
UWB無線センサーネットワークの
周波数共用条件に関する調査検討

平成 22 年度報告書

平成 23 年 3 月

UWB無線センサーネットワークの
周波数共用条件に関する調査検討会

はじめに

超広帯域無線（UWB：Ultra Wide Band）の広帯域性を利用した高精度な測距・測位システムは、物流・製造業をはじめとする様々な産業分野で、セキュリティや生産性の向上等を可能とするセンサーシステムとして、その利用が注目されている。

超広帯域無線システムは、主に高速データ伝送用として2006年に制度化されているが、新たに低速センサーネットワークの利用を可能とすることは、周波数の有効利用の観点からも期待される場所である。しかし、UWBの用途を拡大するに当たっては、改めて他の無線システムとの周波数共用条件の検討が必要となる。

このような背景から、本調査検討では、平成21年度の物流倉庫、本年度のオフィス及び療養環境における技術試験を通して、ハイバンド（7.25GHz～10.25GHz）UWBによる測距・測位システムの実現可能性と有効性を確認するとともに、システム検討に重要な電波伝搬特性を明らかにしてきた。本年度の試験では、室内のマルチパス環境においてUWBの直接波と反射波の信号分離を可能とするとともに、求められる距離分解能の実現を図り、UWB無線センサーネットワークシステムの実現可能性を確認した。

また、各産業分野におけるUWBの普及見込み台数を推測し、多数のUWBの利用が見込まれる都市部における利用密度分布に基づき、シミュレーション評価によって他の無線システムとの周波数共用条件を検討し、共用可能との結論を得た。

本調査検討会における多岐にわたる議論と技術試験の結果が、今後、UWB無線システムの用途拡大の実現に向けた各種検討の一助になれば幸いである。

最後に、UWB利用シーンの調査、技術試験結果の評価及び周波数共用条件の検討などの活動に多大なご協力をいただいた調査検討会構成員、作業部会構成員並びに関係者各位に深く御礼を申し上げます。

平成23年3月

UWB無線センサーネットワークの周波数共用条件に関する調査検討会

座長 笹岡 秀一

（同志社大学 理工学部 教授）

報告書の内容

第1章 調査検討の概要.....	1
1.1 背景.....	1
1.2 UWB無線センサーネットワーク技術の利用シーンの調査.....	2
1.2.1 利用環境による分類.....	3
1.2.2 実現すべき機能.....	5
1.2.3 技術試験に使用するUWB無線センサーの要件.....	6
第2章 技術試験の詳細検討.....	9
2.1 技術試験環境の構築.....	9
2.1.1 技術試験対象の利用シーンの抽出.....	9
2.1.2 技術試験で実現するアプリケーション.....	10
2.2 技術試験に使用する機器の説明.....	19
2.2.1 機器の特長と仕様.....	19
2.2.2 処理の原理.....	25
第3章 技術試験の結果.....	33
3.1 機器の基本測定評価.....	33
3.1.1 評価系の説明.....	33
3.1.2 理論的前提.....	33
3.1.3 距離測定評価.....	40
3.1.4 方向測定評価.....	42
3.2 利用モデル環境における測定結果.....	55
3.2.1 利用モデルにおける測定環境.....	55
3.2.2 電界強度測定結果.....	56
3.2.3 距離測定結果.....	60
3.2.4 方向測定結果.....	62
3.3 考察.....	63
3.3.1 各測定ポイントでの測定結果について.....	63
3.3.2 測定誤差の要因について.....	66
3.4 公開技術試験アンケートの結果.....	70
3.5 技術試験のまとめ.....	73

第4章	UWB無線センサーの普及密度の検討	74
4.1	想定する利用施設	74
4.1.1	予測の考え方	74
4.1.2	事務所に関する基礎データ	75
4.1.3	病院に関する基礎データ	76
4.1.4	屋内展示施設に関する基礎データ	78
4.1.5	物流倉庫に関する基礎データ	79
4.1.6	大型店舗に関する基礎データ	80
4.1.7	工場に関する基礎データ	80
4.2	普及予測	81
第5章	他の無線システムとの周波数共用条件の検討	85
5.1	背景	85
5.2	共用条件検討の概要	87
5.3	シミュレーション結果	88
5.3.1	自由空間干渉モデル検討（離散的配置）	88
5.3.2	自由空間干渉モデル検討（均一分布配置）	90
5.3.3	減衰モデル	92
5.3.4	携帯電話基地局エントランス用固定マイクロ局の検討	95
5.4	港湾レーダの検討	96
5.5	共用条件検討まとめ	97
第6章	調査検討のまとめ	100
参考資料		I
参考1	調査検討会開催趣旨	I
参考2	調査検討会開催要綱	II
参考3	調査検討の開催状況	III
参考4	調査検討会構成員名簿	IV
参考5	作業部会構成員名簿	V

第1章 調査検討の概要

1.1 背景

UWB (Ultra Wide Band)は、簡易な構成・低消費電力で無線センサーを構成でき、特に測位分野では短パルスのメリットである、高精度・実伝搬環境におけるロバスト性の観点から有力な技術として注目されてきた。

流通・製造分野の生産性向上やセキュリティ等に用いる無線センサーネットワークを実現する観点から、タグ装置等の空中線は、無指向性でどの方向からも電波を検知できる簡単な構成とすることが望まれる。マイクロ波帯UWBの周波数はローバンド (3.4GHz~4.8GHz) およびハイバンド (7.25 GHz~10.25 GHz) に規定されており、共に 1.4GHz 以上の広帯域が利用できることから、これらの周波数を無線センサーネットワークに適用することが適当である。特に、ハイバンドUWBは、干渉軽減機能の具備を要せず、機器の構成を簡易にできる利点がある。

このような背景から、本調査検討会では平成 21 年度より倉庫環境における物流管理の観点に基づき、ハイバンドUWBを用いた実伝搬環境における本邦初の技術試験を行い、その測位性能を確認すると共に、電波伝搬測定を実施し、その結果およびシミュレーションを用いて、既存無線システムへの干渉および周波数共用条件に関する考察を行った。

平成 22 年度の調査検討会においては、物流管理に限定せず各種産業分野における利用シーンを想定することによって、UWB無線センサーネットワークのより広範な用途を調査する。特に、オフィス環境や医療介護施設等、有望なUWB無線センサーネットワークの用途について、それらの疑似環境を構築した技術試験を行い、有効性を実証する。また、マイクロ波帯ハイバンドの周波数帯域を利用することにより実現可能な 360 度全方位測位、無指向性アンテナを備えるタグ構成の特長を確認するため、平成 21 年度に実施した 4 点測位、2 点測位方式とは異なり、距離測定と方向測定を同時に一か所で行う 1 点測位方式を採用することにより、UWB無線センサーネットワーク技術を網羅する。

最後に、これら技術試験結果から、ハイバンドUWB無線センサーネットワークの測位機能におけるエリアの前提条件、普及・分布密度予測から種々の伝搬条件によるシミュレーションを行い、既存無線システムへの干渉および周波数共用条件の導出を行う。

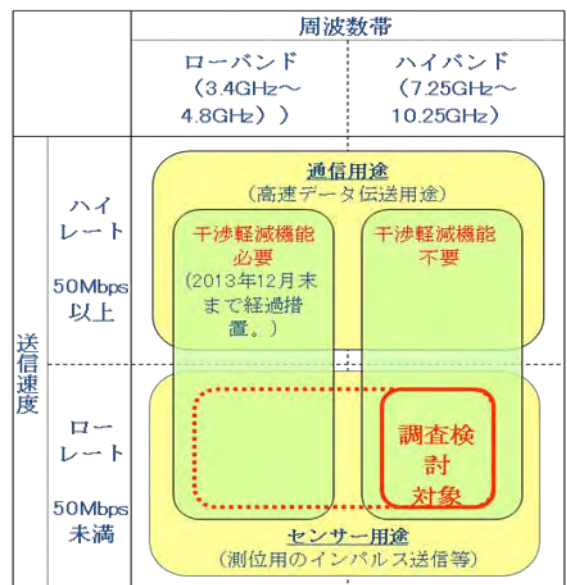


図 1 調査検討対象

1.2 UWB無線センサーネットワーク技術の利用シーンの調査

技術試験の計画を策定するために、まずUWB無線センサーネットワーク技術の利用シーンの調査をおこなった。具体的には、調査検討会の各委員へのアンケートを行うことにより、UWB無線センサーネットワークの利用シーンの具体例の提案を募集した。その結果、表1に示すとおり14の具体的な利用シーン提案があった。

表1 利用シーン提案一覧

利用環境	名称
工場	工場での安全確認、作業動線の見える化
店舗	店舗で顧客や店員の動線の見える化
オフィス	オフィスロボットのナビゲーション
工場	自動車生産ライン作業支援
イベント	イベント会場におけるトラッキング利用
施設内	不審侵入者検出
店舗	ショッピングセンター等のカート管理
オフィス	ハンズフリー入退出制御、来客の移動範囲制限（監視カメラ連動）
学校	デジタル教科書の管理
地下街	視力障害者の自立歩行支援システム
オフィス	オフィス環境における照明制御
オフィス	オフィス環境におけるOA機器セキュリティ制御
オフィス	オフィス環境における物理セキュリティ
医療環境	医療環境における医療機器所在管理

1.2.1 利用環境による分類

UWB無線センサーネットワーク技術の利用シーンの提案内容を利用環境で分類した結果を図2に示す。平成21年度に検討を行った工場、倉庫のほか、店舗、オフィスにおける用途がそれぞれ複数提案されたほか、医療・介護施設の療養環境、学校教育環境、地下街における利用シーンの提案もみられた。

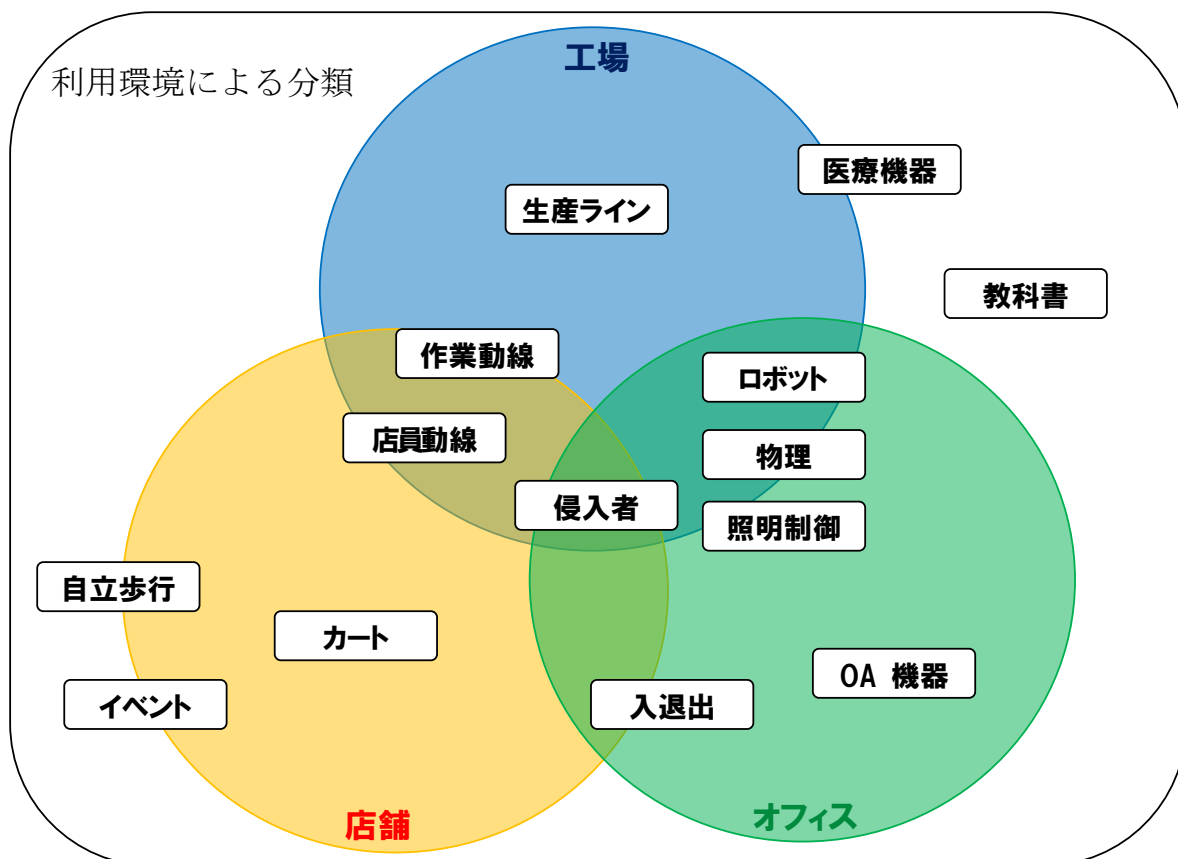


図2 利用環境による分類

一方、UWB無線センサーネットワークの特長的機能である測位、通信、個体識別（ID）の3つの観点から、提案内容を分類したものが図3である。すべての提案で測位機能を利用しており、特に大部分が高精度な測位を前提としている。一方、測位対象がタグ装置や移動機のような形の低レート無線機であることを前提として、IDを送出または返送することにより個体識別機能を実現する利用シーンが提案の約半数を占めた。そのほか、従来技術のセンサーなどと接続して非常に小さなデータを伝送する機能を前提とした提案が一部にみられた。半面、今回の提案では大容量（高速）通信を主要な機能とする提案は無かった。

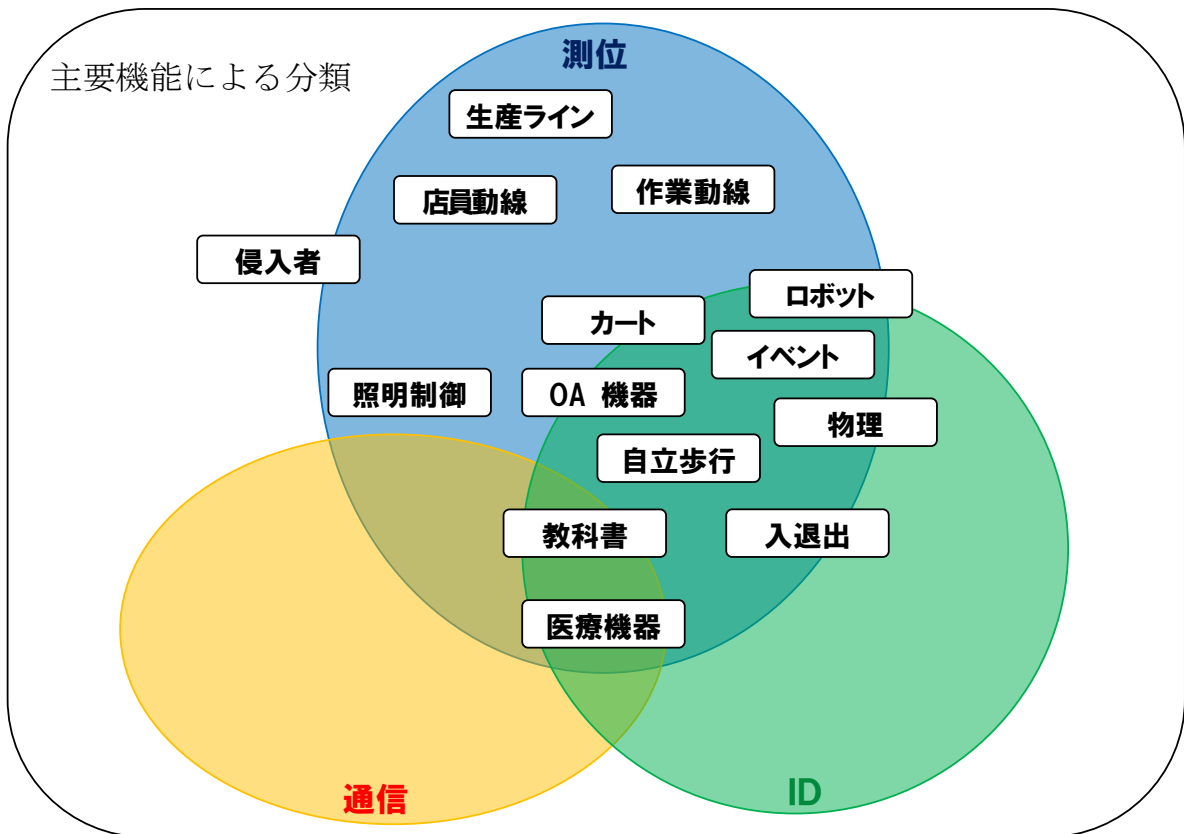


図3 主要機能による分類

1.2.2 実現すべき機能

これらの利用環境および主要機能による分類から、実現すべき機能を抽出してまとめた結果を表 2 に示す。

表 2 実現すべき機能一覧

名称	センサーネットワークの機能	後処理、連携機器の機能
工場での安全確認、作業動線の見える化	測位(絶対位置、相対位置) 動線検出	接近・入域警報(リアルタイム) 動線解析(後処理)
店舗で顧客や店員の動線の見える化	測位(絶対位置) 動線計測	密度検知(リアルタイム) 動線解析(後処理)
オフィスロボットのナビゲーション	測位(絶対位置)	経路生成(障害物回避)
自動車生産ライン作業支援	測位(絶対位置、相対位置)	作業効率解析
イベント会場におけるトラッキング利用	動線検出	動線解析(興味解析)
不審侵入者検出	物体検知(測距)	侵入警報
ショッピングセンター等のカート管理	測位(絶対位置)	作業員への位置通知(随時)
ハンズフリー入退出制御、来客の移動範囲制限(監視カメラ連動)	測位(絶対位置)	入域警報(リアルタイム) 画角マッチング(後処理)
デジタル教科書の管理	測位(絶対位置) 状態取得、ID取得	状態通知(随時) 位置通知(随時)
オフィス環境における照明制御	測位(絶対位置、相対位置)	入域警報(リアルタイム)
オフィス環境におけるOA機器セキュリティ制御	測位(絶対位置、相対位置) 状態取得、ID取得	入域警報(リアルタイム)
オフィス環境における物理セキュリティ	測位(絶対位置) ID取得	入域警報(リアルタイム)
療養環境における医療機器所在管理	測位(絶対位置) 状態取得、ID取得	管理者への位置通知(随時) 個体情報、状態の表示

1.2.3 技術試験に使用するUWB無線センサーの要件

(1) 測位精度

提案された利用シーンにおいて、UWB無線センサーによる測位は、複数の人、物の位置関係を取得し、それぞれの位置を識別することを目的としている。たとえば、「工場での安全確認、作業動線の見える化」提案では、複数の作業者の作業動線を識別するために並んで歩行する人の識別が必要であり、安全確認を実現するためには移動する設備機器と作業者の位置関係を識別することが目的となる。それぞれの利用シーンにおける測位対象の近接間隔を表3に示す。

表3から、測位対象が最も近接した時に識別するべき距離間隔としては1m程度と考えられ、それぞれの位置に対する測位結果の誤差が50cm未満であることが必要である。したがって、UWB無線センサーの測位精度として、50cm以下であることが要件となる。

表3 利用シーン毎の測位対象間隔

名称	測位対象	測位対象の近接間隔
工場での安全確認、作業動線の見える化	移動する設備機材 作業者	2m程度(作業範囲) 1m程度(通路の幅)
店舗で顧客や店員の動線の見える化	店員 店内の顧客	1.5m程度(通路の幅)
オフィスロボットのナビゲーション	移動するロボット 経路上の障害物	1m程度(通路の幅)
自動車生産ライン作業支援	移動する製品(半製品) 移動する設備機材 作業者	1m程度(製品と作業者の間隔)
イベント会場におけるトラッキング利用	観覧者	2m程度(通路の幅)
ショッピングセンター等のカート管理	ショッピングカート	2m程度(通路の幅)
ハンズフリー入退出制御、来客の移動範囲制限(監視カメラ連動)	来客等	2m程度(ドアと来客等の間隔)
デジタル教科書の管理	座席で使用される教科書 保管されている教科書	1m程度(座席の間隔)
オフィス環境における照明制御	作業者	3m程度(照明の照射範囲)
オフィス環境におけるOA機器セキュリティ制御	作業者	1m程度(座席の間隔)
オフィス環境における物理セキュリティ	作業者	2m程度(入域管理範囲)
療養環境における医療機器所在管理	医療機器	2m程度(ベッドの間隔)

(2) エリア配置

測位を主な機能とするUWB無線センサーネットワークの場合、あらかじめ決められた位置に固定機を配置し、この位置を基準としてそれぞれの移動機との間で無線接続を行うことにより測位、識別IDの取得等が行われるのが通常の使用状態であると考えられる。特に、今回技術試験を行う対象機器として、固定機に無指向性アンテナを使用して全方位に対する測位および通信動作をおこなうことのできる機器を用いるため、電波の放射源は1つのエリアに対して1か所に制限される。

このような構成を取るUWB無線センサーネットワークシステムにおいては、従来の2点あるいは4点に固定機を配置して測位を行うUWB無線センサーネットワークシステムと比較して、固定機の設置が容易に行える利点があるのに加えて、あらかじめそれぞれの固定機の相対位置を精密に測定することなく移動機の相対位置を取得することができる。また、絶対位置を測定する場合であっても、絶対位置を特定すべき固定機は1台でよい。

その半面、移動機を人や電波を遮蔽する物体に装着した場合、電波の放射源（すなわち、固定機）と移動機の間には人体などが位置する場合には、人体による電力吸収などにより受信（および返送信号の送信）電力が減少する。固定機の台数を増やすことなくこの現象に対応する方法としては、たとえば移動機を人体に装着する場合には、図4に示すように名札と名札ストラップの両者にアンテナを装着するような構成が考えられる。移動機の2つのアンテナは、ダイバシティ効果によりどちらかの移動機が固定機の方角に向くため、デッドスポットを減少させることが可能と考えられる。これらの仮定により、エリア配置のモデルを決定できる。

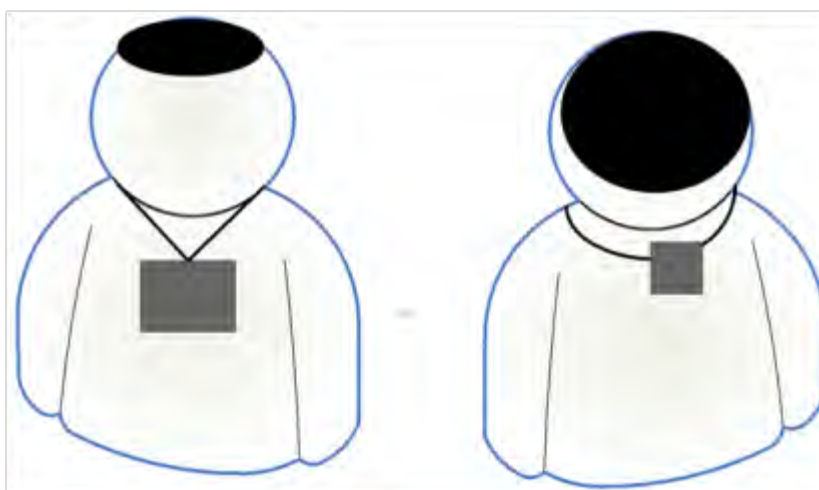


図4 人体装着例

また、UWB無線センサーネットワークの上限の送信電力が限定されていることから、1つの固定機によって測位動作をおこなうことのできるエリアは制限され、利用シーン調査において提案されたように広いエリアをカバーする必要がある場合には、複数の固定機をお互いにオーバーラップして配置することが想定される。

セル配置の一例としては、図5に示す例が想定される。すなわち、固定機の測位半径が $d[m]$ 程度である時、お互いの最遠固定機との間隔が $2d$ すなわちセルエッジがお互いに接するように配置すると仮定する。このとき、隣接する固定機の間隔は $\sqrt{2}d[m]$ であるため、固定機1つに対するエリア面積は $2d^2[m^2]$ となる。 d を、たとえば図5のように $d=10[m]$ と仮定すると、固定機間距離は約14[m]、1つの固定機のカバーするエリア面積は200[m²]となる。平成21年度に調査検討を行った4点測位の場合、移動機の送信するUWB電波を複数（少なくとも3つ）の固定機で同時に受信する必要があるため、固定局のセルエッジに隣接固定局が配置される必要がある。この場合、エリア間隔は1点測位に比べて $\sqrt{2}$ 分の1となり、固定機1つに対するエリア面積は2分の1の100[m²]となる。

なお、ここで挙げた数値は固定機あたりのエリア面積であり、第4章、第5章で検討する周波数共用条件の算出に使用する「送信機あたりの占有面積」としては、固定機と移動機が同時に電波を送信する必要がある1点測位については、等価的に面積を半分として算出する必要がある。

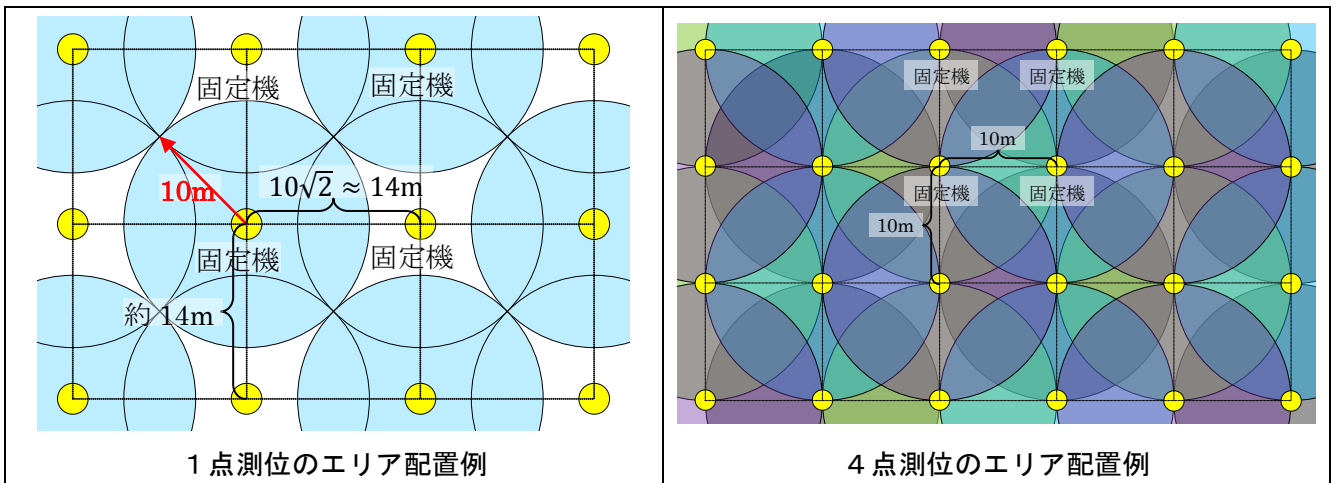


図5 UWBセンサーネットワークのエリア配置例

第2章 技術試験の詳細検討

2.1 技術試験環境の構築

2.1.1 技術試験対象の利用シーンの抽出

1.2.2項の検討結果より、提案された各利用シーンに共通して必要なUWB無線センサーネットワークの機能を抽出すると

- ① 測位（絶対位置、相対位置）
- ② 状態取得、ID取得

であることが明確となった。これらの結果から、すべての機能の検証が可能であり、かつ、測位対象が人物、機器の両者にわたり、それぞれの位置管理と、人物－機器間の相対位置管理のアプリケーションを同時に構築可能である利用環境の例として、オフィス（事務所）環境および療養（病室）環境を抽出した。

事務所と病室の環境は、構造（鉄筋コンクリート造）や天井の高さ、室の開口などの面で比較的似ており、電波伝搬環境の類似性から、同一の施設内に同時に構築することが可能と考えられるため、実際の環境に近く、十分な大きさの会場が比較的容易に調達できるレンタル会議室を技術試験場所として選択した。

技術試験場所として大阪ビジネスパーク内 IMPビル会議室（大阪府大阪市中央区城見 1-3-7）を選定した。試験環境の構築例を図6に示す。

これらの環境を模擬的に構築することにより、UWB無線センサーネットワークの有効性を確認できるものと考えられる。

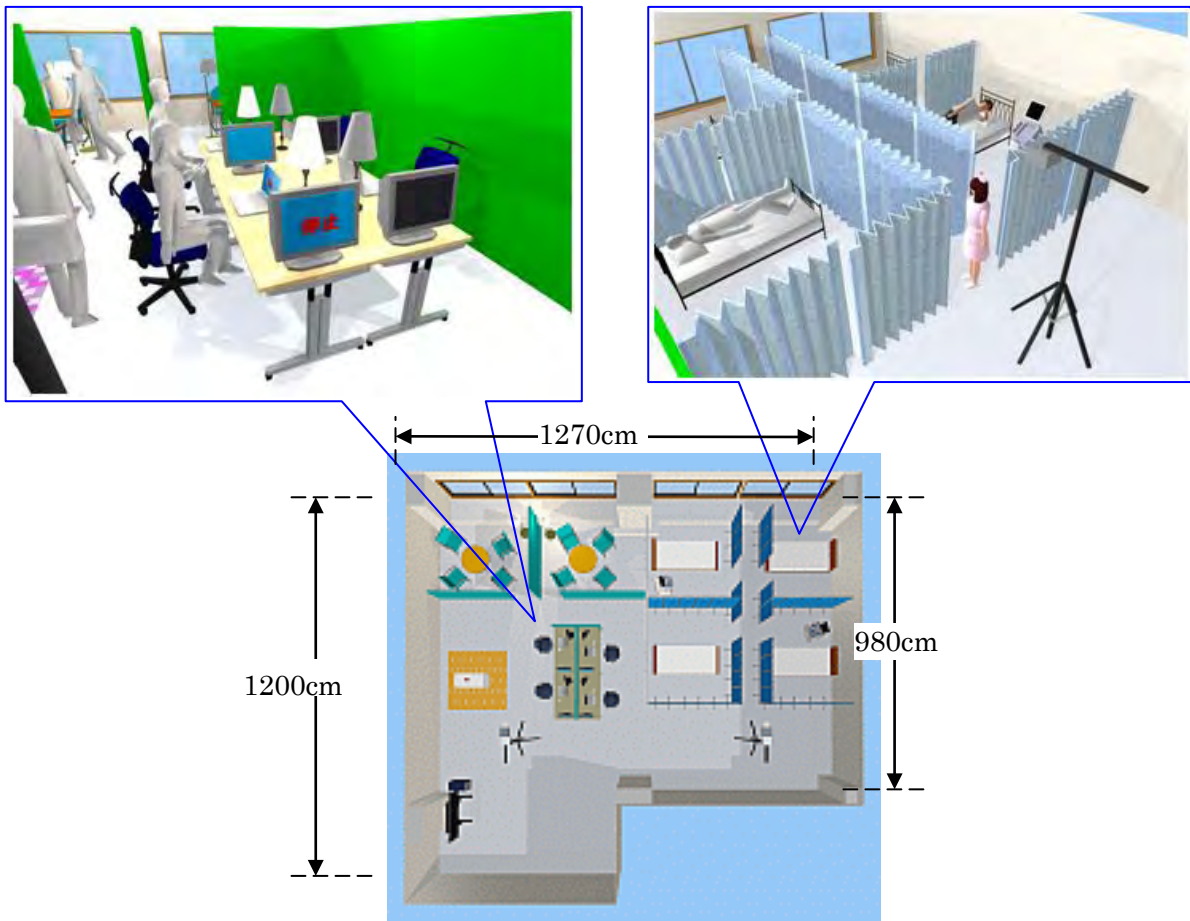


図 6 利用システムの構築

2.1.2 技術試験で実現するアプリケーション

模擬的に構築した事務所環境および病室環境において、UWB無線センサーネットワークを用いた5つのアプリケーションを動作させて技術試験を行い、有効性を検証する。表 4 に動作させるアプリケーションを示す。

表 4 技術試験において実証するアプリケーション

項番	アプリケーション	試験環境
(1)	オフィス環境における照明制御	事務所環境
(2)	オフィス環境におけるOA 機器セキュリティ制御	事務所環境
(3)	オフィス環境における物理セキュリティ	事務所環境
(4)	医療環境における医療機器所在管理	療養環境
(5)	センサーネットワーク実験	両環境にまたがって試験を実施

(1) オフィス環境における照明制御

地球環境に対する意識の高まりとともに、オフィス環境における照明・空調・OA機器等エネルギー使用機器に対する効率向上に対する要求が高まっている。電気機器についても、LED電球をはじめとする照明器具の効率アップ、人感センサーによる機器制御や、赤外線温度センサーによる空調制御の最適化などの技術が実用化されている。

これらのすでに実用化段階にある技術に加え、UWB無線センサーネットワーク技術により実現される高精度位置検出を利用することにより、エネルギー使用機器の実使用環境における効率化の有効性を検証する。

具体的には、エネルギー使用機器の一例として比較的小さな範囲を照らす低照度な照明器具を採用し、照明範囲に人が入域したことを高精度に検知することにより器具作動の制御を行う照明制御システムを構築することによって、その効果を検証する。表5に具体的な検証項目と検証手順の概略を示す。また、図7に実験のイメージを示す。

表 5 照明制御の検証項目

検証項目	概略検証手順	備考
検知有効性(開始)	被試験者が会議スペースに入域したことを検知して照明を点灯	
検知有効性(終了)	全ての被試験者が会議スペースから退出したことを検知して照明を消灯	
検知範囲精度	UWB電波を遮らない材質のパーティション等により区切られたスペース内を検知可能であることを確認	
検知の継続性	スペース内に着席して静止している人物を継続して検知できることを確認	赤外線センサー優位性

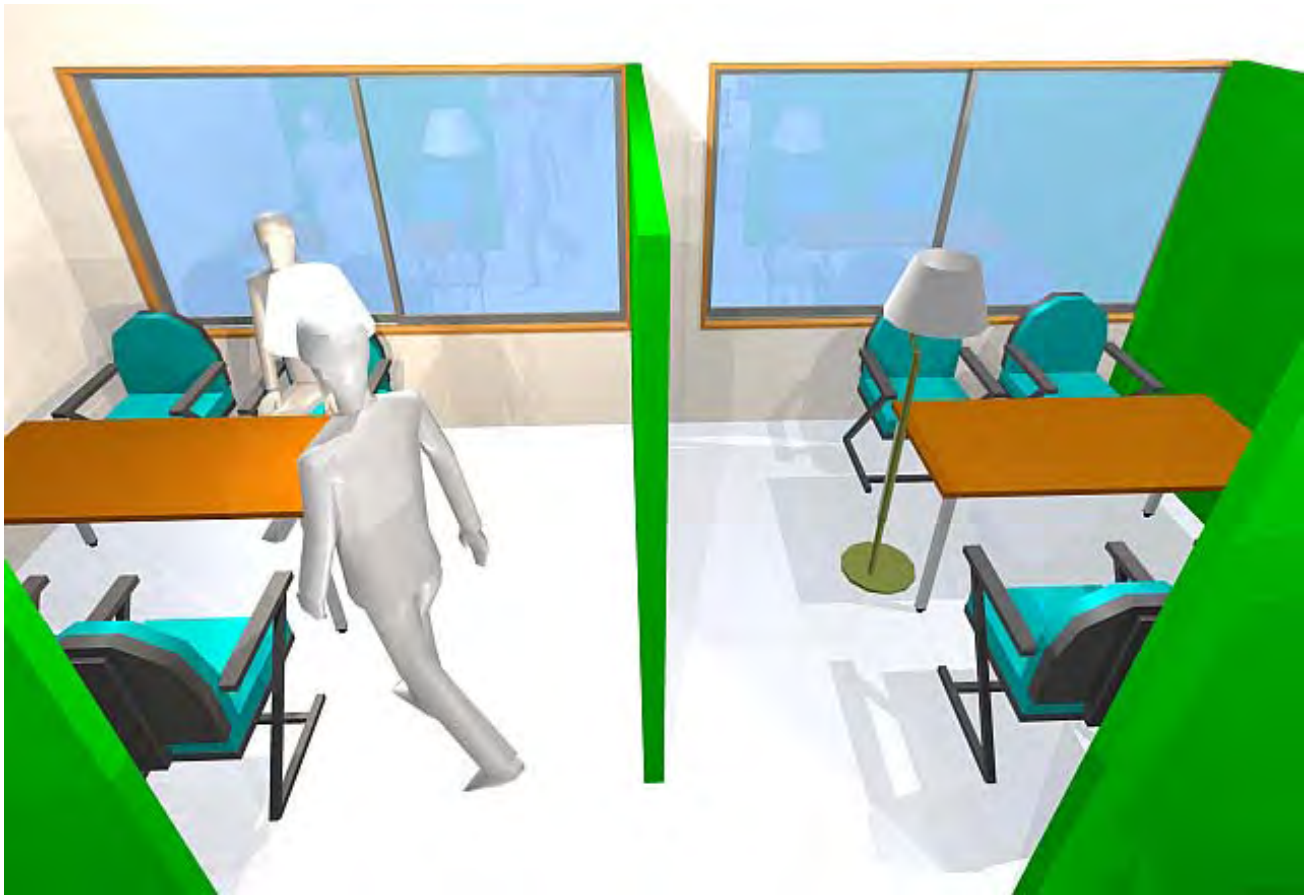


図 7 照明制御の実験イメージ

(2) オフィス環境におけるOA 機器セキュリティ制御

コーポレート・ガバナンスに対する世界的な要求の高まりのなか、これまで厳密な管理を求められてこなかった中小企業に対しても情報管理の要求が強まっている。なかでも、情報管理機器をサーバーールームなどで物理的・空間的に隔離する大企業型のセキュリティ手法の採用がコスト面から難しい規模の企業においては、情報の物理アクセスに対する安価簡便で有効なセキュリティ対策が求められている。

本実験システムでは、オフィス環境においてこれら機密情報を扱うケースを想定し、UWB無線センサーネットワーク技術により課題解決を行うアプリケーションモデルの有効性を検証する。

具体的な利用シーンとして、小規模なオフィスの執務環境において、個々のOA機器に対する操作参照権が別々の人物に付与されているケースを想定して実験を行う。実験システムは、一般的なオフィス執務環境の一例として4つ程度の事務机上にパソコンを設置した環境を構築し、UWB無線センサーシステム移動機を装着した人物が着席あるいは通過することに対してOA機器をネットワーク制御することによってセキュリティ用途に対するシステム有効性を検証する。

本実験システムの機能として、UWB無線センサーネットワークによる高精度位置管理機能をネットワーク接続されたOA機器と組み合わせることにより、以下の機能を実現する。

- a. 操作権を持つ人物(移動機)が許可されたパソコンの前に着席したことを検知し、操作不要の認証を行う
- b. 操作許可のない人物に対してはパソコンの操作を許可しない動作を行う
- c. 着席者の背後を操作参照権のない人物(移動機)が通過する場合、画面の覗き見が可能な領域にある間は画面表示を行わない動作を行う

本実験においては、有効性の検証項目として表 6 に示す内容を検証する。また、図 8 に実験のイメージを示す。

表 6 O A 機器セキュリティ制御の検証項目

検証項目	概略検証手順	備考
認証機能有効性	被試験者が権限を持つ席に着席したことを検知して、O A 機器を操作許可状態にする	
検知の継続性	着席して静止している人物を継続して検知できることを確認する	赤外線センサー優位性
認証解除有効性	被試験者が席を離れたことを検知して、O A 機器を操作禁止状態にする	
個人認証有効性	被試験者が <u>権限を持たない</u> 席に着席したことを検知しても、O A 機器を操作許可状態にしない	
機密保持機能有効性	被試験者 A が権限を持つ席に着席して O A 機器を操作している状態で、被試験者 B がその背後にいることを検知して O A 機器の画面表示を表示禁止状態にする	
機密保持復帰機能有効性	機密保持動作中に、被試験者 B が画面の見えない位置に移動したとき、O A 機器の画面表示を復旧させる	



図 8 OA機器セキュリティ制御の実験イメージ

(3) オフィス環境における物理セキュリティ

本アプリケーションモデルでは、オフィス環境において有価証券や貴金属など物理セキュリティ管理を必要とする物を扱うケースを想定し、UWB無線センサーネットワーク技術により課題解決を行うシステムの有効性を検証する。

本実験環境を使用した具体的な利用シーンとして、施錠された専用の部屋など物理的アクセシビリティを制限することが困難である条件下において、赤外線センサー、動体検知監視カメラ、圧感センサーなどの従来の接近制御セキュリティとともに利用されることを想定している。これにより、従来システムのみで運用した場合に問題となる、警備動作 ON/OFF 操作の煩雑さや施錠・警備動作の再セット忘れ、暗証番号の漏洩によるセキュリティ強度の低下、権限者の変更に伴う設定の煩雑さや無権限者の共連れ接近などに対応可能な物理セキュリティ確保アプリケーションモデルの有効性を検証する。

本実験では、警備装置の再セットや施錠忘れに対する確実性を担保する手段として、権限が付与された人物が管理対象物から離れることにより自動的に施錠されるシステムを構築する。加えて、認証IDと位置情報の対応が認識可能であるUWB無線センサーネットワークの特長を活用し、管理領域内に権限の付与された人物と、権限の無い人物の両方が存在する場合に対する動作を規定し、権限の無い人物が近傍にいる場合においては、権限が付与されている人物であっても管理対象物にアクセスできないよ

うに動作するシステムを構築することにより高度なセキュリティ動作を検証する。

実証実験装置としては、従来技術による管理領域を床面にシートで表示し、領域の中央部分にネットワーク制御された錠付きロッカーを設置した環境を構築し、UWB無線センサーシステム移動機を装着した人物が接近することに対して、錠を制御するとともに、パトライト等を用いて認証状態を随時表示する。

本実験においては、有効性の検証項目として表 7 に示す内容を検証する。また、図 9 に実験のイメージを示す。

表 7 物理セキュリティの検証項目

検証項目	概略検証手順	備考
領域認識機能有効性	正当被試験者が設定領域に入ったことを検知し、ロッカーを解錠	設定領域はシートなどで床に表示
認証解除有効性	正当被試験者が設定領域から出たことを検知し、ロッカーを施錠	
認証機能有効性	不当被試験者が設定領域に入ったことを検知し、ライトで警報を表示	
同時複数検知有効性	正当被試験者が設定領域にいる状態で、不当被試験者が設定領域に入ったことを検知し、施錠とともに警報を表示	

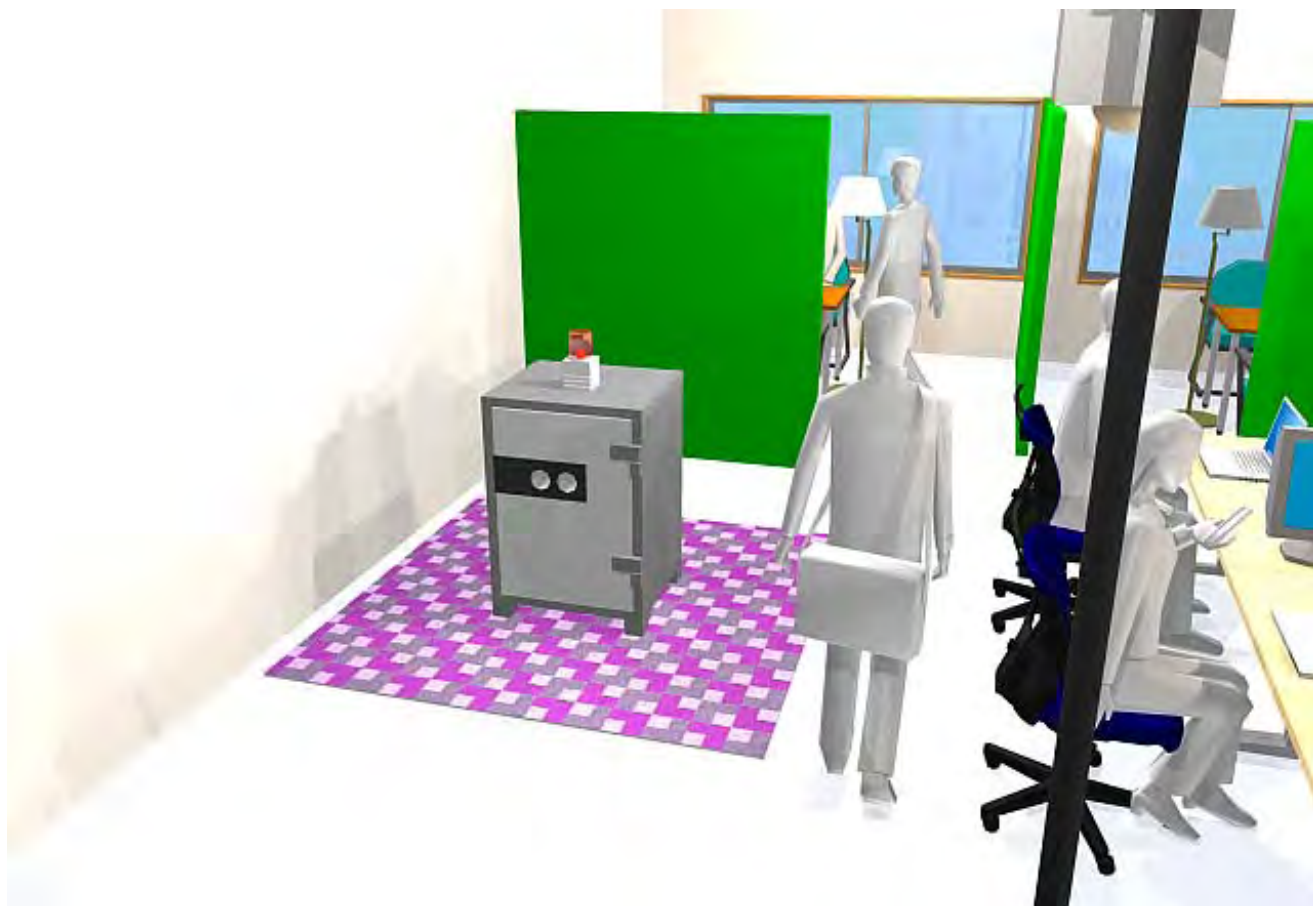


図 9 物理セキュリティの実験イメージ

(4) 療養環境における医療機器所在管理

医療の高度化に伴い、高度医療機器が一般病室などで自動監視、遠隔監視技術を用いて利用されるケースが多くなっている。こうした医療環境の変化によって、今日では医療機器の所在管理が新たな課題としてクローズアップされるようになっている。

本実験システムでは、一般病室を模擬した環境においてこれら医療用電子機器を扱うケースを想定し、UWB無線センサーネットワーク技術により課題解決を行うシステムの有効性を検証する。

具体的には、一般病室環境にME機器が置かれた環境を構築し、UWB無線センサーシステム移動機を（疑似）ME機器に装着することによって所在管理システムの有効性を検証する。特に、移動機のID情報送出機能を活用することにより医療機器の個体識別を可能とし、定期点検スケジュールを表示する機能を装備することにより、医療現場で求められるアプリケーションの実現性を検証する。また、医療機器の動作状態を制御サーバーに伝送し、医療機器の状態を表示する機能を装備することにより、遠隔制御機能をもった医療機器と連携したセンサーネットワーク構築の実現性を検証する。なお、今回の技術試験に使用する装置の構成上の制限から、状態情報はUWB無線とは異なる他の無線システムによって伝送し、制御サーバー上で識別IDと紐付けして表示するように構成する。

本実験においては、有効性の検証項目として表 8 に示す内容を検証する。また、図 10 に実験のイメージを示す。

表 8 医療機器所在管理の検証項目

検証項目	概略検証手順
所在検知機能有効性	疑似ME機器の位置を検知し、表示操作端末に表示
個体識別有効性	検知した疑似ME機器の種類と登録番号を表示
統合ネットワークの有効性	特定小電力無線機器を利用した無線伝送装置を用いて疑似ME機器の稼働状態を伝送し、位置検知情報と統合して表示
検知の継続性	静止している疑似ME機器の位置を継続して検知できることを確認



図 10 医療機器所在管理の実験イメージ

(5) センサーネットワーク実験

UWB無線センサーネットワークは、10m程度の検知範囲を持つものとされている。一方、実際の使用環境においては、これ以上の使用領域を持つ場合や、複数の部屋において検知を行う必要がある場合が想定される。こうした環境における利用シーンを想定し、異なる検知領域間をまたがって移動機が移動

した場合において、それぞれの領域内において検知された移動機の同一性が認識できることを検証する。

本実験システムでは、これまでに説明したオフィス環境を模擬して構築したシステムと、医療環境を模擬して構築したシステムを利用し、UWB無線センサーネットワーク技術における領域拡大システムの有効性を検証する。

具体的には、医療機器所在管理において構築した、UWB無線センサーシステム移動機を装着したME機器を、オフィス環境を模擬して構築したシステムの検知範囲との間で領域をまたがって移動させることによって検証を行う。将来の大規模実用システムにおいては、UWB固定機間がUWB電波により相互に接続されていることが想定されるが、本実験システムの機能上の制限から、今回は無線LAN機器を接続することにより固定機間の通信を疑似的に実現して、領域の拡大性の検証システムを構築する。

このとき、移動機のID情報送出力機能を活用することにより、異なる固定機から出力される移動機の同一性を確認し、複数の領域にまたがる移動機の移動があるアプリケーションの実現性を検証する。

本実験における検証項目としては、それぞれの検知範囲内における測位動作および精度の確認と、一方の検知領域を出て他方の検知領域に入ったときの同一性の確認を検証する。

図 11 に実験のイメージを示す。

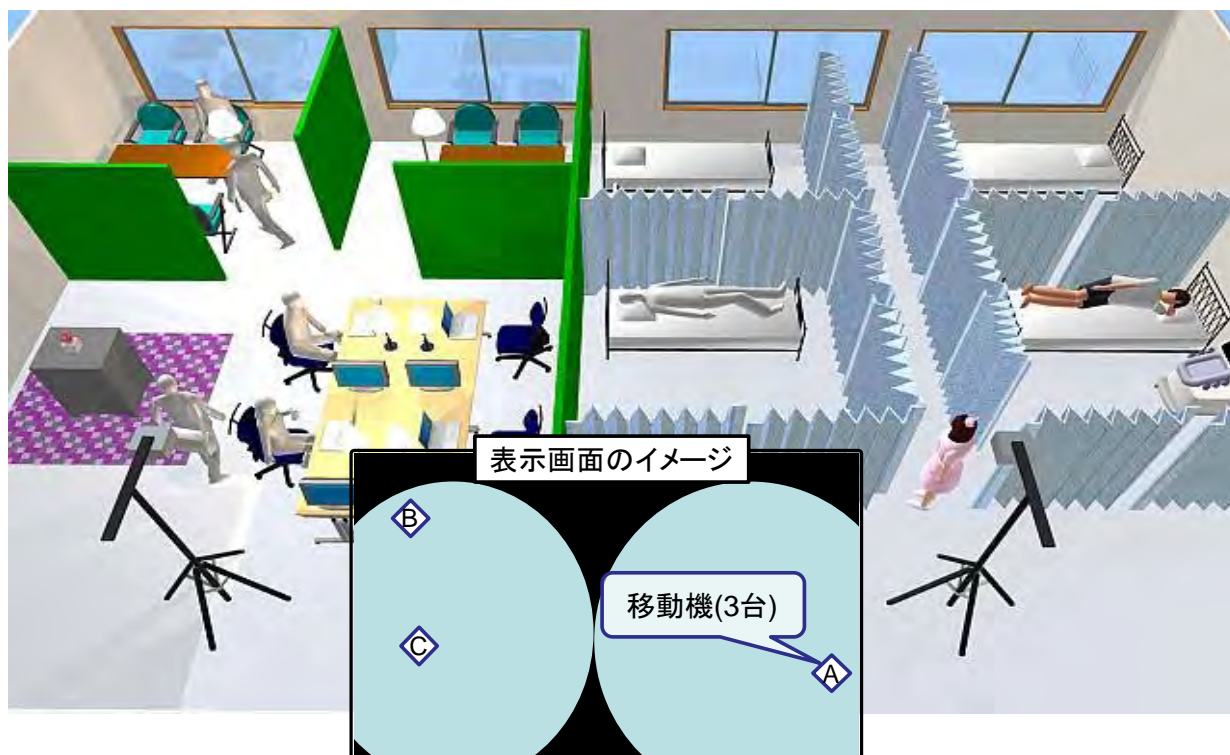


図 11 センサーネットワーク実験のイメージ

2.2 技術試験に使用する機器の説明

2.2.1 機器の特長と仕様

平成 21 年度実施の UWB 無線センサーネットワークの周波数共用条件に関する調査検討では、4 点測位技術および 2 点測位技術の原理を用いる機器を用いて、UWB 無線センサーの技術試験を実施した。

UWB 無線機器の他方式を採用した機器を網羅するため、平成 22 年度の調査検討では 1 点測位方式の機器を用いて技術試験を行う。1 点測位方式は固定機に相当するリーダ装置を単一の機器とする構成であり、図 12 に示すように基本システムは 1 つの UWB リーダ装置と、移動機に相当するタグ装置から構成されている。1 点測位技術は次のような特長を持っている。

- 簡単設置を実現する 1 点測位技術
 - ・ 絶対座標の入力不要
 - ・ 複数リーダ装置タイミング同期不要
 - ・ 小型アレイアンテナを用いた電波到来方向推定方式
- 高精度、高分解能
 - ・ タグ装置送信プリアンブル相関による先頭波遅延時間検出 (TOA^(a))
 - ・ TOA と連携した先頭波信号に対する到来方向推定 (DOA^(b))
- ハイバンド UWB の利用
 - ・ 広帯域信号による精度向上
 - ・ DAA^(c) が不要な帯域 → タグ装置の構成簡易化

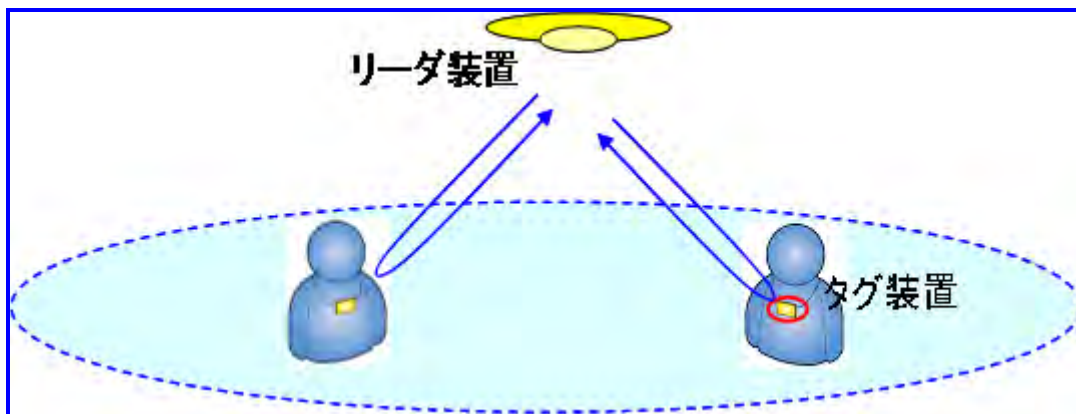


図 12 1 点測位方式 UWB 無線センサー機器

a Time Of Arrival

b Direction Of Arrival

c Detect And Avoid

図 13 に、機器の外観および無線系統図を示す。図において、左の写真がリーダ装置、右の写真がタグ装置を示している。リーダ装置において、上部は測距部（TOA）であり、UWBインパルスの往復時間から距離測定を行う。下部は方向推定部（DOA）であり、タグ装置からのUWBインパルス信号を4素子アレイアンテナで受信して、電波の到来方向推定アルゴリズム（ビームフォーミング法）を用いて、タグの方向を測定する。これらの距離、方向測定結果からタグの位置を計算する。タグ装置は、送受信アンテナを同一とする、非同期アクティブ方式のタグである。リーダからのUWB信号を増幅するとともに、タグ装置の固有IDを付加して、リーダに返信する。

これらの機器に用いるアンテナは、ダイポールアンテナ（図 14）およびコリニアアンテナ（図 15）である。TOA の送信アンテナ、受信アンテナおよびタグ装置アンテナは、利得 3 dBi の水平面内オムニ指向性のダイポールを常時用いる。一方、DOA に関しては、水平面内の利得変動が少ないダイポールアンテナと、高利得（5 dBi）のコリニアアンテナを適宜使い分ける。

機器の無線諸元を、表 9 に示す、実験試験局申請の占有帯域幅は 3 GHz である。送信信号のスペクトルは図 16 に示すように、9 GHz を中心として概ね 1.3 GHz の帯域幅に集中している。また、タイムドメインの波形は図 17 に示すように、主パルスの麓の部分で 2 nsec 程度になっている。

送信出力は、アンテナ利得が 3 dBi であるため、EIRP 規定から、-44.3 dBm/MHz となるように調整されている。

また、この装置は電波の遅延時間と方向を測定する機能をもつため、UWB測位をおこなうと共に、伝搬測定機器（チャンネルサウンダ）として、遅延プロファイルや空間伝搬プロファイルを測定することができ、UWB測位の結果を電波伝搬の観点から評価することができる。

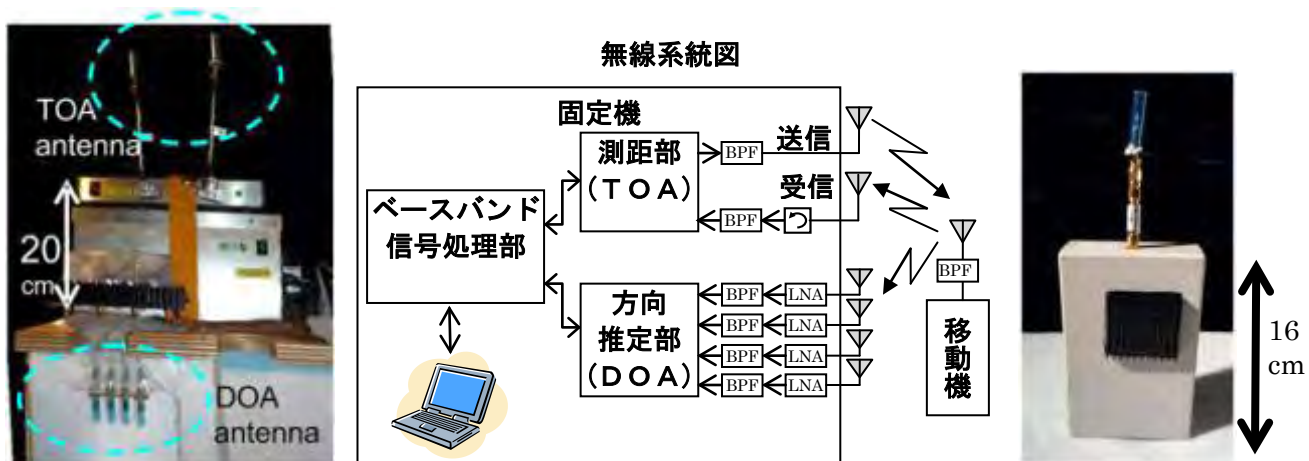


図 13 機器の外観および無線系統図

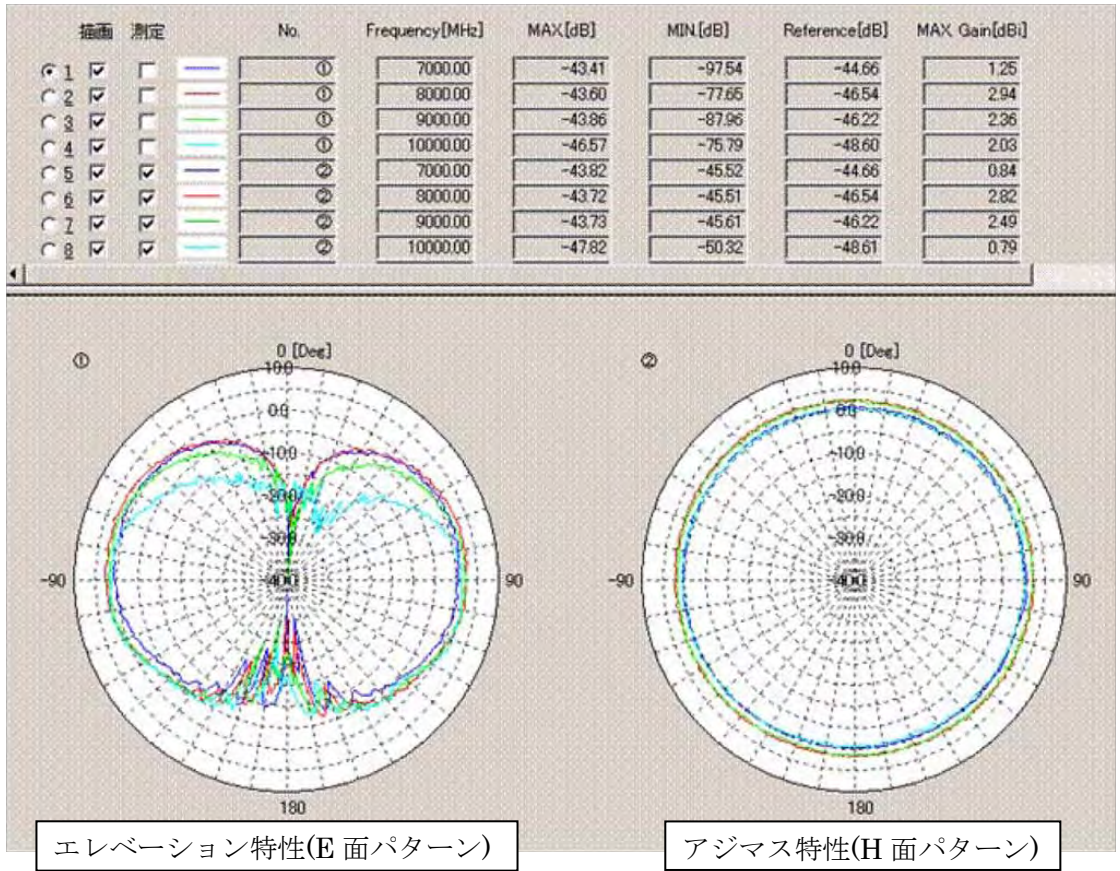


図 14 ダイポールアンテナ指向特性

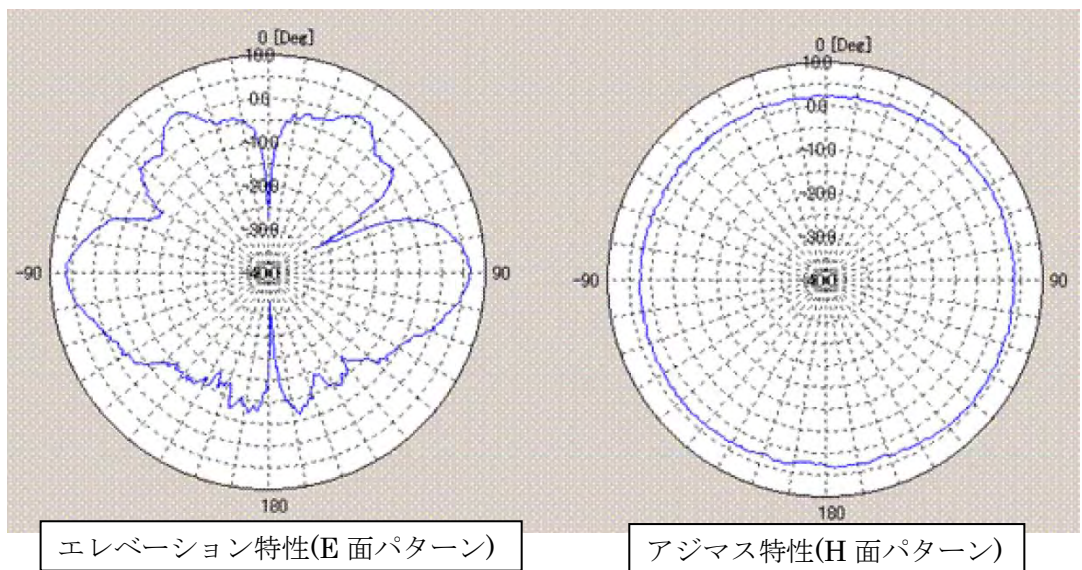


図 15 コリニアアンテナ指向特性

表 9 機器の無線諸元

項目	免許申請諸元	備考
使用周波数	中心周波数 8750 MHz 占有帯域幅 3 GHz	7.25 GHz~10.25 GHz
送信電力	300 μ W	-44.3 dBm/MHz 以下 (空中線利得 3dBi)
変調方式	型式 3G00M1D	インパルス UWB 00K 変調
アンテナ	TOA、TAG、DOA 送受信用ダイポール 3dBi DOA 受信専用コリニア 5dBi	

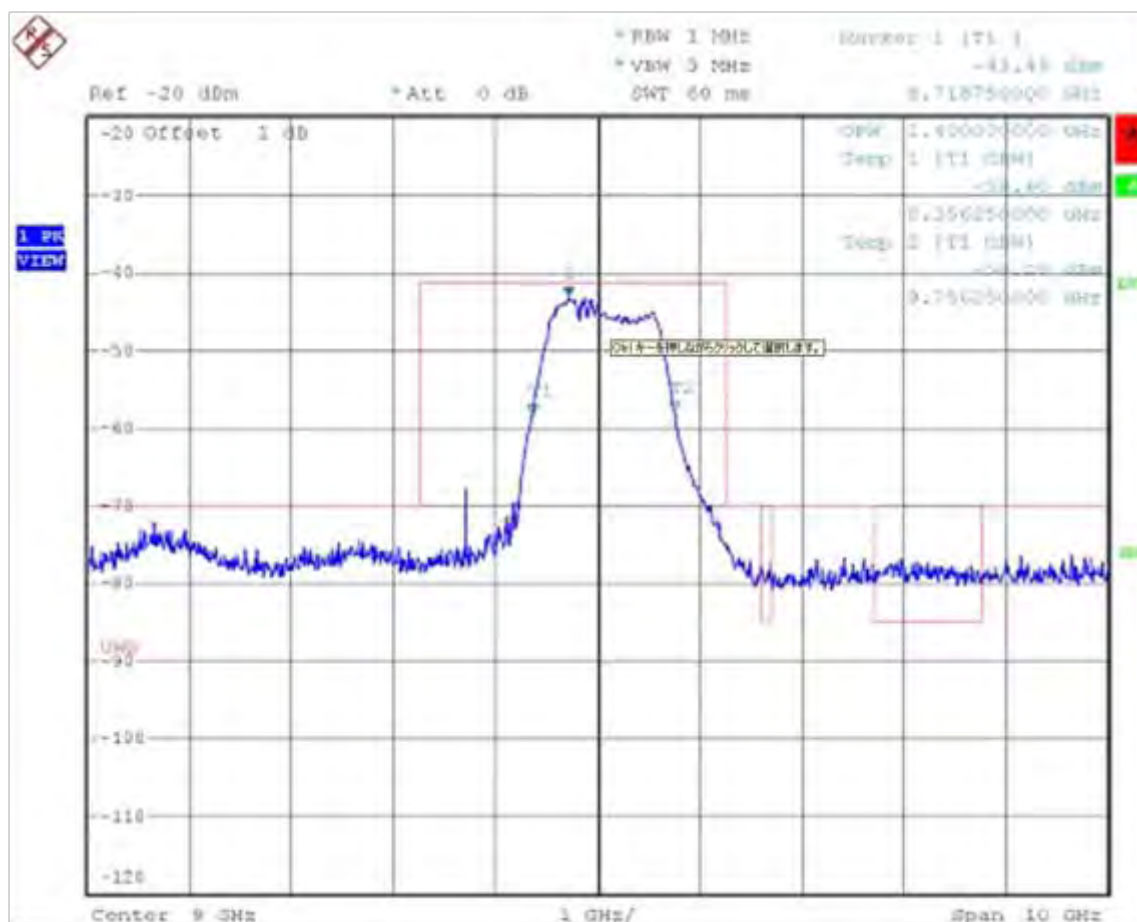


図 16 送信スペクトル特性



図 17 送信インパルスタイムドメイン波形

次にリーダ装置とタグ装置について、各回路構成を示す。

① UWBリーダ装置

UWBリーダ装置（図 18）は、距離測定の機能を有する測距（TOA）部と、方向測定の機能を有する方向推定（DOA）部から構成される。TOA 部は、200 nsec 毎に UWB インパルス信号を送出し、リーダ装置の送信信号とタグ装置からの返送信号の遅延時間を測定することによりタグ装置までの距離を測定する。DOA 部は 4 素子のアレイアンテナを備えて、タグ装置からの返送信号から特定のシングルキャリア信号を抽出、狭帯域フィルタにより帯域制限したのち、位相を検出することによりタグ装置の存在する方向をビームフォーミング方式により推定する。また、DOA 部では TOA で抽出したタグ装置信号のタイミングにより信号成分のみ抽出することにより、マルチパス信号の除去を行う。TOA 部の距離情報と DOA の方向情報からタグ装置の位置を測定する。

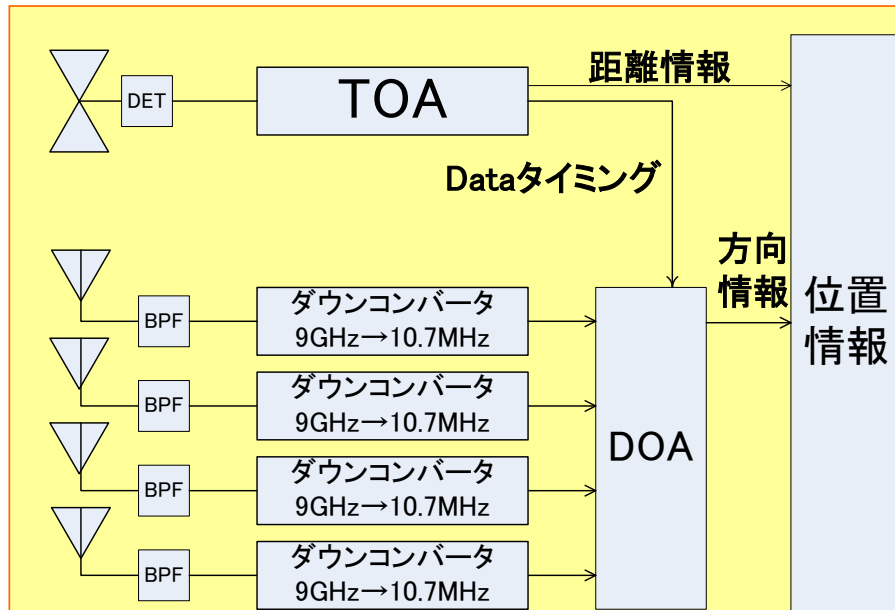


図 18 UWBリーダ装置の構成

② UWBタグ装置

UWBタグ装置（図 19）は、高精度距離測定および省電力・回路構成簡易化に向け、UWBリーダ装置からのパルスに対して、非同期にタグ装置 ID等の情報を返送できるように構成されている。タグ装置は、UWBリーダ装置からの信号を積分回路により RSSI 検出し、リーダ装置のエリアに入ったことを認識する。そののち、リーダ装置からの信号を増幅、検波したのち UWB再発振して、RF スイッチによりタグ装置 IDを付加し、リーダ装置へUWB信号を返信する。

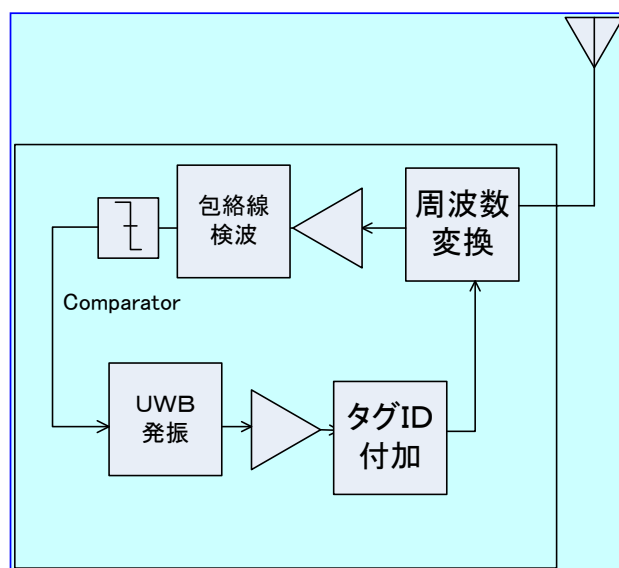


図 19 UWBタグ装置の構成

なお、図 20 には、リーダ装置およびタグ装置の送信フォーマットを示す。リーダ送信パルス 64 個に対して、タグは 1 ビットの信号を返信する。リーダ装置とタグ装置は非同期であるためフレームの中のユニークワード (UW) 全てにタグ装置 ID が付加されるが、リーダ側ではこのうち 1 つの UW について同期してタグ装置 ID を検出する。すなわち、タグ装置から返送される ID に関して、リーダからは 64 倍の加算処理 (18dB) の利得が得られる。なお、本装置ではタグからの一回の送信の時間を「バースト」と呼び、この時間 26 msec を 1 つの処理単位として扱う。

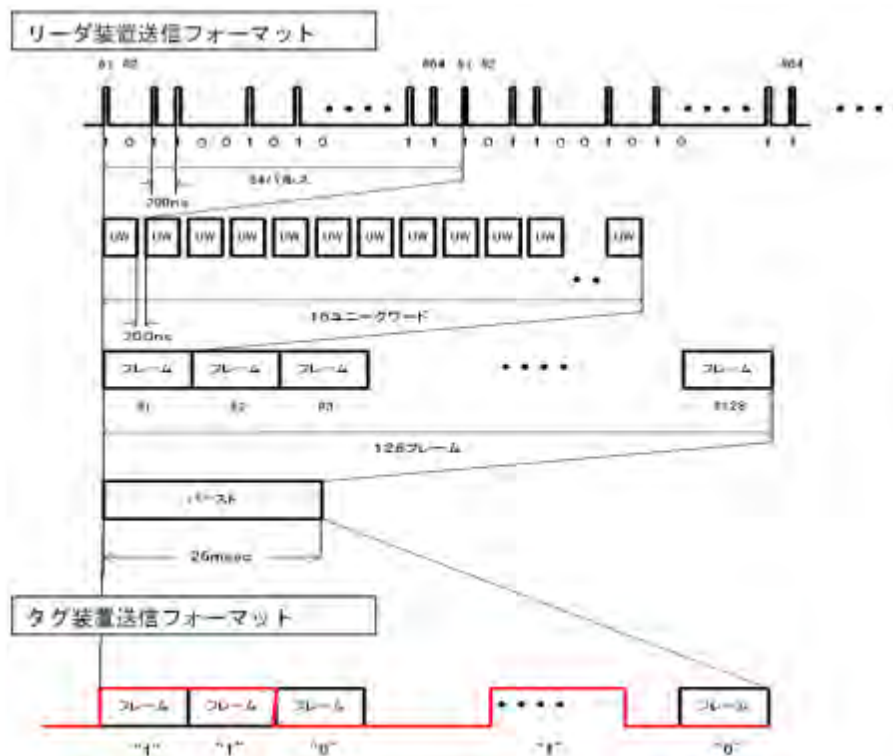


図 20 リーダ装置・タグ装置送信フォーマット

2.2.2 処理の原理

機器は距離測定および方向測定を行いそれらの値から測位を行う。処理の原則としては、時間軸方向の信号直交性 (短パルスによる時間分離、GOLD 符号による符号分離) を利用した処理の結果得られたアレイ相関行列に関して、アンテナのビームの直交性を用いて計算を行う。全ての直交性により素波に分離することにより、パスピークサーチを用いて距離および方向を測定することができる。

(1) 距離測定 (遅延時間推定およびマルチパス分離)

タグ装置反射波が理想的に分離されて検出される条件下では、距離測定精度はサンプリング間隔 (1 nsec : 1 G sample/sec) にのみ依存するので、最大で 30cm 相当、平均 15cm となる。

一方、UWB無線センサーが設置される場所においては、図 21 のような電波伝搬環境が想定される。

ここから分かるように、リーダ装置における受信信号としては、目的とするタグ装置からの返送信号と、周辺の反射物からの反射波や、他のタグ装置からの送信信号が混在する環境と考えられる。特に、リーダ装置の送信信号が反射物によって反射された信号が、測位対象のタグ装置による返送波より先に到達する場合には、2つの信号を分離してタグ装置からの先頭波を検出することが距離測定精度を確保する上で重要である。インパルスの分離は、検出されたインパルスのピーク時間間隔がサンプリング時間間隔よりも大きいことが条件となるため、経路長差で30cm以下のインパルスは分離できない。したがって、実際の環境での測位精度は、装置のサンプリング性能よりも目的とするインパルスの識別性能に大きく影響される。

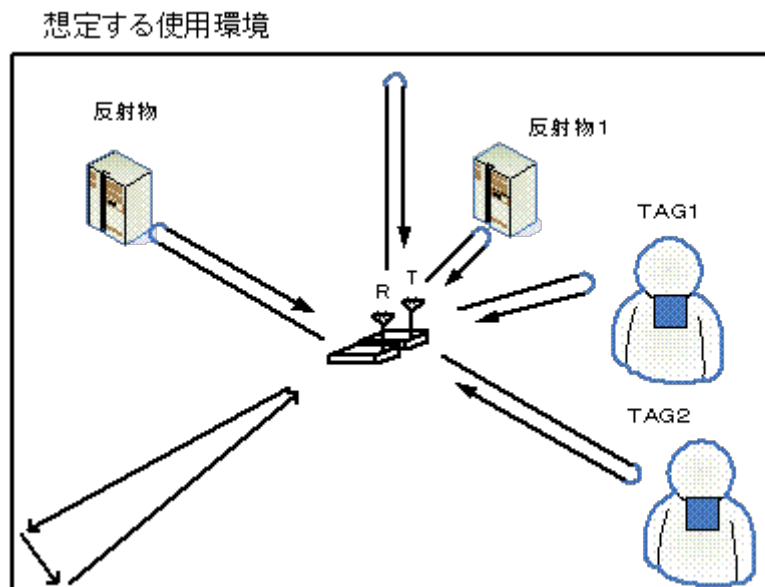


図 21 想定する電波伝搬環境

本装置の構成では、リーダ装置は 200 nsec 間隔で定期的にパルス信号を送出する。リーダ装置が送信した信号は、リーダ装置受信後自己相関でオール 1 となる。一方、タグ装置からの送信信号はプリアンブル、タグ装置 ID、パリティが付加されて（バーコード状に）情報が ASK（Amplitude Shift Keying; 振幅シフト変調）された信号として受信される。この受信信号の中で、パリティが OK となった先頭波を距離測定に使用することで、目的とするタグ装置返送信号を確実に分離する構成となっている。

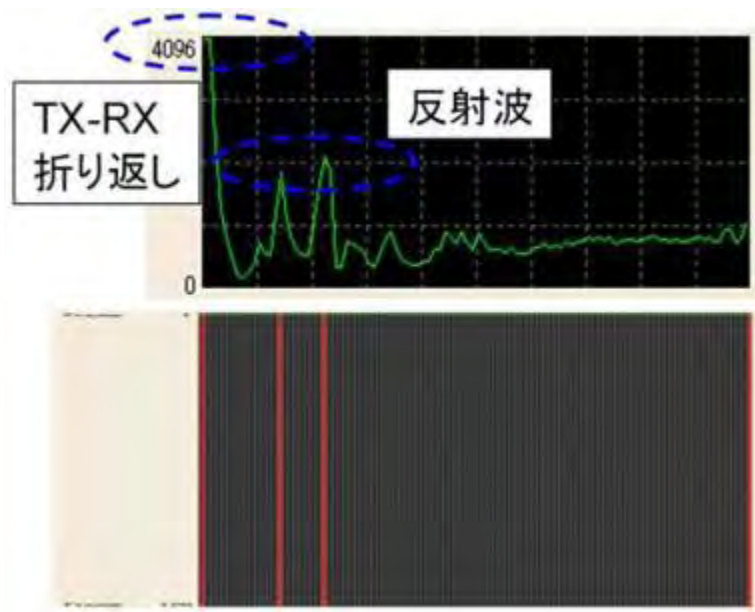


図 22 遅延プロファイル (タグなし)

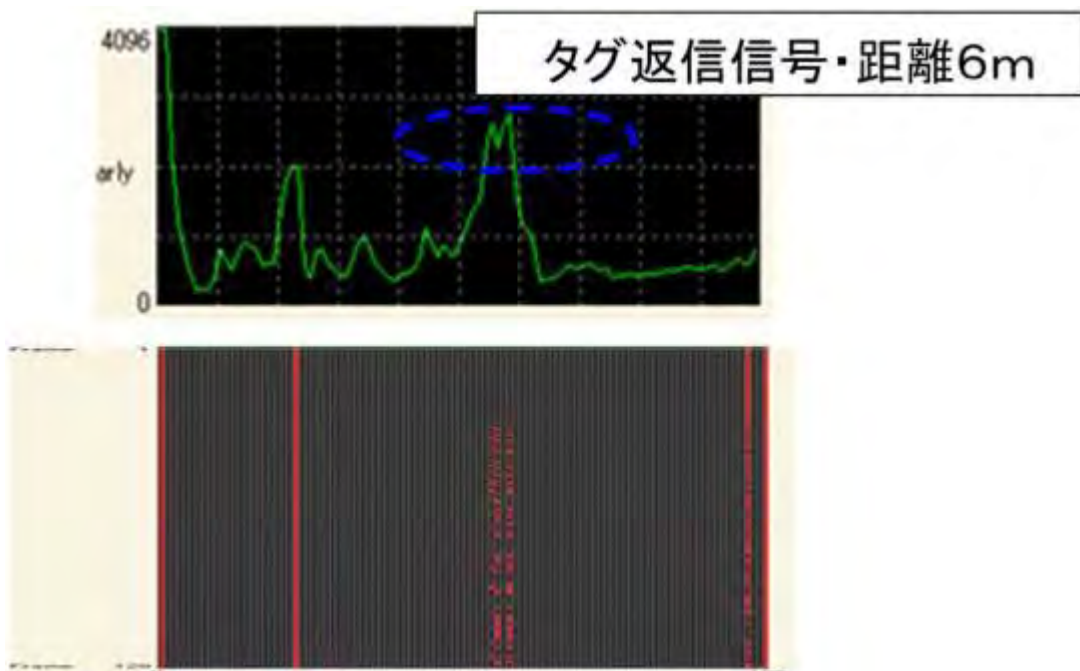


図 23 遅延プロファイル (タグあり)

(2) 方向測定 (電波の到来方向推定)

4素子アレイアンテナを用いた電波の到来方向推定は、波長の数倍程度の大きさにアレイアンテナを収めることができるため物理的に大きさが小さくなり、機器の構成上有利である。また、信号の位相を検出することにより方向を推定するため、原理的には高精度な方向推定を行うことができる。

しかし、現実の伝搬環境においては、マルチパス信号により複数の電波が加算され、複数の信号の合算された信号を到来方向の推定に用いることになり、推定結果に大きな誤差が出る。

また、フェージング等により信号が弱くなり、S/Nが劣化するとサイドローブレベルが上昇し、ピークと誤検出するため大きな誤差となることが欠点である。UWB信号をオーバサンプルしてビームフォーミングを行えば、これらの欠点は除去されるが、数GHz サンプル/秒のADコンバータがアレイアンテナブランチ数必要であり、これらから出力されるデータ量、速度等を考えた時、(事実上)実現不可能である。一方、距離測定において、パスの信号分離ができるためこの情報によりRFのスイッチングを行えば、所望の到来波のみの信号を抽出することが可能である。

電波の到来方向推定の手法は大別して3種類ある。①相関行列を用いる手法 ②相関行列の固有値を用いる方法 ③相関行列の逆行列を用いる方法である。

① 相関行列を用いる方法

一般的にビームフォーミングと呼ばれる方法である。

$$P(\theta) = \frac{a(\theta) \cdot H_{xx} \cdot a^H(\theta)}{a(\theta) \cdot a^H(\theta)}$$

で、 θ の値をアジマスまたはエレベーションの所望の範囲で順に計算して、 $P(\theta)$ が最大となる方向を電波の到来方向として推定する。ここで、4素子アレイアンテナの場合には、アレイアンテナのステアリングベクトルは、 k を波数、 θ を角度とすると、

$$a(\theta) = \left[1, e^{-jk \sin \theta}, e^{-2jk \sin \theta}, e^{-3jk \sin \theta} \right]$$

となる。一方、ビームフォーミングの結果は相関行列マトリクスと、アレイアンテナステアリングベクトルから生成された(等価的な)相関行列 $a^H(\theta) \cdot a(\theta)$ と、要素毎に積算を行い、その結果をすべて加算したものとみなすことができる。これを、さらにキャリブレーションの観点からみると、通常キャリブレーションはアンテナ素子の素子間相互結合を補正するためにアレイ応答ベクトルに対して振幅・位相を補正したテーブルにより実現するが、キャリブレーション時に相関行列データをテーブルとして測定しておけば、相関行列とテーブルの相関行列の要素毎の積算をして、加算する処理すなわち相関行列の要素の相関処理をすることにより、簡単な回路構成でビームフォーミングを実現できる。

図24に、左方向(赤)と右方向(青)から到来した電波に到来方向推定を行うための回路構成例(図

左側) と、受信信号を処理してそれぞれの到来波に対して方向推定を行った結果のピークパターンの例 (図右側) を示す。パス分離された信号に対して、最大ピーク方向が検出されるため、右方向 (青) が到来方向として検出される。

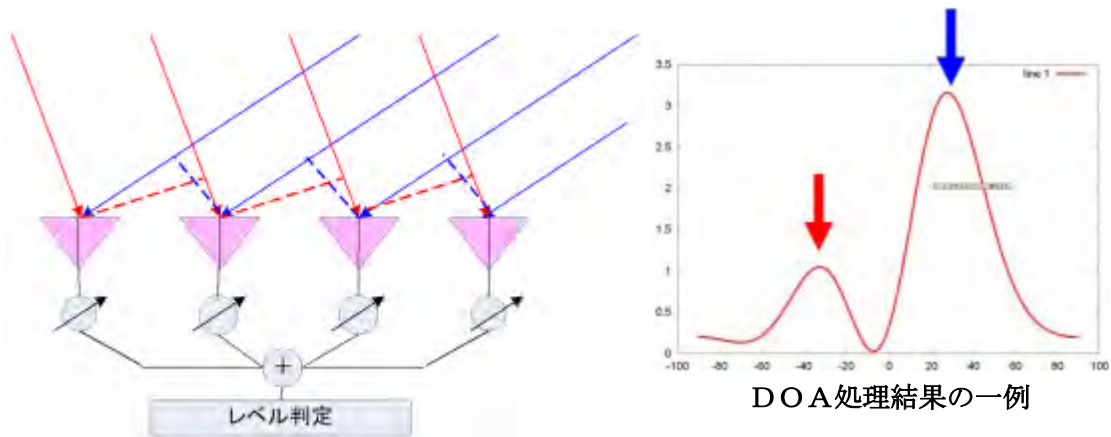


図 24 方向測定 (電波到来方向推定) の原理

② 相関行列の固有値を用いる方法

一般に MUSIC、ESPRIT と呼ばれる方法である。

相関行列は、エルミート行列であり雑音信号成分を考慮すると、相関行列の次数と同じ直交基底ベクトルに分解できる。この時、この直交基底ベクトルは、それぞれ電波の到来方向を示すビームフォーミングを生成するアンテナブランチの複素振幅を示しており、固有値はビームのピークの大きさとなる。複数の到来波がそれぞれ相関をもたない場合には、複数の到来波の方向を推定するビームフォーミングとなる。ただし、送信局より送出された信号が、マルチパスにより遅延時間の異なる複数の信号として観測された場合には、それぞれの信号は相関が高いため、通常は空間平均法を用いて行列のランクを回復する。(ただし、この場合等価的にアンテナ素子数が減少する) 到来波数がアンテナ素子数より小さい場合には、残りの固有ベクトルは雑音により形成されたビームであり到来波に対するビームと直交する。(MUSIC アルゴリズムはこの原理を用いて方向推定する)

すなわち、固有ベクトルビームの計算は次の通りである。(λ_i : 固有値、 V_i : 正規化固有ベクトル)

$$P(\theta) = \frac{a(\theta) \cdot (\lambda_1 \cdot V_1 + \lambda_2 \cdot V_2 + \lambda_3 \cdot V_3 + \lambda_4 \cdot V_4)}{\sqrt{a(\theta) \cdot a^H(\theta)}}$$

この式の意味するところは、固有値計算によって求められた複数のビームと相関計算をすることになる。このため、複数の信号分離すなわち角度分解能では優れた特性を示す。

ただし、相関が高い複数信号の場合、固有ベクトル分離ができない場合があり、また一般に固有値計算は多くの演算量が必要となるのが欠点である。

③ 相関行列の逆行列を用いる方法

一般に Capon と呼ばれる方法である。

DCMP (Direction Constrain Minimum Power) ビームフォーミングと同様に干渉波にヌルを拘束させてビームスイープさせる。ヌルに制約されるため、ビームのピーク方向がずれる欠点がある。

これらのアルゴリズムの比較より、UWBの短パルスによりパス分離された信号に関しては、1または2程度の到来波に分離されているとみなすと、相関信号に対して劣化が少なく、処理の容易なビームフォーミングが好適である。したがって、電波到来方向推定方式としては、方向推定検出窓による信号選択の後、ビームフォーミング法により推定を行うものとする。

(3) 1点測位処理の流れ

1点測位機器での測位処理の流れを説明する。(図 25)

処理は、距離測定、方向測定の各測定精度、アルゴリズムの次の特性を生かして行われる。

- インパルスによる距離測定は精度が高いため、この結果を優先して使用する。
- マルチパス環境下で、狭帯域信号にて電波の到来方向を測定する場合、反射波と混合しないように、距離推定結果に基づき検出窓制御(図 26)を行う。検出窓とは、方向測定を行う DOA 部の RF 信号を UWB のパルス精度のオーダで切り出すための制御信号である。一般にビームフォーミングを行う際には、それぞれのアンテナブランチ毎に AD コンバータを持つ構成を採用するが、UWB のように広帯域の信号に対して現実的な製品を想定した場合、スイッチにて構成することが信号速度、データ量の観点から望ましい。図 26 においてはたとえば、赤四角で囲われた 4.2m のところに存在するタグパルスを抽出して、到来方向を推定する。この時、青い四角で囲まれたリーダ信号を受信すると、方向推定結果に大きな誤差を生じるため、タイミング #5、#6 のどちらからの検出窓を設定して方向を推定する。
- 電波の到来方向推定は、水平面内に並べられたアレイアンテナを用いるためアジマス結果の精度が高い。また、遅延時間や角度広がり限定された伝搬クラスタ内ではビームフォーミング法が高い精度が得られる
- エレベーションに対しては、リーダ装置高さから距離測定結果からエレベーション走査範囲を限定して大きな誤差が生じないようにする。

これらの考え方から、

図 25 の処理フローに示すように、信号プリアンブル検出・パリティチェックに基づく先頭波検出、距離測定、方向測定、それらの結果から位置を算出する、という手順で処理が行われる。

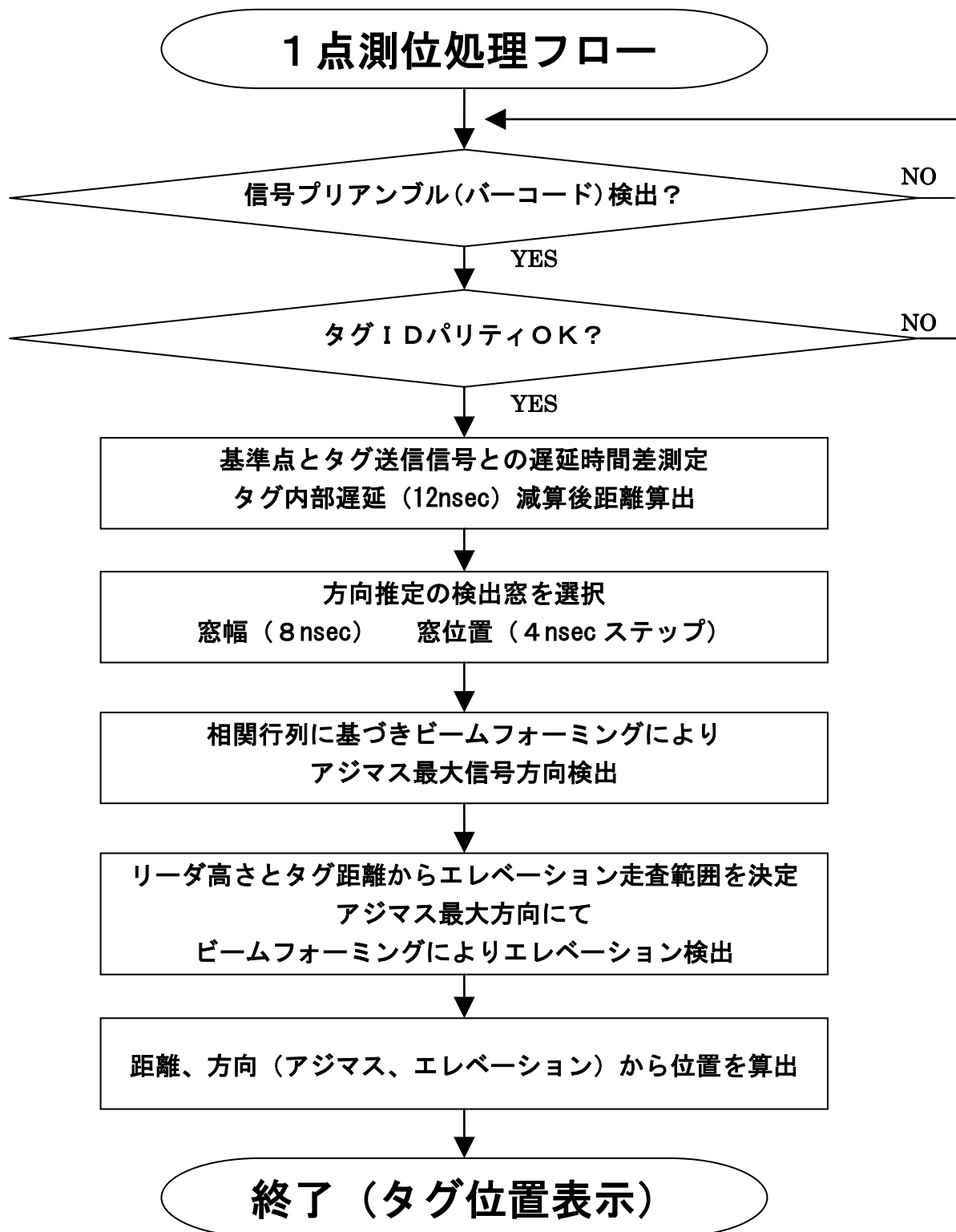


図 25 1 点測位の処理フロー

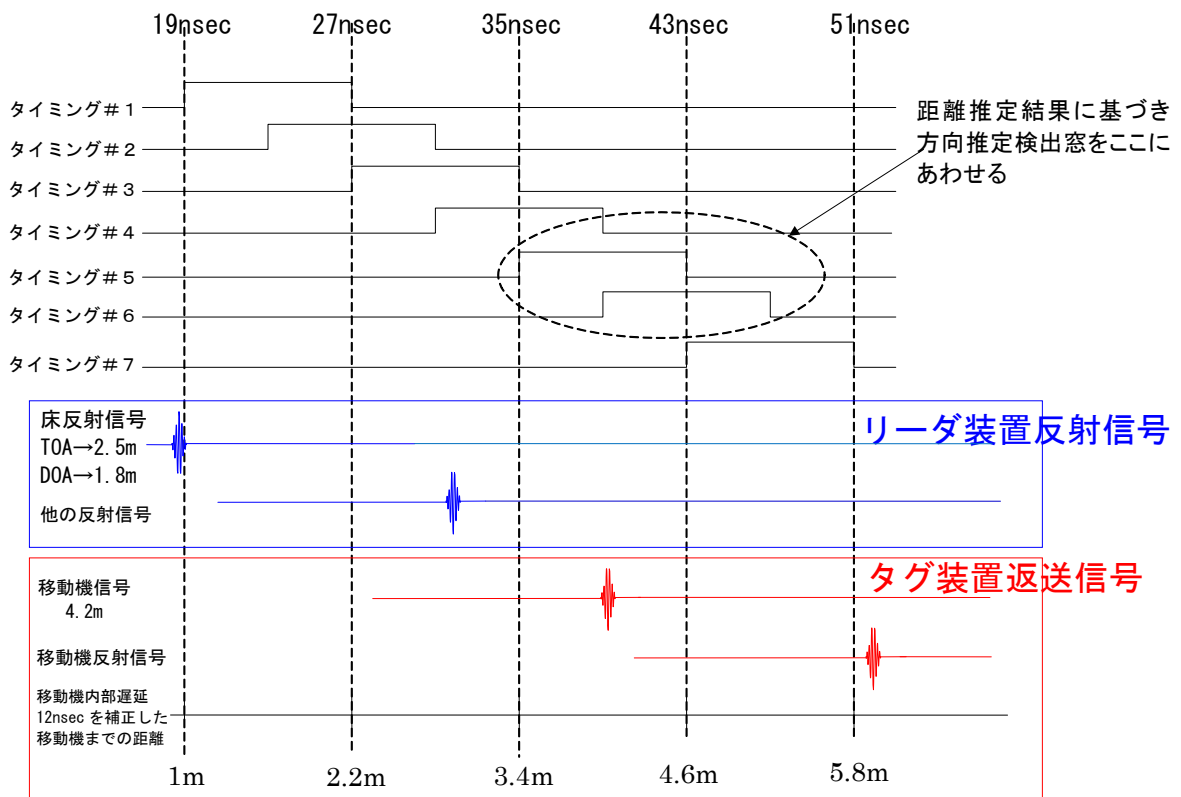


図 26 方向測定信号検出窓の制御方法

第3章 技術試験の結果

3.1 機器の基本測定評価

3.1.1 評価系の説明

評価系に関するポイントを次に示す。

- (1) 理論的前提：ハイバンドUWB 1点測位機器に関してセンサーネットワークに適用した場合のエリアを求める。まず、理論的検証からハイバンドUWBの感度点理論値を求めて、機器の目標スペックを明確にする。
- (2) 距離測定：有線接続評価、電波暗室評価、実伝搬環境評価で、タグ装置からの返送信号がリーダ装置にて受信され、フレームのパリティがOKとなると共に距離測定が出来ることを条件として距離測定精度を評価する。
- (3) 方向測定：有線接続評価、電波暗室評価、実伝搬環境評価で方向測定をおこなう際のビームフォーミング結果において、タグ装置がメインビームの方向に観測されていることを条件として方向測定精度を評価する。
- (4) 考察：理論的および実験結果より得られたハイバンドUWB機器のエリアの結果を用いて、1個のリーダのカバーするエリアのモデルを抽出し、これをもとに次章の分布密度に用いるデータ値を確定する。

3.1.2 理論的前提

(1) 距離測定

通信の分野において感度点とは、信号対雑音比(S/N)対誤り率(ビット誤り率:BER)の特性カーブにおける所望誤り率に対するS/Nを満たす受信信号電力を示す。一般的に、無線センサーネットワークに測位機能を有する場合には、短パルスのON、OFFを行うことにより受信機側でパルスを検出してその遅延時間を測定する変調方式OOK(On Off Keying)またはそれに準ずる変調方式を用いる。OOKは送信側無線機ではパルスのON、OFFを行い、受信機側では包絡線検波およびコンパレータによる2値判定を行うことから、通信分野におけるASK(Amplitude Shift Keying:振幅シフト変調)と原理的な感度の算出方法は同一といえる。ASKのS/Nと誤り率の関係は古くより知られており、たとえば関清三著「デジタル変復調回路の基礎」(オーム社)34ページの図2.14として結果が示されている。図からわかるように、誤り率を1%とした場合の所要S/Nは12dBである。

一方、インパルスUWBにおいては、第2章に示すように最大平均電力-41.3dBm/MHzの信号は、時間領域の波形においては2nsec程度の幅に集中して放出される。このため、受信機においては、4nsec程度のインパルス受信信号窓を設けてその信号のみの受信を行い、雑音信号はその他の区間において受信しないようにするのが一般的である。本技術試験に用いる機器においては、第2章に示すように、インパルスの繰り返し周期は200nsecであり、タグおよびリーダにおけるTOAインパルス受信信号窓が4nsecであるため、kTB雑音電力は等価的に $10 \times \log\left(\frac{4}{200}\right) \approx -17\text{dB}$ 低減される。通信における誤り率に相

当するパラメータとしては、測位においてはインパルス信号が受信されるとき1%の割合で誤検出がなされ、それが〔インパルス受信信号窓である最大遅延時間差〕4 nsec〕、すなわち距離にして±0.6mの誤差として検出されることと同意と考えられる。これを前提とした場合の感度点はS/N=-5 dBである。

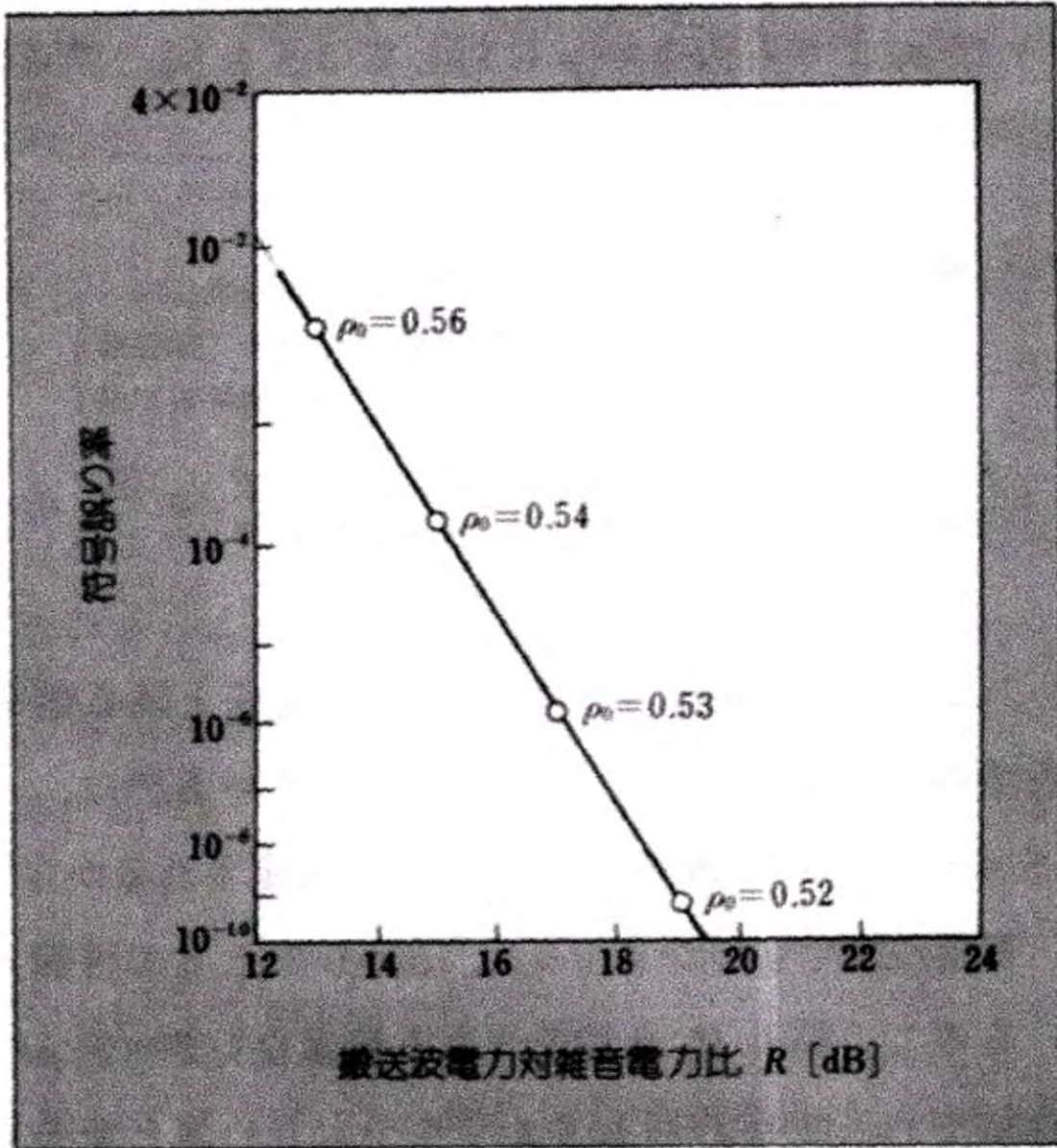


図 2・14 ASK 信号伝送方式における符号誤り率特性〔スレシヨールドレベル ρ_0 は各 R において誤り最小とする値〕

次に、リンクバジェット^aから考察した、ハイバンドUWBのエリア半径に関して理論的な値を求める。ハイバンド(7.25GHz~10.25GHz)において、中心周波数 8.75GHzとして空間伝搬ロスを計算する。

^a 機器の性能および伝搬ロスから算出した到達距離

ハイバンドUWBの最大占有帯域幅は3GHzであるため、送信電力および受信帯域雑音(NFを考慮せず)を計算すると次のようになる。

$$P = -41.3[dBm / MHz] \times 3[GHzBW] = -6.5[dBm] \quad \text{【式1】}$$

$$N = kTB = 1.38 \times 10^{-23} \times 300[k] \times 3[GHzBW] = -79[dBm] \quad \text{【式2】}$$

一方、送受信間の距離をr[m]とした場合の自由空間伝搬損失は、Friisの伝搬公式を用いて次式となる。

$$L = 20 \log_{10} \left(\frac{\lambda}{4\pi r} \right) \quad \text{【式3】}$$

S/Nと、送信電力(P)、伝搬損失(L)、帯域雑音(N)の関係は次式であらわされる。

$$S/N = (P + L - N)[dB] \quad \text{【式4】}$$

以上より、アンテナ指向性を完全なオムニ指向性であると仮定すると、距離測定最大距離(r)は式4の関係を用いることにより

$$r = \frac{\lambda}{4\pi} \cdot 10^{\frac{P-N+S/N}{20}} \quad \text{【式5】}$$

したがって、**最大距離は r = 20.3[m]**となる。

次に試験装置における、改善要因および劣化要因に関して検討を行う。

- ・ アンテナ

今回のタグおよびリーダの送信にかかわるアンテナは利得3 dBiのダイポールアンテナを用いている。送信電力(EIRP)の上限が規定されるため、このアンテナ利得は送信に対しては寄与せず、受信のみに寄与しそのリンクバジェット改善量は3 dBである。

- ・ 受信機NF

受信機NFは、機器において受信性能を劣化させる。今回の機器においてはハイバンドの受信機であるため高周波における増幅度の向上が困難であること、および、特にタグ装置においては1アンテナTDD方式であるためRF帯域フィルタの損失が受信にも影響する等の原因により、NFは実測値9.5dBである。したがって、受信アンテナ端換算NFによるリンクバジェット劣化量は9.5dBである。

- ・ ベースバンド信号加算

通信と異なり、測位用途におけるUWBシステムは信号速度に対する受信リアルタイム性は要求されないため、同一信号を多数送信し受信側で加算することにより受信性能を向上させることができる。

ただし、インパルスUWBにおいては、送信側、受信側ともに(振幅・位相を検出するベクトル変復調と異なり)電力値のみを検出するスカラー変復調であるため、ベースバンド信号加算も電力加算となる。したがって、加算ビットをNビットとすると改善量 $G=10 \times \log(N)$ となる。これは、加算数が増大するとその効果が逡減してくることを表している。また、雑音に埋もれた状態におけるベースバンド加算は、アナログデジタル(AD)変換部の入力、雑音に対してフルレンジにしないと、十分な効果が得られないが、今回の測定機器においてはAGCが不正規のためベースバンド信号加算に

よるリンクバジェットの改善は実現されていない。

以上より、試験装置におけるリンクバジェットは 6.5dB の劣化が見込まれる。

これを考慮して、式 5 を計算すると

$r=9.6[m]$ となる。

(2) 方向測定

試験装置においては、UWB信号が5MHzの繰り返し周期により信号を送出していることを利用して、UWB信号の受信信号の中から特定の線スペクトル(本装置においては8.64GHz)を抽出して、連続波CWに対する方向推定処理を行っている。リンクバジェットの観点からは、UWB受信信号、雑音ともに帯域あたりの電力で規定されるため、受信電力と雑音の関係すなわちS/Nは距離測定と同一となる。ただし、方向推定を行っているプリアンブルはGOLD符号を帯域制限して用いているため、プリアンブルにおいてインパルスがない領域に関しては雑音のみを受信することになり、(符号相関処理を行う)距離測定に対して(アナログ加算を行う)方向測定は3dB劣化する。また、距離測定と同様に方向測定においてもインパルスに対して受信信号窓の処理を行っているが、窓長が距離測定の窓(4nsec)に対して二倍(8nsec)であるため、雑音電力の低減量は14dBにとどまる。また、直線4素子アレイアンテナを用いている場合には、0度方向においては、6dB、±30度方向においては5.4dBのアレイ利得が得られる。ただし、DOAの感度は、規範となる値がないため、ASK復調と同等と仮定するとS/N=12dBとなる。これらの結果より、方向測定における**最大方向測定距離は0度方向で、 $r=20.3m$ 、30度方向で19m**となる。

次に試験装置における、改善要因および劣化要因に関して検討を行う。

前述のように、方向測定においてはGOLD符号を用いたプリアンブルに対して特定の周波数成分を抽出してDOAを行っている。プリアンブルはマルチパス信号からタグを検出するためにGOLD符号を掛けており、その結果、5MHzのスペクトル拡散変調をかけた状態と等価となるため、実際の信号成分には5MHz程度の広がりが存在する。受信機においては、既成の水晶フィルタ(中心周波数10.7MHz 通過帯域30kHz)により帯域が制限されるが、理論的にはGOLD符号によりスペクトル拡散されている信号に対しても、帯域あたりの信号電力と雑音電力で規定S/Nは変わらない。しかし実際の伝搬環境においては、測定すべき距離が7m以上の場合、タグ送信信号においてパルスが消失したり、タグ内雑音によりパルス位置が変動したりしてさらによりスペクトルが広がる。このため、水晶フィルタの帯域外電力が増大、受信電力が減少することが観測されている。

したがって、これらの対策として7m以上の距離における方向推定のために特に次のことを実施する。

アンテナの利得向上：

受信系の受信電力劣化を改善するために等価的に利得を増大する手段として3dB利得の高いコリニアアンテナを用いている。

受信機NFの向上：

受信機NFを改善する手段として、初段のLNA(低雑音増幅器；利得25dB、NF2dB)挿入を行

う。

以上より、(機器の構成の前提としてはダイポールアンテナを用いることを想定しているが検討のため) コリニアアンテナを用いて等価的に受信電力の増大を図り、機器による方向推定の距離検討を実測により行う。

また、通信と異なり、測位用途におけるUWBシステムは信号速度に対する受信リアルタイム性は要求されないため、同一信号を多数送信し受信側で加算することにより受信性能を向上させることができる。方向測定においては、相関行列加算を行うことによりベースバンド利得を増大させることができる。今回は、実験結果のログとして採取したデータに対して、浮動小数点加算処理を行うことによりベースバンド利得を得ている。

(3) 有線接続評価系

無線基本特性を評価するための有線接続系の配線図を図 27 に示す。

タグ装置は、測位精度を向上させるために、リーダ装置からの信号をできるだけ信号特性変化、遅延時間変化がないように返送することを原則として設計されている。このため、タグ装置においては、リーダ装置からのOOK(オン・オフ・キーイング)信号を増幅したのち、コンパレータにてASK復調、デジタル化された信号をUWB発振したのち、RFスイッチにてプリアンプ(64ビット)、タグ装置個別ID(32ビット)、パリティ(32ビット)を非同期にOOK信号に対するスイッチングで付加して送出する。

このようにタグ装置では、リーダ装置からのビット同期処理およびデータ処理を行わないため、遅延時間は一定(約11nsec)であるが、タグ装置側で、電力加算処理や誤り制御等を行わないため、アナログ部品の性能で決定される受信感度がシステム感度を決定する主な要因となる。

一方、方向測定は1点測位の特徴となる電波の到来方向推定方式(ビームフォーミング)を用いている。ビームフォーミングの方式は、4素子アレイアンテナの各素子の受信信号の位相差を検出して行う方式であるため、タグ装置からの返送信号の位相を精度よく検出することが精度向上の要諦となる。

有線接続評価系は、距離測定部(TOA)と、方向測定部(DOA)とタグ装置(TAG)からなり、距離測定のための疑似伝搬系は減衰器(可変ATT①)とケーブルから構成される。また方向測定のための疑似伝搬系は減衰器(可変ATT②)と4分配器で構成される。従って、方向測定のための疑似伝搬系出力信号は等位相信号となり、期待される推定結果は0度方向となる。なお、TOA送信から2分配器およびサーキュレータを介して受信に投入する経路は、タグ装置からの受信信号と共に、タイミング基準信号(実際にはTX→RXの漏れこみ信号)を模擬している。

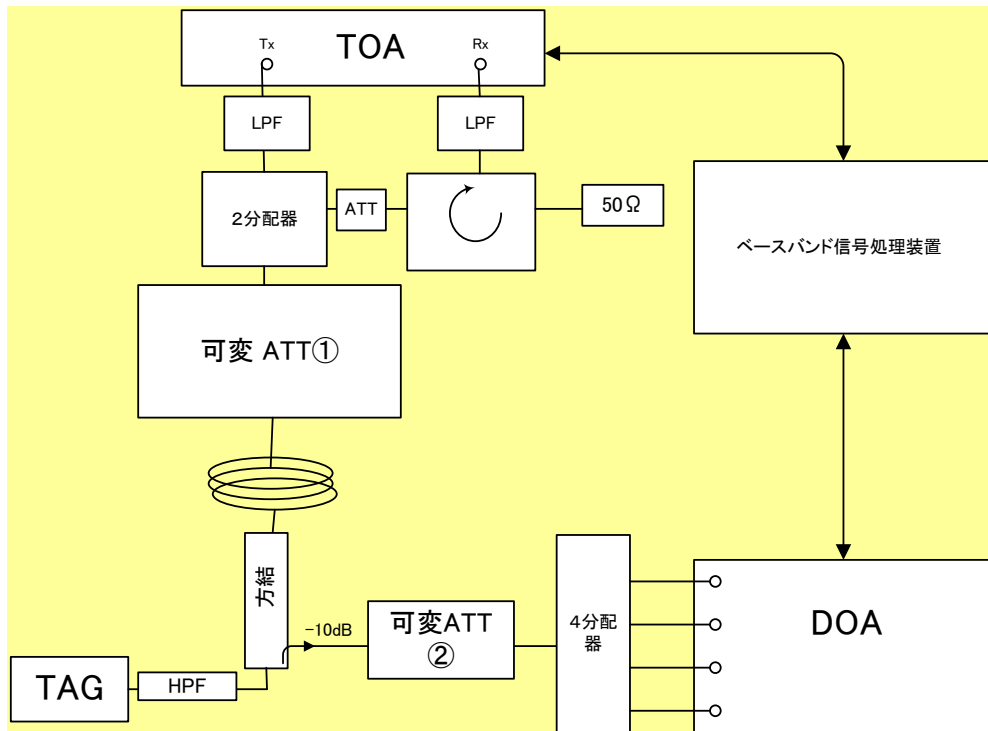


図 27 有線接続評価系

(4) 電波暗室評価系

UWBの電波を送信して距離測定、方向測定を行うために電波暗室内で(図 28) その特性を測定する。

電波暗室のリーダ装置、タグ装置間設置距離は3mに限られるため、距離測定は3mについて測定する。リーダ装置を回転台の上に設置して、測定することによりアンテナのキャリブレーションデータを取得するとともに、方向測定の基本性能を評価する。

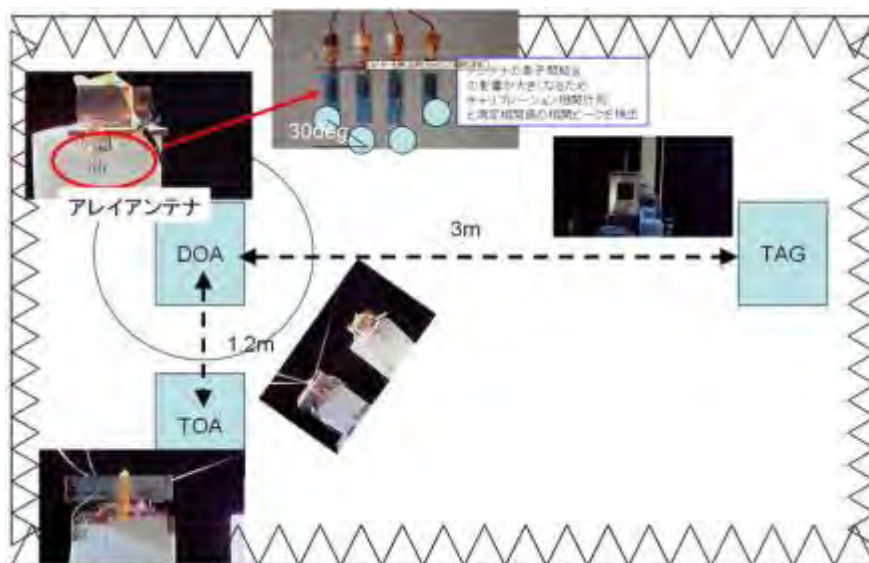


図 28 電波暗室評価系

(5) 実伝搬環境評価系

電波暗室評価後に、実際の電波伝搬環境におけるUWB機器の基本性能を評価する。

評価する環境は以下に示すような会議室である。伝搬環境としては、技術試験を行う会場と会議室の大きさ、電波伝搬環境が類似していると思われる環境を選択した(図29)。

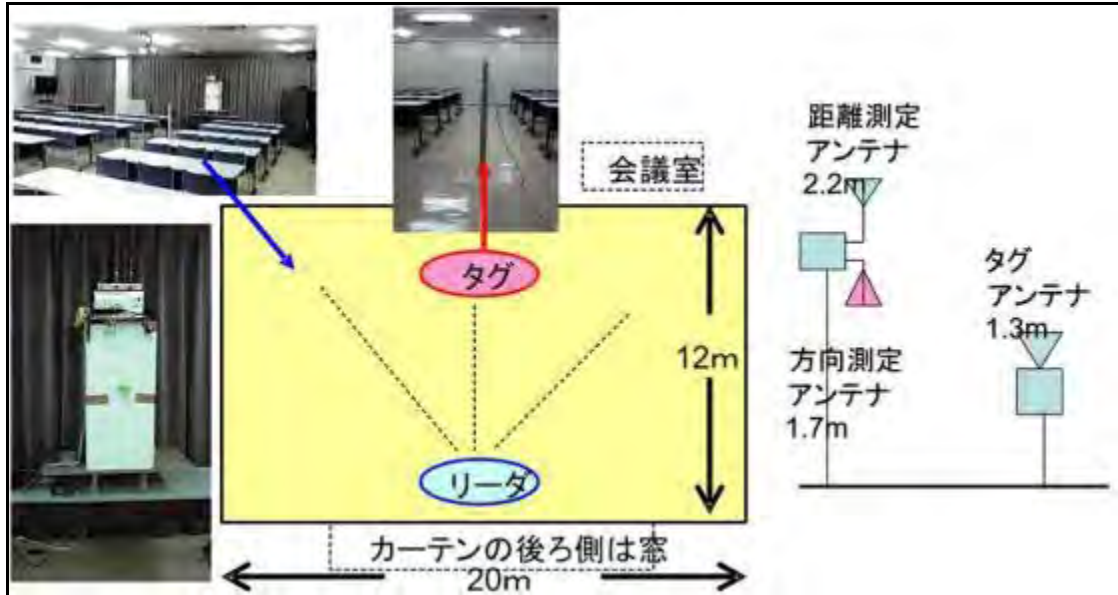


図29 実伝搬環境評価系

この環境における遅延プロファイルは、下図のように観測される。

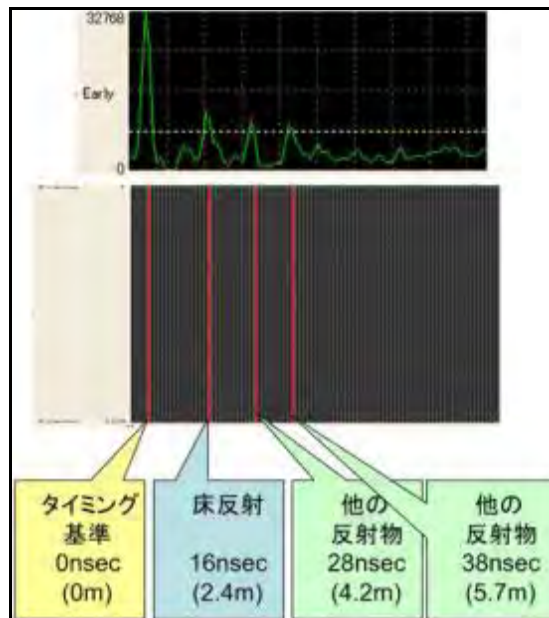


図30 実伝搬環境評価系における遅延プロファイル

3.1.3 距離測定評価

(1) 有線系における距離測定

有線系評価について、図 31、図 32 を用いて説明する。図 31 は、リーダ装置のアンテナ端での受信信号電力と、リーダ装置・タグ装置の間の距離との関係を示したグラフである。同図においては、1 MHz 当たりの送信電力値に、距離に応じた自由空間の電力減衰値を加算した受信信号電力を青線で示している。したがって、周波数 8.75GHz を中心周波数として、前述の 9.6m を理論的感度点とすると、

$$RXInputPower = S + L = -41.3[dBm / MHz] + 20 \log_{10} \left(\frac{\lambda}{4\pi r} \right) = -112[dBm / MHz]$$

同図においては、この感度点を赤線で示している。

図 32 には、これに基づき減衰器およびケーブルの長さにて実施した有線測定系での距離測定結果を示しているが、距離測定誤差(RMSE)は8mまでで0cm、10mでは120cmとなる。特に10mの測定においては、一部雑音パルスとして送出されるため距離測定誤差が生じていると考えられる。

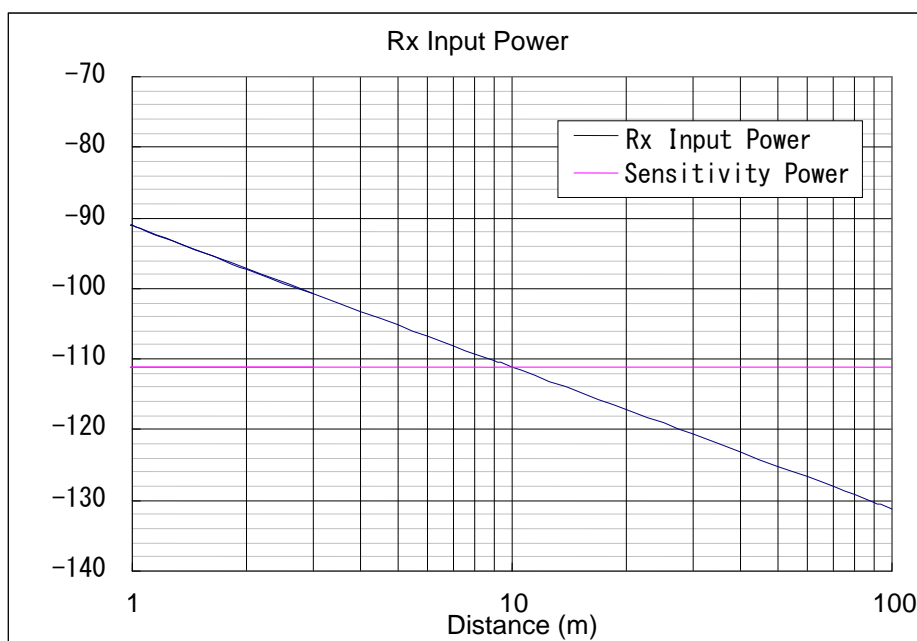


図 31 有線接続系機器感度・距離換算を示す図

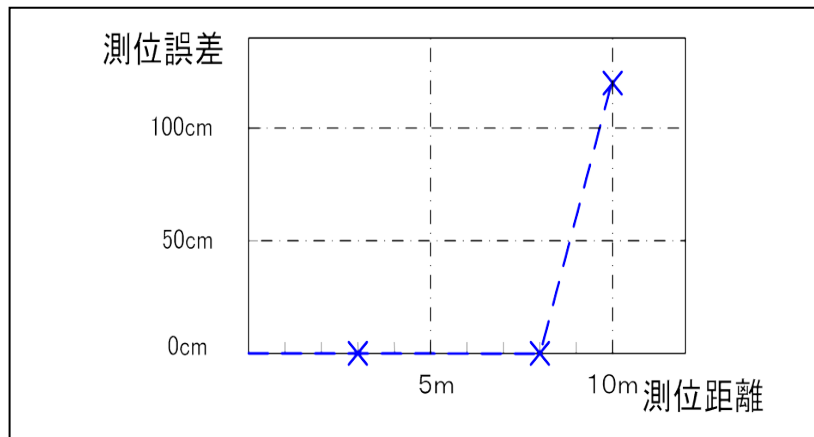


図 32 有線接続系による距離測定評価

(2) 電波暗室における距離測定

電波暗室内でのリーダ装置、タグ装置間の距離測定においては、遅延時間は31nsec一定で観測される。タグ装置内部の遅延時間が11nsecであることから、伝搬距離は $(31-11) \times 0.3 \div 2 = 3$ [m]である。

(3) 実伝搬環境における距離測定

距離測定に関しては、見通し環境で2mから10mまでの測定をおこなった(図 33)。有線接続の結果から分かるように、今回使用の機器においては10mにおいて特性の劣化が見られる。このため、距離測定においてはリーダでの平均化処理をおこなうことにより、等価的に電力加算を行い、S/Nを増大させて評価する。この場合、平均回数は200回(約1分)であり、理論的には電力の増幅度は23 dB程度増大する。但し、標準偏差は一回のサンプリング(26 msec)ごとの値を計算しており、有線接続の結果から想定されるように10mでは大きなバラツキとして観測される。

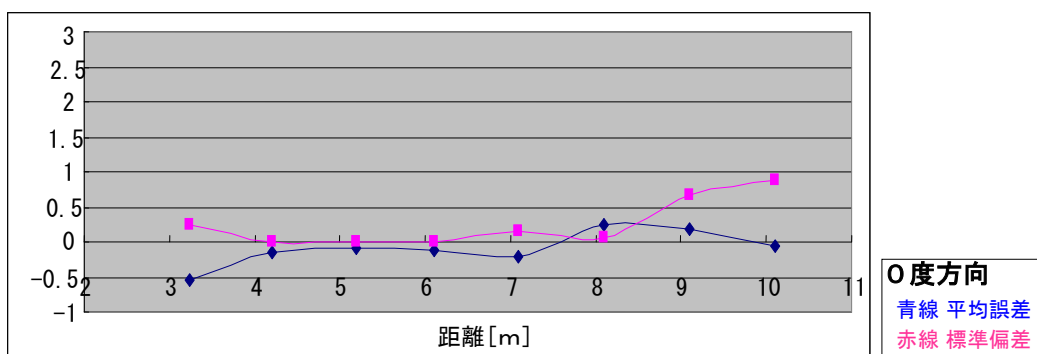


図 33 実伝搬環境評価系における距離測定評価

3.1.4 方向測定評価

(1) 有線系による方向測定

有線接続において、方向推定の基本特性を測定した結果を図 34 および図 35 を用いて説明する。

有線系においては、電力分配器を用いて 4 ブランチの受信 RF 信号を同相分配により生成しているため、0 度方向から到来する電波の到来方向推定と同等の信号となる。

図 34 では、有線接続時の IF 信号電力で観測した S/N と方向測定 (DOA) の測定結果を示している。測定誤差平均値 (RMSE) が目標誤差の 2 度 (10m の距離で約 30cm 誤差) となる S/N は 2 dB である。この値は、LNA およびダイポールアレイアンテナを含む装置本体の特性とみなすことができ、距離測定感度における 1 MHz あたりアンテナ端換算電力 (密度) の -112 [dBm/MHz] に対して、約 1dB 劣化した値である -111 [dBm/MHz] に相当する。

図 35 は、距離換算した減衰度と方向測定の誤差の測定結果を示している。受信電力が減少して S/N が悪くなると、方向測定 (DOA) 誤差も劣化 (大きく) なる。離隔距離 10m に相当する S/N では、距離推定結果と同様に、タグ装置受信電力が装置の感度点付近 (またはそれ以下) となるため、誤差が大きくなる。

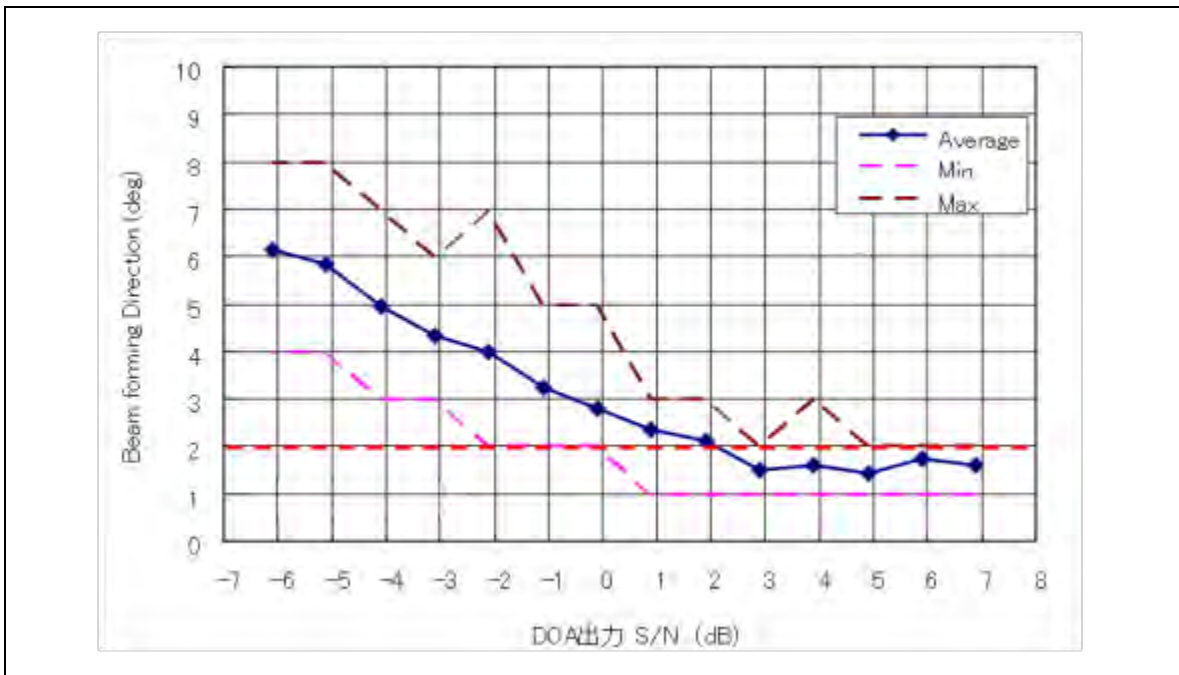


図 34 IF (10.7MHz) S/N 観測値とビームフォーミング誤差測定結果

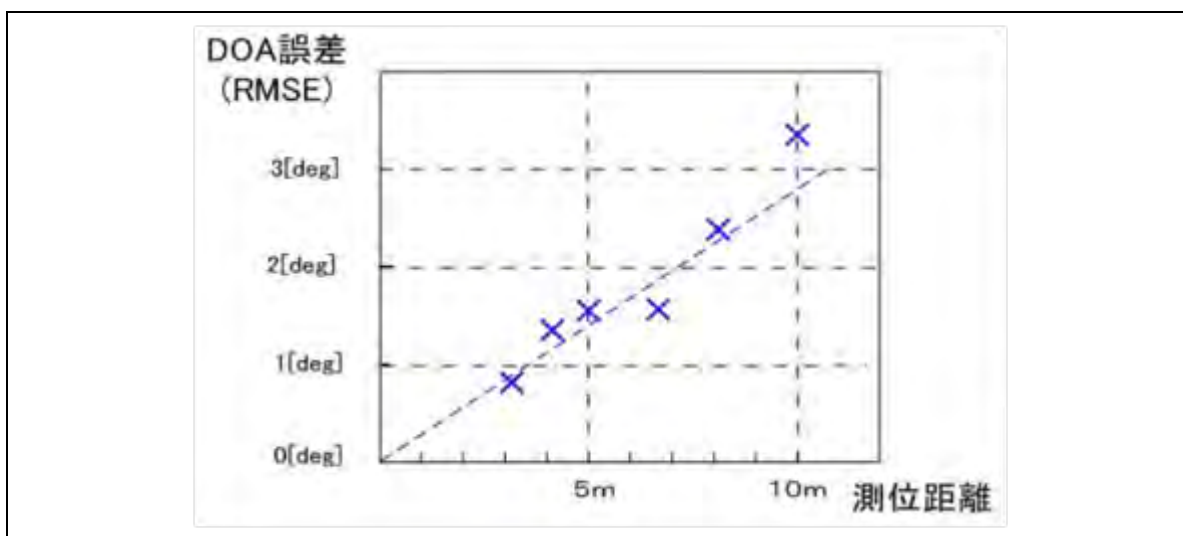


図 35 有線接続系による方向測定評価

(2) 電波暗室における方向測定結果

方向測定の基本特性評価のために電波暗室内での測定を実施した。4素子半波長間隔リニアアレイアンテナおよび台形アレイアンテナを用いてそれぞれ測定を行った。リニアアレイは、配置が単純であるため誤差解析が容易であるとともに、対称形をしているため、位相変動が少なく、アジマス角 ± 30 度の範囲内では誤差が少なく方向推定ができる特長がある。一方、台形アレイは、360度全方位の測定をおこなうときおよびエレベーション測定をおこなうときに用いる。図 36 にそれぞれのアンテナの素子配置を示す。

電波暗室内において、アジマス方向の測定結果は、リニアアレイが0度近辺で精度良く測定できるのに対して、台形アレイアンテナは全方向で2度程度の誤差で方向測定ができる。(図 37)

一方、台形アレイを用いたエレベーション測定は、電波暗室の測定限界である ± 10 度範囲内では誤差2度程度の測定結果が得られている(図 38)。

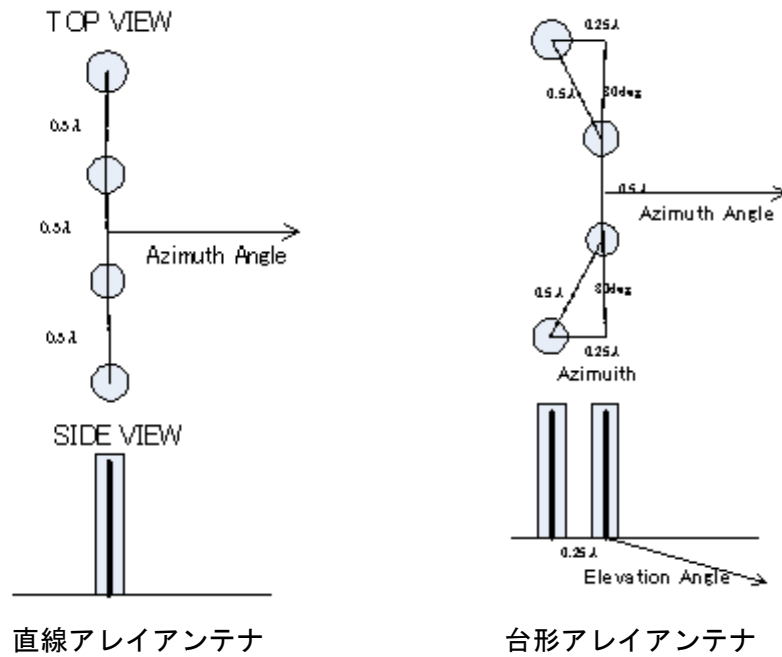


図 36 アンテナの素子配置

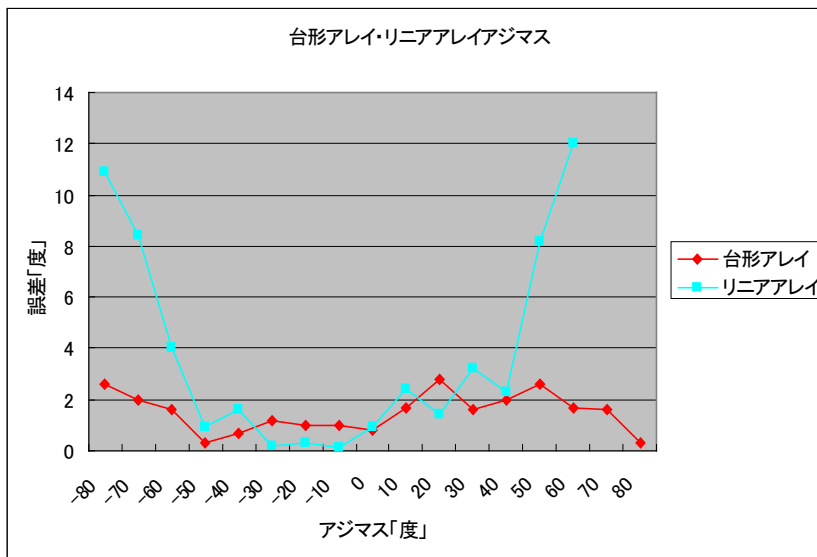


図 37 アジマス方向測定結果

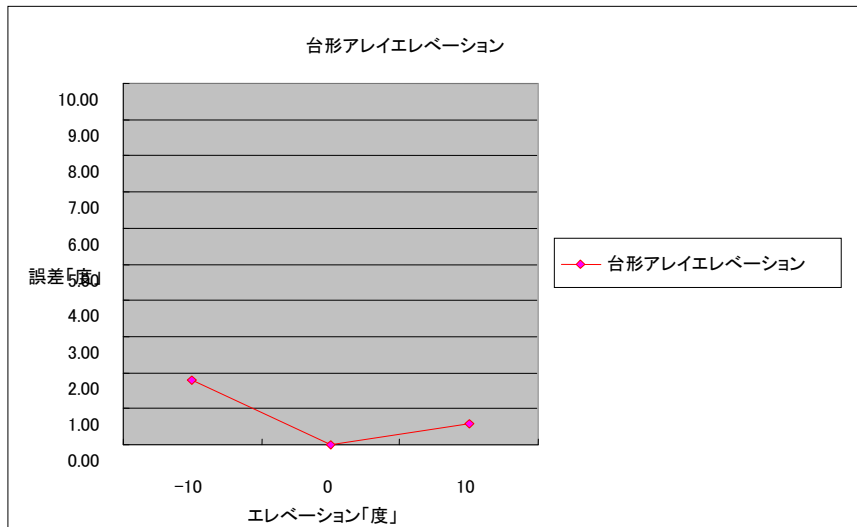
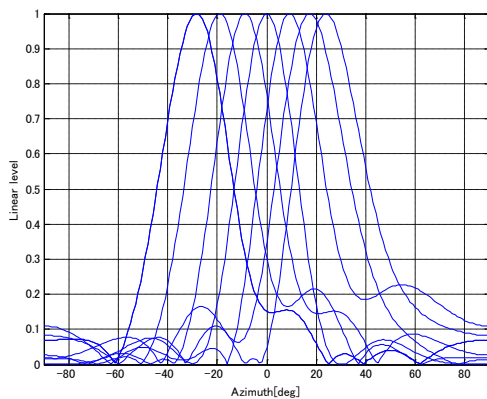


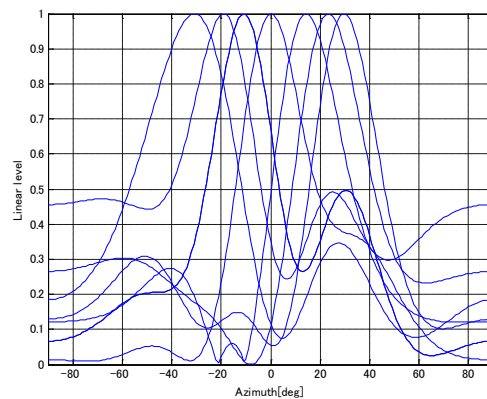
図 38 台形アレイによるエレベーション方向測定結果

リニアアンテナを用いて、-30度方向から+30度方向まで10度ごとにビームフォーミングをした結果を図39に示した。左図は電波暗室内、右図は実験室内での測定結果である。なお、電波暗室におけるビームフォーミング結果は、ダイポールアレイアンテナの指向性パターンに等しく、アジマス0度方向の利得は、約9dBiである。

電波暗室外では10度ごとのピークの識別は可能となるが、マルチパス信号が加算されるためと思われるビームの変形により推定誤差およびサイドローブレベルの増大が見られる。



電波暗室(3m)のビームフォーミング結果



実伝搬環境(3m)のビームフォーミング結果

図 39 電波暗室と実伝搬環境における±30度の方向測定精度の比較

(3) 実伝搬環境での方向測定

有線接続および電波暗室での検討結果に基づき実伝搬環境における、方向測定評価を実施した。前述のように、受信性能の制約から距離に対してダイポールアンテナとコリニアアンテナを使い分けて特性

の検討を行った。

(ア) 方向測定 (距離3 mから6 m : ダイポールアンテナ使用)

ダイポールアンテナを用いた方向測定においては、見通し環境で3 mから6 mまでの測定をおこなった。また、方向推定においては、相関行列を加算して S/N を増大させて評価する。距離と異なるのは、相関行列加算であるため、振幅・位相両者に関するベクトル加算であることと、相関行列の値を加算するため、信号の信頼性の高い振幅の大きな受信信号が結果に大きく反映される重み付け加算であることである。この場合も、平均回数は200回(約1分)であり、理論的には電力の増幅度は23 dB程度増大する。

重みづけ加算の結果は、赤丸で示している。すなわち、電力加算により、タグ装置の測定結果は実際のタグ装置の位置と一致した結果が得られることが分かる。以上の結果より、技術試験は設定される最大距離が6 mでありダイポールアンテナを用いて実験を行うことにより50 cm以内の精度確保できることが結果として得られた。

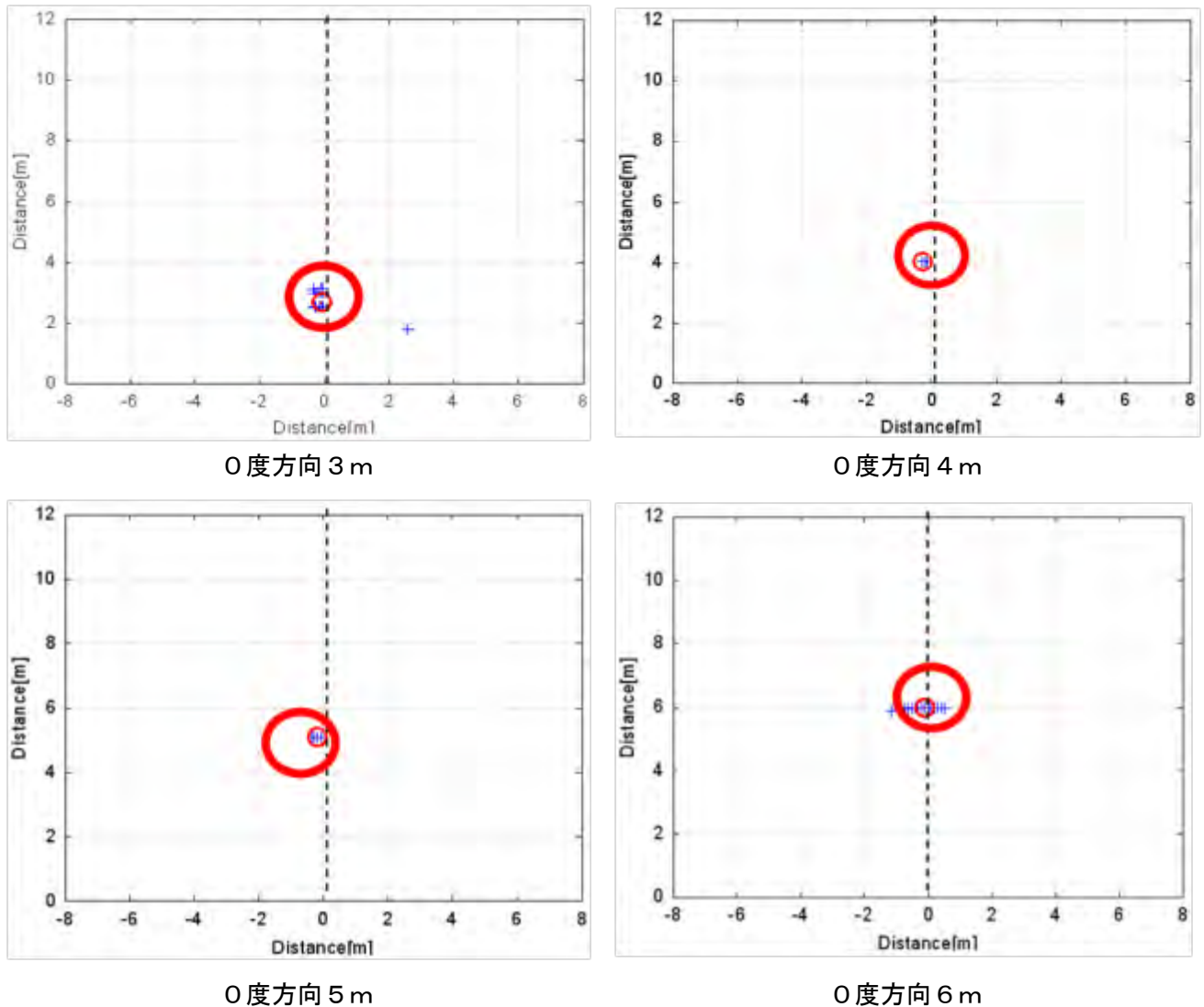
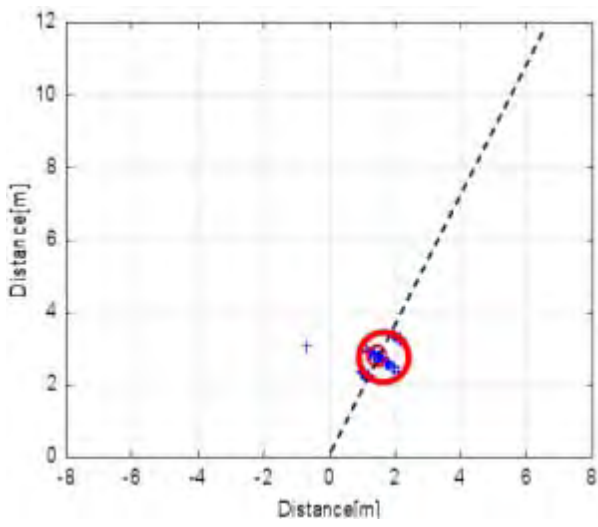
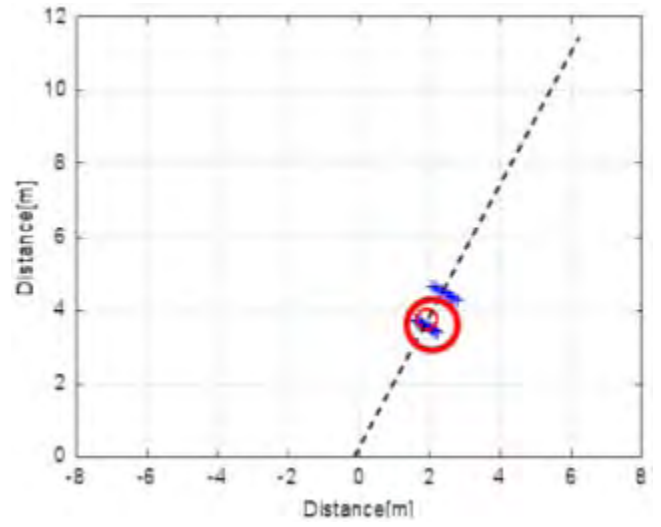


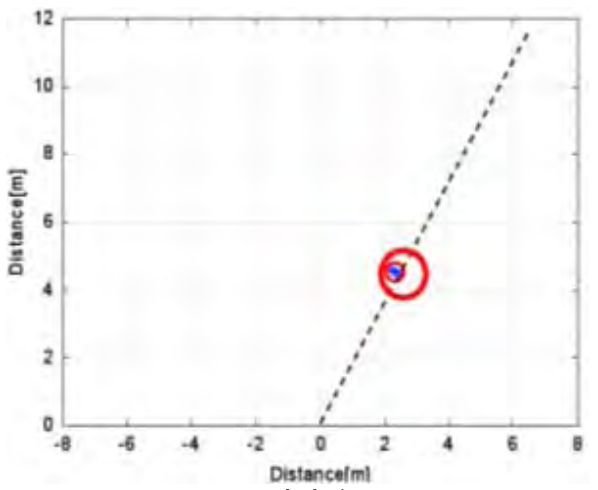
図 40 0度方向測位結果



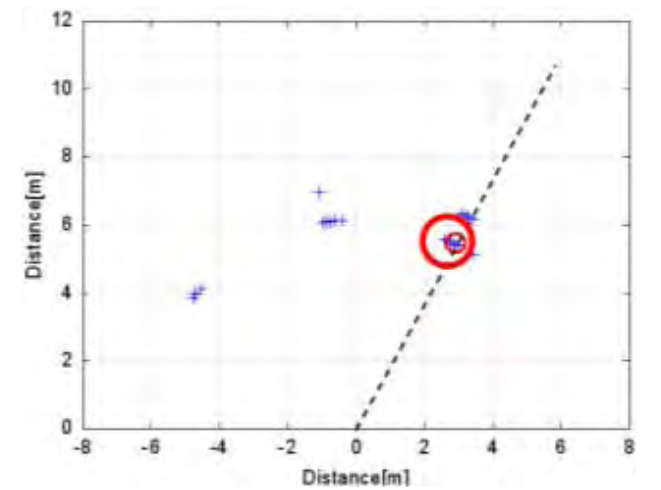
-30 度方向 3 m



-30 度方向 4 m

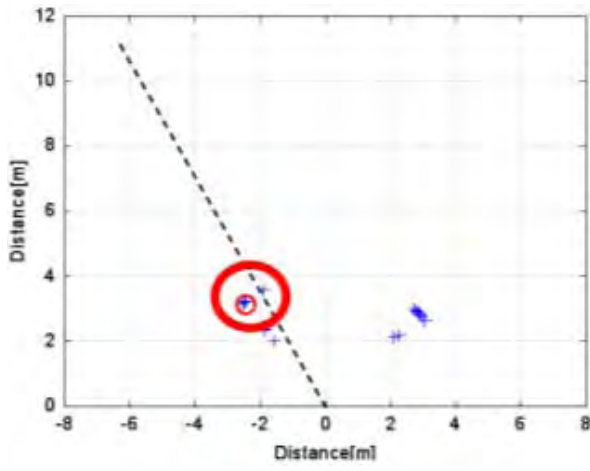


-30 度方向 5 m

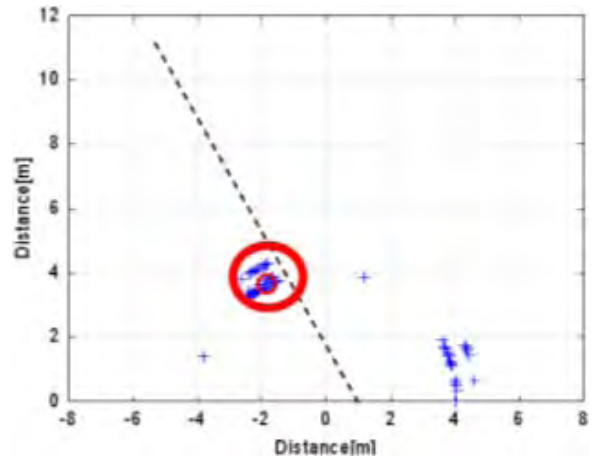


-30 度方向 6 m

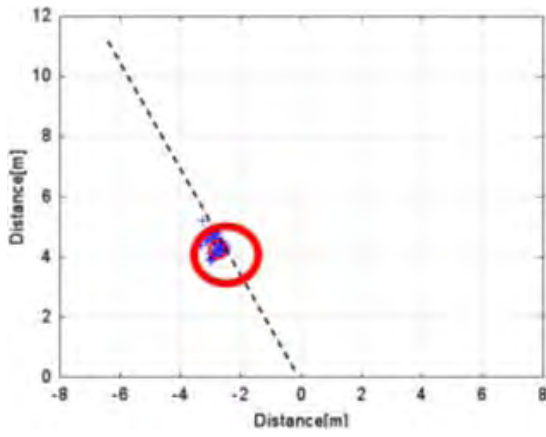
图 41 -30 度方向测位结果



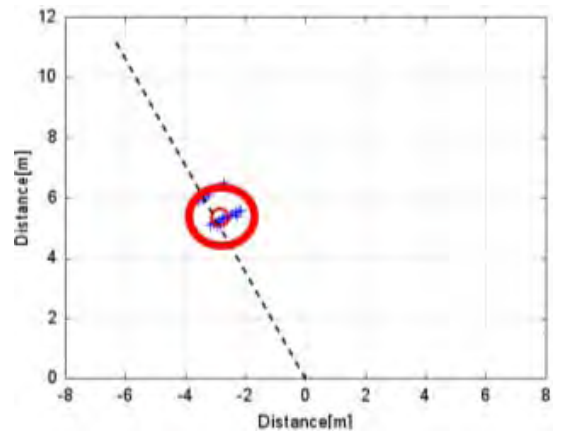
+30 度方向 3 m



+30 度方向 4 m



+30 度方向 5 m



+30 度方向 6 m

图 42 +30 度方向测位结果

以下の図は、上記各方向測定結果をまとめたものである。

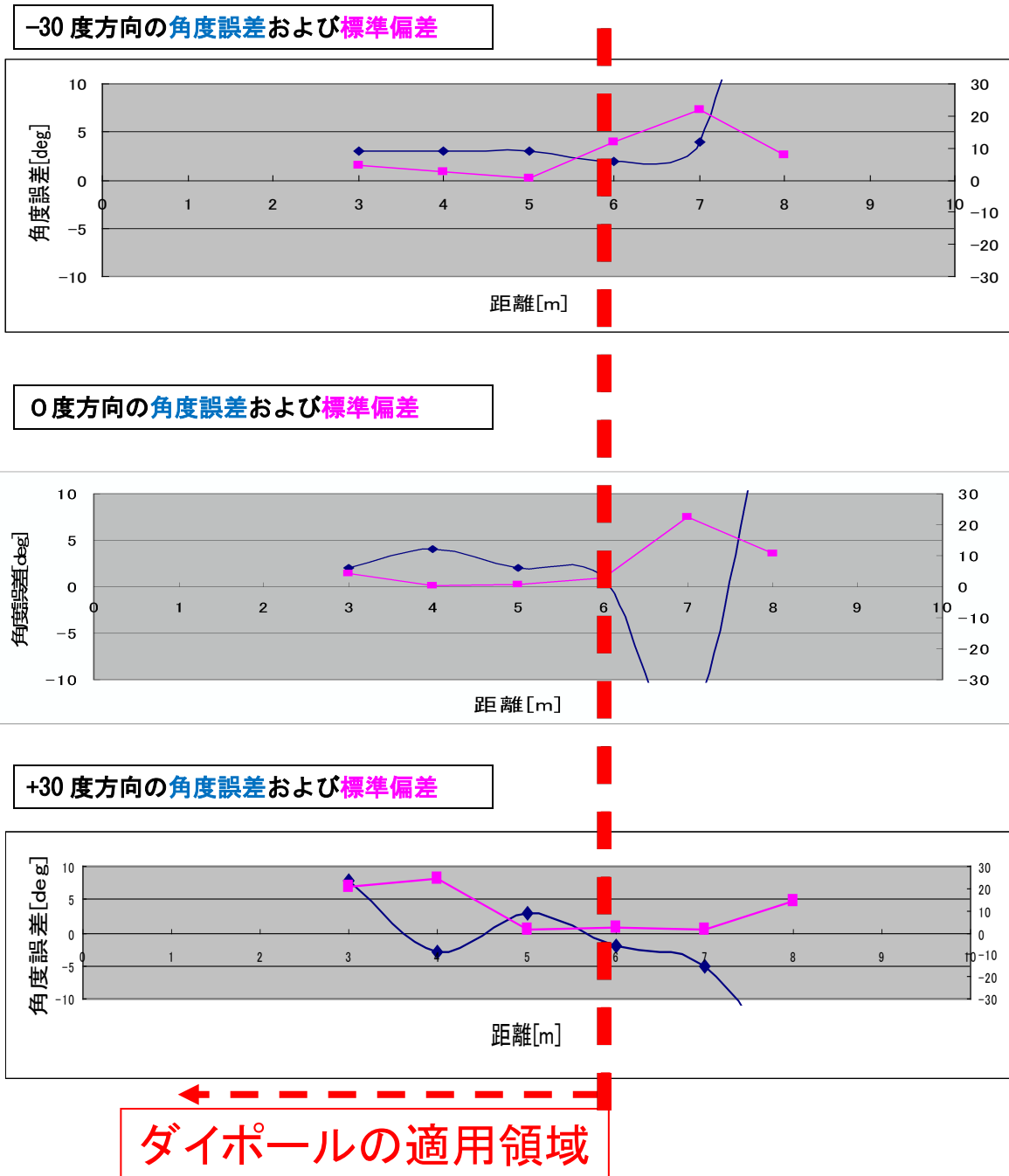


図 43 ダイポールアンテナ測位結果精度評価

(イ) 方向測定 (距離 7m から 10m : コリニアアンテナ使用)

0.5 波長リニア配置に並べられた、コリニアアンテナの写真および 4 素子アレイとしてのアジマス、エレベーションの指向特性を図 44 に示す。アレイ利得は、地板により下向きの放射が抑えられているため、ダイポールアレイに比較して 3dB 利得が高い。したがって、コリニアアンテナでは、ダイポールアレイに比較して 1.4 倍遠方すなわち 8.4m まで検出を行うことができる。

また、ベースバンドにおいて 200 サンプルの信号積分を行い (理論電力増幅度 23dB)、干渉キャンセラの適用により機器自身による方向推定結果の誤差を軽減している。測定結果を図 45、図 46、図 47、図 48 に示す。

以上より、誤差を 50cm としたとき、コリニアアンテナを用いた適用範囲は 0 度方向で 10m、 ± 30 度方向では、7m となる。

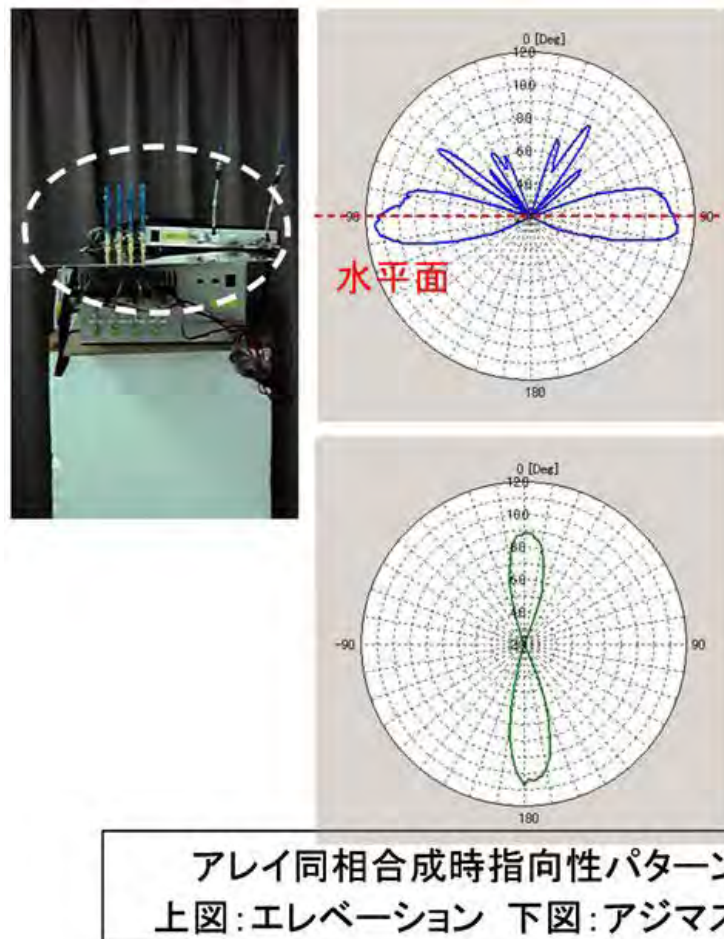
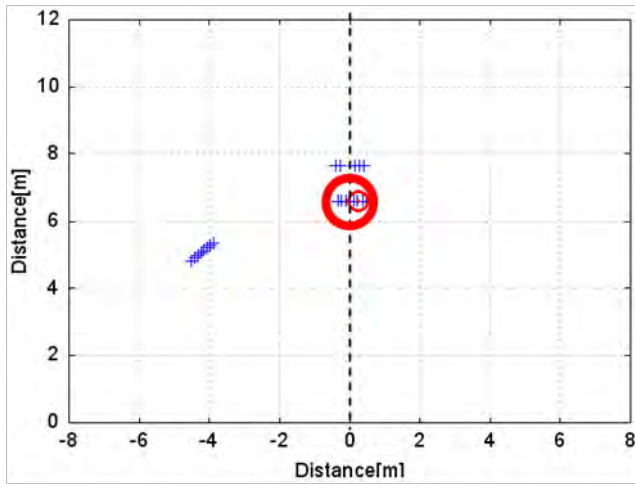
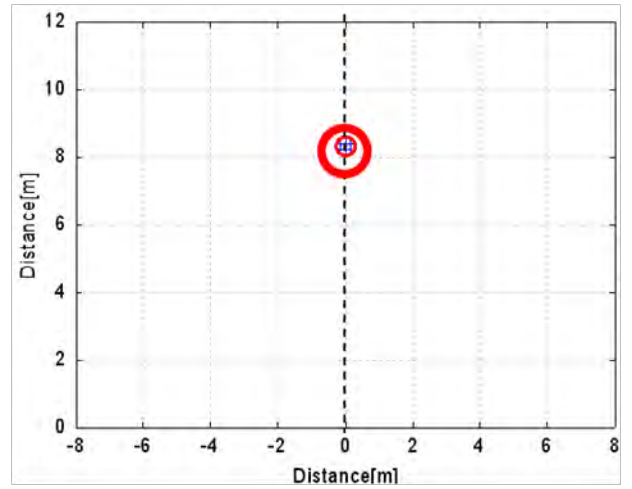


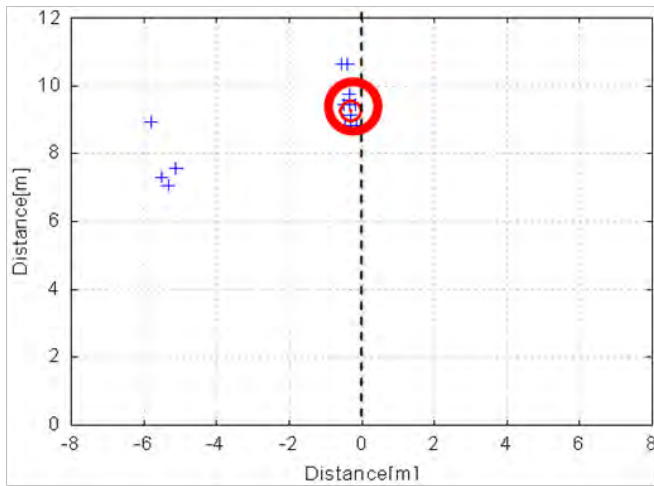
図 44 コリニアアレイアンテナ



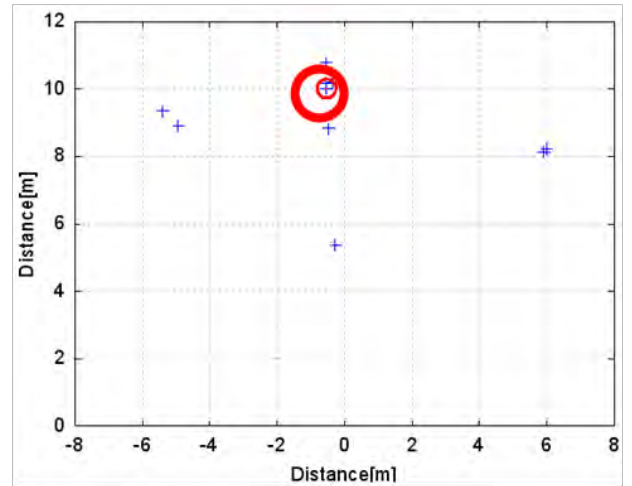
0度 7 m



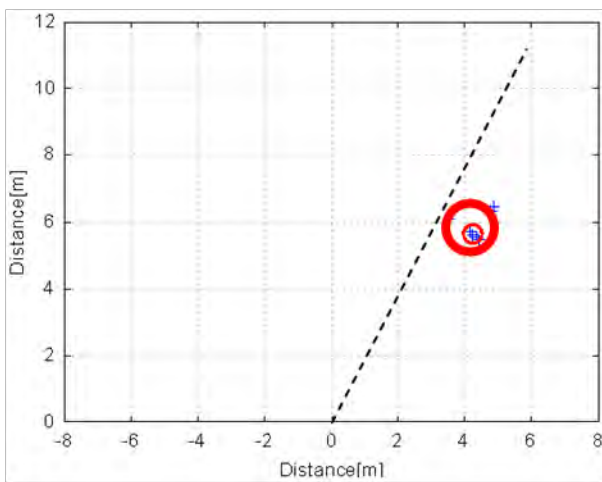
0度 8 m



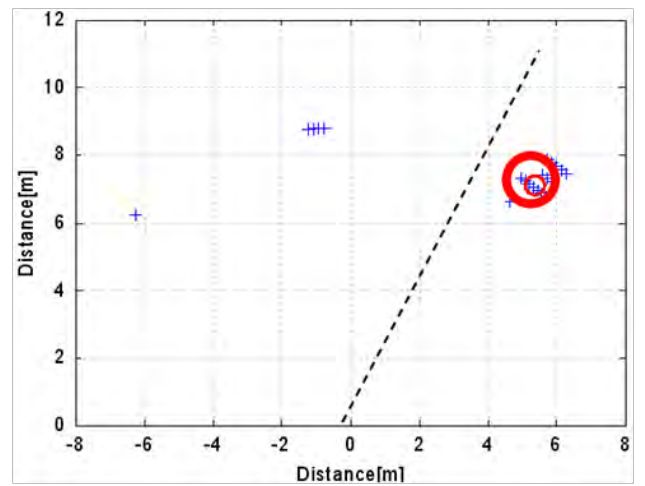
0度 9 m



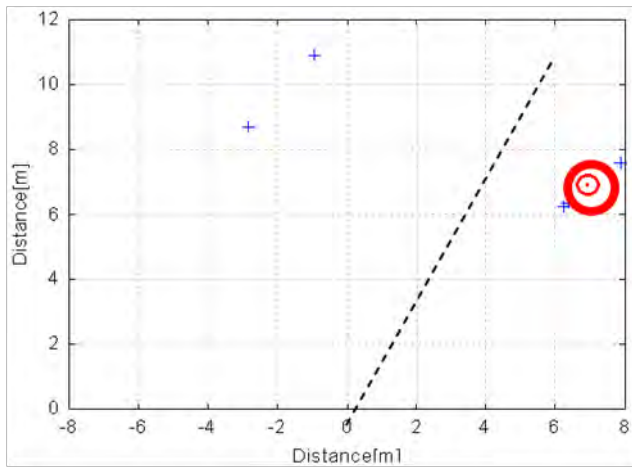
0度 10 m



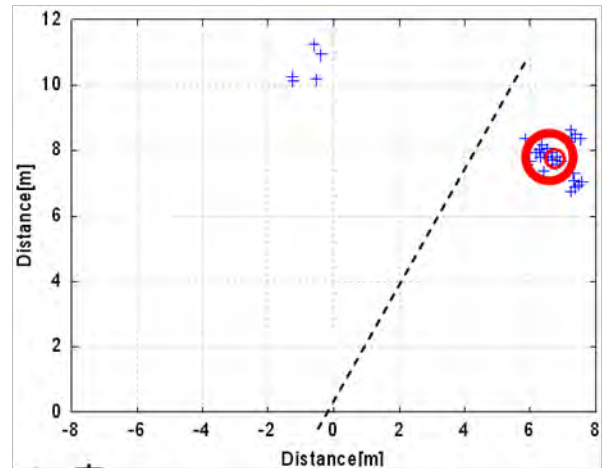
-30度 7 m



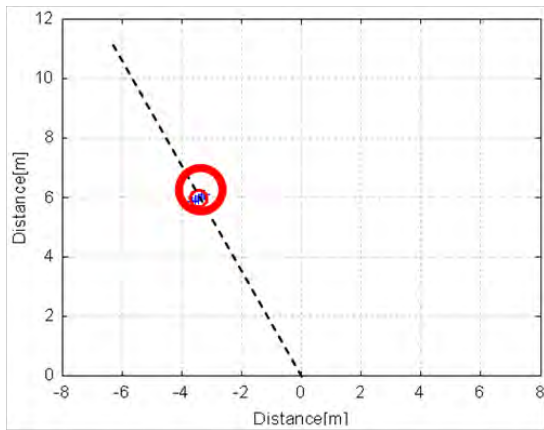
-30度 8 m



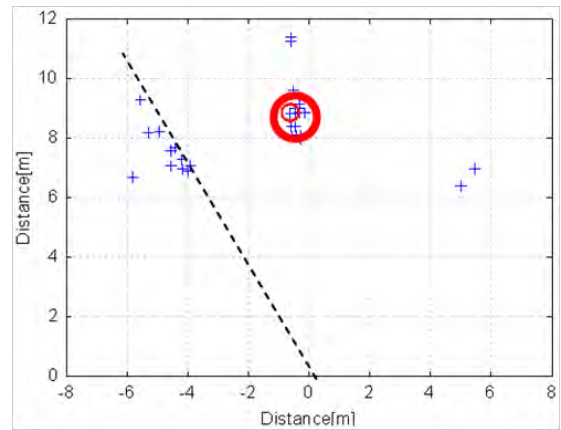
-30 度 9 m



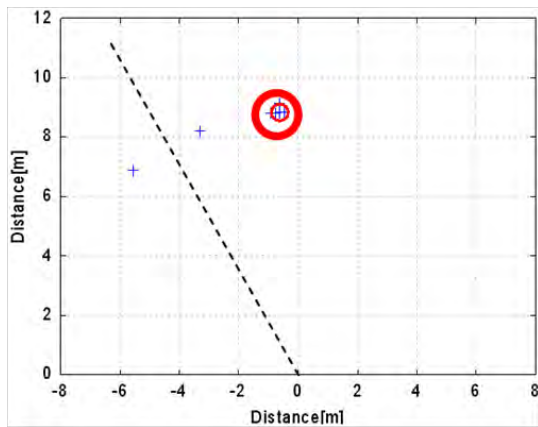
-30 度 10 m



+30 度 7 m



+30 度 8 m



+30 度 9 m

図 45 コリニアアンテナによる位置推定結果

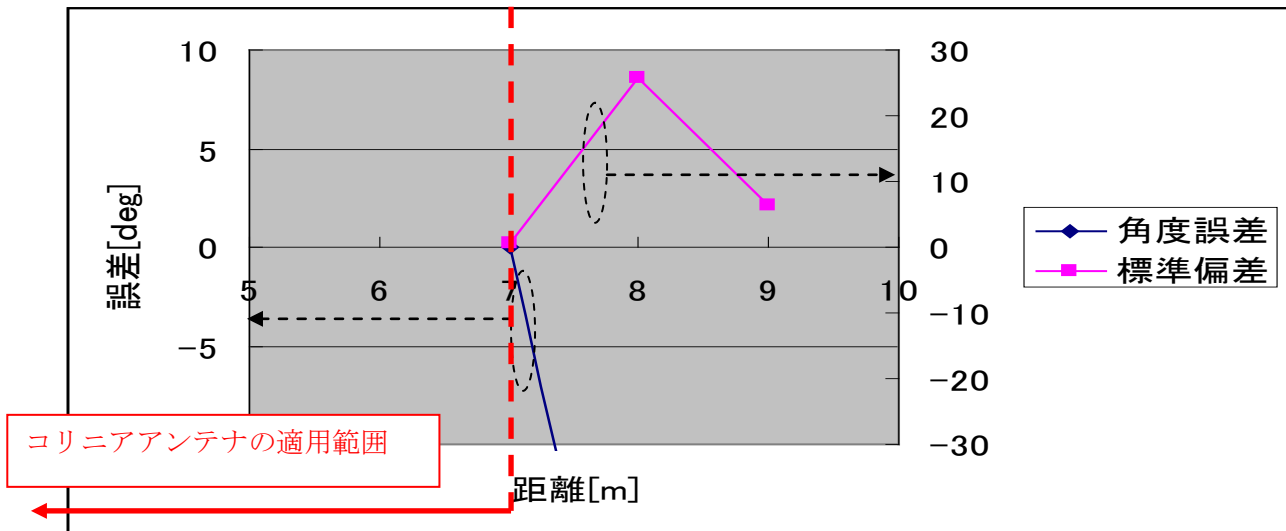


図 46 コリニアアンテナによる角度誤差[-30度方向]

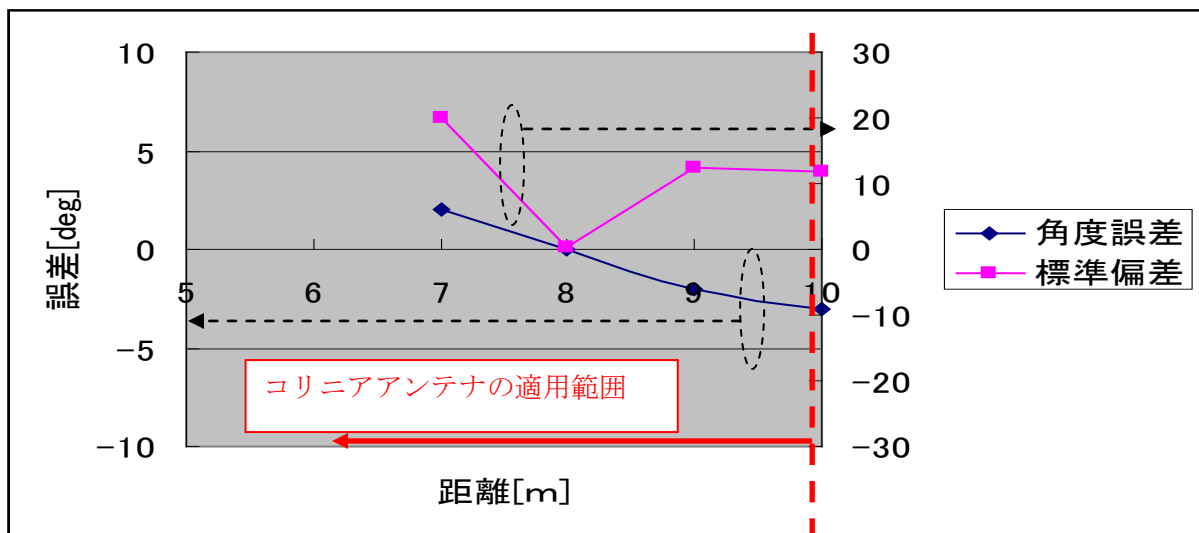


図 47 コリニアアンテナによる角度誤差[0度方向]

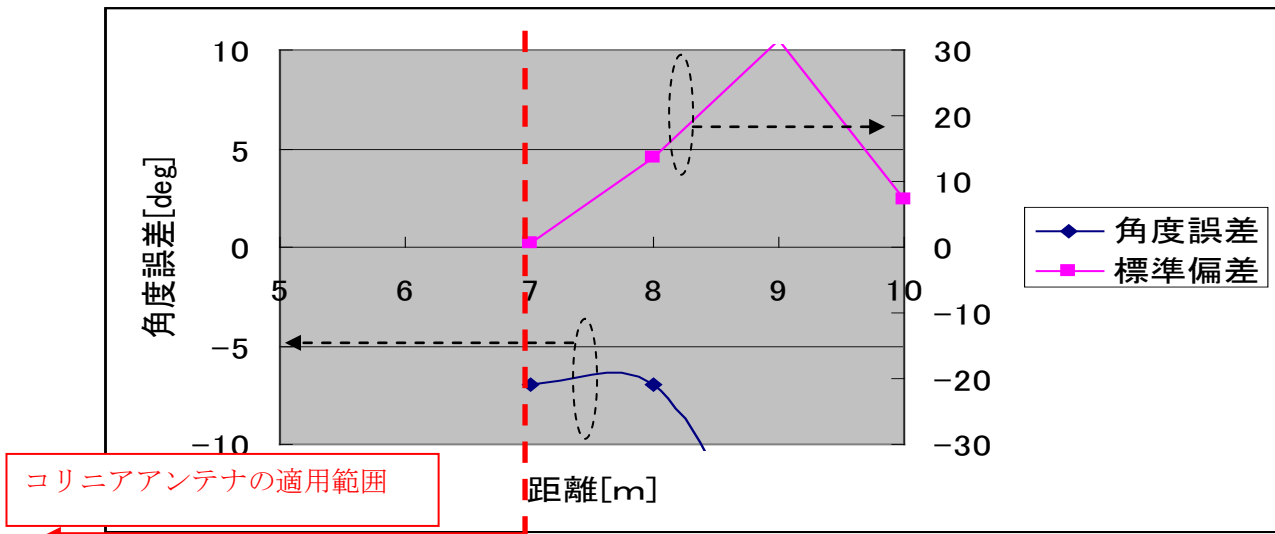


図 48 コリニアアンテナによる角度誤差[+30度方向]

3.2 利用モデル環境における測定結果

3.2.1 利用モデルにおける測定環境

利用モデルでは事務所におけるセキュリティ環境および病室におけるヘルスケア環境が抽出された。大阪ビジネスパーク内IMPビル（オフィスビル）会議室に、これらの模擬環境を構築して、UWB無線センサーネットワークの有効性等を確認する技術試験を実施した。

模擬環境の平面図を図49に示す。会議室は、上部が南側となるように配置されており、南側は窓（高さ1mのところ概ね1mの高さ）が全面に設置されている。その他の面は、他の会議室との個境壁（コンクリート）である。また、壁面に6本の鉄筋コンクリート柱、高さ1.2mのパーティション（緑色）、高さ1.8mの間仕切りカーテン（青色）を配置し、両環境の間には天井に至る高さ（約2.2m）のパーティションを配置している。リーダ装置は両環境の北端部に配置され、両者が同時に動作することにより、無線センサーネットワークを構成する。

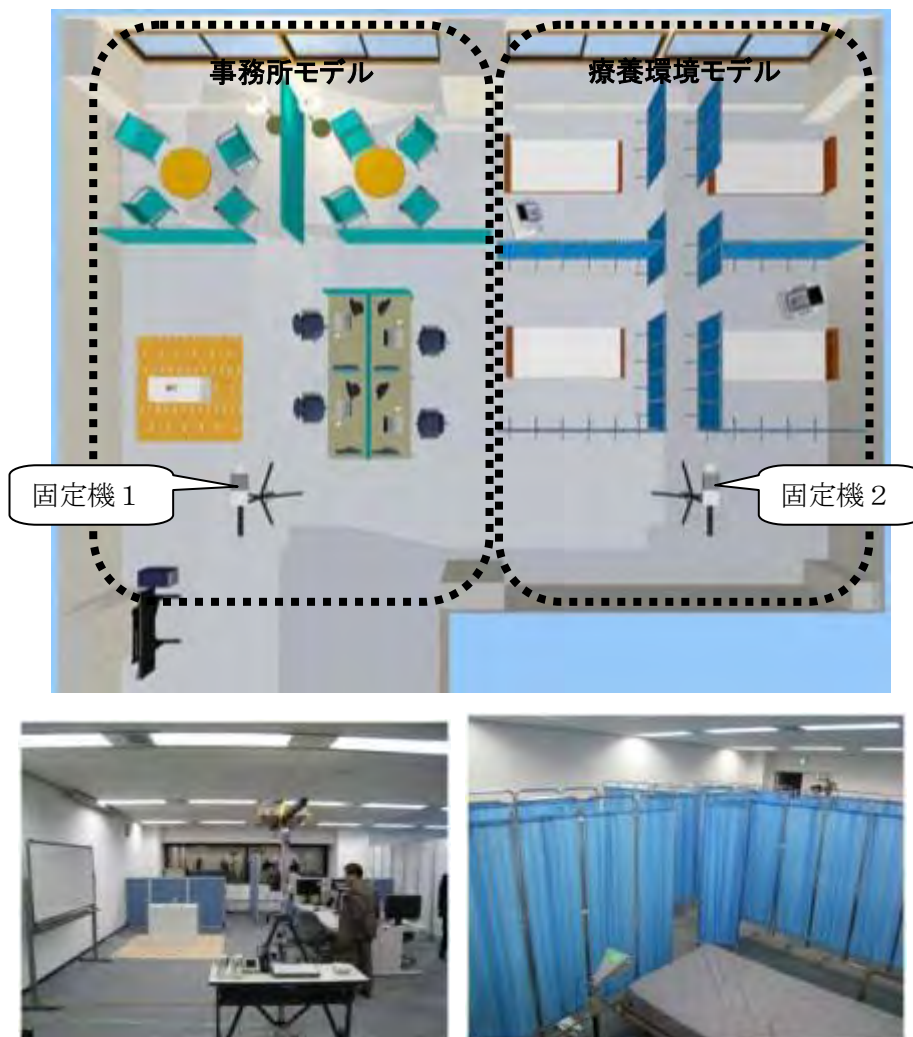


図 49 利用モデル環境

リーダ装置およびタグ装置のアンテナはそれぞれ、リーダ装置における距離測定アンテナが地上 2.2m、方向測定アンテナが地上 1.7m、タグ装置における送受信アンテナが地上 1.3m となるように配置した。概略の位置関係を図 50 に示す。



図 50 リーダ装置とタグ装置のアンテナ高さ関係

3.2.2 電界強度測定結果

測定環境における、電界強度測定を行った。

電界強度測定は、ホーンアンテナおよびスペクトルアナライザのピークホールドにより、長時間走査することにより電力測定をおこなっている。測定系を図 51 に、測定系の機器の諸元を表 10 に、測定結果を図 52 に示す。スペクトラムアナライザの測定設定は、送信帯域の中心周波数（9GHz）を中心周波数に選び、チャンネルスパンを占有周波数帯幅 1.3GHz の 1.5 倍の 2GHz として、測定制御端末で中心周波数から対称な 1.5GHz の幅の積分電力を求めた。分解能帯域は、計測器の自動設定（チャンネル電力測定の精度が最高になるように自動設定される）の値である、RBW=VBW=6.8kHz とした。測定制御端末から、インパルス周期に同期して 30 以上のパルスを含むように測定ポイントを設定し、ピーク検波を行っている。測定制御処理により、1 か所の測定時間を 1 分以内とすることができた。

図 52 において、電界強度は距離に従い自由空間伝搬損失に比較して若干大きな値として観測されている。測定した場所は、オフィスビルの一室であり、床面、天井構造物等は基本的にコンクリートや鉄筋で構成されていると思われる、多重反射環境である。特に、床面反射を考慮した場合、伝搬特性は通常 2 波モデルと呼ばれる伝搬モデルから類推することができる。本調査検討会が平成 21 年度に行った技術試験における倉庫内での電界強度測定の結果（図 53）と同様に、自由空間伝搬ロスから想定される信号に比較して電界強度が大きく検出された。これらから、直接波+大地反射波の 2 波合成モデル（逆相合成による減衰および最大 6 dB の電力増加）または、東京電機大学小林先生の提案（図 54: Bandwidth=750MHz 参照、比帯域約 20%）の環境に近く、測定がスペクトラムアナライザを用いたピークホールド測定のため、同様の結果が得られている可能性がある。

以上のように本測定では、UWB インパルス実質占有帯域幅が 1.3GHz と比帯域 14% の比較的狭帯域の信号であったため、UWB 超広帯域信号の特性である周波数選択性フェージングから、狭帯域 CW 信号伝

搬特性であるフラットフェージングの特性への過渡的な領域の特性が現れていると思われる。一般に帯域が広ければ広いほど電界強度変動が減少することから、ハイバンドUWB規格の帯域内(7.25～10.25GHz)でできるだけ広く帯域をとることにより、たとえば、図 54 で Bandwidth =7.5GHz (米国 FCC 規定UWB全帯域に相当)の特性として示されているように変動を軽減できると考えられる。到来方向推定では超広帯域信号の一部のみを取り出した狭帯域信号を用いているため、特性・精度の場所依存性がより強く現れると想定される。



図 51 電界強度測定系

表 10 電界強度測定系の機器諸元

測定器の種類	機種	主な仕様
標準ホーンアンテナ	SCHWARZBECK 社製 BBHA 9120 C	利得 14dBi (代表値), 垂直直線偏波
プリアンプ内蔵 スペクトラムアナライザ	アジレント・テクノロジー社製 E4440A opt. 110	3 Hz～26.5 GHz, ノイズフロア-165 dBm
インタフェース装置	ラトックシステム REX-USB220	USB-GPIB インタフェース
測定制御端末	Let' s Note	USB インタフェース内蔵

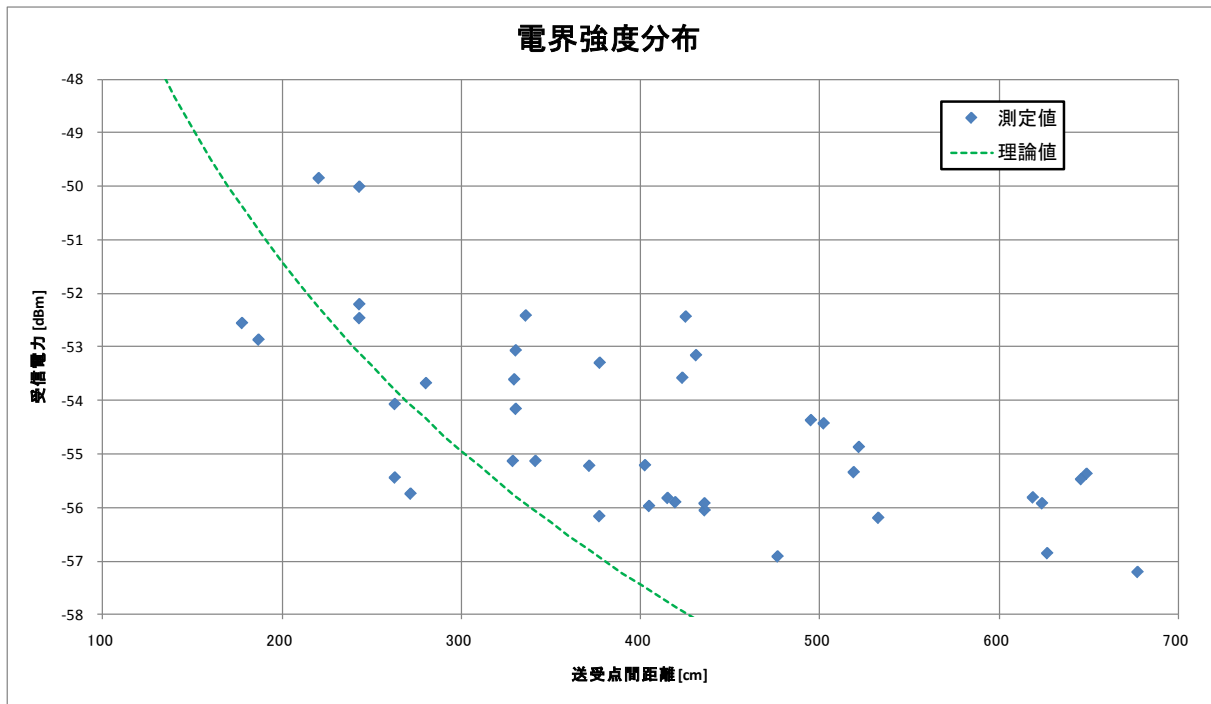


図 52 オフィス・療養環境における電界強度測定結果

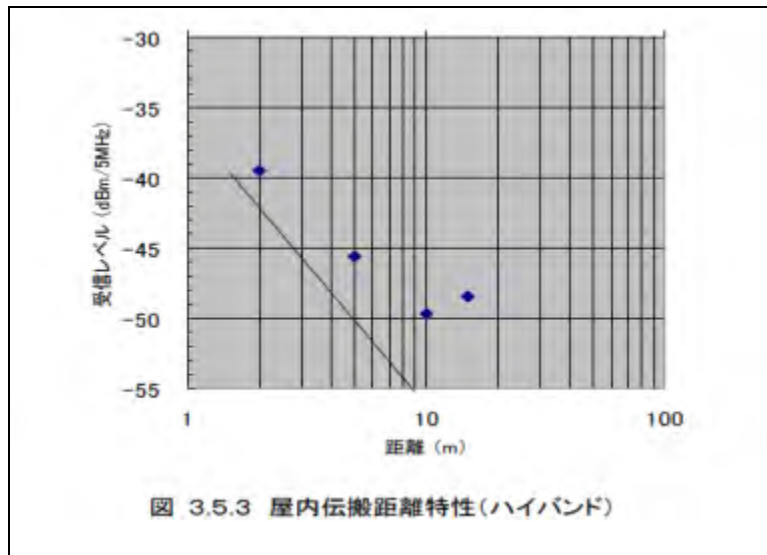


図 53 倉庫における電界強度測定結果

UWB無線センサーネットワークの周波数共用条件に関する調査検討 平成 21 年度報告書 P. 34

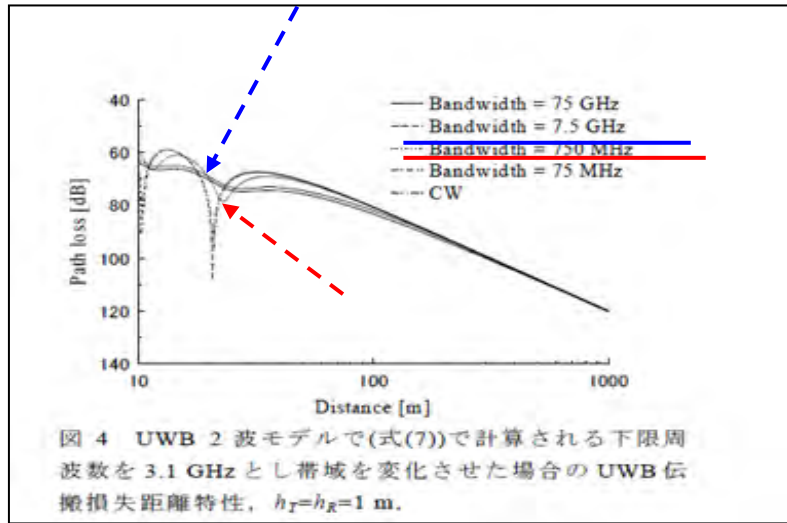


図 54 UWB 信号の見通し内伝搬損失距離特性

佐藤、小林 東京電機大学 大学院 工学研究科 URSI 第 480 回電波研連 F

3.2.3 距離測定結果

距離測定は、パルス幅 2nsec のインパルス信号の往復時間を測定することによっておこなう。今回使用の機器においては、遅延プロファイルを採取したのち、遅延プロファイルがタグ装置から返送された信号か、構造物からの反射であるかを検出した後、タグ装置からの返送信号である場合に基準タイミングとの往復時間差を計測して、距離を算出する。

図 55 に示すのは、タグ装置が存在する場合と存在しない場合のリーダ装置での観測遅延プロファイルである。この機器においては、送信アンテナから受信アンテナでUWBパルスを受信したタイミングをタイミング基準としており、左図のタグ装置が存在しない時の遅延プロファイルでは、「タイミング基準 0nsec」として観測されている遅延波が、測距の基準となる。右図はタグ装置が存在するときの返送信号の遅延プロファイルである。タグ装置は、40nsec 遅延した信号として観測される。タグ装置内部では回路での遅延時間が 11nsec 存在するため、距離は $4.35\text{m} ((40-11) \times 0.3 \div 2)$ と観測される。この距離は、リーダ装置の高さも含まれているため、実際の距離 4m より長く測定される。

また、右図においてタグ装置返送信号先頭波は、重畳された ID (破線で表示) により反射波と判別できていて、かつタグ装置返送信号の反射波との識別もできている。なお、タグ装置返送信号先頭波に対して、それぞれ 12nsec、30nsec 遅延したタグ装置返送信号反射波が遅延プロファイルで観測されているが、破線パターンが出ていないのは、信号電力が弱く、閾値に達しないためである。

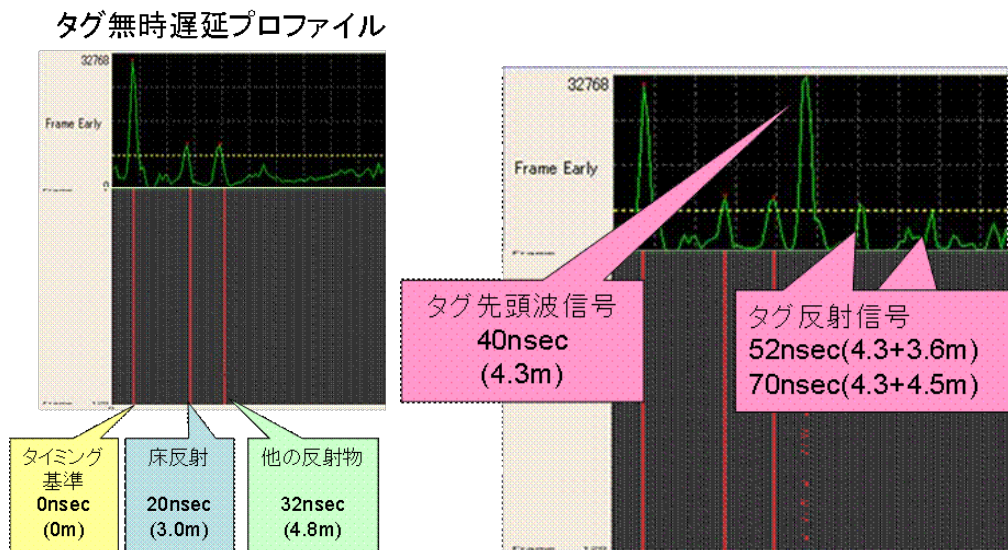


図 55 タグ装置の送信信号を表す遅延プロファイル

測定場所における、距離測定の結果を示す（図 56、図 57、図 58）。

距離測定サンプリング数 180 個（約 1 分）であり、測定結果は、評価測定結果と同様である。

- 距離誤差:最大 50cm
- 標準偏差最大:40cm

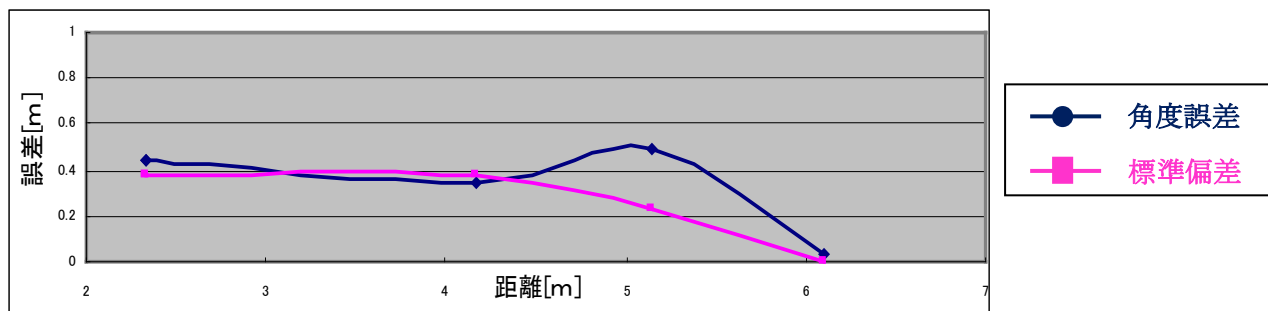


図 56 左 30 度方向の距離誤差

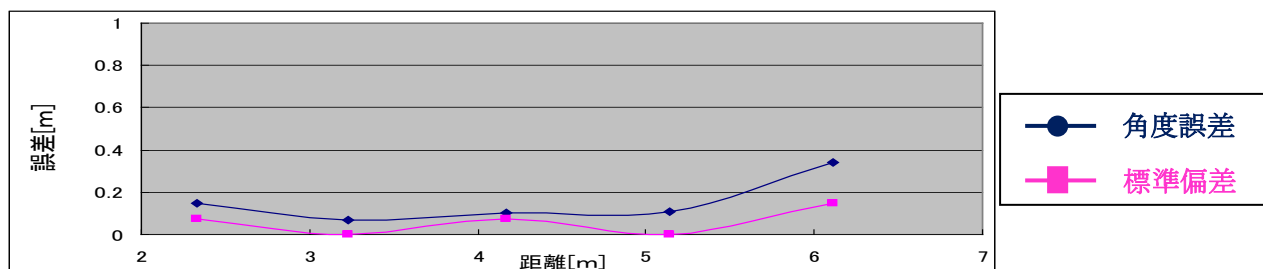


図 57 0 度方向の距離誤差

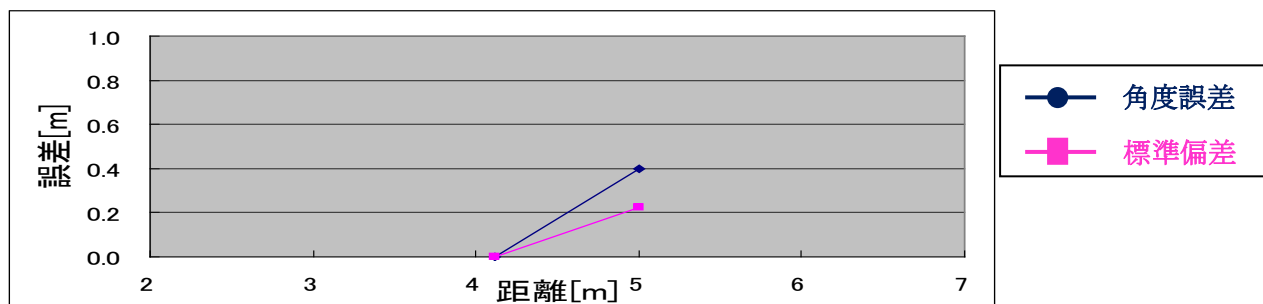


図 58 右 30 度方向の距離誤差

3.2.4 方向測定結果

オフィスを想定した、測定環境での方向測定の結果を示す。この環境における測定条件は以下に示す通りである。

- ・測定条件：事務所側のみリーダ装置送信
- ・リーダ装置：DOAアンテナ高 1.8m タグ装置アンテナ高 1.3m
- ・測定時間：10 秒（各測定点サンプリング数 30）

測定結果に関しては、図中では相関行列総和に対する方向測定結果を○で図示している。

この測定結果から次のことがわかる。

3m では、実験室の測定の結果が示すように、正確な方向推定結果が得られている。

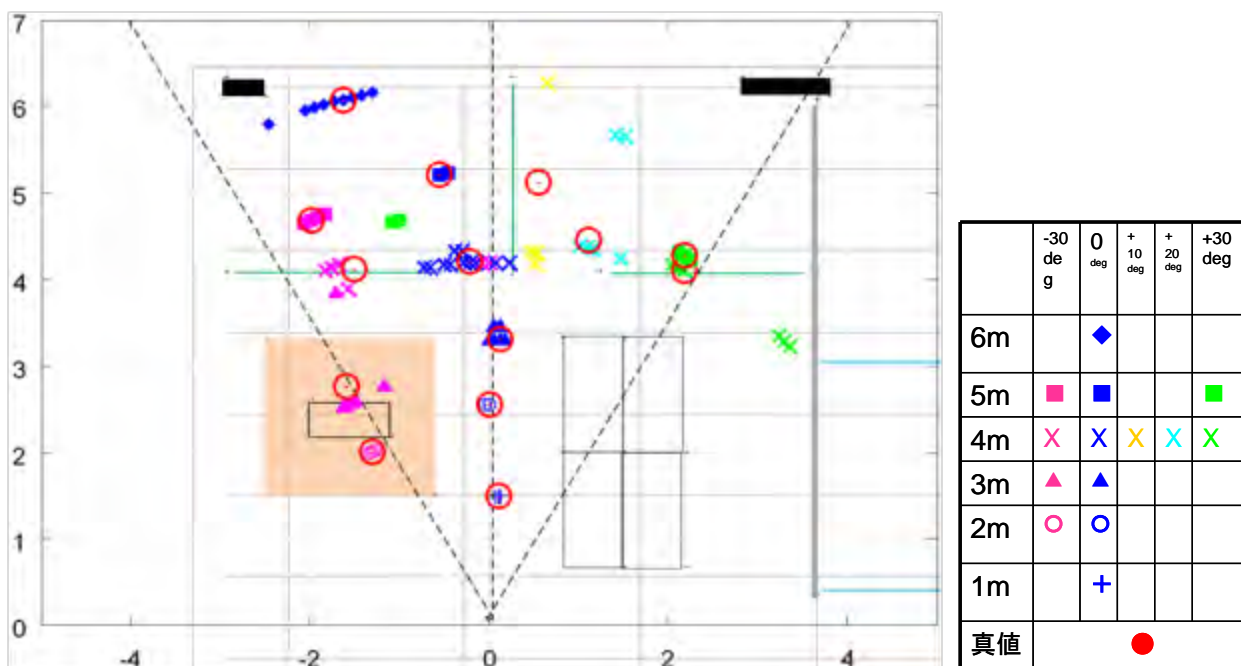


図 59 方向測定結果

3.3 考察

3.3.1 各測定ポイントでの測定結果について

1点測位装置の伝搬プロファイル解析機能を用いて、測定結果にバラツキが大きいと思われる測定ポイントについて解析を行う。なお、以下の図中では、伝搬環境の時間的変動に伴う方向推定結果の変動を示すため、単一のサンプリングデータを用いたビームフォーミング方向測定結果を重ねてプロットしている。これらそれぞれの方向推定結果に受信電力重みづけ加算処理を行ったものが前節の方向結果の図中の○で示した結果であり、測位算出に使用する方向測定結果である。

(1) 金庫の後ろ（距離4 m 方向 -30度）

金庫のエッジの回折波と考えられる角度方向および距離の変動が観測される。

タグ装置の高さは金庫より高いため、タグ装置からの直接波は観測されるが、金庫が金属製のため回折波と思われる信号が観測される。

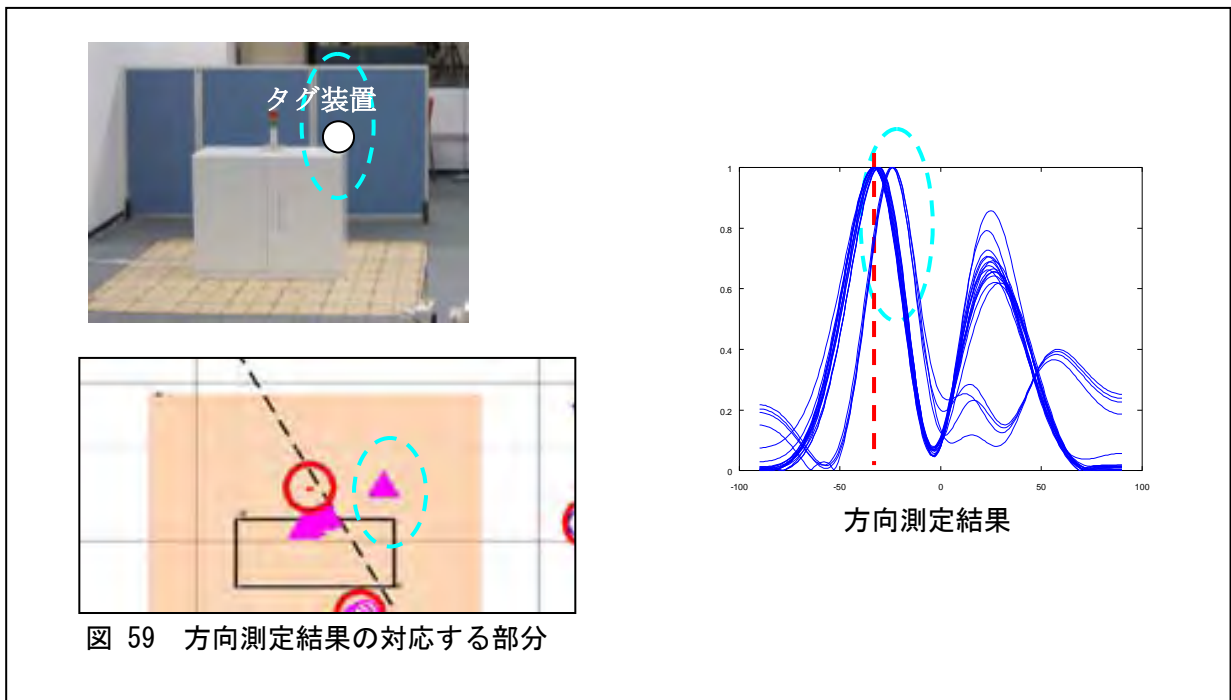


図 60 金庫の後ろの伝搬プロファイル解析

(2) 会議スペース入口 (距離4m 方向0度)

パーティションの回折波と考えられる角度方向および距離の変動が観測される。

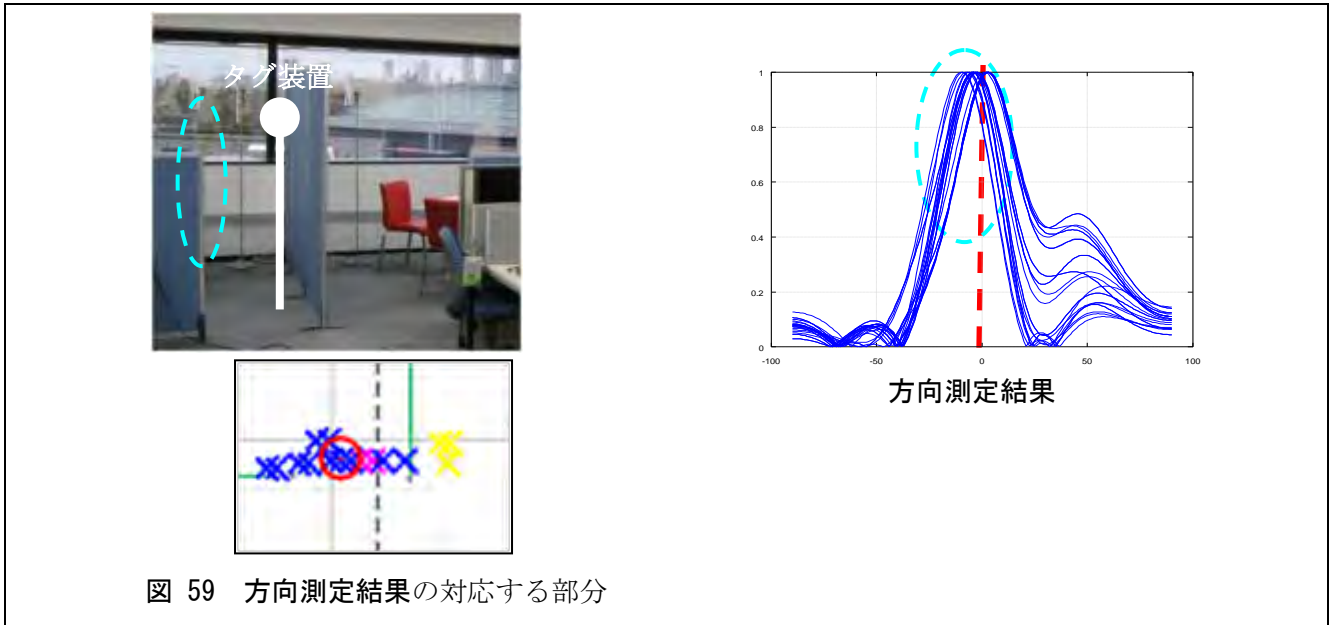


図 61 会議スペース入口の伝搬プロファイル解析

(3) PCの載ったデスクの周辺方向 (距離4m 方向+30度)

ビームフォーミング結果には2種のピークが検出される。(左側: 直接波、右側: 反射波)

窓検出により、タグマルチパス反射波との光路長は2.4m程度まで限定される。ただし、固定機近傍の反射波(ディスプレイや椅子)や回折波(机上パーティション)は、光路長方向差が小さく方向測定誤差が大きくなるため、検出信号レベルによる判断等が課題である。

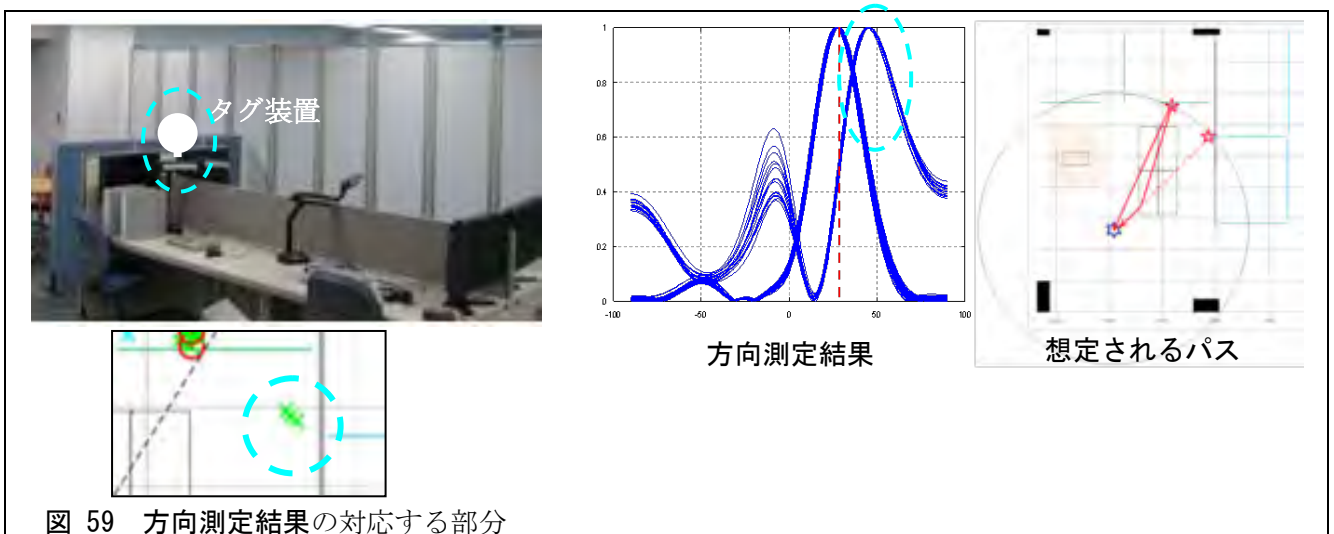


図 62 PCの載ったデスクの周辺方向の伝搬プロファイル解析

(4) 左奥会議スペース (距離 5m 方向-30 度、0 度、 距離 6m 方向 0 度)

左奥会議スペースでは、パーティション上端からアンテナの先端のみが見える関係になり、タグ送受信電力が減少していると考えられる。この状態では、DOA の機器ノイズ (TOA からの飛び込み信号を含む) により、ビームフォーミング信号が合成される形で方向推定結果が-15 度方向に近づいている。

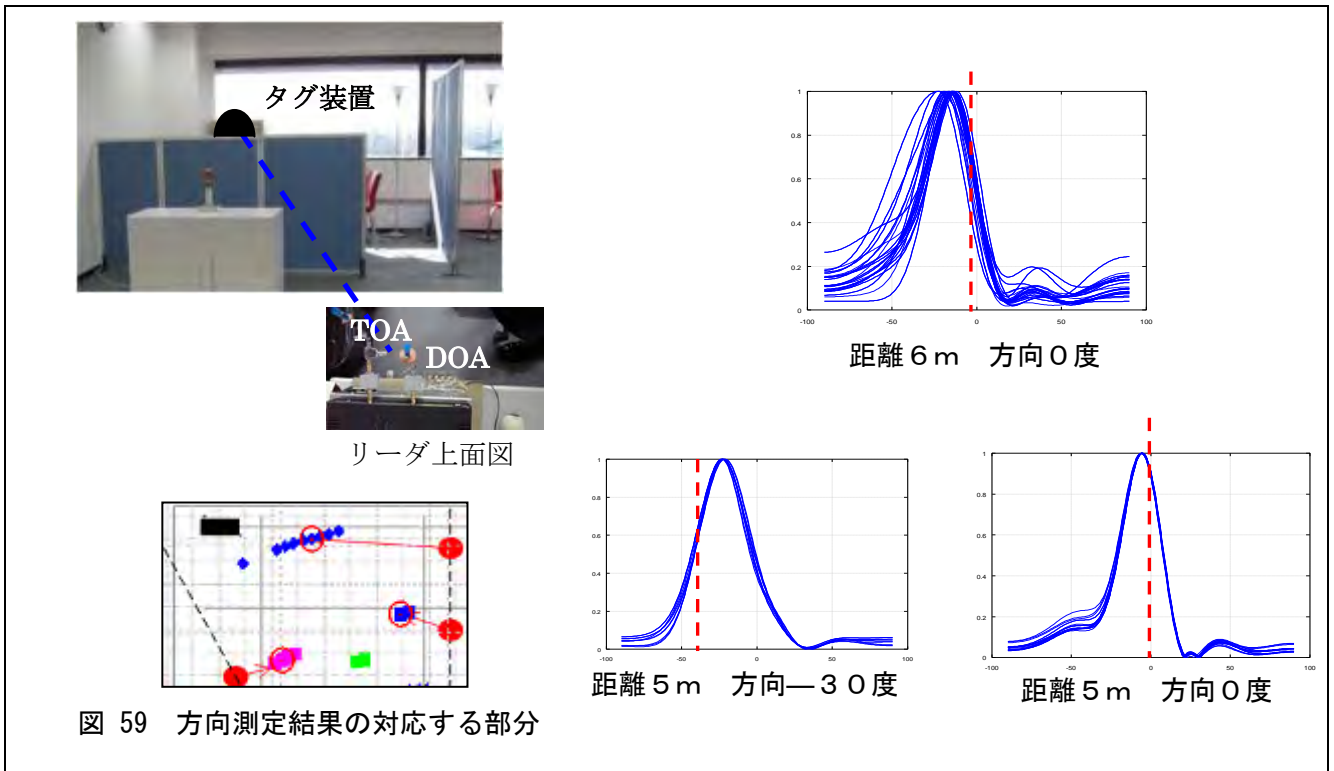


図 63 左奥会議スペースの伝搬評価結果

(5) 右奥会議スペース (距離 5m 方向-30 度、0 度、 距離 6m 方向 0 度)

タグ装置からの直接波をリーダが受信できず、窓ガラス方向の反射波を先頭波とみなして距離を算出しているため、距離が多く算出されている。

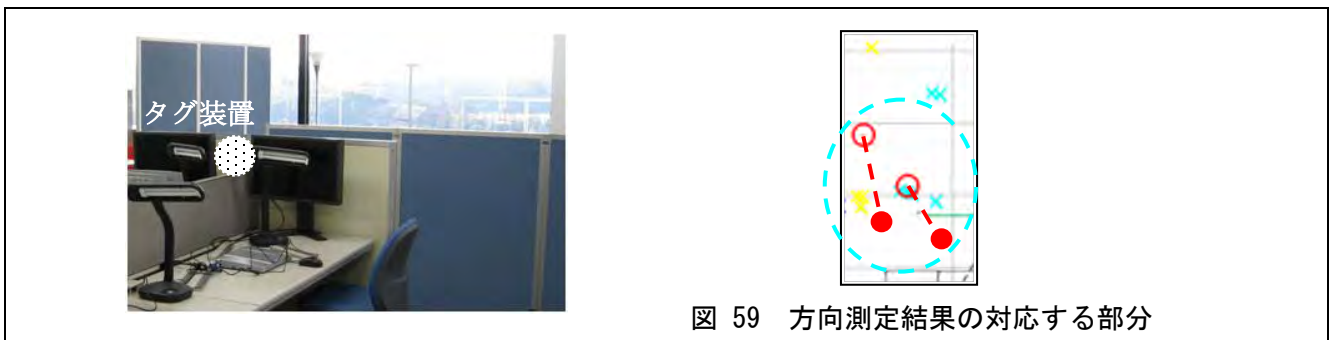


図 64 右奥会議スペースの伝搬評価結果

3.3.2 測定誤差の要因について

前節の検討結果から、利用モデル環境における測位誤差の要因としては次のことがあげられる。

- ① 周辺の什器による回折、特に垂直偏波に対して回折エッジとなるもの
- ② タグ装置からの伝搬経路に近い経路で到来する反射、特にリーダに近い反射物による反射
- ③ パーティションによるシャドーイングや、マルチパス反射による信号強度の減衰により、距離測定に関しては壁反射、方向測定に関しては機器の内部や TOA からの飛び込み信号を検出して誤差を生じるもの

それぞれについて、今後機器の特性、測位精度の向上を行うための方策を示す。

①について：

方向測定検出窓は図 26 に示したように検出窓幅は 8 nsec に設定され、検出間隔が 4 nsec で制御されている。したがって、現在の機器では 4 nsec の窓制御ができる。これは、今回の電波伝搬環境で想定されているような 2 波モデル環境（方向検出はシングルキャリア検出のため 2 波モデルとなる）の場合は図 65 の上図のように約 4 m までその影響を軽減することができる。たとえば、図 61 に示す環境（距離 4 m、方向 0 度；会議スペース入口）においては、この条件の境界となる。図 66 では、タイミング #5 およびタイミング #6 において、タグ装置からの信号を受信して方向測定を行った結果を示す。図 66 の例が示すように、この 2 つのタイミングは両者ともタグ装置からの信号を受信しうるタイミングであるが、タイミング #6 に関しては正しい方向が測定できているのに対して、タイミング #5 では信号がほとんど受信できていないため、異なる方向測定結果が得られている。このように、マルチパス反射環境においては、方向検出において、窓をできるだけ短い範囲（集積回路にてスイッチング動作ができれば 2 nsec）にすることが望ましい。

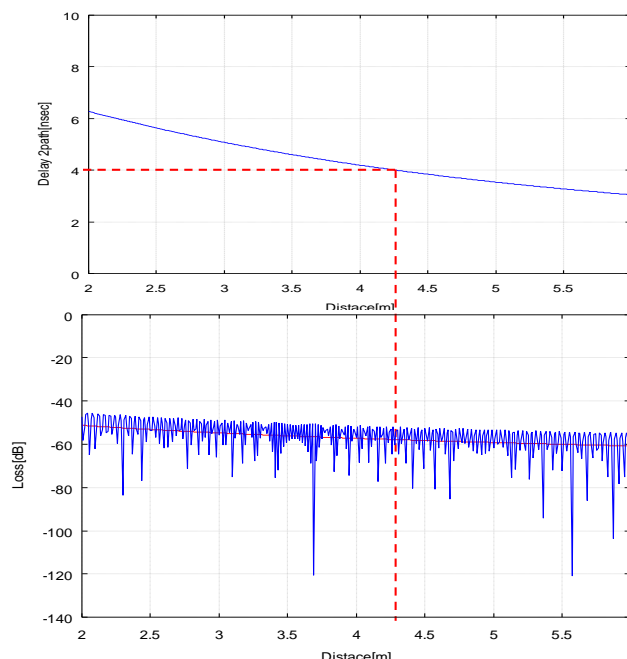


図 65 2 波モデルによる直接波、大地反射波の遅延時間差（上図）および減衰カーブ（下図）

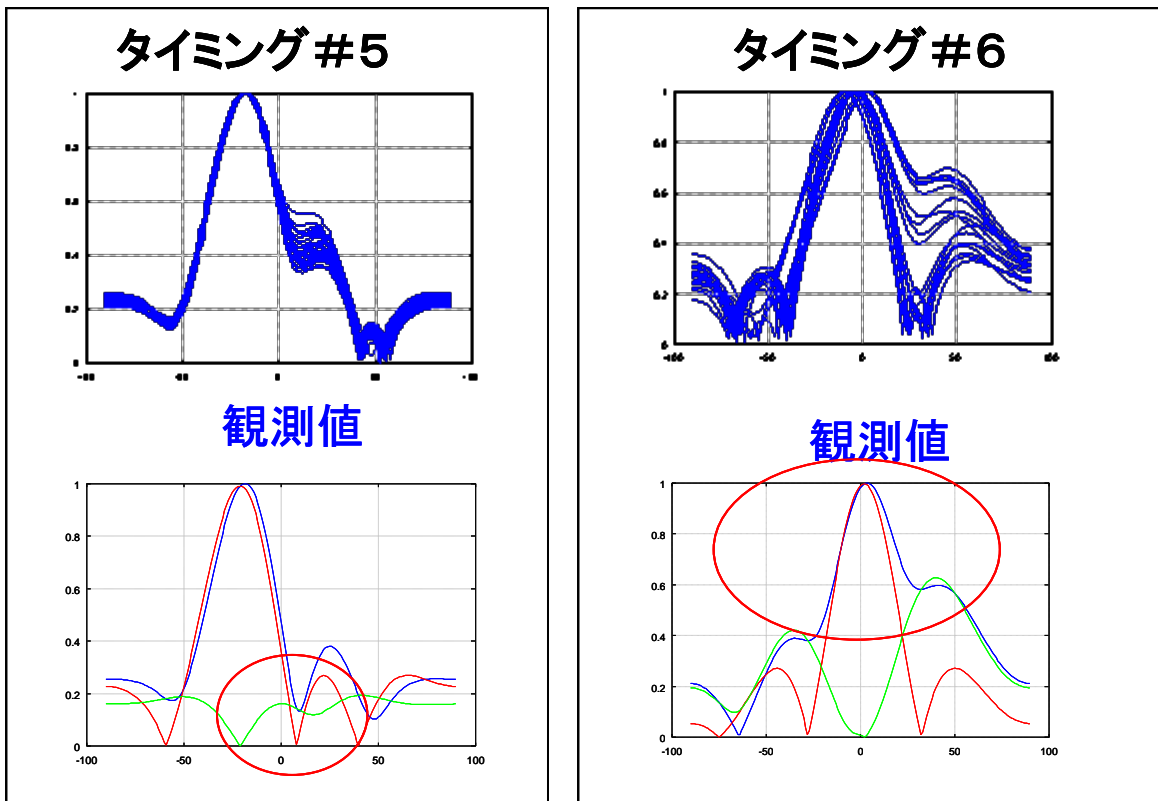


図 66 方向測定窓制御による方向検出結果

② について：

タグ装置からの信号強度が十分強い場合の、マルチパス波の取扱いは次のような考慮が必要と思われる。マルチパス波が図 60 の金庫の回折等の場合には、実用上は大きな誤差が生じないと思われるが、さらに高精度が必要な場合にはアンテナの偏波の考慮により改善する必要があると思われる。また、マルチパス波が図 60 の PC の机等の反射物のようにリーダの近傍である場合には、精度検出結果が高精度に得られた場合にも、測位誤差が大きく出る傾向があるため、測定点の「飛び」すなわち通常ありえない移動速度での測定点を除去するアルゴリズム等により対処する必要があると考えられる。

③について：

タグ装置からの信号強度がシャドウイング等により弱い場合には、受信アンテナ利得の向上か、受信ベースバンド処理による感度の向上が必要と思われる。受信アンテナ利得の向上としては、コリニアアンテナ等の高利得アンテナを用いることが考えられる。受信ベースバンド処理の利得向上としては、距離測定に対してはパルス加算を行い、方向測定に対しては相関行列加算により電力増幅を図る。特に、今回の機器の場合には GOLD 符号のプリアンブル部分加算であるため、このプリアンブル長を伸ばすか、自己相関をある程度高くできるのであれば、OOK の ON 信号の部分を増やすことにより感度を

さらに改善することが期待できる。

また、図 63 の左側会議スペースで DOA の機器ノイズ (TOA からの飛び込み信号を含む) の現象が観測されている。DOA の機器内部では RF スイッチで 50 dB 程度の飛び込み信号の減衰を行っているが、受信信号が弱くなった場合にはこの影響が顕著になるとと思われる。これに関しては、図 67 に示す「時間同一遅延波内 2 波分離」が有効と考えられる。狭帯域化により信号成分が合成されるため ID のタイミングに同期して相関行列の加算、減算を行う処理が有効と思われる。通信機器における干渉キャンセラと同様の効果が得られ、機器内雑音が定常信号である場合や、隣接リーダからの信号除去に対して 3 dB 程度の改善が図れる。

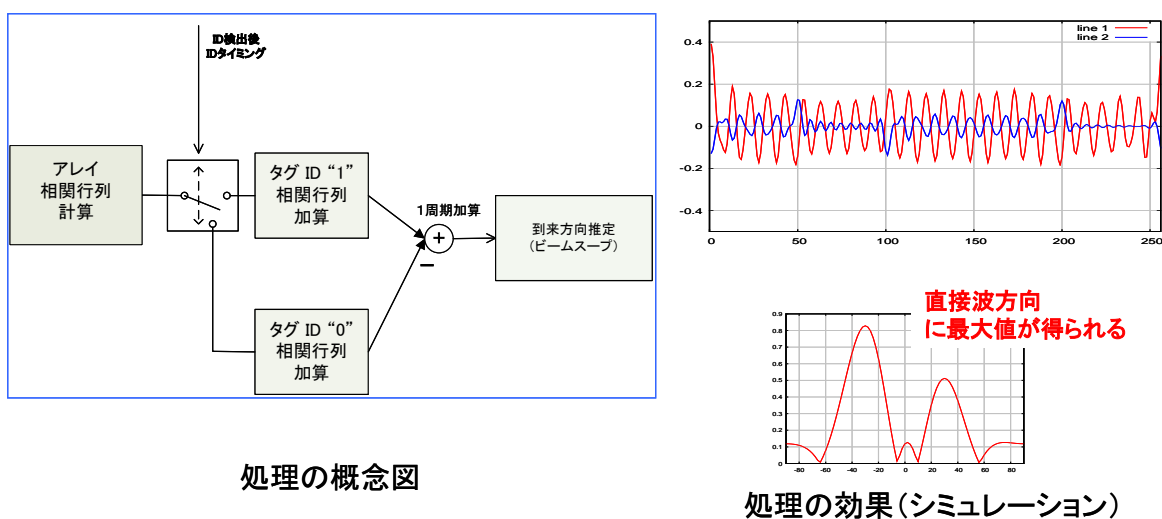


図 67 時間同一遅延波内 2 波分離

以上の結果より、理論的検証結果および実伝搬環境における試験結果に基づき、最大距離検出方向は理論値の半分である 10m とし、今回の 1 点測位機器の結果を参照して、距離測定と方向測定をこの距離で実現しようとした場合、方向測定のアレイアンテナの配置は図 68 のようにすればよいことが分かる。図に示すように、それぞれのアレイアンテナは 4 ブランチ程度で構成されることが望ましい。4 方向に対して合計 16 ブランチのエレメントを装備する必要があるが、アレイ本体の寸法はエレメントも、エレメント間隔も比較的小さいものであるため、容易に実現可能である。このように、4 つのアレイアンテナをスイッチにより切り替える構成にした場合、1 リーダのエリア面積 200 m² を実現できる。プリアンブルの変更等で等価的に利得が向上した場合にはアンテナ数を削減可能である。

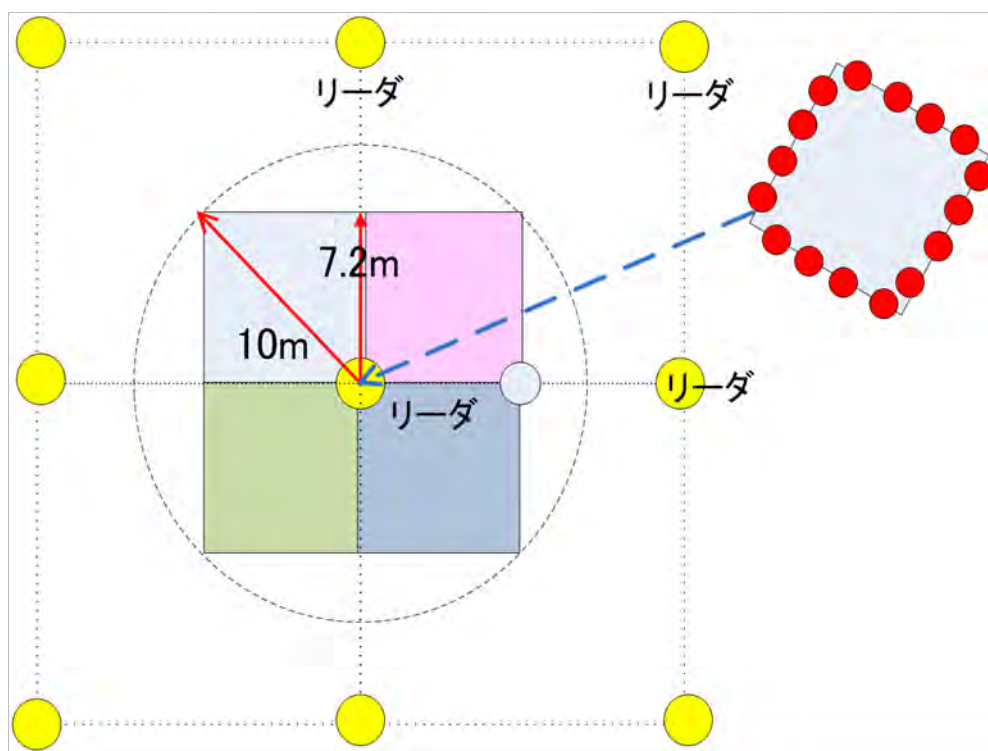


図 68 リーダ装置の構成例

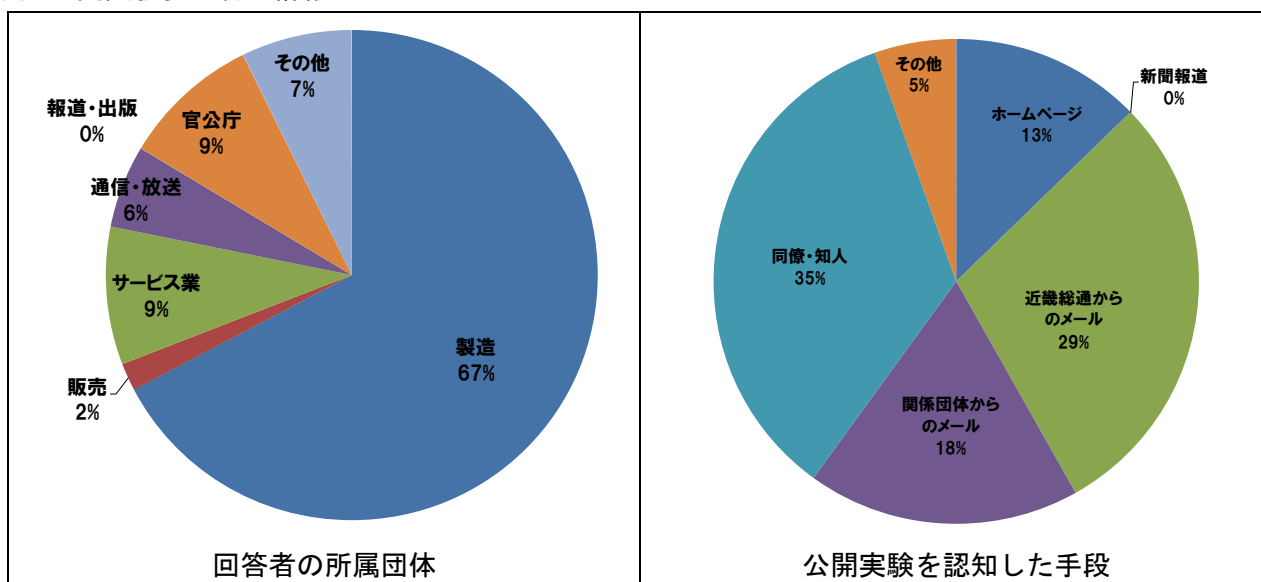
3.4 公開技術試験アンケートの結果

平成 22 年 12 月 15 日に実施した公開技術試験に参加された方を対象にアンケート調査を行った。

- ① 調査時期 平成 22 年 12 月 15 日
- ② 調査対象者 公開技術試験登録参加者（75 名）
- ③ 有効回答数 56（75%）
- ④ 調査方法 無記名・選択式（一部記入式）

集計の結果を以下に示す。

(1) 公開実験参加者の情報

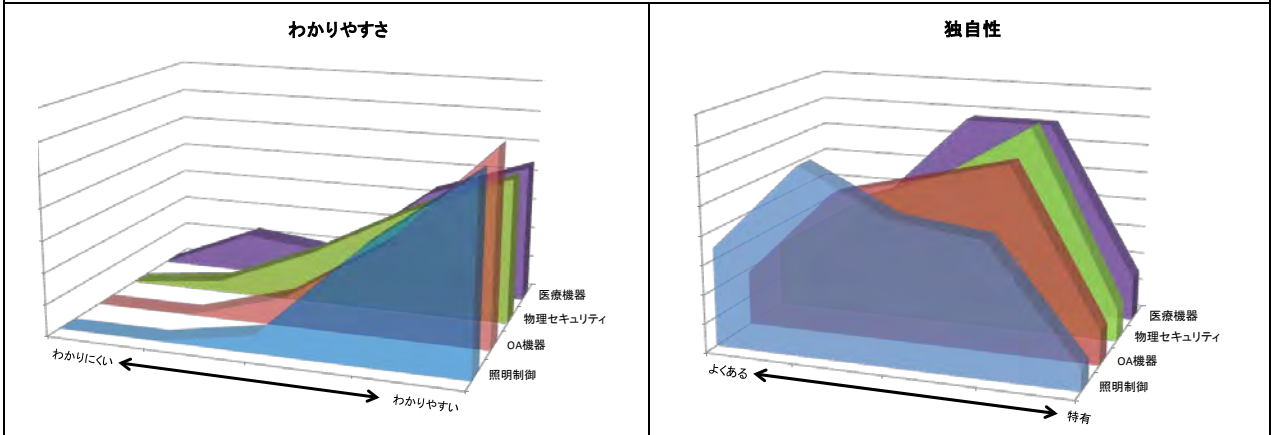


参加者の所属団体については、3分の2が製造業者であり、UWB技術が普及の前段階であることが現れている。また、公開実験の認知は同僚・知人によるものが3分の1を超えており、各団体において動向を注視していることがうかがえる。

(2) 実験内容

2.1.2項で説明した5つのアプリケーションの公開実験を行った。このうち、具体的な利用シーンに直接関係する4つのアプリケーション実験について、8つの評価軸において5段階で評価していただいた結果を集計した。

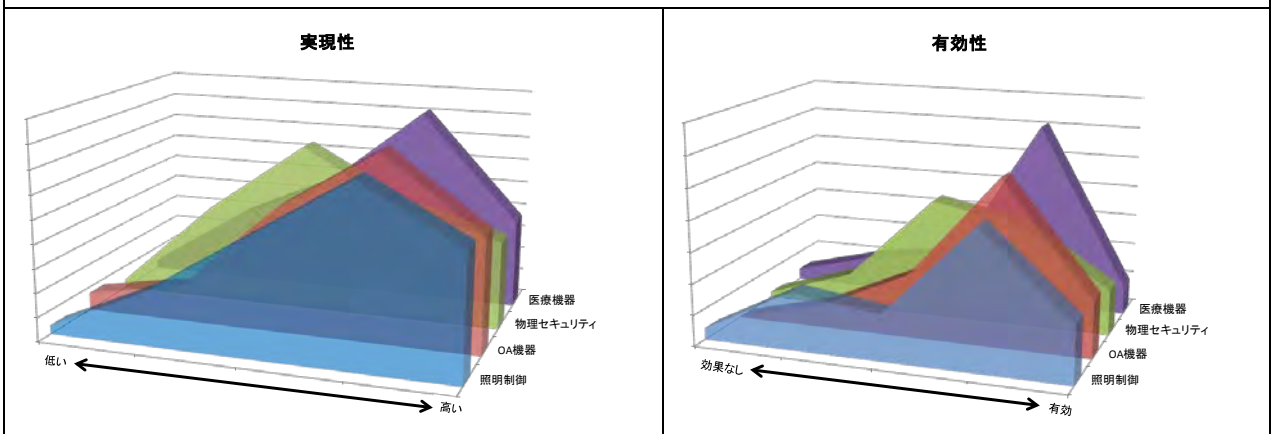
実験に対する評価



4つの利用シーンの想定実験については、おおむねわかりやすいという評価をいただいた。医療機器管理の実験については、表示端末と実験場所が離れていたため、両方を見渡すことのできない位置からの参観者には動きが分かりにくかったため、わかりにくいという評価をされた方があったものと考えられる。

実験対象として選択したアプリケーションについては、既に従来技術により実用化されている照明制御とOA機器制御について比較的低い評価が多かったのに対し、従来にない概念である仮想壁による物理セキュリティ管理と、複数システムの組み合わせでしか実現できなかった医療機器(機器の位置と状態の同時管理)アプリケーションに対しては、独自性を高く評価する回答が多かった。

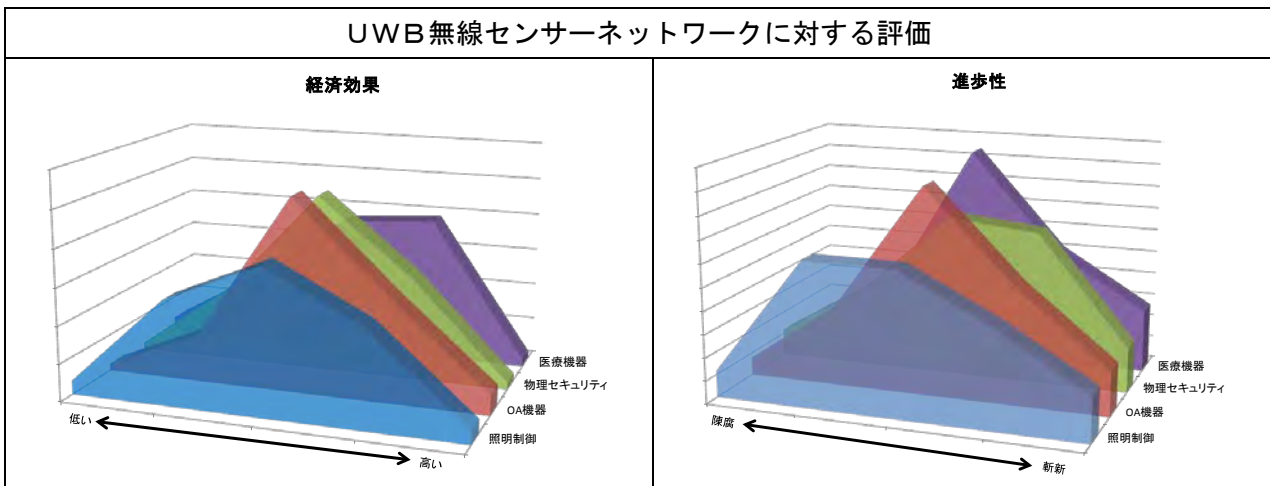
アプリケーションに対する評価



アプリケーションの実現性については、従来技術における前例のない物理セキュリティ(仮想壁)について低い評価をされている方が比較的多かった。OA機器については、従来技術によるセキュリティ機器が普及していることもあり、実現性を低いとする回答は非常に少なかった。

アプリケーションの有効性については、物理セキュリティに対する消極的評価が多かった。これは、

従来技術によるセキュリティ確保を前提とするアプリケーションであるのに対して、従来技術との効果の混同を恐れて、領域をシートのみで表示したこと、他アプリケーションとの兼ね合いで領域が実際の利用イメージに対して非常に小さくなってしまったことなどから、有効性について実感が得られなかったのではないかという反省がある。

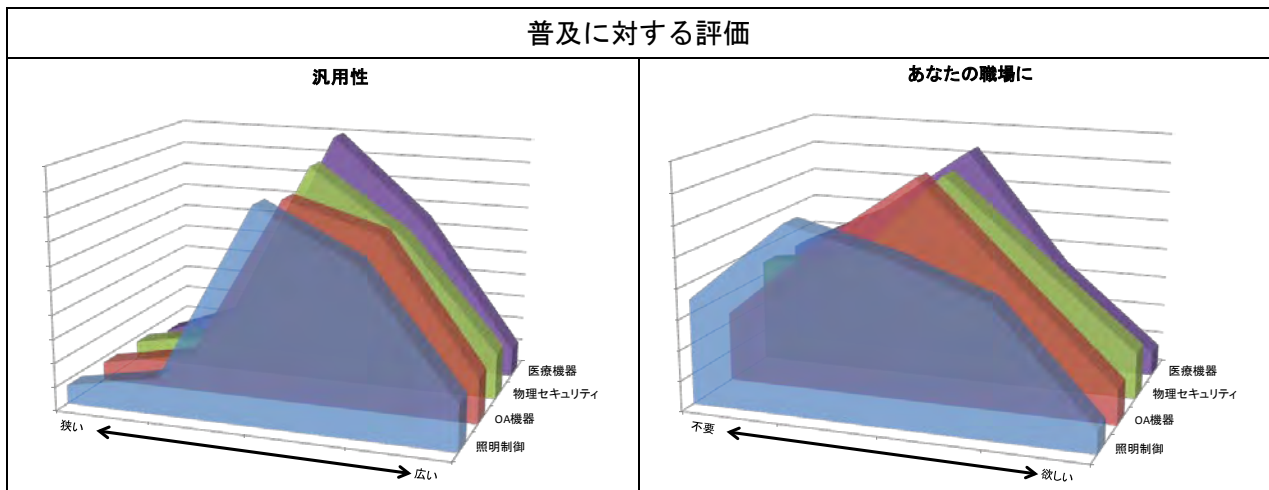


アプリケーションの実現手段にUWB無線センサーネットワークを利用したことに関する評価を主眼に置いた設問に対しては、いずれも中間的な評価に回答が集中する傾向がみられた。経済効果については、実験場所において大がかりなプロトタイプを目の当たりにした直後であるため、価格面での不安が反映されていると考えられる。

UWB無線センサーネットワークがアプリケーションに与える経済効果に対する評価では、照明制御に対する評価が積極評価と消極評価に二分されていることが特徴的である。これは、従来技術により既に実用化されており、広く利用されているアプリケーションを選択したことから、従来技術の課題を実感し、これを解決していることをご理解いただいた方には高い評価を受け、表面的な近似性のみを感じた方からは低い評価を受けた結果、評価が分かれたものと考えられる。

その中で、医療機器管理アプリケーションに対しては高い評価の割合が大きく、見通しの効かない環境内の機器の位置と状態を同時に取得できるUWB無線センサーネットワークの特長をご理解いただけたと考えられる。

進歩性についての設問に対しては、仮想壁による物理セキュリティに際立って積極的評価が多く、従来技術では実現が困難であったアプリケーションに対する期待が大きいことがわかる。また、医療機器実験に対しても、他のアプリケーションに対して「斬新」との評価の割合が大きく、従来技術では組み合わせにより一部でしか実現できていなかったことを容易に実現できることに対する期待は大きいと考えられる。



実験モデルとしては、比較的身近である環境を選択したため、汎用性に対する評価は概して高かった。中では最も馴染みのないと思われる物理セキュリティに対しても、汎用性の観点からは高い評価をする回答が多く、高精度測位センサーによるセキュリティ管理についての潜在的な需要をうかがわせる。

身近な利用シーンに対する有効性を尋ねるため、「あなたの」職場という表現をしたため、医療機器管理アプリケーションについては不要とした回答が多かった。その他のアプリケーションについては中間的評価が多かったが、今回の実験では、時間的制約から実際の使用感などを実感いただけるものとならなかったため、身近な環境における有効性を実感を持って回答していただくには至らなかった。

3.5 技術試験のまとめ

- センサーネットワークによる測位機能において、UWBの短パルスの利点を確認した。
 - 短いインパルス幅による距離分解能の向上
 - 実際の電波伝搬環境における、マルチパス分離
- 倉庫環境（平成 21 年 2 点、4 点測位）と同様に、事務所・療養環境（平成 22 年 1 点測位）においても UWB センサーネットワークの有効性を確認した。
- 倉庫環境における、2 点、4 点測位、事務所・療養環境における 1 点測位による技術試験結果を考慮し、周波数共用条件を導出する仮定リーダエリアとして 200 m²であることが妥当。

第4章 UWB無線センサーの普及密度の検討

4.1 想定する利用施設

4.1.1 予測の考え方

UWB無線センサーを利用するシステムの利用目的としては、1.2節の検討から、オフィス、療養環境、工場、倉庫、店舗等における「位置ならびに個体、状態管理」が想定される。したがってシステムの設置場所はこれらの施設内に限定され、普及台数は想定導入施設数により制限される。

第1章の検討から、システムのカバーするサービスエリアとしては、単一システムにおいては300㎡、複数の無線センサーによりネットワークを構築するシステムにおいては、単位システム当たり200㎡と考えられる。このことから、想定導入施設のサービス提供面積200㎡あたり1システムを最大普及台数として、対象施設の最密地域における床面積密度から最密システム密度を求めている。

基本数値としては、原則として官公庁の公表する最新の統計数値（確定値）を用い、最密地域における数値の一部に地方公共団体の公表する統計数値を用いている。

想定導入施設	サービス提供面積
事務所	業種に関わらず、主な利用現況が事務所である宅地などに存在する建物の延べ床面積
病院	病院および有床診療所の病床数（一般病床、療養病床および精神病床）に、一般病床あたり平均病室面積を掛けた面積
屋内展示施設	総合博物館、科学博物館、歴史博物館および美術館の施設面積のうち、建物面積（野外博物館、動物園、植物園、動植物園、水族館の建物面積を除く）
物流倉庫	普通倉庫と、危険品倉庫のうち建屋に貯蔵するものについては所管面積、冷蔵倉庫については所管容積を平均冷蔵庫内寸高さで除した面積
大型店舗	産業分類に関わらず、売場面積3000㎡以上の小売店舗の売場面積の合計
工場	業種に関係なく工場敷地内の建物の延べ床面積

4.1.2 事務所に関する基礎データ

出典

施設数	国土交通省 法人土地基本調査 平成 20 年 全国編 第 93 表 土地所在地・本社所在地、宅地などの利用現況別件数
建物総面積	東京都統計年鑑 平成 20 年 「6-8 地域、種類、構造別家屋の棟数及び床面積」
事務所建築物面積比率	東京都 平成 18 年度土地利用現況調査結果の概要 「平成 18 年東京都区部 延べ面積比率」 東京都 平成 19 年度土地利用現況調査結果の概要 「多摩都市部 延べ面積比率」、「多摩山村部 延べ面積比率」、「島しょ地域 延べ面積比率」

サービス提供面積の算出

最密地域	東京都	
施設密度	16.5	棟/k m ²
サービス提供面積密度	34254.6	m ² /k m ²
システム密度	171.3	システム/k m ²

4.1.3 病院に関する基礎データ

出典

病院および有床 一般診療所数	全国	厚生労働省 平成 21 年 医療施設(動態)調査・病院報告の概況 統計表 7 都道府県-19 大都市・中核市別にみた施設数及び人口 10 万対施設数
	東京都	東京都福祉保健局 平成 20 年医療施設(静態・動態)調査・病院報告結果報告書 第 18 表 病院数、病院の種類・区市町村別 第 48 表 一般診療所数、施設の種類・区市町村別
病床数	全国	厚生労働省 厚生統計要覧(平成 21 年度) 第 2-30 表 病床数・人口 10 万対病床数、施設の種類×都道府県別
	東京都	東京都福祉保健局 平成 20 年医療施設(静態・動態)調査・病院報告結果報告書 第 24 表 病床数、病床-病院の種類・区市町村別 第 50 表 一般診療所病床数、区市町村別
病床あたり病室 床面積の平均	平成 7 年 厚生白書 第 1 編 第 1 部 第 3 章 第 1 節	

サービス提供面積の算出

最密地域	東京都	
施設密度	0.6	施設/k m ²
病床密度	61.1	床/k m ²
病床あたり病室床面積の平均	8.5	m ²
サービス提供面積密度	519.6	m ² /k m ²
システム密度	2.6	システム/k m ²

参考：平成 21 年度報告資料の算出方法

対象とする病院規模は 200 病床以上

病床数区分毎の病床数は各区分の最大値を設定（ただし 900 床以上=1,000 床とした）

延べ面積の算出には平均病床面積（=86.5）を乗じて求めている

AREA=200 m²（エリア半径=10m の内接する正方形）

都道府県	総病床数	施設の延べ面積（m ² ）	都道府県の面積 （k m ² ）	1 km ² あたりの 占有面積（m ² ）	台数密度 （台/km ² ）
	①	②=①×86.5	③	④=②/③	⑤=④/AREA
大阪府	83131	7190832	1,897.85	3788.9	18.9
東京都	94920	8210580	2,187.50	3753.4	18.8
全国	1148470	99342655	377,943.57	262.9	1.3

大規模病院における施設面積は医療以外の生活施設の割合が大きいとの調査検討会における指摘をもとに、今年度の検討においては、UWB無線センサーネットワークを用いた機器状態位置管理の利用シーンを対象として、病室面積のみを対象とした。

4.1.4 屋内展示施設に関する基礎データ

出典

施設数	文部科学省 社会教育調査 平成 20 年度 博物館調査（博物館） 表 91 [平成 20 年 10 月 1 日現在] 種類別博物館数
床面積	文部科学省 社会教育調査 平成 20 年度 博物館調査（博物館） 表 100 [平成 20 年 10 月 1 日現在] 建物面積別博物館数

サービス提供面積の算出

対象施設は総合博物館、科学博物館、歴史博物館、美術博物館。

建物面積別施設数に区分最大値を乗じて施設の総面積を求めている。（ただし、3000 m²以上を 5000 m²として算出）

システム数は建物面積区分ごとの総面積をシステムサービスエリア（200 m²=エリア半径 10m の内接する正方形の面積）で除した数で算出。総システム数を施設総数で除して施設当たり平均システム数を求めている。

最密地域	東京都	
施設密度	0.047	施設/k m ²
サービス提供面積密度	127.3	m ² /k m ²
施設当たり平均システム数	13.5	システム
システム密度	0.64	システム/k m ²

4.1.5 物流倉庫に関する基礎データ

出典

倉庫数	国土交通省 法人土地基本調査 平成 20 年 全国編 第 60 表 (略) 建物所在地、建物の主な利用現況・建物の利用現況別建物数<工場敷地以外の建物>
倉庫面(容)積	国土交通省 倉庫統計季報 平成 20 年 1 月～3 月号 倉庫統計主要指標 1. 倉庫利用状況
冷蔵倉庫の平均内高	インターネット上の企業公開情報による調査。

条件

対象とする倉庫は「1～3類倉庫」、「危険品倉庫」のうち「建屋」、「冷蔵倉庫」。

普通倉庫の自家面積を含む。

自家倉庫および工場内の倉庫は含まない。

「冷蔵倉庫」の占有面積については、所管容積を平均内高 (=5m) ^aで除した数値としている。

最密地域	大阪府	
倉庫(建物)密度	3.3	棟/km ²
占有面積密度	1994.6	m ² /k m ²
倉庫あたり平均床面積	609.6	m ²
倉庫あたりシステム数	6.1	システム
システム密度	19.9	システム/k m ²

^a 平成 21 年度調査検討資料では、内高 1m として算出している

4.1.6 大型店舗に関する基礎データ

出典

店舗数	経済産業省 商業統計調査 平成 19 年商業統計 第 2 巻 産業編 (都道府県表) 第 7 表 小売業の都道府県別 (中略) 売場面積規模別の事業所数 (中略) 売場面積
-----	---

対象施設は 3,000 m²以上の売り場面積を有する店舗

最密都道府県	東京都	
店舗密度 (3000 m ² 以上)	0.16	棟/k m ²
売場面積密度	1527.5	m ² /k m ²
システム密度	7.6	システム/k m ²

4.1.7 工場に関する基礎データ

出典

工場数	国土交通省 平成 20 年 法人建物調査 第 25 表 建物所在地、延べ床面積別工場数<工場敷地内の建物>
床面積	国土交通省 平成 20 年 法人建物調査 第 29 表 建物所在地、延べ床面積別総延べ床面積・1 法人当たり総延べ床面積・1 工場当たり延べ床面積<工場敷地内の建物>

最密都道府県	大阪府	
工場総数	13710	
工場密度	7.22	棟/k m ²
総延べ床面積	33619000	m ²
床面積密度	17714	m ² /k m ²
システム密度	88.6	システム/k m ²

4.2 普及予測

施設数による最大普及密度予測（100%普及時のシステム密度）

機器名	施設種別	最密地域 (都道府県)	サービス提供面積率 [m ² /k m ²]	システム密度 [システム/k m ²]
UWB測位センサ	事務所	東京都	34254.6	171.3
	病院・診療所	東京都	519.6	2.6
	屋内展示施設	東京都	127.3	0.6
	物流倉庫	大阪府	1,994.6	19.9
	大型店舗	東京都	1,527.5	7.6
	工場	大阪府	17,714	88.6
合計				290.6

平成18年度の情報通信審議会情報通信技術分科会UWB無線システム委員会報告では、平成22年時点での普及密度を1000デバイス/k m²と予測している。(図69)

しかしながらその後、平成19年までには高速無線LAN(IEEE802.11n規格の無線LAN)の利用のための法整備がなされるとともに急速に普及する等の要因により、普及数の大部分を占めると見られていた屋内無線伝送機器でUWB無線装置が利用されることが少なくなり、表11に示すようにUWB無線システムの出荷台数は大幅に落ち込んでいる。

特にハイバンドUWB無線装置については、表12に示すように、5年間で工事設計認証は12件、技術基準適合証明は67台にとどまっている。しかも、件数では半数近くがローバンドとの共用機である。

以上の検討から、ハイバンドUWB通信機器の平成22年時点における普及密度としては、平成18年度報告における予測の1/10以下である100デバイス/k m²未満と考えられる。

表11 UWB出荷台数(総務省平成21年度「電波の利用状況調査」)

出荷年度	技術基準適合証明 (台数)	工事設計認証 (台数)	合計
平成18年	7	9,566	9,573
平成19年	103	7,825	7,928
平成20年	83	1,036	1,119

表 12 UWBの技術基準適合証明等を受けた機器数（電波利用ホームページより）

取得年度	ローバンド		ハイバンド	
	技術基準適合証明 (台数)	工事設計認証 (件数)	技術基準適合証明 (台数)	工事設計認証 (件数)
平成18年度	7	2	0	2
平成19年度	107	12	2	0
平成20年度	83	10	0	2
平成21年度	41	6	35	4
平成22年度	0	4	30	4
合計	238	34	67	12

※ローバンドとハイバンドの両バンドで技術基準適合証明等を受けた機器が10件ある。

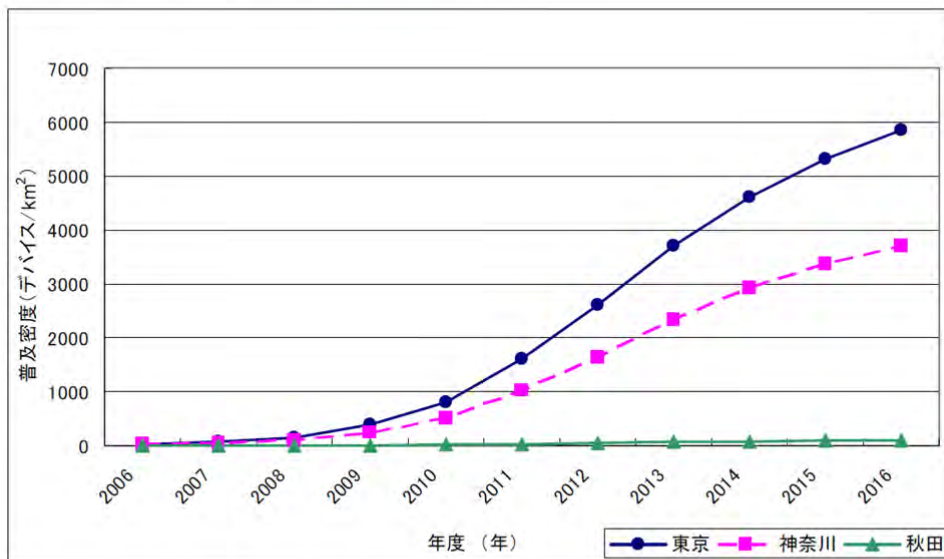
一方、前節で検討した通り、UWBセンサーデバイスの100%普及時のデバイス密度は300デバイス/km²以下でありと考えられる。本調査検討会で検討を行った1点測位においては、リーダ装置とタグ装置が同時に送信をする場合があるので、システム当たり2デバイス、すなわち600デバイス/km²が100%普及時のデバイス密度である。

次に、UWBセンサー機器の導入のための法整備完了時から8年後までの普及予測を図70に示す。ここに示す通り、法整備完了の8年後の時点で普及率25%程度と考えられる。したがって、ハイバンドUWB機器全体の普及密度としては、通信機器とセンサー機器を合わせて250デバイス/km²となる。この値は、平成18年度の報告書における、通信デバイスのピコセルの仮定時における等価デバイス密度と同等であり、次章以降では平成18年度の干渉検討モデルにおける検討結果と比較しつつ、通信デバイスとセンサーデバイスの合計デバイス密度が250デバイス/km²である環境における他無線システムとの周波数共用条件の検討を具体的に行う。

平成 18 年報告書における普及予測

(3) 普及密度

各地域における普及密度を図 3-2 に示す。



地域	人口密度	普及密度(デバイス/km ²)										
		2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
東京	5748	22	70	151	386	798	1610	2600	3701	4604	5322	5862
神奈川	3639	14	44	95	244	505	1020	1646	2343	2915	3370	3711
秋田	99	0	1	3	7	14	28	45	64	79	92	101

図 3-2 各地域における普及密度

第 4 章の他の無線システムとの干渉検討において、UWB 無線システムの利用密度を 1000 デバイス/km²、500 デバイス/km²、100 デバイス/km² と前提としているが、1000 デバイス/km²については 5~6 年後の大都市部、100 デバイス/km²については 10 年後の地方都市における UWB 無線システムの普及密度をそれぞれ示すものといえる。

図 69 平成 18 年報告書における PC 通信デバイスの普及予測

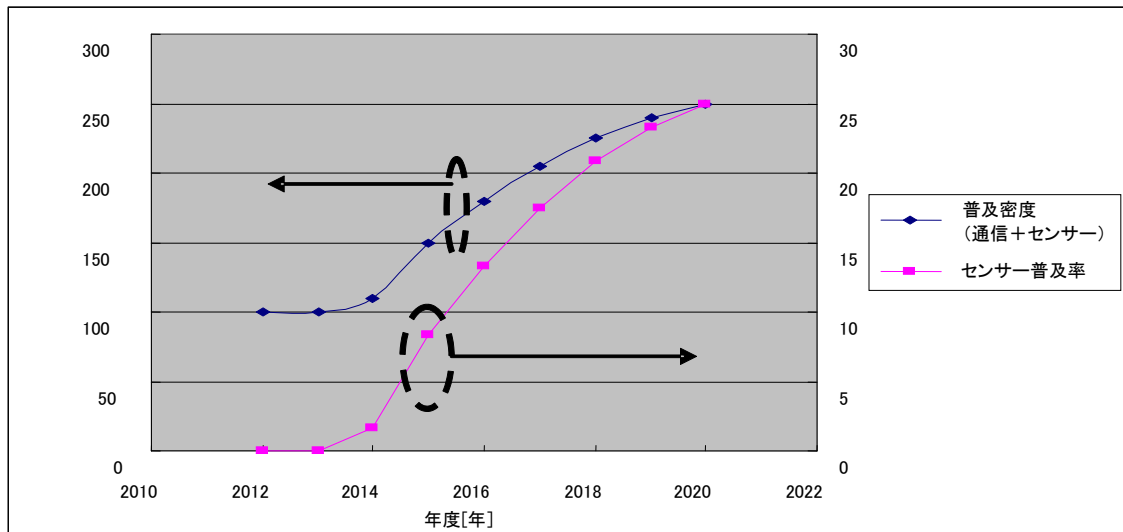


図 70 ハイバンドUWBのセンサー普及予測

第5章 他の無線システムとの周波数共用条件の検討

5.1 背景

ハイバンドUWB無線ネットワークは、7.25 GHz から 10.25 GHz までの超広帯域を使用することで、その特性を活かすことができることをこれまで述べてきた。

しかしながら、マイクロ波周波数帯において1 GHz 以上の広帯域の専用電波の割り当てを得ることは、現状の周波数利用状況を考えた時、ほぼ不可能である。したがって、すでに周波数割り当てがなされた周波数帯域において、既存システムに対して干渉を与えない技術的要件を明確にしたうえで、UWB無線システムに対して二次業務として周波数割り当てが行われる必要がある。

UWB無線の他の無線システムに対する干渉検討は、平成18年に情報通信審議会情報通信技術分科会UWB無線システム委員会において検討が行われ、報告書（以下、平成18年報告書と呼ぶ）が提出されている。報告は50 Mbps以上の高速通信に用途を限定し、低速のセンサー用途については他の無線システムとの干渉検討に必要な事項について引き続き検討が必要としている。

本章においては、前章までに検討を行った、UWB無線センサーネットワークのエリア検討および普及状況を踏まえ、UWB無線センサーネットワークを追加導入した場合の既存システムとの周波数共用条件を示す。

平成18年に上記委員会がハイバンドUWBの周波数帯における被干渉システムとして検討対象とした無線システムを表13にあげる。これらのうち、7.425～8.5 GHzの公共業務用固定マイクロ無線および9.74 GHzの港湾・漁場監視レーダは特に詳細に検討がなされ、それぞれ平成18年報告書参考資料4-1「固定マイクロとの共用条件について」および参考資料4-3「海上レーダとの共用条件について」としてその結果が示されている。ただし、現在その前提条件が不明の点もあり、これらについて本章においては妥当と思われる前提条件に対して、干渉電力の計算を行った。なお、7.245～7.75 GHzの放送事業固定局（Nバンド）に関しては、電波法関係審査基準における諸元は公共業務用固定マイクロ無線と同様であり固定マイクロ無線の結果を用いることとする。またその他のシステムに関しては、平成18年度の検討結果からUWBデバイスとの離隔距離が確保されるため干渉を与えないとされたものであり、その前提から平成18年度の検討結果をUWB無線センサーネットワークにも適用するものとする。

表 13 ハイバンド(7.25~10.25GHz)に割り当てられた既存システム

周波数 (GHz)	対象無線システム	干渉検討モデル
7.25~7.375	移動衛星地球局	離隔距離
7.425~7.75	放送事業用固定局 (Nバンド)	固定マイクロと同じ検討
7.425~8.5	公共業務用固定マイクロ無線	平成 18 年度の普及予測とUWB端末配置の見直し。
9.3~9.5	レーダビーコン	離隔距離
"	Xバンド船舶レーダ (変調中心周波数 9.375 GHz, 9.41 GHz)	離隔距離
9.74	港湾・漁場監視レーダ	平成 18 年度と同等のモデル(最悪とされる条件)
9.71~9.77	小型レーダ雨量計	離隔距離
10~10.25	アマチュア無線	離隔距離

5.2 共用条件検討の概要

既存システムとの周波数共用条件の検討として、平成18年報告書参考資料4-1「固定マイクロとの共用条件について」および同資料4-3「海上レーダとの共用条件について」に基づいて、検討を行う。

固定マイクロ無線は、図71に示すように、高利得パラボラアンテナを用いた無線リンクである。平成18年報告書参考資料4-1においては、UWBを使用した近距離通信(WPAN)から固定マイクロ無線に影響を与えるのは郊外ルートよりも人口密度が高い都市ルートに設置されたマイクロ波無線局であるとされ、この前提はUWB無線センサーネットワークにおいても同様と考えられる。

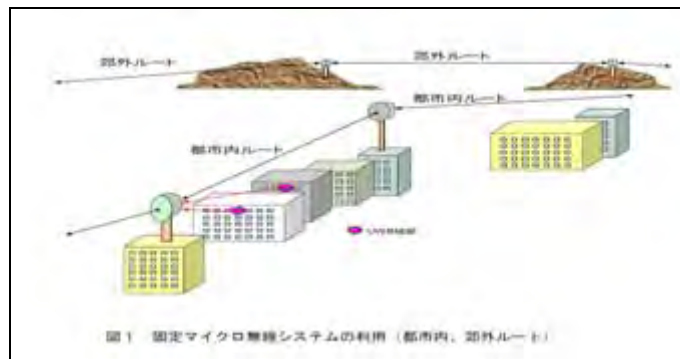


図71 固定マイクロ無線システムの利用（都市内、郊外ルート）

一方、港湾レーダは、図72の写真に示すように、大阪湾や東京湾の沿岸に複数設置され湾内の船舶等の存在を検知するための設備である。水平面内狭指向性のファンビームアンテナが回転することにより、レーダとして動作する。



図72 港湾レーダの例（大阪WTC :
OSAKA AND ITS TECHNOLOGY No.42

©2002 by Planning & Coordination Bureau, Osaka Municipal Government)

許容干渉量は通常 $kTBF-20$ [dB] の値が用いられる。固定マイクロ無線の許容干渉量は、電波法関係審査基準の記載から計算すると、 -129.8 dBm/MHz で最も厳しい条件となる。一方、港湾レーダは、高出力で

動作を行うので-105dBm/MHz となり、固定マイクロに比較して 20 dB 以上干渉余裕度がある。これらのことから、固定マイクロ無線について詳細に検討を行い、そののちに他のシステムについて類推することが望ましいと考えられる。

通常の干渉検討の手順に従い、UWB無線デバイスの分布モデルを仮定したのち、電波伝搬損失、アンテナ利得、壁減衰、稼働率のパラメータを決定し、妥当な伝搬モデル、デバイス配置条件におけるアグリゲーション（全UWBデバイスの積算電力）電力をシミュレーション計算する。

5.3 シミュレーション結果

5.3.1 自由空間干渉モデル検討（離散的配置）

干渉検討は、原則として自由空間伝搬において計算される。平成 18 年報告書参考資料 4-1 においても自由空間伝搬における干渉計算結果を根拠としている。

参考資料 4-1 において干渉計算の前提条件とされているパラメータを表 14 に示す。

表 14 参考資料 4-1 における干渉計算パラメータ

項目	パラメータ	備考
UWB配置密度	1000 デバイス/k m ²	32.7m 間隔の均一分布
UWBアグリゲーション 電力積算範囲	4.5km	シングルエントリーにおける所要離隔距離
壁減衰	-12 dB	
稼働率	-13 dB	5%相当値
アンテナ高	第1フレネルゾーン+30m	

参考資料 4-1 では、必要なパラメータのうち表 15 に示す項目は明らかにされていない。このため、本報告における検討では、表 15 に示すように妥当と思われる前提条件を仮定した。

表 15 本報告で新たに仮定するパラメータ

項目	仮定するパラメータ	備考
アンテナ指向性	利得 46.5 dBi 4mΦ パラボラ	ITU-R F.699 の指向性（図 73）
ピコネットに対する分布密度	250 デバイス/k m ² 相当 （同時稼働デバイス 4 分の 1）	65.4m 間隔の均一分布（図 74）

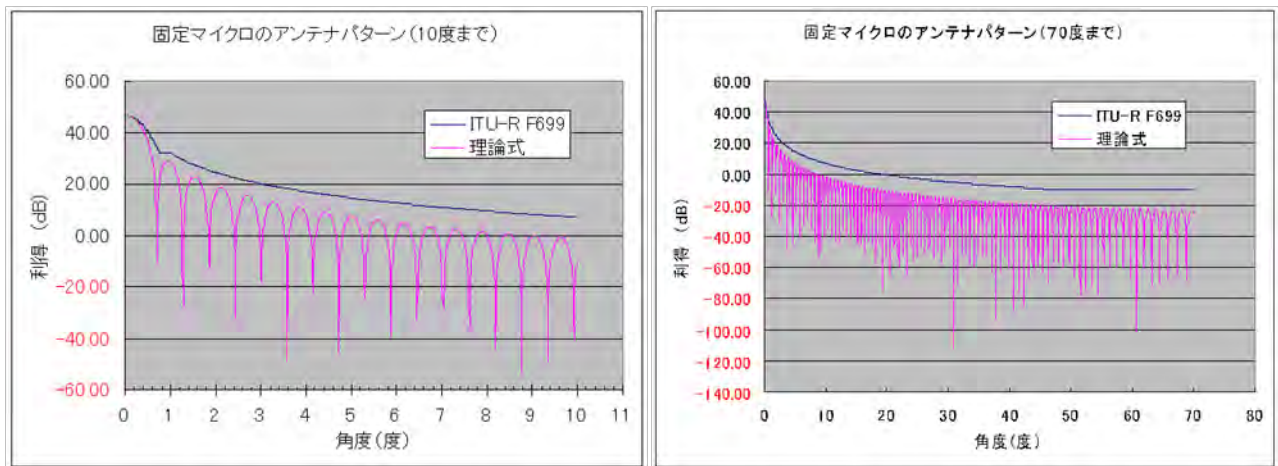


図 73 パラボラアンテナ指向性 (ITU-R F. 699)

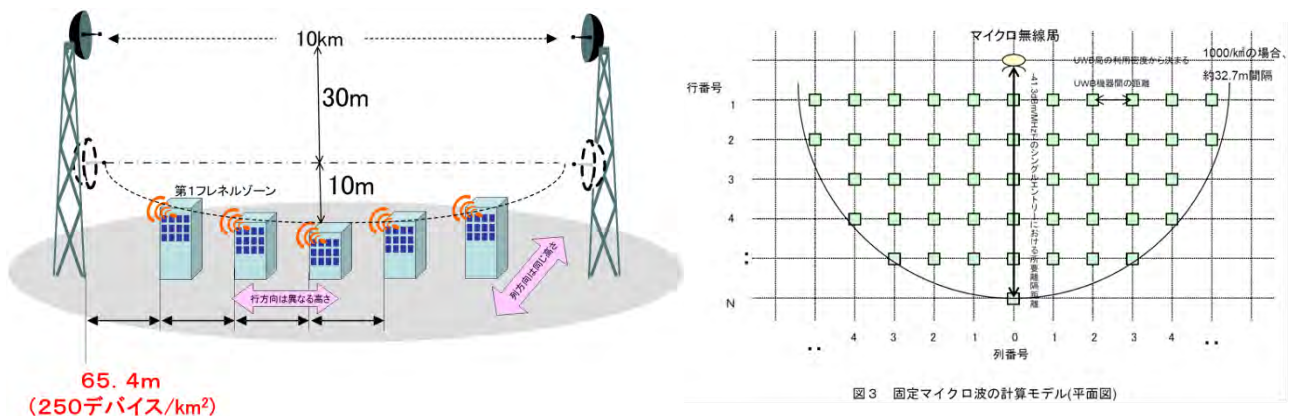


図 74 UWBデバイスの配置 (離散配置)

表 14 および表 15 のパラメータを前提として次のシミュレーション結果がえられた。

- ① 干渉量の総和は-133.1 dB/MHz (平成 18 年報告書参考資料 4-1 における結果は-132.2 dB/MHz) であり、許容干渉量より小さいという条件を満たす。
- ② 干渉を与える主なデバイスには次のような特徴がある。
 - パラボラアンテナは、高利得ペンシルビーム (半値角 0.7 度) であるため、パラボラアンテナのメインビーム内のデバイス以外は干渉に寄与しない (図 75)。
 - パラボラアンテナが、フレネルゾーン+30m にあるときには、アンテナ正面 3 km~4.5km の UWB デバイスがメインビームの中に存在し干渉に寄与する (図 76)。
 - 所要離隔距離 (4.5km) の設定により、自由空間におけるアグリゲーション干渉の加算範囲を決めることができる。

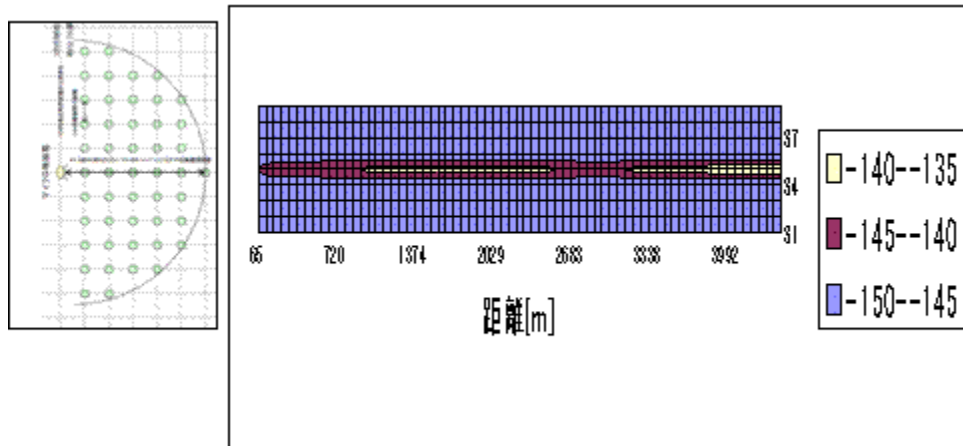


図 75 平面内の各デバイス干渉量 [dBm/MHz]

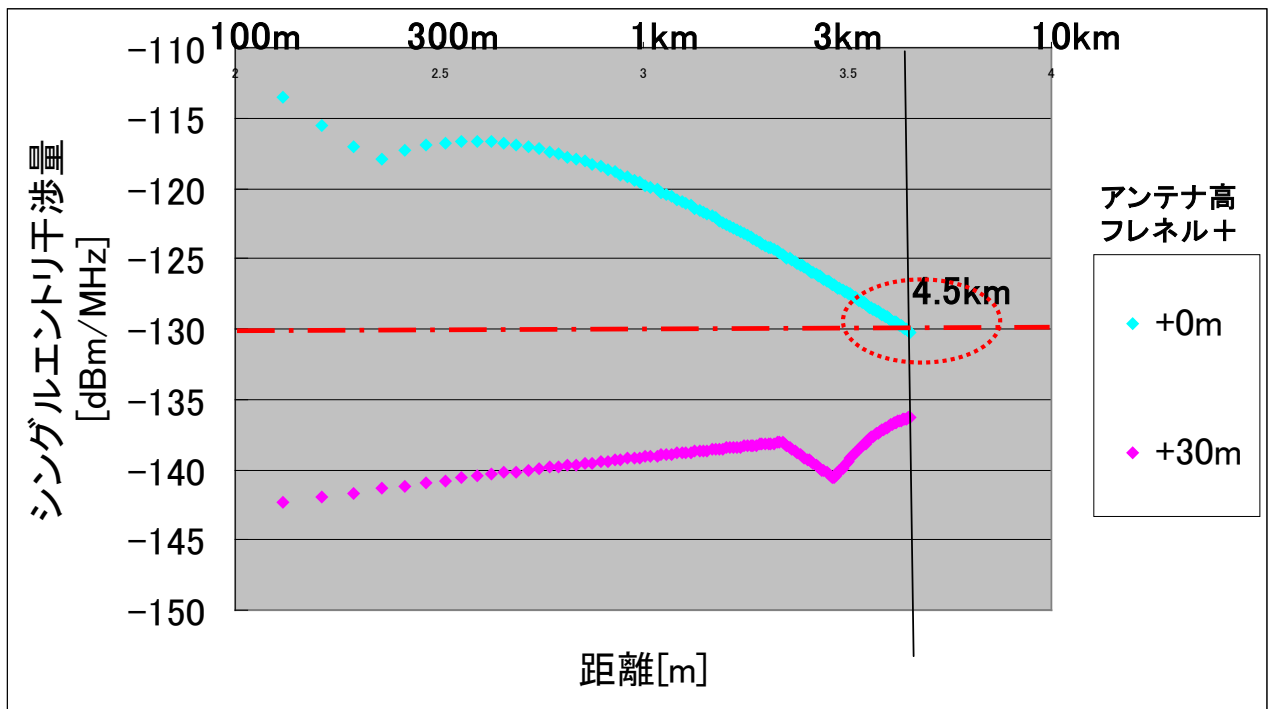


図 76 パラボラアンテナ正面方向の各デバイス干渉量

5.3.2 自由空間干渉モデル検討（均一分布配置）

前節においては、参考資料4-1をもとに自由空間において離散的にデバイスが配置されるモデルで計算した。一方、UWBセンサーは、想定エリア内において密に配置されるが、その他の地域では配置されないという分布になると考えられる。センサーはPC通信デバイスと混在するため、等間隔モデルではなく250デバイス/k²m²均一密度分布を仮定して検討を行った。その他の前提は、離散分布と同一である。表16に検討の前提としたパラメータを示す。

表 16 検討の前提としたパラメータ

項目	パラメータ	備考
UWB配置密度	250 デバイス/k m ²	
UWBアグリゲーション電力積算範囲	4.5km	シングルエントリーにおける所要離隔距離
壁減衰	-12 dB	
稼働率	-13 dB	5%相当値
アンテナ高	第1フレネルゾーン+30m	
アンテナ指向性	利得 46.5 dBi 4mφ パラボラ	ITU-R P. 699 指向性パターン (180度後方は考慮しない)

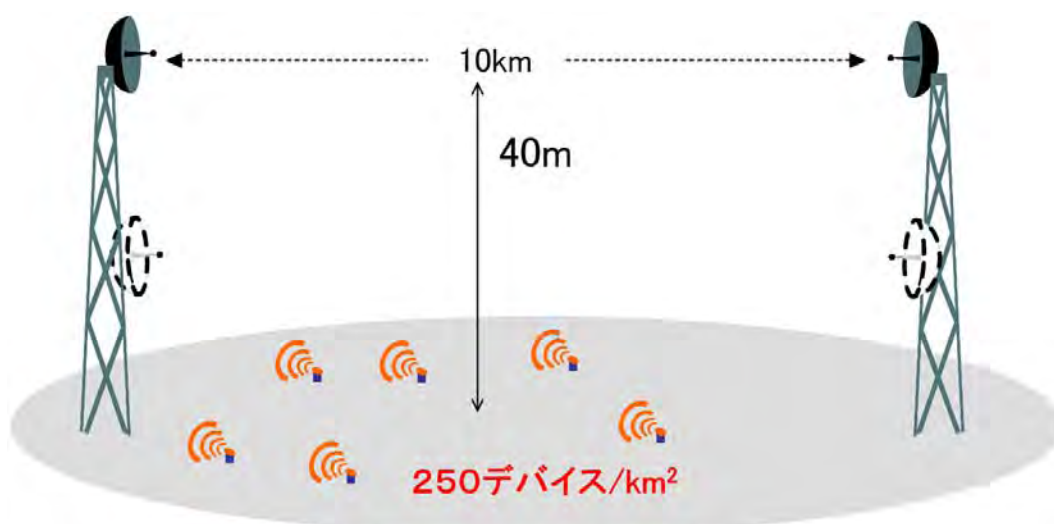


図 77 UWBデバイスの配置（均一分布配置）

以上の前提のもとに以下の結果が得られた。

- ① 干渉量の総和：-133.1dBm/MHz（離散モデルと同じ）
- ② アグリゲーション干渉は、離散モデルと同様に単一デバイスによる干渉が許容干渉量となる離隔距離の前提を踏襲しており、このモデルにおいても所要離隔距離は 4.5km としているが、離散モデルと均一分布モデルで同じ場所のUWBデバイスが主に寄与するため分布モデルによる干渉量の差は計算上無いことがわかった。

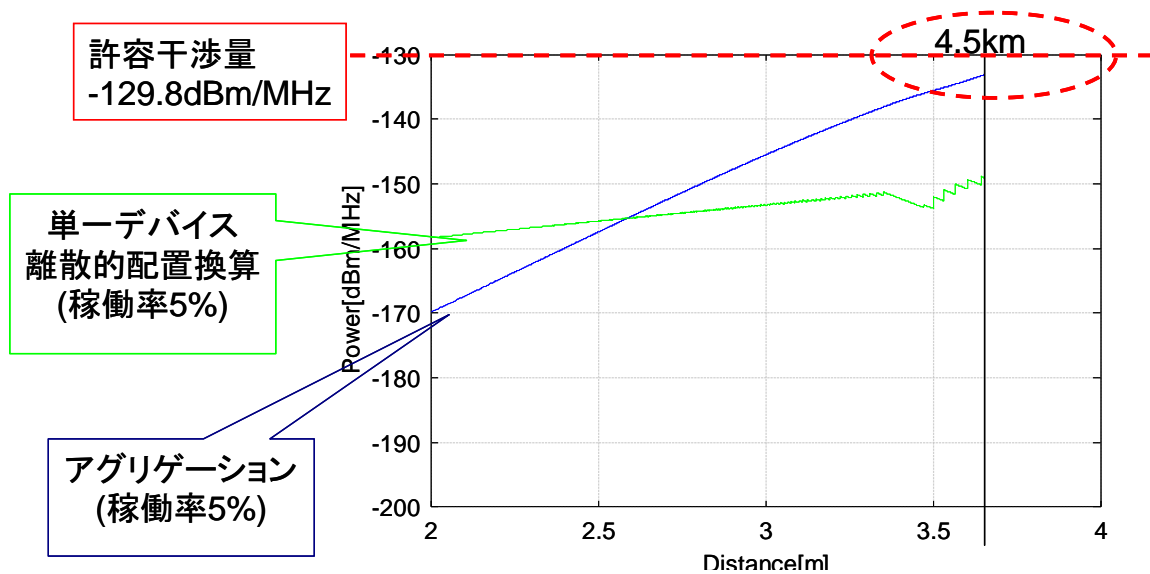


図 78 均一分布配置における干渉電力値

5.3.3 減衰モデル

これまでのUWBの干渉計算における伝搬損失モデルとしては、壁減衰 12 dB を考慮した自由空間伝搬が仮定されている。しかし、都市内伝搬においては、UWBデバイスと被干渉無線局のアンテナが見通しとなることはほとんどなく、建物の反射・回折を経た後に伝搬すると考えられる。たとえば、4.5kmの離隔距離で存在するUWBデバイスは、固定マイクロのアンテナの俯角はほぼ0度方向となるが、都市内伝搬環境においては低層であっても建築物が見通しを遮る距離が無視できない。このため、UWBデバイスが存在する建物の壁減衰だけではなく、他の建築物や樹木、車等都市内の構成物体のシャドウイングによる直接波の減衰が大きく、屋根越えの回折波や道路を伝搬する電波が主な干渉電力となる。

これらを考慮したモデルとして、ITU-R P452 モデルおよびダブルスロープモデルがあげられる。

① ITU-R P452 モデル：

周辺のローカルスカッターによる局所的減衰 (19.8 dB) を考慮したモデル。情報通信審議会情報通信技術分科会UWB無線システム委員会 平成 21 年報告「準ミリ波帯を用いたUWBレーダシステムの技術的条件」において、FWA等に対する干渉検討の参考データとして検討された。具体的には、同資料 17 ページの (47) 式に関して、Table 4 の dense urban の値を代入したものになる。

4.5.3 The height-gain model

The additional loss due to protection from local clutter is given by the expression:

$$A_h = 10 \cdot \left[25 F_{fc} \cdot e^{-d_k} \left(1 - \tanh \left[6 \left(\frac{h}{h_a} - 0.625 \right) \right] \right) \right] - 0.33 \quad \text{dB} \quad (47)$$

where:

$$F_{fc} = 0.25 + 0.375 \{1 + \tanh[7.5(f - 0.5)]\} \quad (47a)$$

and

d_k : distance (km) from nominal clutter point to the antenna (see Fig. 3)

h : antenna height (m) above local ground level

h_a : nominal clutter height (m) above local ground level.

TABLE 4
Nominal clutter heights and distances

Clutter (ground-cover) category	Nominal height, h_a (m)	Nominal distance, d_k (km)
High crop fields Park land Irregularly spaced sparse trees Orchard (regularly spaced) Sparse houses	4	0.1
Village centre	5	0.07
Deciduous trees (irregularly spaced) Deciduous trees (regularly spaced) Mixed tree forest	15	0.05
Coniferous trees (irregularly spaced) Coniferous trees (regularly spaced)	20	0.05
Tropical rain forest	20	0.03
Suburban	9	0.025
Dense suburban	12	0.02
Urban	20	0.02
Dense urban	25	0.02
High-rise urban	55	0.02
Industrial zone	20	0.05

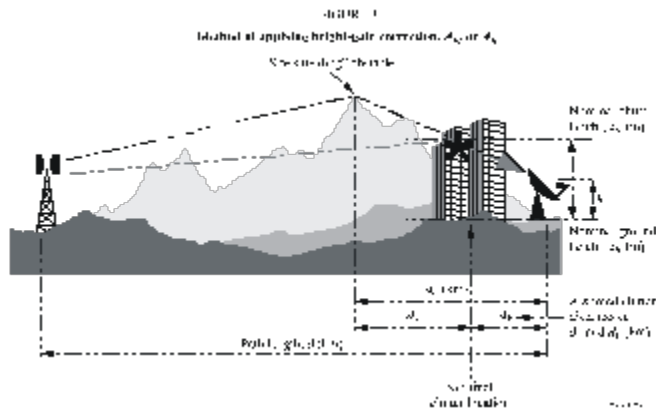


図 79 ITU-R P.452 モデル

RECOMMENDATION ITU-R P.452-14

Prediction procedure for the evaluation of microwave interference between stations on the surface of the Earth at frequencies above about 0.1 GHz*

A computer spreadsheet associated with the clear-air prediction procedures described in this Recommendation is available from the ITU-R website dealing with Radio communication Study Group 3.

② ダブルスロープモデル :

特定の点（インターセプトポイントまたはブレイクポイント）までは自由空間伝搬、それ以遠は 3.3~4 乗で減衰すると仮定。基地局のエリア設計に用いられる。ハイバンドの減衰は 4 乗程度と報告されているが、ここでは無限遠までのアグリゲーション電力積算値が特定の値に収束する 3.3 乗を仮定してシミュレーションしている。

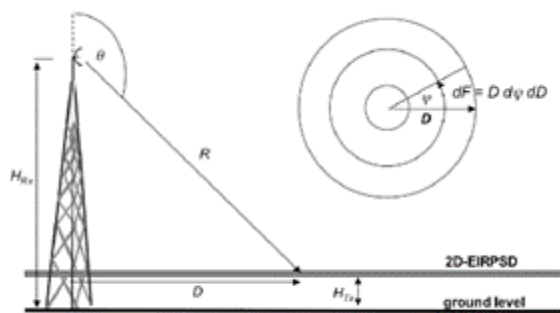


Fig. 1: Model geometry for aggregate interference calculations.

図 80 ダブルスロープモデル

W. Sorgel et. al

“Sensitivity of Aggregate UWB Interference Models to their Parameters”
 Proceedings of The 2nd work shop on Positioning and Communication
 (WPNC’ 05)&1st Ultra Wideband Expert Talk (UET’ 05)

シミュレーション結果においては、両者のモデルともすべての領域でアグリゲーション電力値が、許容干渉量より少ないことが示される。

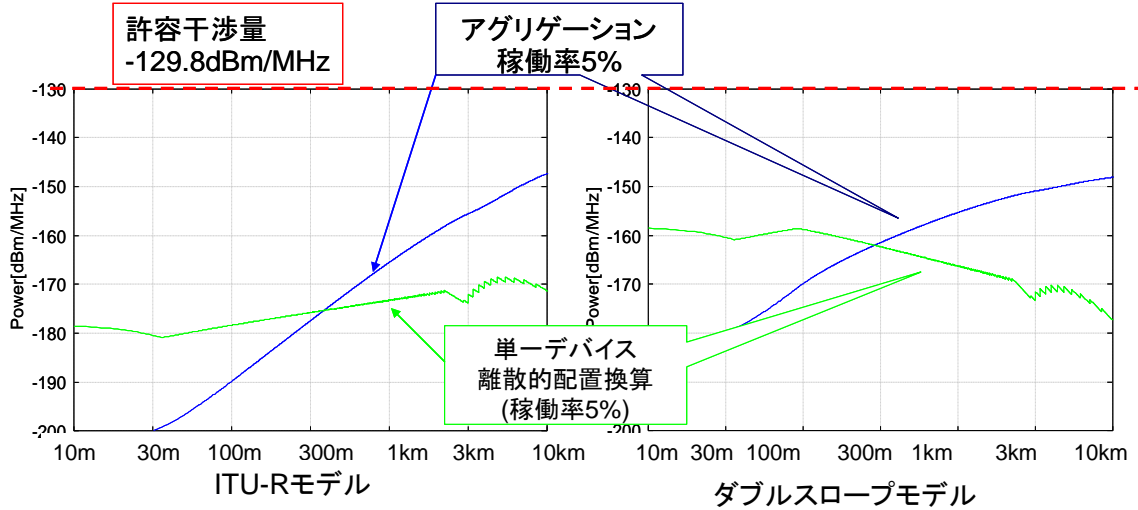


図 81 減衰モデルによる干渉電力計算値

5.3.4 携帯電話基地局エントランス用固定マイクロ局の検討

携帯電話基地局のエントランス回線として、7.5 GHz 帯の固定マイクロ回線が利用されている（NTT DOCOMO テクニカルジャーナル「大容量無線エントランス方式の開発」Vol. 13 No. 2 pp. 74-77 表 1 の 7G-150MDE 方式参照）。

こうした固定マイクロ局のアンテナは、マンション等の屋上に低アンテナ高で設置されることが想定されるが、前項の減衰モデルを用いて、これらの回線に対する干渉量が許容範囲内であることを確認した。

シミュレーションに使用した前提条件のパラメータを表 17 に示す。

表 17 シミュレーションパラメータ

項目	パラメータ	備考
アンテナ指向性	利得 34.4 dBi 90cmΦ パラボラ	ITU-R F. 699 指向性パターン
アンテナ高	10m	

減衰モデルを用いた検討においても、アグリゲーション干渉量は許容値以下であることがシミュレーションにより確認された。（図 82）

エントランス回線における干渉量はダブルスロープモデルの 100m 以下の離隔距離において最大となる。これは、100m 以下では自由空間減衰領域であることに加え、アンテナ高が低いためにサイドロープによる干渉があるためと考えられる。

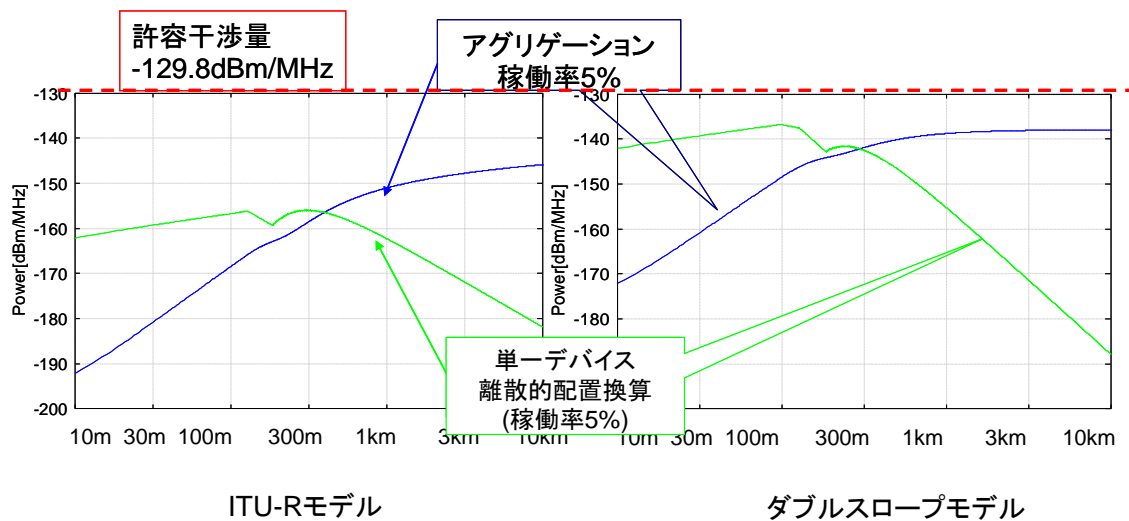


図 82 基地局エントランス用固定マイクロ局の干渉検討結果

5.4 港湾レーダの検討

情報通信審議会情報通信技術分科会 UWB無線システム委員会平成18年報告の参考資料4-3で仮定されているUWBデバイスの配置を図83に示す。図のUWBの配置は固定マイクロと若干異なるが、均一分布配置にした場合は両者は、デバイス密度 250 デバイス/k²mのみ依存し、配置には係わらなくなる。

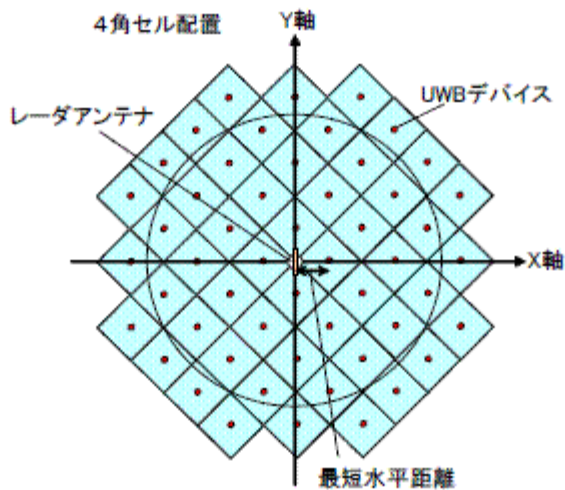


図 4-3-4 Aggregation 干渉検討に用いた 4 角セル設置

図 83 港湾レーダのデバイス配置

5.5 共用条件検討まとめ

ハイバンドUWBの周波数共用条件の検討として、最も厳しい条件である固定マイクロとの共用条件をシミュレーションにより示した。ハイバンドUWBの分布モデルとして、通信デバイスとして仮定されていた離散的配置モデルに対して、均一分布配置モデルすなわち面積当たりの密度分布の積分による計算を行った。

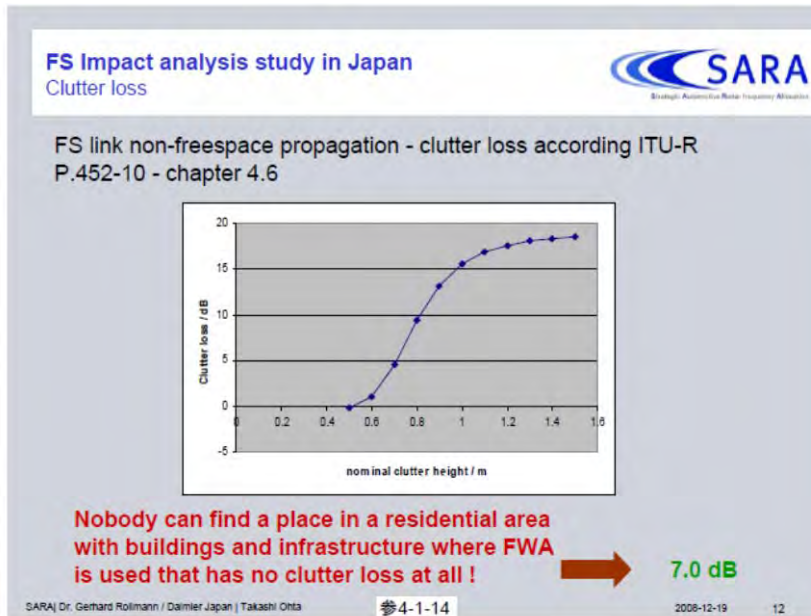
表 18 に示す前提条件の下で、干渉許容条件 (-129.8dBm/MHz) を満たすシミュレーション結果が得られた。

表 18 シミュレーションパラメータ

項目	パラメータ	備考
普及密度	250 デバイス/k m ²	通信デバイスとセンサーデバイスの合計
UWBアグリゲーション電力積算範囲	4.5 km	シングルエントリーにおける所要離隔距離
壁減衰	-12 dB	
稼働率	-13 dB	5%相当値
アンテナ高	第1フレネルゾーン+30m	
アンテナ指向性	利得 46.5 dBi 4mφ パラボラ	ITU-R F. 699 指向性パターン

また、実伝搬環境に近い減衰モデルによれば、干渉許容マージンはさらに大きくなること、および、低アンテナ高の基地局エントランス回線用固定マイクロ局のアグリゲーション干渉量も同様に許容値以下であることをシミュレーションにより確認した。

なお、周波数の共用条件に関する検討は従来他のシステムにおいて行われた検討と同様に自由空間での伝搬損失を適用し、減衰モデルに関しては 24 GHz UWB レーダの扱いと同様に参考値として検討することが妥当と考えられる。



4-4-2 干渉検討結果 (ITU-Rシミュレーションモデルを使用)

携帯電話エントランス回線との検討については、UWBレーダシステム普及率1%以下を想定しているためA~Dの全てのモデルでマージンを確保できる。

22GHz帯(22~22.4GHz及び22.6~23GHz)FWAの場合、普及率1%以下を想定しているため検討を実施せず、普及率40%を想定している26GHz帯(25.25~27GHz)FWAのみの検討を実施した。

26GHz帯FWAの検討では、基地局はマージンを確保できるが、加入者局は表4-4-3に示す干渉緩和要素等を考慮しなければマージンを確保できない。

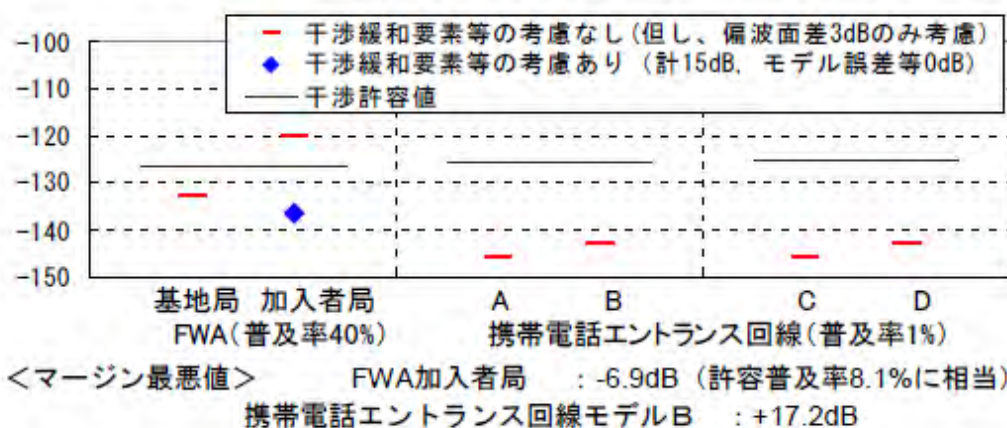


図 4-4-1 複数個レーダによる干渉検討結果

4-4-3 干渉評価

3-2-2の中長期の普及予測結果より、普及率が7%を超えると予測される2025年から3年余裕をみた2022年に干渉緩和対策を導入するため、検討期間を考慮し、2018年を目処に、干渉緩和対策について検討を行うことを前提とし、共用可能との結論を得た。

ただし、普及が急速に進んだ場合は必要に応じて前倒しすることとしている。

第6章 調査検討のまとめ

本調査検討会では、UWB無線センサーネットワークと他の無線システムとの周波数共用条件を検討するため、具体的に以下に示す各項目の検討を行った。

- ① UWB無線センサーネットワーク技術の利用シーンの調査
- ② 技術試験を行う具体的な利用環境の抽出および使用する機器の仕様・特性の明確化
- ③ セキュリティ環境・療養環境の模擬実伝搬環境における無線センサーネットワークの評価および有効性の実証
- ④ 周波数共用条件を導出するためのセンサーデバイスの密度分布の検討
- ⑤ シミュレーションによる既存システムとの周波数共用条件の検証

これらの取り組みの結果、次の各検討結果が得られた。

- UWBセンサーネットワークの利用用途として医療・療養環境、オフィス環境、工場、店舗などにおいて、測位、低レートの通信、ID識別の要求があることが明確になった。
- 技術試験としては、セキュリティ環境・療養環境の試験を行うことにより、上記の各要求・用途の検証を網羅的に行うことができた。
- 測位方式として、平成21年度の4点測位、2点測位に加えて新たに1点測位の技術を検討することにより技術的実現性を広く検証できた。
- 特に測位機能について、実伝搬環境においてはハイバンドUWBの「短いインパルス幅による距離分解能向上、マルチパス分離機能」を有する特長が特に重要であることが明確になった。
- UWB無線センサーデバイスと従来の通信デバイスを加算した分布密度は、普及率25%で250デバイス/km²とすることが適当であるとの結果が得られた。
- 干渉許容量のもっとも厳しい固定マイクロに対して、前提条件を仮定し、配置分布として均一密度分布を適用し、シミュレーションにより周波数共用条件の検討を行った結果、周波数共用が可能であるとの結果が得られた。

以上のことから、平成22年度の調査検討において、UWB無線センサーネットワークのシステムの有効性および周波数共用が可能であることが示された。

參考資料

参考 1 調査検討会開催趣旨

UWB無線センサーネットワークの周波数共用条件に関する調査検討会 開催趣旨

近年、倉庫、工場などにおける作業者の安全管理や物品管理の効率向上、オフィス等の商業施設におけるセキュリティ管理やエコ対策などの用途において、人や物品の動線把握、個別位置を管理するセンサーシステムに対する要望が高まっている。

UWB無線は、非常に広い周波数帯域にわたって電力を拡散させる無線システムであり、センサーネットワーク向けの低速（インパルス型）のUWB無線はオフィスや倉庫など反射波の多い屋内空間でも安定した通信が可能であり、数十センチメートルの高精度な測位を可能にするという特徴がある。

一方、UWB無線は、他の無線システムと周波数共用を図っており、その導入に当たっては他の無線システムとの周波数共用等の技術的条件を検討する必要がある。

近畿総合通信局では、平成21年度にハイバンド（7.25GHz～10.25GHz）のUWB無線を利用したセンサーネットワークについて、実環境（倉庫）に於いて測位精度、建物構造による電波の遮蔽効果等の技術試験を実施し、センサーシステムへの有効性と他の無線システムへの干渉状況を確認した。

今般、前記の試験結果を踏まえ、UWB無線センサーネットワークを実環境（オフィス等）に構築して利用モデルの有効性の検証を行うと共に、既存無線システムとの周波数共用可能な条件導出に必要な普及密度及び既存無線システムへの干渉計算モデルを検討することにより、UWB無線センサーシステムの技術基準策定に反映することを目的とする。

参考2 調査検討会開催要綱

UWB無線センサーネットワークの周波数共用条件に関する調査検討会 開催要綱

1 名称

この検討会は、「UWB無線センサーネットワークの周波数共用条件に関する調査検討会」（以下、「検討会」という。）と称する。

2 目的

ハイバンド（7.25GHz～10.25GHz）のUWB無線システムを活用したセンサーネットワークについて、オフィス等の利用シーンを想定した技術試験を実施して、普及密度等を調査検討し、他の無線システムとの周波数共用条件等に反映することを目的とする。

3 検討事項

検討会の目的を遂行するため、次の事項について調査検討する。

- (1) 利用シーンと普及予測
- (2) 利用モデルシステムの構築による基礎データの把握、有効性の確認
- (3) UWB無線センサーの普及密度
- (4) 他の無線システムとの周波数共用条件

4 組織

検討会の組織構成は、次のとおりとする。

- (1) 検討会は、近畿総合通信局長の委嘱を受けた者により構成する。構成員は、別添の構成員名簿のとおりとする。
- (2) 座長1名を置く。座長は構成員の互選により選出する。
- (3) 副座長を置く。副座長は座長が指名する。
- (4) 検討会には、必要に応じて作業部会を置くことができる。

5 運営

検討会の運営は、次のとおりとする。

- (1) 検討会は、座長が招集し、主宰する。
- (2) 副座長は、座長を補佐し、座長不在の場合は座長の職務を代行する。
- (3) その他、運営に関して必要な事項は、座長が定める。

6 開催期間

検討会の開催期間は、平成22年9月から平成23年3月までとする。

7 事務局

本検討会の庶務は、近畿総合通信局無線通信部企画調整課が行う。

参考3 調査検討の開催状況

年月日	審議・作業内容
平成22年 9月 3日	第1回検討会の開催<大阪市中央区 国民会館> <ul style="list-style-type: none"> 開催趣旨の確認及び開催要綱の承認 座長の選出、副座長の指名 作業部会の設置及び構成員の確認 UWBの動向(報告) 今年度調査検討概要、実施スケジュールの承認 技術試験で用いるUWB無線センサーの確認 技術試験実施項目の確認
平成22年10月25日	・加藤 進治様を調査検討会委員に委嘱(1名増員) 第2回検討会から参加
平成22年10月27日	第1回作業部会の開催<東京都港区> <ul style="list-style-type: none"> 作業部会長を選出し、次の議題について討議 技術試験の実施計画について 技術試験で用いるUWB無線機器について 検討作業の進め方について UWB無線センサーネットワークの利用シーン提案状況
平成22年11月17日	第2回検討会の開催<大阪市中央区 近畿総合通信局> <ul style="list-style-type: none"> 技術試験の実施計画の確認 UWB無線センサーネットワークの利用シーン提案状況 技術試験で用いるUWB無線機器の確認 公開技術試験実施のご案内の確認
平成22年12月 6日 ~12月17日	実伝搬環境での技術試験実施 <大阪市中央区 大阪ビジネスパーク IMPビル5階会議室>
平成22年12月15日	公開技術試験の開催 <大阪市中央区 大阪ビジネスパーク IMPビル5階会議室>
平成23年 1月12日	第2回作業部会の開催<東京都港区> <ul style="list-style-type: none"> 技術試験の実施結果について討議 アンケート集約結果について討議 調査検討報告書の骨子(目次案)討議
平成23年 1月26日	第3回検討会の開催<大阪市中央区 近畿総合通信局> <ul style="list-style-type: none"> 技術試験の実施結果について討議 アンケート集約結果の確認 調査検討報告書の骨子(目次案)について討議
平成23年 2月21日	第3回作業部会の開催<東京都港区> <ul style="list-style-type: none"> 平成22年度調査検討報告書(案)について討議
平成23年 3月 8日	第4回検討会の開催<大阪市中央区 ドーンセンター> <ul style="list-style-type: none"> 平成22年度調査検討報告書の確認

参考4 調査検討会構成員名簿

(五十音順、敬称略)

◎ : 座長 ○ : 副座長

あさしば よしひろ

浅芝 慶弘 三菱電機(株) 関西通信システムエンジニアリング部
ネットワークグループ グループマネージャー

いわい ひさと

○岩井 誠人 同志社大学 理工学部 電子工学科 准教授

かとう しんじ

加藤 進治 パナソニック健康保険組合 松下記念病院 事務部 部長

ささおか ひでいち

◎笹岡 秀一 同志社大学 理工学部 電子工学科 教授

せきぐち ひでのり

関口 英紀 (株)富士通研究所
ヒューマンセントリックコンピューティング研究所 主管研究員

たけがき ひろし

竹垣 弘 (社)全国陸上無線協会 近畿支部 企画調査委員

にしかわ ひさし

西川 久 (株)日本ジー・アイ・ティー 開発本部長

ふかがわ たかし

深川 隆 パナソニック(株)
東京R&Dセンター 通信コアデバイス開発センター 主幹技師

みやざき まさゆき

宮崎 祐行 (株)日立製作所 中央研究所 主任研究員

り かんほう

李 還幫 独立行政法人情報通信研究機構 新世代ワイヤレス研究センター
医療支援ICTグループ 主任研究員

わだ としゆき

和田 敏幸 (財)テレコムエンジニアリングセンター
西日本サービスセンター 副所長

以上

参考5 作業部会構成員名簿

(五十音順、敬称略)

◎ : 部会長

いらい ひさと
◎岩井 誠人 同志社大学 理工学部 電子工学科 准教授

せきぐち ひでのり
関口 英紀 (株)富士通研究所
ヒューマンセントリックコンピューティング研究所 主管研究員

ふかがわ たかし
深川 隆 パナソニック(株)
東京R&Dセンター 通信コアデバイス開発センター 主幹技師

みやざき まさゆき
宮崎 祐行 (株)日立製作所 中央研究所 主任研究員

り かんほう
李 還幫 独立行政法人情報通信研究機構 新世代ワイヤレス研究センター
医療支援ICTグループ 主任研究員

以上

UWB無線センサーネットワークの 周波数共用条件に関する調査検討報告書

発 行 UWB無線センサーネットワークの周波数共用条件に
関する調査検討会

連 絡 先 総務省近畿総合通信局無線通信部企画調整課
〒540-8795 大阪市中央区大手前 1-5-44
大阪合同庁舎第1号館4階

電 話 06-6942-8545
F A X 06-6920-0611