

高出力 BLE ビーコンによる認知症高齢者見守りのための 徘徊経路可視化機構の試作

荒川 智哉† 白松 俊† 岩田 彰† クグレ マウリシオ†

概要:本研究では、認知症患者の周辺症状である徘徊行動に注目し、見守り機構を開発した。認知症高齢者に Bluetooth Low Energy(BLE)ビーコンを携帯させ、街中に固定型受信機を設置した。固定型受信機から取得できる BLE ビーコンの受信履歴を利用して、徘徊した経路の可視化をする。本稿では、認知症高齢者が行方不明になった際の探索範囲の絞り込みや、家族や介護者が安全な場所に滞在しているかといった行動履歴を確認できるインタフェースの開発を目指した。特に、(1) BLE ビーコンの信号到達距離を改良したために、離れた固定型受信機でも信号を受信可能になり、単純にその近くに高齢者がいるとは仮定できなくなった問題に対処した。さらに、(2)最短経路を単純に表示しただけでは徘徊経路の探索という目的には不十分であり、迂回路についても表示可能にする必要があった。これら2つの課題に対処するため、BLE ビーコンの受信履歴から経路可視化に必要と考えられる受信履歴のみを取得する手法を開発した。

キーワード: 認知症高齢者, BLE ビーコン, 徘徊行動, 見守り

1. はじめに

近年、日本では急速に高齢化が進行している。そして、高齢者の増加に比例して認知症高齢者も増加して、社会問題になっている。さらに、認知症には周辺症状があり、その中に徘徊行動といった症状が存在する。本研究では、認知症高齢者の徘徊時の探索や安全確認に利用できるインタフェースの開発を目的とする。本稿では、(1) BLE(Bluetooth Low Energy)ビーコンの信号到達距離を改良したため、BLE ビーコンを受信する固定型受信機に最接近しなくとも計測可能になり、固定型受信機の側にいない問題、(2)徘徊している認知症高齢者を探索する際に地図上に表示する経路として、受信履歴にある全ての固定型受信機を通過したと仮定する経路(最短経路)以外を表示する必要性が出てきた。この2つの課題に対処するため、迂回路の可視化について検討する。

介護者の負担を減らすために、介護対象となる高齢者のプライバシーに配慮した位置情報を管理する研究は盛んに行われている。例えば、森ら[1]は老人ホームなどの高齢者のお世話をする施設で予期せぬ徘徊行動と転倒を検知するシステムの提案をしている。まず、床には導入の容易さを考慮して安価なセンサを、さらに個人を識別するため高齢者に RFID タグを携帯させた。そして、施設内のドアなどの通過点となる場所や各部屋の天井に RFID タグを検知するセンサを設置した。本研究グループでは、屋外での徘徊行動にも対応する見守りシステム「見守りプラス」を開発し、社会実験を行ってきた[2]。屋外であるが GPS(Global Positioning System)のセンサを利用せず、BLE ビーコンを実験に使用している。本研究グループが BLE ビーコンを用いている理由は、電子機器に疎い高齢者であっても省

電力であるため、徘徊行動が発生した時に電力供給が不足して動作しないことをなくすためである。

2. データ収集に関して

データ収集に関する社会実験を、2016年11月～2017年1月と2018年1月～3月の期間に、愛知県大府市共和駅付近で行った。現地で暮らす高齢者に BLE ビーコンを携帯して普段通りの生活を送ってもらった。そこで、BLE ビーコンは生活する上で不自然とならないようにお守り袋を模した「見守り袋」に入れるといった工夫をした。さらに、固定型受信機が設置されている同市内で20歳代の男性約30名に BLE ビーコンを携帯、約9時間行動してもらった。2016年・2018年のそれぞれの社会実験期間中に、非徘徊行動と擬似的な徘徊行動の行動履歴のデータ収集を行った。以下にそれぞれの社会実験の詳細について述べる。

(A) 2016年11月～2017年1月の社会実験

受信機: 民家の軒先に17個の固定型受信機を設置

行動経路: 徘徊行動(周回・往復・ランダム)、非徘徊行動はあらかじめ設定

BLE ビーコン: 既製品、信号到達距離20m～50m程度

受信履歴: 5秒毎にビーコンIDとRSSIなどを記録

(B) 2018年1月～2018年3月の社会実験

受信機: 中部電力の電柱に25個の固定型受信機を設置

行動経路: 徘徊行動は乱数で経路決定、非徘徊行動はあらかじめ設定

BLE ビーコン: 改良版[3]、信号到達距離50m～100m程度

受信履歴: 30秒毎にビーコンIDとRSSIの平均値と受信回数を記録

† 名古屋工業大学大学院

Department of Computer Science and Engineering, Graduate School of Engineering, Nagoya Institute of Technology

ここでのビーコン ID とは、固定型受信機で計測された BLE ビーコンの UUID, Major, minor のことを指す。したがって、サーバへ送信されるデータはビーコン ID, RSSI に加え、計測した固定型受信機の緯度・経度、計測した時刻が送信される。しかし、社会実験(B)について上述したとおり、BLE ビーコンの信号到達距離が改良された[3]。これは、BLE から発信された信号のうち、人体側の信号は吸収され減衰されてしまい無駄になるという性質を逆手に取り、片側指向性を持たせることにより、低い消費電力での高出力を実現したものである。信号到達距離が長くなり、固定型受信機に最接近しなくても信号を受信することが確認された。また、LoRa 通信という少ない消費電力で広い範囲をカバーすることができる無線通信を導入した。LoRa 通信は送信できるデータ量に制限があるため、30 秒毎に BLE ビーコンの RSSI の平均値、受信回数をサーバに送信している。本稿では、社会実験(A), (B)で計測したデータを参考に、行動履歴の可視化を試みた。

3. Web Map を用いた行動履歴の可視化システム

本システムは、認知症高齢者が街中を徘徊してしまい行方がわからなくなってしまう場合や、家族や介護者が安全を確認したい場合に、行動履歴や滞在場所の可視化による検索・安全確認を目的としている。

このシステムを使用して、認知症高齢者の検索や安全確認を行いたいユーザは、安全を確認したい認知症高齢者のユーザ名または、携帯している BLE ビーコンのビーコン ID を入力する必要がある。さらに、Web Map(Google Maps や Open Street Map)で可視化したい時間帯をカレンダー型のインタフェースから選択することで検索要件を満たす。そして、サーバから安全確認したい認知症高齢者が携帯している BLE ビーコンの固定型受信機を受信履歴を参照して、時系列順に整形する。以上の手順を踏むことで、認知症高齢者の行動履歴や滞在場所を Web Map 上に可視化するための中継点を抽出している。中継点とは、経路探索する際に通過点として設定することができる任意の点である。中継点を抽出する手法について具体的に述べると、サーバから参照した固定型受信機を受信履歴から、2016 年の社会実験のデータに関しては設置されている各固定型受信機が受信した RSSI が最大である時刻を最も固定型受信機に最接近した時刻である、と仮定することで中継点を決定した。また、2018 年の社会実験のデータに関しては受信履歴にある全ての固定型受信機を通過したと仮定して、最短経路の可視化を行った。

そして、ユーザが認知症高齢者の検索・安全確認する際に使用する本システムの全体図は図 1 になる。上から順に認知症高齢者の①Web Map による行動履歴の可視化、②タイムスライダ機能、③行動時間のグループ化機能であ

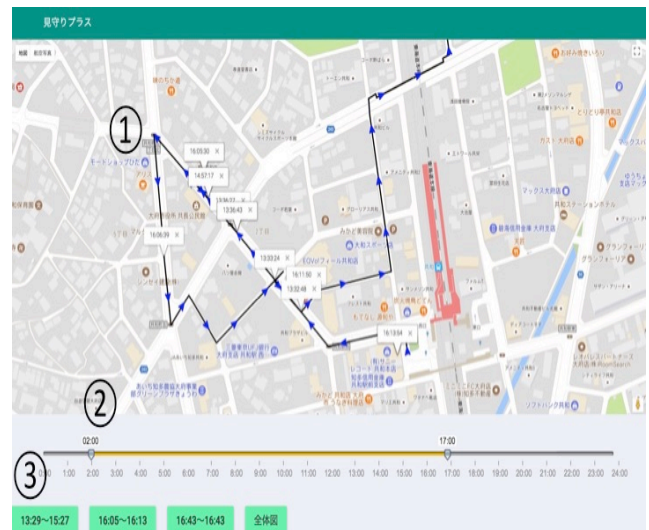


図 1 見守りインタフェース

る。それぞれの機能について詳細な説明を述べる。

3.1 Web Map による行動履歴の可視化

Web Map は、認知症高齢者の行動履歴を地図上に可視化するために利用している。本システムでは、比較実験も兼ねて Google Maps と Open Street Map の両方を使用している。それぞれの Web Map で経路探索を行い、経路探索結果を可視化することで行動履歴を再現している。受信履歴から通過した固定型受信機を中継点としており、各固定型受信機を通過した時刻を検索の手助けとなる情報として表示している。今回、Open Street Map を使用した理由は、Open Source Routing Machine を修正することにより、本研究の目的に沿った N-best 経路の探索が、Google Maps よりも容易に実現できると考えたためである。

3.2 タイムスライダ機能

タイムスライダ機能は、認知症高齢者の検索や安全確認をする際に、認知症高齢者の行動履歴を検索した日と同じ日ならば、地図上に可視化される時間帯を動的に変更することができる機能である。タイムスライダのメモリは 15 分間隔で調整することができ、ビーコン ID を入力するページに戻らなくても変更することが可能である。主に、この機能は Web Map 上に整理しきれない量の行動履歴の結果が表示されてしまった場合に、より詳細に表示される時間帯を絞り込みたい時に操作する時に使用する機能である。安全確認として、家族も一日どんな行動をしていたか見守ることができる。

3.3 行動時間のグループ化機能

行動時間のグループ化機能とは、BLE ビーコンを携帯している認知症高齢者が行動していたと推測される時間帯をそれぞれグループ化する機能である。表示されている時間

帯のボタンをクリックすることで、Web Map 上に再現したい時間帯の行動履歴を表示することができる。この機能は、検索者側が検索対象となる徘徊している認知症高齢者の検索すべき時間帯の絞り込みの他に、家族が離れて暮らしている状況で遠隔地からの安全確認ができる。さらに、認知症高齢者自身が一日の行動履歴をグループ毎に再現することで徘徊行動をしていたかどうか確認することができる。

これら3つの機能を利用することで、徘徊している認知症高齢者を検索する介護者や市民ボランティアの認知症サポーターの負担が減ると考えられる。また、徘徊といった緊急時以外にも家族等による遠隔地からの安全確認に役立つことが期待される。

4. 通過した可能性のある経路（徘徊経路）の可視化について

サーバから取得したデータを時系列に整形し、固定型受信機の緯度・経度を経路探索の際の中継点と設定することで行動履歴を可視化するシステムの開発を行った。しかし、認知症高齢者が携帯する BLE ビーコンを計測した固定型受信機の緯度・経度を中継点とした最短経路のみを表示するだけで徘徊行動の可視化を行ったと言えない。なぜなら、徘徊行動は同じ場所を何度も往復・周回して歩くこともある。さらには蛇行しながら歩いている可能性も考えられる。そこで、通過した可能性のある経路となる徘徊経路の可視化をするための2つの手法を提案する。

4.1 アプローチ(1)

1つ目に提案する手法は、Web Map 上に経路探索の結果を表示する際に、新たな中継点を追加することにより最短ではない別ルートの経路探索を可能にする手法である。これにより、徘徊した可能性のある複数経路の可視化を試みた。

本手法では、徘徊経路の経路探索を行う特定の条件を設けた。受信履歴から検索・安全確認対象となる認知症高齢者が携帯する BLE ビーコンを計測した固定型受信機の距離に注目した。受信履歴の連続した固定型受信機の緯度・経度から、2つの固定型受信機が設置されている位置が直線距離で $d[m]$ 以上離れている場合に限り、固定型受信機間に新たな中継点を追加した。そして、Web Map 上に複数の経路探索結果を表示することで徘徊経路の可視化を試みた。さらに、経路探索結果の経路部分の濃淡を変えることで徘徊経路と最短経路との差別化を図った。以下に、2つの固定型受信機間に新たな中継点を設定する処理について記述する。

1. 受信履歴から連続して通過した固定型受信機間の直線距離を直径とした円を設定する
2. 円の中心から、(固定型受信機を繋いだ直径の)法線



図 2 中継点の追加(アプローチ(1))

ベクトル方向に $d/2[m]$ 間隔でずらしていくことで、新たな中継点を取得する

3. 各経路を通過した可能性を確率値として計算し、可視化時に各経路の濃淡に反映する

(ア)最短経路ほど確率を高く、離れた経路ほど確率を低く見積もる

(イ)通過していない固定型受信機が円内にあった場合、その近辺を通過する経路の確率を下げる

この徘徊経路の提案において、図2にあるように連続して通過した固定型受信機間の直線距離 d を200m以上と定義した。その理由は、街中で建物や脇道があるために見渡せる範囲が自由空間と比べて極端に狭まってしまいうためである。そこで、介護者や認知症サポーターである検索者が周囲の視認が可能な距離として、100m前後と仮定したためである。

本手法を考案した2017年時点では、BLE ビーコンとして信号到達距離が20m~50m程度の既製品を使用していたので、複数の固定型受信器で信号機を同時に受信する頻度は少なかった。しかし、前述したように BLE ビーコンの信号到達距離が改善されたため、複数の固定型受信器で同時に受信する頻度が増加した。これを解決するためには、時間的制約から移動が不可能と考えられる受信履歴を排除する必要がある。

4.2 アプローチ(2)

サーバに送信される固定型受信機の受信履歴のタイムスタンプと、高齢者の典型的な歩行速度を制約として用いて、移動が不可能と考えられる受信履歴を除去する。本手法では図3のアルゴリズムに示すように、前回受信時からの時間間隔の閾値 $\theta[s]$ を設定し、移動速度の制約を外れる中継点を除外して経路探索を行い、徘徊経路を可視化する。閾値 θ は以下の式にて設定する。

Algorithm 1 approach2 time extraction

Require: *behaviorHistories*: サーバから取得し、整形した行動履歴の配列,
wanderingArray: 徘徊経路探索に用いる行動履歴, t_0 : 始点を通じた時刻,
 n : *behaviorHistories* の配列の大きさ, θ : 閾値
Ensure: 徘徊経路の中継点抽出

- 1: $wanderingArray \leftarrow behaviorHistories[startPoint]$
- 2: $T \leftarrow t_0$
- 3: **for** $count = 2$ **to** $n-1$ **do**
- 4: $t_i \leftarrow behaviorHistories.time[count]$
- 5: **if** $t_i - T \geq \theta$ **then**
- 6: $wanderingArray \leftarrow a$
- 7: $T \leftarrow t_i$
- 8: **end if**
- 9: **end for**
- 10: $wanderingArray \leftarrow behaviorHistories[endPoint]$

図 3 中継点抽出アルゴリズム(アプローチ(2))

$$\theta = \frac{x}{v} + t \quad (1)$$

ただし, $v[m/s]$ は高齢者の想定歩行速度, $x[m]$ は BLE ビーコンの最大信号到達距離, $t[s]$ は受信履歴をサーバに記録する際の時間間隔である.

パラメータ v については, 高齢者(65 歳以上)が 1 分間に移動できる距離は約 50m であると言われており [4], 徘徊している高齢者は直線的には移動してないと考えられるため, 毎分約 40m で移動すると仮定して $v = \frac{40}{60} = \frac{2}{3} [m/s]$ とする. また, 上述したとおり 2018 年の社会実験(B)では $t = 30[s]$, $x = 100[m]$ であった. よって社会実験(B)での閾値は $\theta = \frac{x}{v} + t = 150 + 30 = 180 [s]$, すなわち 3 分となる.

5. 徘徊経路可視化機構に関する評価実験

2018 年に実施された社会実験で収集したデータを用いて, 本稿で提案しているアプローチによって可視化された経路, 実装している機能の必要性についてのアンケートを行った. 20 歳代の男性 11 名に, 下記(i)~(iv)の 4 つの項目を 7 段階で評価回答してもらった. また自由記述欄(v)も設けた.

5.1 アンケート項目について

- (i) 今回取った 2 種類のアプローチについて, どちらが迂回路を含めた経路の表示ができていると思うか.
- (ii) 3.1 節から, Google Maps と Open Street Map の 2 種類の Web Map を用意し, それぞれの経路探索 API で最短経路と迂回路を可視化した. どちらが高齢者の行動した経路を可視化できていると考えるか.
- (iii) 3.2 節について, タイムスライダー機能は必要だと考えるか. (1:不必要, 7:必要)
- (iv) 3.3 節について, 行動時間のグループ化機能は必要だ

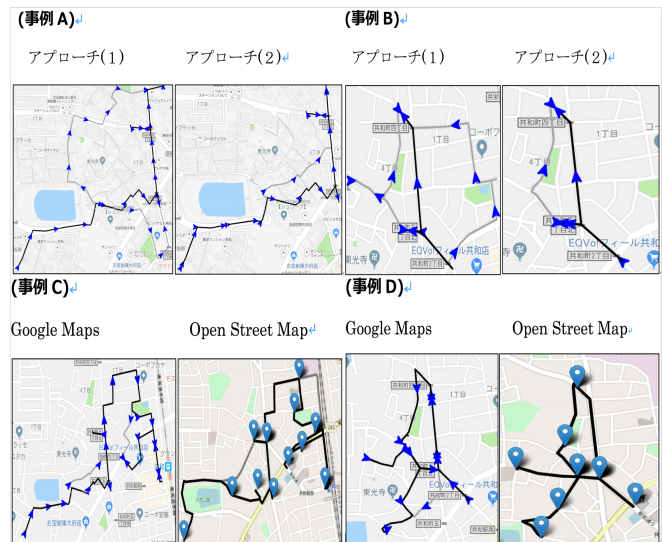


図 4 アンケート項目(i),(ii)に用いた事例

- と考えるか. (1:不必要, 7:必要)
- (v) 他に必要だと思う機能はありますか? (自由記述)

図 4 は, アンケート(i),(ii)に関しての比較する各事例となる. アンケート(i)に対して事例 A, 事例 B を, アンケート(ii)に対しては事例 C, 事例 D を見せて評価してもらった. また, アンケート(iii),(iv)に関しては, 実際にシステムを使用してもらった評価である. アンケート(i)~(iv)の結果については, 各設問について 7 段階評価の平均値を取った. その結果についてグラフで示す.

5.2 考察

アンケート項目(i)に関する結果は, 図 5 にある通りである. 事例(A),(B)ともにアプローチ(2)の方の評価が高かった. アプローチ(1)に関しては, 半径 100m の円上に中継点を設定している. そのため, 遠回りになる経路が可視化された. 2018 年の社会実験において, 改良された BLE ビーコンの信号伝達距離が 100m 以下であるため検索する範囲の切り

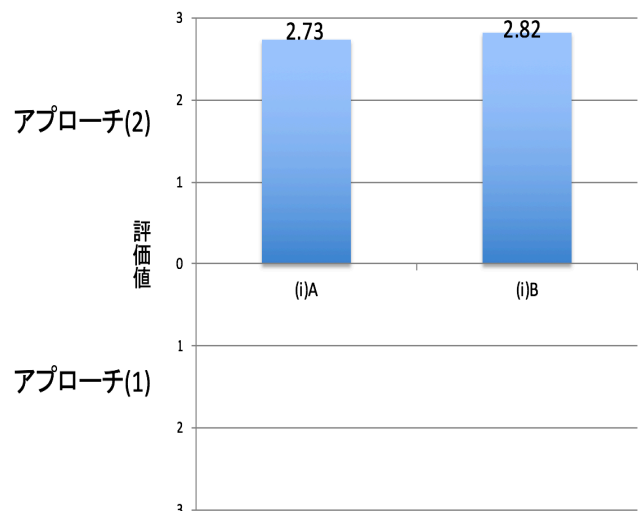


図 5 アンケート項目(i)の結果

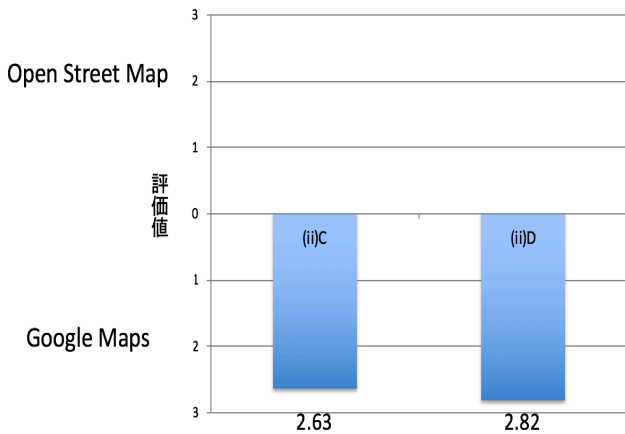


図 6 アンケート項目(ii)の結果

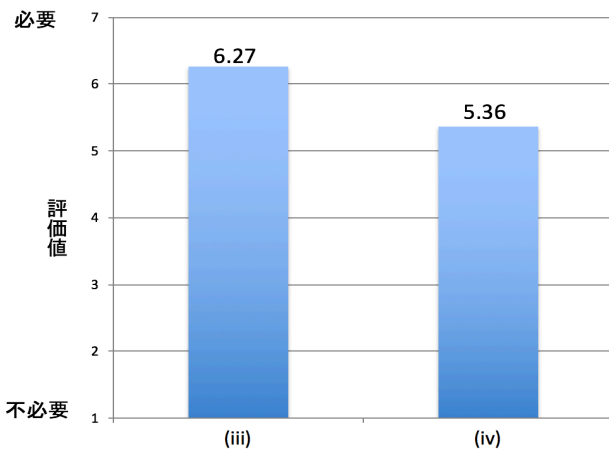


図 7 アンケート項目(iii),(iv)の結果

取りには有効であると考え。評価の高かったアプローチ(2)についてもまだ十分に徘徊経路を可視化できているとは言えない。特に、2018年の社会実験でサーバに送信されたRSSIの平均値、BLEビーコンを受信した回数については考慮せず、受信した時刻が早かった固定型受信機を優先して中継点として用いている。理想的には、固定型受信機以外のより尤もらしい地点を中継点として用いたい。そのためには、RSSIの平均値、BLEビーコンを受信した回数について考慮された固定型受信機の緯度・経度以外の新たな中継点を生成すればよいと考えられる。これにより、精度向上が期待される。

次に、図6はアンケート項目(ii)に関する結果である。Google Mapsの経路探索では脇道も可視化されているのに比べ、Open Street Mapの経路探索では主要道路を通る道が優先して可視化されているため高齢者が行動した経路として適切でないと判断されたと考える。また、Open Source Routing MachineによるN-best経路の探索は、サーバに負荷がかかり過ぎてしまうことが判明したため断念した。そこで、同じ中継点を設定しているが、脇道が可視化されるGoogle Mapsの経路探索を今後も利用して、徘徊経路の可視化に臨みたい。

本システムでは、認知症高齢者を検索する以外にも安全確認や1日の行動を振り返る際に便利な機能を追加している。図7のアンケート項目(iii),(iv)の結果からわかる通り、様々な場面で活躍が予想できるという高い評価を得ることができた。

最後に、アンケート項目(v)について必要だと思う機能として、「長時間、範囲内で受信がされない時に通知が来る機能」、「設定した範囲外に出てしまった時に通知する機能」といった意見が寄せられた。今後の方針として、社会実験で収集した擬似的な徘徊行動のデータを利用して、徘徊行動の検知するシステムの導入を予定していた。そこで、認知症高齢者の安全が長時間確認できていない時も自動的に家族へ通知を送る必要があることがわかった。そして、これらの意見を活用して、システムの改善に努めたい。

6. おわりに

本稿では、介護の負担を減らすために認知症高齢者の検索や安全確認をすることができるよう、認知症高齢者に携帯させたBLEビーコンの受信履歴から行動履歴を可視化するインタフェースの開発を目指した。提案手法として、時間に閾値を設定し、通過したと推測される中継点を減らした。この手法によって、信号到達距離が改良されたBLEビーコンを使用したことによる複数箇所の固定型受信機で受信可能になった事への対処と、徘徊経路を可視化するために迂回路についての可視化を試みた。

今後の方針として、擬似的な徘徊行動のデータ収集も行なっているため、機械学習を利用することでサーバが受信するデータから徘徊行動を判別することができると思う。さらに、位置推定の精度を高くするために、2018年の社会実験に計測したRSSIの平均値、受信回数を考慮した中継点の選択、または新たな中継点の生成するためのアルゴリズムを導入する必要がある。

謝辞 本研究は、総務省SCOPE(No.152306003)、JSPS科
 研費(No.17K00461)の支援を受けた。

参考文献

- [1] Y. Mori, S. Kido. Monitoring System for Elderly People Using Passive RFID Tags. *Journal of Robotics and Mechatronics*, Vol.26, No.5, pp649-655 (2014).
- [2] 永井明彦, 竹尾淳, 矢口隆明, 村上正知, 岩田彰. BLEセンサと国内普及5,700万台のスマートフォンと利用した認知症高齢者見守りシステムの提案. 第54回日本生命医工学会大会, pp.432-437 (2015).
- [3] 日山隼, 清水悠斗, 安在大祐, 岩田彰, 王建青. ウェアラブルデバイス用BLEアンテナの特性向上の検討. 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.117, No.357, pp.25-30 (2017).
- [4] 阿久津邦雄 (1975). 歩行の科学. 不昧堂出版