

2023 年度(令和 5 年度)

博士学位論文

赤外線カメラによるマーカを用いた高齢者の
起き上がり検知システムの研究

指導教員 小林 宏一郎 教授

岩手大学大学院 理工学研究科

博士課程 システム創成工学専攻

小林・岩井研究室

S3220003 HE MINGNAN

目次

| | |
|---------------------------------|-----------|
| 第1章 序論 | 1 |
| 1.1 研究背景 | 1 |
| 1.1.1 高齢化の現状 | 1 |
| 1.1.2 高齢者の介護現状 | 2 |
| 1.1.3 介護事故 | 3 |
| 1.1.4 見守り支援機器の現状と課題 | 5 |
| 1.2 研究目的 | 8 |
| 1.3 本論文の構成 | 8 |
| 第2章 起き上がり検知システムの概要 | 10 |
| 2.1 起き上がり検知システムの構成 | 10 |
| 2.2 システムの各部分について | 10 |
| 第3章 システムの仕組みおよび提案法 | 12 |
| 3.1 マーカーの検出および追跡 | 12 |
| 3.2 動作情報の取得 | 14 |
| 3.3 起き上がり動作の状態定義について | 18 |
| 3.4 四つの状態の検知について | 23 |
| 第4章 実験 | 26 |
| 4.1 サブエリアの設定について | 26 |
| 4.2 検証実験 | 29 |
| 第5章 実験結果の分析および評価 | 30 |
| 5.1 検証実験の結果について | 30 |
| 5.2 システムの評価 | 37 |
| 第6章 結論 | 40 |

| | |
|-----------|----|
| 引用文献..... | 41 |
| 謝辞..... | 43 |

第1章 序論

1.1 研究背景

1.1.1 高齢化の現状

日本は、超高齢社会として世界的に知られている。日本の現在の社会状況をよく表す統計データとして、日本の高齢社会白書（令和4年版）を参照すると、令和3年（2021年）10月1日時点での全国の総人口は約1億2550万人となっている。その中でも、65歳以上の人口は約3621万人で、総人口に占める割合、すなわち高齢化率は28.9%である。性別による65歳以上の人口の内訳を見ると、男性は約1572万人、女性は約2049万人で、男性と女性の比率は約3対4、女性100人あたりの男性人口（性比）は76.7となっている。

「団塊の世代」が65歳以上となった平成27年（2015年）には、65歳以上の人口は3379万人に達し、同世代が75歳以上となる令和7年（2025年）には3677万人に達すると予測されている。そして、令和24年（2042年）には65歳以上の人口が3935万人でピークを迎えると推定されている。その後は減少に転じるものの、総人口の減少にもかかわらず、65歳以上の人口が増え続けるために、高齢化率は引き続き上昇を続ける。令和18年（2036年）には33.3%となり、日本国民の3人に1人が65歳以上となる。さらに、令和47年（2065年）には高齢化率が38.4%に達し、国民の約2.6人に1人が65歳以上の社会が到来すると予測されている。また、75歳以上の人口が総人口に占める割合は、令和47年には25.5%となり、約3.9人に1人が75歳以上の者となると推計されている。

一方、日本国民の平均寿命については、令和2年（2020年）の時点で男性は81.56歳、女性は87.71歳となり、前年に比べて男性は0.15年、女性は0.26年延びた。また、今後も男女共に平均寿命は伸び続け、令和47年には男性が84.95歳、女性が91.35歳（死亡中位仮定）に達し、女性は90歳を超えると見込まれている。

昭和 25 年（1950 年）の 5.1%から始まり、令和 2 年では 9.3%に上昇した高齢化率は、令和 42 年には 17.8%にまで上昇すると予測されており、今後 40 年間で高齢化がさらに急速に進展すると見込まれている。地域別に高齢化率の今後の推計を見ると、これまで高齢化が進行してきた先進地域だけでなく、開発途上地域でも高齢化が急速に進むと予測されている。特に日本の場合、先進諸国の高齢化率を比較すると、昭和 55 年代（1980 年代）までは下位であったが、平成 2 年（1990 年）にはほぼ中位となり、平成 17 年（2005 年）には最も高い水準に達した。今後もこの高い水準が続くと見込まれている[1]。

1.1.2 高齢者の介護現状

日本の人口の年齢別比率が劇的に変化して「超高齢化社会」となるため、社会構造や体制が大きな分岐点を迎え、雇用、医療、福祉など、さまざまな分野に影響を与えることが予想される。高齢化が進み、介護は現代の日本社会が抱える大きな課題の一つである。従来高齢者介護は主に家族によって担われてきたが、核家族化やチャイルドレス高齢者世代の増加、家庭内に介護をしてくれる人がいない高齢者が増えるから、家族介護者 1 人当たりの負担の増加をもたらす恐れがある。実際、日本では、高齢者介護の負担を軽減するため、「介護の社会化」を政策理念に、介護保険制度が平成 12 年（2000）に導入された。これにより、それまで家庭内で担ってきた介護の負担を、社会全体で支えるという仕組みが成立した。介護保険制度の下で利用できるサービスには、現在大きく分けて 3 種類のサービス体系があり、自宅に居ながら受けられる居宅サービスと入所系の施設サービスのほか、2006 年 4 月の介護保険制度の改正により、新たに加えられた地域密着型サービスがある。介護サービス受給者数（1 ヶ月平均）は、平成 12 年（2000 年）から令和 2 年の間に、184 万人から 575 万人に増え、これは 300%以上の増加率があった。この数字から、介護サービスの需要は年々拡大傾向にあることがうかがえ、団塊の世代が 75 歳以上の後期高齢者となる令和 7 年（2025）を機に、介護ニーズが更に拡大することが予想される。当然、医療や介護に必要な社会保障

費の増大も深刻な問題になることが予想される。国や自治体の財政を相当圧迫することが考えられる[2]。

介護ニーズの拡大に伴う、より多くの介護サービス施設や介護従事者が必要になる。近年、病院はむしろ減少傾向にあり、その一方で、少子化による労働人口の減少を背景として、看護師不足や介護従事者不足が問題となっている。このような状況で、介護が必要であるにも関わらず、病院でも自宅でも十分な介護を受けることができない、いわゆる「介護難民」は年々増加傾向にある。また、要介護者本人だけでなく、家族にとっても介護における最適な選択をするために、介護の問題点や実際のトラブル事例などを把握しておく必要がある。在宅介護をするのか施設に入居させるかなど、症状の重さなどを考慮して各家庭に判断しなければならない。

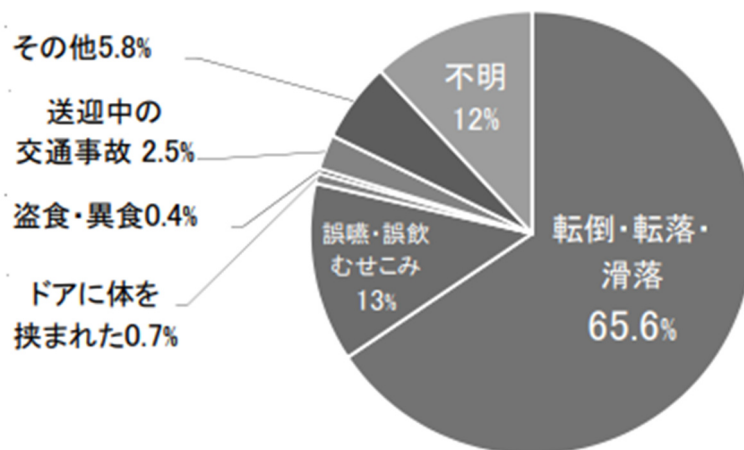
1.1.3 介護事故

少子化や人材不足などの進展とともに、介護度の重い方や見守りの必要な高齢者が増加し、介護負担も増大の一途を辿っている。介護の提供過程で要介護者に対して何らかの不利益な結果を与えた場合、もしくは与える危険のあった場合を介護事故と定義することで、施設現場での介護事故にかかわる分類結果を図 1.1 に示した[3]。最も多い事故は転倒・転落・滑落であり全事故件数の 70%近くを占めている。さらに、転倒・転落内容についての詳細は図 1.2 に示すように、事故発生時の業務詳細を見ると、見守り中（46.7%）や他の要介護者の介助中（7.2%）、目に離した際（3.9%）で介護者の観察が手薄になったときに、要介護者の歩行ときやバランスを崩す、ベッドから転落する等で、実に全体の 58%を占めている。逆に介護者が直接介助して発生する事故は少ない状況にある[3]。つまり、要介護者が単独で行動する機会があるとき事故が多く発生してしまう。

転倒・転落の結果、搬送先の後方病院でのレントゲンによる診断結果では、上腕骨骨折も報告されているが、その殆どが、大腿骨頸部骨折・大腿骨転子部骨折であり、余儀なく手術

するケースが多くを占めている。高齢者では入院が長期化すると、生活の質（QOL）が低下することから、長期入院による 2 次的な合併症を発生し、不幸にも死亡されるケースも報告されている。

介護施設における事故を増え、その種類は転倒・転落が大半を占めており、介護現場では見守りの問題が重要な課題になっている。しかし、介護者側では見守りが困難な状況がある。その理由として、介護人材の不足、介護従事者の疲労やストレスの増大、転倒に関する考え方（高齢者が転倒するのは仕方ない）、介護の質（知識や技術）、介護施設の環境整備が不十分等が挙げられる。要介護者側の理由としては、コールしないもしくはできない、認知症や身体機能の低下、介護スタッフへの気遣い・遠慮や干渉されたくない・自由に行動したいという思いが挙げられる[4]。



※引用文献 2 より

図 1.1 事故状況分類

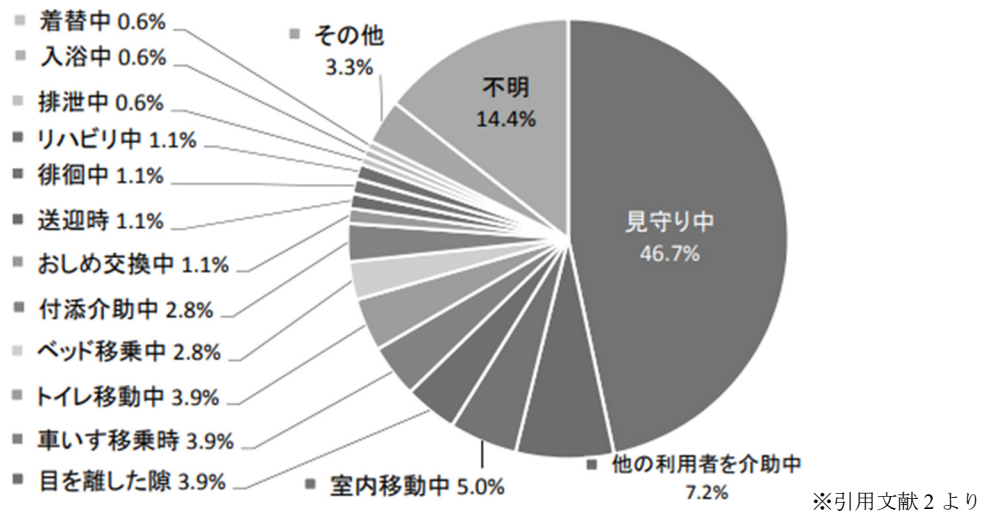


図 1.2 転倒・転落時の業務詳細分類

1.1.4 見守り支援機器の現状と課題

介護施設では、転倒・転落事故の発生を防止するために、様々な方法に取り組んでいる。要介護者の「身体拘束」は、最もシンプルで一般的な方法である。身体拘束とは、介護や看護において要介護者や患者の行動を制限する行為のことである。要介護高齢者の場合、徘徊やほかの利用者への迷惑行為のほか、治療の妨げや事故を起こす危険性がある場合にも、身体拘束が行われることがある。典型的な身体拘束は、ベッドや車いすで体幹や四肢をベルト等で固定すること、またベッドに柵を装着して取り外しができないように固定することなどが挙げられる。しかし、多くの調査研究により、身体拘束は身体的、精神的および社会的な影響が要介護者に加害される可能性が高いので、平成12年（2000）に施行された介護保険法で身体拘束が原則禁止となり、やむを得ない場合は、最小限の使用や代替策の検討を積極的に考慮した上で行われる[5]。このような状況から、要介護者は安全して暮らせる安全・安心な社会の実現が強く求められており、その実現に向けて、様々な技術が検討されている。

「行動を見守る」と言った場合、様々なレベルでの見守りが考えられる。例えば、要介護者の位置を把握できれば、日常の行動や生活パターンを推測できる。一方、より詳細に「行動を見守る」例として、転倒・転落などの異常検知や、睡眠状態の把握、離床検知などが挙

げられる。このような、詳細な行動の把握の場合、単に位置の追跡ではなく、行動の検知が必要となる。そのため、必要な技術も異なってくる。

「行動を見守る」技術は、ウェアラブル機器を用いるものや、環境に設置される機器を用いるもの、ウェアラブル機器と環境に設置される機器を併用するもの、とに大別される。例えば、ウェアラブル機器を用いて要介護者の位置を推定する場合、携帯電話などの電波を放射するものを持ち運んでもらい、携帯電話の基地局などでその電波を受信し、三辺測量を用いて位置を測定する。ただし、これらの方法は屋外の位置推定には適しているが、屋内の位置推定で用いるには、通常、電波を受信できない場合利用できない。また、電波を受信できたとしても、屋内の位置推定に必要な位置推定精度を達成できない。屋内に位置推定をできるように、屋内にビーコンを設置するなど、何らかの装置を設置する必要がある[6]。

また、行動検知に関しても、ウェアラブル機器を用いるものや、環境に設置される機器を用いるもの、ウェアラブル機器と環境に設置される機器を併用するもの、などがある。行動検知の中でも、特に前記した転倒・転落や離床検知が重要である。例えば、加速度センサを用いて転倒・転落を検出する方法などが多く検討されている。しかし、ウェアラブル機器の重要な課題としては、要介護者がセンサなどの装置を常に持ち歩く必要があるため、日常生活の負担になることや、持ち忘れなどの問題がよくある。

近年、センサーテクノロジーは急速に進化するとともに、非接触・無拘束の見守り技術を促して来た。非接触・無拘束見守りシステムの問題は、現代の介護理念である要介護者や障害者の自由と尊厳を尊重するという考え方と密接に関連している。これは、物理的な拘束や過度な介入を避けつつ、可能な限り自然な生活を維持することである。そして、2020年頃からコロナウイルスの影響により、非接触・無拘束の見守りシステムの重要はさらに高まり、その普及が加速している。

非接触・無拘束の見守りシステムはセンサー技術を活用し、要介護者の状態をモニタリングするために使用される。例えば、床やベッドに設置したセンサは、要介護者が起き上がった

たり、転落・転倒したりとき、異常検知アルゴリズムにより収集したデータを解析し、警報を出すことができる。これにより、事故の早期発見や予防、または要介護者の生活の質(QOL)向上に寄与することが可能になる。

そのうち、見守りシステムの導入コストや信頼性を考慮すると、現在多くの介護施設では以下のシステムが利用されている。例えば、「ベッド柵センサ」「マットセンサ」は、ベッドに設置したセンサが利用者の体圧が加わる、もしくは体圧がなくなると検知するタイプである。他にも、赤外線が照射される範囲内で利用者の存在を確認する「赤外線センサ」、超音波の照射範囲内に入った利用者を検出する「超音波センサ」などがある[7]。

しかし、これまでの見守り支援機器には以下のような課題があった。

- (ア) 機器のアラームが鳴った後に介護従事者が部屋に訪問するため、間に合わない。
- (イ) 機器のスイッチを入れ忘れる。
- (ウ) 複数のコールがあった際に、緊急度や優先順位の判断が難しい。
- (エ) 再々の訪問で、要介護者と介護者ともにストレスとなっている。
- (オ) 事故が発生した場合、実際にその場で何かあったのかが不明である 等。

しかし、上記の見守りシステムでは、要介護者が床に足を着いた後に離床を検知するため、検知遅れの問題がある。また、要介護者がマットセンサの仕組みに気づきマットセンサから逃げようとする行動場合がある。赤外線センサや超音波センサは環境に応じて設置位置や向きを調整する必要があるため、利便性の面で課題を有している。

近年、カメラを用いた見守り支援機器の利用例や研究など増えている。カメラを利用した理由は次になる。① 介護など長時間の見守りが必要な仕事に適し、特に夜間の見守りが効率的に実施できる。② 一人で多くの居室や共有スペースを一度に確認できるので、介護従事者の負担を軽減する。③ 介護事故があった際に、後から状況を確認することができ、原因究明を密に行える。また最近、AI技術の急速な発展により、カメラとAI技術を併用した見守りシステムの研究が流行っている。カメラにより撮った内容を学習し、学習したモデル

を利用して人体検出や動作判別などの機能を実現できる。しかし、ロボット技術類の見守り支援機器と比較し、カメラベースの見守り支援機器は以下の課題が存在する。① カメラは比較的高価である、AI 技術を同時に利用すれば、高性能な処理パソコンや他の機器が必要であるので、システム全体の導入費用が高い。② AI 技術の性能が学習モデルと学習データの数により影響される、さらに AI 技術は「ブラックボックス」という特性があるので、利用者に不安を生み出すと懸念される[8][9]。

そのため、見守りシステム全体の価額は比較的安価であり、システムの信頼性、安定性、設置と操作の簡易性を考慮すべき。さらに要介護者の動作検知が可能になり、事故を発生する前に離床予見を実現できる見守り支援機器を期待されている。

1.2 研究目的

本研究では、一般的な赤外線カメラ（IR カメラ）を利用した転倒予防を主目的とした起き上がり検知システムの開発である。このシステムは、夜間に要介護者の状態をリアルタイムで見守ることで、要介護者が自力で起き上がろうとした際に、素早く検知することができる。本システムは、ハードウェア部分として IR カメラと赤外線反射シート（マーカー）のみで構成されており、マーカーを要介護者の体に装着し、マーカーを追跡することで動作データを取得する。そして、取得した動作データを利用し、しきい値に基づく状態判別のアルゴリズムで処理し要介護者の状態を判別できる。また、本システムは高い信頼性を確保しながら、シンプル且つ安価など特徴がある。

1.3 本論文の構成

本論文は全 6 章で構成される。また、各章の内容は次のとおりである。

- 第 1 章は序論であり本論文の背景、目的、論文概要を述べている。
- 第 2 章では、本システムの概要について述べている。

- 第3章では、マーカーにより動作情報の取得について述べている。そのうち、体に装着するマーカーの数と部位について検討する。そして、マーカー追跡の方法について説明する。取得したマーカーの位置データを利用して、起き上がり動作の背臥位、側臥位、長坐位および端座位の検出方法について述べている。その前に、4つの状態の定義について説明する。また、システムの検知能力を向上させるために、検出領域や各状態のサブエリアについて述べている。
- 第4章は本研究行われた実験について説明する。具体的には、被験者6名の実験結果により、各状態の検知サブエリアの設定について述べている。また、本システムの検知能力を確認するため、検証実験について述べている。
- 第5章は検証実験の結果について、本システムの検知能力に対して評価した。
- 第6章は本論文のまとめである。

第2章 起き上がり検知システムの概要

2.1 起き上がり検知システムの構成

本研究に開発する起き上がり検知システムの構成について説明する。起き上がり検知システムは IR カメラ、赤外線反射シート（マーカ）ー）、検知プログラム及びコンピューターを必要とする。システムの簡単な構成は図 2.1 に示す。

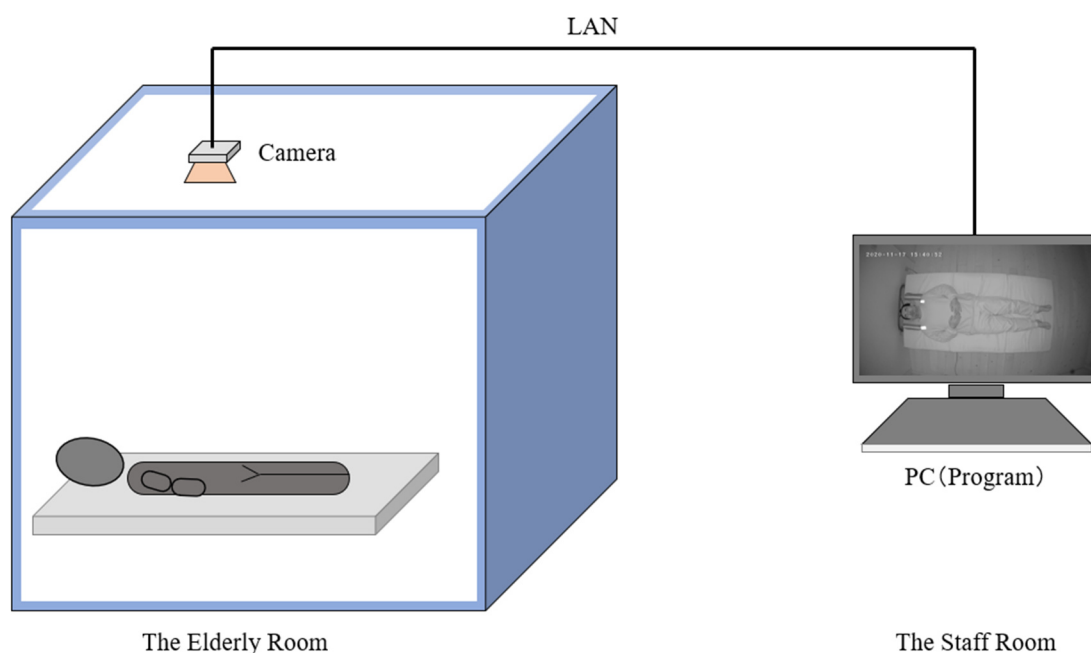


図 2.1 提案システムの構成

2.2 システムの各部分について

起き上がり検知システムの各部分について説明する。IR カメラとマーカはネット通販で購入した、IR カメラの単価は 3000 円（当時）、マーカは 2300 円（当時）。IR カメラとマーカの各パラメータについては、表 2.1 と表 2.2 に示す。検知プログラムは MATLAB（2020a）上で作成する。検知プログラムを実行するためのコンピューターのスペックは表 2.3 に示す。

表 2.1 赤外線カメラの性能

| | |
|-----|---------------------------|
| 名称 | Zeetopin ネットワークカメラ ZS-GQ3 |
| 機能 | Full HD、赤外線モード付き |
| FPS | 12 |
| 単価 | 3000 円 (当時) |

表 2.2 赤外線反射シートの情報

| | |
|---------|-----------------------|
| 名称 | TRUSCO 普通反射シート (マーカー) |
| 色 | ホワイト |
| 寸法 (mm) | 227×227 |
| 取付方式 | 貼付タイプ |
| 単価 | 2300 円 |

表 2.3 プログラムの実行環境

| | |
|-----|----------------|
| OS | Windows 10 |
| CPU | Intel 10700K |
| メモリ | 64GB |
| GPU | Nvidia RTX3070 |

第3章 システムの仕組みおよび提案法

本システムでは、1つカメラのみ使用したため、空間内に遮蔽物がある場合、システムの検知能力に影響される可能性がある。そこで、図1を示すように、カメラを天井に設置することで、撮影可能範囲を広げられる、さらに遮蔽物による検知能力の低下を改善することができる。また、夜間・明け方など暗い環境で要介護者の動作情報を取得するため、使用したカメラは暗視機能を持つことが必要である。本システムに使用したIRカメラは、近赤外線を光源として照射し明るさを補うことで、撮影を可能とする。また、近赤外線は可視光に比べて波長が長いため、人間の目に見えないという特性がある。夜間に要介護者を近赤外線光源で照らしても要介護者に気付かれることなく撮影することができる。

暗い環境で近赤外線カメラを撮影した内容は、被写体は物質の違いによる赤外線の吸収や反射の特性がある。その特性は画像に表示するとき、吸収しやすい物質は濃い灰色または黒い、反射しやすい物質は浅い灰色または白い。皮膚や普通服などある程度赤外線を吸収するので、この状況で要介護者の動作情報を取得することが困難である。そのため、マーカーを用い要介護者の体に装着することを提案した。マーカーは近赤外線を反射し、暗い環境で高輝度な白いマーカーで表示される。そして、システムは高輝度なマーカーの検出と追跡を行い、マーカーの位置データを得られる。

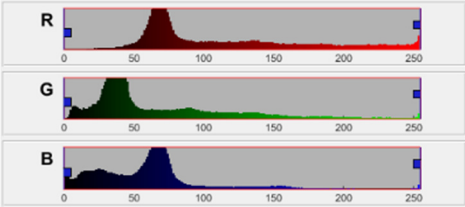
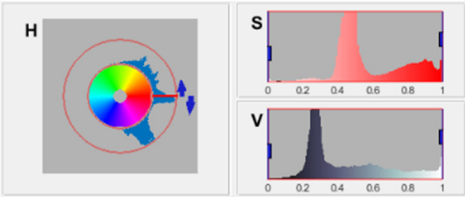
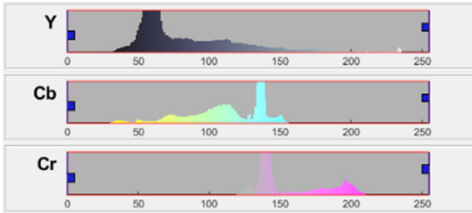
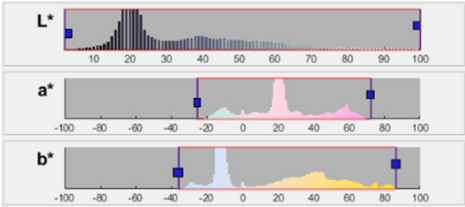
3.1 マーカーの検出および追跡

表2.2に示している普通反射シートをカットし、長方形のマーカーを作成した。マーカーの寸法は、長さ=22.7cm, 幅=3.0cm, 面積=68.1cm²。天井に設置したIRカメラの下にマーカーを配置し、環境の明るさを0Luxにしてマーカーの動画を撮影した。デジタル照度計を用いることで明るさを計測した。使用したデジタル照度計については、モノタロウから購入した、セパレートタイプであり、最小分解能が1Luxである。マーカーの動画は1フレームずつ画像として保存された。その画像から1枚画像を選択し、カラー画像としてMatlab

ToolBox 中の「色のしきい値」アプリに導入した。色のしきい値アプリでは、さまざまな色空間に基づいてカラーチャンネルをしきい値処理してからイメージをセグメント化できる。それぞれの色空間で、イメージ、3つのカラーチャンネル、および3次元色空間のプロットにすべてのピクセルのカラー値を点として表示する。4つの色区間に関しては、表 3.1 に表す。IR カメラによる撮った画像は単一色（灰色）であったため、RGB 色区間が十分に処理できると考えられた。RGB 色空間内で、画像内に高輝度なマーカー（白）のマスクのみが表示されるように、R, G, B, 3つのチャンネルを手動で調整した。その後、マーカーのバイナリセグメンテーションマスクを作成し、このバイナリセグメンテーションマスクはマーカーの検出関数として使用した。

マーカーの追跡に関しては、動画中の同じマーカーの隣接する2フレームを関連付け、マッチングさせるという原理であった。確かに IR カメラを天井に設置したことで、マーカーが遮蔽されるケースを低減することができたが、それでも頭部によるマーカーは短時間で遮蔽される可能性があると考えられた。この問題を解決するために、カルマンフィルタとハンガリアンアルゴリズムに基づきマーカーの追跡を行った。カルマンフィルタは、マーカーが遮蔽される場合、見失ったマーカーの軌跡を予測するための運動モデルを考える。予測の軌跡に関しては、ターゲットが消えた時点の状態に基づき、予測する軌跡が等速直線運動である。ハンガリアンアルゴリズムは、二部グラフの最大マッチングを求めるアルゴリズムであり、追跡においては、単純に前後2フレームでターゲットをマッチングさせる最適解を求めるアルゴリズムとして理解することができる[10]。Matlab 内で直接にカルマンフィルタとハンガリアンアルゴリズムの関数を呼び出すことができる。

表 3.1 色のしきい値アプリ内の色区間

| 色区間 | カラーチャンネルしきい値処理のコントロール |
|-------|--|
| RGB |  |
| HSV |  |
| YCbCr |  |
| L*a*b |  |

3.2 動作情報の取得

近年、人間の骨格関節位置を二次元もしくは三次元の座標でデータ化し、人間の動作を解析する技術がある。この技術から、人間の動作情報は、骨格関節の位置データによって表現できることが分かった。しかし、すべての骨格関節に対するデータ解析の計算量が大きいため、本システムにおけるハードウェア構成を考慮すると、検知速度に影響を与える可能性がある。そのため、少数の関節データを用いた動作解析を行える方法について検討した。

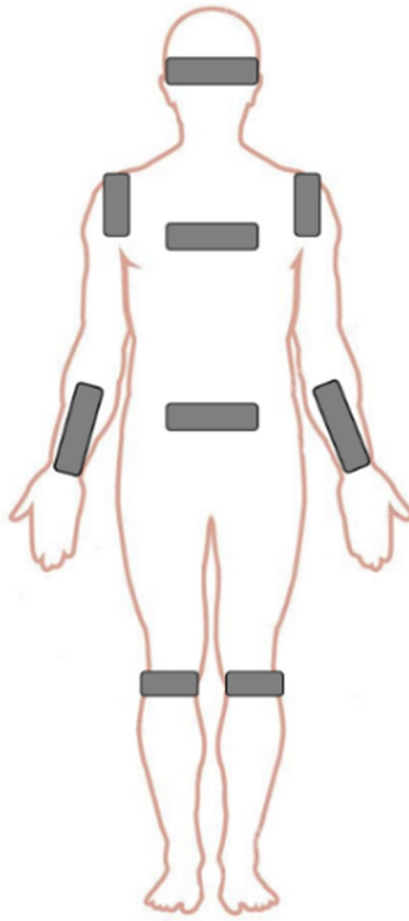


図 3.1 に装着するマーカーのイメージ

図 3.1 の示すように、少数な骨格関節にマーカーを装着することを示している。その中、頭、胸、腹が 1 つマーカーを装着する。両肩、両手、両膝が 2 つマーカーを装着する。実験場所については、図 3.2 に示している、岩手大学の見守りハウス内の一室で実験を行った。ベッドは実験室内の一隅に設置した、ベッドの寸法について、長さ=203.5cm, 幅=94cm, 高さ=32cm。ベッドの中心点の真上に IR カメラを設置された。IR カメラとベッドの中心点の距離が 182cm であった。本研究では、すべての実験において同様な環境を維持した。2 名の被験者が上記の 6 部位にマーカーを装着し、ベッド上で体を真っ直ぐに起こす動作をしながら動画を撮影した。2 名被験者の 6 部位計 12 個実験動画は 3.1 のプログラムに導入し、マーカーの位置データを得られた。その中、マーカーが起き上がり方向の移動量（マーカー移動量）およびマーカーが遮蔽されるかどうかは評価指標とした。そ

の原因は、本研究の目的は起き上がり動作を検知することなので、検知能力を向上するために検知可能な範囲を広くする必要がある。そのため、起き上がり動作方向に移動量が大
きい、且つ遮蔽されにくいのが望ましい。



図 3.2 実験部屋の環境

表 3.2 はすべての結果をまとめたものである。結果から分かるように、両肩のマーカ
ー移動量が最大である、さらに真っ直ぐ起き上がり動作の場合、マーカ
ーが完全に遮蔽されない。そのため、2つマーカ
ーが両肩に装着することにより、動作情報を取得できるといえる。

表 3.2 マーカーの数と身体部位の結果

| | 部位 | マーカー移動量 | | 遮蔽 |
|-------|----|-----------|-----------|----|
| 被験者 1 | 頭 | 439 pixel | | あり |
| | 胸 | 289 pixel | | あり |
| | 腹 | 156 pixel | | あり |
| | 両肩 | 469 pixel | 452 pixel | 無し |
| | 両手 | 124 pixel | 181 pixel | あり |
| | 両膝 | 58 pixel | 32 pixel | あり |
| 被験者 2 | 頭 | 471 pixel | | あり |
| | 胸 | 320 pixel | | あり |
| | 腹 | 210 pixel | | あり |
| | 両肩 | 446 pixel | 510 pixel | 無し |
| | 両手 | 384 pixel | 403 pixel | 無し |
| | 両膝 | 53 pixel | 44 pixel | あり |

3.3 起き上がり動作の状態定義について

起き上がり動作には、大きく分けて2つの方法がある。図3.3の示すように、1つは、3.2章に述べた、体を真っ直ぐに起こす方法である。仰向けで寝ているとき支持基底面（体の裏面全体が接している部分）が、起き上がる際には下半身の裏面へ変わる。状態を安定させるためには、支持基底面の中に圧中心点を移動させる必要があるが、接触面から頭や背中が離れると、支持基底面から圧中心点が出てしまう。そのため、起き上がるには腹筋など大きな力が必要になる。一般的に子供や若者は、この方法のように起き上がることが多い。

もう1つは、図3.4の示すように、寝返りをしたときの腕の位置により、起き上がるときの支持基底面が変化する。起き上がるときの支持基底面は、肘から手先までの接触面と、横向きになったときの体および下半身の接触面になる。そのため、腕を横に広げるほど支持基底面が広くなり、頭を持ち上げたときに圧中心点を支持基底面内に収めることが容易になる。そして、支持基底面内に圧中心点を置きながら起き上がる。その際、頭の位置が重要になる。頭が大きな弧を描くようにして起き上がると、小さな力で起き上がることができる。一般的に多くの人や虚弱体質な人は、この方法のように起き上がる人が多い。

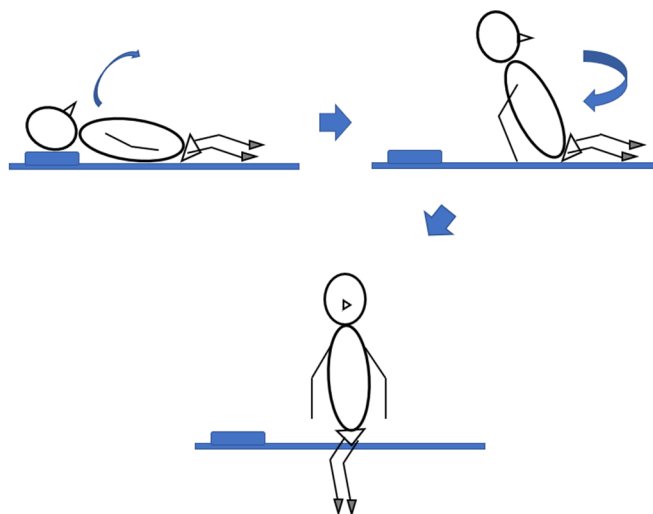


図3.3 起き上がりの方法1

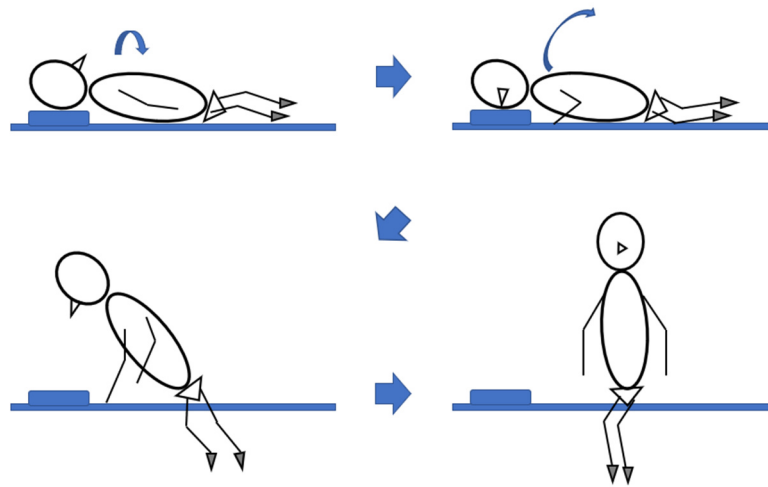


図 3.4 起き上がりの方法 2

我々は高齢者のベッドから起き上がり動作を観察したことで、以下の特徴がまとめた。

①高齢者の起き上がり動作の速度が遅い。②高齢者の筋肉量が低下している、腰や腕の力が足りないため、ベッドから起き上がっているとき、常に肘サポートを利用して起床行動を支援する。高齢者の起き上がり動作を状態ごとに分解すると、4つの状態と状態間の関連動作を得られる。4つの状態は、仰向けに寝ているのが「背臥位」である。横向きに寝ているのが「側臥位」である。上半身を起こし両足を伸ばしているのが「長坐位」である。ベッドの横に腰掛けたりして足を下しているのが「端座位」である。4つの状態のイメージ図は図 3.5 のように示す。ベッドの長辺を X 軸、短辺を Y 軸、縦方向天井向きを Z 軸として捉え、この後の状態範囲の定義のための 3 次元座標を形成した。

そのため、起き上がり動作を判別するために、背臥位、側臥位、長坐位および端座位を検知することを提案した。実際に起き上がり動作をするとき、4つの状態それぞれは一瞬ではなく、類似な状態は4つの状態に見なすべきと考えられた。これにより、4つの状態の検知範囲を広げることができ、システムの判別能力が向上させることができる。マーカーの位置データを用いて4つの状態を検知する方法は3.4章に説明する。

さらに、システムの判別結果が容易に検証するため、起き上がり動作の中、いつからいつまで1つの状態になるのか定義しなければならないと考えられた。つまり、4つの状態

の範囲を定義した。図 3.6 の示すように、両肩の間の直線は肩ラインと定義し、背中に平行な直線が背中ラインと定義した。肩ラインと背中ラインが図に点線で表示されている。4つの状態は、3次元座標の3つの平面（XY平面、XZ平面、YZ平面）のそれぞれが肩ラインや背中ラインとなす角度で定義した。下表は、定義した状態範囲の概要を示している。

背臥位：背臥位の場合は、体がXY平面と平行しており、肩ラインや背中ラインとXY平面との角度が 0° 。背臥位から側臥位になるとき、肩ラインとXY平面の角度が大きく変化する。背臥位から長坐位になるとき、背中ラインとXY平面の角度が大きく変化する。そこで、背臥位の状態範囲を、肩ラインとXY平面の角度が $0^{\circ}\sim 20^{\circ}$ 、背中ラインとXY平面の角度が $0^{\circ}\sim 20^{\circ}$ と定義する。

側臥位：側臥位の場合は、肩ラインがXY平面と垂直しており、肩ラインとXY平面の角度が 90° 。背中ラインがXY平面と平行しており、背中ラインとXY平面の角度が 0° 。背臥位から側臥位になるとき、肩ラインとXY平面の角度が大きく変化する。側臥位から長坐位になるとき、背中ラインとXY平面の角度が大きく変化する。そこで、側臥位の状態範囲を、肩ラインとXY平面の角度が $70^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 、背中ラインとXY平面の角度が $0^{\circ}\sim 20^{\circ}$ と定義する。

長坐位：長坐位の場合は、肩ラインがYZ平面と平行しており、肩ラインとYZ平面の角度が 0° 。背中ラインがXY平面と垂直しており、背中ラインとXY平面の角度が 90° 。側臥位から長坐位になるとき、肩ラインとYZ平面の角度が小さく変化する、背中ラインとXY平面の角度が大きく変化する。そこで、長坐位の状態範囲を、肩ラインとYZ平面の角度が $0^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 、背中ラインとXY平面の角度が $60^{\circ}\sim 90^{\circ}$ と定義する。

端座位：端座位の場合は、肩ラインがXZ平面と平行しており、肩ラインとXZ平面の角度が 0° 。背中ラインがXY平面と垂直しており、背中ラインとXY平面の角度が 90° 。長坐位から端座位になるとき、肩ラインとXZ平面の角度が小さく変化する、背中ラインと

XY 平面の角度が大きく変化する。そこで、端座位の状態範囲を、肩ラインと XZ 平面の角度が $0^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 、背中ラインと XY 平面の角度が $60^{\circ}\sim 90^{\circ}$ と定義する。

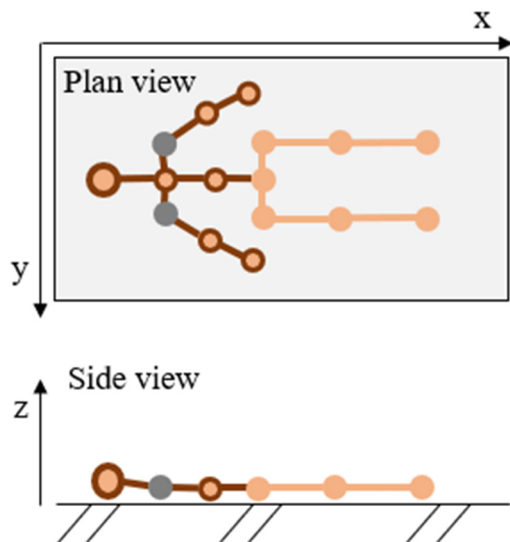


図 3.5.1 背臥位状態のイメージ

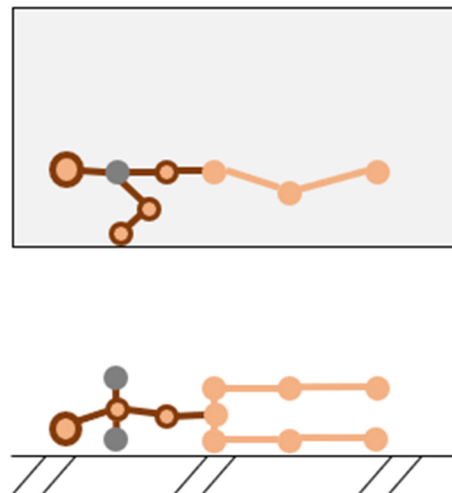


図 3.5.2 側臥位状態のイメージ

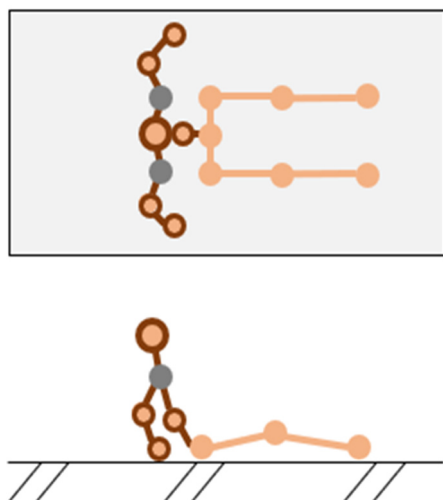


図 3.5.3 長坐位状態のイメージ

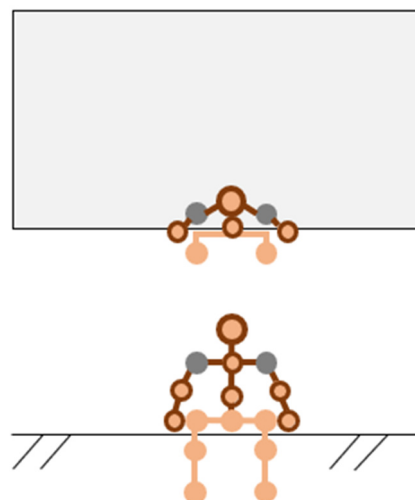


図 3.5.4 端座位状態のイメージ

図 3.5 4つの状態のイメージ

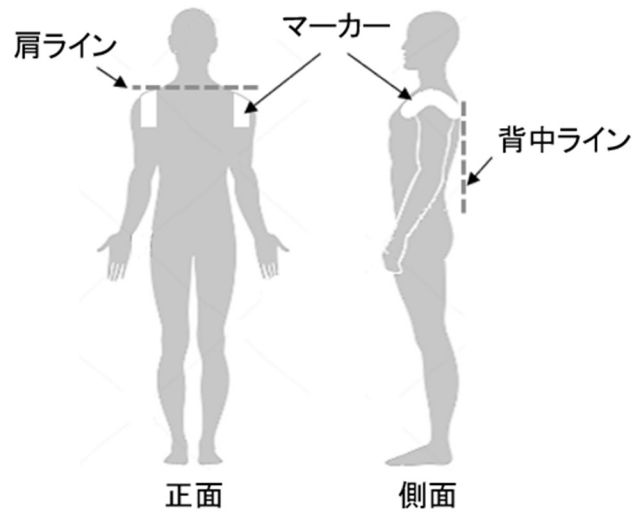


図 3.6 両肩に装着するマーカーと肩ラインおよび背中ライン

表 3.3 4つの状態の定義

| | XY 平面との角度 | XZ 平面との角度 | YZ 平面との角度 | |
|-----|-----------|-----------|-----------|--------|
| 背臥位 | 肩ライン | 0°~20° | × | × |
| | 背中ライン | 0°~20° | × | × |
| 側臥位 | 肩ライン | 70°~90° | × | × |
| | 背中ライン | 0°~20° | × | × |
| 長坐位 | 肩ライン | × | × | 0°~30° |
| | 背中ライン | 60°~90° | × | × |
| 端座位 | 肩ライン | × | 0°~30° | × |
| | 背中ライン | 60°~90° | × | × |

3.4 四つの状態の検知について

3.2 章に両肩に装着するマーカーの位置データを取得することができると説明した。そのため、2つマーカーの位置データを用いてマーカーの相対位置を計算することで、4つの状態を検知する方法を提案した。2つマーカーの位置データは、 (x_{left}, y_{left}) 、 (x_{right}, y_{right}) として特定された。表 3.3 の状態定義により、肩ラインが XZ 平面と YZ 平面に対してそれぞれ 30° の角度をなすとき、システムは長座位と端座位の状態を識別することができる。この時、三角関数の公式により、図 3.7 に示すように2つの IR シート座標間の垂直距離は肩幅の 87%に計算できる。従って、長座位と端座位の検知条件は、 $|y_{left} - y_{right}| \geq 87\% \text{ 肩幅}$ 、 $|x_{left} - x_{right}| \geq 87\% \text{ 肩幅}$ と決定された。マーカーが1つしかない場合、要介護者は側臥位である可能性が高い。肩幅は、被験者が背臥位になったときの2つマーカーの距離である。背臥位になったとき、ベッド上に被験者が安定して寝ているため、この時点で得られた肩幅が正確である。

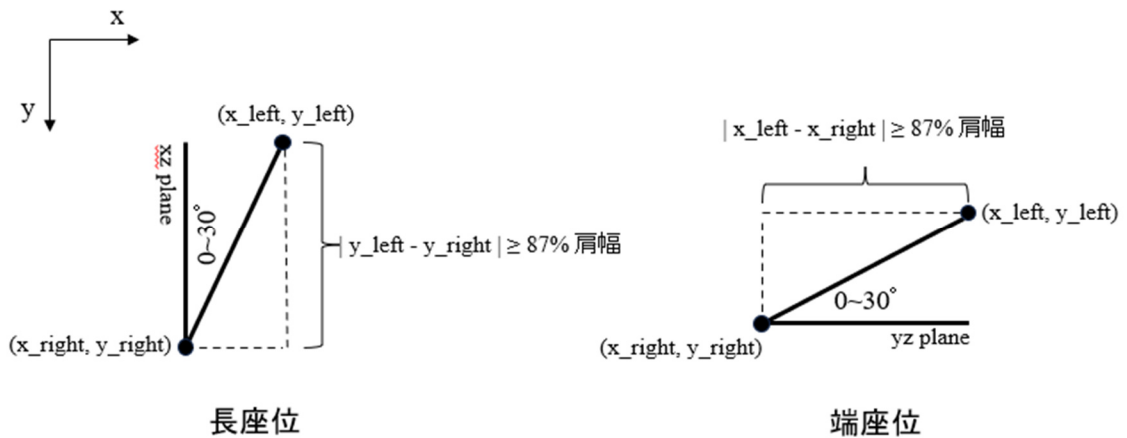


図 3.7 状態定義による検出条件の決定

しかし、2つのマーカーの相対位置のみによる4つの状態を検知する場合、前述の状態検知の条件が満たされていれば、マーカーの位置に関係なく、つまりマーカーがベッド以外の位置にあっても、システムは正常な状態検知を行ってしまう。その結果、多くの誤検知が発生することになり、システムの検知能力に影響を及ぼす可能性が高い。そこで、手で矩形な関心領域（検知領域）を選択することで、検知領域内のみ4つの状態に対する

検知処理を行うことを提案した。検知領域について、理想的には、検出領域はベッドのサイズと同様である。同時に、検知領域内に4つの状態を検知するためのサブエリアを生成され、マーカーの位置データが検知領域とサブエリアの条件を同時に満たす場合、状態検知を行う。図3.8は実際にプログラムが状態検知をしたとき検知領域とサブエリアを示している。白い矩形（実線）は、手動で選択した検知領域である。左側にある2つ同じサイズの矩形（点線）は背臥位と側臥位の検知を行われる。中央の矩形（破線）は長坐位の検知エリアである。右下の矩形（一点鎖線）は端座位の検知エリアである。サブエリアの検知条件に関しては以下になる。2つマーカーの位置データがそれぞれ背臥位のサブエリア内にあるのが背臥位の検知条件である。2つマーカーの位置データが同時に長坐位のサブエリア内にあるのが長坐位の検知条件である。2つマーカーの位置データが同時に端座位のサブエリア内にあるのが端座位の検知条件である。マーカーの位置データが一つしかない場合、その位置データは背臥位サブエリアのいずれかにあるのが側臥位の検知条件である。

上述の4つの状態の検知条件をまとめると、4つの状態に対する実際に本システムの検知条件を得られた。

背臥位：2つマーカーの位置データ【 (x_{left}, y_{left}) and (x_{right}, y_{right}) 】が $|x_{left} - x_{right}| \leq E$, $|y_{left} - y_{right}| \approx$ 肩幅であり、さらに2つマーカーの位置データがそれぞれ背臥位のサブエリア内にある場合、システムが「背臥位」と検知された。

側臥位：マーカーの位置データ【 (x_{left}, y_{left}) or (x_{right}, y_{right}) 】が一つしかない場合、その位置データは背臥位サブエリアのいずれかにある場合、システムが「側臥位」と検知された。

長坐位：2つマーカークの位置データ【(x_left , y_left) and (x_right , y_right)】が
 $|x_{left} - x_{right}| \leq E$, $|y_{left} - y_{right}| \approx$ 肩幅であり、さらに2つマーカークの位置
データが同時に背臥位のサブエリア内にある場合、システムが「長坐位」と検知された。

2つマーカークの位置データ【(x_left , y_left) and (x_right , y_right)】が $|y_{left} -$
 $y_{right}| \leq E$, $|x_{left} - x_{right}| \approx$ 肩幅であり、さらに2つマーカークの位置データが同
時に端座位のサブエリア内にある場合、システムが「端座位」と検知された。

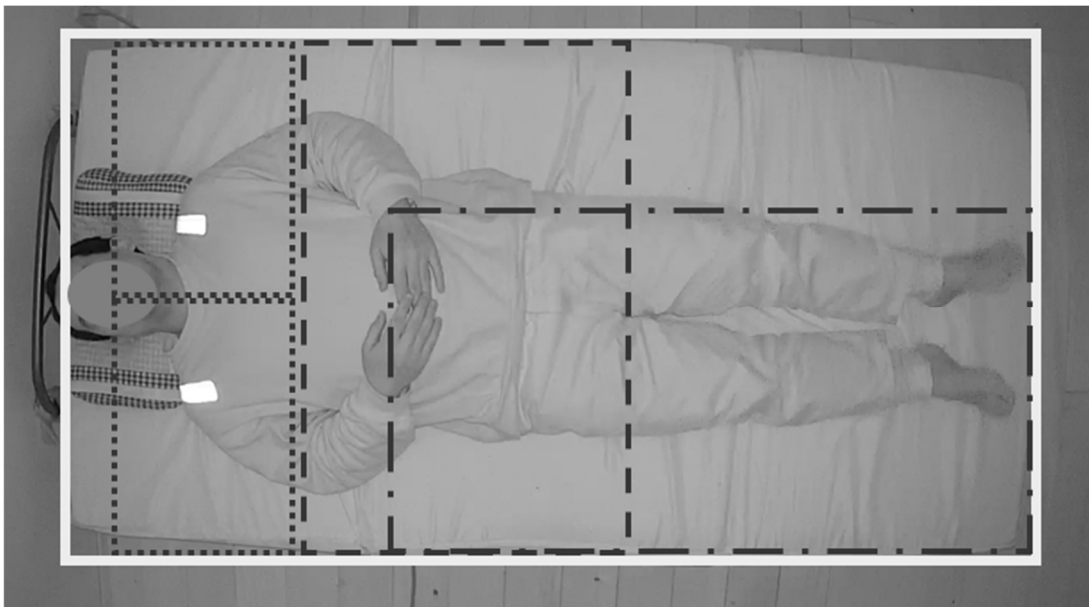


図 3.8 検知領域とサブエリアの様子

第4章 実験

本研究では、高齢な要介護者を対象として、転倒防止を目的とした起き上がり検知システムの開発を行った。システムのパラメータの設定やシステム全体の検証実験を行う必要があるため、人間をデータとして実験用の動画を撮影することをを行った。実験動画を撮影した前に、すでに岩手大学「人を対象とする医学系研究に関する倫理審査委員会」の承認を得た（第201701号、第202019号）。新型コロナウイルス感染症の影響により、予定していた介護施設内に本システムの検証実験を行われることが出来なかった。従って、本論文に使用したすべての実験データに関しては、著者が所属する研究室の学生（被験者）を協力したものである。被験者は19名で、そのうち15名は20代男性であり、4名は65才以上の高齢者であった。また、すべての被験者が実験の目的・実施方法等について十分な説明を受け、同意書にサインを求められた。記録された個人情報や顔情報は、外部に漏洩しないよう厳密に管理され、再実験や実験結果の分析以外の目的には使用されない。

本論文では、3つの実験を行った。その中、マーカーが体に装着する数と部位に関する実験については、3.2章で詳しく説明したので、本章で説明を省略する。次に、4つの状態のサブエリアの設定と、システム全体の検証実験について説明する。

4.1 サブエリアの設定について

高齢者の起き上がり動作を検知するシステムであるため、実験動画を撮影したとき、高齢者の起き上がり動作を模倣して以下の起き上がり動作を設計した。設計した起き上がり動作は4つの状態と状態間の関連動作を含めた。具体的には、起き上がり動作を開始したとき、被験者がベッド上で仰向け寝ている状態であった。次に、体幹をゆっくり回旋させ、右側に横向き寝ている状態になった。その後、被験者は肘をついて上半身を起こし両足を伸ばしている状態になった。その後、両足は臀部を原点としてゆっくり回旋させ、同時に臀部をベッドの横に移動し、最終的に被験者がベッドの横に腰掛けたりして足を下している状態

になった。ここまで設計した起き上がり動作が終了した。設計した動作が各被験者に詳しく説明し覚えてから実験を行った。

実験条件について説明する。実験動画は、6名被験者が参加したため、6つの実験動画を取得した。実験を行われた部屋の環境設定について、3.2章の環境設定と同様に設定したので、説明は省略す。3.4章で述べた検知領域は、以下のルールに従って操作した。IRカメラのレンズにより、ベッドのエッジ部分が膨らむような歪みを生じて、動画内のベッドが樽型な矩形になってしまった。そのため、検出領域の選択によって検知結果が左右されないように、ベッドの端をすべてカバーするように検知領域を選択した。選択した検知領域は、実はベッドのサイズより少し大きくなった。

データセットの作成について説明する。6つの実験動画がプログラムに導入したため、6つのマーカーの位置データを得た。再び実験動画を参考し、被験者が各状態に安定したとき、0.5秒（6セット）マーカーの位置データを抽出した。抽出した位置データは2次元座標の分布図を作成し、矩形で各状態の分布を囲まれた。図4.1の示すように、矩形で囲まれた領域がサブエリアとして設定した。さらに、システムの検知能力を向上させるため、図4.2の示すように、得られたサブエリアの範囲が適切に拡大した。

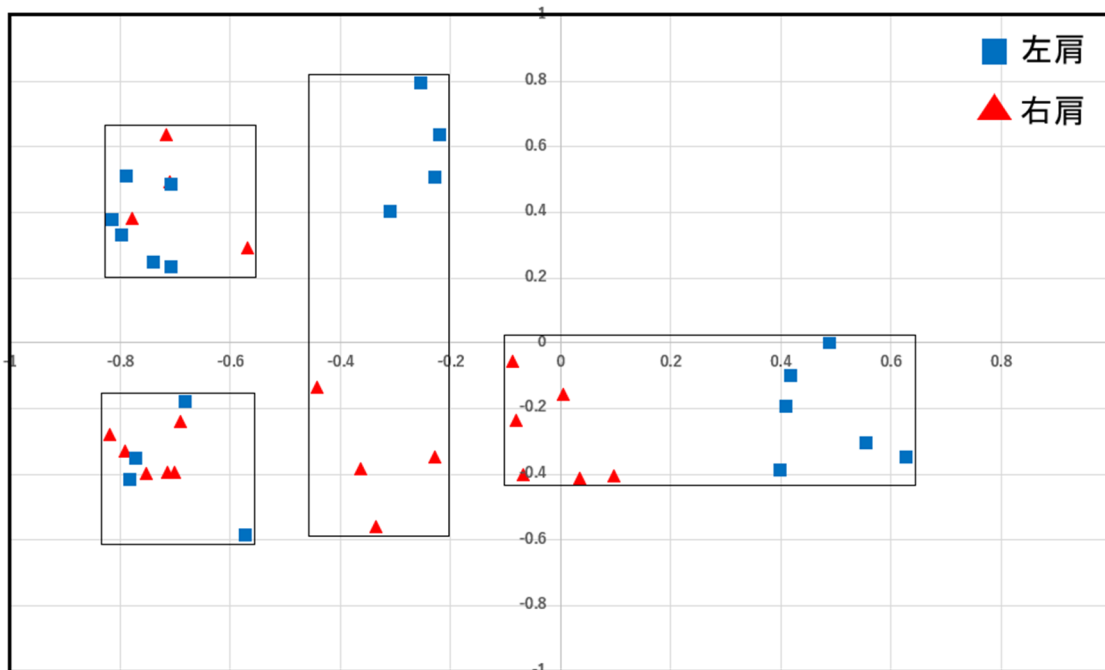


図 4.1 実験結果によりサブエリアの範囲

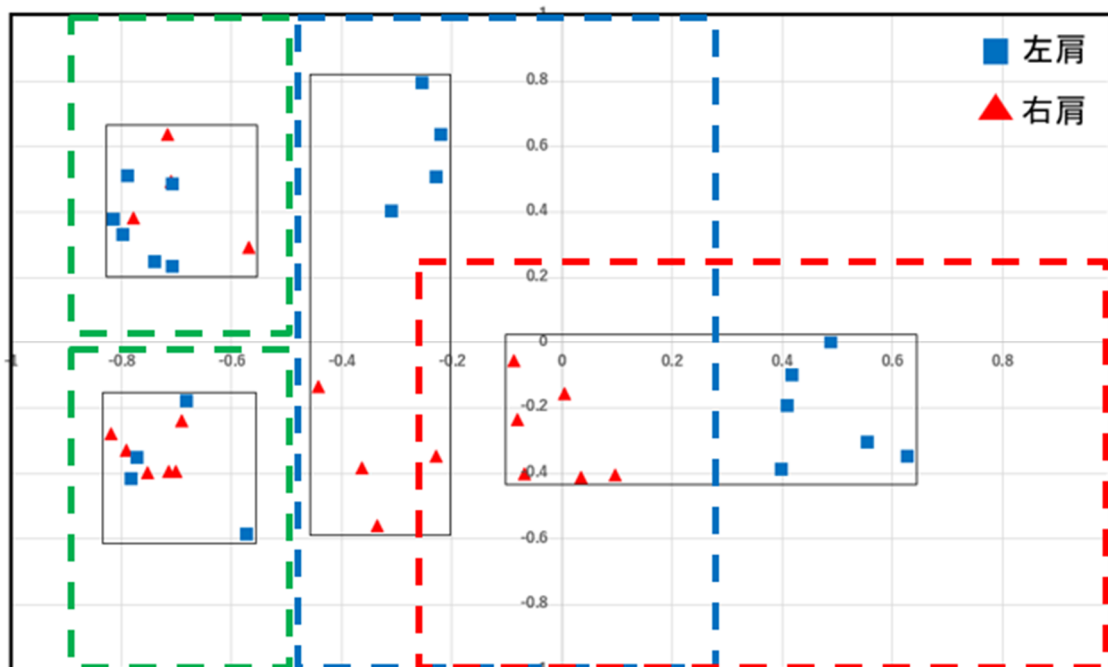


図 4.2 拡大後のサブエリアの範囲

4.2 検証実験

提案システムの性能評価を行うために、検証実験を行った。検証実験の環境は、前に述べた実験環境と同様である。被験者は13人であり、そのうち9人が20代男性、4人が65才以上の高齢者男性であった。被験者は、高齢者に模倣して起き上がり動作を行った。実験で動作を行うとき、被験者に動作の指示はせず、被験者が自由に動作して行った。その後、得られた実験動画を提案システムのプログラムに導入し、4つの状態を検知した。検出結果は状態検知の推移図を作成した。起き上がり動作の回数は、3人の被験者は起き上がり動作を1回行い、他の10人の被験者は起き上がり動作を2回行った。2回の起き上がり動作は連続して行わず、間に1分間の休憩を設けた。その後、プログラムにより検知結果は、4つの状態の定義に基づき、人工的に再確認を行った。再確認の結果により、正答率、感度および特異度など、システムの検知能力を評価した。

感度と特異度の算出について説明する。起き上がり動作の4つの状態と状態間の関連動作は、2つ部分として分けた。4つの状態を状態部分 (state part)、状態間の関連動作を非状態部分 (non-state part) と呼ぶ。状態部分と非状態部分の検知結果と人工的に再確認の結果は別々に計算し、以下の式により感度と特異度を算出される。下式における各オブジェクトの意味は以下の通りである。

$$\text{感度} = \frac{TP}{TP + FN} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{特異度} = \frac{TN}{TN + FP} \times 100\% \quad (2)$$

True Positive (TP) : システムが現在の真の状態を正しく検知していることを表す。

False Positive (FP) : 現在の真の状態をシステムが別の状態として検知することを表す。

True Negative (TN) : 現在の真の状態がシステムによって検知されないことを表す。

False Negative (FN) : システムが現在の真の状態に属さない状態を正しく識別することを表す。

第5章 実験結果の解析および評価

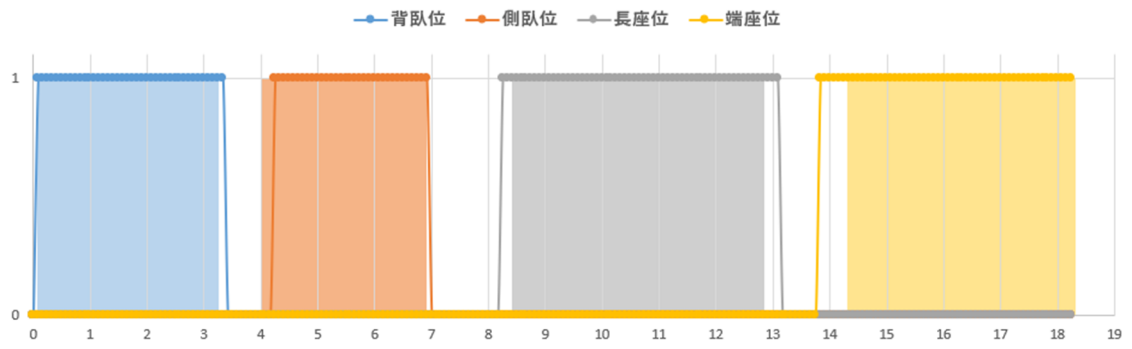
本章では、4.2章に述べた検証実験の結果を示した。さらに、その結果により、具体的な評価方法について記述する。

5.1 検証実験の結果について

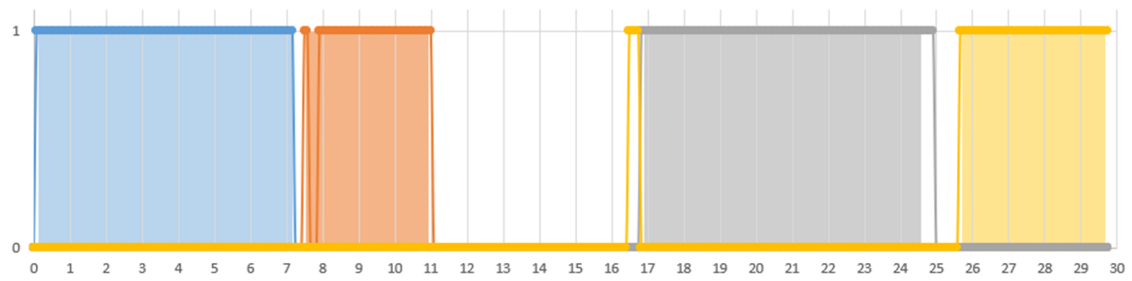
被験者13人についての状態検知の推移図を図5.1に示す。推移図について説明する。横軸は実験動画の長さを示し、単位は秒である。縦軸はシステムの検知結果を示し、1は状態検出ありと意味し、0は状態検出なしと意味した。また図の中には、状態定義に基づき、背景色を付けており、背臥位、側臥位、長坐位および端座位は左から右に番号順に対応する。背景色間の空白が関連動作と表示する。

表5.1は、検証実験における全被験者の結果をまとめたものである。本システムの検知結果を手動で再確認することで、4つの状態と非状態部分の正しい検知を **true** とし、4つの状態と非状態部分の誤った検知を **false** とした。システムの平均正答率は91.2%と計算され、システムは4つの状態だけでなく非状態部分も比較的正確に検知できることが示された。

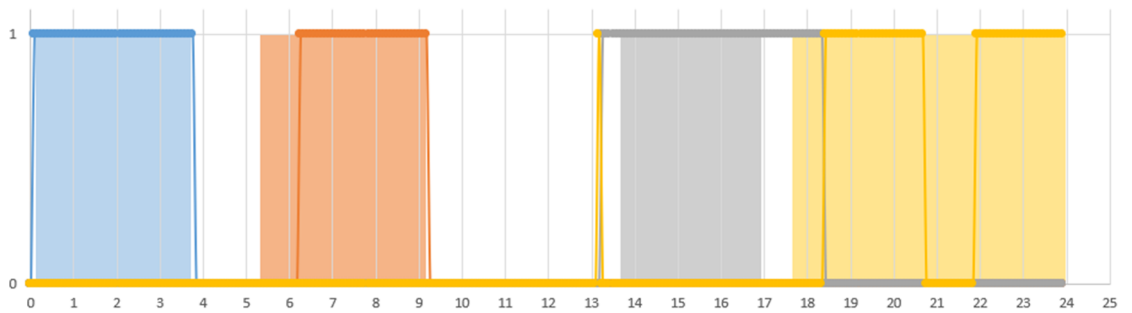
一方、推移図から誤検知や無検知に対して、被験者の起き上がり動作の範囲が過大で、マーカがサブエリア、検知領域さえを超えてしまい、実験結果に影響を与えた。例えば、被験者Cの場合、被験者の体を揺らし、マーカの位置が端座位サブエリアから超えたことが誤判定の原因であると確認した。また、被験者Kは側臥位になったとき、2つのマーカが別々に背臥位サブエリアに現れたため、システムで背臥位を検知することになった。



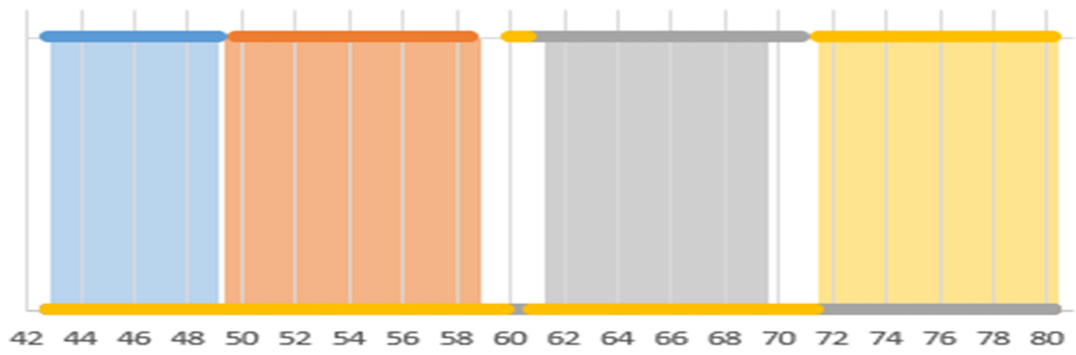
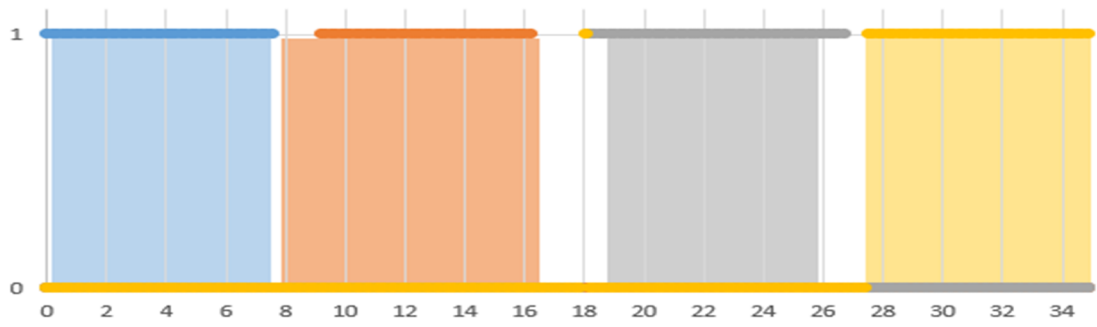
被験者 A



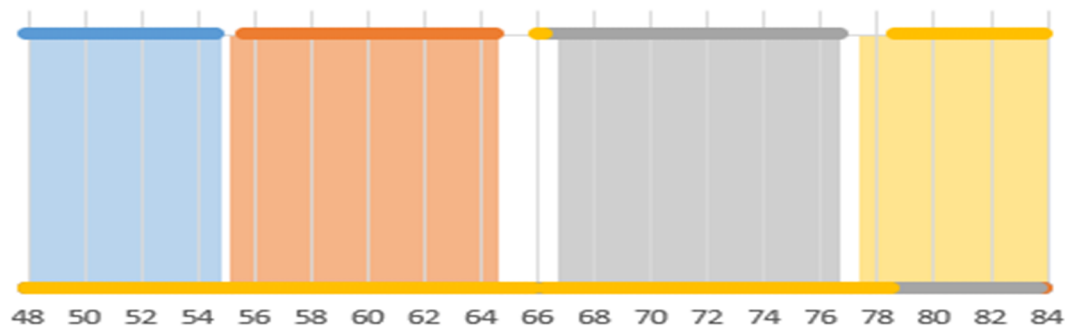
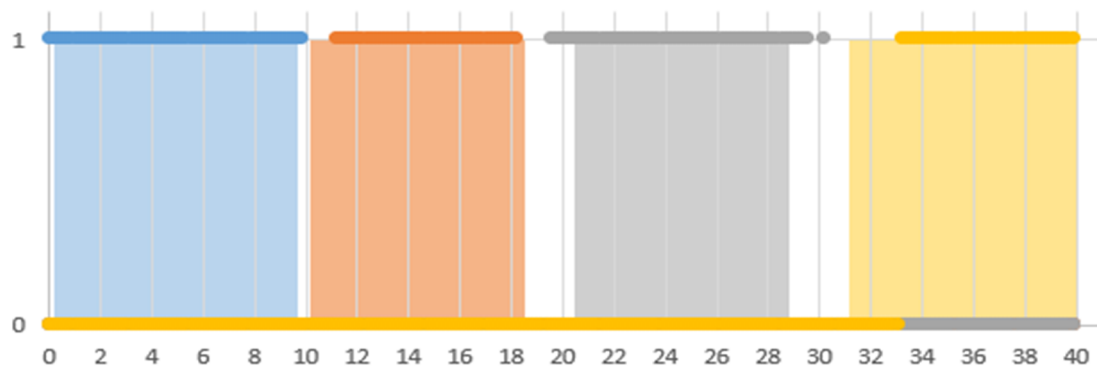
被験者 B



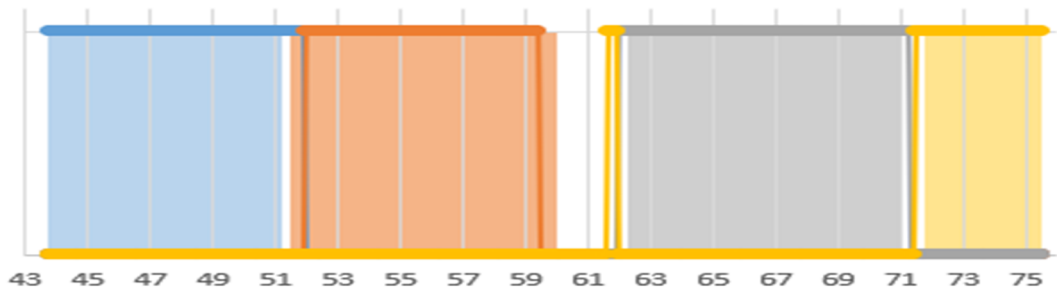
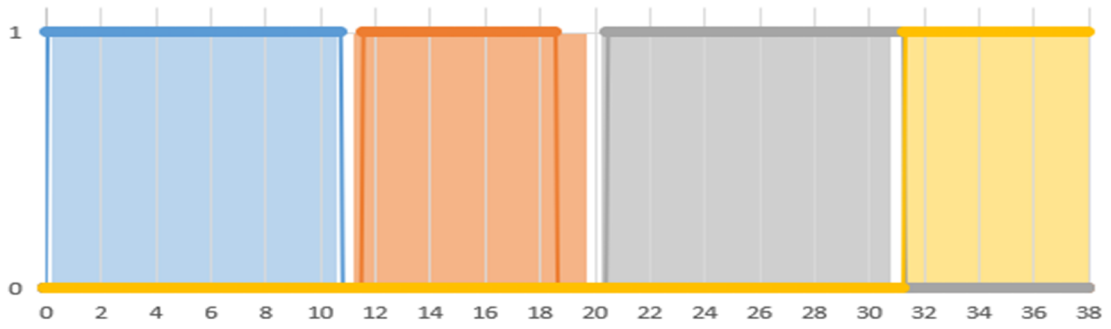
被験者 C



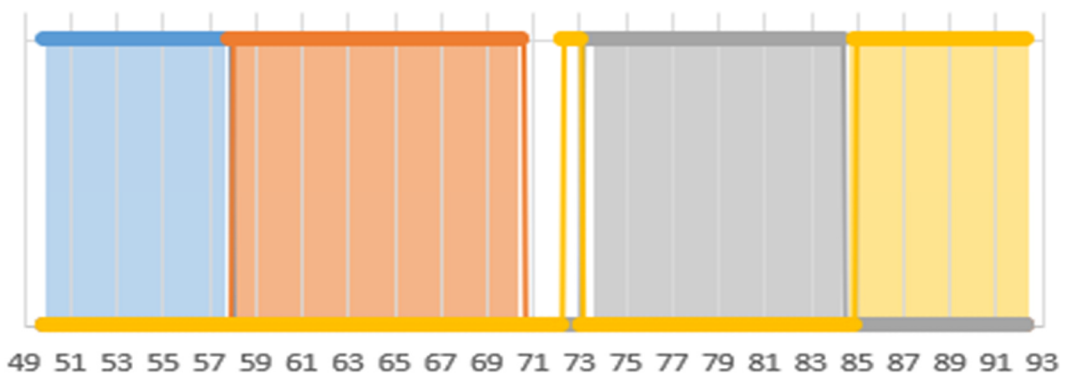
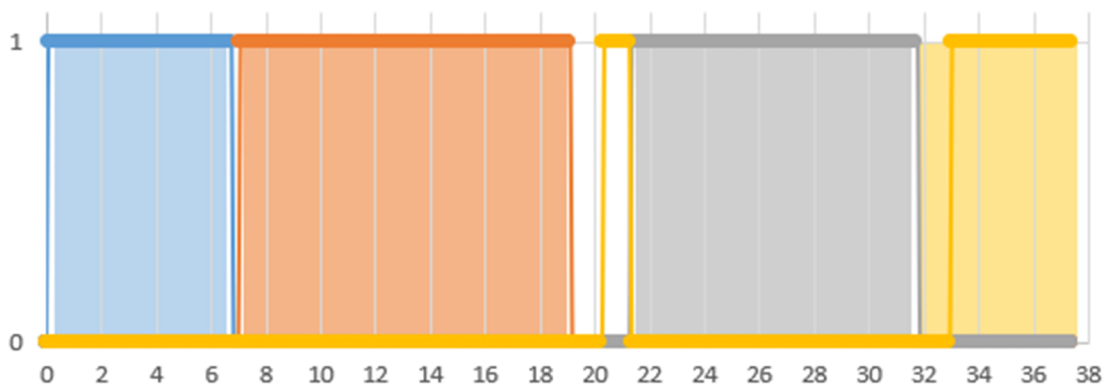
被験者 D



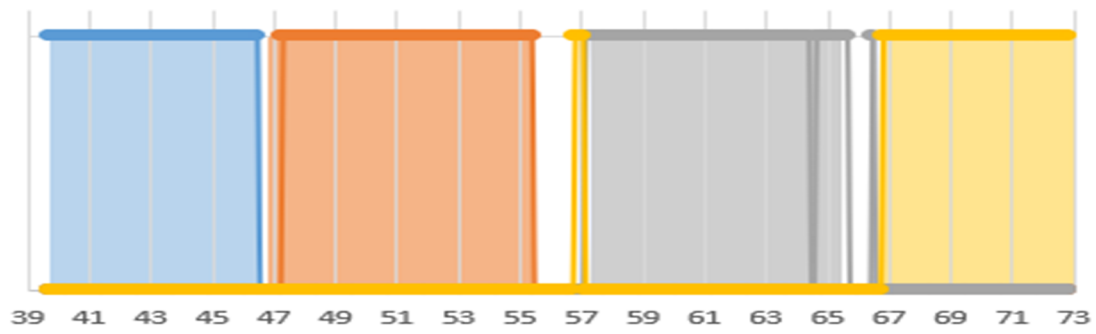
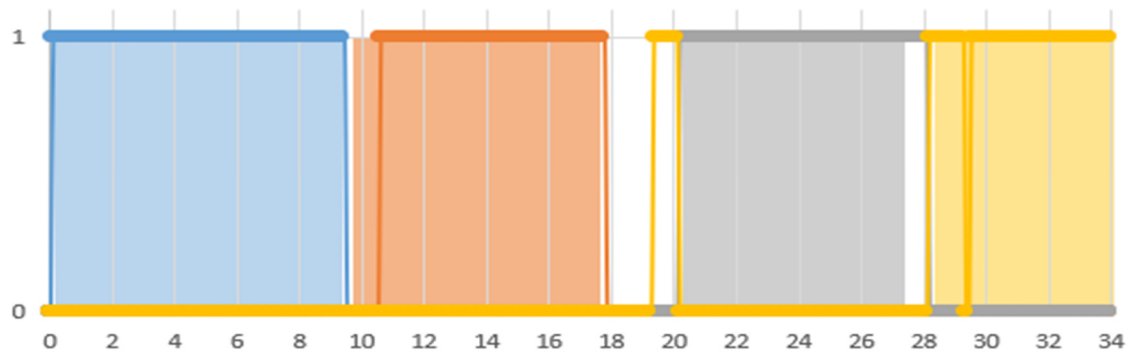
被験者 E



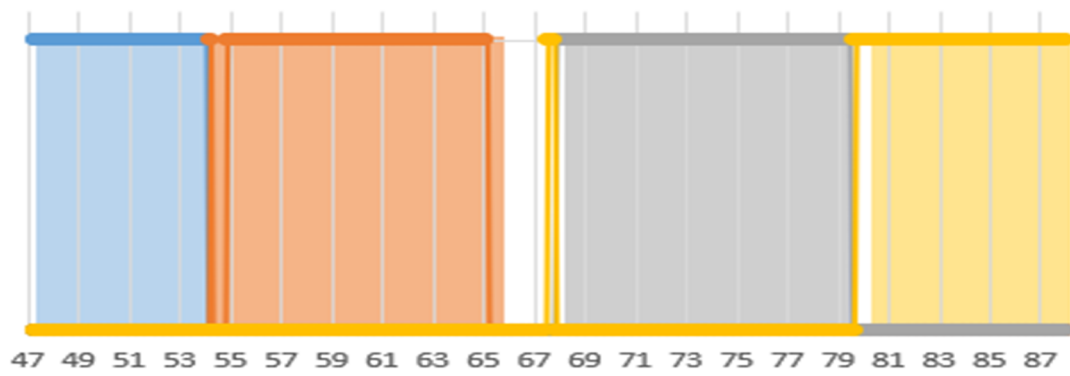
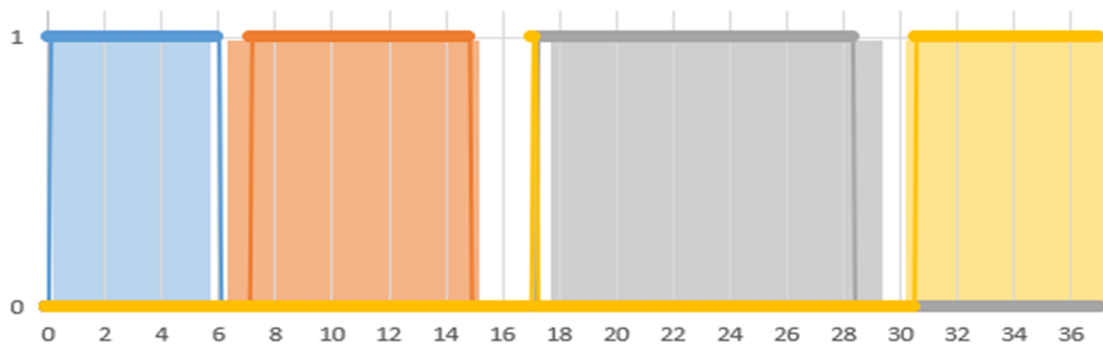
被験者 F



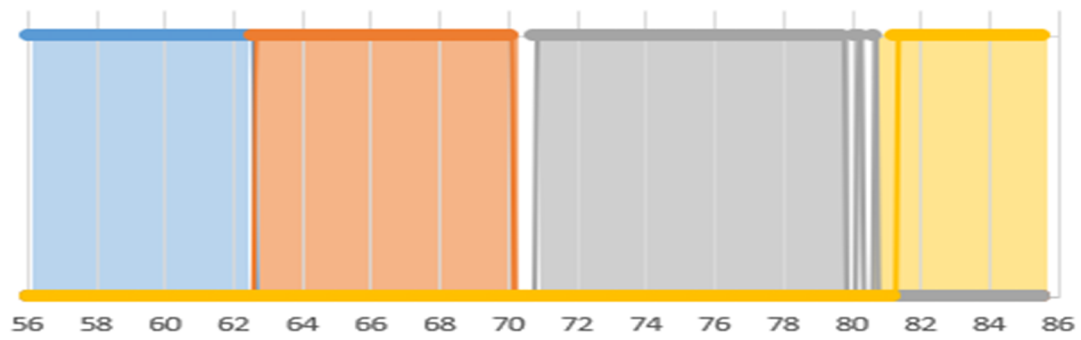
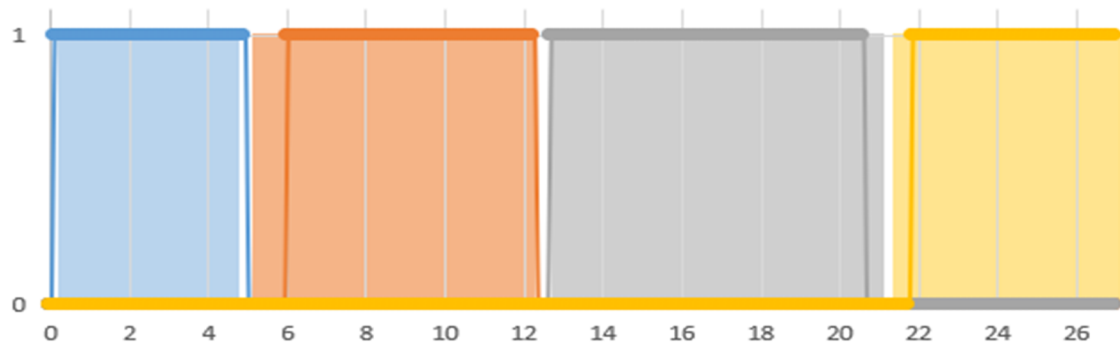
被験者 G



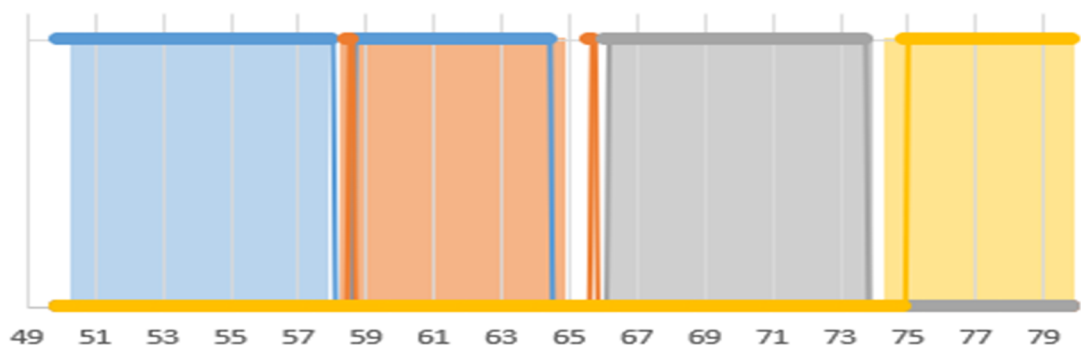
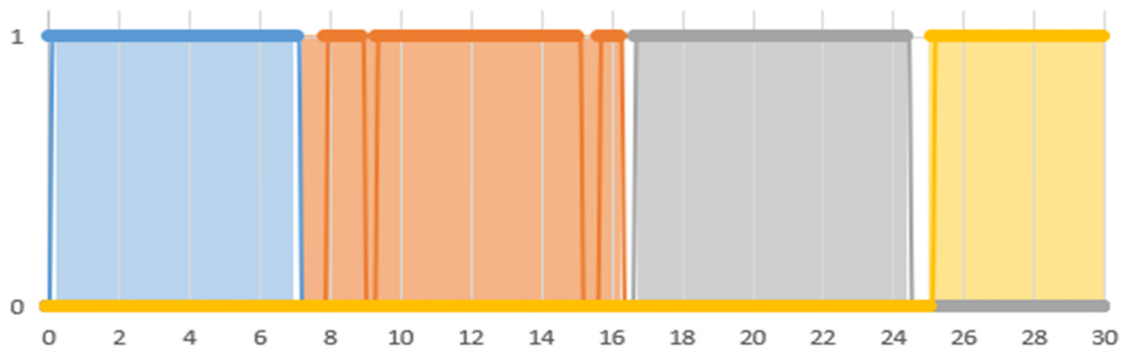
被験者 H



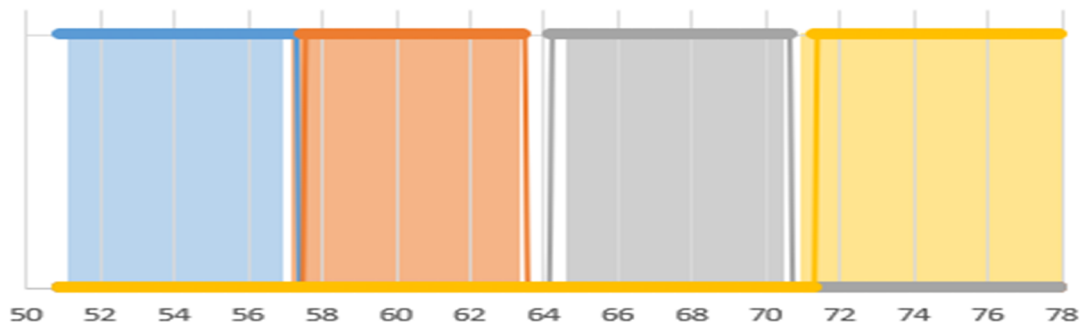
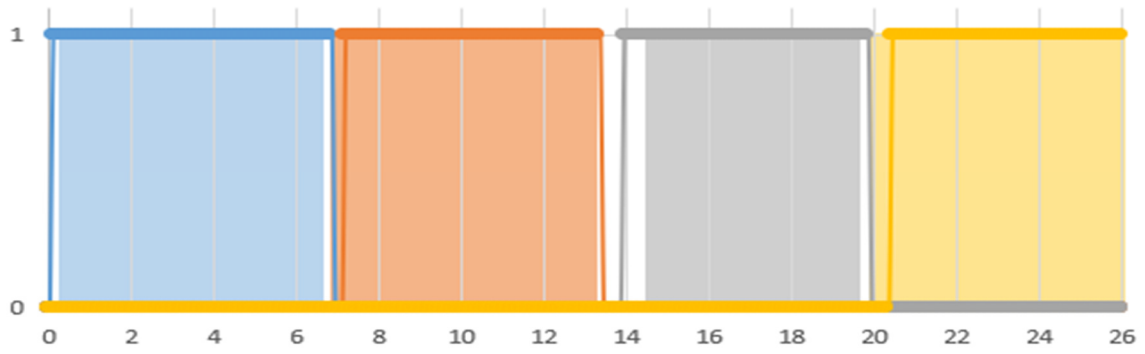
被験者 I



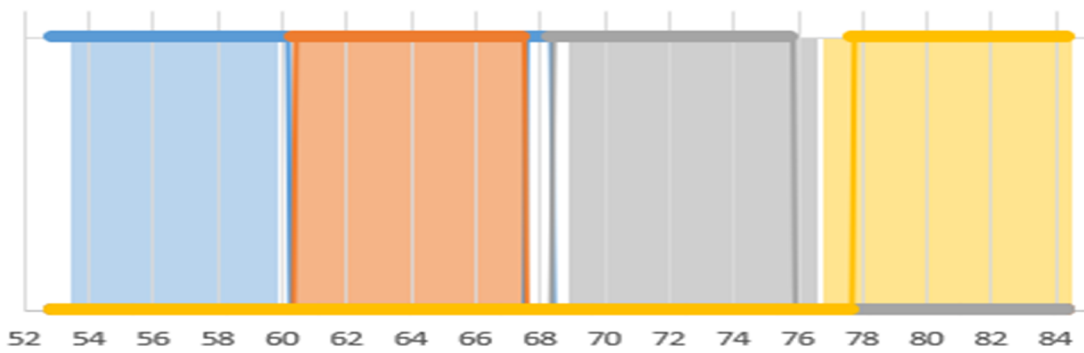
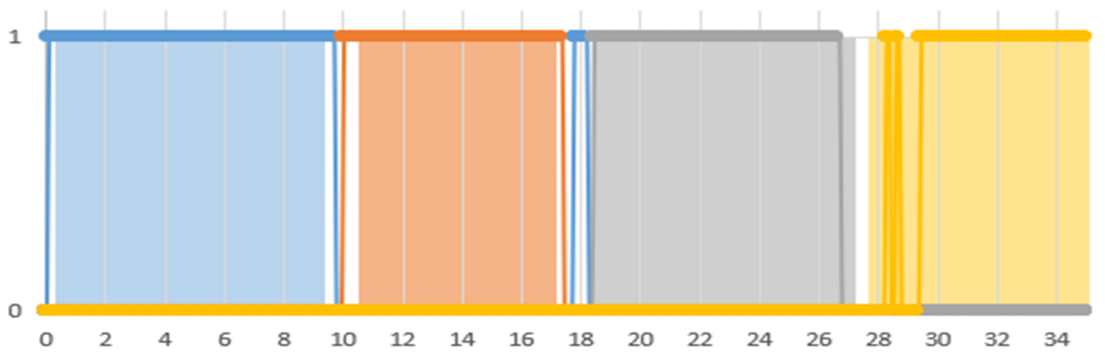
被験者 J



被験者 K



被験者 L



被験者 M

図 5.1 検証実験結果の推移図

表 5.1 検証実験被験者全員の正答率

| | true | false | Accuracy |
|------------|------|-------|----------|
| Subject A | 205 | 13 | 94.0% |
| Subject B | 343 | 14 | 96.1% |
| Subject C | 239 | 40 | 85.7% |
| Subject D | 394 | 49 | 88.9% |
| Subject E | 404 | 53 | 88.4% |
| Subject F | 789 | 48 | 94.3% |
| Subject G | 898 | 65 | 93.3% |
| Subject H | 753 | 53 | 93.4% |
| Subject I | 848 | 77 | 91.7% |
| Subject J* | 632 | 46 | 93.2% |
| Subject K* | 600 | 125 | 82.8% |
| Subject L* | 594 | 45 | 93.0% |
| Subject M* | 723 | 75 | 90.6% |

5.2 システムの評価

表 5.2 は、評価方法に基づく分析結果の詳細な概要である。表の結果から、マーカークがサブエリアを超える影響を除いて、システムは 4 つの状態を検知するための高い感度と特異性を持っている。また、システムの識別能力は比較的安定しており、被験者の年齢や身長などの違いは、システムの検知能力に大きな影響を与えない。

しかしながら、結果を比較すると、システムは「側臥位」と「端座位」に対する感度が「背臥位」と「長座位」に比べて低いことが分かった。さらに分析を進めると、システムの状態定義と検出条件がフレームごとに完全に一致していないことがわかった。このため、状態遷移後の短時間は検出能力が不安定になると考えられる。また、被験者の行動習慣やマーカークが遮蔽される可能性など、その他の要因もシステムの状態識別能力に影響を及ぼすことがある。

表 5.2 検証実験被験者全員の感度と特異度

| young subject | | system identification | | | | | Sensitivity | Specificity |
|--------------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|--------------|-------------|-----------------|-------------|-------------|
| | | Supine | Lateral decubitus | Long sitting | End sitting | non-state parts | | |
| Artificial determination | Supine | 1087 | 0 | 0 | 0 | 1 | 99.9% | 99.3% |
| | Lateral decubitus | 8 | 1175 | 0 | 0 | 112 | 90.6% | 100% |
| | Long sitting | 0 | 0 | 1309 | 0 | 14 | 98.9% | 96.4% |
| | End sitting | 0 | 0 | 16 | 908 | 59 | 92.4% | 98.1% |
| | non-state parts | 15 | 0 | 116 | 78 | 394 | 65.3% | 96.0% |
| elderly subject | | system identification | | | | | Sensitivity | Specificity |
| | | Supine | Lateral decubitus | Long sitting | End sitting | non-state parts | | |
| Artificial determination | Supine | 653 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100% | 94.5% |
| | Lateral decubitus | 89 | 580 | 0 | 0 | 62 | 79.3% | 99.9% |
| | Long sitting | 0 | 0 | 707 | 0 | 19 | 97.4% | 98.7% |
| | End sitting | 0 | 0 | 1 | 537 | 67 | 88.8% | 100% |
| | non-state parts | 22 | 3 | 23 | 0 | 72 | 60.0% | 94.4% |

表 5.3 は、本システムと他の研究に開発されたシステムとの性能比較である。この結果から、本システムは低コストとセットアップの容易さを実現しながら、他のシステムと比較して検知の性能が同等であることが分かった。

なお、本システムでは、4 つの状態を検知することを用い、起き上がり動作を判別する。理論的には、各状態のサブエリアをさらに広げるほど、システムの検出能力を向上させることができるが、現実にはより複雑である。例えば、起き上がり動作の中、一番危険な状態である端座位のサブエリアを拡大することで、端座位をより早く検知することができ、転倒事故を未然に防ぐことが可能になる。しかし、実際には、拡大された端座位のサブエリアが長座位の検知に影響を与える。また、非状態部分に状態を誤検知してしまう可能性が増える。今後、複雑な状況の場合、システムの検知能力を保証しながら、最も汎用性の高いサブエリアの特定に検討している。

表 5.3 他のシステムの結果の比較

| Sensor(s) | source | 正答率 | 感度 | 特異度 |
|---|-------------|-------|-------|-------|
| Infrared fence | [11] | 87.9% | 85.3% | 96.2% |
| Infrared fence and multiple pressure mats | [11] | 92.3% | 92.3% | 99.4% |
| Pressure mat | [11] | 87.1% | 90.4% | 99.3% |
| Pressure sensor | [12] | | 96.0% | 95.5% |
| RFID | [13] | 92.2% | 93.8% | 90.8% |
| IR カメラ | This study* | 91.2% | 87.3% | 97.7% |

* 正答率、感度および特異度は、表 5.1 と 5.2 の平均値である。

第6章 結論

高齢な要介護者の生活ケアにおいて、転倒防止システムは重要な役割を担っている。本研究では、赤外線カメラを用いたマーカースにより起き上がり検知システムを開発した。両肩に装着するマーカースを追跡して位置データを取得し、マーカースの相対位置計算することで、起き上がり動作の4つの状態を検知し、起き上がり動作を判別する。システムの検知能力を向上させるために、検知領域を選択し、その領域内に状態検知用のサブエリアを生成することを提案した。本システムの検知能力を確認するため、検証実験を行った。実験結果により、4つの状態に対して90%以上の正答率を確認し、状態検知を行うのに高い精度を持つことが分かった。今後、介護施設や病院などより複雑な実際の環境で本システムの検知能力を検証していく。

引用文献

- [1] 内閣府. 令和 4 年版高齢社会白書(全体版), < https://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2022/zenbun/04pdf_index.html>.
- [2] 介護労働安定センター. 平成 29 年度「介護サービスの利用に係る事故の防止に関する調査研究事業」報告書, < http://www.kaigocenter.or.jp/report/pdf/h30_kaigojiko_houkoku_20180402.pdf>.
- [3] 厚生労働省. 令和 2 年度介護保険事業状況報告(年報), < <https://www.mhlw.go.jp/topics/kaigo/osirase/jigyo/20/index.html>>.
- [4] 三田寺 裕治, 赤澤 宏平(2013). 介護保険施設における介護事故の発生状況に関する分析, 社会医学研究, 30(2), 123-130
- [5] 大槻知明(2017). 電波による見守り技術. 電子情報通信学会 通信ソサイエティマガジン, 11(1), 24-29.
- [6] 新居 富士美, リボウイツツイよし子(2001). 抑制に対する看護職の認識, 日本看護研究学会雑誌, 24(5), 5_33-5_44.
- [7] 吉田 隆(2017). ひと見守りテクノロジー, エヌ・ティ・エス.
- [8] Luque R, Casilari E, Morón MJ, Redondo G: Comparison and characterization of android-based fall detection systems. *Sensors*. **14**(10), pp. 18543–18574, 2014.
- [9] Yang L, Ren Y, Hu H, Tian B: New fast fall detection method based on spatio-temporal context tracking of head by using depth images. *Sensors*. **15**(9), pp. 23004–23019, 2015.
- [10] Bewley A, Ge Z, Ott L, Ramos F, Upcroft B: Simple online and realtime tracking. Proc of 2016 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP). New York, pp. 3464–3468, 2016.
- [11] Lu C, Huang J, Lan Z, Wang Q: Bed exiting monitoring system with fall detection for the elderly living alone. Proc of International Conference on Advanced Robotics and Mechatronics (ICARM). IEEE, New York, pp. 59–64, 2016.

- [12] Hilbe J, Schulc E, Linder B, Them C: Development and alarm threshold evaluation of a side rail integrated sensor technology for the prevention of falls. *Int J Med Inform.* **79**(3), pp. 173–180, 2010.
- [13] Ranasinghe DC, Torres RS, Hill K, Visvanathan R: Low cost and batteryless sensor-enabled radio frequency identification tag based approaches to identify patient bed entry and exit posture transitions. *Gait Posture.* **39**(1), pp.118–123, 2014.

謝辞

本研究の遂行にあたり多大なる御指導、ご鞭撻を賜りました岩手大学大学院理工学研究科システム創成工学専攻 小林宏一郎教授に深く感謝申し上げます。小林宏一郎教授は、常に的確な助言をいただき、学問に対する深い洞察力を授けてくださいました。また、研究が行き詰まった際には常に冷静な視点を提供していただき、前向きに取り組むための道筋を示していただきました。研究への誠実な取り組みから始まり、生活を豊かにする方法まで、多くのことを学びました。ここに深甚なる謝意を表します。

次に、本研究の進行にあたり、竹中工務店の皆様の多視点からは常に良い意見をいただきました。本研究において、提案方法や実験サポート、発表資料に対するアドバイス、その他多くのサポートをして頂きました。深く感謝申し上げます。

普段のミーティング等において貴重なご指導を賜り、レジュメの添削を何度も快く引き受けてくださいました、岩井守生助教授に心より深く感謝申し上げます。

また、小林・岩井研究室で出会うことのできた先輩・同期・後輩の皆様からは、技術のみならず人間関係の大切さなど、多くの事を学ばせて頂きました。重ねて深く感謝いたします。

最後に、私の大学院進学を快諾し、心身ともに支えてくれた妻と両親に深く感謝の意を表します。

2023年7月10日 赫 明南