

BLE 発信機とスマートフォンを用いた高齢者見守り機構の開発

永井明彦^{†1} クグレ・マウリシオ^{†1} 岩田彰^{†1}

概要：本論文は、近距離無線通信技術として普及している Bluetooth Low Energy(BLE)を用いた発信機と社会に顕在化しているスマートフォンを受信機として用いることにより、高齢者や子供などの生活弱者の行動を観察する見守り機構を提案する。新たな公共投資を不要とする本見守り機構を社会インフラとして構築することで、生活弱者に安心安全な生活を提供することができる。

キーワード：ブルートゥース・ロウ・エナジー，スマートフォン，見守り機構，高齢者

Development of elderly monitoring mechanism which used Bluetooth Low Energy beacon and smart phone

AKIHIKO NAGAI^{†1} KUGLER MAURICIO^{†1}
AKIRA IWATA^{†1}

Abstract: This manuscript is a guide to produce a final camera-ready manuscript of a PDF to be submitted to IPJS SIG Technical Report using MS-Word template file (.dot). Since the manuscript itself is produced with the MS-Word template file, it will help you to refer it.

Keywords: Bluetooth Low Energy (BLE), Smart Phone, Monitoring mechanism, Elderly

1. はじめに

近年では生活の向上、医療技術の進化によって、平均余命が伸張し、健康で、身体機能の高い高齢者が急速に増加している。このような中で、特に長寿高齢先進国であるわが国では、年々認知症高齢者が増加する傾向が顕著に見られている。社会では、認知症高齢者の徘徊による事件や事故が社会問題として取り上げられ、注目を浴びている。厚生労働省研究班（代表者・朝田隆筑波大教授）の調査によれば、高齢者のうち、認知症の人は推計 15%に達しており、2012 年時点で約 462 万人に上っている[1]。

現在、軽度認知障害（Mild Cognitive Impairment : MCI）の高齢者も約 400 万人と推計され、65 歳以上の 4 人に 1 人が認知症、または MCI となっている。MCI とは、正常老化過程で予想されるよりも認知機能が低下しているが、認知症とまでは判定できない状態を指し、認知症の前段階にあたる。MCI の高齢者は、主観的・客観的に記憶障害が認められ、認知機能（記憶、決定、理由づけ、実行など）のうち一つの機能に問題が生じているが、日常生活には支障がない。その一方で、突発的な見当識障害（中核症状：顕在的な症状）を起こし、自分の目的や場所がわからなくなる「迷子」の状態を発生する（以降「徘徊」を含む）可能性を持っている。

また、近年の認知症高齢者は、第一に身体機能の低下が比較的少なく徘徊している事実がわかりづらい、第二に、身体機能が高いので移動距離が広範囲に及び（目的を意識として持たない状況で、遠方まで移動する）公共交通機関を利用して県外移動する徘徊も見られる、というこれまではあまり見られなかった二つの特徴が見られるようになっている。以上から、認知症高齢者や MCI（以降 MCI も認知症を含む）の人が安心・安全に暮らすことができる携行型ビーコンによる見守りを実現する実用的な社会機構が求められおり、多様な試みがなされている[2][3][4][5][6]。

本論文は、以上の課題を解決するため、近距離無線通信技術として普及している Bluetooth Low Energy(BLE)を用いたビーコン（発信機）と社会に顕在化しているスマートフォン（受信機）を用いることにより、高齢者や子供などの生活弱者の行動を観察する見守り機構を提案する。

2. 高齢者見守り機構

本論文が提案する高齢者見守り機構は、高齢者が携行する BLE ビーコン（発信機）の検出に、広く社会に普及しているスマートフォンを利用する。スマートフォンは、国内に既に 7,237 万台（2015 年 9 月：MM 総研調査報告）普及しており、新たなインフラ投資が不要な見守りツールとして活用することができる。

スマートフォンを受信機としてビーコンの検出に用い

^{†1} 名古屋工業大学
Nagoya Institute of Technology.

ることで、認知症高齢者の徘徊保護対策が抱える問題を解決できる。厚生労働省は、認知症高齢者の見守り網を形成するために、既に 500 万人以上の「認知症サポーター」（一般市民が参加するボランティアである）を登録しているが、今後 20 年間で急増する認知症高齢者の見守りには不足する。本提案は、一般市民に「見守り」をするだけで良い役割を設け、「搜索活動」への積極的な参加を促し、「過度な負担を強いけない」、「負担の許せる範囲内で見守りを行う」という条件を考慮した新たな社会貢献のあり方を実現する。

本見守り機構は以下の構成となっている（図 1）。まず、Bluetooth Low Energy(BLE)を用いたビーコンとスマートフォンでビーコンを検出するためのアプリケーションがある。本アプリにより、ビーコンを検出したスマートフォンは、画面上に検出情報が表示され、位置情報をサーバへ送信することを促す。情報を受け取ったサーバは、位置情報を管理し、家族などの関係者から搜索依頼が出ていた場合は、位置情報を家族や関係者に通知する。以上により、徘徊行動に陥った認知症高齢者をなるべく速やかに保護することができる。

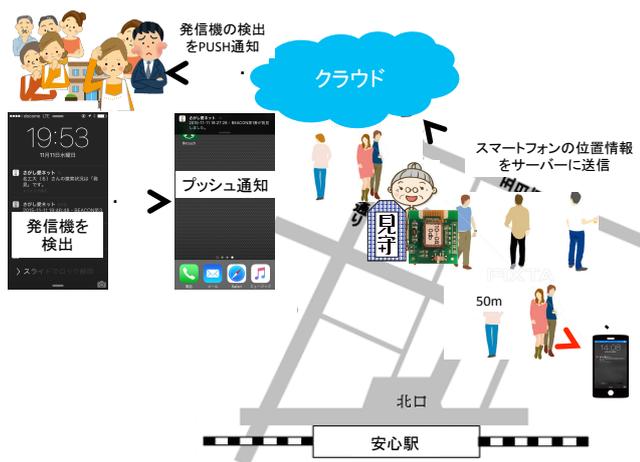


図 1 高齢者見守り機構のしくみ

本提案では、デザイン思考に基づいて高齢者のライフスタイルに合わせた小型・軽量・メンテナンスフリーのビーコンの開発を目指した。以下で、開発したビーコンの概要を説明する。

2.1 見守り袋型発信機

高齢者が違和感なく日常的に携帯するためには、高齢者に「携帯したい」、すなわち、ビーコンをお洒落なアクセサリとして認識してもらう必要がある。既存のビーコンは、家族や関係者が高齢者に携帯を強制するものであり、これが日常的な携帯を促すことを阻害する一つの要因となっている。

本提案では、高齢者の嗜好性を考慮し、違和感なく日常的に携帯できるようにビーコンの格納には高齢

者の必須アイテムの一つであるお守り袋を検討し、愛知県の高齢者に親しまれている「有松絞」を採用した格納ケースをデザインした。

「有松絞」を採用したことで、ビーコン格納ケースは高級感と落ち着きのある雰囲気を実現している。また、年配の男性（濃い青）、女性（淡いピンク）に親しみのある配色となっている。図 2 は、見守り袋を示したものである。見守り袋の外形寸法は、実際のお守り袋に従い縦 85mm、横 50mm とした。

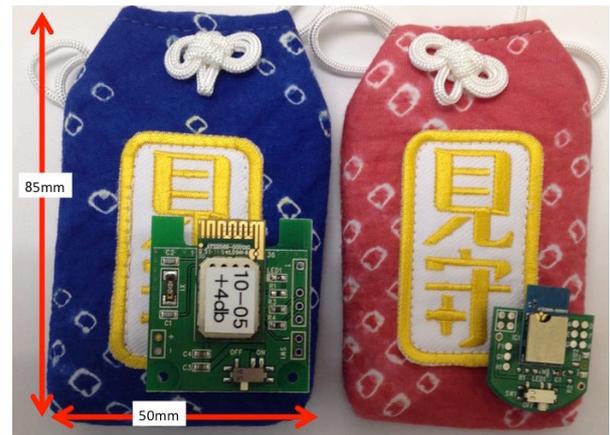


図 2 お守り袋型発信機格納ケース

2.2 BLE モジュール搭載ビーコン（発信機）の設計

ビーコンの BLE モジュールには、ホシデン製 HRM1017、及び HRM1026 を採用し、電源にコイン型リチウム電池 (CR2032) を使用した。

図 3 はこれら二つのビーコンを表したものである。図が示すように、HRM1017 では 30mm×32mm、HRM1026 では実に 22mm×25mm というほぼ CR2032 サイズの小型化を実現している。



図 3 試作した発信機

また、本ビーコンは非常に軽量である。図 3 の二つのビーコンは、CR2032 の重量、及び見守り袋の重量 8g を含んでも HRM1017 搭載ビーコン、HRM1026 搭載ビーコンともに 15g 以下となっている（表 1）。

表 1 発信機の重量・外形寸法

発信機	重量	外形寸法
HRM1017 搭載発信機	7g	30mm×32mm
HRM1026 搭載発信機	5g	22mm×25mm

本ビーコンをメンテナンスフリー（1年間連続使用）とするため、パワー（電波の出力）、インターバル（発信間隔）の条件を変えたときの消費電流を検討した（表 2）。本ビーコンに搭載したホシデン製モジュール（HRM1017, HRM1026）はいずれも Nordic Semiconductor の BLE チップ nRF51822 を使用しているおり、消費電流は同定できる。

表 2 パワーとインターバルで見た消費電流

Consumption Current Advertising Interval (msec)		100	200	500	800	1000	2000
Power (μ A)	4dBm	206.4	107.4	45.1	29.5	24.2	13.7
	0dBm	164.4	86.0	36.4	23.8	19.6	11.2

同チップはファームウェアを修正することで、パワーを -20dBm から 4dBm まで 4dBm 間隔で、インターバルを 100msec 間隔で設定することが可能である。ビーコンの使用可能時間 t (月) は、 $t=W$ (放電容量) / I (消費電流) であるから、CR2032 (放電容量 210mAh) でビーコンを 1 年間使用するための条件は、以下の二つが考えられる。

- (1) Power=0dBm, Advertising Interval=2000msec

$$t_1 = \frac{210(\text{mAh})}{0.0112(\text{mAh}) \times 24(H) \times 30(D)} \times 0.5 = 13.0(M)$$

- (2) Power=4dBm, Advertising Interval=3000msec

$$t_2 = \frac{210(\text{mAh})}{0.008(\text{mAh}) \times 24(H) \times 30(D)} \times 0.5 = 18.0(M)$$

H =時間, D =日, M =月

以上の検討では、待機電流、システムリセットを考慮し、実質的な効率を 50% で推定している。システムリセットとは、電波を出さない状態を無くすために、一定間隔でプログラムを再起動することである。

実際に、0dBm, 500msec に設定したビーコンは、100 日程度発信し、計算値 3.23 (月) とほぼ同じ結果が得られており、上記の計算は妥当性がある。

2.3 BLE モジュールの設定変更用ソフトの開発

HRM1017, HRM1026 に実装されているファームウェアを、パワーとインターバルが設定できるように、またシステムリセットを実行するように修正した。

ファームウェアを修正するための Develop Kit (開発用プログラム) は、Nordic Semiconductor から提供されている。

ホシデンの開発 Kit を使用することで、Develop Kit でファームウェアの修正や開発が可能である。図 4 は、ホシデンの開発 Kit を用いて、Develop Kit でファームウェアを修

正する環境を示したものである。

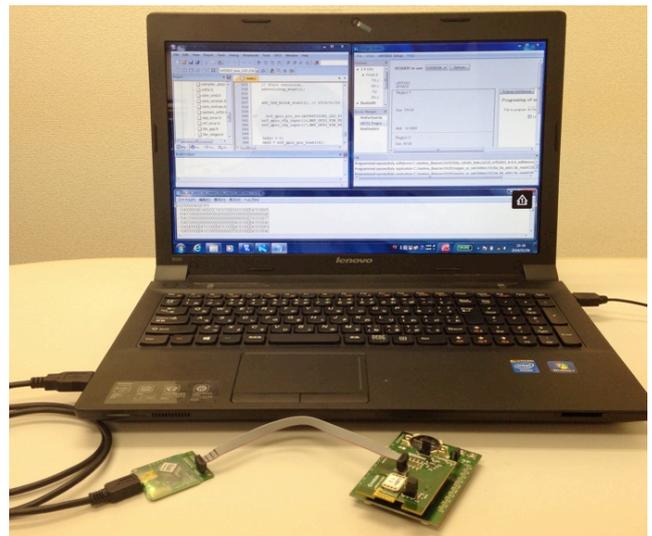


図 4 ファームウェア開発環境

3. スマートフォンアプリ開発

3.1 見守りアプリ

見守りアプリをスマートフォンにインストールすることで、ビーコンが検出可能となる。図 5 が示すように、スマートフォンは、Bluetooth をオンにし、アプリをバックグラウンドで立ち上げておくことで、ビーコンを検出する。ビーコンがスマートフォンの 50m 以内に近づくと、メッセージを表示する。スマートフォンの保有者は、メッセージを表示したら、アプリを起動し、「ここにいることを知らせる」ボタンでサーバに位置情報を送信する。本見守り機構は、搜索依頼を受けたビーコンの位置情報をサーバに蓄積するのではなく、全てのビーコンを検知し、位置情報をサーバに蓄積する。



図 5 ビーコンの検出

3.2 管理用アプリ

家族、及び関係者はインストールした「見守りアプリ」上で、ID とパスワードを用いて「管理用アプリ」にログイン

ンすることができ、それによってビーコンを携帯する高齢者の位置情報を得る。また、検索を依頼し、さらにサーバに送信された位置情報の履歴を確認することもできる。

サーバに管理用アプリを使用するスマートフォンを予め登録しておけば、ビーコンを検出したスマートフォンからサーバに送信されたことを、プッシュ通知することができる(図6)。

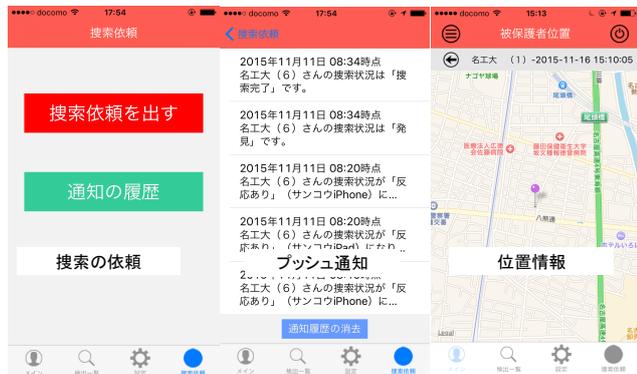


図 6 管理アプリ

4. クラウド・サーバの開発

ビーコンの ID 毎にスマートフォンから送信される位置情報、行動履歴を管理し、管理アプリに適宜情報をプッシュ通知するサーバ・システムを開発した。本サーバシステムは、家族や関係者が検索を依頼し、保護した場合は検索を解除することができる。また、過去の行動履歴を閲覧することもできる。

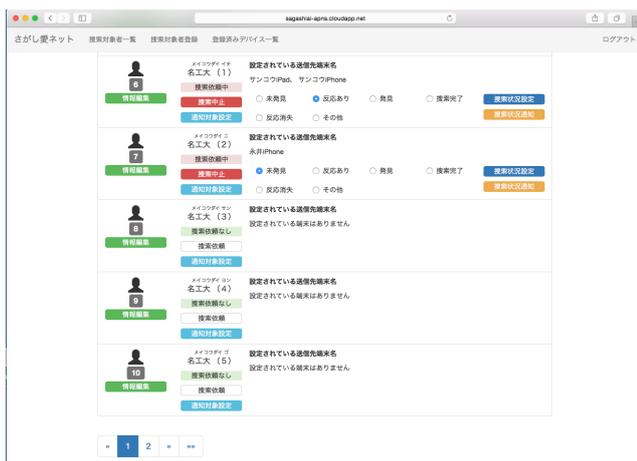


図 7 クラウド・サーバの管理画面

5. 社会実験

本提案が目指す「見守り機構」はビーコンが発信する信号を、50m 以内のスマートフォンが検出し、クラウド・サーバに位置情報を送信する。また、クラウド・サーバはスマート

フォンが送信する情報を蓄積、管理する。また、高齢者が徘徊しているときは、家族に位置情報をプッシュ通知するシステムである。高齢者は、ビーコンを日常的に携帯することで、安心・安全な環境を得ることができる。

本提案では、見守り機構の有効性を検証するため、愛知県大府市、及び名古屋市千川区で社会実験を実施した(表3)(表4)(表5)。

本社会実験では、(1)センサ (BLE ビーコン) の周囲 50m 以内でスマートフォンによる検知ができたか、(2)ビーコン携帯高齢者の行動把握 (検索依頼・検索状況・通知確認) ができたか、(3)PUSH サーバからグローバル・プッシュ通知ができたか (発見情報の通知)、(4)管理サーバに行動データが記録できているか、(5)屋内環境で行動観測するための条件はなにか (状況の確認: フラワーサーチ大府), を行った。

5.1 愛知県大府市 (屋内)

本社会実験では、屋内のビーコンを管理し、高齢者が施設職員の知らないうちに施設外 (屋外) に出てしまうことを防止できるのかを検証した。

表 3 フラワーサーチ大府 (大府市) での社会実験

日時	平成 27 年 11 月 14 日 (土) 9:30~11:30
場所	フラワーサーチ大府 〒474-0037 愛知県大府市半月町 3 丁目 230
結果	模擬的に徘徊した高齢者数: 4 名 スマートフォンの利用数: 14 台 (名古屋工業大学 教員・学生) ビーコンの検出数: 2,307 件 PUSH 通知数: 2,307 件 管理データの記録数: 2,307 件
評価	居室・施設からの退出管理を検証できた。施設職員のスマートフォンに、退出したことを知らせるメッセージが通知できた。 居室・施設では、固定型受信機をドア・玄関に設置して置くことが有効である。

5.2 愛知県大府市 (屋外)

本社会実験では、雨天時に、自動車を利用した高齢者の捜索での本見守り機構の有効性を検証した。

表 4 愛知県大府市での社会実験

日時	平成 27 年 11 月 14 日 (土) 13:00~16:00
場所	吉田公民館近辺で捜索訓練を実施 〒474-0042 愛知県大府市高丘町 2 丁目 2
結果	模擬的に徘徊した高齢者数: 3 名

	スマートフォン利用数： 14 台（名古屋工業大学 教員・学生） ビーコンの検出数：302 件 PUSH 通知数：302 件 管理データの記録数：302 件
評価	当日雨天であったため、探索者は自動車内から 探索訓練となった。このため、センサ検出距離 は 10m 以下となった。 したがって、天候に左右されない屋外設置型の 固定型受信機が望ましい。

5.3 名古屋市中川区

本社会実験では、人口密集地である都市部での有効性と、
 建造物や人が電波に及ぼす影響を検証した。

表 5 名古屋市中川区での社会実験

日時	平成 27 年 11 月 16 日（月）13：30～16：00
場所	中川福祉会館から八熊コミセンまでで探索訓練 （中川福祉会館） 〒454-0031 名古屋市中川区八幡本通二丁目 40 （八熊コミセン） 〒454-0012 愛知県名古屋市中川区尾頭橋 4 丁目 5-24
結果	模擬的に徘徊した高齢者数：2 名 スマートフォン利用数： 15 台（名古屋工業大学 教員・学生） ビーコンの検出数：590 件 PUSH 通知数：199 件 管理データの記録数：590 件
評価	表通りでは発信機の検出距離は 50m 程度あり十分 であった。路地裏では、電波が遮断・反射し 受信距離は短くなった。このため、アンテナの 送信特性の向上を図り、センサ検出性能を改善 する。

6. 考察

フラワーサーチ大府での屋内社会実験では、居室・施設
 からの退出管理が検証できている。施設職員のスマートフ
 ォンには、退出したことを知らせるメッセージが通知され
 ており、本提案の有効性が確認できた。

また、施設職員との議論や社会実験から、居室・施設で
 は、固定型受信機をドア・玄関に設置して置くことが補完
 的役割を果たし、より有効であることがわかった。

愛知県大府市での社会実験は、雨天の中で決行した。探
 索者は自動車内でスマートフォンを用いて探索した。自動
 車の車内では、10m 近辺でないとビーコンを検出できず、

殆ど探索では無効となることがわかった。自動車は、シー
 ルド性が高く、室内から電波が受けにくい環境であること
 が明らかとなった。したがって、自動車での探索には、ボ
 ディに装着する固定型受信機などを検討する必要がある。

名古屋市中川区の社会実験は、表通りではビーコンの検
 出距離は 50m 程度あり十分であった。しかし路地裏では、
 電波が遮断・反射し、受信距離が短くなった。都市部は建
 造物や往来する人の影響が大きいと考えられる。

このため、アンテナの送信特性の向上を図り、センサ検
 出性能を改善する必要がある。また、50m でビーコンを検
 出した場合、スマートフォンとビーコンの位置の差が大き
 く、実際に保護するときに、位置が特定できないという課
 題があることがわかった。

7. まとめ

考察から本システムを社会で実用化するために、以下の
 検討が必要である。

- (1) アンテナ特性を改善するために、ビーコンが発信する電
 波が建造物や人の影響をうけづらいアンテナを設計する。
- (2) ビーコンの位置を推定し、ビーコンの位置の存在確率
 を表示するヒートマップを開発する。
- (3) スマートフォンを補完する固定型受信機の開発する。

謝辞

本研究は、総務省 SCOPE 地域 ICT 振興型研究開発の支
 援を受けて実施した。

参考文献

- 1) 厚生労働省, 都市部における認知症有病率と認知症の生活機能
 障害への対応, 総合研究報告書(2013).
- 2) 永井明彦, 小竹暢隆, 在宅介護事業者へのヒアリング報告, 産
 学連携学会第 12 回全国大会, pp.229-230(2014).
- 3) 土居元紀, 井上博司, 青木優太郎, 大城理, 人物追跡と転倒検
 知による独居高齢者遠隔見守りシステム, 電気学会論文誌 E(セ
 ンサ・マイクロマシン部門誌), Vol.126, No.8, pp.457-463(2006).
- 4) 武内保憲, 高精度位置検知システムを適用した子ども見守りシ
 ステムの開発, [C] 平成 20 年電気学会電子・情報・システム部
 門大会講演論文集, pp.635-636(2008).
- 5) 中西一貴, 堀尾伸治, 金井洪紀, 新村正明, 國宗永佳, 本山栄
 樹, 不破泰. 無線 Ad-Hoc ネットワークを用いた地域見守りシ
 ステムの現状と今後の計画 (次世代ネットワーク, 電力線通信, 無
 線通信方式, 一般). 電子情報通信学会技術研究報告. CS, 通信方
 式, Vol.109, No.116, 35-40(2009).
- 6) 永井明彦, 持田昇一, BLE センサとスマートフォンを利用し
 た認知症見守りサービスの研究, 開発工学, Vol.35, No.1,
 pp.55-58(2015).