



技術試験の結果

平成22年1月26日

事務局

平成21年11月12,13,16,17,18,19,20日 パナソニックロジスティクス北大阪センターにて実施

1. ハイバンドUWBの測距及び測位に係る技術試験

1.1 測距(ハイバンド)

〔試験構成1.1.1〕〔試験構成1.1.2〕

1.2 測位(ハイバンド)

〔試験構成1.2.1〕

1.3 周囲環境の変化(鉄扉の有無)の測距・測位に対する影響(ハイバンド)

〔試験構成1.3.1〕〔試験構成1.3.2〕

2. ハイバンドUWBの周波数共用条件に係る技術試験

2.1 倉庫内伝搬特性測定(ハイバンド、ローバンド)

2.2 透過減衰量測定(壁、通風孔、鉄扉、金網)(ハイバンド、ローバンド)

2.3 開口部から屋外への電波伝搬特性測定

(1) 固定機(ハイバンド、ローバンド)

(2) 移動機(ハイバンド、ローバンド)

3. UWB無線センサーネットワークに係る技術試験

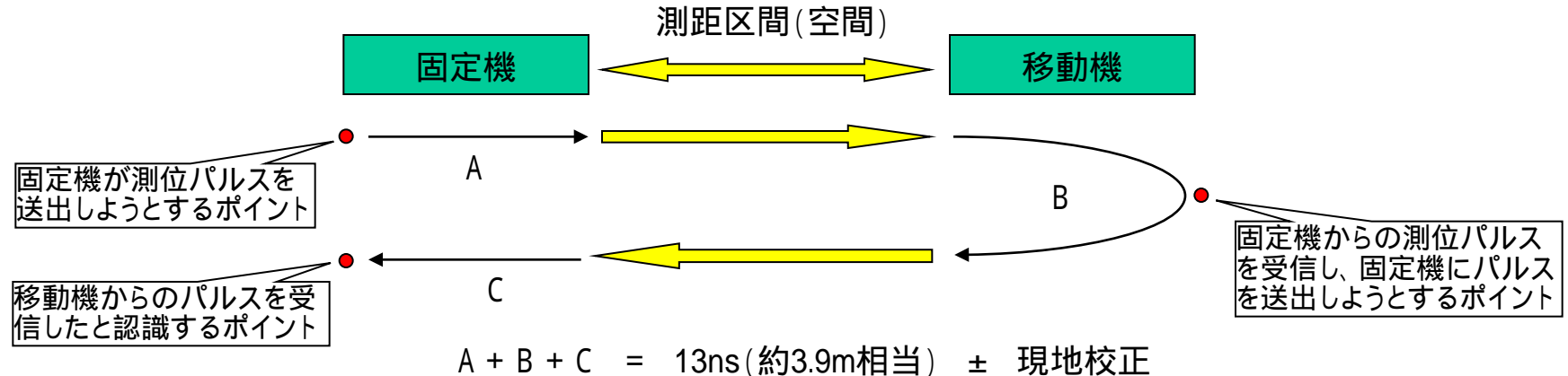
UWB測位センサーネットワークシステムを用い、倉庫における物品管理を模擬した公開デモを実施。(ローバンド)

1. ハイバンドUWBの測距及び測位に係る技術試験〔校正〕

測距にとって不要な時間(UWB無線装置内の伝送時間や処理時間等(下図のA + B + C))については、倉庫に持ち込む前の実験室での数mの測距実績を参考に、事前に概算として13ns(距離換算で約3.9m)分を測距・測位用ソフトウェアに適用した。

ただし、1ns(距離換算で約30cmに相当)オーダーでみると固体差が存在すると考えられ、本技術試験では、測距・測位が可能である約20mまでの既知の距離を装置ごとに測定し、その測定結果から装置ごとの校正値を得ることとした。

校正方法としては、固定機と移動機を直結し、距離がゼロに相当する系を構成し、この場合の測距・測位用ソフトウェアの距離表示をゼロとする方法もあるが、この場合、減衰器を接続したり、アンテナを用いないなど、実際の測距・測位時の装置の構成とは異なるため、校正値は、実際に測距を行う装置の構成で測定して求めることとした。



なお、校正値は電波の伝搬環境に依存せず、装置の構成(アンテナ種別、アンテナと送受信機とのケーブル等)が変化しない限り一定であり、また、固定機・移動機間距離によらず一定のオフセット値であるものとした。

1. ハイバンドUWBの測距及び測位に係る技術試験〔精度〕

校正値を適用した測距データに対し、誤差(実際の距離と測距結果の差)の分布を求め、誤差の分布が狭いほど精度が高く、広いほど精度が低い、という精度の解釈とした。

校正を施した測距値は、UWB無線装置内で生じる遅延分が除かれ、実際の距離をほぼ正確に示すはずのものであるが、測距値をデジタル化する場合に生じる量子化誤差等に起因して、必然的に誤差が発生し、測定のとど測定値が変動しうる。

本技術試験では、こうした誤差の分布を求め、精度として分析した。

今回用いた測距・測位システムの主な誤差要素はサンプリングレートによるもので、その結果、サンプリングパルス間隔の距離相当分である45cmの誤差が発生しうる。

サンプリングは400MHz、すなわち2.5ns間隔で実施しており、ある基準時間から起算すると、0ns, 2.5ns, 5.0ns, 7.5ns, …なる時間経過でサンプリングする形になるが、これを測距・測位ソフトウェアが数値として扱う際、小数点以下を切り捨てているため、0ns, 2ns, 5ns, 7ns, …なる時間経過の認識、すなわち、サンプリング間隔が2ns, 3ns, 2ns, 3ns, …と繰り返し変化していることになる。

このうち間隔の大きい方の3nsによる誤差は距離換算で90cmであるが、これは固定機 移動機 固定機の往復で生じる誤差であるため、測距対象となる固定機・移動機間の距離に対してはその半分の約45cmの誤差となって現れる。

また、これに伴い、測距・測位ソフトウェアの表示数値も、30cm または 45cmのステップ表示となっている。

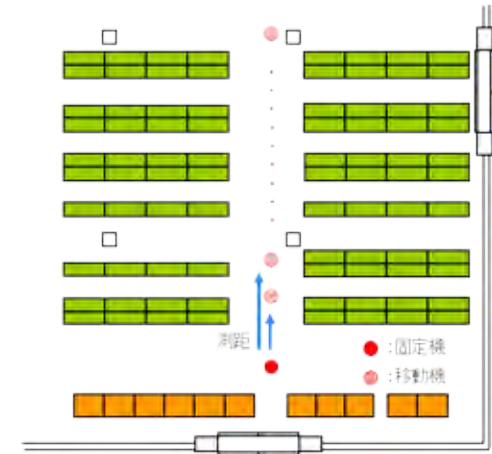
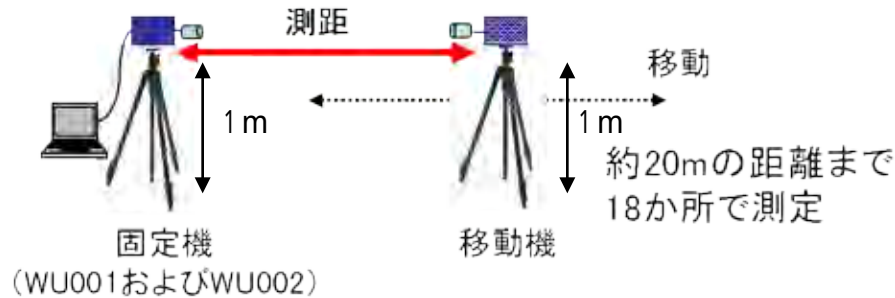
なお、クロックは高精度のクリスタルオシレータを使用しており、上記の誤差に比べて無視できる範囲である。

1.1 測距（試験構成）

固定機1台と移動機1台を対向させる試験構成と、2台の固定機により移動機の測位を実施する2種類の試験構成をとった。移動機の位置ごとに5回ずつ測定。

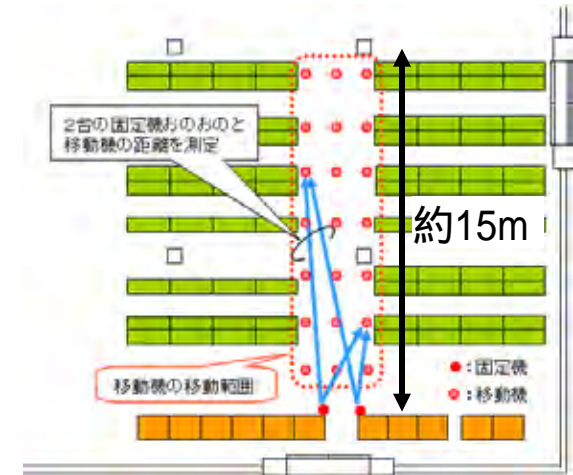
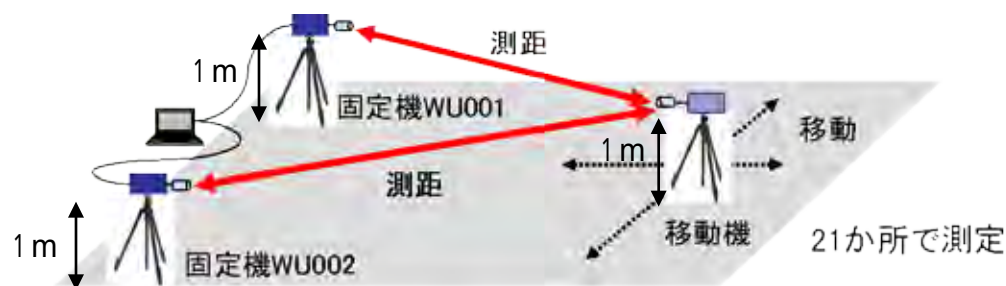
〔試験構成 1.1.1〕

倉庫内通路上に固定機と移動機を対向させ、固定機・移動機間を測距。



〔試験構成 1.1.2〕

測位を行う位置に固定機を設置し、各固定機・移動機間を測距。



1.1 測距（試験結果）

〔試験構成 1.1.1〕

まず、実際の距離と測定値との関係から校正値を求めた。

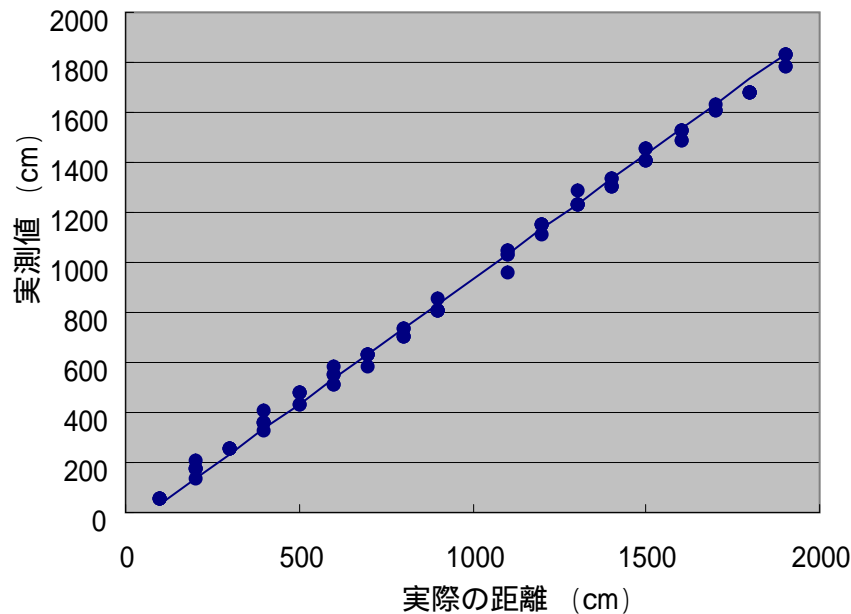
校正値は測距対象までの距離によらず一定のオフセット値であるものとし、全測定データに対する近似直線（傾き1の一次式）を最小二乗法により求め、その切片の値を校正値とした。

結果として以下の校正値を得た。

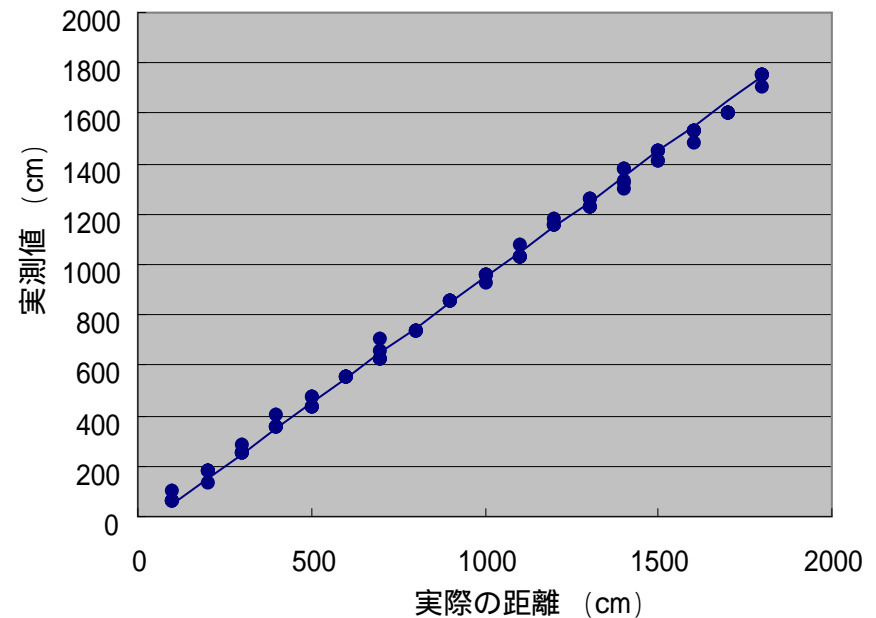
固定機 (WU001) : 67cm

固定機 (WU002) : 51cm

固定機 WU001



固定機 WU002

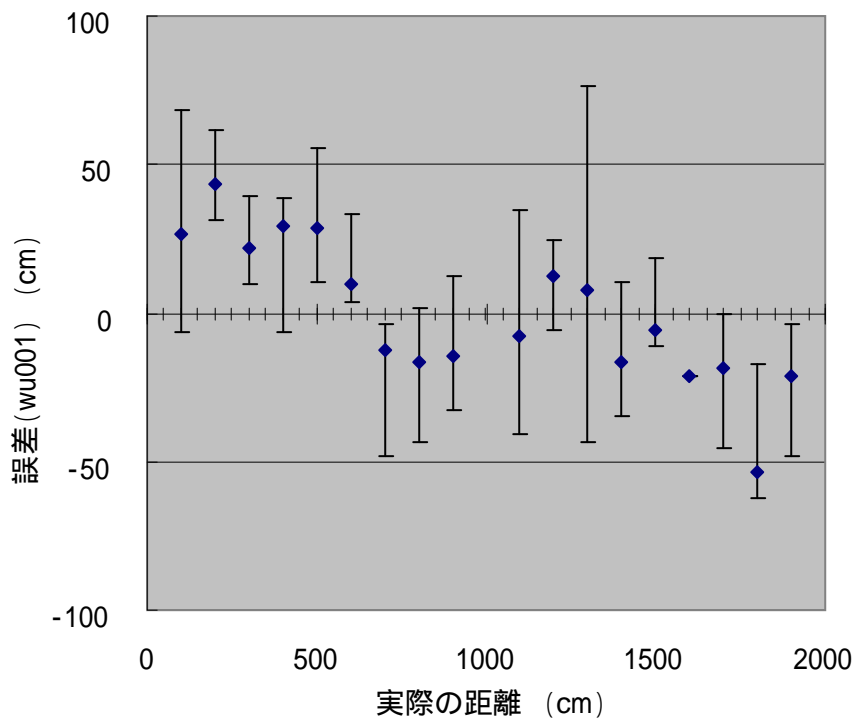


1.1 測距 (試験結果)

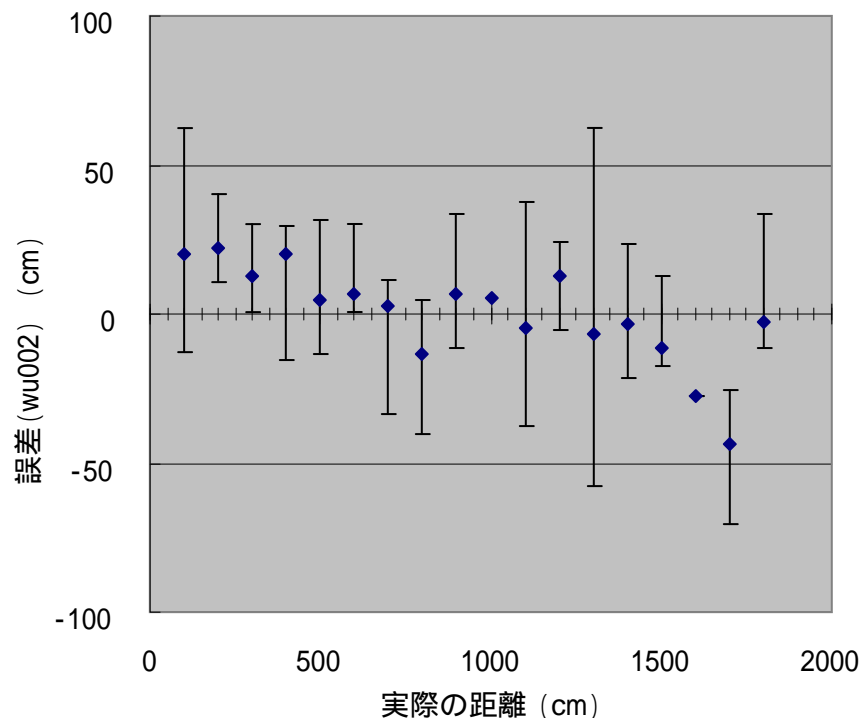
[試験構成 1.1.1]

校正値を適用し、固定機・移動機間の実際の距離と測距システムで得られた測距測定値との差を求めた。

固定機 WU001



固定機 WU002



各ポイントで5回測定した結果

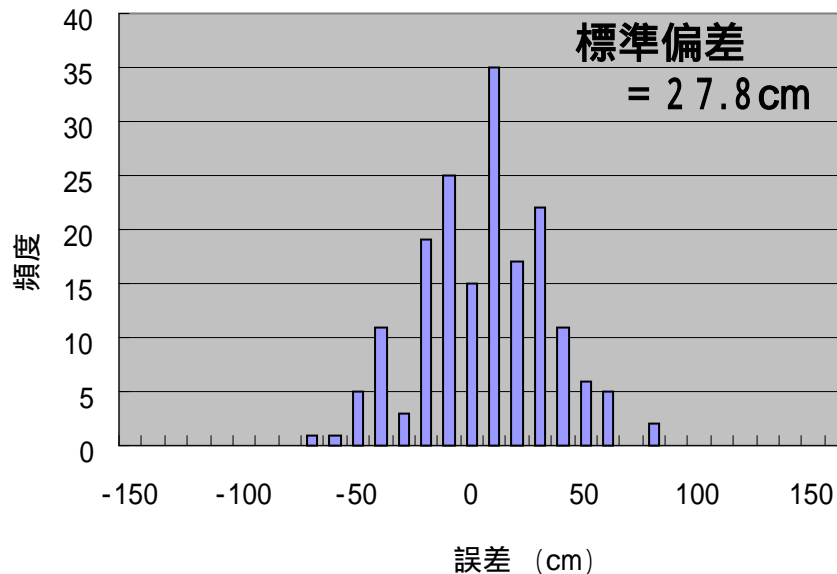
- 最大
- 平均
- 最小

1.1 測距 (試験結果)

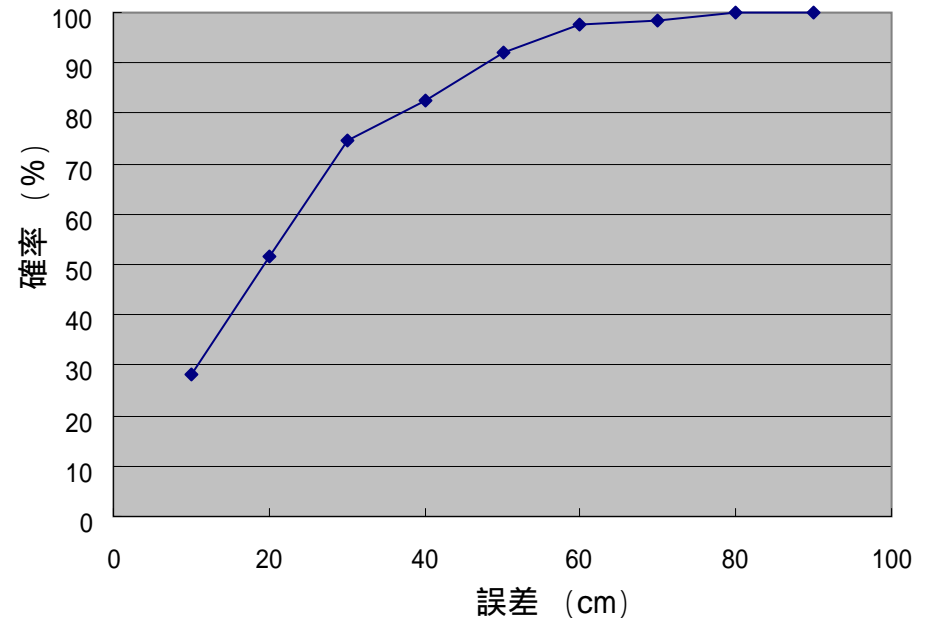
(試験構成 1.1.1)

2種類の固定機のデータ全てを総合した誤差の度数分布と度数確率分布以下に示す。
固定機・移動機間距離は、最大約20mまで測定。

誤差の度数分布



誤差の度数確率分布



- ・標準偏差 = 27.8 cm (測定の68%が収まる)
- ・ 2σ = 55.6 cm (測定の95%が収まる)
- ・誤差の範囲は、-73 cm ~ 77 cm

1.1 測距（試験結果）

〔試験構成 1.1.2〕

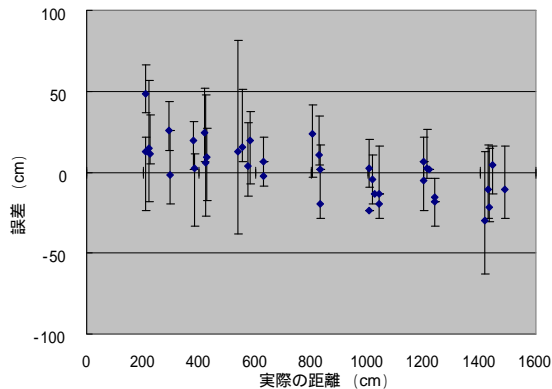
校正値は試験構成1.1.1で求めたものを適用した。実際の距離と測距システムで得られた測距測定値との差、誤差の度数分布、度数確率分布を求めた。

いずれも2台の固定機のデータ全てを総合した結果。

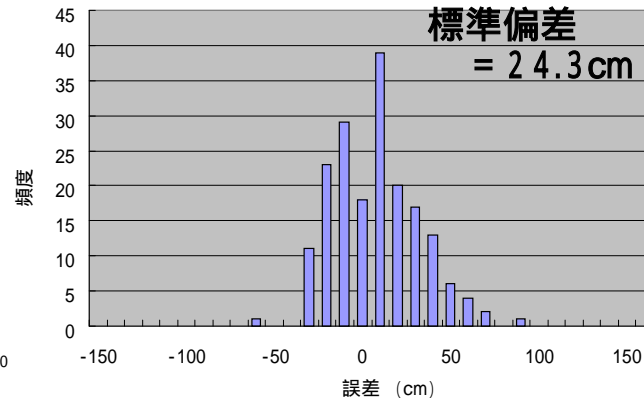
固定機・移動機間距離は最大約15m。

なお、一部測距できなかったケースがあり、これについては考察で述べる。

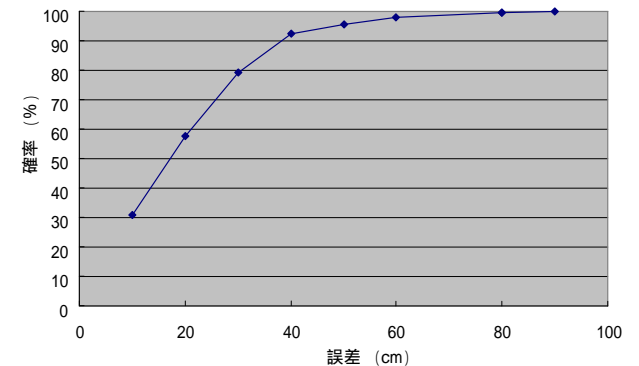
実際の距離と測距システムで
得られた測距測定値との差



誤差の度数分布



誤差の度数確率分布



- ・標準偏差 = 24.3 cm (測定の68%が収まる)
- ・ $2\sigma = 48.6$ cm (測定の95%が収まる)
- ・誤差の範囲は、-62cm ~ 82cm

試験構成1.1.1とほぼ同様の結果が得られた。

1.2 測位 (試験構成)

(試験構成1.2.1)

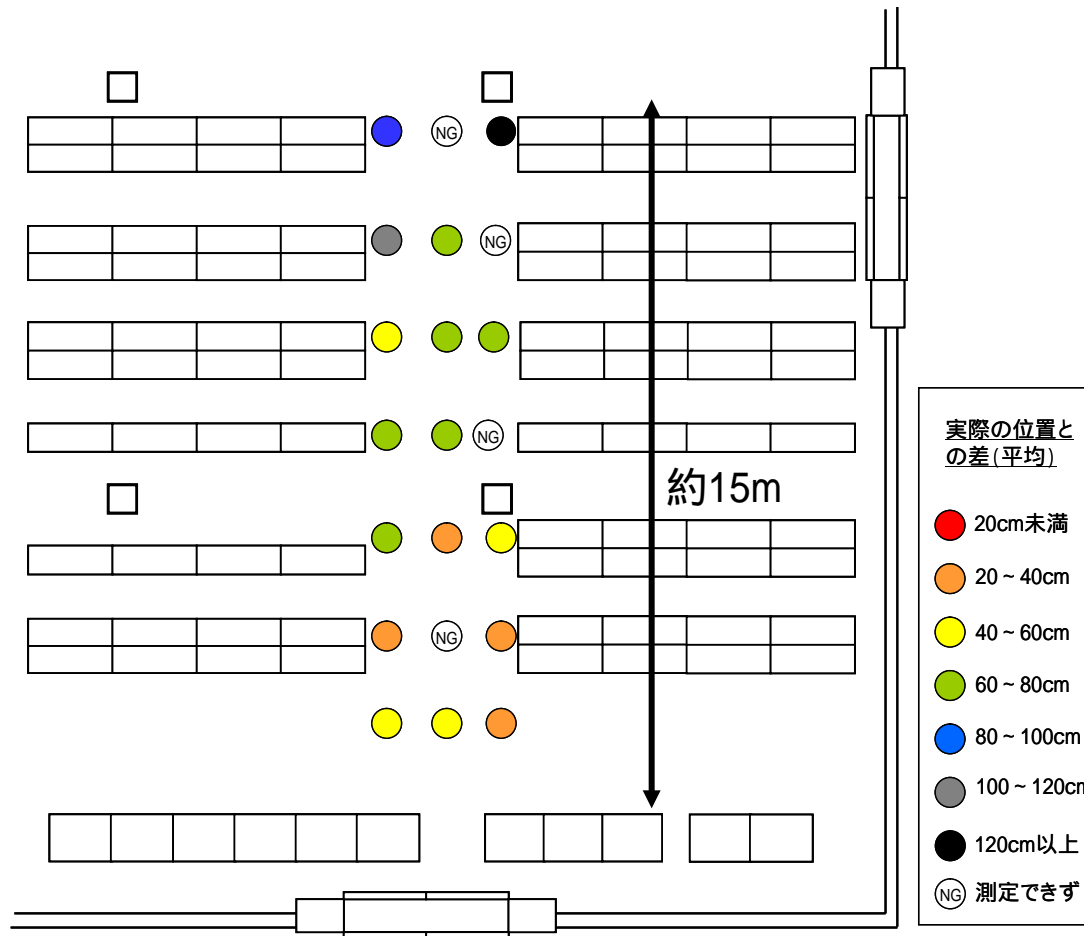
技術試験 1.1 測距 における(試験構成1.1.2)を用いて、移動機の位置を測位。



1.2 測位（試験結果）

〔試験構成1.2.1〕

- ・移動機の実際の位置と測位により得られた位置との差（誤差）を色別に記載。
- ・印の位置は実際の位置を示す。

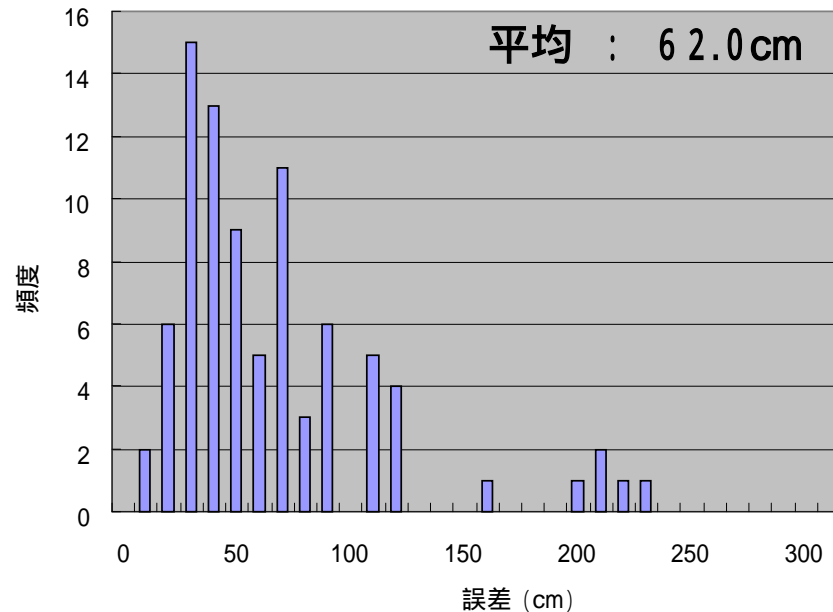


1.2 測位 (試験結果)

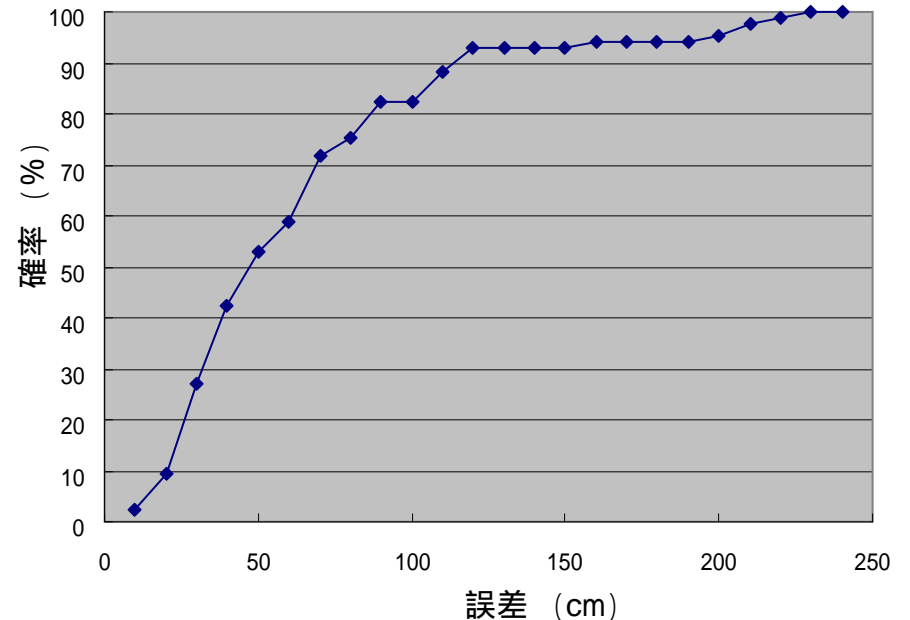
(試験構成1.2.1)

- ・測距時の校正値は試験構成1.1.1で求めたものを適用。
- ・移動機の実際の位置と測位により得られた位置との差(誤差)の度数分布、度数確率分布。
- ・固定機・移動機間距離は、最大約15mまで測定。

誤差の度数分布



誤差の度数確率分布



- ・平均誤差は62cm
- ・測定の約80%が測位誤差1mに収まる。
- ・測位誤差は最大約2.2m。
- ・数値としては、測距誤差よりも測位誤差の方が大きい。

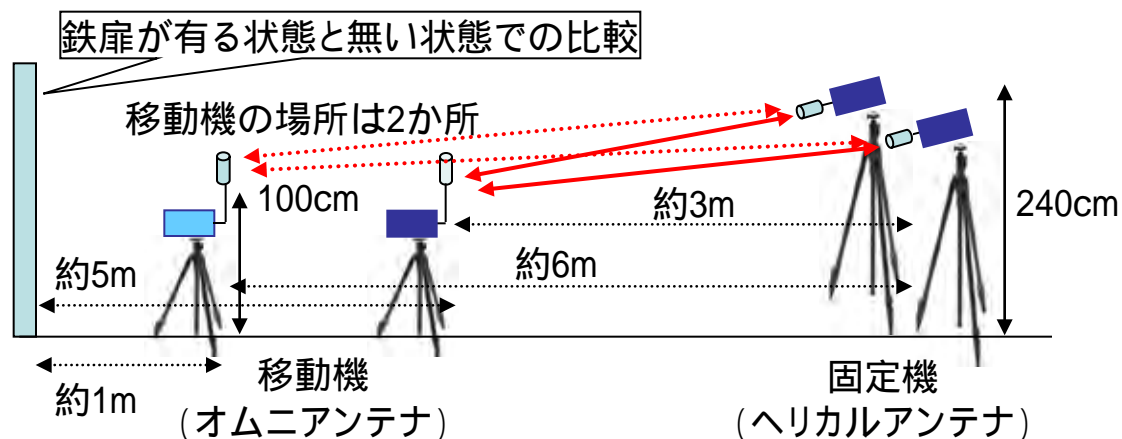
1.3 周囲環境の変化(鉄扉の有無)の測距・測位に対する影響 (試験構成)

電波伝搬に影響を及ぼす鉄扉の測距・測位に対する影響を調べるため、鉄扉が有る状態と無い状態で、測距・測位値に差がどうかの試験を行った。また、鉄扉、固定機、移動機の位置関係については、次に示す2種類の構成をとった。

固定機の場所は、実際に倉庫で移動機(荷)の測位のために設置されと思われる位置(棚の最上部)を想定した。

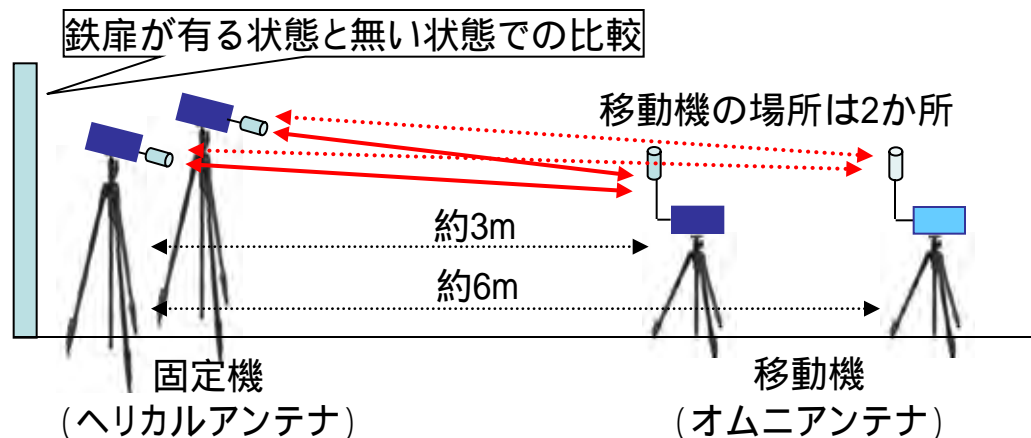
〔試験構成1.3.1〕

鉄扉が移動機付近にある状態で、鉄扉が有る場合と無い場合を比較。



〔試験構成1.3.2〕

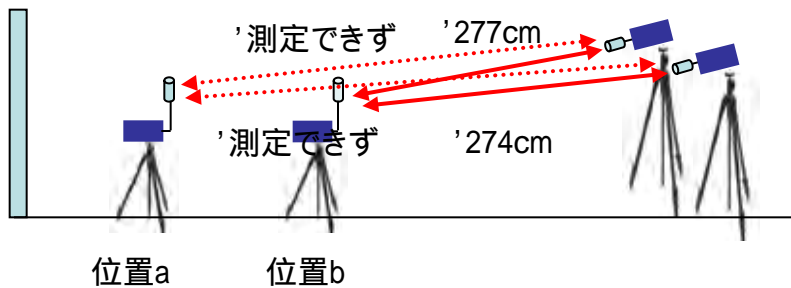
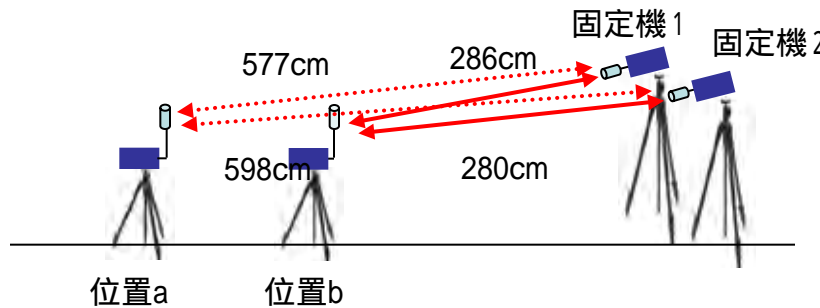
鉄扉が固定機付近にある状態で、鉄扉が有る場合と無い場合を比較。



1.3 周囲環境の変化(鉄扉の有無)の測距・測位に対する影響 (試験結果(測距))

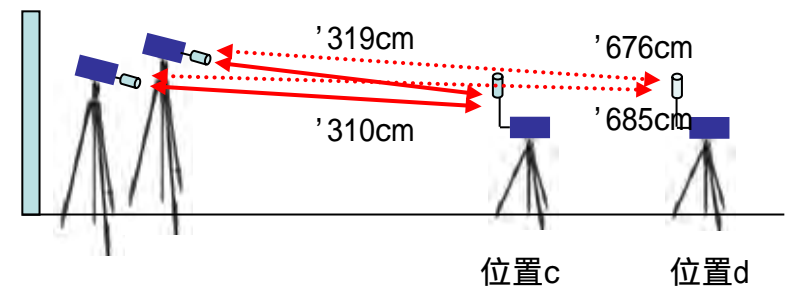
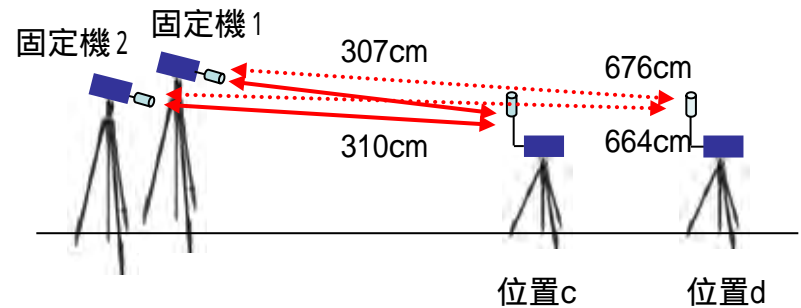
各固定機と移動機(場所は2か所)との間の距離をおのおの5回ずつ測定し、その測距値の平均値を比較。
 なお、技術試験1.1と比べ、アンテナのヘリカルアンテナからオムニアンテナへ変更、およびアンテナを接続するケーブルの追加、といった移動機の装置構成の変更を行ったため、改めて校正を実施し、測距読み取り値に適用した。

〔試験構成1.3.1〕



	固1・位a	固2・位a	固1・位b	固2・位b
鉄扉無し	577cm	598cm	286cm	280cm
鉄扉有り	' -	' -	' 277cm	' 274cm
差	-	-	-9cm	-6cm

〔試験構成1.3.2〕

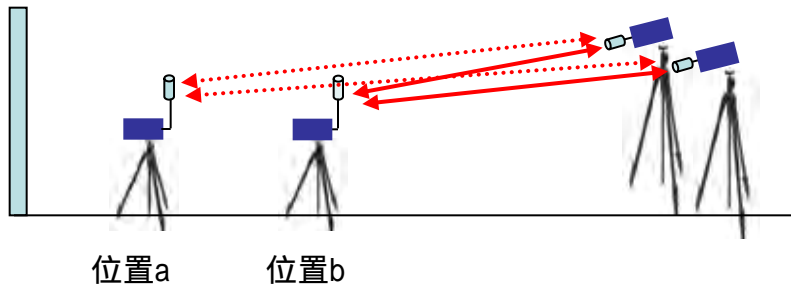
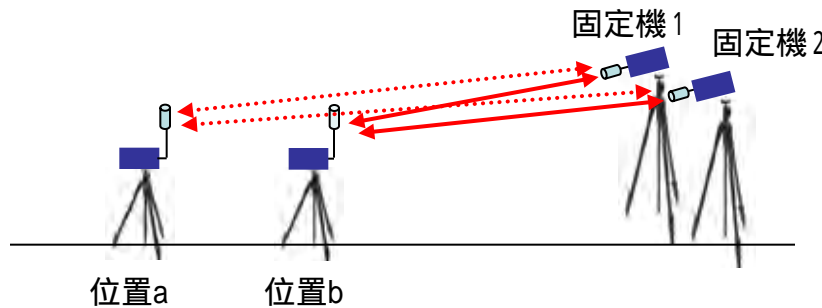


	固1・位c	固2・位c	固1・位d	固2・位d
鉄扉無し	676cm	664cm	307cm	310cm
鉄扉有り	' 676cm	' 685cm	' 319cm	' 310cm
差	0cm	21cm	13cm	0cm

1.3 周囲環境の変化(鉄扉の有無)の測距・測位に対する影響 (試験結果(測位))

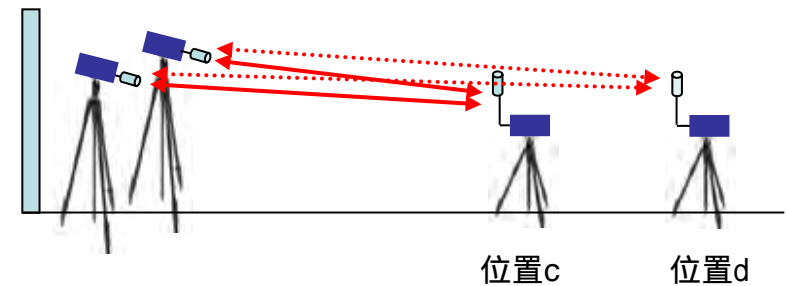
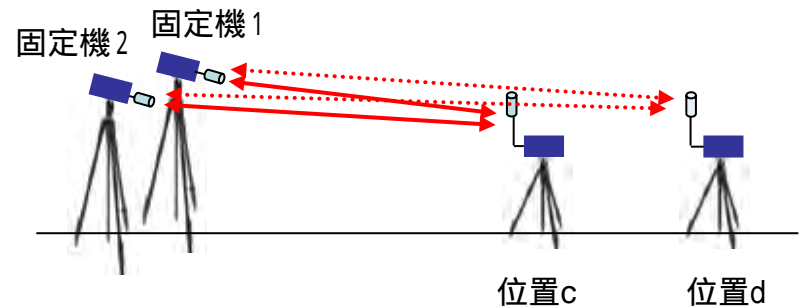
測距のデータを用いて測位を行い、鉄扉の無い場合と有る場合の測位の差を比較。

〔試験構成1.3.1〕



	位置a	位置b
鉄扉の有無による測位の差	-	71cm

〔試験構成1.3.2〕



	位置c	位置d
鉄扉の有無による測位の差	50cm	50cm

鉄扉が有る場合の測距ができなかったため、鉄扉の有無による測位の差も算定できず。

1. ハイバンドUWBの測距及び測位に係る技術試験（考察）

1.1 測距

校正後の測距結果は、2種類の試験構成でほぼ同様の結果となり、以下の傾向が得られた。

- ・誤差が±約30cmの範囲に測定数の約70%が収まる。
- ・誤差が±約50cmの範囲に測定数の約95%が収まる。
- ・誤差の範囲は、-73cm～82cm

今回用いた測距・測位システムの主な誤差要素(サンプリングレートによる誤差45cm)にほぼ準じた結果が得られた。こうした誤差は、サンプリングレートの高速化により小さくなることが期待できる。

試験結果の中で、誤差が80cmに達する状況が見られた。原因として、固定機が移動機からの応答インパルスを送信すべきタイミングで認識せず、反射等で遅れて届いた応答インパルスを、次のサンプリングのタイミングで認識したことが考えられる。

ただし、認識すべき応答パルスがなぜ認識できなかったかについては、実用化にあたり、今後の分析が必要とされる。

また、一部、測定できない状況が見られ、これは測距パルスの後に続くデータ部分が鉄製の柵等による反射の影響で読み取れず、その結果システムが測距値を表示できなかったことによるものと考えられる。

こうしたデータ部分の確実な読み取りにあたっては、データの再送や誤り訂正等、通信制御方式の変更を施すことにより、今後の改善が期待できる。

1. ハイバンドUWBの測距及び測位に係る技術試験（考察）

1.2 測位

上記、測距データを用いて算出した測位結果から、以下の傾向が得られた。

- ・平均誤差は62cm
- ・測定の約80%が測位誤差1mに収まる。
- ・測位誤差は最大約2.2m。

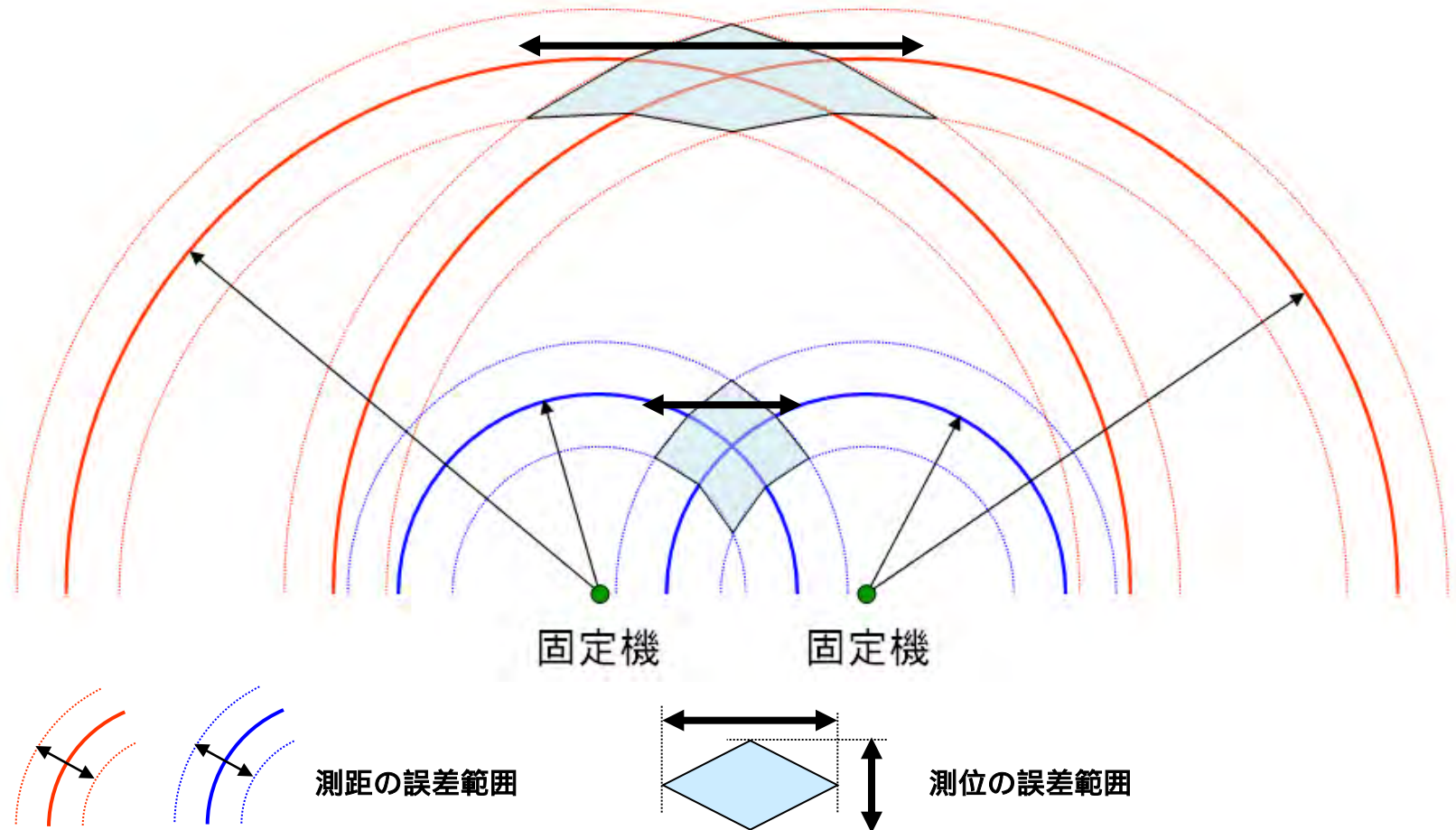
2台の固定機により、倉庫内環境で十数mの範囲において測位が可能であることを確認し、測位誤差からも、倉庫内で主として利用される110cm四方のパレットであれば、個々の位置識別も可能であることを確認した。

本技術試験では、2か所からの距離を基に位置を求める簡易な方法で測位を行ったが、サンプリングレート的高速化、ソフトウェア上の測定数値の丸め方といった変更はもとより、測位方法自体の高精度化等々、測位精度向上要素は多々あり、今後のハイバンドUWBを用いた測位の有用性が期待できる。

1. ハイバンドUWBの測距及び測位に係る技術試験（考察）

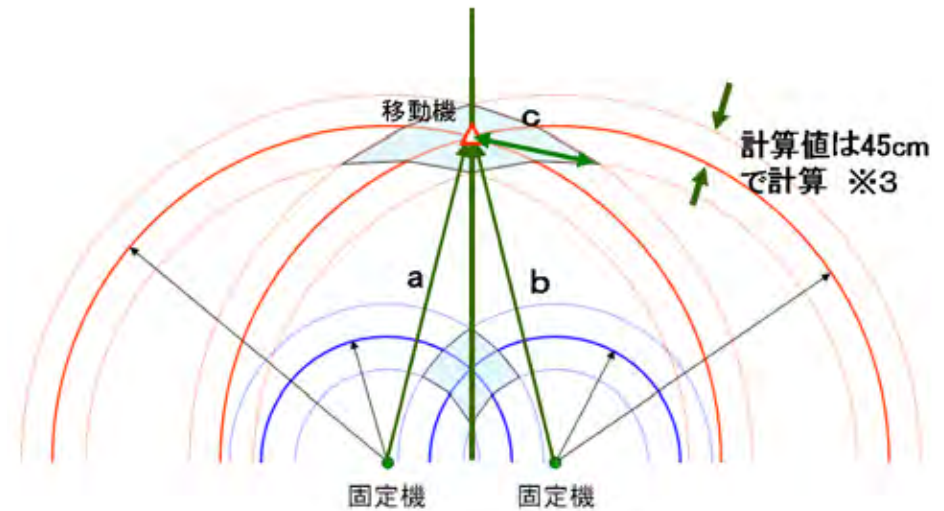
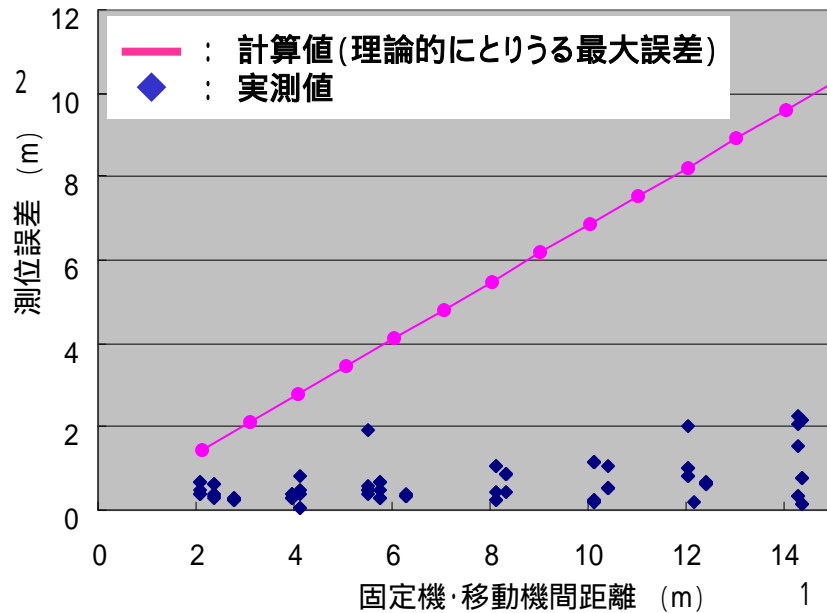
なお、測位誤差の数値は、測距誤差の数値よりも大きくなる結果得られたが、これは本技術試験における測位方式の特性によるものである。

今回の測位方法の場合、下図に示すように、測距の誤差は測距距離によらず一定であるが、測位については、遠方の測位となるほど誤差範囲が大きくなりうる。



1. ハイバンドUWBの測距及び測位に係る技術試験 (考察)

測距誤差が固定機・移動機間距離に関わらず一定であっても、測位誤差は遠方の対象物(移動機)を測位するほど、数値が大きくなりうることについて、計算値と実測値を以下に示す。
ここで、計算値は理論的な最大誤差を示す。



- 1 計算値では、移動機が両固定機から等しい距離にあるとした場合(図中のaまたはbの値)
- 2 計算値では、理論的にとりうる最大誤差
- 3 今回用いた測距・測位システムの誤差要素の値を適用

1. ハイバンドUWBの測距及び測位に係る技術試験〔考察〕

1.3 周囲環境の変化(鉄扉の有無)の測距・測位に対する影響

〔試験構成1.3.1〕

移動機が鉄扉の近傍にある場合(位置a)、測定できない状況となり、移動機が鉄扉の近傍にある測距に対する影響は特定できなかった。

移動機はオムニアンテナであり、固定機との電波伝搬路が直接波と、鉄扉による反射波の双方の影響を受け、測距パルスが続くデータ部分が読み取れなかったことによるものと考えられる。これは技術試験1.1で生じた現象と同様のものと考えられる。

移動機が鉄扉から離れた位置(位置b)では、鉄扉の有無による差は数cmであったが、技術試験1.1で明らかにした測定値の誤差の分布からも、この差は鉄扉の有無が主な要因であるとは言えず、鉄扉から5m程度離れていれた場所では鉄扉の支配的な影響はないと考えられる。

測位については、鉄扉の有無で約70cmの差が生じたが、これも、先の考察で述べたように、本技術試験における測位方法であれば、測位誤差が最大2m程度生じる場所であることから、70cmの差は鉄扉の支配的な影響によるものではないと考えられる。

〔試験構成1.3.2〕

鉄扉の有無による差が20cm程度生じる場合もあったが、以下の理由、

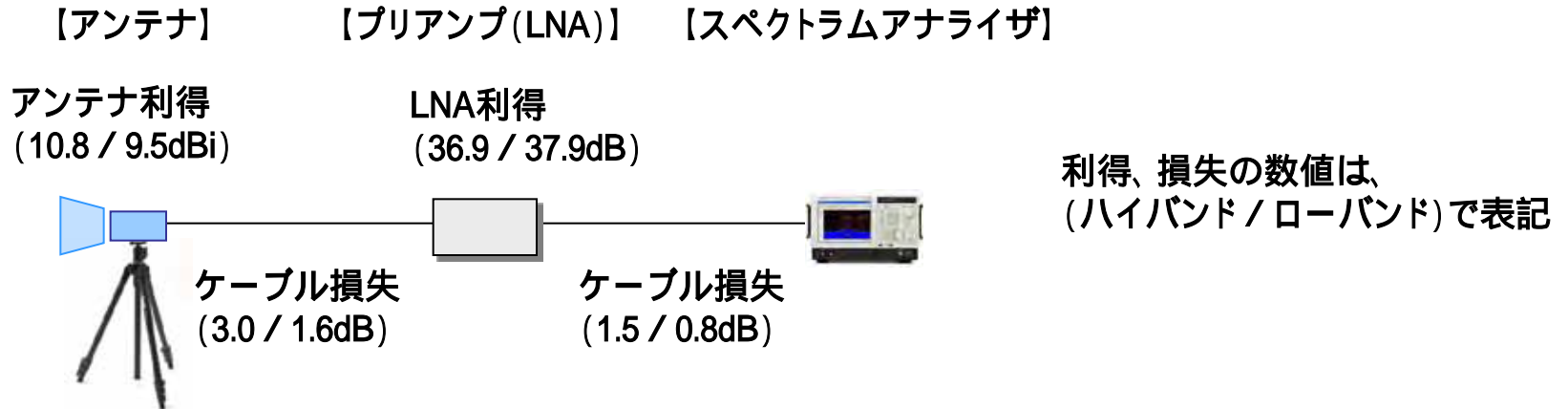
- ・鉄扉の有無による差が生じていないデータも取得した。
- ・鉄扉に近い位置に設置された固定機はヘリカルアンテナであり、その指向性からも鉄扉による反射波の影響を受けるものではない。

及び、試験構成1.3.1と同様の理由から、鉄扉による支配的な影響はないと考えられる。

測位における、鉄扉の有無で見られた約50cmの差も、試験構成1.3.2と同様の理由から、鉄扉の支配的な影響はないと考えられる。

2. ハイバンドUWBの周波数共用条件に係る技術試験（測定系）

受信側(測定側)の基本構成



送信側の基本構成

・ハイバンド

固定機として測定する場合はヘリカルアンテナを使用(受信側方向へ向ける)
移動機として測定する場合はオムニアンテナを使用

・ローバンド

電波の主な送出方向(製品の表面)を受信側に向けて送信
固定機、移動機共通

2. ハイバンドUWBの周波数共用条件に係る技術試験（測定パラメータ）

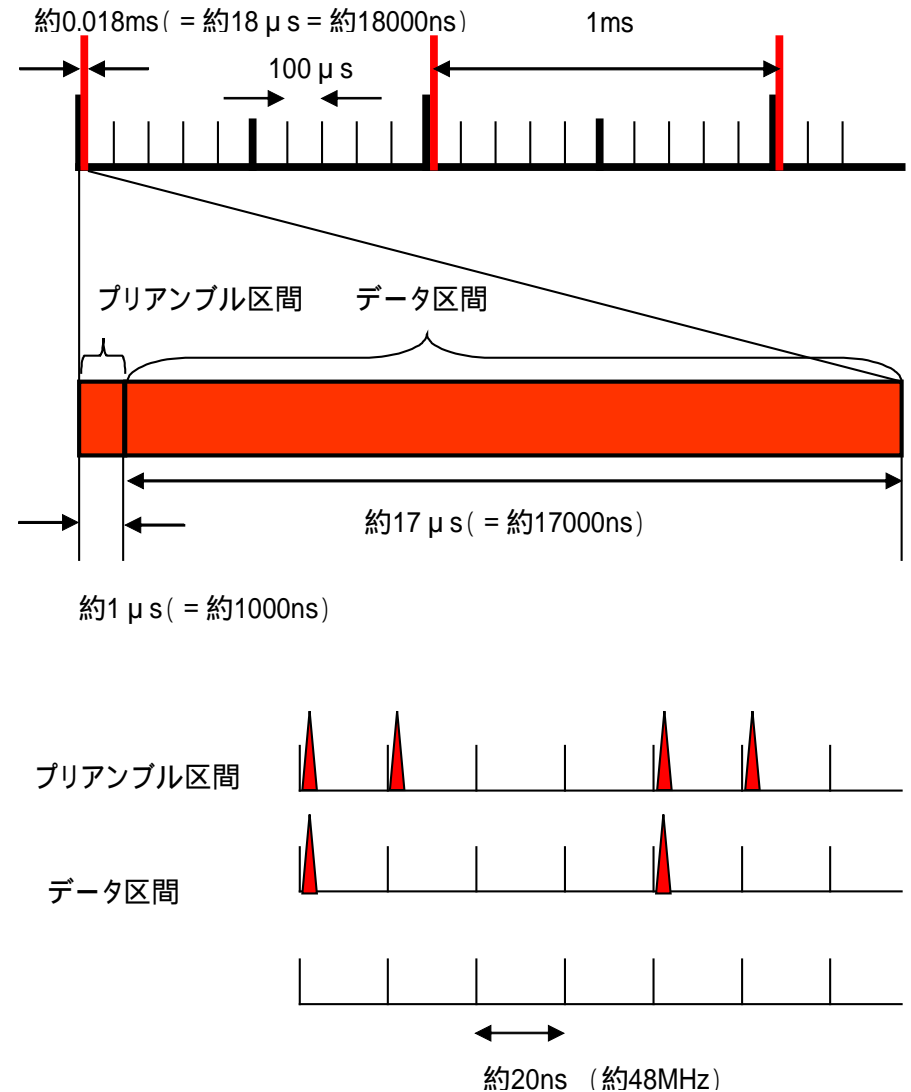
〔ハイバンド〕

・技術試験時の送信インパルス
右図参照

・測定パラメータ

スペクトラムアナライザがインパルスを測定できるタイミングは限定的で、広帯域にわたる測定には時間を要するが、1回の測定が約10分で完了することを目安に設定。

- (1) 中心周波数 : 8.25GHz
スペクトラム波形から、ピーク電力が存在する周波数を採択し、8.25GHzとした。
- (2) Span : 200MHz(中心周波数 \pm 100MHz)
本システムのスペクトラム波形から、中心周波数付近に存在するピーク電力を十分包含する範囲とし、 \pm 100MHzとした。
- (3) 分解能帯域幅(RBW) : 5MHz
測距・測位が可能な距離で、UWBの電波がノイズに埋もれずにピーク電力が検出できる値として5MHzとした。
- (4) ビデオ帯域幅(VBW) : 3MHz
RBW値設定により自動的に固定設定。

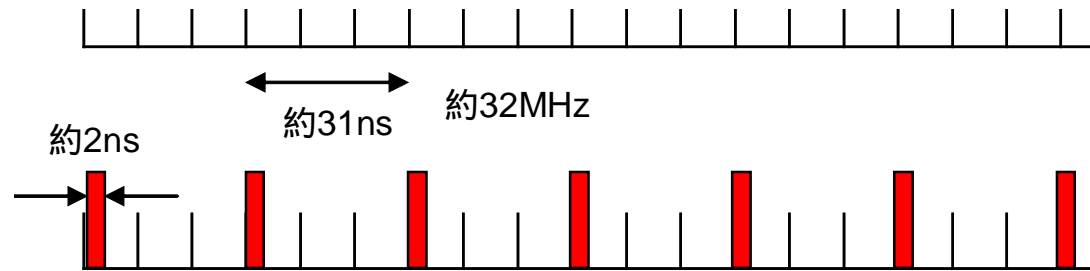


2. ハイバンドUWBの周波数共用条件に係る技術試験（測定パラメータ）

〔ローバンド〕

・技術試験時の送信インパルス

右図参照



・測定パラメータ

測定時のパラメータ設定については、ハイバンドと同様、効率よく確実にピークパワーを測定することを前提に1回の測定が約10分で完了することを目安に、以下のパラメータとした。

- (1) 中心周波数 : 4.096 GHz
本システムの実験試験局免許申請上の中心周波数とした。
- (2) Span : 800MHz (中心周波数 ± 400MHz)
Spanを十分広くとることに越したことはないが、1回の測定時間をハイバンドUWB相当の10分とすると、Spanはハイバンド測定時よりも広くとれるため、800MHzとした。
- (3) 分解能帯域幅(RBW) : 5MHz
ハイバンドUWB装置と同等の5MHzとした。
- (4) ビデオ帯域幅(VBW) : 3MHz
RBW設定により自動的に固定設定。

2. ハイバンドUWBの周波数共用条件に係る技術試験（測定方法）

- ・測定時はPeak Holdを行う。
- ・スペクトラムアナライザは、測定できた帯域から徐々に波形を表示していき、測定帯域内の波形全体を測定しつくした約10分後の波形の中からピーク値を最大から5つ記録。
- ・測定時のノイズ、UWB装置以外の無線システムからのスプリアスと想定される電波をUWB装置からの電波と誤読しないよう、UWB装置を運用しない状態で測定を行い、予め、ノイズレベルやUWB装置以外の無線システムからのスプリアス波と思われるか所を記録し、UWB測定時に考慮。
- ・ノイズレベルを決めるにあたっては、UWB無線装置の電源を切った状態で測定を行い、ノイズレベルが約-54.6[dBm/5MHz] (*)であると確認し、UWB無線装置を運用した場合の測定において、本値を超える値が取得できない場合は、UWB無線装置からの電波レベルがノイズレベル以下であるとした。

(*) RBW=5MHzとして測定したピークレベル

2. ハイバンドUWBの周波数共用条件に係る技術試験（測定パラメータ）

〔技術基準適合証明等におけるパラメータとの比較〕

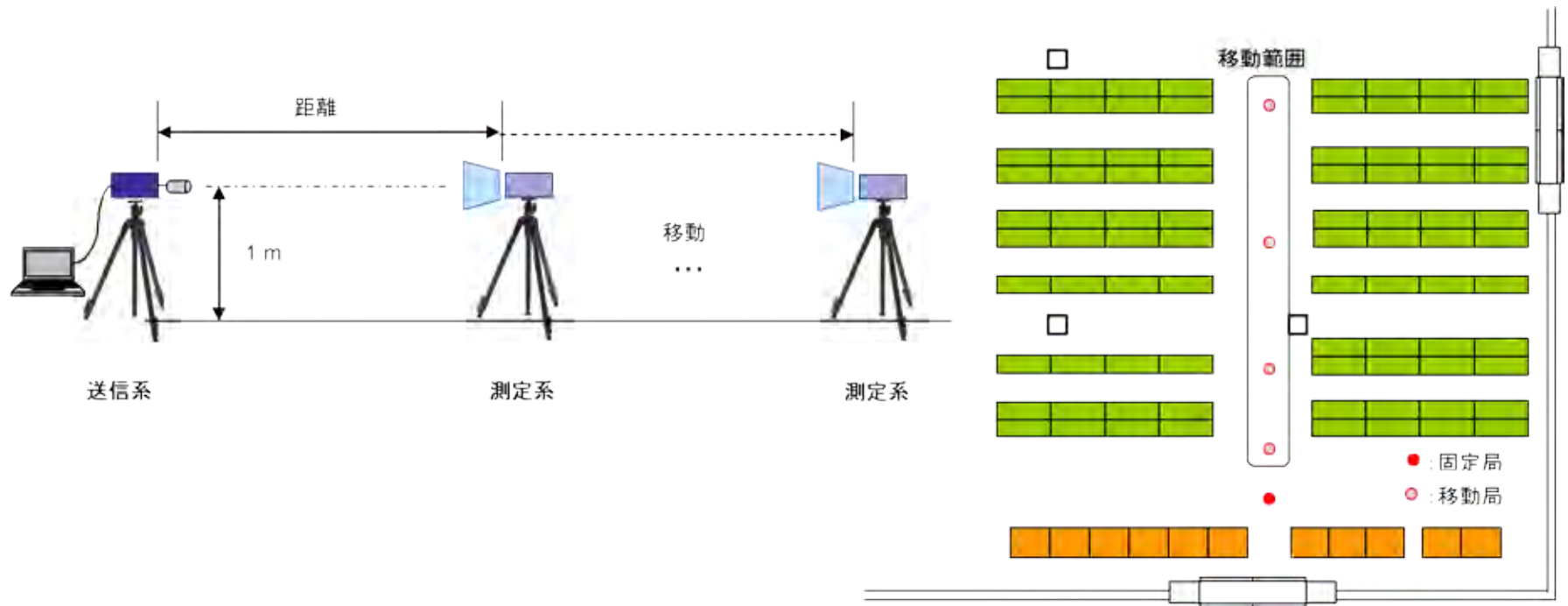
参考として、「特定無線設備の技術基準適合証明等に関する規則第2条第1項第47号に掲げる無線設備の試験方法(別表第70)」〔 〕と、今回の技術試験で用いたパラメータを比較する。

スペクトルアナライザの主なパラメータ値

	〔 〕	今回の測定	
		ハイバンド	ローバンド
中心周波数	探索された周波数	8.25GHz	4.096GHz
掃引周波数幅	100MHz程度	200MHz	800MHz
分解能帯域幅	3MHz	5MHz	5MHz
ビデオ帯域幅	分解能帯域幅の3倍程度	3MHz	3MHz
Y軸スケール	10dB / Div	5dB / Div	5dB / Div
掃引時間	測定精度が保証される最小時間	4ms	4ms
データ点数	400点以上(例 1001点)	401	401
掃引モード	連続(波形の変動がなくなるまで(例:20回程度))	連続	連続
検波モード	ポジティブピーク	ポジティブピーク	ポジティブピーク
表示モード	マックスホールド	マックスホールド	マックスホールド

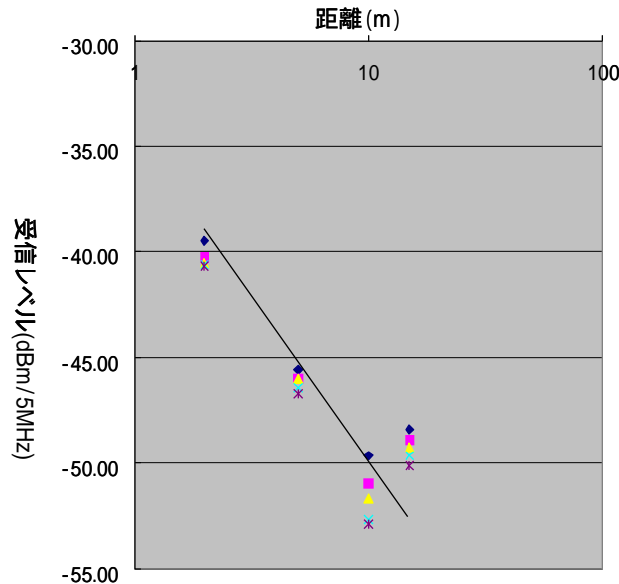
2.1 倉庫内伝搬特性測定(ハイバンド、ローバンド)〔試験構成〕

- ・倉庫内の環境における伝搬特性を確認するため、ラック間を測定系を移動させて受信電力を測定。
- ・送信系および測定系(受信アンテナ)の高さはそれぞれ1m。(運搬される荷に見立てた。)



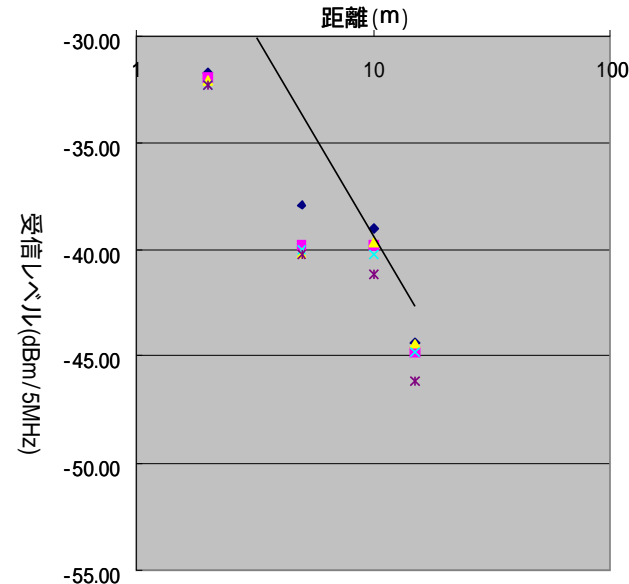
2.1 倉庫内伝搬特性測定(ハイバンド、ローバンド)〔試験結果〕

ハイバンド



ピーク値の最大
から5番目までを
記述

ローバンド



ピーク値の最大
から5番目までを
記述

直線は、自由空間伝搬とした場合の計算値

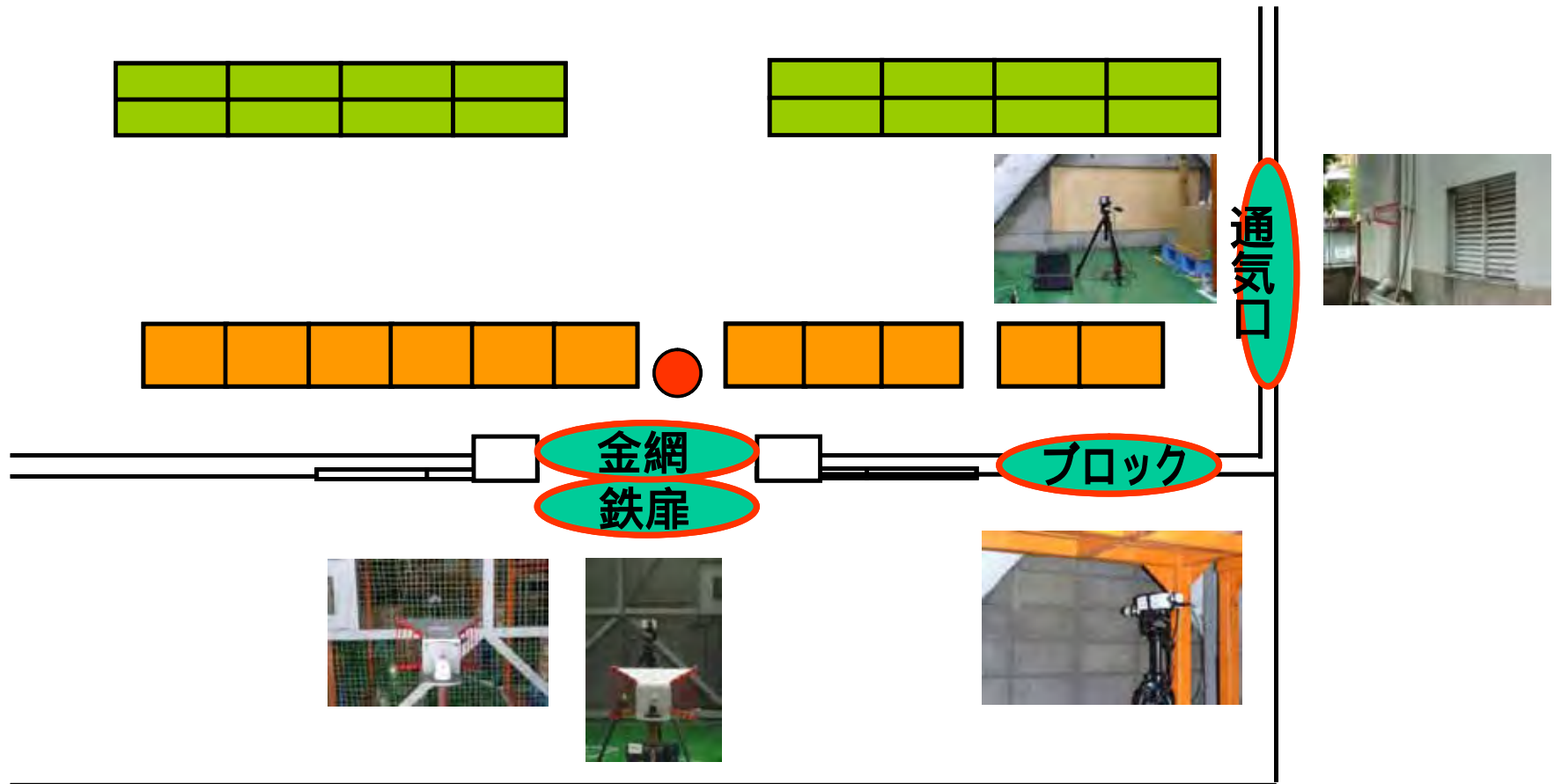
ハイバンド、ローバンド共に倉庫内の伝搬距離特性は、自由空間伝搬損の特性(2乗則)にほぼ沿って減衰する結果が得られた。

ただし、ハイバンドでは距離10mにおいて、測定ごとに受信レベルが大きく変化し(振れ幅が大きく)、15mにおいては、10mにおける受信レベルより上昇し、自由空間伝搬損を適用した場合より大きな受信レベルという結果になった。

技術試験を実施した空間は、特に側面を金属(鉄製)のラックで囲まれた状態となっており、マルチパス伝搬環境が構成され、本来、周囲に散っていく電波が床面やラックに反射し、受信測定ポイントに到達し、直接波等と合成されたことが考えられる。

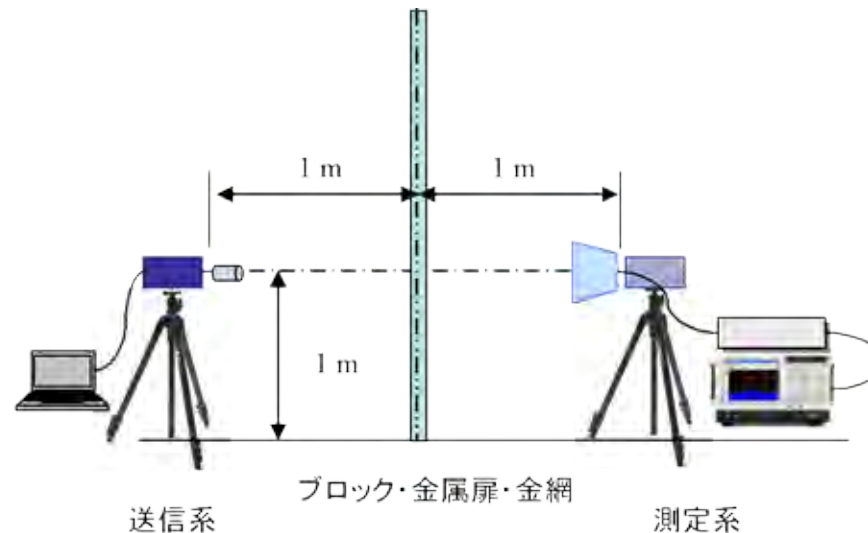
2.2 透過減衰量測定(ハイバンド、ローバンド)〔透過物〕

倉庫が屋内・屋外の境界としている通気口、ブロック、金網、鉄扉の4種類を対象透過物とした。



2.2 透過減衰量測定(ハイバンド、ローバンド)〔試験構成〕

- ・倉庫内に設置した送信系と屋外に設置した測定系(スペクトラムアナライザ等)を測定対象物をはさむようにして対向。
- ・送信系は、荷が実際に存在しうる場所(ラック間、ラック横の高さ1mの位置)でかつ、屋外に近づける場所とし、境界部分から1mの距離に設置。
- ・倉庫外に設置した測定系は、測定対象物から1mの距離に設置し、送信系に等しい高さに設置。
- ・最小の透過減衰量(屋内から屋外への漏洩電力が最大)となるよう入射角は 0° とした。(*)
- ・測定対象物がある場合とない場合の差から、透過減衰量を算定。
- ・測定対象物がない場合の測定については、鉄扉、金網では、送信系、測定系を動かさずに測定対象物側を動かして(扉を開閉して)測定。その他の場合は、送信系、測定系の位置関係を保ったまま、相互が見通せる場所で測定。



(*) 電波伝搬ハンドブック REALIZE INC.

2.2 透過減衰量測定(ハイバンド、ローバンド)〔試験結果〕

透過減衰量測定結果〔dB〕

	ブロック壁	通気口	金網	鉄扉
ハイバンド	8.7	11.4	2.0	∞
ローバンド	9.4	5.8	4.1	∞

- ・ブロック壁の結果は、コンクリートの透過減衰量として報告(*1)されている、10GHzで9.0dB、6GHzで8.0dBに相当する値。
- ・鉄扉といった鉄製の遮蔽物は透過しない。
- ・ブロック壁、金網については、ハイバンドよりローバンドの方が減衰量が大きく、ブロック壁内の鉄心間隔、金網の格子間隔が影響していると考えられる。

(*1) 信学技報 EMCJ78-38(1978-11)

2.3 開口部から屋外への電波伝搬特性測定〔試験構成〕

(1) 固定機の試験構成

固定機の設置場所

実際の測位実施時と照らし合わせ、現実的な場所として、棚の上、天井付近の梁の部分を候補としたが、屋外への電波伝搬のよりしやすい棚の上(高さ2m)の位置への設置とした。

最も屋外に電波が伝搬していく状況として、測位対象エリアを開口部付近とし、ヘリカルアンテナが装着されたハイバンドUWB無線機については、その指向性を開口部付近へ向け、ローバンドUWB無線機についても測位エリアが開口部付近になる向きに設置した。

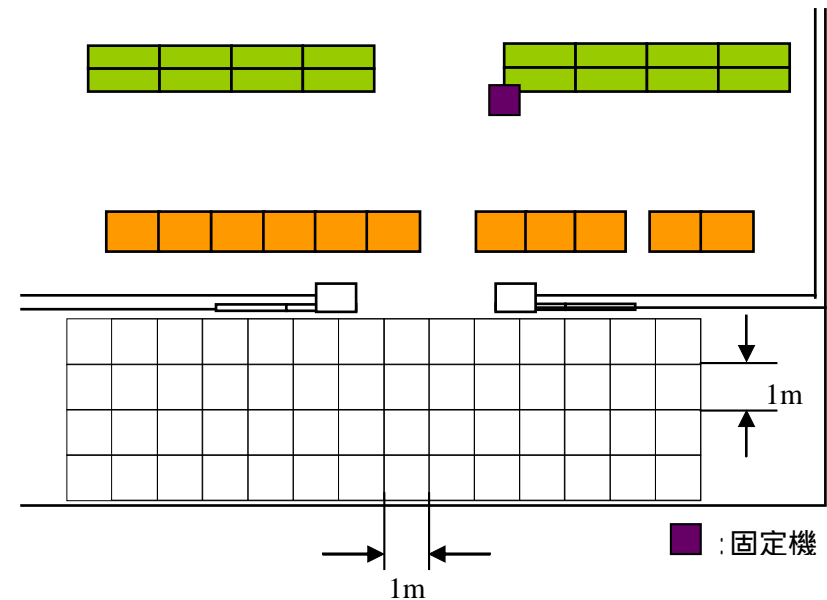
測定エリア

開口部の屋外側で、トラック等による荷の搬出入が実施される場所。

1m間隔の格子を設定し、格子点からいくつかの測定場所を選択した。

測定機側の構成は、屋内伝搬特性、透過減衰量の構成に等しくした。

アンテナは、固定機が見通せる場合は固定機方向へ、見通し外の場合は、反射波等の存在も考慮し、最も強く到来する方向へ向けて測定した。



2.3 開口部から屋外への電波伝搬特性測定（試験構成）

(2) 移動機の試験構成

移動機の設置場所

実際の測位実施時と照らし合わせ、現実的な場所として、倉庫の棚と通路を候補としたが、屋外への電波伝搬がよりしやすい通路に存在するものとし、荷が平均的に存在しうる位置（高さ1m）に設置した。また、屋内（倉庫内）のうち、最も屋外に近い開口部付近とした。

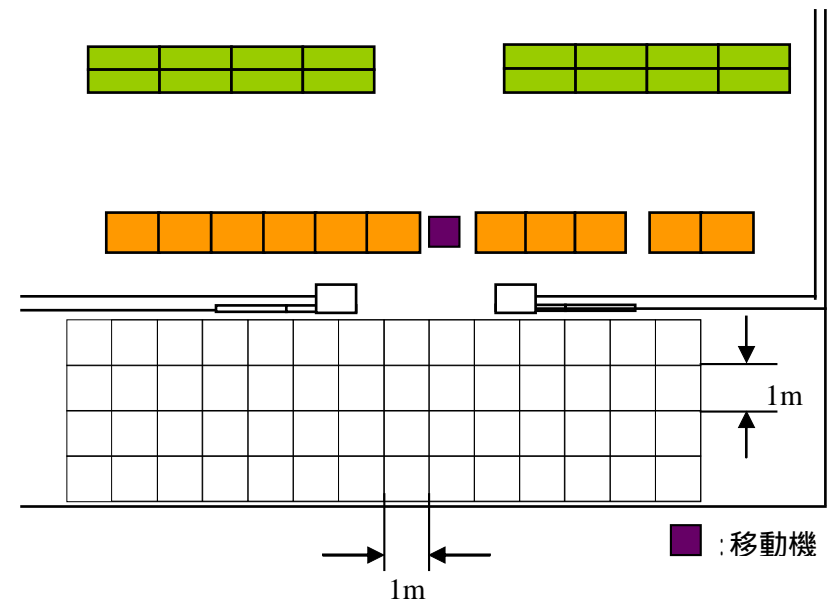
実際、荷は屋外にも搬出されうるが、屋外は測位エリア外としており、移動機は固定機からの応答もできないため、ここを移動機が電波を送出しうる最も屋外に近い位置とみなした。

移動機は単体では電波を一方向的に連続送信できないため、移動機の代わりに固定機を用い、本来固定機が装着するヘリカルアンテナから移動機が必要とするオムニアンテナに変更して測定した。

測定エリア

固定機と同様、測定エリアは、開口部の屋外側で、トラック等による荷の搬出入が実施される場所で測定した。

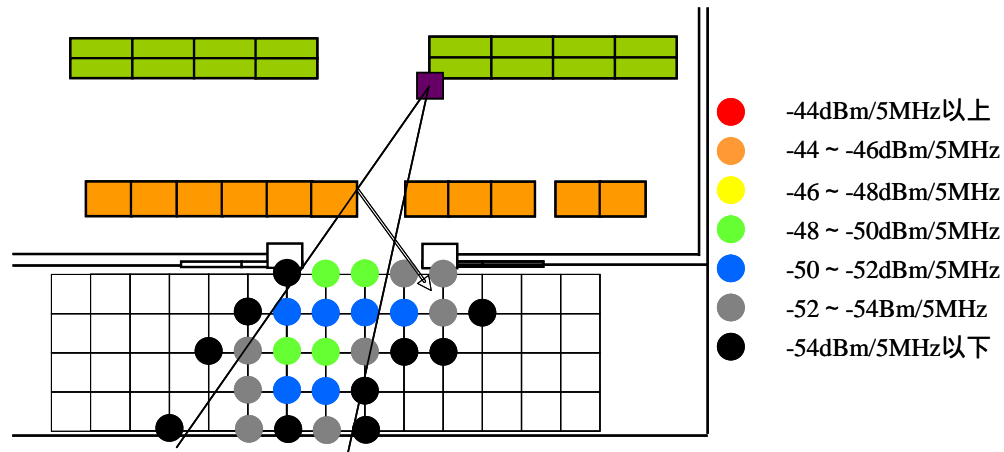
アンテナは、固定機が見通せる場合は固定機方向へ、見通し外の場合は、反射波等の存在も考慮し、最も強く到来する方向へ向けて測定した。



2.3 開口部から屋外への電波伝搬特性測定 (試験結果)

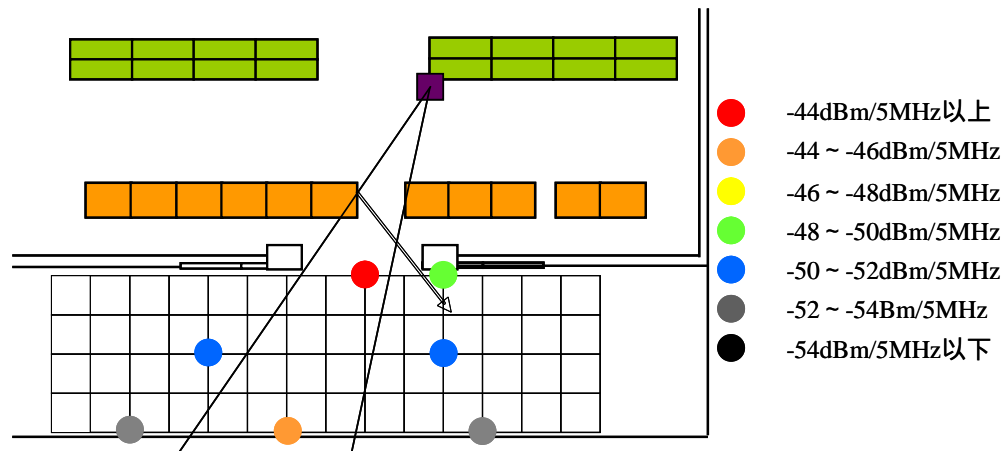
(1) 固定機の試験結果

ハイバンド



- ・電力値は、プリアンプ利得やアンテナ利得、ケーブル損失を含むスペクトラムアナライザの読み取り値(ピーク値)の上位5測定値の平均。
- ・図中の直線は、見通し内と荷などによる見通し外の境界線。

ローバンド

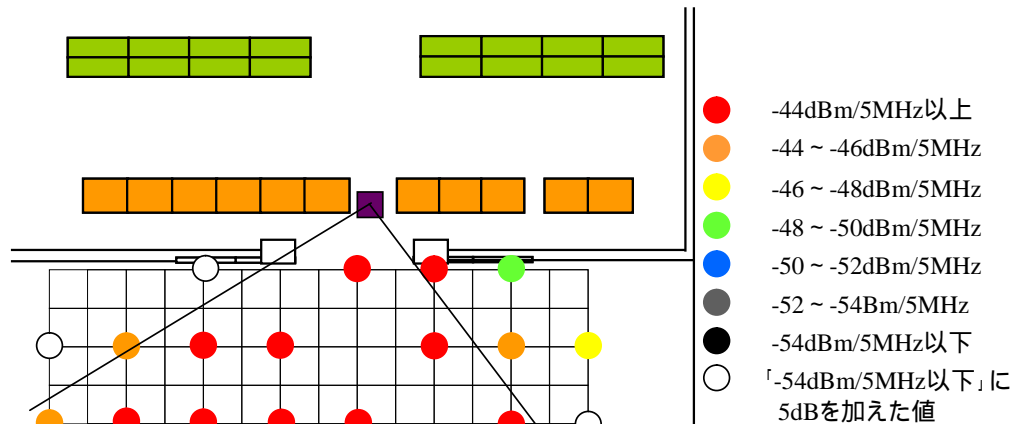


- ・倉庫外(荷物の積み下ろし場)の見通し内環境では、距離に依存した減衰傾向は見られた。
- ・見通し外伝搬になると急激に減衰し、ハイバンドでは、電波の回折による伝搬はほとんど見られなかった。ローバンドでは回折による見通し外伝搬が見られた。
- ・見通し外においては、ハイバンド、ローバンド共に、荷(内部は電子機器)による反射と思われる波も確認した。(開口面付近の右部分)

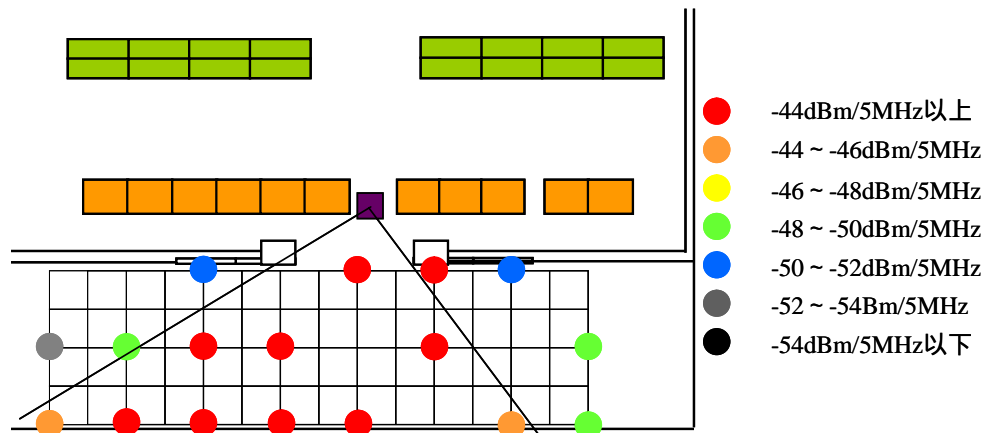
2.3 開口部から屋外への電波伝搬特性測定 (試験結果)

(1) 移動機の試験結果

ハイバンド



ローバンド



ハイバンドの試験では、固定機のヘリカルアンテナをオムニアンテナに変更して移動機の代わりとして試験した。

オムニアンテナを使用する移動機の送信電力は、ヘリカルアンテナを使用する固定機と比べ、アンテナ利得の差分(5dB)大きくするため、これを考慮した(本測定値に5dBを加えて表示した)。

- ・電力値は、プリアンプ利得やアンテナ利得、ケーブル損失を含むスペクトラムアナライザの読み取り値(ピーク値)の上位5測定値の平均。
- ・図中の直線は、見通し内と荷などによる見通し外の境界線。

- ・倉庫外(荷物の積み下ろし場)の見通し内環境では、固定機の測定結果同様、距離に依存した減衰傾向は見られた。
- ・見通し外伝搬になると急激に減衰し、ハイバンドでは、電波の回折による伝搬はほとんど見られなかった。ローバンドではハイバンドに比べ、回折による見通し外伝搬が見られた。

2. ハイバンドUWBの周波数共用条件に係る技術試験〔考察(1)〕

〔考察(1)〕 屋内(倉庫内部)と屋外との間の透過減衰量

UWBの干渉モデルで使用されている壁の減衰量は、1つの建物の室内からの平均建物遮蔽損失と同等の値として12dBとされているが、金網の結果の2.0dBを除けば、ブロック壁8.7dB、通気口11.4dBは、平均値としている12dBの想定範囲内と考えられる。

また、本技術試験結果は、境界面に対して垂直な角度の電波伝搬(入射角 0°)の場合であり、実際の利用形態では、UWBから被干渉システムへ向かう電波伝搬路と壁等が垂直になる場合は確率的に非常に低い。また、斜めに入射する場合、ブロック壁ではブロック内部を通過する区間の増加や、倉庫内の棚による遮蔽が影響し、実効上の透過減衰量はより大きくなると考えられる。

従って、本技術試験で得られた結果は、考慮しうる最小の減衰量、すなわち、UWBが他システムに最悪の干渉を与える状態を示すものである。

また、金網は鉄扉と同様、開口部の戸として利用されていることから、壁の位置付けではなく、開口部から屋外に漏洩する電波の検討の際に付加する損失分として位置付ける。

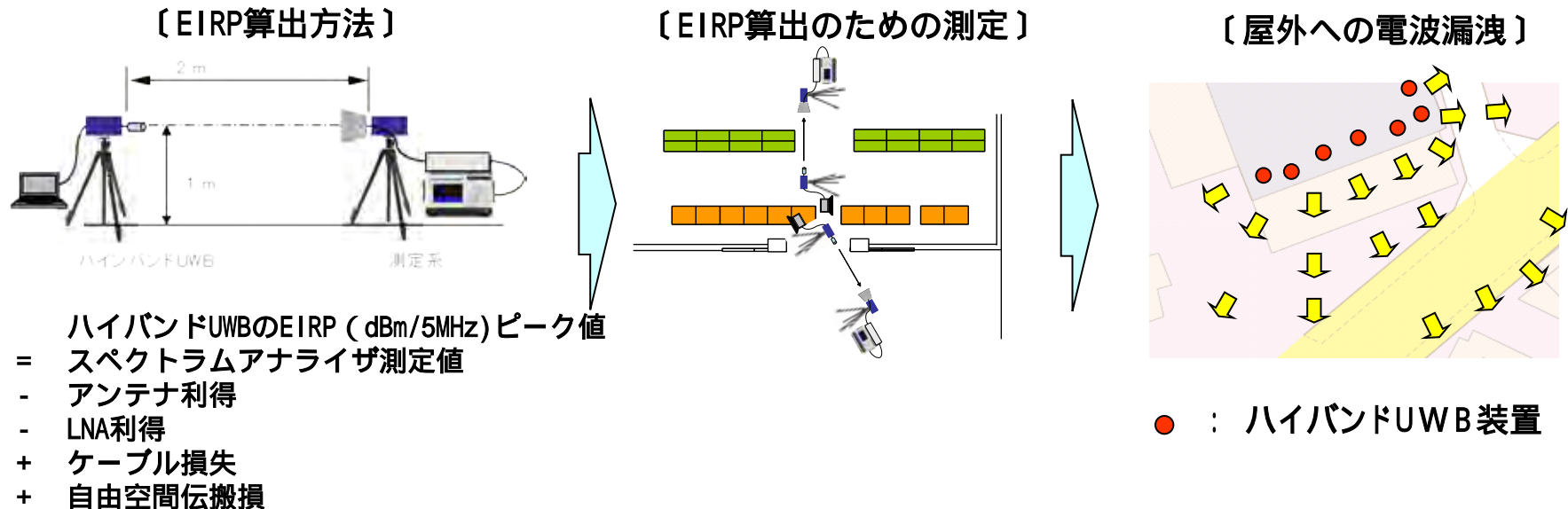
2. ハイバンドUWBの周波数共用条件に係る技術試験〔考察(2)〕

〔考察(2)〕 倉庫で使用するハイバンドUWBの屋外への電波漏洩状況

技術試験より、倉庫内と屋外の境界(壁等)の透過損失や、開口部から屋外に向けた電波伝搬状況を明らかにした。

技術試験結果をもとに、ハイバンドUWBの移動機が倉庫内の様々な場所、とりわけ、屋外に漏洩する電波が強くなると想定される屋内と屋外の境界付近で使用されるとして、倉庫内から屋外への電波漏洩状況を明示した。

算出にあたっては、ハイバンドUWBの送出電波を2m離れた位置で測定し、ハイバンドUWB装置と測定器アンテナの間を自由空間伝搬とした上で、ハイバンドUWB装置の等価等方輻射電力(EIRP)を割り出し、このEIRP値でハイバンドUWB装置の位置から倉庫外に自由空間伝搬していくとし、境界(壁等)部分の透過損失は、技術試験結果の値を適用した。

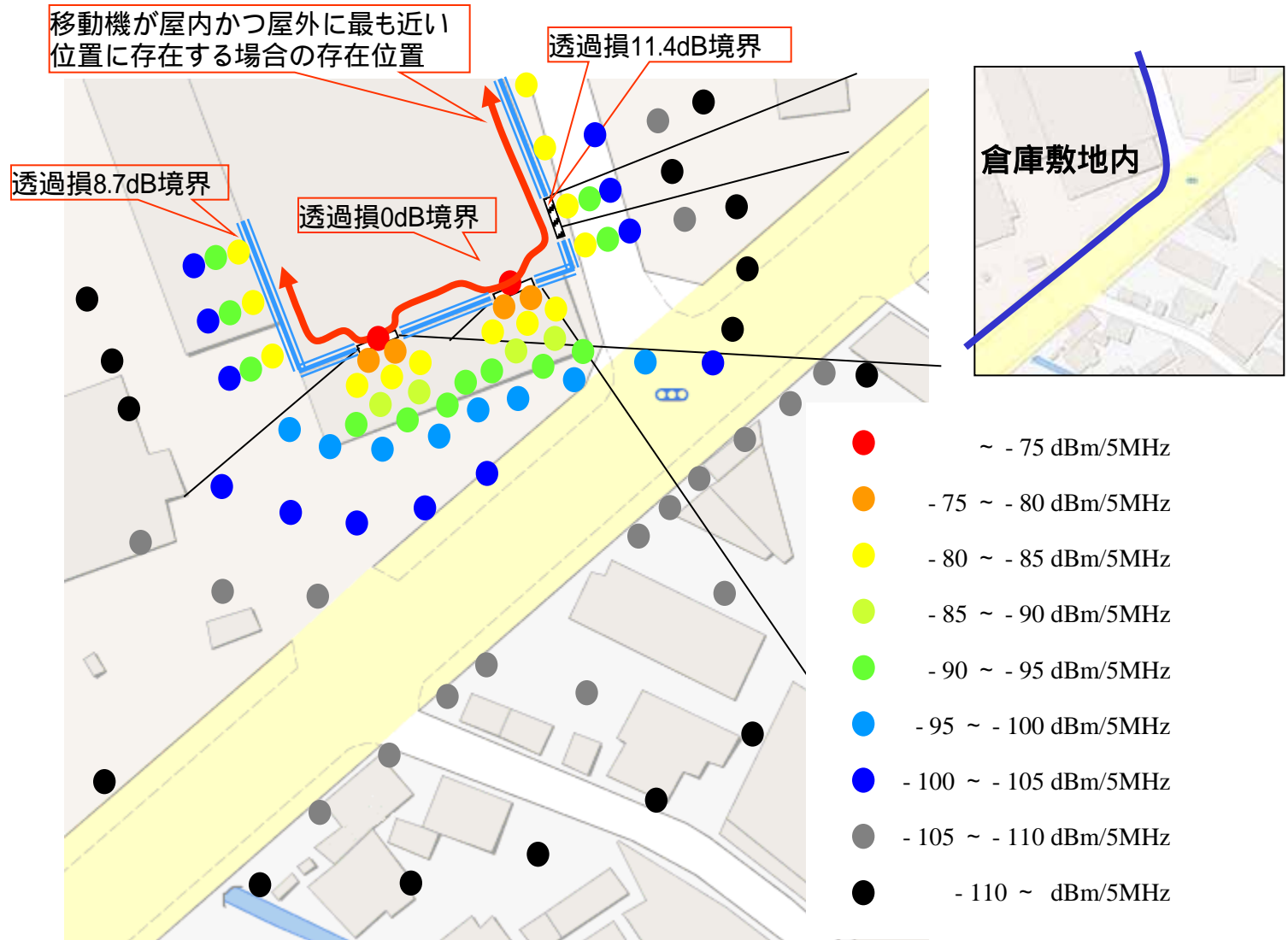


2. ハイバンドUWBの周波数共用条件に係る技術試験〔考察(2)〕

〔考察(2)〕 倉庫で使用するハイバンドUWBの屋外への電波漏洩状況

屋外の各ポイントに到達するUWBからの電力(ピーク値)

倉庫敷地外の建造物等による遮蔽は無視した



2. ハイバンドUWBの周波数共用条件に係る技術試験〔考察(3)〕

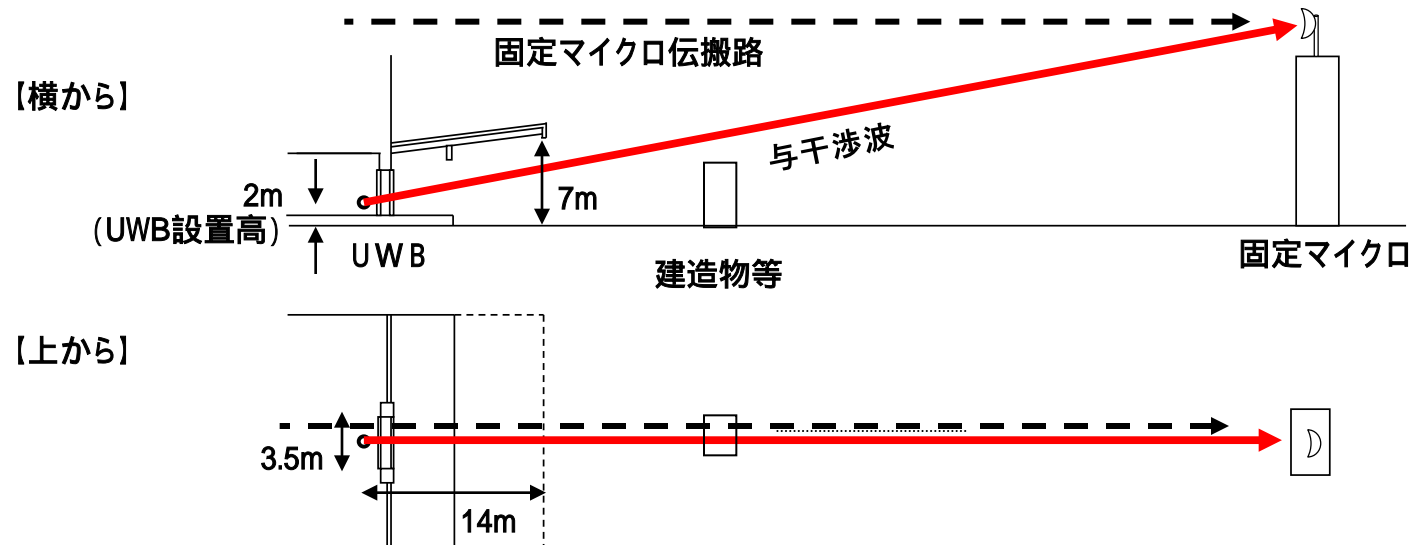
〔考察(3)〕 ケーススタディ(ハイバンドUWBの固定マイクロへの干渉)

ハイバンドUWBが7.5GHz帯を用いる固定マイクロ(中継用固定マイクロ、および携帯電話エントランス)に与える干渉について、技術試験を実施した倉庫環境をモデルに、ケーススタディを行った。

なお、倉庫の実環境を踏まえた上で、干渉が最も厳しくなる以下の条件を設定した。

- (a) UWBは、最も屋外に電波が漏洩し易い位置である開口面(荷の搬出入口)で使用される移動機とした。したがって壁等による透過損は0dB。
- (b) UWB・固定マイクロ間は見通し区間とし、倉庫外では自由空間伝搬。
- (c) 固定マイクロの伝搬路上の真下にUWBが存在。

倉庫で使用されるハイバンドUWBと被干渉固定マイクロとの位置関係を以下に示す。



2. ハイバンドUWBの周波数共用条件に係る技術試験〔考察(3)〕

〔考察(3)〕 ケーススタディ(ハイバンドUWBの固定マイクロへの干渉)

検討対象となりうる被干渉固定マイクロの位置選定にあたり、倉庫及び倉庫周囲の環境や、既存固定マイクロの利用状況から、まず、固定マイクロの位置のとりうる範囲を明確化した。

(a) 倉庫からせり出す屋根(ひさし)で見通し外となる位置は対象外とした。

倉庫におけるトラックの横付け位置には、鉄製の屋根(ひさし)がせり出しており、これによりUWBから見通せない位置にある固定マイクロは対象外とする。

技術試験を実施した場所で、UWBが最も屋外に近づく位置から屋根(ひさし)の端を見た仰角は約 21° であり、この値を適用する。

(b) 倉庫開口部に置かれたUWBから固定マイクロ方向には、50m先までは障害物がなく、50m以遠の固定マイクロ方向への見通しを妨げる障害物は、50m先の高さ15mの建造物とした。

技術試験を実施した倉庫構内には、トラック用駐車スペースがあり、倉庫では50m程度の見通しがあることを考慮した。また、高さ15mの建造物として、2階建て倉庫、もしくは、3～5階程度の一般建築物を想定した。

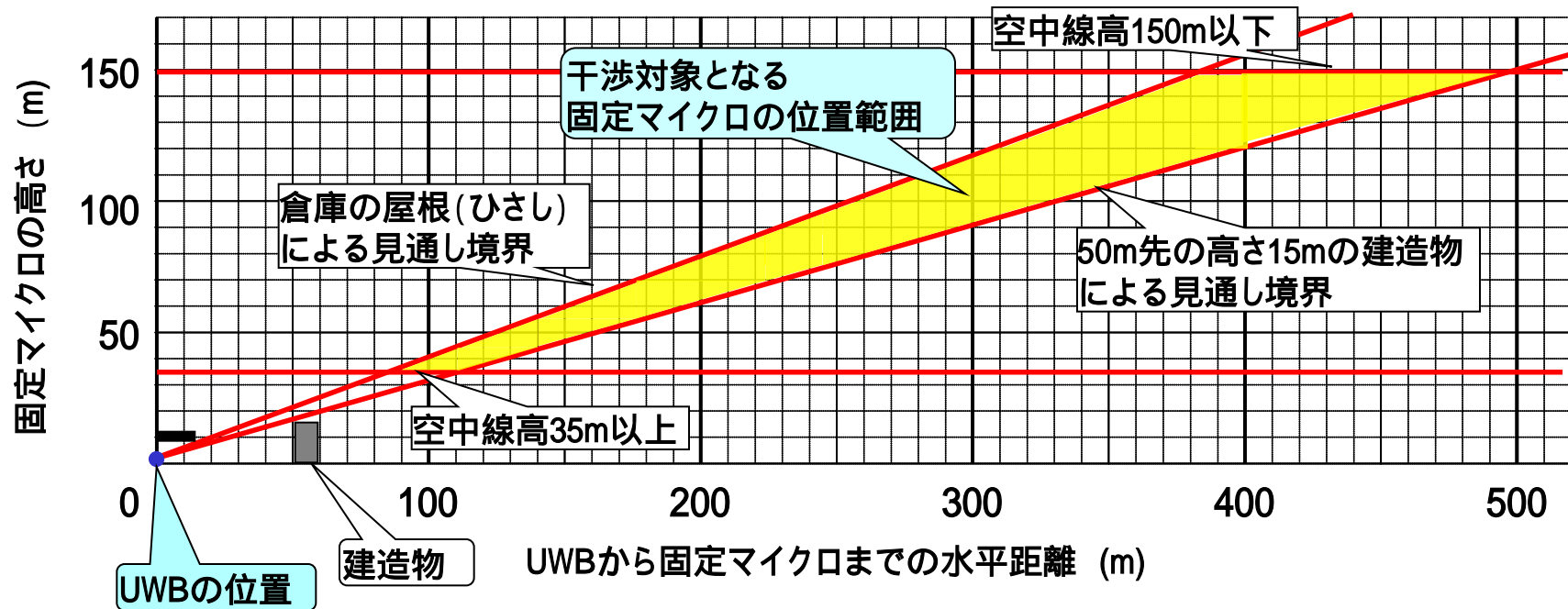
(c) 固定マイクロの空中線高は35m～150mの範囲とした。

中継回線として利用される場合、特に都市部では地上高を高くしており、固定マイクロの伝搬路が伝搬障害防止区域に指定されるためには、「電波伝搬路の中心線のすべて又は一部が地上高45m以上」なる条件があることから、空中線高は45m以上が一般的とも言えるが、近年の携帯電話エントランスの利用も考慮し、さらに10m低い35mを考慮した。

2. ハイバンドUWBの周波数共用条件に係る技術試験〔考察(3)〕

〔考察(3)〕 ケーススタディ(ハイバンドUWBの固定マイクロへの干渉)

ハイバンドUWBおよび固定マイクロの位置関係から、検討対象となりうる被干渉固定マイクロの空中線のとりうる範囲を以下に示す。



2. ハイバンドUWBの周波数共用条件に係る技術試験〔考察(3)〕

〔考察(3)〕 ケーススタディ(ハイバンドUWBの近傍の固定マイクロへの干渉)

被干渉システムとした7.5GHz帯中継用固定マイクロシステム及び7.5GHz帯携帯電話エントランスシステムの干渉検討に関わる諸元を以下に示す。

	中継用固定マイクロ	携帯電話エントランス
使用する周波数帯	7.425 ~ 7.75GHz	
受信空中線利得	46.5dBi(4.0m パラボラ)	36.9dBi(1.2m パラボラ)
受信給電系損失	9dB	4dB
許容干渉レベル [kTBF-20] (dBm/MHz)	-129.8dBm/MHz	-128.8dBm/MHz

受信空中線の指向特性は、実際の空中線の利用

被干渉システムの受信機入力レベルは以下の計算によった。

$$\begin{aligned} & \text{被干渉システムの受信機入力レベル (dBm/MHz)} \\ & = \text{UWBのEIRP (dBm/5MHz)} \quad (\text{技術試験によるピーク値}) \\ & \quad - \text{自由空間伝搬損 (dB)} \\ & \quad + \text{固定マイクロの受信空中線利得 (dBi)} \\ & \quad - \text{固定マイクロの受信空中線の指向特性による減衰分 (dB)} \\ & \quad - \text{固定マイクロの受信給電系損失 (dB)} \\ & \quad - 10\log(5) \quad (5\text{MHz幅から}1\text{MHz幅に換算}) \end{aligned}$$

2. ハイバンドUWBの周波数共用条件に係る技術試験〔考察(3)〕

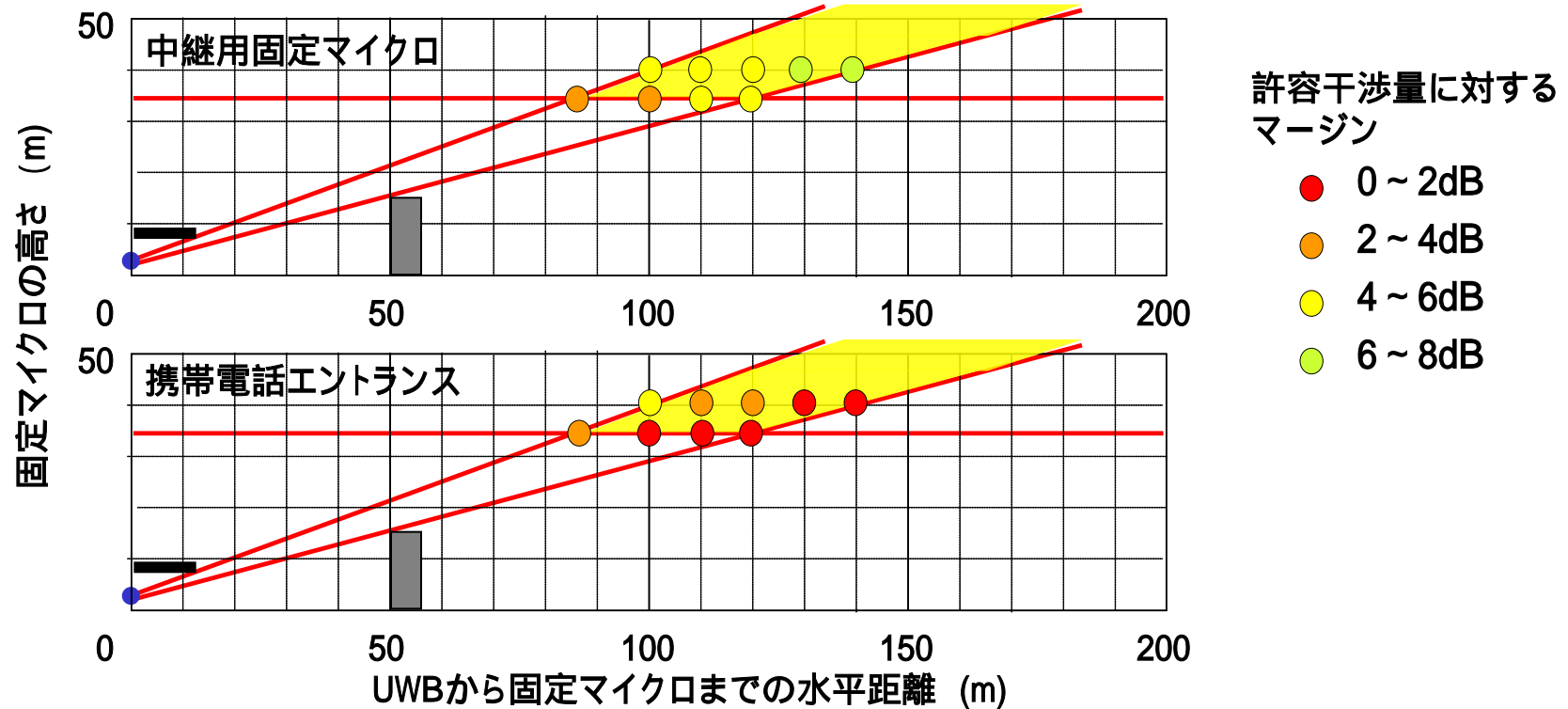
〔考察(3)〕 ケーススタディ(ハイバンドUWBの近傍の固定マイクロへの干渉)

干渉検討対象となる固定マイクロの位置のうち、干渉の厳しい位置、すなわち、

・UWB・固定マイクロ間距離が近い

・固定マイクロから見て、受信空中線の主ビーム方向とUWBの方向とのなす角が小さい

を満たす固定マイクロの位置を選定し、干渉検討を行い、いずれの位置においてもUWBによる干渉波は、固定マイクロの許容干渉量を下回る結果を得た。許容干渉量に対するマージンを以下に示す。



2. ハイバンドUWBの周波数共用条件に係る技術試験〔考察(3)〕

〔考察(3)〕 ケーススタディ(ハイバンドUWBの近傍の固定マイクロへの干渉)

- ・中継用固定マイクロについては、受信空中線の指向特性が鋭いことから、UWBの近傍では、干渉許容マージンは距離に依存する。
一方、携帯電話エントランスでは、小型の空中線で指向特性がゆるく、干渉許容マージンは、距離よりもUWBから固定マイクロを見た仰角が支配的となる。
- ・ケーススタディでは、固定マイクロに最も厳しい干渉を与える場所である地上階の倉庫開口部にUWBが存在する状態を扱ったが、倉庫の休業時等、鉄扉が閉められた場合は、開口部は電波的に完全遮蔽され、金網の場合はさらに2dBの減衰が生じる。
- ・開口部の間口は約3.5mであり、この場所で同一システムの複数のUWBが同時に電波を送出することは考えにくく、開口部からの干渉波は、1台のUWBによるものとみなすことが妥当である。
- ・開口部では、屋根(ひさし)や近隣の建造物との関係から、固定マイクロとの見通し状態に制限があった。一方、見通し状態の良い、すなわち2階以上の上層階に設置されたUWBによる干渉では、固定マイクロ側の受信空中線利得が増加することになるが、上層階には、開口部となる荷の搬出入口は技術試験を実施した倉庫では存在せず、ブロック壁8.7dB、通気口11.4dBの減衰を見込むことになる。

2. ハイバンドUWBの周波数共用条件に係る技術試験（次ステップへの展開）

〔考察（次ステップへの展開）〕

センサーシステムの既存システム（固定マイクロ）への干渉検討

【別資料参考】

・『UWB無線システム委員会 報告書(案) 2006年1月31日』において前提とされた諸条件を踏まえた干渉検討

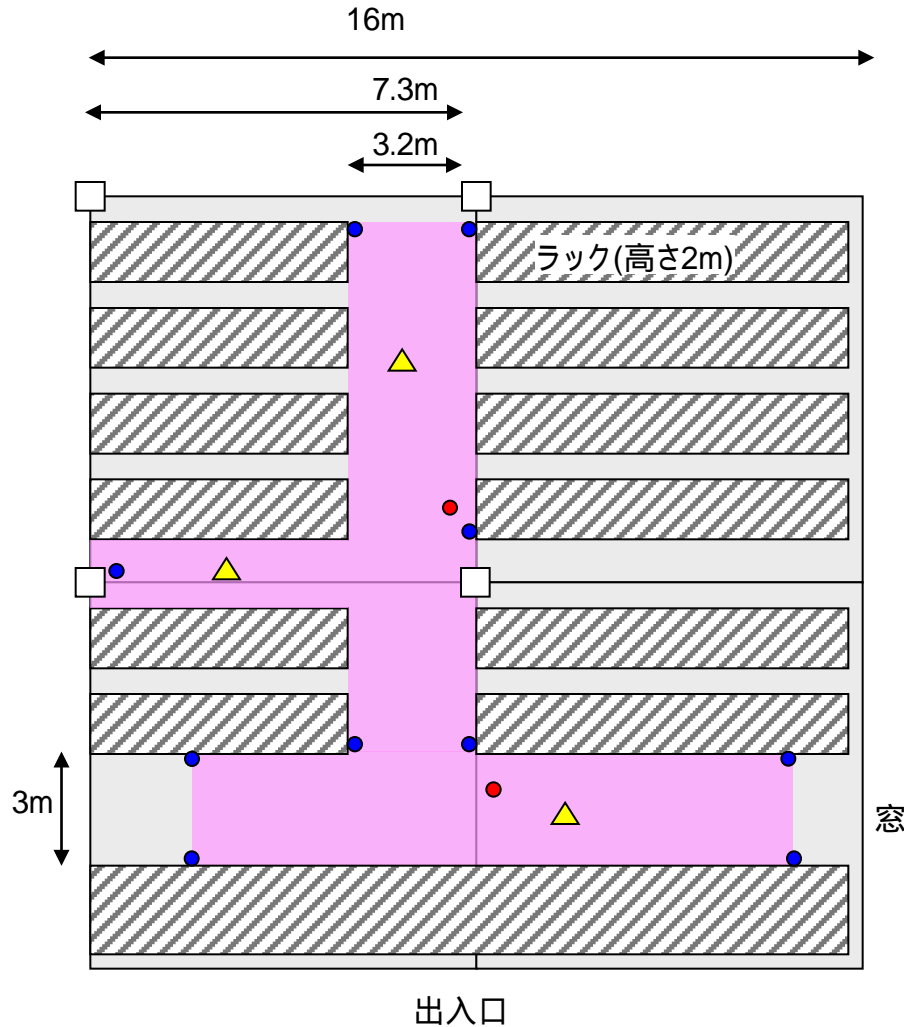
干渉モデルを用いて、50Mbps以上の伝送速度を有する通信設備と、主に50Mbps未満の伝送速度を有数センサー設備が混在するアグリゲーション環境における既存システム（固定マイクロ）への干渉検討結果を提示。

・ハイバンドのシステム共用条件の今後の検討課題提起

さらなる文献調査または実測による、9.5GHz帯の都市内電波伝搬の評価に基づく、干渉条件の検討の必要性。

3. UWB無線センサーネットワークに係る技術試験（試験構成）

UWB測位センサーネットワークシステムを用い、倉庫における物品管理を模擬した公開デモを実施。（ローバンド）



- : 固定機(基地局) 10台
- : 固定機(基準局) 2台
- ▲ : センサー付き移動機 3台
- : カバーエリア

- ・実際の倉庫における測位、およびセンサーデータ取得を実証。
- ・本技術試験はローバンドで実施したが、技術試験1のハイバンドUWBの結果（ハイバンドの固定機をローバンドと同様な配置をしても、測距・測位が可能であり、誤差についても、倉庫内パレット等を認識できる範囲）から、ハイバンドによるUWBセンサーネットワーク実現の可能性が期待できる。