屋内ナビゲーションと測位

自律走行車、ロボット、ドローン、
フォークリフト、VR、人員向け

屋内測位技術と手法のレビューと比較：
産業用途を中心に







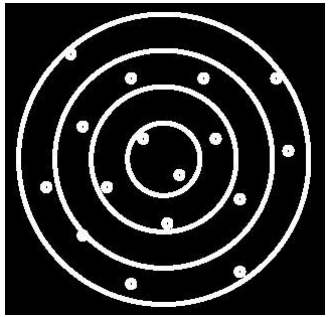


Marvelmind
robotics

解決すべき課題

- **GPSは屋内では機能しない：**
  1. 衛星を直接見通せない
  2. 位置精度はメートル単位であり、
     センチメートル単位ではない（屋内ではセンチメートル単位が必要）
- その他の屋内ナビゲーションシステム（UWB、Bluetoothビーコン、オドメトリ、磁気センサー、WiFi RSSI、レーザー三角測量、光学式など）には、それぞれ深刻な制約がある。多くの場合、精度、価格、サイズのいずれかが問題になる
- 正確な位置をタイムリーに把握できなければ、自律ナビゲーションは不可能





Marvelmind robotics

用語

- **AoA** 到来角（Angle of Arrival）
- **AoD** 放射角（Angle of Departure）
- **AR** 拡張現実（Augmented Reality）
- **BLE** Bluetooth Low Energy
- **GNSS** 全球測位衛星システム（GPS、GLONASS、Galileo、Beidou、みちびき）
- **GPS** 全地球測位システム（Global Positioning System）
- **IA** Inverse Architecture（Marvelmind Robotics）
- **ILS** 屋内位置特定システム（Indoor Localization System）
- **IP67** 防塵・防水保護等級（Ingress Protection）
- **IPS** 屋内測位システム（Indoor Positioning System）
- **IMU** 慣性計測装置（Inertial Measurement Unit）
- **LIDAR** 光による検出と測距（Light Detection and Ranging）
- **LoS** 見通し（Line-of-sight）
- **MEMS** 微小電気機械システム（Micro-Electro-Mechanical Systems）
- **NIA** NIAアーキテクチャ（Non-Inverse Architecture）
- **Non-LoS** 見通し外（Non-line-of-sight）
- **RSSI** 受信信号強度（Received Signal Strength Indicator）
- **RTLS** リアルタイム位置測位システム（Real-time Locating Systems）
- **TDoA** 到達時間差（Time Difference of Arrival）
- **TDMA** 時分割多元接続（Time Division Multiple Access）
- **ToA** 到達時間（Time of Arrival）
- **UWB** 超広帯域無線（Ultra Wideband）
- **VR** 仮想現実（Virtual Reality）
- **ZigBee** 無線メッシュネットワークの規格

Marvelmind robotics

屋内測位方式の種類

- **三辺測量**：飛行時間方式
  - GPS
  - UWB
  - Marvelmind Roboticsの屋内「GPS」
- **RSSIベース**
  - BLE（Bluetooth Low Energy）
  - WiFi
  - ZigBee
- **三角測量**
  - LIDAR
- **複合方式**
  - BLE + 到来角（AoA）
- **オドメトリ**
- **慣性方式**
  - 安価なMEMS IMUとレーザーIMU

- **光学式**
  - QRコード
  - スターゲイザー（天井マーカー方式）
  - オプティカルフロー
  - モーションキャプチャー
- **センサーフュージョン**
  - IMU+超音波
    - ドリフトと飛び
    - 位置更新レート
- **その他・特殊な方式**
  - Li-Fi
  - RFID
  - 磁気

Marvelmind robotics

すべてに適した方式やRTLSは存在しない

互いに矛盾する要件が多すぎる。ユーザーは選択する必要がある：

- 更新レート
  - 要求時のみの更新か、VR/AR向けの100～400Hzか
- IP67および防爆（Ex）の要件
- 価格
- 消費電力とバッテリー寿命
- 重量
- サイズ
- 特定の種類の干渉（無線、光、音）への耐性
- 位置のみか、位置＋方向か
- 内蔵IMU
- モバイルビーコンとの双方向データ通信





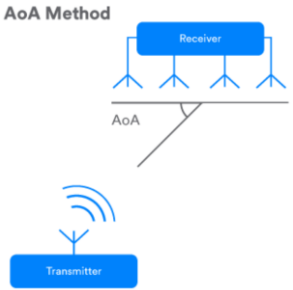


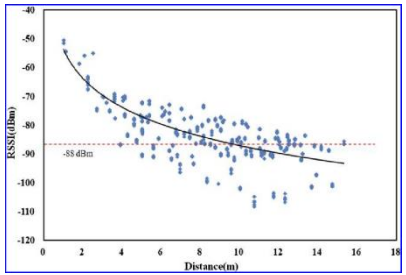


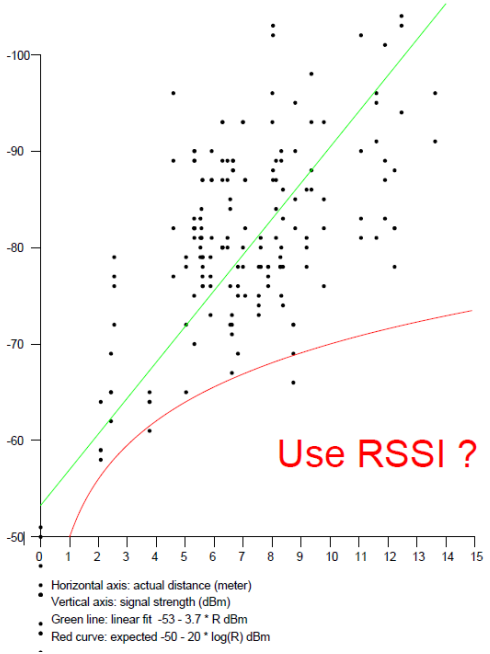
Marvelmind robotics

RSSIベースのRTLSは原理的に不正確

- WiFi、BLE（Bluetooth）、ZigBee、LoRaは測位用に設計されたものではないが、技術的な制約の範囲内で、多くの場面で利用できる
- **信号強度（RSSI）は、1 m移動するだけで容易に10倍も変動する**
- フィンガープリントのデータベースとキャリブレーションが必要：時間と手間がかかる
- 追加の改善策：
  - 平均化 => ただしレイテンシが増え、バッテリー寿命が短くなる
  - 数理モデル => 適用範囲が限られる
- 到来角（AoA）と放射角（AoD）
  - 不正確なRSSI + 角度の組み合わせ => 精度が最大3倍向上
  - 複数のアンテナ => サイズの増大、コストの増大、適用範囲の制限



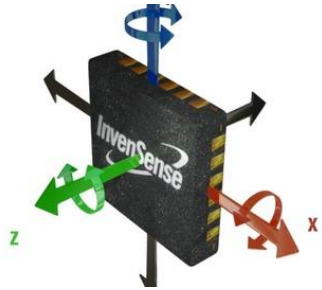




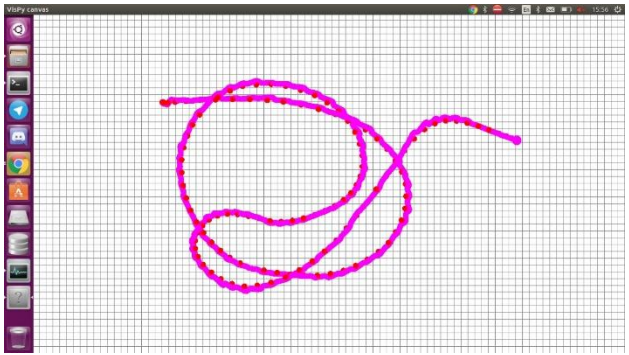
https://people.csail.mit.edu/bkph/ftmrtt_intro

Marvelmind robotics

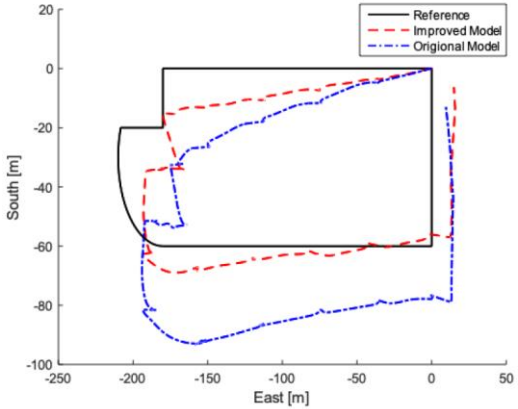
IMU型RTLSはドリフトが大きい



- IMU（慣性計測装置）：通常は3D加速度センサー + 3Dジャイロスコープ。多くの場合、さらに3D磁気センサーを搭載
- 磁気センサーは屋内ではうまく機能しないため、頼らないこと
- IMUのみの屋内RTLSは、加速度センサーのデータを2回積分することによるドリフトが非常に大きいため、長時間（数秒以上）は実用的に機能しない
- それでも、IMUの種類（レーザーIMUかMEMS IMUか）や求められる精度（cmかkmか）によっては、1秒未満から数秒程度なら十分な精度が得られる。外部システムによるドリフトの継続的な除去が必要
- 歩行者デッドレコニング（PDR）アルゴリズムとその各種バリエーション
- Marvelmind RoboticsのIMU+超音波センサーフュージョン



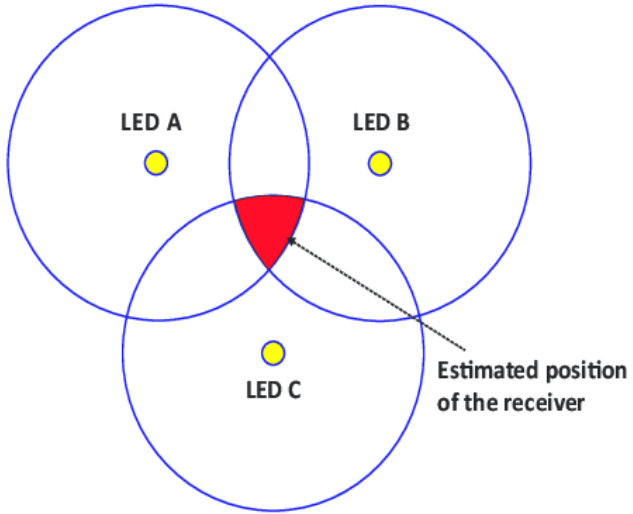




Marvelmind robotics

三辺測量は非常に高精度にできる

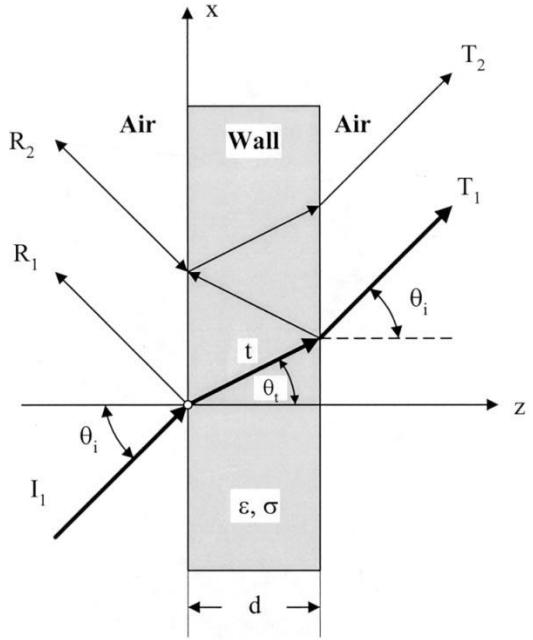
- 三辺測量 ≠ 三角測量
- 三辺測量：3つ以上の既知の点からの距離を測定し、モバイルビーコンの位置を計算する。通常は飛行時間を利用
- 1D、2D、3D、マルチラテレーション
- 三辺測量（飛行時間方式）に基づくシステムの例：
  - **GPS**：電波 1.2GHzと1.5GHz
  - **UWB**：超広帯域の電波（3～10GHz）
  - **Marvelmind Roboticsの屋内「GPS」**：超音波（20～60kHz）+免許不要のISMバンドの無線（433MHzまたは868/915MHz）
  - 光を用いた三辺測量RTLSもあり得る
- それでも交点の位置には不確かさが残る：ノウハウが必要
- タイミングと同期：ノウハウが必要
- ノイズと干渉
- 遮蔽物 => 冗長性を利用



Marvelmind robotics

高精度RTLSには見通しが不可欠

- 飛行時間方式の三辺測量システムの前提：
  - 距離を正確に測定 => 距離は速度×時間として測定 =>速度は一定でなければならない。しかし、空気中と壁の中では信号の伝搬速度が大きく異なる！そのため、もはや距離を信頼できない
- 見通し外で高精度なRTLSも、実際には見通しのあるRTLSであり、壁や遮蔽物が信号を透過しているにすぎない：
  - 多くのオフィスにある段ボールのような石膏ボードの壁は、UWBの電波を透過する
  - 「通気性のある」布は、Marvelmind屋内「GPS」の超音波を透過する
  - しかし！
    - 倉庫のコンクリート壁、パレット、金属棚は、UWBの電波を透過しない
    - 紙1枚でさえ、超音波やLIDARの光を透過しない

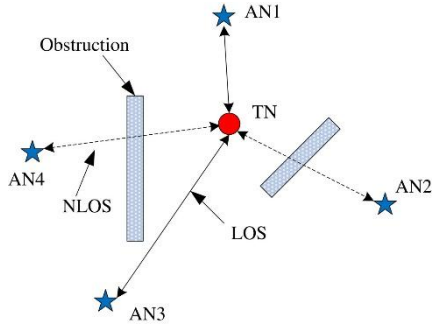


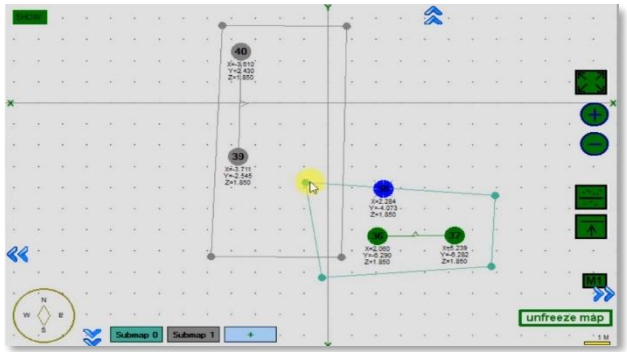
産業用の高精度RTLSには
見通しが不可欠

Marvelmind robotics

見通し外の状況ではどうするか？

- 見通しを確保する
  - 適切なネットワーク計画とビーコン配置*
  - サブマップを使い、固定ビーコンを増設*
  - 固定ビーコン（アンカー）のN+m冗長構成*
  - 冗長化のための2NとTDMAのアプローチ*
- センサーフュージョンを使う
  - オドメーター+屋内「GPS」*
  - IMU+屋内「GPS」*
  - 特別なアルゴリズム：純粋な3Dではなく一時的に2D**
- 一部のエリアでトラッキングできないことを許容する
  - ビーコンを増やしてコストをかけるか、ビーコンを減らして一部のエリアのカバーを諦めるか：ビジネスケースの経済性に基づいて判断





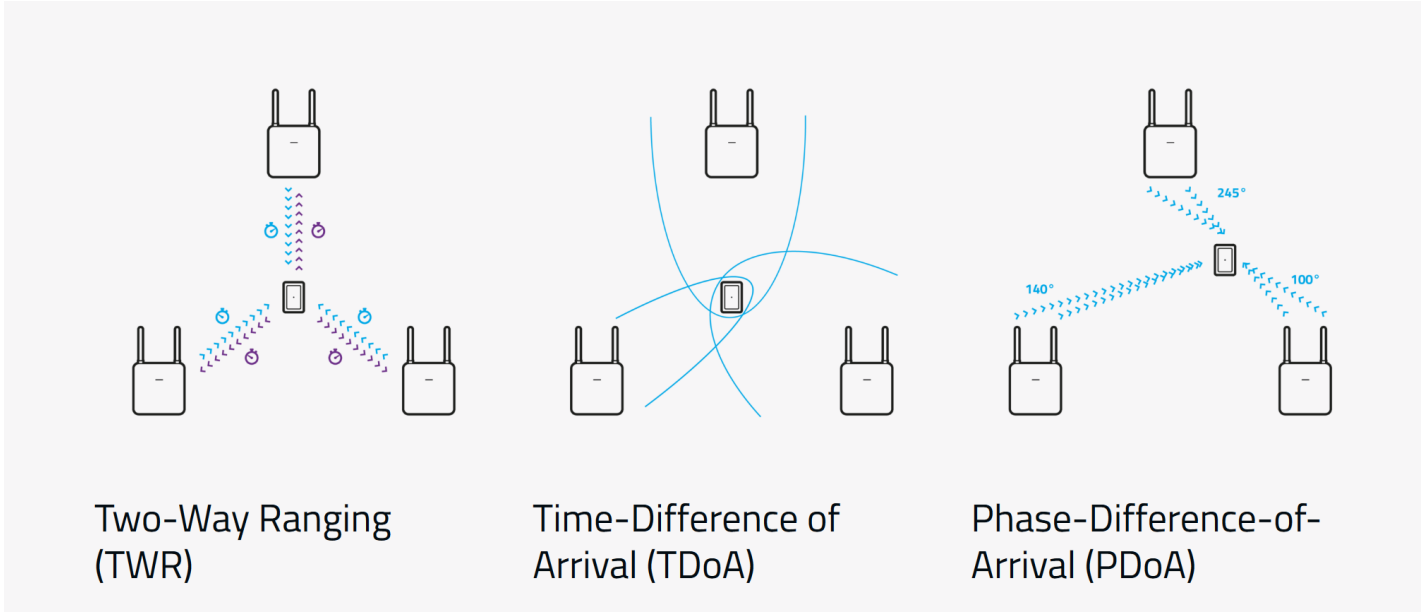
⇩

産業用の高精度RTLSには
見通しが不可欠

* Marvelmind屋内「GPS」で使用している方式

Marvelmind robotics

さまざまな種類のUWB



https://kinexon.com/technology/real-time-locating-system-rtls

Marvelmind robotics

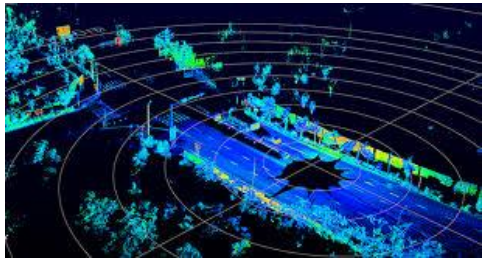
LIDAR：高精度だが、測位やナビゲーション向けに設計されたものではない

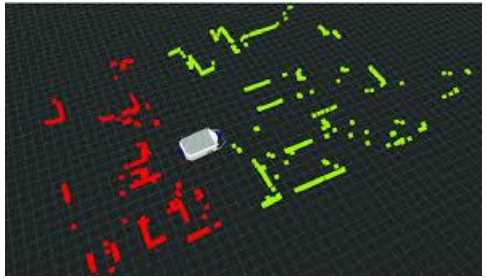
- **価格**：長距離LIDARは高価。屋内ではより安価なLIDARを使用できる
- **適用性**：障害物の検知と回避には適している。本来、次の用途向けではない：測位

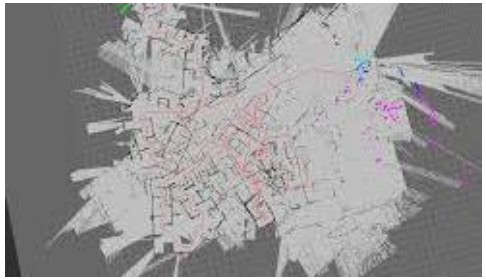
- **用途**：ロボット、AGV。まれにドローン。人員にはほぼ使えない

- かなり複雑なSLAMアルゴリズムで、工場の現場や混雑した倉庫といった実環境での性能には疑問が残る

測位の品質は環境の複雑さに大きく左右される。基本的で単純な部屋で、環境の変化が少なく、ほかの移動体（AGV/ロボット、人員）も少なければ、かなりうまく機能する。常に変化する実際の複雑な生産現場や倉庫の環境では、信頼性が低いか、位置を完全に見失う







⇩

LIDARは障害物の回避と検知に使い、測位には頼らないこと

Marvelmind robotics

QRコード + IMU + オドメトリ

- Kiva Roboticsが何年も前にこの方式を大々的に採用した。非常に多くの追随するロボット企業が、現在この優れた堅牢な方式を使っている
- 使用するもの：
  - 床に1～2 mごとに配置したQRコード：絶対測位
  - オドメトリ + IMUで正確に移動するが、誤差が蓄積する：QRコードの地点間での相対測位
- ロボットには適するが、フォークリフト、ドローン、人員には適さない



⇩

タスクに合わせて最適に調整したセンサーフュージョンシステムは、屋内ナビゲーションシステムの中でも特に優れた性能を発揮する

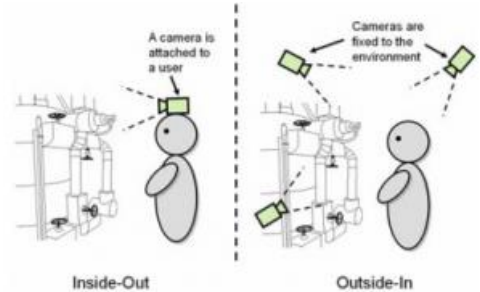
Marvelmind robotics

ビジュアル測位



限定的・特殊なものから汎用的なものまで、多くの種類がある：

- スターゲイジング（天井マーカー方式）とランドマークナビゲーション
- オプティカルフロー：ドローン、VR。相対測位に適する
  - 特殊なQRコードや、パターンに符号化されたその他の情報を利用する。場合によっては非常に実用的
- インサイドアウト方式とアウトサイドイン方式の測位
  - VR/AR
- モーションキャプチャー => 映画/VR
- 測位の品質は照明と距離に左右される（通常は数メートルが上限）



⇩

一部のビジュアル測位方式は、内部が非常に複雑であるにもかかわらず、有力な選択肢になっている

Marvelmind robotics

要件：位置更新レート

GPS衛星は電波を送信するが、何百万ものユーザーすべてを追跡しているわけではない：

- 多くの場合、複数の移動ユーザーを追跡する必要がある。そのため、ユーザーあたりの更新レートと、対応できる移動ユーザー数との間にトレードオフがある

Marvelmind Roboticsには2つのアーキテクチャがある：

1. NIAアーキテクチャ（Non-Inverse Architecture）
   - ドローンなど騒音の大きい移動体によく適している
   - 理解も導入も簡単。非常に堅牢
2. IAアーキテクチャ（Inverse Architecture）
   - 5～200の複数の移動体を、更新レートを下げずに追跡するのによく適している。導入はより複雑





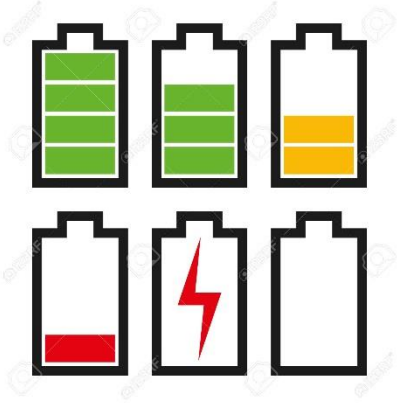
Marvelmind robotics

要件：電源とバッテリー寿命

更新レートが高いほど => バッテリー寿命はほぼ比例して短くなる

- 可能であれば外部電源を使い、安心を得る
- 必要な更新レートとバッテリー寿命の間で最適なバランスを選ぶ
- 交換式バッテリーか充電式バッテリーか
- 「バッテリー寿命5年」だけでは意味がない。更新レートはいくつか？到達範囲は？

- 固定ビーコンの電源とモバイルビーコンの電源
  - 固定ビーコンへの外部給電は、非常に困難でコストがかかる場合がある
    - 固定側：BLEは非常に良い。UWBは非常に悪い
    - モバイル側：UWBは非常に良い。BLEは非常に悪い
    - Marvelmind屋内「GPS」は、BLEとUWBの中間に位置する



Marvelmind robotics

要件：位置のみか、位置＋方向か

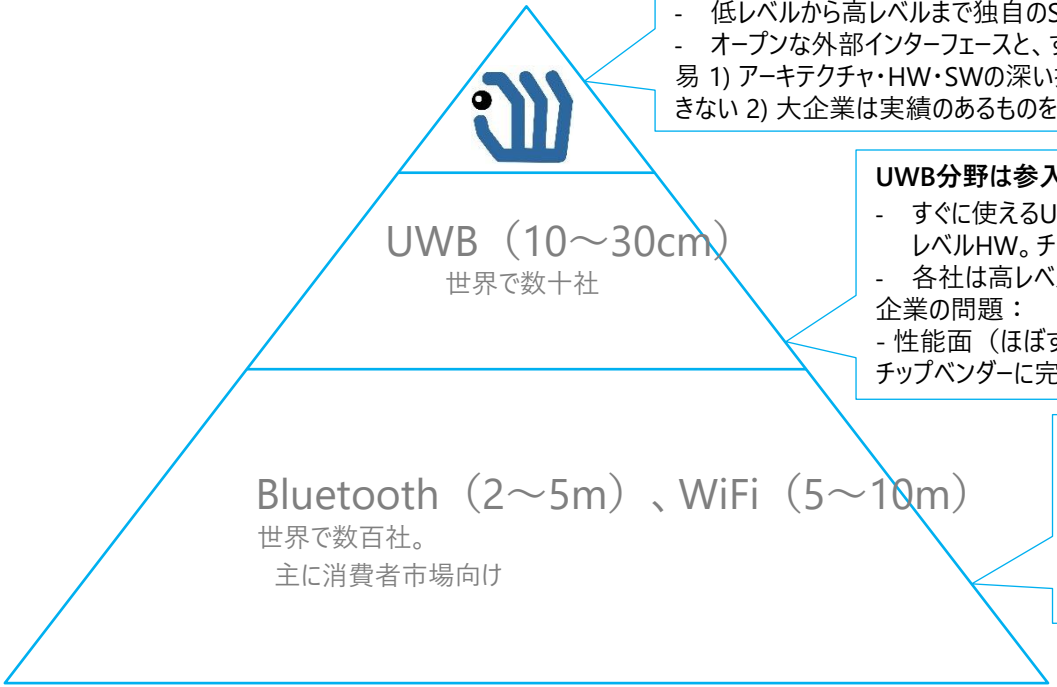
磁気センサーやコンパスは屋内では信頼できない => ロボット/AGV/ドローン/人が向いている方向を把握するのが難しい



1. 解決策1：1 m移動 => IMUのロック => IMUドリフトの常時補正：
   複雑で、常に可能・確実とは限らない
2. 解決策2：Marvelmindのペアードビーコン機能を使用。ただし、
   モバイルビーコン間の基線長が短いため、非常に高精度な測位が必要 => Marvelmindの屋内「GPS」やRTK GPSでは機能する。現実的なサイズの基線長では、UWBは精度不足のためほぼ機能しない。BLE v4.0では機能しないが、AoAに対応したBLE v5.1ならある程度機能する可能性がある

Marvelmind robotics

Marvelmind Roboticsの市場アプローチ



Marvelmindのアプローチ：高精度と直接競合の回避
- 独自のアーキテクチャと独自のプロトコル → 完全な独立性と高い性能
- 汎用ARMプロセッサーでゼロから独自にHWを設計 → 開発スピードと低コスト
- 低レベルから高レベルまで独自のSW → スピード、低コスト、容易な拡張
- オープンな外部インターフェースと、すぐに使えるSWライブラリおよびAPI → エンドユーザーによる統合が容易 1) アーキテクチャ・HW・SWの深い技術力を持つスタートアップは少ない => 当社のような開発はとてもできない 2) 大企業は実績のあるものを買うことを好む：当社の製品か、当社という会社そのものか

UWB分野は参入障壁が比較的低い：
- すぐに使えるUWBチップセットやUWBモジュール（Decawaveなど）：すぐに使える低レベルHW。チップベンダーが提供する、すぐに使える低レベルSWスタック
- 各社は高レベルSWだけを開発し、HWの最終製品に仕上げる 参入

企業の問題：
- 性能面（ほぼすべてのUWBシステムの性能はほぼ同じ）でもロードマップ面でもチップベンダーに完全に依存 => 遅延

BLE測位は参入障壁が非常に低い：
- BLEビーコンのHWメーカーが数十社あり、HWの技術力は不要。BLEのSWスタックもほぼそのまま使える

そのため、数百社が大きな消費者市場を追いかけている：
スマートフォンによる人のナビゲーション <=> 産業用途向けに調整されているわけではない用途

Marvelmind robotics

Marvelmind屋内「GPS」



- **既製ですぐに使える屋内**ナビゲーションシステム。固定式の**超音波ビーコン**を無線インターフェース（免許不要のISMバンド）で結んだ構成
- モバイルビーコンを取り付けたロボット（車両、コプター、人）の位置は、超音波信号が一連の固定超音波ビーコンに届くまでの伝搬遅延に基づき、三辺測量で計算される

Marvelmind robotics

屋内「GPS」（±2cm）

- スターターセットの構成：
  - モバイルビーコン1台：99 USD
  - 固定ビーコン4台：4*99 USD
  - ルーター1台：99 USD
  - 必要なSWはすべて付属



499 USDですぐに使える3D（x, y, z）システム

最大1000m^{2}をカバー

Marvelmind robotics

主なお客様

50か国以上のお客様



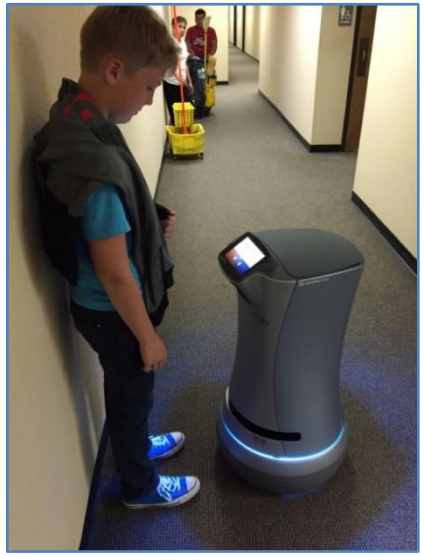
自律ロボット、ドローン、VR

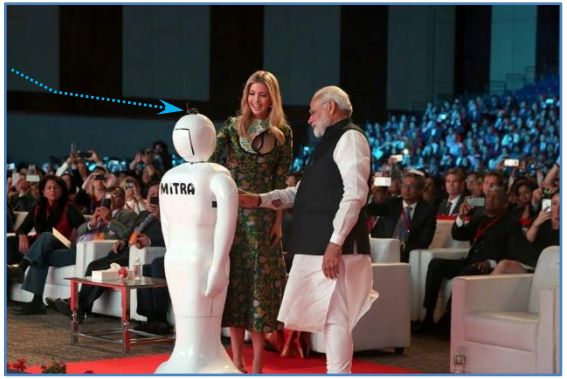


仮想現実：BIM、クエスト、トレーニング、ゲーム向け

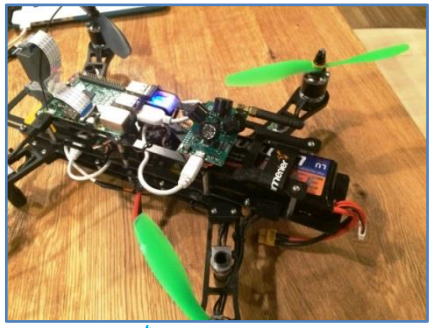
Marvelmindビーコン

大型建物内での自動配送





インド首相Modi氏とIvanka Trump氏



屋内の自律ドローン：在庫管理、動画/写真撮影、警備 22



ハイテクの魅力を備えた広告ロボット：ショー、ショッピングモール、展示会、博物館

Marvelmind robotics

ユースケース：移動資産のトラッキング

ユースケース：

- トンネル、空港の旅客エリアと貨物エリア、倉庫での、車両、バギー、台車、フォークリフトなどの移動資産のトラッキング

解決する問題：

- スピード違反
- 事故
- 設備や商品の破損
- 移動資産の紛失や低稼働

メリット：

- 誰がどこで何をしているかを正確に把握 => 生産性の向上
- 移動資産の速度、加速度、位置のリアルタイムデータ =>生産性の向上
- 事故の防止と、保険料などの回避可能なコストの削減





Marvelmind robotics

ユースケース：安全性と生産性

地下、地下鉄やトンネル、建設現場、鉄道駅、橋の下での作業員の位置のトラッキング



ユースケース：

- 地下/鉱山/地下鉄
- 建設現場
- 大規模な製造工場
- 危険を伴う製造現場
- 石油精製所とガス会社



- 生産性の向上
- 安全性の向上

Marvelmind robotics

NIAアーキテクチャ



Mini-RXビーコン1

固定ビーコン：
- 壁または天井に取り付け
- 固定Mini-RXビーコン間の距離は、ユーザーが手動で測定する必要がある
- ルーターとの無線通信：ISM/SRDバンド

Mini-RXビーコン2



システムが動作するための重要な要件：モバイルビーコンから2台以上の固定ビーコンを同時に、遮られることなく見通せること（GPSと同様）



モバイルビーコン：
- ロボットに取り付け、UART、SPI、I2C、USBのいずれかでロボットと連携
- ルーターから位置更新を受信（毎秒最大25回）
- IMU（加速度センサー + ジャイロスコープ + コンパスモジュール）を搭載可能

サブマップ：
- 高度な機能。別々の部屋に独立したマップ/ビーコンのクラスターを構築でき、携帯電話網のカバーエリアのように、大きな建物（面積数千m2）全体をカバーできる

屋内ナビゲーションシステムの構成：
- 2台以上の固定ビーコン
- 1台以上のモバイルビーコン
- 中央ルーター1台

Mini-RX ビーコンN



隣接ビーコン間の距離は最大25メートル。

Mini-RXビーコン3



ルーター/モデム：
- システムの中央コントローラー
- モバイルビーコンの位置を最大25 Hzで計算
- USB/仮想UART経由でDashboardまたはロボットと通信



Marvelmind robotics

IAアーキテクチャ



ビーコン1（19kHz）

固定ビーコン：
- 壁または天井に取り付け
- IAのシステムでは、同じサブマップに属するビーコンを異なる超音波周波数にする必要がある（例：19と25kHz、または25と31 kHz）
- ルーターとの無線通信：ISM/SRDバンド（433/868/915MHz）



ビーコン2（25kHz）

システムが動作するための重要な要件：
モバイルビーコンから2台以上の固定ビーコンへの見通し（超音波が直接届く経路）が同時に遮られていないこと（GPSと同様）



モバイルMini-RXビーコン：
- ロボット（人）に取り付け、USB経由の仮想UARTでロボットと連携
- 3D IMU（加速度センサー+ジャイロスコープ）を搭載
- NIAとは異なり、ビーコンの更新レートはモバイルビーコンの数に直接左右されない
- モデムではなく、ビーコン自身が位置を計算
- モバイルビーコンから固定ビーコンまでの推奨距離は最大25m

サブマップ：
- 高度な機能。別々の部屋に独立したマップ/ビーコンのクラスターを構築でき、携帯電話網のカバーエリアのように、大きな建物（面積数千m2）全体をカバーできる
- IAアーキテクチャでは、各サブマップのビーコンの超音波周波数が重複しないようにする必要がある
- 使用可能な周波数：19、25、31、37、45 kHz

屋内ナビゲーションシステムの構成：
- 2台以上の固定ビーコン
- 1台以上のモバイルMini-RXビーコン
- 中央ルーター1台



ビーコンN（19, 25, 31, 37, 45 kHz）

隣接ビーコン間の距離は最大25メートル。



ビーコン3（31kHz）

ルーター/モデム：
- システムの中央コントローラー
- USB/仮想UART経由でDashboardまたはロボットと通信
- モバイルMini-RXビーコンから位置データを取得
- 最大250台のビーコンに対応



Marvelmind robotics

大型AGV、輸送、人員

AGV上の移動ジオフェンスゾーン

Ind Super-Beacon



Super-Modem



Marvelmind Headlight



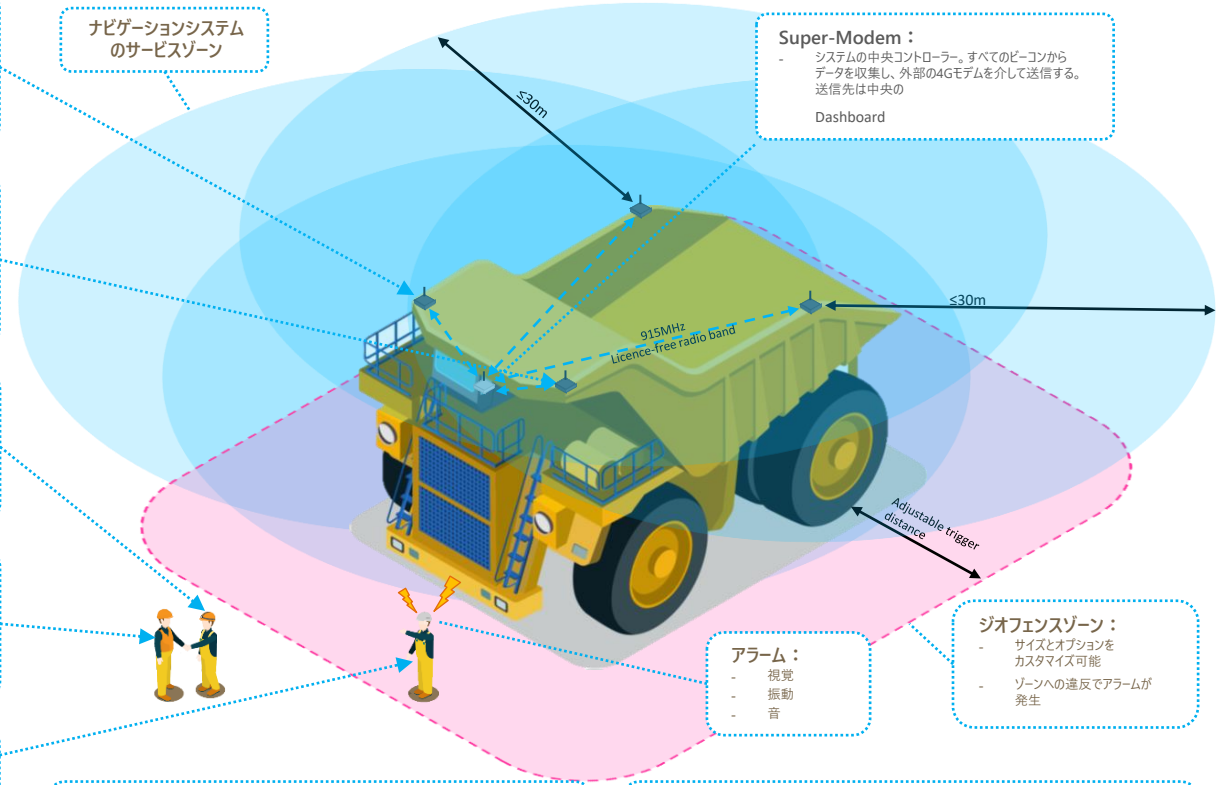
Marvelmind Jacket



Marvelmind Helmet



ナビゲーションシステムのサービスゾーン



Super-Modem：

- システムの中央コントローラー。すべてのビーコンからデータを収集し、外部の4Gモデムを介して送信する。送信先は中央の

Dashboard

アラーム：

- 視覚
- 振動
- 音

ジオフェンスゾーン：

- サイズとオプションをカスタマイズ可能
- ゾーンへの違反でアラームが発生

構成：

- 4 x Industrial Super-Beacon-Plastic（AGVに設置）
- N x Marvelmind Headlight（作業員1人に1個、ヘルメットに装着）
- 1 x Super-Modem（AGVに設置）

動作原理：

- Marvelmind屋内GPSシステムでは、AGVそのものがモバイルマップとなり、そのジオフェンスゾーンに入ると、本人とオペレーターに危険な接近を警告し、さらに極めて危険な接近時にはAGVを停止させる

結果：

- Marvelmind屋内GPSによる高精度トラッキング
- 作業員と機器の運転者へのアラーム
- 違反をCSVファイルに記録し、後で分析
- AGVの自動停止（オプション）

課題：

- AGVと人の危険な接近を防止
- AGVと人の衝突を防止

解決策：

- Marvelmind屋内GPSシステムをAGVに直接設置し、移動ジオフェンスゾーンを設定

Marvelmind robotics

建設現場での人員の安全

建設現場の静的ジオフェンスゾーン



Super-Beacon-Outdoor、設置先：三脚

または



産業用 Super-Beacon、設置先：三脚

Battery-12V-5Ah-Outdoor

Super-Modem



Marvelmind Headlight



Marvelmind Jacket



Marvelmind Helmet



Super-Modem：

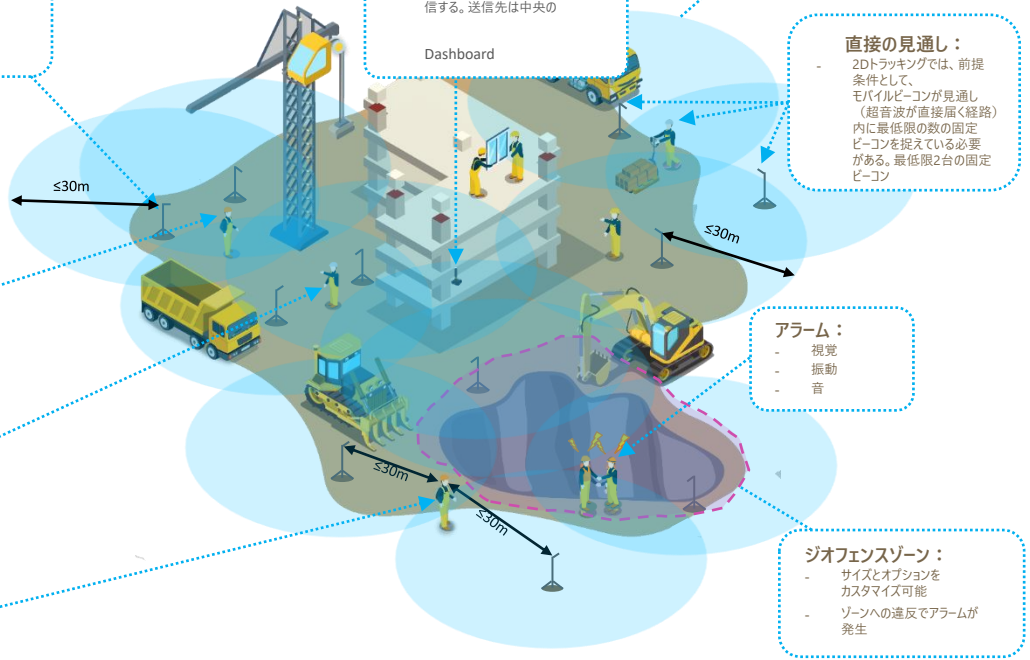
- システムの中央コントローラー。すべてのビーコンからデータを収集し、外部の4Gモデムを介して送信する。送信先は中央の

Dashboard

ナビゲーションシステムのサービスゾーン

直接の見通し：

- 2Dトラッキングでは、前提条件として、モバイルビーコンが見通し（超音波が直接届く経路）内に最低限の数の固定ビーコンを捉えている必要がある。最低限2台の固定ビーコン



アラーム：

- 視覚
- 振動
- 音

ジオフェンスゾーン：

- サイズとオプションをカスタマイズ可能
- ゾーンへの違反でアラームが発生

課題：

- 従業員が危険ゾーンに近づいた際に警告し、人員の移動データを取得する

解決策：

- Marvelmind屋内GPSシステムを現場に設置し、ジオフェンスゾーンをカスタマイズ可能

構成：

- N x Industrial Super-Beacon-Plastic（三脚に取り付け）
- N x Marvelmind Headlight（作業員1人に1個、ヘルメットに装着）
- 1 x Super-Modem（中央に設置）

動作原理：

- この構成のMarvelmind屋内GPSシステムは、人員のトラッキングとカスタマイズ可能なジオフェンスゾーンを提供し、危険への接近を本人に警告する

結果：

- Marvelmind屋内GPSによる高精度トラッキング
- 作業員とシフト責任者へのアラーム
- シフト中のすべての動きを記録したCSVファイル
- すべての違反をファイルに自動記録し、後で分析（オプション）

Marvelmind robotics

クレーン作業時の人員の安全

クレーンブーム上の移動ジオフェンスゾーン

Ind Super-Beacon



Super-Modem



Marvelmind Headlight

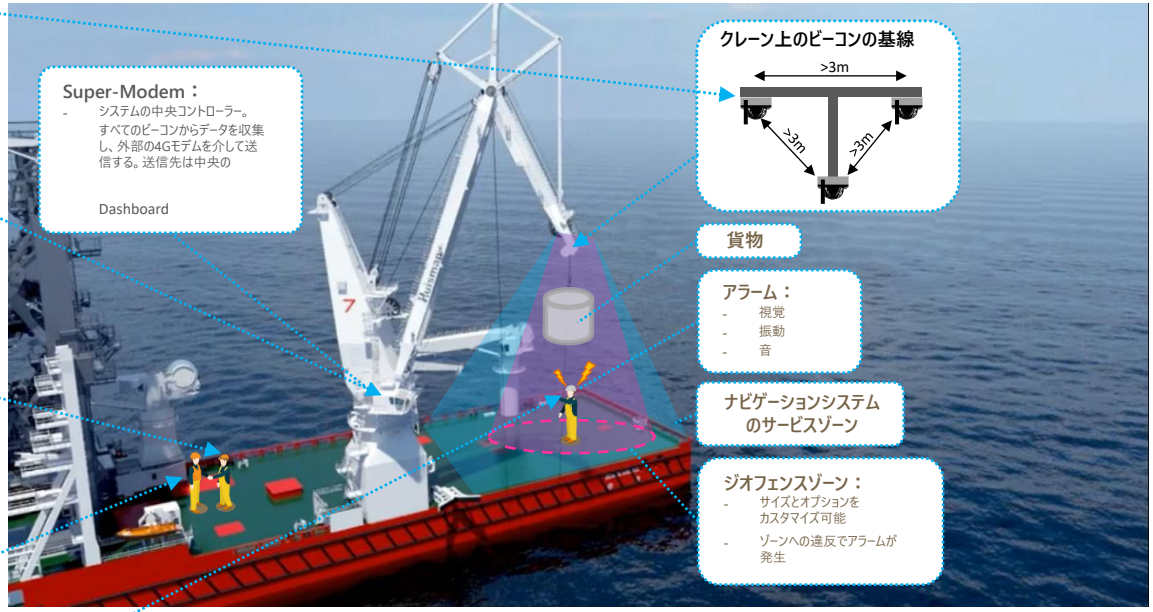


Marvelmind Jacket



Marvelmind Helmet





構成：
- 3 x Industrial Super-Beacon-Plastic（クレーンに設置）
- N x Marvelmind Headlight（作業員1人に1個、ヘルメットに装着）
- 1 x Super-Modem（クレーンに設置）

動作原理：
- この構成では、クレーンのブーム先端がモバイルマップとなり、そのジオフェンスゾーンに入ると、本人とオペレーターに危険な接近を警告する

結果：
- Marvelmind屋内GPSによる高精度トラッキング
- 作業員とシフト責任者へのアラーム
- シフト中のすべての動きを記録したCSVファイル
- すべての違反をファイルに自動記録し、後で分析（オプション）

課題：
- 貨物と人の危険な接近や衝突を防止

解決策：
- Marvelmind屋内GPSシステムをクレーンに直接設置し、移動ジオフェンスゾーンを設定。ゾーンはクレーンのブームに追従して動く

Marvelmind robotics

サービススタッフのトラッキング

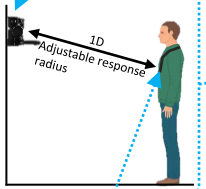
ショッピングセンターの1フロアの例

Super-Beacon



トイレ

側面図

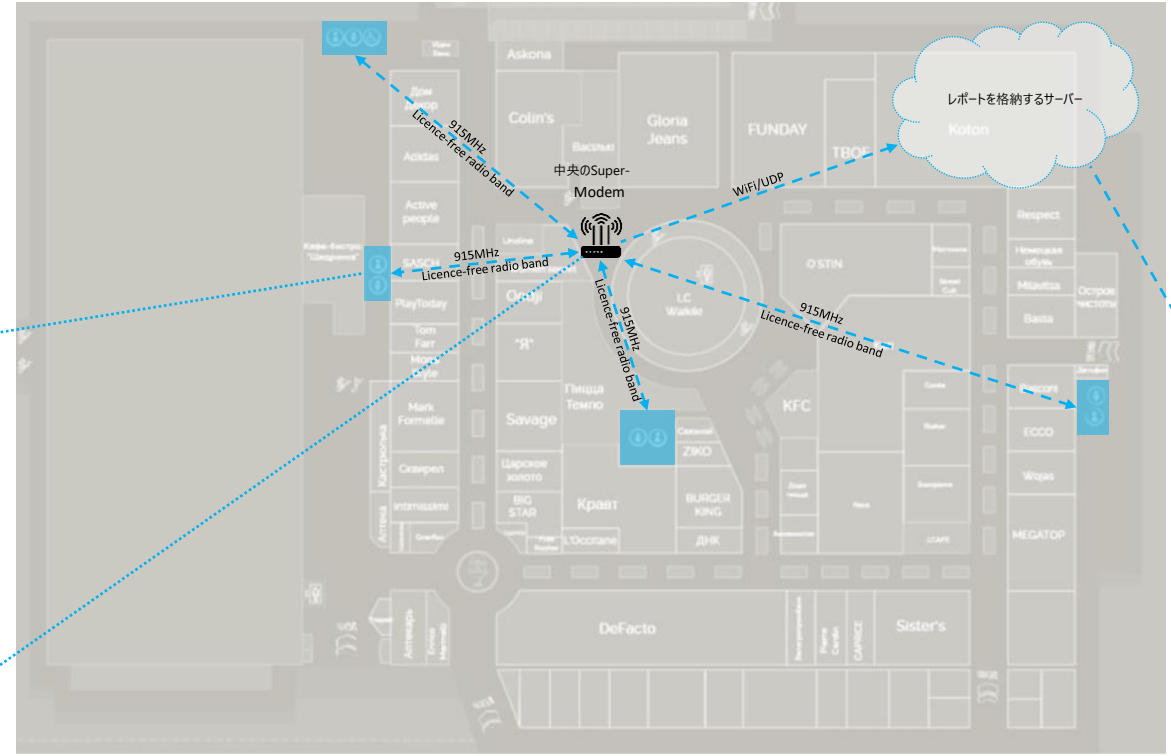


バッジ



Super-Modem





構成：

- N x Super-Beacon（トイレ1か所に1台）
- N x Badge（作業員1人に1個）
- N+1 x Super-Modem（各フロアに1台 + 中央に1台）

結果：

- サービス従業員の担当エリアでの移動に関する自動レポート（CSVファイル）
- 表の自動入力（オプション）

レポート表（Marvelmind）

- レポートは中央のSuper-Modemが生成し、Wi-Fi経由でお客様のIPアドレスに、要求時または設定した時刻（例：毎晩）に送信されます

時刻	作業員1 (>80%)	作業員2 (>50%)	作業員3 (<50%)
8:00-8:15			
9:00-9:15			
11:00-11:15			
20:00-20:15			
21:00-21:15			
22:00-22:15			
23:00-23:15			

課題：

- サービススタッフのトラッキング
- 業務実績のモニタリング

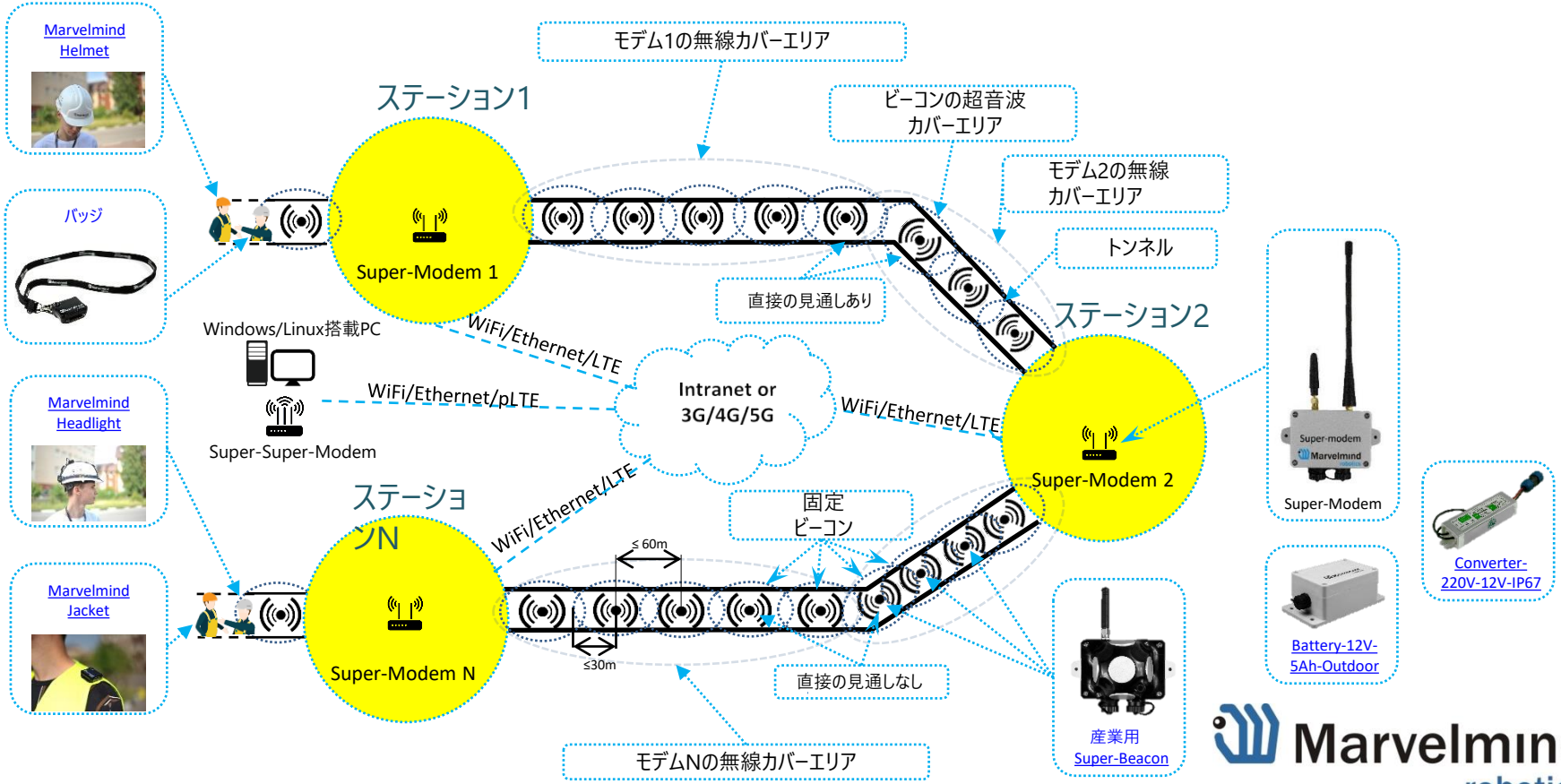
解決策：

- サービス担当者の業務をモニタリング・分析するための1D構成のMarvelmind屋内GPSシステム

Marvelmind robotics

トンネルの安全性と作業効率

地下トラッキング用のマルチモデムシステム



Marvelmind robotics

ビーコンの比較








	Beacon Mini-RX/Beacon Mini-RX-Outdoor	Beacon Mini-TX	Beacon Mini-TX バッテリーレス	Super-Beacon/Super-Beacon-Outdoor	Industrial-Super/Industrial-Super-EX	Industrial-RX/Industrial-RX-EX
特長と主な用途	汎用・マルチ周波数・高感度のRX専用ビーコン	小型のTX専用ビーコン	非常に軽量なTX専用ビーコン	汎用の送受信兼用ビーコン。433MHz帯または915/868MHz帯に対応	屋外の過酷な環境/爆発の危険がある環境向け。RS485またはCAN	屋外の過酷な環境/爆発の危険がある環境向け。RS485またはCAN
動作モード	RXのみ	TXのみ		送受信兼用（RXとTX）	送受信兼用（RXとTX）	RXのみ
範囲	- Super-Beaconで最大30m	- Super-Beaconで最大30m		- Super-Beaconで最大30m - Beacon v4.9[3]で最大30m	- Industrial-RXで最大30m	- Ind. Super-Beaconで最大30m
超音波周波数	- 19/25/31/37/45kHz - 複数を同時に使用可	- 31/45kHz - HWで決まる1周波数のみ		- 19/25/31/45kHz - 同時に1周波数のみ	- 19/25/31/45kHz	- 19/25/31/45kHz - 複数を同時に使用可
無線周波数帯	915/868MHz	915/868MHz		915/868MHzまたは433MHz	915/868MHzまたは433MHz	915/868MHzまたは433MHz
電源/LiPolバッテリー	USB/750mAh	USB/250mAh	USB/バッテリー内蔵なし	USB/1000mAh	+6～16VまたはIP67コンバーター/外部バッテリー	+6～16VまたはIP67コンバーター/外部バッテリー
使用環境	- 屋内/屋外（IP67まで） - t=0..40C[6]	- 屋内/屋外[2] - t=0..40C[6]	- 屋内 - t=0..40C[6]	- 屋内/屋外[2] - t=0..40C[6]	- 屋外[2]/本質安全防爆[5] - t=-20..40C[6]	- 屋外[2]/本質安全防爆[5] - t=-20..40C[6]
サイズと重量	47x42x15mm & 25g	35x35x26mm & 19g	35x35x20mm & 12g[9]	55x55x33(64[7])mm & 62/75g	83x58x65mm[8] & 250g	83x58x33mm[8] & 200g
IMU（3Dジャイロ+加速度+磁気）	あり（6D）	あり（6D）	あり（6D）	あり（6D）	あり（6D）	あり（6D）
価格	99/129 USD	89 USD	89 USD	99/129 USD	149/189 USD	149/189 USD

1) 水深1 mで最大30分間の水没に耐えます（IPx7の要件） 2) IP56。この間の性能は保証されません

3) 1Dモード：RX4センサー同士で測定。その他のセンサーは無効
4) その他の電源オプションはご要望に応じて対応可能
5) 認証の具体的な種類は別途ご相談ください
6) -40Cまでの温度範囲は外部電源使用時のみ、ご要望に応じて対応可能
7) アンテナを含む
8) 取付穴を除くサイズ
9) 筐体なしで6.3g

Marvelmind robotics

まとめ



1. すべてのニーズに合う方式はない → 自分に合うものを選ぶ 2. 測位専用に設計されたシステム（Marvelmindの屋内「GPS」、UWB）は、予想どおり、通常のデータ伝送システム（BLE、WiFi、LoRa）より大幅に優れた性能を発揮する 3. センサーフュージョンシステムは特に優れた結果を示す

Marvelmind robotics

ありがとうございました！

Marvelmind Robotics

Marvelmind OÜ
Katusepapi tn 4/2,
Tallinn, 11412,
Estonia

info@marvelmind.com
https://marvelmind.com/#watch_demo – 主なデモ動画https
://marvelmind.com/#customers – 主なお客様