

BLE ビーコンの受信電波強度を用いた睡眠位置認識及び褥瘡防止への応用

水野 涼雅¹ 大鐘 勇輝¹ 榎堀 優² 梶 克彦¹

概要：高齢化に伴う寝たきり状態の人の増加によってベッド上での行動把握が重要な情報となりつつある。行動把握から、睡眠の質や褥瘡（じよくそう）の危険性がある程度把握できる。本稿では褥瘡に注目する。長時間同じ位置や姿勢で過ごすと、一定の箇所に圧力がかかり血流の悪化や汚れから褥瘡が発症してしまう。発症してしまった場合、数時間おきに体位を変更し損傷箇所に圧がかからないようにしなければならない。発症した本人やその介護人にも負担になってしまう。そのため褥瘡の予防が重要となる。褥瘡対策として、ベッドに荷重センサを取り付けて位置の認識を行っているものやシーツ型の圧力センサを用いた睡眠位置認識手法がある。それらでは布団で適用が難しかったり専用のセンサや機器が必要になるため、我々は BLE ビーコン（以下ビーコンと呼称）の受信電波強度を用いた睡眠位置認識手法を提案する。ビーコンをグリッド状に設置し、枕元に置いたスマホで電波を収集する。収集したデータのそれぞれのビーコンのデータに対し、移動平均や正規化を行い閾値を用いて身体との重なりを判定する。判定された状態を時系列ごとに表示し位置を認識する。さらに認識した位置から移動量を計算し、褥瘡の発症予防につなげる手法を提案する。位置推定精度や移動検出について評価実験を行った結果、位置認識は 89 %、移動の検出では適合率 0.867、再現率 0.839、F 値 0.852 という結果となった。また毛布による影響を確かめたところ、位置認識や移動検出の精度へ与える影響は低いとわかった。

1. はじめに

高齢化に伴う要介護人や寝たきり状態の人の増加によって、ベッドや布団上での行動把握が介護人にとって重要になりつつある。なぜならベッドや布団上での行動が把握できると、それを健康管理に繋げられるからである。例えば、人は眠りの深さにより移動量が異なるため、寝返り回数などが把握できるとそこから睡眠の質を推定できる。また要介護者がベッドや布団上で過ごす際、長時間同じ姿勢で寝ていると褥瘡発症の可能性が高まる。同じ姿勢で寝ていると、一定の箇所に圧力がかかってしまうため血流の悪化や、汗や尿等による汚れにも繋がる。そのため、介護人による定期的な体位の変更やシーツや衣服の取替、スキンケアなどが必要になる [1][2]。褥瘡を発症させないためには予防が重要となり、ベッド上での行動や睡眠位置の把握は様々なケアの指標になりうる。

褥瘡は介護を行う上で深刻な問題となっている。褥瘡とは皮膚や皮膚の下部組織の損傷であり、長時間同じ姿勢で過ごし一定の箇所に圧力がかかることで発症する。長期に渡り圧力がかかると血流が悪くなり、その結果皮膚組織に

酸素や栄養が行き渡らなくなってしまう損傷してしまう。一般的に褥瘡の重症度は 6 つのレベルに分類 [3] されており、軽い場合には皮膚が赤くなる程度だが、重症になると最終的には傷が筋肉や腱、骨にまで到達してしまう。褥瘡の治療には除圧や最悪の場合手術が必要になり当人や介護人の負担が大きくなってしまうため、予防が重要となる。

そこで我々は設置が容易で比較的低コストなビーコンを用いた睡眠位置認識を提案する。また認識した結果から移動量を算出し、褥瘡の予防につなげる。研究概要を図 1 に示す。我々は以前ビーコンを用いた状態推定手法を提案しており [4]、本研究ではその手法を利用する。ビーコンの電波は金属や水分を含んでいる人体で遮られると大きく減衰する。その現象を利用し、ビーコンを布団へグリッド状に設置しその受信電波強度から身体的位置を認識する。さらに時系列ごとの認識位置から、レーベンシュタイン距離を用いて移動量を算出する。一般社団法人日本褥瘡学会発表の褥瘡ガイドブックによると、褥瘡予防には 2 時間を超えない間隔での体位変更が推奨されている [5]。その時間を目安に、移動のない状態が続いた場合に褥瘡予防のため必要な通知や情報提示などの方法を提案する。

本稿の構成は次の通りである。2 章では睡眠位置認識に関する関連研究を紹介し、その問題点を述べる。3 章では

¹ 愛知工業大学 情報科学部情報科学科

² 名古屋大学大学院 情報科学研究科

我々が以前提案したビーコンを用いた状態推定手法について述べる。4章では本研究のビーコンを用いた睡眠位置認識手法について述べ、5章では認識した位置から移動量の算出方法や褥瘡予防について述べる。6章で睡眠位置認識精度の評価とその考察を行い、7章で本稿のまとめを述べる。

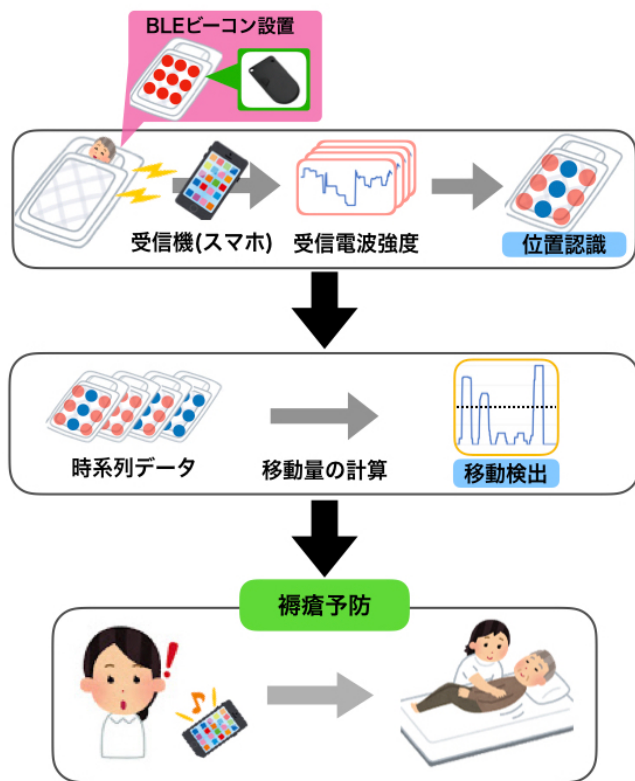


図 1 研究概要

2. 関連研究

睡眠位置認識に関する研究は様々行われている。ベッドの脚それぞれに荷重センサを取り付け位置を認識する研究やサービスがある [6]。高齢化による需要の増加や介護業界の人手不足、介護人の負担増加といった問題解決するために支援を行っている。リコーの見守りベッドセンサシステム [7] ではリアルタイムにベッド上での位置を把握でき、そこから活動量や離床のタイミングがわかる。さらにこれらの情報がネットワークを介してナースステーションや家族の自宅から確認ができる。しかし設置には費用や手間がかかってしまうため在宅介護などで利用するにはハードルがある。またこの手法ではベッドの脚にセンサを取り付ける必要があるため、布団では適用が難しい。

布団にも適用できる睡眠位置認識では、圧力センサを用いた研究が多く行われている。カメラを用いた動画処理を行う研究 [8] もされているが、プライバシーや非撮影者負担などの観点から避けられる傾向にあり、代わりにセン

サを用いた手法が多く提案されている。西田らは 221 個の圧力センサを 7cm 間隔で並べた圧力分布測定シートを用いて、体位の測定に加え呼吸の測定を行っている [9]。睡眠位置の判定には、圧力分布画像を処理し芯線を抽出する。さらに芯線上の圧力最大地点の特徴から仰臥位と腹臥位を判別をし、横隔膜の振幅の特徴と圧力分布を組み合わせ呼吸検出を行っている。

また近年ではシート型のセンサや、シートや衣服といった布にセンサを織り込んだものが多く使用されている [10][11]。岩瀬らは寝姿体圧画像から睡眠位置推定と関節位置推定を行っている [12]。関節位置推定モデルに人物領域推定によるノイズ抑制と姿勢分類情報を組み込み推定を行う。また小野瀬らは衣類型のセンサを用いて圧力分布を計測しており、シート型センサとの比較を行っている [13]。これらの手法では、測定された圧力から特定の部位に負担がかかっていないか把握できるため、褥瘡対策に有効である。しかし設置と使用には、専用のセンサや装置が必要になるためやはり一般での導入は難しい。

そこで我々はビーコンの受信電波強度を用いた睡眠位置認識手法を提案する。ビーコンであれば家電量販店などで手軽に安価で入手でき、電波の受信もスマートフォンでできるため専用の装置を用意する必要が無い。以前受信電波強度を用いた状態推定を提案しており、その手法をもとに位置認識を行う。

3. ビーコンを用いた状態推定



図 2 先行研究システム概要図

我々は以前ビーコンを用いたモノの状態推定手法を提案している [4]。先行研究の概要を図 2 に示す。これまで IoT に対応できないモノの状態推定には、センサや WiFi の電波を利用する手法が提案されている。例えば前川らは様々なセンサを搭載したセンサノードを部屋の扉に取り付け、そこから得られる情報と事前に用意したそのモノ特有のデータや状態遷移図とを比べ、センサノードが何につけら

れていてどんな状態であるのかの推定を行っている [14]. 他にも消費電力から電気機器の状態推定を行っている研究 [15][16] や, WiFi のチャンネル情報を用いた扉の開閉推定を行う研究がある [17]. しかしこれらは, 電気を用いていない家具や雑貨, 持ち運びが可能な小さいものの状態推定は難しい. そこで我々はビーコンの受信電波強度が簡単に大きく変わる特性に着目した.

この手法では受信電波強度の変化からモノの状態推定を行っている. まず状態推定を行う対象へビーコンを直接設置し, 部屋中央に置いた受信機で電波強度を収集する. そしてそのデータに対しローパスフィルタをかけ正規化を行ったのち, 閾値を用いて状態を 2 値で判定する. 本研究ではこの手法を利用し, 睡眠位置認識を行う.

4. 睡眠位置認識

我々が以前提案したビーコンを用いた状態推定手法のもとに, 布団上での人の睡眠位置認識を行う. BLE の電波は金属や水分を含んだモノに遮られると受信電波強度が減衰する. 人体は水分を多く含んでいるため, ビーコンを手など身体で覆うと図 3 に示すように受信電波強度は減衰する. 本手法ではこの現象を利用する. シーツ裏にビーコンを設置しその上に人が寝ると, 身体でビーコンを覆うような状態になる. するとビーコンの電波を受信機で受信した際には, 人がビーコンを覆っていない状態と比べ受信電波強度は減衰して見える. このように変化する受信電波強度から, 複数の箇所でビーコンの状態を判定し位置を認識する.

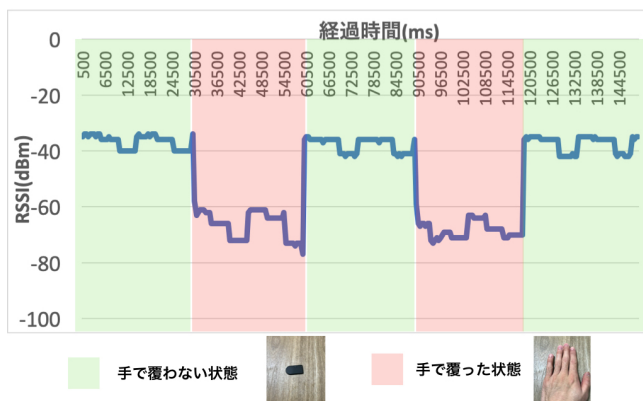


図 3 手で覆った際の受信電波強度変化

4.1 ビーコンの設置と受信電波強度の収集

布団や枕のシーツの裏へビーコンをグリッド状に設置する. 設置するビーコンの数や配置は位置認識したい粒度によって決定する. 設置方法の例を図 4 に示す. 大まかな位置な認識や低コストで位置認識を行いたい場合には数个設置し, より詳細な位置認識を行いたい場合には複数設

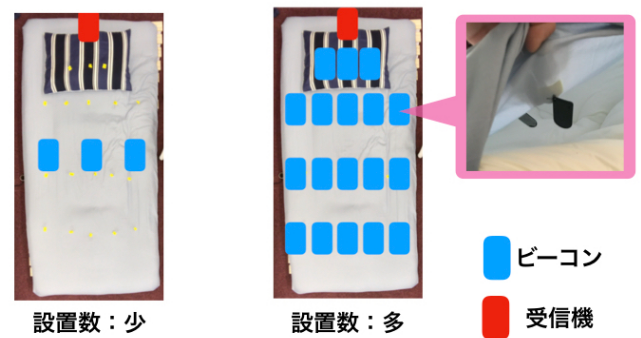


図 4 ビーコンと受信機の設置位置

置する. この時どこにどれを置いたのかを UUID, major, minor というビーコン固有の値を用いて記録する. ビーコンをグリッド状に置きそれぞれの位置を把握していると, ビーコンに身体が重なっているか否かの状態を判定し可視化した際に, 睡眠位置として表われる.

設置するビーコンには図 5 のような小型で薄いものを使用する. 薄いものであれば, シーツの裏に置いていたとしてもその上で寝た際の触覚的な違和感はほとんど無くなる. また場合によってはたくさん設置をするため, より小型なものである必要がある.

BLE の電波であれば毛布や掛け布団の影響は受けない. 布団上に置いたビーコンに 30 秒ごとに毛布や掛け布団をかけた際の受信電波強度の変化を図 6 に示す. 図 7 に示すものと同様なビーコン特有の周期的な受信電波強度の変化はあるものの, 毛布や掛け布団による変化は見られない. そのため掛け布団や毛布をかけた状態でも位置認識を行える.

また受信機にはスマートフォンを利用し, 自作のアプリを用いて受信電波強度の収集を行う. スマートフォンであれば今や多くの人が所有しており, Bluetooth の機能を備えているため簡単に準備が可能である. データ収集のアプリでは記録した固有の値によってビーコンを特定し, その受信電波強度を収集する. 電波の受信は定期的に行い, そのタイミングで時刻と指定しているビーコンすべての受信電波強度をまとめて保存する. このアプリを起動した状態で枕元へスマートフォンを設置する.

ビーコンと受信機それぞれに電波送信間隔/受信間隔を設定する. ビーコンの電波送信間隔はたいてい 0.1 秒から 10 秒程度まで設定が可能である. 送信間隔は短いほど電池の消耗が激しくなり, 早く電池が切れてしまう. 間隔を長くすると電池の消耗は抑えられ, 電池が長持ちし数ヶ月から 1,2 年ほど電池は保つ. 実際に使用される際には, 行動認識が 24 時間毎日継続して行われる. 送信間隔が短ければ瞬間的な変化も捉えられるが, 電池交換の手間やコストを鑑みると電波の送信間隔はできるだけ長く設定するのが望ましい. 対して受信機の電波受信間隔は短く設定するの

が望ましい。電波の送信間隔が長く、受信の間隔も長い場合、送受信のタイミングが合わず電波を取れない可能性が高い。そのため正しくセンシングができず、実際の位置と認識位置との間に差異が発生してしまう。そのため適切な送受信間隔を設定する必要がある。



図 5 本研究で使用するビーコン (FSC1301)

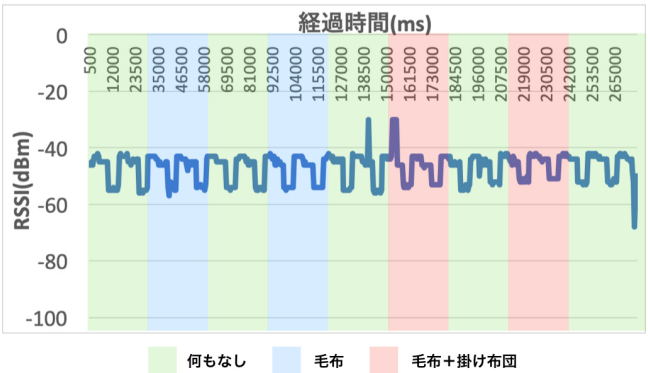


図 6 掛け布団と毛布をかけた際の受信電波強度変化

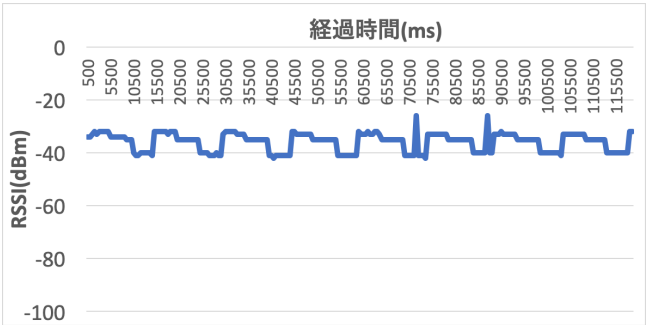


図 7 安定した状態での受信電波強度

4.2 移動平均と正規化

収集した受信電波強度のデータに移動平均を用いたローパスフィルタをかける。電波には揺らぎやノイズが発生する。また本研究で使用するビーコンは周期的に値が変化する。図 7 はビーコンと受信機を置き、障害物のない状態で電波を収集したデータであるが、約 15 秒周期に大きく変化している。そのため揺らぎやノイズ、ビーコン固有の変

化などを軽減するために移動平均を行う。移動平均はそれぞれのビーコンのデータに対して処理を行う。

移動平均を行ったデータに対し、さらに正規化を行う。胴体や頭、手、脚など部位によってビーコンの電波に与える影響は異なる。また受信機となるスマートフォンは枕元に設置するため、遠くにあるビーコンの電波は距離減衰によって少し値が下がって見える。そこで移動平均後のデータを走査し最大値を 1、最小値を 0 として正規化を行い変化の尺度を統一する。処理を行った結果の例を図 8 に示す。

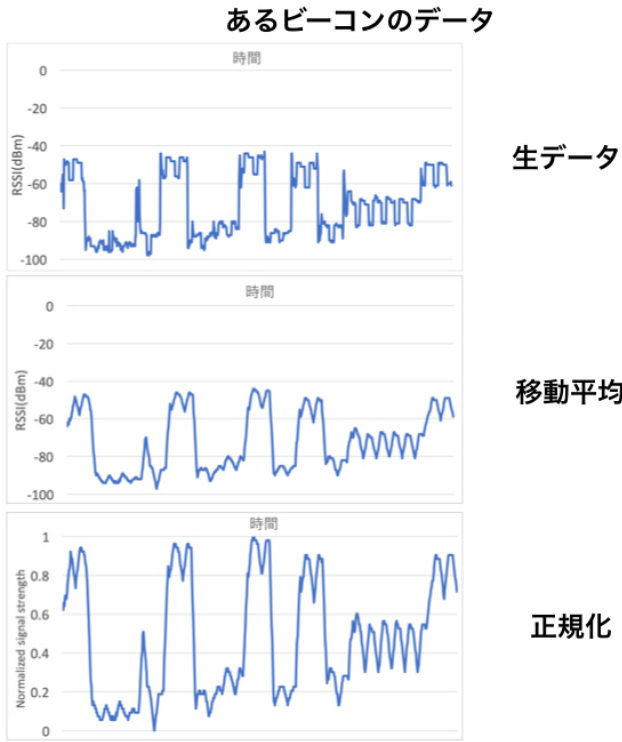
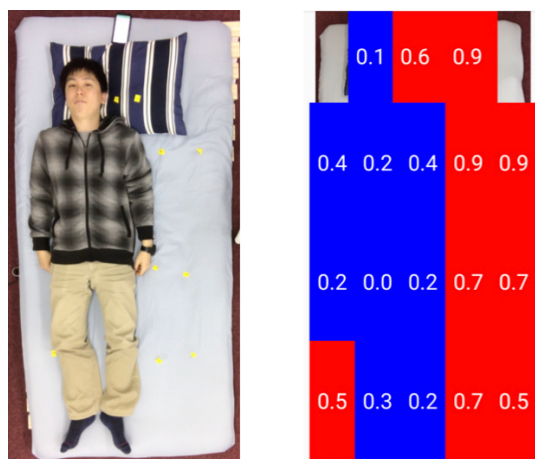


図 8 生データと移動平均/正規化後のデータ

4.3 身体の重なり状態の判定と結果の表示

正規化したのち閾値を用いて、それぞれのビーコンに身体が重なっているか否かの判定を行う。閾値以上であれば人の体は重なっていないとし、閾値以下ならばそのビーコン上に人の体が重なっていると判定される。この判定を各ビーコンごとに行い、人が重なっていると判定されたビーコンの位置や個数を用いて睡眠位置の認識を行う。

各ビーコンの判定結果をスマートフォンアプリ上に表示する。図 9 のように布団に設置したビーコンの配置と同様な位置に重なり状態の表示を行う。このとき人が重なっていないビーコンの状態を赤で表し、重なっている状態を青で表す。ビーコンの設置数が少ない場合には大まかな表示になってしまうが、設置個数が多い場合には青の表示が寝ている位置そのままのような表示となる。



実際の睡眠位置
認識された睡眠位置
(スマホアプリ画面)

図 9 睡眠位置認識アプリケーション画面

5. 褥瘡防止への応用

褥瘡防止にはベッドや布団上で移動が無い状態を避ける必要がある。そこで認識した時系列ごとの睡眠位置から移動量を計算する。そして得られた移動量をもとに褥瘡予防へつなげる。

5.1 布団上での移動量計算

時系列ごとの身体の重なり判定結果から、レーベンシュタイン距離 [18] を用いた移動量計算を行う。例えば図 10 のように青の表示の数が同じでも場所が異なる場合、本来は移動したと判定されるべきだが、単純に直前の瞬間との差で見えてしまうと移動とは判定されない。そこでレーベンシュタイン距離を用いて移動の判定を行う。このときビーコンの状態を人が重なっているものを 1、重なっていないものを 0 の 2 値で考える。レーベンシュタイン距離では編集コストで比較できるため、単純な個数での判定に比べて移動を把握しやすい。図 10 のような場合青のビーコンはそれぞれ 7 個であり、個数の差だけを見ると 0 個となり移動は無いとなってしまいが、レーベンシュタイン距離で見ると 14 個と値に差がでるため移動があったとわかる。

さらにこのとき、レーベンシュタイン距離での比較には、それぞれある程度平均化されたものを対象とする。ある瞬間どうして比べてしまうと値に大きな揺れが生じ、常に変化が発生してしまう。そこでウィンドウサイズ 30、スライド幅 30 から図 11 のように多数決方式によりビーコンの前後状態をそれぞれ決定したものを比較し編集コストを得る。

最終的に、多数決により決定したビーコンの前後状態から移動量を算出する。得た編集コストのみを見て移動の判定を行うと、ビーコンの状態判定の揺れや手脚を動かしたただけなど微量な動きによる誤判定が起きてしまう。そこで、

多数決により決定した前後状態のうち身体が重なっているビーコンの平均個数で算出されたコストで除算したものを移動量とする。図 12 は 30 秒ごとに寝返りを行ったデータから移動量を算出したものである。寝返りによって大きな位置移動を行うと高い値になり、手脚を動かしただけのような微小な動きであれば低い値になる。この値から閾値を用いて移動と微量な動きとを切り分ける。閾値を超えた箇所を一回の移動と考えられる。

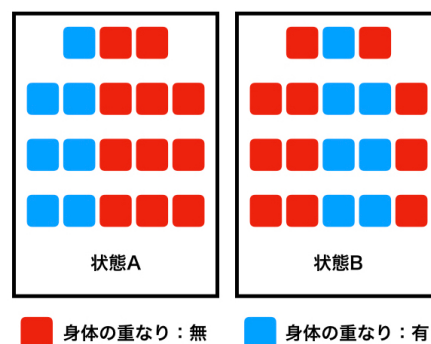


図 10 同個数でも位置が異なる場合例



図 11 多数決による状態決定

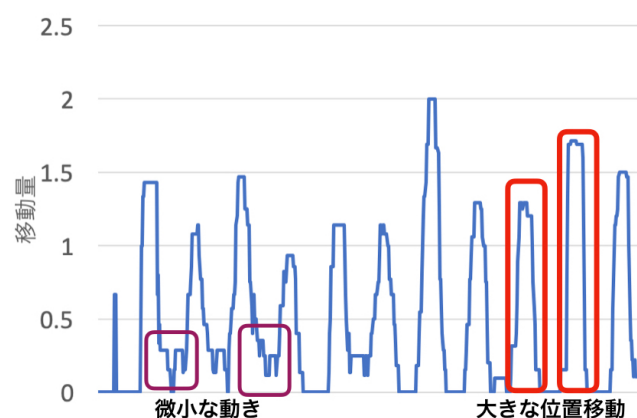


図 12 算出される移動量の例

5.2 褥瘡予防への応用

算出された移動量の応用先として、褥瘡の発症予防を提案する。ほぼ姿勢変化が無いと判断できるほど移動量が少ない状態が続くと、褥瘡の発生可能性は高くなる。褥瘡予防の為には約2時間ごと、粘弾性フォームマットレスや上敷2層型エアマットレスを使用している際は4時間ごとの体位変更が必要とされている[5]。その時間を目安に褥瘡予防を促す。

褥瘡予防を促す方法は様々考えられる。褥瘡の発症可能性が高い状態が続いた場合に、本人や介護人に音で通知を行うと体位の変更やその介助を促せる。その際自力で体位の変更ができるようにリハビリをするとさらに今後の予防にも繋がる。また移動量の情報をネットワークを介して共有すると、家族や病院といった離れたところからでも状態を確認できるようになる。すると家族もケアや手助けをする必要であるとわかったり、褥瘡対策が必要か否かがわかる。さらに病院などの施設で移動量のモニタリングを複数人同時に行えると、見回りなどの必要がなくなり業務の効率化が見込めるようになる。褥瘡対策には周りの介助が重要になるため、様々な情報提示が必要になると考えられる。

6. 評価実験

ビーコンを用いた睡眠位置認識精度と移動の検出精度を確かめるため評価実験を行った。敷き布団のシーツ裏へビーコンをグリッド状に設置し、その上で実際に寝っていると想定して寝返りを行った。さらに毛布による受信電波強度への影響があるか確かめた。

6.1 実験設定

それぞれの実験では共通の設定で行った。使用するビーコンはフォーカスシステム社製のFCS1301を使用した。ビーコンの送信間隔を300msに設定し、図4右のように枕へ3個、布団へ3行5列の15個の計18個を設置した。受信機にはASUS製のZenfone4を使用し、受信機の受信間隔を500msに設定し枕元に設置した。

6.2 位置認識精度評価

位置認識精度の評価として、各ビーコンの状態判定精度を使用した。ビーコンの設置してあるシーツ表面にマーカとなるフェルトを設置し、寝ている様子を上から撮影した。そして身体で隠れているマーカ・隠れていないマーカと各ビーコンの状態判定結果を比較した。比較には無作為に抽出した20フレームを使用し、ビーコンに身体が重なっているかどうか正しく判定された数と正しく判定されなかった数の平均とその割合を求めた。

実験結果を表1、表2に示す。位置認識の精度として、正しく判定できたビーコンの個数は平均16.4個、正しく判定できなかったビーコンは平均1.6個となり約91.1%の精

度であった。

表1 ビーコンの状態判定精度

正しく判定できた 個数の平均	正しく判定できなかった 個数の平均	正解率
16 個	2 個	89 %

6.3 移動検出精度

移動の検出精度では、寝返りの回数と比較する。実験1を行う中で、実際の寝返り回数と算出された移動量のうち値の高い箇所の数とを比べた。移動量のうち0.7以上の箇所を1度の移動とする。

実験の結果を表2に示す。実際には27回の寝返りを行ったが、移動の判定結果として30回と検出された。また適合率は0.867、再現率は0.839となりF値は0.852であった。

表2 移動判定精度

正解寝返り回数	検出された回数
27 回	30 回
適合率	0.867
再現率	0.839
F 値	0.852

6.4 毛布による影響

毛布による受信電波強度への影響を確かめた。1つのビーコンに注目し、

- 障害物の無い安定した状態
- 毛布をかけた状態
- 人が重なり毛布をかけた状態

の3つの状態で受信電波強度を収集した。それぞれ1分ごとに計測をし平均の受信電波強度を求めた。ビーコンは枕元に設置した受信機から約1m離れた布団中央に設置する。

結果を図13及び表3に示す。図13には実際の受信電波強度のグラフに手動でラベルをつけている。障害物のない安定した状態での受信電波強度は平均-42.7dBm、毛布をかけた状態では平均-43.2dBm、人が重なり毛布をかけた状態では平均-81.3dBmであった。

表3 状態ごとの平均受信電波強度

障害物の無い 安定した状態	毛布をかけた状態	人が重なり 毛布をかけた状態
-42.7 dBm	-43.2 dBm	-81.3 dBm

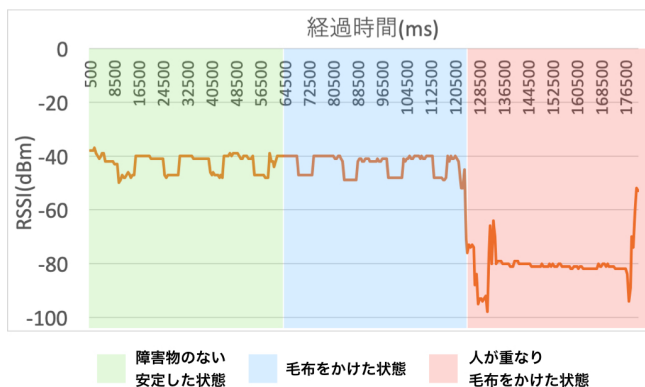


図 13 それぞれの受信電波強度変化

6.5 考察

実験結果として位置認識精度は 89 %，移動の検出では適合率 0.867，再現率 0.839，F 値 0.852 という結果になった。ビーコンの状態が正しく判定されなかった原因としてまずビーコンが身体でしっかり覆われていなかったと考えられる。肩や脇、膝など少し浮くような部位ではビーコンを覆いきれず、受信電波強度に影響をあまり与えず正しく判定できなかった。また横臥していた際には、ビーコンとビーコンの間にちょうど身体が来ていたためビーコンを身体が覆わなかったと考えられる。位置認識精度は移動の判定精度にも影響するため、より高い精度で認識を行えるようビーコンの数と配置を改める必要がある。

移動検出が正しくされなかった原因として、パラメータが適切でなかったと考えられる。移動量を算出する際の、ビーコンの状態を決めるための多数決をとるウィンドウサイズとスライド幅が適切でなかった。これらのパラメータによって最終的に得られる値が大きく変わるため、誤った値を設定してしまうと誤判定が起きやすくなってしまう。そのためより適切なパラメータを設定する必要がある。

また毛布による受信電波強度への影響を調べたが、ほとんど影響はなかった。障害物の無い安定した状態では平均-42.7dBm、毛布をかけた状態では平均-43.2dBm となり、平均 0.5dBm の差があった。そして人が重なり毛布をかけた状態では平均-81.3dBm と、安定した状態や毛布をかけた状態と比べ大きく減衰した。この結果から、ビーコンの受信電波強度は毛布の影響を受けず、人の身体によって値が変化するとわかる。

本手法は実際に使用する際、ビーコンの送信間隔と受信機の受信間隔の検討をする必要がある。実際に利用する場合、ビーコンの電池が大きな負担となりうる。設置する個数が多いとビーコン本体の他に電池のコストが掛かり、交換の手間も増える。そのため現実的な設置個数を検討するとともに、電池の寿命が長期間保つよう送信間隔を長く必

要がある。送信間隔を長くしすぎると身体の重なりの変化を瞬時に捉えられなくなり、実際の身体の位置とビーコンの状態判定との間に差異が生まれてしまう。さらに送信間隔に合わせて受信間隔も長くしてしまうと、送受信のタイミングが合わなくなった場合に電波が取得できず情報が欠落してしまう。反対に受信間隔を短くするとその分データ量も増えるため、処理に時間がかかるようになってしまう。なのでデータの取得と情報量のバランスの取れる送受信間隔を設定しなければならない。

7. まとめ

介護をする上でベッド上での行動が重要となっており、ベッド上で生活する人の位置推定は多く行われてきた。ベッドの脚に荷重センサをつけ睡眠位置を推定するものや、シーツ型や衣類型の圧力センサを用いて圧力分布や位置を推定するものが主であった。しかしそれらは専用の装置が必要なため在宅介護などの現場ではコストやハードルがあった。

そこで我々はビーコンを用いた睡眠位置認識手法を提案した。ビーコンの電波は水分を含んだ人の身体に遮られると大きく減衰するため、毛布や掛け布団の影響を受けない。受信電波強度に移動平均や正規化、閾値処理を施し各ビーコンの状態を可視化して位置を認識する。さらに認識した位置から移動量を計算し褥瘡の発症防止につなげる。認識した位置からレーベンシュタイン距離を用いて移動量を計算する。算出された移動量から位置の移動と微小な動きを判別でき褥瘡予防の目安となる。

位置認識精度と移動判定の精度について評価実験を行った結果、位置認識精度は 89 %，移動判定精度は 90 % であった。しかし身体の重なり方や姿勢などにより、ビーコンの状態判定や移動の判定が不完全である部分があった。設置するビーコンの数や配置、送受信間隔などを見直し改善を図っていく。また毛布による電波への影響を確かめたが、ほとんど影響はないとわかった。

今後の課題として、褥瘡の発症可能性を知らせる通知システムの実装が挙げられる。本稿では移動の検出までを行い、その応用として褥瘡予防を提案した。しかし実際に実装を行っていないため、移動量に応じた通知機能を実装すると共に褥瘡予防への効果を確認する必要がある。

参考文献

- [1] 田中芳明, 石井信二, 浅桐公男. 褥瘡, 静脈経腸栄養, Vol. 27, No. 2, 2012.
- [2] 清水直生, 米田隆志, 小山, 浩幸, 山本紳一郎, 煙山健二. 褥瘡発生メカニズムの解析に関する基礎研究, バイオエンジニアリング講演会講演論文集, Vol. 21, pp. 491-492, 2009.
- [3] Witkowski JA, Parish LC: Histopathology of the decubitus ulcer. J Am Acad Dermatol, Vol. 6, pp. 1014-1021, 1982.

- [4] 大鐘勇輝, 水野涼雅, 梶克彦. 物体内部に設置した BLE ビーコンの電波強度を用いた状態推定手法, マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2019 論文集, Vol. 2019, pp. 792-799, 2019.
- [5] 一般社団法人 日本褥瘡学会. 褥瘡ガイドブック 第 2 版 褥瘡予防・管理ガイドライン (第 4 版) 準拠. 照林社, 2015.
- [6] Shengwei Luo, Limin Lu, Yongji Fu, Machine Learning Application for Patients Activity Recognition with Pressure Sensing in Bed, CF '18: Proceedings of the 15th ACM International Conference on Computing Frontiers, pp. 348-354, 2018.
- [7] リコーみまもりベッドセンサーシステム, 入手先: <<https://www.ricoh.co.jp/bedsensor/>>, (参照 2020/5/7)
- [8] Weimin Huang, Aung aung Phyo wai, Siang Fook, Victor Foo, Jit Biswas, Chi-Chun Hsia, Koujuch Liou. Multi-modal Sleeping Posture Classification, 20th International Conference on Pattern Recognition, pp. 4336-4339, 2010.
- [9] 西田佳史, 武田正資, 森武俊, 溝口博, 佐藤知正. 圧力センサによる睡眠中の呼吸・体位の無侵襲・無拘束な計測, 日本ロボット学会誌, Vol. 16, No. 5, pp. 705-711, 1998.
- [10] 島上祐樹, 堀場隆広, 田中利幸, 池上大輔, 榎堀優, 間瀬健二, 川部勤, 水野寛隆, 鈴木陽久. センサ織物の生体計測分野への応用, あいち産業科学技術総合センター研究報告 2013, pp. 94-97, 2017.
- [11] Enid Kwong, Grantham Pang. Development of an Intelligent Seat for the Alleviation of Pressure Ulcers, 2018 11th Biomedical Engineering International Conference (BMEiCON),
- [12] 岩瀬慶, 榎堀優, 吉田直人, 間瀬健二. 人物領域推定と姿勢情報を用いた寝姿体圧画像からの関節位置推定の検討, 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI), Vol. 185, No. 15, pp. 1-7, 2019.
- [13] 小野瀬良佑, 榎堀優, 間瀬 健二. 圧力布センサを利用した衣類型デバイスとシーツ型デバイスの比較検討. 情報処理学会インタラクション 2017, pp. 480-485, 2017.
- [14] 前川拓也, 柳沢豊, 岡留剛. Tag and Think: センサネットワークを前提としたモノ自身とその状態の推定, 情報処理学会研究報告ユビキタスコンピューティングシステム (UBI), Vol. 2007, No. (14(2007-UBI-013)), pp. 211-218, 2007.
- [15] 上田泰嵩, 梶克彦, 河口信夫. 細粒度電力センシングによる浪費電力の検出, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO) シンポジウム論文集, pp. 1817-1821, 2010.
- [16] 山田祐輔, 加藤丈和, 松山隆司. スマートタップネットワークを用いた家電の電力消費パターン解析に基づく人物行動推定, 研究報告ユビキタスコンピューティングシステム (UBI), Vol. 2011-UBI-31, No. 4, pp. 1-6, 2011.
- [17] 尾原和也, 前川卓也, 村上友規, アベセカラヒランタ. Wi-Fi チャネル状態情報を用いた教師無し学習によるドアの開閉検知手法, 研究報告ユビキタスコンピューティングシステム (UBI), Vol. 2018-UBI-60, No. 1, pp. 1-7, 2018.
- [18] Levenshtein.V.I. Binary Codes Capable of Correcting Deletions Insertions, And Reversals, Soviet Physics Doklady, Vol. 10, No. 8, pp. 707-710, 1966.