

工場における赤外線を用いた屋内の物品管理手法の提案

森永 健太^{1,a)} 高田 憲一² 北須賀 輝明² 山中 嘉文³

概要: 現在屋内の測位システムは RFID タグや, WiFi や, 超音波などといった種々の方法が提案されているが, 金属が多い環境である工場における物品管理に適用するにはノイズや反射により位置精度を確保することが困難であると考えている. 本稿では, 精度や環境整備の難しさといった課題を克服するために赤外線を用いた方法を提案する. これは管理対象の物品が入れられたカートの底面に赤外線の送信機を取り付け, 受光素子を床に多数配置することによって周りの環境に影響されずに信号のやり取りをするというものである. この方法を用いることで 50cm 以下の精度で物品の位置の計測ができることが分かった.

A Proposal of Indoor Article Management Method Using Infrared in Factory

Abstract: As indoor positioning system, various methods using RFID tag, WiFi, and ultrasonic waves have been proposed. However, to apply them in article management in factory with many metal equipments, we think it is difficult to ensure accuracy of position because of noise and reflection. In this paper, we propose a method using infrared to overcome issues such as accuracy and difficulty of deployment. In the proposed method, each cart containing a target article has an infrared transmitter on the bottom, and many photo detectors are installed on the floor. By preliminary evaluation, we figured out that we can measure the position of the articles with an accuracy of less than 50cm.

1. はじめに

近年, 工場などの建物内において, 物品や設備の配置などの所在地を的確に把握し管理することで, 業務の効率化を図りたいというニーズがある. このようなニーズに対して, 高精度の屋内位置検知技術の確立が望まれており, 様々な屋内の位置推定技術の研究がなされている [1][2][3][4][5][6]. このようなニーズの例として, 位置測定技術によって一つの作業場に複数のロットを置けないようにして混入を防止するという品質管理や, 製品の位置管理を行って作業改善及び最適レイアウト設計に繋げるといった改善施策や, 長期停滞ロットの可視化を行いリードタイム (商品やサービス, 資材などを発注してから納品されるまでに要する時間) の短縮に繋げるといった生産管理があげられる. 本稿では



図 1 ロットの入った箱とカート

位置測定の対象物を工場内のロットとする. ロットは図 1 のようにカートの上に箱を積み上げた一つの山に収められているとする.

測位システムといえば全地球測位システム (以下 GPS と記す) が一般的であるが, GPS は屋内や地下では電波が届きにくいいためマルチパスや SN 比の低下で著しく精度が落ちたり測位できなかつたりするという弱点があり, 工場などにおける物品管理システムには不向きである. よって工

¹ 熊本大学工学部
Faculty of Engineering, Kumamoto University
² 熊本大学大学院自然科学研究科
Graduate School of Science and Technology, Kumamoto University
³ 九州日誠電気 (株)
Kyushu Nissei Denki Co.Ltd.
a) morinaga@dbms.cs.kumamoto-u.ac.jp

場内など屋内で測位を行うには他の方法を使う必要がある。

屋内で用いる測位システムに関しては現在 WiFi や RFID, 超音波などを用いた種々の手法が提案されている。しかし、環境によってはそのような電波を利用した方法は適していない場合がある。すなわち、電波を反射したり、吸収する部材が多く、ノイズも多い工場などでは十分な測位精度が得られなかったり、機器が高額になったりすることがある。電波は反射の影響があるため金属製の装置が多い工場内では無視できない。また無線を管理する環境整備が難しいのと範囲指定ができないため不要なところにまで電波が届き、干渉するなどといったことがある。

以上のような理由から電波を用いた測位方式は適していない場合がある。本稿では、物品の管理とはカートに乗せられてあるロットの工場内での位置を把握することとする。そこで工場での物品管理のための新たな屋内測位システムの手法として赤外線を用いた手法を提案する。これはカートの底面に赤外線の送信機を取り付け、信号を送信し、床にある赤外線受光素子が信号を受信して現在のカートがどこにあるかということを示すというものである。この手法だと周りの金属でできた設備などに影響されることはほとんどない。また送信機をカートの底面に取り付けるため、送信範囲が狭く他の送信機の信号と干渉する可能性が低くなり精度の向上が見込まれる。さらにカートが動いていてもある程度の速さまでなら送受信が行われることも期待できる。

本論文の構成を以下に示す。2章では、現在までに考えられている既存の屋内測位システムについて解説する。3章では、提案手法である赤外線を用いた手法についての説明にする。4章では、提案手法を用いて、実験を行い、実験結果と考察を述べる、5章では、本論文のまとめと今後の課題を述べる。

2. 関連手法

2.1 GPS を用いた測位方法

GPS は全地球測位システムと言われ、人工衛星を利用して現在位置を正確に割り出すシステムである。GPS 受信機は複数の人工衛星からの電波を受信することで、地球上での現在位置を割り出す。以下に GPS の原理を述べる [7]。

「距離=速さ×時間」で表し、速さは電波の伝搬速度とする。受信機と人工衛星の距離は、人工衛星が信号を発信してから受信機が受信するまでの時間を測ることによって測定できる。

人工衛星から等距離に線を引くと図 2 のように円が書ける。図 2 のように、GPS 受信機が 2 つの人工衛星を捉えた場合、両方の円が交わる赤い点が受信機の位置となるが、これでは一つの地点に特定できない。3 つの人工衛星を捉えれば、円が重なる地点は 1 箇所になり、ユーザの位置が特定できる。

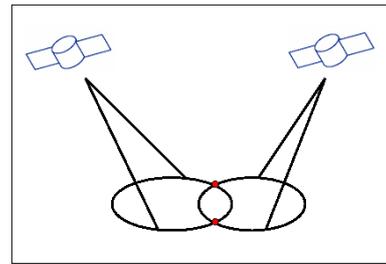


図 2 GPS 測位の原理 ([8] から引用)

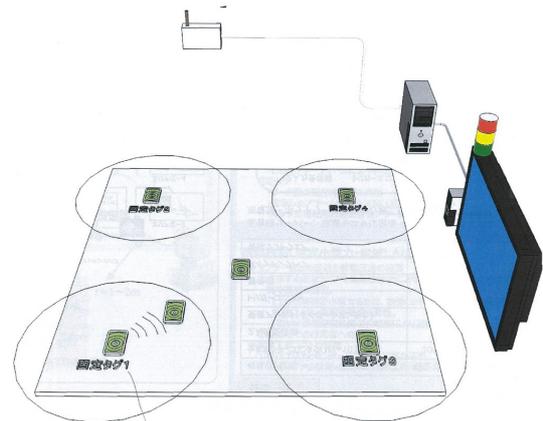


図 3 アクティブ RFID を用いた方法

ゆえに人工衛星から発信した電波を受信した時間が重要となっている。人工衛星には精密な時計が搭載されているが、受信機側で時計のズレが生じると誤差が発生するので、それを補正するために 4 基目の人工衛星からの電波を受信する必要がある。

しかし、人工衛星の電波が直接届かない地下や屋内では測位精度が著しく下がるという課題がある。

2.2 RFID を用いた測位手法

RFID (Radio Frequency Identification) とは、電波を利用してタグの識別子 (ID) を認識する非接触型の自動認識技術のことである。タグを人や物につけることで人や物の存在を認識できる。RFID のシステムは、IC タグと読取り装置からなる。読取り装置で IC タグの ID を読み取ることで、IC タグが読取り装置の近くに存在することが分かる。電池を内蔵しない IC タグをパッシブ RFID タグと呼び、電池を内蔵する IC タグをアクティブ RFID タグと呼ぶ [9]。ここではタグ間でも通信可能なアクティブ RFID タグを用いた方法を紹介する。

文献 [10] の製品では図 3 のように、固定タグを床に配置し移動タグが固定タグの受信エリアに入った時に、固定タグがと動タグが通信し、移動タグの位置を測定するというものである。レイアウトの変更が容易で機能拡張性があるという利点がある一方、タグが高価であるという欠点がある。

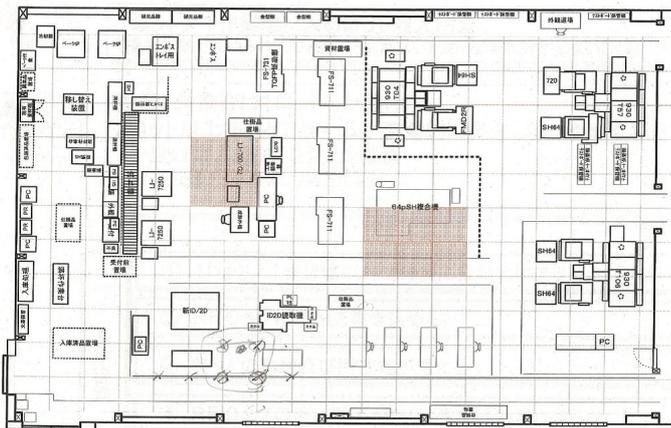


図 4 工場の間取りの例

2.3 無線 LAN を用いた方法

無線 LAN を用いた方法には信号の減衰特性を利用する RSSI (Received Signal Strength Indicator) 方式 [11][12] と信号の到来時間差を利用する TDOA (Time Difference Of Arrival) 方式の二種類に大別される [13]. TDOA 方式は RSSI 方式に比べて測位精度は高い反面、受信側で高精度な時刻同期を取る必要があるため、高コストとなる。また、両方式ともマルチパスやシャドウイングなど、非一様伝搬路に起因した信号の遅延や受信レベルの変動によって測位精度が劣化してしまうという課題がある。今回は金属製の装置が多い工場内での使用を想定しているため、この方法は適さないと考える。

2.4 超音波を用いた方法

超音波を用いた方法 [14][15] では、超音波送信機から受信機へ超音波信号を送り、その伝搬時間を計測することで送受信機間の距離を測定することで測位する。超音波方式の利点として屋内環境におけるマルチパスの影響を受けやすい無線 LAN などの電波を用いた方式に比べて高精度であることや電波法の制約を受けないことがあげられる。また、電波を用いる方式に比べて超音波の伝搬時間差が大きくなるため、マイコンでのマルチパスの影響の除去が容易である。デメリットとして遮蔽物などにより音波が遮断されてしまう場合には測定が困難になるということや超音波は減衰が激しく、指向性を持つために 1~2m おきに超音波の受信機を配置する必要があるということなど課題も多い。

3. 提案手法

3.1 概要

従来の手法では屋内の物や壁などの環境によっては精度が不確かであるという欠点があった。そこで送信範囲を狭め、かつ周りの環境に依存しない方法としてカートの底面から赤外線を送信するという方法を提案する。

図 4 のような間取りの工場があると仮定する。本システ

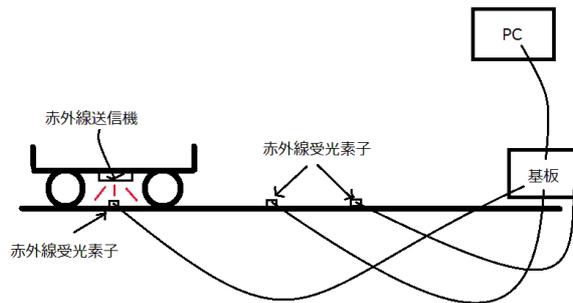


図 5 赤外線を用いた方法のイメージ図

ムはどのロットがどこにあるかということ推定することを目的としている。一つのカートには一種類のロットが入った箱が積まれてあり、この工場内を様々な種類のロットが積まれたカートが移動する。

まず一つの種類のロットにそのロット固有のロット番号などの情報を含んだ一つの信号を割り当てる。図 5 のように、カートの裏に赤外線の送信機を取り付け、ロット固有の信号を送信する。送信機からの信号を床に配置した赤外線受光素子が受信し、ロットの場所を特定する。異なる種類のロットのカートからは異なる種類の信号が送信されている。受光素子が受信した信号を受信機が判別し、PC に情報を送ることのできる。どのロットがどこにあるかという情報を得ることができる。

2 章で述べた他の方法では金属の多い工場内では反射等の影響があったが、この手法は送信機をカートの底面に取り付けて信号を発信しているため、床材の影響は受けるものの、その他の周りの環境にはほとんど影響されないことが期待される。また送信範囲が狭いため、干渉の可能性も少ないと考えられる。さらに、カートが動いていても継続的に送受信が可能であると考えられる。

また、実際には複数の受光素子が信号を受信することが多いと考えられる。そのような場合は受信した受光素子を繋げてできた図の重心を推定位置とすることにする。本稿では、密度が一定で単体であるので全頂点の各座標の値の算術平均を重心とする。 n 角形の物理的重心 \vec{g} は、頂点の位置ベクトルを $\vec{a}(k)$ ($k=1,2,3,\dots,n$) とすると、

$$\vec{g} = \frac{\sum_{k=1}^n \vec{a}(k)}{n} \dots (A)$$

で与えられる。

3.2 設計

送信機と受信機を作成する。送信機と受信機の制御に、マイコンとして Microchip 社の PIC16F886 を用いる。PIC マイコンは非常に安価で、I/O ポート、メモリといったマイコンを構成するパーツが一つのチップに納められているので回路の簡素化ができる。本研究で使用した PIC16F886 のピン配置を図 6 に示す。

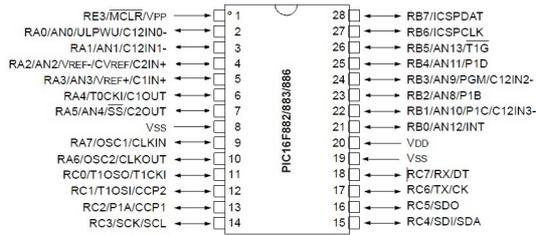


図 6 PIC16F886 のピン配置

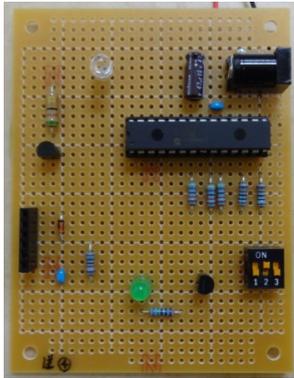


図 7 送信機の基板

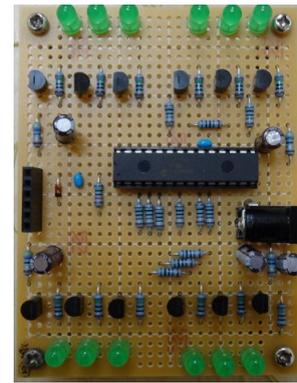


図 8 受信機の基板

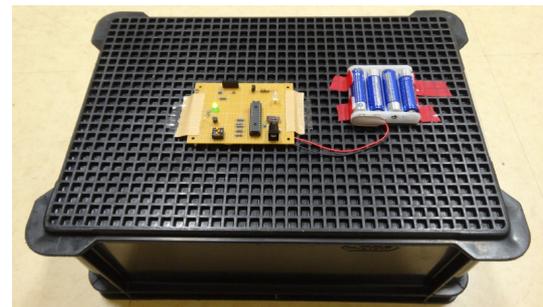


図 9 カートの裏に取り付けられた送信機

プログラミング言語には C 言語を、開発環境には MPLAB X IDE v1.41 (Microchip 社) を、コンパイラには HI-TECH C (Microchip 社) を、ライターには PICKIT 3 (Microchip 社) を使用する。また、赤外線 LED には OSI5FU5111C-40 を、赤外線受光素子には PL-IRM2161-C438 を使用する。

製作した送信機の基板を図 7 に、受信機の基板を図 8 に示す。

送信機からは

```
{ 0x55, 0x5A, 0xF1, 0x48, 0x68, 0x8B, 0x00, 0x00 },
{ 0x55, 0x5A, 0xF1, 0x48, 0xC8, 0x81, 0x00, 0x00 },
{ 0x55, 0x5A, 0xF1, 0x48, 0x28, 0x8F, 0x00, 0x00 },
{ 0x55, 0x5A, 0xF1, 0x48, 0xA8, 0x87, 0x00, 0x00 },
....
```

のように 16 進数の 8 バイトの数字列を送信する。本稿で作成した図 7 の基板では、3 ビットのスイッチを使うことによって 8 通りの信号を送ることができる。送信機の基板に電源を入れると LED が点灯し、スイッチに対応した信号が送信される。図 8 の受信機には 4 つの受光素子を接続する。受光素子が信号を受信し、マイコンの内部で信号を判別し、受信した信号に合わせて 4 すみのそれぞれの LED が 8 通りに光るようにしている。

実際の工場ではロット数は大変多いが上記の 8 バイトのうちデータ部分を変更することで 1 万程度のロットを区別できると思われる。

4. 実験

4.1 方法

図 9 のように、カートの底面に赤外線 LED が中央にな

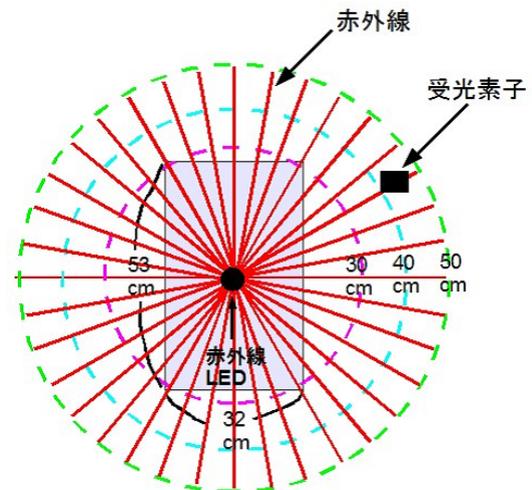


図 10 上から見た実験イメージ図

るように送信機を取り付ける。図 10 のように、10 度ごとの角度で受光素子を移動させて、それぞれの角度で受信可能な距離を調べ、受信範囲を調べた。カートのサイズは縦 53cm、横 32cm である。

4.2 結果

受信範囲は図 11 のようになった。黒色で囲まれている部分が受光素子が受信できた最大の送信範囲である。赤外線 LED から約 35~75cm の範囲が送信範囲になっていることが分かる。カートの角にあたる角度で送信範囲が狭くなっているのはカートの車輪が赤外線を遮っているから

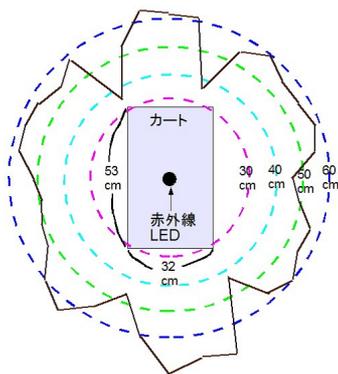


図 11 送信範囲

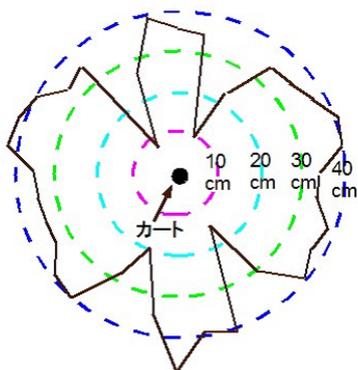


図 12 カートを点と見立てた送信範囲

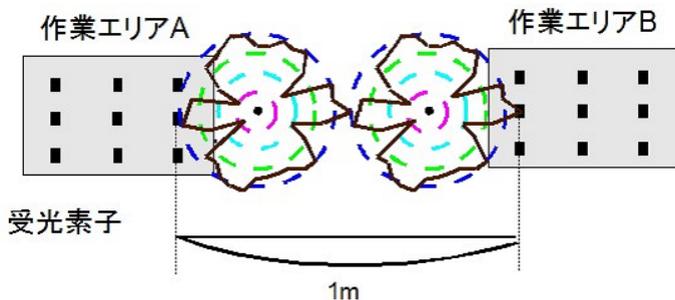


図 13 エリアの間隔

であると考えられる。次に、カートを点と見立てた場合、カートの側面からどの範囲まで受信できるかを示すのが図 12 である。この図から受信範囲を 50cm 以内に収めることができる精度であることが分かる。

4.3 考察

4.2 節よりカートから最大 50cm 弱の範囲が受信範囲となることが確認できた。よって、信号を受信しない空白地帯をなくすために、受光素子を配置する間隔は 40cm 程度にすれば良いこととなる。また、この結果から送信機の信号の干渉を避けるためにはエリア間の受光素子を図 13 のように 1 メートル以上空けて設置する必要がある。

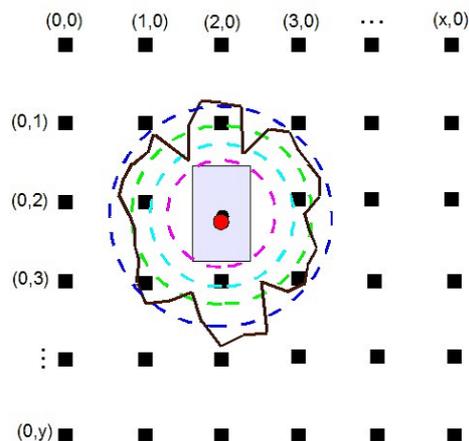


図 14 複数の受光素子が信号を受信した時の位置の推定

4.4 位置の推定

例えば一番左上の受光素子の座標を (0,0) として格子状に受光素子を並べ、図 14 のようなカートの配置であったとする。受光素子の配置間隔は 40cm とする。この時、(2,1), (1,2), (2,2), (3,2), (1,3), (2,3), (3,3) の受光素子がカートからの信号を受信している。3.1 節の (A) 式よりこの場合は位置ベクトルの和である $(2,1)+(1,2)+(2,2)+(3,2)+(1,3)+(2,3)+(3,3)=(14,16)$ を 7 で割った $(2, 2.28)$ が重心となり、ここを推定位置とする。図 14 の赤丸が重心に相当し、赤外線 LED である黒丸とほぼ重なっているため、この計算法を用いることで十分な精度で位置を推定できることが分かる。

4.5 送信機の消費電力

受信機の電源は AC アダプタ等で供給が可能だが送信機はカートの裏に取り付けるため、電池を電源の供給源とする。信号を送信中の送信機に 5.10V の電圧をかけると 25.6mA の電流が流れた。電力 P (W) は供給されている電圧を E (V)、電流を I (A) とすると

$$P = EI$$

で表される。よって、この送信機の消費電力は

$$5.10 \times 0.0256 = 0.13056 \text{ (W)}$$

である。

計算上は放電容量 W (Ah) を消費電流 I (A) で除したものが、その電池の使用可能時間 t なので

$$t = \frac{W}{I}$$

例えば、放電容量 2000mAh の電池を用いたとすると、消費電流が 25.6mA なので、使用可能時間は

$$\frac{2000}{25.6} = 78.125 \text{ (h)}$$

となる。ただし、放電容量などは周りの温度や時間放電率等を考慮する必要があるため、必ずしもこの計算結果通りになるとは限らない。

5. おわりに

本稿では、工場における物品の位置計測において従来から研究が進められている RFID や WiFi, 超音波などを使った方法とは異なる赤外線を用いた方法を提案した。移動するカートの底面に赤外線の送信機を取り付け、ロット固有の情報が入った信号を送信し、床に配置された受光素子が信号を受信して PC に送って位置情報を取得するという方法を用いることで測位誤差が 50cm 以下に抑えられ、工場の物品管理には十分な精度が測れることが分かった。また、作業エリア間の受光素子の設置間隔は 1メートル程度以上にすることで信号の干渉が避けられることを示した。

今回の実験では受信機を一つだけ用いて実験を行ったが複数の受信機を用いた時に、どのようにして複数の受信機の情報をまとめるかということが課題である。一つの受信基板のみを用いたのでマイコンの中で処理できるが複数の受信基板を用いるとパソコンの中で処理させる必要があるのでその仕組みを考えなければならない。

参考文献

- [1] 安齋恵一, 岡島匠吾, 坪川宏: 「スマートフォンを用いた屋内位置の推定と歩行ナビゲーションシステム」 マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2011) シンポジウム論文集, 2011, pp. 921-927.
- [2] 別所正博, 小林真輔, 越塚登, 坂村健: 「ユビキタスコンピューティングと屋内環境の位置認識」, 電子情報通信学会誌, 92(4), 2009, pp. 249-255.
- [3] 中村嘉志, 並松祐子, 宮崎伸夫, 松尾豊, 西村拓一: 「複数の赤外線タグを用いた相対位置関係からのトポロジカルな位置および方向の推定」, 情報処理学会論文誌, Vol. 48(3), 2007, pp. 1349-1360.
- [4] 土方俊介, 梅田和昇: 「室内における赤外 LED を用いた移動ロボットの位置・姿勢推定手法」, ロボティクスシンポジウム予稿集, 11, 2006, pp. 141-146.
- [5] アットマーク・アイティ: Android で使える O2O 技術まとめ解説 (1): スマホ技術者も知らない損する「O2O」の基礎知識 (4/5) - @ IT, 入手先 (http://www.atmarkit.co.jp/ait/articles/1209/07/news127_4.html) (2013.02.11).
- [6] アットマーク・アイティ: Android で使える O2O 技術まとめ解説 (2): Wi-Fi ベース屋内測位技術を Android アプリに組み込むには (1/4) - @ IT, 入手先 (<http://www.atmarkit.co.jp/ait/articles/1211/19/news012.html>) (2013.02.11).
- [7] インターネットコム: GPS って、なぜ位置がわかるのか?, 入手先 (<http://japan.internet.com/webtech/20080314/6.html>) (2013.02.11).
- [8] GPS って? , 入手先 (<http://page.freett.com/science/puch/gps/gps.htm>) (2013.02.11).
- [9] 株式会社キュービクアイディ: RFID とは～パッシブ? アクティブ?, 入手先 (<http://www.k-ubique.co.jp/k-ubique/activeorpassive.html>) (2013.02.11).
- [10] エル・エス・アイ ジャパン株式会社: ~RFID 研究開発, 入手先 (<http://www.lsi-j.co.jp/broadcast/RFID3.html>) (2013.02.11).
- [11] 伊藤誠悟: 「Gaussian Process Particle Filter を用いた無線 LAN 位置推定手法」, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2011) シンポジウム論文集, 2011, pp. 439-448.
- [12] 新田優介, 大野成義: 「無線 LAN のアクセスポイントを利用した位置推定方法の比較検討」, 職業能力開発総合大学校紀要 A 理工学・技能編, 41, 2012, pp. 51-56
- [13] 藤木慎太郎: 「ユーザ参加型無線 LAN 位置測定システムにおける測定精度の向上」, 東京大学大学院 工学系研究科 電気系工学専攻 修士論文, 2010.
- [14] 羽田昂史, 須永光, 秋山征己, 五百蔵重典, 田中博: 「超音波センサを用いた屋内測位システムにおける測位エリア拡大の検討」, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2011) シンポジウム論文集, 2011, pp. 915-920.
- [15] Interaction Technology Laboratory, The University of Tokyo: 超音波通信を用いた位置認識システム - Wireless Localization Group, 入手先 (<http://www.itl.t.u-tokyo.ac.jp/~usonic/jp/research/usonic.php>) (2013.02.11).