

# 屋内位置検知システム用 950 MHz 帯無線受信機

950 MHz-Band Radio Receiver Unit for Indoor Local Positioning System

稲村 浩之      飯田 康隆      難波 由樹

■ INAMURA Hiroyuki      ■ IIDA Yasutaka      ■ NAMBA Yoshiki

近年、工場やオフィスビルなどの建物内において、人と設備の配置や動作状況など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り、高精度の屋内位置検知技術の確立が不可欠となっている。

東芝は、無線LANなどで使用されている2.4 GHz帯無線よりも伝搬距離の長い、950 MHz帯無線を用いた電波到達時間差方式の屋内位置検知システムの開発を進めている。今回、このシステムを構成する重要な機器として、約1ナノ秒 (ns) の時間分解能がある電波到達時間測定用の無線受信機を試作した。これにより、メートルオーダの精度で無線端末の位置検知が可能となり、作業管理や業務支援をはじめとするアプリケーションシステムの付加価値向上に貢献することができる。

To improve business efficiency in factories and office buildings, the establishment of high-accuracy indoor local position detection technology to obtain an accurate grasp of the current situation inside a building, including the locations of workers and facilities, their working ratios, and so on, has recently become essential.

In response to this situation, Toshiba has been engaged in research and development of an indoor local positioning system based on the time difference of arrival (TDOA) method using 950 MHz-band radio, whose propagation distance is longer than that of 2.4 GHz-band radio. We have now developed a prototype radio receiver for the TDOA method as a key component of such a system, with a time resolution of about 1 ns. As a result, it is possible to detect wireless receivers within an average distance of several meters. This technology will contribute to the development of value-added applications such as working management systems, business support systems, and so on.

## 1 まえがき

近年、情報端末と通信ネットワークの遍在化に伴い、位置情報を用いた様々なサービスが実現されつつあるなか、人や物の空間内の位置座標をより精密かつ正確に取得する測位手段が求められている。例えば、産業用途では図1に示すように、作業員や設備の配置と動作状況などを的確に管理し業務の効率化を図るために、工場やオフィスなどの建物内で人や設備の所在位置を正確に把握したいという要求がある。

屋外においてはGPS（全地球測位システム）を利用した測位方法が既に広く適用されているが、屋内では必ずしもGPSの電波を受信できるとは限らないため十分ではない。そのため、屋内向け位置検知システムとしては、無線LANを利用したもの<sup>(1)</sup>やRFID（Radio Frequency Identification）を利用したもの<sup>(2)</sup>などが検討され、実用化されてきている。

作業員の業務管理や安全管理を目的とした動線追跡用途では、数メートルの精度が要求される。精度向上のために、基地局間隔を短くして多数設置することで精度の向上が期待できるが、産業用途などでは、基地局の多数設置は環境の制約や設置の手間などから困難である場合が多い。

東芝は、産業用途への適用を目的とし、2.4 GHz帯無線よりも伝搬距離の長い950 MHz帯無線<sup>(3)</sup>を用いて、電波到達時

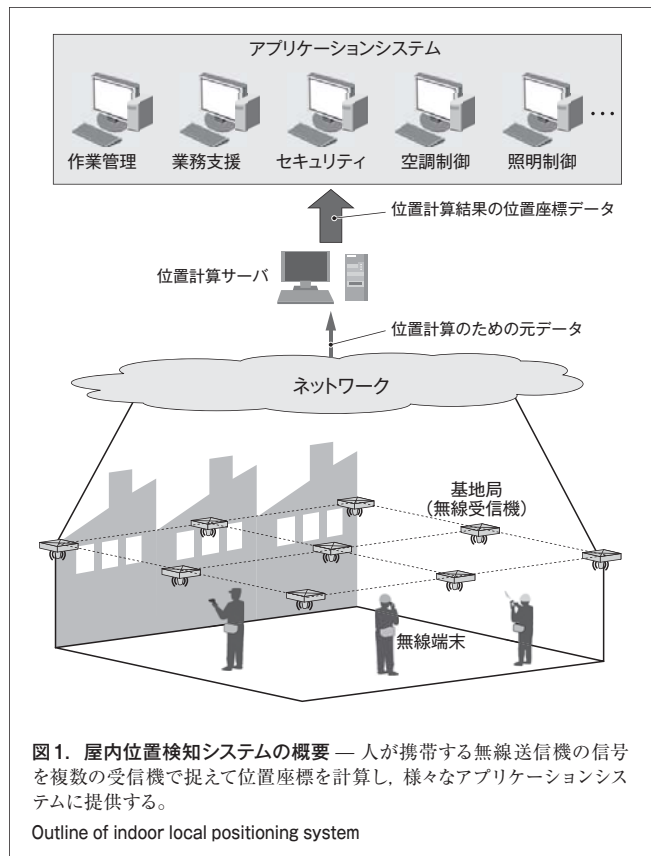


図1. 屋内位置検知システムの概要 — 人が携帯する無線送信機の信号を複数の受信機で捉えて位置座標を計算し、様々なアプリケーションシステムに提供する。

Outline of indoor local positioning system

間差方式の屋内位置検知システムの開発を進めている。ここでは、屋内位置検知システムにおける電波到達時間差方式について述べるとともに、試作無線受信機の概要及び時間差測定性能について述べる。

## 2 屋内位置検知技術

無線電波を用いた主要な位置検知技術には、以下の三つがある。

- (1) セルID (識別番号) 方式
- (2) 電波強度方式
- (3) 電波到達時間差方式

セルID方式は、無線端末が接続している基地局位置 (セル範囲) を現在位置として、人や設備の所在位置を推定する方法である。

電波強度方式は、基地局又は無線端末での受信電波強度を利用する方法で、事前に取得した電波マップを参照する方法や三点測量を行う方法などがある。

電波到達時間差方式は、無線端末の発信電波を複数の基地局で受信し、到達時間差から三点測量を行う方法である。一般に、電波到達時間差方式が精度の高い位置検知が可能であるとされるが、正確な時間測定と時刻同期が課題となる。

ここでは、電波到達時間差を用いた位置検知の詳細について述べる。

### 2.1 電波到達時間差を用いた測位原理

電波到達時間差方式により無線端末の位置検知を行うための仕組みを図2に示す。

図2において、3次元空間上に存在する二つの基地局の名称と位置座標をそれぞれ、A ( $X_A, Y_A, Z_A$ ), B ( $X_B, Y_B, Z_B$ ) とする。このとき、同空間上の任意の点にある無線端末T ( $x, y, z$ ) と2基地局との距離、 $r_A, r_B$ は、それぞれ次の式で表される。

$$r_A = \sqrt{(x - X_A)^2 + (y - Y_A)^2 + (z - Z_A)^2} \quad (1)$$

$$r_B = \sqrt{(x - X_B)^2 + (y - Y_B)^2 + (z - Z_B)^2} \quad (2)$$

距離  $r_A$  と  $r_B$  の差が  $k$  (一定), すなわち  $|r_A - r_B| = k$  である点は、2基地局を焦点とする二葉回転双曲面を描く。無線端末から発信した電波を2基地局A, Bで受信し、2基地局間の電波到達時間差  $\tau_{AB}$  を測定すれば、無線端末と2基地局との距離差  $|r_A - r_B|$  は電波到達時間差に伝搬速度を乗じること容易に求めることができる。このとき二葉回転双曲面方程式は、前述の二つの式から、伝搬速度を  $c$  として次のようになる。

$$\left| \sqrt{(x - X_A)^2 + (y - Y_A)^2 + (z - Z_A)^2} - \sqrt{(x - X_B)^2 + (y - Y_B)^2 + (z - Z_B)^2} \right| = c\tau_{AB} \quad (3)$$

同様の手順で、少なくとも3組以上の基地局の組から双曲面方程式を求め、連立方程式の解を計算することで、無線端末の座標を一意に求めることができる。

### 2.2 電波到達時間差の測定

無線端末の位置検知は、無線端末と各基地局間の距離差分から求められ、その差分は電波の到達時間差として測定されるので、到達時間差の測定精度が位置検知の精度に大きく影響する。そのため、各基地局の時刻を高精度に同期させる必要がある。

ネットワークを使った時刻同期方法として、NTP (Network Time Protocol) やPTP (Precision Time Protocol) などがあるが、マイクロ秒 ( $\mu s$ ) からミリ秒 (ms) 程度の精度であり、ns 精度を必要とする到達時間差測定には十分ではない。

そこで、図2に示すように位置検知領域内に基地局同様に既知の座標に固定設置した基準局を設け、間接的に到達時間差を測定する方式を適用する。

図3は、基準局、基地局AとB、及び無線端末Tにおける到達時間差測定の動作を示している。

基準局と各基地局は既知の位置に固定設置されているので、基準局から各基地局への電波到達時間は既知である。まず、基準局は、各基地局及び無線端末に到達時間差測定準備用の通知信号を送出する。信号を受けた無線端末は、測定開始信号を各基地局に発信し、基地局は基準局の信号と無線端末の信号の時間差をそれぞれに測定する。既知である基準局と各基地局間の時間差をそれぞれ前記各基地局での測定値に加算した後に、基地局間の差分を取ることで、無線端末と各基地局間の到達時間差を間接的に求めることができる。

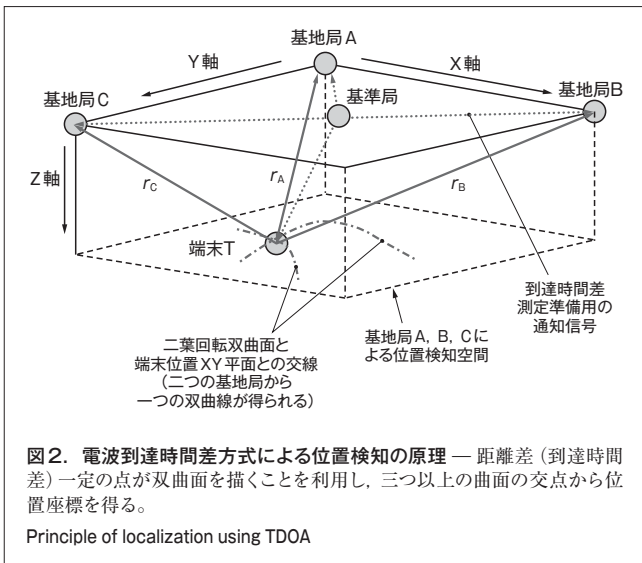
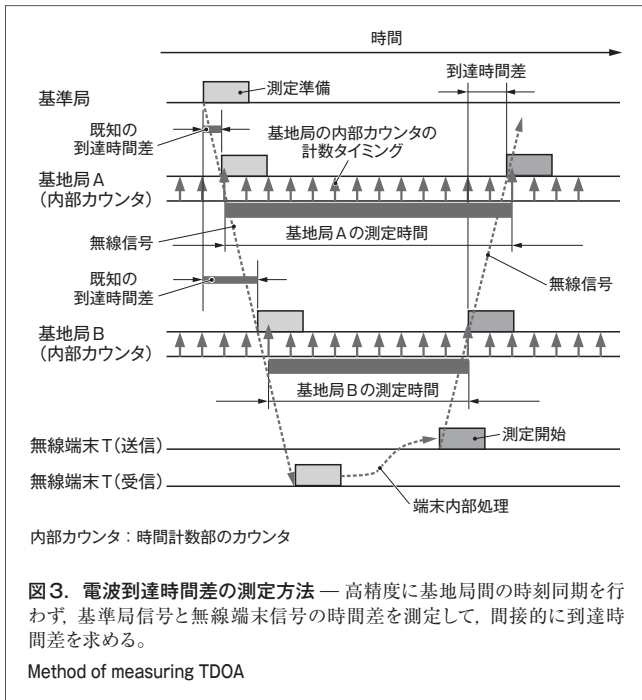


図2. 電波到達時間差方式による位置検知の原理 — 距離差 (到達時間差) 一定の点が双曲面を描くことを利用し、三つ以上の曲面の交点から位置座標を得る。  
Principle of localization using TDOA



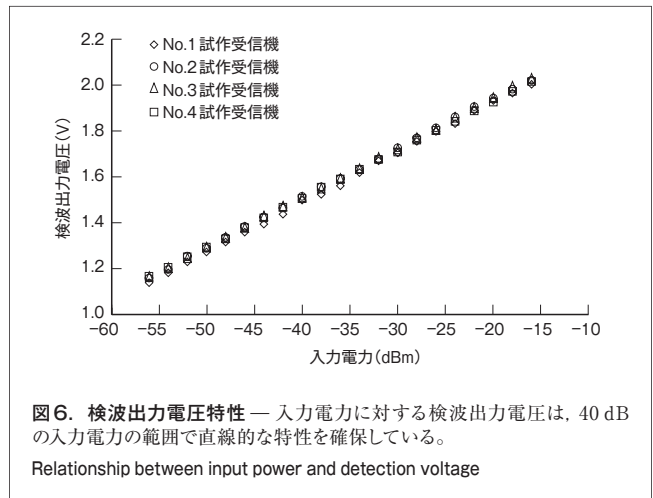
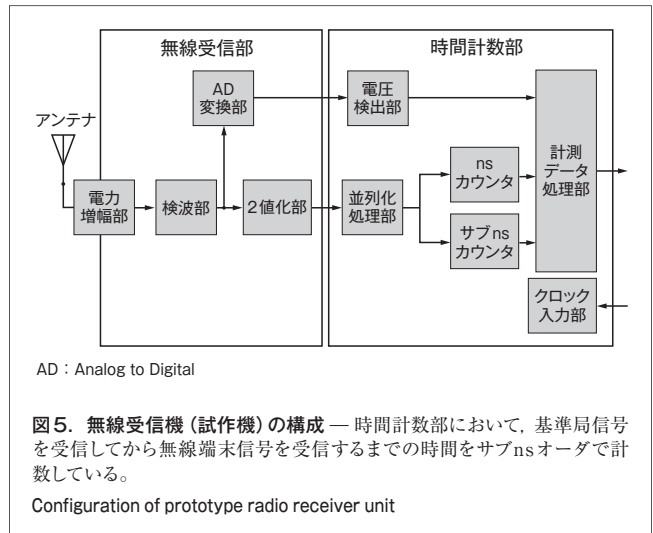
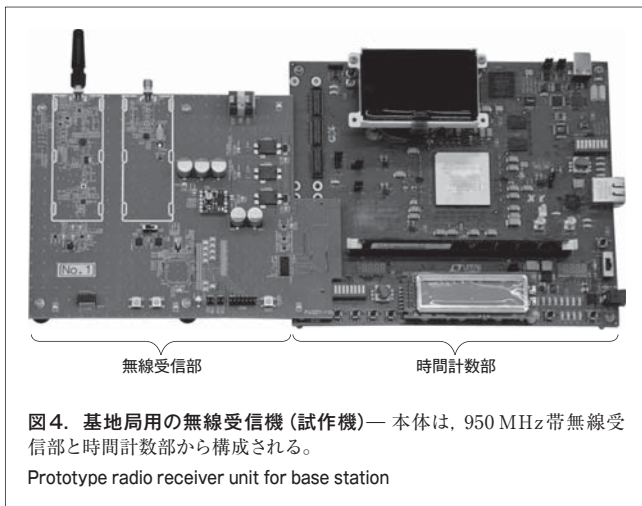
### 3 950 MHz帯無線受信機

ここでは、基準局及び無線端末の電波を受信し時間測定を行う、基地局の最重要装置である無線受信機について、その概要と性能を述べる。

#### 3.1 概要

950 MHz帯無線受信機の試作機の外観を図4に、その構成を図5に示す。

試作機は、950 MHz帯用の無線受信部と時間計数部で構成されている。時間計数部は、nsカウンタとサブnsカウンタの2重構成となっており、基地局信号の受信から無線端末信号の受信までのmsレベルの時間を約0.6 nsの時間分解能で計数する。



無線受信部の検波出力電圧は、測定時間の補正を行うためにモニタされている。

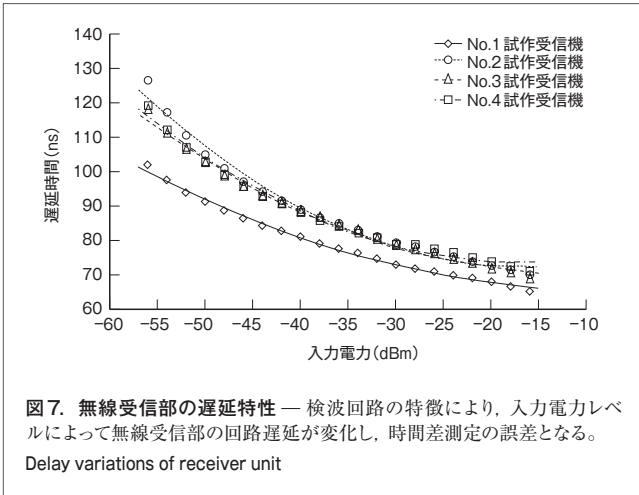
#### 3.2 無線受信性能

無線受信部への入力電力に対する検波出力電圧の測定結果を図6に示す。

検波出力電圧が入力電力-56 dBmから-16 dBmまでの40 dBの範囲で線形性を維持しており、無線端末の送信電力を+10 dBmとすると、0.5 mから60 mまでの受信性能を備えている。

#### 3.3 無線受信部における遅延変動の時間測定値補正

検波回路は、無線信号の入力電力が高ければ高い電圧を、低ければ低い電圧を出力するが、検波出力電圧が立ち上がるまでの時間は一定であるという特徴を持つ。このため、検波出力電圧の立ち上がりの勾配が入力電力に依存して変化するので、無線受信部のON/OFF判定レベルとなる2値化部のしきい値電圧に達する時間が変化し、出力電圧信号の立ち上がり時間が変動する。このため、図7に示すように入力電力レベルに



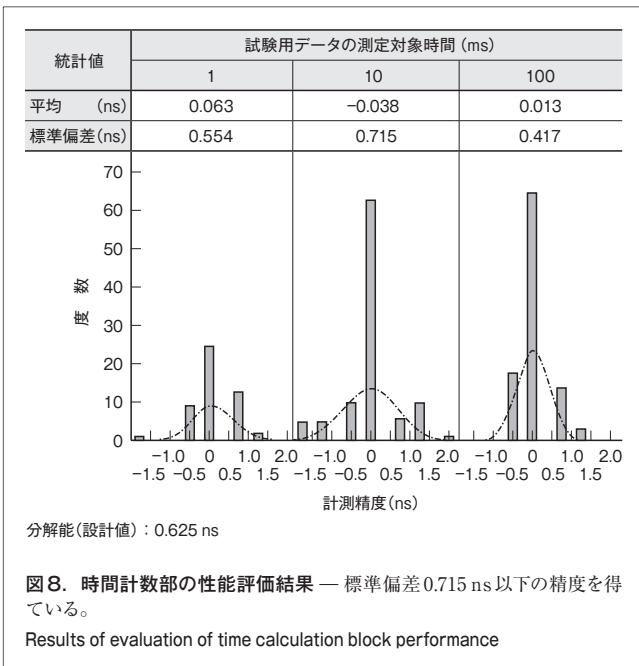
よって無線受信部の回路遅延が変化し、時間差測定の誤差となってしまう。

そこで、誤差補正のために、時間測定時に入力電力に相当する検波出力電力も測定し、事前を取得した検波出力電圧に対する遅延量から得た近似特性式により、到達時間差の補正を行うようにしている。

### 3.4 時間計数部の測定分解能

図8は時間計数部の性能評価結果の一例で、基準局信号に相当する信号と無線端末信号に相当する信号の時間間隔を変化させた場合の統計値を示している。値が0のとき真値に一致することを示しており、測定する時間に依存することなく標準偏差0.715 ns以下の精度を得ている。

すなわち、1 nsの時間分解能の実現により、メートルオーダーの測定精度が得られるものと考えられる。



## 4 あとがき

ここでは、950 MHz帯無線を使用した端末の位置検知を行うための電波到達時間差方式位置検知技術について述べるとともに、試作した無線受信機の受信性能について評価し、位置検知に十分な精度が得られたことを述べた。

今後は、位置測定サーバを含めた屋内位置検知システムの実現を目指すとともに、作業管理や業務支援の各種アプリケーションシステムとの連携により、産業分野での作業や業務の効率向上に貢献していきたい。

## 文献

- (1) 荻野敦恒 他. “無線LAN統合アクセスシステム(1)–位置検出システムの検討–”. 電子情報通信学会総合大会, B-5-203. 仙台, 2003-03, 電子情報通信学会. 2003, p.662.
- (2) 椎尾一郎. RFIDを利用したユーザ位置検出システム. 情報処理学会研究報告. 00-HI-88. 2000, 39, 2000, p.45-50.
- (3) ARIB STD-T96 v1.1:2010. 特定小電力無線局950 MHz帯テレメータ用, テレコントロール用及びデータ伝送用無線設備. 電波産業会.



稲村 浩之 INAMURA Hiroyuki

電力システム社 電力・社会システム技術開発センター 制御システム開発部主務。通信装置のソフトウェア開発に従事。  
Power and Industrial Systems Research and Development Center



飯田 康隆 IIDA Yasutaka

電力システム社 電力・社会システム技術開発センター 制御システム開発部。通信装置のソフトウェア開発に従事。  
Power and Industrial Systems Research and Development Center



難波 由樹 NAMBA Yoshiki

電力システム社 電力・社会システム技術開発センター 制御システム開発部主務。通信装置のハードウェア開発に従事。  
Power and Industrial Systems Research and Development Center