

# 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

## A Proposal of the closed space Navigation System with sensor multiplexing

石川 敏揮†  
Toshiki Ishikawa

平山 雅之‡  
Masayuki Hirayama

杉本 竜之介†  
Ryunosuke Sugimoto

早川 佳克‡  
Yoshikatsu Hayakawa

### 1. まえがき

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. このため我々は閉空間内の施設利用率を用いた混雑評価について, 最適な評価指標を提案し, その指標をセンサにより自動計測し, 混雑解消を実現するシステムを開発している.

本論では, 上記の評価方法の提案, 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述べる.

### 2. 閉空間における混雑度計測の問題点

人密度を用いた混雑評価では, 1 人分の面積と人数, 定員数によって混雑状況の評価できる. 具体的には閉空間内の人数をその面積で割ることで, 1 人あたりの平均専有面積を算出する. そしてその値から, 美術館などでは入場待ち時間, 電車などは混雑度を数値として求め表示している.

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ことができる.

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.

### 3. 閉空間の混雑評価の提案

#### 3.1 計測可能な指標

ここでは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

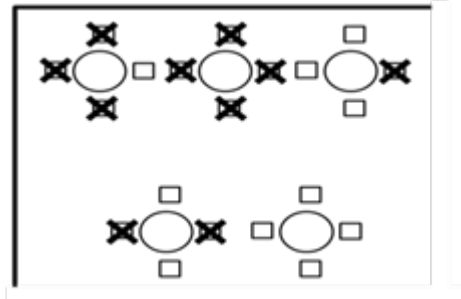


図 1 フードコートの利用状況例

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.

#### 3.2 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 2 人組の場合, 3 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組の人数  $a$  で, あるテーブルについて  $a \leq N-n$  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 1 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.

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

† 日本大学大学院理工学研究科

Graduate School of Science and Technology, Nihon University

‡ 日本大学理工学部

College of Science and Technology, Nihon University

### 3.3 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  $N=4$ 。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増え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 1 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。

## 4. 閉空間ナビゲーションシステム

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検討する。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。

## 5. 人混雑度計測

### 5.1 人検知に使うセンサの評価

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と考えられる。

表 1 センサの評価

	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	△	○	△	○	○
焦電型赤外線センサ	○	○	○	○	○
CO2センサ	×	○	△	△	×
マイクロフォン	△	○	×	×	○
超音波センサ	△	○	△	○	○
ドップラーセンサ	○	△	○	○	○
カメラ	○	×	○	○	○

このため、本システムでは、焦電型赤外線センサを第一のセンサとして、補助的に超音波センサもしくはドップラーセンサを利用する方式が適切であると判断できる。

### 5.2 複数個、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、「着席者と非着席者の判別」、「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」については焦電赤外線センサと超音波センサを併用し、「センシング視野の問題」では焦電赤外線センサを複数個使用することで、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の判別は難しい。このため、超音波センサを併用し、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

1 台のテーブルについてその周囲を検知するため複数の焦電赤外線センサを使用し、 $360^\circ$  の範囲をセンシングすることで検知範囲を広くする。

このように単一のセンサで人検知が行える物を複数個、複数種類併用することで検知範囲、検知精度、検知対象の選別を行い、人検知を行い、混雑度を求めることができる。

## 8. まとめ

今回、施設混雑度評価のための複合指標を導入し、施設利用者が求める混雑の情報を定量的に混雑度として示す方法を提案した。また混雑状況の検知方式として、センサの多重融合によりフロアの一部を監視し、監視範囲にいる人間を検知する方法を提案した。今後は、この方式を実装し、より精度の高い混雑湯同方式の実現を目指していきたい。

### 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] 小室喜喜, 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