

超音波測位システムにおけるセンサ取付誤差に関する考察と検討

屋良朝克^{†1} 黒沼紀彦^{†1} 鈴木孝幸^{†2} 五百蔵重典^{†1} 田中博^{†1}

音の伝播速度は電波の伝播速度に比べて遅いため、伝搬時間測定のための分解能を細かくとることが可能となり、マイコンなどで作成した安価な測位システムでも最大誤差 100mm 以内の正確な測位が可能となる。著者らは、超音波を用いた測位システムの研究を行っており、実際に構築したシステムは水平方向で 30mm 程度、三次元では 300mm 程度の精度で測位できている。しかし、現在使用しているマイコンの分解能から超音波測位におけるシミュレーションを行った結果、水平方向で 0.22mm 程度、三次元では 0.81mm 程度の精度で測位が可能であることが明らかとなった。また、受信点数の変化による測位精度の影響と測位可能地点を検証するシミュレーションを行い、受信点 4 点での測位は、測位精度が低下や測位可能地点の減少が見られることが分かり、受信点を 5 点に測位すると大きく精度が向上することがシミュレーション結果からわかった。本論文では、測位の際に使用する受信点の数および測距の精度がおよぼす測位精度をシミュレーションにより明らかにし、その結果が実際の実験システムの振る舞いと近いことを示す。

Study and Examination of the Sensor Mounting Error in the Ultrasonic Positioning System

CHOKATSU YARA^{†1} NORIHIKO KURONUMA^{†1} TAKAYUKI SUZUKI^{†2}
SHIGENORI IOROI^{†1} HIROSHI TANAKA^{†1}

The propagation velocity of sound is much smaller comparing to radio frequency, therefore precise positioning whose maximum error is less than 100mm is expected to realize by using a low-cost micro-computer. The authors have developed positioning system that is composed with ultrasonic sensors. Its maximum errors are less than 30mm and 300mm for horizontal and perpendicular direction, respectively. It is found that these errors are much larger than the results obtained by numerical simulation taking a resolution for detecting propagation time into account. And also simulation results indicate that the number of receiving sensors gives much effect to positioning accuracy. This investigation describes the effects of the number of receiving sensors and time resolution to positioning accuracy. The validity of simulation results is verified by referring to experimental results. In addition, the setting error for receiving sensors is investigated by both of simulation and experiment.

1. はじめに

位置情報を利用したサービスは様々あり、その位置情報を提供する測位システムの精度向上、および適用エリアの拡大が進めば、様々な場面に応用できることが期待できる。例えば、測位システムの代表といえる GPS は、現在まで様々な発展を遂げ、測位精度、適用エリアの観点から屋外環境では世界標準の測位システムとなっており、Google Maps などと連携した様々なサービスに利用されている。問題点として、GPS の電波は高いビルなどに囲まれた個所ではマルチパスによる影響で正確に測位できないという問題や、GPS 電波の届かない屋内での位置情報サービスには利用できないという問題がある。後者の問題である屋内環境での測位手法を確立するための研究が盛んに行われており、Wi-Fi の電波強度^[1]や GPS 互換信号^[2]、RFID タグ^[3]などを用いた測位手法が提案されている。しかし、屋内測位手法として、電波を用いた手法は電波伝搬距離を取得する分解能の関係とマルチパスの影響から測位精度の確保が難しく、

その他の方法は設置コストが高価などの理由から、屋内測位システムの世界標準は存在していないのが現状である。

その中で、超音波を用いた測位手法は、超音波の伝播時間速度が電波の伝播時間速度に比べて遅いため、超音波の伝搬時間から距離を計測することが容易となり、電波を用いた測位システムよりも測位精度の向上が可能となる。さらに、超音波は電波に比べ、伝搬速度が遅いためマルチパスによる影響を容易に除去することができるなどの理由から、測位精度の高精度化を図れるため、屋内測位システムとして、数多くの研究^{[4][7][8][9]}がなされており、筆者らも超音波を用いた測位システムの研究^[6]を行っている。実際に筆者らが構築したシステムは、水平方向で 30mm 程度、三次元では 300mm 程度の精度で測位が可能であり、この測位精度は Wi-Fi や GPS などの電波を使用した測位に比べ高精度と言える。しかし、本システムで使用しているマイコンの性能上 0.17mm の分解能での測距が可能であるため、測位精度としては数ミリメートル程度の測位が可能であると考えられる。

本論文では、筆者らが作成した超音波測位システムの理論上の測位精度をシミュレーションにより明らかにするとともに、筆者らの作成した超音波測位システムの誤差原因の検証を試みる。加えて、受信点の数および測距精度が、

^{†1} 神奈川工科大学大学院 工学研究科 情報工学専攻
Graduate School of Information & Computer Sciences,
Kanagawa Institute of Technology
^{†2} 神奈川工科大学 情報学部 情報工学科
Department of Information & Computer Sciences, Kanagawa Institute of
Technology

測位の精度および測位対象エリアにどのような影響を与えているかをシミュレーションから明らかにする。

2. 超音波を用いた測位の関連研究

超音波を用いた測位システムは幾つか提案されており、古河機械金属株式会社製の ZPS-3D^[4]は、315MHz 帯の微弱電波で超音波タグをコントロールして測位する。電波による指示でタグは超音波を発信し、その送信された超音波を3点で受信し、3角測量で計算することで位置を求める。到達時間を無視できるほど高速である電波により、超音波の送信・受信をコントロールしているため、超音波送信地点と超音波受信地点の間で時刻同期をしているとみなすことができる。そのため、3点の受信点で測位可能である。測位精度は、測位環境によって異なるが 20mm~80mm の精度である。特徴として、平面方向の動きだけでなく、垂直の動きが検知できるため、人の立っているまたは座っているまでの検知が可能である。このシステムを用いて、看護配置の効率化のための研究^[5]が行われており、看護師の動線を把握する目的に利用されている。

GPS は衛星の位置情報をスペクトル拡散させ、電波に載せて送信している。これを超音波で行っている研究^[7]があり、約 10cm 程度の誤差で測位可能となっている。しかし、受信機側での高度な計算が必要となるため、システム側の負荷が大きい。また、ドップラー効果の影響を受けるなどの問題があり、様々な改良が試みられている。

高速道路などで利用されている光ビーコンや電波ビーコンは電波に位置情報を含み、それらの電波を受信することにより、現在の位置を推定する測位手法であるが、それを超音波に置き換えた測位システムとしてスマポ^[8]がある。これは、ある一定の範囲にいることしか把握できない手法であり、測位精度は超音波を用いたほかの測位システムに比べ低い。しかし、スマポはスマートフォンに内蔵されたマイクロフォンを使用するため、特別なハードウェアを追加する必要なく実現できるという利点がある。

同様に、超音波によるビーコン信号を使い来店ポイントの獲得に使用できるシステム(AISLE: Advanced Indoor Location Enabler<開発コード>)^[9]がある。このシステムを応用し、スマートフォン内蔵センサを利用して測位する歩行者自律航法(PDR: Pedestrian Dead Reckoning)の蓄積誤差の補正を行うハイブリットな測位システムを実現している。このシステムは、スマポと同様の測位手法のため測位精度は数メートル程度となっている。しかし、スマポ同様にスマートフォン内蔵マイクロフォンを利用して測位することが可能であるため、特別なハードウェアを追加せず利用できる。さらに、スマートフォン内蔵モーションセンサを利用して測位しているため、低コストで比較的高精度な測位システムとなっている。

3. 逆 GPS 超音波測位システム

3.1 システム構成

筆者らが作成した超音波測位システム^[6]は(以下、逆 GPS 超音波測位システム)、測位対象が超音波の発信機を持っており、測位対象から発信された超音波を、天井に設置された4点以上の受信点で受信することで、測位を行う。逆 GPS 超音波測位システムの構成を図 1 に示す。

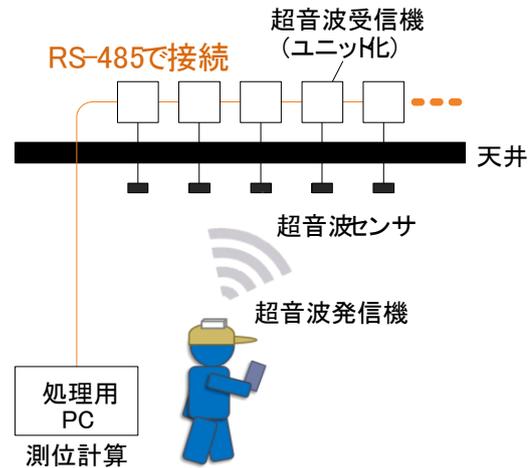


図 1 逆 GPS 超音波測位システムの構成

位置推定に用いる計算方法は、GPS で用いられている方式と同じであるが、逆 GPS 超音波測位システムは、測位対象が送信機を所持しているため、送信機と受信機の位置関係が GPS とは逆となる。GPS 方式(逆 GPS 方式)では、受信機と送信機との位置関係から発生する超音波の受信時刻差を利用して送信機の位置を推定しており、最低4点の受信機が必要となるが、送信機側と受信機側の時刻同期が不要な構成である。4点以上の受信機から得られた情報を元に、以下の計算式により、送信機の位置を求める。

$$\sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2} = c(t_i + \Delta t) \quad (1)$$

ただし、 (x_i, y_i, z_i) は受信機*i*の座標
 (x, y, z) は送信機の座標(未知数)
 t_i は、受信機*i*への到達時間
 Δt は、クライアント時刻のずれ
 c は光速定数

また、筆者らが当初作成した逆 GPS 超音波測位システム^[10]は、一つの FPGA ボード上に受信機配線を集約させたため、配線負荷が大きく、測位エリアの拡大が困難であった。しかし、屋内測位において屋内エリアを広範囲で測位可能にしたいという要求があるため、超音波測位受信機をユニット化し、RS-485によるカスケード接続を可能にした測位システムに改良した。この改良により、測位エリア

拡大の容易性の向上が図れ、従来のシステムに比べ低コストかつ配線負荷の少ないシステムとなっている^[6]。現在は、図 2 に示すように、34 個の受信機を使い、約 4m×約 14m の広範な測位を可能としている。

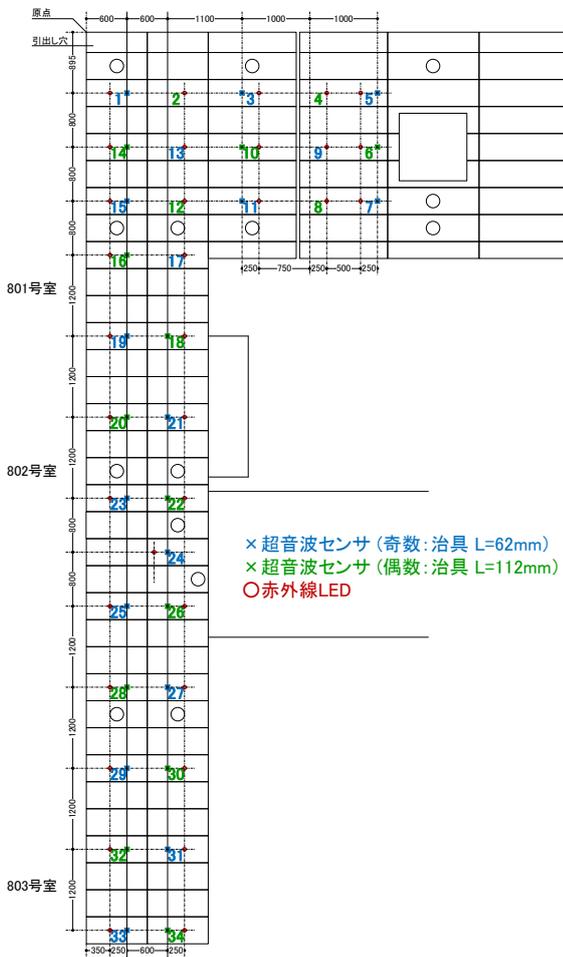


図 2 逆 GPS 超音波測位システムの測位範囲

さらに、逆 GPS 超音波測位システムは、特定の測位エリアを精密に測位できるため、スマートフォン内蔵の慣性センサを利用したデッドレコニングと組み合わせ、要求測位精度とコストとのトレードオフが可能なシステムも考案および提案している^[11]。

3.2 実測位精度

実システムの測位精度を求めるために、以下に示す実験環境で実際に測位する。本実験に使用した受信点の座標は、図 2 が示す環境の左上部分を使用する (図 3)。

送信機の高さは 62mm とし、送信機の配置間隔と範囲は、受信点が形成する矩形の範囲に 50mm 間隔の格子状での配置とする。すなわち(600, 895) から (1200, 2495) の範囲で計 429 箇所、送信器を配置する。429 箇所の各点を 5 回ずつ計測する。

受信点数の変動による測位誤差を見るために、受信点を 4 点使う際は、受信点 No.1~4, 受信点を 5 点使う際は、受

信点 No.1~5, 受信点を 6 点使う際は受信点 No.1~6 を使用する構成とする。

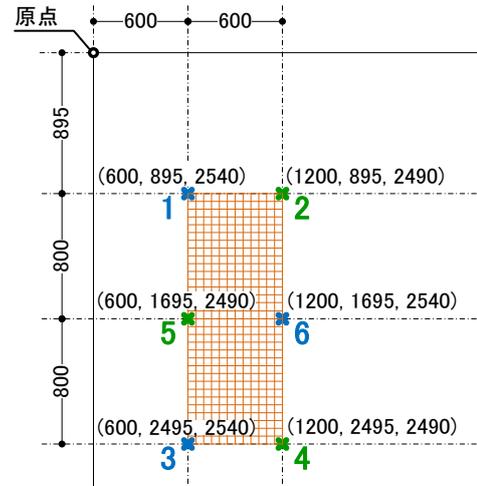


図 3 受信点の取り付け位置

測位結果の精度を測位誤差として示す。多くのアプリケーションでは平面方向のみの測位を必要とするため、平面方向の測位誤差も求める。我々の提案している逆 GPS 超音波測位システムは垂直方向の測位も可能なため、三次元での測位誤差も同様に求める。

図 3 の環境において、受信点を 4 点から 6 点まで変化した場合の平面方向の測位結果の誤差を表 1 に示し、三次元での測位結果の誤差を表 2 に示す。さらに、受信点数を 4 点から 6 点まで変化した場合の測位可能な観測点を図 4 に示す。加えて、測位結果の分類を表 3 に示す。ただし、測位成功の判断基準として、測位誤差許容範囲を実際の送信器位置の 100mm 以内とし、測位許容誤差範囲内である場合は測位成功、測位許容範囲外もしくは測位計算で行っている数値解析の解が収束しない場合は測位失敗とする。

表 1 平面方向の測位誤差 (実システム)

平面方向	平均	標準偏差	最大値	測位成功数
4 点測位	63.15	27.63	120.50	75 (3.50%)
5 点測位	35.40	9.89	107.84	1172 (54.8%)
6 点測位	32.91	6.78	75.34	1254 (58.6%)

表 2 三次元の測位誤差 (実システム)

三次元	平均	標準偏差	最大値	測位成功数
4 点測位	370.88	231.03	886.94	75 (3.50%)
5 点測位	113.64	45.54	265.77	1172 (54.8%)
6 点測位	131.66	39.02	315.54	1254 (58.6%)

表 1 および表 2 で、測位回数は 2145 回 (429 箇所×5

回)になるべきであるが、実際は2140回である。これは実験の際、1カ所、計測漏れがあったためである。

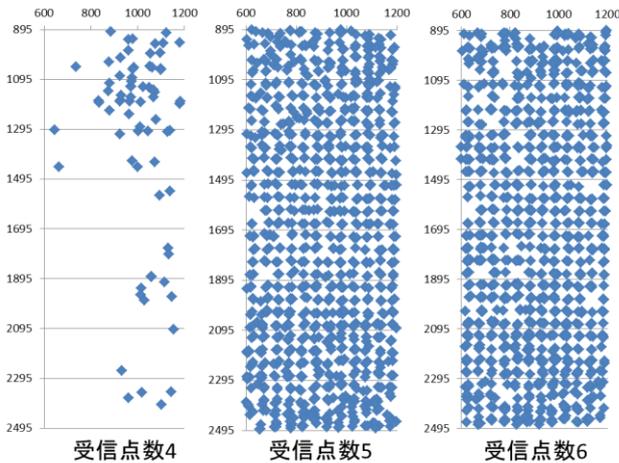


図4 受信点数別、測位可能点

表1(表2)によると、5点測位および6点測位の場合、約55%の観測点で測位可能である。一方、図4の5点測位および6点測位によると、ほぼ全ての観測点で測位可能であるように見える。この差は、各観測点で5回ずつ測位し、プロットしていることに起因していると思われる。つまり、何らかの不具合で測位できない場合が45%程度あるが、測位できない観測点はないと思われる。

表3 測位結果の分類

	測位成功回数	異常処理回数	測位計算失敗回数	許容測位誤差範囲外
4点	76 (4%)	1167 (54%)	799 (37%)	104 (5%)
5点	1173 (55%)	87(4%)	879 (41%)	1 (0%)
6点	1255 (59%)	156 (7%)	729 (34%)	0 (0%)

図2に示す環境での逆GPS超音波測位システムの測位精度確認実験では、水平方向の誤差は最大30mm程度、三次元での誤差は300mm程度の測位誤差^[6]が生じているが、図3に示す環境では、水平方向で最大75.34mm、三次元では315.54mmの測位誤差が生じている。この測位精度の低下は、図2が示す環境で行った実験では、システムの最大性能を求めめるための好条件で実験を行い、図3が示す環境で行った実験とは、条件が異なるためと思われる。

4. 超音波測位システムの測位精度推定

逆GPS超音波測位システムの振る舞いを検証するため、図3が示す実際に作成した超音波測位システムの受信点数座標値を用いてシミュレーション実験を行い、実測位精度と理論測位精度を比較する。

4.1 シミュレーションによる理論測位精度

3.2節では、我々が作成した逆GPS超音波システムの測位精度を再確認するとともに、明らかにした。この測位精度が、理論値と比べて妥当なのかを、シミュレーションにより検証する。

シミュレーション実験の環境構成の条件は、3.2節の条件に合わせている。すなわち、受信点No.1~6の受信点を全て使用し、送信機の高さは62mmに設定する。送信機の配置間隔と範囲は、受信点が形成する矩形の範囲に50mm間隔の格子状での配置とし、(600, 895)から(1200, 2495)の範囲で計389箇所、送信器を配置したものと、各1回ずつシミュレーションを行う。

シミュレーションでの測距は、マイコンのカウント値をシミュレーションすることで行う。逆GPS超音波測位システムの受信点で使用しているマイコンの処理速度は2MHzで動作しており、その処理速度と音速340.29m/sから、タイマの1カウントあたりの分解能を計算すると0.170145mm単位での距離を計測可能である。受信点と送信機間の距離を0.170145で割り、値を切り捨てることで、得られた値を理想的なカウント値として、測距のシミュレーションを行う。シミュレーションによる測位結果の精度を表4に示す。

表4 シミュレーションから算出した理論測位誤差

6点測位	誤差平均	標準偏差	最大測位誤差
平面方向	0.22	0.13	0.88
三次元	0.81	0.53	3.24

超音波測位システムの測位精度は水平方向の誤差で0.22mm、三次元の誤差では0.81mm程度での測位が実現可能である事がわかり、最大測位誤差は3.24mm程度であることが分かった。しかし、この理論測位精度は3.2節で調べた実測位精度と比べて、水平方向の最大で85.6倍、三次元の最大で97.4倍高い精度になっている。

4.2 測距精度の低下による測位精度の変化の検証

前節(4.1節)で明らかになった理論測位精度と実測位精度の差は、受信機の取り付け誤差が原因と推定している。取り付け誤差を測定する手段がないため、取り付け誤差があった場合、測位結果にどのような影響を及ぼすのかをシミュレーションによって明らかにする。具体的には、以下の方法を試みる。取り付け誤差が起きた場合、測距精度が低下することが予測されるため、測距精度を落とした場合の、測位精度について考察する。測距精度の低下は、測距の分解能を下げることで代用する。

マイコンの処理速度は2MHzであり、タイマの1カウン

トあたりの分解能は 0.170145mm である。このマイコンの処理速度を 200KHz (分解能 1.70mm), 20KHz (分解能 17.0mm) と低下させた測位計算をシミュレーションする。つまり受信機と送信機間の距離を 1.70145 または 17.0145 でそれぞれ割り、値を切り捨てることで、カウント値をシミュレーションする。

4.2.1 測距精度低下時の 4 点測位の測位精度

測位に使う受信点を No.1~4 の 4 点とする。また、観測点数は 429 点である。XY 方向の測位誤差を求めたものを表 5 に、XYZ 方向の測位誤差を求めたものを表 6 に示す。シミュレーションによって測位された点をプロットした図を、図 5 に示す。

表 5 測距精度が落ちた場合の測位誤差(XY 方向)

4 点測位	平均	標準偏差	最大値	測位成功数
2000KHz	11.22	16.41	90.73	290(67.6%)
200KHz	43.45	29.62	99.99	182(42.4%)
20KHz	52.00	31.88	98.55	16(3.7%)

表 6 測距精度が落ちた場合の測位誤差(XYZ 方向)

4 点測位	平均	標準偏差	最大値	測位成功数
2000KHz	64.09	96.26	690.8	290(67.6%)
200KHz	243.7	198.4	1293	182(42.4%)
20KHz	173.8	114.1	331.6	16(3.7%)

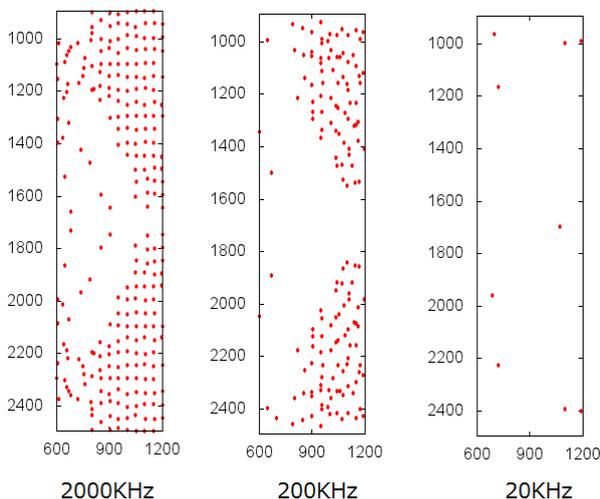


図 5 測距精度が低下した場合の測位可能地点 (4 点)

実システムにおいての受信点が 4 点のときと、シミュレーションにおいての受信点数が 4 点でかつ分解能 20KHz のときを比較する。実システムの場合は 3.5% の観測点で、シミュレーションでは 4.2% の観測点でしか測位計算できず、ほぼ同等の性能を示している。測位誤差の平均は、実

測位精度では 63.15mm (表 1 の 1 行目)、シミュレーションでは 52.00mm (表 5 の 3 行目) と非常に近い値を示している。加えて、測位可能な点をプロットした場合、実システム (図 4 の左) およびシミュレーション (図 5 の右) の結果は似通っているように思われる。

これらから、実際のシステムの誤差として、測距の分解能が 20KHz 程度の時の誤差が近似している。すなわち 17.0mm 程度の設置誤差があると類推される。

4.2.2 測距精度低下時の 5 点測位の測位精度

測位に使う受信点の数を No.1~5 の 5 点とする。XY 方向の測位誤差を求めたものを表 7 に、XYZ 方向の測位誤差を求めたものを表 8 に示す。測位可能な点を示した図を、図 6 に示す。

表 7 測距精度が落ちた場合の測位誤差(XY 方向)

5 点測位	平均	標準偏差	最大値	測位成功数
2000KHz	0.2883	0.1864	0.9840	429(100%)
200KHz	2.858	1.743	8.022	429(100%)
20KHz	28.40	18.15	87.79	429(100%)

表 8 測距精度が落ちた場合の測位誤差(XYZ 方向)

5 点測位	平均	標準偏差	最大値	測位成功数
2000KHz	1.058	0.7323	3.352	429(100%)
200KHz	11.21	7.137	32.74	429(100%)
20KHz	117.8	78.15	388.2	429(100%)

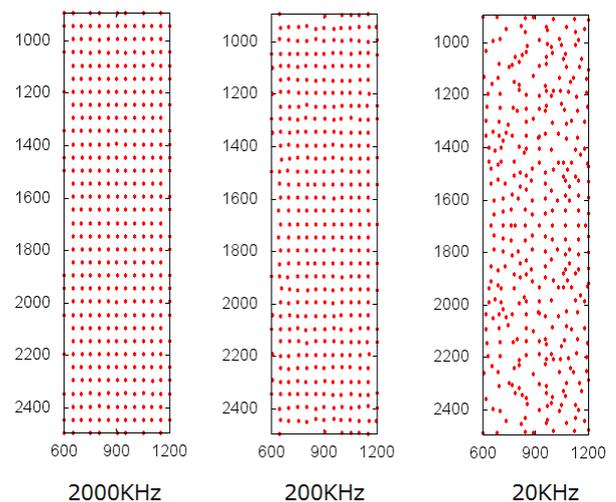


図 6 測距精度が低下した場合の測位可能地点 (5 点)

実システムにおいての受信点が 5 点のときと、シミュレーションにおいての受信点数が 5 点でかつ分解能 20KHz のときを比較する。測位誤差の平均は、実測位精度では 35.40mm (表 1 の 2 行目)、シミュレーションでは 28.40mm

(表 7 の 3 行目) と非常に近い値を示している。加えて、測位可能な点をプロットした場合、実システム (図 4 の中央) およびシミュレーション (図 6 の右) の結果は似通っているように思われる。

これらから、実際のシステムの誤差として、測距の分解能が 20KHz 程度の時の誤差が近似している。すなわち 17.0mm 程度の設置誤差があると類推される。

4.2.3 測距精度を落とした時の測位精度の考察

4.2.1 項および 4.2.2 項の結果から、シミュレーションとして測距誤差が 17mm 程度 (距離の分解能が 20KHz) を想定した場合、実システムの振る舞いに近いと思われる。

そこで、実システムの測位精度をまとめた表 1 および表 2 に対応するシミュレーション結果をまとめる。受信点を 4 点から 6 点まで変化させ、距離の分解能を 20KHz としたシミュレーションにおける平面方向の測位誤差を表 9、三次元の測位誤差を表 10 に示す。また、測位可能地点を図 7 に示す。

表 9 平面方向の測位誤差 (20KHz)

平面方向	平均	標準偏差	最大値	測位成功数
4 点測位	52.00	31.88	98.55	16(3.7%)
5 点測位	28.40	18.15	87.79	429(100%)
6 点測位	23.23	14.19	87.19	429(100%)

表 10 三次元の測位誤差 (20KHz)

三次元	平均	標準偏差	最大値	測位成功数
4 点測位	173.8	114.1	331.6	16(3.7%)
5 点測位	117.8	78.15	388.2	429(100%)
6 点測位	87.37	55.30	316.3	429(100%)

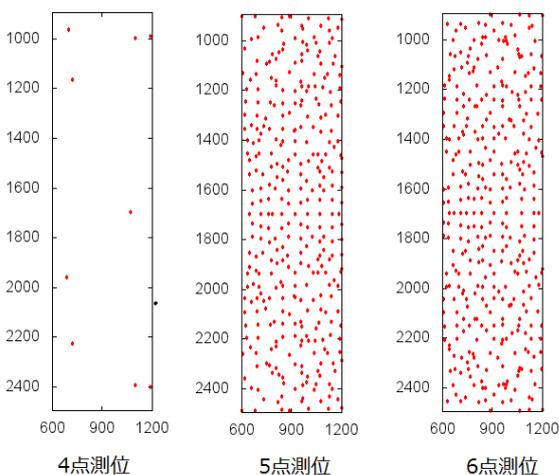


図 7 受信点数別、測位可能点 (20KHz)

表 1 および表 9, 表 2 および表 10, 図 4 および図 7

を比較すると、似通っていることが確認できる。10mm 程度の設置誤差は、実験エリアの広さなどから考えるため、この設置誤差による影響を受け、測位誤差が発生していると思われる。

また、受信点数を 4 点から 5 点にすることで、飛躍的な測位精度の向上が見られることが、実測位からもシミュレーションからも分かる。受信点数を 5 点から 6 点に増やした場合は、測位精度は向上するものの、その向上率はわずかである。

5. 超音波測位システムの性能向上

4 章では、実際の超音波測位システムで発生している誤差の原因の追究のため、測距精度を低下させることによる測位システムの精度の変化、4~6 点の受信点数の変動による測位精度の変化と測位可能エリアの変化を検証した。本章では、測距精度の向上および受信点数の変化による超音波測位システムの性能向上の可能性について考察する。

本章で使用する受信点の位置関係は、4 章で行ったシミュレーション実験と同様である。

5.1 測距精度向上時の 4 点測位の測位精度

測位精度を向上させるためには、単純に距離分解能を向上させることが有効と考えられるため、距離分解能の精度向上が測位精度にどのような効果を与えるかをシミュレーションにより検証する。

ここで使用する受信点数は 4 点とし、図 2 で示した通りに配置する。

逆 GPS 超音波測位システムで使用しているマイコンの処理速度は 2MHz、測距分解能は 0.17mm であるため、この分解能を基準とし、マイコンの処理速度を 20MHz、200MHz、2000MHz と向上させたときの推定測位精度を求める。つまり、受信機と送信機間の距離を計算するとき、この距離を 0.170145 で割り、少数第 1 位または小数第 2 位を切り捨てたときに得られるカウント値で表現される距離を、測距で得られたとしてシミュレーションする。シミュレーション結果を表 11 と表 12 におよび図 8 示す。

シミュレーション実験から、処理速度を 2MHz から 20MHz に向上させると測位誤差の平均が 5 倍程度低下し、同様に距離分解能を 2MHz から 200MHz に向上させると測位誤差の平均が 28 倍以上向上することが分かった。また、距離分解能を向上させると、平均の測位精度の場合と同様に標準偏差も向上することが確認できた。しかし、測位誤差の最大値及び、測位成功数は測距の分解能が向上しても大きな変化は見られず、測位可能な観測点数においても大きな変化は見られなかった。

このことから、距離分解能の向上により全体的な測位精度の向上は期待できるが、測位可能な観測点を増やすこと

及び、測位誤差の最大値の低下は期待できないことが分かる。

表 11 距離精度が向上した場合の測位精度(XY 方向)

4 点測位	平均	標準偏差	最大値	測位成功数
2MHz	11.22	16.41	90.73	290(67.6%)
20MHz	2.856	8.791	66.41	307(71.6%)
200MHz	0.3141	1.084	10.07	304(70.9%)
2000MHz	11.22	16.41	90.73	290(67.6%)

表 12 距離精度が向上した場合の測位精度(XYZ 方向)

4 点測位	平均	標準偏差	最大値	測位成功数
2MHz	64.09	96.26	690.8	290(67.6%)
20MHz	17.53	57.57	436.4	307(71.6%)
200MHz	2.201	13.34	218.9	304(70.9%)
2000MHz	64.09	96.26	690.8	290(67.6%)

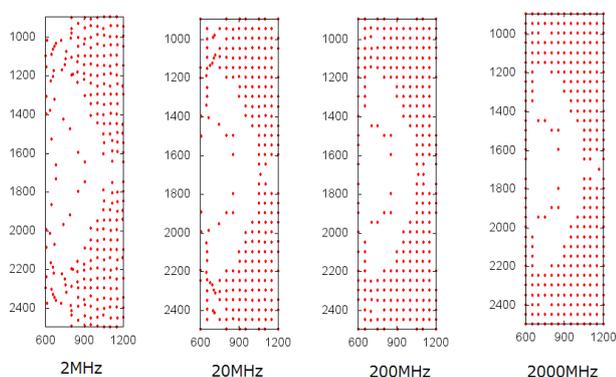


図 8 測距精度が向上した場合の測位可能地点(4 点測位)

5.2 測距精度向上時の受信点数の変化による測位精度

逆 GPS 超音波超音波測位システムは、4 点以上の受信点を用いて測位可能であるが、4 点のみの受信点では測位可能な観測点が少なく、測位精度も低いことがこれまでのシミュレーション結果から分かった。そのため、受信点数を増やすことによる測位精度の向上を確認するため、受信点数を 4 点から 6 点まで変化させ、これまでのシミュレーション実験と同様に 50mm 間隔の格子状に送信器を配置し、測位精度と超音波測位システムの振る舞いをシミュレーションにより検証した。受信点を 4 点から 6 点まで変化させた場合の XY 方向の測位誤差を表 13、三次元の測位誤差を表 14 に示す。

受信点数が 4 点の場合、測位できる箇所が 64.9%程度であったが、受信点数を 5 点または 6 点にした場合、すべての個所で測位可能となった。また、受信点を 5 点にした場合の測位誤差の減少は 40 倍以上向上し、標準偏差も大きく向上した。しかし、受信点を 5 点から 6 点に増やした場合は、大きな測位精度の向上は見られず、標準偏差におい

ても大きな変化は見られなかった。この結果から、超音波測位システムにおいて、受信点 6 点以上の受信点で測位を行っても、受信点 5 点での測位に比べて、測位精度、測位可能エリアの拡大は期待できないことが分かった。一方で、受信点を 4 点から 5 点にした場合の精度向上は大きく期待でき、測位可能地点も大きく増加することが実際の測位システムでも期待できることが分かった。

表 13 受信点数が測位誤差に与える影響(XY 方向)

受信点数	平均	標準偏差	最大値	測位成功数
4 点測位	11.22	16.41	90.73	290(67.6%)
5 点測位	0.2883	0.1864	0.9840	429(100%)
6 点測位	0.2069	0.1169	0.5830	429(100%)

表 14 受信点数が測位誤差に与える影響(XYZ 方向)

受信点数	平均	標準偏差	最大値	測位成功数
4 点測位	64.09	96.26	690.8	290(67.6%)
5 点測位	1.058	0.732	3.352	429(100%)
6 点測位	0.7188	0.4817	2.337	429(100%)

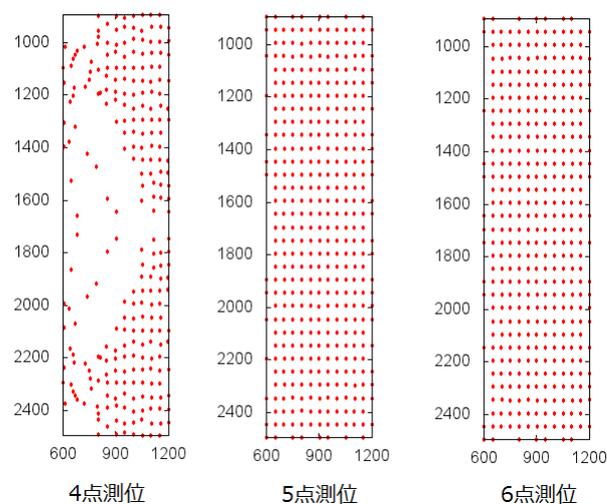


図 9 受信点数による測位精度の変化(200MHz)

6. まとめ

筆者らは、超音波による測位システムを構築しており、これまでの測位精度評価実験から、筆者らの作成した逆 GPS 超音波超音波測位システムは、水平方向で 30mm 程度の精度で測位が可能である事が分かっていた。しかし、その結果が理想的な測位精度ではなく、その原因が設置誤差なのか実験誤差なのか、それとも別の原因なのかを突き止められずにいた。そのため、測位誤差をシミュレーションする実験を行い、その結果から、設置誤差による影響が実際の実験システムの振る舞いと近いことが分かった。また、

測位精度向上のためには、測距の分解能を向上させることより、受信点数を4点から5点に増やすことが効果的であることがシミュレーション結果からわかり、測位可能地点が拡大することもシミュレーション実験、シミュレーション検証実験からわかった。

今後としては、受信点5点以上で観測できるよう測位エリアが拡大できる配置方法をシミュレーションにより検証していき、効率よく測位精度の向上と測位エリアの拡大が可能な受信機配置の構成を検討していきたいと考えている。

謝辞 本研究は文部科学省科学技術研究費基盤(C)課題番号 24500219 の補助を得て行った。

参考文献

- 1) 木下泰三, 荻野敦: 無線 LAN と UWB の Indoor 測位, 測位航法学会 GPS/GNSS シンポジウム 2010, pp.94-101, 2010.
- 2) 村田正秋, 瀬川爾朗, 鳥本秀幸: IMES の技術動向, 電子情報通信学会誌, Vol.95, No.2, pp.119-124, 2012.
- 3) 細川直史, 高梨健一, 滝澤修: 電子タグによる屋内測位を利用した携帯電話からの通報システム, Theory and Applications of GIS, Vol.18, No.1, pp.79-85, 2010.
- 4) ロケーションシステム ZPS-3D, 古河機械金属株式会社, http://www.furukawakk.jp/products/ZPS_2.html
- 5) 松下大輔, 熊川寿郎, 市川幾恵, 小田原良子, 磯川悦子, 山下哲郎: センシング技術を活用した医療スタッフのマネジメント, 保健医療科学, ISSN-13476459, vol.62, pp.68-80, 2013.
- 6) 田中 博, 屋良 朝克, 秋山 征己, 五百蔵 重典: 位置情報基盤としての屋内測位技術—超音波測位と慣性測位の融合の提案—, 気学会 電子・情報・システム部門大会, TC3-6, pp.179-184, 2013.
- 7) 鈴木彰真, 伊与田健敏, 宇佐美信也, 渡辺一弘: スペクトル拡散超音波による距離計測のためのリアルタイム相関演算, 計測自動制御学会論文集, Vol.46, No.7, pp.357-364, 2010.
- 8) スマポ, <http://www.smapo.jp/>
- 9) 吉澤菜津子, 遠藤貴裕, 永見健一: 屋内位置情報における推定技術の開発と新しいサービスの展開について, 野口健一郎, 大谷真: OSI の実現とその課題, Intec Tech J, No.13, pp.44-51, 2013.
- 10) 秋山 征己, 須永 光, 五百蔵 重典, 田中 博: 超音波センサを用いた広域屋内測位システムの構成と検証実験, 測位航法学会論文誌, Vol.3, No.1, pp.1-8, 2012.
- 11) 屋良 朝克, 法月 佑太, 五百蔵 重典, 田中 博: スマートフォン端末を利用したデッドレコニングにおける蓄積誤差補正手法の検討と評価, HCG2013-B-5-1, pp.276-281, 2013.