

TOF 型距離画像センサを用いた高精度「共連れ検知センサ」

High-Performance Tailgate Detection Sensor with TOF Camera

萩尾 健一* ・ 藤井 裕之* ・ 河原 英喜* ・ 阪本 健二**
Ken-ichi Hagio Hiroyuki Fujii Hideki Kawahara Kenji Sakamoto

TOF 型距離画像センサから得た距離画像データを、距離差分、平行投影したうえで、k 平均クラスタリング法を用いて分離処理を行うアルゴリズムの開発により、従来の濃淡画像処理方式では困難であった対象と背景のコントラスト差がない場合においても、センサの取付高さや人の立ち位置の違いによらず、人物の抽出および人数の検出を高精度に行い、共連れを検知するセンサを実現した。本センサは汎用的な接点入出力端子を備えているため、入退室管理システムと容易に接続でき、さらに当社の統合型セキュリティシステムと連携することで、連続認証、単独認証およびインタロック室の各運用モードの選択が可能となり、高度な入退室管理を実現できる。

The development of an algorithm that applies distance differences and parallel projection to the image data from a TOF range image sensor and object separation with the k-mean clustering method, has enabled the accurate extraction of human object and quantity, regardless of the sensor location height and human object position even in a similar contrast background, in which it is difficult to distinguish the target through the conventional 2D grayscale image processing method. The tailgate sensor incorporating this algorithm and universal contact-type input/output terminals can easily be connected to an entry control system. In addition, the combination of the company's integrated security system and this sensor enables the selection of operation modes such as continuous authentication, single authentication and interlocked room, thereby achieving a high-level of entry control.

1. ま え が き

個人情報保護法の施行に伴い、セキュリティに対する関心が高まり入退室管理の強化が注目されるようになってきた。とくにサーバールームや金庫室のような特定ゾーンの入退室においては高いセキュリティが要求されており、入居者の入退室に紛れて侵入する共連れの防止が大きな課題となっている。

従来、共連れの検知には質量センサによるものや赤外線ビームによるものがあった。前者は2枚扉で区切ったエリアの質量が所定値以上であれば共連れと判断して入室用扉の解錠を禁止する方法で、直観的でわかりやすいが体重の個人差やメンテナンスが必要という問題があった。後者は複数の赤外線ビームが人により遮られるパターンを解析することにより方向と人数を検出するもので、単純でメンテナンスも不要だが、1次元的な動きしか検出できないため横並びの共連れを検出できない問題があった。

また、2次元的な動きを検出する方法としては、画像処理方式が用いられており、一般的には1台のカメラによる濃淡画像処理であるため比較的低コストという特徴があるが、照度変動や対象の影による誤動作が問題となる。また、三角測量の原理で距離データを取得するステレオ方式も比較的頻繁に使われているが、2台のカメラの対応点を求める場合に、コントラストの低い面の距離情報を原理的に取得できないという問題があった。

この問題解決のために筆者らは、コントラストのない部分の距離情報も取得可能なTOF (time of flight) 型距離画像センサと、背景差分をベースとする距離画像処理アルゴリズムの開発により、精度良く共連れを検知できるセンサ(図1)を開発したので、以下に報告する。

2. TOF 型距離画像センサの概要

2.1 原理

基本原理は、センサから照射され反射して返ってくる光

* 情報機器事業本部 情報機器 R & D センター Research & Development Center, Information Equipment & Wiring Products Manufacturing Business Unit

** 情報機器事業本部 ビル・システムソリューション事業推進部 Building Systems Solutions Promotion Division, Information Equipment & Wiring Products Manufacturing Business Unit



図1 「共連れ検知センサ」の外観

の到達時間を計測し、物体までの距離を求める TOF 方式を採用している。近赤外線 LED を約 10 MHz で変調して投光し、物体からの反射光との位相差から光の到達時間を計測して距離を求める。なお、受光部においては、独自に考案した位相差検出方式で制御された特殊 CCD 撮像素子を開発することにより、(水平) 128 × (垂直) 123 の各画素ごとに光の遅れ時間をフレームレート 30fps の高速でリアルタイムに計測可能としている。また、距離は得られた遅れ時間に光の速度を乗じ、2 で割ることにより算出している (図2)。

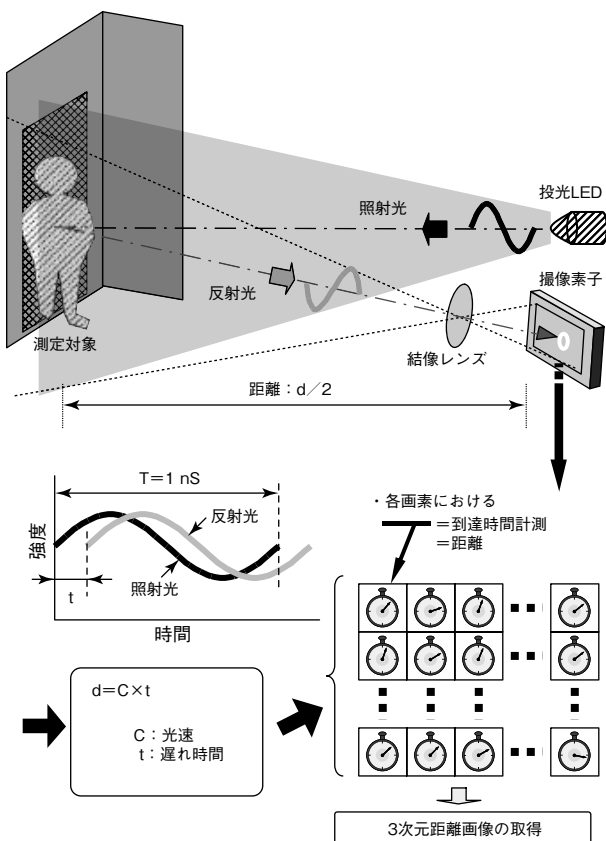


図2 TOF 型距離画像センサ原理図

2.2 特徴

本方式はLEDにより投光してその反射光を受光するアクティブ型であるため、従来の2台のカメラを用いるステレオ方式では困難であったコントラストのない部分の距離も容易に計測できる特徴がある。筆者らは、この特徴を活かしたアルゴリズムを開発することで、共連れ検知性能の向上を実現している。

3. 距離画像処理アルゴリズム

本研究で開発した距離画像処理アルゴリズムは、①撮像部から得られる距離画像データを用いて対象物体領域を抽出する人体検知アルゴリズム、②抽出領域の特徴量から領域内の複数人体近接状態を分離する複数人分離アルゴリズム、③分離された人領域の状態と時系列状態遷移から人体の滞在状態と通過状態を検知する共連れ検知アルゴリズムの三つから成る。

以下では、これらアルゴリズムの詳細について述べる。

3.1 人体検知アルゴリズム

人体検知アルゴリズムは、撮像画像領域内から対象物体である人体の領域を抽出するために、現時刻で撮像した距離画像データとあらかじめ撮像しておいた距離画像データの距離差分を用いている。これは通常、画像処理で使用される濃淡値は背景の構造物であっても光の影響で変化するが、構造物までの距離 (Distbackground) は不変であり、抽出すべき人体までの距離 (Distforeground) のみが変わること注目したものである。変化領域の抽出は式 (1) を用いて行い、扉の向こう側にいる人や構造物については、扉が閉まっている状態を背景とすることにより抽出を行わない。なお、式 (1) の ThreshDist は距離差分値の閾値を表す。

$$\text{Distbackground} - \text{Distforeground} > \text{ThreshDist} \quad (1)$$

図3に本手法による距離差分での人領域抽出結果と一般的手法での濃淡差分結果の例を示す。本方式では人体と背

	背景画像 (扉閉)	現時刻画像 (扉開・扉奥人在)	差分領域画像
距離差分手法			
濃淡差分手法			

図3 距離差分と濃淡差分による物体抽出例

景のコントラストがない部分においても精度良く抽出可能であるが、扉の向こう側の人や構造物は抽出していないことがわかる。

次に、抽出した領域に対してセンサ面（天井面）に直交した座標系への平行投影変換を行う。平行投影変換を行うことにより、画像上の見え方による尺度から、実空間での尺度に特徴量を変換することができる。これによって、図4に示すようにセンサの取付高さや人の立ち位置の違いによる見え方の差異に依存せず、不変特徴量として抽出領域を解析することができる。

抽出領域 画像	センサ取付高さ	
	3.0 m	2.4 m
平行投影前 (同一人体)		
平行投影後		

図4 平行投影前後での特徴量の違い

そして、平行投影変換後の特徴量から領域の面積および外接四角形を算出して、明らかに人体ではない飛来物などを面積、外接四角形短辺長を閾値としてノイズ除去する。

さらに、ノイズ除去後の領域に対してその投影座標値があらかじめ設定された範囲にあるかを判定することにより、図5に示すように視野範囲のうち特定の検知エリア内に存在する人のみを検知することを実現している。この結果、センサ取付けの水平位置を特定すれば、取付高さにかかわらず統一した検知エリアを確保できるため、施工性を高めることが可能である。

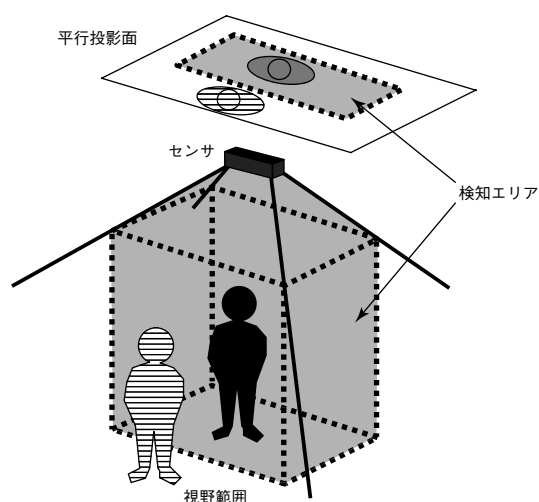


図5 センサ視野と検知エリアの関係

3.2 複数人分離アルゴリズム

前節の方法で抽出した結果では、複数人が近接した状態は一つの領域として求められることがあるため、単に領域の数を計数するだけでは正確な人数を求めることはできない。そこで、抽出した領域が何人の人体を示しているかを推定、分離する複数人分離アルゴリズムを開発した。

まず、平行投影後の領域の面積と外接四角形の長辺、短辺の特徴量から、その領域が何人の人体を示しているか、人数 n を範囲値 ($a \leq n \leq b$) として粗推定する。これらの推定条件には、人体計測データベースをもとに成人人体サイズの最小値から最大値を考慮して設計を行っている。

次に、粗推定された人数範囲値 $[a, b]$ に対して、それぞれの値を初期値として、 k 平均クラスタリング処理を行う^{1), 2)}。クラスタリングに使用する評価関数は、式(2)のとおりである。ここで c_{xi} , c_{yi} , c_{zi} はクラスタ代表点の3次元位置座標、 X_s , Y_s , Z_s は標本の3次元位置座標である。また、 α , β , γ は重み係数である。この評価関数から得られる D が最小となる最適解を求めることにより、人数範囲値 a から b でのそれぞれのクラスタ結果 $[c_{ai}, c_{bi}]$ を得る。

$$D = \alpha \cdot D_1 + \beta \cdot D_2 + \gamma \cdot D_3 \quad (2)$$

$$D_1 = \text{distance} \{ (c_{xi}, c_{yi}), (X_s, Y_s) \}$$

$$D_2 = \text{distance} (c_{zi}, Z_s)$$

$$D_3 = c_{zi}$$

図6に今回使用した評価関数の概念図を示す。ここでクラスタ代表点を C_i で示したとき、評価関数 D_1 は平行投影XY平面内距離、 D_2 は投影空間内でのZ方向の距離を示しており、それぞれの次元空間内でのまとまり度合によって標本 S は分類される。さらに、身長の高い人ほど体格は大きくなる傾向に着目し、クラスタのZ位置を示す D_3 が小さいほど、 D_1 , D_2 の許容を広げる仕組みを採っている。

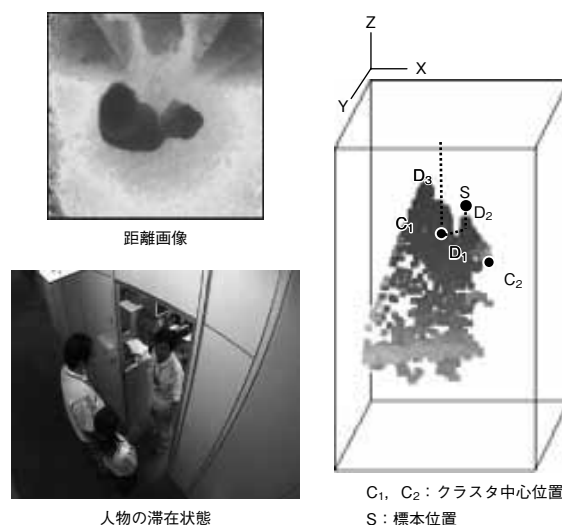


図6 クラスタリング評価関数概念図

次に、得られた各推定人数での各クラスタリング結果についての確からしさを評価する。ここでは推定人数 n の各クラス C_{ni} が1人の人体を示している「らしさ評価」を行い、もっとも評価値の高い組合せを示しているクラスタ結果の推定人数 n を最適解とする（式（3）参照）。

$$\text{select } n = \max\left(\left(\sum_{i=1}^n f_{\text{est}}(c_{ni})\right) / n\right) \quad (3)$$

ただし n は整数、 $a \leq n \leq b$

1人の人体を示している「らしさ評価」には身長、上肢投影面積、肩幅を特徴量として主成分分析による評価関数を使用しており、図7にその評価関数概念図を示す。これら特徴量の分布定義には、前述のように人体計測データベースからの成人体格範囲および実際に撮像した複数データを使用している。

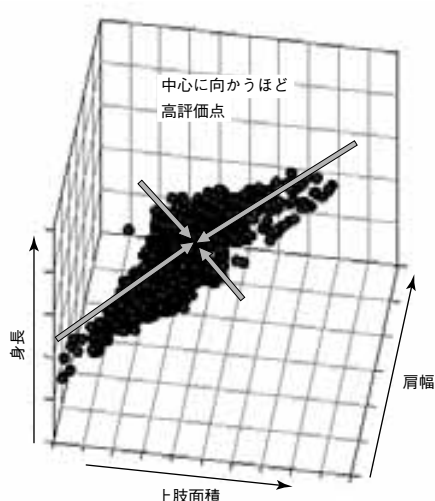


図7 1人らしさ評価関数概念図

また、この方法を用いた処理例を図8に示す。これは2人の人が近接した状態が1～3人と推定され、最終的に2

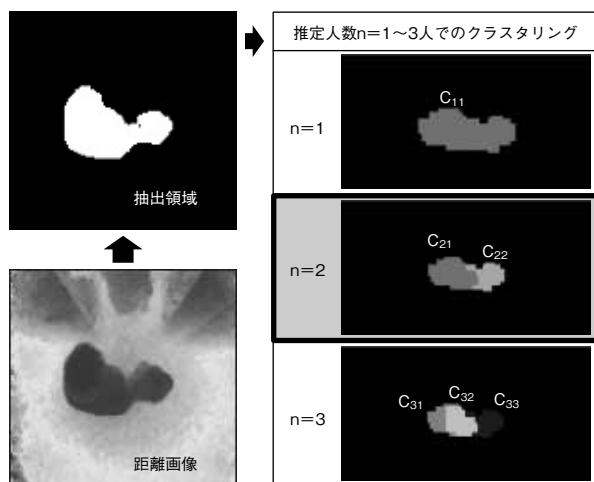


図8 複数人近接滞在時の分離処理例

人が最適解として導出された例を示している。

3.3 共連れ検知アルゴリズム

開発した共連れ検知手法で定義する共連れ事象には次の二つがある。

- (1) 共連れ滞在：認証、解錠時扉前に複数人が滞在する。
- (2) 共連れ通過：認証人物に紛れて他者が入退室する。

(1) の共連れ滞在検知は、前節で述べた方法を用いて、各フレームで得られた人領域数を計数し、人数情報をコントロール盤に渡す。認証操作があっても複数人滞在であれば解錠せず、滞在人数が1人以下の場合にのみ解錠する制御を行う。このように共連れ滞在検知はセンサとコントロール盤との連携によって可能となっている。

(2) の共連れ通過検知は、コントロール盤からセンサに認証数を入力し、センサで検知した通過方向および通過人数と比較することで、認証数以上の不正な入退室通過検知を行う。通過方向および通過人数を検知するために、各フレームの人体領域群を時系列方向に3次元位置関係に対応づけする追跡処理を行う。なお、通過方向は図9に示すように、検知エリア内を図中A～Cに示す複数エリアに分割し、各フレームでの人体の滞在位置変化を解析することで行う。このように分割エリアの配置を最適設定することにより、壁面に沿って入退室するような人体の動きなども漏らすことなく正しく方向検知することを可能としている。

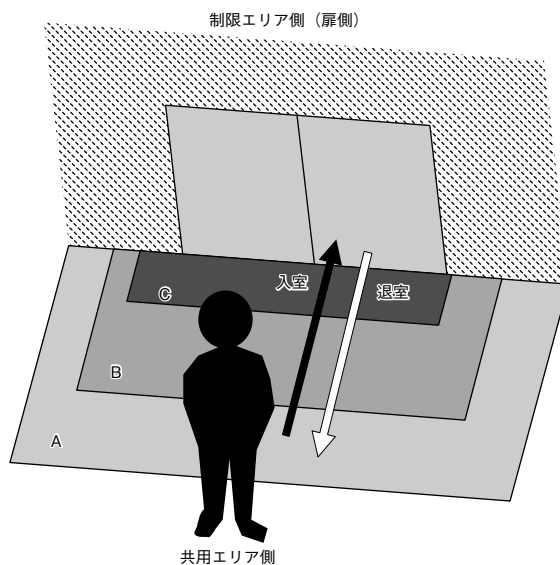


図9 入退室通過方向の検知概念図

今回開発した共連れ検知アルゴリズムの処理例として、滞在人数検知を行った結果を図10に示す。

4. 開発した共連れ検知システムの概要

共連れを検知するために、センサによって滞在人数や通

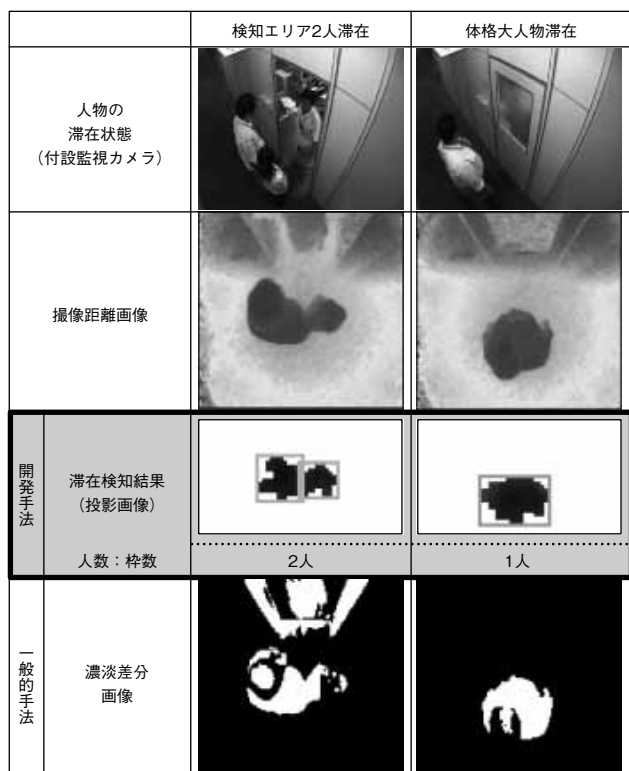


図10 共連れ検知処理例

過人数を正確に検知することに加えて、システム全体として次のような特徴がある。

- (1) 認証者の通過方向および認証人数、検知エリア内の滞在人数などの情報を入退室管理システムと受け渡しできる。
- (2) 設置場所の運用状況に合わせたセキュリティー性と利便性のバランスを確保できる。
- (3) 床、壁、照明などの周囲環境の変化による背景画像の変化に対応できる。
- (4) 一時的な大型の荷物搬入時などでも正確に検知できる。

図11に入退室管理システムと連携した場合の機器設置例を示す。

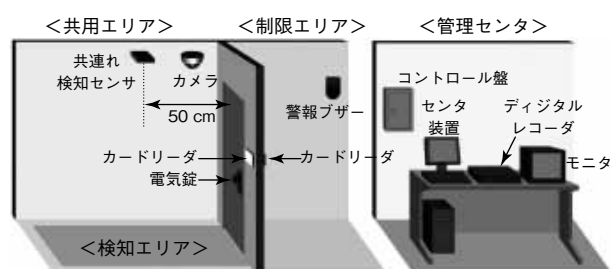


図11 機器設置例

- (1) については、接続互換性を考慮し、通過方向別の認

証回数を無電圧接点パルスで入力する「入室要求」、「退室要求」端子を設け、検知エリアの滞在人数を無電圧接点状態で出力する「0人滞在」、「1人滞在」端子を設けた（図12）。これにより、入退室管理システムでカードなどによる認証操作が行われると、通過方向別に認証数がセンサに入力されるため、図13に示すような「後追い」、「すれ違い」などの共連れ通過の場面で、「通過警報」が出力可能となる。また滞在信号の組合せにより、検知エリアに2人以上滞在している状態においては、入退室管理システム側で解錠させない動作も可能となる。

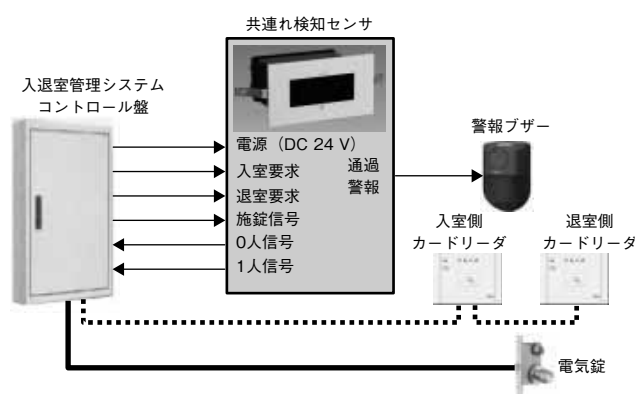


図12 システム構成

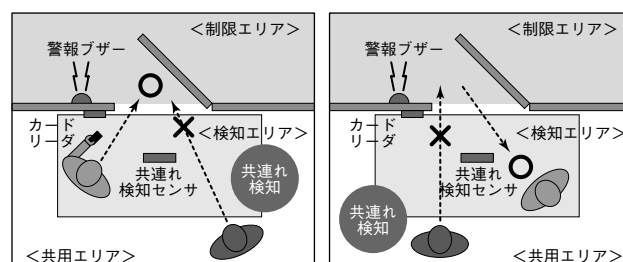


図13 共連れ通過の例

(2) については、当社統合型セキュリティーシステム「e-SG」と連携することにより、1回の扉の解錠で複数人の通過が可能な「連続認証モード」、検知エリアの滞在人数が1人のときのみ解錠する「単独認証モード」および同時に解錠されることがないように制御されたインタロック室に設置して2人以上での入室と退室操作による入室を阻止する「インタロック室モード」の三つの運用モードの選択を可能としている（図14、図15）。

(3) については、画像処理と内蔵の熱線センサ（図16）による各検知結果のAND処理により、検知エリア内に人が滞在していない状態を判断し、一定時間ごとに背景画像を自動更新する機能を備えた。これにより床、壁、照明などの周囲環境の変化に対しても背景画像を最新の状態に維持することが可能である。

(4) については、センサ側に無電圧接点入力として「バイパス動作」端子を設け、この端子が短絡されている間は、

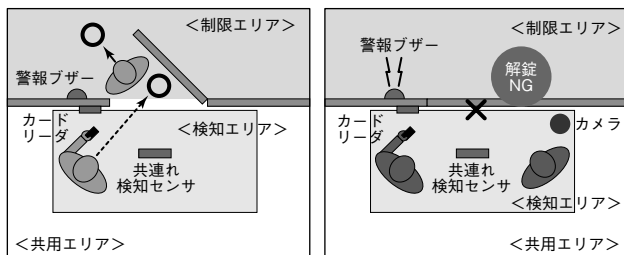


図14 1枚扉での動作モード例

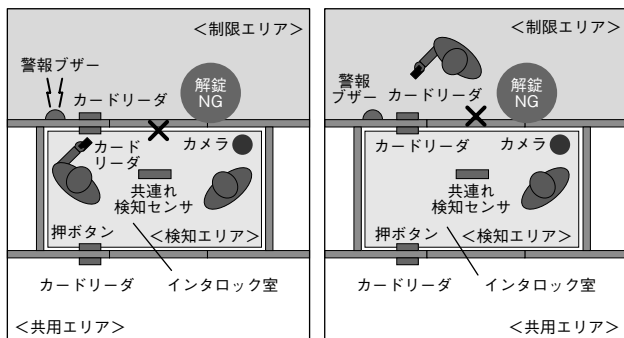


図15 インタロック室での動作例

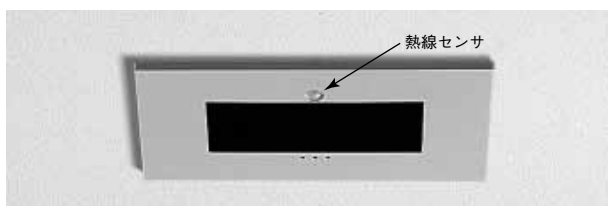


図16 天井埋込施工例と熱線センサ

共連れ検知を無効にする機能を設けた。

以上のことから、実際の運用においても使用者の多様な要求を満足し、かつ安定して共連れ検知が可能なシステムの構築を可能としている。表1に今回開発した共連れ検知センサの定格・仕様を示す。

表1 定格・仕様

電源電圧	DC 24 V (19.0～28.0 V)
消費電流	1.2 A (平均600 mA)
設置場所	屋内 天井埋込型 *1
使用周囲照度	蛍光灯：2500 lx以下 (屋内専用) *2
取付天井高さ	2.4～3.0 m
検知方式	アクティブ型距離画像方式
検知エリア	床面 約2 m×約1 m (取付高さに依存しない)
使用温度範囲	－10～＋40 ℃
質量	約1.6 kg

*1：「ブローイング工法／マット敷き工法」などの断熱施工に未対応

*2：本体から0.7 m下の高さでの測定値

5. あとがき

TOF型距離画像センサから得た距離画像データを、距離差分、平行投影したうえで、k平均クラスタリング法を用いて分離処理を行うアルゴリズムの開発により、従来の濃淡画像処理方式では困難であった対象と背景のコントラスト差がない場合においても、センサの取付高さや人の立ち位置の違いによらず、人物の抽出および人数の検出を高精度に行い、共連れを検知するセンサを実現した。本センサは汎用的な接点入出力端子を備えているため、入退室管理システムと容易に接続でき、さらに当社の統合型セキュリティーシステムと連携することで、連続認証、単独認証およびインタロック室の各運用モードの選択が可能となり、高度な入退室管理を実現できる。

今後ともTOF型距離画像を応用したセキュリティーセンサの開発を進め、安全で安心な空間創造に貢献していきたいと考えている。

*参考文献

- 1) 神脇 敏弘：データマイニング分野のクラスタリング手法 (1)，人工知能学会誌，Vol. 18, No. 1, p. 59-65 (2003)
- 2) 神脇 敏弘：データマイニング分野のクラスタリング手法 (2)，人工知能学会誌，Vol. 18, No. 2, p. 170-175 (2003)

◆執筆者紹介



萩尾 健一
情報機器 R & D センター



藤井 裕之
情報機器 R & D センター



河原 英喜
情報機器 R & D センター



阪本 健二
ビル・システムソリューション
事業推進部