

平成 23～25 年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「ユビキタスセンサと行動解析を用いた高齢者の見守り支援システム」

研究開発成果等報告書

平成 26 年 3 月

委託者 関東経済産業局

委託先 株式会社ひたちなかテクノセンター

## 目次

第1章 研究開発の概要	3
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標	3
(1) 社会的状況	3
(2) 研究開発の背景	3
(3) 当該分野における研究開発動向	4
(4) 本研究開発の全体像	4
(5) 本研究開発全体の目的、目標	5
1-2 研究体制	6
(1) 研究組織及び管理体制	6
(2) 管理員及び研究員	8
(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名	9
(4) 他からの指導・協力者	9
1-3 成果概要	10
1-4 当該研究開発の連絡窓口	11
第2章 本論	12
2-1 ユビキタスセンサによる生活行動計測	12
2-1-1 2次元温度分布センサによる動作計測	12
(1) 2次元温度分布センサによる転倒検知アルゴリズム	12
(2) 転倒検知アルゴリズムの実装	13
(3) 転倒検知システム検証	13
(4) 検知精度と課題	13
2-1-2 アクティブ赤外センサによる歩行状況の計測	13
(1) アクティブ赤外センサと設置方法	13
(2) 歩行能力推定のための指標	14
(2-1) 歩行速度	14
(2-2) 歩幅	15
(2-3) 振り上げ高さ	15
(2-4) 上半身の振れ(ふらつき)幅	15
(3) 出力方法	15
2-1-3 異種複合センサ情報処理システム	16
(1) 見守りコントローラプロトタイプを試作	16
(1-1) ハードウェア構成	16
(1-2) 前処理基板	17
(1-3) 見守りコントローラ基板(サブシステム)	17
(1-4) 2次元温度センサ前処理基板収納筐体	17
(1-5) 2次元温度分布センサ取り付け部の試作	17
(2) ユビキタスセンサ	19
(2-1) インテリジェントタップ	19
(2-2) 環境モニタリングセンサ	19
(2-3) データ受信部	19
2-2 センサ融合に基づく日常生活パターン抽出：日常生活パターンの定量化	19
(1) 睡眠に関連するパターンの定量化	20
(2) 日常生活パターン抽出による見守りシステム	21
(2-1) 生活パターン生成システム	22
(2-1-1) 在室時刻ファジィ集合	22
(2-1-2) 在室時間ファジィ集合	22
(2-1-3) 活動量パターン	23
2-3 パターン整合に基づく異常状態検知及び警報生成：異常情報の提示	23
2-3-1 高齢者本人に対する情報提示	24

2-3-2 高齢者用対話型見守り装置の試作開発.....	25
2-3-3 見守りシステム組込みソフトウェア .....	26
(1) 検知機能.....	27
(2) 警報判定出力.....	28
(3) 情報提示.....	30
第3章 全体総括 .....	31
(1) 研究目標と成果.....	31
(2) 特許提出、論文/外部発表.....	32
(3) 研究開発後の課題・事業化展開 .....	33

## 第1章 研究開発の概要

### 1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

#### (1) 社会的状況

我が国の高齢化率（65歳以上人口比率）は、平成21年22.7%、平成37年30%超と予測されている<sup>1</sup>。高齢者の約25%が日常生活に何らかの不便があり<sup>2</sup>、介護保険認定者数も500万人に達しており、介護総費用は7.5兆円<sup>3</sup>と、関連費用の増加抑制が急務となっている。

また近年、独居高齢者の増加が顕著であり、平成22年446万人（高齢者の約15%）、平成42年717万人（同20%）に達するとされている。高齢者夫婦だけの世帯数も平成17年で449万世帯（約900万人）と増加が顕著である<sup>4</sup>。このような状況の中、高齢者世帯における安心、安全に関して、車いす等の介護機器による物理的支援だけでなく、精神的支援に対しても必要性が高まっている。

高齢者が寝たきりとなる要因は、老衰を除けば第1位が脳血管疾患、第2位は転倒・転落による骨折、第3位は認知症である<sup>1</sup>。また、室内における不慮の死亡事故の第1位は誤嚥等による窒息、第2位は入浴中の溺死、第3位が転倒・転落である<sup>5</sup>。

医療・介護現場における統計を見ても事故の第1位は転倒・転落であり、全体の27%を占めている<sup>6</sup>。なお、標本数は1200人程度と少ないが、「日常生活圏域ニーズ調査モデル事業」<sup>7</sup>においても、高齢者の転倒リスクは95%超との結果である。これらから、医療の領域で対処すべき内容を別にすれば、高齢者に対するサービスとして「転倒・転落」の予防、ならびに発生時の早期対応を図るシステムの重要性は明らかである。なお転倒・転落事故は、移乗、起立、着座、方向転換の際が全体の約60%、発生場所はベッド周辺が90%を超えている<sup>8</sup>。

#### (2) 研究開発の背景

ベッドを含む住環境において、高齢者の活動を見守り、必要に応じて注意喚起や機器動作などの支援を行うシステムは、人と直接触れ合う「サービスロボット」であると言える。このようなシステムは、新成長戦略のライフ・イノベーション分野において研究開発が求められている「地域における高齢者の安心な暮らしの実現」に向けた「在宅での生活支援ツール」として、高齢者の安心、安全に資するものであると同時に、情報技術による住宅の精神的なバリアフリー化、および質の高い介護サービスを提供するための支援システムとして機能するものである。

高齢者が快適に生活でき、「身近に安心して接することができる」住環境として、転倒等の事故発生時における声掛けや近隣ケアサービス拠点への連絡など、状況に応じた適切な支援を早期に行い、生命を脅かす深刻な事態に至ることを事前に防止するシステムが必要である。このようなシステムの構築に当たっては、生活者として的高齢者一人一人、それぞれ異なる特性、ニーズや利用環境に対応した製品

<sup>1</sup> 内閣府、高齢社会白書（平成22年度版）

<sup>2</sup> 厚生労働省、国民生活基礎調査（平成19年度版）

<sup>3</sup> 厚生労働省統計（平成21年度）

<sup>4</sup> 総務省統計局、高齢者の暮らし統計データ（平成20年）

<sup>5</sup> 厚生労働省、人口動態統計（平成21年度）

<sup>6</sup> 日本医療機能評価機構、医療事故情報等収集事業報告書（平成20年）

<sup>7</sup> 厚生労働省、日常生活圏域ニーズ調査モデル事業報告書（平成22年）

<sup>8</sup> 医歯薬出版、看護・医療事故防止（2004）

作りが重要であり、i) 多様な利用者個人毎の条件に対応して行動パターンから異常を検出し対応する機能、ii) 適切なタイミングでの確な通知を行う機能を、プライバシー保護との両立を図りつつ組み込んだインテリジェントなシステムが求められ、これらを実現するソフトウェアの開発が必要である。

このように、車いす、歩行器など、利用者を物理的に支援する既存の高齢者支援システムに対して、安心、安全な住環境を提供する精神的支援のためのサービスシステムの実現が重要となって来ている。

### (3) 当該分野における研究開発動向

精神的な支援を行うサービスロボットでは、ベッドを含む住環境自体をインテリジェント化するとの方向が実用に優れていると考えられる。このような研究としては「ロボティック・ルーム」として、様々なセンサを室内に多数配置し、出来得る限りの情報を収集する試みなどが行われているが、詳細な挙動計測という研究面に重点が置かれ、普及を視野に入れた安価なシステムの実用化は未だの状況である。

また「見守り」サービスに関しては様々なものが現れているが、何れも課題が残されている。例えば、ガスや電力の利用状況を監視するもの、各部屋に人感センサを設置したりトイレ・ドアの開閉センサを用いるものは、リアルタイムでは異常を認識できず、事後の検知となることが問題である。警報通報器等を用いるものも同様の問題があるほか、押しボタンを押すことが出来ないような重大事象発生の場合には無力である。カメラやテレビ電話を用いるものは、自動的な異常検知では無い上、画像を人が監視するもので、プライバシーの観点からも課題は大きい。

これらの事例を見ても、上記した最重要事象である転倒・転落を直接の対象として、事象発生と同時にリアルタイムで検知可能なものは殆ど現れていないと言うことが出来る。近年、転倒・転落の直接的検知を目指したものとして、ペンダントに加速度センサと押しボタンとを内蔵した異常通報機器が発表され、我が国への参入の動きがあるが、着用忘れ対策等の課題も残されており、本格化は未だと言える状況である。

以下においては、センサによりインテリジェント化された住環境を「見守り（サービス）ロボット」、これを核として、異常時における外部との情報連携機能までを含めたものを「見守り（サービス）システム」、と呼ぶこととする。

### (4) 本研究開発の全体像

人は高齢化に伴う身体的、精神的な能力の低下に起因して様々な特性の変化を生じる。その個人差は大きいため、不自由な点や要望は個人毎に大きく異なる。また居住環境も千差万別である。このため、転倒・転落を含む異常の見守りを行う安心、安全サービスシステムにおいては、多様な利用者の特性、ニーズや利用環境に対応するための高性能化と機能の向上が重要である。

本研究開発では、主として独居あるいは施設入居の高齢者を対象とし、「寝たきり」に至る主因となる転倒・転落事象の検出をリアルタイムで行うと同時に、転倒の予兆をとらえて通知するという機能向上を図ることで、真に有効なサービス住環境を構築することを目的としている。

生活の多くの時間を過ごし、転倒・転落事象発生の大半を占めるベッド周辺部を中心に、異種ユビキタスセンサを粗密配置する。これらを用いて、1) プライバシを保護しつつ利用者の生活行動をリアルタイムで計測する機能、2) 日常生活における行動パターンとして利用者特性を取得し、異常検知する機能、3) 異常内容に応じ、本人、近隣ケアサービス拠点、遠隔地の家族への通知等適切な対応を行う

機能など、家庭、病院等の利用環境と連携したシステムを実現するソフトウェアの開発を行う。

上記を踏まえた高度化目標としては、高性能化・機能の向上であり、組み込みソフトウェアに係る技術に関する事項については、技術要素の高度化（技術開発及びソフトウェアの開発）のうち、「画像・動画処理の研究開発」に相当する。具体的には、温度分布センサの2次元画像と、その他のセンサから構成される多次元時間依存情報処理技術の開発を中心に実施する。

多次元情報の時間的整合性に基づく検出信頼性の向上、多次元画像情報の時間的変化に着目した人の位置、姿勢変化としての行動、ならびに異常事象としての転倒の検出を可能とする処理アルゴリズムの開発と、下図に示される見守りコントローラの組み込みソフトウェアとしての実装を行う。

更に、人の行動に関する多次元のセンサ情報を長期間収集し、個人の日常生活における行動パターンを抽出するとともに、日常行動パターンからの変化によって生活習慣の変化あるいは身体能力の変化を推論し、異常事象としての転倒リスクの予測を行うアルゴリズムの開発と、そのソフトウェアとしての

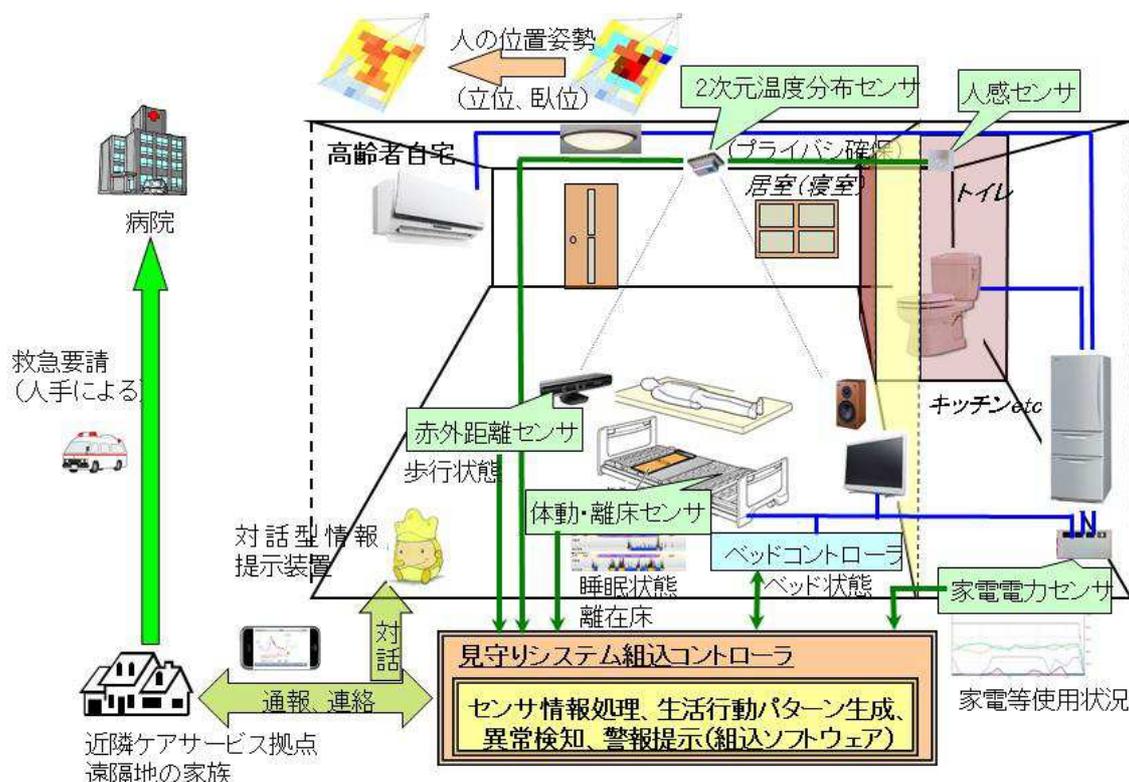


図1 見守り支援システムの全体イメージ

実装を行う。

また、上記の各異常事象に対応して警報等を発生し、状況に応じた適切な対象者（本人や近隣のケアサービス拠点、遠隔地の家族等）への連絡、通報を行うシステム構築のための組み込みソフトウェア技術を開発する。

#### (5) 本研究開発全体の目的、目標

本研究開発では、生活の多くの時間を過ごし転倒・転落事象発生の大半を占めるベッド周辺部を中心に異種ユビキタスセンサを粗密配置し、家庭や病院等の利用環境と連携した下記のシステムを実現する

組込みソフトウェアの開発を行う。

- ① プライバシーを保護し、利用者の生活行動をリアルタイム計測するセンシングシステム
- ② 日常生活における行動パターンとして利用者特性を取得し、異常を検知するシステム
- ③ 異常内容に応じて、本人、近隣ケアサービス拠点への通知など、適切な対応を行うシステム

各研究開発項目の目標は以下のとおりである。

① ユビキタスセンサによる行動計測

2次元温度分布センサの空間分解能 30cm 以下、転倒事象検出に関する誤認識率 10%以下、と設定し、個人の特特定が出来ないことと、立位、座位、臥位の判別が可能なこととの両立を目標とする。

② センサ融合に基づく個人日常生活行動パターン抽出技術

起床、離床、トイレ、着床、就寝の基本生活行動5種を対象に、個人の同定を可能とするための定量的指標の抽出と、これら指標を用いた生活行動の評価手法を検証する。

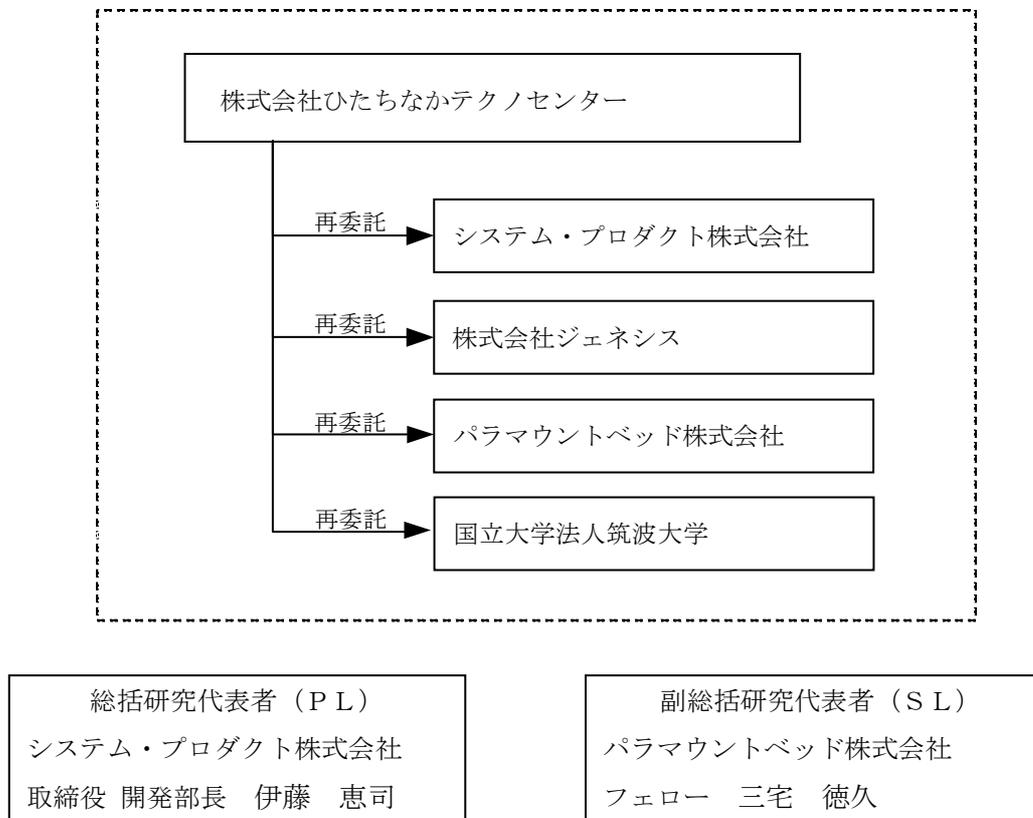
③ パターン整合に基づく異常状態検知及び警報生成技術

転倒発生、リスク予測による転倒予兆の検知、および生活パターンの突発的な変化、漸変という4種の事象分類を行うものとし、これに基づく判定の誤報率 20%以下、また、失報率が誤報率より小さいこと、を目標とする。

## 1-2 研究体制

### (1) 研究組織及び管理体制

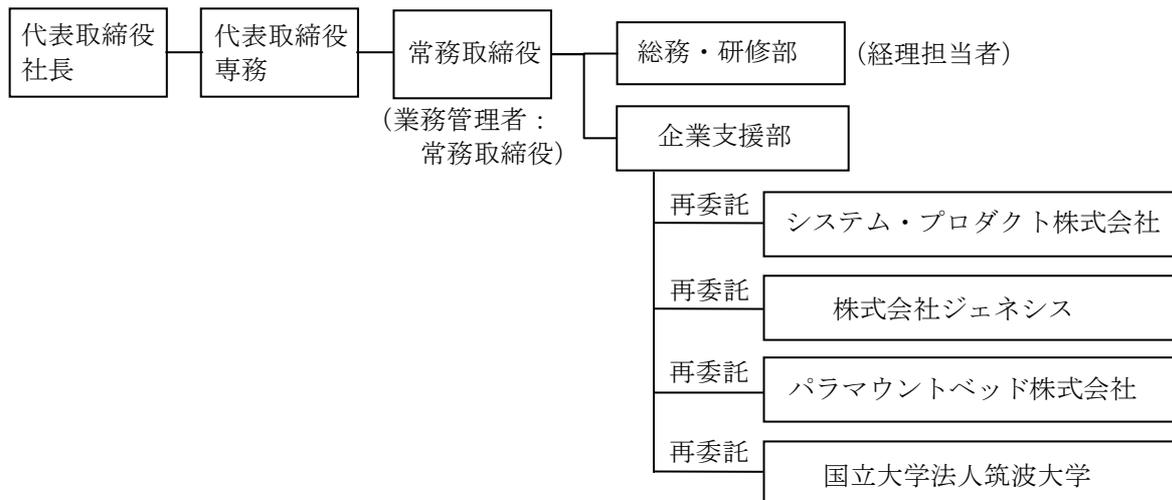
#### 1) 研究組織 (全体)



#### 2) 管理体制

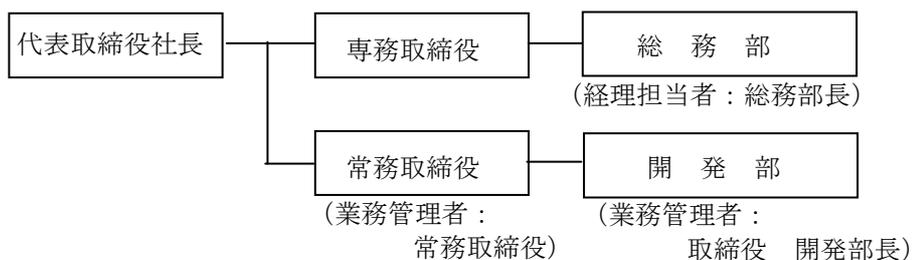
①事業管理機関

[株式会社ひたちなかテクノセンター]

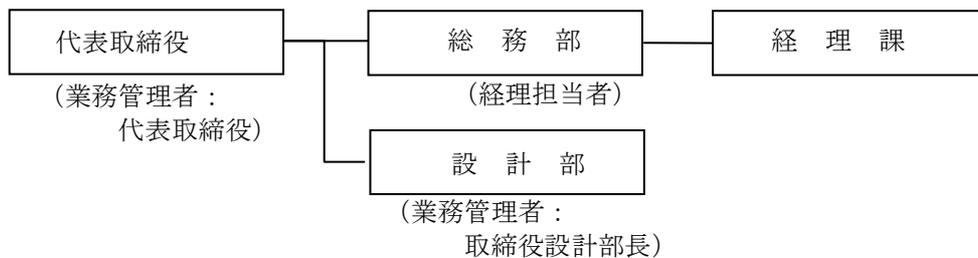


②再委託先

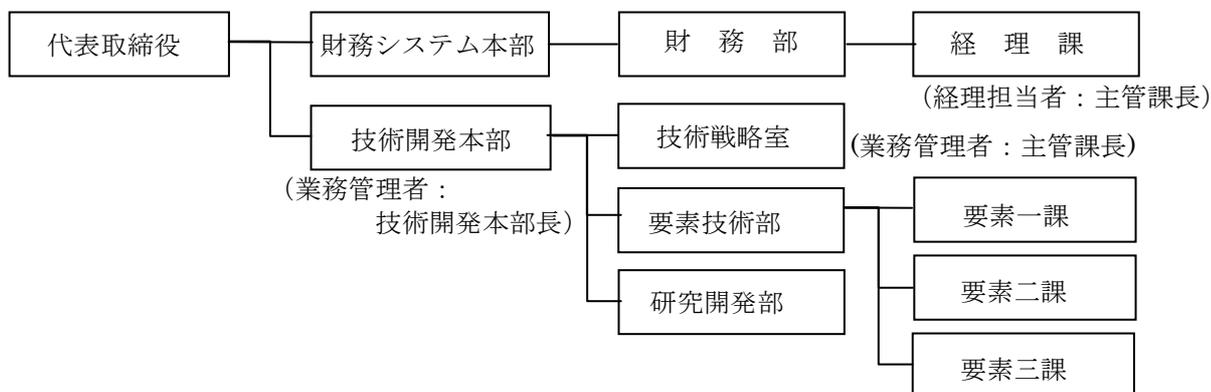
[システム・プロダクト株式会社]



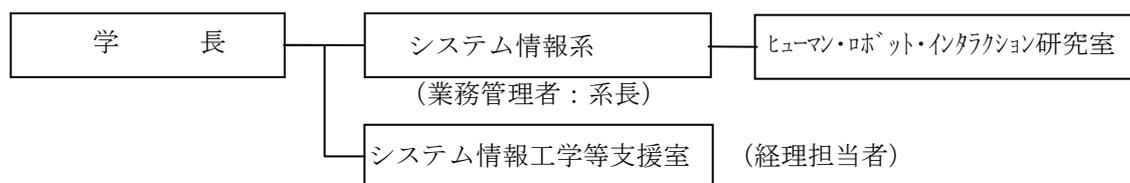
[株式会社ジェネシス]



[パラマウントベッド株式会社]



[国立大学法人筑波大学]



## (2) 管理員及び研究員

【事業管理機関】株式会社ひたちなかテクノセンター

管理員

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
江尻 一彦	常務取締役 (企業支援部長兼務)	④
浅野 俊之	企業支援部 次長	④
森島 邦洋	企業支援部 課長代理	④
日熊 幸男	企業支援部 嘱託職員	④

【再委託先】

研究員

システム・プロダクト株式会社

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
伊藤 恵司	取締役 開発部長	①- 1, 2, 3 ②③
柿沼 義治	開発部 技師補	①- 1, 2, 3 ②③
田所 範久	開発部 企画員	①- 1, 2, 3 ②③

株式会社ジェネシス

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
矢ノ倉 敏巳	代表取締役	①- 1, 2, 3 ②③
清水 一夫	設計部 主任技師	①- 1, 2, 3 ②③
杉山 宣彦	研究開発部 主任技師	①- 1, 2, 3 ②③

パラマウントベッド株式会社

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
三宅 徳久	フェロー (技術開発本部)	①- 1, 2, 3 ②③
井上 暁	技術開発本部要素技術部要素一課 担当課長	①- 1, 2, 3 ②③
植木 伸治	技術開発本部要素技術部要素一課 担当課長	①- 1, 2, 3 ②③
初雁 卓郎	技術開発本部研究開発部担当課長	①- 1, 2, 3 ②③
大録 洋志	技術開発本部要素技術部要素三課 係長	①- 1, 2, 3 ②③
村井 真也	技術開発本部要素技術部要素三課 副主任	①- 1, 2, 3 ②③

国立大学法人筑波大学

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
中内 靖	システム情報系 教授	①-1, 2, 3 ②③

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理機関)

株式会社ひたちなかテクノセンター

(経理担当者) 総務・研修部 課長 久信田 茂樹

(業務管理者) 常務取締役 (企業支援部部長兼務) 江尻 一彦

(再委託先)

システム・プロダクト株式会社

(経理担当者) 専務取締役総務部長 高木 幸子

(業務管理者) 常務取締役 三次 弘史

(業務管理者) 取締役開発部長 伊藤 恵司

株式会社ジェネシス

(経理担当者) 取締役総務部長 矢ノ倉 多紀

(業務管理者) 代表取締役 矢ノ倉 敏巳

(業務管理者) 取締役設計部長 臼井 一博

パラマウントベッド株式会社

(経理担当者) 財務システム本部財務部経理課 主管課長 小倉 孝司

(業務管理者) 技術開発本部長 坂本 郁夫

技術開発本部技術戦略室 主観課長 河瀬 健

国立大学法人筑波大学

(経理担当者) システム情報エリア支援室係長 (会計) 野瀬 正樹

(業務管理者) システム情報系長 高木 英明

(4) 他からの指導・協力者

研究開発推進委員会 委員

氏名	所属・役職	備考
伊藤 恵司	システム・プロダクト株式会社 取締役開発部長	委 PL
三宅 徳久	パラマウントベッド株式会社 フェロー	委 SL
中内 靖	国立大学法人筑波大学 システム情報系 教授	委
矢ノ倉 敏巳	株式会社ジェネシス 代表取締役	委
紙屋 克子	静岡県立大学 看護学研究科 教授	アドバイザー (謝金、旅費)
竹田 一雄	社会福祉法人若竹大寿会 理事長	アドバイザー (謝金、旅費)
大淵 修一	地方独立行政法人東京都健康長寿医療センター 福祉と生活ケア研究チーム 研究副部長	アドバイザー (謝金、旅費)

### 1-3 成果概要

本研究開発では、見守り支援システムに必要とされる技術として、

- ①ベッドとその周辺にプライバシーに配慮しつつ、位置、姿勢、動作の検出が可能な異種センサを配置して生活行動を計測する技術（センサシステムの構築）
  - ・ベッドサイドでの人の転倒等の挙動計測
  - ・転倒に繋がる歩行の特長量の計測
  - ・上記した新たなセンサおよび既存のセンサ情報を統合処理するコントローラ
- ②センサ情報を統合して個人の生活行動パターンを抽出する技術
- ③生活行動パターンに基づいて異常状態を検知し、レベルに応じたマルチモーダルな警報生成と情報提示を行う技術

について研究開発を実施した。

初年度においては各要素技術の確立を図り、2年目はこれらの要素技術をシステムとして統合するとともに各要素技術の見直しを図り、3年目の最終年度には信頼性の向上、高齢者自身を含む利用者を想定したヒューマン・インターフェースの改良など、製品化を念頭に置いた研究開発を推進して来た。

各研究開発項目別の成果は次のようにまとめることが出来る。

#### ①ユビキタスセンサによる生活行動計測

##### ①-1：2次元温度分布センサによる位置姿勢の計測

最も転倒事故の頻度が高いベッド近傍での位置、姿勢計測用として、赤外線センサをマトリクス状に構成した2次元温度分布センサをベッド近傍に設置し、人の位置姿勢を2次元温度分布画像として計測、低照度環境でも立位、座位、臥位の認識が可能な画像処理技術を開発した。また、画像の時間変化から人の位置姿勢変化を抽出し、転倒を含む動作（活動）を計測する方法を開発した。運動測定検証装置を用いて、人の位置、姿勢、動作を計測し、センサ情報処理開発の基準データとするとともに、実住環境内活動計測装置により開発するセンサ技術の有効性の検証を行った。

立位、座位、臥位の姿勢認識アルゴリズムを開発し、これを基本として姿勢変化に要する時間に基づいて動的な転倒事象を検出するアルゴリズムを開発した。また、さまざまな転倒の形態に対応可能なセンサの3次元的配置（ベッドとの位置関係）として、実用性の観点から適正配置を明らかにした。この結果、転倒事象の検出に関する誤認識率として設定した10%以下を実現した。

##### ①-2：アクティブ赤外センサによる歩行状況の計測

赤外光を投影して、三角測量により3次元位置を計測するデバイスをベッド周辺部に設置し、人の四肢と体幹の動きを計測し、左右方向の振幅と周期などのパラメータにより歩行時の「ふらつき」など、転倒に繋がる歩行の特徴量を認識する技術を開発するとともに、運動測定検証装置および実住環境内活動計測装置を用いて認識技術の有効性検証を行った。

転倒危険性の目安となる歩容特徴量として、歩行速度、歩幅、踵拳上高さ、ならびに体幹の左右方向振幅、の4つのパラメータを抽出し、歩行時の物理的負荷を変化させながら計測実験を行って、これらパラメータと転倒との相関に関する検証を行った。

##### ①-3：異種複合センサ情報処理システム

各種センサ出力の取り込み、データ前処理および認識等の処理を行う組込みハードウェアを開発

した。上記各項に示した処理アルゴリズムは、このハードウェアの組込みソフトウェアとして実装される。このハードウェア及びソフトウェアは、見守りコントローラの中核部分を構成するものとして位置付けられる。また、①-1の2次元温度分布センサに関しては、センサから得られる情報量を圧縮するとともにデータを無線通信するための前処理を行うプロセッサ基板を開発した。

システムの機能単位での構築、拡張性、CPUの負荷分散などを考慮しつつ、サブシステム単位でモジュール化を図った構成のハードウェアを開発するとともに、これに組込みソフトウェアを搭載して機能、性能の検証を行った。

#### ②センサ融合に基づく個人日常生活パターン抽出

ベッド上に設置したシート式の空圧体動センサ、ベッドのアクチュエータに設置した荷重センサなどの情報から個人の睡眠パターンを計測するとともに、上記①で開発するユビキタスセンサから得られる情報等を融合させることで、日常生活における活動パターンを計測し、その特徴量を定量化指標として抽出する手法を開発した。

この手法を用いて、起床、離床、トイレ（ないしは寢室外の居住スペース等）、着座、就寝の基本生活行動5種を対象に、実験室レベルでの模擬行動において、個人の同定を可能とするための定量的指標の抽出と、これら指標を用いた生活活動の評価手法を検証した。

#### ③パターン整合に基づく異常状態検知及び警報生成

転倒・転落に関して、第1種A異常：転倒発生、第1種B異常：転倒予兆、第2種A異常：生活パターン突発的変化、第2種B異常：生活パターン斬進変化の4種類に分類する手法と、この分類に応じた警報を生成するシステムを開発した。第1種Aは①-1の計測結果、第1種Bは①-2の結果から、また第2種AおよびBは②の結果に基づき分類を行うものである。

上記各分類に該当する異常のうち、特に転倒発生（第1種A異常）事象に関して、判定における誤報率20%以下、失報率が誤報率より小さいこと、を実験室レベルでの模擬動作において確認した。また、ケアワーカー等のケアサービス提供者のためのタブレット型端末を用いたグラフィカルな警報提示装置を開発するとともに、高齢者に対する親和性の高い人形型の高齢者用対話型見守り装置を開発し、実際の介護現場において試用評価を行った。

### 1-4 当該研究開発の連絡窓口

当該研究開発の事業管理者

名称：株式会社 ひたちなかテクノセンター

住所：茨城県ひたちなか市新光町 38 番地

代表役職・氏名：常務取締役(企業支援部部長兼務) 江尻 一彦

連絡担当者所属役職・氏名：浅野俊之 企業支援部次長

TEL：029-264-2200

FAX：029-264-2203

E-mail：asano@htc.co.jp

## 第2章 本論

### 2-1 ユビキタスセンサによる生活行動計測

#### 2-1-1 2次元温度分布センサによる動作計測

最も転倒事故の頻度が高いベッド近傍での位置、姿勢計測用として、赤外線センサをマトリクス状に構成した2次元温度分布センサをベッド近傍に設置し、2次元温度分センサを用いて計測することで、低照度環境でも人の姿勢（立位、座位、臥位）の認識が可能な技術を開発し、これを基本として、姿勢変化に要する時間に基づいて動的な転倒事象を検出するアルゴリズムを開発した。

#### (1) 2次元温度分布センサによる転倒検知アルゴリズム

2次元温度分布センサにより得られた歩行データから、「①姿勢の判定」「②転倒可能性の判定」、「③転倒判定」を行ない、転倒検知をおこなう。

##### ①姿勢の判定

2個の2次元温度分布センサ（センサ1、センサ2）を下図のようにベッド脇に水平方向に向け設置し、センシングしたデータから各姿勢（立位、座位、臥位）の判定を行う。

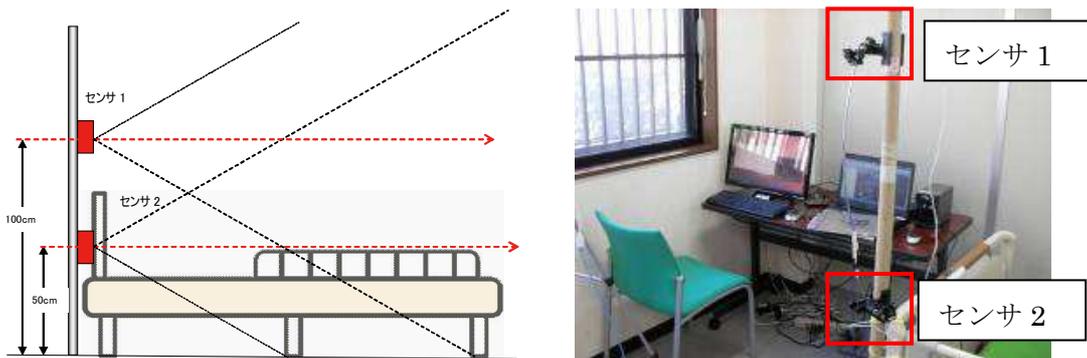


図 2.1.1.1 2次元温度分布センサ設置位置

##### ②転倒可能性の判定

各姿勢データの移行により転倒可能性の判定を行う。

下図に示すように、立位から臥位へ移行した場合に転倒可能性有りとし、それ以外の移行については問題無しとする。

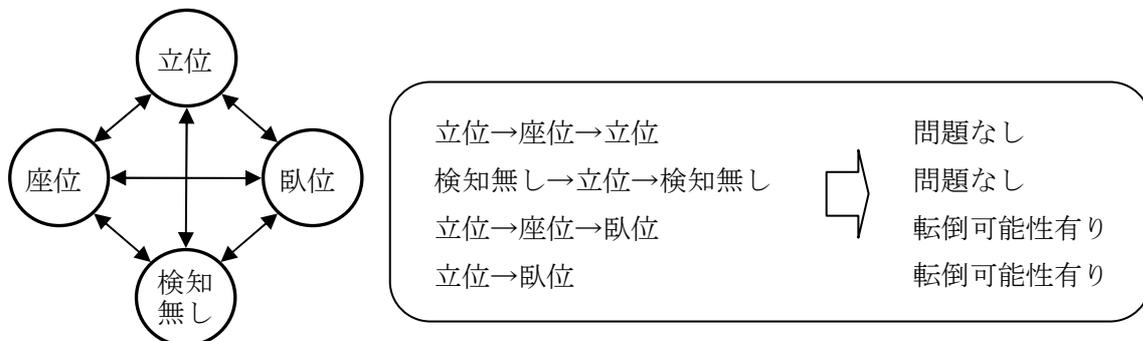


図 2.1.1.2 姿勢データの移行による転倒可能性

### ③転倒判定

②において、転倒可能性有り判定した際には、立位から臥位に変化する時間が設定した時間よりも、短い場合に転倒、立位から臥位に変化する時間が長い際は、自分の意思で床に寝る行為を行ったと判定し問題無しとする。

### (2) 転倒検知アルゴリズムの実装

システム負荷軽減および単独検知装置としての可能性に配慮し、開発した転倒検知アルゴリズムを、開発した右図の前処理基板に組込ソフトウェアとして実装した。



図 2.1.1.3 前処理基板

### (3) 転倒検知システム検証

作成したシステムの妥当性を検証するため、本システムを用いて右図の実験環境内で転倒時に転倒検知が行えるか、また、転倒していない時に誤って転倒検知しないか、日常行動のベッドに座る動作や、歩く動作など転倒動作以外の通常動作等の特定の動作を行い、被験者実験を行った

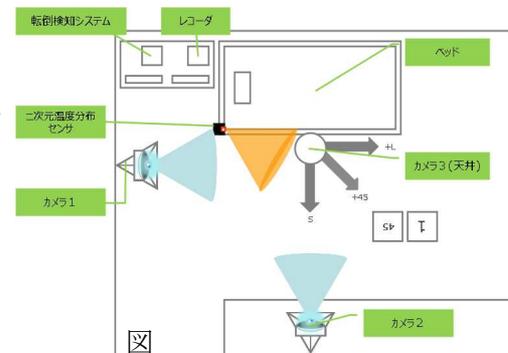


図 2.1.1.4 実験環境 俯瞰図

### (4) 検知精度と課題

高齢者のさまざまな転倒様態、センサ検出方向と転倒方向の組み合わせ等、多様な条件を想定した実証実験を行い、実験環境下ではあるが、目標として設定した 10%以下を実現可能であることを確認した。

製品化にあたっては実際の高齢者の挙動計測を行うことが望ましいが、高齢者にわざと転倒して貰うといった実験は、倫理的問題があり不可能であるため、本研究開発では健常者による模擬転倒動作を計測するという形で実験室レベルでの実証実験を行なった。また、様々な設置環境に対するパラメータの最適チューニング手法を検討するために、今後想定される現場（サービス付き高齢者住宅、介護施設等）における実証実験が必要となる。

## 2-1-2 アクティブ赤外センサによる歩行状況の計測

### (1) アクティブ赤外センサと設置方法

赤外光を投影して、三角測量により 3 次元位置を計測するデバイス（アクティブ赤外線センサ）をベッド周辺部に設置し、人の四肢と体幹の動きを計測し、左右方向の振幅と周期により歩行時の「ふらつき」を認識する技術を開発するとともに、運動測定検証装置及び実住環境内活動計測装置を用いて認識技術の有効性等の検証を行う。転倒危険度の目安となる歩容のパラメータを抽出し、その定量的評価手法の具体化を検討した。

本課題では歩行動作取得のためのアクティブ赤外線センサとして、Microsoft社のKinect™を用いた(図2.1.2.1参照)。本課題では、深度センサ部にあたる近赤外線プロジェクタおよび近赤外線カメラを使用した。本課題では図2.1.2.2-3に示すように、出入口側にKinectを設置し、ベッドの方位をセンシングするようにした。居室における動線方向に沿って観察することになるため、高齢者の方の歩行状況を捉える機会が多くなるためである。

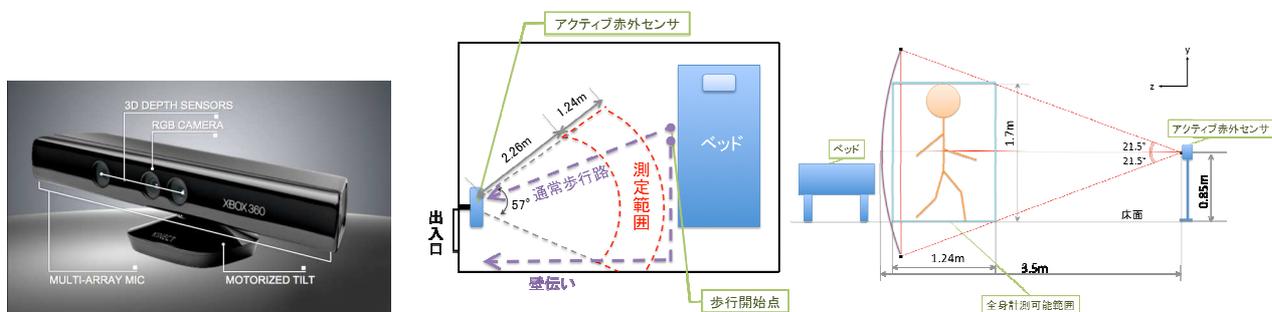


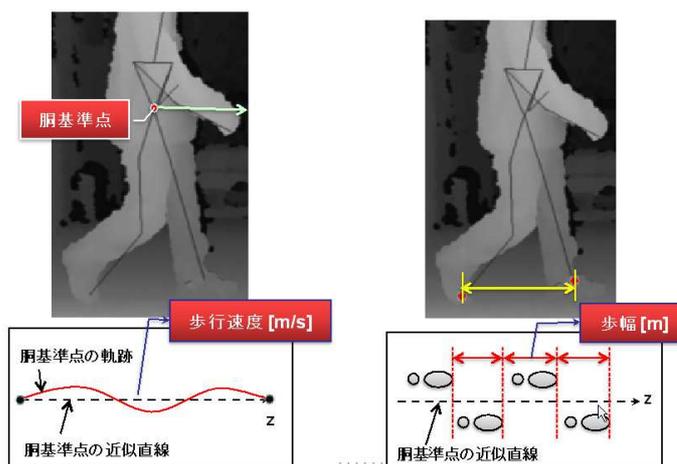
図 2.1.2.1 : Kinect(Microsoft 社) 図 2.1.2.2 : Kinect の設置位置 図 2.1.2.3 : Kinect の測定範囲

## (2) 歩行能力推定のための指標

医療、福祉分野においては、高齢者の歩行パターンの特徴は、歩行速度の低下、歩幅の短縮、歩調および歩行周期の増大、遊脚期における足の振り上げ高さの低下、両足立脚時間の延長、歩隔の増大、重心の上下運動の減少、不安定な方向転換等の様々な要因によって現れるものと考えられている。中でも特に歩行速度と歩幅については、高齢になるにつれてそれらが低下していくというデータが得られており、特筆すべき指標となっている。以上に鑑み、本課題ではセンサにより得られた歩行データから、「歩行速度」、「歩幅」、「足の振り上げ高さ」、「上半身の振れ(ふらつき)幅」の4種類の指標を定量的に算出することにより、高齢者の歩行能力を推定する。

### (2-1) 歩行速度

歩行速度とは、単位時間あたりに進んだ距離から算出される指標であり、歩行能力を推定する上で最も基本的なパラメータとなる。医療分野において、歩行は日常生活における自然な歩行動態を観察した自然歩行(通常歩行、定常歩行ともよばれる)と、実験室内で実施され、歩行条件が制約された中で出来る限り速く歩く実験歩行(最大歩行、速歩ともよばれる)の2種類に分別されている。



本課題では、被験者の胸部の3次元骨格座標データを用いて歩行速度を測定算出する。具体的には、測定方法として、時々刻々の胸部座標移動距離の差分をその移動時間で除算し、それを平均化することによって求める(図2.1.2.4参照)。

### (2-2) 歩幅

歩行において、一方の足が接地してから次にもう一方の足が接地するまでの動作を一步とし、その踵間の距離を歩幅 (step length) と定義されている (図 2.1.2.6 参考)。またこの距離は、両踵点間の距離 (図 2.1.2.6: a) ではなく、歩行の進行方向すなわち単一方向についての距離 (図 2.1.2.6: b) であることに注意されたい。本課題では、距離は二次元座標で算出されるものを利用するのではなく、進行方向の単一方向について算出するようにした。

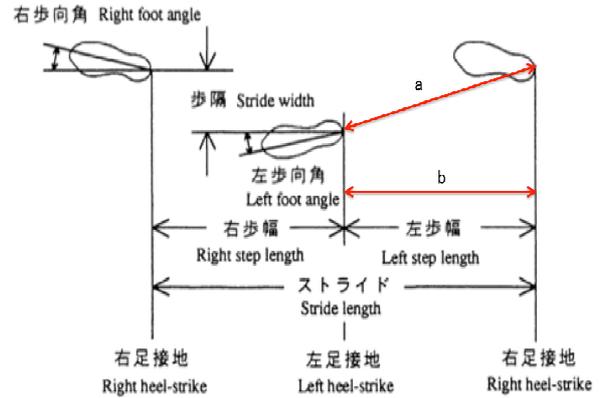


図 2.1.2.6 : 歩幅の距離

### (2-3) 振り上げ高さ

足の振り上げ高さとは、遊脚期において足底面のいずれかの部位 (つま先または踵) と地面との距離の最大値である。本課題ではアクティブ赤外線センサ左右足先の y 座標の最大値を振り上げ高さとして計測するようにした (図 2.1.2.7 参照)。

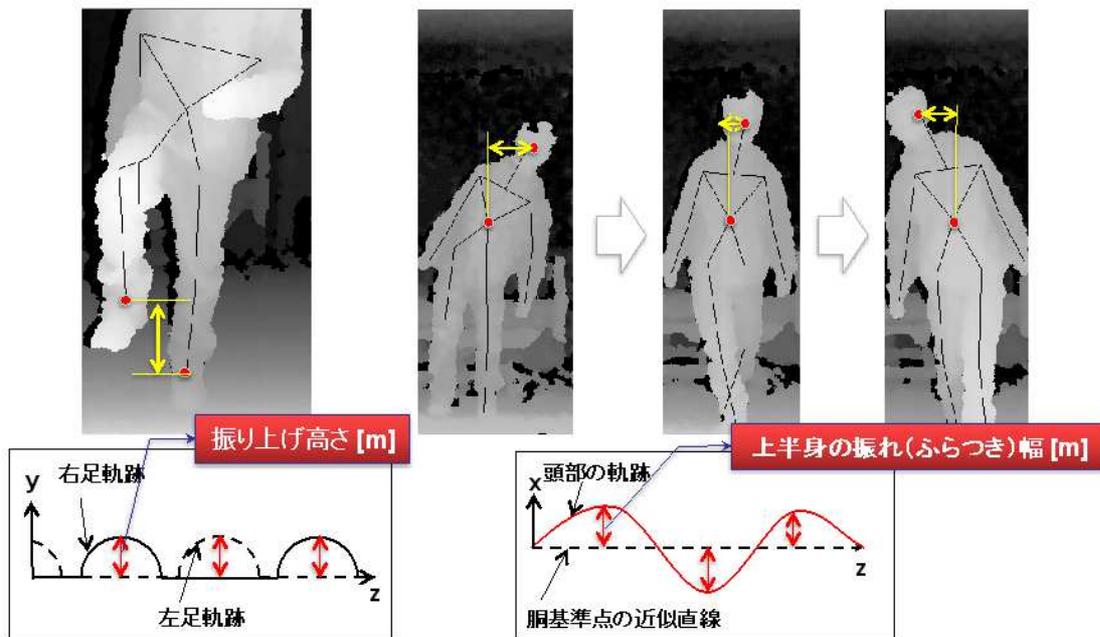


図 2.1.2.7 : 振り上げ高さの測定方法

図 2.1.2.8 : 上半身の振れ (ふらつき) 幅の測定方法

### (2-4) 上半身の振れ (ふらつき) 幅

上半身の振れ(ふらつき)幅は、胴体を基準にして、最も振り幅が大きくなるであろう頭部における振れ幅を計測することとした。本課題では、アクティブ赤外線センサにより得られる頭部 x 座標と、胴基準点 x 座標との差の最大値を上半身の振れ幅とした (図 2.1.2.8 参照)。

### (3) 出力方法

上記によって計測される歩行能力に係る 4 種類の指標は、高齢者が観測区域を歩行することにより、一日のうちに何度か計測されることになる。また、毎回の計測においては誤差があるものと思われる。

そこで本課題では、4種類の指標それぞれについて、1日間に取得された値を平均化したものを、1ヶ月程度の長期的期間において継続的にグラフ化して表示するようにした(図 2.1.2.9 参照)。



図 2.1.2.9 : 歩行能力に係る指標の出力グラフィイメージ

## 2-1-3 異種複合センサ情報処理システム

### (1) 見守りコントローラプロトタイプを試作

#### (1-1) ハードウェア構成

##### 全体アーキテクチャ

センサ部は①離床センサ、②2次元温度分布センサ、③3次元赤外センサ、④生活環境センサ、⑤体動センサから構成される。各センサ信号を取り込み、データの前処理、および認識を行うコントローラ部は負荷分散を目的とした機能単位のサブシステム構成とした。

各サブシステムから得られた情報により、情報提示装置への出力、および応答シーケンスを制御する統合システム部をサブシステムのコントローラと共通のハードウェアとした。ハードウェア構成図を図 2.1.3.1 に示す。

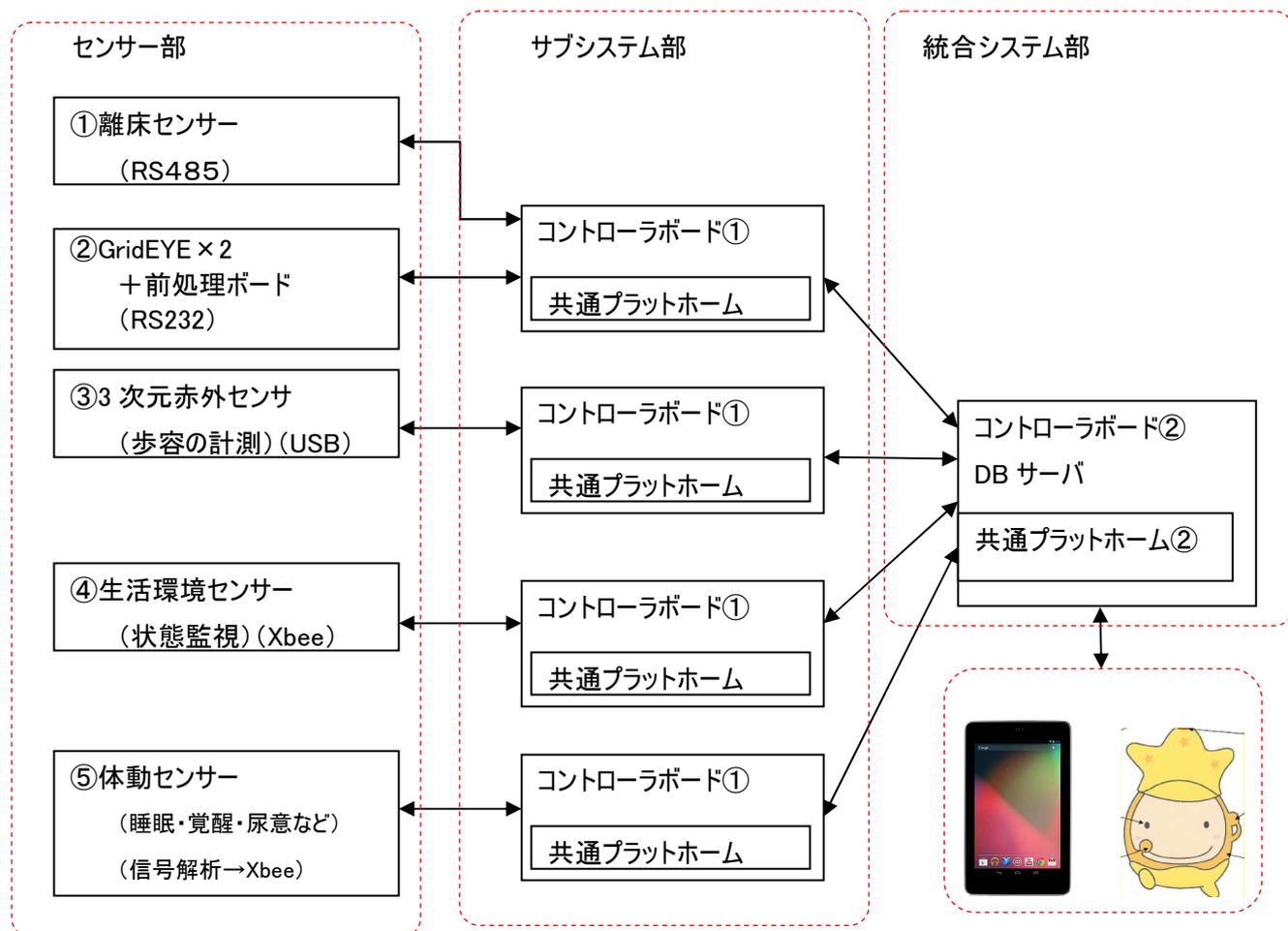


図 2.1.3.1 見守りコントローラハードウェア構成図

### (1-2) 前処理基板

2次元温度分布センサからの信号を処理し、転倒を検出する機能を備え、見守りコントローラに通信により通報する機能を有する基板を開発した。

#### [仕様]

- ・ CPU Arduino DUE 32bit ARM core
- ・ IIC I/F×2 温度分布センサ用
- ・ Xbee I/F×1
- ・ RS232C I/F×2
- ・ デジタル出力×4 接点出力
- ・ デジタル入力×4
- ・ 外部 LED I/F ×4
- ・ 電源 DC+12V 2A
- ・ 外形寸法 110(w)×120(d)×20(h)



図 2.1.3.2 前処理基板

### (1-3) 見守りコントローラ基板(サブシステム)

各センサ信号を取り込み、データの前処理、および認識を行うコントローラ部は負荷分散を目的とした機能単位のサブシステム構成とした。1つまたは複数のサブシステムを動作させる環境として PandboardES を採用した。市販モジュールを利用することにより、コントローラ基板の原価を専用のコントローラを利用した場合に比べて約 1/6 にすることが出来た。その外観を図 2.1.3.3 に示す。

#### [仕様]

- ・ Pandboard ES pandaboard.org 製
- ・ OS は Ubuntu (ARM) 12.4



図 2.1.3.3 見守りコントローラ基板

### (1-4) 2次元温度センサ前処理基板収納筐体

製品化時の見守りコントローラの基本構成の中核と想定される、2次元温度センサ前処理基板収納筐体の試作を行った。製品化を考慮した場合、デザイン面での統一性、防水構造、規格への適合等の課題が考えられる。その外観を図 2.1.3.4 に示す。



図 2.1.3.4 2次元温度センサ前処理基板収納筐体

## (1-5) 2次元温度分布センサ取り付け部の試作

### プロトタイプ1：自立ポールタイプ

ベッドサイドに独立して設置する自立型の2次元温度分布センサ取り付け部の試作を行った。平成25年度第1回研究開発推進委員会に於いて、委員より「高齢者が掴まるとポール自体が転倒の原因になりかねない。」との指摘をいただき、試作を中断した。図2.1.3.5にその外観とセンサ取り付け部の写真を示す。

### プロトタイプ2：壁面取り付けタイプ

転倒の原因になりかねない自立ポールタイプの欠点の対策として、壁面取り付けタイプの試作を行った。設置時の占有床面積が小さいことから、通路等に設置する場合において、障害物となることも防止できた。図2.1.3.6に壁面取り付けタイプの外観とセンサ取り付け部写真を示す。



図 2.1.3.5 2次元温度分布センサ取り付け部  
プロトタイプ1 自立ポールタイプ



図 2.1.3.6 2次元温度分布センサ取り付け部  
プロトタイプ2 壁面取り付けタイプ

しかし、タイプ2の取り付け部試作後に転倒検出精度を上げるためには、以下のことが必要であることが判明した。

- 1) 上側下側センサとも水平方向をセンスするよう、平行に取り付ける必要がある。
- 2) 利用者の体格により、上下方向の調整が必要である。
- 3) ベッド長手エッジに対してセンサ水平方向の微調整が必要である。

この3点を満足するためには、ベッドに挿入するタイプの点滴スタンド、または、天井と床を使って固定するポールを利用して、自在に方向を変えられる機能を持つ取り付け部が適していると考えられる。天井と床を使って固定するポールは、掴まれることを前提に設計されており、転倒の原因とはならない。点滴スタンド、ポール共にパラマウントベッド社から販売されている。図2.1.3.7に平成24年度に試作した自在型センサーホルダーを示す。試作した自在型のセンサーホルダーは必要な機能は満足するが、製品化のためには、デザイン、堅牢性、安全性の面で改良が必要になると考える。



図 2.1.3.7 自在型センサーホルダー  
(平成24年度試作品)

## (2) ユビキタスセンサ

高齢者の生活行動をモニタリングするユビキタスセンサとして、個々の電力消費機器の電力使用量をリアルタイムにて計測可能とするインテリジェントタップ、ならびに環境内の温度・湿度・照度をリアルタイムにて測定可能とする環境モニタリングセンサを開発した。以下に、それぞれについて説明する。

### (2-1) インテリジェントタップ

インテリジェントタップは、普段使っている電源タップの代わりに利用するだけで、簡単に設置できるように、4つ口の電源タップとして開発した。内部には4つの口それぞれの実効電力使用量を計測できるように、電流センサならびに電圧センサが仕込まれている。電流ならびに電圧をリアルタイムに掛け合わせることで力率を考慮した実効電力を計算し、内蔵されたマイコンならびに ZigBee 通信モジュールにより、リアルタイムにて個々の口に刺された電力負荷の電力量を無線にて送信する(図 2.1.3.8.10 参照)。

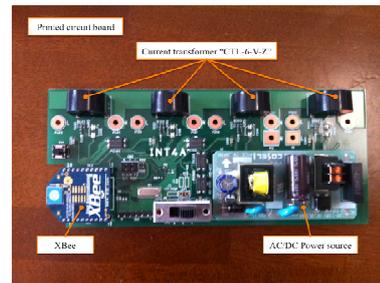
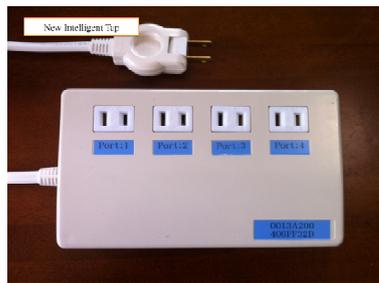


図 2.1.3.8. インテリジェントタップ 図 2.1.3.9. プリント基板 (表面)

### (2-2) 環境モニタリングセンサ

環境モニタリングセンサは机上に設置したり、壁面に簡単に設置できるように、小型かつバッテリー駆動可能なものとして製作した。温度、湿度、照度、人感センサ (焦電型赤外線センサ)、赤外線アレイセンサを搭載し、内蔵されたマイコンならびに ZigBee 通信モジュールにより、リアルタイムにて測定データを送信することが可能である。



図 2.1.3.10. 環境モニタリングセンサ

### (2-3) データ受信部

受信側 PC は任意の PC でよく、USB を介して接続される ZigBee のコーディネータモジュールによりリアルタイムにて受信する。PC は、インテリジェントタップならびに環境モニタリングセンサにより取得したデータを http 経由にてデータベースサーバに転送する。

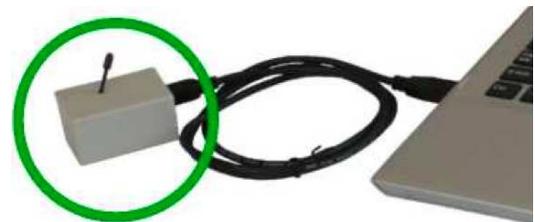


図 2.1.3.11. コーディネータ

## 2-2 センサ融合に基づく日常生活パターン抽出：日常生活パターンの定量化

上の各項に記載した各ユビキタスセンサ、ならびに既存のセンサから得られる情報を融合して、日常生活における活動パターンの総合的な抽出を行う技術を開発した。屋内の居住空間内における高齢者の日常生活の代表的な活動内容であり、かつ、生活の質に直接的な関連を持つと考えられる活動量として、睡眠に関する行動および排泄行動に焦点を当てるとともに、居住空間における活動として、食事に関連

する動作および椅子に着座した状態を代表例に取り上げて検討を行った。

### (1) 睡眠に関連するパターンの定量化

睡眠に関連する行動に関して、生活の質を評価する上で重要と考えられる指標として、起床、離床、着座、就寝、という4つの行動動作を取り上げ、これらを日常生活の中で意識せずに、センサ類を特に装着することなく計測する方法と、計測結果の整理法について検討した。

まず、ベッド上（ベッドフレームとマットレスとの間）に設置したシート式の空圧センサにより計測した体動の時間的変化から、個人の睡眠パターンを定量化して抽出することに関して検討を行なった。空気圧変化から体動を計測する既存センサ<sup>9</sup>を用いて体動を計測し、その時間経過に基づいて覚醒、睡眠、の判定を行うとともに、覚醒、睡眠状況のデータを蓄積し、下図のような形で睡眠日誌として表示する。これにより、個人の睡眠パターンの傾向、各日の睡眠時間やベッド上での覚醒時間などを把握することが容易となる。

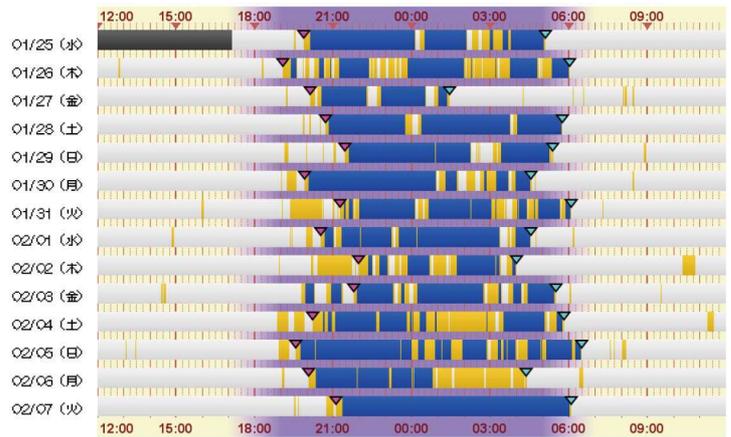


図 2.2.1 睡眠、覚醒の状況グラフ

本センサを用いることで、上記した、起床、離床、着座、就寝という4つの行動動作について、次のような形でその時刻ならびに継続時間の検出が可能となる。

- ① 起床（覚醒）：睡眠状態（青色）の終了時点
- ② 離床（ベッドからの離脱）：着床覚醒状態（黄色）の終了後、不在床状態（白色）の開始時点
- ③ 着座（ベッドへの帰還）：不在床状態（白色）の終了、着床（黄色）の開始時点
- ④ 就寝（入眠）：睡眠状態（青色）の開始時点

また、②から③までの時間として離床状態、また④から①までの時間として睡眠状態の、それぞれの時間長を求めることが可能となる。

さらに、ベッドの昇降、背上げを行うアクチュエータに荷重センサを搭載し、荷重値の変化によってベッド上の姿勢を検出することで詳細な睡眠/生活パターンの取得を可能とした。これは既存製品<sup>10</sup>に搭載されている離床センサの機能を利用したものである。



図 2.2.2 離床センサ

図 2.2.2 は離床センサの概要を示したものである。ベッドを駆動するアクチュエータの負荷を荷重センサにより検出し、その変化によりベッド上の人の状態変化を検出する。模式的に示せば、図 2.2.3 のよ

<sup>9</sup> パラマウントベッド（株）商品名「眠り SCAN」

<sup>10</sup> パラマウントベッド（株）商品名「離床 CATCH」

うに、人がベッド上に居る時はベッド駆動用アクチュエータの負荷は大きく、アクチュエータに搭載した荷重センサの出力は大きいですが、ベッドから離れるとアクチュエータ負荷が低下し、荷重センサの出力値が非連続的に減少する。この出力変化により、ベッドに対する人の動向を検出する。

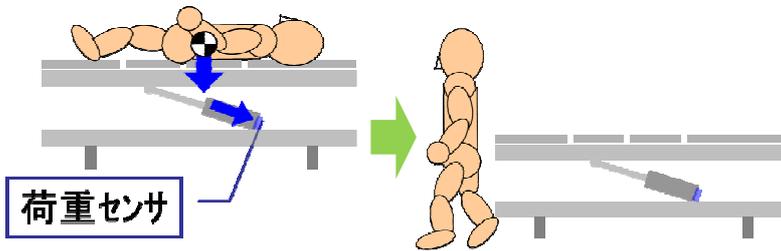


図 2.2.3 離床センサの原理

同じように、ベッドの端に座って足を床に着けている場合には、体重の一部が足底で支持され、昇降アクチュエータの荷重が減少するが、人の臀部はベッドに残っているため、荷重の減少量は完全な離床の場合と比較して小さい。この差から、端座位か離床かの判定を行うことができる。以上を整理すれば、ベッド上での仰臥位、長座位、端座位、離床、という4種類の状態判別が可能となる。



図 2.2.4 ベッド上の各状態の判別

先に記した睡眠、覚醒のセンシングと、このベッド上での状態センシングを組み合わせ、空圧センサによる不在検知に基づく離床判定と、荷重センサによる離床判定との結果を総合的に判断することで、正確な離床/着座タイミングの検知が可能となる。さらに、睡眠、覚醒（仰臥位）、覚醒（長座位）、覚醒（端座位）、離床、着座、という各事象の分離とともに、睡眠から覚醒（仰臥位）への変化として起床を、また離床から覚醒（端座位）への変化として着座を、それぞれ判定することにより、ベッド上での姿勢レベルでの生活パターン検出が可能となる。また、「ベッド上に居ない」という事象検出も行えることになり、別項に述べるベッド外での生活パターンと融合することにより、睡眠を含む一日の生活パターンを数値化することが可能となる。

## (2) 日常生活パターン抽出による見守りシステム

本課題で製作した日常生活パターン抽出による見守りシステムの全体構成を図 2.2.5 に示す。本システムでは、センサデータ取得部で居住者の各部屋に一つあるいは複数の熱画像センサを配置し、そのデータをデータベースに集積する。センサデータ解析システムは、データベースに蓄積されるセンサデータを解析することで、居住者現在の様子を認識し、その結果をデータベースへ保存する。生活

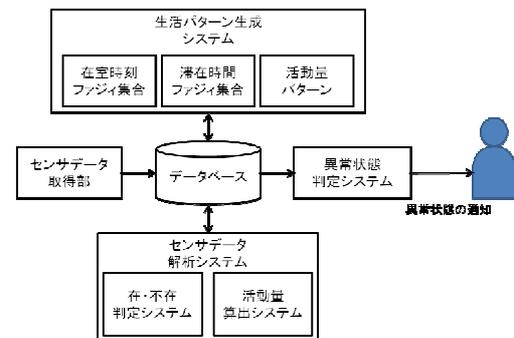


図 2.2.5 : 日常生活パターン抽出による見守りシステム

パターン生成システムでは、保存された居住者の生活の様子から、普段の生活パターンを生成する。さらに、異常状態判定システムでは、生活パターンと現在の居住者の様子を比較することで居住者の生活逸脱度を算出し、それを元に居住者の状態が異常状態であるかどうかを判定する。異常状態と判定された場合、居住者の生活を見守っている人へ異常状態であることを通知する。

本課題では、一般に用いられている焦電型赤外線センサの代わりに熱画像センサを用い、熱画像中に人間による熱源があるかどうかを判定することで、人の在・不在の状態を判別する。図 2.2.6 の右側に、熱画像センサによって取得した熱画像の例を示す。

熱画像中に人間による熱源があるかどうかには判定は、熱画像の各画素の温度  $x_i$  と、熱画像の全ての画素の温度平均  $\bar{x}$  を用いて、以下の式に示す分散  $\sigma^2$  を求めることで行う。

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2$$

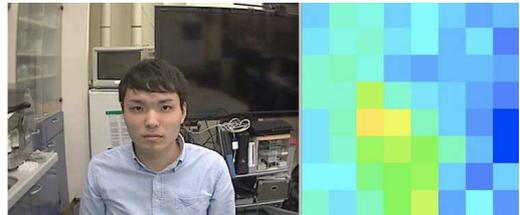


図 2.2.6 : 熱画像センサによって取得した熱画像

熱画像センサを天井に取り付け、地面方向に熱画像を撮影した場合、人間のような熱源がないときには、熱画像に写り込んでいるのは背景のみとなるため各画素の温度はほぼ一定となる。人間のような熱源があった場合、その画素だけ周囲と比べて温度が高くなってしまうため、熱画像がない場合と比べて分散が大きくなる。これを利用して、熱画像の分散値に対して適切なしきい値を設定し、人の在・不在の判定を行った。また本課題では、熱画像を利用し「熱源がどう移動しているか」という情報から人間の活動量を算出し、独居高齢者の活動量を算出するようにした。

### (2-1) 生活パターン生成システム

本課題では、居住者の1日の典型的な行動パターンを3つの方法を併用して記述することとした。

#### (2-1-1) 在室時刻ファジィ集合

前述の在・不在判定によって、居住者が部屋に在室しているかどうかを得ることが可能となる。そこで、居住者が「通常その部屋に在室している時刻」というパターンを、ファジィ集合を用いて記述することで、居住者が部屋に滞在するパターンを表すことが可能となる。本課題では図 2.2.7 に示すように、それぞれの部屋に対して「早い(E: Early)」「やや早い(LE: Little Early)」「通常(N: Normal)」「やや遅い(LL: Little Late)」「遅い(L: Late)」として各部屋5つのファジィメンバシップ関数を作成した。なお、各部屋は図 2.2.7 のようなファジィメンバシップ関数を複数もつことができるようにした。例えば、キッチンにおいて朝食時、昼食時、夕食時で3種類のメンバシップ関数を持つということが可能である。

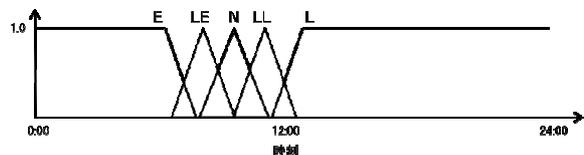


図 2.2.7 : 滞在時刻ファジィ集合

#### (2-1-2) 在室時間ファジィ集合

在室時刻ファジィ集合と同様に、在・不在判定の結果を利用して、ある部屋に居住者が滞在している期間(時間)は通常どれくらいなのかというパターンをファジィメンバシップ関数で表す。本課題では、滞在時間について図 2.2.8 に示すように「通常(N: Normal)」、「やや長い(LL: Little Long)」、

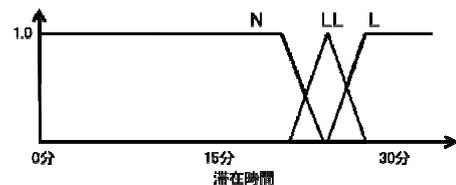


図 2.2.8 : 滞在時間ファジィ集合

「長い(L:Long)」の3つに分類される形でメンバシップ関数を記述するようにした。

また、メンバシップ関数は、在室時刻ファジィ集合と1対1で対応する形で作成した。つまり、先ほど挙げたキッチンにおける朝食・昼食・夕食の例を引用すると、朝食時には通常10分間キッチンに滞在するが、夕食時には40分間滞在するといったような生活パターンであっても記述することが可能である。

### (2-1-3) 活動量パターン

前述の活動量の算出によって求められた各部屋の活動量を、家全体として平均をとり、家全体としてある時刻において通常どれくらいの活動量があるのかという情報をパターン化した(図2.2.9参照)。これにより、生活パターンの様子を把握するとともに、その日の活動状況を俯瞰することが可能となっている。



図 2.2.9: 日常生活パターン提示システム

## 2-3 パターン整合に基づく異常状態検知及び警報生成: 異常情報の提示

従来市場に現れている転倒検知システムのほとんどは、転倒・転落事象の発生後に初めてその発生を検知する機能しか実現されていない。本研究開発で提案するシステムは、さまざまな機能を備えた各種のセンサを生活環境内にユビキタスセンサ群として配置することで、転倒の発生リスクを予測し、転倒予兆として検知することが可能であるだけでなく、生活のパターンについても、その突発的变化を検知するほか、緩やかな生活の変化についても考慮を行うことで、生活習慣の変化あるいは身体能力の退化に伴う転倒リスクの予測を可能とすることを旨とするものである。

まず、本研究開発で導入するユビキタスセンサを整理して下表に示す。

表 2.3.1 本研究開発で使用するユビキタスセンサ

No	センサ	設置個所	用途
1	体動センサ	ベッド上(または内蔵)	在離床、睡眠、覚醒の判定
2	2次元温度分布センサ	ベッド近傍:天井と壁面等 (水平面内、斜め面内)	位置、姿勢、動作の検知 活動量
3	赤外距離分布センサ	ベッド近傍	歩容、動作のふらつき、 不安定性の計測
4	人感センサ	各部屋(天井部)	概略生活パターンの計測
5	温度・照度センサ	各部屋	生活状態の計測
6	電力量センサ	主要家電品(電源)	家電品の使用状況計測

ここに示すように、ベッドに近いほど局所的(ミクロ)な情報が得られ、離れるほど大局的(マクロ)な情報を取得する形でセンサシステムを配置、構成する。これらセンサ群を用いることで、次表に示すようなセンシング、状況判断が可能となる。

表 2.3.2 検知すべき事象と検知可能な事象

従来技術			提案システム (数値：上表のセンサ種別)			
	A. 発生検知	B. 発生予測		A. 発生検知	B. 発生予測	
1. 転倒	○	×	⇒	1. 転倒	○ 1, 2	○ 1, 2, 3
2. パターン変化	×	×		2. パターン変化	○ 1, 4, 5, 6	○ 1, 4, 5, 6

すなわち従来技術では、転倒の発生を（発生後に）検知する機能しか実現されていないのに対して、本提案の技術は、転倒の発生リスクを予測し転倒予兆として検知すること、生活のパターンに着目し、その突発的变化、および緩やかな生活の変化についても検知を行うことで、生活習慣の変化や身体能力の退化に伴う転倒リスクの予測を可能とすることを目指したものである。

ここでは、転倒、転落に関する異常を上表に示したように第1種A異常：転倒発生、第1種B異常：転倒予兆、第2種A異常：生活パターン突発的变化、第2種B異常：生活パターン漸進変化の4種類に分類する。これらの異常が発生した場合、それぞれの異常内容に応じ、人に対して警報を含む情報提示を行うことが必要である。異常の種別毎に、情報を提示すべき対象者を考慮し、次表のような形とした。

表 2.3.3 異常種別とそれに対する情報提示対応内容

異常種別	対象者		本人	看護・介護スタッフ	(遠隔)家族	備考
		内容				
第1種	A	転倒発生	声掛け	警報	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>・本人に元気付け</li> <li>・スタッフに救援要請 (救急要請等はスタッフが判断)</li> <li>・家族に余計な心配は控える</li> </ul>
	B	転倒予兆	—	注意喚起	連絡	<ul style="list-style-type: none"> <li>・スタッフにケアの注意喚起 (本人にはスタッフから)</li> <li>・家族には見舞、励まし等を推奨</li> </ul>
第2種	A	生活突発変化	声掛け	注意喚起	連絡	<ul style="list-style-type: none"> <li>・本人に気付かせる</li> <li>・スタッフには重点ケアの注意喚起</li> <li>・家族にも訪問準備等の連絡</li> </ul>
	B	生活変化予兆	—	注意喚起	連絡	<ul style="list-style-type: none"> <li>・スタッフにケアの注意喚起 (本人にはスタッフから)</li> <li>・家族には見舞、励まし等を推奨</li> </ul>

転倒発生時には、見守りシステムは施設等の場合にはステーション（病院：ナース、介護施設：ケアワーカーの詰め所）、個人宅の場合には近隣サービス拠点に警報を発生するとともに、転倒した高齢者本人に「だいじょうぶですか？」等の声掛けを行う。その結果に対する反応により、現場、現地にスタッフが駆けつけ、あるいは必要に応じて救急要請や病院への搬送等の対処を行う。

また、生活パターンに変化の兆しが見られることが検知された場合には、見守りシステムでは建物内のステーションや近隣サービス拠点に注意を喚起するとともに、状況判断の材料となる生活ログを閲覧可能とする。また、状況に応じて高齢者本人に対しても声掛けを行い、活動量を向上させるように元気付けする等のことを行う。その一方で、場合に応じて家族への情報提供を行い、家族から本人に対して活動量向上のための機会を増やす働きかけを促す、といったことが可能となる。

### 2-3-1 高齢者本人に対する情報提示

具体的な情報提示デバイスとしては、高齢者本人用のものとして、特に親和性に配慮し、ぬいぐるみ様の対話型装置を用いることとした。一方、看護、介護スタッフ用としては、携帯可能なタブレット型

端末を用い、ピクトグラムなどを用いたビジュアルなインターフェースにより視認性と操作性を高めることとした。家族に対しては、スマートフォンを想定して連絡と言う形での情報提示を行うこととした。

「見守りシステム」において、高齢者本人に対する情報提示は不可欠では無いとする考え方もあると思われるが、転倒した高齢者本人に対して、「だいじょうぶ?」「ちょっと待ってて」といった声掛けは転倒によって気が動転している高齢者本人にとって安心感形成の意味でも非常に重要であると言える。また、見守られる当事者本人に対して「見守りシステム」の存在を認識させることも、安心感の形成に寄与すると考えられる。このような観点から、高齢者にとって親和性の高い、ぬいぐるみを外装として採用し、エレクトロニクスを内蔵した双方向対話型の情報提示装置を開発した。双方向対話とは、見守り者側からの意図を提示できると同時に、見守られる側の意図を見守り側にフィードバックできる機能を備えていることを意味している。

転倒事象の検出に基づいて発行する見守り者への警報と同時に、転倒した高齢者本人に対して声掛けを行い、その反応に適合した声掛けシーケンスを自動実行する。すなわち、声掛けに反応して「大丈夫」との意思表示があるか否かにより以降の対応を変更するものである。一連のシーケンス例を次表に示す。

表 2.3.1.1 本人への情報提示対話シーケンス例

		発生事象							
提示対象		転倒	滑り	不動／うずくまり	不穏行動	歩容危険度 Up	生活変化兆候	生活パターン変化	
施設	本人 (目的)	声掛けA (元気付け)	声掛けB (問合せ)	声掛けB (問合せ)	声掛けC (引き留め)	—	—	—	
	ケアステーション (目的)	警報 (駆付け)	警報 (駆付け)	警報 (駆付け)	警報 (駆付け)	状況表示 (ケアメニュー見直し)			
	遠隔家族 (目的)	—	—	—	—	Mail 送信	Mail 送信	Mail 送信	
		(注1)					(注2)		
サ高住	本人 (目的)	声掛けA (元気付け)	声掛けB (問合せ)	声掛けB (問合せ)	声掛けC (引き留め)	—	—	—	
	ケアフロント (目的)	警報 (駆付け)	警報 (通報)	警報 (通報)	警報 (警備に連絡)	—	—	—	
	遠隔家族 (目的)	—	—	—	—	Mail 送信	Mail 送信	Mail 送信	
		(注1)					(注2)		
個人宅	本人 (目的)	声掛けA (元気付け)	声掛けB (問合せ)	声掛けB (問合せ)	声掛けC (引き留め)	—	—	—	
	近隣センタ (目的)	警報 (駆付け)	警報 (駆付け)	警報 (駆付け)	警報 (駆付け)	状況表示 (生活指導サービス)			
	遠隔家族 (目的)	—	—	—	—	Mail 送信	Mail 送信	Mail 送信	
		(注1)					(本人への連絡、示唆はご家族に一任)		
病院	本人 (目的)	—	—	—	声掛けC (引き留め)	—	—	—	
	ナースステーション (目的)	警報 (駆付け)	警報 (駆付け)	警報 (駆付け)	警報 (駆付け)	状況表示 (看護メニュー見直し)			
	遠隔家族 (目的)	—	—	—	—	—	—	—	
		(病院のサービスとして行うことは少ないと考えられる)					(病院のサービスとして行うことは少ない)		

注1：駆けつけても意味のない情報、不安を増すだけの情報は提示しない

注2：あくまでもご家族に対する施設のサービスとしての位置付け

## 2-3-2 高齢者用対話型見守り装置の試作開発

高齢者本人用として、ぬいぐるみ様の対話型情報提示装置を試作開発した。外観を図 2.3.2.1 に示す。

この情報提示装置は、図に示すように外観はぬいぐるみそのものであり、サイズは高さ、幅、奥行きともに250mm程度、重量はバッテリーを含めて2kg以下である。装置に対する動作指令およびスイッチ等のデータ取得は、見守りコントローラからのコマンドにより制御を行う方式を採用した。本装置は、次に示す機能を備えている。



図 2.3.2.1 高齢者用対話型情報提示装置

#### 1) 実使用環境に配慮した外装

高齢者にも親和性のあるフェルト状の柔らかい素材を用いつつ、フッ素樹脂を用いた撥水加工を行うことで、清拭性の付与を図った。これは試作段階での試用で、認知機能に衰えのある高齢者等に、装置の突部を舐めたり、かじってしまったりする、という行動が見られたことへの対処である。

#### 2) 合成音声による対話

転倒を検出した場合には、「だいじょうぶですか?」「ちょっと待っててね」等の音声を発話し、転倒による精神的な動揺を緩和するとともに、とるべき行動の示唆を行う。装置に内蔵したコントローラに搭載されている合成音声を利用し、できるだけ自然な言語に近い発声とするよう調整を行った。

#### 3) ケア・スタッフとの直接対話

無線トランシーバーを内蔵することにより、ケア・スタッフと高齢者との直接対話を可能とした。

#### 4) 視触覚による働きかけ

装置への注意促進を意図して、ぬいぐるみの帽子部分と頬の部分に、それぞれ緑色、赤色のLEDを内蔵して点滅させるとともに、本体下部に振動モータを内蔵し、携帯電話のバイブレータと同様の効果を発揮する構造とした。

#### 5) 高齢者本人の意思伝達

高齢者本人からケア・スタッフへの意思伝達を目的としたもので、ぬいぐるみの帽子頂部と本体側面に押下するとONする押しボタン様のスイッチを配している。実際の使用局面では、助けを求める場合、あるいは「だいじょうぶ?」の問いかけに応答する場合など、複数のボタンを使い分けることは困難であると考えられるため、動作の状態やコンテキストに応じて、押下されたことの意味を使い分ける方式で用いるものとした。

押しボタンスイッチでは、操作の結果を人にフィードバックすることを目的に、キーボード等というクリック感が重要であると考えられ、ここでも「押し込み感」として操作者自身がスイッチを押下したことの判断が可能なよう、機構構造を工夫して操作感の付与を図っている。

これらの機能を有する高齢者用対話型情報提示装置を複数の高齢者施設に持ち込み、高齢者ならびに介護者への提示と試用を行った。結果としては、極めて好意的な反応を得ることが出来たが、高齢者の言語情報による意見聴取には困難な点も多く、定量的な結論を得るまでには至っていない状況である。

### 2-3-3 見守りシステム組込みソフトウェア

見守りシステムは、大きく3つの機能で構成される。各種センサを利用した検知機能（転倒検知、離床検知、体動センサデータ取得機能、歩行解析機能、生活パターン解析機能）、転倒・転落を判定し発報する警報判定出力機能、利用者向けの情報提示機能で構成され、それぞれが組込みソフトウェアと

してコントロールボード上で動作する。図 2.3.3.1 にシステムの構成を示す。

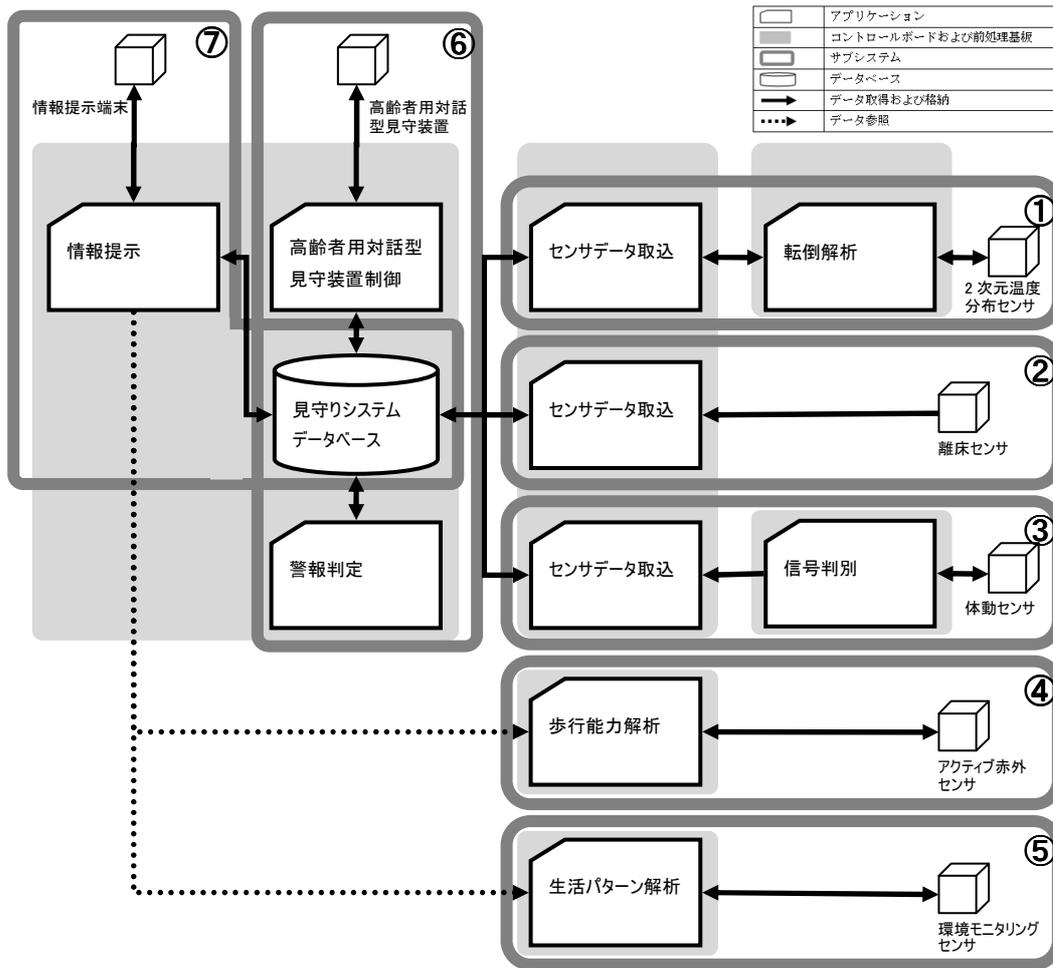


図 2.3.3.1 システム構成図

(1) 検知機能

・ 転倒検知

①機能概要

2次元温度分布センサのデータを用い前処理基板で転倒解析し、転倒解析したデータをデータベースへ格納する。

②構成図

開発した転倒検出アルゴリズムを、システム負荷軽減および単独検知装置としての可能性に配慮して、新規製作した前処理基板に組込ソフトウェアとして実装した。

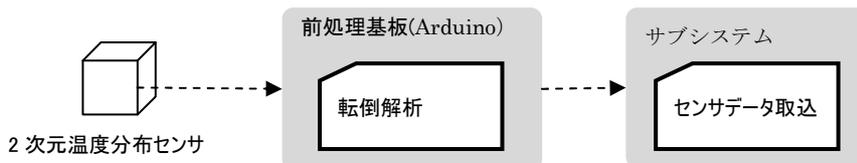


図 2.3.3.2 転倒検知機能構成図

・ 離床検知

### ①機能概要

ベッドに組み込まれた離床センサより、睡眠、覚醒（仰臥位）、覚醒（長座位）、覚醒（端座位）、離床データを取得し、状態をデータベースへ格納する。

### ②構成図

離床センサデータとサブシステムを接続し、サブシステムに離床センサデータを解析し取り込む処理を実装した。

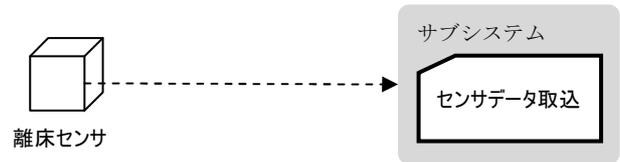


図 2.3.3.3 離床検知機能構成図

## ・体動センサデータ取得

### ①機能概要

ベッドフレームとマットレスとの間に設置したシート式の空圧体動センサより、状態を判定しデータベースへ格納する。

### ②構成図

体動センサから出力されるパルス信号から得られる状態をサブシステムへ送信する信号判別プログラムを開発し、信号処理基板（sparkfun FIO V3）に実装した。

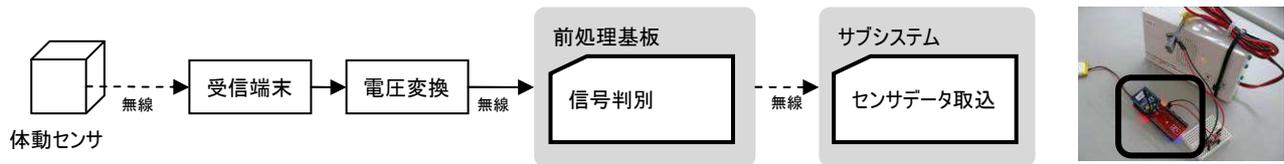


図 2.3.3.4 体動センサデータ取得機能構成図

図 2.3.3.5 信号処理基板

## ・歩行解析情報

2-1-2 アクティブ赤外センサによる歩行状況の計測により得られた解析データを表示する。

## ・生活パターン解析情報

2-2 センサ融合に基づく日常生活パターン抽出：日常生活パターンの定量化、(2) 日常生活パターン抽出による見守りシステムにおける環境モニタリングセンサより得られた日常生活パターン抽出データを表示する。

### (2) 警報判定出力

センサからの事象発生の情報とデータベースの警報マトリクスを基に、警告、警報を判定し、高齢者用対話型見守り装置及び Web ブラウザへの警報出力を行う警報判定出力機能のアルゴリズムの設計と組込・検証を行った。

#### ①警報判定出力アルゴリズム

各センサからの事象発生を判定し、高齢者用対話型見守り装置及び Web ブラウザへの警報出力を行う警報判定出力機能のアルゴリズムの設計を行った。警報出力後の警報解除には高齢者用対話型見守り装置のボタン及び端末の警報解除ボタンを使用する。各センサからの事象発生情報、及び警報解除信号の発生は定期的にデータベースを参照することで行う。高齢者用対話型見守り装置及び端末表示に関してもデータベースに現在の警報状態を書き込むことで行う。図 2.3.3.6 に開発した警報判定出力アルゴリズムを示す。

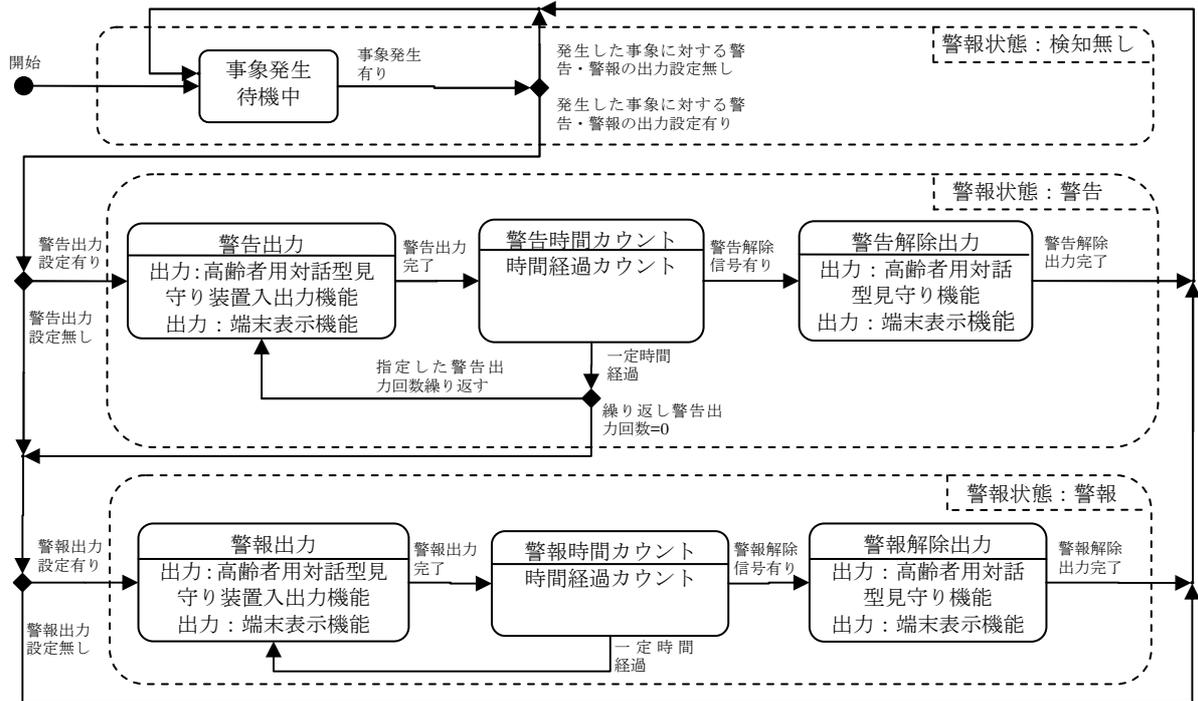


図 2.3.3.6 警報判定出力アルゴリズム

②見守りコントローラから高齢者用対話型見守り装置への出力

見守りコントローラから高齢者用対話型見守り装置への出力は、昨年度と同様に XBee を用いた無線通信を用いる。定期的にデータベースを参照することで、音声発声、LED、バイブレーションのコマンドを判定し、高齢者用対話型見守り装置への出力を行う。

③警報判定出力機能及び高齢者用対話型見守り装置入出力機能の動作検証

①「警報判定出力アルゴリズム」及び②「見守りコントローラから高齢者用対話型見守り装置への出力」を基に警報判定出力機能及び高齢者用対話型見守り装置入出力機能を開発し動作検証を行った。図 2.3.3.7 に高齢者用対話型見守り装置の動作パターンを示す。

①接続確立

		→	接続確立	→	
状態:	起動	→	接続完了		
LED:	赤緑点灯	→	消灯		
発声:	なし	→	なし		
振動:	なし	→	なし		

②転倒検知 (警告→警報)

		→	警告	→		→	警報	→	
状態:	待機	→	発報	→	発報				
LED:	消灯	→	赤点灯	→	赤緑点灯				
発声:	なし	→	○さん、大丈夫?	→	○さん、大丈夫?今行くからまっててね				
振動:	なし	→	パターン2	→	パターン3				

③警報解除 (警告→解除)

		→	警告停止	→		→	発声後	→	
状態:	発報	→	警報解除	→	待機				
LED:	赤点灯	→	緑点灯	→	消灯				
発声:	○さん、大丈夫?	→	○さん、大丈夫みたいだね	→	なし				
振動:	パターン2	→	パターン1	→	なし				

④警報解除 (警報→解除)

		→	警報停止	→		→	発声後	→	
状態:	発報	→	警報解除	→	待機				
LED:	赤緑点灯	→	緑点灯	→	消灯				
発声:	○さん、大丈夫?今行くからまっててね	→	警報は解除されました。	→	なし				
振動:	パターン3	→	パターン1	→	なし				

図 2.3.3.7 高齢者用対話型見守り装置の動作パターン

### (3) 情報提示

#### ①機能概要

システム利用者が情報提示端末を利用して、警報情報、各種センサデータ、解析結果を閲覧、検索する機能を実装したWebアプリケーション<sup>11</sup>を開発した。

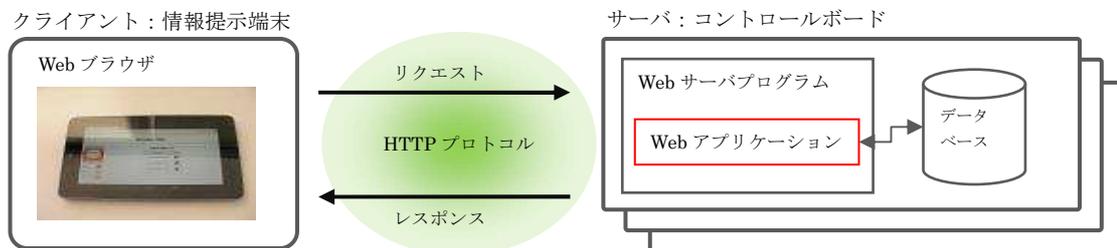


図 2.3.3.8 情報提示機能構成

#### ①画面構成

画面の構成を図 2.3.3.9 に示す。画面左側に警報状況およびセンサ状態の表示エリアとし、画面中央を各センサの履歴表示および歩行状態や生活パターンの検索エリアとした。

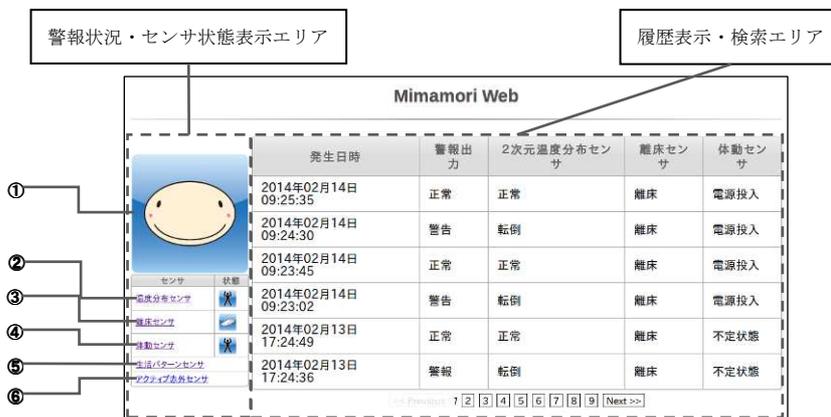


図 2.3.3.9 画面構成

#### ・警報状況・センサ状態表示エリア

データベースより取得した警報状態および各種センサ情報①～④を下記に示す。

視認性を考慮し各種状態の提示にテキストではなく画像を使用した。

##### ①警報状況



##### ②温度分布センサ



##### ③離床センサ



##### ④体動センサ



#### ・履歴表示・検索エリア

警報状況・センサ状態の表示エリアリンクテキスト①～⑥をクリックした場合、各種リンクテ

<sup>11</sup> ウェブの機能や特徴を利用したアプリケーションソフトウェアのことである。Perl や PHP や Ruby といった Web サーバ上で動作するスクリプト言語を利用して開発することが多いが、高速化のために C 言語や、低級言語を使うこともある。

キスト（センサ）に対応する履歴および検索画面を履歴表示・検索エリアに表示する。

①警報状況

発生日時	警報出力	2次元温度分布センサ	離床センサ	体動センサ
2014年02月14日 09:25:35	正常	正常	離床	電源投入
2014年02月14日 09:24:30	警告	転倒	離床	電源投入
2014年02月14日 09:23:45	正常	正常	離床	電源投入
2014年02月14日 09:23:02	警告	転倒	離床	電源投入
2014年02月13日 17:24:49	正常	正常	離床	不定状態
2014年02月13日 17:24:36	警報	転倒	離床	不定状態

②温度分布センサ

発生日時	状態
2014年02月14日 09:24:28	転倒
2014年02月14日 09:23:01	転倒
2014年02月13日 17:23:24	転倒
2014年02月13日 17:22:47	転倒
2014年02月05日 15:57:01	転倒
2014年02月05日 15:33:21	転倒

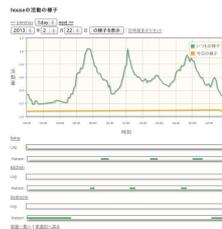
③離床センサ

発生日時	状態
2014年02月05日 15:33:14	離床
2014年02月05日 15:33:11	仰臥
2014年02月05日 15:29:51	離床
2014年02月05日 15:29:47	不定状態
2014年02月05日 15:29:45	仰臥
2014年02月05日 15:23:21	離床

④体動センサ

発生日時	状態
2014年02月14日 09:10:40	不定状態
2014年02月13日 17:50:09	不定状態
2014年02月13日 17:48:03	不定状態
2014年02月13日 17:38:18	不定状態
2014年02月13日 17:27:11	不定状態
2014年02月13日 17:19:19	不定状態

⑤生活パターンセンサ



⑥アクティブ赤外センサ



### 第3章 全体総括

見守り支援システムに必要とされる技術として、ベッドとその周辺における人の位置、姿勢、動作の検出技術（転倒等の挙動の計測技術、転倒に関連する歩行特長量の計測技術、各種センサ情報を統合処理するコントローラの開発）、ならびにセンサ情報の統合により個人の生活活動パターンを抽出する技術、異常を検知してマルチモーダルな警報生成と情報提示を行う技術、に関する研究開発を行った。

初年度においては各要素技術の確立を図り、2年目はこれらの要素技術をシステムとして統合するとともに各要素技術の見直しを図り、3年目の最終年度には信頼性の向上、高齢者自身を含む利用者を想定したヒューマン・インターフェースの改良など、製品化を念頭に置いた研究開発を推進してきた。

以下に各研究開発項目別の成果についてその概要をまとめる。

#### (1) 研究目標と成果

##### ①ユビキタスセンサによる行動計測技術

##### ①—1 2次元温度分布センサによる行動計測

ベッド近傍における人の位置、姿勢計測用として、赤外線センサをマトリクス状に構成した2次元温度分布センサをベッド近傍に設置し、2次元温度分布画像として人の位置姿勢を計測することで、低照度環境でも立位、座位、臥位の認識が可能な画像処理技術を開発した。また画像の時間変化から人の位置姿勢変化を抽出し、転倒を含む挙動を計測する方法を開発した。

立位、座位、臥位の姿勢認識アルゴリズムを開発し、これを基本として、姿勢変化に要する時間に基づいて動的な転倒事象を検出するアルゴリズムを開発した。また、さまざまな転倒の形態に対応可能なセンサの3次元的配置に関して、ベッドとの位置関係を含めて実用性の観点から適正条件を明らかにした。この結果、転倒事象の検出に関する誤認識率は、実験室レベルではあるが6%とのデータが得られ、目標として設定した10%以下を実現可能であることを確認した。

##### ①—2 アクティブ赤外センサによる歩行状況計測

赤外光を用いた三角測量により人の3次元位置を計測するデバイスをベッド周辺の歩行経路部に設置し、人の歩行時における四肢と体幹の動きに基づいて、転倒に関連する特徴量を計測するシステムを開発した。

転倒危険性の目安となる歩容特徴量として、歩行速度、歩幅、踵拳上高さ、ならびに体幹の左右方向振幅、の4つのパラメータを抽出し、歩行時の物理的負荷を変化させながら計測実験を行い、これらパラメータと転倒との相関に関する検証を通して定量的評価のための手法確立を図った。

#### ①-3 異種複合センサ情報処理システム

各種センサ出力の取り込み、データ前処理および認識等の処理を行う組込みハードウェアを開発し、上記各項に記載した処理アルゴリズムを、このハードウェアの組込みソフトウェアとして実装した。これにより見守りコントローラの中核部分を構築した。また、①-1の2次元温度分布センサ用として、情報量圧縮と無線通信用の前処理プロセッサ基板の開発も行った。

システムの機能単位での構築、拡張性、CPUの負荷分散などを考慮しつつ、サブシステム単位でモジュール化を図った構成のハードウェアを開発するとともに、これに組込みソフトウェアを搭載し、機能、性能のいずれにおいても目標を達成していることを検証した。

#### ②センサ融合に基づく個人日常生活パターン抽出技術

上記①で開発するユビキタスセンサから得られる情報、ならびにベッド上に設置したシート式空圧体動センサ、ベッド駆動用アクチュエータに設置した荷重センサなどの情報を融合することで、睡眠パターンを含む個人の生活活動パターンを計測、その特徴量を定量化指標として抽出する手法を開発した。

この手法を用いて、起床、離床、着座、就寝ならびにトイレないしは寢室外の居住スペース等における去就、の基本生活行動5種を対象に、実験室レベルでの模擬行動において、個人の同定を可能とするための定量的指標の抽出と、これら指標を用いた生活活動の評価手法を検証した。

#### ③パターン整合に基づく異常状態検知及び警報生成技術

転倒、転落に関して、第1種A異常：転倒発生、第1種B異常：転倒予兆、第2種A異常：生活パターン突発的变化、第2種B異常：生活パターン斬進変化の4種類に分類する手法と、この分類に応じた警報を生成するシステムを開発した。第1種Aは①-1の計測結果、第1種Bは①-2の結果から、また第2種AおよびBは②の結果に基づき分類を行う。

上記各分類に該当する異常のうち、特に転倒の発生（第1種A異常）事象に関して、判定における誤報率が20%以下、失報率が誤報率より小さいこと、の2つを実験室レベルでの模擬動作において確認した。さらに、ケアサービス提供者用のタブレット型端末を用いたグラフィカルな警報提示装置を開発するとともに、高齢者に対する親和性に配慮した人形型の高齢者用対話型見守り装置を開発し、介護現場において試用評価を行った。

以上に記した通り、研究成果についてはそれぞれの項目で目標をほぼ達成できた。

## (2) 特許提出、論文/外部発表

①特許出願：平成24年度 1件 (H24.11.28 出願)

②論文/外部発表：6件（日本機械学会、計測自動制御学会、IEEE：米国電気電子学会）

- ・平成23年度：IEEE/計測自動制御学会 発表1件
- ・平成24年度：IEEE、IEEE/計測自動制御学会 発表2件
- ・平成25年度：日本機械学会 発表2件
- ・平成26年度：日本機械学会 発表1件（手続済）

### （3） 研究開発後の課題・事業化展開

#### ①研究開発後の課題

本研究開発は、技術開発を主眼とする事業スキームに基づいて推進したものであるため、実験室レベルでのデータ収集、解析を通して要素技術の確立を行うまでを成果目標とした。今後の実用化に向けて、リスクアセスメントに基づく安全性の検証、ならびに倫理審査を経た上で、介護施設、サービス付き高齢者住宅、病院、一般住宅などにおいて、実際の高齢者本人を対象とした実証試験が必要であると考えている。

#### ②事業化展開

本研究開発成果の事業化に当たっては、倫理審査を経た上での実証試験の実施とその効果の定量的確認とともに、安全認証の取得が不可欠である。特に平成27年度から予定されている介護保険の適用対象化には、これらの手続きが必須であり、各要素技術の更なる高信頼化とシステムの完成度向上に向けた努力が必要である。

今回開発した転倒・転落に関する異常検知については、1) 転倒発生（第1種A異常）そのものを検知し通知する機能と、2) 転倒に繋がる予兆を検知、通知する機能、とに大別することが可能である。2)については、製品として販売するに当たって医学的見地からのエビデンスが求められ、大規模な臨床データの取得が必要となると考えられる。

したがって、製品化においては1)が先行することになるが、これは転倒の発生を直ちに検出し、通報するものとして、市場ニーズも極めて高い内容であり、介護保険適用化を目標に事業化を図りたいと考える。これに関連する要素技術としては、①-1：2次元温度分布センサによる行動計測、①-3：センサ情報処理装置（コントローラ）、③異常情報提示技術（介護者用端末および高齢者用対話装置）が挙げられる。なお、事業化に当たっては、警報通知手段として、施設等においてはナースコール等、個人居宅等においては有線/無線の電話通信業者との連携が必須となる。これら様々な観点を考慮しつつ、事業化に向けて計画を立案して行く予定である。

「この報告書には、委託業務の成果として、産業財産権等の対象となる技術情報（未出願又は未公開の産業財産権等又は未公開論文）、ノウハウ等の秘匿情報が含まれているので、通例の取扱いにおいて非公開とする。ただし、行政機関の保有する情報の公開に関する法律（平成11年法律第42号）に基づく情報開示請求の対象の文書となります。」



この印刷物は、印刷用の紙へ  
リサイクルできます。