

AOA 方式を利用した屋内測位システムとその事例紹介

趙 晨・竹 添 明 生

屋外における位置情報アプリケーションは、その使用用途に応じて、GNSSを利用した様々な測位精度と運用方法を持ったアプリケーションが広く普及している。一方、位置情報アプリケーションは屋内においても需要が高く、幾つかの方式が提案されており、それぞれに特徴がある。本稿では代表的な屋内測位の各方式について整理した上で、特に AOA 測位方式の概要について説明し、利用事例について紹介する。
 キーワード：屋内測位、インドアポジショニング、AOA (Angle of Arrival) 方式、Bluetooth、安全管理、生産性向上

1. はじめに

位置情報アプリケーションは、屋外においては MSAS, QZSS 等の GPS を補完するシステムの拡充や、GALILEO, GLONASS, BAIDOU 等、GPS 以外の Global Navigation Satellite System (GNSS) の整備が進み、スマートフォンでの一般的な利用から、情報化施工や精密農業等、業務用システムとしての利用まで幅広く普及が進んでいる。一方、GNSS が利用できない屋内においても、現在、Bluetooth や RFID, Wi-Fi 等、様々な信号を用いた方法が利用されている。本稿では屋内測位の各方式について整理した上で、特に AOA 測位方式の概要について説明し、利用事例について紹介する。なお、本稿においては、屋内測位対象の移動体を移動局、算出する移動局の位置の基準になる固定された施設を基地局と呼ぶこととする。

2. 屋内測位で利用されている測位方式

代表的な屋内測位方式の概要と特徴を整理したものを表一に示す。屋内測位において比較的高い精度を求める場合、UWB, もしくは Bluetooth AOA 方式を選択利用する形となるが、汎用的ではない基地局の設置等、特別な設備の設置が必要となる。UWB と Bluetooth AOA 方式を比較すると、測位精度は UWB の方が高くなるが、移動局・基地局自体のコスト、及び設置コストを考慮すると、Bluetooth AOA 方式の方が比較的、低く抑える事が出来る。

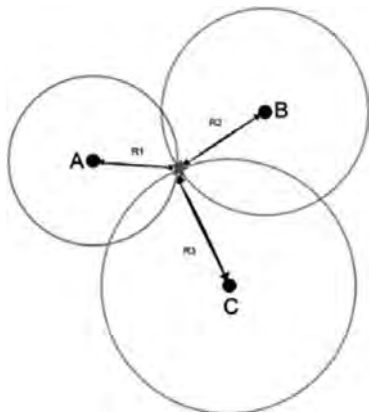
(1) RSSI (Received Signal Strength Indicator) 方式

RSSI 方式では、基地局が電波の発信、移動局で電波の受信と測位計算という形を取る。信号は信号源から遠くなればなるほど強度が規則的に弱くなるため、

表一 主な屋内測位方法の比較

測位方式	Bluetooth		RFID	Wi-Fi	ZigBee	UWB
	AOA	RSSI	RSSI	RSSI	RSSI	AOA
使用周波数 (Hz)	2.4G		125k/ 数百 M	2.4G	2.4G	4 ~ 10G
測位精度	○○○○○ (30 cm)	○○ (数メートル)	○○○ (数メートル)	○○ (数メートル)	○○ (数メートル)	○○○○○ (10 cm ~)
移動局の電力消費	○	○	○○○	○○○○	○○	○○○○○
電波干渉の強さ	○○○○	○○○	○○○	○○	○○○	○
モバイル端末利用等の汎用性	○○○○○	○○○○○	○○○	○○○○○	○	○
使用する基地局	Bluetooth 受信機	BLE ビーコン送信機	RFID 送信機	無線 LAN AP	ZigBee 送信機	UWB 送信機
受信距離	10 ~ 100 メートル 通常数十メートル	10 ~ 100 メートル 通常数十メートル	数メートル	100 ~ 300 メートル	10 ~ 70 メートル	数メートル

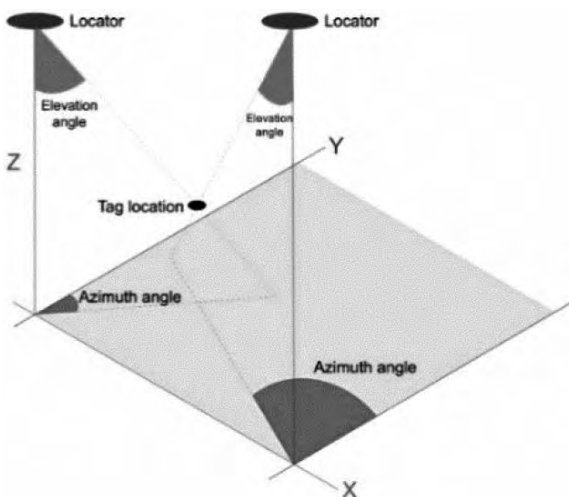
信号の減衰度により、移動局自身と基地局の距離を計算することが出来る。3台の基地局からの距離が分かると、図一1の様に三辺測量方式で位置計算を行うことが出来る。しかし、信号は壁などの障害物にあたると反射するため、反射した電波が互いに重なって干渉し、誤差が発生する。屋内では反射する障害物が多くあり、電波の干渉を避けることが難しいため、測位精度としては数メートルとなる。



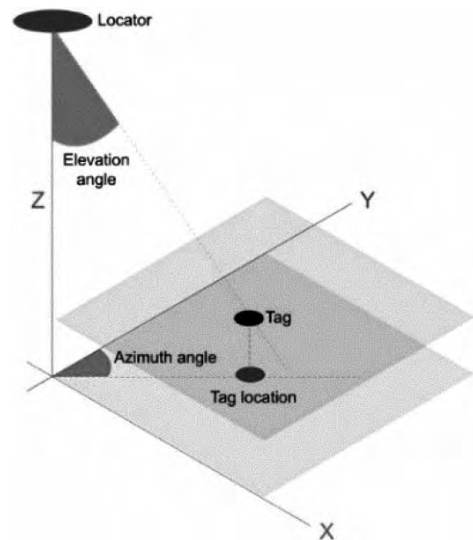
図一1 三辺測量方式

(2) AOA (Angle of Arrival) 方式

AOA方式では、RSSI方式とは逆に移動局で電波を発信し、設置位置を事前に綿密に設計した基地局で電波の受信を行い、各移動局の測位計算を行う形を取る。さらに移動局から発信された電波が基地局にて受信される際の電波の到達角度を利用して、RSSI方式よりも高精度な測位計算を行う仕組みである。施設内に複数台の基地局を設置した場合は、移動局の3D位置を計測することが可能である(図一2)。また基地局を1台だけ設置して、移動局の2D位置を計測することも可能である(図一3)。



図一2 2台の基地局を用いた3D測位



図一3 1台の基地局を用いた2D測位

3. AOA方式を用いたSiPSシステム概要

(1) SiPSシステム構成について

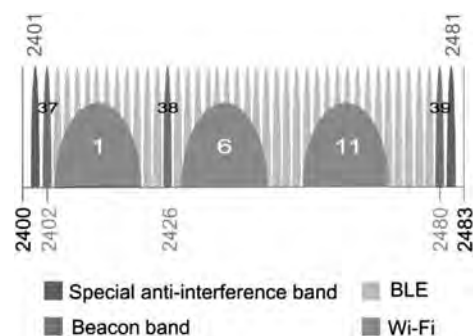
SiPSシステムでは移動局から発信される電波が、基地局で受信され、電波到達角度データを別途設置されたサーバーに送信し、各移動局の測位計算を行う(図一4)。



図一4 SiPSシステムの構成

(2) SiPSシステムで利用する信号

SiPSシステムでは、信号として一般的に広く利用されているBluetoothを利用するため、移動局として専用のタグだけでなく、一般的なスマートフォンやタブレットPCを利用することも出来る。また、2.4GHzの信号の中でも、両端の2401 Hz & 2481 Hzのみを使用し、電波干渉の影響を最小限に抑えている(図一5)。

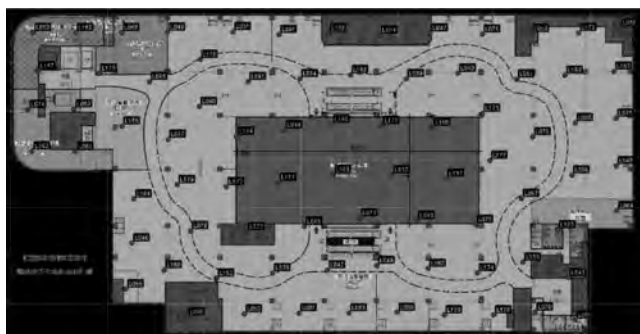


図一5 SiPSシステムで利用する2.4GHz帯

(3) SiPS システムの導入までの流れ

(a) ロケーター（基地局）の設置検討

SiPS システムでは求められる測位精度や測位対象範囲に応じて、設置が必要となるロケーターの数や設置位置を専用ソフトウェアを用いてシミュレーションすることが出来る（**図一6**）。当該ソフトウェアに利用対象エリアの平面図や、天井の高さ等の情報を入力し、必要とされるロケーターの数やそれぞれの設置位置を算出する。



図一6 ロケーター設置シミュレーション例

(b) ロケーターの設置

ロケーターはデータを専用サーバーに送信するため、データ通信用の LAN ケーブルで接続する。前述したソフトウェアで得た、ロケーターの設置シミュレーション結果を参照しながら、対象施設にロケーターを設置する（**写真一1**）。ロケーターは基本的に施設上部に設置される。



写真一1 ロケーター設置工事

(c) システムのキャリブレーション

全てのロケーターの設置完了後、システムのキャリ

ブレーションを行う。ロケーターには、複数の Bluetooth モジュールが決まったレイアウトで配置されており、キャリブレーション専用のロケーターを用いて、設置したロケーターの設置方向のオフセット量を計測し、システムに登録する（**写真一2**）。キャリブレーションを行うことで、システムは高精度にタグの位置を測定することができる。



写真一2 専用ロケーターを用いたキャリブレーション作業

(d) タグのモニタリング設定

前述したソフトウェアにて、取り込んだ対象エリアの平面図上にポリゴンを作成し、特定のエリア内へのタグの侵入をモニタリングすることが出来る。この設定は ID が振られた個別のタグに対して、または ID で定義されるタググループに対して行う事が出来る。

4. SiPS システム実用事例

(1) 台車の現在位置と稼働状況の把握

(a) 台車管理の課題

紡織工場では完成した布巻きを運搬する目的で、約 1000 台の台車が稼働していたが、全ての台車の位置を把握する方法が無かったため、布巻きのリアルタイムの生産状況の把握が出来なかった。このため、生産数の不足を補うための追加生産を行ったり、数量不足により納品遅れを避けるために、常に必要数量以上の生産を行ったりする方法で対応していたが、生産効率を向上させるために台車の現在位置の把握が必要となっていた。

(b) SiPS システムの導入

工場内の台車の移動範囲（60 m × 230 m のエリア）をカバーして、30 ~ 50 cm の測位精度で全ての台車

の現在位置を把握するために、シミュレーションソフトウェアでシステム設計を行い、工場の高さ10mの天井にロケーターを13個設置した(図-7)。また、全ての台車に専用タグを設置し、ロケーターにて受信、LANケーブル通信でサーバーに送信し、全ての台車の現在位置を計算し、オフィスにあるパソコンの画面で工場内の全ての台車の位置をリアルタイムに確認可能なシステムを構築した。

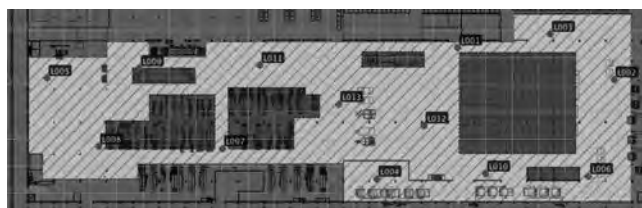


図-7 ロケーター設置検討(シミュレーションソフトウェア画面)

(c) SiPS システムの導入効果

①台車の稼働率の向上

台車の移動ルートや稼働率の把握が可能になり、台車の配置の最適化を図った結果、工場内に準備する台車の数を年間5~10%ほど削減することが出来て、また台車の稼働率が10%以上向上する効果が得られた。

②製造コストの削減

工場内の台車の現在位置を把握する事が出来るようになったことで、生産から運搬までの流れを各台車の現在位置を踏まえて計画し、効率的に作業を進める事が出来るようになり、製造コストの削減に繋がった。

③作業員の生産性向上

システム導入前は、台車の現在位置が分からなくなることが頻繁に発生し、従業員が台車の捜索に勤務時間を費やしてしまう事があった。SiPSシステム導入後は全ての台車の現在位置がマップ上にリアルタイムで表示されるようになり、システム上で台車番号を検索することで目当ての台車の現在位置が容易に把握出来るようになった。これにより台車捜索に費やした時間を通常業務に充てる事が可能になり、従業員の生産性向上に繋がった。

(2) モノとヒトの一元管理

工場は、材料や生産物や従業員、台車や車など様々な個体が存在している空間である。天井に設置したロケーターは台車だけではなく、タグを設置することで空間を存在する全ての移動体の一元管理に利用する事が出来るため、工場は次の様に管理範囲を拡大するシステム拡張を検討した：①来場者モニタリング；②従

業員モニタリング；③スタッカー・フォークリフトマネジメント；④災害発生時の人の避難管理(図-8)。

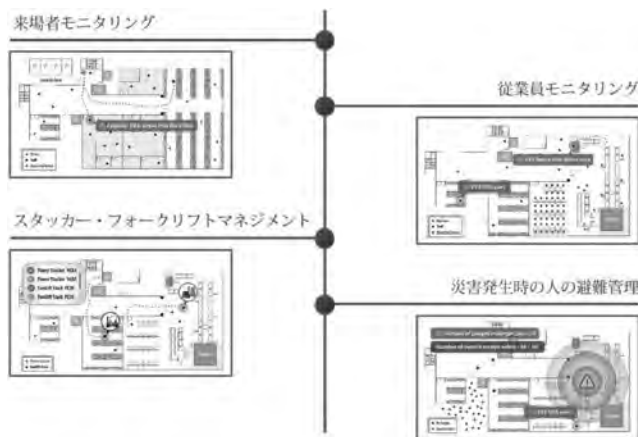


図-8 モノとヒトの一元管理

(a) 来場者モニタリング

工場では学生団体や一般市民等の工場見学を実施している。工場内には、原材料から布巻きの完成までの生産工程や、以前使用していた様々な機械の展示スペースなど一般公開エリアがある一方、開発・設計等の企業機密情報が含まれる一般非公開エリアも存在する。このため、一般非公開エリアへの関係者以外の立ち入りをモニタリングするシステムが求められていた。

工場では全ての来場者にタグを配布して入場させて、システムのモニタリング対象に一般来場者を追加することにした。来場者には従業員とは異なる設定をしたタグを配布し、着用して貰った。来場者専用タグを持つ人が一般非公開エリアに立ち入ると、システムが検知し、工場のシステム管理側に通報されることとなり、関係者が直ちに状況を確認して対応する事が可能になった(図-9)。

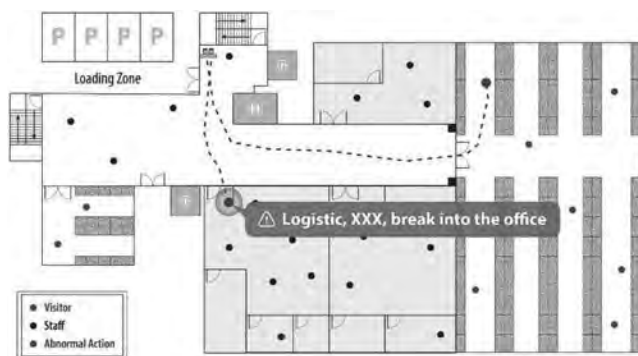


図-9 一般非公開エリアの設定と来場者モニタリング

(b) 従業員モニタリング

工場内には、ボイラー等の設備が設置されている危

険なエリアがあり、過去には、従業員の不注意な立ち入りによる労災事故が発生した事があったため、従業員の安全管理システムの実現が会社運営上、重要な課題となっていた。このため、事故発生防止を目的として、工場内の危険エリアをシステム上に設定し、タグを着用している従業員が許可なしに危険エリアに立ち入った際に工場内のアラームが作動する機能をシステムに追加した(図-10)。

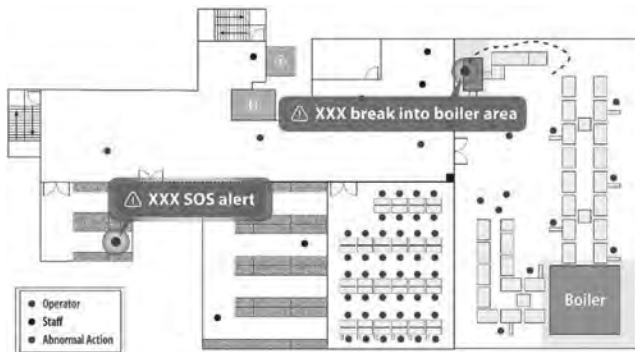


図-10 危険エリアの設定と従業員モニタリング

(c) スタッカー・フォークリフトマネジメント

この工場では、製造ラインで完成した布巻き運搬用の台車の他に、工場～倉庫～運送用トラックの間の荷物の運搬用にスタッカーやフォークリフトも稼働している。全てのスタッカーやフォークリフトについても台車と同様にタグを設置し、システムのモニタリング対象に含める機能拡張を行った(図-11)。この機能拡張によって、台車のみならず、スタッカーやフォークリフトについても、現在位置や稼働時間、稼働率を把握することが可能になり、移動ルートの最適化を検討し、作業の効率化を実現することが出来た。

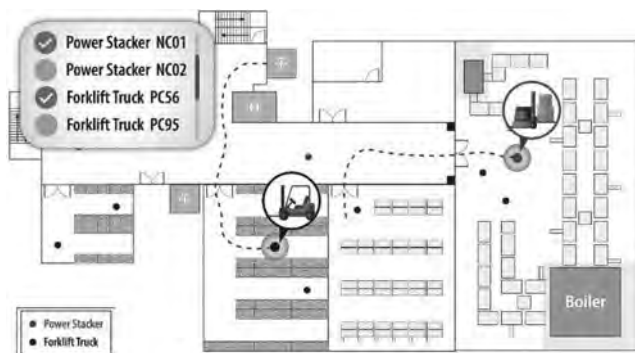


図-11 スタッカーとフォークリフトの現在位置モニタリング

(d) 災害発生時の人の避難管理

万が一、火事のような災害が発生した際に、被害を最小限に留めるために、同システムに避難管理機能を

組み込んだ。工場内の来場者、従業員を含む全ての人の現在位置を把握することで、工場内にいる人の避難状況を確認することが出来るようになった。また、工場内に残っている人を迅速に救出するために、システム上で来場者と従業員の現在位置から避難場所までの安全な避難ルートを検討し、正しい避難方法を指示することで、災害時の被害を最小限に留める事が可能になった(図-12)。

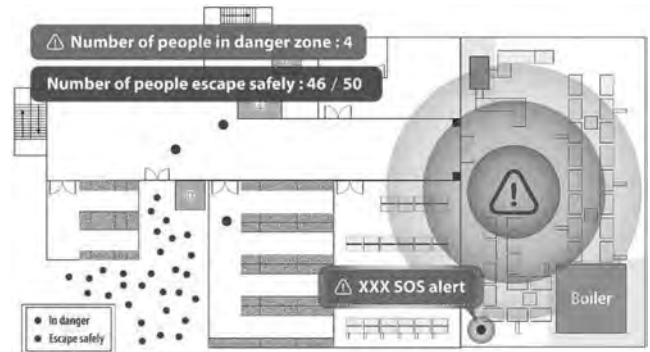


図-12 災害発生位置と来場者・従業員の現在位置モニタリング

5. おわりに

本稿では、屋内測位システムの方式について整理した上で、測位において利用する電波の種類、並びに設備投資が最小限で済む RSSI 方式と、比較的高精度が得られる AOA 方式について概要を説明した。Bluetooth AOA 方式を採用した SiPS システムについて紹介し、その実用事例から工場内での様々な移動体(台車、スタッカー、フォークリフト、従業員、来場者)の現在位置のモニタリングをベースにして、管理に必要な基礎データの収集が可能になり、効率性・生産性を向上させた事、更に施設内のゾーニングデータと組み合わせることでワーニングシステムを実現した事を説明した。

建設分野においても、建設現場や施設において、GNSS が利用できない環境での移動体の現在位置の把握やワーニングシステムの構築は需要が高く、施工作业中の作業員の安全管理、誘導、建設機材の現在位置の把握等をどう実現して行くかという課題がある。屋内測位システムを活用した場合、用途ごとに求められる測位精度と屋内測位に求められる設備整備のバランスを取ることが求められるが、工場の実例で示したように、構築した設備を違う目的の機能追加に用いていく事で、このバランスを改善することが出来る。例えば、施工時に整備した屋内測位システムを施工後の維持管理業務で活用することが出来れば、設備整備の

ハードルは下がるのではないかと考える。
本稿がその発展の一助となることを祈念する。

謝 辞

STARWING Technology Co.には各種データの提供において多大なご協力を頂いた。ここに記して謝意を表します。

J|C|M|A



[筆者紹介]
趙 晨 (ちょう ちえん)
ジオサーフ㈱
マーケティング・グループ
セールス・エンジニア



竹添 明生 (たけぞえ あきお)
ジオサーフ㈱
代表取締役 CEO

