

測位技術の調査とICタグ、UWBの測位への応用

Investigation on Positioning Technology and Application of IC Tag and UWB to Positioning

地理地殻活動研究センター 神谷 泉

Geography and Crustal Dynamics Research Center Izumi KAMIYA

要 旨

既存あるいは萌芽段階の測位技術、測位に利用可能な技術を調査し、とりまとめた。特にICタグとUWBに関しては、これらの技術を紹介するとともに測位への応用について調査した。ICタグは既に測位への応用実験が始まっており、局所的な測位技術として有望である。UWBは、cm級の高精度な室内測位が期待されているが、測位への応用は基礎研究の段階にある。

1. はじめに

いつでもどこでも必要な精度で測位が行えること（位置を知ること）は、地理情報の利用に重要である。衛星測位を中心とした都市部で利用可能な測位方法については、これまでに神谷ほか（2003）、神谷・小白井（2004）にまとめた。その後、無線LAN測位、ICタグを使用した測位、UWB（Ultra Wide Band）通信の測位への応用等を含む室内測位において進展が見られたので、本稿ではこれを中心に測位方法を整理するとともに、ICタグ、UWBとこれらの測位への応用をまとめる。

なお、ここでいう測位とは、移動体の位置をリアルタイム（典型的には1秒程度、少なくとも1分以内）で知ることという。また、移動体自身による自己の位置の取得と、外部からの移動体の位置の把握を含むものとする。

2. 測位原理の整理

2.1 使用する媒体

測位手法は、外部の測位設備を使用する方法と、これを使用しない自律測位に分類される。本稿では原則として前者を扱うことにする。

外部の測位設備を使用する測位では、測位設備との交信が必要であるが、その媒体として、電波、光、音波が利用されている。衛星測位等の広域を対象とした測位では、天候の影響を避けることができ、周波数拡散等の技術により特定の信号を選択的に増幅し易い電波が使用されている。室内測位等の近距離の測位では、電波のほか、光、音波も利用されている。

2.2 測定する情報の種類

測位方法は、測定する情報の種類により、角の測定、到達時間の測定（TOA：Time Of Arrival）、到達時間差（TDOA：Time Difference Of Arrival）の測定、信

号強度の測定、近接情報の利用に分けることができる。

角の測定は、光では利用されているが、電波、音波では、あまり利用されていない。測位計算は、移動局で角を測定する場合は後方交会、固定局で角を測定する場合は前方交会となる。

到達時間の測定には、レーダー等の往復時間を計測する方法を除き、離れた場所にある送信機と受信機の時刻同期が必要である。音波の到達時間の測定では、音波より速い電磁波を用いて同期を行うことができる。一方、電波、光を用いた実用的な精度の到達時間の計測では、同期のために電磁波を用いなければならず、事実上到達時間差の計測となる。到達時間差の測定は、電波を使用した測位で広く用いられている。測位計算は、到達時間の計測では球の交点、到達時間差の計測では双曲面の交点の計算となる。

信号強度の計測による測位は、信号強度により信号源（あるいは反射源）からの距離を求める場合と、予め定められた強度マップとのマッチングを使用する場合がある。前者は、信号強度から決定された距離の精度は高くないため、高精度の測位には向かない。後者は、より高精度であるが、マルチパス源の移動等の環境変化に対する耐性が低く、また効率的なマップの作成方法が問題となり、あまり普及していない。

信号強度の計測の変形である近接情報は、ある信号源（あるいは反射源）の近くににいるという情報だけを用いるものである。信号源（あるいは反射源）を安価に散布し、その位置を特定できることが前提となる。

3. 測位技術の現状

図-1に、現在利用可能な、あるいは研究段階の測位技術を、測位設備の配置間隔と精度をパラメータとしてまとめた。ここで測位設備とは、GPS衛星、補正局、携帯電話の基地局、測位のために設置されたICタグ等を指す。他の条件が同じであれば、図の左下に位置する技術ほど、少ない設備で高精度の測位ができるため、優れた測位技術である。

3.1 衛星測位

GPSでは、単独測位、DGPS、RTKが利用可能であり、図-1の左下のフロントラインを形成している。これは、屋内等の閉鎖的な空間で利用できないという欠点を除けば、現状でGPSが最も優れた測位技術であ

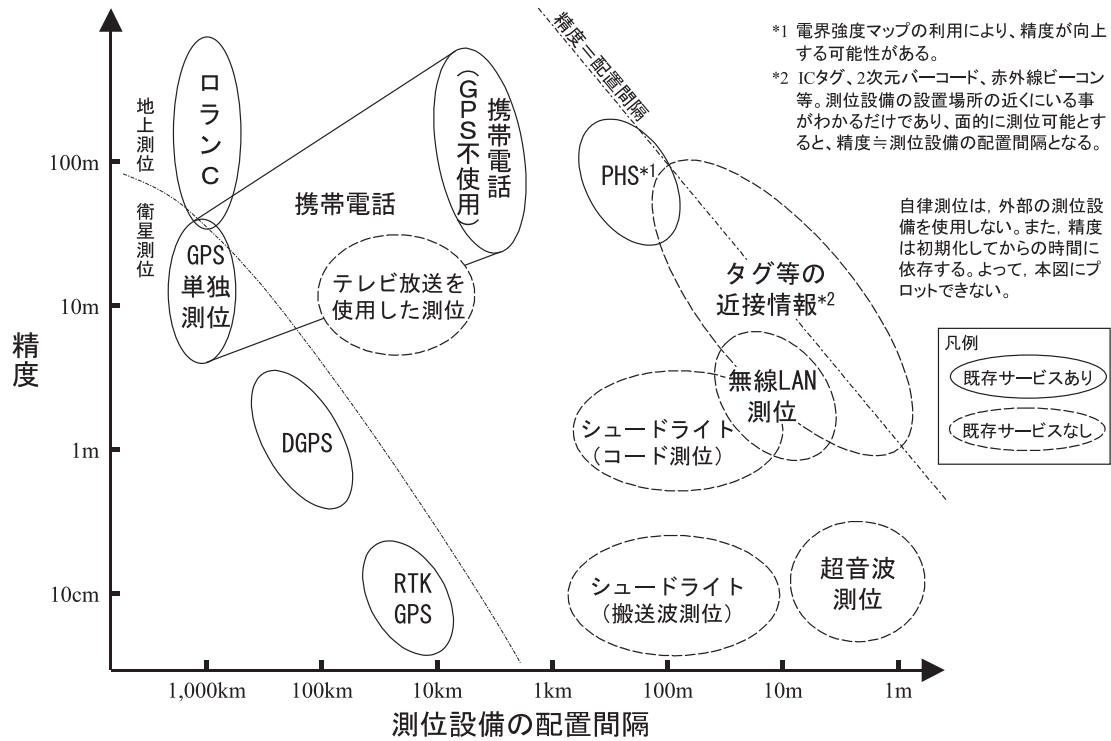


図-1 測位技術の現状

ることを示している。Galileo等の他の衛星測位技術についても、同様である。

近年、単独測位において、受信機を高感度化することにより、建物内等における微弱なGPS信号を捕らえ、精度は劣るが室内でも測位できる高感度GPS受信機が実用化された。高感度GPS受信機の技術的な内容は公開されていない場合もあるが、公開されているものに関しては、高感度を実現するための基本的な仕組みは、C/Aコードの同期加算時間（受信された電波と、受信機内で生成されたC/Aコードの相関をとる時間）を長くし、擬似雑音符号による周波数拡散を復調した後のS/Nを向上させることにある（Diggelen, 2001； Washizu et al., 2003）。

3.2 ロランC

ロランCは、長波（100kHz）を使用する船舶向けの地上系測位技術であり、現在も運用されている。地表に沿った電波の伝播は地形の影響を受けるため、精度は数百m程度であるが、海上保安庁が提供する補正テーブルを使用すると精度は数十mとなる（海上保安庁、千葉ロランセンター）。

3.3 携帯電話

携帯電話では、基地局からの電波の到達時間差を計測する手法で、測位を行うことができる。精度は、概ね数十m～数km（NTTドコモ、GPS機能付き携帯電話）とされており、百～数百m（北条, 2002）、実験レベルで40m程度（藤嶋ほか, 2002）といった報告がある。

現実には、GPS単独測位（特に高感度GPS受信機）と組み合わせたサービスが提供されており、GPS衛星との擬似距離と基地局との擬似距離を併用したハイブリッド測位も実現している。

3.4 PHS

PHSによる測位では、当初は電波の強度が最大の基地局の位置（近接情報）が利用されていた。現在では、複数の基地局を用い、電波の強度から基地局との距離を推定する方式での測位サービスが提供されている（ココセコム、衛星を利用した測位システム；東芝ロケーションインフォ、インターネット位置情報検索サービス）。精度は基地局の配置間隔に依存するが、都市部では概ね100m以内とされている（NTTドコモ、いまどこサービス）。

3.5 シュードライト

シュードライトは、GPS衛星と同様の信号を発信する地上設備である。上空視界が開けていない屋外ではGPSの補完に、室内では独立した測位システムとして運用することができる。コード測位も搬送波測位も可能であり、精度もそれぞれDGPS、RTK-GPSと同程度である。露天掘り鉱山での利用例、国内での実験例があるが、本格的な実用化までは、遠近問題等解決すべき課題は多い（神谷・小白井, 2004）。

3.6 無線LAN測位

無線LAN測位では、無線LANのアクセスポイントと

の間の電波の到達時間差を計測する方法の製品が販売されている。精度は、数m程度である（神谷ほか、2004）。

3.7 超音波測位

超音波測位は、固定局からの超音波の伝播時間を計測し、固定局との間の距離を求めるものであり、製品も販売されている（AT&T, The Bat Ultrasonic Location System ; Hexamite, Introduction Hexamite Ultrasonic Positioning）。固定局の間隔を1～2mとして、3cm, 14cm（Ward et al., 1997）などの精度が報告されている。高精度の近距離測位手法である。

3.8 タグ等の近接情報

ICタグ、2次元バーコード、赤外線ビーコン、電波ビーコン等を用い、これらの測位設備の近くにいることを知ることができる。面的に測位可能とするように設備を配置すると、精度は測位設備の配置間隔と同程度となる。2次元バーコードでは、利用者がバーコードを見つけ、リーダーをバーコードに向ける必要がある。

3.9 テレビ電波を利用した測位

複数の地上波デジタルテレビ局からの電波の到達時間差を計測する測位方法が提案されている。この方式は、①GPSの実効輻射電力が500Wであるのに対し典型的なデジタルテレビ放送の送信電力はメガワット級（日本では10kW程度）であり、②GPSとくらべ送信局との間の距離が短いと電波の減衰が少なく、③GPSとくらべ使用する周波数が低い（日本では470～710MHz）ため室内に電波が浸透しやすく、GPSより室内測位に有利であるとされている。米国での実験では、屋外で精度4m、屋内で15m～30mと報告されている（Rabinowitzk and Spilker, 2003）。

3.10 光を利用した測位

この他に、以下のような光を利用した測位方法が報告されている（図-1には示されていない）。

- 1) 測位対象が定められたパターンで赤外光を発光し、天井に取り付けた複数のカメラでこれを捉え、発光パターンにより発光体を識別し、前方交会により位置を決定する（坂田, 2003）。
- 2) 照明用等のLEDが定められたパターンで可視光を発光し、測位対象が持つカメラでこれを捉え、発光パターンにより発光体を識別し、後方交会により位置を決定する（中川, 2004）。
- 3) バーコードを室内に配置し、測位対象物上のレーザースキャナーがその周囲をスキャンし、バーコードからの反射光をとらえることによりバーコードを自動的に認識するとともにその方向を計測し、

後方交会により自己の位置を決定する。

- 4) 地上数十cmの高さでレーザー光を水平方向にスキャンし、人の脚部での反射光を捕らえる。複数のレーザースキャナーによるスキャン結果を組み合わせ、人の位置を計測する（Nakamura et al., 2004）。
- 5) 移動体上のレーザースキャナーが、定期的にレーザー光を水平方向にスキャンし、周囲の反射物の位置（2次元画像）を計測する。前回計測された反射物の位置との間で画像どうしのマッチングを行い、自己の移動量を計算する。なお、これは、自律測位であり、何らかの方法で位置と方位を初期化する必要がある。

4. ICタグ

4.1 ICタグとは

ICタグは、RFID（Radio Frequency IDentification）、RFIDタグ、無線タグ、無線ICタグなどとも呼ばれ、情報を記録したICチップとアンテナを組み合わせた小型のタグ（荷札）である（数cm～十数cmの大きさの板状のことが多い）。電波を用いて非接触で記録されている情報を読み出すことができる。バーコードの代替手段として、物流等の分野で注目されている。

ICタグには、電池を必要としないパッシブタグ（安価、近距離用）と電池を内蔵したアクティブタグ（高価、遠距離用）がある。機能としては、製造時以外に書き込みできないリードオンリータグ、追記ができる追記型のタグ、書き換えができるリードライトタグがある。

ICタグ、ICタグリーダー（ICタグの情報を読み取る装置）が日本で利用できる周波数帯は、100～135kHz、13.56MHz帯、300MHz付近（微弱無線）、433MHz帯（特定小電力無線）、2.45GHz帯である。また、2005年3月には、アクティブタグ用にUHF帯（960～966MHz）の利用が認められる見込みである。

4.2 測位への利用

ICタグを認識できれば、そのタグの近くにいることがわかる（近接情報）。歩行者ITSの公開実験では、点字ブロックに設置したICタグを白杖の先につけたリーダーで読み出す実験が行われた（国土交通省、歩行者ITSの公開実験について）。

複数のICタグの近接情報あるいは電波強度を利用して、より高精度の測位を行うことも考えられる。しかし、物流分野等で行われた多くの実証実験では、タグとリーダーの位置関係等の条件により、タグの読み取り可能な距離が複雑に変化することが報告されている（栗原雅, 2003 ; 日経BP, RFIDテクノロジー ; 金子紘子, 2004）。従って、複数のICタグが読み取れた場合には、それらの座標の平均値を用いる等の処理は可能である

が、電波強度を利用した測位や、特定のタグが読み取れないことでそのタグの周辺にいないと認定することは難しいと予想される。

ICタグは、ほとんどの場所で利用可能な測位手段であり、GPSや局所的に設置される無線LAN測位、シュートドライ等が電波条件により利用し難い場所に設置することにより、これらの測位網を補完することができる。また、建物の入り口等に複数設置することにより、利用者の建物への出入り等の情報を得ることができ、その場所に適した測位方法を選択するためのスイッチに利用できるかと予想される。

4.3 測位に適したICタグシステム

ICタグを測位に利用する場合、測位設備をICタグとして移動体（人）がICタグリーダーを持つ方式と（以下、「リーダーを持つ方式」と呼ぶ）、測位設備をICタグリーダーとして移動体（人）がICタグを持つ方式（以下、「タグを持つ方式」とよぶ）が考えられる。これまでの測位実験では、主にリーダーを持つ方式が用いられてきた。国内の中心市街地、地下街等で広く測位に使用することを考えると、測位設備は安価でメンテナンスが不要であることが望ましく、リーダーを持つ方式が有望である。また、リーダーを持つ方式であれば、個人情報把握されるという問題が生じない。一方、大規模展示場等での案内や参加者の把握等の場所を限定した利用では、測位設備の数より測位対象の数が多くなると想定されるため、タグを持つ方式が有望である。

以下の理由で、電波の特性としては、測位には低周波の電波の利用が望ましい。

- 1) リーダーを持つ方式の場合、人がリーダー機能を有する携帯電話等の機器を身につけていることを想定すると、ICタグリーダーを一定の方向に保つことは難しい。よって測位のためには、ICタグリーダーの指向性が小さいことが望ましい。一般的に、周波数が低いほどICタグリーダーの指向性は小さい。
- 2) 公衆が利用する空間での測位においては、ICタグとICタグリーダーとの間を人や荷物がさえぎることが想定される。一般的に、周波数が低いほど電波が回折し、遮蔽の影響を避けることができる。
- 3) 最も周波数の高い2.4GHzの電波は水による減衰が大きく、ICタグとICタグリーダーの間に人がいると、読み取り不能となる。

しかし、一般的に低周波のICタグ、ICタグリーダーは、同一の読み取り距離を実現するためにより大型のアンテナ必要とする（低価格化にも不利）。特に、タグを持つ方式では、ICタグリーダーの重量は、普及を左右する重要な要素である。

この点に関しては、今後ICタグに使用するICチップ

がより微細化され、必要な電力が低減し、アンテナが小さくなることが期待される。

また、ICタグの測位への利用では、ICタグ自体のコストとくらべ、ICタグを設置する際の測量のコストが大きいため、ICタグの価格はそれほど問題ではなく、比較的高価なアクティブタグを使用できる可能性がある。アクティブタグはパッシブタグより強い電波を発信することができるため、アンテナの大きさを小さくすることができる。パッシブタグのデメリットとして、定期的な電池交換の必要性があげられるが、大容量の電池を搭載することにより、事実上メンテナンス不要とできる。例えば、ボタン電池（CR2032、質量2.8g）1個で電池寿命は1年程度であるが、単純計算では280gの電池で電池寿命が100年となる。

5. UWB

5.1 UWBとは

UWB（Ultra Wide Band：超広帯域）は、非常に広い周波数帯の電波のことである。UWBは、軍事用のレーダー技術として研究されてきたが、2002年にFCC（米国連邦通信委員会）が暫定的な基準を定めて民間利用を認めたため、UWBを用いた高速近距離通信、画像レーダー等の研究が始まった。国内でも、情報通信審議会情報通信技術分科会無線システム委員会で、UWBの技術的条件について検討が行われている（測位衛星システム協議会、2004）。

UWBは、非常に広い周波数にわたる非常に小さい電力スペクトラム密度（周波数あたりの電力）の電波を使用する。既存の電波利用では、狭い周波数帯を利用するため、その周波数帯に関してのUWBの電力はきわめて小さく、ノイズレベル以下であるため、既存の電波利用に悪影響を与えることなく広い周波数帯を利用できる。

UWBの電力スペクトラム密度について、FCCは0.96GHz以下と3.1~10.6GHzにおいて-41.3dBm/MHz以下、それ以外の周波数帯ではさらに厳しい基準を設けている。なお、-41.3dBm/MHzは、電子機器の発する雑音電波の制限値である。

周波数帯の幅については、例えば、第2世代の携帯電話（時分割方式）では10kHz程度、第3世代の携帯電話（GPSと同じ直接周波数拡散方式）では1MHz程度であるのに対し、UWBでは1GHz程度である。

UWBの利用方法としては、搬送波を用いないパルス状の電波を使用する方法（パルス方式）と、UWBが使用する周波数帯をいくつか分割した上でそれぞれの周波数帯の搬送波を変調する方法がある（マルチバンド方式、図-2）。マルチバンド方式では、直接周波数拡散方式とマルチバンドOFDM（直交周波数分割多重）方式が検討されている。

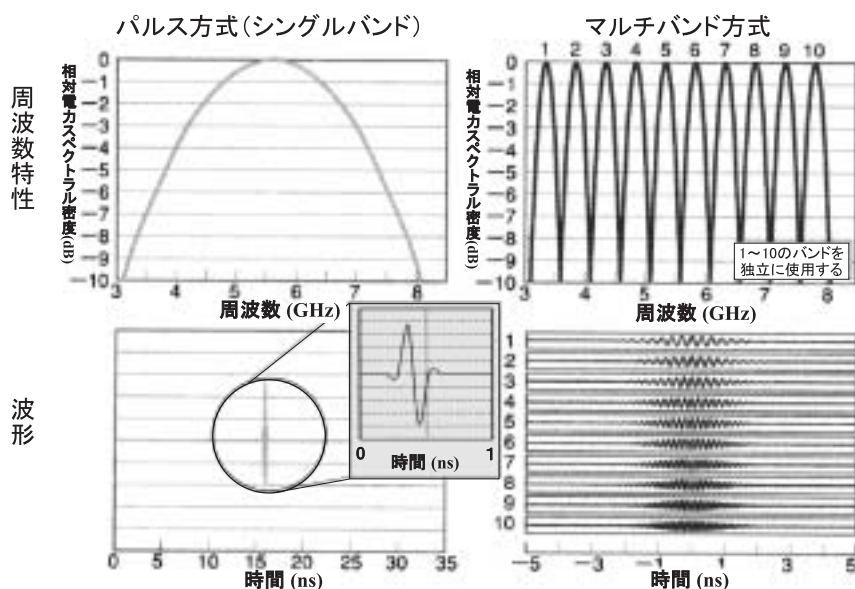


図-2 パルス方式とマルチバンド方式の周波数特性と波形の例（唐沢好男（2003）を編集）

5.2 測位への利用

UWBを用いると、誤差数cmでの測距が可能との予想もあり（眞田，2003），室内測位や画像レーダー等の応用が期待されている。

電波による距離測定を用いた高精度の室内測位を行うためには、到達時刻の分解能をあげることで、マルチパス環境下で直達波を検出することが重要である。短いパルス（パルス幅1 ns以下）を比較的長い間隔で送れば、あるパルスの反射波と次のパルスの直達波は重なることがないので、直達波の検出が容易である。到達時刻についても、短いパルスを用いれば高い分解能が得られる。また、パルス波では、拡散符号の復元、整数バイアスの決定といった工程を経ることなく、到達時刻を計測することができる。マルチバンド方式でも、パルス方式ほど単純ではないが、測位は可能である。

UWBを用いた無線通信の標準化は、現在IEEEの2つのタスクグループ（802.15.TG3a, 802.15.TG4a）で行われている（IEEE, IEEE 802.15 Working Group for WPAN）。TG3aは、直接周波数拡散方式またはマルチバンドOFDM方式による高速無線通信の標準化の検討を行っており、その技術要求仕様には、位置検出（location awareness）機能の実装が盛り込まれている。しかし、高速通信のためにはパルス間隔を短縮することが必要であるため、マルチパス環境下での高精度の

測位には不利である。TG4aは、直接周波数拡散方式による低速通信の標準を決定した（IEEE802.15.4）。現在、この見直しを行っているが、見直し項目の中には、測距の実現が含まれている（IEEE, P802.15.4a Alt PHY Selection Criteria）。測位には、パルス間隔が長いTG4aの方が有望である。

一方、無線通信の標準化とは別に、UWBをITSにおける車車間測距に利用することも検討されている（松村ほか，2003；土居ほか，2003）。

6. まとめ

本稿では、精度、測位設備の配置間隔等に注目して、測位技術の現状を整理した。

ICタグは、測位設備の配置間隔が狭いため、広い範囲をカバーする測位方法としては不利である。一方、ICタグは必要な場所に簡単に設置することができるため、他の方法では測位しにくい場所における測位網の補間手段、異なる測位手段の切り替えスイッチとしての利用が期待される。

UWBは、cm級の高精度な室内測位が期待されているが、測位への応用は基礎研究の段階にある。

謝 辞

本研究は、特別研究「都市再生のための精密三次元空間データ利用技術の開発」の一環として実施した。

参 考 文 献

- Diggelen, F. (2001): Global locate indoor GPS chipset & services. Text for GPS symposium 2001, pp. 85-93.
- 土井啓佑・松村 健・水谷克也・辻 宏之・若菜弘充・大森慎吾・河野隆二（2003）：チャープ波形を用いた Frequency Hopping型UWB測距方式，電子情報通信学会ソサイエティ大会，SA3-15, pp.S49-50.
- 藤嶋堅三郎・恒原克彦・荻野 敦・鈴木秀哉・土井信数（2002）：CDMA方式による位置検出システムの開発，電子

- 情報通信学会2002年総合大会論文集, B-5-84, p.534.
- 北条晴政 (2002): ケータイGPS, 測量, No.5, pp.13-20.
- 神谷 泉・小白井亮一・神崎政之・柿本英司 (2003): 都市部の測位技術に関する調査, 日本写真測量学会平成15年度秋季学術講演会発表論文集, pp.9-12.
- 神谷 泉・小白井亮一 (2004): 高精度測位技術の現状とその利用分野に関する調査, 国土地理院時報, No.103, pp.73-88.
- 神谷 泉・小白井亮一・増田亮太・清野憲二・神田秀彦・羽場 純 (2004): 無線LANを使用した室内測位, 日本写真測量学会平成16年度年次学術講演会発表論文集, pp.27-28.
- 金子紘子 (2004): インターネット環境下におけるRFIDタグを用いた位置情報取得に関する研究, 慶應義塾大学環境情報学部卒業論文.
- 栗原 雅 (2003): ICタグの真実, 日経コンピュータ, No.250, pp.48-67.
- 松村 健・水谷克也・河野隆二 (2003): UWB-IRを用いた車車間通信測距への接続系列適用に関する一検討, 電子情報通信学会総合大会, A-17-20, pp.349.
- Nakamura, K., Zhao, H., Shibasaki, R., Sakamoto, K., Ooga, T., and Suzukawa N. (2004): Tracking Pedestrians by using Multiple Laser Range Scanners, ISPRS commission IV WG IV/1, XXth ISPRS Congress.
- 坂田宗之 (2003): ALTAIR: アクティブIRタグを用いた複数ユーザ位置同定システム, 奈良先端科学技術大学院情報科学科修士論文.
- 測位衛星システム協議会 (2004): Ultra Wide Band (UWB) 無線システム委員会中間報告の詳細, 衛星測位システム協議会会報, Vol.60.
- Ward, A., Jones, A. and Hopper, A. (1997): A New Location Technique for the Active Office, IEEE Personal Communications, Vol. 4, No. 5, pp 42-47.
- Washizu, K., Aiga, Y., Nakamura, M., Tsuda, N., Hada, M. and Sorita, K. (2003): Stand-alone high-sensitivity GPS Receiver. Proceedings of 2003 international symposium on GPS/GNSS, pp.201-206.

参 考 Web サ イ ト

- AT&T, The Bat Ultrasonic Location System, <http://www.uk.research.att.com/bat/> (accessed 2 Dec. 2004).
- Hexamite, Introduction Hexamite Ultrasonic Positioning, <http://www.hexamite.com/ups12.htm> (accessed 2 Dec. 2004).
- IEEE, IEEE 802.15 Working Group for WPAN, <http://grouper.ieee.org/groups/802/15/> (accessed 7 Dec. 2004).
- IEEE, P802.15. 4a Alt PHY Selection Criteria, <ftp://ftp.802wirelessworld.com/15/04/15-04-0232-09-004a-tg4a-alt-phy-selection-criteria.doc> (accessed 8 Dec. 2004).
- 海上保安庁, 千葉ロランセンター, <http://www.kaiho.mlit.go.jp/03kanku/chiba-loran/> (accessed 1 Dec. 2004).
- 唐沢好男 (2003): UWB (Ultra Wide Band) の動向, 目黒会移動体通信研究会資料, 2003, <http://radio3.ee.uec.ac.jp/uwb1.pdf> (accessed 2 Dec. 2004).
- ココセコム, 衛星を利用した測位システム, <http://www8.cao.go.jp/cstp/tyousakai/cosmo/haihu15/siryoy15-8-2.pdf> (accessed 2 Dec. 2004).
- 国土交通省, 歩行者ITSの公開実験について, http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha01/06/061109_.html (accessed 2 Dec. 2004).
- 中川正雄 (2004): 屋内測位社会基盤の重要性について, 第11回高度測位社会基盤研究フォーラム. http://www.gnss.co.jp/forum/OPEN/FORUM11_DRnakagawa_040820.pdf (accessed 24 Dec. 2004).
- 日経BP, RFIDテクノロジー, <http://itpro.nikkeibp.co.jp/rfid/> (accessed 2 Dec. 2004).
- NTTドコモ, GPS機能付き携帯電話, <http://mobile-wonder-land.com/mwl/feature/gps.html> (accessed 2 Dec. 2004).
- Rabinowitzk, M. and Spilker, J. (2003): A New Positioning System Using Television Synchronization Signals, http://www.rosun.com/RosunCorpWhitePaper_A_New_Positioning_System_Using_Television_Synchronization_Signals.pdf (accessed 2 Dec. 2004).
- 眞田幸俊 (2003): UWBを用いた測位システム, 第8回高度測位社会基盤研究フォーラム. http://www.gnss.co.jp/forum/OPEN/UWB_Location.pdf (accessed 7 Dec. 2004).
- NTTドコモ, いまどこサービス, <http://mobile-wonder-land.com/mwl/services/imadoco.html> (accessed 6 Dec. 2004).
- 東芝ロケーションインフォ, インターネット位置情報検索サービス, <http://www.toshiba-tli.jp/company/company.html> (accessed 2 Dec. 2004).