

設備投資不要な高精度屋内測位技術

2026. 2.19

公立諏訪東京理科大学

工学部 機械電気工学科 センシング・アーキテクチャ研究室

教授 橋元 伸晃

研究背景、研究目的

研究背景 ～屋内測位の活用例～

- 現在、**屋内で簡易に**人やモノの位置を検出しデジタル化する手法が確立されていない
- 人やモノの**動線解析**による効率化や**シームレスな屋内外ナビゲーション**等への活用に期待

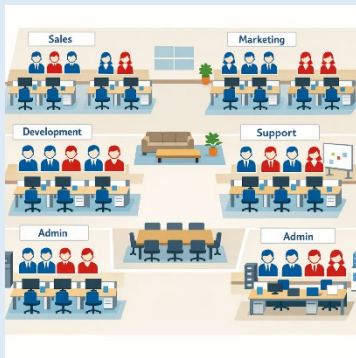
作業動線



商業施設内のナビゲーション



感染者と接触した社員の抽出



屋外と屋内を含む経路案内



図1 屋内の位置情報が望まれている事例

研究背景 ～屋内測位の現状と課題～

- デジタル化の基礎情報となる、時刻、位置を屋内で取得するための技術確立が必要
- Bluetooth(BLE)^[1], WiFi^[2]等の屋内測位方法が提案されているが、**屋内に多数のインフラの設置が必要**となり、市場での活用が進んでいない

屋内作業の効率化に向けて必要な情報

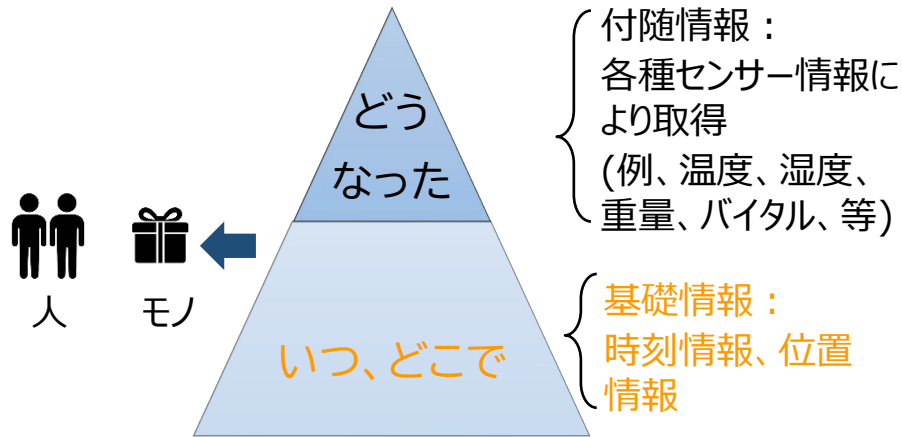


図2 基礎情報と付随情報の関係

DX化しAIの活用により、効率化が望まれているが、まずはセンシングによる可視化が必要

[1] G. Shipkovenski, T. Kalushkov, E. Petkov, and V. Angelov, "A Beacon-Based Indoor Positioning System for Location Tracking of Patients in a Hospital," International Congress on HORA, 2020.

屋内測位対応例

Bluetooth 5.1より屋内位置情報のプロフィールが追加

- Bluetooth AoD ビーコン
- AoDビーコンと位置関係等の追加情報を送信
 - AoD connectionless プロファイルを使用

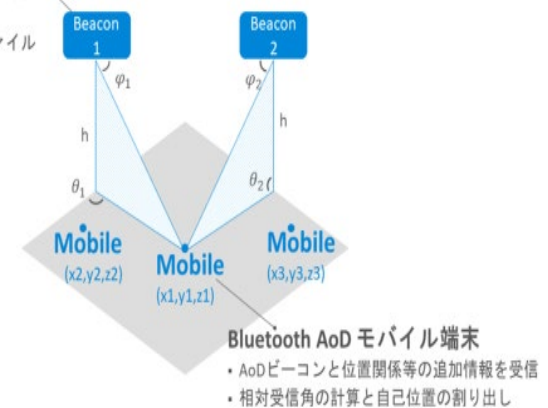


図3 Bluetoothによる屋内測位
屋内へ多数のインフラ設置が必要

[2] M. Sugasaki and M. Shimosaka, "Robustifying wi-fi localization by Between-Location data augmentation," IEEE Sens. J., vol. 22, no. 6, 5407–5416, March 2022. doi:10.1109/JSEN.2021.3106765.

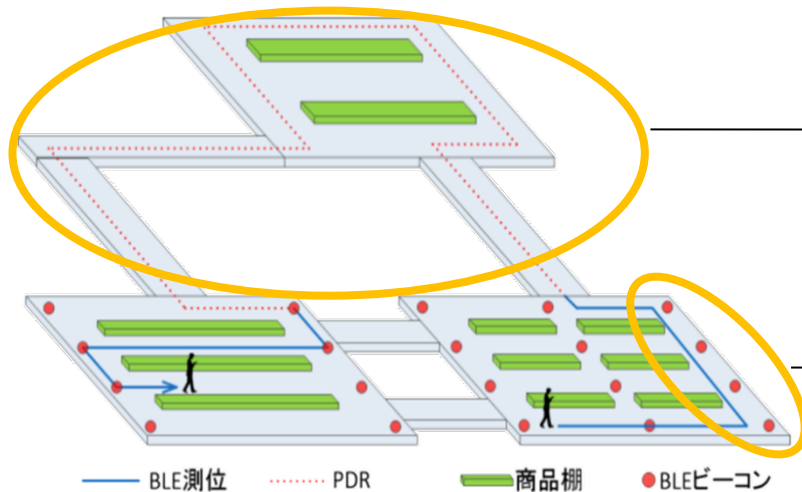
先行研究例1 | ハイブリッド型の平面座標検出手法

ビーコン測位等の単独の技術を用いた屋内測位手法では、設備投資の課題が大きいため、複数の技術を融合し、屋内への設備投資の抑制と位置検出精度を改善する研究

⇒ **ビーコン設置にかかる投資と累積誤差を抑制するための手法が必要**

BLE測位とPDRを融合した研究例※

既存研究の課題



端末のセンサーのみを用いた場合、**累積誤差の課題を解決できていない**

依然として**屋内になんらかのインフラ整備を整える必要がある**

図4.1 既存研究で実施された測位環境

- ビーコンが十分に設置可能な場所ではBLE測位を行う
- 直線通路など測位が容易な場所や、ビーコンの設置が難しい場所ではPDRを使用する

(PDR: pedestrian dead reckoning)

※ BLE測位およびPDRを用いたハイブリッド型屋内測位手法の提案
情報処理学会 第79回全国大会講演論文集, 巻1号, 2017 pp.325-326

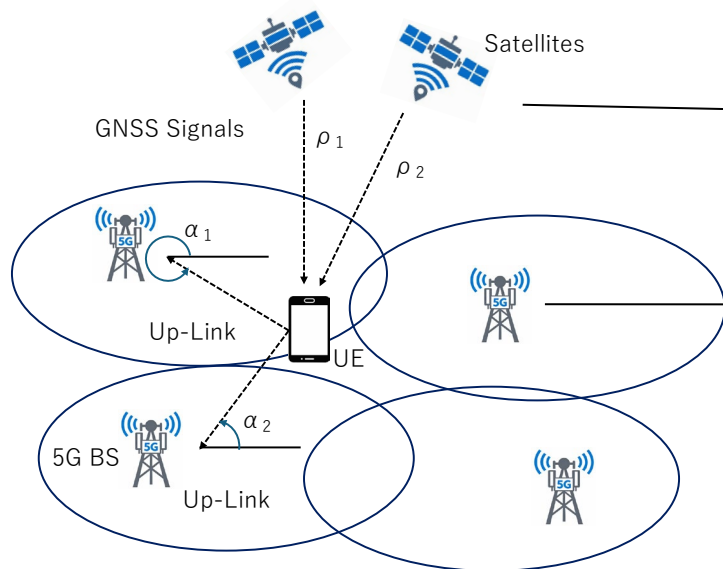
先行研究例2 | 複数基地局使用平面座標検出手法

GPSによるGNSS信号※による測位システムで、屋内などGNSS信号が利用困難な環境下においては、5Gが追加的な距離情報を提供することでGNSSを補完する「ハイブリッド測位」の研究
⇒測位精度が衛星配置および**基地局配置に大きく依存し安定した精度を確保することが困難**

※GNSS (Global Navigation Satellite System : 全球測位衛星システム)

5GとGNSSを融合した研究例※

既存研究の課題



複数基地局からの距離情報利用の場合、測位精度が衛星配置および基地局配置に大きく依存⇒**測位不可の場合が出てくる**

特に屋内環境ではGNSS情報がほぼ利用できなく、基地局配置依存が強まり、測位可能なエリアが限定

図4.2 GNSSと5Gのハイブリッド測位方式

屋内などGNSS信号が利用困難な環境下においては、5Gが追加的な距離情報を提供

※ Khan, S., Saeed, N., Alouini, M.-S., & Nasir, A. A. Positioning in 5G and 6G Networks—A Survey, Sensors, 2022.

本研究の目的

従来技術の課題を受けて、本研究では

- 現在 **5G通信**でまだ活用されていない、**基地局と端末の正確な距離を計測する機能(※PRS)**とスマートフォン等に標準搭載されている**汎用的なセンサー類**を活用し、**新たな屋内位置座標の同定手法を提案**
- 小型検出モジュールにより、提案する同定手法の有効性(誤差0.5m以内)の実証を行い、**設備投資不要な高精度屋内測位技術の可能性を示す**ことを目的とする

※PRS (Position Reference Signal)

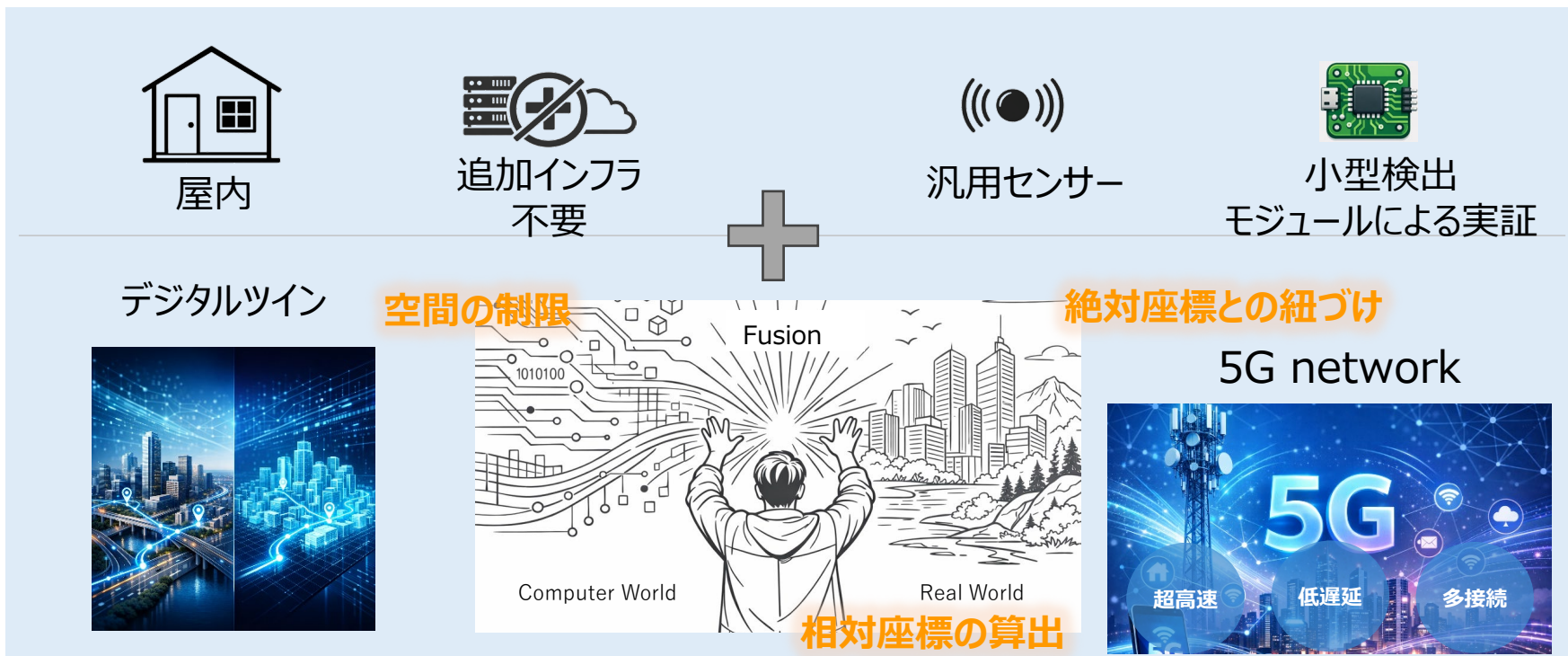


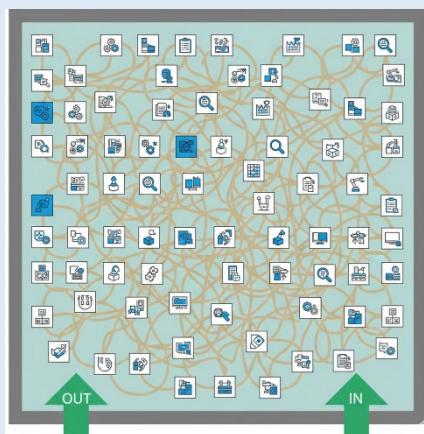
図5 本研究と技術動向との関連

本研究の達成効果

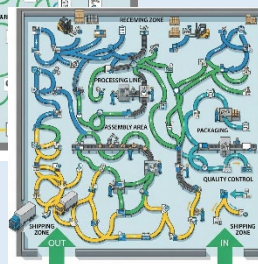
本研究成果が市場で広く活用されることで、人やモノのデジタル化による効率化や解析、屋外から大型商業施設内のナビゲーションまで繋ぐ経路案内等、**様々な応用が可能**となる

- **電源・通信配線、専属設備不要:工事中建設現場、既設建屋でも**端末のみ**で計測可能**
: **スマホの屋外GPS地図アプリの屋内版**としても使用可能

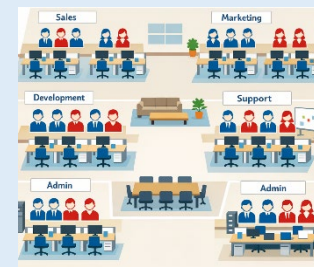
工場内の人・モノの動線可視化



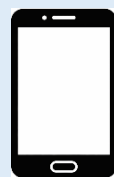
作業動線の解析
と最適化



感染者と接触した社員の抽出



商業施設内のナビゲーション



屋外と屋内を含む経路案内



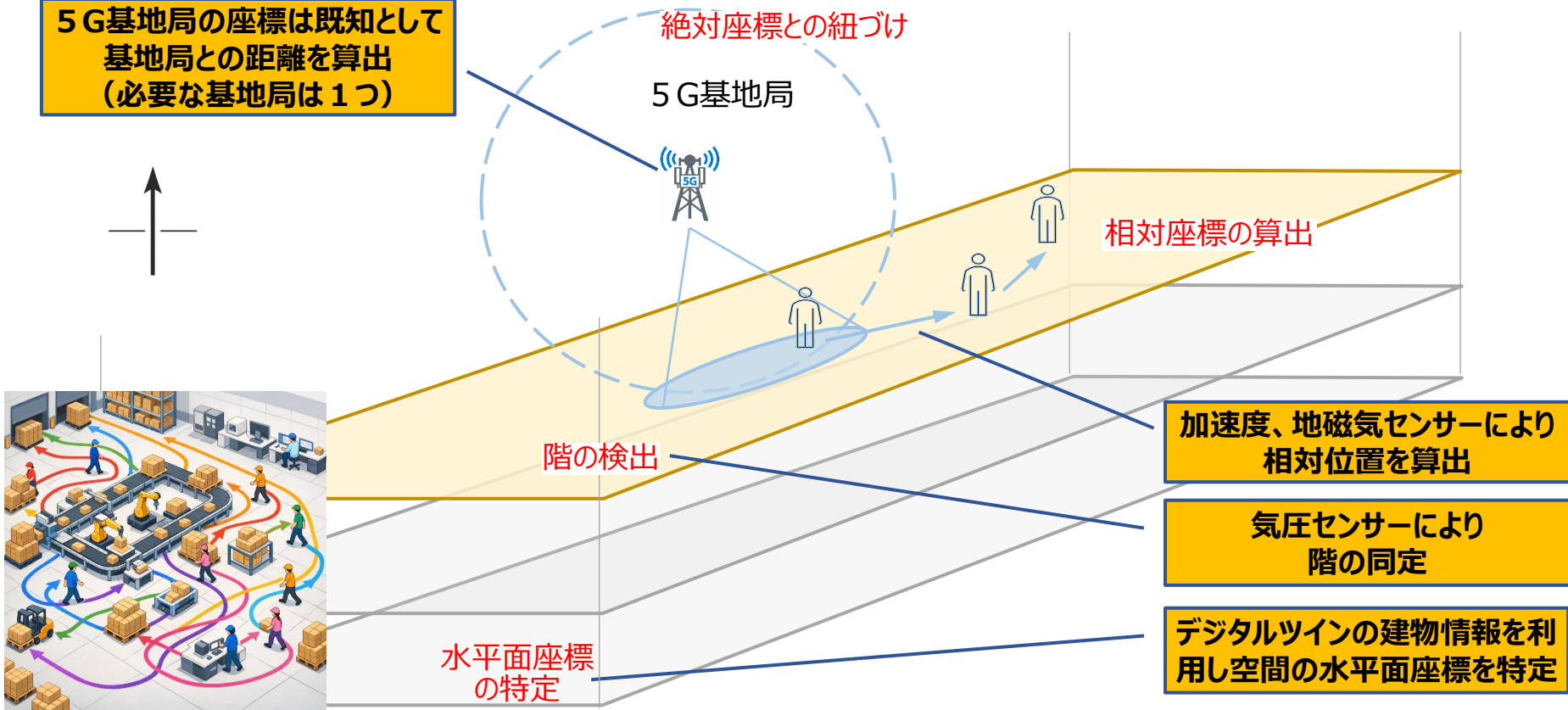
図6 本研究の活用事例

提案する屋内座標同定手法

提案する単層階・複層階建物の空間座標検出手法

- **5G基地局との距離、端末から得られるセンシング情報を融合**し端末の水平面座標を推定
- 複数の5G基地局と接続可能なエリアは限定されるため、構造物情報を活用し水平面座標を特定⇒**1基地局構成でも座標を検出できる**
- さらに、気圧センサーと構造物情報を組み合わせ、ユーザーがどの階にいるかを同定

5G基地局の座標は既知として
基地局との距離を算出
(必要な基地局は1つ)



屋内の移動イメージ

図7 屋内座標同定手法の概要

提案する建物内平面座標決定手法（詳細）

PRSによる測距情報、地磁気センサーによる方向ベクトル、構造物情報から次元の制約を与え、屋内の空間座標を検出

※PRS (Position Reference Signal)

N番目の計測時に算出される受信機の座標を L_N と定義

h : 仮想基地局の高さ

a : 仮想基地局と受信機の直線距離

b : 受信機の水平面と仮想基地局からの垂線の交点と受信機までの距離

受信機の位置の候補が2つ存在する場合

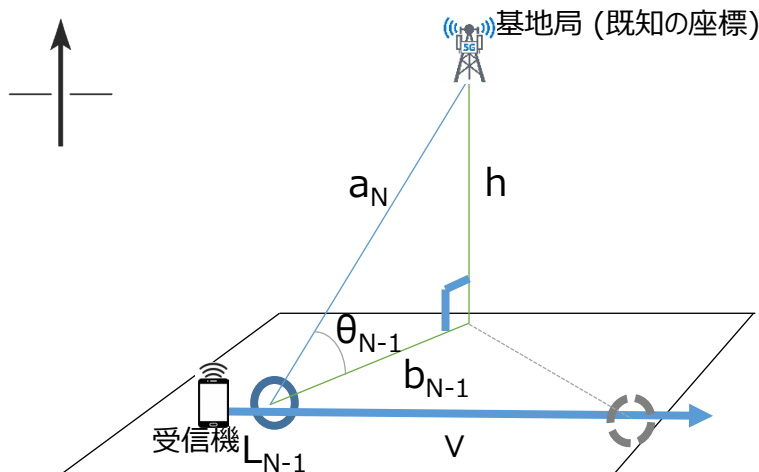
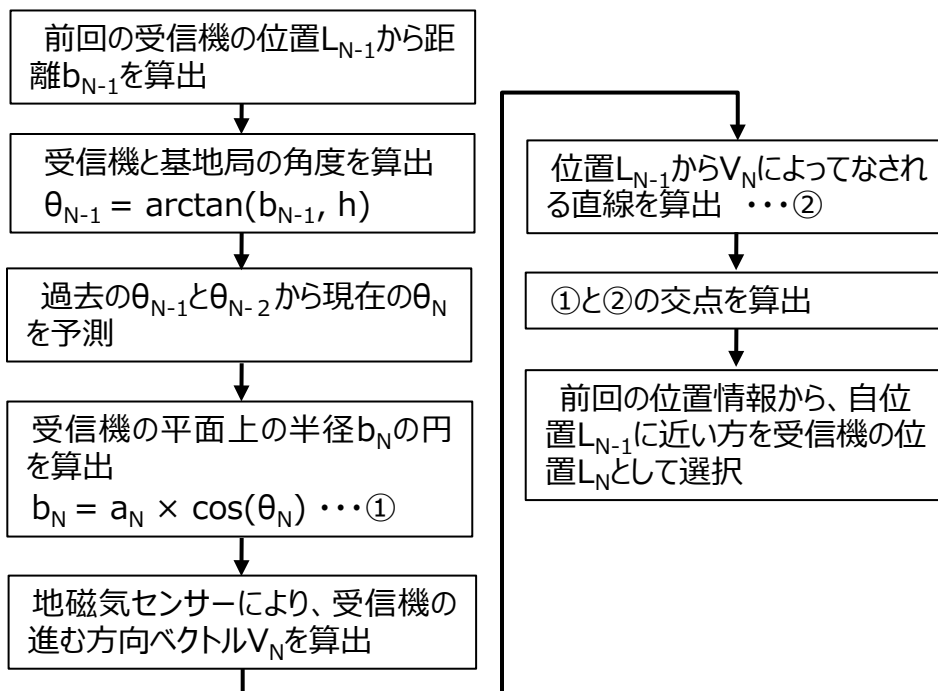


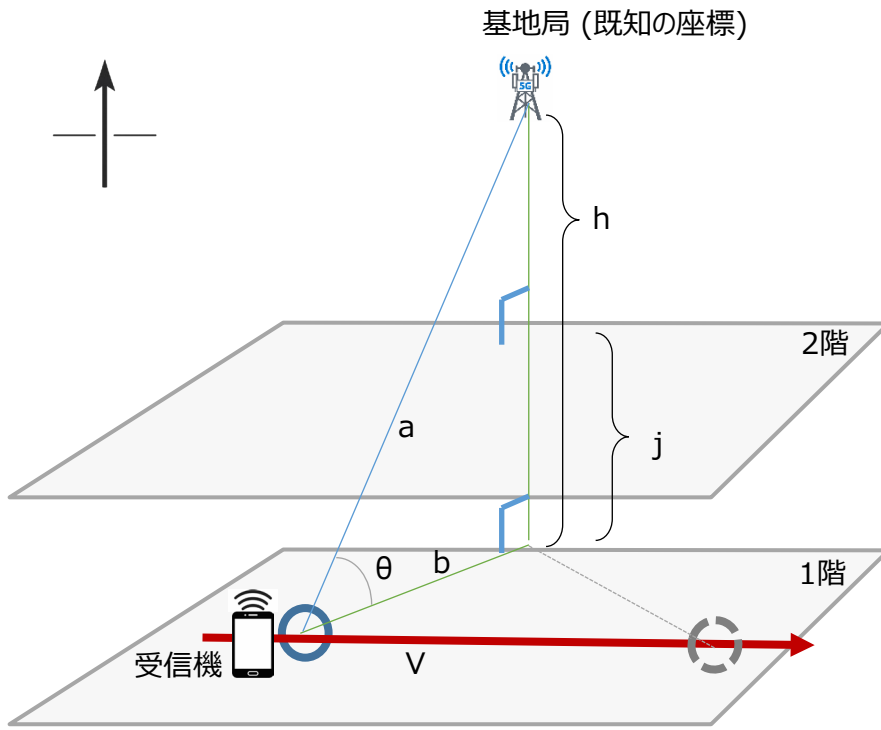
図8 位置検出のための幾何学的構成図

表1 位置検出フローチャート



提案する複層階建物内座標決定手法

- 受信機の高さ方向の次元を構造物情報により制限することで、受信機の位置は、半径 b の円周上と受信機の直前の位置から受信機が進む方向ベクトルによってなされる直線との交点として求められる
- 複層階への対応は構造物の各階の高さ情報から水平面を同定することで求めることができる



前提条件

基地局の座標：既知

受信機の水平面：構造物情報として既知

受信機の初期位置：既知

受信機の位置の算出

h : 基地局の1階からの垂直方向の高さ

j : 構造物の2階の1階からの高さ

a : 基地局と受信機の直線距離

b : 受信機の水平面と基地局からの垂線の交点と受信機までの距離

図9 2階層へ拡張した空間座標決定手法

屋内座標実証実験環境

5Gの3GPP規格のRelease16以降のPRS※信号に対応している基地局と受信機が少ないため、本研究では基地局との距離を測る手段として簡易的に、**同等のPRS信号を重畳しているUWB** (Ultra-Wide Band : 超広帯域無線) を仮想基地局として用いて実験実証した

※PRS (Position Reference Signal)

研究のゴール:5G基地局を活用した実環境

本研究：仮想基地局を用いた実験環境

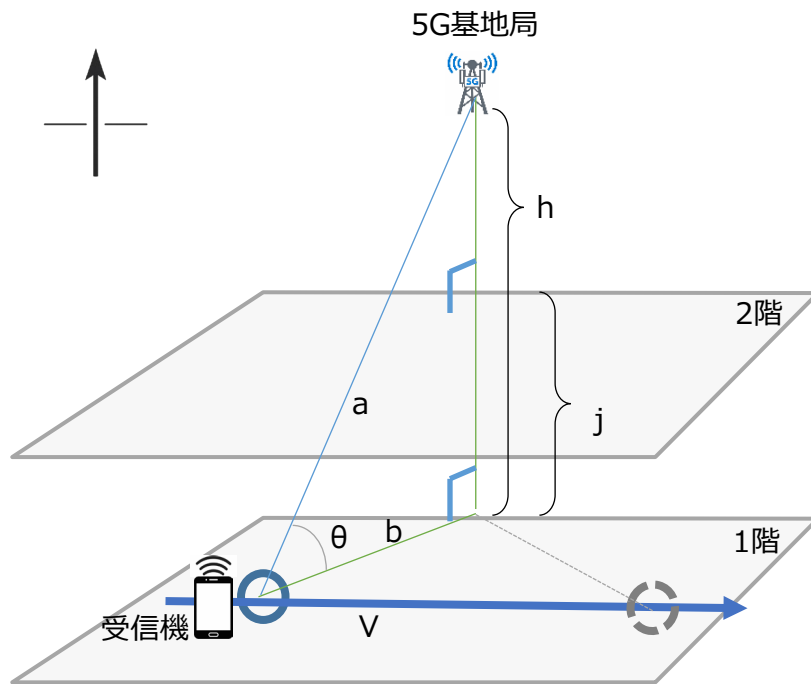


図10 5G基地局を活用した計測原理

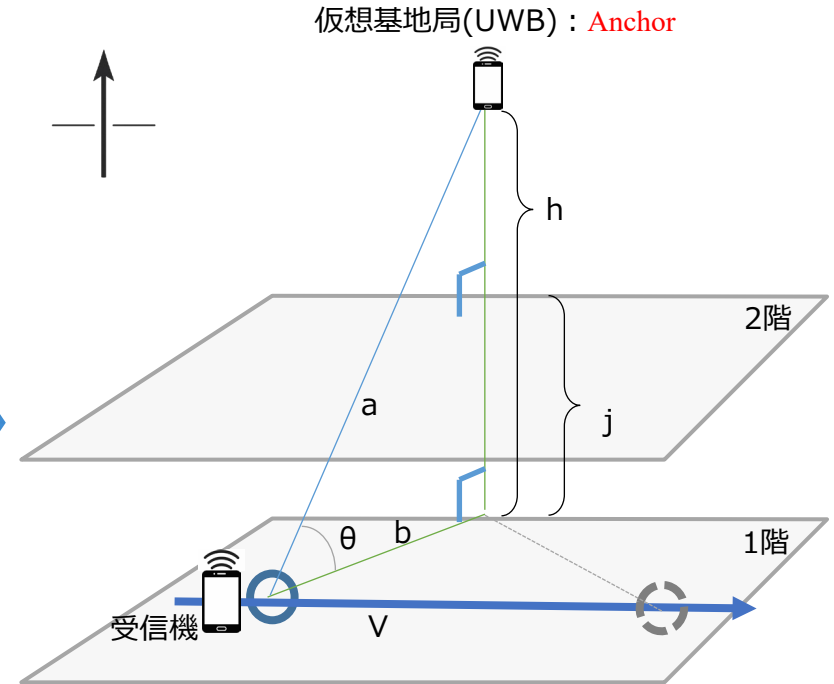


図11 仮想基地局を用いた計測原理

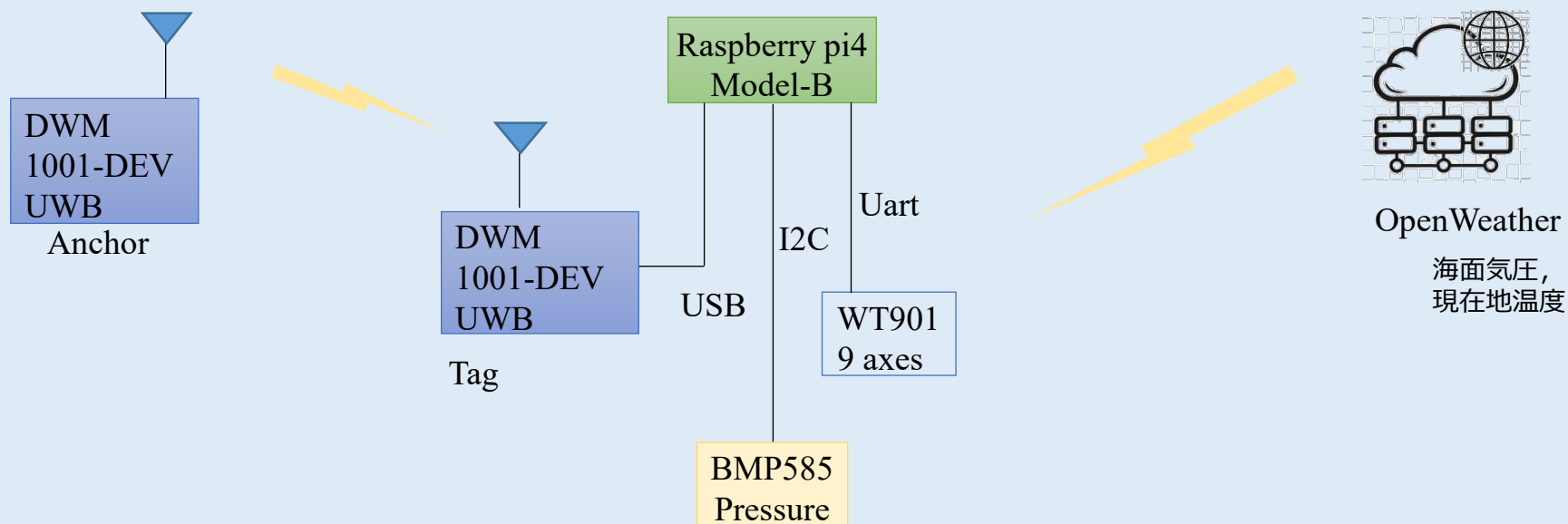
仮想基地局と屋内座標の小型検出モジュール

- 仮想基地局として、UWB無線モジュール（Qorvo DWM 1001-DEV）を利用
- 加速度、地磁気センサーとして、IMU（Inertial Measurement Unit：慣性計測ユニット：WITMOTION WT901）を利用
- 気圧センサーとして、BOSCH BMP585を利用
- センサー処理部として、Raspberry pi4 Model-Bを利用

仮想基地局環境

小型検出モジュール

インターネット



Qorvo, BOSCH, Raspberry pi, OpenWeather等の商標は各社に帰属

図12 本研究の実験システム構成図

小型検出モジュールと集積化への期待

本研究で用いた受信機はRaspberry piを中心にセンサーと通信モジュールを付加したものであるが、スマートフォン等に社会実装される際には、**既にスマートフォンに実装されている5Gチップセットとセンサーの活用が可能で、小型化と省電力化が期待される。**さらに、チップレットを用いた超小型モジュールに仕上げれば、様々なモノの測位が可能

仮想基地局環境

小型検出モジュールと集積化

インターネット

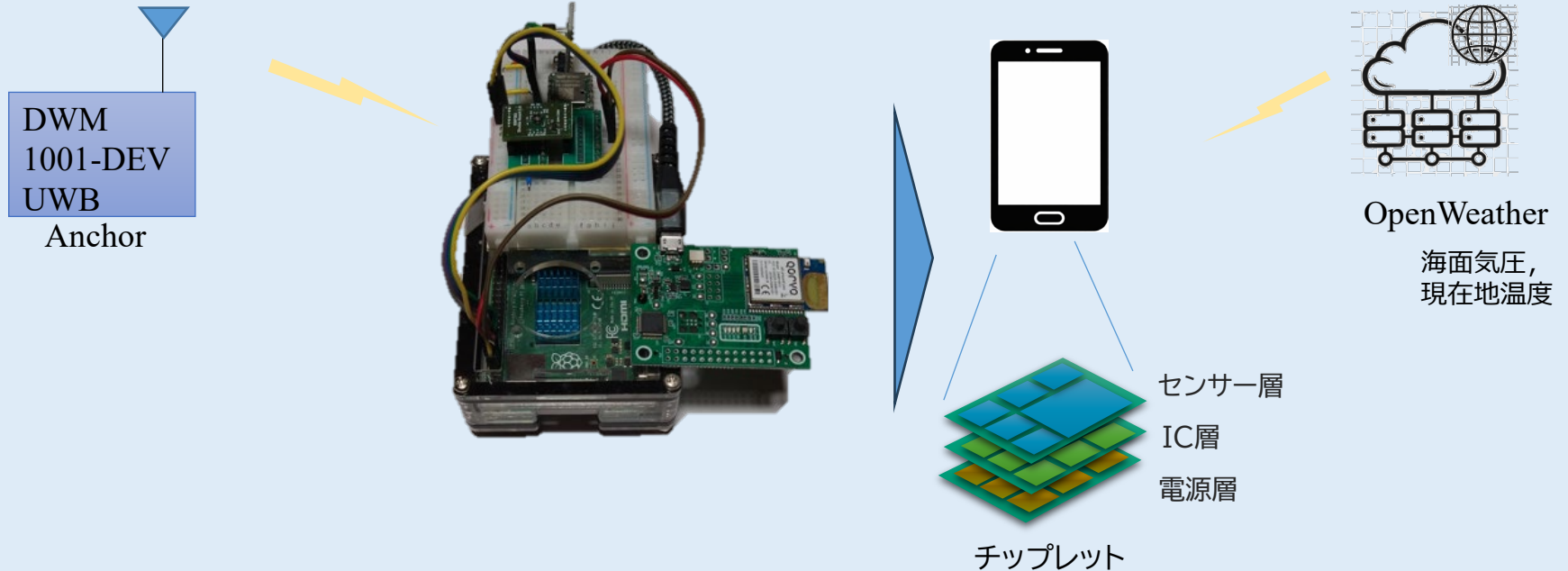


図13 本研究の実験システムとチップレットによる小型化

実験実証

複層(2階層2平面)建物内での空間座標検出実験

- 木造2階建ての屋内にUWBの仮想基地局Anchor2を設置し、受信機を長方形を描くように移動
- 各センサーの測定頻度を10Hzに設定

屋内移動例

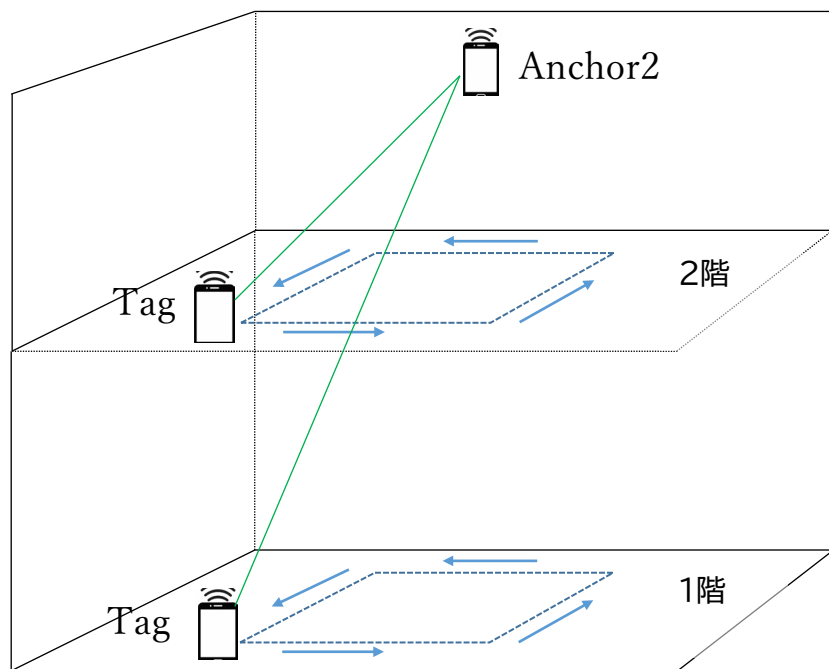


図15 複層階の実験概要図

測定センサー：

- 仮想基地局と受信機の距離：UWB
- 受信機の方角ベクトル：地磁気センサー
- 受信機の加速度：加速度センサー
- 受信機の高さ：気圧センサー

計測間隔：

10Hz

既値：

- 仮想基地局座標
- 受信機の水平面座標
- 受信機の初期位置

気圧センサーによる複層階検出実験結果

- 気圧センサーが、複層階の検出センサーとして利用可能か屋内の階段を利用した2階から1階へ移動する実験を実施
- 実際の高度差が2.74mに対して、2.71mを観測し、**複層階の検出センサーとして利用可能であることを確認**
- 現在地気圧から高度を算出するため、海面気圧、現在地温度をインターネットで公開されているOpen Weather Map APIを利用して同時刻のデータを取得

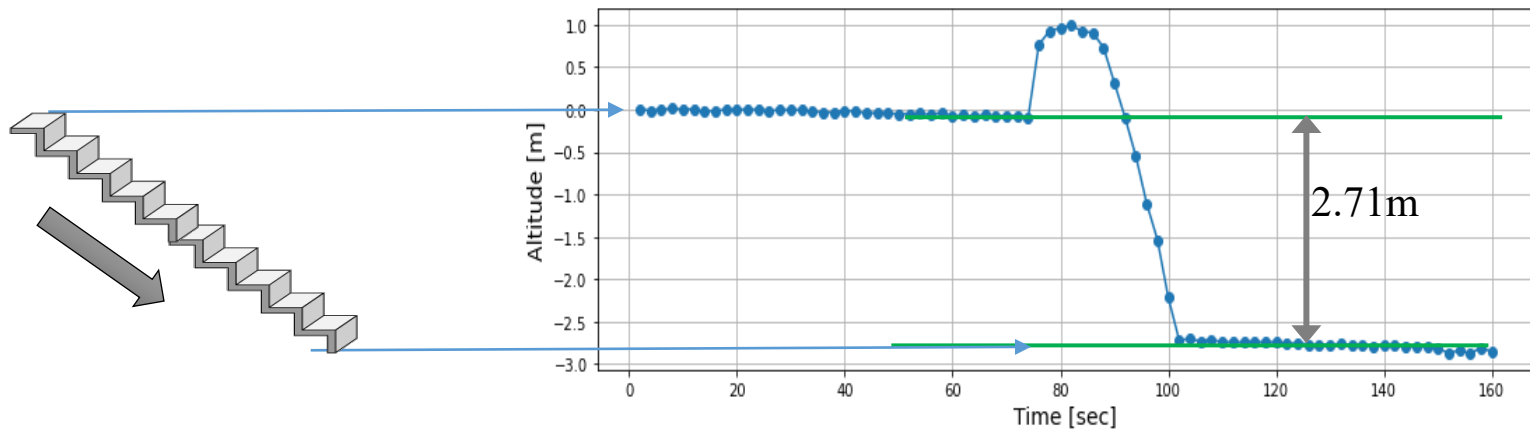


図16 2階から1階へ移動時の相対高度計測結果

$$h = \left(\left(\frac{P_0}{P} \right)^{\frac{1}{5.257}} - 1 \right) \times (T + 273.15) / 0.0065$$

h: 高度 [m]
 P₀: 海面気圧 [hPa]
 P: 現在地の気圧 [hPa]
 T: 現在地の気温 [°C]

実験結果と考察 | 2階設置送信機での計測距離

- 比較検証のため、小型検出モジュールを用いて2階で周回測定後、1階へ移動し再度周回測定を行う実験を行った。1階には、比較用途でAnchor1を設置
- 2階に設置したAnchor2（5G基地局を模擬）の信号を1階の受信機側で欠落なく受信し距離計測が可能であり、計測品質も安定していることがわかった。

屋内移動例

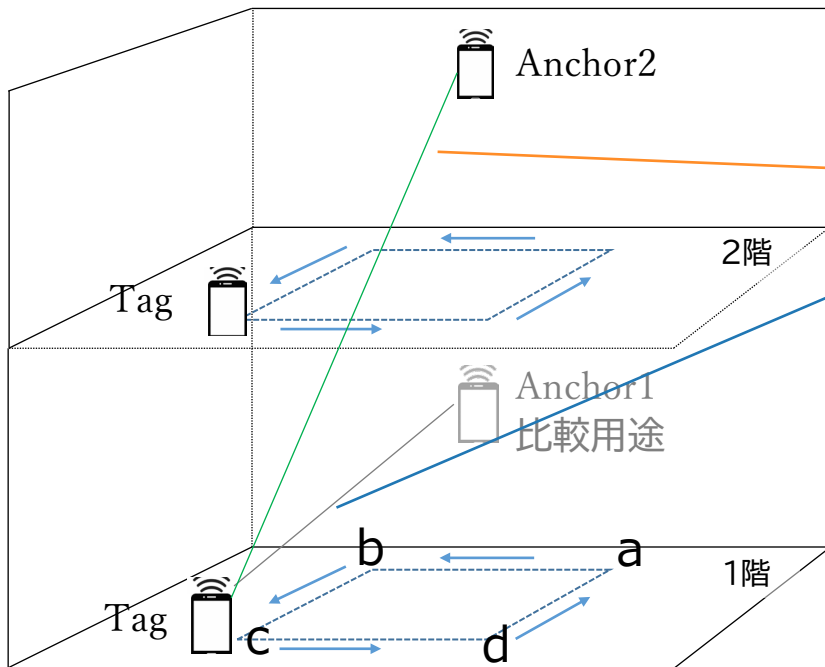


図17 屋内実験時の周回移動の概要図

仮想基地局と受信機の距離

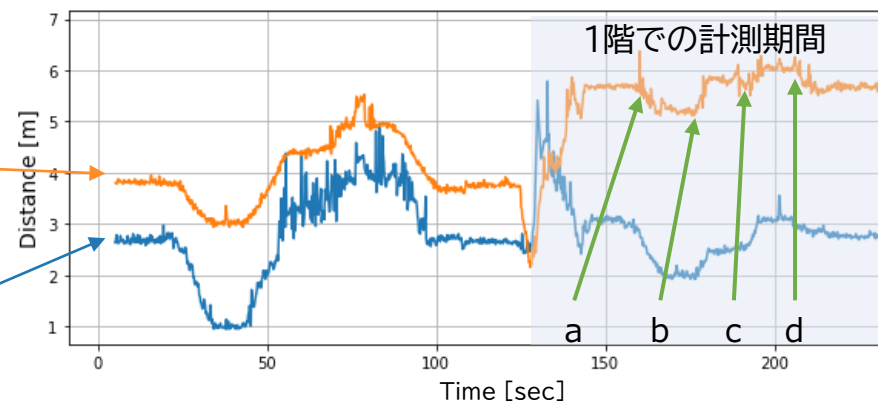


図18 Anchor1・2とTagの距離計測結果

1階の受信機での測定時にAnchor2の信号が安定しているのは受信機と遮蔽物となる天井との距離が十分にとれているため、電波の回り込みにより遮蔽物の影響が軽減されているためと考えられる。

実験結果と考察：屋内座標検出実証実験

- 5G基地局を利用した手法へ適用できる可能性を示すため、2階に設置したAnchor2の信号で1階を移動する小型モジュールの空間座標を検出することができるか実験した
- Anchor2を用いて1階で周回測定した際のTagの位置誤差を±0.3mで求めることができ、**5G基地局を模擬した1つのAnchorを用いる場合でも受信機の空間座標を検出するのに十分な精度が得られることがわかった**

屋内移動例

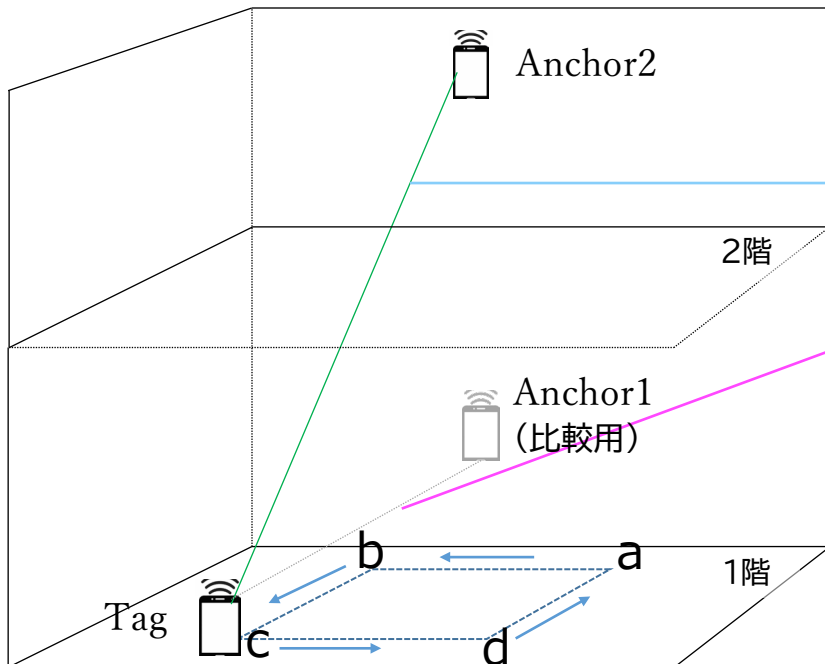


図18 屋内1階の周回移動の概要図

検出された屋内座標

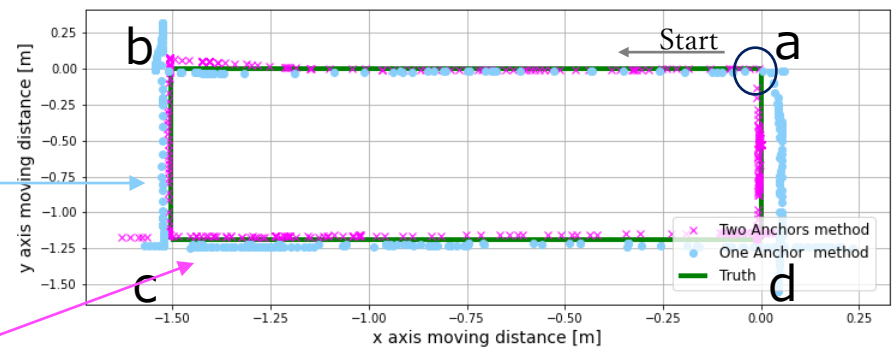


図19 障害物を通過した際の位置検出結果

- 精度比較用に1階に設置したAnchor1を用いた位置座標結果(紫線)では位置計測誤差の最大値が0.22mとなった
- 2階に設置したAnchor2を用いて1階で位置座標を決定した結果(水色線)では、天井通過時の若干の信号劣化による位置精度への影響が観測されたが、位置計測誤差の最大値が0.30mとなった

まとめ

本研究のまとめ

- 現在5G通信でまだ活用されていない基地局と端末の正確な距離を計測する機能(PRS信号)とスマートフォン等に標準搭載されている汎用的なセンサー類を活用し、**新たな設備投資(屋内へのインフラ設置)が不要な屋内(平面、階層)座標の同定手法の提案**を行った
- UWBのPRS信号を用いた小型検出モジュールにより、複層階の判別とそれぞれの階層で、**計測誤差0.3m以内の計測ができる**ことを検証し、提案した手法の有効性の実証ができた
- これと同様な**5G通信システム**のPRS信号を活用した測距を用いて、複層階の屋内でも高精度な**屋内座標の検出ができる可能性を示し、5G通信システムを用いた設備投資不要な高精度屋内測位技術の可能性を示すことができた**

社会実装に向けた共同研究検討のご提案

■本件社会実装に向けて、企業様と共同研究を検討させていただき企業様を募集します

【共同研究させていただきたい内容】

- 5G基地局を用いた実証ができていないため、この実証研究
- スマートフォンを端末として用いた計測実証ができていないため、この実証研究
- GPS屋外測位と屋内測位のシームレス測位実証研究
- 専用TAG、スマートフォンへの実装研究

【共同研究をお願いしたい企業様】

- 高精度屋内測位を企図される企業様**

(例) 携帯通信キャリアさま、屋内測位計測システム企業さま、ゼネコンさま、商業施設・ビル・屋内駐車場・工場・病院等管理会社さま、工場内搬送システム会社さまなど

本研究 研究実績 (学術)

[査読付き学術論文]

・Maho Terashima and Nobuaki Hashimoto, "Indoor Spatial Coordinate Determination in Multi-Story Buildings Using 5G and Sensors: Demonstration Using a Compact Detection Module", Transactions of The Japan Institute of Electronics Packaging Vol. 18, 2025, pp.E25-008-1 - E25-008-9

DOI : <https://doi.org/10.5104/jiepeng.18.E25-008-1>

・寺島 真秀, 橋元 伸晃, 第5 世代移動通信システムとセンサーを利用した複層階対応の屋内空間座標決定手法の提案および開発した小型検出モジュールによる実証, エレクトロニクス実装学会誌, Vol. 28 No. 6, pp.586-593, 2025

DOI: <https://doi.org/10.5104/jiep.JIEP-D-25-00003>

[国際学会]

・Maho Terashima, Nobuaki Hashimoto, Proposal of Indoor Spatial Coordinate Definition Method and Compact Detection Module Using Fifth-Generation Mobile Communication System and Sensors, ICEP2024 Proceedings, pp. 27-28, 2024.

・Maho Terashima, Nobuaki Hashimoto, Multi-Layered Indoor Spatial Coordinate Definition Method and Compact Detection Module Using 5th Generation Mobile Communication System and Sensors, 2025 International Conference on Electronics Packaging joined with iMAPS All Asia Conference (ICEP-IAAC 2025) Proceedings 2025, pp.37- 38, 2025

[国内学会]

・寺島 真秀, 橋元 伸晃, "第5世代移動通信システムとセンサーによる屋内空間座標決定手法の研究", 2025年電気学会 電子・情報・システム部門大会要旨集, pp.482-487, 2025年8月

本研究 研究実績（特許、報道）

特許

1. 特願2024-065824(国際公開WO/2025/220312):補正後請求項 1 特許性有
“測位システム、測位方法、および受信タグ”,寺島 真秀, 橋元 伸晃
: USBや5G基地局とセンサー情報を用いた屋内測位システム
2. 特願2024-065825(国際公開WO/2025/220313):補正後請求項 1 特許性有
“測位システム、測位方法、および受信タグ”,橋元 伸晃
: GPS屋外測位と5G基地局とセンサー情報を用いた屋内外測位のシームレス測位システム
3. 特願2025- 22423
“測位システム、測位方法、および受信タグ”,寺島 真秀, 橋元 伸晃
: USBや5G基地局とセンサー情報を用いた複層階建屋対応屋内測位システム
4. 特願2025-197675
“端末位置決定システム、端末位置決定方法、および遠隔モニタリングシステム”,
橋元 伸晃,寺島 真秀 : UWBとセンサー情報を用いた屋内測位システム

新聞報道

- ・信濃毎日新聞,「屋内での位置 正確に特定 5Gとスマホセンサー活用 施設内ナビ・自動搬送 実用化狙う」, 2025年9月4日（経済面）

本件お問い合わせ先

連携・ライセンスについて

公立諏訪東京理科大学 産学連携センター

TEL : 0266-73-1345

Mail : sangaku@admin.sus.ac.jp

URL : <https://www.sus.ac.jp/>

生成画像について

画像の一部は生成AIツールにより作成／編集

(作成者：橋元、ツール：Copilot、ChatGPT、2026年)