屋内測位のための BLE ビーコン設置に関するガイドライン

〈平成２９年度版　Ver.1.0〉

平成３０年２月

国土交通省　国土地理院　測地部

目次

はじめに 5

1. 総則 6

1.1 目的 6

1.2 適用領域 6

1.3 検討手順 7

1.4 前提条件の設定 8

1.5 用語の定義 9

2. 屋内測位環境構築の基礎的情報 11

2.1 屋内測位全般の整理 11

2.1.1 屋内測位技術のまとめ 11

2.1.2 屋内測位技術と測位アルゴリズム 11

2.1.3 まとめ 13

2.2 BLE ビーコンによる屋内測位 14

2.2.1 BLE とは 14

2.2.2 電波の特性と干渉 15

2.2.3 Bluetooth による測位の仕組み 17

2.2.4 BLE ビーコンの機種（いろいろな種類の BLE ビーコン） 19

2.3 BLE ビーコンの設置の考え方 20

2.3.1 配置方針 20

2.3.2 設置間隔と設置数 21

2.3.3 設置範囲と設置密度 22

2.3.4 バリアフリーへの配慮 23

2.4 実証実験による検証 25

2.4.1 実証実験の概要 25

2.4.2 検証結果からの知見整理 27

3. BLE ビーコンの設置 29

3.1 測位環境構築の全体計画 29

3.1.1 測位環境構築の方針策定 30

3.1.2 測位技術、測位アルゴリズム選択時の考慮事項 31
3.2 作業フローの確認 33
3.3 概要設計 36
3.3.1 機種選定時の考慮事項 37
3.4 詳細設計 39
3.4.1 BLE ビーコンの設定値 41
3.5 設置作業 44
3.5.1 準備作業 44
3.5.2 本設置作業 47
3.5.3 設置後の性能評価 52
3.6 測位環境と他の要素の関係 54
3.6.1 受信端末との関係性 55
3.6.2 ソフトウェアとの関係性 56
3.6.3 データとの関係性 57
3.7 運用と保守 58
3.7.1 運用 58
3.7.2 管理と保守 58

4. 屋内位置情報の付与 60
4.1 測定フロー 60
4.2 測定準備 61
4.3 測定手法 62
4.3.1 手法 1: 標定点を地理院地図から直接決定する手法 62
4.3.2 手法 2: 標定点を GNSS 測位により直接決定する手法 66
4.3.3 手法 3: 2 次出典を用いた相対位置から標定点を決定する手法 68
4.3.4 各手法による測定試行と結果の考察 69
4.4 試行から見えた課題 71

5. パブリックタグ情報共有プラットフォーム 72
5.1 パブリックタグとは 72
5.2 パブリックタグへの登録 72
5.2.1 申請者の登録 72
5.2.2 タグ ID の決定 73
5.2.3 パブリックタグ設置位置情報の計測 73

5.2.4 パブリックタグ情報の登録申請 74
5.2.5 場所情報コード／パブリックタグの登録 75
5.3 パブリックタグの利用 75
5.3.1 登録情報の公開 75
5.3.2 パブリックタグの利用 75

付録 76

付録 1. 屋内測位技術の概要 77
付録 1.1 屋内測位を構成する要素 77
付録 1.2 屋内測位技術と測位アルゴリズム 80
付録 1.2.1 屋内測位技術 80
付録 1.2.2 測位アルゴリズム 82
付録 1.3 測位精度とサービス 83
付録 1.4 複数の測位手法組み合わせ（ハイブリッド測位） 84
付録 2. 共用ビーコンの取り組み「Beacon Bank（ビーコンバンク）」 86
付録 3. 位置情報の精度と信頼性 89
付録 3.1 位置情報の信頼性に関する課題の考察 89
付録 3.2 当該調査事業のスコープと調査手法 90
付録 3.3 位置情報サービスの類型化と要件整理 91
付録 3.4 位置情報のセキュリティ要件 92
付録 3.5 位置情報の品質評価指標 94
付録 3.6 今後に向けた課題 96

はじめに

平成 19 年 5 月に地理空間情報活用推進基本法が成立し、翌平成 20 年 4 月に最初の地理空間情報活用推進基本計画、平成 24 年 3 月には第 2 期の基本計画に閣議決定された。この時の基本計画では、「誰もがいつでもどこでも必要な地理空間情報を使ったり、高度な分析に基づく的確な情報を入手し行動できる「地理空間情報高度活用社会」の実現」を政府及び産学官が一体となって目指すこととされ、実現に向けて国を中心として取り組んできたところである。

そして、これまでの成果・達成状況や、地理空間情報を巡る社会情勢の変化を踏まえ、平成 29 年 3 月 24 日に、新たな地理空間情報活用推進基本計画が閣議決定された。この計画では、「IoT・ビッグデータ・AI 等の先端技術を活かした世界最高水準の G 空間社会の実現」を目指すこととしている。

地理空間情報の高度活用の測位基盤として、準天頂衛星システム「みちびき」は、平成 30 年度より 4 機体制による本格運用が予定されており、i-Construction や IT 農業等の様々な分野での高度利用が期待されている。

一方、国土交通省国土地理院においても「屋内外シームレス測位の実現に向けた3次元地理空間情報を活用した安全・安心・快適な社会実現のための技術開発」（以下、「3次元総プロ」という）において、様々な施設管理者等が個別に設置するビーコンや Wi-Fi など、位置特定に利用可能なデバイスの位置情報や属性情報を標準化している。当該データは、オープンデータとして公開する仕組みの検討を行っており、平成 28 年度には「位置情報基盤を構成するパブリックタグ情報共有のための標準仕様」（以下、標準仕様という）を策定しパブリックタグの登録促進に取り組んでいる。

平成 29 年度においては、標準仕様を踏まえつつ、国土交通省国土政策局が実施する高精度測位社会プロジェクトの実証実験と協力し、パブリックタグの配置、屋内外シームレス測位の検証、屋内空間に位置情報を与える手法に関する検討が行われた。「屋内測位のための BLE ビーコン設置に関するガイドライン」（以下、本ガイドラインという）は、その取り組みの一環として、パブリックタグとして普及が進む屋内測位機器の設置や設定に関する情報を整理したものである。

本ガイドラインが活用されることにより、地理空間情報の活用が屋内まで拡がり、地方公共団体や民間事業者が主体となり、2020 オリンピック・パラリンピック競技大会で来日が予定される外国人観光客をはじめ多くの人々の利便性を向上させる多様なサービスが展開されることを期待する。

1. 総則

1.1 目的

本ガイドラインは、国土交通省国土地理院が推進する「3次元総プロ」の取り組みの一環として策定した標準仕様に基づき、屋内測位のための Bluetooth Low Energy 仕様のビーコン（以下、BLE ビーコンという）設置に関する情報及び考慮点を整理したものである。また、関連図書として国土交通省国土政策局が進める高精度測位社会プロジェクトによる「屋内測位環境構築ガイドライン（案）」を参照している。

1.2 適用領域

屋内測位の利用領域は幅広いが、本ガイドラインではパブリックタグへの登録を前提としているため、私的空間（駅構内、工場、オフィス等）ではなく、一般利用を想定した公的空間を適用領域として、測位環境構築のための情報を整理している。そのため、使途はナビゲーション等の移動支援アプリケーションで利用される測位環境を想定したものとした。

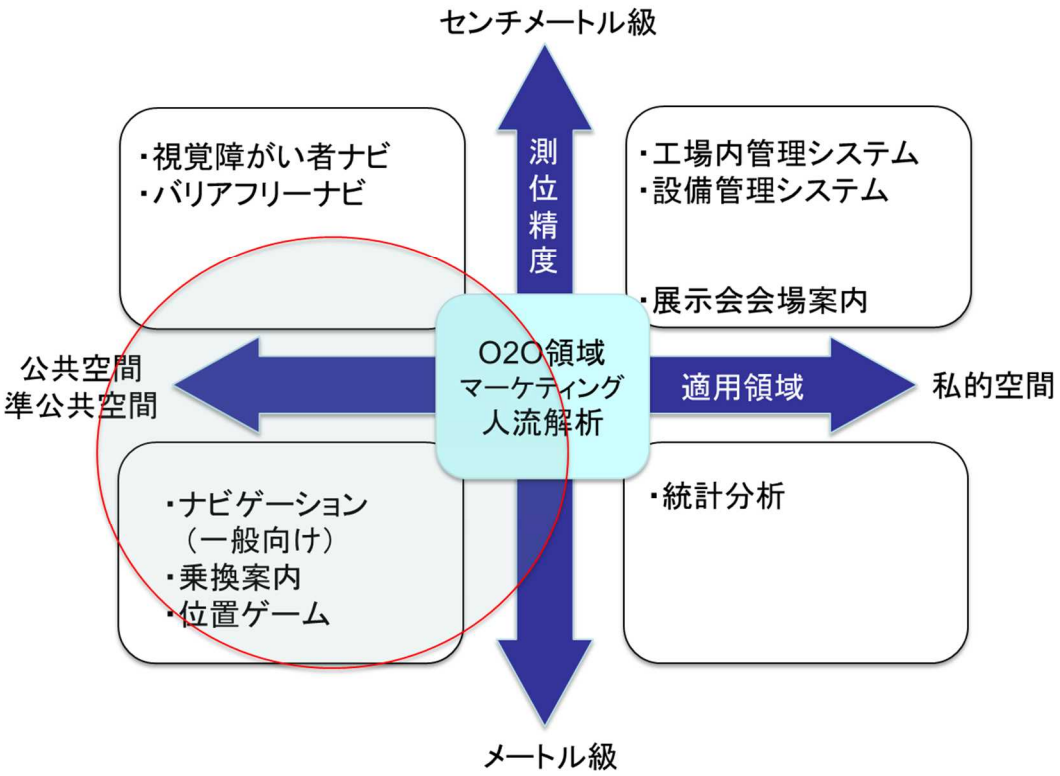


図 1:適用領域

1.3 検討手順

本ガイドラインは、高精度測位社会プロジェクトの成果をはじめ、関連する情報から測位機器設置に係る課題を整理し、机上で課題検討と要因分析を行い、実証実験による課題検証を経て情報整理を行った。

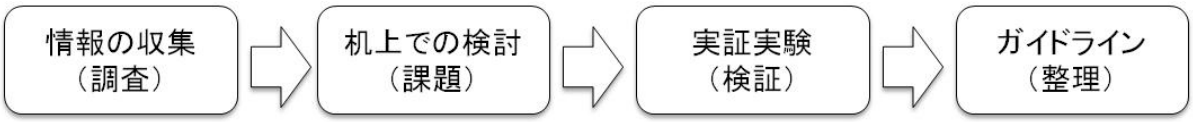


図 2:検討手順

1.4 前提条件の設定

本ガイドラインは、位置情報を活用したサービス要件（使途）、サービス対象者や測位精度の設定等を以下の条件を想定して情報をまとめている。

位置情報を活用したサービスの要件（使途）：

- サービス対象者を「自律移動可能な健常者及び車いす移動者」と想定し、目的場所へ誘導（ナビゲーション）すること。
- 屋内・外を、途切れることなくシームレスに測位できること。
- そのため、”数メートル”の測位精度を実現する測位環境を構築すること。

利用する測位技術：

- 測位技術は、GNSS x PDR x BLE ビーコンのハイブリッド測位の利用を前提とすること。
- 屋内測位機器は、BLE ビーコンを想定すること。
- BLE ビーコンの役割は、ノード及び POI を検出するためのスポット測位とすること。
- 測位端末は、スマートフォン（以下、スマホという）を想定すること。

上記条件を踏まえて、本ガイドラインが想定する環境構築方針を以下に設定する。

- 出入り口やエレベーター、階段等、屋内外及びフロアの切替わる場所に配置する。
- 分岐点等のノードを確実に検出するために配置する。
- 分岐のない通路は、PDR の補正の範囲を考慮しつつ、設置個数を減らす。
- 但し、誤った位置検知の可能性があるところには追加する。
- 広い空間の場合は、少なくとも1つ以上の BLE ビーコンの電波が受信できるように配置する。
- BLE は近接性測位方式（チェックイン）を採用する。

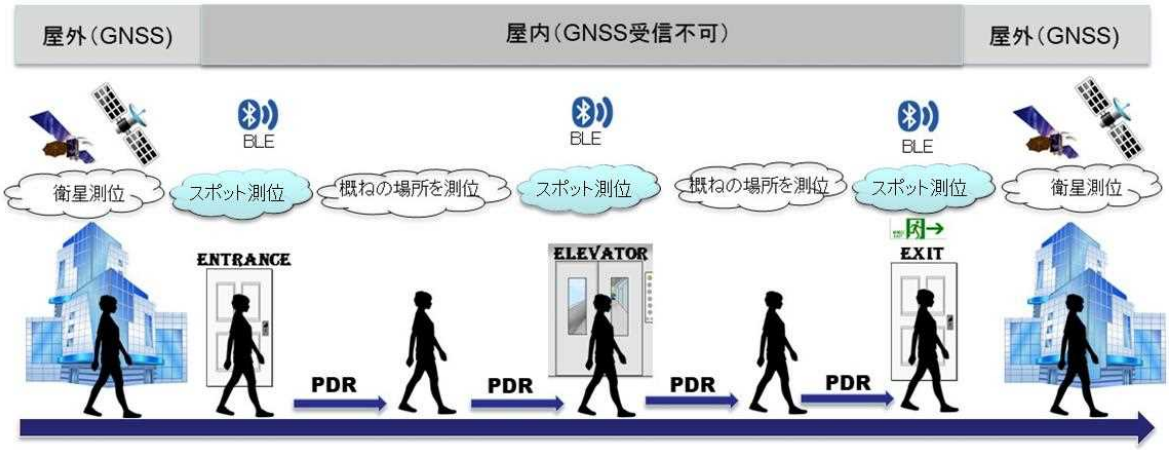


図 3：シームレス測位のイメージ図

1.5 用語の定義

表 1 用語の定義

No.	用語	定義	解説
1	ビーコン	電波や音波等を送信する固定された装置の総称でBLE、Wi-Fi 等が該当する。本ガイドラインでは、BLEビーコンの利用を想定する。	BLE＝Bluetooth Low Energy の略。
2	歩行ネットワークデータ	歩行ネットワークデータ（以下、歩行 NW データという）とは、段差や幅員、スロープ等のバリア情報も含んだ歩行経路を表すデータで、歩行経路を示すリンクと、リンクの結節点を示すノードから構成されており、ナビゲーションで経路探索や案内時に活用される。	国土交通省より、共通仕様として歩行空間データ等整備仕様案が提示されている。
3	パブリックタグ	位置を特定するために利用可能なタグの中で、国土地理院の仕様に基づき位置情報や属性情報がプラットフォーム（データベース）に登録され、その情報を検索・取得・利用可能な状態にあるものをいう。	国土地理院が運用する共通プラットフォーム。
4	場所情報コード	緯度・経度・高さ（階層）によって定義される空間と、その空間に存在する地物を唯一無二に識別する ID。国土地理院に申請し、申請に基づき国土地理院が発行する。	uPlace は場所情報コードの愛称。商標登録済み。
5	POI	地図上の特定のポイント（地点）を指す。一般的には「目標物」を指すことが多く、トイレやエレベーター等の施設や AED や消化器等の設備の場所も POI と表現する。また、店舗やランドマークとなる看板等も同様であり、地図上であらゆるものが POI として設定できる。	POI=Point of Interest の略。
6	GNSS	Global Navigation Satellite System（全球測位衛星システム）の略であり、GPS（米）、GLONASS（露）、Galileo（欧）、準天頂衛星（日）等の衛星測位システムの総称である。	準天頂衛星システム：QZSS (Quasi-Zenith Satellite System)
7	歩行者自律航法（以下、PDR という）	スマホに搭載されている、ジャイロセンサー、電子コンパス、加速度センサー等を利用して、測位開始位置からの移動位置（方向、移動距離等）を相対的に推定する手法。測位のためには、測位開始位置の座標と方位の情報が必要となる。一般的に、PDR と呼ばれている。	PDR=Pedestrian Dead Reckoning 歩行者だけではなく、車いす等の他の対象を含めることを想定した“X”DR という表現も今後考えられる。

8	ハイブリッド測位	複数の測位手法を組み合わせて、場所に応じて測位手法を切り替えて利用することにより、測位精度向上のための手法をいう。	例えば、屋外（GNSS）x 屋内（PDR x BLE）の組合せ等
9	シームレス測位	屋内・外で途切れなく被測位対象者の位置を測定できることを意味し、屋外では準天頂衛星システムを含む GNSS を利用し、屋内では、BLE ビーコンや Wi-Fi AP 等の屋内測位技術を組み合わせて利用する。	
10	標定点 もしくは リファレンスポイント	施設図面や航空写真などに位置情報を付与する際に、地上点との対応付けのために必要な基準点または水準点の総称である。測量業務などでは、できるだけ既知の基準点等を使用するが、対象となる領域内に十分な基準点等が存在しない場合、明確に対応付けが可能な地点を標定点として設置することがある。	

2. 屋内測位環境構築の基礎的情報

ここでは、屋内測位環境を構築する上で必要となる基礎的情報を整理して説明する。また、BLE ビーコンに関しても、機能概要と測位の仕組み等について説明する。

2.1 屋内測位全般の整理

2.1.1 屋内測位技術のまとめ

屋内測位環境は、以下に示す 5 つの要素で構成されている。

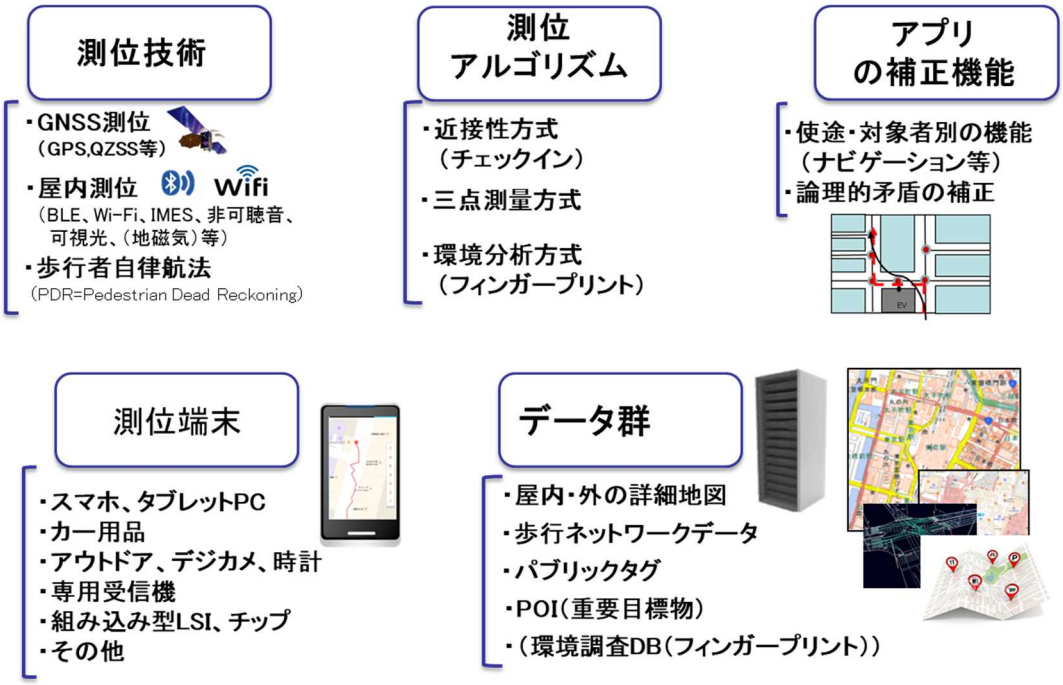


図 4：屋内測位を構成する要素

2.1.2 屋内測位技術と測位アルゴリズム

【測位技術】

測位技術は複数の技術が提案されており、それぞれ一長一短があると言われている。以下に測位技術に関して一般的に言われている特徴を記載する。

- 無線 LAN のアクセスポイント（以下、Wi-Fi AP という）による測位は、測位のために新たな機器設置は不要であるが、AP は測位用に設置されているわけではないので、設置場所に偏りがあり、場所ごとの測位精度にばらつきが大きい。精度を上げるためには、測位用 AP を新規に設置する必要がある。
- 地磁気による測位は、機器設置は不要であるが事前の環境調査による磁気強度マップ・データベースを作成する必要があることに加え、環境は刻々と変化するため定期的なデータベースの更新が必要であることから、初期の整備費用以外にも継続した更新コストの負担が必要である。

- PDR は、端末のセンサー情報を利用するため機器設置は不要であるが、基本的にある地点からの移動量と移動方向を算出する方法であるため、起点としての位置情報の取得が必要であることに加え、測位誤差が蓄積する特性があることから位置補正のための補正情報を適時取得する必要があり、単独では絶対測位ができない。
- 可視光は、LED を介して光でデータを送信するので、送信機と受信機が必要である。
- BLE、音波、IMES は、いずれも機器の設置が必要である。設置の簡便さ、電池消費、機器のバリエーション、コストの面で BLE が優れている。また、音波は、端末がカバンやポケットの中ではマイクで音を拾えないので、受信可能状態が限定される。

【測位アルゴリズム】

測位アルゴリズムは、代表的な 3 種の方式がある。

- 近接性方式（チェックイン）

最も近いビーコンの ID（BSSID や UUID 等）に紐づけられた位置を現在位置とする。位置をピンポイントで的確に測位することが可能であるが、一番近いビーコン（近傍ビーコン）の位置しかわからないため測位精度を上げるためには、ビーコンの設置数を増やす必要がある。

※代表的なビーコン：BLE、Wi-Fi AP、音響等

- 三点測量方式

位置が自明な（ID と位置が紐づいた）ビーコンからの距離を電波強度から推定し、三点測量を行い自己位置を推定する。ビーコンの正確な位置情報が必要であり、電波の受信状況の変化に測位精度が左右される。

※代表的なビーコンは上記と同様であるが、ビーコンの設置数の増加が難しく、比較的電波出力の大きい Wi-Fi AP を使った測位によく使われる。

- 環境分析方式（フィンガープリント）

予め調査した場所ごとのビーコンの電波受信強度や地磁気強度に、最も似た場所を自己位置と推定する。

機器設置は不要であるが、事前環境調査（電波強度マップの作成）が必要であり、精度を出すためには対象となる全ての場所をキメ細かく調査しなければならない。また、環境変化の影響を受けるので、定期的な情報更新が必要であり手間とコストがかかる。

※地磁気測位で使われるアルゴリズムであるが、電波や音波でも同様のアルゴリズムを使うことが可能である。

2.1.3 まとめ

屋内測位の技術開発は黎明期にあるため、今後も新たな技術やアルゴリズムの登場は否定できない。

しかし、現在提案されている技術は、いずれも研究開発から実用の段階へ入っており、今後 AI 技術の導入などで更に成熟化していくと予想されている。空間特性、使途、サービスレベルの特定を前提に、それぞれの測位技術が持つ特徴や特性を考慮して技術やアルゴリズムを選定することになる。

本ガイドラインでは、設置や運用上で扱いやすく比較的安価な BLE ビーコンを使った屋内測位環境の構築を中心に情報を整理している。BLE ビーコンは、O2O の領域において活用が広がっており、既に多くの場所で設置が進んでおり、今後測位機器としても設置が拡大すると予想されている。

BLE ビーコンは、比較的扱いやすい測位機器ではあるが、測位性能を引き出すためには考慮すべき事項がある。そのため、本ガイドラインでは、BLE ビーコンによる屋内測位環境について、研究開発に取り組んでこられた有識者や、既に先行してビジネス展開をされている民間事業者の協力を得て情報を収集し整理した。

2.2 BLE ビーコンによる屋内測位

屋内測位では、GNSS 等の人工衛星に代わり電波を発信する機器を設置することが必要である。 屋内とは、屋外とは異なり壁やパーティションで仕切られている空間であり、広さにもよるが電波の障害となる壁等の遮蔽物が存在する空間とも言える。そのため、障害を回避するため、仕切られた空間ごとに複数の測位機器を設置する必要がある。BLE ビーコンは、低消費電力で電波の出力も弱く狭域をカバーする測位に適しており、比較的安価で扱いやすい機器であることから屋内測位に適した有力な選択肢と言われている。ここでは、BLE ビーコンに関する基礎的な情報から測位の仕組みについて説明する。

2.2.1 BLE とは

Bluetooth は、小電力データ通信システムの無線局として免許の必要ない送信機であり、比較的狭域で信号を送信する仕組みで利用されている。

BLE は Bluetooth4.0 で新たに登場し、2.4GHz ISM 帯（Industrial, Scientific, medical)という高い周波数を使う通信規格であり、周波数ホッピングという技術を使い 80MHz の帯域幅の中で絶えず周波数を変化させながら通信している。

通信速度は、数 Mbps 程度なので低速の近距離通信に使われており、この帯域は Wi-Fi、電子レンジ、ワイヤレス電話機・ビデオトランスミッター等の多くの機器が使用している。多くの機器が使用している周波数帯ではあるが、周波数ホッピングにより、干渉に強い通信方式といわれている。

BLE の最大の特徴は、低消費電力が実現されていることであり、それまでのものと比べて 60%以上の消費電力を削減でき、設定値にもよるがボタン電池一つでも 1 年以上連続して駆動すると言われている。

また、2016 年 12 月には Bluetooth5 の最新規格が発表され、現在のバージョン 4.2 と比較して、通信速度 2 倍、通信範囲 4 倍、メッシュ通信機能の標準搭載等の大幅な機能強化が明らかにされており、IoT 時代の通信インフラを支える有力な通信規格の一つとされている。また、Bluetooth5 では、電波干渉面においても更に強化されているようである。既に受信機は、iPhone はじめ最新機種では Bluetooth5 対応になりつつある。また、送信機についても Bluetooth5 対応機器の出荷も始まっているようである。

表 2：Bluetooth の規格（抜粋）

Bluetooth のバージョン	データレート	特徴
Bluetooth4.0（BLE）	1Mbps	省電力化
Bluetooth4.2	1Mbps	IPv6 対応
Bluetooth5	125Kbps ～ 2Mbps	高速モード、長距離モードを追加、メッシュネットワーク対応

2.2.2 電波の特性と干渉

BLE が使用する電波帯域は、多くの機器が使用している帯域であることと、比較的弱い出力で使用する通信規格であるため電波干渉等の電波の特性について知っておく必要がある。

一般的に、電波の特性は以下と言われている。

- 距離の二乗に反比例して減衰する（減衰）
- 何もなければ直進する（直進）
- 障害物の材質により反射や吸収等の現象が起こる（反射/透過）
- 周波数が低いと回り込む（回析）
- 類似電波が有ると強めあったり弱めあったりする（干渉）

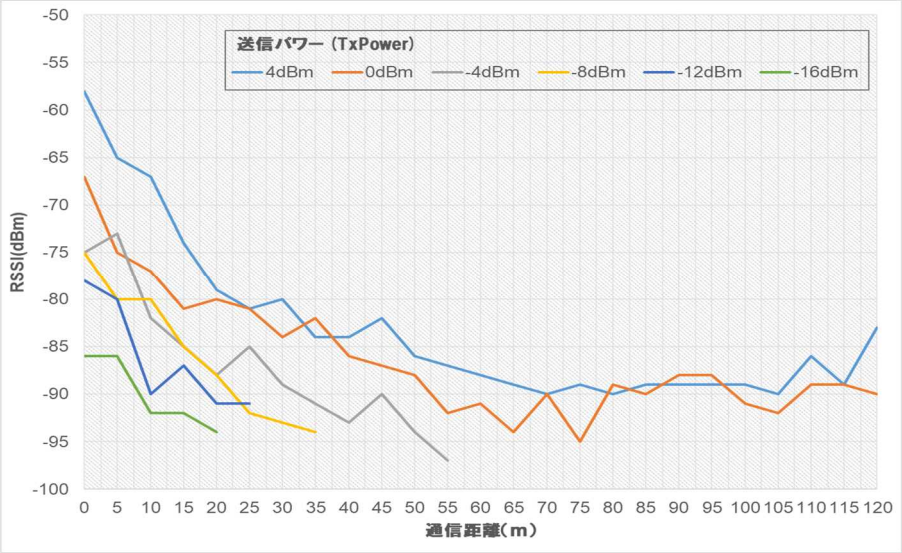


図 5:電波の減衰

※測定端末 iPhone7 プラス

※TxPower:デバイスの電波出力（ +4 > 0 > −4 > −8 > −12 > −16 ）

※デバイスの送信間隔設定は 100msec で固定し測定。

BLE を使った測位では、電波の減衰する特性を利用して発信機と受信機間の距離を推定する。減衰を表したグラフを見るとわかるが、電波出力に関係なく、ある一定の距離内で減衰する。そして、電波出力が強い場合は、減衰後に一定の強度の範囲内で電波は揺らぎながら遠くまで到達する。

この電波が減衰する特性を利用して位置の推定（測位）を行っているが、一方で、遠くまで到達してしまう電波の処理は設置時の考慮事項となっている。BLE ビーコンを、測位機器として設置する際に重要な情報となるので確認する。

電波の障害物として、コンクリート、金属、レンガ・大理石、水等が挙げられている。BLE ビーコンは、通常アンテナを中心に球状に電波を放射するが、壁や天井に設置した場合は、金属やコンクリートの壁は電波を反射するため壁とは反対側へ電波は放射される。また、通路などでは、思ったより遠くまで到達するこ

ともある。これら、電波の持つ特性に起因する現象は、機器設置時の重要な考慮事項となる。

なお、人体も水分が大半なので、電波の障害物となる。このため、混雑地帯における測位環境の構築時は、影響を受けにくい設置場所（高所、等）を設定する等ことも考慮事項である。測位機器の設置設計時は、これら電波の基本特性を理解した上で検討を進める事が必要である。

また、無線 LAN の通信環境の整備が急速に進展に伴い Wi-Fi AP の基地局設置数が大幅に増加している。Wi-Fi も同じ周波数帯を使った通信であることは既に説明したが、その電波出力は通常 15dBm（30mW）程度とされている。BLE の電波出力は Class2のデバイスで 4dBm（2.5mW）であり非常に弱い出力である。

周波数ホッピングにより Wi-Fi との干渉は最小化されているものの、稀に電波干渉を生じることもある。一般的には、出力が弱い方が影響を受け易いと言われている。

2.2.3 Bluetooth による測位の仕組み

省電力の通信方式である BLE 等の Bluetooth を使って、従来通り通信をすることも可能であるが、Bluetooth をビーコンとして領域観測サービスに利用して、対象とするスマホ等の端末との距離を測定することができる。省電力化された BLE 規格のビーコンは、比較的安価に手に入り省電力化による電池寿命の長期化が実現したことにより急速に普及した送信機である。また、スマホで電波を受信することが可能であることから、ナビゲーションや O2O 等のマーケティング目的で利用範囲が拡大している。

測位に活用する場合は、アップル社が提供する BLE の通信プロトコルである iBeacon を例にすると、送信側の BLE ビーコンと受信に対応した iPhone 等の受信端末の組み合わせで、BLE ビーコンからアドバタイズパケットと呼ばれる ID 情報（UUID、Major、Minor の 3 種類の識別子）を送信し、その ID 情報を受信した端末の OS がビーコンの領域に入ったことを検知してアプリが反応するという仕組みを使っている。BLE ビーコンの領域内では、ビーコンとの距離を「Far=遠い」「Near=近い」「Immediate=非常に近い」の 3 段階で検知する。このビーコンとの距離を判定する際に、電波の減衰の特性を利用している。

ここで例にした、iBeacon はオープンな仕様として BLE の規格に準拠していればアップル社以外の端末でも利用できる。同様の通信プロトコルの仕様として、グーグル社からは Eddystone というオープンな仕様が提供されている。

また、BLE ビーコンから送信する ID 情報は、場所情報コードを直接送信することも可能である。

なお、受信端末側では、Android は Android4.3 から、Windows は Windows8.1 から BLE に対応した API が提供され、測位を利用したアプリが利用できるようになった。

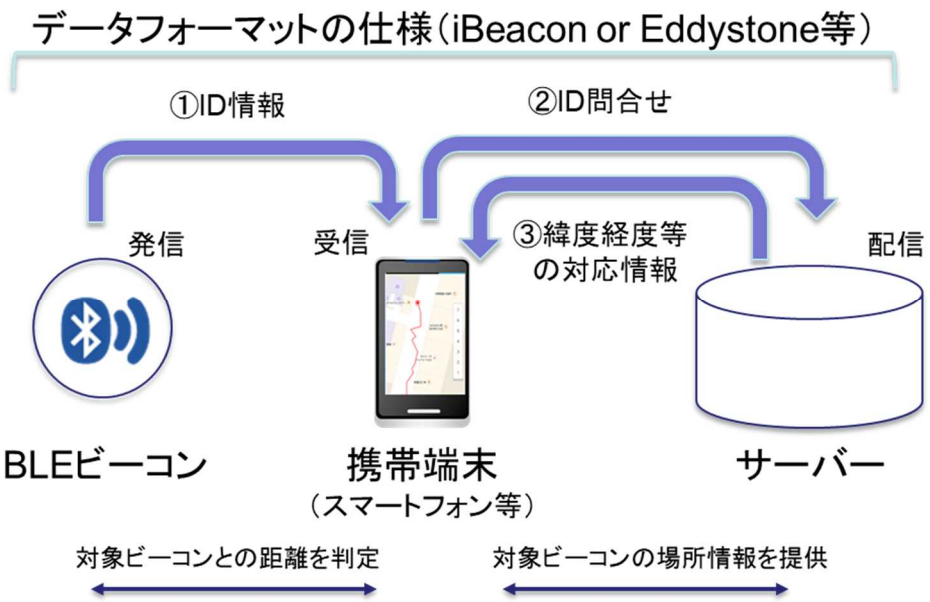


図 6：位置情報取得の概念図

参考：iBeacon でできること

- ビーコンの識別

  UUID（128-bit）、Major、Minor で構成された ID 情報を識別。UUID は必須で、Major と Minor は任意での設定となる。

  通常の使い方としては、UUID で“サービスやアプリ”を切り分け、Major で“建物”、Minor で“フロア”などと使い分ける。

- 領域観測（リージョン監視、入出監視）

  BLE ビーコンの電波の領域への出入りを監視できる。BLE ビーコンの領域を出た時のチェックアウトの処理は若干の遅延（30 秒程度）がある。

- レンジング（距離測定）

  BLE ビーコンの領域内で、ビーコンとの相対距離を測定できる。（Immediate/Near/Far/Unknown）

  ・Immediate（非常に近い）

  ・Near（近い）

  ・Far（遠い）

  ・Unknown（不明）

  なお、リージョン監視とレンジングは、アプリの起動状態によって受け取ることができる情報が変化する。

2.2.4 BLE ビーコンの機種（いろいろな種類の BLE ビーコン）

BLE ビーコンは、電波出力、送信間隔の調整ができるものとできないものがあるが、設定変更ができれば、使途や設置場所により設定値を変えて設置できるので扱いやすい。

他の送信機に比べて比較的安価（数千円から数万円程度）なコスト設定がされている製品が多いことも普及に拍車をかける要因となっている。また、最近では、温度や湿度等の他のセンサーと組み合わした複合型のビーコンも登場しており、その活用範囲は日々拡大している。

製品は、複数のベンダーから様々な形状や給電方式のものが登場しており、その種類や形、チップセット、ファームウェア、電池サイズ等、多岐にわたるバリエーションが登場している。

- 給電方式の違い（電池式、給電式、ソーラー式、等）
- 形状の違い（様々な形状、屋内用/屋外用、蛍光管や感知器等への組み込み型等）
- ボタン型（ボタンを押したときに電波を発信する）
- ハイブリッド型（温度や湿度等、様々なセンサーとの組合せ）
- ネットワーク型（メッシュ通信機能を搭載・非搭載）
  ※Bluetooth5 の仕様では、メッシュネットワーク機能が標準で搭載されている。
- 高機能型（複数の ID を出力できる機種、等）

図 7：BLE ビーコンの形状例

2.3 BLE ビーコンの設置の考え方

2.3.1 配置方針

BLE ビーコンの設置は、空間の物理的な形状を考慮して設置位置と設置密度を検討する。空間に対する設置の考え方について、以下に整理する。

表 3:配置方法

No.	測位方法	配置方針	設置の考え方	設置場所例
1	1点測位	点	特定の位置に存在することを判定	出入り口
2	2点測位	線	通路等において、移動方向を判定	通路 分岐点
3	多点測位	面	空間内で、移動方向が一定方向でない場合に精度の高い位置を判定	分岐点 空間

- 1 点測位

  特定の地点を検出することを目的とした設置法で、ノードや POI を確実に検出したい時の配置となる。

- 2 点測位

  分岐点や通路等で、進行方向をビーコンの検出順で特定することを目的とした設置法である。スマホのセンサーを使った PDR や Wi-Fi 測位等の他の測位アルゴリズムにより移動方向を検出することも可能ではあるが、測位のタイミングのズレや測位誤差等を考慮した場合、確実に進行方向を検出したい重要分岐点等における配置となる。

- 多点測位

  広い空間内で、被測位対象者の動きを連続してトレースすることを目的とした設置法で、3 つ以上の BLE を検出することにより空間の中で精度の高い測位を実現するための配置となる。

2.3.2 設置間隔と設置数

設置間隔:

BLE ビーコンの機種や出力等の設定によって異なるが、スポット測位では、測位したい場所から最低一つ以上のビーコンが受信できるように設置間隔を設定する。

例えば、10m の範囲でビーコンの電波が受信できるように設定した場合は、ビーコン間隔は 20m 程度として、設計時に設定して配置を仮決めする。

また、多点測位等で測位精度を高めたい場合は、5～8m 間隔での設置が目安となる。

設置数:

設置間隔が過密すぎると電波干渉と輻輳によりアドバタイズパケットの検出ロスが多く発生するため、多く設置すれば精度が上がるというものではない。

必ず検出したい重要な POI(分岐点、出入口、エレベーター、階段、エスカレーター、トイレ等)を検討しておくことも BLE ビーコンの配置時に必要である。また、開放空間においては、他の階層への影響等も確認すべき考慮事項となる。

例えば、吹き抜け等がある場所は、他階への影響が小さくなる位置を選定する等の考慮が必要である。

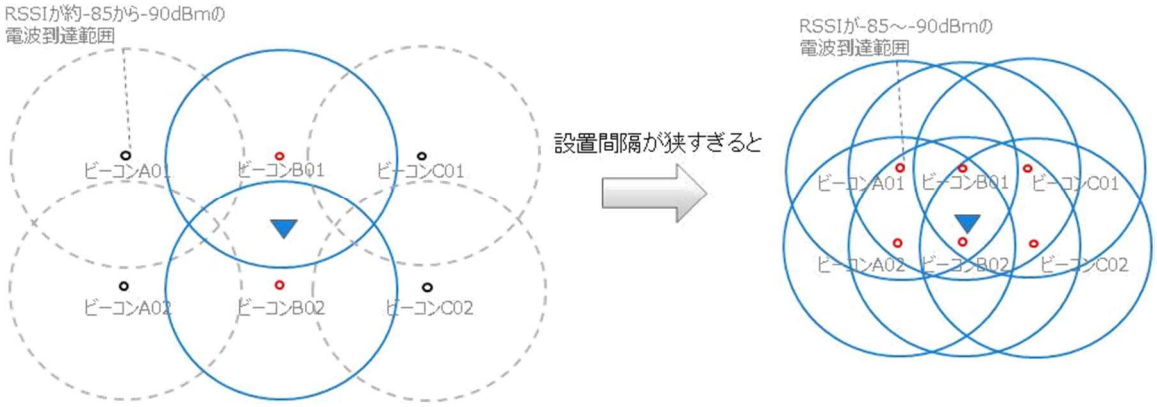


図 8:設置間隔の概念図

2.3.3 設置範囲と設置密度

対象となる空間において、BLE ビーコンによる測位環境をどの範囲で構築するのか、その範囲内でどのような精度の測位が必要なのかを検討する。ハイブリッド測位であれば、BLE ビーコンは、どの場所で、どのような役割を担うのかを明確にすると言いかえることもできる。

測位範囲は、対象となる空間のすべての場所で BLE ビーコンによる測位をする場合、空間の全域に BLE ビーコンを配置して測位ができる環境を構築する。（全域測位）

ハイブリッド測位では、他の測位手法と組み合わせて測位するため、対象空間の中の BLE ビーコンによる測位はノードや POI の検出等、限定的な空間での測位を行うことになるので、該当場所に部分的に BLE ビーコンを配置した測位環境構築となる。（部分測位、スポット測位とも言う）

次に設置密度であるが、対象空間の中で要求する測位精度の設定により設置密度の濃淡が決まる。例えば、視覚障がいの方を空間の中できめ細かく誘導したいという要求があるのであれば、輻輳を避けつつ歩行空間に漏れなく“密”に BLE ビーコンを配置することになる。一方、対象空間で、自立歩行可能な健常者を目的地まで誘導する場合、自位置を示した上で移動すべき方向を指し示せば良いので、BLE ビーコンはノードや POI にのみ設置すれば目的は達成できる。

また、倉庫のような空間の中で、従業員の作業における移動軌跡をきめ細かく把握して効率化したという場合は、空間の中で多点測位が必要であるため“BLE ビーコンを密”に設置した環境を構築する必要がある。一方、その倉庫内にいる従業員の数が把握できて、大体の動きがわかれば良いと言うのであれば“疎”の設置となる。

いずれにしても、使途を十分に確認した上で測位環境構築の方針を決める際に、対象となる空間における測位範囲、測位密度、及び BLE ビーコンの役割に関して要求仕様として決めることが必要である。

設置方針が決まった後に、概要設計からはじまる具体的な測位環境構築のプロセスに入る。

2.3.4 バリアフリーへの配慮

BLE ビーコンの配置を検討する際に、バリアフリーへの配慮も含めて検討することが必要だ。2020 オリンピック・パラリンピック開催時においては、国内外を問わず多様な人が混在して行き交うこと社会環境が想定される。測位環境を構築する上で、バリアとなり得る要素は、我々の想像以上に多いことを認識し検討することが必要だ。

BLE ビーコンは、ノードや POI の検出等で使用されることが想定されるため、バリアの位置情報を検出する手段としての役割を担うことも多くなる。

バリアは、言葉のバリアも含めれば、人種、年齢、身体の状況等様々な対象者へのバリアの検討が必要であるが、ここでは、その一部として、公益財団法人ケアフィット共育機構へのヒアリング時に指摘されていた情報を紹介する。

対象者により、バリアは変わること、スロープ等のバリアフリー設備は、万人に対してバリアフリーというわけではなく、その構造上ではバリアとして存在することもあるとの示唆である。測位環境を構築する上で、被測位対象者、使途、空間特性等々、バリアの状況やバリアフリーへの要件は異なると思われるので、環境構築方針はこれらの要素に関しても配慮し検討していただきたい。

- 緩やかなスロープもバリアとなる
  →車椅子の移動者や高齢者にとっては、緩やかであっても傾斜はバリアの要素に含まれる。
  地下街においては、段差のない平地のようであってもスロープとなっている場所はかなり多く存在している。
- 床面の横傾き
  →進行方向ではなく、横向きの傾きは車いす移動者にとっては、緩やかな傾きであっても常に進行方向に向きの修正を迫られる。
- スロープの幅
  →車いす移動者にとってのスロープ情報は重要であるが、体の大きな外国人が使う車椅子のサイズは大きなものがある事も認識する。
- 床面の材質
  → 車いす移動者にとって、石畳やレンガ敷きの床材はバリアになり得る。
- スマホの高さによる影響
  →混雑時は、人の体が電波塔の干渉要因となる。車いす移動者の測位機器の位置は、健常者より低い位置にあるため影響をより受けやすい。
- 移動速度の違い
  →高齢者や幼児の移動速度は意外と遅く、人の流れについていけないこともある。体調や余裕時間で選択肢は変わるとは思われるが、安全に移動できる通路の選択肢を考慮することも必要。
  広い通路などは、歩行 NW を二条線化する等の対応も有効かと思われる。
- 事前の情報提供
  →視覚障害を持った方にとって、エスカレーターの上下の方向を知る手段がなく触手確認を行っていて危険である。事前の情報提供の考慮が必要である。

- 段差情報とエレベーターの位置情報を合わせて考える
  →障害を持った方のみならず、高齢者にとっても段差はバリアである。段差の位置情報と併せて回避策となるエレベーターの位置情報を利用者は取得したいと思っていることも認識する。

ここに挙げた配慮事項は、ほんの一例に過ぎない。検討時には、想定する利用者に関するヒアリングや情報収集を十分に行い配慮事項も含めて環境構築の検討を行うことが必要である。

2.4 実証実験による検証

高精度測位社会プロジェクトで構築された環境を利用して、BLE ビーコンの設置及び設定に関する課題の検証を行った。

2.4.1 実証実験の概要

● 実証実験の実施場所

実証実験は、国土交通省国土政策局が進める高精度測位社会プロジェクトの環境と素材を利用して実施した。実証実験の場所は新横浜駅周辺エリアで、「地下鉄新横浜駅」及び「日産スタジアム」の 2 箇所を設定した。地下鉄新横浜駅（以下、新横浜駅という）は、改札外の地下コンコース、地下通路から日産スタジアムへ通ずる地上出口までを実証実験の場所と設定した。日産スタジアムは、競技場の構造が 4 分割しても対称の構造であったため、東から北ゲートにかけてもスタジアムの 1/4 の観客が移動する 4 階から 7 階にかけての通路を設定した。

図 9：実証実験の実施場所

● 実証実験の目的

BLE ビーコンの設置、配置及び設定に関する課題の検証のために実施。

電波は、壁などの物理的な障害物、人体などの移動する障害物、他の電波等の影響を受ける、一方で何も影響を受けなければ直進する特性を有している。これらの電波が持つ特性と、対象となる空間特性との関係性について検証し、その知見をガイドラインへ反映させることを目的とした。

● 検証する課題

次の 6 つの課題を設定し、実地検証を実施した。

1. 空間特性による考慮事項の検証

BLE ビーコンの配置検討時に、空間特性による電波の影響を確認するため、開放空間と閉鎖空間の 2 つの正反対の特性を持つ空間を設定し検証することにした。 日産スタジアムは、広い通路と開放空間を持つ構造体、新横浜駅は、地下のコンコース及び長く狭い地下通路という閉鎖的

な空間として設定。また、日産スタジアムには、既設の BLE ビーコンがあったため、測位性能を高めるための再配置及び再設定に関する比較検証も実施。

2. 健常者と車いす移動者の経路設定上の考慮事項

使途を「自律移動可能な健常者及び車いす移動者」としたため、ナビゲーションのため其々歩行経路（車椅子経路、健常者経路）を設定し、POI の置き方等を検証。

3. 混雑時の検証

混雑時に BLE の電波への影響の有無を検証。

4. 測位アルゴリズムによる測位精度への影響の検証

測位アルゴリズム違いによる、測位誤差への影響を検証。測位ツールと高精度測位社会プロジェクトで試作されたジャパンスマートナビを使い、自位置の測位とナビゲーション上における測位誤差を検証。

5. 受信性能の検証を通じた評価手法の検討

受信強度、受信範囲、近傍ビーコン判定等の受信感度に関する検証と、BLE ビーコンの設定値（電波出力、送信間隔）との関係性の考察。

6. 測位端末の機種差

受信端末の性能差を確認するため、日産スタジアムにおいては 16 機種、新横浜駅においては 14 機種のスマホ及びタブレット端末を使い検証を実施。

● 検証のプロセス

検証のプロセスは、屋内測位環境の構築プロセスに則り実施し、手順の確認も併せて行った。

まず、屋内地図等の検討に必要な素材を入手し、机上で BLE ビーコンの配置の検討を行った。次に、配置案に従い環境を構築し、設定した項目の検証を実施した。また、検証の結果を元に、課題を整理し解決法について検討し改善案を策定するところまでを実証実験として実施した。

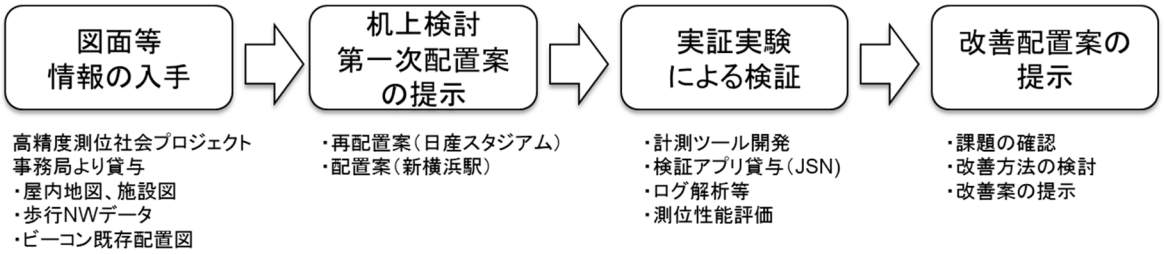


図 10：実証実験の検討プロセス

● 検証方法

1. 日産スタジアム、新横浜駅共に、歩行経路を歩行 NW データ上に設定し、静止と移動状態での受信電波を計測。静止計測地点：日産スタジアム（27 地点）、新横浜駅（18 地点）
2. ツールは、スマホ用に開発した受信強度測定ツールと測位ツールの 2 種に、ジャパンスマートナビを加えた 3 種のツールを使用。

● 検証内容

・ビーコンの電波特性の確認（受信強度）

・計測地点で正しい BLE ビーコンの信号を受信できているか（近傍ビーコン判定）

・計測地点で正しく自位置を測位できているか（自位置判定）

・開放空間では階層を超えて他階のビーコンに反応していないか（近傍ビーコン判定）

・閉鎖空間では、遠方のビーコンに反応していないか。（近傍ビーコン判定）

・連続して移動していても正しく測位ができるか（移動位置判定）

2.4.2 検証結果からの知見整理

● 測位に適した電波特性の BLE ビーコンを選定と設定

・先に説明したように、BLE ビーコンの電波減衰の特性を利用して距離測定（レンジング）をしている。BLE ビーコンによる測位では、受信強度（RSSI=Received Signal Strength Indicator）と距離の関係が理論値に近いほどよく、距離に応じて RSSI がきれいに減衰するようにビーコンを選定及び設定する必要がある。

・距離判定ができるビーコンの設定であれば、単純なチェックイン測位での測位精度は、BLE ビーコンの配置数に比例する。

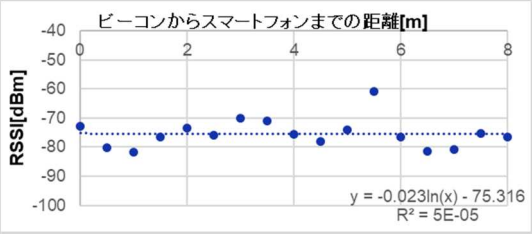


図 11 電波の減衰が確認できない例

左図は、減衰の傾向が曖昧で、距離が離れても減衰しておらず、スマホ側での距離測定が難しい例である。移動体であるスマホでの受信を前提に考え、電波が明確に減衰するビーコンの選択もしくは設定を確認することが重要である。

● 測位端末の機種別性能差の考慮

・測位端末によって、RSSI 値が大きく異る結果となった。RSSI の受信個数が極端に少ない端末も存在するため、代表的な機種による事前検証が必要である。

● 測位アルゴリズムによる影響を考慮

・同じ環境であっても、測位アルゴリズムにより測位性能に差が出ることを確認できた。測位アルゴリズムによる測位精度は開発者任せとなるため、BLE ビーコン設置や設定に関する情報をできるだけ開示し、事前検証の必要性を促す必要がある。

● 適正な設定値の確認

・電波出力と送信間隔が設定できる物が多いが、電池寿命と電波出力、送信間隔の設定はトレード・オフの関係にある。しかし、電池寿命を優先して設定を下げ過ぎると、測位端末や測位アルゴリズムによっては測位精度への影響がでるものもあるため、実測による事前検証が必要である。

・混雑等による RSSI 低下は、閾値判定の測位アプリの場合は注意が必要である。また、車いす移動者は、スマホの位置が健常者より低い位置となるため、更に影響を受け易いことも考慮する必要がある。

● BLE ビーコンの最適な配置

・建物の構造物である梁等は、競技場のような構造体では多く存在し、電波障害になることを確認。併せて、開放空間では他階の電波による干渉も確認。一方、閉鎖空間では、近傍ではない違う場所のビーコンを検出する（反射か直進の影響か）

・机上の配置案を策定後に、可能であれば仮配置等によって事前に問題箇所を検証した上で、最終の配置案を決定する方が効率的である。

・他（階）への影響も考慮し、ビーコンの設置の高さや、階毎の配置は揃えた方が良い。

3. BLE ビーコンの設置

3.1 測位環境構築の全体計画

屋内の測位環境を構築する際に必要な全体像について説明する。

次のフローチャートは、屋内測位環境構築に関わる全体の手順を記載したものである。屋内での測位を実現するためには、環境構築を単独で進めるのではなく、並行して進められる地図の作成やソフトウェア開発の各プロセスと連携しながら進めることになる。

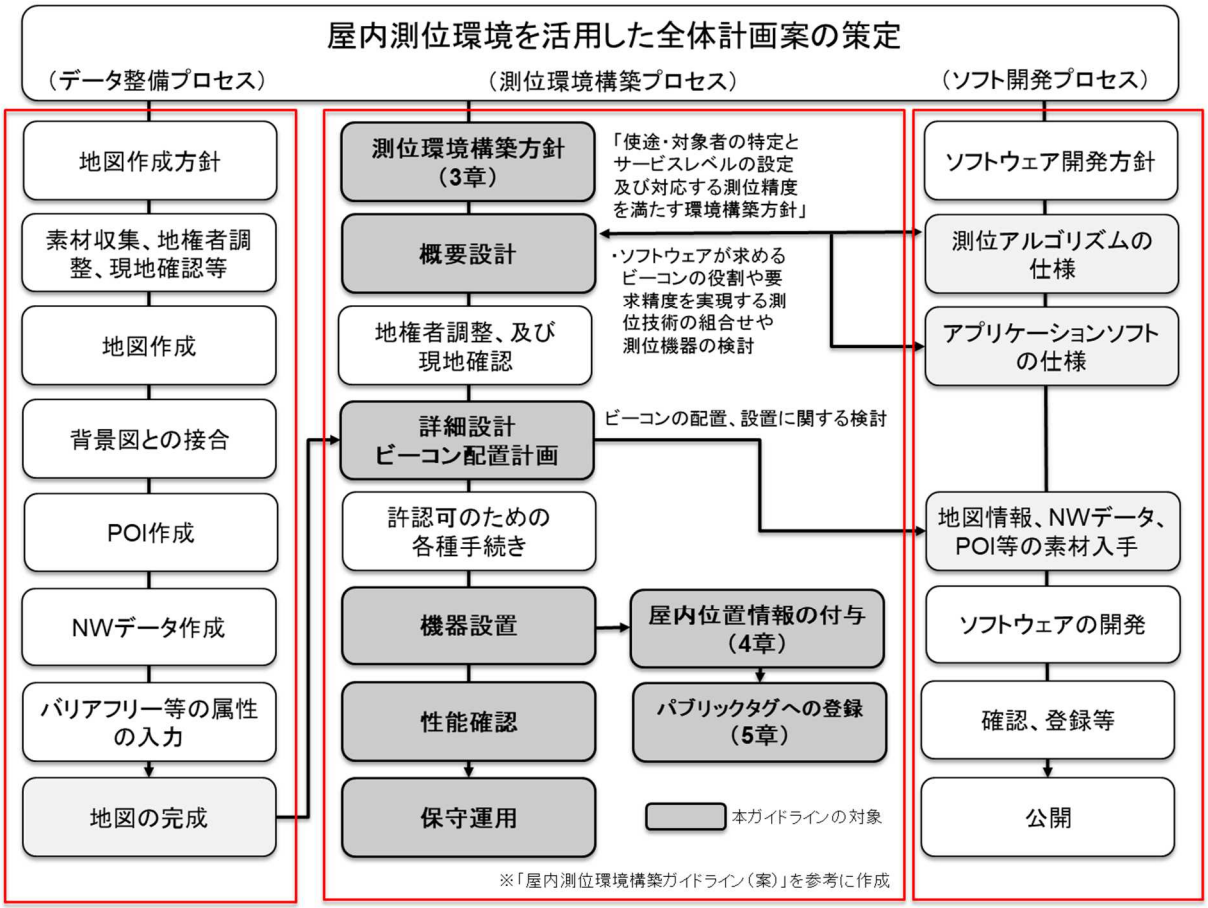


図 12：屋内測位環境構築フロー（全体図）

全体の手順と各プロセスとの相関関係を図示し、測位環境構築の検討時に確認すべき事項を整理する。また、各プロセス間の相関関係から、お互いに影響を受ける部分を確認し、スケジュール管理や、他のプロセス担当者との調整を実施する。

屋内測位環境の構築は、データ整備プロセス（屋内地図、歩行 NW データ、POI 等のデータ作成）と、ソフトウェア開発プロセス（測位アルゴリズム、サービスを提供するためのアプリ等のソフトウェア開発）が平行して進められる。

概要設計には、ソフトウェアが要求する測位精度や BLE ビーコンが担うべき役割の確認が必要である。また、詳細設計の段階では完成した屋内地図を使用するので、全体の工程管理上で各プロセスとの進捗の調和が必要である。更に、POI の検出のために BLE ビーコン使用の要求がある場合も、測位環境構築プロセスの担当者へ要求として提示が必要である。

3.1.1 測位環境構築の方針策定

測位環境を構築する目的、対象者や使途の特定に従い、測位機器に求められる測位精度や役割を確認した上で、測位環境構築の方針を決定する。また、ソフトウェアの開発方針、採用する測位アルゴリズムの検討等は設計時に必要な情報となるため、他のプロセスの方針確認と詳細な情報共有が必要である。

本ガイドラインでは、PDR を搭載したハイブリッド測位を前提として、BLE ビーコンのスポット測位を実現するための環境構築を前提条件として情報整理を行っている。

なお、実際に作業を進める上で、地権者や施設管理者との調整と、許認可のための申請手続き等の事務調整作業が必要な場合もある。それら調整作業に関する詳細は、国土交通省国土政策局で取りまとめている「屋内測位環境構築ガイドライン」に詳しく記載されているため、参照いただきたい。

3.1.2 測位技術、測位アルゴリズム選択時の考慮事項

- 使途の検討

測位環境の構築にあたって、使途の明確化が重要である。誰に対して、どのようなサービスの提供を想定するのか等、使途を具体的に特定することにより、測位環境構築の方針が明確になる。サービス対象者は誰なのか、位置情報を活用してどのようなサービスを提供したいのか、そのサービスの提供レベルに設定するのか、等を具体的にすることで、構築すべき測位環境の要求精度や測位機器に求める役割は決まる。

- 対象場所の空間特性

測位環境構築の対象場所の空間特性も考慮すべき事項となる。対象とする場所が、スタジアムのような開放空間の多い場所なのか、または地下街のような閉鎖空間なのかによって、空間に適した測位技術や測位アルゴリズムの選定に影響する。

空間の特性により考慮すべき事項は変化するため、以下の観点で適した測位技術や測位アルゴリズムを選択することが必要である。

・構造物や梁等の障害物が多い場所では、電波障害を回避する方法を考える。
・人の混雑が多い場所は、影響を受けにくい位置への機器の設置を検討する。
・飲食店がある商業ビルの入口は、ネズミ避けの強力な音波が送信されていることがあるので音波測位は、その影響を受け使用することが難しいため、他の測位技術を検討する。
・大きな金属の塊である電車が行き交う駅では、地磁気は頻繁に乱れるため、地磁気測位は影響を多く受けるため、回避策を考える必要がある。
・吹き抜けやエスカレーター等の開放空間は、他の階への電波干渉を考慮する。

- 既設機器の有無と新規設置の可否

測位環境を構築する対象空間において、測位に利用できるパブリックタグに登録されている Wi-Fi AP や BLE ビーコン等の既設置の機器があるのかを確認する。次に、物理的に測位機器を新規設置することができるのか、または機器設置に何らかの制約や条件がつくのかを施設管理者に事前に確認する必要がある。新たな機器設置が難しい場合は、必然的に機器設置を必要としない測位技術を選択することになり、選択した技術に紐付いた測位レベルの設定となる。

- ソフトウェア

位置情報を活用したナビゲーション等のサービスの提供を考える場合、測位アルゴリズムやアプリ等のソフトウェア開発が必要となる。このソフトウェアを自社開発するのか、もしくは既に他のソフトウェアベンダーが開発したアルゴリズムを採用するのかで開発工数や開発コストは変わる。既存の測位アルゴリズムを採用する時の考慮事項としては、測位の精度に直結する重要な要素であるため、使途や空間特性に加えて、実績も加味した上で検討することが必要である。

● データ群

データ群としては、対象となる空間の屋内地図、歩行 NW データ、POI のデータ整備が必要となる。屋内地図や歩行 NW データに関しては、国土地理院及び国土交通省で仕様案が提示されているため、各仕様に則った整備を進めることが重要である。

加えて、設置した屋内測位用の機器を使って測位をするためには、設置した機器の正確な位置情報を予め測定する必要がある。ここで測定した測位機器の位置情報は、パブリックタグとして登録することにより様々なサービスベンダーが使用することができるようになり、多様なサービスの提供へ繋がることが期待できる。パブリックタグの登録方法については、本ガイドラインの 5 章で説明する。

● 対象とする利用端末の特定

サービス利用者が使用する端末は、主にスマホが想定されるが、スマホは OS やハードウェアの違いで、多くの機種が市場に投入されている。また、新型機種が毎年市場投入され、使われている OS も頻繁にバージョンアップが行われている。OS の種類（Android or/and iOS 等）やバージョンの違いによって、機能の制限があるなどソフトウェアの開発工数に影響を与えることもある。

また、スマホは機種によっては測位精度に差があることも実証実験等で確認されている。製品デザインの違いからアンテナ形状や配置の違いに起因して受信感度に差が出ると想定される。サービスの利用者が使用する代表的な機種を想定して検討することも、方針策定時に必要事項である。

測位技術及び測位アルゴリズムの選択にあたっての考慮事項について説明する。

3.2 作業フローの確認

全体の作業の流れについて説明する。

ここで示した作業フローは、「屋内測位環境構築ガイドライン」の作業フローを参考にして作成した。

「屋内測位構築ガイドライン」では、対象となる地権者や施設管理者との調整事項や許認可の申請等の事務手続きについて詳しく説明されている。そのため、本ガイドラインでは、調整事項や事務手続きに関しては、概要説明にとどめている。

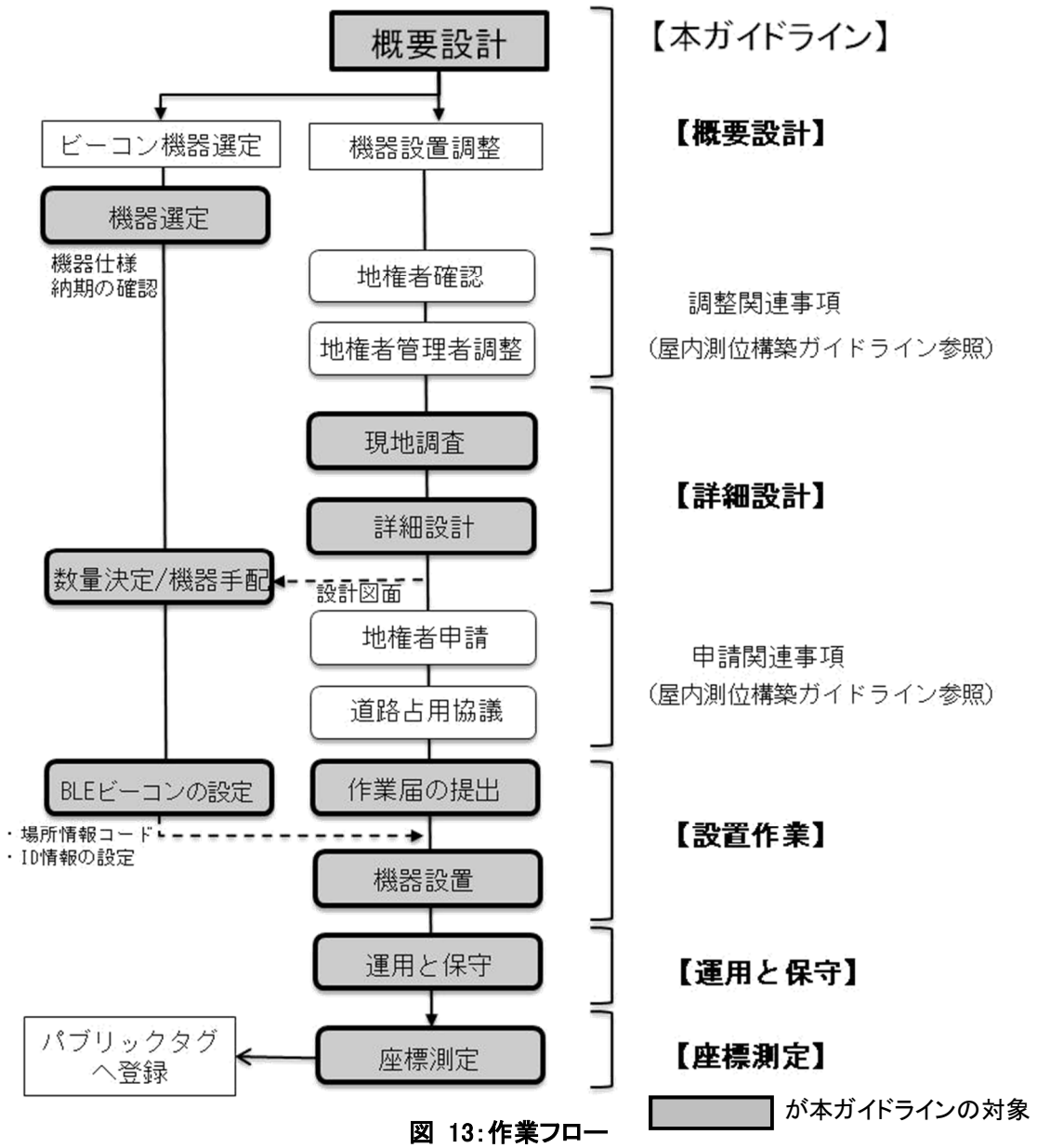


図 13:作業フロー

● 概要設計

方針決定に従い、最初に行うのが概要設計である。

BLE ビーコンの役割と要求される測位精度を確認し、測位範囲や設置密度を考慮して BLE ビーコンの設置数や設置場所を検討する。公開資料（施設図、案内図、フロア図等）を入手し、おおよその設置計画を検討し、構築すべき環境の全体像をイメージできる状態に具現化する。

● 地権者確認及び地権者調整

測位環境を構築する対象エリアが決定した段階で、当該エリアの地権者もしくは施設管理者を探索し、エリア境界線等を確認。そして、機器設置の可否、設置場所の許可、設置方法の確認等、設置に関する調整及び、作業上の制約について確認する。

※詳細は「屋内測位構築ガイドライン」を参照

● 現場調査

現場調査は、概要設計段階も含めて何回かの確認を行うことになる。詳細設計に入る前に、地権者もしくは施設管理者との調整を元に調査を実施し、測位機器の設置予定場所の素材や形状等、実際の設置に関する計画に必要な確認を行う。

● 詳細設計

屋内地図を入手し、BLE ビーコンの設置数と配置を決定し図面上に展開する。設置方法は、施設からの制約条件等を確認し設置場所と設置方法を決定する。また、必要数の BLE ビーコンを手配すると同時に、ID 情報（UUID 等）、設定値（電波出力、送信間隔）を検討する。そして決定した事項を基に、設置計画書・作業スケジュール表等の具体的な設置に関わる作業計画を策定する。

● 地権者申請及び道路占用協議

対象エリアが公道、もしくは公道の下（地下街等）の場合は、道路とみなされ公道上に機器を設置するための道路二次占用許可の申請を行う必要がある。なお、申請のみならず施設の使用料（占用料）も必要である。

道路管理図（道路台帳や公図）による確認、道路境界の調査、道路占用許可申請手続きにより地権者（一次占用者）の許可を得た上で設置作業移行する。なお、申請にあたっては、作業範囲の図面、事業説明書、機器仕様書、施工方法、一次占用者からの許諾書、等が必要である。

● 作業届の提出及び機器設置

作業に関わる制約を確認し日程調整等の上で、施設ごとに要求される作業届を提出する。その上で、施設管理者と合意した方法や日程にて設置作業を実施する。また、設置後に設計通りに設置されているか、設計意図通りの測位性能となっているかを受信強度などの計測を行い確認する。

● 運用と保守

設置した BLE ビーコンが、持続的に性能を発揮するための性能維持のための運用と継続した保守作業の体制の構築。

● 測位機器の位置情報（座標）の測定

設置した測位機器の設置位置は、パブリックタグへの登録時に必要となるため位置情報を測定する。

3.3 概要設計

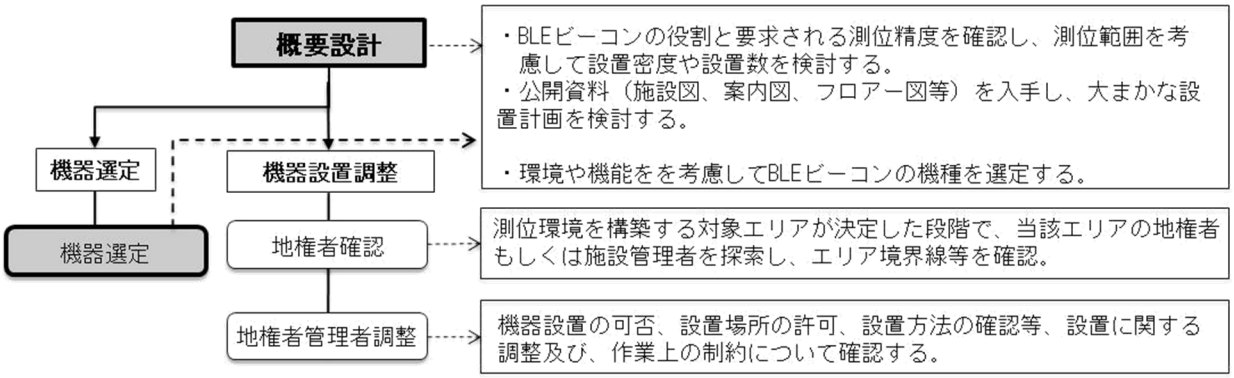


図 14:作業フローの説明（概要設計）

BLE ビーコンに求められる要求精度や役割を実現するため、対象となる空間のフロア図面等その時点で入手可能な情報を収集し、空間に適した測位環境を検討し、仮の設計を行うことにより測位環境の全体イメージを具現化する工程。

この工程で行う作業項目を以下に記載する。

- 入手可能な図面情報の収集
  測位構築の対象空間の図面情報を収集する。施設管理者から提供された詳細な図面が望ましいが、難しいようであれば、その時点で入手可能なフロア図等の公開されている図面を収集する。
  この時点では、空間との状況や特性を確認することが目的であるため。図面の精度にこだわる必要はない。
- BLE ビーコンの配置、設置密度、設置数の検討
  入手した図面上に、構築方針に則り BLE ビーコンを仮置きし、設置場所、設置密度、設置数等の机上での検討を行い、対象となる空間におけるおおよその測位環境をイメージする。
- 設置可能場所の現地確認と設置方法の検討
  BLE ビーコンを仮置きした図面を基に、現地を確認し、障害物の存在、設置予定位置の壁面の素材等の確認、設置方法の検討等を行う。
- BLE ビーコンの機種選定
  BLE ビーコンの機種選定を行う。機能、性能、価格等の、機種選定時の考慮事項についてあとで説明する。
- トータルの概要コストの算出
  機種の選定とおおよその数量が判明した時点で、概算コストを算出する。コストは機器設置時の直接コストのみならず、運用時に発生する運用コストについても試算に加えたトータルコストで算出することが望ましい。

3.3.1 機種選定時の考慮事項

BLE ビーコンの機種選定時には、空間特性への適合、使途、メンテナンス性等様々な要素を総合的に検討する必要がある。以下に検討時の考慮点を記載する。

【BLE ビーコンの機種選定時の検討項目】

- 性能／機能
  - 設定範囲（電波出力、送信間隔）
    - 電波出力の設定範囲、送信間隔の設定範囲を確認する。
  - 複数 ID 出力の可否
    - BLE ビーコンに与えられる役割を確認する。複数の出力信号の発信が必要な場合は対応した機器を選択する。（例えば、場所情報コードと UUID の双方の ID を送信する等）
  - ネットワーク機能の搭載の可否
    - メッシュネットワークの機能を搭載している BLE ビーコンもある。オンラインでの設定変更や死活監視が可能となる。また、Bluetooth5 のバージョンでは、メッシュネットワークの機能は標準となっている。

- 給電方式
  - 電源、電池（電池容量）、バッテリーレス(ソーラー、振動式　等）
    - AC 電源の確保が可能であればメンテナンス性も考慮しても AC 電源方式の BLE ビーコンを選択することが望ましいが、電源工事等の付帯コスト等の検討に加える必要がある。
    - 電池式は、ボタン電池や乾電池やバッテリー等電池容量の違う様々な機種が市場投入されている。電波出力と送信間隔の設定値から、BLE ビーコンの電池寿命が机上で計算できるので想定する電池寿命を鑑みて機種を選択する。バッテリーを搭載せずにソーラー等の自家発電方式の BLE ビーコンもある。高所等メンテナンスが難しい場所での設置に適している。

- 機器の設定方法
  - 機器の設定方法の容易さと秘匿性。
    - 個別設定が基本だが、一括設定やネットワークによる設定変更ができる機種もある。
  - 設定変更の可否や、変更方法の煩雑さ等も考慮する必要がある。

- デザインと品質
  - プリント回路板のデザインと造りの丁寧さ
    - BLE ビーコンの中に入っているチップや基盤のメーカーは世界で数社である。価格ではなく対象機種の稼働実績等の確認を行うことが望ましい。
    - アンテナの形状の違いで電波特性が特定される。電波特性についてもできるだけ確認をしておきたい項目である。

  - 外観のデザイン
    - BLE ビーコンの外ケース（外観）のデザイン、大きさ、重量が周辺環境との親和性はあるかを確認する。勿論、屋外への設置時は防水性等の検討項目に入る。

- 設置の柔軟さ（両面テープ、ビス止め、磁力）
  - メンテナンス性や盗難防止を考慮した設置方法を検討する。

- コスト
  - 初期コスト（デバイスコスト、キッティングコスト、設置作業費等）
  - 運用コスト（メンテナンスサイクル、電池交換等）
    - 初期コストのみならず運用を含めたトータルコストで検討することも機種選定の重要な検討項目である。

3.4 詳細設計

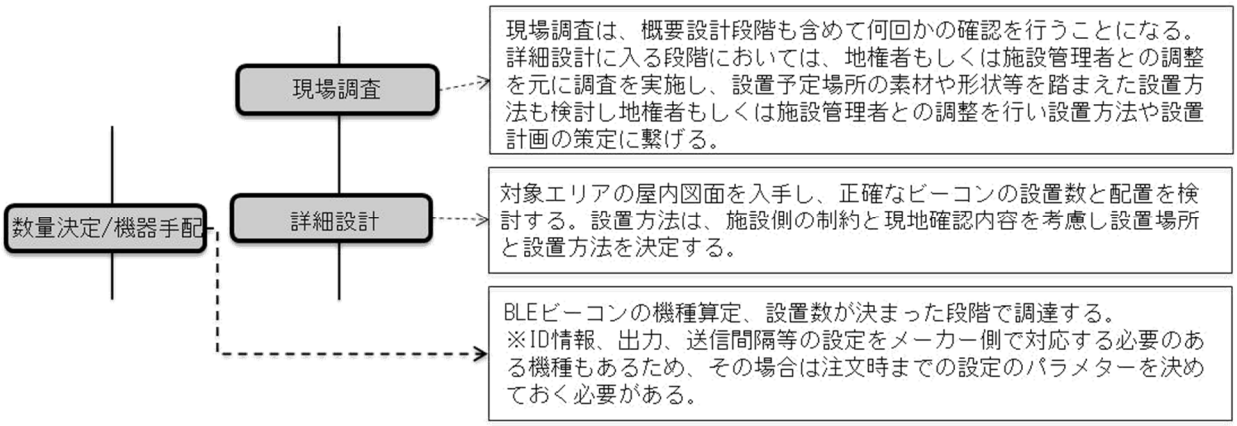


図 15:作業フローの説明(詳細設計)

屋内地図が完成した時点で入手し、環境の詳細設計に入る。概要設計にて、仮決めしたおおよその設置場所や設置方法を基に現地確認を行い、地権者及び施設管理者との調整を行なった上で、入手した正式な屋内地図面に設置位置を記載する。

【現場調査での確認事項】

- 完成した屋内地図を入手し、現地との照合を行う
- 出入り口、分岐点(ノード)、重要 POI(トイレ、エレベーター等)、通路幅等を確認
- 自動販売機やロッカー等の地図に記載されていない設備の確認
- 空間の仕切り等、電波に影響を与える壁や間仕切り等の確認
- 機器設置予定場所の天井付近の形状(梁や案内看板等)と障害物となるか否かの確認
- 機器設置予定場所の天井や壁面等の材質の確認
- 時間帯を変えて、歩行者もしくは来店客等の通行量(混雑具合)の確認

点字ブロックは、歩行経路上に通常設置されているため、BLE ビーコンの配置を検討する際の参考となる。

また、現場調査時に、壁面や障害物等をあとで確認できるように写真撮影しておくと良いが、個人情報保護の観点から通行人の写り込みには注意が必要である。

現場調査の結果、設置上でのビス止めの可否等の確認事項は整理して、施設管理者に後でまとめて確認すると良い。なお、この時に作業に関わる指定事業者の要否や作業時間等作業に関わる確認事項も合わせて確認する。

現場調査を終えた後、詳細設計で行う作業は次のとおりである。

- 作業計画の策定と作業スケジュールの調整
  作業計画書及び作業スケジュールを作成し、施設管理者と詳細に調整を行い決定案とする。

- 場所ごとに適した設置法の検討
  計画した設置位置が、施設管理者の意向や障害物の存在等で、実際の設置位置を修正もしくは設置数の増減をせざるを得ない場合もある。調整が完了した最終の設置位置における、その場所に適した設置法を検討し決定する。

- BLE ビーコンの設置位置と設置数の決定及び手配
  設置に関する調整が完了した時点で、決定した BLE ビーコンの設置場所を屋内地図上に展開する。この時点で設置数が決定するので、必要量を手配する。
  なお、選定した機種によっては不良品や特性の偏る機器が混じる可能性もあるため、設置作業までに十分なリードタイムを取るか、もしくは若干の余裕分も含めて手配する様に心がける。

- BLE ビーコンの設定値の検討
  BLE ビーコンは送信する ID 情報（場所情報コード、UUID、他）、電波出力、送信間隔を検討する。
  電池式の場合、電波出力と送信間隔は、電池寿命と密接な関係にあるため、消費電力から電池寿命と交換時期を予め試算し設定する。

図 16:BLE ビーコンの設置事例（新横浜駅における実証実験）

3.4.1 BLE ビーコンの設定値

● **電波出力強度（TxPower）と送信間隔：**

Bluetooth には電波出力強度を規定した Class という概念があり、強さによって Class1から3まで分類されている。Class により送信距離も異なる。

表 4：Bluetooth の Class

Class	電波出力強度（上限値）	通信距離（想定）	備考
1	100mW	およそ１００m	日本では電波法の関係で、更に低い出力設定となる。
2	2.5mW	およそ１０m	Class2のデバイスが多いと思われる。
3	1mW	およそ１m	対応したデバイスはほとんど出ていない。

BLE ビーコンの機種ごとに電波出力が固定のものと、変更ができるものがある。変更できる BLE ビーコンの仕様書を見ると、例えば“4dBm～-20dBm”等と書かれている。値が小さいほど送信される電波の出力強度は低くなる。

なお、単位の関係性は、 0dBm = 1mW、-20dBm = 0.01mW となる。

送信間隔も、固定されているものと変更が可能な機種がある。変更できる BLE ビーコンの仕様書を見ると、“100mSec～10,000mSec 等と書かれている。因みに、iBeacon の仕様では、送信間隔は 100mSec と決められている。

なお、単位の意味は、1,000mSec で 1 秒間に 1 回送信するということなので、100mSec は 1 秒間に 10 回送信することになる。

受信側が静止状態、移動状態の違いや、端末の受信特性や角度等により受信感度が異なるので、電池寿命のために、いたずらに長い送信間隔にすると、端末側での受信不良が起こる懸念もあるので注意すること。

電池駆動の場合は、電波出力と送信間隔は、電池寿命とトレード・オフの関係となる。しかし、電池寿命を優先して、いたずらに出力を弱め、送信間隔を伸ばした場合、期待する測位性能が引き出せないことも懸念される。また、環境や設置密度も電波干渉の回避等、設定に影響を与えるので専門ベンダーと十分に相談の上決定することを推奨する。

● **ビーコンの ID 情報**:

屋内測位のために設置された BLE ビーコンは、どこの位置に設置されたビーコンかを特定する必要がある。そのために、各ビーコンはそれぞれ違う ID を送信しており、その ID に紐付いた位置情報を取得する仕組みとなっている。その ID が他のどのビーコンとも重複しない唯一無二であることが重要で、これを一意性の確保と言う。

東京駅周辺で実証実験が行われた、国土交通省が進める高精度測位社会プロジェクトにおいて設置された BLE ビーコンでは、UUID のみならず、場所情報コードを直接送信している機種も設置されている。

➢ 場所情報コード

場所情報コードは、緯度・経度と階数によってコードが付けられるため、同じコードが複数の場所でつけられる事がなく一意性が確保された仕組みである。なお、場所情報コードは、発行機関（国土地理院）へ申請を行えばコードが発番される。

なお、高精度測位社会プロジェクトで設置された BLE ビーコンは、パブリックタグ（国土地理院が進める、場所情報コードを活用した測位機器の位置情報を共有する仕組み）として登録されており、その場所情報コードはオープンデータとして取得することができる。

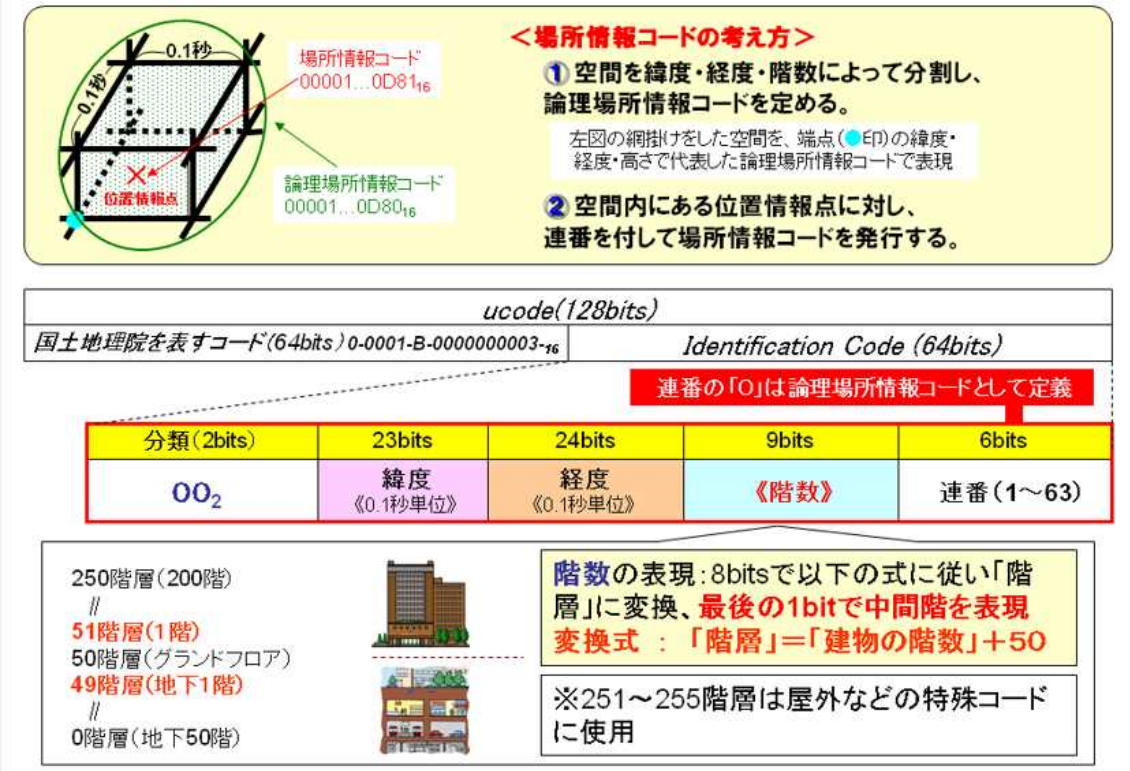


図 17：場所情報コードの使用（国土地理院資料を引用）

➢ UUID（Universally Unique Identifier）

アップル社の通信プロトコルである iBeacon では、送信する ID は UUID、Major、Minor の組合せで一意性を確保している。UUID は、Universally Unique Identifier の略で、普遍的に重複しない ID という名前の通り世界中で重複しない ID となっている。

UUID は、IEFTF（Internet Engineering Task Force）の技術仕様 RFC4122 で規定されている規格。UUID は、誰もが生成することができ、その方法によりバージョンが 5 つある。

表 5：UUID のバージョン

Version	説明	備考
1	時刻とMACアドレスから生成	
2	DCEのセキュリティバーション	DCE＝Distributed Computing Environment
3	一意な名前（バイト列）を元に生成	MD5ハッシュ関数
4	乱数による生成	
5	一意な名前（バイト列）を元に生成	SHA-1ハッシュ関数

因みに、UUID も場所情報コードも 128bit で構成されたコードとなっている。

いずれの方式においても、場所を表すためにはコードの一意性が確保されている必要があるので、設定は専門ベンダーと相談の上で決めることを推奨する。

3.5 設置作業

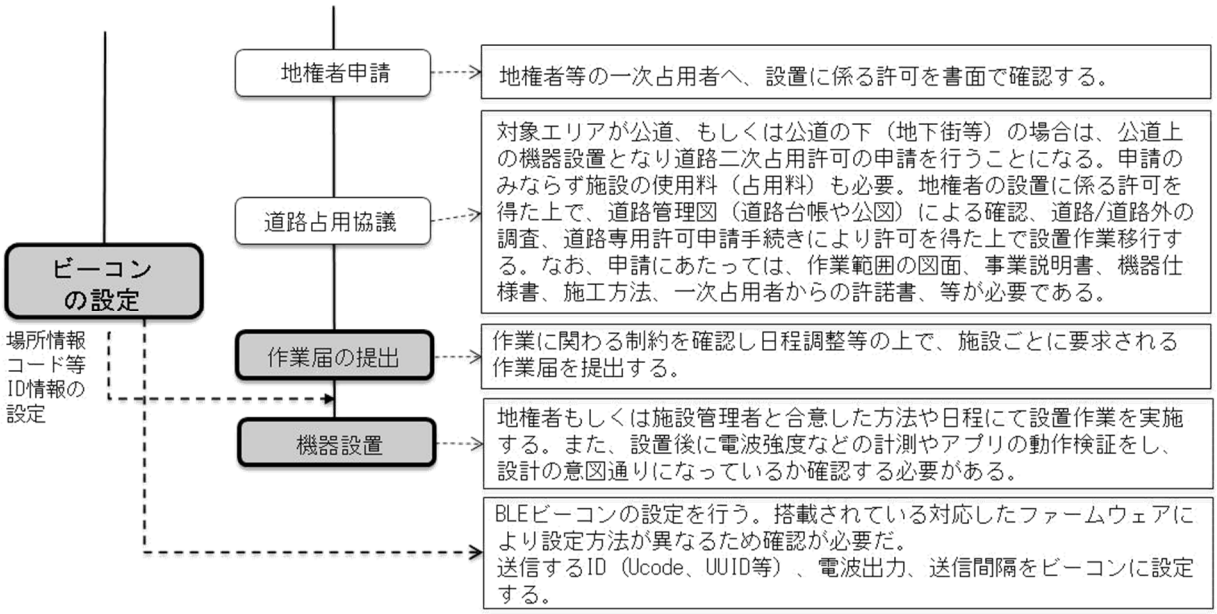


図 18:作業フローの説明（設置作業）

地権者や施設管理者との調整及び、道路占用等の自治体担当者との許認可の申請作業を行った後に、最終的に承認が降りた段階で設置作業に入る。公共空間等における設置作業は、時間や作業内容の制約を受けることが多く、事前の作業計画書の提出に加えて、作業届けの提出も求められることが多い。作業工程について次に説明する。

3.5.1 準備作業

準備作業では、作業に必要な書類の作成と届け出、BLE ビーコンを設置できる状態にするための設定、設置後に管理しやすくするためのラベリング／ナンバリング等の作業と、設置作業に必要な備品等の調達を行う。

道路占用の協議と事業者指定の確認　BLE ビーコンは免許を必要としない無線局とされているが、道路占用（二次占用）許可を受けなければいけない施設（都道府県道や国道の下の地下街等）においては道路法 32 条に基づき、道路二次占用許可の申請を行い、許可を受けなければならない。

関連する情報としては、平成 26 年 6 月 25 日付けの事務連絡で、国土交通省道路局路政課道路利用調整室課長補佐より、地方自治体担当局に対して「位置特定インフラの道路占用の取扱いについて」の通知として、電子タグ、無線マーカー等（位置特定インフラ」の道路占用について、道路法第 32 条第 1 項第 1 号の「その他これらに類する工作物」に該当するものとして取り扱うことと通達されている。

この通達は、現在も生きているが、一部の自治体では、Wi-Fi 無線局開設と同じ扱いとして電気通信事業者の資格を有する事業者に限定する等の事例もある。自治体が管理する道路に関しては、判断は各自治体で下すこととなっていることから、どのような対応が必要か各自治体で確認する必要がある。

なお、BLE ビーコンは、免許不要局の 2.4GHz 帯高度化小電力データ通信システム(2,400～2,483.5MHz)に属しており、技術基準適合証明を受けた無線設備であれば免許不要で設置できるとされている。(総務省電波利用ホームページより)

● 工事実施時に要求される作業届の確認

道路占用(二次占用)の協議を行う場所においては、許可証が受領された後に、道路管理者への作業が必要か確認する必要がある。また、対象となる空間の地権者・施設管理者(一次占用者)への作業届の様式や届出内容の確認が必要である。通常は、作業届は 3 日～7 日前の提出が必要になると想定される。

作業届の様式は、施設により専用の様式が指定されていることが多いため、管理事務所等で収取して事前に申請する。

施設により記載内容は異なるが、主な記載項目は以下と想定される。

・作業事業者名、住所、電話番号、担当者名
・作業目的
・作業期間・時間
・工事業者名
・作業者名
・設備使用の有無(駐車場等)
・火気や電気の使用の有無
・その他特記事項、他

また、添付図書として緊急連絡体制表の提出が要求される場合が多い。

なお、施設により、管理者が事前に承認を与えている指定事業者にしか工事作業を許可しない場合がある。これは交通事業者等では一般的のようである。指定業者の要否を事前に確認し、工事事業者を選定する必要がある。

● BLE ビーコンの設定

検討した ID を BLE ビーコンへ設定する。

BLE ビーコンの機種によって、ユーザー側で設定できないものもあるので、このような場合はビーコンベンダーへ手配時に、検討した ID、電波出力、送信間隔を伝え設定を依頼する。

通常は、BLE ビーコンを作動させるためのファームウェアが各ビーコンデバイスには搭載されており、このファームウェアにより、動作環境や各種のパラメータの設定が行われる。電波出力、送信間隔の設定範囲や設定方法等も、ファームウェア毎に異なる。

● ナンバリング／ラベリング

ID や設定値は目に見えないので、管理の正確性を担保するため、各 BLE ビーコンにナンバー等の管理番号を付与して、BLE ビーコン本体にラベル等に記載して貼付すると同時に、図面と設定値リストで管理することが望ましい。

3.5.2 本設置作業

● 設置位置の確認と、考慮事項

図面に記載された位置へ、管理番号に該当する BLE ビーコンを、設定された方法で設置する。

設置時に考慮すべき点を以下に示す。

・設置位置の高さを揃える。

・落下防止策を講じる

・盗難防止策を講じる

・落下時を想定して、筐体に連絡先等を明示する。

安定した測位性能を得るためには、BLE ビーコンの設置位置の高さを揃える方が良い。また、公共空間においては、不特定多数が機器に接する機会が多くなるため、通常は歩行者から見えにくい場所及び手の届かない高所への設置を行い盗難の機会を減らすように工夫する。測位の側面からも、高所への設置は電波干渉への耐性がある設置場所である。

落下防止策としては、ビス止め、耐候性もしくは強力両面テープ、アンカーワイヤーによる落下防止策等がある。

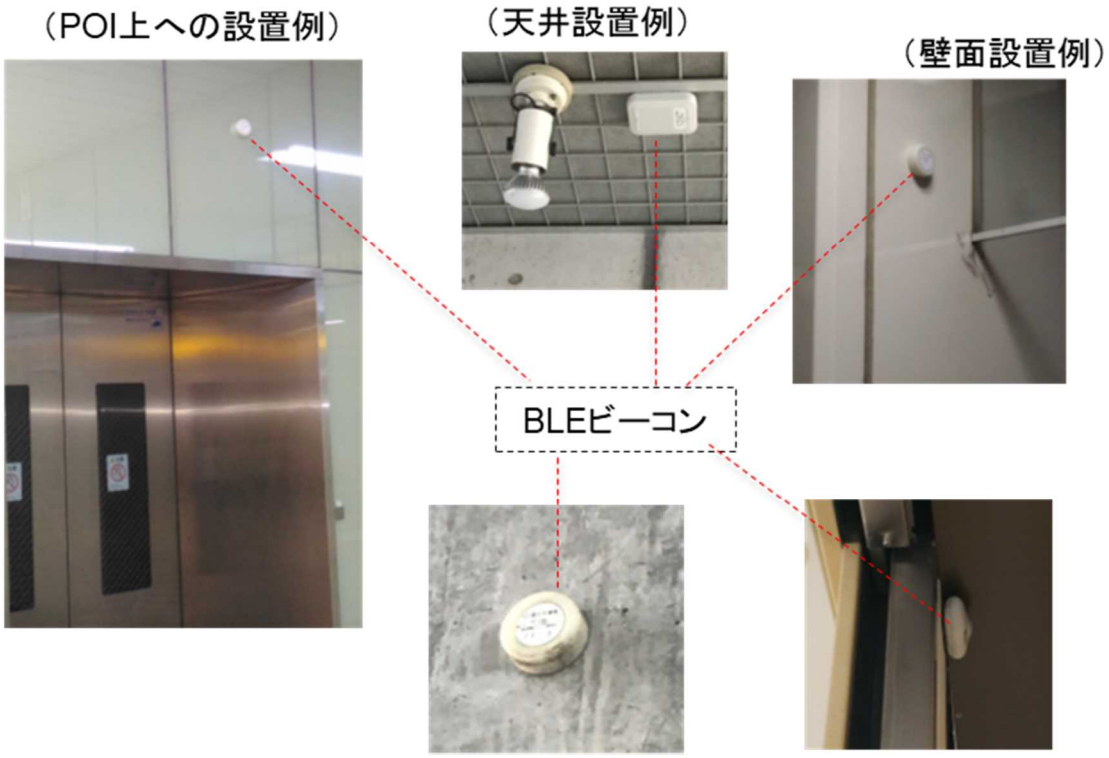


図 19：BLE ビーコンの設置例

● **ビーコンの取り付け例 （写真提供：株式会社ジェイアール東日本コンサルタンツ）**

平成 28 年度高精度測位社会プロジェクトにおいて、東京駅エリアに設置された BLE ビーコン-代表的な設置事例である。公共空間においては、徹底した落下防止策を講じた設置の事例となっている。

図 20：設置可能な天井に設置した例

天井にビス止めし、落下防止対策としてワイヤーも取り付けている。

図 21：他の設備への設置の例

非常誘導灯の支柱を傷付けないよう専用の器具を用いてビーコンを設置
少々見にくいですが、落下防止対策としてワイヤーも取り付けている。

図 22：天井付近に設置不可の場合の例

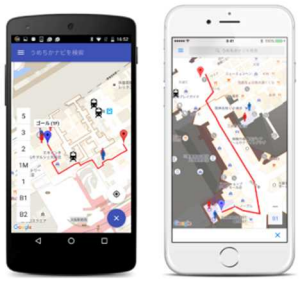
取り付け可能な天井が無い場合、点検口の内部にビーコンを設置
他社が点検口を開いて作業をすることも想定されるため、点検口に設置する場合でもワイヤーによる落下防止措置をとっている。

● **色々な場所での設置例**

【屋内設置事例】

■ **大阪“うめちか”（資料提供：立命館大学）**

大阪地下街“うめちか”への設置事例。地下街各所に 176 個のビーコンを設置。BLE ビーコン単独と防災設備の併設等の多様な形態での設置例。「うめちかナビ」等で利用。

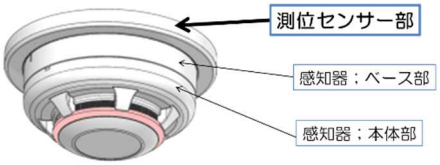


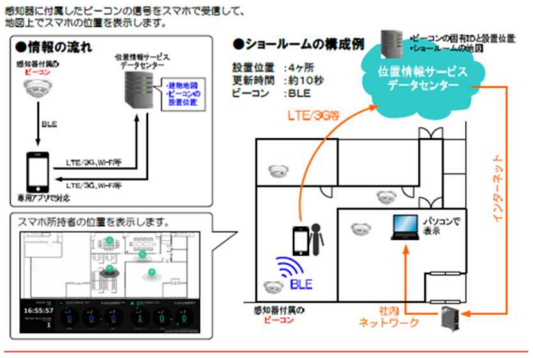
■ **名古屋セントラルパーク（資料提供：Lisra(NPO 法人　位置情報サービス研究機構)）**

2014 年度の総務省 G 空間防災シティ事業で設置された 250 個の BLE ビーコンを設置。店舗の間口に 5～8m 程度の間隔という“密設置”の例。センパナビ等で利用。

■ **感知器近傍設置型測位センサー（資料提供　ニッタン株式会社）**

感知器に測位センサーを併設し、屋内での人の動きを測位（近傍設置型）





【その他の設置事例】

■ **浅草花やしき「歴史散歩」（資料提供：マルティスープ株式会社）**

ウェアラブルデバイス「Telepathy Walker®」(テレパシーウォーカー)を装着したお客様が、園内4ヶ所の「ブラ坊ポイント」にチェックインすることで、映像が流れ歴史を学ぶアトラクション。

■ **北九州にぎわい創出実証（資料提供：北九州市、e-PORT 推進機構、マルティスープ株式会社）**

モニュメントや店舗等の観光スポットに BLE ビーコンを設置（設置場所は非公開）し、クーポン配布や宝探し系のゲーム等で店舗誘導と回遊を支援。

【参考】https://giravanz.jp/2017/appli/

■ **つながるナビ（資料提：ACCESS）**

ボタン型の BLE ビーコンを車に設置。アナログなボタンを活用することで、デジタル化が難しかったレガシー資産、既存オペレーション等の“コト”のデジタル化を可能にした例。

● 設置時にアンテナの向きを揃える

先に説明したとおり、電波は障害物がなければ直進し、金属やコンクリート等の障害物があれば反射する等の特性を有している。そのため目に見えない電波は、通風口を伝わって他の階で検出されたり、通路の遠方のビーコン信号を検出する等、思わぬ場所で影響をあたえることが稀にある。

そこで、設置にあたっては、選択した BLE ビーコンの電波特性（電波の放射の特性）を事前に確認した上で、直進や反射等の影響ができるだけ少なくなるように、**アンテナの向きを同じ向きに合わせる**等の考慮が必要である。

理論上では、BLE ビーコンを中心として球状に電波を放射するが、アンテナの形状等で機種ごとに電波の放射や指向性の特性が異なるようである。

BLE ビーコンベンダーや設備関連事業者等の、専門事業者へ情報収集を行うと同時に、事前に検証を行うことを推奨する。

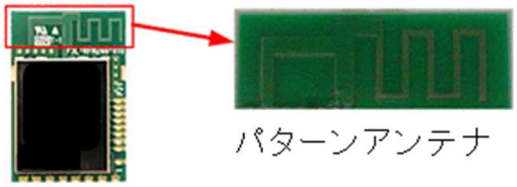


図 23：BLE ビーコンのアンテナ形状例（パターンアンテナ）

3.5.3 設置後の性能評価

● 受信強度、受信範囲、電波干渉等の評価

BLE ビーコンの電波出力強度に関して先に説明したが、ここでは受信端末側の受信強度について確認をする。

受信強度（RSSI）は、受信時にどの程度の強度で受信できているのかの受信レベルを計ることで、単位は dBm で表す。

送信アンテナから放射された電波は距離によって減衰すると説明したが、電波の干渉や反射等の影響を無視しても、受信レベルは非常に弱くー(マイナス)dBm となる。

最適なレベルを表現するのは難しく、実際の感度は環境により差異が出るようである。Bluetooth の規格では、受信感度が-70dBm で誤りが 0.1%以下と規定されているようである。

同じ周波数帯を使う Wi-Fi では、－30dBm（0.001mW)～－40dBm(0.0001mW)が安定して通信できる受信強度で、－60dBm 以下では接続が不安定になると言われている。

なお、RSSI 値だけでは、電波干渉やノイズの検出はできないので、各ビーコンの電波の減衰状況、受信範囲、電波干渉も含めて、総合的に性能判断を行う必要がある。

特に、スポット測位で POI やノード等に設置した BLE ビーコンの電波を、**<u>対象 POI やノードで近傍の BLE ビーコンとして検出</u>**できているか否かの確認は重要である。電波の反射等で、時として近傍ではなく遠方の BLE ビーコンの電波を近傍 BLE ビーコンとして検出間違いを起こすこともあるので注意が必要である。

確認する項目：

・BLE ビーコンの RSSI
・BLE ビーコンの受信範囲と電波の減衰
・近傍ビーコン判定（ノード、POI 等）
・複数の端末機種による受信の確認

※計測地点を、BLE ビーコン直下のみならず、実際の利用を想定して、1m、5m、10m 等距離を変えて測定することが望ましい。

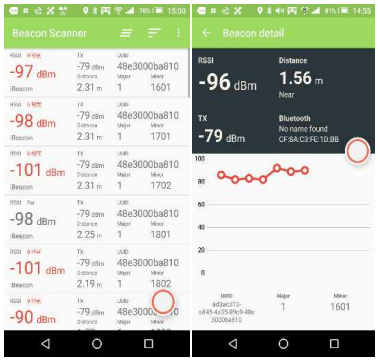


図 24：測定ツール例

出典：Beacon Scanner 画面キャプチャー

● **チェックイン測位に適している状態の確認**

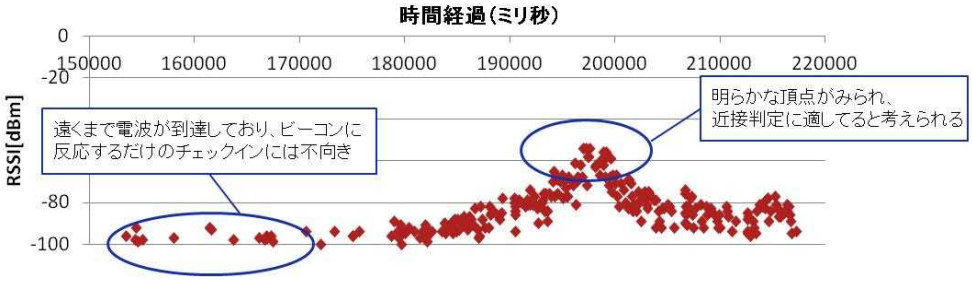


図 25：受信強度の例

● BLE ビーコンのヒートマップ例（資料提供、ニッタン株式会社）

BLE ビーコンの受信レベルの測定に加えて、ベストビーコン（近傍ビーコン判定）等の、**受信環境を複層的に評価**することが必要である。

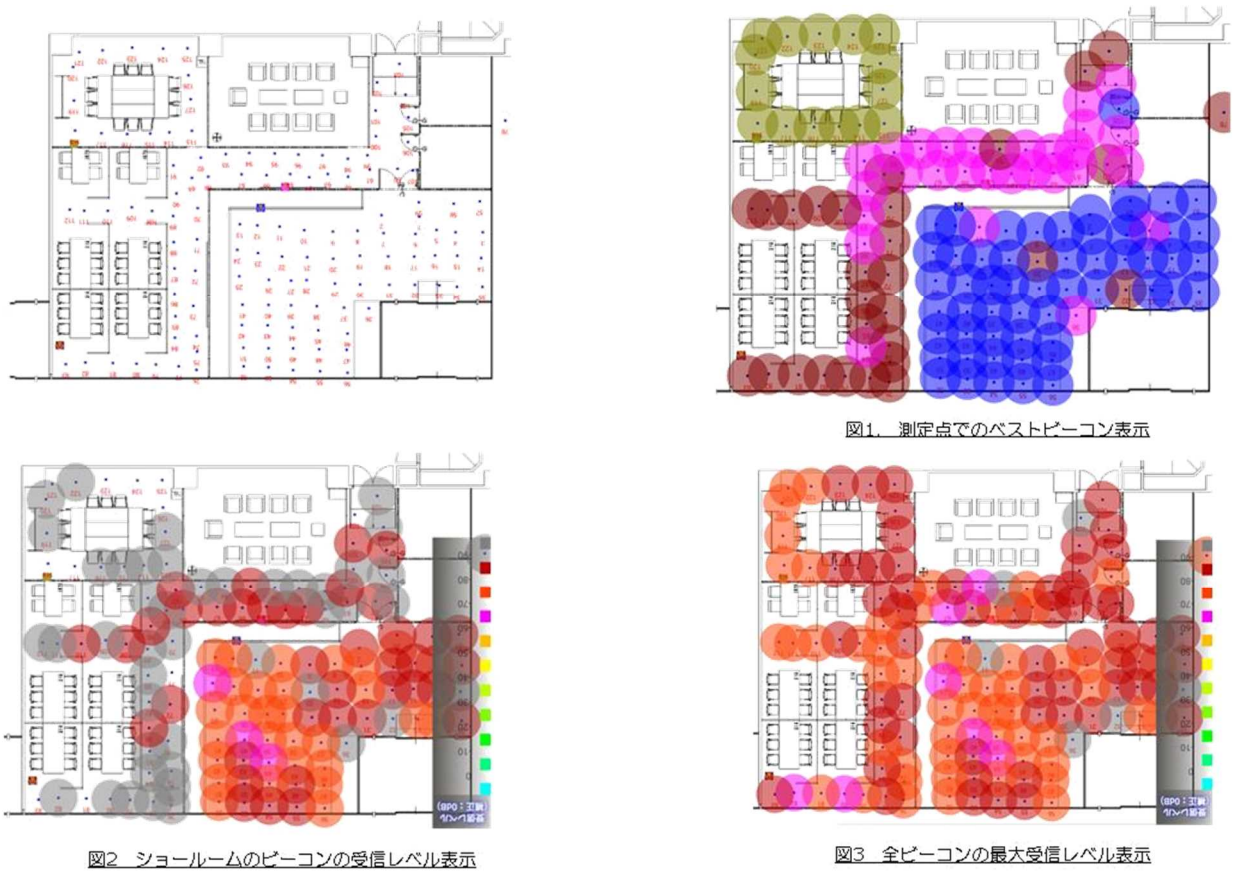


図 26：BLE ビーコンの性能評価例

● 総合的な合的な性能評価

測位性能は、電波の受信強度のみではなく、次項で説明する他の要素と総合的に作用して決まる。性能評価は、**電波特性に他の要素も加えた総合的な観点からの評価**が必要である。

そのため、測位精度に影響を与える他の要素との関係性を理解した上で、各要素との役割の分担や補完関係の構築が必要である。

また、測位精度に課題がある場合は、これらの総合的な観点からの要因分析を行った上で、BLE ビーコンに起因する課題が確認できた段階で、BLE ビーコンの再配置、追加設置、もしくは設定変更等の改善策を講じる必要がある。

3.6 測位環境と他の要素の関係

位置情報を活用したサービスでいう測位精度とは、単純に測位機器による測位精度ではなく、関連する各要素との相乗効果で得られた結果の精度ということになる。

空間の中での自己位置を表現するためには、地図の精度と測位の精度の一致がなければ相対的に正しい位置を指し示すことができない。逆に考えると、どんなに詳細なセンチメートル級の測位をしても、表現する地図がメートル級であれば、センチメートルの測位結果を表現できないことになる。

また、絶対位置をどんなに正確に測位しても、地図に歪みや誤差が入っていれば表現する位置はズレが生じるということでもある。

このことから、パブリックタグの座標を屋内地図等を使用して測定した場合、この測定に使用した屋内地図とサービスで使用する屋内地図が違った場合、その位置にズレが生じることが懸念される。

また、ハードウェアとしての測位端末は、市場に投入されている機種が多いため、全ての測位端末の測位誤差が同じになるとは思えない。

このように各要素との関係性、精度の担保や、目標とする精度基準をどのレベルに設定するのか等を、総合的に検討する必要がある。

そのため、使途を特定することは、測位環境構築を検討する上で、重要な前提条件となることを改めて確認する。

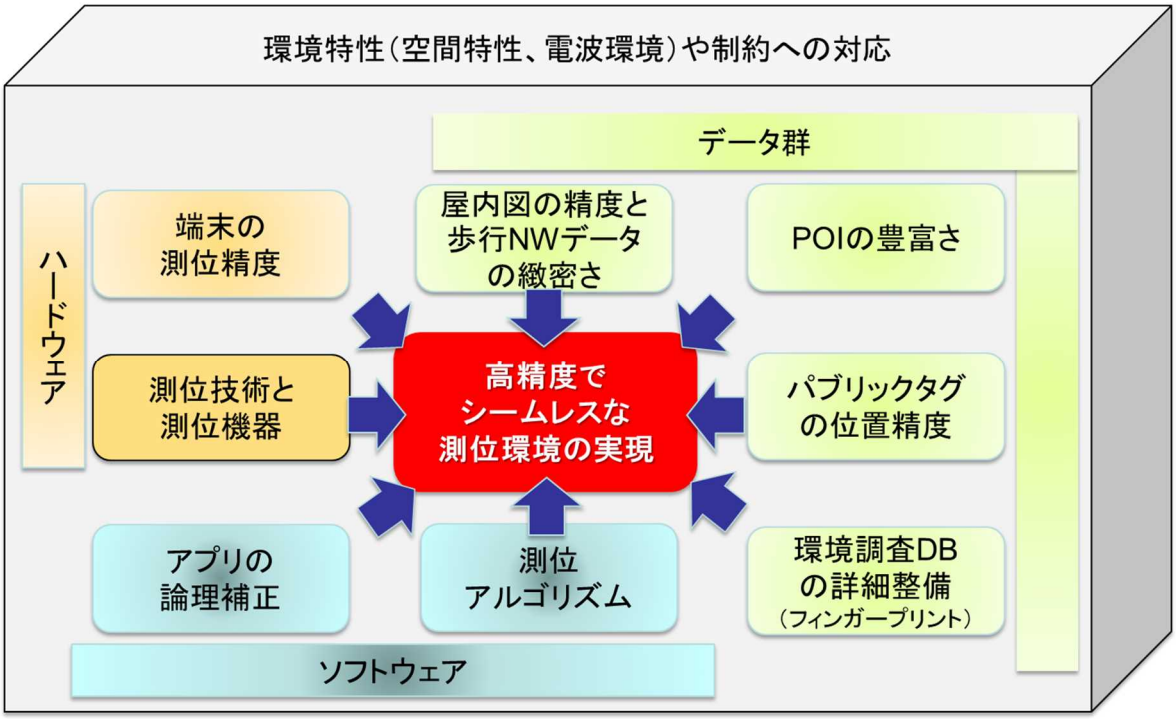


図 27：測位環境と他の要素との関係

3.6.1 受信端末との関係性

BLE ビーコンは送信機であり、受信端末（スマホ等）で信号を受信することでアプリが機能する、送信と受信の関係により成立する仕組みである。従って、測位の可否や測位の性能を検討する時に、測位機器と同様に受信端末にも注目する必要がある。この時に注目すべきことは、スマホ等の受信端末を保持している被測位対象者は、静止状態と移動状態の双方の状態があるということである。静止時に正しく BLE ビーコンを検出しても、移動時には結果が違うこともあるので、設置後には必ず確認することが必要である。

さて、今回の実証実験では複数の機種を持ち込んで検証したが、受信感度については機種別で大きな差が確認された。受信端末、特にスマホは毎年最新機種が投入され、測位対象となる端末機器の種類はねずみ算的に増加する傾向にある。スマホのデザインや使用部品の違いから、アンテナ形状やアンテナ位置等も当然機種によって異なり、それらに起因して測位に差が生じると想定される。また、混雑等の周辺環境の違いや、スマホの状態（手持ち、ポケットの中等）によっても、測位差が出ることが確認されている。

BLE ビーコンは、狭域で信号を送信する仕組みで利用されており電波出力は Wi-Fi AP とくらべても格段に低い。このため、壁・梁・看板等の障害物や、他の電波等との干渉等、周辺環境による受信感度への影響の懸念が懸念される。

今回行った実証実験による検証から、受信強度と受信個数の差が確認されたが、受信個数の差の方がより大きいことが確認された。機種によって、BLE ビーコンが送信している ID 情報を受信する個数の差が大きいということは、移動状態であれば必要な BLE ビーコンの信号をうまく受信できない可能性が機種により高いものがあることを意味する。

従って、受信端末の機種別に、受信特性や受信感度が異なることを前提として検討する必要がある。対応策としては、BLE ビーコンによる測位環境を構築後に、販売されているスマホの中で出荷台数の多い代表的な数機種を選定し、実機を使用した受信性能チェックを実施し、受信端末による差を事前に検証することである。

なお、今回の説明では言及していないが、BLE ビーコンを使った測位の方法としては、送受信の関係を逆転した方式もある。BLE ビーコン自体が安価であることから、社員に必要数を配布して身分証明証等に BLE ビーコンをつけてもらい、施設側にゲートウェイと呼ぶ受信機を設置して測位する方式である。

3.6.2 ソフトウェアとの関係性

測位アルゴリズムは、一つの測位技術を使うものから複数の測位技術を組み合わせて使用するハイブリッド測位の時代になり、測位場所に応じて測位技術を選択する等、複雑なロジックの組み合わせやプログラミングが要求されるようになり、開発者の経験とノウハウの差が大きく現れるとされている。

今回ガイドラインを作成のために設定した前提条件では、屋外では GNSS 測位、屋内では PDR による自律航法を基本に、BLE はノードや POI を検出するためのスポット測位の役割を担うという比較的単純な組合せを設定した。この前提条件に合致した、複数の測位アルゴリズムを持ち込み検証したが、測位アルゴリズムにより自位置の測位精度の誤差や違いが大きいことが確認された。

更に、他の測位技術やフィンガープリント等の測位アルゴリズムを組み合わせた場合を想定すると、より複雑なロジックが要求され、測位範囲や測位精度の高度化（多点測位や、セントメートル級の高精度測位等）への要求も相まって、測位環境構築と併せて測位アルゴリズムの優劣が測位精度としての結果に現れることが想定される。

実証実験においては、持ち込んだアルゴリズムを現場に併せて若干のチューニングを実施し測位精度の改善を試み成功した。測位誤差等の課題が顕在化した場合は、測位環境に適合したチューニングを行うことにより改善することも可能であるため、測位環境やアルゴリズム等を総合的に俯瞰して検討することが必要である。

設定した測位精度を達成するために、測位アルゴリズムの優劣による差が出る事と、開発後に現場に適合したチューニング等が必要であることから、これらを予めスケジュールに組み込むことが必要だ。

測位精度の基準となる標準的な仕様やモジュールは存在しないため、開発者の経験とノウハウを十分に確認した上で開発にあたることを推奨する。

一方、測位アルゴリズムの測位結果を受けて機能するナビゲーション等のアプリも、測位精度を向上させるための機能を搭載することができる。測位アルゴリズムの測位結果が、論理的に矛盾と思えるものであれば、アプリ上でその矛盾を補正する機能を組み込むことができる。

歩行者向けナビゲーションのアプリを例に取ると、ナビゲーションで使用する地図には、歩行 NW データ（地図の中に埋め込まれている歩行線）が搭載されている。これは、歩行者が移動する経路上に目に見えない線が引かれており、GNSS や BLE ビーコンの位置情報を測位した結果を地図上に表現する際に、経路上に正しく自位置を表示するために利用する線である。

例えば、測位結果に誤差が生じて壁の中の位置を指示しても、人間は壁の中を歩くことはないので、論理的な矛盾として処理して正しい歩行経路上に位置を修正する機能のことである。GNSS や BLE ビーコンは、周辺環境の影響を受けやすい特性があるので、測位に誤差が生じることを前提に、論理的な矛盾は、最終的にアプリでチェックして修正することにより実用上の精度を向上させることも可能である。

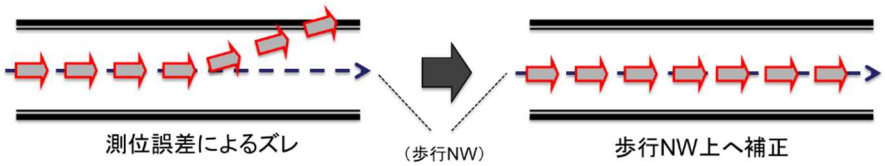


図 28：マップマッチングの例

測位環境とソフトウェアは、測位精度を向上させるために相互に補完関係にあるため、双方の側面から

チューニングを加えることにより、測位精度の向上が期待できることも考慮して検討を進めることが重要である。

3.6.3 データとの関係性

ここで取り上げるデータとは、屋内地図、歩行 NW データ、フィンガープリント、パブリックタグ、POI 等があげられる。これらのデータの精度も、屋内の測位精度に大きく影響する。

まず屋内地図であるが、碁で例えると、碁石（測位）と碁盤（屋内地図）の関係となる。正確に位置を測位したとしても、屋内地図の精度が低かったり間違っていたりすれば、正しい位置を表示できない。

逆に、屋内地図の精度が低ければ、高精度の測位をしても同様に正しい位置を表現することができない。

使途により、測位精度と併せて屋内地図の精度にも注目して、環境構築の方針を検討することが必要である。また、地図と一緒に整備される歩行 NW データの詳細さも使用を確認する対象となる。例えば、歩行 NW データにバリアフリー誘導のための傾斜データや段差データが含まれている等の整備要件の確認である。高精度誘導の要望がある場合は、階段とエスカレーターや上り下りの方向の切り分け等も含んだ 2 条線化の対応含まれているのか等のデータ整備の詳細さも確認すべき項目となる。

また、地図上の施設や設備を指し示す POI についても目標物となるデータであるため、その位置座標を正確に測定することが必要になる。測位機器の位置を示したパブリックタグも POI の一つであるため精度の高い位置座標の測定が必要である。測定法は、5 章で測定法を提示しているが GNSS の電波が届かない室内では、屋内地図や施設図面など精度の高い図面を使い、測定の基準となる点（評定点）を設定して図面上で測定を行うことになる。

このことから、測定に使用した図面と、実際にサービスで使用する屋内図が同じであれば、同じ点を相対位置として指し示すことが可能であるが、精度が違う地図を使用した場合は、誤差を生じる可能性が高くなることが懸念される。

従って、位置座標の測定で使用する地図と、サービスで使用する屋内地図は、同じ精度もしくは同じ仕様で作られたものを使用すべきであるということができる。

なお、屋内の空間を表現したものが屋内地図となるが、屋内空間は改装等の空間の変更や店舗の閉・開設等、常に変化している空間である。屋内地図の整備された時期と、現実とのギャップを埋める事をどのように実現するのか、屋内地図、歩行 NW データ、POI の等のデータ・メンテナンスを継続して実施することを念頭にデータ整備を行うことも重要な考慮事項となる。

地磁気測位や Wi-Fi AP 測位において、電波や磁気の強度地図（フィンガープリント）による測位を行い場合のフィンガープリントの更新は、更にきめ細かな対応が必要である。これは、地磁気も Wi-Fi AP や BLE 等の小電力通信の電波は微弱であり、環境の影響を大きく受けることに起因する。人の混雑具合、電車などの障害を与えるものの移動のみならず。空間内の改装、パーティションや棚の設置などでも場所ごとの受信強度は影響を受ける。強度地図の再調査によるデータ更新を、どのようなタイミングで実施するのかのデータ・メンテナンスも視野に含めた検討が必要である。

3.7 運用と保守

3.7.1 運用

BLE や GNSS の電波は微弱であるため、環境の影響を受けることがあることは既に説明した。測位環境の構築後に、設備や施設の環境変化、人流の変化、電波環境の変化等は必ず発生するものである。そのため、設計時の性能が維持されているのか、定期的に確認する必要がある。

環境構築時に行った性能評価と同等の評価を、例えば1年に一度等、定期的に行うように計画すべきである。

【想定される環境変化】

・設備環境の変化（新たな看板、パーテション等の設置）
・備品環境の変化（自動販売機、ロッカー、棚等の設置）
・電波環境の変化（Wi-Fi AP の新設等）
・人の流れの増減や方向の変化

3.7.2 管理と保守

BLE ビーコンを活用した測位環境を維持管理するための保守に係る作業は、継続して発生する作業である。複雑な構造の機器ではないといえ、機械であれば故障や不具合を生じることも想定される。また、電池式の BLE ビーコンでは期間の差はあるが、必ず電池交換の作業が発生する。

これらの作業の計画的な実施が必要であるが、コストがかかる作業でもあるので環境構築の検討をする際には、管理運用を含めたトータルコストでの検討が必要である。

コスト効率の側面からは、BLE ビーコンを単独で保守するのではなく、他の機器の付属物として一緒に保守する方策は有効である。

定期的にメンテナンスや保守を行っている設備や機器があれば、一緒に BLE ビーコンの死活監視や電池交換等の作業を実施することで、保守面で最もコストの掛かる人件費が効率化される例もある。環境構築の方針検討時に、保守作業の効率化も含めて検討することが重要である。

【存在確認】

設置された BLE ビーコンが存在するかどうかの確認。物理的に盗難や落下等により、設置場所から無くなっていることや、改築等により移動または撤去されている可能性がある。BLE ビーコンが部分的に紛失している状況は、測位性能の低下につながるため、定期的に物理的な存在確認を行う必要がある。

【死活監視】

BLE ビーコンは存在しているが、電源故障や電池切れにより電波を送信していないことが想定される。このため、正常に電波を送信しているのか否かの死活監視が必要である。

【定期的な保守点検】

- 受信状況:

存在確認に続いて、定期的に RSSI 値を測定し、受信強度の変化がないか否かを監視することが必要である。少なくとも、四半期に1度は電波状況の確認を行う必要がある。

- 清掃:

ソーラー式の場合、ソーラーパネルの汚れによる発電能力の低下が懸念される。定期的な清掃も点検項目に組み込む必要がある。

- 電池交換:

電池式の場合は、予め設定した電池寿命から計算して、電池交換時期をスケジュールしておくことが賢明だ。切れる前に、例えば 8 割程度消耗した時点で、個別対応ではなく、全数交換を行うなどの対応が効果的であると思われる。これは、電池自体の個体差により、実際の電池寿命には違いが生じることに起因する。そのため、信頼性の高いメーカーの電池を採用することも重要な要件の一つである。