

# 屋外実証試験結果

資料 3-3

## ■概要

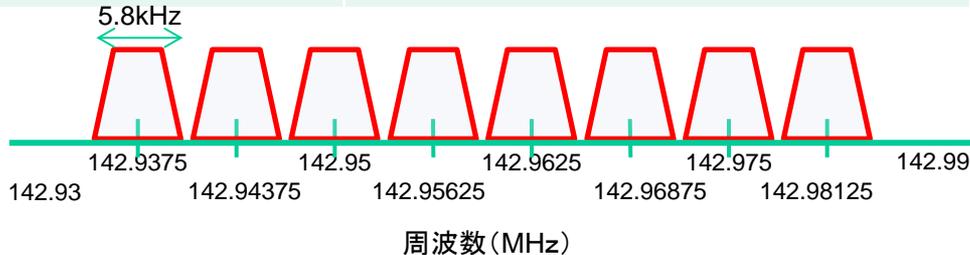
	試験内容
目的	狭帯域化した登山者等位置検知システムを用いて、実環境における伝搬特性を把握し、登山者等位置検知システムの技術的条件の検討に資することを目的とする
概要	①距離特性試験(実環境における伝搬特性の把握) ②アンテナ高特性試験(実環境を想定した各種アンテナ高における伝搬特性の把握)
実施時期	平成26年12月1日(月)～平成26年12月5日(金)
実施場所	石川県金沢市 医王山スポーツセンター および周辺エリア

## ■実証試験スケジュール

日時	午前	午後
12/1(月)	準備及び動作確認	①距離特性
12/2(火)	①距離特性	①距離特性
12/3(水)	②アンテナ高特性	②アンテナ高特性
12/4(木)	公開実証試験準備	公開実証試験
12/5(金)	②アンテナ高特性	撤収作業

# 試験装置

項目	諸元
周波数	142.9375~142.98125MHz (6.25kHz間隔の8波)
帯域幅	5.8kHz
空中線電力	100mW
受信感度	-117dBm
変調方式	2値GFSK方式
通信速度	2400bps
通信内容	データ
キャリアセンス機能	あり(-97dBm程度)
アンテナ	指向性(検知者) 無指向性(登山者)
アンテナ利得	1.8dBi(検知者) -0.57dBi(登山者)



## 検知者端末



## 登山者端末



# ① 距離特性試験(状況)

## ■ 検知者端末(山小屋などに設置するもの)



図1-1 検知者端末の構成図

## ■ 登山者端末(人が持参するもの)



図1-2 登山者端末の構成図



図1-3 検知者端末アンテナの設置風景

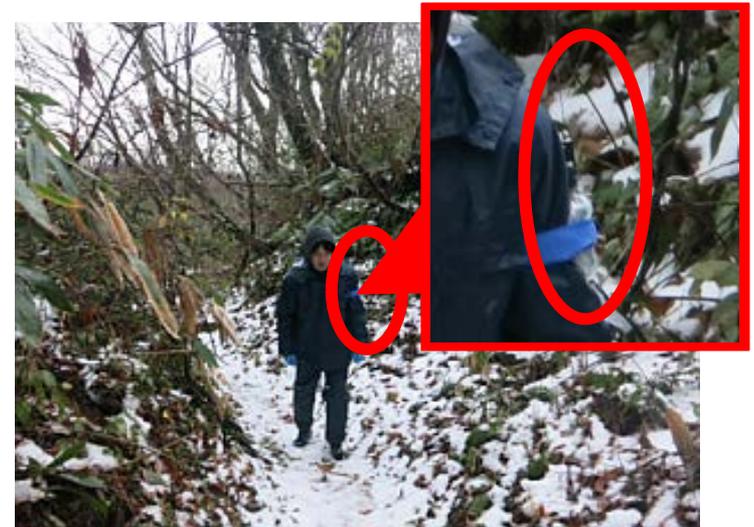


図1-4 登山者端末の設置風景

- 検知者端末の八木アンテナを地上高1.5mで三脚に固定
- アンテナと検知者端末間は使用周波数における損失が1.5dBのケーブルを使用
- 検知者端末とUSBで接続したタブレット・パソコンにてコマンドの送受信および登山者端末の位置情報を取得

- 登山者端末は地上高1.5mの位置で手持ち又は腕に固定
- 検知者端末は本体に直接アンテナを接続

# ① 距離特性試験(結果1/3)

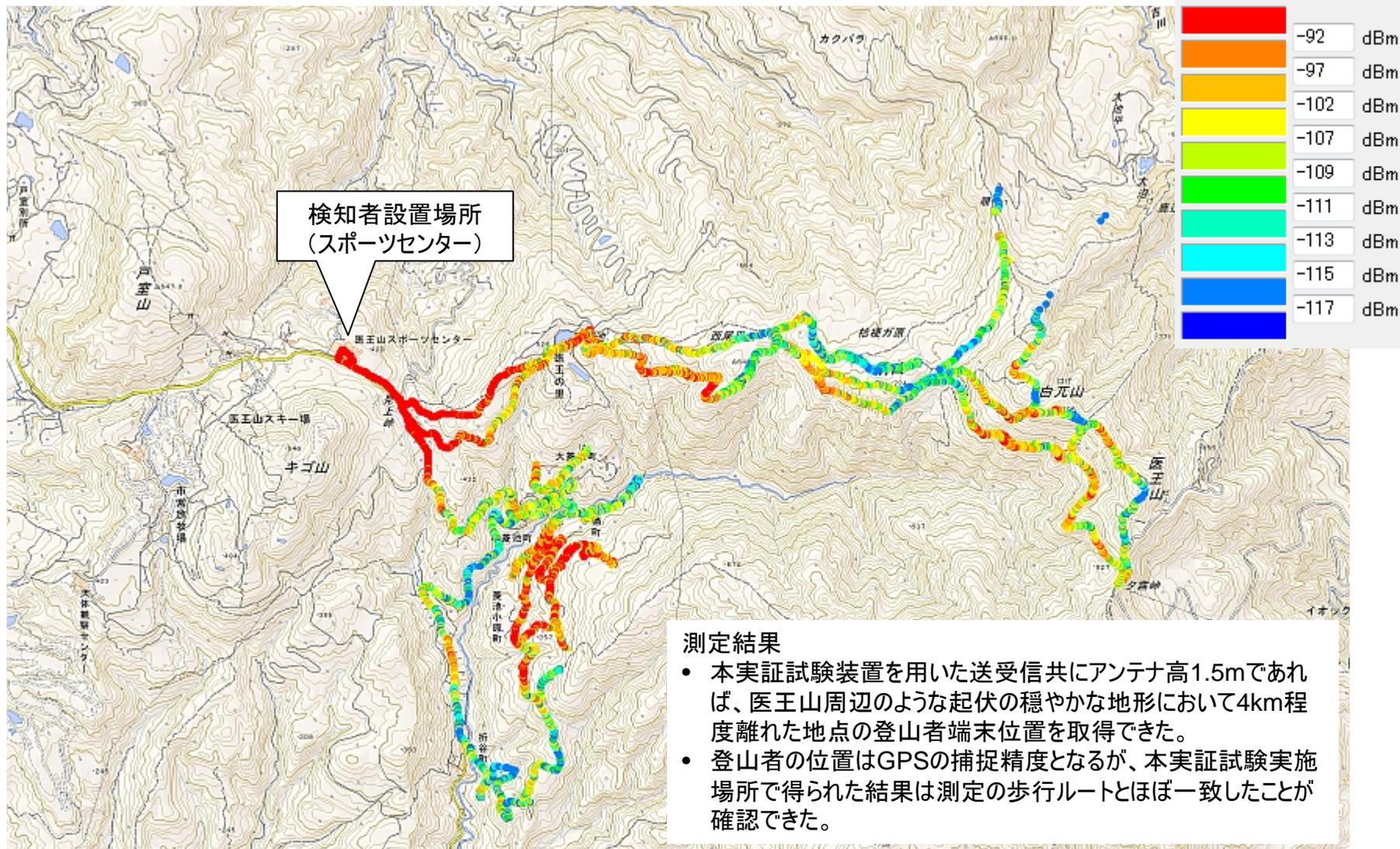


図1-5 医王山スポーツセンターに設置した検知者端末における登山者端末からの受信電力マップ

# ① 距離特性試験(結果2/3)

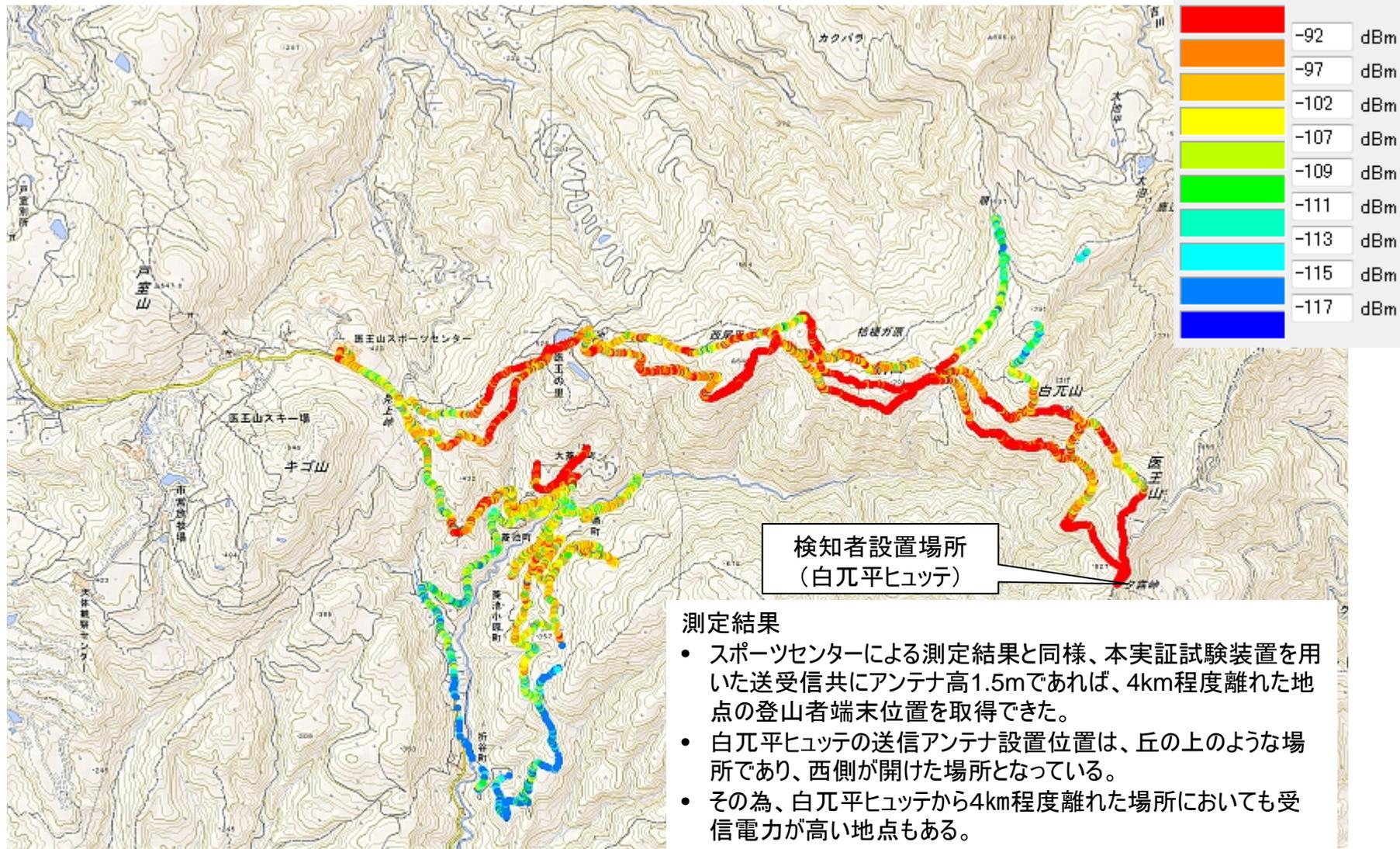


図1-6 白兀平ヒュッテに設置した検知者端末における登山者端末からの受信電力マップ

# ① 距離特性試験(結果3/3)

## ■ 実証試験と机上計算の受信電力比較

山岳回折に関わる標高を考慮した計算式※1(多重回折損失計算式、TU-R P.1812)およびVHF帯に適用できる計算式※2(拡張秦モデル、平面大地における2波モデル、自遊空間伝搬モデル)を用いて、測定結果と比較を行う。

- 机上計算では本試験装置の諸元、アンテナ高、設置位置情報を用いて計算。
- 検知者端末と登山者端末間の距離が15m以上の測定結果を使用。

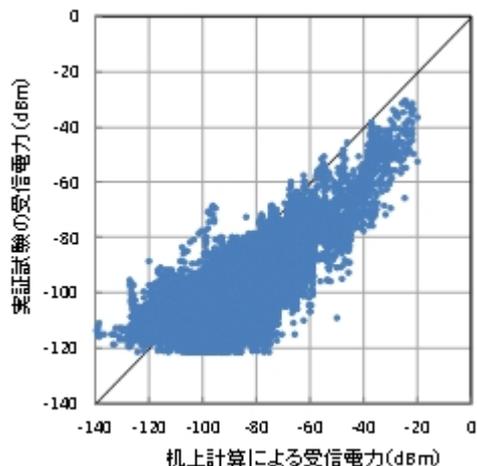


図1-7 多重回折損失計算との比較

- 机上計算で得られた受信電力は実証試験の受信電力よりも高くなる傾向であった。
- 数値標高モデルを用いた多重回折損失計算であるが、測定環境の樹木や細かな地形情報までは計算に含めることが難しいため差が生じたものと考えられる。
- ただし、測定結果と計算結果の相関は高い傾向にあることがわかる。

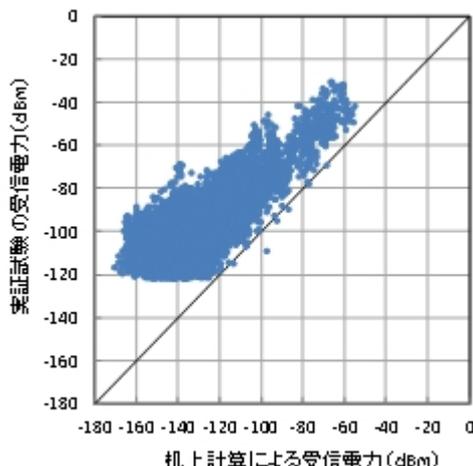


図1-8 ITU-R P.1812との比較

- 机上計算で得られた受信電力は実証試験の受信電力よりも低くなる傾向であった。
- 多重回折損失と同様に結果に差が生じている。また、測定結果と計算結果の相関も同様に高いことがわかる。
- 全データにおいて、計算結果が低い結果であったことから、最悪条件での評価を行う際には、ITU-Rの計算式を用いることが出来ると考えられる。

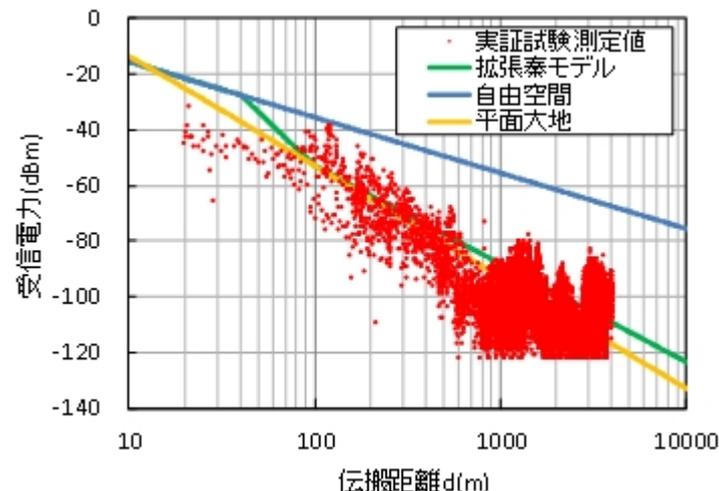


図1-9 拡張秦モデル及び平面大地との比較

- 実証試験の受信電力は拡張秦モデル、平面大地による2波モデルの計算結果に近い傾向であった。
- 拡張秦モデル(OpenArea)や平面大地の2波モデルは山岳地域の計算に必ずしも合致するわけではないことを考慮する必要がある。その為、ある程度の距離を求める目安では有効と考えられるが、詳細な検討を行う際には多重回折損失やITU-Rの式を用いること望まれる。

※1: 机上計算は数値標高モデル(DEM)10mメッシュ(標高)を使用し、多重回折損失計算もしくはITU-R P.1812より受信電力を算出。実証試験で使用したアンテナ利得や空中線電力を考慮

※2: 地形データは使用せず、理想的な平面大地として、拡張秦モデル(OpenArea)もしくは平面大地による2波モデルにより受信電力を算出。実証試験で使用したアンテナ利得や空中線電力を考慮

# ②アンテナ高特性試験(状況)

設置アンテナ高の違いにより実環境における受信電力の変化を把握する為、図2-1に示すアンテナ高の組み合わせで測定を実施する。

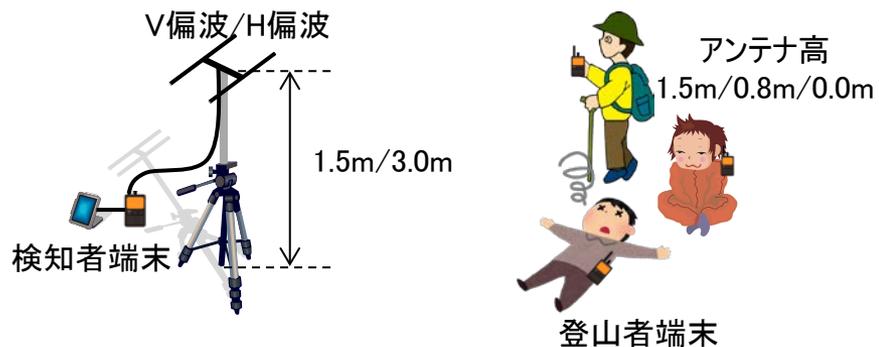
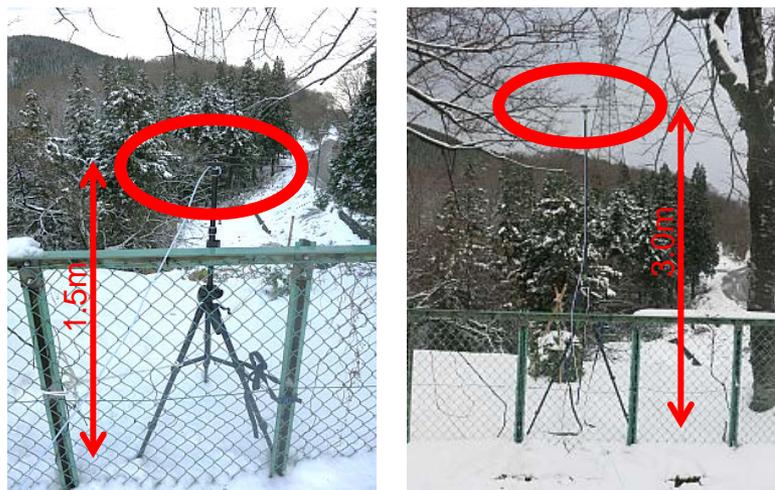


図2-1 設置アンテナ高さイメージ



(a) アンテナ高1.5m

(b) アンテナ高3.0m

図2-2 検知者端末風景



(a) アンテナ高1.5m

(b) アンテナ高0.8m

(c) アンテナ高0.0m

図2-3 登山者端末風景

# ②アンテナ高特性試験(結果2/2)

アンテナ高特性試験を実証試験環境と伝搬路に障害物のないグラウンドで測定を実施した。

図2-4は実証試験環境での測定結果を示し、図2-5はグラウンドでの測定結果を示す。

各グラフは、登山者端末高1.5mとした場合の受信電力を基準値とし、登山者端末高を変化させた際の受信電力変化量を示す。

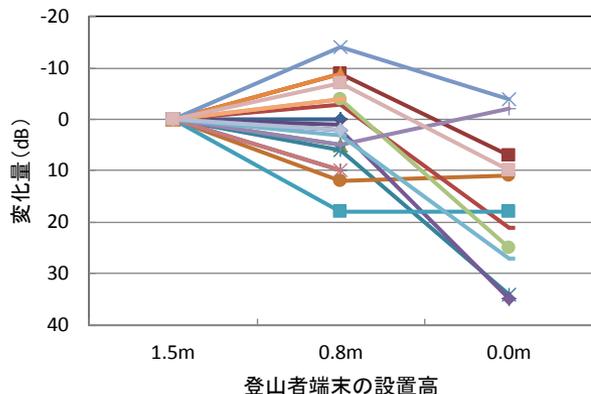


図2-4 実環境における登山者端末高の受信電力変化 (登山者端末高1.5mを基準)

表2-1 登山者端末高の変化による変化量

登山者設置高(m)と偏波	変化量(dB) (中央値)
0.8m(V)	2.0
0.0m(H)	18.0

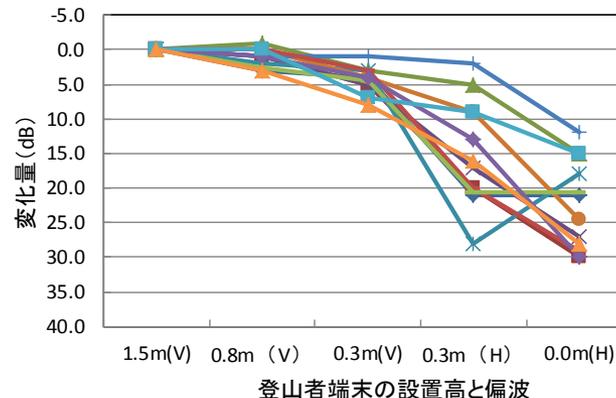


図2-5 グラウンドにおける登山者端末高ごとの受信電力比較 (登山者端末高1.5mを基準)

表2-1 登山者端末高の変化による変化量

登山者設置高(m)と偏波	変化量(dB) (中央値)
0.8m(V)	1.0
0.3m(V)	4.0
0.3m(H)	16.5
0.0m(H)	23.1

表2-1及び表2-2はそれぞれの測定結果における変化量の中央値を示す。

- 設置高0.8mの場合には1.5mと比較すると変化量の中央値は2dB程度であるが、実環境においては測定場所によっては18dB程度と大きく受信電力が下がる場所もあったが、逆に受信電力が高くなる場所もあった。
- 設置高0.0mの場合には1.5mと比較すると変化量の中央値は23dB程度である。実環境においては測定場所によらず、アンテナ高0.0mとすると1.5mよりも受信電力が下がることが確認できた。

# 【その他】パケットエラー特性試験

屋内実証試験で確認したパケットエラー特性が、実環境においても変化がないことを確認するため、パケットエラー特性試験を実証試験環境において実施した。

パケットエラーが発生する受信電力-117dBmに近い値となる測定地点やエラーフリーとなる受信電力が十分に高い測定地点の合計21地点で測定を行った。

■南ルートにおけるパケットエラー測定結果

測定地点	平均受信電力 (dBm)	最大受信電力 (dBm)	最小受信電力 (dBm)	パケットエラー率 (%)
1	-105.2	-103	-113	0
2	-96.5	-95	-99	0
3	-108.7	-105	-116	0
4	-103.5	-102	-108	0
5	-105.2	-103	-108	0
6	-99.3	-98	-101	0
7	-106.7	-105	-109	0
8	-108.8	-106	-111	0
9	-96.5	-95	-98	0
10	-79.2	-78	-81	0

■東ルートにおけるパケットエラー測定結果

測定地点	平均受信電力 (dBm)	最大受信電力 (dBm)	最小受信電力 (dBm)	パケットエラー率 (%)
1	-94.4842	-93	-96	0
2	-98.0469	-97	-100	0
3	-88.6765	-87	-93	0
4	-93.448	-91	-96	0
5	-95.6557	-94	-101	0
6	-100.753	-99	-105	0
7	-106.529	-102	-115	0
8	-93.4289	-90	-100	0
9	-112.778	-107	-125	19
10	-94.388	-92	-97	0
11	-93.55	-91	-98	0

- パケットエラー特性測定に測定した受信電力も合わせて示す。
- 受信電力は測定時間中の平均値、最大値、最小値を示す。
  
- 各測定ルートで受信電力(平均、最大、最小)とパケットエラー率を測定し、その結果を上記の表に示す。
- 屋内実証試験の結果と同様に-117dBmを下回る場合にはパケットエラーが発生しているが、受信電力が高くなることでエラーフリーとなることが確認できた。

# まとめ

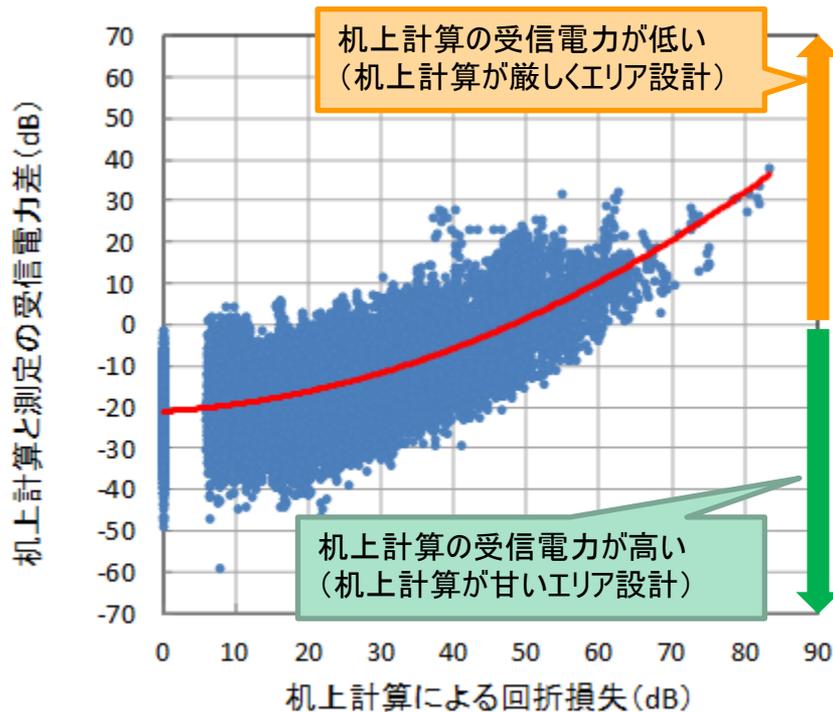
## ■ 距離特性試験

- 今回用意した試験装置の諸元、実証試験で使用した空中線を用いた場合において、検知者端末及び登山者端末の設置高が1.5mの条件であれば、4km程度までは通信可能エリアであることが確認できた。
- 実証試験から得られた補正を使用し、参考資料に医王山周辺および剣岳周辺の机上計算を示す。  
今回の試験装置と同程度の諸元であれば、複数の山小屋に設置した検知者端末によって山岳全体を広範囲にカバーできることが読み取れる。
- 動物検知システム(ARIB-STD T99)に示されている符号基準感度 $2\mu\text{V}$ (約-107dBm)とした場合には、参考資料に記載した黄色までが通信範囲となる。一部の場所が通信範囲外となることが予想されるが、複数の検知者端末によって、それでも十分に広い範囲で通信可能あることが読み取れる。

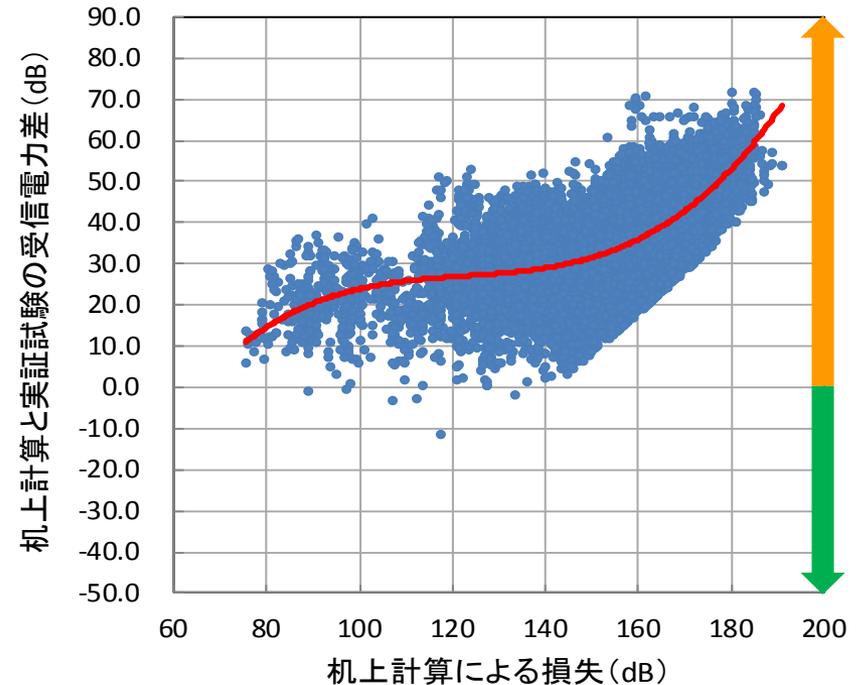
## ■ アンテナ高特性試験

- 今回用意した試験装置において、検知者端末の偏波を変更しても受信電力に大きな差はなかった。
- 登山者端末の高さを低くすることで受信電力に変化が見られた。
- 通常の利用シーンであれば登山者は0.8m~1.5m程度の高さであると考えられる。この高さの範囲であれば1.5mと同程度の受信電力である。
- アンテナを地面に設置するような0mの高さであれば、1.5mの高さに比べて23dB程度の減衰であった。
- 登山者が倒れてしまうような緊急時には、試験装置の最低受信感度である-117dBmから25dBm高い-92dBmが閾値となり、参考資料の赤色で表示したエリアが通信範囲となる。その距離は通常利用に比べて短くなるが、緊急時には救助隊等が登山者の近くまで移動して使うこととなる。

# 参考資料② 距離特性試験の検討



参考図2-1 机上計算の回折損失と受信電力差の傾向  
(多重回折損失計算)

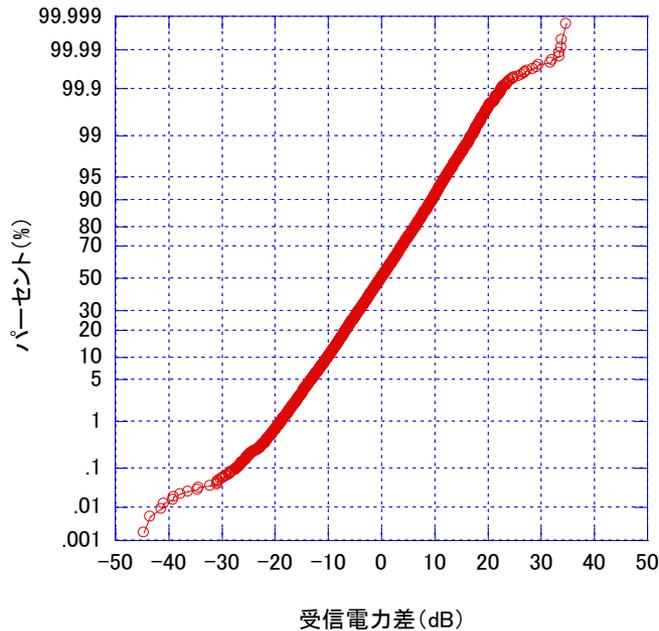


参考図2-2 机上計算の回折損失と受信電力差の傾向  
(ITU-R P.1812)

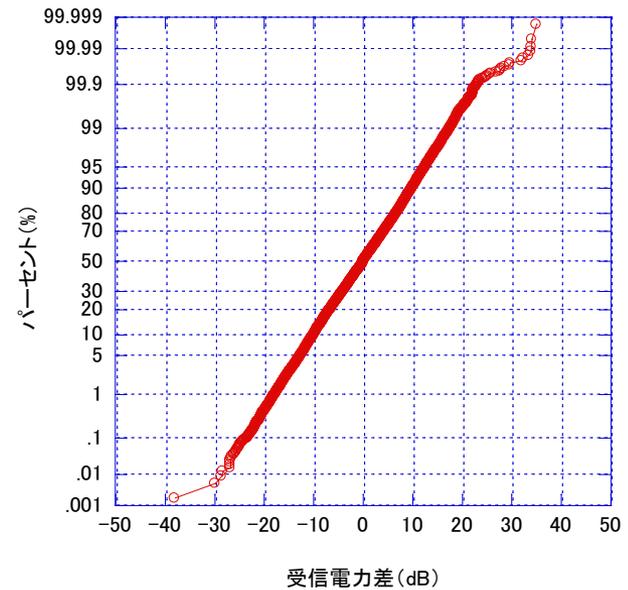
- 全測定地点において机上計算で求めた回折損失をX軸とし、実証試験と机上計算の受信電力差をY軸に表示
- 検知者～登山者間が15m以上の測定結果を掲載
- 全体の傾向として、机上計算の回折損失が大きくなると、机上計算の受信電力が実証試験の受信電力よりも小さくなる。  
→机上計算の方が厳しいエリア計算をすることとなる。
- 近似曲線(図中赤線)で検討すると、机上計算による回折損失が50dB程度で机上計算と実証試験の受信電力が等しくなる。

- 全測定地点において机上計算で求めた損失をX軸とし、実証試験と机上計算の受信電力差をY軸に表示
- 検知者～登山者間が15m以上の測定結果を掲載
- 全体の傾向として、机上計算の損失が大きくなると、机上計算と実証試験の受信電力差も大きくなる。  
→全体的に机上計算の方が厳しいエリア計算をすることとなる。

# 参考資料② 距離特性試験の検討



参考図2-3 受信電力差の累積確率  
(多重回折)



参考図2-4 受信電力差の累積確率  
(ITU-R P.1812)

- 検知者～登山者間が15m以上の測定結果を掲載
- 実証試験と机上計算の受信電力差毎の確率を参考表2-1に掲載  
→受信電力差が±5dB以内は全体の約半分  
→受信電力差が±10dB以内は全体の8割
- 累積確率の傾きが直線であることから、受信電力差の±の領域において同様な傾向である。

参考表2-1 受信電力差の確率

受信電力差 (dB)	多重回折 確率 (%)	ITU-R 確立 (%)
±20dB以内	99.0%	99.2%
±15dB以内	94.9%	94.9%
±10dB以内	81.0%	80%
±5dB以内	48.5%	46.3%

# 参考資料③ アンテナ高特性試験の検討

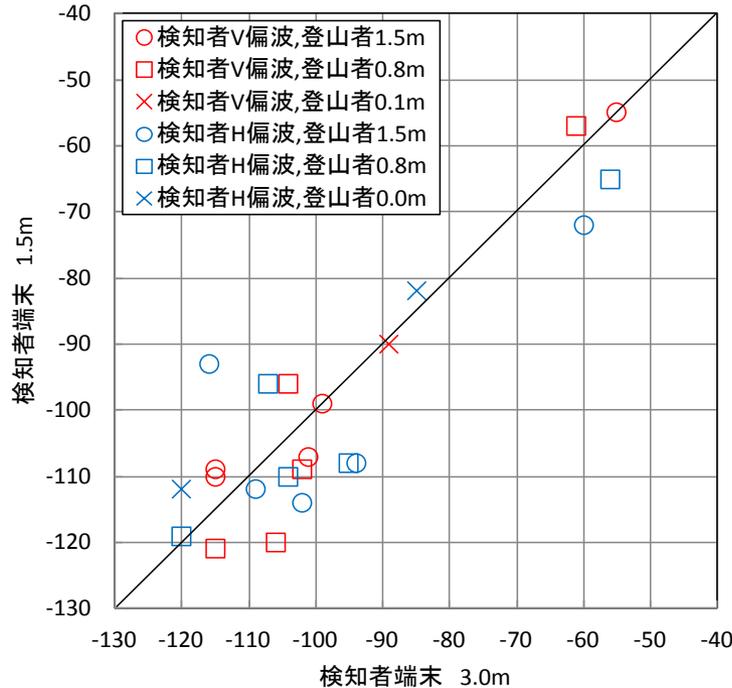


図2-1 検知者端末高による受信電力比較

- 検知者端末高を変えた際の受信電力の比較
- 検知者端末高は3.0mと1.5mの2通り
- 検知者端末高を3.0mと1.5mとした場合の受信電力は概ね同程度であった。

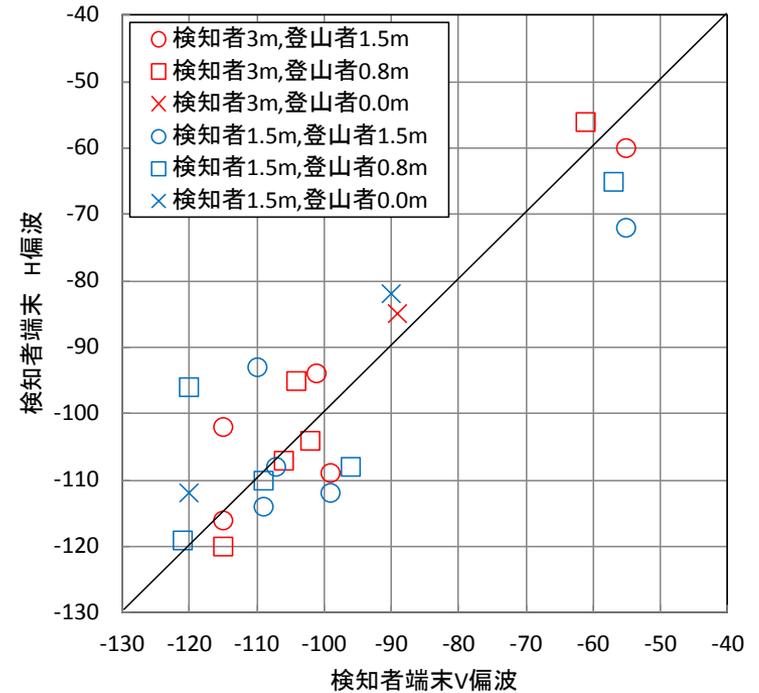
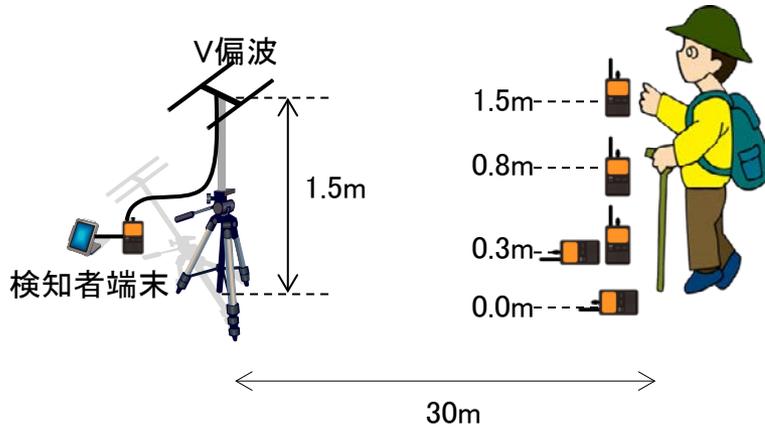


図2-2 検知者端末偏波による受信電力比較

- 検知者端末の偏波を変えた際の受信電力の比較
- 検知者端末の偏波はV偏波とH偏波
- 検知者端末の偏波を変えても受信電力は概ね同程度であった。

# 参考資料③ アンテナ高特性試験方法(グラウンド)

■ 医王山スポーツセンターのグラウンドにおけるアンテナ高さ特性試験を実施



検知者端末	設定値
アンテナ高	1.5m
偏波	V偏波

登山者端末	設定値
アンテナ高	1.5m, 0.8m, 0.3m, 0.0m
偏波	V偏波 (1.5m, 0.8m, 0.3m) H偏波 (0.3m, 0.0m)
角度	正面、90度、180度、270度

検知者端末に向けた方向を0度とし、時計回りに90度、180度、270度に登山者端末を設置

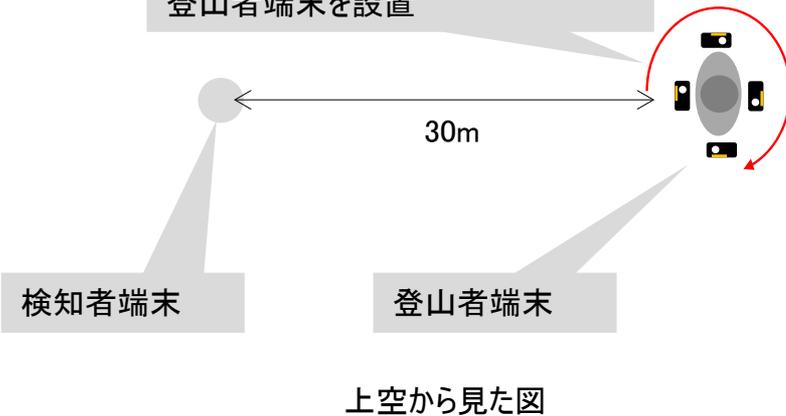


図 測定風景



図 正面



図 90度