

愛知工業大学情報科学部情報科学科
コンピュータシステム専攻

令和4年度 卒業論文

独立したコミュニティにおける
滞在ウォッチの安定運用のための
システム拡張に関する研究

2023年2月

研究者 K19036 龜田優作
K19074 外山瑠起

指導教員 梶 克彦 准教授

目 次

第 1 章 はじめに	3
1.1 背景	3
1.2 滞在ウォッチの安定運用のためのシステム拡張	4
1.3 論文構成	4
第 2 章 関連研究	5
2.1 屋内位置推定に関する研究	5
2.2 在室者検出に関する研究	5
2.3 在室者状況の提示方法に関する研究	6
2.4 コミュニケーション促進に関する研究	6
第 3 章 在室管理プラットフォーム	
「滞在ウォッチ」	7
3.1 「滞在ウォッチ」のシステム構成	7
3.2 在室者情報を用いた応用システムについて	10
第 4 章 独立したコミュニティにおける滞在ウォッチの安定運用のためのシステム拡張	12
4.1 安定運用に向けた既存システムの再構築	12
4.1.1 サーバ側システムの再設計と再構築	12
4.1.2 クライアントサイドの実装	14
4.2 利用者の管理とアクセス制御システムの整備	14
4.3 スマホアプリによるビーコンと実デバイス	18
4.3.1 BLE ビーコンのアプリケーション化	18
4.3.2 スマホビーコンと実デバイスによるビーコンのハイブリッド活用	21
第 5 章 おわりに	23
5.1 まとめ	23
5.2 今後の課題	23
謝辞の例	25

第1章 はじめに

本章では、研究背景や我々の先行研究について述べ、本研究の目的と概要を説明する。

1.1 背景

近年社会的に重要な課題の一つとして、在室者管理が挙げられる。在室者管理は環境保護やエネルギー効率化セキュリティ強化などの目的から、家庭やオフィスなどの建物内での生活やビジネスに関する様々なアプリケーションに応用される。例えばエネルギー管理は居住者がいる場合といない場合でエネルギー消費量が大きく異なるため、在室者管理によって建物内でのエネルギー消費を最適化できる。またセキュリティや照明などのシステムの自動化にも応用され、これにより安全管理やエネルギー効率化を図れる。在室者管理は災害時や緊急事態においても重要な役割を持つ。災害時には避難した居住者の確認が重要であり、在室者管理を使用すれば確認作業をスムーズに行える。

また在室者管理はコミュニティにおいても様々なメリットがある。その一つにコミュニティ内でのコミュニケーション促進が挙げられる。在室者管理を行い在室者情報を可視化すれば、コミュニティ内で誰がいるのかを確認できる。これによりコミュニティ内での交流や活動がスムーズになり、同じコミュニティに属する人たちが同じ時間にいる場合には共同での過ごし方を提案できる。また在室者が多い時間帯、少ない時間帯の傾向が把握できればコミュニティ内でのイベントやミーティングのタイミングを調整しやすくなる。これにより参加者が参加しやすい時間帯にイベントやミーティングを提案できるため参加者が集まりやすくなり、コミュニケーションの促進を行える。

さらに近年在室者管理は新型コロナウイルスの影響により、感染拡大を防ぐ上で有効な手段と考えられる。在室者管理を使用すれば、感染者が訪れた場所や接触した人々を追跡し消毒や清掃を行える。また濃厚接触者を特定し隔離や検査を行えば早期発見や早期対応が可能になる。そのためコミュニティなどで在室システムを導入すれば感染リスクを低減するために活用できると考えられる。

在室者管理の研究は、学術界や産業界においても注目を集めており、20世紀後半から様々な方法が提案されてきた。在室者管理を行う方法としてICカードを用いて在室者情報を能動的に記録する方法がある。例として学生が教室に入るときにICカードをタッチし、出るときにも同様にタッチを行うと学生が教室に在室した時間を記録できるシステムが挙げられる。ICカードの使用により、手動での在室情報の管理から自動化が可能になる。この方法では在室者情報を確実に記録できるがICカードを用いて能動的に記録する必要がある。利用者への負担がICカードの記録忘れによる在室情報の不正確さを招く可能性がある。この問題の解決策として、様々なセンサを使用した方法が提案されている。例えば、照度センサ、温度センサ、音声センサ、カメラなどが挙げられる。これらセンサを使用して得られたデータを処理し在室者がいるかどうかを判定する。ただしこれらのセンサを使用した在室者管理は、環境条件や居住者の生活スタイルなどにより精度が異なるため、正確な在室者管理ができない場合がある。このように在室者管理は重要な課題であり様々なアプリケーションに応用されるが、環境によって正確な検出が難しいという問題もある。また深層学習を使用した在室者管理システムがある。深層学習は大量の画像や音声などのデータを特徴量として抽出し、学習を行うため高精度の人物の在室検出が可能である。しかし深層学習を使用した在室者管理には、大量のデータが必要でありデータ収集や学習には多くのリソースが必要なのが問題点である。またプライバシ保護の観点から、カメラの使用は避けられる場合が多い。

我々の先行研究としてBLE(Bluetooth Low Energy)ビーコン(以下、ビーコン)を用いた在室者管理プラットフォーム「滞在ウォッチ」を提案している。ビーコンの価格は低コストであり普及しやすいと考えられる。

えられる。これにより建物全体に導入が容易であり在室者検出のカバー範囲を広げられる。またビーコンは低消費電力であり長期間にわたって使用できる。これにより、在室者検出を24時間行えるため建物内での生活やビジネスに対して常時モニタリングを行える。さらにビーコンはビーコン単体だけでは個人を特定できず、例え紛失したとしても個人を特定できないためプライバシ保護にも適している。滞在ウォッチはビーコンを持ち歩き在室情報を記録するメンバ、現在の状況や履歴を閲覧したりAPIを通して利用する利用者、メンバ管理、メンバへのビーコン配布、利用者の登録を行う管理者、システムを開発する開発者が存在する。メンバの負担軽減のため、在室者情報をビーコンで受動的に記録する方法を採用している。ビーコンを持ったメンバが部屋に訪れるとき受信機が検知し、サーバに在室者情報を送信し、データベースに記録する。データベースに保存された情報は、独自に作成したWeb APIによって外部からの利用が可能である。先行研究として、Web APIを使用した退勤管理システムや在室情報可視化システム、部屋利用者の来訪促進システム、コミュニケーションプラットフォームなどがある。

1.2 滞在ウォッチの安定運用のためのシステム拡張

本研究の目的は滞在ウォッチによる複数コミュニティ間連携の実現である。複数コミュニティ間とは空間的な距離が近いコミュニティ間と定義する。例として大学の研究室間やビルのオフィス間などが挙げられる。滞在ウォッチにおける複数コミュニティ間連携によって得られる利点として、まずコミュニティ間でのコミュニケーションの増加が挙げられる。普段コミュニケーションを取らない別コミュニティの人々とのコミュニケーションが促進される。他のコミュニティからの新しい知見やアイデアの共有による知識量や創造性の向上、スムーズなコミュニケーションやリソースの共有による生産性の向上が期待できる。またコミュニティ間の連携が容易になるため、新しいプロジェクトやイベントが生まれる可能性がある。

しかし滞在ウォッチを複数コミュニティ間で連携するには大きく分けて2つの問題点が存在する。まずコミュニティで独立した運用ができていない点が挙げられる。「独立した運用」とは、各コミュニティで自らのシステムや装置を運用できることを指す。複数コミュニティ間で連携するためには、各コミュニティで滞在ウォッチを運用する必要がある。これを行うには各コミュニティが設備やシステムを持つ必要がある。それぞれのコミュニティが独立した設備やシステムを持っていれば、各コミュニティが独自に在室情報を収集し管理できるためそれらを連携させられる。しかし既存の滞在ウォッチは單一コミュニティを前提として設計されているため各コミュニティが独立した運用を行えない。次に在室情報を長期に渡り継続的に記録できない点が挙げられる。在室情報の長期に渡る継続的な記録は、コミュニティ間でのコミュニケーションを促進するための基礎となる情報であるため必要である。しかし、既存の滞在ウォッチはBLEビーコンのみを使用して運用しているためバッテリがなくなると在室情報を記録できない。バッテリの交換を促しているが交換がされず放置される場合がある。

これらの問題を解決した滞在ウォッチの運用を安定運用と定義し本研究では滞在ウォッチを複数コミュニティ間で連携するために、独立したコミュニティにおける滞在ウォッチの安定運用のためのシステム拡張について提案する。安定運用に向けたアプローチとして既存システムの再構築、独立した運用に向けて利用者の管理とアクセス制御システムの整備、長期に渡る継続的な在室情報の記録に向けてBLEビーコンのアプリケーション化とアプリケーション化を行ったスマホビーコンと実デバイスピーカーによるハイブリッドシステムの構築を行う。

1.3 論文構成

第2章では、本研究と関連した研究との違いを比較する。第3章では、在室管理プラットフォーム「滞在ウォッチ」について述べる。第4章では、独立したコミュニティにおける滞在ウォッチの安定運用のためのシステム拡張について述べる。第5章では本研究に対するまとめと今後の課題について述べる。

第2章 関連研究

本章では、本研究と関連した研究との違いを比較する。2.1節では部屋における在室者検出方法、無線通信技術による検出手法の比較を述べる。2.2節では、部屋におけるスマートフォンやビーコン、ICカードを用いた在室者の検出方法の関連研究について述べる。2.3節では記録された在室者情報の提示方法の関連研究について述べる。2.4節ではコミュニケーション促進の関連研究について述べる。

2.1 在室者検出に関する研究

大学や会社では在室者を検出する手法を用いて、講義の出欠 [2][3][4][5][6] や勤怠管理 [7] が行われている。在室者を検出する手法として IC カードを用いた検出方法 [8] [9] [10] [11] [12] [13] や、ビーコンの受信電波強度を利用した検出方法 [14][15] がある。

IC カードを用いた在室者検出方法は利用者に IC カードを携帯してもらい、専用の機器などを用いて在室者を検出する手法である。必要となる機器を導入した後は利用者は IC カードを用いるだけで在室者検出ができる。しかし新たに導入する場合は必要となる機器や、IC カードを登録する手間などコストは高くなってしまう。

ビーコンを用いた在室者検出方法には二つある。1つ目は利用者にビーコンを携帯してもらい、在室者を検出したい部屋に受信機を置く方法である。部屋利用者の在室者検出はビーコンの受信電波を受信機が取得するだけで行えるので、自動で行える。また、ビーコンはサイズが小さいものが多く、利用者が携帯する負担もかからない。在室者検出する部屋に受信機を置き、利用者はビーコンを携帯するだけなのでコストも抑えられる。2つ目に利用者にはスマホを携帯してもらい、在室者を検出したい部屋にビーコンを置く方法である。スマホの普及が進んでいる [16] ので、導入コストはビーコンのみであるため、1つ目の方法よりもコストを抑えられる。しかし、全員がスマホを所持しているわけではないので、スマホを所持していない利用者には別の検出方法を導入する必要がある。本研究ではスマートフォンを所持していない利用者も想定し、利用者一人一人にビーコンを携帯してもらい、在室者を検出したい部屋に受信機を設置する方法を採用した。

在室者を検出し、在室者情報を管理するシステムに関する研究がある [17][18][19]。スマホを用いて在室者を検出し、在室者情報を管理するシステムは、スマホを所持している人が多いため、新たに必要となる機器の数が少なく、コストを抑えられる [17]。またビーコンを用いて在室者を検出し、在室者情報を管理するシステムは利用者にビーコンを携帯してもらい、在室者を検出したい部屋に受信機を設置すれば在室者を検出できるので、コストを抑えられる [18][19]。先ほど述べたようにスマートフォンを所持していない利用者も想定し、利用者一人一人にビーコンを携帯してもらい、在室者を検出したい部屋に受信機を設置するシステムとした。

2.2 在室者状況の提示方法に関する研究

在室者を検出した後に在室者情報を用いた在室者状況の提示方法は様々ある [20] [21] [22] [23] [24]。利用者全員が見られるサイネージに在室者情報を提示するものや、個人が所有しているスマートフォンやタブレットから在室状況を確認できるものなどがある。利用者全員が見られるサイネージに提示する手法では、一目で在室情報を確認できる必要がある。スマートフォンやタブレットに提示する手法を用いたものを図に示す。また個人が所有しているスマートフォンやタブレットから在室状況を確認できる手法ではス

マートフォンやタブレットに適するレイアウトを考える必要がある。本研究ではその場にいる人のコミュニケーション促進するために、その場にいる人が見られるサイネージに提示する手法を採用した。

2.3 コミュニケーション促進に関する研究

第三者間のコミュニケーションや知っている人同士のコミュニケーションを支援、促進する研究がある。まず見知らぬ他人や顔だけは知っているがコミュニケーションを取らない人とのコミュニケーションを支援促進するものがある [25][26][27][28]。気軽に他者とのコミュニケーションができると示唆している。しかし知っている人同士のコミュニケーションを促進するものではなく、あくまで見知らぬ他者やコミュニケーションを取らない人とのコミュニケーションを支援、促進するものである。また公共空間でのコミュニケーションを支援、促進する研究がある [29][30][31][32]。見知らぬ人や顔だけは知っている関係ではなく、同じ空間を共有している人同士のコミュニケーションを支援、促進するものである。コミュニケーションのきっかけや共有できる情報を提示するものとして、本研究でも同じ空間を共有している人同士のコミュニケーションを促進する方法として参考にする。

第3章 在室管理プラットフォーム 「滞在ウォッチ」

本章では、ビーコンを用いた在室者検出および在室管理プラットフォーム「滞在ウォッチ」について述べる。3.1節では、「滞在ウォッチ」のシステム概要、利用した機器やサーバ、ビーコンと個人の紐付け、在室者推定、在室者管理サーバを述べる。??節では、在室者情報の活用方法として、現在の在室状況を示す在室者のリスト、過去の在室履歴を示す滞在時間や曜日別の滞在率による可視化を述べる。3.2節では、滞在ウォッチによって記録された在室者情報を用いた応用システムについて述べる。

3.1 「滞在ウォッチ」のシステム構成

滞在ウォッチは、ビーコンを持ち歩き在室情報を記録するメンバ、メンバ管理、メンバへのビーコン配布、利用者の登録を行う管理者、現在状況や履歴を閲覧したり API を通して利用する利用者（メンバや管理者も利用者になりうる）、システムを開発する開発者がおり、メンバがビーコンを携帯し、部屋ごとに設置された受信機によりビーコンを検出する手法で、在室者管理を自動に行う。メンバには一人1つビーコンを携帯してもらう。サーバには部屋メンバの名前とビーコンの ID を登録する。ビーコンは周囲に数秒に1回電波を発信する。受信機がビーコンの電波を受信する間隔は3分である。受信機が検出したビーコンの ID と電波強度は日時や在室した部屋名とともにサーバに送信され記録される。記録した在室者情報は Web API を通して利用可能であり、勤怠管理システムや来訪促進システムといった様々な応用を想定している。

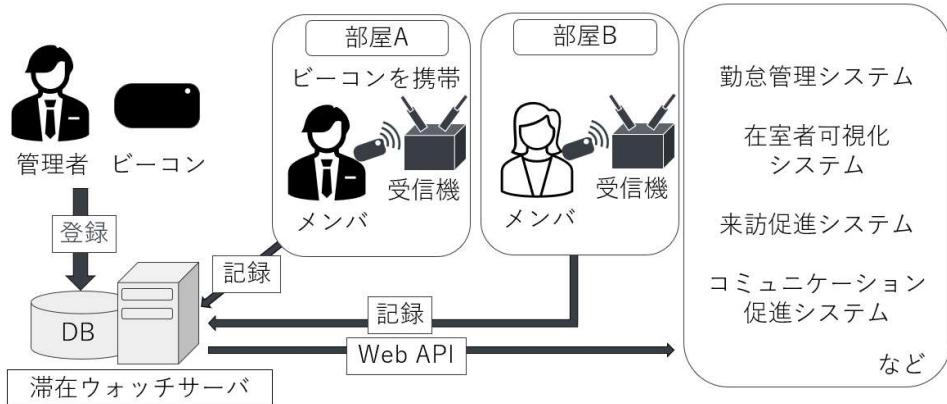


図 3.1: 「滞在ウォッチ」の概要図

本手法に関連するビーコン、受信機、サーバを示す。メンバが携帯するビーコンには、長期的な運用を考慮しバッテリ交換が可能かつ小型な FCS1301[33] を利用している。ビーコンは図 3.2 のように様々な大きさや形のものがある。複数のビーコンの比較を表 3.1 に示す。ボタンは定期的な電波発信に加えて押した時にも電波発信できるため、点検時に利用できる。FCS1301 の用途は、財布やパスケースなどの貴重品に付ける紛失防止や子供の荷物などに付ける見守り支援がある。実際にパスケースに取り付けた様子を図 ?? に示す。財布やパスケースに取り付けたり入れても気にならないサイズだとわかる。そのため、メン

バが携帯するのに適している。またバッテリ交換の際の様子を図3.3に示す。特殊な器具などを使う必要がなく、簡単にバッテリ交換ができる。FCS1301ではボタンを押すとペアリング、長押しするとスリープモードへ移行し、保管の間省電力モードになる。ビーコンの電波送信の間隔はFCS1301の規格で最大の10秒ごとに設定している。1部屋ごとに台設置する受信機には図3.4の低価格なRaspberry Pi[34]を利用している。1つの部屋に1つずつ受信機を設置する。



図3.2: ビーコンの種類

表3.1: ビーコンの比較

ビーコン名	サイズ	バッテリ交換	ボタン
FCS1301	縦46.0 mm × 横24.5 mm × 厚さ3.5 mm	○	○
MAMORIO	縦35.5 mm × 横19.0 mm × 厚さ3.4 mm	×	×
WICED	縦60.0 mm × 横37.0 mm × 厚さ10.0 mm	○	○
estimote	縦55.0 mm × 横38.0 mm × 厚さ15.0 mm	×	×



図 3.3: ビーコンのバッテリ交換



図 3.4: 実際に使用しているビーコンを検知する受信機

メンバがビーコンを携帯し部屋に訪れると、部屋ごとに設置された受信機でビーコンを検出する。この手法では、メンバは常にビーコンを所持している必要がある。FCS1301 は小型で薄いビーコンのため、財布の中や鍵のキーホルダーとして貴重品などと一緒に持ち歩ける。この手法では、一時的に部屋を出た場合にも在室判定ができる、メンバはビーコンを所持するだけで、在室者情報を記録できる。メンバが部屋

を訪れた際、部屋ごとに設置された受信機で検出されたビーコンの情報とサーバにある登録情報を参照し、在室者を特定する。また、複数の部屋に受信機を設置するため、在室者の名前に加えて部屋名もサーバに送信する。部屋ごとに受信機を設置する際に、設置する部屋が隣接する場合に以下の問題が発生する可能性がある。ビーコンは周囲数メートルから数十メートルに電波を発信するため、隣接した複数の部屋で同様の在室判定を行う可能性がある。そこで、ビーコンが発信する電波強度に着目する。ビーコンの電波強度は表3.2に示すように壁や扉のコンクリートや鉄板の障害物によって減衰する[35]。そのため、隣接した複数の部屋では電波強度に明らかな差があると考えられる。したがって、在室判定にビーコンの受信電波強度を利用して隣接した部屋での誤検出の防止が可能だと考える。部屋ごとに設置された受信機によって検出された在室者情報はサーバに送られ、データベースに日時と在室した部屋名が記録される。記録した在室者情報はWeb APIを通して利用可能であり、他のプログラムからも利用できる。

表3.2: 高周波(RF)電波を反射／吸収する物質

障壁の種類	木材	合成物質	ガラス	水	煉瓦	大理石	土壁	コンクリート	金属
干渉の可能性	低	低	低	中	中	中	高	高	非常に高い

3.2 在室者情報を用いた応用システムについて

部屋利用者の在室者情報を用いれば、部屋の管理者や部屋利用者にとって便利な応用システムが考えられる。1つ目の応用システムとして、勤怠管理システムが考えられる。勤怠管理システムの代表例としてタイムカードでの打刻や、ICカードやQRコード、スマートフォンによる記録が挙げられる。これらのシステムでは利用者が能動的に記録する必要がある。本研究でのビーコンを用いた手法では能動的な記録を必要とせず、自動で記録されるため、利用者の負担や記録のし忘れが減ると考えられる。2つ目の応用システムとして、コミュニケーション促進システムが考えられる。研究室では部屋利用者同士の活発なコミュニケーションが求められる。しかし研究室に所属する部屋利用者は必ずしも共通の話題を持つ人が集まるわけではない。そこで部屋利用者が共有できる情報である在室者情報を用いてコミュニケーションを促進するようなシステムを構築がある。3つ目の応用システムとして、来訪促進システムが考えられる。在室者情報を用いたゲーミフィケーションに基づくシステムが考えられる。具体例として在室履歴を用いたペット育成ゲームが考えられる。在室履歴を用いたペット育成ゲームの概要を図3.5に示す。部屋利用者の在室履歴からペットに餌を与えるようなシステムである。部屋利用者はペットに餌を与えるためには部屋に在室する必要がある。そのためペットに愛着があるなら部屋利用者は来訪する必要がある。また在室履歴を用いたペット育成ゲームのアプリのイメージ図を図3.6に示す。誰でも見やすいようなレイアウトやスマホでの利用を想定したボタン配置を意識した。

ある滞在条件を満たすとペットの満腹度効率が向上

来訪頻度	同室人数	組み合わせ	満腹度
多い 	多い 	珍しいグループ A D	 増えやすい
少ない 	少ない 	いつものグループ A B C	 増えにくい
曜日によって来訪する人の偏りをなくす		来訪する人の固定化を防ぐ	

図 3.5: 来訪促進システムの概要図



図 3.6: ペット育成ゲームのアプリのイメージ

第4章 独立したコミュニティにおける滞在ウォッチの安定運用のためのシステム拡張

滞在ウォッチを複数コミュニティ間で運用するには、複数の問題が存在する。独立したコミュニティで運用できない問題や長期に渡り在室情報を継続的に記録できない問題である。これらの問題を解決した安定運用に向けての取り組みについて述べる。4.1章で既存の滞在ウォッチに独立運用するためのシステムの再構築について述べる。4.2章で利用者の管理とアクセス制御システムの整備について述べる。4.3章でスマホアプリによるビーコンと実デバイスの併用について述べる。

4.1 安定運用に向けた既存システムの再構築

既存の滞在ウォッチは長期に渡り継続的に保守・開発していくのが困難だったため安定運用を目指す上でシステムの再構築を行った。4.1.1章では、サーバ側のシステムの再設計を行い、4.1.2章ではクライアント側のシステムの再設計を行った。

4.1.1 サーバ側システムの再設計と再構築

サーバ側には独立したバックエンドシステムとの連携が容易かつWebアプリケーションのより高い可用性とスケーラビリティが実現できるREST APIを採用した。REST APIは、多種多様なクライアントからアクセスができるため、様々なデバイスやプラットフォームからアクセスできる。これにより、より広いユーザー層からアクセスが期待できる。

滞在ウォッチのサーバ側システムはPythonで構築されていたが、高負荷環境でパフォーマンスに影響を与える可能性があったのと動的型付け言語の開発、保守のしづらさを解消するため、Go言語を使用してシステムの再構築を行った。Web APIは大量の処理をする必要があり、Pythonの実行速度の遅さが、高負荷環境でパフォーマンスに影響を与える可能性がある。また動的型付け言語なため、型の不明確さによってバグが見つけづらく保守性が低い。そこで静的型付けであり、高速な処理能力と小さなメモリフットプリントを持つため、Web APIの開発に適しているGo言語を採用した。Go言語は高いパフォーマンスを持つ。C言語のような低レベルな言語と同等のパフォーマンスを持ちながら、高水準の言語のような簡単な構文を持っているのに加え、並列処理を容易に実現できるため、高負荷な環境でのWeb APIの開発にも適している。そのため、WebAPIの要求に適合する十分なパフォーマンスを提供できる。また構造体とインターフェース型を備えており、WebAPIの開発に必要な柔軟性を持っている。これにより、開発者は、WebAPIを実装するために適した方法を選択できる。さらに、標準パッケージによるHTTPサーバのサポートを持つため、Web APIの開発に必要な機能を簡単に実装できる。

サーバで使用するデータベースは無料で利用でき、高いスケーラビリティを持つため、WebAPIの要求に対応可能なMySQLを採用した。MySQLは多くのプラットフォームでサポートされており、多くの言語に対応しており、開発者にとって選択肢が広がる。またMySQLは優れたセキュリティ機能を持つため、WebAPIのセキュリティの確保ができる。

Go言語でMySQLの操作を行う際Go言語のORMライブラリであるGormを採用した。ORMはデータベースを操作を行うための手法の一つである。これによりデータベース操作を行う際に、SQL文を直接記述する必要がなくなりコードがすっきりし可読性が高くなる。またSQL文を直接記述しないためSQL

表 4.1: Users テーブル

プロパティ	型	説明
id	bigint	主キー
name	longtext	名前
uuid	longtext	使用者のビーコンの UUID
email	longtext	email
role_id	bigint	外部キー (roles テーブルの主キー)
create_at	datetime	作成日時
update_at	datetime	更新日時
delete_at	datetime	削除日時

表 4.2: Roles テーブル

プロパティ	型	説明
id	longtext	主キー
name	longtext	役割の名前
create_at	datetime	ユーザ情報の作成日時
update_at	datetime	ユーザ情報の更新日時
delete_at	datetime	ユーザ情報の削除日時

インジェクション対策にもなる。SQL インジェクションとは不正な SQL 文の挿入を行い、データベースに対して攻撃を行う手法である。ORM はプログラマが入力したデータを自動的にエスコープし、サイバー攻撃につながるような文字を無効化するため SQL インジェクション攻撃を防止できる。Gorm は Go 言語向け ORM ライブリの一つである。Gorm はデータベースの挿入、更新、削除、検索などの基本的な機能操作をサポートしている。また自動的なマイグレーション機能を持っている。これにより開発者はデータベーススキーマを手動で管理せずに、スキーマの変更を自動的に反映できる。Go の ORM ライブリとして他に Xorm などの選択肢もあったが複雑なクエリを簡単に作成するための豊富なクエリビルダー API を提供しているため Gorm を選択した。

後述 4.2 項で述べる利用者の管理とアクセス制御システムを実装するために、データベースに User テーブルと Roles テーブルを新しく作成した。表 4.1 と 4.2 にそれらのスキーマを示す。既存のシステムでは存在していなかった email プロパティと role_id プロパティを追加した。email プロパティは管理者が利用者の email を登録すると保存される。4.3 で解説するがこの email 存在するかで利用者の認証を行う。role_id は roles テーブルの主キーである。roles テーブルには管理者と一般利用者の 2 つのロールが存在する。役割の名前の変更や役割名が追加された場合にも対応できるように roles テーブルを作成している。

サーバサイドプログラムの開発及びデプロイメントする際にはプログラムを実行するために必要な全ての環境をコンテナ内にパッケージを行い、開発環境と本番環境での環境差を最小限に抑えられる Docker を採用した。Docker を使用すれば、アプリケーションを実行するために必要な全ての依存関係を内蔵したイメージを作成できる。これにより開発者はアプリケーションを実行するために必要な環境を 1 つのイメージにまとめられ、任意の環境に簡単に展開でき開発環境の構築が容易になる。さらに Docker は他のアプリケーションの影響を受けずに実行可能である。これによりアプリケーションが依存しているライ

プラリやフレームワークのバージョンなどの環境の違いによって、アプリケーションが動作しないといった問題を回避できる。またコンテナを水平にスケールアウトできるため、アクセスが集中した場合にもスマーズな処理を行える。デプロイ先は研究室内のサーバを利用した。研究室のサーバの利用はクラウドサービスに比べて長期的にコストを削減できる。

4.1.2 クライアントサイドの実装

クライアントサイドでは、WebAPIを利用して、Web アプリケーションを実装した。Web アプリケーションのフレームワークとして、Next.js を採用した。Next.js は React.js をベースにしており、React.js の開発を効率化に加え、サーバーサイドによるレンダリングのサポートによって SEO 対策やパフォーマンスの向上を実現できる。React.js は JavaScript のライブラリであり、コンポーネントベースのアーキテクチャを採用している。コンポーネントを独立した単位として開発すると、開発者はそれぞれのコンポーネントに集中できるため開発効率が向上する。コンポーネントは再利用可能な単位であり複数のページで同じコンポーネントを利用することができ、これにより開発コストを削減し保守性を向上させる。また React は仮想 DOM を採用しており実際の DOM (Document Object Model) を操作する代わりに、JavaScript のオブジェクトとして扱う仕組みである。仮想 DOM は実際の DOM と比較して、更新が必要な部分だけを計算を行うためパフォーマンスの向上が図れる。

基本的に既存の滞在ウォッチで同じように滞在者、滞在履歴、利用者情報のページが存在する。変更点として滞在時間をガントチャートで可視化している画面が挙げられる。4.1 にその画面を示す。この画面の緑の部分にカーソルを合わせると、入室時間と退室時間を確認できる。日付と部屋を指定するタブがあり、そのタブに応じたそれぞれのデータを表示される。

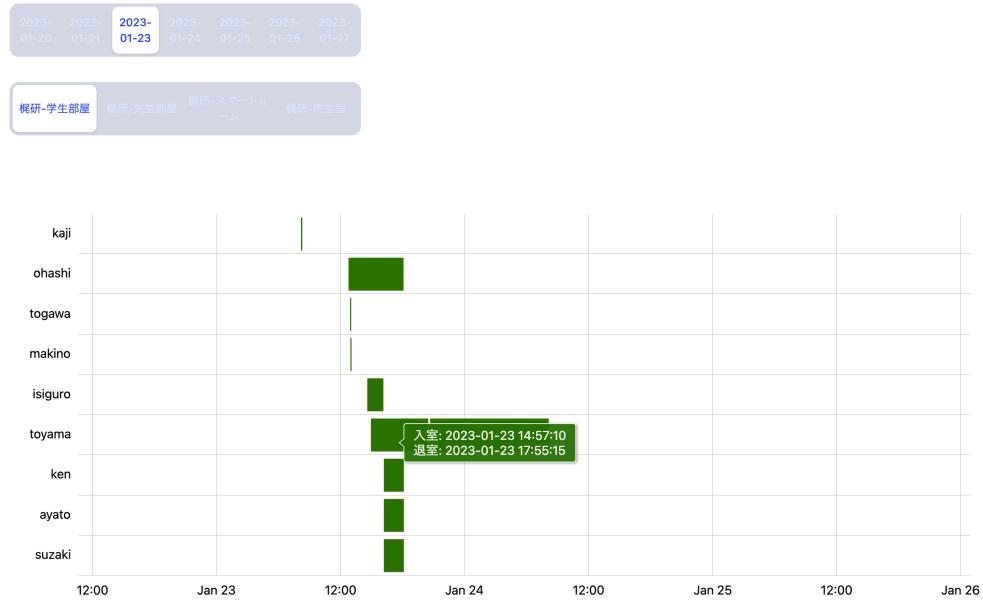


図 4.1: ガントチャートを用いた滞在時間の可視化

また滞在情報をフロアマップ上に可視化を行った。4.2 にその画面を示す。

4.2 利用者の管理とアクセス制御システムの整備

独立した運用を行うためには利用者の管理とアクセス制御システムの整備が必要である。既存の滞在ウォッチは単独コミュニティでのみの運用を前提としており開発者と管理者が同一であった。Web 上か

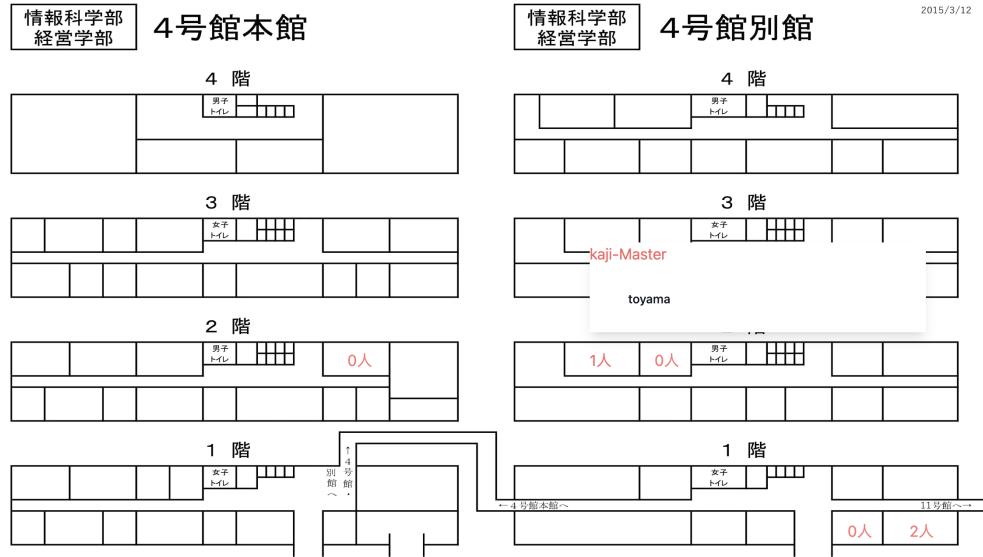


図 4.2: フロアマップ上に滞在者を可視化

らユーザの登録をするシステムが存在せず開発者がデータベースに対して直接変更を行う SQL を発行していた。これは單一コミュニティでの運用であったため成り立っていたが、複数コミュニティ間で運用を行う場合、コミュニティの数が増えるに連れてシステム開発者の利用者管理の負担が大きくなり運用するのは難しくなる。また在室者情報はプライバシに関わるため、部外者が Web ページにアクセスしても在室者情報を閲覧できないようにする必要があるにも関わらず、誰でも閲覧可能な状態であった。これらを解決するには利用者のアクセス制御システムの整備とコミュニティごとの管理者を作り、各コミュニティで独立した運用を行う必要がある。各コミュニティごとに管理者が存在すればコミュニティの利用者の管理を開発者が全て行う必要がないため負担が軽減される。

そこで Firebase Authentication の Google プロバイダーによる OAuth 認証を実装した。OAuth (Open Authorization) は、ユーザーがサービスプロバイダー（例えば Google, FaceBook など）に対して、別のサービスにアクセスするための権限を与えるためのオープンスタンダードの認証プロトコルである。OAuth 以外の認証方式として Basic 認証などがある。Basic 認証はユーザ名とパスワードをベーシック認証ヘッダーに埋め込んで送信する方式である。この方式はセキュリティ上の問題が存在する。パスワードが暗号化されていないため、パスワードが盗まれる危険がある。また、Basic 認証はバックエンド側でユーザ名とパスワードを保存する必要があり、管理を行うにはパスワードのハッシュ化など適切な処理を施す必要がある。それと比較して OAuth 認証では、ユーザのアカウント情報を第三者にアプリケーションに渡さずにアクセス権を付与できるため、セキュリティ上の利点がある。OAuth 認証では、アクセス権を持つアプリケーションにのみ有効で、期限切れになると、使用できなくなる。これにより、アクセス権を付与したアプリケーションが不正にアクセスするのを防止できる。これらの理由により、OAuth 認証を採用した。OAuth プロバイダーには Apple, Facebook など複数の選択肢がある中で Google を採用した。Google アカウントは世界中で広く利用されており、多くの人がアカウントを持っており、多数の利用者に対応可能である。

Google アカウントを用いた OAuth 認証は、Google アカウントを使って、サービスプロバイダー (Google) に対して、利用者が滞在ウォッチシステムにアクセスするための権限を与える。利用者は Google アカウントにログインし、Google が提供する OAuth 認証プロセスを通じて、滞在ウォッチシステムにアクセスできる。OAuth 認証により、利用者は自分の Google アカウントの情報（パスワードなど）を滞在ウォッチシステムに入力をせずに、安全にアクセスできる。しかし Google アカウントによる OAuth 認証だけでは意図しない外部のユーザのアクセスを防ぐことはできない。なぜなら Google アカウントを持ってい

るユーザなら誰でも認証を行えるためである。そこでGoogleアカウントによるOAuth認証に加えて滞在ウォッチサーバ側で独自のユーザ認証を行った。具体的には滞在ウォッチ管理者が登録したユーザのみを認証するというものである。滞在ウォッチサーバのデータベースにはGoogleのアカウントのユーザ名であるメールアドレスが保存してある。この保存されたメールアドレスは滞在ウォッチの管理者が登録したものであるため、メールアドレスが存在する場合は管理者の許可のある正規のユーザと判別できる。

管理者のユーザ登録フロー図を図4.3に示し具体的に説明する。まず初めに利用者は管理者に対してGoogleアカウントを報告する。報告後管理者がWebの管理者ページのユーザ登録画面からGoogleアカウントを登録する。ユーザには2種類のパターンが想定される。

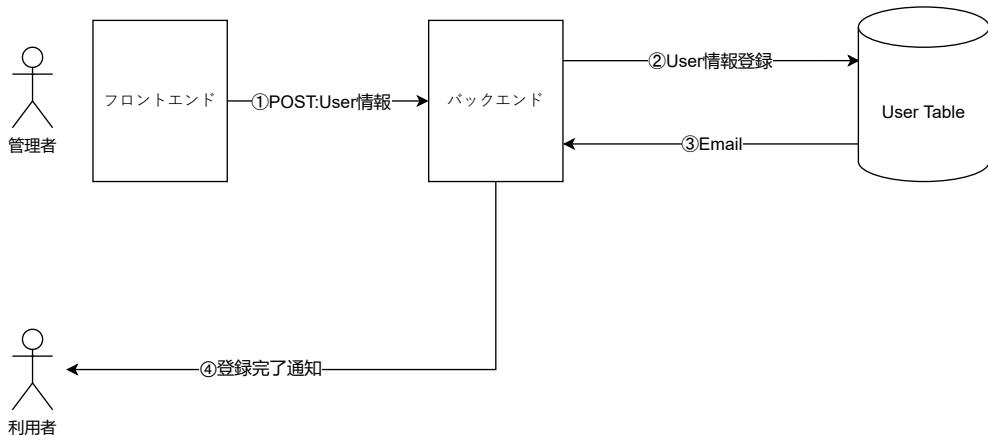


図4.3: 認証システム：管理者側のユーザ登録フロー図

まず1つ目はBLEビーコンが既に登録済みのユーザ場合の登録である。図4.4にその登録画面を示す。この登録画面は以前から滞在ウォッチユーザとして登録がされておりビーコンに関する情報とユーザ情報が既に存在するが、Googleアカウントの情報とユーザロールがないユーザを想定している。ユーザネームはデータベースに存在しているためバックエンドからデータを取得できる。この登録画面は、以前から「滞在ウォッチユーザ」として登録されているユーザ向けで、ビーコンに関する情報やユーザネームの情報は既に存在しており、Googleアカウントの情報やユーザロールのみがないユーザを対象としている。取得した利用者のユーザネームデータを管理者が選択できるようにセレクトボックスを配置した。ユーザロールのところでユーザの権限レベルの指定ができる。一般ユーザと管理者ユーザの2つがあり、一般ユーザは滞在ウォッチの在室者情報の閲覧などを行え、管理者ユーザは一般ユーザの権限に加えてユーザの登録を行える。管理者が登録ボタンを押すと、POSTリクエストがサーバ側に送信される。登録されると管理者が選択したデータベースに存在するユーザにメールアドレスが紐づき、サーバ側は対象のメールアドレスに対して登録完了のメールを送信する。メールアドレスに対して通知を行うのはユーザがいつ登録が完了したのか把握できるようにするためである。2つ目に想定されるのがビーコンが登録されていない新規ユーザである。登録画面を図4.5に示す。ユーザは4.3章で説明するスマホビーコンを使用する新規ユーザである。新規ユーザにはユーザネームがないため管理者はユーザネームを入力する必要がある。その他は先に述べた登録画面と同じであり、登録ボタンを押しサーバに対してリクエストを送信する。先に述べたものとの違いはサーバ側は新規のUUIDの生成を行うところである。スマホビーコンの初期セットアップ時にUUIDの設定を行う、その際ユーザのGoogleアカウントに対応したUUIDをセットアップできる。

メンバーの招待

The screenshot shows a registration form titled 'メンバーの招待' (Member Invitation). At the top, there are two tabs: 'BLEビーコン登録済み' (BLE beacon registered) and 'BLEビーコン未登録' (BLE beacon unregistered), with the former being active. The form contains three fields: 'ユーザ選択 *' (User selection *), 'Gmailアドレス *' (Gmail address *), and 'ユーザロール *' (User role *). The 'ユーザ選択' field is a dropdown menu labeled 'ユーザを選択'. The 'Gmailアドレス' field contains the placeholder 'your@gmail.com'. The 'ユーザロール' field is a dropdown menu labeled '一般ユーザ'. A large blue button at the bottom right is labeled '登録する' (Register).

図 4.4: BLE ビーコン登録済みの登録画面

次にユーザ側の認証のフローを 4.6 説明する。Firebase Auth で認証が成功すると JWT(JSON Web Token) トークンが発行される。Firebase Auth の JWT トークンは Firebase Auth が認証済みのユーザーを確認するために使用するトークンである。JWT トークンは、JSON 形式の文字列では発行者、トークンの有効期限、トークンの使用目的、サブジェクトが含まれておりユーザを一意に識別可能である。JWT トークンは、フロントエンドから滞在ウォッチのバックエンドに送信される。滞在ウォッチのバックエンドは Firebase Auth の API を使用して、JWT トークンの検証を行い、トークンが有効であるか確認する。有効な JWT トークンであった場合、アプリケーションのバックエンドは、そのトークンに含まれる情報を使用して、Firebase Auth が認証済みであることを確認する。認証済みであった場合は次にメールアドレス情報を確認する。データベースにメールアドレスが存在する場合フロントエンドに対してアクセスの許可を行う。このプロセスによって不正なユーザの在室者の閲覧を防いでいる。よって適切な範囲での在室者情報の共有が可能である。

メンバーの招待

The screenshot shows a registration form for a BLE beacon. At the top, there are two tabs: "BLEビーコン登録済み" (BLE Beacon Registered) and "BLEビーコン未登録" (BLE Beacon Unregistered), with the latter being active. The form fields are as follows:

- ユーザネーム ***: A text input field containing "your name".
- Gmailアドレス ***: A text input field containing "your@gmail.com".
- ユーザロール ***: A dropdown menu currently showing "一般ユーザ" (General User).

At the bottom right is a large blue button labeled "登録する" (Register).

図 4.5: BLE ビーコン未登録の登録画面

4.3 スマホアプリによるビーコンと実デバイス

我々の利用するシステム「滞在ウォッチ」は BLE ビーコンを利用している。ここではビーコンのアプリケーション化及びそれらのハイブリッド活用について記す。

初めに滞在ウォッチで使用している BLE ビーコンの仕様について解説する。BLE ビーコンとは BLE 規格のペリフェラル (Peripheral) 動作を用いて、周囲にアドバタイズを行うデバイスとセントラル (Central) 動作を用いて周囲をスキャンするデバイスによって構成される。ペリフェラル動作とは通信を受け付ける子機としての動作である。セントラル動作によってスキャンしたデバイスに反応し GATT (Generic attribute profile) 内に保持したサービスやキャラクタリストリックのデータの送受信を行う。キャラクタリストリックとは、そのデバイスが保持するサービスやデータであり、今回の研究では個人識別符号として利用する UUID が該当する。UUID (Universally Unique Identifier) とは、オブジェクトを一意に識別するために重複がない前提で用いる 128bit の数値である。キャラクタリストリックのデータとして UUID をビーコンは保持している。

4.3.1 BLE ビーコンのアプリケーション化

実デバイスによるビーコンは低コストで携帯性も高いが、滞在ウォッチの運用において利便性が低い点があり、可用性の低さに繋がる問題がある。可用性とは、メンバーの在室情報が長期にわたって継続的に記録される能力と定義する。利便性において問題となるのは、バッテリ切れによる問題や、初期設定が複雑な点である。我々が使用しているビーコンは、CR2016 というバッテリを使用している。この CR2016 は一般的なコイン型リチウム電池であり、バッテリ残量を外見上から判断できない。バッテリ残量を確認するために、ビーコンメーカーが指定したアプリケーションを使用し、実デバイスによるビーコン一台ごと

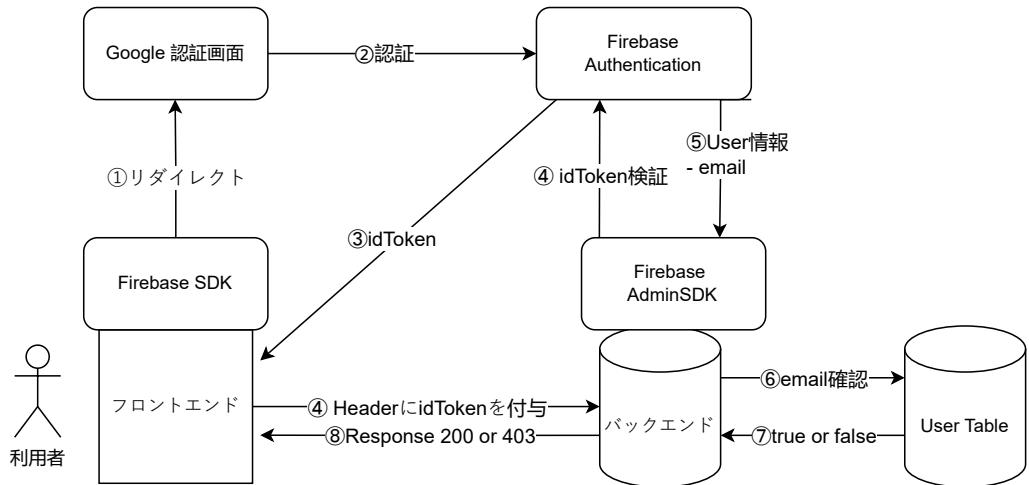


図 4.6: 認証システム: ユーザ側のフロー図

に接続する必要がある。その作業をメンバは手間と考える恐れがある。手間を理由に放置される可能性があり、可用性が低下する。また、納入されたビーコン FCS1301 はバッテリ切れによるデータ初期化が発生しない点を重視して購入行ったが、システム運用中にバッテリ切れが発生していない状態でも、UUID が設定したものと異なる数値に変更されるケースが見られた。システム上メンバに割り当てられた UUID を検知することで在室状態を検知するため、UUID が勝手に書き換わる状態では可用性が維持できない。これらの状況から、実デバイスによるビーコンのみの運用では、メンバにとっての利便性が低下してしまう、それが原因としてシステムの可用性が低下してしまうと判断した。

上記の問題のアプローチとしてメンバの利便性を向上させるため、スマートフォンアプリによるビーコン動作を行った。スマートフォンアプリを使用した場合、BLE ビーコンと違いスマートフォンは通常バッテリが内蔵されているため、ビーコンとしての動作に必要なバッテリをスマートフォンのバッテリで代用できる。その結果、実デバイスによるビーコンで発生していたバッテリ交換をする手間が削減され、利便性が向上すると考えられる。またスマートフォンユーザによってスマートフォンはコミュニケーションツールとしての用途から、バッテリを維持する傾向があるため可能性の向上も期待できる。実デバイスによるビーコンは、バッテリ残量やバッテリ切れを通知するユーザインターフェースを持たない。しかし、スマートフォンは液晶画面を持っており、スマートフォン自体のバッテリ残量やスマートフォンアプリによるビーコンの動作状況などの可視化が可能である。そのためビーコンの動作状況を表示することでビーコン動作の停止に気が付きやすく、メンバによる再起動が行われた場合、可用性の向上が期待できる。これらのメリットからスマートフォンアプリによるビーコン動作がユーザの利便性を向上させ、システムの可用性へつながると考えた。

スマートフォンビーコンは基本的にバックグラウンドに常在させる利用法を想定し実装した。既存研究ではメンバに実デバイスによるビーコンを携帯させ、能動的な記録動作の必要がない。スマートフォンのバックグラウンドに常在させる方式は実デバイスによるビーコンと同等の利便性がある。そのためバックグラウンドへの常在がアプリケーション化の前提である。その点を踏まえて動作プラットフォームを選定した。選定理由は技術調査をした際に、現状の iOS ではフォアグラウンド動作はするもののバックグラウンド動作に制限がかかっており実デバイスによるビーコンと同等の利便性を担保することが困難であると判明したため、対応プラットフォームを Android のみにした。

実装に伴い、アプリケーションのプログラムは Kotlin を用い、Bluetooth 関連の実装においては AltBeacon というライブラリを利用した。選定した理由としては、Android 標準のライブラリについての情報が少な



図 4.7: 通知領域におけるビーコンの動作状況の表示

い,一部公式ドキュメントが削除されている中で AltBeacon に関する情報は多く提供されているからである。ビーコン動作をする上で,Android のプライバシ規則によって,バックグラウンド上でのユーザへの通知無しでの動作は禁止されている。その点と,先述のスマートフォンが表示機能を持つ点を利用して 図 4.7 に示す通り 通知領域上でビーコン動作中は常時表示する仕様とした。この仕様によってユーザが入退室のたびにアプリの起動を行う必要もなく, プライバシ規則を遵守した上で, 実デバイスによるビーコンと同様の能動的な記録動作を要しない利便性を担保した。

ビーコンのアプリケーション化に伴い,管理者が実デバイスによるビーコンで行っていた登録作業をより簡略化した。従来では管理者が新しいメンバが増えるたびに登録作業をおこない,Google アカウント,名前,UUIDなどを登録し,それに合わせて実デバイスによるビーコンへ割り当てられた UUID を登録する作業を行っていた。しかし先述の Firebase によるログインを利用しメンバに紐づいている Google アカウントでログインすることでスマートフォンビーコン上で利用する UUID を,自動で設定できるようにした。



図 4.8: アプリケーションのログイン画面

図 4.8 に示すサインインで管理者が登録した Google アカウントと一致する場合にログインを行う。その後 API からメンバの情報を受け取り、UUID をアプリ内部に設定する。以降はログイン時に受け取った UUID を用いたビーコン動作を行う。

4.3.2 スマホビーコンと実デバイスによるビーコンのハイブリッド活用

スマホビーコンのみを利用する場合、様々な状況下でメンバの継続した利用が困難であるため、実デバイスによるビーコンと併用できるシステムとした。長期にわたり継続的に利用するメンバにとっては、実デバイスによるビーコンは先述の通りバッテリ交換の手間がある。スマホビーコンはそのようなメンバにとって、バッテリ交換の手間がないため有用である。しかしスマートフォンを携帯していないメンバ、スマホビーコンの利用に伴うバッテリ消費が気になるメンバなども想定される。これらの問題は実デバイスによるビーコンとスマホビーコンのハイブリッド化によって解決できる。スマホビーコンで利用する UUID を実デバイスによるビーコンで利用する UUID と同じ値に設定し同じメンバの在室情報を記録している。この方法は表 4.3 に示す通りスマホビーコンか実デバイスによるビーコンの少なくとも片方を携帯していれば記録できるため継続的にデータを記録する観点から見ても有用である。

表 4.3: 各ビーコンのみ対応時とハイブリッド対応時の比較

	長期 メンバ	短期・一時的	スマホ不携帯	ビーコン不携帯
実デバイス ビーコンのみ	△ バッテリ交換の手間	○	×	○
スマホ ビーコンのみ	○	△ インストールの手間	○	×
ハイブリッド 対応	○	○	○	○

第5章 おわりに

5.1 まとめ

今回 BLE ビーコンを用いた在室者検出システム「滞在ウォッチ」を複数間コミュニティで連携するためのシステム拡張を行なった。滞在ウォッチは BLE ビーコンをメンバに持たせて、自動的に動作するシステムである。滞在ウォッチを複数間コミュニティで連携するには、独立したコミュニティで運用できない、長期に渡り在室情報を継続的に記録できない問題を解決した安定運用を行う必要がある。独立したコミュニティの運用へのアプローチとして利用者の管理とアクセス制御システムの整備を行なった。その結果、スケーラビリティの高い利用者の管理と適切な範囲での在室情報の共有が可能となった。長期に渡り在室情報を継続的に記録できない問題へのアプローチとしてスマホアプリによるビーコン化と実デバイスの併用を行なった。その結果、実デバイスのみで在室管理していた時と比べて、長期に渡り在室情報を記録できるようになった。

5.2 今後の課題

今後の課題としてまず BLE ビーコンによる在室判定の誤判定が発生する問題がある。例えば受信機の設置してある部屋の上の階の部屋にいる人が入室したと判定される場合である。

この問題への対応策として、信号強度を利用する方法がある。信号強度を利用する方法は、受信機が受け取ったビーコンの信号強度を測定し、その部屋にいるかどうかを判定する方法である。信号強度は、送信機から受信機までの距離に比例して減衰する。そのため、受信機が受け取ったビーコンの信号強度が弱い場合は、その部屋にいる可能性が低いと判断できる。具体的には、受信機が受け取ったビーコンの信号強度を測定し、それが一定のレベル以上であれば、その部屋にいると判断し、そうでなければ、その部屋にいないと判断する。ただしこの方法は、受信機が受け取ったビーコンの信号強度を基にして、その部屋にいるかどうかを判断するため、部屋の形状や構造によっては、誤った判断をする可能性があり、全ての部屋で正しく判定するには、部屋ごとに応じた閾値を設定する必要があり、コストがかかる。

他の方法としては、BLE の以外の通信規格を使用する方法が考えられる。Ultra-Wideband(UWB)デバイスや Zigbee デバイスを使用した方法がある。UWB デバイスは、壁を貫通しにくく、高精度な位置測定を行うことができるが、新しい技術であるため、普及が送れており、対応するデバイスやアプリケーションが少ない欠点がある。Zigbee デバイスは、ワイヤレス通信技術の一種で、壁を貫通しにくい低効率の電波を使用し範囲が狭いため、隣接する部屋に影響を与えにくいか、伝達速度が遅いため、大量のデータを伝送する場合には向いていない欠点がある。UWB デバイスや Zigbee デバイスを使用した方法は上記で述べた欠点もあるが部屋を貫通しにくく、誤判定が減少すると予想されるため、導入を検討する価値があると考える。

次に、BLE ビーコンの UUID の設定に手間がかかる問題がある。現在ビーコンの UUID をセットアップする際には、専用のアプリを使って UUID の書き込みを行う必要がある。この問題への解決策として、UUID を書き込むアプリを独自に作成する方法が考えられる。独自のアプリを作成すれば滞在ウォッチサーバ側に対して HTTP リクエストを送りそのレスポンスとして UUID 取得してそれを BLE ビーコンに書き込むようなシステムを構築できると考えられる。BLE ビーコンの提供先である株式会社フォーカスシステムズに対してビーコンへの書き込みを行う API を提供してもらえないか確認を行ったが、結果としてそのような API は提供していないとの回答であった。しかし専用のアプリで BLE ビーコンへの

UUIDの書き込みを行なっているため不可能ではないと考えられる。そのためBLEビーコンのセットアップの設定の簡略化を行うために、4.3章で話したスマホビーコンの機能としてUUIDをBLEビーコンに対して提供する機能の追加の検討を行っていきたい。

プロジェクトの課題として、滞在ウォッチの複数コミュニティ間連携を実際に用いて運用を行う必要がある。本研究では、滞在ウォッチが複数コミュニティ間で連携できるように独立したコミュニティにおいて滞在ウォッチの運用ができるように検討を行ったが、実際に複数間コミュニティ間で運用後に発生する問題も考えられる。そのため、運用後はメンバ、管理者、利用者からの意見や得られたデータを元に評価、システムの改善を行う予定である。また現状のシステムでは複数コミュニティ間でのコミュニケーションを促進する機能の実装には至っていない。そのため複数コミュニティに向けたイベント開催機能などを実装し運用・評価する必要がある。

謝辞の例

本研究を進めるにあたり、多くの御指導、御鞭撻を賜わりました梶 克彦准教授に深く感謝致します。
また、日頃から熱心に討論、助言してくださいました梶研究室のみなさんに深く感謝致します。

参考文献

- [1] 志毛勇一, 神屋郁子, 下川俊彦ほか. Ble を用いた位置情報共有システムの開発. マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2016 論文集, Vol. 2016, pp. 516–521, 2016.
- [2] 嶋川司, 三木光範, 中原蒼太, 間博人. スマートフォンと ble ビーコンを用いた出席管理手法の提案. 同志社大学ハリス理化学研究報告= The Harris science review of Doshisha University, Vol. 58, No. 2, pp. 88–95, 2017.
- [3] 市村匠, 鎌田真. Nfc (near field communication) を用いた android スマートフォンによる授業出席管理システムの開発. 日本知能情報ファジィ学会 ファジィ システム シンポジウム 講演論文集第 28 回ファジィシステムシンポジウム, pp. 1167–1170. 日本知能情報ファジィ学会, 2012.
- [4] Shota Noguchi, Michitoshi Niibori, Erjing Zhou, and Masaru Kamada. Student attendance management system with bluetooth low energy beacon and android devices. In *2015 18th International Conference on Network-Based Information Systems*, pp. 710–713. IEEE, 2015.
- [5] Riya Lodha, Suruchi Gupta, Harshil Jain, and Harish Narula. Bluetooth smart based attendance management system. *Procedia Computer Science*, Vol. 45, pp. 524–527, 2015.
- [6] 檀裕也ほか. 出席管理システム amuse の設計と開発. 松山大学論集, Vol. 21, No. 2, pp. 95–115, 2009.
- [7] AMANO. 勤怠管理システム ラインナップ. <https://www.tis.amano.co.jp/product/line-up/kintai/>, 2023 年 1 月 30 日.
- [8] 飯田仁, 吉永哲哉. 学生証を用いた授業出席状況管理システムの開発. 大学教育研究ジャーナル, Vol. 7, pp. 131–137, 2010.
- [9] 大見嘉弘ほか. Felica を用いた出席管理システムの開発と運用. 東京情報大学研究論集, Vol. 15, No. 2, pp. 69–81, 2012.
- [10] 藤原仁貴, 村田雄一, 堀竜慈, 鈴木俊吾, 志築文太郎, 田中二郎. メンバーの習慣を可視化する電子行方表とその評価. インタラクション, pp. 1–4, 2010.
- [11] 須田憲人, 鯉沼辰弥, 鈴木崇, 熊澤弘之. 非接触 ic カードを用いた出席登録システム. 電子情報通信学会技術研究報告; 信学技報, Vol. 111, No. 141, pp. 65–70, 2011.
- [12] システム・アローポーション株式会社. Felica を用いた入退室管理システム換装（勤怠管理、人事管理システム連動. <https://sap-inc.co.jp/introduction-example/felica-System>, 2023 年 1 月 30 日.
- [13] 松本浩明, 和田紗侑里, 原昇太郎, 森田直樹. Suica を用いた出席確認システムの開発とその評価. 東海大学紀要. 情報通信学部 東海大学情報通信学部 [編], Vol. 4, No. 2, pp. 16–21, 2011.
- [14] 梶岡慎輔, 山本大介, 打矢隆弘, 斎藤彰一, 松尾啓志, 内匠逸ほか. Ble ビーコンを用いた位置推定による打刻システムの運用と課題. 研究報告セキュリティ心理学とトラスト (SPT), Vol. 2016, No. 12, pp. 1–7, 2016.

- [15] 梶岡慎輔, 山本大介, 打矢隆弘, 斎藤彰一, 松尾啓志, 内匠逸ほか. Ble ビーコンを用いた位置推定による打刻システムの運用と課題. 研究報告セキュリティ心理学とトラスト (SPT), Vol. 2016, No. 12, pp. 1–7, 2016.
- [16] 総務省. 平成 29 年版 情報通信白書数字で見たスマホの爆発的普及 (5 年間の量的拡大). <https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h29/html/nc111110.html>, 2023 年 1 月 30 日.
- [17] 小野澤清人, 渡邊圭輔, 諏訪敬祐. スマートフォンを用いた在室管理システムと学習状況管理システム. 東京都市大学横浜キャンパス情報メディアジャーナル= Journal of information studies, Vol. 13, pp. 6–15, 2012.
- [18] 田中健, 諏訪敬祐. 研究室在室管理システム自動化における ibeacon の応用. 東京都市大学横浜キャンパス情報メディアジャーナル= Journal of information studies, No. 16, pp. 33–39, 2015.
- [19] 田中優斗, 福島拓, 吉野孝ほか. Docoitter: 未来の在室情報を予報する在室管理システム. 情報処理学会論文誌, Vol. 54, No. 9, pp. 2265–2275, 2013.
- [20] 中田豊久ほか. 画像による行き先掲示板システム. ワークショップ 2009 (GN Workshop 2009) 論文集, 第 2009 卷, pp. 75–80, 2009.
- [21] 櫻田武嗣, 萩原洋一ほか. Ip 電話端末を利用した在席表示システムの構築と運用. 情報処理学会論文誌コンシューマ・デバイス & システム (CDS), Vol. 2, No. 2, pp. 1–9, 2012.
- [22] 田中優斗, 福島拓, 吉野孝ほか. 在室管理システムにおけるコメント提示機能の効果. 第 76 回全国大会講演論文集, Vol. 2014, No. 1, pp. 259–260, 2014.
- [23] 進藤綺乃, 吉野孝ほか. 研究室における活動状況を可視化する在室管理システムの開発. 2018 年度 情報処理学会関西支部 支部大会 講演論文集, Vol. 2018, , 2018.
- [24] zaiseki. Zaiseki 行動予定表を pc・スマホで確認. <https://zaiseki.jp/>, 2023 年 1 月 30 日.
- [25] 山中崇規, 吉野孝ほか. おしゃべり鉢べえ: 他者の存在を感じさせる鉢植え型会話ボットシステム. 研究報告グループウェアとネットワークサービス (GN), Vol. 2010, No. 14, pp. 1–6, 2010.
- [26] softbank. ちかゲーム／ちかチャット. <https://www.softbank.jp/mobile/service/chika/>, 2023 年 1 月 30 日.
- [27] 通山和裕, 西尾信彦. 公共空間における周囲の第三者とのコミュニケーション支援のための自己プレゼンス. DICOMO2007, pp. 1305–1313, 2007.
- [28] 中森玲奈, 青木貴司, 椎尾一郎ほか. ご近所知るえっと一身近な他人との緩やかなコミュニケーション支援一. WISS2010 論文集, pp. 35–40, 2010.
- [29] 仙道航, 瀬川典久, 澤本潤, 杉野栄二. 公共空間におけるコミュニケーション促進システムの構築. 電子情報通信学会技術研究報告; 信学技報, Vol. 112, No. 466, pp. 215–220, 2013.
- [30] 中野利彦, 龜和田慧太, 杉戸準, 永岡良章, 小倉加奈代, 西本一志. Traveling cafe: 分散型オフィス環境におけるコミュニケーション促進支援システム. インタラクション, pp. 227–228, 2006.
- [31] 椎尾一郎, 美馬のゆり. Meeting pot: アンビエント表示によるコミュニケーション支援. インタラクション, Vol. 2001, pp. 163–164, 2001.
- [32] 角康之, 伊藤惇, 西田豊明ほか. Photochat: 写真と書き込みの共有によるコミュニケーション支援システム. 情報処理学会論文誌, Vol. 49, No. 6, pp. 1993–2003, 2008.

- [33] 株式会社フォーカスシステムズ. 薄型小型ビーコン fcs1301. <https://www.focus-s.com/focus-s/products/iot/blebeacon/fcs1301/>, 2023 年 1 月 30 日.
- [34] raspberrypi. Rasbery pi. <https://www.raspberrypi.org/>, 2023 年 1 月 30 日.
- [35] abphone. Wi-fi や bluetooth を使用した通信を妨げる原因:. <https://app.abphone.co.jp/faq/q3>, 2023 年 1 月 30 日.