高精度の位置・方向検知システムの開発

エネルギア総合研究所　系統・情報通信担当　武内　保憲

1 まえがき

近年，ユニバーサル社会の実現を目指して，自律移動支援システムの開発・実証試験が盛んに行われている。

しかし，これらのシステムが実用化されるためには，装置を設置するための支持物，装置間を結ぶ通信ネットワークなどが必要であり，多額の設備投資等が必要になることが予想される。

当社グループでは，電柱，通信ネットワークなどの設備を保有しており，これらの資産を有効活用することで自律移動支援システムの普及に貢献することが可能と考え，システムの開発を促進するため，コア技術となる高精度で位置・方向を検知する技術の開発を行ってきた。

そして今回，2.4GHz帯無線であるIEEE802.15.4を用いて位置を±30cm程度，方向を±1°程度の精度で検知できるシステムを開発したので，その概要を報告する。

2 システムの構成と特長

（1）システムの構成

本システムの構成を図1に示す。本システムは，「基地局」，「携帯端末」，「基地局制御サーバ」から構成されており，各装置間の通信には2.4GHz帯無線であるIEEE802.15.4を使用している。各装置の概要は次のとおりである。

① **基地局**

基地局の構成を図2に示す。基地局には4基の円偏波指向性アンテナが組み込まれており，それらのアンテナを周期的に切り替えながらスペクトラム拡散した位置・方向検知のために必要な信号を断続的に送信する。

② **携帯端末**

携帯端末（受信部）の構成を図3に示す。携帯端末には1基以上（図は1基接続された場合のもの）のアンテナが接続されており，基地局から送信される信号を受信し，基地局に対する相対的な位置と方向を検知する。

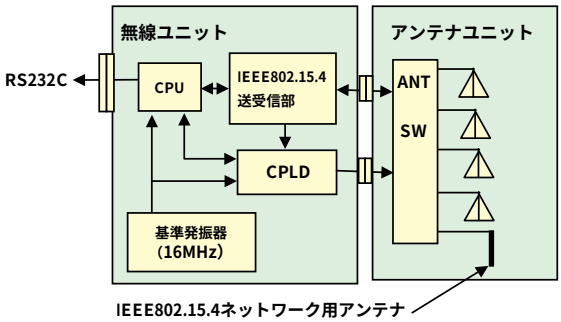

図２　基地局の構成

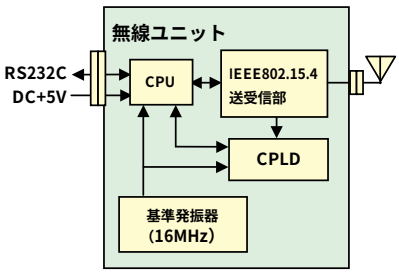

図３　携帯端末（受信部）の構成

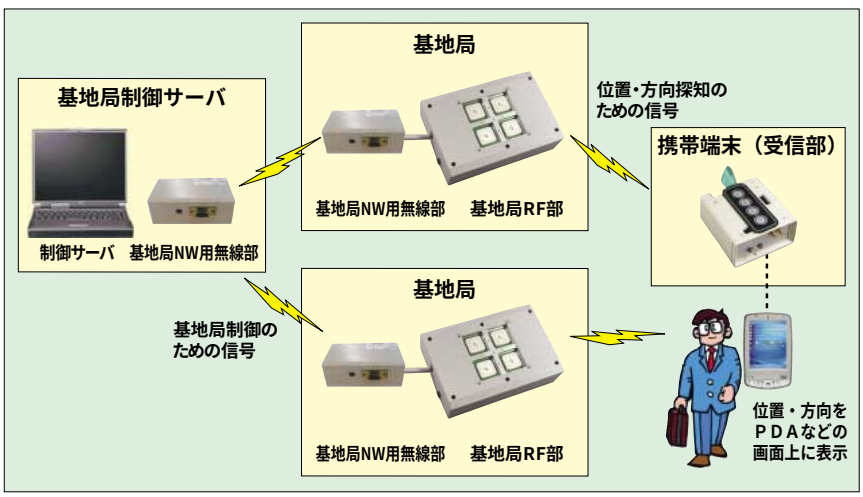

図１　システムの構成

③　**基地局制御サーバ**

基地局制御サーバは，基地局が信号を送信するタイミングを決めるために必要となる同期信号の送信，基地局のヘルスチェックの実施など基地局の管理・制御を行う。基本動作フローを図4，メンテナンス動作フローを図5に示す。

（2）システムの特長

本システムの主な特長は次のとおりである。

①　**高精度な位置・方向検知**

アンテナの構成や携帯端末における計算処理方法などを工夫したことにより，位置検知精度±30cm，向き検知精度±1°程度（7m間隔で基地局を設置した場合の実験結果）という高精度を実現した。これは，カーナビゲーションシステムなどで一般的に使用されているGPSシステムと比較して約10～100倍程度の高い検知精度である。

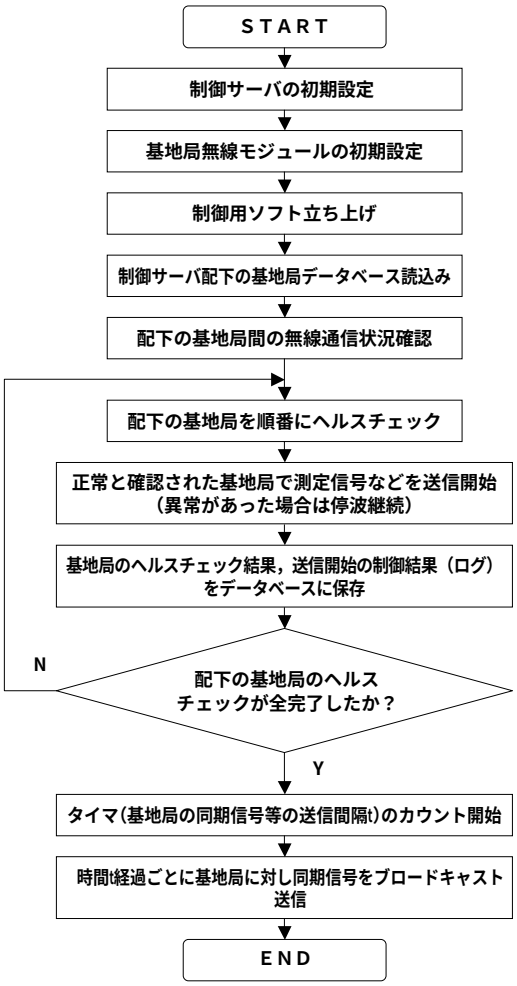

図４　基本動作フロー

②　**低価格でのシステム構成**

基地局制御サーバと基地局間を無線で通信する構成にしたことにより基地局ごとに通信線を布設する必要がなく，また，汎用無線を用いたことにより安価にシステムを構築できる。

③　**初期設定・保守が容易**

基地局制御サーバから無線で基地局の初期設定やメンテナンスを行うことができるため，初期設定や保守を容易に行うことができる。

3　位置・方向の検知方法

（1）基地局から送信される信号

基地局から送信される信号の構成を図6に示す。送信信号の概要は以下のとおりである。

①　**システム同期信号**

エリア内に離散的に設置される複数の基地局間の

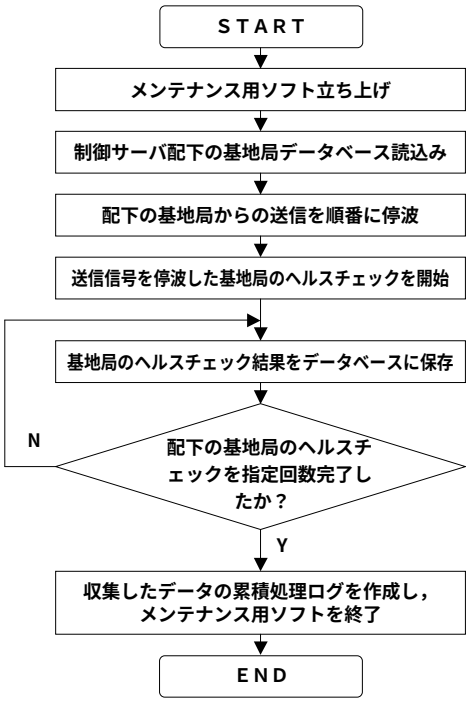

図５　メンテナンス動作フロー

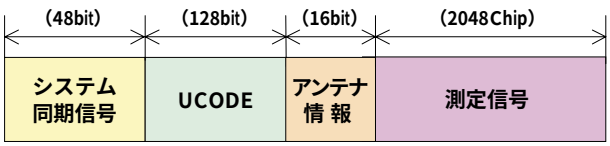

図６　送信信号の構成

同期をとるための信号であり32bitのプリアンブル信号と16bitの同期信号の合計48bitで構成される。

② **場所コード（UCODE）**

場所毎に統一された基準により割り当てられる信号であり128bitで構成される。

③ **アンテナ情報**

基点となるアンテナ番号，アンテナ方向，およびその傾斜角度等を含む信号であり16bitで構成される。

④ **測定信号**

方向と相対距離を検出するための信号であり2048Chipの拡散符号で構成される。

（2）方向の検知方法

図7に示すように，基地局内には4基の円偏波指向性アンテナが4分の1波長間隔（約3cm）で組み込まれている。

L（m）離れた基地局の4基のアンテナから携帯端末を見た方向を角度αとして測定すると，

$\alpha = \mathrm{arcTan}(Dm/Lm) = \mathrm{arcSin}(\Delta Lcm/3cm)$

となる。ここで，⊿L（cm）は，基地局に組み込まれた複数のアンテナの内，特定の2基と携帯端末との間の伝搬路長の差である。

特定の2基のアンテナ間で搬送波の位相差を測定し，位相差が⊿θであったとすると，

$\Delta L = \Delta\theta / (2\pi/\lambda)$（cm）

となる。ここで，2.4GHz帯ではλ＝約12cmであるので，

$\alpha = \mathrm{arcSin}(2\Delta\theta/\pi)$

となり，携帯端末から見た基地局の方向が検知できる。

位相差⊿θの検知能力は，10ビットのA/D変換器を用いた場合で±（180°/1024）　±0.2°程度である。

（3）位置の検知方法

送信信号のUCODEおよびアンテナ情報から取得した基地局の位置，基地局のアンテナの高さ，X軸の方向，X軸とY軸の傾斜角度などのデータおよび携帯端末のアンテナ高さ（デフォルト値1m）から，携帯端末の現在の位置を検知する。図8から，

$\Delta d(X) = (H-h) \times \mathrm{Tan}\{\Delta\Phi(X)\}$

$\Delta d(Y) = (H-h) \times \mathrm{Tan}\{\Delta\Phi(Y)\}$

となり，基地局の真下の位置を（X1，Y1）とすると，携帯端末の現在の位置（Xx，Yy）は，

$Xx = X1 + \Delta d(X)$，$Yy = Y1 + \Delta d(Y)$

により算出（検知）することができる。

なお，位置・方向の検知は，標準として携帯端末側で行うが，逆に携帯端末からバースト的に測定信号を発信し，基地局側で検知することも可能である。

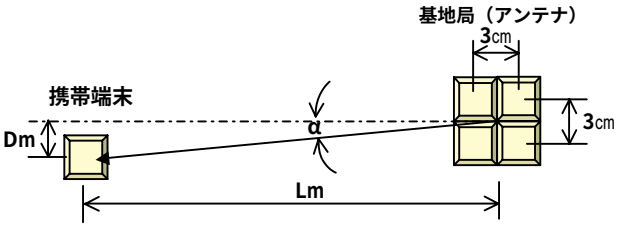

図７　基地局と携帯端末の位置関係

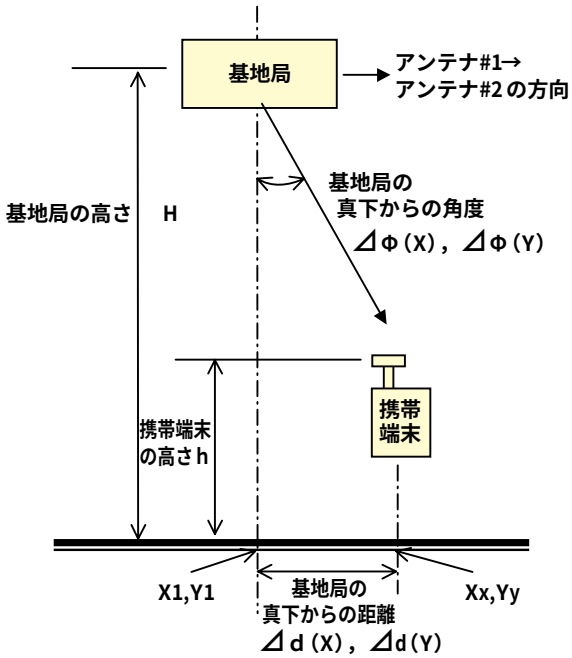

図８　位置の検知

4 精度検証試験

本システムの位置・方向検知精度を確認するため，システムを試作し精度検証試験を行った。試験は，エネルギア総合研究所構内の配電実験場内の電柱に試作した基地局を設置し（基地局の設置間隔は約7m），台車上に設置した携帯端末でその信号を受信することにより行った。

試験結果を表1～3に示す。試験結果から，本システムは位置検知精度が±30cm程度，方向検知精度が±1度程度であることがわかる。

なお，X軸は道路の幅方向，Y軸は道路の長手方向のことである。

表１　位置検知の精度検証試験結果（Ｘ軸方向）

（単位：m）

	往路	復路	平均
標準偏差	0.16	0.25	0.20
移動平均(16回)誤差	0.04	0.06	0.05

表２　位置検知の精度検証試験結果（Ｙ軸方向）

（単位：m）

	往路	復路	平均
標準偏差	1.15	1.42	1.28
移動平均(16回)誤差	0.29	0.35	0.32

表３　方向検知の精度検証試験結果

（単位：m）

角 度	5m地点	10m地点	平均
左35	0.77	0.71	0.74
左25	0.56	0.47	0.52
左15	0.49	0.45	0.47
0（アンテナ正面）	0.39	0.42	0.41
右15	0.44	0.44	0.44
右25	0.77	0.47	0.62
右35	0.51	0.77	0.64

5 あとがき

以上，2.4GHz帯無線であるIEEE802.15.4を用いて高精度に位置，方向を検知できるシステムの概要について説明した。

本システムは，自律移動支援システム，子ども見守りシステム，物流管理システム，接近警告システムなどさまざまなシステムへの適用が可能である。

本システムは，平成19年度に広島市内で実施される「広島市児童見守りシステムモデル事業」へ適用されることが決まっており，その後もさまざまなシステムへの適用，製品化を行っていく予定である。

最後に，本システムの開発に多大なご協力をいただいた有限会社アール・シー・エス，日本電気株式会社の関係者各位に厚く御礼申しあげます。

参考文献

（1）Hironori Kawano, and Minori Kawano, Development of a Pedestrian Navigation System working on the 2.4GHz Band, 11th World Congress on ITS Nagoya, Aichi 2004, Japan

（2）Elliott D. Kaplan, UNDERSTANDING GPS PRINCIPLES AND APPLICATION, ARTECH HOUSE, INC., 685 Canton Street Norwood, MA 02065, 1996

（3）Bradford W. Parkinson and James J. Spilker Jr., Global Positioning System：Theory and Applications Volume 1 and 2, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., 370 L Enfant Promenade, SW, Washington, DC 20024－2518, 1996

（4）Yasuhito Musiaki and et al, ANTENNA ENGINEERING HANDBOOK, OHMSHA, Shibakoen 3－5－8, Minatoku, Tokyo, Japan, 1986, pp502～504

（5）武内保憲，河野公則，河野実則「2.4GHz帯を用いた場所検知システムの開発」平成17年度電気・情報関連学会中国支部連合大会

（6）武内保憲「自律移動支援システムの開発」平成18年度電気学会通信研究会

（7）武内保憲「自律移動支援システムの開発」平成18年度電子情報通信学会ソサイエティ大会

（8）武内保憲，河野公則，河野実則「自律移動支援システムの開発」平成18年度電気・情報関連学会中国支部連合大会

（9）武内保憲「自律移動支援システム用ネットワーク部の開発」平成18年度電気学会通信研究会

（10）武内保憲「自律移動支援システム用ネットワーク部の開発」平成19年電気学会全国大会

（11）武内保憲「自律移動支援システム用ネットワーク部の開発」平成19年電子情報通信学会総合大会