JAIST Repository
https://dspace.jaist.ac.jp/

Title	プライバシを考慮した距離情報を利用したベッド転落検知システム
Author(s)	中田，豊久；國藤，進；金井，秀明
Citation	第六回知識創造支援システムシンポジウム報告書：9-15
Issue Date	2009-03-30
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/7970
Rights	本著作物の著作権は著者に帰属します。
Description	第六回知識創造支援システムシンポジウム，主催：日本創造学会，北陸先端科学技術大学院大学，共催：石川県産業創出支援機構文部科学省知的クラスター創成事業金沢地域「アウェアホームのためのアウェア技術の開発研究」，開催：平成21年2月26日～28日，報告書発行：平成21年3月30日

JAIST
JAPAN
ADVANCED INSTITUTE OF
SCIENCE AND TECHNOLOGY

Japan Advanced Institute of Science and Technology

プライバシを考慮した距離情報を利用したベッド転落検知システム

Distance-based System for Detecting Fall from Bed Considering Privacy

中田 豊久
Toyohisa NAKADA
新潟国際情報大学 情報文化学部 情報システム学科
Department of Information Systems, Niigata University of International and Information Studies (NUIS)
nakada@nuis.ac.jp

金井 秀明
Hideaki KANAI
北陸先端科学技術大学院大学 知識科学教育研究センター
Center for Knowledge Science, Japan Advanced Institute of Science and Technology (JAIST)
hideaki@jaist.ac.jp

國藤 進
Susumu KUNIFUJI
北陸先端科学技術大学院大学 知識科学研究科
School of Knowledge Science, Japan Advanced Institute of Science and Technology (JAIST)
kuni@jaist.ac.jp

keywords: 距離情報，ベッド転落，プライバシー保護，画像解析

Summary

病院やグループホームなどでは入院している人や被介護者が夜中にベッドから転落し，骨折などの事故を起こしてしまうことがある．このような事故を未然に防ぐために，カメラによって見守るようなシステムでは，被介護者のプライバシを保護することが困難である．そこで本研究ではプライバシを保護しつつ，事前にベッドからの転落を検知するシステムについて検討する．プライバシを保護するためには，システムが取得した情報を個人情報が隠れるように加工して保存したり，個人情報を保存する場合でもサービス利用時に他者には見られないように暗号化したりするなどの方策が考えられる．しかし本研究ではそもそも個人情報にあたる情報はシステムが一切取得せずに，転落検知を実現することを試みる．そのために，2 次元の距離情報を用いる．この距離情報からは，誰がベッドに寝ているかという個人情報は取得できないが，被介護者がベッドから起きようとしているのか，ベッドの端にいるのかなどの状況は推測可能である．これらを使用して，ベッドからの転落を未然に検知することを試みる．

1. は じ め に

病院やグループホームなどにおいて，高齢者がベッドから転落する事故が起こっている．寝返りを打つ時や，何かの拍子にベッドからずれ落ち，朝まで介護者に気づいてもらうことができず，骨折などの災害を発生させているケースもある．これらの事故を未然に防ぐために，従来ではベッドの床や手すり，またはベッドの周りに圧力マットをひき，異常事態を自動で検知するシステムが開発され，運用されてきている．しかし，圧力マットは接触型のセンサーであるため，他者の使用したマットを再利用するときに，感染などの心配がないわけではない．

一方，カメラを用いて被介護者の様子をモニタリングしようとした場合，プライバシ保護の問題がある．たとえ病院やグループホームなどの施設においても，就寝中の自分を常にカメラでモニタリングされていることは，被介護者にとっても好まれない．

そこで本研究では，距離情報を用いたベッドからの未然転落検知を試みる．距離情報を用いた取り組みはすでに，産業技術研究所デジタルヒューマン研究センター [Nishida 04] や古河機械金属 [超音波ベッド見守り] などにおいて行われている．これらの研究では，カメラではなく距離を用いているため，プライバシ保護の観点から可能性があるとみれる．しかしその距離情報は一次元または一点の観測であるため，例えば未然に事故を防ぐような高付加なサービスは提供が困難である．多くの場合，システムが提供できるサービスと，プライバシ保護はトレードオフの関係にある．多くの情報をシステムに与えれば多くの高付加なサービスを享受することができる．一方，あまり多くの情報を提供しない場合，それに見合った付加のサービスしか得ることができない．

本研究の目的は，プライバシを考慮しつつ，未然にベッド転落事故を防ぐことである．そこで，これまで一次元で取得していた距離情報を二次元で取得して利用する．その情報を画像解析技術によって状況認識し，ベッド転落を未然に検知することを試みる．

本論文は以下のように構成されている．2 章ではシステムがプライバシ保護を考慮する方法を整理し，本手法の位置づけを明らかとする．3 章では超音波以外にもベッドからの転落検知を実現できる例えば温度などの情報一覧についてまとめ，プライバシ保護の観点から考察する．4 章では本研究においてどのようにベッドからの転落を未然に検知するかについて検討する．それらを踏まえ具体的に構築したベッド転落検知システムを 5 章で説明す

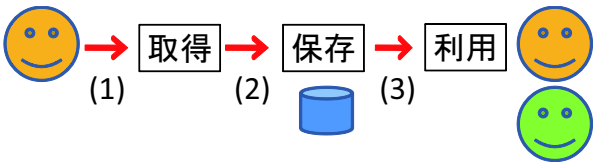


図 1 システムのどの段階でプライバシ保護を考慮するか．(1) はそもそも個人情報をシステムが一切取得しない，(2) は取得しても保存しない，または加工して個人情報が分からないようにして保存する．(3) は保存しても他者からは読めないように暗号化等で管理する．

る．そして最後に 6 章でまとめる．

2. プライバシの保護

ここではシステムがプライバシ保護を実現するための手法を，処理手順のどこの部分で考慮するかによって分類し，その中で本研究のプライバシ保護の位置づけを明らかとする．

2·1 プライバシ保護の分類

プライバシ保護を考慮するシステムを整理するために，システムの処理手順においてどのフェーズでプライバシ保護を考慮するかによって既存システムを分類する．システムの処理手順，及びそのどこでプライバシ保護を考慮するかを 図 1 に沿って述べていく．

図 1 は，左に位置するユーザの情報を 1. 取得し，2. 保存，そして 3. 利用する，と処理を分けたものである．この 3 つのフェーズのどこでプライバシ保護を考慮するかによって，システムがどのようにプライバシ保護を実現するのかを分類することができる．

(1) 「取得」の前でプライバシ保護を考慮するとは，プライバシを侵害する可能性のある情報を取得しないことを意味する．例えば大和ら [大和 94] のシステムのように，足圧のみという少ない情報でユーザの状態などを認識する方法である．

(2) 「保存」の前にプライバシを保護するとは，例えば取得した情報に何かしらの処理を加えて，個人が特定不可能となるようにしてからシステムに保存する方法である．土井ら [土井 04]，西貝ら [西貝 04] のシステムのように，画像情報を加工してから保存，もしくは利用する方法がこれにあたる．

(3) 「利用」の前に考慮するプライバシ保護とは，利用シーンなどによって使う情報を選択したり，利用者以外に個人情報が漏れないようにしてサービスを提供する場合などである．志村ら [志村 07] はサービスを提供するために必要最低限の情報のみを検索できるようにすることで，プライバシ保護を実現している．田丸ら [田丸 03] は個人情報とサービスとを分離して利用することによりプライバシ保護を行う．また，平田ら [平田 07] はユーザが開示する情報を自ら設定することでプライバシ保護を行っている．

これらのプライバシ保護は，システムが主導的に考慮する場合もあるし，ユーザが自らシステムへ提供，またはシステムから開示する情報を制御できるように考慮するものもある．

2·2 本研究におけるプライバシ保護の方法

本研究では， 図 1 における (1) の位置においてプライバシ保護を考慮する．つまり提供するサービスに見合った必要最低限の情報のみをシステムに取り入れる方法である．そこで本研究ではプライバシ保護を以下のように定義する．

定義 1 プライバシ保護とは，システムが提供するサービスを実現するために必要最低限の情報のみを取得すること．

そして，(1) の位置でプライバシ保護を実現するためのシステムの課題は，少ない情報でユーザの状態を認識することである．そのために本研究では確率的な認識結果の通知方法を用いる．

3. ユーザの状態を認識するために利用できる情報

本研究では距離情報を用いてベッド転落を検知する手法を提案する．しかし超音波以外にも転落検知に利用できる情報がある．ここではそれらについてまとめ，なぜ超音波を利用するのかを明らかとする．

以下にベッドからの転落検知に利用できる情報一覧を示す．また， 図 2 にはそれぞれのイメージ画像を示す．

- 画像情報（可視光，赤外線など）
- 距離情報（超音波，レーザなど）
- 圧力情報（圧力マット，圧力センサーなど）
- 温度情報（サーモグラフィー，近赤外線カメラなど）

2 章において述べたように，プライバシ保護とは，提供するサービスにおいて必要最低限の情報のみを取得することである．この観点において，画像（光）の情報は，図 2 からもプライバシを侵害する可能性がある．それは，画像に映る人が誰であるかを特定できしまうことである．また，ベッドから転落する，という状態以外にも何をしているのかが分かってしまう可能性がある．

距離情報はセンサからのある方向のみを取得する一次元の情報を利用したシステム [超音波ベッド見守り] や頭部などのある一点の三次元位置を取得する方法 [Nishida 04] などがある．これらにより例えば転落したという異常状態を認識することができると思われるが，転落しそうな状態を予知することは困難である．そこで本研究では二次元の距離情報を利用する．二次元の距離情報とは，図 2 の二次元の距離のような情報である．この情報から人がいることはわかるが，顔が特定できないため誰であるかはわからない．

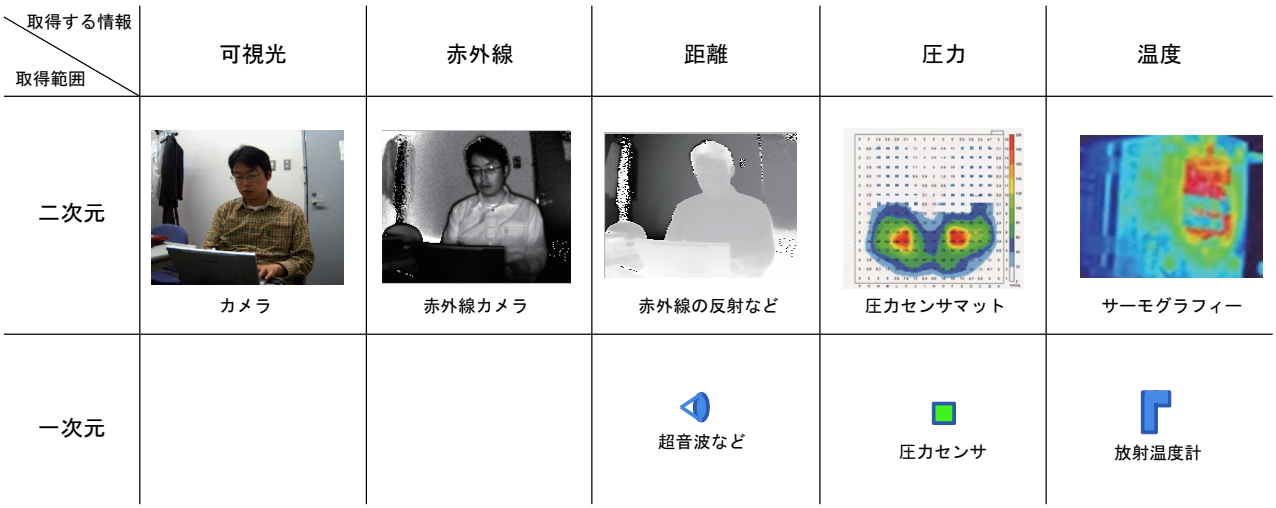


図 2　ユーザの状態を認識するために利用可能な情報の種類一覧．可視光，赤外線，距離，温度，圧力 [体圧分布]．

近赤外線やサーモグラフィーなどによって非接触で温度を測ることができる．これを利用して通常は他の環境よりも温度の高い人の位置を特定し，さまざまなサービスを提供するシステムがある．しかしベッドの場合，ユーザは布団をかけていることが多い．これらの機器による測定可能な温度は，表面温度であるため，人の体の位置や状態を認識することは困難である．

圧力を用いたベッド転落検知には，圧力がかかる／かからないといった一次元の情報を利用した製品がある [離床センサ]．最も安価で利用できるシステムであるため，すでにグループホームや病院などで利用されている．しかし接触型のセンサーであるため，特に感染などに気を使う病院などで利用が敬遠されることもある．また，圧力がかかる／かからないだけでは転落しそうであるという状態を推測することは困難である．二次元の圧力センサ情報は，転落しそうであるという予知は距離の二次元情報と同じように可能であると思われる．しかし接触型であることは変わらないため，より安全な非接触型の距離による方法の方が，実用の可能性が高いと思っている．

これらのことより，本研究ではベッドからの転落をできるだけ早く認識するための必要最低限の情報として二次元の距離情報を利用する．

4.　ベッドからの転落危険性の認識

本章ではベッドからの転落原因について考察し，本研究ではどのように危険を認知するのかを説明する．

4·1　転落の要因について

ベッドからの転落は，さまざまな要因で起こる可能性がある．たとえば寝返り時に転落する場合，また，意識的／無意識的に被介護者がベッドの上で立ち上がり，転落するケースなどが考えられる．本研究では，まず意識的／無意識的にベッドから降りようとしている状態を認識する．そのために被介護者の上体が起きているかどうかを距離情報から判断する．上体が起きている場合，寝ている時に比べてベッドからの転落につながる動作に移る可能性が高いと考えられる．

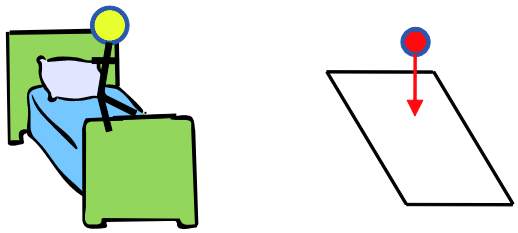
また，寝ている状態のままでベッドから滑り落ちるような場合には，人の位置がベッドの端にあることが 1 つの要因として考えられる．そこで，人の重心とベッドの端との距離を計算し，ある一定の距離以下の場合には，そうではない状態に比べてベッド転落の危険性が高いと考える．

4·2　本研究で認識を試みる 2 つの要因

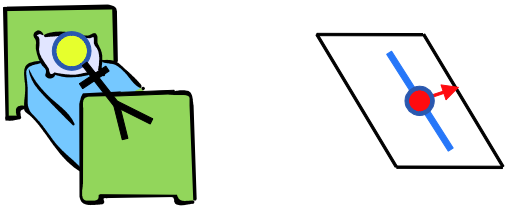
図 3 に本研究で認識を試みる 2 つのベッド転落の要因を示す．(1) の上体が起きていることを認識する方法は，ベッド平面と人の重心との距離で推定する．一方 (2) のベッドの端からの距離については，人を三次元上の直線で表し，その垂直方向におけるベッドの端までの距離を求めることによって危険度を推測する．直線の垂直方向を用いるのは，人が寝ている時に横に移動することは考えられるが，縦方向（頭から足に向けての方向）に移動することは少ないということを考慮したためである．

4·3　距離情報を用いることの利点

図 3 における 2 つの状態の認識は，距離以外の情報を用いても認識可能と考えられる．例えば可視光および赤外線カメラによる認識の場合，カメラの設置を例えばベッドの上部の垂直方向からなどと限定すれば，人の領域の変化によって上体が起きている，またはベッドの端にいる，などの認識が可能であろう．しかし，本研究ではプライバシの保護だけでなく，システムの導入準備の容易さを考慮している．システム設計者が意図する状態にシステムを導入し，運用するのではなく，比較的何も考えずシステム利用者がセンサなどの機器を設置し，さまざまな環境に対してロバストに動作することを考えた



(1) 上体が起きていることを認識する.
人の重心がベッド平面から離れている.



(2) ベッドの端にいることを認識する.
人の重心がベッドの端から近い.

図 3 ベッドからの転落の危険性がある 2 つの状況の認識

場合，設置に制限を設けることはあまりよいこととは考えられない．そこで距離情報を用いる場合，例えば斜め方向から情報を得ていても，各画素の距離が算出できるため，可視光および赤外線カメラ情報よりは認識精度が高められることが期待される．

また，圧力センサマットによっても圧力のかかっている領域の大きさや，位置から被介護者の上体が起きているのか，ベッドの端にいるのかを認識可能であると考えられる．しかしこの場合，接触型のセンサを敬遠するという理由だけでなく，システムの認識に関するスケーラビリティが低いことが課題となると思われる．認識に関するスケーラビリティとは，認識できる状況の幅のようなものであり，例えば接触型のセンサの場合はベッドの上に接触している部分からすべてを推定しなければいけない．しかし非接触の二次元距離センサでは，ベッドから離れている部分であっても推測が可能である．例えば今後システムを拡張し，上体が起きている時の腕や頭の状態から何かを認識しようとした場合，接触型の圧力センサマットでは対応することができない．

5. ベッド転落検知システム

本章では，提案するシステムについて機器構成，ベッドからの転落認識方法について述べる．

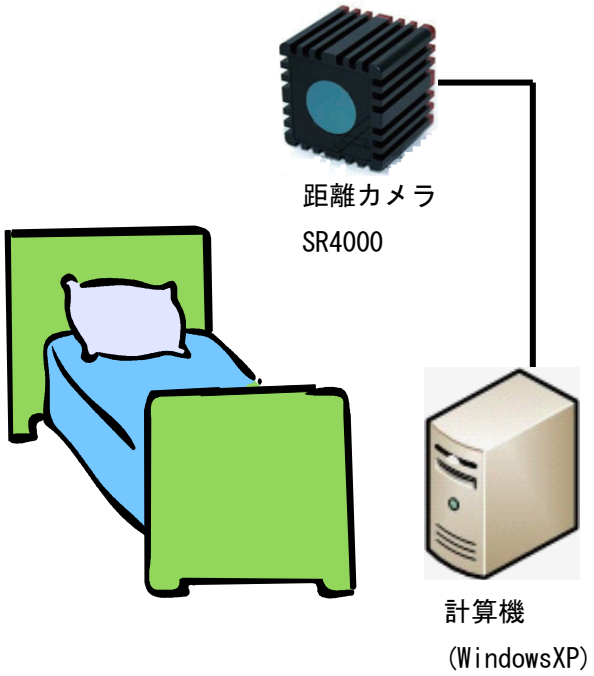


図 4 ベッド転落検知システムの機器構成

5･1 機 器 構 成

図 4 に機器構成を示す．二次元の距離情報は，スイス mesa 社の SR4000 [距離測定カメラ] を使用する．この SR4000 は，USB によって計算機に接続されている．計算機では，SR4000 からの二次元距離情報を用いて，ベッドからの転落検知を計算する．

この機器構成はプロトタイプであり，介護者等への通知については考慮されていない．通知を行う場合には，介護者がいる場所で警告音を発したり，コンピュータディスプレイに状況を通知するシステムを追加で構成すればよい．

5･2 システム運用前の準備について

システム運用前に以下の情報をシステムに与えることを想定している．

(1) ベッドが映るように距離カメラをセットする．通常は部屋の上の方に設置して見下ろすように距離情報を取得する．
(2) 被介護者が居ない状態のベッドを撮影し，ベッドの位置をシステムに教える（通常は画像上をクリックしてしているする）．
(3) モニタリングする時間帯を設定する．

このシステムの特徴の 1 つは，システム運用前に多くの作業を必要としないことである．システムの設計者が意図した利用方法に例えばセンサの設置を制限するのではなく，様々な環境でロバストに動作するために，あまり多くの制限を設けないことを本システムの特徴とする．よって，距離カメラはベッドが移っていれば，斜め方向からであっても上部からであってもシステムの認識精度

に差が出ないような認識手法を検討している．

その中でシステム利用者に行ってもらう作業は，人が寝ていない状態のベッドを画面上でクリックすることである．この時に領域を利用者が指定する必要はない．画面の 1 画素を指定するのみでよい．そこから画像認識によってベッド領域を自動的にシステムが認識する．

5·3 認識手順について

以下に本システムの認識手順について示す．

(1) （事前準備 1）ユーザがいないときのベッド領域の認識する（システム利用者の画像クリックを必要とする）．

(2) （事前準備 2）ベッド領域の三次元平面式 (z = ax+by+c) を最小二乗法によって求める．

(3) ベッド領域との動的背景差分により人の領域を認識する（画素のクラスタリングを用いる）．

(4) 人の領域の重心を計算する．

(5) 人の領域の重心からベッド平面までの距離を計算し，距離が離れている場合，被介護者の上体が起きていると判断する．

(6) 人の領域から三次元上の直線を最小二乗法によって求める．

(7) 人の重心を通り，人の直線に垂直かつベッド平面に並行な直線をベッド平面に写像し，重心からベッド領域の端までの距離を算出し，その距離が短い場合は転落の危険性が高いと判断する．

三次元平面の一般式は，$ax+by+cz+d=0$ として用いられることが多い．しかし本研究では，z を移項し，係数の c で全体を割った形を用いている．これは最小二乗法で各係数を求めるときに求めやすいからである．

5·4 ベッド平面の一般式を得る

図 5 には，ベッド領域の三次元平面を求める方法を示している．距離画像にユーザはベッド領域，およびベッド領域以外の箇所の数か所クリックしてもらう．図の場合，2 段目の画像の丸印がユーザがクリックした場所である．右下の丸はベッド領域としてクリックし，それ以外の 2 つはベッド領域以外としてクリックした場所である．この情報を用いて WaterShed アルゴリズム [Beucher 93] を用いて領域を分割する．そして最初にユーザがベッド領域としてクリックした画素を含む領域をベッド領域として認識する．

距離カメラからの距離情報は環境からノイズを含んでいるため，WaterShed アルゴリズムで分割した領域は，その計測ごとに異なる領域の大きさを示すことがある．そこで，動的背景差分 [森田 05] で用いられる画素の平均化を利用して，平均的な領域を計算する．

ベッド領域を示す領域（画素集合）が得られると，そのそれぞれの画素の三次元位置を先に示した計算式で計算する．それを図示したものが 図 5 の 3 段目のイメージである．各画素の三次元座標をプロットしたものである．この点集合から平面の一般式 ($z=ax+by+c$) を最小二乗法で計算する．その計算した平面を重ねたものが 4 段目のイメージである．平面の一般式の各係数は，最小二乗法により以下の行列演算から求めることができる．

$$\begin{bmatrix} x1 & y1 & 1.0 \\ x2 & y2 & 1.0 \\ .. & & \\ xn & yn & 1.0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z1 \\ z2 \\ .. \\ zn \end{bmatrix} \qquad (1)$$

ここで，$x1$，$y1$，$z1$,...，xn，yn，zn は一般式を求めるために使用する点の集合である．a，b，c は，$z=ax+by+c$ の各係数である．左端の行列を転置行列をかけて行と列の数が同じ正方行列にし，その逆行列をさらに両辺にかけるとこで a，b，c を求めることができる．

5·5 人の領域，その重心とベッド平面との距離を計算する

人の重心は，人の領域を表す画素集合の三次元座標の平均で求められる．その重心とベッド平面との距離は以下の公式から求められる．

$$d = |ax_0 + by_0 - z_0 + c| / \sqrt{a^2+b^2+1} \qquad (2)$$

ここで，x_0，y_0，z_0 は人の重心位置，a，b，c は平面の一般式 ($z=ax+by+c$) の各係数，d は重心位置から平面までの距離を示す．

本研究ではこれらの情報を用い，ベッド転落の危険性を推測することを考えている．

6. お わ り に

本稿ではプライバシを考慮したベッドからの転落検知システムについて提案した．まず本研究におけるプライバシ保護の定義を,「プライバシ保護とは，システムが提供するサービスを実現するために必要最低限の情報のみを取得すること.」とした．プライバシを保護するためには，(1) 個人情報をシステムが取得しない，(2) 取得しても保存する前に加工する，(3) 保存しても暗号化等で他者から参照できないようにする，といった各段階における考慮が考えられる．その中でわれわれのプライバシ保護の定義は，(1) の最初の段階でそもそも情報を取得せずに，サービスを提供することであるとしてシステムの基本設計を行った．

次にプライバシ保護を維持しつつ，ユーザの状態を認識するために利用可能なセンサ情報をまとめ，その中から二次元の距離情報を利用することを提案した．可視光，赤外線カメラでは人の顔からその人が誰であるかを判断することができてしまう．つまり本研究におけるプライ

バシ保護の定義からそれてしまう．一方，温度情報では通常は布団をかけているため人の領域を認識することが困難である．そこで距離，または圧力の情報が利用可能であるが，圧力の場合，接触型であり病院などでシステムを利用するときに衛生面で不安があること，およびセンサの取得可能な幅が距離よりも少ないことから例えばベッドに接触していない部分の認識ができないことから，本研究では距離を用いることを提案した．

そして転落の危険性を２つのパターンの認識として定義した．１つは被介護者がベッドの上で上体を起こしている時である．転落の原因には様々なものが考えられるが，その１つには被介護者が意識的／無意識的にベッドから降りようとして転落するケースが考えられる．介護者はたとえば夜中にベッドから降りようとしている被介護者がいることがわかれば，何かしらの対応が可能である．そのことを知るために被介護者がベッドの上で上体を起こしていることを距離情報から認識する．もう１つのパターンは，寝ている状態で滑り落ちるようなことを検知するために，人の重心とベッドの端との距離を求め，短い場合危険が高いと判断する方法である．この２つのパターンを距離情報から認識することによって未然検知できる可能性があることを示した．

構築したシステムは，二次元距離情報を取得するデバイスと計算機から構成されている．これらの機器構成，および画像認識技術を用いた転落危険性のある２パターンの認識方法法について示した．

今後は構築したシステムを用いて様々な状況を調査し，システムの利用可能性について検証をしていきたいと考えている．

謝　　辞

本研究の一部は文部科学省知的クラスター創成事業石川ハイテク・センシング・クラスターにおける「アウェアホーム実現のためのアウェア技術の開発研究」プロジェクトの一環として行われたものである．

◇ 参　考　文　献 ◇

[距離測定カメラ] 3 次元距離測定赤外線カメラ SR4000, スイス mesa 社 Swissranger, http://www.mesa-imaging.ch/prodview4k.php

[志村 07] 志村将吾, 平野　靖, 梶田将司, 間瀬健二: 行動プライバシを考慮した体験の検索, 情報処理学会第 69 回全国大会 講演論文集, 2007.

[体圧分布] 体圧分布測定装置, タカノ株式会社, http://www.takano-hw.com/product/seating/tfsa/

[田丸 03] 田丸修平, 岩谷晶子, 高汐一紀, 徳田英幸: プライバシを考慮したパーソナライゼーションを実現するアプリケーションフレームワーク, 情報処理学会研究報告「システムソフトウェアとオペレーティング・システム」 Vol.2003, No.42(20030508), pp. 49-56, 2003.

[超音波ベッド見守り] 超音波方式ベッド見守りシステム, 古河機械金属株式会社, http://www.furukawakk.jp/products/zps_6.html

[土井 04] 土井美鈴, 堀井洋一: プライバシーを考慮した監視カメラ映像配信システム, インタラクション 2004 論文集, pp. 203-204, 2004.

[Nishida 04] Nishida, Y., Murakami, S., Hori, T., and Mizoguchi, H.: Minimally Privacy-Violative Human Location Sensor by Ultrasonic Radar Embedded on Ceiling, in Proceedings of 2004 IEEE International Conference on Sensors, pp. 433-436, 2004.

[西貝 04] 西貝吉晃, 安田和隆, 苗村健: Thermo-key を利用したプライバシー保護のための実時間モザイク処理, インタラクション 2004 論文集, pp. 23-24, 2004.

[平田 07] 平田敏之, 國藤進: プライバシ保護を可能とする状況情報共有システムの開発と運用実験, 情報処理学会論文誌, Vol. 48, No. 1, pp. 189-199, 2007.

[森田 05] 森田真司, 山澤一誠, 寺沢征彦, 横矢直和: 全方位画像センサを用いたネットワーク対応型遠隔監視システム, 電子情報通信学会論文誌（D-II), Vol. J88-D-II, No. 5, pp. 864-875, 2005.

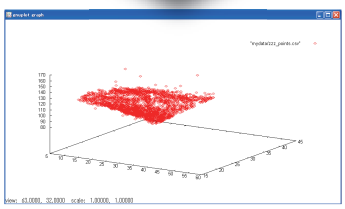
[大和 94] 大和淳司, 数藤恭子, 伴野明: 圧力マットセンサを用いた足圧画像からの個人識別の検討, 電子情報通信学会技術研究報告 PRU, パターン認識・理解, Vol. 94, No. 339, pp. 15-22, 1994.

[離床センサ] 離床センサ, 株式会社テクノスジャパン, http://www.technosj.co.jp/alarm/index.html

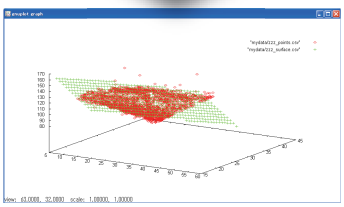
[Beucher 93] Serge Beucher and Fernand Meyer: The morphological approach to segmentation: the watershed transformation. In Mathematical Morphology in Image Processing (Ed. E.R. Dougherty), pages 433-481, 1993.

距離画像（右上は同じ場所の可視光画像）

WaterShed アルゴリズム [Beucher 93] による領域分割
動的背景差分 [森田 05] による領域の平均化



ベッド領域の三次元散布図



最小二乗法によるベッド領域の平面の算出

図 5　画像認識を用いたベッド領域の三次元モデルの抽出