する方式を採用した。今回は距離情報取得のため赤外線測距センサを利用することで、着席者とその他の判別が可能となり検知精度が向上できることを確認できた。

一方で、人検知のためのセンサとして距離情報のみを用いて人検知を行う方法も考えられる。この場合のセンサ候補としては超音波センサやドップラーセンサをあげることができる。しかし、これらのセンサでは閉空間内特有の障害物が誤検知のきっかけとなる可能性が否定できない。例えば机の配置場所としてよくあるのが壁際である。壁にぴったりと寄せられた机にセンサを置き、レーダー上にセンサを回転させ距離を計測し人検知を行うとする。この場合、壁にセンサが向いたときセンサと壁の距離が人間の居る位置と同じ距離を計測することが考えうる。この誤検知を解消するためには壁の方向を向いている場合はデータを取得しないとといった各機のセンサにパラメータを振るか、もしくは我々のように複数のセンサを併用してセンシングを行う必要が出てくる。このような理由から測距センサ単体を用いた閉空間内の人検知は難しいと考えられ、提案方式のように人の有無情報と距離情報を組み合わせて検知する方式のほうが優れていると考えられる。

### 7.3 2 次元人検知

実験 2 からは、2 次元人検知手法で取得したデータを確認したと多く飛び値が発生していることがわかる。大きな要因として検知対象が動くという点にあると考えられる。センサを回転させるためセンサと同方向に動けば連続する値は長くなり、逆方向に動けば短くなる。このため往路、復路の 2 回で 1 分間の検知データの更新を行っているがそれでも飛び値が発生するため前後の時間のデータを参照することで飛び値データを修正する必要がある。今回は前後のデータを参照することで飛び値かどうか判定する方式を採用した。飛び値が発生した時間と前後 1 分のデータを参照するため 3 分間のデータを参照する。3 分という時間はフードコート等を利用するにあたって飲食を食べるには短い時間だと言える。このことから着席している人間は 3 分以上同じ位置番号から熱源データが取得できる。これにより提案方法では検知対象が動く場合にも対応できるため、実際の食堂などの人の動きにも対応した検知が可能となると考えられる。

一方で今回設定した閾値を今後検討する必要がある。閾値が引き起こす問題点として 2 点ある。

1 つ目はテーブルの形状と内径の閾値が一致していないため距離、熱源ともに人検知するエリアに人間ではない熱源が存在することがあり誤検知する可能性がある。今回使

用したテーブルは 180cm×120cm の長方形のテーブルである。設定した閾値は一般的な机の大きさである半径 50cm の円形のテーブルの大きさを内径として、椅子を 25cm 四方の正方形の椅子を足した距離を外径とした。このためテーブルの四隅に熱源が置かれると誤検知が起りうる。

2 つ目は問題点として閾値とテーブルの大きさを一致させると人間が肘をテーブルの上に置いた場合のデータがデータ処理により消去される問題がある。この要因が誤検知につながる可能性があり、今後この閾値の設定の仕方を検討していく必要がある。

## 8. まとめ

本報告では食堂などの閉空間を対象として、そこにあるテーブルに着席している人を焦電型赤外線センサと測距センサを用いて計測し、データ処理してテーブルの占有率などの混雑度を計測評価する方式とそのシステム実装について報告した。特に本報告ではシステムの間人混雑度計測部で使用する人検知手法について紹介し、焦電型赤外線センサをメインセンサとしてこれをモータで回転させることで 360° の検知範囲及び、1 次元人検知を実現できることを示した。また人検知の精度を向上させるために測距センサによる距離情報付加することで、机の周囲にいる非着席者、机上の熱源の判別を可能とし、机一つ当たりの着席者を ±1 人以下の精度で検知が可能であることを示した。

今後は、さらなる検知精度向上を実現するために、検知間隔 1 分と言う時間が適正なものであるかを実験を通して検討し実用的なシステムの実現を目指す。また本稿において報告した実験は研究室内のテーブルで測定を行っている。このため机の周囲を大勢の人間が測定している机の周辺を歩くことがない。本システムをフードコート等で実装した場合、測定している机の外周を歩く人間が多くなるため検知精度がどのように変化するかについても今後検討していきたい。

## 参考文献

- 1) 立川 智一, 西 宏章, “環境センサを利用した在室人数推定手法”, 日本建築学会環境系論文集, pp.355-362 (2003)
- 2) Huadong Ma, Chengbin Zeng, Charles X.Ling “A Reliable People Counting System via Multiple Cameras”, ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology, Vol.3, No31, (2012)
- 3) 小室信喜, 六田智之, 待井一樹, 白石剛大, 上田裕巳, 川西宏之, 坪井利憲 “UHF 帯 RFID を用いる屋内位置推定の推定精度向上法”, 電子情報通信学会, 2009.7
- 4) 石川敏揮, 平山雅之, 早川佳克, 杉本竜之介, “センサ多重化による閉空間ナビゲーションシステムの提案”, 情報科学技術フォーラム講演論文集, pp. 311-312
- 5) 早川佳克, 平山雅之, 石川敏揮, 杉本竜之介, “混雑回避を目的とした閉空間ナビゲーションシステムのための人数計測手法の検討”, 組込みシステムシンポジウム 2013 論文集, pp.171-172