

土木情報学委員会 インドアポジショニング小委員会 報告書（案）

令和 4 年 3 月

土木学会 土木情報学委員会
インドアポジショニング小委員会

インドアポジショニング小委員会 名簿

小委員長	宇野 昌利	清水建設（株）
副小委員長	佐田 達典	日本大学
副小委員長	岡本 修	茨城工業高等専門学校
委員	藤原 博	（株）川金コアテック
委員	高田 知典	高田技術経営コンサルタント
委員	遠藤 和重	国連地域開発センター
委員	荒木 義則	中電技術コンサルタント(株)
委員	新居 和展	（株）コアコンセプト・テクノロジー
委員	中村 隆史	三井住友建設（株）
委員	早川 健太郎	（株）安藤ハザマ
委員	岩上 弘明	（株）ニコン・トリンブル
委員	石間 計夫	JR 東日本コンサルタンツ（株）
委員	森安 貞夫	（株）近計システム
委員	岡田 雅史	TP ホールディングス（株）
委員	賀川 義昭	（株）日立ソリューションズ
オブザーバ	村井 重雄	西松建設（株）

目 次

1. はじめに	1
2. インドアポジショニングとは	2
3. インドアポジショニングの手法と特徴整理	6
4. インドアポジショニングが求められる現場	10
5. 研究事例の紹介	13
「セーフティリマインダー」で効率的な安全管理の実現	13
IMU による自己位置・姿勢計測	18
画像型モービルマッピングシステム	23
インドアポジショニングへの取り組みについて	28
BLE を使用した屋内測位システム	32
SLAM 技術について	38
位置計測技術と AI の併用	43
GNSS と IMES を利用した屋内外シームレス計測	48
モバイル GPS を活用した駅の人流把握	53
6. コラム（インドアポジショニング関連技術等）	55
テーマ 1：交通ビッグデータを活用した徒歩圏交通流動推計	55
テーマ 2：若手職員から見た屋内測位について	59
テーマ 3：高齢化社会での測位技術の活用	61
テーマ 4：光学振動解析技術による橋梁支承の機能評価	65
テーマ 5：ランニングと位置情報について	70
7. おわりに	72

1. はじめに

公益社団法人土木学会土木情報学委員会では、長年にわたり産官学の技術者が集い、さまざまな土木技術に関する研究発表と討論を実施してきた。測量の技術については、屋外では GNSS の発展により、センチメートルレベルの高精度測位ができる環境が実現できるようになってきた、しかし、地中などの屋内測位においては、まだ発展途上の技術である。そのため、GNSS を利用できない環境での測位を、インドアポジショニングと定義して、研究開発をスタートした。その内容が、土木情報学委員会の研究テーマに応募して採択されたため、「インドアポジショニング小委員会」を 2019 年 6 月に設立し活動を開始した。

本研究小委員会では、GNSS を利用できない工事をターゲットとし、電波、レーザ、画像、IMU を使った屋内型 MMS などサブメータからセンチメートルレベルの高精度測位を実現する新たな測位手法について調査・研究し、土木現場においてこれら技術を活用する方法を検証して、利用環境を整備することを目的とする。

さらに、利活用の促進のため、土木技術者に対してセミナー等を通して研究成果を提供する。また、ユーザからのニーズを収集してフィードバックすることで、研究の改善を進める。

具体的な活動として、以下の方針で進める。

- ①インドアポジショニングの課題に対する取り組みの調査
- ②インドアポジショニングを利用した新しい活用の研究
- ③土木工事における新たな計測場面の検討
- ④インドアポジショニングの利活用に関するセミナーを開催

本報告書が、土木学会員をはじめ多くの方々に少しでもお役に立って、実際の現場で活用されることを望む。その結果が本書にフィードバックできれば幸いです。

本書は研究成果であり、今後、技術の進歩に合わせて改訂を続けて行く予定である。忌憚のないご意見を頂戴したいと考えている。末筆ながら、本報告書（案）の策定にあたりご協力を頂いた皆様に心より感謝申し上げる。

2022 年 3 月

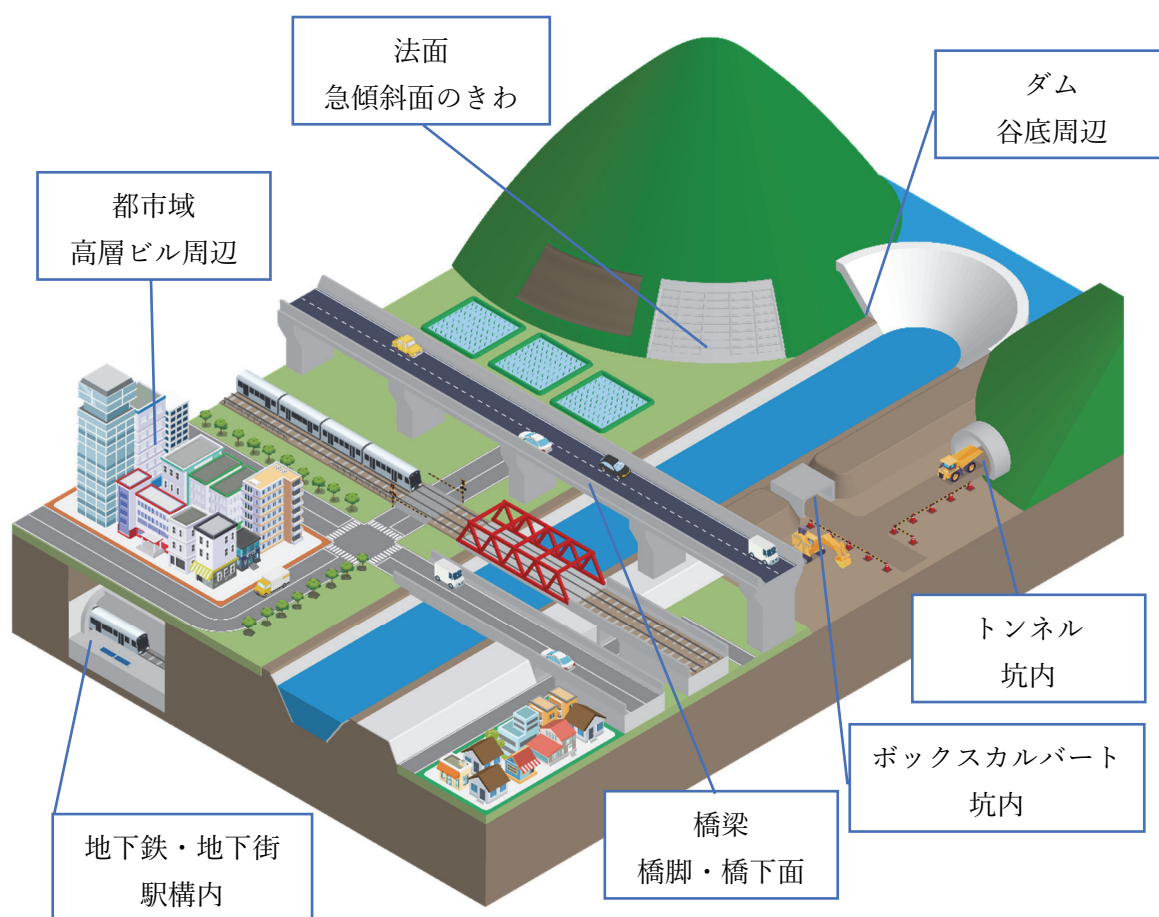
公益社団法人土木学会土木情報学委員会
インドアポジショニング小委員会
委員長 宇野昌利

2. インドアポジショニングとは

2. 1 インドアポジショニングの定義

土木工事では、大規模土工事やダム工事など天空が開けた屋外工事での測位においては、GNSSによりセンチメートルレベルの高精度な測位が可能となっている。一方、トンネル内、橋脚等の構造物とその周辺、高層ビルが乱立する都市土木では、高精度なGNSS測位を利用できない環境が多く存在する。

GNSS測位が利用できない箇所すべてが、インドアポジショニングを活用できる場面であると考えている。図-1に活用箇所の例を示す。



「Designed by macrovector / Freepik」

図-1 インドアポジショニングの活用箇所の例

2. 2 用語集

GNSS Global Navigation Satellite System

全地球航法衛星システム。GPS や GLONASS, Galileo, Beidou, QZSS などの衛星測位システムの総称。複数の測位衛星から時刻情報等の信号を受信し、位置を計測する。

BLE Bluetooth Low Energy

Bluetooth 規格の一部であり、Bluetooth4.0 から追加された規格。BLE は従来の Bluetooth と比較してより省電力であり、低コストを目指している。それに伴い、通信速度は低くなっており、動画データなどの容量の大きいデータの通信には不向きである。また、BLE は従来の Bluetooth で使われている通信規格とは異なるため、互換性はない。

IMU Inertial Measurement Unit

IMU は、ジャイロ及び加速度センサにより 3 軸の加速度と角速度を検知・出力し、さらに出力結果から姿勢角（ロール、ピッチ、ヘディング）を算出する。IMU の利点は、制限なく 3 軸の加速度と角速度計測や高レート計測、単独での計測が可能とあったことがある。しかし、時間の経過とともに誤差が増加する欠点がある。

IMU の種類は主に以下の 3 つに分類される。

①振動ジャイロ（MEMS）

半導体基板上に取り付けられたセンサの振動の変位を利用して算出

②光ファイバージャイロ（FOG）

光ファイバがコイル状に巻かれており、角速度が加わると右回りと左回りに入射された 2 つの光の伝播時間に差が生じ、その時間差を利用して算出

③リングレーザジャイロ（RLG）

リング状に形成された左右両周りのレーザの回転によって生じる周波数の差を利用して算出

MMS Mobile Mapping System

MMS（モービルマッピングシステム）とは、各種計測機器（GNSS アンテナ、上面/下面レーザスキャナ、IMU：慣性計測装置、オドメータ：走行距離計、前方用/路面用カメラ）を車両に搭載し、道路を走行しながらレーザスキャンする車載型移動計測システムのことをいう。道路や道路周辺のデータをすばやく正確に計測できるため、特に社会インフラ分野（道路・法面・トンネル・河川堤防等）の点検や維持管理に利用されている。

ビーコン

ビーコンは船舶航行用の灯台や、航空機が利用する無線標識、古くは狼煙など、位置や情報を伝える手段である。近年では主に地上にある無線局などから発射される電波や赤外線を航空機・船舶・自動車などの移動体に搭載された機器で受信することで、位置をはじめとした各種情報を取得することに利用されている。インドアポジショニングでは主に電波を使用して、電波の発信点からの距離や方向を取得して位置を測定する技術を示す。

QRコード

大容量のデータに対応させるためにバーコードを二次元化したもの。デンソーウェーブが 1994 年に開発した。バーコードは横方向にしか情報を持たないことに対し、QR コードは縦横に情報を持つ。小さなスペースで表現ができ、汚れや破損に強く、360 度どの方向からも読み取りができる。

UWB Ultra Wide Band

高い中心周波数で広い帯域を利用する無線通信技術。近距離での利用に限られるが、高速通信や位置検出にも使われる。電気機器が発生するノイズより少ない電力量の送信出力で広帯域に発信することで高速通信が可能。また、高い周波数のため高分解能の測距が可能である。

インドアポジショニングでは高精度な位置測位が可能。

Wi-Fi

正確には Wi-Fi と表記され、登録商標である。Wi-Fi Alliance という団体によって、無線で機器間を LAN 接続する IEEE 802.11 規格に準拠していることを認められたことを示す。一般には無線 LAN の規格を表すことが多い。

RSSI Received Signal Strength Indicator

受信装置に入力される信号の強度。数値が大きいほど受信感度が高い。dBm の単位で表し、値が”0”に近いほど受信感度が高いことになる。

AoA Angle of Arriva

受信角度による方向探知方式。複数のアンテナで同一の電波を受信し、その位相差から発信元の方角、角度を計算する。

AoD Angle of Departure

放射角度による方向探知方式。複数のアンテナから発信される電波を単一のアンテナで受信し、その位相差から発信元の方角、角度を計算する。

PDR Pedestrian Dead Reckoning

歩行者自律航法。加速度センサやジャイロセンサ、電子コンパスなどを用いて移動距離や方向を積算していく方法。外部装置を必要としないが、誤差が蓄積されやすい。

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。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。

IMES Indoor Messaging System

IMES は、屋内外の測位をシームレスに可能とするシステム。GPS 衛星と同じ電波形式を使用し、屋内に設置する送信装置から発信されるデータの航法メッセージに位置情報やフロア ID 等の情報を含ませている。JAXA が民間企業の協力のもと、『屋内測位技術』として開発した日本独自の技術である。

3. インドアポジショニングの手法と特徴整理

3.1 概要

私たちがインドアポジショニングを利用するためには、測位環境・精度・管理の容易さなどの基準を基に、手法を選択する必要がある。このうち測位精度は、高ければ高いほど、イニシャルコストや環境構築のハードルが高くなることを認識しなければならない。

例えば、屋内で人や物の位置を把握するために、その測位精度を数 cm～十数 cm 以内に定めたとする。仮に、電波を使ってこの精度を実現しようとする、サブナノ秒（100 億分の 1 秒）以下の時間差を計測できる仕組みが必要となる。このため、必然的に高い周波数帯の発信機やアンテナを数多く設置しなければならない。

現在、後述するフィンガープリンティング技術など、電波伝搬時差によらず、屋内での位置を推定する手法も注目されているが、原則として、測位精度を高めるためには、コスト増や制約条件が厳しくなる。

3.2 インドアポジショニングの手法

インドアポジショニングは、従来、ユーザが設置する複数デバイス間の距離を、信号（電波や音波など）の伝搬時間差を用いる TOA（Time of Arrival）や TDOA（Time Difference of Arrival）、もしくは電波信号強度に基づく手法が一般的であった。なお、この手法が位置測位の原理・原則であることに変わりはない。

一方、近年では、測位エリアにおける地磁気や Wi-Fi、BLE 等の環境特徴を、あらかじめデータベースに蓄積しておき、特徴のマッチングを行うことで位置推定するフィンガープリンティング（指紋）技術が、イニシャルコストの低さから注目されている。また、複数の測位技術を組み合わせ、互いを補正しあうように構築、運用することが主流となっている。

次項では、既存のインドアポジショニング手法と特徴を調査した結果を、以下の 3 つに分類をして整理する。

- ① 機器設置型：BLE ビーコンなどの発信機やアンテナを新規に設置、もしくは既存の Wi-Fi アクセスポイントを基に測位環境を構築する手法
- ② 位置指紋型（Finger-Printing）：Wi-Fi や BLE ビーコンなどのプロフィール情報（位置指紋情報）をもとにパターンマッチングによる位置を推定する手法
- ③ その他（非環境依存型）：測位環境に依存せずに端末に搭載されたセンサのみで測位する手法

3.3 インドアポジショニングの特徴整理

本項では、ユーザが利用可能なインドアポジショニング技術の特徴を整理した。本項で扱った技術は、数ある技術の一部であるが、ユーザが技術検討する際の参考となるような比較項目にて整理した。本項に記載されていない技術を用いる場合、本項記載の類似技術を比較対象として、検討に生かしていただきたい。

3.3.1 機器設置型

機器設置型の測位手法は、地権者・管理者承認の元、測位に用いる機器（BLE ビーコン等）を環境に設置する。新規に設置するための調整、機器購入・設置コストがかかるが、測位に適する設計で環境を構築することができる。また、測位機器が動作する限り測位精度が大きくは変化しないため、「環境の変化には比較的頑健である」という特徴がある。機器設置型の技術例を表-1 に整理する。

表-1 機器設置型の技術例

測位技術名称	Passive BLE	UltraWideBand（超帯域無線）	UltraSound（超音波）
商品名称	Quuppa (Quuppa社/フィンランド・国際航業株式会社)	Qmini (Hi-Targetインターナショナル社・香港)	Marlevmind (Marlevmind Lnc.・アメリカ)
概 要	Quuppaは、BLEベースの位置測位システムである。設備側に取付ける「発信機（指向性アンテナ）」と移動体側の「専用タグorスマホ（要登録）」により個体識別した位置捕捉が可能	Qminiは、UWB・GNSS・Bluetooth・IMUを組み合わせた測位技術である。数種の専用端末があり、端末によりセンチメートル精度、メートル精度のものがある	Marlevmindは、複数台の固定超音波ビーコンのネットワーク環境を構築、追跡対象のオブジェクトにモバイルビーコンを搭載して三辺測量アルゴリズムにより測位を行う
長 所	電波の入射角から位置を演算する。最小誤差10cmの高精度位置測位（「カブリック」:通常3-4Hz,80Hzまで可） 10m以上の天井高の場所でも受信機を設置でき、広範囲なエリアを少数の受信機でカバーできる	リアルタイムに正確な位置を把握可能。海外では、鉄道分野での活用事例もある	高精度（絶対誤差：固定ビーコンまでの距離の1～3％、微分精度：±2 cm）
短 所	専用アンテナを設置（要電源）、設置箇所の測量、キャリブレーション作業が必要	UWBの使用は、国内では限定事項が多い（※海外のみ） [3.4-4.8GHz, 7.25-10.25GHz], 屋内使用のみ、伝送レート50Mbit/s以下	広いエリアを測位するためには、多くの固定ビーコンの設置が必要（ビーコン間の通信には、920MHz電波が使われる・日本での技術適合認証済）
測位精度	0.1～1m（高さ方向測位：可）	不明	±2cm
計測可能範囲	約10m（ANT1台あたり）	不明	30m程度（ビーコン1台あたり到達距離）
導入・運用コスト	導入時:ANT購入+設置費用、運用時:メンテナンス費等	不明	
個体識別	可（専用タグ、スマホ（アプリ許諾者のみ））	可	可
屋内外連携	Quuppa受信時点で、屋外(GPS)から切替		

測位技術名称	Light Positioning（可視光）		
商品名称			
概 要	可視光線通信技術を用いた測位手法。LEDなどの照明器具で、人の目では分からない高速な点滅パターンを発信させて、スマホ搭載カメラやその他のイメージセンサで受信することで位置を特定する		
長 所	対象となる照明を専用器具に変える必要があるが、口金と同じであれば設置自体のハードルは高くない。スマホを受信端末とする場合は、照明以外の設備は不要		
短 所	広範囲を測位する場合、照明の数量が必要（1つの照明の検知エリアは、およそ50cm四方程度）		
測位精度			
計測可能範囲			
導入・運用コスト			
個体識別	色変化パターンID識別		
屋内外連携			

3.3.2 位置指紋型（Finger-Printing）

位置指紋型の測位手法は、機器設置型とは異なり、既存の環境に手を加えることなく測位環境を構築することができる。測位に用いる情報として、既設の Wi-Fi、BLE ビーコンの電波情報や地磁気が挙げられる。測位環境を構築するエリアについて、現地で各種情報を調査し、サーバ上で一元管理することで、そのデータからの検査を行い、測位推定することができる。地権者・管理者に大きな負担をかけることなく測位環境を構築することができるが、調査した時点のデータが大きく変化する（工事による区画の変更、既設機器の撤去、等）と「測位精度が劣化する」、という特徴がある。位置指紋型の技術例を表-2 に整理する。

表-2 位置指紋型の技術例

測位技術名称	FingerPrinting（地磁気,BLE,Wi-Fi）	FingerPrinting（地磁気,BLE,Wi-Fi）+PDR	FingerPrinting（Wi-Fi,BLE）
商品名称	Situm (SitumTechnologies,S.L.スペイン)	VENUE (TDK・日本)	CoreLocation (Apple・アメリカ)
概 要	Situmは、計測エリアの地磁気・ビーコン・Wi-Fiの情報を収集してマップを作成し、このマップ情報とスマホのセンサで感知した情報とのマッチングにより、位置を推定する	VENUEは、計測エリアの地磁気・ビーコン・Wi-Fiの情報を収集してマップを作成し、このマップ情報とスマホのセンサで感知した情報とのマッチング、及びPDRとの組み合わせで高い精度での位置特定が可能	CoreLocationは、屋外はGPS/GNSS、屋内はWi-Fi・携帯電話通信網・BLEの情報を収集してマップを作成し、屋内ではこのマップ情報とスマホセンサで感知した情報とのマッチングで位置推定を行う
長 所	新たに設備（ハードウェア）を設置する必要がない。導入までのコストを抑えられる	新たに設備（ハードウェア）を設置する必要がない。導入までのコストを抑えられる スマホを持っている状態に縛りがなく、自由度が高い状態でも測位できることが特徴	iPhone11からはUWBを使用した[U1チップ]を搭載しており、このデバイスを用いた近距離測位も用いることが可能
短 所	近くを鉄道車両や大型車両が運行する場合、特にブレーキ時に地磁気が乱れ正確に位置測定ができない可能性がある。（単独での測位は精度が課題）	近くを鉄道車両や大型車両が運行する場合、特にブレーキ時に地磁気が乱れ正確に位置測定ができない可能性がある	Wi-Fiの加“エリアが半径数m～数十mのため、複数台の“デバイス”が密集していないと誤差が大きい。スマホ側で“デバイス”の情報の取得が必要な場合、iOSは非対応(Apple社コアロケーションを除く)
測位精度	10m[単独測位]、1～3m[ハイブリッド]	2m[地磁気]	数m～数十m
計測可能範囲	-（計測エリアのマップ作成が条件）	-（計測エリアのマップ作成が条件）	約30m
導入・運用コスト	導入時:マップ作成、運用時:ライセンス費等	導入時:マップ作成、運用時:ライセンス費等	
個体識別	可（アプリ許諾者のみ）	可（アプリ許諾者のみ）	可
屋内外連携	屋外(GPS)の受信感度低下の自動検知により切替	屋外(GPS)の受信感度低下の自動検知により切替	切替不可（屋内もPDR測位）

3.3.3 その他（非環境依存型）

その他の測位手法として、環境に依存せず、測位する端末に搭載されたセンサ類のみで測位する手法がある（表-3）。測位端末に閉じた測位手法であるため、絶対的な位置情報を持つことはできない。このため、(3.3.1)、(3.3.2)の測位手法との組合せで用いることが多い。

表-3 その他の測位手法の技術例

測位技術名称	Pedestrian Dead-Reckoning（歩行者推測航法）	
商品名称	PDR/VDRセンサ (杉原エス・イー・アイ・日本)	OSMIUM[Shoe-mounted PDR sensor] (GT SiliconPVT LTD・インド)
概 要	センシングデータ（加速度・ジャイロ・磁気・気圧）に基づいて、初期位置からの相対移動を計測する。計測誤差蓄積を補正するために、専用の補正機器が準備されている	センシングデータ（加速度・ジャイロ）に基づいて、初期位置からの相対移動を測位する。歩行者の靴（つま先）に設置して3次元で位置測位を行う。
長 所	人の動きを計測するためのセンサ（PDRシリーズ）とロボット等の動きを計測するためのセンサ（VDRシリーズ）がある	センサ端末が小型（20.9×22.7×5.5mm）
短 所	補正機器と共に使用しなければ、適切な位置測位ができない。現状では、PDR/VDRユニットに内蔵メモリへの蓄積しかできない（遠隔モニタリングはできない）	人の動きを測位することを目的としており、ロボットや車いすなどの動きは対応していない
測位精度	5%程度（高さ方向測位：不可）	2～3%程度（高さ方向測位：可）
計測可能範囲	-	-
導入・運用コスト	数万～（レンタルのみ）	
個体識別	可	可
屋内外連携	切替不可（屋内もPDR測位）	切替不可（屋内もPDR測位）

3.4 まとめ

本項では、9種のインドアポジショニング技術を対象として特徴を体系的に比較した。何れもユーザが利用可能な技術である。

機器設置型(3.3.1)は、測位エリアに機器を設置する必要があるため、設置・手法や電源取得に関わる検討が必要となるが、測位エリアの変化(小規模なレイアウト変更等)に伴う精度は、他の手法と比較すると、比較的小さい特徴がある。

位置指紋型(3.3.2)は、必ずしも、新たに機器を設置しなくても測位環境を構築することができるが、測位エリアの変化に伴う精度への影響は大きいことが特徴である。

非環境依存型(3.3.3)は、本項で整理した測位手法の中で最も簡易に測位が可能になる手法である。一方、絶対座標での出力ができない、測位時間の経過と共に誤差量が蓄積する等の特徴がある。

ユーザがインドアポジショニングを導入する際には、本項で整理した比較表を基に各技術の特徴を把握したうえで、さらに、実際の設置環境下での測位精度、導入・運用に必要なコスト等を検討する必要がある。一般的な検討項目を示す(表-4)。このうち、位置測位の精度について、測位エリアと精度の関係性を示したグラフを図-1に示す。技術選定の際の指標として活用されたい。

表-4 検討項目

No	検討項目	概要
1	位置測位の精度	「測位精度」「エリア」の検討、並びに必要な測位精度を検討
2	個体の識別	個体識別の可否、並びに個体識別を行う際の条件を検討
3	機器設置の容易さ	測位環境を新規に構築することを想定した際の作業量等を検討
4	コスト	導入時(イニシャル)と運用時(ランニング)に分けて、導入する際のコストを検討
5	保守・運用性	測位環境を維持・運用していく際の作業量(コスト)等を検討
6	他技術との連携	データ連携、アプリ連携の必要性を検討

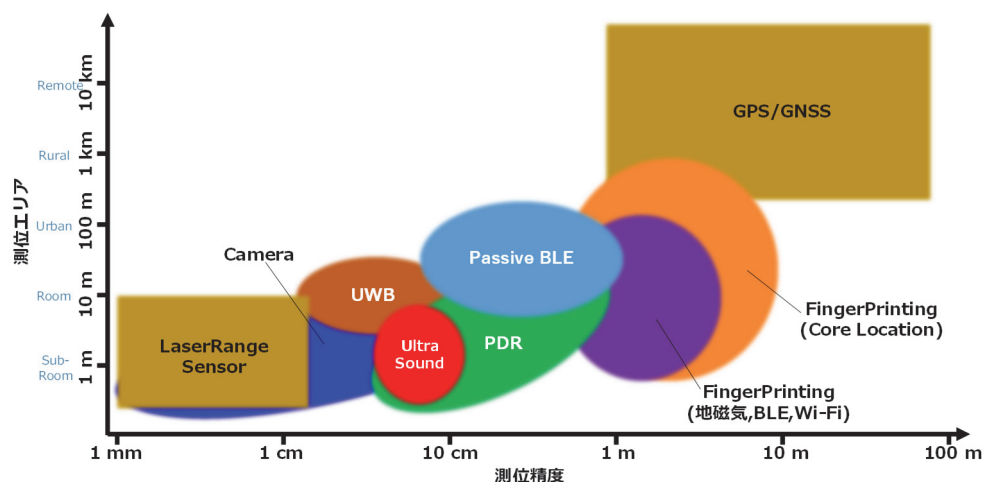


図-1 測位エリアと精度の関係性

4. インドアポジショニングが求められる現場

4.1 概要

本項では、本研究小委員会において収集してきた、ユーザからのインドアポジショニングに関わるニーズを整理する。

本研究小委員会は、GNSS を利用できない工事現場をターゲットとし、電波、レーザ、画像、IMU を使った屋内型 MMS などサブメータからセンチメータレベルの高精度測位手法について調査・研究してきた。具体的には、地下構造物や開削トンネル、急峻な山岳地帯など、測位に必要な衛星数を確保できない環境下での施工管理や維持管理である。

一方、これまでに調査したニーズは、上記した現場環境下の用途だけでなく、作業員の安全管理や監督者の業務支援、構造物の維持管理など、本小委員会が当初考えていた用途を超えた多方面にわたる内容になった。ここでは、それらを含めて分野別に整理する。

4.2 工事現場での施工管理、及び維持・安全向上を目的としたニーズ

工事現場での施工管理、及び維持・安全向上を目的としたニーズを表-1 に示す。主な測位目的は、施工現場で従事する作業員の位置把握と重機の稼働状況把握である。

表-1 のニーズは、注意喚起（支援情報）に該当する機能から、人命にかかわるアラート発報を目的とするものまで含まれる。システムの実現に際しては、ユーザと開発者間で要件定義明確にして進めることが必要である。例として、測位精度やデータが取得できない場合の対処（安全系システムの場合は、測位不可として利用者にアラートを促す）機能の実装可否を、ユーザ側と協議をして明確化することが必要である。

表-1 工事現場での施工管理、及び維持・安全向上を目的としたニーズ

テーマ	実現したい価値	必要な機能・仕様	備考
トンネル内のダンプ進入・位置管理	- ダンプがトンネル内に侵入する際に、一般車両がダンプと一緒に侵入しないようにしたい - ダンプがトンネルから出る前に、誘導員に対してわかるようにしたい	ダンプの位置把握（車両位置、向き） ⇒ トンネルを出る時間を推定する	
工事及び作業時の安全管理・避難誘導	- 作業員が危険区域に間違って入らないようにしたい（作業区域の監視） - 作業員が怪我等で動けなくなっていないかどうかを確認したい - 火災等の災害時の避難誘導を行いたい	- 屋内外をシームレスに測位したい - 測位精度は1m程度が必要【作業員の動き監視】 - 位置監視と避難指示・誘導の双方向通信が必要	BLEとGNSSを組み合わせた提案を行ったが、精度と費用面のバランスが取れなかった
炭鉱や石油備蓄トンネル等における人や機械の位置把握	地下の複層構造環境下での、人や機械の場所を可視化する	地下トンネル内の3Dモデル、人や機械の相対位置を絶対座標に変換して、リアルタイムに表示したい	
両側から掘り進むトンネルの進行位置表示	2方向から掘り進むトンネル切羽位置を平面図上に可視化する - トンネル線形にカーブや折れ点があると切羽からの位置測量に時間がかかる	掘削誤差や残貫通距離をリアルタイムで把握する	
急峻なり面での作業員や重機の位置確認	鉛直方向位置を重視する作業の位置把握	- 急傾斜のり面補強工や除染工事において、平面図から正確な作業エリアを表示したい - 急傾斜地における上下作業を防止したい	平面図の軸を斜面の角度に調整して表示する
小範囲でのICT施工	- 人力作業など狭小範囲のICT施工への適用 - タンバによる締固め（実績）範囲確認。コンクリート締固め位置確認、無色透明な塗布物（コンクリート改質材等）の施工範囲確認	現場で設置が容易であり、施工図面と連動して位置が確認できる機能	
仮設足場等で、頭上にいる作業員の位置把握	頭上で作業している作業員がいれば、音声で知らせる機能	- センチオーダーの測位精度 - 音声で警告する機能	仮設足場等で、上のフロアの作業員が隙間や開口部などから塵や工具等を落とし、下のフロアの作業員が被災するケースがある
長距離トンネルや地下鉄におけるMMS計測の精度維持	- MMSでのトンネルや地下鉄の計測ではIMUのみとなり時間の経過と共に位置精度の劣化が増加するのを抑える - 屋外と同等の精度が維持できれば調整用基準点の設置が不要となる	- 施設内にGNSSと同等の信号が送信可能な機器の設置 - MMSにSLAM機能を追加	

4.3 その他のニーズ

4.3.1 業務支援を目的としたニーズ

業務支援を目的としたニーズを表-2 に示す。主な測位目的は、現場作業員や施設利用者の位置測位であるが、測位結果の可視化が目的ではなく、作業員位置に応じた、図面（画面）の自動遷移、作業員負荷の可視化、自律移動ロボットへの移動支援（制御）が目的である。

何れのニーズにおいても、測位結果と他の業務データを連携（データの同化）が必要とする。このことから、測位精度やデータフォーマット、頻度などと共に、データ同化の際のキーとなる情報（時刻等）を明確にしておく必要がある。

表-2 業務支援を目的としたニーズ

カテゴリ	テーマ	実現したい価値	必要な機能・仕様	備考
業務支援	駅構内自律移動ロボットへのインフラ情報の提供	・ 駅構内での自律移動ロボットを稼働する際、駅構内の混雑に応じた移動経路の選択、流動障害に備えた一時退避を実現したい	・ 駅構内利用者の位置・速度・向きに関わる情報をリアルタイム取得したい ・ 上記情報をロボットに対して提供したい	
	位置や用途に合わせて視認用画面を切り替える	・ 位置や用途に合わせて表示する図面を切り替える機能	・ ビルなどで階を移動した場合、移動したフロアの平面図に切り替える ・ 位置を表示する機能ではなく、位置に合わせて表示を切り替える機能	・ GPSの位置確認では平面表示が多いが、座標軸や階層を切り替えながら表示させる機能がほしい ・ 3Dモデルとの連携も考えられるが、人が視認する場合は2Dの方が理解しやすい
	現場職員・作業員の作業内容を図面上に表示	・ 作業内容の確認・指示や段取り作業の負担を軽減したい	・ メートルオーダーの測位精度 ・ デジタルでの図面共有 ・ 日々の作業内容の入力機能 ・ 作業場所の設定機能 ・ 緊急時など追加の作業があった場合の入力・通知機能	・ カーナビと同じように、当日の作業場所と作業内容をデジタル図面上で確認できるようにする ・ 複数の作業がある場合は、1つの作業が完了後に、次の作業場所へナビゲーションする
	作業員の負荷を可視化	・ 作業員の移動量と身体的な負荷をセンシングし、オーバーワークや作業員の負担に偏りがないかを把握する	・ メートルオーダーの測位 ・ デジタルでの図面共有 ・ 作業員の負荷を数値化 ・ 身体的な負荷のセンシング	
	工事の各工程ごとに歩掛を集計	・ 各種工程で最適な作業時間や人数を正確に集計し、以後の工事計画に反映させる	・ メートルオーダーの測位 ・ 日々の作業場所と作業人数を記録	

4.3.2 行動分析、インフラ管理・評価に関わるニーズ

行動分析、インフラ管理・評価に関わるニーズを表-3 に示す。主な測位目的は、従来の交通量調査やインフラ管理の効率化が目的である。

前章で整理した測位手法の中には、プライバシー保護の観点で考慮すべき範囲の情報が含まれる。このことから、データの活用に際しては、適用範囲を明確にして、利用する事業者として配慮すべき範囲を明確にしておくことが必要である。

表-3 行動分析、インフラ管理・評価に関わるニーズ

カテゴリ	テーマ	実現したい価値	必要な機能・仕様	備考
行動分析	交通ビッグデータを活用した短距離トリップ調査	・ 屋内、屋外シームレスな交通流動を把握することにより、交通分野におけるスマートシティの実現に貢献する	・ 様々な交通ビッグデータを取得、解析することにより、駅周辺、中心市街地など徒歩圏における都市活動をモニタリングする	
	駅周辺利用者を対象とした行動分析	・ 鉄道利用者（非利用者）を対象とした駅勢圏を把握したい ・ 鉄道乗車以前・以後の立寄り先を把握したい ・ 鉄道乗車以前・以後の移動手段を把握したい	・ 駅勢圏や立寄り先は、分析結果を250mメッシュで可視化したい ・ 駅～目的地までの代表的な経路や移動手段を把握したい	
インフラ管理・評価	歩行データによる社会インフラの評価	・ 社会インフラ（例：都市部の公園、山間部の遊歩道、駅構内、学校、避難路など）の快適性、安全性を歩行データから評価する ・ 行動パターンなどから設備（照明やサイン、バリアフリーなど）の必要性を評価し、メンテナンス費用の削減に寄与する ・ 災害時、緊急時の安全な避難経路を提案する	・ 社会インフラの評価方法の検討（B/C、アンケートによる仮想的市場評価法（CVM）等と歩行データ） ・ 「歩行データによる社員インフラの評価」の実用性を実証実験で示したい ・ 測位データだけでなく、生体センサ、環境センサ、脳波センサデータなどと組み合わせた評価が可能か ・ 快適性や安全性をどのように評価するか（指標等）	・ 関連研究（※1）
	橋梁床版下における位置情報	・ 橋梁床版下の点検において、ドローンやロボットを活用したい	・ 橋梁床版下で、リアルタイムに位置情報を収集したい ・ ドローンやロボットを、座標指定することによって、橋梁床版下でも自律移動できるようにしたい	・ 橋梁点検は、5年の頻度で近接目視による点検が行われていたが、点検員の不足や経験・資質の不足から、今後はドローンやAIを活用した点検に移行すると思われる。

4.4 まとめ

本章では、主に土木現場を対象としたインドアポジショニングのニーズを調査した。その結果、現場環境下の用途だけでなく、作業員の安全管理や監督者の業務支援、構造物の維持管理など、本小委員会が当初考えていた用途を超えた多方面にわたる内容になった。

一方、調査したニーズを実現するためには、インドアポジショニング技術だけでなく、既存の業務データや施設等のデータを連携させて新たな価値を生み出す必要がある。図-1は、インドアポジショニングを現場で活用するために必要な技術を示した。インドアポジショニング技術は、図-1の「①人・物の位置把握」に関わる技術であり、本章で示したニーズを実現するためには、図-1の②～④に関わる技術も検討をしていく必要があり、さらに、現場でそれらの技術を適用していく中で、各技術の改善をしていく必要がある。

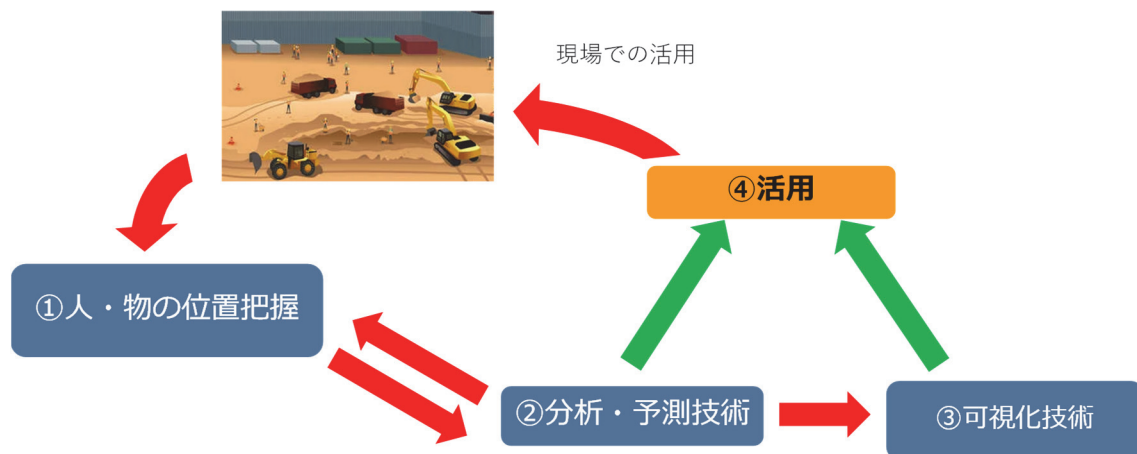


図-1 現場で活用するための技術

5. 研究事例の紹介

第2回 2019年7月22日（月）15:00～16:30

「セーフティリマインダー」で効率的な安全管理の実現（宇野昌利 清水建設（株））

1. はじめに

現場管理業務において、安全管理は多くの時間を占めている。工事現場では、作業開始前に朝礼を実施し、本日の作業における危険箇所の安全指示事項について、注意喚起を行っている。安全管理は、作業グループごとに危険予知活動を行い、その日の作業の注意点や危険箇所などをより詳細に把握した上で、安全に留意して作業を進めるように指導している。しかし、作業箇所では朝礼の安全指示事項を失念していた場合、作業員自体が危険にさらされ、重大事故につながることもある。そこで、さらなる安全性向上を実現しながら、安全業務を改善するために、現場で、「再度」、安全指示事項のアナウンスを聞く事ができる「セーフティリマインダー」を開発した。このシステムは、朝礼時に指示した内容を、パソコンにテキスト入力するだけで、現場の危険箇所で、安全指示事項をアナウンスとして聞く事ができるため、現場管理者は、安全管理に関する負担が軽減する。本稿では、工事現場の危険箇所において、安全指示事項を再度アナウンスするシステムである「セーフティリマインダー」を活用した安全管理について述べる。

2. システムの概要

今回開発したセーフティリマインダーは、安全指示事項を更新するためのパソコンと、現場の危険箇所に設置するためのビーコンと、ビーコンの接近を検知して安全指示事項を注意喚起する携帯端末（スマートフォン）により構成される。パソコン又は携帯端末から入力した安全指示事項は、サーバやクラウドを通じて全ての端末に同期されるため、常に最新の情報となる。携帯端末は、設置されたビーコンの電波を受信した際に、テキストや画像を画面に表示し、音声合成アプリを用いてテキストデータから生成した音声データを再生することができる。また、増加する外国人作業員のため、パソコンには多言語への翻訳機能を搭載し、携帯端末にてそれぞれの言語に合わせた情報をアナウンスするシステムである。

3. ビーコンについて

使用したビーコンは、Apple 社の iBeacon 技術を利用している。iBeacon は Bluetooth Low Energy を活用した技術である。ビーコンは UUID（Universally Unique Identifier）などの識別情報を含むアドバタイジングパケットを周囲に繰り返し送信している。この電波を携帯端末（スマートフォン）にて検出・接近判定を行い、安全指示事項をアナウンスして提供する。ビーコンの周波数帯は通常の Bluetooth と同様 2.4 GHz 帯であ

る。壁や水、人体などにより電波が減衰するため、注意が必要である。ビーコンを用いる際、アドバタイジングパケットの発信間隔（Advertising Interval）と送信強度（Tx Power）の設定が重要となる。これらの設定値はビーコン周囲での電波受信距離や安定性に影響するが、電力消費量とトレードオフの関係にある。本システムでは、電池交換の手間を省くため、単 3 電池を利用して長寿命化を実現しており、約 1 年電池交換が不要となっている。そのため、維持管理の手間を省くことが可能となった。

4. システム構成

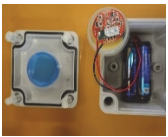
システム構成は、パソコンとして MacBook や PC、携帯端末として iPhone、Android を用いて、アプリケーションを作成した。安全指示事項は日本語によるテキストデータのみで構成し、英語・中国・韓国語・インドネシア語への翻訳、及び合成音声による読み上げ機能に対応した。翻訳機能は MacBook、PC のソフトウェアに実装した。それぞれの言語の読み上げ機能は、iPhone、Android のアプリに実装している。表-1 に使用する機器を示す。

5. 現場適用

（1）現場適用の概要について

セーフティリマインダーを、長崎県発注の一般県道諫早外環状線道路改良工事（（仮称）4 号トンネル）に導入した（写真-1）。導入時点では、トンネルの掘削も終盤に入り、延長が 1500 m を超えている状況であるため、トンネル切羽までの移動手段が、現場連絡車のみとなっていた。そのため、移動中の車内で確実に安全情報を伝えられることを確認した。トンネルの坑内に、11 箇所（坑口から 0m, 200m, 400m, 500m, 650m,

表-1 使用機器

名称	用途	外観
MacBook PC	安全指示事項のテキスト入力 安全指示事項の多言語翻訳	
iPhone Android	ビーコンとの接近検知 安全指示事項の提供・アナウンス	
ビーコン	アドバタイズ信号発信	

750m, 800m, 900m, 1000m, 1050m, 1100m 地点) にビーコンを設置した。設置箇所は、最も掘削に苦勞した硬質砂岩区間、長崎刑務所の直下、非常駐車帯、覆工コンクリートを養生するアクアカーテン区間などであり、現場の特徴的な箇所を説明している。表-2に、ある時点でのビーコンのアナウンス内容を示す。この現場では、日本語、英語、インドネシア語の 3 カ国語対応とした。例えば、坑口から 500 m 地点では、日本語では、「坑口から 500 メートルです。安全運転を、お願いします。」、英語では、「500 meters from tunnel entrance. Please drive safely.」、インドネシア語では、「500 meter dari pintu masuk terowongan. Silakan mengemudi dengan aman.」とそれぞれの言語で読み上げてくれる。トンネル坑内は、Wi-Fi 網が利用できないため、坑内でリアルタイムのデータ更新はできない。そのため、朝礼後にネット環境のある場所で、今朝実施した朝礼での安全指示事項の内容にクラウド内のデータを更新して、iPhone 内のデータも同期しておくことで、朝礼で指示した最新の安全情報を得ることができる（写真-2）。

(2) 多言語化への対応について

本作業所の特徴は、約 60 名の技術者のうち、インドネシア出身の外国人技術者が 6 名働いていたことであった。そのため、本システムの多言語対応機能を活かし、アナウンスできる言語を、日本語、英語に加えて、インドネシア語を追加した。現場担当者の MacBook で、日本語のテキストデータをシステムに入力する。あらかじめ、よく使う項目を MacBook 内のメモに記載しておくことで、コピーするだけで利用できる。翻訳のボタンをクリックすることで、瞬時に多言語に自動翻訳され、クラウドのデータが更新される。その後、利用者（外国人作業員を含む）が持つ iPhone でセーフティリマインダーのアプリを起動しておくことで、ビーコンを設置している危険箇所でも適切なアナウンスを聞くことができる。iPhone の「言語と地域」にて日本語に設定しておくことで日本語でアナウンスを聞くことができる。また、英語設定では、英語でアナウンスし、インドネシア語設定ではインドネシア語でアナウンスを聞くことができる。母国語でアナウンスを聞くことにより、安全指示事項を正確に理解できるため事故防止につながり、安全性向上に寄与した。

(3) 現場での運用結果について

本トンネルでは、現場連絡車と重ダンプに iPhone を搭載して運用した。運用期間は 4 ヶ月であった。アナウンス内容は、現場連絡車だけでなく、運転席が高い位置にある重ダンプにおいても確実に受信できることを確認した。その結果、土砂の運搬作業を行っている重ダンプの運転手に対して、坑内の制限速度やクラクションを鳴らす安全行動を、再度、知らせてくれるツールとして利用できた。重ダンプは、運転席から見通しが悪く、死角が多いため注意を見逃すと重大災害に直結する。本システムを利用することで、安全性を向上させる事ができた。現場連絡車で移動している場合でも、100 m ～200 m 程度の

表-2 アナウンス内容一覧

坑口から	音声内容
0m	これは、ダンボールで、できた風門です。外気の流入を防止しています。
200m	坑内制限速度は 15 キロです。必ず、守ってください。
400m	この付近が硬質砂岩区間です。トンネル掘削に、最も、苦勞した区間です。
500m	坑口から 500 メートルです。安全運転を、お願いします。
650m	この付近が、長崎刑務所の直下です。
750m	ここは、非常駐車帯です。
800m	ここは、非常駐車帯です。
900m	坑内制限速度は 15 キロです。必ず、守ってください。
1000m	坑口から、1000 メートルです。対向車に注意してください。
1050m	ここは、覆工コンクリート 100 ブロックです。
1100m	ここでは、アクアカーテンシステムにより、覆工コンクリートの養生を行っています。28 日間湿潤状態を保ちます。



写真-1 実証実験のトンネル坑内と設置したビーコン

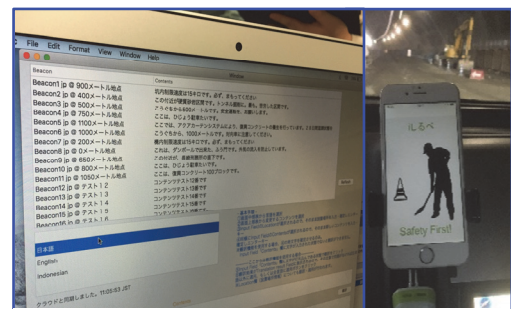


写真-2 PC画面と連絡車に搭載した iPhone

間隔で自動的にアナウンスが流れるため、安全意識を向上させ、より安全に坑内を移動することができた。安全管理は現場管理において多くの時間を占めており、より確実に実施することで現場業務の生産性向上につながる。

6. 今後の展望

近年、建設現場では外国人労働者が増加している。今後もさらに増加すると予想される。安全指示事項を日本語で説明しても、言葉の壁で、正確に伝わっていない可能性もある。日本国内の安全管理においても、ここ数十年の努力で、徐々に工事に起因する死亡者が減ってきた。日本語を正確に理解しにくい外国人が、異国で事故の犠牲になることはあってはならない。しかしながら、外国人労働者が増加すればやはり、労働災害発生件数は増えると思われる。外国人労働者の安全の確保は喫緊の課題である。安全の確保はトラブルなく施工を進められることであり、間接的であるが、結果として生産性向上を実現する。誰もが安全に作業を進める必要があり、日本語が正しく理解されないと想定される状況において、今回、開発したセーフティリマインダーは、多言語対応であり、定型の安全業務を改善して、安全性を確保し、生産性を向上させるシステムである。

7. おわりに

本システムは、「現場」で、「現物」をみて、「現実」を認識することで問題解決を図ることができる三現主義を実現でき、ビーコンのある危険箇所に行くことで、はじめてそこで安全指示事項の情報が得られ、リスクを認識できる。リスクを認識することは、未然のトラブルを防止できると考える。安全な作業に向け、危険予知活動などを継続して行っているが、どうしても形骸化してしまうことが多い。その結果、慣れてしまつて、効果が出てこなくなる。日々データを更新できれば、安全意識に対する認知度は高いまま維持できることがわかる。朝礼後にデータを毎日更新することで、新鮮な安全指示事項を伝えて安全意識を高く保つことにより、労働災害を防止でき、さらなる安全性向上に寄与すると考える。現場の管理は、5つの項目 Q（品質）、C（コスト）、D（工程）、S（安全）、E（環境）で管理する事で、生産性を向上させる事ができる。今回のシステムは安全性向上を進めて、生産性向上を図っている。

第3回 2019年9月10日（水）15:00～17:00

IMUによる自己位置・姿勢計測（岩上 弘明（株）ニコン・トリンプル）

1. はじめに

従来、屋内における3次元点群データの取得には固定式3次元スキャナが利用されてきた。固定式の場合、取得するデータに抜け（死角）ができないようにスキャナを複数個所で計測するため設置と移動を繰り返す必要があることや複数個所で取得した点群を合わせるためにターゲットを設置する必要があった。そのため時間的コストがかかってしまっていた。近年ではスキャナを固定せずハンディ型やバックパック型など移動しながら3次元点群データを取得する技術が開発されてきた。移動計測の場合、自己位置・姿勢計測が必要のためスラム技術やカメラ、Inertial Measurement Unit（IMU）などが利用されている。ここではIMUとIMUを利用した屋内モバイルマッピングシステムについて紹介する。

2. IMUとは

IMUは、ジャイロ及び加速度センサにより3軸の加速度と角速度を検知・出力し、さらに出力結果から姿勢角（ロール、ピッチ、ヘディング）を算出する。IMUの利点は、制限なく3軸の加速度と角速度計測や高レート計測、単独での計測が可能といったことがある。しかし、時間の経過とともに誤差が増加する欠点がある。

IMUの種類は主に以下の3つに分類される。

①振動ジャイロ（MEMS）

半導体基板上に取り付けられたセンサの振動の変位を利用して算出

②光ファイバージャイロ（FOG）

光ファイバがコイル状に巻かれており、角速度が加わると右回りと左回りに入射された2つの光の伝播時間に差が生じ、その時間差を利用して算出

③リングレーザジャイロ（RLG）

リング状に形成された左右両周りのレーザの回転によって生じる周波数の差を利用して算出

図-1は横軸に価格、縦軸に計測精度として3種類のIMUの範囲と利用されている機器を表している。

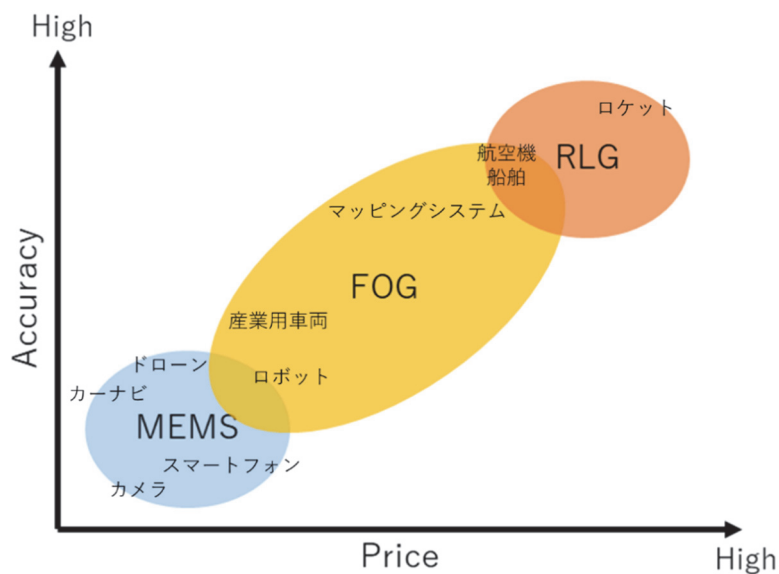


図-1 IMU の価格と精度

表-1 は IMU の欠点である時間の経過による誤差が IMU の種類によってどの程度の差があるのか MEMS と FOG の IMU+GNSS 計測データと 1 分間 GNSS 信号を受信せず IMU のみによる計測データの後処理における RMS 誤差を示した表である。表の FOG はマッピングシステムで使用されている RLG に近い高精度の IMU の RMS 誤差が表記されている。

表-1 MEMS と FOG の計測精度

IMU + GNSS の場合

	X,Y Position (m)	Z Position (m)	Roll and Pitch (deg)	True Heading (deg)
MEMS	0.020	0.050	0.025	0.080
FOG	0.020	0.050	0.005	0.015

IMU のみの場合（1 分間 GNSS 計測なし）

	X,Y Position (m)	Z Position (m)	Roll and Pitch (deg)	True Heading (deg)
MEMS	0.200	0.800	0.025	0.080
FOG	0.100	0.070	0.005	0.015

※製品 MEMS : Applanix POS LVX

FOG : Applanix POS LV620

GNSS 測位が可能な環境では位置精度に差はないが、IMU のみの計測となった場合、GNSS 測位と比較して FOG は数 cm の誤差が発生するのに対し MEMS は数十 cm の誤差が発生することが分かる。

3. 屋内マッピング計測への利用

(1) システム紹介

図-2 の屋内マッピングシステムは手押しで移動しながらレーザスキャナで周辺の 3 次元点群データの取得と 360 度カメラで写真を撮影している。屋内用に設計されたため GNSS 受信機は設定されていない。そのため位置姿勢情報を取得する IMU は高精度な FOG が搭載されている。IMU の欠点である時間の経過による誤差を改善するため、リアルタイムアプリケーションではないが SLAM 技術と事前にトータルステーションで測量した基準点を 100m 間隔で設置し、その場所で停止し Position Fix をすることで精度の劣化を抑えている。高精度な点群データが取得されるため、車両用モバイルマッピングシステムで取得された屋外の点群データと合わせても正しい位置関係で表示される。



図-2 屋内マッピングシステム

(2) 計測事例

ロサンゼルス空港（LAX）における設備/施設の維持管理に屋内マッピングシステムが利用された。ロサンゼルス国際空港は、国内外の接続便も含め毎日 692 便が行き来する世界で 5 番目に混雑する空港であり、営業を妨げることなく計測を実施するため手押しの屋内マッピングシステムを利用して、30 時間ほどで BIM・GIS データ作成に必要な 3D 点群データの取得業務を終えた（図-3、図-4）。

広さ約 167,000 平方メートルの中にある、カウンター、椅子、設備などを CAD 化するためのデータを設計会社へ送付、計測からわずか 100 時間ほどで CAD データ、動画などを作成し、空港設備の維持管理に貢献した。



図-3 LAX の取得点群データ

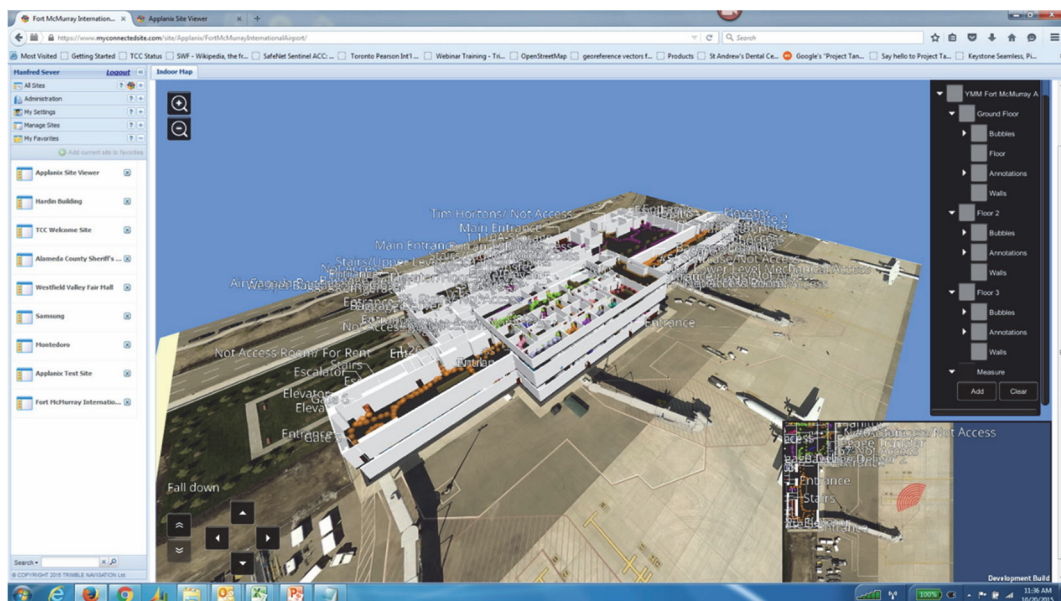


図-4 LAX の CAD データ

建物が古く図面が残されていない、増改築を繰り返して全体の正確な図面がない学校や公共施設において安全な環境を作るために屋内マッピングシステムが利用されている（図-5）。米国の図面のない高校や大学では、取得した点群データからモデルを作成し事件や火災が発生したときの避難経路や防犯カメラ・消防設備の設置などの計画を作成または改善に利用している。



図-5 公共施設の取得点群データ

4. おわりに

IMU を利用することで GNSS が取得不可能な屋内においても高精度な自己位置・姿勢計測が行え、固定式 3 次元スキャンで発生していた時間的コストが改善される。また、IMU の他にカメラやスラムなど複数の技術を利用することで IMU の欠点である時間経過による精度劣化が改善されより高精度な計測が可能となる。

都市のデジタルツインに実現に向けて、その基礎となる 3 次元データを取得が進められており、東京都では張り巡らされた地下空間におけるデータ取得に移動式マッピングシステムが利用されている。

今回紹介したマッピングシステムは人が押して計測するシステムだが、人が入れない場所や業務の人員削減のため IMU やカメラなどのセンサが搭載されたロボットにスキャナを搭載し屋内の 3 次元計測をするシステムも昨年（2020）開発され利用されてきている。

1. はじめに

一般的に MMS（Mobile Mapping System：モービルマッピングシステム）とは、各種計測機器（GNSS アンテナ、上面/下面レーザスキャナ、IMU：慣性計測装置、オドメータ：走行距離計、前方用/路面用カメラ）を車両に搭載し、道路を走行しながらレーザスキャンする車載型移動計測システムのことをいう。道路や道路周辺のデータをすばやく正確に計測できるため、特に社会インフラ分野（道路・法面・トンネル・河川堤防等）の点検や維持管理に利用されている。

このシステムでは、車両搭載のレーザスキャナで計測して得られる座標は相対座標だけなので、この情報に GNSS アンテナと IMU で取得した絶対座標と姿勢情報を統合し、計測点の絶対座標を求める。その後、カメラで撮影した画像情報を加え、色付き点群データを生成する仕組みとなっている。生成データは、大量の色付き点群データであり、向こう側が透けて見えるなど遮蔽の概念がない。また、拡大表示した場合に点群密度によってはリアリティが乏しく、点のデータから面のデータに変化しないと断面が得られない、取得した数千万～億という膨大なデータ量の中から必要な部分だけを切り出すには大変な手間がかかる等、利活用面において、様々な課題が指摘されている。

ここでは、上記の課題が解決できる新しい技術の 1 事例として、株式会社岩根研究所が所有する画像型モービルマッピングシステムの概要と適用事例について紹介する。

2. 画像型モービルマッピングシステムの概要と適用事例

画像型モービルマッピングシステムは、レーザスキャナや IMU を用いずに、全天球カメラと GNSS を組み合わせたシンプルなシステム構成となっている（図-1）。

IMS3：システム構成図

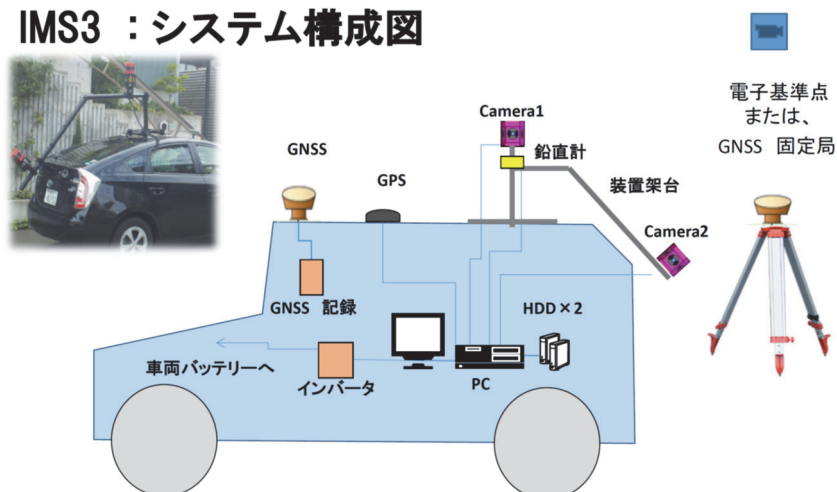


図-1 画像型モービルマッピングシステムの概要（システム構成図）

図-1 は、車両に 2 台の全天球カメラ（Ladybug3）を搭載したもので、車種を選ばず取り付けが出来て、等速走行不要で時速 60 km以内（推奨）で自由に運転して撮影が可能とされている。計測精度は、固定した 2 台のカメラ（カメラ間スケール：一定）を用いることで、半径約 15m 程度の範囲であれば、公共測量 1/500 の精度（±15cm 以内 公共測量：17 条申請実績有り）を確保することができる（図-2）。

高精度GPS (GNSS) 補正	標準偏差		
	X(m)	Y(m)	Z(m)
市街地 (1km)	0.045	0.048	0.039
郊 外 (1km)	0.053	0.045	0.053

GPSデータを用いず 現地補測による補正	標準偏差		
	X(m)	Y(m)	Z(m)
市街地 (1km)	0.060	0.061	0.064
郊 外 (1km)	0.065	0.050	0.067

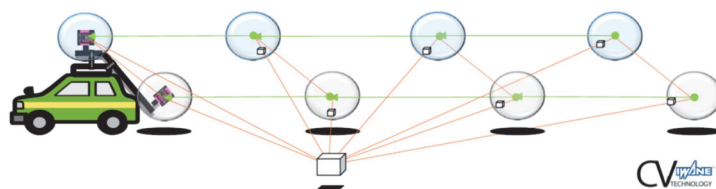


図-2 画像型モバイルマッピングシステムによる計測誤差（事例）

取得した全天球カメラ画像は、CameraVector 技術（以下、CV 技術と呼ぶ）により演算処理することで 3D 空間情報に加工される。ここで、CV 技術とは、6 個の CCD レンズから取得された画像を合成して作成された全周映像の各フレーム、各ピクセルに対応する三次元座標を自動的に取得し、利用者は全周映像を三次元空間として、まるで現実のコピーのように、利用することが可能となります（図-3、図-4）。



図-3 CV（CameraVector）技術の概要（1）

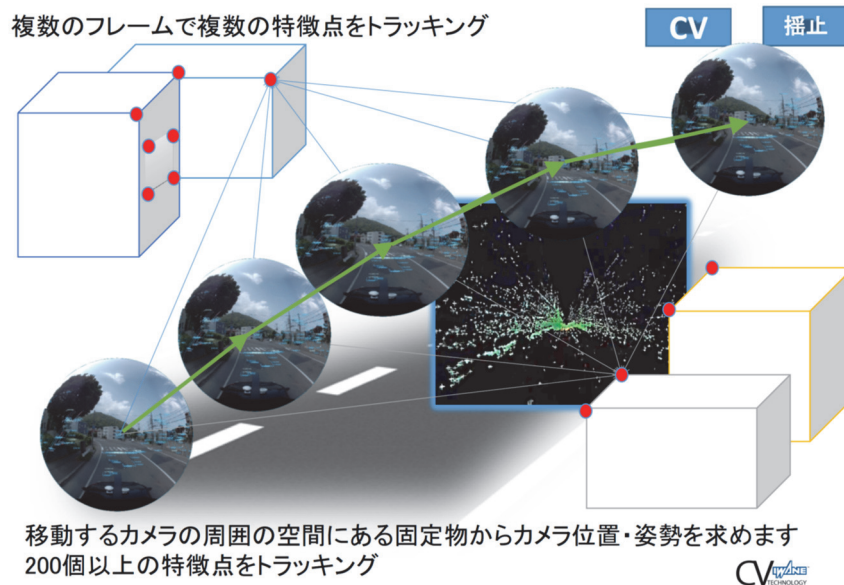


図-4 CV (CameraVector) 技術の概要 (2)

また、本システムは、道路車両による計測だけでなく、ドローン、ヘリコプター、カート、船舶、歩行、軌道車両等の様々な移動体計測が可能であり、それぞれの計測データをシームレスに組み合わせた 3D 空間情報を構築することができる (図-5)。



図-5 車両以外での様々な計測方法や利用カメラの事例

撮影した映像は、現実そのものであり、そのまま 3D 映像地図として利用することができる。3D 映像地図は、現在、一般によく利用されている Google ストリートビューのように 3D 空間を自由に閲覧することができるだけでなく、モノの 3D 座標の取得、高さ計測、長さ計測、3DCAD データ作成、オルソ画像作成、タグ情報の付与（電柱、看板等）、様々な IoT デバイスとの連携が可能な機能を有している（図-6～図-9）。

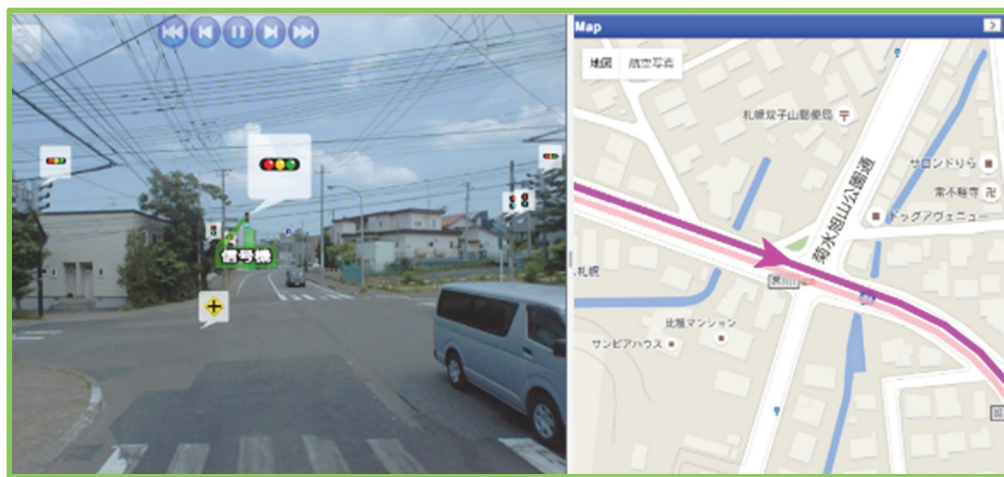


図-6 CV3D 映像地図の事例（1）



図-7 CV3D 映像地図の事例（2）



図-8 CV3D 映像地図の事例（3）



図-9 CV3D 映像地図と IoT デバイスとの連携イメージ例

また、本システムは、クラウドからデータ配信することで、ブラウザだけで利用することが出来るため、操作のため高性能 PC 等は不要であり、インターネットにつながる機器であれば、通常の PC、タブレット、スマートフォン等を含む様々な通信機器で利用することも可能である。

3. まとめ

画像型モバイルマッピングの特徴は、大規模な 3D 映像による空間情報をインターネットで共有できることが大きな特徴であり、主な実績とそのデータ延長は、NEXCO 東日本 15,000km、香港道路局 6,500km、タイ地方道路局 150,000km である。

また、市販の小型全天球カメラを利用した屋内の 3D 映像地図作成の事例では、GNSS の受信困難な場所で 10m～30m に 1 点程度の測量点 (GCP) を加えることで、数 cm の 3D 計測精度を実現している。

インドアポジショニングにおいて、3D 映像地図と画像認識用マーカを利用することで、通常カメラを搭載した移動体と 3D 映像地図上の複数のマーカによるマップマッチングが実現できれば、低コストで安定した精度のインドアポジショニングが実現可能である。

岩根研究所では、屋外では通常のカメラ (広角単眼カメラ) と 3D 映像地図と IMU を利用して、マーカなしで自己位置標定を実現するため研究開発が進められており、屋内の場合は、特にマーカ利用が有効と考えられる。また、AI (機械学習) 画像認識技術について、3D 映像地図上で自動認識と自動計測できる対象物の増加と、その応用アプリケーションの開発も期待される。

1. はじめに

2013年に米Apple社がiBeaconという名称でBLE(Bluetooth Low Energy:近距離無線通信技術 Bluetooth の拡張子用の1つで、低電力で通信が可能なもの)ビーコンの規格を発表した。iBeaconから発信した電波をスマートフォンが受信したときにメッセージ・クーポン・ポイントなどが配信できる仕組みだが、同時にBLEビーコンの位置が既知であれば、その電波を受信したスマートフォンはそのビーコンの近くにいることが分かり、位置を特定することができる。当時は非常に簡易にインドアポジショニングが実現できるとして注目を集めていた。日立ソリューションズもBLEビーコンによるインドアポジショニングに取り組んだ。当時、スマートフォンのGPSを利用して工場・プラント・建設現場などの作業員の位置管理を行う「作業員安全支援ソリューション」というソリューションを手掛けていた(図-1)。顧客より屋外の作業だけでなく、屋内での作業における位置情報も取得したいという要望もあり、BLEビーコンを用いたインドアポジショニングは屋内での位置把握に利用できるオプションとして提供を開始した。つまり屋外ではGPSによる位置把握を行い、屋内に入りBLEビーコンの電波を受信し始めるとインドアポジショニングによる位置把握に切り替わるようになっている(図-2)。

ここではインドアポジショニングの技術の中でも高精度を実現している技術について簡単に紹介したい。1つはBLEの技術をベースに高精度位置把握を可能としたQuuppa社のシステム、もう1つは超音波を利用したMarvelMind社のシステムである。

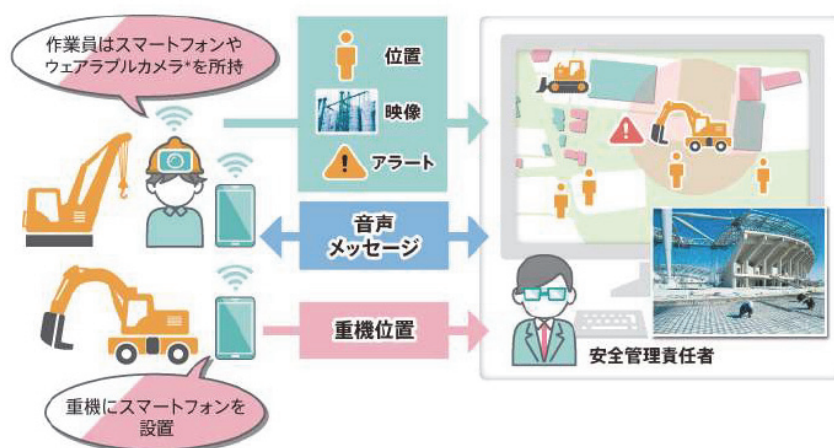


図-1 作業員安全支援ソリューション概要

GPS+BLEビーコンで、屋外／屋内をシームレスにカバー



図-2 GPS と BLE ビーコンで、屋外と屋内をシームレスに位置把握

1. Quuppa 社の高精度位置把握技術

前章で述べたように、BLE を用いたインドアポジショニングを手掛けたが、その位置把握の手法は電波強度(RSSI:Received Signal Strength Indication)を用いたものである。BLE ビーコンから発信される電波をスマートフォンで受信し、その電波強度からビーコンまでの距離を推定することで位置を求めるものである(図-3)。複数の BLE ビーコンを配置した場合にはスマートフォンは一番強い電波を受信したビーコンの近くにいることが分かる。このやり方ではこの位置にいるという座標がわかるというよりかは、どのあたりにいるかという情報(エリア情報)が得られるということになる。よって位置測位精度はビーコンの配置粒度による。その他にも3辺測量を用いて3つ以上のビーコンからの距離からその位置を一意に求めるやり方もある(図-4)。この場合は座標を求めることができるが、BLE の電波強度は距離が離れれば離れるほど弱くなるという性質があるものの、周囲の環境やマルチパスの影響等によってぶれが大きくサブメータ(1m以下)の精度は期待できない。



図-3 BLE ビーコンの電波強度を利用した手法

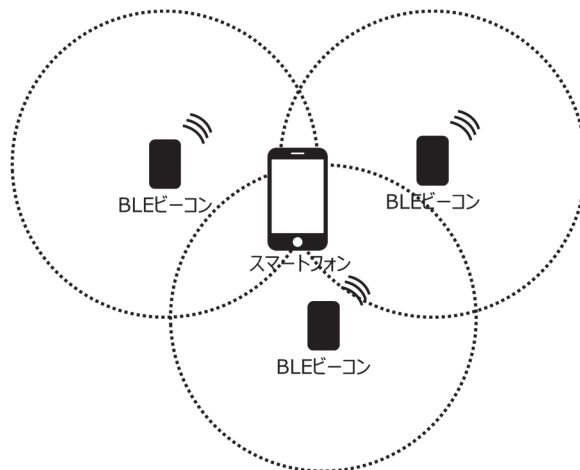


図-4 BLE ビーコンと 3 辺測量を利用した手法

このように電波強度を用いる手法はおおよそその位置を求めるという用途にしか利用できないが、その精度の課題を解決したのが AoA（Angle of Arrival）方式と呼ばれる手法である。この手法で利用例が増えているのがフィンランドの Quuppa 社(<https://quuppa.com/>)が提供するシステムである。このシステムでは位置検知を行いたいものにタグと呼ばれる機器を装着する。（BLE を発信できるスマートフォンでも可）このタグはいわゆる BLE ビーコンで定期的に BLE の電波を発信している。また、タグの位置検知を行うエリアにはロケータと呼ばれる受信機を設置する。この受信機には BLE の受信機が細かく配置されており、タグの電波がどの方向から届くのかを検知できる。つまりロケータからみてタグがどの方向にあるかがわかる。複数のロケータがあるとそれぞれのロケータからのタグの方向が重なる箇所にタグが存在することになる（図-5）。このような手法によって測位された位置は 10cm から 50cm の精度で検知することができる。

ロケータは防水機能を有しているものも提供されており、それを用いることで屋内だけでなく、屋外での位置把握も可能である。事例の中でも建設現場にロケータを配置して、作業員及びクレーンの位置情報を取得し、生産性の把握を行ったというものがある。

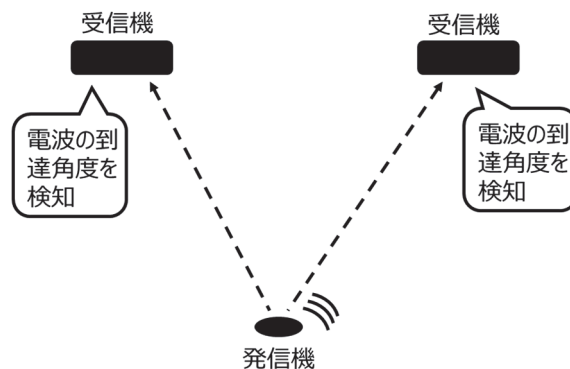


図-5 AoA 方式を利用した手法

3. MarvelMind 社の超音波を利用した位置把握

次に、超音波を利用した手法を紹介する。これは専用機器から発信された超音波をマイクで受信をして距離を算出し、3 辺測量の原理によって測位を行っている（図-6）。BLE ビーコンの電波強度を用いた手法に比べて、周囲の環境やマルチパスの影響が少なく、10cm 程度の精度で位置を検知することができる。ただし、音波を使っているため騒音が大きい場所などでは利用できないという制約がある。超音波の受信機としてスマートフォンを利用できるが、専用の受信機を利用する場合もある。ロシアのベンチャー企業である Marvelmind Robotics 社(<https://marvelmind.com/>)が提供する測位システムは超音波の発信機と受信機の組み合わせの製品を提供しており、その精度は $\pm 2\text{cm}$ としている。これは、設置環境がベストな状況での精度と考えられるが、筆者がオフィスの会議室で試した結果では少なくとも 10cm～20cm 程度の精度は確認できた。この製品の特徴として超音波の発信機の設置位置も自動的に検知してマッピングしてくれることが挙げられる。通常、屋内に設置する機器の配置位置は何かしらの方法で計測し、手動で登録しないといけないことが多いが、自動的に登録されることでその手間を大幅に省くことができる。この製品は国内の EC サイトでも入手ができるし、また位置検知のためのソフトウェアも Marvelmind Robotics 社のホームページからダウンロードできるので、高精度な屋内測位システムを気軽に試してみたい方には最適な製品と言える（図-7）。

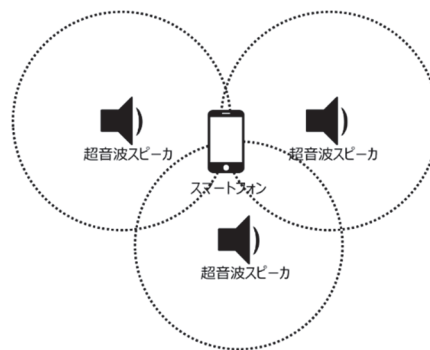


図-6 超音波を利用した位置測位



図-7 MarvelMind のシステムの位置測位画面

1. はじめに

屋内位置計測のなかで、電波を使用した手法は Wi-Fi や UWB (Ultra Wide Band), BLE を使用したものなど、多種の方法がある。国土交通省 国土政策局は「屋内地図／屋内測位環境構築ガイドライン (案)」(H31 年 3 月) として公表している資料では、屋内外をシームレスに行きたい場所へ快適に移動できるよう、高精度な位置情報を活用した先進的なサービスの提供を目指している。そして屋内測位技術を、測位機器設置型、環境調査型、及びその他の 3 つに分類しており、BLE を使用した屋内測位は測位機器設置型として、測位に用いる機器 (BLE ビーコン) を定義づけている。

本章ではこの BLE 技術を使用した屋内測位方法と事例について紹介する。

2. BLE とビーコン

BLE (Bluetooth Low Energy) は Bluetooth 規格の一部であり、Bluetooth4.0 から追加実装された規格である。基となる Bluetooth は近距離の機器間を無線で接続するための通信手法であり、1999 年に発表され、現在まで 1.0 から 5.2 (2021 年現在) に更新されている。

BLE は Low Energy という名称のように Bluetooth の低消費電力をさらに進めた規格となっている。ただし、Bluetooth と同じような通信機能は持っていない。Bluetooth と BLE 間の互換性はない。また、BLE の規格は Bluetooth のバージョン変更とともに更新されており、通信速度や距離等の性能向上が図られている。

BLE ビーコンというのは、ID コードを載せた電波のことで、常時送信する装置から、ID を受信し、その ID に対応した情報をソフトウェアで表示、処理するシステムで利用される (図-1)。このビーコンは本章のように位置情報だけでなく、観光案内や展示物の説明などでも使われている。

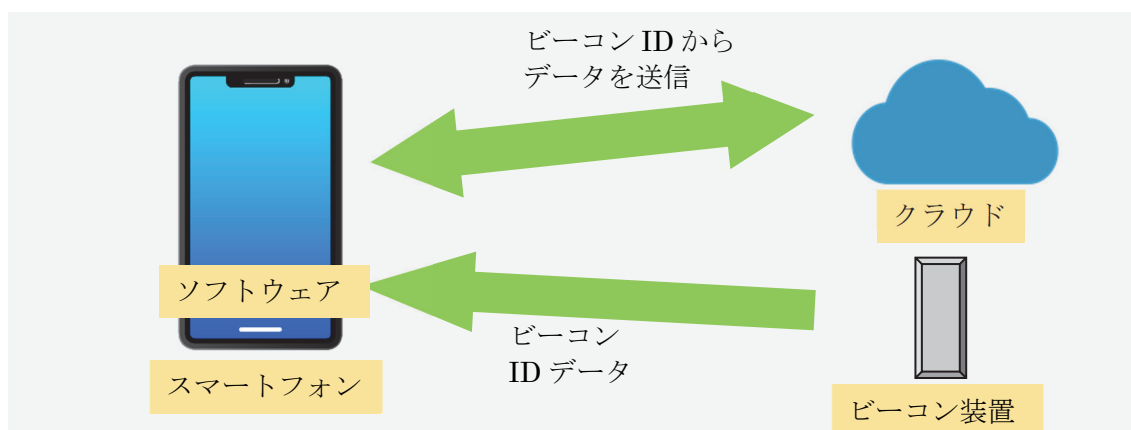


図-1 BLE とビーコン

BLE ビーコンは Apple 社の iBeacon や Google 社の Eddystone など数種類のフォーマットが発表されているが、iBeacon と呼ばれる Apple 社が開発したフォーマットが最も普及しており、実質的な標準仕様となっている。

3. BLE ビーコンによる屋内測位手法

①RSSI^(*)による測位

受信側機器，例えばスマートフォンがビーコンの電波を受信した時に，受信側機器では RSSI という受信した電波の強さを計測することができる（図-2）。その電波強度は発信元から距離が離れるほど弱くなるので，その電波強度を使ってある程度距離を判断することができる。

また，複数台の発信元からのビーコンを受け取ることができれば，その電波強度により発信元からの距離が推定でき，その複数の距離推定結果が交わる点に受信装置があるということになる。

ただし，実際には天井や地面，壁や棚などの物体により電波が反射し，元の電波に影響するため，発信元からの距離と電波強度の減衰の関係は一定にならず，位置計測の誤差要因となる。測定精度はおおよそ 1m から数 m とされている。

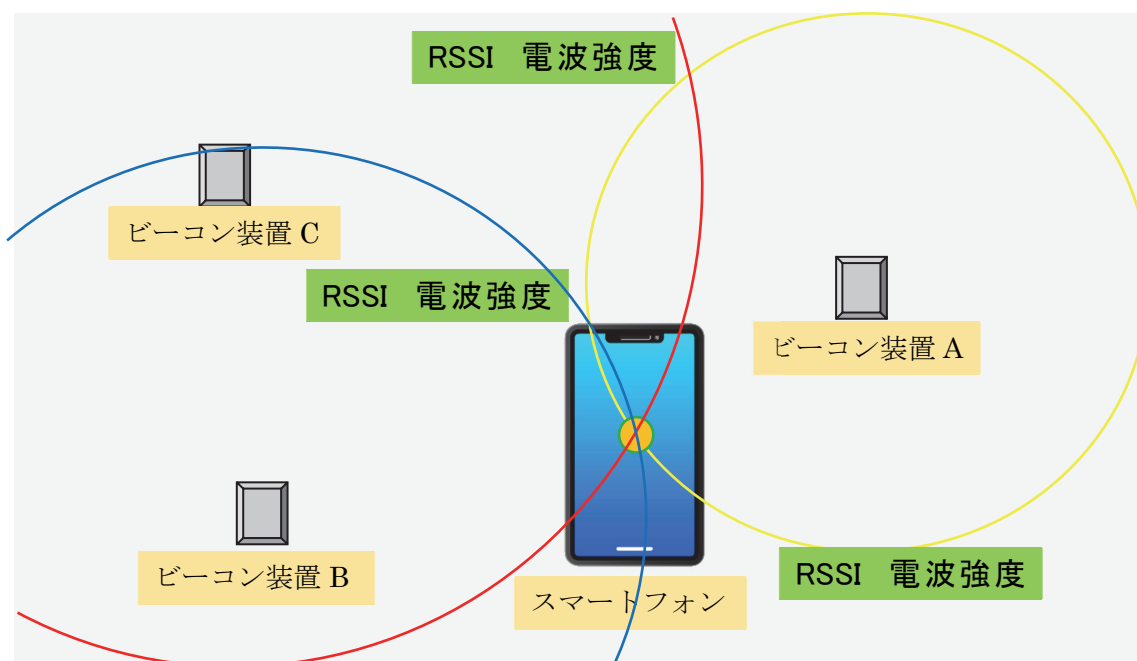


図-2 RSSI による測位

②AoA(*2)と AoD(*3)による角度計測

Bluetooth5.1 から提供された機能で、AoA (Angle of Arrival) は受信角度と呼ばれている。受信側は複数のアンテナで送信側からの電波を受信し、アンテナ間の距離と、送信側からの距離変化により発生する受信電波の位相差をもとに受信電波の角度を計算する。また、AoD (Angle of Departure) は放射角度と呼ばれており、AoA と逆に送信側のアンテナを複数にして受信側で受けた電波の位相差から角度を計算する (図-3)。

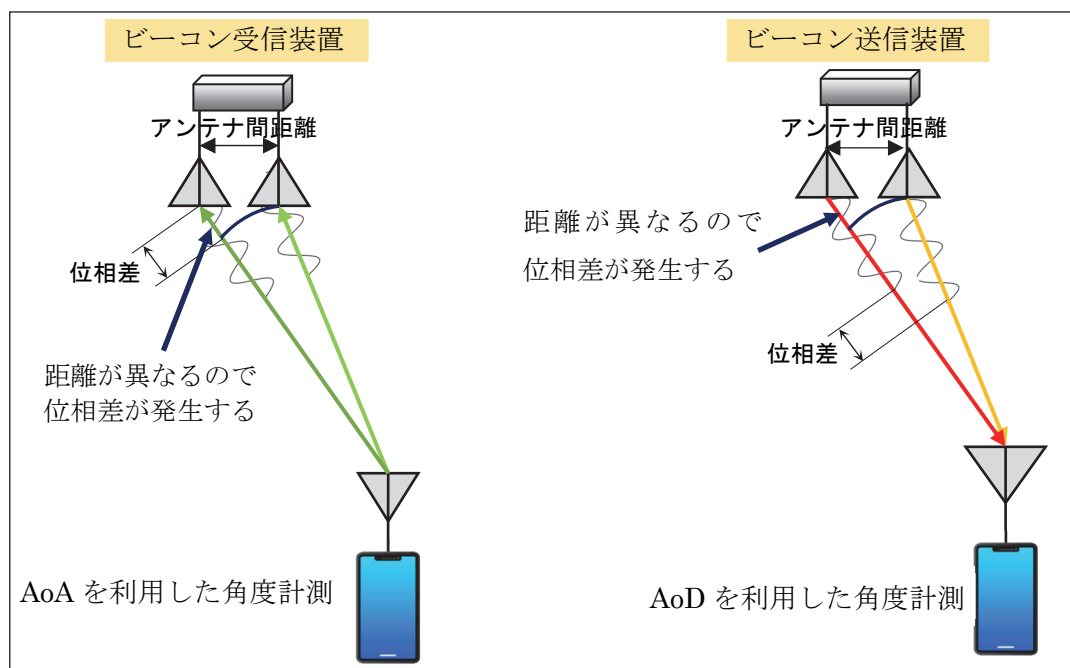


図-3 AoA と AoD による角度計測

これらのデータは角度のみとなるので、AoD の場合はビーコン装置間の距離と受信角度により位置を計算する (図-4)。測定精度は 0.1m から 1m ほどと言われている。

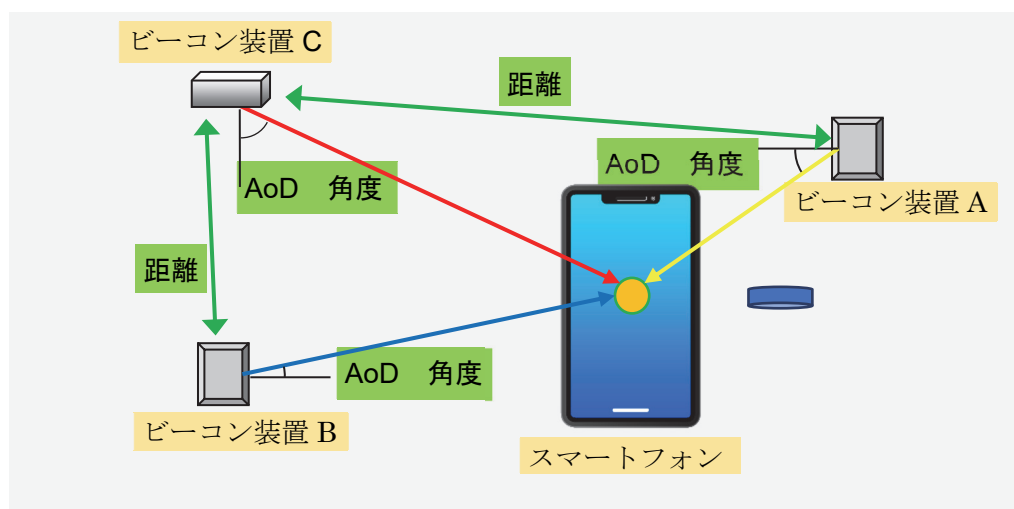


図-4 AoD による測位

4. 事例

①RSSI を用いた事例（アドソル日進社 uLocation）

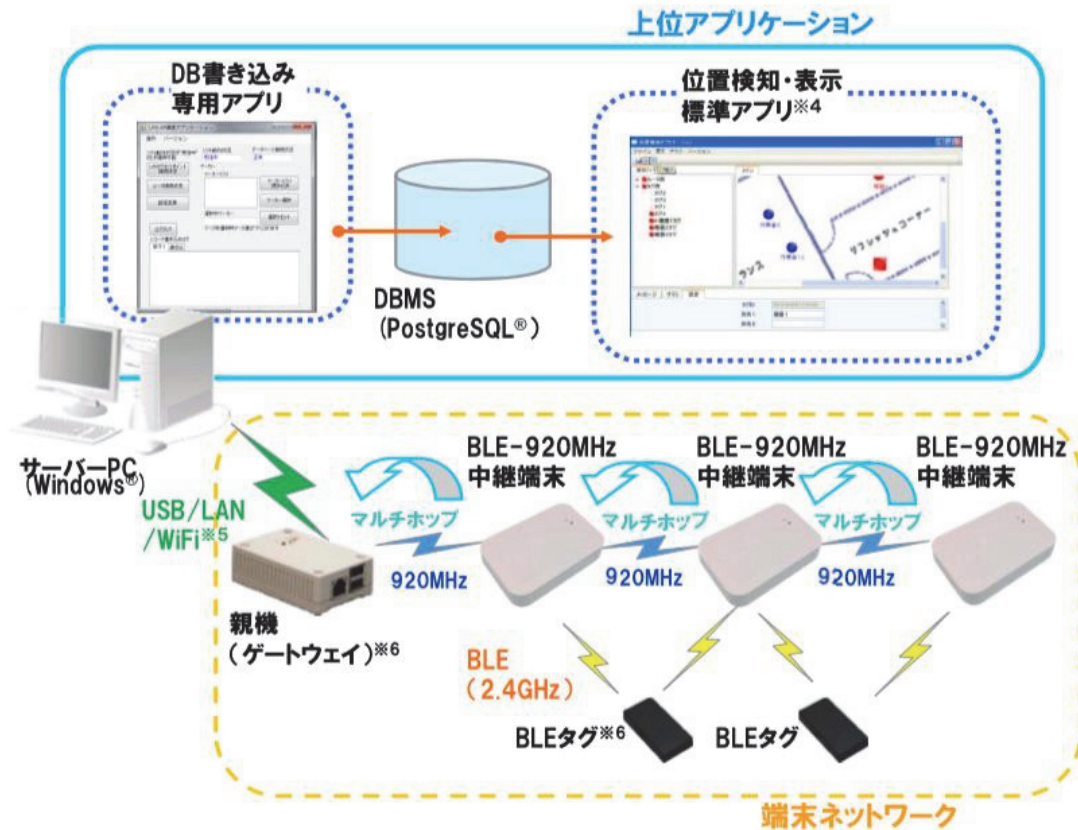


図-5 uLocation

図-5 に uLocation を示す。BLE タグからの電波の受信強度（RSSI）を使用して中継端末からの距離を取得する。中継端末間は 920MHz マルチホップで接続され、通信回線の工事が不要。BLE タグはスマートフォンの利用も可能。精度は数 m である（図-6）。

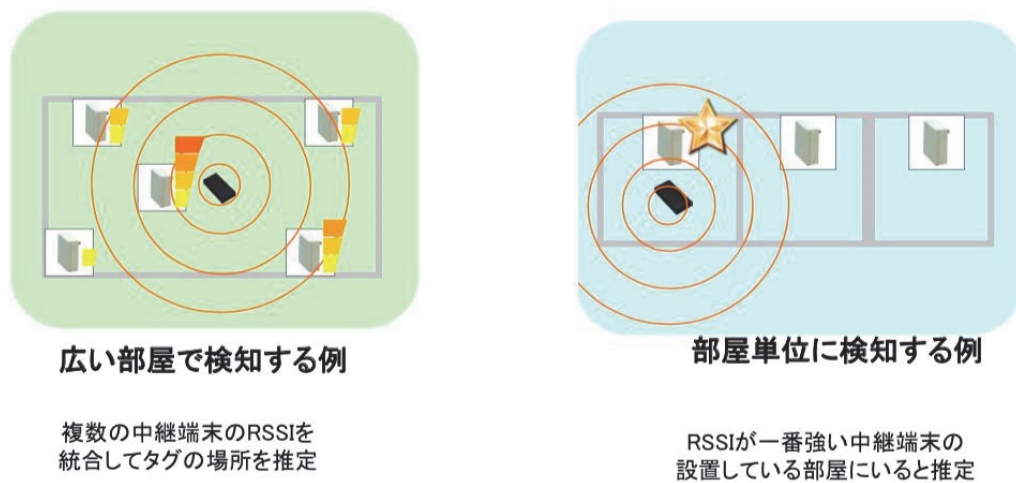


図-6 uLocation による検知例

②AoA を用いた事例（アドソル日進社 uLocation-Q）

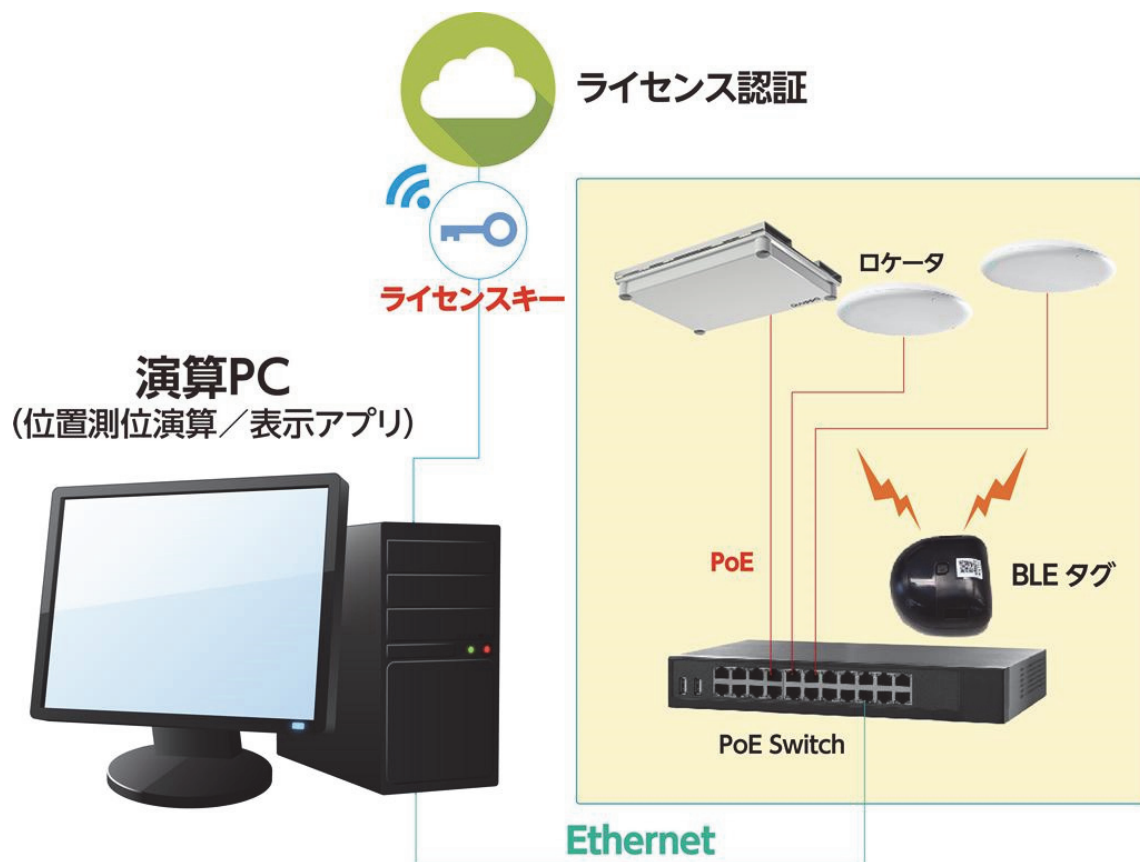


図-7 uLocation-Q

図-7 に uLocation-Q を示す。位置計測は BLE タグとロケータの電波到達角度から座標計測を行う。複数台のロケータを利用して位置精度の向上が可能。BLE タグの代わりにスマートフォンも使用できる。精度は数十cmの精度を期待できる（図-8）。

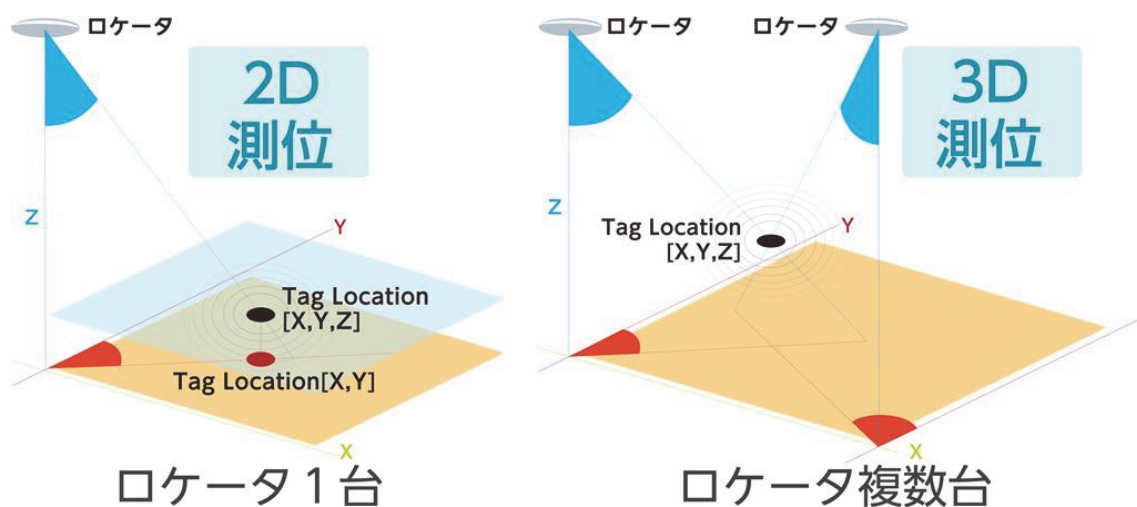


図-8 uLocation-Q による測位方法

5. まとめ

国土地理院の『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』は 2018 年 2 月に提出されている。その時点では Bluetooth5.1 が発表されていなかったため、AoA や AoD の機能を使った事例は考慮されておらず、精度面も PDR^(*)4)などの補正技術を使用した計測方法を想定している。

ただし、このガイドラインにはビーコン送信装置の設置条件や設置方法を考慮する際の参考になる項目が多く含まれている。例えば人の増減による電波状況の変化やスマートフォン自体の性能差による感度の違いなどを考慮する必要があるなど、設置検討の際には現在でも十分活用できると思われる。

また、このガイドラインにはパブリックタグ^(*)5)という国土交通省が進める、場所を特定するための情報コード仕様についても記述されており、オープンデータとして使用できればよりシームレスな位置計測が可能となる。

BLE ビーコンは Bluetooth5.0 規格でデータ転送レートが高速化されたものや、低速でも到達距離を伸ばしたものなどを利用できるように Bluetooth の規格更新とともに変化しており、現状の技術を考慮しながら利用する必要があると考えられる。

注釈

(*)1)RSSI Received Signal Strength Indicator

受信装置に入力される信号の強度。数値が大きいほど受信感度が高い。dBm の単位で表し、値が”0”に近いほど受信感度が高いことになる。

(*)2)AoA Angle of Arriva

受信角度による方向探知方式。複数のアンテナで同一の電波を受信し、その位相差から発信元の方角、角度を計算する。

(*)3)AoD Angle of Departure

放射角度による方向探知方式。複数のアンテナから発信される電波を単一のアンテナで受信し、その位相差から発信元の方角、角度を計算する。

(*)4)PDR Pedestrian Dead Reckoning

歩行者自律航法。加速度センサやジャイロセンサ、電子コンパスなどを用いて移動距離や方向を積算していく方法。外部装置を必要としないが、誤差が蓄積されやすい。

(*)5)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。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。

1. SLAM 技術とは

SLAM とは **Simultaneous Localization And Mapping** の略であり、文字通り自己位置周辺の環境マップ作成 (Mapping) と、環境マップ中での自己位置推定 (Localization) を同時 (Simultaneous) に行う技術である。つまり、自身が移動しながら周辺空間の 2D ないしは 3D のマッピングを行い、同時にその空間内での自己位置を移動時間に沿って推定するものである。

元々、この技術はロボットの基本的課題である環境認識と自己位置把握の解決の為に考案された技術であり、近年ではこの技術を測量や UAV の制御に利用することも増えている。いずれの利用でも非 GPS 環境下で利用できる技術として、特にその利用価値は大きい。

この技術には周辺空間を識別するセンシングが必須であるが、それをカメラ (画像) で行う VisualSLAM、レーザ・スキャナ (点群) で行う LidarSLAM、ToF センサ (測距情報) Depth (デプス) SLAM に分類されますが、それぞれにその利点を生かした利用がなされ、その利用の為のシステムが作成される(図-1)。

	 レーザースキャナ /LiDAR	 HDカメラ (モノ/ステレオ)	 ToFセンサー /距離画像
距離	< 300m	< 100m	< 20m
水平画角	360°	30° ~ 180°程度	60°程度
場所	○	△(暗所)	△(屋外)
価格	△	○	○

図-1 センシングの分類

本稿では、測量分野で主に利用される LidarSLAM について述べる。

2. 計測事例及び精度検証

(1) ハンディ・スキャナ計測



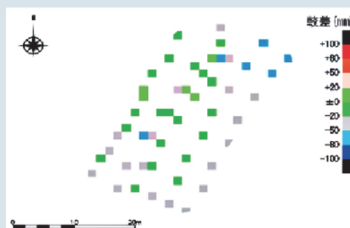
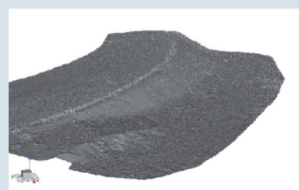
システム	最大レンジ(反射率90%)	30m
	データ集録レート	43,200 点/秒
	解像度	水平 0.625° 垂直 1.8°
	計測角度(FOV)	270°×360°
	動作温度	10℃～30℃
	動作湿度	<85%RH
	レーザークラス	Class 1
データ	回転速度	0.5Hz
	データストレージ容量	120GB
	生データファイルサイズ	～10MB/1スキャン
精度	デフォルトの出力ファイル形式	.LAS/.PLY/.e57 など
	相対精度	1cm～3cm
	絶対位置精度(10分スキャン、1ループ)	3cm～30cm
その他	IPレート	IP51
	重量(スキャナ)	1.0kg
	重量(システム全体)	4.1kg
	スキャナ寸法	80×113×180mm

精度検証

下の写真の法面と平場を使用して、トータルステーションの測定値とZEB-REVOの計測結果を比較しました。



ZEB-REVOで計測したデータ



トータルステーション測定値とZEB-REVO計測値の標高較差

標高差の最大値	0.062m
RMS誤差	0.028m
標準偏差	0.019m

(2) UAV Lidar 計測



LiDAR 計測範囲	0.4m～100m
LiDAR 計測	±30mm
マッピング精度	一般的な環境 ±20mm 地下および室内 ±15mm
計測角度	360°×360°
データ取得レート	300,000点/秒
移動速度	車両:40km/h 飛行:5m/s 地下または閉所:2m/s
レーザークラス	Class 1 EyeSafe
点群ファイル形式	.las、.laz、.phy、.dxf
動作温度	0～50℃
重量	1.8kg

精度検証

検証方法 空中からの計測と地上での計測の精度を検証しました。

1. ドローンによる空中マッピングデータおよび歩行による地上マッピングデータを取得
2. それぞれのマッピングデータを標定点3点を使用して現場座標系に変換
3. マッピングデータから標定点と検証点の座標値を読み取り、トータルステーションの測定値と比較

空中マッピング

計測面積		45,000㎡		
計測時間		5分		
	点名	ΔX	ΔY	ΔZ
標定点	1	80mm	47mm	1mm
	2	59mm	12mm	0mm
	3	21mm	35mm	1mm
検証点	A	39mm	38mm	15mm
	B	24mm	22mm	31mm
	C	68mm	2mm	11mm
	D	22mm	3mm	25mm

地上マッピング

計測面積		27,000㎡		
計測時間		10分		
	点名	ΔX	ΔY	ΔZ
標定点	1	71mm	55mm	1mm
	2	50mm	8mm	1mm
	3	21mm	63mm	2mm
検証点	A	65mm	38mm	7mm
	B	14mm	78mm	25mm
	C	64mm	22mm	8mm
	D	24mm	22mm	27mm

(3) その他計測



電動バギー



車輛



ハンドヘルド



滑車

3. 計測する上での注意点

非 GPS 環境下での計測，歩行，車載，UAV 搭載による臨機応変な計測が可能な事により，その特性を利用した計測方法として，既に具体的な利用事例は多い．
しかしながら以下の点に，留意して利用する事が必要である．

① 適用範囲

SLAM 計算が成立する必要条件に留意する．

従って以下の環境下での計測には不適といえる．

- 使用機材の能力による計測可能な周辺環境に，形状を識別しうる対象物がない場合．例えば起伏のない広域の草地等是不適といえる．



- 同様の周辺環境が，継続的に続く場合．例えば同じ曲率で続く表面に特徴形状のないトンネルなどは不適といえる．
- 移動物の多い周辺環境，例えば混雑する駅構内等是不適といえる．



② 計測方法と精度検証

精度の高い SLAM 計算の為に以下に留意する.

- 計測移動経路. 閉ループでの計測経路が望ましい.
- 使用システムの能力に準じた周辺環境を十分に取得できる移動速度. 急速な周辺環境の変化を避けた移動にも留意.
- 一度の計測時間が長時間にならない計測計画.
- 基準点・検証点の適切な配置.



③ 公共業務での利用について

公共作業での利用の為に基準作りも進んでいるが、現状（2021年5月現在）では、公共測量作業規定にはない方法である。従って公共測量の承認には、17条申請が必要である。一方工事測量の指導要領では、この技術利用に対する明確な記載はないものの、特に具体的な制限記述の曖昧な移動体計測の一つとして利用できると解釈が可能である。しかしながら、その場合でも精度検証に裏付けられた精度保証とそれに対する作業監督者の承認が必要といえる。

4. 移動体自律制御での利用

① UAVでの利用

非GPS環境下でのUAVの安定的な自律飛行を行う。また周辺空間と自己位置の認識より、全方位衝突回避機能を備える。更にはウェイポイントによる自動航行、未知空間での自動探査飛行が可能であることから、橋梁や建物の調査、危険な未知空間の自動探索にも利用されている。



球体シールドのイメージ

② 他の移動体ロボットでの利用

四足歩行型ロボットはじめとする UAV 以外の移動プラットフォームに対する自律制御も具体化している。また、それらロボットや UAV を複合的に連動制御させながら、未知空間での自動移動の技術も開発が進んでいる。

第 8 回 2021 年 4 月 20 日（火）15：00～17：00

位置計測技術と AI の併用 （新居和展 （株）コアコンセプト・テクノロジー）

1. はじめに

インフラ工事や建築工事において、GNSS やトータルステーションと言った従来の計測技術の他に、UAV や TLS による面的かつ高精度な計測手法による出来形管理が進み、昨今では SLAM や屋内測位など様々な計測技術による多岐に渡る活用方法が検討および取捨選択できるようになってきている。勿論、各計測手法にはメリットとデメリットがあり、実際の現場での活用においては、常に利便性の高い運用に至るにはまだ課題も多い。

一方、建設業だけでなく Society5.0 やスマートシティなど、IoT の普及に伴い、AI（人工知能）の活用、ロボット技術の発展が目覚ましく、我々の日常生活の中でも様々な技術活用による利便性の向上が図られつつあり、今後も様々な用途に応用され、IoT・AI・計測技術・ロボットを併用しながら利活用が進むと思われる。この背景には、IoT に代表される通信インフラが整備され、昨今では 5G も活用がスタートし、より多くの情報をリアルタイムに送受信できるようになった事に加え、これまで「クラウド」と言われてきた仮想化されたサーバで、そういった多くの情報を一元管理するビッグデータの取り扱いが進み、ここ最近では「デジタルツイン」と言われる現実世界の実データを仮想化された環境に送り、そこでシミュレーションを施して、そこから得られた分析結果を現実世界に戻す事で、効率化や生産性を上げるための仕組みがより容易に構築でき、この活用が進んでいる事が要因にあると思われる。

また国土交通省の方でも、インフラ分野のデジタル化においては DX（デジタルトランスフォーメーション）の推進に向けた提言がなされる中、現場の施工管理の在り方についてもデジタルツインを活用し、人に代わり AI による判断や作業の自動化を推し進めていこうとする動きもある。

そこで本稿では、建設工事における様々な作業において、特に計測技術を用いた業務は多岐に渡るが、いずれも計測機器の利便性は向上しているものの、まだ属人性が高くデメリットとなり得る条件も多い事から、ここに AI を併用し、作業負荷の低減や自動化、常時同じ精度を担保した作業の実施など、これまでの AI の活用の在り方からその可能性について言及したものである。

2. AI の活用事例

現在は 2000 年に入ってから始まった第三次 AI ブームの真っ只中であり、「ビッグデータ」を活用して AI 自身が特徴量を定義・獲得していく深層学習が発展しつつある。AI の分析の種類は多岐に渡り、用途に応じて教師データを用意し学習していく事も必要であるが、AI の詳細な説明は他の論文を参照いただきたい。

建設現場においては、カメラ画像を用いた AI 活用が進みつつあり、これはカメラと言うデバイスが他の ICT 機器に比べて安価で扱いやすいと言う利点がある。カメラ画像を用いた AI は建設業に留まらず製造業など様々な産業で活用が進んでおり、画像に写る物体検知や動画による異常動作の判断など、人がそこに留まって常に目視が必要な属人性の高い、また判断の誤りが生じやすい作業において特に効果を発揮する。

例えば図-1 のように、噴霧作業を画像で捉え AI が自律的に判断できるようにすることで、これまでは噴霧時の状態を人が目視で材料の交換時期を判断していたのに対し、AI で自動的に交換時期を導く事が可能となる。これは人によっては交換を早めに判断し、あるいは材料が無くなった後に交換の必要性に気づく場合もあるが、AI であれば、常に一定の精度・状態で交換時期を導く事で品質や材料コストを一定に保つ事が可能となる。

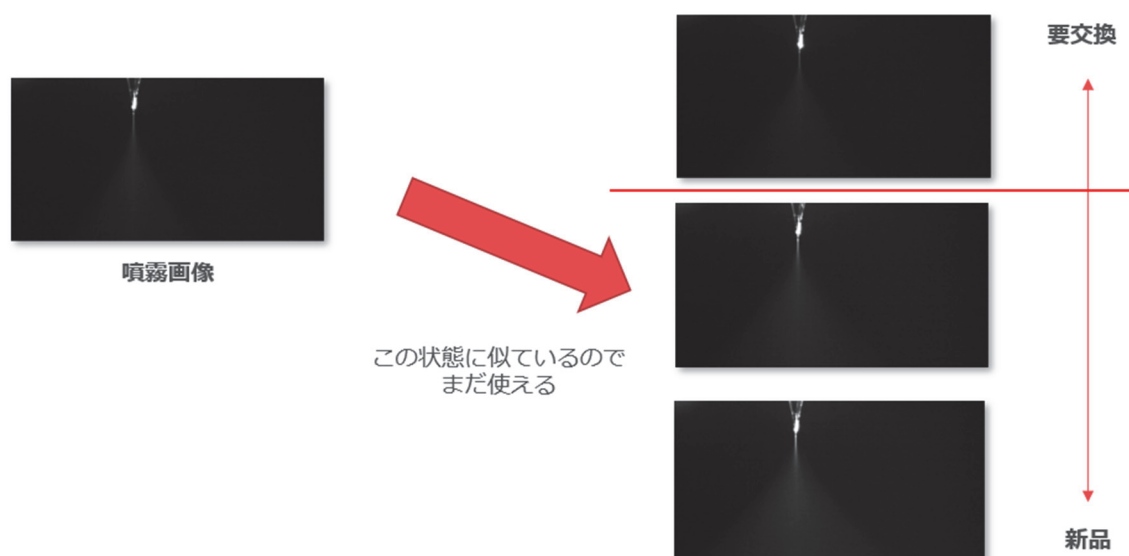


図-1 噴霧作業を画像で捉え AI が自律的に判断

また別の事例では、画像に写った材料の粒度分布を AI により自動的に抽出する。建設現場で用いられる材料のボリュームや品質検査と言った工程はまだ手作業に頼る事が多いため、作業の生産性を上げる事に寄与できるものとなり得る (図-2)。

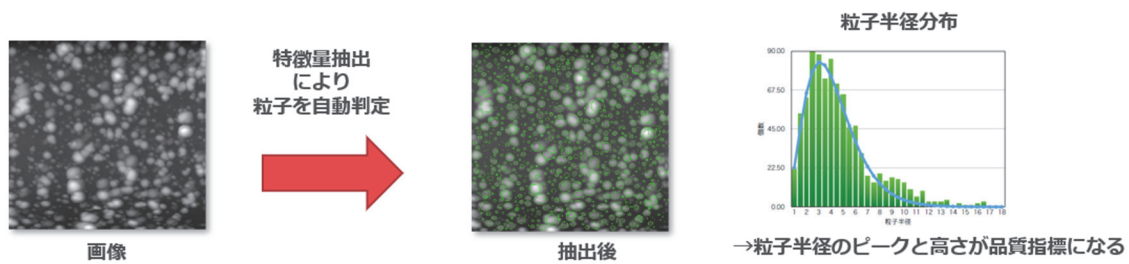


図-2 粒度分布を AI により自動的に抽出

本稿は、位置計測技術と AI の組み合わせについて考察するものであるため、それに値する事例も紹介する。カメラの動画を用いて物体の変位量を捉え、更にはその動きの速度・加速度を画像だけで割り出す事が可能な事例である（図-3）。詳細には半導体の基板圧着を行う工程にて、目視で圧着度合いを検査していたこれまでの方法に対し、動画で基板間距離を捉え、一定の距離に達すると圧着完了と AI に判断させた取組みであり、動画から変位量を求め、変位と時間情報から速度や加速度を算出する事が可能である。これは製造業のみならず建設業においても応用が効くと思われ、高精度な変位を検出する必要がない用途の計測であれば、タブレットなどのカメラ機能で実現でき、費用対効果の高い計測手法になり得る可能性がある。

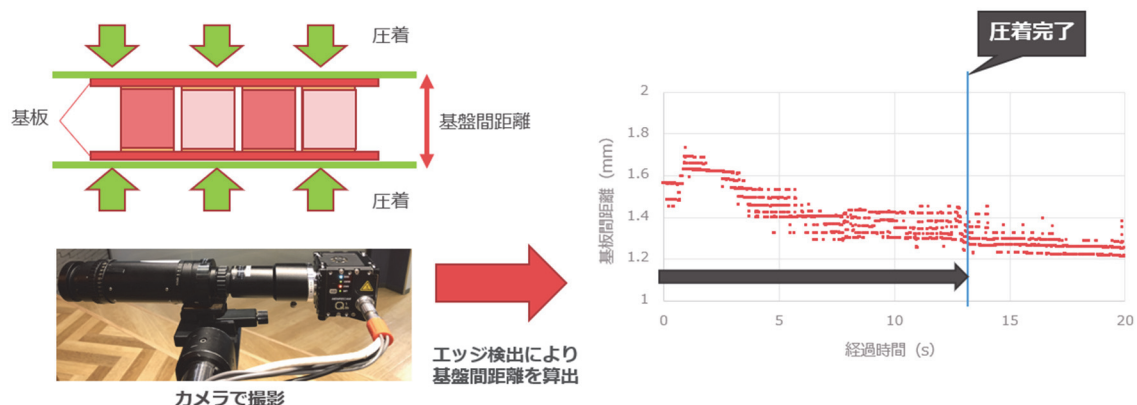


図-3 一定の距離に達すると圧着完了と AI に判断させた取組み

以上の事例のように、カメラを用いた AI の活用は様々な産業で進んでいる。しかし建設業において多少憂慮すべきは、カメラは確かにコストと言う点では他の計測機よりも安価で調達しやすいが、屋外での撮影では天候や時間変化、設置環境に応じて撮影が難しい状況があることである。運用面での対策検討が事前に必要である事は否めない。これに代替する活用になるかもしれず、また位置計測と言う観点をカバーするのが 3D モデルや点群データを用いた物体検知・形状認識技術である。人間が目を見た物体の形状の捉え方を AI においても同様に行う事で、製造業例えばプラントなどにおいては、自身が持つ 3D モデルを突合条件にして、似た形状のパーツや部品がどの程度存在するかを瞬時に割り出す仕組みが活

用されている(図-4). 建設業においても BIM/CIM の取組みから構造物や建設部材の 3D モデル化は進んできており, また起工測量や出来形管理においては点群データの取り扱いが一般的である. そこでこれら 3D モデルを活用し, 繰り返される属人性の高い検査や作業において画像に代わる活用が新たに見出される可能性がある.

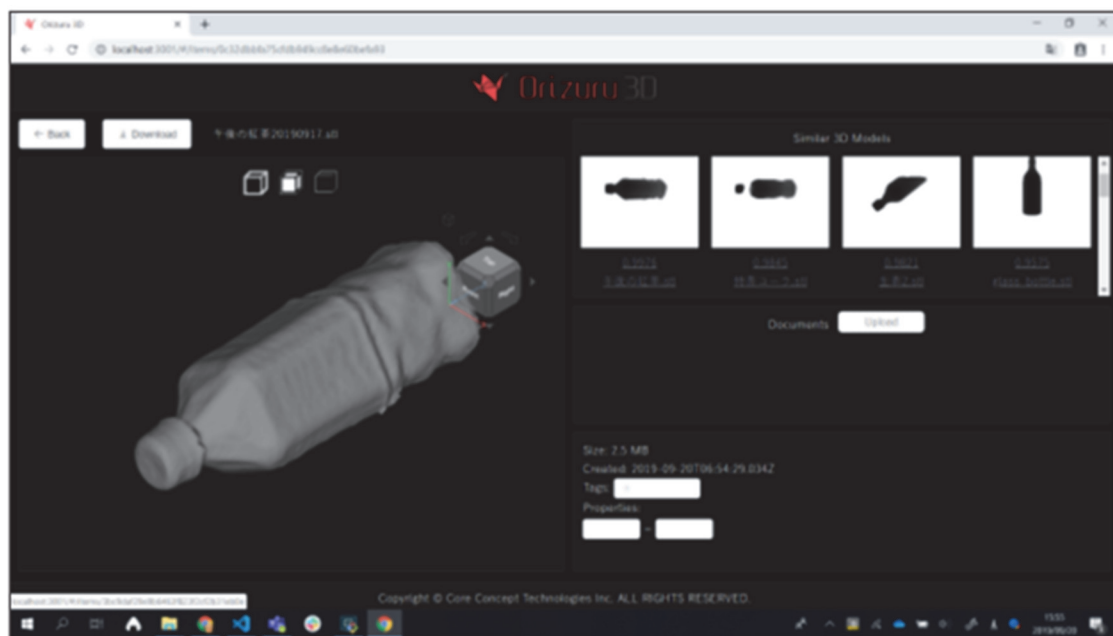


図-4 似た形状のパーツや部品がどの程度存在するかを瞬時に割り出す仕組み

図-4 の左側は 3D スキャナで取ったあるパーツの点群データ / 右側は点群データから AI が形状認識し, 似たパーツをビッグデータから検出したものを, 形状の類似度の高い物から並べたものである.

3. 位置計測技術と AI 併用の今後の展望

位置計測技術は前述の通り, ICT 機器の進化により様々な計測手法として発展しつつある. しかしそれを適切に活用するのは人であり, そこに生産性を阻む要因がある. そこで利便性の高い計測機器を活用しつつ, AI により人が介する作業を低減化する活用の在り方について触れてみたい.

まず 1 つ目は, 出来形管理において 3D スキャナで点群データを取得する事が一般的であるが, 取得した点群データは現場の現況を適切に押さえておきたいのに, 人や建機など不要なものまで写り込んでしまい, 再計測となる場合や, ノイズとなる部分を手動削除する事が往々にして発生する. そこで AI にこのノイズとなるものを学習させ, 自動的にノイズを抽出できると, この出来形管理のデータを生成する作業において生産性が向上すると思われる. 非常にシンプルな活用の仕方ではあるが効果は高く, 実際にノイズ除去の取組みは進んでいると思われる.

もう1つは、位置情報をAIで分析する事で3D（3次元位置）と4D（時間情報）データを活用し作業の生産性向上とともに、原価管理などの5Dデータの精緻化につなげていく検討である。具体的には、作業員の動きなどを位置計測技術から位置情報として取得し、それをAIで分析することで、ある時間軸における人流や機械の動きを定量化し、一見無駄のない作業や動きに見えていたものを、実は人のスキルなどと言った情報と共に考察する事で人員配置を変えることや、動き自体の無駄を捉えて施工計画に活かしていくと言うものである。これは施工に際してロボット活用が進んでいる昨今では、人とロボットの最適な動かし方・作業分担の仕方などの分析も当てはまると思われる。原価管理については、どの作業も無駄が省ける事でコストメリットが生まれ、現場作業における利益率向上につなげるためにも位置情報からAIで分析した結果を活用する事が考えられる（図-5）。これらは前述したデジタルツインにより、現場の位置情報をビッグデータとして仮想化された環境でAIが分析し、その結果を現場にフィードバックさせる事で産み出される新たな活用となる。このように位置計測技術にAIを組み合わせる事で、これまで最も良いと思われていた作業計画に対し、実績データを活用してAIで分析から予測にまでつなげていく事で、新たな管理手法を創出できる可能性があると言える。

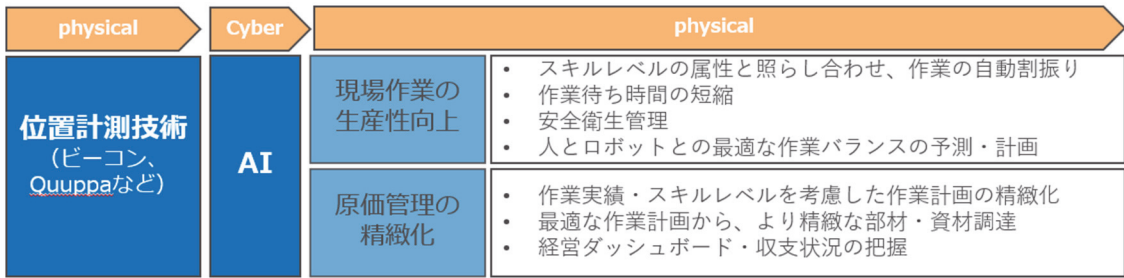


図-5 位置計測技術とAIの組み合わせ

4. おわりに

本稿では、建設業や製造業においてDX推進の潮流の中でAIの現場活用の普及が進む背景と事例から、AIをより高度化させて位置計測技術と組み合わせて分析していく事で、新たな管理手法や生産性を上げる取り組みにつながると言う展望を含めて言及した。位置計測技術とIoT/AIを組み合わせる事で、これからもより様々な用途で効率性を高めていく事は可能であると思われ、産業に従事する技術者やITエンジニアは、業務から日常生活に及ぶより広い領域に目を配り、学会活動などもうまく活用して情報を収集し、新しい仕組みやサービスを創出する事に期待したい。

1. IMESとは

IMESとはIndoor MESSaging Systemの略であり、宇宙航空研究開発機構(JAXA)が考案した屋内測位システムの1つである。GNSS衛星を用いた測位を行う場合、GNSS衛星から送信された時刻データを地上で受信し、送信された時刻と受信機への到達時刻の差から距離を計算することで受信機の位置を測定している。一方、IMES送信機は時刻データの代わりに送信機の位置情報を送信しており、その信号がGNSS衛星と互換性があることが特徴である(図-1)。送信機本体も小型であるため、屋内や地下などのGNSS衛星を受信できない環境への設置が容易である。

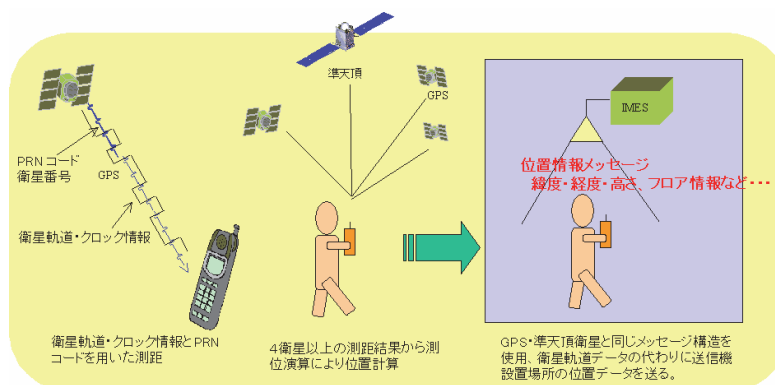


図-1 IMESの概要：IMESコンソーシアムHPより

IMES送信機からの信号は既存のGNSS衛星の信号と互換性を持つため、IMESに対応するGNSS受信機があれば、特別な機器を追加することなく屋内外を区別なく測位することができます。屋内外の移動であっても、単一の受信機でシステムやアプリケーションを切り替えることなく、屋外ではGNSS、屋内ではIMESとシームレスな測位が実現可能となる。例えば、図-2に示すよう建設現場で土砂を運搬するダンプの運行管理を行う場合、屋内にIMES送信機を配置してダンプに受信機を設置すれば、ダンプの走行位置を屋内外問わずに継続して測位することができます。

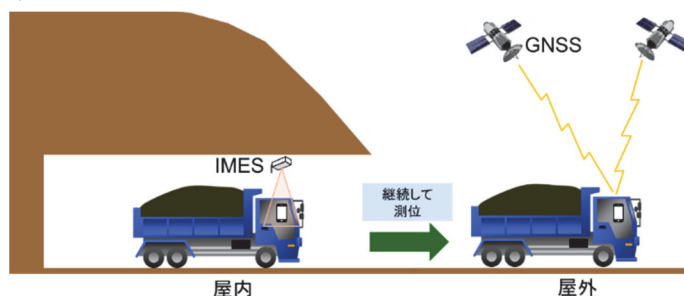


図-2 シームレス測位の適用イメージ

2. シームレス測位の検証

IMES の建設現場への適用性を確認するため、以下の 2 つの項目について検証実験を行った。

- ・受信時間と強度：IMES 信号を受信するまでの時間と受信強度を計測
- ・シームレス性：IMES 信号が途切れた後、屋外測位が FIX するまでの時間で連続性を評価

実験に使用した IMES の送受信機は図-3 の通りである。



IMES送信機	
装置名	GNS-IMES 5.5MR2
搬送波公称 中心周波数	1575.4282MHz
送信出力	-68dBm ~ -115dBm
PRNコード	173~182

IMES受信機	
装置名	QZ-POD
対応信号	GPS/QZSS/IMES
通信方法	Bluetooth
出力形式	NMEA

図-3 IMES 送信機と受信機

(1) 受信時間と強度

IMES 信号を受信しない位置から計測位置に移動し、-10dBm で出力される IMES 信号を受信するまでの時間と受信強度を設置環境の異なる 2 カ所で 3 回ずつ計測した (図-4)。計測位置は IMES 送信機から水平距離で 1m 刻みに最長 8m までとした (図-5)。



図-4 IMES 送信機の設置状況

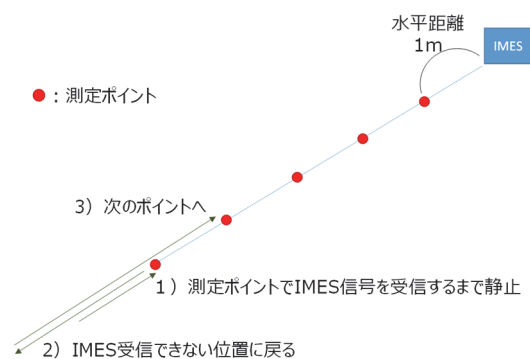


図-5 受信の確認位置

IMES 送信機からの水平距離と受信までに要した時間を表-1 に示す。なお、1 分以内に信号を受信できなかった場合は×としている。開放的な空間に送信機設置した場合、受信可能な距離は 5m までだったが、閉鎖的な通路では 8m まで受信できることを確認した。また、表-1 に赤枠で示したように、送信機からの距離が 3m より遠くなると受信に 10 秒以上かかる場合があった。次に受信強度に関する結果を表-2 に示す。受信強度は IMES 送信機からの距離が遠くなるにしたがって小さくなる傾向があることがわかる。屋内に IMES 送信機を複数設置して最も近くにある送信機を判定するためには、IMES 信号が同程度の強度とならないように個々の送信機の出力調整を適切に行う必要がある。

表-1 送信機からの距離と受信に要した時間

		IMES送信機からの水平距離							
		1m	2m	3m	4m	5m	6m	7m	8m
開放	1回目	2	0	4	6	7	×	×	×
	2回目	3	3	37	16	3	×	×	×
	3回目	2	2	6	2	12	×	×	×
	平均(秒)	2.0	1.0	5.0	4.0	9.5	×	×	×
通路	1回目	2	5	9	4	25	17	50	12
	2回目	4	1	0	3	17	12	4	7
	3回目	1	2	4	2	43	42	3	7
	平均(秒)	2.3	2.7	4.3	3.0	28.3	23.7	19.0	8.7

1分以内に信号を受信できなかった場合は「×」とした

表-2 送信機からの距離と受信強度

		IMES送信機からの水平距離							
		1m	2m	3m	4m	5m	6m	7m	8m
開放	1回目	41.3	40.4	41.8	39.8	33.0	×	×	×
	2回目	43.2	32.0	38.8	37.6	34.8	×	×	×
	3回目	42.8	40.0	40.0	36.4	33.8	×	×	×
	平均(dB)	42.1	40.2	40.9	38.1	33.4	×	×	×
通路	1回目	44.4	39.6	37.4	34.6	35.4	34.4	33.4	32.4
	2回目	47.0	42.8	39.6	35.0	36.8	29.4	36.2	34.2
	3回目	46.6	47.2	41.8	38.2	31.8	34.4	34.8	32.0
	平均(dB)	46.0	43.2	39.6	35.9	34.7	32.7	34.8	32.9

(2) シームレス性

図-6 に示す経路①，②において，屋内から屋外に移動する際に IMES 信号を最後に受信した時刻から GNSS 信号で測位するまでの時刻を計算することでシームレス性を評価した。信号の送信出力は-10dBm と-7dBm の 2 種類で実施している。

IMES 信号が途切れた後，屋外で GNSS 測位が FIX するまでに要した時間を図-7 に示す。経路①よりも経路②で切り替わり時間が短くなる傾向があり，これは上空視界が影響していると考えられる。経路①の屋外環境は南方と東方に建物があるため，その方向の衛星が見えにくい状況であり，経路②よりも測位に時間を要した。経路②は東側の上空は確保で

きないが、他の三方は比較的開けた環境であり、経路①よりも早い時間で測位できたと考えられる。次に、IMES 信号の送信出力に注目すると、経路①、②ともに送信出力が大きい-7dBm で GNSS 測位に切り替わるまでの時間が短くなっている。これは、IMES の送信出力が大きい方が屋内から屋外に移動するときに IMES を受信できる距離が長くなり、建物から離れることで GNSS 測位が FIX しやすい環境になったことが影響していると考えられる。

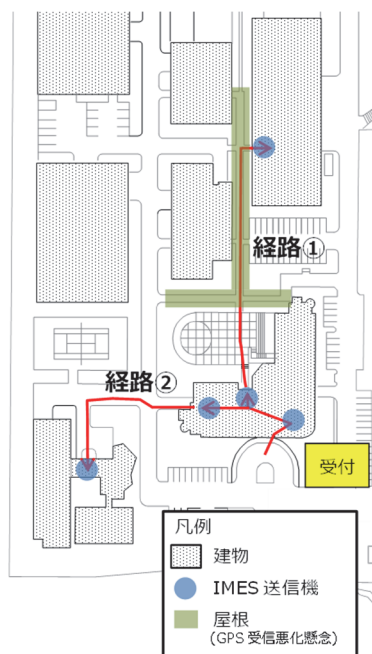


図-6 経路①と②

送信出力 小 (-10dBm)	測位までの時間	測位時の衛星配置	送信出力 大 (-7dBm)	測位までの時間	測位時の衛星配置
経路①	60秒		経路①	40秒	
経路②	20秒		経路②	0秒	

図-7 IMES が途切れて GNSS が FIX するまでの時間

（3）まとめ

IMES を用いて屋内外をシームレスに測位できることを確認した。加えて、IMES 信号を受信するまでの時間、屋内から屋外への位置切り替え遅延など、現場に適用するための課題を明らかにすることができた。また、IMES を建設現場に適用することを想定すると、送信機と受信機間の通信時間、通信距離面の技術改良が必要であるといえる。

3. 建設現場への適用案

震災復興工事や大深度地下工事では建設廃棄物が大量に発生するが、自工区内で処理しきれないケースが多く、それらの廃棄物を別工区へ運搬することが多々ある。近年、不法投棄は減少傾向である一方で、東日本大震災以降、廃棄物の行方については地域住民の関心事となっている。このような背景から、排出～運搬～処理処分まで、何を・いつ（時刻 t ）・どこからどこ（位置 x, y, z ）へ運搬したかという、「4 次元的なトレーサビリティ」が重要となっている。従来であれば、GNSS 等の位置計測センサを工事車両に搭載して追

跡することが一般的であるが、トンネル内やビル群の谷間、集積場が屋内である場合、GNSS 信号を受信できないため位置情報が途切れたり集積場での荷下ろし箇所のデータが欠損することとなる。

そこで、GNSS 測位と IMES を組み合わせた屋内外シームレスの 4 次元トレーサビリティシステムにより屋外から屋内へのシームレス位置管理が可能になる。これは GNSS と IMES の受信機を工事車両に搭載し、GNSS 測位を基本としつつ GNSS を受信できないような環境下を走行する場合は、走行ルートに IMES を配置して走行軌跡を補完するものである。また、廃棄物の集積場に屋根が存在する場合やテント型であるときも屋内に IMES を配置することで、集積場のどのエリアに運搬したかを記録できる。このようなシステムによって屋内外問わずに時刻情報と位置情報を計測することで、廃棄物の 4 次元的なトレーサビリティ管理が可能になると考える（図-8、図-9）。



図-8 災害廃棄物運搬業務の例

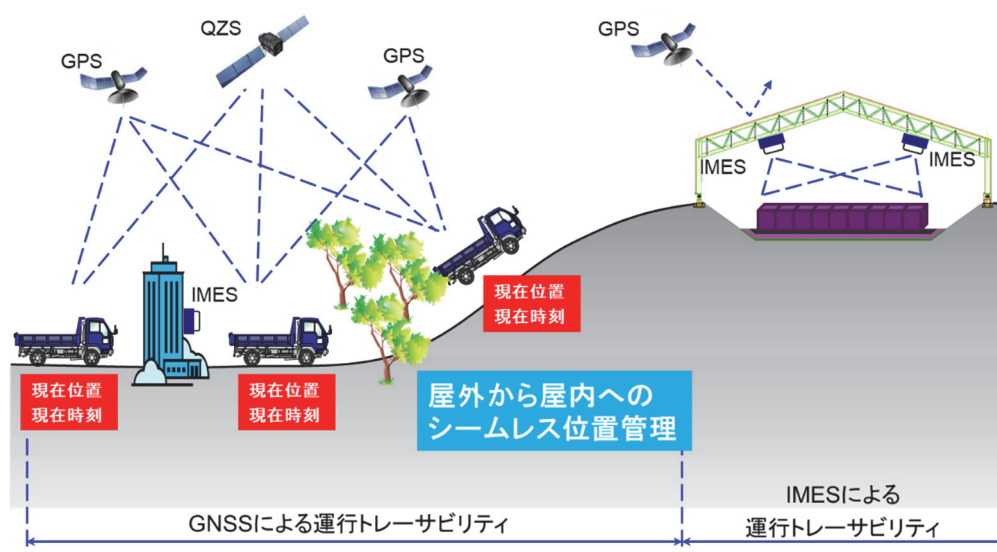


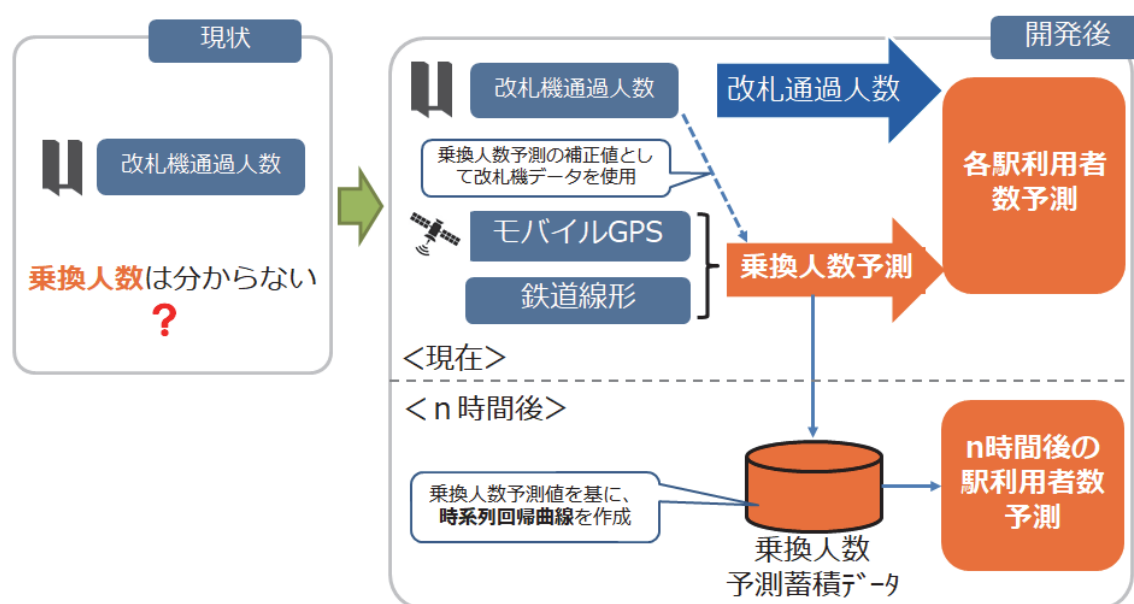
図-9 IMES を用いた廃棄物運搬の運行管理（案）

1. はじめに

駅設備計画では、安全な駅環境の実現に向けて、混雑時間帯の利用者数の稼働を考慮して適正な規模を算定する必要がある。現在の計画業務では、現地調査（目視計測）や改札機等のデータを用いて、混雑時の利用者推定作業を行っているが、作業に多くの手間やコストがかかることと、適正な乗換人数を考慮できない課題がある。

一方、近年、モバイル端末に内蔵された GPS の時系列データを、個人情報を見失った状態で提供・活用することにより、おおまかな人流を把握することができる。

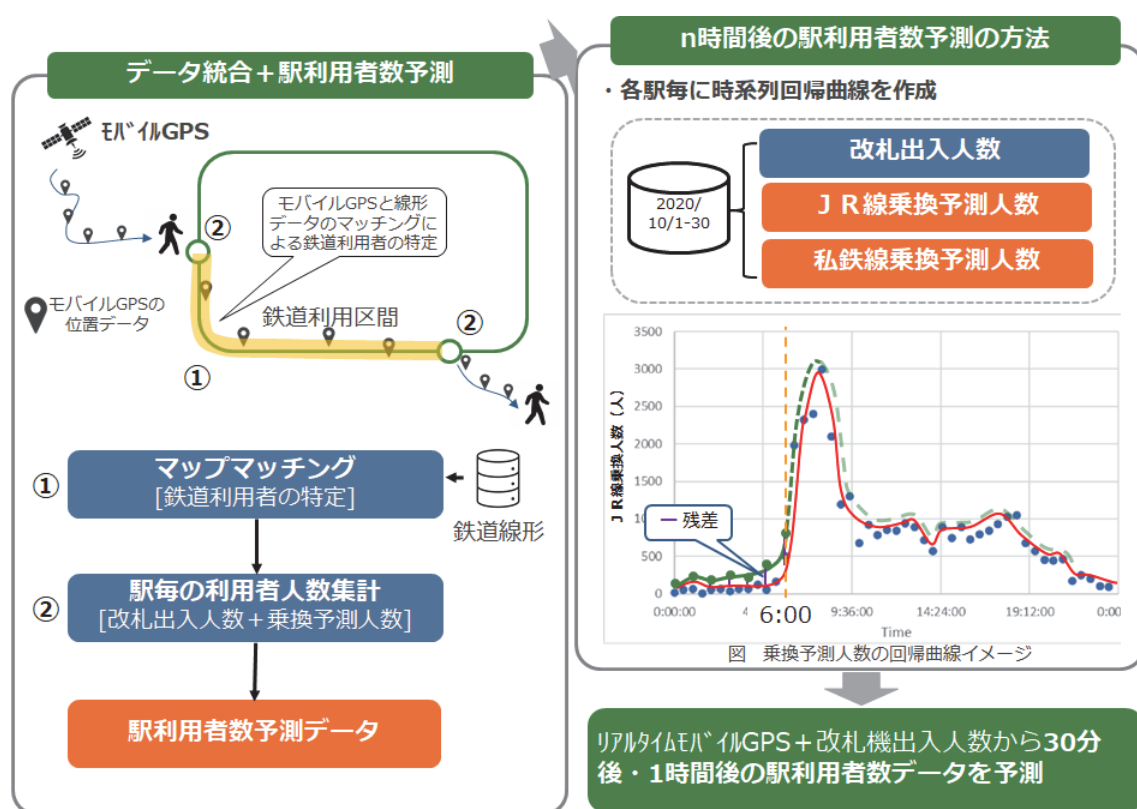
今回、このデータと鉄道線形、改札機通過人数を用いて、駅乗換人数を含む駅利用者数を推定する技術を開発した。さらに、この駅利用者数データを蓄積し、時系列の回帰曲線を作成することで、n 時間後の乗換人数を予測することも試みた。



2. 技術説明

モバイル GPS データと鉄道線形のマッチング処理により、鉄道利用者の乗車駅・乗換駅・降車駅を推定し、その結果を基に、駅毎の利用者人数を集計する。この時、モバイル GPS による改札出入人数は、実際の改札機通過人数と乖離が発生するため、補正処理を施す。今回、約 1 か月間のモバイル GPS データ等を用いて検証した。

次に、この結果を基に、n 時間後の駅利用者人数を予測した。蓄積された駅毎の改札出入り人数、JR 線乗換予測人数、私鉄線乗換予測人数を基に、時系列の回帰曲線を作成した。この曲線をモデルとして、予測対象日の乗換人数予測結果をプロットすると、モデル曲線との間に残差が発生する。この残差とモデル曲線から、1 時間後の乗換人数を予測した。



3. まとめ

本件では、乗換人数を含む駅利用者人数を予測、可視化する手法を開発し、約 1 か月間のデータを基に検証を行った。

今後は、これらのデータ活用に向けて、調査計画業務との連携、またユーザへの情報提供するためのアプリ連携を検討していく。

6. コラム（インドアポジショニング関連技術等）

テーマ 1：

交通ビッグデータを活用した徒歩圏交通流動推計（遠藤和重 国際連合地域開発センター）

1. 交通ビッグデータの比較及び選定

近年の ICT の進展に伴い、交通系 IC カード、Wi-Fi、携帯電話網の運用データなど交通ビッグデータを活用することにより、任意の期間や時間帯での人の滞在や移動する実態を分析する手法が多数提案されている。本研究では、交通ビッグデータについて、得られるデータ項目、データ量及び入手の容易性などの項目を比較した（表-1）。その結果、徒歩圏における交通流動を把握するため、連続した人の動き及び歩行者を対象とした流動を把握できるデータとして、データ取得の容易さの観点から、Wi-Fi を選定した。また、対象圏域の滞在人数を最も多くカバーしている携帯電話基地局の運用データを選定した。

表-1 人の動きを把握することが可能と考えられる交通ビッグデータ

種類	得られる情報	属性	行動目的	位置	連続した動き	時刻	対象となる交通手段			感情	周辺の状況	データ収集・入手	データ量
							公共交通	車	歩行者				
交通系ICカード	サービス利用者の電車およびバス等の乗降履歴	○	×	○	○	○	○	×	×	×	×	難	中
自動車のプローブデータ	サービス利用者の挙動履歴	×	×	○	○	○	×	○	×	×	×	難	中
Wi-Fi	接続エリア内の端末数	×	×	○	○	○	○	○	○	×	×	易	中
スマートフォンのGPSデータ	利用者の位置情報	×	×	○	○	○	○	○	○	×	×	易	小
SNS (Twitter)	主観的な意見	×	△	△	×	○	△	△	△	△	×	易	大
携帯電話網の運用データ	携帯電話の通信記録	○	×	○	×	○	○	○	○	×	×	易	大

凡例 ○:取得可 △:一部取得可 ×:取得不可

人口分布統計は、携帯電話基地局の運用データに基づき、500m メッシュ毎、1 時間毎の性、年齢、階層、及び居住地別の滞留人口が集計されている。Wi-Fi パケットセンサ（図-1）は、センサから約 100m～200m 圏内で Wi-Fi が有効になっている電子機器から時刻及び匿名化された固有の識別番号などを取得できる。

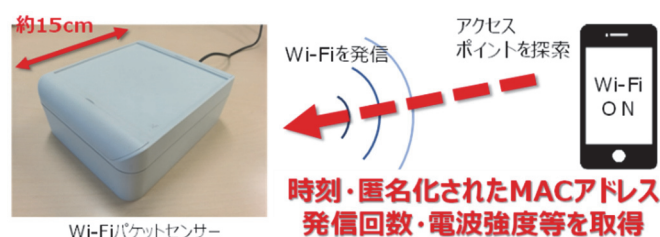


図-1 Wi-Fi パケットセンサ及びデータの収集イメージ

2. 徒歩圏交通流動の推計手法

選定されたビッグデータを用いて、交通流動量及びその移動手段を推定する手法を考案する。また、実フィールドにおいてケーススタディを実施し、考案手法の有用性を検証する。分析フロー（図-2）に示すとおり、交通流動量は、特定の地点における流出入口を算出し(b)，2地点間の移動分担率（以下、「流動係数」とする）を掛け合わせることで(a)，2地点間の流動量を推定したものである。さらに、2地点間の移動時間を算出・集計し、各地点間の移動手段毎の最短の移動時間に基づき、地点間毎の移動手段分担率を算出する(c)。そして、2地点間の流動量に移動手段別分担率を掛け合わせる(d)。本手法は、既存の統計調査で把握できない短距離移動を簡易的に計測・集計をすることで、様々な条件下で常時推定できる点が特徴と言える。

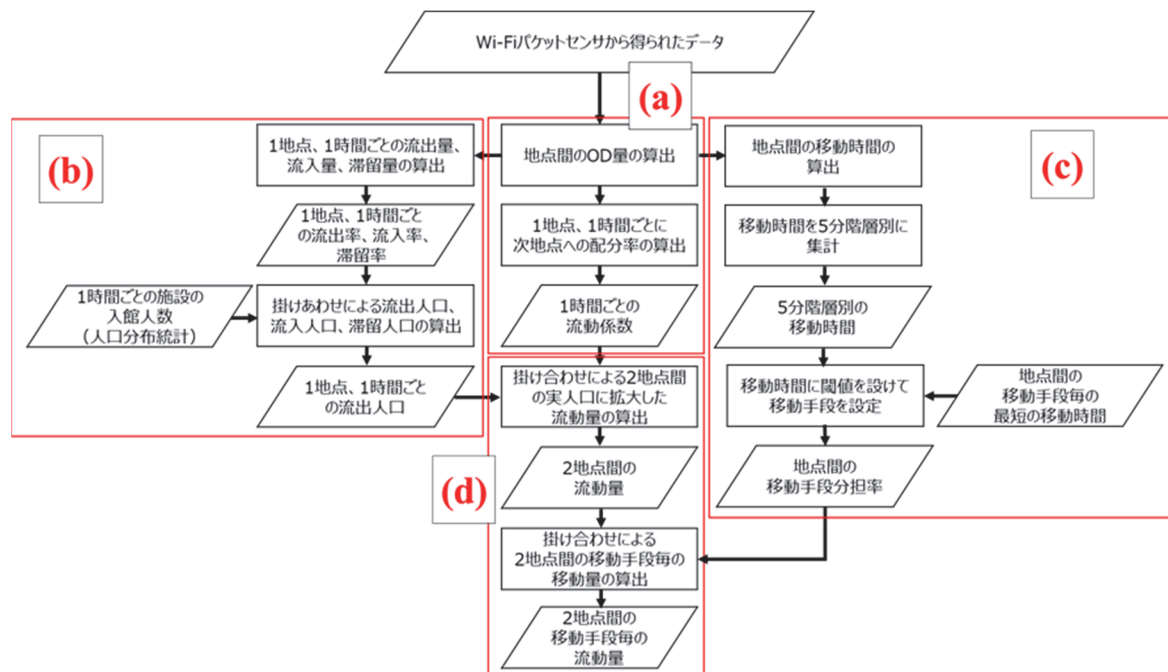


図-2 考案手法のフロー

3. 立川駅周辺におけるケーススタディ

東京都立川市において考案手法を適用し、有用性を検証した。立川市中心部である立川駅周辺は、現在も都市整備が進められている。駅から1km圏に国営公園、2km圏に大規模商業施設が多数立地しており、遠方からの来街者も多い。地形は平坦であり、徒歩や自転車による移動も容易であることが特徴であると言える。



図-3 Wi-Fi パケットセンサの計測地点

本ケーススタディでは、2018年9月1日(土)に Wi-Fi パケットセンサを用いて、商業施設や交通結節点など 11 地点（図-3）で観測実験を実施した。実験により得られたデータ及び当該エリアの人口分布統計を用いて、1 時間ごとの地点間流動量（表-2）および移動手段毎の流動量（表-3）を推定した。推定した流動量は、Wi-Fi パケットによる観測地点の商店主など関係者へのヒヤリングにより検証した。実際の交通流動の傾向や、ららぽーとや IKEA など主要地点で推計した時間毎の流動量は、商店主らが日常観察している実態を再現できていることを確認した。交通ビッグデータを用いて短距離移動の実態を把握する手法が確立できた。本推計手法の汎用性の確認のため、海外を含む他の都市においてもケーススタディを行うとともに、移動目的や交通手段などより詳細な移動実態を把握する手法の研究に取り組む予定である。

表-2 地点間ごとの 1 時間ごとの流動量の一部（10 時台）

発 \ 着	立川駅	立川北駅	高松駅	IKEA立川	ららぽーと立川立飛 (1F)	ららぽーと立川立飛 (2F)	昭和記念公園立川口	昭和記念公園西立川口	サンサンロード	緑町公園	曙町 2 丁目交差点	合計
立川駅		427.3	48.9	187.9	164.7	131.3	79.8	12.9	319.2	33.5	218.8	1,624.1
立川北駅	186.0		103.5	53.7	42.2	80.5	51.8	1.9	651.9	17.3	24.9	1,213.6
高松駅	14.7	39.9		27.0	23.3	20.9	1.8	0.6	28.2	23.9	8.6	189.1
IKEA立川	23.3	11.0	18.4		28.2	20.8	23.9	3.7	27.6	112.1	6.7	275.6
ららぽーと立川立飛 (1F)	26.0	11.7	10.9	21.8		106.5	7.5	0.0	21.0	4.2	5.9	215.6
ららぽーと立川立飛 (2F)	13.3	8.0	11.6	20.5	136.2		1.8	1.8	6.2	1.8	7.1	208.2
昭和記念公園立川口	31.8	19.1	14.8	53.0	15.9	9.5		11.7	52.0	8.5	6.4	222.7
昭和記念公園西立川口	25.5	17.0	0.0	17.0	17.0	17.0	25.5		17.0	0.0	0.0	135.8
サンサンロード	182.0	274.1	54.4	83.7	25.1	54.4	43.9	0.0		71.1	71.1	859.9
緑町公園	2.4	4.9	16.4	395.8	4.2	1.8	0.0	12.1			3.6	443.1
曙町 2 丁目交差点	493.5	59.8	15.0	127.1	44.9	67.3	52.3	7.5	179.4	112.2		1,158.9
合計	998.5	872.7	293.9	987.4	501.7	510.0	290.2	40.0	1,314.5	384.5	353.2	6,546.6

表-3 地点間ごとの1時間ごとの流動量の一部（10時台）

起点	終点	移動時間	移動手段	移動量(名)							
				10時	11時	12時	13時	14時	15時	16時	17時
(A) 立川駅	(C) 高松駅	5～9分	自転車	9	7	4	5	5	6	5	4
		10～14分	自転車or徒歩	9	7	4	5	5	6	5	4
		15～19分	徒歩	4	4	2	2	2	3	3	2
	(G) 昭和記念公園 立川口	0～4分	自転車	7	3	1	2	1	0	0	0
		10～14分	徒歩	9	4	2	2	1	0	0	0
		15～19分	周遊	18	8	3	4	2	0	0	0
		20～24分									
	(D) ららぽーと 立川立飛(1F)	0～4分	車	28	30	19	26	24	24	27	15
		20～24分	徒歩	22	23	15	20	18	19	20	12
		55～59分	周遊	22	23	15	20	18	19	20	12
	(E) IKEA立川	0～4分	自転車	32	38	27	32	24	23	20	23
		5～9分	自転車or徒歩	24	28	20	24	18	17	15	17
		10～14分	徒歩	27	32	23	27	21	20	17	20

（出典）

Kazushige ENDO, Ryuichi IMAI, Takato UEHARA, and Yosuke HINO : Estimation of Trip Behaviors in Walking Areas Using Big Data, International Conference on Transport and Development, ASCE, 2020.8.

上原渉豊, 今井龍一, 日野陽介, 櫻井淳, 遠藤和重 : 駅勢圏における Wi-Fi パケットセンサを用いた移動手段の推定に関する考察, 第 46 回土木学会関東支部技術研究発表会, 土木学会, Vol.46, No.IV-43, 2019.3.

日野陽介, 今井龍一, 上原渉豊, 櫻井淳, 遠藤和重 : 短トリップ中心の駅勢圏における交通流動分析に関する基礎的研究, 第 46 回土木学会関東支部技術研究発表会, 土木学会, Vol.46, No.IV-55, 2019.3.

テーマ 2 :

若手職員から見た屋内測位について（中村隆史 三井住友建設（株））

私は、建設施工会社に勤めて新卒 4 年目にあたり、現在、ICT 技術に関わる研究開発業務に携わっている。建設施工現場の現場経験は乏しいながらも、我々の世代からの目線にも着目しつつ、建設現場の効率化に向けた取り組みにおける屋内測位の重要性について報告させていいただく。

我々の世代では、幼少期からパソコンに触れる機会が多く、学生時にはスマートフォンを使用していたため、「デジタルネイティブ」と称されることがある。「デジタルネイティブ」とは、概ね 1990 年代以降に生まれ、インターネットや SNS を日常的に活用してきた世代のことを指す。また、幼少期からリアリティの高い映像のテレビゲームにも触れる機会も多かった。私自身もそういった体験を通じて、今後、建設現場の ICT 技術に関連するような機能は、テレビゲームで体験したイメージに類似している部分があると感じている。

例えば、一人称視点のテレビゲームでは、バーチャル空間のフィールドマップが画面上に表示されており、自分の位置やその他のプレイヤー、アイテムの位置などがマップ上から把握できる。そのため、テレビゲームでは、フィールドマップを駆使し、他のプレイヤーと通話やチャット機能を活用し連携を図るといった体験をしている。建設現場の作業でも、従業員間で随時コミュニケーションして連携を図るといったことや、重機の稼働位置や搬入出の経路確認等で施工ヤードのマップを日々確認しているといった面では、一人称視点のテレビゲームに通ずるところがあると感じている。昨今、建設現場でも建設現場全体のマップをタブレットやパソコン上に表示し、従業員や重機、資機材等の位置をリアルタイムに把握するといった取り組みが進められている。今後、作業状況を確認する機能に加えて、テレビゲームの様に、ディスプレイ上でチャットやビデオ通話が可能になれば、従業員間のやり取りや確認作業がスムーズに行え、伝達ミスや確認不足による作業の手戻りも軽減されるのではないかと考える。

また、建物を造ったり、家具を設置したりする類のテレビゲームでは、画面上に設置したいパーツが半透明に映し出されて、パーツの位置決めができるようなものがある。このような機能から想像を膨らますと、建設現場でも、ディスプレイ上に設置したい部材を半透明に映し出すことで、細かく図面や作業手順を確認せずとも、次々に部材を設置することが可能になるといった未来も実現できるのではと考えている。

しかし、このような技術を実現するためには、従業員や重機の位置を絶えず特定する必要があるが、建設現場では、トンネル坑内や地下空間といった電波が入らない場所も含めて、あらゆる環境下で、屋内外問わず位置情報を取得する測位技術が必要となる。現在の屋内測位技術では、精度やコスト、運用方法などの課題が見えてきており、屋内外を統一的かつ効果的に測位する技術を実現するには至っていないと認識している。しかし、昨今、数多くの屋内測位技術がリリースされており、部分的な利用シーンでは屋内測位が実現されている。

今後、更なる技術発展を経て、汎用性の高い屋内測位技術が確立されれば、テレビゲームにあるような機能も実現できるのでは期待を膨らませている。

今後、建設業を担う若手社員の多くが「デジタルネイティブ」の世代となる。「デジタルネイティブ」の世代は、対面でのコミュニケーションが苦手で、他の世代と価値観のズレがあるといった側面があるとも言われているが、ICT 技術の感度が鋭敏で、新しいアイデアを生み出すことにも長けているとも言われている。IT リテラシーの関心が高い我々の世代も主体となり、時にはテレビゲームのような遊び心を持ちつつ、屋内測位技術の構築に向けて邁進できればと感じている。

テーマ 3 :

高齢化社会での測位技術の活用

(高田知典 高田技術経営コンサルタント／(一社)健康長寿支援センター)

1. 私と高齢者問題の出会い

少子高齢化は世界的な社会問題となり特に日本では、65 歳以上の高齢者の人口は 3640 万人で総人口に占める割合は 29.1%となっています。「85 歳以上の 3 人に一人が認知症」、「歩く速度が遅いと余寿命が短い」、「高齢者の一人暮らしが 2 割を超える」、「過去最高の空き家率 13.6%」など刺激的なフレーズが超高齢化社会の到来を象徴しています。平均寿命と健康寿命の間には、男性で約 9 年、女性で約 13 年の差があります。

一方で、世界保健機構(WHO)は、65 歳以上を「高齢者」と定めていますが、日本老年学会では、75 歳以上が当時の 65 歳以上に匹敵するぐらい若返っていることを踏まえ、高齢者の定義を見直す提言も行われています。「老い」は遠い存在で、頭の片隅にも「高齢者」の 3 文字が身近に感じることはない私でした。

私が高齢者問題に携わるきっかけは、東京都健康長寿医療センター研究所の研究部長として転任してきた友人を訪ねたのが最初です。研究所は、高齢者（特に都市高齢者）の健康寿命増進、介護予防のための様々な研究を行う病院を併設したアジアで最初の高齢者専門の研究所です。最近では、「養育院」としてテレビでこの名前をお聞きになった方もたくさんおられると思います。研究所は、認知症、栄養（食・口腔機能など）、社会参加（就労、余暇活動、ボランティアなど）、運動機能（歩行速度、歩幅、筋力など）の「健康増進のための四つの視点」で多様な研究を進めています。

このような研究所の取組みに触れ、研究所と企業を結ぶ「場」として「一般社団法人 健康長寿支援センター」を立ち上げ、社団では研究所で開発された「お達者健診 PLUS®」の普及を目指しています。

2. 高齢者のフレイル

高齢者問題=介護（寝たきり）とすぐ結びつけるのは早計です。特に高齢を迎える私たち（働き世代も含めて）にとって、「老い」を恐れず、健康寿命を如何に延ばすか、生き生きとした時間をより長く過ごし、いわゆるピンピンコロリを目指したいものです。そのためには、自分自身の状況を知り（健診）、症状やその対策を知ること、防ぐことができることを知るべきと実感しました。最近特に、「フレイル」という言葉を耳にされることはないでしょうか？ フレイルとは、わかりやすく言えば「加齢により心身が老い衰えた状態」のことです。しかし、フレイルは早く介入して対策を行えば元の健常な状態に戻る可能性があります。高齢者のフレイルは、生活の質を落とすだけでなく、さまざまな合併症も引き起こす危険があります。高齢者の日常生活機能の低下、健康寿命の減少につながるフレイル、サルコペニア（加齢による筋肉量の減少および筋力の低下）は歩行速度の低下が大きく関与しています。参考までに、日本版フレイル基準（J-CHS）をご紹介します。

<項目>

<評価基準>

- ・ 体重減少 6 か月で、2 kg以上の（意図しない）体重減少
- ・ 筋力低下 握力：男性<28 kg，女性<18 kg
- ・ 疲労感 （ここ 2 週間）わけもなく疲れたような感じがする
- ・ 歩行速度 通常歩行速度<1.0m/秒
- ・ 身体活動 ①軽い運動・体操をしていますか？
②定期的な運動・スポーツをしていますか？
上記の 2 つのいずれも「週に 1 回もしていない」と回答

※5 つの評価基準のうち、3 項目以上に該当するものをフレイル (Frail)，1 項目または 2 項目に該当するものをプレフレイル (Prefrail)，いずれも該当しないものを健常 (Robust) とする。

3. お達者健診 PLUS®のベースは「お達者健診」

「お達者健診 PLUS®」は 2004 年に東京都老人総合研究所（現地方独立行政法人東京都健康長寿医療センターの前身）が考案した「お達者健診」の検査内容を絞り込み、短時間で気軽に受診できるように考案された介護予防のための健康診断です。

「お達者健診」は老年症候群（認知症，高齢による衰弱，関節疾患，骨折・転倒等）をいち早く発見し，適切な対応を講じることにより，元気でイキイキした生活を維持するための新しい健診システムとして 2004 年から今日に至るまで板橋区の九つの地域の住民を対象に 10 数年の長きにわたり実施され，その結果分析により判明した数々の研究結果が学会等で発表されています。「お達者健診 PLUS®」は，高齢化社会と共に増加する老年症候群に対してより多くの高齢者が関心を持ち，不健康状態を遠ざける生活に目を向けて頂くために検査内容を運動機能検査，口腔機能検査，認知機能検査に絞り込み，広く世の中に普及させていくために開発された簡易版の「お達者健診」です。

「お達者健診 PLUS®」はフレイルや認知症の原因となる骨や関節，筋肉の衰退や認知症をいち早く発見するために，どういう検査で体のどの部分の機能の低下を測定したら良いか，東京都健康長寿医療センター研究所が長年の研究によって辿り着いた検査項目の中で重要度が高く，簡便に出来る項目で構成されています。

詳細は，<https://otassyaplus.localinfo.jp/pages/2882062/otassyaplus> を参照ください。

<検査項目>

- ①身体測定 身長測定，体重測定 ※既存データがある場合は省略
- ②運動機能検査 通常歩行速度，最大歩行速度，握力，Time Up & Go，開眼片足立ち
- ③口腔機能検査 咀嚼力検査，オーラルディアドコキシネス（口腔の巧緻性評価）
- ④認知症検査 順唱テスト，逆唱テスト，もの記憶テスト，ストループテスト，遠隔記憶テスト

4. 高齢者の歩行モニタリング

高齢者を対象とした移動手段に関するアンケート（健康長寿支援センター）では、三分の一の方が「徒歩」と回答され、「自力で」行動されていることがわかりました。

人間の歩行速度は 40 代から低下し始め毎年約 0.8m/分～0.9m/分下がること分かっていますが、急激に低下しないため、殆どの方が自覚できません。しかし、歩行速度の低下は筋肉や関節・骨の機能低下に繋がり、その結果、転倒や骨折の危険性が増し、要介護状態、しいては寝たきりということになります。骨を刺激し筋肉を鍛えると高齢になっても骨が強くなり筋力がつくということが実証されています。自分の歩行速度を測り、自身の歩行速度を知り、意識して毎日早く歩くことが、健康寿命の延伸に役立ちます。

高齢者のケアと QOL(生活の質)の向上のための高齢者を対象とした ICT を活用したさまざまな研究やシステム開発が進んでいます。主に在宅高齢者の健康状態の把握（健康増進）、徘徊老人や認知症高齢者の保護／探査するシステム、転倒検知システム、施設内ガイダンスシステム、歩行速度健康促進アプリ、高齢者の介護のためのロボットなどの研究・開発があげられます。高齢者の行動モニタリングや歩行モニタリング（歩数、歩幅、歩行速度、重心などの測定）が着目され、健康維持、フレイル予防のための研究も進んでいます（表-1）。フレイルの把握には歩行速度が特に注目されています。こうした技術が成立する要素の一つとして、高齢者の位置や動きを把握するための高精度で安定した測位技術が欠かせないと言えます。しかし、室内での測位はまだまだ技術が確立されているとは言えない現状です。GPS を使った高齢者の行動把握システムが多く開発されていますが、様々な施設で広範囲に屋内・屋外をシームレスに使用できるシステムの開発には至ってはいません。

表-1 高齢者を対象とした歩行モニタリングシステムの例

分 類	名 称	内 容	主な測位技術	備 考／引用
TUG歩行テスト	5m歩行テスト 「Timed Up & Go Test」	椅子から立ち上がり、3m先の目印（コーン）を回って、再び椅子に座るまでの時間を測定する。0m地点は椅子の前脚とし、3m地点はコーンの中心。一連の動作を「通常の歩行速度」と「最大の歩行速度」で1回ずつ(計2回)行う。 TUGテストでわかることは、起立・着座能力、直線歩行能力、方向転換能力、所要時間、歩数等です。	手動計測 (ストップウォッチ)	・ストップウォッチを使って計測するため、誤差が生じる。 ・測定補助員が必要で時間がかかる。 ・長距離、広範囲の移動計測ができない。
健康促進／ フレイル予測	歩行速度健康促進アプリ	日常生活歩行速度によるフレイルの予測を行う。自分の位置情報をアプリに登録すると、歩行速度が自動で測定され、健康状態がチェックできる仕組み。	スマートフォン内蔵GPS	・東京都健康長寿医療センター 研究所 NEWS NO.301 ・株式会社InfoDeliver
	認知症予防アプリ	歩行速度を継続的に測定し、スマートフォンで歩行速度の変化を測定し、認知症、MCI（軽度認知障害）の発症リスクを通知するスマートフォンアプリ。	スマートフォン内蔵GPS	・東京都健康長寿医療センター 研究所 ・太陽生命保険株式会社 https://info.ninchisho.net/archives/30845
リハビリ／ 歩行姿勢分析	歩行を分析するインソール	センサ搭載インソールを靴に入れて、詳細な歩行状態を収集・分析できる「歩行センシング・ウェルネスソリューション」。センサで収集した歩容データから足圧中心移動指数や拇趾関節の歪み(第一中足骨関節角度)といった足の健康状態を示す指標を推定する独自の歩容分析AI技術を開発。	・測位はできない ・圧力センサ	・ NEC
	歩行姿勢測定システム	3Dセンサに向かって歩くだけで、「歩行速度」「歩幅」「胸腰部の上下動」「足の上がり角度」等の36項目を数値で表示し、身体全体の歩行姿勢を年齢と性別に応じた基準で点数化できるシステム。	・距離画像センサ	・ NEC https://www.nec-solutioninnovators.co.jp/sl/walkingform/index.html
	AYUMIEYE	3軸加速度センサーモジュールとiPad (iPhone) 専用アプリを用いて、歩行時の加速データに基づき歩行機能を「推進力」「バランス」「リズム」の3点から分析するデバイス。腰に専用ベルトを用いて装着し、10m歩くだけで評価を行う。	加速度センサ iPad (iPhone)	・早稲田エルダリーヘルス事業団が開発 ・専用の計測機器が必要 ・長距離・広範囲の移動計測ができない https://www.ayumieye.com/
その他	歩行者向けアプリ 「ジャバンスマートナビ」	屋内空間各所に設置した「ビーコン」、Wi-Fi 等からの信号と新たに整備した「屋内電子地図」などの「空間情報インフラ」を活用し、現在位置から目的地までナビゲーションするサービス。東京駅などで実証実験を実施。	・ビーコン ・Wi-Fi	・国土交通省 https://qzss.go.jp/info/archive/mlit_smartnavi_161206.html

5. 高齢化社会での測位技術の利用場面

高齢化が進む社会では、「人」のモニタリング技術は欠かせないものとなります。

測位技術は、センシング、通信、コミュニケーションツールと組み合わせることで、・アクセスビリティの向上、・運動／歩行モニタリング、・サービス向上など、様々な利用場面での活用が考えられます。

・アクセスビリティの向上：買物、通院、介護サービスを利用するには、移動時の道路、交通、環境など社会インフラのアクセシビリティ（利用者が機器やサービスを円滑に利用できる）が求められます。国土交通省が取り組む「次世代移動サービス MaaS」は、鉄道やバスだけでなく、タクシー、シェアサイクル、カーシェア、ライドシェアなど、自動運転支援を含むありとあらゆる交通手段を対象とし、高齢者の自宅から目的地までの Door to Door の移動がスムーズかつ安価にできることを目的としています。高齢者にとっては、目的地までの最後のラストワンマイル（ハーフマイル？）や施設内で安全に利便性良く「歩ける」ことが安心感に繋がります。そこで、移動手段だけでなく、「安全な歩行ルートの提供」、「車イスナビ」、「災害時や緊急時の誘導」など、歩行を支援する社会インフラサービスについても検討していただきたいと思います。

・運動・歩行モニタリング：歩行モニタリングは前述のとおり、・フレイル予防、QOL 向上、・認知症予防、・徘徊／認知症高齢者の見守り、・アクティブシニアの健康維持などの効果が期待されます。ウォーキング、ランニング、トレッキングに関するあらたなビジネスも見えてくるかもしれません。

・サービス向上：介護／リハビリロボットの安全性の向上、介護従事者の行動履歴・作業履歴を細かく正確に把握することで介護や就業記録の作成などの作業を効率化することもできます。健常者にとっても施設の利用サービスや観光案内などのサービスの向上にも繋がります。

6. おわりに

屋内、屋外、屋内外のシームレスな測位は、様々な場面での利用が期待されますが、今後、技術の成立性に加え、高精度化、高速化、低価格化が望まれます。使うことのメリットが分かり易く、楽しく使ってみようと思うこと、安心感があるなど、高齢者特有の思いもありますのできめ細かい配慮が必要だと思えます。

フレイルによる介護や引きこもりなど高齢化問題は、医療費や介護費用の増大につながるだけでなく、消費活動の減退にも繋がります。こういった状況をいたずらにネガティブにとらえるのではなく、高齢者が生き生き暮らすことができる社会のあり方についても考えることは明るい未来を実現する一助になると考えます。

超高齢化社会になって、医療・健康分野の門外漢である土木技術者の一人として何ができるか楽しく考えてみたいと思います。ベテラン技術者に限らずエンジニアの皆さん、一緒に考えていきましょう。

テーマ 4 :

光学振動解析技術による橋梁支承の機能評価（藤原博 （株）川金コアテック）

1. まえがき

道路法施行規則の一部を改正する省令（平成 26 年国土交通省令第 39 号）が公布され、道路橋の点検は近接目視により 5 年に 1 回の頻度を基本とし、その健全性については 4 段階に区分することになった。

道路橋の定期点検は、「道路橋定期点検要領」（平成 26 年 6 月）に基づいて行われていたが、定期点検が一巡した平成 31 年 2 月に同要領が改訂され、法令運用上の留意事項として、「定期点検を行う者は、健全性の診断の根拠となる道路橋の現在の状態を、近接目視により把握するか、または、自らの近接目視によるときと同等の健全性の診断を行うことができる情報が得られると判断した方法により把握しなければならない」と追記され、近接目視にかわる新技術が適用できるようになった。

平成 31 年 2 月に示された「新技術利用のガイドライン（案）」では、「業務委託等により定期点検を実施する際に点検支援技術を活用する場合において、発注者及び受注者双方が使用する技術について確認するプロセスや、受注者から協議する「点検支援技術使用計画」を発注者が承諾する際の確認すべき留意点等を参考として示し、定期点検への新技術の積極的な活用を図るため、点検に活用可能な技術について、その性能値等を取りまとめた「点検支援技術性能カタログ」を策定している。この「点検支援技術性能カタログ」では、点検に関する新技術が掲載されており、知識と技能を有する技術者が、定期点検を行う際に点検支援技術の利用を検討するにあたって、機器等の特性を比較整理することができるようになった。

2. 橋梁支承の機能と重要性

橋梁の支承は、橋梁の上下部構造間の荷重を確実に伝達する機能と、上部構造の伸縮・変形による上部構造と下部構造の相対変位に追従する機能が求められる。橋梁の支承近傍は、橋梁自体の死荷重や車両による活荷重を集中的に受けることから、橋梁を構成する部材の中でもっとも厳しい荷重集中点となっている。支承の機能が不全になると、主桁に疲労き裂が発生し、最悪の場合は落橋の危険性にもつながる。したがって、道路管理者としては、支承機能を健全に保持することが維持管理上の重要事項となっている。

一般的に、支承の点検は目視によって行われているが、支承機能が健全であるか否かは目視観察では判断できない。外観は健全でも移動・回転機能が不能である場合がある一方、外観は腐食しているが支承としての機能は十分な事例も数多く見られている。

図-1 は、同じ橋梁において鋼製支承の更新前と更新後の橋軸水平方向の変位を比較したものである。左の図は更新前の変位を示したもので、温度変化や車両の通行によって生じる橋梁上部構造の移動（変位）に支承がスムーズに追従していないことが分かる。このため、

支承上部の主桁には応力の集中による疲労き裂が発生していた。右の図は更新後の変位を示したものであるが、支承が橋梁上部構造の変位に良く追随していることが分かる。このように、支承が正常に機能していないと主桁に疲労き裂が発生し、最悪の場合は主桁の脆性破壊に発展することも危惧される。

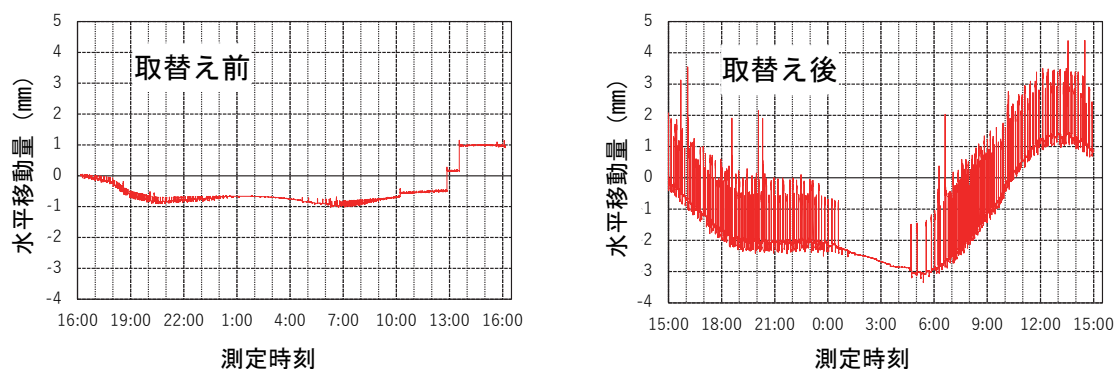


図-1 支承の取替え前と取替え後の橋軸方向水平変位の比較

支承の機能を定量的に診断する方法としては、変位計を設置し、少なくとも 24 時間程度は変位を計測する必要があるが、およそ 70 万橋あるとされている道路橋の支承をすべて計測することは現実的ではない。ここで紹介する「光学振動解析技術による橋梁支承の機能評価」は、短時間で支承機能が診断することができ、しかも非接触で遠方から計測できることから、熟練技術者と同等の支承点検技術として注目されている。

3. 光学振動解析技術による橋梁支承の機能診断

(1) 概要

光学振動計測は、図-2 に示すようにカメラで橋梁の支承上沓や主桁を動画撮影することにより、支承の動的挙動を計測し、定量的に支承機能の健全性を診断するものである。

(2) 計測原理^{1),2)}

計測する対象物表面の模様をカメラで動画撮影し、画面内の各点の動きを追跡して算出した動き分布を解析することで、3 次元方向の変位および回転量を算出する。以下、橋軸方向への可動域をもつ支承の上沓を、橋軸方向正面から撮影した場合を例に計測原理を説明する。

橋梁上を車両が通過する際、計測対象の表面（支承の上沓）がカメラの光軸方向に近づくように変位すると、カメラから計測対象の表面までの距離が短くなるため、動画内で対象物表面がわずかに拡大する。この時の拡大率を画像処理により算出し、拡大率と撮影距離からカメラの光軸方向の変位量を算出する。面内方向の変位量は、画面内の各点の動き分布からカメラの光軸方向の変位量成分を除去して平行移動成分を算出する。回転量については、画面内の各点の動き分布から光軸方向・平行移動方向のそれぞれの変位量成分による影響

を除去してから、どの程度回転したかを算出する。

以上の処理により、単眼カメラで計測対象の表面の 3 次元方向の変位および回転量を算出することが可能となる。支承部を直接撮影することが困難な場合には、支承に連結された近傍の部材（橋桁下フランジやウェブ）の変位や回転量を算出する。

自然模様のある被写体であれば、支承や橋桁などの被写体表面にマーカやメジャーなどの目印を設置する必要はない。計測精度としては、撮影距離 10m 以内の条件において、面内方向変位であれば計測対象表面での 1 画素相当量の約 1/15～1/30 程度、光軸方向変位であれば計測対象表面での 1 画素相当量の 1/3 程度、画面奥行き方向を軸とした回転角では 0.2 mrad 程度が可能である。例えば、0.75m 離れた位置から 300mm 四方の領域を撮影すると、水平および垂直変位は 0.01mm 単位で、奥行き方向の変位は 0.05mm 単位、桁の回転は 0.2mrad で毎秒 80 回の計測が可能となる。

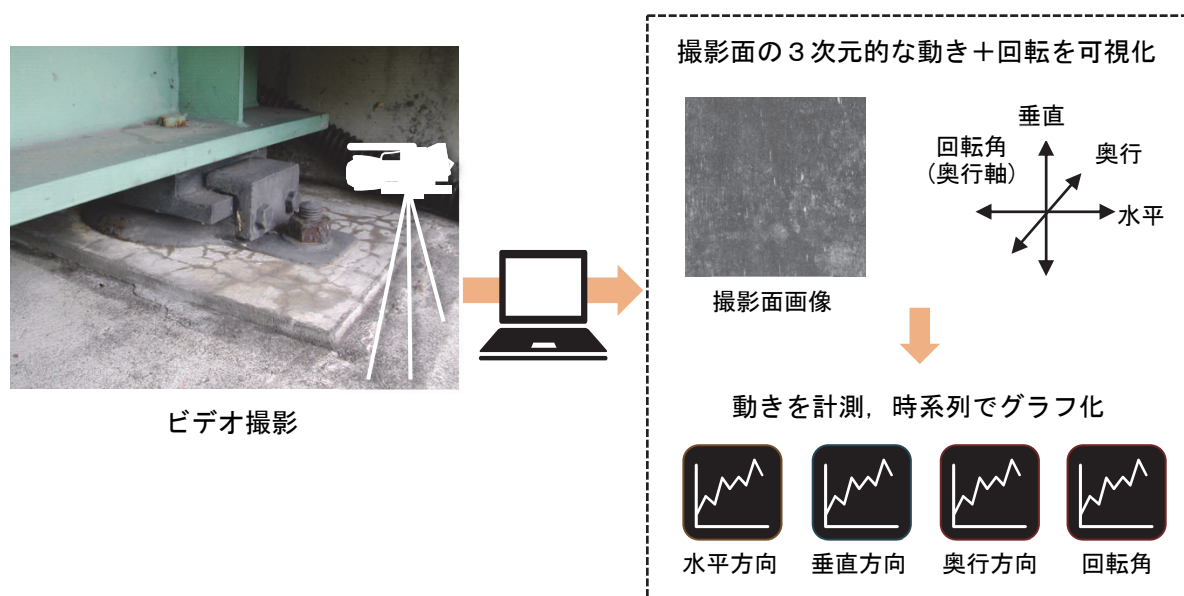


図-2 動画像の撮影および解析

(3) 光学振動計測に用いる機器と構成³⁾

光学振動計測に用いる機器類は、カメラとレンズによって構成される撮像部、解析用ソフトウェアをインストールした制御用 PC によって構成されたデータ収集・処理部、レーザ距離計に測距部から構成される。

(4) 光学振動解析結果と接触式変位計による計測値との比較³⁾

光学振動解析結果と接触式変位計による計測結果を比較した結果、例えば、橋軸方向の水平移動量は、接触式変位計の計測値が -1.41mm であったときに光学振動解析では、-1.27mm とほぼ同等の計測値であった。橋軸方向の回転角は光学振動計測では 0.43mrad の計測値が得られたが、接触式変位計では 0.46mrad が得られた。このように、光学振動解析技術によって支承の変位追従機能および回転追従機能の健全性の診断が可能となることが分かった。

4. 点検時に必要な点検情報の共有とインドアポジショニング技術の活用

支承を点検する際には、支承の設計図書や過去の点検・補修履歴が必要となる。しかし、これら多くの資料を点検時に持参することは点検者の負担になるばかりか点検の安全性に支障となっている。(社)日本支承協会では、支承に貼付した ucode タグ (QR コード) をスマートフォンやタブレットによって読み込み、クラウドから支承の点検・診断に必要な情報を読み取るシステム (インテリジェント支承) を提供している。(図-3)

提供される情報には、該当する支承に関する設計条件や設計図書の基本情報のほか、3Dで解説した支承点検マニュアルや点検のポイント、支承の基本的な知識、支承の尊攘事例と健全度診断方法が閲覧でき、管理者の要望によって管理者が制定している点検要領等が閲覧することができる。

支承は、通常、橋梁床版が覆われている位置に設置されているため、床版によって通信障害を生じる場合がある。そのため支承の位置情報などを精度よく把握することが困難な場合もあり、インドアポジショニング技術を活用することが必要となっている。

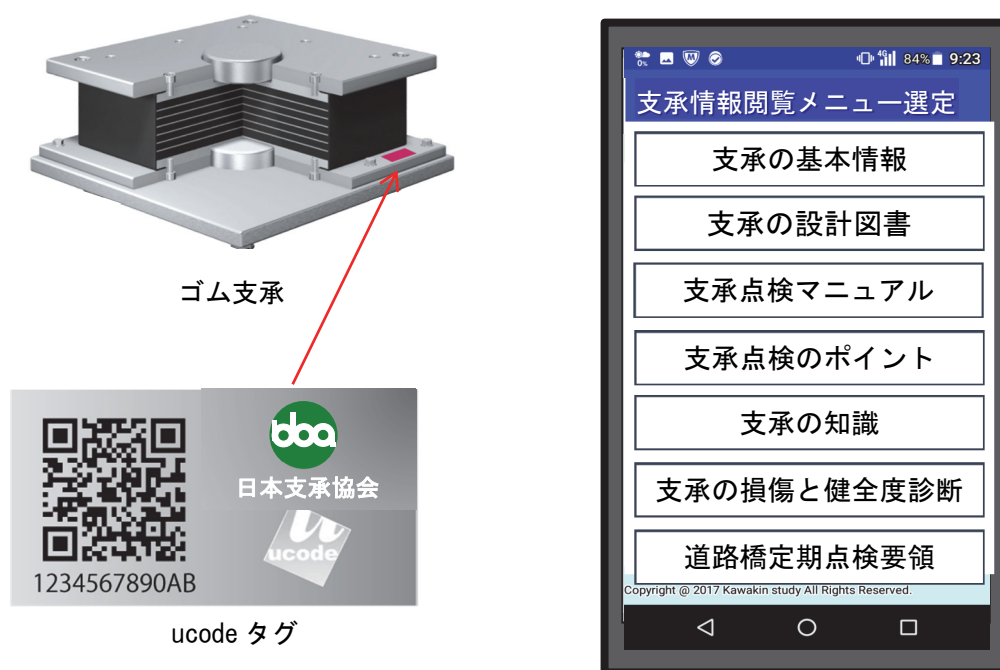


図-3 支承に貼付された code タグと点検情報の提供 (インテリジェント支承)

5. まとめ

光学振動解析技術による支承の機能評価について以下にてまとめる。

- ①光学振動解析技術では，橋軸方向変位，橋軸直角方向変位および回転角の計測が可能である。
- ②光学振動解析による計測結果は，通常の接触式変位計による計測結果とほぼ同等の計測結果が得られる。
- ③計測の準備に要する時間は，接触型変位計の約 1/4 程度に短縮することができる。
- ④足場を設置しなくても支承近傍の主桁下フランジ下面を計測することで，支承上巻の変位・回転角を推定できる可能性がある。
- ⑤インドアポジショニング技術の活用によって，支承の位置情報の把握が可能となる。

なお，光学振動解析技術は，既に国交省の中部・九州・四国の各地方整備局や，茨城県，川口市が所管するそれぞれの橋梁で使用されている。

参考文献

- 1) BR030003－V0020: 光学振動解析技術【動画像による支承の変位量・回転量の計測技術】，点検支援技術性能カタログ（案），国土交通省，令和 3 年 10 月
- 2) BR030009－V0020：光学振動解析技術【動画像による橋梁の活荷重たわみ・横揺れ・ひびわれ開閉量の計測技術】，点検支援技術性能カタログ（案），国土交通省，令和 3 年 10 月
- 3) CS9-15 動画像を用いた支承の動的挙動把握：土木学会全国大会第 75 回年次学術講演会，令和 2 年

テーマ 5 :

ランニングと位置情報について (村井重雄 西松建設 (株))

趣味でランニングを始めて 10 年以上となる。体調管理のためとはいえ、寒い日や体が重い日はやる気がそがれてしまい、持続するには忍耐力が必要である。モチベーションを維持するには、ランニングを楽しむことに徹することが重要であり、高機能ウェアやシューズを揃えることや音楽を聞きながら走るなど、様々なアイテムが整えられている。そのような中、モチベーションを維持するツールのひとつとして、ランニングの状況をリアルタイムに確認できる GPS 機能付きのランナーズウォッチ(またはランニング用スマホアプリ)がある。

GPS 機能付きのランナーズウォッチは、GPS で現在位置を取得し、時間と連動させて、走行距離、ペース、ピッチ、走行ルートのトラッキングなどの情報を表示することができる。日々のランニングでは、その日の体調を数値で確認でき、また、マラソン大会などのレースでは、事前に組み立てたラップタイムと比較しながら走ることができる。ストップウォッチ付きのランニング時計から、GPS 機能付きの時計に変え、自分の記録をリアルタイムに確認しながら走るようになってから、ランニングが一段と楽しくなったのを覚えている。

GPS 機能付きのランナーズウォッチでは、トンネルや橋梁の下など、GPS が働かない環境では走行距離が計測できない。このような場合、GPS の受信できない区間を直線でつなぎ、その距離を走ったものと想定して、走行履歴に加算し、GPS を受信できる区間から再度記録を取り始めるという仕組みが取られている。また、最新のランナーズウォッチには、屋内トレーニングでも走行距離が計測できる機能を有するものがある。GPS の不感区間において、ランニングデータの取得方法を GPS から加速度センサに切り替え、体の動きを検知して、距離、ペース、ピッチを記録する方式である。GPS が受信できる区間に入ると、自動的に GPS によるデータ取得に切り替わる。

山岳コースを走るトレイルランニングでは、ネット環境が悪く、コースマップが整備されていないという課題がある。このような利用環境において活用できるアプリが開発されている。予めルートデータを GPS ウォッチやスマホに取り込み、オフラインで使えるようにしたものである。ルートデータは専門会社が整備したものや、誰かが過去に走ったコースを取り込む方法があり、アプリ上では、現在位置に加えて、標高やアップダウンも表示される。コースをはずれてもすぐに確認できるので、山岳コースのランニングやハイキングなどで多用されている。

また、一度に数千人以上が参加するマラソン大会では、位置情報の取得に IC チップによるセンシング技術が利用されている。IC チップは 3cm 角くらいの大きさで、靴ひもに装着

するパッシブ型と、ゼッケンに装着するアクティブ型に分けられる。スタート地点、5km, 10km,・・・ゴール地点に IC チップ読み取り用のマットが敷設されており、その上をランナーが通過したときに、IC チップの ID 番号と時間を記録する。ID 番号はゼッケン番号と紐付けられているため、個人ごとのラップタイムやゴールタイム、順位が瞬時に計算される仕組みである。

この計測技術により、大会の主催者側は、参加人数、各距離の通過人数、ゴール人数、個人タイムを正確に集計できるため、それ以前に実施されていた人海戦術による時間や人数計測と比較すると、対比できないほど効率化された。また、参加者側は、ネット上からゼッケン番号を入力すると、各地点の通過タイム、ネットタイム（スタートラインを通過してからゴールラインを通過するまでの時間）、グロスタイム（スタート合図からの時間）、総合順位、年齢別順位など、すぐに自分の記録を確認できる。

さらに、上記技術を利用して知人を探し出す応援アプリが開発されている。数千人が走る大会で多くのランナーにまぎれて走る知人を見つけるのは至難の業である。このアプリでは、PC やタブレットでゼッケン番号を入力すると、そのランナーの計測地点の通過タイムと現在の推定位置情報を地図上で確認できる。推定位置は、通過タイムから算出したペースをもとに割り出されているので、途中でペースダウンした場合やリタイアした場合は表示した値と大きく異なるという課題もある。同時に 10 名程度の状況を見ることができ、グループで出場しているなど、数名を探すときには便利なツールである。

ここ数年でランニング用の位置情報取得技術が急速に進んできた。個人的には、時計タイプよりもウェアラブルグラスタイプが欲しいと思っている。自分専用のペースメーカーを AR で見ながら走ることのできる技術が、近い将来開発されることを望んでいる。

7. おわりに

本報告書は、「インドアポジショニング」という新しい技術分野の現状と動向について小委員会での調査・研究活動内容を基にまとめている。第2章では本研究におけるインドアポジショニングの定義を示し、用語集を掲載した。第3章ではインドアポジショニングの手法と特徴を整理している。手法を機器設置型、位置指紋型、非環境依存型の3つに分類し特徴を整理した。第4章はインドアポジショニングが求められる現場について、ニーズを調査・整理した。工事の施工管理、維持管理、安全向上を目的としたニーズ、業務支援、行動分析、インフラ管理を目的としたニーズに分けてまとめている。第5章は研究事例の紹介である。セーフティリマインダー、IMUによる自己位置・姿勢計測、画像型モバイルマッピングシステム、BLEを使用した屋内測位システム、SLAM技術、位置計測技術とAIの併用、GPSとIMESを利用した屋内外シームレス計測、モバイルGPSを活用した駅の人流把握などを紹介した。第6章はコラムとして、インドアポジショニングと関連しそうな技術紹介である。交通ビッグデータを活用した徒歩圏交通流動推計、若手職員から見た屋内測位、高齢化社会での測位技術の活用、光学振動解析技術による橋梁支承の機能評価とインドアポジショニング、ランニングと位置情報の記事を掲載した。

本報告書に示したようにインドアポジショニングを実現する方法として、多様な手法がシーズとして提案されている。しかしながら、決定的な手法はまだない。一方、土木分野におけるインドアポジショニングに対するニーズは近年高まっている。GNSSによって屋外では実現されたリアルタイムなセンチメートルレベルの高精度測位を屋内や高架下、地下、トンネルなどの空間でも使いたいというニーズである。屋内では未だに光学測量機でしかできない高精度なポジショニングをもっと簡便に行いたいというニーズが顕在化してきたのである。そして、本報告書に示したように、ニーズに対して新たなシーズを用いた取り組みがいくつか始まっている。このようにシーズとニーズの動向を注視すると、インドアポジショニングは「こんな技術が有ったらいいな」という願望のレベルから「この手法を使えばできるかもしれない」という研究開発レベルに差し掛かっているようにも見える。

インドアポジショニングの研究開発は緒に就いたばかりであり、今後大きく進展することが期待される。本報告書は、今後、技術の動向に合わせて改訂を続けて行く予定であるので、読者の方々から忌憚のないご意見を頂戴したいと考えている。末筆ながら、本報告書（案）の策定にあたりご協力を頂いた皆様に心より感謝申し上げる。

2022年3月

公益社団法人土木学会土木情報学委員会
インドアポジショニング小委員会
副委員長 佐田達典